



室蘭工業大学

学術資源アーカイブ

Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive



室蘭工業大学研究報告 第4巻第3号 全1冊

メタデータ	言語: eng 出版者: 室蘭工業大学 公開日: 2014-05-15 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/2936

室蘭工業大学研究報告第4巻第3号正誤表

頁	↑	行	誤	正
559	↓	1	最大引張力 14.5t 出力 500psx2基 ディーゼル機関 液体変速機	最大引張力 14.5t 出力 500psx2基 ディーゼル機関 液体変速機
"	↓	3	名称 SMR シンコー	名称 SRM シンコー
565	↓	1	$-\frac{3CdPa}{4DPs} \cdot \nu_y$	$-\frac{3CdPa}{4DPs} \cdot \nu_y$
"	↑	7	$\frac{q+k\nu_{10} \cdot x}{k\nu_{20}}$	$\frac{q+k\nu_{10} \cdot x}{k\nu_{20}}$
581	↓	13	管径比 (de/de)	管径比 (do/de)
596	↑	10	$Z_e (= \omega L_e^* / a_e)$	$Z_{em} (= \omega L_e^* / a_e) M$
600	↓	16	1.4 ~ 2.8	1.4 ~ 2.5
619	↑	10	サキソホン	サキソホン
625	↓	10	$I_{b2} = (\beta / f_{b2}) \cdot \tan(l_{b2} / L_e^*)$	$I_{b2} = (\beta / f_{b2}) \cdot \tan(l_{b2} / L_e^*)$
633	↓	1	2サイクルシリンダー	2サイクル2シリンダー
639	↓	8		
664	↓	18	-0.3/dt	-0.3/de
703	↑	2	Reilly	Reilley
761	↓	10	場合	場面
769	↓	19	Stephen	Stephen
789	↓	10	main	main
798	↓	6		
800	↓	11	"	"
814	↓	7	"	"
817	↓	11	phosphoric	phosphoric
"	↓	13	paper	paper
823	↓	13	relative	relative
"	↓	14	bons	bones
"	↓	20	laped	lapsed
824	↓	3	スワンカム人	スワンスカム人
827	↓	2	海生の	海棲の
"	↓	3	陸生の	陸棲の
"	↓	3-4	海生の	海棲の
829	↑	7	全回の	今回の

頁	↑	行	誤	正
829	↓	13	海生	海棲
"	↓	14	陸生の	陸棲の
831	↓	14	Ca(PO4)2	Ca3(PO4)2
"	↓	16	isotope Mn	isotope ⁵⁴ Mn
"	↓	17	Ca(PO4)2	Ca3(PO4)2
833	↑	4	第2図図に	第2図に
837	↑	1	還元して青色の	還元した青色の
844	↑	2	Anal. Chim. Acta., 22	Anal. Chim. Acta, 22
"	↑	1	室工大報法	室工大研報
845	↓	8	rediated	radiated
"	↓	11	caunting	counting
857	↓	11	実計計画	実験計画
864	↓	1	op工程の	opは工程の

室 蘭 工 業 大 学

研 究 報 告

第 四 卷 第 三 号

昭 和 三 十 九 年 六 月

MEMOIRS
OF
THE MURORAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

VOL. 4 NO. 3

June 1964

MURORAN HOKKAIDO
JAPAN

Editing Committee

K. Otsubo	President	<i>Chairman of the Committee</i>
S. Kitamura	Prof.	<i>Electrical Engineering.</i>
F. Komatsu	Prof.	<i>Industrial Chemistry.</i>
F. Sato	Prof.	<i>Mining Engineering.</i>
K. Matsuki	Prof.	<i>Civil Engineering.</i>
N. Sawa	Asst. Prof.	<i>Mechanical Engineering.</i>
Y. Kanamori	Prof.	<i>Metallurgical Engineering.</i>
T. Shirasaki	Prof.	<i>Chemical Engineering.</i>
S. Takemoto	Asst. Prof.	<i>Literature.</i>
R. Ishida	Asst. Prof.	<i>Chemistry.</i>
T. Miyamoto	Prof.	<i>Chief Librarian.</i>

All communications regarding the memoirs should be addressed to the chairman of the committee.

These publications are issued at irregular intervals. When they amount to about 800 pages, they form one volume.

室蘭工業大学研究報告 第四卷 第三号

目 次	頁
軟鋼の衝撃引張試験	内 藤 正 鄰 3 (1) 549 浅 野 直 輝
除雪機械に関する研究	奥 田 教 海 3 (9) 557
クランク室圧縮 2 サイクル機関における 直管型排気管の影響について	沢 則 弘 3 (21) 569
クランク室圧縮 2 サイクル機関における付型および 円錐型排気管系の影響について	沢 則 弘 3 (41) 589
クランク室圧縮 2 サイクル機関における拡張室付 排気管系の影響について	沢 則 弘 3 (55) 603
クランク室圧縮 2 サイクル機関における分岐型 排気管系の影響について	沢 則 弘 3 (71) 619
クランク室圧縮 2 サイクル 2 シリンダ機関における 給気管効果について	沢 則 弘 3 (81) 633
クランク室圧縮 2 サイクル機関の給気比と 機関トルクとの関連について	沢 則 弘 3 (97) 645
クランク室圧縮 2 サイクル機関の給排気管内における 圧力伝播速度について	沢 則 弘 3 (107) 655
高速 4 サイクル機関の吸排気管効果について	沢 則 弘 3 (119) 667
4 サイクル機関の加速 (減速) 特性について (第 1 報)	沢 則 弘 3 (137) 685
EDTA による水銀 (II) の双金属極電位差滴定	太刀川 哲 平 3 (155) 703
教会ラテン語における gerundium, gerurdivum および接続詞 quod の用法について	大 出 哲 3 (163) 711
聖アウグスティヌスの『創世記逐語解』について ——『神国論』における「神の国」と「地の国」の 原型の形成——	大 出 哲 3 (183) 731
The Longest Journey ¹⁾ の一考察	菅 沼 慶 一 3 (211) 759
Extensive Reading のための Motivation に関する 若干の問題について	武 本 昌 三 3 (229) 777

Basal Relativities in the Space X.	Y. Kinokuniya	3 (249)	797
化石骨中のフッ素の光度定量法スルホサリチル酸法	下田信男 井上守明	3 (269)	817
化石骨中の微量成分に関する化学的研究 (第1報)			
化石骨中のフッ素およびマンガン含有量と	下田信男 遠藤信也 井上守明 尾崎博	3 (275)	823
化石骨の年代との関係			
化石骨中の微量成分に関する化学的研究 (第2報)			
水中のフッ素イオンおよびマンガン(II)イオ ンの化学物質(骨の化学成分)への濃縮につい ての模式実験	下田信男 遠藤信也 井上守明 尾崎博	3 (283)	831
各種無機リン酸共存下における正リン酸塩の吸光光度定量 (第1報)			
ピロリン酸塩共存下における正リン酸塩の 吸光光度定量	上野幸三 石丸幸造	3 (289)	837
β 線吸収測定における試料位置および その散乱限果について	服部耐吉	3 (297)	845
測定誤差のある場合のRの管理図, \bar{x} -R管理図の特性	金塚高次	3 (307)	855
Box-Wilson法による酸化エチレン 合成最適反応条件の検討	金塚高次 加納久雄 平野晴望	3 (315)	863
Al_2O_3 -Ag- K_2SO_4 系触媒によるエチレンの 酸化について(修正速度式による解析)	加納久雄 菫蒲明己	3 (323)	871
A Study of the Design and Stress Calculation of the Simple Box Girder Bridge with Varying Sections and Steel Floor Plates.	S. Nakamura	3 (337)	885
昭和38年度研究業績		3 (359)	907

軟鋼の衝撃引張試験

内藤正鄰・浅野直輝

On the Impact Tensile Test of Mild Steels

Masachika Naito and Naoki Asano

Abstract

A study of the properties of steels under impulsive loading is not only theoretically interesting but also important for practical purposes. In order to determine some characteristics of the impact strength of mild steels, experimental researches were carried out.

By using an impact tensile testing machine of drop hammer type, the present writers carried out tests at a room temperature and at low temperatures (-79°C and -183°C). Plain test pieces ($d=7\text{ mm}$, 10 mm ; $l/d=8$) with 0.26% carbon were used. The impact velocity was varied from static region to 10 m/s.

The contraction percentage of an area and the elongation were measured, and relations between impact velocity and impact energy were studied.

1. 緒言

最近機械の高速化にともない、衝撃荷重による材料の挙動の研究はとみに盛んになってきた。材料の機械的性質はそれに作用する荷重が衝撃的であるときは、通常の静的荷重に対するときとかなり異ってくる。従来材料試験の一法として衝撃試験が行なわれてきたが、これは主として曲げ衝撃試験であった。しかし材料の強度を調べるには、引張試験が最も簡明であり、また基礎としても大切であるが、このような研究は比較的少ない¹⁾。

そこでわれわれは自作の落錘式単一引張衝撃試験機を用いて、普通軟鋼の衝撃実験を行なった。試験片直径は 10 mm および 7 mm の 2 種類を用い、衝撃速度は 0~10 m/s の低速域で、また実験は常温および低温 (-79°C および -183°C) で行なわれた。そして破断に要するエネルギーを求め、かつそれと衝撃荷重および衝撃速度との関係、ならびに伸び、絞り等の変形能について考究した。

2. 実験方法

実験装置の大略を図-1 に示す。落錘荷重は 10 kg から 66.3 kg まで約 5 kg 間隔で変化することができ、また落下高さは最高 7 m で、したがって衝撃最高速度は 11.7 m/s である。試験

片下部に落錘をとりつけ所定の高さまでウインチで引き上げた後案内線に沿って自由落下させて、受け台で試験片を破断する。案内線の摩擦の影響については、落下時間を実測した結果、落体の自由落下としての計算値との違いは2%以内であった。

試験片を破断するに要するエネルギーは破断後の余剰エネルギーを受けバネの変位のみから求めることが不可能なことを確かめたので、次の方法により求めた。すなわち数本の試験片をある荷重のもとで、落下高さを少しずつ変化させて試験し、破断される点と破断しない点を両側からはさんで破断高さを求めた。各試験片の性質はどれも皆一様であると仮定し、かつ基礎台の振動その他に消失するエネルギーを無視して、前記高さ、荷重による位置エネルギーをもって破断エネルギーとした。

実験温度は室温、ドライアイス温度(-79°C)および液体酸素温度(-183°C)の三種で、冷却の場合には試験片を筒で包みその中に前記冷媒を封入し、十数分間保持した後に冷却筒をつけたままで試験を行なった。

材料は市販の機械構造用鋼 S 25 C (炭素含有量 0.26%) で、860°C で2時間保持後炉冷し焼鈍した。試験片は直径 10 mm および 7 mm の2種類でその寸法を図に示す。

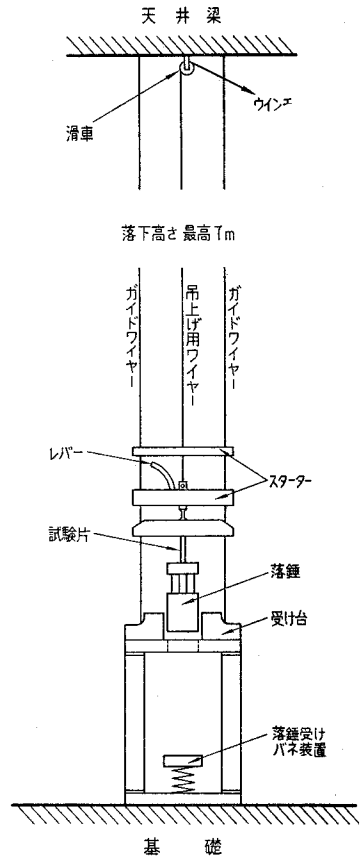


図-1

落錘式衝撃引張試験機略図

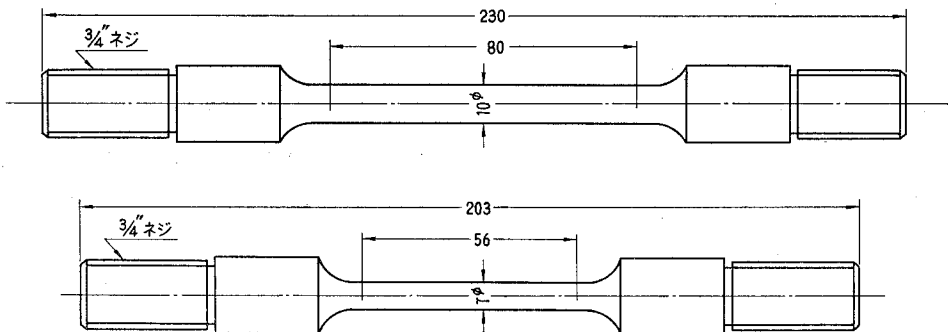


図-2.1 低温用試験片

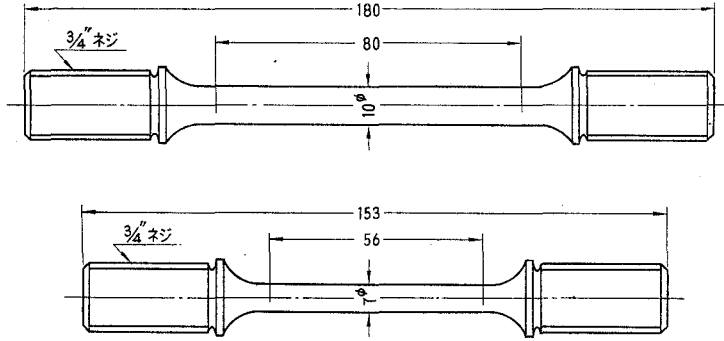


図-2.2 室温用試験片

3. 実験結果

実験結果を表-1, 表-2, 図-3~図-6に示す。

表-1 衝撃引張試験結果

試験温度 (°C) 試験片直径 (mm)	落錐高さ (m)	落錐重量 (kg)	衝撃速度 (m/s)	破断エネルギー (kg-m)	断面積破断エネルギー (kg-m/cm ²)	伸び (%)	絞り (%)
室温 (15°C) <i>d</i> =10φ	4.96	23.8	9.9	118	18.8	32	56
	3.37	33.5	8.1	113	18.0	29	54
	2.42	46.0	6.9	111	17.7	30	55
	1.89	55.8	6.1	106	16.8	26	54
	1.69	65.5	5.8	111	17.6	26	54
-79°C <i>d</i> =10φ	3.01	24.6	7.7	74	11.8	21	55
	2.34	34.3	6.8	80	12.8	21	55
	1.89	46.8	6.7	88	14.0	18	53
	1.70	56.6	5.8	96	15.2	22	50
-183°C <i>d</i> =10φ	1.61	66.3	5.6	107	17.0	25	53
	0.37	24.6	2.7	9.1	1.45	0.23	2.2
	0.27	34.3	2.3	9.1	1.45	0.15	3.2
	0.23	46.8	2.2	10.8	1.71	0.64	0.8
	0.22	56.6	2.1	12.7	2.03	0.40	4.1
室温 (15°C) <i>d</i> =7φ	0.21	66.3	2.0	14.0	2.41	0.20	1.6
	3.51	10.0	8.3	35	16.3	26	57
	2.49	14.2	7.0	35	16.4	27	57
	1.70	19.7	5.8	33	15.5	28	56
	1.42	23.9	5.3	34	15.7	25	57
-79°C <i>d</i> =7φ	1.17	29.6	4.8	35	16.1	26	56
	2.64	10.1	7.2	27	12.3	23	56
	2.02	14.9	6.3	30	13.9	21	56
	1.74	20.4	5.8	36	16.5	24	55
	1.54	24.6	5.5	38	17.5	26	55
-79°C <i>d</i> =7φ	1.31	30.3	5.1	40	18.4	32	54

試験温度 (°C) 試験片直径 (mm)	落錘高さ (m)	落錘重量 (kg)	衝撃速度 (m/s)	破断エネルギー (kg·m)	断比体積破断 エネルギー (kg·m/cm ³)	伸 び (%)	絞 り (%)
-183°C <i>d</i> =7φ	0.34	10.1	2.6	3.4	1.58	0.17	4.2
	0.17	20.4	1.8	3.5	1.61	0.09	2.0
	0.18	24.6	1.9	4.4	2.05	0.02	1.4
	0.15	30.3	1.7	4.6	2.21	0.32	4.8

表-2 静引張試験結果

試験温度 (°C) 試験片直径 (mm)	破断エネルギー (kg·m)	断比体積破断 エネルギー (kg·m/cm ³)	伸 び (%)	絞 り (%)	引張強さ (kg/mm ²)	降伏点 (kg/mm ²)	ヤング係数 (kg/cm ²)
15°C <i>d</i> =10φ	82.4	13.1	26	55	49	29	2.1×10 ⁶
-79°C <i>d</i> =10φ	85.0	13.5	25	54	52	31	2.1×10 ⁶
-183°C <i>d</i> =10φ	38.2	6.1	1.8	3.6	79	—	2.2×10 ⁶
15°C <i>d</i> =7φ	27.9	13.0	25	54	50	31	2.1×10 ⁶
-79°C <i>d</i> =7φ	27.9	13.0	25	53	52	35	2.1×10 ⁶
-183°C <i>d</i> =7φ	17.5	7.8	1.4	5.4	81	78	2.2×10 ⁶

A. 室温における結果

図-3によれば、破断エネルギー（比体積で示す）は直径10mmの場合は衝撃値の増加とともに僅かに増加するが、7mmではあまり大きな変化はない。伸びも速度増加とともに僅かに増加するが、絞りはほとんど影響されない。

静引張りくらべると衝撃引張の方が破断エネルギーはかなり大きい。伸びも若干大きい
が、絞りはほとんど変わらない。

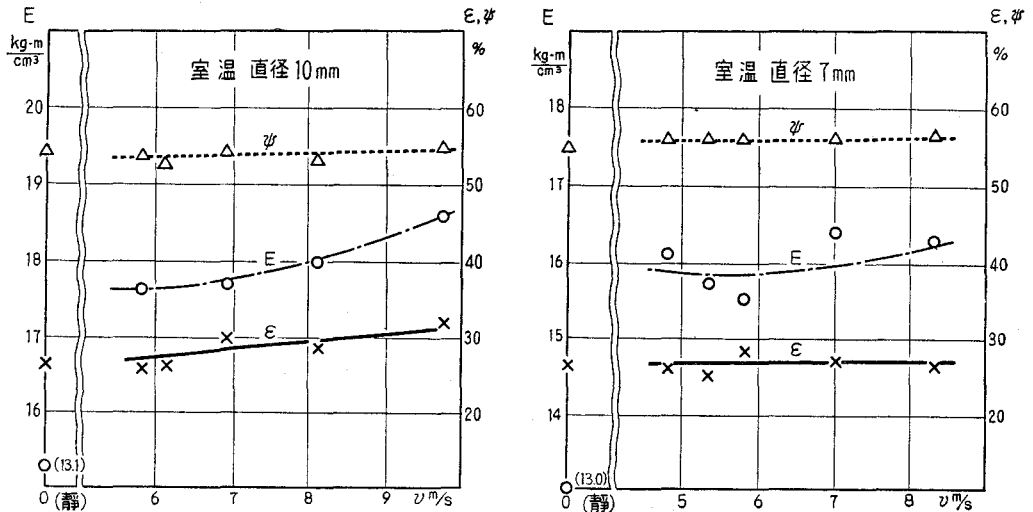


図-3 室温における衝撃速度 (*v*) と比体積破断エネルギー (*E*) および伸び (*ε*), 絞り (*ψ*) との関係

B. -79°C における結果

図-4 によれば、破断エネルギーは衝撃速度の増加とともにかなり減少する。伸びは衝撃速度の増加にともないやや減少する傾向が見られるが、絞りはいずれもあまり変わらない。

静引張と衝撃引張の比較は、破断エネルギーについてはある衝撃速度を越えると、衝撃引

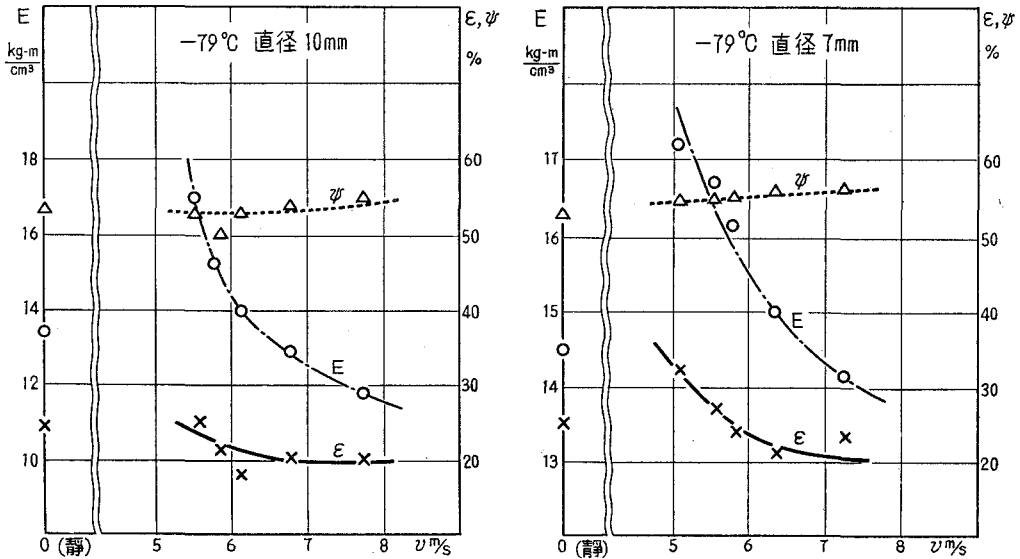


図-4 -79°C における衝撃速度 (v) と比体積破断エネルギー (E) および伸び (ϵ), 絞り (ψ) との関係

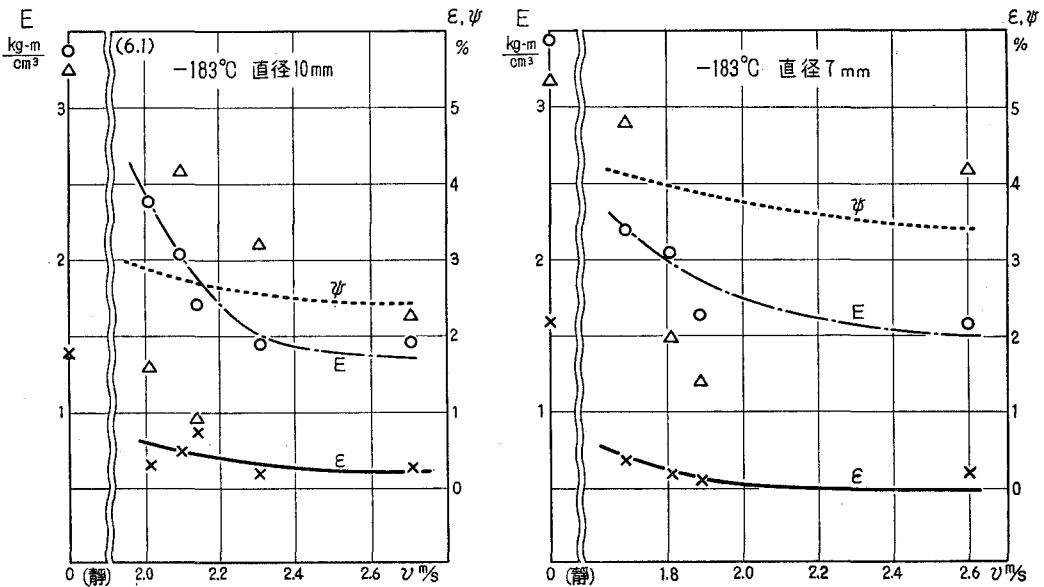


図-5 -183°C における衝撃速度 (v) と比体積破断エネルギー (E) および伸び (ϵ), 絞り (ψ) との関係

張の方が静引張に比べて小さくなる。伸びは衝撃引張の方が小さいが、絞りはあまり変わらない。

C. -183°C における結果

図-5 よりあきらかなように、速度の範囲が狭く温度も低いので、絶対値は小さいが、やはり破断エネルギーは衝撃速度の増加とともに減少する。伸び、絞りはこのような低温ではきわめて少なく、速度による比較は測定上困難であるが、速度増加によりますます脆性が強くあらわれ、伸びは減少するものと考えられる。

静引張にくらべると破断エネルギーは衝撃引張の方がはるかに少なく、伸びもかなり小さく、絞りは若干小さい。

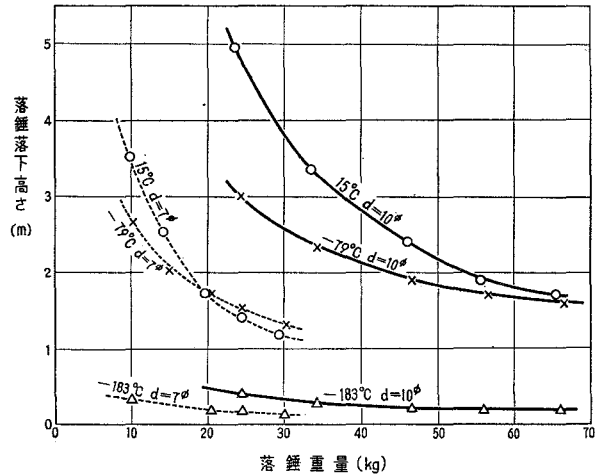


図-6 落下高さ-荷重曲線

4. 考 察

以上の結果より衝撃速度が破断エネルギーにどのように影響するか考えてみる。衝撃の場合も試験片の応力-歪曲線が求まれば破断エネルギーは簡単に求まるが、これは現在の技術では非常に困難なことがわかっている²⁾。しかしながら破断エネルギーの大きさを左右するのは応力と伸びが二つの大きな因子であることは容易に想像できる。

歪速度の増大すなわち衝撃速度の増大とともに、動的引張応力が増大することは多くの研究者により認められている。したがって常温の場合衝撃引張りでは静引張にくらべ、伸びも若干大きいので、破断エネルギーは当然大きくなる。また衝撃速度が増大しても伸びはあまり変化なく(わずかに上昇)、この程度の衝撃速度では速度増加による応力の増大も少ないので、破断エネルギーはわずかに増大するが、大きな変化はない。したがって図-6のごとく、落下高さ(衝撃速度)荷重曲線は直角双曲線に近い形を示す。

次に低温の場合は、 -79°C 程度の温度では衝撃速度の低いところでは、伸びは静引張の場合と大体同じ値を示し、これが速度の増大とともに減少する。一方応力は静引張より大きい、衝撃速度が増大してもその割には大きくなる。したがって破断エネルギーは、ある衝撃速度を越えると静引張に比べ逆に小さくなる。さらにこれが -183°C 程度になると伸びの絶対値は静引張にくらべはるかに小さくなり、したがって破断エネルギーはこれに応じて静引張よりも相当小さくなり、またこれが衝撃速度の増大とともに減少して行くものと考えられる。

5. 結 言

以上軟鋼の衝撃引張試験の結果を総括すると、

衝撃速度の影響

1. 常温の場合は、衝撃速度が増大しても破断エネルギーはわずかに増す程度であり変化はないが、低温では減少する。
2. 伸びは常温ではあまり変わらないが、低温では衝撃速度の増大とともに減少する。
3. 絞り は 衝撃速度によってあまり影響をうけない。

温度の影響

1. 破断エネルギーは試験片温度の低下にともない減少し、低温になる程急激に減少する。
2. 伸び、絞りは -80°C 程度では常温とあまり変わらないが、さらに低温度では急激に減少する。

静引張と衝撃引張との比較

1. 破断エネルギーは常温では衝撃の方が大きいですが、温度が -80°C 附近では衝撃速度が $6\sim 7\text{ m/s}$ 以上はなると逆に減少し、温度低下と速度増大にともなってさらに減少する。
2. 伸びは -80°C 附近では静引張も衝撃引張も大きな差はないが、 -180°C 程度になると衝撃引張の方がはるかに小さくなる。
3. 絞りはどちらもあまり大きな相異はない。

終りに本研究の実施にあたり協力された三橋教官、ならびに百町勲夫、山下高志、渡辺節男、伊藤俊一、常世田武、松浦諄の諸君に深甚なる謝意を表する次第である。

文 献

- 1) Clark, D. S. and P. E. Duwez: J. Appl. Mech., 15, 243 (1948).
T. von Karman and P. S. Duwez: J. Appl. Phys., 21, 987 (1950).
Siebel, E. und G. Menges: Arch. Eisenhüttenw., 28, 31 (1957).
作井誠太・中村正久・布村成具: 鉄と鋼 47, 800 (1961); 48, 48 (1962); 49, 55 (1963).
中川・奥田: 機械の研究 8, 1117 (1956); 8, 1227 (1956); 9, 33 (1957); 9, 271 (1957).
- 2) 作井誠太・森 勉: 機械学会誌 65, 258 (1962).



除雪機械に関する研究

除雪ロータリ装置の性能に関する所見

奥田 教海

A Note on a Snow-handling Machinery Experiments and Analyses about a Snow Rotary Blower

Kyōkai Okuka

Abstract

In spite of presence of many difficulties in flowing snow out of the country roads and railroads in snowy zone, few researches into snow-handling machinery have been pursued in Japan.

In this report the author states the trial experiments and engineering analyses about a snow rotary blower device on DD-14 type Diesel-motive engine for railroads, with fluid torque converters, belonging to Japan Railroad Department.

According to calculations by angular momentum theory used to apply to general turbomachinery, it seems that very little horsepower is to be lost to make snow flow into and out of impeller channels of the snow blower. It is found that very much horsepower is to be exhausted to share and gather snow into front sideblades of the blower, according to calculations by an experimental formula. It is necessary, therefore, to lighten the resistance of sharing and gathering snow on railroads for making snow-handling successful.

Next, the author provides an equation of motion about snow flow out of the impeller, and then he draws a comparison about data between solutions of the equation and results of the experiments. The trial by the author is successful with a few errors.

1. 緒 言

積雪寒冷地帯の鉄道および道路の除雪には、積雪の状態や除雪の目的に応じて、現在各種の除雪機械が使用されているが、それら機械をよりよく設計するための除雪作用の理論的根拠や設計資料を得るための実験的研究は、非常に少ない。冬期の交通確保の上から見て、除雪機械に関する研究は重要問題の一つと思考される。

この報告では、最近北海道で使用され始めた除雪ロータリ装置に関して、一所見を述べる。今後の除雪機械研究の上に何等かの参考となれば幸である。

2. 研究の方法

本研究に入る第一段階として、昭和38年1月に行なわれた日本国有鉄道苗穂工場の除雪

ロータリ装置付ディーゼル機関車の除雪試験に立合った。その際、観察、写真撮影などによって、後に述べる理論的解析に必要な概数値が得られたので、それらを基として考察を進める。

3. 除雪ロータリ装置およびディーゼル機関車

除雪ロータリ装置の概略は、図-1に、ディーゼル機関車の外観は、図-2に、その諸元は表-1に示す。

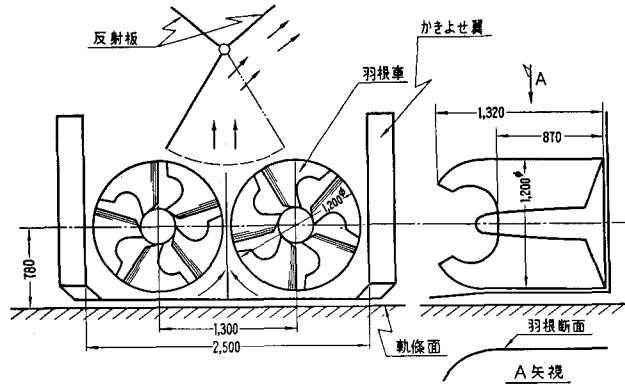


図-1 除雪ロータリ装置

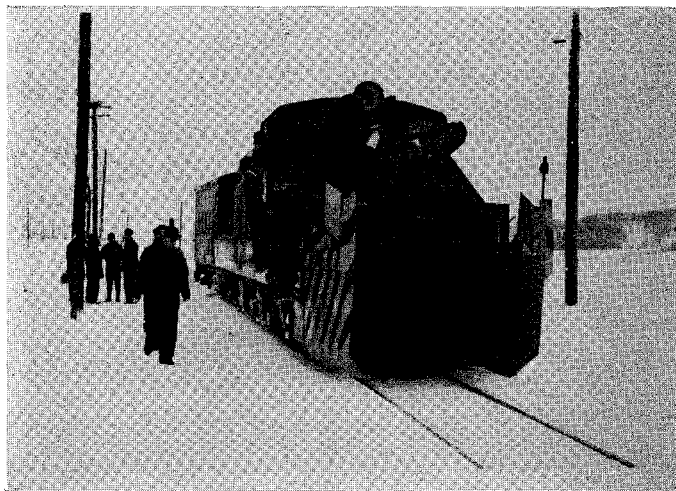


図-2 機関車外観図

表-1 DD-14形ディーゼル機関車の諸元

全長 (除雪装置を含む)	18,600 mm	全重量 (除雪装置付) {	運転整備時	約 73 t
全幅	2,974 "		空車時	約 66 t
全高	3,992 "	動輪直径	860 mm	
全軸距	12,250 "	最高速度	77.4 km/hr	

最大引張力	14.5 t	出力	500 PS×2基
ディーゼル機関		液体変速機	
形式	DMF 31 SB-R	名称	SMR シンコー DS 1.2/1.35
シリンダ	180×200×6	形式	2段4要素形油圧自動制御方式
回転数	1,500 rpm		

4. 除雪試験について

試験実施年月日 昭和 38 年 1 月 10 日
 試験実施場所 北海道深名線全線
 機関車および除雪装置 DD-14 形雪かき装置付液体式ディーゼル機関車
 機関車および除雪装置の調節について

- a) 機関車の速度 $v = 1.5\text{--}10.0 \text{ m/sec}$ (5.4—36.0 km/hr)
 [設計時想定値 $v = 4.2\text{--}12.5 \text{ m/sec}$ (15.0—45.0 km/hr)]
- b) ロータリ(羽根車)の回転数 $n = 358 \text{ rpm}$ (最高)
- c) ロータリの周速度 $u = 22.5 \text{ m/sec}$ (最高)
- d) かきよせ翼開度 $B = 2.05, 3.50, 3.90, 4.50 \text{ m}$ の 4 段階
- e) 投雪方向 その場所の状況により右側または左側に変更した。

5. 除雪試験結果

下記各駅構内における除雪試験の結果は、写真よりの判定値を含め、ほぼ次の通りである。

表-2 除雪試験結果

項目	駅名			備考
	朱鞠内	朱鞠内	添牛内	
気温(°C)	-8	-8	-5	B はかきよせ翼開度, h は雪の盛り上り高さ, α は水平線となす角。 α, H, L の値の中太字は 投雪主流についての値。
雪質	乾いた硬雪, 軽	乾いた硬雪, 軽	軌条にかきよせた乾いた雪, 中重	
機関車の速度(vm/sec)	≈1.0	≈1.0	≈1.0	
除雪量(B×h m ²)	3.9×1.0	3.5×0.9	4.5×1.0	
投雪角度(α°)	40-50-58	45-52-70	40-50-60	
投雪高さ(Hm)	5.0-7.0-8.0	4.5-6.5-8.3	4.0-5.0-5.8	
投雪距離(Lm)	18.0-22.0-23.0	12.0-16.0	10.0	
投雪方向	左側	左側	右側	
投雪状態	粉雪状	粉雪状	粉雪に小塊混入	

6. 除雪試験結果に関する考察

A. 雪の流動経過について

この試験で観察した結果を定性的に 図-3 の記号を用いて表わせば、表-3 のようになる。
 なお、反射板を過ぎる時、およびそれ以後の流動については、D 節に示す。

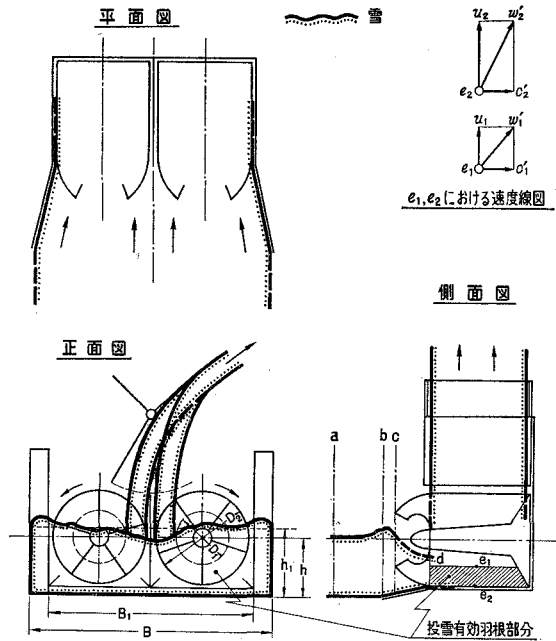


図-3 雪の流動

表-3 雪の流動

雪の状態	雪の位置			
	かきよせ翼前 端 a	羽根車の前 b	羽根車先端 c	羽根車内 d
幅	B	$B_1 (< B)$	$\left\{ \frac{\pi}{4} D_2^2 + 2D_2(h_1 - h) \right\}$	$\left\{ \frac{\pi}{2} (D_2^2 - D_1^2) \right\}$
高さ	h	$h_1 (> h)$		
速度	v	$v_1 (< v)$	$\approx v_1$	進行方向 c_2' 円周方向 $u_1 \rightarrow u_2$

B. 所要投雪動力

上に示したように、雪の流動については、まだ定量的な解析結果を求めることのできる段階に至っていないが、除雪作業中の最悪条件の下、またはそれに近い状態における2, 3の数値例を挙げて所要投雪動力についての目安を得る計算を行なう。

羽根車内の雪の流動については、実験観察の結果からは、図-3に示すように、投雪有効羽

根部分を考慮すべきであると考えられるが、ここでは一般的な羽根車を持つ流体機械の角運動量理論を適用してみることにする。図-4(a)において、一般的な回転羽根車の場合の、流体に与えられる動力 N_0 は、

$$N_0 = \frac{rQ}{g} (u_2 c_2 \cos \alpha_2 - u_1 c_1 \cos \alpha_1) \text{ kgm/sec} \dots (1)$$

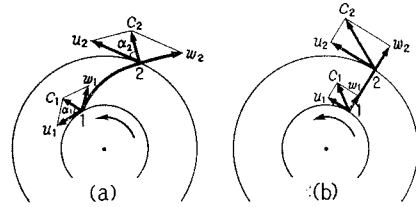


図-4 速度線図

で与えられる。ただし r は流体の単位体積の重量、 Q は流量、 g は重力の加速度、 u は周速度、 c は絶対速度、(図中の w は相対速度)、添字 1, 2 は入口および出口を示し、 α は u と c のなす角とする。

このロータリ装置の場合は、図-4(b)のように放射状直線羽根車であるから、

$$c_1 \cos \alpha_1 = u_1, \quad c_2 \cos \alpha_2 = u_2$$

であり、したがって

$$N_0 = \frac{rQ}{g} (u_2^2 - u_1^2) \text{ kgm/sec} \dots (2)$$

となる。ここで機関車に搭載されている機関の動力の中、投雪に消費される動力を N_1 PS、伝達効率を η_1 、羽根車効率を η_2 とすると、

$$2N_0 = 75 \times N_1 \times \eta_1 \times \eta_2 = \frac{2rQ}{g} (u_2^2 - u_1^2)$$

ただし、上式の初めの 2 は羽根車 2 基分を表わす。従って、

$$N_1 = \frac{2rQ(u_2^2 - u_1^2)}{75 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot g} \text{ PS} \dots (3)$$

となる。ここで見積ることの困難な u_1 については、これを省略する。(省略すれば、 N_1 が大きくなり、 N_1 を安全側に見積ることとなる。) 従って

$$N_1 = \frac{2rQu_2^2}{75 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot g} \text{ PS} \dots (4)$$

ここで、流量 Q を先ず見積らなければならない。雪は図-3 に示すように、断面 b で盛り上りを見せ、この部分である量の雪が停滞するわけであるが、断面 a にある雪は、結局すべて投雪されるものとすれば、求める雪の流量 Q は、 B をかきよせ翼の開度 (m)、 h をかきよせた雪の高さ (m)、 v を機関車の速度 (m/sec) とすると、

$$Q = Bhv \quad \text{m}^3/\text{sec} \dots (5)$$

となる。 $B=4.5$ m (最大)、 $h=0.78$ m (羽根車中心の地上高)、 $v=12.5$ m/sec = 45 km/hr (除雪作業の想定最高速度) とおけば、

$$Q = 4.5 \times 0.78 \times 12.5 = 43.9 \text{ m}^3/\text{sec}$$

また、周速度 u_2 については、 $n=358 \text{ rpm}$ (最高) をとり

$$u_2 = \frac{\pi n}{30} r_2 = \frac{\pi \times 358}{30} \times 0.6 = 22.5 \text{ m/sec}$$

雪の比重 γ は、北海道における雪の値として 0.45 とする。伝達効率 η_1 、羽根車効率 η_2 をそれぞれ 0.8, 0.7 と仮定すれば (4) 式より

$$N_1 = \frac{2\gamma Q u_2^2}{75\eta_1\eta_2g} = \frac{2 \times 0.45 \times 43.9 \times (22.5)^2}{75 \times 0.8 \times 0.7 \times 9.8} = 48.6 \text{ PS}$$

となる。もし羽根車内で、雪が羽根により衝撃的に圧縮され、結果として $r=0.6$ とみなされるような極端な状態を想定すれば、

$$N_1 = 48.6 \times \frac{0.6}{0.45} = 64.8 \text{ PS}$$

となる。

このディーゼル機関車は 500 PS 機関 2 基を搭載し、除雪作業の荷重に応じて 1 基または 2 基使用するようになっている。雪の流動状態が、かきよせ翼および羽根車内に閉塞したりすることのない正常な状態では、上記の計算から推量されることは、所要投雪動力が機関 1 基の定格出力のせいぜい 10~13% 程度の値であることである。

それで、観点を変えて、この機関車全体の動力の配分を考えてみると、所要投雪動力以外に大きなものとして雪をかきよせるための抵抗、すなわち排雪抵抗に打勝つべき動力が考えられる。次にこの排雪抵抗について概算を試みる。

C. 排雪抵抗について

鉄道研究所で用いているラッセル車の実験式

$$R_s = r b h (2 + 0.36 v) \dots\dots\dots (6)$$

を用いる。ここで R_s は排雪抵抗 (t)、 r は雪の単位体積の重量 (t/m^3)、 b 、 h はそれぞれ除雪幅 (m)、除雪高さ (m)、 v は機関車の走行速度 (km/hr) である。B 節で用いた値を考慮して

$$r = 0.4 \text{ t/m}^3, \quad b = 3.5 \text{ m}, \quad h = 0.78 \text{ m}, \quad v = 15 \text{ km/hr}$$

とすれば、

$$R_s = 0.4 \times 3.5 \times 0.78 (2 + 0.36 \times 15) = 8.08 \text{ t}$$

排雪抵抗に打勝つべき機関の所要動力を N_2 PS とし、伝達効率 $\eta=0.8$ とすれば、

$$75 \times N_2 \times \eta = R_s \times 1,000 \times v \times \frac{1,000}{3,600} = \frac{10^3}{3.6} \times R_s v$$

$$\therefore N_2 = \frac{10^3 \times R_s v}{3.6 \times 75 \times \eta} = \frac{10^3 \times 8.08 \times 15}{3.6 \times 75 \times 0.8} = 561 \text{ PS}$$

このディーゼル機関車の実際運転の場合にも、排雪に必要な動力として、この程度以上が想定されるので、機関の動力の相当大きな部分を消費することとなる。

D. 投雪主流の軌道について

除雪ロータリ装置より投げ出された雪は、勿論、放物線状に運動する。図-5, 図-6 に示すように初めは帯状をなしているが途中から粉雪状に拡散し、地面に到達するときには相当の拡がりを持っている。

雪は拡散されるとはいえ、なおその主流となる部分が存在するので、ここでその主流の軌道はいかなる形を呈するかについて若干考察を加えてみる。

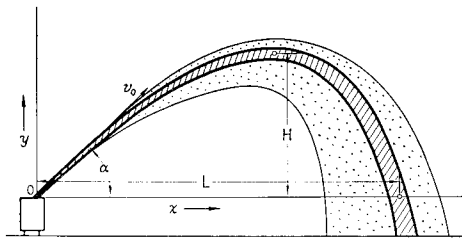


図-5 投雪流

表-4 投雪主流に関する値

試験番号	I	II	III
投雪角度 α°	50	52	50
投雪初速度 v_0 m/sec	22.5	22.5	15.7
投雪高さ H m	7.0	6.5	5.0
投雪距離 L m	22.0	16.0	10.0

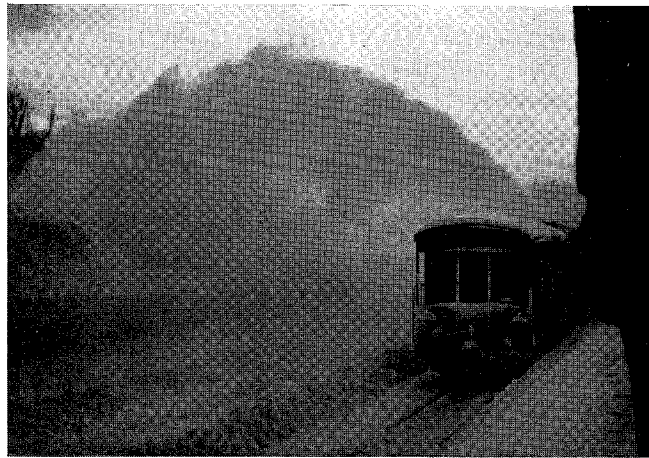


図-6 投雪流

投雪主流の軌道の方程式を求めるのに必要な資料を更めて表-2 より拾い、羽根車回転数より投雪初速度を算定して加えると、表-4 のようになる。

投雪主流の軌道の方程式を求める場合、問題を簡単化するために、機関車の任意の位置において投雪は軌条に直角な一平面内に行なわれるものと考え、二次元的問題として取扱う。

図-5 に示すように、投雪口上端中央を原点とし、軌条に直角な水平方向に x 軸、これに直角に y 軸をとる。

最初、重力のみを考え空気の抵抗を無視した、周知の放物体の運動の方程式をあげ、その後、この場合に適するように空気の抵抗を仮定した運動の方程式を導き、両者を表-4 の値により比較してみる。

i. 放物体の運動の方程式

一般的な放物体の運動の方程式は、 x, y 方向の速度を v_x, v_y , 質量を m , 重力の加速度を g とするとき、

$$m \frac{dv_x}{dt} = 0, \quad m \frac{dv_y}{dt} = -mg$$

であり、初速度を v_0 , 初速度の方向と水平線とのなす角を α とするとき、放物体の軌道の方程式は

$$y = (\tan \alpha)x - \frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \alpha} x^2 \dots\dots\dots (7)$$

である。従って投雪距離 L m, 投雪高さ H m はそれぞれ

$$L = \left(\frac{v_0^2}{g}\right) \sin 2\alpha, \quad H = \left(\frac{v_0^2}{2g}\right) \sin^2 \alpha \dots\dots\dots (8)$$

で与えられる。

ii. 空気の抵抗を考慮した場合の運動の方程式

雪の流れに対する空気の抵抗については、まだ一般的な解明は行なわれていないが、ここではこの問題を解き易いように次の2つの仮定を置く。

- a) 雪は連続して空中に投げ出されるが、その帯状の投雪主流の断面積と等しい最大断面積をもつ雪球の運動とほぼ近い運動をなして雪は投げ出されるものとする。
- b) その雪球は速度に比例する空気抵抗を受けるものとする。

a) で仮想した球の質量を m kgsec²/m, 断面積を A m², 体積を V m³, 空気の密度を ρ_a kgsec²/m⁴, 次式に定義される抵抗係数を C_D とすれば、 y 方向の運動の方程式は

$$m \frac{dv_y}{dt} = -mg - C_D \cdot A \cdot \frac{\rho_a v_y}{2}$$

とおくことができる。従って、雪の密度を ρ_s kgsec²/m⁴ とすれば、 $m = \rho_s V$ であるから

$$\frac{dv_y}{dt} = -g - \frac{C_D \cdot A}{\rho_s V} \cdot \frac{\rho_a v_y}{2}$$

ここで上に仮想した球の直径を D m とすれば

$$\frac{A}{V} = \frac{\pi}{4} D^2 / \left(\frac{\pi}{6} D^3\right) = \frac{3}{2D}$$

であるから

$$\frac{dv_y}{dt} = -g - \frac{3C_D \rho_a}{4D\rho_s} v_y$$

すなわち

$$\frac{dv_y}{dt} = -g - k_y v_y \dots\dots\dots (9)$$

ただし

$$k_y = \frac{3C_D \rho_a}{4D\rho_s}$$

である。x 方向については g の項がなく

$$\frac{dv_x}{dt} = -k_x v_x \dots\dots\dots (10)$$

である。ただし

$$k_x = k_y = \frac{3C_D \rho_a}{4D\rho_s}$$

とおく。(9), (10) 式より v_x, v_y を求めると

$$v_x = v_{x0} e^{-k_x t} \dots\dots\dots (11)$$

$$v_y = \frac{1}{k} \{ (g + k v_{y0}) e^{-k t} - g \} \dots\dots\dots (12)$$

となる。ただし $t=0$ で、 $v_x=v_{x0}, v_y=v_{y0}$ とおき、 $k_x=k_y=k$ とおいた。次に上式を更に積分して

$$x = \frac{v_{x0}}{k} (1 - e^{-k t}) \dots\dots\dots (13)$$

$$y = \frac{1}{k^2} \{ (g + k v_{y0}) (1 - e^{-k t}) - k g t \} \dots\dots\dots (14)$$

が得られる。ただし $t=0$ で、 $x=0, y=0$ とした。更にこの2式より t を消去すればこの場合の軌道の方程式が得られる。すなわち

$$y = \frac{g + k v_{y0}}{k v_{x0}} \cdot x + \frac{g}{k^2} \log_e \left(1 - \frac{k}{v_{x0}} x \right) \dots\dots\dots (15)$$

となる。

iii. (7) 式と (15) 式との比較

両者は一見異なる式のように見えるが、(15) 式を級数に展開してみると、次に述べるように、(7) 式は (15) 式の特別な場合であると解釈することができる。

一般に $-1 \leq X < 1$ なるとき

$$\log_e (1 - X) = -X - \frac{X^2}{2} - \frac{X^3}{3} - \frac{X^4}{4} - \frac{X^5}{5} \dots\dots$$

に展開されるので、この問題の場合に適用し、

$$-1 \leq \frac{kx}{v_{x0}} < 1$$

なるときには

$$\begin{aligned} \frac{g}{k^2} \log_e \left(1 - \frac{k}{v_{x0}} x \right) &= -\frac{g}{k^2} \left\{ \frac{kx}{v_{x0}} + \frac{1}{2} \left(\frac{kx}{v_{x0}} \right)^2 + \frac{1}{3} \left(\frac{kx}{v_{x0}} \right)^3 + \frac{1}{4} \left(\frac{kx}{v_{x0}} \right)^4 + \dots \right\} \\ &= -\frac{gx}{kv_{x0}} - \frac{gx^2}{2v_{x0}^2} - \frac{gkx^3}{3v_{x0}^3} - \frac{gk^2x^4}{4v_{x0}^4} - \dots \end{aligned}$$

となる。また (15) 式右辺第 1 項は

$$\frac{g+kv_{y0}}{kv_{x0}} \cdot x = \left(\frac{g}{kv_{x0}} + \frac{v_{y0}}{v_{x0}} \right) x = \left(\frac{g}{kv_{x0}} + \tan \alpha \right) x$$

であるから、(15) 式は結局

$$y = (\tan \alpha) x - \frac{g}{2v_{x0}^2} x^2 - \frac{gkx^3}{3v_{x0}^3} - \frac{gk^2x^4}{4v_{x0}^4} - \dots - \frac{gk^{n-2}x^n}{nv_{x0}^n} - \dots$$

となり、(7) 式と比較すると、(7) 式はこの式の右辺第 2 項までを採ったものであり ($v_{x0} = v_0 \cos \alpha$)、第 3 項以降は、空気抵抗による影響を表わす項であるということになる。

さて、実際の数値例によって両者を比較して見よう。 $k=0.5$ または 0.7 とおき、 v_0 、 α は表-4 の値をとれば、(7) 式について I の場合 (7-I とする。以下同様。)

$$y = 1.19x - 0.0234x^2$$

となる。

同様に、

$$7-II \quad y = 1.28x - 0.0255x^2$$

$$15-I \quad y = 2.54x + 39.2 \times 2.303 \times \log_{10}(1 - 0.0345x)$$

$$15-II \quad y = 2.238x + 20 \times 2.303 \times \log_{10}(1 - 0.0503x)$$

$$15-III \quad y = 2.58x + 20 \times 2.303 \times \log_{10}(1 - 0.0693x)$$

となる。 y が 0 より出発して再び 0 になるまでの間に若干点をとって計算した結果を表-5 に示す。

表-5 投雪主流の軌道

7-I		7-II		15-I		15-II		15-III	
x m	y m	x	y	x	y	x	y	x	y
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15.0	12.6	15.0	13.5	8.0	7.6	8.0	8.0	4.0	3.8
25.45	15.2 (max.)	25.0	16.0 (max.)	13.6	9.8 (max.)	10.7	9.0 (max.)	6.7	4.8 (max.)
35.9	12.6	35.0	13.5	18.0	7.6	14.0	7.6	9.0	3.7
40.0	10.2	40.0	10.4	22.0	0	17.0	0	11.0	0
50.9	0	50.0	0						

この結果を図に表わしたものは図-7である。上表の y の値の (max) は表-4にある投雪高さ H であり、 y が再び0になるときの x の値は投雪距離 L であるから表-4の数値と比較して(7)式よりも(15)式の方がより近い値を与えることが解る。

(15)式は云うまでもなく、確かめる資料の少ないことや、係数 k の値の採り方など数多くの疑問点を含んでい

るが、(15)式のような形の式によって投雪主流の軌道が示されるものと推論し、この式を提案する。

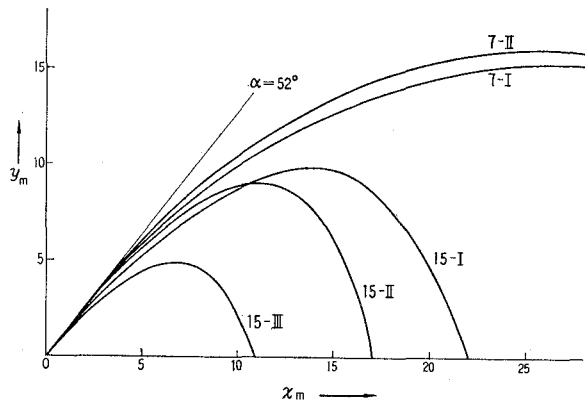


図-7 投雪主流の軌道

7. む す び

以上、除雪ロータリ装置についての試験および考察を述べたが、今後研究すべき重要な点として、次の事項があげられる。

(1) 正常な状態では除雪ロータリ装置の所要投雪動力は、北海道のような軽い雪質の場合さほど大きくないことが予想される。しかしながら、時としてかきよせ翼内および羽根車内に雪が閉塞する状態では過大な動力を必要とするようになる。それを避けるための諸条件を探ることが必要であり、そのためには雪の静的および動的な諸性質と羽根車との関係を更に調査検討すべきである。

(2) 羽根車内の雪の流動状態の解析によって、更に有効な羽根車の形態を考究すべきである。

(3) 排雪抵抗は相当大きいことが予想されるので、それを軽減する方法を考えるべきである。

(4) 投雪主流の軌道の方程式の一例を提案したが、更にこれに関して検討を行なうべきである。

終りに、この研究を実施するに当たり、北海道科学研究費補助金の交付を受けたことをここに特に記して感謝の意を表す。

また、除雪試験に際し、特にお世話頂いた日本国有鉄道苗穂工場機関車課 忍博光氏、工藤澄氏には厚く感謝の意を表す。



クランク室圧縮2サイクル機関における 直管型排気管系の影響について

沢 則 弘

On the Effects of the Exhaust System with Plain Pipe in a Crankcase-Compressed Two-Stroke Cycle Engine

Norihiro Sawa

Abstract

It is generally known that the engine performance or the breathing capacity is largely governed by the blow-down wave in the exhaust pipe and the present author has reported already regarding the effects of blow-down in the air model engine.

Successively, in order to investigate systematically the influence of the various factors in the exhaust system with a plain pipe on the delivery ratio in a crankcase-compressed two-stroke cycle engine, he has determined the optimum condition of the blow-down effects by means of the impedance theory. On the other hand, he has experimentally measured the amount of the breathing air changing the engine parameters and recorded some pressure diagrams for the exhaust pipe to analyze the exhaust process. Consequently, it is ascertained that the theoretical results agree fairly well with those of the experiment.

1. 緒 言

排気管による動的効果を理論的に解析するには管内の流れを一次元圧縮性非定常流れ(等エントロピー流れ)と近似し,その基礎式を厳密な境界条件と初期条件のもとに解けばよく,4サイクル機関や単流掃気2サイクル機等につき図式解法¹⁾,特性曲線法²⁾および電子計算機³⁾を利用して排気管内圧波を追跡した報告がある。その結果 E. Jenny⁴⁾に始まる特性曲線法は,その精度が優れ,しかも複雑な境界条件にも適用できるため,現在かなり広く利用されている。これに対し掃気ポンプを内蔵している,いわゆるクランク室圧縮型2サイクル機関の掃・排気過程は,クランク室,掃気通路,シリンダおよび排気管からなる一つの管系と見做す必要があり,しかもシリンダ内の掃気や熱交換の実体が十分に解明されていない現状では,全管系の非定常流れを取扱うことは困難と云えよう。従って掃気通路の動的効果のみを取り上げた W. Wilhelm⁵⁾の研究や,排気管系のみ注目した R. S. Benson⁶⁾の解析等があるに過ぎない。また実験的研究も W. Hülse⁷⁾,山田等⁸⁾によって試みられ,動的効果の同調条件が提案されているものの,クランク室をも含めた全管系についての考慮が払われていない。しかも排気管効果

の利用法もいろいろに主張されている^{9)~12)}。そこで本型式機関の排気管効果の実体を知る目的で直管型排気管を用い、給気量の測定と排気管系各部の圧力変動の記録に主眼を置いた実験を行ない、両者の対比から、その実体を明らかにすると共に、最大の排気管効果を与える条件式¹³⁾の妥当性を検証せんとするものが本研究の目的である。

2. 実験装置および実験方法

(1) 実験装置 供試機関はバイクモータ用クランク室圧縮2サイクル機関であり、その外観写真を図-1に、諸元を表-1に示す。

実験装置は図-2に示すように空気タンク、供試機関および排気管系から構成されている。ただ燃料流量を広範囲に、しかも微量調整する目的で図-3の如く気化器主ノズルを可変型とし、かつ浮子室を微動装置で上下動できるようにした。

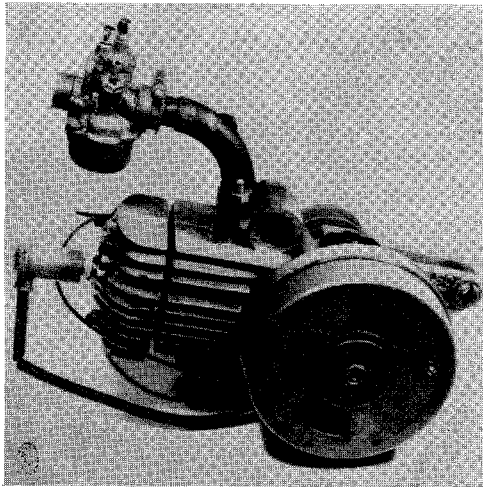


図-1 供試機関 (E-50)

表-1 供試機関諸元

機 関	E-50	E-125	
シリンダ径×行程 (mm)	40φ×39.8	55φ×52.5	
行程 体 積 (cc)	50	125	
クランク室体積(上死点) (cc)	161	452	
圧 縮 比	7:1	7:1	
ポート タイミング	給気孔	60°	70°
	排気孔	67°	69.3°
	掃気孔	55°	57°
給気管内径 (mm)	13.8φ	21φ	
排気管内径 (mm)	21φ	30φ	

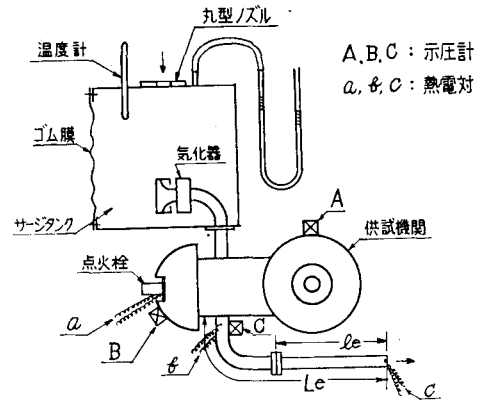


図-2 実験装置

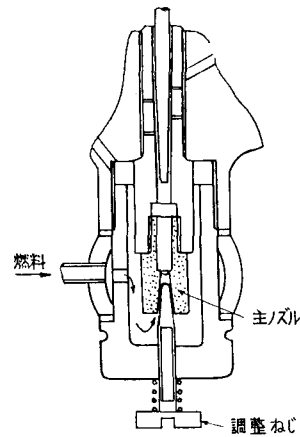


図-3 供試気化器 (E-50)

使用燃料は市販の自動車用ガソリン JIS K 2202, 2号(日石製)とモビール SAE 30 #との混合燃料(20:1)である。排気管は20 cm(直径2 cm)のガス管を10本用意し, その長さを広範囲に変えた。この際, 管内ガス温度の計測にはとくに留意し, 排気孔直後のみならず排気管端および中間の温度をも測定し, その温度分布から平均温度を求めた。また管内の変動圧力の記録には図-4の如き水冷コック付示圧計を用いて圧力検定をも行なった。

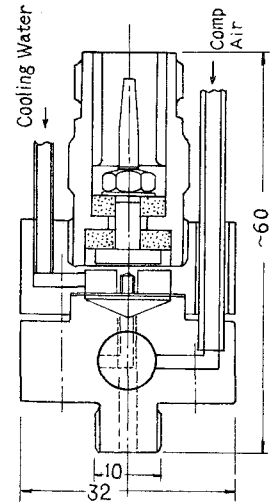


図-4 水冷コック付示圧計

(2) 実験方法 排気管系に関する実験においては図-5の如く, 駆動運転と発火運転時の給気比は或る排気管長以上になると大幅に異なり, 後者の給気比曲線が機関トルクとほぼ相関関係にある。従って排気管系に関する実験には混合比, 点火時期および摩擦トルク等の変動によって影響され易い機関トルクの測定をさげ, これ等因子にほとんど左右されない発火運転時の給気比に注目することにした。実験方法は, まず排気管長の設定後, 電動機型動力計で駆動し, 点火回路を閉じ, 発火運転に移る。直読式燃料計を監視しつつ正常燃焼に保持すべく気化器を調整し, シリンダ温度(熱電対プラグ使用)の定常になるのを待って, 排気温度, 回転数および給気量を測定し, 代表的な排気管長, 機関回転数について各部(主として排気孔直後)の変動圧力を記録した。

(3) 排気管効果の表示

従来, 排気管効果に関する実験結果の表示には直接給気比(またはトルク)を用いているものが多いが, 既に指摘したように給気比を主として支配するのは給気過程であり, 排気管効果は掃気孔閉時(S.C)のクランク室圧をかいして影響するものである。従って或る程度の排気管を取り付け, その効果を充分利用した場合でも図-6の如く給気管系の気化器開度, 給気管長および給気孔開口角によって給気比曲線は変化する。かかる曲線から排気管系だけの影響を抽出することはかなり困難と考えられる。そこで排気管を取り付けた場合と取り除いた場合の給気比の差($K-K_0$)で図-6の結果を整理してみると図-7のように($K-K_0$)曲線はいずれも相似となり, その最大値を与える機関回転数もよく揃っている。従って($K-K_0$)曲線は, たとえ給気管系の諸条件が違ってても排気管効果のみを適確に表示することができると云える。また図-8の如く給気比の割合 K/K_0 ($K-K_0/K_0$)で整理して

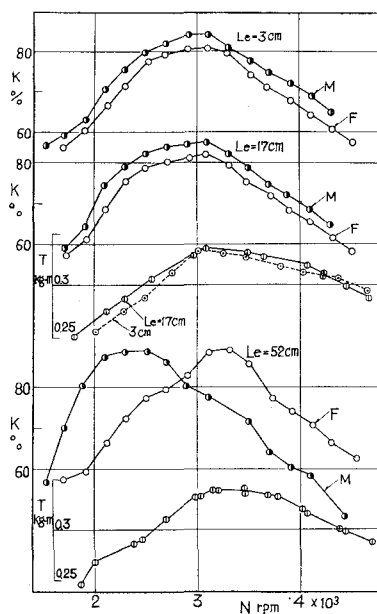


図-5 給気比と機関トルク

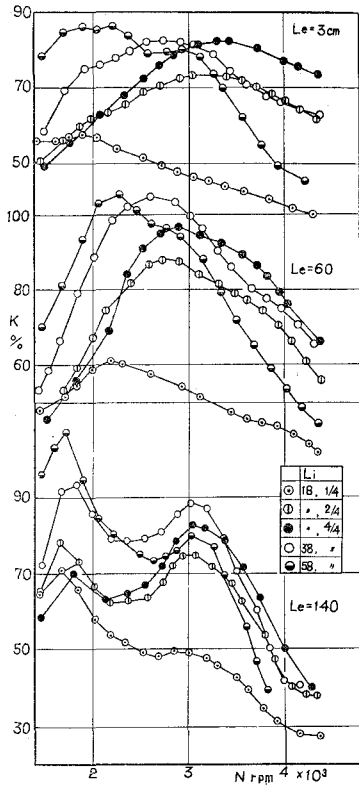


図-6 給気比曲線

もよい。よって排気管系の実験結果は給気管系の影響を除く意味で、 $(K-K_0)$ または K/K_0 に注目することにした。従って、給気管系の条件は任意でよいが本実験では便宜上、給気管長 $L_i=18$ cm、給気孔開口角 $\theta_i/2=60.4^\circ$ 、気化器開度 $C=4/4$ (全開) に固定した。なお排気管なしの給気比としては排気管長 $L_e=3$ cm の値を用いた。

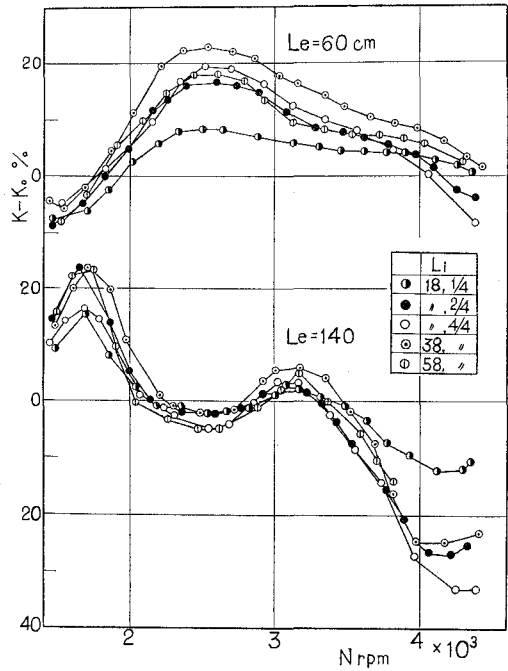


図-7 $(K-K_0)$ 曲線

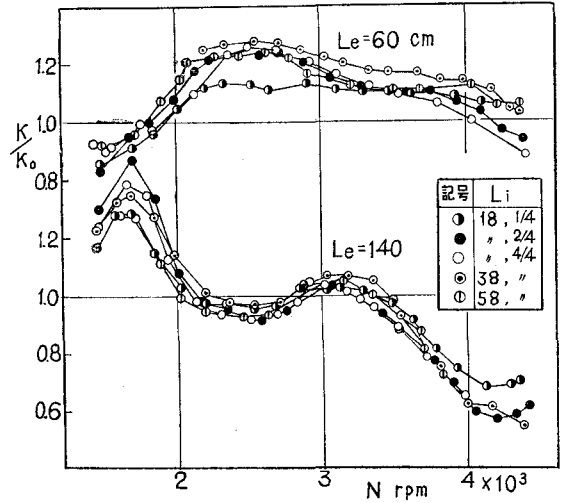


図-8 (K/K_0) 曲線

3. 実験結果および考察

3.1 排気吹出し効果について

排気管による動的効果としては、排気吹出し直後に生ずる管内負圧が掃・排気に及ぼす影響、いわゆる排気吹出し効果と残留脈動波が次の掃・排気過程に及ぼす影響(脈動効果)との

二つが挙げられる。従来の研究は主として後者に注目してきたが、筆者¹⁴⁾は給気比と示圧線図の対比から最大の給気比増加は主として前者に基因することを既に指摘した。ここでも排気吹出し効果に注目し、最大の給気比増加 $(K-K_0)_M$ を与える条件について述べる。排気管長 (L_e) および機関回転数 (N) を広範囲に変えた実験結果の代表例を図-9に示す。

まず図において排気孔開 (E. O.) 後、急速な排気吹出しに引き続き、排気管圧は負圧を生じるが、図 (a)~(c) $L_e=17\text{ cm}$ では、この第1負圧波は比較的小さく、その周期も短かく、掃気期間に正負の波が同時に入り込む。従って掃気作用に余り影響せず、給気比の増加はほとんど期待できない。これに対し図 (d)~(f), $L_e=52\text{ cm}$ では排気吹出しも比較的大きく排気管効果 $(K-K_0)$ も顕著となる。たとえば図 (d), $N=1790\text{ rpm}$ の場合、第1負圧波がクランク室に入った後も、なお掃・排気孔が開いているので再び排気ガスは逆流し、掃気孔閉時 (S. C.) のクランク室圧は逆に高くなり、排気吹出し効果は殆んど期待できない ($K-K_0 \approx 0$, $K=58\%$)。しかるに図 (e), $N=3190\text{ rpm}$ では第1負圧波がほぼ排気孔閉 (E. C.) まで継続し、充分に掃気を行なうのでクランク室圧も低く、この場合の $(K-K_0)$ は $N \approx 3200\text{ rpm}$ 附近で最大となっている ($K-K_0 \approx 10\%$, $K \approx 89\%$)。同様に $L_e=67, 87\text{ cm}$ の場合 (図-10 参照) も排気吹出し圧力波

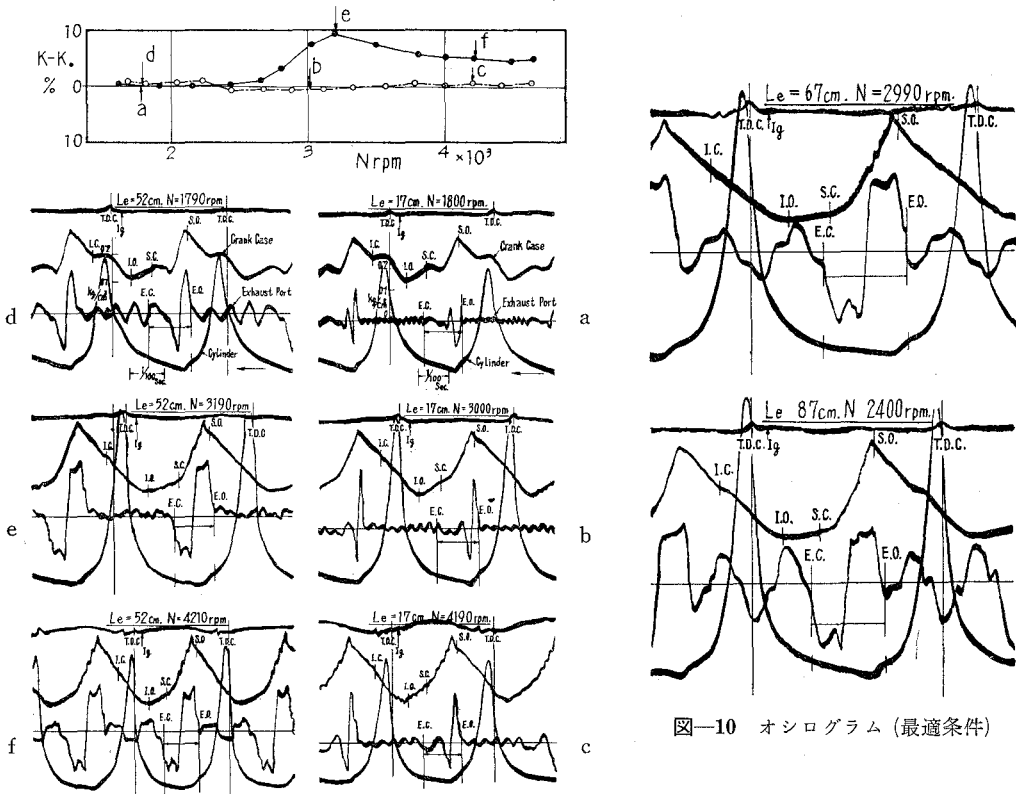


図-9 $(K-K_0)$ 曲線とオシログラム (E-50)

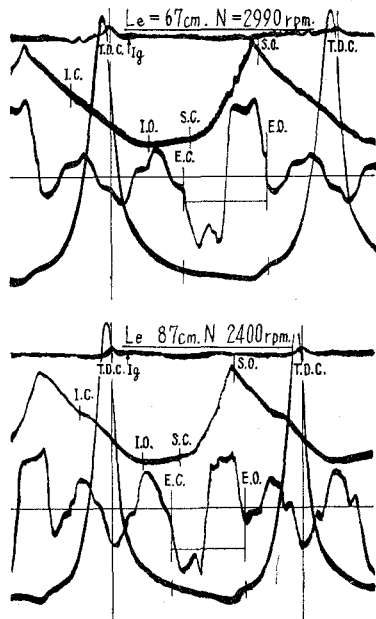


図-10 オシログラム (最適条件)

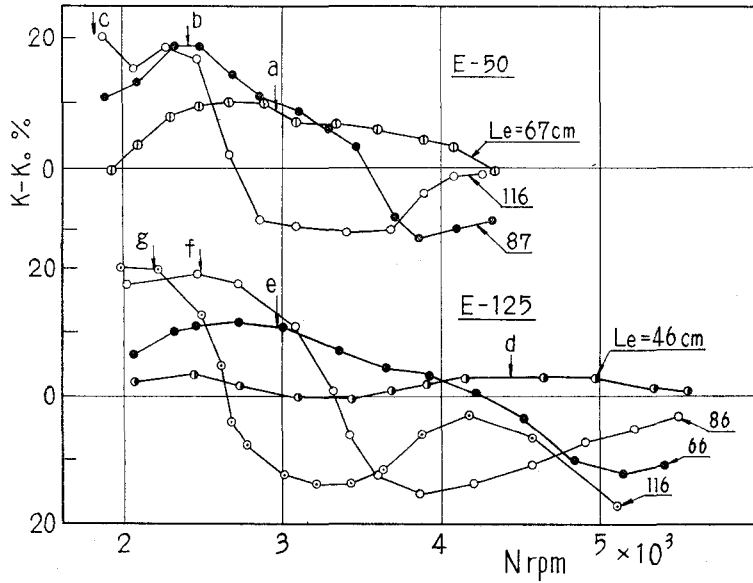


図-11 (K-K₀) 曲線

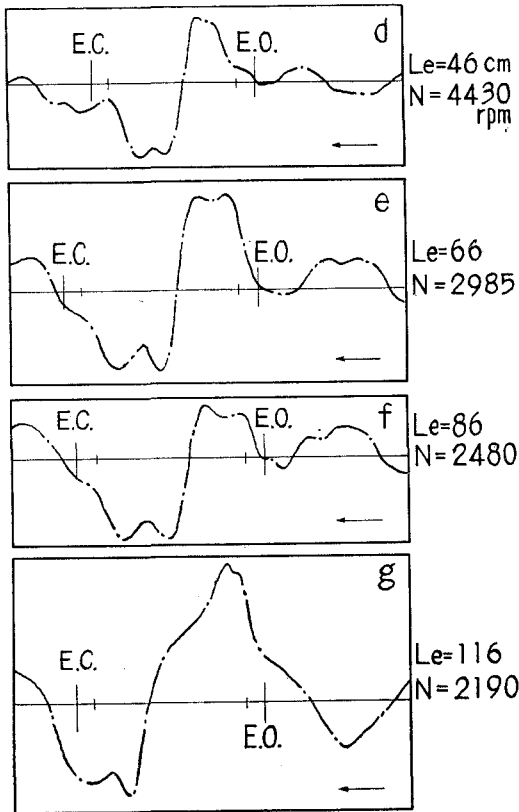


図-12 オシログラム (最適条件, E-125)

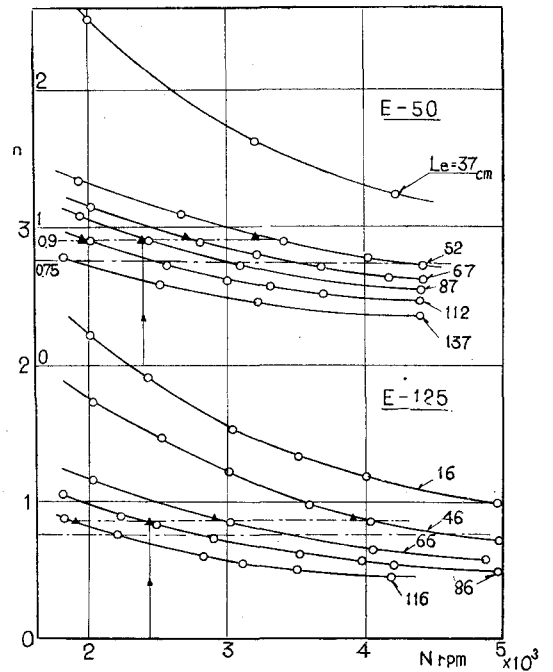


図-13 排気期間に含まれる排気吹出し
圧力波のサイクル数 (n)

の約1サイクルがほぼ排気期間 (θ_e) に重なるとき 図-11 の上方 (E-50) に示した給気比 ($K-K_0$) は最大となっている。この関係は供試機関 E-125 の場合も全く同じである (図-11 下方と 図-12 との対比)。さらに、かかる場合の排気吹出し圧力波の同調条件を明確にするため、排気管長、機関回転数を広範に変えた場合のオシログラムから排気期間 (θ_e) に含まれる排気吹出し圧力波のサイクル数 (n) を求め、これを回転数につき整理すると 図-13 の如くなる。

次に ($K-K_0$) 曲線から最大の排気管効果 ($K-K_0$)_M を与える回転数を求め、これを各排気管長に対する曲線上にプロットすると▲印となる。すなわち機関 E-50, E-125 とともに吹出し圧力波の約0.9サイクルが排気期間に一致するとき ($K-K_0$)_M を生ずることがわかる。いまクランク室圧縮型2サイクル機関の掃排気過程を考えると、掃気孔閉 (S. C.) から排気孔閉 (E. C.) までの間はシリンダ内充填ガスの押し出し期間であり、充填効率すなわち機関トルクに対しては関与するが、給気比には直接影響しないものと考えられる。従って給気比の観点からは、むしろ掃気孔閉 (S. C.) 時の圧力波に注目するのが合理的であろう。そこで排気孔開 (E. O.) から有効な掃気孔閉 (S. C.*) までの期間 θ_{es}^* (以下有効掃排気期間という) に含まれる圧力波サイクル数 $n^* = (\theta_{es}^*/\theta) \cdot n$ を求めると 表-2 の如く両機関とも $n^* \approx 0.75$ ($\approx 3/4$) サイクルに近似している。

これは排気吹出しに基づく管内負圧が最大のとき実質的に掃気孔を閉じると、そのときのクランク室内圧が最低となり、それに続く給気作用が助長されるためと解釈される。

以上の解析から最大の排気管効果は排気吹出しに基づく圧力波に基因し、その圧力波の約3/4サイクルが有効掃排気期間 (θ_{es}^*) に同調するとき最大の掃気効果を発揮することが確認された。いま掃排気期間における排気吹出し圧力波の周期 (T) が仮に $T = 2\pi L_e^*/a_e$ で与えられるものとすれば、3/4周期と θ_{es}^* 期間との同調から排気吹出し効果の最適条件式は次の如く与えられる。

$$Z_{eM} \left(\equiv \frac{\omega}{a_e} \cdot L_e^* \right)_M = \frac{4}{3} \cdot \frac{\theta_{es}^*}{360} \tag{1}$$

ここに ω : クランク角速度 ($=2\pi N/60$), a_e : 掃排気管系の平均音速であり、 Z_e を排気吹出し特性数、 L_e^* を等価管長と呼ぶ。なお掃・排気管系として 図-14 の如き模型を想定し、これにインピーダンス理論を適用すると等価管長 (L_e^*) の算出式として近似的に

$$\cot(L_e/L_e^*) = \{ \bar{V}_e + (\theta_{sc}^* - \theta_{so}^*) \cdot \bar{V}_k / (\theta_{sc}^* - \theta_{eo}) \} / (f_e L_e^*) \tag{2}$$

が与えられる。ここに L_e : 排気管長、 \bar{V}_e : 平均シリンダ容積、 \bar{V}_k : 平均クランク室容積、 f_e : 排気管断面積、 θ_{sc}^* : 有効掃気孔閉止角、 θ_{so}^* : 有効掃気孔開放角、 θ_{eo} : 排気孔開放角である。

表-2 有効掃排気期間に含まれる排気吹出し圧力波のサイクル数

	E-50	E-125
θ_e	134°	139.4°
θ_s	110°	114°
θ_{es}^*	112°	116.7°
n	0.9	0.9
n^*	0.752	0.753

但し $\Delta\theta_{sc} = 10^\circ$

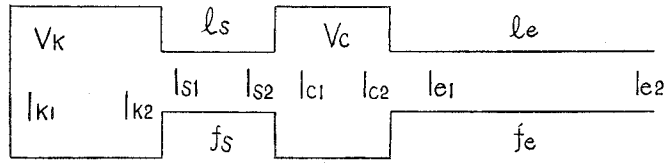


図-14 掃・排気管系の模型

よって(1), (2)式から排気吹出し効果の生成を規定する因子としてクランク室, シリンダおよび排気管から構成される等価管長 (L_e^*), 圧力伝播速度 (a_e) および機関回転数 (N or ω) が挙げられる。そこで上記各因子を逐次変えた実験から, それらの影響を吟味すると共に排気吹出し効果の条件式(1), (2)の妥当性を次に検討する。

3.2 排気吹出し効果に影響する因子

3.2.1 流動抵抗 (絞り抵抗)

既に述べたように給気管効果の同調条件に対し, 流動抵抗 (μ) は重要な因子であったが, 排気吹出し効果の同調条件(1), (2)式には流動抵抗 (μ) が含まれていない。すなわち掃排気管系の等価管長 (L_e^*) の誘導に当り, 管壁抵抗や排気孔の絞り抵抗を無視した。かかる仮定が許容されるか否かを調べる目的で, 排気管の各位置に絞り弁 (実際には孔あき板) を取り付け実験を行なった。まず開口端に絞りを付けると図-15の如く絞り面積比 (f/f_e) に比例して給気比は順次低下するが, 最大給気比 K_M (または $(K-K_0)_M$) を与える回転数はほとんど変わらない。

また絞り弁 ($f/f_e = 0.354$) の挿入位置を順次変えた場合も図-16の如く最大給気比を与える回転数はやはり変わらない。

以上のことから少なくとも, かかる場合の排気吹出し効果は, 先に示した慣性理論 (μ により影響される) によって評価することはできないように思われる。さらに絞り弁が機関側に近づくにつれて最大給気比 (K_M) の値が順次増加しているが, これは振動系の節に近い程, 音響抵抗が小さくなることを考え合すとき, 排気管系の圧力変動は機関側を節とする基準振動を呈すると考えてもよいようである。よって排気吹出し効果の同調条件にのみ注目するならば, 流動抵抗の影響をほとんど考慮する必要がな

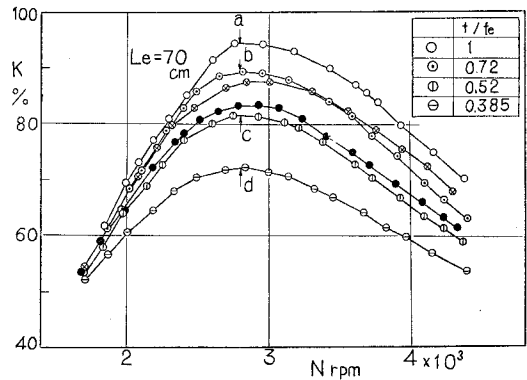
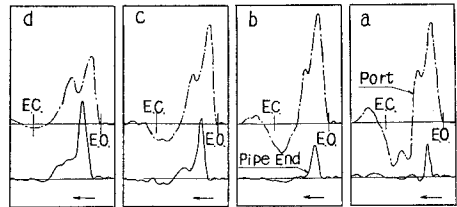


図-15 絞りと給気比 (開口端)

いことが確認されたものと云えよう。

3.2.2 管価管長 (L_e^*)

等価管長 (L_e^*) を規定する因子として排気管長 (L_e), クランク室容積 (V_k), シリンダ容積および排気管断面積 (f_e) 等が挙げられる。

(1) 排気管長 (L_e) 排気管長を変えた図-6, 図-9, 図-11 等の実験結果を排気吹出し特性数 Z_e ($\equiv \frac{\omega}{a_e} \cdot L_e^*$) で整理すると図-17, 図-18 の如く最大給気比 $(K/K_0)_M$ はいずれも $Z_e \doteq 0.42$ 附近によく揃っている。いま同調条件式 (1) から供試機関 E-50 の有効掃排気期間 $\theta_{es}^* = 112^\circ$ (但し $\theta_e/2 = 67^\circ, \theta_s/2 = 55^\circ, \Delta\theta_s = 10^\circ$) を用いて Z_{eM} を求めると $Z_{eM} \doteq 0.415$ となり, 実験値とかなりよく一致している。また 図-17 下方に併記した機関 E-125 の場合も $\theta_{es}^* = 116.7^\circ$ (但し $\theta_e/2 = 69.7^\circ, \theta_s/2 = 57^\circ, \Delta\theta_s = 10^\circ$) を用いた計算値 $Z_{eM} \doteq 0.435$ 附近で $(K/K_0)_M$ がよく揃っている。従って排気吹出し効果に対する排気管長 (L_e) の影響は Z_e (または L_e^*) について考慮すればよいことがわかる。

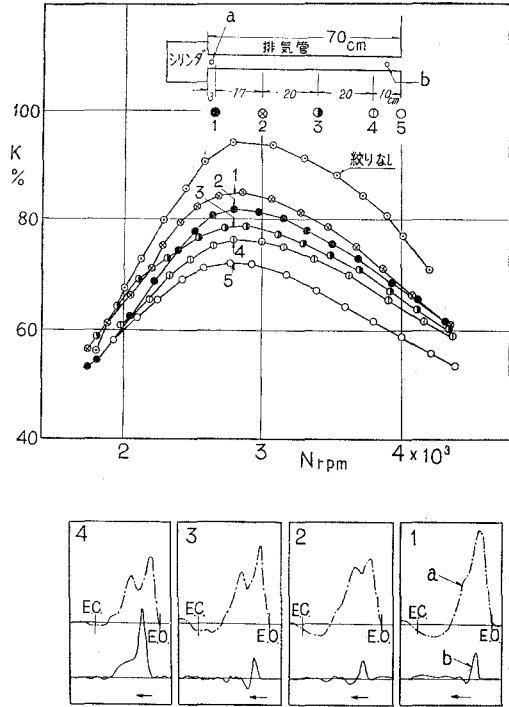


図-16 絞りと給気比 (途中)

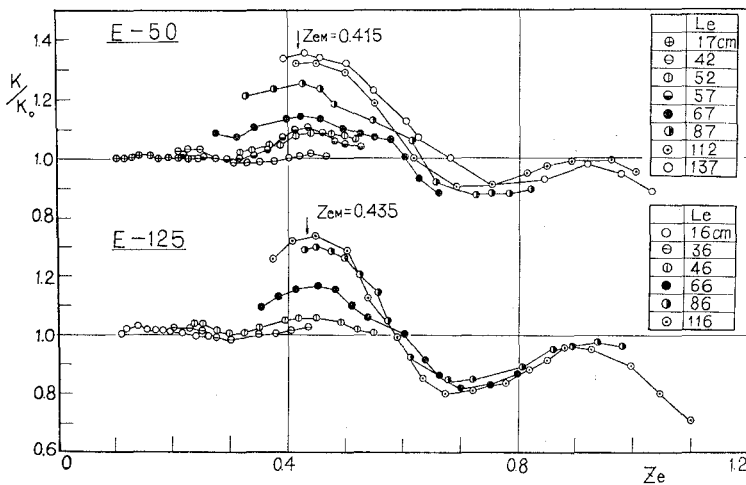
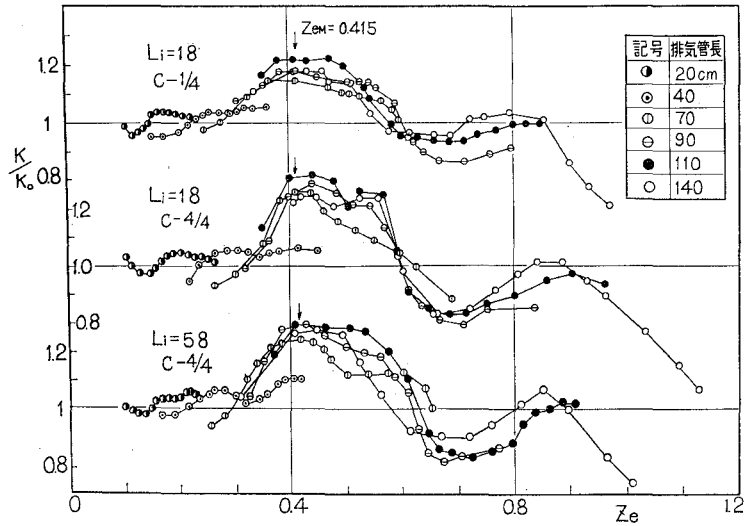
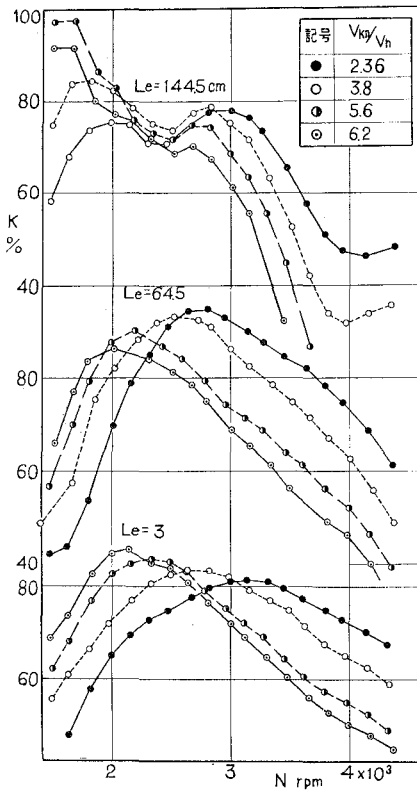


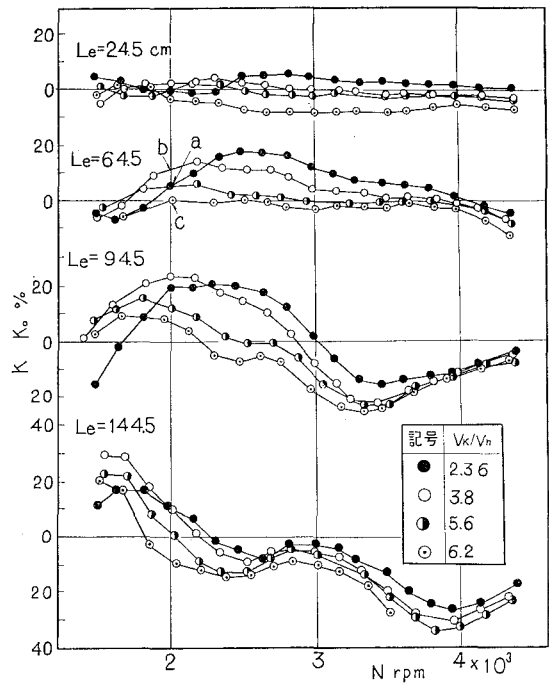
図-17 K/K_0 曲線 (E-50, E-125)



図—18 K/K_0 曲線 (E-50)



図—19 給気比曲線



図—20 $(K-K_0)$ 曲線

(2) クランク室容積 (\bar{V}_k)

クランク室容積 (\bar{V}_k) を4種類に変えた実験結果を図-19に示す。図によると排気管なし ($L_e=3\text{ cm}$) の場合の給気比 (K_0) も、給気管系としてのクランク室容積 (\bar{V}_k) の影響を受けて大幅に変っている。これらを給気比の差 ($K-K_0$) で表示すると図-20の如くクランク室容積は排気管効果に対しても影響することがわかる。

図の a, b, c に対応するオシログラムを図-21に示してあるが、クランク室容積 (\bar{V}_k/V_h) の増加に伴い掃気圧が低下するので排気吹出し圧力波が小さくなる。従って、その効果が減少するため最大給気比 ($K-K_0$)_M の値は順次低下している。(図-20) しかし圧力波の周期は \bar{V}_k/V_h に比例して長くなっており、等価管長 (L_e^*) の算出に当り、クランク室容積 (\bar{V}_k) をも考慮したことが妥当なことがわかる。いま図-20の実験結果を特性数 (Z_e) で整理すると図-22の如く最大給気比 (K/K_0)_M は条件式(1)による計算値 $Z_{eM} \doteq 0.415$ 附近によく揃っており、前項と同様にクランク室容積の影響も等価管長 (L_e^*) の変化として考慮すればよいことがわかる。しかし、 V_k/V_h の増加に伴って給気比は著しく低下するので、 L_e^* に含まれる V_k と L_e との最適の組合せに関しては、クランク室圧縮比を高めるように配慮し、しかる後、最大の排気管効果を与えるべく管長 (L_e) を選定する方が賢明のようである。

(3) シリンダ容積 (\bar{V}_c)

シリンダ容積 (\bar{V}_c) を変える方法としては行程体積 (V_h) と隙間容積 (ΔV_c) を変えることが考えられる。しかし前者は同一機関のもとでは、その構造上難点があり、後者についても熱効率やノッキングの観点から制約される。ここでは取り敢えず隙間容積 (ΔV_c)、すなわち圧縮比を $\epsilon=4, 5$ および 7 に変えて実験した。その結果を図-23に示す。

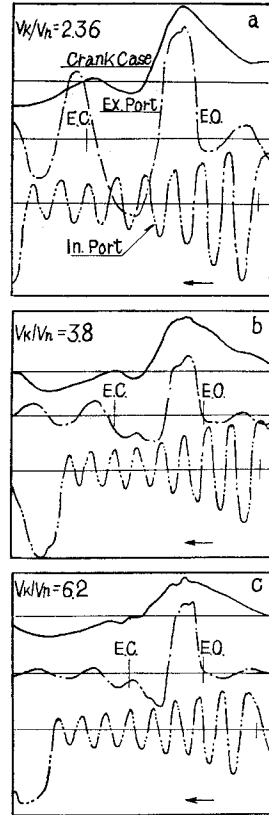


図-21 オシログラム

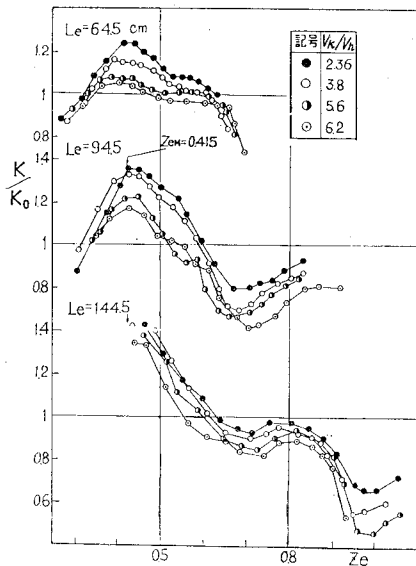


図-22 $K/K_0 \sim Z_e$ 線図

この場合、圧縮比 (ϵ) の影響は (2) 式から解るように等価管長 (L_e^*) に影響するものであるが予想通り、それは極めて小さい。なお図の給気比曲線を詳細にみると、圧縮比 (ϵ) の増加 (\bar{V}_c/\bar{V}_h の減少) に伴い、高速側に移行する傾向が認められる。これは (1) 式および (2) 式から得られる推定と定性的には一致している。しかし、その影響は極く小さいので、同調条件にのみ注目するならば、実用上圧縮比の影響はほとんど考慮する必要がないだろう。またシリンダ容積が相当大幅に変った場合でも平均容積 (\bar{V}_m) の算出に当り、 \bar{V}_c を用いておけばそれで充分であろう。

(4) 排気管断面積 (f_e)

排気吹出し効果の同調条件に対する排気管断面積の影響としては等価管長 (L_e^*) と音速 a_e (後述) について考慮する必要があるだろう。前者 (L_e^*) は断面積 (f_e) に逆比例して小さくなり、後者 (a_e) は僅かながら f_e に比例して大きくなる¹⁶⁾。従って同調条件式 (1) から考えて、最大給気比 ($K-K_{0M}$) の回転数 (N_M) は排気管断面積 (f_e) に比例して高速側に移行することが予測される。かかる推論を確認すべく排気管径 (d_e) を変えて実験した。なお機関の構造上、排気孔直後から管径 (d_e) を変えることができず、水道配管用の末広曲り接手を用い、その先の管径を変えた。この際、末広曲り接手までの管長は 13.5 cm である。次に実験結果の代表例を図-24 に示しているが、 $L_e=13.5$ cm の場合の給気比は使用する接手の如何にかかわらず、ほぼ同じで

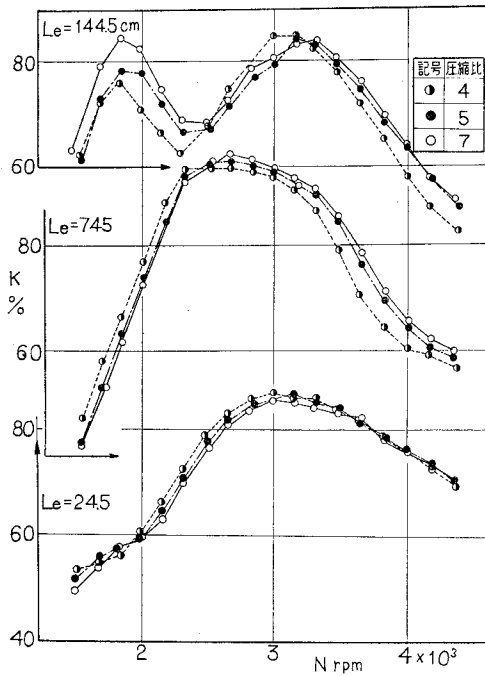


図-23 給気比曲線

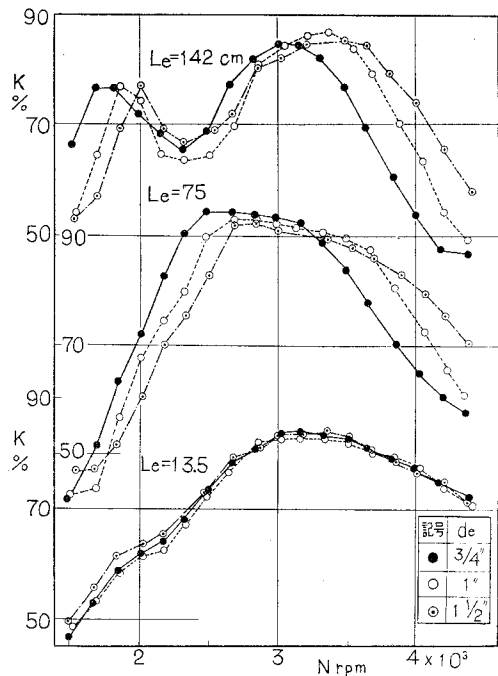


図-24 給気比曲線

あるが、排気管長 $L_e=75\text{ cm}$, 142 cm となると予想通りに管径 (d_e) に比例して給気曲線や最大給気比 $(K-K_0)_M$ を与える回転数は高速側に移行している。(図-25)

かかる場合のオシログラムをみるに 図-26 の如く管径 (d_e) が太くなるにつれて排気吹出し圧力波の振幅は減少し、その周期は短縮しており、図-25 の結果を裏付けている。

この場合も 図-27 の如く、計算値 $Z_{eM}=0.415$ 付近で最大給気比 $(K/K)_M$ はよく揃っており、 $(K/K_0)_M$ の生成に対する排気管径 (d_e) の影響は特性数 (Z_e) について考慮すればよいことがわかる。次に $(K/K_0)_M$ の値を管径比 (d_e/d_0) でプロット (但し $d_0=3/4''$) すると同図右上に示すように管径が細いほど、 $(K/K_0)_M$ の値は高くなっている。これは排気吹出し効果の利用上注目すべき事実であろう。

その理由として、第1に管径が細くなるにつれて管壁抵抗が大きくなるため、排気吹出し正圧波が大きくなり、その反射負圧波もまた増大すること、第2に最大給気比 $(K/K_0)_M$ を与える回転数が (N_M) 低速に移行するので掃・排気孔の時間面積が増加することが挙げられよう。このため排気吹出し負圧波の効果がより有効となるものと思われる。

一般に圧力波の振幅は N/d_e に比例するが、管径 (d_e) が太くなると流動抵抗が軽減するの

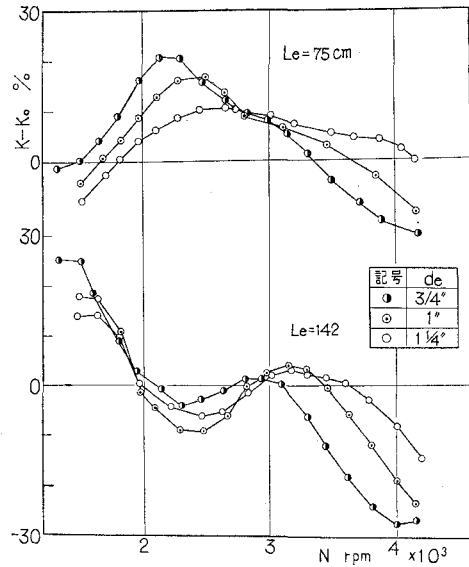


図-25 $(K-K_0)$ 曲線

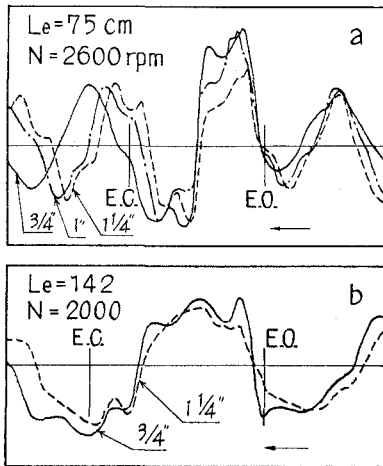


図-26 オシログラム

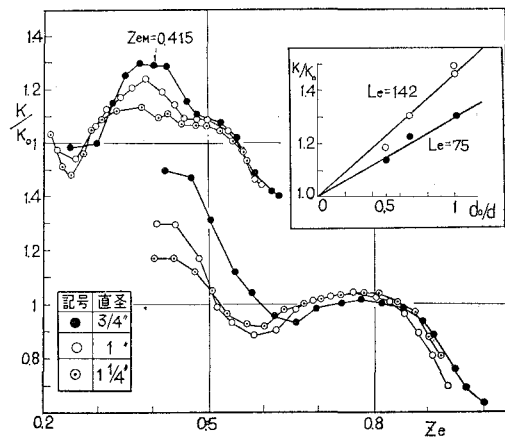


図-27 $K/K_0 \sim Z_e$ 線図

で、結局最適の管径が存在するものと考えられる。しかし普通、排気管断面積 (f_e) は排気孔の最大開口面積にはほぼ等しくされている場合が多く、かかる場合に管径をいたずらに大きくしても排気吹出し効果の利用上、左程意味がないであろう。また管径を過小にすることは高速性能の低下を招来するのでやはり余り好ましくないと云えよう。

3.2.3 排気管内の音速 (a_e)

音速 (a_e) は排気吹出し圧力波の周期を規定する重要な因子であるが、その影響を調べるに当り、機関を同一条件に保ち、音速 (a_e) のみを広範囲に変えて運転することは、實際上困難である。そこで、その定性的傾向を知るため排気管を水冷した場合と保温材を巻付けた場合について実験を行なった。その結果を図-28 に、オシログラムの一例を図-29 に比較している。

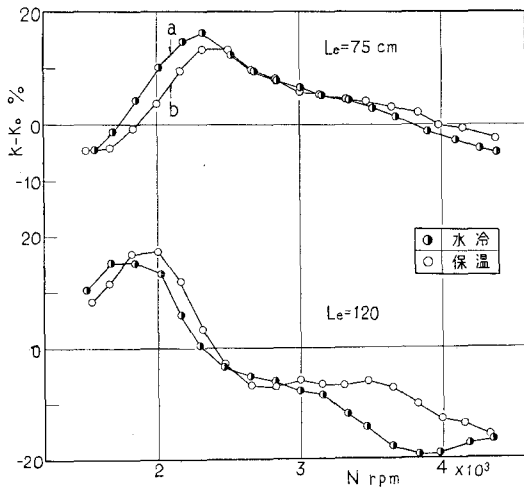


図-28 ($K-K_0$) 曲線

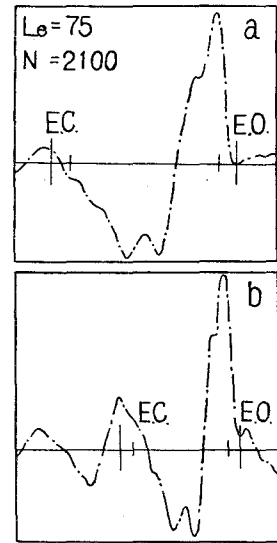


図-29 オシログラム

図によると両者の ($K-K_0$) 曲線は、ほぼ相似であり、最大給気比 ($K-K_0$)_M を与える回転数は保温材付の方が高速にづれている。これは表-3 に示されるように排気ガスの温度上昇、すなわち音速 (a_e) が大きくなるためであり、事実、図-29 の排気吹出し圧力波の周期も短縮している。

表-3 音速 (a_e) の影響

この場合、同調条件式 (1) の等価管長 (L_e^*) および有効掃排気期間 (θ_{es}^*) が一定であるから $Z_e (\equiv \frac{\omega}{a_e} \cdot L_e^*) = \text{const.}$ となり、従って最大給気比 ($K-K_0$)_M を与える回転数 (N_M) と音速 (a_e) との間には $N_M/a_e = \text{const.}$

L_e (m)	L_e^* (m)	条 件	N_M (rpm)	t_{em} (°C)	a_e (m/s)	$\frac{N_M}{a_e}$ rpm/(m/s) $\times 10^{-1}$
0.75	0.74	水 冷	2370	270	442	0.537
		保 温	2500	335	465	0.538
1.20	1.0	水 冷	1670	224	420	0.398
		保 温	1850	330	460	0.402

の関係が成立つ。よって水冷および保温の場合の N_M/a_e を比較してみると表-3 の如く、両者の値はいずれもよく一致しており、 $(K-K_0)_M$ の生成に対する音速 (a_e) の影響は排気吹出し特性数 (Z_e) について考慮すればよいことがわかる。

3.2.4 有効掃排気期間 (θ_{es}^*)

排気吹出し圧力波と有効掃気孔閉止時 (S. C.*) との同調から求めた最大の排気管効果

$(K-K_0)_M$ を与える条件式 (1) に対し、有効掃排気期間 (θ_{es}^*) が直接関与することは論をまたない。従って条件式 (1) の妥当性を検証するためには θ_{es}^* を変えた実験結果との比較検討が不可欠である。なお本型式機関の弁時期は 図-30 の如く対称型であり、 θ_{es}^* 期間を変える場合、(i) 掃気孔開口角 (θ_s) と排気孔開口角 (θ_e) をともに変える方法、(ii) θ_e を一定とし、 θ_s のみを変える方法、(iii) θ_s を一定とし、 θ_e のみを変える方法とが考えられるが、本実験では主として (i) の方法を用いた。なお有効掃排気期間 (θ_{es}^*) の決定には給気期間 (θ_e) の場合と同様な考えのもとに掃気孔閉止時 (S. C.) の無効角 ($\Delta\theta_s = 10^\circ$) のみを考慮し、 $\theta_{es}^* = (\theta_e + \theta_s)/2 - \Delta\theta_s$ から求めた (E. O. 時はシリンダ圧が高いので無効角は無視できるものと思われる。)

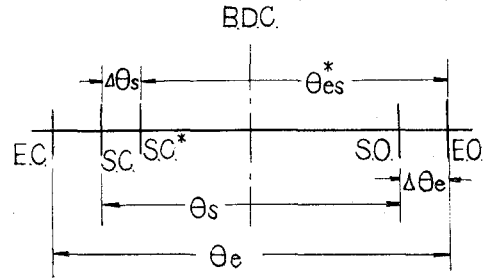


図-30 ポートタイミング

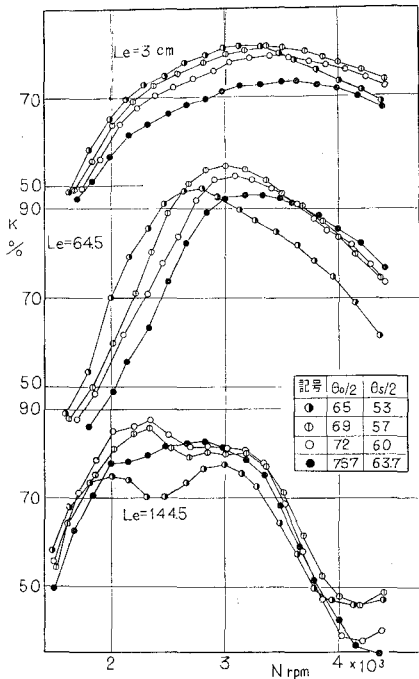


図-31 給気比曲線

(1) 排気進め角一定の場合

クランク室とシリンダとの間に 1 mm 厚さのライナーを 1~5 枚挿入することによって掃排気期間 (θ_e および θ_s) を変えた。なお給気孔開口角 (θ_i) はピストンスカートを削落して、常に一定に保ち ($\theta_i/2 = 60^\circ$)、圧縮比は挿入したライナーの厚さだけシリンダ上部を削ることによって一定 ($\epsilon = 7$) にした。従って、この場合、排気進め角はほぼ一定 ($\Delta\theta_e \approx 12^\circ$) である。

かくして求めた実験結果を 図-31 に、 $(K-K_0)$ 曲線を 図-32 に示す。

図-31 において、排気管なしと考えられる $L_e = 3$ cm の給気比曲線 (K_0) は排気孔開口角 (θ_e) の如何にかかわらず、ほぼ相似であるが θ_e の増加に伴って順次低下している。これは掃気期間後半、すなわち下死点後におけるピストンの運動により、掃気は逆にクランク室に吸入されるので、 θ_e すなわち θ_s が

大きくなるほど逆流期間が長くなり、その結果、順次給気比が低下するものと推察される。しかし高速、長管になると、逆に θ_e の拡張につれて給気比は増加する傾向が認められる。いま、これらを給気比の差 $(K-K_0)$ で表示してみると図-32の如く排気孔開口期間 (θ_e) に比例して、 $(K-K_0)_M$ の値は増加し、その回転数も順次高速側に移行している。さらに特性数 (Z_e) で整理すると図-33の如く、最大給気比 $(K/K_0)_M$ は、いずれも一定の Z_e でかなりよく揃っており、しかもこれらの値は(1)式による計算値 Z_{eM} (図に記入)ともよく一致している。

(2) 排気進め角を変えた場合

排気孔開口期間 (θ_e) を一定とし ($\theta_e/2=66.5^\circ$)、掃気孔開口期間 (θ_s) のみを変えた場合の実験結果を図-34に示す(掃気孔附近のピストン頭部を削って θ_s を変えたので掃気孔の最大開口面積は変っていない)。

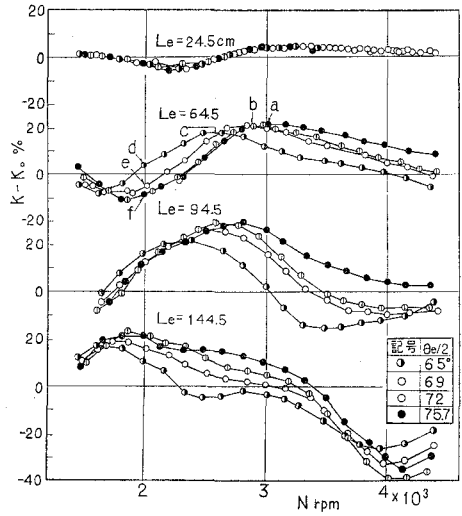


図-32 $(K-K_0)$ 曲線

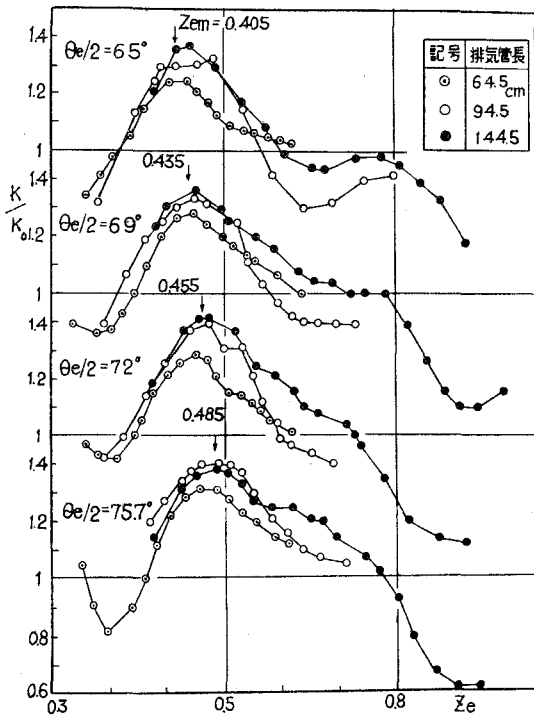


図-33 $K/K_0 \sim Z_e$ 線図

この場合も最大給気比 $(K-K_0)_M$ を与える回転数は掃気孔開口期間 (θ_s) の大きい方が高速側にずれており、(1)式から求めた計算値 (Z_{eM}) と実験値 (Z_{eM}) とは表-4の如くかなりよく一致している。

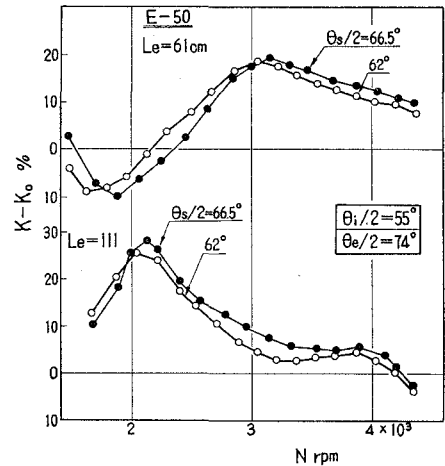


図-34 $(K-K_0)$ 曲線

表—4 同調条件の比較

L_e (m)	L_e^* (m)	θ_{es}^* (°)	N_M (rpm)	Z_{eM} (実験値)	Z_{eM} (計算値)
0.61	0.65	126	3050	0.469	0.467
		130.5	3150	0.487	0.484
1.11	0.94	126	2050	0.470	0.468
		130.5	2130	0.486	0.483

以上の解析から排気吹出し効果の同調条件式 (1) は排気吹出し効果に対する有効掃排気期間 (θ_{es}^*) の影響を適確に表示するものであることが確認されたものと云えよう。従って特性数 (Z_e) が与えられると、最適の θ_{es}^* を撰定でき、逆に θ_{es}^* が与え

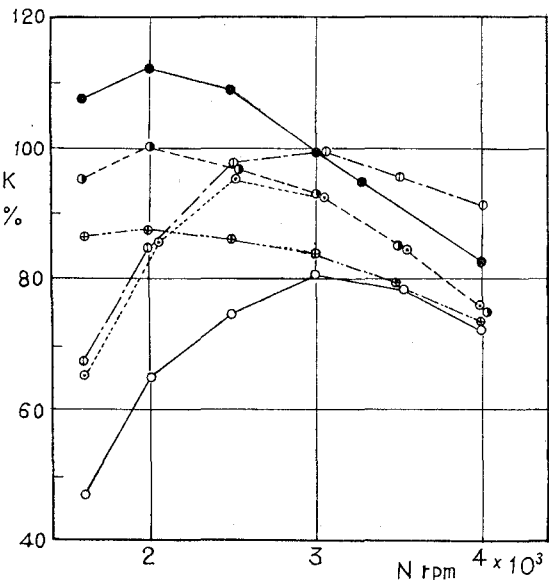
られた場合には最適の Z_e 、すなわち最適の排気管長 (L_e) や機関回転数 (N) などの設定が可能である。

かくして、第3・1節～3・2節における解析結果、最大の排気管効果を与える条件式 (1) が妥当であることが立証されたものと思われる。従って、かかる場合の機関諸因子の相関関係が (1) 式から容易に推定できるので機関の設計上極めて有用であると云えよう。

3・3 給排気管効果の組合せの影響

前節までは給気管効果の影響を取り除く意味で、給気比の差 ($K-K_0$) で排気管効果を表示し、それに及ぼす各因子の影響について述べた。よつて両効果を組合せた場合の給気比増加の実体を知ることも極めて重要な課題である。そこで、給排気管系の諸因子をそれぞれ変えた一連の実験結果から給気比曲線群の包絡線 (最適条件のもとで得られた最大給気比曲線) を描くと 図-35 の通りである。

図において最適の給気管だけを用いると (⊕印) 低速回転における給気比増加は極めて顕著であり、 $N=2000$ rpm で約20%の向上を示している。しかし、高速回転になるにつれて、その効果は順次減少し、 $N>3500$ rpm ではもはや給気管効果を期待することはできない。これに対し最適の排気管を用いると (⊙印)、ごく低速では前者より劣るが、本実験の全回転範囲にわたって給気比の増加が認められ、とくに中速回転 ($N \approx 2500$ rpm) における効果は大きい。かかる最適の排気管と最適のクランク室容積を組合せると (⊙印) $N=3000$ rpm 以下の給気比はかな



図—35 給気比曲線 (最適条件)

- $L_i=18$ cm, $L_e=3$ cm
- ⊙ $L_i=18$ cm, 最適の L_e
- ⊕ 最適の L_i
- $L_i=18$ cm, 最適の V_k, L_e
- 最適の L_i, L_e
- ① $L_i=18$ cm, 最適の L_e, θ_e

り増加する。次に最適の排気管と最適の給気管を組合せた場合(●印)には、さらに低速から高速にわたって10~15%の給気比増加が可能となり、 $N=2000$ rpmで $(K-K_0) \div 45\%$ 、 $N=4000$ rpmで $(K-K_0) \div 10\%$ にも達している。また最適の排気管と最適の排気孔開口角(θ_e)とを組合せると(ⓐ印)、とくに高速回転における給気比の増加が著しく(ⓐ印とⓑ印の比較)、 $N=4000$ rpmで $(K-K_0) \div 20\%$ となっている。従って、さらに最適の給気管をも組合せるならば広い回転範囲にわたって、より一層の給気比増加が期待できるものと思われる。

以上の結果から低速性能の向上には、とくに給気管効果の利用(給気管長、クランク室容積の選択)が有効であり、高速性能の改善にはポートタイミングの選択と排気管効果の利用が有効である。従って給排気管効果の利用とポートタイミングの選択によって、広回転範囲にわたっての給気比向上が可能となり、本型式機関における性能改善の有力な手段であることがわかる。

4. 結 言

直管型排気管による動的効果について解析を試みたが要約すると次の通りである。

(1) 排気管効果を利用した場合の結気比(K)と排気管を取り付けない場合の給気比(K_0)との差($K-K_0$)または、その比(K/K_0)は給気管系の条件の如何にかかわらず常に相似となり、その差および比は排気管効果のみを適確に表示するものと考えられる。

(2) 排気管による動的効果は排気吹出しに続く負圧波の影響、いわゆる排気吹出し効果が主役をなし最大の排気管効果 $(K-K_0)_M$ の生成を規定する。その条件として、排気管内圧力波と $(K-K_0)$ 曲線との対比から次の関係を得た。

$$Z_{eM} \left(\equiv \frac{\omega}{a_e} \cdot L_e^* \right)_M = \frac{4}{3} \cdot \frac{\theta_{es}^*}{360} \quad (1)$$

(3) 排気吹出し特性数(Z_e)に含まれる等価管長(L_e^*)はクランク室平均容積(\bar{V}_k)、シリンダ容積(\bar{V}_c)をも考慮した次の近似式から算出すれば充分である。

$$\cot(L_e/L_e^*) = \{ \bar{V}_c + (\theta_{sc}^* - \theta_{so}^*) \cdot \bar{V}_k / (\theta_{sc}^* - \theta_{so}^*) \} / (f_e L_e^*) \quad (2)$$

(4) 等価管長(L_e^*)に含まれる諸因子を変えた実験結果によると、いずれも排気吹出し特性数(Z_e)で整理すると $(K/K_0)_M$ は一定値 Z_e でよく揃い、これら各因子の影響はすべて Z_e すなわち L_e^* でよく纏められる。なおこの Z_e の値は(1)式による計算値(Z_{eM})ともよく一致する。

(5) 最大の排気管効果 $(K-K_0)_M$ に対する排気管内ガスの音速(a_e)の影響もまた Z_e について考慮すればよい。この際、 Z_e に含まれる音速(a_e)は排気管内のガス平均温度と圧力波の周期とから求めた実験式を用いればよい。

(6) 有効掃排気期間(θ_{es}^*)を広げると最大の排気管効果を与える Z_{eM} (他の因子が同じ場合には機関回転数 N_M)は増加する。この θ_{es}^* と Z_{eM} との関係は(1)式の計算結果ともよく一致

する。

(7) 排気吹出し効果の同調条件に対しては排気管系の絞り抵抗の影響は、ほとんど考慮する必要がない。

(8) 給排気管系諸因子の最適条件を組合せて得られる最大給気比曲線から、低速性能の向上には給気管効果の利用が有効であり、高速性能の改善にはポートタイミングの選択と排気管効果の利用が有用である。なお本実験では $N=2000$ rpm で $(K-K_0) \doteq 45\%$ 、 $N=4000$ rpm で $(K-K_0) \doteq 20\%$ にも達した。

終りにのぞみ御指導、御鞭撻を賜わった東京大学浅沼強教授、北海道大学黒岩保教授、実験遂行に関し熱心に協力された群馬大学工学部青柳富夫氏、同学卒業生飯田一雄、田所秀敏、野尻貞夫、新倉良治氏、日頃御指導、御援助をいただいている本学干谷茂教授、林重信講師、福島和俊助手、早川友吉氏、三田村ナミ子嬢に厚く感謝の意を表する。

文 献

- 1) A. Pischinger: A. T. Z. 39 (1936), 234.
- 2) 斎藤: 機械学会論文集.
- 3) 村尾: 機械学会 681 回講演会前刷 (昭 37-4), 41.
- 4) E. Jenny: Brown Boveri Review 37 (1950-11), 447.
- 5) W. Wilhelm: Forsch. Landes Nordrhein-Westfalen 981 (1961).
- 6) R. S. Benson: Engg. 203, 5291 (1957-6), 946.
- 7) W. Hülse: M. T. Z. 20, 8 (1959-8), 293.
- 8) 山田: 機械学会 38 期講演会前刷, No. 45 (昭 36-4), 39.
- 9) 前川: 機械学会 54 回講義会教材 (昭-29), 25.
- 10) 渡部: 機械学会論文集, 26, 162 (昭 35-2), 363.
- 11) E. W. Geyer: Engg. 151 (1941), 463.
- 12) G. F. Mucklow: I. M. E. Proc. (1940), 109.
- 13) 沢: 室工大研報, 4, 2 (昭 38-6).
- 14) 沢: 室工大研報, 4, 2 (昭 38-6).
- 15) 沢: 機械学会北海道支部講演会前刷 (昭 38-10).
- 16) 浅沼・沢: 機械学会 36 期総会講演前刷 (昭 34-4), 103.



クランク室圧縮2サイクル機関における段付型 および円錐型排気管系の影響について

沢 則 弘

On the Effects of the Exhaust System with Stepped or Conical Pipe in a Crankcase-Compressed Two-Stroke Cycle Engine

Norihiro Sawa

Abstract

It is a well-known fact that the scavenging of an internal combustion engine by utilizing the blow-down effects is promoted with a stepped or conical exhaust pipe system, but the achievements hitherto reached do not cover the whole problem.

This paper treats of the theoretical or experimental analysis of the optimum condition in such an exhaust pipe system as the crankcase-compressed two-stroke cycle engine.

1. 緒 言

内燃機関の排気管としては、必ずしも直管型である必要はなく、各種形状のものが使用可能である。とくに、排気管の先端に段付管または円錐管を取付けた排気管系は有用であることが知られており、後者の排気管系は広く利用されている。たとえば、空気模型機関による長尾教授の解析¹⁾によると、排気孔から開口端方向にすすむ排気吹出し正圧波は、負圧波となって反射するが、そのエネルギー反射率は直管の場合に比べて、段付管では1.5倍、円錐管では2倍にも達することが示されている。しかし、実用機関では排気吹出し正圧波自体も段付管の寸度および機関回転数の影響を受けるので(たとえば図-5、図-6参照)、これら排気管系の最適寸度の決定に際し、一定の正圧波と仮定した長尾教授の結論を、そのまま実用機関に適用できるか否か不明である。かかる段付管管を2サイクル機関に用いた例はすくなく、僅かに W. Wilhelm²⁾ が管径比 (d_{e2}/d_{e1}) の比較的大きい場合 ($d_{e2}/d_{e1}=5.5\sim6$) について実験しているが、その段付管長さ (l_{e2}) を全々考慮していない(図-1参照)。これに対し、円錐型排気管は広く利用されており、その効果について F. J. Wallace³⁾ は入射排気エネルギーの大部分が連続した反射波となって戻るので、排気孔に振幅の大きい、しかも持続時間の長い負圧波が形成されるため掃気作用が助長されることを明らかにし、空気模型実験の結果、最適状態において85%の空気流量の増加⁴⁾を得たと報告している。またクランク室圧縮型2サイクル機関による W. Wilhelm²⁾ の実

験では、直管型排気管に比べて10%内外の給気比増加を得ている(円錐角 5°)。このように円錐型排気管が極めて有効なことは明らかにされているが、最大の排気管効果を与える同調条件に関してはいずれの場合も明示されていない。ただ渡部⁵⁾は排気リードに正の残留脈動波が重なるとき給気比が増大するという、いわゆる脈動条件を誘導している。その際排気管のみを考え、インピーダンス理論から求めた等価管長を用いている。しかし排気吹出し効果に注目する場合には、クランク室やシリンダを含めた全管系についての考慮が必要であろう。

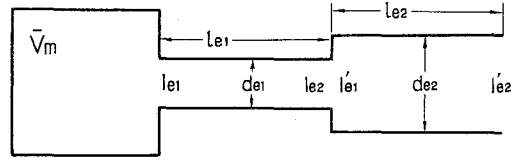


図-1 段付型排気管系の模型

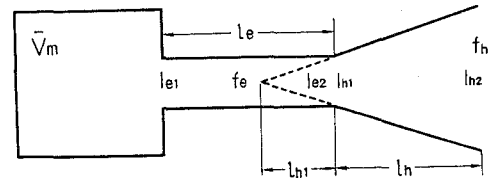


図-2 円錐型排気管系の模型

ここでは段付型および円錐型排気管の効果を系統的に調べ、それら管系の最適寸度の決定を目的として、管径比 $d_{e2}/d_{e1}=1.4, 2.0$ の段付管および円錐角 $\theta_h=2^\circ, 4^\circ, 6^\circ, 8^\circ$ (円錐管長 $l_h=21\sim 145$ cm) の円錐管(図-2 参照)と排気直管 ($l_e=20\sim 100$ cm) とを組合せた管系について実験を行なった。その結果につき若干考察したので報告する。なお実験装置および実験方法は前報⁶⁾と全く同じであるが、供試機関としては機関 E-50 のみを使用した。

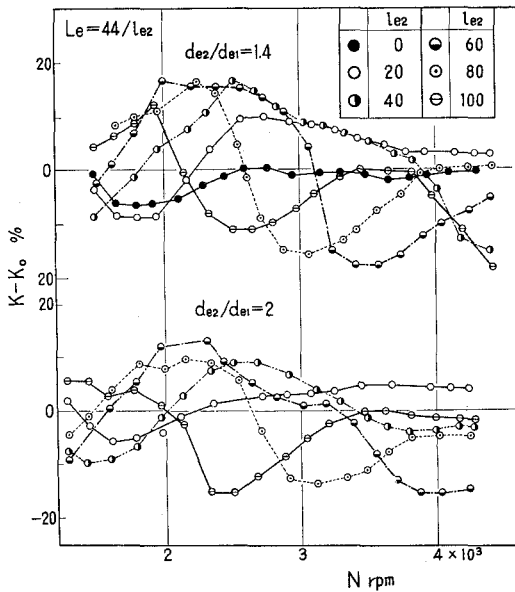


図-3 段付管長 (l_{e2}) と排気管効果 ($K-K_0$)

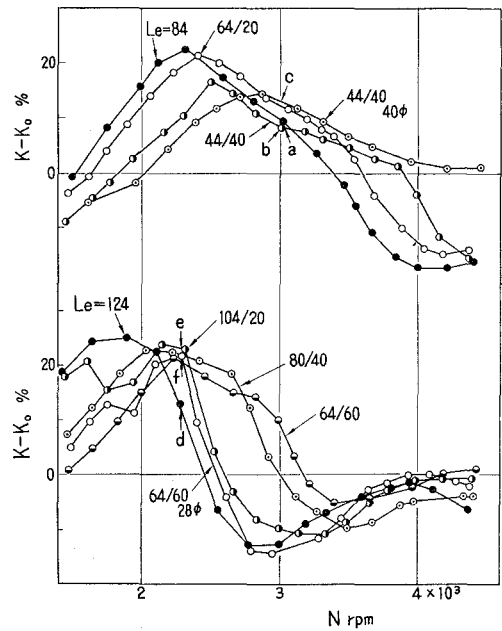


図-4 段付管と排気管効果 ($K-K_0$) $L_e = \text{const.}$

2. 実験結果および考察

2.1 段付管効果について

段付型気管による実験結果の代表例として、 $d_{e1}=20\text{ mm}\phi$ 、 $l_{e1}=44\text{ cm}$ の排気直管に、 $d_{e2}=28, 40\text{ mm}\phi$ 、 $l_{e2}=20\sim 100\text{ cm}$ の段付管を取付けた場合の給気比($K-K_0$)曲線を図-3に、また全長 $L_e(=l_{e1}+l_{e2})$ を一定とし、その管長比(l_{e1}/l_{e2})を変えた実験結果を図-4に示す。両図において全長(L_e)が短いほど、たとえ全長(L_e)が一定の場合でも管長比(l_{e2}/l_{e1})および管径比(d_{e2}/d_{e1})が大きいくほど、最大給気比($K-K_0$) $_M$ を与える回転数(N_M)は順次高速側に移行している。また、この場合の排気吹出し圧力波の周期も図-5および図-6に示すように順次短かくなっており、段付排気管の等価管長(L_e^*)は管径比(d_{e2}/d_{e1})、管長比(l_{e2}/l_{e1})に比例して短かくなることがわかる。

他方、排気孔直後で記録した圧力波形を詳細にみるに、段付部からの反射負圧波が排気吹出し正圧波の一部を削りとるので負圧波の周期は直管に比べて長くなる。(たとえば図-6のd、fの比較)その反面、振幅はかなり減衰するので、これらオシログラムからは段付管が直管に

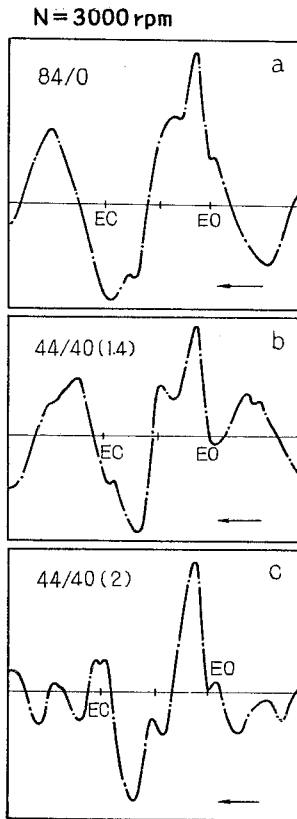


図-5 オシログラム ($L_e=84\text{ cm}$)

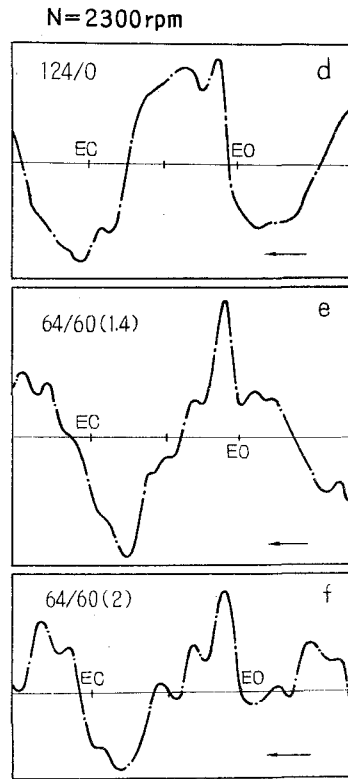


図-6 オシログラム ($L_e=84\text{ cm}$)

比べて有効であるか否か判然としない。そこで各種段付管を用いて求められた給気比曲線群の包絡線と直管型排気管で得られた給気比曲線群の包絡線 (S.P.) とを比較してみると 図-7 に示すように、段付管の方が直管に比べて約 5~15% 高い値を示すことがわかる。これを真管の場合の給気比増加 $(K_s - K_0)$ との比、すなわち効果割合 $(K - K_0)/(K_s - K_0)$ で表示すると表-1 に示すように $(K - K_0)/(K_s - K_0) = 1.3 \sim 1.7$ にも達し、段付管効果はかなり大きいことがわかる。この値は長尾教授によるエネルギー反射率の値と、よく一致している。なお同図に併記した数字は段付管長 (l_{e2}) を表わしているが本実験範囲においては、 $l_{e2} = 64 \sim 84$ cm, 管径比 $d_{e2}/d_{e1} \doteq 2$ 程度がよいようである。

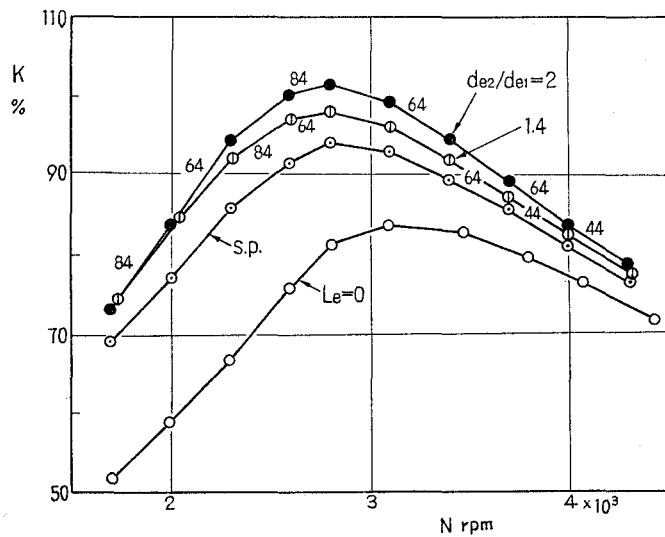


図-7 段付型排気管の効果 (最適条件)

表-1 段付型排気管の効果

N rpm	2000		3000		4000	
d_{e2}/d_{e1}	1.4	2.0	1.4	2.0	1.4	2.0
$(K - K_0)/(K_s - K_0)$	1.35	1.35	1.4	1.7	1.43	1.7

2.2 円錐管効果について

円錐型排気管に関する実験結果の代表例として、 $l_e = 20, 60$ および 100 cm の排気直管に円錐管 ($l_h = 20 \sim 145$ cm) を附加した場合の給気比曲線 ($K - K_0$) を 図-8 および 図-9 に示す。図において最大の排気吹出し効果 $(K - K_0)_M$ を与える回転数 (N_M) は排気直管の長さ (l_e)、円錐管長 (l_h) が長くなるほど、また全管長 (L_e) が同じでも円錐角 (θ_h) が小さいほど、順次低速に移動しており、これら各因子が排気吹出し効果に影響することがわかる。よって $(K - K_0)$ 曲線とオシログラムとを対比しつつ若干の考察を加えよう。

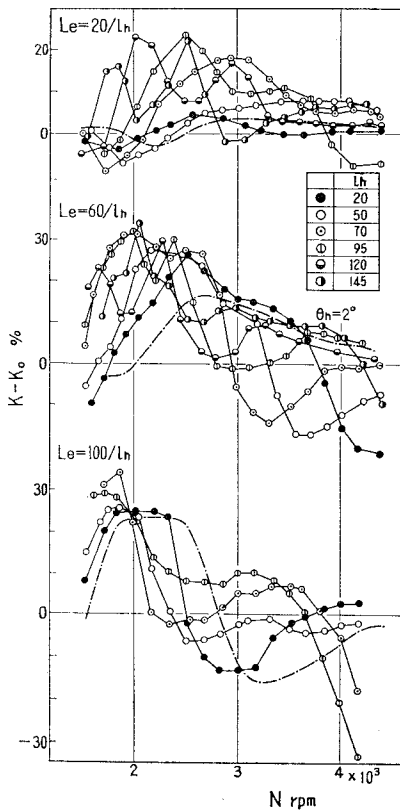


図-8 円錐管と排気管効果 ($\theta_h = 2^\circ$)

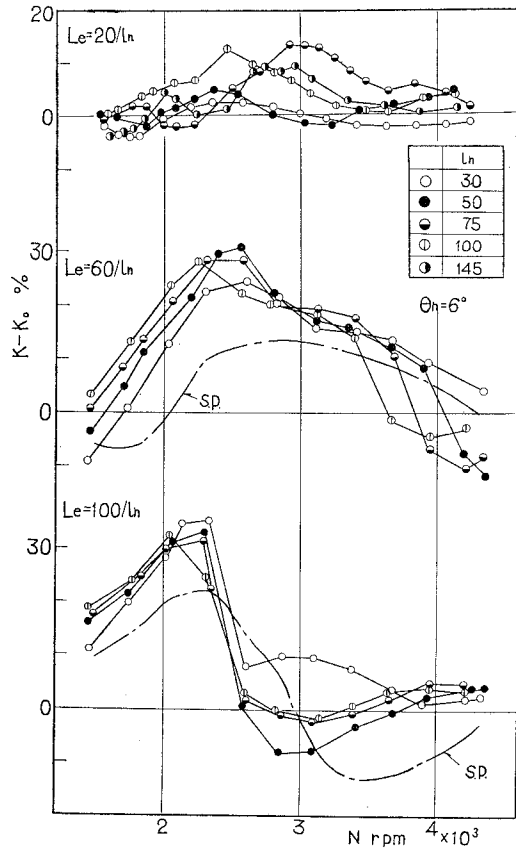


図-9 円錐管と排気管効果 ($\theta_h = 6^\circ$)

(1) 円錐角 (θ_h)

全長 (L_e) を一定 ($L_e = 145$ cm) とし、円錐角 (θ_h) を広げると 図-10 に示すように、一般に、最大給気比 ($K-K_0$)_M を与える回転数 (N_M) は高速側に移行し、($K-K_0$)_M の値も順次増大する。

これは同図上方に併記したオシログラムが示すように、 θ_h の増加に伴って排気吹出し負圧波の期間が長くなり、その振幅がかなり増大するためと考えられる。従って F. J. Wallace³⁾ が指摘したように実用的円錐管 ($\theta_h \leq 8^\circ$) においては、円錐角 (θ_h) が大きいほど掃気作用に対して有効であることがわかる。

(2) 円錐管長 (L_h)

排気直管長さ $l_e = 20$ cm とし、円錐管長 (l_h) のみを順次長くすると 図-11 のように ($K-K_0$)_M を与える回転数 (N_M) は低速側に移行するが、($K-K_0$)_M の値は円錐管長 $l_h = 75$ cm の場合が最も高く、 $l_h = 147$ cm ではむしろ低下している。これは同図上方のオシログラムによると l_h が長くなるにつれて接合部および開口端からの両反射負圧波 (たとえば $l_h = 147$ cm にお

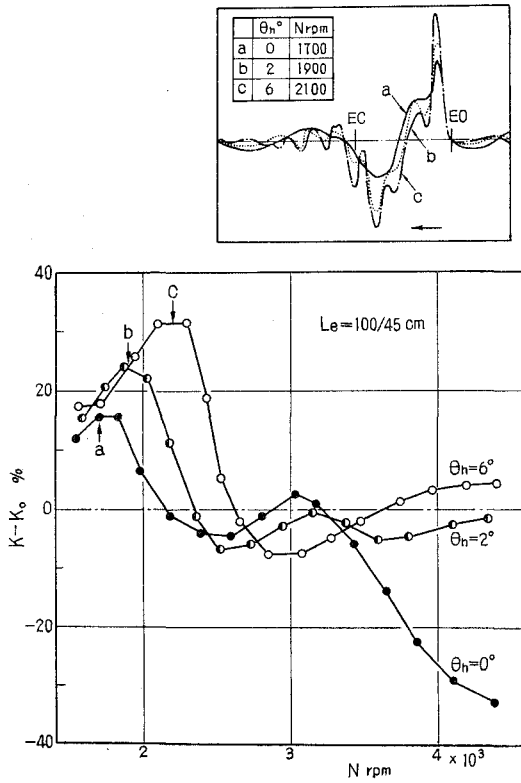


図-10 円錐角の影響

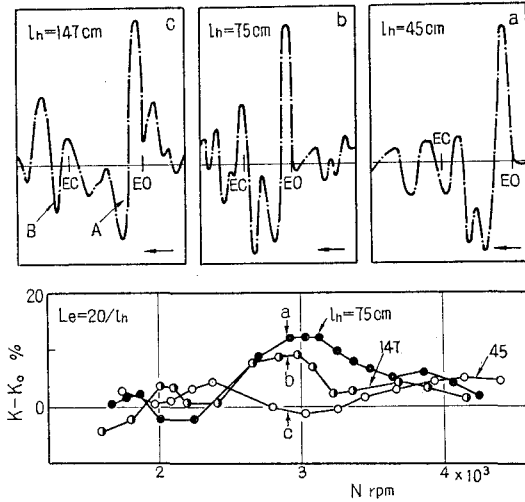


図-11 円錐管長の影響
 $l_e = 20 \text{ cm}, \theta_h = 6^\circ$

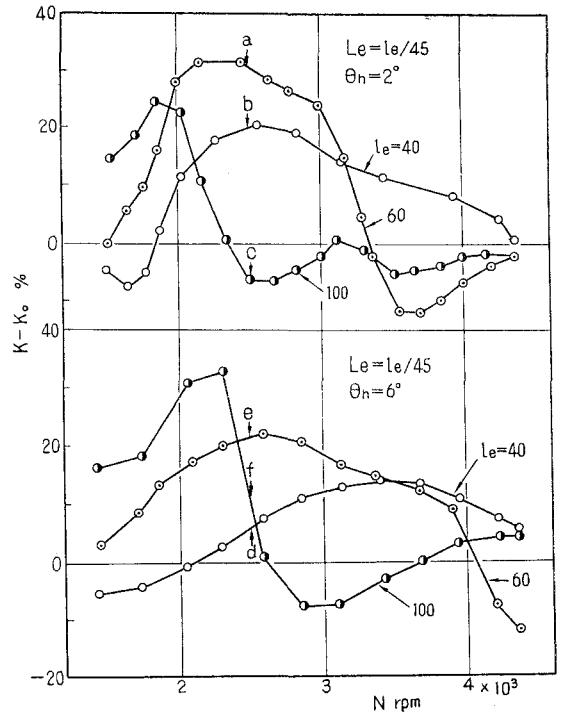


図-12 排気直管長さの影響

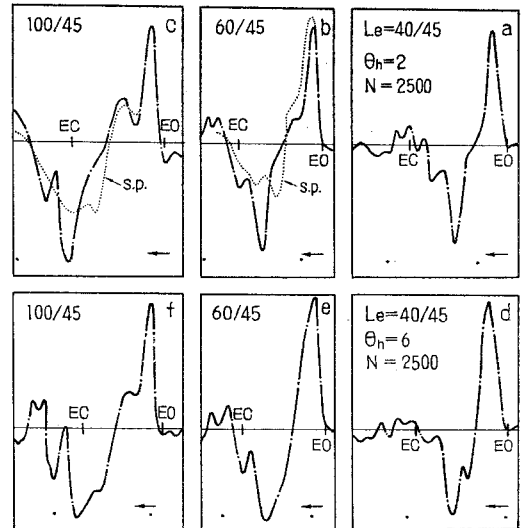


図-13 オシログラム (l_e の影響)

る負圧波 A と B) が, その到来時刻の差違のため分離してしまい排気吹出し負圧波の効果が減殺されるためと考えられる。さらに, かかる場合の $(K-K_0)$ 曲線は, いわゆる排気脈動効果が重畳するため烈しい起伏を示すので円錐管長 (l_h) を極端に長くすることは避けるべきであろう。

(3) 排気直管長さ (l_e)

円錐管長さ (l_h) を一定 ($l_h=45\text{ cm}$) とし, 排気直管長さ (l_e) のみを変えた場合の給気比 $(K-K_0)$ 曲線を 図-12 に, 図中 a, b, c …… に対応するオシログラムを 図-13 に示す。

図において, 排気直管 (S.P.) のみの場合の波形をも併記してあるが, 円錐管を取付けても排

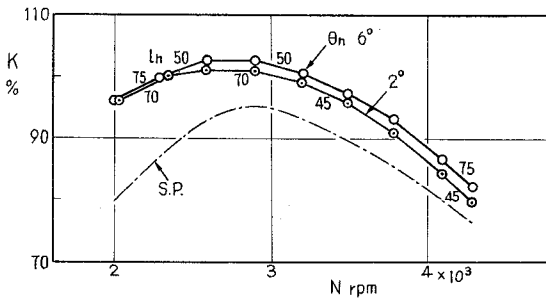


図-14 円錐型排気管の効果
S.P.: 直管型排気管

気吹出し正圧波の振幅および周期はほとんど変わっていない。しかし負圧波の振幅は, たしかに大きくなっており, しかも排気直管 (l_e) が長いほど, この傾向は益々助長されている。このように円錐型排気管においては, その排気直管長さ (l_e) が極めて重要な影響をもつことが圧力波形からも推察され, 同じことは 図-8, 図-9 の実験結果にも明らかに示されている。

以上の考察を確認するため, 段付管の場合と同様に最適の円錐管寸度を用いて得られる最大給気比曲線を求めると 図-14 の通りである。

同図には最適の円錐管長 (l_h) を曲線上に併記してあるが, いずれも $l_h=44\sim 75\text{ cm}$ となり, 円錐管長 (l_h) をいたずらに長くしても無意味なことが, これらからもわかる。なお本実験では直管 (S.P.) に比べて約 15~8% 程度の給気比向上にとどまり, F. J. Wallace の空気模型機関による 85% の増加には, ほど遠い。しかし, これを効果割合 $(K-K_0)/(K_s-K_0)$ で表わすと, 表-2 に示すように段付型

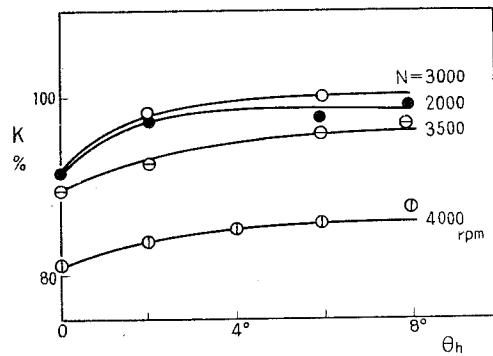


図-15 円錐角の効果 (最適条件)

表-2 円錐型排気管の効果

N rpm	2000		3000		4000	
	θ_n	θ_n	θ_n	θ_n	θ_n	θ_n
$K-K_0/K_s-K_0$	1.8	1.8	1.46	1.58	2.1	2.5

排気管よりも有効であり、 $(K-K_0)/(K_s-K_0)=1.4\sim 2.5$ にも達している。この場合円錐角 (θ_h) は大きいほどよいが、その効果は 図-15 の如く定常化する傾向がある。従って、實際上 $\theta_h=4\sim 8^\circ$ 程度を採用すればよいだろう。

次に実用的な円錐型排気管として、円錐管長 $l_h \leq 100$ cm の場合につき、最大給気比 $(K-K_0)_M$ を与える回転数 (N_M) 附近におけるオシログラムを列挙すると 図-16 となる。図によると排気吹出し圧力波の約 3/4 サイクルが有効掃排気期間 (θ_{es}^*) に一致するとき最大の給気比増加 $(K-K_0)_M$ が与えられることがわかる。

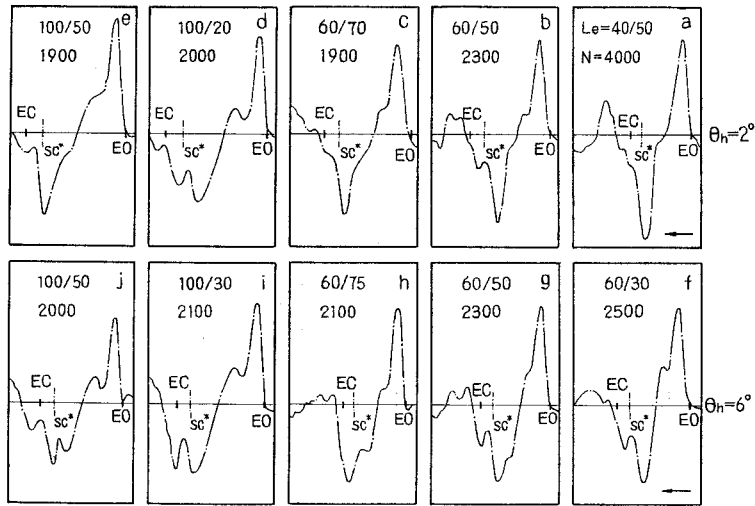


図-16 オシログラム (最適条件)

以上、2.1~2.2 節の考察により、もし段付型および円錐型排気管系の等価管長 (L_e^*) が与えられるならば、直管型排気管について提唱した排気吹出し効果の同調条件式

$$Z_e (\equiv \omega L_e^*/a_e) = (4/3) \cdot (\theta_{es}^*/360) \tag{1}$$

は、そのまま適用できるものと考えられる。

2.3 排気吹出し効果の同調条件

段付型および円錐型排気管による排気吹出し効果の同調条件に注目し、先に示した実験結果について検討を加える。

まず、図-1 の如き段付型排気管系にインピーダンス理論を適用し、直管型排気管系の場合と同一手法を用いると排気孔出口のインピーダンス (I_{e1}) は

$$I_{e1} = -\rho \cdot a^2 / \bar{V}_m \tag{2}$$

段付前のインピーダンス (I_{e2}) は管前後におけるインピーダンスの関係式から

$$I_{e2} = (\beta/f_{e1}) \{ I_{e1} + (\beta/f_{e1}) \cdot \tan(l_{e1}/L_e^*) \} / \{ -I_{e1} \cdot \tan(l_{e1}/L_e^*) + \beta/f_{e1} \} \tag{3}$$

(2), (3)式から

$$I_{e2} = (\beta/f_{e1}) \{(\bar{V}_m/f_e L_e^*) \cdot \tan(l_{e1}/L_e^*) - 1\} / \{\tan(l_{e1}/L_e^*) + \bar{V}_m/(f_e L_e^*)\} \quad (4)$$

但し $\beta = \rho \cdot a_e / L_e^*$ である。他方開口端におけるインピーダンス (I_{e2}) は $I_{e2} \doteq 0$ と近似できるから

$$I_{e1}' = -(\beta/f_{e2}) \cdot \tan(l_{e2}/L_e^*) \quad (5)$$

で与えられる。次に段前後には体積流，音圧の連続条件が適用できるから

$$1/I_{e2} = 1/I_{e1} \quad (6)$$

従って(4), (5), (6)式から段付型排気管系の等価管長 (L_e^*) を算出する式が与えられる。

$$\cot(l_{e2}/L_e^*) = \frac{f_{e1}}{f_{e2}} \cdot \frac{\tan(l_{e1}/L_e^*) + \bar{V}_m/(f_{e1} L_e^*)}{1 - \bar{V}_m/(f_{e1} L_e^*) \cdot \tan(l_{e1}/L_e^*)} \quad (7)$$

ここに， f : 管断面積， L : 管長， \bar{V}_m : シリンダとクランク室からなる平均容積であり，添字 e_1 は段付部前， e_2 は段付部後の管系を表わす。

次に図-2の如き円錐型排気管系においても段付型排気管系の場合と同様に

$$I_{e2} = (\beta/f_e) \{(\bar{V}_m/f_e L_e^*) \cdot \tan(l_e/L_e^*) - 1\} / \{\tan(l_e/L_e^*) + \bar{V}_m/(f_e L_e^*)\} \quad (8)$$

他方，円錐管前後のインピーダンス I_{h1} ， I_{h2} の間の関係は，円錐管内における球面波の方程式の解から近似的には (但し $\tau_1 = l_{h1}$ ， $l' = l_h$ と近似)

$$I_{h1} = -(\beta/f_e) \cdot (l_{h1}/L_e^*) / \{1 + (l_{h1}/L_e^*) \cdot \cot(l_h/L_e^*)\} \quad (9)$$

従って円錐型排気管系に対する等価管長 (L_e^*) の算出式は

$$\cot(l_h/L_e^*) + 1/(l_{h1}/L_e^*) = \frac{\tan(l_e/L_e^*) + \bar{V}_m/(f_e L_e^*)}{1 - \bar{V}_m/(f_e L_e^*) \cdot \tan(l_e/L_e^*)} \quad (11)$$

となる。ここに l_e : 排気直管長さ， f_e : 排気直管断面積， l_{h1} (図-2 参照): 円錐角 (θ_h) と断面積 (f_e) とから規定される寸度であり， θ_h が小さい場合には円錐管長 (l_h) に近似できる (図-2 参照)

上式の図式解 (図-17, (11) 式の図式解法) から段付型 (図-18) および円錐型排気管 (図-19) の等価管長 (L_e^*) が算出でき，これから排気管寸度の等価管長 (L_e^*) に及ぼす影響を知ることができる。すなわち段付型排気管では，管長 l_{e1} ， l_{e2} が短かく，断面積比 f_{e1}/f_{e2} (または d_{e1}/d_{e2}) が小さいほど等価管長 (L_e^*) は短かく，円錐型排気管では円錐角 (θ_h) が大きいほど L_e^* は短かくなり，円錐管長 (l_h) が長くなるにつれて，その増加は小さくなる傾向を示している。

図-17 および 図-18 を用い，各種排気管系寸度に対する等価管長 (L_e^*) を求め，その L_e^* を用いた排気吹出し特性数 (Z_e) で段付型排気管の実験結果 (図-3 および 図-4) を整理すると 図-20 および 図-21 となり，円錐型排気管の実験結果 (図-8, 図-9) を整理すると 図-22 および 図-

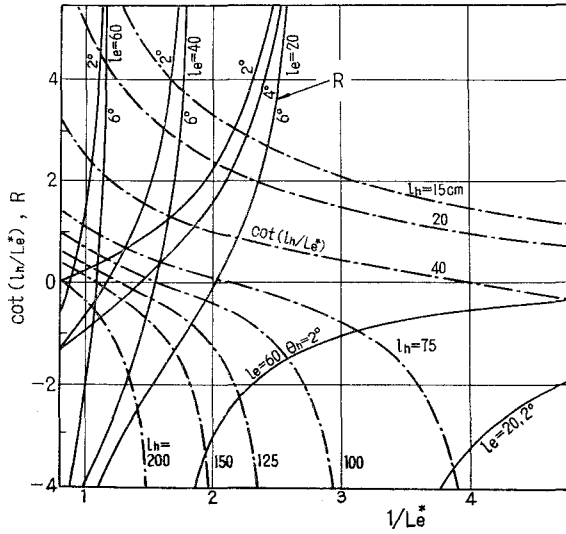


図-17 図式解法 (11) 式の解 $R = \frac{\tan(L_e/L_e^*) + \bar{V}_m/(f_e L_e^*)}{1 - \bar{V}_m/(f_e L_e^*) \cdot \tan(L_e/L_e^*)} - 1/(l_h/L_e^*)$

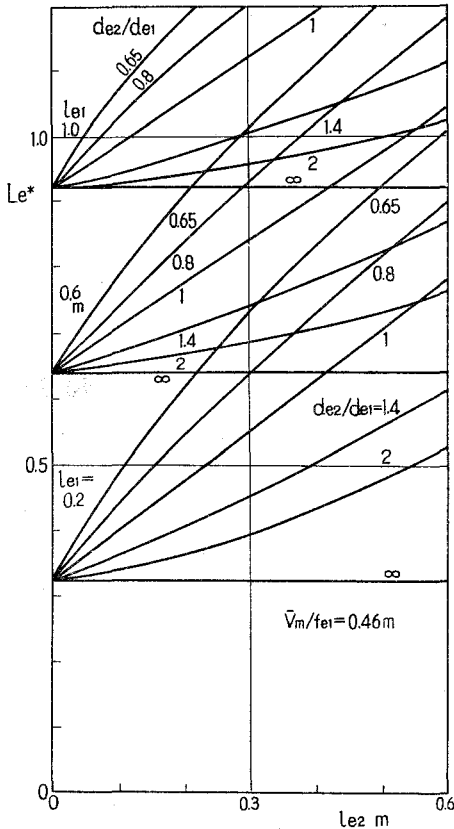


図-18 等価管長 (段付管)

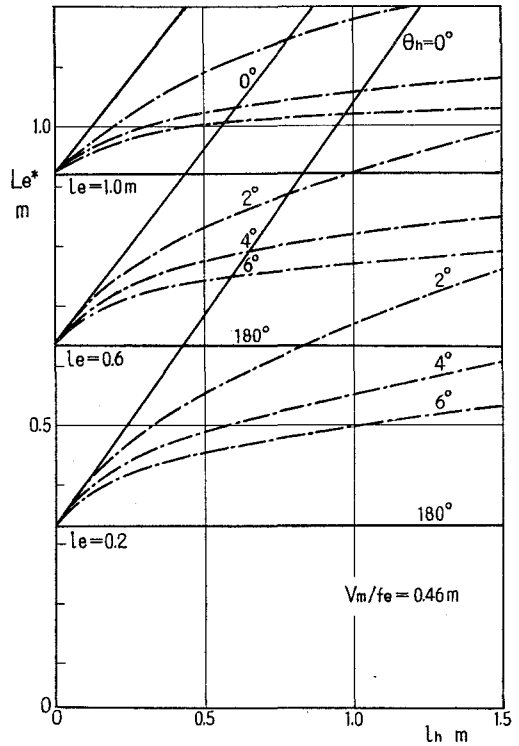


図-19 等価管長 (円錐管)

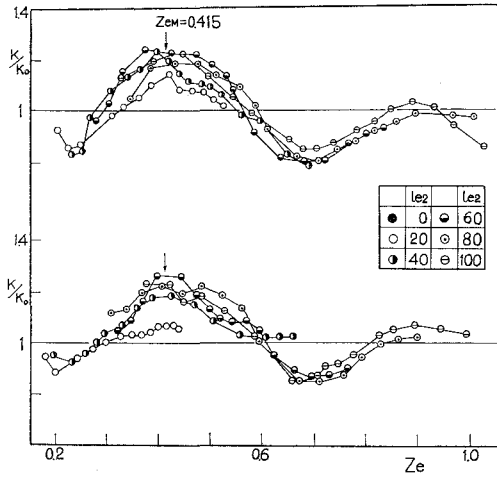


図-20 K/K_0 と Z_e (段付管, $l_{e1}=44$)

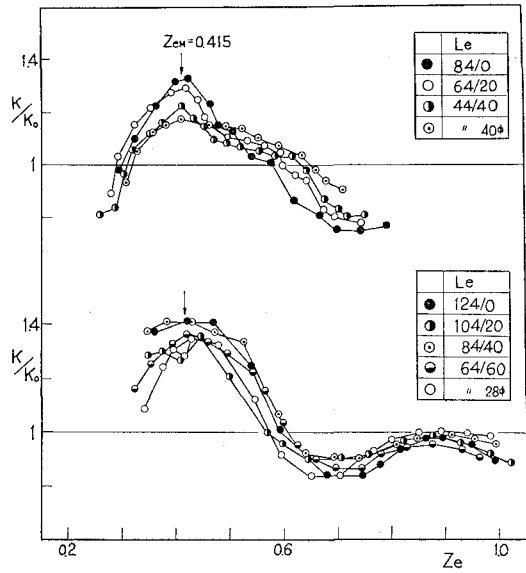


図-21 K/K_0 と Z_e (段付管, $L_e = \text{const}$)

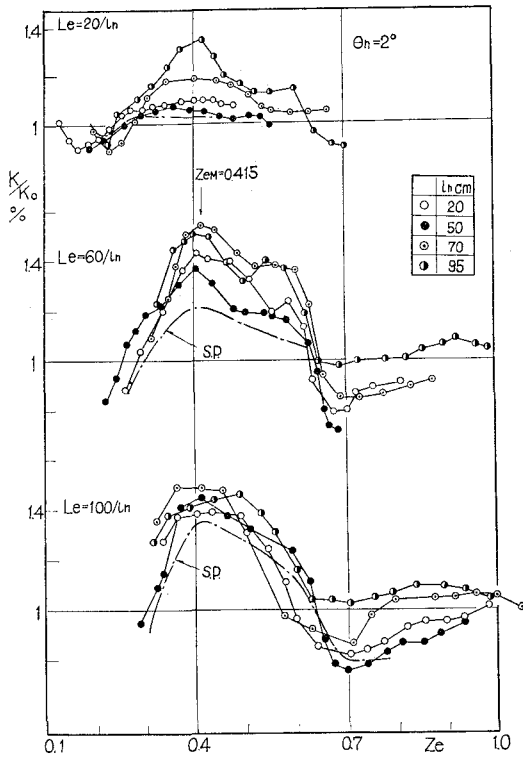


図-22 K/K_0 と Z_e (円錐管, $\theta_n=2^\circ$)

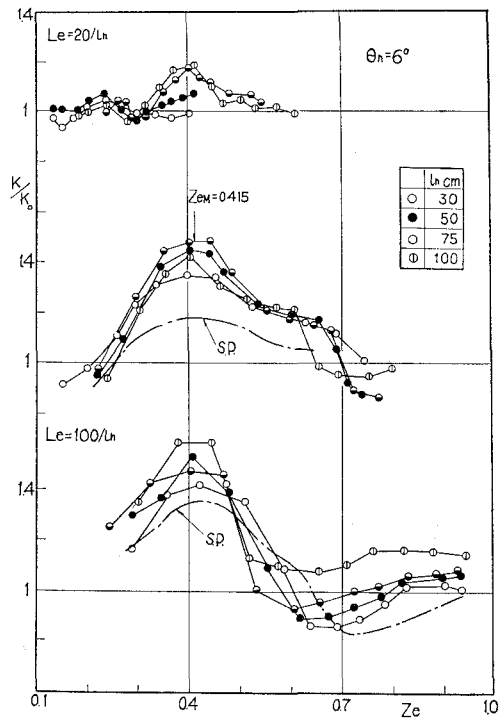


図-23 K/K_0 と Z_e (円錐管, $\theta_n=6^\circ$)

23となる。図において、最大給気比 $(K/K_0)_M$ は直管型排気管の場合と同様に、排気吹出し効果の同調条件式(1)から求めた計算値 $Z_{eM} \doteq 0.415$ 付近でよく揃っている。従って、等価管長 (L_e^*) の算出式(7)および(11)が妥当であり、直管型排気管の結論から推論した条件式(1)が段付型および円錐型排気管の場合にも充分適用できることがわかった。

以上の解析から、インピーダンス理論による等価管長 (L_e^*) を用いる場合、直管型排気管の場合と全く同様に、最適の段付型排気管寸度 ($d_{e2}/d_{e1} \doteq 2$, $l_{e2} = 64 \sim 84$ cm に選定) および円錐型排気管寸度 ($\theta_h = 4^\circ \sim 8^\circ$, $l_h = 44 \sim 75$ cm に設定) の設計が可能であると云えるだろう。

3. 結 言

以上、段付型および円錐型排気管による動的効果について述べたが、これを要約すると次の通りである。

(1) 給気比の向上に関して、直管型排気管の代りに段付型排気管を用いると、かなり有効であり、それぞれ最適の排気管寸度を用いて得られる両者の最大給気比曲線を比較すると、その効果割合は $(K - K_0)/(K_s - K_0) = 1.3 \sim 1.7$ にも達する。なお本実験範囲では段付管径比 (d_{e2}/d_{e1}) は比較的大きい $d_{e2}/d_{e1} = 2$ 程度がよいようである。

(2) 円錐型排気管は直管型や段付型排気管よりも、さらに有効であり、直管型との効果割合は $(K - K_0)/(K_s - K_0) \doteq 1.4 \sim 2.8$ と極めて大きい。この場合、直管部長さ (l_e) はとくに重要な因子であり、これが余り短かいと如何なる円錐管長さ (l_h) を用いても排気吹出し効果は小さい。また本実験範囲では、円錐角 (θ_h) は $\theta_h = 4^\circ \sim 8^\circ$ がよく、円錐管長 (l_h) にも最適値 ($l_h = 45 \sim 75$ cm) が存在する。

(3) 段付型および円錐型排気管系の等価管長 (L_e^*) は、いずれもインピーダンス理論から算出できる((7), (11)式)。かくして求めた等価管長 (L_e^*) を用いた排気吹出し特性数 (Z_e) でそれぞれの実験結果を整理すると最大の給気比 $(K/K_0)_M$ は、条件式(1)による計算値 (Z_{eM}) 付近でよく揃う。従って各種排気管系寸度の排気吹出し効果に及ぼす影響は、すべて条件式(1)と、それぞれの等価管長 (L_e^*) の算出式とから知ることができる。

終りにのぞみ、御指導、御鞭撻を賜わった東京大学浅沼強教授、北海道大学黒岩保教授、実験遂行に対し熱心に協力された群馬大学工学部熱工学研究室の各位および卒業研究学生、日頃御世話戴だっている本学、千谷茂教授、林重信講師、福島和俊助手、早川友吉氏、三田村ナミ子嬢および関係各位に深甚の謝意を表する。

文 献

- 1) 長尾： 機械学会論文集, 24, 148 (昭33-12), 1019.
- 2) W. Wilhelm: Forsch Landes Nordrhein-Westfalen, 982 (1961).
- 3) F. J. Wallace: I.M.E. Proc. 168, 18 (1954), 515.

- 4) F. J. Wallace: I.M.E. Proc. 170, 39 (1956), 1131.
- 5) 渡部: 機械学会論文集, 26, 162 (昭 35-2), 363.
渡部: 機械学会論文集, 26, 171 (昭 35-11), 1683.
- 6) 沢: 室工大研報, 4, 2,

クランク室圧縮2サイクル機関における 拡張室付排気管系の影響について

沢 則 弘

On the Effects of the Exhaust System with Expansion Chamber in a Crankcase-Compressed Two-Stroke Cycle Engine

Norihiro Sawa

Abstract

For the purpose of obtaining design data on the exhaust system with an expansion chamber or exhaust muffler in a crankcase-compressed two-stroke cycle gasoline engine, the present author has made the theoretical analysis and a series of experiments on the effects of various exhaust piping for the optimum condition of the exhaust blow-down effect.

緒 言

各種排気管系による給気比の向上について研究を進めてきたが、実用機関の排気管系としては消音器の取付けが不可欠であり、従来も消音器の立場からかなりの研究が行なわれている。たとえば消音器の最も単純な型式として図-1のような拡張室付排気管について一連の実験的研究が行なわれているが、それらの研究は主として消音効果のみに注目し、給気比(または機関トルク)に及ぼす影響については、ほとんど考慮されていない^{1)~4)}。しかし、各種排気管により積極的に給気比増加を計ろうとする場合、その先に取付けられる拡張室(消音器)の影響を解析することは極めて重要である。かかる消音器の基本型とも云える拡張室付排気管系の動的効果に関しては H. Farmer⁵⁾ や沼田等^{8),16)} の実験

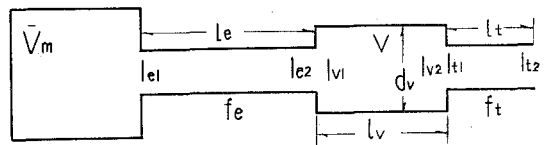


図-1 拡張室付排気管

表-1 供試拡張室寸度

記号	拡張室容積 cc	拡張室容積比 (行積体積)	縦横比 l_v/d
V ₁	792	15.8	5.05
V ₂	"	"	1.97
V ₃	"	"	0.853
V ₄	475	9.5	1.97
V ₅	309	6.7	"

が僅かに見受けられるに過ぎず、しかも二三の実験結果を示しているが、単に排気管内圧力変動のオシログラムから出力向上の可能性を指摘しているにとどまり、いまだに系統的研究は見当らないようである。そこで拡張室付排気管寸度の給気比に及ぼす影響を調べる目的で、表-1 図-1 に示すように縦横比の違う拡張室 (V_1, V_2, V_3), 相似型拡張室 (V_2, V_4, V_5) の計5種類を準備し、排気直管長さ l_e ($f_e \doteq 3.14 \text{ cm}^2$), 尾管長さ (l_t), 尾管断面積 (f_t) および拡張室要素を広範囲に変えて実験を行い、主として排気吹出し効果に着目して各因子の影響を検討した。次に実用的消音器に一步近づく意味で拡張室の内部絞り、尾管の絞り等の給気比に及ぼす影響についても吟味した。なお実験装置 (供試機関)⁷⁾ および実験方法は前報の場合と全く同じである。

2. 実験結果および考察

2.1 排気吹出し効果に影響する因子

排気吹出し効果に影響する因子としては拡張室型排気管系の各寸度、すなわち等価管長 (L_e^*) が考えられる。そこでまず、等価管長 (L_e^*) の等出式を誘導し、それに含まれる各因子を逐次変えた実験から各因子の影響について検討し、排気吹出し効果の同調条件式の妥当性を検証しよう。

2.1.1 拡張室付排気管の等価管長 (L_e^*)

機関の行程体積に比べて拡張室が極めて大きい場合には、その入口までの排気管系についてのみ考えればよいが、小型機関用消音器のように拡張室容積 (V) が比較的小さい場合には拡張室のみならず尾管をも含めた全排気管系についての考慮が必要であろう。かかる掃排気管系として図-1 の如き模型を想定し、これにインピーダンス理論を適用すると、直管型排気管⁸⁾ の場合と同様に、インピーダンス I_{e2} は

$$I_{e2} = (\beta/f_e) \cdot \{ \bar{V}_m / (f_e \cdot L_e^*) \cdot \tan(l_e/L_e^*) - 1 \} / \{ \bar{V}_m / (f_e L_e^*) + \tan(l_e/L_e^*) \} \quad (1)$$

で与えられ、他方開口端インピーダンスは零と近似できるので

$$I_{t1} = -(\beta/f_t) \cdot \tan(l_t/L_e^*) \quad (2)$$

となり、拡張室 (容積部) 内前後のインピーダンス間には

$$I/I_{t2} = 1/I_{t1} - V/\rho \cdot a^2 \quad (3)$$

の関係があり、段前後の連続条件: $1/I_{e2} = 1/I_{t1}$, $1/I_{t2} = 1/I_{t1}$ の関係を用いると (1)~(3) 式から、等価管長 (L_e^*) の等出式は次の如く与えられる。

$$\begin{aligned} (f_t/f_e) \cdot \cot(l_t/L_e^*) - V/(f_e L_e^*) &= \{ \tan(l_e/L_e^*) \\ &+ \bar{V}_m / (f_e L_e^*) \} / \{ 1 - \bar{V}_m \cdot \tan(l_e/L_e^*) / (f_e L_e^*) \} \end{aligned} \quad (4)$$

ここに、 f : 断面積、 l : 管長、 V : 拡張室容積、 \bar{V}_m : シリンダとクランク室からなる平均容積 ($\equiv \bar{V}_c + (\theta_{SC}^* - \theta_{SO}^*) \bar{V}_k / (\theta_{SC}^* - \theta_{EO}^*)$)⁹⁾ であり、添字 e, t は拡張室前の管および尾管の状態

を示す。なお(4)式の計算結果を図-2に示しているが、等価管長 (L_e^*) は拡張室容積 (V)、排気管長 (l_e)、尾管長さ (l_t) に比例し、尾管長さ (l_t) による等価管長 (L_e^*) の増加は排気管長による増加よりも大きい。しかも尾管が極く短い場合には拡張室 (V) を大きくしても等価管長 (L_e^*) はほとんど変わらない。また尾管が長くなるにつれて等価管長 (L_e^*) に対する拡張室容積 (V) の影響は増加する傾向にあることがわかる。

2.1.2 拡張室 (V) の影響

拡張室容積 (V) を変えた場合の実験結果を図-3に、図中 a, b, c に対応するオシログラムを図-4に示す。

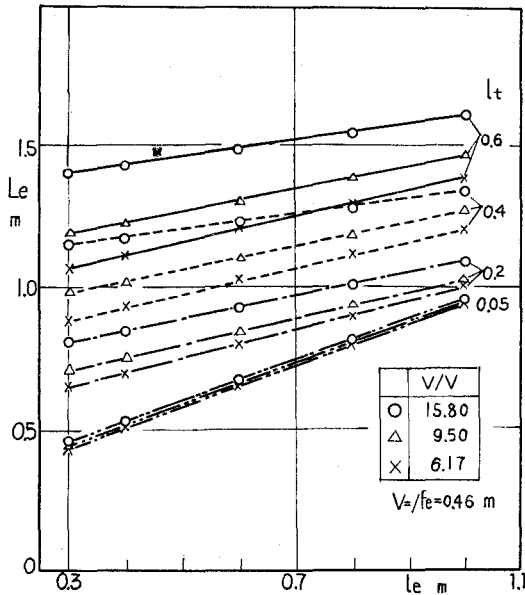


図-2 拡張室付排気管の等価管長 ($f_i/l_e=1$)

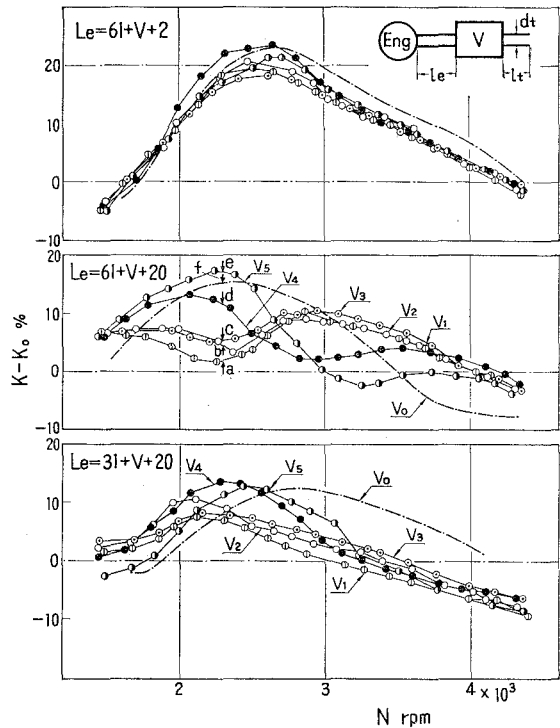


図-3 ($K-K_0$) 曲線 (V 変化)

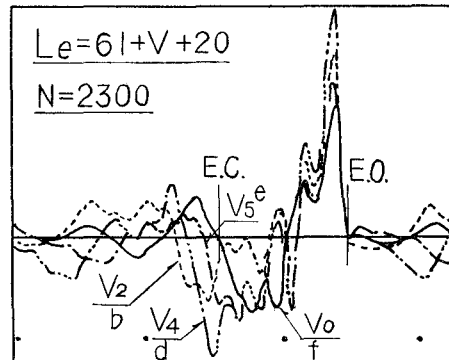
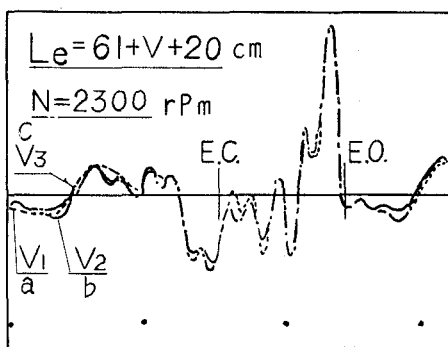


図-4 オシログラム (V 変化)

図において、排気吹出し圧力波の周期は拡張室容積 (V) の増加に伴って長くなり (図-4 の V_0, V_2, V_4, V_5 の比較)、従って $(K-K_0)_M$ を与える回転数は順次低速側に移行している。

さらに、この傾向は図-3 からも明らかなように尾管が長いほど著しく、尾管が極く短かいと拡張室容積 (V) の影響は、ほとんど表われておらず、前項における等価管長の算出結果とよく符合していることがわかる。また拡張室容積 (V) が一定であれば、その縦横比の如何にかかわらず排気吹出し圧力波および給気比 $(K-K_0)$ 曲線はほぼ同じである。 (V_1, V_2, V_3) の比較) 従って供試拡張室寸度範囲では等価管長の算出に際し、拡張室を段付管の一部とせずに容積部 (V) と近似したことが充分妥当であると云えるだろう。

次に最大給気比 $(K-K_0)_M$ の値は、 $V/V_h=6\sim 9$ 程度 (V_4, V_5) では直管型排気管 (V_0) の場合とほとんど変わらないが、拡張室容積が $V/V_h=16$ (V_1, V_2, V_3) と大きくなると、その容積部における圧力波の減衰により、排気管効果はかなり低下する。従って最適の拡張室型排気管寸度を用いても直管型排気管による給気比向上の約半分程度しか期待できないようである。

2.1.3 排気管長 (l_e) および尾管長 (l_t) の影響

拡張室 (V)、尾管長さ (l_t) を一定とし、排気管長 (l_e) を長くすると当然のことながら排気吹出し圧力波の周期が長くなるので (図-5 参照)、最大給気比 $(K-K_0)_M$ を与える機関回転数 (N_M) は図-6 に示すように順次低速側に移行する。同様の関係は尾管長さ (l_t) のみを変えた場合の給気比 $(K-K_0)$ 曲線にも認められる (図-7 参照)。次に $(K-K_0)_M$ の値に注目すると、排気管長 (l_e) を変えてもその値はほとんど変わらないが、尾管長さ (l_t) が長くなるにつれて順次低下する傾向を示しており、給気比向上の観点からは尾管をいたづらに長くすることは望ましくないようである。この理由は、尾管が長くなるに伴って開口端からの反射負圧波が小さくなるためであることが図-8 のオシログラムからわかる。従って、たとえ排気管系の全長 (L_e) が一定の場合であっても図-9 に示されるように拡張室 (V_4) が機関側に近づき、 l_e が短かく、 l_t が

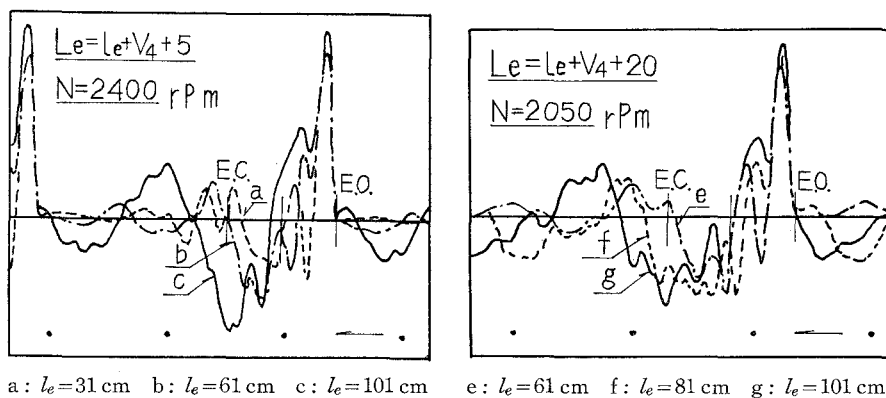


図-5 オシログラム (l_e の変化)

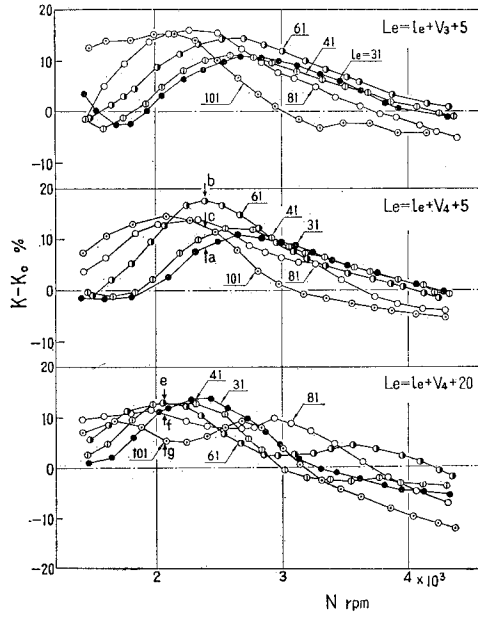


図-6 ($K-K_0$) 曲線 (l_e 変化)

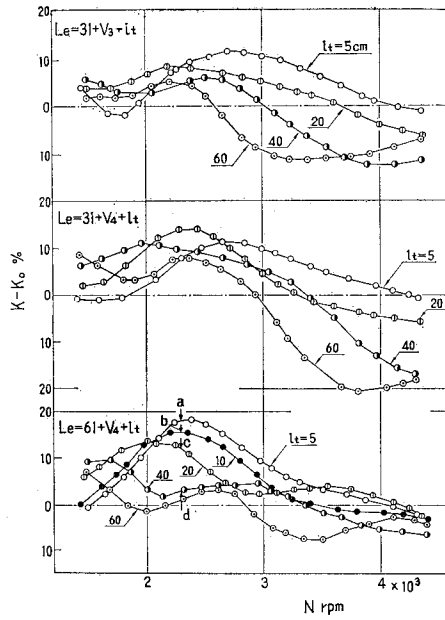
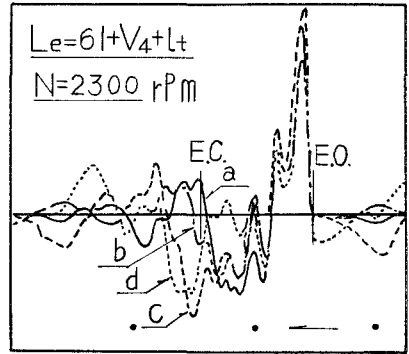


図-7 ($K-K_0$) 曲線 (l_e 変化)

長くなるにつれて排気吹出し効果 $\{(K-K_0)_M$ の値} は減少するので給気比向上の観点からは拡張室を排気開口端側に設置するのが望ましいことがわかる。また $(K-K_0)_M$ を与える回転数は拡張室が機関側に近づくと順次低速に移行し、等価管長 (L_e^*) が増大することを示している。これは等価管長の算出式 (4) の計算結果とよく符合している。

2.1.4 尾管断面積 (f_t) の影響

尾管長さ (l_t) を一定とし、その断面積 (f_t) のみを変えた実験結果を図-10 に、図中 a, b, c……に



a : $l_t = 5$ cm b : $l_t = 10$ cm
c : $l_t = 20$ cm d : $l_t = 40$ cm
図-8 オシログラム (l_t 変化)

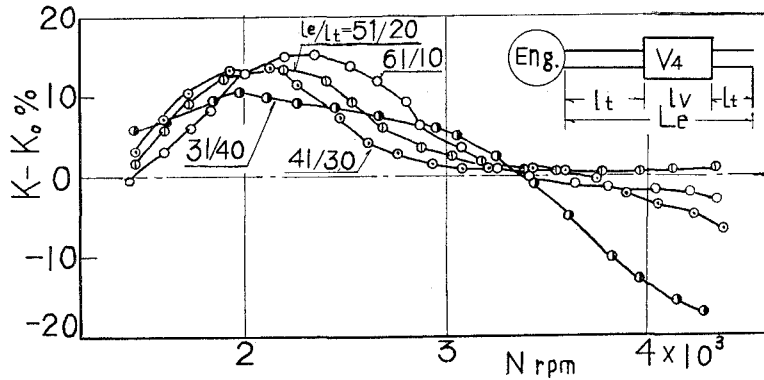


図-9 拡張室位置と $(K-K_0)$

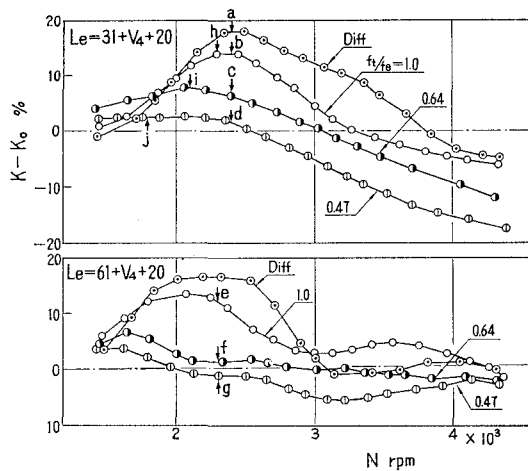
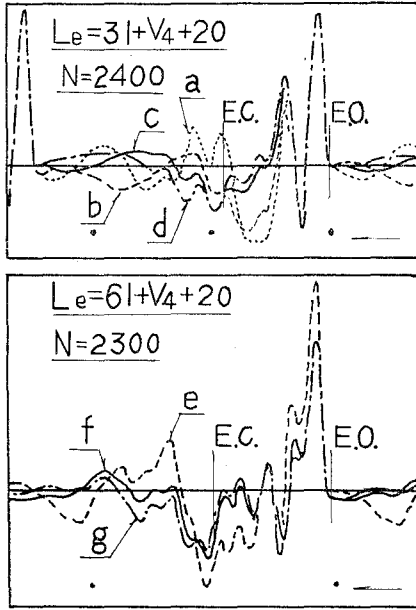


図-10 $(K-K_0)$ 曲線 (f_t/f_e 変化)



a: 円錐尾管 b, e: $f_i/f_e=1.0$
 c, f: $f_i/f_e=0.64$ d, g: $f_i/f_e=0.47$

図-11 オシログラム (f_i/f_e 変化)

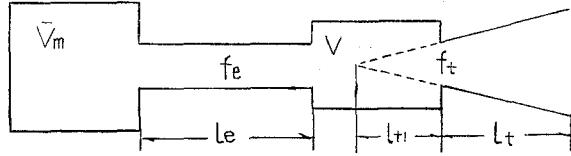


図-12 円錐尾管付拡張室型排気管

断面積比 (f_i/f_e) が小さくなるにつれて排気吹出し圧力波の周期は長くなっている (図-11)。従って最大給気比 $(K-K_0)_M$ を与える回転数 (N_M) は図-10に示すように低速側に移行することになる。これは等価管長 (L_e^*) の計算結果とも定性的に一致している。

しかし、断面積比 (f_i/f_e) に比例して排気吹出し負圧波が減衰するため給気比 $(K-K_0)$ の低下を招来し、 $f_i/f_e=0.47$ (図-10 および 11 の d, g 点) ともなると排気吹出し効果を期待することがほとんど無理である。従って、面積比 (f_i/f_e) は通常できるだけ大きくすることが望ましいことは言うまでもない。とくに尾

管として、図-12の如き円錐管を用いると排気吹出し負圧波の振巾が大きくなるので (図-11の a)、給気比 $(K-K_0)$ の値もかなり増加し、とくに高速回転範囲の性能改善に対し有効な手段であることがわかる。

かかる円錐型尾管付の拡張室型排気管系の等価管長 (L_e^*) は、図-12に示した掃排気管系の模型にインピーダンス理論を適用すると、尾管入口のインピーダンス I_{i1} として(2)式の代りに、円錐管前後のインピーダンスの関係¹⁰⁾ から求められる

$$I_{i1} \doteq -(\beta/f_i)/\{\cot(l_i/L_e^*)+1/(L_{i1}/L_e^*)\} \quad (5)$$

を用いると、(1), (3), (5) 式から等価管長 (L_e^*) は

$$\begin{aligned} & (f_i/f_e) \cdot \{\cot(l_i/L_e^*)+1/(L_{i1}/L_e^*)\} - V/(f_e \cdot L_e^*) \\ & = \{\tan(l_e/L_e^*) + \bar{V}_m/(f_e L_e^*)\} / \{1 - \bar{V}_m \cdot \tan(l_e/L_e^*)/(f_e L_e^*)\} \end{aligned} \quad (6)$$

ここに、 f_i : 円錐管入口の断面積、 l_i : 円錐管長、 L_{i1} : 図-12に示される円錐長さである。

2.1.5 排気吹出し効果の同調

以上、拡張室付排気管の寸度、すなわち拡張室容積 V (図-3)、排気管長さ l_e (図-6)、尾管長さ l_i (図-7)、拡張室の取付位置 (図-9)、および尾管断面積 f_i (図-10) を変えた実験結果から排気吹出し効果に及ぼす各因子の影響について考察したが、これらの実験結果を直管型排気管の場合と同様に、排気吹出し特性数 (Z_e) を用いて纏めると図-13 (拡張室)、図-14 (排気管長

さ), 図-15 (尾管長さ), 図-16 (拡張室位置) および 図-17 (尾管断面積) の通りになる。

図において, 最大給気比 $(K/K_0)_M$ は, いずれも Z_e の一定値でよく揃っている。また, この値は直管型排気管による排気吹出し効果の同調条件式⁹⁾に供試機関の有効掃気孔角 $\theta_{es}^* = 112^\circ$ を用いて求めた計算値 $Z_{eM} \doteq 0.397$ とよく一致している。従って, 等価管長 (L_e^*) の算出式 (4), (6) が妥当であり, 先に示した同調条件式が拡張室付排気管の場合にも適用できることが確認さ

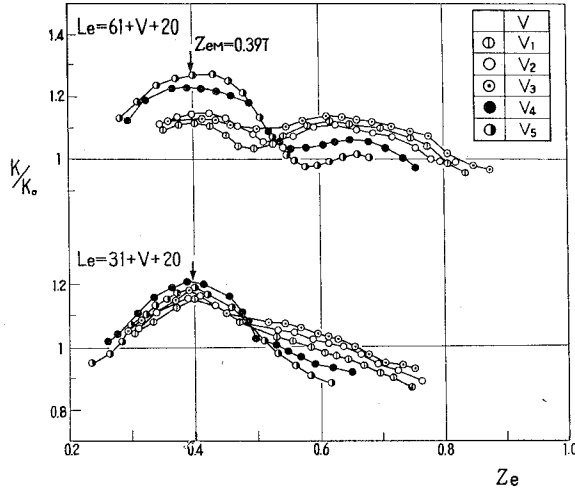


図-13 $K/K_0 \sim Z_e$ 線図 (V 変化)

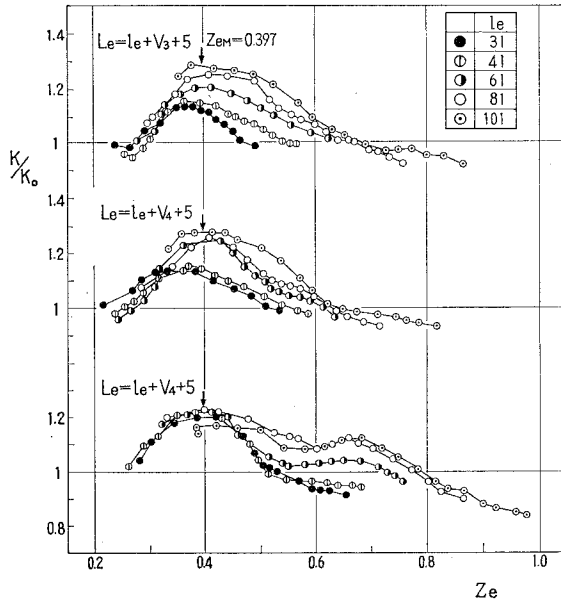


図-14 $K/K_0 \sim Z_e$ 線図 (l_e 変化)

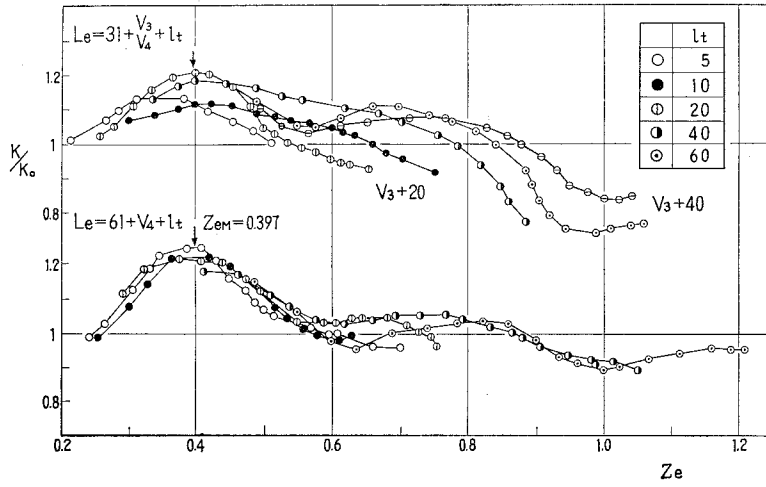


図-15 $K/K_0 \sim Z_e$ 線図 (l_t 変化)

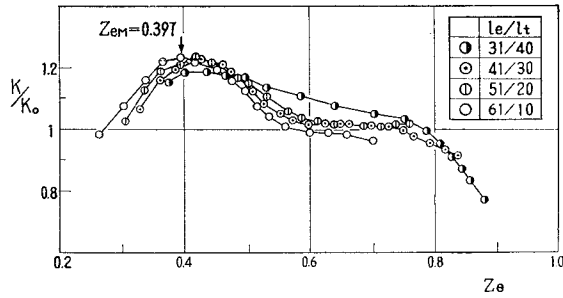


図-16 $K/K_0 \sim Z_e$ 線図 (l_e/l_t 変化)

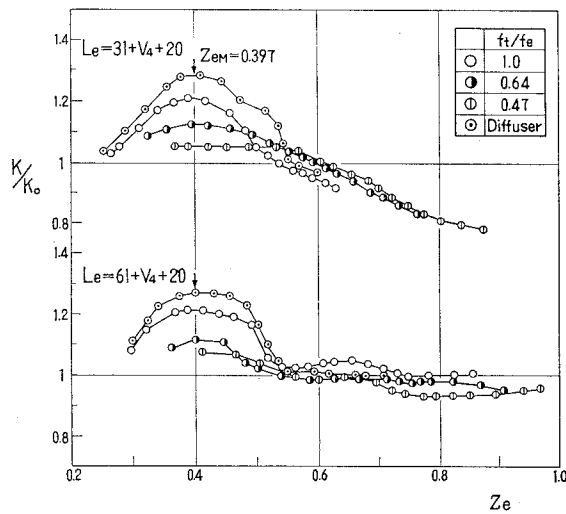


図-17 $K/K_0 \sim Z_e$ 線図 (f_t/f_e 変化)

れた。よって、これら各因子の最大給気比 $(K-K_0)_M$ または $(K/K_0)_M$ に対する影響は、すべて等価管長 (L_e^*) について考慮すればよく、拡張室付排気管寸度の設計基準が得られたわけである。

2.2 消音器要素の給気比に及ぼす影響

実用的消音器に一步近づく意味で二三の実験を行なった。その結果につき次に述べる。

2.2.1 排気管または尾管の拡張室内挿入

小型車輛用機関においては、その車体構造上、排気管の全長が制限されることが屢々起きる、かかる場合、最適の排気管長を保持するためには、排気管または尾管を拡張室内に挿入する方法が考えられる。まず排気直管 (l_e) を挿入した場合の実験結果を図-18に、尾管を挿入した場合の実験結果を図-19に示す。

両図によると、給気比 $(K-K_0)_M$ の値は排気直管 (l_e) を挿入すると、挿入長さ (l/l_v) に逆比例して低下しているのに対し、尾管 (l_t) を挿入すると挿入長さ (l/l_v) に比例して $(K-K_0)_M$ は増加している。この理由はオシログラムからは明確にできなかったが、 $(K-K_0)_M$ を与える回転数が挿入長さ (l/l_v) に比例して高速側に移行している事実から排気直管とくに尾管内の排気ガス温度が、挿入することによって高められるため等価管長が事実上、短縮しているものと考えられる。いずれにせよ、消音効果の上からも有効¹¹⁾と云われている排気管および尾管の挿入のうち後者は排気管効果の利用の点からも望ましいことがわかった。

2.2.2 尾管の絞り

消音効果¹²⁾に有効であると云われる尾管開口端絞りの給気比に及ぼ

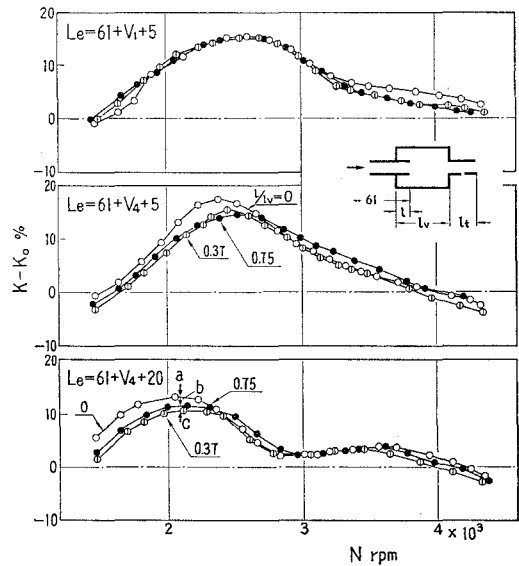


図-18 $(K-K_0)$ 曲線 (l_e 挿入)

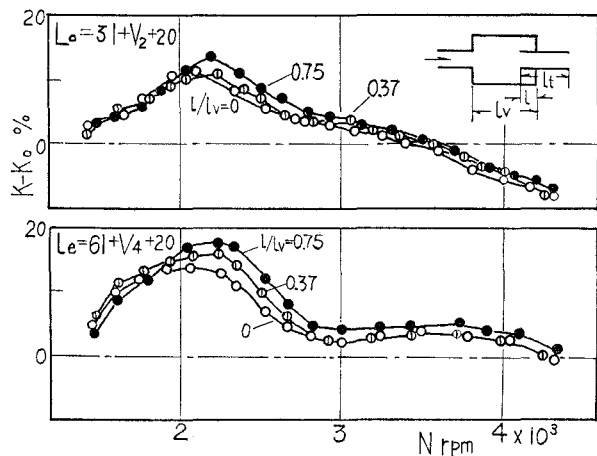


図-19 $(K-K_0)$ 曲線 (l_t 挿入)

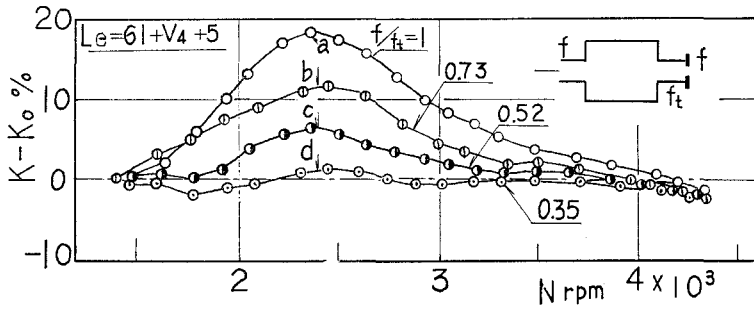
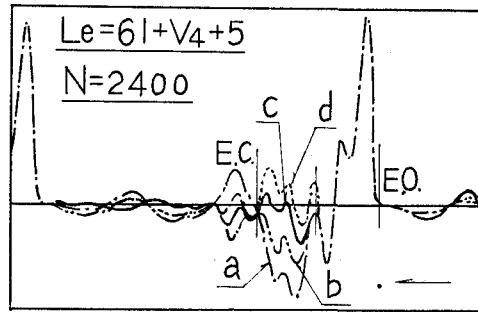


図-20 $(K-K_0)$ 曲線 (f/f_c 変化)

す影響を調べた実験結果を図-20に示す。図によると最大給気比 $(K-K_0)_M$ の値は開口端絞り面積 (f/f_c) に比例して急激に低下している。従って尾管開口端絞りは排気管効果の点から最も好ましくないと云えよう。かかる $(K-K_0)_M$ の低下は絞り面積 (f/f_c) の減少に伴って図-21に示されるように排気吹出し負圧波が順次減衰するためと考えられる。しかも絞り面積が $f/f_c=0.35$ ともなると負圧波がほとんど消滅するので、もはや排気管効果を期待できない(図-20, d)。



- a: $f/f_c=1$ c: $f/f_c=0.52$
- b: $f/f_c=0.73$ d: $f/f_c=0.35$

図-21 オシログラム (f/f_c 変化)

かかる開口端絞りにおける圧力波の反射条件に関しては、音響理論によるPischinger¹²⁾の研究や特性曲線法による解析が見受けられるが、上述せる面積比 $f/f_c=0.35$ は長尾教授¹³⁾の求めた理論的限界面積比 $f/f_c=0.385$ とかなりよく一致している。

2.2.3 拡張室内部の絞り

消音器の基本型として拡張室内部に絞りを挿入した場合の影響を調べた実験結果を図-22に示す。

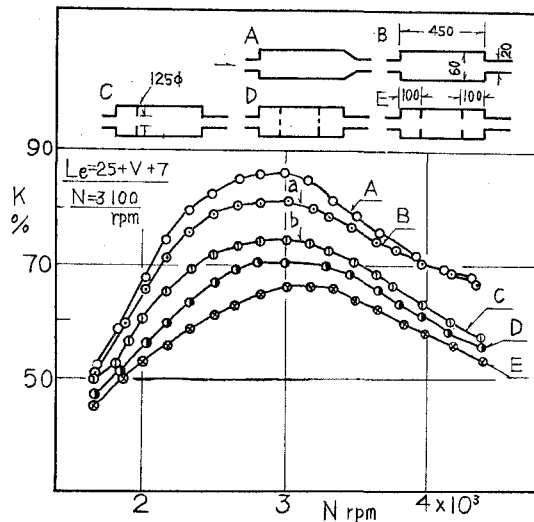


図-22 拡張室内部絞りと給気比

図において、最大給気比 $(K-K_0)_M$

を与える機関回転数は絞りによってほとんど変っていない。これは排気管端や尾管開口端に絞りを取付けた結果(たとえば図-20)と全く同じであり、排気吹出し効果の同調条件に関しては絞りの影響を考慮する必要がないことがわかる。なお極端に小さい絞りを付けた場合に、排気管系のガス温、すなわち音速(a_e)が増大するため最大給気比($K-K_0$)_Mの回転数は高速側にづれることもある。この事については別の機会に報告する。

次に、給気比(K)の値に注目すると、拡張室内部に絞り(孔あき板、 $d=12.5\text{ mm } \phi$)を挿入した場合には給気比(K)は約7%低下している(B, C曲線の比較)。さらに絞りを2個にすると、さらに給気比は8%低下する(C, E曲線の比較)。しかし同一絞り面積でも孔数を多くすると(5 mm ϕ , 9ヶ, D曲線)、給気比の低下は約3%にとどまる(C, D曲線の比較)。次に流動抵抗軽減の立場から尾管取付部の急激な断面変化をさけると約5%の給気比増加が認められる(A, B曲線の比較)。

2.2.4 実用消音器の比較

小型車輛用機関に実用されている15種類の消音器を機関E-125($V_h=125\text{ cc}$)に用い、各種の実験を試みた。その代表例を図-23に示す。図には定常流れの実験による圧力降下(背圧)の逆数($1/\Delta P$)、最大給気比 K ($N=2800\text{ rpm}$)および消音器付排気管を用いた場合の排気音圧(S)と排気管系を全部取除いた場合の排気音圧(S_0)との比(S/S_0)等を比較している。

なお流量(Q)一定のときの圧力降下の逆数($1/\Delta P$)は一定背圧のもとにおける流量(Q)を表わしているものと考えてもよい。いまこれら三者を比較するに、いずれの曲線も全く同じ傾向を示している。従ってかかる消音器による消音作用は主として絞り抵抗に基づく給気比(K)の低下、すなわち流出ガス量(Q)の減少に基因するものと考えても差支えないだろう。次に消音器(D)の排気管内圧力変動を図-24に示しているが、とくに排気孔直後(I)の管圧は掃排気期間全域にわたって正圧で覆われており、給気比低下の主因をなしていることがわかる。ここに示される管圧は管内を伝播する圧力波と排気流による背圧上昇との合成圧であるが、消音器接続部(II)からの反射負圧波は小さく、(II)点以降の流動抵抗に基づく背圧上昇(尾管接続部(III)点の圧力波形を参照)に主と

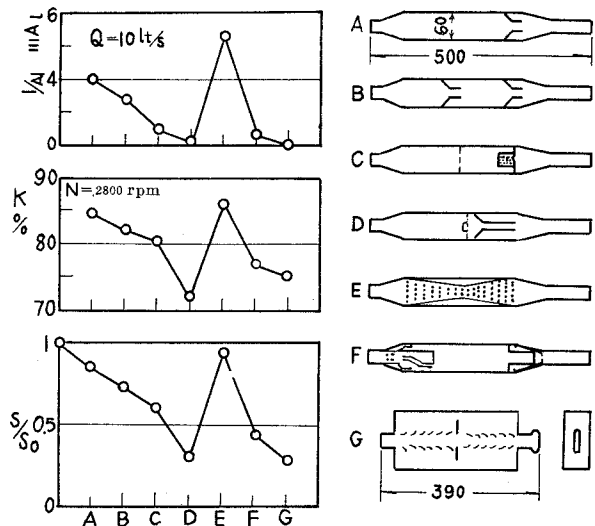


図-23 実用消音器の比較 ($l_e=50\text{ cm}$)
音圧測定: JIS Z 8731 に準ずる

して支配されていることがわかる。勿論、掃排気孔開口期間中の背圧上昇は時々刻々変化するものであるが、その影響の度をより明確にすべく、図-25の如く排気管端に大容量のタンク ($V/V_h \doteq 700$) を取付け、タンク排気孔コックの調整によってタンク内の圧力 (P_b) を変えた。その給気比曲線をみるに、給気比の低下 ($K_0 - K_e$) と背圧上昇 ($P_e - P_0$) cm Aq および回転数 N rpm との間には近似的に

$$(K_0 - K_e) = (P_e - P_0) (1/N \times 10^4)^\alpha \quad (7)$$

の関係がある。ここに、 $\alpha = 2.0 \sim 2.5$ (但し $l_e = 85 \sim 20$ cm), K_0 : 背圧 P_0 のときの給気比, K_e : 背圧 P_e のときの給気比を表わす。上式によると、高速長管になるほど、背圧上昇に基因する給気比の低下は小さくなるが、背圧上昇 ($P_e - P_0$) = 80 cm Aq 程度で約10%の給気比低下をきたしており、その影響は四サイクル機関の結果^{14), 15)}と比較して大きく、排気管系の設計上留意すべき事項であることがわかる。

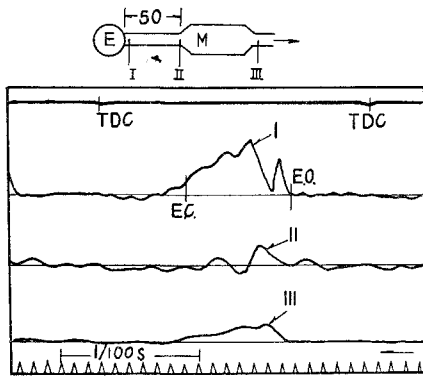


図-24 オシログラム

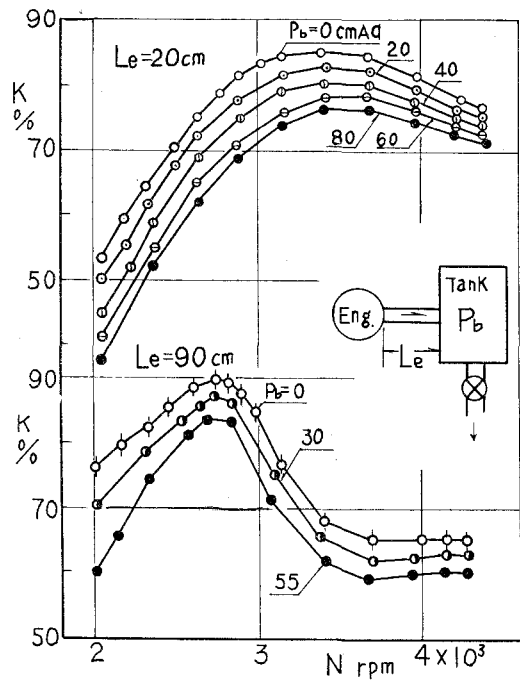


図-25 背圧と給気比

以上の解析から、小型消音器のように内部構造が複雑な場合には背圧上昇も大きく、尾管開口端からの反射負圧波の利用は一般に困難のようである。従って給気比改善の立場からは、拡張室入口から絞り取付位置までの容積を十分に大きくとり、拡張室入口部からの反射負圧波の利用に重点をおき、それ以降の管系については背圧上昇を防ぐように流動抵抗の軽減に留意すべきであると云えよう。

3. 結 言

消音器付排気管の基本型として拡張室付排気管について述べたが要約すると次の通りで

ある。

(1) 拡張室付排気管を用いる場合、一般に拡張室容積の増加につれ最大給気比 $(K/K_0)_M$ を与える回転数は低速に移行するが、尾管が極く短いときにはほとんど変化しない。また拡張室容積が一定であれば、その縦横比にはほとんど無関係である。

(2) 尾管の影響は大きく、尾管を長く、その面積 (f_i/f_e) を小さくすると $(K-K_0)_M$ の低下をきたすので給気比向上の観点からは望ましくない。また尾管開口端絞りによる給気比 $(K-K_0)_M$ の低下も著しい。かかる尾管形状の排気吹出し効果に及ぼす影響は著しく、とくに円錐型尾管を用いると有効である。

(3) 拡張室付排気管系の等価管長 (L_e^*) はインピーダンス理論から算出することができる。(4)式および(6)式 かくして求めた等価管長 (L_e^*) を用いた排気吹出し特性数 (Z_e) で、各因子を変えた実験結果を整理すると、最大の給気比 $(K/K_0)_M$ は Z_e の一定値でよく揃う。この値は直管型排気管によって求められた同調条件式の計算値 $(Z_{e,M})$ とよく近似する。従って、拡張室付排気管系寸度の排気吹出し効果に及ぼす影響は、すべて等価管長 (L_e^*) の算出式から知ることができるので、同調条件式の関係から拡張室付排気管の最適寸度の設計が可能と云える。

(4) 消音器によく利用される拡張室内部の絞りは給気比を著しく低下させ、その低下量と定常流実験による背圧上降(圧力降下)との間にはほぼ比例関係がある。なお小型消音器のように、とくに内部構造が複雑な場合には背圧上昇も大きく、尾管開口端からの反射負圧波の利用が一般に困難である。従って拡張室入口から絞り挿入位置までの容積を大きくとり、消音器入口部からの反射負圧波を充分に利用する方が賢明であろう。

終りにのぞみ、御指導御鞭撻を賜わった東京大学 浅沼強教授、北海道大学 黒岩保教授、実験遂行に当り熱心に協力された群馬大学工学部熱工学研究室 青柳富夫氏、同研究室卒業生 飯田一雄、野尻真夫、田所秀敏、新倉良治、神馬諸氏に深甚の謝意を表わす。さらに本学 千谷茂教授、林重信講師、福島和俊助手、早川友吉技官、三田村ナミ子事務官および機械工科学各位に御援助を戴だいた。ここに感謝します。

文 献

- 1) 金井： 機械学会論文集, 26, 168 (昭 35-8).
- 2) 福田： 機械学会論文集, 26, 168 (昭 35-8).
- 3) 戸田： 機械の研究, 9, 1, 7, 10 (昭).
- 4) Leino H. Billey: Diesel Power, 34, 8 (1956), 50.
- 5) H. Farmer: I-M.E. Proc. (1938), 367.
- 6) 沼田： 三菱日本重工技報, 2, 2 (1961), 15.
- 7) 沢： 室工大研報, 4, 3, .
- 8) 沢： 室工大研報, 4, 2, .
- 9) 沢： 機械学会北海道支部第9回講演会前刷 (昭 38-10).
- 10) J. C. Irons: Philo-Mag. & J. of Scie, 9 (1930), 346.

- 11) 志水：自動車技術会論文集, 15, 8 (1961), 407.
- 12) Pischinger: Frosch, Ing, Wes. 6 (1935), 245.
- 13) 長尾：機械学会論文集, 26, 171 (昭 35-11).
- 14) 三木：機械学会関西支部 35 期講演会前刷 (昭 35-3), 99.
- 15) L. G. Gronomski: M.T.Z., 22, 10 (1961-10).
- 16) W. Hültze: M.T.Z., 20, 8 (1959-8), 293.



クランク室圧縮2サイクル機関における 分岐型排気管系の影響について

沢 則 弘

On the Effects of the Exhaust System with Branch Pipe in a Crankcase-Compressed Two-Stroke Cycle Engine

Norihiro Sawa

Abstract

The delivery ratio in a small crankcase-compressed two-stroke cycle engine is largely affected by the pipe length: particularly the longer the pipe length, the lower the engine speed where the maximum delivery ratio is obtained. Therefore, for the variable speed engine, it is desired that the exhaust pipe length is changed in inversely proportion to the engine speed.

This paper treats of the theoretical or experimental analysis of the method which the same effects as the method above mentioned is obtained.

1. 緒 言

直管型排気管に比べて段付型や円錐型排気管が給気比向上に対し、かなり有効であることを指摘した¹⁾。しかし、かかる単一排気管では、その管長の選定によって特定の機関回転範囲に対し、給気比の大幅の改善を可能にする反面、付随的に給気比の著しい低下を招く回転範囲をさけることはできない。従って実用機関回転数の広い範囲にわたり常に最大の給気比を維持し、たとえば図-1における給気比曲線群の包絡線のような性能を得るためには、機関回転数に応じて排気管長を適宜変える必要がある。その方法の一つとして、サキソンホのような可変長型排気管の使用が考えられる。しかし、これは小型車輛用機関に対しては、その構造上実用性にとほしいようである。ここでは、図-2に示すような長短管からなる分岐型排気管を考え、しかも、その分岐点に取付けた蝶弁の開度を適当に調整することにより、給気比を広い回転範囲にわたって改善することができた。この場合、直管型の分岐管を使用したが、前報¹⁾の結論からして、分岐点後の直管として段付管や円錐管を用いるならば、より一層有効となるであろう。また実用機関において、その先に消音器を連結する場合にも長短の分岐管を、ともに拡張室内に挿入すればよく、実用性が十分あるものと考えられる。次に、かかる分岐管の極限とも考えられる穿孔型排気管についても、その穴の面積を変えることにより同様の成果を得ることができた。それらの結果につき若干の考察を加えたので報告する。

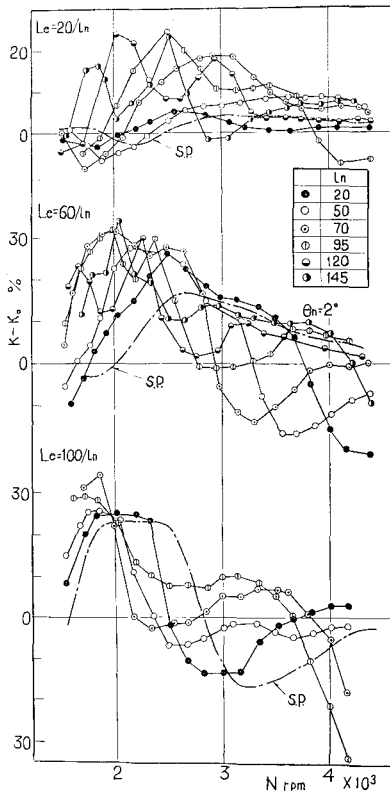


図-1 ($K-K_0$) 曲線

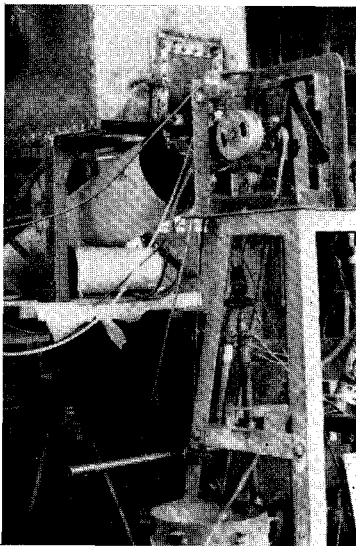


図-3 実験装置

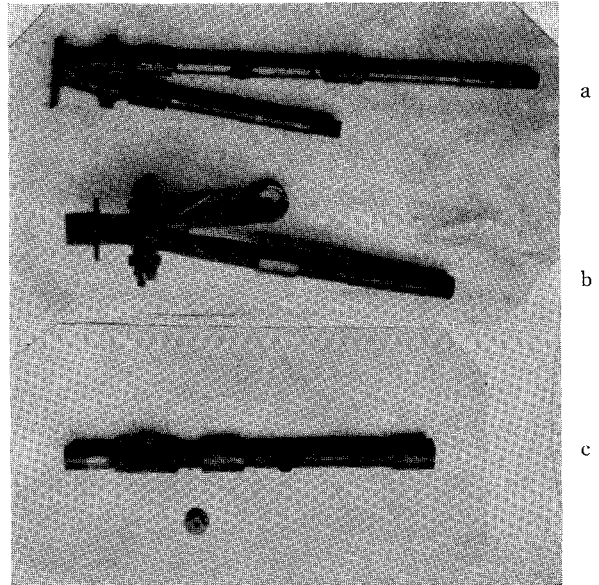


図-2 供試排気管

なお、供試機関および実験装置は前報¹⁾の場合とほぼ同じである。ただ排気管系を排気孔から真直に取付け得るようになるため、図-3に示すように、高さ約2mの檣の上に供試機関E-50を装置した。また供試機関E-50の掃排気孔開口期間が、さきに使用した機関のそれに比べて多少短かく、 $\theta_e/2=63^\circ$ 、 $\theta_s/2=51^\circ$ であった。また実験方法は前報の場合と全く同じである。

2. 実験結果および考察

2.1 分岐型排気管の効果について

まず、分岐型排気管自体の影響を調べる目的で、蝶弁なしの分岐管B-1(図-2のa、図-4参照)を用い、

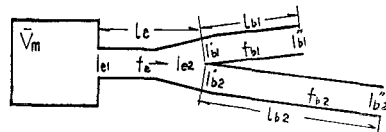


図-4 供試分岐管

記号	d_e	$d_{b1}=d_{b2}$	l_e, l_{b1}, l_{b2}	弁
B-1	2.0 cm	1.6	10~90 cm	なし
B-2	2.0	2.0	10~90	あり

排気直管 (l_e) および分岐管長さ ($l_{b1}, l_{b2}; l_{b1} \leq l_{b2}$) を広い範囲に変えた実験を行ない、次に分岐管 B-2 について蝶弁の開度および、その位置の影響を調べた。

その結果について次に述べる。

2.1.1 蝶弁のない場合

分岐管 B-1 を用い、排気直管 (l_e) と分岐管の長さ (l_{b1}, l_{b2}) の和、 $l_e + l_{b1}$ および $l_e + l_{b2}$ を一定とし、分岐点位置 (l_c) を変えた場合の給気比 ($K - K_0$) を図-5 に示す。図において、分岐管長が $l_{b1} = l_{b2}$ の場合には分岐位置 (l_c の長さ) の如何にかかわらず ($K - K_0$) 曲線はほとんど変わらない。しかし $l_{b2} > l_{b1}$ の場合 ($l_{b2} - l_{b1} = 40 \text{ cm}$) には、排気直管 (l_e) が短いほどすなわち分岐位置が機関側に近づくほど、最大給気比 ($K - K_0)_M$ を与える回転数は低速側に移行しており、排気吹出し圧力波の周期は図-6 に示されるように順次長くなっており、いわゆる等価管長 (L^*) が増大することがわかる。

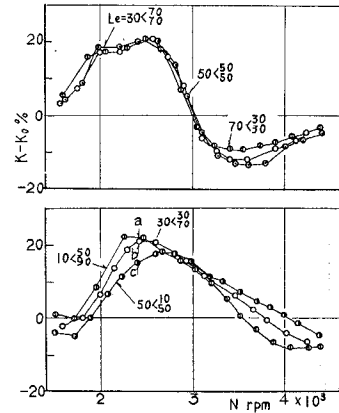


図-5 ($K - K_0$) 曲線
 $l_e + l_{b1}, l_e + l_{b2} = \text{const.}$

また分岐前の管長 (l_e) を一定とし、分岐管長 (l_{b1}, l_{b2}) を変えても図-7 の如く ($K - K_0$) 曲線は移動している。このように ($K - K_0$) 曲線は分岐管寸度 (l_e, l_{b1}, l_{b2} 等) に左右されるが、図中 a~f に対応する図-8 のオシログラムによると、排気吹出し圧力波の波形自体は直管型排気管の場合とほとんど差はなく、ただ l_e, l_{b1} および l_{b2} に比例して圧力波の周期が幾分長くなるに過ぎないようである (図の a, b, c を比較)。

従って、最大給気比 ($K - K_0)_M$ の生成条件、すなわち圧力波と有効掃排気期間 (θ_{es}^*) との同調に関しては直管型排気管から求めた条件式^{1),2)} をそのまま適用することができ、分岐管寸度の影響はすべて等価管長 (L^*) について検討すればよいものと考えられる。ただ音速 (a_e) を

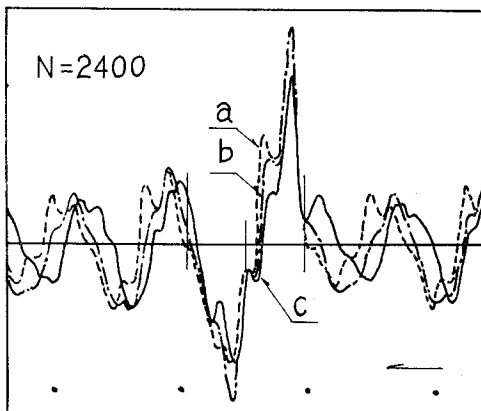


図-6 オシログラム (図-5 に対応)

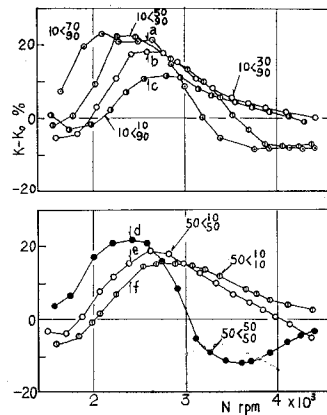


図-7 ($K - K_0$) 曲線 $l_e = \text{const.}$

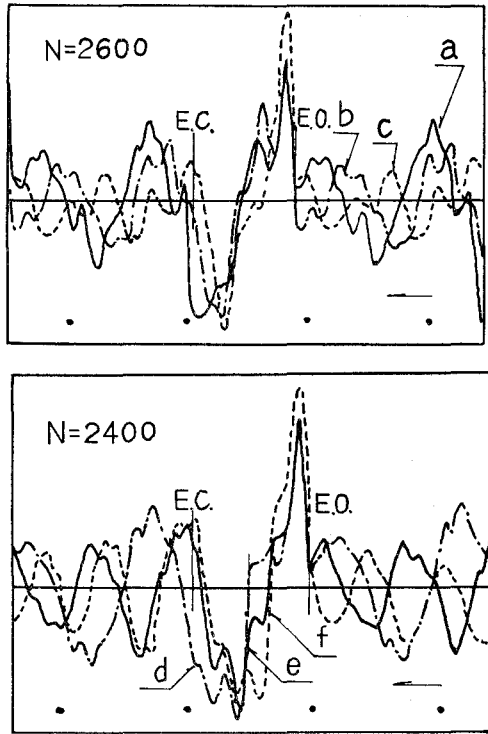


図-8 オシログラム (図-7に対応)

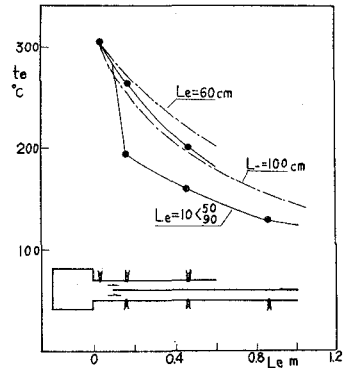


図-9 分岐管内排気ガスの温度分布

規定する排気ガス温度は概して直管型排気管よりも低くなる。これは 図-9 に示した実測せる温度分布線図からわかるように分岐点から排気流が二分されるためであり、分岐点が機関側に近いほど、当然のことながらその低下は著しくなる。

2.1.2 分岐型排気管の等価管長

前項において最大給気比 $(K-K_0)_M$ の生

成に対する分岐管寸度の影響は、すべて等価管長 (L_e^*) について検討すればよいと推論した。かかる推論を確認するため、図-4 の如き分岐型排気管系にインピーダンス理論を適用すると、直管型排気管の場合と同一手法により、等価管長の算出式は次の如く誘導される。すなわち、図-4 において、インピーダンス I_{e2} は前報¹⁾ の場合と同じく

$$I_{e2} = (\beta/f_e) \cdot \{ \bar{V}_m / (f_e L_e^*) \cdot \tan(l_e / L_e^*) - 1 \} / \{ \tan(l_e / L_e^*) + \bar{V}_m / (f_e L_e^*) \} \quad (1)$$

で与えられる。他方、開口端のインピーダンス $I_{b1} \doteq I_{b2} \doteq 0$ の条件から

$$\left. \begin{aligned} I_{b1} &= -(\beta/f_{b1}) \cdot \tan(l_{b1} / L_e^*) \\ I_{b2} &= -(\beta/f_{b2}) \cdot \tan(l_{b2} / L_e^*) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

分岐点における体積流の連続条件から

$$(1/I_{e2}) = (1/I_{b1}) + (1/I_{b2}) \quad (3)$$

(1)~(3) の連立方程式を解くと、分岐型排気管の等価管長 (L_e^*) を算出する式は次の如く与えられる。

$$\begin{aligned} & (f_{b1}/f_e) \cdot \cot(l_{b1}/L_e^*) + (f_{b2}/f_e) \cdot \cot(l_{b2}/L_e^*) \\ & = \{ \tan(l_e/L_e^*) + \bar{V}_m / (f_e L_e^*) \} / \{ 1 - (\bar{V}_m / f_e L_e^*) \cdot \tan(l_e/L_e^*) \} \end{aligned} \quad (4)$$

ここに l_{b1}, l_{b2} : 分岐管長, l_e : 排気直管の長さ, f_{b1}, f_{b2} : 分岐管断面積, \bar{V}_m : クランク室とシリンダから構成される容積部の平均体積である。いま供試分岐管 B-1 ($f_{b1}/f_e = f_{b2}/f_e = 0.562$) について, (4) 式を図式計算すると 図-10 の結果が得られる。図において, 分岐管寸度 l_{b1}, l_{b2} および排気直管 (l_e) によって等価管長 (L_e^*) が変化する様相は, 前項の実験結果から得られる推察とよく符合している。

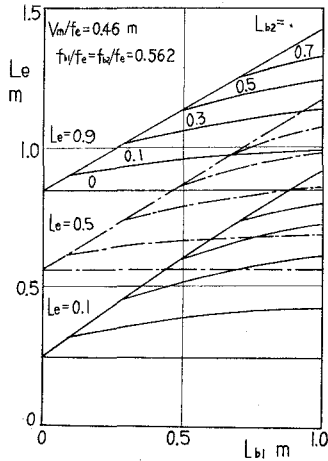


図-10 分岐型排気管 (B-1) の等価管長

この等価管長 (L_e^*) を用い, 排気吹出し特性数 (Z_e) で 図-5 および 図-7 の実験結果を整理すると, 図-11 に示すように最大給気比 $(K/K_0)_M$ は条件式³⁾ の計算値 $Z_{eM} = 0.397$ (但し $\theta_{cs}^* = 107^\circ$) 附近でよく揃っている。よって前項の推論が充分妥当であり, 分岐管寸度の影響は等価管長 (L_e^*) について考慮すればよいことがわかる。

2.1.3 蝶弁式分岐管

蝶弁付分岐型排気管 B-2 を用いて, 蝶弁の開度および位置を変えた場合の実験結果について次に述べる。

(i) 弁開度の効果 分岐管寸度を一定とし, 蝶弁の開度のみを変えた実験結果の代表例を 図-12 および 図-13 に示す。なお図の給気比 $(K-K_0)$ 曲線上に記入せる数

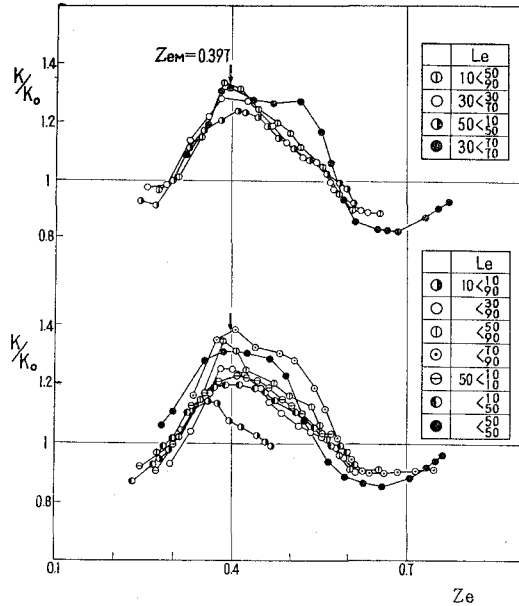


図-11 $K/K_0 \sim Z_e$ 線図 (分岐管 B-1)

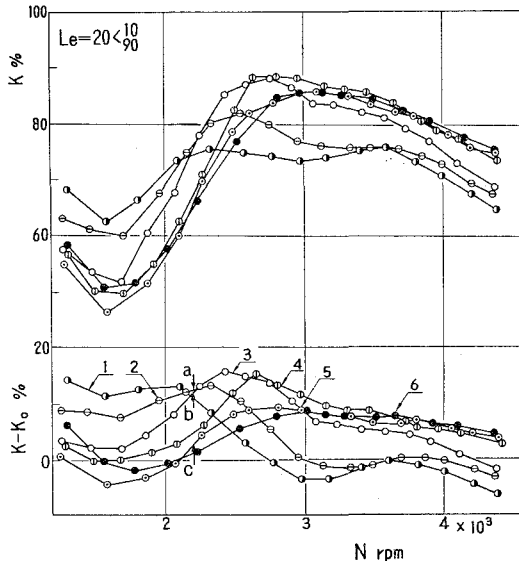


図-12 $(K-K_0)$ と蝶弁開度 (分岐管 B-2)

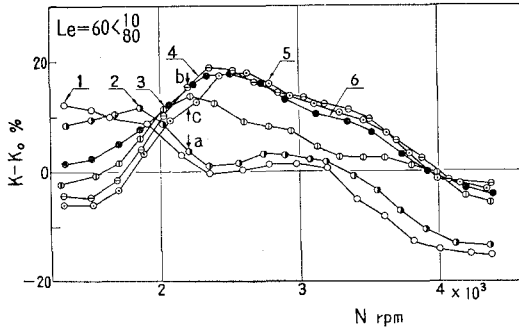


図-13 (K-K₀) と蝶弁開度 (B-2)

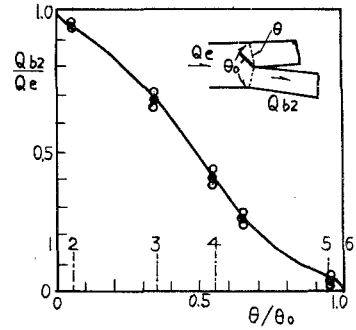


図-14 蝶弁開度と流量比

字 1~6 は蝶弁開度を表わし、1 は短管 (l_{b1}) 側を、6 は長管 (l_{b2}) 側を完全に閉じた場合であり、蝶弁位置と定常流実験から求めた流量比 (Q_{bz}/Q_e) との関係は 図-14 の通りである。

図-12, 13 の給気比曲線 (K または $K-K_0$) は、蝶弁開度が短管 (l_{b1}) 側から増加 (1→6) するにつれて順次高速側に移行している。従って、各機関回転数につき最適の蝶弁開度を選定するならば、図の給気比曲線群の包絡線からわかるように、一つの分歧管で広い回転範囲にわたる給気比の向上が可能であり、変速機関に対する排気管系として理想的といえよう。かかる蝶弁開度の調整は気化器の絞弁との連動も容易であり、さらに排気制動弁との併用を考慮した設計をするならば、その実用価値は倍増するであろう。かかる蝶弁開度による ($K-K_0$) 曲線の移動は 図-15 に示すように排気吹出し圧力波の周期が蝶弁開度 (1→6) に比例して短くなるためであり (図中 a, b, c は 図-12, 13 の a, b, c……に対応) その周期を規定する等価管長 (L_e^*) が変わることがわかる。かかる蝶弁式分歧管の等価管長

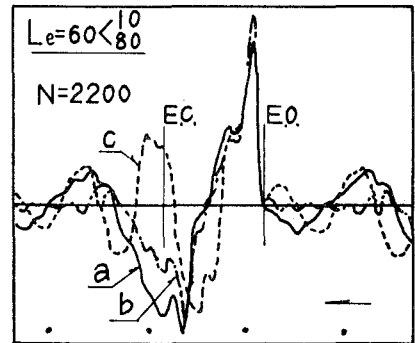
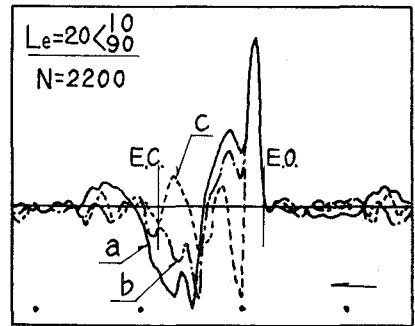


図-15 オシログラム

(L_e^*) を誘導するためには、蝶弁位置における境界条件と蝶弁開度との関係を導入する必要があるが、その推定は仲々困難である。しかし、片側が完全に閉じている場合 (弁位置 1 または 6) は直管型排気管に相当し、弁が中央にある場合は、蝶弁なしの分歧管に相当し、それぞれの等価管長算出式から等価管長 (L_e^*) を算出できる。この 3 点から任意弁開度における等価管長の概略を推定することは可能であるが、ここでは取敢えず、次の如き定性的検討を試みた。

すなわち 図-16 に示す蝶弁部において、弁開度 (l_{b1} , f_{b1}) を考慮し、弁が短管側 (l_{b1} , f_{b1}) に位置している場合について考えると (この場合 $I_{b2} = I'_{b2}$),

絞りにおけるインピーダンスは、その長さ (l_{b1}) が極く短かいので

$$I = -\beta \cdot l_{b1} / (f_{b1} \cdot L_e^*) \quad (5)$$

で与えられる。従って I_{b1} , I'_{b1} との間には

$$I_{b1} = I'_{b1} - \beta \cdot l_{b1} / (f_{b1} \cdot L_e^*) \quad (6)$$

の関係がある。よって分岐点における連続条件および

$$I_{b1}' = (\beta / f_{b1}) \cdot \tan(l_{b1} / L_e^*), \quad I_{b2}' = (\beta / f_{b2}) \cdot \tan(l_{b2} / L_e^*) \quad (7)$$

の関係を用いると、蝶弁式分岐管の等価管長 (L_e^*) は

$$\begin{aligned} & (f_{b1} / f_e) / \{ \tan(l_{b1} / L_e^*) + l_{b1} \cdot (f_{b1} / f_{b1}) / L_e^* \} + (f_{b2} / f_e) \cot(l_{b2} / L_e^*) \\ & = \tan(l_e / L_e^*) + \bar{V}_m / (f_e L_e^*) / \{ 1 - \bar{V}_m / (f_e L_e^*) \cdot \tan(l_e / L_e^*) \} \end{aligned} \quad (8)$$

で与えられる。

なお蝶弁が長管側 (l_{b2} , f_{b2}) に位置する場合には上式の左辺第2項に絞りの項を加えればよい。いま (8) 式から L_e^* を求めるに当り、絞り部長さ (l_{b1}) の見積りが必要である。この長さ l_{b1} は、弁開口面積 (f_{b1}) に応じて変化すべきものであり、 $f_{b1} = 0$ のとき、または $f_{b1} = f_{b1}$ の場合には $l_{b1} = 0$ と考えられる。いま開口端補正に相当する弁開度補正とでも云うべきものを考慮し、仮に $l_{b1} = \{1 - (f_{b1} / f_{b1})\} \cdot d_{b1}$ とおき、等価管長 (L_e^*) を算出すると 図-17 の通りである。

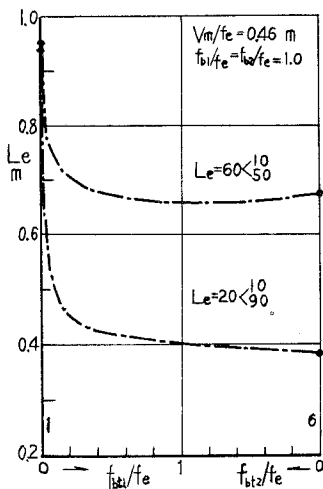


図-17 蝶弁開度と等価管長

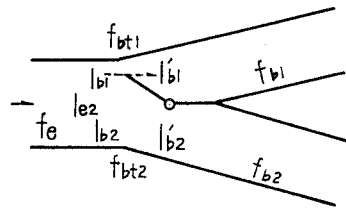


図-16 分岐管の蝶弁部

図において、蝶弁が短管側から開き始めると (1→6), 等価管長 (L_e^*) は急激に短くなり、蝶弁が半開 (中央) を過ぎると $L_e = 20 < 10/90$ では、さらに僅かながら短くなり、 $L_e = 60 < 10/50$ ではむしろ僅かではあるが増加している。これは 図-12 の給気比 ($K - K_0$) 曲線が弁開度 (1→6) に対し、連続的に高速側に移行している事実、また 図-18 (c) の ($K - K_0$) 曲線が弁位置 (4→6) において、むしろ低速側に移動している事実とよく符合している。よって (8) 式から排気吹出し効果に対する弁開度の影響を推定することができるので蝶弁式分岐管寸度の最適設計が可能であると思われる。勿論、弁部長さ (l_{b1}) をより適切に見積るならば、定量的精度が向上するであろう。

(ii) 蝶弁の取付位置の影響

分岐管寸度を一定 ($l_e + l_{b1} = 70 \text{ cm}$, $l_e + l_{b2} = 100 \text{ cm}$) と

し、単に蝶弁位置 (l_e) のみを変えた場合の ($K-K_0$) 曲線を 図-18 に示したが、図において ($K-K_0$)_M の値および ($K-K_0$) > 0 である機関回転数の範囲は蝶弁位置によってほとんど影響されないことがわかる。しかし、($K-K_0$) > 0 となる回転範囲の上限 (高速側) および下限 (低速側) は片側を完全に閉じたときの管長、すなわち $l_e + l_{b1}$ および $l_e + l_{b2}$ によって規定されるため、両者の差 $(l_e + l_{b2}) - (l_e + l_{b1})$ が大きいほど ($K-K_0$) > 0 となる回転範囲は広い。その反面、 l_{b1} が余りにも短かると、たとえば 図-12, $L_e = 20 < \frac{10}{90}$ のように ($K-K_0$) の値は低く (図-18, $L_e = 20 < \frac{50}{90}$ との比較), また 図-13, $L_e = 60 < \frac{10}{80}$ や 図-18 (c), $L_e = 60 < \frac{10}{50}$ のように最大給気比 ($K-K_0$)_M を与える回転数と弁開度との関係が不連続になる場合もある。従って蝶弁式分岐型排気管の設計としては、使用機関の回転範囲に応じて ($l_e + l_{b1}$)

および ($l_e + l_{b2}$) を選定し、蝶弁位置はできるだけ機関側 (l_e を小さく) に設置するのが望ましいようである。なお図中 a, b …… に対応するオシログラムを 図-19 に示しているが、図-15 と

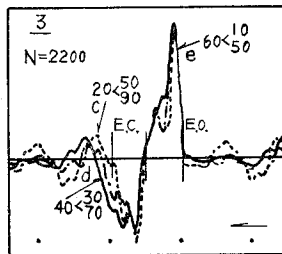
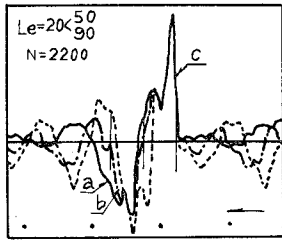


図-19 オシログラム

同様に排気吹出し圧力の波に対する蝶弁開度の影響を明らかにしている。

以上、蝶弁付分岐管を利用し、広い回転範囲にわたって給気比を増加させる方に法ついて述べてきたが、かかる分岐型排気管 (直管型) の蝶弁開度を変えた給気比曲線群の包絡線と、直管型排気管の管長を変えた場合の包絡線 (S.P.) とを 図-20 に比較しているが、図から蝶弁開度の調整によって良好

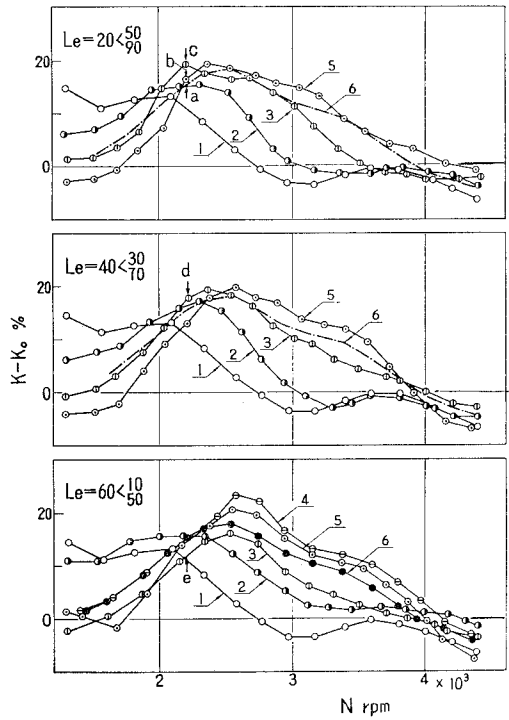


図-18 蝶弁位置の影響

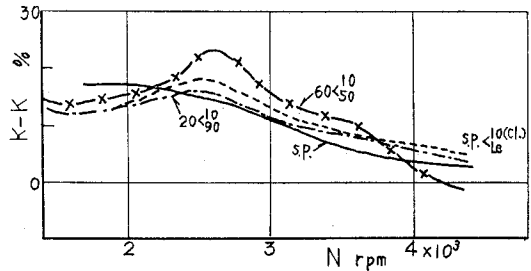


図-20 蝶弁式分岐管の効果

な $(K-K_0)$ 曲線が得られることがわかる。従って、変速機関に対する排気管系として極めて有用であると云えるだろう。なお分岐管 l_{b1} , l_{b2} を直管とせず、円錐管を用いるならば、一層有効となるであろう。

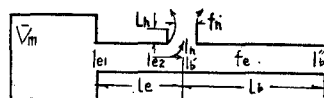


図-21 穿孔型排気管

2.2 穿孔型排気管の効果について

分岐型排気管の極限、すなわち分岐短管 (l_{b1}) が零に近似できるものとして 図-2 (c), 図-21 の如き穿孔型排気管なるものが考えられる。いま、かかる排気管に設けた穴の断面積や、その位置を変えると分岐管で蝶弁開度や、その位置を変えた場合と同様の効果が期待できるのではないかと思われる。かかる推定のもとに各種の実験を行なった。その結果につき次に考察を試みる。

(1) 穴面積の影響 実験結果の代表例を、図-22, 図-23 および 図-24 に示す。図において、最大給気比 (K_M) を与える回転数 (N_M) はいずれも穴の断面積 (f_n/f_e) に比例して順次高速側に移行している。しかし排気管長 $L_e = 10/60$ の如く、穴までの管長 ($l_e = 10$ cm) が極端に短かいと、最大給気比 (K_M) と最大の給気比差 $(K-K_0)_M$ との回転数は一致せず、 $(K-K_0)_M$ の値も著しく低下している。これに対し、 $L_e = 50/20$ および $L_e = 50/70$ のように穴までの管長が比較

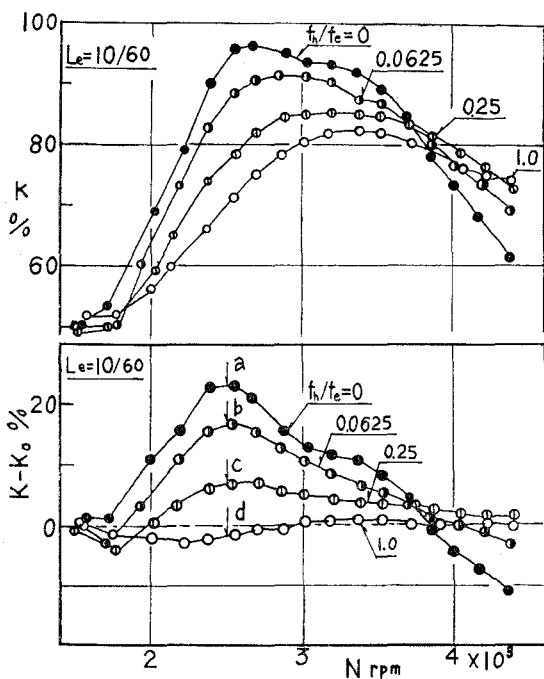


図-22 $(K-K_0)$ 曲線 ($L_e = 10/60$)

記号 $L_e = \alpha/\beta$ にて α は穴前, β は穴後の管長を表示する

的長い場合 ($l_e = 50$ cm) には K_M と $(K-K_0)_M$ を与える回転数はほぼ一致し、 K_M は、その回転における最良の給気比と見做すことができる。かかる場合には、 $(K-K_0)_M$ を与える回転数 (N_M) と穴面積比 (f_n/f_e) との関係が規定されるならば、給気比曲線の包絡線からわかるように広い回転数範囲にわたる給気比の向上が、単に穴面積 (f_n/f_e) の調整によって可能であることがわかる。かくして初期の推定通りに分岐型排気管と同様の効果を得ることができた。このように面積比 (f_n/f_e) に比例して $(K-K_0)_M$ を与える回転数が高速側に移動するのは、排気管系の等価管長 (L_e^*), すなわち排気吹出し圧力波の周期が短くなるためである (図-25 参照)。次に $(K-K_0)_M$ の生成につき 図-25 のオシログラムと 図-26 に

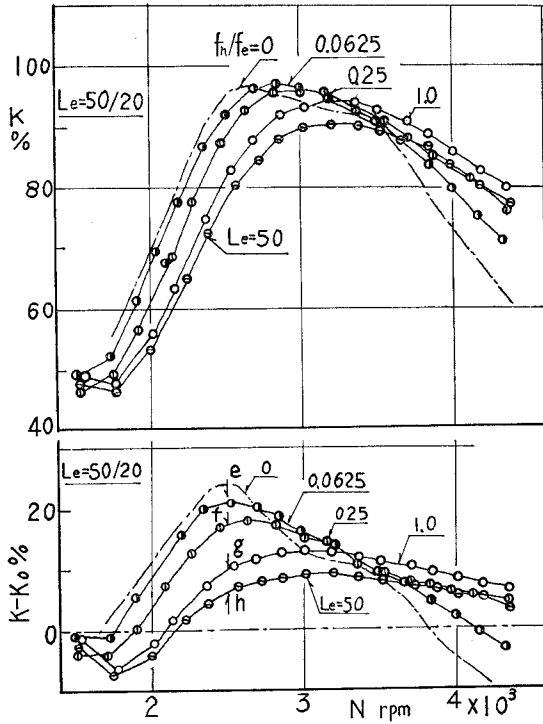


図-23 ($K-K_0$) 曲線 ($L_e=50/20$)

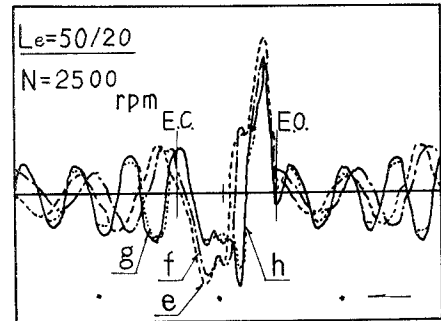
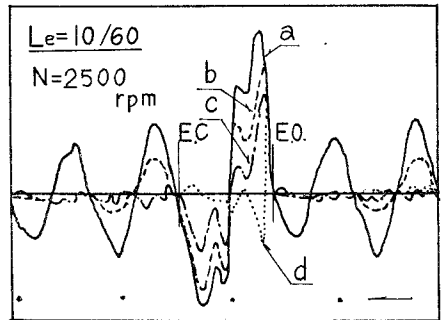


図-25 オシログラム

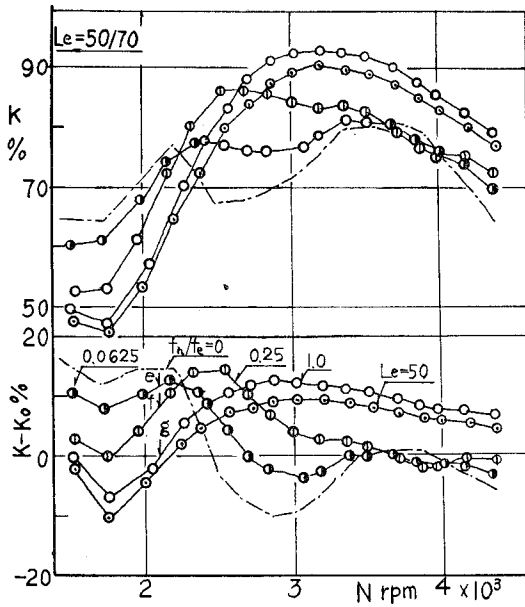


図-24 ($K-K_0$) 曲線 ($L_e=50/70$)

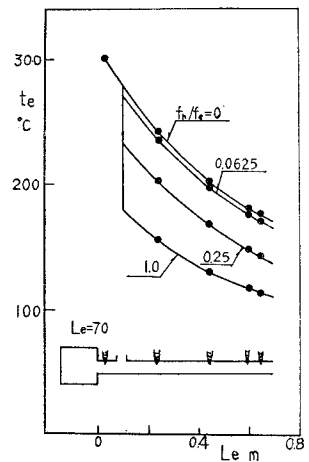


図-26 穿孔型排気管内温度分布

示した排気管内ガス温の分布線図とを対比しつつ考察する。たとえば、排気管長 $L_e=10/60$ の場合、穴面積比 (f_h/f_e) の増加につれて排気吹出し圧力波の振幅は著しく減衰するが、その周期はほとんど変わっていない ($L_e^*/a_e \doteq \text{const}$)。それ故 ($K-K_0$)_M を与える回転数 (N_M) はほぼ一定である (図-22)。しかし (f_h/f_e) の増加による排気ガス温度の低下 (a_e の低下) を考え合わせるとき (図-26)、等価管長 (L_e^*) は短くなるものと考えられる。これに対し、穴が排気孔から遠い $L_e=50/20$ の場合には、図-25 の如く排気吹出し圧力波の周期は穴面積 (f_h/f_e) が大きくなるにつれて明らかに短縮している。この場合、排気ガス温度の低下は比較的小さいので、(f_h/f_e) の増加に基づく等価管長の短縮が主役をなしているものと考えられる。以上述べたことは排気管が極めて長い場合にも云る (図-27, 図-28 参照)。

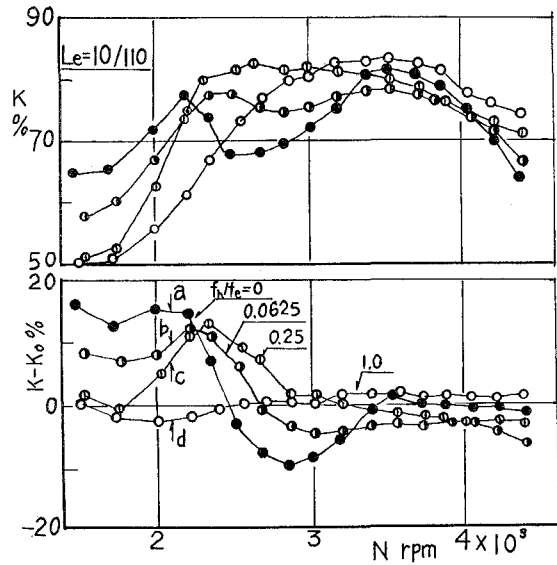


図-27 ($K-K_0$) 曲線 ($L_e=10/10$)

次に、穿孔型排気管 (図-21) の等価管長 (L_e^*) は、分岐型排気管に対する算出式 (4) において短管 (l_{b1}) が極めて短いことから、 $l_{b1} \cong l_h$, $f_{b1} \cong f_h$, $f_{b2} \cong f_e$ と近似すると

$$\begin{aligned} & \cot(l_b/L_e^*) \{1 + (f_h/f_e) \cdot \tan(l_b/L_e^*) / (l_h/L_e^*)\} \\ & = \{ \tan(l_e/L_e^*) + \bar{V}_m / (f_e L_e^*) \} / \{ 1 - \bar{V}_m \cdot \tan(l_e/L_e^*) / (f_e L_e^*) \} \end{aligned} \quad (9)$$

ここに l_h : 穴部の長さ, f_h : 縮流を考慮せる有効穴面積であり、自由に変えることができる因子である。いま管端補正を考え、 $l_h=0.03$ m, 縮流係数を考えて、 $f_h \doteq 0.5 f'_h$ (f'_h : 穴面積) とおき、上式の図式解を試みた結果を図-29 に示す。

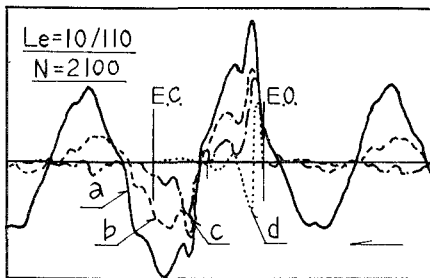


図-28 オシログラム

図において、等価管長 (L_e^*) は穴面積比 (f_h/f_e) の増加に伴って急激に短くなり、しかも同一穴面積比 (f_h/f_e) でも、その位置が機関側に近づくほど (l_e が小さい) 短縮しており、上述せる実験結果と定性的な一致をみる。そこで図-22, 23, 24 および 27 の実験結果を排気吹出し特性数 (Z_e) で整理してみると図-30 に示すように最大の給気比 (K/K_0)_M は一定の Z_e でよく揃い、しかもこの値は前報で提唱せる最適条件式の計算値 $Z_{eM} \doteq 0.397$ (図に記入) とかなりよく近似している。従って、最適条件

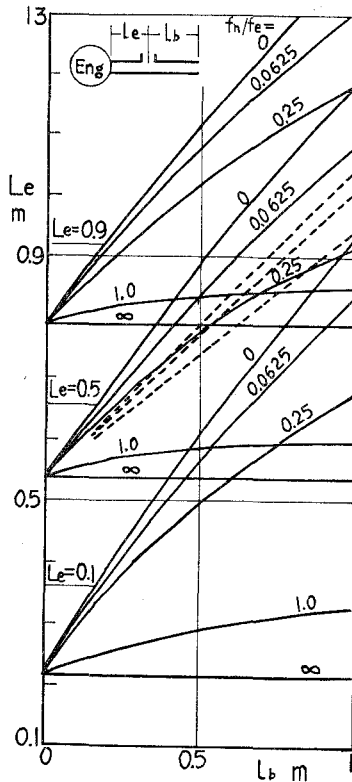


図-29 穿孔型排気管の等価管長

式および等価管長の算出式 (9) から穿孔型排気管系の最適寸度の設計および各因子間の相関関係を容易に推定できることがわかる。

(2) 穴の位置の影響

穴面積を一定とし、穴の位置のみを変えた場合の実験結果を図-31に示す。この場合、穴位置が機関側に近づくにつれて、等価管長 (L_e^*) は短くなるが (図-29参照)、排気管内平均ガス温度も低下するので (図-26参照)、図-31の如く、穴面積比 (f_n/f_e) が或る程度の大きさでないと、穴位置を変えることによって広い回転範囲の給気比向上を期待することは困難のようである (図の $f_n/f_e=0.25$ の場合)。

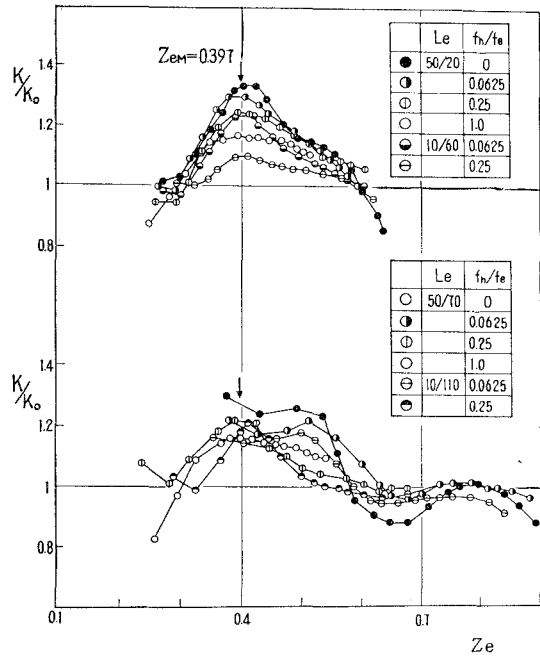


図-30 $K/K_0 \sim Z_e$ 線図 (穿孔管)

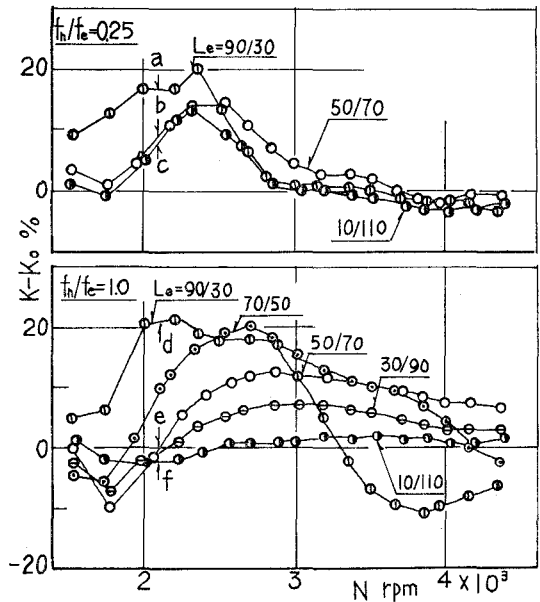


図-31 ($K - K_0$) 曲線 (穴位置変化)

このことは、図-32 に示した排気吹出し圧力波の周期に注目するとき、 f_h/f_e が小さい場合には、穴位置による周期の変化は比較的小さいことから容易に推察される。

次に、図-23 および 図-24 の $(K-K_0)$ 曲線を詳細にみるに、穴面積比 $f_h/f_e=1$ の $(K-K_0)$ 曲線と、穴までの長さをもつ直管型排気管 ($L_e=50$) の曲線とを比較すると、前者が全回転範囲にわたって約2~4%高い値を示している。この理由は、オシログラムから判定できなかったが、実用上興味ある現象であり、消音器内に挿入する排気管の形状として応用できるものと考えられる。

以上、穿孔型排気管の効果について述べ、広回転範囲の給気比向上を計るのに二つの方法を挙げた。まず第一は、穴の位置を固定し、穴の面積を変える方法である。いま、これを直管型排気管の管長を変えた給気比曲線群の包絡線 (S.P.) と比較したのが図-33 であるが、この方法は極めて効果的であることがわかる。しかも、穴開度の調節は構造的にも比較的容易であり、充分実用に耐える方策と思われる。

第二の方法は、穴面積を一定として、穴の位置を変えることである。この場合、構造上から穴面積の大きさは限定され、また穴の位置を自由に変えることも実際問題として、かなり困難であり、この方法は第一の方法に比べて余り有用とは云えないだろう。

3. 結 言

分岐型排気管および穿孔型排気管を用いた場合の実験結果について考察を加えたが、これを要約すると次の通りである。

(1) 変速機関に必要な広い回転範囲にわたっての給気比向上に注目し、機関回転数に応じて排気管長を適宜変える煩雑な方法とは別に、実用的な蝶弁式分岐型排気管を用い、その蝶弁

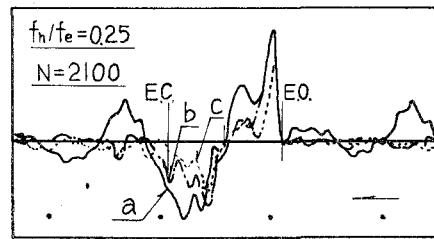
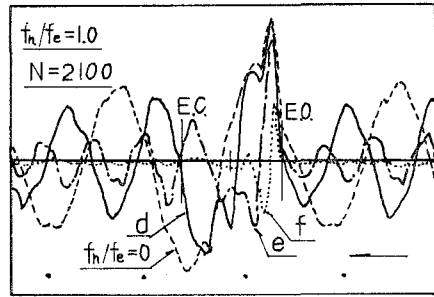


図-32 オシログラム

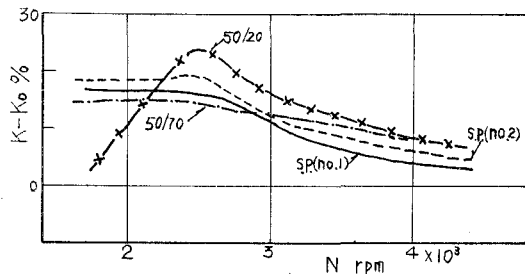


図-33 穿孔型排気管の効果

の開度調整によって可変長型直管よりも一層有効な成果を得た。

(2) 分岐型排気管の極限と考えられる穿孔型排気管を用い、その断面積を変えることにより、蝶弁式分岐管と同様に回転数の広範囲にわたる給気比の改善に成功した。この場合、穴の位置が機関側に近過ぎると穴面積の増加に伴う管内ガス温度の低下のため、その効果は相殺される。

(3) 分岐型および穿孔型排気管系の等価管長 (L_e^*) は、いずれもインピーダンス理論から算出することができる ((4)式, (8)式, (9)式)。かくして求めた等価管長 (L_e^*) を用いた排気吹出し特性数 (Z_e) で、それぞれの実験結果を整理すると最大給気比 (K/K_0) は一定の Z_e でよく揃う。この値は、直管型排気管による最適条件式の計算値とよく近似する。従って、この最適条件式および各排気管系の等価管長算出式から排気吹出し効果に及ぼす排気管寸度の影響を知ることができる。すなわち、上式は設計基準式として有用である。

終りにのぞみ、御指導、御鞭撻を賜わった東京大学浅沼強教授、北海道大学黒岩保教授、実験遂行にあたり熱心に協力された群馬大学工学部青柳富夫氏、同学卒業生飯田一雄、野尻貞夫、田所秀敏、新倉良治、神馬氏、日頃、御援助戴だしている本学千谷茂教授、林重信講師、福島和俊助手、早川友吉技官、三田村ナミ子事務官および関係各位に深甚の謝意を表します。

文 献

- 1) 沢：室工大研報，4，3.
- 2) 沢：機械学会北海道支部第9回講演会前刷集（昭38-10）.

クランク室圧縮2サイクルシリンダ機関における給気管効果について

沢 則 弘

On the Intake Pipe Effects in a Two-Cylinder Engine

Norihiro Sawa

Abstract

The paper treats of the theoretical or experimental analysis of the optimum condition of the dynamic effect; namely, inertia effect and pulsation effect, in the intake pipe system of the crankcase-compressed two-stroke cycle gasoline engine with the two cylinder.

1. 緒 言

クランク室圧縮型2サイクル機関の吸込み空気量が給気管系により、著しい影響を受けることは、すでに知られており^{1)~3)}、筆者も給気管寸度や機関諸元など個々の因子を総括した見透しのよい設計基準の確立を主目的とした一連の実験を試みた。その結果、給気管による動的効果には給気孔開口期間における管内気柱の慣性に基づくいわゆる慣性効果と、給気孔閉止後の管内に残存する気柱の圧縮性に基因する脈動波が次のサイクルの給気過程に及ぼす影響、すなわち脈動効果とが存在し、両効果は本質的に区別されるべきであり、しかも最大給気比の生成は主として前者に基因することを明らかにした^{4),5)}。さらに慣性効果に注目した減衰振動方程式から最大給気比を与える条件として次の関係式を誘導した⁶⁾。

$$1/Z_{iM}^2 = \mu^2 + (180/\theta_i^*)^2 \quad (1)$$

ここに、 Z_{iM} : 最大給気比を与えるときの慣性特性数 $Z_i \left(\equiv \frac{\omega}{a_i} \sqrt{V_{km} \cdot L_i / f_i} \right)$, μ : 気柱当りの流動抵抗係数, θ_i^* : 有効な給気孔開口角 ($\equiv \theta_i - \Delta\theta_i$, $\Delta\theta_i$: 無効角⁷⁾) である。また給気管長 (L_i), クランク室容積 (V_{km}), 機関角速度 (ω), 給気孔まわりの断面積 (f_i) を変えたときの給気比 (K) が慣性特性数 (Z_i) でよく纏められるばかりでなく, θ_i^* および μ を変えた場合にも上式の関係が成立することを実験的にも立証した⁸⁾。かくて、これら各因子の最適値の設定が可能なばかりでなく、各因子相互の関連に対し総括的な見透しを与えることができるようになった。

他方、脈動効果による給気比曲線の起伏を規定する特性数として

$$q_i = 15 a_{i1} / (NL_i) \quad (2)$$

が有用であることを指摘すると共に、脈動次数 (q_i) に含まれていない機関因子等 (θ_i^* , V_{km}) の影響についても言及し、厳密には慣性効果との組合せについて論ずる必要があることを明らかにした。

このように単気筒機関の給気管効果に関する解明を進めてきたが、機関の大型化や高速化の観点から2気筒機関の採用も活発であり、この種機関に使用される集合型給気管の動的効果の解明も重要な課題である。かかる管系の動的現象を理論的に解析したものとしては逐次数値解法による数例が見受けられるに過ぎず、たとえば A. Pischinger⁹⁾ は、その精密な方法を、G. Reyl¹⁰⁾ はその近似解法を提案し、4シリンダ直列機関(4サイクル)のマニホールドについての計算例を示しているが、これらから設計に役立つような一般の結論を得ることはできないようである。とくにクランク室圧縮型2サイクル機関に対する報告は見当らず、不明の点が多い。

そこで2気筒機関における給気管効果の最適条件を求める目的で、給気管長および機関回転数を広範囲に変えた実験結果について若干の解析を試み、単気筒機関から得られた条件式、(1)、(2)の修正を行なった。

2. 実験装置および実験方法

供試機関は軽四輪車“三菱360”搭載のクランク室圧縮型2サイクル2気筒機関であり、その主要諸元は次の通りである。

シリンダ径×行程	62φ×59.6 mm	シリンダ数	2
総排気量	1.39 cc	圧縮比	8.2
クランク室圧縮比	1.39	給気	63°58' (T.D.C.)
最大出力1回転数	17 P.S./4800 rpm	ポート関係	掃気 50°24' (B.D.C.)
最大トルク1回転数	2.8 kg-m/3500 rpm	排気	65°24' (B.D.C.)

なお給気管系に関する実験では運転方式による差は極めて小さいことが知られているので⁴⁾、本実験でも駆動運転のもとに行ない、従って実験装置も図-1に示すように空気清浄器および気化器を取除き、給気量測定用のサージタンク、集合型給気管および供試機関から構成されている。

給気管は図-2における分岐管 (l_2), $l_3=13.7, 23.7, 33.7$ cm の3種類につき、附加給気管長 (l_1) を10 cm おきに $l_1=10\sim 100$ cm まで10種類に変えた。なお排気管は、その影響が加味するのを防ぐため全部取除き、排気ガスは直接大気に放出した¹¹⁾。次に給気量はサージタンク(800φ×400 mm)の入口に直径40 mm φの管を2個並列に取付け、その途中に開口径28 mm φ 28 mm φのオリフイス流量計を挿入し、その前後の圧力差から測定した。

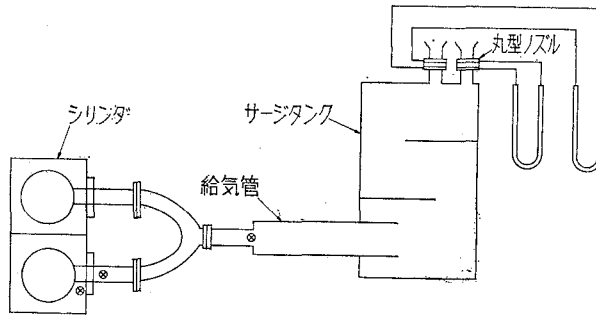


図-1 実験装置の系統図
(⊗印：示圧計取付位置)

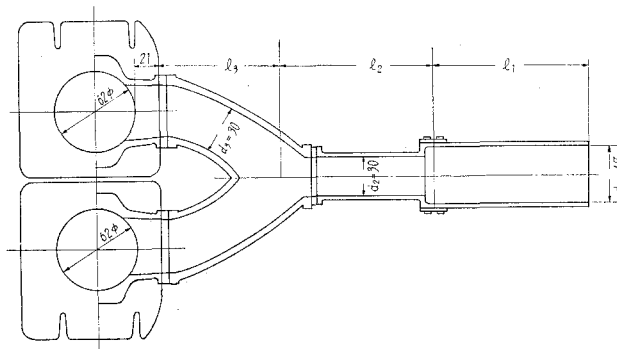


図-2 2シリンダ機関の給気系統

3. 実験結果および考察

3.1 給気比に及ぼす給気管長と機関回転数の影響

分岐管長 ($l_3=13.7$ cm) を一定とし、附加給気管長 ($l_1=10\sim 100$ cm) および機関回転数 ($N=1200\sim 5300$ rpm, 100 rpm おき) を広範囲に変えた実験結果を機関回転数 (N) と附加給気管長 (l_1) との線図に纏め、等給気比曲線を描くと図-3 となる。

図において、機関回転数 (N) と附加給気管長 (l_1) により給気比が著しく影響をうけていることがわかる。とくに慣性効果に基因するものと考えられる。(単気筒機関の実験結果による推論) 最大給気比 ($K_M=100\%$) の生成領域 ㉑ は附加給気管 (l_1) が長くなると順次低速側に移行し、両者の間には規則的關係のあることが予測される。しかも附加給気管長 (l_1) が短過ぎても、長過ぎても $K_M=100\%$ の領域 ㉑ は存在せず、従って慣性効果に対する最適の附加給気管長 (l_1)、すなわち最適の全給気管長が存在することがわかる。

一般に附加給気管長が長くなると高速回転部の給気比 (K) は低下するが、再び給気比の増加する領域 (たとえば図の ㉒、㉓ 領域) が現われている。これは後述せる脈動効果によるものである。同様の結果は分岐管 $l_3=23.7$ cm (図-4)、 $l_3=33.7$ cm (図-5) の場合にも得られる。し

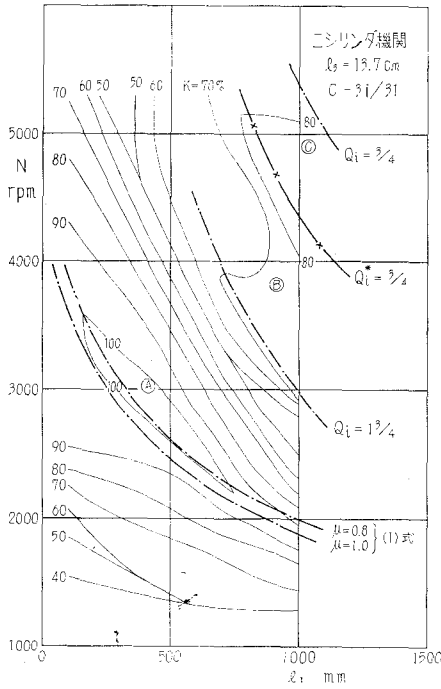


図-3 等給気比曲線 ($l_3 = 13.7 \text{ cm}$)

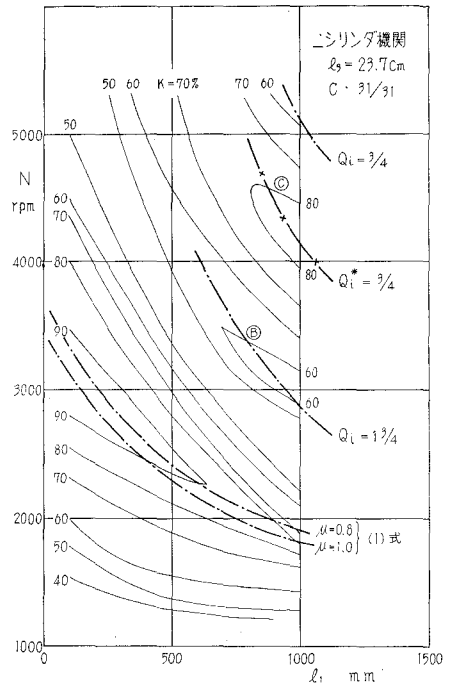


図-4 等給気比曲線 ($l_3 = 23.7 \text{ cm}$)

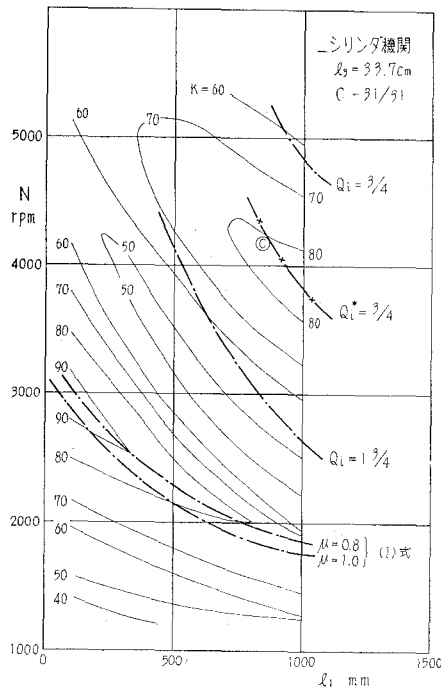


図-5 等給気比曲線 ($l_3 = 33.7 \text{ cm}$)

かし、分岐管長 (l_3) の増加に伴って ㉔ 領域の山は順次低下し、 $l_3=33.7$ cm の場合には完全に消滅している。

かかる等給気比曲線の変動について慣性効果および脈動効果の立場から考察を進めよう。

3.2 慣性効果の最適条件について

供試機関 (E-360) におけるシリンダ (C-1) とシリンダ (C-2) のポートタイミングの間にはクランク角 180° の位相差がある。従って、いまシリンダ (C-1) の給気孔開口期間における給気管系を考えると、ちょうど単気筒機関の給気管系 (クランク室と給気直管とから構成される管系) の途中に一端閉の直管が余分に附加されていると見做される。かかる管系に直管型給気管から得られた最大給気比の生成条件、(1) 式を適用しようとするとき、慣性特性数 (Z_i) に含まれる給気管長 (L_i) および給気孔まわりの断面積 (f_i) の修正が必要と考えられる。(1) 式の誘導に当り、 $f_i=$ 給気管断面積と仮定) しかし、ここでは一応給気管長 (L_i) として全給気管長 $L_i=l_1+l_2+l_3$ を、 f_i としては附加給気管断面積 (f_1) の如何にかかわらずシリンダ部の断面積 $f_i=8.9$ cm² を採用し、(図-2 参照) 供試機関の有効給気孔開口角 $\theta_i^*=127^\circ56'-10^\circ=117^\circ56'$ (但し無効角 $\Delta\theta_i=10^\circ$ ¹²⁾) および流動抵抗係数 $\mu=0.8, 1.0$ (一般に気化器なしの場合、 $\mu=0.8\sim 1.0$ ¹³⁾) を用いて (1) 式から最大給気比 (K_M) を与える機関回転数 (N) と全給気管長 ($L_i=l_1+l_2+l_3$) との関係を求め、その結果を 図-3~図-5 の $N\sim l_i$ 線図上に一点鎖線で併記しているが、計算曲線は実験結果 (最大給気比の生成領域 ㉔) とかなりよく一致している。従って、給気管長 (L_i) として全管長 ($l_1+l_2+l_3$) を、 f_i としてシリンダ部断面積 (f_3) を用いるならば、本実験の附加分岐管長 $l_3=13.7\sim 33.7$ cm の範囲では (1) 式から二気筒機関に対する最大給気比の生成条件が推定できることがわかる。かくして給気管系各因子 ($l_1, l_2, l_3, f_i, \theta_i, V_{km}$) の最適値の設定のみならず各因子の相互関係をも求め得ることが確認されたものと云えよう。

3.3 脈動効果の最適条件について

先に単気筒機関における脈動効果について詳述し⁹⁾、とくに高速、長管の場合には、次の給気孔開口期間に入り込む脈動波のサイクル数 (q_i) が一般に $q_i \leq 1$ となるので、かかる場合の脈動効果の最適条件は第 1 正圧波と給気孔閉止 (I.C.) との関係、すなわち慣性効果の良否に左右され、例えば 図-6 の如く給気孔開口角 (θ_i) に応じて変化することを指摘した。すなわち給気孔開口角 (θ_i) が大きく、($\theta_i/2=80^\circ$) 有効給気孔閉止時 (I.C.*) の第 1 正圧波が比較的高い場合には、給気孔開時 (I.O.) に正圧波が重畳する $q_i=1\frac{2}{4}(n+2/4)$: 非同調) のとき給気比が増加し、負圧波が重なる $q_i=2$ (n : 同調) で給気比が低下する。これに反して、給気孔開口角 (θ_i) が小さく、 $\theta_i/2=60^\circ$ の場合のように I.C.* 時に第 1 正圧波が到来せず、負圧となるようなときには、給気孔開口期間の後半に正圧波が重畳する $q_i=1\frac{2}{4}\sim 1\frac{1}{4}$ で給気比曲線の山、負圧波が重なる $q_i=1\frac{3}{4}$ 附近で給気比が低下する。

かかる考察を、より具体的に確認するために、I.C.* における脈動波の重畳状態を示すとこ

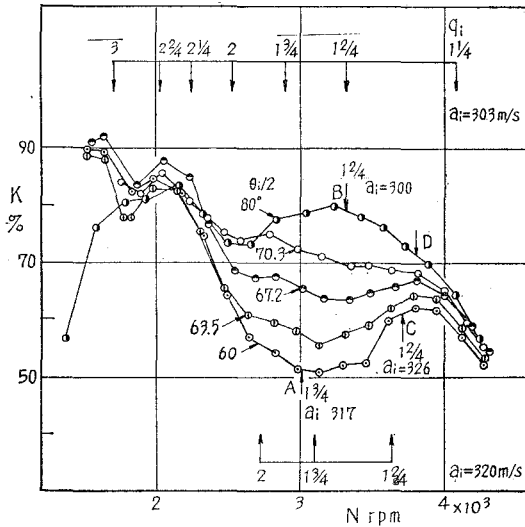


図-6(a) 給気比曲線 (単シリンダ機関 E-50)

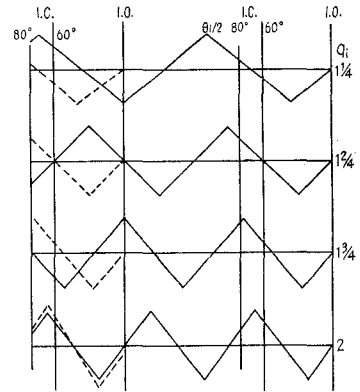


図-6(b) 脈動次数と脈動波の関係

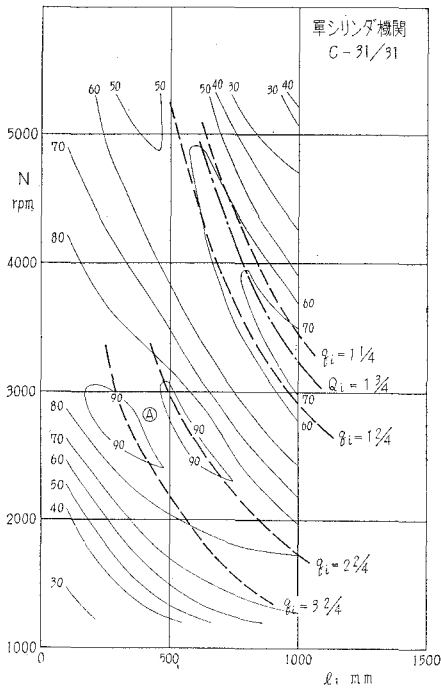


図-7(a) 等給気比曲線
(単シリンダ, E-360)

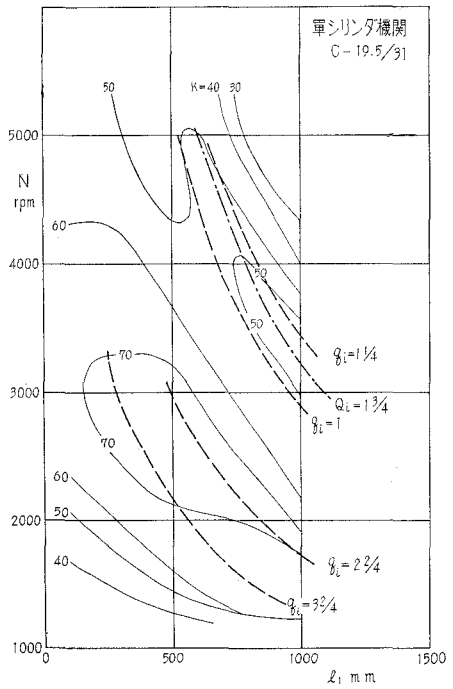


図-7(b) 等給気比曲線
(単シリンダ, E-360)

るの脈動次数 Q_i (I.O. 時から次サイクルの I.C.* までの期間に含まれる脈動サイクル数を考えると、

基本振動 ($k=0$) の場合には

$$Q_i = (a_i/4L_i)/(360/360 + \theta_i^*) (N/60) = (1 + \theta_i^*/360) \cdot q_i \quad (3)$$

となる。ここに、 $Q_i = n + 1/4$ ($n=1, 2, 3 \dots$ の整数) のときには I.C.* 時に最大の残留脈動正圧波が重畳し、 $Q_i = n + 3/4$ のときには最大の残留脈動負圧波が重なることになる。

いま供試機関 E-360 を単気筒のみで運転した 図-7 の実験結果 ($N \sim l_1$ 線図) につき、従来の脈動次数 (q_i) と、ここに提示せる脈動次数 (Q_i) とから夫々、脈動効果の最適条件を求めると、同図に併記した鎖線が示すように、最大給気比の生成領域 ㉔ (I.C.* 時の第 1 正圧波が高い) 付近では $q_i = 2 \frac{2}{4}$, $3 \frac{2}{4}$ の計算曲線上で給気比の増加 ($K=90\%$ 領域) が認められる。また高速長管 (I.C.* 時の第 1 正圧波は低い) の範囲では、I.C.* 時に最大の残留脈動正圧波が重なる $Q_i = 1 \frac{3}{4}$ 付近で給気比曲線の山を生じている。このように慣性効果の良否に応じて、 q_i または Q_i を用いて脈動効果の最適条件を求める必要があることがわかる。

次に、二気筒機関における脈動効果を解析するに当たり、4 サイクル三シリンダ機関の実験結果によると、給気管内変動圧力は定常化された脈動波となっているので¹⁴⁾、(3) 式に含まれる給気管長 (L_i) の代りに 図-8 の如き管系を一端閉の直管に置換えたときの等価管長 (L_i^*) を用いればよいものと考えられる。

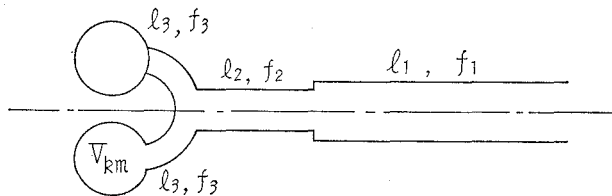


図-8 給気管系の模型

かかる等価管長 (L_i^*) をインピーダンス理論から求め、(附録 1 参照) その L_i^* を用いた脈動次数 (Q_i) から脈動効果の最適条件 ($Q_i = 1 \frac{3}{4}$ または $3/4$ のときの機関回転数と附加給気管長との関係) を求め、それを先に示した 図-3~図-5 の実験結果と比較したのが同図に併記せる一点鎖線である。図において、 $Q_i = 1 \frac{3}{4}$ の計算曲線は ㉔ 領域 ($N=3600 \sim 3000$ rpm, $l_1=70 \sim$ cm 附近) における給気比曲線の山とかなりよく一致している。すなわち単気筒機関の場合と同様に、有効給気孔閉止時 (I.C.*) に残留脈動正圧波の山が同調するとき最適脈動効果が与えられることがわかる。従って、この場合には給気管長 (L_i) の代りに等価管長 (L_i^*) を用いることにより、単気筒機関の場合と同様に (3) 式から脈動効果の最適条件ならびに各因子相互の関連を求めることができる。

しかるに、さらに高速領域、すなわち図の © 領域 ($N=5000\sim 4000$ rpm) になると、計算曲線と実験結果 (給気比曲線の山) とは必ずしも一致しているとは云えないようである。これは高速になるほど残留脈動波の振巾が大きくなるので、もはや定常化した残留脈動波とはならず、図-9の脈動波模型が示すように、シリンダ (C-2) による残留脈動波がシリンダ (C-1) の給気過程に対し支配的影響を及ぼすためと考えられる。

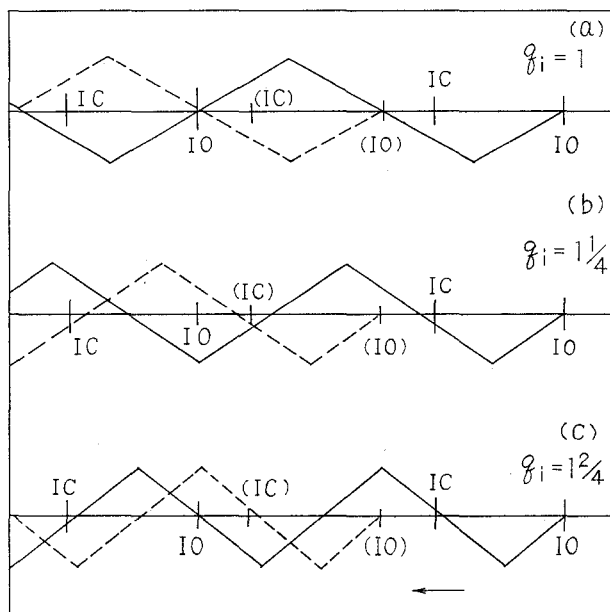


図-9 脈動波の状態

かかる脈動波 (C-2) の給気孔閉止時 I.C.* (C-1) に対する重畳状態は、シリンダ (C-2) の給気孔開 (I.O.) からシリンダ (C-1) の I.C.* までの脈動サイクル数 (Q_i^*) から与えられる。

$$Q_i^* = (a_i/4L_i^*)/(360/180 + \theta_i^*) \cdot (N/60) = (1/2 + \theta_i^*/360) \cdot q_i \quad (4)$$

ここに、 $Q_i^* = n + 3/4$ のとき第2シリンダの最大脈動正圧波が第1シリンダの有効給気孔閉止時 (I.C.*) に重なることになる。

いま、(4)式から $Q_i^* = 3/4$ のときの機関回転数と附加給気管長との関係を求めてみると、© 領域における給気比曲線の山とかなりよく一致しており、上述の推論が十分妥当であることがわかる

以上、二気筒機関における脈動効果について述べたが、単気筒機関に比べて定常化せる残留脈動波による動的効果は減衰し易く、分岐管長 $l_3 = 13.7$ cm の場合においても最大給気比附近 (A 領域) における給気比の起伏は認められない。(図-3 と 図-7 の比較) しかも分岐管長 (l_3) の増大につれて B 領域における給気比線図の山も順次消滅している。

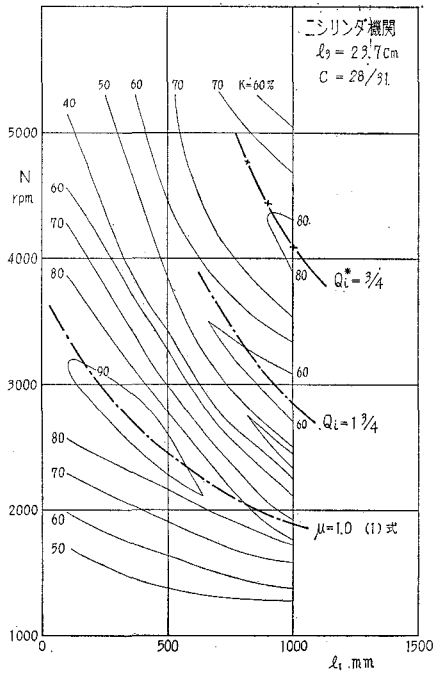


図-10 等給気比曲線 (C-28/31)

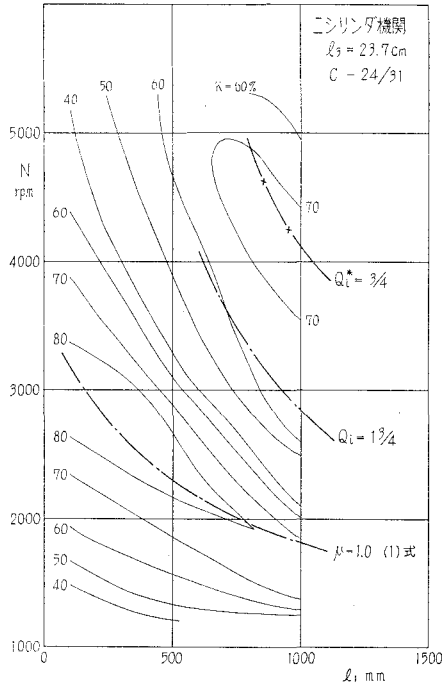


図-11 等給気比曲線 (C-24/31)

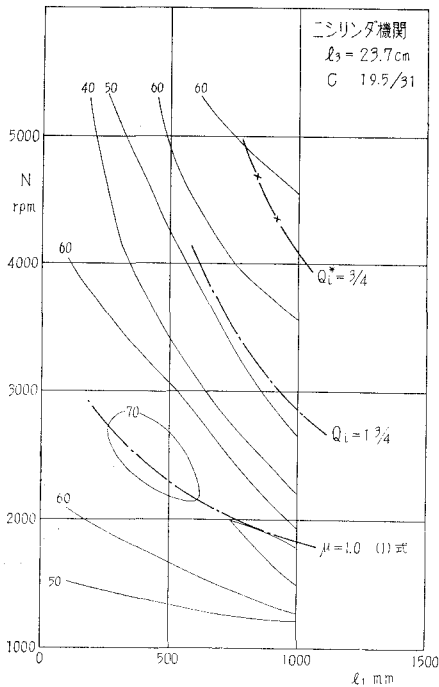


図-12 等給気比曲線 (C-19.5/31)

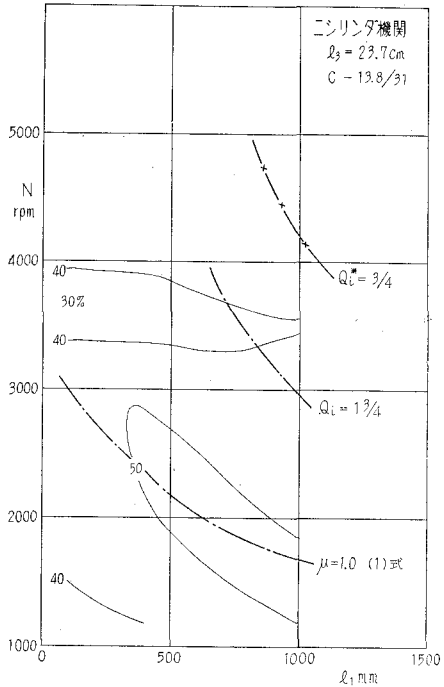


図-13 等給気比曲線 (C-13.8/31)

これらの関係は分岐管長 $l_3=23.7$ cm とし、途中に気化器に相当する“絞り”を挿入した場合も全く同じである。(図-10~図-13 参照) 従って分岐管長 (l_3) が或程度の長さになると、もはや脈動効果を利用して給気比の向上を計ることが不可能となると云えよう。

4. 結 言

クランク室圧縮 2 サイクル二気筒機関の給気管長を変えた場合の実験結果につき述べたがこれを要約すると次の通りである。

(1) 二気筒機関における最大の給気比は、単気筒機関の場合と同様に、慣性効果によるものであり、その同調条件として

$$1/Z_{iM}^2 = \mu + (180/\theta_i^*)^2 \quad (1)$$

の関係を得た。ここに最大給気比を与える場合の慣性特性数 (Z_{iM}) に含まれる管長 (L_i) としは全長 ($=l_1+l_2+l_3$)、断面積 (f_i) としはシリンダ部の管断面積を用いればよい。

(2) 二気筒機関における脈動効果は単気筒機関に比べて、その減衰が著しく最大給気比の生成領域における給気比線図の起伏は、ほとんど認められない。従って脈動次数 (q_i) によって規定できる脈動効果はほとんど存在しない。

(3) 比較的高速領域 ($N=3600\sim 3000$ rpm) における脈動効果を規定するのは、有効給気孔閉止時 (I.C.*) に重畳する残留脈動波であり、その条件は

$$Q_i = (1+\theta_i^*/360) \cdot q_i \quad (3)$$

である。ここに、 $Q_i=n+1/4$ ($n=1, 2, 3$) のとき I.C.* 時に最大の残留脈動正圧波が重畳するので給気作用は助長され、 $Q_i=n+3/4$ のときは、最大の負圧波が重なるので給気作用は阻害される。なお脈動次数 (q_i) に含まれる管長 (L_i) の代りにインピーダンス理論から求められる等価管長 (L_i^*) を用いる必要がある。

(4) 高速領域 ($N=5000\sim 4000$ rpm) になると残留脈動波が大きくなるので、第 2 シリンダの残留脈動波が第 1 シリンダの給気過程に対して支配的影響を及ぼす。かかる場合の脈動効果の最適条件は

$$Q_i^* = (1/2+\theta_i^*/360) \cdot q_i \quad (4)$$

で規定できる。すなわち $Q_i^*=3/4$ のとき第 1 シリンダの I.C.* 時に第 2 シリンダの最大残留正圧波が重畳するので給気作用は助長される。

なお本論文は、新三菱重工業株式会社、水島自動車製作所研究課において三谷昌鴉課員が担当された実験結果に筆者が考察したものであり、この貴重な資料を提供下された蓮田甚吉課長ならびに関係各位に謝意を表わします。また日頃御指導を賜わっている東京大学航空研究所浅沼強教授、北海道大学黒岩保教授ならびに室蘭工業大学千谷茂教授、林重信講師、熱心な協

力を受けた福島和俊助手，早川友吉氏，三田村ナミ子女史に感謝します。

附録 1 等価管長 (L_i^*) の算出

図-8 の給気管系にインピーダンス理論を適用すると等価管長 (L_i^*) は次の如く算出できる。
記号： I ：音響インピーダンス ($=P/X$)， P ：音圧， X ：体積変位， l ：管長， f ：断面積， $\beta = a^2 \omega k$ ， $k = \omega/a$ ， ω ：角振動数， a ：圧力伝播速度とおく。開口端の音圧は $P \doteq 0$ と見做すことができるので，そのインピーダンス (I_1) は $I_1 \doteq 0$ と近似でき，従って，インピーダンス (I_2) は

$$I_2 = (\beta/f_1) \cdot \tan(kl_1) \quad (1)$$

体積流および音圧の連続条件から

$$I_3 = I_2 \quad (2)$$

$$1/I_4 = 1/I_5 + 1/I_6 \quad (3)$$

管前後のインピーダンス I_3 ， I_4 の間には平面波動方程式の解から

$$I_4 = \frac{\beta}{f_2} \cdot \frac{I_3 + (\beta/f_2) \cdot \tan(kl_2)}{-I_3 \cdot \tan(kl_2) + \beta/f_2} \quad (4)$$

次の閉端では体積変位が $X=0$ となるので，このインピーダンスは I_7 ， $I_8 = \infty$ となる。

この条件を(4)式に代入すると

$$I_5 = (\beta/f_3) \cdot \cot(kl_3), \quad I_6 = (\beta/f_3) \cdot \cot(kl_3) \quad (5)$$

(1)~(5)式から

$$\frac{1 - \frac{f_2}{f_1} \cdot \tan(kl_1) \cdot \tan(kl_2)}{\frac{f_2}{f_1} \tan(kl_1) + \tan(kl_2)} = 2 \frac{f_3}{f_1} \cdot \tan(kl_3) \quad (6)$$

然るに，図-8 の管系における気柱振動の固有振動数 (f) は $f = k \cdot a/2\pi$ ，他方一端閉の直管いわゆるオルガンパイプの固有振動数 (f) は $f = a/4L$ で与えられる。従って図-8 の管系をオルガンパイプに置換えた場合の等価管長 (L_i^*) は

$$L_i^* = (\pi/2)/k \quad (7)$$

となる。かくして，(6)式の図式解から各給気管寸度 (l_1 ， l_2 ， l_3 および f_1 ， f_2 ， f_3) に対する k が求まり，(7)式から等価管長 (L_i^*) が算出できる。

参 考 文 献

- 1) H. List: Ladungewechsel der Verbrennungskraft, Wein 4-2 (1950).
- 2) 長尾: 機械学会論文集, 26, 171 (昭34-11), 1675.
- 3) W. Wilhelm: Forsch Landes Nordrhein-Westfalen, 982 (1961).
- 4) 浅沼・沢: 機械学会論文集, 25, 156 (昭34-8), 834.

- 5) 浅沼・沢： Bulletin of JSME, Vol. 3, No. 9 (1960), 137.
- 6) 沢： 室蘭工業大学研究報告, 4, 2,
- 7) 浅沼・沢： Bulletin of JSME, Vol. 2, No. 7 (1959), 417.
- 8) 沢： 機械学会北海道支部講演会前刷集 (昭38-10).
- 9) A. Pischinger： Auto-tech. Z, 39 (1936).
- 10) G. Reyl： Ladungewechsel der Verbrennungskraft, Wein, 4-1 (1949).
- 11) 浅沼・沢： 機械学会60周年記念講演会講演集 (昭32-10).
- 12) 浅沼・沢： 機械学会論文集, 24, 148 (昭33-12), 1025.
- 13) 沢： 機械学会東海支部講演会前刷集 (昭35-6), 79.
- 14) 浅沼： 熱機関大系, 火花点火機関, 給排気過程, 148.

クランク室圧縮2サイクル機関の給気比と 機関トルクとの関係について

沢 則 弘

On the Relationship between Delivery Ratio and Engine Torque in a Crankcase-Compressed Two-Stroke Cycle Engine

Norihiro Sawa

Abstract

The paper treats of the experimental analysis regarding the machining condition where the maximum torque is obtained and the relationship of delivery ratio to engine torque in a crankcase-compressed two-stroke cycle engine.

1. 緒 言

給気比に対する給気管系および排気管系の動的効果につき考察を進め、簡単な近似理論から、それぞれの最適同調条件式を誘導し、その妥当性を実験的にも立証して来た^{1),2)}。しかし実用の点からは、直接機関トルクが問題であり、従来の給排気管効果に関する実験的研究も直接機関トルクを測定しているものが多い^{3),4)}。しかしながら、とくに気化器付クランク室圧縮型2サイクル機関の機関トルクに影響する因子は余りにも多く、かつ複雑である。たとえば給排気管の長さを変えてさえ燃料流量は大幅に変動し、その上、給気管の脈動波の影響や燃料の吹戻し現象をも伴うため有効な混合比の調整は極めて煩雑である。また、かかる場合、混合比による燃焼効率の変化、さらに摩擦トルクの変動等によって機関トルクはかなり影響されるので、直接機関トルクに及ぼす給排気管系の影響を判別することは、かなり困難といわねばならない。しかし、シリンダ内の燃焼状況を何んらかの方法で直接観測しながら燃料調整を慎重に行なうことができる場合には、すでに報告した²⁾ように発火運転時の給気比曲線と機関トルク曲線とが、ほぼ相似となることから給気比に注目し、それに及ぼす給排気管系の影響について研究を進めてきたわけである。しかし、給気比から機関性能(トルク)を云々することはあくまでも間接的であるので、給気比に関して得られた各結論を本型式の機関に適用しようとするとき給気比と機関トルクとの関連性を確認しておく必要がある。かかる観点から本研究では給気管系と排気管系に大別し、給気比および機関トルクに対するこれら各管系による動的効果の様

相を調べ、とくに後者に対する同調条件を求め、給気比と機関トルクの両者の関連性を明らかにした。従って給気比と機関トルクの測定および給排気管系各部の変動圧力の記録に主眼を置いた一連の実験を行なった。

2. 実験装置および実験方法

供試機関は機関 E-50²⁾ を用い、実験装置も前報²⁾ までに用いたものとはほぼ同じである。ただ 図-1 に示すように、従来負荷用として用いた電動機型動力計 (三相交流分巻整流子) の代

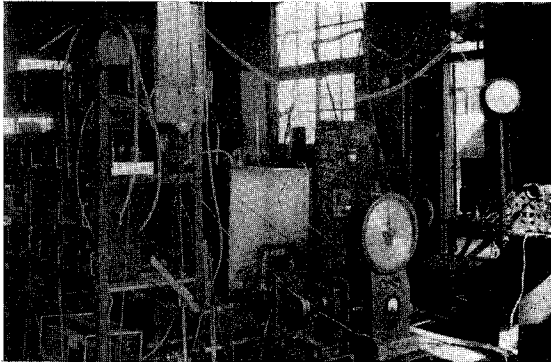


図-1 実験装置

りに Zöllner 渦電流式電気動力計を供試機関に直結した。

この動力計は、とくに小型高速機関に適しており、機関回転数と機関トルクが直読でき、しかも計衡機にはオイルダンパーが内蔵されているので指針の変動はほとんどなく、迅速に読取ることができる。

実験は動力計の励磁電流を調整して機関を高速 ($N \doteq 4500$ rpm) から約 200 rpm おきに低速回転 ($N \doteq 2000$ rpm) まで下げる。この際、シリンダ温度 (測温プラグ使用) の定常になるのを待って給気量、機関トルク、回転数および排気ガス温度等を精確に測定する。なお機関を常に良好な燃焼状態に保つため、機関トルクの指針を監視しながら混合比 (燃料流量) を浮子室油面の高さや、可変型主ノズルの調整によってたえず微動調節した。このときの最適混合比はほぼ 12 ± 1 であった。(ベンチュリ型流量計で直読)

実験は動力計の励磁電流を調整して機関を高速 ($N \doteq 4500$ rpm) から約

使用せる燃料は市販の自動車用ガソリン JIS K 2202 2号 (日本石油 K. K. 製) とモビール SAE 30 # の混合燃料であり、その混合割合は 20:1 とした。また本型式機関では点火進め角 (θ_{ig}) は $\theta_{ig} = 25 \sim 35^\circ$ が最適であり、しかも機関回転数であまり変らない。そこで本研究においては $\theta_{ig} = 28^\circ$ に固定した。

3. 実験結果および考察

3-1 給気管効果と機関トルク

給気比に対する給気管系の動的効果についてすでに報告⁵⁾ したが、かかる場合の給気比と機関トルクとの関連を調べる目的で排気管を取除き ($L_e \doteq 3$ cm), 給気管長 (L_i) のみを変えて実験を行なった。いま比較を容易にするため最大給気比 (K_M) および最大トルク (T_M) を規準とし、それぞれの比 K/L_M および T/T_M で各実験結果を整理すると 図-2 の通りである。

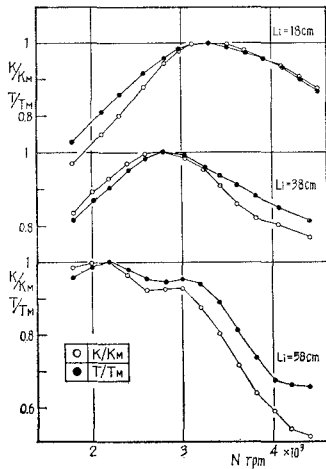


図-2 給気比と機関トルクの比較 (給気管系) C-4/4, $L_e=3\text{ cm}$

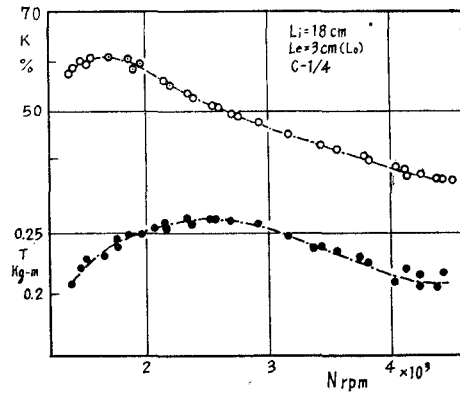


図-3 給気比と機関トルクとの関係 (C-1/4)

図において、 K/K_M 曲線と T/T_M 曲線はいずれもほぼ相似であり、しかも最大給気比を与える回転数 ($K/K_M=1$ の回転) と最大トルク ($T/T_M=1$) の回転数はよく一致している。従って、機関トルクに対する給気管系の動的効果、とりわけ最大トルクの生成条件に及ぼす諸因子の影響に関しては、給気比による実験 (発火運転) をもって代用できることがわかる。

さらに、すでに指摘したように発火運転と駆動運転の給気比曲線も相似であるので、駆動運転のもとに給気比に関して得られた従来の結論は、すべて機関トルクに対しても、そのまま適用して差支えないものと思われる。しかし、気化器開度が極めて小さい場合 (たとえば C-1/4) には 図-3 のように給気比と機関トルクの両曲線は相似とならず、機関トルク曲線の山を生ずる機関回転数は給気比曲線の山を生ずる回転数よりも高速側に移動している。

この理由については、今後詳細な実験的究明を要するが、一応次の如く推察される。一般に気化器開度が小さく、給気比が低いとクランク室圧も、それに応じて低くなるので、掃排気過程において、燃焼ガスがクランク室内に吹戻す現象がかなり顕著となる。しかも、この現象は低速回転ほど増加する傾向をもつ。(排気孔の時間面積が増大するため) 従って新気の充填効率が急激に低下し、燃焼悪化を伴って機関トルクの著しい減少をきたし、その結果ちょうど $N=2500\text{ rpm}$ 付近で最大の機関トルクを生じたものと思われる。なお気化器全開の場合には給気比も高いのでクランク室への燃焼ガスの吹戻しも少なく、かかる現象はほとんど表われないようである。

3.2 排気管効果と機関トルク

排気管系の給気比に及ぼす影響については、すでに報告²⁾したが、この場合の給気比と機関トルクとの関係を次に述べる。

3.2.1 直管型排気管の場合

機関回転数を一定とし ($N = 2400$ rpm, および $N = 3000$ rpm), 排気管長 (L_e) を変えた実験結果を排気吹出し特性数 $Z_e \left(\equiv \frac{\omega}{a_e} \cdot L_e^* \right)$ で整理したのが図-4である。

図によると, 最大トルク $(T - T_0)_M$ を与える特性数 (Z_e) は最大給気比 $(K - K_0)_M$ を与える特性数 (Z_e) よりもやや小さい。これは $Z_e \left(\equiv \frac{\omega}{a_e} L_e^* \right) \propto N \cdot L_e^*$ の関係から容易に推測されるように他の因子 (L_e^*, a_e) が一定の場合には $(T - T_0)_M$ を与える回転数が $(K - K_0)_M$ の回転数よりも低速側に生じていることを意味する。この原因を明らかにするため図-5のオシログラムと図-4の実験結果とを対比すると, 次の通りである。

たとえば, 図-4の a 点 ($Z_e \doteq 0.15$) における給気比 $(K - K_0)$ は小さな山を生じているが, 機関トルク $(T - T_0)$ はむしろ低く, 機関トルク曲線の谷となっている。この場合の排気管圧は図-5 (a) の如く掃排気期間の後半に排気吹出し圧力波の二次の負圧が重畳している。これに対し図-5 (b), $Z_e \doteq 0.275$ では掃気期間後半, とくに S.C. ~ E.C. の期間に二次の正圧波がちょうど重なっているがトルク曲線は上昇を始めている。さらに図-5 (c), $Z_e \doteq 0.365$ では排気吹出し圧力波の1サイクルが排気期間 (θ_e) にほぼ一致している。この場合, 機関トルク $(T - T_0)$ は最大値を示している。同様のことは機関回転数が $N \doteq 3000$ rpm の場合にも認められる。たとえば図-6 (e) のように排気吹出し圧力波の一サイクルが掃排気期間 θ_{es} (E.O. ~ S.C.) に一致するときやはり最大トルクを生じている。(図-4 参照)

元来機関トルクはシリンダ内の充填新気量によ

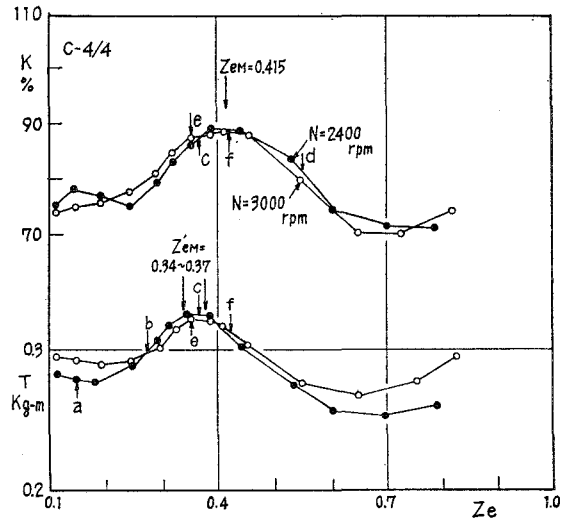


図-4 給気比, 機関トルクと Z_e (C-4/4)

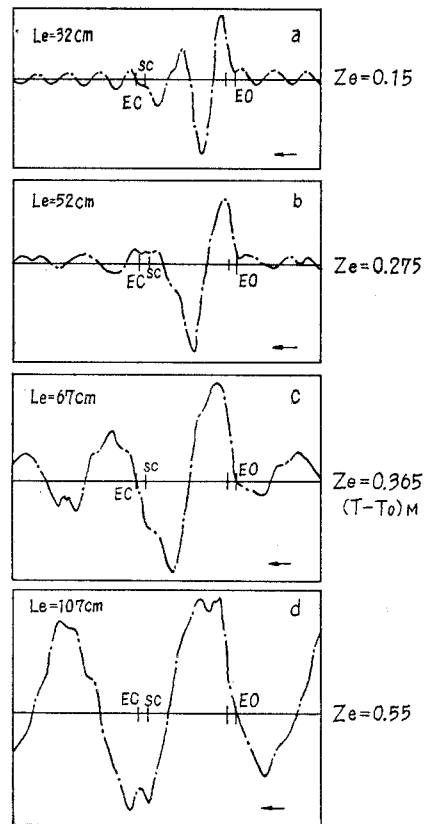


図-5 オシログラム (C-4/4, $N = 2400$ rpm)

って規定されるものであり、主として給気比に依存することは云うまでもないが、さらに掃気孔閉(S.C.)から排気孔閉(E.C.)の間における排気管内圧にも幾分左右されるものと考えられる。それ故、充填効率(従って機関トルク)の改善を計るためには掃気期間後半に大きな負圧を同調させて排気作用を助長する排気吹出し効果(最大給気比)の他に、S.C.~E.C.期間に二次の正圧波を重畳させて充填ガスがこの期間に排出するのを阻止する一種の過給効果をも考慮しなければならないだろう。従って、機関トルクに注目する場合には図-5(c)および図-6(e)の変動圧力波形からわかるように、給気比の場合と多少異なった同調条件が必要と考えられる。

次に気化器開度C-1/4の場合の実験結果を排気吹出し特性数(Z_e)で整理すると図-7となり、図中a, b点に対応するオシログラムを図-8に示す。

この場合、最大トルク($T-T_0$)_Mの生成条件としては図-8(a), $Z_e \doteq 0.35$ に示すように掃排気期間(θ_{es})と排気吹出し圧力波の1サイクルとが同調することであり、この場合も前述の結果とよく一致している。なお図-5(d), 図-6(f), および図-8(b)のように排気吹出し圧力波の約3/4サイクルが有効掃排気期間(θ_{es}^*)に同調するときには最大給気比($K-K_0$)_Mが与えられ、すでに報告²⁾したことと全く同じである。

以上の解析から機関トルクに対する排気吹出し効果の同調条件としては、給気比の場合と同様に

$$Z_{er} (\equiv \omega \cdot L_e^* / a_e) r \doteq \theta_{es} / 360 \sim \theta_e / 360 \quad (1)$$

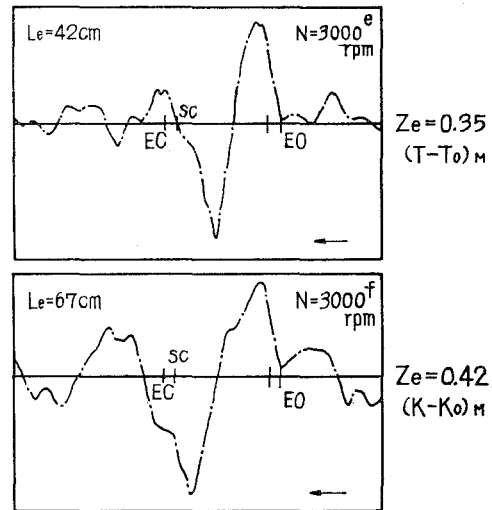


図-6 オシログラム (C-4/4, N=3000 rpm)

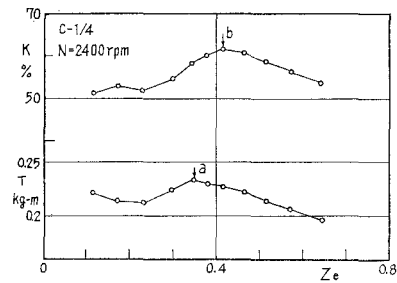


図-7 給気比、機関トルクと Z_e (C-1/4, N=2400 rpm)

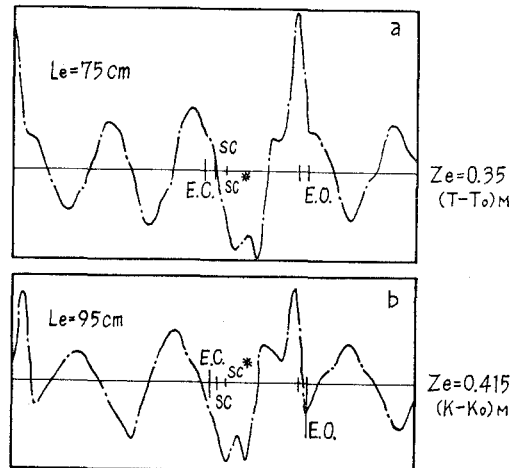


図-8 オシログラム (C-1/4, N=2400 rpm)

が得られる。次に機関トルクに対する最適の排気吹出し特性数 (Z_{er}) と給気比に対する特性数 (Z_{eM}) との関係は (1) 式と前報の同調条件式²⁾ とから次の如く与えられる。

$$Z_{er} = (3/4) \cdot (\theta_{es}/\theta_{es}^*) \cdot Z_{eM} \tag{2}$$

いま (1) 式から供試機関に対する特性数 Z_{er} を求めると、掃排気期間 (θ_{es}) を用いた場合には $Z_{er} \doteq 0.34$ 、排気期間 (θ_e) に対しては $Z_{er} \doteq 0.37$ となる。また前報²⁾ で提唱した給気比に対する同調条件式に有効掃排気期間 (θ_{es}^*) を用いると $Z_{eM} \doteq 0.415$ となる。これらの各計算値を図-4 に併記してあるが、いずれも実験値とよく一致しており、(1) 式が十分に妥当であることがわかる。かくして給気比に関して得られたすべての結論は (2) 式を用いることにより容易に機関トルクに対して換等適用することができるものと云えよう。

3.2.2 排気管における絞りの効果

W. Wilhelm⁶⁾ の実験結果によると、排気管系の開口端をかなり小さく絞った場合、給気比が低下するにもかかわらず機関トルクはむしろ向上している例が見受けられる。しかし、その理由については触れていない。そこで、かかる開口端絞りの効果を詳細に調べる目的で、拡張室付排気管系の尾管開口端に開口比 $f/f_e = 1, 0.73$ および 0.52 の穴あき板を取付けて実験を行なった。その結果を図-9 に比較してある。

図において給気比 ($K-K_0$) は開口比 (f/f_e) が小さくなると順次低下し、 $f/f_e \doteq 0.52$ ともなると、もはや排気吹出し効果はほとんど期待できず、実験回転範囲の大部分は ($K-K_0 \leq 0$) となっている。しかし、機関トルク ($T-T_0$) は給気比の劣化にもかかわらず、ほぼ全回転数範囲

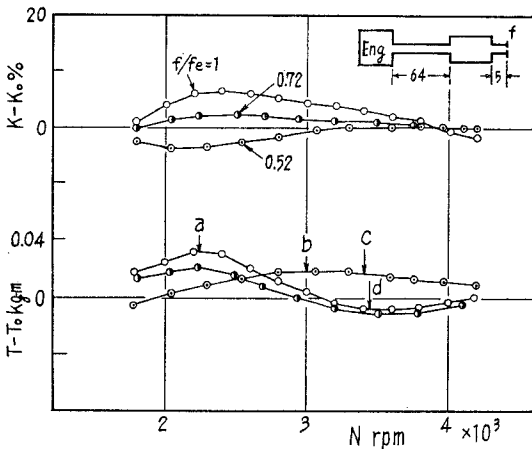


図-9 開口端絞りの効果 (C-4/4, $V/V_h = 9.5$)

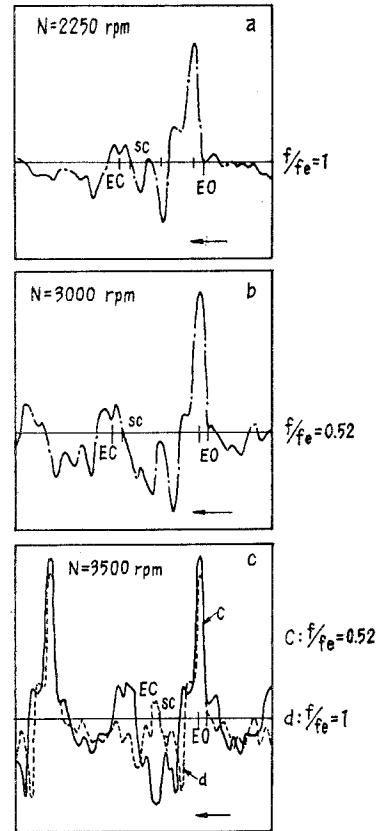


図-10 オシログラム

にわたってかなり増加しており、その曲線の山も高速側にづれている。このように開口端絞りが高速性能の改善に対し、かなり有効であることがわかる。かかる場合も 図-10 (a) および (b) に示すように排気吹出し圧力波の1サイクルが掃排気期間 (θ_{e0}) に同調する $N=2250$ rpm (図-a, $f/f_e=1$) および $N=3000$ rpm (図-b, $f/f_e=0.52$) 附近で機関トルク曲線の山 (図-9 の a および b 点) を生じており、このことは先に指摘した最大トルクの生成条件、すなわち排気吹出し効果の同調条件が“絞り”のある場合にも全く同様に成立することがわかる。従って、最大トルク $(T-T_0)_M$ を与える回転数が絞りのため ($f/f_e=1 \rightarrow 0.52$)、図-9 の a 点から b 点へと高速側に移動する理由としては、絞りにより排気管内のガス温度が上昇し、そのため管内排気ガスの音速 (a_e) が増大したことに基因するものと考えられる。事実、排気温度の測定結果からも温度上昇が認められるが、図-10 (c) のオシログラムに示すように $f/f=0.52$ (図の c, 実線) における排気吹出し圧力波の周期が $f/f_e=1$ (図の d, 点線) よりもかなり短かくなっており、音速 (a_e) の増加していることを示している。次に円錐型排気管に絞りを挿入した場合にも 図-11 に示すように全く同じことが云える。

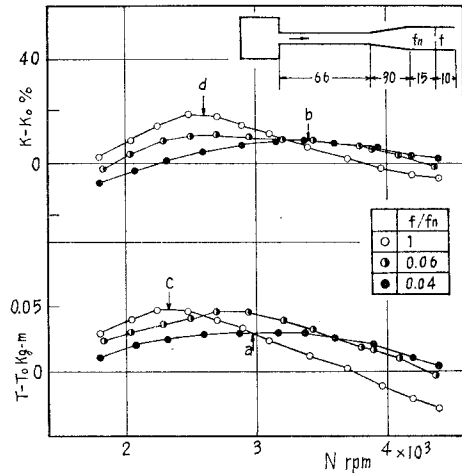


図-11 円錐型排気管における絞り効果

すなわち同図において、低速回転 ($N=2800$

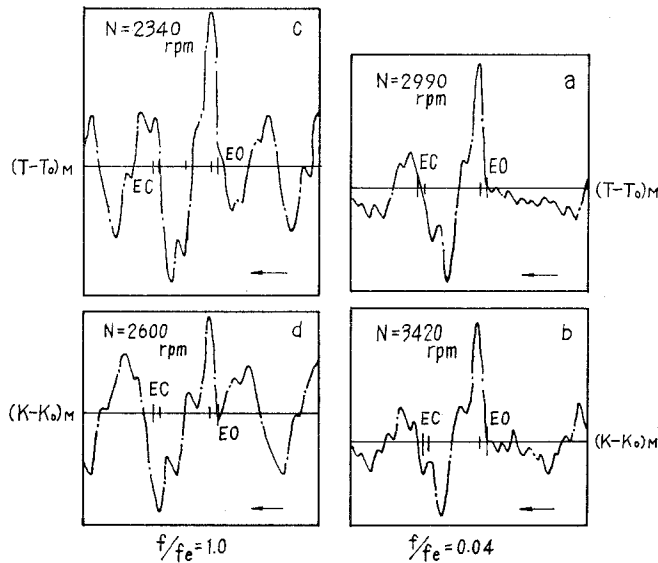


図-12 オシログラム (円錐型排気管)

rpm 以下)の給気比 $(K-K_0)$ および機関トルク $(T-T_0)$ は絞り開口比 (f/f_0) に比例して低下するが、逆に高速性能は改善される傾向がある。かかる場合も最大トルク $(T-T_0)_M$ の生成条件は図-12(a), (c)に、最大給気比 $(K-K_0)_M$ の同調条件は図-12(b), (d)に示すように前節の直管型排気管や上述せる拡張室付排気管(絞り付)の場合と全く同じことがわかる。

以上排気管における絞り効果について解析したが、これは排気管効果の利用上注目すべき現象であり、積極的に活用すべきものであろう。

4. 結 言

給排気管効果を利用した場合の給気比と機関トルクとの関連性について述べたが要約すると次の通りである。

(1) 給気管効果を利用した場合の給気比 (K) と機関トルク (T) の両曲線はほぼ相似となり、しかも、その最大となる機関回転数もよく一致する。それ故、給気比に関して得られた諸結論はそのまま機関トルクに対して適用できるものと考えられる。

(2) 排気管効果を利用した場合の給気比 $(K-K_0)$ と機関トルク $(T-T_0)$ の両曲線もほぼ相似となるが、一般に後者の最大となる機関回転数は前者の最大になる回転数よりも低速側にずれる。(排気管長が一定の場合)なお実験結果の解析から最大給気比 $(K-K_0)_M$ および最大機関トルク $(T-T_0)_M$ を与える排気吹出し特性数、 Z_{eM} および Z_{eT} の間には次の関係が成立することが明らかになった。

$$Z_{eT} = (3/4) \cdot (\theta_{es}/\theta_{es}^*) \cdot Z_{eM} \quad (2)$$

従って、給気比 $(K-K_0)$ に関して得られた結論はいずれも機関トルクにそのまま換算適用することができる。

(3) 排気管系の開口端に“絞り”を取付けると一般に、その開口比 (f/f_0) に比例して給気比 $(K-K_0)$ は順次低下するが機関トルクは高速側において逆に増加する傾向を示す。これは管端の絞りによって排気ガスの温度が上昇し、そのため最大トルク $(T-T_0)_M$ の位置が $(K-K_0)_M$ に比べ高速側に移動するのである。従って、とくに高速性能の改善に対し、充分利用価値があるものと考えられる。なお、絞りを設けた場合も排気吹出し効果の同調条件としては(1)式をそのまま用いて差支えないことがわかった。

終りにのぞみ、御指導御鞭撻を賜わった東京大学浅沼強教授、北海道大学黒岩保教授、動力計を借与下された工業技術院機械試験所千代木尚久課長、実験に協力された群馬大学工学部青柳富夫氏、同学卒業研究生飯田一雄、野尻貞夫、田所秀敏諸氏および日頃御世話戴だいている本学千谷茂教授、林重信講師、福島和俊助手、早川友吉技官、三田村ナミ子事務官および機械工学科各位に深甚な謝意を表す。

文 献

- 1) 沢： 機械学会北海道支部第9回講演会前刷 (昭38-10).
- 2) 沢： 室工大研報 4, 2.
- 3) 渡部： 機械学会論文集 26, 162 (昭35-2), 363.
- 4) R. S. Benson: I.M.E. Proc. 174, 24 (1960), 713.
- 5) 浅沼・沢： Bulletin of JSME Vol. 3, No. 9 (1960), 137.
- 6) W. Wihelm: Forsch. Landes Nordrhein-Westfalen 981 (1961).

クランク室圧縮 2 サイクル機関の給排気管内 における圧力伝播速度について

沢 則 弘

On the Pressure Propagating velocity in Intake or Exhaust
Pipe in a Small Two-Stroke Cycle Engine

Norihiro Sawa

Abstract

To obtain the true value of the pressure propagating velocity in intake and exhaust pipe of an internal combustion engine, the present author carried out some experiments and determined the experimental calculating equation for the pressure propagating velocity by analyzing of the observed mean temperature of fluid and the recorded mean frequency of pressure wave.

1. 緒 言

クランク室圧縮型 2 サイクル機関における給排気管系の給気比に及ぼす影響についてすでに報告した¹⁾⁻²⁾。その際、給気比を脈動次数 $q (=15a/NL)$ または慣性特性数 $Z_i \{=(w/a_i) \cdot \sqrt{V_{km} L_i / f_i}\}$ や排気吹出し特性数 $Z_e \{=(w/a_e) \cdot L_e^*\}$ について整理し、オシログラムと対比しながら考察を試みた。しかるに、これら特性数はいずれも給気管または排気管内の圧力伝播速度 (a_i または a_e) を含むため、これら管内における正しい圧力伝播速度を知る必要がある。従来、

管内の圧力伝播速度に関する音響学的研究⁴⁾ は数多く発表されており、たとえば Kirchhoff の式⁵⁾ から明らかなように、圧力伝播速度に影響する因子としては管径、振動数、ガスの粘度、密度、熱伝導率、比熱比等が考えられる。しかし、Kastner⁶⁾ が指摘しているように内燃機関の給排気管内の如く圧力変動 (振幅) が大きい場合には、音響学的研究結果をそのまま適用することは甚だ疑問である。ただ G. F. Mucklow⁷⁾ は四サイクル機関の排気管効果に関する研究の一部として駆動運転時の排気管内圧力伝播速度を示圧線図から求め、管径の影響があることを示しているが充分とは云えないようである。

そこで、給排気管内の流体温度を直接測定するとともに示圧計により管内の圧力変動を記録し、その周期から逆に圧力伝播速度を求め、管径、燃料等の補正を考慮せる実験式を導びたので報告する。

2. 実験装置および実験方法

実験装置の系統図を図-1に、供試機関 A, B の諸元を表-1に示す。実験装置は、給排気管系に関する実験の場合とはほぼ同じであるが、給排気管内の流体温度を測定するために給気管に2カ所 (①, ②)、排気管に3カ所 (③, ④, ⑤) およびクランク室に1カ所 (⑥)、熱電対を挿入し、さらに管内の圧力変動を記録するためにコック付容量型示圧計をそれぞれ給気管 (S_1, S_2) および排気管 (E_1, E_2, E_3) に取付け、変換器を経て電磁オシロに導びいた。このほか、シリンダ (C_1)、クランク室 (C_2) にも示圧計を取付けた。また給気量測定用の丸型ノズルとサージタンクおよび燃料消費量の測定のためベンチュリー型流量計を給気側に配置した。

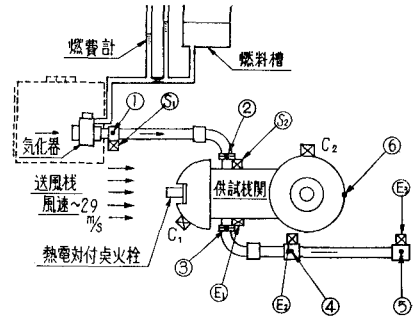


図-1 実験装置

実験には機関 A ($V_h=125$ cc) を主として使用し、プラグ温度 (熱電対付プラグを使用) が定常になるのを待って給気量、燃料消費量および給気管内の流体温度を測定すると共に管内の

表-1 供試機関諸元

		機関 A	機関 B
シリンダー径×行程 (mm)		55 ϕ × 52.5	40 ϕ × 39.8
行程体積 (cc)		125	50
クランク室体積 (ピストン上死点) cc		452	161
ポートタイミング (対称型)	給気孔	77°	60° T.D.C.
	排気孔	69.3°	67° B.D.C.
	掃気孔	57°	55° B.D.C.
給気管内径 (mm)		21 ϕ	13.8 ϕ
排気管内径 (mm)		30 ϕ	21 ϕ

表-2 機関 A の実験条件

運転状態		給排気管長*
給気管	駆動運転	$l_i, l_i+40, l_i+70, l_i+Carb., l_i+Carb+cleaner$
	駆働運転 (燃料あり)	$l_i+Carb., l_i+40+Carb.$
	発火運転	$l_i+Carb., l_i+40+Carb.$
排気管	発火運転	$l_e+(20+10), l_e+(50+20), l_e+(100+20)$ $l_e+(20+50), l_e+(20+100)$

* $l_i=24.6$ cm, $l_i+Carb.=29.9$ cm, $l_e=19.4$ cm

圧力変動, クランクマーク, タイムマーク (1000 サイクル) を同時記録し, さらに示圧計のコックを切換えて迅速に圧力規準線 (大気圧) をも記録する。これらの測定および記録を表-2 に示す各管長について機関回転数 (N) を変えながら行なった。なお給気管系の実験には排気管を悉く取除き ($L_e=3\text{ cm}$), 排気管の実験には最短の給気管長 ($L_s=29.9\text{ cm}$) で行ない, 駆動運転, 発火運転ともに気化器の絞り弁開度は全開とし, 発火運転時の機関回転数は動力計の負荷を調整することによって変えた。

3. 実験結果および考察

3.1 給気管系の圧力伝播速度

3.1.1 給気管内混合気温度

図-2 には給気管系における熱電対 (銅-コンスタンタン) の取付位置とその位置における混合気温度を示し, 図-3 には代表的管長についての温度測定例を機関回転数について示している。図において, 駆動運転 (燃料供給または供給せず), 発火運転のいずれの場合においても給気管入口 ① および給気孔直前 ② における混合気温度は機関回転数 (N) や給気管長 (L_i) とは無関係にほぼ一定と見做すことができる。これに対し, クランク室温度 ⑥ は給気管 ①, ② の温度よりもかなり高く, しかも機関回転数に比例して上昇している。これは壁温の上昇と燃焼ガスのクランク室への吹返しが增加することに基因するものと考えられる。

なお駆動運転の場合には燃料の供給によって ① および ② の温度が約 $8\sim 10^\circ$ 低下している。

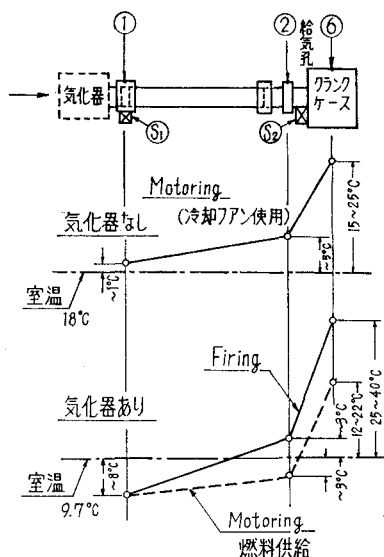


図-2 給気管系の温度分布

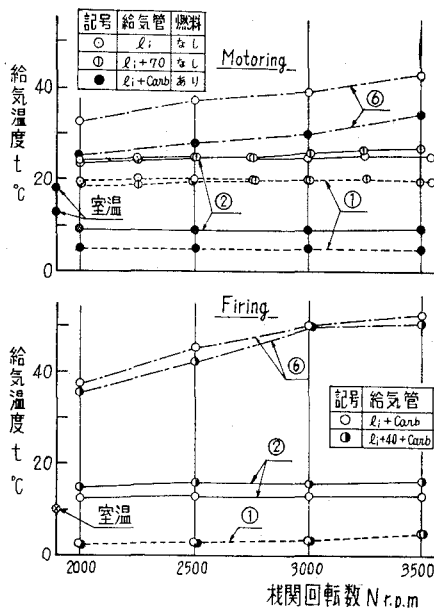


図-3 給気管系の温度分布

なお 図-3 の実験結果から給気管内混合気の平均温度 (t_{im}) を求めると表-3 の通りである。このように燃料供給のため混合気温度が低下するのは燃料の気化熱に基因するものであって、混合気の熱平衡を考えると、

$$x \cdot G_f \cdot \gamma = [C_{ap} \cdot G_a + C_f(1-x) \cdot G_f + C_{fp} \cdot x \cdot G_f] \Delta t \tag{1}$$

の関係が成り立つ。ここに、 x : 燃料の気化率、 γ : 燃料の蒸発潜熱、 G_f, G_a : 燃料および空気の重量、 C_{ap}, C_{fp}, C_f : 空気、燃料蒸気および燃料の比熱、 Δt : 混合気の温度降下である。従って、空気および燃料の性状 (C_{ap}, C_f, C_{fp})、流量 (G_a, G_f) および燃料の気化率

表-3 給気管系の温度

運転形式	給気管 (t_{im})	クランク室 (t_{Rm})
駆動運転 (燃料供給)	$t_R - (5 \sim 6^\circ)$	$t_R + (12 \sim 22^\circ)$
発火運転	$t_R - (2 \sim 3^\circ)$	$t_R + (25 \sim 40^\circ)$

t_R : 室温

(x) が与えられると給気管内混合気の温度降下 (Δt) が計算される。しかし実際には前二者は規定または測定できるものであるが、後者 (気化率 x) は温度の関数でもあり、あらかじめ規定することはできない。いま表-3 の測定値 (温度降下 $\Delta t = 5 \sim 6^\circ$) と燃料 (ガソリン) および空気の物性値: $\gamma = 75 \text{ kcal/kg}$, $C_{fp} = 0.318 \text{ kcal/kg}$, $C_f = 0.5 \text{ kcal/kg}$, $C_{ap} = 0.24 \text{ kcal/kg}$, 混合比 $A/F = 10$ を用いて気化率を逆算してみると、 $x = 20 \sim 25\%$ となる。この値は一般に考えられている内燃機関の給気管内における燃料の気化率⁸⁾ とよく一致している。従って、混合気温度を直接計測する煩雑をさけ、常識的な気化率を用いて給気管内混合気温度を概算することができる。なお、ここでは表-3 に示した平均温度 (t_{im}) をもとにして、次に給気管内の圧力伝播速度に及ぼす各因子の影響について検討する。

3.1.2 給気管内圧力変動からの圧力伝播速度測定

給気管入口 (S_1)、給気孔直前 (S_2) における圧力変動のオシログラムを 図-4 に示す。図から圧力伝播速度を求める方法として次の二つがまず考えられる。

(1) 示圧計取付け距離と図の Δl 区間に要する時間から求める方法。

(2) 給気孔閉止 (I.C.) 後における給気管内脈動波の振動数 (f) の平均値を求め、一端閉止他端開放の管、いわゆるオルガンパイプの基準振動の式 $f = a_i / 4L_i$ から脈動波の圧力伝播速度 (a_i) を求める方法とである。ここでは予備実験の結果、後者の方法を採用することにした。いま、この方法で求めた圧力伝播速度 (a_i) を給気管内混合気

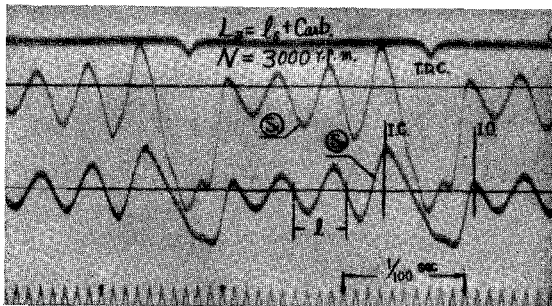


図-4 オシログラム

平均温度 (t_{im}) を用いて 15°C に換算し、給気管長 (L_i) につき整理すると 図-5 の通りである。図の実験曲線から給気管径および給気管長の影響が存在することがわ

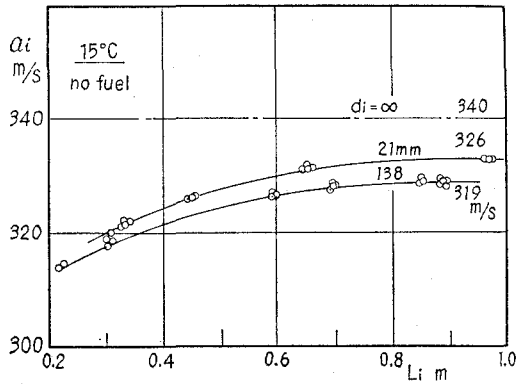


図-5 給気管内圧力伝播速度 (燃料供給せず)

表-4 管径補正

機関	D_i m	$1/D_i$	$0.3/D_i$	a_i m/s 15°C
	∞	0	0	340
A	0.021	47.6	14.3	326
B	0.0138	72.4	21.7	319*

かる。

(i) 管径補正 (Δa) 図において給気管が十分長くなると実験値はほぼ定常値を示している。この範囲では管端の影響は無視できるほどに小さいものと考えられるので、これ

らの値をそれぞれの管径における管内の圧力伝播速度と見做すことができる。

いま、燃料を供給しない場合の圧力伝播速度 a_i (図の右側記入の値) と給気管径 (D_i) との関係を示すと表-4 のようになり、いわゆる管径補正として $\Delta a \doteq 0.3/D_i$ m/s を考慮すればよいことがわかる。すなわち駆動運転 (燃料供給せず) における給気管内の圧力伝播速度の実験式として次の関係が与えられる。

$$a_i = 340 \sqrt{T_{im}/T_{15}} - 0.3/D_i \quad \text{m/s} \quad (2)$$

ここに、 $T_{im} = 273 + t_{im} \text{ } ^\circ\text{K}$, $T_{15} = 273 + 15 \text{ } ^\circ\text{K}$, D_i : 給気管径 (m) である。

このように管径が小さくなるほど圧力伝播速度の値が小さくなることは音響学的理論からも明らかである。すなわち粘性を考慮せる細管内の音波の微分方程式は次の通りである⁹⁾。

$$\frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial t^2} = \left\{ 1 - (1-i) \frac{h}{2\pi r} \right\} a^2 \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial x^2} \quad (3)$$

\bar{u} : 速度 (複素変数であって、角振動数 n , r : 管半径, a : 圧力伝播速度, $h = 2\pi \times \sqrt{2\mu/n\rho_0}$ (但し、 μ : 粘性係数, ρ_0 : 密度) である。次に (3) 式の特解として $\bar{u} = C e^{i n t + \alpha x}$ と仮定し、これを (3) 式に代入すると

$$\bar{u} = C e^{\pm \alpha x} \cdot e^{i n (t \pm x/a')} \quad (4)$$

但し、 $\alpha = nh/4\pi r \cdot a$

$$a' = a (1 + h/4\pi r)^{-1} \doteq a (1 - h/\pi r) = a \{ 1 - (h/2\pi) (1/D_i) \} \quad (5)$$

従って圧力波の伝播速度は a' であって、(5) 式から解るように通常の伝播速度 (a) よりも小さくなるのがわかる。いま 15°C の空気に対する粘性係数 (C.G.S. 単位) は $\mu = 0.000172$, 密度 $\rho_0 = 0.001205$, 振動数 250 C.P.S., $a = 340$ m/s とおくと (2) 式の如き管径補正值は $\Delta a = 0.047/D_i$ m/s となる。他方、音響学的研究による実験式、たとえば、 $a = 331 (1 - 0.362/D_i \sqrt{n})^{12)}$

においては (但し D_i : cm), $\Delta a \doteq 0.081/D_i$ m/s となる。このように内燃機関における管内の圧力伝播速度に対する管径補正值 ($\Delta a = 0.3/D_i$) が上述せる音響学的研究結果よりもかなり大きい理由は, 圧力波の振幅が大きい管からのエネルギー損失が増加するので圧力伝播速度も低下するものと考えられる。

(ii) 管端補正 (Δl) 管長が短くなると圧力伝播速度はかなり低下しているが, これは管端補正 (Δl) を考慮せず計算したためと考えられる。

いま定常値, すなわち管長 $L_i > 0.9$ m における圧力伝播速度になるように逆に管端補正 ($\Delta l/R$) を求め, 給気管長につき描くと 図-6 の通りである。これらから次の関係が与えられる。

$$\Delta l/R \doteq 5.8 (0.9 - L_i)$$

ここに, R : 給気管の半径 (m), Δl : 管端補正 (m) であり, 適用範囲は $L_i \leq 0.9$ m である。なお管端補正 (Δl) については理論的には $(8/3 \cdot \pi) \cdot R^3$, 実験的には $0.6R^3$ または $(2 \sim 3)R^3$ と云われているが本実験の場合, 補正值が管長と共に変化しているが, これは逆に補正值を求めたためと考えられる。

しかし供試機関の如く管径の比較的小さい場合には管端補正值として $(2 \sim 3)R$ の値を用いてもよいであろう。

(iii) 燃料による影響 燃料, すなわち混合比の影響を求めるために燃料消費量 (G_f) を広範囲に変えた実験を行ない, オシログラムから求めた圧力伝播速度に管端補正 (Δl) を施し,

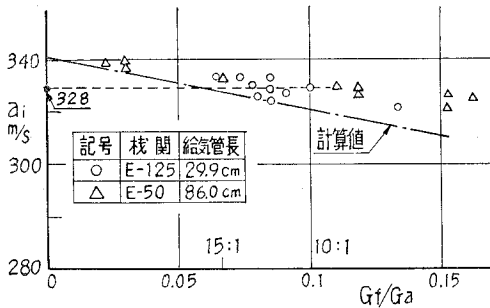


図-7 圧力伝播速度と燃室比

温度補正および(2)式による管径補正を行なって管径 $D_i = \infty$, すなわち自由大気中における 15°C の場合の圧力伝播速度に算換し, これを燃空比 (G_f/G_a) につき整理すると 図-7 となる。

これら測定値は温度補正を施してあるにもかかわらず, かなりばらついているとはいえ燃空比に比例して低下している。従って現用ガソリン機関の常用空燃比 $10 \sim 15$ の範囲

では空気に対する音速 $a_0 = 340$ m/s の代りに近似的に 328 m/s を用いればよいことがわかる。このようにガソリン蒸気 (燃料) による圧力伝播速度の低下する原因としては, 圧力伝播速度 $a_\infty = \sqrt{k \cdot g \cdot RT}$ において混合気の比熱比 (k) およびガス常数 (R) の変化が考えられる。そこで Bahlk, Kay 両氏の揮発油蒸気に対する定比圧熱 (C_p) および定容比熱 (C_v) に関する実験式¹¹⁾ を用い, 各燃空比に対する混合気の比熱 (k) およびガス常数 (R) を Dalton の分圧法則

から求め、その値を15°C、自由大気中における圧力伝播速度 $a_{\infty} = \sqrt{k \cdot g \cdot R \cdot T_{15}}$ に換算した値が図-7の鎖線である。(ガソリンの比重量 $r = 0.74 \text{ kg/l}$, 分子量 $M = 100$ として計算) 計算値は実験値よりも低い値を示しているが、これは燃料の気化率を100%と見積ったためであり、先に指摘したところの給気管気化率20~25%を用いるならば計算値は実験値に非常によく近似することが容易に推察される。かくして燃料供給により圧力伝播速度が低下する原因として、燃料の気化による温度降下の影響のほかに給気の組成変化に基づく比熱比 (k), ガス常数 (R) の変化の影響が存在することが確認された。しかも上述せる影響を考慮して、圧力伝播速度を計算することも可能である。ここでは実用性に重点を置き、管径、管端および燃料の各修正項を考慮すると給気管内の圧力伝播速度を与える実験式として

$$a_i \doteq 328 \sqrt{T_{im}/T_{15} - 0.3/D_i} \quad \text{m/s} \quad (6)$$

が得られる。ただし上式は空燃比10~15の範囲に適用され、給気管内平均温度としては表-3の関係を用いればよい。また給気管が短い場合には脈動次数 (q_i) および慣性特性数 (Z_i) の計算に当り給気管長 (L_i) に管端補正 $\Delta l = (2 \sim 3) R$ を施さねばならない。なお給気過程におけるクランク室内混合気の圧力伝播速度は(6)式の T_{em} の代わりにクランク室内温度(表-3参照)を用いればよい。

3.2 排気管系の圧力伝播速度

3.2.1 排気管内ガス温度

排気管系に挿入せる熱電対(アルメルクロメル)の位置と、その測定温度の一例を図-8に示す。

図において、排気ガス温度は排気管開口端に近づくほど曲線的に低下している。これらの曲線から排気管長さについての平均温度 (t_{em}) を求めたのが同図下方に示してある。

なお同図には排気孔直後の温度 (t_p) をも併記している。図によると、排気ガスの平均温度 (t_{em}) は排気管長 (L_e), 機関回転数 (N), 負荷, 給気比, 空燃比および冷却方法等によって変化するが同一運転条件のもとでは、主として排気管長 (L_e) と機関回転数 (N) に支配されることがわかる。これに対し排気孔直後の温度 (t_p) は排気管長 (L_e) にあまり影響されない。管内の圧力伝播速度は当然のことな

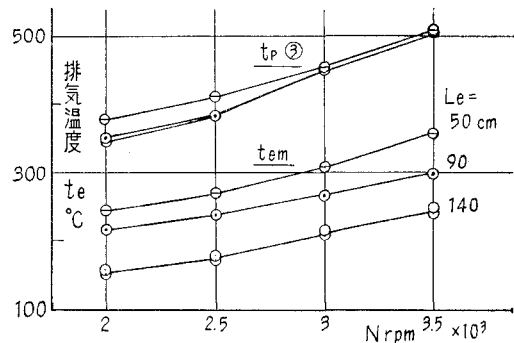
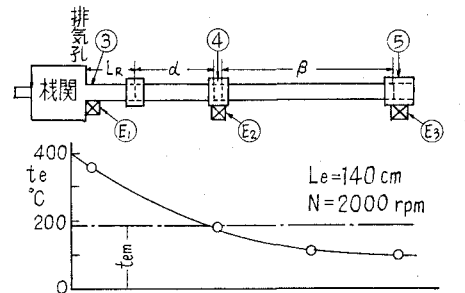


図-8 排気管系の温度分布

から管長全域にわたっての平均温度を用いて算出しなければならない。従って、排気孔直後の排気ガス温度から算出されている従来の方法は余りにも近似過ぎ、排気管長の影響を表わすことはできないだろう。いま実用上から考えると、排気平均温度 (t_{em}) を個々の場合について求めることは極めて煩雑であるから或一定点、たとえば測定容易な排気孔直後の温度 (t_p) との関係がわかると便利である。そこで図-8の実験結果から温度比 (T_{em}/T_p) を管長と管径の比 (L_e/d_e) につき整理すると図-9に示すように、いずれも一曲線上にかなりよく揃っている。従って同一運転条件のもとでは近似的に次の関係が得られる。

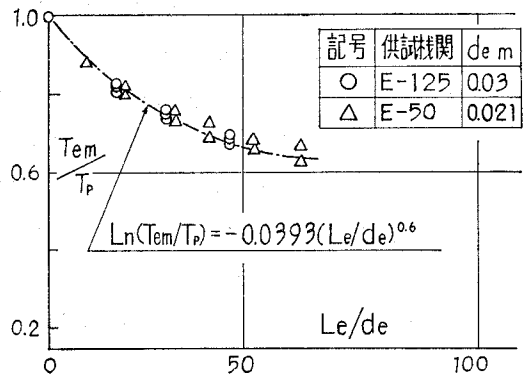


図-9 温度比と排気管長

$$\ln(T_{em}/T_p) = -0.0393(L_e/d_e)^{0.6} \tag{7}$$

ここに $T_{em}=273+t_{em}$, $T_p=273+t_p$, L_e : 排気管長, d_e : 管径 (m) である。

これらの関係は勿論、排気孔直後温度の測定位置や排気管の冷却状態によって変るものであり、厳密には供試機関について二三点チェックしてみる必要がある。さらに直管型排気管以外の排気管系においては、図-10、図-11に示すように排気管系寸度に応じて排気温度分布曲線が変るので実験式を作ることは余り意味がない。

3.2.2 排気管内圧力変動からの圧力伝播速度測定

排気孔直後 (E_1), 中間 (E_2) および出口 (E_3) における圧力変動のオシログラムを 図-12

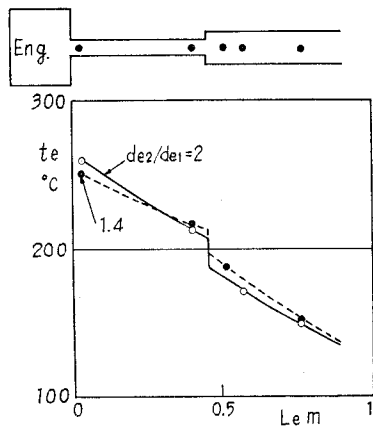


図-10 排気管系の温度分布 (段付管)

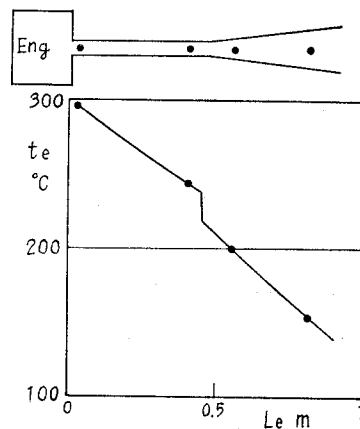


図-11 排気管系の温度分布 (円錐管)

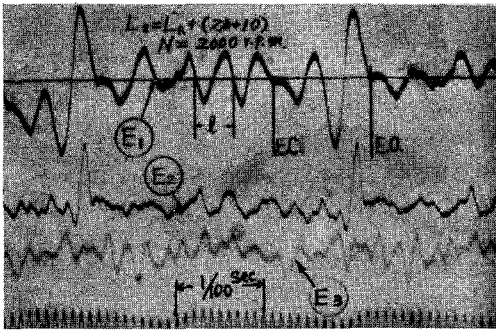


図-12 オシログラム

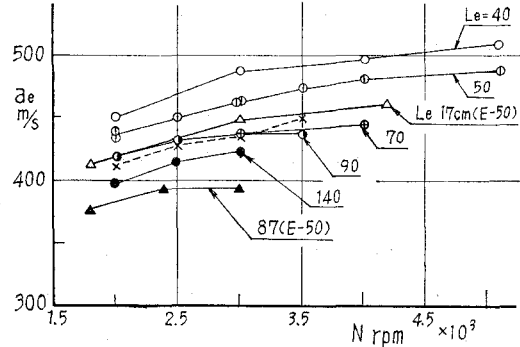


図-13 排気管内圧力伝播速度

に示す。図から給気管の場合と同様に、排気孔閉止後 (E.C.) の脈動波から圧力伝播速度を求め、機関回転数 (N) および排気管長 (Le) について示したのが 図-13、図-14 である。

これら両図によると、排気管内圧力伝播速度 (ae) は機関回転数と共に増加し、排気管長が長くなるにつれて減少し、排気管内平均温度 (tem) の測定結果 (図-8) と全く同じ傾向を示している。

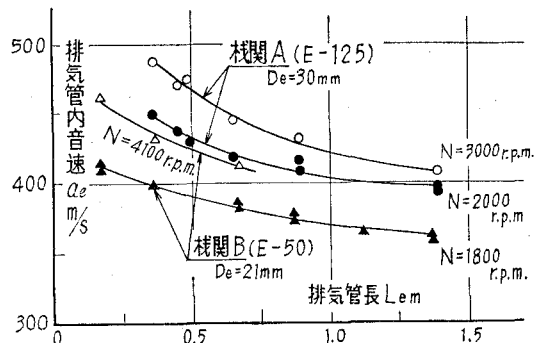


図-14 排気管内圧力伝播速度

従来、排気管内の圧力伝播速度に関しては Kastner⁶⁾ が Kirchhoff の式を用いて駆動運転の場合について空気温度 100°C~250°C、管径 1~4 inch の範囲の排気管における管内圧力伝播速度を計算し、表-5 に示した Morrison 等の実験値について定性的な考察を加えている。しかしこれらはいずれもその管内の平均ガス温度が不明であり、しかも低速回転の実験結果ではあるが、本実験結果とかなりよく一致している。一般に燃焼ガス中の圧力伝播速度 (a) は

$$a = \sqrt{kgRT} = \sqrt{kgRT_0} \sqrt{T/T_0} = a_0 \sqrt{T/T_0}$$

表-5 圧力伝播速度の実験値

参考文献	著者	機関の種類	排気管径 (cm)	圧力伝播速度 (平均値) (m/s)
Proc. I.A.E. Vol. 27, p. 614.	Mucklow	4-cycle /	4.13	411
Proc. I.M.E. Vol. 138, p. 367.	Farmer	2-cycle 750 rpm	6.35	384
Forschung, V.D.I. Bd 5, p. 226.	Schmidt	" 370 rpm	13.60	384
Forschung, V.D.I. Bd 6, p. 280.	Pischinger	" 1450 rpm	22.5	375
Proc. I.M.E. Vol. 143, No. 2, p. 109.	Morrison	4-cycle 1600 rpm (Motored engine)	7.3	335

で表わされる。ここに、 $T_0=273^{\circ}\text{K}$ 、 T : 燃焼ガス温度である。

なお上式において $a_0=\sqrt{kgRT_0}$ に含まれる燃焼ガスの比熱比 (k) および常数 (R) は、燃焼ガスの組成と温度によって変ることは給気管の場合と同じである。いま、燃料としてガソリン (重量組成: $C=85\%$, $H=14.5\%$, $S=0.2\%$) を考え、まず完全燃焼した場合の燃焼ガス組成を化学反応式から求める。次に燃焼ガス中に含まれる各成分 (CO_2 ,

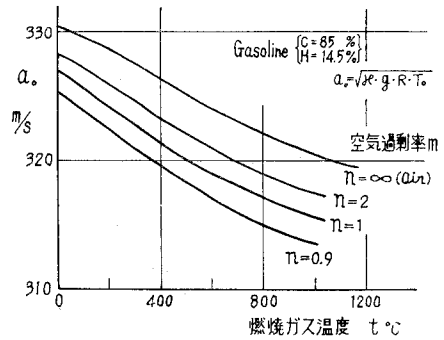


図-15 圧力伝播速度 (a_0)

H_2O , N_2) の定圧比熱 (C_p) および定容比熱 (C_v) を用いて Dalton の法則から燃焼ガスの比熱比、ガス定数を決定する。また空気過剰率が 1 以上の場合には酸素 (O_2) を、1 以下の場合にはガソリン蒸気を加えて計算する。かくして求めた圧力伝播速度 $a_0=\sqrt{kg \cdot RT_0}$ の値を燃焼ガス温度 ($t^{\circ}\text{C}$) について示したのが図-15 である。図において、供試機関による本実験範囲の排気管内平均温度 (t_{em})=150~400 $^{\circ}\text{C}$ 、空気過剰率 $n=0.9\sim 2$ では $a_0=323\pm 3\text{ m/s}$ と近似できることがわかる。

よって給気管の場合と同じに、排気管内の圧力伝播速度に関する実験式として次の関係が得られる。

$$a_e \doteq (323 \pm 3) \sqrt{T_{em}/T_0} - 0.3/dt \tag{8}$$

表-6 排気管内圧力伝播速度の検討

排気管長	回転数 N rpm	オシロより求めた 圧力伝播 速度	実測値 (t_3 ~ t_5) から求めた平均温度	t_{em} II と (8) 式より求めた圧力伝播速度	a_{II}/a_I	t_p と (7) 式から求めた平均温度	t_{em} III と (8) 式より求めた圧力伝播速度	a_{III}/a_I
		a_I m/s	t_{em} II $^{\circ}\text{C}$	a_{II} m/s		t_{em} III $^{\circ}\text{C}$	a_{III} m/s	
$L_R+(20+10)$	2000	430	248	436	1.013	236	430	1.000
	2500	450	275	447	0.993	263	442	0.982
	3000	460	312	462	1.004	324	468	1.017
	3500	475	360	481	1.012	365	482	1.014
$L_R+(50+20)$	2000	420	220	424	1.009	211	420	1.000
	2500	430	240	433	1.006	232	430	1.000
	3000	438	270	446	1.018	269	445	1.015
	3500	438	300	458	1.045	306	459	1.047
$L_R+(100+20)$	2000	396	160	397	1.002	148	391	0.987
	2500	415	180	406	0.978	171	402	0.968
	3000	422	216	421	0.997	221	425	1.007

この実験式の妥当性を検討するため実測せる排気管内平均ガス温度 ($t_{em\ II}$) と (8) 式を用いて圧力伝播速度 a_{II} を求め、これをオシログラムから求めた圧力伝播速度 a_I と比較すると表-6 に示すように両者はかなりよく一致する。また排気孔直後の温度 (t_p) と (7) 式から算出した排気管内平均温度 ($t_{em\ III}$) を用い、(8) 式から求めた圧力伝播速度 a_{III} をも同表に示しているが 2~3% の誤差範囲内でいずれもよく一致している。なお (7) 式は機関 A (E-125) の実験値のみから誘導したものであり、(8) 式の右辺第 2 項 ($0.3/d_e$) も給気管系の結果をそのまま用いたものであり、なんらの確証もない。そこで機関 B (E-50) の実験結果 (オシログラム) から求めた圧力伝播速度 (a_e) を (8) 式に代入し、逆に排気管内の平均ガス温度 (T_{em}) を求め、実測せる排気孔直後の排気温度 (T_p) との比 (T_{em}/T_p) を L_e/d_e についてプロットすると、さきに示した図-9 の \triangle 印の如く機関 A (E-125) の実験曲線によく揃っており、(7) 式および (8) 式が充分妥当であることがわかる。

以上の結果は給排気管内の残留脈動波の周期から求めたものである。しかし給排気孔開放時の給排気管内における平均圧力伝播速度を 2~3 カ所に取付けた示圧計における前進波の遅れと反射波の遅れとの平均から求めようと試みたが、オシログラムの精度上余りよい結果は得られなかった。しかし、排気管系に関する算出結果の一例 ($L_e=90$) を図-13 に点線で併記しているが、本研究の算出法による結果とかなりよい近似を示している。

4. 結 言

以上給排気管内の流体温度の測定と管内の圧力変動から給排気管内の圧力伝播速度を求める実験式を誘導し、考察したが要約すると次の通りである。

- (1) 給気管内残留脈動波の圧力伝播速度は次式から求めればよい。

$$a_i = 328 \sqrt{T_{em}/T_{15}} - 0.3/D_i \quad \text{m/s} \quad (2)$$

ただし、上式は空燃比 10~15 の範囲に適用され、給気管内平均温度は表-3 から求めればよい。また特性数 (q_i, Z_i) の計算にあたっては給気管長 (L_i) には、 $\Delta l = (2\sim 3)R$ の管端補正を施すべきである。

- (2) 給気過程における圧力伝播速度としてはクランク室内平均温度 t_{km} (表-3) を (2) 式の T_{em} の代りに用いればよい。

- (3) 排気管内残留脈動波の圧力伝播速度は次式から求められる。

$$a_e = (323 \pm 3) \sqrt{T_{em}/T_0} - 0.3/d_e \quad \text{m/s} \quad (8)$$

ただし、上式は排気管内平均温度 $t_{em} = 150\sim 400^\circ\text{C}$ 、空気過剰率 $n = 0.9\sim 2$ の範囲内に適用され、排気管内平均温度 (T_{em}) は排気孔直後のガス温度 (T_p) を用いて次式から求められる。

$$I_n(T_{em}/T_p) = -0.0393 (L_e/d_e)^{0.6} \quad (7)$$

(4) 排気過程における圧力伝播速度も近似的に(8)式から求めうる。

以上、従来不明確であった給排気管内の圧力伝播速度の実体を明らかにし、実用性を高め得たものと思われる。

終りにのぞみ、御指導を賜わった東京大学浅沼強教授、実験を担当された群馬大学工学部機械工学科昭和34年度卒業研究学生久保修一、田沼篤雄、田部井正俊の諸氏に深甚なる謝意を表す。さらに日頃御指導御鞭撻を賜わっている北海道大学黒岩教授、本学千谷茂教授、林重信講師、福島和俊助手、早川友吉技官、三田村ナミ事務官ならびに機械工学科各位に感謝する。

文 献

- 1) 沢： 機械学会論文集, 25, 156 (昭34-8).
- 2) 沢： 室工大研報, 4, 2 (昭38).
- 3) 沢： 機械学会北海道支部第9回講演会前刷.
- 4) Lord Rayleigh: Theory of Sound Vol. II, 49.
- 5) Kastner: Engg. 150 (1949), 301.
- 6) Kastner: Engg. 150 (1940), 301.
- 7) G. F. Mucklow: I.M.E. Proc. 143 (1940), 109.
- 8) 栗野誠一: 内燃機関工学, 10.
- 9) 山下敬治: 数理音響学序説, 山海堂, 182.
- 10) 熱機関大系, 7巻, 148, 山海堂.
- 11) 谷下市松: 熱力学, 下巻, 382, 機械学会.
- 12) International critical tables Vol. 6, 461.

高速4サイクル機関の吸排気管効果について

沢 則 弘

On the Dynamic Effect due to Suction or Exhaust Pipe System in a High-Speed Four-Stroke Cycle Engine

Norihiro Sawa

Abstract

To examine the effects of a suction or exhaust pipe system on the delivery ratio (or the breathing capacity) in a high-speed four-stroke cycle engine, the present writer has measured the amount of air flow and analysed some pressure diagrams for the suction pipe or exhaust pipe.

Some conclusion obtained in these experiments are summarized as follow:

a) The maximum delivery ratio occurs on account of the inertia-effect as the same as in the case of low-speed engine and such inertia-effect is governed by the following expression

$$Z_s = \frac{\omega}{a} \cdot \sqrt{V_h L_s / f_s}$$

b) In the cases of long suction pipe or high-speed, the pulsation waves in the intake pipe have influence on the delivery ratio and such pulsation effect is prescribed by the following expression

$$q_s = 30 a_s / (NL_s)$$

c) The maximum effect of the exhaust pipe is provided by the matching condition between the overlap period and the residual negative wave.

1. 緒 言

4サイクル機関の吸込み空気量（または機関トルク）が吸排気管系により、著しい影響を受けることは古くから知られており、数多くの理論的乃至実験的研究が続けられてきた。

すなわち、吸排気管内の流れは非定常圧縮性一次元等エントロピ流れと近似でき、運動、連続、状態の三つの基礎式をそれぞれの境界条件と初期条件の下に解けばよく、その解法として H. List および G. Reyl の逐次数値解法¹⁾ や電子計算機の利用²⁾ および E. Jenny に始まる特性曲線法³⁾ 等が知られている。しかるに、これら厳密解は、その計算が煩雑莫大となるので最大の吸込効率の生成条件に注目した近似理論もある。かかる数多くの理論的または実験的研究の結果、吸気管による動的効果（吸気管効果）としては、いわゆる慣性効果と脈動効果の二つが存在し、しかも両者は厳密に区別されるべきであること、慣性過給に基づく最大の吸込効率は主として慣性特性数 (Z_s)、流動抵抗係数 (μ) および吸気弁閉じ角 (θ_{sc}) によって規定されるこ

とが明らかにされている⁹⁾。逆に脈動波のみに注目する場合には、いわゆる脈動次数 $q_s = 30 a_s / N \cdot L_s$ が有用なパラメータであることもわかっている。

次に排気過程における排気管の動的効果 (排気管効果) としては、排気吹出しにつづく負圧波によるいわゆる排気吹出し効果と残留脈動波による排気脈動効果との二つが考えられる。しかし、低速機関では後者の影響は一般にかなり小さく、十分無視して差支えないようである。いま脈動効果は無視する場合、排気吹出し負圧波が弁重り期間に一致するとき、最も効果的な掃気が行なわれるものとして吸気管の場合と同じように同調条件を求めることもできる。このように4サイクル機関における吸排気管効果に関しては、かなり具体的な解明がなされている。しかし従来の研究は、いずれも比較的低速の機関に対するものが多く、機関の高速化に伴い、これら吸排気管効果がそのまま利用できるものかどうか今のところ検証がない。そこで本研究においては取敢えず機関回転数 $N = 2000 \sim 8000$ rpm の範囲にわたって、吸気管長や排気管長を変えた実験を行ない、その結果につき吸気管効果と排気管果とに大別して次に述べる。

2. 給気管系による動的効果について

2.1 実験装置および実験方法

供試機関は図-1に示す単シリンダ空冷ガソリン4サイクル機関 (E-125) であり、その諸元は次の通りである。

シリンダ径×行程	60 mmφ×44 mm	圧縮比	10:1
行程体積	125 cc	吸気弁	径 27 mm 個数 2
行程内径比	1:1.36	排気弁	径 32 mm 個数 1

実験装置は図-2、図-3に示すように、供試機関①を電気動力計⑧ (三相交流分巻整流子

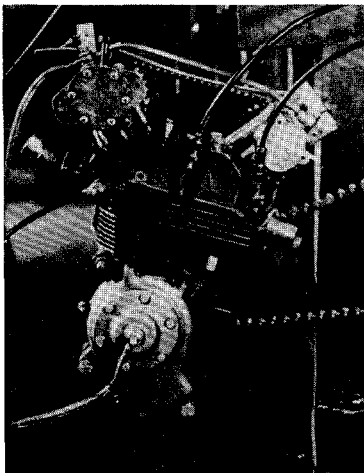


図-1 供試機関

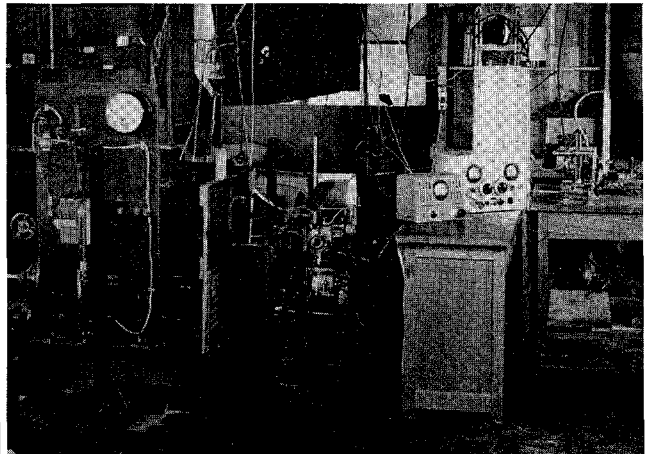


図-2 実験装置全景

電動機 M 413 型 CA 式：東津電機 K.K. 製) で増速駆動し，吸気流量は排気側に空気タンク ④ および丸型ノズル ⑥ を置き，ノズル前後の圧力差をカセットメータで読み，次式から空気流量 (Q) および吸込効率 (η_v) を算出した。

$$Q = C_a \cdot f \cdot \sqrt{2gh/\tau_1} \cdot \phi \tag{1}$$

$$\phi = 1 - 0.5246 \times 10^{-3} \cdot h \tag{2}$$

$$\eta_v = \{Qr \div (V_h \cdot N \cdot r_0) / (60 \times 2)\} \times 100 = \{4.25 C_a \cdot f \cdot (\sqrt{h}/N) (\sqrt{\tau_1}/r_0) \phi\} \times 100 \tag{3}$$

ここに，Q：実際の吸込空気量 (cc/s)， C_a ：ノズル流量係数， r_0, τ_1 ：実験時の大気比重量及びノズル直前の吸気比重量 (gr/cm³)， η_v ：吸込効率 (%)， f ：ノズル断面積 (cm²)， g ：重力定数 (cm/s²)， h ：ノズル前後の圧力差 (cm Aq)， ϕ ：流量修正係数である。

空気タンクには空気脈動鎮静用の厚さ 3 mm のゴム膜 ⑤ が張ってある。このように空気流量の測定装置を排気側に設置したのは吸気管による脈動および慣性効果を攪乱しないように

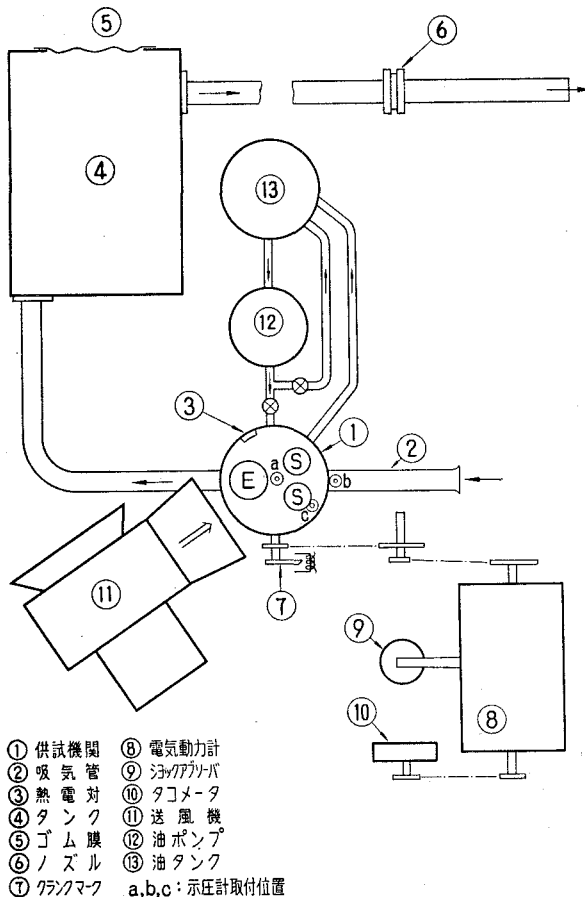


図-3 実験装置系統図

考慮したためである。なお流量測定装置を吸気側および排気側に配置した実験結果(図-4 参照)から、その取付位置は吸気側、排気側のいずれでも差支えないことがわかっている。

この他に冷却用の送風機⑪、潤滑用として歯車ポンプ⑫、油タンク⑬をも準備した。さらに各部の圧力変動を測定するために電気容量型示圧計を吸気孔直前およびシリンダヘッドに取付けた。また弁揚程の記録のため図-5に示すように吸気弁のバネおさえ皿と銅板との間の電気容量変化を変換器に導びき増巾して電磁オシロ装置に入れ、クランクマークは図-6のよ

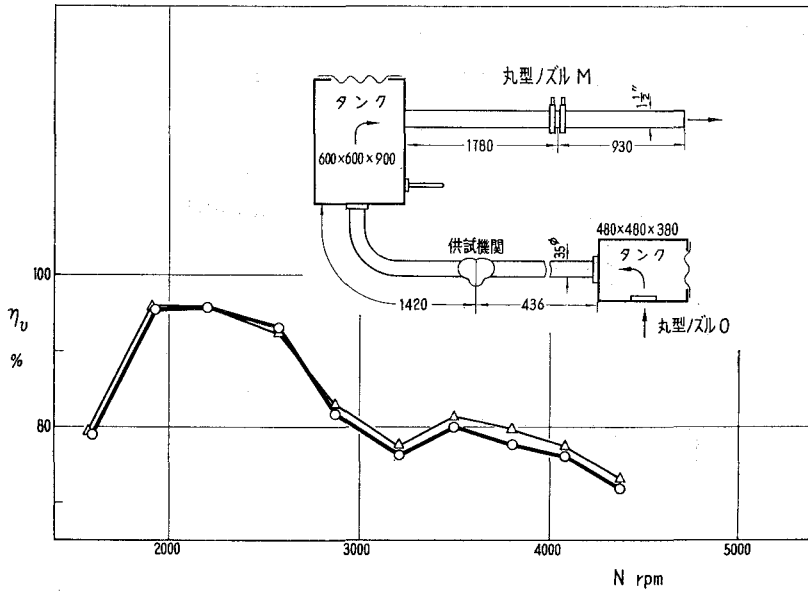
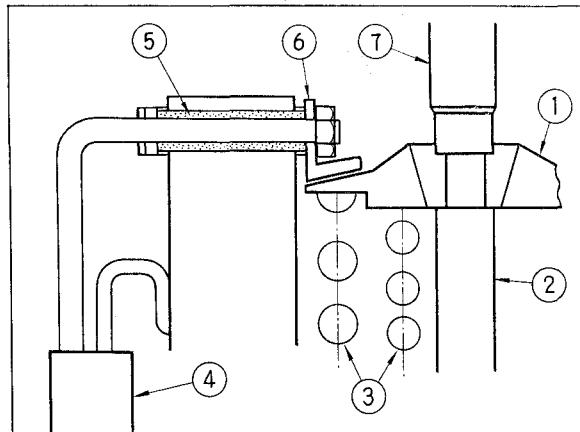


図-4 流量測定



- ① 弁押え皿 ② バルブステム ③ スプリング ④ リードワイヤ
- ⑤ 絶縁材 ⑥ 銅板 ⑦ タベット

図-6 弁揚程記録装置

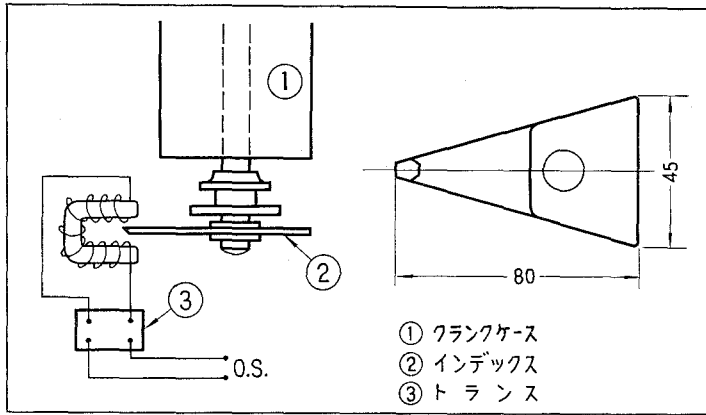


図-6 クランクマーカー

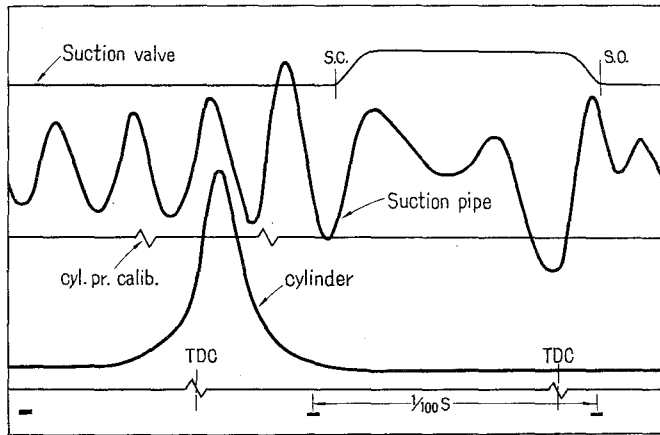


図-7 オシログラム

うにクランク軸に直結されたインデックスの先端が馬蹄型磁石の磁束を切り、その感応電流を小型トランスで電流増中して記録した。なおインデックスは遠心力による破壊を防ぐため重量の軽減を計りブリキ製とした。

実験方法は吸気管を任意に設定し、電気動力計で供試機関を駆動運転し、低速回転から高速回転まで約 200 rpm おきに変えて給気量、シリンダ温度、機関回転数を測定する。さらに代表的機関回転数につき各部の圧力変動、弁揚程、上死点等を記録した。(図-7 参照)

2.2 実験結果および考察

2.2.1 最大吸気量について

内燃機関はその使用条件により機関回転数を自由に選択しつつ(高速にしつつ)最高馬力を狙わんとする必要がある。従って吸込効率最大の条件よりもむしろ最大吸気量の条件を吟味する必要がある。この場合、燃焼効率を一定とすると吸気量はほぼ図示馬力に比例するので実

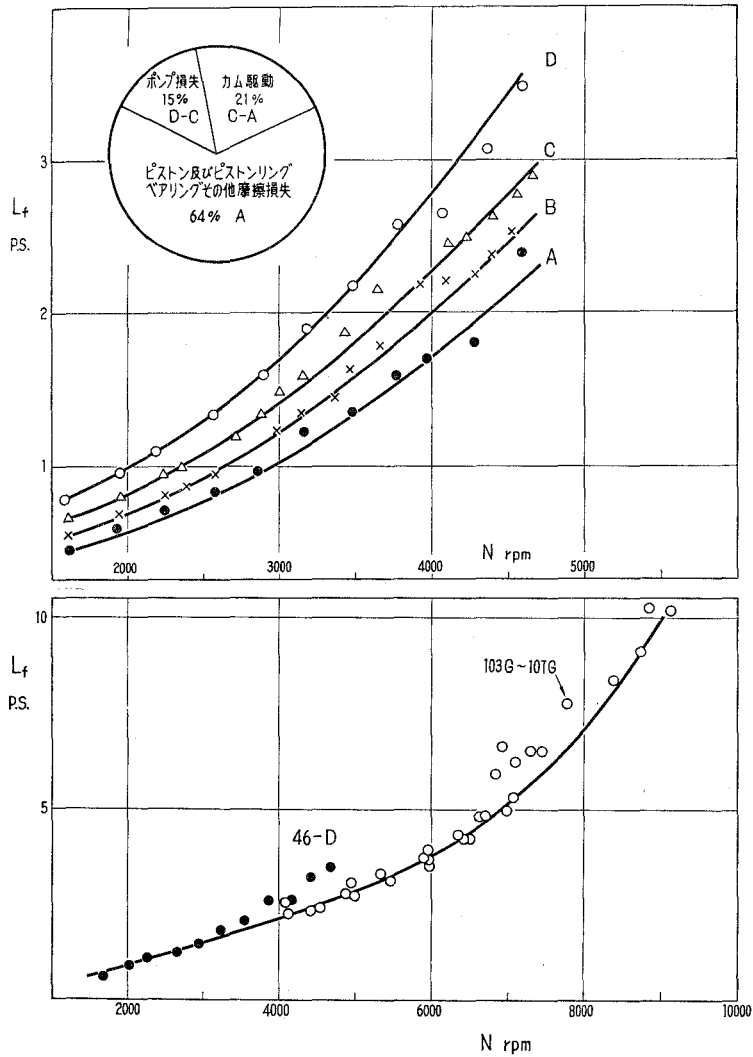


図-8 損 失 馬 力

際には損失馬力との差すなわち制動馬力を問題にしないでなければならない。しかし供試機関による実験によると図-8に示すように損失馬力(L_f)は近似的に $L_f = k(N/1000)^n$ で与えられる。従ってここでは取敢えず吸込空気量に注目し、その最大となる条件を調べる。

(1) 吸気弁時期の影響 実験結果の代表例を図-9に示す。図において、吸気管長 $L_s = 0.5$ m, ベルマウス付でカム I を用いた実験結果 ①, カム II を用いた ② によると、吸気量は約 6000 rpm に入るともはや増加せず特にカム II では急激に低下し始める。この傾向は気化器全開, ベルマウス付 ③, ④ においても認められる。従って吸気弁閉じ角は高速(約 6000 rpm 以上)になると下死点后 90° 以上にすべきであると云えよう。

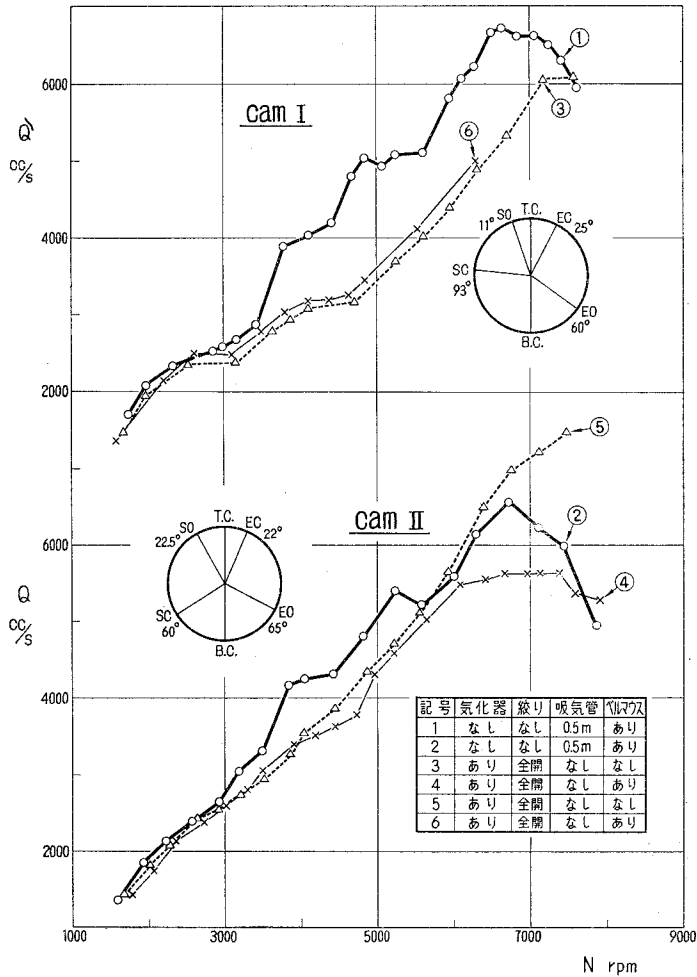


図-9 吸込空気量と機関回転数

(2) 吸気管長の影響 図-9, カム I の場合, ③ および ⑥ の条件では十分な慣性効果が得られず, しかも吸気弁閉じ角が相当おそいので $N = 7000$ rpm 以下の吸気量は著しく低い値を示している。これに対し, 吸気管長 $L_s = 0.5$ m, ① の場合には大体 $N = 7000$ rpm まではかなり慣性効果を示しているが, これ以上の高速になると吸気量は漸次低下している。同様にカム II を用いた実験結果においても吸気管の長いもの ($L_s = 0.5$ m, ベルマウス付) は大体 $N = 6500$ rpm 位で最大値を示し, 以後は吸気量が低下している。しかるにベルマウスのない ⑤ は約 8000 rpm 近くまで吸気量は増加するものと思われる。よって高速回転を狙う場合には出来る限り吸気管長を短くする必要があり, 極端な場合には吸気孔長さ及び気化器の長さ自体が問題となるであろう。

(3) 気化器の絞りの影響 カム II を用い, 絞り全開, 半開, ベルマウス付のものとなし

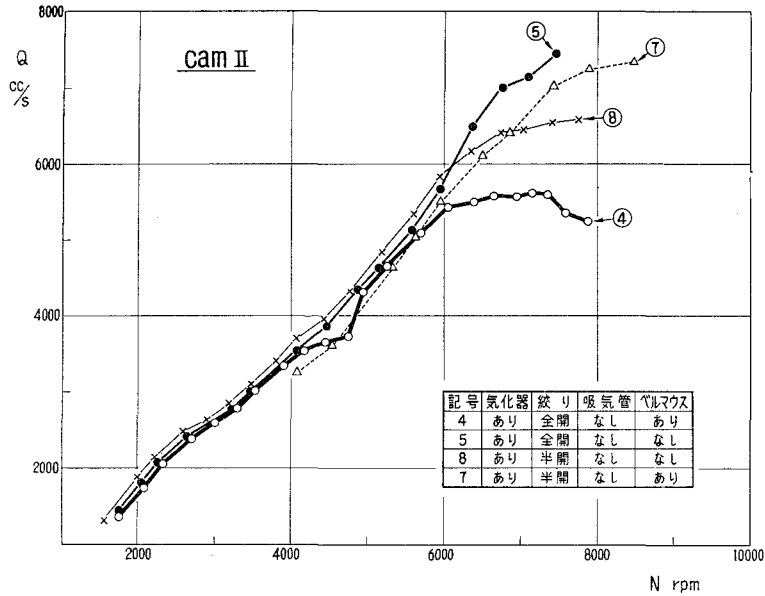


図-10 吸込空気量と機関回転数

のについての実験結果を図-10に示す。図において、ベルマウスのない場合、絞り半開に比べ全開の方が $N=6000$ rpm 以上において吸気量は著しく大きくあらわれている。しかるにベルマウス付の場合には全開の方が $N=6000$ rpm 附近から急に低下し、むしろ半開の方が大きな吸気量を示している。なお実験中絞り全開から半開にするとかえって吸気量の増加する事実を数回確認した。この点については後程オシログラムから解析しよう。

2.2.2 脈動効果について

脈動効果は吸気管長 ($L_s m$)、機関回転数 (N or ω) 及び管内気柱の音速 (a m/s) により規定

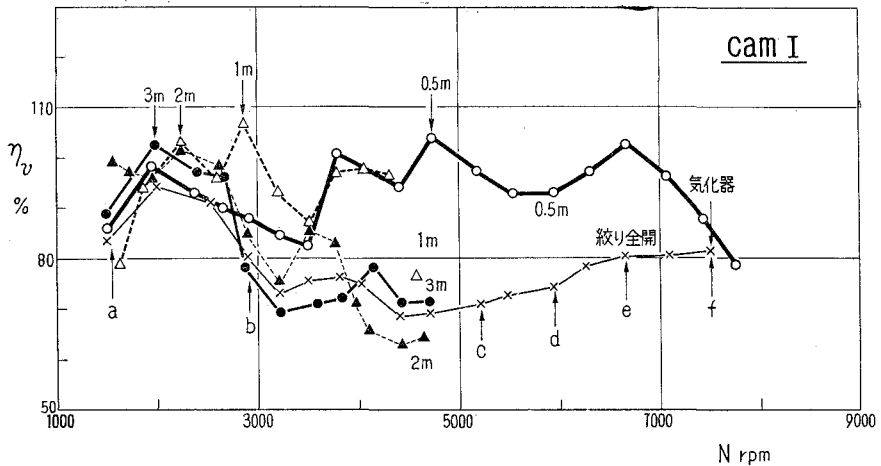


図-11 吸込効率と機関回転数 (Cam 1)

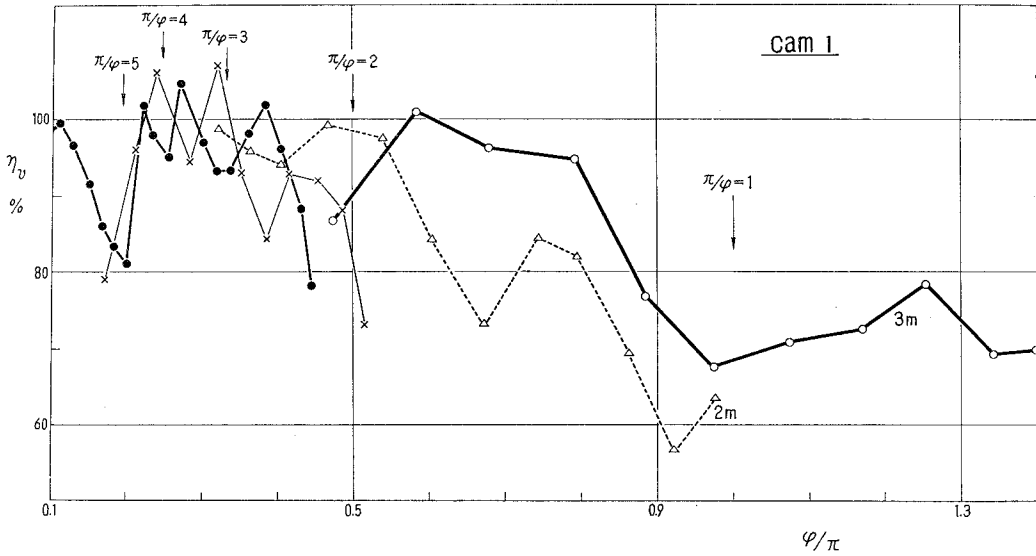


図-12 吸込効率と脈動次数

され、脈動特性数 $\varphi = \omega L_s/a$ により脈動効果を判定することが出来ることは既に指摘されている。いまカム I を用い吸気管長を変化させた場合の実験結果を図-11 に、これを脈動特性数 (φ) で整理したのが図-12 である。ここでは便宜上 $\varphi/\pi \equiv 1/q$ の形で整理している。

ここに q は吸気管内気柱の固有振動数と機関の吸込回数との比である。すなわち

$$q = \frac{a}{4L_s} (2k+1)/(N/120) = 30 \cdot a \cdot (2k+1)/(NL_s) \tag{4}$$

$k=0$, $\omega = 2\pi N/60$ とおくと、

$$q = \pi \cdot a/(\omega L_s) = \pi/\varphi \tag{5}$$

である。図において $q=1, 2$ で脈動のため吸込効率はかなり低下している。また最大効率は大体 $q=3\sim 5$ の範囲に散在している。これらの結果は、かなり不揃いであるが低速機関から得られる結果⁴⁾ と全く同じであることがわかる。またカム II を用いた実験結果 ($L_s=0.5\text{ m}$) と吸気管圧力線図 (図-13 および 図-14) とを対比すると、図 a~d は $q=7\sim 4$ のため脈動効果はかなり小さい。図 e 及び g においては、それぞれ $q=4$ 及び 3 次の正圧波が吸気期間に同調しており、この場合には吸込効率は向上し、図 f 及び h, i では $q=3$ 及び 2 次の負圧波が同調し、著しい効率低下を示している。このように吸気弁閉止後において、吸気管内に残存する脈動波のうち正の波が次の吸込時期に同調すると吸込効率は増加し、負の波の時には低下することがわかる。

次に気化器のみ取付けた場合の吸気管圧力線図 (図-15 参照) によると低速 (a), (b) では脈動波 ($q=10\sim 15$) はかなり減衰し、また高速 (e), (f) でも $q=4\sim 5$ 次の波が吸気期間に入ることに

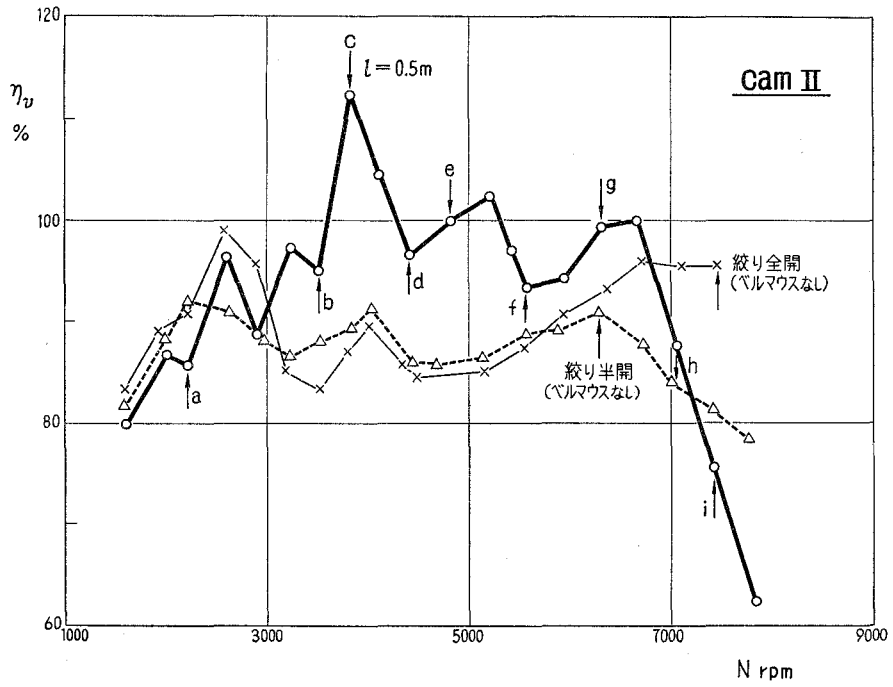


図-13 吸込効率と機関回転数 (Cam II)

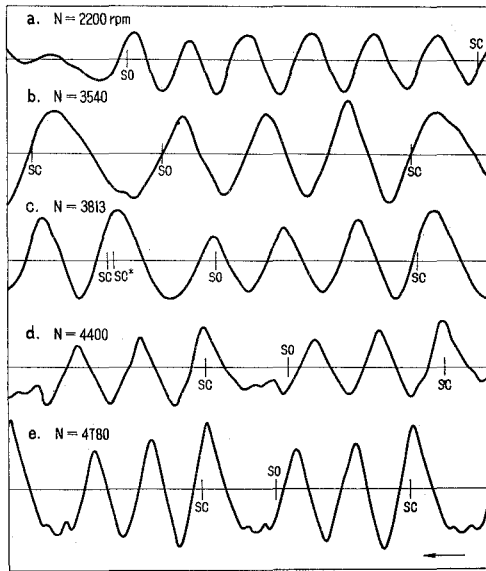


図-14 (a) オシログラム (カム II, $L_s=0.5$ m, 気化器なし)

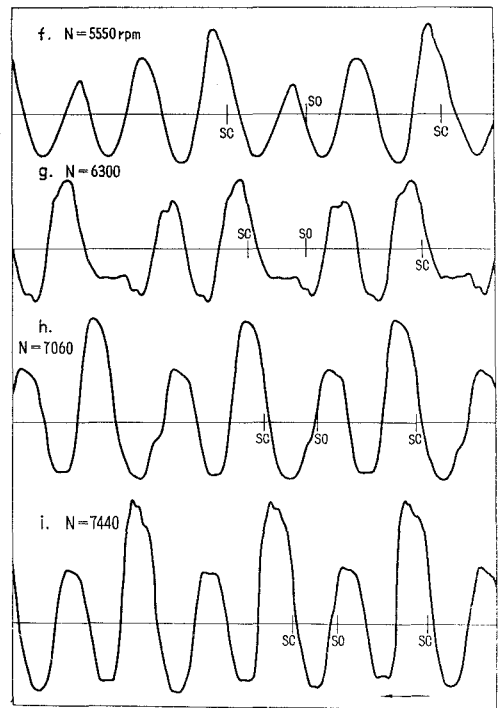


図-14 (b) オシログラム (カム II, $L_s=0.5$ m, 気化器なし)

なり、いずれの場合でもこのように極端に吸気管長 ($L_s = 0.224$ m) の短い時には脈動効果は殆んど無視して差支えないことがわかる。

2.2.3 慣性効果について

さきに示した実験結果 (図-11 および 図-13) を慣性特性数 (Z_s) で整理すると 図-16 および 図-17 となる。ここに慣性特性数 (Z_s) は

$$Z_s = \frac{\omega}{a} \cdot \sqrt{V_h \cdot L_s / f_s} \quad (6)$$

V_h : 行程体積, L_s : 吸気管長, f_s : 吸気管系の断面積である。

図において, $Z_s \doteq 0.45$ (カム I), $Z_s \doteq 0.4$ (カム II) の附近で吸込効率が最大となっている。一般に吸気弁閉じ角が下死点后 $40 \sim 60^\circ$ では $Z_s \doteq 0.5$ 附近に最大効率を示すものであるが本実験では下死点后 93° (カム I) で $Z_s \doteq 0.45$, 下死点后 60° (カム II) で $Z_s \doteq 0.4$ となっており幾分小さい値を示している。これは吸気弁が2個あることの影響と流動抵抗係数 (μ) の値に基づくものと考えられる。以上のことから 図-13 において吸気管 ($L_s = 0.5$, (実長: 0.589 m) の場合 $N = 3800$ rpm; 気化器全開 ($L_s = 0.224$) のときは $N \doteq 6800$ rpm; 気化器半開 ($L_s = 0.224$ m) のときは $N = 6300$ rpm においてそれぞれ慣性効果により最大効率を示すものと考え

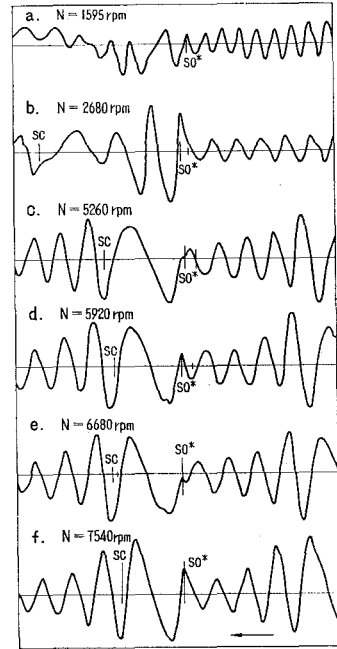


図-15 オシロラム (カム II, 気化器付, ベルマウスあり)

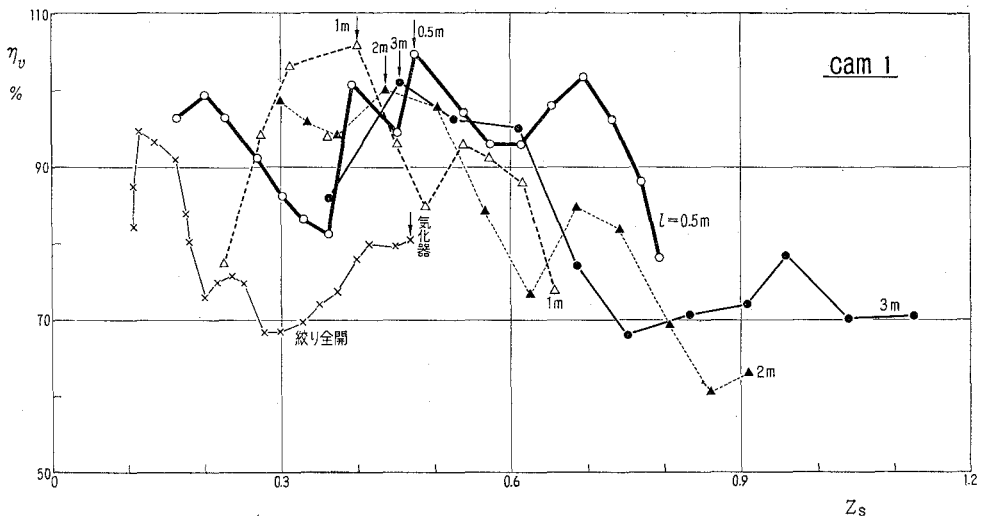


図-16 $\eta_v \sim Z_s$ 線図 (Cam 1)

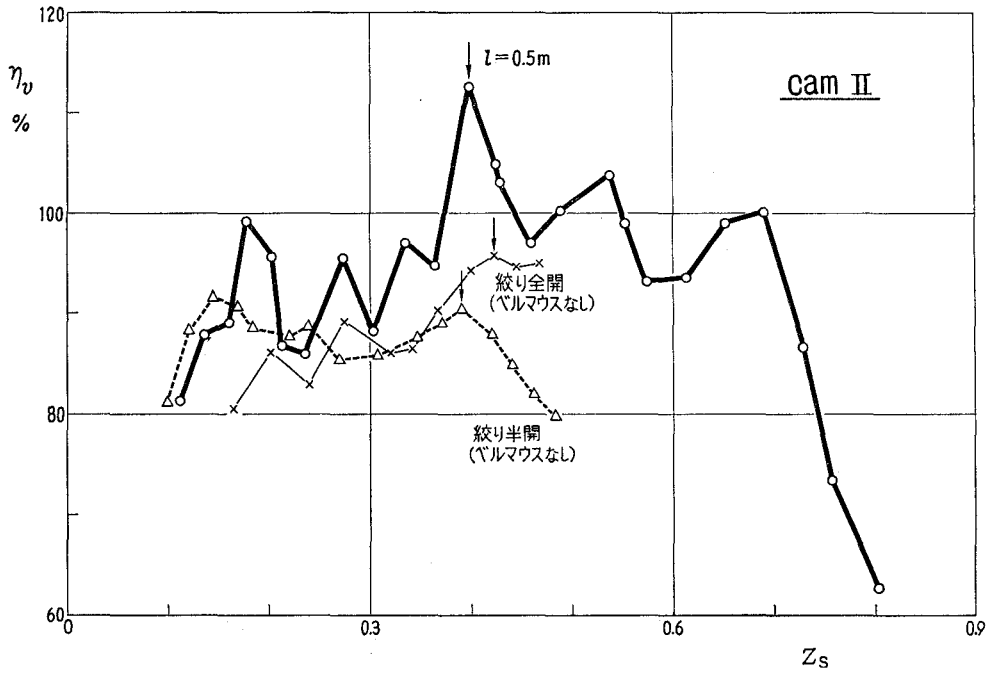


図-17 $\eta_v \sim Z_s$ 線図 (Cam II)

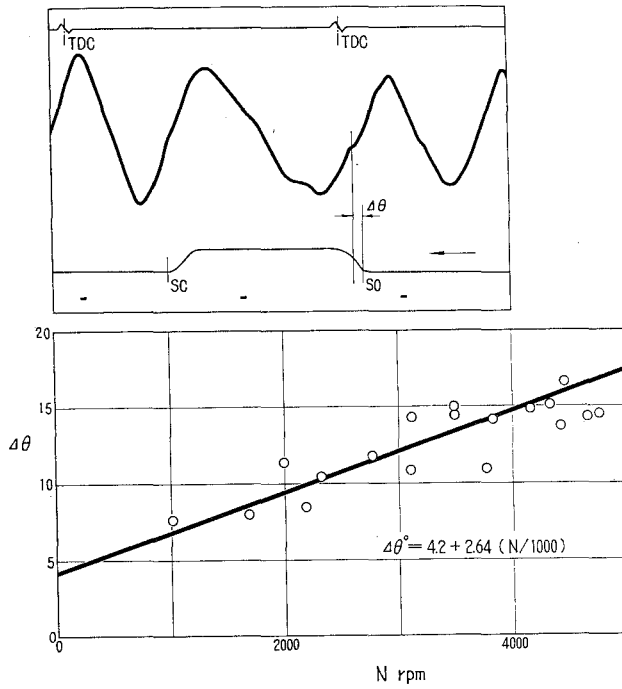


図-18 無 効 角

られる。また絞り弁を半開にすると流入抵抗が増すため、最大効率を与える機関回転数は約 500 rpm 低速側にずれており、従って高速化を計るためには出来る限り吸気管系統の抵抗を小さくするよう留意しなければならないようである。かかる場合の示圧線図をみるに 図-14, (a) $N=2200$ rpm; (b) $N=3540$ rpm では低速のため一旦流入した吸気が吸気弁閉じ角 (θ_{sc}) までに逆流し始めている。(c) $N=3813$ rpm では有効吸気弁閉じ角 $\theta_{sc}^*(=\theta_{sc}-\Delta\theta; \Delta\theta: \text{無効角 } 15^\circ \text{ とする})$ において丁度正圧波が入りきっており 図-13 の吸込効率線図からもこの点で最大効率を示すことがわかる。(d)~(i) の高速になると、もはや充分正圧波が入りきらないうちに吸気弁が閉じるため効率は漸次低下する。図-15 のオシログラムにおいても、(d)~(e) では未だ慣性効果が充分でなく、特に低速では著しい逆流を呈している。しかるに (f) $N=7540$ rpm においてはほぼ吸気弁有効閉じ角 θ_{sc}^* に丁度正圧波が入っており、図-16 においてもこの点は $Z_s=0.47$ であり、やはり慣性効果最大の点であることがわかる。なお無効角 $\Delta\theta$ は 図-18 の如く機関回転数の関数として表わされる。

以上、最大吸気量に対する吸気弁時期、吸気管長および気化器の絞りの影響について明らかにすると共に、脈動効果および慣性効果について吟味し、それぞれの特性数が充分有効であることが確認できた。

3. 排気管系による動的効果について

3.1 実験装置および実験方法

前節で用いた装置 (図-1~図-3) と全く別個の実験装置を準備し、供試機関としても次の如き諸元をもつ機関を用いた。(図-19 参照)

シリンダ径×行程	57.1×57.45 mm	排気弁開	A.T.C. 120°
行程体積	147.04 cc	排気弁閉	A.T.C. 21.2°
圧縮比	6.23	排気弁開口角	261.2°

ただ空気流量の測定、各部示圧線図の記録装置等は吸気管系の場合とはほぼ同じである。

実験は排気管長を 50 cm (内径 34 mm) 間隔にて 0~350 cm 迄 8 種に変えて発火運転のもとに行なった。なお使用せる直流電気動力計の容量から機関の絞り弁開度を 1/4 と 2/4 とに限定し、機関回転数は負荷抵抗を変えて低速 ($N=1500$ rpm) から高速 ($N=4700$

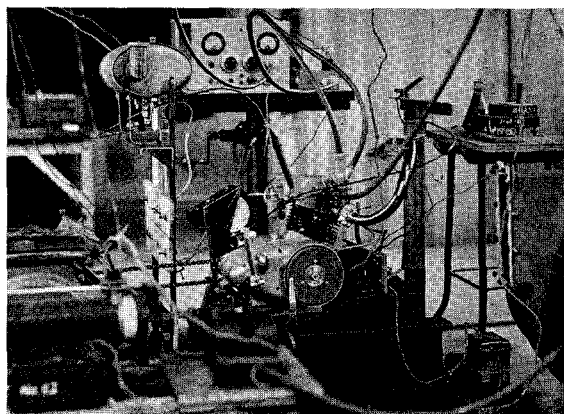


図-19 実験装置 (排気管系)

rpm) まで約 300 rpm おきに変えた。そのとき点火栓座温度の定常になるのを待って吸気量、機関トルク、燃料流量、機関回転数、排気温度等を測定し、代表的機関回転数について排気孔直後の圧力変動を撮り、その圧力波形と実験結果とを対比しつつ、排気管効果に関して若干の解析を試みた。

3.2 実験結果および考察

絞り弁開度 $C=1/2$ のもとに排気管長 (L_e) および機関回転数 (N) を広範囲に変えた実験結果を図-20 ($T \sim N$ 線図)、図-21 ($\eta_o \sim N$ 線図) および 図-22 ($L \sim N$ 線図) に示す。

図において、吸込効率 (η_o) は排気管長 $L_e=150 \sim 250$ cm の場合に高く、機関トルク (T) は給気比と同じ傾向を示しているが $L_e=200$ cm の時に全回転数範囲にわたって常に良好な結果が得られ、低速においては $L_e=250$ cm の場合もよい。また馬力 (L) \sim 回転数線図は排気管長による影響がわかり易く、 $L_e=200$ cm の場合が最もよいことがわかる。

次に同一回転数について排気管長に対する吸込効率および機関トルクの変化を示したのが 図-23 および 図-24 である。

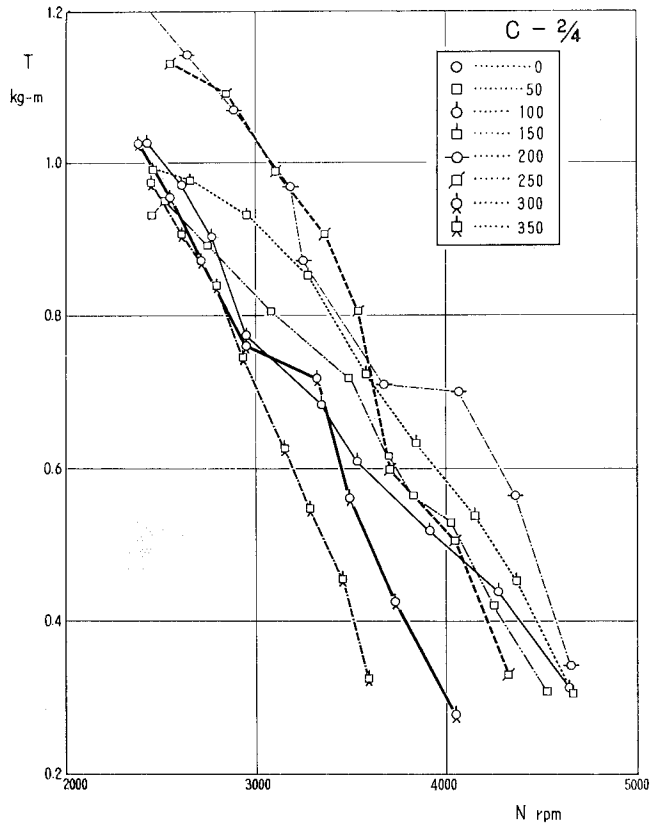


図-20 機関トルクと機関回転数

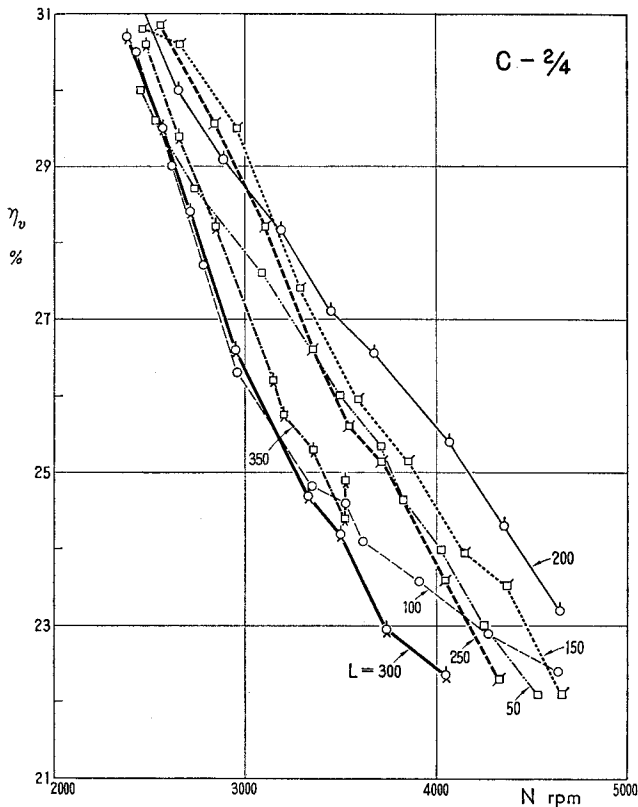


図-21 吸込効率と機関回転数

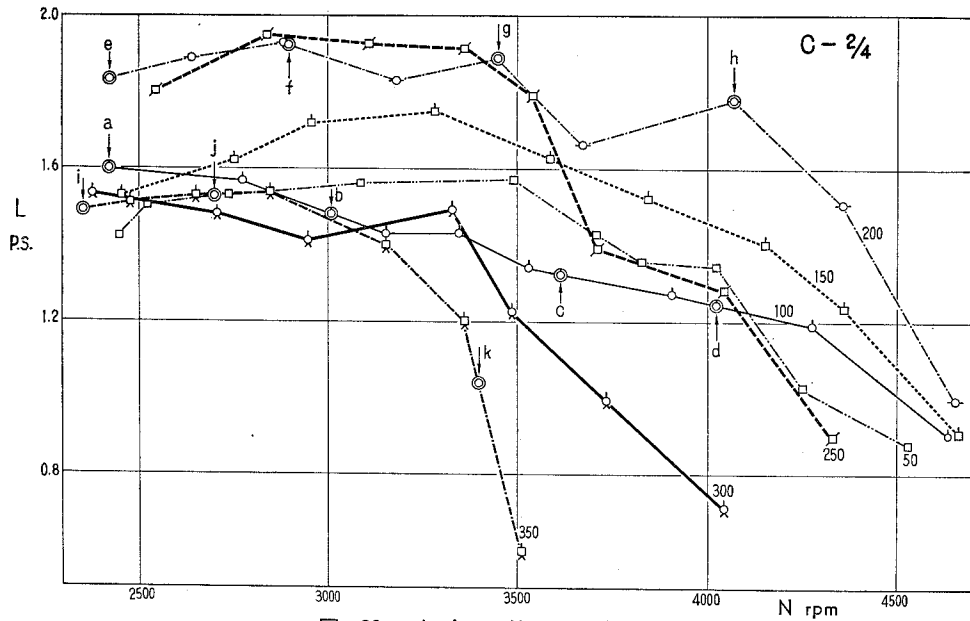


図-22 出力と機関回転数

図において、吸込効率 η_v は $L_e=200\text{cm}$ では常に良好であり、 $L_e=150$ 及び 250cm がこれにつき $L_e=300, 350\text{cm}$ では常に悪くなっている。この傾向は回転数が高いほど著しく、かつ極端になっている。また機関トルクについても同様である。かかる機関性能の起伏につき排気孔直後のオシログラムと対比しつつ考察しよう。図-25にオシログラムの代表例を、これに対応する機関回転数を図-22に記入してある。図(a), $L_e=100\text{cm}$, $N=2404\text{rpm}$ では二次の負圧

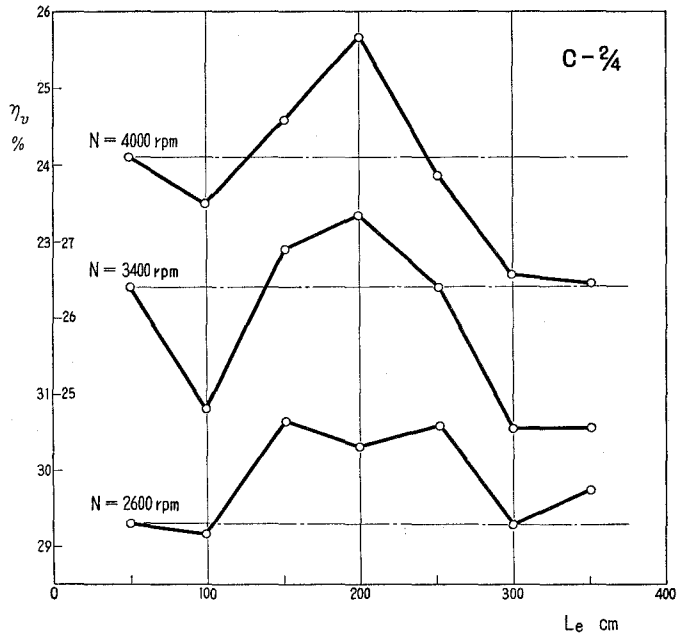


図-23 吸込効率と排気管長

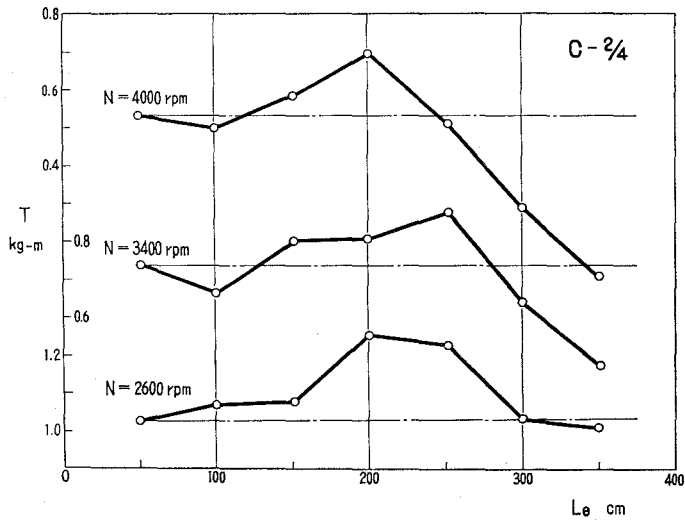


図-24 機関トルクと排気管長

が弁重り期間(SO~EC)とよく一致している。しかし残留脈動波の状態が余りよくないので同一排気管長について他の回転数の場合と比較すれば出力は高いが、排気管長 $L_e = 200$ 及び $L_e = 250$ cm の場合と比較すれば出力は低い。(図-22 参照) 図-(b)では排気弁の開くとき、脈動波は負圧になるので排気吹出しの立上りは低くなっているが脈動波の正圧が重畳した第2次の正圧に弁重りが一致するので出力は低い。図-(c)では管内脈動波の正圧が排気吹出し圧力波と重なり、排気吹出し正圧波の立上りは高く、排気過程に於いて正圧を導き、 $N=3000$ rpm 附近の場合と同様に第2次の正圧の頂点と重なっているので出力は低下している。図-(d)では第1次の負圧と2の正圧との中間に来て居り脈動波の重畳状態は比較的良いが、排気過程に於いて、負圧の期間が短く、且つ小さいので出力は余り大きくない。図-(e), $N=2410$ rpm では排気過程に於いて負圧の期間が長く、また第1次の負圧が弁重りに同調しているので出力は高い。これに対し図-(f)では第1次負圧に弁重りがよく一致している。とくに $L_e=200$ cm の場合はすべて排気吹出し後の第1負圧期間が他の管長に比べて長い。すなわち排気は充分行なわれ、また広い回転数の範囲にわたって出力が大きいという事が説明できる。図-(g)では排気吹出し圧力波がかかっているが、まだまだ1次の負圧の影響が強し出力は出ている。図-(h)では脈動波の影響で圧力波が変形し、1次の負圧に弁重りが同調するようになっているので出力は大きい。これに対し図-(j) ($L_e=350$ cm,

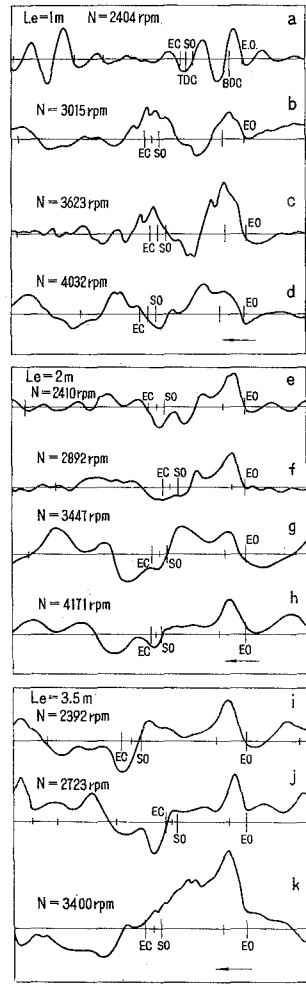


図-25 オシログラム

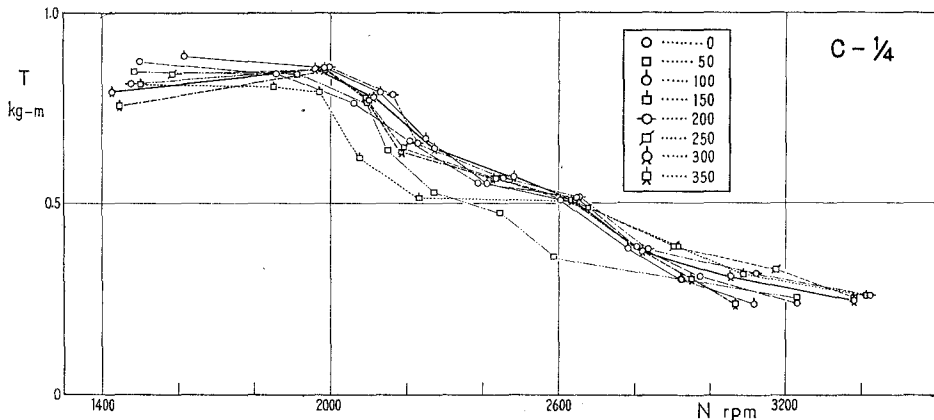


図-26 機関トルクと機関回転数 (C-1/4)

$N = 2723 \text{ rpm}$) のように弁重りが排気吹出し正圧波にかかり、また排気過程中に正圧の波が来ているため出力は低い。これが更に高速になると図-(k)の如く、脈動波の正圧が排気吹出しの波と重畳して排気吹出しの立上りが高く、排気過程に於いて負圧はなく、弁重りが排気吹出しの波にかかっているため出力は低い。

以上の結果、弁重り期間に負圧が重なると出力は増加し、正圧のときは逆に掃排気作用を阻害し、出力は低下することが確認された。また排気脈動の影響も負圧波の同調が望ましいことがわかった。かかる排気管効果は気化器絞り弁開度 $C-1/4$ ともなるとほとんど認められなくなる。(図-26 参照)

4. 結 言

以上 4 サイクル機関における吸気管系および排気管系による動的効果について検討を加えた。その結果、給気管系の慣性効果を規定する特性数として慣給特性数 (Z_s) が、脈動効果を規定する特性数として脈動次数 (q_s) が有用であり、その最適条件の推定が可能であることがわかった。また吸込空気量に及ぼす弁時期、管長、気化器絞りの影響も明らかとなった。また排気管系に関しては、弁重り期間に負圧波の重畳するように考慮すれば出力が向上することが確認でき、その最適条件を誘導する指針が与えられた。

終りに本実験遂行にあたり終始御教示を賜った東大航研浅沼強教授に深甚なる感謝の意を表す。

文 献

- 1) H. List u. G. Reyl: Ladungswechsel, 4-1 (1949).
- 2) D. H. Tsai: Trans. ASME, 78-1 (1956-1), 197.
- 3) E. Jenny: Brown Boveri Review, 37 (1950-11), 447.
- 4) 浅沼: 内燃機関ハンドブック (昭-35), 135.

4 サイクル機関の加速(減速)特性について (第1報)

沢 則 弘

On the Accelerative (Reductive) Characteristics of a Four-Stroke Cycle Engine. (1st Report)

Norihiro Sawa

Abstract

This paper treats of the experiments on the combustion and running characteristics in the accelerative or reductive operation of a four-stroke cycle gasoline engine. Therefore, to study the combustion process in operating condition, the flame propagating speed is measured by means of Ion-Gap method and in order to examine the running characteristics, the instantaneous engine speed is recorded by an indicator of electro-capacity type and an electro-magnetic oscillograph.

1. 緒 言

小型内燃機関は機関の高速化や吸排気管効果の利用により機関性能の飛躍的な向上をきたしたが、いま車輛用の機関について考えるならば、定常運転状態における機関性能はもちろんのこと、加速または減速運転状態における機関性能も極めて重要であり、とくに今日の都市交通の実状からして、かかる運転状態の占める割合は益々増加する傾向にある。従って、かかる運転状態における機関性能の解明は急を要する課題である。しかるに従来、かかる動特性に関する研究は極めて低調であり、最近ようやくその重要性が認められ二三の研究報告が発表されてきた。すなわち瞬時機関回転数の記録をもとにし、加速性に及ぼす燃料の揮発性、吸気温度、吸気管温度および形状等の影響を調べた大井氏の実験¹⁾や強制的無負荷運転時の作動状態を調べた村山氏の報告²⁾等が見受けられるようになった。また基礎的研究としては動特性を支配する主要因子である吸入燃料に対する瞬間流量計の開発研究^{3),4)}も開始されるようになった。このように内燃機関の動特性を解明しようとする試みは、その緒についたばかりであり不明の点が多いのが実状である。そこで、本研究においては動特性の系統的解明を目的とし、その一段階として加速性および減速性に対する気化器絞弁の開閉速度、加(減)速機関回転範囲、混合比、シリンダ温度、給気管長、気化器位置等の影響を調べると共に、加(減)速時のシリンダ圧、点火おくれ、火焰伝播速度等の瞬間値を測定し、これらから燃焼状態の変化を知り、逆に燃料流量の実体を推察するとともに若干の解析を試みたので取敢えず報告する。

2. 実験装置および実験方法

供試機関は 図-1 に示す農業用強制空冷側弁式四サイクル機関 M-4 型であり、その諸元は次の通りである。

シリンダ数	1	燃料消費率	280 g/HP・h
標準出力	4.0 HP/3600 rpm	内径×行程	65 φ×60 mm
最大出力	5.0 HP/4000 rpm	総排気量	199 cc
最大トルク	0.97 kg/2800 rpm	圧縮比	6:1

なお、本実験には調速機系統を取除いて使用した。実験装置は 図-2 に示してある。

まず、定常運転における吸込み空気量を測定するため、図に示すように吸気側に丸型ノズルとサージタンクを設置し、気化器は機関から伝わる振動を避けるため気化器と給気管とはピ

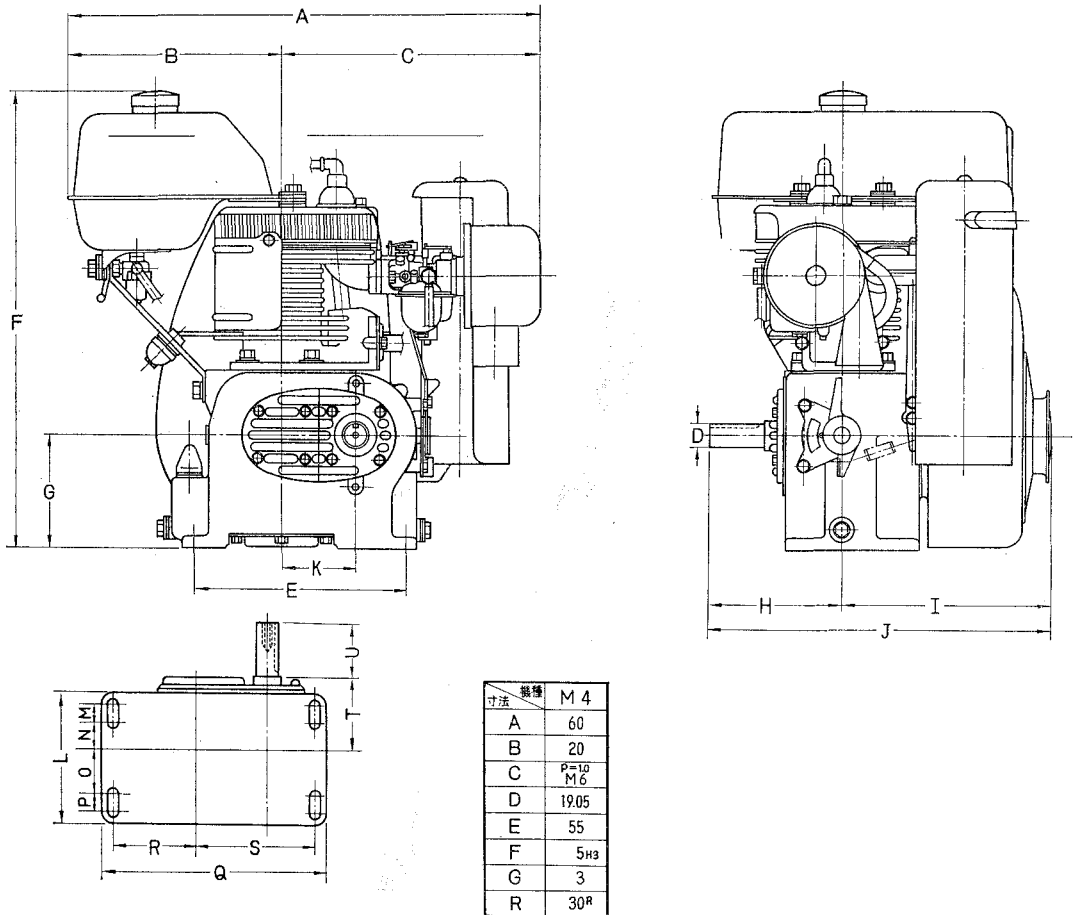


図-1 供試機関

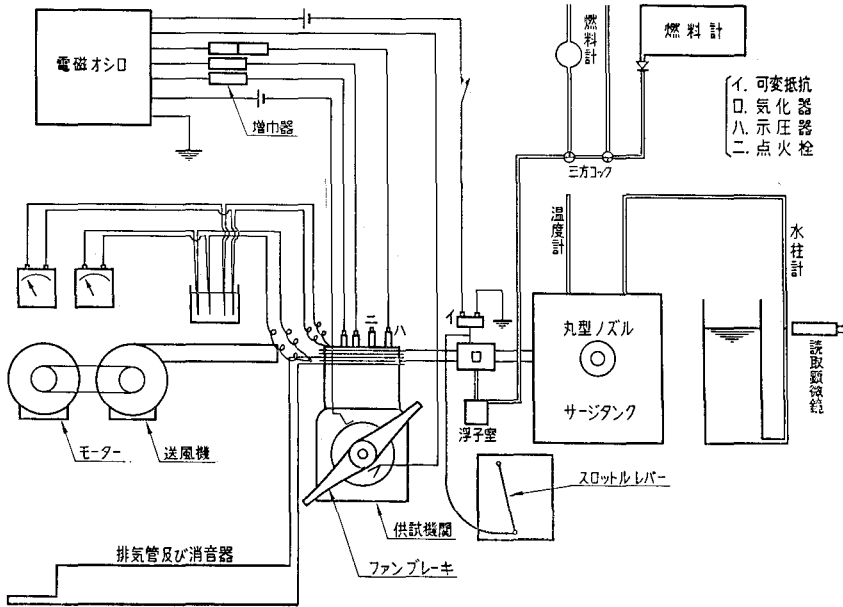


図-2 実験装置

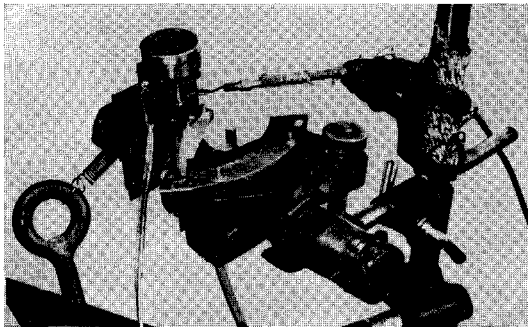


図-3(a) 気化器絞弁開度指示器

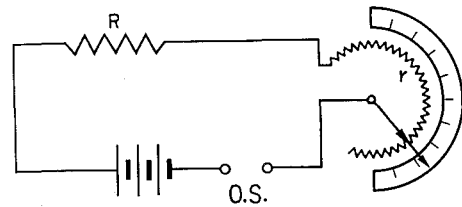


図-3(b) 気化器絞弁開度指示器結線図

R: 固定抵抗

r: 可変抵抗器

ニール管にて連結し、気化器自体は浮子室とは別個に固定した (図-3(a) 参照)。また気化器絞り弁の動きを知るため目盛板を取付けると共に、時間的変化を記録するために図-3(a), (b) に示すように絞り弁軸の一端に可変抵抗器を直結し、絞り弁の開度に比例して電気抵抗が増減するようにした。また機関にはファンブレーキ (吸収動力: 6HP/4000 rpm) を装着して負荷を与え、機関回転数の記録には図-4のように一回転に一回接続される断続端子を機関の回転部に取り付け、断続せる直流電流を電磁オシログ

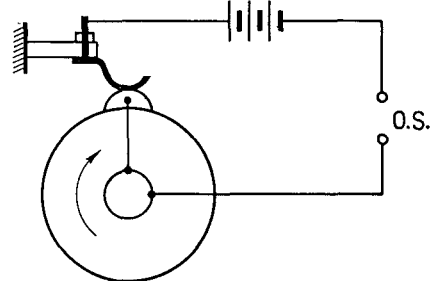


図-4 機関回転数記録装置

ラムに入れた。

また加速運転および減速運転中の燃焼状態を調べるため、シリンダヘッドに容量型示圧計を取付け、さらに点火おくれおよび火焔伝播速度の測定には簡便のためイオン間隙法を採用した。従って図-5に示すように点火栓(P-1)の他にイオン間隙(P-2, P-3)を取付けイオン電流の変化を増幅器(図-6参照)を経て電磁オシロに入れた。

なお、点火系統(P-1)の二次電圧の変化(火花発生時期をも同時記録し、これらから図-7の如く点火おくれ(Δt)および火焔伝播速度($f.s.$)を定義し、次式から算出した。

$$\Delta t = t_{13} - \frac{l_{13}}{(l_{13} - l_{12})} \cdot t_{23} \quad m \text{ sec} \tag{1}$$

$$f.s. = (l_{13} - l_{12}) / t_{23} \quad m/s \tag{2}$$

このほかにシリンダヘッドおよび排気孔直後の排気管内に熱電対を挿入した。

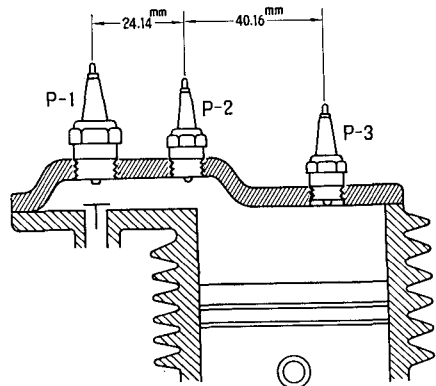


図-5 イオン間隙取付装置

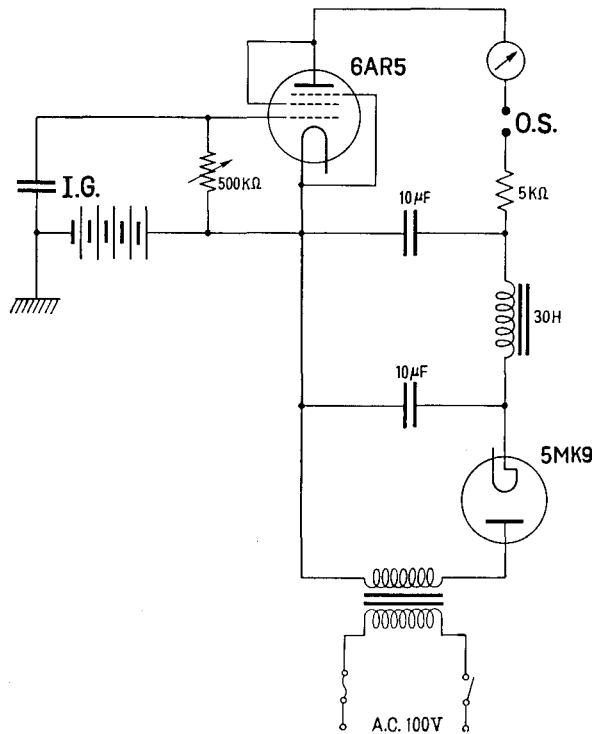


図-6 イオン電流増幅器

実験方法は、まずスロットレバーを調整しながら定常運転状態における機関回転数と気化器絞弁の開度目盛との関係をあらかじめ実験的に求め、続いて所定の絞弁開度 (所定機関回転数) に機関を設定し、吸込空気量、燃料流量、機関回転数および各部の温度を測定すると共にシリンダ圧、火焰到達時刻等を記録する。かかる定常運転の実験を行なった後に所定の絞弁開度から所定の開度まで絞弁を変化させて加速または減速運転に入る。それと同時にロングレコーディングカメラを使用して図-8の如く上死点時期 (T.D.C.), 弁の動き (T.V.), シリンダ圧 (*cyl. pr.*), 火焰到達時期 (P-2, P-3), 火花発生時期 (P-1) および時間信号 (1/100 秒) を同時記録する。

かかる測定を絞弁開閉速度、給気管長、気化器取付位置、燃料流量 (混合比) および絞弁の変化範囲等を変えて行なった。それらの実験結果から機関回転数の追従性、点火おくれ、火焰伝播速度およびシリンダ圧の経過等に注目し、定常運転の場合と比較検討したので、その結果について次に述べよう。

3. 実験結果および考察

3.1 加速特性について

いま機関の発生トルクを $L \cdot \omega$ 、ファンブレーキの抵抗トルクを $k_1 \omega^2$ 、機関の摩擦回転トルクを $k_2 \omega^2$ 、回転部分の慣性モーメントを I とおくと、機関とファンブレーキから構成される系の運動方程式は

$$d\omega/dt - L\omega/I + (k_1 + k_2) \cdot \omega^2/I = 0 \quad (3)$$

で与えられる。上式を変形すると

$$d\omega/\omega \{L/I - (k_1 + k_2) \omega/I\} = dt \quad (4)$$

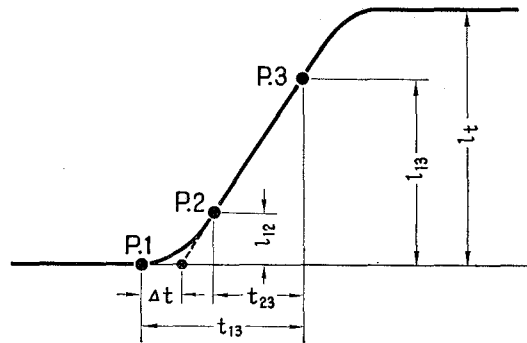


図-7 点火おくれと火焰伝播速度の算出

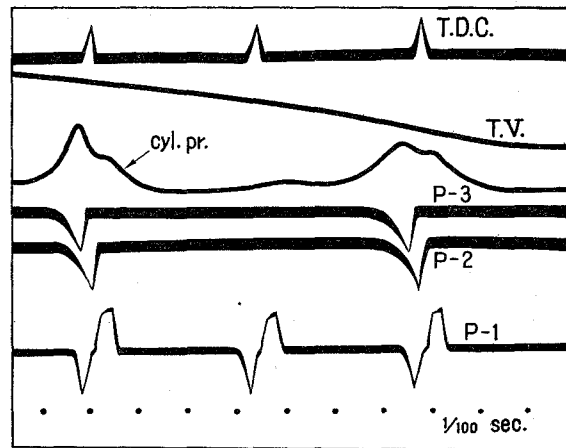


図-8 オシログラム

従って(4)式は積分可能であり、 $t=0$ にて $\omega=\omega_0$ とおき積分定数を決定すれば

$$\omega = L / \left[\left\{ L / \omega_0 - (k_1 + k_2) \right\} e^{-\frac{L}{I} t} + (k_1 + k_2) \right] \tag{5}$$

故に

$$t = (I/L) \cdot \log_e \left\{ \frac{\omega / \omega_0 - \frac{(k_1 + k_2)}{L} \cdot \omega}{1 - \frac{(k_1 + k_2)}{L} \cdot \omega} \right\} \tag{6}$$

の関係が与えられる。供試機関の特性値 k_1, k_2, I および最初の機関角速度 (ω_0)、機関の発生トルク係数 (L) が与えられるならば機関角速度 (ω) と所要時間 (t) との関係および平均加速度 $(\omega - \omega_0)/t$ を容易に求めることができるわけである。しかし機関の発生トルク ($L\omega$) は熱効率 (η_i)、燃焼効率 (η_b)、空気過剰率 (λ) および体積効率 (η_v) 等によって影響され、一般に $L\omega \propto \eta_i (\eta_b/\lambda) \cdot \eta_v$ の関係がある。従って加速運転条件、すなわち気化器絞弁の開放速度やその範囲によっても (η_b/λ) が変化するのであろうし、機関寸度 (吸気管長等) などによっても影響を受けるであろう。ここでは特定の供試機関 ($I, k, k_2 = \text{const}$) を用い、他の因子の影響を明らかにしよう。

3.1. 気化器絞弁開放所要時間 (t_0)

気化器絞り弁をアイドル開度 ($N=1400 \text{ rpm}$; 6) 式の ω_0 に相当) から所定開度まで変えた場合の機関の加速性 (追従性) を絞弁開放所要時間 (t_0) について比較したのが図-9である。なお図には絞弁の動きを、その絞弁開度で定常運転した場合に得られる機関回転数 (T.V.) で表示してある。かかる機関回転数を、絞弁相当機関回転数 (N_t) と云う。図によると、絞弁開放所要時間 (t_0) を順次長くしていくと加速運転に入った初期においては機関回転数 (N) の追従性 ($N_t - N$) は、b, c, a の順となっており最適の所要時間 (t_0) が存在することがわかる。しかし加速運転の後半 ($t \geq 100 \text{ ms}$) においては b, c, a いずれもほとんど同じである。これが $t_0=242$

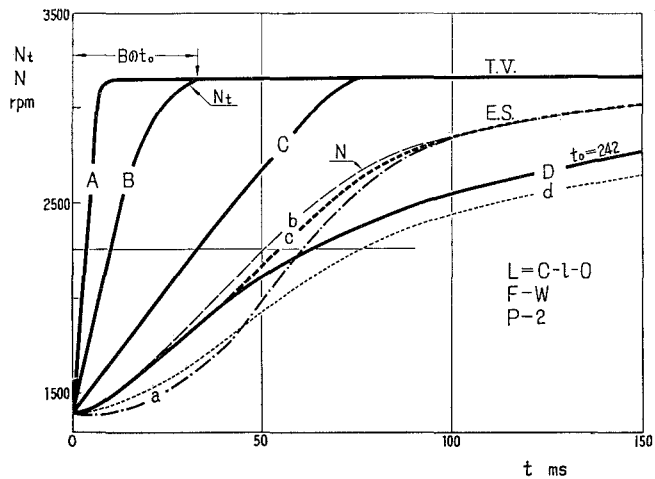


図-9 加速性と絞弁開放時間 (t_0) との関係

ms の如く弁開時期が比較的長くなると機関の加速おくれ ($N_t - N$) はほぼ一定となっている。このことは機関の加速性が全く弁開放速度 (または弁開放所要時間 t_0) に支配されることを意味しており、大井氏の実験結果¹⁾ ($t_0 = 0.9 \text{ sec} \sim 2.4 \text{ sec}$) において機関の加速性が弁開放所要時間 (t_0) が長くなるほど低下している事実に対する説明ができるようである。これらの関係をより明確にするため、絞弁の半開に相当する機関回転数 ($N = 2250 \text{ rpm}$) を規準とし、その所要時間 (t) および最大の加速おくれ回数 ($(N_t - N)_{\max}$) と絞弁開放所要時間 (t_0) との関係を求めたのが 図-10 である

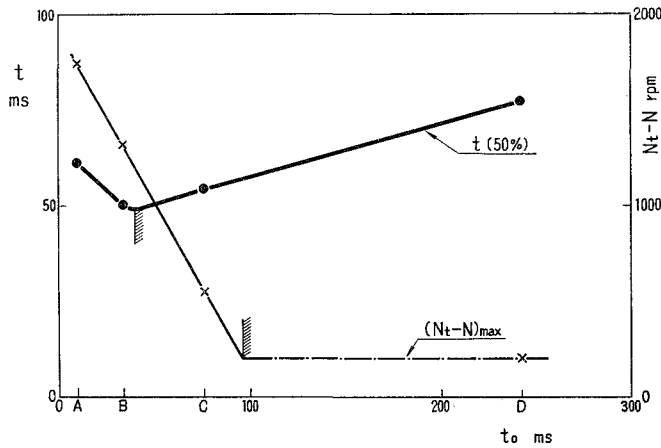


図-10 機関の加速性

図によると $N = 2250 \text{ rpm}$ における加速性は弁開時間 (t_0) が $t_0 = 20 \text{ ms}$ 附近がよく、 t_0 が長くなるに伴って最大の加速おくれ ($(N_t - N)_{\max}$) は順次減少し、 $t_0 = 0.95 \text{ ms}$ ともなると機関の加速性は t_0 に支配されることがよくわかる。従って $t_0 \geq 0.95 \text{ ms}$ 領域においては、機関の加速性は弁開時間 (t_0) に逆比例すると考えればよく、むしろ $t_0 < 0.95 \text{ ms}$ 領域の加速性こそ機関の混合比特性や冷却特性等のいわゆる運転条件に支配されるものであり、加速性向上に対して重要な領域であると考えられる。そこで本研究においては $t_0 < 95 \text{ ms}$ 領域の加速性に注目して実験を進めた。

3.1.2 絞弁開放範囲

絞弁をアイドル開度 (相当機関回転数 $N_t = 1500 \text{ rpm}$) から相当機関回転数 $N_t = 2000, 2500, 3000$ および 3500 rpm まで変えて、それぞれ機関回転数の経過を測定し、両者の差すなわち加速おくれ回転数 ($N_t - N$) を求めると 図-11 となる。図において加速範囲 (絞弁開きの大きさ) が大きいほど加速おくれ ($N_t - N$) も大きくなっている。いまこれらから最大加速おくれ回転数 ($(N_t - N)_{\max}$) および加速おくれ面積 (A)、加速おくれ回転数が ($N_t - N = 100 \text{ rpm}$) に達するまでに所要した時間 (t) を求め、これを所期の相当機関回転数 ($N_t = 2000, 2500 \dots$)

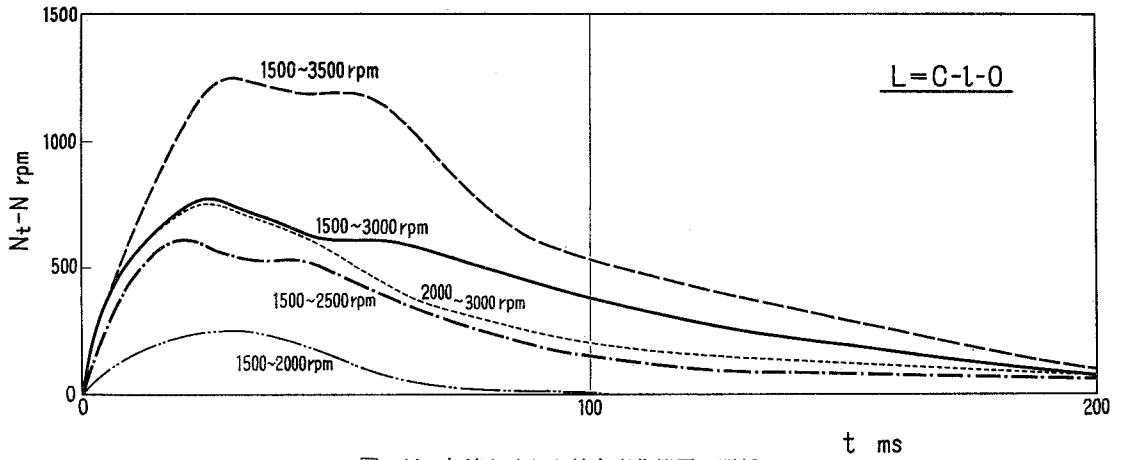


図-11 加速おくれと絞弁変化範囲の関係

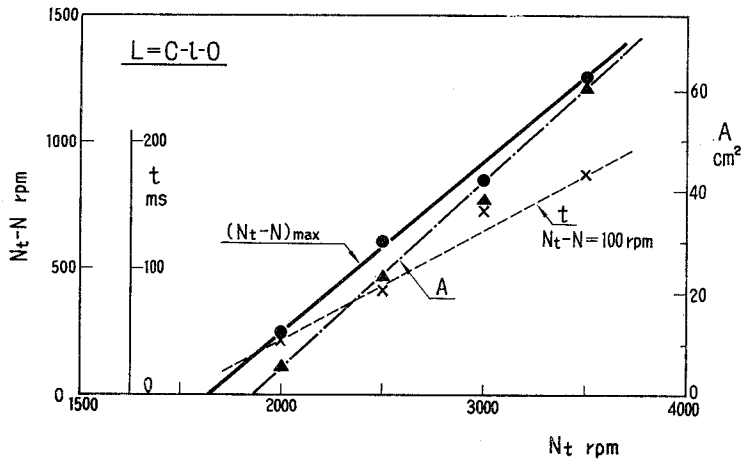


図-12 加速おくれと相当機関回転数

について整理したのが図-12である。

図によると、いずれも相当回転数 (N_t) と直線的関係にある。従って所期の加速範囲が大きいほど最大の加速おくれ $(N_t - N)_{max}$ 、および所要時間 (t) は増加することになる。これは(6)式から得られる結果と定性的に一致するものである。

3.1.3 加速運転中の燃焼状況

加速運転中の燃焼状態、すなわち点火おくれ (Δt) および火焰伝播速度 ($f.s.$) を図-13(a)で定常運転状態の場合と比較し、図-13(b)に、シリンダ圧の経過、加速所要時間 (t) および定常運転のもとに測定した給気比、絞弁の目盛を示している。

図において、加速運転中の点火おくれ (Δt) は定常運転の場合と同様に機関回転数とともに減少し、その値もほとんど同じである。しかし加速範囲が大きい場合 ($N=1500\sim 3500$ rpm)

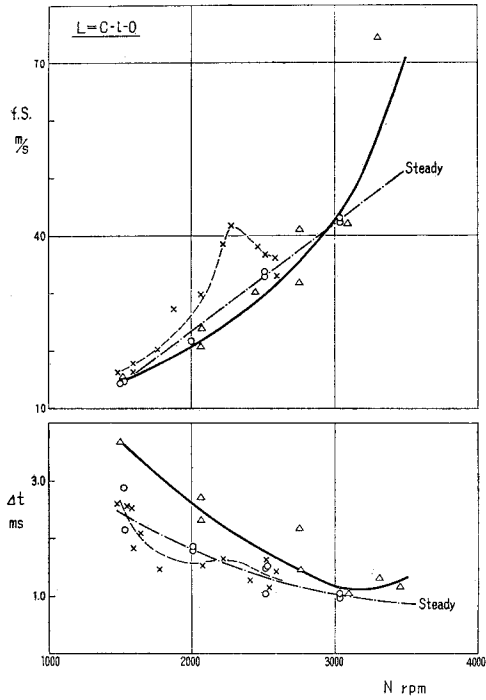


図-13(a) 加速運転中の点火おくれと火焰伝播速度

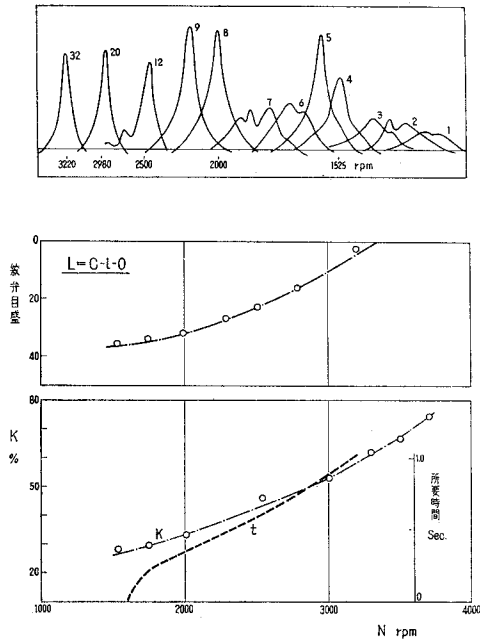


図-13(b) 加速運転中のシリンダ圧と所要時間

の点火おくれ (Δt) は定常運転時の値よりもかなり大きく、しかも加速の初期においてはとくに顕著である。この理由としては、機関が加速運転に入ると空気流に比べて燃料流の方が追従性が悪いので混合気は稀薄となる。従って、この場合の点火おくれ (Δt) は大きい。しかし $N=3000$ rpm ($t=0.9$ sec) になると燃料流は追従し正常な混合比に達するので点火おくれ (Δt) は減少し定常運転時の値に近づくが、やがて燃料流の慣性により過濃混合気となるので点火おくれ (Δt) は再び増加する傾向を示すものと考えられる。これに対し加速運転時の火焰伝播速度 ($f.s.$) は定常運転時とほぼ同じであるが、いずれの場合も加速運転の後半において火焰伝播速度 ($f.s.$) は急激に増加している。これはシリンダ内混合気の渦流の増加に基因するものであろう。かかる場合のシリンダ圧の経過をみるに (図-13 (b)), 加速運転に入った直後にシリンダ圧は急激に高くなり (サイクル番号 4, 5), 続いて燃焼不良をきたし (サイクル番号 6, 7) 極端な後燃えを呈している。従って燃焼は排気孔開時期 (E.C.) まで続き、激しい排気音を発生する。かかる燃焼不良を生じたサイクルの後には再びシリンダ圧は高く (番号: 8, 9), 次は低い。 (番号: 12) このように最高圧力の変動が極めて激しいため機関自体にも激しい機械振動を発生する。しかし約 20 サイクル目からはほぼ正常燃焼の圧力波形になっている。ただし先に述べた加速運転後半における火焰速度の増加は圧力波形からは説明できないようである。いずれにせよ定常運転とかなり様相の異なった燃焼状態を呈していることは注目すべきであろう。

3・1・4 吸気管長および気化器位置

大井氏の研究¹⁾ から機関の加速性は吸気管が長くなるにつれて順次低下することが知られている。ここでは燃焼状態について述べる。図-13 の場合の吸気管に管長 40 cm を追加した実験結果を図-14 (a), (b) に示す。図における管長 $L=O-C-l-40$ (Δ 印) と図-13 (a) とを比較するに点火おくれ (Δt) および火焰伝播速度 ($f.s.$) は定常運転でも加速運転でもともに吸気管が長い $L=O-C-l-40$ の方が吸気管が短い $L=O-C-l-O$ の場合よりも大きい値を示している。

しかし加速運転中の火焰伝播速度 ($f.s.$) は管長 $L=O-C-l-40$ の場合には著しく変動しており、 $N=2300$ rpm 附近で火焰伝播速度 ($f.s.$) が増加し、 $N=2800$ rpm 附近では逆に低下し、さらに高速回転 ($N=3100$ rpm 以上) になると $f.s.$ は急激に増大している。この傾向は同一管長の場合でも気化器が機関側から遠い $L-40-C-l-O$ (\bullet 印) の方が顕著であり、 $N=2300$ rpm 附近で火焰伝播速度が $f.s.=85\sim 100$ m/s にも達している。

ここに火焰伝播速度はイオン間隙に火焰が到達した時期から算出したものであるので、火焰速度自体が増加したものか、末端ガスの自然発火のため火焰到達時期が早められたためか判別はできないが加速運転中に屢々聞かれるノック音らしき発生音はかかる火焰速度の増大に基因するものと考えられる。なお機関の加速性は気化器が機関側に近い方が燃料の追従性がよいので良好である (図-14 (b) 参照)。

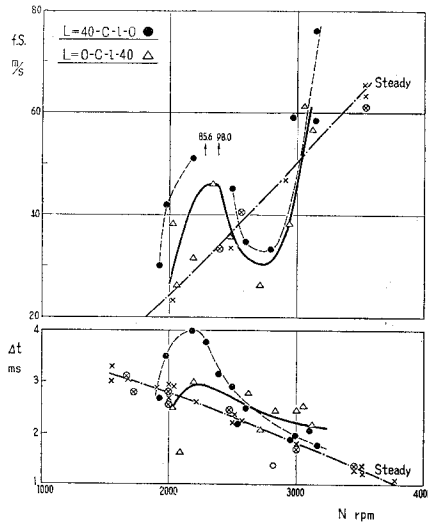


図-14(a) 加速おくれと火焰伝播速度

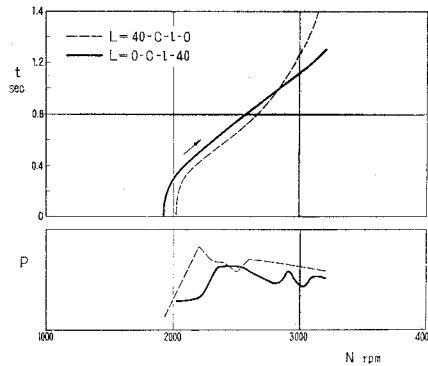


図-14(b) 加速特性

3.1.5 シリンダ温度

送風空気流量を調整してシリンダ温度を変えた場合の加速性を図-15(a)に、そのときの点火おくれ (Δt) および火焰伝播速度 ($f.s.$) を図-15(b)に示す。この際、温度が上がると燃料の気化率が高くなり、吸入混合気の動粘性係数が増すので乱れの減衰を招くし、吸込み空気量の減少をもきたすのでこれらの影響が含まれているだろう。

図-15(a)によるとシリンダ温度が高い方 ($T=66^\circ$) が加速の初期における機関回転数の追従性 (加速性) は良いが、加速運転の後半では逆に加速性は悪くなっている。これはシリンダ温度が高いと燃料の気化が促進され点火おくれ (Δt) は約 $0.5\sim 0.8$ ms 短縮し、火焰伝播速度も僅かながら増加するので初期の加速性は良くなる。しかし高速回転になるとシリンダ内混合気の

温度が上昇し、動粘性係数が増し、乱れの減衰が増加するので、火焰伝播速度は図-15 (b) のように非常に低い。従って点火おくれ (Δt) は短いにもかかわらず火焰伝播速度の値が非常に小さいので加速性が $T=42^\circ\text{C}$ の場合よりも悪くなると考えられる。結局、最終的な加速性は $T=42^\circ\text{C}$ の方が良いことになるが加速の初期において機関の不調が烈しくなるので実用上からは問題であろう。また $N = 3000 \text{ rpm}$ 程度までの加速であれば勿論シリンダ温度が高い方 ($T=66^\circ$) が望ましいであろう。上述の如く加速性に対し最適温度が存在するので、冷却用送風機の設定に当っては十分考慮する必要がある。また絞弁全開までの加速であれば最大出力回転数を高める手段をこうずくことも重要である。

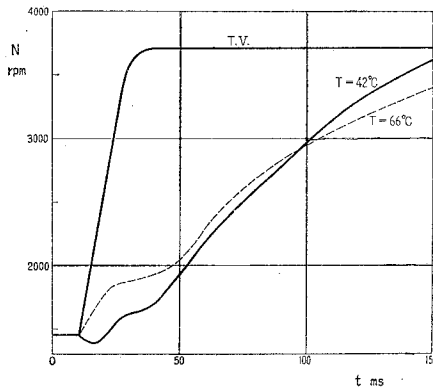


図-15 (a) シリンダ温度と加速性

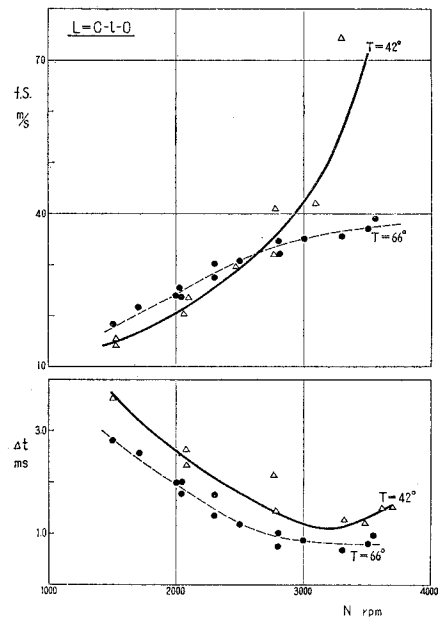


図-15 (b) シリンダ温度と火焰伝播速度および点火おくれ

3.1.6 混 合 比

混合比を変えた実験結果の一例を図-16に示す。図において、両者の火焰伝播速度 ($f.s.$) はほぼ等しいが、点火おくれ (Δt) は混合比 (A/F) の大きい $A/F=15.3$ の方が約 $0.5\sim 1 \text{ ms}$ も短い (図-16 (a) 参照)。しかし加速性は図-16 (b) のように $A/F=15.3$ の方がむしろ悪い。これは $A/F=15.3$ の方が供給燃料流量がすくなく、機関の発生トルクが低いためであろう。なおここに表示した混合比 (A/F) は加速運転に入る前に測定した値であって加速運転中はかなり違った混合比を呈しているであろう。従って火焰伝播速度 ($f.s.$) および点火おくれ (Δt) は定常運転時の関係 ($A/F=9.3$ と 1.53 の比較) とは異なっている (図-16 (c) 参照)。

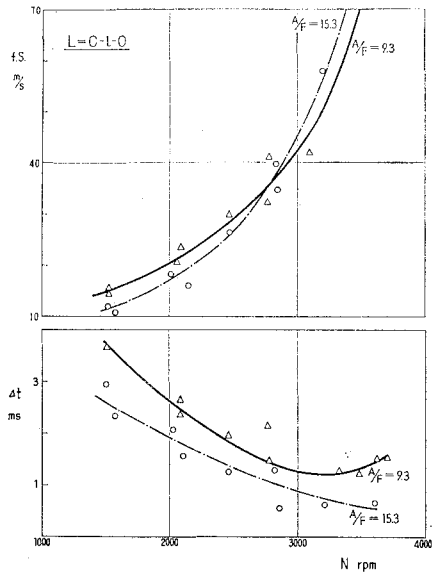


図-16 (a) 混合比と火焰伝播速度および点火おくれ

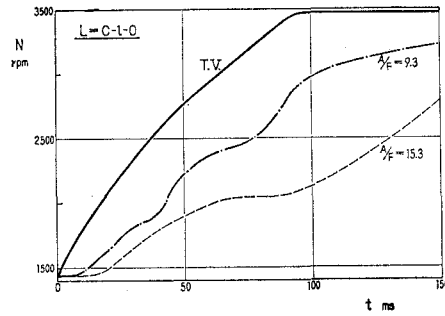


図-16 (b) 混合比と加速性

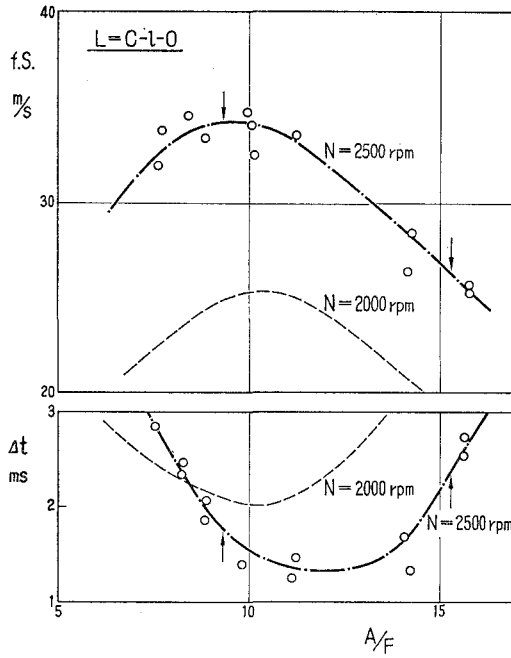


図-16 (c) 混合比と火焰伝播速度および点火おくれ (定常運転)

3.2 減速特性について

減速運転中の機関の運転方程式はファンブレーキの吸収馬力に相当する回転モーメントの係数を k_1 とおくと加速運転の場合と全く同様に (6) 式で与えられる。また減速運転に入ると同時に機関が完全に駆動運転状態になるものとすれば、そのときの運動方程式は、

$$d\omega/dt + (k_1 + k_2) \omega^2 / I = 0 \quad (7)$$

で与えられ、上式を積分し、 $t=0$ で $\omega = \omega_0$ とおいて積分常数を決定すると

$$t = \frac{I}{(k_1 + k_2)} \cdot \frac{1}{\omega_0} \{1 - \omega_0/\omega\} \quad (8)$$

の関係が得られる。従って機関の特性値 I 、 k_1 、 k_2 、 ω_0 が一定であれば減速性は主として減速範囲 (ω_0/ω) に支配され、平均速度 $(\omega - \omega_0)/t$ は (8) 式から

$$(\omega - \omega_0)/t = \left(\frac{k_1 + k_2}{I} \right) \cdot \omega \cdot \omega_0 \quad (9)$$

で与えられ、 $\omega \cdot \omega_0$ に比例することがわかる。

3.2.1 気化器絞弁閉止速度

機関回転数 $N=3500$ rpm から $N=1740$ rpm まで減速させる場合について、弁閉鎖速度を変えて行なった実験結果を図-17 に示す。これから機関減速度 (N/t rpm/sec) と弁閉鎖速度 (N_i/t rpm/sec に相当) との関係を求めたのが図-18 である。

図において、機関回転数は時間 (t) に比例して減速しており、(9) 式の結果と定性的に一致している。また機関の減速度 (N/t) も弁閉鎖速度に比例しており、減速性を高めるには弁閉鎖速度を早くする必要があることがわかる。しかし、弁閉鎖速度を 60 rpm/ms 以上に早くしても減速性

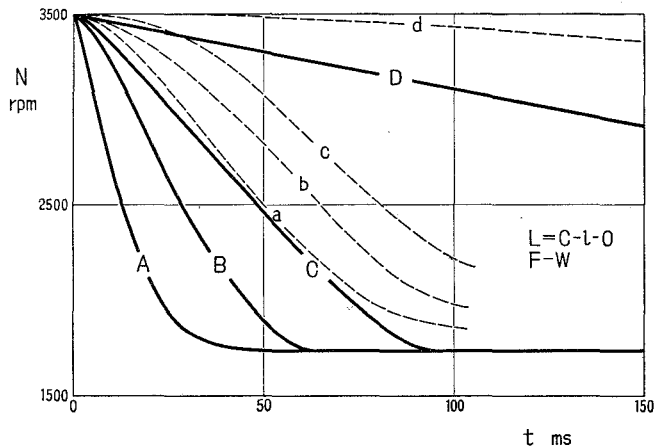


図-17 弁閉鎖速度と減速性

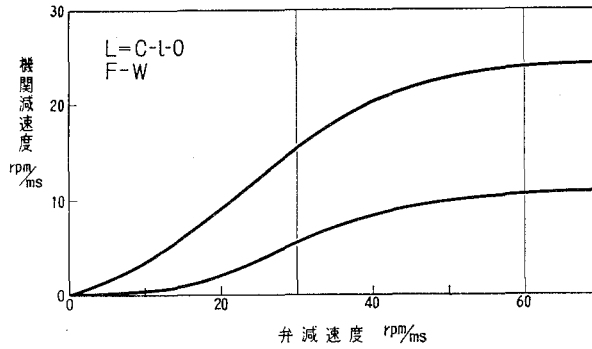


図-18 機関減速度

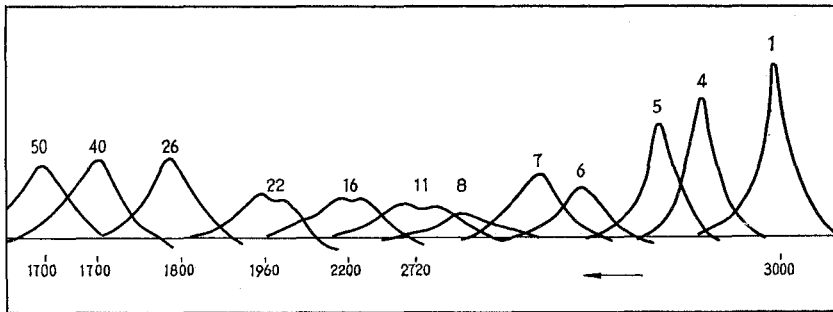


図-19 (a) 減速運転中のシリンダ圧 ($N=2280\sim 1765$)

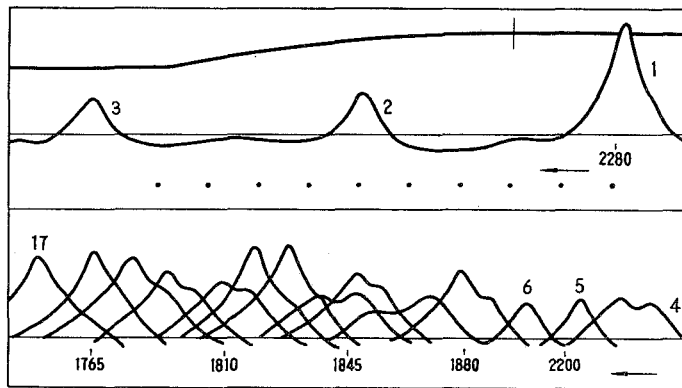


図-19 (b) 減速運転中のシリンダ圧 ($N=3000\sim 1700$)

の向上を期待することはできないようである。これは供試機関の特性値 k_1 , k_2 , I に基因するものであり運転条件からは改善することができないであろう。かかる減速運転時のシリンダ圧は図-19 (a), (b) に示すように減速運転に入って数サイクル目には駆動運転状態か極端な後燃えの状態に入るのでかなり強烈な排気騒音を発生する。しかし燃焼状態は段々に回復し、低速

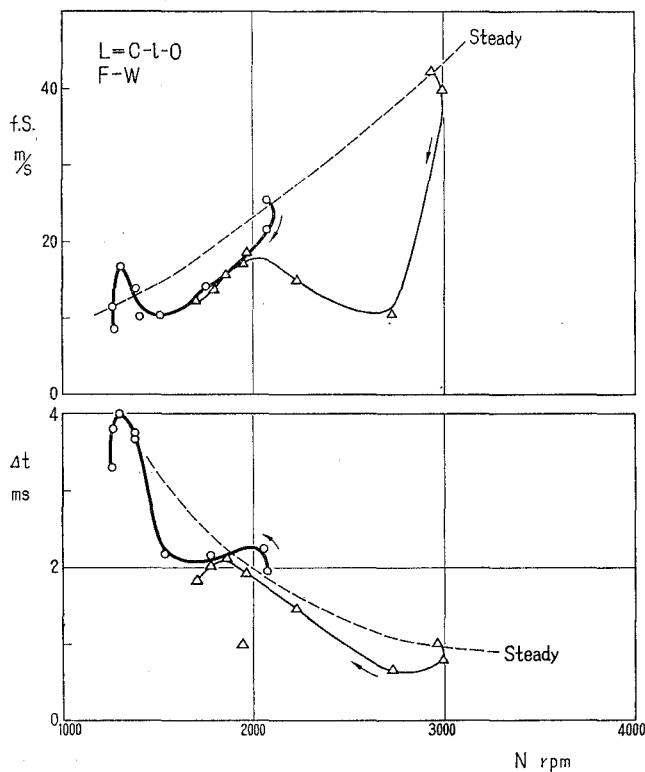


図-20 減速運転中の火焰伝播速度と点火おくれ

回転における正常燃焼状態に達している。かかる燃焼不良の原因は燃料流の慣性のため混合比が過濃になるためであろう。従って火焰伝播速度 ($f.s.$) も減速運転に入るとただちに急激に低下し、後半にて回復する傾向を示しているが定常運転状態の値よりかなり低い火焰伝播速度となっている (図-20 参照)。

また点火おくれ (Δt) も定常運転時よりも幾分小さい値となっている。このように減速運転中は過濃混合比における運転であるから減速運転に入ると同時に稀薄混合比を呈するように気化器の空燃比特性を改善する必要がある。

以上、四サイクルガソリン機関の加速運転および減速運転に関する実験結果から各因子の加速 (減速) 性に及ぼす影響および機関の燃焼状態について明らかにすると共に、理論式との定性的検討をも加えたが、今後定量的解析と実験結果との比較検証および加速 (減速) 運転中の瞬間的混合比の測定をも行なう予定である。

4. 結 言

以上述べた実験的考察結果を要約すると次の通りである。

(1) 絞弁開放所要時間 (t_0) が約 95 ms 以上になると機関の加速性は弁開速度に支配される。所要時間 (t_0) としては 20 ms 程度が最適であった。

(2) 加速おくれ ($N_t - N$) は絞弁の変位(所期の加速範囲)に比例して増加する。また一定の加速おくれに達するまでの所要時間も絞弁変位に直線的に比例する。

(3) 加速運転中のシリンダ内燃焼は、急激燃焼、後燃えの著しい不良燃焼、急激燃焼、少々不良燃焼、正常燃焼の如き経過をたどる。

(4) 吸気管が長い場合には加速運転中に火焰伝播速度が急激に上昇する。これは気化器が機関側から離れるほど著しく火焰速度は 100 m/s 内外にも達し、いわゆる加速ノックを発生する。

(5) シリンダ温度が高いと初期加速は良好であるが、機関回転数の上昇に伴って火焰伝播速度の増加が減るため終局加速はむしろ悪くなる。

(6) 多少過濃混合比による加速運転の方が良好な加速性を示す。

(7) 機関の減速性は気化器絞弁の閉鎖速度に比例する。しかし閉鎖速度を 60 rpm/ms 以上に高めても減速性の向上を期待することはできない。

(8) 減速運転中のシリンダ内燃焼は後燃えを伴った駆動運転に近い燃焼を呈しているので減速運転に入ると同時に自動的に燃料を遮断することが望ましい。

終りにのぞみ、日頃御指導御鞭撻を賜わっている東京大学浅沼強教授、北海道大学黒岩保教授、深沢正一教授ならびに本学の千谷茂教授、林重信講師、福島和俊助手、早川友吉技官に深甚なる謝意を表わす。また本実験に協力された群馬大学工学部機械工学科卒業研究生江原靖夫、北原三彬、柳沢明の諸君に感謝します。

文 献

- 1) 大井次男・他：日本機械学会誌，56，517 (1962-2)，225.
- 2) 村山 正・他：機械学会北海道支部第9回講演会前刷集.
- 3) 浅沼 強・他：機械学会．41期通常総会学術講演会前刷集 No. 110.
- 4) 八田桂三・他：機械学会．41期全国大会講演前刷集 No. 98.



EDTA による水銀 (II) の双金属極電位差滴定*

太刀川 哲平

Bimetallic Potentiometric Titration of Mercury (II) with EDTA

Tetsuhei Tachikawa

Abstract

The potentiometric titration of mercury (II) with ethylenediaminetetraacetic acid and the reverse titration were carried out at pH 4 by use of seven bimetallic electrode couples: platinum-tungsten, platinum-nickel, platinum-silver, platinum-palladium, platinum-silver amalgam, platinum-zirconium and platinum-gold. The titration curves were constructed and the magnitudes of change in potential at the end point were determined for the seven couples.

In the case of titration of 0.1 N mercury (II) with 0.1 M EDTA, platinum-tungsten and platinum-nickel couples showed a titration curve with a peak and the potential at the end point increased abruptly. Platinum-palladium and platinum-zirconium couples presented a reverse S-shaped curve and the potential at the end point receded suddenly, while platinum-gold couple gave an S-shaped curve and the potential rose at the end point. Platinum-silver amalgam couple showed the same shape as platinum-tungsten couple, but the potential decreased.

For platinum-tungsten couple, there was a deviation of end point in the titration of 0.01 N mercury (II) with 0.01 M EDTA. Therefore, special care must be taken in using it.

I. 緒 言

著者らはさきに、鉄¹⁾および鉛²⁾につき双金属極電位差滴定法を試みた。その結果鉄について使用可能な組み合わせは白金—タングステン、白金—ジルコニウム、白金—銀、白金—銀アマルガム、白金—パラジウム、白金—金、白金—モリブデンおよび白金—ニッケルで、滴定曲線の形は逆L字形、S字形および逆S字形の3とおりを示した。また、鉛については白金—タングステン、白金—モリブデンおよび白金—銀アマルガムの3組み合わせが使用可能で、滴定曲線はいずれもS字形を示した。以上のように、滴定される金属イオンの種類により使用可能な電極の組み合わせ、滴定曲線の形および終点における電位差変化($\Delta E/\Delta V$)は異なっている。現在までに EDTA により水銀の電位差滴定法を行なった研究にはたとえば S. Siggia³⁾らの銀—甘コウ電極を用いてピリジン溶液中 (pH 6.5~7.2) で滴定した報告があり、また、C. N. Reilly^{4),5)}らの水銀電極を用い、酢酸アンモニウム緩衝液中 (pH 4.6) で滴定を行なったものもある。さら

* 本報を双金属極電位差滴定法における電極についての第16報とする。

に、H. Khalifa⁶⁾らはアルカリ溶媒中 (pH 9~10) において硝酸第二水銀による逆滴定法とシアン化カリウムをいんぺい剤として用いる方法とを併用して水銀を含む三元系混合溶液を分析し、また、銅、亜鉛、マンガンなどの混合溶液中の水銀 (II) を銀アマルガムを指示電極としてヨウ化カリウムにより電位差法により定量した。その終点における電位の飛躍は硝酸第二水銀 0.1 ml あたり 60~90 mV, ヨウ化カリウム溶液 0.1 ml あたり 170~200 mV 程度であったと報告している。以上のように双金属極を用いた報告は非常に少ない。従って、本報においては 7 組合せすなわち、白金—タングステン、白金—ニッケル、白金—銀、白金—パラジウム、白金—銀アマルガム、白金—ジルコニウムおよび白金—金を用いて水銀 (II) の EDTA による電位差滴定およびその逆滴定を酢酸—酢酸ナトリウム緩衝液中 (pH 4.3) で行ない、滴定曲線ならびに終点における電位差変化を求め、比較検討を加えた。

II. 実 験

II.1 試 薬

II.1.1 EDTA 溶液

0.1 M EDTA 溶液は特級エチレンジアミンテトラ酢酸二ナトリウム (二水塩) 37.225 g を水にとかし、1 l とした。また、0.01 M EDTA 溶液は 0.1 M 溶液と同じ要領で調製した。

II.1.2 水銀 (II) 試料溶液

0.1 N 水銀 (II) 溶液は特級酢酸第二水銀 (和光純薬) 31 g を水にとかし、数 ml の酢酸を加え透明な溶液とし、さらに水を加え 1 l にした。0.01 N 溶液も同じ要領で作った。

II.1.3 3 酢酸—酢酸ナトリウム緩衝液

酢酸—酢酸ナトリウム緩衝液は 0.1 M 酢酸と 0.1 M 酢酸ナトリウム溶液を 1:1 の割合で混合して作った。この溶液の pH は 4.40 であった。

II.2 装 置

II.2.1 堀場 pH メーター

II.2.2 島津 K-2 型精密級電位差計

II.3 電 極

実験に使用した電極の寸法はつぎのとおりである (ただし、直径×長さ)。

白金: 1 mm×20 mm, 銀: 1.1 mm×11 mm, 銀アマルガム: 1 mm×10 mm, タングステン: 0.5 mm×20 mm, ニッケル: 0.6 mm×4 mm, パラジウム: 1 mm×17 mm, ジルコニウム: 1 mm×8 mm, 金: 1 mm×9 mm。なお、銀アマルガム極はあらかじめ前処理をし表面を清浄にした銀極を純水銀にしたし、蒸留水で洗い口紙でふきとってから使用した。銀アマルガム極以外の電極は滴定ごとにエメリー研磨紙 0/5~0/6 でみがき、ベンゼンで洗い、口紙でふきとり使用した。

II・4 電位差測定要領

水銀 (II) 溶液あるいは EDTA 溶液 (逆滴定の場合) 5 ml を 200 ml ビーカーにとり、これに酢酸-酢酸ナトリウム緩衝液 45 ml を加え、全量を 50 ml とした。この溶液の pH は 4.30 であった。このように調製した試料溶液にあらかじめ処理をした電極系をいれ、電位の安定をまち、最初は 1 ml きざみに、終点近傍においては 0.02 ml ごとに電位を測定した。滴定中は磁気かきまぜ機により一定速度でかきまぜた。一回の滴定所要時間は 20~30 分で、室温 ($20 \pm 2^\circ\text{C}$) において行なった。

III. 実験結果および考察

III・1 滴定曲線

滴定曲線は EDTA 溶液による水銀 (II) 溶液の滴定の場合、II・4 の項にのべた 0.1 N および 0.01 N 水銀 (II) 試料溶液を 0.1 M および 0.01 M EDTA 溶液でそれぞれ滴定して求めた。逆滴定の場合も同じ要領で求めた。

7 組合せの滴定開始前あるいは滴定間の電位は一定の値を示さず、数 mV から数十 mV 範囲の差があった。しかし、前述の電位の違いに応じ滴定曲線の再現性があり、かつ終点はよく一致した。また、おのおのの組合せにおいて電位が正を示す場合、白金極が電位差計に対して+ (プラス側) に接続され、負の場合はその極性が逆になったことを示している。

つぎに、白金-タングステン、白金-ニッケル、白金-銀、白金-パラジウム、白金-銀アマルガム、白金-ジルコニウムおよび白金-金の 7 組合せを用い、0.1 N 溶液の正逆両滴定を行ない求められた滴定曲線を Fig. 1~7 に示す。

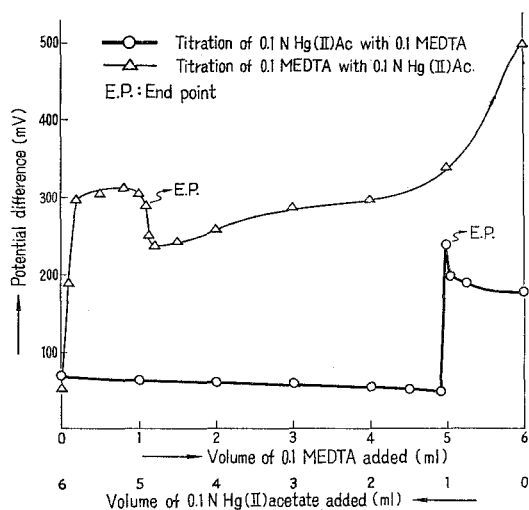


Fig. 1. Titration curves for Pt-W couple.

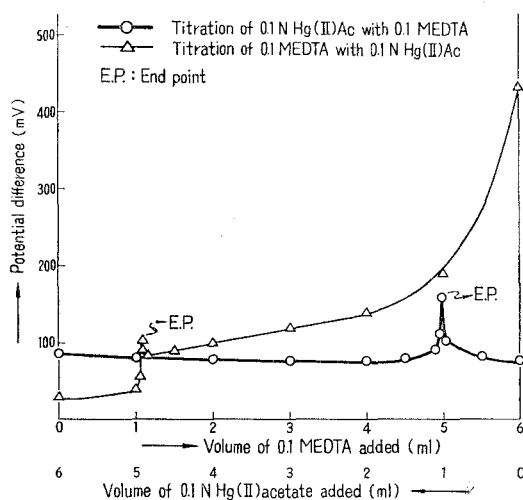


Fig. 2. Titration curves for Pt-Ni couple.

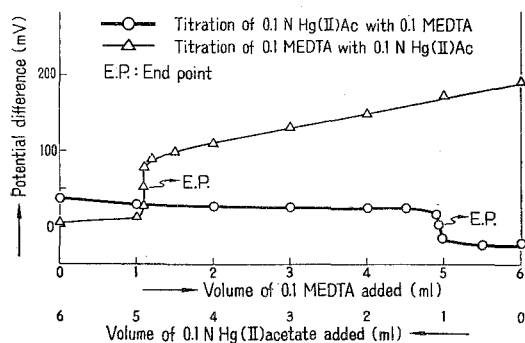


Fig. 3. Titration curves for Pt-Ag couple.

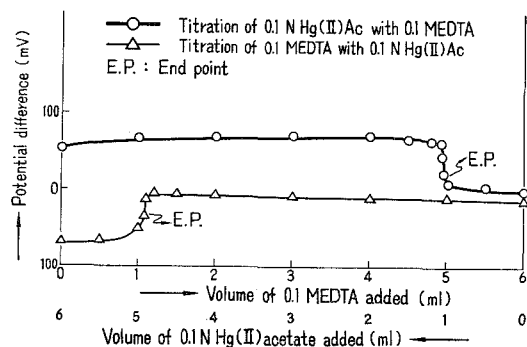


Fig. 4. Titration curves for Pt-Pd couple.

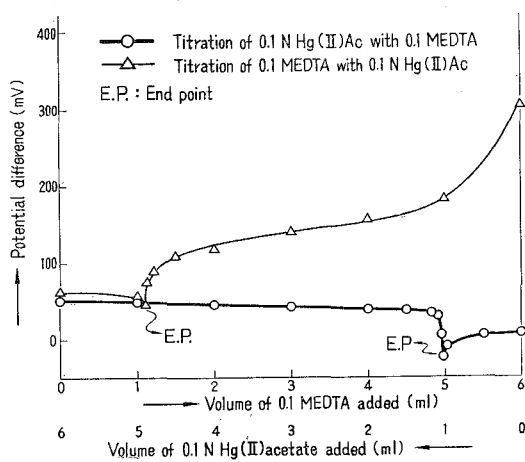


Fig. 5. Titration curves for Pt-Ag-Amalgam couple.

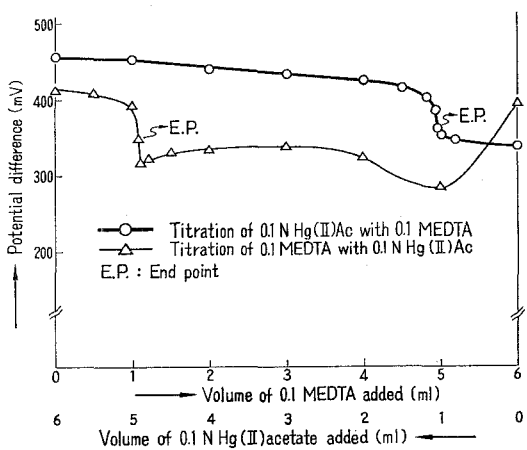


Fig. 6. Titration curves for Pt-Zr couple.

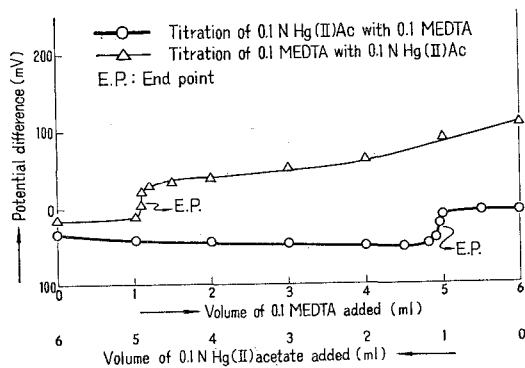


Fig. 7. Titration curves for Pt-Au couple.

EDTA 溶液による水銀 (II) 溶液を滴定した場合**, Fig. 1 および Fig. 2 が示すように, 白金—タングステンおよび白金—ニッケルの組合わせはピーク形になり, また, Fig. 3, 4 および Fig. 6 よりわかるように, 白金—銀, 白金—パラジウムおよび白金—ジルコニウムの組合わせは逆 S 字形の滴定曲線を示した。白金—銀アマルガムの組合わせは Fig. 5 の示すように, 上述の白金—タングステン組合わせのピーク形になった。しかし, 下向きであった。白金—金の組合わせは Fig. 7 のように, S 字形の滴定曲線を示した。以上上向きピーク形, 下向きピーク形, S 字形および逆 S 字形の 4 通りの滴定曲線をそれぞれ示すことがわかった。

一方, 逆滴定の場合は正滴定の滴定曲線の形の逆の形にかならずしもならない組合わせもあった。すなわち, 白金—タングステンはピーク形とはならず, 一つの隆起部をもった曲線となった。このような現象はおそらくタングステン表面に対する水銀 (II) イオンとエチレンジアンイオン (Y^{4-}) との吸着および脱着速度の違い, あるいは反応中に起る溶液組成変化に対する平衡到達時間の違いなどに起因するものと考えられるが, この問題については今後検討を加えたい。白金—ニッケルは上向きピーク形, 白金—銀, 白金—パラジウムおよび白金—ジルコニウムのおおのの組合わせは S 字形, 白金—金は正滴定と同様 S 字形を示した。また, 白金—銀アマルガムは下向きピーク形であった。

0.01 N 溶液の場合の正滴定において使用可能な組合わせは白金—ニッケル, 白金—銀アマルガム, 白金—ジルコニウムおよび白金—金の組合わせであった。これらの組合わせによって求められた滴定曲線は電位の差はあったが, 形はほぼ同じであった。従って, これらの滴定曲線は図示しなかった。

逆滴定の場合はすべての組合わせは使用不可能であった。

III・2 終点における電位差変化の大きさ

7 組合わせを用いて EDTA より水銀 (II) 溶液の滴定ならびにその逆滴定の際にえられた終点における電位差変化の大きさ ($\Delta E/\Delta V$) を示すと Table 1 のとおりである。

Table 1. The magnitudes of the change in potential at the end point in the titration of Hg (II) with EDTA and *vice versa*. ($\Delta E/\Delta V$: mV, ΔV : 0.02 ml)

Concentration	Titration	Electrode couple						
		Pt-W	Pt-Ni	Pt-Ag	Pt-Pd	Pt-Ag-amalgam	Pt-Zr	Pt-Pu
0.1	A***	150~200	20~40	10~15	10~20	15~20	≥ 10	≥ 10
	B***	20~30	≥ 10	15~20	10~20	≥ 10	20~30	≥ 10
0.01	A	—	10~15	—	—	≥ 10	10~15	≥ 10
	B	—	—	—	—	—	—	—

** 本滴定を正滴定, この逆を逆滴定とよぶ。

*** A: Titration of Hg (II) with EDTA, B: Titration of EDTA with Hg (II).

Table 1 より分るように、EDTA 溶液により水銀 (II) 溶液の滴定と逆滴定との終点における電位差変化の大きさを比較すると、白金—タングステン、白金—ニッケルおよび白金—銀アマルガムの組合わせは正滴定の大きさの方が逆滴定のそれより大きかった。また白金—ジルコニウムは反対に逆滴定の方が大きく、ほかの組合わせでは両滴定の大きさの差はなかった。

0.01 N 溶液の場合、III・1 の項でのべたように、終点の電位変化が現われた組合わせは白金—ニッケル、白金—銀アマルガム、白金—ジルコニウムおよび白金—金で、しかも、正滴定の場合のみで、逆滴定においては終点の指示がなかった。

正滴定において、白金—タングステン、白金—ニッケルおよび白金—金の 3 組合わせは終点において急激な電位差上昇を示した。一方、ほかの 4 組合わせは滴定曲線の形の違いはあるが、終点において電位差降下を示した。また逆滴定の場合は白金—タングステン、白金—ニッケルは正滴定の場合と同様、終点において電位差上昇を示し、白金—銀、白金—パラジウム、白金—銀アマルガムも正滴定の電位差変化と同じように、終点において降下を示した。白金—ジルコニウムおよび白金—金の両組合わせは正滴定の場合とは逆に、終点において電位差上昇ならびに電位差降下をそれぞれ示した。

白金—タングステンの組合わせは 0.1 N 溶液の正滴定の場合、終点が 0.02 ml (滴定液の 1 滴に相当) 早く現われ、かつ、タングステン極表面に析出物が付着していた。また、0.01 N 溶液の場合、終点が約 0.3 ml くらい早く現われた。しかし、その電位差の変化は 0.1 N 溶液の場合より大きく、200~250 mV に達した。このような理由で使用不能な組合わせにした。従ってこの組合わせを使用するに際しては十分注意を払う必要がある。また上述のように終点が早く表われるのは¹⁾、タングステン電極による水銀 (II) イオンの金属水銀への還元作用によるものではないかと考えられるが、この理由については今後検討したい。

7 組合わせを比較すると、白金—タングステンの組合わせがほかの組合わせに比し、もっともよかった。ほかの 6 組合わせはとくに優劣はつけにくかった。

以上の結果より EDTA 溶液により水銀 (II) 溶液の滴定および逆滴定を双金属極電位差法により行なう場合、溶液の濃度が 0.1 N 程度であれば十分終点が認められるが、0.01 N になるとあまり満足すべき結果はえられない。

IV. 結 言

実験結果を要約するとつぎのとおりである。

(1) EDTA 溶液により水銀 (II) 溶液を滴定した場合、白金—タングステンおよび白金—ニッケルの組合わせはピーク形 (上向き) の滴定曲線を示し、白金—銀、白金—パラジウムおよび白金—ジルコニウムは逆 S 字形、白金—金は S 字形を示した。白金—銀アマルガムは下向きのピーク形滴定曲線を示した。

(2) 逆滴定においては白金—タングステンは山型、白金—ニッケルは上向きピーク形、白金—銀、白金—パラジウム、白金—ジルコニウムは S 字形、白金—金は S 字形、白金—銀アマルガムは下向きピーク形の滴定曲線をそれぞれ示した。

(3) 正滴定において、白金—タングステン、白金—ニッケル、白金—金の 3 組合わせは終点において電位上昇を示し、ほかの 4 組合わせは電位降下を示した。一方、逆滴定においては白金—タングステン、白金—ニッケル、白金—ジルコニウムは電位上昇、白金—銀、白金—パラジウム、白金—銀アマルガム、白金—金は電位降下を示した。

(4) 7 組合わせのうち白金—タングステンの組合わせがもっともすぐれていたが、0.01 N 溶液の正滴定の場合終点が早く表われ、終点における電位差変化は大きかったが、使用不能であり、注意を要する。ほかの組合わせは優劣をつけにくかった。0.01 N 溶液の逆滴定では 7 組合わせすべて使用不可能であった。

終りに本研究は文部省科学研究費の一部によって行なったものであることを付記し、深く感謝の意を表する。

(昭和 37 年 7 月 23 日 日本分析化学会第 11 年会において講演)

文 献

- 1) 太刀川哲平: 分析化学, **13**, 457 (1964).
- 2) 太刀川哲平: 室工大研報, **4**, 111 (1963).
- 3) Siggia, S., Eichlin, D. W. and Rheinhardt: *Anal. Chem.*, **27**, 1745 (1955).
- 4) Reilley, C. N., Schmid, R. W. and Lamson, D. W.: *Anal. Chem.*, **30**, 953 (1958).
- 5) Sadek, F. S. and Reilley, C. N.: *Microchem. J.*, **1**, 183 (1957).
- 6) Khalifa, H. and Osman, F. A.: *Z. analyt. Chem.*, **178**, 116 (1960)

教会ラテン語における gerundium, gerundivum および接続詞 quod の用法について

大 出 哲

De Modo Utendi Gerundio, Gerundivo et Conjunctione 《quod》 in Latinitate Ecclesiastica

Satoshi Ôide

Epitome

Latinitas ecclesiastica differt a latinitate antiqua in eo quod illa habet majorem flexibilitatem quam haec. Ab initio, ipsa latinitas natura sua habebat magnam flexibilitatem in potentia. Id quod hanc potentiam duxit in actum, est philosophico-theologica investigatio. Unde hoc subjectum debet investigari per omnes libros patrum auctorumque ecclesiasticorum. Sed hoc est supra vires meas. Hic igitur in lucem fero meam investigationem, etiamsi non sit sufficiens. Puto enim quod investigatio mea sit utilis eis, qui incipiunt legere libros latinitate mediaevali scriptos.

ラテン語の文法を一通りすませて中世の書物を読もうと意気込むとき、誰しも面喰らうことは、動詞の活用表にのっていない形態——たとえば *ens*——や、文法書に説明されていない用法——たとえば、接続詞 *quod* の用法——が無闇矢鱈と飛び出してくることである。おまけに、辞書を引いてみても見当らない単語のあまりにも多いことがそれに拍車をかけて、若い学徒の意気を消沈させる。中世研究のふるわない一つの原因でもあろう。辞書に見当らない単語のほうは S. Thomas Aquinatis 『神学大全』の索引その他にひとまずまかせるとして、浅い体験から、中世の書物を読むために重要と思われる文法の説明を二三試みようと思いついた所以である。

[I]

中世以降におけるラテン語の文法は、古代のそれを泉として、それから奔放とも見える自由さをもって豊かに流れ出る。哲学的神学的思索がそうさせるのである。esse を例にとれば、中世以降における存在論の多彩な展開は、周知のように、古代には影をひそめていた現在分詞 *ens* を形容詞として名詞として頻繁に使用し、さらに、*entitas* 「存在性」という抽象名詞を造る。Nicolaus de Cusa においては、*esse* から *essentiare* 「存在を与える」という動詞が新造されている。

spiritus essentiens. Nicolaus de Cusa, De Non Aliud, XXIV 《存在を与える霊》
 esse の gerundium も古代には見出されない形態の一つであるが、S. Thomas においては、
 その属格が次のように使用されている。

Esse dupliciter dicitur: uno modo, significat actum *essendi*; alio modo, significat compositionem propositionis, quam anima adinvenit coniungens praedicatum subiecto. S. Thomas, S. Th., Ia, q. 3, art. 4 ad 2. 《「存在」は二様の意味で言われる。一方の意味では、それは、「存在という現実態」を表示するが、他方の意味では、それは、知性が述語を主語に結びつけるときに見出すところの、「命題の構成作用」(命題の copula 「繫辞」) を表示する。》

Substantia sua adest omnibus ut causa *essendi*. S. Thomas, S. Th., Ia, q. 8, art. 3 ad 1. 《かれ(神)の実体は、存在の原因として、万物に現存する。》

esse の gerundium のこうした用法は、Nicolaus de Cusa においても多く見出される。

diversi modi *essendi*. Nicolaus de Cusa, De Docta Ignorantia, II, 9. 《相異なる存在の仕方》

forma et actus *essendi*. Nicolaus, Doc. Ig., I, 23. 《存在の形相と現実態》

forma *essendi*. Nicolaus, Doc. Ig., I, 23. 《存在の形相》

unitas *essendi*. Nicolaus, Doc. Ig., I, 20. 《存在の一性》

possibilitas *essendi*. Nicolaus, Doc. Ig., II, 1. 《存在の可能性》

universalis *essendi* modus. Nicolaus, Doc. Ig., II, 7. 《普遍的な存在の仕方》

essendi forma possibilis sensibilisque substantiae. Nicolaus, De Non Aliud, XII
 《可能的で感覚的な実体の存在の形相》

さらに、*essendi* は、それを修飾限定する副詞と共に用いられる。

modus *essendi sic vel sic*. Nicolaus, Doc. Ig., II, 12. 《かくかくの存在の仕方》

Nicolaus de Cusa において特に注目しなければならないことは、*essendi* が意味上の主語をとる場合があることである。

Deus est aequalitas *essendi omnia*. Nicolaus, Doc. Ig., III, 3. 《神は、万物の存在の相等性である。》

omnia の格は対格でなければならない。つぎの用例を見出すからである。

possibilitas *essendi aquam*. Nicolaus, De Non Aliud, VII. 《水の存在の可能性》

では、この対格をどう説明すればよいのだろうか。わたしは、つぎの見解をとりたい。まず、「われわれは水が存在するのを見る」(Videmus aquam esse) という accusativus cum infinitivo の構文をもつ文章を想定してみる。そして、この「水が存在すること」(aquam esse) の可能性、という意味を表示するために、accusativus cum infinitivo の構文における不定法の意味上の主語 aquam をそのままにしておいて、esse だけを gerundium の属格に変えたのであろう。同

じ用法を次に挙げてみよう。

quaedam absoluta *omnia essendi* possibilitas. Nicolaus, Doc. Ig., II, 8. 《万物が存在するための或る絶対的な可能性》

aequalitas summa atque maxima *essendi omnia*. Nicolaus, Doc. Ig., III, 3. 《万物の存在の最高で最大な相等性》

[Deus] est aequalitas *essendi res*. Nicolaus, Doc. Ig., I, 24. 《神は、諸事物の存在の相等性である。》

Praesentia est cognoscendi principium et *essendi omnes temporum differentias atque varietates*. Nicolaus, De Non Aliud, XVI. 《現在性が、時間のいつさいの差別と多称性との認識と存在の原理である。》

また, Nicolaus de Cusa においては, esse の gerundium の対格が, つぎのように副詞をとめない, 前置詞 ad と共に用いられて目的を表わしている。

Res actu *ad sic essendum* per ipsum talem motum seu spiritum determinatur. Nicolaus, Doc. Ig., II, 10. 《事物は, このように存在するためには, 現実に, このような運動すなわち霊によって限定される。》

ad と共に用いられる esse の gerundium は, 意味上の主語をとるとき, gerundivum に転換される。これは, 対格の目的語をもつ gerundium が ad と共に用いられるとき gerundivum に転換されねばならないことからの類推であろう。

Possibilitas *ad essendum mundum istum tantum* aptitudinem habuit. Nicolaus, Doc. Ig., II, 8. 《可能性は, この世界だけが存在するための適応性しかもっていないかった。》

Contractio dicit ad aliquid, ut *ad essendum hoc vel illud*. Nicolaus, Doc. Ig., II, 4. 《縮限とは, (普遍が), たとえば, このものとして存在するにいたるとかあのものとして存在するにいたるとかいうように, 或る特定の事物として存在するにいたることを意味する。》

Contrahens est adaequans possibilitatem *ad contracte istud vel aliud essendum*. Nicolaus, Doc. Ig., II, 7. 《縮限するものは, 可能性を規定して, 縮限されてこのものあるいはあのものとして存在するにいたらしめるものである。》

Balthasar Corderius においては, verbum defectivum 《aio》の gerundium が見出される。

Qui philosophatur de Deo *aiendo*, Verbum facit carnem; qui vero neganter, auferendo philosophatur, Verbum facit spiritum. PG 3, col. 1010, 1. 17; De Mystica Theologia S. Dionysii, cap. 1, Corderii Notae. 《神について肯定することによって哲学するひとは, 御言葉を肉とする。しかし, 否定的に, 奪取することによって哲学するひとは, 御言葉を霊とする。》

[II]

中世以降におけるラテン語の *gerundium* と *gerundivum* の用法にかんして言えば、古代のそれよりも著しく柔軟性を増し、後述のように破格的な用法も出てくる。

(1) *gerundium* は、その動詞が定動詞として使用されるとき支配する格をそのまま支配し、定動詞として使用されるとき共に用いられる前置詞との関係をそのまま持続する。

Deus creando omnia semetipsum multis modis manifestat. PG 3, col.1010, 1.48; *Myst. Th. S. Dionysii, cap. 1, Corderii Notae.* 《神は、万物を創造することによって、自分自身を多くの仕方であらわにする。》

ad divina accedendi via. Nicolaus, *Doc. Ig.*, I, 11. 《神的なことがらへと近づいていく道》

omnis circulatio, quae est [eundo] de potentia in actum et redeundo de actu in potentiam. Nicolaus, *Doc. Ig.*, I, 21. 《可能態から現実態へと行くことによって、そして、現実態から可能態へと復帰することによって存するところの・いつさいの円環》
Oportet in divinis simplici conceptu, quantum hoc possibile est, complecti contradictoria, ipsa anteceder praeveniendo. Nicolaus, *Doc. Ig.*, I, 19. 《神的なことがらにかんしては、矛盾するものどもを——先に進んでそれらを追い越すことによって——可能なかぎり単純な概念のうちに包括しなければならない。》

Finitis uti pro exemplo volums ad maximum simpliciter ascendendi. Nicolaus, *Doc. Ig.*, I, 12. 《われわれは、有限なものを、端的に最大なものへと登るための例として使用することを欲する。》

Perfectum videtur dici aliquid in attingendo ad propriam naturam. S. Thomas, *Expositio in Librum Beati Dionysii De Divinis Nominibus, Exp. 115.* 《或るものは、固有の本性に到達することにおいて、完全なものと言われるように思われる。》

(2) *credere, videre, dicere* のような動詞の *gerundium* は、それが定動詞として使用される場合と同じように、*accusativus cum infinitivo* の構文をとる。

Terra, luna et planetae sunt ut stellae circa polum distanter et differenter motae, coniecturando polum esse, ubi creditur centrum. Nicolaus, *Doc. Ig.*, II, 11. 《地や月や諸遊星は、ひとびとが中心だと信じている所が極であると臆測するかぎりにおいて、諸恒星のようにこの極の周囲を、極から或る距離をもって、差別ある仕方運動している。》

Unde, demonstrando Deum esse per effectum, accipere possumus pro medio quid significet hoc nomen 《Deus》. S. Thomas, *S. Th.*, Ia, q. 2, art. 2 ad 2. 《したがって、われわれは、神が存在することを結果によって論証するにあたって、その媒介として、「神」というこの名詞が何を表示するかを受け容れることができる。》

B. Corderius においては、*dicere* の *gerundium* が、*verbi gratia* によって引き出される例文

を目的語としてとっている。

Oportet omnes entium affirmationes de divinitate magis proprie negare, *dicendo verbi gratia Deus non est vita, non est sapientia, etc.* PG 3, col. 1007, 1.57; Myst. Th. S. Dionysii, cap. 1, Corderii Notae. 《神性についての・存在するものどものいっさいの肯定を, もっと固有な仕方でも否定しなければならない, 例えば, 「神は生命でない」「神は叡智でない」などと言って。》

(3) 対格の目的語をもつ gerundium が属格に置かれるとき, および, 前置詞にともなわれない奪格に置かれるとき, その gerundium は gerundivum によって置換されうる。この場合, gerundium に支配されていた対格の名詞は, gerundium が置かれるはずの格に置かれ, gerundivum はそれと性・数・格において一致しなければならない。しかし, この置換は必ずしも必要ではない。

principale exemplar *creandi res*=principale exemplar *creandarum rerum*. Nicolaus, Doc. Ig., I, 11. 《創造さるべき事物の第一の原型》

Scio Christum *legendo Sacram Scripturam*.=Scio Christum *legenda Sacra Scriptura*. 《聖書を読むことによって, わたしはキリストを知る。》

ただし, 目的語が中性代名詞の対格であるときには, 上の置換はなされない。

Puer est cupidus *aliquid scribendi*. 《子供は, 何かを書こうと欲している。》

Aliae scientiae non argumentantur ad sua principia probanda, sed ex principiis argumentantur *ad ostendendum alia in ipsis scientiis*. S. Thomas, S. Th., Ia, q. 1, art. 8 cor. 《他の諸学は, 自分の基本命題を証明するために論証を行なうのではなく, かえって, 基本命題から出発して, その学自身のうちにある・基本命題以外のことがらを明らかにするために論証を行なうのである。》

(4) gerundium の gerundivum による置換は, 古代ラテン語の文法においては, 対格の目的語をもつ gerundium が (a) 与格に置かれるべき場合, (b) 対格に置かれるべき場合, (c) 前置詞と共に奪格に置かれるべき場合には, 必ずなされねばならないことになっている。だが, 中世になると破格的な用法が見られる。

(a) の例

allegoria pulcherrima et appositissima *iis quae tractantur illustrandis*. PG 3, col. 1014, 1.24; Myst. Th. S. Dionysii, cap. 1, Corderii Notae. 《いま論じられることどもを明らかにするために最も美しい最も都合な比喩》

haec theologiae pars, quae *Scripturis explicandis* vacat. PG 3, col. 1035, 1.21; Myst. Th. S. Dionysii, cap. 1, Corderii Notae. 《もっぱら聖書の解釈だけを旨とする神学のこの部分》

Nihil est in rebus, quod non sit *virtuti alicui percipiendae* idoneum. Nicolaus, De Non Aliud, XIV. 《どんな力をも認知する能力のないものは, 諸事物のうちには

何もない。》

(b) の 例

Deus omnipotens supremas animae vires *ad sui capessendam similitudinem* (puta gratia et dona sua) condidit. PG 3, col. 1007, 1.34; Myst. Th. S. Dionysii, cap. 1, Corderii Notae. 《全能な神は、靈魂の最上な力を、かれ自身の類似(例えば、かれの恩寵や贈物)を捕えるようにつくった。》

Ad intelligendum id quod dictum est, quomodo scilicet caligo sit illuminatio, et nescientia cognitio, sume, inquit S. Maximus, exemplum ab oculo corporis. PG 3, col. 1026, 1.13; Myst. Th. S. Dionysii, cap. 2, Corderii Notae. 《いま言われたこと、すなわち、どのような仕方で闇が照明であり、無知が認識であるかを理解するために、肉体の眼から例を取られよ、と S. Maximus は言う。》

Quia a Deitate Trinitatis nihil subtrahi potest, *ad hoc significandum* addidit: 《*integra*》. S. Thomas, Expositio in Div. Nom. Exp. 115. 《三位一体という神性からは何ものも取り除かれえないがゆえに、このことを表示するために、かれは、「完璧な」を付け加えたのである。》

Deus *propter suam cognoscendam bonitatem* aut ex eo, quia maxima absoluta necessitas, creavit mundum. Nicolaus, Doc. Ig., II, 2. 《神は、自分自身の善性を認識するために、あるいは、かれが最大で絶対的な必然性であるという理由によって、この世界を創造した。》

しかし、S. Thomas においては、これの破格的な用法が多く見られる。

Invenimus Deum laudari sicut Trinitatem *ad manifestandum supersubstantialem fecunditatem* trium personarum, quae non distinguuntur nisi secundum originem.

S. Thomas, Expositio in Div. Nom. Exp. 57. 《起源に基づいてのみ区分される三つのペルソナの超実体的な生殖性を明らかにするために、神が三位一体として讃美されるのを、われわれは見出す。》

Hoc nomen 《perfectum》 assumptum est *ad significandum omnem rem* quae attingit propriam virtutem et naturam. S. Thomas, Expositio in Div. Nom., Exp. 114.

《「完全なもの」というこの名称は、固有な能力と本性とに到達する事物をすべて表示するためにとられている。》

しかも、同一項 (articulus) のなかに、対格の目的語をもつ gerundium が gerundivum によって置換されている場合とない場合とが見出される。

Haec doctrina non argumentatur *ad sua principia probanda*, quae sunt articula fidei; sed ex eis procedit ad aliquid aliud ostendendum. …… Si vero adversarius nihil credat eorum quae divinitus revelantur, non remanet amplius via *ad probandum articulos* fidei per rationes, sed *ad solvendum rationes*, si quas inducit, contra fidem. S. Thomas, S. Th., Ia, q. 1, art. 8 cor. 《この教え(聖教, 神学)も、自分自身の基本命題、すなわち、信仰箇条を証明するために論証を行うのではなく、かえって、それから出発して、それとは別な何かを明らかにするために進んでいく。

……しかし、もし反対者が、神から啓示されていることがらの何ものをも信じないならば、もろもろの信仰箇条を条理によって証明するための道は、もはや残っていない。だが、もし反対者が信仰に反する論説を持ち込んでくるならば、それを解決するための道は残っている。》

(c) の例

illa quae in Scripturis explicandis versatur theologiae pars. PG 3, col. 1035, 1. 19; *Myst. Th. S. Dionysii*, cap. 3, *Corderii Notae*. 《聖書解釈にかんする・神学あの部分》

Dionysius dicit se eam [theologiae partem], quae in Scripturis interpretandis tota fuisse videtur, conscripsisse. PG 3, col. 1035, 1.20; *Myst. Th. S. Dionysii*, cap. 3, *Corderii Notae*. 《Dionysius は、すべてが聖書解釈のためにであったと思われる神学あの部分を、自分が書いたと言っている。》

Sufficiant ista pauca pro mirabili potestate doctae ignorantiae ostendenda. *Nicolaus, Doc. Ig., II, 1.* 《知ある無知の驚くべき能力を示すためには、いま述べたわずかなことだけで十分であろう。》

(5) 前置詞に先立たれない *gerundium* の奪格は、古代においては、主として手段・原因を示すために用いられたが、中世以降においては、限定を示すためにも多く用いられている。

Theologia mystica res creatas omnes quae quasi Deo circumpositae sunt, ab eo removendo et negando, ipsum quodammodo nobis in semetipso nudum exhibet. PG 3, col. 1027, 1.25; *Myst. Th. S. Dionysii*, cap. 2, *Corderii Notae*. 《神秘神学は、いわば神のまわりにおかれている被造物をすべてかれから遠ざけ否定することによって、神をそれ自身においてあらわにして、或る程度われわれに示すのである。》——手段

Haberi etiam potest aliqua de Deo notitia intellectualis mystica abstractiva et absoluta, abstrahendo ipsum esse ab omni prorsus imperfectione, accipiendoque illud cum omnimoda excellentia, nobilitate et perfectione, ac perfectionali infinitate. PG 3, col. 1058. 1.48; *Myst. Th. S. Dionysii*, cap. 5, *Corderii Notae*. 《存在それ自体を全くの不完全性から抽象することにより、また、それを全くの卓越性・崇高性・完全性・完全な無限性ととも受け容れることにより、知性的・神秘的・抽象的・絶対的な・神についての或る観念がもたれうる。》——手段

Quando dicitur Deum alia ratione creasse hominem, alia lapidem, verum est habendo respectum ad res, non ad creantem. *Nicolaus, Doct. Ig., II, 9.* 《神が或る概念によって人間を創造し他の概念によって石を創造したと言われるとき、このことは、事物にたいする関係をもつかぎりでは真であるが、創造するものにたいする関係をもつかぎりでは真ではない。》——限定

Hoc etiam alio nomine natura dicitur, accipiendo naturam secundum primum modum illorum quatuor quos Boetius in libro «de Duabus Naturis» assignat. *S. Thomas, De Ente et Essentia, cap. 1, num. 3.* 《これ(本質)は、別な名称によって本性とも言われる、Boetius が『二つの本性について』の書であげているあの四つ

の意味のうちの第一の意味にしたがって本性を受け容れるかぎりにおいて。》——限定

(6) S. Thomas の『神学大全』をひもとくとき、各項 (articulus) ごとに必ずぶつかるものに、gerundivum の非人称的用法がある。Respondeo dicendum quod ……「以上に答えて、わたしはこう言うべきであるとする」という、主文 (corpus articuli) を引き出す句、および、Ad primum ergo dicendum quod ……「第一の (異論) にたいしては、それゆえ、こう言うべきであるとする」等々という、異論解答 (solutio) を引き出す句がそれである。S. Thomas においては、きわめて稀に、この非人称的用法は、accusativus cum infinitivo の構文をとる。

Respondeo dicendum *sacram doctrinam esse scientiam*. S. Thomas, S. Th., Ia. q. 1, art. 2 cor. 《以上に答えて、わたしはこう言うべきであるとする。聖教は学である。》
Respondeo dicendum *absolute Deum non esse corpus*. S. Thomas, S. Th., Ia, q. 3, art. 1 cor. 《以上に答えて、わたしはこう言うべきであるとする。絶対に神は物体ではない。》

B. Corderius にも、この構文が見出される。

Dicendum est, *nos Deum in hoc saeculo non posse intuitive cognoscere*. PG 3, col. 1058, 1.37; Myst. Th. S. Dionysii, cap. 5, Corderii Notae. 《われわれはこの世において神を直観的に認識することはできない、と言わるべきである。》

Hic notandum est, *positionem aliam esse simplicem, aliam esse hypotheticam*. PG 3, col. 1035, 1.43; Myst. Th. S. Dionysii, cap. 3, Corderii Notae. 《ここで注意すべきことは、措定は、或るものは単純であり、或るものは付帯的である、ということである。》

(7) gerundivum の非人称的用法は、間接疑問文とともに用いられる。

Ad horum difficultatem aperiendam dicendum est *quid nomine essentiae et entis significetur, et quomodo in diversis inveniantur, et quomodo se habeant ad intentiones logicas, scilicet genus, speciem, differentiam*. S. Thomas, De Ente et Essentia, cap. 1, num. 1. 《これら (存在と本質) の難解な点を明らかにするためには、本質と存在という名称によって何が示されているか、どのような仕方でそれらがいろいろなものの中に見出されるか、どのような仕方でそれらが論理的な諸概念すなわち類・種・種差に対して関係しているか、これらのことが論じられねばならない。》

Viso igitur quid significetur nomine essentiae in substantiis compositis, videndum est *quomodo se habeat ad rationem generis, speciei et differentiae*. S. Thomas, De Ente et Essentia, cap. 3, num. 13. 《本質という名称によって合成実体において何が意味されているかということが見られたわけであるから、こんどは、どのような仕方でそれが類・種・種差という概念に対して関係しているかが考察するべきである。》

Secundo videndum est, *qualiter iste radius dilatetur in consideratione beneficiorum commissorum, quae quidem sunt in triplici genere*. S. Bonaventura, De Triplici Via, cap. 1, §2, num. 11. 《第二に、(知性の) この光が、まさに三様の種類において

存するところの・与えられた恩恵を考察することにおいてどのような仕方で広げられていくか、ということが見られねばならぬ。》

[III]

接続詞 quod によって導かれる名詞節は、古代のラテン語においてすでにいろいろな仕方で使用されている。Caesar の De Bello Gallico から例をとろう。

- (A) *Quod vestra victoria tam insolenter gloriamini, quod que tam diu vos impune iniurias tulisse admiramini, eodem pertinet.* Caesar, De Bello Gallico, I, 14. 《おまえたちがこんなに傲慢におまえたちの勝利を自慢していることと、こんなに長い間おまえたちが罰を受けずに不義を働いていることに驚嘆することとは、同じことがらに属する。》

quod によって導かれる二つの名詞節は、pertinet の主語になっている。なお、eodem は代名詞ではなくて副詞であり、pertinet が単数なのは、「et, —que, atque (ac) によって二つ以上の主語が連結される時は、述語動詞は複数になるか、あるいは、最も近い主語の数に一致するかである」という規則による。

- (B) *Quod multitudinem Germanorum in Galliam traduco, id mei muniendi, non Galliae impugnandae causa facio; eius rei testimonium est quod nisi rogatus non veni, et quod bellum non intuli, sed defendi.* Caesar, De Bello Gallico, I, 44.
《わたしが多数のゲルマニー人をガリアへと連れこむこと、それを、わたしは自分を守ろうという理由でしたのであって、ガリアを襲おうという理由ではではない。このことの証拠は、わたしは乞われなければ来なかつたし、戦いをしかけたのではなくて防戦したのである、ということである。》

名詞節 quod multitudinem …… と代名詞 id とは appositio の関係にあり、ともに facio の目的語となるために対格に置かれている。quod nisi …… と quod bellum …… とは、ともに eius rei testimonium の述語になっている。

- (C) *Reperiebat etiam in quaerendo Caesar, quod proelium equestre adversum paucis ante diebus esset factum.* Caesar, De Bello Gallico, I, 18. 《カエサルは、尋ねていくうちに、騎兵の敗戦が数日前になされたことを見出した。》

名詞節 quod は、reperiebat の目的語である。

- (D) *Id hoc facilius eis persuasit, quod undique loci natura Helvetii continentur.* Caesar, De Bello Gallico, I, 2. 《このことをかれ (オルゲトリクス) は、ヘルウェティー族が地勢上四方から制約されているという事情によって、かれら (ヘルウェティー族) にいっそう容易に説得しえた。》

代名詞 hoc と名詞節 quod とは appositio の関係にあり、理由・原因を示す奪格に置かれている。

- (E) *Hoc est miserior et gravior fortuna Sequanorum quam reliquorum, quod soli ne in occulto quidem queri neque auxilium implorare audent.* Caesar, De Bello Gallico, I, 32. 《セークァニー族の運命は他の部族どものそれよりもいっそう悲惨で困難である、かれらだけは隠れて歎いたり援助を切願したりすることがけっして許されないという、この点の相異によって。》

代名詞 *hoc* と名詞節 *quod* とは *appositio* の関係にあり、*差異を示す尊格*に置かれている。

- (F) *Helvetii, seu quod timore perterritos Romanos discedere a se existimarent, eo magis quod pridie, superioribus locis occupatis, proelium non commisissent, sive eo, quod re frumentaia intercludi posse confiderent, commutato consilio atque itinere converso nostros a novissimo agmine insequi ac lacessere coeperunt.* Caesar, De Bello Gallico, I, 23. 《ヘルウェティ族は、ローマ軍が恐怖に脅かされて自分たちから離れ去るのだと思ったのか——(ローマ軍が) その前日、あの高地を占領したにもかかわらず戦闘をしなかったということによって、なおさらそう思ったのか——、それとも、(自分たちによってローマ軍が) 穀物の供給から遮断されうると信じたことによってか、その計画を変更して道を変え、わが軍を後衛から追撃し挑み始めた。》

代名詞 *eo* と名詞節 *quod* とは *appositio* の関係にあり、*原因・理由を示す尊格*に置かれている。

上述の接続詞 *quod* の用法も中世以降においては著しく柔軟性を増して発展し、きわめて多彩なものとなる。以下の用例においてうかがい知りうるところである。

- (1) *quod* 節が主語になる場合。

Sicut autem ex voluntate Dei dependet quod res in esse producit, ita ex voluntate eius dependet quod res in esse conservat. S. Thomas, S. Th., Ia, q. 9, art. 2 cor. 《事物を存在へともちきたすことが神の意志に依存するのと同じように、事物を存在へと保持することはかれの意志に依存する。》

Quod Moyses cum selectis sacerdotibus montem ascendat, solusque caliginem ingrediatur, insinuat, paucorum esse ad mystica fastigia conscendere. PG 3, col. 1014, l. 33; Myst. Th. S. Dionysii, cap. 1, Corderii Notae. 《モーセが選ばれた祭司たちとともに山に登り、ただひとり闇へと歩み入ったということは、神秘的な頂上へと登るのは少数のひとにだけできることである、ということの意味する。》

Quod in contemplatione tam theologiae affirmativae quam theologiae negativae Deus vere et obiective intelligatur, hoc modo videtur probari posse: …… PG 3, col. 1050, l. 74; Myst. Th. S. Dionysii, Quaestio Mystica Corderii. 《肯定神学の観想においても否定神学の観想においても、神が真に客観的に理解されることは、この仕方では証明されうと思われる。……》

Unde non potest esse quod malum significet quoddam esse, aut quandam formam seu naturam. S. Thomas, S. Th., Ia, q. 48, art. 1 cor. 《したがって、悪が或る存在を、あるいは、或る形相すなわち本性を意味することはありえない。》

Quod in libro 《De causis》 assertitur, primam causam non narrari nisi per causas secundas, non est intelligendum, quasi nomina secundarum causarum proprie et

univoce convenient causae primae. PG 3, col. 1058, l. 60; Myst. Th. S. Dionysii, Quaestio Mystica Corderii. 《「第一原因は第二の諸原因によってのみ語られる」と『原因論』において主張されていることは、あたかも第二の諸原因の名称が固有な仕方で一義的に第一原因に適合するかのように理解するべきではない。》

Hoc ipsum quod res convertuntur in Deum, desiderando Ipsum sicut finem, est eis a Deo. S. Thomas, Expositio in Div. Nom., Exp. 100. 《諸事物が神を目的として希求することによって神へと転回するというこのことは、神から諸事物に与えられることなのである。》

なお、quod 節を主語にする場合、代名詞を形式主語として文頭に置き、quod 節を後にもって来る配語法がある。

Hoc autem etsi possit dici de habente formam, quod scilicet habeat aliquid quod non est ipsum (puta in albo est aliquid quod non pertinet ad rationem albi): tamen in ipsa forma nihil est alienum. S. Thomas, S. Th., Ia, q. 3, art. 7 cor. 《ところで、自分自身でない或るものをもつということのことは、形相をもっているものについては言われうるけれども(例えば、「白いもの」のうちには、「白」という概念に属していない或るものが存している)、しかし、形相自体のうちには、形相以外の何もかも存していない。》

また、quod 節を文頭に置き、それをさらに代名詞で受けて主語にする場合がある。

Quod autem diversimode participetur, hoc evenit, quia probatum est superius non posse esse duo aequae similia et per consequens praecise aequaliter participantia unam rationem. Nicolaus, Doc. Ig., I, 17. 《ところで、相異なった仕方でも分有されるということがおこるのは、上に証明されたところの・相等しく似ている二つのものはありえないということ、したがって、一な根拠を厳密に相等しく分有している二つのものはありえないということのゆえにである。》

(2) quod 節が述語になる場合。

Caliginem autem vocat duplici de causa: Prima ratio est, *quod Deum caliginem inhabitare Scriptura perhibeat*. …… Secunda ratio est, *quod unio huiusmodi cognitionis seu intellectiois* (quae Dionysio lux est) *in seipsa expers sit.* PG 3, col. 1003, l. 71; col. 1006, l. 15; Myst. Th. S. Dionysii, Corderii Notae. 《ところで、かれ (Dionysius) は闇を二つの理由で呼んでいる。第一の理由は、神は闇に住むと聖書が述べていることである。……第二の理由は、このような合一は、それ自身のうちに、(Dionysius にとっては光であるところの) 認識すなわち知解を欠いていることである。》

Unde impossibile est animae hominis secundum hanc vitam viventis, essentiam Dei videre. Et huius signum est, *quod anima nostra, quanto magis a corporalibus abstrahitur, tanto intelligibilium abstractorum fit capacior.* S. Thomas, S. Th., Ia, q. 12, art. 11 cor. 《こうして、この世の生に従って生きる人間の靈魂にとっては、

神の本質を見ることは不可能である。このことの証拠は、われわれの靈魂は、有体的なものどもから離れるに従って、離在的な可知的なものをよりいっそう受け容れうるようになる、ということである。》

Et ex hoc causantur duae aliae differentiae. Una est *quod essentia substantiae compositae potest significari ut totum vel pars* …… Secunda differentia est *quod* …… S. Thomas, De Ente et Essentia, cap. 4, num. 20. 《そして、このことからして、他の二つの差異が生じてくる。第一の差異は、合成実体の本質は全体としても部分としても示されることができ、ということである。……第二の差異は、……ということである。》

(3) quod 節が目的語になる場合。

Rursus autem ascendentes dicimus, *quod [causa omnium] nec anima sit, neque mens, nec imaginationem, vel opinionem, vel rationem, vel intelligentiam habeat*. PG 3, col. 1046; Myst. Th. S. Dionysii, cap. 5, Translatio Corderii. 《さらに上昇しながら、われわれはこう言う、万物の原因は、靈魂(人間)でもなく、知性(天使)でもない、また、表象や臆見や推理や知解をもたない、と。》

Gregorius theologus sermone tertio 《Theologiae》 suae dixit, *quod neque divinitas, nec ingenitum, neque paternitas substantiam Dei significant*. PG 3, col. 1050, 1. 4; Myst. Th. S. Dionysii, cap. 5, Corderii Notae. 《神学者 Gregorius は、かれの『神学』の第三説話でこう言った、神性も生まれもないことも父性も神の実体を意味しない、と。》
Alphorabus et Avempothe dixerunt, *quod intellectus noster cognoscendo quidditates sensibilibus ac materialium substantiarum, abstractissime cognosceret quidditatem substantiae separatae*. PG 3, col. 1058, 1. 51; Myst. Th. S. Dionysii, Quaestio Mystica Corderii. 《Alphorabus と Avempothe はこう言った、われわれの知性は、感覚的で物質的な諸実体の何性(本質)どもを認識することにより、分離実体の何性をきわめて抽象的に認識するであろう、と。》

Verumtamen Scotus tenet, *quod conceptus entis sit univocus et communis Deo et creaturis*. PG 3, col. 1054, 1. 42; Myst. Th. S. Dionysii, Quaestio Mystica Corderii. 《しかしながら、Scotus はこう主張する、ens(存在するもの)という概念は神と被造物とに一義的であって共通である、と。》

Videtur ergo *quod hic error fuit sicut ibi*. PL 178, col. 1341 C; P. Abaelardus, Sic et Non, Prologus. 《それゆえ、あの個所のように、この個所にも誤りがあったことを、あなたがたは見出すであろう。》

Cyprisiotus ait, *quod neque integram de Deo cogitationem habere in hoc saeculo possumus*. PG 3, col. 1067, 1. 9; Epistola Ia S. Dionysii, Corderii Notae. 《Cyprisiotus はこう言う、神についての完全な認識をわれわれはこの世でもつことができない、と。》

Unde Cyprisiotus concludit, *quod Deus neque ex representatione naturali cognoscitur*. PG 3, col. 1067, 1. 23; Epistola Ia S. Dionysii, Corderii Notae. 《こうして、Cyprisiotus はこう結論する、神は自然的な表象によって認識されない、と。》

- 4) quod が非人称的受動態動詞と共に用いられる場合。

Ex his *certum censetur*, quod Deus a beatis clare cognoscitur. PG 3, col. 1055, 1. 12; Myst. Th. S. Dionysii, Quaestio Mystica Corderii. 《これらのことから、神が浄福なひとたちによって明らかに認識されるということは確実と思われる。》

Unde *videtur*, quod, abstracta ab ipso esse, omni potentialitate, dependentia, privatione, et alia omni imperfectione ac finitate, resultet conceptus Dei absolutus ac proprius. PG 3, col. 1054, 1. 6; Myst. Th. S. Dionysii, Quaestio Mystica Corderii. 《このことからつぎのことがわかる、すなわち、存在自体からいっさいの可能性・従属性・欠如・その他いっさいの不完全性や有限性が解き離されて、神の絶対的で固有な概念が結果として生じる、ということが。》

At his *obiicitur*, quod simili modo Deus posset dici lapis et lignum, quia est causa horum. PG 3, col. 1054, 1. 27; Myst. Th. S. Dionysii, Quaestio Mystica Corderii. 《しかし、これらのこと(神と被造物について言われるいっさいのことは一義的に言われるという説)に対してこう反論される、神は類似した仕方で(アナログアによって)石や木と言われえよう、なぜなら、神はこれらの原因であるから。》

Relinquitur ergo quod nomine mali significetur quaedam absentia boni. Et pro tanto *dicitur* quod malum neque est existens nec bonum. S. Thomas, S. Th., Ia, q. 48, art. 1 cor. 《それゆえ、結局、悪という名称によって善の或る欠如が意味されるという結論が出てくる。そして、このかぎりにおいてのみ、悪は現存するものでもなく善でもないと言われる。》

Non autem potest *dici* quod essentia relationem significet quae est inter materiam et formam. S. Thomas, De Ente et Essentia, cap. 2, num. 4. 《ところで、本質が、質料と形相との間に存する関係を示している、とは言われえない。》

Unde in VII 《Physic.》 *probatur* quod motum et movens oportet esse simul. S. Thomas, S. Th., Ia, q. 8, art. 1 cor. 《こういうわけで、『自然学』第七章において、動かされるものと動かすものが同時に存在しなければならない、ということが証明されている。》

Et ita *sequitur* quod cuius potentia intellectiva naturaliter est sublimior, clarius eum videat. S. Thomas, S. Th., Ia, q. 12, art. 6, obiectio 3. 《このようにして、[神を] 知解する能力が自然本性的により高次なものは、より明らかに神を見るであろう、ということが帰結される。》

- (5) quod が gerundivum の非人称的用法と共に用いられる場合。

Respondeo *dicendum* quod impossibile est in Deo esse materiam. S. Thomas, S. Th., Ia, q. 3, art. 2 cor. 《以上に答えて、わたしはこう言うべきであるとする、神のうちに質料が存することは不可能である、と。》

Est autem ulterius *considerandum* quod omnis effectus convertitur ad causam a quo procedit, ut Platonici dicunt. S. Thomas, Expositio in Div. Nom., Exp. 94. 《さて、さらに考察されねばならないことは、プラトン主義者たちが言うように、結果はすべて、それが進み出てきた原因へと転回する、ということである。》

Sciendum ergo est quod ens per se dicitur dupliciter: …… S. Thomas, De Ente et Essentia, cap. 1, num. 2. 《それゆえ、こういうことを知っておかねばならない、すなわち、存在するものはそれ自体としては以下のように二様の仕方ではかれる、ということ。》

Et *notandum* quod ponit duo ex quibus habetur quod sacrae Scripturae sit maxime credendum. S. Thomas, Expositio in Div. Nom., Exp. 21. 《また、つぎのことが注意すべきである、すなわち、それによって聖書が最高度に信じらるべきであるとされるころのもの二つをかれ (Dionysius) が措定している、ということが。》

- (6) quod が非人称動詞と共に用いられる場合。

Ex his *liquet*, quod Deus nec naturali repraesentatione cognosci ab ullo unquam possit. PG 3, col. 1075, 1. 54: Epistola Va S. Dionysii, Corderii Notae. 《これらことから、神が自然的な表象によりどんなものによっても認識されえない、ということは明らかである。》

Unum enim nihil aliud significat quam ens indivisum. Et ex hoc ipso *apparet* quod unum convertitur cum ente. S. Thomas, S. Th., Ia, q. 11, art. 1 cor.

《「一なもの」は、「分割されえない存在するもの」以外の他の何ものをも意味しない。まさにこのことから、「一なもの」が「存在するもの」と転換されるということが明らかになる。》

Unde *manifestum est* quod Deus non est in genere sicut species. Et ex hoc *patet* quod non habet genus, neque differentias; neque est definitio ipsius, neque demonstratio, nisi per effectum. S. Thomas, S. Th., Ia, q. 3, art. 5 cor. 《したがって、神が種として類のうちに存しないことは明白である。このことからして、神が類をもたないこと、もろもろの種差をもたないこと、神の定義が存しないこと、結果によるのでなければその論証が存しないこと、これらのことも判明する。》

Et ex hoc *contingit* quod est unus re et plures secundum rationem: quia intellectus noster ita multipliciter apprehendit eum, sicut res multipliciter ipsum repraesentant. S. Thomas, S. Th. Ia, q. 13, art. 4 ad 3. 《そして、(神が) 事実上は一でありながら概念上では多である、ということが生じるのは、もろもろの事物が神を多様な仕方では表現しているように、そのようにわれわれの知性が多様な仕方では神を把握するからである。》

Cum autem Deus sit ipsum esse per suam essentiam, *oportet* quod esse creatum sit proprius effectus eius. S. Thomas, S. Th., Ia, q. 8, art. 1 cor. 《ところで、神は自分の本質によって存在そのものであるがゆえに、被造的な存在はかれの固有の結果でなければならない。》

Si autem perfecte aliquid cognoscitur, *nesse est* quod virtus eius perfecte cognoscatur. S. Thomas, S. Th., Ia, q. 14, art. 5 cor. 《ところで、もし或るものが完全に認識されるとすれば、そのものの力が完全に認識されるのでなくてはならない。》

- (7) quod 節が他の名詞と同格に置かれてその内容を示す場合。

Similitudines illarum rerum quae magis elongantur a Deo, veriore nobis faciunt

aestimationem quod sit supra illud quod de Deo dicimus vel cogitamus. S. Thomas, S. Th., Ia, q. 1, art. 9 ad 3. 《諸事物の似像は、神からよりいっそう隔たったもののものであればあるほど、神はわれわれが神について言ったり考えたりするところのものを超えているという思いなしを、われわれにいっそう真なものにする。》

[Dionysius] tradit *differentiam* procedendi mysticae theologiae ab aliis scientiis theologicis, *quod* nimirum hae, dum varia de Deo tradunt et affirmant, v. g. bonitatem, veritatem, sapientiam, potentiam et caetera attributa, Deum quodammodo ornare et vestire videantur, et consequenter obtegere ac velare; e contra vero mystica theologia omnia haec de Deo negando et auferendo, multo verius et clarius nobis in semetipso Deum exhibere censenda sit. PG 3, col. 1027, l. 45; Myst. Th. S. Dionysii, cap. 2, Corderii Notae. 《Dionysius は、神秘神学の進み方の他の神学からの差異を述べる、すなわち、たしかに他の神学は、神にかんしているいろいろなものを、たとえば、善性・真理性・叡智・能力・その他の属性を付与し肯定しながら、神を或る仕方で飾り着せるように思われる、したがって、神を隠し覆うように思われる、しかし、これとは反対に、神秘神学は、神にかんするこれらすべてを否定し取り去ることによって、いっそう真に明瞭に、神をそれ自体においてわれわれに示すと見做されねばならぬ、ということ。》

Ex hoc potest accipi *regula magistralis quod* omnia nomina designantia effectum in creaturas, pertinent ad divinam Essentiam. S. Thomas, Expositio in Div. Nom., Exp. 126. 《このことから、被造物への働きかけを指し示す名称はすべて神の本質に属している、という教導的な規則が受け容れられる。》

(8) ad+gerundivum の単数中性対格+quod 節。この場合、quod 節は、gerundivum に置かれる動詞の目的語になっている。

Dicimus Deum sapientem, *ad innuendum quod* in eo non sit insipientiae malum. PG 3, col. 1054, l. 17; Myst. Th. S. Dionysii, Quaestio Mystica Corderii. 《非叡智という悪が神のうちに存しないことを知らせるために、われわれは神を叡智あるものと呼ぶ。》

(9) quod 節が代名詞と appositio の関係に置かれ、前置詞なしに奪格に置かれる場合。

Hoc solum different [affirmatio et negatio], *quod* propius accedat ad veritatem qui dicit, Deus non est quod nos existimamus aut concipimus. PG 3, col. 1010, l. 30; Myst. Th. S. Dionysii, cap. 1, Corderii Notae. 《肯定と否定とはただつぎの点でのみ異なっている、すなわち、神はわれわれが考えたり把握したりするところのものではないと言うひとは、真理へといっそう近く近付くであろう、という点で。》

なお、hoc は、**差****異**を**示**す**奪**格である。

Virtus divina se extendit ad alia, *eo quod* ipsa est prima causa effectiva omnium entium. S. Thomas, S. Th., Ia, q. 14, art. 5 cor. 《神の力は、それがいっさいの存在するものの第一の産出因であるという仕方で、自分自身を他のものどもへと拡げる。》

なお、eo は、方法・仕方を示す奪格である。

Eo sunt boni Angeli ab malorum angelorum societate discreti, quod hi in eadem voluntate bona manserunt, illi ab ea deficiendo mutati sunt, mala scilicet voluntate, hoc ipso quod a bona defecerunt. S. Augustinus, *De Civitate Dei*, XII, 9, n. 1; ML 41, 356. 《善い天使たちは、悪い天使たちの集団から、次のことのゆえに分離された、すなわち、前者は同じ善い意志にとどまり、後者はそれ(善い意志)から背き去ることにより、すなわち、悪い意志によって善い意志から背き去ったことにより変化してしまった、ということのゆえに。》

なお、eo は、原因・理由を示す奪格である。

(10) quod 節が代名詞と appositio の関係に置かれ、前置詞に支配される場合。

Dicitur autem aliquid corruptibile per hoc quod inest ei potentia ad non esse. S. Thomas, S. Th., Ia, q. 75, art. 6 ad 2. 《だが、非存在への可能態が或るものうちに内在しているということによって、そのものは滅びうると言われる。》

Vis rationum D. Thomae in hoc fundatur, quod nimirum cognitio fiat per formam seu speciem et similitudinem cogniti. PG 3, col. 1054, l. 54; *Myst. Th. S. Dionysii, Quaestio Mystica Corderii*. 《博士 Thomas の推論の力はつぎの点に基礎づけられている、すなわち、確かに認識は、認識されるものもっている形相すなわち形とその似像とによって生じる、ということに。》

Et sicut semper crescit desiderium vivendi, ita cibus vitae semper comeditur, absque hoc quod in naturam comedentis convertatur. Nicolaus, *Doc. Ig.*, III, 12. 《また、生きることの希求がつねに増大するように、そのように生命の食物はつねに食べられる、だが、この生命の食物が食べるひとの本性に転回するということはない。》

Secundum hoc simpliciter aliquid dicitur ens, secundum quod primo discernitur ab eo quod est in potentia tantum. S. Thomas, S. Th., Ia, q. 5, art. 1 ad 1. 《或るものが端的な意味で「存在するもの」と呼ばれるのは、何よりもまず、単に可能態においてあるところのものから区別されるかぎりにおいてである。》

Secundum ergo quod ea quae sunt veteris legis, significant ea quae sunt novae legis, est sensus allegoricus. S. Thomas, S. Th., Ia, q. 1, art. 10 cor. 《旧約の法に属していることがらが新約の法に属していることがらを表示するかぎりにおいて、譬喩的な意味がある。》

この例では、代名詞が省略されている。

Ex duobus notificatur aeternitas. Primo, ex hoc quod id quod est in aeternitate, est interminabile, idest principio et fine carens. Secundo, per hoc quod ipsa aeternitas successione caret, tota simul existens. S. Thomas, S. Th., Ia, q. 10, art. 1 cor. 《二つのことから永遠性は知られる。第一には、永遠性において存するところのものが限りのないものであること、すなわち、始めと終りとを欠いているものであることから。第二には、永遠性そのものが継続を欠いて全体として同時に存在することから。》

Ad hoc quod aliquid sit perfectum et bonum, necesse est quod formam habeat, et ea quae praeexiguntur ad eam, et ea quae consequuntur ad ipsam. S. Thomas, S. Th. Ia, q. 5, art. 5 cor. 《或るものが完全であり善であるためには、それが形相をもつこと、その形相のために予め要求されるものどもをもつこと、その形相に従ってくるものどもをもつこと、これらのことが必要である。》

Cum relatio requirat duo extrema, tripliciter se habere potest *ad hoc quod* sit naturae et rationis. S. Thomas, S. Th., Ia, q. 13, art. 7 cor. 《関係は、二つの項を要求するがゆえに、項が自然界の事物であるか概念の世界の事物であるかに応じて、三様の仕方ですらう。》

Et tunc veritatis aspectus fertur in mentis caliginem et altius elevatur et profundius ingreditur, *pro eo quod* excedit se et omne creatum. S. Bonaventura, De Triplici Via, cap. 3, num. 13. 《そしてそのとき、真理の注視は、自分といつさいの被造物とを超え出るにしたがい、精神の闇のうちへと運び入れられ、いつそう高く揚げられ、いつそう深く歩み入る。》

Si aliqua nomina dicuntur de Deo ex tempore *propter hoc quod* important relationem ad creaturas, eadem ratio videtur de omnibus quae relationem ad creaturas important. S. Thomas, S. Th., Ia, q. 13, art. 7, obiectio 3. 《もし若干の名称が、被造物への関係を含意しているというこのことのゆえに、時間的な仕方ですらうで神について語られているとするならば、被造物への関係を含意するいつさいの名称についても同じ推理が見られなくてはならない。》

つぎの例は、代名詞が省略された場合の例である。

[Deus] habet omnes perfectiones quae sunt in omnibus generibus, *propter quod* perfectum simpliciter dicitur. S. Thomas, De Ente et Essentia, cap. 5, num. 24. 《神は、端的に完全なものと言われるがゆえに、どんな種類のものうちに存する完全性をもすべてもっている。》

これに似たものに、Caesar の De Bello Gallico に見出される *propterea quod* 節がある。

Horum omnium fortissimi sunt Belgae, *propterea quod* a cultu atque humanitate provinciae longissime absunt. Caesar, De Bello Gallico, I, 1. 《これらすべてのうちで、ベルガエ人が最も勇敢である。それは、プロウインキアの文化と教養から最も遠く離れているからである。》

なお、De Bello Gallico のうちには、*quod* だけで理由を表わす場合がある。

Postridie eius diei, *quod* omnino biduum supererat cum exercitui frumentum metiri oporteret, et *quod* a Bibracte, oppido Haeduorum longe maximo et copiosissimo, non amplius milibus passuum duodeviginti aberat, rei frumentariae prospiciendum existimavit. Caesar, De Bello Gallico, I, 23. 《その翌日、軍隊に穀物の割り当てをすまさねばならぬ日がまる二日しか残っていなかったのも、また、ハエドウィー族のなかで最も大きくしかも最も豊かな町ビブラクテから十八哩以上は離れていなかったのも、かれ(カエサル)は穀物の供給をしなければならぬと考えた。》

無論, *quod* の同じ用法は, 中世以降においても見出される。

Ultra terminos populus sine periculo ascendere non poterat, quod non esset capax tantae puritatis, neque divinae lucis radios e propinquo sustinere posset. PG 3, col. 1011, l. 10; *Myst. Th. S. Dionysii, cap. 1 Corderii Notae.* 《(イスラエルの)民は, 危険を伴わずに境界を越えて登ることができなかった, なぜなら, 民はそれほどまでに純化されえなかったであろうし, また, 神の光箭を近くから見るに耐ええなかったであろうからである。》

- (11) *quod* 節が他動詞の過去分詞と結合して *ablativus absolutus* を構成する場合。

Videtur quod omnia quae apparent in mundo, possunt compleri per alia principia, supposito quod Deus non sit. S. Thomas, S. Th., Ia, q. 2, art. 3, obiectio 2. 《この世界に現象するものはすべて, 神が存在しないと想定されたとしても, その他の原理によって充たされうる, と考えられる。》

Dato enim quod esset aliquod corpus infinitum secundum magnitudinem, utpote ignis vel aer, non tamen esset infinitum secundum essentiam. S. Thomas, S. Th., Ia, q. 7, art. 3 cor. 《たとえ大きさのうえで無限な或る物体が存するとしても——例えば, 火とか気とかがそれだとしても——, それが本質上無限であることにはならないであろう。》

Et ideo, habito ex praemissis quod nulla creatura est infinita secundum essentiam, adhuc restat inquirere utrum aliquid creatum sit infinitum secundum magnitudinem. S. Thomas, S. Th., Ia, q. 7, art. 3 cor. 《それゆえ, どんな被造物も本質上無限でないということが前述のことからえられたにしても, なお, 或る被造物が大きさのうえで無限であるかどうかを探究することは残る。》

Dato quod tempus semper durat, tamen possibile est signare in tempore principium et finem. S. Thomas, S. Th., Ia, q. 10, art. 4 cor. 《たとえ, 時間が永遠に持続するとしても, 時間のうちに始めと終りとをしるすことは可能である。》

- (12) *quod* が *puta, sicut* と共に例文を引き出すために用いられる場合。

Eandem enim conclusionem demonstrat astrologus et naturalis, puta quod terra est rotunda. S. Thomas, S. Th., Ia, q. 1, art. 1 ad 2. 《天文学者と自然学者はそれぞれ同じ帰結を論証する, 例えば, 「地球は円い」という帰結を。》

Plato enim posuit omnium rerum species separatas; et quod ab eis individua denominantur, quasi species separatas participando; ut puta quod Socrates dicitur homo secundum ideam hominis separatam. S. Thomas, S. Th., Ia, q. 6, art. 4 cor. 《プラトンは, あらゆる事物の離存的な種どもを考えた, そして, 個体は離存的な種どもをいわば分有することによってそれらに基づいて呼ばれるのであると考えた, 例えば, ソクラテスが, 人間の離存的なイデアに基づいて「人間」と言われるように。》
Et sic nihil prohibet aliqua privative dicta de Deo praedicari; sicut quod est incorporeus, infinitus. S. Thomas, S. Th., Ia, q. 11, art. 3 ad 2. 《このようにして欠如的に言われた或る言葉が神について述語されることを, ——例えば, 「神は非物

体的である」とか「神は無限である」というように言われることを——何ものも妨げない。》

- (13) quod 節が比較の項を示すために用いられる場合。

《Ridere》 dictum de prato, *nihil aliud significat quam quod pratum similiter se habet in decore cum floret, sicut homo cum ridet, secundum similitudinem proportionis*. S. Thomas, S. Th., Ia, q. 13, art. 6 cor. 《「笑う」ということが草原について言われる場合、対比の類似性に基づいて、人間が笑う場合と類似した仕方で、草原が花咲くときに華麗な状態にあることを表示しているにほかならない。》

- (14) quod が ita, adeo, talis などと相関的に用いられる場合。

Talis autem invenitur habitudo materiae et formae, quod forma dat esse materiae. S. Thomas, De ente et Essentia, cap. 4, num. 19. 《ところで、質料と形相との間には形相が質料に存在を与えるという関係が見出される。》

Quamvis actu quisque in gradu esse possit tali, quod in maiori secundum se actu …… esse non possit; …… Nicolaus, Doc. Ig., III, 12. 《だれしも、自分自身の力によってそれ以上高い段階には現に在りえないほどの（最高の）段階に現実的に在りうるとしても、……。》

Tunc patet correlationem influentiae talem esse, quod una [stella] sine alia [stella] esse nequit. Nicolaus, Doc. Ig., II, 12. 《その場合、その影響（地と太陽と月との相互にたいする影響）は、一方の星が他方の星なしには存しえないというような相互関係にあることは明らかである。》

Omnia, quaecumque sensu, ratione aut intellectu apprehenduntur, intra se et ad invicem taliter differunt, quod nulla est aequalitas praecisa inter illa. Nicolaus, Doc. Ig., I, 4. 《感覚・理性あるいは知性によって把握されるものは何であれすべて、相互のあいだで、相互にたいし相異なっていて、それらのあいだには何ら厳密な相等性が存しないほどである。》

Ita est unione ineffabili hypostatica, quod …… non possit altius et simplicius uniri. Nicolaus, Doc. Ig., III, 12. 《（イエスは、）それよりも高度にそれよりも単純には合一されえないほどに、言い表わしようもない基体的な合一によって存在する。》

Hic certe ita esset homo quod Deus, et ita Deus quod homo. Nicolaus, Doc. Ig., III, 3. 《このものは、たしかに、神であるという仕方で人間であり、人間であるという仕方で神である。》

Aeterna quies, adeo perfecta, quod perfectior esse non possit. Nicolaus, Doc. Ig., III, 12. 《それよりも完全でありえないほどに完全な永遠の静穏。》

Non tamen, sic utimur huiusmodi signis in cognitione divinorum, quod in eis mens nostra remaneat, nihil ultra huiusmodi Deum existimans. S. Thomas, Expositio in Div. Nom., Exp. 69. 《しかし、われわれは、神的なものの認識において、こうしたしるしを、そのうちにわれわれの精神がとどまって神をこうしたものを超えるどんなものともみなさない、という仕方で使用することはない。》

Et ne aliquis crederet sic Deum esse super omnia remotum ut non solum non cognosceretur, sed *quod nec etiam cognosceret quae infra se sunt*, …… S. Thomas, Expositio in Div. Nom., Exp. 77. 《さらに、神が、認識されることがないばかりでなく自分の下位にあるものどもを認識することもないほど万物を超えて遠ざかっている、とひとが信じないように……。》

Est *intantum* ille circulus unissimus, *quod diameter est circumferentia*. Nicolaus, Doc. Ig., I, 21. 《あの円（無限な円）は、直径が円周であるほど、それほど最大度に一である。》

Tanta est ibi identitas, quod omnes etiam relativas oppositiones antecedit, quoniam ibi aliud et diversum identitati non opponuntur. Nicolaus, Doc. Ig., I, 21. 《そこには（無限な一性には）あらゆる相対的な対立よりも先に進むというそれほどの同一性が存する、なぜなら、そこにおいては（無限な一性においては）「他なもの」と「相異なるもの」とが同一性に対立することがないからである。》

(15) *quod* が *idem* と共に用いられる場合。

Hierarchia *idem* est *quod* sacer principatus. S. Thomas, Expositio in Div. Nom., Exp. 64. 《「教主」とは、「聖な頭主」と同じ意味である。》

Idem pulchrum esse *quod* bonum perspicuum est. Nicolaus, De Non Aliud, cap. 14. 《美が善と同じものであることは明白である。》

聖アウグスティーンスの『創世記逐語解』について
——『神国論』における「神の国」と「地の国」の原型の形成——

大 出 哲

De Genesi ad Litteram S. Augustini
—De formatione exemplorum Civitatis Dei et Civitatis
terrenae in opere ejus, DE CIVITATE DEI—

Satoshi Ôide

Epitome

In caelo formatae sunt duae societates: societas scilicet bonorum angelorum et societas malorum angelorum. Quae, societatem in hoc mundo dividendo, efficiunt corpus Christi mysticum et corpus diaboli mysticum: societatem scilicet spiritualement, quae, gratiam accipiendo, sequitur Christum, et eam, quae, gratiam negando, sequitur diabolum. Quas inter duas societates videtur proelium incessabile. Sed hoc proelium procedit ad unum certissimum finem, id est, discretionem duarum societatum perfectam in iudicio novissimo. Haec est epitome operis Augustini, DE CIVITATE DEI.

Fons, a quo Augustinus deduxit hanc duarum societatum discretionem, est Caput Primum Libri Genesis. Quod bene tradit nobis opus ejus, DE GENESI AD LITTERAM. Creatura spiritualis, quae significatur nomine «caelum» (Gen. I, 1), erat instabilis et tenebrosa ante vocationem Dei. Quam conditionem fluitantem significat nomen «aquae» (Gen. I, 2). Talem creaturam spiritualement vocat Deus ad se, dicendo «Fiat lux». Accepta hac vocatione, alii angeli, quorum voluntas stabilitur ad Deum, fiunt sancti angeli; negata autem hac vocatione, alii angeli ab eo quod accepturi erant cadunt et fiunt immundi angeli. Illorum societas est exemplum Civitatis Dei, horum autem societas est exemplum Civitatis terrenae.

は し が き

天上に二つの勢力が形成された。善い天使たちの集団と悪い天使たちの集団とである。それらは、地上の勢力を二分し、キリストの神秘体と悪魔の神秘体とを現出させる。恩寵を受け容れることによってキリストに属する靈的な集団と、恩寵を拒否することによって悪魔に属する靈的な集団とである。これら二つの神秘体の間には、絶え間のない争いが展開される。だがそれは、一つの確かな目的に向かって絶えず進行している。それは、最後の審判による両勢力の完全な分離である。キリストの神秘体の構成員はすべて天上に凱旋し、悪魔の神秘体の構成員はその呪われた自己分裂によって永遠に苦しむことになる。これが、アウグスティーンスの『神国論』における歴史観の大略である。

アウグスティヌスが天上におけるこれら二つの勢力の分裂を引き出してきた源は、『創世記』の首章であった。かれの『創世記逐語解』(De Genesi ad Litteram) は、その消息を詳かに伝える。現代の聖書解釈からすれば荒唐無稽にさえ思われるかれの創世記解釈も、『神国論』(De Civitate Dei) との関聯において見直されるとき、新たな精彩をおびてくる。

(一) 矛盾しあうかに見える聖書諸句の整合的な解釈

『創世記』を字義的に解釈するにあたって、アウグスティヌスが遭遇した最初の問題は、『創世記』第1章1節から第2章2節にいたる6日間の創造のわざと、『集会書』の「永遠に生きるものが、万物を同時に造られた。」(Qui vivit in aeternum, creavit omnia simul.¹⁾ Eccli. XVIII, 1) とをどのように整合的に解釈するか、さらにこの解釈に、『創世記』の「神は、なされていたそのわざを6日目²⁾に完成された。そして、神は、なされていたそのすべてのわざから7日目に休まれた。」(Et consummavit Deus in die sexto opera sua quae fecit: et requievit Deus in die septimo ab omnibus operibus suis quae fecit.³⁾ Gen. II, 2) と、『ヨハネによる福音書』の「わたしの父はいまにいたるまで働いておられるのだから、わたしも働く。」(Pater meus usque nunc operatur, et ego operor.⁴⁾ Joan. V, 17) とをどのように一致させるか、であった。一見矛盾しあうかに見えるこれらの諸句は、聖書の無誤謬・無矛盾性を確信するアウグスティヌスの心眼を釘付けにし、『創世記逐語解』全巻のうち、第1巻から第7巻までのほとんどすべてを占める多彩な議論を展開させる。

「真実で真理であるあなたが聖書を世に出された。⁵⁾」とかれは言う。聖書のほんとうの著者、聖書の第一次的な著者(auctor principalis)は聖霊である。一な真理の霊が道具的な原因(causae instrumentales)である「人間を介して人間の仕方でも語る」(per hominem more hominum loquitur⁶⁾)のであるから、聖書には誤謬がありえない。したがって、聖書相互の間には矛盾がありえないのである。

「わたしはあなたの愛に告白します、すでに正典とよばれている聖書だけに、それらの著者のうちのだれひとりとして記述のさいにどんな誤謬もおかさなかった、と確信するこの畏敬を表明することを学びました、と。だから、これらの書物のなかで何か真理と矛盾するように思われるものに出会う場合には、写本が誤っているか、翻訳者が意味をとりちがえていたのか、あるいは、わたしが少しも意味を理解していなかったかのいずれかにほかならない、と信じて疑いません。⁷⁾」

「じっさい、万物は記述されている前後6日を通じて(per sex dies)、そしてまた同時に(simul)創造されたのである、なぜならば、記述されている日数によって神のわざを語っているこの聖書(『創世記』)と、神は万物を同時に創造したと言うあの聖書(『集会書』)とは、それぞれ真であり、また一な真理の霊の神感によって書かれたものであるから、両方ともに一な聖書である。⁸⁾」

このように聖書の無誤謬・無矛盾性を確信するアウグスティヌスの精神は、「同時に」(simul) なされた創造と「6日を通じて」(per sex dies) なされた創造という矛盾しあう聖書の記述を前にして、解決の道をどこに求めたのであろうか。かれは、創造の瞬間における天使と神との間の非時間的な語らいのうちに解決の道を見出す。

「神があの日(天使)を創造されたとき、天使たちを時間的な広がりによって変化させることなく、原因的にかれらの認識を秩序づけることによって、万物を同時に創造し6日間で完成したという仕方、かれが創造した万物をかれらに6度示したのである。⁹⁾」

非有体的な事物である天使たちも有体的な事物どももすべて一瞬間に創造された。『創世記』の首章における6日を通じてなされた創造の記述は、この瞬間における天使たちと神との間の非時間的な語らいなのである。有体的な事物どもも天使たちが創造されたと同じ瞬間に創造されたとしたものの、それらが同時にいまあるがままに創造されたとするわけにはいかない。動物界の創造においては、動物どもが現実に完成された状態にまで達するためには、時間のズレが明らかに認められるのである。

「動物、とくに、死んだ動物の身体から生じる他の動物が、前者が創造されたときに創造された、と言うことは、はなはだしい矛盾である。¹⁰⁾」

それゆえ、死んだ動物の身体から生じることになっている動物の或る自然的な力が、あたかも前以て種子をまかれたかのような或る仕方、不完全な始源として、前者のなかに含まれていた¹¹⁾として、時間的なズレを保って現実に完成された状態に達する動物どもの創造を、前述のあの一瞬間にまでさかのぼらせる。同様に、時間的なズレを保って出現する有体的な事物どももすべての創造を、前述のあの一瞬間にまでさかのぼらせてこうする。神は天使を創造したと同じ瞬間に世界の構成要素を創造し、これに時間的な経過において発生進展する有体的な被造物すべての「或る隠れた胚種」(occulta quaedam semina)を封じた¹²⁾と。

このようにして「6日を通じて」(per sex dies)と「同時に」(simul)とを整合的に解釈したアウグスティヌスは、これらのうえに、さらに他の2句の整合的な解釈をおこなう。かれは、「神は、なされていたそのわざを完成された」(consummavit Deus opera sua quae fecit.)を解釈して、神が創造の瞬間に天使を創造するとともに有体的な世界の構成要素を創造し、これに有体的な被造物のすべての類の胚種を封じて、時間的な経過において発生進展する有体的な被造物のすべての類を完全に規定してしまったことである、とする。

「神はまた、万物のすべての類を規定するという意味において、万物を完成された。¹³⁾」

だが、胚種において原因的に創造された(causaliter conditae)これらの有体的な被造物が時間的な経過において発生進展していくためには、さらに神の力を必要とした。神は創造の瞬間から、「そのとき予め原因的に造ったものをのちに結果的に完成するように働き始めた。」

(inchoavit ut quod hic praefixerat causis, post impleret effectis.¹⁴⁾) ののである。したがって、「神は、なされていたそのすべてのわざから休まれた。」(requievit Deus ab omnibus operibus suis quae fecit.) は、神がいつさいの働きを「やめてしまった」(cessavit) ことを意味するのではなく、神が創造の瞬間以後に新しい本性のものを、すなわち、純靈的なあるいは有体的な被造物の新しい類をなにも造らなかったことを意味するのである¹⁵⁾。こうして神は、創造の瞬間いらい、胚種的に創造されたすべての有体的な被造物を無に帰らせることなく保存し¹⁶⁾、経綸の働きによって導き動かしながら (administratorio actu gubernans et movens¹⁷⁾) 発生進展させ、人祖の創造を期としてすべての有体的な被造物を現実の完成態へと導いたのちも、なお保存と経綸 (conservatio et administratio) の働きによって、いまにいたるまで「休みなく」(sine cessatione) 働かれるのである。われわれは、次の引用をもってアウグスティヌスとともに「矛盾しあうかに見える聖書諸句の整合的な解釈」を終えることにする。

「不信なものあるいは不敬虔なものでなければだれもその真実性を疑わない聖書のこれらすべての証拠により、われわれは次のような見解へと導かれた。神は、世の始めから或るもの(天使)をすでに本性そのものにおいて造り、或るものは予め原因を造るという仕方では、第一に万物を同時に創造された (primum simul omnia creavisse), すなわち、全能なものは、現存するものばかりでなく未来において存するであろうものをも造り、それらのなされていたわざから休まれた、だが、それは、ひきつづき経綸と指導によって時間と時間的な事物の秩序さえも創造するため (ut administratione atque regimine crearet etiam ordines temporum et temporalium) であった。すなわち、神は、万物のすべての類を規定するという意味において万物を完成し、さらに、世界を進展させるという意味において万物を始められたのである、したがって、万物を完成したという意味において休まれ、万物を始めたという意味においていまにいたるまで働かれるのである。¹⁸⁾」

上に引用された《*primum simul omnia creavisse*》, 《*ut administratione atque regimine crearet etiam ordines temporum et temporalium*》, 『創世記逐語解』VI, 10, n. 17¹⁹⁾ の《(res) quae secundum causas simul creatas non jam simul sed suo quoque tempore creantur ……》(同時に創造された原因にしたがって同時にではなくおのおのその時期に達したときに創造されるものども……), および、同書 V, 11 の題²⁰⁾ 《*Rerum creationem primam factam esse sine temporis mora*》(事物の第一の創造は、時間の広がりなしになされた。)などによれば、アウグスティヌスは、万物を同時に造ったあの瞬間の神の働きにも、あの瞬間に造られた有体的な被造物の胚種を時間的な経過において発生進展させ、人類の創造を期として現実の完成態へと導いた神の働きにも、ともに *creare* (創造する) という動詞を用いており、特に前者を *creatio prima* と明記しているがゆえに、われわれは前者を *creatio prima* (第一の創造), 後者を *creatio secunda* (第二の創造) とよぶことにしよう。これら二つの創造、すなわち、非時間的な第一の創造と時間的な第二の創造との区別を、かれは『創世記』の敘述のうえに読みとる。

「しかし、泉が地からわきでて、つちの面をあまねく潤していた。」(創世記 II, 6) この泉の記述からひきつづき語られていることがらは、すべて同時になされたことではなくて、時間の広がりによってなされたことなのである。²¹⁾

かれは、『創世記』の首章1節から第2章5節までを第一の創造の敘述、第2章6節から終節までを第二の創造の敘述、第3章以下を人類固有の歴史の敘述であるとする²²⁾。

(二) 三位一体の神とその創造のわざ

創造については、次の三つが特に問われねばならない²³⁾。

- (1) だれが被造物を造ったか。
- (2) 何を介して造ったか。
- (3) なぜ造ったか。

第一の問いに対する答えは、「神が」である²⁴⁾。被造物の形成因は、三位一体の神なのである。父と子と聖霊は、それぞれペルソナを異にするが、三つの別々な神ではなくて一つの神であり²⁵⁾、この一つの神が働くとき、おのおののペルソナは同時に不可分離的に働き、子も聖霊もなしえない或ることを父がなし、父も子もなしえない或ることを聖霊がなし、父も聖霊もなしえない或ることを子がなす、ということはまったくありえない²⁶⁾。この「三位一体の不可分離性」(inseparabilitas Trinitatis) について、『ネブリディウス宛の書簡』は、次のような存在論的な証明を与える²⁷⁾。被造物はその存在を三つのペルソナをもつ神から受けたのであるから、被造物の存在は聖三位の足跡をもたなければならない、という前提からこの証明は出発する。存在するということ、このものがあるいはあのものであるということ、存在している当の存在においてできるかぎり持続するということ、これら三つの特性はあらゆる事物に存し、あらゆる事物によって示される。これらのうち第一の特性は、万物がそれに起因して (ex qua) 存在している・かれらの本性の原因を示しており、第二の特性は、万物がそれを介して (per quam) 造られ形成されるみことばの形相 (species Verbi) を、第三の特性は、万物がそれにおいて (in qua) 存在している持続 (manentia) を起させる聖霊の働きを示している。そこで、もしこのものあるいはあのものでもなく、また、その類において存続しているのでもない或るものが存在するようになりうるならば、また、存在もせずその類においてできるかぎり存続もしない或るものがこのものあるいはあのものであるようになりうるならば、さらにまた、存在しもせずこのものでもなくあのものでもない或るものがその類においてその類の力にしたがって存続するようになりうるならば、あの聖三位においても、或るペルソナが他のペルソナを除外して或ることをなしうることになるであろう。だが、存在するものは何であれ、同時にこのものあるいはあのものであり、かつ、その類においてできるかぎり存続しなければならない、ということ洞察するならば、三つのペルソナは個々別々に何事もなしえないことが理解されよう。

このように、三つのペルソナの働きはそれ自体として (per se) 分離されえないものであるが、原罪によって弱められたわれわれの理性は、これらを区別して示す以外には方法をもたない。したがって、われわれは、被造物の存在の原因を第一のペルソナである父に、被造物の原型を第二のペルソナである子に、被造物を存続させる使命 (munus) を第三のペルソナである聖霊に帰着させるのである。

第二の問いに対する答えは、「神は言われた、“成れ”と、そうすると(被造物)が成った。」(Dixit, Fiat, et facta est.) のなかに見出される²⁹⁾。《Dixit, Fiat.》のなかにわれわれは、みことばの生みの親 (Verbi generator) である第一のペルソナと神のみことば (Verbi Dei) である第二のペルソナを見出す²⁹⁾。父である神から生まれ出たこの永遠なみことばのうちには、すべての被造物の原型が、造られた形相としてではなく永遠不可変な形相 (forma aeterna et incommutabilis) として存在しており³⁰⁾、このみことばを介して父である神は世界を創造したのである³¹⁾。

「水は翹ぶものをいだせよ。」(Educant aquae volatilia³²⁾. Gen. I, 20) の「翹ぶもの」と創造された「翹ぶもの」との間には無限なへだたりがある。前者はみことばのうちに存在する永遠不可変なアイデアであり、後者は世界のうちに存在する時間的可変的な存在である。にもかかわらず、両者は父である神が与える存在の紐帯によって結ばれている。おのおのの個物は、神の叡智のうちに永遠な現在として存在する³³⁾ アイデアとの対応において、生成—存続—消滅の舞台上に登場し、神の叡智の世界計画にしたがって進行する。

第三の問いに対する答えは、『創世記』の首章において繰返されているみわざの確証 (approbatio) 「神は〔それ〕を見てよいとされた。」(Vidit Deus quia bonum est.) のうちに見出される³⁴⁾。この句は、神の知識の変化を意味するものではない。神の知識は、われわれが予見する (prospicere) 未来のもの、われわれが実見する (adspicere) 現在のもの、われわれが懐古する (respicere) 過去のものを「いっしょに」(cum) 永遠な現在において「観る」(tuere) 直観 (contuito) なのである³⁵⁾。神は、被造物がみことばのうちに永遠な現在として存するアイデアにかたどられていることを、すなわち、被造物が下位の善として最高善 (summum bonum) を分有していることを、被造物に対して確証したのである。では、最高善による下位の善の創造は、どのような理由によってなされたのであろうか。「神は、他の善を分有することによってではなく、自分自身の善によって善である。」(Ille bono suo bonus est, non aliunde participato bono.³⁶⁾) 神は、絶対的な善 (bonum simplex) である。それゆえ、被造物の善は、これを増加し変化させることができない³⁷⁾。神は、その内在的な生命において完全に充足し、創造から来るあの外的な光栄、「神の国の壮麗な飾りの輝かしさ」(gloria magnitudinis decoris regni tui³⁸⁾) をいささかも必要としないのである。にもかかわらず世界を創造した所以はどのようなものであろうか。それは、次の句から導き出されるであろう。「あなたは、それらのもの(被造物)を必要と

して造られたのではなく、あなたの善性の充満から造られた。」(quae non ex indigentia fecisti, sed ex plenitudine bonitatis tuae.³⁹⁾ 万物の源である神は、自分のあり余る善を、自分以外のものにも分け与えようと欲したのである。これこそ、スコラ哲学の定式「善は自分自身を拡散し、伝達するものである。」(Bonum est diffusivum sui et communicativum.) が示すところのものである。この定式が示すところのものをあの確証 (approbatio) のなかに読みとって、アウグスティヌスは、「なぜ造ったか」の問いに対して次のように答える。すなわち、「その理由は、善である神によって善が創造されたということ以外にはない。」(nec causa melior quam ut bonum crearetur a Deo bono.⁴⁰⁾——いつそう明らかに書き改めれば、「その理由は、下位の善が神の善の充満から溢れ出たということ以外にはない。」——と。創造の理由は、神の善性の充満以外には求められえないのである。これは、さらに簡潔な表現をとって、『キリスト教の教義』(De Doctrina Christiana) のなかに現われる。「神が善であるがゆえに、われわれは存在するのである。」(quia Deus bonus est, sumus.⁴¹⁾ がそれである。これは、のちに聖トーマスが『神学大全』のなかで引用するところのものである⁴²⁾。この充満している神の善性は、自分のあり余る善を自分以外のものにも分け与えようと欲する神の愛であり意志である。神は、自分の充満しているところから、「あらゆる強要からまったく自由な意志によって」(voluntate ab omni necessitate libera⁴³⁾ 万物を創造したのである。だが、神の意志は盲目的に創造を終えたわけではない。神の外部への働き (operatio ad extra) は、一定の目的を有しなければならない。しかし、絶対的な善である神は、自分以外のものを目的として働くことができない。それゆえ、神は創造のわざにおいて、自分自身を被造物の究極目的として設定したのである。こうして被造物は、神の無尽蔵な善をおのおのそのわけまえに応じてうけ、「神の国の壮麗な飾りの輝かしさ」を織りなすために出現した。創造の第一目的は、じつにこの神の外的な光榮 (gloria externa) にあるのである。だが、神はこの外的な光榮を必要としたのではない。ところで、「どこにおいても、神はそのみわざによって讃美される。」(Undique laudatur Deus ab operibus suis.⁴⁴⁾)とされている神の外的な光榮である讃美は、どのようにし果されるのであろうか。次の引用がこれに答えるであろう。

「無言な地にも或る声がある、それは地の容姿^{すがた}である。地の容姿に注目しなさい、地の豊饒さを見なさい、地の力を見なさい、どのようにして種子をはらみ、どのようにして播かれぬ多くのものをもたらすかを。……感歎しながら探し求め、偉大な力、偉大な美、輝かしい果実^{みのり}を見出したとき、地は自分だけでまた自分自身でこの果実を収めえないがゆえに、さらにあなたは次のことに気がつくであろう、すなわち、地はあの創造主によらないで自分自身で存在することはできないということに。あなたが地において見出したこのことは、地の讃美の声であり、あなたが創造主を讃美することをすすめるものなのである。この世の美がすべて考察されるとき、この世の容姿はあたかも一つの声によるようにあなたに答えるではありませんか、“わたしを造ったのは、わたしではなくて神である”と。⁴⁵⁾」

非理性的な被造物は、神の足跡 (*vestigia Dei*) を理性的な被造物に示すことによって、神のみむねを成就する。理性的な被造物である人間は、非理性的な被造物が示す神の足跡によって創造主である神を認識し、かれに讃美を捧げなければならない。この讃美は、人間が有する神の像 (*imago Dei*) を神に向けることによってまっとうされる。「次に、神は、“われわれの像のようにわれわれに似せて人を造ろう”と言われた。……こうして、神は、人を造られた。神の像のようにそれを造られた。」(Et dixit Deus: Faciamus hominem ad imaginem et similitudinem nostram.……Et fecit Deus hominem, ad imaginem Dei fecit eum.⁴⁶⁾ Gen. I, 26, 27.) と聖書が告げるように、神は自分の三位一体の像に似せて人間を造った。アウグスティヌスは、*faciamus* の複数が三つのペルソナを示し、*fecit Deus* の単数が三つのペルソナの一性 (*unitas*) を示すとして、ここに三位一体の奥義を読みとるのである⁴⁷⁾。人間は三位一体の像であって、たんなる三位一体の足跡ではない。朽ち果てる「外面の人」(*homo exterior*⁴⁸⁾)——この名称のもとに、肉体と感覚的な生命とをとともに理解する⁴⁹⁾——にも三位一体の類似 (*similitudo*) がある、すなわち、可視的な事物、視覚に生じる視覚像 (*visio*)、対象と視覚とを結びつけ、生じた視覚像を保有する精神の緊張 (*intentio animi*)、これら三つは不可分離的に働いて三位一体の類似を示している⁵⁰⁾。だが、この類似は最下の有体的な被造物に源を發し、感覚を介して靈魂において生じるものなるがゆえに、有体的な被造物に存する神の足跡 (*vestigia Dei*) の埒外に出るものではない⁵¹⁾。しかし、日に日に新たにされる「内面の人」(*homo interior*⁵²⁾) には、「記憶」(*memoria*)、「知」(*intelligentia*)、「愛」(*diligentia*) という三位一体の像が存している。

「精神のこの三一性が神の像であると言われるのは、精神が自分を記憶し、自分を知りかつ愛するという理由によるのではなくして、精神が自分を造られた神を記憶し、知り愛することもできるという理由によるのである。」(*Haec trinitas mentis non propterea Dei est imago, quia sui meminit mens, et intelligit ac diligit se; sed quia potest etiam meminisse, et intelligere, et amare [Deum] a quo facta est.*⁵³⁾)

この「できる」(*potest*) という語に注目しなければならない。人祖の靈魂は、あふれるばかりの恩寵のうちに、神を記憶し、神を知り、神を愛するように造られた、すなわち、神という対象をすでに有している現実態としての三位一体の像、「神の記憶」(*memoria Dei*)、「神の知」(*intelligentia Dei*)、「神の愛」(*diligentia Dei*) として造られたのである。だが、この像はまもなくその対象を自分にすり変え、「自分の記憶」(*memoria sui*)、「自分の知」(*intelligentia sui*)、「自分の愛」(*diligentia sui*) に墮してしまった。すなわち、神を対象としてもつこともできる可能態 (*potentia*) としての神の像に墮してしまっただのである。原罪の烙印をもって生まれるアダムの子孫は、可能態としての神の像を有するにすぎない。人はふたたび、それを神の恩寵の助けによって現実態へとひき戻さなければならない。すなわち、記憶・知・愛を自分から神へと向

けなければならない。このことによって、すなわち、自分の究極目的である神へと向かうことによって、神の讚美はまっとうされ、人は真の幸福にあずかりうるのである。創造の第一目的である神の外的な光榮は、同時に被造物の幸福なのである。

だが、神の讚美という上向きの力には、自己愛という下向きの力がつねに戦いを挑む。

「永遠性がわれわれを天上に向けて喜ばせ、消滅的な善の快樂がわれわれを下界にひきとめるときにも、同じ一つの靈魂は、その半分の意志で前者を、他の半分の意志で後者を欲するようになっている。それゆえ、靈魂ははげしい苦惱によって引き裂かれる。真理にうながされて靈魂は、前者の優越を認めるが、習慣に縛られて後者を断念しない⁵⁴⁾。」

人の靈魂は、この世における最後の瞬間まで、下向きの力に抗しながら上方の神へと向かわなければならない。この事実の深い体験に基づいて、アウグスティヌスは、『告白』の冒頭において、「あなたはわたしたちをあなたに向けて造られた。わたしたちの心はあなたのうちに休らうまでは安んじることができない⁵⁵⁾。」と言っている。「不安」こそは、人間の靈魂の特徴である。不安は愛のあるところにだけ存しうる。人間が、愛によってその対象と結ばれながらも対象とともに存しないとき、不安は「苦しみ」(tribulatio) に変わる。アウグスティヌスの靈魂の不安は、「苦しみ」である。

「まだ神とともに存していないこと、誘惑と苦惱のさなかにあつて恐れなしには存しえないこと、これは苦しみ (tribulatio) である⁵⁶⁾。」

故郷である天上の「神の国」にたどりつき、「顔と顔とを合せて⁵⁷⁾」神を觀る日まで、人はこの苦しみを続けなければならない。この苦しみの連続は、人の在りかたに「さすらい」(peregrinatio) の性格を与える。「さすらい」こそは、神の啓示を受けた人間の唯一の在りかたである⁵⁸⁾。「さすらい」のこの苦しみを介してのみ、人はその故郷へ帰りうるのである⁵⁹⁾。人とその故郷との間に横たわる「さすらい」の場は、満目蘊条たる道なき曠野ではない。「わたしは道である。」(Ego sum via. Joan. XIV, 6), 「道はすでにさすらいのひとびとに与えられている。」(Via porrecta est ad peregrinos.⁶⁰⁾ 道ゆく人 (viator) がめいらないように、地の面は豊かな慰めに満ちあふれている⁶¹⁾。人は、苦しみながら、慰められながら、永遠の故郷をめざして主の道を歩まなければならない。

Per Tuas semitas	あなたの道によって、
Duc nos quo tendimus,	わたしたちが向かうところ、
Ad lucem quam inhabitas. ⁶²⁾	すなわち、あなたが住まれる光へとわたしたちを導かれよ。

こう歌いながら主の道を歩む「小さな群」(pusillus grex⁶³⁾) を、われわれは世界のどこにおいても見出すであろう。

「かしこにおける浄福な^{よろこび}歡喜よ、安らかな歡喜よ、不幸をまじえない歡喜よ。歌うことによ

って、あなたの労を慰めなさい、怠惰を愛してはいけない、歌いなさい、そして歩みなさい。」
 (O felix illic Alleluja! o segura! o sine adversario! Laborem consolare cantando, pigritiam
 noli amare: canta, et ambula.⁶⁴⁾)

ヒッポの司教のこの勸告に答える人は、あとをたたない。

(三) 『創世記』首章 1, 2 節の解釈

第一に問題になるのは、「はじめに」(in principio) の字義 (sensus litteralis) であろう。
 「はじめに、神は天と地を造られた。」(In principio fecit Deus coelum et terram.) の句が、
 比喩的な意味以外にどのような意味で語られているかを、すなわち、(a) 時間のはじめに (in
 principio temporis) という意味で語られているのか、(b) それらがあらゆるものの最初に (pri-
 mo omnium) 造られたという意味で語られているのか、それとも、(c) 神のひとりご、すなわ
 ち、みことばであるはじめにという意味で語られているのかを、われわれは究めなければなら
 ない⁶⁵⁾。」とアウグスティヌスは『創世記逐語解』の最初で述べているが、同書においてはこの
 問題を論じていない。それで、『創世記首章 1 節とヨハネ福音書首章 1 節について、マニ教徒を
 駁する説教⁶⁶⁾』に主としてその解決を求めることにする。聖書の第一次的な著者 (auctor prin-
 cipalis) は聖霊であるから、おのおのの聖書の間には矛盾がないということは、すでに述べら
 れたところである。かれは、この原則のもとにモーセの書、ヨハネ福音書、パウロの書簡を巧
 みに一致させて、「はじめ」(principium) を「みことば」(Verbum) と解する (c) の立場を導き
 出す。

ヨハネ福音書の句「もしあなたがたが、わたしがそれであることを信じないならば、あな
 たがたはあなたがたの罪のうちに死ぬであろう。」(Nisi credideritis quia ego sum, moriemini
 in peccatis vestris.⁶⁷⁾) の動詞 sum の主語 ego は「子」(Filius) と解され、補語は『出エジプト
 記』のあの有名な神に固有な名称「わたしは ある ものである。」(Ego sum qui sum.) が示す唯
 一の存在自体 (unicum ipsum esse) と解される⁶⁸⁾。さらに、この存在自体は、ヨハネ福音書の
 句「あなたはだれですか。〔わたしは〕 はじめ である。」(Tu quis es? Principium.) によって
 「はじめ」(principium) と解される⁶⁹⁾。それで、次の関係が成立する。

子 Filius (みことば Verbum) = 存在自体 ipsum esse = はじめ principium

この関係によって、『創世記』冒頭の《In principio fecit Deus coelum et terram.》(は
 じめに、神は天と地を造られた。) と『ヨハネ福音書』冒頭の《In principio erat Verbum, et
 verbum erat apud Deum, et Deus erat Verbum. Hoc erat in principio apud Deum. Omnia
 per ipsum facta sunt, et sine ipso factum est nihil.》(はじめに みことば があった、みことば
 は神とともにあった、みことば は神であった。かれは、はじめに神とともにあつた。万物は
 かれによってつくられた、つくられたものの一つも、かれによらずにつくられたものはない。)

とを一致させると次のようになる。《Coelum et terram fecit Deus *in Filio*, *per quem* facta sunt omnia.⁷⁶⁹》(神は天と地を子において造られた、万物はかれ(子)によって造られた。)このさい一致の障害になるものは、前置詞 *in* と *per* との相異であるが、かれは『エフェソ人への書簡』を媒介としてこう解決する。《……ut ostenderet nobis mysterium voluntatis suae secundum bonam voluntatem suam, quam proposuit in illo, in dispositione plenitudinis temporum, instaurare omnia in Christo, quae in coelis sunt, et quae in terris, *in ipso*. Ephes. I, 9, 10》(これは、神が、あらかじめキリストにおいて立てておられた慈悲深いみむねにしたがってそのみむねの奥義をわれわれに示されるためであった、それは、時が満たされるにおよんで、天にあるものと地にあるもののいっさいをキリストにおいてかれ〔一つのかしらである神⁷⁷⁰〕において回復させる〔という奥義〕である。)において、《*in ipso*》を《*per ipsum*》(かれによって)と解することができるように、《*Omnia per ipsum facta sunt.*》は《*Omnia in ipso facta sunt.*》と解され、《*In principio fecit Deus coelum et terram.*》は《*per principium fecit Deus coelum et terram.*》と解されうる、と⁷⁷¹。このように、*principium* を *Verbum* と解する自分の立場をはっきりと打ち出しておいて、かれはマニ教徒の論駁に向かう。「その可変的な運動によって時間が進むところの被造物が何も存在しないところには、時間はまったく存在しえない⁷⁷²。」とするかれにおいては、「あらゆるものの最初に」という (b) の立場は、「時間のはじめに」という (a) の立場のうちに解消してしまう。そこでかれは、「マニ教徒は、《*In principio fecit Deus coelum et terram.*》は神のみことばについて言われたのではない、とおそらく言うであろう⁷⁷³。」と自説に対するマニ教徒の反駁を想定し、かれらの説を《*In principio temporis fecit Deus coelum et terram.*》として導入してくる⁷⁷⁴。この説に対するかれの論駁はこうである。《*Faciamus hominem ad imaginem et similitudinem nostram; et Fecit Deus hominem ad imaginem Dei.*⁷⁷⁵ Gen. I, 26, 27》において、《*faciamus*》の複数が三つのペルソナを、《*fecit Deus*》の単数が三つのペルソナの一性を示すことはすでに述べられたところである⁷⁷⁶。それで、《*In principio fecit Deus coelum et terram.*》において、もし最も誠実な最も真な信仰が《*in principio*》を《*in principio temporis*》と受け取るならば、この句においてはたんにペルソナの一性しか見出されないが、もし《*in Filio*》と受け取るならば、たんにペルソナの一性ばかりでなく、第二のペルソナも見出されるのである。最も誠実な最も真な信仰が後者を選ぶのは当然であろう⁷⁷⁷。

第二に、われわれは「天と地」(*coelum et terra*)の字義を探らなければならない。アウグスティヌスは、『告白』第12巻17章および20章⁷⁷⁸において、説明の可能性を二つ提示する、すなわち、「天」は霊的な被造物を「地」は有体的な被造物を意味するか、あるいは、「天と地」が有体的な世界全体を意味する、とする。かれの敬虔は、『告白』において、これらのどちらか一方を決定的なものとすることを避ける。

「だれかが、“モーセはわたしと同じように考えたのだ”と言い、別なだれかが、“いや、わたしと同じようにだ”と言うなら、“両方ともほんとうであるなら、むしろモーセが両方とも同じように考えたのだとなぜ言ってはいけないだろうか”と言うほうがいつそう敬虔であるとわたしは思う。さらにまた、もし第三、第四の、あるいは、まったく別な説明をこれらの言葉のうちに見出して、それらをほんとうだとするひとがあるならば、モーセはそれらのすべてがわかっていた、となぜ信じられないのだろうか。……かれがこれらの言葉を書いたとき、われわれがこれまでに見出すことができたどんな真理をも、われわれがこれまでに見出すことができなかったどんな真理をも、あるいは、われわれがまだ見出すことはできないが、これからこれらの言葉のなかに見出されうるどんな真理をも、かれはこれらの言葉のなかに確かに気付きかつ考えていたのである⁸⁰⁾。」

同様に、かれは『創世記逐語解未完の書』(De Genesi ad Litteram Imperfectus Liber)においても、「おそらく」(fortasse)という敬虔な語調ではじめて、「見えない被造物(天使たち)との比較において、見えるものが“地”と言われるとき、前者が“天”という名称でよばれるのは不当でないように思われる⁸¹⁾。」と述べている。しかし、これら二著以後の『創世記逐語解⁸²⁾』においては、「天」を靈的な被造物、「地」を有体的な被造物とする解釈が優位を占めてくる。「造られたあの光は何であるか。靈的なものであろうか、有体的なものであろうか。もしじっさいに靈的なものであるならば、あの光は、“はじめに、神は天と地を造られた。”と言われたとき最初に“天”とよばれたものが、“光が成れ”とのみことばによってまったく完成されてできた最初の被造物でありうる、すなわち“神は言われた、‘光が成れ’と、そうすると、光が成った”の句は、創造主が“天”とよばれたものを自分のもとによびよせたので、あのものの向きが変えられ、照明を受けたと解されうる⁸³⁾。」の条件文が、「最初に造られたあの光は靈的な被造物の形成である。」(illam lucem quae primitus facta est, conformationem esse creaturae spiritualis.⁸⁴⁾)によって肯定されるとき、結題は、あの「天」が靈的な被造物であり、神の叡智の照明に浴する以前には不安定な暗黒の状態にあったことを明らかに提示する。

第三に、われわれは、「だが、地は見えず、^{かたち}定形なく、闇は深淵の上にあった、そして、神の靈は水の上をおおい動いていた。」(Terra autem erat invisibilis et incomposita, et tenebrae erant super abyssum: et Spiritus Dei superferebatur super aquas.⁸⁵⁾)の字義を明らかにしよう。聖書記者は、「天」という語によって示される靈的な被造物が、神の照明に浴する以前には不安定な暗黒の状態にあったこと、および、「地」という語によって示される有体的な被造物が、神のみことばによって形態を与えられる以前には混沌とした無形態な質料であったこと、これらのことを示す必要があった。それゆえ、「あの無形態性が無知なひとびとにもわかりやすく示されるように」(ad illam informitatem, ut tardioribus poterat insinuandam⁸⁶⁾)、「地」と「水」という他のものにくらべて職人の手によって容易に扱われうる二つのものの名称を使用し⁸⁷⁾、まず、「地は見えず、^{かたち}定形なく、闇は深淵の上にあった。」と言って有体的な質料の混沌

とした無形態性を示し、次に、「水」という語によって——「水は地よりも動きやすいものであるから」(aqua enim mobilior est quam terra.⁸⁸)——有体的な質料の無形態性ととも靈的な被造物の流動的な状態を示したのである⁸⁹。「水」という名称によってその状態を示されたこれらのもの、すなわち、無形態な有体的な質料と流動的な靈的な被造物とは、「成れ」というみことばによって形成され完成されるべく創造主の善い意志のもとにおかれていた。これが「神の靈は水の上をおおい動いていた。」の字義である⁹⁰。この神の靈は、第二の創造において有体的な被造物の胚種を完全な現実的な存在に到達させたのちにおいても、保存と経綸の卓越した能力によってなおも被造物の上にとどまり⁹¹、それを創造の終局目的に向かって導いていくのである。

さて、「水」という語によって示されるものの一方は、「成れ」というみことばによって叡智の照明に浴して「光」となり、他の一方は形相を受け取って有体的な被造物の胚種となるのであるから、「水」という語によって示されるものが「光」と胚種とに先立つことは明らかである。だが、それは時間によって先立つのではない。というのは、時間の広がりなしになされた第一の創造の敘述——『創世記』の首章1節から第2章5節まで——のうちに時間のズレを認めることは許されないからである。では、この先立性(prioritas)はどのようなものであろうか。かれは、次のような起源の先立性(prioritas originis)であると言う⁹²。話す人は、時間的により先に無形態な音声を発して後にそれを集めて言葉に形成するのではなく、同時に「形成された質料」(formata materia)としての言葉を発する。このさい「或る起源による」(quadam origine)先立性が音声に賦与されなければならない⁹³。これと同様に、すべてが同時に造られた第一の創造においても、「水」という語によって示されたものに、起源による先立性を賦与しなければならない。この起源の先立性によって、「聖書は、神が創造の時間によって分けなかったことを、言表の時間によって分けえた」(potuit dividere Scriptura loquendi temporibus, quod Deus faciendi temporibus non divisit.⁹⁴)のである。

一瞬間のできごとを、聖書は6日間に完成されたと語る。このさい「6」が選ばれたのは、「6」が完全数であり、この完全数によって創造のわざの完全性が示されるためであった⁹⁵。かれによれば、或る数がその何分の1かに当る部分に分けられ、その各部分が合計された場合にちょうどもとの数になるならば、その数は完全数(numerus perfectus)である。このような条件を満足する数として「6」「28」その他が挙げられるであろうが⁹⁶、「6はこれらのうちの最初の数である。」(horum primus senarius est.⁹⁷)から最も完全な数である。それゆえ、聖書記者は、6の $\frac{1}{6}$ である1、 $\frac{1}{3}$ である2、 $\frac{1}{2}$ である3にそれぞれ創造のわざを割りふって、次のように敘述を進めたのである。

最初の1日： 光の創造。

次の2日間： 世界の上位の部分であるおおぞら堅穹(fimamentum)の創造。

世界の低位の部分である海と地、および、のちにこの部分に棲む動物に与えられるための植物の創造。

残りの3日間： 堅穹にある光るものの創造。

水に棲む動物の創造。

地に棲む動物および人間の創造⁹⁹⁾。

(四) 『創世記』首章 3~5 節の解釈——天使の創造と天使の墮落

アウグスティヌスは、6日間の創造の敘述様式から、「光」(lux)が天使であることを導き出す。まず、創造に関する聖書の敘述様式に眼を向けよう。

- 1日目の敘述： Dixit Deus, Fiat lux; et facta est lux.⁹⁹⁾ (神は言われた、「光が成れ」と、そうすると、光が成った。)
- 2日目の敘述： Dixit Deus, Fiat firmamentum ……: *et sic est factum.* Et fecit Deus firmamentum ……¹⁰⁰⁾ (神は言われた、「堅穹が成れ」と、そうすると、そのようになった。神は堅穹を造られた。)
- 3日目の敘述： Dixit Deus, Congregetur aqua …… et appareat arida. *Et factum est sic; et congregata est aqua …… et apparuit arida.*¹⁰¹⁾ (神は言われた、「水が一つところに集まって、乾いたところがあらわれよ」と。そうすると、そのようになった。水が一つところに集まって、乾いたところがあらわれた。)
- Dixit Deus, Germinet terra herbam pabuli …… *Et factum est sic.* Et produxit terra herbam pabuli.¹⁰²⁾ (神は言われた、「地は青草を生み出せよ。」と。そうすると、そのようになった。地は青草を生み出した。)
- 4日目の敘述： Dixit Deus, Fiant luminaria …… *Et factum est sic.* Et fecit Deus duo luminaria magna ……¹⁰³⁾ (神は言われた、「光るものが成れ」と。そうすると、そのようになった。神は二つの大きな光るものを造られた。)
- 5日目の敘述： Dixit Deus, Educant aquae reptilia animarum vivarum …… *Et factum est sic.* Et fecit Deus …… omne animal reptilium ……¹⁰⁴⁾ (神は言われた、「水はうごめく生物を生み出せよ」と。そうすると、そのようになった。神はすべてのうごめく生物を造られた。)
- 6日目の敘述： Dixit Deus, Educat terra …… bestias terrae …… *Et factum est sic.* Et fecit Deus bestias terrae ……¹⁰⁵⁾ (神は言われた、「地は野のけだものをいだせよ」と。そうすると、そのようになった。神は野のけだものを造られた。)
- Dixit Deus, Faciamus hominem …… Et fecit Deus hominem ……¹⁰⁶⁾ (神は言われた、「われわれは人間を造ろう」と。神は人間を造られた。)

これらの敘述様式において気がつくことは、2日以後の敘述は——人間の創造を除いて——三つの部分、すなわち、《Dixit Deus, Fiat》《Et factum est sic.》《Et fecit Deus ……》から成

り立っているが、「光」の創造の敘述は、上の第二の部分を除く二つの部分から成り立っているということである。かれは、この相異をこう説明する。「光」と人間を除く被造物の創造の敘述における第一の部分《Fiat ……》は、被造物が最初にみことばのうちに生み出され、「創造さるべき被造物の根拠」(ratio condendae creaturae)として存在していたことを示し、第二の部分《Et factum est sic.》は、みことばのうちに存在していた「創造さるべき被造物の根拠」が靈的知性的な存在者によって認識されたことを示し、第三の部分《Et fecit Deus ……》は、被造物が固有の類において創造されたことを示している¹⁰⁷⁾。「光」の創造において上の第二の部分《Et factum est sic.》が欠けているのは、「光」が靈的知性的な存在者であり、自分の形成を (conformationem suam) 自分の形成そのものにおいて (in ipsa sua conformatione) 認識しえたからである¹⁰⁸⁾。《Fiat lux.》は、「光」がみことばのうちに生み出され、みことばのうちに永遠のイデアとして存在していることを示すとともに、「水」という名称によって示された・流動的な状態に造られた靈的な被造物が創造主によってかれの方へと呼ばれ、かれの叡智の照明に浴して確固とした真理に踏みとどまる靈的な被造物となる¹⁰⁹⁾ことを示す。流動的な状態 (conditio fluitans) から固定的な状態 (conditio stabilis) へのこの移行において、靈的な被造物は自分の形成 (conformatio sua) を、すなわち、自分の自由意志の選択を認識していた。もともと「光」と「闇」とは等しく善い本性に造られ、等しく流動的な状態におかれていた、すなわち、等しく神に向かうべき靈的な存在者として造られ、同じ恩寵のもとに同じ知性によって等しく創造主の意志を理解し、創造主の方へと「転向しうる」(convertere potest)と同様に創造主から「離叛しうる」(avertere potest)状態におかれていた。しかし、創造主によって創造主自身の方へ呼ばれたとき、両者とも等しく創造主の意志を理解していにもかかわらず、また、両者とも等しく創造主の意志にしたがって創造主の方へと転向しえたにもかかわらず、一方は、自由意志 (liberum arbitrium) によって創造主の方へと転向することを選び、他方は、自由意志によって創造主から離叛し去ることを選んだのである。流動的な状態にあるところの・本性において最も優れた靈的な存在者の自由意志は、この選択にしたがって創造主による意志の固定を受け、その功罪に応じて創造主による賞罰を受けねばならなかった。《facta est lux》(光が成った)の句は、創造主の方へと転向することを選んだあの流動的な状態にある靈的な被造物が、その意志が永遠に創造主に向かって固定された結果、「光」すなわち聖な天使 (sancti Angeli) となったことを示し、「神はその光を見てよいとされた」(Vidit Deus lucem quia bona est.¹¹⁰⁾)という神の確証 (approbatio) は、「光」だけが創造主の気に入る¹¹¹⁾、その従順の褒賞として「かれらが未来においてけっして墮落しないということについての最も確実な真理を知りえた。」(eam (veritatem) de suo casu nunquam futuro certissimam scire meruerunt.¹¹²⁾)ことを示す。この確証の瞬間から、聖な天使たちは、神という不動な善をなんらの不快をまじえないで楽しみはじめ、かれらがあの不動な善のうちに永遠にとどまらうことを確信しはじ

めたのである¹¹³⁾。すなわち、この瞬間に、「聖な天使には、かれらの永遠な幸福の確実な知識が歩みよった」(sanctis Angelis certa scientia suae sempiternae felicitatis accesserit.¹¹⁴⁾)のである。これに反して、創造主から離叛し去ることを選んだあの霊的な被造物は、その意志が永遠に創造主から離叛する方向に固定された結果、「闇」(tenebrae)すなわち穢れた天使(immundi Angeli)となり、あの確証から除外されてしまったのである¹¹⁵⁾。穢れた天使は、創造主の善性を回避しえたが、かれの裁きを回避しえず、不従順の罰として永遠の悲惨へと落されたのである¹¹⁶⁾。Corruptio optimi pessima。(最善なものの壊敗は最悪である。)被造物のうちで最も善な最も優れた存在として造られた天使の一群は、自分の罪によって(vitio proprio)、その優れた本性をそのまま保持しながら、その高い座から落され、永遠な暗黒(sempiternae tenebrae)のうちに、すなわち、恩寵から永遠に遮断された状態に置かれたのである。ここにおいて、聖な天使の群と穢れた天使の群とははっきりと分離され、「神の国」(civitas Dei)と「地の国」(civitas terrena)の両勢力の原型として対峙する。「こうして神は光と闇とを分けられた、そして、神は光を昼と名づけ、闇を夜と名づけられた。」(Et divisit Deus inter lucem et tenebras; et vocavit Deus lucem diem, et tenebras vocavit noctem.)はこのことを示している¹¹⁷⁾。これらの両勢力は、ふたたび架橋されえない距離に引き離され、遮断されてしまった。

「どのような新しい悪魔も善い天使たちからふたたび生じえない、と同様に、どのような悪魔も善い天使たちの集団にふたたび帰れない、ということを知らないカトリック的キリスト教者がだれかいるであろうか¹¹⁸⁾。」

「悪魔は、われわれが聖な天使と呼び、かつ、聖な天上の^{すまい}住居に住む理性的な被造物として座天使(Sedes)、権天使(Dominationes)、主天使(Principatus)、能天使(Potestates)の名称を与えている善い神々に親しく交わることはけっしてできない。悪徳が善徳から、また、悪が善から遠くへだたるほど、かれらは心の情感によって(animi affectione)善い神々から遠くへだたっているのである¹¹⁹⁾。」

では天使の群の一部をこのような悪い状態にいらせた原因は何であろうか。上の敘述を導きとして、天使の墮落の問題をさらに深く追求しよう。

第一に、天使の墮落の causa efficiens (作動因)を神に求めることができるであろうか。「光」と「闇」、すなわち、天使と悪魔は、その分離の以前においては、みことばによって等しく「水」という名称によって示される流動的な状態に造られていた。この流動的な状態は、霊的な存在者が悪な存在であることを意味するものではない。

「神の創造によって善な悪魔。」(diabolus institutione Dei bonus¹²⁰⁾)

「悪魔は、悪魔である以前には天使であったのであり、善なものであったのである。」(diabolus antequam esset diabolus, angelus fuit et bonus fuit.¹²¹⁾)

この引用によれば、霊的な被造物は、その流動性にもかかわらず、善な存在として「最も

優れて存在するもの」(id quod summe est) を楽しみ¹²²⁾、「卓絶した真理」(sublimis veritas) を楽しんでいたのである¹²³⁾。天使から最下の本性にいたるまで、すべての本性は神によって善なものとして創造された¹²⁴⁾。自分自身を拡散し伝達せずにはいられない神の善性の充満からその存在を受けた被造物は、悪であるはずがない。神は善の創造者であり、悪の創造者ではありえない。したがって、天使の墮落という悪の causa efficiens を神に求めることは許されないのである。

第二に、天使の墮落の causa efficiens を天使の意志自体に求めることができるであろうか。

この問題の解決のために、天使の意志が「どのようなもの」(quale) として造られたかをまず考察しなければならない。天使は、流動的な状態、すなわち、創造主の方へと転向しうると同様に、創造主から離叛しうる状態におかれていた、という上の敘述は、アウグスティヌスが、天使の意志は善悪いずれでもない中立的なものに造られていたと解していた、という印象を与えるにちがいない。だが、この印象は次の引用によって破られるであろう。

「善い意志を有しない天使は、悪い天使以外のなにものであったというのか¹²⁵⁾。」

「意志が善でもなく悪でもないような或る中間にありうるならば、それはほんとうに奇怪なことである¹²⁶⁾。」

このように善と悪との中間が許されないならば、天使の意志は善に造られたか悪に造られたかのどちらかである。だが、上述のように、神は悪の創造者ではありえない。したがって、天使の意志は、その流動性にもかかわらず、善なものとして造られたのである。では、天使の流動的な意志の善性とは、どのような意味内容をもつものなのであろうか。このことを考察するために、われわれは、聖トーマスが「天使は恩寵の状態に造られたかどうか」(Utrum angeli sint creati in gratia.) という問いに答えるために引用した『神国論』の個所と、それに関連のある少し前の個所を手がかりとしよう。

Bonam voluntatem quis fecerat, nisi ille qui eos cum bona voluntate, id est cum amore casto, quo illi adhaerent, creavit, simul eis, et condens naturam, et largiens gratiam?¹²⁷⁾
 (天使たちを善い意志すなわち潔い愛を有するものとして創造し、それによってかれらを自分にすがりつくようにさせたもの以外のだれが、[かれらの] 善い意志を造ったのであろうか、かれらに本性を造り与え、恩寵を与えることを同時にしながら。)

Et cum id egit eorum voluntas bona, ut non ad se ipsos, qui minus erant, sed ad illum qui summe est, converterentur, eique adhaerentes magis essent, ejusque participatione sapienter beateque viverent; quid aliud ostenditur, nisi voluntatem quamlibet bonam inopem fuisse in solo desiderio remansuram, nisi ille qui bonam naturam ex nihilo sui capacem fecerat, ex se ipso faceret implendo meliorem, prius faciens excitando avidiorem?¹²⁸⁾ (天使

たちが、下位の存在者であるかれら自身へと転向せずに最高の存在者であるものへと転向し、かれにすがりついてより善い存在者となり、かれに参与することによって叡智的にかつ幸福に生きる、ということをかれの善い意志がなしとげたとき、次のこと以外の何が意味されるであろうか、すなわち、善い本性を無から創造して自分に参与する能力をもつものとさせたものが、まずもって善い意志を触発していつそうかれを望み求めるものとし、次にかれ自身で善い意志を満たしていつそう善いものとしたのでなければ、どんな善い意志といえども無能力なものとしてたんなる望みにとどまり続けたであろう、ということ。)

両方の引用文に印した直線の下線部、および、波線の下線部は、それぞれ内容的に対応する。そこで、両方の引用文の下線部をそれぞれまとめてみる。

(1) 直線の下線部の内容： 神は天使の本性を知性と意志とを有する霊的な存在者として無から創造し、これに原始の恩寵を与えてかれに参与する能力をもつ善い本性にした。

(2) 波線の下線部の内容： 神はまずもってかれらの善い意志を触発してよりいつそうかれを望み求めるものとし、次にかれらの意志をより多くの恩寵で満たしてよりいつそう善いものとし、かれにすがりついて離れないようにかれの意志を固定した。こうして、ついにかれらには、永遠な幸福の確実な知識が歩みよった。

(1) が流動的な意志をもつ天使の状態であり、(2) が固定された意志をもつ天使の状態である。

(1) の状態における天使たちの意志は、「無能力」と言われうるほど弱かった。というのは、かれらは、より多くの「神意にかなわせる恩寵」(*gratia gratum faciens*)を受けなければ、たとえ欲したとしても永遠な幸福に到達しえなかったからである。より多くの恩寵を受けうるか否かは、意志が「原始の恩寵」(*gratia originalis*)によって最初に向けられた方向に、すなわち、神に向かってとどまり続けるか否かにかかっていた。もし意志が最初に向けられた方向にとどまり続けるならば、より多くの恩寵を受けて永遠な幸福へと移行するのである。こうした過程は、天使が最初に置かれた流動性そのものが善に秩序づけられていることを意味するのである。天使の流動的な意志が神に向かうこうした定位が、天使の流動的な意志の善性なのである。

そこでいよいよ、「天使の墮落の *causa efficiens* を天使の意志自体に求めることができるであろうか。」という問いに答えることにしよう。もう一度すぐ前の引用に眼を向けよう。天使の意志を触発していつそう神を望み求めるものとし、天使の善い意志をより多くの恩寵で満たすものは神なのであって、天使自身ではない。天使により多くの恩寵を与える神こそ、天使の永遠な幸福の *causa efficiens* である。原始の恩寵によって神に向けられた意志の状態の持続は、*causa efficiens* が働きかける *conditio sine qua non* (必須的な条件) にすぎないのである。だが、原始の恩寵の状態を持続するためには、かれらは多くの努力をしなければならなかった。

この理由は、天使の意志が無から創造されたことから導き出される。神だけが不可変的な善であり、すべての被造物は、かれによって無から創造されたがゆえに可変的な善である¹²⁹⁾。この可変性は、被造物の善が欠如に向かつてつねにおびやかされていることを意味する。すべての被造物の存在は、その善を保有する力とそれを欠如させる力との対立抗争として把握される。天使の本性も、無から創造されたがゆえに可変的な善であり、それゆえにまた、そのうちには善を保有する力とそれを欠如させる力との対立抗争がみられるのである。善を保有する力は、「神への愛」(amor Dei), すなわち、神の意志に対する従順となってあらわれ、善を欠如させる力は、「自分への愛」(amor sui), すなわち、自分自身が神のようになって独立不羈の存在になるとする傲慢となってあらわれる。われわれが自分の意志の分裂抗争を知るように、天使もまたその優れた知性によってそれを知り、「自分への愛」に抗して神の意志に従うか、「神への愛」に抗して自分の傲慢に従うか、これらのいずれかに去就を決しなけりばならなかった。「光が成れ」と永遠なみことばはかれらをかれの叡智へと呼び出す。かれらの意志が自分に与えられた自由選択の権能をどのように使用すべきかは、すでに示されているのである。神の示しに従ってなされる選択は自由意志の善用 (bene uti) であり、神の示しに反してなされる選択は自由意志の悪用 (male uti) である。自由意志を善用して神の意志に従うことを選んだ天使たちの群は、すなわち、あの *conditio sine qua non* を保有し続けて善い意志にとどまった天使たちの群¹³⁰⁾ は、その報賞として、永遠な幸福の *causa efficiens* である神からより多くの恩寵を受けて永遠な幸福へと移行し、ふたたび自分に転向しえないように神に向かつて固定されたのである。他方、自由意志を悪用して自分の傲慢に従うことを選んだ天使たちの群は、悪用という「悪いわざ」(vitium) によって自分の善い本性を傷付け、自分の意志の善性をすべて自分で奪い去ってしまった¹³¹⁾。その結果、かれらは、「受けるはずになっていたもの(永遠な幸福)から転落し」(ab eo quod accepturus erat cecidit.¹³²⁾)、永遠に神から離叛し去って、ふたたび神に転向しえないほど悪化してしまったのである。

このように、天使の墮落は、かれらの本性の可変性から導き出される。かれらの本性の可変性以外には、その原因は求められえない。この原因は、可変的な善の内部において、善を保有しようとする力に対立して善を欠如させようとする。それゆえ、かれはこの原因を *causa deficiens* (欠損因) と名づける。自由意志の悪用は、*causa deficiens* の抑止の撤去である。このことによって、可変的な善は自分の内部から崩壊し去る。可変的な善は、その可変性のゆえに存在の *causa efficiens* を存在自体に求め、同じ可変性のゆえに自己崩壊の *causa deficiens* を自分のうちに蔵する。だが、可変性そのものはただちに悪を意味しない。可変性は、神の正義がかれから生まれたみことばから被造物を区別するために後者に与えた本質的な制限 (*restrictio essentialis*) なのであって¹³³⁾、これなしには被造物は創造されえなかったのである。さらにその可変性にもかかわらず、被造物はその存在を最高善から受けたということによって、存在する

かぎり善である¹³⁴⁾。諸事物の悪の原因がその可変性であること、および、その可変性にもかかわらず諸事物が善であることを、アウグスティヌスは、次のように簡潔に論じている。

「諸事物はなぜ欠壊していくのか。それは、諸事物が変化するからである。なぜ諸事物は変化するのであるか。それは、諸事物が最も優れた仕方では存在しないからである。なぜ諸事物は最も優れた仕方では存在しないのか。それは、諸事物がそれらを造ったものよりも下位のものであるからである。諸事物を造ったものはだれなのか。それは、最も優れた仕方では存在するところのものである。最も優れた仕方では存在するところのものとはだれなのか。それは神すなわち不可変的な三位一体である、というのは、かれはその最高の叡智によって諸事物を造り、最高の寵愛によってそれらを保存するからである。では、なぜ神は諸事物を造ったのであるか。それは、諸事物を存在させるためである。というのは、最高の存在は最高の善であるがゆえに、どんなにわずかな存在であろうと、存在すること自体は善であるからである¹³⁵⁾。」

次に、自由意志の悪用という「悪いわざ」(vitium)によって、天使の本性がどのような傷害を受けたかを考察しよう。

「すべての悪いわざは本性を害する。」(Omne vitium naturae nocet.¹³⁶⁾「悪いわざが存在していて〔本性を〕害さないということはありません。」(Esse vitium, et non nocere, non potest¹³⁷⁾)自由意志の悪用という悪いわざは、神に向かっていった。

「わたしは天にのぼろう、わたしの玉座を天の星のうえにあげよう、北のはてにある高い山をこえてきわ立ってそびえる山のうえにすわろう、雲のうえにのぼろう、至高者いとたかきものに似たものになろう¹³⁸⁾。」

あの悪いわざは、至高者の位を奪い、その本性を傷つけようとしたのである。だが、それは空しく終わった。あの悪いわざは、至高者の不可変的不壊敗的な本性 (immutabilis incorruptibilisque natura) につき当たったのである。方向を転じた悪いわざは、その「損傷する力」(potestas laedendi¹³⁹⁾) を自分の生みの親であるものの可変的壊敗的な本性 (mutabilis corruptibilisque natura) に向けざるをえなくなった。こうして悪いわざは、自分の生みの親である天使の善い本性を傷つけ、「それを悪いものとする」(eam malam facit¹⁴⁰⁾) はめに追いこまれたのである。

「それゆえ、神の敵とよばれるものどもがそれによって神に反抗する悪いわざ(vitium)は、神に対する悪ではなくてかれら自身に対する悪なのである。そしてこのことは、悪いわざがかれらにおける本性の善を毀損するということ以外の何ものでもない¹⁴¹⁾。」

本性の善の毀損 (corruptio bonorum naturae) が何を意味するかについてはすでにふれておいたが、天使性の善とよばれるものを規定したうえで、ふたたびより詳細に述べてみよう。

第一に、天使性の善は、天使性そのもの——天使を天使であらしめるところのもの——すなわち、理性的な霊 (spiritus rationales) と定義されるところのものである。

第二に、それは、天使が神から創造のときにいただいた恩寵である。

第二の意味にとられるとき、天使性の善は天使性そのものに付け加えられたものであって、悪いわざによってまったく無くされうるものである。神に向けられた意志の状態は、それが付加的であり可変的であるがゆえに、自由意志の悪用という悪いわざによって害され、自分自身に向かう状態へと反転してしまった。このことは、かれら自身によって恩寵が断ち切られたことを意味する。自分にさからう力が断ち切られたいまとなつては、かれらの意志は自分自身に向かって暴走し、かれらに用意されていた永遠な幸福から冥府の深淵へと転落する。かれらのうちには、もはや善い意志と悪い意志との抗争はありえない。だが、このことは平和を意味しない。かれらは、「雲のうえ」にのぼろうとする永遠に満たされない欲望に対する絶望と、善い天使の永遠な幸福に対する嫉妬との渦中に呻吟するのである。

第一の意味にとられるとき、天使性の善は、悪いわざによって無くされることもなく、減じられることもない。このことの否定は、天使が天使でなくなることである。神はこのことを欲しなかった。「神は本性の尊厳を絶滅させるほど悪い意志を罰しない」(Deus nunquam ita punit voluntatem malam ut naturae perimat dignitatem.¹⁴²⁾)のである。このことは神の正義に反しない。なぜなら、かれらは、理性的な霊という形而上学的な地位を確保しながら、そのことによって恩寵の秩序における自分の低い地位を認識し、永遠な悲慘を味わうからである。墮落ののちにおいても第一の意味に解される天使性はどのような変化も受けることなしに存続し、第二の意味に解される天使性の善の欠如を支える。「善はただそれだけで或るところに存在しうるが、悪はただそれだけでどこにも存在しえない」(sola bona alicubi esse possunt, sola mala nusquam.¹⁴³⁾)のである。永遠に存続する天使性のゆえに、かれらはその優れた知性によって自分の墮落を認識し、永遠な悲慘を味わう。

その存続する天使性のゆえに、かれらは、かれらの下位におかれたすべての可変的な本性の善を、かれらのすぐれた知性と意志とによって害しうる能力を保有している¹⁴⁴⁾。だが、このすぐれた能力は、かれらの叛逆の罰として、神による繫縛 (alligatio) を受けてしまった。「悪魔は、最高の能力を有するものによって許されないならば、なにごともしえない。」(diabolus nihil posset, nisi ab illo cujus summa potestas est permitteretur.¹⁴⁵⁾)この繫縛によって、かれらの悲慘はさらに増加する。かれは、『黙示録』第20章の悪魔の繫縛を現代に投影する。投影の仕方は、『聖ヨハネの黙示録への解説』(In B. Joannis Apocalypsim expositio)においては、次のように「一千年至福説」(Millenarismus)の色彩を著しくおびている。「一千年」は主の受難にはじまる1,000年とされ、このあいだ悪魔はその能力を行使することを許されない。これに続いて「しばらくのあいだ」(modico tempore)悪魔は解き放され、より強い能力をふるって横暴をきわめる¹⁴⁶⁾。しかし、『神国論』においては、「一千年至福説」の影はまったく消え失せている。「一千年」は完全数 (perfectus numerus¹⁴⁷⁾)であって、全体を示すために使用されると同時に、「全体によって部分を示す語法」(modus locutionis “a toto pars”¹⁴⁸⁾)によって、

部分を示すためにも使用される。前者の場合、「一千年」は、世の始めから世の終わりまでの全時間と解され¹⁴⁹⁾、後者の場合、「一千年」は6日間の創造にちなんで分けられた¹⁵⁰⁾世界史の六つの期間 (*articuli temporis*)——第1期はアダムからノエの洪水まで、第2期はアブラハムまで、第3期はダビデまで、第4期はバビロン捕囚まで、第5期はキリストの降誕まで、第6期はキリストから世の終わりまで¹⁵¹⁾——の最後の部分¹⁵²⁾、すなわち、「キリストの最初の来臨から世の終りにいたるまでの全時間」(*totum tempus a primo adventu Christi usque in saeculi finem.*¹⁵³⁾)と解される。前者の意味に解されるとき、『黙示録』第20章の悪魔の繫縛は、「人間を欺くためにかれが暴力や欺瞞でなしうるあらゆる試みを、自由になすことが許されないということ」(*non permitti exercere totam tentationem, quam potest vel vi vel dolo ad seducandos homines.*¹⁵⁴⁾)を意味し、後者の意味に解されるとき、悪魔の繫縛は、教会の設立当初から現代を経て世の終りに至るあいだに、不信仰が信仰の戦勝的な前進によってこうむる敗北を意味する¹⁵⁵⁾。善い天使の集団を天上の教会とみるアウグスティヌスにとっては、前者は天上の教会の勝利として、後者は地上の教会の勝利として、両者ともなんらの矛盾もなく並立しうるのである。

天使の墮落についての以上の結論に代えて、アウグスティヌスの死後10年目に教皇位につかれたレオ1世(440~461年在位)が、アストルガの司教トリビウスに宛てた書簡を引用することにする。

「ほんとうのカトリックの信仰は、霊的なあるいは有体的なすべての被造物の本質は善であり、悪い本性は何も存在しないことを告白する。なぜなら、万物の創造主である神は、善いものだけを造られたからである。それゆえ、悪魔でさえも、造られたままにとどまっていたならば善であったのである。しかし、かれは本来的に優れて善な賜を濫用し、“真理に立たなかった”(Joan. VIII, 44)から、たとえ正反対の本質(悪)にまで変化しなかったとはいえ、かれがそれによりすがらねばならなかった最高善(神)から背き離れてしまった。次のような説を主張するものもまた同様に真理から虚偽に陥るものである。そのひとたちは、天使たちが自由意志によって自発的に犯し、自分の自発的な悪のために罰を受ける罪を、本性の責に帰着させるのである。自由に犯し、そのために罰を受けることこそ、かれらにとって悪であろうが、悪そのものは実体ではなく、てかえって、神に背いた実体の罰であろう¹⁵⁶⁾。」

神の叡智の照明に浴し、永遠な幸福にあげられた天使たちは、「自分が神の本質でないということ」(*non se esse quod Deus est*)を認識し、次いで、自分が創造されたことを感謝して神の讃美に向かう。このさいのかれらの自己認識が神の讃美に比して劣っているという理由で、前者は「夕」(*vespera*)と、後者は「朝」(*mane*)と名づけられる¹⁵⁷⁾。これが、「こうして夕となり朝となって1日がすぎた。」(*Et facta est vespera, et factum est mane dies unus.*¹⁵⁸⁾)の字義である。

このようにして、聖な天使たちの讃美によって第1日が閉じられ、次に、神のみことばのうちにおける「創造さるべき有体的な被造物の根拠」(*ratio creandae creaturae corporalis*)

の認識によって第2日が始まるのである¹⁵⁹⁾。神は、有体的な被造物を固有の類において (in genere proprio) 創造するに先立ち、「創造さるべき有体的な被造物の根拠」を、穢れた天使たちには示さず、自分の讚美に向かってきた聖な天使たちにだけ示した。

「創造される被造物そのものに先立って、それによって被造物が創造される場所の根拠が神のみことばのうちに存するように、同じ根拠の認識もまた、罪によって闇になっていない知性的な被造物により先に生じるのであり、そののちに被造物のあの創造 (固有の類における創造) が生じるのである¹⁶⁰⁾。」

こうして、善い天使たちの集団に秩序づけられ、かれらを介して神の讚美に向かう有体的な被造物の世界が創造されていくのである。

〈注〉

- 1) De Genesi ad litteram, VI, 3, n. 4; ML 34, 340.
- 2) 『ウルガタ訳』では、この箇所は「7日目に」となっているが、『70人訳』では、「6日目に」となっている。
Vide: De Genesi ad litteram, IV, 2, n. 6; ML 34, 298.
Idem, IV, 10 n. 20; ML 34, 303.
- 3) De Genesi ad litteram, IV, 1, n. 1; ML 34, 295.
- 4) Idem, IV, 11, n. 21; ML 34, 303.
- 5) Confessiones, XIII, 29, n. 44; ML 32, 864.
O Domine, nonne ista Scriptura tua vera est, quoniam tu verax et veritas edidisti eam?
- 6) De civitate Dei, XVII, 6, n. 2; ML 41, 537.
- 7) Epistola LXXXII, 1, n. 3; ML 33, 277.
- 8) De Genesi ad litteram, IV, 34, n. 53; ML 34, 319.
- 9) Idem, V, 23, n. 46; ML 34, 338.
- 10) Idem, III, 14, n. 23; ML 34, 289.
- 11) Ibid.
- 12) De Trinitate, III, 8, n. 13; ML 42, 875.
Omnium rerum quae corporaliter visibiliterque nascuntur, occulta quaedam semina in istis corporeis mundi hujus elementis latent.
- 13) De Genesi ad litteram, VII, 28, n. 42; ML 34, 371.
- 14) Idem, VI, 11, n. 18; ML 34, 347.
- 15) Idem, IV, 12, n. 23; ML 34, 305.
- 16) Idem, V, 20, n. 40; ML 34, 335.
- 17) Idem, V, 23, n. 46; ML 34, 338.
- 18) Idem, VII, 28, n. 42; ML 34, 371-372.
- 19) ML 34, 346.
- 20) ML 34, 330.
- 21) De Genesi ad litteram, V, 11, n. 27; ML 34, 331.
- 22) かれは De Genesi ad litteram, XI, 28, n. 27; ML 34, 331. において、『創世記』III, 1からはじまる蛇の奸計を《ipsum primum factum》(この最初のできごと)と呼んで人類固有の歴史の始点においている。
- 23) De civitate Dei, XI, 21; ML 41, 334.
tria quaedam maxime scienda de creatura nobis oportuit intimari, quis eam fecerit, per quid

fecerit, quare fecerit: *Deus dixit, inquit, Fiat lux, et facta est lux. Et vidit Deus lucem, quia bona est. Si ergo quaerimus quis fecerit, Deus est. Si per quid fecerit, Dixit, Fiat, et facta est. Si quare fecerit, Quia bona est.*

- 24) Ibid.
- 25) Contra Adimantum Manichaei discipulum, 1; ML 42, 130.
- 26) Epistola XI, n. 2; ML 33, 75.
- 27) Epistola XI, n. 3; ML 33, 76.
- 28) Vide (23).
- 29) De Genesi ad litteram, I, 6, n. 12; ML 34, 251.
- 30) Sermo CXVII, 2, n. 3; ML 38, 662. De libero arbitrio, II, 16, n. 44; ML 32, 1264-1265.
- 31) Contra Secundinum Manichaeum, 3; ML 42, 579.
- 32) De Genesi ad litteram, III, 1, n. 1; ML 34, 279.
- 33) De sermone Domini in monte, II, 3, n. 12; ML 34, 1275.
- 34) Vide (23).
- 35) De civitate Dei, XI, 21; ML 41, 334.
- 36) Enarratio in Psalmum CXXXIV, n. 3; ML 37, 1740.
- 37) Enarratio in Psalmum CXXXIV, n. 4; ML 37, 1740.
Dominum sine bonis creatis perfectum, non indigum, incommutabilem, nullius bonum quaerentem quo augeatur, nullius malum timentem quo minuatur, invenio.
- 38) Enarratio in Psalmum CXLIV, n. 15; ML 37, 1879.
- 39) Confessiones, XIII, 4, n. 5; ML 32, 846.
- 40) De civitate Dei, XI, 21; ML 41, 334.
- 41) De doctrina christiana, I, 32, n. 35; ML 34, 32.
- 42) S. Thomae Aquinatis Summa Theologiae, I, q. 19, a. 4, obj. 3, ad 3.
- 43) Denz. 1805.
- 44) Enarratio in Psalmum CXXVIII, n. 5; ML 37, 1691.
- 45) Enarratio in Psalmum CXLIV, n. 13; ML 37, 1878-1879.
- 46) De Genesi ad litteram, III, 19, n. 29; ML 34, 291.
- 47) Ibid.; ML 34, 291-292.
- 48) II Cor. IV, 16: De diversis quaestionibus octoginta tribus, LI, n. 1; ML 40, 32.
- 49) De Trinitate XII, 1, n. 1; ML 42, 997. De diversis quaestionibus octoginta tribus, LI, n. 3; ML 40, 33.
- 50) De Trinitate, XI, 2, n. 2; ML 42, 985. Idem. XI, 2, n. 4; ML 42, 987.
- 51) De Trinitate, XI, 5, n. 8; ML 42, 991.
- 52) Vide (48).
- 53) De Trinitate, XIV, 12, n. 15; ML 42, 1048.
- 54) Confessiones, VIII, 10, n. 24; ML 32, 760.
- 55) Idem. I, 1, n. 1; ML 32, 661.
- 56) Enarratio in Psalmum, XLIX, n. 22; ML 36, 579.
- 57) Vulg. I Cor. XIII, 12.
- 58) 中川秀恭: 『ヘブル書研究』序論二, 15頁.
- 59) Enarratio in Psalmum XLIX, n. 22; ML 36, 579.
Hanc tribulationem peregrinationis suae qui non invenerit, ad patriam redire non cogitat.
- 60) In Epistolam Joannis ad Parthos, tractatus X, n. 1; ML 35, 2054.
- 61) Enarratio in Psalmum XLIX, n. 22; ML 36, 579.
Ea ipsa in hoc mundo felicitas, affluentia rerum temporalium: non quidem ipsa tribulatio est; solatia sunt nostrae tribulationis.

- 62) カトリック教会聖体讃歌 Panis Angelicus から。
- 63) Vulg. Luc., XII, 32.
- 64) Sermo CCLVI, n. 3; ML 38, 1193.
- 65) De Genesi ad litteram, I, 1, n. 2; ML 34, 247.
- 66) Sermo I; ML 38, 23-26.
- 67) Joan. VIII, 24: In Joannis Evangelium tractatus XXXVIII, n. 10; ML 35, 1681.
- 68) In Joannis Evangelium tractatus XXXIX, n. 8; ML 35, 1685.
- 69) Ibid.
- 70) Sermo I, 2, n. 2; ML 38, 24, 25.
- 71) “in ipso” を「一つのかしらである神において」と訳したのは、『コリント人への前の書簡』III, 22, 23 による。
- 72) Sermo I, 3, n. 3; ML 38, 25.
- 73) De civitate Dei, XII, 15, n. 2; ML 41, 364.
Ubi nulla creatura est, cujus mutabilibus motibus tempora peragantur, tempora omnino esse non possunt.
- 74) Sermo I, 5, n. 5; ML 38, 25.
- 75) Ibid.
- 76) Ibid.
- 77) 注47)の本文を参照。
- 78) Sermo I, 5, n. 5; ML 38, 26.
- 79) ML 32, 834-835, 836-837.
- 80) Confessiones, XII, 31, n. 42; ML 32, 844.
- 81) De Genesi ad litteram imperfectus liber, 3, n. 9; ML 34, 223.
- 82) De Genesi ad litteram imperfectus liber は393年頃の作、Confessiones は400年頃の脱稿、De Genesi ad litteram は401-415年の作とされている。
- 83) De Genesi ad litteram, I, 3, n. 7; ML 34, 248-249.
- 84) Idem. IV, 21, n. 38; ML 34, 311.
- 85) Idem. I, 13, n. 27; ML 34, 256.
- 86) Idem. I, 15, n. 30; ML 34, 257.
- 87) Ibid.
- 88) De Genesi ad litteram imperfectus liber, 4, n. 13; ML 34, 225.
- 89) De Genesi ad litteram, I, 5, n. 11; ML 34, 250.
- 90) Ibid.
- 91) De Genesi ad litteram, VI, 13, n. 23; ML 34, 349.
- 92) De Genesi ad litteram, I, 15, n. 29; ML 34, 257.
materia origine, non tempore formam praecedit.
Amplius vide: De Genesi ad litteram, V, 5, n. 16; ML 34, 326 et idem VIII, 20 n. 39; ML 34, 388.
- 93) De Genesi ad litteram, I, 15, n. 29; ML 34, 257.
Amplius vide: Confessiones, XII, 29, n. 40; ML 32, 842-843.
- 94) De Genesi ad litteram, I, 15, n. 29; ML 34, 257.
- 95) De civitate Dei, XI, 30; ML 41, 343.
- 96) De Genesi ad litteram, IV, 2, n. 2-5; ML 34, 296-298.
- 97) Idem, IV, 1, n. 3; ML 34, 297.
- 98) Idem, IV, 2, n. 6; ML 34, 298-299.
- 99) Idem, I, 3, n. 7; ML 34, 248.
- 100) Idem, II, 3, n. 7; ML 34, 263.

- 101) Idem, II, 11, n. 24; ML 34, 272.
 102) Idem, II, 12, n. 25; ML 34, 273.
 103) Idem, II, 13, n. 26; ML 34, 273.
 104) Idem, III, 1, n. 1; ML 34, 279.
 105) Idem, III, 11, n. 16; ML 34, 285.
 106) Idem, III, 19, n. 29; ML 34, 291.
 107) Idem, II, 8, n. 16; ML 34, 269.
 108) Idem, II, 8, n. 16; ML 34, 269.
 109) Idem, I, 3, n. 7; ML 34, 248-249.
 110) Gen. I, 4. De civitate Dei, XI, 20; ML 41, 333.
 111) De civitate Dei, XI, 20; ML 41, 333.
 sola ibi lux placuit Conditori: tenebrae autem angelicae, etsi fuerant ordinandae, non tamen fuerant approbandae.
 112) De corruptione et gratia X, n. 27; ML 44, 932.
 113) De civitate Dei, XI, 13; ML 41, 328.
 114) Idem, XI, 13; ML 41, 329.
 115) Vide (111).
 116) De corruptione et gratia, X, n. 27; ML 44, 932.
 angeli quidam, quorum princeps est qui dicitur diabolus, per liberum arbitrium a Domino Deo refugae facti sunt. Refugientes tamen ejus bonitatem, qua beati fuerunt, non potuerunt ejus effugere judicium, per quod miserrimi effecti sunt.
 117) De civitate Dei, XI, 19; ML 41, 333.
 118) Idem, XI, 13; ML 41, 329.
 119) Idem, VIII, n. 3; ML 41, 252.
 120) Idem, XI, 17; ML 41, 332.
 121) De baptismo contra Donatistas, IV, 9, n. 13; ML 43, 162.
 122) De vera religione, 13, n. 26; ML 34, 133.
 123) De Genesi contra Manicaeos, II, 17, n. 26; ML 34, 209.
 diabolus solebat antequam cadaret, de sublimi veritate gaudere in qua non stetit.
 124) Contra epistolam Manichaei, 25, n. 27; ML 42, 191.
 discite, omnes naturas quas fecit Deus et condidit a summis usque ad infimas, omnes bonas
 125) De civitate Dei, XII, 9, n. 1; ML 41, 356.
 126) De peccatorum meritis et remissione, II, 18, n. 30; ML 44, 169.
 127) De civitate Dei, XII, 9, n. 2; ML 41, 357.
 Summa Theologiae, I, q. 62, a. 3, Sed contra.
 128) De civitate Dei, XIII, 9, n. 1; ML 41, 356.
 129) De natura boni contra Manichaeos, 1; ML 42, 551.
 Summum bonum quo superius non est, Deus est: ac per hoc incommutabile bonum est; ideo vere aeternum, et vere immortale. Caetera omnia bona non nisi ab illo sunt, sed non de illo. De illo enim quod est, hoc quod ipse est: ab illo autem quae facta sunt, non sunt quod ipse. Ac per hoc si solus ipse incommutabilis, omnia quae fecit, quia ex nihilo fecit, mutabilia sunt.
 130) De civitate Dei, XII, 9, n. 1; ML 41, 356.
 Eo sunt boni Angeli ab malorum angelorum societate discreti, quod hi in eadem voluntate bona manserunt, illi ab ea deficiendo mutati sunt, mala scilicet voluntate, hoc ipso quod a bona defecerunt.
 131) Ibid.

- 132) De Genesi ad litteram, IX, 23, n. 30; ML 34, 441.
- 133) De natura boni contra Manichaeos, 1; ML 42, 551.
Quia vero et justus est, ei quod de se genuit, ea quae de nihilo fecit, non aequavit.
- 134) Contra Julianum Pelagianum, I, 9, n. 42; ML 44, 670.
quoniam a summo atque incommutabili bono et nihilo facta est, ut esset, quamvis mutabile, tamen bonum.
- 135) De vera religione, 18, n. 55; ML 34, 137.
- 136) De civitate Dei, XII, 1, n. 3; ML 41, 350.
- 137) De civitate Dei, XII, 3; ML 41, 351.
- 138) Isaia XIV, 13, 14; De Genesi ad litteram, XI, 24, n. 31; ML 34, 441.
In coelum ascendam, super sidera coeli ponam thronum meum, sedebo in monte excelso super montes excelsos qui sunt ad aquilonem, ascendam super nubes, ero similis Altissimo.
- 139) De civitate Dei, XII, 3; ML 41, 351.
- 140) Idem, XIX, 13, n. 2; ML 41, 641.
- 141) Idem, XII, 3; ML 41, 351.
- 142) De Genesi ad litteram, VIII, 23, n. 44; ML 34, 390.
- 143) De civitate Dei, XII, 3; ML 41, 351.
- 144) De Genesi ad litteram, VIII, 23, n. 44; ML 34, 390.
- 145) Enarratio in Psalmum XC, n. 2; ML 37, 1150.
- 146) In B. Joannis Apocalypsim expositio, XVII; ML 35, 2447.
- 147) De civitate Dei, XX, 7, n. 2; ML 41, 668.
- 148) この語法のよい例は De civitate Dei, XIII, 24, n. 2; ML 41, 399. に見られる次のようなものである。「あの人は死んでいま罰を受けている。」という場合、「あの人」(totum) によって靈魂 (pars) を示しているのであり、「あの人はここに葬られている。」と言う場合、「あの人」(totum) によって身体 (pars) を示している。
- 149) De civitate Dei, XX, 7, n. 2; ML 41, 668.
- 150) De Genesi contra Manichaeos, I, 23, n. 35; ML 34, 190.
- 151) De civitate Dei, XXII, 30, n. 5; ML 41, 804.
De Genesi contra Manichaeos, I, 23, n. 35-41; ML 34, 190-193.
- 152) De civitate Dei, XX, 7, n. 2; ML 41, 668.
- 153) Idem, XX, 8, n. 1; ML 41, 670.
- 154) Ibid.
- 155) De civitate Dei, XX, 8, n. 3; ML 41, 671.
Haec autem alligatio diaboli non solum facta est, ex quo coepit Ecclesia praeter Judaeam terram in nationes alias aliasque dilatari; sed etiam nunc fit, et fiet usque ad terminum saeculi, quo solvendus est. Quia et nunc homines ab infidelitate, in qua ipse eos possidebat, convertuntur ad fidem, et usque in illum finem sine dubio convertentur.
- 156) S. Leonis Magni Epistola XV ad Turribium Asturicensem Episcopum.
De Priscillianistarum erroribus (Scripta 21 Julii an. 447). Cap. VI; ML 54, 683.
- 157) De Genesi ad litteram, IV, 22, n. 39; ML 34, 312.
- 158) Gen. I, 5; De Genesi ad litteram liber imperfectus, 7, n. 28; ML 34, 231.
- 159) De Genesi ad litteram, IV, 22, n. 39; ML 34, 312.
- 160) Idem, II, 8, n. 17; ML 34, 269-270.

*The Longest Journey*¹⁾ の一考察

菅沼慶一

A Study of *The Longest Journey*

Keiichi SUGANUMA

Abstract

(1)

The scene of *The Longest Journey* is laid strictly in England and its characteristics are purely English. Forster states in an essay titled *Notes on the English Character* that the English people all have middle-class characteristics, which include the characteristics of 'hypocrisy' and 'lack of imagination'. To understand these qualities, therefore, the author examines Forster's concepts of 'undeveloped heart' and 'real existence.'

(2)

The author traces what is *real* (truthful) or *false* (hypocritical) in some main characters in *The Longest Journey* from the point of view of the structure of the novel.

(3)

The author explains the structure of *The Longest Journey* on roles played by main characters in it and concludes that the tragedy of the hero Rickie is brought about by his wavering between the two domains of Reality and Falsehood.

(1)

E. M. Forster の5つの作品に関しては、異なった見地から2, 3の分類がなされてきた。しかし、*The Longest Journey* (1907)にはどのような分類に於いても包括されなかったように思われる一面がある。それは格別に目新しいことではない。イギリスを舞台とし、純粹のイギリス人だけが登場する作品であるということなのだ。

そういう言い方をすれば、人は直ちに *Howards End* (1910) を思い浮べるに違いない。なるほどイギリスという国に関する限り、ある意味ではこの小説の方が *The Longest Journey* に於けるよりも明確な形を取って現われている。しかし、主人公である Schlegel 姉妹はイギリス人の母とドイツ人の父を持ち、「生粋のイギリス人」(English to backbone)²⁾ではなかった筈だ。云いかえれば、*Howards End* は終始イギリス的な性格の陰影を追った作品ではないのである。

Howards End はその舞台がイギリスであるという点で、*The Longest Journey* と共に「イギリス物」と呼ばれることがある。しかし、「イギリス物」という proviso を単に作品のもつ locality に限って用いるのではなく、イギリス社会のなかで純粹のイギリス人が織りなす思想、感情の綾を取り扱った作品という意味に用いれば、「イギリス物」の名に相応しいのは *The Longest Journey* のみであるということになる。このことがどういう意味をもつのかと云えば、Forster のイギリス人観が最も端的に、しかも最も濃厚にこの作品のなかに表明されているということなのだ。

ここで、Forster の考えていたイギリス人の性格(思想、感情)の特徴を一瞥して置きたい。

Forster は *Notes on the English Character* (1920)³⁾ と題するエッセイのなかで、イギリス社会の中心は中流階級であること、また、イギリス人の性格は本質的に中流階級的であることを述べた後で、

Solidity, caution, integrity, efficiency. Lack of imagination, hypocrisy. These qualities characterize the middle classes in every country, but in England they are national characteristics also, because only in England have the middle classes been in power for one hundred and fifty years.⁴⁾

(堅固、慎重、誠実、能率。想像力の欠如、偽善。これらの性質はいずれの国を問わず中流階級を特徴づけるものであるが、イギリスではそれらは国民性でもあるのだ。何故なら、中流階級が百五十年も権力を揮ったのはイギリスだけだからである。)

と云っている。このなかに挙げられた「堅固、慎重、誠実、能率」の徳目と「想像力の欠如、偽善」とは質的な差としてよりも量の差として説明され得るものと思われるが、それはそれとして、これらの諸性質を理解するためには Forster の云う「未発達的心情」(undeveloped heart) と「实在」(real existence) の概念を中心に、彼の所論を少しく考察してみなければならない。

Forster によれば、「あたかもイギリスの中心が中流階級であるのと同じく、中流階級の中心」をなすのは public school 制度である。この制度は Anglo-Saxon 民族の中流階級によって創り出され(それ故、Ireland や Scotland には見られない)、彼らと共に栄え、彼らの思想、感情の形成に与ったという点で極めて特異なものである。この public school の教育は狭量な愛国心にとらわれて、団体精神 (*esprit de corps*) を鼓吹し、「学校は小規模な世界である」こと、「学校を愛さないものは自分の国を愛することができない」ことを強調する。従って、其処では規律と躰が重んじられ、一定の形式に載って流れて行く精神的姿勢が出来上ってしまう。その結果は冷静な判断力が養われないばかりでなく、個を発揚すること、個人的関係を発達させることは全く顧みられず、「感ずること」すら行儀の悪いことであると見做されるに至るのである。

以上の事実から2つのことが導き出されてくる。

第一に、「感ずること」が行儀の悪いことだと見做される結果、イギリス人は必然的に「感

ずること」を恐れるようになって行く。感ずることができないのではなく、感情を抑制するのである。そして、その抑制が常態となって、感情はますますその自由な、本来的な機能を充分に発揮できなくなってくる。そのように萎縮した、発展性のない感情の状態を Forster は「未発達的心情」と呼ぶのである。

この「未発達的心情」からイギリス人がしばしば非難される幾つかの性格的欠点が生じてくる。イギリス人は矢鱈に感情を表出することなく、それを奥深く蔵して、ある特別の場合に稀にしか発動しなくなる。また「感ずる」訓練を欠いているので、理解は早い、感ずるのに時間がかかる。こうしたことがイギリス人が冷たいとか、詩が分らないとか、非情緒的だとか云われる理由なのである（「想像力の欠如」という非難もこのなかに含めてよいだろう）。更に、自分に対する非難に向ってこの鈍感さが発揮された場合、独善的だという謗を受けることになるのである。宗教に於いても実際の面が取り上げられて、信仰そのものが奥深さを欠いているのは、直観的な宗教体験が乏しいからであろう。

第二に、イギリス人は一旦行動を起してからその進路を誤ると、性来の愚鈍さのためにうろたえて、自分の真実の姿を見失ってしまう。しかし、批判力に欠けているから、自分の陥った病弊の実態を認識することなく、次第に破滅して行く。この場合、彼は意識的に（人を、そして自己を）欺くのではない。自分では正しいと思っているのであるが、結果的には欺くことになるのである。つまり「無意識的な」(unconscious) 欺瞞—それがイギリス人の「偽善」なのだ。それ故、イギリス人を悪党と呼ぶことはできないのである。

(以上は *Notes on the English Character* に於ける Forster の所論をもとにして、彼の論理の間隙を僕なりに埋めたものである。この場合、undeveloped heart の heart に OED (10. c) “sensibility or tenderness for others” という定義を当てることには同意しかねる⁹⁾。僕はこの heart はそうした感情も含めて SOD (5) “the seat of the emotions generally; the emotional nature; opp. to head OE” であると思う。)

The Longest Journey は「見る人がいなくても牛は存在するか」という学生たちの議論の場合から始まっている。Lionel Trilling の指摘を待たなくても⁹⁾、それ以後この小説の全篇に「実在」(real existence) という概念が1つの比喩的な意味を伴って行きわたっているのであるが、この語はどういう意味をもつものであろうか。それを理解するのに好都合と思われる context を抜き出してみよう。以下は、Rickie が Sawston で墮落して行くのを見て、Ansell と Widdrington が取り交した会話である。まず最初に Widdrington の言葉から始まる。

‘Well, I,’ he continued, ‘am inclined to compare her to an electric light. Click! she’s on. Click! she’s off. No waste. No flicker.’

‘I wish she’d fuse.’

‘She’ll never fuse unless anything was to happen at the main.’

‘What do you mean by the main?’ said Ansell, who always pursued a metaphor

retentlessly.

Widdrington did not know what he meant, and suggested that Ansell should visit Sawston to see whether one could know.

'It is no good me going. I should not find Mrs Elliot: she has no real existence.' 'Rickie has.'

'I very much doubt it. I had two letters from Ilfracombe last April, and I very much doubt that the man who wrote them can exist.' (p. 182)

(「それはそれとして、僕は」と彼は喋り続けた。「あの女を電灯に喩えたい気がするよ。パチン! 点く。パチン! 消える。いささかの無駄もない。いささかの灯のゆらぎもない。)

「いっそ、溶けてくれればいいのだが。」

「決して溶けやしないさ——本線ほんせんに故障でもない限りはね。」

「本線で何を指して云っているのだい?」と Ansell は云った。彼はいつも比喩を容赦なく追求するのだ。

Widdrington は自分で何を指すのか分らなかつた。そして、何が本線なのか1つ Sawston へ確めに行つて来るがよいと Ansell に云った。

「僕が行つても仕様がないうよ。Elliot 夫人は見つからないだろうからね。あの女には実在ひまがないのだから。」

「Rickie にはあるよ。」

「どうだか怪しいもんだ。この4月に Ilfracombe 発の手紙を2通もらつたけれど、その手紙の書き主が実在する人間とは考えられなかつたよ。」

この会話から「実在」の概念を導き出すのは容易であろう。そして、Ansell が Rickie と Agnes との婚約に反対して、Agnes が (1) 真面目でないこと (2) 誠実でないこと、を指摘したのを思い出すのである。つまり、「実在」とは「真剣さ」「誠実さ」であり、「己れに対する忠実さ」でもある。「実在」という概念から当然「非実在」の概念が導き出されるのであるが、「非実在」は「偽り」(falsehood) であり、「偽善」である。Forster の「偽善」を理解するためには、先に述べた「無意識的な偽瞞」(unconscious deceit) と共に、この「非実在」の概念からも考えられねばならない。

イギリス中流階級の持つ性格は勿論多種多様である。例えば *The Longest Journey* に見られる Ansell の父親の実直さ、適度の功利心、自由を重んずる精神、そして Rickie の父親 Elliot 氏の高慢、皮肉、残酷、真の美を理解することなく教養人ぶっている俗物根性——2人のもつこうした美点も欠点もすべて中流階級のなかに深く根ざしている。Forster はこれらの性質も含めて大きく「堅固、慎重、誠実、能率。想像力の欠如、偽善」と並べてみせたのである。しかし、これらのうち先の4つの徳目は一步誤れば後の欠点に傾くことになる。云い換えれば、前者は「心情」の未発達の場合、頭の混乱の程度によって容易に後者の非難を蒙ることになるのだ。僕が先に「量の差」として考えられると云つたのはこの意味なのである。

ここでもう一度云おう。イギリス人のしばしば蒙る非難の大部分は感情の未熟さと冷静な判断力の欠如に関係しているのだ。そして、Forster がいかにかしばしば「未発達的心情なのだ——冷やかな心情ではないのだ。」と云い、「イギリス人は不完全な、未熟な民族なのだ。」と云おうとも、彼が作品のなかで専ら諷刺し攻撃するのはこの「想像力の欠如」と「偽善」なのである。そして、この小説で Forster が書こうとしたものはまさしく real なものと false なものとの触れ合いに他ならない。それ故この2つのものを *The Longest Journey* の主要登場人物のなかを探ることによって、この小説の構成を考えてみるができないであろうか。そういう観点から、その主なる登場人物を考察してみたいと思うのである。

(2)

婚約した Rickie と Agnes は Rickie の叔母の Failing 夫人を Cadover 邸を訪れる。Rickie は叔母を尊敬しているが、その不面目な揶揄、残酷さ、皮肉の故に好きになれない。叔母も彼を pedantic で偽善者だと思っている。自然、2人の中の空気は面白くない。すると Agnes は Rickie に、叔母の歓心を買って成功させよう、と云う。Rickie には何を「成功させる」のか理解できない。これが後になって、Agnes が叔母の遺産を狙っていることが明らかにされる件りの巧妙な伏線になっている。

夫人の家に Stephen という青年が厄介になっている。夫人が、Rickie との一寸した云い争いの余波でもあるかのように、Stephen が彼の半兄弟であることを洩したとき、Rickie は驚きの余り失神する。彼が Stephen を父の子であると考えたのも、彼の父に対する感情や、父が町に「父の家」を構えて別居していた事実から考えれば当然であろう（しかし、実は Stephen は Rickie の母の子であり、この誤解がまた作品の綾を深めて行く1つの重要な契機になっている）。

Agnes は Cadover に着いたとき、直ちに「ここには金がある」と直観した。そして、叔母は未亡人で子供がないところから、その遺産は自分たちが相続すべきであると考え、Rickie も同様の考えであると信じて疑わない。「成功させる」と云えば充分 Rickie には意が通ずるものと考えなのだ。そのとき Stephen が Rickie の半兄弟であることが彼女には重大な意味をもつ。更に、彼女は Stephen が Rickie の半兄弟であるということが1つのスキャンダルになることを恐れている。また、Stephen のような乱暴で、野卑で、酒飲みで、不名誉な青年が Rickie に近づくことは好ましくないと考え。従って、それからの後の彼女の Stephen に対する態度はすべて以上のような認識に基づいているのである。Failing 夫人を唆して Stephen を Canada に追いやるように仕向けたことも、Rickie に会いに来た Stephen を彼に会わせずに、金をやって追いやろうとしたことも、すべては彼女なりに正当な理由の裏付けがあるのだ。だから、Rickie が叔母の財産は Stephen が受取るべきだと主張してもその気持が理解できず、

「まあ、あなたの云うことは本当にロマンチックね。」と一笑に付してしまふ。自分がやっていることは正当であるという Agnes の意識は

Oh, it is too bad, when I've saved you from him all these years. (p. 250)

(まあ、あの男から今までずうと^ひかばってあげたのに、ひどすぎるわ。)

という言葉に結晶されている。そこに Agnes の救い難い偽善と独善が見られるのだ。

Agnes の兄の Herbert に代表される Sawston School の俗物性は (1) に於いて述べた如く public school の教育に共通するその画一的団体教育に根差すものである。Herbert の口にする理想は Forster の挙げた public school の綱領と全く一致する。

Rickie は Agnes と結婚して Sawston School の古典語の助教師となる。しかし、彼の教師としての理想は Herbert によって悉く打ち破られて行く。Herbert は教師は権威者として教壇に立つべきことを主張し、体面を重んじてそれ以上に大切なもののあることに気がつかない。また、彼は寄宿舎制度によって生徒に団体精神を植えつけ、規律を与えようとする。そして、このことにあまり価値を認めない同僚の Hellenist である Jackson に敵意を抱く。Rickie は学友 Widdrington のいところでもあり叔父の Failing 氏の友人でもある Jackson に親しみを感じて接近して行き、その豊かな学識と自由思想に惹きつけられる。しかし、Herbert は「Jackson は反動で、組織化の力もないのに自分の意見を他人に押しつける人物だ」と評する。

たまたま、Vardon という生徒が寄宿舎を出て、親でも身元引受人でもない Orr 夫人のところへ寄寓する。寄宿舎の監督である Herbert は団体生活を乱すものと考えてこれを黙視できない。その蔭には通学生 (day-boys) の監督である Jackson の許可があったことを知り、且つ Orr 夫人が曾て結婚を申込んで断られた相手でもあったから、自分は表面に出ずに Rickie に云いつけて校長に訴えさせ、Vardon を寄宿舎に戻すようにさし向ける。

こうしたこと一切が Rickie の性格や思想とはかけ離れていて、彼は非常に不満を感じる。しかし、「教師は同一歩調で進まねばならない。さもないと——收拾がつかなくなる。」と云う Herbert の言葉に引きずられて次第に自主性を失ない、「全く不思議にも、形の上ではうるさ型となってしまった」のである。

しかし、Rickie の悩みは Agnes には一向通じない。「現実の生活は彼女にとって余りになまなましく思われるらしく、所謂詩情と呼ばれる影と堅硬物との結合を彼女は発見することができなかつた。」そして、Rickie が Sawston School に対する不満を洩らして

They don't realize that human beings are simply marvellous. When they do, the whole of life changes, and you get the true thing. But don't pretend you've got it before you have. Patriotism and *esprit de corps* are very well, but masters a little forget that they must grow from a sentiment. They cannot create one. Cannot—cannot—cannot. (p. 174)

(皆は人間が本当に素晴らしいことが分らないのだ。分れば全人生は変わってくるし、君

も本当のものがつかめるのだ。しかし、手に入れるまではつかんでいるふりをしないでほしい。そりやあ愛国心も団体精神も結構だが、教師たちはそれが1つの情操から生じてくるに違いないことを聊か忘れていたのだ。彼らにはその情操を創ることは絶対できないのだ——絶対に。)

と述べても、Agnes は異端だときめつけてしまうのだ。Rickie は次第に孤独へと追いやられてしまう。それが2人の結婚生活にもひびが入ってくるきっかけとなって行く。Forster はそれをこう説明する。

He valued emotion—not for itself, but because it is the only final path to intimacy. She, ever robust and practical, always discouraged him. She was not cold; she would willingly embrace him. But she hated being upset, and would laugh or thrust him off when his voice grew serious. (pp. 171-172)

(彼は情感を——それ自体のためではなく、親密さに至るにはそれが唯一の道だからこそ——重んじた。彼女は相変らず逞しく实际的であったが、いつも彼を失望させた。彼女は冷たかったのではない。彼女は喜んで彼を抱擁しようとした。しかし、どうしてよいか分らなくなるのが嫌だったから、彼の声が真剣味を帯びてくると、笑いにまぎらしたり受けつけなかつたりするのであった。)

これこそ「冷たい」とか「非情緒的」だとか云われる「未発達的心情」そのものであり、偽善への道ではないだろうか。

Herbert の人物を見ると生真面目で、理想に燃え、彼は彼なりに最善と思う道に進んでいるように思われる。それにもかかわらず何処か喜劇的人物のように感じられるのは何故であろうか。彼は「親切で利己心がなく」、「真に慈悲深く」、「勤勉で良心的で」、「愛情を注ぐことができ」、「礼儀正しく寛大である」一見非の打ちどころがない立派な人物なのだ。しかし、Forster は云う。

Then what was amiss? Why, in spite of all these qualities, should Rickie feel that there was something wrong with him—nay, that he was wrong as a whole, and that if the Spirit of Humanity should ever hold a judgement he would assuredly be classed among the goats? The answer at first sight appeared a graceless one—it was that Herbert was stupid. Not stupid in the ordinary sense—he had a business-like brain, and acquired knowledge easily—but stupid in the important sense: his whole life was coloured by a contempt of the intellect. (pp. 169-170)

(それでは何処が悪いのか。以上のような性質があるにもかかわらず、何故 Rickie は彼には何処が悪いところがある——いや、全体的に悪い、しかも、「人間性の霊」がもし判断を下すものとすれば、彼はきっと山羊の仲間に入れられてしまうだろう、と感じざるを得ないのであろうか。答は一見したところ無慈悲なもののように見えた——それは、Herbert は馬鹿だということであった。普通の意味で馬鹿なのではない——彼はてきぱきした頭脳をもち、直ぐ知識を吸収する——しかし、重大な意味で馬鹿なのだ。彼の全生活は知識人に対する軽蔑感で色どられていた。)

Jackson を毛嫌いしたのも彼が「第一級の知性を持っている」からであろうし、Ansell に対する態度もこのことから説明されるであろう。しかし、いずれにせよ、彼の知識人に対する軽蔑感裏を返せば inferiority complex であり、その意味に於いて「偽り」(falsehood) と云えるのではなからうか。彼が真剣になればなるほどこの「偽り」が目立ってくるのであり、彼の全体が偽善の幕に覆われて行く。そして意外な結末に忙然とする彼の姿がわれわれの喜劇的な笑いを誘うのである。Forster の小説がしばしば Jane Austen の世界に比較されるのも、一つにはこうした喜劇性のせいであろうと思われる。

Failing 夫人は自分を因襲にとらわれない、非常に自由な思想の持ち主に見せかけようとする。その昔、Rickie の母親と Robert 青年の恋を支持し、馳け落ちした2人を「神聖だ」と讃え、「神の目から見れば罪がない」と云ったのは彼女であった。そして、Rickie に対しては

We all fell in love with your mother. I wish she would have fallen in love with us. She couldn't bear me, could she? (p. 98)

(わたしたちは皆あなたのお母さんが好きでした。お母さんにもわたしたちを好きになってほしかったと思いますよ。わたしには我慢ができなかったと云っていたでしょう?)

と云うのである。しかし、Robert と死に別れて家に連れ戻された Rickie の母親が魂の抜け殻のようになっているとき、真に彼女を慰めて面倒を見たのは夫人ではなく、その夫の Failing 氏だったのである。

Failing 夫人の気まぐれな新らしがりとも見える虚栄心は、彼女の結婚自体についても云えるであろう。

Mr. Failing was the author of some brilliant books on socialism—that was why his wife married him—and for twenty-five years he reigned up at Cadover and tried to put his theories into practice. He believed that things could be kept together by accenting the similarities, not the differences of men. ‘We are all much more alike than we confess’ was one of his favourite speeches. As a speech it sounded very well, and his wife had applauded; but when it resulted in hard work, evenings in the reading-room, mixed parties, and long unobtrusive talks with dull people, she got bored. In her piquant way she declared that she was not going to love her husband, and succeeded. He took it quietly, but his brilliancy decreased. His health grew worse, and he knew that when he died there was no one to carry on his work. He felt, besides, that he had done very little. (pp. 103-104)

(Failing 氏は社会主義に関する数冊の卓れた書物の著者であった——それが彼の妻が彼と結婚した理由であった——そして25年の間 Cadover に君臨し、自分の理論を実践に移そうとした。彼は人間の差異ではなく類似点を強調することによって、すべての事柄が緊密になり得ると信じた。「われわれは皆考えている以上に遙かに似ているものなのだ、」というのが自慢の科白であった。演説としてはとても立派に聞えたの

で、妻は拍手を送った。しかし、その結果が昼間はせっせと働き、夜は書斎に閉じこもったり、混合パーティをやったり、退屈な連中と長たらしい慎しみ深い話合いをしたりするようになると、彼女は飽き飽きしてしまった。彼女はいらいらしながら、夫をこれ以上愛しては行けないと宣言して、勝利を収めた。彼はその言葉を静かに受け入れたが、才気は消えて行った。次第に健康が衰え始めた。そして、死んで行くとき、彼は誰も自分の仕事を引き継いでくれる者のいないことを知っていた。その上、自分のやってきたことが如何に些細なものであったかを感じていた。)

こうした夫人の気まぐれはその性来の高慢さ、皮肉さと相まって、自分の身の廻りの者に対する揶揄となって表われる。この小説に彼女が登場して間もなく、われわれは彼女の Stephen に対する執拗な揶揄を見るのである。同時に、彼女の人生に対する不真面目さは次の Rickie の言葉によっても知られよう。

If she thought it really funny, for instance, to break off our engagement, she'd try. (p. 106)

(例えば、僕たちの婚約を邪魔するのが面白いと思えば、叔母さんはきっとそうするだろうよ。)

このような夫人の心理の底には Elliot 家を流れる呪わしいちんばの遺伝によって形成された暗い、歪んだ性格があるであろうことは否定できない。Forster の口をかりれば

Weakly people, if they are not careful, hate one another, and when the weakness is hereditary the temptation increases. (p. 127)

(病弱な人びとは注意しないとお互いに憎み合うようになる。そして、その病弱さが遺伝であるような場合、憎みたい気持は増すものだ。)

という気持が夫人にはあるのだ。曾て彼女が Rickie に向って「あなたのお父さんと私とはお互いに憎み合っていました、」と云った言葉が思い出されるのである。それは、また、Rickie の母親が Elliot 家に嫁ついで間もなく、「辛辣な皮肉を云い、ちんばを曳き、洗練された言動をする以外に Elliot 家の人びとは何をやったというのが、」と感じた非生産的な雰囲気発展して行く。婚約した Rickie と Agnes が夫人を訪ねたとき、2 人の間を意地悪く引き離そうとして Rickie と Stephen を馬の遠乗りに出した夫人は Rickie の幸福を羨んでいたのであり、その羨望の奥には憎しみが働いていたのである。

このような歪んだ性格は周囲の者にも及んで、健康や美に対する嫉妬となって表われてくる。それが嘲笑となり、揶揄となり、不謹慎さとなって、読者の眉をひそめさせるのである。Lionel Trilling の指摘するように⁷⁾、人生を嘲笑的に見る点で「十八世紀の俗物の一種の空想画」に墮しているのである。それが Rickie が Cadover 去るとき夫人に云った

You used to puzzle me, Aunt Emily, but I understand you at last. You have forgotten what other people are like. Continued selfishness leads to that. I am

sure of it. I see now how you look at the world. "Nice of me to be shocked!" I want to go tomorrow, if I may.' (p. 145)

(あなたは僕にわからないことがよくありました、Emily 叔母さん。でも、とうとう分りましたよ。あなたは他の人びとがどのようなものであるか忘れてしまったのです。長く利己心をもち続けたためそうなったのです。きっとそうに違いありません。今こそあなたが世間をどう見ているかが分りました。「驚くのが私のいいところ」ですって！ できれば明日帰ります。)

という言葉の意味であろう。この言葉はその後暫らく夫人を怒らせる結果になったけれども、夫人の欠点を鋭く突いているのである。

Don't you think there are two great things in life that we ought to aim at—truth and kindness? Let's have both if we can, but let's be sure of having one or the other. My aunt gives up both for the sake of being funny. (p. 128)

(人生にはわれわれの目ざすべき偉大なものが二つあって、それは真実と親切だ、と君は思いませんか？ できれば二つながらもつに越したことはないけれど、どちらか一方だけでも必ずもつようにしたいものです。叔母さんは人に面白いと云われようとして、二つとも棄ててしまったのですよ。)

これは Rickie が Agnes に語った言葉であるが、云うまでもなく夫人の偽り（偽善）と「冷たさ」を指摘したものである。しかし、夫人の性格がやや不健全な、病的な印象を与える点に於いて、Agnes のそれとは質を異にしていると云えるであろう。

Failing 氏について一言して置かなければならない。この人物についての短い記述のなかから、われわれは彼もまた Rickie の母と同様に Elliot 家のいびつな性格の犠牲者であったことを知る。しかし、彼は熱烈な理想主義者であり、誠実な人間であった。そして、彼の精神は Failing 夫人の指摘する如く Rickie に受け継がれて行くのである。

Stephen は 14 歳のとき盗みを犯して学校を追われ、それ以後は満足な教育も受けず、気まぐれで、乱暴で、酒好きの青年である。Rickie の母と若い百姓 Robert との灼熱と呼ぶに相応しい恋の所産であったから、「彼は詩情と反逆の子であり、詩情が彼の脈を走っているのも当然であった。」彼が最も生き生きとしているのは喧嘩のときであり、酒を飲んでいるときである。自らが自らの立法であるような自然児——それが Stephen である。そして、行きずりの兵士と意気投合して酒を飲み、恩のある Failing 夫人を歌いこんだ野卑な歌を歌い、一緒に行った Rickie の感情を全く無視した傍若無人の振舞いをする Stephen は

the chief characteristics of a hero are infinite disregard for the feelings of others, plus general inability to understand them. (p. 109)

(英雄の特徴は他人の感情をどこまでも無視することに加えて、他人の感情を総じて理解できないことです。)

と云った Failing 夫人の言葉そのままに、やはり英雄と呼ぶべきなのであろう。しかし、そこには己れに対する忠実さが野性的な vitality をともなって発揮されていることも事実なのである。

Stephen が Cadover を追い出されてから Rickie に会いに来たとき、Forster は彼の気持ちをこう説明している。

He only held the creed of 'here am I and there are you', and therefore class distinctions were trivial things to him, and life no decorous scheme, but a personal combat or personal truce. For the same reason ancestry also was trivial, and a man not the dearer because the same woman was mother to them both. Yet it seemed worth while to go to Sawston with the news. (p. 244)

(彼は「自分は自分、人は人」という信条をもっていたにすぎない。だから、階級差も彼には取るに足らぬことであったし、人生も何ら厳粛な営みではなく、個人的な戦闘と休戦でしかなかった。同じ理由から先祖もくだらぬものであったし、同じ母親をもっているからということで1人の人間がそれだけ親しいものになるわけでもなかった。けれども、そのニュースを Sawston に持って行くことは価値あるもののように思われた。)

この一文は Stephen の面目を余すところなく伝えている。彼は自分の知った秘密を自分の胸にしまって置くことができず、Rickie に知らせたかったのである。これは、Rickie が自分たちが半兄弟であることを Stephen に知らせなければならぬと思いつつも遂に果せなかった事実と対照をなしている。しかし、Agnes にはこの Stephen の気持が理解できなかった。

Agnes に追い返されて10日ばかりたってから再び Dunwood House を訪れた Stephen はしきりに詫びて自分と一緒に住んでほしいと嘆願する Rickie の心のなかに嘘があることを看破する。それは、Rickie が Stephen そのものを愛しているのではなく、母の面影の一部として、云いかえれば母の追憶を通して、Stephen を愛そうとしていることである。Stephen は母の写真をズタズタに引き裂いて、Rickie の顔に投げ捨てる。ここにも Stephen の真実を求める熱情の迸りが見られるのである。

Ansell は Stephen を評して、今まで会った最も偉大な人間の一人だと云った。その「偉大」という言葉は、Ansell の乏しい経験では律し切れないような野性的な vitality をもった、偽りのない、赤裸々な Stephen の人間像に冠した形容詞だったのである。

哲学青年 Ansell は一見観念的の思弁家で世俗を超越しているように見えるが、実はその奥には激しい熱情と行動力をひめている。彼のこの小説に於ける意味は、この小説の最初の場面から Agnes を徹底的に否定したこと、Agnes が想像力に欠け偽善者であることを見抜いて、Agnes と最後まで戦ったことにある。Rickie が Agnes と婚約したことを知った Ansell は Tilliard に向って

'She is happy because she has conquered; he is happy because he has at last hung all the world's beauty on to a single peg. He was always trying to do it. He used to call the peg humanity. Will either of these happiness last? His can't. Hers only for a time. I fight this woman not only because she fights me, but because I foresee the most appalling catastrophe. She wants Rickie partly to replace another man whom she lost two years ago, partly to make some thing out of him. He is to write. In time she will get sick of this. He won't get famous. She will only see how thin he is and how lame. She will long for a jollier husband, and I don't blame her. And, having made him thoroughly miserable and degraded, she will bolt—if she can do it like a lady. (p. 86)

(彼女は征服したのだから幸福だし、彼の方はとうとう全世界の美を1本の杭の上に繋ぎとめたのだから、これまた幸福だ。彼はそれを実現しようといつも努めていたのだから。その杭のことをよく人間性と呼んでいた。2人の幸福はどちらも長続きするだろうか。彼の幸福は続かない。彼女の幸福もほんの一時だけだ。彼女の方から闘いを挑んでくるからということばかりでなく、最も驚くべき破局が予測できるから、僕はこの女性と闘うのだ。彼女が Rickie をほしがるのは、一つには2年前に失った今1人の男の代りをさせるため、一つには Rickie から何か得をしてやろうとするためだ。Rickie は書く。やがて、彼女はこれに厭きる。Rickie は決して有名にならないよ。彼女はただ Rickie という男が何と瘦せたちんばだろうと思うだけだ。もっと陽気な夫が欲しくなるだろうし、それももっともな話だ。そして、Rickie を徹底的にみじめに墮落させて置いて、逃げて行くだらう——体面を保ちながらそれができればの話だが。)

と云う。これは恐しい予言であり、ある意味でこの小説の展開の方向を予測している。しかし只一つだけ思い違いがある。それは、後になって彼女は自分の結婚が失敗であったことに気づき、夫がもっと美貌で、将来性がある、毅然としたところがあってほしいと願ったけれども、「逃げて行く」ことはしなかった。仕方がないと諦めることを知っていた。「彼女は——必ずしも高尚なタイプというわけではないが——一度、それも只一度だけ恋をするタイプの女性だった」のである。そうした女性もあることを知らなかったところに Ansell の観念性があるように思われる。

Ansell が Rickie に向って結婚を思いとどまるようにすすめた手紙は非常に卒直且つ辛辣である。

You are not a person who ought to marry at all. You are unfitted in body: that we once discussed. You are also unfitted in soul: you want and you need to like many people, and a man of that sort ought not to marry. 'You never were attached to that great sect' who can like one person only, and if you try to enter it, you will find destruction. (p. 86)

(君は全く結婚すべき人間じゃない。君は体に欠陥がある。そのことは一度論じ合っ

たことがある。また、君は魂に欠陥がある。君は多くの人を好きになりたいと思っているし、また、君にはそれが必要だ。そういう種類の人間は結婚すべきではない。「君は決して」ただ1人の人だけを好きになれるような「あの偉大な連中のなかには入れなかった。」そして、もしそのなかに入ろうとすれば、きつと破滅するだろう。)

しかし、その辛辣さには溢れるばかりの友情がこめられていることが分るのである。

たまたま Sawston にいこの Jackson を訪れた Widdrington は Rickie が置かれている状態を観察して帰り、Ansell に Rickie を訪ねてやってほしいと頼む。Ansell は Rickie からたわごとを聞く位なら、行かぬ方がいいと冷たく云い放つ (Ansell は Rickie から来た手紙には真情がこもっていないと考えて、Rickie がともすれば「獄舎からの呼び声」(a cry from prison) になりがちな哀願の調子をその手紙から追いはらう努力をしたことを知らないのだ)。しかし、次の瞬間には

‘When the moment comes I shall hit out like any ploughboy. Don’t believe those lies about intellectual people. They’re only written to soothe the majority. Do you suppose, with the world as it is, that it’s an easy matter to keep quiet? Do you suppose that I didn’t want to rescue him from that ghastly woman? Action! Nothing’s easier than action; as fools testify. But I want to act rightly.’ (p. 184)

(「ときが来れば農夫の如く打って出るよ。知性的な人間に関するそんな偏見は信じてはいけない。そんなことは大多数を満足させるために書かれたに過ぎない。現状のような世のなかに、おとなしくしていることが容易なことだと思うのか。僕があのおいまいしい女から彼を救い出したくないと思ったと考えるのか。行動だつて！ 行動ほど容易なものはないということは馬鹿者どもの例に見る通りだ。しかし、僕は同じ行動をするなら壺をはずしたくないのだ。)

と云う。妹の Maud は Ansell を評して

‘My brother is a very peculiar person, and we ladies can’t understand him. But I know one thing, and that’s that he has a reason all around for what he does.’ (p. 201)

(兄は大変風変わりで、わたしたち女性には理解できません。しかし、ただ一つ云えるのは、兄は自分のやることにすべてはつきりした理由をもっているということです。)

と云ったが、Ansell の行動はすべてこうした自信に支えられているのである。彼の行動は時として奇異に思われるが、しかし、われわれがそこに感ずる一種の痛快さ、爽快さは自信に満ちた熱情に起因するように思われる。

Ansell が Dunwood House の食堂で Rickie と Agnes を非難攻撃する場面はこの小説の climax と云えるであろう。食堂に通された Ansell は其処へ Stephen が訪ねてきたか否かを尋ねる。どうやら Agnes が Stephen を Rickie に会わせずに追いかえしたらしいこと、また、Rickie もそのことを承知しているらしいことを知った Ansell は怒りを爆発させ、全生徒の前

で激しく Rickie を非難する。そして、第 1 に Stephen が偉大な人物であること、第 2 に Stephen は Rickie の父の子ではなく母の子であることを告げる。Rickie は失神してしまう。

その後自分の非を悟り、Stephen への真の愛情にめざめた Rickie は、Agnes の元を去って、Stephen と 2 人で Ansell の家に厄介になる。そして、Agnes は自分たちの破局の原因はすべて Ansell にあると考えて、彼を恨むのである。

Gerald Dawes という青年は作者が意識的に Rickie の antithesis として創造したものである。両者は性格、容貌、態度が全く反対である上に、ちんぱで虚弱な Rickie とは違い、Gerald は逞ましい、均整のとれた体軀のスポーツマンで、万事人目を惹く華やかな伊達男である。更に決定的な対立点は、2 人が学童であった頃（この物語の始まる以前であるが、Gerald は Rickie を殴ったり、つねったり、腕をねじ上げたり、あらゆる悪戯をしかけたりしていじめたことである。「Rickie と Gerald の間にはわれわれの想像以上に生活を暗くする影があったのである。」

たまたまクリスマス休暇を利用して Pembroke 家を訪れた Rickie は、其処で Gerald と顔を合わせる羽目になる。Rickie は Agnes に対する Gerald の態度が非常に「不作法で、粗野で、冷たい」のを見て、2 人は愛し合っていないと考える。しかし、2 人の愛の場面を垣間見て、Rickie は自分の知らぬ愛の世界に圧倒されながら去って行く。

その Gerald がフットボールの試合中の事故で死んでしまうと、Rickie は Agnes を心から慰めて

'It's the worst thing that can ever happen to you in all your life, and you've got to mind it—you've got to mind it. They'll come saying, "Bear up—trust to time." No, no; they're wrong. Mind it—I did not come to comfort you. I came to see that you mind. He is in heaven, Agnes. The greatest thing is over.' (pp. 58-59)⁹⁾

(「あなたの一生のうちでこれほどの不幸がまたと起ろうとは思えません。忘れてはいけませんよ——忘れてはいけませんよ。人は『元気を出しなさい——時がたてば忘れまます』などと云いに来るかも知れませんが、とんでもないことです。忘れていけませんよ……あなたを慰めに来たのではなく、忘れて戴きたくないと思ってやってきたのです。彼は天にいます。最も偉大なことは終わったのです。)」

と云う。この言葉は Agnes がそれまでちんぱの、ひ弱い、汚らしい男の子と考えていた Rickie を初めて一人前の立派な男性として意識する重要なきっかけなのであるが、このなかの「最も偉大なこと」というのは Agnes と Gerald の愛の場面に Rickie が感じた厳肅さを讃嘆する形容詞であり、Stephen を「偉大」と呼んだ Ansell の場合と軌を同じくするものである。

Gerald は死後 Rex Warner の云うように「不自然に神格化されて」しまい⁹⁾、その人格は精神面と肉体面とに二分され、「歴史の Gerald」(Gerald of history) と「ロマンスの Gerald」

(Gerald of romance) になるのである。Agnes は Gerald が昔 Rickie をいじめた話を聞いて Gerald をたしなめはしたが、「遅ましい男の子の手にしっかりと押えつけられた弱々しい男の子を想像したとき、ぞっとするような歓喜を感じずるのだった。」つまり、Agnes が惹れていたのは Gerald の遅しい肉体なのであり、彼女にとって彼の体は偽ることのない真実であった。「ロマンスの Gerald」こそ Agnes にとっては生き生きと感じられる実在であったのだ。Dunwood House に酔って闖入した Stephen の体を見て Agnes が思わず Gerald の名を口走ったのは、このような「ロマンスの Gerald」への追慕の情だったのである。その意味で Gransden が

Dawes is sexually real, spiritually false, real as a lover but not as a man.¹⁰⁾

(Dawes は性的に真実で、精神的には偽りである。恋人としては真実で、人間としては真実ではない。)

と云ったのは正しいであろう。

主人公 Rickie は理想主義な、美に憧れをもつ、内向的な青年(その内向性はちんばであるという事実によって強められている)である。しかし、彼の誤りの第一歩は Agnes をこの上なく立派な女性であると考え、Agnes によって自分も向上し得ると考えたことにある。そして、この点で Agnes は彼の「病める想像力の主観的産物」(the subjective product of a diseased imagination)であった。彼が Gerald と Agnes の結婚資金として百ポンドの金を提供しようとしたとき、彼の云った言葉は Gerald の口を通してこう伝えられる。

He says he can't even marry, owing to his foot. It wouldn't be fair to posterity. His grandfather was crooked, his father too, and he's as bad. He thinks that it's hereditary, and may get worse next generation. He's discussed it all over with other Undergrads. A bright lot they must be. He daren't risk having any children. Hence the hundred quid. (pp. 55-56)

(彼は足のために結婚できないと云っている。子供が可哀そうだって。お祖父さんもちんばだったし、父親もそうだし、自分もそうだからね。彼はそれが遺伝だから、次代の子供たちにはもっとひどく表われるかも知れないと考えている。その問題については仲間の大学生たちと随分論じ合ったのだ。連中は頭がいいのだね。とにかく、彼は子供をもつことはしないそうだ。それで百ポンド呉れるというわけなのだ。)

この言葉自体のなかには一種の悲愴感があるのであるが、その後の Rickie は全くこの恐怖を忘れてしまわれかの如く振舞うのであり、Agnes と愛を誓う場面に於いても、結婚生活に於いても、その不安は全く触れられていない(この言葉は一時的な英雄主義から発せられたのではなかろうかという印象もその点から生ずるのであるが、それは作者に聞いてみなければ分らぬ問題であろう)。とにかく、Rickie には女性に対する強い憧れが見られるのであり、1人の女性と結合した喜びが自分の血を流れる遺伝への恐怖を忘れさせてしまったのであろうか。

Agnes と Rickie が Madingley Hall の近くにある白堊の小さな谷で愛を誓い合ったこと

は非常に象徴的である。何故なら、その谷は Rickie には「好きなことは何をやっても構わないが、やったことはすべて神々しくなってしまうような教会」であったからである。この谷に Forster の所謂「土地の霊」(genius loci)¹¹⁾を認めてよいと思われるが、この場所で2人が愛を誓ったことは、Rickie にはそれだけ余計に自分たちの愛の正当性を確信することになるのである。

Rickie が自分より年上の Agnes に愛を感じたのは、彼女に自分の母の面影を認めたからであろう。あるいは、母性愛を求めたからだと言った方が適切かも知れない。いずれにせよ、彼の母親に対する愛情はこの小説の全篇に貫ぬいていて、それが色々の点で Stephen に対する「偽り」を作るに至ったことも見逃せないのである。

今一つ Rickie に欠けていたのは、人を憎むことであった。もし、彼が Herbert を憎み、Agnes を憎んでいたら、事態は変っていたかも知れない。しかも、彼は人を憎まないばかりでなく、積極的に人を愛そうとした。Ansell のように、人を憎まぬことは犯罪であり、すべての人を愛しようとすることは不可能というよりも悪いことなのだと云い切ることができたら、彼の悲劇は生じなかったかも知れない。Forster は

Now, Rickie's intellect was not remarkable. He came to his worthier results rather by imagination and instinct than by logic. (p. 170)

(さて、Rickie の知性は素晴らしいものではなかった。彼は理論よりも想像力と本能とによって一段価値ある結果に到達するのであった。)

と書いた。そこに Ansell ほどの自信もなく、(生半可な知性のために) Stephen ほど徹底もできない原因がある。そして、彼の悲劇のものはそのような性格にあったと云えるのではなからうか。

(3)

この小説のテーマが real なもの (真実) と false なもの (偽善) との触れ合いにあるとする立場から、主な登場人物のなかにこの2つの性質を追ってきた。Agnes, Herbert, Failing 夫人にはそれぞれ異なった性格が認められるが、表面に表われるところは一致して「偽り」である。Failing 氏, Stephen, Ansell は real なものをもっている。殊に Ansell の知性に裏付けされた自信を伴った正義感と、自然児 Stephen の自己に忠実な真情とは対象をなすものであり、「real な存在」の二面と云える。だから、2人が Sawston でささいなことから喧嘩をして仲直りしたことは、知性と野性とが統一された意味をもつことであり、興味深いものがある¹²⁾。

Gerald は二面を持っており、精神面と肉体面とに分離されて考えられるようになって行く。そして、その精神面はあまり価値をもたないが、肉体面は少くとも Agnes にとって真実であった。その Gerald の価値のない面で価値をもち、彼の real な面で real でないのが主人公

の Rickie であると云えるだろう。ちんばでひ弱い Rickie の体は Agnes にとって何の魅力もなかったのであった。

主人公 Rickie は真実の世界と偽りの世界の両方に跨る存在である。Agnes や Herbert によって偽りの世界に引き入れられ、Stephen や Ansell によって真実の世界に呼びもどされる——それがこの小説の筋であると云えるだろう。彼は優しく、感受性に富み、理想に燃える青年であった。そして Sawston に於いて苦しんだ理由は

For Rickie suffered from the Primal Curse, which is not—as the Authorized Version suggests—the knowledge of good and evil, but the knowledge of good-and-evil. (p. 175)

(なぜなら、Rickie は「本源的な罰」を受けていたのであり、それは——欽定聖書の述べる如く——善と悪を区別できることではなく、「善にして悪なるもの」を知ることである。)

と与えられている。ここで云う「善にして悪なるもの」とは Forster 的な意味に於ける「偽善」に他ならないだろう。しかし、そうした立派な美德も能力も彼を一定の方向に安定させることはできなかった。彼の不安定性は全く彼の性格に帰因するものである。そして、Rickie は最後に Failing 夫人に向って「われわれの破局の原因は僕の性格にあるので、結婚にあるのではありません、」と云うのである。

Ansell について最後に一言しよう。作者が Rickie に抱いている限りない愛情と同情は、Ansell を通じてこの小説のなかに具体化されて行くのである。云い換えれば、Ansell の視線は作者の目なのである。そして、Ansell の真情は作者の胸中であり、Ansell の口を通して語られる人生哲学は作者の人生観なのである。その意味で、Rickie は作者の主観であり、Ansell は作者の客観であるとも云えるように思われる。

(注)

- 1) テキストには Penguin (1960) 版を用いた。以下引用文の最後に対した頁数はすべて同書のものである。
- 2) *Howards End* (Penguin, 1961) p. 28.
- 3) 評論集 *Abinger Harvest* (1936) の巻頭に収められている。
- 4) *Abinger Harvest* (Arnold, 1961) p. 11.
- 5) cf. 永嶋大典：中産階級と人間関係—E. M. Forster 論—(『英国小説研究』第五冊 (篠崎書林, 昭和 36 年) 所載。同書 p. 4 footnote)
- 6) 「愉しげではあるが明らかに取るに足らないこの情景が、実はこの小説が扱おうとするものを表わしている。つまり、実在—実在と見せかけ—に関係している。そして、『実在の』という言葉はこの小説中に幾度となく繰り返えられるのである。」—Lionel Trilling: *E. M. Forster* (The Hogarth Press, 1962) p. 67.
- 7) *ibid.* p. 73.
- 8) 「Rickie が Agnes に Gerald の死を忘れるなど強調するのは、イギリス人が感情を恐れることに対する非難であると同時に、悲劇の前には自由精神もなす術を知らないことに対する非難でもある。」Lionel

Trilling: op. cit. p. 22.

- 9) Rex Warner: *E. M. Forster* (多田幸藏訳) (研究社, 昭和31年) p. 20.
- 10) K. W. Gransden: *E. M. Forster* (Writers and Critics), (Oliver and Boyd, 1962) p. 51.
- 11) Forster にあっては、土地には霊があって人間の運命に関与するという思想がある。
- 12) Gransden は「Ansell と Stephen は実在の互いに補足的な二面となっている、」と云う。op. cit. p. 51. また、Lionel Trilling は「喧嘩の理由は馬鹿げたものであり、まるで小さな子供のように振舞う。このように、親しい友だちとなる前に知性と心情に肉体的喧嘩をさせるのは全く Forster 的である、」と云う。op. cit. p. 80.

参 考 文 献

上に引用した文献の他に下記文献を参考にした。

- 1) J. B. Beer: *The Achievement of E. M. Forster* (Chatto & Windus, 1962).
- 2) James McConkey: *The Novels of E. M. Forster* (Cornell University Press, 1958).
- 3) F. R. Leavis: *The Common Pursuit* (Chatto & Windus, 1958).
- 4) 飯沼馨編: *作家と政治* (研究社, 昭和33年).
- 5) 吉田健一: *英国の文学* (垂水書房, 昭和38年).

Extensive Reading のための Motivation に 関する若干の問題について

武 本 昌 三

Some Remarks on Motivating Extensive Reading for the Japanese Learner of English

Shozo Takemoto

Abstract

The development of a habit of reading English extensively and comprehensively for all students of English may well be one of the most important objectives of the English class at Japanese schools. Among Japanese teachers of English, however, the belief was once common, and possibly still lingers, that proficiency in reading is synonymous with the ability to read aloud and to translate word for word. Where this view prevails, the teacher feels bound to train all his students in the art of oral reading and of translation. The purpose of reading may, in consequence, degenerate into the mere ability to convert the printed signs into sounds with little, if any, understanding of the content of the reading material. Proficiency in reading, I presume, should be considered as transferring the idea from a printed page into our mind without consciousness of the language barrier. Reading as an end in English learning may thus be confined to extensive reading rather than to intensive reading. It is the purpose of this paper, therefore, to discuss the principles for motivating extensive reading and the most pertinent factors concerning ways in which the reading of the Japanese learner may be bettered.

Order of Discussion

1. Introduction	779
2. Appropriateness of Reading Materials	781
3. Cultural Backgrounds for the Materials	783
4. Developing Reading Skills	787
A. Comprehension of Word Meanings	787
B. Comprehension of Sentences and Paragraphs	790
5. Concluding Remarks	796

1. 緒 言

19世紀末頃から、外国語学習を能率化しようとする試みは、いろいろな modern method として示されて来た。しかしどんなにすぐれた method を用いたとしても、学習者の心理を無視しては決して効果的な学習結果は得られない。諺にもあるように、“One man can lead a horse to the water, but twenty cannot make him drink.” なのである。

Motivation は現代心理学の最も重要な概念の一つであると言われているが、英語学習においても特にこの motivation の重要性を強調しないものはない。一般に英語を学び始める頃の学習者は、殆んど一様に英語に対して強い関心をもってのぞむのであるが、半年、1年と経過していくうちに、学習者の間にはだんだんと学力の差があらわれ始める。その原因としては、英語教授法の mannerism, 教材の複雑化或いは無味乾燥といったようないろいろの要因が考えられるとしても、根本的には英語の習得課程における学習者の主体的要求と教授法との「ずれ」がその主な原因になっているのではないだろうか。その結果、かつての欧米でラテン語が或程度そうであったように、英語の学習はただ忍耐力を養うためだけの試練の場にもなりかねず、「英語がわからないから面白くない、面白くないからますます英語がわからない」という悪循環が始まったりするのである³⁾。

このような場合、「英語をわからせる」ということがしばしば第一義的に考えられ、そのために面白く、わかり易く教える工夫がいろいろと為されて来た。この種の工夫の大切であることは勿論否定出来るものではないが、それと同時に、否それ以上に、もっと根本にある学習者の主体的要求を引き出す、つまり学習意欲を起こさせることが考えられなければならない⁴⁾、これがとりもなおさず motivation の問題である。

Motivation は内的なものと外的なものに分けられるのが普通である。すなわち行動そのもの自体に関心をもって行動するようにすることが内的なものであり、外的なものとは、例えば、賞品や名声を得るために一定の行動をするというように、目的が行動の外にある場合である⁵⁾。

そこで英語学習における motivation を考えてみる場合、純粋に学習しようとする意志が刺激となることが最も大切であることはいうまでもない。真の学習は motivation が起されている程度において効果を有するのであって、外在的な興味はその時は面白くとも、英語そのものの学習にはあまり有益ではないことが実験的にも示されている⁶⁾。

それではこの英語学習の中で特に reading だけを取上げてみる場合、それに対する motivation にはどのようなものがあるだろうか、Hook はそれを次のように要約している⁷⁾。

- a) Each student should understand what reading can do for him.
- b) Each student should know how well he reads.
- c) Each student should know that his reading can be improved.
- d) Each student should be kept aware of his progress.
- e) Reading materials should be appropriate.
- f) The classroom atmosphere should be pleasant.

これはこのまま日本における外国語として英語の extensive reading 指導に際しても重点を移し変えてあてはめることが出来ると思われる。ただ外国語の場合、このほかに reading 用教材の社会的文化的背景について相当の知識を持つということが、motivation のためには殆ん

ど必須の要件になってくるであろう。本稿ではこれらの中、特に extensive reading に関して重要であると思われるものを重点的に取上げ、これから検討を加えてみることにしたい。それらは次の3点である。

- A. 適切な reading material の準備
- B. 教材の文化的背景に関する理解
- C. Reading skill に関する予備知識

2. 適切な Reading Material の準備

ここで取り上げる extensive reading のための教材としては、中学や高校の Reader のようなものは勿論考えていない。それらは英語の教材として必要な諸条件を出来るだけ取り入れるような配慮の下に編纂されているが、学習者の学力より一段低いレベルの Reader を使用する場合を除いて、extensive reading のためには不向きである。ここでは、高校等においては Reader よりもいわゆる副読本を、又比較的教材の選択範囲がひろく自由な大学レベルの教材を念頭においていくことにしたい。

Extensive reading のための適切な教材ということを考える場合、先ず問題にしなければならないのはその難易であろう。一般に教材の難易の問題は、学習効果と常に密接な関連性を持つ。教材があまりむづかし過ぎる場合には、学習者は多くの時間と労力を消費する割合には得るところが少なく、又反対に、あまり易し過ぎる場合においても、期待していた程の効果は得られ難い。Ausubel は更にこの問題を心理学的な面から次のように述べている。

Task difficulty also affects learning efficiency in other ways than by influencing amount and rate of learning relative to the effort expended. Excessively difficult material makes for an undesirably large number of initial errors and misconception that have to be unlearned; interferences with necessary intra-task mastery and consolidation in sequential learning programs; and depresses the learner's self-confidence, lower his motivations, increases his anxiety, and promotes task avoidance. Inappropriately easy material, on the other hand, fails to stimulate and challenge the learner adequately, fostering boredom and disinterest⁶⁾.

しかし extensive reading のための教材としては、原則的には易しいものでなければならぬであろう。この場合よく言われるように、学習者の持つ言語的条件と、精神年齢から求めているものとの間のギャップが問題になることが予想される。しかし易しい教材乃至は易し過ぎる教材であっても、それを数多く、速く読ませる練習を段階的に積み重ねていけば、その心理的効果と相俟って結局はむづかしい英文の理解ということに対しても short cut になるのではないかと考えられないこともない。ともかく extensive reading を指導する場合の教材はむ

づかしいものは不向きである。それでは教材の選択の際、その難易の程度はどのようにして判断すればよいか、若し客観的な基準を設定してこれを決めるといことになれば決して容易なことではない。

その際先ず考えられることは、学習者の持つ vocabulary がどの程度のものであるかを知ることであり、次に選択の対象となっている教材自体の持つ vocabulary の程度を知ることであろう。教材を語学面だけから眺める場合には、この2つがその難易を判断する殆んど決定的な factor になると思われる。

この中、前者については、東京都立九段高校で行なわれた次のような語い調査の方法が報告されている⁷⁾。

(Thorndike の表による 1, 2, 3 年生の語い調査)

Thorndike の表の中から 1000 語台、2000 語台、3000 語台、4000 語台、5000 語台、ときざんで下表のようにそれぞれ 20 語づつを全く機械的に pick up する。

- | | | | | | |
|---|----------------|----------------|------------------|-------------------|-----------------|
| ① | 1) add | 2) begin | 3) burn | 4) dark | 5) fall |
| | 6) hour | 7) late | 8) wind | 9) reach | 10) son |
| | 11) beast | 12) chief | 13) easy | 14) enter | 15) fact |
| | 16) labo (u) r | 17) narrow | 18) pain | 19) pull | 20) valley |
| ② | 1) apply | 2) breathe | 3) consent | 4) danger | 5) fence |
| | 6) gay | 7) handle | 8) include | 9) lead | 10) melt |
| | 11) pail | 12) observe | 13) particular | 14) quality | 15) range |
| | 16) satisfy | 17) scatter | 18) splendid | 19) unless | 20) wealth |
| ③ | 1) altogether | 2) bathe | 3) canal | 4) closet | 5) enclose |
| | 6) foundation | 7) hare | 8) ignorant | 9) ladder | 10) magnificent |
| | 11) package | 12) occupation | 13) perish | 14) prosperous | 15) shallow |
| | 16) spear | 17) tame | 18) wrath | 19) vein | 20) zeal |
| ④ | 1) agony | 2) bother | 3) cargo | 4) convention | 5) desperate |
| | 6) envelope | 7) fertile | 8) gild | 9) grin | 10) halt |
| | 11) lump | 12) moist | 13) nevertheless | 14) plough (plow) | 15) resolute |
| | 16) salute | 17) substitute | 18) twine | 19) visible | 20) yawn |
| ⑤ | 1) abolish | 2) avenge | 3) bait | 4) confident | 5) crouch |
| | 6) disgust | 7) feat | 8) enthusiasm | 9) gait | 10) grudge |
| | 11) lag | 12) namely | 13) peninsula | 14) radiant | 15) scour |
| | 16) steadfast | 17) tedious | 18) treaty | 19) vivid | 20) wedge |

これをテストとしてやらせてみた結果、20 点満点として、① (1000 語台) は、3 年生が 17 点、2 年生が 15 点、1 年生が 10 点、② (2000 語台) は、3 年生が 9 点、2 年生 4.5 点、1 年生 2.2 点、③ (3000 語台) は、3 年生 5.5 点、2 年生 2.8 点、1 年生が 1.6 点、④ (4000 語台) は 3 年生 2.6 点、2 年生 1.5 点、1 年生 0.3 点、⑤ (5000 語台) は 3 年生 1.3 点、2 年生 0.6 点、1 年生 0 点というような成績を示したという。

このような語いテストによって正確な vocabulary をうかがい知ることが出来るわけでは

勿論ないが、大体的見当をつけることは可能であるし、教材の選択のためのテストであれば、この程度のもので充分応用出来ると考えられる。

一方、教材自体が持つ vocabulary についても検討してみる必要があるが、これについては Harris が次のような方法を述べている。

A good sample of the total vocabulary of a book can be easily selected. In a book of 145 pages, a twenty-word sample can be taken by taking one word from every seventh page. In order to make it a random, unbiased sample it is desirable to decide in advance to choose each word from a particular position on the page. For example, one twenty-word sample can be taken by choosing the third word on the second line of pages 1, 8, 15, and so on. Equivalent samples can be chosen by starting on page 2, or by taking the word from a different line. No word that appears in the predetermined position should be left out because it seems unsuitable, except proper names, for then the sample would no longer be a random sample. A twenty-word sample is long enough for most teacher purposes⁸⁾.

この方法によって得られる sample は例えば次のようなものになるが、若し学習者がこれらの表の単語の中、3つ以上わからない単語があれば、その text は教材としてはその学習者に不適當であると Harris は言う⁹⁾。これは extensive reading の material 選択の場合にも、situation に応じて有効に応用出来る方法であると言えよう。

(sample の中、Grade 1 から Grade 5 までのもの)

Grade 1	Grade 2	Grade 3	Grade 4	Grade 5
another	clang	cheek	addition	accomplish
cry	fruit	reason	blizzard	commotion
hopped	quick	plain	compound	decorate
gate	teach	freeze	embrace	essential
snow	sound	knife	groove	marvelous
next	music	inch	introduce	grateful
bunny	often	moment	magic	population
thought	straight	president	nonsense	remarkable
well	dark	shovel	permanent	suggestion
running	cannot	whale	scratch	territory

この教材の難易の判断を誤れば、extensive reading を目標としていても、いつの間にか intensive reading に似て来て結局どっちつかずになり易い。この意味でも教材の選択の中では難易の判断が key point であるといえるであろう。適切な教材を選択するとすれば勿論このほかにも、言語学的或いは文学的な内容面からの検討が伴わなければならないのであるが、これらの点についてはここではふれずに次へ進みたい。

3. 教材の文化的背景に関する理解

Extensive reading そのものが、少なくとも英語学習の初級者向きではない以上、その

reading material の内容は、当然のことながらかなり高度であることも予想されなければならない。小説・劇などの文学作品、思索的な論文・随筆、歴史的なものなど、その多くのものが教材の背景となっている作者の生涯や思想、その作品が書かれた、或いは取り上げている、時代や場所の風物、生活・習慣等の文化背景に関する知識を持つことなしには十分な理解は望めない。語学的乃至は狭義の文法的知識の有無については殊更に強い関心が持たれがちな反面、本来もっとも重要でありながら軽視されて来たと思われるものは、英文の背後にある、政治・歴史・社会・文学・民族性等を全体として包含する限りない連想への関心ではないであろうか。英語指導がともすると無味乾燥に流れがちな一つの要因は、このような文化的背景についての知識に支えられない reading の継続が、学習能力に対する自信の欠如を招き、且つ motivation を阻害するからであると思われるのである。

今こころみに、次のような文章を考えてみることにしよう。

An eighteenth century Englishman would be right at home in a Tokyo coffee shop. [William Clark's Spoken American English p. 13]

この文章のポイントは would にあることは一読すればすぐわかることであるが、しかし、この would の用法を文法的に理解し得たとしても、それだけでこの文の真の意味を理解することは出来ない。「一体何故 18 世紀の英国人であって、19 世紀や 17 世紀であってはいけないのか？」という疑問がこの文章の要点である筈である。ここに至って学習者の眼は当然 18 世紀の英国の社会に向けられなければならない。

「17, 18 世紀を経て発達し来た工場制手工業が 18 世紀後半に至って産業革命にまで進展したことは周知の通りで、その結果は中世封建社会から自由と個人の尊厳との意識にめざめた市民社会の成立へと発展した。政治に対する関心も熱狂的なそれとなり、政治屋達はめいめい行きつけのコーヒー店へ集まって政論を事とした。時にそれが深夜にまで及んだのである。当時ロンドンにたちまち 2000 に及ぶコーヒー店が出来上ったといわれ、そこでコーヒーを飲むのは二の次で、しきりに政治その他を喧喧諤諤と論じたとあれば、18 世紀の英国人ならずとも外国には何処にも見られないという評判の高いオシボリまでサービスしてくれ、おまけにあらゆる種類の音楽まで聞かせてくれる日本のコーヒー店が最上の慰安と安らぎを与えてくれるものとする」¹⁰⁾ ことは容易に想像されるのである。

次は詩の例である。簡単な詩でむづかしい単語もなく、語学的に意味をとるだけであるならば中学生にも充分わかる。しかし、何故そうであるのかということがわからなければ詩のリズムの美しさを鑑賞するどころではなくなってしまう。

Bed in Summer

— R. L. Stevenson —

In winter I get up at night

And dress by yellow candle-light.
 In summer, quite the other way,
 I have to go to bed by day.

I have to go to bed and see
 The birds still hopping on the tree,
 Or hear the grown-up people's feet
 Still going past me in the street.

And does it not seem hard to you,
 When all the sky is clear and blue,
 And I should like so much to play,
 To have to go to bed by day?

この詩では Stevenson の生涯や思想、或いはこの詩へ書かれた動機等を知るよりも前に、何よりも先ず、Stevenson の生国 Scotland が北国であるために、冬は昼が非常に短かく、反対に夏は昼が非常に長く、日没後も暗くはならないで夕暮の状態が夜 11 時頃までも続くのだという予備知識があつてはじめて、この詩の真の意味や美しさが理解出来るのである。

このような例は枚挙にいとまがない。日本でわれわれが見たり聞いたり経験したりするものとは異なつた事物、風俗、生活習慣、思想等が reading material の内容になっているのが普通である以上、程度の差こそあつても、この教材の文化的背景の問題は reading に常につきまとう。厳密な意味では、例えば、house とか garden とかいうようなごく簡単な単語を考える場合にも、これらを簡単に、house=家、garden=庭、としてしまうことは危険が伴うと言わざるを得ない。ベッドで寝る以外は靴をはいたまま部屋の中を歩き廻れる欧米のレンガ造りの家は、タタミ、フスマの日本的木造家屋とは、家は家であっても内容はまるで違ふし、garden も日本式の庭を想像したら全く見当違いになるのである。

もともと、reading そのものが語学的な能力の向上と併せて、社会的文化的知識の涵養を目指さなければならない性質のものであるから、この両者は互いに相関関係にあらねばならないのは当然である。そしてこの相関関係の中で、文化的背景に関する知識が語学能力の向上に先行しなければならない場合と併行する場合の二つがあるといえるであろう。今ここで取り上げた二つの例は、この中、前者に属するものになるであろうし、後者に属するものとしては、例えば、次のような文が考えられる。

In Twentieth-Century America, Puritanism is the dead hand of a very unpleasant past. There is no joy in it, no light, no progress or hope of progress. It lives in moldy laws and unreasoning, unfeeling conventions. But in the Seventeenth Century this was not so. The Puritans were the innovators. They stood for liberty of thought, for freedom of personal belief, for the right of individual judgment.

Against them were arrayed all the forces which the modern Puritans cherish as allies—the established order, the king, the courts, rural ignorance, and social conservatism. To be a Puritan was to combat all these reactionary forces. To champion the individual against Church and State. To pit the liberalism of the city against incurable mental stagnation of the countryside. To fight for self-government against the Divine Rights of Kings. Puritanism shortly became more illiberal than ever its opponents had been, but that's the way with all successful heresies. Its spirit at the beginning was that of violent revolt against the past¹¹⁾.

語学的能力と教材の文化的背景に関する知識の向上——motivationはこの二つの相関関係が円滑に保持されることが期待されてはじめて学習者の中に育てられるものと考えられるであろう。このことは別の見方をすれば、教材内容の文化的背景に関する理解が深ければ深いほど reading は容易になり、ひいては語学力の向上にも資することを予想せしめる。従って reading ability の向上ということだけに主眼がおかれる場合は、学習者に与えられる reading material の内容は、学習者の連想を容易ならしめるもの乃至はその material の文化的背景に充分に通暁しているものを重点的にえらぶ配慮が為されなければならないことは自明の理である¹²⁾。

このような意味から reading material として先ず考えられるのは、その背景が地域的には学習者にとって最も身近かな、例えば日本に関するものであり、時代的には学習者との時間的な距離の少ない現代的なものである。その一例として次のような Hearm の文を取り上げてみたい。

But gradually, after an hour passed in the quarter, the eye begins to recognize in a vague way some general plan in the construction of these light, queerly-gabled wooden houses, mostly unpainted, with their first stories all open to the street, and thin strips of roofing sloping above each shop-front, like awnings, back to the miniature balconies of paper-screened second stories. You begin to understand the common plan of the tiny shops, with their matted floors well raised above the street level, and the general perpendicular arrangement of sight-lettering, whether undulating on drapery or glimmering on gilded and lacquered signboards. You observe that the same rich dark blue which dominates in popular costume rules also in shop draperies, though there is a sprinkling of other tints, —bright blue and white and red (no greens or yellows). And then you note also that the dresses of the laborers are lettered with the same wonderful lettering as the shop draperies¹³⁾.

このような文章の内容については一般に英米人より日本人の方が理解し易いのは当たり前である。日本人の学習者がこのような文章を読む場合には、自分の身の廻りの事物、自分自身の経験等による連想が強く働き、それが英文そのものの理解を助ける。われわれは通常、日本語を読むのであれば、わからない字、わからない語、或いはわからない句・文があったとしても、あまり意に介さず、すらすら読み進んでいく場合が多いが、それでいて、書かれてあるも

この内容を把握するのにあまり不自由を感じない。極端な場合、印刷の一部が不鮮明であったり、活字が脱落したりしていても、そこにあるべき語句がどのような意味内容を持ったものであるかを推測することは、そう困難ではないのである¹⁴⁾。英文の場合にも、特に今取り上げた例のような場合には、文章そのものの程度の差こそあれ、当然このことは当てはまらなければならない筈であろう。

普通、英文を読む場合、学習者の心理的負担は常に語学面と読む内容の背景に関する知識面との二通りに亘ることが考えられる。Extensive reading においては特にこの傾向は強い。しかしこの心理的負担は、そのどちらかの一方が軽減すればする程、reading に対する親しみと自信を倍加させるのに役立つ。それ故に extensive reading のための教材は、語学力のレベルがかなり高度のものになってからのことは別として、少なくとも初期の段階では、日本的なもの乃至は日本に関するものを選択する方が効果的であることは明らかである¹⁵⁾。

4. Reading skill に関する予備知識

「学問に王道なし」という言葉がある。Reading をマスターするにも王道はないであろう。しかしこのことは目標に到達する short cut がないことを意味するものではない。むしろ short cut の探究こそが英語教授法におけるさまざまな approach を生み出して来たと言えないであろうか。Extensive reading についても short cut の所在を示し、且つこれが available であることを知らしめることは、学習者の extensive reading に対する心理的負担を和らげるのみならず、motivation を高めるのにも役立つ筈である。この short cut のための reading skill にはいろいろなものが考えられるが、ここではその中最も基本的な単語の解理と文の理解について考察を進めて行きたい¹⁶⁾。

A. 単語の理解

Extensive reading とはただ単に、単語の継続的な認知を素早く行なうことを意味するものではない。それは単語の配列を一つの意味を持った idea として敏速に把握することであり、更にこれらの idea から思考課程の全体に通暁することを意味する。従って extensive reading の場合、単語の一つ一つを個別に意識するのではなくて、或るまとまった意味を持つ単語のグループをグループ毎に遅滞なく意識することが必要であるといえよう。しかしいづれにせよ、個々の単語についての知識を充分に持つことが不可欠の要件であり、この意味からも、英語指導における最も大きな関心事の一つは、単語の数をいかにしてふやすか、或いは、単語についての知識をいかにして深めるかという点にあるとも言えるであろう¹⁷⁾。これについてここでは次の2点を組み上げて考究してみたい。

a) Context による単語の理解

未知の単語が Context により推測出来る case は決して珍らしくはない。一般に注意深い

作家ならば文脈の中で重要な単語の意味がわかるような方法をいろいろ工夫して、読む者の心理的抵抗や誤解を少なくしようとするものだからである¹⁸⁾。例えばこれを日本文で示せば次のような文の場合である。

「文章の初心者には修辞学についての知識がないのが普通である。彼が受けた文章入門の勉強では、語句の効果的表現ということまではあつかわない。」

この例文で仮りに修辞学という言葉がわからないとしても、読む人が注意深く読み、文脈を見抜く力があれば「初心者」「知識がない」という言葉と、「文章入門の勉強」という言葉の間には密接な関係があることに気づくであろう。そしてこの関係に気がつくと、第2の文は第1の文の言いかえであろうと予想し、かくして修辞学というのは「語句の効果的な表現」ということに関係があるだろうと推定出来るのである¹⁹⁾。このような文章は英文の場合、例えば次のような種類に分類される²⁰⁾。

1. Definition による場合

文中の重要な単語はしばしば次の例文のように定義として、或いは定義ふうにくり返して述べられる。

Being equipped with cilia—that is to say, with little movable hairlike appendages—they are capable of swimming.

この場合、cilia=little movable hairlike appendages であるからおよその見当はつく。

2. Parallelism による場合

文中の単語の意味が、その前後に所在する類似的な語句により推測される形である。

It was a *heterogeneous* group, a combination of ages, sexes, colors, creeds, and races.

3. Contrast による場合

Parallelism の応用形の一つと見てよいであろう。単語の意味は説明語句の逆の意味で推測される。

Unlike her *gregarious* parents, she preferred to be alone.

4. Elaboration による場合

文中の或る単語について、例を挙げたり注釈を加えたりしてその意味を布延説明する形をとる。

Contrary to popular opinion, however, the only instruments of which he was literally the originator were the *pusilogia* and the sector. The former, based upon his discovery that the pendulum is a regulatable and dependable timekeeper, was a machine for measuring the pulse beat.

5. 文全体の意味から推測出来る場合

文中に未知の単語があっても、残りの文全体の意味が把握出来れば、問題の単語の意味は論理的に決まってしまう。

The fact that he preyed upon small, defenseless animals makes the act more *despicable*.

b) Word analysis による単語の理解

ラテン語やギリシヤ語の知識が英語の単語の理解及び vocabulary の増大に非常に有用であることは周知の事実であるが、しかしこの二つの言葉の習得が英語をマスターするための必要条件では勿論ない。ただこの二つの言葉に由来する接頭辞や接尾辞の知識だけは extensive reading という段階に入る前に是非身につけておくべきであると思われる。その結果単語によってはたとえ未知のものであっても、例えば geology ならば、

$$\text{geology} \begin{cases} \text{geo}=\text{earth} \\ \text{logy}=\text{science or knowledge of} \end{cases}$$

と語源的に分析することによって意味を推測出来なければならない。

Stauffer の接頭辞に関する研究によれば、The Thorndike Teacher's Word Book に含まれている単語の中、24 パーセントまでが接頭辞のついたものであり、又同書の 2 万語の単語のうち、接頭辞を持つ単語の 82 パーセントまでが次の 15 箇の接頭辞を持つものであるという²¹⁾。

ab (from)	de (from)	in (into)	re (back)
ad (to)	dis (apart)	in (not)	sub (under)
be (by)	en (in)	pre (before)	un (not)
com (witn)	ex (out)	pro (in front of)	

これに似たものでは Brown と Wright の共同研究があるが、彼等は普通の desk dictionary では約 14,000 語、又最もくわしい大辞典では約 10 万語が次の 14 箇の master word の少くとも一つ以上の element を含んでいるという。この element とは 14 箇の master word が含む二つのギリシヤ語系語根、12 箇のラテン語系語根、それに 20 箇の接頭辞のことである²²⁾。

Master-words	Prefix	Common meaning	Root	Common meaning
Precept	pre-	(before)	capere	(take, seize)
Detain	de-	(away, from)	tenere	(hold, have)
Intermittent	inter-	(between)	mittere	(send)
Offer	ob-	(against)	ferre	(bear, carry)
Insist	in-	(into)	stare	(stand)
Monograph	mono-	(alone, one)	graphein	(write)
Epilogue	epi-	(upon)	legein	(say, study of)
Aspect	ad-	(to, towards)	specere	(see)

<i>Master-words</i>	<i>prefix</i>	<i>Common meaning</i>	<i>Root</i>	<i>Common meaning</i>
Uncomplicated	un-	(not)	plicare	(hold)
Nonextended	com-	(together, with)	tendere	(stretch)
	non-	(not)		
Reproduction	ex-	(out of)	ducere	(lead)
	re-	(back, again)		
Indisposed	pro-	(forward)	ponere	(put, place)
	in-	(not)		
Oversufficient	dis-	(apart from)	facere	(make, do)
	over-	(above)		
Mistranscribe	sub-	(under)	scribere	(write)
	mis-	(wrong)		
	trans-	(across, beyond)		

このような element を手掛りとする word analysis の方法は、前述の如く学習者には extensive receding の段階に入る前に充分に理解させておかねばならない。未知の単語を辞書により丹念に調べることももとより大切であるが、extensive reading の場合には辞書に頼るよりもこのような方法による単語理解の方向により多く関心が向けられるべきであるかも知れない。McKee もこのような word analysis の方法を早く身につける必要性を説いて次のように述べている。

……any one of certain structural elements which need to be taught—a suffix such as *ed, es, ing* added to a base word to make a variant—will be taught as soon as the lists of words already learned by sights includes two or three words which contain that element and which, therefore, can be used for introducing the element²³⁾.

B. 文 の 理 解

学校で reading を取り扱う場合、一般に中学のレベルより大学のレベルに至るまで、学習者に対しては英文の一つ一つを読んでは訳すという作業のくり返しを要求している場合が多い。その結果 Jespersen の言うように、He (the learner) is too apt to get the impression that language means a collection of words which are isolated and independent, and that there must be a corresponding word in his native tongue for each new foreign word that he learns²⁴⁾. という風になりがちである。そして無理をしながら英文をすべて日本語に置きかえることによって英文を読んだことにしているのであるが、これは reading の本来の姿とは異質のものである。悪習と言わざるを得ないであろう。教室での訳読は原文を正しく理解しているかどうかをためすための一手段にすぎず、訳読主義的な読み方の習慣は、extensive reading の場合には特に、障害であるとさえ言えると思う。

従来の訳読主義の場合には、例えば学習者は、英文の一つの paragraph を読み終えた時点

で、その英文を理解しているのではなく、一度読み終えた英文を、また最初に戻って日本語に置きかえ始めた時に、その英文を理解し始めることが多い。つまり最初に読むのは reading ではなく、ただ音声を発しているだけなのである。しかも、一字一句の訳語にこだわるあまり、個々の文を日本語に置きかえることが出来ても、paragraph 全体の大意はさっぱり掴めていないことが少なくない。英語教授のあり方がこのようなことのくり返しであるならば学習者は何年たっても英字新聞一つろくに読めないのは当たり前である。このようなことから extensive reading は英語教育全体の中で今後もっと強い関心が示されなければならない一つの課題であるといえよう。

Extensive reading において文全体の意味を素早く理解するためには、何よりも先ず、そこに含まれている main idea を掴むことが肝要である。しかしこの main idea を掴むためには、必ずしもその文全体を構成している単語をすべて理解していることを必要とはしない。これは前述の reading material の文化的背景にも関聯してくることはあるが、日本文の場合にあてはめて考えてみれば容易に理解出来る。

例えば今ここに少し文体は古いが、5・15 事件で亡くなった犬養毅が「怨」を説いている次のような文がある。

「吾十四歳にして父を喪ひしより困苦の中に修学し成長し、既にして世に出て政事に關係せしより長らく逆境に居り、世の寒苦辛酸を嘗め尽したるが故に、人に対する毎に、若し吾身此境遇に在らばと思ひやるが故に、未だ曾て僕婢などを叱罵したることあらず。吾子孫も亦此心を以て人に接せんことを望む。此心が即ち怨なり」²⁶⁾

これを読んで怨とは何であるかを理解するのに、文体の古さや、漢語調や、見なれない漢字の使用などがそう苦になることはないであろう。要するに、「自分は苦勞を重ねて来たから、他人に対する思いやりの気持を強く持つようになり、僕婢などを叱罵したことがない」というのであって、自分がどのような種類の苦勞をして来たかということは、ここでは重要ではない。(吾身此境遇に在らばと思ひやるが故に) 僕婢などを叱罵したことがない、というのがこの文の main idea であって、この場合の怨も、殆んどこれだけで言い尽くされているとも言えるのである。つまりこの文では、十分に理解していなければならない単語はいわば局限されているのであるが、英文の場合、学習者はこのような単語の重要性の比重に関係なく、未知の単語に出合う度毎にそこで立止って辞書を引くという一種の無駄をくり返しているのが普通である。Extensive reading は先ずこのような無駄を無くすことから出発しなければならない。

英文を速く読むということは、それだけ読んでいる英文の理解力が弱まることを意味しない。むしろその逆であって、speedy reading は speedy comprehension でなければならない筈のものである。それではそのためにどのような読み方をすればよいか、その方法について Stroud は、その著書 *Improving Reading Ability* の中で次のように suggest している²⁶⁾。

1. Try to get the central thought of the paragraph without careful reading of every word or even every sentence.

2. Examine paragraphs for the “tightness” of construction. If a paragraph represents a unit of thought, somewhere within it is a core or key sentence which expresses that thought. Some paragraphs are composed of a clearly stated topic sentence and tightly woven subordinate ideas; others are loosely constructed, using detail or illustration to supplement or expand the main idea.

3. In study-type reading it is often advisable to keep a pencil in hand; check an occasional phrase or sentence which expresses clearly the thought of the paragraph. This can be especially helpful in reviewing what you read. It also helps to keep your attention focused upon the main task of reading.

4. It is your responsibility to find the main idea in the paragraph. Here are suggestions which may help you:

a. Read carefully one or two paragraphs at the beginning of a selection you may be reading to learn what the writer is saying or the direction in which he is pointing his ideas.

b. As you continue to read, look for the topic sentence, usually at the beginning or end of the paragraph. If it's not there, read for the parts that contribute on the main idea.

c. Watch for a repetition of the main idea. Repetition is used to emphasize the importance of the reader's grasping the main idea.

d. Examine the author's summary and note how he ties his ideas together. If you've done a good job of reading, the author's summary should be the same as your own mental organization of the main ideas of the selection.

このような extensive reading の方法を習慣づけるためには、従来の訳読式教授法が不当であることは明白である。学習者に対しては全文を訳させたりすることの代わりに、例えば英文を読み終えた時点において、その英文を見ることなく直ちにその内容を summarize させる、というような練習が効果的であろう。そしてその場合必要なことは、英文を読みながら summarize するために重要である語句をそうでないものから区別して素早く読み取ることである。それではここに言う「重要である語句」とはどのようなものをいうのであろうか。英文がその構造上、(1) 主要素 (Essential Element), (2) 従要素 (Subordinate Element) 及び (3) 遊離要素 (Absolute Element) の三つに分けられるとすれば、おのずからそれは主要素を意味する。すなわち、主要素の subject 及び predicate を文中で適確に捕えることが内容理解の重要な key となるのであって、他の二つの要素に属する、modifier, connective, parenthetica 等は主要素理解のための副次的あるいは補助的なものとして扱うのである。

例えば Hearn の焼津での想い出を書いた文の中に次のような一節がある。(すでに述べたように、日本的な題材を扱っている英文は、situation の類似性により、学習者の経験と想像力が内容理解を助けるという意味において、特に extensive reading の初歩の教材として適当で

ある。)

The big boats with holy texts at their prows are not the strangest objects on the beach./Even more remarkable are the bait-baskets of split bamboo—baskets six feet high and eighteen feet round, with one small hole in the dome-shaped top./Ranged along the sea-wall to dry, they might at some distance be mistaken for habitations or huts of some sort./Then you see great wooden anchors, shaped like plough-shares, and shod with metal; iron anchors, with four flukes; prodigious wooden mallets, used for driving stakes; and various other implements, still more unfamiliar of which you cannot even imagine the purpose²⁷⁾.

この paragraph は 4 つの文から成立っているのだから、先ずこの 4 つの文を切離し、それぞれの文の中で subject と predicate を見つけ出す。そしてそれら以外の modifier 等は一応出来るだけ無視してこの 4 つの文の骨格だけを浮かび上らせるようにする。そうすればそれらは大体次のように単純化されてしまうであろう。

1. The big boats are not the strangest objects.
2. (Even) more remarkable are the bait-baskets.
3. They might be mistaken for habitations or huts.
4. (Then) you see (great) wooden anchors, iron anchors, (prodigious) wooden mallets, and (various) other implements.

この 4 つの文をつなぎ合わせて読むだけで、原文全体の summarization は殆んど可能である²⁸⁾。これに理解出来る範囲内で modifier をつければ、summarization は更に適確になっていくであろうし、わからない単語があっても互いに意味を相補って学習者の理解を助ける。例えば ploughshare はその形状が anchor と似ていなければならず、又 mallet は used for driving stakes でだいたい想像はつく。

このような summarization の方法を身につけるということは恐らく extensive reading の最も基本的な technique の一つであろうと思われる。訳読式とは全く異なった reading attitude を要求されるだけに、学習者を summarization に習慣づけようと試みるためにはさまざまな工夫と練習が要求されるであろう。以下そのような試みのために考えられるいくつかの類似の方法を挙げてみたい²⁹⁾。

a. Choosing the best general statement:

これは 1 つ又は 2 つ以上の paragraph を読ませて、その内容を最も適確かつ包括的に表現している文をえらばせる方法である。ある 1 つのまとまった英文を読ませて、その題目をいくつか与えた中からえらばせる方法もこの type に属するであろう。general statement をえらばせる場合には、題目の代りに the best general statement を含んだいくつかの文をあらかじめ用意しておかなくてはならない。次に示すのはその一例である。

Reading :

If a broad-minded modern scholar were to turn the clock back some seven hundred years and find himself in Paris at the middle of the Thirteenth Century, his first sensation would be delight at the intensity of intellectual activity. The scholars were the men of the hour. The church governed most of the activity of the city, and its leaders were men whose thoughts were among stars. The most promising road to fame led through the university, and this road was open to all. From the ends of Europe they gathered. If a monastery, cathedral school, or the court of a distant noble produced a young man with promising intellect, he'd be provided with funds, books, and letters of introduction and shipped off to Paris for the glory of learning and the reputation of his province. The political conflicts of the feudal world were heard at Paris as only a distant rumble. The scholars walked two by two along the banks of the Seine, thinking high thoughts and living in a paradise of intellectual detachment³⁰⁾.

Answers :

1. Intellectual activity was the dominant note in the Thirteenth Century.
2. The church governed most of the activity of Paris during this period.
3. Intellectual activity in Paris was hampered by the political conflicts of the feudal world.
4. Education in the Thirteenth-Century Europe was for the masses.
5. Scholars walked two by two along the banks of the Seine, living in a paradise of intellectual detachment.

b. Asking questions :

Paragraph によつては best general statement をえらばせる代りに, paragraph の内容そのものを答えとする最も適当な質問をえらばせることも出来る。この場合も質問を予めいくつか作っておくのであるが, このような準備なしに, 口頭又は筆答で, 最も適当と思われる質問を1つ作らせてみるのもよいであろう。

Reading :

The child is not just young—it is not simply a matter of his having lived a shorter time than the adult. The fact that we should always keep in mind in considering children is that they are in complete beings, that they are growing and developing, that they are men in the making, and the making is a very active process. Roughly speaking, this activity is in inverse ratio to the age of the child. For example, there is a greater difference between a child of five and one of two than there is between a child of five and one of eight. Again, there is a greater difference between a child of ten and one of fifteen than between a man of thirty and one of forty. These differences express themselves not so much in variations of size or form but most distinctly in function, that is, in the varying ability of the individual to adapt himself to his environment. In short, the most marked difference between the child of three and that of five, and the child of five and

one of eight, lies in the capacity for social adaptation of each one, and this is equally true all the way along the ladder of years³¹⁾.

Question :

1. Can the young child properly be thought of as a miniature adult?
2. What are some of the salient characteristics of the growth of children?
3. What stages of growth are marked by the most rapid change?
4. What is the most significant difference between a child of eight and one of five?
5. Is learning involved in what is meant by child growth?

c. Graphical representation :

summarization の変形とも言えるもので、口頭で述べたり、書いたりすることの代りに図示させる方法である。例えば地形、家屋の構造、物の形など。次のような文の場合に適用出来るであろう。

Example :

Hamaguchi's big thatched farmhouse stood at the verge of a small plateau overlooking a bay. The plateau, mostly devoted to rice culture, was hemmed in on three sides by thickly wooded summits. From its outer verge the land sloped down in a huge green concavity, as if scooped out, to the edge of the water : and the whole of this slope, some three quarters of a mile long, was so terraced as to look, when viewed from the open sea, like an enormous flight of green steps, divided in the center by a narrow white zigzag—a streak of mountain road. Ninety thatched dwellings and a Shinto temple, composing the village proper, stood along the curve of the bay ; and other houses climbed straggling up the slope for some distance on either side of the narrow road leading to the Choja's home³²⁾.

d. Matching sentences :

One paragraph 又は一定の長さの文を与え、意味の上からそれに接続するような英文を、いくつか与えられた中から一つえらばせる。えらばせるために準備する英文の長さや数は reading のレベルに応じて適当に定める必要がある。

e True-false および Multiple-choice :

読ませた英文の内容に関する statement を与え、それが正しいかどうかを答えさせたり、内容に関する質問のいくつかの答えの中から、正しいものをえらばせる方法である。これについてはあらたに説明をつけ加えるまでないであろう。あらゆる種類の英文に対して、内容に関する理解力を強めるような extensive reading の方法を促すために、この方法は利用し易い。

5. 結 語

筆者は、わが国における英語学習の目標として普通考えられている4技能 (hearing, speaking, writing, reading) の習得の中、学習者の事情による特殊な場合を除いて、reading ability が最も重要視されるべきであるという意見を持つている。Hearing, speaking, writing を軽視してもよいという意味では決してないが、日本語を母国語とする学習者が英語を学ぶ際のさまざまな客観的条件を考えても、reading を中心とした学習法にもっと関心が持たれて然るべきではないかという気がするのである。もっともここでいう reading とは interpretation の意味で translation ではない。すなわち本来在るべき姿での reading である。

Jespersen は「言語学習の最も高い目的は、外国民及びその文学・文化、一口にいえば最も広い意味におけるその国民精神の最もよき思想や制度に接することである」³³⁾ と言っている。このような目的のためにも reading は最も大切な手段であらねばならない。そして又当然のことながらこのような目的のためには extensive reading の能力が要求される。本稿で述べて来たことも、このような extensive reading への一つのアプローチを motivation を手掛りにしてこころみたものにほかならない。

英語の知識は、速く読めることによってはじめて使・い・も・の・に・なるとよく言われる。Extensive reading は結局は使・い・も・の・に・なるとよくなる reading のもっとも代表的な形であるわけであるが、そのためにも reading speed は重要な要素として学習課程で十分に考慮されなければならないであろう³⁴⁾。薄っぺらな本1冊を、一字一句辞書に頼りながら半年も1年もかかってやっと読み上げるといふ reading の方法が(そのような方法も重要であるには違いないが)、英語学習の全課程で何時までも行なわれていることの少なくない今日、extensive reading の重要性を改めて強調しておくことは無駄ではないと思われる。

(注)

- 1) 欧米における学校教育で外国語としてのラテン語学習が、少なくとも今世紀に入る頃までは、教養だけではなく、精神修養的な要素が強かったことは否定出来ないであろう。Iona and Peter Opie の *The Lore and Language of Schoolchildren* には、ラテン語を学ぶ生徒の次のような“epithet”が示されている。

Latin is a subject
That no one enjoys,
It killed the ancient Romans
And now it is killing boys.

- 2) この点に関して R. Lado は言語そのものに対する本質的興味 (Intrinsic Interest) をいかに維持し強化するかということが特に学習の初期の段階において重要であることを述べ、その方法について若干の suggestion を与えている。R. Lado, “Maintaining Interest”, *Selected Articles from Language Learning*, Series 1 pp. 59-61.

- 3) 坂本一郎ほか、言語心理学, p. 81.

教育上子供の興味を重視すべきであるとの思想は、ルソーやペスタロッチによって叫ばれ、ヘルバ

ルトに至って彼の教育学の中に体系づけられた。しかし波多野完治氏はこのヘルバルトの興味を二つに分け、自分の持っている goal に内在している balance (inducing power) を motivation と名づけ、goal に外在的なものを interest であるとしている。そして、例えば、文法の授業を面白くしようとして先生が、しゃれやじょうだんをまじえながら講義したとすれば、これは興味にうったえたのであり、生徒に外国語学習をとおして文法の意味をわからせておいて説明したとすれば motivation にうったえたことになるという。波多野完治、現代の言語心理学、牧書店、昭和32年、p. 233 参照。

- 4) 波多野完治、同上書、p. 233.
- 5) J. N. Hook, *The Teaching of High School English*, The Ronald Press Company, Now York, 1950, pp. 66-70.
- 6) D. P. Ausubel, *The Psychology of Meaningful Verbal Learning*, Grune and Stratton, Inc., New York, 1963, pp. 211-212.
- 7) 東京都立九段高校英語科, “読むことの指導と役立つ英語” 英語教育, 大修館書店 1962年4月号, p. 51.
尚 Vocabulary Test についてはアメリカでいろいろな種類のものが考えられているが、英語を外国語として学ぶ者にとっては程度が高過ぎるのが難点である。その中次のものは比較的使い易いのではないかと思われる。William Morris, *It's Easy to Increase Your Vocabulary*, Harper and Brothers., New York, 1957, pp. 5-8.
- 8) Albert J. Harris, *How to Increase Reading Ability*, Longmans Green and Co., Ltd, London, 1961, p. 197.
- 9) Albert J. Harris, 同上書, p. 199.
- 10) 中村敬, “語学教育と背景の知識の問題”, 英語教育, 大修館書店 (Vol. XII, No. 4) 1963年7月号, p. 12.
- 11) Jonathan N. Leonard, *Crusaders of Chemistry*, Doubleday, Doran and Co., Inc., New York, 1930, p. 143.
- 12) この連想の作用を特に重要視したのは Sweet であった。彼は言語の学習は連想の養成であると次のように述べている。
The whole process of learning a language is one of forming associations. When we learn our own language, we associate words and sentences with thoughts, actions, events. Sweet: *The practical Study of Languages*, p. 103.
- 13) Lafcadio Hearn, *My First Day in the Orient* より。
- 14) 例えば国語の試験問題などで、文章の一部を空欄にしてそれを埋めさせるものがあるが、この種の問題の場合、その日本語が相当高度のものであっても、それを読む者は正確な意味内容の語句を挿入することを期待される。
- 15) 例えばわが国で用いられている高等学校の英語教科書を検討してみても、O. Henry に次いで多く採られている作者は Hearn であって、Mujina, The Village Hero, Kusahibari 等が多数の教科書に出ている。しかも O. Henry の作品の方は、読み易いように殆んど例外なく多少の書きかえが為されていることを考えれば、教科書編集者の意図している所も、ここで述べているような所にあると言えよう。葉山茂, “高校教科書の内容研究”, 英語教育, 大修館書店 (Vol. XIII, No. 1) 1964年4月号, pp. 51-52 参照。
- 16) 例えば reading の際の眼球の動かし方, eye spans の問題など reading speed を上げるためには非常に重要であるがここでは割愛する。
- 17) この点に関しては Harris も次のように述べている。
The ability to recognize words quickly and accurately is fundamental to success in reading. This is so obvious that for many centuries teachers of reading were preoccupied mainly with the teaching of word recognition. Albert J. Harris, 前掲書, p. 315.
- 18) 但しこの Context による方法にあまり頼り過ぎることは弊害をもたらす、と Harris は次のように言う。
As with other techniques, the use of context is valuable, but can become a handicap if the child learns to rely on it too heavily. Albert J. Harris, 前掲書, p. 317.
- 19) 平井昌夫, 語い指導, 明治図書出版, 1962年, pp. 60-70 参照

- 20) Stroud et al. *Improving Reading Ability*, Appleton-Century-Crofts, Inc., New York, 1956, p. 33 参照。
- 21) Russel G. Strauffer, "A Study of Prefixes in the Thorndike List to Establish a List of Prefixes that Should be Taught in the Elementary School" *Journal of Educational Research* 35 (February, 1942) p. 445.
- 22) James I. Brown and Eugene S. Wright, *Manual of Instruction for Use with the Minnesota Efficient Reading Series of Tachistoslides*. Keystone View Company, Meadville, Pennsylvania, 1957,
- 23) Paul Mckee, *The Teaching of Reading in the Elementary School*, Houghton Mifflin Company, Boston, 1948, p. 200.
- 向アメリカの小学校での実験では、Vocabulary を増大させるための勉強方法として、synonym や antonym の記憶を強調し word lists を使わせるやり方が、いろいろの方法の中で一番効果があったという報告がある。Marguerite Jenkins, "Vocabulary Development: A Reading Experiment in Seventh Grade English". *Peabody Journal of Education*, 19 (May, 1942) pp. 347-351 参照。
- 24) Jespersen: *How to Teach a Foreign Language* p. 16. 飯野至誠, 英語の教育, 大修館書店 1960, p. 49 参照。
- 25) 犬養健, "父犬養毅を憶う,, 中央公論, 昭和7年8月号所載。
- 26) J. B. Stroud et al. 前掲書, pp. 77-78.
- 27) Lafcadio Hearn, *At Yaidzu* より。
- 28) 短文に慣れた眼で長文の extensive reading 用教材に接する場合には心理的負担又は抵抗が感じられるであろうことは想像に難くない。従ってこのような summarization のための方法へ導入する一つの過程として、例えば次のような同じ story でも (A) の形を (B) の形で読めば心理的抵抗が少なくなることを理解せしめておくことも考えられる。
- (A) One day a young frog said to its father, "Father, I saw a very big animal this morning. It was much bigger than you". The old frog said, "That was White's horse". I can make myself as big as the horse". The old frog started to blow himself out.
- (B) 1) One day a young frog said to its father.
2) "Father, I saw a very big animal this morning".
3) "It was much bigger than you".
4) The old frog said.
5) "That was White's horse".
6) "I can make myself as big as the horse".
7) The old frog started to blow himself out.
- 29) 武本昌三, "Reading の指導法について" 英語教育, 大修館書店, Vol. XII, No. 4) 1963年7月号, pp. 14-17 参照。
- 30) Jonathan N. Leonard, 前掲書, p. 81.
- 31) Austen Fox Riggs, *Intelligent Living*, Doubleday and Co., Inc., New York, 1929, p. 81.
- 32) Lafcadio Hearn, *A Living God* より。
- 33) Jespersen: *How to Teach a Foreign Language*, p. 9., 飯野至誠, 前掲書 pp. 2-3 参照。
- 34) この reading speed の問題は extensive reading の場合特に重要であることは言を俟たない。普通 oral reading の speed は教育ある米英人で一分間 130 語から 180 語である。このことより日本の学生を指導する場合の目標は、一分間 130 語程度とするのが妥当と言えるかも知れない。しかしこれは一応最終目標として、大学生の場合は一分間 120 語、高校生は 100 語、中学校は 80 語程度の目標をたてるのが無難のように思われる。又 silent reading の速度は、教育のある米英人で一分間 250 語から 300 語である。しかし訓練によっては最低 500 語から 1000 語に達すると言われている。日本の学校教育における最高目標を一応 250 語とすると、普通は 150 語から 200 語程度の speed が妥当であると思われる。小川芳男, 英語教育法, 国土社, 1963年, pp. 61-62 及び Stroud et al. 前掲書, p. 3 参照。

Basal Relativities in the Space X

Yoshio Kinokuniya*

Abstract

The space X , expounded in the previous papers^{1),2)}, is reinvestigated from the viewpoint of 'hypothetical objectification' so as to establish a renovated system of logical rudiments. 'Trans-induction' is a specially important notion, which is posited as a renovated modification of 'transfinite induction'. Basis of a subspace is classified according to several properties, by which relativities among subspaces may be distinctly observed. It may be most characteristic of our theory that we do not use any state to be satisfied 'almost everywhere'.

1. Hypothetical Objectification of the Space X

The space X is given as a linear space, which is the aggregation of such vectors that

$$x = (x(\xi))_{\xi \in \mathcal{E}}$$

$x(\xi)$ being ξ -component of x , complex-valued. \mathcal{E} is called the (coordinate) indication of X , and is thought as a metric space provided with a normal measure $\tilde{\mu}$, by which $\tilde{\mu}\mathcal{E}=1$. Density of the set \mathcal{E} is firstly assumed to be larger than enumerability.

If p_ξ is the probability that

$$0 \leq \arg x(\xi) < 2\left(1 - \frac{1}{n}\right)\pi \quad (1.1)$$

then

$$p_\xi = 1 - \frac{1}{n}$$

provided that $0 \leq \arg x(\xi) < 2\pi$. Therefore, if p is the probability that (1.1) is observed for all $\xi \in \mathcal{E}$, we may have

$$0 \leq p \leq \lim_{v \rightarrow \infty} \left(1 - \frac{1}{n}\right)^v \equiv \textcircled{1}.$$

Moreover, it may be written as

$$\log p \leq m_{\mathcal{E}} \cdot \log \textcircled{1}, \quad (1.2)$$

denoting by $m_{\mathcal{E}}$ the density of \mathcal{E} . As $m_{\mathcal{E}}$ is larger than enumerability, the quantity p cannot be taken as a practically realizable one to make a probability, when we deny that

* 紀 國 谷 芳 雄

$$p = \odot (\text{empty null}^{2,3}).$$

(1.2) is consequently thought to stand on the same ground as the non-practical meaning implied in *Zermelo's* axiom of choice. Thus it seems that we must give up defining the space \mathbf{X} within the practical observation.

We firstly define \mathbf{X} as such that

$$\mathbf{X} \ni x \times x = \mathfrak{S}x(\xi) \partial_\xi \tag{1.3}$$

∂_ξ being the characteristic function of the point set $\{\xi\}$. Such a definition may be taken as a *hypothetical objectification* of the space \mathbf{X} . (1.3) may mean that \mathbf{X} is the aggregation of vectors of which all the components are finite complex numbers, and that may answer our purpose well. However, it may be said that we here restrict the axiom of choice to be but once used in the formulation (1.3). So, the hypothetical objectification is, in effect, a sort of pure formularism.

When we test computations to build up a course of analysis on the space \mathbf{X} provided with the fundamental formulation (1.3), we shall find that many things are still left undecided. On the ground of metrization in the space \mathcal{E} , we introduce a scalar product $(|)$ in the form

$$(x|y) = \mathfrak{S}x(\xi) \overline{y(\xi)} \mu_\xi (\mu_\xi = \mu), \tag{1.4}$$

which naturally accompanies the norm $\| \|$ by the relation

$$\|x\|^2 = (x|x).$$

Then, the following three cases may be cited for our criticism: (i) $(x|y) = \infty$, (ii) $(x|y) = \triangleleft$ (infinitesimal) and (iii) $(x|y) = \text{indefinite}$. From our viewpoint, the case (i) is not thought critical, as it gives but a very natural state in which the value of $(x|y)$ is computed as larger than any finite stretch. It will make a characteristic point of our theory that we regard the infinitesimal quantity \triangleleft as but a basic element of computation. In effect, we compute it as

$$\|\partial_\xi\|^2 = \mu (= \triangleleft).$$

So, we cannot identify the quantity \triangleleft with the usual zero, and this is one of the reasons why we introduced the symbol \odot , say *empty null*^{2,3}, which will be used instead of zero, in our analysis. Lastly, only the case (iii) is left to make a truly singular case. Thus gradually, the course of our analysis is proceeded and this will make the way of our hypothetical objectification, too.

With respect to a family of vectors $(z_\lambda)_{\lambda \in A}$ in \mathbf{X} , if a vector z defined as

$$z = \mathfrak{S}z_\lambda \tag{1.5}$$

is really a vector in \mathbf{X} ,

$$\mathfrak{S}_{\lambda \in A} z_\lambda(\xi) \tag{1.6}$$

must be a finite complex number for any $\xi \in \mathcal{E}$, because $z(\xi)$ must be so for any

ξ . Besides, the summation (1.6) should generally be understood as of random proceed. So, we shall naturally conform to the riemannian law i.e.:

$$\textcircled{C} \sum_{\lambda \in A} |z_\lambda(\xi)| \text{ be convergent.}$$

Such being the case, we may reach the following conclusion.

Proposition. 1.1. *For the case that the vector z defined by (1.5) is a vector in X , it is necessary and sufficient that the set*

$$A_{(\xi)} = \{\lambda : z_\lambda(\xi) \neq 0\}$$

is at most enumerable for any $\xi \in E$ and the summation

$$\sum_{\lambda \in A_{(\xi)}} |z_\lambda(\xi)|$$

is convergent for any $\xi \in E$.

$(y_\lambda)_{\lambda \in A}$ be a family of vectors in X . If

$$\textcircled{C} c_\lambda y_\lambda = 0 \triangleright c_\lambda = 0 \text{ for each } \lambda$$

(c_λ) being a family of finite complex numbers, (y_λ) is called a (*linearly independent*) *system of vectors* (in X). Orthogonality between two vectors x and y

$$x \perp y$$

is defined by the relation

$$(x|y) = \textcircled{0}^*.$$

If a system (y_λ) implies the relation

$$y_\lambda \perp y_\kappa$$

whenever $\lambda \neq \kappa$, then (y_λ) is an *orthogonal system*.

When we write it as

$$0 < q < \infty$$

q cannot be an infinitesimal. But, when we write it as

$$\textcircled{0} < q = \textcircled{\Delta}$$

q is a positive infinitesimal; and when

$$q = 0$$

it means that

$$q = \textcircled{0}.$$

The integral

$$\tilde{\mu}(f) = \textcircled{C} f(\xi) \mu_\xi = \textcircled{C}_{f(\xi) < 0} f(\xi) \mu_\xi + \textcircled{C}_{f(\xi) > 0} f(\xi) \mu_\xi$$

* In this relation x or y or both of them may be of infinite norm.

lays a foundation for our analysis. This integral is not exactly of a practical category. For any partition of \mathcal{E} (\mathcal{E}_λ), the integral decomposition

$$\tilde{\mu}(f) = \mathfrak{S}_\lambda \left(\mathfrak{S}_{\mathcal{E}_\lambda} f(\xi) \mu_\xi \right)$$

is generally assumed to be possible. As it is, this integral is essentially of a hypothetical sort of category so that, if any contradiction occurs, the use of $\tilde{\mu}(f)$ shall be thereby stopped.

If \mathbf{Y} is a subset of \mathbf{X} and

$$x, y \in \mathbf{Y} \triangleright \alpha x + \beta y \in \mathbf{Y}$$

for any pair of complex numbers α and β , then \mathbf{Y} is called a (*vector*) *subspace* in \mathbf{X} . If \mathbf{Y} is a subspace in \mathbf{X} and

$$\mathbf{Y} \ni y \triangleright y = \mathfrak{S}_\lambda (y(\lambda) \rho_\lambda)$$

($y(\lambda)$) being a family of (finite) complex numbers, then (ρ_λ) is called a *basis** of \mathbf{Y} . This is an analogous formulation to (1. 3). A subspace does not always have its basis.

If (z_λ) is a family of vectors and

$$z = \mathfrak{S}_\lambda z_\lambda \ \& \ z \in \mathbf{X},$$

then we generally assume that the relation

$$(z|x) = \mathfrak{S}_\lambda (z_\lambda|x)$$

effects for any $x \in \mathbf{X}$; this is called the *component law*. Then, by some computations it may be proved that :

Proposition 1. 2. *For the case that a system (ρ_λ) is a basis of a subspace, it is necessary and sufficient that the set*

$$A_{(\xi)} = \{ \lambda : \lambda \in A \ \& \ \rho_\lambda(\xi) \neq 0 \}$$

is a finite set for any $\xi \in \mathcal{E}$.

By the component law and Proposition 1. 2 it may be easily proved that :

Proposition 1. 3. *When $(\rho_\lambda)_{\lambda \in A}$ is a basis of \mathbf{Y} ,*

$$(\mathbf{Y} \ni y \ \& \ \mathbf{X} \ni x) \triangleright (y|x) = \mathfrak{S}_\lambda y(\lambda) (\rho_\lambda|x); \tag{1. 7}_1$$

$$(\mathbf{Y} \ni y, z) \triangleright (y|z) = \mathfrak{S}_\lambda \mathfrak{S}_{\lambda'} y(\lambda) \overline{z(\lambda')} (\rho_\lambda|\rho_{\lambda'}); \tag{1. 7}_2$$

$$= \mathfrak{S}_{\lambda'} \mathfrak{S}_\lambda y(\lambda) \overline{z(\lambda')} (\rho_{\lambda'}|\rho_\lambda). \tag{1. 7}_3$$

(1. 7)_k ($k=1, 2, 3$) are also called *component laws*.

Thus far, we have illustrated the outline of the hypothetical objectification. Finally it is notable that, if any practical objects are taken to be tested on our analysis, no contradiction is to be found in computation. This is but an expecta-

* This definition is notably stricter than the one commonly used in classical books.

tion on our side, but makes a radical ground of estimation, though hypothetical. If we really meet a contradiction, we will make any correction to it and continue the study.

2. Reaxile Extension and Local Projectivity

The set

$$E_x = \{\xi : \xi \in E \text{ \& } x(\xi) \neq 0\}$$

is called the (*defining*) *support of vector* x , and the set

$$E_x (= E_x(\mathbf{Y})) = \cap E_x (x \in \mathbf{Y} \text{ \& } x(\xi) \neq 0)$$

is called a (*supporting*) *scale of a subspace* \mathbf{Y} . The scales are either identically equal or disjoint with each other¹⁾, so that we may assume the set of distinct scales to be given in the indexed form

$$(E_i)_{i \in I}.$$

Then, it is proved that¹⁾ there exist vectors e_i of which the supports are E_i respectively such that

$$\mathbf{Y} \subseteq \vee \mathbf{Y}_i \text{ \& } \mathbf{Y}_i = \langle\langle e_i \rangle\rangle^*.$$

The family of vectors

$$\tilde{B}(\mathbf{Y}) = (e_i)_{i \in I}$$

is called the *reaxilization of the subspace* \mathbf{Y} . We will denote the span of $\tilde{B}(\mathbf{Y})$ by

$$\tilde{\mathbf{Y}},$$

then we have

$$\mathbf{Y} \subseteq \tilde{\mathbf{Y}},$$

but the equality does not always occur. So we call the subspace $\tilde{\mathbf{Y}}$ the *reaxile extension of* \mathbf{Y} . When $\mathbf{Y} = \tilde{\mathbf{Y}}$, we say \mathbf{Y} is *base-separable* and when $\mathbf{Y} \neq \tilde{\mathbf{Y}}$, *chain-based*. When \mathbf{Y} is chain-based, any basis of \mathbf{Y} is called a *chain-basis***.

The vector

$$P_x y = \frac{(y|x)}{\|x\|^2} x$$

is the (*proper*) *projection of a vector* y *on a vector* x . When $P_x y \in \mathbf{X}$, i.e. $(y|x)/\|x\|^2$ is a finite complex number, $P_x y$ is said to be *possible* and, otherwise, to be *impossible*. If $P_x y$ is possible, x is a *y-projective vector*, and if $P_x y$ is possible for all $y \in \mathbf{Y}$, then x is a *Y-projective vector*. If $(\rho_\lambda)_{\lambda \in A}$ is a basis of \mathbf{Y}

* $\langle\langle v \rangle\rangle$ indicates the space generated by a single vector v , i.e. the set of vectors cv , c being finite complex numbers.

** In the previous papers, the contents have been restricted within but the base-separable case, while, in this paper, the general case is taken up.

and each ρ_λ are \mathbf{Y} -projective, $(\rho_\lambda)_{\lambda \in A}$ is called a \mathbf{Y} -projective basis and will be denoted as

$$B_x^*(\mathbf{Y}) = (\rho_\lambda)_{\lambda \in A}, \quad (2.1)$$

if no confusion is expected. In case of (2.1)

$$P_{\mathbf{Y}}y = \mathfrak{S}P_\lambda y \quad (P_\lambda \equiv P_\rho)$$

is the projection of y on \mathbf{Y} .

In the theory of linear operator, if

$$L^2 = L$$

L is a projector, but, in our theory, such operators will be called *converters*, in distinction. Hereafter, we will use the term 'projectivity' instead of ' \mathbf{X} -projectivity'. When $\mathbf{Y} \subset \mathbf{X}$, \mathbf{Y} -projectivity is, as it were, a *local projectivity*. When $(\rho_\lambda)_{\lambda \in A}$ and $(\delta_\nu)_{\nu \in N}$ are \mathbf{Y} -projective bases both, we may take it for granted that

$$A = N. \quad (2.2)$$

But we use (2.2) as a convention of notation, on condition that we may not use it as a basal relation to any demonstration. In this case,

$$z \in \mathbf{Y} \triangleright \frac{(z|\delta_\nu)}{\|\delta_\nu\|^2} = \mathfrak{S}z(\lambda) \frac{(\rho_\lambda|\delta_\nu)}{\|\delta_\nu\|^2}$$

and we can choose such z as

$$z(\lambda) = \frac{\|\delta_\nu\|^2}{(\rho_\lambda|\delta_\nu)} \quad \text{when } \delta_\nu \not\perp \rho_\lambda,$$

so that we may have

$$\frac{(z|\delta_\nu)}{\|\delta_\nu\|^2} = \mathfrak{S}1. \quad (2.3)$$

If the summation on the right hand of (2.3) is of infinite terms, the value is ∞ . This is a contradiction, because $(z|\delta_\nu)/\|\delta_\nu\|^2$ must be the δ_ν -component of z with respect to δ_ν and therefore must be of finite value. Such being the case, we conclude:

Proposition 2.1. *When $(\rho_\lambda)_{\lambda \in A}$ and (δ_ν) are \mathbf{Y} -projective bases both, the set*

$$A_\nu = \{\lambda: \lambda \in A \ \& \ \rho_\lambda \not\perp \delta_\nu\}$$

is a finite set for each $\nu \in A$.

By almost similar computations, we may have:

Proposition 2.2. *If $B_x^*(\mathbf{Y}) = (\rho_\lambda)_{\lambda \in A}$ and $\tilde{B}(\mathbf{Y}) = (e_\iota)_{\iota \in I}$, the set*

$$A_\iota = \{\lambda: \lambda \in A \ \& \ \rho_\lambda \not\perp e_\iota\}$$

is a finite set for each $\iota \in I$.

When $\rho_\lambda, \rho_\nu \in B_x^*(\mathbf{Y})$ and $\rho_\lambda \not\perp \rho_\nu$,

$$\frac{(\rho_\lambda|\rho_\nu)}{\|\rho_\nu\|^2} = \frac{\overline{(\rho_\nu|\rho_\lambda)}}{\|\rho_\lambda\|^2} \cdot \frac{\|\rho_\lambda\|^2}{\|\rho_\nu\|^2} = a \text{ finite complex number } \neq 0.$$

Then, since $(\rho_\nu|\rho_\lambda)/\|\rho_\lambda\|^2$ must be also a finite complex number which $\neq 0$, we may conclude :

Proposition 2.3. *When $B_\pi^*(Y) = (\rho_\lambda)_{\lambda \in A}$ and $\lambda, \nu \in A$,*

$$\rho_\lambda \not\perp \rho_\nu, \triangleright 0 < \|\rho_\lambda\|/\|\rho_\nu\| < \infty.$$

The aggregation of such vectors z that a fixed vector y is z -projective, apparently makes a subspace in X ; let it be denoted by

$$X_{(y)}.$$

Then, assuming that $X_{(y)}$ has a basis (y_λ) , we have

$$X_{(y)} \ni z \triangleright z = \mathfrak{C} z(\lambda) y_\lambda \triangleright \frac{(z|y)}{\|y\|^2} = \mathfrak{C} z(\lambda) \frac{(y_\lambda|y)}{\|y\|^2}. \tag{2.4}$$

Then, since all of $(z|y)/\|y\|^2$ and $(y_\lambda|y)/\|y\|^2$ are finite complex numbers, we may choose z such as

$$z(\lambda) = \frac{\|y\|^2}{(y_\lambda|y)} \text{ whenever } y_\lambda \not\perp y,$$

so that the right-most hand of (2.4) takes the form

$$\mathfrak{C} 1,$$

and therefore diverges except when the set

$$A_y = \{\lambda : \lambda \in A \ \& \ y_\lambda \not\perp y\} \tag{2.5}$$

is a finite set. On the other hand, if the support of $y \in E_y$ is an infinite set, for any $\xi \in E_y$ we can choose z such as

$$\xi \in E_z \subset E_y$$

and

$$(z|y)/\|y\|^2 = 1/2.$$

Then, about the vector

$$z_1 = z - z(\xi) \partial_\xi$$

we have

$$(z_1|y)/\|y\|^2 = \frac{(z|y) - z(\xi) \overline{y(\xi)} \|\partial_\xi\|^2}{\|y\|^2} = 1/2$$

because $z(\xi) y(\xi) \|\partial_\xi\|^2 / \|y\|^2 = \triangle$. Hence it must be that

$$z, z_1 \in X_{(y)}$$

so that

$$\partial_\xi = \frac{z - z_1}{z(\xi)} \in X_{(y)}.$$

Thus we have

$$\mathcal{E}_y \ni \xi \triangleright \partial_\xi \in \mathbf{X}_{(y)},$$

but

$$(\partial_\xi | y) = \overline{y(\xi)} \|\partial_\xi\|^2 \neq \odot$$

i.e.

$$\partial_\xi \not\perp y.$$

In this case the family $(\partial_\xi)_{\xi \in \mathcal{E}_y}$ can apparently be taken as a part of a basis of $\mathbf{X}_{(y)}$, so that we may have a contradiction between finiteness of the set (2.5) and infiniteness of the set \mathcal{E}_y . Consequently, we have :

Proposition 2.4. *For the case that $\mathbf{X}_{(y)}$ has a basis, it is necessary and sufficient that the support of y is a finite set (i.e. y is a projective vector).*

3. Trans-induction

Analysis on the space \mathbf{X} may find its primitive steps in the set and measure theories devised on \mathbf{X} , which give formulations and make inferences possible among them to reach decisions, under the superintendence of ‘consistency’. Our theory is promised to be proceeded in such construction, on the ground of hypothetical objectification. By the way, it is thought very efficient to apply certain categorical devices named ‘modes’, as motives to promote the logical reasoning. In this paper, one of them, the trans-inductive mode, will be illustrated to reach some important results. To attempt a general presentation of such a device may possibly accompany some leaks on practical criticism. So, in this paper, we restrict it to be stated within a subspace of \mathbf{X} exactly conditioned.

When an individual (or a set of individuals, or every individual element of a set) P has a property \mathfrak{p} , we denote it as

$$P \subset \mathfrak{p}.$$

If it is generally observed that

$$(M_1 \subset M_2 \text{ and } M_2 \subset \mathfrak{p}) \triangleright (M_1 \subset \mathfrak{p})$$

then the property \mathfrak{p} is called a *regressive* one. For a regressive property \mathfrak{p} let us suppose that

$$\begin{aligned} &M_0 \subset \mathfrak{p} \\ &P_1 \bar{\in} M_0 \ \& \ P_1 \subset \mathfrak{p} \\ &\dots \quad \dots \quad \dots \end{aligned}$$

and

$$P_{\gamma+1} \bar{\in} M_0 \cup_{\epsilon < \gamma} P_\epsilon \subset \mathfrak{p} \ \& \ P_{\gamma+1} \subset \mathfrak{p}$$

and so on. Then η may be thought as an ordinal number; but we will not emphasize this point because we are rather taking a manner to avoid the theory of ordinal numbers. As it is, if the property of a simple ordered set will not be

practically used except in the after part of P_1 , we may symbolically let the elements of M_0 slip into the initial part

$$P_1, P_2, \dots,$$

on condition that only the part of P_γ and $P_{\gamma+1}$ is to be taken as the principal part. In this meaning we will use the conventional representation

$$P_1, P_2, \dots, P_\gamma, P_{\gamma+1}, \dots \tag{3.1}$$

instead of

$$M_0, P_1, \dots, P_\gamma, P_{\gamma+1}, \dots.$$

(3.1) is called an *indicial disposition with respect to the regressive property* \mathfrak{p} . In regard to this composition let it be denoted as

$$\tilde{P}_\gamma = \bigcup_{\lambda < \gamma} P_\lambda.$$

We will at times use the following disposition instead of (3.1)

$$(M_0 \equiv) \tilde{P}_1 \subset \tilde{P}_2 \subset \dots \subset \tilde{P}_\gamma \subset \tilde{P}_{\gamma+1} \subset \dots. \tag{3.1}'$$

Through all the stages above-mentioned, we assume the following conditions are satisfied :

- (1) $\bigvee_{\lambda < \gamma} \langle\langle P_\lambda \rangle\rangle \subseteq \mathbf{Y}$ for each γ ;
- (2) $P_\gamma \in \mathbf{Y} - \bigvee_{\lambda < \gamma} \langle\langle P_\lambda \rangle\rangle.$

Now we posit two types of constructions to give rise to a method of induction :

[I] On denoting as

$$\mathbf{Y}_\gamma^* = \mathbf{Y} - \bigvee_{\lambda < \gamma} \langle\langle P_\lambda \rangle\rangle,$$

for any vector Q_γ in \mathbf{Y}_γ^* , by an exact method dependent on Q_γ we can get a vector P_γ in \mathbf{Y} such that

$$Q_\gamma \bar{\in} \mathbf{Y}_{\gamma+1}^*.$$

[II] When a set S is found in \mathbf{Y} such that

$$\bigvee_{P \in S} \langle\langle P \rangle\rangle = \mathbf{Y},$$

on denoting as

$$\mathbf{S}_\gamma^* = S \cap \mathbf{Y}_\gamma^*,$$

for any vector Q_γ in \mathbf{S}_γ^* , by an exact method dependent on Q_γ we can get a vector P_γ in \mathbf{Y} such that

$$Q_\gamma \bar{\in} \mathbf{S}_{\gamma+1}^*.$$

[I] or [II] is called *exhaustibility*. If the indicial disposition (3.1) or (3.1)' with

respect to \mathfrak{p} is provided with exhaustibility [I] or [II], then (3.1) or (3.1)' is said to give a *trans-inductive mode*; and, in this case, we assert the conclusion

$$\tilde{P} = \cup \tilde{P}_\gamma \subset \mathfrak{p} \text{ and } \mathbf{Y} = \vee \langle\langle P_\gamma \rangle\rangle. \tag{3.2}$$

This process of conclusion is called *trans-induction*. However, it must be noted that there are some other cases than the above-mentioned ones, which are also said to give trans-inductive modes. The above-mentioned mode is, as it is, of *progressive type*. About the trans-induction of *regressive type*, we will later on state with examples.

Any system (i.e. any independent family of vectors) in \mathbf{X} cannot always be a basis of a subspace in \mathbf{X} . So we will call a *basal system* a system satisfying the conditions of Proposition 1.2. Then, if a system (ρ_λ) is not basal, there exists at least one family of (finite) complex numbers $(x(\lambda))$ for at least one ξ such that

$$\bigoplus_\lambda |x(\lambda)\rho_\lambda(\xi)| = \infty.$$

This being so, it may be understood that a \mathbf{Y} -projective or an orthogonal system cannot always be basal. When two basal systems generate the same subspace in \mathbf{X} , they are called (*mutually*) *equivalent*. If $(\rho_\lambda)_{\lambda \in A}$ and $(\delta_\nu)_{\nu \in N}$ are equivalent, we use the symbolical convention

$$A = N$$

on the same condition mentioned about (2.2). When A is a finite set, this relation is surely true.

When $S = (\rho_\lambda)_{\lambda \in A}$ is a \mathbf{Y} -projective basal system in \mathbf{Y} which contains an orthogonal system

$$S_0 = (\rho_\lambda)_{\lambda \in A_0},$$

if we fix ν_1 from $A - A_0$ and define a vector

$$\hat{\rho}_{\nu_1} = \rho_{\nu_1} - \bigoplus_{\lambda \in A_0} P_\lambda \rho_{\nu_1} \quad (P_\lambda \equiv P_{\rho_\lambda}),$$

then, by Proposition 2.1, the summation in the left hand is of finite terms, and moreover, as will be proved later on in Lemma 3.1, the vector $\hat{\rho}_{\nu_1}$ is also \mathbf{Y} -projective. Besides,

$$\begin{aligned} (\hat{\rho}_{\nu_1} | \rho_{\lambda_0}) &= (\rho_{\nu_1} - \sum P_\lambda \rho_{\nu_1} | \rho_{\lambda_0}) \\ &= (\rho_{\nu_1} | \rho_{\lambda_0}) - \sum \frac{(\rho_{\nu_1} | \rho_\lambda)}{\|\rho_\lambda\|^2} (\rho_\lambda | \rho_{\lambda_0}), \end{aligned}$$

where by assumption we have $\rho_\lambda \perp \rho_{\lambda_0}$, i.e. $(\rho_\lambda | \rho_{\lambda_0}) = \bigcirc$ if $\lambda, \lambda_0 \in A_0$ and $\lambda \neq \lambda_0$, so that then

$$\begin{aligned} &= (\rho_{\nu_1} | \rho_{\lambda_0}) - \frac{(\rho_{\nu_1} | \rho_{\lambda_0})}{\|\rho_{\lambda_0}\|^2} \|\rho_{\lambda_0}\|^2 \\ &= (\rho_{\nu_1} | \rho_{\lambda_0}) - (\rho_{\nu_1} | \rho_{\lambda_0}). \end{aligned}$$

In this proceeding we are applying no other substitution than by means of definition formulas and nor other vanish than by the relation ‘ $=\odot$ ’, so that we may conclude that the computation proceeded in the above results in

$$= \odot .$$

Consequently we have

$$\hat{\rho}_{\nu_1} \perp \rho_{\lambda_0} \text{ for each } \lambda_0 \in A_0 .$$

Now let us take the following A_1 and S_1 instead of A_0 and S_0 :

$$A_1 = A_0 \cup \{\nu_1\}$$

and

$$S_1 = \langle \hat{\rho}_\lambda \rangle_{\lambda \in A_1}$$

on denoting as $\hat{\rho}_\lambda \equiv \rho_\lambda$ for each $\lambda \in A_0$. Then S_1 is a \mathbf{Y} -projective orthogonal basal system and apparently

$$\bigvee_{\lambda \in A_1} \langle \langle \hat{\rho}_\lambda \rangle \rangle \subseteq \mathbf{Y} .$$

So, let us repeat the same process as the above-mentioned, on letting any ν_2 from $A - A_1$ be fixed. For the general step, denoting as

$$A_\kappa = \left(\bigcup_{i < \kappa} A_i \right) \cup \{\nu_\kappa\}$$

and

$$\bigcup_{i < \kappa} A_i = A_{\kappa(-1)} ,$$

let us define a vector $\hat{\rho}_{\nu_\kappa}$ in the form

$$\hat{\rho}_{\nu_\kappa} = \rho_{\nu_\kappa} - \sum_{\lambda \in A_{\kappa(-1)}} \hat{P}_\lambda \rho_{\nu_\kappa} \quad (\hat{P}_\lambda \equiv P_{\hat{\rho}_\lambda})$$

and define such as

$$S_\kappa = \langle \hat{\rho}_\lambda \rangle_{\lambda \in A_\kappa} .$$

Then, by quite the same way with the above-stated, it is concluded that

$$\hat{\rho}_\lambda \perp \hat{\rho}_{\nu_\kappa} \text{ for each } \lambda \in A_{\kappa(-1)}$$

and

$$\bigvee_{\lambda \in A_\kappa} \langle \langle \hat{\rho}_\lambda \rangle \rangle \subseteq \mathbf{Y} .$$

On repeating this process, we may gain an indicial disposition

$$S_0 \subset S_1 \subset \dots \subset S_\kappa \subset S_{\kappa+1} \subset \dots \tag{3.3}$$

with respect to the property that

$$S_\kappa \subset \mathfrak{p} \text{ or } \hat{\rho}_{\nu_\kappa} \subset \mathfrak{p}$$

means that S_κ is an orthogonal \mathbf{Y} -projective basal system. Since the increase of (3.3) does not stop till $A - \bigcup A_\kappa$ becomes empty, we have a trans-inductive mode by (3.3) provided with exhaustibility of type [II]. So it seems that we may

conclude that

$$\tilde{S} = \cup S_\kappa = (\hat{\rho}_\lambda)_{\lambda \in A}$$

is an orthogonal basal system in \mathbf{Y} and equivalent to $(\rho_\lambda)_{\lambda \in A}$. But, to tell the truth, it still needs demonstration that \tilde{S} is really a basal system.

Let us define $\kappa(\nu)$ such that

$$\kappa = \kappa(\nu)$$

when $\nu_\kappa = \nu$; then by definition $\hat{\rho}_\nu$ may be expressed in the form

$$\hat{\rho}_\nu = \rho_\nu - \sum_{\lambda \in A_{\kappa(\nu)(-1)}} c_{\nu\lambda}(\rho_\nu | \rho_\lambda) \rho_\lambda \tag{3.4}$$

and also in the form

$$\hat{\rho}_\nu = \bigoplus_{\lambda \in A_{\kappa(\nu)}} \hat{\rho}_\nu(\lambda) \rho_\lambda,$$

so that we may have

$$\hat{\rho}_\nu(\nu) = 1, \hat{\rho}_\nu(\lambda) = -c_{\nu\lambda}(\rho_\nu | \rho_\lambda) \text{ if } \lambda \in A_{\kappa(\nu)(-1)}$$

and

$$\hat{\rho}_\nu(\lambda) = 0 \text{ otherwise.}$$

If there simultaneously exists a value of ξ and a family of (finite) complex numbers $(z(\nu))_{\nu \in A}$ such that $\bigoplus_\nu z(\nu) \hat{\rho}_\nu(\xi) = \infty$, then by (3.4) we have

$$\infty = \bigoplus_\nu z(\nu) \rho_\nu(\xi) - \bigoplus_\nu \sum_\lambda z(\nu) c_{\nu\lambda}(\rho_\nu | \rho_\lambda) \rho_\lambda(\xi).$$

We may use the letter λ instead of ν on the first summation of the right hand, so that

$$\begin{aligned} &= \bigoplus_\lambda z(\lambda) \rho_\lambda(\xi) - \bigoplus_\nu \sum_\lambda z(\nu) c_{\nu\lambda}(\rho_\nu | \rho_\lambda) \rho_\lambda(\xi) \\ &= \bigoplus_\lambda (z(\lambda) - \bigoplus_\nu z(\nu) c_{\nu\lambda}(\rho_\nu | \rho_\lambda)) \rho_\lambda(\xi). \end{aligned}$$

Then since, by Proposition 2.1, the indices ν for which $(\rho_\nu | \rho_\lambda) \neq \odot$ make at most a finite set, it may be written in the form

$$= \bigoplus_\lambda (z(\lambda) - \sum_\nu z(\nu) c_{\nu\lambda}(\rho_\nu | \rho_\lambda)) \rho_\lambda(\xi),$$

where $c_{\nu\lambda}(\rho_\nu | \rho_\lambda)$, $z(\lambda)$ and $z(\nu)$ are all finite numbers, so that the numbers defined by

$$z'(\lambda) = z(\lambda) - \sum_\nu z(\nu) c_{\nu\lambda}(\rho_\nu | \rho_\lambda)$$

are all finite (complex) numbers. Consequently we have

$$\infty = \bigoplus_\lambda z'(\lambda) \rho_\lambda(\xi)$$

for the family of finite complex numbers $(z'(\lambda))$, which gives a contradiction to the fact that (ρ_λ) is a basal system; hence it must be that $(\hat{\rho}_\lambda)$ is a basal system. Thus finishing the demonstration we conclude:

Proposition 3.1. *If S is a \mathbf{Y} -projective basal system in \mathbf{Y} , there exists an orthogonal \mathbf{Y} -projective basal system S' equivalent to S . In addition, if S contains an orthogonal system S_0 within, then S' can be made to contain S_0 .*

Lemma 3.1. *If a \mathbf{Y} -projective basal system $(\rho_\lambda)_{\lambda \in \Lambda}$ generates a subspace in \mathbf{Y} , which contains a subspace \mathbf{Z} generated by an orthogonal \mathbf{Y} -projective basis $(\delta_\varepsilon)_{\varepsilon \in \mathbf{K}}$, then if*

$$\hat{\rho}_\lambda = \rho_\lambda - P_{\mathbf{Z}}\rho_\lambda$$

it must be either $\hat{\rho}_\lambda = 0$ or $\hat{\rho}_\lambda$ is a \mathbf{Y} -projective vector.

Demonstration. By Proposition 2.1 it can be written as

$$\hat{\rho}_\lambda = \rho_\lambda - \sum_{\varepsilon} P_{\varepsilon}\rho_\lambda \quad (P_{\varepsilon} \equiv P_{\delta_\varepsilon})$$

and the summation in the right hand is of finite terms, so the following two relations may be directly verified :

$$\begin{aligned} (\hat{\rho}_\lambda | \rho_\lambda) / \|\rho_\lambda\|^2 &= 1 - \sum_{\varepsilon} \frac{|\rho_\lambda | \delta_\varepsilon|^2}{\|\rho_\lambda\|^2 \|\delta_\varepsilon\|^2} \\ \|\hat{\rho}_\lambda\|^2 / \|\rho_\lambda\|^2 &= 1 - \sum_{\varepsilon} \frac{|\rho_\lambda | \delta_\varepsilon|^2}{\|\rho_\lambda\|^2 \|\delta_\varepsilon\|^2}. \end{aligned} \tag{3.5}$$

In these computations, we are applying no other substitutions than by means of formulations of component law and nor other vanish than by the relation ' $=\odot$ ', so that the value of (3.5) should be either a finite complex number or $=\odot$ (i.e. $\|\hat{\rho}_\lambda\|^2 = \odot$). In the latter case it is namely that $\rho_\lambda = P_{\mathbf{Z}}\rho_\lambda$. Therefore, it must be the case that the value of (3.5) is a finite complex number when $\rho_\lambda \notin \mathbf{Z}$. In this case, for any $y \in \mathbf{Y}$ we have

$$\begin{aligned} \frac{(y | \hat{\rho}_\lambda)}{\|\hat{\rho}_\lambda\|^2} &= \left(\frac{(y | \rho_\lambda)}{\|\rho_\lambda\|^2} - \sum_{\varepsilon} \frac{(\rho_\lambda | \delta_\varepsilon)}{\|\delta_\varepsilon\|^2} \cdot \frac{(y | \delta_\varepsilon)}{\|\rho_\lambda\|^2} \right) \frac{\|\rho_\lambda\|^2}{\|\hat{\rho}_\lambda\|^2} \\ &= \left(\frac{(y | \rho_\lambda)}{\|\rho_\lambda\|^2} - \sum_{\varepsilon} \frac{(y | \delta_\varepsilon)}{\|\delta_\varepsilon\|^2} \cdot \frac{(\delta_\varepsilon | \rho_\lambda)}{\|\rho_\lambda\|^2} \right) \left(1 - \sum_{\varepsilon} \frac{|\rho_\lambda | \delta_\varepsilon|^2}{\|\rho_\lambda\|^2 \|\delta_\varepsilon\|^2} \right)^{-1} \end{aligned}$$

which apparty gives a finite complex value. Besides, values of c_ε defined by

$$c_\varepsilon = \frac{(y | \delta_\varepsilon)}{\|\delta_\varepsilon\|^2}$$

cannot be other than finite complex numbers, and when they vanish it is that they are $=\odot$. Then the value

$$\frac{(y | \rho_\lambda)}{\|\rho_\lambda\|^2} - \sum_{\varepsilon} \frac{(y | \delta_\varepsilon)}{\|\delta_\varepsilon\|^2} \cdot \frac{(\delta_\varepsilon | \rho_\lambda)}{\|\rho_\lambda\|^2} = (y - \sum_{\varepsilon} c_\varepsilon \delta_\varepsilon | \rho_\lambda) / \|\rho_\lambda\|^2$$

is $=\odot$ if it vanishes, because ρ_λ is, by assumption, \mathbf{Y} -projective and $y - \sum_{\varepsilon} c_\varepsilon \delta_\varepsilon \in \mathbf{Y}$. Thus we see $(y | \hat{\rho}_\lambda) / \|\hat{\rho}_\lambda\|^2$ is $=\odot$ if it vanishes. The demonstration is hereby finished.

An orthogonal basal system holds a strong property. If \mathbf{Y} is the span of an

orthogonal basis (δ_ν)

$$\begin{aligned} \mathbf{Y} \in y \triangleright y &= \mathfrak{S}y(\lambda)\delta_\lambda \triangleright (y|\delta_\nu) = y(\nu) \|\delta_\nu\|^2 \\ &\triangleright P_\nu y = y(\nu) \quad (P_\nu \equiv P_{\delta_\nu}), \end{aligned}$$

hence δ_ν are all \mathbf{Y} -projective. Thus we have :

Lemma 3.2. *If \mathbf{Y} is the span of an orthogonal basal system A , then A is a \mathbf{Y} -projective basis of \mathbf{Y} .*

When \mathbf{Y} has a basis and S_0 is a basal system in \mathbf{Y} , it comes into question if \mathbf{Y} may have a basis containing S_0 . In fact, if $\mathbf{Y} = \bigvee_{k=1}^{\infty} \langle\langle \partial_{\varepsilon_k} \rangle\rangle$ and

$$\begin{aligned} \rho_0 &= \sum_{k=1}^{\infty} \partial_{\varepsilon_k}, \\ \dots &\dots \dots \end{aligned}$$

the vectors

$$\rho_0, \partial_{\varepsilon_1}, \dots, \partial_{\varepsilon_n}$$

apparently give an independent system when n is finite, but the infinite set of vectors

$$\rho_0, \partial_{\varepsilon_1}, \partial_{\varepsilon_2}, \dots, \partial_{\varepsilon_n}, \partial_{\varepsilon_{n+1}}, \dots$$

may not do so.

When there is a set of vectors $M = (z_i)_{i \in I}$ which does not give an independent system, if for any set of finite complex numbers $(y(i))$ it is observed that

$$y = \mathfrak{S}y(i)z_i \in \mathbf{Y}$$

and inversely for any vector $y \in \mathbf{Y}$ exists at least one set of finite complex numbers $(y(i))$ such that

$$y = \mathfrak{S}y(i)z_i,$$

then M is called a *super-basis* of \mathbf{Y} . If M is a super-basis of \mathbf{Y} , then there must exist at least one suffix κ in I such that z_κ may be composed in the form

$$z_\kappa = \mathfrak{S}_{i \neq \kappa} z_\kappa(i)z_i.$$

We remove one such suffix κ from I and define I_1 as

$$I_1 = I - \{\kappa\},$$

and if there still exists another suffix κ_1 such that

$$z_{\kappa_1} = \mathfrak{S}_{\substack{i \neq \kappa_1 \\ i \in I_1}} z_{\kappa_1}(i)z_i,$$

then we remove κ_1 from I_1 and define I_2 as

$$I_2 = I_1 - \{\kappa_1\}.$$

On reiteration of this process we gain a disposition

$$I \supset I_1 \supset I_2 \supset \dots \supset I_\gamma \supset I_{\gamma+1} \supset \dots \tag{3.6}$$

This succession shall not stop as long as I_γ is found to be a super-basis. Thus we deem (3.6) to make a trans-inductive mode of regressive type, and we conclude :

Proposition 3.2. *If M is a super-basis of a subspace Y in X , there exists a basis of Y contained in M .*

By a certain device, we can similarly reach the following result by trans-induction (of regressive type).

Proposition 3.3. *If a subspace Y has a basis and B_0 is a basal system contained in Y , there exists a basis of Y containing B_0 .*

4. Relative Supplement

For a vector z and a set M in X , if

$$z \bar{\in} M \text{ and } z \perp y \text{ for all } y \in M,$$

z is said to be *orthogonal to M* and it is denoted as

$$M \perp z \text{ or } z \perp M.$$

And for two sets M and N in X , if

$$M \cap N = \text{void and } M \perp z \text{ for all } z \in N,$$

M is said to be *orthogonal to N* and it is denoted as

$$M \perp N \text{ or } N \perp M$$

(the proof of the commutative relation being omitted).

If a subspace Y contains a Y -projective basal system $(\rho_\kappa)_{\kappa \in K}$ and

$$Z = \vee \langle \langle \rho_\kappa \rangle \rangle,$$

by Proposition 3.1 there exists a Y -projective orthogonal basis $(\delta_\kappa)_{\kappa \in K}$ of Z . Then, if we make a corresponding vector y' to any vector $y \in Y - Z$ by

$$y' = y - \mathfrak{S} P_\kappa y \quad (P_\kappa \equiv P_{\delta_\kappa}),$$

we have :

$$\begin{aligned} Z \in z \triangleright z &= \mathfrak{S} z(\kappa) \delta_\kappa \\ \triangleright (y'|z) &= (y|z) - \mathfrak{S} \mathfrak{S} (P_\kappa y|z(\kappa) \delta_\kappa) \\ &= (y|z) - \mathfrak{S} \mathfrak{S} \left(\frac{(y|\delta_\kappa)}{\|\delta_\kappa\|^2} \delta_\kappa |z(\kappa) \delta_\kappa \right) \\ &= (y|z) - \mathfrak{S} \frac{(y|\delta_\kappa)}{\|\delta_\kappa\|^2} \overline{z(\kappa)} \|\delta_\kappa\|^2 \\ &= (y|z) - \mathfrak{S} (y|\delta_\kappa) \overline{z(\kappa)} \\ &= (y|z) - (y|\mathfrak{S} z(\kappa) \delta_\kappa) \\ &= (y|z) - (y|z) = \odot. \end{aligned}$$

In this computation the commutation of summations \mathfrak{S} and \mathfrak{S}' needs no special inquiry, because these summations are essentially regarded as of random proceed and are used in the formal meaning of formulation irrespective of convergence. Thus we may conclude that

$$y' \perp Z.$$

If Z' is the aggregation of such y' , Z' is evidently disjoint with Z , so that we consequently have

$$Z \perp Z'. \quad (4.1)$$

Moreover, Z' is apparently a subspace in X and stands in the relation

$$Y = Z \vee Z'. \quad (4.2)$$

When (4.1) and (4.2) are simultaneously effected, Z' is called the (*orthogonal*) *Y-supplement of Z* and is denoted as

$$Z' = Z_Y^\perp.$$

Then, lastly we have :

Proposition 4.1. *If Z is a subspace in a subspace Y generated by a Y-projective basal system, there exists the orthogonal Y-supplement Z_Y^\perp .*

If $B_x^*(Y)$ exists, Y is said to bear an immanent projectivity, or simply to be immanently projective.

Proposition 4.2. *When Y bears an immanent projectivity and Z_Y^\perp is a Y-projective subspace in Y, Z_Y^\perp is also a Y-projective subspace in Y.*

Demonstration. Let it be that $B_x^*(Y) = (\rho_\lambda)_{\lambda \in A}$. By proposition 3.1 Z may be assumed to have a Y-projective orthogonal basis $(\delta_\lambda)_{\lambda \in K}$. Then, on defining as

$$\hat{\rho}_\lambda = \rho_\lambda - \mathfrak{S} P_x \rho_\lambda \quad (P_x \equiv P_{\delta_x})$$

by Lemma 3.1 we see that $\hat{\rho}_\lambda$ is a Y-projective vector and the summation \mathfrak{S} is, by Proposition 2.1, of finite terms. So we have :

$$\begin{aligned} Z \ni z \triangleright z &= \mathfrak{S}_Z(\kappa') \delta_{x'} \\ \triangleright (z | \hat{\rho}_\lambda) &= \mathfrak{S}_Z(\kappa') (\delta_{x'} | \hat{\rho}_\lambda) \\ &= \mathfrak{S}_Z(\kappa') \left(\delta_{x'} | \rho_\lambda - \sum_x \frac{(\rho_\lambda | \delta_x)}{\|\delta_x\|^2} \delta_x \right) \\ &= \mathfrak{S}_Z(\kappa') (\delta_{x'} | \rho_\lambda) - \mathfrak{S}_Z(\kappa') \frac{(\rho_\lambda | \delta_{x'})}{\|\delta_{x'}\|^2} \|\delta_{x'}\|^2 \\ &= \odot, \end{aligned}$$

so that

$$(\hat{\rho}_\lambda)_{\lambda \in A} \perp Z.$$

Hence it is evident that $(\hat{\rho}_\lambda)_{\lambda \in A}$ is either a basis or a super-basis of Z_Y^\perp . In the

latter case, by Proposition 3.2, we may take a subset of $(\hat{\rho}_\lambda)$ just as to make a \mathbf{Y} -projective basis of $Z_{\mathbf{Y}^\perp}$. Thus the demonstration is finished. If $\mathbf{Y}=\mathbf{X}$ and \mathbf{Y} is used to indicate Z (in the statement of Proposition 4.2), we gain the following theorem previously known.

Corollary. *If \mathbf{Y} is a projective subspace in \mathbf{X} , the orthogonal supplement \mathbf{Y}^\perp is also projective.*

5. On Basal Decomposition

If \mathbf{Y} is a base-separable subspace in \mathbf{X} , we have

$$\mathbf{Y} = \langle\langle \tilde{\mathbf{Y}} \rangle\rangle,$$

so that we may adopt its reaxilization

$$\tilde{B}(\mathbf{Y}) = (e_\iota)_{\iota \in I}$$

as its basis. In this case, if $(\rho_\lambda)_{\lambda \in A_0}$ is a \mathbf{Y} -projective basal system which generates subspace Z , by Proposition 4.2 $Z_{\mathbf{Y}^\perp}$ is also \mathbf{Y} -projective since $\tilde{B}(\mathbf{Y})$ is then a \mathbf{Y} -projective basis too. Hence, there exists a \mathbf{Y} -projective basis of $Z_{\mathbf{Y}^\perp}$, which may be denoted as $(\rho_\lambda)_{\lambda \in A_1}$. Then, if

$$A = A_0 \cup A_1,$$

$(\rho_\lambda)_{\lambda \in A}$ is evidently a $B_\pi^*(\mathbf{Y})$ (\mathbf{Y} -projective basis of \mathbf{Y}). This being so, $(\rho_\lambda)_{\lambda \in A}$ and $\tilde{B}(\mathbf{Y})$ are found to be equivalent, so that, by Proposition 2.1, the set

$$I_{(\lambda)} = \{ \iota : \iota \in I \ \& \ e_\iota \perp \rho_\lambda \}$$

must be a finite set for all $\lambda \in A$. Therefore, ρ_λ is expressed in the form

$$\rho_\lambda = \sum_{\iota} \rho_\lambda(\iota) e_\iota \tag{5.1}$$

of which the summation of the right hand is of finite terms. This gives a necessary condition for the case

$$B = (\rho_\lambda)_{\lambda \in A_0}$$

is a \mathbf{Y} -projective basal system in the above-stated base-separable subspace \mathbf{Y} , but does not make a sufficient one. In effect, if

$$\mathbf{Y} = \langle\langle \partial_\xi \rangle\rangle \vee \langle\langle \partial_\eta \rangle\rangle \vee \langle\langle z \rangle\rangle$$

where $\xi \neq \eta$, $z(\xi) = z(\eta) = 0$ and $\|z\| > 0$, and if

$$B = \{ \partial_\xi + \partial_\eta, \partial_\xi - \partial_\eta + z \},$$

then B is an orthogonal system which satisfies the condition (5.1), but is not \mathbf{Y} -projective. Because, if

$$\rho = \partial_\xi - \partial_\eta + z$$

we have

$$\frac{(\partial_\xi|\rho)}{\|\rho\|^2} = \frac{\|\partial_\xi\|^2}{\|\rho\|^2} = \frac{\mu}{\|\xi\|^2} = \bigcirc$$

so that $(\partial_\xi|\rho)/\|\rho\|^2$ cannot be a finite complex number.

The above-mentioned sufficient condition is realized by simultaneous connection of (5. 1) and the condition of Proposition 2. 3 :

$$\rho_\lambda(\iota) \rho_\lambda(\kappa) \neq 0 \triangleright 0 < \|e_\iota\|/\|e_\kappa\| < \infty .$$

The proof may be easily gained. When (ρ_λ) is a basis of \mathbf{Y} , by definition

$$\mathbf{Y} \ni y \times y = \mathfrak{E} y(\lambda) \rho_\lambda$$

$(y(\lambda))$ being a set of finite complex numbers. In this connection the set

$$A_{(y)} = \{\lambda : \lambda \in A \ \& \ y(\lambda) \neq 0\}$$

is called the *A-support of y*.

Proposition 5. 1. *For the case that a basal system $S=(\rho_\lambda)_{\lambda \in A_0}$ in a base-separable subspace \mathbf{Y} in \mathbf{X} , of which $\tilde{B}(\mathbf{Y})=(e_\iota)_{\iota \in I}$ is the reaxilization, is \mathbf{Y} -projective, it is necessary and sufficient that the I-support of ρ_λ is a finite set and*

$$\rho_\lambda(\iota) \rho_\lambda(\kappa) \neq 0 \triangleright 0 < \|e_\iota\|/\|e_\kappa\| < \infty \tag{5. 2}$$

for all $\lambda \in A_0$.

In this theorem, if $\mathbf{Y}=\mathbf{X} (e_\iota)_{\iota \in I}$ is not other than $(\partial_\xi)_{\xi \in \mathfrak{E}}$. So, we reach the following theorem which has been verified in a previous paper²⁾.

Corollary. *For the case that a basal system $S=(\rho_\lambda)_{\lambda \in A}$ is a projective system, it is necessary and sufficient that the support of ρ_λ is a finite set for all $\lambda \in A$.*

In connection with Proposition 2. 3 or the condition (5. 2), as it were, a sort of hardness of a vector may be associated to compare vectors, though it is thought rather earlier to test an exact definition of such notion. In the primitive stage, if the supports of positive vectors x and y are \mathfrak{E}_x and \mathfrak{E}_y respectively and

$$\mathfrak{E}_x \supseteq \mathfrak{E}_y ,$$

then it may be considered that y is not harder than x . In connection with such matters, the following theorem may be remarked.

Proposition 5. 2. *If $B_\pi^*(\mathbf{Y})=(\rho_\lambda)_{\lambda \in A}$, it is observed that*

$$(\rho_\nu|y)/\|y\|^2 = \bigcirc \tag{5. 3}$$

whenever $P_y \rho_\nu$ is impossible for $y \in \mathbf{Y}$.

Demonstration. By Proposition 3. 1, there exists a \mathbf{Y} -projective orthogonal basis S containing a fixed vector ρ_ν . So we may assume

$$S = B_\pi^*(\mathbf{Y})$$

to prove the relation (5. 3). Then, for any vector $y \in \mathbf{Y}$

$$\|y\|^2 = |y(\nu)|^2 \|\rho_\nu\|^2 + \sum_{\lambda \neq \nu} |y(\lambda)|^2 \|\rho_\lambda\|^2 ,$$

hence

$$\frac{\|y\|^2}{\|\rho_\nu\|^2} = |y(\nu)|^2 + \bigoplus_{\lambda \neq \nu} |y(\lambda)|^2 \frac{\|\rho_\lambda\|^2}{\|\rho_\nu\|^2} > |y(\nu)|^2. \tag{5.4}$$

On the other hand,

$$\frac{(\rho_\nu|y)}{\|y\|^2} = \frac{\overline{y(\nu)}\|\rho_\nu\|^2}{\|y\|^2} = \overline{y(\nu)} / \frac{\|y\|^2}{\|\rho_\nu\|^2},$$

hence, by (5.4), we gain the inequality

$$\left| \frac{(\rho_\nu|y)}{\|y\|^2} \right| < \frac{|y(\nu)|}{|y(\nu)|^2} = \frac{1}{|y(\nu)|}. \tag{5.5}$$

In case $y(\nu)=0$, it is evident that $y \perp \rho_\nu$, i.e.

$$P_y \rho_\nu = 0,$$

so that $P_y \rho_\nu$ is possible. Therefore, for the case that $P_y \rho_\nu$ is impossible, it must be that $y(\nu) \neq 0$. Then by (5.5)

$$\left| \frac{(\rho_\nu|y)}{\|y\|^2} \right| \neq \infty.$$

Since the value $(\rho_\nu|y)/\|y\|^2$ must not be a finite (complex) number when $P_y \rho_\nu$ is impossible, there is left only the case (5.3), Q.E.D.

Partly as an example of a chain-based case, we will show here the following fact:

Proposition 5.3. *If Y is a base-separable projective subspace (in X) of which the reaxilization is $\tilde{B}(Y) = (e_i)_{i \in I}$ and if there exists at least one suffix $\kappa \in I$ such that size of the support of e_κ is not less than 3, then Y^\perp is chain-based.*

Demonstration. Let E_i be the support of e_i and

$$\bar{E}_Y = \cup E_i.$$

In addition, let S be a set of vectors such that

$$\bar{E} - \bar{E}_Y \ni \eta \triangleright \partial_\eta \in S \tag{5.5}$$

and

$$\begin{aligned} \langle\langle e_i \rangle\rangle \ni \partial_{\varepsilon_0} + c_1 \partial_{\varepsilon_1} + \dots + c_n \partial_{\varepsilon_n}^* \\ \triangleright S \ni \partial_{i,k} = \partial_{\varepsilon_0} + c_1 \partial_{\varepsilon_1} + \dots + c_{k-1} \partial_{\varepsilon_{k-1}} \\ - \frac{1 + |c_1|^2 + \dots + |c_{k-1}|^2}{c_k} \partial_{\varepsilon_k} \quad (k = 1, 2, \dots, n) \end{aligned} \tag{5.6}$$

and S does not contain other vectors than described by (5.5) or (5.6). Then it is evident that S makes an orthogonal system and the subspace generated by S is just Y^\perp .

Now let Z_i be the subspace generated by

$$(\delta_{i,k})_{k=1,2,\dots,n}.$$

* Since Y is a projective subspace in X , size of the support of e_i is finite; $=n+1$ in this case.

Then it may easily be seen that

$$Z_i \ni \bar{c}_1 \partial_{\varepsilon_0} - \partial_{\varepsilon_1}, \bar{c}_2 \partial_{\varepsilon_1} - \bar{c}_1 \partial_{\varepsilon_2}, \dots, \bar{c}_n \partial_{\varepsilon_{n-1}} - \bar{c}_{n-1} \partial_{\varepsilon_n}, \partial_{\varepsilon_n} - \bar{c}_n \partial_{\varepsilon_0}.$$

Hence, in case $n \geq 2$, we have

$$\tilde{B}(Z_i) = \{\partial_{\varepsilon_0}, \partial_{\varepsilon_1}, \dots, \partial_{\varepsilon_n}\}$$

so that

$$\tilde{Z}_i \ni e_i.$$

Then, since it is evident that

$$Z_i \ni e_i$$

it must be that

$$\tilde{Z}_i \neq Z_i$$

(i.e. Z_i is chain-based). In case $n=1$, we have

$$\tilde{Z}_i = \langle\langle \bar{c}_1 \partial_{\varepsilon_0} - \partial_{\varepsilon_1} \rangle\rangle$$

so that

$$\tilde{Z}_i = Z_i.$$

In case $n=0$, Z_i is void. Such being the cases, since

$$E_i \cap E_\kappa = \text{void when } i \neq \kappa,$$

we consequently conclude that S is chain-based when and only when there exists at least one i for which $n \geq 2$.

Mathematical Seminar in the Muroran Inst. Tech., Hokkaido

(Received Apr. 9, 1964)

Inference

- 1) Mem. Muroran Inst. Tech. 3 (4), 809—822 (1961).
- 2) Mem. Muroran Inst. Tech. 4 (1), 297—307 (1962).
- 3) Mem. Muroran Univ. Eng. 2 (2), 511—517 (1956).

化石骨中のフッ素の光度定量法

スルホサリチル酸鉄法

下田信男・井上守明*

Spectrophotometric Determination of the Fluorine in the Fossil Bones by the Sulfosalicylic Acid Fe (III) Complex Method

Nobuo Shimoda, Moriaki Inoue

Abstract

The spectrophotometric method are proposed for the determination of the fluorine in the fossil bones. The influences on the distillation of fluorine and on its spectrophotometric determination by the less soluble calcium sulfate and phosphoric acid formed were considered. When the fossil bones were decomposed by sulfuric acid. Those influences were negligibly small. Spectrophotometric methods of iron-sulfosalicylate method are investigated in this paper,

I. 緒 言

フッ素を過塩素酸を用いて、ケイフッ化水素酸として蒸留するさい、蒸留フラスコ中にりん酸が存在すると、 $0.2\sim 0.4 r P_2O_5/ml$ がフッ素とともに留出してくることおよび留出するりん酸の量は蒸留装置によってことなることが報告¹⁾されている。フッ素の光度定量は金属有機化合物の着色溶液のフッ素イオンによる褪色を利用しているため、金属とりん酸が結合すれば、着色溶液の色に重大な影響をおよぼす。化石骨中のフッ素を定量する場合、硫酸を用いて分解すれば、硫酸カルシウムとりん酸が生成する。そのために、硫酸カルシウムによるフッ素の蒸留の妨害とりん酸の光度定量におよぼす影響を考慮して実験をおこなった。又、前報²⁾のロダン鉄法にかわって、スルホサリチル酸鉄³⁾の着色溶液によるフッ素の定量法を検討した。

II. 実 験

II. 1 試 薬

II. 1. 1 フッ素標準溶液

特級フッ化ナトリウム 2,209 g を水 1 ℓ の溶液とし、この 100 ml を 1 ℓ とした。この溶液

* (当時) 北海道学芸大学釧路分校

** アリザリン、ヘマトキシリン法に比し、呈色が長い時間安定であり、呈色のこさはフッ素イオンの濃度によって急速に変化し、試薬が安定であるという点がまさまっているため採用した。

1 ml は 0.1 mg の F^- を含む。

II. 1. 2 塩化第二鉄溶液

一級塩化第二鉄をうすい塩酸にとかし、重量法により鉄の定量をおこない、その 1 ml が 2 mg の Fe^{3+} を含むようにした。この溶液 100 ml を 1 l とする。この溶液 8 ml は 1.6 mg の Fe^{3+} を含み、これを 50 ml にうすめたとき pH 1.4 付近になるようにし、フッ素の定量用の溶液とした。

II. 1. 3 スルホサリチル酸溶液

特級スルホサリチル酸の 2% 水溶液

II. 1. 4 緩衝溶液 (pH 1.4)

Clark-Lubs の処法により、特級塩酸と特級塩化カリウムを用いて調製した。

II. 1. 5 1 規定塩酸

特級塩酸より調製した。

II. 1. 6 0.4% 水酸化ナトリウム溶液

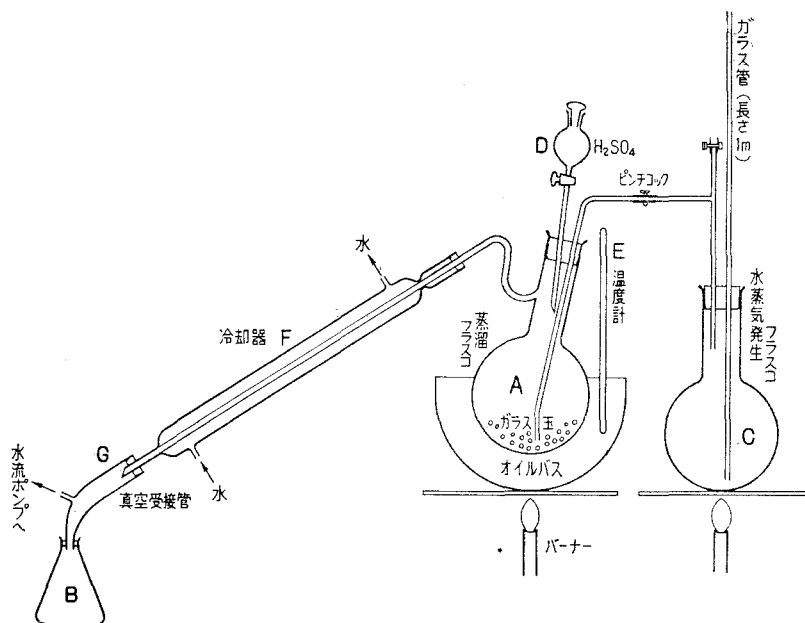
特級水酸化ナトリウムを用いて調製した。

II. 1. 7 濃硫酸 (化石骨分解用)

特級硫酸を用いた。

II. 1. 8 炭酸カルシウム。りん酸カルシウム

関東化学製特級試薬を用いた。



第 1 図 蒸留装置

II. 2. 装 置

吸光度の測定には、日立製、EPV-2型分光光度計を用いた。吸光度測定用セルとしては液層1 cmのガラス製セルを用いた。

II. 3 蒸留装置

奥野氏⁴⁾の装置に不波氏⁵⁾の方法を取入れたもので第1図に示す。

Aは硬質ガラス製の500 ml枝付フラスコで側枝を図のようにまげて、硫酸その他の物質等、フッ素以外の内容物の留出を妨げる。温度計Eはオイルバス内にひたした。Bは水蒸気発生用のフラスコである。Fは蛇管冷却管(約40 cm)でGなる真空蒸留用の受接管を通して受器Cに接続する。F、G、Cの接続はゴム栓により気密を保つ。

II. 4 蒸留操作

細粉試料の一定量をひょうりょうびんにはかりとり、500 ml蒸留フラスコへ1:1硫酸30 mlおよび少量の蒸留水で流しこむ。蒸留フラスコ内には小ガラス玉を10数個いれておく。分液ロート(D)には濃硫酸35 mlを入れて図のようにとりつける。冷却水を通じ、分液ロートのコックをひらき注意しながら硫酸を滴下する。オイルバスの温度が135°Cになってから、ピンチコックをはずし、それまで沸騰させておいた水蒸気発生装置から水蒸気を通じ軽く吸引する。受器に300 mlの三角フラスコを用い、あらかじめ0.4%の水酸化ナトリウム溶液5 mlをいれ、フェノールフタレインを2、3滴加えておく。オイルバスの温度は常に135~140°Cの間に保つようにする。三角フラスコにうけた留分はビーカーにうつし、アルカリ性のまま濃縮し、定量に供する。蒸留時間と留量別の回収率を表-1に示す。

表-1 蒸留時間と留量別による回収率
[フッ素添加量 2.5 mg]

蒸留時間 (分)	蒸留量 (ml)	留分中のフッ素 (mg)	回収率 (%)
28	100	2.430	97.3
49	100	0.062	2.5
72	100	0.020	0.8
72	300	2.512	100.6

以上の結果から、蒸留条件は蒸留時間50分、蒸留量200 mlとすれば、100%に近い回収率がえられるとし、化石骨の分析の場合、フラスコ内に生成する硫酸カルシウムとりん酸がフッ素の定量におよぼす影響の有無を知るために、炭酸カルシウムとりん酸カルシウムと共にフッ素標準溶液を蒸留フラスコに入れ、実験をおこなった。その結果を表-2に示す。

表-2の結果から、この蒸留装置、蒸留操作によって化石骨中のフッ素含有量を測定すれば、フッ素含有量をもととして化石骨の新旧を判定する目的は十分に達せられると思う。

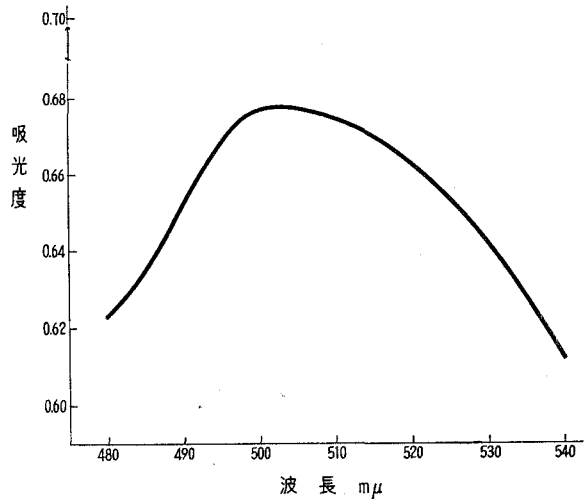
表 - 2

実験番号	炭酸カルシウム りん酸カルシウム 混合物* 添加 量 (mg)	フッ素標準溶 液添加量 (mg)	測定値 F (mg)	誤差 (mg)	回収率 (%)
1	0	2.50	2.53	+0.03	101.2
2	0	2.50	2.50	0	100.0
3	0	2.50	2.52	+0.02	100.8
4	0	2.50	2.52	+0.02	100.8
5	0	2.50	2.49	-0.01	99.6
6	0	0	0	0	0
7	0	2.00	1.97	-0.03	98.5
8	0.3	2.00	1.90	-0.10	95.0
9	0.3	2.00	1.97	-0.03	98.5
10	0.3	2.00	1.93	-0.07	96.5
11	0.5	2.00	1.90	-0.10	95.0
12	0.5	2.00	1.90	-0.10	95.0

* 炭酸カルシウム1に対しりん酸カルシウムの6の割合(重量比)

II. 5 光度定量のさいの条件の 検討

スルホサリチル酸鉄の赤色溶液のフッ素イオンによる褪色を利用してフッ素を定量するさいの条件は被定量溶液の鉄イオン濃度, スルホサリチル酸の濃度, 測定波長ならびに温度によって定まる。スルホサリチル酸鉄溶液の吸収曲線は図-2のようになり500 m μ の付近が一番吸収が大きいので, 測定波長は500 m μ を採用した。実験の結果, 全溶液



第2図 スルホサリチル酸鉄の吸収曲線

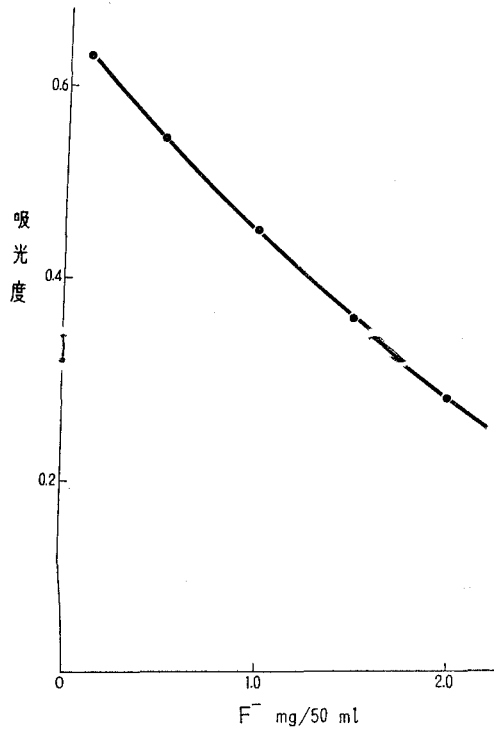
表-3 吸光度と温度との関係

F ⁻ mg/50 ml	温度 (°C)		差
	16°C	6°C	
0	0.630	0.590	0.040
0.5	0.550	0.520	0.030
1.0	0.460	0.412	0.048
2.0	0.305	0.270	0.035

表-4 吸光度と時間との関係

F ⁻ mg/50 ml	経 過 時 間 (分)				
	15	30	45	60	120
0	0.675	0.675	0.665	0.660	0.630
0.5	0.575	0.570	0.570	0.570	0.550
1.0	0.480	0.480	0.475	0.475	0.460
2.0	0.322	0.320	0.320	0.320	0.312

50 ml 中に鉄イオン 1.6 mg, スルホサリチル酸 20 mg, pH 1.4 の場合が感度が最も大であったので, これを実際の分析に適用した。また, 温度が吸光度におよぼす影響は無視できないが, 各測定毎にフッ素の標準液を測定し検量線を補正することによって解決できる。時間の影響については, 発色後 60 分以内は安定であるが, それ以上になると吸光度の減少がめだつので, 60 分以内の吸光度の測定がのぞましい。温度による吸光度の変化および時間の経過による吸光度の変化を表-3 と表-4 に示す。上記の条件により作製した検量線を第 3 図に示す。測定可能な濃度範囲は F⁻ が 0~3 mg であるが, 適当な測定濃度範囲は 2 mg 以下である。なお, 対照溶液には蒸留水を用いた。



第 3 図 検 量 線

II. 6 定量操作

蒸留した試料溶液の一定量 (35 ml 以下) を 50 ml のメスフラスコにとり, 1-N 塩酸で中和する。同時に, フッ素標準液の一定量 (0~2.5 mg の間の数点) をとる。これは, 吸光度と温度との関係を考慮するためである。おのおのに, 鉄標準液 (0.2 mg/ml) を 8 ml, 2% スルホサリチル酸 1 ml および緩衝溶液 (pH 1.4) 2 ml を加え, 更に水を加えて 50 ml とする。そして, 約 15 分後, 波長 500 mμ, スリット幅 0.035 mm で吸光度を測定し, 検量線から濃度を求める。

本法によりフッ素を定量する場合の誤差は, 標準フッ化ナトリウム溶液を用い, 3 回のくりかえし測定をした結果の相対誤差は, 0.1 mg F/50 ml から 2.0 mg F/50 ml の間では ±2% であった。

III. 結 論

化石骨中のフッ素を定量するさい、化石骨を濃硫酸で分解し、フッ素をケイフッ化水素酸として蒸留するが、多量の難溶性硫酸塩およびりん酸が生成するので、蒸留および光度定量に支障があると考え、化石骨と類似の組成の炭酸カルシウム、りん酸カルシウム混合物を用いて蒸留の条件（蒸留時間、蒸留量、蒸留温度）および回収率を検討した結果、135~140°Cの温度で、50分間の蒸留で留出液200 mlをえて、ほぼ100%に近い回収率をえた。また、化石骨中のフッ素含有量は広い範囲にわたるので前報のロダン鉄法では、測定濃度範囲がせまく(0~1 mg/100 ml)、多くの試料をあつかうのには不便である。それで測定濃度範囲が比較的広く、呈色が安定で、感度も比較的よいスルホサリチル酸鉄¹⁾溶液のフッ素イオンによる褪色を利用する方法を用い、それによる定量条件を定めた。スルホサリチル酸鉄法はロダン鉄法よりも精度はよい。フッ素標準溶液を添加した炭酸カルシウム、りん酸カルシウム混合物を用いた繰返し実験では、回収率は100%をわずかに下まわるが、測定値は5%の誤差以内で一致し、本報のような装置を使用するとき、りん酸および硫酸カルシウムの生成による妨害はほとんど考慮しなくても化石骨の新旧の判定に用いられることがわかった。本報により、化石骨中のフッ素を定量した結果は別報⁶⁾で報告した。

文 献

- 1) F. S. Grimaldi: Anal. Chem., **27**, 918 (1955).
- 2) 下田・栗山: 分析化学, **8**, 744 (1959).
- 3) M. L. Nichols, A. C. Condo: Anal. Chem., **26**, 704 (1954).
- 4) 奥野: 日化, **62**, 1158 (1941).
- 5) 不波: 分析化学, **3**, 98 (1954).
- 6) 本誌投稿中

化石骨中の微量成分に関する化学的研究 (第1報)

化石骨中のフッ素およびマンガン含有量と
化石骨の年代との関係

下田信男・遠藤信也*
井上守明*・尾崎博**

The Chemical Investigation of the Minor Constituents
in the Fossil Bones. I

The Relation between the Fluorine and Manganese
Content in the Fossil Bones and Its Age.

Nobuo Shimoda, Shinya Endo, Moriaki Inoue
and Hiroshi Ozaki

Abstract

The fluorine method which presumes the relative age of the fossil bone has been known since 1845. In this report, the authors showed that the contents of the fossil bones served to determine the age of the fossil bones and that the content of the manganese in the fossil bone served to determine the age of the fossil bones—the new method. The content of the manganese in the fossil bones is especially useful to determine the differences between the recent bones and the fossil ones. When the content of manganese and fluorine in the fossil bones was plotted for the geological and archaeological apparent age in the semi-log paper, the content of manganese and fluorine in the fossil bones increased as time lapsed.

I. 緒言

化石骨中のフッ素含有量についての報告は相当以前からなされている。J. Middleton¹⁾ (1845) は化石骨中のフッ素含有量は地質時代をさかのぼるにつれて増すとしており、「Bem-melen (1897) は化石骨におけるフッ素の富化が地下水中のフッ化アルカリによる CaCO_3 から CaF_2 への変質作用により、あるいはまたりん酸のフッ素吸着作用によって惹起されるという見解を発表し、さらに比較的新しくは Siderky (1934) が考古学的に興味のある事実として動物骨中のフッ素とりん酸との比が化石骨の年代決定に利用しうるのであることを示した²⁾。しかし、ВЛОХ, АМ, КОЧЕНОВ АВ (1960)³⁾ は化石骨中のフッ素含有量は、地質年代というより、環境によるといつている。後述するが、取扱った化石骨が魚骨であったので、とくに環境的因

* (当時) 北海道学芸大学釧路分校

** 国立科学博物館 (東京)

子がうかびあがったのであろう。化石骨が埋没環境からフッ素をとりこむのであるから、環境の違った場所から出土する化石骨のフッ素含有量の多少によって、その新旧をきめようとするには意味がなさそうに見える。しかし、ピルトダウン人とスワンカム人の場合のように、フッ素含有量が化石骨の年代を決定するのに役立つよい例がある³⁾。このように、同一または類似の環境から出土する化石骨の場合にはフッ素含有量を比較すればその新旧がきめられるはずである。この点については、今回の報告においても、環境の同一のものの化石骨の新旧の決定にフッ素含有量の比較が有効であることはいうまでもなく、たとえ環境が違っていても、なお、有効であろうことが示された。

はじめ、著者らは、岩手県磐井郡花泉地方において採取された化石骨ならびに現世の骨のフッ素の定量分析を行なったが、現世のものについて骨の部分によってフッ素含有量が異なり、なかには化石骨と比肩しうるものがあるが、フッ素含有量から化石骨の新旧をきめることに不安を感じた。そこで、地下水から容易に骨にとりこまれそうな元素をさがしているさい、マンガンが種々の化合物にとりこまれることに気づき、実験の結果、化石骨中のマンガン含有量が化石骨の新旧に密接に関係があることを見出したので報告する。なお、ひきつづき、フッ素およびマンガンが化石骨中に富化する機構について研究中である。

II. 分析 方法

化石骨の一定量を細粉となし、硝子玉入りの蒸留フラスコ内で18規定硫酸を用いて分解し、ケイフッ化水素酸としてフッ素を分離したのち、フッ素をスルホサリチル酸塩のフッ素イオンによる褪色を利用して定量⁴⁾した。マンガンは過マンガン酸塩として比色定量した⁵⁾。ただし、化石骨を硫酸で分解したさい、生成する硫酸カルシウムは直ちに濾別し硫酸カルシウムによるマンガンイオンの吸着はさけた。

III. 試料および分析結果

試料は上野国立科学博物館に保管されていたものと、著者らが花泉で採取したのものを用いた。表-1から表-3に、出土地、出土した地層、骨の部分名、フッ素含有量、マンガン含有量等を示す。

表-1 化石骨および現世骨中のフッ素およびマンガン含有量

試料番号	出土地	出土地層	骨の部分名	F mg/ 100 mg	Mn mg/ 100 mg	備 考
1	香川県沖海底	洪積層	Bison Occidentalis 左下顎尖端部	2.04	1.15	暗褐色
2	花 泉	花泉層	Leptobison Fossil 右第五助骨中部稍下部	0.83	0.34	地 下 4.5 m

試料番号	出土地	出土地層	骨の部分名	F mg/ 100 mg	Mn mg/ 100 mg	備考
3	花 泉	花 泉 層	Leptobison Fossil 右腕骨上端	0.73	0.29	地 下 4.5 m
4	花 泉	花 泉 層	Leptobison Fossil 左下顎先端部	0.90	0.30	同 上
5	アメリカ	現 世	野 牛 右第五肋骨中部稍下部	0.60	0	
6	アメリカ	現 世	野 牛 右顎先端部	1.1	0	

表—2 化石骨中のフッ素およびマンガン含有量

試料番号	出土地	出土地層	骨の部分名	F mg/ 100 mg	Mn mg/ 100 mg	備考
7	花 泉	金 森 層	鹿, 下顎骨	0.77	0.22	地 下 1.5~1.8 m
8	"	"	同, 齒	0.35	0.14	"
9	"	"	鹿, 下顎骨	0.72	0.20	"
10	"	"	同, 齒	0.49	0.16	"
11	"	"	鹿, 肋骨, 先端	0.74	0.19	"
12	"	"	同, 同, 中央部	0.57	0.16	"
13	"	"	鹿, 砲骨, 先端	0.41	0.18	"
14	"	"	同, 同, 中央部	0.57	0.18	"

表—3 化石骨および現世骨中のフッ素およびマンガン含有量

試料番号	出土地	出土地層	骨の部分名	F mg/ 100 mg	Mn mg/ 100 mg	備考
15	セイロン	現 世	インド象, 下顎骨	0.04	tr.	野外に放置され ていた骨格
16	日 本	"	牛, 下顎骨	0.08	0.00	
17	"	"	イノシシ	0.10	0.00	漂白標本
18	"	"	クジラ, 脊椎骨	0.37	0.02	同上, 1945-1950間, 上野にて地表に累積
19	東京大手町	江戸時代	人, 大腿骨	0.47	0.21	
20	東京多摩川	横穴古墳	人, 上膊骨	0.09	0.00	
21	宮城県青島	縄紋時代	人, 上膊骨	0.18	0.27	地表 40~50 cm
22	伊豆大島	鹿	鹿, ?	0.83	0.03	溶岩におはれた 砂層に埋没
23	沖 縄	貝 塚	キョン, ?	1.26	0.17	
24	東京数寄屋橋	有楽町層 沖積世	イノシシ, 下顎骨	0.40	0.07	数寄屋橋ビル地 下 3 m
25	東京赤坂	ク "	クジラ, 脊椎骨	0.91	0.15	貝を含む沖積層 に埋没
26	花 泉	花 泉 層	ハナイズミモリウシ, 肋骨	1.61	0.23	地下 4.5 m
27	"	"	オオツノシカ, 腰骨, 外側	0.95	0.24	"
28	"	"	オオツノシカ, 腰骨, 内側	0.55	0.20	"
29	"	金 森 層	イノシシ, ?	0.72	0.20	"
30	千葉県木更津	成田層 (洪積世)	オウマン象, 下顎骨	0.96	0.52	ローム 3.5m, 砂礫層 15mにおおわれる

試料番号	出土地	出土地層	骨の部分名	F mg/ 100 mg	Mn mg/ 100 mg	備考
31	千葉県木更津	成田層 (洪積世)	シカ, 四肢骨	2.05	0.17	ローム3.5m, 砂礫層 15mにおおわれる
32	"	"	クジラ, 脊椎骨	2.27	0.35	"
33	千葉県野田	"	クジラ, 肋骨	1.04	0.18	
34	東京文京区	東京層 (洪積世)	ナウマン象, 下顎骨	1.44	0.25	
35	静岡県佐浜	洪積世	ナウマウ象, 四肢骨	2.13	0.39	暗灰色
36	横須賀白柚山	"	ナウマン象, 下顎骨	1.47	0.25	ナウマン氏標本
37	滋賀県竜華	鮮新世又は 洪積世	東洋象	1.31	5.30	
38	岩手県水沢	鮮新世	クジラ	2.24	0.25	
39	岐阜県	中新世	不明哺乳類	2.67	0.46	

IV. 結果に対する考察

地下に埋没している骨が外部から種々の元素を吸着したり, また, 骨自体から元素が溶出したりして, 骨の化学組成がしだいに变化していくことは容易に考えられることであって, このことを利用して骨の新旧を知ろうとする試みがなされてきた。とくに, フッ素にかんしてはよく知られており, 報告もなされている。しかしこの方法には多くの問題がある。すなわち, 現世動物の骨の中のフッ素含有量が動物の種類によって非常に大きな差があることである。V. M. Goldschmidt の “Geochemistry”⁶⁾ によると第4表のようなデータが示されている。

表—4 Fluorine Content of Animals (weight per cent)

	Min	Max	Average
man skull	—	—	0.059
man long bones	—	—	0.070
man tooth (bone)	—	—	0.055
man tooth (enamel)	—	—	0.049
7 other terrestrial mammals	0.019	6.065	0.039
5 marine mammals	0.24	0.82	0.66
8 Ferrestrial birds	0.039	0.22	0.044
11 marine birds	0.11	0.63	0.33
4 Fishes, fresh water	0.022	0.045	0.031
4 Fishes, brackish water	0.043	0.070	0.057
2 Fishes, marine water	0.14	0.43	0.28
3 Sharks	0.69	1.08	0.78
Fluorapatite (theol)	—	—	3.77
sea water*	1.4 m/gℓ		

*

これによると、骨の中のフッ素含有量は、それが住んでいる環境および食物によって左右される。海水のように比較的フッ素含有量の多い環境に住んでいるものに多く、又、海生の動物を食用にしているものはさらに多くなっている。例えば、陸生の鳥類では0.044%に対して、海生の鳥類では、0.33%、また、海産の魚類の平均が0.28%であるのに対して、それらを常食としているサメの類は0.78%と大きな変化がある。また、この表において、人骨に関しては、各部によってかなりの差がある。このように現世動物においてさえ、その種類や一個体の骨の部分によってフッ素含有量に大きな差があることは、フッ素を用いて年代を推定する場合の大きな障害となる。すなわち、試料の選択には十分な考慮が必要である。

一方、現世動物の骨の中のマンガン含有量の考古学的応用に関する報告はない。また、現世、とくに最近の骨の中のマンガン含有量は極めて少なく、比色分析ではみとめられない。しかし、後に詳細に述べるが、著者らの行なった模式実験から、マンガンはフッ素と同様に、時間と共に化石骨中に富化されることは明らかで、化石骨中の両元素の含有量はその新旧の推定に役立つと思われるので、両元素の含有量についてあわせて考察をすすめていく。

骨の埋没環境中、これら元素の含有量が場所によって異なることがあるが、同一地域あるいは似かよった環境のもとに出土する化石骨の場合には問題にならない。また、異なる環境で出土した化石骨の場合にも、その化石骨中のフッ素およびマンガン含有量と地質学的、考古学的推定年代*を片対数(または両対数グラフ)にプロットすると第1図のような線がえがかれるので、全般的傾向として、フッ素およびマンガン含有量をもって、化石骨の新旧を比較することができるといっても差支えない。

さて、表-1、試料番号1~6のうち、2、3、4は花泉地方の花泉層から出土したもので、5および6はアメリカより輸入した現世の骨格標本から試料を採取したものである。花泉の化石とこの現世の骨格では、フッ素含有量に明瞭な差はないが、マンガン含有量では明瞭な差が認められる。表-3における結果も同様である。マンガン含有量をみれば、現世骨と化石骨とははっきり区別することができると思う。

表-2では、花泉地方で花泉層を不整合におおう金森層に含まれる試料を示した。地下1.5~1.8mの腐植質泥砂層の下部に埋没し、下位の花泉層と同系統の地下水に飽和の状態に浸されていたものである。この地下水のpH、

フッ素含有量およびマンガン含有量を表-5に示す。ここで採取した化石骨のフッ素含有量およびマンガン含有量を化石骨の部分について比較した。フッ素およびマンガン含有量

表-5 花泉の地下水の pH, フッ素含有量, マンガン含有量

pH		8.2
フッ素含有量	mg/ℓ	0.1 mg/ℓ
マンガン含有量	mg/ℓ	0.02 mg/ℓ

* これを横軸としたが、化石骨の新しいものから順次に左から右へ並べて年代の順とした。

は、骨の内部よりも表面に多く、長い骨では中央部よりも、多孔質の露出している両端部分に多い。この事実は網走モヨロ貝塚で出土した鳥骨においても認められた。No. 7~14までは、同一の時日に、同一層から、採取したものの分析結果で、骨の各部分を考慮してフッ素およびマンガン含有量を比較するとバラツキの少ない値を示している。特に、マンガンの分析値が一定している。

表-3は、出土地、出土環境の異なる化石骨についての分析結果である。このような化石骨の分析結果は、それらの新旧の決定に役立つのかのように考えられるが、フッ素とマンガンとの含有量と地質学的、考古学的推定年代を片対数（もしくは両対数）グラフにプロットすると、図-1のようになり、両元素とも年代の古さに向うに従い次第に増加し、これらの元素の含有量の決定が化石骨の新旧の判定に役立つことを示している。もしこれらの骨が同じ環境にあ

表-6 網走モヨロ貝塚の鳥骨中のフッ素およびマンガン含有量

	F mg/100 mg	Mn mg/100 mg
中 央 部	0.07	0.00
先 端 部	0.14	0.00

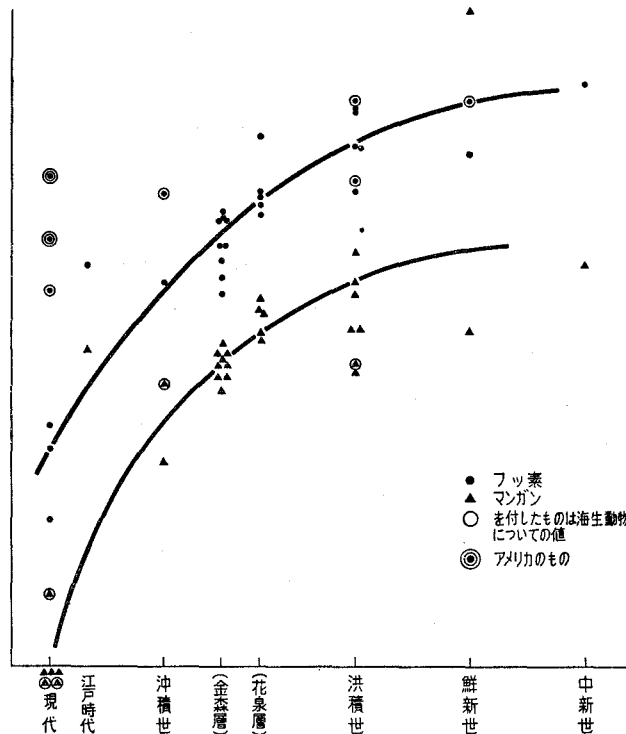


図 - 1

* 試料 13 と 14 との間では、この関係が逆になっているが、骨の断面の性質による表。面が多孔質のものでは、滑面の部分より、とりこまれる元素の量が多い。

ったならば、そして化石骨の同じ部分の分析値を用いたならば、もっとスムーズなカーブがえがかれるような分析値となったであろう。

なお、花泉地方の地層の層序⁷⁾は表-7のようであるが、花泉層より出土したものと、それよりも新しい金森層から出土したものとをフッ素とマンガンの含有量から区別することができそうである。花泉層より出土した化石骨 No. 2~4, 26~28 では、

フッ素含有量は 0.73*~1.61%、マンガ含有量は 0.23**~0.34% であるのに対し、金森層から出土した試料 No. 7~14 および 29 では、フッ素含有量は 0.35~0.77%、マンガ含有量は 0.14~0.22% となっており、両層から出土する化石骨は、フッ素およびマンガ含有量の多少によって、ある程度区別することができる。

なお、表-3において、海生動物の化石骨は、現世、洪積世と推定されるものにあつて、それぞれ、同時代と推定される陸生の動物の化石骨より、フッ素含有量が多い傾向があることが示されているが、このことは、フッ素含有量によって化石骨の新旧を推定するうえに、埋没条件とともに考慮しなければならないことである。

また、試料番号 19 のものは、江戸時代のものと推定されているが、フッ素含有量、マンガ含有量ともに多く、出土状況の検討を要すると思う。

IV. 結 論

化石骨中のフッ素含有量をもととして、化石骨の新旧をきめようとする試みがなされ、よい結果をもたらした場合もあったが、あまり古くない化石骨では、そのフッ素含有量に大差がなくよい結果が得られなかったことも報告されている。全回の著者らの研究では、化石骨のフッ素含有量を対数にとり、化石骨相互について比較すると、大して古くなくても化石骨の新旧の決定に役立つことがわかった。しかし、その動物の生前および死後の環境により同一動物体骨でもその出土する場所により、骨の種類(頭がい骨、顎骨等)により、また骨の表面か内部かによって、フッ素含有量が異なっているため、フッ素含有量による化石骨の新旧の決定にはかなり慎重を要することがわかった。著者らはフッ素によるほか、化石骨のマンガ含有量を比較することにより、化石骨の新旧をきめることができることを見出した。

*、** オオツノシカの腰骨の値は、いずれも内側部の値は、外側との比較上定量した値で、化石骨相互の比較には、外側の値を採用した。

文 献

- 1) 科学技術文献速報 (地球の化学): Vol. 4, No. 10, 5307077.
- 2) 浜口・立本: 人類学雑誌, ZZLX 1-2, 1950.
- 3) 鈴木 尚: 日本人の骨, 岩波新書.
- 4) 本誌投稿中
- 5) E. B. Sandell: "Colorimetric Determination of Traces of Metals" 3rd. Ed., p. 293 (Interscience, (1950).
- 6) V. M. Goldschmidt: "Geochemistry" p. 398-408 (Oxford press 1954).
- 7) 植田・岩井・尾崎: 国立科学博物館 (東京), 研究報告, 第 50 号.

化石骨中の微量成分に関する化学的研究 (第2報)

水中のフッ素イオンおよびマンガン(II)イオンの化学物質
(骨の化学成分)への濃縮についての模式実験

上田信男・遠藤信也*
井上守明*・尾崎博**

The Chemical Investigations of the Minor Constituents in the Fossil Bones. II

The Model Experiments on the Concentration of the Fluorine
and Manganese to the Chemical Substances.

Nobuo Shimoda, Shinya Endo, Moriaki Inoue
and Hiroshi Ozaki

Abstract

The mechanism of the concentration of the fluorine and manganese to the chemical substances like bone is reported. When the mixture ($\text{CaCO}_3 + \text{Ca}(\text{PO}_4)_2$) was immersed in the dilute fluoride and manganous solution for 200 days, both ions were concentrated in the same way. When the isotope Mn was added in the CaCO_3 and $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ suspended solution with carrier, the activity was detected only in the $\text{Ca}(\text{PO}_4)_2$.

I. 緒 言

地下に埋没している骨は周囲から種々の元素をとりいれたり、あるいは骨自体が分解して変化するのであるが、骨の成分と吸着又は化合しやすい元素は長い年月の間に骨の中にとりいれられてしだいに増加していく。その増加の度合は周囲の条件や骨の性質(骨の硬軟、あるいは骨髄が地下水に接触しているかどうか等)によってことなるであろう。

本実験においてはフッ素マンガンが骨に富化する状況を概略的に知るために一定量のフッ素イオンとマンガン(II)イオンを含む溶液中へ、りん酸カルシウムと炭酸カルシウムの混合物(骨と類似の組成の混合物、以下、単に混合物と記す)を投入し、時間の経過による混合物へのこれらイオンの富化する量を調べた。

また、炭酸カルシウムとりん酸カルシウムを別々に懸濁する溶液中にアイソトープ ^{54}Mn

* (当時) 北海道学芸大学釧路分校

** 国立科学博物館(東京)

を含むマンガン(II)イオンを含む溶液をえて、マンガン(II)イオンが、いずれのカルシウム塩にとりこまれるかをも調べた。

II. 実 験

II. 1 試 薬

II. 1. 1 炭酸カルシウムおよびりん酸カルシウムは関東化学製特級試薬を用いた。

II. 1. 2 模式実験用のフッ素およびマンガン溶液。

特級フッ化ナトリウム 0.66 g と特級塩化マンガン 45.19 g を蒸留水にて 5 ℓ とした。この溶液 1.0 ml は 0.06 mg のフッ素と 2.5 mg のマンガンを含む (比色分析ならびに重量分析により定量した)。

II. 2 実験方法

500 ml のビーカーに炭酸カルシウム 0.25 g とリン酸カルシウム 1.75 g をいれ、前述のフッ素、マンガン溶液 20 ml を蒸留水で 500 ml にうすめたものをそそぎいれ、ガラス棒で十分かきまぜ、時計皿でふたをして放置した。また、同様に、この濃度の 1/10 と 1/100 のものを作製した。自然界においては化石骨は、一定濃度のフッ素およびマンガンを含む溶液と接触すると考え、本実験では 10 日ごとに上澄をすて、新たな溶液ととりかえた。

このような実験溶液を一定期間ごとにろ過し、ろ紙上の沈澱をそのまま時計皿にひろげ 90°C で乾燥した。これらから、一定量をはかりとって、骨の場合と同様の操作により、フッ素およびマンガンを定量した。

III. 実験結果

フッ素およびマンガンの炭酸カルシウム、りん酸カルシウム混合物へ富化する様子を経過日数とともに示す。

第 1 表 フッ素およびマンガンの炭酸カルシウム、りん酸カルシウム混合物への富化 ($F^- = 2.4 \text{ mg}/\ell$, $Mn^{2+} = 100 \text{ mg}/\ell$)

実験番号	経過日数	混合物中のフッ素含有量%	混合物中のマンガン含有量%	実験番号	経過日数	混合物中のフッ素含有量%	混合物中のマンガン含有量%
1	5	0.012	0.77	11	132	0.078	3.44
2	10	0.020	1.40	12	141	0.084	3.68
3	20	0.034	2.28	13	151	0.086	3.63
4	30	0.039	2.64	14	160	0.079	3.76
5	40	0.054	2.72	15	170	0.085	3.72
6	50	0.058	2.96	16	181	0.087	3.80
7	60	0.060	3.10	17	190	0.083	3.68
8	70	0.070	3.28	18	200	0.090	3.63
9	80	0.072	3.24	19	220	0.096	3.72
10	101	0.075	3.12				

第2表 フッ素およびマンガンの炭酸カルシウム, リン酸カルシウム
混合物への富化 ($F^- = 0.24 \text{ mg/l}$, $Mn^{2+} = 10.0 \text{ mg/l}$)

実験番号	経過日数	混合物中の フッ素含有 量%	混合物中の マンガン含 有量%	実験着号	経過日数	混合物中の フッ素含有 量%	混合物中の マンガン含 有量%
1	22	0.005	0.50	5	140	0.026	2.03
2	50	0.011	0.98	6	170	0.030	2.25
3	70	0.013	1.35	7	205	0.032	2.40
4	110	0.020	1.74				

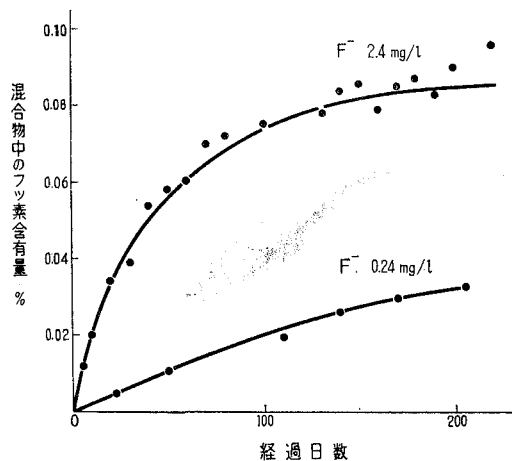
第3表 フッ素およびマンガンの炭酸カルシウム, リン酸カルシウム
混合物への富化 ($F^- = 0.024 \text{ mg/l}$, $Mn^{2+} = 1 \text{ mg/l}$)

実験番号	経過日数	混合物中の フッ素含有 量%	混合物中の マンガン含 有量%	実験着号	経過日数	混合物中の フッ素含有 量%	混合物中の マンガン含 有量%
1	22	定量しえず	定量しえず	5	140	定量しえず	0.26
2	50	"	0.10	6	170	"	0.35
3	70	"	0.14	7	205	"	0.41
4	110	"	0.23				

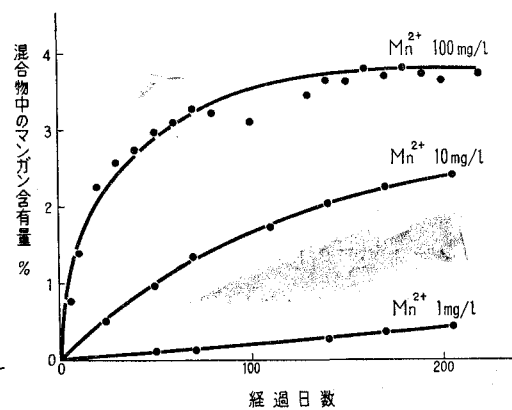
IV. 考 察

混合物中のフッ素含有量(%)およびマンガン含有量(%)と経過日数との関係を第1図および第2図に示す。実験結果ならびに図から次の事柄を推論した。

IV. 1 フッ素もマンガンも混合物にとりこまれる傾向は図において、類似の曲線をたどっているから、いずれも化石骨の新旧の判定に用いられるであろう。本実験では、マンガンについて溶液の濃度がフッ素の場合より大きいので、曲線は早く水平になっている。しかし、い



第1図



第2図

ずれにしても、このことは、年代が古くなると、化石骨中のフッ素およびマンガンの含有量はあまり変化しなくなることを示すものである。自然界に埋没している化石骨中のフッ素およびマンガン含有量に対しては、地下水中のこれら元素の含有量が大きい影響をもっている反面、混合物中にとりこまれるフッ素およびマンガンの量が混合物の表面積に関係していると考えられるから、化石骨の表面と内部、切断面を含むものと含まないもの等、化石骨の表面積がやはり大きい影響をもっていることが推定され、第1報のデータもそうなっている。化石骨中のフッ素やマンガン含有量を比較するとき、その環境と形態について十分な考慮を払わなければならない。

IV. 2 混合物中のフッ素含有量(%)およびマンガン含有量(%)と経過日数との関係は、溶液中のこれら元素の濃度がやや高い場合でも、初めの時期では直線を示し、濃度が低ければ直線となるので、フッ素含有量もしくはマンガン含有量から化石骨の新旧を判定する方法は十分の根拠のあることと思う。

V. マンガンの同位元素 ^{54}Mn によるマンガンの化石骨への富化機構の検討

塩化マンガン溶液 (0.02 mg/l) 50 ml 中に ^{54}Mn (硫酸塩) 溶液 (1500 cpm/ml) を 5 ml 加えた溶液をつくり、その中に炭酸カルシウム粉末とを別々に懸濁させたところ、炭酸カルシウムでは1週間放置後でも僅かの放射能が検出されるにすぎなかったが、りん酸カルシウムでは1日の放置で加えた放射能のほとんどが検出された。このことから、化石骨中にマンガンが富化されるのは、骨の中のりん酸カルシウムであることがわかった。現世の骨にマンガンが極めてすくないこと、マンガンがりん酸カルシウムに富化されやすいことからみて、化石骨中のマンガン含有量を知ることは、その化石骨の新旧の判定に役立つことと思う。

VI. 結 言

水中の微量のフッ素やマンガンがどのような機構で化石骨にとりこまれていくかを研究した。フッ素イオンとマンガン(II)イオンを含むうすい溶液中に、炭酸カルシウムとりん酸カルシウムの混合物(骨の化学組成と類似のもの)を投入し、時間の経過にしたがいとりだして、フッ素およびマンガンを定量し、この2成分が時間の経過にともない指数的に混合物に富化されていくことを見出した。また、マンガンのアイソトープ ^{54}Mn を用いマンガンがきわめてすみやかにりん酸カルシウムに濃縮することを見出した。現在、フッ素が混合物中に富化される機構について研究中であるが、フッ化カルシウムの生成によるとすると、フッ化カルシウムの溶解度その他の性質からみて、フッ素が混合物中にとりこまれる傾向は、マンガンのその傾向より小さいと考えられるので、マンガンの方がフッ素よりも化石骨の新旧を決定するのに有利

ではないかと思う。

文 献

- 1) 化石骨中の微量成分に関する化学的研究 (第1報) 本誌投稿中.

各種無機リン酸塩共存下における 正リン酸塩の吸光光度定量 (第1報)

ピロリン酸塩共存下における正リン酸塩の吸光光度定量

上野幸三・石丸幸造

Spectrophotometric Determination of Orthophosphate in
the Inorganic Phosphate Mixture (Part I)

The Improvement of Ging's Method for Spectrophotometric
Determination of Orthophosphate in the
Presence of Pyrophosphate.

Kozo Ueno and Kozo Ishimaru

Abstract

The present writers made critical examination of the method of N. S. Ging [Anal. Chem., 28, 1330 (1956)] in an attempt to determine the orthophosphate in the presence of pyrophosphate spectrophotometrically, and succeeded in their attempt by modifying the Ging's method.

As a result, they found that one could save 9-15 minutes out of the time required prior to the measurement of absorbance, by shortening the requisite period for standing after respective additions of reagents and solvents, and that the separation of the aqueous phase (molybdenum blue) from the solvent phase with separatory funnel was easily carried out by shaking the solution with chloroform after formation of molybdenum blue. And they also found that the present method made it possible to prevent the hydration of pyrophosphate.

I. 緒 言

各種無機リン酸塩共存下で正リン酸塩を定量する方法には、容量法によるものとしては Jones¹⁾, 青山²⁾, 加藤ら^{3),4)}, D. Haywood⁵⁾ および A. B. Gerber & F. T. Miles⁶⁾ の報告があり、重量法によるものとしては高島⁷⁾ の報告があるが、これらの方法は定量するのに時間がかかったり、操作が複雑であったりすることが欠点である。時間を余り要せず、また操作が比較的簡単な方法としては吸光光度法によるものがある。この方法によるものとしては Krishna Kumar Tewari & P. S. Krishnan⁸⁾, J. B. Martin & M. A. DeSesa⁹⁾, C. H. Lueck & D. F. Boltz¹⁰⁾, J. B. Martin & D. M. Doty¹¹⁾ および N. S. Ging¹²⁾ の報告がある。

正リン酸塩の吸光光度法による定量には、リンバナドモリブデン酸塩による方法、リンモリブデン酸塩による方法、および生成したリンモリブデン酸塩を還元して青色の錯体(モリブ

デンプルー)による方法が一般によく用いられているが、各種無機リン酸塩が共存する場合の正リン酸塩の定量をモリブデンブルー法によって行なう場合には、一般によく用いられている操作をそのまま用いることができない場合が多い。すなわち、この方法ではまずリンモリブデン酸アンモニウムを生成させ、これを適当な還元剤で還元して発色する青色を利用するのであるが、リンモリブデン酸アンモニウムを生成させるために、多くの場合試料を強酸性にして^{13),14)}加温する操作を伴う。したがって、正リン酸塩以外のリン酸塩は、この操作中にすべて多少加水分解されて正リン酸塩に変る恐れがあり、正リン酸塩のみを正確に定量することが困難になる。これを防ぐためには、できるだけ酸濃度を低くし加温をさけることが必要である。また試料中に最初から存在している正リン酸塩によるモリブデンブルーのみを適当な有機溶媒で抽出するというのも、他のリン酸塩の加水分解の影響を取り除くのに役立つわけである。したがって溶媒の選択ということもゆるがせにできない問題である。またモリブデンブルー法においては過剰に存在するモリブデン酸塩の影響、すなわち、不安定なリン酸塩がモリブデン酸アンモニウムの触媒的作用によって変化するのを防ぐことや、過剰の還元剤の除去および還元によって生ずる発色を防ぐことなどが重要な問題である。その他妨害イオンの問題、発色するまでに要する時間、発色後の安定性、還元剤の選択など、正リン酸塩単独の場合の吸光光度法における問題が、操作上の重要な問題点であることはいうまでもない。また精度が高く、ベールの法則が適用されねばならないことは、当然のことである。

著者らは各種無機リン酸塩共存下における正リン酸塩の定量を、モリブデンブルーによる吸光光度法で試みようとしてきたが、上述のような理由でなかなか適当な方法が見出されず、正リン酸塩以外のリン酸塩の加水分解による影響などをさける適当な方法の検討に苦労してきた。たまたま N. S. Ging¹²⁾の報告を知り、この方法が著者らの目的に使用可能と思われたのでこの方法の検討を行ない、その操作の一部を変更して、ピロリン酸塩共存下における正リン酸塩の吸光光度定量を行ない、満足すべき結果をえたので報告する。

II. 試料、試薬および装置

1. 試料

正リン酸ナトリウム： 関東化学の特級のリン酸二水素ナトリウム (NaH_2PO_4) 水溶液にエチルアルコールを加えて2回再結晶し、 100°C で2時間脱水乾燥したのち、デシケーター中で放冷し、この計算量をはかりとり、発色後 1 ml 中にリンとして $1\sim 4\text{ r}$ 含有するように調製した。

ピロリン酸ナトリウム： 関東化学の特級のリン酸二水素ナトリウムを精製し、白金るつぼ中で2時間 900°C に加熱して無水のピロリン酸四ナトリウム ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$) とし¹⁵⁾、この水溶液を氷で冷却しながらエチルアルコールを加えて2回再結晶したものを使用し、発色後 25 ml 中

に P_2O_5 として 10~1,200 γ 含むように調製した。

2. 試 薬

亜硫酸ナトリウム—亜硫酸水素ナトリウム混合溶液: 20% 亜硫酸ナトリウム (特級品) 5 ml と 15% 亜硫酸水素ナトリウム (特級品) 95 ml を混合した。

ハイドロキノン: 2% 溶液 (一級品)

硫 酸: 0.2 規定溶液 (特級品)

n-ブタノール: (一級品)

クロロホルム: (一級品)

3. 装 置

日立 EPU-2 A 型の分光光電光度計を使用し, 1.0 cm のガラス吸収セルを用いた。

III. 定 量 操 作

10 ml の蒸留水を 50 ml の分液ロートに取り, 試料溶液を加え, それに 0.2 規定硫酸 5 ml と 5% モリブデン酸アンモニウム 2 ml を加えて 30 秒間激しく振り, 1 分間室温で静置し, これに 10 ml の n-ブタノールを加え, 1 分間振って黄色のリンモリブデン酸アンモニウムを抽出し, これをさらに 1 分間静置させると水相とブタノール相とが二層に分離する。水相を流出させ, ブタノール相に 15 ml の蒸留水を加えてふたたび激しく振り, さらに 2 分間静置したのち, 2% ハイドロキノン 1 ml を加えて激しく振り, さらに 2 分間静置し, それに亜硫酸ナトリウム—亜硫酸水素ナトリウム混合溶液を 1 ml 加え, 激しく振って 2 分間静置すると, モリブデンプルーが水相に逆抽出される。これにクロロホルム 10 ml を加えて振り 1 分間静置したのち, 有機溶媒相を流出させ, 残った水相に蒸留水を加えて全体を 25 ml とし, 水を対照液として波長 720 m μ で測定した。

IV. 実験および考察

1. 溶媒の選択

リンモリブデン酸アンモニウムを抽出する溶媒については, Mellon¹⁶⁾ および Paul¹⁷⁾ によってよく研究されているが, 著者らは, n-ブタノール, iso-ブタノール, n-ブタノールと iso-ブタノールの混合溶媒, n-ブタノールとクロロホルムの混合溶媒, iso-ブタノールとクロロホルムの混合溶媒の五つの溶媒について検討した。その一例を表 1 に示す。

表 1 各種溶媒の比較

溶 媒	抽 出 力	吸光度	二層分離の様子
n-ブタノール	有	0.310	良
iso-ブタノール	有	0.309	良
n-ブタノール -iso-ブタノール (1:1)	有	0.294	良
iso-ブタノール -クロロホルム (1:1)	有	—	不良
n-ブタノール -クロロホルム (1:1)	有	—	不良

表1は正リン酸ナトリウム溶液(リンとして3 γ /m ℓ)を用い、溶媒10m ℓ 、振りまぜ時間1分間で定量操作の中クロロホルム処理を除いたほかは同様な操作で行なった結果を示した。表1から明らかなようにリンモリブデン酸アンモニウムの抽出能力はn-ブタノールとiso-ブタノールのとは同じであり、それについてはn-ブタノールとiso-ブタノールの混合溶媒であった。iso-ブタノール-クロロホルムおよびn-ブタノール-クロロホルムの混合溶媒では、溶媒層が下層になる*ので実験操作上はつごうがよいが、分離が悪く振り方によっては分離不能となることがあり、吸光度は測定できなかつたが抽出能力は持っていた。

n-ブタノールとiso-ブタノールでは抽出能力が同じであつたので、n-ブタノールを溶媒に用いることにした。なお本実験では、黄色のリンモリブデン酸アンモニウムの抽出にn-ブタノール10m ℓ を1回しか使用しなかつたが、予備実験の結果これで抽出が完全に行なわれていることを確かめた。

2. 吸収曲線

正リン酸ナトリウム(2 γ /m ℓ)を用い、定量操作によって求められた波長と吸光度との関係を図1に示す。吸収の最大は波長720m μ の所である。

3. 発色後の安定性

水相に逆抽出されたモリブデンブルーの室温における安定性について検討した結果は、図2に示した通りである。正リン酸ナトリウム水溶液(リンとして1m ℓ 中に2 γ および4 γ)について、発色後吸光度測定までの放置時間を2, 6, 10, 30 および 60分とした結果を図2に示した。図から明らかなように発色後60分まではほとんど変化がみられなかつた。

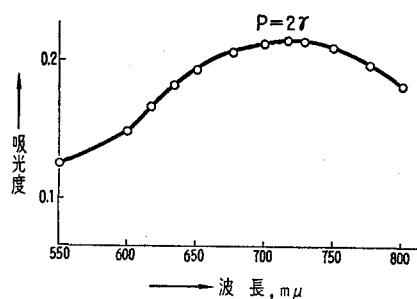


図1 吸収曲線

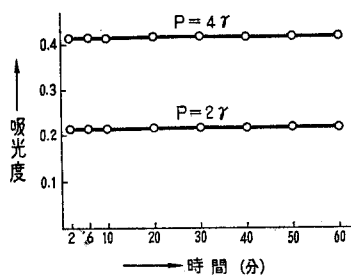


図2 発色の安定性

4. 反応および静置時間

N. S. Ging¹²⁾ はリンモリブデン酸アンモニウムを抽出したのち、抽出されたブタノール相に蒸留水15m ℓ を加えて5~10分、ハイドロキノンを加えて5~6分、さらに亜硫酸ナトリウム-亜硫酸水素ナトリウム混合溶液を加えて5~6分、すなわち合計15~22分の反応および静

* n-および iso-ブタノール使用の際は溶媒層が上層になる。

置時間をみているが、これらの時間を短縮できればさらに操作が迅速になるので、その目的でそれぞれを2分間ずつにして正リン酸ナトリウム水溶液(リンとして1ml中に1~4γ)および蒸留水について、吸光度の測定結果を比較したのが表2である。

表2によってGingの方法と同じ結果であることがわかり、したがって全体で9~15分間短縮したが、吸光度には影響がなかった。

5. クロロホルムの使用

発色後の水相とブタノール相との分離を完全にするため、および水相とブタノール相とを逆にして分液ロートからブタノール相の流出を容易にするために、クロロホルム10mlを加えて振ることにより、その目的が達成された。さらにこのことにより色調も明確となった。

6. 検量線

上記1~5の実験結果に基づいて決定された定量操作によって、正リン酸ナトリウム溶液を用

いて1ml中にリン量0, 1, 2, 3および4γのものを発色させ、波長720mμで吸光度を測定した

表2 Gingの方法との比較

P, γ/ml	著者ら	Ging
0	0.008	0.009
1	0.109	0.110
2	0.211	0.212
3	0.310	0.306
4	0.409	0.408

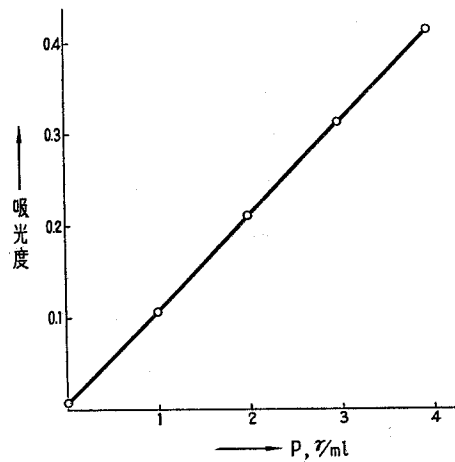


図3 検量線

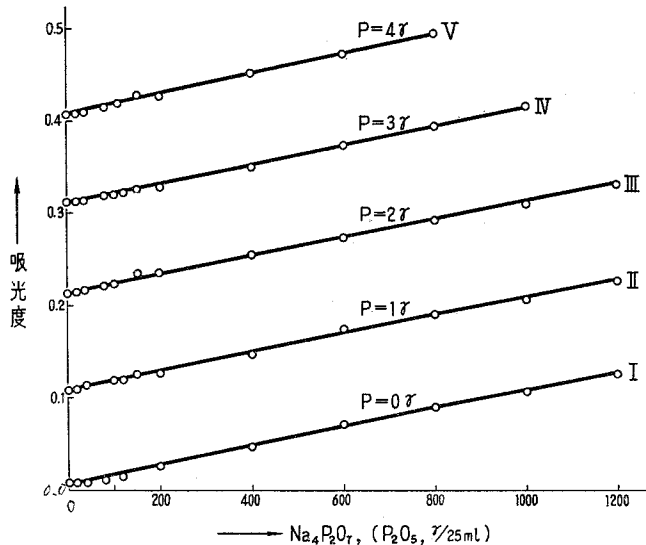


図4 オルトーおよびピロリン酸ナトリウム混合溶液の吸光度

検量線が図3である。すなわち、濃度と吸光度とが直線となり、ベールの法則が成立していることがわかる。

7. ピロリン酸塩共存下における正リン酸塩の吸光度測定

ピロリン酸塩共存下における正リン酸塩の吸光度を測定するため、次の三つの場合について実験を行なった。すなわち、i) 正リン酸塩単独の場合、ii) ピロリン酸塩単独の場合、iii) 正リン酸塩とピロリン酸塩共存の場合について吸光度の測定を行なった。その結果が表3であり、それを図示したのが図3および4である。

i) の場合は正リン酸塩としてリン酸二水素ナトリウム (NaH_2PO_4) を使用し、発色後 1 ml 中 0, 1, 2, 3 および 4 μ をそれぞれ含有するものを、定量操作によって測定した。その結果が表3の一番上の横の欄の吸光度であり、これを図示したのが図3の検量線である。ii) の場合はピロリン酸塩としてピロリン酸ナトリウム ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$) を使用し、測定をつどこれをはかりとり、発色後 25 ml 中に P_2O_5 として 0~1,200 μ になるように調製し、定量操作によって測定した。その結果が表3の左から2列目に示した吸光度であり、それを図示したのが図4の直線 I である。ピロリン酸塩はモリブデンブルーを生じないはずであるから、この発色はピロリン酸

表3 オルトーおよびピロリン酸ナトリウム混合溶液の吸光度

b	a				
	0	1	2	3	4
0	0.008	0.109	0.211	0.310	0.409
10	0.008	0.110	0.210	0.306	0.408
20	0.009	0.116	0.215	0.314	0.408
30	—	—	0.213	—	—
40	0.010	0.115	0.215	0.316	0.408
60	0.012	0.116	—	0.315	0.408
80	0.015	0.116	0.216	0.316	0.412
100	—	0.116	0.215	0.318	—
120	0.016	0.118	0.218	0.318	0.412
140	0.018	0.122	0.224	0.322	0.426
160	0.020	0.124	0.232	0.324	0.426
200	0.027	0.127	0.232	0.329	0.428
400	0.046	0.146	0.255	0.350	0.448
600	0.073	0.174	0.271	0.373	0.470
800	0.086	0.183	0.285	0.394	0.494
1000	0.105	0.205	0.308	0.416	—
1200	0.122	0.226	0.328	—	—

表4 オルトーピロリン酸ナトリウム混合溶液の補正した吸光度

b	a			
	1	2	3	4
0	0.109	0.211	0.310	0.409
10	0.110	0.210	0.306	0.408
20	0.115	0.214	0.313	0.407
30	—	—	—	—
40	0.113	0.213	0.314	0.406
60	0.112	—	0.311	0.404
80	0.109	0.209	0.309	0.405
100	—	—	—	—
120	0.110	0.210	0.310	0.404
140	0.112	0.214	0.312	0.416
160	0.112	0.220	0.312	0.414
200	0.108	0.213	0.310	0.409
400	0.108	0.217	0.312	0.410
600	0.109	0.206	0.308	0.405
800	0.105	0.207	0.316	0.416
1000	0.108	0.211	0.309	—
1200	0.112	0.214	—	—

a) NaH_2PO_4 溶液中の P の量を P μ /ml で示したもの

b) $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ 溶液中の P の量を P_2O_5 μ /25 ml で示したもの

ナトリウム中に混在する正リン酸ナトリウムによるものであると考えられる。このことは著者の一人¹⁸⁾が行なったペーパークロマトグラフィーの結果によっても明らかである。ピロリン酸塩の濃度と吸光度とが直線関係を示していることは、本操作によってピロリン酸ナトリウムは加水分解を受けないことを意味している。iii) の場合は測定のため、正リン酸ナトリウムはリンとして1~4 r/ml, ピロリン酸ナトリウムは P₂O₅ として 10~1,200 r/25ml になるようにはかりとって両者をまぜ、定量操作に従って測定した吸光度が表3の左から3~5列目に示されており、それを図示したのが図4の直線II~Vである。

図3および4から明らかなように、いずれの場合も濃度と吸光度との関係が直線となっており、ベールの法則が成り立っていることがわかる。このことはまた前にも述べたように、著者らの実験操作でピロリン酸ナトリウムの加水分解が抑制されていることを示すものである。

図4の直線および表3から、ピロリン酸ナトリウム共存下における正リン酸ナトリウムの定量を行なうには、両者が共存する場合の吸光度からピロリン酸ナトリウム単独の場合の吸光度を差し引けばよいわけである。このことに基づいたピロリン酸ナトリウム共存下における正リン酸ナトリウムの吸光度が表4である。

本実験における吸光光度測定の精度は±5%以内であり、著者らが目的としていた、ピロリン酸塩の加水分解を抑制し正リン酸塩の吸光光度定量を行なうことができた。発色後の呈色も1時間以内はほとんど安定で、実験操作においても、試薬または溶媒添加後の静置時間をそれぞれ3~4分ずつ短縮してもGing¹²⁾の方法と比較してほとんど差がなかった。またクロロホルムを使用することによって、有機溶媒相と水相との分離をよくし、色調も明確にすることができた。

なおピロリン酸塩は、酸性溶液でなければほとんど加水分解されないといわれているが、著者らの実験では室温でもピロリン酸ナトリウムは水溶液中で徐々に加水分解をうけていた。その一例を吸光度によって表5に示す。

表5の第2および3行目に示した吸光度は室温に放置した場合のもので、第4行目の吸光度は冷暗所(冷蔵庫内)に放置した場合のものである。したがって、室温に放置すれば1日でもかなり加水分解をうけるが、冷暗所におけば、1日ではほとんど変化が認められないが、長期間の貯蔵はさけるべきである。すなわち、ピロリン酸ナトリウム水溶液は測定のため調製す

表5 ピロリン酸ナトリウムの加水分解

直 後	1 日	2 日	3 日	備 考
0.122	0.134	0.140	0.155	Na ₄ P ₂ O ₇ (P ₂ O ₅ 1200 r/25 ml)
0.416	0.428	0.434	0.466	NaH ₂ PO ₄ (P 3 r/ml) + Na ₄ P ₂ O ₇ (P ₂ O ₅ 1000 r/25 ml)
0.322	0.325	0.330	—	NaH ₂ PO ₄ (P 3 r/ml) + Na ₄ P ₂ O ₇ (P ₂ O ₅ 140 r/25 ml)

ることが必要であった。

本実験の際の妨害イオンの問題については、N. S. Ging¹²⁾の報告に詳細に述べているので本報告ではふれないことにした。

なお本実験で使用した蒸留水は、すべてイオン交換樹脂による脱イオン水をさらに蒸留したものである。

今後検討すべき問題としては、溶媒および還元剤の選択、モリブデン酸アンモニウムの影響などがあげられるが、これらについてはさらに研究を重ねていくつもりである。

V. 結 び

ピロリン酸ナトリウム共存下の正リン酸ナトリウムの吸光光度定量を行なうためにGingの方法について検討し、その操作の一部を改めて時間の短縮をはかるとともに、クロロホルムの使用によって水相の分離を容易にした。

すなわち、試薬および溶媒添加後の静置時間をそれぞれ2分間ずつとして、吸光度を定量するまでに要する時間を9~15分間短縮し、またモリブデンブルー発色後クロロホルムを加えて振ることにより水相と溶媒相との分離を容易にした。なお本操作でピロリン酸塩の加水分解を抑制することが、可能であった。

(昭和39年1月、日本分析化学会北海道支部研究発表会講演)

文 献

- 1) Jones, L. T.: *Ind. Eng. Chem., Anal. Ed.*, **14**, 536 (1942).
- 2) 青山新次郎: *薬学*, **4**, 553 (1925).
- 3) 加藤多喜雄・萩原善次・篠原亮二郎・塚田尙吾: *分析化学*, **4**, 84 (1954).
- 4) 坂野 昭・沢谷次男・加藤多喜雄: *分析化学*, **10**, 784 (1961).
- 5) Haywood, D.: *Ind. Chem.*, **30**, 356 (1954). [Wilson, C. L. & Wilson, D. W.: *Comprehensive Analytical Chemistry*, Vol. I.C. Elsevier (1962)].
- 6) Gerber, A. B. & Miles, F. T.: *Ind. Eng. Chem., Anal. Ed.*, **10**, 519 (1938).
- 7) 高島良正: *九大理紀*, **2**, 161 (1957).
- 8) Krishna Kumar Tewari & Krishnan, P. S.: *Anal. Chim. Acta*, **22**, 111 (1960).
- 9) Martin, J. B. & DeSesa, M. A.: *Anal. Chem.*, **27**, 1626 (1955).
- 10) Lueck, C. H. & Boltz, D. F.: *Anal. Chem.*, **30**, 183 (1958).
- 11) Martin, J. B. & Doty, D. M.: *Anal. Chem.*, **21**, 965 (1949).
- 12) Ging, N. S.: *Anal. Chem.*, **28**, 1330 (1956).
- 13) 河村文一・並木 博: *分析化学*, **7**, 238 (1958).
- 14) Levne, H., Rowe, J. J. & Grimald, F. S.: *Anal. Chem.*, **27**, 258 (1955).
- 15) 日本化学会編 “実験化学講座”, **9**, 無機化合物合成と精製, p. 74 (1958), 丸善.
- 16) Mellon, M. G. & Wadelin, M. G.: *Anal. Chem.*, **25**, 1668 (1953).
- 17) Paul, J. & Pover, W. F. R.: *Anal. Chim. Acta.*, **22**, 185 (1960).
- 18) 上野幸三: *室工大報法*, **3**, 183 (1960).

β 線吸収測定における試料位置および その散乱効果について

服 部 耐 吉

The Effect of Absorber Position on Scattering in Measurement of Beta Ray Absorption

Taikichi Hattori

Abstract

A method is described by which the counting rate of re-diated beta particles is kept constant regardless of absorber position.

The curves of the counting rate plotted against the absorber position can be classified into three fundamental types: (1) 'V' type with a minimum in the counting rate, (2) 'inverted V' type with a maximum and (3) 'monotonously increasing (or decreasing)' type.

The results of experiments show that the degree of collimation has a remarkable influence on the form of the curves. That is to say, the 'monotonously increasing' type gradually transfer into the 'inverted V' type and the same case occurs on the 'V' type as the hole diameter of collimator is made small. Thus the optimum diameter to make the curves the flattest is obtained. By using this optimum diameter the measurement of thickness or density of continuously moving materials could be performed with higher precision. In case of the extremely collimated radiation the curves ultimately become the 'monotonously decreasing' type.

These experimental results comparatively agree with those of the simple theoretical calculation.

1. 緒 言

透過型 β 線厚さ計において線源検出器間の試料位置は幾何学的配置の重要な条件の一つになっており、その位置の如何によって計数率が著るしく異なることは多くの実験によって示されてきた。特に連続測定に際しこの現象はパスライン変動に基づく厚さ測定誤差の重大な原因となり、無論、厚さ測定のみでなく嵩密度計、水分計についても同様である。その対策として、パスラインの変動を極力僅少にすることは望ましいことであるが、一方試料位置に無関係に計数率を一定にすることは、パスラインの変動が不可避の場合には誤差の減少に有効である。

この計数率の変動は、主として、試料透過後の β 粒子が試料によって散乱されるために検出器窓に入射する β 粒子数と、散乱によって検出窓をはずれる β 粒子数との比が試料位置によって相違することに起因している^{1),2)}。

この計数率の変動状態を試料位置の関数として示すとき、計数率—試料位置曲線は極大値のみまたは極小値のみを持つ場合、あるいは両者を併有または皆無の場合など種々の型を呈しているため、それぞれに対して変動を僅少化させる対策も異なってくる筈である。

また、 β 線厚み計の測定誤差を少なくする目的のために β 線束をコリメートする方法なども通常用いられているが、従来の報告はコリメーターの孔径を一定にして試料位置変化に応ずる計数率を論じている¹⁾。この孔径と試料位置を同時に変えたとき計数率におよぼす影響を統一的に検討した研究は余り見受けられない。

従って、本報告において、まず計数率—試料位置曲線の型を分類し、次に線源側に絞孔を設けその孔径の変化に応ずる測定曲線の型を実験的に追求し、曲線の平坦化を可能にする最適直径を求め、最後に実験と理論式との対応および本方法が上記分類のどの型に利用できるかを検討したので、それらについてここに報告するものである。

2. 計数率—試料位置曲線について

試料位置を検出器窓からの距離で示し、これを l_2 (mm)とし、線源検出器間距離を L (mm)とする。線源の強さと形状、試料厚さおよび L が一定の時は、計数率は l_2 の関数となる。従来の実験結果数例をとり計数率—試料位置曲線の型を大別すると次のように分類される。

- (i) 単調型*
 - (a) 単調増加型
 - (b) 単調減少型
- (ii) V型 (極小値を有する型)
- (iii) 逆V型 (極大値を有する型)

分類結果を整理すると第1表のようになる。

同曲線の型に寄与する要因として、放射線の最大エネルギーとそのエネルギー分布、試料厚さおよび L などは当然予想されるが、線源の形状が著しい寄与をなしていることを Elliot, Shapiro²⁾が指摘している。すなわち、単調増加型における同氏等の実験例のように使用線源としては点線源とみなされるような形状のものをを用いており、この事実は兵藤氏等³⁾によって追証されて居る。この場合線源からの β 粒子はほぼ等方的に放射されて分布するものと考えられる。これに対して線源の形状が相当に平面的ひろがりをもっている、所謂面線源の場合には、逆V型となり、諏訪氏等⁵⁾の実験は更にこの事実を裏付ける結果を示している。この場合には放射 β 粒子分布は余弦法則に従うものとして Elliot 等はその理論式を示している。

V型について特に他と比較して特異な点は線源の形状、線源核種よりもむしろ L に比して

* 分類名称は筆者が仮に命名した。

第1表 計数率—試料位置曲線の分類

型名	測定者名	線源核種	線源形状・強さ	L (mm) [*]	試料			文献
					材質	厚さ	直径	
単調増加型**	Johnston, Willard (Uncollimation)	³² P	不明	54	Al	120 mg/cm ²	∞	(1)
	Elliot, Shapiro (Case 2)	Thin RaE	0.5 cm ² × 1.9 mg/cm ² の Mica 上に蒸着	100	Al	151 mg/cm ²	8 in. φ	(2)
	T. Hyodo, S. Shimizu	⁸⁹ Sr ⁹⁰ Sr ⁹⁰ Y mixture	Practically point source	58	Al	4.5~544 mg/cm ²	∞	(3)
単調減少型	Johnston, Willard (Collimation)	³² P	不明	74	Al	120 mg/cm ²	∞	(1)
V型	前田寛恕, 和田延夫	²⁰⁴ Tl	4 mm φ, 25 μC/ml	45	Al	0.60~216.8 mg/cm ²	25 mm φ	(4)
逆V型	Elliot, Shapiro (Case 3)	Uranium	10 mil uranium foil source	100	Al	300 mg/cm ²	8 in. φ	(2)
	諏訪志郎, 近藤秀雄, 船水正	⁹⁰ Sr	20 mC	約20	磷青鋼	0.215~0.595 mm	不明	(5)

* L: 線源, 検出器間距離
 ** 試料位置を検出器よりの距離にとる

試料面積(試料半径)が狭小なことである。後述するように本実験においても点線源に近い形状のものを用い L に比して試料半径の小さいとき V 型の傾向を有する結果を得た。

単調増加型と減少型については第1表 Johnston 等¹⁾の実験に指摘してある通り線源側に設けたコリメートの有無によって増加型と減少型とに明瞭に区別され、このように両者の傾斜が全く反対であることは大いに注目すべきことである。

3. 実験方法

β線吸収測定と同様の方法を用い Fig. 1 に示すような幾何学的配置とした。線源より検出器マイカ窓までの距離 L は 52 mm 一定に保ち、その間で試料位置を変えて計数率を測定する。L₁, L₂ はそれぞれ線源試料間, 試料検出器窓間の距離を示す。線源および線源側絞孔を図示のように配置した関係上試料が線源に最も近づくとき L₁ = 6 mm となる。

線源としては ⁹⁰Sr—⁹⁰Y を用い、その形状は約 1.5 × 2 mm で、ほぼ点線源とみなしうる。標準線源 U₃O₈ (48 mg, 500dps) と比較検定しその強さは 0.6 μC である。

検出器はマイカ窓厚 1.5 mg/cm² の GM 計数管を用いその直径は 25 mm φ である。試料用吸収体としては、⁹⁰Sr の最

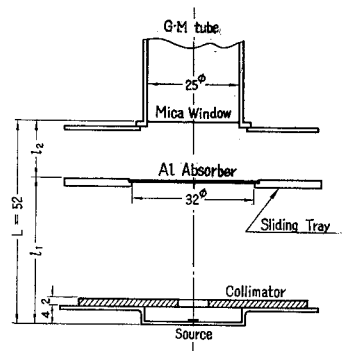


Fig. 1. Geometrical arrangement of beta ray source, detector and absorber.

大エネルギーに対する半価層にほぼ等しい 27 mg/cm^2 Al 吸収板および ^{90}Y の最大エネルギーに対する半価層よりやや小さい 110 mg/cm^2 の二種を採用し^{6),7)}, その結果を比較した。

線源側絞孔として、孔径 $4 \sim 15.5 \text{ mm}$ を有する数種の鉛板を用意し、 ^{90}Y より放射される β 粒子の最大エネルギー 2.18 MeV に対する最大飛程は約 1100 mg/cm^2 であるから⁷⁾, β 粒子を完全に遮蔽するためその厚さを 2 mm とする。厚さ 2 mm の鉛板をターゲットとして ^{90}Y からの β 線によって生ずる Bremsstrahlung は約 90 KeV にかなり鋭い最大を有するエネルギースペクトルをもつが⁸⁾, 絞孔を通して GM 管窓に到達する β 粒子数に比して殆んどその計数率は無視できる。

検出器窓からの距離 l_2 が $6 \sim 45 \text{ mm}$ の間に数ヶ所試料を置きかえてそれぞれ計数し、試料を置かない時の計数率との比 (相対計数比) の統計的揺動が 1% 以下におさまる様に計数時間を定める。本実験においては計数時間を 3 分 とした。

4. 実験結果およびその考察

試料厚さ 27 mg/cm^2 , 110 mg/cm^2 の Al 板を用いて絞孔径の大きさを変えた場合および絞孔を取付けない場合について実験結果の 1 例を Fig. 2 に示す。図中、縦軸は試料挿入時の計数率 n と試料無い時の計数率 n_0 との比 n/n_0 で示してある。また絞孔直径を $d(\text{mm})$ とし、 $d = \infty$

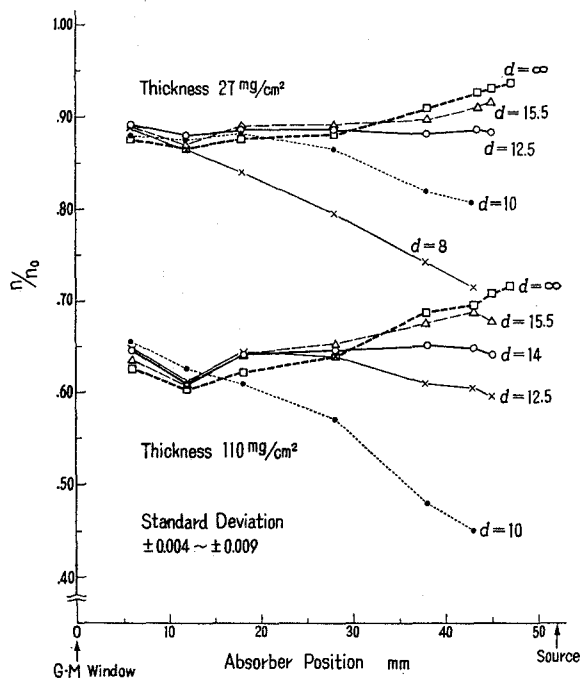


Fig. 2. Relative intensity of detected beta ray radiation as a function of absorber position.

は絞孔を取付ない場合である。試料厚さ 27 mg/cm², 110 mg/cm² 共に $d=\infty$ の時, $l_2=12$ において計数率最小となり, 線源に近づくと増大し, 散乱効果の漸増を示している。なおこの場合の試料位置—計数率曲線は第 1 表の V 型に属している。

絞孔を取付け d を小さくするに従い右上りの曲線は次第に平坦となるが, $l_2=12$ にある最小点は依然として $d=\infty$ の時と同様に存在する。さらに d を小にすると曲線は漸次右下りとなり, 試料厚さ 27 mg/cm², 110 mg/cm² でそれぞれ $d \leq 8$, $d \leq 10$ において遂に最小点が消失し, 全く単調減少型となり第 1 表に示した Johnston 等の結果と一致するに至る。

d の相違によって曲線の型が変わるが, その平坦度を比較するため, 試料位置 m ケ所におけるそれぞれの計数率 n_i ($i=1, 2, \dots, m$) とし n_i と試料無いときの計数率 n_0 との比を $N_i(\%)$ とする。

$$\Delta N_i = \frac{\sum N_i}{m} - N_i$$

とおけば, $\sum (\Delta N_i)^2/m$ は測定値の分散を示すから, $\sum (\Delta N_i)^2/m$ が最小になる直径の絞孔を用いれば試料位置—計数率曲線を最も平坦にさせうる。すなわち, この絞孔直径の使用によってパスマインの変動に基づく測定誤差を最小にすることができる。絞孔径 10 mm から ∞ に亘る各曲線の平坦度の比較を第 2 表に示す。これより $\sum (\Delta N_i)^2/m$ が最小となる最適絞孔直径は試料厚さ 27 mg/cm², 110 mg/cm² においてそれぞれ 12.5 mm および 14 mm である。なお, $\sum (\Delta N_i)^2/m$ の値が大きい程試料位置による計数率の変動が甚しいから, $d=\infty$ のとき試料厚さ 110 mg/cm² と 27 mg/cm² とを比較すると 110 mg/cm² の方がその変動の大きいことを知る。同様に $d=10$ のときも矢張り 110 mg/cm² の方が変動は大である。このことは絞孔の有無に拘わらず試料厚さが試料位置による散乱効果に寄与していることを示すもので, 試料厚さの散乱

第 2 表 測定曲線の平坦度の比較

試料厚さ mg/cm ²	d in mm	$\sum N_i/m$	ΔN_i						$\sum (\Delta N_i)^2/m$
			l_2 6 mm	" 12	" 18	" 28	" 38	" 45	
110	∞	66.74	2.16	4.56	2.56	0.86	-4.04	-6.14	14.46
	15.5	64.48	0.98	3.41	0.18	-0.92	-2.92	-0.72	3.75
	14	63.91	-0.79	2.11	-0.39	-0.79	-1.09	-0.91	1.31
	12.5	62.77	-1.93	0.83	-1.73	-1.33	0.87	3.27	3.44
	10	56.49	-9.31	-6.82	-4.51	-0.41	9.09	11.29	60.6
27	∞	88.83	1.33	2.26	1.33	0.63	-1.69	-3.87	4.44
	15.5	89.06	0.26	2.26	0.16	0.46	-0.82	-2.54	2.11
	14	88.68	-0.02	1.38	0.08	-0.02	-0.52	-0.92	0.50
	12.5	88.33	-0.67	0.43	-0.07	-0.37	0.33	0.33	0.17
	10	85.56	-2.44	-2.94	-2.54	-0.74	3.66	4.96	9.91

効果に及ぼす影響については ^{90}Sr — ^{90}Y のエネルギー分布を考慮に入れる必要がありその検討は別の機会にゆずることとする。

Fig. 3 は試料位置をパラメーターとして相対計数比と絞孔直径の関数として示した図で、各曲線の交点が試料厚さ 27 mg/cm^2 , 110 mg/cm^2 でそれぞれ $d=12.5$, 14 mm 附近にあることは、第2表に示した結果とよく一致する。試料が検出器近傍に位置するとき ($L_2=6$ の場合) 絞孔直径に無関係にほぼ等しい相対計数比をもつ。これは絞孔を線源側に取付けた場合でも、絞孔のない場合と同様に検出器近傍に試料が位置するときは真の吸収に近い計数率を与えることを示している。また d を小さくし試料を線源側におけば散乱効果は強化されるから、静止試料の β 線透過型

厚さ測定に d の小さい絞孔を用いて試料を線源近くに置けば、散乱効果の厚さによる相違と β 線吸収の相違との両者を利用できるので、試料を検出器近傍に置くより高感度の測定を期待できる。しかし、この方法については、さらに測定対象の厚さの範囲や測定の統計的動揺による精度⁹⁾を考慮せねばならない。

結局、線源側に最適直径を有する絞孔を設置することによって、 $d=\infty$ のときの単調増加型および最小点が検出器側に偏在するV型をかなり平坦化し得ることが判った。しかし、本方法によって最小点を解消することはできない。最適直径より小さい直径の絞孔を用いれば、単調増加型、V型は共に単調減少型に変化する。

5. 理論式と実験結果との対応

現象を極めて単純化して取扱うため、次の仮定をおく。

- (i) 線源は点状線源と考え、その放射 β 粒子は等方性分布をもつものとする。
- (ii) 試料入射粒子はその入射角の如何にかかわらず試料による吸収は一定とする。
- (iii) 絞孔通過後の粒子束の拡がりは何何光学的近似をなすものとし、絞孔側壁による後方散乱および絞板による Bremsstrahlung は無視する。
- (iv) 試料入射粒子はその入射地点において検出器方向へ放射し、この前方散乱後の粒子分布は余弦法則に従うものとする。

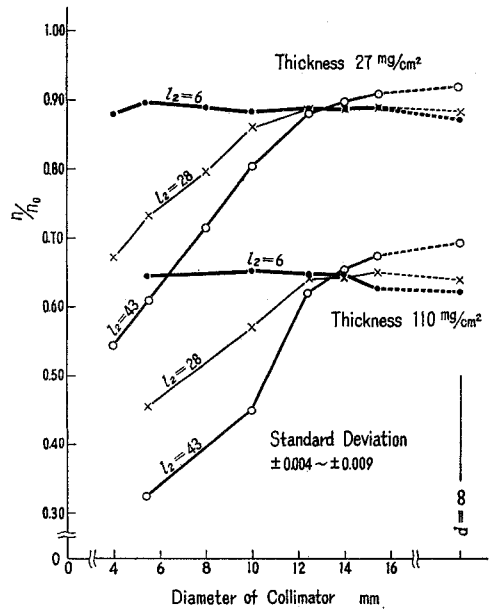


Fig. 3. Relation between relative intensity of detected beta ray radiation and diameter of collimator.

(v) 線源検出器間の空気および検出器マイカ窓厚による吸収散乱は無視し、検出器窓に到達したβ粒子はすべて計数されるものとする。

上記の仮定の下で、検出器窓単位面積に入射する強さ I は、試料面積を考慮に入れれば Elliot 等¹⁰⁾ の式を拡張して、

$$I = \frac{I_0}{16\pi^2} \int_{\phi=0}^{\phi=2\pi} \int_{r=0}^{r=r_1} \frac{l_1(L-l_1)^2 r dr d\phi}{(r^2+l_1^2)^{3/2} [r^2+(L-l_1)^2]^2}$$

ここで I_0 : 線源の強さ

r_1 : 試料半径

上式の結果は次の通り

$0 < l_1 < \frac{L}{2}$ のとき

$$I = \frac{I_0}{8\pi} \cdot \frac{l_1(L-l_1)^2}{L^2(L-2l_1)^2} \left[\frac{1}{l_1} - \frac{1}{\sqrt{r_1^2+l_1^2}} + \frac{l_1}{2(L-l_1)^2} - \frac{\sqrt{r_1^2+l_1^2}}{2\{r_1^2+(L-l_1)^2\}} \right] * \\ * - \frac{3}{2\sqrt{L(L-2l_1)}} \tan^{-1} \frac{(\sqrt{r_1^2+l_1^2}-l_1)\sqrt{L(L-2l_1)}}{L(L-2l_1)+l_1\sqrt{r_1^2+l_1^2}}$$

$\frac{L}{2} < l_1 < L$ のとき

$$I = \frac{I_0}{8\pi} \cdot \frac{l_1(L-l_1)^2}{L^2(2l_1-L)^2} \left[\frac{1}{l_1} - \frac{1}{\sqrt{r_1^2+l_1^2}} + \frac{l_1}{2(L-l_1)^2} - \frac{\sqrt{r_1^2+l_1^2}}{2\{r_1^2+(L-l_1)^2\}} \right] ** \\ ** - \frac{3}{4\sqrt{L(2l_1-L)}} \ln \frac{\{\sqrt{r_1^2+l_1^2}-\sqrt{L(2l_1-L)}\} \{l_1+\sqrt{L(2l_1-L)}\}}{\{\sqrt{r_1^2+l_1^2}+\sqrt{L(2l_1-L)}\} \{l_1-\sqrt{L(2l_1-L)}\}}$$

$r_1=16$ mm として上式を用いた計算結果と実験結果とを比較した一例を Fig. 4 および Fig. 5 に示す。Fig. 4 は $d=\infty$ 、Fig. 5 は $d=10$ の場合で、検出窓に最も近い $L_2=6$ の試料位

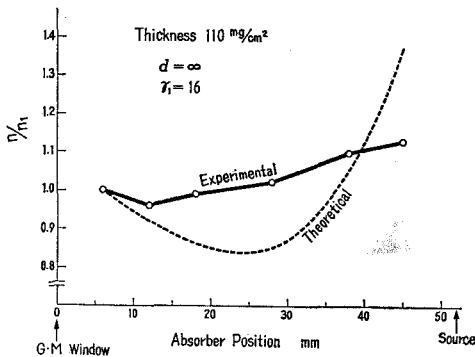


Fig. 4. Comparison of experimental results with those of theoretical calculation. ($d=\infty$)

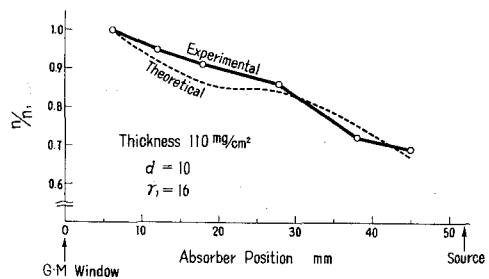


Fig. 5. Comparison of experimental results with those of theoretical calculation. ($d=10$)

置における計数率 n_1 を基準にとり、その他の位置における計数率 n との比を縦軸にとった。 $d=10$ の場合、実験結果と計算結果とかなりよく一致し単調減少型を示している。 $d=\infty$ の場合、最小点を有する V 型になることに関して定性的に一致するが、最小点を生ずる位置および最小値、曲線の曲率などについて相当の隔りがある。なお、検出器面積を考慮に入れ線源の放射粒子分布が余弦法則に従うとした近似式¹¹⁾を用いた計算結果も V 型となり曲線の形状も Fig. 4 の計算結果とほぼ似ている。Fig. 4, Fig. 5 において基準を $l_2=6$ にとってあるが、試料が検出器窓に近づくと、検出器窓の周辺効果のために実際に窓に到達する粒子のうち計数されない粒子数が相対的に増して、実験値は理論値より下回ることになる。両図はそのような所を基準にとって一致させてあるから、その点を考慮すると試料が線源側にあるときの実験値と理論値との関係は図示よりも更に隔たることになる。この隔りの理由として上記の原因以外に Elliot 等は線源検出器間の空気および検出器マイカ窓による吸収に基づくものとしている。さらに、他の原因として、 β 粒子は散乱現象が強く、試料透過後の角度分布は比較的エネルギー依存性が少なく一定であるから、一般に余弦法則に従うと考えて差支えなく、むしろ上記仮定 (i) に示した線源の放射粒子が等方性分布をなすということがかなり実際から懸隔があり、生源寺氏等¹¹⁾は等方性分布と余弦法則に従う分布との中間的分布をなすであろうと提唱している。

次に、理論式における仮定 (iii) より、絞孔の効果は、 $l_2 \geq 28$ の範囲内で有効で、 $l_2 < 28$ においては絞孔の有無にかかわらず計算値は相等しくなるのに対して、実験値においては $l_2=18$ ですでに異なった値をとっている。すなわち $d=10$ で絞孔効果は理論値を上回って大きいことを示している。これは絞孔内壁による後方散乱に主として基因するものと考えられる。

以上の如く、比較的簡単な理論式によって、試料位置および絞孔の有無によって散乱効果の相違することおよび試料半径 16 mm で $d=\infty$ のとき曲線は V 型となり、 d を小さくすると単調減少型に変わってゆく実験結果を半定量的に明らかにした。

6. 結 言

β 線吸収測定において計数率を試料位置の関数で示すとき、その試料位置—計数率曲線の型を従来の実験結果数例について大別すると、単調増加型、単調減少型、V 型および逆 V 型に分類でき、単調増加型と V 型については、線源側に絞孔を設置しその径を適当にすることによって相当程度まで試料位置に無関係に計数率を一定にすることが可能で、 β 線透過型厚さ計などの連続測定においてパスマインの変動に基づく誤差の僅少化に利用しうることを明らかにした。

小さな直径の絞孔の使用によって、単調増加型、V 型は共に単調減少型に移行する。さらに静止試料の厚さ測定に対して、小さい絞孔径を用い試料を線源側に置く方法が従来の吸収測定の方法より測定感度を上げうることを本実験結果は示唆している。この点に関しては今後さ

らに検討を加えたい。

本報告は筆者が昭和38年度内地研究員として北海道大学工学部において行なった研究結果の一部で、御懇篤な御指導を頂きました本報告の御校閲をたまわった坂本教授ならびに種々御協力下さった同教室各位に感謝の意を表するとともに、本研究の便宜と鞭撻を頂いた本学沢教授に感謝する次第である。

文 献

- 1) F. Johnston, J. E. Willard: *Science*, **109**, 11 (1949).
- 2) N. Elliot, E. Shapiro: *Radiochemical Studies, The Fission Products*, Book 1, Part IV, Paper 2, 36~43, Edited by C. D. Corynell *et al.* McGraw-Hill (1951).
- 3) T. Hyodo, S. Shimizu: *Bull. of. Inst. Chem. Res. Kyoto Univ.*, **32**, 194 (1954).
- 4) 前田寛恕, 和田延夫: 名工研報, **22**, 87~95 (1959).
- 5) 諏訪志朗, 近藤秀雄, 船水正: 第3回日本RI会議報文集, I-20, 632 (1959).
- 6) W. J. Whitehouse, J. L. Putman: *Radioactive Isotope 79*, Oxford (1953).
- 7) 木村健二郎: 放射線データブック, 132, 地人書館 (昭 36).
- 8) P. Lévêque, P. Martinelli, R. Chauvin: *Proc. of International Conf. on PUAE*, **15**, 142 (1956).
- 9) L. R. Zumwalt: *Nucleonics*, **12**, No. 1, 55~58 (1954).
- 10) *ibid* (2).
- 11) 生源寺治雄, 前田寛恕, 和田延夫: 第3回日本RI会議報文集, S-39 (1959).



Box-Wilson 法による酸化エチレン合成 最適反応条件の検討

金塚高次・加納久雄・平野晴望*

Investigation of Optimum Reaction Conditions for Ethylene Oxide Production by the Box-Wilson Technique

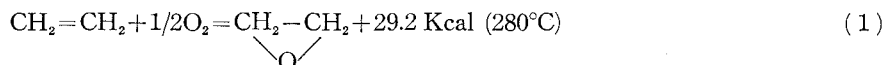
Takazi Kanazuka, Hisao Kano and Harumochi Hirano

Abstract

The optimum reaction conditions for ethylene oxide production by the direct oxidation of ethylene have been investigated by applying the Box-Wilson technique. Both time factor and bath temperature are considered and the other factors are kept constant in this paper. A central composite rotatable design in two variables has been carried out in the steady state, and equations have been derived so as to predict conversion to ethylene oxide, selectivity, space time yield, and heat release. The condition for maximum conversion to ethylene oxide and that at fixed selectivity are estimated in this treatise.

1. 緒 言

エチレンの直接部分酸化による酸化エチレンの製造法は、旧来のクロロヒドリン法に代る優れた新しい方法として第2次大戦の頃から実用化されてきた。周知の如く銀触媒を使用しエチレンの空気酸化を行えば酸化エチレンと同時に炭酸ガスおよび水が生成する。



エチレンの直接酸化における問題点は、その酸化を部分酸化の段階で停止させることが極めて難事であって容易に完全酸化の段階まで進む可能性が強いために、反応工程の安定な操作が著しく困難となるおそれがあることである。この困難を克服して本法を工業的に成功させるためには、先ず可及的に部分酸化反応に対して高活性を有する触媒を発見し、これを選択性の高い反応条件のもとで使用することが必要となる。触媒の製造法に関しては今日までに多数の特許が提出されている。著者らも数年来触媒に関する研究を実施した結果、工業的に使用可能な触媒を発見しえた。

* 北海道大学工学部合成化学工学科

一方触媒反応における最適反応条件に関しては、従来収率を規定するいくつかの条件を任意に変えて実験を行ない、試行的に最適条件を求めるという方法がとられているが、反応の様相を広範囲の条件にわたって把握理解するためには都合がよいが、できるだけ少ない実験回数で最適条件を決定するという点からは無益な労が多い。偶々近年 Box, Wilson により最適条件の決定を目的とする統計的方法が提案された。本報では著者らの発見した触媒について酸化エチレン合成の最適反応条件の検討を目的として計画した実験とその解析結果につき報告する。

2. 実験方法および解析方法

2.1 触 媒

著者らの発見した好適な熱伝導性、強度、活性および選択性と長い寿命を持つ円柱状成型銀触媒¹⁾を使用した。

2.2 原料ガス

エチルアルコールをアルミナ触媒で脱水して製造したエチレンを常法により精製し、これに空気を混合してエチレン濃度 4.45~4.55% とし、塩化カルシウム塔にて乾燥し、更にソーダ石灰塔を通し炭酸ガスを除去して使用した。

2.3 反応装置

流通式反応装置を用いたが²⁾、燃焼による反応熱を速かに除去してなるべく均一な温度分布をうるために、加熱はカキマゼ翼と温度調節器を備えた硝酸ソーダ-硝酸カリの熔融塩浴によって行なった。反応管は内径 20 mm のガラス管で、中心に熱電対挿入のため外径 4 mm の肉薄ガラス管を通した。

2.4 分 析 法

エチレンおよび炭酸ガスはオルザット式装置で、酸化エチレンは既報³⁾の方法により定量した。測定誤差は変動係数で 1% 程度である。酸化エチレン、炭酸ガス、未反応エチレンの分析値より酸化エチレンおよび炭酸ガスへの転換率を求め、酸化エチレンへの転換率と全転換率の比を選択率とした。

2.5 Box-Wilson 法による最適条件の決定

最適条件決定の新しい統計的方法である Box-Wilson 法^{4)~6)}によると、問題としている特性が k 個の制御因子の影響を受ける場合その水準をそれぞれ x_1, x_2, \dots, x_k にて表わすと、特性値の期待値 η は x_1, x_2, \dots, x_k の関数として表わされる。

$$\eta = f(x_1, x_2, \dots, x_k) \quad (3)$$

いま x_1, x_2, \dots, x_k の値をある組合せにとった場合の実測値を y , 誤差を ϵ ととすると

$$y = \eta + \epsilon \quad (4)$$

で表わされる故、問題は η が最大になるような k 個の因子の組合せを求めることであり、(3) 式の函数 f の形は未知であるが、因子の水準 x_1, x_2, \dots, x_k についてのあまり広くない範囲を考えれば、 η は多項式をもって表わすことができる。 $k=2$ の場合には

$$\eta = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \beta_{12} x_1 x_2 + (3 \text{ 次以上の項}) \quad (5)$$

と表わされる。まず第一次計画として一次係数を求めて最も急な傾斜に向って進み頂上附近に達したならば、第二次計画として二次係数を推定し、(5) 式の β をその推定値 b で置換した式に座標の変換を施し、次式の形とする。

$$Y - Y_s = B_{11} X_1^2 + B_{22} X_2^2 \quad (2)$$

ここで X_1, X_2 は x_1, x_2 の直交変換座標、 Y は η に対する推定値、 Y_s は停留点における Y の値を表わす。このような形に変形されれば、 B_{11}, B_{22} の符号を調べることによって応答曲面の形を察知することができる。Box らは 2 次応答曲面をあてはめるための有効な新しい実計計画を提案した。

さて本報告では因子として time factor W/F と浴温度 $t^\circ\text{C}$ との 2 因子をとり、他の条件は一定にし、又過去の実験結果から最適傍領域がある程度わかっているため、最大傾斜上昇法は行わず直ちに最適傍領域の調査を行なった。

新触媒は使用初期に数十時間におよぶ不定常状態が続いた後、反応条件に対応する定常状態に達する。又、反応条件の変化に対しては、2, 3 時間後に新条件に対応する定常状態に到達する⁹⁾。よって定常状態に到達した後、実験範囲を time factor $0.500 \sim 2.500 \text{ g-catalyst} \cdot \text{hr} \cdot \ell^{-1}$ 、浴温度 $240 \sim 290^\circ\text{C}$ とし、圧力 1 atm の条件で、表-1 のような中心複合回転可能計画⁹⁾⁻¹⁰⁾ による実験を行なった。各因子の水準は処理の都合上次のように変換した。

$$x_1 = \sqrt{2} \{(W/F) - 1.500\} \quad (7)$$

$$x_2 = \sqrt{2} (t - 265.0) / 25 \quad (8)$$

特性値としては

$y_{\text{Et.o}}$; 酸化エチレンへの転換率 (%)

y_{CO_2} ; 炭酸ガスへの転換率 (%)

y_{Sel} ; 選択率 (%)

をとった。これらはいずれも各条件で 2 回の実験を行ないその平均値を採用した。又実験順序は乱数表によりランダムな順で行なった。

3. 結 果

各水準の組合せにおける実験結果を表-1 に示す。

表—1 実験配置と実験結果

W/F ($g \cdot hr \cdot \ell^{-1}$)	x_1	t ($^{\circ}C$)	x_2	$y_{Et.o}$ (%)	y_{CO_2} (%)	$y_{Sel.}$ (%)
0.793	-1	247.3	-1	30.6	17.2	64.0
2.207	1	247.3	-1	41.2	23.3	63.9
0.793	-1	282.7	1	41.1	28.4	59.1
2.207	1	282.7	1	43.2	35.0	55.3
0.500	-1.414	265.0	0	30.8	18.6	62.4
2.500	1.414	265.0	0	43.3	30.0	59.1
1.500	0	240.0	-1.414	31.0	16.4	65.5
1.500	0	290.0	1.414	43.4	34.4	55.9
1.500	0	265.0	0	42.8	28.5	60.0
1.500	0	265.0	0	42.8	26.2	62.1
1.500	0	265.0	0	41.0	27.0	60.3
1.500	0	265.0	0	42.6	27.0	61.2

それぞれの特性値は本実験範囲内では次のような2次式で表わされると仮定し、

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{12}x_1x_2 \quad (9)$$

得られたデータを最小2乗法で上式にあてはめ、2次式で妥当であるか否かを分散分析により検定した。

3.1 酸化エチレンの応答曲面

酸化エチレンへの転換率の回帰式として次式を得た。

$$Y_{Et.o} = 42.30 + 3.79x_1 + 3.76x_2 - 2.15x_1^2 - 2.08x_2^2 - 2.12x_1x_2 \quad (10)$$

分散分析表を表-2に示す。

検定の結果あてはめの欠除に対する平均2乗は、誤差平均2乗に比べて有意でないから、2次曲面は適切であるように思われる。

式(10)の形からは応答曲面がどのような形状になっているかを知ることが困難なので、(6)式のような標準形とすると

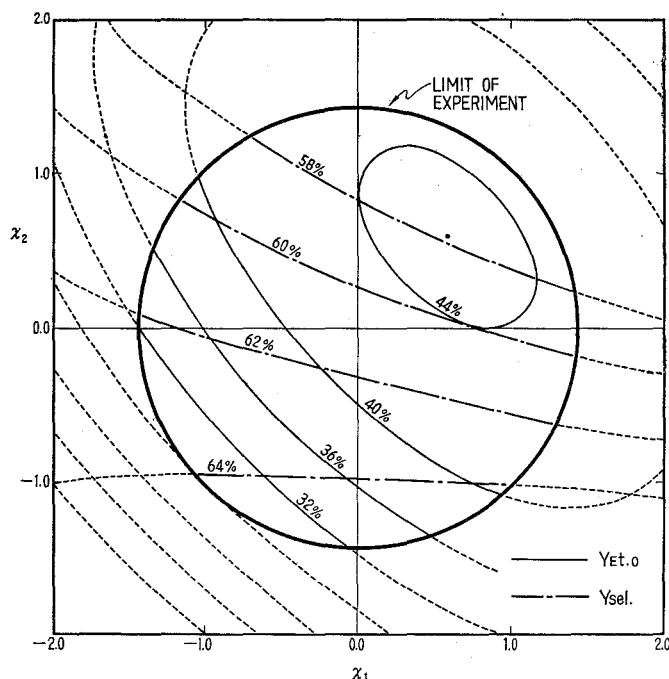
$$Y_{Et.o} - 44.55 = -3.18X_1^2 - 1.06X_2^2 \quad (11)$$

となる。よって X_1^2 、 X_2^2 の符号と絶対値の相対的大きさおよび停留点の位置から曲面の形が明らかとなる。すなわち、停留点は $Y_{Et.o}$ の最大値を与え、等高線図は X_2 軸に沿って細長い楕円となっていることがわかる。

以上の計算結果より、 $Y_{Et.o}$ の等高線図を描くと図-1のようになる。

表—2 分散分析表

	s. s.	d. f.	m. s.
1次項	228.01	2	
2次項	64.13	3	
あてはめの欠除	15.16	3	5.05
誤差	2.28	3	0.76
計	309.58	11	

図-1 $Y_{Et.o}$, $Y_{sel.}$ の等高線図

3.2 炭酸ガスおよび選択率の回帰式

前節と同様な計算を y_{CO_2} , $y_{sel.}$ について行ない、それぞれ次式を得た。

$$Y_{CO_2} = 27.18 + 3.60x_1 + 6.04x_2 - 1.16x_1^2 - 0.61x_2^2 + 0.12x_1x_2 \quad (12)$$

$$Y_{sel.} = 60.90 - 1.06x_1 - 3.39x_2 - 0.11x_1^2 - 0.14x_2^2 - 0.92x_1x_2 \quad (13)$$

分散分析表は省略するが、検定の結果はいずれも 2 次式で充分適合できることが確かめられた。(12), (13) 式の残差分散の推定値はそれぞれ $\hat{\sigma}_{CO_2}^2 = 1.38$, $\hat{\sigma}_{sel.}^2 = 0.46$ である。図-1 に $Y_{sel.}$ の等高線も併記した。

4. 反応条件の検討

4.1 酸化エチレンへの転換率を最大にする反応条件

本実験範囲内に $Y_{Et.o}$ の最大値を与える反応条件が存在することは図-1 より明らかである。その座標は $\partial Y_{Et.o} / \partial x_1 = 0$, $\partial Y_{Et.o} / \partial x_2 = 0$ を解いて $x_1 = 0.58$, $x_2 = 0.61$ 。この座標値は (7), (8) 式から $W/F = 1.91 \text{ g-catalyst} \cdot \text{hr} \cdot \ell^{-1}$, $t = 275.8^\circ\text{C}$ に対応する。又 $Y_{Et.o}$ の最大値の推定値として $Y_{Et.o} = 44.5\%$ が得られる。なおこのときの炭酸ガスへの転換率は (12) 式より $Y_{CO_2} = 32.4\%$ であり、又選択率は (13) 式より $Y_{sel.} = 57.8\%$ であることも推定できる。

4.2 選択率を指定し酸化エチレンへの転換率を最大にする反応条件

いま選択率 60.0% が要求され、このような制限下で酸化エチレンへの転換率を最大にする反応条件を知りたいものとする。まず (13) 式から $Y_{\text{sel.}}=60.0(\%)$ なる等高線を求め (図-1 に記入した) この線上で $Y_{\text{Et.o}}$ が最大となる点を試行法によって求めると $x_1=0.74$, $x_2=0.02$ (すなわち $W/F=2.02$, $t=265.4$) で $Y_{\text{Et.o}}=44.0\%$ を得る。このようにして $Y_{\text{sel.}}=58.0, 60.0, 62.0, 64.0\%$ を指定しそれぞれの $Y_{\text{Et.o}}$ の最大値を求めた結果を図示すると 図-2 のようである。そのときの反応条件 x_1, x_2 も併記した (実験範囲外での推定値を使用する際は当然追加実験が必要であろう)。

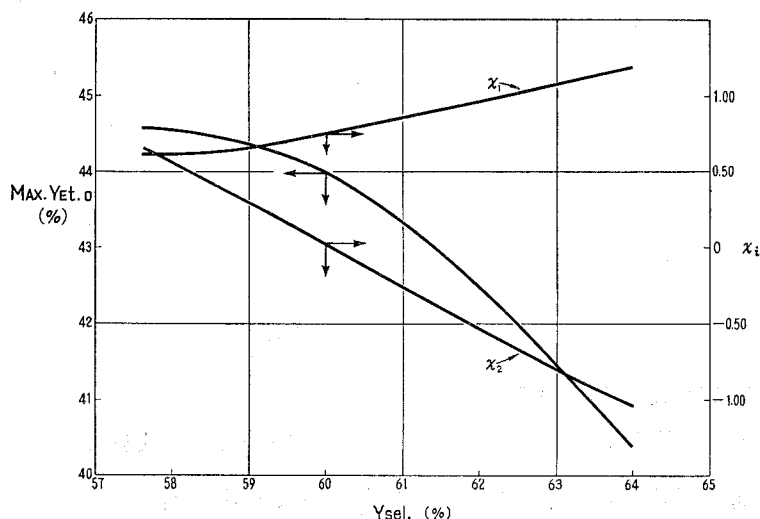


図-2 $Y_{\text{sel.}}$ と $Y_{\text{Ax}}, Y_{\text{Et.o}}$ の関係

4.3 空時得率の回帰式

表-1の実験結果より各条件における酸化エチレンの空時得率を計算し、その回帰式を求めると

$$Y_{\text{S.T.Y.}} = 28.18 - 14.32x_1 + 3.22x_2 + 5.64x_1^2 - 1.68x_2^2 - 3.10x_1x_2 \quad (14)$$

但し $Y_{\text{S.T.Y.}}$; 酸化エチレンの空時得率 ($\% \cdot \ell \cdot g \cdot \text{catalyst}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$) の推定値
 検定の結果は2次式での適合は無理で更に高次の項が必要であるが、一応推定には役立つであろう。(14)の解析を行なった結果、本実験範囲内に空時得率の最大値を与える x_1, x_2 は存在したいことがわかった。したがって更に空時得率の増加を望むならば、(14)に基づき峰つたい解析法¹¹⁾、あるいは最大傾斜上昇法によって実験を行なうことが必要となる。なお、この際ある限度以上に温度を上昇させる事は触媒を失活させるおそれがあるから注意⁷⁾が必要である。

4.4 反応熱の計算式

エチレンの接触酸化反応が (1), (2) 式から成るものとする、両式を用いて各反応条件に

おける反応熱の計算式が導かれる。いま計算の基礎として1時間当りの原料エチレン1モルを考えると、 $Y_{Et.o}$ 、 Y_{CO_2} はモルパーセントで表わされているので、転換率を与える式 (10), (12) にそれぞれの反応熱の1/100 を乗じて、両式を加算することにより、本実験範囲での反応熱を与える式として次式を得る。

$$Y_H = 98.5 + 12.5x_1 + 20.2x_2 - 4.3x_1^2 - 2.5x_2^2 - 0.2x_1x_2 \quad (15)$$

但し Y_H ; 原料エチレン1モル当りの反応熱の推定値 (Kcal-hr⁻¹)

5. 結 言

エチレンの接触部分酸化につき Box-Wilson 法を応用して反応条件の検討を行ない、この方法が反応条件の決定に非常に有効な方法であることを明らかにした。すなわち、従来の試行法に比べ僅かな実験回数で、生成物曲面の形状に関する情報が得られ、実験範囲内での任意の反応条件における転換率、選択率を予想できるのみならず、希望する選択率、転換率あるいは空時得率を得るために採用すべき反応条件の決定も可能である。さらに、操作条件が指定されると反応熱の予想ができるから、反応熱除去の基礎資料が得られる。

終りに、統計的手法につき御懇切な御指導を賜った東京工業大学水野滋教授、名古屋工業大学草場郁郎教授に感謝の意を表す。(昭和36年10月2日 日本化学会北海道支部北見大会講演)

文 献

- 1) 加納・金塚：日本特許，昭35-16426.
- 2) 加納・金塚：室工大研報，1，697 (1954).
- 3) 加納・金塚：工業化学雑誌，61，1157 (1958).
- 4) Box, G. E. P. and Wilson, K. B.: J. R. Stat. Soc., B, 13, 1 (1951).
- 5) Davies, O. L. (Editor): The Design and Analysis of Industrial Experiments, p. 495 (Oliver and Boyd, 1956).
- 6) 島田：品質管理，7，219 (1956), 7，293 (1956).
- 7) 加納・金塚：室工大研報，2，241 (1956).
- 8) Box, G. E. P. and Hunter, J. S.: Ann. Math. Stat., 28, 195 (1957).
- 9) Cochran, W. G. and Cox, G. M.: Experimental Design, p. 346 (JohnWiley & Sons, Inc., 1957).
- 10) Hunter, J. S.: Industrial Quality Control, 15, No. 8, 6 (1959).
- 11) Hoerl, A. E.: Chem. Eng. Progr. 55, No. 11, 69 (1959).

測定誤差のある場合の R 管理図, \bar{x} - R 管理図の特性

金 塚 高 次

The Operating Characteristics of R Charts and \bar{x} - R Charts when Measurement Errors Exist

Takazi Kanazuka

Abstract

The important problem in using control charts is a power of detecting abnormal variation in the process, namely operating characteristics. In the previous paper, the influence of measurement errors on the power of \bar{x} charts was treated of by the present authr. In this paper, the influence of measurement errors on R charts and \bar{x} - R charts is explained in detail.

1. 緒 言

測定誤差およびサンプリング誤差が管理図の検出力にいかに関与するかを明らかにすることは管理図を使う上で重要なことである。前報¹⁾において、測定誤差が伴う場合の \bar{x} 管理図につき、工程平均のみが変化した場合、工程標準偏差のみが変化した場合、ならびにこれらとともに変化した場合の検出力を計算し、測定誤差が無視できない場合には管理図の検出力を考慮して試料の大きさを定める必要のあることを示した。しかし一般には、 \bar{x} 管理図は母平均の変化を発見しようとするものであるし、 R 管理図は母標準偏差の変化を発見しようとするものであって、この両者は併用されるのが普通である。測定誤差を考慮しない場合の R 管理図の検出力は Duncan²⁾, Scheffé³⁾ によって計算されており、また \bar{x} 管理図と R 管理図とが併用される場合の特性 (\bar{x} - R 管理図の特性) については伊東⁴⁾ の詳細な研究がある。

著者は測定誤差 (サンプリング誤差を含む) の存在する場合の管理図の特性をいろいろの場合について検討しているが、本報では R 管理図, \bar{x} - R 管理図の特性について報告する。

2. R 管理図の特性

R 管理図は母集団のバラッキを試料の最大値と最小値の差 R で測り、これを管理しようとする管理図であって、母標準偏差の変化のみに対して検出力を持っており、母平均の変化に対しては全く無関係である。

管理図としては正規母集団 $N(\mu, \sigma_p^2 + \sigma_M^2)$ から大きさ n の試料の範囲を打点するものと

する。ただし σ_P^2 工程のバラツキで、 σ_M^2 は測定誤差 (サンプリング誤差を含む) とする。いま工程のバラツキが変化して、 $N(\mu, \sigma_P^2 + \sigma_M^2)$ になったとすると、この新しい母集団から大きさ n の試料の範囲 R が 3 シグマ法の管理限界外に出る確率 (検出力) P は

$$P = P_r\{R \geq \text{UCL} | \sqrt{\sigma_P^2 + \sigma_M^2}\} + P_r\{R \leq \text{LCL} | \sqrt{\sigma_P^2 + \sigma_M^2}\} \quad (1)$$

ここで

$$\text{UCL} = E(R) + 3D(R) = (d_2 + 3d_3)\sqrt{\sigma_P^2 + \sigma_M^2} \equiv D_2\sqrt{\sigma_P^2 + \sigma_M^2} \quad (2)$$

$$\text{LCL} = E(R) - 3D(R) = (d_2 - 3d_3)\sqrt{\sigma_P^2 + \sigma_M^2} \equiv D_1\sqrt{\sigma_P^2 + \sigma_M^2} \quad (3)$$

$$d_2 = \int_{-\infty}^{\infty} [1 - \{1 - \Phi(x_1)\}^n - \{\Phi(x_1)\}^n] dx_1 \quad (4)$$

$$d_3 = \left(2 \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{x_n} [1 - \{\Phi(x_n)\}^n - \{1 - \Phi(x_1)\}^n + \{\Phi(x_n) - \Phi(x_1)\}^n] dx_1 dx_n - d_2^2 \right)^{1/2} \quad (5)$$

ただし

$$\Phi(x_1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{x_1} e^{-\frac{x^2}{2}} dx \quad (6)$$

x_1 ; 大きさ n の試料中の最小値

x_n ; 大きさ n の試料中の最大値

よって

$$P = P_r \left\{ \frac{R}{\sqrt{\sigma_P^2 + \sigma_M^2}} \geq \frac{D_2\sqrt{\sigma_P^2 + \sigma_M^2}}{\sqrt{\sigma_P^2 + \sigma_M^2}} \right\} + P_r \left\{ \frac{R}{\sqrt{\sigma_P^2 + \sigma_M^2}} \leq \frac{D_1\sqrt{\sigma_P^2 + \sigma_M^2}}{\sqrt{\sigma_P^2 + \sigma_M^2}} \right\} \quad (7)$$

で与えられる。いま工程のバラツキの変化の度合をあらわす係数として

$$\sigma'_P / \sigma_P = \kappa \quad (8)$$

を用いることとし

$$R / \sqrt{\sigma_P^2 + \sigma_M^2} = w \quad (9)$$

とおき

$$\sqrt{\frac{\sigma_P^2 + \sigma_M^2}{\sigma_P'^2 + \sigma_M^2}} = \sqrt{\frac{1 + (\sigma_M / \sigma_P)^2}{\kappa^2 + (\sigma_M / \sigma_P)^2}} = \sqrt{m'} \quad (10)$$

とおくと

$$P = P_r\{w \geq D_2\sqrt{m'}\} + P_r\{w \leq D_1\sqrt{m'}\} \quad (11)$$

となる。ここで w の分布函数 $f_n(w)$ については、E. S. Pearson が

$$P_n(W) = \int_0^W f_n(w) dw \quad (12)$$

なる形で表を与えている⁵⁾。故にこの表を利用して

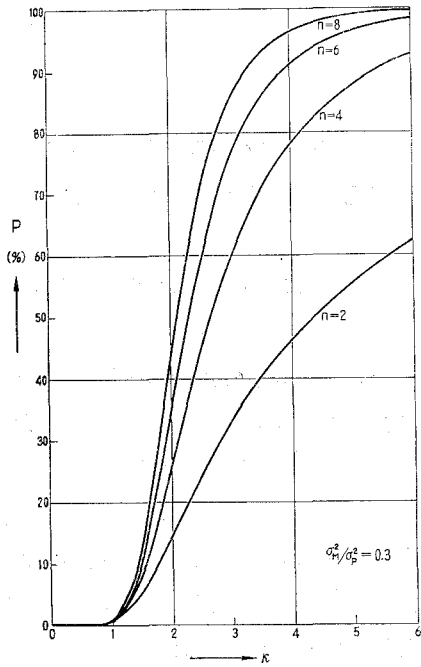


図-1 検出力曲線 (R 管理図, $\sigma_M^2/\sigma_P^2=0.3$)

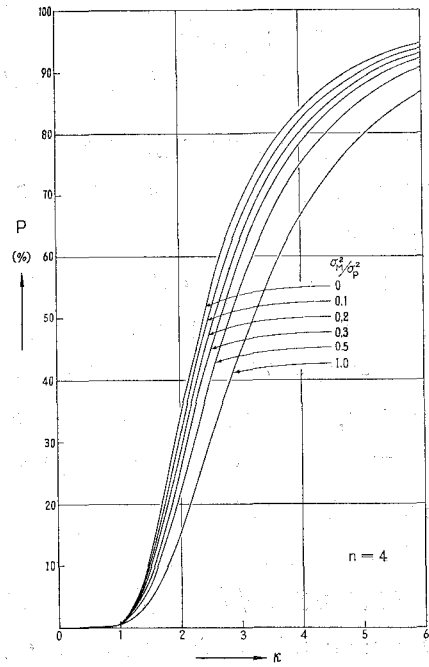


図-2 検出力曲線 (R 管理図, $n=4$)

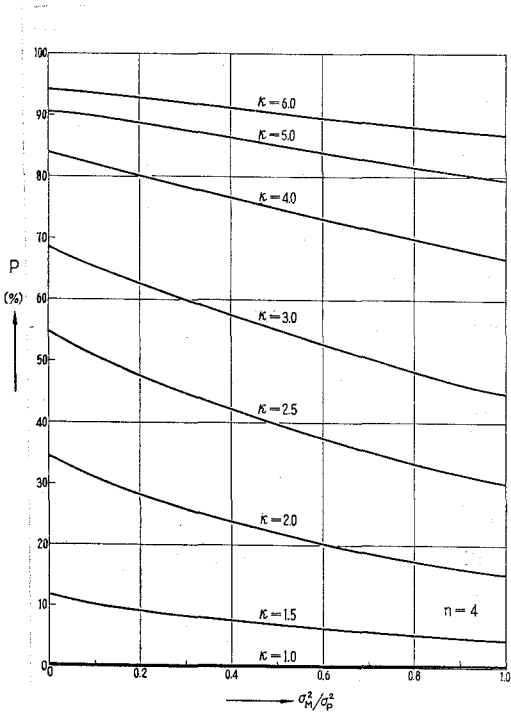


図-3 検出力に対する測定誤差の影響 ($n=4$)

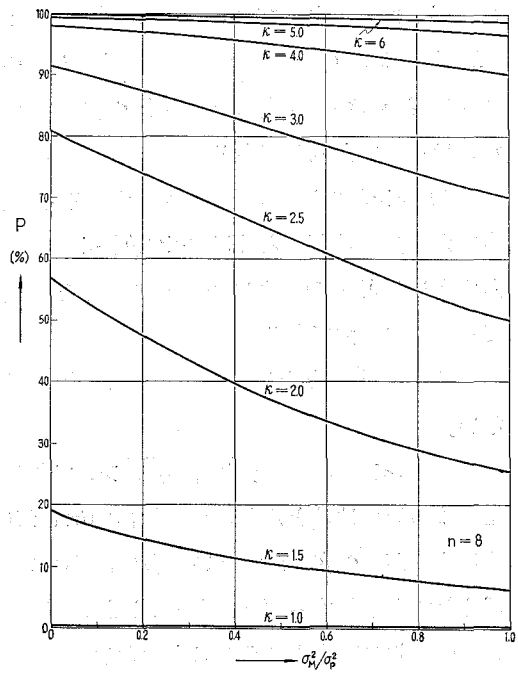


図-4 検出力に対する測定誤差の影響 ($n=8$)

$$\begin{aligned}
 P &= \int_{D_2\sqrt{m'}}^{\infty} f_n(w) dw + \int_0^{D_1\sqrt{m'}} f_n(w) dw \\
 &= 1 - P_n(D_2\sqrt{m'}) + P_n(D_1\sqrt{m'}) \tag{13}
 \end{aligned}$$

から検出力を求めることができる。すなわち、いま測定誤差として σ_M^2/σ_P^2 を指定すると (10) からおのおのの κ に対する $\sqrt{m'}$ が求められ、 n を指定すると (13) からおのおのの κ に対する検出力 P が計算できる。

このような方法で $\sigma_M^2/\sigma_P^2=0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 1.0$ のおのおのについて 3 シグマ限界の $n=2, 4, 5, 6, 8$ の R 管理図につき検出力を算出した。

図-1 に $\sigma_M^2/\sigma_P^2=0.3, n=2, 4, 6, 8$ の検出力曲線、図-2 に $n=4, \sigma_M^2/\sigma_P^2=0\sim 1.0$ の場合の検出力曲線、図-3 に $n=4$ 、図-4 に $n=8$ の場合の検出力に対する測定誤差の影響を示した。

工程標準偏差 σ_P が変化したときの R 管理図の検出力に対する測定誤差の影響を考察するところのとおりである。

1) 検出力は試料の大きさが $n=6$ 以下では $D_2\sqrt{m'}$ の値により定まり、試料の大きさが $n=7$ 以上では $D_1\sqrt{m'}$ の値により定まる。 n が一定ならば、測定誤差がない場合工程の変化が κ_0 の検出力と、測定誤差が σ_M^2/σ_P^2 の場合同じ検出力を与える κ は

$$\kappa^2 = \kappa_0^2 + (\kappa_0^2 - 1)(\sigma_M^2/\sigma_P^2) \tag{14}$$

の関係があり、よって $\sigma_M^2/\sigma_P^2=0, \kappa^2=2.0$ と $\sigma_M^2/\sigma_P^2=0.1, \kappa^2=2.1$ と $\sigma_M^2/\sigma_P^2=0.5, \kappa^2=2.5$ または、 $\sigma_M^2/\sigma_P^2=0, \kappa^2=3.0$ と $\sigma_M^2/\sigma_P^2=0.1, \kappa^2=3.2$ と $\sigma_M^2/\sigma_P^2=0.5, \kappa^2=4.0$ などは検出力が同じである。

2) $\kappa > 1$ では測定誤差が増大するといずれも検出力が減少するが、とくに $0 < \sigma_M^2/\sigma_P^2 < 1$ の範囲では n が大きいほど κ の小さい ($\kappa=1$ の近くを除く) ところでその影響が大である。

3) $\kappa=1$ のときは、測定誤差は検出力に影響しない。

4) $\kappa < 1$ 、 $n=6$ 以下では $\sqrt{m'} > 1$ であるから、測定誤差の影響はほとんどなく、検出力はしだいに 0 に接近するが、 σ_M^2/σ_P^2 が大きい場合は、小さい場合よりごくわずかに増加する傾向がある。しかし R 管理図の第 1 種の誤りの確率をこえることはない。

5) $\kappa < 1, n=7$ 以上で LCL がある場合は、 $\kappa=0$

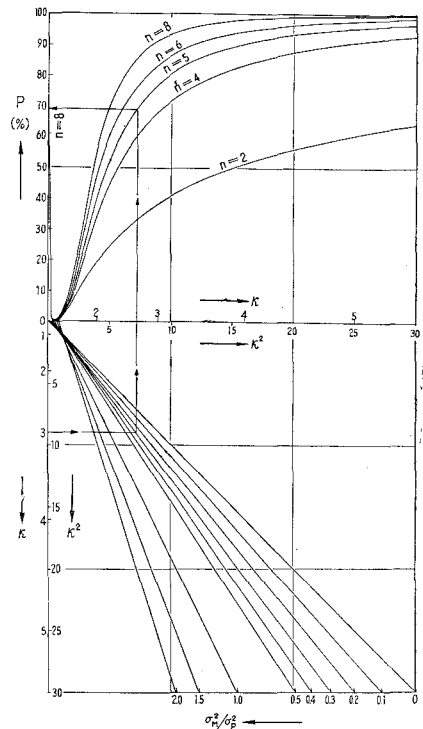


図-5 R 管理図用検出力計算図表

で $\sigma_M^2/\sigma_P^2=0$ のとき $P=1$ となるが、測定誤差が存在すると著しく検出力を低下させ、 κ が 0 に近く n が小さい ($n \geq 7$) ほどその影響は大である。

6) (14) 式より、 κ_0^2 と κ^2 との関係を各 σ_M^2/σ_P^2 につき直線で表わせるので 図-5 のような測定誤差がある場合の R 管理図用検出力計算図表を作成した。図-5 の曲線群は $n=2, 4, 5, 6, 8$ の $\sigma_M^2/\sigma_P^2=0$ (測定誤差がない場合) の R 管理図の検出力曲線を描いたものである。図の使い方は、例えば 3 シグマ法の R 管理図において、 $n=5$, $\sigma_M^2/\sigma_P^2=0.3$, $\kappa=3.0$ の場合の検出力は、図の矢印をたどって $P=69.1\%$ を得る。

3. \bar{x} - R 管理図の特性

\bar{x} 管理図と R 管理図は前述のように、単独に用いられることはきわめてまれであって、この両者は併用されるのが常である。このとき \bar{x} - R 管理図は測定誤差がある場合、工程の変化に対してどのような特性を示すかを考えてみる。

工程の変化とは、工程平均の変化と工程標準偏差の変化を意味し、これらは同時に起こり得るものであって、 \bar{x} - R 管理図はこの母集団の異常を発見するものであるとすると、“ \bar{x} 管理図と R 管理図が共に正常ならば、母集団に異常がない”ということを除いてはいずれも異常と判定されるのであるから、 \bar{x} - R 管理図の検出力 P は、工程の母集団に異常を生じた場合に、“ \bar{x} , R 管理図が共に正常”ということが起る確率を 1 から引けばよいことになる。このとき \bar{x} の分布と R の分布は独立であるから、いずれの管理図によっても発見されない確率は、それら個々の管理図によって発見されない確率すなわち第 2 種の過誤の確率の積で表わされる。よっていまある測定誤差の場合の \bar{x} および R 管理図の検出力を $P_{\bar{x}}$, P_R とすると、その測定誤差の場合の \bar{x} - R 管理図の検出力 P は、

$$P = 1 - (1 - P_{\bar{x}})(1 - P_R) = P_{\bar{x}} + P_R - P_{\bar{x}} \cdot P_R \quad (15)$$

となり、この式で容易に \bar{x} - R 管理図の検出力が算出できる。

一例として、 $\sigma_M^2/\sigma_P^2=0.1$ なる場合、工程が変化し、工程平均が $1\sigma_P$ だけ大きくなり ($\delta=1$)、工程標準偏差が 2 倍になった ($\kappa=2$) としよう。この変化に対して $n=5$ の \bar{x} - R 管理図の検出力はどのくらいであるかを求めてみると、前報¹⁾ に示した計算結果から $P_{\bar{x}}=0.3304$ 、前章の計算結果から $P_R=0.3725$ 、それ故 (15) 式から

$$P = 0.3304 + 0.3725 - 0.3304 \times 0.3725 = 0.5798$$

となる。

このようにして $\sigma_M^2/\sigma_P^2=0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 1.0$ のおのおのについて δ と κ をいろいろ変えて 3 シグマ法の $n=4, 5$ の \bar{x} - R 管理図の検出力を計算した。表-1 に $n=4$, $\sigma_M^2/\sigma_P^2=0.2$ の場合の例を示す。

図-6に $n=4, \kappa=2, \sigma_M^2/\sigma_P^2=0.3$ の場合の $\bar{x}, R, \bar{x}-R$ 管理図について工程平均の変化 δ と検出力 P との関係, 図-7に $n=4, \kappa=2, \sigma_M^2/\sigma_P^2=0\sim 1.0$ の場合の δ と P との関係, 図-8に $n=4, \delta=0.5, \kappa=0.5\sim 6.0$ の場合の σ_M^2/σ_P^2 と P との関係, 図-9に $n=4, \delta=2.0, \kappa=0.5\sim 6.0$ の場合の σ_M^2/σ_P^2 と P との関係, 図-10に $n=4, \kappa=0.5, \delta=1.0\sim 3.0$ の場合の σ_M^2/σ_P^2 と p との関係, 図-11に $n=4, \kappa=2.0, \delta=0\sim 4.0$ の場合の σ_M^2/σ_P^2 と P との関係を示す。

3シグマ法の $\bar{x}-R$ 管理図の検出力に対する測定誤差の影響を要約すれば, つぎのとおりである。

- 1) 測定誤差がある場合でも \bar{x}, R 管理図を単独に用いたときより検出力が大となる。

表-1 $\bar{x}-R$ 管理図の検出力 ($n=4, \sigma_M^2/\sigma_P^2=0.2$)

δ	κ				
	2	3	4	5	6
0	0.3630	0.7306	0.8842	0.9450	0.9711
0.5	0.3928	0.7404	0.8871	0.9459	0.9715
1.0	0.4783	0.7673	0.8951	0.9487	0.9725
1.5	0.6036	0.8065	0.9073	0.9529	0.9742
2.0	0.7401	0.8512	0.9220	0.9582	0.9763
2.5	0.8560	0.8944	0.9377	0.9642	0.9789
3.0	0.9337	0.9312	0.9527	0.9704	0.9816
3.5	0.9750	0.9589	0.9659	0.9763	0.9843
4.0	0.9924	0.9776	0.9766	0.9818	0.9870
4.5	0.9981	0.9889	0.9848	0.9864	0.9895
5.0	0.9996	0.9950	0.9907	0.9902	0.9917
5.5	0.9999	0.9979	0.9946	0.9932	0.9937
6.0	1.0000	0.9993	0.9970	0.9955	0.9953

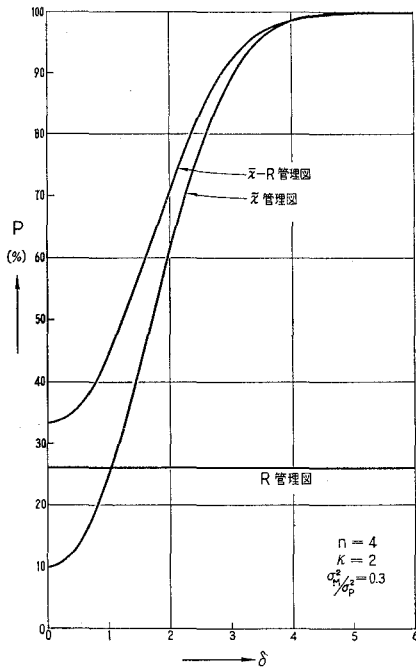


図-6 $\bar{x}, R, \bar{x}-R$ 管理図の検出力 ($n=4, \kappa=2, \sigma_M^2/\sigma_P^2=0.3$)

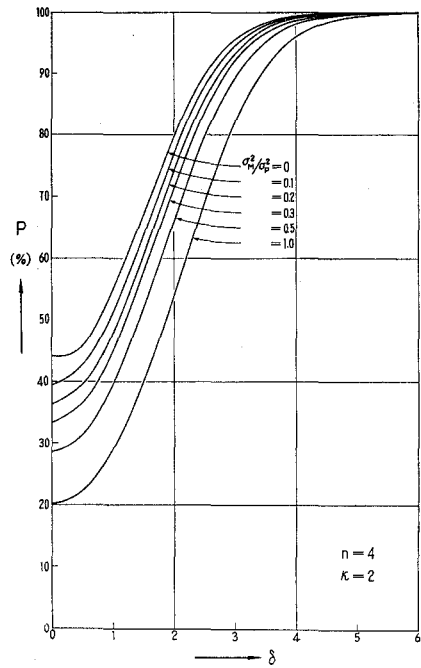


図-7 $\bar{x}-R$ 管理図検出力曲線 ($n=4, \kappa=2$)

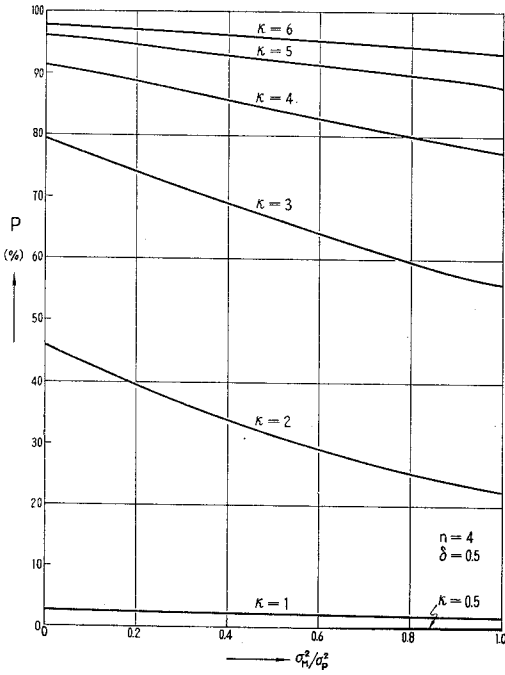


図-8 検出力に対する測定誤差の影響
($n=4, \delta=0.5$)

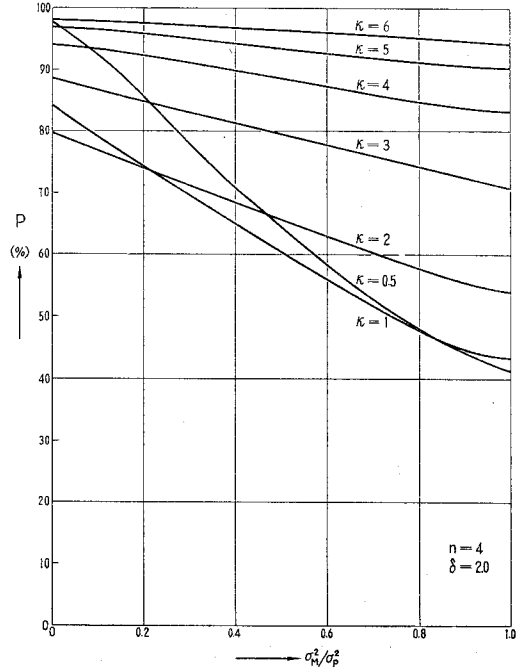


図-9 検出力に対する測定誤差の影響
($n=4, \delta=2.0$)

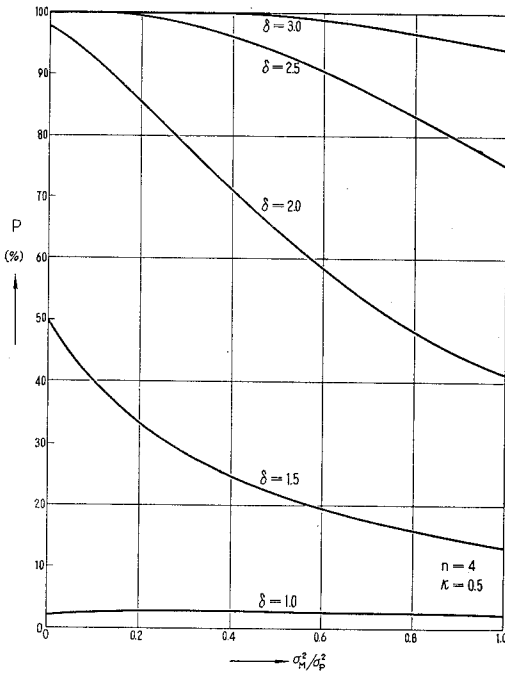


図-10 検出力に対する測定誤差の影響
($n=4, \kappa=0.5$)

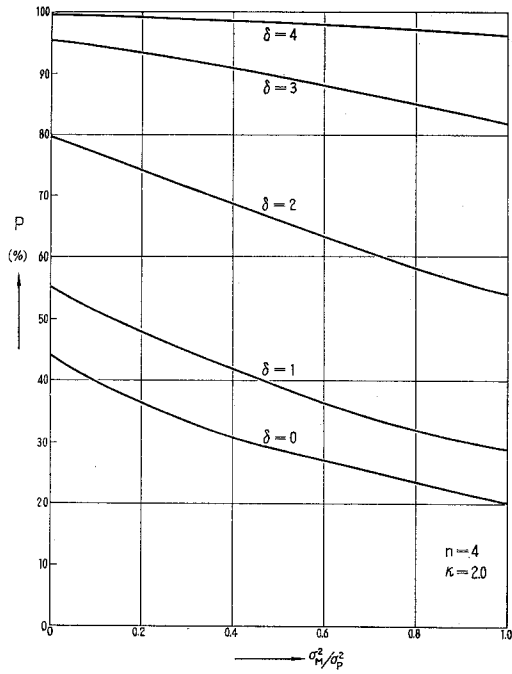


図-11 検出力に対する測定誤差の影響
($n=4, \kappa=2.0$)

2) $\kappa > 1$ では測定誤差が増大すると検出力は減少するが, n, κ, δ が十分大きいとその影響は小さくなる。

3) $\delta = 0, \kappa = 1$ では測定誤差は検出力に影響しない。

4) $\kappa < 1, n = 6$ 以下では $-3 < \delta\sqrt{n} < 3$ の範囲内で測定誤差が増大すると, わずかではあるが検出力が増加する場合がある。

5) $\kappa < 1, n = 7$ 以上で R 管理図に LCL がある場合には, $\kappa = 0, \sigma_M^2/\sigma_P^2 = 0$ のとき $P = 1$ となるが, 測定誤差が存在すると検出力を低下させる (δ が十分大きい場合を除く)。

6) 測定誤差が $0 < \sigma_M^2/\sigma_P^2 < 1$ の範囲では, 4) の場合を除き, κ が小さく, $\pm\delta\sqrt{n} = 3 \sim 5$ のとき測定誤差が検出力を減少させる効果が大である。

7) 測定誤差が大となって検出力が減少したとき, n を大にすれば検出力を回復することが可能である。

4. 結 言

以上 R 管理図, $\bar{x}-R$ 管理図について測定誤差のある場合の工程の変化に対する検出力を計算し, 検出力曲線を作成し, 若干の考察を試みた。いずれにしても, 測定誤差が大となって検出力が減少した場合には, 試料の大きさ n を大にするか, 或いは測定誤差を減少させるかすると検出力を回復することが可能であり, そのいずれにするかは, 管理図の検出力を考慮して経済的; 技術的見地から決定すべきであろう。

終りに, 御懇切な御指導を賜った東京工業大学資源化学研究所水野滋教授, ならびに有益な御助言を賜った本学数学教室吉田正夫教授に深く感謝の意を表す。

(昭和 38 年 11 月 13 日 第 13 回品質管理大会講演)

文 献

- 1) 金塚高次: 室工大研報, 4, 527 (1963).
- 2) Duncan, A. J.: Quality Control and Industrial Statistics, p. 392 (Richard D. Irwin, Inc., 1959).
- 3) Sheffé, H.: Industrial Quality Control, May, 13 (1949).
- 4) 伊東静男: 品質管理, 6, 450 (1955).
- 5) Pearson, E. S.: Biometrika, 32, 301 (1941).

Al₂O₃-Ag-K₂SO₄ 系 触 媒 に よ る エチレンの酸化について

— 修正速度式による解析 —

加納久雄・菖蒲明巳

Direct Oxidation of Ethylene over Al₂O₃-Ag-K₂SO₄ Catalyst

Hisao Kano and Akemi Ayame

Abstract

One of the authors reported on the rates of air oxidation of ethylene to ethylene oxide on kieselguhr-silver catalyst, in which case it was possible to oxidize ethylene by more than 60 per cent by selectivity in the stationary state. But owing to comparatively low selectivity at the early stages of catalyst use, the control of conditions was necessary in order to suppress great heat evolution and save ethylene.

Experiments were carried out to find promoters to modify the silver catalyst so as to raise the early stage selectivity, and it was found that the addition of such alkali metal sulfates as lithium-, sodium-, and potassium sulfates to silver oxide was considerably effective for the above-mentioned purpose, and selectivity in the stationary state was also higher.

Measurements were made about the rates of ethylene oxidation on the promoted catalyst and the rate data obtained were analyzed to develop rate equations. The rates could be expressed as follows:

$$r = k_1 p_{C_2H_4} p_{O_2}^{1/2} - k_2 p_{C_2H_4} p_{CO_2}^{-1/2}$$
$$v = k_3 p_{C_2H_4} p_{O_2}$$

where r is the change rate of ethylene to ethylene oxide, and v is that to carbon dioxide.

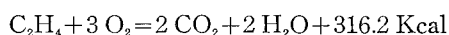
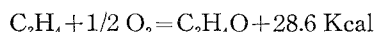
I. 緒 論

著者の一人はさきにケイソウ土-Ag 系触媒によるエチレンの直接酸化反応速度を測定し、その結果から反応の機構を論じ、更に最適反応管の形式に関して検討を行なった^{1),2)}。本触媒は定常状態(使用初期段階における異常活性による比較的選択性の低い期間を過ぎて一定の性能を示すに至った状態を意味する)においては、工業触媒として十分な活性、選択性、強度および寿命を有するものであった。しかし上述のごとく比較的選択性の低い初めの期間においては、殊に多量の原料ガスを供給する際に多量の反応熱が生じ触媒層内に局部的温度上昇をきたし易いため、原料供給速度または原料組成を調整することによって温度上昇を抑制しつつ定常化を行なわなければならないという欠点があった。それ故使用の初期において可及的に定常状

態に近い選択性を有するように触媒性能を改良することが望まれた。

また上記の触媒は工業上妥当な反応条件と反応率において 60% を下らない選択率でエチレンをオキシドへ転換することができたが、尚これを多少でも上昇させることができるならばエチレンの損失を低下させうるばかりでなく、反応の制御が一層容易となる筈である。

今熱化学方程式を



で表わし、全転換率 (T) をパラメーターとし選択率 (S) と発生熱量 (Q) との関係を示したのが第 1 図である。例えば $T=0.6\sim 0.8$, $S=0.6\sim 0.8$ の範囲では、 S が 10% 増加することにより Q は約 20% 低下し、また S が 20% 増加すれば Q は 28% 低下することとなる。

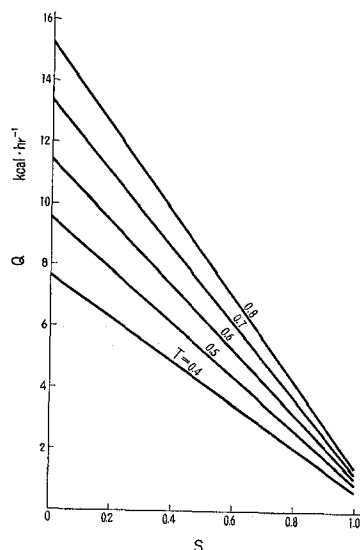
上述のごとく初期段階ならびに定常状態における選択性の向上を目的として触媒性能の改良を試みた。その結果 Ag に対して Li, Na, K のごときアルカリ金属の硫酸塩を助触媒として添加することが上の目的を達成するために極めて効果があることを見出した。

しかるにアルカリ金属硫酸塩で助触した触媒を製するに当り、担体としてケイソウ土を用いると、既報のケイソウ土-Ag 系触媒とは異なって活性の時間的低下が著しいことがわかった。そのため助触した銀触媒の担体としてケイソウ土に代るべき物質を求める必要が附随して生じた。この点に関しても種々検索した結果、熔融アルミナ系の担体が良好な性能を示すことがわかった。このようにして前述の目的に適合する触媒の製法を確立することができた。本報はアルカリ金属硫酸塩により助触した担持銀触媒を使用したエチレンの空気酸化速度の測定実験とその解析結果に関する記述である。

II. 実 験

II-1 触媒および反応装置

触媒の調製： 一定量の Ag_2O に対し一定濃度のアルカリ金属硫酸塩溶液を一定量加え蒸発乾固する。100°C で乾燥した後エタノールを加えてペースト状とし、この中へ一定量の担体を投入し、かきまぜながらアルコールを自然蒸発させると担体表面に活性物質が一様に展着する。これを乾燥後 50°C で水素還元を行なって触媒とした。



第 1 図 選択率 (S) と反応熱 (Q) との関係
($F=30 \text{ l}\cdot\text{hr}^{-1}$, C_2H_4 4.5% の場合)

反応装置： 従来エチレンの酸化反応に使用したと同じく流通式反応器を用いた²⁾。

II-2 実験結果

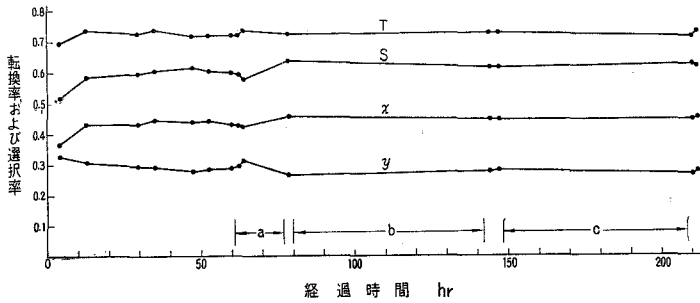
II-2-1 触媒の定常化

(1) 多孔性熔融アルミナ Al₂O₃ (I) を担体とする触媒

直径 5~6 mm, 嵩比重 1.06 の球形多孔性熔融アルミナ (Norton 社製) 50 g, Ag₂O 15 g および K₂SO₄ 75 mg から成る触媒を調製した。還元後の重量で 34 g の触媒を使用し塩浴温度 250°C, 原料ガス流速 (*F*) 3 l/hr, エチレン-空気混合比 4.5:95.5 の条件で 200 hr にわたって反応をつづけ, 途中反応率を測定した結果を第 2 図に示した。転換率および選択率は当然 *W/F*' に依存して変りうるが, 本実験のごとく単流転換率が 70~72% という高い場合においても初期選択率 52%, 定常化後に 62% という良好な結果がえられた。しかも定常状態への到達時間が 10 数時間という極めて短時間で足ることが明らかである。

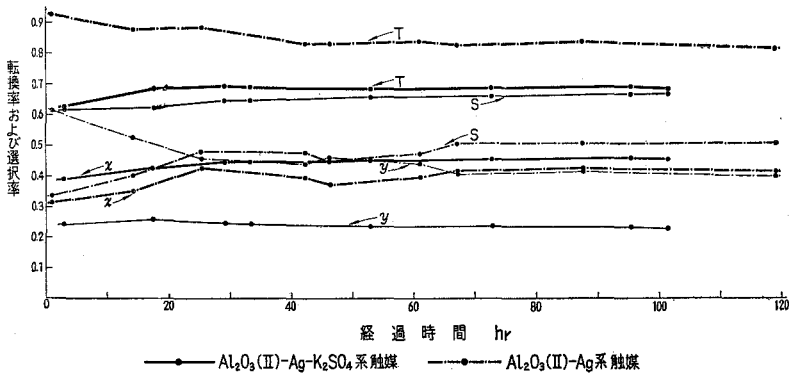
(2) 熔融アルミナ Al₂O₃ (II) を担体とする触媒

直径約 4 mm, 嵩比重 1.78 の球形熔融アルミナを担体とした。このものは表面がやや平滑



第 2 図 Al₂O₃ (I)-Ag-K₂SO₄ 系触媒の定常化

W = 34 g, 温度 250°C, *F*' = 3 l·hr⁻¹, エチレン 4.5%, *x* = オキシドへの転換率, *y* = CO₂ への転換率, *T* = 全転換率, *S* = 選択率



第 3 図 Al₂O₃ (II)-Ag-K₂SO₄ 系および Al₂O₃ (II)-Ag 系触媒の定常化

W = 18 g, 温度 255°C, *F*' = 3 l·hr⁻¹, エチレン 4.5%

なため、そのままでは Ag の固定がよくない。そこで予め担体量の 1/30 に相当する Ag_2O を附着させ、加熱昇温して Ag_2O を分解させたところ、担体表面に強く融着した Ag の粗しような面が形成され、以後の Ag_2O の展着ならびに還元操作が非常に容易となった。即ち Al_2O_3 (II) 336 g に Ag_2O 12 g を附着させ、 550°C まで加熱昇温して分解した後、 Ag_2O 60 g, K_2SO_4 150 mg を Al_2O_3 (I) の場合と同様に展着し還元後その 18 g を用い、塩浴温度 255°C , $F'=3$ l/hr, エチレン-空気比 4.5:95.5 の条件で反応させた結果を第 3 図に示した。 Al_2O_3 (I)-Ag- K_2SO_4 の場合と同様に定常状態への到達時間の短縮、初期ならびに定常時における選択率の向上が顕著である。第 3 図に比較のため K_2SO_4 を加えない Al_2O_3 -Ag 系触媒の定常化の経過をも示したが、如上の事実が極めて明らかに見られる。

II-2-2 反応速度の測定

Al_2O_3 (I)-Ag- K_2SO_4 系触媒を用い、反応温度および W/F' を変えてエチレンオキッドおよび炭酸ガスへの転換率の測定を行ない第 1 表の結果をえた。同一反応条件で測定を二度宛行ないその平均値をとって W/F ($\text{g}\cdot\text{hr}\cdot\text{mol C}_2\text{H}_4^{-1}$) に対して x, y, T, S を点綴すると第 4-1 図、第 4-2 図および第 4-3 図に示した点線 (実測値) の曲線がえられた。これら一連の測定は第 2 図中に註記した時間 a, b, c (a は W/F 5650, b は 1458, 2820 および 4250, c は 728 および

第 1 表 測定結果

W/F $\text{g}\cdot\text{hr}\cdot\text{mol C}_2\text{H}_4^{-1}$	温度 $^\circ\text{C}$	x		y		$x+y$	$\frac{x}{x+y}$	W/F $\text{g}\cdot\text{hr}\cdot\text{mol C}_2\text{H}_4^{-1}$	温度 $^\circ\text{C}$	x		y		$x+y$	$\frac{x}{x+y}$
		平均値	平均値	平均値	平均値					平均値	平均値				
5650	236.5	0.389	0.389	0.212	0.208	0.597	0.652	1458	236.5	0.212	0.212	0.080	0.080	0.292	0.726
"	"	0.388		0.204				"	"	0.212		0.079			
"	250.0	0.426	0.427	0.293	0.291	0.718	0.596	"	250.0	0.280	0.282	0.129	0.131	0.412	0.684
"	"	0.428		0.288				"	"	0.283		0.132			
"	265.0	0.426	0.428	0.401	0.399	0.827	0.517	"	265.0	0.337	0.335	0.164	0.168	0.502	0.666
"	"	0.430		0.397				"	"	0.332		0.171			
4250	236.5	0.372	0.375	0.209	0.211	0.586	0.640	728	236.5	0.149	0.151	0.069	0.069	0.220	0.686
"	"	0.378		0.212				"	"	0.153		0.068			
"	250.0	0.432	0.428	0.251	0.246	0.673	0.635	"	250.0	0.202	0.201	0.109	0.105	0.306	0.657
"	"	0.423		0.240				"	"	0.200		0.101			
"	265.0	0.426	0.425	0.313	0.313	0.738	0.575	"	265.0	0.225	0.219	0.125	0.118	0.337	0.650
"	"	0.423		0.313				"	"	0.214		0.111			
2820	236.5	0.271	0.271	0.119	0.121	0.392	0.691	734	236.5	0.121	0.127	0.075	0.068	0.195	0.652
"	"	0.270		0.125				"	"	0.133		0.060			
"	250.0	0.364	0.365	0.204	0.199	0.564	0.648	"	250.0	0.194	0.195	0.098	0.093	0.288	0.676
"	"	0.366		0.194				"	"	0.195		0.088			
"	265.0	0.402	0.402	0.252	0.254	0.656	0.613	"	265.0	0.238	0.240	0.127	0.121	0.361	0.665
"	"	0.402		0.255				"	"	0.242		0.114			

734の実験を行なった期間を示す) 内に実施したものであり、測定の前および途中において触媒性能に変化を生じていないことが第2図から明らかである。常法により第4図の実測値の曲線の図式微分により反応速度を求め、また対応する気相成分分圧を算出して第2-1表、第2-2表および第2-3表に示した。ただし p_1 , p_2 , p_3 , p_4 はそれぞれエチレン、酸素、エチレンオキシドおよび炭酸ガスの分圧、 r , v はそれぞれオキシドおよび炭酸ガスへ変化したエチレンのモル数 ($\text{mol C}_2\text{H}_4 \cdot \text{hr}^{-1} \cdot \text{g} \cdot \text{catalyst}^{-1}$) である。

第2-1表 反応速度 236.5°C

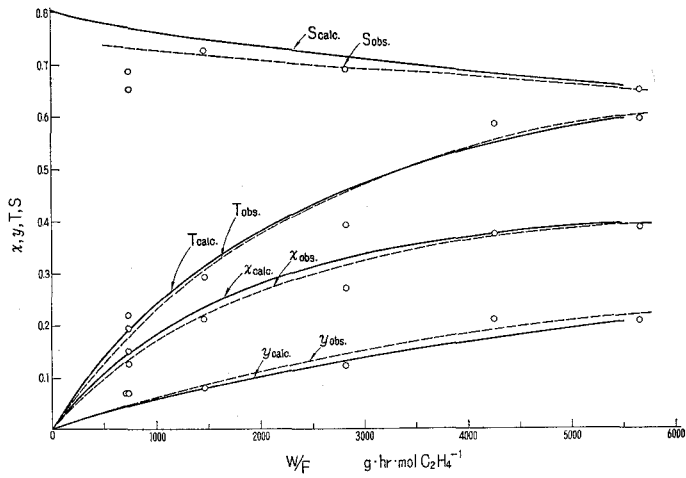
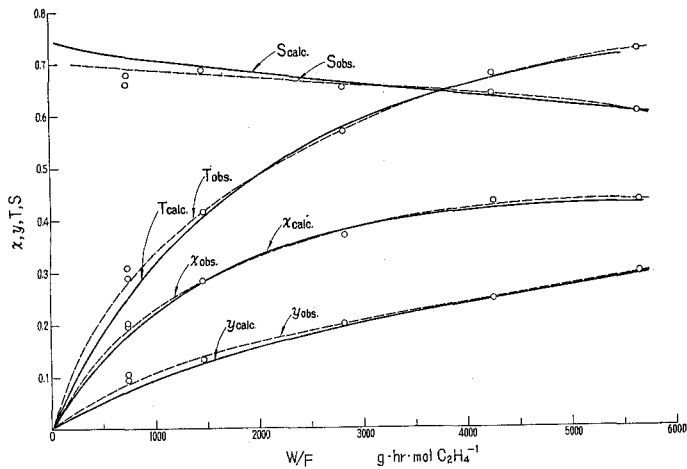
W/F $\text{g} \cdot \text{hr} \cdot \text{mol}$ $\text{C}_2\text{H}_4^{-1}$	x	y	p_1 atm	p_2 atm	p_3 atm	p_4 atm	$r \times 10^4$ $\text{mol C}_2\text{H}_4 \cdot$ $\text{hr}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$	$v \times 10^4$ $\text{mol C}_2\text{H}_4 \cdot$ $\text{hr}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$
500	0.1075	0.0365	0.0386	0.1937	0.0049	0.0033	1.790	0.649
1000	0.1840	0.0655	0.0339	0.1884	0.0083	0.0059	1.270	0.527
1500	0.2380	0.0900	0.0304	0.1841	0.0108	0.0081	0.928	0.439
2000	0.2790	0.1105	0.0276	0.1805	0.0126	0.0100	0.710	0.382
2500	0.3100	0.1290	0.0254	0.1774	0.0141	0.0117	0.544	0.339
3000	0.3335	0.1450	0.0236	0.1749	0.0151	0.0131	0.411	0.302
3500	0.3520	0.1595	0.0222	0.1725	0.0160	0.0145	0.302	0.270
4000	0.3640	0.1725	0.0210	0.1705	0.0165	0.0157	0.219	0.244
4500	0.3735	0.1840	0.0201	0.1688	0.0170	0.0167	0.150	0.219
5000	0.3800	0.1950	0.0193	0.1671	0.0172	0.0177	0.096	0.208
5500	0.3840	0.2050	0.0187	0.1657	0.0174	0.0186	0.066	0.196
6000	0.3870	0.2145	0.0181	0.1644	0.0176	0.0195	0.053	0.188

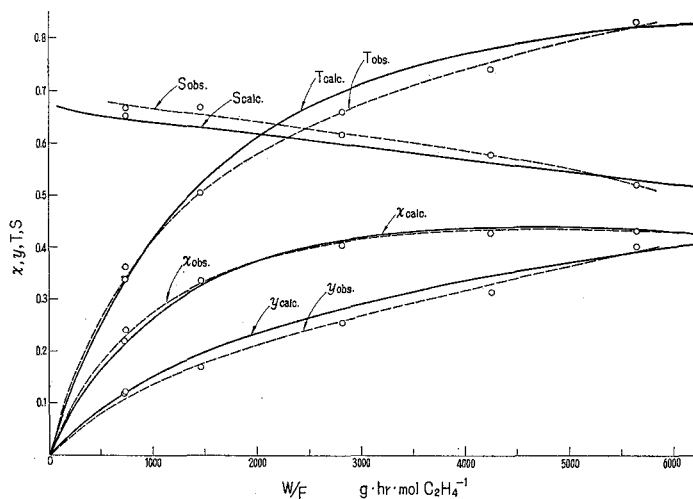
第2-2表 反応速度 250°C

W/F $\text{g} \cdot \text{hr} \cdot \text{mol}$ $\text{C}_2\text{H}_4^{-1}$	x	y	p_1 atm	p_2 atm	p_3 atm	p_4 atm	$r \times 10^4$ $\text{mol C}_2\text{H}_4 \cdot$ $\text{hr}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$	$v \times 10^4$ $\text{mol C}_2\text{H}_4 \cdot$ $\text{hr}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$
500	0.145	0.058	0.0361	0.1904	0.0065	0.0051	2.028	1.010
1000	0.227	0.102	0.0304	0.1826	0.0103	0.0092	1.340	0.752
1500	0.282	0.135	0.0264	0.1771	0.0128	0.0122	0.960	0.590
2000	0.324	0.162	0.0233	0.1727	0.0148	0.0147	0.741	0.494
2500	0.357	0.185	0.0208	0.1689	0.0162	0.0168	0.582	0.433
3000	0.383	0.206	0.0187	0.1659	0.0174	0.0187	0.462	0.382
3500	0.403	0.224	0.0169	0.1628	0.0183	0.0203	0.345	0.340
4000	0.417	0.240	0.0156	0.1603	0.0189	0.0218	0.226	0.311
4500	0.426	0.255	0.0145	0.1581	0.0193	0.0232	0.129	0.283
5000	0.430	0.269	0.0137	0.1561	0.0195	0.0245	0.039	0.270
5500	0.430	0.282	0.0131	0.1544	0.0195	0.0256	-0.030	0.253
6000	0.427	0.295	0.0126	0.1526	0.0194	0.0268	-0.070	0.242

第2-3表 反応速度 265°C

W/F $\text{g}\cdot\text{hr}\cdot\text{mol}$ $\text{C}_2\text{H}_4^{-1}$	x	y	p_1 atm	p_2 atm	p_3 atm	p_4 atm	$r \times 10^4$ $\text{mol C}_2\text{H}_4 \cdot$ $\text{hr}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$	$v \times 10^4$ $\text{mol C}_2\text{H}_4 \cdot$ $\text{hr}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$
500	0.182	0.085	0.0331	0.1857	0.0082	0.0077	2.500	1.289
1000	0.274	0.144	0.0264	0.1761	0.0124	0.0130	1.386	0.947
1500	0.329	0.187	0.0219	0.1692	0.0149	0.0170	0.932	0.778
2000	0.368	0.222	0.0186	0.1637	0.0167	0.0201	0.661	0.665
2500	0.397	0.253	0.0159	0.1589	0.0180	0.0230	0.460	0.587
3000	0.415	0.281	0.0139	0.1548	0.0189	0.0255	0.280	0.521
3500	0.425	0.306	0.0122	0.1512	0.0193	0.0278	0.150	0.467
4000	0.430	0.328	0.0110	0.1481	0.0195	0.0298	0.054	0.420
4500	0.430	0.348	0.0101	0.1453	0.0195	0.0316	-0.016	0.388
5000	0.428	0.367	0.0093	0.1427	0.0194	0.0333	-0.058	0.370
5500	0.425	0.385	0.0086	0.1404	0.0193	0.0350	-0.090	0.354
6000	0.420	0.403	0.0081	0.1381	0.0191	0.0365	-0.113	0.342

第4-1図 W/F に対する x, y, T および S のプロット (236.5°C)第4-2図 W/F に対する x, y, T および S のプロット (250°C)



第4-3図 W/F に対する x, y, T および S のプロット (265°C)

III. 修正速度式による反応速度の表示

前節の測定値について先にケイソウ土-Ag 系触媒に対してえた速度式にもとづいて解析を行なってみると適合性がよくないことがわかった。そこで両者の不一致の傾向から推定して旧速度式に対して若干の修正を行なったところ、著しく適合性の改善された下記の表式がえられた。

$$r = k_1 p_1 p_2^{1/2} - k_2 p_3 p_4^{-1/2} \quad (1)$$

$$v = k_3 p_1 p_2 \quad (2)$$

実測値から各反応温度に対する k_1, k_2 および k_3 の値を決定し、各々を T の関係として表わすと、

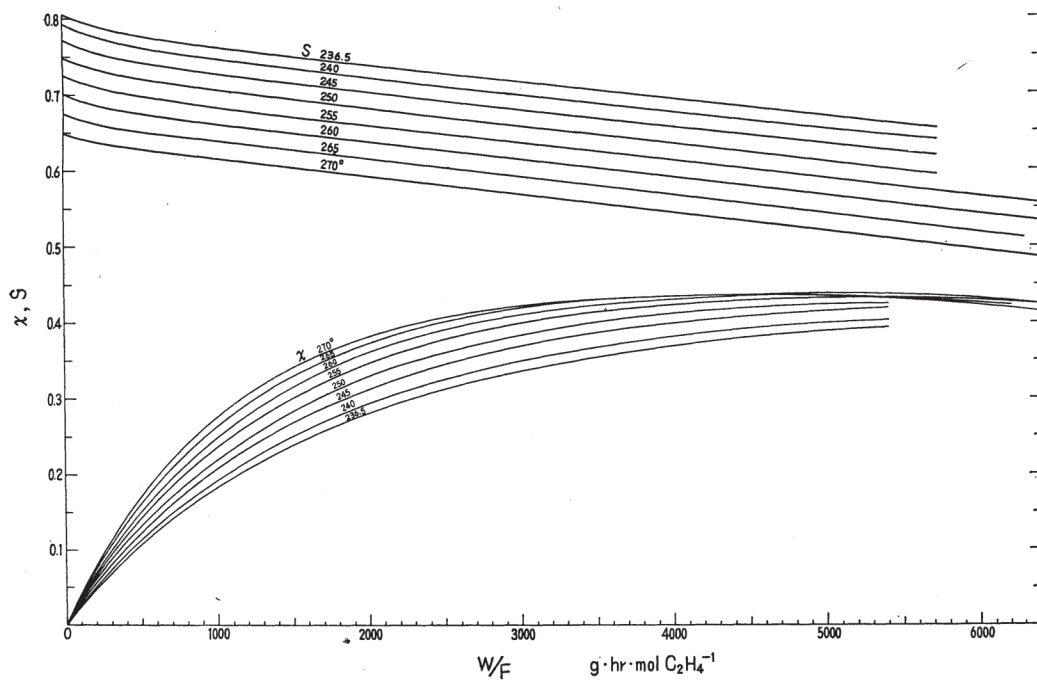
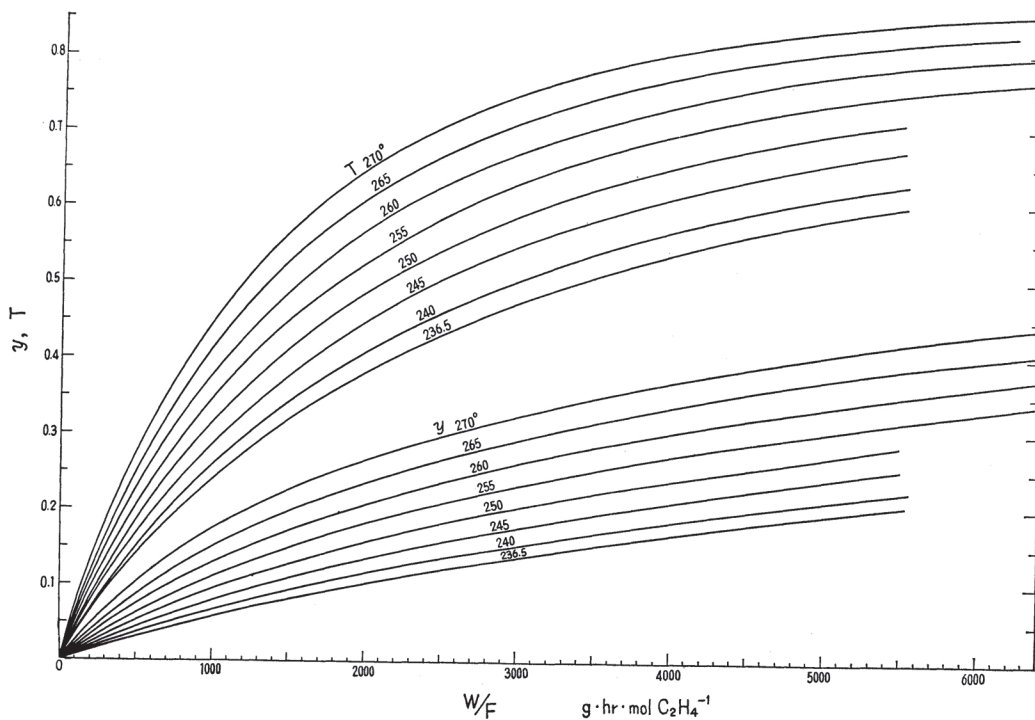
$$\left. \begin{aligned} k_1 &= 31.093 \exp(-3922/T) \\ k_2 &= 8.854 \times 10^{-4} \exp(-83.83/T) \\ k_3 &= 9.929 \times 10^6 \exp(-10706/T) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

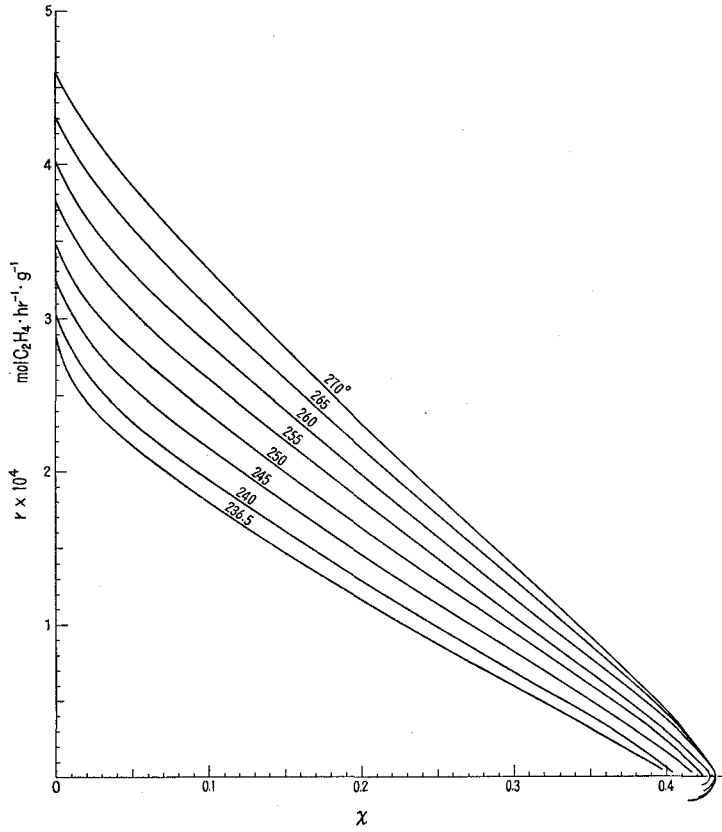
したがって、

$$r = 31.093 \exp(-3922/T) \left[\frac{4.5(1-x-y)}{100-2.25x} \right] \left[\frac{20.06-2.25x-13.5y}{100-2.25x} \right]^{1/2} - 8.854 \times 10^{-4} \exp(-83.83/T) \left[\frac{4.5x}{100-2.25x} \right] \left[\frac{9y}{100-2.25x} \right]^{-1/2} \quad (4)$$

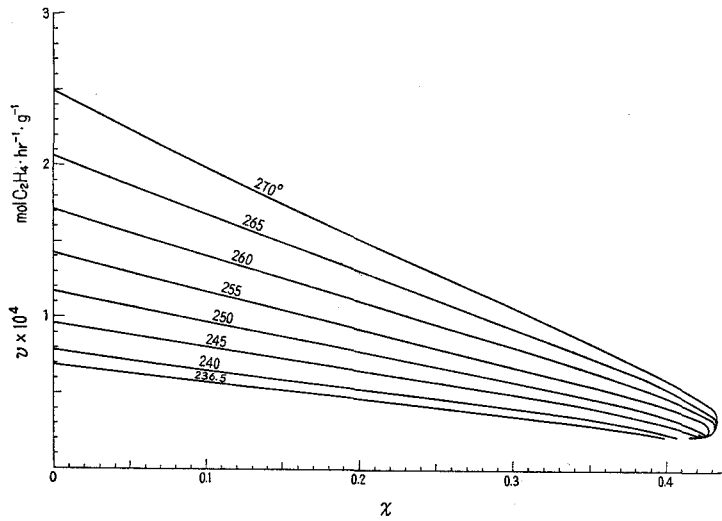
$$v = 9.929 \times 10^6 \exp(-10706/T) \left[\frac{4.5(1-x-y)}{100-2.25x} \right] \left[\frac{20.06-2.25x-13.5y}{100-2.25x} \right] \quad (5)$$

第4-1図、第4-2図および第4-3図の実線で示した曲線は W/F に対する x, y の値を速度式

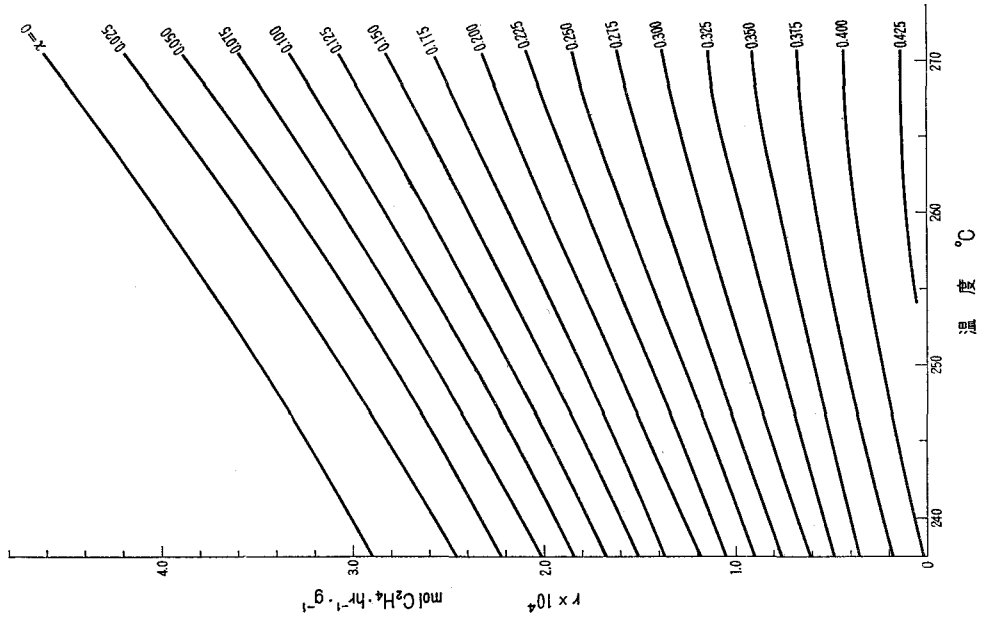
第5-1図 W/F に対する x および S のプロット第5-2図 W/F に対する y および T のプロット



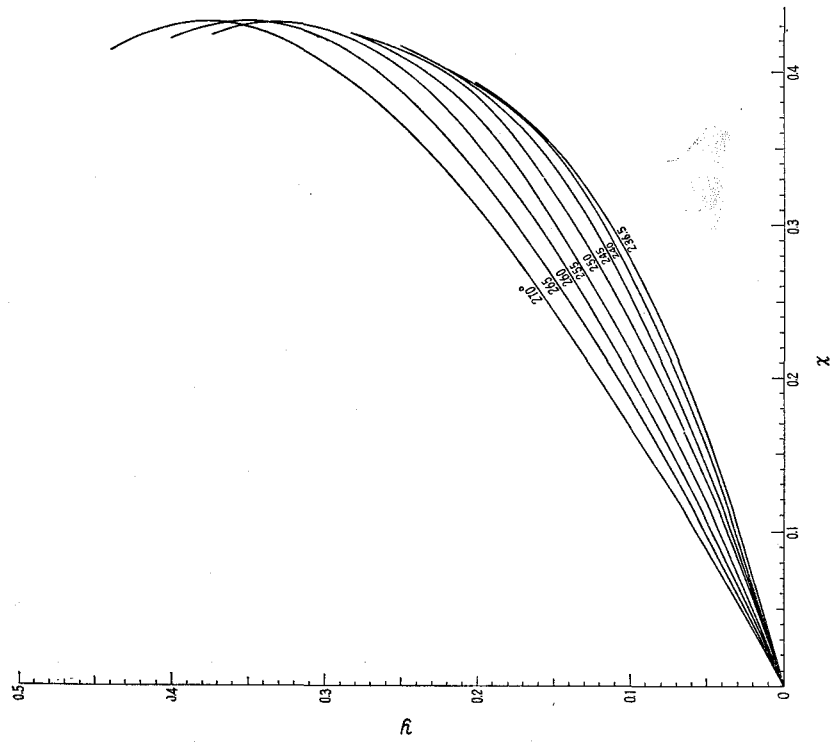
第6-1図 r 対 x のプロット



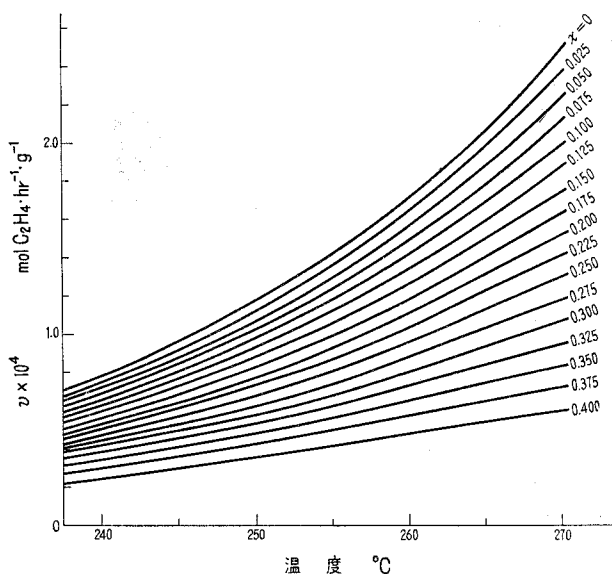
第6-2図 v 対 x のプロット



第7-1図 エチレンオキシド生成速度



第6-3図 y 対 x のプロット

第7-2図 CO₂+H₂O 生成速度

にもとづいて算出し、 x , y , T および S を点綴したものである。

次に反応管設計の基礎資料として 236.5~270°C の範囲で上記速度式により x , y , T および S 対 W/F ; r , v 対 x ; y 対 x ; r , v 対温度の関係を求め、これらを図示したものが第5-1 および 5-2 図; 第6-1, 6-2 および 6-3 図; 第7-1 および 7-2 図である。

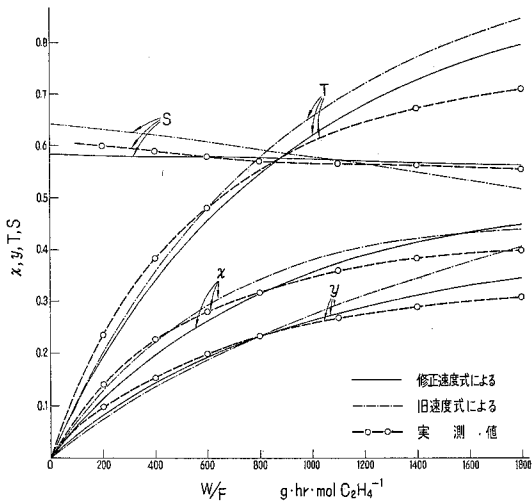
IV. 修正速度式によるケイソウ土-Ag 系触媒上のエチレン酸化反応の解析

著者はさきのケイソウ土-Ag 系触媒によるエチレンの酸化反応速度に関する報告において、決定された速度式がエチレンの全転換率 60% 以下の場合には比較的よく実測値を満足するが、高転換率領域になると恐らく反応生成物 (CO₂, H₂O など) の触媒への吸着による反応の障害が原因となって計算値と実測値との一致が悪くなることを指摘しておいた²⁾。そこで Al₂O₃-Ag-K₂SO₄ 系触媒による反応に対して良好な結果を与えた修正速度式を用いて、ケイソウ土-Ag 系触媒についてさきにえた実験結果の再検討を行なってみた。

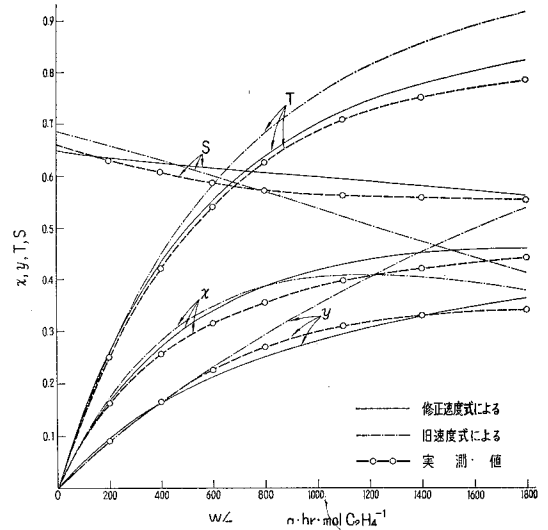
この場合において (1), (2) 式の定数の値としてそれぞれ次の数値がえられた。

$$\left. \begin{aligned} k_1 &= 5.5165 \times 10^9 \exp(-13409/T) \\ k_2 &= 1.7763 \times 10^{23} \exp(-31746/T) \\ k_3 &= 3.3255 \times 10^9 \exp(-5743/T) \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

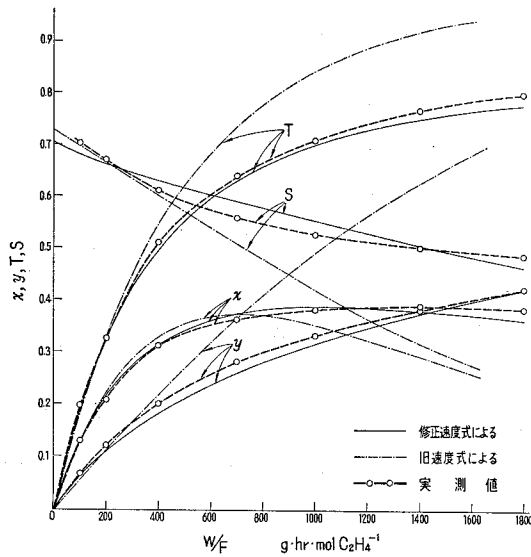
旧速度式および修正速度式を用い温度 245, 255 および 265°C における W/F に対する x , y 等の値を求め、これらを第8-1, 8-2 および 8-3 図に示した。点線で示した曲線は実測値で



第8-1図 ケイソウ土担持銀触媒について修正速度式および旧速度式による x, y, T, S 対 W/F の計算値と実測値との比較 (245°C)



第8-2図 ケイソウ土担持銀触媒について修正速度式および旧速度式による x, y, T, S 対 W/F の計算値と実測値との比較 (255°C)



第8-3図 ケイソウ土担持銀触媒について修正速度式および旧速度式による x, y, T, S 対 W/F の計算値と実測値との比較 (265°C)

ある。旧速度式に比較して修正式の方がはるかによく実測値を満足することが明らかである。

V. 考 察

II に記述した実験から還元銀によるエチレンの部分酸化に対する選択性の向上に対し、硫酸カリが顕著な効果を有することが明らかとなった。カリ以外のアルカリ金属硫酸塩については本報告では触れなかったが、ナトリウムおよびリチウムについてはカリと殆んど全く同一の効果があつた。しかも硫酸アルカリの添加量の多少は上記の効果に対してあまり影響がないという特異の性質があることも確めえた。これに反して、硫酸基を他の酸基もしくはハロゲンで置換したアルカリ塩、あるいはアルカリ金属以外の金属または土金属の硫酸塩の多くはこれまで実験を行なつた限りでは、これらを微量添加しただけで銀の触媒能を失なわしめ、エチレンの酸化に対して接触作用を示さなかつた。現在、種々の添加物を加えた銀触媒の電氣的性質に関して興味ある測定結果をえつつあり、これから上述のごとき硫酸アルカリの特異な助触作用を説明するための資料がえられるやも知れないが、これは今後の課題として目下追求の途上にある。

次にエチレンの酸化反応のごとく並行反応と逐次反応を主反応とする複合反応系の速度を簡単な速度表式で表わすことは本来無理なことかも知れない。また反応ガス中からの吸着は単一気体の吸着とは著しく様相を異にすることが他の接触反応系について観察せられているところであり^{3), 4), 5)}、更に吸着に対し Langmuir-Hinshelwood の仮定が厳密に成立すると考えることには無理があらう。これらの種々の原因によりさきにケイソウ土-銀系触媒に対してえたエチレンの酸化反応速度式は高転換率領域では適合性に欠けるところがあつたものと思はれる。しかるに、測定値の傾向からこれに対して経験的な修正を加えることにより、今回開発した Al₂O₃-Ag-K₂SO₄ 系触媒に対しても、また旧来型触媒に対しても比較的適合性のよい修正速度式を得ることができた。もとより本修正式は炭酸ガスの生成にオキシドの酸化による項を含まないという一見奇妙な形となっているが、もともと旧速度式自身酸素その他の分子の吸着による阻害作用を一定として簡略化したものであるから、これら近似的取扱いの相殺により上記の経験的修正式でもよく実測値と一致する結果を与えたものと考えられる。

終りに実験に協力された工学士木内吾朗、藤本和紘、清水崇および中島啓二の諸君に感謝の意を表する。

(昭和 38 年 8 月日本化学会北海道大会にて講演)

文 献

- 1) 加納久雄・金塚高次：工業化学雑誌, **61**, 1157 (1958).
- 2) 同 上：同 上, **65**, 1 (1962).
- 3) K. Tamaru: Bull. Chem. Soc., Japan **31**, 666 (1958).
- 4) K. Tamaru: Trans. Faraday Soc. **55**, 824, 1191 (1959).
- 5) 田丸謙二：第二回国際触媒学会 (1960).



A Study of the Design and Stress Calculation of the Simple Box Girder Bridge with Varying Sections and Steel Floor Plates

Sakutaro Nakamura*

Abstract

The present writer tentatively designed the simple box girder bridge having the span length 50 m, the effective width 6 m and the steel floor board as the test case of the 1st class highway bridge. He treated the economical and structural problems of this bridge.

He considers that the girder bridge of one box is most suitable for the above-mentioned highway bridge, because the effective width of this bridge is comparatively small as the bridge having the steel floor board.

Furthermore he adopted the box girder bridge having the varying sections considering of the economy and the specific character in structures, and selected the superior shape out of many shapes, with reference to the result of the already completed photoelastic experiments.

1. Introduction

Recently the composite box girder bridge and the box girder bridge having the steel floor board have been constructed vigorously for the middle class span 40 m~100 m that seems to be too unreasonable to adopt the common plate girder¹⁾⁻³⁾ or the composite plate girder^{9),10)}.

The composite box girder bridge has such a special character that the solid steel structure of thin plate and the floor board of reinforced concrete have been made connectively to bring the reduction of dead loads and united stiffness.

On the contrary, the box girder bridge^{4),5)} having the steel floor board has such a special character that the more great reduction of dead loads has been brought and the steel floor board itself has directly cooperated with the action of main girder as one part of the upper flange of box girder bridge.

Moreover, it is reported that the connection of the steel floor board is very firm because the welding and its breaking strength is unexpectedly great.

In the composite box girder bridge, we have to apply the method of prestress concrete to the structure of the domain bridge having minus bending moments as the case of the Gerbar girder bridge and the continuous girder bridge, because the tensile strength of concrete is very little, and we must greatly consider the method of composite construction.

On the other hand, we can expect the more effective cooperative action

* 中村作太郎

because there is not the above-mentioned restriction in the bridge having the steel floor board, and we can enlarge more and more the span of a bridge by the great reduction of steel materials and dead loads.

The box girder bridge having the steel floor board has progressed rapidly with the composite box girder bridge in Germany since the end of the War, and gradually it has been closely studied by many research workers of each nation, and it is the structural type that has been constructed practically in various places.

The present writer tentatively designed a simple box girder bridge of one box type having the varying sections and the steel floor board as the test case of the 1st class highway bridge of the span length 50 m and the effective width 6 m, and he studied some problems of the economy and the structural mechanics in this box girder bridge.

In the tentative design of this economical type, the present writer referred data of the planning investigation for the Jogashima Large Bridge of the initial type in Japan, and he selected the type of varying sections that seems to be most excellent from a viewpoint of the economy and the structural stability, considering the special structural character of the simple girder bridge.

Still more he used specially the most excellent shape in the structural economics, referring to the results of the experiment of photoelastic models having the varying rectangular sections completed and reported already. (See Fig.-1, Fig.-2)

Next, he calculated the stress of steel floor board, the bending moment, the shearing force and the deflection of the main girder, the stability for buckling of web plate, the stress for bearing compression power of supported ends in the main girder, the stress for torsional and shearing flow of the main girder, the stress of floor system, the stress of shoe on both ends, the stress of the balustrade, the stress of the joining part and the stress for the temperature change of this bridge.

In conclusion, he made the list of materials in the above-mentioned box girder and treated of the decrease of steel materials which was brought by using the varying section type, and compared it with any other type of bridge from the economical viewpoint.

2. Summary of the Design⁶⁾

Enumerating the condition of the design, the outline plan, the list of materials, ect., these are as follows :

(1) The condition of the design

- a. Kind of bridge: 1st class highway bridge (Load: T-20, L-20)
- b. Type: Simple box girder bridge with steel floor plates (1-box type)
- c. Span: 50 m
- d. Effective width: 6 m (Roadway without distinction of footway and carriageway)
- e. Pavement: Guss asphalt pavement (Thickness 5 cm)

- f. Waterproof layer : Waterproof layer of thickness 1 cm on steel floor board
- g. Floor board : Steel plates (Minimum thickness 12 mm)
- h. Slope of cross section: Parabolic grade of 1/50
- i. High tension steel : Allowable stress of (H.S.J. 50)⁷⁾
 - (i) Axial tensile stress intensity (per net section) 1,900 kg/cm²
 - (ii) Axial compressive stress intensity (per gross section)
 - $l/r \leq 90 \dots\dots 1,700 - 0.1032 (l/r)^2$ kg/cm²
 - $l/r > 90 \dots\dots\dots 7,000,000/(l/r)^2$ kg/cm²

However, l : Length of a member (cm)
 r : Section of a member (cm)
- (iii) Bending stress intensity
 - Tension flange (per net section) 1,900 kg/cm²
 - Compression flange (per gross section) 1,700—1.0 $(l/b)^2$ kg/cm²

However, l : Distance between two flange fixed points (cm)
 b : Width of flange (cm)
- (iv) Shearing stress intensity
 - Web plate of box girder (per net section) 1,300 kg/cm²
 - Shop rivet (SV 41 A) 1,300 kg/cm²
 - Field rivet (SV 41 A) 1,200 kg/cm²
- (v) Bearing compression stress intensity
 - Shop rivet (SV 41 A) 2,600 kg/cm²
 - Field rivet (SV 41 A) 2,300 kg/cm²
- j. Applied specifications
 - (i) Specifications of steel highway bridge⁸⁾
 (The committee drew out the same specifications, 1956)
 - (ii) Specifications of welded steel highway bridge⁹⁾
 (The committee drew out the same specifications, 1957)
 - (iii) Design manual for high strength steels⁷⁾
 (Toto steel Manufacture Company, 1955)
- k. Designning load
 - (i) Live load (T-20, L-20)
 - a) T-load

Table 1.

Total weight W (t)	Front wheel load 0.1 W (kg)	Hind wheel 0.4 W (kg)	Tire width of front wheel b_1 (cm)	Tire width of front wheel b_2 (cm)	Grounding length of wheel a (cm)
20	2,000	8,000	12.5	50	20

b) L-load

i) Value of α $\alpha = 1 - \frac{w-55}{50} = 1.01$

$1 \geq \alpha \geq 0.75$ $\alpha = 1.0$

ii) Uniform distribution load $p_r = \alpha \times 350 \times 6.0 = 2,100 \text{ kg/m}$

iii) Line load $P = \alpha \times 5,000 \times 6.0 = 30,000 \text{ kg}$

iv) Crowd load (including snow load) $p_s = 350 \times 6.0 = 2,100 \text{ kg/m}^2$

v) Coefficient of impact $i = \frac{20}{50+l} = 0.20$

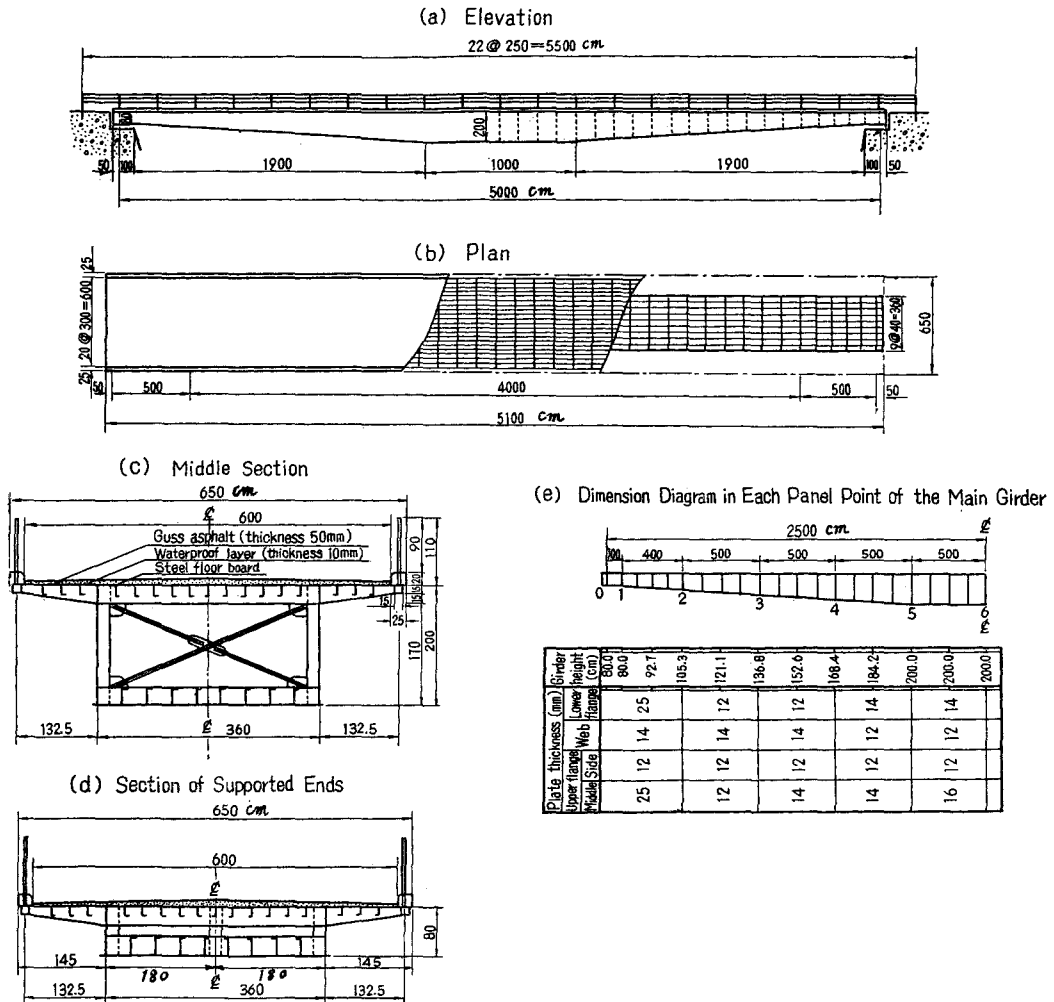


Fig. 1. Out line Plan of a Box Girder Bridge with Varying Sections and Steel Floor Plates.

(ii) Dead load (assumed)

Table 2.

Dead load of box girder bridge with steel floor plates		
Pavement	240 kg/m	12 t
Handrail, Footing block	120 kg/m	6 t
Steel floor plates, Ribs	1,240 kg/m	62 t
Steel plates of box girder	1,000 kg/m	50 t
Steel plates of cantilever part	260 kg/m	13 t
The other part	160 kg/m	8 t
Total weight	3,020 kg/m	151 t

(2) Outline of the designed plan

The present writer made a design and calculation in the above-mentioned conditions, and decided the section, the shape and the connecting arrangement of every part in the bridge as Fig. 1.

(3) List of materials

He made the list of materials from such result of design as in Table 3.

Table 3. List of materials of box girder bridge with varying sections and steel floor plates (Super structure only)

Materials used	Place of using	Demension of cross section	Total length	Number	Total weight	Remarks
Water proof stuff	Water proof layer of floor board	10 mm × 6.00 m	51.00 m		3,366 kg	Thickness 10 mm
Guss asphalt	Using in pavement	5 cm × 6.00 m	51.00 m		7,920 kg	" 50 mm
Sum total					11,286 kg	Weight of pavement and water proof layer
Steel plate	Handrail, Footing block	6 mm × 90 cm	51.00 m	2	4,324 kg	Thickness 6.0 mm
Steel pipe	Handrail	ϕ 76.3 mm	1.10 m	42	266 kg	" 3.2 mm
"	"	"	55.00 m	2	635 kg	" 3.2 mm
"	"	ϕ 48.6 mm	2.50 m	88	526 kg	" 2.4 mm
Total					5,751 kg	
Steel plate	Floor board (Middle part)	25 mm × 3.60 m	5.50 m	2	7,771 kg	Thickness 25 mm
"	(")	14 mm × 3.00 m	20.00 m	2	1,319 kg	" 14 mm
"	(Side part)	12 mm × 1.45 m	51.00 m	2	13,932 kg	" 12 mm
Total					23,022 kg	

Materials used	Place of using	Demension of cross section	Total length	Number	Total weight	Remarks
Steel plate	Longitudinal rib (Upper part)	9 mm×0.25 m	51.00 m	17	15,313 kg	Thickness 9 mm
"	" (Lower part)	9 mm×0.34 m	51.00 m	8	9,800 kg	"
"	Lateral rib (Upper part)	9 mm×0.45 m	3.60 m	49	5,608 kg	"
"	" (Lower part)	9 mm×0.50 m	3.60 m	49	6,231 kg	"
"	" (Cantilever part)	9 mm×0.23 m	1.20 m	98	1,869 kg	"
Total					38,821 kg	
Steel plate	Web plate of box girder	25 mm×3.60 m	5.50 m	4	4,002 kg	Thickness 25 mm
"	"	14 mm×1.52 m	15.00 m	4	10,023 kg	" 14 mm
"	"	14 mm×2.00 m	5.00 m	4	4,396 kg	"
Total					18,421 kg	
Steel plate	Lower plate of box girder	25 mm×3.70 m	5.50 m	2	7,987 kg	Thickness 25 mm
"	"	14 mm×3.70 m	20.00 m	2	16,265 kg	" 14 mm
Total					24,252 kg	
Steel plate	Vertical stiffner	9 mm×0.20 m	1.50 m	43	908 kg	Average girder height 1.496 m
"	Frame stiffner				1,000 kg	
"	Sway bracing				1,000 kg	
Total					2,908 kg	
Steel plate	Cantilever part	8 mm×0.15 m	51.00 m	8	3,843 kg	End box
"	"	9 mm×1.23 m	51.00 m	2	8,863 kg	Bed plate
Total					12,706 kg	
Steel plate	Box girder, Cantilever part				7,000 kg	Used for processing
Sum total					132,881 kg	Weight of steel materials
Sum total weight					144,167 kg	

3. Investigations from a Viewpoint of Structural Mechanics^{(4);(5);(14)}

(1) Stress calculations of steel floor board

There are two methods applying the grid theory and the orthotropic plane theory in the stress solution of steel floor board.

The present writer applied the orthotropic plane theory to calculate the stress of those briefly, and solved the equation assuming that the floor plate of box girder is simply supported in the direction of x and it forms a infinitely long plate in the direction of y .

The equation by K. Girkmann is as follows.

$$\left. \begin{aligned} m_x &= -k \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \\ m_y &= -k \left(\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right) \\ w &= \frac{pl^3}{k\pi^4} \sum_m \frac{1}{m^4} \left(1 + \frac{m\pi y}{l} \right) e^{-\frac{m\pi y}{l}} \sin \frac{m\pi x}{l} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} m_x &= \frac{2pl^2}{\pi^3} \sum (-1)^{\frac{m-1}{2}} \frac{1}{m^3} \left[2 - \left\{ 2 + (1-\nu) m\beta \right\} e^{-m\beta} \right] \\ m_y &= \frac{2pl^2}{\pi^3} \sum (-1)^{\frac{m-1}{2}} \frac{1}{m^3} \left[2\nu - \left\{ 2\nu - (1-\nu) m\beta \right\} e^{-m\beta} \right] \\ \text{However, } m &= 1, 3, 5, \quad \nu = \text{Poisson's ratio} \\ a &= \text{Load width, } \beta = \pi a/2l \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

From these equations (1) and (2), he calculated the bending moment and the stress intensity of cross section.

The uniform distribution load p is calculated by applying the hind wheel load P as the following equation.

$$p_r = \frac{P(1+i)}{(50+2b)(20+2b)} \quad (\text{kg/cm}^2) \quad (3)$$

The present writer calculated bending moments m_x , m_y and stress intensities σ_x , σ_y in the floor plate assuming that the axis of y and x shows the direction of bridge axis and the orthogonal direction crossing it each other.

Then, from $t=12$ mm, $a=33.2$ cm, $l=30$ cm, $p_r=3.81$ kg/cm², $\beta=1.67$ and $\nu=0.3$, he got $m_x=303.6$ kg-cm/cm, $m_y=104.9$ kg-cm/cm

$$\left. \begin{aligned} \text{And from } \sigma_x &= 0.8 m_x \cdot 6 (1+0.4)/t^2 \\ \sigma_y &= 0.8^2 m_y \cdot 6 (1+0.4)/t^2 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

$$\text{He got } \begin{aligned} \sigma_x &= \pm 1,417 \text{ kg/cm}^2 < 1,900 \text{ kg/cm}^2 \\ \sigma_y &= \pm 392 \text{ kg/cm}^2 < 1,900 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Sufficiently safe.

(2) Calculations of bending stress intensities in the section of main girder

a. Bending moment of main girder

(i) Bending moment by live load

$$M_{l+i} = (P \cdot \eta_M + p_r \cdot A) (1 + i)$$

However, η_M : Vertical intervals in the influence diagram of bending moments
 A : The Influence area of bending moments
 i : Coefficients of impact
 P : Line load
 p_r : Uniform distribution load

(ii) Bending moment by dead load

$$M_d = g_o \cdot A$$

However, A : The influence area of bending moments
 g_o : Total dead load

b. Maximum fibre stress intensity by simple bending

$$\sigma_o = \frac{M}{J_x} \cdot y_o = \frac{M}{W_o}$$

$$\sigma_u = \frac{M}{J_x} \cdot y_u = \frac{M}{W_u}$$

W_o, W_u : Section modulus of upper or lower flange of main girder

σ_o, σ_u : Fibre stress intensity of upper or lower flange of main girder

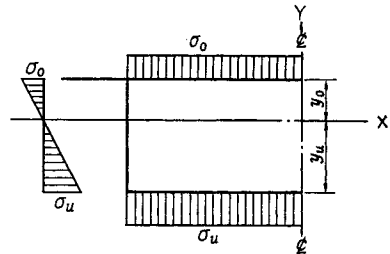


Fig. 2.

From the equation (7) he got σ_o and σ_u as Table 4.

Table 4.

Classification	Panel point						
	0	1	2	3	4	5	6
M_{max} (t-m)	0	178.85	821.25	1,460.00	1,916.25	2,190.00	2,281.25
W_o (cm ³)	7.25×10^4	7.25×10^4	10.14×10^4	15.45×10^4	19.70×10^4	26.35×10^4	26.35×10^4
W_u (cm ³)	4.84×10^4	4.84×10^4	6.78×10^4	10.48×10^4	13.50×10^4	18.28×10^4	18.28×10^4
$\sigma_o \text{ max}$ (kg/cm ²)	0	-247	-810	-945	-973	-831	-866
$\sigma_u \text{ max}$ (kg/cm ²)	0	370	1,210	1,393	1,419	1,198	1,248

As the result of Table 4, he found that values of $\sigma_o \text{ max}$ and $\sigma_u \text{ max}$ are within the limit of allowable stress intensity and sufficiently safe.

(3) Calculations of shearing stress intensities in the section of main girder

a. Shear of main girder

(i) Shear by live load

$$S_{l+i} = (P \cdot \eta_s + p_r \cdot A) \cdot (1 + i)$$

However, η_s : Vertical intervals in the influence diagram of shear
 A : The influence area of shears
 i : Coefficients of impact
 P : Line load
 p_r : Uniform distribution load

(ii) Shear by Dead load

$$S_d = g_0 \cdot A$$

However, A : The influence area of shears
 g_0 : Total dead load

b. Maximum shearing stress intensity

Maximum shearing stress intensity by simple bending is caused in the neutral axis of web plate, because the web plate is thinner than the flange plate in the ordinary place.

Then, the maximum shearing stress intensity is shown by the following formula :

$$\tau_{\max} = \frac{S}{2J_x t_w} \int_0^s y t ds = \frac{SG}{2J_x t_w}$$

However, S : Maximum shear of the section
 t_w : Thickness of web plate
 G : Geometrical moment of area on one side section around the neutral axis $x-x$

He calculated τ_{\max} by following the formula (10) and got values of Table 5.

These results are sufficiently safe because every value of panel points is within the limit of allowable stress intensity.

Table 5.

Classification	Panel point						
	0	1	2	3	4	5	6
S_{\max} (t)	182.50	175.94	150.24	119.22	89.48	60.98	33.76
G (cm ³)	3.37×10^4	3.37×10^4	4.63×10^4	7.00×10^4	8.92×10^4	11.85×10^4	11.85×10^4
J (cm ⁴)	2.42×10^6	2.42×10^6	4.42×10^6	8.79×10^6	13.81×10^6	22.08×10^6	22.08×10^6
G/J (cm ⁻¹)	13.93×10^{-3}	13.93×10^{-3}	10.48×10^{-3}	7.96×10^{-3}	6.46×10^{-3}	5.37×10^{-3}	5.37×10^{-3}
$S \cdot G/J$ (t-cm ⁻¹)	$2,542 \times 10^{-3}$	$2,451 \times 10^{-3}$	$1,358 \times 10^{-3}$	949×10^{-3}	578×10^{-3}	327×10^{-3}	181×10^{-3}
t_w (cm)	1.6	1.6	1.4	1.4	1.4	1.2	1.2
τ_{\max} (kg/cm ²)	794	766	549	339	206	136	75

(4) Calculations of deflection⁴⁾

Maximum deflection in the centre of simple beam with a constant geometrical moment of inertia I is shown by the following formulae :

$$\left. \begin{aligned}
 y_{\max} &= \frac{5 \cdot q l^4}{384 EI} \\
 y_{\max} &= \frac{P \cdot l^3}{48 EI}
 \end{aligned} \right\} \text{ (11)}$$

However, l : Span
 E : Elasticity
 I : Geometrical moment of inertia
 q : Uniform distribution load
 P : Concentrated load

In deflections of this bridge calculating that the geometrical moment of inertia of the main girder varies in every panel, he applied the following equation (12) :

$$\left. \begin{aligned}
 y &= \sum (M \lambda \eta / EI) \\
 \text{However, } M &: \text{ Bending moment of every panel} \\
 \lambda &: \text{ Panel length} \\
 \eta &: \text{ Increased distance from the supported point} \\
 E &: \text{ Elasticity} \\
 I &: \text{ Geometrical moment of inertia}
 \end{aligned} \right\} \text{ (12)}$$

a. Deflection by live load in the centre of span

Table 6.

Panel division	M_p (t-m)	M_P (t-m)	$\sum M$ (t-m)	I (m ⁴)	η (m)	$M \lambda \eta / EI$ (m)
0 ~ 1	7.5	25.99	33.49	0.0242	0.5	0.329×10^{-4}
1 ~ 2	45.0	148.05	193.05	0.0337	3.0	32.734×10^{-4}
2 ~ 3	112.5	334.69	447.19	0.0642	7.5	124.385×10^{-4}
3 ~ 4	187.5	492.19	679.69	0.1114	12.5	181.588×10^{-4}
4 ~ 5	262.5	597.19	859.69	0.1773	17.5	202.033×10^{-4}
5 ~ 6	337.5	649.69	987.19	0.2208	22.5	239.516×10^{-4}
$P = 30.0t, p = 2.10 t/m, \lambda$: panel length						$\Sigma 780.585 \times 10^{-4}$

Deflection in the centre of span $y_{\max} = 7.806$ cm
 $y/l = 1/641 < 1/600$ Safe

b. Deflection by dead load in the centre of span

Table 7.

Panel division	M_q (t-m)	I (m ⁴)	η (m)	λ (m)	E (t/m ²)	$M\lambda\eta/EI$ (m)
0 ~ 1	40.92	0.0240	0.5	1.0	2.1×10^7	0.403×10^{-4}
1 ~ 2	228.79	0.0337	3.0	4.0	"	38.794×10^{-4}
2 ~ 3	522.27	0.0642	7.5	5.0	"	145.268×10^{-4}
3 ~ 4	772.77	0.1114	10.5	5.0	"	206.455×10^{-4}
4 ~ 5	939.37	0.1773	17.5	5.0	"	220.758×10^{-4}
5 ~ 6	1,022.87	0.2208	22.5	5.0	"	248.173×10^{-4}
$q = 3.34$ t/m					Σ	859.851×10^{-4}

$y_{\max} = 0.086$ m = 8.6 cm

(5) **Calculations of Stability for buckling^(9),10),11)** (See Fig. 3)

The whole buckling strength of web plate stiffened by stiffeners can be calculated by the energy method in "Theory of Elastic Stability" of S. Timoshenko, assuming that the deflection surface of buckling deformation on the plane is shown in the following equation :

$$w = w_0 \sin \frac{\pi(x-ky)}{a} \sin \frac{\pi y}{b} \tag{13}$$

The equation of strain energy by the deformation of plane is given as follows :

$$V_{Bl} = \frac{1}{2} D \iint \left[\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) - 2(1-\nu) \left\{ \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right)^2 \right\} \right] dx \cdot dy \tag{14}$$

The equation of bending strain energy of the rib member with bending stiffness EJ_i in the place of $y=y_i$ is given by

$$V_i = \frac{EJ_i}{2} \int_0^a \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right)_{y=y_i} \cdot dx = \frac{\pi^4 EJ_i}{4a^3} w_0^3 \left(\sin \frac{\pi y_i}{b} \right)^2 \tag{15}$$

Then, the present writer showed the work equation of bending stress σ acting on the plane as follows :

$$T_{Bl} \cdot \sigma = \frac{1}{2} \iint \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 (\sigma_0 + qy) dx \cdot dy = \frac{bt\pi^2}{8a} w_0^3 \left(\sigma_0 + \frac{b}{2} q \right) \tag{16}$$

The work equation acting on the stiffener is shown by

$$T_i = \frac{\sigma_i A_i}{2} \int_0^a \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right)_{y=y_i} \cdot dx = \frac{\sigma_i A_i}{4a} \pi^2 w_0^3 \left(\sin \frac{\pi y_i}{b} \right)^2 \tag{17}$$

The work caused by shearing force acting along the plane is shown by

$$T_{Bl} \cdot \tau = -\tau \cdot t \iint \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right) \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right) dx \cdot dy = \frac{\pi^2 kb}{4a} \tau t w_0^2 \tag{18}$$

The buckling condition obtained from this energy amount is indicated as follows :

$$V_{Bl} + \sum_i V_i = T_{Bl} \cdot \sigma + \sum_i T_i + T_{Bl} \cdot \tau \tag{19}$$

Therefore, the safety factor for buckling is given by the following formula :

$$\nu_k = \frac{V_{Bl} + \sum_i V_i}{T_{Bl} \cdot \sigma + \sum_i T_i + T_{Bl} \cdot \tau} \tag{20}$$

Then, the safety factor for the buckling of web plate in any panel point is obtained as Table 8 by applying the equation (20).

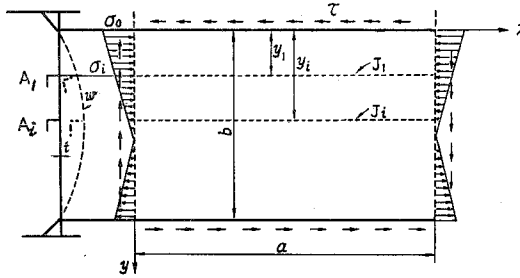


Fig. 3.

Table 8.

Panel point	Thickness of web plate (cm)	Safety factor
0	1.6	11.58
3	1.4	14.5
5	1.2	24.1

The present writer calculated on the buckling and its safety factor following the specifications DIN 4114 in Germany.

(6) Calculations for compressive bearing stress intensity of main girder^(6),15),16),17)

For the investigation of compressive bearing stress intensities of supported ends, he calculated the fibre stress intensity caused by the bending moment of every plate in the box rahmen uniformly loaded as Fig. 4.

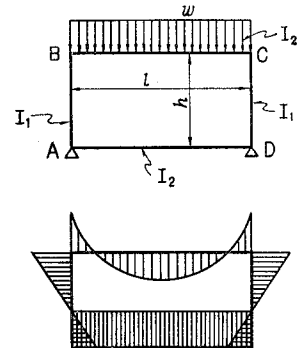


Fig. 4.

$$\left. \begin{aligned} M_{AB} = M_{DA} &= \frac{\omega l^2}{12} \cdot \frac{1}{5+3k} \\ M_{BC} = M_{CD} &= -\frac{\omega l^2}{12} \cdot \frac{1}{5+3k} \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

However, $k = \frac{I_2}{I_1} \cdot \frac{h}{l}$

$$\left. \begin{aligned} \sigma &= \frac{M}{W} \\ W: \text{ Section modulus of member} \\ &= \frac{bh^2}{6} \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

We can calculate the bending stress intensity σ of every member by equations (21) and (22), but we must handle the problem of effective length x' in the distribution of a reaction.

The present writer calculated this length x applying the distributing influence line of a load, assuming that this box girder having each reaction on every supported point is a beam on elastic foundation loaded concentrically turning upside down on each support.

Referring to Fig. 4, y is shown in the following equation.

$$y = \frac{P}{2\alpha m} f_1(\xi) \quad (23)$$

From the point of intersection that the curved line $f_1(\xi)$ intersected the axis ξ , he obtained $\xi = 3\pi/4$.

$$\left. \begin{aligned} \text{Therefore, } p &= \alpha y, \quad m = \sqrt[4]{\frac{4EI}{\alpha}}, \quad \xi = \frac{x}{m} \\ p: &\text{ Distribution of load} \\ E: &\text{ Elasticity} \\ y: &\text{ Deflection} \\ \alpha: &\text{ Sinking factor} \\ I: &\text{ Geometrical moment of inertia} \end{aligned} \right\} \quad (24)$$

By equations (23) and (24), he got the value of x and decided the effective length x' .

Then, applying the value of uniform load $w = 246 \text{ kg/cm}$ calculated from the total sum of live load and dead load, he got $k = 0.09375$, $M_{AB} = M_{DA} = 503,180 \text{ kg-cm}$, $M_{BC} = M_{CD} = -503,180 \text{ kg-cm}$, $\alpha = \frac{p}{y} = 17,307 \text{ kg/cm}$, $m = \sqrt[4]{\frac{4EI}{\alpha}} = 162$.

$$\begin{aligned} \text{At } \xi &= \frac{3\pi}{4} = 2.355, \quad p = 0 \\ \therefore x &= m\xi = 381.5 \text{ cm} \end{aligned}$$

Therefore, he decided the effective length $x' = 3$ m, and assuming the thickness of plate is 2.5 cm, he obtained

$$\sigma_B = \frac{M}{W} = 1,610 \text{ kg/cm}^2 < 1,900 \text{ kg/cm}^2, \quad \text{Safe.}$$

As these calculating results, he used steel plates having the thickness of 2.5 cm in the box section of effective length 3 m at the vicinity of each supported end.

(7) Calculations for torsion and shearing flow of main girder^{(1), (12), (13)}

We must inquire into the state in which the stress of three kinds, namely the bending, the shearing or the torsional stress is acting severally on the each part of box girder, to find in detail the stress phenomenon of the main girder constructed with the closed section of thin steel plates.

The present writer selected the panel point 0 and 6 where it seemed to be most dangerous in the calculation of torsional and shearing flows.

He calculated mainly on the theory of shearing flow at the ideal section shown as Fig. 5 because the practical section is much complicated.

He affixed each number to its every point along the section with thin plates.

For example, each point of 4, 6 and 7 is the same point but each point of 4 and 7 indicates severally the right or left point of rib in the upper flange plate and the point of 6 indicates the crossing point of rib connected with the flange plate.

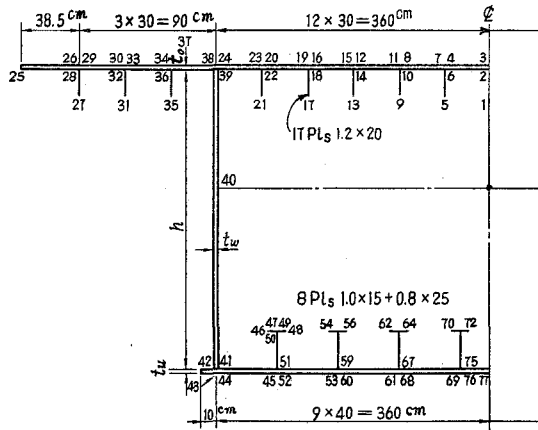


Fig. 5.

a. Shearing flow by virtual simple shear ($S_y = 1t$)

We call the product of shearing stress intensity τ and the thickness of steel plate t the shearing flow and can show it by a symbol of q .

$$q = \tau \cdot t \tag{25}$$

When the axial stress intensity σ_x caused by the simple bending moment M_x varies along the direction of z , the shearing stress intensity corresponding to it is

always kept equilibratedly in the section.

Then, the fundamental equation is shown as follows.

$$\frac{d\sigma_z}{dz} + \frac{d\tau}{ds} = 0 \quad (26)$$

However, s : Length measured along the section

$$\begin{aligned} \sigma_z &= -M_x y/J_x \text{ and } dM/dz = S_y \\ \therefore \tau &= \int \frac{S_y \cdot y}{J_x} ds \end{aligned} \quad (27)$$

When the thickness of plate varies and the steel plate with different thickness is intersecting or branching off, the continuous state of shearing flow is put into the boundary condition and the equation of shearing flow is shown as follows.

$$\tau \cdot t = \frac{S_y}{J_x} \int ty ds \quad (28)$$

However, t : Thickness of plate

y : Vertical distance measured from a centre of gravity in the section

He gave the equation $\Delta I = \int ty dS$ for integrals of $t \cdot y$ between two neighboring points on the steel plate, and got the shearing flow of box section by adding one after another ΔI from a starting point having the known value of τ ($\tau=0$ in the point 3) and by this equation calculated the value of shearing stress intensity τ of each point in the case of $S_y=1$ t.

Then, he mentioned each value of τ at some points in number order as follows:

At the panel point 0

No. 40...7.354 kg/cm², No. 39...6.970 kg/cm², No. 41...6.560 kg/cm²
 No. 44...6.356 kg/cm², No. 45...5.538 kg/cm², No. 52...4.985 kg/cm²
 No. 24...4.222 kg/cm², No. 53...4.167 kg/cm², No. 60...3.615 kg/cm²
 No. 20...3.518 kg/cm²

At the panel point 6

No. 40...2.701 kg/cm², No. 39...2.518 kg/cm², No. 41...2.314 kg/cm²
 No. 44...2.238 kg/cm², No. 45...1.933 kg/cm², No. 52...1.712 kg/cm²
 No. 24...1.523 kg/cm², No. 53...1.407 kg/cm², No. 9...1.340 kg/cm²
 No. 10...1.269 kg/cm²

b. Shearing flow by simple torsion ($M_t = 1$ t-m)

The simple torsion of closed section with thin steel plates is caused by the shearing flow streaming constantly in the closed section part, but it is not related to the rib or the other open section part.

The torsional rigidity k is given as follows:

Then,

For the closed section part, $k_1 = (\phi r ds)^2 / \phi (1/t) ds$

For the total section inclosed open section part, $k_2 = \sum \int (t^3/3) ds$

But we can usually neglect the term of k_2 because k_2 is very small compared with k_1 .

He calculated the values of k in panel points 0 and 6 and next calculated at the shearing flow for a torsion of $M_t = 1$ t-m in each same point, and also got the shearing stress intensity in every point for each of the upper flange, the web plate and the lower flange in the above-mentioned point of the main girder.

(i) Panel point 0

Shearing flow $q_0 = M_t / \sum \phi r ds = 1.724$ kg/cm

Table 9.

Section	Thickness of plate t (cm)	τ (kg/cm ²)
Upper flange 2	1.2	1.437
Web plate 40	1.6	1.078
Lower flange 77	1.0	1.724

(ii) Panel point 6

Shearing flow $q_0 = M_t / \sum \phi r ds = 0.692$ kg/cm

Table 10.

Section	Thickness of plate t (cm)	τ (kg/cm ²)
Upper flange 2	1.6	0.606
Web plate 40	1.2	0.807
Lower flange 77	1.4	0.692

c. Shearing flow by horizontal simple shear ($S_x = 1$ t)

We can calculate by the following equation (29) at the distribution of shearing stress intensity in the box girder section caused by the horizontal shear as the case of vertical shear.

$$\tau \cdot t = \int \frac{S_x}{J_y} t x ds \tag{29}$$

In this case the value of shearing stress intensity is only known in the open section part—for example, the flange of deck plate etc., and the shearing stress intensity in the closed section part is indeterminate.

Then, he first calculated the value of shearing flow by taking the upper end of web plate to the starting point of integrals and next he let the indeterminate shearing flow act on the closed section and got the value of indeterminate shearing flow by the following equation (30) on condition that the shearing strain brought

about the closed section returns again to the former value in the case of making a round of the section.

$$\oint \tau ds = \oint \frac{1}{t} (\tau \cdot t) ds = 0 \quad (30)$$

The present writer previously calculated shearing flows of the upper flange plate and the lower one and calculated also indeterminate shearing flows of closed sections.

He showed the indeterminate shearing force by the symbol of I_x and decided the value of I_x on the basis of the following equation $\oint I/t ds = 0$.

Lastly, he calculated the shearing stress intensity τ in every point of each section at selected panel points 0 and 6 where the horizontal shear ($S_x = 1t$) has acted on each section of those, and he mentioned these calculated values in number order as follows :

At the panel point 0

No. 3...1.665 kg/cm², No. 4...1.654 kg/cm², No. 7...1.638 kg/cm²
 No. 8...1.604 kg/cm², No. 11...1.574 kg/cm², No. 12...1.516 kg/cm²
 No. 15...1.469 kg/cm², No. 16...1.389 kg/cm², No. 19...1.327 kg/cm²
 No. 20...1.224 kg/cm²

At the panel point 6

No. 3...1.963 kg/cm², No. 4...1.951 kg/cm², No. 7...1.940 kg/cm²
 No. 8...1.905 kg/cm², No. 11...1.882 kg/cm², No. 12...1.825 kg/cm²
 No. 15...1.788 kg/cm², No. 16...1.708 kg/cm², No. 19...1.665 kg/cm²
 No. 20...1.562 kg/cm²

d. Shearing flow by bending torsion ($T_{ba} = 1 t \cdot m$)

If the acting direction of S_x or S_y is out of the shearing centre, the torsional moment is added in the girder.

This shearing centre can be called also the torsional centre and first we must calculate a distance of this torsional centre, because this distance is indispensable for calculating the shearing flow caused by a torsional moment.

He got in regular calculating order the resultant of shearing forces in each part of box girder sections and calculated the resultant of moments $A \cdot r$ caused by the component of shearing force that is shown as the area of shearing flow $A = \int I ds$ gotten by applying the equation $\Delta I = \int tx ds$ or $I = \sum \Delta I$, and calculated it assuming that this resultant of moments is equal to the product of external force S_x and shearing centre distance r_0 .

Next, we must calculate the function of warp. This function of warp is indicated by the equation (31), and this function expresses the adding axial stress caused by the warp of figure that comes to pass naturally in the section because the shearing flow by simple torsion does not always act perpendicularly on the shearing centre in every point of box girder sections.

$$\left. \begin{aligned} W &= \int (q_0/t) ds - \int r ds \\ q_0 &= \phi r ds / \phi \frac{ds}{t} \end{aligned} \right\} \quad (31)$$

He calculated this function assuming that the centre of upper flange plate is the most suitable starting point of integral calculations and next calculated also the values of bending torsional rigidity that is equal to the total sum of elastic energy wrought by axial stress intensity in the total section.

Assuming that the influence of plate thickness is very little, he got the following equation :

$$C_{ba} = \int W^2 t ds \quad (32)$$

In the calculation of two points a and b , he assumed that the value of W varies straightly and got the following equation :

$$\int_a^b W^2 t ds = \frac{1}{3} [W_b^2 + W_b \cdot W_a + W_a^2] \cdot l \quad (33)$$

Then, the torsional moment caused by bending torsions bringing with various axial stresses is shown as follows :

$$T_{ba} = -EC_{ba} \frac{d^3 \phi}{dz^3} \quad (34)$$

The shearing stress intensity of a section caused by $T_{ba}=1$ is shown by shearing flow $\tau \cdot t$ as follows :

$$\tau \cdot t = \frac{1}{C_{ba}} \int t W ds + (\tau \cdot t)_0 \quad (35)$$

We can calculate the value of $\int t W ds$ for every section by applying the function of warp W and can get the total value by adding one after another from a standard point.

The present writer assumed the starting point of integrals is most suitable on the centre of upper flange plate and got the value of indeterminate shearing flow considering the condition of integrals $\oint \phi \tau ds = 0$ made around the closed box section, because the shearing flow $(\tau \cdot t)_0$ of starting point of integrals is indeterminate.

Then, he calculated the value of $\int W t ds$, the adding sum and the area of shearing flows and the indeterminate shearing flow Q_x , and last got the shearing stress intensity τ of every point by $T_{ba}=1$ t-m.

He mentioned some calculated values of τ at the panel point 0 in number order as follows :

At the panel point 0 (the supported point)

$$\begin{aligned} \text{No. 24} \cdots 3.164 \text{ kg/cm}^2, \text{ No. 44} \cdots 3.087 \text{ kg/cm}^2, \text{ No. 39} \cdots 2.546 \text{ kg/cm}^2 \\ \text{No. 23} \cdots 2.291 \text{ kg/cm}^2, \text{ No. 41} \cdots 2.135 \text{ kg/cm}^2, \text{ No. 77} \cdots -1.972 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

No. 76...—1.926 kg/cm², No. 20...—1.918 kg/cm², No. 69...—1.861 kg/cm²
 No. 45...—1.524 kg/cm²

- e. Investigative discussions in the stress intensity of sections from the viewpoint of the shearing flow theory

From the above-mentioned calculated results, the present writer found that the virtual simple shear give the most influence to the stress intensity of sections, and that the shearing stress intensity by torsional moments, the bending stress intensity, and the shearing stress intensity by lateral loads are negligibly slight as compared with the influence of vertical simple shear, and so he omitted those calculated results having the little influence in this paper and mentioned only the stress intensity by vertical simple shear.

- (i) Stress intensities by the maximum shearing force at the panel point 0

Table 11. Values of τ ($S_y \text{ max} = 182.50 \text{ t}$)

Section	6	24	38	39	40	41	44
τ (kg/cm ²)	19	386	251	636	672	600	580

- (ii) Stress intensities by the maximum shearing force at the panel point 6

Table 12. Value of τ ($S_y \text{ max} = 33.76 \text{ t}$)

Section	6	24	38	39	40	41	42
τ (kg/cm ²)	9	51	34	85	91	78	76

4. Consideration

The present writer could secure positive evidence of the accurate design, because the total designed dead weight was 151 t in comparison with the initial assumed dead weight 151 t and its difference was merely about 4%.

The total steel weight was 132.9 t and steel weight per square meter was 443 kg/m² and its value was not very different from ones of Jogashima Large Bridge and accordingly it may well be said that this bridge is economical from the viewpoint of designing the simple girder bridge.

But it is considered that we can design the more economical bridge by increasing the stress of every section more nearly to the allowable stress.

This box girder bridge having varying sections is more profitable in two special points of the decrease of steel weight (about 10%) and the good lateral stability at supported ends in comparison with the same type bridge having constant sections.

At the start of design he considered that the most required subjects are investigative problems on the calculation of max shearing stress intensity and compress

bearing or buckling stress at supported ends, but he could secure the positive evidence of having the sufficient safety factor as the result of calculations.

5. Conclusion

This tentatively designed bridge with one box girder has an excellent point that its steel weight decrease about 20~50% in comparison with two-box or three-box girder bridges and is more surpassing than any other type of bridge from a view-point of the structural economy.

Moreover, this bridge has the special character in a point of the rationality in the structural mechanics by using the type of varying sections and also can serve two purposes in the point of keeping the lateral stability of supported ends.

The present writer made sure that the safety factor of deflections was larger than that of the Jogashima Large Bridge and also that of vibrations calculated for caution's sake by the Rayleigh-Ritz method^{1),4)} was fairly large.

Still more, by way of precaution he experimented on some small steel beam-models with varying and constant rectangular sections and for reference made sure of one more that the beam having varying sections excelled in the structural economy in comparison with the ones having constant sections with the same height as the middle depth of the former.

There are some more problems left behind, namely—for example, the experimental study on the breaking strength of steel floor board, the study on the connection of main girder and steel floor board, and the study on welding engineering⁹⁾.

Acknowledgement

The present writer is obliged to express his sincere thanks to Mr. Isao Suda and Mr. Yukio Asano, graduates of the Muroran Institute of Technology, for their kind cooperation in this study.

References

- 1) Taroichi Yoshimachi: Theory and Calculation of Steel Bridge 92-149, 268-314 (Tokyo, 1961).
- 2) Atsushi Hirai: Steel Bridge (I), 310-399, 400-421 (Tokyo, 1950).
- 3) Keikichi Koike and Shuji Koike: New Bridge Engineering (I), 204-400 (Tokyo, 1958).
- 4) Kanagawa Prefecture, Yokokawa Bridge Company and Bridge Engineering Research Room of Tokyo University: Design and Calculation of the Jogashima Large Bridge and Their Explanations, 1-373 (Tokyo, 1961).
- 5) Alfred Hauranek and Otto Steinhardt: Theorie und Berechnung der Stahlbrücken, 81-96, 115-118, 172-198 (Berlin, 1958).
- 6) Sakutaro Nakamura and Isao Suda: Memoirs in the Hokkaido Branch of the Japan Society of Civil Engineering, No. 20, 109 (1964).
- 7) Tokyo Steel Marking Company: Design Specifications of High Tension Steel, 1-31 (Tokyo, 1955).
- 8) Japan Society for Highway: Design Specifications of Steel Highway Bridge, Shop Specifications of Steel Highway Bridge and Their Explanations, 1-197 (Tokyo, 1956).

- 9) Kansai Society for the Welding Study of Bridge and Steel Structure: Design and Execution of Welding Highway Brige, 129-161 (Tokyo, 1958).
- 10) Friedrich Bleich: Buckling Strength of Metal Structures, 104-148, 386-428 (New York, 1952).
- 11) S. Timoshenko: Theory of Elastic Stability, 287-418 (New York, 1936).
- 12) Masatsugu Kuranishi: Theory of Elasticity, 143-207 (Tokyo, 1957).
- 13) S. Timoshenko: Theory of Elasticity, 228-284 (New York, 1934).
- 14) Zenkatsu Tsuboi: Theory of Plane Structures, 225-226 (Tokyo, 1955).
- 15) Fukuhei Takabeya: The Advanced Theory of Beams, 218-232 (Tokyo, 1929).
- 16) S. Timoshenko and J. M. Lessells: Applied Elasticity, 133-146 (East Pittsburgh, 1925).
- 17) A. Kleinlogel: Rahmenformeln, 402-422 (Berlin, 1939).
- 18) Takeo Fukuda, Katsu Yasumi and Kazuo Tomonaga: New Bridge Engineering, 163-181 (Tokyo, 1956).

昭和38年度研究業績

I. 論文

題 目	著 者 名	発表機関誌名	月 日
接触面積拘束工具の切削性の研究 (第1報) 切削機構の塑性学的解析	白井 英治 菊地 千之	精機学会誌, 第29巻 6号	38. 6.
接触面積拘束工具の切削性の研究 (第2報) 刃面切りくず接触長さの拘束によるすくい面摩 擦係数の変化	白井 英治 菊地 千之	精機学会誌, 第29巻 7号	38. 7.
フライス切削の基礎的研究 (第1報) 切刃エンゲイジにおける過度的切削状態につい て (その1)	白井 英治 菊地 千之 岸上 祐敏	精機学会誌, 第29巻 11号	38.11.
構成刃先に関する研究	菊地 千之	北海道科学技術報告	38.11.
The Theory of Plasticity Applied to Machining with Cut-Away Tools.	E. Usui K. Kikuchi K. Hoshi	A. S. M. E.	38. 1.21
粘性流れの数値解法に関する一寄与	有江 幹男 飯田 誠一 奥田 教海	日本機械学会北海道 支部第9回講演会前 刷	38.10. 4
クローム鉱石よりクローム酸ソーダの抽出	杉田 治八郎	北海道科学研究報告 第5集	38.11.
The Solubility Coefficients of Carbon Dioxide into Sodium Phenolate Solutions.	Takao Takeuchi Hajime Kimura	Chemical Engineer- ing (Japan)	38. 5.
芳香族炭化水素の抽出分離 (その2)	竹内 隆男	コールタール	38. 6.15
Reading の指導法について	武本 昌三	英語教育	38. 7.
A Characteristic Property of L_p -Spaces ($p \geq 1$). III.	Kôji Honda	Proceedings of the Japan Academy, Vol. 39, No. 6.	38. 6.
接触面比導電度の異なる部分ブラシを用いたタンテム ブラシの整流曲線	松田 敏彦 林 邦雄	電気四学会論文集	38. 4. 3
直流機の火花番号と火花継続時間との関係	松田 敏彦 高橋 清巳 高橋 民春 笹島 春巳	電気四学会北海道支 部連合大会論文集	38.10.28
直流機の火花継続時間の算定	林 邦雄 倉田 敏彦 倉田 重一郎 倉田 武	電気四学会北海道支 部連合大会論文集	38.10.28
マンガン鉱焼結工程の統計的解析	金塚 高次	科学研究報告 (北海 道) 第5集	38.11.
ガスクロマトグラフ装置の試作と工業原料ガス分析 への応用	加納 久雄	科学研究報告 (北海 道) 第5集	38.11.
高沸点タール塩基類の分離	小松 藤男	科学研究報告 (北海 道) 第5集	38.11.

題 目	著 者 名	発表機関誌名	月 日
室蘭港周辺の工業廃水について	佐藤 久次 佐々木 満雄 小松 藤男 八幡 寿	室蘭港水質総合調査 報告書(室蘭市)	38. 4.
Volcanic sublimates and volcanic activities.	N. Murozumi et al.	Bulletin Volcanolo- gique XXVI, 153- 166 (1963).	38. 4.
抽出比色による 高压ボイラ給水中の超微量シリカの 定量	渡辺 寛人 園 欣弥 光 上義道	分析化学, 第12巻, 第4号	38. 4.
薬剤による炭酸カルシウムの析出防止	大蔵 武人 渡辺 寛人	工業化学雑誌, 第6 巻, 7号	38. 7.
北海道炭構造的性状	佐藤 干城	北海道科学研究報告 第5集	38.11.
菱マンガン鉱石に対する浮沈試験の応用について	徳田 昭八郎 大和 明夫	北海道鉱山学会誌, 第19巻, 第4号	38.10.
中空閉合断面を有する鋼床板変断面単純桁道路橋 (1-箱型, 1-管桁の2種類) の設計試案	中村 作太郎 須田 勲	土木学会北海道支部 技術資料, 第20号	39. 2. 18
集中荷重を受ける単純I桁(模型)の変形と破壊現象 について	中村 作太郎 番匠 政雄 志 村 政	土木学会北海道支部 技術資料, 第20号	39. 2. 18
混合骨材の空隙について	新田 登	第7回日本道路会議 論文集	39. 3. 15
アスファルト合材の安定性に対する骨材粒度の影響 について	岩本 明三 倉 忠登 新田 捷一 滝本 捷一	第7回日本道路会議 論文集	39. 3. 15
コンクリートの高温高压蒸気養生について	尾崎 詒治 村井 英治	技術資料, 第20号	39. 2. 18
河川の融雪流出に関する研究	境 隆雄	土木学会論文集	38. 7.

II. 講 演

題 目	著 者 名	発表機関誌名	月 日
壁面における噴射燃料の油膜附着機構に関する研究	赤木 盈信 林 重	日本機械学会第4期 全国大会	38.10.
拘束工具の切削性に関する研究(第4報) ——接触長さ拘束に伴う切屑塑性域の変化——	白井 英治 菊地 千一 星 光	精機学会春季大会	38. 4. 7
拘束工具の切削性に関する研究(第5報) ——各種拘束工具の切削抵抗切屑片成——	星 光 一治 白井 英千之 菊地 千之	日本機械学会精機学 会北海道支部講演会	38.19. 4
鋳鉄素材料の被削性に関する研究(第1報)	菊地 千一 白井 英治 星 光	日本機械学会精機学 会北海道支部講演会	38.10. 4
小型2サイクル機関の給気管効果に及ぼす諸因子の 影響について	沢 則 弘	機械学会北海道支部 第9回講演会	38.10. 4
小型2サイクル機関の排気吹出し効果に及ぼす諸因 子の影響について	沢 則 弘	機械学会北海道支部 第9回講演会	38.10. 4

題 目	著 者 名	発表機関誌名	月 日
Fe-Al-C 合金の研究	西 田 恵 三	日本金属学会北海道 支部春期講演会	38. 6. 28
EDTA による銅の双金属極電位差滴定	太刀川 哲 平 木 民次郎 田 上 道 弘	日本化学会第16年会	38. 3. 31
双金属極電位差法によるヨウ素—チオ硫酸ナトリウム系の滴定曲線について	太刀川 哲 平	日本分析化学会第12 年会	38. 10. 10
流動層の気泡流れに及ぼすバップルの効果	白 崎 高 保 森 川 全 清 全 吾 弘 久 布 日 兼 三	化学工学協会第28年 会	38. 4. 3
流動層における濃厚相の密度について	白 崎 高 保 森 川 上 禎 雄 三 上 禎 雄	化学工学協会第28年 会	38. 4. 3
パイ焼シリカアルミナのカチオン交換性状	白 崎 高 保 岡 田 鳥 正 秀 水 久 保 武 彦 大 久 保 武 彦 森 川 清 彦	第13回触媒討論会	38. 9. 24
カチオン交換触媒によるトルエン不均化反応	岡 田 正 秀 白 崎 高 保 水 久 保 武 彦 森 川 清 彦	第13回触媒討論会	38. 9. 24
粒状多孔質固体触媒の大きさ, 細孔組織と有効係数	白 崎 高 保 岡 田 正 秀 西 村 健 一 森 川 清 彦	反応工学シンポジ ウム	38. 9. 26
北海道における石炭鉱業の発達 ——炭鉱資本の展開を中心として——	水 野 五 郎	社会経済史学会第32 回大会	38. 9. 8
Indicatrices について	本 田 孝 二	日本数学会年会	38. 5. 27
(AL ₀) 空間について	本 田 孝 二	日本数学会秋季総合 分科会	38. 10. 13
室蘭における大気中の氷晶核 (1962. 10. 2~16)	松 村 信 男	北大理学部地球物理 学教室	38. 6. 13
珪素鋼板の軽圧延による再結晶組織 (第2報)	中 江 仁 山 村 秀 美	日本金属学会春期大 会	38. 4. 7
珪素鋼板の軽圧延による再結晶組織 (第3報)	中 江 仁 山 村 秀 美	日本金属学会秋期大 会	38. 10. 19
化石骨中の微量成分にかんする研究 1. 化石骨中のフッ素およびマンガン含有量と その新旧について 2. 化石骨中のフッ素の比色定量法 3. 水中のフッ素イオンおよびマンガンイオンの 化学物質(骨の化学成分)への濃縮につい ての模式実験	下 田 信 男 遠 藤 信 也 井 上 明 尾 崎 博	日本分析化学会北海 道支部第11回研究 発表会	39. 1. 31
各種リン酸塩共存下におけるオルトリン酸塩の吸光 光度定量 (第1報) ピロリン酸塩共存下におけるオルトリン酸塩の吸光 光度定量	上 野 幸 三 石 丸 幸 造	日本分析化学会北海 道支部第11回研究 発表会	39. 1. 31
シリコン制御整流器による超音波振動子の励振につ いて	秋 山 稠	電気四学会北海道支 部大会	38. 10. 29

題 目	著 者 名	発表機関誌名	月 日
シリコン制御整流器による超音波振動子の励振について	二 木 治 郎	電気四学会北海道支部大会	38. 10. 29
β 線吸収測定における試料位置とその散乱効果について	服 部 耐 吉 坂 本 三 郎	電気四学会北海道支部連合大会	38. 10. 28
石油タンク内電界の測定について	北 村 正 一 田 村 行 夫 木 下 昭 至 塚 原	電気四学会北海道支部連合大会	38. 10. 29
鋼管を流れる灯油の流動電流について	北 村 正 一 田 村 行 夫 木 下 昭 至 塚 原	電気四学会北海道支部連合大会	38. 10. 29
測定誤差のある場合の管理図の特性 (第3報) x̄管理図用検出力計算図表	金 塚 高 次	日本化学会, 日本分析化学会北海道支部合同大会	38. 8. 21
測定誤差のある場合の管理図の検出力 ——1. x̄管理図用検出力計算図表——	金 塚 高 次 水 野 滋	第13回品質管理大会	38. 11. 18
測定誤差のある場合の管理図の検出力 ——2. R管理図, x̄-R管理図について——	金 塚 高 次 水 野 滋	第13回品質管理大会	38. 11. 13
エチレンの空気酸化 (第10報) ——銀触媒に対する K_2SO_4 の効果と反応速度式——	菖 蒲 明 巳 木 内 君 朗 井 上 峰 一 加 納 久 雄	日本化学会, 日本分析化学会北海道支部合同大会	38. 8. 21
新潟ガス田付随水の工業化学的価値とその地球化学的要素	室 住 正 世	日本化学会, 日本分析化学会	38. 8. 22
登別温泉活動	室 住 正 世	日本地球化学会	38. 10. 14
抽出比色による高圧ボイラ給水中の超微量シリカ定量	渡 辺 寛 人 園 欣 弥 光 上 道 夫	日本化学会第16年会	38. 4. 1
抽出比色による水中の超微量鉄の定量	渡 辺 寛 人 園 欣 弥 光 上 道 夫 中 島 辰 夫	日本化学会第16年会	38. 4. 1
抽出比色による水中の超微量銅の定量	渡 辺 寛 人 園 欣 弥 光 上 道 夫 中 島 辰 夫	日本分析化学会第12年会	38. 10. 9
実験結果の解析法の2・3について (特に空気機械類の測定実験)	前 野 良 久 沢 田 利 三	室蘭工大鉦山技術研究会	38. 10. 12
衝撃効果の測定実験 (主としてH・D式ロック・ブレーカーについて)	前 野 良 久 佐 伯 予 一	室蘭工大鉦山技術研究会	38. 10. 12
H・D式ロック・ブレーカーの力学的考察について	佐 伯 予 一 前 野 良 久	室蘭工大鉦山技術研究会	38. 10. 12
微粒炭の物理構造の性状 ——石炭粒子の形態について——	磯 部 俊 郎 山 本 英 一 佐 藤 干 城	日本鉱業会春季発表会	38. 4. 21
微粉炭の全表面積測定について	山 本 英 一 佐 藤 干 城	室蘭工大鉦山技術研究会	38. 10. 12
胆振国臨海低地の地盤構造について	沢 田 義 男	室蘭工大鉦山技術研究会	38. 10. 12

題名	著者名	発表機関誌名	月日
菱マンガン鉱石に対する浮沈試験の応用について	徳田 昭八郎 大和 明夫	北海道鉱山学会春季大会	38. 6.
高さを考慮せる単純桁の曲げを応力現象に関する理論的考察	中村 作太郎	土木学会学術講演会	38. 5. 25
変断面単純桁の光弾性実験による応力分布とたわみについて	中村 作太郎 番匠 勲	土木学会学術講演会	38. 5. 25
プラット・トラスの模型実験について	中村 作太郎 番匠 勲 須田 政雄	土木学会学術講演会	38. 5. 25
混合骨材の空隙について	新田 登	日本道路協会	38. 10. 4
アスファルト合材の安定性に対する骨材粒度の影響について	岩本 明三 板倉 忠登 新田 捷一 瀧本 捷一	日本道路協会	38. 10. 4
鉄筋の付着応力について	尾崎 詠	土木学会年次学術講演会	38. 5. 26
コンクリートの高温高压蒸気養生について	尾崎 詠	土木学会北海道支部研究発表会	39. 2. 18
融雪流出の解析における2・3の問題点について	境 隆雄	土木学会年次学術講演会	38. 5. 26

CONTENTS

Vol. 4. No. 2.

June, 1963

Whole No. 14

	Page
On the Impact Tensile Test of Mild Steels. M. Naito & N. Asano	3 (1) 549
A Note on a Snow-handling Machinery Experiments and Analyses about a Snow Rotary Blower. K. Okuda	3 (9) 557
On the Effects of the Exhaust System with Plain Pipe in a Crankcase-Compressed Two-Stroke Cycle Engine. N. Sawa	3 (21) 569
On the Effects of the Exhaust System with Stepped or Conical Pipe in a Crankcase-Compressed Two-Stroke Cycle Engine. N. Sawa	3 (41) 589
On the Effects of the Exhaust System with Expansion Chamber in a Crankcase-Compressed Two-Stroke Cycle Engine. N. Sawa	3 (55) 603
On the Effects on the Exhaust System with Branch Pipe in a Crankcase-Compressed Two-Stroke Cycle Engine. N. Sawa	3 (71) 619
On the Intake Pipe Effects in a Two-Cylinder Engine. N. Sawa	3 (85) 633
On the Relationship between Delivery Ratio and Engine Torque in a Crankcase-Compressed Two-Stroke Cycle Engine. N. Sawa	3 (97) 645
On the Pressure Propagating velocity in Intake or Exhaust Pipe in a Small Two-Stroke Cycle Engine. N. Sawa	3 (107) 655
On the Dynamic Effect due to Suction or Exhaust Pipe System in a High-Speed Four-Stroke Cycle Engine. N. Sawa	3 (119) 667
On the Accelerative (Reductive) Characteristics of a Four-Stroke Cycle Engine. (1st Report) N. Sawa	3 (137) 685
Bimetallic Potentiometric Titration of Mercury (II) with EDTA. T. Tachikawa	3 (155) 703
De Modo Utendi Gerundivo et Conjunctione «quod» in Latinitate Ecclesiastica. S. Ôide	3 (163) 711
De Genesi ad Litteram S. Augustini. —De formatione exemplorum Civitatis Dei et Civitatis terrenae in Oper ejus, DE CIVITATE DEI— S. Ôide	3 (183) 731
A Study of <i>The Longest Journey</i> K. Suganuma	3 (211) 759
Some Remarks on Motivating Extensive Reading for the Japanese Learner of English. S. Takemoto	3 (229) 777
Basal Relativities in the Space X. Y. Kinokuniya	3 (249) 797
Spectrophotometric Determination of the Fluorine in the Fossil Bones by the Sulfosalicylic Acid Fe (III) Complex Method. N. Shimoda & M. Inoue	3 (269) 817
The Chemical Investigation of the Minor Constituents in the Fossil Bones. I The Relation between the Fluorine and Manganese Content in the Fossil Bones and Its Age. N. Shimoda, S. Endo, M. Inoue & H. Ozaki	3 (275) 823
The Chemical Investigations of the Minor Constituents in the Fossil Bones. II The Model Experiments on the Concentration of the Fluorine and Manganese to the Chemical Substances. N. Shimoda, S. Endo, M. Inoue and H. Ozaki	3 (283) 831
Spectrophotometric Determination of Orthophosphate in the Inorganic Phosphate Mixture (Part I). The Improvement of Ging's Method for Spectrophotometric Determination of Orthophosphate in the Presence of Pyrophosphate. K. Ueno & K. Ishimaru	3 (289) 837
The Effect of Absorber Position on Scattering in Measurement of Beta Ray Absorption. T. Hattori	3 (297) 845
The Operating Characteristics of R Charts and \bar{x} -R Charts when Measurement Errors Exist. T. Kanazuka	3 (307) 855
Investigation of Optimum Reaction Conditions for Ethylene Oxide Production by the Box-Wilson Technique. T. Kanazuka, H. Kano & H. Hirano	3 (315) 863
Direct Oxidation of Ethylene over Al ₂ O ₃ -Ag-K ₂ SO ₄ Catalyst. H. Kano & A. Ayame	3 (323) 871
A Study of the Design and Stress Calculation of the Simple Box Girder Bridge with Varying Sections and Steel Floor Plates. S. Nakamura	3 (337) 907

昭和三十九年六月二十八日印刷
昭和三十九年六月三十日発行
【非売品】

編集者兼 発行者 室蘭工業大学

印刷者 山中キヨ

印刷所 文栄堂印刷所
札幌市北三条東七丁目三四二番地
T 〇八五一 〇五五六 〇二七二

Printed by
BUNYEIDO PRINTING CO.
No. 342, E. 7-chome, N, 3-jo. Sapporo, Japan
Tel. 〇 5560, 〇 0851, 〇 2711

