

## 横型攪拌槽の攪拌所要動力：槽長および邪魔板の影響

その他（別言語等）のタイトル	The Power Consumption by a Stirred Impeller in a Horizontal Stirred Vessel : Effects of the Baffle Plate and the Length of the Vessel
著者	安藤 公二, 武田 力, 高森 憲雄, 村守 俊昭
雑誌名	室蘭工業大学研究報告. 理工編
巻	7
号	3
ページ	777-784
発行年	1972-09-15
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10258/3552">http://hdl.handle.net/10258/3552</a>

# 横型攪拌槽の攪拌所要動力

— 槽長および邪魔板の影響 —

安藤 公二・武田 力  
高森 憲雄・村守 俊昭

## The Power Consumption by a Stirred Impeller in a Horizontal Stirred Vessel

— Effects of the Baffle Plate and the Length of the Vessel —

Koji Ando, Tutomu Takeda, Norio Takamori  
and Toshiaki Muramori

### Abstract

Studies were made on the power consumption and the change of the flow behavior in a horizontal stirred vessel. The experiments were performed with three apparatus similar in geometrical conditions and three apparatus different in the length of the vessel.

The following results were obtained

- 1) No Baffle Condition: The relation between the Power no. and the Froude no. with different length of the vessel almost agreed in state  $A_1$ , which is the most adaptable state for practical absorbing operation. The range of state  $A_1$  increased as the length of the vessel increased.
- 2) Baffled Condition: The relation between Power no. and Froude no. with the baffled vessel agreed with the relation obtained for the no baffle vessel in state  $A_1$ . When the Froude no. became larger than the value corresponding to  $A_1$ - $A_2$  transition point the correlation obtained with the no baffle vessel in state  $A_1$  was kept as it was in the baffled condition.

### I. 緒 論

筆者らは、幾何学的に相似な横型攪拌槽内の流動状態と攪拌動力との関係を実験的に追跡して、フルード数によって規定される動力数が、槽内の流動状態によって異なる挙動を示すことを明らかにした<sup>1)</sup>。すなわち、フルード数と動力数との関係を区別するそれぞれの関数関係に対応する流動状態として定義した A, B 状態のうち、モデル的に図-2 に示した流動状態 A は、羽根回転数が比較的小さい場合に現われ、槽内液は攪拌羽根によって押し上げられ、飛散し、微細な液滴と気泡を発生する。攪拌羽根の回転数が大きくなると、槽壁内側に円筒状の液膜を形成し、同図 B に示すようないわゆる中空状態となる。同一回転数でも液量率、すなわち槽内容積に対する液量が大きくなれば、B 状態をとりやすい。動力数とフルード数との関係は、A, B 状態それぞれ異なっている。

邪魔板を含まぬ横型攪拌槽内の気・液間物質移動に関する筆者らの研究結果は<sup>2),3)</sup>、気・液接触面積が大きく、かつ流動状態が安定している A 状態のうちでも、総括吸収容量係数がフルード数にほぼ比例して増大する A<sub>1</sub> 状態を保持することが、ガス吸収操作の実用上安定な操作であることを示している。しかしながら、邪魔板を伴わぬ場合には、高回転に及ぶ範囲、すなわち、大きなフルード数の範囲では、総括吸収容量係数は、最大値をとったのち、フルード数の増加に従って減少する A<sub>2</sub> 状態に移転する。以上の知見を生かし、フルード数の大きい範囲まで総括吸収容量係数の増加をはかるべく、攪拌槽内壁に邪魔板をとりつけ、転移点の消去を試み、総括吸収容量係数とフルード数との関係が、高いフルード数においても、ガス吸収操作に適当な A<sub>1</sub> 状態での関係を保つことを示した<sup>4)</sup>。

横型攪拌槽の装置特性に関する既往の報告は<sup>5)~11)</sup>、邪魔板をとりつけぬ場合について行なわれている。本報は、邪魔板条件下における幾何学的に相似な横型攪拌槽の攪拌所要動力を測定し、邪魔板を含まぬ前報<sup>1)</sup>の結果との比較検討を行ない、攪拌動力とフルード数との関係もまた、邪魔板のない場合の A<sub>1</sub> 状態での関係が、高いフルード数の範囲まで延長されることを示している。さらに、槽長と槽径の比の異なる槽について、流動状態の変化点および攪拌所要動力を測定し、相似横型攪拌槽についての既往の結果との比較を行なった。

## II. 実験装置および実験方法

実験装置の概要を図-1に示した。攪拌槽は、槽長  $L$  [cm] と槽径  $D_t$  [cm] の比  $L/D_t$  [-] = 2 の幾何学的に相似な透明アクリル製円筒形容器 3 種 ( $D_t=10.6, 15.0, 18.4$  cm) および  $D_t=15.0$  cm の  $L/D_t$  の異なる容器 3 種 ( $L/D_t=1.0, 2.0, 2.7$ ), 合計 6 種を用いた。邪魔板は図-1のごとく、左右に 4 枚づつ取り付けられている。 $L/D_t$  が変化しても、邪魔板と攪拌羽根との間隙 (図中の  $W_b/D_t$ ) は一定である。槽中心水平軸中央に 2, 4, 8 および 16 枚羽根の平羽根タービンを取り付けた。装置の各部寸法を同図に示している。

実験方法は前報<sup>1)</sup>と同じである。すなわち、攪拌液には、水および水飴を稀釈したものを用い、攪拌動力の測定は、攪拌軸にかかる振りモーメントをねじりばねのねじり角度によって検出する市販のトルク計によっている。また、槽とトルク計の間にはずみ車を取り付け、時間的なトルクの変動<sup>12)</sup>を小さくした。

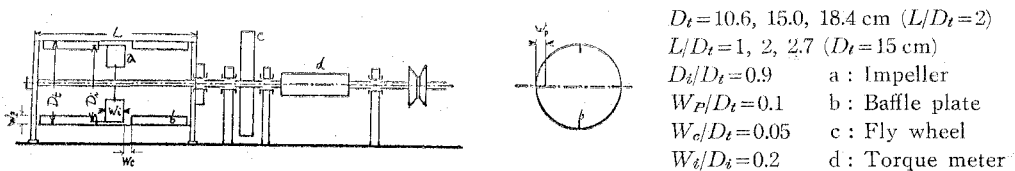


図-1 実験装置

### III. 実験結果

#### III.1 動力数におよぼす邪魔板の影響

図-2に、動力数  $N_p$  [-] と槽内流動状態を規定するフルード数  $N_{Fr}$  [-] の関係を、槽内壁に邪魔板のある場合とない場合について例示した。図中、実線で示したのは邪魔板のある場合のデータであり、破線および点線は、同一装置についての邪魔板のない場合における A<sub>1</sub>、B 状態でのデータにそれぞれ対応している。邪魔板のない場合の動力数とフルード数との関係は、すでに前報で詳述したが、レイノルズ数の影響は無視され、槽内流動状態ごとに異なっている。すなわち、4枚羽根では、同図より明らかなごとく、次式で表わされる<sup>1)</sup>。

$$N_p \propto N_{Fr}^\alpha \quad (1)$$

$\alpha \doteq -0.5$ : A<sub>1</sub> 状態

$\doteq -1.2$ : A<sub>2</sub> 状態

$\doteq 0$ : B 状態

邪魔板条件での動力数とフルード数との関係は、邪魔板のない場合に A<sub>1</sub> 状態を示すフルード数に対応する範囲では、邪魔板の有無によらず、ほぼ同じ相関を示している。そして、これより大きなフルード数においては、邪魔板のある場合の動力数の測定値は、邪魔板のない場合の A<sub>1</sub> 状態の動力数とフルード数との相関の延長上にあり、フルード数が大きくなるにしたがい、動力数の変化率すなわち(1)式の  $\alpha$  が 0 に近づく傾向を示している。また A<sub>2</sub> および B 状態は、現われない。

同図は、水あめの水溶液を用いた異なる粘度  $\mu$  [g/cm·sec] の攪拌液および異なる槽径の攪拌槽に関するデータを含んでいるが、ほとんど同一の相関によって表わされている。したがって、邪魔板のない場合と同様、邪魔板のある場合も、動力数におよぼすレイノルズ数の影響は無視し得るものと考えられる。

#### III.2 動力数におよぼす槽長の影響

##### III.2.A 邪魔板なしの場合—A<sub>1</sub>・A<sub>2</sub> 転移におよぼす $L/D_t$ の影響

図-3は、邪魔板のない  $L/D_t$  の異なる槽について、動力数  $N_p$  とフルード数  $N_{Fr}$  の関係を示している。図には、ガス吸収装置として適当な操作範囲と考えられる<sup>2)</sup> A 状態 (A<sub>1</sub> および A<sub>2</sub> 状態) のデータについてのみ示した。おのおのの相関線の横軸の最大値で、槽内流動状態は、

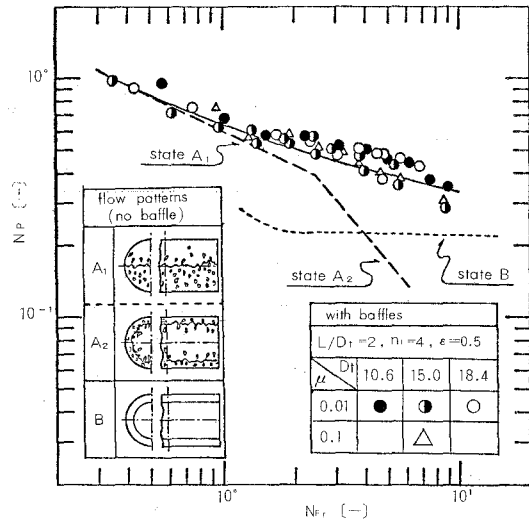


図-2 動力数  $N_p$  とフルード数  $N_{Fr}$  との関係におよぼす邪魔板の影響

A から B 状態へ転移した。図から明らかなごとく、 $A_1$  状態における動力数とフルード数との関係は、槽長比  $L/D_t$  が異なっても、ほぼ同一の相関関係として現われている。 $L/D_t$  が大きくなると、 $A_1$  から  $A_2$  状態への転移に対応する動力数とフルード数との相関関係の変化点におけるフルード数  $N_{Fr,c}$  が大きく現われている。液量率  $\epsilon[-]$  が異なっても ( $\epsilon=0.3\sim 0.7$ ) 同様の傾向が得られた。したがって、ガス吸収率のよい<sup>2)</sup>  $A_1$  状態で横型攪拌槽が操作されると仮定すれば、 $L/D_t$  の影響は、その操作条件の上限を規定する  $A_1 \cdot A_2$  転移点への影響として代表される。

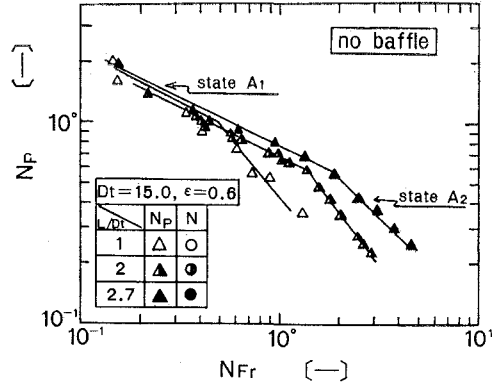


図-3 動力数  $N_p$  とフルード数  $N_{Fr}$  との関係におよぼす槽長比  $L/D_t$  の影響 (邪魔板なし)

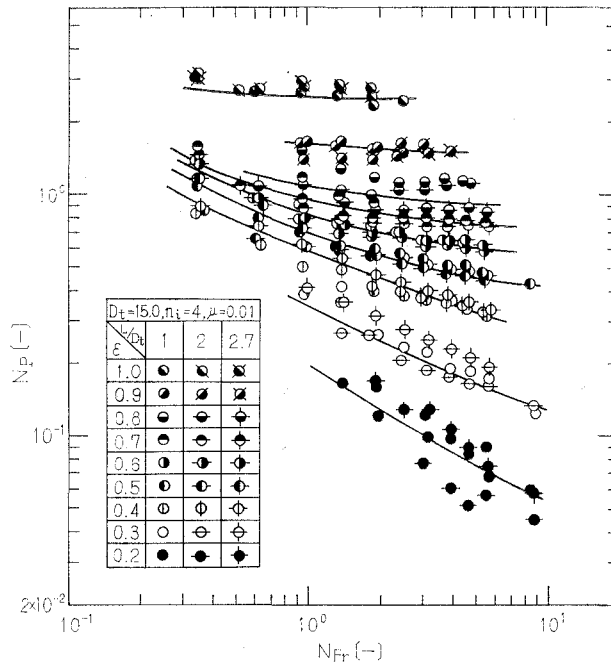


図-4 動力数  $N_p$  とフルード数  $N_{Fr}$  との関係におよぼす攪拌槽長  $L/D_t$  の影響

### III. 2. B 邪魔板条件の場合

前節 III. 2. A で詳述したごとく、槽長比  $L/D_t$  が異なっても、邪魔板のない場合の  $A_1$  状態における動力数とフルード数との関係は、同一の相関によって表わされる。また、邪魔板条件における動力数とフルード数との関係は、前章 III. 1 に示したごとく、邪魔板のない場合の

A<sub>1</sub> 状態の関係と低フルード数に於いては等しく、高フルード数では A<sub>1</sub> 状態の関係が延長される。したがって、邪魔板条件においては、L/D<sub>t</sub> が異なっても、動力数とフルード数とは同一の相関として表わされることが推測される。図-4 に例示した実測の結果は、推測どおり、L/D<sub>t</sub> が異なってもほぼ同一の相関関係を示している。

III.3 動力数におよぼす流量率の影響 (邪魔板条件)

流量率 ε が異なる場合について、邪魔板条件での動力数とフルード数との関係を 図-5 に示した。ε>0.5 では、邪魔板のない場合には明瞭に現われていた A<sub>1</sub>・A<sub>2</sub> 転移に対応する動力数の変化率 α の -0.5 から -1.2 への減少は、図-2, 4 同様各液量率とも現われず、邪魔板なしの場合の各液量率における A<sub>1</sub> 状態での動力数とフルード数との関係およびその延長が現われている。また、図-2 同様、攪拌液の粘度および槽径の影響は、各液量率とも現われていない。

フルード数が一定の場合の動力数と流量率との関係を 図-6 に示した。同一フルード数における動力数は、流量率の増加とともに増大しているが、その関係は単純ではない。前報<sup>1)</sup>では、邪魔板のない相似横型攪拌槽についての動力数とフルード数との関係におよぼす流量率の影響を、A<sub>1</sub>・A<sub>2</sub> 転移点におよぼす流量率の影響と同等とみなして、その実験結果を整理し得ることを示した。相似横型攪拌槽の A<sub>1</sub>・A<sub>2</sub> 転移点と流量率、フルード数、動力数相互の関係は、次式で示される<sup>1)</sup>。

$$N_p \propto \varepsilon^2, \quad N_{Fr} \propto \varepsilon^{-3.3} \quad (2)$$

邪魔板条件の場合の異なる液量率について、N<sub>p</sub>/ε<sup>2</sup> と N<sub>Fr</sub>・ε<sup>3.3</sup> との実験的相関を試みたのが

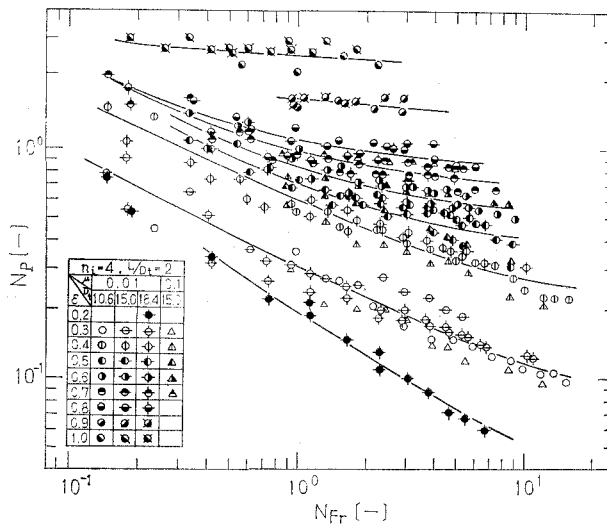


図-5 異なる流量率 ε における動力数 N<sub>p</sub> とフルード数 N<sub>Fr</sub> との関係

図-7である。装置規模の影響は直接には現われず、広い液量率にわたって良好な相関が現われている。動力数と液量率の関係は、図-6のごとく単純ではないため、液量率のすべての範囲にわたって、単純な関数形によって動力数とフルード数との関係を表わすことは困難であるが、図示の相関は、ガス吸収装置としての実用の液量率の範囲<sup>4)</sup>を十分に含んでいる。同図の相関は、 $L/D_t=2$ の相似槽のデータについてのみ示しているが、前述 III. 2. Bの結果を考慮すれば、異なる $L/D_t$ ( $L/D_t=1\sim 2.7$ )についてのデータも含むものと考えられる。図中点線は、前報<sup>4)</sup>すなわち邪魔板のない場合の同様の相関である。同図での関係もまた、邪魔板条件での測定値は、邪魔板なしの場合の  $A_1$  状態での関係と対応し、フルード数の増加にしたがい、動力数の変化率  $\alpha$  が0に近づく傾向を示している。

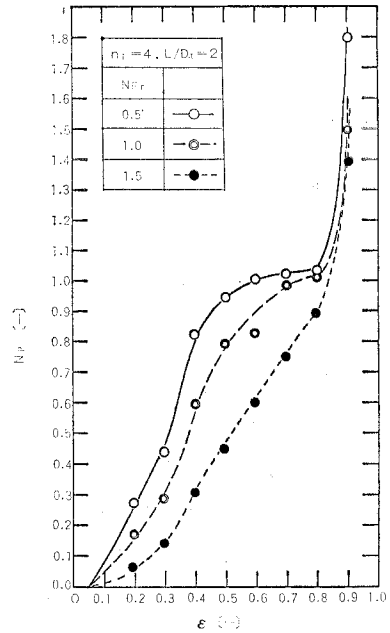


図-6 動力数  $N_p$  におよぼす液量率  $\epsilon$  の影響 (邪魔板条件)

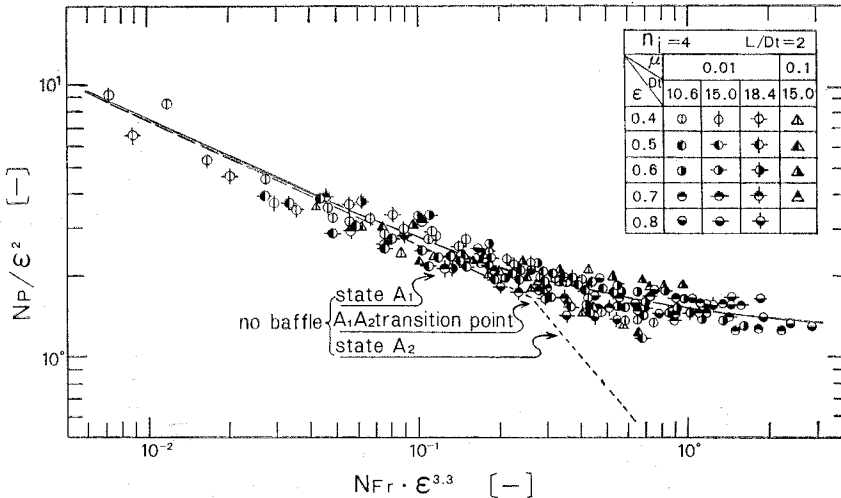


図-7 動力数  $N_p$ , フルード数  $N_{Fr}$ , および液量率  $\epsilon$  間の実験的相関 (4枚羽根)

### III. 4 動力数におよぼす攪拌羽根数 $n_1$ の影響 (邪魔板条件)

2, 8 および 16 枚羽根についても、前節 4 枚羽根の場合と同様、異なる液量率について、 $N_p/\epsilon^2$  と  $N_{Fr} \cdot \epsilon^{3.3}$  との実験的相関を試み、図-8に示した。同図点線は、図-7で得られた4枚羽根に関する同様の相関である。8枚および16枚羽根に関しては、異なる装置規模についての

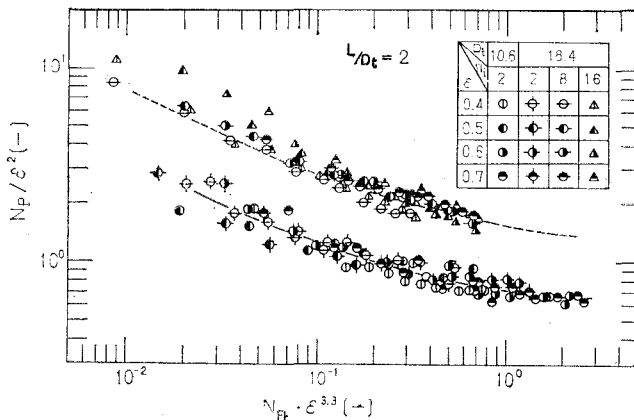


図-8 動力数  $N_p$ 、フルード数  $N_{Fr}$  および液量率  $\epsilon$  間の実験的相関 (2, 8 および 16 枚羽根)

データは示されていないが、2, 8, 16 枚羽根共、液量率の影響は直接には表われず、4 枚羽根と同様の相関で実験データを整理し得ることがわかる。実線で示した 2 枚羽根のデータは、4 枚羽根の相関のほぼ 1/2 の値を示している。8 枚および 16 枚羽根に関しては、図中に相関線としては示さなかったが、その測定値のプロットは、フルード数の小さい範囲では、4 枚羽根の相関線よりわずかに大きく、フルード数が大きくなると、4 枚羽根とほぼ等しい位置にある。同図に示された液量率の範囲 ( $\epsilon = 0.4 \sim 0.7$ ) は、4 枚羽根の場合同様、ガス吸収装置としての実用の液量率の範囲を含んでいる。

#### IV. 結 論

槽直径  $D_t = 10.6 \sim 18.4$  の幾何学的相似槽および槽長  $L$  と槽径の異なる横型攪拌槽 ( $L/D_t = 1.0, 2.0, 2.7$ ) の槽内液流動状態の変化点および攪拌所要動力を測定し、邪魔板の影響について検討し、下記結果を得た。

1) 邪魔板のない場合の動力数とフルード数との関係は、 $A_1$  状態では、 $L/D_t$  が異なっても同一の相関として表わされる。そして、 $L/D_t$  が増加するにしたがい、高いフルード数まで  $A_1$  状態が保持される。

2) 邪魔板条件における所要動力とフルード数との関係は、 $L/D_t$  が異なっても同一の相関関係として表わされ、邪魔板のない場合に  $A_1$  状態を示すフルード数に対応する範囲では、邪魔板なしの場合の関係とほとんど一致し、また、それより高いフルード数では、 $A_1$  状態の関係が延長されながら、フルード数が高くなるにしたがい、動力数の変化率  $\alpha$  が 0 に近づく傾向を示す。

異なる液量率 ( $\epsilon = 0.4 \sim 0.8$ )、羽根数 ( $n_i = 2 \sim 16$ )、槽長比 ( $L/D_t = 1.0 \sim 2.7$ ) を含め、邪魔板を含めぬ場合と同様つぎのように表わすことが出来る。



$$N_P/\varepsilon^2 = f(N_{K_r} \cdot \varepsilon^{3.3})$$

終りに本研究に際し御指導をいただいた北海道大学工学部遠藤一夫教授ならびに有意義な御助言をいただいた本学杉田治八郎教授に感謝の意を表する。

〔化学工学協会第36年会（東京，1971年4月）および第37年会（名古屋，1972年4月）にて一部研究発表〕

（昭和47年4月26日受理）

#### 文 献

- 1) 安藤公二・原 弘・遠藤一夫： 化学工学, **35**, 466 (1971).
- 2) 安藤公二・原 弘・遠藤一夫： 化学工学, **35**, 1361 (1971).
- 3) 安藤公二・八柳正弘・内藤憲良・田保英明： 室工大研報 (理工編), **7** (2), 483 (1971).
- 4) 安藤公二・田保英明・遠藤一夫： Journal of Chemical Engineering of Japan, **5**, 193 (1972).
- 5) Ganz. S. N.: Zh. Prik. Khim., **30**, 1311 (1957), etc.
- 6) 内山 久： 化学工学, **25**, 561 (1961).
- 7) 村田芳治： 化学工学, **31**, 1194 (1967).
- 8) 美坂康有： 北海道大学学位論文 (1967).
- 9) 玉木康夫・伊藤四郎： 化学工学協会第2回秋季大会講演要旨集, C 102 (1968).
- 10) 玉木康夫・原田英二・堀 利夫・伊藤四郎： 化学関係学会協会連合東北地方大会 (化学工学部門) 講演要旨集, 13 (1971).
- 11) 玉木康夫・伊藤四郎： 化学工学協会第37年会講演要旨集, G 104 (1972).
- 12) 安藤公二・高畑賢二・園 優雄・松平幹雄： 室工大研報 (理工編), **7** (3), 785 (1972).