



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. 理工編 第39号 全1冊

メタデータ	言語: eng 出版者: 室蘭工業大学 公開日: 2014-03-04 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	<a href="http://hdl.handle.net/10258/2779">http://hdl.handle.net/10258/2779</a>

(ISSN 0580-2415)  
(CODEN : MKDKBC)

室蘭工業大学  
研 究 報 告

理 工 編

第 39 号  
平成元年11月

---

MEMOIRS

OF

THE MURORAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

Science and Engineering

---

---

NO. 39  
Nov., 1989

---

---

MURORAN HOKKAIDO

JAPAN

## Editing Committee

T. Arakawa	Prof.	<i>Chief Librarian</i>
A. Sakai	Asst. Prof.	<i>Electrical Engineering</i>
N. Takeno	Prof.	<i>Industrial Chemistry</i>
N. Goto	Asst. Prof.	<i>Mineral Resources Engineering</i>
K. Matsuoka	Prof.	<i>Civil Engineering</i>
H. Sugiyama	Prof.	<i>Mechanical Engineering</i>
H. Sugawara	Prof.	<i>Metallurgical Engineering</i>
K. Ando	Prof.	<i>Chemical Engineering</i>
Y. Kubota	Asst. Prof.	<i>Industrial Mechanical Engineering</i>
K. Otsuki	Prof.	<i>Architecture and Building Engineering</i>
S. Nomura	Prof.	<i>Electronic Engineering</i>
K. Nakagawa	Asst. Prof.	<i>Applied Material Science</i>
Y. Baba	Asst. Prof.	<i>Literature</i>
H. Katsurada	Asst. Prof.	<i>Science</i>
T. Watabe	Prof.	<i>Mechanical Engineering (Evening Session)</i>
H. Tanabe	Asst. Prof.	<i>Applied Science for Energy</i>

---

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

These publications are issued at irregular intervals. They consist of two parts, Science and Engineering and Cultural Science.

室蘭工業大学研究報告 第 39 号

理 工 編

目 次

$\beta'$ -アルミナ固体電解質を隔に用いたNa/S(IV)溶融塩電池の特性……………	嶋 影 和 宜 咲 間 光 廣 戸 田 茂 雄 佐 藤 忠 夫	1
LISP教育用ICAIシステムの開発……………	伊 藤 寿 勝 島 本 利 肇 黒 島 一 郎 杉 岡 一 郎	17
The design of logic programming learning system with Prolog……	馬 場 啓 好 黒 島 利 一 郎 杉 岡 一 郎	27
On the Distributed Coupled-Line Digital Frequency Multipliers Part I : the Frequency Domain Behaviour……………	坂 上 岩 太	37
Admissible Sectional Dimensions of R/C Floor Elements to be Designed without Deflection Check Part 1 : Transverse Beams……………	杉野目 章 井 野 智 伊 藤 正 義 駒 込 環	55
Admissible Sectional Dimensions of R/C Floor Elements to be Designed without Deflection Check Part 2 : Floor Slabs……………	杉野目 章 井 野 智 伊 藤 正 義 吉 野 修 司	65
汎用火花点火メタノール機関におけるNO <sub>x</sub> 低減対策が機関性能に及 ぼす影響……………	林 重 信 久保田 讓 澤 則 弘	75
学術研究発表集録 (昭63. 4. 1~平1. 3. 31) ……………		85



# $\beta''$ -アルミナ固体電解質を隔膜に用いた Na/S(IV) 溶融塩電池の特性

嶋影和宜, 咲間光廣, 戸田茂雄, 佐藤忠夫

## A Fundamental Characteristic of the Rechargeable Na/S(IV) Molten Salt Cell using $\beta''$ -Almina Solid Electrolyte

Kazuoyoshi SHIMAKAGE, Mitsuhiro SAKUMA\*, Shigeo TODA and Tadao SATO

### Abstract

Recently, the development of new rechargeable cell has been interested in the load leveling of an electric power and the use as an electric automobile power. In the current investigation, the fundamental characteristic of a rechargeable sodium/sulfur(IV) molten salt cell, which was previously developed by G. Mamantov in U. S. A., has been examined from the analysis of the charge-discharge curve. A laboratory cell was made of pyrex glass containing  $\beta''$ -alumina solid electrolyte. The experimental results obtained were summarized as follows: The laboratory cell constructed could be continuously moved for 3 months at the temperature of 473 K. Two plateaus giving stable electromotive forces were observed at the discharge process. Electromotive forces for the corresponding plateaus were thermodynamically based on chemical reactions of cell. The average voltage was high above 3.5 V for the first plateau region. The characteristic of cell such as energy efficiency, energy density and utilization of sulfur was to depend on the current density at the discharge process. The performance of cell was also considered to be affected by the ionic conductivity of solid electrolyte. The cycle number of the charge-discharge was above 175 and the final discharge capacity was about 21.2 Ah.

### 1. 緒 言

産業構造の変化や生活環境の高度化に伴い、都市型電力需要が増大し、季節や昼夜間の負荷格差対策がきわめて重要な技術課題となっており、この負荷の平準化をはかるため、最大負荷を負担させる電力貯蔵システムの開発が進められている。現在、負荷格差対策として採用されている代表的なものに揚水発電がある。しかし、この方法には建設に適した土地が少ないうえに用地確保が難しいことなどから他の手段による効率の良い新システムが求められている。新しい電力貯蔵方式としては、超伝導ソレノイド、フライ・ホイール、圧縮空気、新型電池などが検討されているが、中でも新型電池による電力貯蔵は、技術開発、変換効率、建設コスト、資源等の見通しから次の世代の新システムとしての実用化の可能性がきわめて高いと期待されている<sup>1)</sup>。この様な観点から、本研究では新型電池として注目されている Na/S(IV) 溶融塩電池を作製し、その特

\* 北海道大学工学研究所（前金属工学科）

性について調べた。なお、この電池の界面分極現象については著者の一人がすでに報告している<sup>2)</sup>。またこの電池の初期の開発は米国、テネシー大学 G. Mamantov の研究室で行われている<sup>3)</sup>。

## 2. 原 理

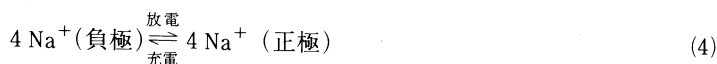
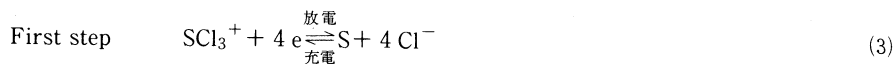
### 2.1 電気化学反応

電池内で起こる電気化学反応は、イオウの電気化学的酸化<sup>3)</sup> およびラマンスクトルによる研究<sup>4)</sup> から次のように表わされる<sup>5)~7)</sup>。

負極反応



正極反応

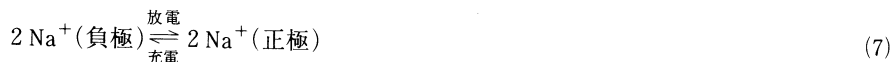
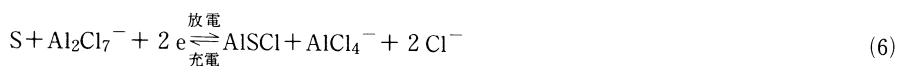


(3)式と(4)式を組み合わせることにより(5)式が得られる。

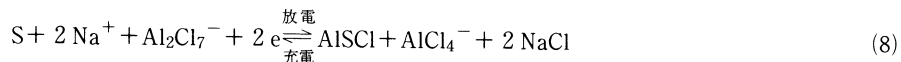


(3)および(5)式の反応は  $\text{SCl}_3^+$  イオンの安定性のために酸性融体中だけで進行する。

Second step (酸性溶融塩中)



(6)式と(7)式を組み合わせることにより(8)式が得られる。



(6)および(8)式の反応は酸性溶融塩中で起こる。

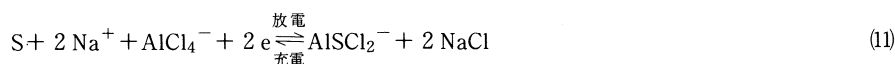
(6)式と(8)式の反応で生成した  $\text{Cl}^-$  イオンは  $\text{AlCl}_4^-$  イオンと反応し、 $\text{Al}_2\text{Cl}_7^-$  を生成する。

Second step (塩基性溶融塩中)

$\beta''$ -アルミナ固体電解質を隔膜に用いた Na/S(W) 溶融塩電池の特性

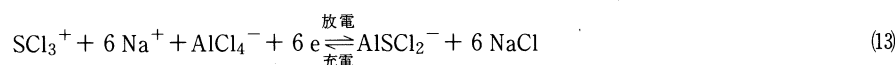
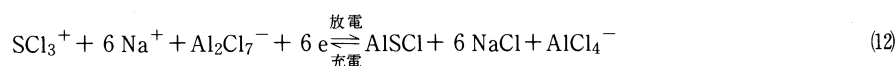


(9)式と(10)式の組み合わせることにより(11)式が得られる。



(9)および(11)式の反応は塩基性溶融塩中で起こる。

(5)式と(8)式, (11)式を組み合わせることにより(12), (13)式が得られる。



(12)式は酸性溶融塩中の2つの段階で起こる電子過程での全電極反応を表わし, (13)式は酸性溶融塩中の第一段階と塩基性溶融塩中の第二段階で起こる6電子過程での電極反応を表わす。これらいずれの場合にも, 電子の交換は負極においては正極で還元された  $SCl_3^+$  1モル当たり NaCl 6モルの増加を伴う。

## 2.2 理論容量およびエネルギー密度

2つの放電過程に対応する化学反応式は(1), (2), (5)および(11)式を組み合わせることと塩化アルミニウム-塩化ナトリウムの溶媒を用いることによって得られる<sup>6,7)</sup>。

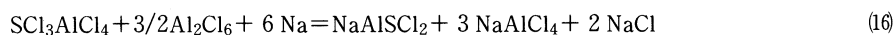
第一段階



第二段階



全反応



開路電圧 (Open circuit voltage : OCV) と理論容量およびエネルギー密度は(14)および(15)式に基づいて計算される。

第一段階 : O C V	=4.35V
容量密度	=126.8Ah/kg
エネルギー密度	=552Wh/kg
第二段階 : O C V	=2.75V
容量密度	=63.4Ah/kg

エネルギー密度=174Wh/kg

全エネルギー密度=726Wh/kg

理論容量とエネルギー密度は $\beta''$ -アルミナ、セル、電極および集電体を除いた放電過程における活物質の質量から計算される。

### 3. 実験方法

#### 3.1 電池構造

実験を行った電池の構造の略図を Fig.1 に示す。作製した電池は外径20mm、高さ約190mm のPyrex 製セルである。負極および正極の電極にはタングステン線を使用し、集電体には30メッシュのタングステン製金網をタングステン線に被覆して用いた。円筒状の $\beta''$ -アルミナチューブの外側には金属ナトリウムを、内側には元素状イ

オウと  $\text{AlCl}_3\text{-NaCl}$  (49.8-50.2mol %) 混合塩を装入し、それぞれ減圧下 ( $10^{-3}\text{Torr}$ ) で溶封した。 $\beta''$ -アルミナは  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 5 \sim 7 \text{Al}_2\text{O}_3$  の化学組成を有する  $\text{Na}^+$  イオン電導体であり、電子電導性を持たないため、本実験では電解質として使用するだけでなく、陽極と陰極を分離するセパレータとしての役目を持たせた<sup>1)</sup>。

なお、予備処理として $\beta''$ -アルミナは900°Cで3日間真空脱水したものを使用した。またタングステン線はNaOH25%、 $\text{NaNO}_2$ 10%の水溶液で電解研磨を行ない、酸化皮膜を取り除いたものを使用した。

$\beta''$ -アルミナは米国 Ceramatec 社の ALM-1-2182-14 Grade A (外径10.5mm×長さ100mm×厚さ1mm) を用いた。 $\beta''$ -アルミナの内側および外側の表面積はそれぞれ19.2cm<sup>2</sup>、23.9cm<sup>2</sup>であった。

活物質としてイオウ0.144g、 $\text{AlCl}_3\text{-NaCl}$  (49.8-50.2mol %) 混合塩6.70g を装入した。 $\text{AlCl}_3\text{-NaCl}$  混合塩の質量は $\beta''$ -アルミナチューブの体積および混合塩の密度<sup>8)</sup>から決定し、イオウの質量は FOXS 4 (この電池は  $4 \times 96500 \times 0.144 / 32.064 \div 1737\text{C}$ ) まで充電したときに  $\text{AlCl}_3/\text{NaCl}=67.8/33.0$  になるように計算によって決定した。

この電池の理論容量は 1st step では0.482Ah、2nd step では0.241Ah で合計0.723Ah である。

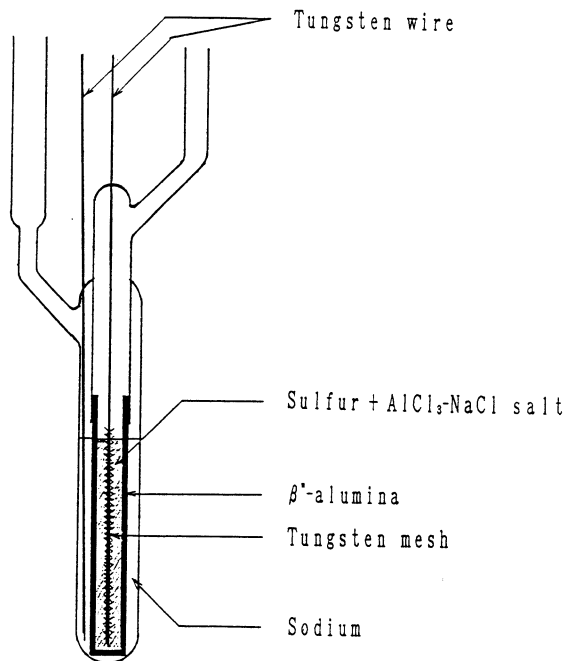


Fig. 1 Laboratory cell.

### 3.2 実験装置および方法

実験装置の略図を Fig.2 に示す。電池の正極および負極に被覆銅線を銀ろう付けし、それを充・放電装置に接続した。実験は電池を電気炉中で453K および473K に保持し、充・放電を繰り返し行ない、そのときの起電力を測定した。これらの実験温度はナトリウム、イオウおよび  $\text{AlCl}_3$ -NaCl 混合塩の融点を考慮して決定した。

また電池の見掛けの抵抗は充電過程では30分ごとに、放電過程では15分ごとに回路電圧を測定し、 $\beta''$ -アルミナチューブの内側の表面積 ( $19.2\text{cm}^2$ ) に基づき、(17)式を用いて計算によって求めた<sup>6)7)</sup>。

$$R = |\text{CCV} - \text{OCV}| / i \quad (\Omega\text{m}^2) \quad (17)$$

ここで、R は電池の見掛けの抵抗、OCV は回路電圧、i は電流密度である。

なお、充・放電装置は北斗電工製 HJ-201B を用いた。

## 4. 実験結果および考察

### 4.1 充・放電曲線

453K における各電流密度での充・放電曲線を Fig.3 に示す。この図によれば、充電過程ではいずれの電流密度でも充電曲線の形状に著しい差は認められないが、放電過程では電池反応から予想されるように起電力が一定となる2つの平坦領域が認められ、また電流密度が大きいほど放電過程における起電力が低下する傾向を示した。

473K における各電流密度での充・放電曲線を Fig.4 に示す。この図からも453K のときと同様の結果が得られ、電流密度が大きいほど第一の平坦領域と第二の平坦領域の境界が明瞭でなくなることが判る。

453K および473K の各温度における放電容量を比較すると、 $10\text{A/m}^2$  では約800クーロンから約1200クーロンへと1.5倍に、 $30\text{A/m}^2$  では約400クーロンから約800クーロンへと2倍に増大した。第一の平坦領域の起電力も  $10\text{A/m}^2$  では3.6V から3.75V に、 $30\text{A/m}^2$  では2.6V から3.2V へとそれぞれ上昇が認められた。

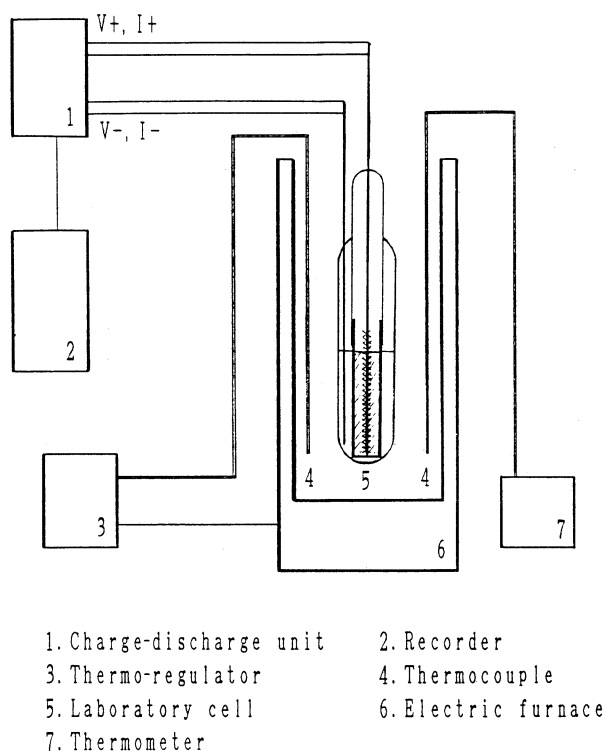


Fig. 2 Setup diagram of the experimental apparatus.

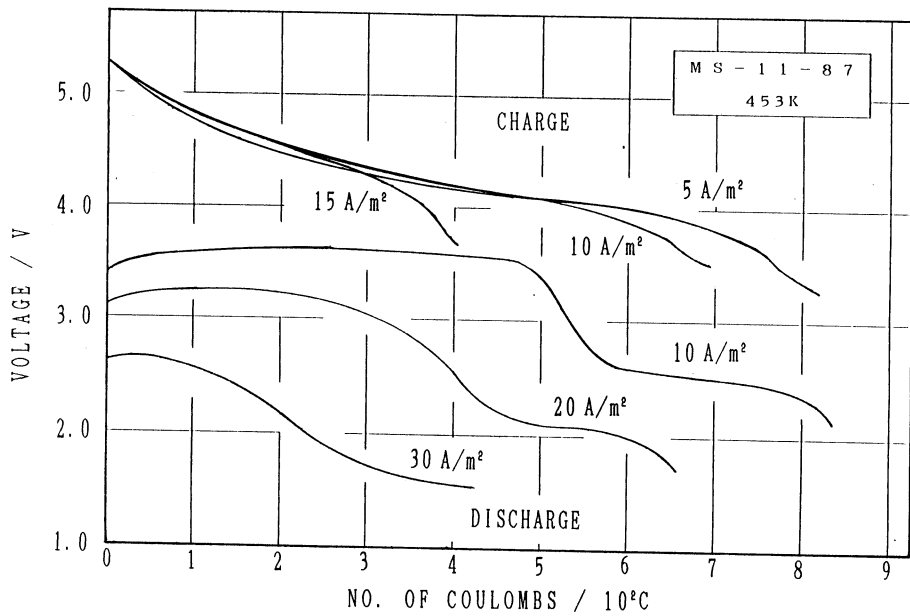


Fig. 3 Galvanostatic charge-discharge curves at several current densities at 453K.

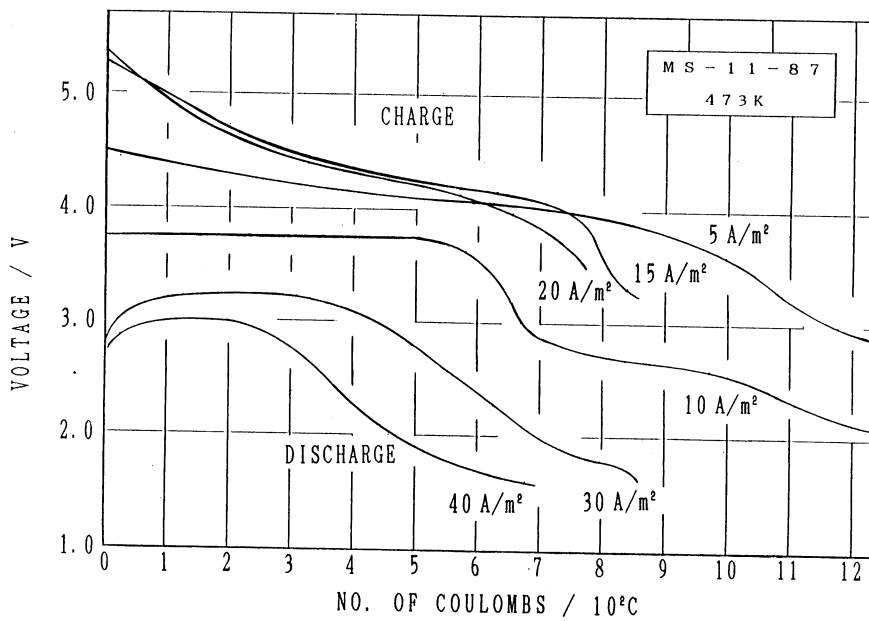


Fig. 4 Galvanostatic charge-discharge curves at several current densities at 473K.

$\beta$ "-アルミナ固体電解質を隔膜に用いた Na/S(W) 溶融塩電池の特性

充・放電曲線から求めた平均電圧を Table I に示す。いずれの電流密度でも 473K の方が 453K のときに比べ、起電力が上昇した。なお、Table I では第一の平坦領域終期までの平均電圧を表わしたので、Fig.3,4 の数値より小さな値を示している。

また、回路電圧は 453K ではいずれの電流密度でも 4.0V 以上、473K ではほとんどが 4.2V 以上を示した。473K の方が 453K のときに比べて起電力、放電容量とも大きくなったのは温度の上昇によって  $\beta$ "-アルミナおよび混合塩の電導度が増加したためと考えられる<sup>1)8)</sup>。

453K および 473K における電流密度と平均電圧の関係を Fig.5 および Fig.6 に示す。充電過程では電流密度が大きいほど平均電圧が上昇し、放電過程では電流密度が大きいほど平均電圧が低下する傾向を示し、両者は直接関係で表わすことができる。充電過程における平均電圧の上昇は Fig.3 からわかるように、充電曲線の形状による変化ではなく、充電容量の減少によるものと考えられる。放電過程における平均電圧の低下は明らかに充電曲線の形状の変化、すなわち起電力の低下によることが認められる。453K および 473K の平均電圧を電流密度 20A/m<sup>2</sup> を例にとって比較すると、第一の平坦領域では 3.0V から 3.3V へと第二の平坦領域では 2.0V から 2.3V へといずれも約 0.3V の上昇が認められた。

Table I Typical parameters for Na/S (IV) cell No. 1\*

Temp.	Cycle No.	Current ** [A/m <sup>2</sup> ]		Average voltage [V]			Open circuit voltage (OCV) [V]
		CH	DC	Charge	Discharge		
					1st	2nd	
453K	13	2.5	5	3.95	3.79	2.61	4.11
	29	5	10	4.28	3.46	2.43	4.05
	21	7.5	15	4.26	3.22	2.24	4.10
	25	10	20	4.31	3.07	2.04	4.02
	16	12.5	25	4.35	2.86	1.95	4.07
	17	15	30	4.37	2.60	1.86	4.04
	27	17.5	35	4.54	2.31	1.72	4.05
473K	42	2.5	5	4.08	3.88	2.95	4.33
	32	5	10	4.15	3.69	2.72	4.21
	35	7.5	15	4.31	3.41	2.47	4.27
	31	10	20	4.32	3.34	2.43	4.19
	41	12.5	25	4.31	3.11	2.13	4.23
	33	15	30	4.38	3.09	2.05	4.23
	38	17.5	35	4.33	2.88	1.80	4.21
	34	20	40	4.35	2.78	1.76	4.20
43	22.5	45	4.34	2.69	1.79	4.18	

\* Initial composition of positive mix : AlCl<sub>3</sub>-NaCl (49.8-50.2mol%) 6.70×10<sup>-3</sup>kg and sulfur 0.144×10<sup>-3</sup>kg.

\*\* Current density based on the inner surface area of  $\beta$ "-alumina.

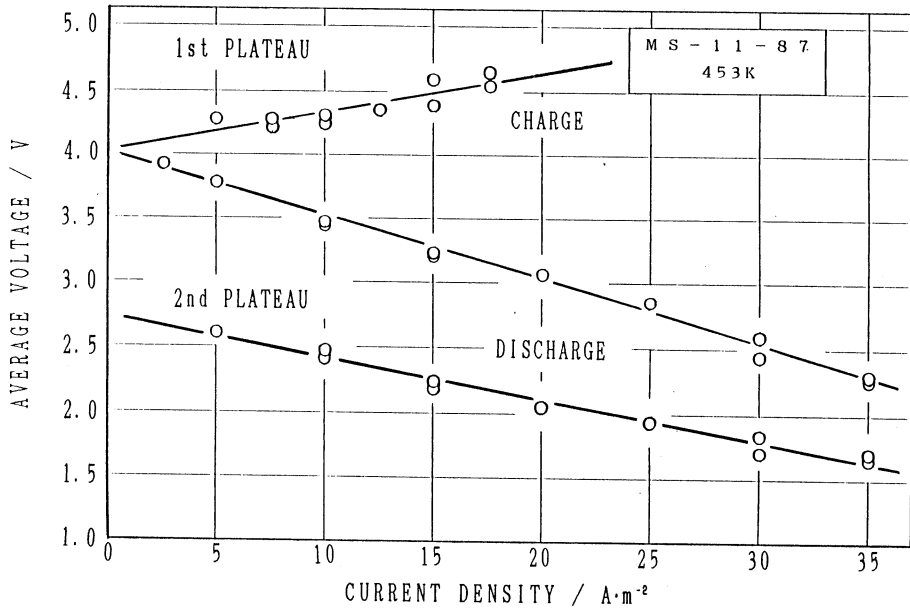


Fig. 5 Relation between the current density and the average voltage.

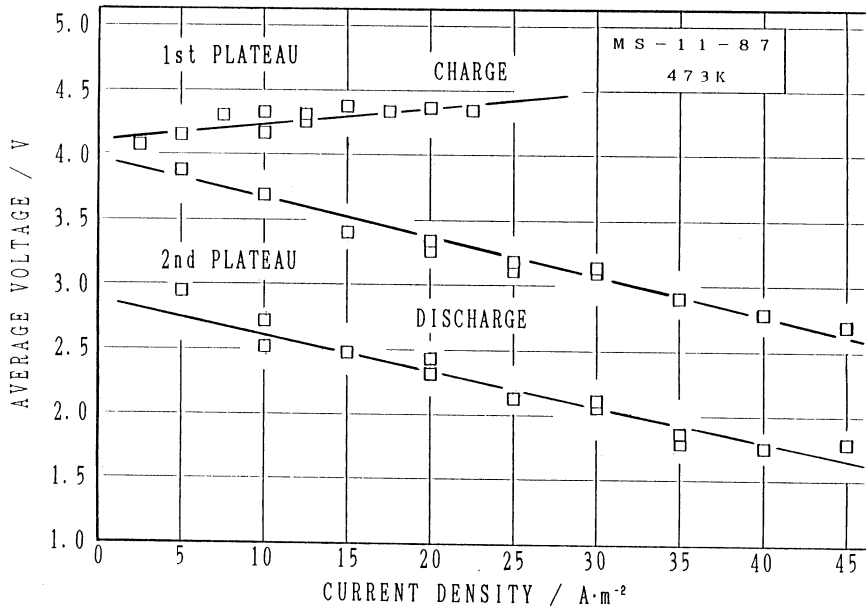


Fig. 6 Relation between the current density and the average voltage.



## 4.2 電池の見掛けの抵抗

1つの充・放電サイクルにおける電池の見掛けの抵抗の変化を Fig.7 に示す。充電過程における電池の抵抗は終期に増加の程度が大きく、これに対し、放電過程では第一の電極反応から第二の電極反応への過渡期において抵抗の増加が認められる。充電終期における抵抗の急激な増加は支持電解質である  $\text{AlCl}_3$ - $\text{NaCl}$  混合塩中の  $\text{Na}^+$  イオンが負極側へ移行し、混合塩の電導度が低下することに起因するためと考えられ<sup>8)9)</sup> 放電過程における抵抗の変化は活物質であるイオウの形態の変化に依存するものと推察される<sup>3)4)</sup>。

温度および電流密度を変化させた場合の電池の見掛けの抵抗の変化を Fig.8 に示す。電池の充・放電過程における見掛けの抵抗は Fig.7 と同様な挙動を示し、温度および電流密度を変化させても変動しないことが確認される。

なお、ここで見掛けの抵抗としたのは、この値には電池の抵抗だけでなく、 $\beta''$ -アルミナや  $\text{AlCl}_3$ - $\text{NaCl}$  混合塩の抵抗も含んでいると考えられるからである。

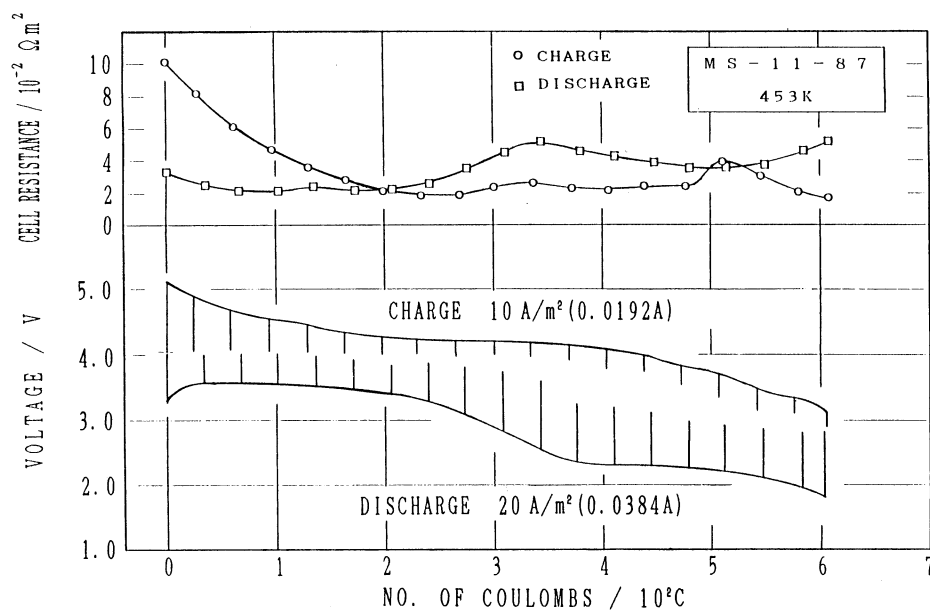


Fig. 7 Variations of cell resistance and cell voltage during a charge-discharge cycle.

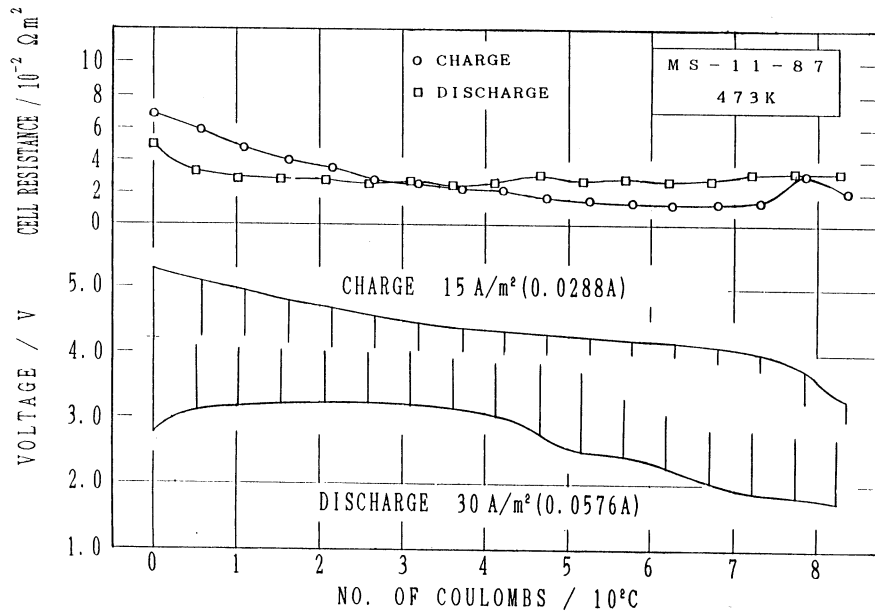


Fig. 8 Variations of cell resistance and cell voltage during a charge-discharge cycle.

#### 4.3 電池の特性に及ぼす電流密度の影響

電池の特性を示すエネルギー効率，エネルギー密度およびイオウの利用率はそれぞれ(18)~(20)式を用いて計算することができる<sup>10)</sup>。

$$\text{エネルギー効率} = \frac{(\text{平均放電電圧}) \times (\text{放電時間}) \times (\text{放電電流})}{(\text{平均充電電圧}) \times (\text{充電時間}) \times (\text{充電電流})} \times 100(\%) \quad (18)$$

$$\text{エネルギー密度} = \frac{(\text{平均放電電圧}) \times (\text{放電時間}) \times (\text{放電電流})}{\text{活物質の質量}} (\text{Wh/kg}) \quad (19)$$

$$\text{イオウの利用率} = \frac{\text{放電曲線から計算された容量}}{\text{イオウによる理論内容}} \times 100(\%) \quad (20)$$

以上の各式を用いて充・放電曲線から電池の特性について検討を行なった。その結果を Table II に示す。この表によれば，エネルギー効率，エネルギー密度およびイオウの利用率のいずれにおいても電流密度が大きいほど，それぞれの値が低下する傾向を示した。また473Kの方が453Kに比べていずれも大きい値を示すことが認められた。

エネルギー密度は Fig.9 および Fig.10 に示すように第二の平坦領域の始まる直前までを第一の平坦領域として，それぞれ求めた。10A/m<sup>2</sup> (0.0192A) で453Kにおけるエネルギー密度は，第

$\beta$ "-アルミナ固体電解質を隔膜に用いた Na/S(W) 溶融塩電池の特性

Table II Typical parameters for Na/S(IV) cell No. 1\*

Temp.	Cycle No.	Current density [A/m <sup>2</sup> ]	Energy efficiency [%]	Energy density [Wh/kg]	Utilization of S(IV) [%]
453 K	13	5	85.5	132.5	43.2
	29	10	78.6	101.7	41.9
	21	15	69.3	92.1	30.2
	4	20	68.8	78.1	24.8
	16	25	59.4	64.8	22.8
	24	30	50.6	36.1	16.4
	28	35	42.9	27.4	12.4
	8	40	35.4	8.3	4.1
473 K	42	5	86.1	178.9	48.4
	32	10	81.3	160.3	47.8
	35	15	77.0	155.1	46.6
	31	20	71.9	130.8	42.8
	41	25	62.7	107.1	36.3
	33	30	58.2	85.6	30.3
	38	35	56.7	79.9	29.5
	34	40	47.6	68.2	26.4
	43	45	44.5	62.5	24.6

\* Initial composition of positive mix : AlCl<sub>3</sub>-NaCl(49.8-50.2mol%) 6.70×10<sup>-3</sup>kg and sulfur 0.144×10<sup>-3</sup>kg.  
 \*\* Current density based on the inner surface area of  $\beta$ "-alumina.

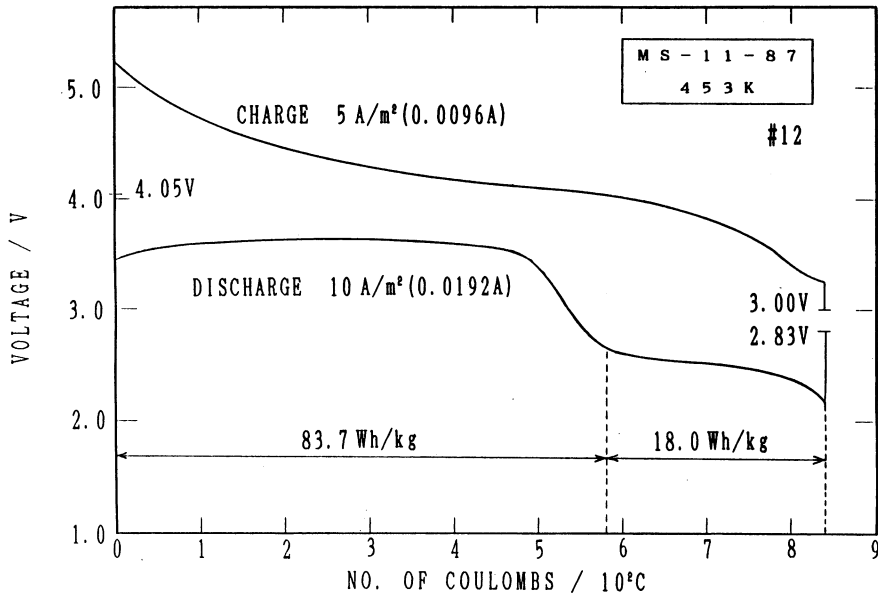


Fig. 9 Galvanostatic charge-discharge curve.

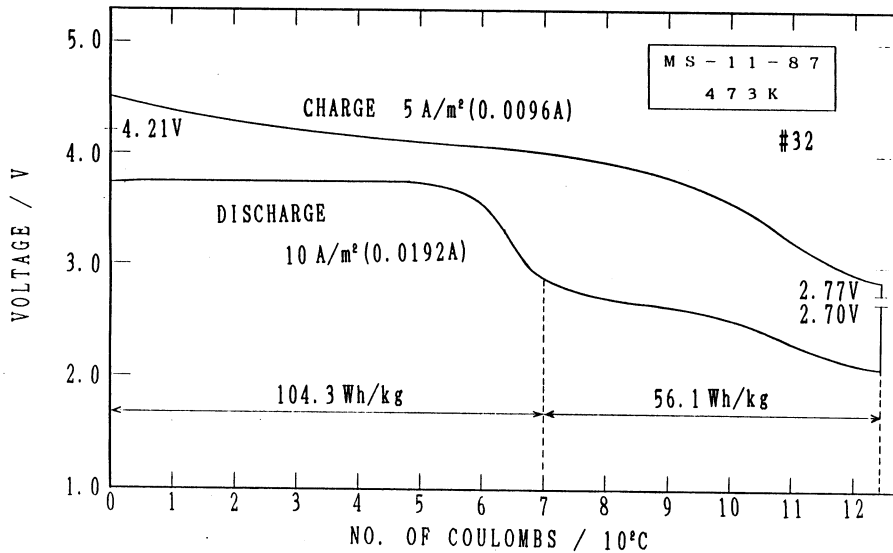


Fig. 10 Galvanostatic charge-discharge curve.

一および第二の平坦領域でそれぞれ83.7Wh/kg, 18.0Wh/kgであるのに対し, 473Kでは104.3Wh/kg, 56.1Wh/kgとそれぞれ増加し, とくに第二の平坦領域で増加の割合が大きかった。

Table II の値をプロットした図を Fig.11~13 に示す。エネルギー効率, エネルギー密度およびイオウの利用率のいずれも直接関係が成立することが判った。

Fig.11 の結果によれば, エネルギー効率は電流密度が大きいほど小さな値を示した。また473K では453K に比べて値の増加が認められた。電力貯蔵システムの開発目標<sup>11)</sup>とされている70%以上の値は453K では15A/m<sup>2</sup>以下, 473K では20A/m<sup>2</sup>以下の電流密度で得られた。また電流密度が大きいほど453K から473K への温度上昇によるエネルギー効率の増加の割合が大きかった。

Fig.12 の結果によれば, エネルギー密度は電流密度に大きく依存し, また473K の結果は453K に比べて, 各電流密度で40~60Wh/kg 程度の増加を示した。鉛蓄電池の実際のエネルギー密度35Wh/kg<sup>1)</sup>以上の値は453K では30A/m<sup>2</sup>以下, 473K ではすべての電流密度の場合に得られた。

Fig.13 の結果によれば, イオウの利用率は電流密度に大きく依存し, また電流密度が大きいほど453K から473K への温度上昇による利用率の増加の割合は増大する傾向を示した。

$\beta''$ -アルミナ固体電解質を隔膜に用いた Na/S(W) 溶融塩電池の特性

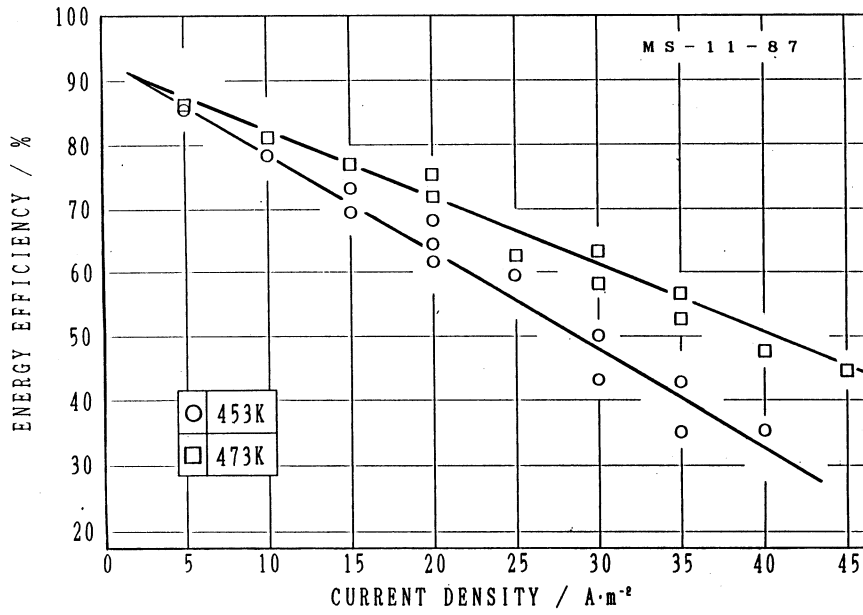


Fig. 11 Effect of the current density on the percent energy efficiency

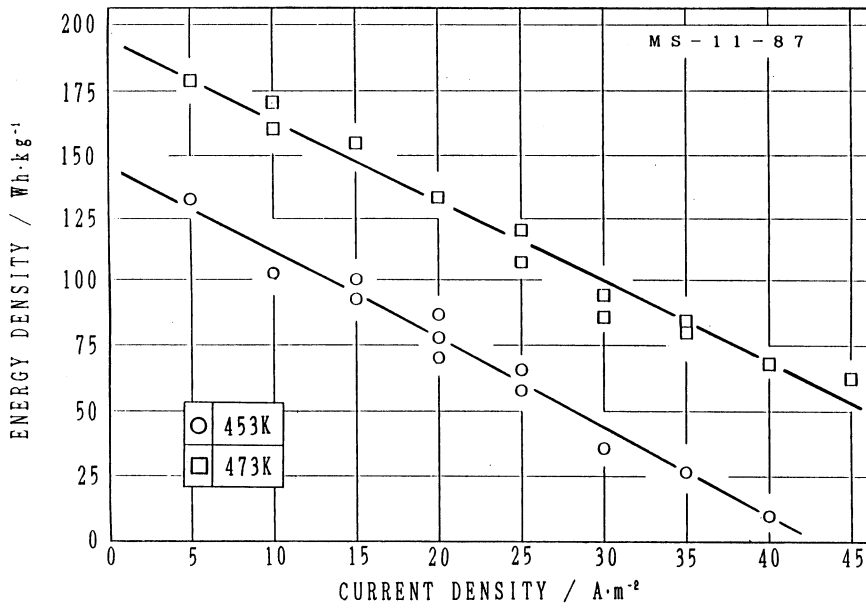


Fig. 12 Effect of the current density on the energy density.

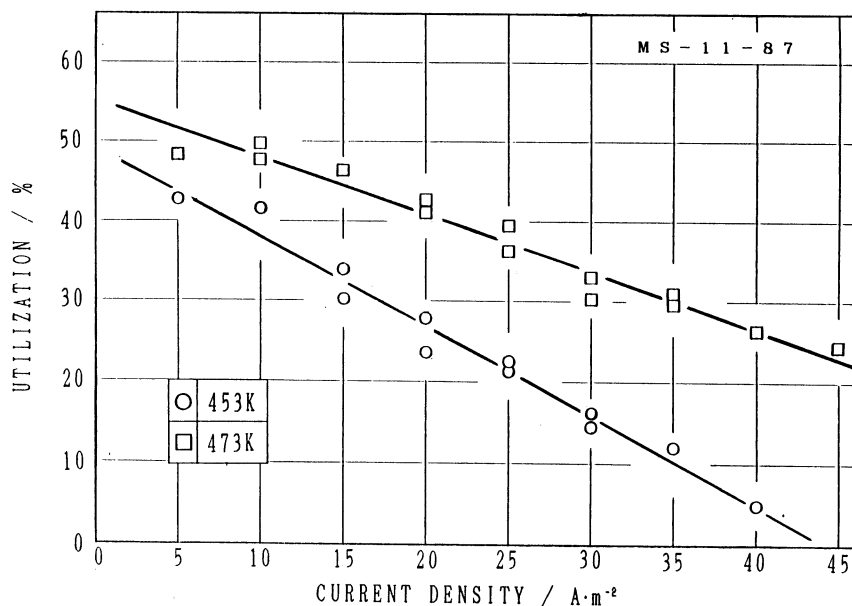


Fig. 13 Effect of the current density on the percent utilization.

エネルギー効率，エネルギー密度におけるイオウの利用率のいずれも473Kの結果が453Kより高い値を示したのは固体電解質である $\beta$ "-アルミナと支持電解質である $\text{AlCl}_3\text{-NaCl}$ 混合塩の電導度が温度上昇により増加し，それによって放電過程における起電力および容量が増大したためと考えられる。

また電流密度が大きいほどそれぞれの値が低下したのは活物質の移動が電気化学反応に追従することができなくなっていくためであると推察される。

#### 4.4 サイクル数に対する平均電圧および利用率の変化

充・放電のサイクル数と平均電圧，利用率の関係をFig.14に示す。この電池はNo.1~29サイクルを453Kで，No.30~44サイクルを473Kでそれぞれ5~45A/m<sup>2</sup>の電流密度で充・放電を行ない，No.45サイクル以降は453Kにおいて，充電過程を10A/m<sup>2</sup> (0.0192A)，放電過程を20A/m<sup>2</sup> (0.0384A)で第一の平坦領域のみを考慮し実験を行なった。なお，放電過程ではNo.1~44サイクルについても第一の平坦領域の平均電圧で示した。なお，\*印は充・放電をそれぞれ12.5A/m<sup>2</sup> (0.024A)，25.0A/m<sup>2</sup> (0.048A)で行なったものである。

上限および下限電圧はNo.44サイクルまでは電流密度によって変え，No.45サイクル以降はそれぞれ4.95V，2.65Vに設定し，充・放電を行なった。

$\beta$ -アルミナ固体電解質を隔膜に用いた Na/S(W) 溶融塩電池の特性

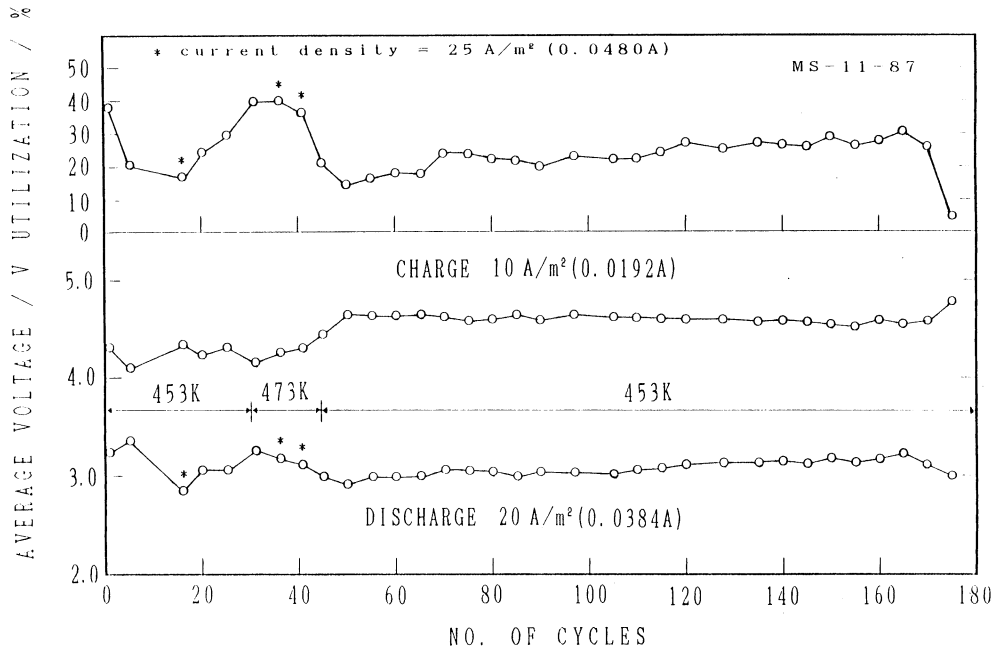


Fig. 14 Average voltage and percent utilization of sulfur vs. number of cycles.

充電過程における平均電圧は、No.44サイクルまでは多少ばらつきがあるが、約4.2Vの電圧を示し、No.45サイクル以降は第一の平坦領域のみで実験を行なったため平均電圧が上昇し、その後はほぼ一定となった。放電過程では473Kで実験を行なった期間も考慮に入れると、No.49サイクルまでは平均電圧が多少低下したが、No.50サイクル以降は徐々に上昇する傾向を示した。No.45~170サイクルの充・放電の平均電圧はそれぞれ4.6V、3.08Vであった。

イオウの利用率は初期にはばらつきが見られたが、No.50サイクル以降は徐々に増加する傾向を示した。利用率は15%以上を示し、平均では23.5%であった。なお、利用率は第一の平坦領域（4電子過程）で計算を行なった。

放電過程における平均電圧の上昇およびイオウの利用率の増加がNo.50サイクル以降で見られたのは、電流密度を一定にして充・放電を行なったことにより電池内の反応が安定し回復してきたためと推察される。

しかし、No.175サイクル以降で性能が著しく低下した。

#### 4.5 電池の性能

作製した電池（MS-11-87）のNo.175サイクルまでの性能は次に示す通りである。

全放電容量                      21.2Ah

嶋 影 和 宜・咲 間 光 廣・戸 田 茂 雄・佐 藤 忠 夫

全エネルギー密度 89.0kWh/kg

全放電容量は各サイクルで得られた放電容量の和で、約76,400クーロンに相当する。全エネルギー密度は各サイクルで計算によって求めたエネルギー密度の総和である。

なお、この電池は3ヶ月連続作動し、充・放電のサイクルは175回以上であった。

## 5. 結 言

$\beta$ "-アルミナ固体電解質の隔膜に用いたNa/S(IV)熔融塩電池を作製し、その特性について検討を行なった。結果を要約すると次の通りである。

- (1) 電池の放電過程では起電力が一定となる2つの平坦部が認められ、第一の領域では3.5V以上の高い起電力が得られた。
- (2) 電池の特性を示すエネルギー効率、エネルギー密度およびイオウの利用率は電流密度に大きく依存することが判明した。
- (3) 作製した電池の放電容量は21.2Ah以上であった。またこの電池は3ヶ月以上連続作動し、充・放電のサイクル数は175回以上であった。

なお、本研究の遂行に当たり、経費の一部は文部省科学研究費補助金(課題番号6140053)によって行なわれた。ここに謝意を表す。

## 参考文献

- 1) 吉沢四郎編：燃料電池と電力貯蔵システム々講談社 1985, 3, 149, 178, 183
- 2) Katagiri A. Hvisendahl, J. Shimakage, K. and Mamantov, G. : J. Electrochem.Soc. 133, 1281(1986)
- 3) Marassi, R. Mamantov, G. Matsunaga, M. Springer, S. E. and Wiaux, J. P. : J. Electrochem. Soc. 126, 231(1979)
- 4) Tanemoto, T. Katagiri, A. and Mamantov, G. : J. Electrochem. Soc. 130 890(1983)
- 5) Mamantov, G. Marassi, R. Matsunaga, M. Ogata, Y. Wiaux J. P. and Frazer, F. J. : J. Electrochem. Soc. 127, 2319(1980)
- 6) Mamantov, G. and Hvistendahl, J. : J. Electroanal. Chem. 168, 451(1984)
- 7) Mamantov, G. Shimakage, K. : A New Rechargeble Sodium/Sulfur(IV) Molten Chloroaluminate Cell, 1984
- 8) 佐藤 譲：AlCl<sub>3</sub>-LiCl-NaCl系アルミニウム電解浴に関する基礎的研究：東北大学学位論文 1979, 70, 119
- 9) 片桐 晃：Private Communication 1988
- 10) Bockris, J. O'M. and Reddy. A. K. N. : Modern Electrochemistry, A Plenum/Rosetta Edition Vol.2 1404, 1407(1970)
- 11) 新村 明：電気学会雑誌, 103, 757(1983)



# LISP 教育用 ICAI システムの開発

伊藤 寿勝・島本 肇・黒島 利一・杉岡 一郎

## The Construction of the ICAI System for Tutoring LISP

TOSHIKATSU ITOH, HAJIME SHIMAMOTO, TOSHIKAZU KUROSHIMA and ICHIRO SUGIOKA

### Abstract

Traditional computer-assisted instruction (CAI) has advantages and also has some of disadvantages that should be improved. To study intelligent CAI (ICAI) is regarded as a trial to better CAI by using techniques in knowledge engineering. The system that was constructed in this research consists of three different modules—a special knowledge module, a student model module and a guide rule module—to solve some problems of conventional CAI. For future researchers, the opportunity for engaging the study concerned in some topics in the field of artificial intelligence (AI) is increasing, and it will be necessary for them to learn LISP, one of the programming languages for AI. In consideration of this tendency, the purpose of this research is to construct the ICAI system for tutoring LISP language.

### 1. はじめに

現在、人間の知的活動をコンピュータ上で実現しようとする人工知能 (Artificial Intelligence : 以下 AI) の研究が盛んに行なわれており、<sup>1)–4)</sup> その研究の 1 つとして、コンピュータに何らかの知的振舞いを行わせるソフトウェアの開発がある。AI の研究において最も重要なツールは、そうしたソフトウェアを作成・解釈・実行する AI 用プログラム言語である。

AI 用プログラム言語には記号処理機能が要求されるが、そのような機能を有している言語は論理型プログラム言語とよばれ、その代表的な言語は LISP である。

社会の情報構造が複雑化している今日、これからの技術者は何らかの形で AI の研究に携わる機会が多くなると考えられるため、本学のような工科系大学の学生に LISP を習得させることは非常に大きな意義を持っている。

一方、高性能で低価格のパーソナルコンピュータが普及し、工学・ビジネス・教育を始めとする多くの分野で使用されている。<sup>5),6)</sup> 特に、教育の分野では、コンピュータによって学習を支援する CAI (Computer Assisted Instruction) の普及がめざましい。

しかし、伝統的 CAI はいくつかのメリットを持つと同時に、多くの解決すべき問題をも抱えている。そのため、伝統的 CAI に欠けている要因を知識工学 (人工知能) 的な手法によって解

決していこうとする ICAI (知的 CAI=Intelligent CAI) が<sup>7),8)</sup>、急速に注目を浴びてきた。

したがって本研究では、人工知能用言語と言われる LISP 言語を教育するための ICAI システムを LISP を用いて構築した。

## 2. 学習項目

本システムでは、できるかぎり LISP 言語全体を網羅することを目的として、下記の12の項目をとり挙げた。<sup>9)~13)</sup>

- |              |             |              |
|--------------|-------------|--------------|
| A. LISP とは   | E. 論理演算     | I. 繰り返し処理    |
| B. 基本的な LISP | F. ユーザー定義関数 | J. 入出力操作     |
| C. リスト処理     | G. 条件分岐     | K. 局所変数と大域変数 |
| D. 数値演算      | H. 再帰的定義    | L. 総合問題      |

この12のカリキュラムで、LISP とはどのようなものかを系統だてて把握できると考えられる。また、最後の総合問題では、「バックトラック法」を用いた N クイーンの問題によって、これらの項目で学んだ学習者の最終的な理解の程度を判断している。

## 3. システムの構造

一般に ICAI システムにおいては、①学習者の理解度を正しく把握する機能、②適切な問題を生成し出題する機能、③学習者の誤答の原因を同定する機能、④学習者からの質問に答える機能、⑤同定した誤り原因から教育的見地に立って学習者を指導する機能等の機能が要求される。

また、ICAI システムは、従来の CAI の欠点を知識工学的な手法を導入することにより解決しようとするもので、それを実践するためには、①専門知識モジュール、②学生モデルモジュール、③指導規則モジュールの3つのモジュールを作成することが必要である。3つのモジュールを上記の各項目に置くことによって、LISP 言語の習得度の向上を目指している。

図一1に、3つのモジュールを図式化したものを示す。

### ① 専門知識モジュール

これは、学習者に習得させたい知識である。本システムでは、LISP 言語の文法及び語句、関数の知識、またその項目での問題そしてその問題に対する解答群からなる知識から構成されている。問題の出題形式は、いくつかの選択肢の中から数字で選ばせるものや、特定の語句を入力させるもの、LISP 関数を実際に定義(プログラム作成)させるもの等が用意されている。また解答群はできるだけ、学習者が考え得る解答をカバーできるように多岐にわたっている。

### ② 学生モデルモジュール

このモジュールでは、コンピュータ内部で学習者の理解状態を正しく認識するために、その学習者がどの項目まで学習したかを示す学生モデルと、その学習者が個々の問題に対してどの程度

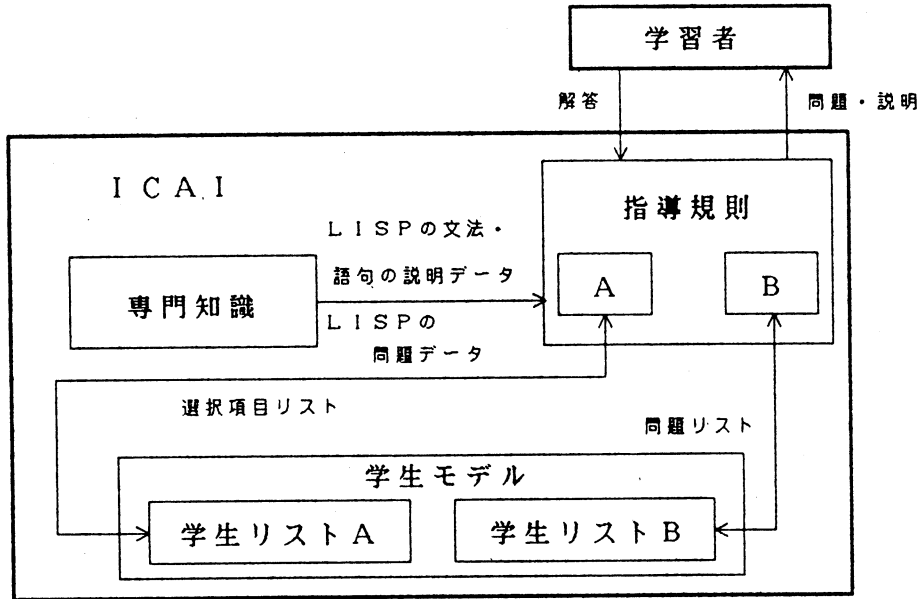


図-1 システムの構造

理解しているか、また問題のどこで間違えたかを認識する学生モデルの2つの学生モデルに分けて構成している。

上記の学生モデルは、それぞれ学生リスト A、学生リスト B として構築されている。

以下に学生リスト A の構成を示す。

(ID 番号 A 回数 B 回数 … L 回数)

ID 番号は、現在、学習を行っている学習者の ID 番号である。また、アルファベット A, B, …, L のそれぞれは、2. で述べた学習項目を示しており、各アルファベットの隣の回数は、その項目を学習した回数を示す。このリストを基礎としてどこの項目を学習すれば良いかの指示を出すことができる。

また、学生リスト B は A から E までの項目の学習時と F 項目以降の学習時とでは構成が異なる。これは、F 項目以降では学習者に LISP 関数を実際に定義させているため、より詳細に学習者の理解度を把握することができるようにするための配慮である。

以下に学生リスト B の構成を示す。

i) A~E の学生リスト B

(ID 番号 項目 NUM1 NUM2 NUM3 日付)

ID 番号は、現在、学習を行っている学習者の ID 番号である。項目には、A から E 項目に対応する英字が入り、NUM 1 はその項目で行った演習問題の問題番号で、NUM 2 は NUM 1 の問題の中の何番目の設問かを知る数字で、NUM 3 はその問題に対して間違えた回数を示す。また、日付はその問題を行った日付である。

ii) F~L の学生リスト B

(ID 番号 問題 MM 回数 M1 回数 M2 回数 … 日付)

リストの中の“問題”は、どの問題かを表し、MM の隣の回数は LISP 関数の定義中に学習者が全く理解していないと思われる入力を行った回数で、以下 M1, M2, … の隣の回数は、重要度順にどのような部分を何回間違えたかを把握するために表した数字である。また、日付はその問題を行った日付を表している。

### ③ 指導規則モジュール

指導規則モジュールでは上記の学生リストを使用する。学生リスト A で、どこの項目に学習者を誘導するのかを決定し、学生リスト B で、その問題に対する理解度を把握したり、また、学習者の間違えに対応したヒントの出し方を決定している。

指導規則 A は、学生リスト A の状態から、どこの項目に学習者を誘導すればよいかを決定する。これによって、例えば A 項目や B 項目を全く理解していない学習者が L 項目の総合問題を選択しても、A 項目や B 項目へ学習者を誘導することが出来る。ここで重要になってくるのは、何回この項目を学習したから次は、「この項目へ行きなさい。」という指示の出し方である。ここを強化することによって、項目別に弱点の補強ができる。しかし、この部分には、教育的な勧奨もいべき経験則が適用されなければならないので、今後も研究の課題となる部分である。

指導規則 B は、学生リスト B の状態から、問題に対して学習者が間違えた場合のヒントの出し方を決定したり、その問題に対する理解度を把握する。また、この指導規則 B では、ある学習者がある問題についての正解率があるレベル以上であったならば、その学習者はその問題を理解したとみなして、次の学習の時には、その問題を出題しないようにしている。

ヒントの一例として、例えば関数 CUBIC を定義する問題で (DEFUN CUBIK…) と学習者が入力した場合、システムは「関数名はありますか?」というヒントを出して関数名が間違っている事を促し、学生リスト B に関数名の誤りがあったことを記録する。

また、実際に関数定義をさせているので、学習者が関数をキーボードから入力していて、途中でわからなくなった場合は、「WHY」と入力するとシステムは、次にどのようなことをすれば良いのかを学生モデルを分析して判断し、学習者に示唆する。

## 4. システムの解説

図-2 にシステムのファイル構成を示す。

LISP 教育用 ICAI システムの開発

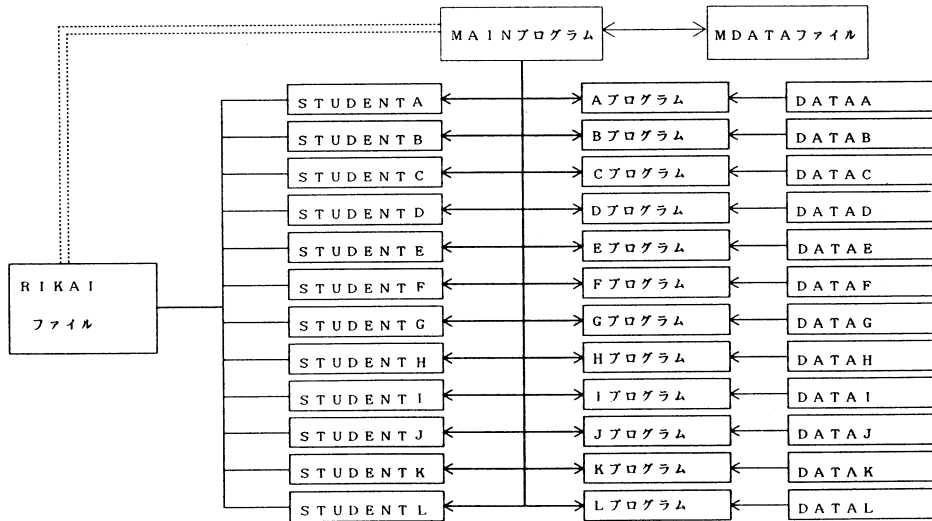


図-2 システムのファイル構成

MAIN プログラムは、システムの頭脳部であり、図-2のように全てのプログラムを統括している。処理内容は、①図-2の A プログラムから L プログラムのメモリーへの読み込み、②学習者に学習させたい項目の表示、③ A プログラムから L プログラムの中で共通して使用されている関数の定義、④学生モデルの更新及び作成、⑤学生モデルを監視することによる個人指導、⑥各項目の問題に対する学習者の理解度の表示等を行っている。

DATAA~DATAL には、その項目ごとの説明すべきデータ及び実行制御フラグが入っている。そのフラグを使用することによって A プログラム~L プログラムに指示を与えることができる。例えば、DATA 中に (改行) というフラグをプログラム側で認識すると、プログラム側では改行を行い、(演習) というフラグを認識すると、プログラム側では学習者に対して問題を出題するようになっている。

それぞれの項目のプログラム (A プログラム~L プログラム) は、DATAA~DATAL から読み込んだデータをディスプレイに出力し、実行制御フラグによって、実行すべき関数に移行する。また、ディスプレイ上に表示すべき表などの関数を定義している。ここでは、それぞれの項目ごとに、その項目に適した数題の問題を用意してある。また、それぞれの問題に対する学習者の応答に応じて、数多くのヒントが用意されており、かつ問題の途中でわからなくなった場合、「WHY」と入力することにより、次に何をすべきかを学習者に提示する機能も備わっている。

MDATA ファイルには、先に説明した学生モデルに 2 種類に分けて構成されている学生リスト A と学生リスト B の内の学生リスト A が記憶されている。

STUDENTA～STUDENTLには、学生リストBが記憶されている。STUDENTAには、A項目の問題に対する学生リストBという具合に、ファイルにはその項目ごとのリストが蓄えられている。

RIKAIファイルでは、それぞれの学習者の項目ごとの問題に対する理解度を学生リストBを用いて作成し、パーセントで表記したものを蓄えている。またその問題を行った日付も一緒に保存している。

## 5. 利用形態

本システムは、電源を投入すると自動的にMAINファイルがローディングされて実行待機状態になり、学習者に「(ICAI)と入力してください。」と指示を与える。ここで学習者が(ICAI)と入力すると、システムが起動され初期画面が表示された後、学習者にID番号の入力要求をする。学習者がID番号を入力するとディスプレイ上に、学習項目を表示する。(図-3参照)

そして、学習者が自分の学習したい項目を選択すると、まずその学習者に対しての学生リストAを参照または新規作成する。その後、その学習者が過去に行った問題に対する理解度を表示する。(図-4参照)

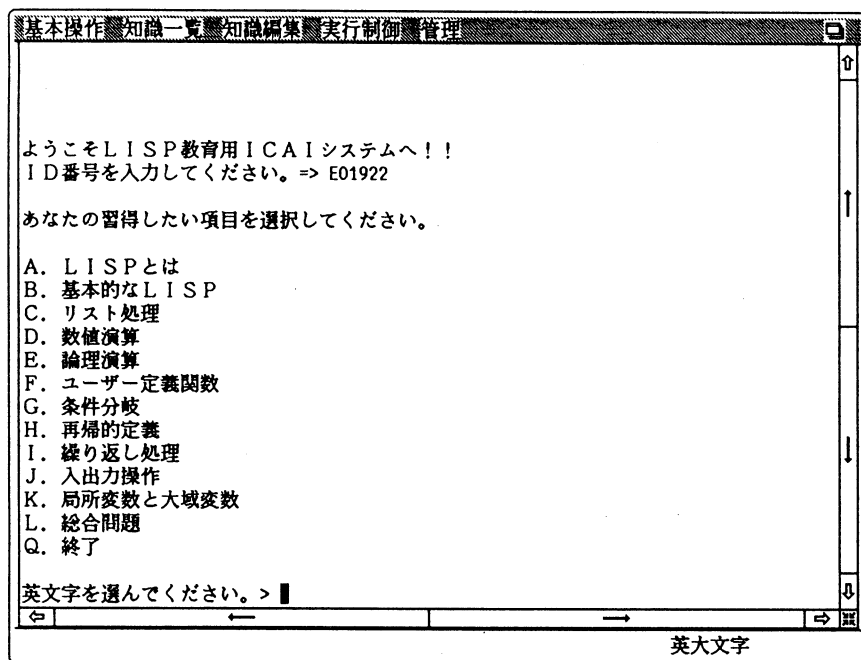


図-3 項目表示

基本操作 知識一覧 知識編集 実行制御 管理			
Sと入力してください。> s			
今までのあなたの理解度を表示します。(ID番号 E01922)			
A1の問題==>96 %	B1の問題==>100 %	C1の問題==>100 %	C2の問題==>95 %
D1の問題==>100 %	D2の問題==>100 %	D3の問題==>100 %	E1の問題==>85 %
E2の問題==>100 %	F1の問題==>91 %	F2の問題==>93 %	F3の問題==>96 %
G1の問題==>未実行	G2の問題==>97 %	G3の問題==>100 %	H1の問題==>95 %
H2の問題==>100 %	H3の問題==>0 %	I1の問題==>98 %	I2の問題==>100 %
I3の問題==>97 %	J1の問題==>未実行	J2の問題==>0 %	J3の問題==>未実行
K1の問題==>97 %	K2の問題==>未実行	K3の問題==>未実行	L1の問題==>0 %
L2の問題==>0 %	L3の問題==>0 %	L4の問題==>0 %	L5の問題==>0 %
L6の問題==>0 %	L7の問題==>0 %		
Sと入力するとスタートします。> █			
英大文字			

図-4 理解度表示

例えば、学習者がA項目を選択したとする。そうするとA項目の説明が始まる。説明は画面単位で進行され、一画面分の説明が表示されるとシステムは、説明を継続するか、あるいは終了するか、それとも説明を前に戻すのかを学習者に問うようにしている。これによって学習者は自分の意志で学習の進行を制御できる。また、進行中、問題が用意してある場所にくると、先の選択肢に加えて問題を行うか否かも問うようにしている。

問題に入った場合の一例として、ここではI項目(繰り返し処理)の問題を示す。この問題は、PROGとGOを用いて、階乗を求める関数の定義である。

問題では、何度かの解説及び説明を行った後、実際に学習者に関数を定義するように入力要求をする。学習者が入力した関数に誤りがある場合、システムはどこが間違っているのかを指摘する。(図-5参照)

また、学習者がどこをどの様に訂正すれば正しい関数を定義できるのかわからなくなった場合には、「WHY」と入力することによりシステムは有効な助言を与える。(図-6参照)

学習者が正しい関数を入力できた場合、システムは「きちんと定義されていますね。」というメッセージを表示し、この設問に対する学習者の理解度を表示し、次の問題に移行するかどうかを学習者に尋ねる。(図-7参照)

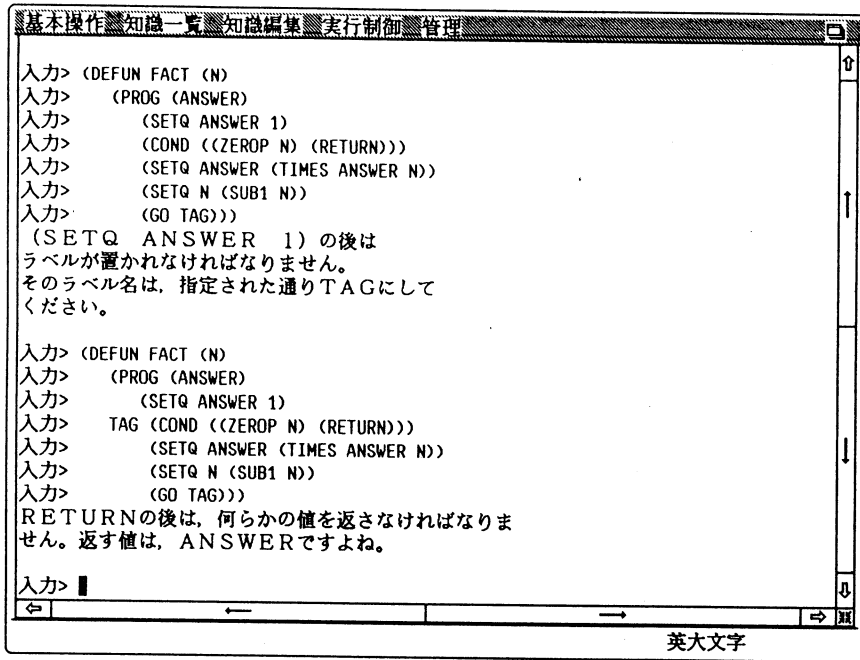


図-5 問題解答例

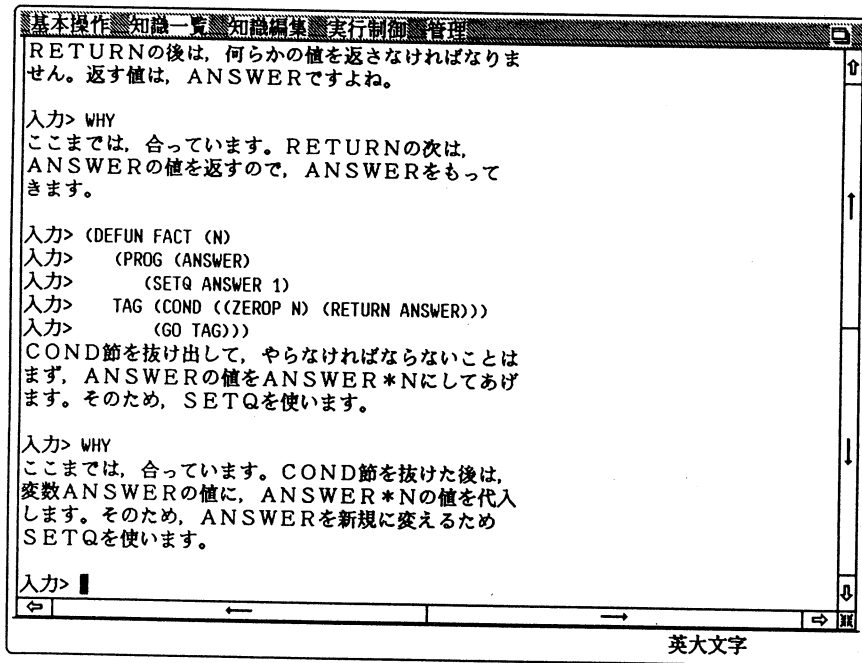


図-6 「WHY」と入力した場合



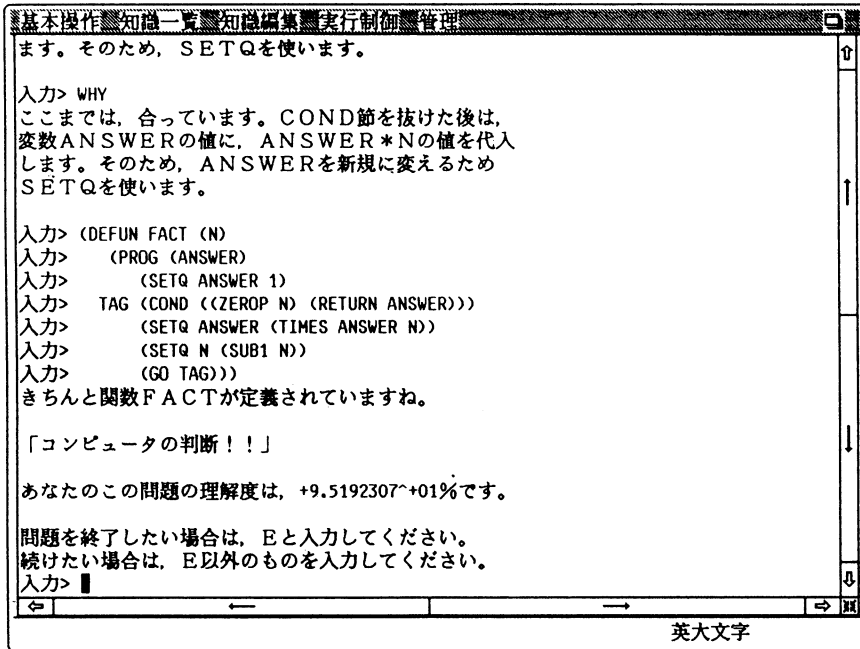


図-7 学習者の正解入力

このシステムをL項目（総合問題）の最後まで学習すると、LISP習得における総理解度を表示するようにしてあり、それに応じて自分の不十分な部分を何度も繰り返して学習できるようにしている。

## 6. おわりに

本研究では、LISP言語を用いてLISP教育用ICAIシステムの開発を行った。本システムでは、ICAIシステムに要求される機能の1つである学習者の誤答の原因を同定する機能を持たせた事により、ある程度の成果を上げることができた。また、学習者の簡単な質問には、部分的に答えられるようになっている。学習者の理解度を正しく把握する機能もICAIの大切な要素であるが、簡潔な方法であるパーセントで理解度を表示するという事で機能を満たしている。また、学習者の理解度に応じた学習の進行をある程度制御できるようになっている。

本システムでは、ICAIに必要な3つのモジュールを持たせたことにより、システム全体としてもかなりまとめることができたと思われる。しかし、そのためにシステム自体が大きなものになり、他のワークステーションへの移植性に多少の課題が残った。

本システムは、富士通のワークステーションFACOM G-150Aを使用し、MACLISP系の言

語の UTILISP (University of Tokyo Interactive LIST Processor)<sup>14,15)</sup> を用いて構築した。

本システムは、1人が1台のワークステーションで使用する環境になっており、それによって、ハードウェアにいっさい手を加えることなくシステムを実行でき、また記憶容量についてもほとんど影響なく使用することができる。しかし、複数の学習者が同時にシステムを使用する場合には、各ワークステーション毎に本システムをインストールする必要がある。また、学生モデルデータが、使用したワークステーションに記憶されるため、学習者毎に使用するワークステーションが固定化される。そこで将来的には、多数の学習者がどのワークステーションからも自由に本システムを利用できるように、ホストコンピュータ FACOM M-380を介する構成に拡張することを計画している。

#### 参考文献

- 1) 和多田作一郎：人工知能を深める本，実務教育出版
- 2) 田村進一・柳原圭雄・唐沢 博：人工知能の世界，技術評論社
- 3) A. Barr and E. A. Feigenbaum 著，田中幸吉・淵 一博 監訳：人工知能ハンドブックⅡ，共立出版
- 4) AI ジャーナル，No. 4，UPU
- 5) G.L. サイモンズ著，粟田照平訳：パソコンエキスパート・システム その開発動向と応用の実際，啓学出版
- 6) 石田晴久：パソコン言語学，アスキー出版
- 7) 知的 CAI 最近の動向，情報処理，Vol. 29，No. 11，1988，情報処理学会
- 8) 上野晴樹：知識工学入門，オーム社
- 9) 黒川利明：LISP 入門，培風館
- 10) 中西正和：Lisp 入門 一第3版一，近代科学社
- 11) ダビット・S. トーレッキー著，小川昭子訳：LISP やさしい記号計算入門，啓学出版
- 12) P. H. ウィンストン・B. K. P. ホーン著，白井良明・安部憲広訳：LISP，培風館
- 13) 山本博資・橋爪正樹：パソコンによる LISP 入門 一増補版一，森北出版株式会社
- 14) FACOM SX/G LISP 説明書 一UTILISP 仕様一，エディション11/30A，富士通
- 15) 名古屋大学大型計算機センターニュース，第66号，Vol. 16，No. 2，1985. 5

# The design of logic programming learning system with Prolog

Hiroyoshi BABA, Toshikazu KUROSHIMA and Ichiro SUGIOKA

## Abstract

The purpose of this research is to design a logic programming learning system as a type of computer-assisted instruction by adopting Prolog language. This system presents practical programming problems to students so that they can understand the concept of logic programming in a process of solving practical problems. This system has the feature that realizes multi-windows on screen that attracts students' interests for learning, and has the help function that corresponds to requests from students. By using the function, students are able to control the courseware in this system of their own accord.

## 1. Introduction

The concept of logic programming comes from a result knowledge and understanding both with regards to programming theory and logic in general. Strictly speaking, logic programming consists of a set of truth clauses and their logical reduction, but practically speaking, it is realized by two programming methods -- database and recursive functions<sup>1)</sup>. More concretely, logic programming is related to declarative programming based on static notation instead of procedural programming based on dynamic notation. Prolog language, that is derived from predicate logic, is available to execute logic programming in reality on a computer.

A computer operates various coursewares depending on the degrees of the students' understanding. Namely, it has some aspects that superior to human beings in education because it enables to show them the optimal learning steps in a courseware<sup>2)</sup>. This tutoring system is designed with Prolog and it has two control modes -- learner control mode and author mode. The students can change the mode in this system when they need some helps in learning.

## 2. Logic programming

### 2.1 Definitions

There are two kinds of definitions of logic programming<sup>3)</sup> :

- 1). Logic programming is to write a program using "logic programming language" based on pre-

dicate logic form.

2) Logic programming is to formalize a problem using logic forms and to produce a program under converting from the formalization.

The difference between their ways of thinking is that the first definitions stresses on the language itself while the second one stresses on the processes in making a program. In other words, the first logic program may include nonlogical expression and the second logic program may be written in a procedural language such as Pascal or FORTRAN. The common concept of logic programming is how describes a problem logically and how interprets such an logical expression procedurally.

On the other hand, Prolog is the language that can realize logic programming on a real computer. Also, it is the fact that Prolog language has some procedural expressions and it cannot cover all concepts of logic programming. But Prolog is the first programming language as the result of many years of the research of logic programming.

## 2.2 Database programming

Logic database consists of a set of facts and their rules. As an example, "Family" database is discussed here to describe database programming. When we define the relationship between 'father' and 'child' as one of facts, just define the following predicate:

father(Father, Child).

Instead of the above expression, when we define the relationship by using rules and suppose the relationship 'parent' and 'male' have already defined as facts, define a new rule as follows:

father(Dad, Child) : -parent(Dad, Child), male(Dad).

It means that if Dad is a parent of Child and Dad is a male, then Dad is a father of Child. From the viewpoint of logic, it is not significant that the relationship is defined whether as a fact or as a rule.

As an application of database programming, to arrange the structure of data is significant. By structurizing of data, it is possible to describe data which have more semantics and it is possible to rules more abstractly, in other words, the property of module in programming comes to be more important. When all of data are structurized well, a program has clearer perspective especially in the condition of programming of complicated problem.

## 2.3 Recursive programming

To apply mathematical functions in programming, it is necessary to have a kind of infinite structure in the program. Recursive data type can realize such an infinite structure and also can realize more elegant program as the result.

The following procedure is recursive because the last line is a call to the procedure itself<sup>4)</sup>.

Thus, any recursive procedure includes at least one of each of the following components:

- (1) A nonrecursive clause where the recursion stops;
- (2) A recursive rule. In the body of this rule, the first subgoals generate new argument values.

Then follows a recursive subgoal utilizing the new argument values.

## 2.4 Prolog

Prolog programming consists of a set of a following sentence:

$$A : -B1, B2, \dots, Bn.$$

"A" is the head of a sentence and "B1, B2, ....., Bn" are called the body of it. The symbol, ":-" is the same meaning as "if". This sentence can be classified three patterns as follows:

- 1). Facts. "A." (A is fact(true).)
- 2). Queries to the database. "? :- B1, B2, ..., Bn." (B1, B2, ..., Bn are fact(trues)?)
- 3). Rules. "A :-B1, B2, ..., Bn." (If B1, B2, ..., Bn are facts(trues), then A is fact(trues).)

These three patterns are called Horn clauses that are restricted predicate logic forms based on first order predicate logic.

## 3. Computer-assisted instruction

### 3.1 Learner control mode

As one of ways of computer-assisted instruction, learner control mode is a kind of student-driven system that students can learn subjectively, that is, the efficiency of learning is gained in the interaction between the students and computers. To do this, the following conditions are required:

- 1). To implement easily of the progress of courseware, the level of contents, and the choice of the direction of learning which the system prepares depending on the intention of the students' side.
- 2). To understand the requests and questions from the students in a natural language or in other ways of communication.

### 3.2 Author control mode

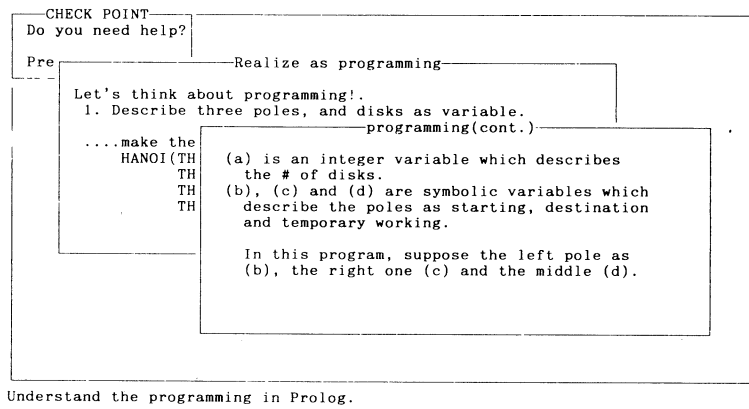
This mode is also called program-driven mode which means all of processes and stages are controlled in the courseware the author designed. So the students traverse the courseware under the author's guide. But it is hard to reflect students' desire in this control mode because all of the steps in the courseware have already been implemented.

## 4. Tutoring system

### 4.1 system environment

IBM PC true compatible computer (comptalk, Inc.) is used as Hardware environment, and Turbo Prolog which is a compiler of Prolog language and Turbo Prolog Toolbox which can enhance Turbo Prolog are used as software environment under MS-DOS Ver.3.3, an operating system.

This tutoring system has the feature that appears multi-windows on screen. Screen 1 shows an example of multi-window and that of a status line.



Screen. 1 An example of multi-windows.

### 4.2 Courseware

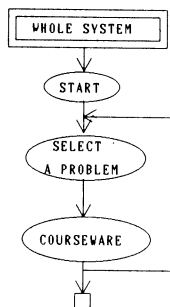


Fig. 1 A diagram of the whole system.

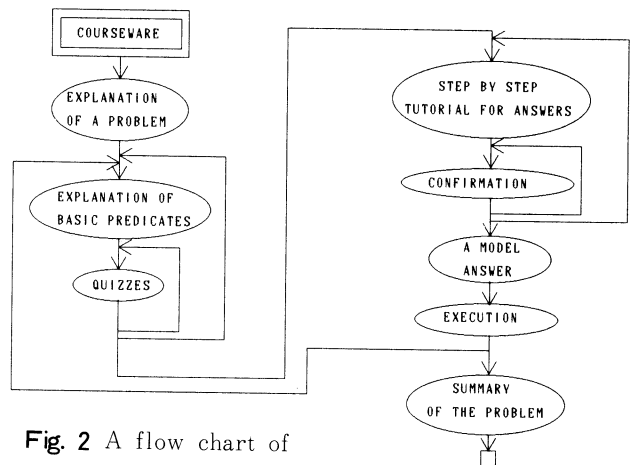


Fig. 2 A flow chart of courseware.

This tutoring system presents concrete programming problems to the students and the student will understand logic programming in a process how to solve practical programming problems.

Figure 1 shows the whole construction of the tutoring system. The diagram shows that students select a specific problem and the corresponding courseware opens. Once the student finishes a courseware, one can feedback to the stage that selects another problem depending on the student's intention. The tutoring system is closed if the student desires to quit to learn.

Figure 2 shows the flow chart of a courseware. Each step is realized on a screen by using a multi-window.

There are two stages in each courseware -- a fundamental part and a applicated part. The left side of the chart corresponds the fundamental part and the right side does the applicated one.

There are three steps in a fundamental part -- 'explanation of a problem', 'explanation of basic predicates' and 'quizzes'.

At the step 'explanation of a problem', the student makes sense an outline or rules of the specific problem one selected. The following step 'explanation of basic predicates' makes the student understand the specific some of predicates in Prolog programming that are required to solve the practical problem. And the student is able to deepen one's knowledge by answering quizzes operated the step 'quizzes'. The quizzes have a shape of multi-choices, namely, the student choose the proper choices by pressing the Return key seeing the menu on a screen.

Before finishing a fundamental part, some of feedbacks can be operated depending on the level of the students' understanding; the same quizzes are repeated until the student can find correct answer(s), otherwise, the student returns back to the step 'explanation of basic predicates' in order to review the correspond basic predicates.

There are five steps in an applicated part -- 'step by step tutorial for answers', 'confirmation', 'a model answer', 'execution' and 'summary of the problem'.

1) 'Step by step tutorial for answers'

After understanding of basic predicates, the student is led to the answer step-by-step under a top-down method.

2) 'Confirmation'

The student can confirm the approaches that a courseware presents by reiterating the same multi-windows or by using the help function on this stage. Like the last part of a fundamental part of a courseware, some of feedbacks will be operated between the stages 'step by step tutorial for answers' and 'confirmation'.

3) 'A model answer'

```

/* HANOIEXE.PRO */
Welcome to Towers of Hanoi!
Explan.(cont.)
oi
The object of the
the disks over to the ri
a time, so that they end
order on that pole. The
used as a temporary rest
but at no time is larger
a smaller one.
Execution of Towers of Hanoi
Input the number of disks3
Move a disk #1 from left to right
Move a disk #2 from left to middle
Move a disk #1 from right to middle
Move a disk #3 from left to right
Move a disk #1 from middle to left
Move a disk #2 from middle to right
Move a disk #1 from left to right

predicates
  hanoi(int
  move1(int
  Figur
    ****
    *****
    *
    *****
    *****
    *****
    *****
    *****
    *****
    *****
    *****
    *****
    *****
    *****
    *****
    *****
  
```

Here we can execute of this problem.

Screen. 2 An example of the stage of 'Execution'

The stage that the student can see through the whole programming list of the problem.

4) 'Execution'

The student executes the program of the specific problem one selected.

5) 'Summary of the problem'

As a summary of solving the problem, this stage presents a brief background of the problem, some supplements from a view point of logic programming, or formulas as the standard solving methods.

Before entering the final stage 'summary of the problem', if there are other solution of the problem, it is possible to occur feedback returns to the beginning of a fundamental part of the courseware. Screen 2 shows an example of the stage of 'Execution'.



### 4.3 File structure

There are ten different files that consist the tutoring system — 'main.pro', 'menu.pro', 'help.pro', 'compred.pro', 'dangcave.pro', 'nqueens.pro', 'hanoi.pro', 'caveexe.pro', 'queenexe.pro' and 'hanoiexe.pro'. The function of each file is described as follows:

1) 'main.pro'

This file contains a main menu of the system and sub menus for the problems which have plural solutions.

2) 'menu.pro'

This file is the software tool to realize a menu window on a screen.

3) 'compred.pro'

This file contains the explanations of basic predicates and quizzes for understanding their predicates.

4) 'help.pro'

This file organizes the help function of the tutoring system. When the student loses a way in the courseware toward the complete understanding of the problem, this file is called by the student's request. The file 'help.pro' provides a list of items in the problem using a menu window with the student, and make the student choose the topic that one should review. The student can open the file 'help.pro' by selecting the HELP in the menu that appears several times in each courseware.

5) 'dangcave.pro'

6) 'nqueens.pro'

7) 'hanoi.pro'

These files are the coursewares for learning the practical problems such as 'A DANGEROUS CAVE', 'N QUEENS PROBLEM' and 'TOWERS OF HANOI', respectively.

8) 'caveexe.pro'

9) 'queenexe.pro'

10) 'hanoiexe.pro'

These are the files that contain source lists for executing the problem 'A DANGEROUS CAVE', 'N QUEENS PROBLEM' and 'TOWERS OF HANOI'. These file are also compiled when the whole system is compiled at the same time because Turbo Prolog is a compiler, not an interpreter like other Prolog systems.

Figure 3 shows the relationship among all of files for the system by a diagraph chart. Arrows express which file includes others, namely, 'main.pro' includes six other files — 'menu.pro', 'help.pro', 'compred.pro', 'dangcave.pro', 'nqueens.pro' and 'hanoi.pro'. Also each file contains a course-

ware for the specific problem includes the file has its programming source list such that 'caveexe.pro' is included in 'dangcave.pro', etc.

Figure 4 shows the whole structure of the tutoring system. A student picks up one problem of the three, and if the problem has two different solutions, one chooses one of them by sub menu. Each 'problem' has its own courseware and it accesses a set of 'basic predicates' for fundamental parts of courseware, 'programming methods' for applied parts, general explanations' for the summary of the problem.

### 5. Consideration

On-screen multi-windows in this tutoring system generate two advantages: the one is that windows attract the student to the system, namely, they don't lose their interests. The other is that windows can indicate the end of each step in the specific courseware firmly by driving multi-windows one after another on a screen. It also helps the student to check until which step one reaches.

This tutoring system provides the student a help up to the student's request. By using this function, the student can control the courseware,

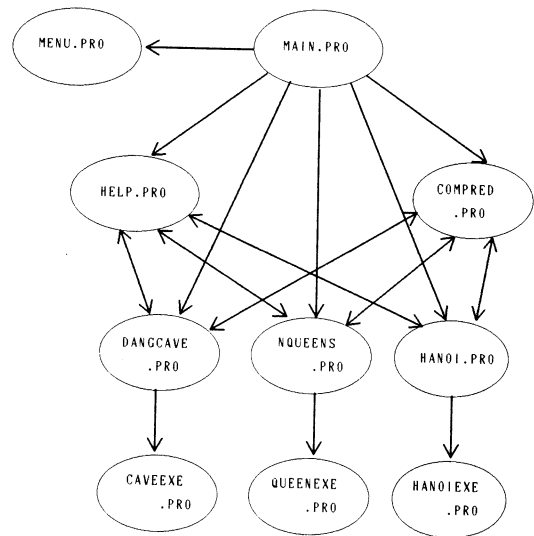


Fig. 3 A digraph of the relationship among files.

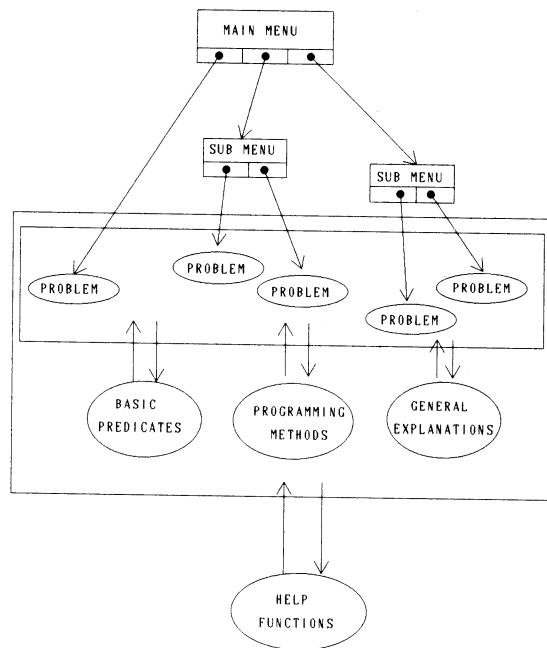


Fig. 4 The whole structure of system.

therefore, this tutoring system can be regarded as one of type of student-driven system.

But the concept of logic programming itself is still under researching and it is restricted to the use of Prolog only as the logic programming language in this system. It is also a firm fact that Prolog has some nonlogical functions and it cannot cover all the categories in logic.

This system has a help function for the student who need a help, but the function is operated by menu window, not by a true interactive condition such as natural languages. Therefore, this tutoring system does not understand the student's true request with or without one's ambiguous intention. To fulfill the purpose of designing true intellectual tutoring system, it may be required to arrange man-machine interactive communication feature in some of natural languages.

## 6. Conclusion

This tutoring system has an important aim to make students learn logic programming, not only to make them understand Prolog language, so that the student who uses this system can confirm the essential thought of Prolog and the reason why Prolog language should be available to realize logic programs on a computer. The method of this system which provides the student practical programming problems is able to be called 'top down method' so that the student can recognize the effects of one's learning with grasping the concrete purpose -- to solve the specific program. Also, the student is able to master some practical required techniques for logic programming such as database programming and recursive programming.

## References

- 1) Leon Sterling, Ehud Shapiro 著, 松田利夫訳: Prolog の技芸, 共立出版
- 2) 芦葉浪久著: CAI コースウェア作成技法, 東京書籍
- 3) 黒川利明著: Prolog のソフトウェア作法, 岩波書店
- 4) John Malpas: Prolog - A relational language and its applications, Prentice Hall

# On the Distributed Coupled-Line Digital Frequency Multipliers – Part I: the Frequency Domain Behaviour

Iwata SAKAGAMI

## Abstract

Functions of coupled-line type digital frequency multipliers are described from the aspect of frequency domain by using Fourier transforms. Discrete frequency components of both a train of periodical impulses and that of pulses are firstly introduced. It has been shown that the proposed multipliers act as a kind of passive filter, that is, certain discrete frequency components are eliminated and others are passed. Secondly, this paper has proved that the attenuation of the transmitted components is minimized in the frequency characteristics of coupled-line type multipliers. Lastly, referring to a train of Gaussian pulses, it has been demonstrated that the proposed multipliers can function well under the network transfer functions based on TEM wave approximations.

## 1. Introduction

The multiplication of pulse repetition frequencies in the microwave frequency bands distributed coupled-line networks has been reported, and experiments have shown good agreement with the predictions of network synthesis theory[1], [2]. In the process of network synthesis, it has been convenient to treat a train of input pulses as a train of impulses. This is so that the principle of the coupled-line type multipliers can be understood easily, and because the output responses from arbitrary input waveforms can be obtained by the convolution integral[3].

The train of impulses possesses equi-amplitude equi-spacing discrete frequency components over  $-\infty < \omega < \infty$ , but no problems crop up as far as the network transfer functions are concerned. Expressed by the delay operator  $z^{-1}$  or the Richards variable  $t = j \tan \theta$ , the network transfer functions have periodical frequency characteristics at all frequencies of  $-\infty < \omega < \infty$ . Therefore, conditions for the multiplication of the periodical impulses can be satisfied.

In general, the frequency characteristics in actual networks will show good agreement with those of the network transfer functions at the first or second period. However, as the frequency increases, the frequency characteristics stray from those of network transfer functions by the parasitic reactances at discontinuity interfaces or by conductor dielectric losses. Therefore, a pulse of finite duration should be introduced in real inputs and real networks as discussed at following sections.

The main topics here are: (i) discrete frequency components of periodical impulses, (ii) those of periodical pulses of finite duration, (iii) behavior of the proposed multipliers in the frequency domain, (iv) verification on the minimum insertion loss of the transmitted discrete frequency components, and (v) a train of Gaussian pulses.

## II. Frequency Components of a Train of Input Pulses

(i) Discrete frequency components of periodical impulses.

Fig.1(a) shows the constant-resistance n-section coupled-line network. Figs.1(b)(c) are the equivalent circuits. They are similar to Figs.4(b)(c) in [2], differing in the position of  $b_i$ . Fig.1 will be explained in section IV again. Refs.[1,2] have shown three kinds of multipliers with regard to Fig.1(a). Figs. 2, 3 and 4 are the most simple input/output responses. They are realized by 1-section and 2-section networks in Fig.1(a).

In general, a train of unipolar impulses and a train of bipolar impulses are represented by[4]

$$a_n^+(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta(t-kT) \quad (1a)$$

$$a_n^-(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} (-1)^k \delta(t-kT) \quad (1b)$$

The Fourier transforms of (1) are

$$\mathcal{F}[a_n^+(t)] = \omega^+ \sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta(\omega - k\omega^+) \quad (2a)$$

$$\mathcal{F}[a_n^-(t)] = \omega^+ \sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta\left\{\omega - \frac{(2k+1)\omega^+}{2}\right\} \quad (2b)$$

where  $\omega^+ = 2\pi/T$ .  $T$  is the impulse interval. Although the period of (1a) is  $T$ , that of (1b) is treated as  $2T$  in this paper. When eqs.(1) are applied to port  $A_1$  in Fig.1(a),  $T$  must be  $T=2(n+1)\tau$ , where  $\tau$  is a time delay in the line length  $\ell$ .

The transient responses will be over in several nanoseconds in distributed networks of microwave frequency bands[5]. Therefore let eqs.(1) be incident impulse trains covering  $-\infty < t < \infty$ . In (1), it is assumed that a positive polarity impulse comes to port  $A_1$  at  $t=0$ . Eqs.(2) show that the unit  $1 \pm 1$  impulse trains possess discrete frequency components of equi-amplitude  $\omega^+$  and equi-spacing  $\omega^+$

(ii) Discrete frequency components of periodical unipolar pulses.

Now let us consider a train of pulses  $v_{Tr}(t)$  [for instance, see Fig.5]. It is assumed that the constituent single pulse  $v(t)$  is time-limited and the duration is less than  $2\pi$  in order that the pulses not overlap at output port  $A_2$ . Designating the Fourier transform of  $v(t)$  by  $V(\omega)$ ,

$$v(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} V(\omega) \exp(j\omega t) d\omega \quad (3a)$$

$$V(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} v(t) \exp(-j\omega t) dt \quad (3b)$$

Let  $t_0$  be an arbitrary real number. As  $v(t)$  can be expressed as a linear combination of  $\exp(jk\omega^+t)$  on interval  $(t_0, t_0+T)$ , the linear combination of  $v_{Tr}(t)$  holds on  $(-\infty < t < \infty)$ .

$$v_{Tr}(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} V_k(k\omega^+) \exp(jk\omega^+t), \quad (-\infty < t < \infty) \quad (4a)$$

$$V_k(k\omega^+) = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} v(t) \exp(-jk\omega^+t) dt \quad (4b)$$

Using (3b), (4b) and an assumption that  $v(t)$  is zero on  $|t| > T/2$ ,

$$V_k(k\omega^+) = V(k\omega^+)/T \quad (5)$$

Therefore (4a) and the Fourier transform are

$$v_{Tr}(t) = \frac{1}{T} \sum_{k=-\infty}^{\infty} V(k\omega^+) \exp(jk\omega^+ t), \quad (-\infty < t < \infty) \quad (6a)$$

$$\mathcal{F}[v_{Tr}(t)] = \omega^+ \sum_{k=-\infty}^{\infty} V(k\omega^+) \delta(\omega - k\omega^+) \quad (6b)$$

Thus, the Fourier series expansion of periodic pulses can be obtained by using the Fourier transform of single pulse  $v(t)$ . It is seen that (6b) is given by the product of (2a) and  $V(\omega)$

(iii) Discrete frequency components of periodical pulses.

Let us consider the periodical bipolar pulses [for instance, see Fig.6] When  $w(t)$  consists of positive single pulse  $v(t)$  and negative single pulse  $-v(t-T)$ ,

$$w(t) = \begin{cases} v(t) - v(t-T), & (-t_0 \leq t \leq 2T - t_0) \\ 0, & (t < -t_0, t > 2T - t_0) \end{cases} \quad (7a)$$

$$W(\omega) = \mathcal{F}[w(t)] = V(\omega) \{1 - \exp(-j\omega T)\} \quad (7b)$$

Let a train of bipolar pulses consisting of  $w(t)$  be  $w_{Tr}(t)$ , and the period be  $2T$ . Similarly to (4a) and (4b),

$$w_{Tr} = \sum_{k=-\infty}^{\infty} W_K(k\omega^+/2) \exp(jk\omega^+ t/2), \quad (-\infty < t < \infty) \quad (8a)$$

$$W_K(k\omega^+/2) = \frac{1}{2T} \int_{-t_0}^{2T-t_0} w(t) \exp(-jk\omega^+ t/2) dt \quad (8b)$$

At  $-t_0 \rightarrow -\infty$ ,  $2T-t_0 \rightarrow \infty$  in (8b),

$$W_K(k\omega^+/2) = W(k\omega^+/2)/2T, \quad (9)$$

From (7b),

$$W_K(k\omega^+/2) = \begin{cases} 0 & (k:\text{even number}) \\ V(k\omega^+/2)/T & (k:\text{odd number}) \end{cases} \quad (10)$$

Therefore  $w_{Tr}(t)$  and the Fourier transform are written by

$$w_{Tr}(t) = \frac{1}{T} \sum_{k=-\infty}^{\infty} V\{(2k+1)\omega^+/2\} \exp\{j(2k+1)\omega^+ t/2\}, \quad (-\infty < t < \infty) \quad (11a)$$

$$\mathcal{F}[w_{Tr}(t)] = \omega^+ \sum_{k=-\infty}^{\infty} V\left\{\frac{(2k+1)\omega^+}{2}\right\} \delta\left\{\omega - \frac{(2k+1)\omega^+}{2}\right\} \quad (11b)$$

Similarly to the results of (6b), the train of periodical bipolar pulses can be represented using the Fourier transform  $V(\omega)$ , and (11b) is equal to the product of (2b) and  $V(\omega)$ .

### III. Behavior of the Coupled-Line Type Multipliers in the Frequency Domain

(i) The case of faster unipolar pulses of time interval  $2\tau$  being output from input unipolar pulses of time interval  $2(n+1)\tau$ .

The examples of this case (i) are given by Fig.10 in [1], Figs.2(a)(b) and Figs.3(a)(b).

The network transfer function of Fig.1(a) is written as [1],[2]

$$\Gamma_n(z) = \sum_{k=0}^n q_k z^{-k} / \left\{ 1 + \sum_{k=1}^n p_k z^{-k} \right\} \quad (12)$$

where  $z^{-1} = \exp(-2j\omega\tau)$ .

The conditions for the faster unipolar output impulses and output amplitude  $S_d$  were described in (22) of [1]. Using the same notations as in [2],

$$q_0 = q_1 = \dots = q_n, \quad (13a)$$

$$S_d = q_0 / \left\{ 1 + \sum_{k=1}^n p_k \right\} \quad (13b)$$

Let the numerator of (12) be  $f_2(z^{-1})$ . From (13a),

$$f_2(z^{-1}) = q_0 (1 + z^{-1} + \dots + z^{-n})$$

Here  $(1 - z^{-1})f_2(z^{-1}) = q_0 \{1 - z^{-(n+1)}\}$  holds. Using  $\omega^+ = \pi / (n+1) \tau$ , the transmission zeros and their angular frequencies are given by

$$z_k = \exp \{ j 2 \pi k / (n+1) \} = \exp \{ 2j (k \omega^+) \tau \} \quad (14a)$$

$$\omega_k = k \omega^+ \quad (14b)$$

where  $k \neq m(n+1)$ ;  $k, m$ : integer.

Comparing (14b) with (2a) and (6b), it is seen that discrete frequency components of input unipolar impulse trains (or pulse trains) correspond to network transmission zeros, except for the case of  $k = m(n+1)$ . Therefore, the penetration of input impulse trains (or pulse trains) arises at  $k = m(n+1)$ . From (14b) and  $T = 2(n+1) \tau$ , the transmitted angular frequency components can be given by

$$\omega_t = m \pi / \tau \quad (15)$$

(15) is equivalent to  $z = 1$ . One period of (12) corresponds to one turn on the unit circle of  $z$ -plane, that the insertion loss at (15) is constant.

$$\Gamma_n(z^{-1}) \Big|_{z=1} = (n+1) S_d \quad (16)$$

Referring to (2a), as the amplitude is  $\omega^+$ , the amplitude of transmitted frequency components is given by

$$\omega^+(n+1) S_d = \pi S_d / \tau \quad (17)$$

By (15) and (17), the discrete output responses in the frequency domain can be written as

$$\frac{\pi}{\tau} S_d \sum_{m=-\infty}^{\infty} \delta \left( \omega - \frac{m \pi}{\tau} \right) \quad (18)$$

This equation also represents the Fourier transform of an output unipolar impulse train of time interval  $2 \tau$

Fig.7 shows the transmitted frequency characteristics of Fig.9 in [1]. The center frequency  $f_0$  was 192[MHz]. About 4 periods of the frequency characteristics are photographed. According to II(ii), because  $\omega^+ = 2 \pi f_0$ , the discrete frequency components of the input unipolar pulse train which was given by Fig.10(a) in [1] are located just at frequencies of the maximum and minimum attenuation. The discrete frequency components at the maximum attenuation are rejected, and those of minimum are transmitted to the output port along with network insertion losses. In this way, the resultant output pulse train become twice as fast as input one.

Ref.[2] has shown two other functions:

- (ii) The case of faster bipolar pulses of time interval  $2 \tau$  being output from input unipolar pulses of time interval  $2(n+1) \tau$ .

The input and output relations in Figs.2(a)(c) of this paper and Figs.8(a)(b) of [2] are the examples of this case(ii).

The realization conditions and the output amplitude  $S_p$  were given in (14) of [2].

$$q_0 = -q_1 = q_2 = \dots = -q_n \quad (19a)$$

$$S_t = q_0 / \left\{ 1 + \sum_{k=1}^n (-1)^k p_k \right\} \quad (19b)$$

$n$ : odd number

Further explanations of this case will be omitted.

- (iii) The case of faster bipolar pulses of time interval  $2\tau$  being output from input bipolar pulses of time interval  $2(n+1)\tau$ .

Figs.8(b)(c) in [2] and Fig.4 of this paper are the example of this case (iii).

The frequency domain behaviours will be described below, although the discussions are similar to cases of (i) and (ii).

The realization conditions and the output amplitude  $S_p$  were given in (22) of [2].

$$q_0 = -q_1 = q_2 = \dots = q_n \quad (19a)$$

$$S_p = q_0 / \left\{ 1 + \sum_{k=1}^n (-1)^k p_k \right\} \quad (19b)$$

$n$ : even number

As the numerator of (12) is given by  $f_2(z^{-1}) = q_0(1 - z^{-1} + z^{-2} - \dots + z^{-n})$ ,  $(1 + z^{-1})f_2(z^{-1}) = q_0 \{ 1 + z^{-(n+1)} \}$  holds. Therefore the transmission zeros and the angular frequencies are

$$z_k = \exp \{ j(2k+n+1)\pi / (n+1) \} = \exp \{ 2j \cdot \frac{(2k+n+1)\pi}{2(n+1)\tau} \cdot \tau \} \quad (20a)$$

$$\omega_k = (2k+n+1)\omega^+ / 2 \quad (20b)$$

$k \neq m(n+1)$ ;  $k, m$ : integer

Comparing (20b) with (2b) and (11b), it will be understood that the discrete frequency components of input bipolar impulse trains (or pulse trains) coincide with network transmission zeros, except for the case of  $k = m(n+1)$ . Therefore, the generation occurs at  $k = m(n+1)$ . The transmitted angular frequency components can be given by

$$\omega_i = (2m+1)\pi / 2\tau \quad (21)$$

(21) corresponds to  $z = -1$ , and the insertion loss at (21) is

$$\Gamma_n(z^{-1}) \Big|_{z=-1} = (n+1)S_p \quad (22)$$

Since the amplitude of (2b) is  $\omega^+$ ,

$$\omega^+(n+1)S_p = \pi S_p / \tau \quad (23)$$

Thus, the discrete output responses in the frequency domain can be written by

$$\frac{\pi}{\tau} S_p \sum_{m=-\infty}^{\infty} \delta \left\{ \omega - \frac{(2m+1)\pi}{2\tau} \right\} \quad (24)$$

(24) represents the Fourier transform of an output bipolar impulse train of time interval  $2\tau$ .

Fig.8 shows theoretical frequency characteristics of 2-section coupled line digital frequency triplers. The solid curve and the chain curve indicate the cases of (i) and (iii), respectively. In the case of chain curve, the input bipolar impulse train possesses the normalized discrete frequency components  $1/3, 1, 5/3$  in the first period of  $0 \leq f/f_0 < 2$ . The frequency components  $1/3$  and  $5/3$  are rejected by the network, and the frequency components  $f/f_0 = 1$  transmits to output port. The transmitted frequency components are  $\pm 1, \pm 3, \pm 5, \dots$  at all frequency bands, and these components will form a three times faster impulse train than input.

The reader may wonder whether the distributed line networks could not satisfy the specified frequency characteristics at all frequencies, since the network transfer functions are based on the TEM wave approximations, and moreover the train of impulses is not an actual one. However, this question is answered in the light of (2), (6b) and (11b). In the case of a pulse train whose consti-



tuent pulses have finite duration, the amplitudes of discrete frequency components are determined by  $\omega^{-1}V(\omega)$ . In general, the Fourier transform  $V(\omega)$  of single pulse  $v(t)$  converges to zero as the frequency increases. Therefore if the energy of input pulse trains concentrates on the region of the specified frequency characteristics being satisfied, the proposed multipliers function well [See last section VI].

#### IV. The Non-Negative Constant

In this section, the non-negative constant will be taken up in preparation for discussion of the minimum instruction loss in the next section. The non-negative constant is occasionally used in the synthesis of cascaded transmission line networks[6],[7]. The physical nature will be clarified.

Let us start at different derivations of network transfer functions from (3) and (4) in [2]. The reflection and transmission coefficients of the network shown in Fig.1(a) are defined as

$$\Gamma_n(z^{-1}) = b_0/a_0 \quad (25a)$$

$$T_n(z^{-1}) = c_\ell/a_0 \quad (25b)$$

(25a) is the same as network transfer function from port  $A_1$  to port  $A_2$ .

In Figs.1(b)(c), the  $a_0, b_0, a_1, b_1, \dots, a_n, b_n, c_\ell$  are the power waves[8]. The  $r_{ei}$  and  $t_{ei}$  ( $i=1, 2, \dots, n+1$ ) are defined in the same way as in [1,2] and represent the reflection transmission coefficients at the  $i$ th interface. Paying attention to the  $a_m, b_m, a_{m+1}, b_{m+1}$  at the  $(m+1)$  -section in Fig.1(b) or (c),

$$\begin{bmatrix} z^{-1}a_m \\ z^{-1/2}b_m \end{bmatrix} = \frac{1}{t_{e,m+1}} \begin{bmatrix} 1 & r_{e,m+1}z^{-1} \\ r_{e,m+1} & z^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z^{-1/2}a_{m+1} \\ b_{m+1} \end{bmatrix}$$

Therefore the relation of  $a_1, b_1, a_n, b_n$ , is given by

$$\begin{bmatrix} z^{-n/2}a_1 \\ z^{-(n-1)/2}b_1 \end{bmatrix} = \frac{1}{\mu'} \left\{ \prod_{m=2}^n \begin{bmatrix} 1 & r_{em}z^{-1} \\ r_{em} & z^{-1} \end{bmatrix} \right\} \begin{bmatrix} z^{-1/2}a_n \\ b_n \end{bmatrix} \quad (26)$$

where  $\mu' = (t_{e2}t_{e3} \dots t_{en})$ .

On  $a_0, b_0, a_1, b_1$  at first section,

$$\begin{bmatrix} z^{-(n+1)/2}a_0 \\ z^{-(n+1)/2}b_0 \end{bmatrix} = \frac{1}{t_{e1}} \begin{bmatrix} 1 & r_{e1}z^{-1} \\ r_{e1} & z^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z^{-n/2}a_1 \\ z^{-(n-1)/2}b_1 \end{bmatrix}$$

At the place of conductance  $g_1$ ,

$$\begin{bmatrix} z^{-1/2}a_n \\ b_n \end{bmatrix} = \frac{z^{-1/2}c_\ell}{t_{e,n+1}} \begin{bmatrix} 1 \\ r_{e,n+1} \end{bmatrix}$$

These conditions lead (26) to

$$\begin{bmatrix} z^{-(n+1)/2}a_0 \\ z^{-(n+1)/2}b_0 \end{bmatrix} = \frac{z^{-1/2}c_\ell}{\mu} \left\{ \prod_{m=1}^n \begin{bmatrix} 1 & r_{em}z^{-1} \\ r_{em} & z^{-1} \end{bmatrix} \right\} \begin{bmatrix} 1 \\ r_{e,n+1} \end{bmatrix} \quad (27)$$

where  $\mu = (t_{e1}t_{e2} \dots t_{e,n+1})$ .

Calculating the matrices inside the  $\{\}$ , the resultant elements  $f_1(z^{-1})$  and  $f_2(z^{-1})$  are  $n$ -th order polynomials of  $z^{-1}$  whose coefficient of each term is composed of products and sums of  $r_{em}$  ( $m=1, 2, \dots, n$ ). Therefore, (27) can be rewritten as

$$\begin{bmatrix} z^{-(n+1)/2}a_0 \\ z^{-(n+1)/2}b_0 \end{bmatrix} = \frac{z^{-1/2}c_\ell}{\mu} \begin{bmatrix} f_1(z^{-1}) \\ f_2(z^{-1}) \end{bmatrix} \quad (28)$$

From (25) and (28),

$$\Gamma_n(z^{-1}) = f_2(z^{-1})/f_1(z^{-1}) \quad (29a)$$

$$T_n(z^{-1}) = \mu z^{-n/2}/f_1(z^{-1}) \quad (29b)$$

In Fig.1(b), regarding the even mode cascaded transmission-line(EMCTL) between  $1 - 1_1$  and  $(n+1) - (n+1)_1$  as a black-box,  $a_0$ ,  $b_0$  and  $c_\ell$  respectively represent the incident, reflected and transmitted power waves of the black-box. As the conductance  $g_1$  is not inculded and the EMCTL is lossless,  $|a_0|^2 = |b_0|^2 + |c_\ell|^2$ . Therefore, from (25) and (29),

$$f_1(z^{-1})f_1^*(z^{-1}) - f_2(z^{-1})f_2^*(z^{-1}) = \mu^2 \quad (30)$$

\* : complex conjugate

In this way, it has been demonstrated that the non-negative constant stated in [6],[7] is given by the square of the product of the transmission coefficient at the discontinuity interface of each unit element.

## V. The Minimum Insertion Losss

According to three capabilities as digital frequency multipliers, the numerators of (29a) are given by

$$(i) \quad f_2(z^{-1}) = q_0(1 + z^{-1} + \dots + z^{-n})$$

$$(ii) \quad f_2(z^{-1}) = q_0(1 - z^{-1} + \dots - z^{-n})$$

n:odd number

$$(iii) \quad f_2(z^{-1}) = q_0(1 - z^{-1} + \dots + z^{-n})$$

n:even number

Values of the above-mentioned three equations are respectively equal to

$$f_2(z^{-1}) \big|_{z=\pm 1} = q_0(n+1) \quad (31)$$

at  $z=1, -1, -1$ . Here  $q_0 = r_{e1}$ , and  $0 < r_{e1} < 1$  holds as  $r_{e1}$  represents a reflection coefficient at the discontinuity interface  $1 - 1_1$  in Fig.1(b). Taking the triangle inequality to the three numerators,

$$\begin{aligned} & |q_0(1 + z^{-1} + z^{-2} + \dots + z^{-n})| \\ & \leq q_0(1 + |z^{-1}| + \dots + |z^{-n}|) = q_0(n+1) \end{aligned} \quad (32)$$

Dividing (30) by  $f_1(z^{-1})f_1^*(z^{-1})$

$$\Gamma_n(z^{-1})\Gamma_n^*(z^{-1}) = 1 - \mu^2/f_1(z^{-1})f_1^*(z^{-1}) \quad (33)$$

(31) indicates a maximum value. Also  $f_1(z^{-1})f_1^*(z^{-1})$  reaches a maximum due to (30). As a result, (33) gives the value which is the closest to 1. Represented by  $-10\log \Gamma_n(z^{-1})\Gamma_n^*(z^{-1})$ , the attenuation of the discrete transmitted frequency components is the minimum in the frequency characteristics of the proposed coupled-line type multipliers

## VI. Discrete Frequency Components of a Train of Gaussian Pulses

Let  $v(t)$  described in II.(ii) be a Gaussian pulse. Then, the Fourier transform of  $v(t)$  is also Gaussian, and (3) can be given by

$$v(t) = \left\{ \frac{1}{2\pi(\Delta t)^2} \right\}^{1/4} \exp\left\{ -\left(\frac{t}{2\Delta t}\right)^2 \right\} \quad (34a)$$

$$V(\omega) = \left\{ \frac{2\pi}{(\Delta \omega)^2} \right\}^{1/4} \exp\left\{ -\left(\frac{\omega}{2\Delta \omega}\right)^2 \right\} \quad (34b)$$

where  $\Delta t$  and  $\Delta \omega$  are called effective duration and effective bandwidth. It is known that more than 99.7% of total energy is included in the range of  $|t| < 3\Delta t$  or  $|\omega| < 3\Delta \omega$ . In the case

of a Gaussian pulse, from the uncertainty relation [9],[10] (See Appendix),

$$\Delta t \cdot \Delta \omega = 0.5 \quad (35)$$

Because of

$$\int_{-\infty}^{\infty} |v(t)|^2 dt = 1,$$

the total energy of (34) is 1.

The Fourier series expansion and its Fourier transform to a train of Gaussian pulses can be obtained by substituting (34) into (6) or (11). As seen from (34), the Gaussian pulse could not be called a time-limited pulse waveform in a strict sense. However, assuming both the edges of the waveform represented by (34) reach zero, so that no overlap occurs with adjacent pulses, we can acknowledge following equations with respect to (6a) and (11a):

$$\int_{-T/2}^{T/2} |v_{Tr}(t)|^2 dt = 1$$

$$\int_{-T/2}^{T/2} |w_{Tr}(t)|^2 dt = 1$$

The energy spectra of input pulse trains are given by multiplying the periods by the mean power of periodical pulses. Therefore:

(a) in the case of a train of unipolar Gaussian pulses

$$\frac{\sqrt{2\pi}}{T \Delta \omega} \sum_{k=-\infty}^{\infty} \exp\{- (k \omega^+ / \Delta \omega)^2 / 2\} = 1 \quad (36a)$$

(b) in the case of a train of bipolar Gaussian pulses

$$\frac{\sqrt{2\pi}}{T \Delta \omega} \sum_{k=-\infty}^{\infty} \exp[- \{(2k+1) \omega^+ / 2 \Delta \omega\}^2 / 2] = 1 \quad (36b)$$

However, (36b) is obtained by multiplying the half-period  $T$  by the mean power. The energy spectra are also discrete and given by each term of the left sides of (36) [See Fig.9(b) and Fig.10(b), where negative components are omitted].

In Fig.8(a) of [2], the pulse width generated by P. G. was around 1.1nsec. Assuming a train of Gaussian pulses with period  $T = 5.2$ nsec, fundamental frequency  $f^+ = 192$ MHz and pulse width  $3 \Delta t = 0.55$ nsec, as shown in Fig.5, almost all the energy (99.63%) of the Gaussian pulse train concentrates within  $3 \Delta f$ . Here,  $3 \Delta f = 1.3$ GHz due to (35). Figs.9(a)(b) indicate the frequency characteristics of the test circuit A of [2], and the energy spectrum of Fig.5. In Fig.9(b),  $f_0$  indicates the direct current(DC) component and  $f_1 = f^+$ ,  $f_2 = 2f^+$ , ... hold. For the design of proposed multipliers, it is desirable that the frequency characteristics are satisfied in the region of  $0 - 1.3$ GHz. As seen from Fig.1 in [2], test circuit A is a directional coupler, which cuts off the DC component completely. The frequency components  $f_2, f_4, \dots$  in Fig.9(b) are rejected, and others  $f_1, f_3, \dots$  transmit to output port  $A_2$ . In this way, output pulses can be formed twice as fast as input.

Similar arguments are valid in test circuit B in [2]. Figs.10(a)(b) show the frequency characteristics of test circuit B, and the energy spectrum of Fig.6, respectively. As seen from (36b), the DC component is not included in the train of bipolar pulses. Comparing both figures, it is understandable that  $f_1, f_3, f_4, \dots$  are rejected and  $f_2, f_5, \dots$  penetrate to output port  $B_2$ . Higher frequencies than  $f_5$  can safely be neglected. According to the consideration from the frequency domain, it can be said that most of the waveform in Fig.8(c) of [2] comes from the transmitted discrete frequency component  $f_2$ . The pulse width being shortened, the frequency domain spectra spread to higher bands.

As a result, the continuous waveform in Fig.8(c) of [2] is separated into single pulses.

Referring back to Fig.8, the frequency characteristics have two different peak values in a period: for a chain line, one is at  $f/f_0=1$ , and the other is at  $f/f_0=0$  (or  $=2.0$ ). The same thing can be said in Fig.10(a). The verification in section V ensures that attenuation of the transmitted components is a minimum even if the frequency characteristics have different peak values within a period.

## VII. Conclusions

A train of periodical impulses consists of equi-amplitude equi-spacing discrete frequency components. On the other hand, in case of a train of periodical pulses, it possesses the same discrete frequency components as that of impulses, but the amplitudes are different and are given by the Fourier transform of the constituent single pulse waveform. Therefore, generally, as the frequency is increased, the amplitudes are close to zero. Regarding the input pulses generated by the pulse generator as Gaussian pulses of duration 1.1nsec, the frequency band where almost all the energy of the train of Gaussian pulses concentrates is 0–1.3GHz. This fact means that the distributed coupled-line networks can be used as digital frequency multipliers even if the specified frequency characteristics are damaged in the higher frequency region.

In section III, functions of coupled-line type multipliers have been explained, and it has been shown that a coupled-line type multiplier works as a kind of a passive filter which eliminates certain discrete frequency components and transmits other components to the output port. As a result, the transmitted components from a train of output pulses with a higher repetition frequency than the input one in the time domain.

In section IV and V, it has been proved that attenuation of the transmitted components is the minimum.

The proposed multipliers have the drawback of lowering amplitude level and need amplitude amplifiers for actual use. Or, a train of higher amplitude level pulses should be input in advance in order to have necessary output level. However, it could be said that the multiplication by passive elements only would be worthy of note.

In part II, which will be presented in the near future, energy ratio at a specified frequency and computer output Simulation will be demonstrated with respect to Cosine half wave inputs.

### Appendix[9]

#### The Definition of $\Delta t$ and $\Delta \omega$

Under the condition of  $\int_{-\infty}^{\infty} t |v(t)|^2 dt = 0$ ,

$$(\Delta t)^2 \triangleq \int_{-\infty}^{\infty} t^2 |v(t)|^2 dt \quad (\text{A.1})$$

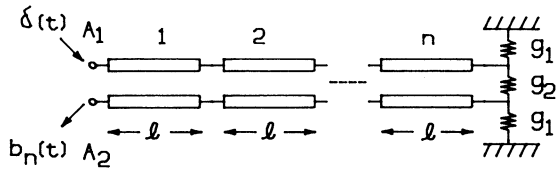
$$(\Delta \omega)^2 \triangleq \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \omega^2 |V(\omega)|^2 d\omega \quad (\text{A.2})$$

#### Uncertainty Relation

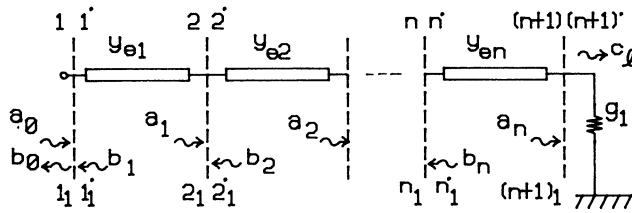
$$\Delta t \cdot \Delta \omega \geq 0.5 \quad (\text{A.3})$$

### References

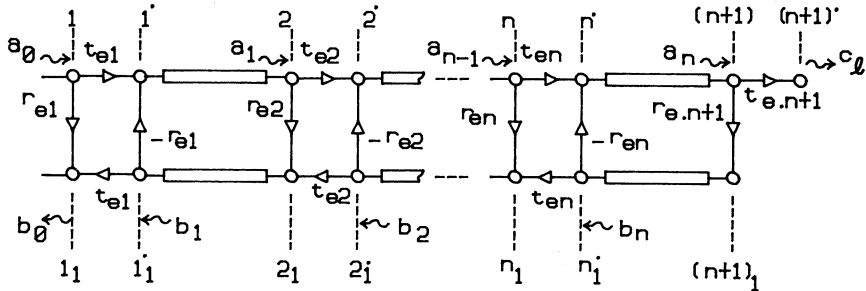
- [ 1 ] I.Sakagami, N.Miki, N.Nagai, and K.Hatori, "Digital frequency multipliers using multisection two-strip coupled line," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol.MTT-29, pp.118–122, Feb. 1981.
- [ 2 ] I.Sakagami, N.Nagai, and K.Hatori, "On Reducing the Period of Input Pulse Train Using Coupled-Line Networks," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol.MTT-35, pp.409–414, April 1987.
- [ 3 ] L.J.P.Linner, "Time domain analysis of commensurate distributed-line networks," IEEE Trans. Circuit Syst., vol.CAS-22, pp.334–343, April 1975.
- [ 4 ] B.P.Lathi, *Communication Systems*. New York:Wiley, 1977, ch.1.
- [ 5 ] G.F.Ross, "The transient analysis of certain TEM mode four-port networks," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol.MTT-14, pp.528–542, Nov. 1966.
- [ 6 ] A.Gersho and B.Kinariwara, "A synthesis algorithm for cascaded transmission lines", in Proc. 6th. Ann. Allerton Conf. on Circuit and Systems Theory, pp.889–897, Oct. 1968.
- [ 7 ] K.A.Boakye and O.Wing, "On the time-domain realizability conditions for cascaded transmission-line networks," IEEE Trans. Circuits Syst., vol.CAS-21, pp.387–391, May 1974.
- [ 8 ] K.Kurokawa, "Power waves and the scattering matrix," IEEE Trans. Microwave Theory and Tech., vol.MTT-13, pp.194–202, Mar. 1965.
- [ 9 ] T.Hosono, *Fundamentals of Information Engineering*. Corona Publishing, 1970.(in Japanese)
- [10] A.Papoulis, *The Fourier Integral and Its Applications*. New York, McGraw-Hill, 1962.



(a)



(b)



(c)

Fig. 1 (a) A constant-resistance n-section coupled-line network.  
 (b) An even mode equivalent circuit.  
 (c) An equivalent signal flow graph.

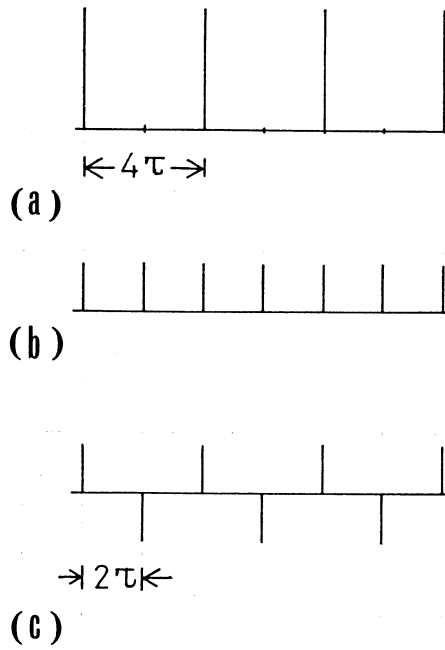


Fig. 2 Input/output responses in case of  $n=1$ .

- (a) A train of input unipolar impulses.
- (b) Output unipolar impulses - In case of Section III(i).
- (c) Output bipolar impulses - In case of Section III(ii).

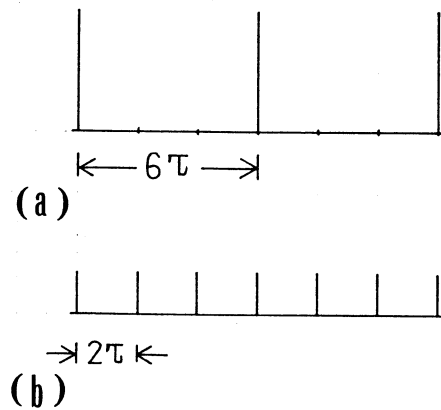


Fig. 3 Input/output responses in case of  $n=2$ .

- (a) A train of input unipolar impulses.
- (b) Output unipolar impulses - In case of Section III(i).

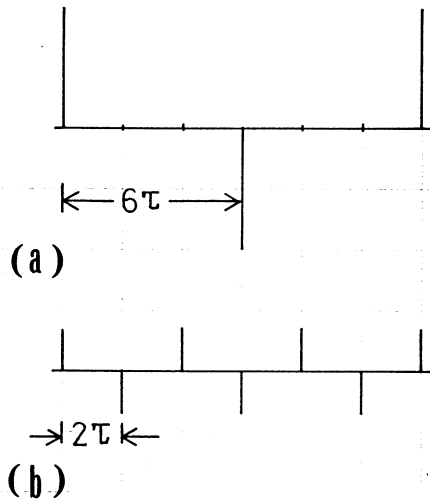


Fig. 4 Input/output responses in case of  $n=2$ .  
 (a) A train of input bipolar impulses.  
 (b) Output bipolar impulses - In case of Section III(iii).

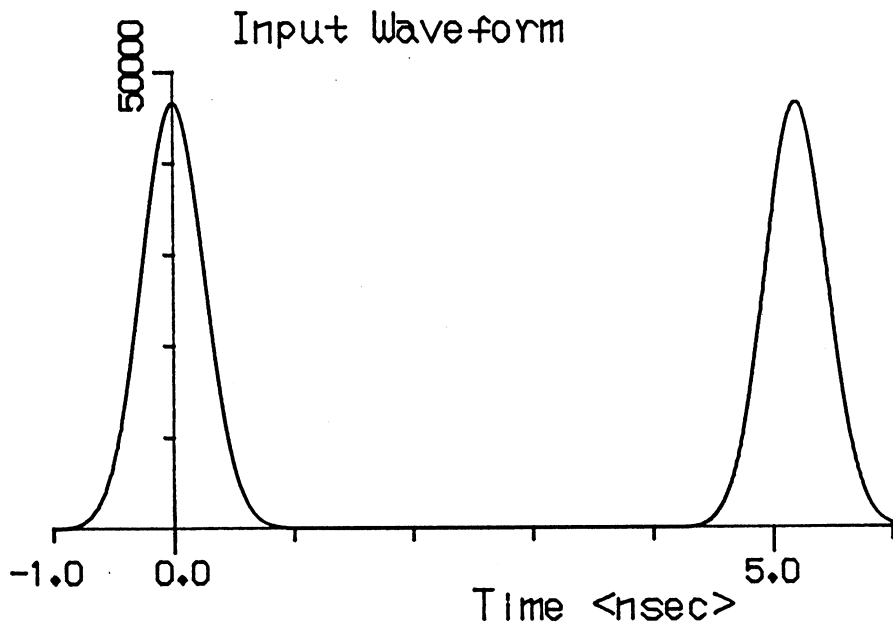


Fig. 5 A train of unipolar Gaussian pulses.



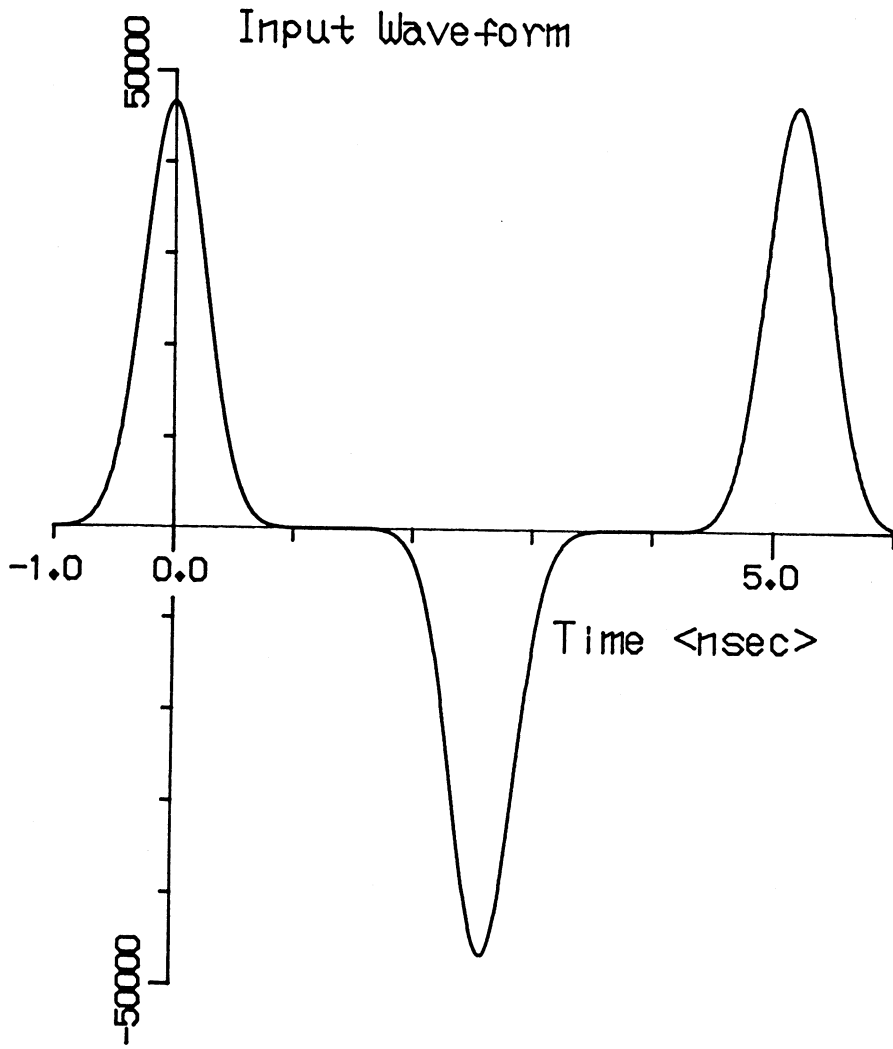


Fig. 6 A train of bipolar Gaussian pulses.

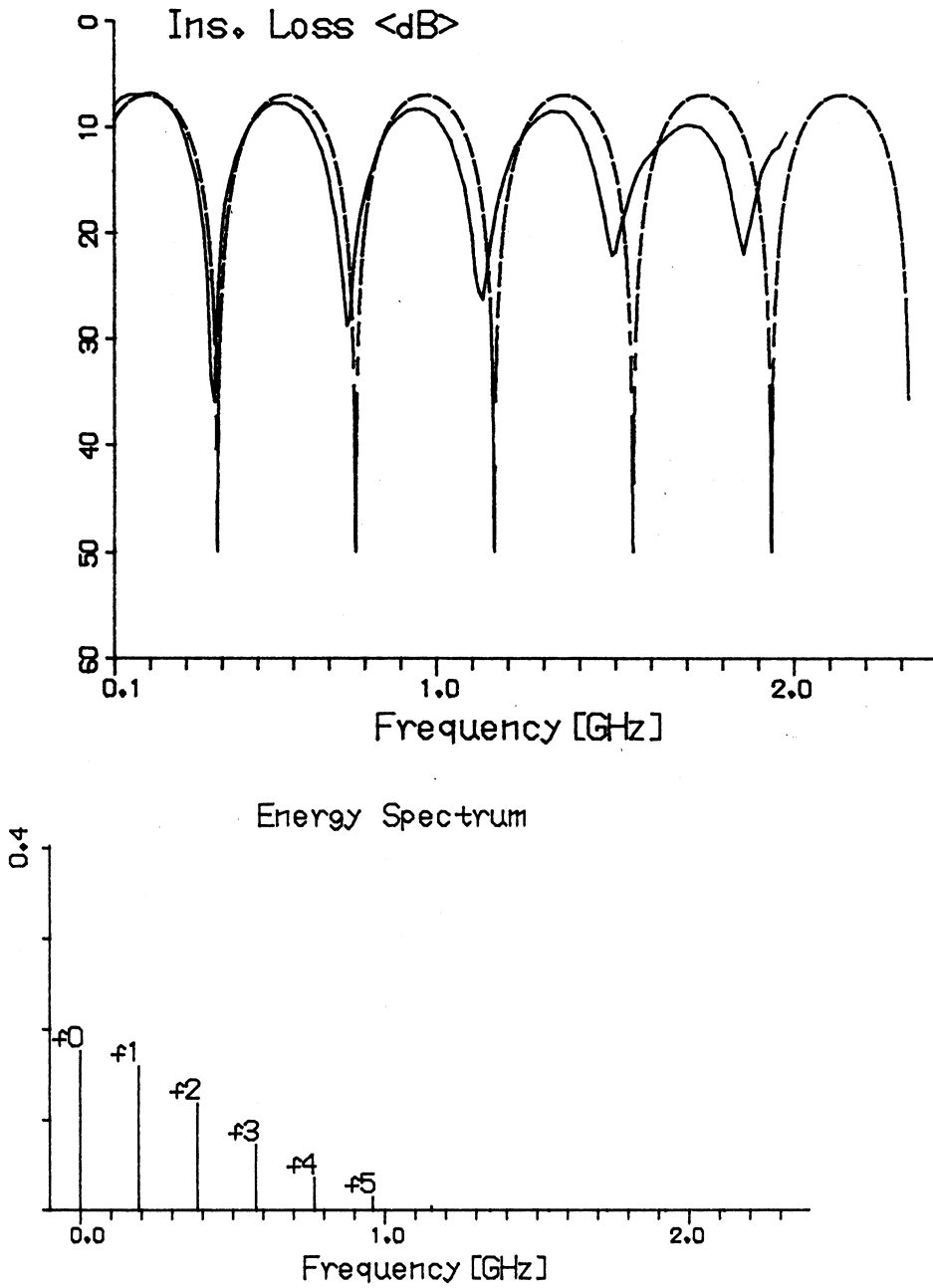


Fig. 9 (a) Frequency characteristics of the test circuit A in [2].  
Solid line : measurement. Broken line : theory.  
(b) Energy spectrum of input pulse train in Fig. 5.

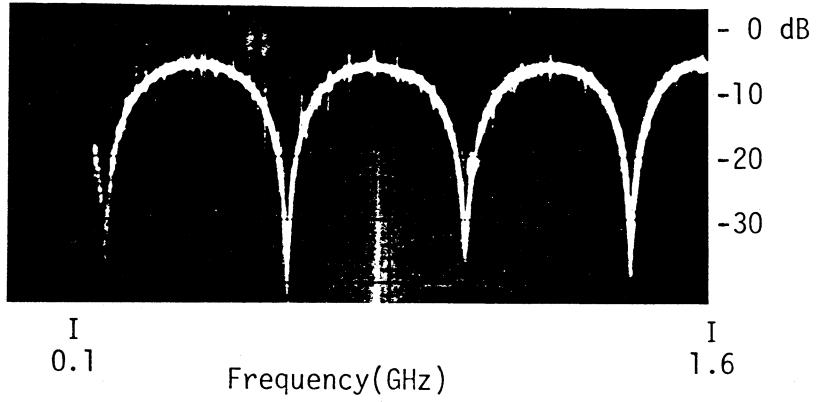


Fig. 7 A photograph of the transmitted frequency characteristics of Fig. 9 in [1].

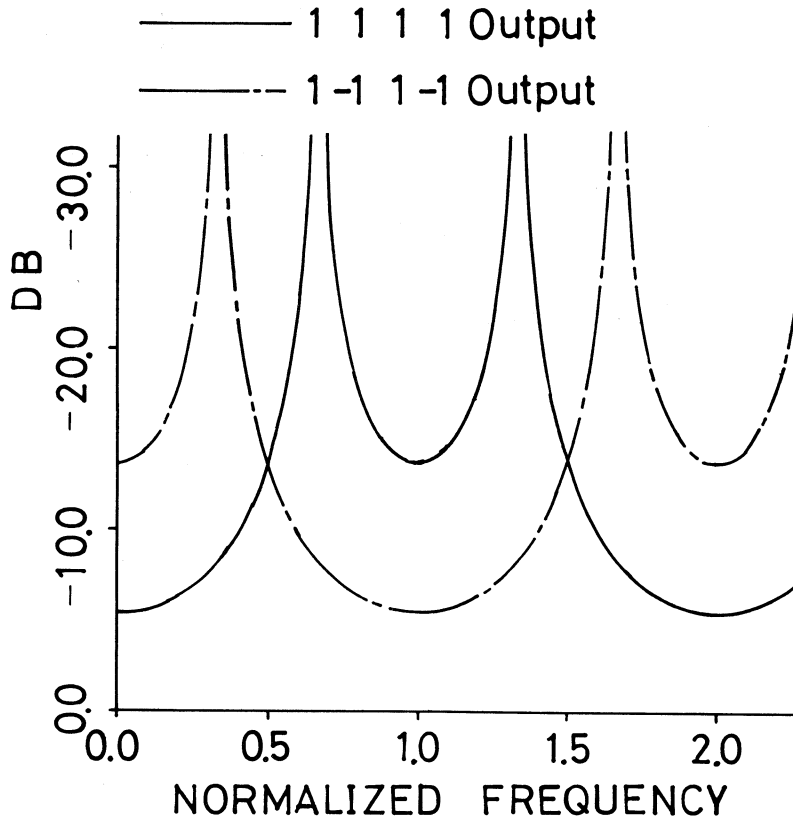


Fig. 8 Theoretical frequency characteristics of the 2-section coupled-line digital frequency triplers.  $r_{e1}=0.2$ .  
The solid line : case of III(i). The chain line : case of III(iii).

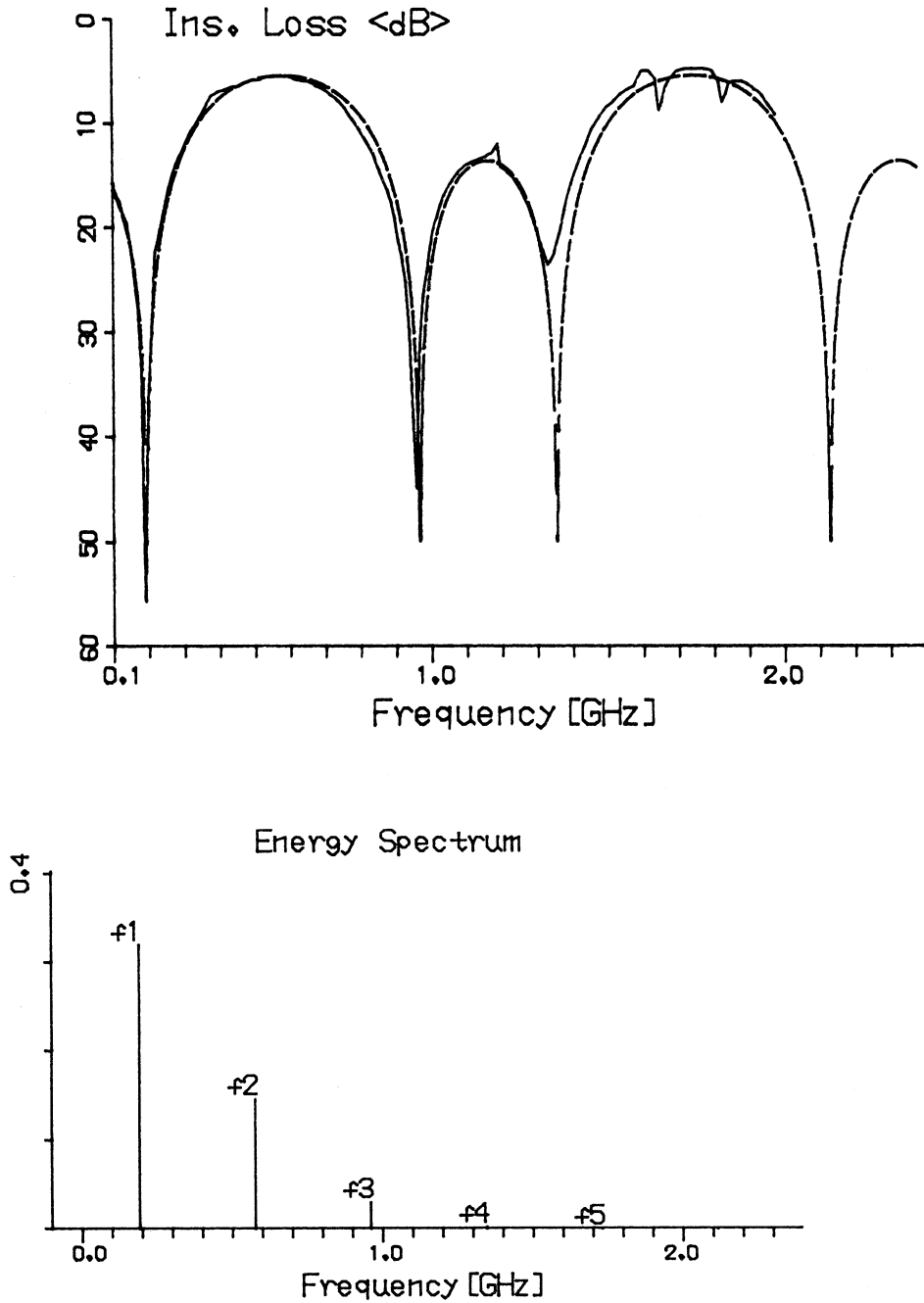


Fig. 10 (a) Frequency characteristics of the test circuit B in [2].  
Solid line : measurement. Broken line : theory.  
(b) Energy spectrum of input pulse train in Fig. 6.

# Admissible Sectional Dimensions of R/C Floor Elements to be Designed without Deflection Check Part 1: Transverse Beams

杉野目 章・井野 智・伊藤 正義・駒込 環

Akira SUGINOME<sup>\*1</sup>, Satoru INO<sup>\*2</sup>, Masayosi ITO<sup>\*3</sup> and Tamaki KOMAGOME<sup>\*4</sup>

## Abstract

By use of our proposed modified method, a parametric deflection analysis is attempted for transverse beam models with their dimensions varied within a major practical range in typical cases of their end condition depending on whether or not they have, at one end and/or both, adjoining beams in a slab-beam-girder floor system; the analysis being intended to result in necessary criteria for beam section sizes admissible in floor design without intricacy of deflection check.

Some other design criteria needed for maintained serviceability are derived at the same time.

## 1. Introduction

Our most recent report indicated that a tenably adequate or practicable estimation system for long-time deflections of r/c flexural members had been provided by use our renovated method.<sup>[1]</sup>

Its earlier form<sup>[2]</sup> was developed mainly incorporating D. E. Branson's accepted quasi-empirical formula and using the ACI's time-dependent multiplier; later to be modified reflecting Yu-Winter's well-documented test results combined with sustained elastic modulus used in the original paper for their evaluation.<sup>[3]</sup> And correspondingly the modified version adopted a more rigorous treatment at difference mesh level of member stiffness in preference to its average whose expedient use is common in most design codes, generally tolerated as practically sufficing.

By use of this improved approach the subject matter has already been examined at the least for discrete beams; the result having been obtained and checked for three elementary cases of end restraint of a member viz. due to its being supported and/or fixed at one and/or both member ends.<sup>[1] [3]</sup>

Succeeding to this adequacy check of our method in such simpler cases, herein to be examined

---

<sup>\*1</sup> Muroran Institute of Technology, Muroran 050; <sup>\*2</sup> Faculty of Engineering, Hokkaido University, Sapporo 060;  
<sup>\*3</sup> Hokkaido Institute of Technology, Sapporo 006; <sup>\*4</sup> Hokkaido Branch, Sumitomo Construction Co., Sapporo 060.

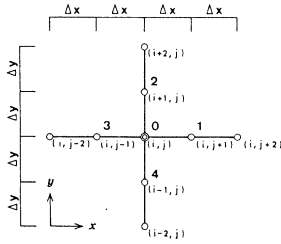
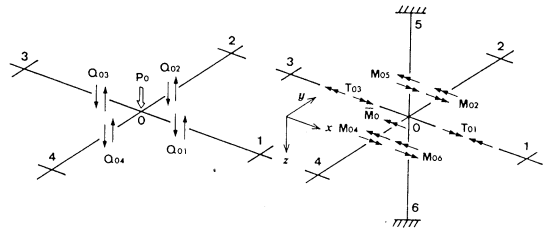


Fig. 1 Used System of Numbered Difference Points.



(a) Vertical Forces. (b) Bending and Torsional Moments.

Fig. 2 Vertical Forces and Moments Acting on a Joint.

are beam elements of two-way slab-beam-girder systems; specifically regarding major serviceability limiting data including admissible beam section size ranges in case of their being designed in default of deflection check.

For this purpose, long-time deflection analysis at the infinite member age is carried out on a regularly graduated set of member sizes within a commonly well-used range of total system models under working loads. Preliminarily, the present analysis requires some additional finite difference formulation as follows.

## 2. Equations of Equilibrium at Member Intersections <sup>[3]</sup>

### 2. 1 Vertical Forces

For vertical forces acting on four members spanning in orthogonal directions  $x$  and  $y$ , as shown in Fig. 2(a), the following condition of equilibrium holds at their mutual joint.

$$(Q_{01} - Q_{03}) + (Q_{02} - Q_{04}) = P_0 \quad (1)$$

where  $Q_{01} \sim Q_{04}$  = member end shearing forces and  $P_0$  = concentrated load acting at the joint.

For any member in the  $x$ -direction, the finite difference forms of end shearing force  $Q_x$  are to be obtained from the governing equation (2) and its first integral (3) for beam deflection  $w$ .

$$\frac{d^2}{dx^2} (I_x \frac{d^2 w}{dx^2}) = \frac{q_x}{E_c} \quad (2)$$

$$\frac{d}{dx} (I_x \frac{d^2 w}{dx^2}) = -\frac{Q_x}{E_c} \quad (3)$$

where  $I_x$  = moment of inertia and  $q_x$  = intensity of load distribution corresponding to  $Q_x$ .

Initially the above two are given their corresponding difference expressions (4) and (5).

$$\frac{E_c I_0}{\Delta x^4} \{ k_{i,j-1} w_{i,j-2} - 2(k_{i,j-1} + k_{i,j}) w_{i,j-1} + (k_{i,j-1} + 4k_{i,j} + k_{i,j+1}) w_{i,j} - 2(k_{i,j} + k_{i,j+1}) w_{i,j+1} + k_{i,j+1} w_{i,j+2} \} - q_{xi,j} = 0 \quad (4)$$

$$Q_x = -\frac{E_c I_0}{2 \Delta x^3} \{ -k_{i,j-1} w_{i,j-2} + 2k_{i,j-1} w_{i,j-1} - (k_{i,j-1} - k_{i,j+1}) w_{i,j} \}$$

$$-2k_{i,j+1}w_{i,j+1} + k_{i,j+1}w_{i,j+2} \quad (5)$$

Then performing such operations as (5)−(4)×Δx/2 and (5)+(4)×Δx/2 results in the end shear-forces: required above in difference form, Q<sub>01</sub> or Q<sub>03</sub>.

$$Q_{01}, Q_{03} = \frac{mE_c I_0}{\Delta x^3} \{ k_{i,j-1}w'_{i,j-m} - (2k_{i,j} + k_{i,j+m})w_{i,j} + (k_{i,j} + 2k_{i,j+m})w_{i,j+m} - k_{i,j+m}w_{i,j+2m} \} + q_{xi,j}\Delta x/2 \quad (6)$$

provided: Q<sub>01</sub>=end shearing force for m=1; Q<sub>03</sub>=that for m=−1; E<sub>c</sub>=concrete elastic modulus; q<sub>xi,j</sub>=self weight, acting at joint O, of member in the direction x; k<sub>i,j</sub>=I<sub>xi,j</sub>/I<sub>0</sub>=flexural stiffness ratio of member at any of its points of subdivision; I<sub>0</sub>=reference moment of inertia of member; Δx=width of subdivision of member; and w′=imaginary deflection at an exterior point of subdivision.

## 2. 2 Equations of Moments

On our assuming the signs of moments acting in the y-direction on joint O of members the following requirement for equilibrium is to hold.

$$(M_{04} - M_{02}) + (M_{05} - M_{06}) + (T_{01} - T_{03}) = \bar{M}_0 \quad (7)$$

where: M<sub>04</sub>, M<sub>02</sub>=end moments for member in the y-direction; M<sub>y05</sub>, M<sub>y06</sub>=those column end moments in the y-direction acting respectively at the column bottom and top; T<sub>01</sub>, T<sub>03</sub>=torsional moments for member spanning in the x-direction; and  $\bar{M}_0$ =external moment acting at the mutual joint of members; with all these given as follows.

$$M_{02}, M_{04} = E_c I_0 k_{i,j} (-w_{i+m,j} + 2w_{i,j} - w'_{i-m,j}) / \Delta y \quad (8)$$

$$M_{y05} = 4E_c I_{y05} \theta_{yi,j} / L_{05}$$

$$M_{y06} = 4E_c I_{y06} \theta_{yi,j} / L_{06} \quad (9)$$

$$T_{01}, T_{03} = G J_0 r_{i,j} (\theta_{yi,j} - \theta_{yi,j+m}) / \Delta x \quad (10)$$

with M<sub>02</sub>, T<sub>01</sub>=moments for m=1; M<sub>04</sub>, T<sub>03</sub>=those for m=−1; Δy=width of subdivision of member in the y-direction; I<sub>y05</sub>, I<sub>y06</sub>=moments of inertia in the y-direction of respective upper- and lower-stair columns connected to the mutual joint; L<sub>05</sub>, L<sub>06</sub>=repective heights of upper and lower storeys; G=shear elastic modulus; J<sub>0</sub>=reference torsional resistance; r<sub>i,j</sub>=J<sub>xi,j</sub>/J<sub>0</sub>=torsional stiffness ratio at any point of subdivision of member; and θ<sub>y</sub>=torsional angle of rotation about member axis in the x-direction.

The terms for imaginary exterior points are to be eliminated by use of end condition dw/dy=θ<sub>y</sub>, or its difference form in practice, Eq. (11), set up at exterior member ends.

$$w'_{i-m,j} = w_{i+m,j} + 2m \Delta y \theta_{yi,j} \quad (11)$$

### 3. Previous Result

For a subsequent review of our present calculation result as compared with those earlier, its substance is necessarily reproduced beforehand; viz. it is concerned with the above three elementary cases with their span, load allocation width, section sizes shown in Table 1

**Table 1** Dimensions of Earlier Calculation Models.

Model	Span Lx	Half Bay Width Ly	Beam Web Width b	Additional Annotation
Beam	450	200	25. 30. 35 (for Lx = 450)	Slab Thickness = 15 with AIJ Code Effective Width Assumed: All Entries in cm.
	600	300	30. 35. 40 (for Lx = 600. 750)	
	750	400	35. 40. 45 (for Lx = 900)	
	900			

and material properties and loading conditions in Table 2. Long-time deflections were calculated for the members designed with their tensile reinforcement allowed up to two layers of the steel.

All calculation results may be plotted in terms of final deflection ratios, viz. final or terminative deflections divided by span lengths. Among these f.d. ratios, those for simply supported cases refer to the critical or most adverse conditions for deflection control; thus being shown in Fig. 3 relatively to depth/span ratios as abscissas.

Therein noticed are extremely larger rates of increase in final deflection ratios as beam depth/span ratios become smaller than 0.075. This is ascribable to a significantly lowered minimum depth of members capable of two-layered reinforcement which is pursuant to the design practice of assumed medial sections to be tee-shaped.

**Table 2** Material Properties and Loads for the Calculation Models, Earlier and Present.

Assumed Items	Adopted Values with Supplementary Note
<b>For Concrete, in kg/cm<sup>2</sup>:</b>	
Compressive Strength	210 = F <sub>c</sub> : AIJ Code Value/ A. C. V. for short
Modulus of Rupture	26.1 = 1.8 √F <sub>c</sub> : Suggested in Code
Bond Strength	F <sub>c</sub> /15 for End-Top Deformed Steel: A. C. V.
Elastic Modulus	210,000 : A. C. V.
Sustained Modulus	26,600 at Infinite Age (t = ∞)
Poisson's Ratio	0.2 : A. C. V. ;
<b>For Steel, in kg/cm<sup>2</sup>:</b>	
Allowable Tensile Stress	2,000 for Code No. SD300 Steel: A. C. V.
Elastic Modulus	2.1x 10 <sup>6</sup> with Modular Ratio n = 10: A. C. V.
<b>Loads, in kg/m<sup>2</sup>:</b>	
Construction Load	Conventional 2.1 times Wt. of an R/C Floor
Full Design Live Load - Long-Time Sustained	300 & 100 : A. C. V. for respective Office and Living Room
Portion of Live Load - Wt. of Ceiling & Finish	= 1/3 of the above Values 80 : A. C. V. (in Ordinary Use)



Admissible Sectional Dimensions of R/C Floor Elements to be Designed without Deflection Check

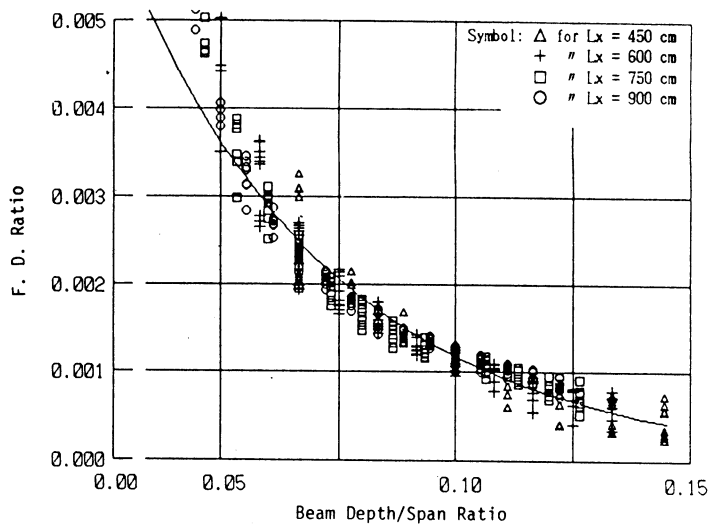


Fig. 3 Final Deflection Ratios plotted vs. Beam Depth/Span Ratios for Simple Beams.

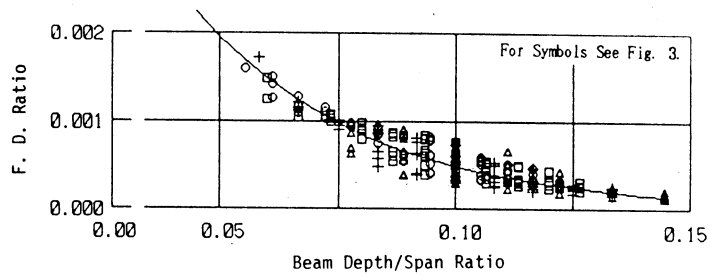


Fig. 4 Final Deflection Ratios plotted vs. Beam Span Ratios for One-End-Fixed Other-Supported Beams.

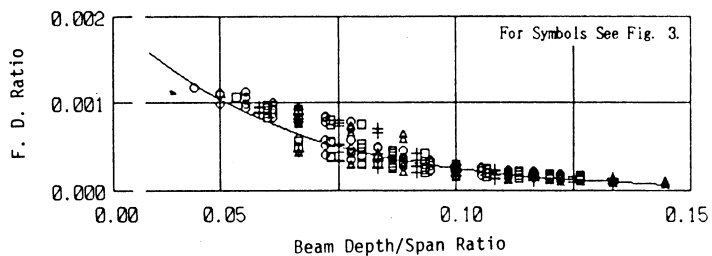
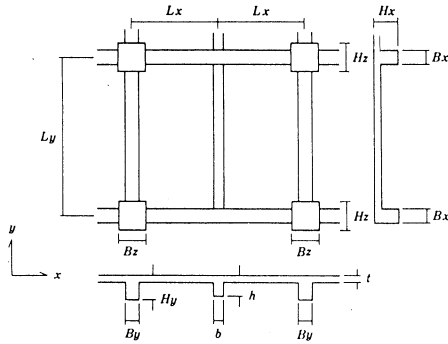


Fig. 5 Final Deflection Ratios plotted vs. Beam Depth/Span Ratios for Both-End-Fixed Beams.

**Table 3** Dimensions of Current Calculation Models.



**Fig. 6** Introduced Calculation Models with Identified Notation for their Dimensions.

Item	Dimensions in cm	Note
Span	Lx 300, 375, 450	Measurements between Support Centrs.
	Ly 450, 600, 750, 900	
Girder without Beam. GY	By $40 + 2.5(Ly - 900)/150$	Provided : Effective Widths are given AIJ Code Values for All Members in the Left Frames:
	Hy $0.1Ly + 5(600 - Ly)/150$	
Girder with Beam. GX	Bx $40 + 5(2Lx - 750)/150$	h is made equal to Hx for $h > Hx$ .
	Hx $0.2Lx + 5(900 - 2Lx)/150$	
Beam	b $40 + 2.5(Ly - 900)/150$	h is made equal to Hx for $h > Hx$ .
	h Ly/10, Ly/12, Ly/15	
Column	Bz $60 + 5(Ly - 750)/150$	Bz = Hz
	Hz "	
Storey Height	Lz 360	Both Figures Conventional or Assumably Most Frequent in Practice
Flange Depth	t 15	

Now let serviceability limit deflection be span/500 which is a justifiable standard as the common maximum in the majority of the available Western design codes.<sup>[4]</sup> Then it can be said that based on this value the above smallest depth will be determined at beam interior ends where reinforcement is to be designed for a customarily assumed rectangular section.

#### 4. Beams as Elements of Floor System

##### 4. 1 Assumption

The chosen calculation models consist of three types of beams in a slab-beam-girder floor systems as illustrated inclusively in Fig. 6; where, except for a type lastly to be defined, an infinite multitude of identical bays are supposed to extend in the x- or y-direction.

Namely, depending on whether a floor system stretches outward at only one or both of the beam ends, any introduced beam is to be treated as what we call exterior or interior structure in the following. The said last type refers to a member with none to adjoin it at both its ends in a floor system longitudinally having only one span, henceforth being referred to as none-adjoining beam, for simplicity.

Sectional sizes of all model members are shown in Table 3, with the concurrent assumption of material properties and loading conditions in Table 2. Reinforcement is calculated with deformed bars D25 and D22 of nominal diameter respectively for girders and beams under gravity loads

alone.

Column tops and bottoms are assumed as before to be rigidly built-in at the considered floor level. The number of span subdivision is six for center-to-center span  $L_x$  for adopted square difference meshes.

#### 4. 2 Calculation Result and Review

##### (1) None-Adjoining Beams

Final deflection ratios are calculated for beams assumed to be reinforced in one to two layers as beam depths get successively smaller than a maximum of  $L_y/10$  at 5cm intervals and the results are plotted in relation with beam depth/span ratios in Fig. 7; where beam/span ratios corresponding to final deflection ratios exceeding  $1/500$  are more or less smaller than simply supported cases. This means that designing beams with stiffness ratios more than  $0.075 (= 1/13.3)$  can seldom cause this serviceability limit deflection ratio to be exceeded. Major part of Figs. 8 shows how deflection orders change depending on spans and half bay widths delimiting load allocation to beams for differently assumed beam depth ratios of  $1/10$ ,  $1/12$  and  $1/15$ .

For girders in the x-direction, to be labeled GX for convenience, relevant calculation results are not referred to here, in that we have only last reported their being found within the serviceability limit deflection ratio when the girders can be reinforced double layered and be treated as fixed at both ends due to their being interior structures in the defined context.

In Figs. 8(a) and 8(b) final deflection ratios are given as partly mentioned above for girders in the y-direction, called GY like above, and for beams, respectively.

With decreased beam depths negative moments at beam ends increase due to correspondingly larger relative stiffness of beam supporting girders GX's, concurrent with their torsional deformation, so as to bring about the noted slight increases in final deflection ratios for GY girders; admitting that these values are practically insignificant, being of the order of at most 0.0005 or so and far less than the serviceability limit deflection ratio.

On the other hand, beams with depths less than  $1/15$  of their spans which are 7m at the longest are noted in the pertinent data to be capable of deflection exceeding the above serviceability limit due to their half bay widths for load allocation being increased.

Also needed to be examined is another relative final deflection defined as the ratio to the di-

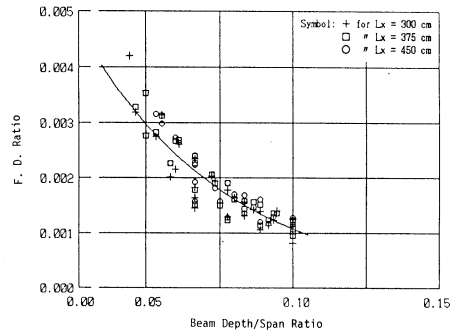


Fig. 7 F. D. Ratios plotted against Beam Depth/Span Ratios for None-Adjoining Beams.

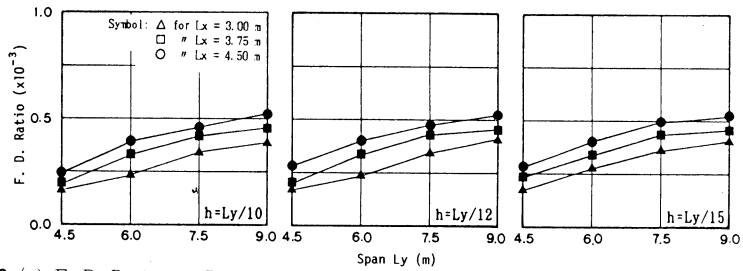


Fig. 8 (a) F. D. Ratios as Ratios to Spans for GY Girders in One-Span Floor Systems.

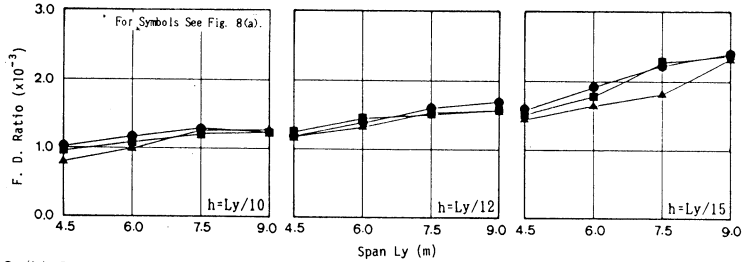


Fig. 8 (b) F. D. Ratios as Ratios to Spans for None-Adjoining Beams in One-Span Floor Systems.

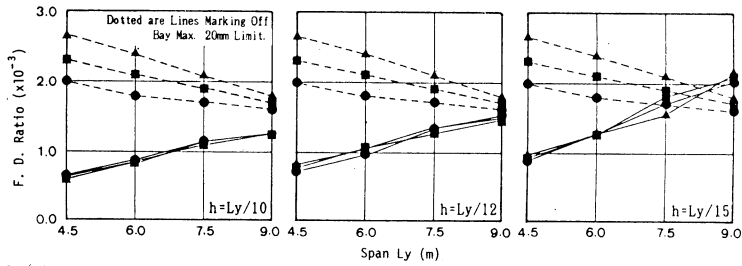


Fig. 8 (c) F. D. Ratios as Ratios to Bay Diagonal Measurements for None-Adjoining Beams.

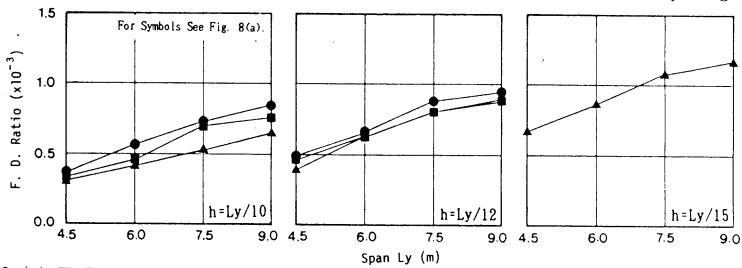


Fig. 9 (a) F. D. Ratios as Ratios to Bay Diagonal Measurements for Exterior Beams.

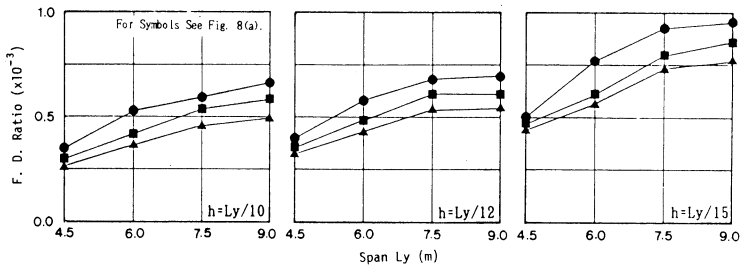


Fig. 9 (b) F. D. Ratios as Ratios to Bay Diagonal Measurements for Interior Beams.

agonal measurement of the considered bay of summed final deflections of pertinent beams and girders of a floor system. Namely in Fig. 8(c) distributions of that ratio are plotted. Reviewing them in comparison with an assumed total system deflection limit of 20mm, commonly adopted by most foreign building codes<sup>[4]</sup> shows any associated hazard of detrimental deflection for the beam depths less than 1/12 of the span and for the beam spans over 7.5m.

(2) Exterior and Interior Beams

Plotted distributions of the above total system final deflection ratio is represented as well for exterior and interior beams respectively in Figs. 9(a) and 9(b); wherein noted in all cases of beams capable of double layered reinforcement are the corresponding ratios being kept within the preceding deflection limit; provided that in the case of exterior beams, reinforcement has proved impossible for those assumed here to have depths of span/15 and any half bay widths of load allocation other than 3m.

## 5. Summary and Concluding Remark

The whole foregoing results of current observation are summarized into the following items. Namely, given an admissible limit of beam deflection ratio of 1/500 as customarily assumed we note at first for individual beams capable of double layered reinforcement:

- (1) deflection check is always unneeded for beams across interior or exterior span; including respective extreme cases of their being fixed at both ends or being fixed at one and supported at the other;
- (2) the above check is needed for beams across single-span floor systems or for simply supported beams, notably for cases with depths smaller than 1/12 or 1/13 respectively because of their being capable of causing detrimental deflections.

And secondly for total floor frame systems:

- (3) when we assume a usual limit of 20mm on their deflection as totaled for their beams and girders, interior and exterior beams have no possibility of their deflection exceeding this limit, while none-adjointing structures have any even when their beam depth is more than 1/13 of the span, naturally to require a check.

However, the limiting sectional dimensions obtained at this time are based on idealized assumptions, tending toward criteria practically as conservative as may be expected from the actual incidental conditions, including the practically natural trapezoidal load allocation dictating some greater amount of load than is confirmed to be the case and also beam-supporting GX girders in one-span structures regarded in most cases as latently having appreciably larger stiffness than

here assumed due to sagging wall or spandrel elements then monolithically attached to them.

### References

- [ 1 ] Suginome, A, Ino, S., Ito, M. and Komagome, T. Modified Analysis of Long-time Deflections of Reinforced Concrete and Its Adaptability, Transactions of Japan Concrete Institute, 1988.
- [ 2 ] Suginome, A, Ino, S., Dobashi, Y. and Yamamura, A.: Predictive Calculation for Deflections of Reinforced Concrete Floor Slabs, Journal of Structural and Construction Engineering, No. 372, Feb. 1987.
- [ 3 ] Suginome, A, Ino, S., Ito, M. and Yamada, Y: Deflections of Reinforced Concrete Floor Members under Working Loads, AIJ Hokkaido Division Research Report Collection No. 61, March 1988 (in Japanese).
- [ 4 ] Suginome, A, Ino, S.: A Review of Public Standards or Provisions mainly in Building-Code Form for Controlled Deflections of R/C Floors – Centered on Adopted Criteria for Sustained Load and Deflection Limit, AIJ Hokkaido Division Research Report Collection No. 62, March 1989 (in Japanese).

# Admissible Sectional Dimensions of R/C Floor Elements to be Designed without Deflection Check Part 2: Floor Slabs

杉野目 章・井野 智・伊藤 正義・吉野 修司

Akira SUGINOME<sup>\*1</sup>, Satoru INO<sup>\*2</sup>, Masayosi ITO<sup>\*3</sup> and Shuji YOSHINO<sup>\*4</sup>

## Abstract

We review the adequacy of the slab thickness equation in the r/c design code by the Architectural Institute of Japan, in comparison with the related data obtained by our recently renovated method which employs the known effective stiffness and an experimentally estimated time-dependent reduced elastic modulus and whose practical accuracy to tolerable degrees has been observed in our earlier reports. Using this method we try series of deflection estimate for slab models of graduated dimensions in a practically chosen wide range, for the purpose of examining the subject matter of defined possibility for rational slab sections to be designed without deflection check.

## 1. Introduction

The provisions for slab thickness in the current Japanese Code for the design of r/c constructions by the Architectural Institute, here simply called the AIJ Code<sup>[1]</sup>, had been derived from results of long-time experiments and field researches mainly concerning domestic types of two-way floor systems. The derivation is known to have assumed a long-time deflection of built-in slabs of the order of 16 times the elastic deflection and an admissible or limiting long-time deflection of 1/250 of short span  $L_x$  of a slab; while both criteria can in fact be regarded more or less too large, respectively implying overestimated longtime deflections and insufficient restriction on them; in view of cases published so far of their field measurement and examples of their code treatment.

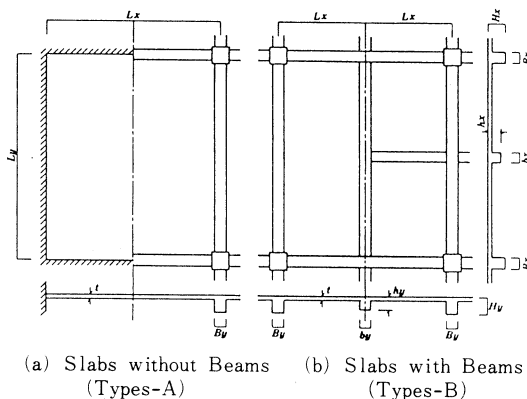
Herein made is a systematic recalculation accordingly needed of the above long-time multiplying ratio for slabs as it varies with graduated dimensions in a major practical range, in order for us to clarify main specific aspects of actual distribution of this ratio, when depending on our system. Thus we try to set up a more rational deflection limitation as well as to examine criteria for the slab design as in the title.

---

<sup>\*1</sup> Muroran Institute of Technology, Muroran, 050; <sup>\*2</sup> Faculty of Engineering, Hokkaido University, Sapporo, 060;  
<sup>\*3</sup> Hokkaido Institute of Technology, Sapporo, 006; <sup>\*4</sup> Graduate Student, Faculty of Engineering, Hokkaido University, 006 Japan.

Those attempts are made by applying our procedure to the above set of floor slab models reinforced according to the AIJ Code with their thicknesses observing its cited thickness provision whose latest amendment is said to have largely contributed to reported minimized cases since about that time of large deflection complaint as to a floor system of the later design.

All our present calculation is to depend on our recently modified approach here designated I-effective-E-sustained procedure<sup>[2]</sup> based on using reduced values of both moment of inertia and elastic modulus respectively due to cracking and time-dependency of the concrete<sup>[2]</sup>.



(a) Slabs without Beams (Types-A) (b) Slabs with Beams (Types-B)

Fig. 1 Introduced Types of Calculation Models with Identified Notation for their Dimensions.

## 2. Calculation Models

Table 1 Dimensions of Calculation Models.

System	Restraint/Beam Types	Geometric Items for Floor Elmnts. in cm		Assumed Overall and Sectional Dimensions in cm	Note (Numerals in cm)
Slabs without Beams or Types A	All-Edge-Fixed	Slab Thickness Short-Span Length Aspect Ratio		Code Vals. & Usual 15, 18, 20 450 to 900 at 50 Intervals 1.0 to 2.0 at 0.2 Intervals	Edge-Fixed and Girder-Restrained Slabs are Assumed to be Equal in Thickness. Short-Span Length and Aspect Ratio; L = Center-to-Center Member Length.
	All-Edge-Restrained on Girders	Girder Width " Depth		40 + 2.5(L - 900)/150 0.1 L + 5(600 - L)/150	
Slabs with Beams or Types B	Transverse only in y-direction at Mid-Bay	Slab Thickness Short-Span Length Long-Span "		Code Values 300, 375, 450 450 to 1350 at 150 Intervals	with 12 at its Lowest; Span Length between Centers of Supports.  Respective Lx and Ly being Center-to-Center Span Lengths along Short and Long Edges ;  Beam Depth less than Girder Depth Hx being Assumed to be Hx.
		Girders: with Beams	Width	40 + 5(2Lx - 750)/150	
			Depth	0.2 Lx + 5(900 - 2Lx)/150	
	without Beams	Width	40 + 2.5(Ly - 900)/150		
	Depth	0.1Ly + 5(600 - Ly)/150			
	Beams	Width	40 + 2.5(Ly - 900)/150	Ly/15	
Transverse in both x- and y-directions at Mid-Bay ( with Two Crossing )	Slab Thickness Short Span Length Aspect Ratio		12 225 to 675 at 75 Intervals 1.0	Center-to-Center Span.	
	Girders	Width	40 + 5(2Lx - 750)/150	Lx being Length of Span of Member over Short Edge.	
		Depth	0.2Lx + 5(900 - 2Lx)/150		
Beams	Width	40 - 5(900 - 2Ly)/150	2Lx/15 ; 2Lx/20		
		Depth			



Admissible Sectional Dimensions of R/C Floor Elements to be Designed without Deflection Check

**Table 2** Material Properties and Loads for Calculation Models.

Assumed Items		Adopted Values with Supplementary Definition	
Concrete	Compressive Strength :	210 kg/cm <sup>2</sup>	: Code Value in Ordinary Use;
	Modulus of Rupture :	26.1 "	= 1.8 $\sqrt{F_c}$ Suggested in Code;
	Bond Strength :	14 "	= $F_c/15$ for End-Top Deformed Steel;
	Elastic Modulus :	210,000 "	: Code Value;
	Sustained Elastic Modulus:	26,600 "	at Infinite Age ( $t = \infty$ );
	Poisson's Ratio :	0.2	: Code Value;
Reinforcement	Allowable Tensile Stress :	2,000 kg/cm <sup>2</sup>	for Code No. SD300 Steel;
	Elastic Modulus :	2.1x10 <sup>6</sup> "	with Modular Ratio $n = 10$ ;
Loads	Construction Load :	-----	= Conventional 2.1 times Weight of an R/C Floor;
	Full Design Live Load :	300, 180 kg/m <sup>2</sup>	: Code Values for respective Office and Living Room;
	Long-Time Sustained Portion of Live Load :	100, 60 "	= 1/3 of do., respectively;
	Wt. of Ceiling & Finish :	80 "	: Code Value in Ordinary Use.

Shown in Fig. 1, calculation models to be discussed are grouped into: (a) types-A slabs, viz., all-edge-fixed rectangular slabs as well as interior slabs of a slab-girder floor system with an infinite number of identical bays continuous in both x- and y-directions, here respectively to be designated type-A1 and type-A2 structures; and (b) types-B structures or interior slabs with beams in a slab-beam-girder floor system with identical bays endlessly continuous as above; in which case (b) a slab is supposed to have a mid-span transverse beam or two crossing, with either case of structure to be called in the following type-B1 or type-B2 slab, respectively.

Table 1 covers the assumed geometric items viz. short spans, aspect ratios, slab thickness and sectional dimensions; where slab thickness is to have the AIJ Code values while customary 12, 15 and 18cm are also used for types-A slabs without beams.

Listed in Table 2 are currently assumed material properties and types and amounts of loads; where design live loads are adopted for here generally supposed office floors but equally for residence floors in the case of types-A slabs; since efforts are then also made to obtain any practical measure of the order of effect of different live load assumption on deflection result.

All deflections are obtained for a long-time sustained load composed of dead load plus 1/3 of design live load; while reinforcing resorts to the design load designated in the Code and the moments provided for in its section 9; in such a way that the restrictive clauses of Section 13 may be observed and any combination of the used D10 and the D13 deformed steel may be made so as to

minimize their total weight. However, for calculating reduced moments of inertia of initially cracked slab and beam sections, construction loads are used exclusively, in due consideration of their being deservedly rated as maximum loads in the whole loading history; which treatment is also the case generally in the pertinent literature.<sup>[2]</sup>

Reinforcement is arranged with a covering depth of the slab main steel of 3cm and with a heaviest limit of the end top reinforcement amounting to the D13 steel spaced @100mm.

The adopted difference mesh is square with a width of  $L_x/6$  or  $L_x/10$  respectively for structures of types-A and B; with  $L_y$  then containing either fraction.

### 3. Long-Time Slab Deflection

#### 3.1 Rectangular Slabs

Table 3 provides the predicted values of causally different deflections of rectangular floor slabs, to be used for offices and residences when their short-edge lengths and aspect ratios are varied systematically. "LTD", short for "long-time deflection", will be used also in diagrams.

Compared office with residence floor slab thicknesses both due to the AIJ Code show the former smaller by about one or two centimeters than the latter provided any two slabs of the respective types have equal short-span lengths and aspect ratios. Accordingly in all cases long-time deflection values at an infinite structural age or terminative deflection values for former slabs prove to be larger than those for the latter structures despite rather smaller loads applied on them.

Incidentally, there are some few entries of seemingly incoherent calculations of terminative deflection larger for slabs with smaller, not as usually thought larger aspect ratios, although they are equal in short-span length and thickness; in fact being minor irregularity attributable to different amounts of reinforcement between any two compared cases.

Though this table relates to the cases of structures with long-span lengths within 13.5m and slab thickness less than 30cm due to the AIJ Code, other more practical cases with conventional 12, 15 and 18cm of thickness are taken up in Fig. 2 provided reinforcement then has a quantity maximum of the steel spaced @ 10cm.

Fig. 2 shows for each of the prior introduced type-A1 slabs the distribution of ratios of long-time deflection to its elastic portion, or long-time deflection multipliers for short. Here both maximum and average values are noted of long-time deflection multipliers of respectively 12.5 and 9.1 for offices as well as 13.8 and 9.8 for living floor parts of residences, all being values considerably smaller than 16 on which the AIJ Code depends for its provision for slab thickness as referred to above.

Admissible Sectional Dimensions of R/C Floor Elements to be Designed without Deflection Check

**Table 3** Predicted Deflections under Working Loads of Type-A1 Slabs of the AIJ Code Design

Short Span	Aspect Ratio	Slab Thickness		Elastic Deflection		Immediate Deflection		Additional Deflection		Long-Time Deflection. LTD		LTD Multiplier		Recip. of LTD Ratio		Note	
		t (cm)		$\Delta_s$ (mm)		$\Delta_i$ (mm)		$\Delta_a$ (mm)		$\Sigma \Delta = \Delta_s + \Delta_i$		$\Sigma \Delta / \Delta_s$		$L / \Sigma \Delta$			
		L. (cm)	L <sub>v</sub> /L	Ofc.	Res.	Ofc.	Res.	Ofc.	Res.	Ofc.	Res.	Ofc.	Res.	Ofc.	Res.		Ofc.
450	1.0	13	12	0.7	0.8	0.7	0.8	0.0	0.0	4.9	5.6	7.0	7.0	918	804	$\Delta_s$ = Additional Deflection due to Bond-Slip of Steel Anchorage; $\Delta_i$ = $\Delta_{i(cc+sb)}$	
	1.2	14	13	0.8	0.9	1.0	1.2	1.7	3.0	8.0	10.2	10.0	11.3	563	441		
	1.4	15	14	0.8	0.9	1.1	1.3	2.1	3.3	8.5	10.6	10.6	11.8	529	425		
	1.6	15	14	0.9	1.0	1.4	1.7	2.8	4.2	10.1	12.5	11.2	12.5	446	360		
	1.8	15	15	1.0	0.9	1.6	1.6	3.0	4.0	10.7	11.5	10.7	12.8	421	391		
	2.0	16	15	0.9	0.9	1.4	1.7	2.7	4.2	9.5	11.9	10.6	13.2	474	378		
	2.0	15	14	0.8	0.8	0.8	0.8	0.0	0.0	5.1	5.7	6.4	7.1	980	877		
500	1.2	16	15	0.9	1.0	1.3	1.4	2.8	3.8	9.8	11.7	10.9	11.7	510	427	LTD = Long-Time Deflection (Abbreviated);	
	1.4	17	16	0.9	1.0	1.4	1.6	2.7	4.2	9.9	12.3	11.0	12.3	505	407		
	1.6	17	16	1.1	1.1	1.7	1.9	3.2	4.0	11.1	12.9	10.1	11.7	450	388		
	1.8	18	17	1.0	1.0	1.6	1.9	3.2	4.2	10.6	12.4	10.6	12.4	472	403		
	2.0	18	17	1.0	1.1	1.8	2.1	3.1	4.1	10.6	12.5	10.6	11.4	472	400		
	1.0	16	15	1.0	1.1	1.4	1.5	3.3	3.8	11.1	12.4	11.1	11.3	495	444		Subhead "Ofc." or "Res." respectively relates to the Cases of Office or Residence Floors;
	1.2	18	17	1.0	1.1	1.5	1.6	3.5	4.2	11.3	12.7	11.3	11.5	487	433		
1.4	19	18	1.1	1.1	1.6	1.8	3.1	3.8	11.0	12.5	10.0	11.4	500	440			
1.6	20	18	1.1	1.3	1.7	2.2	3.2	4.1	11.1	13.8	10.1	10.6	495	399			
1.8	20	19	1.1	1.2	1.9	2.2	3.1	4.0	11.3	13.0	10.3	10.8	487	423			
2.0	20	19	1.2	1.2	2.1	2.4	2.9	3.9	11.1	13.0	9.3	10.8	495	423			
2.0	18	17	1.1	1.1	1.5	1.7	3.4	4.7	11.7	14.0	10.6	12.7	513	429			
600	1.2	20	19	1.1	1.2	1.7	1.9	3.5	4.6	12.1	14.1	11.0	11.8	496	426	Cases of L <sub>v</sub> over 13.5 m Excluded;	
	1.4	21	20	1.2	1.3	1.9	2.1	3.3	4.4	12.1	14.1	10.1	10.8	496	426		
	1.6	22	20	1.2	1.4	2.0	2.5	3.1	4.0	11.7	14.3	9.8	10.2	513	420		
	1.8	22	21	1.3	1.4	2.3	2.5	2.9	4.0	11.7	13.8	9.0	9.9	513	435		
	2.0	22	21	1.3	1.4	2.5	2.8	3.1	3.8	12.2	13.4	9.4	9.6	492	448		
	1.0	20	19	1.2	1.2	1.7	1.9	3.8	4.9	12.8	14.8	10.7	12.3	508	439		
	1.2	22	21	1.3	1.3	1.9	2.1	3.5	4.7	12.8	14.8	9.8	11.4	508	439		
650	1.4	23	22	1.4	1.4	2.2	2.4	3.4	4.3	12.9	14.7	9.2	10.5	504	442	Cases of t over 30 cm Excluded.	
	1.6	24	23	1.4	1.4	2.4	2.6	3.4	4.0	12.9	14.2	9.2	10.1	504	458		
	1.8	25	23	1.3	1.5	2.4	2.9	3.1	3.8	11.9	14.0	9.2	9.3	546	464		
	2.0	25	23	1.4	1.6	2.6	3.3	3.2	4.0	12.2	14.4	8.7	9.0	533	451		
	1.0	22	21	1.2	1.3	1.8	2.0	3.5	4.6	13.1	15.1	10.9	11.6	534	464		
	1.2	25	23	1.3	1.4	1.9	2.3	3.5	4.1	12.7	14.9	9.8	10.6	551	470		
	1.4	26	24	1.4	1.6	2.2	2.7	3.1	4.4	12.6	15.7	9.0	9.8	556	446		
750	1.6	27	25	1.4	1.6	2.5	3.0	3.4	4.1	13.0	15.1	9.3	9.4	538	464	Cases of t over 30 cm Excluded.	
	1.8	27	26	1.5	1.6	2.8	3.0	3.1	3.8	12.7	14.0	8.5	8.8	551	500		
	1.0	24	23	1.4	1.4	2.0	2.2	3.2	4.3	13.4	15.4	9.6	11.0	560	487		
	1.2	27	26	1.4	1.5	2.2	2.4	3.2	4.0	13.3	14.8	9.5	9.9	564	507		
	1.4	28	27	1.6	1.6	2.5	2.7	3.1	3.7	13.4	14.7	8.4	9.2	560	510		
	1.6	29	28	1.6	1.6	2.8	3.1	3.2	4.1	13.7	15.1	8.6	9.4	547	497		
	1.8	30	28	1.6	1.8	2.9	3.5	2.9	3.7	12.6	15.1	7.9	8.4	595	497		
800	1.0	27	25	1.3	1.5	2.0	2.4	3.1	4.2	13.1	16.0	10.1	10.7	611	500	Cases of t over 30 cm Excluded.	
	1.2	29	28	1.6	1.6	2.4	2.6	3.1	4.0	14.1	15.6	8.8	9.8	567	513		
	1.4	—	29	—	1.8	—	3.1	—	3.6	—	15.5	—	8.6	—	516		—
	1.6	—	30	—	1.8	—	3.4	—	3.8	—	15.8	—	8.8	—	506		—
850	1.0	29	27	1.5	1.6	2.2	2.6	3.0	3.5	13.7	15.8	9.1	9.9	620	538		

Fig. 3 represents the last graph of distribution of long-time deflection multipliers; here for structures of A2-type, designed for offices, different in aspect ratio and dimensions. In this case, the respective maximum and average of the long-time multipliers are 9.7 and 6.9; amounts both reflecting significantly less bond-slip than edge-fixed cases, mitigated by girder deflection to lower both indices as much.

### 3.2 Slabs with Beams

For either set of slabs of B1- or B2-type, distribution of long-time deflection multipliers is shown in Fig. 4 where their maximal and mean values are 5.3 and 4.5 for the former slabs and 8.1 and 6.3 for the latter, respectively, all being evidently smaller than those preceding, showing a

dominant edge restraining effect of peripheral girder frames.

#### 4. Admissible Deflections of Floor Slabs

Deflection problems on reinforced concrete floor structure related to its design are said to have almost ceased to arise, presumably in consequence to a large extent of the latest Code revision.

Here we attempt to introduce an admissible floor deflection, based on the largest of the ratios of long-time predictions to span length, hereafter called long-time deflection ratios.

The rightmost figure column of Table 3 shows the reciprocals of the relevant long-time deflection ratios and Fig. 5 shows two curves of cumulative frequency distribution of these values each for either set of slabs for office or residence floors. Correspondingly noted is a minimum of the

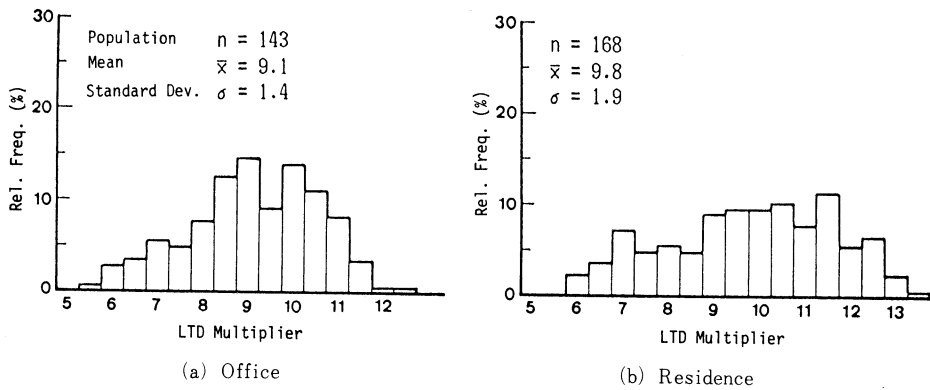


Fig. 2 Frequency Distributions of Long-Time Deflection Multiplier for Slabs of Type-A1.

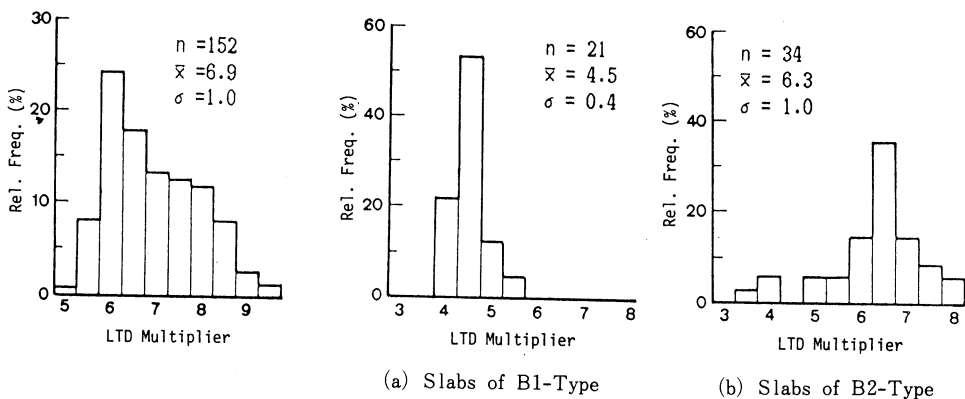


Fig. 3 Frequency Distribution of Long-Time Deflection Multipliers for Slabs of Type-A2.

Fig. 4 Frequency Distribution of Long-Time Deflection Multipliers for Slabs of Type-B.

## Admissible Sectional Dimensions of R/C Floor Elements to be Designed without Deflection Check

cited reciprocal as large as ca. 360 for  $L_y/L_x = 1.6$ , with the values less than 400 remaining only within 10 percent of the total entries even for residence floors and the rest mostly ranging from ca. 420 to 560 for both floor types.

Thus, we may be allowed to suggest an admissible value of floor slab deflection limit in practical design of  $1/350$  of short-span length, based on the judgement that  $1/360$  cannot be exceeded in most cases of the AIJ Code floor design. It may be safe to say that there will be no significant change in order of those values even if the whole analysis are again tried including partial more elaborate calculation and allowing for reliable extents of certain sectional dimensions relatively prone to field deviation in the execution process.

In the subsequent consideration we are to use these criteria coupled with another required measure of absolute deflection limit of 20mm on a totaled deflections of both slabs and frame elements joining them, which value we adopt regarding it as most frequently used of the available code deflection limits; and this total will be called, more practically, bay maximum deflection.

### 5. Floor Slabs Capable of Design without Deflection Check

The smallest of the slab thicknesses allowed to be designed without deflection check may easily be obtained as the result of our plotting long-time deflections of types-A slabs or rectangular slabs with all edge rigidly fixed or restrained with girders, as respectively in Fig. 6 or 7, and then drawing into them serviceability deflection limits introduced in the preceding section.

Likewise, Fig. 8 refers to introduced types-B interior slabs with beams; provided that Fig. 6

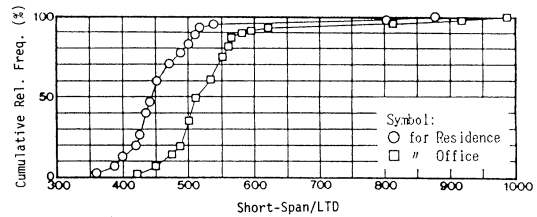


Fig. 5 Short-Span/Long-Time Deflection Ratios for Type-A1 Slabs of Code Thickness.

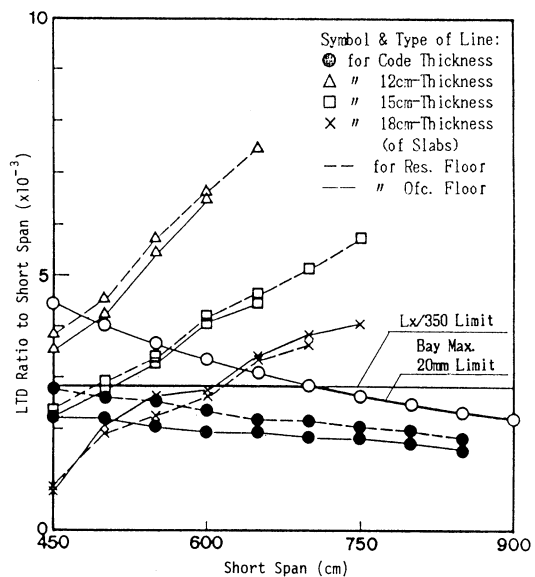
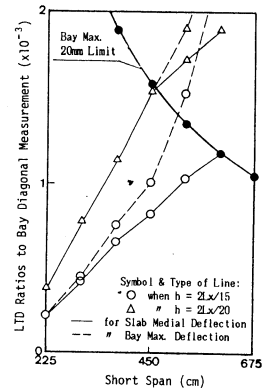
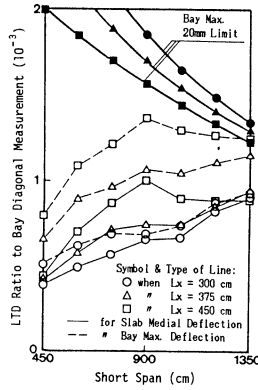
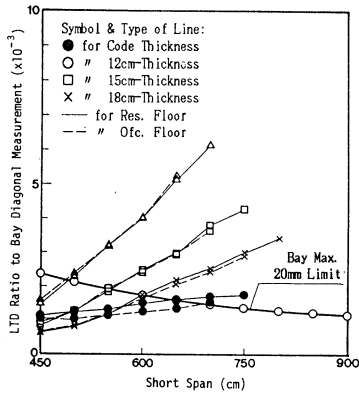


Fig. 6 Long-Time Deflection Ratios to Their Short-Spans for Type-A1 Slabs when  $L_y/L_x = 1.6$ .



(a) Type-B1 Slabs

(b) Type-B2 Slabs

Fig. 7 Long-Time Deflections to Bay Diagonal Length for Slabs of Type A1 when  $L_y/L_x=1.6$ .

Fig. 8 Long-Time Deflection Ratios to Bay Diagonal Length for Slabs of Type-B.

treats long-time deflection ratios as ratios of deflections to short-span length, in which case a line and a curve respectively mark the coupled limits of  $1/350$  and  $20\text{mm}$ ; while in Figs. 7 and 8 only the latter limit is drawn, when defined inclusive of girder deflection, and relevant deflection ratios are taken in proportion to diagonal measurements across bays of a slab-girder floor or a slab-beam-girder floor.

Further, plotted intersections of the curves of long-time deflection ratio and the serviceability limiting curves defined now give limiting curves in Fig. 9, showing the limiting aspect ratios and overall dimensions, with which a slab is designed without care of deflection in our currently defined context. Namely, Fig. 9(a) and 9(b) respectively provide the thickness of designed slabs within the admissible long-time deflection ratio as well as slab thicknesses satisfying the absolute limit on bay maximum deflections.

Connectedly, long-time deflections of slabs each designed with the corresponding AIJ Code thickness are kept within the associated admissible deflection ratios but are not always below the above absolute  $20\text{mm}$  limit on bay maxima.

On the contrary, as for types-B of structures, this  $20\text{mm}$  limit will not be exceeded if corresponding span/beam depth ratios are less than 15 in either case of the slab with one mid-bay transverse beam or two crossing. In this latter case, a slab with crossed beams may be designed with span/beam depth ratios assumed up to 20 without deflection check if the beam span or corresponding column-to-column distance is less than  $9\text{m}$ .

## 6. Summary

The foregoing observations may be summarized as follows:

- (1) long-time deflection multipliers as ratios of long-time deflections to their elastic portions fall in a wide range of 6 to 12;
- (2) since being, if implicitly, based on its cited ratio of 16 in the same context, the AIJ's provisions for slab thickness are conservative enough and
- (3) there is scarcely any possibility that long-time deflections of slabs of the AIJ Code design under working loads may exceed  $1/360$  of its span length; while, in view of floor slabs of the latest revised AIJ Code design being reported to have experienced almost no deflection damage:
- (4) we assume an admissible deflection ratio of  $1/350$ , construing it as most usually acceptable;
- (5) with this limit observing we can design slabs with even less thickness than those provided in the AIJ Code;
- (6) long-time deflection check is needless if a slab thickness is more than that required in the Code;
- (7) in this case, however, there is the other possibility that the above 20mm limit is exceeded; notably, this can be true for slabs with significantly greater panel sizes with correspondingly large thicknesses required in the Code, due to excessive increases in self-weight of the floor system; and
- (8) for interior slabs with beams, long-time deflection check is dispensable if beam depths are larger than  $1/15$  of spans.

While this report is exclusively concerned with interior slabs with their combined action with that of girders taken into account, in an immediate further writing we will examine either exterior slabs or one-span cases of floor systems.

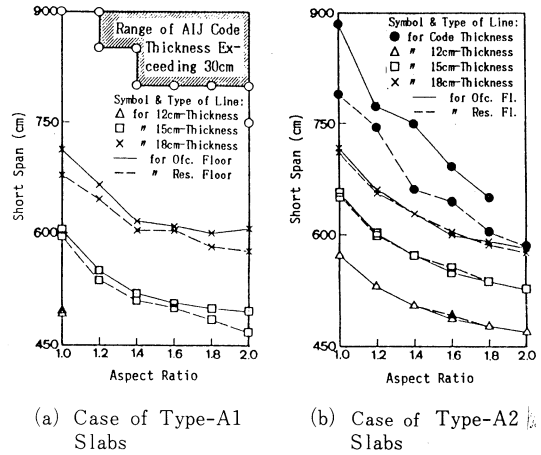


Fig. 9 Limitation on Dimensions vs. Aspect Ratios of Slabs Designed without Deflection Check.

## References

- [ 1 ] Architectural Institute of Japan: Standard Code with Commentary for the Design of Reinforced Concrete Building Constructions, 5th Ed., Maruzen, 1988.
- [ 2 ] Ino, S., Suginome, A., Yoshino, S.: Long-Time Deflection Analysis for Reinforced Concrete Floor Slabs

杉野目 章・井野 智・伊藤正義・吉野修司

under Working Loads, Bulletin of the Faculty of Engineering, Hokkaido University, No. 145, Dec. 1988.



# 汎用火花点火メタノール機関における NO<sub>x</sub> 低減対策が機関性能に及ぼす影響

林 重信・久保田 譲・澤 則弘\*

## The Effect of Reducing Methods for NO<sub>x</sub> Concentration on the Property of Spark-Ignition Methanol Engines

Shigenobu HAYASHI, Yuzuru KUBOTA, Norihiro SAWA \*

### Abstract

Methanol as a fuel of internal combustion engine, it can be burnt in lean mixture region from a oxygenic fuel, and it should have high theoretical efficiency because it is high Octane Number.

There are hopeful methods and activitily investigated for reducing the NO<sub>x</sub> concentration, that are the water-fuel blend method and the exhaust gas recirculation method (EGR). But, they raised a new questions on engine property, that these methods make worse the combustion character in cylinder.

In this report, to examine the effects of above methods for reducing the NO<sub>x</sub> concentration on the engine performance and combustion variance of Methanol Fueled Four-Cycle Spark Ignition Engines, with carburetor and with electronically controiled fuel injection into the intake manifold. Moreover, their results were compared with gasoline fueled ones. The results obtained as follows:

Methanol fuel is useful for the improvement of exhaust emission without loss of engine performance, if select the optimum operating conditions.

### 1. まえがき

メタノール (CH<sub>3</sub>OH) は含酸素燃料のため可燃範囲が広く、希薄混合気運転が可能なので排気対策のうえでは有利となり、オクタン価が高いため高圧縮比運転ができ、サイクル論的に高熱効率が得られる。排気ガス中で低減が最も困難な窒素酸化物 (NO<sub>x</sub>) に関しては、

- (1) 水の添加によってシリンダ内の熱容量を増大させ、さらに気化潜熱を利用する。
- (2) 排気再循環 (EGR) をさせてシリンダ内ガスの熱容量を増大させると燃焼温度の低下を招き、低減が期待できる。

内燃機関に水を注入した場合の熱力学的考察や実験的研究はガソリン機関のノッキングに関連して古くから行われ不活性ガスとしての作用、熱損失の減少、吸気温度の低下などの様相が解明されている<sup>1)</sup>。EGR についても、ガソリン機関やディーゼル機関で実用化されている。筆者の一

\*茨城大学工学部

人は、気化器式メタノール機関に水添加や EGR を実証した結果を報告<sup>2)</sup>したが、それは実験結果を示し、定性的考察を試みたに過ぎない。そこで、本報では水冷4サイクル頭上弁式機関を改造し、純メタノール、含水メタノール燃料を気化器で供給した場合と純メタノールを気化器または電子制御燃料噴射弁 (EFI) から吸気管内噴射し、EGR を試み、水添加および EGR の効果をより明確にしたので報告する。

表-1 供試機関の諸元

項目	略号	OHV Eng.
形 式		横形水冷単筒 4サイクル、頭上弁式
シリンダ径×行程 mm		φ85 x 85
行程体積 l		0.482
圧 縮 比		8.4
連続定格出力 PS/rpm		6/2,000(改造前)
弁時期 °CA	吸 気	開 -10、閉 +54
	排 気	開 -49、閉 +15

## 2. 実験装置及び方法

### 2.1 実験装置

供試機関は横型水冷4サイクル火花点火機関で、メタノール運転するため気化器の主ジェットを大きく (面積比(15/6.5)<sup>2</sup>倍)、圧縮比を高く (6.2を8.4に) 改造した。その主要諸元を表-1に装置の概略を図-1に示す。吸入空気量計測系統 (サージタンク1、丸形ノズル2、マノメータ3、温度計4)、燃料供給系統 (燃料タンク5、燃料流量計9、管壁加熱器10)、供試機関11、動力計12、回転計13、排気管系統 (排気温度計14、消音器15)、EGR 系統 (冷却器16、サージタンク17、温度計18、マノメータ19、丸形ノズルとマノメータ20)、排気分析系統 (NO<sub>x</sub> および HCHO 計測抽出孔21、排気抽出孔22、ガスクロマトグラフ23、同記録計24、CO メータ25)、燃焼解析系統 (パルスマーカー26、27、指圧計28、イオンプラグ29、増幅器30、モニタ CRT 31、データレコーダ32、統計解析器33、同記録計34) などから構成されている。

### 2.2 排気分析

一酸化炭素 CO 濃度は NDIR、全炭化水素 THC 濃度は FID を用いてともに連続測定した。このとき THC 濃度はメタン CH<sub>4</sub> を校正に用い ppmC で表した。NO<sub>x</sub> 濃度は亜鉛還元ナフチルエチレンジアミン法 (JIS K0104)、アルデヒド類 R・CHO 濃度はその概略値を知るためにホルムアルデヒド H・CHO 検値管法、そして排気中の未燃の CH<sub>3</sub>OH および CH<sub>4</sub>濃度はスクワラン カラムを用い、FID 付きガスクロマトグラフによってそれぞれ分析した。

### 2.3 燃焼特性値

シリンダの燃焼圧を正確に計測するため、シリンダヘッドを加工し、燃焼室壁面に直接指圧計を取り付け、指圧波形、上死点マーク及びイオン電流値をデータレコーダへ記録した。これを必要に応じてモニタしながら再生し、400チャンネルの統計解析器に通して各種の燃焼特性値を求

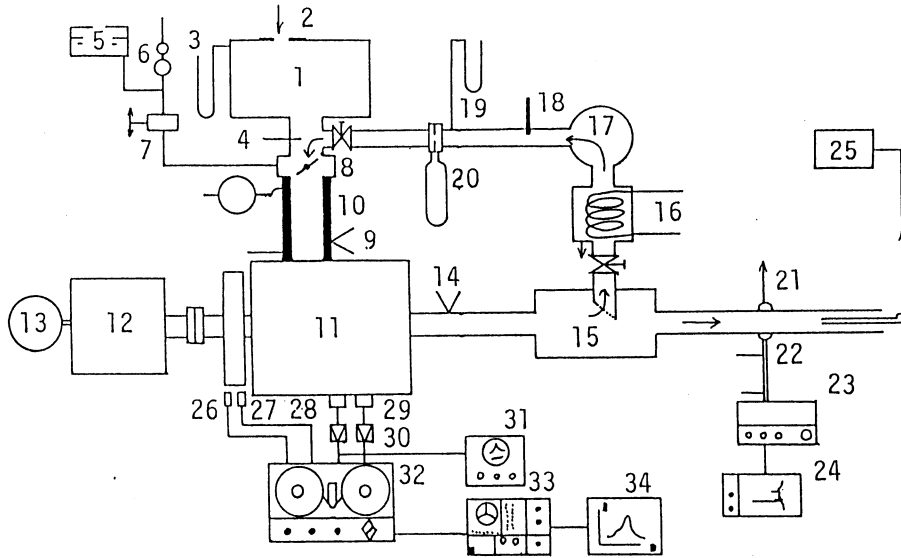


図-1 実験装置の概略図

めた。

## 2. 4 実験方法

$\lambda$  を0.7から機関の運転可能な希薄混合範囲 ( $\lambda = 1.3 \sim 1.5$ ) まで、気化器式機関では気化器浮子室を上下動させることによって変化させ、EFI 機関では噴射期間を変えて変化させ、その時の出力  $L_e$ 、排気温度  $t_e$ 、CO、THC、NO<sub>x</sub>、H・CHO、排気中の未燃の CH<sub>3</sub>OH および CH<sub>4</sub> の各濃度を測定した。また、代表的条件につき運転状態が安定するのを (約15分) 待ってシリンダ燃焼圧、イオン電流及び TDC マーク等をデータレコーダに記録し、直ちに駆動運転に切り替えてシリンダ圧力を同一条件で記録する。その記録を再生し、統計解析器に通して1000サイクルの平均燃焼圧力  $P$  と平均駆動圧力との差  $\Delta P$ 、平均圧力上昇率  $dp/d\theta$  および平均イオン電流  $I_g$  を X-Y レコーダに記録した。この記録から燃焼最高圧力  $P_{max}$ 、 $P_{max}$  を示すクランク角  $\theta (P_{max})$ 、 $\Delta P$  の最大値  $\Delta P_{max}$ 、 $\Delta P_{max}$  を示すクランク角度  $\theta (\Delta P_{max})$ 、最大圧力上昇率  $(dp/d\theta)_{max}$ 、着火遅れ  $\tau$ 、燃焼期間  $\theta_b$  および火炎伝播速度  $V_f$  を求めた。また、統計解析器の解析方法を切り替えて  $P_{max}$  の頻度分布、標準偏差  $S$  および変動率  $S/P_{max}$  を求め、これらの相関関係を調べた。

## 3. 実験結果および考察

### 3. 1 水添加（含水メタノール）の影響

メタノールは水と容易に混合溶解するので、混合燃料を気化器から供給した。しかし燃料の気化による温度低下を防ぐため吸気管壁を加熱した。実験結果の代表例を図-2に示す。図において得られた結果をまとめると、過濃混合気範囲（ $\lambda=0.6\sim 1.0$ ）における機関出力  $Le$  は水を添加すると幾分増加し、それにつれて熱効率  $\eta_e$  も高くなっている。しかし、希薄混合範囲（ $\lambda > 1.1$ ）では含水率  $y=G_w/G_f$ （ $G_w$ ：添加水量、 $G_f$ ：燃料供給量）が高いほど  $Le$ 、 $\eta_e$  は低下し、可燃範囲も狭くなっている。この傾向は、 $y=0$  の値を基準として、 $Le/(Le)_0$ 、 $\eta_e/(\eta_e)_0$  で表示した図-3によるとより明確であり、点火進め角  $\theta$  が小さいほど顕著になることがわかる。また、ガソリン機関と比較するとメタノール機関の方が  $Le$ 、 $\eta_e$  の低下割合は小さい。一酸化炭素  $CO$  濃度は  $\lambda > 1.0$  の範囲では  $y$  に関係なく一定値を示すが、 $\lambda < 1.0$  では  $y$  が大きいと多少減少することが分かる。これは化学平衡式から得られる結果<sup>3)</sup>と定性的によく一致する。THC 濃度はいずれの場合も  $y$  に比例して増加し、とくに  $\lambda=1.0$  から遠くなるほどその影響は大きい。これは難燃焼条件になるほど、水添加による燃焼温度の低下シリンダ壁面の過冷による消炎層の厚さが増加するなどに起因するものと思われる。メタノールはガソリンよりも発熱量が低いので前述の影響も大きく、THC 濃度の増加割合は大きい（図-3）。この場合、燃料の発熱量に対する気化熱の割合を考えガソリン機関の含水率  $y_g$  に対して、メタノール機関では  $2y$  で表示してある。

窒素酸化物  $NO_x$  濃度は、大気温度、湿度などにも左右されるので再現性にやや劣る点があるが  $y$  が大きいほど著しく減少し、 $NO_x$  低減対策として有用であることがわかる。勿論、 $\theta$  を小さくしても  $NO_x$  は低減するが（図-2・a）、 $Le$ 、 $\eta_e$  の低下も大きいので  $\theta$  の選定のみで  $NO_x$  の低減を図ることは好ましくない。水添加による  $NO_x$  の低減割合はメタノール機関もガソリン機関も同じである（図-3）が、 $\theta$  が小さく、 $\eta_v$  が小さいほど  $y$  の効果は大きい。しかし、その効果が大きい条件ほど  $Le$ 、 $\eta_e$  の低下も大きくなることに留意することが必要である。

いま、定性的考察を目的として、2分子反応説を用い、Martenev が示した<sup>4)</sup>ように  $NO$  の発生速度が近似的に

$$\frac{d[NO]}{dt} = 2k_1[N_2][O] \quad (1)$$

で表される。ただし、 $[NO]$ 、 $[N_2]$ 、 $[O]$  はそれぞれのモル濃度。また、メタノールは含酸素燃料なので酸素分子は十分あり



の平衡反応によって主に酸素原子が供給されるとし、その平衡定数を  $K (=k_2/k_{-2})$  とすれば  $[O] = K [O_2]^{1/2}$  で与えられる。 $k_1$  と  $K$  はそれぞれ温度の関数で Arrhenius の反応式で与えられるものとする、シリンダ内の  $NO$  生成量は

$$[NO] = \int \int A \cdot e^{-E/RT} [N_2][O_2]^{1/2} dt dv \quad (3)$$

で与えられる。ここに、 $t$ ：時間、 $V$ ：体積、 $T$ ：絶対温度、 $R$ ：ガス常数、 $A$ ：頻度因子、 $E$ ：活

汎用火花点火メタノール機関における NO<sub>x</sub> 低減対策が機関性能に及ぼす影響

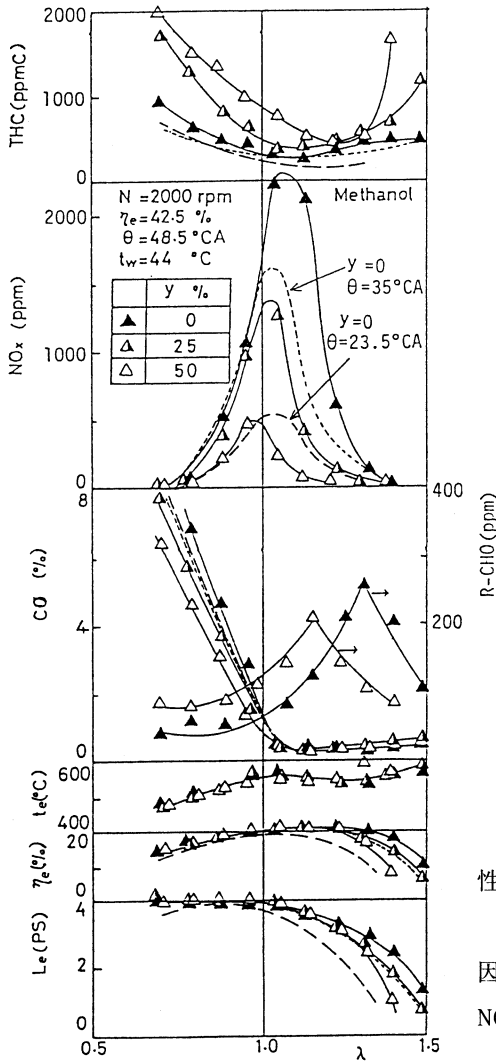


図-2・a 含水率が機関出力および排気特性に及ぼす影響

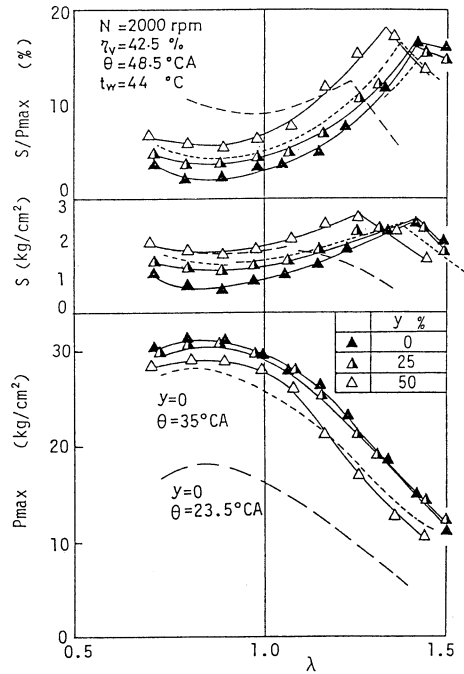


図-2・b 含水率が燃焼特性に及ぼす影響

性化エネルギーである。

いま、NOの生成において時間的、空間的要因が変わらず、しかも燃焼最高温度 T<sub>max</sub> で NOの発生が凍結するものとする、

$$\frac{[\text{NO}]}{[\text{NO}]_0} = \frac{[\text{N}_2]}{[\text{N}_2]_0} \sqrt{\frac{[\text{O}_2]}{[\text{O}_2]_0} \cdot \frac{e^{E/RT_{\text{max}}}}{e^{E/RT_{\text{max}0}}}} \quad (4)$$

となる。そこで、メタノール燃料機関のサイクルを近似的にオットーサイクルと見なし熱力学的

関係から T<sub>max</sub>、空気過剰率 λ から N<sub>2</sub>、O<sub>2</sub> 濃度を求め、上式から算出した [NO]/[NO]<sub>0</sub> の値を併記しているが、実験結果よりもかなり大きい値である。この場合、y に比例して着火遅れが増加するので、実質的には θ を小さくした場合の効果と水添加による蒸発潜熱と熱容量の増加による効果とが重複するにもかかわらず前者の影響を考慮せずに計算したためと考えられるが、定性的傾向を知るには十分と思われる。メタノール機関の R-CHO 濃度は高く (y=0)、しかも水添加 (y=0.5) により過濃側では増加している (図-2)。いずれの場合も λ の影響が大きく、

特定の  $\lambda$  で最大値を示している。 $y$  が高いほど平均燃焼最高圧力  $P_{max}$  は減少し、 $S$  と  $S/P_{max}$  は増加する (図-2・b)。また、 $P_{max}$  が極大、 $S$  および  $S/P_{max}$  が極小になるときの  $\lambda$  は  $y$  に関係なくほぼ一定であるが  $S$  および  $S/P_{max}$  が極大になる  $\lambda$  は  $y$  によって変わっている。この  $S$  および  $S/P_{max}$  は点火進め角を小さくするほど増加するが、含水メタノールを使用した方が  $Le$  の低下が少なく、 $NO_x$  低減は大きく、 $S/P_{max}$  の増加割合も小さいことがわかる。

### 3. 2 EGR の影響

気化器式機関及び EFI 式機関に EGR を実施した実験結果を図-4、図-5 に示す。

図-4 には  $NO_x$  低減効果が大きいとされている点火時期を遅らせた ( $\theta = 35^\circ CA, 23.5^\circ CA$ ) 実験結果を併記し、図-5 には燃料温度  $t_f$  を高めた場合の結果を併記して比較している。また、図-6 には  $\lambda = 1.0, 1.2$  における  $EGR = 0$  の値をそれぞれ基準として表示してある。図において、 $\lambda > 1.14$  の範囲で  $L_e$  および  $\eta_e$  は順次増加し、 $\lambda < 1.14$  の範囲では逆に低下の傾向が認められる。しかし  $EGR < 15\%$  であれば低下は無視できる程度である。これに対し  $\theta$  を遅らせた場合 ( $EGR = 0$ )、 $L_e$  および  $\eta_e$  の低下はかなり大きい (点線、一点鎖線)。この EGR の効果は EFI 機関の場合も同様であるが希薄領域における  $L_e$  および  $\eta_e$  の低下、可燃範囲の縮小などは気化器式機関よりも顕著である (図-4、図-5)。

$CO$  濃度は EGR 率に関係なく、 $\lambda$  のみに左右される (図-4、図-5)。

THC 濃度は  $0.9 < \lambda < 1.15$  の範囲では EGR 率を変えてもさほど差はないが、これよりも過濃または希薄の難燃範囲になると、EGR 率に比例して増加

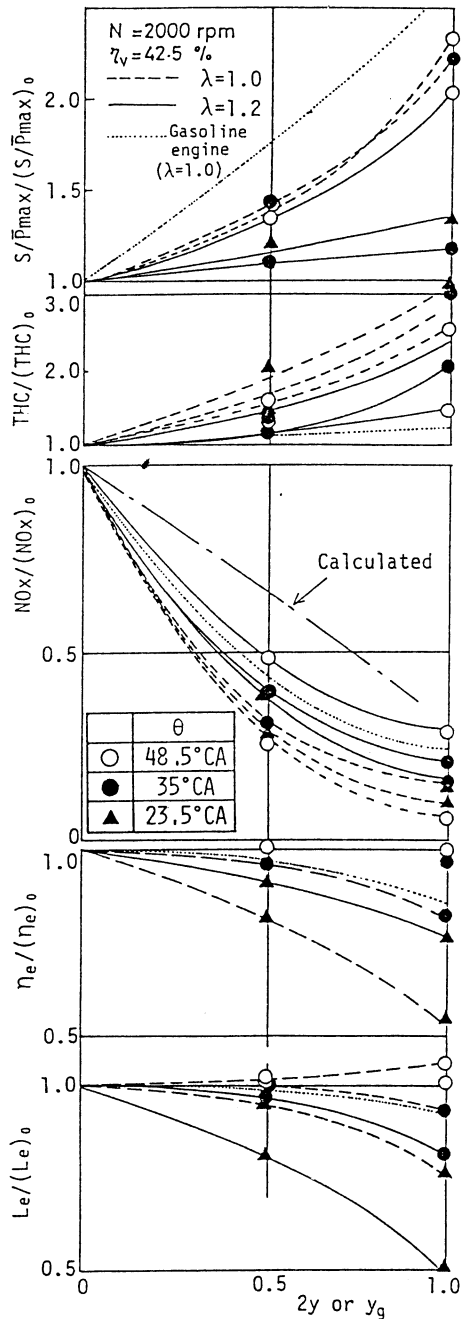


図-3 含水率が機関出力、排気特性および燃焼変動に及ぼす影響 (ガソリンとメタノールの比較)

する傾向が認められ、とくに EGR=25% で  $\lambda > 1.20$  になると不完全燃焼を誘発し THC 濃度が急増する様子がみられる (図-4)。これに対し、EGR=0 で  $\theta$  を遅らせた場合には全域にわたって THC 濃度はかなり低減する (図-4)。一方、EFI 機関では燃料の大部分が液滴状態でシリンダに供給されるので、EGR の影響は比較的大きく、THC 濃度は全域にわたって EGR 率に比例して増加している (図-5)。しかし、燃料を加熱して噴射後の蒸発を促進すると THC 濃度は低減する。

NOx 濃度は、 $\lambda = 1.0 \sim 1.2$  で最大値を示し、全般的に EGR の増大とともに減少している。また、 $\theta$  を遅らせると NOx 濃度は減少する。いま出力に重点をおき  $\lambda = 0.95$ 、EGR=25% (図-4) で運転すると、熱効率も高く、CO=1%、THC=800ppm、NOx=200ppm の排気特性を示す。 $\lambda = 1.14$  の場合、EGR=15% としても  $Le$  および  $\eta_e$  は低下せずに CO=0.3%、THC=400ppm、NOx=300ppm へと改善される。NOx 濃度に対する  $\theta$  の影響は大きく、 $\theta$  を遅らせると NOx 濃度は減少するが、 $Le$  や  $\eta_e$  も低下するので EGR の方が有利であることがわかる。図-6 には水添加の場合と同様な手法で計算した  $NO/(NO)_0$  の値と実験値を比較しているが、定性的に符合している。

R-CHO 濃度は EGR 率に比例して順次増加する (図-4 参照)。EGR 率が高くなると  $P_{max}$  値は低下し S 値は増加、すなわち  $S/P_{max}$  は増大する。この増加割合は気化器式でも EFI 式でも同様であるが (図-6)、EGR を行わず  $\theta$  を遅らせた場合、例えば  $\theta = 48.5^\circ CA$  の場合を基準とすると  $\theta = 35^\circ CA$  では  $(S/P_{max}) /$

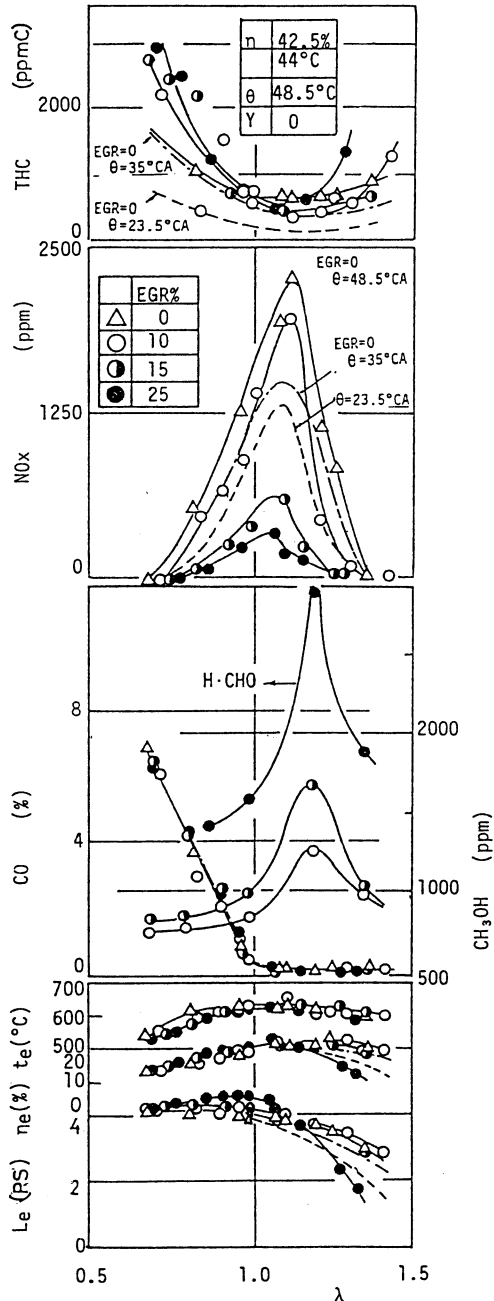


図-4 EGR が機関出力および排気特性に及ぼす影響 (気化器機関)

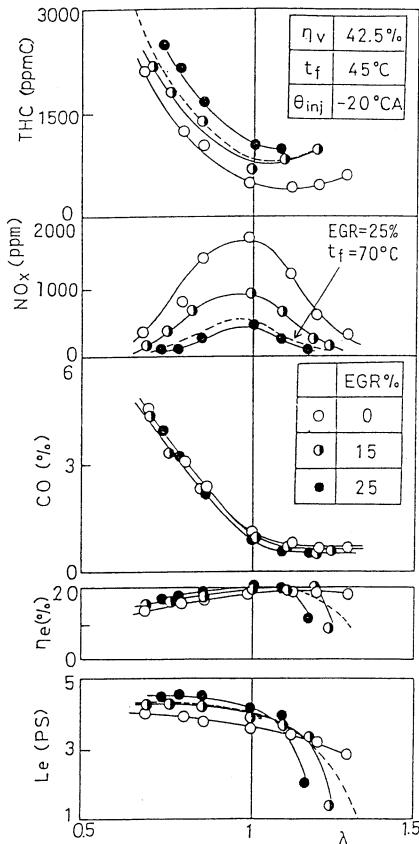


図-5・a EGRが機関出力および排気特性に及ぼす影響 (EFI機関)

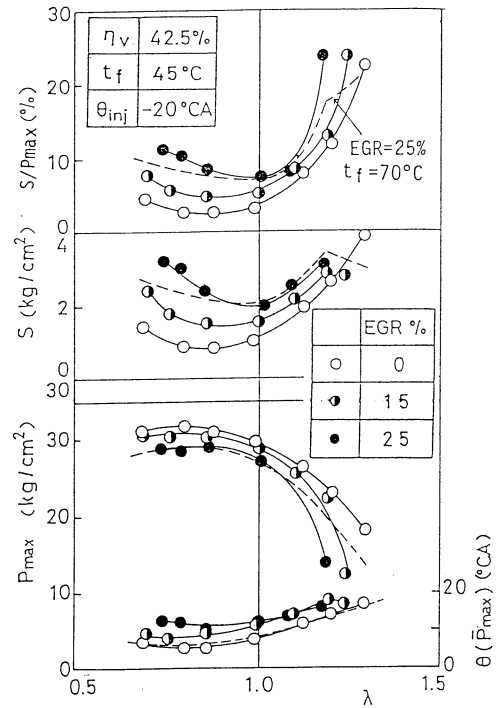


図-5・b EGRが燃焼特性に及ぼす影響 (EFI機関)

( $S/P_{max}$ )<sub>0</sub> = 1.66 ( $\lambda = 1.0$ の場合)、 $\theta = 23.5^\circ\text{CA}$ では3.33となるのに対して、EGR =

20%では1.6となり、比較的小さい。

#### 4. まとめ

汎用機関にメタノール燃料を使用する場合、NO<sub>x</sub>濃度の低減対策として水添加及び排気再循環の効果について実験的に解明したが要約すると以下の通りである。

1) 火花点火機関 (メタノール燃料) に吸気管から水を添加供給する場合、水添加率  $y$  が大きいほど過濃領域の機関の機関出力  $Le$ 、熱効率  $\eta_e$  は増加し、逆に希薄領域では減少し、連続運転が可能な希薄混合気範囲は狭くなると同時に燃焼変動率  $S/P_{max}$  は全般的に増加する。また、過濃領域におけるCO濃度は減少し、THC濃度は全域にわたって増加する。一般にCO濃度はガソリン燃料時よりも低いが高THC濃度およびR-CHO濃度はかなり高く、しかも  $y$  の影響は大きい。これに対し、NO<sub>x</sub>濃度の水添加による低減は顕著である。この場合、点火進め角  $\theta$  が小



いほど、体積効率  $\eta_v$  が小さいほど  $y$  の影響は大きい。燃料の発熱量に対する気化熱の割合を考慮して  $y_g$  の代わりに  $2y$  を用いて整理すると NOx 濃度の低減割合はガソリン燃料を用いた場合とほぼ同じ値となる。

2) メタノール燃料機関にガソリン燃料機関と同様な EGR を実施すると EGR 率が大きいほど過濃領域の  $Le$ 、 $\eta_e$  は増加し、逆に希薄領域では低下する。一般に NOx 濃度を減少させることはできるが、THC 濃度や R-CHO 濃度および燃焼変動率  $S/P_{max}$  は増加する。

3)  $\theta$  を遅らせることは、THC 濃度や NOx 濃度の低減に効果はあるが、 $Le$  や  $\eta_e$  の低下も大きい。同一出力で比較するとき  $\theta$  をさほど遅らせずに EGR や水添加を併用した方が THC 濃度や R-CHO 濃度および燃焼変動率  $S/P_{max}$  を増加させることなく、NOx 濃度の大幅な低減が可能である。さらに、EFI 機関においても EGR 率と燃料温度の最適条件を選択するならば、機関出力  $Le$  および熱効率  $\eta_e$  の低下を最小限度にとどめて排気特性の改善が可能である。

参考文献

- 1) W. Riedel: Beeinflussung der Wirtschaftlich von verbrennungs motoren druch kraft-stofzusatz, Autom. techn. Z. 43(1940)125
- 2) 堀昭三、沢則弘：メタノール機関の排気と燃焼特性に及ぼす EGR 影響、自動車技術会論文集、NO. 17(1979)124
- 3) 宮本登、石谷博美：燃料性状が火花点火機関の熱効率ならびに排出ガスに及ぼす影響、日本機械学会北海道支部講演論文集、NO. 732-3(1973)
- 4) P. J. Marteny: Analytical Study of the Kinetics of Nitrogen Oxides in Hydrocarbon-Air Combustion, Comb. and Tech., 1(1970)461

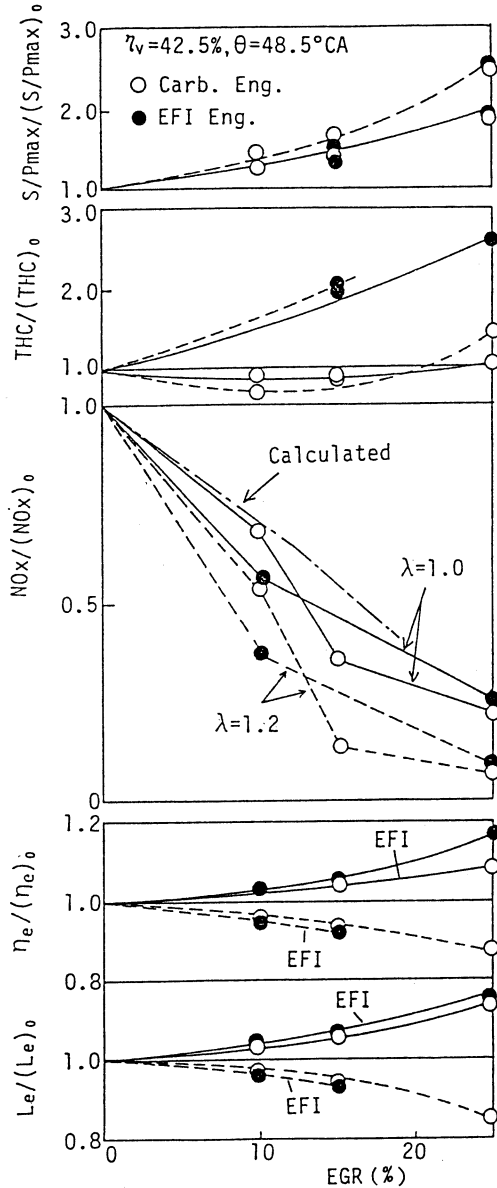


図-6 EGR が機関性能、排気特性および燃焼特性に及ぼす影響 (EFI 機関)

# 学術研究発表集録

## 理 工 編

(昭和63. 4. 1~平成1. 3. 31)

### 金 属 工 学 科

佐々木 修 野 寿 浜 口 由 和	Fe-P-Si 非晶質合金の結晶化過程	日本鉄鋼協会・日本 金属学会北海道支 部合同春季講演大会	1988. 6
H. KUWANO Y. HAMAGUCHI	Mossbauer Study of Iron-Chromium Alloys Irradiated by Energetic Protons	J. Nucl. Mater.	155-157 (1988) p. 1071
劉 世 程 桑 野 寿 浜 口 由 和	Fe-Cr-Mo 合金の時効析出過程	日本金属学会誌	52 (1988) p. 917
劉 世 程	Fe-Cr-5W 合金の時効析出過程	日本金属学会誌	52 (1988) 927
桑 野 寿 水 野 淳 浜 口 由 和	Fe-Cr 合金におけるプロトン照射効果と2 相分離	北海道核融合会議研 究者会議研究報告書	No.1(1988) 12月
田 中 雄 一 沢 崎 義 安 石 平 岡 彦 武	TIG 再溶解法により表面硬化した鑄鉄の耐こ ろがり疲れ	鑄物	60, 9, 584- 589 (1988)
Y. TANAKA S. SHIMOMURA T. HIRAOKA	Surface Hardening of Cast Iron by TIG-Arc Remelting	The Shenyang Inter- national Symposium on Casting (Shenyang, China)	Oct. 7-10 (1988) p. 128-133
田 中 雄 一 石 崎 三 成	鑄造接合法による窒化けい素セラミックスと アルミニウムの接合	日本鑄物協会第113 回全国講演大会	1988. 5. 25
田 中 雄 一	最近の鑄鉄強靱化の動向とその材質評価	日本機械学会北海道 支部, 第28回講習会 テキスト	1988.11.25 p. 18-27
田 中 雄 一	オーステンバ球状黒鉛鑄鉄の高強度・高靱性 特性とその材	日本鑄物協会シンポ ジウム「オーステ 球状黒鉛鑄鉄」テキ スト	1988.11.28 p. 113-123
田 中 久 則 古 沢 俊 実 三 原 英 平 夫	アモルファス Fe-Ni-Cr-P-C 系合金の結晶 化と電気化学的性質との関係	日本金属学会春季講 演大会	1988. 4
稲 垣 信 樹 古 沢 俊 実 三 原 英 平 夫	Ti-Cr 合金の電気化学的性質	日本金属学会北海道 支部春季講演大会	1988. 6
大 西 正 将 古 沢 俊 実 三 原 英 平 夫	Ni-Ti 合金のアノード分極挙動	日本金属学会北海道 支部秋季講演大会	1988.11

菅原英夫	地域振興と産学協同に関する研究討論	日本金属学会, 鉄鋼協会北海道両支部共催	1988.11
菅原英夫	室蘭工業大学における金属教育の現状	金属	58 (1988) No. 12,30
三横 俊平 井正顕 (東伸工業)	高温高圧水中下における微小試験法	金属「最近の解析技術と新素材」臨時増刊号	1988年4月号, p. 28-32
三斎岩濱 横 俊雅 沢崎由正 井口和顕	微小試験片による高温高圧水中の304鋼および靱性セラミックスのSCC感受性評価試験	日本金属学会春期(第102回)大会	1988. 3 .31
三斎菅 俊雅 藤原英夫	高温高圧水中微小 SCC 感受性評価試験における鋭敏化304鋼のひずみ電極挙動と皮膜性状	日本金属学会春期(第102回)大会	1988. 3 .31
澤奥三 井巖 (新日鉄) 野嘉雄 (新日鉄) 三 俊平	高炭素鋼のはく離接着強度に及ぼす接着硬化条件および試験温度の影響	日本鉄鋼協会春季(第116回)大会	1988. 4 . 1
三斎菅大 俊雅 藤原英夫 明 尾真治 (北大工)	高温高圧水・重照射複合環境下のための微小試験片 SCC 試験におけるステンレス鋼の割れ感受性電位域および皮膜性状	腐食防食'88講演大会	1988. 5 .19
鈴三菅 木賢 沢俊平 原英夫	高炭素鋼のはく離および引張接着強度の基礎的研究	日本金属学会・日本鉄鋼協会両北海道支部合同春季講演大会	1988. 6 .17
T. MISAWA Y. HAMAGUCHI M. SAITO	Stress Corrosion Cracking and Hydrogen Embrittlement Studies of Austenitic and Ferritic Steels by Small Punch Test	Journal of Nuclear Materials	155-157 p. 749-753 (1988)
三 沢 俊 平	さびの腐食科学 (最前線シリーズ⑤)	防食技術	37, No. 8 p. 501-506 (1988)
三鈴濱 俊平 木由賢 口由和	構造材料の照射環境強度評価のための微小試験片法	北海道核融合研究会議第1回研究発表会	1988. 9 . 7
三濱斎 俊平 藤由和 雅弘	小型パンチ試験によるフェライト鋼のDBTT評価に必要な照射 TEM 試料数を算出する手法	日本金属学会秋期(第103回)大会	1988.11. 2
三菅向大 俊平 井田三夫 西健敬 (日鋼)	一方向凝固 LaNi <sub>5</sub> -Ni 共晶合金を水素拡散供与型隔膜とした水素化反応	日本金属学会秋期(第103回)大会	1988.11. 3
三勝咲濱石 俊平 木間和 口由二 坂由淳 (日鋼)	微小試験片による極低温破壊靱性試験法の開発	日本金属学会・日本鉄鋼協会両北海道支部合同秋季講演大会	1988.11.17

三 沢 俊 平 菅 原 健 一 向 井 良 久 奈 良 久	一方向凝固 LaNi <sub>5</sub> -Ni 共晶合金を水素拡散供与型隔膜とした水素化反応	日本金属学会・日本鉄鋼協会 両北海道支部合同秋季講演大会	1988.11.17
三 沢 俊 平	最近の腐食防食研究に思うことー腐食防食研究室から環境材料研究室へ	防食技術	38, No. 1 52 (1989)
N. NARA T. MISAWA T. OGAWA K. ONISHI K. MUKAIDA	Application of a Unidirectionally Solidified LaNi <sub>5</sub> -Ni Eutectic Alloy to Hydrogen Diffusive Plate Type Catalyst for Hydrogenation of Ethylene	先端材料科学・技術研究会創立記念シンポジウム	1989. 3 .16
三 沢 俊 平	第2章 耐食性材料の使用状況 第7章 材料選択における腐食試験法	金属系新素材の耐食性評価に関する調査研究委員会報告書(分担執筆)	1989. 3
H.G. KATAYAMA M. SATOH M. TOKUDA (東北大選研)	Fundamental Study on Smelting Reduction of Chromite Ore Powder	Process Technology Conf. Proc., Toronto	7 (1988) p. 125-129
片 山 博 佐 藤 雅 幸 嶋 影 和 宜	各種クロム鉱石のスラグ中における溶融還元挙動	日本鉄鋼協会第115回講演大会	1988. 4 . 1
鈴 木 貴 片 山 博 嶋 影 和 宜	溶融 Fe-Cr 合金と CaO-MgO-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -SiO <sub>2</sub> 系スラグ間のクロムおよび硫黄分配	日本金属学会日本鉄鋼協会 両北海道支部合同春季講演大会	1988. 6 .16
桃 野 正 小 及 井 雅 和 俊 也 井 川 克 也 (東北大)	拡散接合法による鋳鉄と異種金属との複合化について	鋳物	(60), 7 448-453 (1988)
桃 野 正	アルミニウムと異種材料の接合	BOUNDARY	(4), 10, 15- 21, (1988)
桃 野 正 遠 藤 一 彦 圃 城 敏 男 池 内 建 二 (阪大)	SiC 繊維強化アルミニウム複合材料とアルミニウムとの拡散溶接	軽金属	(39), 2 101-108 (1989)
桃 野 正 小 圃 雅 敏 男 菊 地 靖 志 池 内 建 二 (阪大)	Ti/S20C 拡散接合材の継手強さに及ぼす表面粗さと加熱プロセスの影響	日本鉄鋼協会第115回講演大会 材料とプロセス, vol. 1 (1988), No.2-440	1988. 4 . 1
桃 野 正 及 圃 和 敏 俊 男 圃 城 敏 男 (阪大)	アルミニウム合金と銅の拡散接合性に及ぼす銅中酸素の影響	軽金属学会第74回春期大会 (概要集, p. 215)	1988. 5 .19
桃 野 正 及 圃 和 敏 俊 男 藤 原 幹 克 也 (東北大)	球状黒鉛鋳鉄とチタンの拡散接合について	鋳物協会第113回全国講演大会 (概要集, p. 81)	1988. 5 .25

及桃 圓	川野 城	和俊 正男 敏 (阪大)	拡散接合界面における酸化物の生成と継手強さ	日本金属学会・日本鉄鋼協会 北海道支部合同春季講演大会	1988. 6. 17
桃	野	正	金属基複合材料の拡散接合とその問題点	日本鉄鋼協会北海道支部・鋼材・新素材分科会・日本金属学会北海道支部材料研究会	1988. 9. 2
桃小 圓	野林 城	正之 雅敏 男 (阪大)	鉄鋼とチタンの拡散接合性に及ぼす母材炭素量と加熱プロセスの影響	溶接学会昭和63年度秋期全国大会(概要集一第43集一, p. 202)	1988. 9. 30
桃及 片	野川 山	和俊 博	拡散接合界面における酸化物の生成と接合強さ	日本金属学会昭和63年度秋期大会(第103回講演概要, p. 515)	1988.11. 3
桃伊 片	野藤 山	正昭 博	マグネシウム合金箔をインサート材としたアルミニウム合金の拡散接合	軽金属学会第75回秋期大会(概要集, p. 173)	1988.11.17
齊小 桃片 桜	藤野 山井 (栗本鉄工)	琢磨 人正 博 蔵	片状黒鉛鋳鉄と鋳鋼の拡散接合性に及ぼす接合雰囲気の影響	日本金属学会・日本鉄鋼協会 北海道支部合同春季講演大会	1988.11.18
桃片	野山	正博	複合材料用語集		1988.10.10
Shinji HIRAI Shigetomo UEDA (Waseda Univ.)			Nonporous Silicon Diffusion Coating on Steel Using Silicon Carbide and Titanium Powders	Transactions of the Japan Institute of Metals	29 (1988) p. 685
忍平 上	田井 仲重 (早稲田大学)	治久 治朋 (早稲田大学)	珪素拡散被覆処理によるチタンの表面硬化と耐高温酸化性の向上	日本金属学会第102回講演大会	1988. 4. 1
若平 上	林井 仲重 (早稲田大学)	純也 治朋 (早稲田大学)	Al-Cr 複合拡散被覆した Ti 合金の耐高温酸化性と機械的性質について	日本金属学会第102回講演大会	1988. 4. 1
齊平 上	藤井 仲重 (早稲田大学)	吉之 治朋 (早稲田大学)	チタンの水素脆性に及ぼす Al-Cr 複合拡散被覆の影響	日本金属学会第102回講演大会	1988. 4. 1
平三 岩小 片	井輪 田澤 山	伸哲 治也 努義 博	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> の N <sub>2</sub> 雰囲気中炭素熱還元による AlN の生成過程	日本金属学会第103回講演大会	1988.11. 4

平三 岩片	井輪 田山	仲哲	治也 努博	$N_2$ 雰囲気中炭素熱還元法による AlN の生成に及ぼす原料粉末粒度の影響	日本金属学会北海道支部秋季講演大会	1988.11.17
佐太 刀川	藤藤 太刀川	忠政 哲	夫尚 平	ホウフツ化物浴からの Pb-Sn-Cu 合金のパルスおよび定電流めっき	金属表面技術	39, 196 (1988)
佐太 刀川	藤藤 太刀川	忠茂 哲	夫雄 平	単一蒸発源からの Pb-Sn, Pb-In 合金の真空蒸着	金属表面技術	39, 280 (1988)
佐福 佐太 刀川	藤井 木川	忠弘 秀哲	夫幸 泰平	ヨウ化モリブデンの調製	電気化学	56, 860 (1988)
佐西 太刀 川	藤野 刀川	忠太 哲	夫雄 平	CVD 法による $ZrB_2$ 被膜の作成	電気化学協全第55回大会	1988. 4 .16
佐阿 太刀 川	藤部 刀川	忠秀 哲	夫己 平	$AlCl_3$ -NaCl 混合熔融塩中における各種磁気材料の溶解度	電気化学協全第55回大会	1988. 4 .16
菊佐 戸嶋	地藤 田影	達忠 茂和	也夫 雄宜	RF イオンプレーティング法による $ZrB_2$ 被膜の生成	1988年電気化学秋期大会	1988. 9 .26
Tadao SATO				Solubility of Several Metal Oxides in $AlCl_3$ -NaCl Melt	第2回熔融塩化学と技術日中国際シンポジウム並びに第20回熔融塩化学討論会	1988.11. 8
佐結 嶋	藤城 影	忠和	夫満 宜	$TiB_2$ -Al 合金粉末の製造	軽金属学会第75回秋期大会	1988.11.16
片佐 嶋	山藤 影	雅和	博幸 宜	各種クロム鉱石のスラグ中における溶融還元挙動	日本鉄鋼協会第115回講演大会	1988. 4 . 1
嶋遠 片	影藤 山	和一 (大学院)	宜彦 博	真空下における酸化サマリウムと希土金属の反応	第102回日本金属学会春期講演会	1988. 4 . 2
嶋遠 宮 片	影藤 内山	和一 (大学院)	宜彦 行博	直接還元法による金属イツテルビウムの製造に関する基礎研究	昭和63年度日本鉱業会春季講演会	1988. 4 . 6
嶋田 齊片 鎌	影中 藤山 田	和宣 厚隆	宜弘 志博 吉	偏析法による溶融 Al-M (M=Si, Zn, Fe) 合金の高純度化に対する攪拌の効果	第74回軽金属学会春期講演会	1988. 5 .17
鈴片 嶋	木山 影		貴博 宜	溶融 Fe-Cr 合金と $CaO$ - $MgO$ - $Al_2O_3$ - $SiO_2$ 系スラグ間のクロムおよび硫黄分配	日本鉄鋼協会・日本金属学会両支部合同昭和63年度春季講演会	1988. 6 .16

咲間光廣 嶋影和宜 片山博	$\beta$ "-アルミナ固体電解質を用いた Na/S (IV) 溶融塩電池の特性	日本鉄鋼協会・日本金属学会北海道支部合同昭和63年度春期講演会	1988. 6. 17
嶋影和宜 星政義 (東北大学)	CVD 法により炭素被覆したレア・アース酸化物の塩素化に関する研究	日本鉱業会誌	1988 (No.9)607-613
八重樫誠司 (東北大学)			
江島辰彦 (東北大学)			
嶋影和宜	直接還元法によるレア・アースメタル (Sm, Eu, Tm, Yb) の創製	資源・素材学会秋季大会分科研究会報告書 S1-11	1988.10.17
Kazuyoshi SHIMAKAGE	Reduction Reactions of Samarium and Ytterbium oxides with rare earth Metals (La, Ce, Nd and Pr) in Vacuum Atmosphere	Proceedings of 1st International Conference on the Metallurgy and Materials of Tungsten, Titanium, Rare Earth, and Antimony	1988.11. 7
佐藤忠夫 結城満 (大学院)	TiB <sub>2</sub> -Al 合金粉末の製造	軽金属学会第75秋季大会	1988.11.16
嶋影和宜			
遠藤一彦 (大学院)			
島尾良介 (大学院)	金属熱還元法によるレア・アースメタル (Eu, Yb, Sm, Tm) の創製	日本鉄鋼協会・日本金属学会両支部合同昭和63年度秋季講演会	1988.11.17
佐藤忠夫 嶋影和宜			
嶋影和宜 遠藤一彦 佐藤忠夫 片山博	直接還元法によるレア・アースメタル (Sm, Eu, Tm, Yb) の製造に関する基礎研究	資源・素材学会誌	105巻,1989 (No. 2) 175-180
嶋影和宜	高エネルギー密度を有する Na/S(IV) 溶融塩電池に関する基礎研究	昭和63年度文部省科学研究費補助金研究成果報告書 (一般研究 B)	1989. 3
佐藤忠夫 嶋影和宜	CVD 法による軟鋼板上への TiB <sub>2</sub> , ZrB <sub>2</sub> および (Ti-Zr)B <sub>2</sub> 被膜の作成	日本鉄鋼協会北海道支部鋼材・新素材分科会	1989. 3. 17

電気系 (電気工学科, 電子工学科, 第二部電気工学科)

Toshirou YAGI (九大)			
Akira SAKAI	Pressure Dependence of Light Scattering Spectra OF KDP	The Fourth Japanese-Soviet Symposium on Ferroelectricity	1988. 8. 23
Michitsugu ARIMA (九大)			
Akira SAKAI	Brillouin Scattering Study of Surface Effect on the Ferroelastic Phase Transition of KD <sub>3</sub> (SeO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	The Fourth Japanese-Soviet Symposium on Ferroelectricity	1988. 8. 23
Toshirou YAGI (九大)			

呂志力 八木駿郎 酒井彰 出口潔 中村英二 (九大)	PbHPO <sub>4</sub> (LHP) のブリルアン散乱	日本物理学会秋の分科会	1988.10. 6
酒井 彰	顕微ブリルアン散乱システムの試作とその応用	日本分光学会秋季講演会	1988.11.26
八木駿郎 有馬通継 酒井彰 (北大)	KDP の高圧下光散乱-Peercy モードの検討	日本物理学会第44回年会	1989. 3 .28
Tetsuaki NISHIDA (九大)			
Hiroshi IDE (九大)			
Yonezo MAEDA (九大)	Mössbauer Spectroscopic Study of Superconducting Y-Ba-Cu(Fe)-O Ceramics and Gamma-Ray Irradiation	Bull. Chem. Soc. Jpn.	62, 61-67 (1989)
Hiroyuki NASU(九大)			
Toshirou YAGI (九大)			
Akira SAKAI			
Yoshimasa TAKASHIMA (九大)			
八木駿郎 有馬通継 酒井彰 (北大)	高圧下 Raman 散乱による KDP の相転移機構-Peercy 結論の再検討	京都大学原子炉実験所専門研究会報告書	KURRI- TR-311.33 -37(1989)
松田敏彦 曾ヶ端賢	直流機無火花帯の簡易計算法	電気学会回転機研究会資料	1988. 1 .22
松田敏彦 曾ヶ端賢 山岸等	単重波巻直流機の無火花帯解析	電気学会産業応用部門全国大会	1988. 8 .17
鈴木好夫 橋本一敏 松田敏彦	整流アークエネルギーと摩耗の関係	昭和63年電気関係学会北海道支部連合大会	1988.10. 9
山岸等 菅原好夫 鈴木敏彦	単重波巻直流機の整流解析	昭和63年電気関係学会北海道支部連合大会	1988.10. 9
鈴木好夫 松田敏彦	整流火花測定装置による火花号数の検討	電気学会論文誌 D 108巻12号	1988.12
松田敏彦 鈴木好夫 松田敏彦	直流機無火花帯の簡易計算法	電気学会論文誌 D 109巻3号	1989. 3



H. TAZAWA H. WAKAYAMA J.S. TURNER (ケープタウン大学) C.V. PAGANELLI (ニューヨーク 州立大学)	Metabolic compensation to gradual cooling in developing chick embryos.	Comparative Biochemistry and physiology.	89A, 125-129(1988)
S. NAKAZAWA H. TAZAWA	Blood gases and hematological variables of chick embryos with widely altered shell conductances.	Comparative Biochemistry and Physiology.	89A, 271-277(1988)
A.J. OLSZOWKA (ニューヨーク 州立大学) H. TAZAWA H. RAHN (ニューヨーク 州立大学)	A blood-gas nomogram of the chick fetus: Blood flow distribution between the chorioallantois and fetus.	Respiration Physiology	71, 315-330(1988)
H. WAKAYAMA H. TAZAWA	The analysis of $P_{O_2}$ difference between air space and arterialized blood in chick eggs with respect to widely altered shell conductance.	Oxygen Transport to Tissue-X.	699-708(1988)
H. TAZAWA J.S. TURNER (ケープタウン大学) C.V. PAGANELLI (ニューヨーク 州立大学)	Cooling rates of living and killed chicken and quail eggs in air and in helium-oxygen gas mixture.	Comparative Biochemistry and Physiology	90A, 99-102(1988)
A. OKUDA H. TAZAWA	Gas exchange and development of chicken embryos with widely altered shell conductance from the beginning of incubation.	Respiration Physiology	74, 187-198(1988)
H. TAZAWA S. NAKAZAWA A. OKUDA C.G. WHITTOW (ハワイ大学)	Short-term effects of altered shell conductance on oxygen uptake and hematological variables of late chicken embryos.	Respiration Physiology	74, 199-210(1988)
木村 俊 憲 大木 正 聡 吉田 淳 明 南野 村 二 滋	温度勾配凝固法による InP 結晶成長とその評価	電気関係学会北支連 大会講演論文集 182 p	1988.10.9
源山 誠 治 久保田 修 聡 南野 村 二 滋	陽極酸化を用いた MIS 型太陽電池の動作機構	電気関係学会北支連 大会講演論文集 190 p	1988.10.9
石北 真 三子 印牧 直 洋 一 坂田 洋 学 南野 村 二 滋	陽極酸化 $SiO_2/Si$ 界面構造の観察	電気関係学会北支連 大会講演論文集 191 p	1988.10.9
野村 真 滋 百部 直 三子 七村 淳 二 河村 真 三子	シリコン陽極酸化膜の界面構造と電気的性質	電気化学および工業 物理化学	57,(1), 47-54(1989)

土佐林 馬場 遠藤 南野	勝秀敏 村	彦光明 二滋	半導性 n-TiO <sub>2</sub> 電極の表面準位	応用物理北支学術講演会講演予稿集 A-8	1989. 1 .26
藤川 佐々木 山田 南野	明章 牧高 淳	人一進 専二滋	イオンビーム化蒸着法による InP 薄膜作製	応用物理北支学術講演会講演予稿集 A-16	1989. 1 .26
北沼 小南野	村田 井條 村	直映昭 淳	電気化学的方法による陽極酸化 SiO <sub>2</sub> /Si 界面の改善について	応用物理北支学術講演会講演予稿集 A-10	1989. 1 .26
石坂 印南野	部田 牧條 村	真洋 淳	陽極酸化 SiO <sub>2</sub> /Si 界面の結合状態	応用物理北支学術講演会講演予稿集 A-11	1989. 1 .26
木大 吉南野	村木 田條 村	俊正 淳	温度勾配凝固法による InP 結晶成長	応用物理北支学術講演会講演予稿集 A-18	1989. 1 .26
木野 小森 南野	村寺 下條 村	俊億伸 淳	スプレー法による CdS/InP ヘテロ接合太陽電池の試作	応用物理北支学術講演会講演予稿集 A-20	1989. 1 .27
石北 印南野	部村 牧條 村	真直洋 淳	シリコン陽極酸化膜の界面構造とその電気的性質	第15回電気化学協会北支研究発表講演要旨集	1989. 1 .27
北小 沼南野	村井 田條 村	直昭映 淳	陽極酸化 SiO <sub>2</sub> /Si 界面の電気化学的改善に関する研究	第15回電気化学協会北支研究発表講演要旨集	1989. 1 .27
木野 小森 南野	村寺 下條 村	俊億伸 淳	スプレー法による CdS/InP 太陽電池の試作	第15回電気化学協会北支研究発表講演要旨集	1989. 1 .27
坂上 羽鳥	岩孝 孝	太三	分布結合形デジタル周波数通傍器のガウス性周期パルス列応答について	電子情報通信学会論文誌(C)	Vol. J 71-C, No.8 p. 1105- 1113 (1988-08)
坂上 羽鳥	岩孝 孝	太三	位相特性を考慮した分布結合形デジタル周波数通傍器のパルス列応答について	電子情報通信学会春季全国大会	C-753 1989. 3 .30
岡崎 杉岡	勝男 一郎		知識獲得支援ツール及び教育システムの作成	昭和63年度電気関係学会北海道支部連合大会	1988.10. 9

Gerardo AYALA Ichiro SUGIOKA		USE OF "WORKSTATION ENVIRONMENT" FOR AN INTELLIGENT TUTOR OF RULE- BASED PROGRAMMING	Proceedings of The Second Joint Confer- ence on Educational Technology	1988.10. 9		
一黒杉秋	柳島山	和利一	弘一郎 稠	スペクトラム拡散通信方式における電燈線 データ伝送に関する研究	室蘭工業大学研究報 告(理工編)	第38号, 85- 95(1988)
一黒杉秋	柳島山	和利一	弘一郎 稠	スペクトラム拡散通信方式における符号変調 に関する研究	室蘭工業大学研究報 告(理工編)	第38号, 97- 106(1988)
一黒杉秋	柳島山	和利一	弘一郎 稠	スペクトラム拡散通信方式における同期捕 捉, 保持に関する研究	室蘭工業大学研究報 告(理工編)	第38号 107-122 (1988)
松上菊	浦田地	康勇直	治治哉	Ee-Cu 金属多層膜の作製及びその磁性	電気関係学会北海道 支部連合大会講演論 文集	1988.10
小上川	浜田越	達勇圭	也治生	Fe-B-SO 非晶質合金の透磁率の時間的変化 に関する考察	電気関係学会北海道 支部連合大会講演論 文集	1988.10
松坂鋒	浦口館	勇俊	二威之	ヘリウムグロー放電陽光柱の解析—電子エネ ルギー分布の測定値を用いた場合—	電気学会論文誌 A	Vol. 108 No. 6, 1988 (昭63)
斉西	藤善夫	昭	昭			
重高	野俊一	浩	浩	Ar グロー放電陽光柱の電子エネルギー分布 の解析	電気学会放電研究会	資料 ED-88-45 1988 (昭63)
斉西	藤善夫	昭	昭			
松坂	浦口	勇	二威			
高重	野俊一	浩	浩	プラズマ中の振動の電子エネルギー分布測定 における影響	電気学会放電研究会	資料 ED-88-46 1988 (昭63)
西	藤善夫	昭	昭			
松坂	浦口	勇	二威			

齊藤善夫 高橋史一 重野俊浩 西辻昭二 池松浦口 坂威	電子エネルギー分布の放電管軸方向特性	電気関係学会北海道 支部連合大会講演論 文集	1988.10
齊藤善夫 高橋史一 重野俊浩 西辻昭二 池松浦口 坂威	振動する直流プラズマの電子エネルギー分布 の測定	電気関係学会北海道 支部連合大会講演論 文集	1988.10
高橋史一 重野俊浩 齊藤善夫 西辻昭二 池松浦口 坂威	振動するプラズマにおける探針電流のシミュ レーション	電気関係学会北海道 支部連合大会講演論 文集	1988.10
重野俊浩 高橋史一 齊藤善夫 西辻昭二 池松浦口 坂威	探針測定におけるイオン電流の影響	電気関係学会北海道 支部連合大会講演論 文集	1988.10
倉棚重龍 田龍一郎	学習解答における誤答要因実時間解析システ ムの開発	教育工学関連学協会 連合第2回全国大会 講演論文集	1988.10 JCET
倉棚重龍 田龍一郎 査沢幸成	室蘭工大式改良型 CAI システム (HOSCL/ G) の開発	教育工学関連学協会 連合第2回全国大会 講演論文集	1988.10 JCET
棚田重龍 倉重龍一郎	電気工学自動化実験システムのためのシミュ レータの試作	教育工学関連学協会 連合第2回全国大会 講演論文集	1988.10 JCET

化学系 (化学, 工業化学科, 化学工学科)

山崎忠良 小寺琢朗 富士川計吉	CO 共存下の H <sub>2</sub> の陽極酸化中の電位振動 (I) 実験結果	電気化学協会第55回 大会	1988.4.5
-----------------------	--	------------------	----------

山崎忠良 (北大触)	小寺琢朗 富士川計吉	CO 共存下の H <sub>2</sub> の陽極酸化中の電位振動 (II)理論解析	電気化学協会第55回 大会	1988. 4 . 5
富士川計吉 石超基 荒又明子 喜多(北大触) (英明 北大理)		金属担持 SPE 膜電極上のギ酸酸化	日本化学会北海道支 部1988年夏季研究発 表会	1988. 7 .22
村岡薫 富士川計吉 小寺琢朗 喜多(英明 北大理)		Au-Sn 系金属付 SPE 膜電極上の CO 酸化に おける高活性電極調製法	日本化学会北海道支 部1988年夏季研究発 表会	1988. 7 .22
富士川計吉 武田義幸 魚崎浩平 喜多(北大理) (英明 北大理)		n-InSe 単結晶電極の光アノード特性	日本化学会誌	1988巻 8 号 p.1157 (1988)
K. FUJIKAWA A. HAYASHI H. TANAKA T. KANAZUKA		Catalytic Gasification of Carbon: A Method for Estimation of Activity of Alkal: Metal Catalysts in the Gasification of Highly Pure Amorphous and Graphitic Carbons with Steam	Bicentenary Cataly- sis Conference	1988. 9 . 1
富士川計吉		アルカリ金属化合物を担持した高純度炭素と 二酸化炭素パルスとの反応	日本化学会第57秋季 年会	1988. 9 .24
富士川計吉 村岡薫 喜多(英明 北大理)		CO 酸化における Au-SPE 膜電極の調製法	電気化学協会1988年 秋季大会	1988. 9 .26
富士川計吉 石超基 村岡薫 荒又明子 喜多(北大触) (英明 北大理)		Pt-Sn 錯体溶液中で処理した金属電極でのメ タノール酸化(2)	電気化学協会北海道 支部第15回研究発表 会	1989. 1 .27
富士川計吉 山中厚 荒又明子 喜多(北大触) (英明 北大理)		攪拌型電解槽におけるけん濁電極を用いるメ タノール酸化	日本化学会北海道支 部冬季研究発表会	1989. 2 . 3
A. ARAMATA (Hokkaido Univ.) T. KODERA M. MASUDA (Hokkaido Univ.)		Electro oxidation of Methanol on Platinum bonded to the Solid Polymer Electrolyte, Nafion	G. App. Electrochem	18,557-582 (1988)
山崎忠良 (北海道大)	小寺琢朗 富士川計吉	CO 共存下の H <sub>2</sub> の陽極酸化中の電位振動： (I)実験結果	電気化学協会第55回 大会講演要旨集 (F127)	1988. 4 . 5

山崎忠良 (北海道大) 小寺琢朗 富士川計吉	CO 共存下の H <sub>2</sub> の陽極酸化中の電位振動： (II)理論解析	電気化学協会第55回 大会講演要旨集 (F128)	1988. 4. 5
山崎忠良 (北海道大) 小寺琢朗	水素の陽極酸化中の電位振動	第1回エレクトロキ ャタリシス研究会講 演要旨集 pp. 1~5	1988. 9. 24
山崎忠良 (北海道大) 小寺琢朗	H <sub>2</sub> -CO-Au 電極の電位振動	1988年電気化学秋季 大会講演要旨集 (F217)	1988. 9. 26
杉岡正敏 金塚高次	担持硫化モリブデン系触媒による硫化水素の 分解反応	日本化学会誌	No. 8, 1294 (1988)
杉岡正敏 土門高次 金塚高次	2-プロパノールの脱水反応に対する種々の 群青の触媒活性	日本化学会誌	No. 12, 2045 (1988)
杉岡正敏 土門高次 金塚高次	ウルトラマリン類を触媒とするノーブテンお よびシクロプロパンの異性化反応	日本化学会誌	No. 3, 516 (1989)
村井徹誠 小杉一正 金塚高次	管理図法による化学工程管理-有意差検定用 検出力計算図表-	日本化学会北海道支 部夏季研究発表会	1988. 7. 22 (函館)
中土晋一 田畑光正 杉岡高次 金塚高次	ゼオライト触媒上でのブテンの異性化反応に 対する種々の硫黄化合物による前処理の影響	日本化学会北海道支 部夏季研究発表会	1988. 7. 22 (函館)
土門正稔 杉岡高次 金塚高次	1-ブテンの異性化反応およびエタノールの 分解反応に対するウルトラマリン(群青)の 触媒作用	触媒討論会 A	1988. 9. 30 東北大学 (仙台)
杉岡正敏 中金山晋高	種々のコバルトイオン交換ゼオライト触媒に 対する硫化水素処理効果	第4回ゼオライト研 究発表会	1988. 11. 22 上智大 (東京)
M. SUGIOKA S. NAKAYAMA T. KANAZUKA T. HOSOTSUBO	Formation of new Brönsted acid sites on met- al Y zeolites by pretreatment with hydrogen sulfide.	International sympo- sium on Acid-Base catalysis.	Sapporo Nov. 28- Dec. 1 (1988) Poster ses- sion Hok- kaido Univ.
村井徹誠 杉岡正高 金塚高次	管理図法による化学工程管理-x管理図の特 性に対する測定誤差の影響-	日本化学会北海道支 部冬季研究発表会	1989. 2. 3-4 北海道大 (札幌)
勝間智洋 杉岡正敏 金塚高次	硫化 Mo/γ-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 触媒による水素化反応に 対する後処理効果	日本化学会北海道支 部冬季研究発表会	1989. 2. 3-4 北海道大 (札幌)
中山孝行 杉岡正敏 金塚高次	炭化水素の熱分解および接触分解に対する共 存硫化水素の促進効果	日本化学会北海道支 部冬季研究発表会	1989. 2. 3-4 北海道大 (札幌)
土門正稔 杉岡高次 金塚高次	金属イオンおよびプロトン交換型ウルトラ マリン触媒による種々の酸触媒反応	日本化学会北海道支 部冬季研究発表会	1989. 2. 3-4 北海道大 (札幌)

杉 岡 正 敏	固体表面上での硫化水素の挙動と反応促進効果	第43回北海道石炭研究会	1989. 2. 10 北開試 (石炭利用技術と液化関連触媒に関するシンポジウム)
上中 道川 芳 夫 高金 橋塚 宏高 功成次	アルカリ金属添加活性炭触媒の脱水素活性	日本化学会北海道支部1988年夏季研究発表会	1988. 7. 23
上篠 道崎 芳 夫 大金 野塚 健俊 介一 次	金属塩化物触媒によるポリ塩化ビニールの脱塩化水素反応	日本化学会北海道支部1989年冬季研究発表会	1989. 2. 4
Y. UEMICHI Y. MAKINO T. KANAZUKA	Degradation of Polyethylene to Aromatic Hydrocarbons over Metal-Supported Activated Carbon Catalysts	J. Anal. Appl. Pyrol.	14, (4)331-344 (1989)
松田 圭 右 武田 野 新 一 高竹 野 野 昇 弘	NAD <sup>+</sup> /NADH 酸化還元系およびパン酵母を用いるβ-ケトエステル類の不斉還元反応	日本化学会56回春季年会 (東京)	1988. 4. 4
山武 山口 晴 久 高竹 野 野 新 一 弘 昇	光学活性ポリピロール膜の電気化学的合成と挙動	日本化学会北海道支部1988年夏季研究発表会 (函館)	1988. 7. 22
板松 屋 正 信 松武 田 圭 右 高竹 野 野 新 一 弘 昇	パン酵母を用いるβ-ケトエステル類の電解不斉還元反応	日本化学会北海道支部1988年夏季研究発表会 (函館)	1988. 7. 23
高山 野 信 弘 武竹 口 田 晴 久 野 野 新 一 昇 弘	光学活性ポリピロール膜の電気化学的挙動	「超高率分子変換—反応性電極による分子変換」公開シンポジウム (札幌)	1988. 8. 19
高松 野 信 弘 武竹 田 圭 右 野 野 新 一 昇 弘	パン酵母不斉還元反応への電気化学的レドックス系の導入	'88年電気化学秋季大会 (浦和)	1988. 9. 26
高近 野 信 弘 武竹 田 圭 右 野 野 新 一 昇 弘	1, 3, 5-置換-1, 4-ジヒドロピリジン類の電解酸化反応	日本化学会北海道支部1989年冬季研究発表会 (札幌)	1989. 2. 3
小 松 藤 男 駒 田 達 彦	30%直鎖状低密度ポリエチレン並びに30%無水マレイン酸直鎖状低密度ポリエチレンを含む超高分子量ポリエチレンの filler (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , MgO) による粘弾性 (II報)	第37回高分子学会年次大会 Polymer Preprints, Japan. 1254頁 Vol. 37, No.4 (1988)	1988. 5. 27
高田 橋 洋 志 小竹 中 幡 達 夫 小 内 隆 英 二 男	自然発火及び品質劣化を起さない最大石炭貯蔵量のシミュレーション	粉体工学会誌	25, (7)437 (1988)
H. TAKAHASHI E. OBATA T. TAKEUCHI	Velocity Discontinuity of Particles Flowing in a Mass-Flow Hopper and the Analysis of Its Characteristics	KONA, Powder Science and Technology in Japan	No. 6, 47 (1988)

高竹九	橋内島	洋隆行	志男正	移動層粒子の力学的運動と装置形状	化学工学協会第21回 秋季大会講演要旨集	SF 202 1988.10.17
高竹水	橋内谷	洋隆公	志男俊	直交流移動層式グラニューラフィルタの集塵特性	粉体工学会秋期研究 発表会講演要旨集	134 1988.11. 8
高橋	洋	志		移動層反応装置による固気接触操作の熱的不安定性に及ぼす諸操作因子の影響	旭硝子工業技術奨励 会研究報告	53, 99 (1988)
H. TAKAHASHI K. KUSHIMA T. TAKEUCHI				Two Dimensional Analysis of Bueden Flow in Blast Furnace Based on Plasticity Theory	ISIJ International	29, (2)117 (1989)
安正秋小	藤岡吉幡	公英	二論亮二	TOA を担体とする乳化型液体膜によるクロムの初期抽出速度	化学工学論文集	14, (3)417- 420(1988)
黒橋石秋小安	川本典吉幡藤	真克典英公	弓紘亮二	アンモニア酸化細菌の付着固定化	日本化学会北海道支 部1989年冬季研究発 表会	1989. 2 . 3
長谷秋小安	谷川吉幡藤	直英公	樹亮二	金属担持触媒のメタノールのメタン化活性	日本化学会北海道支 部1988年夏季研究発 表会	1988. 7 .23

### 開 発 工 学 科

藤谷(南大今石)	井口大野(南大石)	義正張雅張洋	明毅博二	長壁式払周辺の地圧現象の計測—南大夕張炭鉱3卸7片下層3号払における事例—	昭和63年度日本鉱業 会春季大会	1988. 4 . 5
後藤佐細	藤井龍義干貴	龍義干貴	彦明城生	3対のカーブドジャッキによる地圧変化計測について	昭和63年度日本鉱業 会春季大会	1988. 4 . 6
藤石	井島	義洋	明二	深部採炭に伴う微小地震活動とそのシミュレーション	日本鉱業会誌	104, 1204 345-351 1988
藤後佐岩	井藤藤谷	義龍干	明彦城剛	超小型ラムを用いた初期地圧測定の可能性について	昭和63年度資源・素 材学会北海道支部秋 季講演会	1988.10.28
板佐秋	倉藤山	賢直	一彦一	トルク検層による炭層中の地圧分布の評価について	日本鉱業会昭和63年 度春季大会研究・業 績発表講演会	1988. 4 . 5
佐高	藤倉塚	一賢	彦一哲	採掘場で発生する AE の発生機構について— 模型実験—	日本鉱業会昭和63年 度春季大会研究・業 績発表講演会	1988. 4 . 6



佐板高 藤倉塚 一賢 彦一哲	地下空洞周辺における AE の発生機構	第 3 回地下の AE コ ンファレンス論文集	1988.13-19
Kazuhiko SATO Yoshiaki FUJII	Criteria for Occurrence and Focal Mechanisms of Seismic Events Around Underground Excavation	Second International Symposium of Rock-bursts and Seismicity in Mines	June 8 -10 1988
高塚 佐藤 一 彦	掘削に伴う AE の発生機構について	日本鉱業会北海道支部昭和63年度春季講演会	1988. 6 .15
秋山 佐藤 直一 彦	貫層ボーリングにおけるトルク検層について	日本鉱業会北海道支部昭和63年度春季講演会	1988. 6 .15
板倉 中島 渡辺 (北海道大) (元北海道大)	着炭ぎわの立入掘進における AE 活動の計測ーガス突出に伴う AE 活動に関する研究 (第 1 報)ー	日本鉱業会誌	104, 1206 495-503 (1988)
佐板秋 藤倉山 一賢 直一	トルク検層による炭層中の地圧分布の評価について	炭鉱技術	9, 13-19 (1988)
奥山 (赤平ボー リングサ ービス) 中山幸 (赤平ボー リングサ ービス) 佐藤一 板倉賢	リングカッター RB 工法におけるビット位置自動検出システムの開発	室蘭工業大学開発技術研究会, 資源・素材学会北海道支部共催昭和63年度研究発表会	1988. 9 . 9
Kazuhiko SATO Yoshiaki FUJII	Induced Seismicity Associated with Longwall Coal Mining	International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanical Abstracts	25, 253- 262(1988)
Kazuhiko SATO Ken-ichi ITAKURA	Source Mechanisms of Acoustic Emissions around Underground Excavation	Progress in Acoustic Emission	IV, 240- 247(1988)
中島 (北海道大) 板倉賢 出口剛 (石炭技術研)	沿層掘進における AE 活動の計測ーガス突出に伴う AE 活動に関する研究 (第 2 報)ー	日本鉱業会誌	104, 1210 877-882 (1988)
Ken-ichi ITAKURA H.R. HARDY JR. (ペンシルバ ニア州立大)	Development of Data Acquisition and Analysis System for Geotomography and Some Field Results	Internal Report, The penn State Univ., Dep. Mineral Eng.	1989
Kazuhiko SATO Yoshiaki FUJII	Source Mechanism of a Large Scale Gas Outburst at Sunagawa Coal Mine in Japan	Pure and Applied Geophysics	129, 325- 343(1989)
襄佐秋 藤山 放一 直一 鳴彦	ボーリングトルク検層に関する基礎実験	平成元年度資源・素材学会春季大会研究・業績発表講演会	1989. 3 .30

佐板 藤倉 一彦	シールド自走支保の構造力学的解析	平成元年度資源・素材学会春季大会研究・業績発表講演会	1989. 3. 30
吉大徳 西 田森 昭八郎 (北大応電研)	液相中懸濁粒子群の濃度と粒径分布の同時計測について	日本鉱業会昭和63年度春季全国大会	1988. 4. 6
吉後平 佐西 田藤 龍雅干 (北大応電研)	CO <sub>2</sub> レーザを用いたエチレンガスの定量化について	日本鉱業会昭和63年度春季全国大会	1988. 4. 6
佐々木 田英 之昭八郎 徳吉門 田脇 良	ジョウクラッシュの軸トルクの理論と実験的考察	日本鉱業会北海道支部昭和63年度春季講演会	1988. 6. 15
吉 田 豊	レーザー光減衰を用いた広域空間の粉粒体測定について	粉体と工業誌	20, (5), 29-38 (1988)
吉平徳 田沼 雅昭八郎	CO <sub>2</sub> レーザ光によるガス体の光音響効果について	室蘭工業大学開発技術研究会資源・素材学会道支部昭和63年度研究発表会	1988. 9. 9
吉大徳 田森 昭八郎	河川等の懸濁粒子群による光波減衰特性の設定法について	室蘭工業大学開発技術研究会資源・素材学会道支部昭和63年度研究発表会	1988. 9. 9
吉恒 西 木下 田川 昌昭 (北大) 重教 (北大)	レーザー光伝搬減衰を利用した液中懸濁粒子の濃度および粒径分布の計測について	粉体工学会誌	25, (9), 51-56 (1988)
吉西 木下 田重 昭八郎 (北大) 重教 (北大)	レーザーを用いた大気中浮遊粉じんの広域測定について	資源・素材学会誌	105, (1), 55-60 (1989)
吉佐後 小 田藤 干 豊城彦 米 藤山 純 二 (光明理化学) 田登貴彦 (光明理化学)	レーザー光音響効果を用いたガス濃度測定法について	安全工学	28, (1), 36-43 (1989)
吉 田 豊	レーザー光伝搬による浮遊粉じん濃度測定法について	空気調和・衛生工学会道支部学術講演会	1989. 3. 22
平徳吉 沼田 雅昭八郎 英郎 豊	光音響効果を用いたガス濃度計測に関する研究	開発技報	(31), 5-9 (1989)

## 土木工学科

Wai-Fah Chen (Purdue Univ.) N. KISHI	Semirigid Steel Beam-to-Column Connections: Data Base and Modeling	Journal of Structural Engineering/ASCE	Vol. 115 No. 1, 1989. 1
岸 徳 光 Wai-Fah Chen (Purdue Univ.) 松 岡 健 一 能 町 純 雄 (日本大学)	鋼梁-柱接合部の曲げ剛性評価実験に関するデータベース作成とその応用	構造工学論文集	Vol. 35 A 1989. 3
岸 徳 光 Wai-Fah Chen (Purdue Univ.) 松 岡 健 一 能 町 純 雄 (日本大学)	アングル材を用いた鋼梁-柱接合部の初期剛性と極限曲げ耐力の定式化	構造工学論文集	Vol. 35 A 1989. 3
松岸 岡 健 一 木 田 哲 量 能 町 純 雄 (日本大学)	二層複合部材を伝播する弾性波に対する境界面の影響	構造工学論文集	Vol. 35 A 1989. 3
岸 徳 光 松 岡 健 一 能 町 純 雄 (日本大学)	有限プリズム法を用いた単鉄筋 RC 梁の位相速度分散曲線とモード分布	構造工学論文集	Vol. 35 A 1989. 3
松岸 岡 健 一 能 町 純 雄 (日本大学)	有限領域にある Inclusion 周辺の応用解析	土木学会北海道支部 論文報告集	No. 45 1989. 2
岸 徳 光 松 岡 健 一 能 町 純 雄 (日本大学) 西 村 哲 治 (北海道電力(株)) 永 沢 親 兼	矩形状の谷に位置するフィルタイプダムの静的解法	土木学会北海道支部 論文報告集	No. 45 1989. 2
岸 徳 光 松 岡 健 一 能 町 純 雄 (日本大学) 米 田 均	3要素パワーモデルを用いた鋼梁-柱接合部 $M-\theta_r$ 評価式の決定	土木学会北海道支部 論文報告集	No. 45 1989. 2
能 町 純 雄 (日本大学) 松 岡 健 一 和 田 忠 幸 (北海道開発局) 磯 田 正 勝 小 針 憲 司 (株)メイセイエン 지니어リング)	大深度地中連続壁構造体の周波数応答解析	土木学会北海道支部 論文報告集	No. 45 1989. 2
松岸 岡 健 一 能 町 純 雄 (日本大学) 竹 内 徹	境界層を考慮した二層同心円柱の波動伝播特性	土木学会北海道支部 論文報告集	No. 45 1989. 2

三上敬司 (専修大道短大) 能町純雄 松岡健一 金子考吉 (専修大道短大)	剛体の落下衝撃力による平板の動的特性	土木学会北海道支部 論文報告集	No. 45 1989. 2
松岡健一 岸能町徳純 天沼宇雄 (日本大学)	リング要素を用いた厚肉円板の衝撃応答解析	土木学会北海道支部 論文報告集	No. 45 1989. 2
岸松能 岡徳光 本名一夫 (開発土木研究所)	衝突衝撃荷重に対する RC 矩形板の衝撃応答解析	土木学会北海道支部 論文報告集	No. 45 1989. 2
永岸能 沢親兼 能町徳光 西村哲治 (日本大学) (北海道電力株)	静水圧を受け矩形形状の谷に位置するフィルタ イブダムの変形特性	土木学会第43回年次 学術講演会講演概要 集第1部	1988.10
岸伊藤徳光 Wai-Fah Chen (Purdue Univ.) 能町純雄 (日本大学)	鋼梁-柱の接合部M- $\theta$ 特性に関する実験結 果の集積とモデル化	土木学会第43回年次 学術講演会講演概要 集第1部	1988.10
三上敬司 (専修大道短大) 能町純雄 吉田紘一 (稚内開発局) 松岡健一 金子考吉 (専修大道短大)	低速度落下による RC 床版の衝撃力に関する 評価	土木学会第43回年次 学術講演会講演概要 集第1部	1988.10
天岸松能 沼宇雄 松岡徳光 能町純雄 (日本大学)	位相速度解析における RC 部材のモデル化の 影響	土木学会第43回年次 学術講演会講演概要 集第1部	1988.10
竹松岸能 内岡徹 能町徳光 (日本大学)	二層同心円柱の波動伝播問題における境界条 件の影響	土木学会第43回年次 学術講演会講演概要 集第1部	1988.10
磯松岸能 田正勝 岡健一 能町徳光 (日本大学)	鋼管矢板中詰築島構造物の動的解析	土木学会第43回年次 学術講演会講演概要 集第1部	1988.10
尾菅細 崎田川 紀 訓之潮	真空処理コンクリートのスパイクタイヤによ る摩耗	第42回セメント技術 大会講演要旨	304-305 (1988.5)

Shinobu OZAKI and Noriyuki SUGATA	Sixty-Year Old Concrete in a Marine Environment	Proceedings of Second International Conference on Concrete in Marine Environment, ACI	SP-109 587-597 (1988)
細川 潮 尾崎 詔 菅田 紀 之	真空処理を施したコンクリートの耐凍害性に関する研究	土木学会第43回年次 学術講演会講演概要 集	第V部 178-179 (1988.10)
菅田 紀 尾崎 之 詔	PROLOG を用いた RC・T 桁橋の設計	土木学会第43回年次 学術講演会講演概要 集	第I部 514-515 (1988.10)
尾崎 詔 菅田 紀 細川 潮	真空処理コンクリートのスパイクタイヤによる摩耗	セメント技術年報	42, (1988)
Shinobu OZAKI Noriyuki SUGATA and Ushio HOSOKAWA	Wear of Vacuum-Processed Concrete by Stud- ded Tires	CAJ Review of the 42nd General Meet- ing, Technical Ses- sion, The Cement Association of Japan	(1988)
杉本 博之 (分担)	構造工学シリーズ1 構造システムの最適化 ～理論と応用～	土木学会	1988. 9
菅田 博之 白山 紀之 智 (桜田機械)	直線テーパ付部材を含む平面骨組構造物の近 似解析法と最小重量設計に関する研究	構造工学における数 値解析法シンポジウ ム	第12巻 (1988)
山村 和之 人 杉本 博之	熱伝導場の境界形状最適化に関する研究	構造工学における数 値解析法シンポジウ ム	第12巻 (1988)
杉本 博之 山村 和之 人 (新日本製鐵)	数値最適設計における初期値の改良について	第13回計算機利用に 関するシンポジウム 講演集査読論文	1988.10
Hiroyuki SUGIMOTO	Minimum Weight Design of Trusses with Dis- crete Plate Thickness	2nd East Asza-Paci- fic Conf. on STRUC- TURAL ENGINEER- ING & CONSTRU- TION	1989. 1
杉本 博之 (分担)	北海道の橋の景観	北然道土木技術会鋼 道路橋研究委員会	1989. 2
杉本 博之	構造最適設計の数値計画法からの脱皮	構造工学論文集	Vol. 35 A (1989)
杉本 博之 山村 和之 人 (新日本製鐵)	骨組構造物の最適設計における応力近似モデ ルについて	構造工学論文集	Vol. 35 A (1989)
菅野 良一 (新日本製鐵) 杉本 博之 山村 和之 人 (新日本製鐵) 沖本 真之 (新日本製鐵)	地下連続壁用パイプの継手の形状最適化に関 する研究	構造工学論文集	Vol. 35 A (1989)

Hideo KONDO Noboru NITTA Satoshi TOMA	Tidal Entrances in the Okhotsk Coast, Japan	Proc. of 9th International Symp. on Ice, IAHR	2, 103-111 (1988)
近藤 俣 郎 米 津 仁 司	歪模型による湾内津波の波高分布再現法	第43回土木学会年次 学術講演会	1988.10. 3
近藤 俣 郎 渡部 富 治 谷野 賢 一 (北海道開発局 開土研)	防波施設に併設する波浪エネルギー吸収装置 の研究(5) ーシステムの最適化	第35回土木学会海岸 工学講演会論文集	35, 842-846 (1988)
近藤 俣 郎 平 田 佳 嗣	海・潮流発電のための潜水中空直方体に作用 する波力特性	海岸開発論文集 (土 木学会)	4, 277-281 (1988)
近藤 俣 郎 米 津 仁 司	噴火湾の津波高分布の推定	土木学会北海道支部 論文報告集	45, 237-242 (1989)
近藤 俣 郎 平 田 佳 嗣	海・潮流発電用潜水直方体の水理的特性	土木学会北海道支部 論文報告集	45, 243-248 (1989)
近藤 俣 郎 玉 手 聡	振り子式波浪エネルギー吸収装置の水室内波形	土木学会北海道支部 論文報告集	45, 249-254 (1989)
浦島 三 朗 近藤 俣 郎	スリットケーソンにおける水理的係数の高周 波成分の影響	土木学会北海道支部 論文報告集	45, 255-258 (1989)
中嶋 朋 樹 峨 浩 (苫小牧高専) 藤 間 聡	室蘭流出試験地の流出特性について	土木学会第43回年次 学術講演会講演概要 集第2部	1988.10. 4
中嶋 朋 樹 峨 浩 (苫小牧高専) 藤 間 聡 中 田 朋 樹	小流出試験地 (室蘭) の流出解析・地下水流 動について	土木学会北海道支部 論文報告集第45号	1989. 2 . 9
中嶋 朋 樹 藤 間 聡 峨 浩 (苫小牧高専)	丘陵試験地における雨水の流出機構について	土木学会北海道支部 論文報告集45号	1989. 2 . 9
中嶋 朋 樹 峨 浩 (苫小牧高専) 藤 間 聡 中 田 朋 樹	小流出試験 (室蘭) の流出特性・流出解析	土木学会第33回水理 講演会論文集	1989. 3 . 20
Noboru NITTA Kazuo SAITO Sinichi ISOZAKI	Evaluating the Polishing Properties of Aggre- gates and Bituminous Pavement Surfaces by Means of the Penn State Polishing Machine	Proc. of the 1st Inter- national Confer- ence on Surface Characteristics, State College (U.S.A.)	June, 1988
榑 谷 有 三 (苫小牧高専) 斉 藤 和 夫	道路システムの震後機能性能の評価	土木計画学研究・講 演集	(11)283-290 (1988)
斉 藤 和 夫 J.J. ヘンリー (Penn state Univ.)	舗装路面の粗さとすべり抵抗の関係に関する 研究	交通工学	23(4)19-27 (1988)

Kazuo SAITO John J. HENRY (Penn State Univ.)	Development of Models for Relating Pavement Texture to Skid Resistance and Their Use in Pavement Management Systems	Proc. of International Conference on Road and Transport Problems, New Delhi (India)	1988, 36-43
斉藤和夫	室蘭地域における社会経済問題と地域計画の課題について	土木学会北海道支部論文報告集	(45)445-450 (1989)
高桑英司 斉藤和夫 榎谷有三 (苫小牧高専)	アイマークレコーダによる運転者の視点挙動解析方法について	土木学会北海道支部論文報告集	(45)499-502 (1989)
山廣孝之 斉藤和夫	道路区間の旅行速度推定モデルに関する研究	土木学会北海道支部論文報告集	(45)515-520 (1989)
志水義彦 斉藤和夫 榎谷有三 (苫小牧高専)	正面衝突事故の解析と死亡確率推定モデルに関する研究	土木学会北海道支部論文報告集	(45)529-534 (1989)
斉藤和夫	交通に起因する環境影響予測のための環境状態調査方法と交通計画分析モデルの開発	文部省科学研究費重点領域研究「人間環境系」研究63年度研究成果報告書(分担研究)	1989. 3
斉藤和夫	路側空間における構造物等との衝突事故の危険性評価モデルの開発に関する研究	昭和62-63年度科学研究費補助金(一般研究C)研究成果報告書	1989. 3

#### 建築工学科・図学

荒川卓 賀明玄 (中国太原工業大学) 荒井康幸 溝口光男	らせん鉄筋柱のせん断抵抗性状について	日本コンクリート工 学協会コンクリート 工学年次論文報告集	Vol. 10 No. 3 1988. 6 p.577~582
荒井康幸 荒川卓 溝口光男 近藤智則	鉄筋コンクリート連層耐震壁の耐力と変形性状に関する実験的研究	日本コンクリート工 学協会コンクリート 工学年次論文報告集	Vol. 10 No. 3 1988. 6 p.391~396
Takashi ARAKAWA Ming-Xuan HE (Taiyuan Univ. of Tech., China) Yasuyuki ARAI Mitsuo MIZOGUCHI	Shear Resisting Behavior of Reinforced Concrete Columns with Spiral Hoops	Transaction of the Japan Concrete In- stitute	Vol. 10 1988 p.155~162
Takashi ARAKAWA Ming-Xuan HE (Taiyuan Univ. of Tech., China) Yasuyuki ARAI Mitsuo MIZOGUCHI	Shear Strength of Reinforced Concrete Columns with Spiral Hoops	Proceedings of Ninth World Confer- ence on Earthquake Engineering	Vol. IV 1988. 8 p.395~400

荒賀 (中国太原工業大学) 川明 卓 荒溝吉 井口田 康光 幸男 稔	らせん鉄筋柱の剪断抵抗性状について (その1: 実験の概要と結果)	日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東) C構造Ⅱ	1988.10 p.761~762
荒賀 (中国太原工業大学) 川明 卓 荒溝吉 井口田 康光 幸男 稔	らせん鉄筋柱の剪断抵抗性状について (その2: 設計式について)	日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東) C構造Ⅱ	1988.10 p.763~764
荒溝早近 井川口川藤 康 幸卓 光幸智 男孝則	曲げせん断力を受ける鉄筋コンクリート耐震壁の耐力と変形性状 (その1: 実験概要)	日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東) C構造Ⅱ	1988.10 p.559~560
荒溝早近 井川口川藤 康 幸卓 光幸智 男孝則	曲げせん断力を受ける鉄筋コンクリート耐震壁の耐力と変形性状 (その2: 終局耐力と変形性状)	日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東) C構造Ⅱ	1988.10 p.561~562
溝荒荒山 井川口 光康 男 淳 幸卓也	鉄筋コンクリート造立体骨組のねじれ応答解析について (柱の二軸曲げ部材モデルの違いによる検討)	日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東) C構造Ⅱ	1988.10 p.297~298
荒溝早石花 井川口坂岡 康 幸卓 光幸隆正 男孝幸典	二方向水平力を受ける鉄筋コンクリートL型開断面耐震壁の断塑性挙動 (その6: 不等辺L形断面の場合)	日本建築学会北海道支部研究報告集構造系 No. 62	1989. 3 p.161~164
溝荒荒花猪 井川井股 光康 男 伸 幸卓司大	鉄筋コンクリート造立体骨組のオンライン振れ応答実験 (その3: 剛性偏心率を一定にして耐力の偏心を変化させた場合)	日本建築学会北海道支部研究報告集構造系 No. 62	1989. 3 p.157~160
H. KUBOTA	Design of Ceiling Slots for VAV System in Summer Cooling	Proceeding of the 2nd International Symposium on Ventilation for Contaminant Control, London, England	1988.9.20-23
H. KUBOTA	Artificially produced Mild Breeze for a Healthy Summer Indoor Climate	Proceedings on the CIB Conference on Healthy Buildings, Stockholm, Sweden	1988.9.5-8 p. 663-672
H. KUBOTA K. KAYANO K. KISHISHITA	Indoor Environment of Ainu People's Traditional House "Chisett"	Proceedings on the CIB Conference on Healthy Buildings, Stockholm, Sweden	1988.9.5-8 p. 673-682
窪田英樹 川岡真之	微弱気流の環境改善効果	日本建築学会大会学術講演梗概集	1988.10.8-9, p. 721-722



窪岸 田下 英浩 樹治	暖房時における過渡的室温の評価	日本建築学会大会学術講演梗概集	1988.10.8-9, p. 675-676
窪岸 田下 英浩 樹治茂	チセ (アイヌ民族伝統住居) の温熱環境 (第2報)	空調学会北海道支部第23回学術講演会論文集	1989. 3 .22 p. 1-4
窪岸 田下 英浩 樹治茂	チセ (アイヌ民族伝統住居) の温熱環境 (第3報)	空調学会北海道支部第23回学術講演会論文集	1989. 3 .22 p. 5-6
窪川 田岡 英真 樹之	気流刺激の強さ感と対流放熱量	空調学会北海道支部第23回学術講演会論文集	1989. 3 .22 p. 9-10
窪川 田岡 英真 樹之 楊 真理子	室内微弱気流の爽涼感効果 (第2報)	空調学会北海道支部第23回学術講演会論文集	1989. 3 .22 p. 11-12
窪川 田岡 英真 樹之 磯小 賢哉	スリットからの制限噴流	空調学会北海道支部第23回学術講演会論文集	1989. 3 .22 p. 13-16
杉野 目野 藤正 章智義環	鉄筋コンクリート梁のたわみ解析とその適合性について	コンクリート工学年次論文報告集 Vol. 10. 3	1988. 6
上 田 正 生 杉野 野 雅 章明 広 瀬	緊張完了後のポストテンション PC 梁の剛性の評価について	コンクリート工学年次論文報告集 Vol. 10. 3	1988. 6
吉井 野野 修 司 杉野 目野 章智章	使用荷重下における鉄筋コンクリート床板の長期撓み解析 (その1, 計算手順)	日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東)	1988.10
井野 野野 智章司 杉野 目野 修 司	使用荷重下における鉄筋コンクリート床板の長期撓み解析 (その2, 適合性の検討)	日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東)	1988.10
杉野 目野 達 章智環	使用荷重下における鉄筋コンクリート梁のたわみについて (その1, 適合性の検討)	日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東)	1988.10
駒 込 環 杉野 野 章智	使用荷重下における床スラブの長期撓み解析	日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東)	1988.10
Akira SUGINOME Satoru INO and Tamaki KOMAGOME	A Procedure for the Analysis of Long-Term Deflection of Reinforced Concrete Members and Its Adaptability	Memoir of Muroran Institute of Technology, No. 8/Separate Volume for Natural Science and Engineering	1988.11
Satoru INO Akira SUGINOME Masayoshi ITO and Tamaki KOMAGOME	Long-Time Deflection Analysis of Reinforced Concrete Floor Slabs	Bulletin of Faculty of Engineering, Hokkaido University No. 145	1988.12

- |   |   |  |                                |
|---|---|--|--------------------------------|
| Akira<br>SUGINOME<br>Satoru<br>INO<br>Masayoshi<br>ITO<br>and<br>Tamaki<br>KOMAGOME                     | A Modified Analysis of Long-Time Deflections of Reinforced Concrete Floor Slabs                                     | Transactions of the Japan Concrete Institute, Vol. 10                | 1988                           |
| Masaiki<br>UEDA<br>Akira<br>SUGINOME<br>and<br>Masaaki<br>HIROSE  | Finite Elements for Evaluation of Stiffness of Post-Tensioned Type Prestressed Concrete Members under Working Loads | Transactions of the Japan Concrete Institute, Vol. 10                | 1988                           |
| 杉野目 章<br>駒 達 環<br>井 野 正 義<br>伊 藤 正 義  | たわみの検討を要しない鉄筋コンクリート曲げ部材の断面寸法について (その1 小梁)   | 日本建築学会北海道支部研究報告集構造系 No. 62   | 1989. 3                        |
| 杉野目 章<br>吉 野 修 司<br>井 野 正 義<br>伊 藤 正 義  | たわみの検討を要しない鉄筋コンクリート曲げ部材の断面寸法について (その2 スラブ)  | 日本建築学会北海道支部研究報告集構造系 No. 62   | 1989. 3                        |
| 杉野目 章<br>井 野 正 義  | 設計基準等による鉄筋コンクリート床構造のたわみ制御に関する一考察—特に持続荷重と撓み限度の採用値について  | 日本建築学会北海道支部研究報告集構造系 No. 62   | 1989. 3                        |
| <b>機械系 (機械工学科, 産業機械工学科, 第二部機械工学科)</b>   |   |  |                                |
| Hiromu<br>SUGIYAMA<br>Hiromichi<br>DOI<br>Hiroshige<br>NAGUMO<br>Kazuyoshi<br>TAKAYAMA<br>(東北大学高速力学研究所) | Experimental study on High speed Gas-particle Unsteady Flow past Blunt Bodies                                       | Proc. of 16th Int. Symp. on Space Technology and Science             | p.781-786<br>1988.5.23-27      |
| Kyokai<br>OKUDA<br>Hiromu<br>SUGIYAMA<br>Hideaki<br>YAMAGISHI   | Estimation Methods for Characteristics of a Small Type of Wind Turbine, Operating in Fluctuating Winds              | Proc. of European Community Wind Energy Conference                   | p.160-165<br>1988. 6. 6<br>-10 |
| Kazuyoshi<br>TAKAYAMA<br>Katsuhiko<br>ITO<br>Masahiko<br>IZUMI<br>(東北大速研)<br>Hiromu<br>SUGIYAMA         | Shock Propagation over a Circular Cylinder  | Proc. of 11th Int. Conference on Numerical Methods in Fluid Dynamics | 1988.6.27-7.1                  |

Junji TANI Yosuke NOZAKI Kikuo OHTOMO (東北大速研) Hiromu SUGIYAMA	Experiments of the Vibration of Fluid-Coupled Coaxial Cylindrical Shells	Proc. of 9th World Conference on Earthquake Engineering	1988.8.2-9
Kazuyoshi TAKAYAMA Akihisa ABE (東北大速研) Norio SANADA (東北工業技術試験所) Hiromu SUGIYAMA	Holographic Interferometric Observation of Underwater Shock Wave with Air Bubbles	Proc. of 9th Int. Symp. on Jet Cutting Technology	p.641-650 1988.10.4-6
Hiromu SUGIYAMA Fukuyasu ABE Hedeaki YAMAGISHI Kazuyoshi TAKAYAMA (東北大速研)	On the Internal Structures and Oscillation Phenomena of Pseudo-Shock Waves in Square Ducts	Proc. of 11th KSME-JSME Thermal and Fluid Eng. Conference	Vol. 2 p.224-228 1988.11.1-3
Hiromu SUGIYAMA Tetsuro OBARA Koji HIRAIWA Kazuyoshi TAKAYAMA (東北大速研)	A Study on the Collapse of Multiple Air Bubbles by a Shock Wave	Proc. of 11th KSME-JSME Thermal and Fluid Eng. Conference	Vol. 2 p.229-234 1988.11.1-3
奥田教海 杉山山弘 山岸英明	自然風における小型風車の特性評価法について	日本風力エネルギー協会誌	Vol. 12 No. 1 p. 18-23 (1988)
泉征彦 高山和喜 伊藤勝宏 (東北大速研) 杉山弘	円柱を過ぎる Dusty Gas 衝撃波流れ	東北大学高速力学研究所第4回研究発表会講演論文集	p.116-117 1988.5.19-20
杉山弘重 南雲宏	衝撃波による微粒子の舞い上がりに関する実験	日本機械学会北海道支部第29回講演会講演概要集	No.882-2 p. 37-38 1988.10. 2
杉山弘重 南雲宏	衝撃波による微粒子の舞い上がり現象	昭和63年度衝撃工学シンポジウム講演論文集	p.238-243 1988.9.29-10.1
杉山弘	微粒子-気体衝撃波管内の流れ	多層媒質中における衝撃波に関するワークショップ	1988.12.17

林 光 一 (名古屋大学工学部) 菱田 学 杉山 弘	堆積固体粒子と衝撃波の干渉の数値解析	第2回数値流体力学 シンポジウム講演論 文集	p. 475-478 1988.12.22 -24
杉山 弘	微粒子を含む気体中の衝撃波	極限流体工学に関する 調査研究分科会	1989. 1. 26
平岩 恒 二 杉山 弘 小原 哲 郎	気泡崩壊時における液体マイクロジェット の形成と衝撃圧	日本機械学会第30期 総会講演会講演概要 集	No. 892- 1 p. 52-53 1989. 3. 1
杉山 弘	微粒子を含む高速気流中におかれた鈍頭物体 まわりの流れと薄膜形成に関する基礎研究	昭和63年度文部省科 学研究費補助金実績 報告書	1989. 3
Ryoji KOBAYASHI (Tohoku Univ.) Takakage ARAI Mitsuyasu NAKAJIMA (Tohoku Univ.)	Boundary Layer Transition and Separation on Spheres Rotating in Axial Flow	Experimental Ther- mal and Fluid Science	Vol. 1 No. 1 p. 99-104 (1988)
Ryoji KOBAYASHI (Tohoku Univ.) Takakage ARAI Hiroshi YAMADA (Tohoku Univ.)	Structure of a High-Speed Water Jet and the Damage Process of Metals in Jet Cutting Technology	JSME International Journal Series 2	Vol. 31 No. 1 p. 53-57 (1988)
小林 陵 二 (東北大) 新井 隆 景 山田 泰 司 (東北大)	ウォータージェット加工技術における噴流の構 造と金属材料の壊食過程	東北大学高速力学研 究所第4回研究発表 会講演論文集	1988 p. 16-19 1988.5.19- 20
小林 陵 二 (東北大) 新井 隆 景	主流中の回転球に沿う三次元境界層の乱流遷 移におけるらせん渦の挙動	第20回乱流シンポジ ウム講演論文集	1988 p. 83-87 1988.7.27- 29
Ryoji KOBAYASHI (Tohoku Univ.) Takakage ARAI	Disintegration of High-Speed Water Jet in Still Air and Erosion Effects on Metallic Materials	Proceedings of 4th ICLASS- '88, Sendai	1988 p. 53-56 1988.8.22- 24
Ryoji KOBAYASHI (Tohoku Univ.) Takakage ARAI	Local Structure of Water Jet and Related Ero- sion Process of Metallic Materials	Proceedings of 9th International Symposi- um on Jet Cutting Technology, Sendai	1988 p.155-164 1988.10. 4 -6
小林 陵 二 (東北大) 丹野 博 (東北大) 新井 隆 景 水嶋 栄 一 (東北大)	回転だ円体境界層の乱流遷移とはく離	第26回飛行機シンポ ジウム講演集	1988 p. 432-435 1988.10.19 -21

西藤 田 公 至 藤 塚 桂 男	円孔を有するエンクロージャ周囲の音場の境界要素解析	日本機械学会論文集 (C編)	Vol. 54 No. 502 p. 1268- 1273 1988. 6
西藤 田 公 至 藤 塚 桂 男	境界要素法によるエンクロージャ周囲の回折音場の解析 (二次元解析と三次元解析の比較)	精密工学会誌	Vol. 54 No. 6 p. 1088- 1094 1988. 6
西藤 田 公 至 藤 塚 桂 男	境界要素法による有限な障壁周囲の音場の解析	精密工学会誌	Vol. 54 No. 7, p. 1351- 1356, 1988. 7
西藤 田 公 至 藤 塚 桂 男	障壁周囲の音場と減音量の境界要素解析	日本機械学会第951 回講演会機械力学講 演概要集	No. 880-3 1988. 8
玉置 隆 二 西 田 公 至	防音壁対による回折音場の境界要素解析	精密工学会昭和63度 北海道支部学術講演 会講演論文集	1988. 8
川村 隆 周 西 田 公 至	回転音源による音場の可視化測定およびシミュレーション	精密工学会昭和63度 北海道支部学術講演 会講演論文集	1988. 8
西藤 田 公 至 藤 枝 誠	異なる内部構造をもつ膨張型消音器特性の有限要素解析	精密工学会昭和63度 北海道支部学術講演 会講演論文集	1988. 8
西玉 田 公 至 置 隆 二	音場の測定精度に及ぼす空間サンプリング間隔の影響	精密工学会昭和63度 北海道支部学術講演 会講演論文集	1988. 8
西藤 田 公 至 藤 塚 桂 男	有限長障壁による音波回折の境界要素解析	日本音響学会誌	Vol. 44 No. 11 p.815-823 1988.11
西藤 田 公 至 藤 塚 桂 男	障壁周囲の音場と減音量の境界要素解析	日本機械学会論文集 (C編)	Vol. 55 No. 509 p. 58-66 1989. 1
西玉 田 公 至 置 隆 二	多角柱による多重回折音場の近似計算方法	精密工学会誌	Vol. 55 No. 1 p.117-122 1989. 1
Kohshi NISHIDA Katsuo FUJITSUKA	Boundary Element Analysis of Sound Fields around Enclosures with Circular Apertures	JSME International Journal	Vol. 32 No. 1 p. 44-50 1989. 3
西玉 田 公 至 置 隆 二	音圧分布の測定におけるサンプリング間隔の評価法	日本機械学会北海道 支部第30期総会講演 会講演概要集	No. 892-1 1989. 3
Ken-ichi SAITO Satoru HOSHINO	On the Optimum Tightening Force of the Joint with Plastics Bolt under the Criterion of Energy Absorption	Japan Soc. of Prec. Engg	Vol. 22 No. 4 p. 322 (1988)

斉星 当野 建一	繰り返し衝撃を受けるプラスチックボルトの強度特性	昭和63年度精密工学会 秋季大会学術講演会 講演論文集	1988.10
向斉 平当 紳建 一一	プラスチックボルトの動的特性—試験機の試作—	昭和63年度精密工学会 北海道支部学術講演 会講演論文集	1988. 8
井斉星 上当野 平建 治一 悟	プラスチックボルトの衝撃強度特性について	精密工学会誌	Vol. 55 No. 4 p. 767 (1989)
斉 当 建 一	プラスチックねじの疲労強度—試験機の試作—	1989年精密工学会春 季大会学術講演会講 演論文集	1989. 3
斉岸戸 藤浪倉原 紘郁光 図機夫範	内部分散熱源を有する垂直平板上の自然対流熱伝達に関する研究	日本機械学会北海道 支部第29回講演会	1988.10. 2 p. 58-59
戸斉岸戸 倉藤浪藤 郁 紘 夫 図機三 斉 藤 倉 郁 夫 図機三 斉 藤 倉 郁 夫 図機三	原油の熱伝導率	第9回日本熱物性シ ンポジウム講演論 文集	1988. 9 .22
斉 藤 倉 郁 夫 図機三	霜層の着霜面の伝熱問題	伝熱研究	28(108) 73-96, 1989
斉鎌工 藤田藤 紀孝 図彦行	断熱壁内における熱及び水分移動と蓄積に関する検討	第2回寒地環境工学 合同シンポジウム	1988. 4 .15 p. 49-54
斉 藤 図	着霜時の伝熱現象について	日本機械学会熱工学 部門低温環境熱工学 研究会	1988. 7 .16
Hakaru SAITO Koki KISHINAMI Ikuro TOKURA Ryuichi IWAMOTO (JR. Hokkaido)	Temperature Distribution and Heat Transfer From Distributed Heat Sources Molded In A Vertical Plate Set In Still Air	3rd. Int. Symp on Transport Phenomena in THER- MAL CONTROL	1988.8 14-18 (Taipei) p.197-207
岸 浪 紘 機	寒地における熱の有効利用としての自然エネルギーの総合的な利用(2)	第2回寒地環境工学 合同シンポジウム講 演論文集	1988. 4 .15 p.187-195
Koki KISHINAMI Hakaru SAITO Ikuro TOKURA	A Fundamental Investigation on Laminar Natural Convection Heat Transfer from A Vertical Plate with Discontinuous Surface-Heating.	The XXth ICHMT International Sympos- ium on Heat Trans- fer in Electronic and Microelectronic Equipment, におい て研究発表 Dubrov- nik, Yugoslavia. (International Cen- ter For Heat and Mass Transfer)	Aug., 28- Sept 4th 1988

- |   |   |   |                                |
|---|---|---|--------------------------------|
| Koki<br>KISHINAMI<br>Hakaru<br>SAITO<br>Ikuro<br>TOKURA                                   | An Experimental Study on Natural Convective Heat Transfer from A Vertical Wavy Surface Heated at Convex/Concave Elements. | Proceedings of the First World Conference on Experimental Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics. Dubrovnik, Yugoslavia. | Sept. 4-9<br>1988<br>p.177-184 |
| 斉藤 岡<br>岸 浪 機<br>戸 倉 郁<br>山 崎 幸 夫   | 等温加熱面と底面が加熱された面からなる不連続加熱垂直面からの自然対流熱伝達の研究  | 空気調和・衛生工学北海道支部第23回學術講演論文集   | 1989. 3 .22<br>p. 43~44        |
| Yutaka<br>HANAOKA<br>Kazuo<br>MAENO<br>Shuichi<br>NAGATA                                  | Visualization of Steam-Water Flow in Direct Condensation Processes at High Velocity Ratio                                 | Proc. of CHINA-JAPAN Symp. on Flow Visualization (Beijing)  | May, 1988<br>p. 202-207        |
| Yutaka<br>HANAOKA<br>Kazuo<br>MAENO<br>Zhao<br>LIANG<br>(大連鉄道学院・中国)                       | A Study of Liquid Flashing Phenomena under Rapid Depressurization   | Proc. of the 1st KSME-JSME Thermal and Fluids Engg. Conference (Seoul)  | Nov. 1988<br>p. 43-48          |
| 花岡 裕<br>石川 貴<br>前野 一 夫  | 貯水槽からの定常排水うずに関する研究第1報—タンク内のうず流れ場の検討   | 空気調和・衛生工学会論文集, No. 39   | Feb., 1989<br>p. 69-75         |
| Kazuo<br>MAENO<br>Yutaka<br>HANAOKA   | Liquid Flow Characteristics in Curved Capillary Tube for Gas Jet Thruster   | Proc. of 16th International Symp. on Space Technology and Science (Sapporo)   | May, 1988<br>p. 793-798        |
| Kazuo<br>MAENO<br>Yasushi<br>SHIZUKUDA<br>Yutaka<br>HANAOKA                               | Shock Wave Propagation in Low Temperature Refrigerant R-12 and Other Gases  | Proc. of 16th Int. Symp. on Space Technology and Science (Sapporo)  | May, 1988<br>p. 787-792        |
| Kazuo<br>MAENO<br>Akihiro<br>SAKASHITA<br>Kouki<br>SHIMIZU<br>Yutaka<br>HANAOKA           | Characteristics of Supersonic Mixing CO <sub>2</sub> Laser Combined with N <sub>2</sub> Axial Glow Discharge              | Proc. of 7th Int. Symp. on Gas Flow & Chemical Laser (Vienna)   | Aug., 1988<br>(in press)       |
| Kazuo<br>MAENO<br>Hiroshi<br>AOYAMA<br>Yutaka<br>HANAOKA<br>Haruo<br>ARASHI<br>(東北大・科計測研) | Analytical Studies for Solar-Pumped CO <sub>2</sub> Mixing Gas dynamic Laser  | Proc. of 7th Int. Symp. on Gas Flow & Chemical Lasers (Vienna)  | Aug., 1988<br>(in press)       |

Kazuo MAENO Hiroshi AOYAMA Akihiro SAKASHITA Yutaka HANAOKA	Investigations of Advanced CO <sub>2</sub> Supersonic Mixing Laser and Propulsion by Laser Absorption	ISAS-Report SP-No. 8	Dec., 1988 p. 19-40
花岡 裕 長内 英樹 石川 貴一 前野 幸夫	容器からの複数管による排水に伴う空気吸込み量に関する研究	空気調和衛生工学会 道支部第23回学術講演論文集	1989. 3 .22 p. 45-46
安藤 博之 趙野 一 (大連鉄道学院・中国)	急減圧条件下の液体フラッシングに関する実験—フロン系液体の沸騰開始条件について—	日本機械学会道支部 第29回講演会概要集 No. 882-2	1988.10. 2 p. 64-65
花岡 裕 横前 慎一 山野 吾夫	低温流体中の衝撃波と蒸気泡崩壊—R12に関する実験—	日本機械学会道支部 第29回講演会概要集 No. 882-2	1988.10. 2 p. 62-63
古坂 昭浩 青山 公彰 前野 浩夫 花岡 一夫	放電混合型 CO <sub>2</sub> 超音速レーザーの気流と出力に関する実験	日本機械学会道支部 第30期総合講演会講演概要集No. 892-1	1989. 3 .11 p. 68-69
前花野 一夫 花坂山下 彰浩 青山 浩夫	グロー放電による CO <sub>2</sub> 超音速混合レーザーの実験と解析	第11回エネルギー利用と直接発電シンポジウムプロシーディングス	1989. 3 .14 p.163-171
前野 一夫 青山下 浩夫 花岡 裕	CO <sub>2</sub> レーザーによるレーザー推進の基礎実験	第32回宇宙科学技術 連合講演会講演集	1988.10.26 - 28 p. 28-29
Kazuo MAENO Hiroshi AOYAMA Yutaka HANAOKA	Fundamental Study on Solar-Thermally-Pumped CO <sub>2</sub> Mixing Gasdynamic Laser	Technical Digest of the 5th Symposium on Gas-Flow Lasers and Chemical Lasers '88 (Japan. ILT)	1988.12. 5 -6 p. 23-26
前野 一夫 青山下 浩夫 花岡 裕	連続発振型 CO <sub>2</sub> レーザーによるレーザー推進の基礎実験	宇宙輸送シンポジウム 論文集 (宇宙科学研究)	March 1989 (シンポジウム '88. 12. 22-23) p.200-204
前野 一夫 青花 山岡 浩夫	太陽光熱励起による CO <sub>2</sub> 超音速レーザーの研究	昭和63年度科研費 (総合B) 研究成果報告書	March 1989 (シンポジウム '89. 1. 13-14) p. 169-176



Hiromitsu HIKITA Yuzuru KUBOTA Mitsuhisa YAMASHITA	Design of Variable Structure Servomechanisms	Proc. Int. Conf. Control '88 (Oxford)	1988. 4
正田 弘 光 山下 光 久保田 久讓	外乱のある系に対する連続的可変構造サーボ系	第5回デジタル信号処理と数値解析シンポジウム	1988. 7. 8
正田 弘 光 山下 光 久保田 久讓	離散時間高精度繰返し制御系	第5回デジタル信号処理と数値解析シンポジウム	1988. 7. 9
正田 弘 光 久保田 忠雄 成田 忠雄 (道職訓短大)	すべり状態, 擬すべり状態を用いたサーボ系の構成	システム制御情報学会論文集	Vol. 1 No. 2 1988. 7
Hiromitsu HIKITA Hiroshi KUBO Kazuyuki KIKUCHI	A New Design Method for a Robust Servomechanism Using Continuously Variable Structure Control	Proc. USA-JAPAN Symp. on Flexible Automation (Mineapolis)	1988. 7. 20
成田 忠雄 (道職訓短大) 正田 弘 光	連続的可変構造制御によるロバストサーボ系	日本機械学会論文集	第54巻 第503号 1988. 7
Hiromitsu HIKITA	Servomechanisms Based on Sliding Mode Control	International Journal of Control	Vol. 48 No. 2 1988. 8
Hiromitsu HIKITA Mitsuhisa YAMASHITA Yuzuru KUBOTA Tadao NARITA (道職訓短大)	Repetitive Control System with Model Following Structure	Proc. CHINA-JAPAN Symp. on Mechatronics (Chengdu)	1988. 10. 25
Tadao NARITA (道職訓短大) Hiromitsu HIKITA	Multivariable Servomechanism Design Using Continuously Variable Structure Control	Proc. CHINA-JAPAN Symp. on Mechatronics (Chengdu)	1988. 10. 25
Hiromitsu HIKITA Yoshinobu KAWASHIMA	Design of a Multivariable Servomechanism and Realization of System Type $l_j, j = 1, 2, \dots, m$ by Using Sliding-Mode Control	JSME International Journal, Series III	Vol. 31 No. 4 1988. 12
京徳 諭 正田 弘 光 山下 光 久保田 久讓	DC サーボモータのモデル追従型繰返し制御	第21回計測自動制御学会北海道支部学術講演会	1989. 2. 3
山下 光 久 久保田 久讓 正田 弘 光	数式処理システムを用いた制御系のCAD	計測自動制御学会第27回学術講演会	1988. 8. 2

山清久正	下水保田	光正弘	久樹讓光	属性リストによるデータ構造をもつ制御系のCAD システム	計測自動制御学会北海道支部学術講演会	1989. 2. 3
清山久正	水保田	正光弘	樹久讓光	属性リストを用いたデータ構造を持つ制御系CAD システム	日本機械学会北海道支部第30期講演会	1989. 2. 25
田早大	頭川西	孝正	介尚敏	極低炭素鋼の焼入れ時効中における Mn-N ダイボールの生成と消滅	日本金属学会誌	52, No. 6 (1988) 529-538
K. TAGASHIRA N. SUMITA H. HAYAKAWA				Effect of Si on the Formation of Mn-C Dipoles in Fe-Si-Mn-C Alloys	Trans JIM	30, No. 1 (1989) 10-18
世田	利頭	修孝	美介	Al-Fe 合金の腐食電位降下と食孔内塩素イオン濃度の関係	軽金属	38, No. 4 (1988) 191-196
世田	利頭	修孝	美介	すずめっき鋼とアルミニウム合金5052のガルバニック腐食に及ぼす塩素イオン濃度の影響	防食技術	37, No. 4 (1988) 212-217
世田	利頭	修孝	美介	塩化物環境下のアルミニウム局部腐食における鉄の挙動	防食技術	37, No. 5 (1988) 273-277
世田	利頭	修孝	美介	Al-Fe 合金に生じる食孔内塩素イオン濃度の推定式に及ぼすバルク溶液中の NaCl 濃度の影響	軽金属	38, No. 6 (1988) 328-331
世田	利頭	修孝	美介	Al-Cr 合金中の AlCr <sub>2</sub> 金属間化合物のカソード処理による活性反応	軽金属	38, No. 7 (1988) 379-385
世田	利頭	修孝	美介	Al-1% Fe合金の腐食量と FeAl <sub>3</sub> 金属間化合物の溶解に及ぼす水溶液中の NaCl 濃度の影響	軽金属	38, No. 7 (1988) 407-413
世田	利頭	修孝	美介	アルミニウムエッチングの前処理としての NaOH 洗浄とカソード処理の検討	金属表面技術	39, (1988) 803-807
鴨酒宮田	田井腰	秀昌樹	一宏樹	溶射皮膜を介した鋳鉄と鋼の接合	日本金属学会道支部講演会	1988. 6. 17
田大	頭西	孝正	介敏	Fe-Sn-C 合金の焼入れ時効過程における DMR の変化	日本金属学会昭和63年度秋期大会	1988.11. 4
田大	頭西	孝正	介敏	Fe-Sn-C 合金の焼入れ時効における侵入型固溶原子Cの挙動	日本金属学会道支部昭和63年度秋季講演会	1988.11.17
世田	利頭	修孝	美介	アルミニウムエッチングの前処理としてのアルカリ洗浄の電気化学的検討	第77回金属表面技術講演大会	1988. 3
世田	利頭	修孝	美介	Al-1% Fe 合金腐食量に及ぼす NaCl 濃度の影響	第74回軽金属春期大会	1988. 5

世 大 田	利 谷 頭	修 直 孝	美 道 介	NaCl 水溶液中における5052合金～ブリキの ガルバニック腐食に及ぼす pH の影響	第74回軽金属春期大 会	1988. 5
世 大 田	利 谷 頭	修 直 孝	美 道 介	缶用アルミニウム合金の孔食発生のモニタリ ングの開発	第35回腐食防食討論 会	1988.10
世 田	利 頭	修 孝	美 介	FeAl <sub>3</sub> 金属間化合物のアノード優先溶解を応 用した表面改質	第75回軽金属秋期大 会	1988
世 田	利 頭	修 孝	美 介	電解コンデンサ用アルミニウム箔のエッチン グ開始点の高密度化	第79回金属表面技術 講演大会	1989. 3
媚 小 松 橋 小 谷 山	山 林 本 本 山 藤 本	政 尚 良 明 弘 二 司	良 茂 雄 明 弘 二 司	「氷室計画」北海道における利雪・親雪・克 雪プログラムの開発	第 2 回寒地環境工学 合同シンポジウム講 演論文集	1988. 4 .15 p.151-159
媚 松 小 佐 村	山 本 林 藤 上	政 尚 茂 雄 忠	良 雄 一 幸	雪氷水の長距離管輸送に関する研究 (理論的 検討)	日本機械学会論文集 (B編)	54巻504号 (昭63-8) p2010-2015
媚 山	山 政 良	政 良	良	冬期冷熱の長期・大規模貯蔵施設の開発 (第 3報, 舟形総合利雪農業方式の開発)	日本機械学会北海道 支部第29回講演会講 演概要集	1988.10. 2 p. 46-47
媚 山	山 政 良	政 良	良	小さな村の小さなプロジェクト	フロンティア. 3	創刊第 2 号 1988.10 p. 10-15
橋 加 渡 川 媚	本 藤 辺 本 山	良 秀 晴 周 朗	明 明 美 朗 明	『氷室計画プロジェクト'88』-舟形総合利 雪農業方式の開発-	寒地技術シンポジウ ム'88	1988.10.11 p.536-540
川 加 渡 山 橋 媚	本 藤 辺 本 山	周 秀 晴 良 明	朗 明 美 明 良 明	『氷室計画プロジェクト'88』-舟形利雪農 業方式=利雪抑制栽培方式=の開発-	寒地技術シンポジウ ム'88	1988.11.10 p.541-545

松本尚雄 (北海道 ディーゼル工業) 山本司 (日鉄ライフ) 諸橋聡 媚山政良	『氷室計画』-貯雪氷施設の太陽光遮蔽と太陽光利用-	寒地技術シンポジウム'88	1988.11.10 p.546-549
媚山政良	『氷室計画』-利雪技術考'88-	寒地技術シンポジウム'88	1988.11.10 p.550-555
沼澤長吉 (山形県 舟形町町長) 媚山政良	利雪農業構想について	第3回雪のアルカディアセミナーテキスト	H.1.2.8 p.9-18
M. KOBAYAMA	Reduction of Computing Time and Improvement of Convergence Stability of the Monte Carlo Method Applied to Radiative Heat Transfer with Variable Properties	Transactions of THE ASME Journal of Heat Transfer	Fed.1989 Vol.111 p.135-140
媚山政良	地下空間における雪氷貯蔵	フロンティアテクノロジー第3回地下空間への新たなチャレンジ講演集	H.1.3.1 p.29-46
媚山政良	旧国道トンネルを利用したマッシュルーム栽培工場の熱設計	空気調和・衛生工学会北海道支部第23回学術講演会論文集	H.1.3.22 p.17-20
応用物性学科			
Riki KAWASHIMA and Kazuyuki HIRAI	Electric properties near the structural phase transition point of cesium nitrate crystal.	Philosophical Magazine	B 58(1988) 663, 669
Riki KAWASHIMA	The study of AC conductivities on the dynamical properties near the successive phase transition points of Rubidium nitrate crystal	J. Phys. Soc. Jpn.	57 (1988) 2843, 2853
Riki KAWASHIMA and T. MATSUDA	Temperature dependence of dielectric constant in a samarium nitrate crystal	Physica Status Solidi	(a)108 (1988) K 73, K 75
Riki KAWASHIMA	Temperature dependence of dielectric constants in gadolinium nitrate crystal.	J. Phys. Soc. Jpn.	57 (1988) 2579, 2580
川島利器	硝酸希土類化合物結晶に於ける非線形非平衡的な現象 (Sm-nitrate)	日本物理学会	1989. 3
佐藤充器 川勝利喜一郎 福田明治	硝酸カリウム結晶の相転移附近における電気的性質	応用物理学会北海道支部会	1989. 1
磯田史器 川勝利喜一郎 福田明治	硝酸ガドリニウム結晶成長と電気的測定	応用物理学会北海道支部会	1989. 1
川島利器	硝酸希土類化合物結晶に於ける非線形非平衡的な現象	京都大学基礎物理学研究所長期研究会：カオスとその周辺	1988.11

川島利器 松田竹善 佐藤藤充 磯田広史 福田明治 勝木喜一郎	硝酸希土類化合物結晶の相転移と電気的性質	日本物理学会	1988.10
E.D.T. ATKINS P.J. BARHAM A. KELLER A.J. MULLER J.A. ODELL M. NAGY (Univ. Bristol) N. SASAKI	Polymer Transition Dynamics	British Petroleum Venture Research Conference	1988. 6 .29
吉川信 佐々木直樹 福田明治	骨およびハイドロキシアパタイト・コラーゲン2成分複合系の力学的性質	第24回応用物理学会 北海道支部学術講演 会	1989. 1 .27
佐々木直樹 E.D.T. ATKINS (Univ. Bristol) W.S. FULTON (Malasian Rubber)	伸長流場中でのコラーゲン分子の挙動	第40回日本物理学会 年会	1989. 3 .31
新屋敷直木 (東海大・理) 朝賀信幸 (東海大・理) 真下悟 (東海大・理) 八木原晋 (東海短大) 佐々木直樹	加湿コラーゲンの水和過程と誘電緩和	第40回日本物理学会 年会	1989. 3 .28
N. SASAKI N. MATSUSHIMA (Sapporo Med. Col.) T. IKAWA (Terumo Co. Ltd.) H. YAMAMURA A. FUKUDA	Orientation of Bone Mineral and Its Role in the Anisotropic Mechanical Properties of Bone. Transverse Anisotropy	J. Biomechanics	22, (2) 157-164 (1989)
N. SASAKI H. UMEDA S. OKADA R. KOJIMA A. FUKUDA	Mechanical Properties of Hydroxyapatite-reinforced Gelatin as a Model System of Bone	Biomaterials	10, (2) 129-132 (1989)
S. NAGATA H. KUTSUZAWA S. TANIGUCHI	TaSe <sub>3</sub> の超伝導転移	日本物理学会1988年 秋の分科会 (於：広 島大学)	1988.10. 5
E. FUJITA S. NAGATA S. TANIGUCHI	非晶質合金Fe <sub>73</sub> Bi <sub>3</sub> Si <sub>9</sub> の低温時効による磁気モーメントの変化	日本物理学会1988年 秋の分科会 (於：広 島大学)	1988.10. 6
T. IKEDA A. TSUTAE S. NAGATA S. TANIGUCHI	Y <sub>1-x</sub> Bi <sub>x</sub> Ba <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>7-8</sub> 系の超伝導	第24回応用物理学会 北海道支部学術講演 会 (於：北海道大学)	1989. 1 .27
S. EBISU T. AOCHI S. NAGATA S. TANIGUCHI	TaSe <sub>3</sub> のマイスナー効果	第24回応用物理学会 北海道支部学術講演 会 (於：北海道大学)	1989. 1 .27

S. NAGATA S. EBISU S. TANIGUCHI	TaSe <sub>3</sub> のマイスナー効果 I	日本物理学会第44回 年会 (於: 東海大学 湘南校舎)	1989. 3. 28
S. NAGATA I. SHIROTANI	Normal-State Electrical Resistivity of TaSe <sub>3</sub>	Jpn. J. Appl. Phys.	Series 1 (1988) p. 153
S. NAGATA S. EBISU S. TANIGUCHI	Modified Version of Ferromagnetic Spin-Wave Excitation in the Presence of a Magnetic Field	Physica	B 150 (1988) p. 423
S. NAGATA M. MIYAZAKI E. FUJITA S. EBISU Y. YAMAMURA S. TANIGUCHI	Spin-Wave Excitations in Gd at Low Temperatures	室蘭工業大学研究報告 (理工編)	第38号 (1988) p. 37
H. FUJIWARA K. NAKAGAWA	Generation of a phase-conjugate wave in methylred-doped PMMA and gelatin.	Optics Comm.	Vol. 66 No. 5, 6 p. 307-310 (1988)
K. NAKAGAWA H. FUJIWARA	Phase-conjugate interferometry using degenerate four-wave mixing and holography.	Proc. SPIE	Vol. 954 p. 11-15 (1988)
藤原 裕 文	色素ドープ膜を用いた非線形光学—特に位相共役波の発生について—	第37回分析化学会講演会	1988. 10
江上 一 力 中川 一 夫 藤原 裕 文	エリトロシン B 含有 PVA 薄膜による位相共役波の発生効率	第49回応用物理学会 学術講演会	1988. 10
S. MIYANAGA T. YAMABAYASHI H. FUJIWARA	Generation of a phase-conjugate wave by degenerate four-wave mixing in an erythrosin-B-doped planar waveguide.	Opt. Lett.	Vol. 13 No. 11 p. 1044-1046 (1988)
藤原 裕 文	有機色素を用いた位相共役光学	応用物理学会量子エレクトロニクス研究会「有機非線形光学」	1989. 1
小柴 義 敬 中川 一 夫 藤原 裕 文	メチルレッド含有アクリル板による位相共役波の発生	第24回応用物理学会 北海道支部学術講演会	1989. 1
保土 善 仁 高橋 英 行 藤原 裕 文	位相共役波を用いた画像歪みの補正	第24回応用物理学会 北海道支部学術講演会	1989. 1
K. NAKAGAWA H. FUJIWARA	Real-time and double-exposure phase-conjugate interferometries using eosin-doped gelatin film.	Optics Comm.	Vol. 70 No. 2 p. 73-76 (1989)
藤原 裕 文 中川 一 夫	有機色素膜を用いた位相共役光学	光学	第18巻 第3号 p. 122-131 (1989)

数物系 (数学, 物理)

桂 田 英 典	ジーゲル保型形式のヘッケ作用素に関する 2, 3 の話題	京大数理解析研究所 シンポジウム「整数 論と保型形式」	1988.12. 1
桂 田 英 典	二次形式の局所密度に付随するある形式的中 級数	科研費シンポジウム 「保型形式と表現論」	1989. 2 . 7

## CONTENTS

Science and Engineering

Nov., 1989

Whole No. 39

A Fundamental Characteristic of the Rechargeable Na/S(IV) Molten Salt Cell Using $\beta$ "-Alumina Solid Electrolyte .....Kazuyoshi Shimakage, Mitsuhiro Sakuma, Shigeo Toda, Tadao Sato	1
The construction of the ICAI system for tutoring LISP .....Toshikatsu Itoh, Hajime Shimamoto, Toshikazu Kuroshima, Ichiro Sugioka	17
The design of logic programming learning system with Prolog .....Hiroyoshi Baba, Toshikazu Kuroshima, Ichiro Sugioka	27
On the Distributed Coupled-Line Digital Frequency Multipliers Part I : the Frequency Domain Behaviour.....Iwata Sakagami	37
Admissible Sectional Dimensions of R/C Floor Elements to be Designed without Deflection Check      Part 1 : Transverse Beams .....Akira Suginome, Satoru Ino, Masayoshi Ito, Tamaki Komagome	55
Admissible Sectional Dimensions of R/C Floor Elements to be Designed without Deflection Check      Part 2 : Floor Slabs .....Akira Suginome, Satoru Ino, Masayoshi Ito, Shuji Yoshino	65
The Effect of Reducing Methods for NO <sub>x</sub> Concentration on the Property of Spark-Ignition Methanol Engines .....Shigenobu Hayashi, Yuzuru Kubota, Norihiro Sawa	75
Other Achievements Studies for 1988 by Professor in this Institute.....	85



平成元年11月10日 印刷 (非売品)  
平成元年11月10日 発行

編集 室蘭工業大学  
発行

印刷 室蘭印刷株式会社  
室蘭市本町2丁目5番1号  
TEL(代)24-5141