

# 研 究 紀 要

第 34 号

平成 10 年度

奈良工業高等専門学校

# 目 次

On the Mechanism of Benard Convection in a Thin Liquid Layer Induced by Evaporation ..... Masahiko SAKAMOTO and Wen-Jei YANG .....	1	
煮沸密封による高負圧発生の試み .....	廣 和樹 .....	5
水溶性研削液を用いた超仕上加工 .....	和田 任弘 .....	9
ヒステリシスコンパレータを用いた三相高力率コンバータのシミュレーション ..... 井村 榮仁・田守 里士 .....	15	
Electro-striction Effect of Polyurethane Elastomer (PUE) and Its Application to Actuators Jun KYOKANE, Haruhiko ISHIMOTO, Hideyuki YUGEN, Toshihiro HIRAI, Takashi UEDA and Katsumi YOSHINO .....	21	
動的多視点制御によるリアルタイム身振り認識 .....	桐島 俊之・佐藤 宏介・千原 國宏 .....	27
工業的作業におけるゆらぎ駆動 .....	土井 滋貴 .....	33
広帯域周波数可変レーザー用光変調器 .....	松島朋史・水野公平 .....	37
連続制御系の等 $M$ 等 $\phi$ 線図とニコルス線図のシミュレーション .....	栗本 尚 .....	43
フーリエ級数によるひずみ波交流の3次元シミュレーション .....	栗本 尚 .....	51
自律型マイクロ・ロボットを通じての創造教育 ..... 道下 貴広・樫 宏明・中島 レイ・島岡 三義・岸下 晴亮・阪部 俊也 .....	59	
物づくりを重視した電子制御工学実験 .....	島岡 三義・樫 弘明・中田 敏夫・道下 貴広・飯田賢一 .....	63
多重化探索を取り入れた改良シミュレーテッド・アニーリング法Ⅱ ..... 浅井 文男・塘 朋子・中道 上 .....	71	
ACMOS Threshold Gate and its applications .....	Ryo IGARASHI and Ken-ichi YAMAGUCHI .....	73
インターネットにおける情報倫理教育に関する考察 .....	工藤 英男・吉川 博史 .....	79
シミュレーションのプロセス制御への応用に関する考察 .....	近藤 勝也 .....	85
VHDLシミュレータを用いたCMOS乗算回路のグリッチの評価 .....	世古 忠, 中村篤史 .....	91
あるグラフの極大頂点集合を表現するダイアグラム .....	多喜 正城・増田 澄男・柏原 敏伸 .....	95
強化学習における時系列学習データ分布の変動点推定 .....	山口 智浩 .....	101
チアクラウンエーテル化学結合型シリコンゴム感応膜を用いる銀イオン選択性電極 ..... 大植 正敏・吉野 直美・村島 健司・沢田 英夫・木村 恵一 .....	107	
Specific Amplification of Gene Fragments of Alanine Racemases with Degenerate Primers ..... Yoko OKUBO and Kumio YOKOIGAWA .....	111	
低密度大粒子懸濁気泡塔の流動特性 .....	河越 幹男・田中 智也・林 賢一・井口 高行 .....	117
ファジイ代数の決定問題 Ⅱ .....	荒金 憲一 .....	123
高専生の英訳指導 (1) .....	加地 朱 .....	135
鶴見俊輔における個人と組織の問題について .....	木村 倫幸 .....	154
夏目漱石『坊つちやん』の「乱暴者」 .....	武田 充啓 .....	164
論文抄録 .....	165	
学校5日制と高専生の意識 .....	木村倫幸・中村善一 .....	175
教官研究活動一覧 (平成9年～平成10年) .....	183	

# On the Mechanism of Benard Convection in a Thin Liquid Layer Induced by Evaporation

Masahiko SAKAMOTO and Wen-Jei Yang\*

Two types of natural convection are well-known. One is induced by the buoyancy force, called the Rayleigh-Benard type and the other is by the surface tension force, being referred to as the Marangoni-Benard type. In common to the two types is the requirement of a negative temperature gradient in the direction normal to a liquid layer, namely heated from below or cooled from above. Recent experiments reveal natural convection in a thin liquid layer induced by surface evaporation, irrespective of being heated, cooled below or adiabatic. This study develops measurements which indicate that the liquid layer consists of two strata with Benard cells appearing in the upper stratum and heat conduction taking place in the lower one. A stability analysis is performed by means of the separation of variables method. The governing dimensionless parameters are identified and stability is determined.

## 1. INTRODUCTION

It is well known that the Rayleigh-Benard type convection induced by the buoyancy force [1], the Marangoni-Benard type convection caused by the surface tension force [2], and/or a type convection by a combined action of the two forces [3] are characterized by a negative temperature gradient in a liquid layer heated from below or cooled from above. The physics of natural convection in a fluid layer was described in detail by [3] and [4].

Recently, [5] investigated the flow by means of the tracer method (aluminum powder), intrusive technique, to observe cellular convection in an evaporation thin liquid layer heated, adiabatic or cooled from below. Twelve liquids of low evaporation point were tested. It was concluded that cellular convection occurs when the liquid layer is cooled from below. The temperature profile in the layer is nonlinear. However, no attempt was made to explain the mechanism. Yang et al. [6] have proposed a new model to explain the mechanism of cellular convection in a thin liquid layer induced by surface evaporation. The mechanism is distinctly different from those of the Rayleigh-Benard and Marangoni-Benard type cellular convections. The model shows that evaporation at the free surface of the thin liquid layer results in a negative tempera-

ture gradient in the upper stratum in which cellular convection may occur irrespective of a positive, zero, or negative temperature gradient prevailing in the remaining lower stratum, as shown in Fig.1. That is to say, the model suggests the formation of two regions in the liquid layer with the occurrence of the cellular flow patterns in the top region where the temperature gradient is negative, irrespective of the bottom region being cooled, adiabatic heated.

This study develops a theoretical model for this new type of natural convection based on temperature measurements which indicate that the liquid layer consists of two strata with Benard cells appearing in the upper stratum and heat conduction taking place in the lower one. A stability analysis is performed by means of the separation of variables method. The governing dimensionless parameters are identified and a stability criteria are determined.

## 2. ANALYSIS

Consider a liquid layer consisting of two strata with Benard cells appearing in the upper stratum and heat conduction taking place in the lower one, as shown in Fig.1. The normal coordinate  $y$  measures the distance from the solid surface. Line 4 is the temperature profile induced by evaporation cooling at the free surface,  $y=\ell$  which is at a temperature of  $T_e$

---

\*Department of Mechanical Eng. & Applied Mech., The University of Michigan

Line 1 is due to the layer being cooled from below with the surface at a temperature  $T_s$  which is lower than  $T^*$ .  $T^*$  denotes the temperature at a location  $y=\delta$  that separates the upper from the lower liquid region. Line 2 corresponds to an adiabatic surface corresponding to an insulated case with  $T_s=T^*$ . Line 3 occurs when the liquid layer is heated from below with  $T_s > T^*$ . Superimposed in the figure is line 5 for both the Rayleigh-Benard and Marangoni-Benard type conduction for reference. In contrast to a monotonic temperature distribution of line 5, the  $y=\ell$  temperature profile in an evaporating liquid layer are, in general, nonlinear as monitored by thermocouples irrespective of the layer being cooled or heated from below or adiabatic.

The present analysis follows that of [2] for a liquid layer being heated from below, except that evaporation takes place at the liquid surface. It is postulated that (I) The flow field is treated by one-dimensional quasi-steady state, and constant physical properties. (II) The liquid layer thickness  $\ell$  has a constant value. (III) A saturated vapor phase exit over the liquid layer and the liquid-vapor interface is a flat and nondeformable surface. (IV) The only physical quantities that are assumed to vary within the liquid are the temperature, the surface tension, which is regarded as a function of temperature only, and the rate of heat loss on the surface, also a function of temperature only.

Under the above assumptions, the rate of heat loss per unit area from the upper free surface in the unperturbed upper liquid region can be expressed as

$$Q_o = \dot{m}'' \cdot h_{fg} = -k\beta_1 - A \Delta T \quad (1)$$

Here,  $\dot{m}''$  denotes the mass flux of evaporation at the liquid surface;  $h_{fg}$ , latent heat of evaporation;  $k$ , thermal conductivity of the liquid;  $\beta_1$ , temperature gradient in the upper region where the temperature gradient is negative;  $A$ , local heat transfer coefficient at the liquid-vapor interface;  $\Delta T$ , temperature difference between the free surface and the atmospheric environment  $T_e - T_s$ . Note that positive  $\dot{m}''$  implies condensation and negative for evaporation. Let  $T_1(y)$  and  $T_2(y)$  be the liquid temperatures in the upper and lower regions, respectively.  $\beta_1$  can be expressed as the temperature gradient of the upper liquid region.

$$\beta_1 = \frac{\partial T_1}{\partial y} = \frac{T_e - T^*}{\ell - \delta} \quad (2)$$

where,  $T_e$  denotes a liquid temperature at the free surface  $y = \ell$ ;  $T^*$ , the liquid temperature at a location  $y = \delta$  that separates

the upper from the lower liquid regions. When the lower liquid region is heated from below, the temperature gradient of the lower liquid region  $\beta_2$  can be expressed as

$$\beta_2 = \frac{\partial T_2}{\partial y} = \frac{T^* - T_s}{\delta} \quad (3)$$

where,  $T_s$  denotes the temperature of bottom surface,  $y=0$ . The temperature gradients of the upper and lower liquid regions are equal at  $y=\delta$ , it can be expressed as

$$\frac{\delta}{\ell - \delta} = \frac{T^* - T_s}{T_e - T^*} = K \quad (4)$$

The location  $\delta$  that separates the upper from the lower liquid regions can be obtained by solving Eq.(4) as

$$\delta = \frac{K}{1+K} \cdot \ell \quad (5)$$

On the other hand, the local heat transfer coefficient  $A$  at the liquid-vapor interface is obtained from [7], [8] as

$$A = \left( \frac{2\hat{a}}{2-\hat{a}} \right) \cdot \sqrt{\frac{M}{2\pi RT_g}} \cdot \left( \frac{h_{fg}^2}{T_g \nu_{lg}} \right) \cdot \left[ 1 - \frac{P_g \nu_{lg}}{2h_{fg}} \right] \quad (6)$$

Here,  $\hat{a}$  is an accommodation coefficient and the value of it is referred by [12];  $M$ , molecular weight;  $R$ , universal gas constant;  $h_{fg}$ , latent heat of evaporation;  $T_g$ , temperature in the vapor phase;  $\nu_{lg}$ , change in specific volume from liquid to vapor, and  $P_g$ , vapor pressure.

The equation of motion and heat conduction become

$$\left( \frac{\partial}{\partial t} - \nu \nabla^2 \right) \nabla^2 v' = 0 \quad (7)$$

$$\left( \frac{\partial}{\partial t} - a \nabla^2 \right) T' = \beta_1 v' \quad (8)$$

Here,  $\nu$  is a kinematics viscosity;  $v'$  velocity in the  $y$ -direction;  $a$  a thermal diffusivity of the liquid;  $T'$ , temperature disturbance;  $\beta_1$ , temperature gradient of the upper liquid region. It will be noted that the equation for  $v'$  contains no buoyancy term and is the same as that of [2].

The relation for  $S$  and  $Q$  are taken to depend linearly on  $T'$  because we are considering an infinitesimal disturbance theory and therefore need only the first two terms in a Taylor expansion.

$$S = S_o - \sigma T'e \quad (9)$$

Where  $\sigma = -(\partial S / \partial T)_{T=T_e}$ , represents the rate of change of

surface tension with temperature.

$$Q=Q_0+qT'e \quad (10)$$

Where  $q=(\partial Q/\partial T)_{T=T}$ , represents the change of heat flux with respect to temperature at the liquid surface.

Since the lower liquid region is quiescent, four hydrodynamics for the upper liquid can be described as follows:

At  $y'=0$ :

$$v'=\frac{\partial^2 v'}{\partial y'^2}=0 \quad (11)$$

At  $y'=\ell-\delta$ :

$$v'=0 \text{ and } p\nu \frac{\partial^2 v'}{\partial y'^2}=\sigma \nabla_1^2 T' \quad (12)$$

Here  $\nabla_1^2=(\partial^2/\partial x'^2+\partial^2/\partial y'^2)$ .

Thermal boundary conditions are

$$T'=Y\partial T'/\partial y' \quad (13)$$

At  $y'=0$ , and

$$-k\partial T'/\partial y'-AT'=qT' \quad (14)$$

at  $y'=\ell-\delta$ . The thermal boundary condition (13) is the supply of heat to the bottom surface of the upper liquid region from the lower liquid region under the "conducting" condition,  $T'=0$  (i.e.,  $Y=0$ ).

Let dimensionless variables be defined as

$$(\xi, \mu, \zeta)=\left(\frac{x}{\ell-\delta}, \frac{y'}{\ell-\delta}, \frac{z}{\ell-\delta}\right) \quad \tau=ta/(\ell-\delta)^2 \quad (15)$$

Here,  $y''=y-\delta$ .  $v'$  and  $T'$  be written in the form of

$$v'=-a/(\ell-\delta) \cdot F(\xi, \zeta) \cdot f(\eta) \cdot e^{Pr} \quad (16)$$

$$T'=\beta_1 \cdot (\ell-\delta) \cdot F(\xi, \zeta) \cdot g(\eta) \cdot e^{Pr} \quad (17)$$

It yields

$$\frac{\partial^2 F(\xi, \zeta)}{\partial \xi^2} + \frac{\partial^2 F(\xi, \zeta)}{\partial \zeta^2} + aF(\xi, \zeta)=0 \quad (18)$$

where  $a$  is a nondimensional wave number derived from the application of the separator of variables method. One also obtained

$$\left[\rho - Pr(D^2 - a^2)\right](D^2 - a^2)f(\eta)=0 \quad (19)$$

$$\left[\rho - (D^2 - a^2)\right]g(\eta)=-f(\eta) \quad (20)$$

where,  $D \equiv d/d\eta$  and  $Pr=\nu/a$  which is called the Prandtl number.

The boundary conditions (11), (12), and (14) become

$$f(0)=f''(0), f(1)=0, f'(1)=-a^2 Bg(1), g(1)=-Lg(1) \quad (21)$$

where,

$$B=\frac{\sigma\beta_1(\ell-\delta)^2}{\zeta \cdot \nu \cdot a} \quad (22)$$

and

$$L=\frac{(q+A) \cdot (\ell-\delta)}{k} \quad (23)$$

Are the dimensionless parameters, called the Marangoni and Biot numbers, respectively.

The thermal boundary condition, for the conducting case( $Y=0$ )yields

$$g(0)=0 \quad (24)$$

For neutral stability, Eqs.(19) and (20) for  $p=0$  are reduced to

$$(D^2 - a^2)(D - a^2)f(\eta) \quad (25)$$

and

$$(D^2 - a^2)g(\eta)=f(\eta) \quad (26)$$

respectively. Equation (25) subject to the first of Eq.(21) is solved to yield

$$f(\eta)=af\{\sinh a \cdot \eta \cdot \cosh a \eta - \cosh a \cdot \sinh a \eta\} \quad (27)$$

where  $a_j=-a \cdot B \cdot g(1)/(2 \cdot \sinh^2 a)$ .

Similarly, Eq.(26) subjects to the last condition of Eqs.(21) and (24) gives.

$$g(\eta)=\frac{af}{4a^2} \left[ \{ a \cdot \sinh a \cdot \eta \cdot \sinh a \eta - \sinh a \cdot \eta \cdot \cosh a \eta \right. \\ \left. - 2a \cdot \cosh a \cdot \eta \cdot \cosh a \eta \right] - \frac{(a \sinh^2 a - (a^2 + 1) \sinh a \cosh a}{(a \cosh a + L \sinh a)} \\ \left. - 2a \cosh^2 a \right) + L(a \sinh^2 a - \sinh a \cosh a - 2a \cosh^2 a) \sinh a \eta \quad (28)$$

for the conducting case, and

A substitution of Eqs.(28) into the fourth boundary condition of Eq.(21) results in one

$$B=\frac{8a \sinh^2(a \cosh a + L \sinh a)}{\cosh a (\sinh^2 a - 2a^2) + a \sinh a} \quad (31)$$

For the conducting case.

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

Equation (31) is graphically illustrated for  $B$  versus in Fig.2 with  $L$  as parameter. The obtained curves are similar to the

marginal(neutral) curve to Person. The values of the critical Marangoni number and of the critical wave number are, for the conducting case and  $L=0$  as in the present study,  $B_{crit}=57.6$  and  $a_{crit}=1.7$ , respectively. In general, Larger positive values of  $L$  lead to greater stability.

4. CONCLUSION

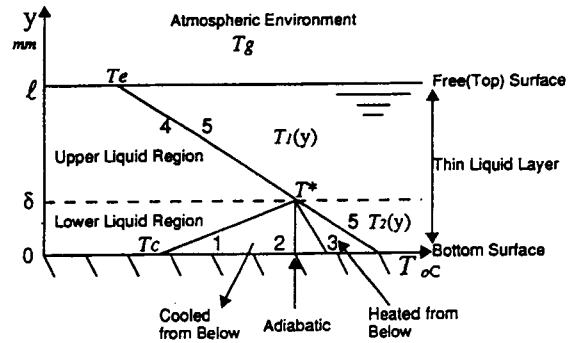
Temperature measurements revealed a thin liquid layer consisting of two strata with Benard cells appearing in the evaporating upper stratum and heat conduction taking place in the lower one. A theoretical model has been developed to describe the new type of natural convection in the present study. The following conclusions have been derived:

- (1) Cellular convection in a thin liquid layer induced by surface evaporation can be explained by the present stability analysis.
- (2) The governing dimensionless parameters, Marangoni and Biot numbers, are derived by means of the separation of variables method.
- (3) The analytical results are verified by the experimental data.

REFERENCES

- [1] Rayleigh,L. 1916 On convection currents in a horizontal layer of fluid the high temperature is on the under side. Philosophical Mag. Vol.32, No.192, 529-546.
- [2] Pearson, J.R.A. 1958 On convection cells induced by surface tension. J.Fluid Mech.4, 489-500.
- [3] Nield, D.A. 1964 Surface tension and buoyancy effects in cellular convection. J.Fluid Mech. 19,341-352.
- [4] Verlarde, M.G. & Normand,C. 1980 Convection. Scientific American.243,92-108.
- [5] Chai, A.T.& Zhang, N.1996 Marangoni-Benard convection in an evaporating liquid thin layer, presented at 4th Int. National Symp. On Heat Transfer. 7-11. Oct. Beijing.
- [6] Yang, W.J., Guo, K.H. & Sakamoto, M. 1997 Evaporation-induced cellular convection in the thin liquid layers.Exp.Heat Transfer.
- [7] Carrey, V.P. 1992 Liquid-vapor phase change phenomena: An introduction to the thermophysics of vaporization and condensation process in heat transfer equipment. 112-120. Hemisphere, New York.
- [8] Faghri, A. 1995 Heat pipe science and technology. 72-75.

Taylor & Francis.



Line

- 1:positive temperature gradient due to cooling from below
- 2:zero temperature gradient due to no heat flow from below
- 3:negative temperature gradient due to heated from below
- 4:negative temperature gradient due to surface evaporation
- 5:Rayleigh-Benard and Marangoni-Benard type convection

Fig.1 A model for evaporation-induced natural convection in a horizontal, thin liquid layer of thickness of 1 mm or less subjects to being cooled, insulated, and heated from below (line 1,2, and 3) as compared with Rayleigh-Benard and Marangoni-Benard convection (line 5).

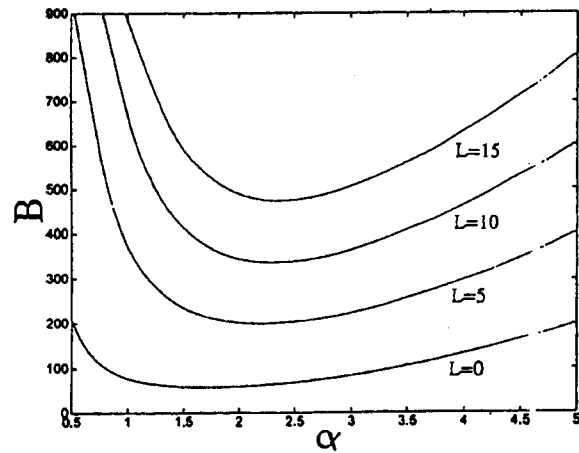


Fig.2 Neutral stability curves, conducting case.

## 煮沸密封による高負圧発生の試み

廣 和樹

A trial for generating high negative pressure by sealing a plug in a boiling water

Kazuki HIRO

A liquid is stretched isotropically under negative pressure. Where it is in a thermodynamically metastable state, it is apt to cavitate through nucleation process. We aimed to generate high negative pressure in Berthlot method using a metal tube for facilitating measurements of properties in the still uncovered range. Negative pressure was not found to increase with repeated cavitation by sealing a metal a boiling water. The result means that negative pressure was affected by the pore-like defects in the metal bulk.

### 1. 緒言

「液体に高負圧を発生させる技術の確立」というのが本実験の目的である。液体の負圧は、液体が過膨張状態にあるとき安定状態に戻ろうとして、等方性の引っ張り力が働くといわれているが報告例は少なくよく解かっている。負圧発生が困難な理由は、この状態が過膨張な準安定であるために気泡が発生し負圧 (-5Mpa)から飽和蒸気圧 (0.1Mpa程度) に転移することにある。理論的には負圧の最大値は水では-140Mpa程度<sup>(1)</sup>といわれていることから、水分子自体の限界張力というよりは他の要因で決定されており、この要因として水中のゴミや水と接する容器壁面の欠陥に捕らわれた微少なガスが考えられている。<sup>(2)</sup>

本研究ではこれまでの結果から、負圧発生を妨げる要因は、試料水を密封する際に用いる栓表面の欠陥にあるガスで、栓内部からガスが供給されるため高負圧発生となると容易でないと考えている<sup>(3)</sup>。そこで今回は、容器本体と同じ材質の栓を用い煮沸処理を行って、容器壁全体の表面上に捕らわれているといわれるガスを抜気した後、その煮沸水中で栓を封入することによって高負圧発生を試みた。

### 2. 実験

#### 2.1 実験容器

実験容器を図1に示す。容器中央には直径4mm、深さ16mm、底の厚さ4mmの試料室がある。試料室の下部がダイヤフラムとなっており、裏側にはひずみゲージと熱電対とが接着してある。試料室内の圧力は既知の圧力で較正しておくことで測定した。較正方法を図2に示す。実験容器の上蓋の代わりにジグを取り付け、窒素ガスポンベから窒素ガスを試料室へ送り込み、そのときのガス圧とダイヤフラムのたわみに伴う電圧信号の変化をmulti-meterで読みとった。また試料の温度は、熱電対の温度と等しいとして測定した。

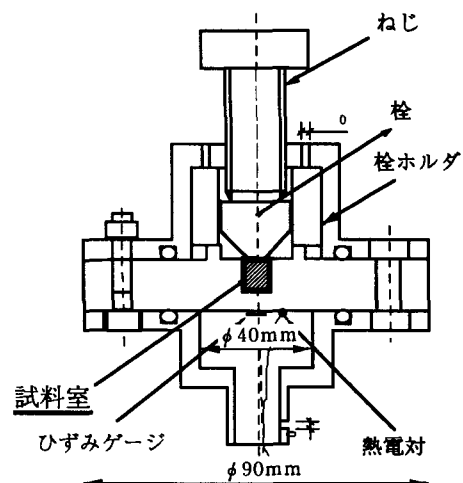


図1 実験容器

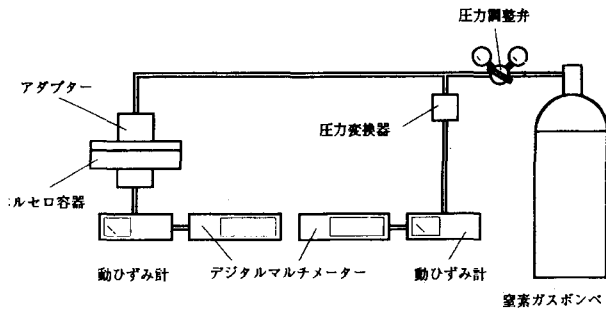


図2 較正方法

2.2 煮沸密封

煮沸封入は181容器内に蒸留水を満たしておき、容器本体（上蓋、試料容器、栓ホルダ、下蓋よりなる）と栓を入れ煮沸したのち、水中にて栓を上蓋のねじ穴から試料室上に挿入しねじを締め付けて栓を塑性変形させて密封した。そして高温水中に約1時間、70～80℃の範囲で漏れチェックを行って漏れないことを確認して、負圧測定を行った。

2.3 負圧測定

負圧は、これまでと同様に、実験容器全体の温度を下げて熱膨張率の違いによって発生させ、キャビテーション前後の圧力差を読みとって測定した。そして温度を上げることによって正圧発生させた後、冷却して再び負圧測定し、この温度サイクルを多数回繰り返して各サイクルでの負圧を測定した。多数回温度サイクルを繰り返す理由としては、外国の研究者によって温度サイクルを繰り返すと負圧が増加傾向を示すことが明らかにされ、そのモデルとして、図3のようにキャビテーションの起こる原因となる微小な気泡は、容器壁表面の亀裂に存在し、この気泡が力のつりあいにより亀裂に捕らわれているが、負圧が発生し水からの引っ張り力が強くなると、力のつりあいが破られて気泡は亀裂の外へ解放され、この気泡がキャビテーションの原因となる、といわれていたことによる。

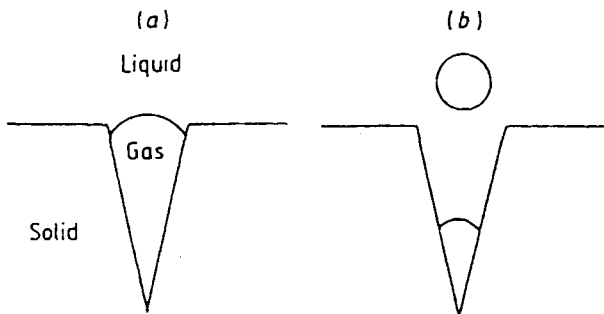


図3 表面欠陥モデル

2.3 電解研磨

負圧が容器表面の欠陥に捕らわれたガスに影響されるならば、容器と栓との表面粗さはできるだけきれいな方がよい。そこで、試料室壁面の電解研磨を行った。容器の電解研磨は、図4に示すように、陽極となっている紙片の研磨面が電解槽の中で溶け出すことによって面の平滑化が達成される<sup>(4)</sup>。電解溶液には10%りん酸水溶液を用い、電流密度は約34mA/cm<sup>2</sup>であった。研磨後の試片の表面はやや光沢のあるくらいにしておいた。

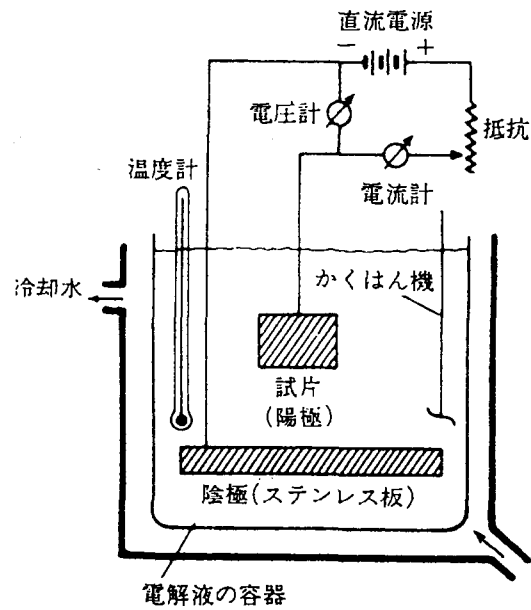


図4 電解研磨

3. 結果と考察

図5に、煮沸密封による方法と、つぎに栓のみを煮沸した方法での各温度サイクルで得られた負圧の20サイクル

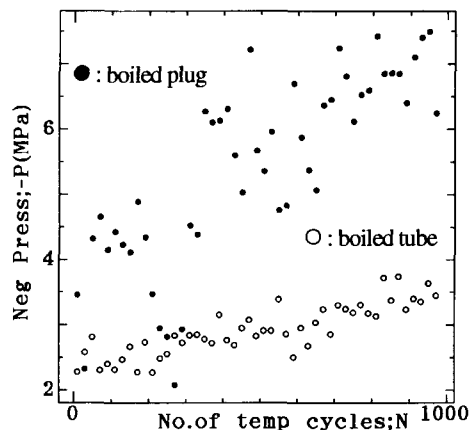


図5 負圧-温度サイクルの関係

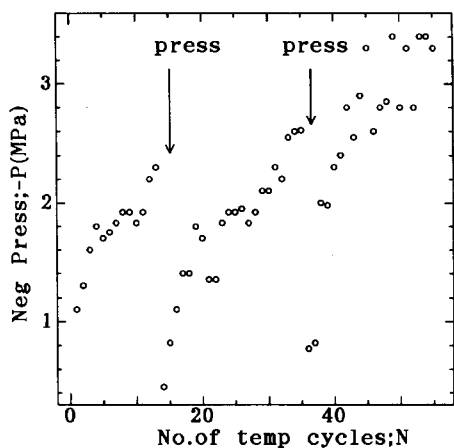


図6 締め増しの影響

ルごとの平均を示す。負圧はともに増加傾向を示したが煮沸しても高負圧は得られずわずか4 MPa以下となった。この結果から負圧に影響を及ぼすといわれるガスは容器本体には存在しないものと考えられる。

図6に約20サイクルごとに栓の締め増しを行った実験結果を示す。締め増しを行うたびに負圧は一時的に減少しその後増して一定値に落ち着く傾向を示した。栓の締め増しによる密封部分が負圧と関係しており、先の結果も考慮すると最初のサイクルだけでなく全体的に影響している可能性があることがわかる。

図7に容器材質を変えた実験結果を示す。銅の方の負圧の方がステンレス鋼よりも大きかった。銅製の実験容器(工業用純銅)は試料室の容積がステンレス製の実験容器(sus316)よりも約10倍大きく、ガス拡散係数も銅の方がステンレス鋼よりも大きい。一般的に負圧を大きくするには試料の容積を減らした方が良いとされている<sup>(3)</sup>。また、材料内部のガスは理論的には銅の方がステンレス鋼よりも移動しやすい。このことから、現段階での負圧

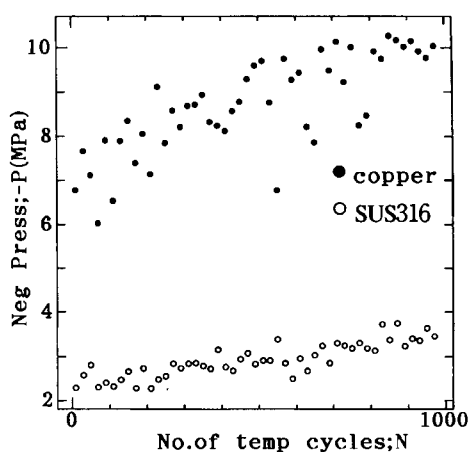


図7 材質の違い

は、容器材質や試料そのもので定まる物性でなく、局所的な場所から影響を受けているものと推測される。

#### 4. 結 言

容器全体を煮沸しその中で密封するという方法を試みて負圧測定した結果、次のように考えた。

- (1) 負圧に影響を及ぼすといわれるガスは容器本体には存在しない。
- (2) 栓と容器の密封部分が負圧に全体的に影響している可能性がある。

#### 参考文献

- (1) J.C.Fisher:J.Appl.Phys.19(1951)970
- (2) 大出義仁 日本物理学学会誌 Vol.51,No12,(1996)892
- (3) D.H.Trevena:"Cavitation and Tension in Liquid"(1987), [Adam Hilger, Bristol, Philadelphia]
- (4) ギュンター・ペツォー 金属エッチング技術 (1977) アグネ



## 水溶性研削液を用いた超仕上加工

和田 任弘

Super Finishing with Water Soluble Grinding Fluid

Tadahiro WADA

In super finishing of the sintered stainless steel with the water soluble grinding fluid, the surface roughness was investigated experimentally. The super finishing stone used was WA600RH70. The main results obtained are as follows: (1) The surface roughness was constant above the stone pressure 0.25MPa. The super finishing stone wear increased with the increase of the stone pressure. This is the reason why because the abrasive grain easily released at the high stone pressure. (2) The surface roughness increased with the increase of the maximum inclination angle. (3) The surface roughness became better among work-piece speed from 28m/min to 100m/min.

### 1. 緒 言

粉末冶金は、複雑形状部品を高精度に大量生産できる特徴があり、自動車用部品などの製造技術として多く利用されている。焼結機械部品の中で、耐食性が要求される場合には、焼結ステンレス鋼が使用される。焼結機械部品は、要求される仕上げ面品位を得るために、焼結後に機械加工が行われる場合も多い。短時間において良好な仕上げ面品位を得るための方法として、超仕上加工は有効な方法であるが、焼結ステンレス鋼の超仕上げを行った研究はあまり見あたらない<sup>(注1)</sup> である。超仕上加工とは、微細な砥粒を比較的強度の低い結合剤で固めた砥石を工作物に押付け、砥石と工作物の接触面に適度の粘度をもった油を注ぎかけながら、微小振動を含む相対運動を与えて、金属表面を仕上げる加工法<sup>(1)</sup>である。超仕上げの特長は、仕上げ面の平滑度が非常によいこと、仕上げ面に方向性がほとんどないこと、加工能率が非常

によいことなどである<sup>(2)</sup>。現在、超仕上加工では切りくず排出効果、潤滑効果ともに優れた不水溶性の工作液が用いられている<sup>(3)</sup>。ところが、切削や研削などの前加工では、水溶性の工作液が使用され、また超仕上げ後において、不水溶性の工作液の洗浄・脱脂が必要となる場合も多い。このため、超仕上加工においても、水溶性の工作液が使用できれば、生産性向上に有効であると考えられる。

そこで本研究では、焼結ステンレス鋼の超仕上加工において、水溶性研削液を用いた場合、加工条件が、主として表面粗さに及ぼす影響を調べた。さらに、生産性向上のためには高速度加工も有効な方法であるが、このことについても検討を加えた。すなわち、一般に工作物の周速度を低くして超仕上加工が行われるが、本研究では、工作物の周速度を速くして超仕上げを行い、工作物の周速度が表面粗さに及ぼす影響を調べた。

### 2. 実験装置および方法

使用した超仕上げ装置は、蔵田精密製SF115型超仕上げ装置である。これを、旋盤の往復台に取付け使用した。

使用旋盤は、三菱重工業製 高速旋盤HL300-U型 (70~3200rpm, 3.7kW) である。

(注1) 溶製材としてのステンレス鋼の超仕上げについては、古くから行われており、たとえば、以下の文献に記載が見られる。

五十嵐正隆, わかり易い機械講座15. 精密仕上と特殊加工, 彰国社, 東京, 昭和46年 (第1版第2刷), 49.

主要部を図1に示す。砥石ホルダ③に取付けられた砥石②は、加圧アーム④に内蔵されたばねによって工作物①に押付けられ一定の圧力を与えられるとともに、工作物の長手方向（旋盤の縦送り方向）に振動させられる。なお、工作物は、ホルダを介して主軸に取付けられ、回転運動が与えられる。

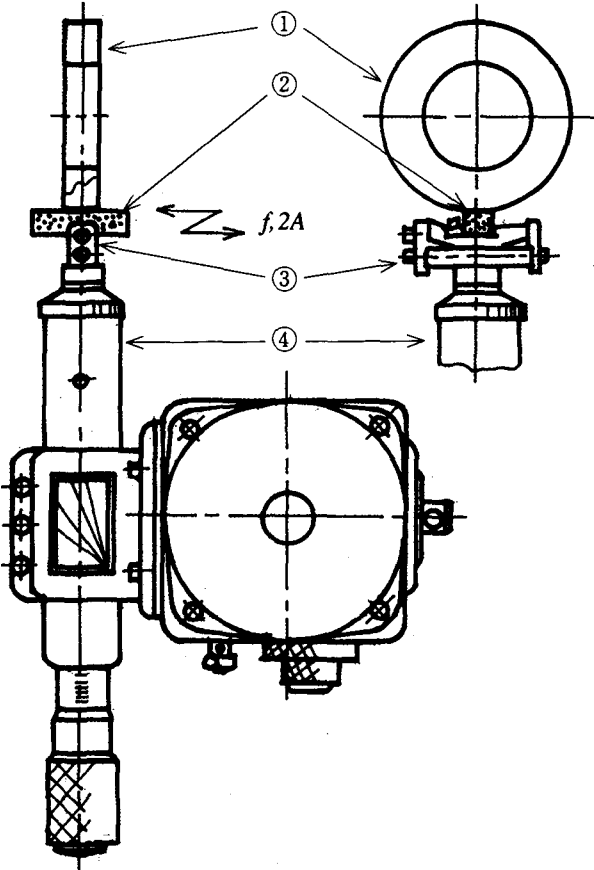


図1 実験装置

工作物には、焼結ステンレス鋼（SUS316L相当）を用いた。工作物の幅は、20mmである。超仕上げの前加工としては、PVDコーテッド超硬バイトによって焼結ステンレス鋼の外周旋削を行い、工作物の表面粗さを一定にした。そのときの切削条件を、表1に示す。工具材種は、超硬合金K10種を母材とし、TiNをPVDコーティングしたものである。なお、バイトの摩耗によって、前加工における工作物の表面粗さは変化するが、本研究では、工具摩耗の比較的少ないバイトを使用した。

超仕上げ時の加工条件を表2に示す。工作物の周速度 $V_w$ 、加工時間 $t$ ならびに砥石圧力 $P$ については、 $V_w=28.0\text{m/min}$ 、 $t=30\text{s}$ ならびに $P=0.25\text{MPa}$ を標準的な加工条件とした。

超仕上げに使用した砥石を、表3に示す。一般に、鋼材の超仕上げ加工によく使用されるビトリファイドを結合剤としたWA600RH70砥石を使用した。砥石の形状は、幅15mm、厚み15mmで、長さ50mmの角柱である。このため、工作物の幅（20mm）に比べ、砥石長さ（50mm）の方が長いので、棒状砥石に一定の圧力を加えて工作物の円筒外面を仕上げる定圧加工法を行った。すなわち、旋盤の縦送り装置は使用せず、砥石に一定の圧力を付加した状態で、砥石を工作物の長手方向に振動させた。用いた工作液は、ユシロ化学工業社ユシローケンシンセティック#880を10倍に水道水で希釈した水溶性研削液である。これを、砥石-工作物接触部上方に設られたノズルによって毎分10L供給した。

表3に示した加工条件で、焼結ステンレス鋼の超仕上げを行い、表面粗さを調べた。なお、表面粗さは、工作物の長手方向について測定し、表面粗さの測定には、触針式表面あらさ形状測定器（東京精密製サーフコム1400A）を用いた。表面粗さの表示は、JIS1994年版で行った。

表1 外周旋削における切削条件

切削速度	$V=100\text{m/min}$
送り	$S=0.2\text{mm/rev}$
切込み	$a=0.1\text{mm}$
切削方式	乾式切削
工具材種	PVDコーテッド超硬合金

表2 超仕上げにおける加工条件

工作物の周速度	$V_w = 15.5 \sim 141\text{m/min}$
砥石振動数	$f = 30.8\text{Hz}$
全振幅	$2A = 1.1 \sim 3.5\text{mm}$
加工時間	$t = 0 \sim 40\text{s}$
砥石圧力	$P = 0.15 \sim 0.35\text{MPa}$

表3 超仕上用砥石

砥石	砥粒	結合剤	粒度	結合度
WA600RH70	WA	V	600	RH70

V：ビトリファイド結合剤， 処理剤なし

超仕上げでは、砥粒切れ刃が工作物表面上を描く切削運動の軌跡は、図2に示すように正弦波となる。V<sub>w</sub>を工作物の周速度(m/min), V<sub>s</sub>を砥石速度(m/min)とすると、切削速度V(m/min)は、式(1)で示される。

$$V = (V_w^2 + V_s^2)^{1/2} \quad (1)$$

さらに、fを砥石の振動数(Hz), Aを砥石の片振幅(mm), Nを工作物の回転数(rpm), Dを工作物の直径(mm), tを時間(s)とすると、V<sub>w</sub>ならびにV<sub>s</sub>は、それぞれ式(2), (3)で表される。

$$V_w = \pi D N / 1000 \quad (2)$$

$$V_s = (120 \pi A f / 1000) \cdot \cos(2 \pi f t) \quad (3)$$

式(3)に示すように、V<sub>s</sub>は、時間とともに変動し、その結果、Vも変動する。

VとV<sub>w</sub>のなす角度を、傾斜角θ(°)とすると、θは、式(4)で示される。

$$\begin{aligned} \theta &= \tan^{-1}(V_s / V_w) \\ &= \tan^{-1} \{ (120 A f / D N) \cdot \cos(2 \pi f t) \} \end{aligned} \quad (4)$$

式(1)より、切削速度Vの最大値V<sub>max</sub>(m/min), ならびにそのときの傾斜角(最大傾斜角)をΘ(°)とすると、V<sub>max</sub>ならびにΘは、それぞれ式(5),(6)で示される。なお、切削速度Vの最小値V<sub>min</sub>(=V<sub>w</sub>), ならびにそのときの傾斜角は、それぞれπDN/1000および0となる。

$$V_{max} = (\pi / 1000) \cdot \{ (D N)^2 + (120 A f)^2 \}^{1/2} \quad (5)$$

$$\Theta = \tan^{-1}(120 A f / D N) \quad (6)$$

以上の運動条件の中で超仕上機構重要な値は、切削速度の最大値V<sub>max</sub>とそのときの傾斜角、すなわち最大傾斜角Θ、およびfである<sup>(4)</sup>。そこで、本研究では、V<sub>max</sub>とΘを変化させて、超仕上げ加工を行った。

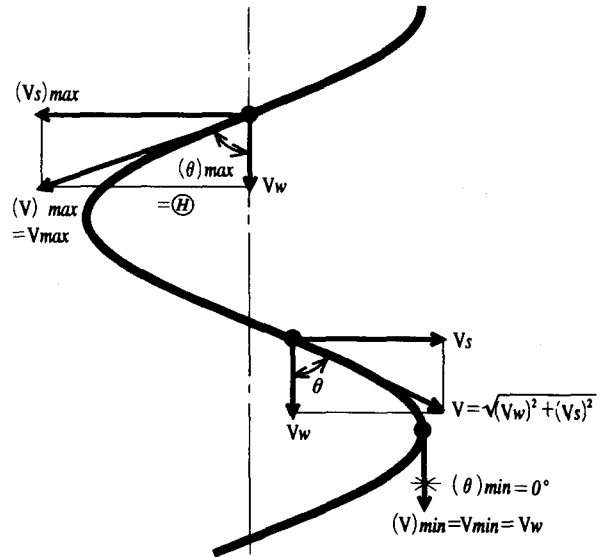
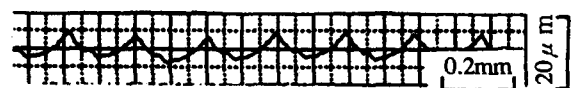


図2 砥粒の切削軌跡

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 超仕上前における工作物の表面粗さ

表1に示した切削条件で焼結ステンレス鋼の外周旋削を行い、送り方向の仕上げ面粗さを求めた。その結果、超仕上前における工作物の表面粗さは、Ra=1.5~1.7 μm, 最大高さRy=6~7 μmとなった。バイトの送り方向(工作物の長手方向)における断面曲線の一例を、図3に示す。図3中に示す断面曲線より下側が焼結ステンレス鋼である。



Ra=1.6 μm, Ry=7 μm

図3 超仕上前における断面曲線

#### 3.2 加工時間

超仕上げの場合、加工能率に影響する加工条件は非常に多く、それぞれが互いに影響しあっており、作業目的に適した加工条件を選択する必要がある。このため、砥石メーカーや超仕上加工機製造メーカーの技術資料には、工作物、使用砥石などによって、作業目的に適した具体的な加工条件が推奨されている。しかし、本研究のように、水溶性の工作液を使用して超仕上げを行う場合の推奨加工条件については、明らかにされていない。そこで、不

水溶性の工作液を使用して超仕上げを行う場合を参考にして予備実験を行い、表面粗さにおいて、水溶性の工作液を使用した場合に適した加工条件を見いだした。

図4に、工作物の周速度28.0m/min、最大傾斜角13.1°、砥石圧力0.25MPaを一定として焼結ステンレス鋼の超仕

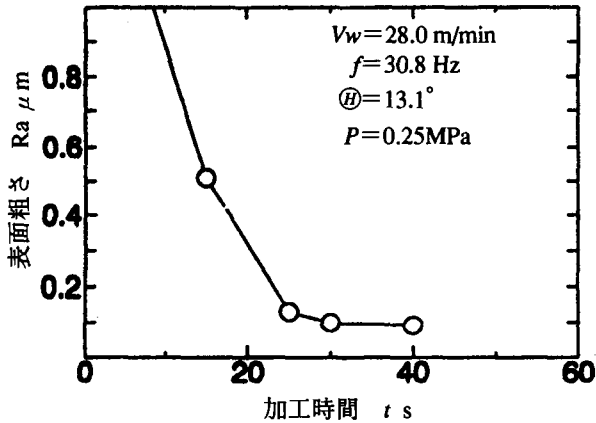


図4 加工時間と表面粗さ

砥石の振動数30.8Hz、最大傾斜角29.3°、加工時間30sの場合を示す。砥石圧力の上昇につれ表面粗さは小さくなる。しかし、砥石圧力を大きくすると、砥石損耗量も増加した。そこで、以下の実験においては、砥石圧力は0.25MPaと一定とした。

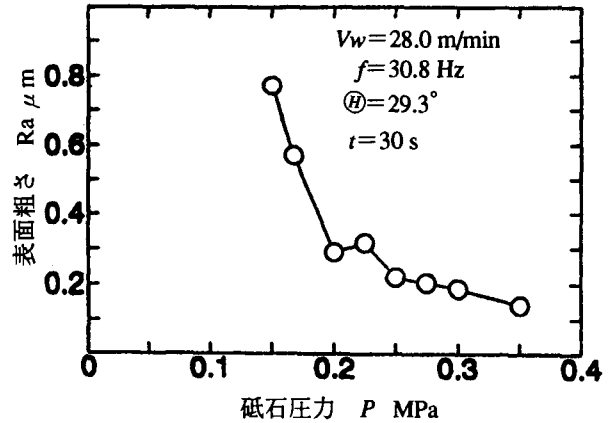


図6 砥石圧力と表面粗さ

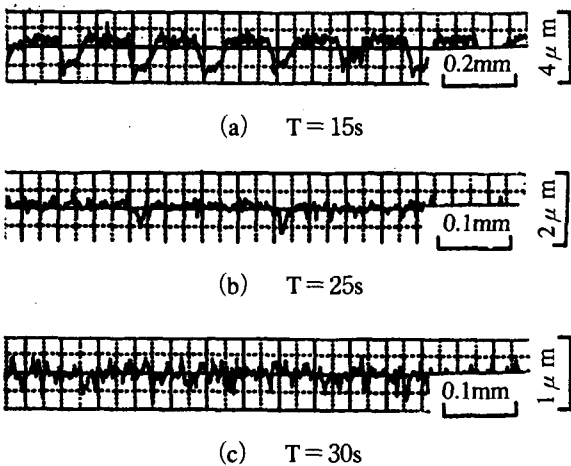


図5 加工時間による断面曲線の変化

上げを行った場合、加工時間が表面粗さに及ぼす影響を示す。超仕上げ加工は、加工時間25秒までに急激に行われている。加工時間40秒でRa=0.091 μmの表面粗さになる。この時の、工作物の長手方向の断面曲線の変化を図5に示す。

3.3 砥石圧力

WA600RH70砥石を用いて、砥石圧力が表面粗さに及ぼす影響を調べた。図6に、工作物の周速度28.0m/min、

3.4 最大傾斜角

次に、最大傾斜角が表面粗さに及ぼす影響を調べた。図7に、工作物の周速度28.0m/min、砥石の振動数30.8Hz、加工時間30s、砥石圧力0.25MPaの場合を示す。最大傾斜角の増加につれ、表面粗さは大きくなる。

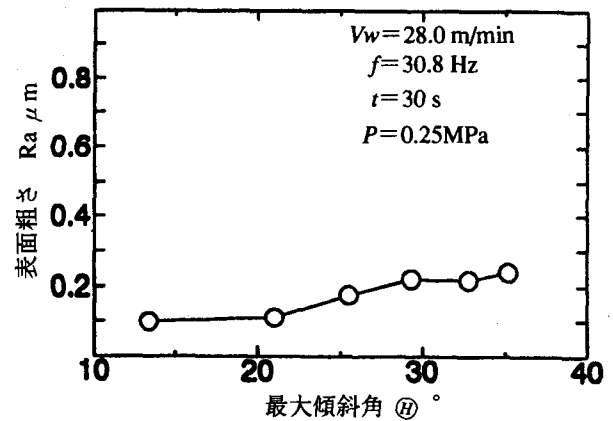


図7 最大傾斜角と表面粗さ

3.5 工作物の周速度

砥石の振動数30.8Hz、全振幅1.8mm、砥石圧力0.25MPaで超仕上げを行い、工作物の周速度と表面粗さの関係を

調べた。加工時間30sの場合を、図8に示す。工作物の周速度 $V_w$ を28~100m/minとすれば、 $0.1 \mu\text{mRa}$ 程度の表面状態が得られる。しかし、工作物の周速度が遅い場合は、表面粗さは、粗悪になる。これは、この場合における工作物の長手方向の断面曲線が、図5(a)に示したような形状になるためである。また、工作物の周速度が速い場合にも、仕上げ面はやや粗悪になる。

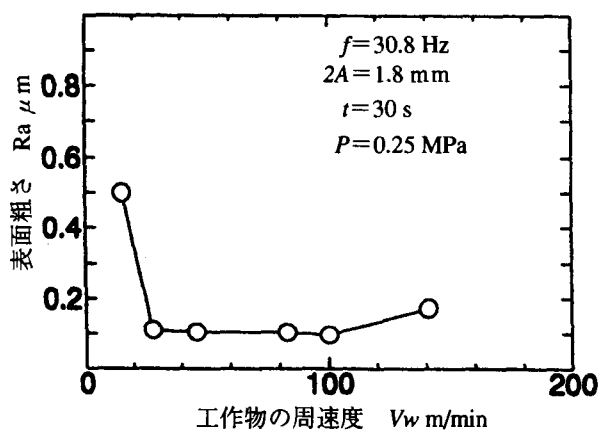


図8 工作物の周速度と表面粗さ

#### 4. 結 言

本研究では、焼結ステンレス鋼の超仕上げ加工を

WA600RH70砥石で行い、主に表面粗さを調べた。

得られた主な結果は次の通りである。

- (1) 表面粗さは、加工時間とともに小さくなり、30秒前後で一定の値になる。
- (2) 表面粗さは、砥石圧力0.25MPa以上でほぼ一定となる。しかし、砥石圧力を大きくしすぎると、砥石が脱落し始め、砥石損耗量が急増する。
- (3) 表面粗さは、最大傾斜角の増加につれ大きくなる。
- (4) 工作物の周速度が28m/minから100m/minの範囲内で、良好な表面状態が得られる。しかし、上記範囲以外の周速度では、表面は粗悪になる。

本研究では、水溶性の工作液を用い超仕上げ加工を行う場合、良好な仕上げ面を得るための最適な加工条件について調べた。さらに、加工条件が、砥石損耗、加工変質層などに及ぼす影響も調べる必要があり、このことについては今後の課題としたい。

#### 参考文献

- (1) 砥粒加工研究会, 砥粒加工技術便覧, 日刊工業新聞社, 昭和40年(初版), 879。
- (2) 機械工作便覧編集委員会, JISにもとづく機械工作便覧, 理工学社, 1964年(7版), 6-208。
- (3) 上田, 坂本, 杉田, 水溶性加工液による超仕上げ, 精密工学会誌, 62, 2, (1996) 252-257。
- (4) 参考文献(1)の880ページ。



# ヒステリシスコンパレータを用いた 三相高力率コンバータのシミュレーション

井村 榮仁・田守 里士

Simulation of A 3-Phase High Power Factor Converter Using Hysteresis Comparator

Shigeji IMURA and Satoshi TAMORI

近年、家電製品をはじめ半導体電力変換装置の普及が著しい。特に、これらの装置は多くの場合直流で動作するので入力部に順変換器を設けている。そのため、高調波の発生やエネルギー損失などの問題が生じている。

従来の位相制御では低力率で多量の高調波を発生するので、最近ではPWM制御やヒステリシスコンパレータによる追従制御が一般的となってきた。高力率だけでなく、高調波低減という要求に対してはヒステリシスコンパレータの追従制御が有利と考えられる。

本論文では、ヒステリシスコンパレータによる三相コンバータを直流出力電圧値が三相入力線間電圧より高い範囲で動作させ、①主回路、制御回路ともに簡単な構成、②高調波電流の低減、高力率、③入力信号対出力の比例関係、を実現するための制御方式について検討し、今回はシミュレーションにより諸特性を調べた。

その結果、力率はほぼ1で、高調波電流が殆ど発生せず、入力信号に対する制御性能も良好な特性を得た。

## 1. まえがき

近年、省エネルギー、高調波障害の低減などが重要な課題となっている。一方、機能性の高い電気電子機器として半導体電力変換装置の需要が増加している。

これらの電力変換装置は、概ね入力部等にコンバータを内蔵しており、従来これの出力制御を位相制御により行っていた。しかし位相制御では原理上低出力時に力率が悪く、同時に高調波電流の発生も無視できなくなる。

そのため、最近PWMコンバータなど高力率で歪み率の少ないコンバータの研究、開発がなされてきた。

本報告では、回路構成が簡単なヒステリシスコンパレータを用いた電流追従形三相高力率コンバータについてシミュレーションにより諸特性を算定した。この結果、直流出力電圧が入力交流線間電圧の最大値より大きい範囲では良好な制御特性が得られることが示される。

制御方法の基本的考え方としては、三相の電圧信号の最大値および最小値に注目し、これに各相入力電流を追従させるためにヒステリシスコンパレータを2個使用している。

交流入力1周期は、等価な6個の期間に分かれるので、任意の1/6周期に着目し、そこでの可能な回路モー

ドを見出す。シミュレーションではこれらの各モードごとの状態方程式を立てルンゲクッタ・ジル法により計算する。

## 2. 主回路構成、動作モードおよび制御回路

### 2.1 主回路構成

図1に本論文におけるヒステリシスコンパレータを用いた三相高力率コンバータの主回路構成を示す。スイッチング素子にはインバータ用のIGBTを使用しており、逆

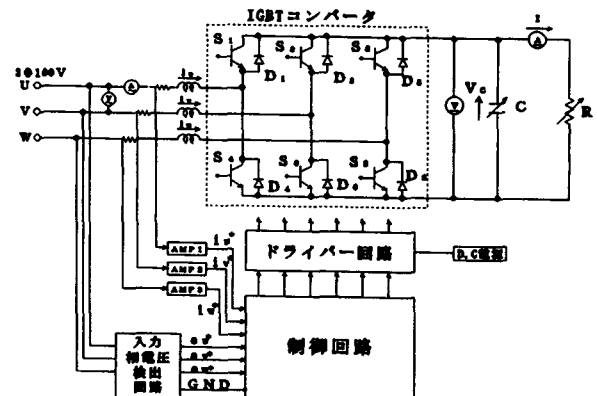


図1 主回路構成

並列に接続されたダイオードは内蔵されている。スイッチング周波数は約20kHz程度である。ごく基本的なブリッジ構成であるが、交流側リアクトルを流れる電流を増減させるために直流側出力電圧を積極的に利用する。

AMP 1～3は、計測用抵抗とともに制御回路1 (V) を交流入力電流C (A) に対応させるためのものである。

また、入力相電圧検出回路は交流入力電圧 (相電圧) と同相の制御信号を得るためのものである。

三相回路では単相回路とは違い三相分の入力電流を制御する必要がある。しかし単相回路のときのようにヒステリシスコンパレータを3つ用いて制御すると、コンパレータの動作と主回路における回路動作とが一致しないおそれがある。そこで、本研究では図1において三相入力電圧の相電圧を分圧して取り出し、基準制御信号としてこれらの相電圧信号の最大値および最小値を生成する。同様に各相電流の最大値および最小値を作り、この基準制御信号に追従させるよう2つのコンパレータを比較動作させ、論理回路で合成した振り分け信号を用いて $S_1 \sim S_6$ の各IGBTのドライバーに送出する。

このとき、直流出力電圧 $V_c$ の値が交流入力線間電圧の最大値より大きい場合には、リアクトル中の電流は確実に減少するので、交流入力電流を正しく交流入力相電圧に追従させることができる。

2.2 動作モード

図2に制御シーケンスの概念図を示す。図におけるように三相入力相電圧の最大値および最小値に注目する。

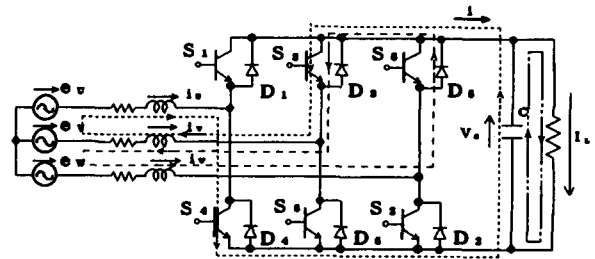
U相、V相およびW相の相電圧の1つが最大で、他のどれかが最小となる期間は交流1周期の間に同図からわかるように①～⑥の6個存在する。

そして、これら6個の期間における回路状態は各相が規則的に入れ替わるだけだから、実質的には同じである。

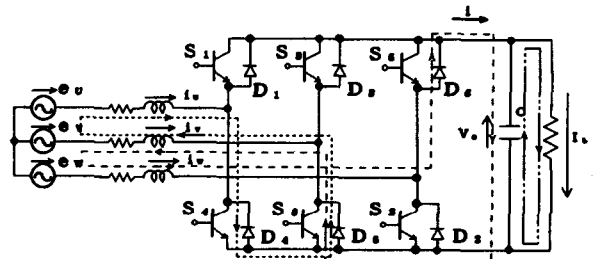
ここで、相電圧値が最大である相をX、最小である相をYとし、このときの対応する入力電流をそれぞれIX、IY、入力相電圧をEX、EY、電流の時間微分をDX、DY

表1 変数の変換表

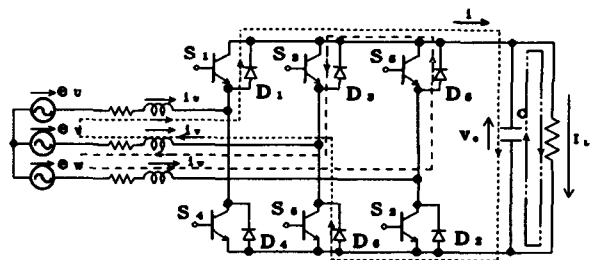
区間 (図2中)	相		変数					
	最大X	最小Y	DX	IX	EX	DY	IY	EY
①	U	V	$di_u/dt$	$i_u$	$e_u$	$di_v/dt$	$i_v$	$e_v$
②	U	W	$di_u/dt$	$i_u$	$e_u$	$di_w/dt$	$i_w$	$e_w$
③	V	W	$di_v/dt$	$i_v$	$e_v$	$di_w/dt$	$i_w$	$e_w$
④	V	U	$di_v/dt$	$i_v$	$e_v$	$di_u/dt$	$i_u$	$e_u$
⑤	W	U	$di_w/dt$	$i_w$	$e_w$	$di_u/dt$	$i_u$	$e_u$
⑥	W	V	$di_w/dt$	$i_w$	$e_w$	$di_v/dt$	$i_v$	$e_v$



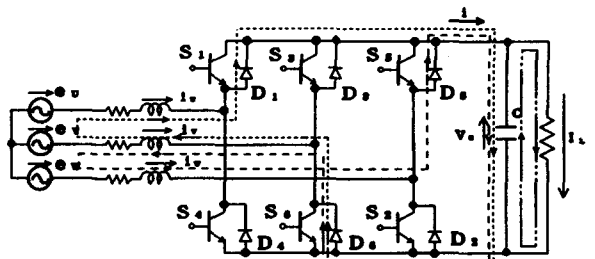
(a) モード1



(b) モード2



(c) モード3



(d) モード4

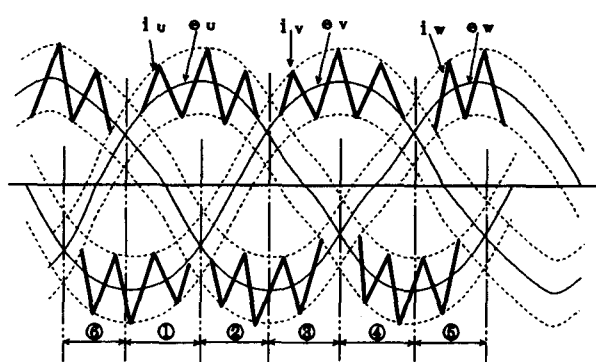


図2 制御シーケンスの概念図

図3 各モードにおける回路状態

とする。各期間におけるこれらの動作量を実際に与えたものが表1である。

さて、次に述べるように任意の1/6周期で考えると、さらに8つの回路モードに分かれる。1例として $e_u$ が最大で、 $e_v$ が最小である図2の周期①について説明する。

このとき最大でも最小でもないW相について、その相電圧 $e_w$ が正であるか、負であるかによって2つの状態が生ずる。さて、 $e_w$ が正の場合、4つのモード

モード1： $i_u$ の絶対値増、 $i_v$ の絶対値増

モード2： $i_u$ の絶対値増、 $i_v$ の絶対値減

モード3： $i_u$ の絶対値減、 $i_v$ の絶対値増

モード4： $i_u$ の絶対値減、 $i_v$ の絶対値減

が存在する。また、 $e_w$ が負で $i_u$ 、 $i_v$ に関する増減が同様なものとして、それぞれモード5、モード6、モード7、モード8が考えられる。次にモード1～4について説明する。モード1では $S_4$ と $S_3$ にオン信号が印加され図3(a)に示すような回路となりU相、V相のリアクトルに直流出力電圧が交流入力電圧に加算された状態となり、 $i_u$ 、 $i_v$ ともに増加する。モード2では $S_4$ のみオンし同図(b)に示す回路となる。ここでは、 $e_v$ に対し $V_c$ が $i_v$ を妨げる向きに働くので $i_v$ は減少する。モード3においては $S_3$ のみオンし同図(c)に示す回路となる。ここでは、 $e_u$ に対し $V_c$ が $i_u$ を妨げる向きに働くので $i_u$ は減少する。モード4では同図(d)に示す回路となりすべての相において $V_c$ が妨げる向きに働くので $i_u$ 、 $i_v$ ともに減少する。

ただし電流減少時におけるヒステリシスコンパレータの動作を期待どおり確実にを行うためには、 $V_c$ を入力線間電圧の最大値より大きい範囲で制御しなければならない。

### 2.3 モードの遷移

前項2.2で述べた1/6周期内における8つのモードは、機械的に想定したものである。或る時点における1つのモードは、回路の動作量 $i_x$ 、 $i_y$ が時間の経過につれて変化するので、コンパレータの動作に基づく制御信号も変わる。これに伴って別のモードに遷移していくが、この遷移が合理的に実現されるかどうかをチェックする必要がある。これについては付録で詳しく述べるが、ここでは合理的な遷移が常に達成されるので、シミュレーションを実行する場合、問題がないことを記しておく。

### 2.4 制御回路

図4に制御回路のブロック図を示す。入力部は、入力相電圧信号 $e_u^*$ 、 $e_v^*$ 、 $e_w^*$ とフィードバックした電流信号 $i_u^*$ 、 $i_v^*$ 、 $i_w^*$ の6つである。入力相電圧信号の最大値および最小値を生成し、これらを2つのヒステリシスコンパレータの基準信号として入力相電流をこれらに追従

させる。中間の相の電流は、 $i_u + i_v + i_w = 0$ の関係より決まる。

具体的には、図4に示すように $e_u^*$ 、 $e_v^*$ 、 $e_w^*$ を一括化部1に入力し、ここでこれらの信号の最大値SMXおよび最小値SMNを作る。 $i_u^*$ 、 $i_v^*$ 、 $i_w^*$ についても同様に一括部2において最大値IMXおよび最小値IMNを作る。次に電圧および電流の信号の最大値どうし、すなわちSMXとIMX、また、最小値どうしであるSMNとIMNをそれぞれのヒステリシスコンパレータに入力し、IGBTに送る信号の基礎となる最大側の信号MXと最小側の信号MNを作製する。

ヒステリシスコンパレータでは、電圧および電流の2つの信号の偏差(SMX-IMX)および(SMN-IMN)により出力であるMXとMNを得ている。

また、 $e_u^*$ 、 $e_v^*$ 、 $e_w^*$ の3つの信号を振り分け部に入力することにより、 $e_u^*$ 、 $e_v^*$ 、 $e_w^*$ のそれぞれの最大値の期間をロジックレベル5(V)とした信号UX、VX、WXを作る。同様に最小値の期間を示す信号UN、VN、WNを作製しておく。こうして得られた信号MXと振り分け信号UX、VX、WXとの論理積をとって、それぞれ $S_4$ 、 $S_6$ 、 $S_2$ に送る。同様にMNとUN、VN、WNとの論理積を作って $S_1$ 、 $S_3$ 、 $S_5$ に振り分ける。例えば、 $e_u^*$ が最大で $e_v^*$ が最小とすると、MXとUXとのANDを $S_4$ に、また、MNとVNとのそれを $S_3$ にオン信号として印加する。

次いで最大でも最小でもない中間にある相について考える必要がある。中間の相の電流に関しては三相における束縛条件 $i_u + i_v + i_w = 0$ より直接フィードバック信号を用いて制御を行わなくても最大相と最小相を制御することにより必然的に決まってくる。

尚、実際にはこれらの信号はドライバー回路(富士電気EXB840)を経由して各IGBTに供給している。

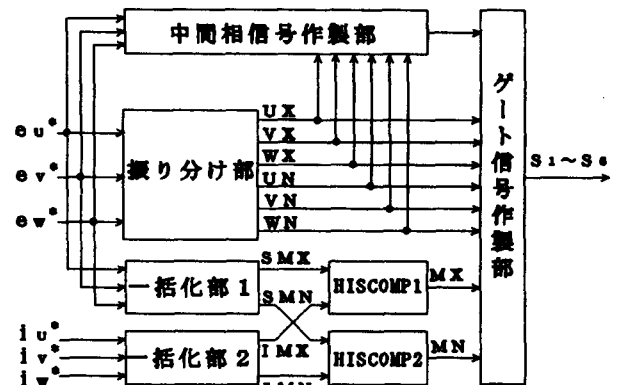


図4 制御回路

### 3. シミュレーション

#### 3.1 制御範囲

最初に、これまでしばしば仮定してきた直流出力電圧  $V_c$  の値が交流入力線間電圧の最大値より大きくなるための条件について考える。

交流入力線間電圧の最大値は、交流入力相電圧の実効値を  $E$  とすると  $\sqrt{6} E$  となり、交流入力電流の実効値を  $I$ 、力率を  $\cos \theta$ 、効率を  $\eta$  とすれば次の関係が成り立つ。

$$\sqrt{3} E I \cos \theta \cdot \eta = V_c \cdot I_L \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$V_c > \sqrt{6} E \quad \dots\dots\dots (2)$$

また、明らかに  $V_c = R I_L$  であるから条件式(2)を書き直すと

$$R > \frac{6 E}{\sqrt{3} I \cos \theta \cdot \eta} \quad \dots\dots\dots (3)$$

を得る。この式(3)を満たす範囲の抵抗値に対して式(2)が成り立つので良好な結果が得られると考えられる。さらに、或る値の  $I$  について式(3)を満たす  $R$  をとれば、それより大きい値の入力電流に対しては当然式(3)が成り立つから、一般には或る値以上の範囲の  $I$  において、制御信号と入力とは比例関係を示すことが推察できる。

#### 3.2 状態方程式とフローチャート

コンバータの動作波形、特性などを推定するためにはシミュレーションを行う必要がある。図1においてエネルギー蓄積素子は交流リアクトルと直流出力コンデンサの計4つであるから、状態変数としてはリアクトルを流れる電流  $i_u$ 、 $i_v$ 、 $i_w$  および  $C$  の端子電圧  $V_c$  をとればよい。ただし、電流に関しては  $i_u + i_v + i_w = 0$  の関係より1つ減らすことができる。また、IGBTやダイオードのスイッチング損失に関しては、オン損失のみ考慮し他は無視するものとする。

先に述べた図2の①の区間 ( $e_u$  が最大、 $e_v$  が最小の区間) におけるモードの状態方程式を考える。

まず  $e_w > 0$  の場合次の4組の方程式が成り立つ。ただし、いずれの場合も交流入力電圧および電流の基準の方向は図示のとおりとする。

〈モード1の状態方程式〉

$$\begin{pmatrix} \frac{di_u}{dt} \\ \frac{di_v}{dt} \end{pmatrix} = \frac{1}{L} \begin{pmatrix} e_u + \frac{2}{3} V_c - \frac{2}{3} V_a - r_i i_u \\ e_v - \frac{1}{3} V_c + \frac{4}{3} V_a - r_i i_v \end{pmatrix} \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$\frac{dV_c}{dt} = -\frac{1}{C} \left( i_u + \frac{V_c}{R} \right)$$

ここで、 $V_a$  はダイオードおよびIGBTの順電圧降下を表す。

〈モード2の状態方程式〉

$$\begin{pmatrix} \frac{di_u}{dt} \\ \frac{di_v}{dt} \end{pmatrix} = \frac{1}{L} \begin{pmatrix} e_u + \frac{1}{3} V_c - \frac{2}{3} V_a - r_i i_u \\ e_v + \frac{1}{3} V_c + \frac{4}{3} V_a - r_i i_v \end{pmatrix} \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$\frac{dV_c}{dt} = -\frac{1}{C} \left( i_u + i_v + \frac{V_c}{R} \right)$$

〈モード3の状態方程式〉

$$\begin{pmatrix} \frac{di_u}{dt} \\ \frac{di_v}{dt} \end{pmatrix} = \frac{1}{L} \begin{pmatrix} e_u - \frac{2}{3} V_c - \frac{2}{3} V_a - r_i i_u \\ e_v + \frac{1}{3} V_c + \frac{4}{3} V_a - r_i i_v \end{pmatrix} \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$\frac{dV_c}{dt} = \frac{1}{C} \left( i_u - \frac{V_c}{R} \right)$$

〈モード4の状態方程式〉

$$\begin{pmatrix} \frac{di_u}{dt} \\ \frac{di_v}{dt} \end{pmatrix} = \frac{1}{L} \begin{pmatrix} e_u - \frac{1}{3} V_c - \frac{2}{3} V_a - r_i i_u \\ e_v + \frac{2}{3} V_c + \frac{4}{3} V_a - r_i i_v \end{pmatrix} \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$\frac{dV_c}{dt} = -\frac{1}{C} \left( i_v + \frac{V_c}{R} \right)$$

次に  $e_w < 0$  となった場合もまったく同様でモード1~4 に対し  $i_u$ 、 $i_v$  の増減が同一であるものをモード5~8 としている。

以下の4組の方程式が得られる。

〈モード5の状態方程式〉

$$\begin{pmatrix} \frac{di_u}{dt} \\ \frac{di_v}{dt} \end{pmatrix} = \frac{1}{L} \begin{pmatrix} e_u + \frac{1}{3} V_c - \frac{4}{3} V_a - r_i i_u \\ e_v - \frac{2}{3} V_c + \frac{2}{3} V_a - r_i i_v \end{pmatrix} \quad \dots\dots\dots (8)$$

$$\frac{dV_c}{dt} = \frac{1}{C} \left( i_v - \frac{V_c}{R} \right)$$

〈モード6の状態方程式〉

$$\begin{pmatrix} \frac{di_u}{dt} \\ \frac{di_v}{dt} \end{pmatrix} = \frac{1}{L} \begin{pmatrix} e_u - \frac{1}{3} V_c - \frac{4}{3} V_a - r_i i_u \\ e_v + \frac{2}{3} V_c + \frac{2}{3} V_a - r_i i_v \end{pmatrix} \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$\frac{dV_c}{dt} = -\frac{1}{C} \left( i_v + \frac{V_c}{R} \right)$$

〈モード7の状態方程式〉

$$\begin{pmatrix} \frac{di_u}{dt} \\ \frac{di_v}{dt} \end{pmatrix} = \frac{1}{L} \begin{pmatrix} e_u - \frac{1}{3} V_c - \frac{4}{3} V_a - r_i i_u \\ e_v - \frac{1}{3} V_c + \frac{2}{3} V_a - r_i i_v \end{pmatrix} \quad \dots\dots\dots (10)$$

$$\frac{dV_c}{dt} = \frac{1}{C} \left( i_u + i_v - \frac{V_c}{R} \right)$$

〈モード8の状態方程式〉

$$\begin{pmatrix} \frac{di_u}{dt} \\ \frac{di_v}{dt} \end{pmatrix} = \frac{1}{L} \begin{pmatrix} e_u - \frac{2}{3} V_c - \frac{4}{3} V_a - r_i i_u \\ e_v + \frac{1}{3} V_c + \frac{2}{3} V_a - r_i i_v \end{pmatrix} \quad \dots\dots\dots (11)$$

$$\frac{dV_c}{dt} = \frac{1}{C} \left( i_u - \frac{V_c}{R} \right)$$

次にシミュレーションにおけるフローチャートを図5に示す。変数の振り分けでは、各相の最大、最小を判別し表1に従って変数を振り分ける。モード分け、遷移の確認では、入力電圧と入力電流の状態および前回のモードにより次の状態がどのモードにあたるかを判別し先に示したモード1～8に遷移をさせる。そのモードの式をルンゲクッタ・ジル法により計算し、グラフ化するための準備をする。これらの作業を必要な回数だけ繰り返すことにより定常状態になった各入力電流の波形を得る。

また、各値の計算で定常状態における出力電圧、入力電力、出力電力、力率、効率等の値を計算している。

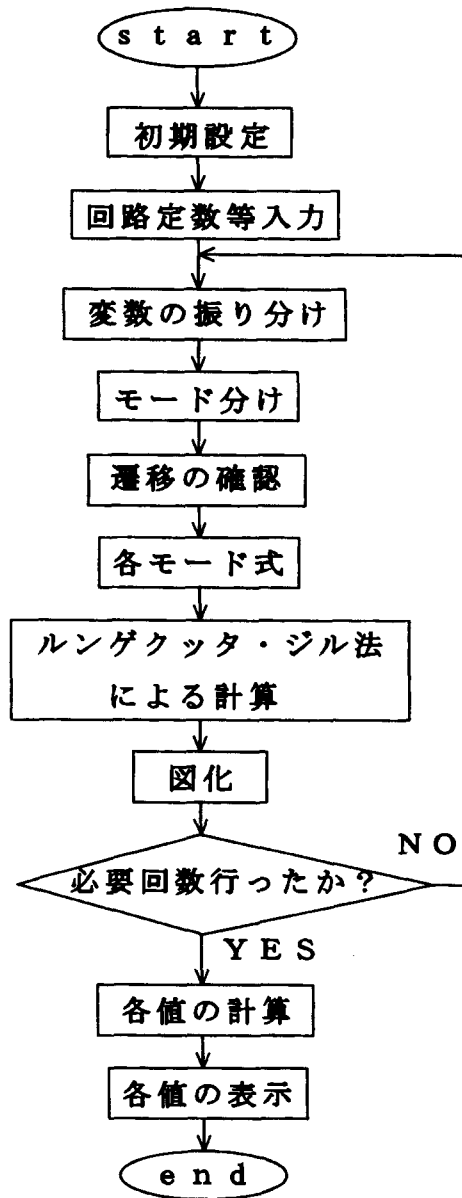


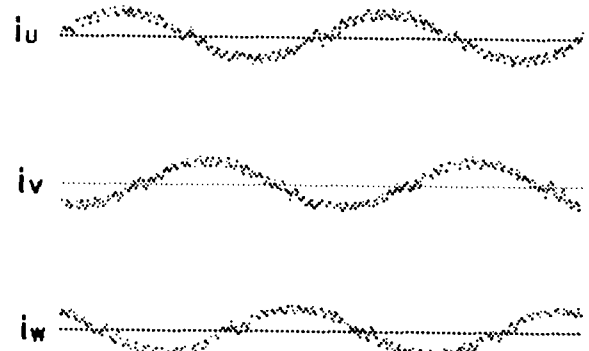
図5 フローチャート

### 3.3 シミュレーション結果

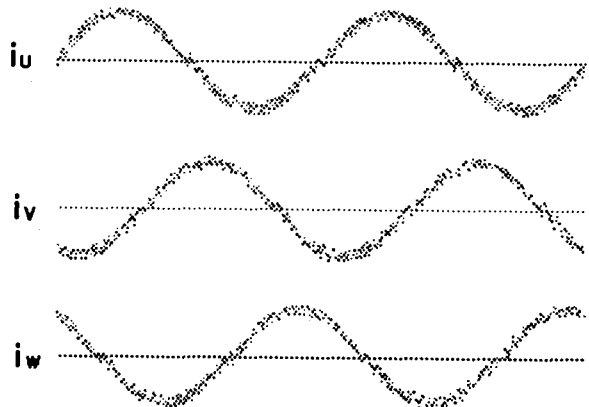
シミュレーションによる各入力電流の波形の一例を図6に示す。ここで、 $E=50$  (V)、 $R=100$  ( $\Omega$ )、 $L=10$  (mH)、 $C=500$  ( $\mu$ F) であり制御回路の条件としてヒステリシス幅  $V_H=0.5$  (V) としている。また、制御回路1 (V) は主回路の電流0.5 (A) に相当する。

設定電流を  $I$  (A) としたとき、 $I=2$  (A) の場合を同図 (a) に、 $I=4$  (A) の場合を (b) に掲げる。

図から明白なように入力電流は、ほとんど正弦波で力率はそれぞれ  $\cos \theta = 0.9738, 0.9934$  となっている。また、高調波成分の小さいことも確認される。



(a)  $I = 2$  (A) の場合



(b)  $I = 4$  (A) の場合

図6 入力電流波形

次に  $E=50$  (V)、 $R=100$  ( $\Omega$ )、 $L=10$  (mH)、 $C=500$  ( $\mu$ F) として、設定電流値を変化させた場合の、設定電流に対する出力電圧  $V_c$  を図7に示す。これから明らかかなように、式(2)が満たされていることがわかる。原理上設定電流値とともに  $V_c$  は上昇していくので、力率、効率を十分1に近づけて制御すれば常に式(2)の条件が成立する。

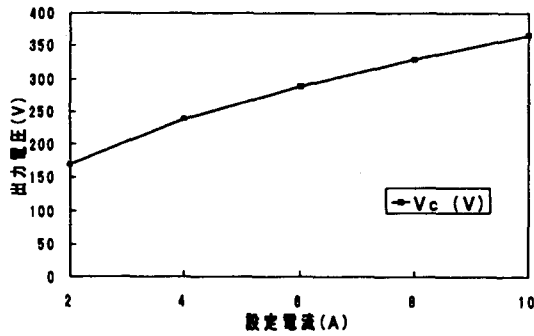


図7 入力電流に対する出力電圧値

最後に図8は、設定電流値に対する、入力 $P_s$ 、出力 $P_o$ 、力率 $\cos \theta$ および効率 $\eta$ の関係を表す。入力は設定電流値にはほぼ比例しており良好な制御が期待できる。また、力率、効率ともに高い値が得られている。特に力率に関しては、殆ど1に近い値となっている。

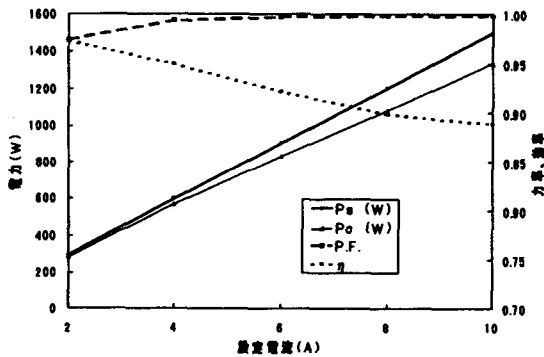


図8 制御特性

#### 4. むすび

ヒステリシスコンバータを用いた三相高力率コンバータについて、主回路、制御回路ともに簡単な構成にできた。制御信号および入力電流それぞれの最大値および最小値に注目することによりコンバータを2つだけ使用すればよいことを示した。また、直流出力電圧値が、交流入力電圧の線間電圧より高ければ常に良好な制御がなされ、かつ高調波が小さく、高力率を達成できることがわかった。

#### 参考文献

1. 茂木、他：「昇降圧形高力率整流器」、平成6年電気学会全大、No.521、(1994)
2. 赤木、他：「多重電圧形PWM変換器を用いた高調波抑制用アクティブフィルタ」、電学論誌、vol.105 B、No.7、P 573 (昭60)
3. 片山、他：「三相電圧形PWMコンバータにおけるチョッパによる出力電圧制御」、平成9年電全大、No.803
4. 芝山、田守、井村：「ヒステリシスコンバータを用いた電流追従形高力率コンバータ」、平成9年度電気関係学会関西支部連合大会、G4-42 (G141)
5. 井村、芝山：「ヒステリシスコンバータを用いた電流追従形高力率コンバータ」、奈良工業高等専門学校研究紀要第33号、P 17~22

#### 付録 〈〈回路モードの遷移〉〉

任意の1/6周期において8つの回路モードが存在することを述べた。これらは、中間相の正負に応じて分類しているので、実質的には4つである。ところで、2つのコンバータは互いに独立な動きをするので、コンバータがある瞬間に1つの回路モードで動作していても、時間の経過とともに回路の動作量に変化していくので、コンバータの比較動作の結果、別の回路モードに遷移するはずである。

このとき問題は、制御回路の動作とコンバータの動作が合理的に一致するかどうか調べる必要がある。1例として記述のモード1からモード2へ移る場合を検討する。まず、コンバータがモード1で動作している条件を求めると、 $di_u/dt > 0$  および  $di_v/dt < 0$  であるから式(4)より次式を得る。

$$\begin{aligned} e_u + \frac{2}{3} V_c &> 0 \\ e_v - \frac{1}{3} V_c &< 0 \quad \dots\dots\dots (4) \\ e_u &> 0, \quad e_v > 0 \end{aligned}$$

ただし、 $V_a$ 、 $r_{i_u}$ 、および  $r_{i_v}$ などは小さいとして無視している (以下同様)。

(4')が成立しているという条件のもとで、制御信号の変化により、モード2へ移るとする。モード2の条件は  $di_u/dt > 0$  および  $di_v/dt > 0$  である。

さて、モード2の式(5)では

$$\begin{aligned} \frac{di_u}{dt} &\doteq e_u + \frac{1}{3} V_c > 0 \quad (\because e_u > 0) \\ \frac{di_v}{dt} &\doteq e_v + \frac{1}{3} V_c > 0 \quad (\because \frac{1}{3} V_c > e_v > 0) \end{aligned}$$

となる。これら4つのモード間のあらゆる遷移についても同様に示すことができる。

## Electro-contraction Effect of Polyurethane Elastomer (PUE) and Its Application to Actuators

Jun KYOKANE, Haruhiko ISHIMOTO, Hideyuki YUGEN, Toshihiro HIRAI\*,  
Takashi UEDA \*\* and Katsumi YOSHINO \*\*\*

The polyurethane elastomers (PUEs) similar to a polymer gels have been found to show the electro-contraction effect. We proposed the application to an actuator without ionic solvent utilizing the electro-contraction effect of PUEs. PUEs were synthesized by prepolymer technique and were polymerized in the form of films by casting method. The actuator is a monomorph type which is formed metal electrodes on the both surfaces of PUE films by thermal or ion-beam-assisted deposition method. While, it was tried to operate the actuators under low voltage by inducing  $C_{60}$  derivative into PUEs. The bends of both the normal PUE actuator and the fullereneol doped PUE actuator increased with increasing an applied voltage. All of samples were bent in the direction of the cathode, and they have polarity effect. The bends of the fullereneol doped PUE actuators were larger than that of the normal PUE actuators and it became possible to operate at low voltage of 400 V. Also, the pincette type actuator could smoothly pick up a sponge like a finger.

*Keywords:* polymer gel, polyurethane elastomers, electro-contraction effect, actuators,  $C_{60}$  derivative.

### 1. Introduction

Since the polymer gels take place a nonlinearly volume change by a stimulation from outside, these gels have been actively studied the application to functional materials and devices. In several kinds of application of gel, the methods for moving devices are phase transition of volume by the substitution of solvent or using the gels responded by light, thermal and electric field. The volume change of these gels are large, but their response is slow and the control is difficult.

Then, Hirai's group found that the unionic polymer gels based on polyvinyl alcohol bend high response in the direction of electric field [1]. It is considered that the bending mechanism of these gels originates from the rearrangement of

the unionic solvent with a large electric dipole moments by electric field. However, in case these polymer gel works in atmosphere, the solvent leaks out from the gel material. This is the weak point of the swollen polymer gels by solvents. Therefore, we synthesized the polyurethane elastomer (PUE) without solvent which is responded high speed under D.C. voltage [2-3].

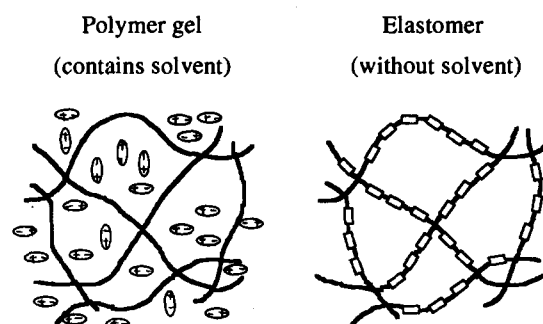


Fig.1 Schematic diagrams of the polymer gel and the elastomer.

The contents of this paper were presented to the International Conference on Science and Technology of Synthetic Metals (ICSM' 98), Montpellier, France (July 13, 1998).

\* Dept. of Chemistry, Shinshu University.

\*\* Research & Development, Nitta Co. Ltd.

\*\*\* Dept. of Electronics, Osaka University.

PUE has molecular structure with the hard segments and the soft segments, which the role of unionic solvents is replaced with a polymer chain itself, and both segments are

similar to the relation of microcrystals and solvents as shown in Fig.1. Because it can be expected to work as the moving devices without solvent, we proposed the application to actuators like a finger.

## 2. Experimental

PUEs were synthesized by conventional prepolymer method. Diisocyanate for the hard segment and polyol for the soft segments were used paraphenylenediisocyanate (PPDI) and poly (3-methyl-pentamethylene adipate) glycol (PMPA), respectively. Chain extenders are 1,2-propanediol (1,2-PD) and 1,1,1-tris (hydroxymethyl) propane (TMP). Elastomers were polymerized in the form of films with thickness from 2 mm to 200  $\mu\text{m}$  by casting method. The actuator of PUE is a monomorph type which was formed aluminum or gold electrodes on the both surfaces of PUE films by thermal or ion-beam-assisted deposition method after corona discharge treatment.

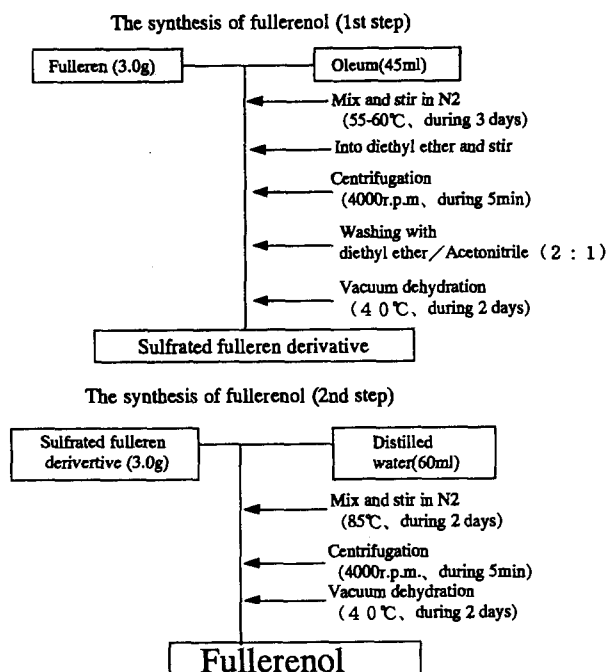


Fig.2 Synthesis method of the  $C_{60}$  derivatives.

While, in order to obtain the new functional properties, we controlled the morphology of PUE by inducing  $C_{60}$  derivatives into the elastomers. The morphology control of PUE films was carried out after hydrolyzing the sulfurated  $C_{60}$  derivatives through sulfurating of  $C_{60}$ . The reaction from

fulleren to sulfurated  $C_{60}$  derivative was added oleum to destroy double bonds of fulleren by the procedure as shown in Fig.2. The sulfurated  $C_{60}$  derivatives are obtained to put hydroxyl groups to the sulfurated fulleren after hydrolyzing.

The reactions of the fulleren, from sulfurated fulleren derivative to fullererenol, were analyzed for functional group by measuring of the Furrie Transformation Infrared absorption spectrum. Figures 3 (a), (b) and (c) show the FT-IR absorption spectrums of fulleren, sulfurated fulleren derivative

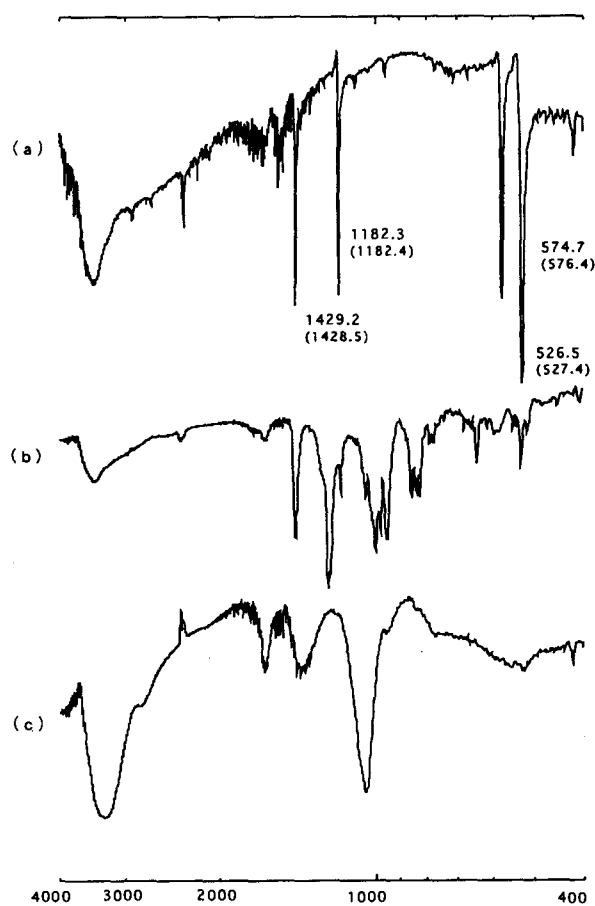


Fig.3 FT-IR absorption spectrums of the fulleren and the fulleren derivatives. (a)  $C_{60}$ , (b) sulfurated  $C_{60}$  derivative, (c) fullererenol.

and fullererenol, respectively. In the sulfurated fulleren, new peaks were observed at near  $1040\text{ cm}^{-1}$  and  $1180\text{ cm}^{-1}$ . It is considered that these absorption spectrums occur by the stretching vibrations of sulfa groups. In figure 3 (c) the absorption peak of fullererenol at  $1180\text{ cm}^{-1}$  becomes more remarkably large, and also the absorption peak of hydroxyl groups is observed at near  $3300\text{ cm}^{-1}$ . The reaction of fulleren completely occurs from the observation of these absorption peaks. The number of the hydroxyl groups are not measured,

but it is assumed that the fulleren puts 10 to 12 hydroxyl groups [5].

The detail measurement methods for the electrical properties etc. of both PUE films and actuators have been reported [2-4].

### 3. Results and Discussion

The PUE films with 2 mm thickness applied to the 1 KV appears the large strain as shown in Fig.4. These strain curves indicate the stable response with respect to the voltage "on"

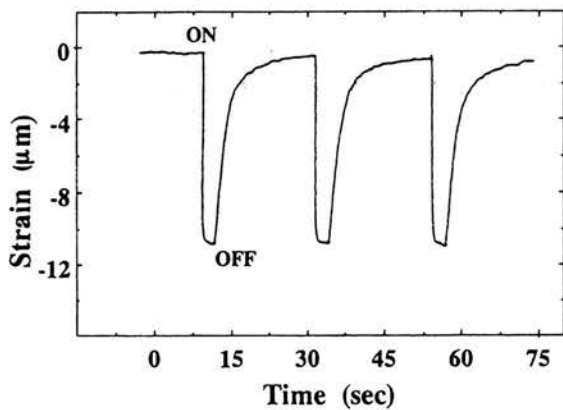


Fig.4 Response curve of the strain on the applied voltage.

and "off". Also, the strain of PUE films increased in proportion to the square of an applied electric field as shown in Fig.5. It was clear to indicate the electro-striction effect. In order to clear whether the strain of the PUE films depends on the modulus of elasticity of PUE itself or not, we measured

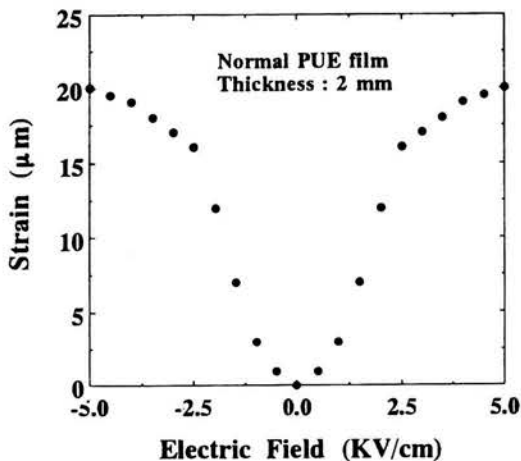


Fig.5 Dependence of strain on the electric field.

the relation between generated stress vs. dielectric constant about different molecular structure such as polyether type polyester type and polylactone type.

The dependence of stress on the dielectric constant obtained for the elastomer of polyester type and polylactone type, but the stress for polyether type elastomer did not generate. This polyester type elastomer also observed the charging and discharging characteristics. Therefore, it is not considered that the strain of the PUE films is originated from the modulus of elasticity of elastomers. These results are suggested that the electro-striction effect of elastomer films takes place by orientation due to polar group in the soft segments of polymer chain.

Then, we fabricated the PUE actuator of monomorph type utilizing the electro-striction effect as shown in Fig.6.

Figure 7 shows the bending displacement for the PUE actuators of monomorph type. The bends of PUE actuators increased in proportional to the squared of the electric field. The detail mechanism for the bends of PUE films is not clear. But as the above mention, since the PUE films have many polar groups in the soft segment, the bend of films take place that the molecular chains are stretched by the orientation of polar groups in the soft segment of PUEs under the electric field.

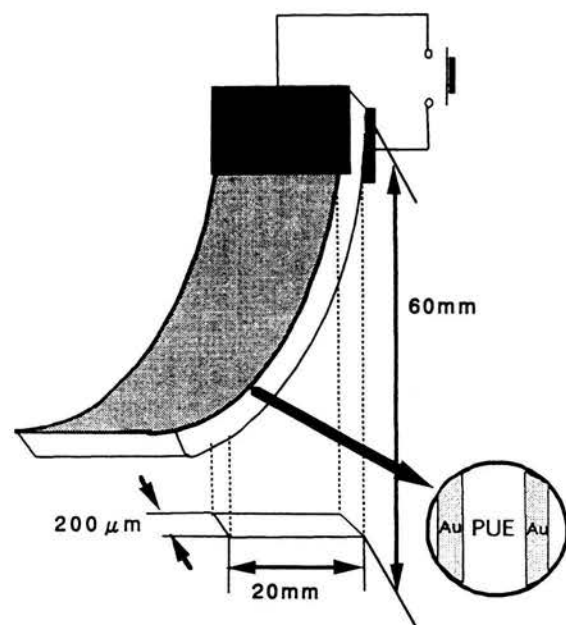


Fig.6 Monomorph type PUE actuator.

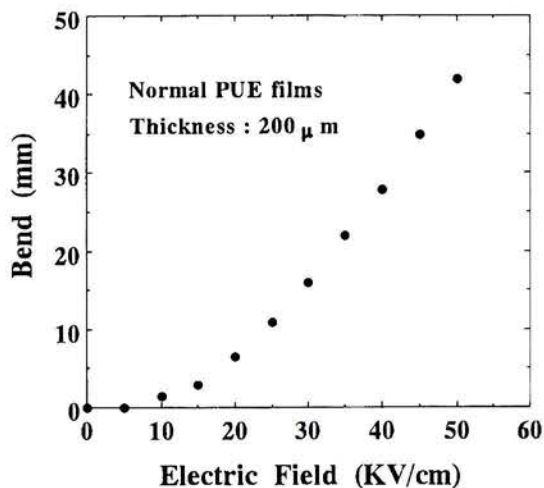


Fig.7 Dependence of the bends of PUE actuators on the electric field.

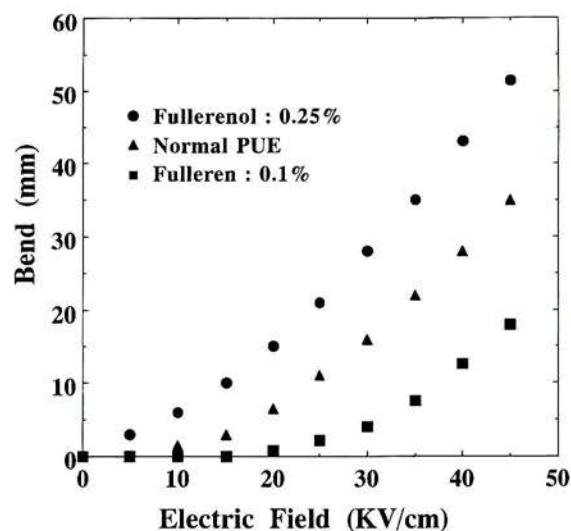


Fig.9 The dependence of the bends of various kinds of PUE films on the electric field.



Fig.8 Photograph of the operation of monomorph type PUE actuators.

Photograph of the operation of monomorph type PUE actuators is shown in Fig.8.

The operational voltage of PUE actuators is 1 KV and this voltage is so high. It is very difficult to use practically. Therefore, it was tried to induce a fulleren derivative into PUE so that monomorph actuators obtain the large bends under a low voltage. Figure 9 shows the bends of the normal PUE film, the films doped different fullerenol concentration of 0.05 %, 0.1 % and 0.25 % and the film doped fulleren of 0.1 %. The bends of the PUE actuators doped fullerenol increase with increasing the concentration of fullerenol in PUE. The monomorph PUE actuators doped fullerenol concentration of 0.25 % were found to bend about three times larger than that normal films at 400 V as shown in Fig.9. It

was clear that the PUE actuators doped fullerenol of 0.25 % bend at low electric field. On the contrary, the bending displacement of a film dispersed fulleren become small compare with a normal PUE films.

Since the bends of fullerenol doped PUE films are large in proportion to the fullerenol concentration, it is considered that the crosslinking density increased in the PUE films by the combining hydroxyl groups of the star shaped fullerenols which were doped into hard segments. As the result, the large bend of the PUE actuators doped fullerenol occur to restrict the stretches of soft segments by an applied voltage. This effect is also understood that the bend of PUE actuator only dispersed  $C_{60}$  is smaller than normal PUE actuator. All PUE samples are bent in the direction of cathode electrode by an applied voltage and have a polarity effect. If polar groups are formed in molecular chains as mentioned above, this bending direction of the PUE actuators can be explained.

It was measured the relative dielectric constant to clear the role of polar groups in PUE samples. Figure 10 shows the dependence of the relative dielectric constant for the normal PUE films and the fullerenol doped PUE films under an applied voltage. The relative dielectric constant increase with increasing the applied voltages for the various kinds of PUE samples as shown in Fig.10. Also, it was clear that the dielectric constant increase with the concentration of the fullerenol doped into PUE films. This is considered that the polar groups per a molecular chain increased to progress the crosslinking reaction by the fullerenol in hard segments of PUE. Therefore, these results are supported the polarity effect

of bends for the PUE actuators.

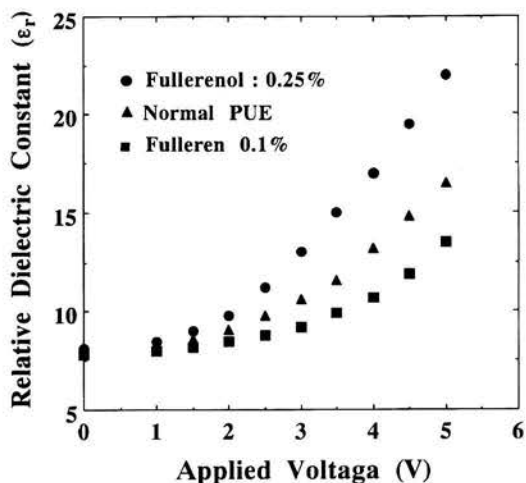


Fig.10 Dependence of the relative dielectric constant on applied voltage.

A pincette type actuator which is combined two pieces of the monomorph PUE actuators could smoothly pick up a sponge like a finger as shown in Fig.11.

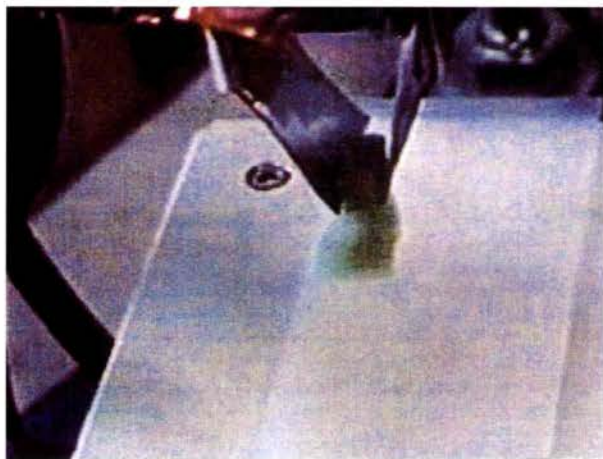


Fig.11 Photograph of the pincette type actuator.

#### 4. Summary

The results of this study are summarized as follows.

PUE films of polyester type were the most shrinkage compared with both polylactone type and polyether type. These strain increase in proportion to the square of electric field. It is considered that the strain of PUE films take places

the electrocontraction effect based on the stretch of molecular chains.

An actuators using the PUE films were found to bend in the direction of negative electrode by applied voltage. The operation voltage of PUE actuators is 1 KV, and it's a high field region. Then, the molecular structure of PUE was controlled by the fulleren derivative so that the bends of actuator can smoothly occur at a low field region.

The fullerenol doped PUE films also have the electrocontraction effect, their bends of PUE actuator increased with increasing to an applied voltage. All of samples have the polarity effect. The bends of the fullerenol doped PUE actuators were larger than that of the normal PUE actuators. It became possible to operate at low voltage of 400 V.

The relative dielectric constant of PUE films was measured to make clear the relation between electro-contraction effect and behavior of the polar groups in PUE films. The dielectric constant increased with increasing the applied voltage and also increases in proportion to the concentration of fullerenol in PUE. This is considered that the polar groups per a molecular chain of PUE increased to progress the crosslinking reaction by fullerenol.

The dipole moments due to polar groups play important role for bend of the PUE actuators.

Pincette type actuator could smoothly pick up a sponge like a finger.

#### References

- [1] T. Hirai, H. Sadato, et al., *Polym. Prep. Jpn.* 42(1993) 825
- [2] T. Hirai, T. Ueda, et al., *J. Appl. Polym. Sci.*, 53(1994) 79
- [3] M. Watanabe, T. Hirai, et al., *Chem. Letters*, (1997) 773
- [4] T. Ueda, J. Kyokane, et al., *Synth. Metals*, 85(1997) 1415
- [5] L. Y. Chiang, et al., *J. Org. Chem.*, 59(1994) 3960



## 動的多注視点制御によるリアルタイム身振り認識

桐島 俊之・佐藤 宏介\*・千原 國宏\*

Realtime Gesture Recognition by Dynamic Control of Visual Interest Points

Toshiyuki KIRISHIMA, Kosuke SATO\* and Kunihiro CHIHARA\*

A method to track and to recognize human actions in the real world environment is proposed. Gestures can convey a wide range of information, not only emotional state and intentions but also such varied physical information as position, posture and motion. In a previous paper, we have proposed a vision-based gesture recognition framework called *QVIPS*, which enables the system to observe a gesture from multilateral perspectives and to obtain the relevant gestural information of a user under an unified framework. The problem with *QVIPS* is that it is susceptible to the load fluctuations generated by the accompanied application programs and the increase of the amount of gesture standard pattern. In order to overcome above-mentioned problem, we propose a framework called *QVIPS<sup>2</sup>* (Quadruple Visual Interest Point Selecting Strategy). *QVIPS<sup>2</sup>* realizes the dynamic control of effective visual interest points, and the robust estimation of gestural phase. Experimental results show that *QVIPS<sup>2</sup>* enables the recognition of human natural gestures in a stable, flexible and realtime manner.

### 1. まえがき

近年、仮想現実感やヒューマンコンピュータインタラクションに対する要求の高まりから、身振りを実時間で認識する技術の重要性が指摘されている<sup>(1)</sup>。実用化されている身振り認識システムでは、グローブ型センサや磁気センサを用いてユーザの体の位置や手の姿勢を計測するものが主流である。しかしながら、装着型センサでは計測範囲が限定されるだけでなく、ユーザが物理的にシステムに拘束されてしまうため、本研究では、身振り情報を非拘束で視覚的に認識する画像処理による認識手法の開発を進めている<sup>(2)(3)(4)</sup>。

従来の画像処理による身振り認識の例としては、円筒モデルなどの幾何プリミティブを入力画像にフィッティングさせる方法や、複数のマーカーを体に取り付けてそれらの位置関係から姿勢などを推定する方法などのコンピュータビジョン技術に基づく手法がある。一方、入力画像をパターン情報とみなし、それが属するカテゴリーなどを推定する図形パターン認識技術に基づく手法も近年活発に研究されており、その代表的手法としては、DP

照合法に基づく手法、HMMに基づく手法などがある。

それぞれの身振りにおいて、注視すべき特徴と無視すべき特徴が存在しているが、従来こうした特徴の選択が事前に人為的になされていたため、必然的に認識対象の身振りを限定してしまう問題が生じていた。そこで本論文では、身振りをオンラインでコンピュータに直接視覚的に学習させ、より重要な空間的特徴量を選択的に注視させるための手法を提案する。また、安定したセグメンテーション処理を実現するために、身振り画像のサンプリング間隔を安定化させる多注視点の動的制御方式について新たに提案する。さらに評価実験により、種々の身振り情報を実時間でフレーム毎に推定することが可能であることも示す。

## 2 多注視点身振り認識法 *QVIPS<sup>2</sup>*

### 2.1 身振り画像の動的注視

身振りを認識する際の注視が、身振りを伝え合う者同士の取り決めに強く依存し、動き情報とシルエット情報がそれらの取り決めを成立させる基本要素であるものと仮定して、本節では、差分画像とシルエット画像を用いた身振り画像のセグメンテーション手法を提案する。図

\*奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科

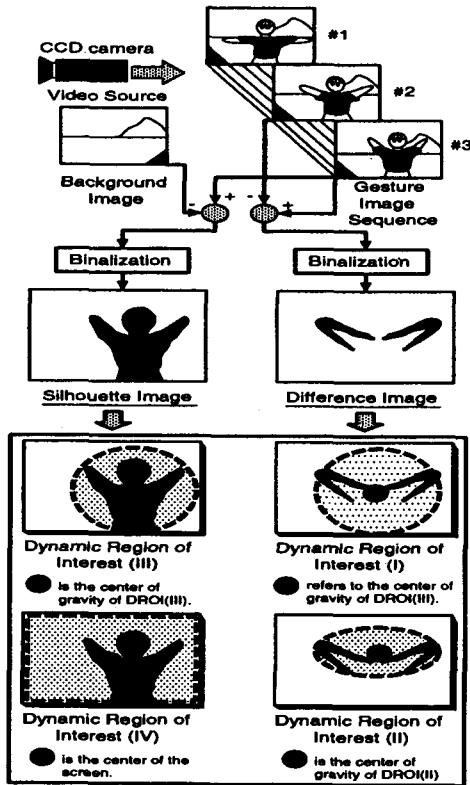


図1 身振り画像の動的セグメンテーション手法

1にセグメンテーション処理の流れを示す。差分画像は、動作部位の姿勢とその重心位置（動的注視領域Ⅱ）、更に人物中心座標系から見た動作部位の相対的な位置とその形状（動的注視領域Ⅰ）に関する特徴量を抽出するために利用する。シルエット画像は、人物の位置（動的注視領域Ⅳ）や姿勢（動的注視領域Ⅲ）に関する特徴量（重心位置、範囲、形状）を抽出するために利用する。図1に示すように、シルエット画像と差分画像および、それらから得られる重心位置（動的注視点）や領域情報を組み合わせて身振り画像の動的な注視を行うことにより、人物の位置・姿勢・動作に関する特徴量をフレーム毎に抽出する。

2.2 動的注視領域における形状特徴抽出

提案手法は多注視点方式であるため実時間の身振り認識処理を実現するには、形状特徴の抽出・照合処理を効率よく高速に行う必要がある。そこで、二次元図形パターンと放射型ガウス分布との畳み込み演算を行い図形パターンを一次元の形状特徴パターンに変換することで、身振りに適した形状特徴の抽出・照合を行う手法を提案する。図2に形状特徴抽出処理以降の処理の流れを示す。

動的注視領域における身振り画像を $f_r(x, y)$  ( $r = 1, 2, \dots, N$ ) とする。閾値  $t$  により身振り画像 $f_r(x, y)$ を二値化し、得られる二値画像を $g_r(x, y)$ とする。 $g_r(x, y)$ に対する

原点回りのモーメント $m_{p,q}$ は式(1)で定義される。

$$m_{p,q} = \sum_x \sum_y g_r(x, y) x^p y^q \tag{1}$$

動的注視点 $(a_r, b_r)$ を式(2)により定義する。

$$(a_r, b_r) = \left( \frac{m_{1,0}}{m_{0,0}}, \frac{m_{0,1}}{m_{0,0}} \right) \tag{2}$$

ここで $g_r(x, y)$ を、 $(a_r, b_r)$ が原点である極座標系 $P_r(r, \theta)$ で表現する。角度 $\theta$ における半径(=R)方向のパターン分布を $\Omega$ 分割する。ここで、個々の分割領域をカーネルと呼び、その角度 $\theta$ における形状特徴量 $s_r(\theta)$  ( $\epsilon = 1, 2, \dots, \Omega$ )を式(3)により定義する。

$$s_r(\theta) = \frac{R}{\Omega} \frac{\sum_r P_r(r, \theta) \exp \{-a(r-\phi)^2\}}{\sum_r P_r(r, \theta)} \tag{3}$$

ただし、 $a$ は形状特徴量のユニークさに関係する勾配係数であり、 $\phi$ は位相項である。式(3)を任意の解像度で二値画像の全周方向に適用することによりカーネル $\epsilon$ における形状特徴パターン $s_r(\theta)$ を得る。対象パターンとガウス分布との畳み込みを計算し、その結果に密度係数を掛け合わせることから、 $s_r(\theta)$ をガウス密度特徴 (GDF-Gaussian Density Feature) と以降呼ぶ。ガウス密度特徴を求めた後、各カーネルにおける形状特徴パターン $s_r(\theta)$ に高速フーリエ変換を適用する。パワースペクトルのシフト不変の性質から、FFTの結果得られるパワースペクトル $P_r(\omega)$ を回転不変の形状特徴パターンとして利用する。 $s_r(\theta)$ 自体は回転依存の特徴パターンとして利用する。提案手法では以下に示す4通りの処理を各動的注視領域に適用することにより表1に示す16通りの注視条件における形状特徴パターンの抽出を行う。(1) $s_r(\theta)$ を正規化することにより回転に依存するが大きさには依存しない形状特徴パターンを得る。(2) $s_r(\theta)$ を正規化しない場合回転と大きさに依存する形状特徴パターンを得る。(3) $P_r(\omega)$ を正規化することにより、回転と大きさに依存しない形状特徴パターンを得る。(4) $P_r(\theta)$ を正規化しない場合回転には依存しないが大きさには依存する形状特徴パターンを得る。以上の処理により各領域につき4通りの形状特徴パターンを簡便な処理により得る。

2.3 身振り特徴量ベース識別処理

本節では図2に示した認識ユニットにおける識別処理について述べる。現在入力されている身振り画像の注視条件1における形状特徴パターンを $T_1 = (T_{1,1}, T_{1,2}, \dots, T_{1,\epsilon}, \dots, T_{1,\Omega})'$ とし、対応する認識ユニット (認識ユニット

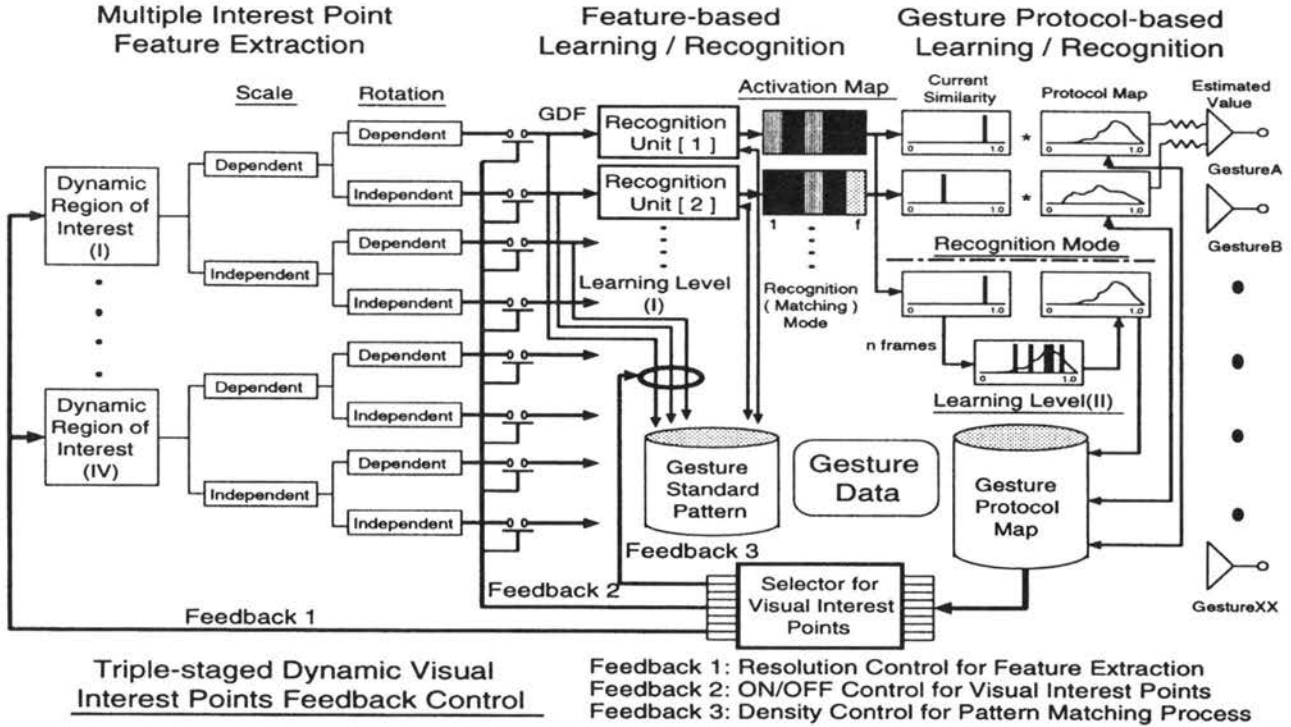


図2 多注視点身振り認識法 (QVIPS<sup>2</sup>) ブロック図

数は注視条件数と等しい) に入力した際の  $T_i$  と身振り標準パターン  $K_j^{(g)}$  との距離  $d_i^{(g)}$  式(4)により定義する。

$$d_i^{(g)} = \sum_{\xi=1}^{\Theta} \| T_{\xi} - K_{\xi} \| \quad (4)$$

ここで  $\Theta$  は解像度、 $g$  は任意の身振り標準パターン番号である。身振りクラス  $i$  の身振り標準パターンにおいて  $d_i^{(g)}$  を最小とする身振り標準パターンの番号を  $k_i$  とすると、注視条件  $l$ 、身振りクラス  $i$  における入力身振り画像 (フレーム番号  $f$ ) に対する類似度  $S_{ij}^{(l)}$  は式(5)により定義することができる。

$$S_{ij}^{(l)} = 1 - \frac{d_i^{(k_i)}}{\text{Max}(d_i^{(g)})} \quad (5)$$

式(5)により得られる類似度  $S_{ij}^{(l)}$  ( $0 \leq S_{ij}^{(l)} \leq 1$ ) と身振り標準パターン (パターン番号  $k_i$ ) に格納されている位相値を特徴量ベース識別処理の結果として、次節で述べる身振りプロトコルベース学習/認識処理部に引き渡す。ここで引き渡される識別結果は、各注視条件における類似度の多次元時系列パターン  $X_i^{(l)} = (S_{i_1}^{(l)}, S_{i_2}^{(l)}, \dots, S_{i_K}^{(l)})^T$  となる。 $X_i^{(l)}$  を活性化マップ (Activation Map) と呼ぶことにする。身振り特徴量ベース識別処理の識別結果を各注視条件における類似度  $S_{ij}^{(l)}$  に変換する理由としては、各注視条件で得られるパターン間距離が大きさや回転などの異なる評価尺度であり、識別結果を統一することによりす

べての注視条件を等価にすることが挙げられる。

#### 2.4 身振りプロトコルベース学習/識別処理

特徴量ベース識別処理では各注視条件における形状特徴パターンの空間的類似度のみを考慮するため、時間軸方向の類似度の変動は考慮していない。ある身振りを認識する際に時間軸方向に安定した類似度を与える注視条件は、身振りを認識する際の重要な手掛かりであり、人間同士ではそれが約束事 (プロトコル) であるものと仮定すれば、空間的類似度の時間的変動を考慮することは身振り学習の際には極めて重要である。身振りクラス  $i$ 、注視条件  $l$  における活性化マップが  $X_i^{(l)} = (S_{i_1}^{(l)}, S_{i_2}^{(l)}, \dots, S_{i_K}^{(l)})^T$  により与えられている場合、 $X_i^{(l)}$  の平均  $\mu_i^{(l)}$ 、分散  $\sigma_i^{(l)}$  は、

$$\mu_i^{(l)} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K S_{i_k}^{(l)} \quad (6)$$

$$\sigma_i^{(l)} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K (S_{i_k}^{(l)} - \mu_i^{(l)})(S_{i_k}^{(l)} - \mu_i^{(l)})^T \quad (7)$$

により与えられる。ここで注視条件重み  $\omega_i^{(l)}$  を式(8)により定義する。

$$\omega_i^{(l)} = \frac{\mu_i^{(l)}}{\sigma_i^{(l)} + \alpha} \quad (8)$$

ここで  $\alpha$  を注視条件強調係数とし、 $\alpha$  が小さい程分散  $\sigma_i^{(l)}$

表1 設定した16通りの注視条件

番号	位置	大きさ	回転	特徴情報源
1	依存	依存	依存	注視領域 I
2	依存	依存	非依存	注視領域 I
3	依存	非依存	依存	注視領域 I
4	依存	非依存	非依存	注視領域 I
5	非依存	依存	依存	注視領域 II
6	非依存	依存	非依存	注視領域 II
7	非依存	非依存	依存	注視領域 II
8	非依存	非依存	非依存	注視領域 II
9	非依存	依存	依存	注視領域 III
10	非依存	依存	非依存	注視領域 III
11	非依存	非依存	依存	注視領域 III
12	非依存	非依存	非依存	注視領域 III
13	依存	依存	依存	注視領域 IV
14	依存	依存	非依存	注視領域 IV
15	依存	非依存	依存	注視領域 IV
16	依存	非依存	非依存	注視領域 IV

が  $\omega_i^{(j)}$  に大きな影響を与えるようにする。また、類似度が安定している程  $\sigma_j^{(i)}$  は小さくなり、 $\omega_i^{(j)}$  は大きく設定される。身振りプロトコル学習の際には、活性化マップ  $X_i^{(j)}$  を身振りプロトコルデータ  $M_i^{(j)} = (M_{i_1}^{(j)}, M_{i_2}^{(j)}, \dots, M_{i_M}^{(j)})'$  として登録するのみでなく、各注視条件における注視条件重み  $\omega_i^{(j)}$  を算出し登録しておく。一方、身振りプロトコルベースの認識処理では、身振りプロトコルデータ  $M_i^{(j)}$  の各要素間の分布型がガウス分布に従うものと仮定し、身振り画像（フレーム番号  $f$ 、活性化マップ  $X_i^{(j)}$ ）が入力された場合の評価値  $E_f^{(j)}$  を、

$$E_f^{(j)} = \sum_{i=1}^L \sum_{m=1}^M \exp \{-\beta (S_{ij}^{(j)} - M_{im}^{(j)})^2\} \quad (9)$$

により定義する。 $\beta$  は分離係数であり、 $\beta$  が大きい程類似度要素感の影響が小さくなる。ここで、注視条件  $l$  において式(9)に従いすべての類似度区間  $\lambda [0,1]$  における尤度を求めた分布を、注視条件  $l$  の身振りプロトコルマップと呼ぶことにする。身振りプロトコルマップは各身振りクラスにおいて生成する。尚、身振りプロトコルマップは身振りプロトコル学習の直後 ( $M_i^{(j)}$  が確定した後) に式(10)に基づき一括して生成できるため、実装の際には演算結果のテーブル化により評価値計算の高速化を図っている。

$$I_{i,\lambda}^{(j)} = \sum_{m=1}^M \exp \{-\beta (\lambda - M_{im}^{(j)})^2\} \quad (10)$$

さて、 $N$  フレームの身振り画像系列が入力された際の累積評価値  $E^{(j)}$  を、

$$E^{(j)} = W_i \sum_{n=1}^N E_n^{(j)} \quad (11)$$

により定義する。ここで  $W_i$  は各身振りクラスに与える重みであり、全注視条件数を  $L$  とした場合、

$$W_i = \frac{L}{\sum_{l=1}^L \omega_l^{(j)}} \quad (12)$$

により定義する。式(12)より、身振りプロトコル学習の結果、注目すべき注視条件が定まっている程、クラス重み  $W_i$  は大きく設定される。なお、動作開始から現在までの評価値  $E_f^{(j)}$  を加算した累積評価値  $E^{(j)}$  が最大になる身振りクラス  $C$  に、入力された身振り画像は属するものと判定する。

### 2.5 多注視点の動的制御

提案手法では、差分領域情報とシルエット領域情報を組み合わせることにより、身振り画像の動的なセグメンテーションを行っている。この方式は簡便であるためにセグメンテーション処理の高速化を図ることが容易である反面、身振り画像のサンプリング間隔の変動がセグメンテーション処理の結果に大きな影響を及ぼすという問題を抱えている。この問題は、身振り標準パターンの増加に伴ってパターン照合のコストが増大する場合や、システム上での複数のアプリケーションが実行され全体としての負荷の変動が生じている場合、さらに、処理能力の著しく異なるコンピュータ上で身振りデータを共有しようとする場合に、より一層顕著になる。上記問題点の解決を図るために、多注視点の動的制御を、多段階フィードバック制御を導入することにより実現する。主なフィードバック処理は、(1)特徴抽出処理における解像度の動的制御、(2)各注視点における認識処理のON/OFF制御、(3)パターン照合処理における照合密度制御、以上の3種類の制御により構成される。各フィードバックの経路を図2に示す (Feedback1,2,3)。

### 2.6 身振り情報の定量化

#### 2.6.1 身振り位相値

身振りクラス  $C$  の注視条件  $l$  における位相値の時系列パターンを  $P_l^{(c)} = (P_{l_1}^{(c)}, P_{l_2}^{(c)}, \dots, P_{l_K}^{(c)})'$  とする。今、フレーム番号  $k$  における入力身振り画像の推定位相値  $P_{0k}$  を

$$P_{0k} = \frac{\sum_{l=1}^L P_{lK}^{(c)} Z_{lk}}{\sum_{l=1}^L Z_{lk}} \quad (13)$$

により算出する。ここで $Z_{lk}$ はフレーム番号 $k$ 、注視条件 $l$ における評価値重みであり、

$$Z_{lk} = \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \exp \{-\beta (S_k^{(c)} - M_{lm}^{(c)})^2\} \quad (14)$$

により与える。 $\beta$ は前節で述べた分離係数である。位相値 $P_{0k}$ の急激な変動を抑えるために、式(15)に従い移動平均処理（フィルタ長 $U$ ）を適用した結果得られる $P_k$ を入力された身振り画像の推定身振り位相値とする。

$$P_k = \frac{\sum_{u=0}^{U-1} P_{0k-u}}{U} \quad (15)$$

### 2.6.2 身振り速度と身振り振幅

身振り速度 $v$ と身振り振幅 $w$ を式(16)と式(17)により算出する。

$$v = P_k - P_{k-\Delta} \quad (16)$$

$$w = \frac{\text{Max}(P_k) - \text{Min}(P_k)}{F_{\text{max}}^{(c)}} \times 100(\%) \quad (17)$$

ここで式(16)の $\Delta$ は、微小時間幅に対応するフレーム数、式(17)の $F_{\text{max}}^{(c)}$ は身振りクラス $C$ の標準身振り画像のフレーム数である。式(16)より分かるように登録時の身振り動作の方向を順方向とすれば、順方向の身振り動作の際 $v$ は正、停止の際には0、逆方向身振り動作の際には負の値をとる。

## 3. 評価実験

本論文で提案した手法をワークステーションに実装し評価実験を行った。CCDカメラにより撮影された画像は画像入出力装置Galileo Videoを通してワークステーション（SGI Indigo2）に解像度 $160 \times 120$ で取り込まれ、オンライン認識される。なお、すべての処理をソフトウェアで行っている。また、特別な照明や背景は使用せず通常の実験室内で行った。本実験では、勾配係数 $a = 5.0$ 、カーネル数 $\Omega = 1$ 、注視条件強調係数 $\alpha = 0.1$ 、分離係数 $\beta = 2000$ 、移動平均フィルタ長 $U = 3$ 、微小時間幅フレーム数 $\Delta = 5$ と設定して評価を行った。

### 3.1 多注視点の動的制御結果

本論文で新たに提案した多注視点の動的制御方式の有効性を検証するために、静負荷（静負荷 I と静負荷 II の 2 種類）を認識システムに与えた際の動作周波数の応答を測定した。図3および図4に、静負荷 I と静負荷 II を

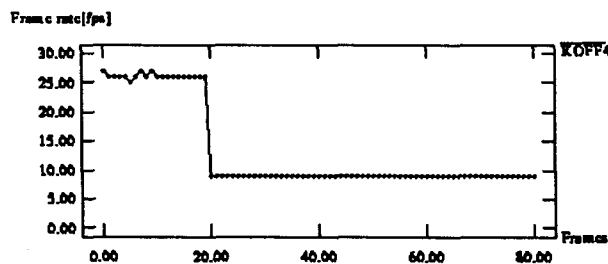


図3 静負荷 I (68[msec]) を与えた際の応答曲線

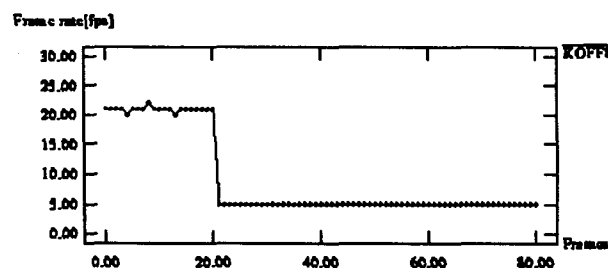


図4 静負荷 II (131[msec]) を与えた際の応答曲線

それぞれ与えた際の応答を示す。また、静負荷を与えた後、提案手法により多注視点の動的制御を行った際に得られた応答をそれぞれの負荷について図5および図6に示す。

### 3.2 身振り情報の算出結果

身振り「バイバイ」の動作を反復した際に得られた身振り情報の算出結果を、身振り位相については図7に身振り速度は図8に身振り振幅については図9に示す。これらより、身振り動作を反復した際の各種身振り情報（動作の位相・速度（方向も含む）・振幅）を実時間でフレーム毎に算出することが可能であることがわかった。こうして得られた各種身振り情報を利用して仮想世界の柔軟な操作が可能となる。

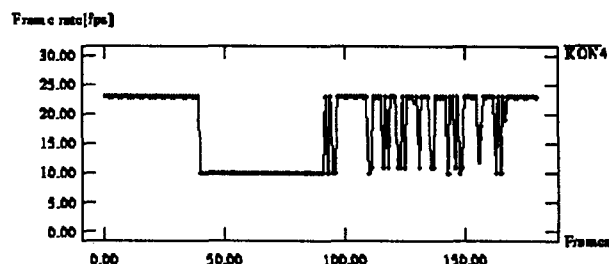


図5 静負荷 I の場合の多注視点の動的制御結果

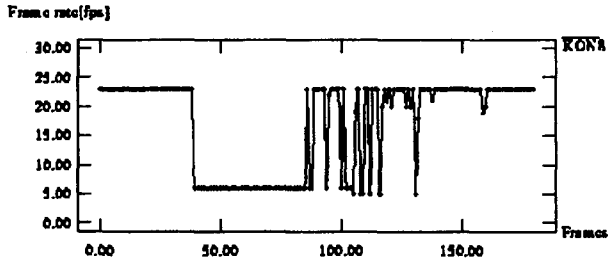


図6 静負荷 II の場合の多注視点の動的制御結果

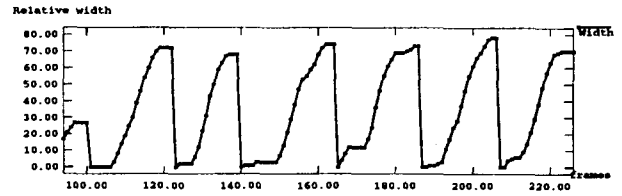


図9 身振り「バイバイ」の身振り振幅の変化

4. まとめ

本論文では、学習段階で認識対象となる身振りをコンピュータに直接教示することにより、身振り認識の際の約束事である身振りプロトコルを学習させる手法として、多注視点身振り認識法 (QVIPS<sup>2</sup>) を提案した。評価実験の結果、以下の事柄が明らかとなった。(1)多注視点の動的制御を行うことにより所望の動作周波数(フレームレート)で安定した身振り認識処理を実現することが可能であることが分かった。(2)ソフトウェア処理のみで各種身振り情報(動作の位相・速度・振幅)をフレーム毎に算出できることを確認した。以上の結果は、提案手法が実環境におけるユーザの身振りを実時間で認識する際に有効であることを示している。今後の課題としては、多注視点の動的制御の有効性について、さらなる評価実験を行い有効性を検証することが挙げられる。

参考文献

- 1) 黒川隆夫：“ノンバーバルインタフェース”1994，オーム社
- 2) Toshiyuki Kirishima, Kosuke Sato, Hirokazu Narita, Kunihiro Chihara：“Realtime Gesture Recognition under the Multi-layered Parallel Recognition Framework of QVIPS” Proceedings of the third IEEE International Conference on Face and Gesture Recognition (FG'98),April, 1998,pp.579-584
- 3) 桐島俊之、佐藤宏介、千原國宏：“プロトコル学習による身振りの実時間画像認識”電子情報通信学会論文誌D-II，Vol.J81-D-II，No.5,May,1998,pp.785-794
- 4) 桐島俊之、佐藤宏介、千原國宏：“多注視点の動的制御によるリアルタイム身振り認識”画像の認識理解シンポジウム (MIRU'98) 講演論集,vol. II ,July,1998,pp.19-25

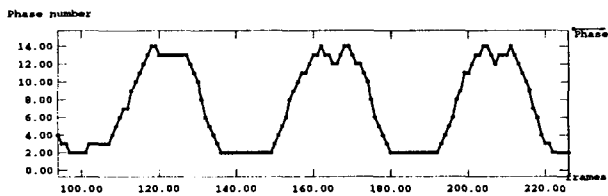


図7 身振り「バイバイ」の位相値の変化

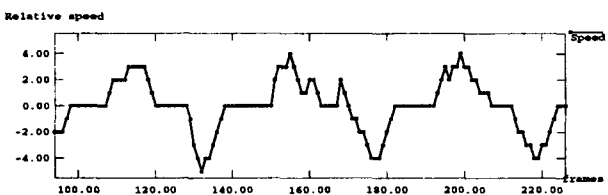


図8 身振り「バイバイ」の身振り速度の変化

# 工業的作業におけるゆらぎ駆動

土井 滋貴

Fluctuating drive for industrial works

Shigeki Doi

物の加工といったいわゆる工業的作業に対してその駆動力にゆらぎを加えた場合の作業効率の違い等を実験的に検証する。今回は切削と溶解という2つの作業について、一様乱数、 $1/f$ ゆらぎを付加した駆動を行い、その実験結果を示す。

実験結果から一様な駆動力で加工するよりも加工時間、エネルギー効率の点で優位性がみられた。

## 1. はじめに

著者は一般に「ゆらぎ」とよばれる現象について注目してきた。これまでに自然現象における「ゆらぎ」の観察や人への影響について調べてきた。今回は少し視点を変えて、物に対する作用に関してゆらぎの影響について調べる。

以前より「ゆらぎ」が人に対して快適さといった点で優位に作用することが知られており、 $1/f$ ゆらぎ扇風機などの製品も開発され、すでに一般に使用されている。一方、人に対する効果でなく物に対する効果はどうであろうか。

たとえば「仕上げ」といった微妙なニュアンスの領域においては、作業力を微妙に制御することが要求され、その変化はゆらぎとして見えるかもしれない。またニュ

ーラルネットワーク等の分野において、アニーリングという言葉が使われるが、このアニーリングという概念は最適解つまり「仕上げ」のためのゆらぎ駆動とみなせないだろうか。

このような仮説から「ゆらぎ」もしくは「ゆらぎ駆動」は物に対する作用、作業に対しても、少なからず影響を与える可能性がある。今回はこの可能性を検証するために簡単な切削と溶解についてゆらぎ駆動実験を行う。

## 2. 「切削」に関するゆらぎ駆動実験

ゆらぎ駆動の効果を実験的に探るために簡単な実験を試みる。その1つとして切削作業をとりあげる。切削といっても多岐にわたるが、ここでは比較的「こつ」が必要と思われる「鋸引き」作業を行う。

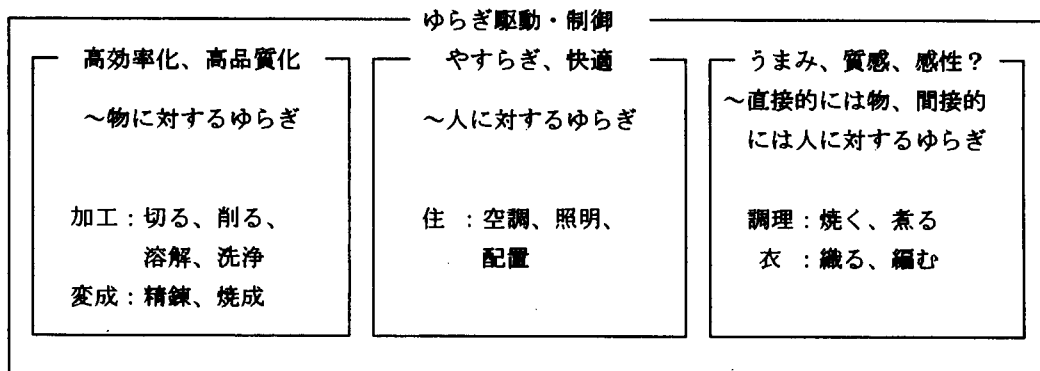


図1 ゆらぎ駆動の可能性

2.1 実験方法

切削実験には図2に示したような市販の電池駆動の電動歯ブラシの先のこぎりの歯(ジグソー用)を付けた作業機器を用いる。切削の対象としてビスケットを用いている。ビスケットは、比較的均質な試料として身近に手に入り、切削作業において作業機器に負担を与えることのない硬度と大きさを持っているという条件を満たしている。

この作業機器にゆらぎ駆動を導入するためには、その基となるゆらぎ信号の生成が必要となる。生成方法は従来より著者が行っていたデジタル信号処理による生成方法を用いる。得られた駆動信号を図3に示した歯ブラシ駆動回路に送り作業機器のゆらぎ駆動を行う。図3の駆動回路では駆動と併せて駆動電流を計測する。駆動電圧と電流を掛け合わせて毎時の駆動電力を求める。

2.2 実験結果

前述の作業機器を用いて作業を行った。ここでは「一定に保つ駆動」、一様乱数を付加した「ランダムゆらぎ駆動」、1/fゆらぎ付加した「1/fゆらぎ駆動」の3つの制御法で10回づつ、切断時間と切断に要した電力を測定し、効率の変化を比較検討した。ランダムゆらぎ駆動と1/fゆらぎ駆動については、直流成分に対するゆらぎの幅をピーク値で±50%、±25%、±12.5%のそれぞれ3段階に変えて実験を行った。これら10回測定したデータを平均

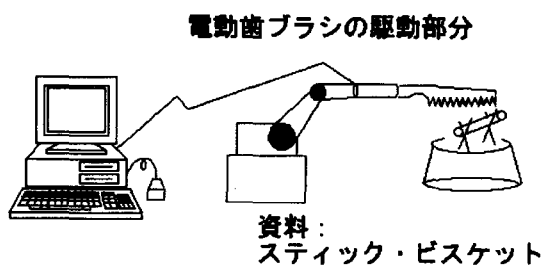


図2 作業機器と作業システム

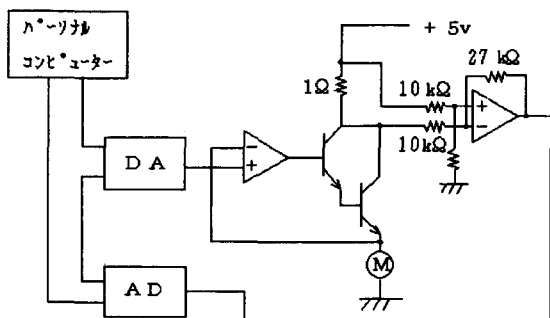


図3 ゆらぎ駆動および駆動力計測回路

化したものを、それぞれグラフにして図4、図5、図6に示す。

グラフからわかるようにそれぞれ3つの駆動法に効率の差が生じ、ランダムゆらぎ駆動、1/fゆらぎ駆動の方が一定駆動よりも短時間で切れることが確認できた。また、ゆらぎ駆動方法が同じでもそのゆらぎ強度が強いほうが短時間に切削ができ、かつ電力効率が高いという傾向が見られた。さらに、1/fゆらぎ駆動よりもランダムゆらぎ駆動のほうが切削時間は若干短くなっている。

3. 「溶解」に関するゆらぎ実験

2つめの実験として超音波洗浄器の超音波出力にゆらぎをもたせ、その効果として絵の具の溶け具合の違いを調べる。

3.1 実験方法

実験では絵の具の溶け具合を検知するセンサ系として透過形ホトインタラプタを用いる。透過形ホトインタラプタは、図7に示すようにLED-PDを向かい合わせに配置し、この間を通過する物体によって光が遮断されることを利用して物体の検知を非接触でおこなう。実験では

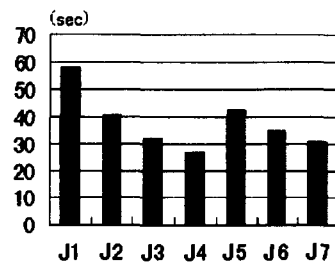


図4 平均切削時間

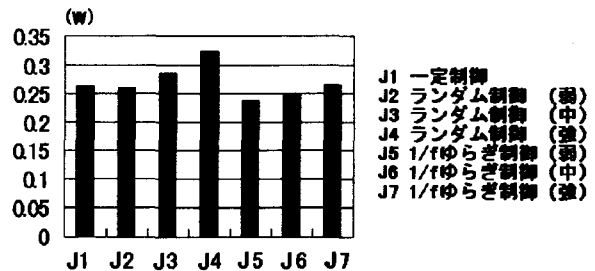


図5 平均電力

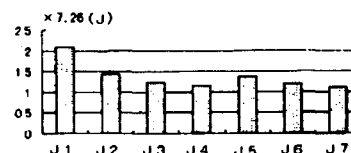


図6 切削に要した電力量

遮断物体、つまり水に溶けた絵の具が増えるに従い、出力電流が減少することになり、この電流を計測することにより間接的に溶解量が判る。

図8に、実験で取り扱う作業対象と駆動係、センサ系を示す。図では、左側がセンサ系、右側が駆動系となる。図9にセンサ回路を示す。

実験の進め方として、まず超音波洗浄器に水のため、先ほどのホットインタラプタを水中に設置し、一定量の絵の具を入れる。次に、超音波洗浄器の発振回路への印可電圧をゆらぎ駆動する。

使用した駆動方法は「切削」実験と同じく、「一定に保つ駆動」、「ランダムゆらぎ駆動」、「1/fゆらぎ駆動」の3つ、各ゆらぎ駆動については、直流成分に対するゆらぎの幅をピーク値で±50%、±25%、±12.5%のそれぞれ3段階に変えて駆動を行う。

### 3.2 実験結果

前述の実験シムを用いて溶解実験を行った。それぞれの制御法によるセンサ出力結果を図10に示す。図10縦軸はセンサ出力電流を電圧に変換して取り出したもので、同一条件、4試行の平均を表している。横軸は0.1秒毎のサンプル時間を表し全体で2000サンプル、駆動開始から200秒間の計測時間を表す。図10では溶解が進むにつれて電圧値が減少することになる。また、一定駆動とゆら

ぎ駆動とを判りやすく比較するために各時刻のゆらぎ駆動におけるセンサ出力電圧と一定制御におけるセンサ出力電圧の値の差をとった。その差のグラフをそれぞれ図11に示す。

図11のグラフからわかるように、どの時刻においても電圧の差は正の値をとっており、ランダムゆらぎ駆動、1/fゆらぎ駆動におけるセンサ出力電圧の方が一定駆動におけるセンサ出力電圧より常に小さいことがわかる。

センサ出力電圧が小さいということは絵の具の溶けだし量が多いということであるので、どの時刻においても常に溶解度はランダムゆらぎ駆動、1/fゆらぎ駆動の方が大きいといえる。またゆらぎの強さに関しては「切削」作業のような明らかな傾向は見いだせないが、1/fゆらぎ駆動よりもランダムゆらぎ駆動のほうが、早く溶け出す傾向が見られる。

### 4. おわりに

2つの基礎実験を通じて、ゆらぎ駆動が作業効率に有用な効果を与えることがわかった。また実験結果の傾向を考察してみると、1/fゆらぎよりランダムゆらぎの方がより優位に作用している。このことは1/fゆらぎによってもたらされる連続的な変動よりも不連続な、あるいはパ

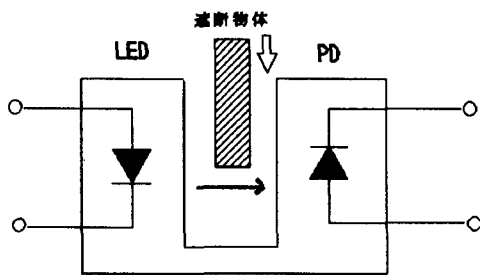


図7 透過形ホットインタラプタ

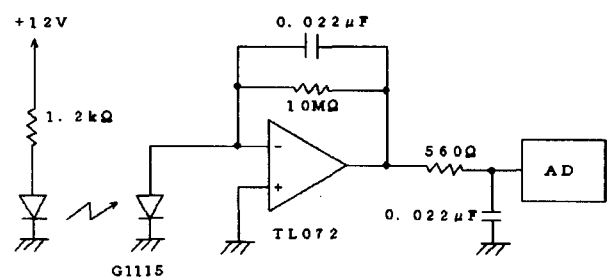


図9 センサ部分の構成図

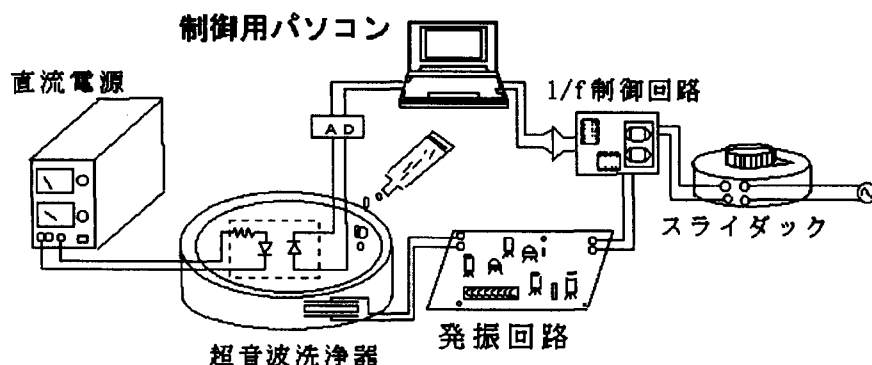


図8 溶解実験の駆動系とセンサ系

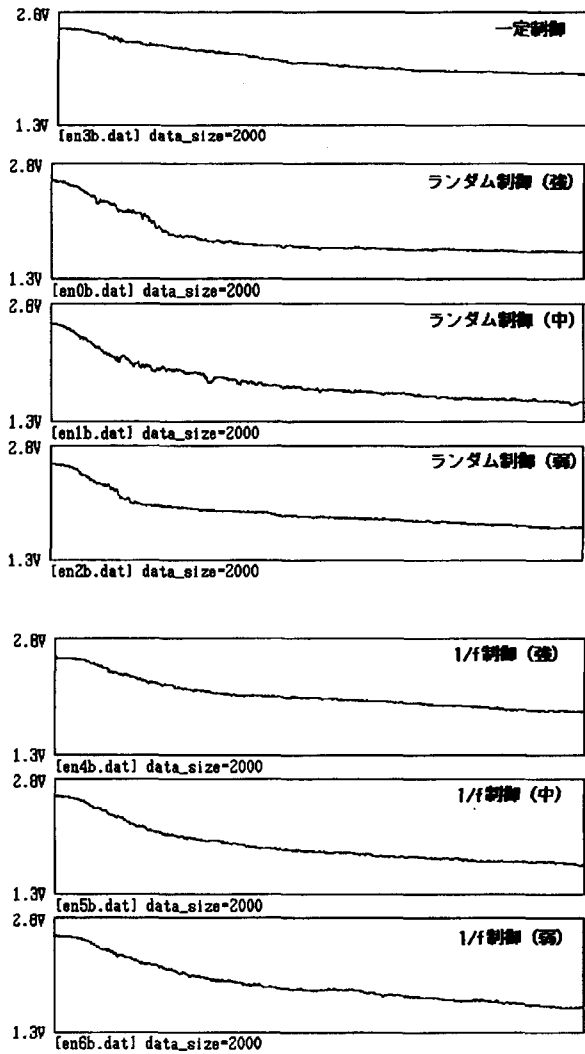


図10 一定駆動、ゆらぎ駆動した場合の  
絵の具の溶け具合

ルス状の変動が優位に作用していることが推測される。つまり「ゆらぎ」というランダムネスよりも瞬時的な高いパワーの影響が重要であることを示唆している。

謝辞：本研究の一部は奈良工業高等専門学校、岡本隆太郎君の平成9年度の卒業研究として行われた。同君に感謝いたします。

参考文献

[1] 土井滋貴・高橋晴雄, “1/fゆらぎ証明に関する考察”, 奈良高専研究紀要, 第29号, p23-26  
 [2] 窪晋真一郎・上田悦子・土井滋貴, “ゆらぎ制御による工業的作業の効率化”, 平成9年電気関係学会関西支部連合大会, G2-4

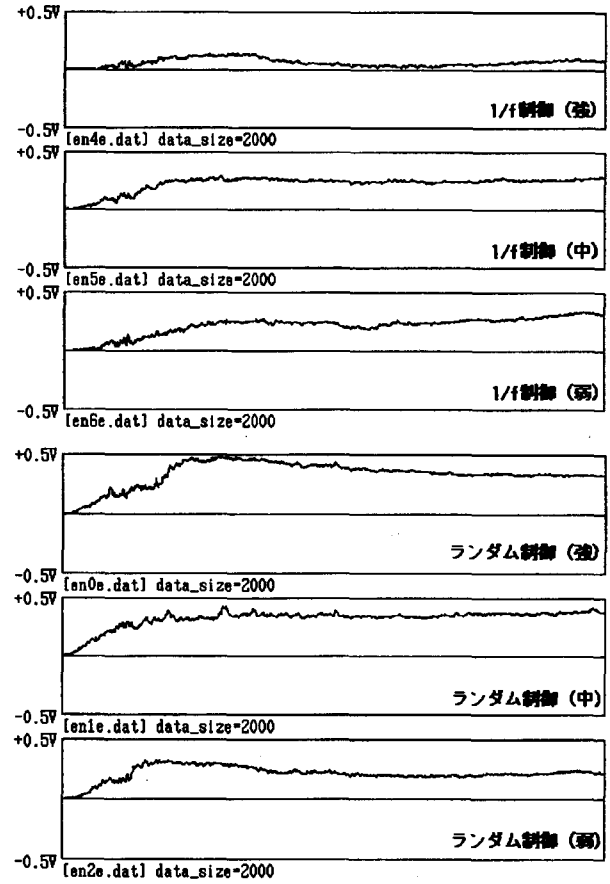


図11 一定駆動とゆらぎ駆動の場合の  
溶け具合の比較結果

[3] 窪晋真一郎・土井滋貴, “ゆらぎに着目した工業的作業の効率化”, 電子情報通信学会関西支部学生会第3回学生会研究発表会, A-22  
 [4] 岡本龍太郎, “ゆらぎ制御による工業的作業の効率化”, 平成9年度奈良高専電気工学科卒業研究報告書

# 広帯域周波数可変レーザー用光変調器

松島朋史 水野公平\*

Electrooptic Light Modulator for Tunable CO<sub>2</sub> Laser

Tomoshi Matsushima and Kouhei Mizuno

あらまし

大気中の汚染物質等、気体中に含まれるガス物質の種類及び濃度を測定するためには、その物質特有の吸収波長を利用するものがある。この方法を利用する場合、それぞれの物質の吸収波長に同調することができる波長（周波数）可変範囲の広いレーザー光源が有用となる。電気光学変調器を用いて、炭酸ガスレーザー光を変調し、レーザー光の周波数可変範囲を大幅に広げ、これより気体中に含まれる多種類の物質の種類、濃度を測定することを可能にする広帯域周波数可変レーザー用光変調器の構成、解析および設計を行った。5個のCdTe結晶（2mm x 2mm x 15mm）を用いて、それぞれの結晶間隔を変え速度整合をとることにより光変調器の広帯域化を図った。解析では20GHzまでの変調が可能であることを示した。また光変調器を試作し、単体では10GHzまでのマイクロ波伝送帯域を得た。

## 1. まえがき

現在、窒素酸化物、オゾン、フロン、メタン、エチレン等による大気汚染が大きな社会問題となっている。従来、大気中の汚染物質等、気体中に含まれるガス物質の種類および濃度を測定するためには、その物質特有の吸収波長を利用するものがある。この方法を利用する場合、それぞれの物質の吸収波長に同調することができる、波長（周波数）可変範囲の広いレーザー光源が有用となる。特に、大気汚染物質等、多数の物質の吸収線がある中赤外領域の光源としては、炭酸ガスレーザーが有望である。しかし、周波数可変範囲が広いと言われている導波形炭酸ガスレーザーでも可変範囲が1GHz程度であり、多くの種類の物質を測定するには、周波数可変範囲を拡大することが必要となる。

レーザー光の波長（周波数）を変える方法の一つとして、レーザー光を変調して、側波帯を発生させ、その成分の一つをファブリーペローエタロン等によって取り出すことが考えられる。

本研究は、電気光学変調器を用いて、炭酸ガスレーザー光を変調し、レーザー光の周波数可変範囲を大幅に広げ、これより気体中に含まれる多種類の物質の種類、濃度を

測定することを可能にする広帯域周波数可変レーザー用光変調器の考察を行った結果を報告する。

## 2. 広帯域光変調器の設計

炭酸ガスレーザー光のような長波長帯において、電気光学変調器を用いて大きな側波帯成分を発生させ、その結果、十分な周波数可変出力を得るには、可視光帯に比べて非常に大きな変調電圧が必要となる。変調電圧の低減化として、結晶を長くすることにより、光波と変調電界の相互作用長が長くなり、高効率変調が可能となることから変調電圧の低減化を図ることができる。しかし、図

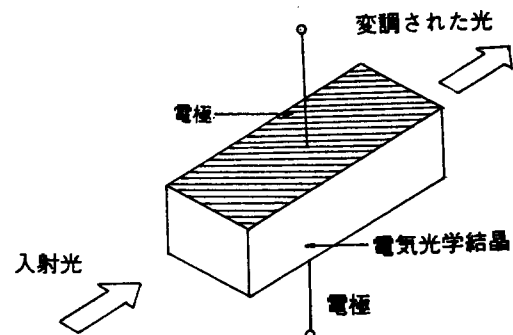


図1 集中形光変調器

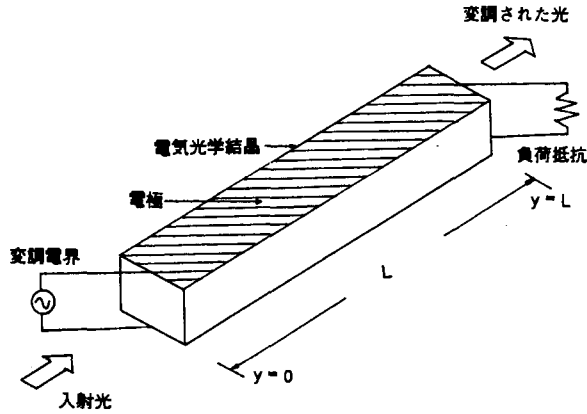


図2 進行波形光変調器

1に示すような通常の集中形変調器では、高い周波数での変調動作を行う場合、結晶長が長くなると、光波が結晶中を走行している間に変調電界の値が変化してしまうため変調度が低下することが予想される。そこで、図2に示すように、光波と同時に変調電界も結晶の端面から印加し、光波だけでなく変調波も同じ方向に伝搬させる進行波形変調器が考えられる。この形式の変調器は集中形と異なり、高い周波数での変調が可能となるから、原理的には変調周波数の帯域制限をもたない。しかし、そのためには光波と変調波との速度整合が全周波数において成立しなければ変調帯域の制限を受ける。

図2に示すような進行波形光変調器の速度整合について考える。光波および変調波の進行方向をy方向にとり、 $y=0$ および $y=L$ を結晶の端面とする。結晶中を光波の速度 $V_0=C_0/n_0$ 、変調波の速度 $V_m=C_0/\sqrt{\epsilon}$ で進行するものとする。ここで、光波が $t=0$ で $y=0$ に入射したとすれば、y位置での屈折率 $n(y)$ は次式となる [1]。

$$n_{(y)} = n_o + n_m \cos \left[ \omega_m \left( \frac{1}{V_o} - \frac{1}{V_m} \right) y \right] \dots \dots \dots (1)$$

ただし、 $n_m$ は

$$n_m = \frac{1}{2} n_o^3 \gamma_{41} E \dots \dots \dots (2)$$

である。ここで、 $\omega_m$ は変調角周波数、 $n_o^3 \gamma_{41}$ は電気光学性能指数、Eは変調電界である。式(1)より結晶全体を光波が通過した場合の光波の位相変化量 $\phi$ は

$$\phi = \frac{2\pi}{\lambda_o} \int n_{(y)} dy = \phi_o + \phi_m \cos \frac{u}{2} \dots \dots \dots (3)$$

となる。ただし、

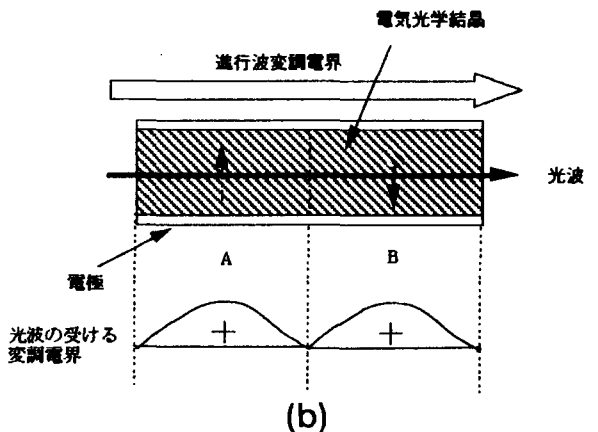
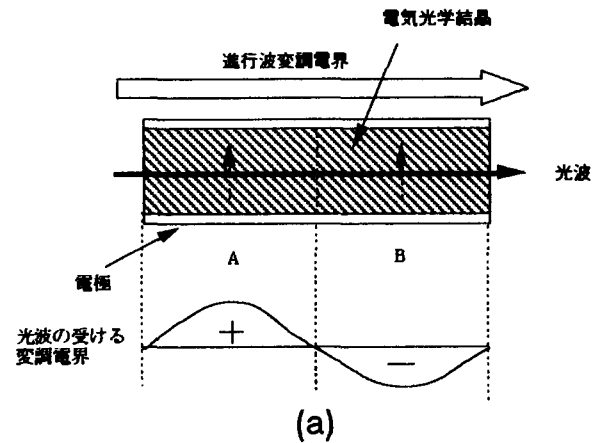
$$\phi_o = \frac{2\pi}{\lambda_o} nL \dots \dots \dots (4)$$

$$\phi_m = \frac{2\pi}{\lambda_o} n_m L \frac{\sin \frac{u}{2}}{\frac{u}{2}} \dots \dots \dots (5)$$

$$u = \omega_m L \left( \frac{1}{V_o} - \frac{1}{V_m} \right) \dots \dots \dots (6)$$

である。ここで、 $\lambda_o$ はレーザ光の波長、 $\phi_m$ は変調度、Uは結晶長Lにおける光波と変調波の位相のずれを示す。これより、明らかなように $V_o=V_m$ のとき、つまり光波と変調波の速度が一致している場合、変調帯域の制限は受けない。

そこで速度整合が取れない場合について考える。図3(a)には速度整合がされず、同一方向にのみ伝搬し、特定の変調周波数で励振されているものとする。図3(a)に示すようにAの位置では光波は変調電界の正の作用を受けるが、Bの位置に光波がくると、変調電界は正から負へ



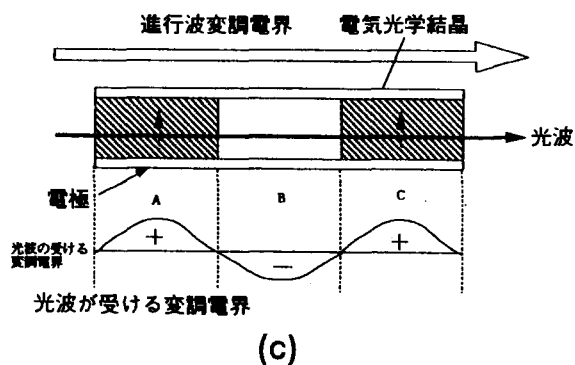


図3 結晶中におけるマイクロ波と光の位相関係

と変化し、負の作用を受け、変調電界による効果はなくなる。したがって速度整合をとることが進行波変調器の重要な課題の一つで、種々の方法が考えられている。

例えば、速度整合をとる方法の一つとして結晶反転補償法がある [2]。図 3(b)に示すように、1次電気光学結晶の横形動作において、光学軸を反転すれば、等価的に印加電圧の位相が逆転する原理を利用したもので、図 3(a)に示したような負の作用を受けない。この場合、光波と変調波の速度が著しく異なる場合でも、結晶を適当な長さに分割してその軸を交互に反転し、継続すれば、光に対する変調波の位相が補償されて変調が可能となる。また図 3(c)に示すように、B地点に結晶を置かずにC地点に結晶を置くことにより速度整合が可能となる。しかし、図 3(b)(c)に示す方法においても、特定の周波数範囲においてのみ変調が可能であって周波数全域にわたって変調動作が行われるのではない。

ここで、広帯域光変調器の用途について考える。通常の広帯域光変調器としては、光波に多くの情報を伝達するために変調帯域はできるだけ広い方が望ましい。しかし、用途によっては特定の周波数を適当な帯域幅で変調動作を行うことで十分である場合が考えられる。上述のように、特に、大気汚染物質の測定には、あらかじめ物質特有の吸収波長がわかっているので、その物質のみを考える場合は変調帯域そのものは特定吸収波長付近でよく必ずしも変調周波数全域にわたって広帯域でなくてもよい。また異なった物質を測定する場合は、その物質の吸収波長に同調させることができる付近の変調周波数で高効率変調が可能になるように結晶間隔に変えて速度整合を取ればよい。

ここでは、大気汚染物質等の測定に用いる広帯域周波数可変レーザー用光変調器の速度整合は、結晶間隔を変調周波数に合わせる方法を用いる。

図 4 に結晶間隔をあけた変調器の構成を示す。L<sub>1</sub>、

L<sub>2</sub>、・・・はそれぞれの結晶間隔である。CdTe 結晶 (2mm × 2mm × 15mm) を 5 個使い、結晶間隔をあけた場合

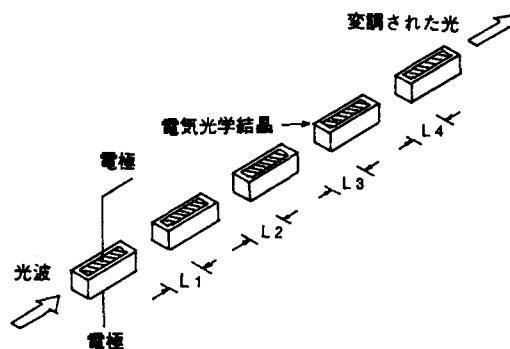
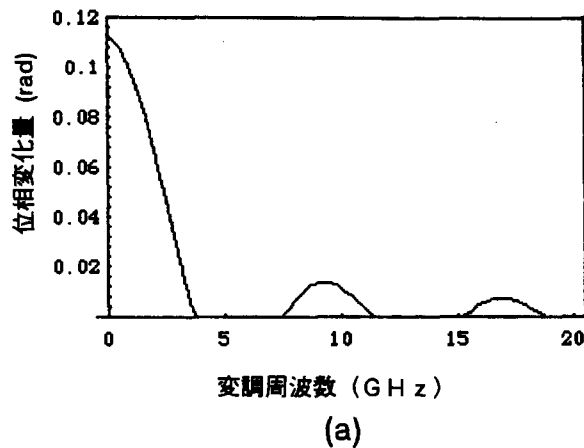


図4 結晶間隔をあけた変調器の構成

における変調周波数帯域について計算した結果を図 5 (a)(b)(c)に示す。表 1 は計算に用いた各パラメータを示す。

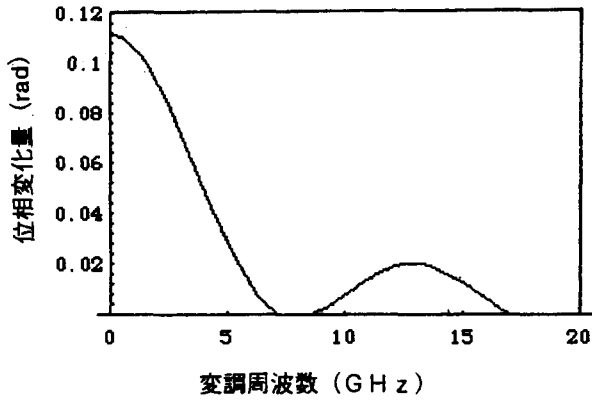
表1 計算に用いた各パラメータ

波長 $\lambda_0$	10.6 ( $\mu\text{m}$ )
電気光学性能 指数 $\eta_0^3 \gamma_{41}$	$10.0 \times 10^{-11}$ (m/v)
結晶長 L	0.075 (m)
光の速度 $C_0$	$3 \times 10^8$ (m/s)
屈折率 $n_0$	2.67
誘電率 $\epsilon$	10.4
電圧 V	100 (V)
電極間隔 d	$2 \times 10^{-3}$ (m)



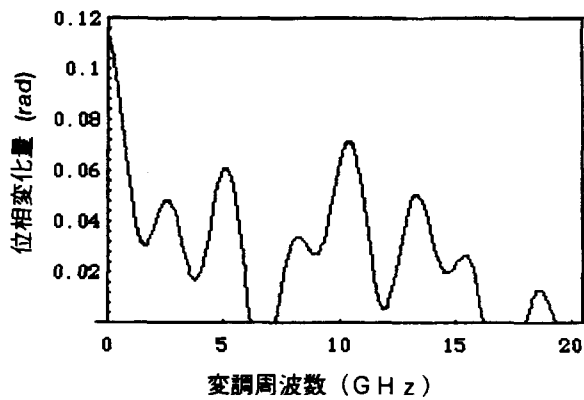
(a)

(a) 結晶間隔：0



(b)

(b) 結晶間隔：15mm 一定



(c)

(c) 結晶間隔：L1 = 15mm, L2 = 30mm, L3 = 45mm, L4 = 60mm

図5 結晶間隔と変調周波数帯域

図5(a)は結晶間隔をあけずに結晶長75mm (15mm × 5) の場合、図5(b)は結晶間隔を15mm一定の場合、図5(c)は結晶間隔を一個目を15mm、2個目を30mm、3個目を45mm、4個目を60mmにした場合の変調周波数に対する位相変化量を示す。これらの計算結果より、結晶間隔に変化をもたせることにより、特定の変調周波数に対して効率よく変調動作が行われることを示している。

### 3. 試作した光変調器の変調信号伝送特性

図6は試作した進行波形光変調器の構造を示す。マイクロ波(変調信号)の入出力信号端子はSMAコネクタを用い、コネクタの端子に直接CdTe電気光学結晶の電極が接続されている。図7にCdTe電気光学結晶を示す。結晶の(110)面に1mm幅の金蒸着電極が施されている。レーザ光の入射面は無反射コーティングが施されて

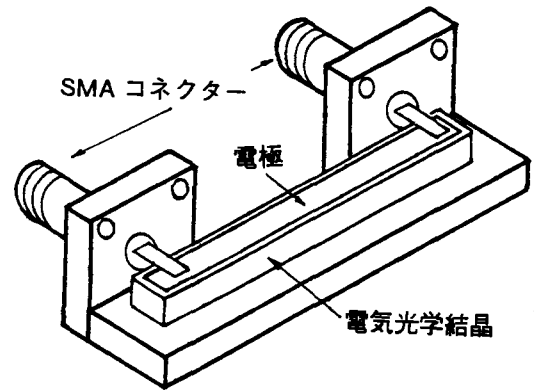


図6 試作した光変調器

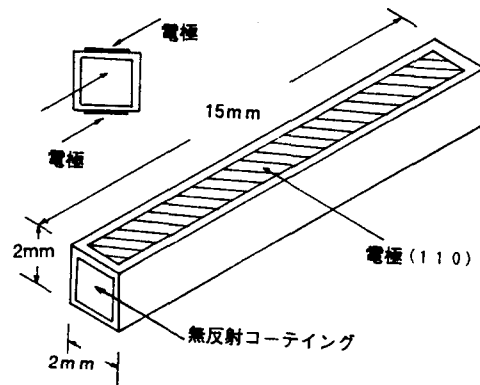


図7 CdTe電気光学結晶

いる。結晶の寸法は2×2×15mmである。試作した変調器のマイクロ波伝送特性をネットワークアナライザを用いて測定した。図8はマイクロ波の入出力特性を示す。これより、3dB伝送帯域は10GHzである。また、図9に

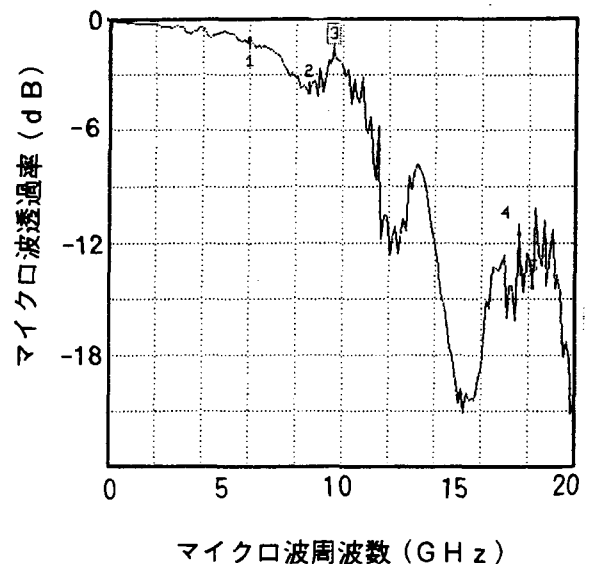


図8 マイクロ波(変調信号)伝送特性

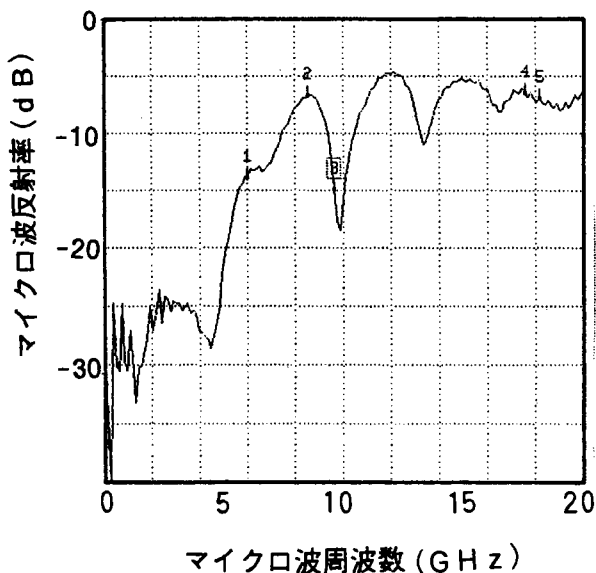


図9 マイクロ波（変調信号）反射特性

反射特性を示す。これよりマイクロ波の反射は20GHzまでは5 dB以内に抑えられている。図10はタイムドメインによる変調器の特性インピーダンス測定を行った結果を示す。縦軸はインピーダンスを示し、横軸はパルスの

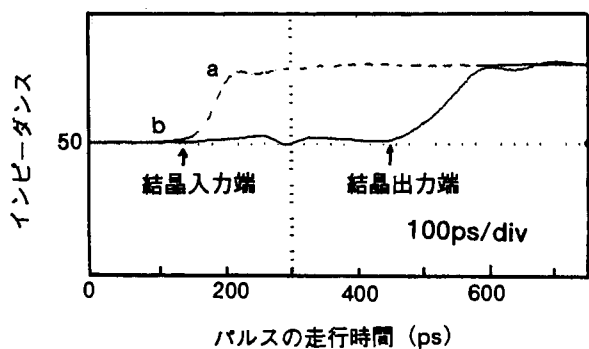


図10 タイムドメインによる変調器の特性インピーダンス特性

走行時間を示している。点線は変調器を接続しない場合の特性を示し、a点は測定端でインピーダンスは無窮大となっている。実線は変調器を接続した場合で、b点は50Ωラインであることから、試作した変調器の特性インピーダンスはほぼ50Ωとなっていることがわかる。

#### 4. むすび

広帯域周波数可変レーザー用光変調器の構成、解析および設計を行った。5個のCdTe結晶を用いて、それぞれの結晶間隔を変えることができる構成にした。解析では

20GHzまでの変調が可能であることを示した。また光変調器を試作し、単体では10GHzまでのマイクロ波伝送帯域を得た。

今後の課題として、さらに変調器のマイクロ波伝送帯域を広げるため、結晶上の蒸着されている電極の材料をマイクロ波に対して損失の少ないインジウム電極を付加することによりさらに帯域を広げることである。また変調器を直列に配置し、レーザー光を入射させ光波をマイクロ波で変調し、高効率で広帯域変調が可能な広帯域周波数可変レーザー用光変調器を実現することである。

#### 謝辞

本研究で試作した変調器のマイクロ波伝送特性の測定に対してネットワークアナライザを使用させて頂きました大阪大学基礎工学部小林哲郎教授に感謝致します。また使用に際してご教授頂きました大阪大学助手村田博司氏に感謝致します。本研究は平成9年度文部省科学研究費助成金（基礎研究B(1)）で行われたものである。関係各位に感謝致します。

#### 参考文献

- [1] 末田 正 “光エレクトロニクス” 昭晃堂
- [2] 後藤幸一, 末田 正 “結晶反転位相補償形進行は光変調器” 電子通信学会論文誌(C), Vol.55C, No.6, 306-313(1972)
- \* 平成9年度電気工学科卒業生



# 連続制御系の等M等φ線図とニコルス線図のシミュレーション

栗本 尚

Computer Simulation of Constant  $M$  and  $\phi$  Chart  
and Nichols Chart in Continuous Control System

Takashi KURIMOTO

In design and analysis of a continuous control system, Bode diagram, Nyquist diagram, root locus, step response, constant  $M$  and  $\phi$  chart and Nichols chart etc. are used properly. Such characteristics can be drawn by the personal computer. In this paper the method to draw them briefly by N88-BASIC is described. The author reported about Bode diagram, Nyquist diagram, root locus and step response in the reference 1). Continued from this reference 1), constant  $M$  and  $\phi$  chart and Nichols chart are taken up.

## 1 まえがき

筆者は、かねてから各種制御系について、市販の制御系設計・解析用ソフトの活用と並行して、必要最小限の非常に短いプログラムを自作し、各種システム特性や要素特性を任意に可視化したり、シミュレーションすることにより、制御系の設計・解析に有効活用をはかってきた。<sup>1)~6)</sup> 制御工学の基礎を勉強するにあたり、このような自作のプログラムによる制御系の設計・解析方法も修得させるようにすれば、その理解度も高められ、教育効果も大きくなる。

このような観点から、参考文献1)において、連続制御系に関し、パソコンを活用して、ボード線図、ナイキスト線図、根軌跡およびステップ応答をえがかせ、制御系としての設計・解析をする方法について示した。ここでは、これらをベースとして、さらに連続制御系について、パソコンのBASIC言語を用いた簡潔なプログラムにより、閉ループ伝達関数  $W(s)$  のゲイン  $M$  と位相  $\phi$  に関する等  $M$  等  $\phi$  線図上に、開ループ伝達関数  $G(s)$  のナイキスト線図(ベクトル軌跡)を、またニコルス線図上に開ループ伝達関数  $G(s)$  のボード線図に対応するゲイン-位相線図をえがかせて、閉ループ特性を把握し、制御系としての設

計・解析をする方法について示す。

## 2 等M等φ線図とニコルス線図<sup>7) 8)</sup>

### 2.1 $G(s)$ と $W(s)$

図1に示すフィードバック制御系において、開ループ伝達関数(一巡伝達関数)を  $G(s)$ 、閉ループ伝達関数を  $W(s)$  とすると、次式が得られる。

$$W(s) = \frac{G(s)}{1 + G(s)} \tag{1}$$

この  $G(s), W(s)$  の各周波数伝達関数  $G(j\omega), W(j\omega)$  は、次式のようになる。

$$G(j\omega) = ge^{j\theta} \tag{2}$$

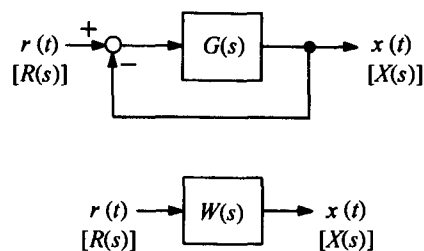


図1 フィードバック制御系

$$W(j\omega) = \frac{G(j\omega)}{1+G(j\omega)} = Me^{j\phi} \quad (3)$$

2.2 等M等φ線図

2.2.1 等M線図

G(jω)は複素数であり、その実部をx,虚部をyとすると

$$G(j\omega) = x + jy \quad (4)$$

と表される。(4)式を(3)式に代入すると、W(jω)のゲインMは次式のように求められる。

$$M = \left| \frac{G(j\omega)}{1+G(j\omega)} \right| = \left| \frac{x+jy}{(1+x)+jy} \right|$$

$$= \sqrt{\frac{x^2+y^2}{(1+x)^2+y^2}} \quad (5)$$

(5)式を整理すると次式が得られる。

$$\left(x - \frac{M^2}{1-M^2}\right)^2 + y^2 = \left(\frac{M}{1-M^2}\right)^2 \quad (6)$$

この(6)式は、中心  $\left(\frac{M^2}{1-M^2}, 0\right)$ 、半径  $\left|\frac{M}{1-M^2}\right|$  の円を表す。このMをパラメータとして、複素平面上にえがいた軌跡が等M線図となる。Mをパラメータとする等M線図の1例を図2に示す。なお、この図2は、2.2.3項の図4による等M等φ線図作成プログラムの一部修正により容易にえがける。

2.2.2 等φ線図

W(jω)の位相φは次式のように求められる。

$$\phi = \angle \frac{G(j\omega)}{1+G(j\omega)} = \angle \frac{x+jy}{(1+x)+jy}$$

$$= \tan^{-1} \frac{y}{x(1+x)+y^2} \quad (7)$$

(7)式を整理すると次式が得られる。

$$\left(x + \frac{1}{2}\right)^2 + \left(y - \frac{1}{2 \tan \phi}\right)^2$$

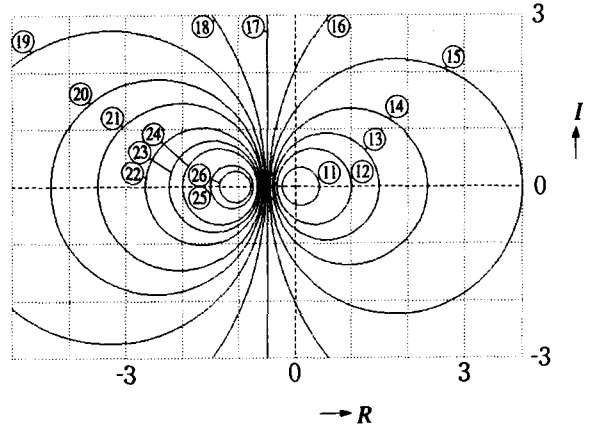
$$= \left(\frac{1}{2} \sqrt{1 + \frac{1}{\tan^2 \phi}}\right)^2 \quad (8)$$

この(8)式は、中心  $\left(-\frac{1}{2}, \frac{1}{2 \tan \phi}\right)$ 、半径  $\frac{1}{2} \sqrt{1 + \frac{1}{\tan^2 \phi}}$  の円を表す。このφをパラメータとして、複素平面上にえがいた軌跡が等φ線図である。φをパラメータとする等φ線図の1例を図3に示す。なお、この図3も、2.2.3項の図4によるプログラムの一部修正により容易にえがける。

2.2.3 等M等φ線図

(6)(8)式より、M, φをパラメータとする等M等φ線図を求めるためのプログラムを図4に示す。なお、M=1のときには、(5)式においてM=1とすると、x=-0.5となる。また、

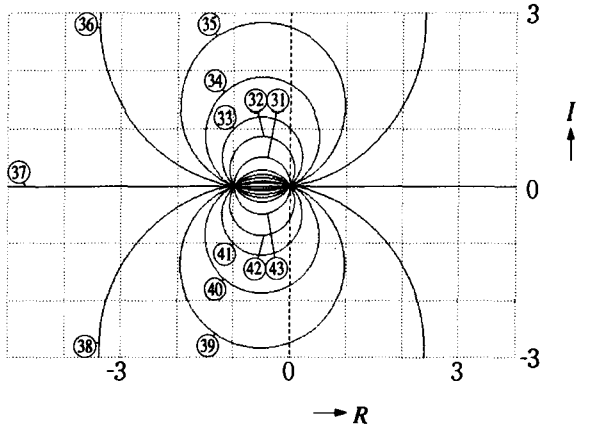
プログラム：図4 ただし180~220なし



M: ① 0.3 ② 0.5 ③ 0.6 ④ 0.7 ⑤ 0.8 ⑥ 0.9 ⑦ 1  
 ⑧ 1.1 ⑨ 1.2 ⑩ 1.3 ⑪ 1.4 ⑫ 1.6 ⑬ 1.8 ⑭ 2  
 ⑮ 3 ⑯ 4

図2 等M線図 (パラメータ：M)

プログラム：図4 ただし130~170なし



φ [deg]: ① -90 ② -120 ③ -135 ④ -150 ⑤ -160  
 ⑥ -170 ⑦ -180 ⑧ -190 ⑨ -200 ⑩ -210  
 ⑪ -225 ⑫ -240 ⑬ -270 (⑩と同じ)

図3 等φ線図 (パラメータ：φ)

φ=-πのときには、(7)式においてφ=-πとすると、y=0となる。M, φをパラメータとする等M等φ線図の1例を図5に示す。

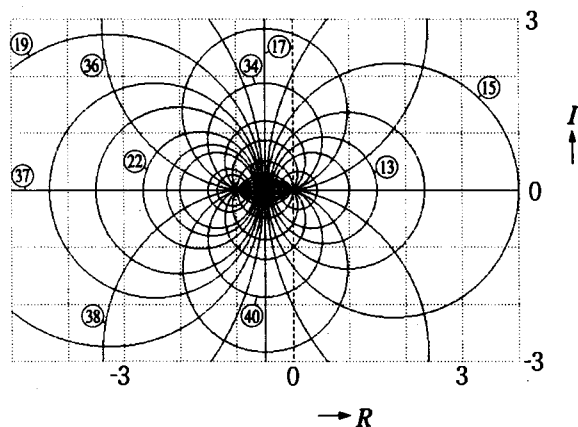
ところで、このプログラムは、パソコンPC-9800シリーズのN88-BASICによっている。プログラムをできるかぎり短くするために、グラフの座標軸、目盛り線、計算特性のみをパソコンによりえがかせ、変数名、目盛り数字、パラメータ表示、タイトルなどについては、手書き、テンプレートまたは貼りつけによっている。なお、BASICもその種類により多少の差があるため、このN88-

```

10 REM R10-PROG1
20 PI=3.1416
30 DEF FN X1=M^2/(1-M^2)
40 DEF FN Y2=1/(2*TAN(PHI))
50 SCREEN 2,0 : CONSOLE ,,0,0
60 WINDOW (-5,-3)-(4,3)
70 VIEW (40,0)-(639,399)
80 LINE (-5,0)-(4,0),,,&HF0F0 : LINE (0,-3)-(0,3),,,&HF0F0
90 FOR J=-3 TO 3 STEP 1
100 LINE (-5,J)-(4,J),,,&H1111 : NEXT J
110 FOR J=-5 TO 4 STEP 1
120 LINE (J,-3)-(J,3),,,&H1111 : NEXT J
130 M=1 : LINE (-.5,-3)-(-.5,3)
140 FOR I=1 TO 15 : READ M
150 DATA .3,.5,.6,.7,.8,.9,1.1,1.2,1.3,1.4,1.6,1.8,2,3,4
160 R1=ABS(M/(1-M^2))
170 CIRCLE (FN X1,0),R1 : NEXT I
180 PHID=-180 : LINE (-5,0)-(4,0)
190 FOR I=1 TO 12 : READ PHID
200 DATA -170,-160,-150,-135,-120,-90,-190,-200,-210,-225,-240,-270
210 PHI=PHID/180*PI : R2=SQR(1/4*(1+1/(TAN(PHI))^2))
220 CIRCLE (-.5,-FN Y2),R2 : NEXT I
230 END
    
```

図4 等M線φ線図を求めるためのプログラム

プログラム：図4



M: ①~⑫ 図2参照  
φ [deg]: ⑬~⑳ 図3参照

図5 等M等φ線図 (パラメータ: M, φ)

BASICとちがう場合には適宜修正する必要がある。

この等M等φ線図上に、開ループ伝達関数G(s)のナイキスト線図をえがくことにより、閉ループ特性に関する各種情報を得ることができ、制御系としての設計・解析に活用することができる。

### 2.3 ニコルス線図

#### 2.3.1 ニコルス線図の利点

開ループ伝達関数G(s)のボード線図から、等M等φ線図を用いて、閉ループ特性を得ることは不向きである。そこで

$$G = 20 \log |G(j\omega)| = 20 \log g \quad [\text{db}] \quad (9)$$

を縦軸に、θ [rad または deg] を横軸にしたゲイン一位

相線図上に、M, φ をパラメータとしてえがいたニコルス線図も用いられる。

このニコルス線図によると、次のような利点がある。

- ① |G(jω)| が大幅に変化する場合にも対応し易い。
- ② G(s)の構成要素の変更や追加、削除に対し、ニコルス線図上の単純加減算で求められる。

したがって、実際には等M等φ線図よりもニコルス線図の方がよく用いられている。

#### 2.3.2 ニコルス線図の基本式

(2)式を(3)式に代入すると、次式が得られる。

$$\begin{aligned}
 Me^{j\phi} &= \frac{ge^{j\theta}}{1 + ge^{j\theta}} = \frac{g}{e^{-j\theta} + g} \\
 &= \frac{g \{ (g + \cos \theta) + j \sin \theta \}}{g^2 + 2g \cos \theta + 1} \quad (10)
 \end{aligned}$$

したがって、M, φ は次式のようになる。

$$M = \frac{g}{\sqrt{g^2 + 2g \cos \theta + 1}} \quad (11)$$

$$\phi = \tan^{-1} \frac{\sin \theta}{g + \cos \theta} \quad (12)$$

(9)(11)(12)式より、Mおよびφをパラメータとするθに対するG [db] の式は、それぞれ次式のようになる。

$$\begin{aligned}
 G &= 20 \log |G(j\omega)| = 20 \log g \\
 &= 20 \log \left\{ -\frac{M^2}{M^2 - 1} \cos \theta \right. \\
 &\quad \left. \pm \sqrt{\frac{M^4}{(M^2 - 1)^2} \cos^2 \theta - \frac{M^2}{M^2 - 1}} \right\} \quad (13)
 \end{aligned}$$

$$G = 20 \log \left( \frac{\sin \theta}{\tan \phi} - \cos \theta \right) \quad (14)$$

なお、M > 1 (M [db] > 0) のときには、(13)式のθは、

```

10 REM R10-PROG2
20 PI=3.1416 : DTH=.002*PI
30 DEF FNA(TH)=-M^2/(M^2-1)*COS(TH)
40 DEF FNB(TH)=M^4/((M^2-1)^2)*(COS(TH))^2-M^2/(M^2-1)
50 DEF FNGA1(TH)=FNA(TH)+SQR(ABS(FNB(TH)))
60 DEF FNG1(TH)=20*LOG(FNGA1(TH))/LOG(10)
70 DEF FNGA2(TH)=FNA(TH)-SQR(ABS(FNB(TH)))
80 DEF FNG2(TH)=20*LOG(FNGA2(TH))/LOG(10)
90 DEF FNGA3(TH)=SIN(TH)/TAN(PHI)-COS(TH)
100 DEF FNG3(TH)=20*LOG(FNGA3(TH))/LOG(10)
110 DEF FNG4(TH)=20*LOG(-1/(2*COS(TH)))/LOG(10)
120 SCREEN 2,0 : CONSOLE ,,0,0
130 WINDOW (-4/3*PI,-40)-(0,20) : VIEW (40,0)-(639,399)
140 LINE (-4/3*PI,0)-(0,0) : LINE (0,-40)-(0,20)
150 FOR J=-40 TO 20 STEP 10 : LINE (-4/3*PI,J)-(0,J),,,&H1111 : NEXT J
160 FOR J=-4/3*PI TO 0 STEP 1/6*PI : LINE (J,-40)-(J,20),,,&H1111 : NEXT J
170 MDB=0.: FOR TH=-4/3*PI TO -1/2*PI*1.005 STEP DTH
180 LINE (TH,-FNG4(TH))-(TH+DTH,-FNG4(TH+DTH)) : NEXT TH
190 FOR I=1 TO 15 : READ MDB
200 DATA -.1,-.2,-.4,-.6,-.8,-1,-1.5,-2,-3,-4,-5,-6,-8,-10,-15
210 M=10^(.05*MDB)
220 FOR TH=-4/3*PI TO 0 STEP DTH
230 LINE (TH,-FNG1(TH))-(TH+DTH,-FNG1(TH+DTH))
240 NEXT TH : NEXT I
250 FOR I=1 TO 11 : READ MDB : DATA .1,.2,.4,.6,.8,1,1.5,2,3,5,10
260 M=10^(.05*MDB)
270 IF MDB<=1 THEN TH1=-4/3*PI
280 IF MDB=1.5 THEN TH1=-4/3*PI*.988
290 IF MDB=2 THEN TH1=-4/3*PI*.968
300 IF MDB=3 THEN TH1=-4/3*PI*.937
310 IF MDB=5 THEN TH1=-4/3*PI*.891
320 IF MDB=10 THEN TH1=-4/3*PI*.823
330 FOR TH=TH1 TO 0 STEP DTH
340 IF FNB(TH)<.01 THEN GOTO 400
350 IF FNGA1(TH)<.01 THEN GOTO 400
360 IF FNGA2(TH)<.01 THEN GOTO 400
370 LINE (TH,-FNG1(TH))-(TH+DTH,-FNG1(TH+DTH))
380 LINE (TH,-FNG2(TH))-(TH+DTH,-FNG2(TH+DTH))
390 NEXT TH
400 NEXT I
410 PHID=0 : LINE (-PI,-40)-(-PI,20)
420 FOR I=1 TO 17 : READ PHID : DATA -10,-20,-30,-40,-50,-60,-70,-80,-90,-100,-110,-120,-130,-140,-150,-160,-170
430 PHI=PHID/180*PI
440 FOR TH=-4/3*PI TO 0 STEP DTH
450 IF FNGA3(TH)<.01 THEN GOTO 480
460 IF FNG3(TH)<-25 THEN GOTO 480
470 LINE (TH,-FNG3(TH))-(TH+DTH,-FNG3(TH+DTH))
480 NEXT TH : NEXT I
490 FOR I=1 TO 8 : READ PHID : DATA -5,-3,-2,-1,1,2,3,5
500 PHI=PHID/180*PI
510 FOR TH=-4/3*PI TO 0 STEP DTH
520 IF FNGA3(TH)<.01 THEN GOTO 550
530 IF FNG3(TH)<0 THEN GOTO 550
540 LINE (TH,-FNG3(TH))-(TH+DTH,-FNG3(TH+DTH))
550 NEXT TH : NEXT I
560 END

```

図6 ニコルス線図を求めるためのプログラム

$-1.5\pi < \theta < -0.5\pi$ となる。また、 $M < 1$  ( $M$  [db] < 0) のときには、(13)式の $G$ は+符号のみとなる。

2.3.3 ニコルス線図

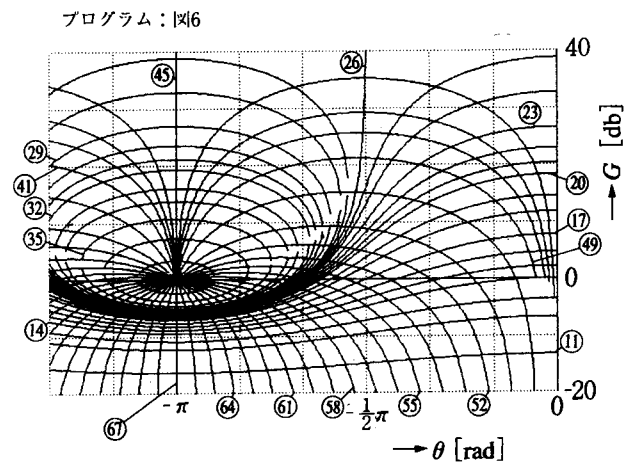
(13)(14)式より、 $M, \phi$ をパラメータとするニコルス線図 $G$  [db] -  $\theta$  [rad] 特性を求めるためのプログラムを図6に示す。なお、 $M=1$  ( $M$  [db]=0) のときには、(11)式において $M=1$ とすると、 $G$  [db] は次式のようになる。

$$G = 20 \log \left( -\frac{1}{2 \cos \theta} \right) \tag{15}$$

また、 $\phi=0$ のときには、(12)式において $\phi=0$ とすると、 $\theta=-\pi$ となる。

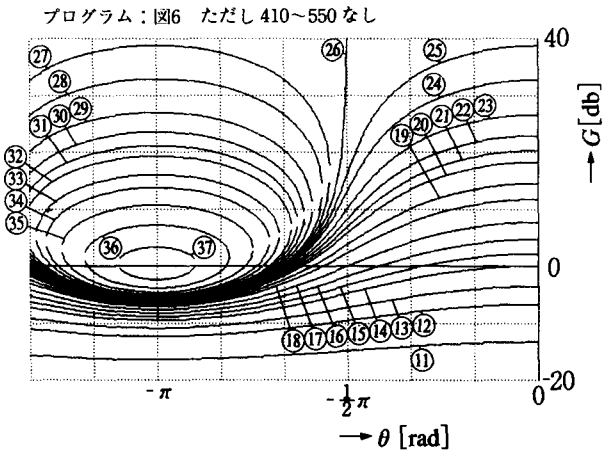
$M, \phi$ をパラメータとするニコルス線図の1例を図7に示す。 $M$ をパラメータとする $G-\theta$ 特性の1例を図8に、また $\phi$ をパラメータとする $G-\theta$ 特性の1例を図9に示す。図8および図9は、図6の一部修正により容易にえがける。

このニコルス線図上に閉ループ伝達関数 $G(s)$ のゲイン $G$  [db] - 位相 $\theta$  [rad] 線図をえがくことにより、閉ル



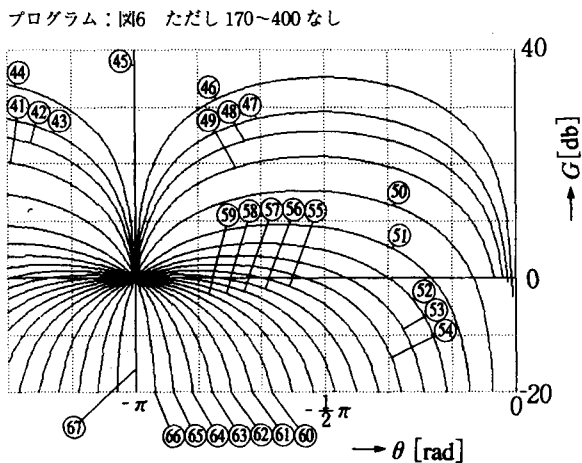
プログラム：図6  
 $M$  [db] : ①~③⑦ 図8参照  
 $\phi$  [deg] : ④①~⑥⑦ 図9参照

図7 ニコルス線図 (パラメータ： $M, \phi$ )



M [db] : ① -15 ② -10 ③ -8 ④ -6 ⑤ -5 ⑥ -4  
 ⑦ -3 ⑧ -2 ⑨ -1.5 ⑩ -1 ⑪ -0.8 ⑫ -0.6 ⑬ -0.4  
 ⑭ -0.2 ⑮ 0 ⑯ 0.1 ⑰ 0.2 ⑱ 0.4 ⑲ 0.6  
 ⑳ 0.8 ㉑ 1 ㉒ 1.5 ㉓ 2 ㉔ 3 ㉕ 5 ㉖ 10

図8 G-θ特性 (パラメータ: M)



φ [deg] : ① 5 ② 3 ③ 2 ④ 1 ⑤ 0 ⑥ -1 ⑦ -2 ⑧ -3  
 ⑨ -5 ⑩ -10 ⑪ -20 ⑫ -30 ⑬ -40 ⑭ -50 ⑮ -60 ⑯ -70  
 ⑰ -80 ⑱ -90 ⑲ -100 ⑳ -110 ㉑ -120 ㉒ -130 ㉓ -140  
 ㉔ -150 ㉕ -160 ㉖ -170 ㉗ -180 (㉘と同じ)

図9 G-θ特性 (パラメータ: φ)

ープ特性に関する各種情報を得ることができ、制御系としての設計・解析に活用することができる。

### 3 等M等φ線図による制御系の設計・解析

#### 3.1 制御系の構成

3次系の制御対象  $G_i(s)$  を

$$G_i(s) = \frac{\omega_n^2}{s(s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2)} \quad (16)$$

とし、この  $G_i(s)$  をコントローラ  $G_c(s)$  として

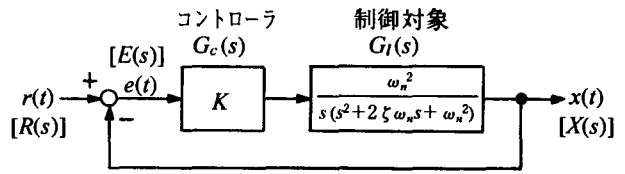


図10 3次P制御系

$$G_c(s) = K \quad (17)$$

により制御する、図10 [参考文献1)の図2.15参照] のような3次P (比例) 制御系について示す。

#### 3.2 $G(s)$ のナイキスト線図

図10より、この3次P制御系の開ループ伝達関数  $G(s)$  と開ループ周波数伝達関数  $G(j\omega)$  を求めると、次式のようにになる。

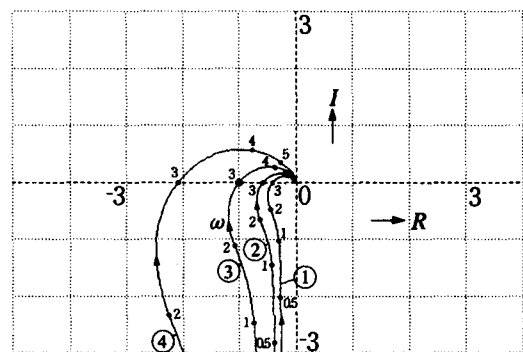
$$G(s) = \frac{K\omega_n^2}{s(s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2)} \quad (18)$$

$$G(j\omega) = - \frac{K\omega_n^2}{\omega \{ (2\zeta\omega_n\omega)^2 + (\omega_n^2 - \omega^2)^2 \}} \times \{ 2\zeta\omega_n\omega + j(\omega_n^2 - \omega^2) \} \quad (19)$$

この(19)式より、1例として、 $\zeta=0.4$ ,  $\omega_n=3$  のときの  $K$  をパラメータとする  $G(s)$  のナイキスト線図を図11 [参考文献1)の図2.41, 図2.43参照] に示す。

#### 3.3 等M等φ線図上の $G(s)$ のナイキスト線図

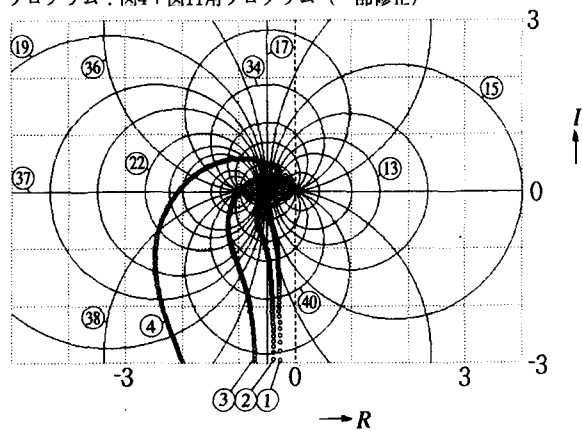
図5の等M等φ線図上に、図11の  $G(s)$  のナイキスト線図を重ね書きによりえがくと、図12のようになる。なお、この重ね書きにあたり、図5の等M等φ線図と図11の  $G(s)$  のナイキスト線図の座標スケールは同じにしておく必要



K: ① 1 ② 1.4 ③ 2.4 ④ 5

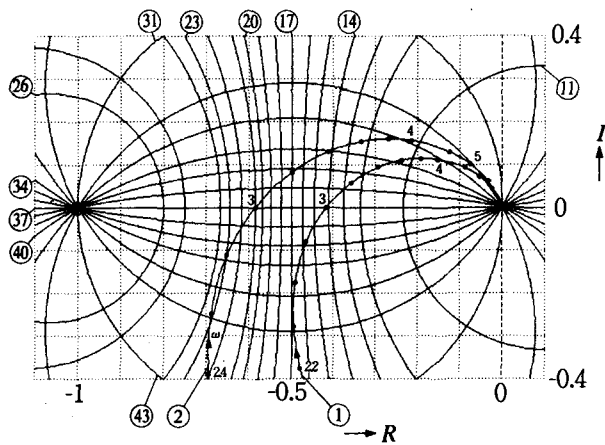
図11 3次P制御系の  $G(s)$  のナイキスト線図

プログラム：図4+図11用プログラム (一部修正)



K: ① 1 ② 1.4 ③ 2.4 ④ 5  
 M: ①~②⑥ 図2参照  
 φ [deg]: ③①~④③ 図3参照

図12 等M等φ線図上のG(s)のナイキスト線図

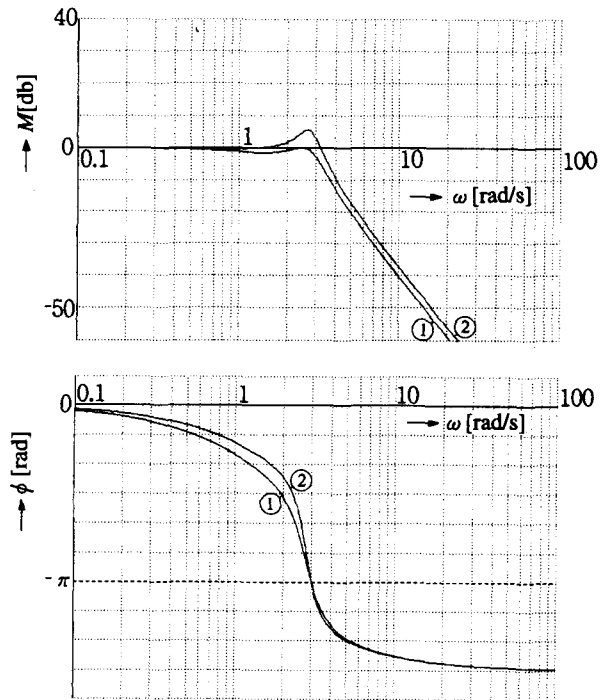


K: ① 1 ② 1.4  
 M: ①①~②⑥ 図2参照  
 φ [deg]: ③①~④③ 図3参照  
 $\omega$  [rad/s]=2.2~4 :  
 $\Delta\omega=0.2$

図13 図12の拡大図

がある。ここで、このG(s)のナイキスト線図を含む等M等φ線図を明確にするために、G(s)のナイキスト線図については、"line"でなく"circle"による○印でえがいてある。また、G(s)のナイキスト線図上のωの各点は省略してある。

この図12をもとに、必要な部分のみを拡大した拡大図を図13に示す。なお、この拡大にあたって、同じ座標スケールとして重ね書きする。また、拡大のためのプログラムについては、図4のプログラムと図11用プログラム



K: ① 1 ② 1.4

図14 3次P制御系のW(s)のボード線図

の一部修正で容易に対応できる。ここでは、安定な制御系を対象とするため、Kが①1 ②1.4の安定な場合についてのみ示す。

この図13より、各Kの場合について、G(s)のナイキスト線図上の任意のωの点と、等M等φ線図との交点から、Mとφが求められる。このωの各値に対し、 $20 \log M$  [db]による計算値とφをボード線図としてえがくと、W(s)としての閉ループ特性が得られる。

ここで、(1)(3)(6)(7)式より得られるW(s)の計算式から、W(jω)を求めてえがいた、KをパラメータとするW(s)のボード線図を図14 [参考文献1)の図2.20参照]に示す。図13より求められるW(s)のボード線図は、この図14とほぼ一致することが確認できる。

#### 4 ニコルス線図による制御系の設計・解析

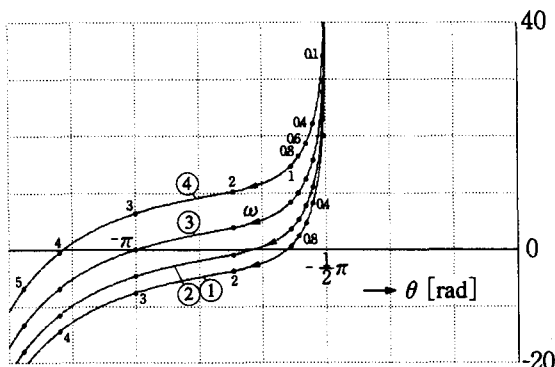
##### 4.1 G(s)のゲイン-位相線図

3項の等M等φ線図による場合と同様に、3.1項の図10による3次P制御系について示す。ニコルス線図の場合には、開ループ伝達関数G(s)のゲイン-位相線図を対応させることになる。ここで、この3次P制御系のG(s)の周波数伝達関数G(jω)のゲインG、位相θは(19)式より、次式のように求められる。

```

10 REM R10-PROG3
20 PI=3.1416 : WN=3 : ZE=.4 : K=1 : DW=.01
30 DEF FNG(W)=20*LOG(K*WN^2/(W*SQR((2*ZE*WN*W)^2+(WN^2-W^2)^2)))/LOG(10)
40 DEF FNTH(W)=ATN((WN^2-W^2)/(2*ZE*WN*W))-PI
50 SCREEN 2,0 : CONSOLE ,,0,0
60 WINDOW (-4/3*PI,-40)-(0,20)
70 VIEW (40,0)-(639,399)
80 LINE (-4/3*PI,0)-(0,0)
90 LINE (0,-40)-(0,20)
100 FOR J=-40 TO 20 STEP 10
110 LINE (-4/3*PI,J)-(0,J),,,&H1111 : NEXT J
120 FOR J=-4/3*PI TO 0 STEP 1/6*PI
130 LINE (J,-40)-(J,20),,,&H1111 : NEXT J
140 FOR W=.01 TO 10 STEP DW
150 LINE (FNTH(W),-FNG(W))-(FNTH(W+DW),-FNG(W+DW)) : NEXT W
160 *CIRCLE (FNTH(W),-FNG(W)),.015 : NEXT W
170 FOR I=1 TO 9 : READ W : DATA .1,.4,.6,.8,1,2,3,4,5
180 CIRCLE (FNTH(W),-FNG(W)),.015 : NEXT I
190 END
    
```

図15 3次P制御系のG(s)のゲイン一位相線図を求めるためのプログラム



プログラム：図15 ただし ② 20…K=1.4…  
 ③ 20…K=2.4… ④ 20…K=5…  
 K: ①1 ②1.4 ③2.4 ④5

図16 3次P制御系のG(s)のゲイン一位相線図

$$G = 20 \log |G(j\omega)| = 20 \log g$$

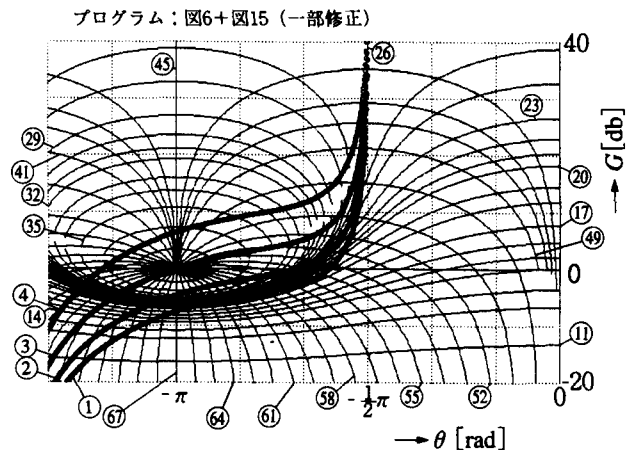
$$= 20 \log \frac{K\omega_n^2}{\omega \sqrt{(2\zeta\omega_n\omega)^2 + (\omega_n^2 - \omega^2)^2}} \quad [\text{db}] \quad (20)$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{\omega_n^2 - \omega^2}{2\zeta\omega_n\omega} - \pi \quad [\text{rad}] \quad (21)$$

この(20)(21)式より、KをパラメータとするG(s)のゲインG [db] 一位相θ [rad] 線図を求めるためのプログラムを図15に示す。1例として、ζ=0.4, ω<sub>n</sub>=3のときのKをパラメータとするG(s)のゲインG [db] 一位相θ [rad] 線図を図16に示す。

#### 4.2 ニコルス線図上のG(s)のゲイン一位相線図

図7のニコルス線図上に、図16のG(s)のゲイン一位相線図を重ね書きによりえがくと図17のようになる。なお、この重ね書きにあたり、図7のニコルス線図と図16のG(s)のゲイン一位相線図の座標スケールは同じにしておく必要がある。ここで、このG(s)のゲイン一位相線図を



プログラム：図6+図15 (一部修正)  
 K: ①1 ②1.4 ③2.4 ④5  
 M [db] : ①~③7 図8 参照  
 φ [deg] : ④1~⑥7 図9 参照

図17 ニコルス線図上のG(s)のゲイン一位相線図

含むニコルス線図を明確にするために、G(s)のゲイン一位相線図については、“line”でなく“circle”による○印でえがいてある。また、G(s)のゲイン一位相線図上のωの各点は省略してある。

この図17をもとに、必要な部分のみを拡大した拡大図を図18に示す。なお、この拡大にあたっては、同じ座標スケールとして重ね書きする。また、拡大のためのプログラムについては、図6と図15のプログラムの一部修正で容易に対応できる。ここでは、安定な制御系を対象とするため、Kが①1 ②1.4の安定な場合についてのみ示す。

この図18より、各Kの場合について、G(s)のゲイン一位相線図上の任意のωの点と、ニコルス線図との交点から、直接M [db]とφが求められる。このωの各値に対し、M [db]とφをボード線図としてえがくと、W(s)としての閉ループ特性が得られる。この図18より求められるW(s)のボード線図は、W(s)の計算式よりえがいた図14と

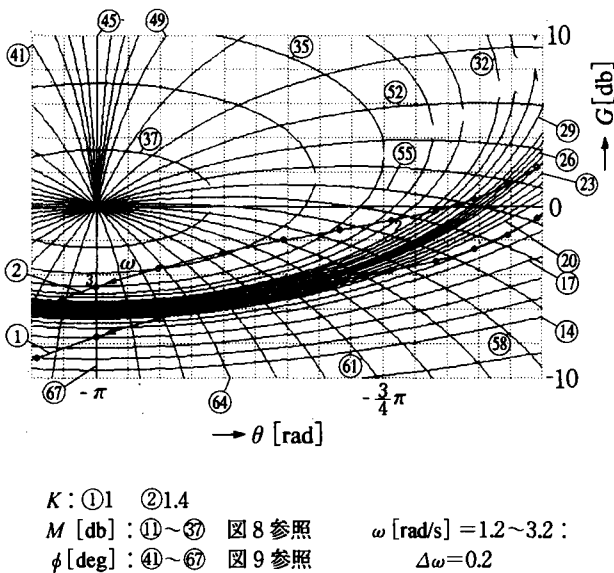


図18 図17の拡大図

ほぼ一致することが確認できる。

なお、ニコルス線図は、もともと制御系の開ループ伝達関数から閉ループ特性を知るために考えられた線図である。ところで、最近のパソコンの高性能化にもなつて、閉ループ特性も計算によっても求めやすくなったため、ニコルス線図より、単に開ループ特性から閉ループ特性を求めることには、あまり大きな意味がなくなつてきている。しかし、ニコルス線図による制御系の特性補償などの設計・解析面においては、まだまだ重要な役割を果たしている。

## 5 まとめ

3次P制御系について、参考文献1)の2項のボード線図、ナイキスト線図、根軌跡およびステップ応答による制御系の設計と解析にひきつづき、等 $M$ 等 $\phi$ 線図およびニコルス線図をパソコンの短いプログラムにより求める方法を示し、このような連続制御系の設計・解析に有効に活用し得ることを示した。制御系設計・解析用の市販ソフトの活用と並行して、このような短い自作のプログラム

も活用することにより、市販ソフトにはない任意のシミュレーションも行わせることもでき、制御系の設計・解析のための強力な手段となるとともに、制御系設計・解析の基本的理解にも大いに役立つ。

このレポートでは、制御系の開ループ伝達関数 $G(s)$ のナイキスト線図を含む等 $M$ 等 $\phi$ 線図、および $G(s)$ のゲイン-位相線図を含むニコルス線図を、パソコンにより任意に作成することが主体となった。今後は、このような等 $M$ 等 $\phi$ 線図またはニコルス線図を活用して、望ましい応答性をもつ制御系を得るためのコントローラ的设计・解析手法を確立するように検討をすすめていきたい。さらに、より複雑な制御対象や、より高度な制御機能をもつコントローラを含む制御系についても、活用できるように拡張していくことが望まれる。

## 参考文献

- 1) 栗本：“グラフィック制御工学入門” コロナ社 (1994)
- 2) 栗本：“高次制御系のステップ応答のシミュレーション” 奈良工業高等専門学校研究紀要 第29号 p45～50 (1994.3)
- 3) 栗本：“非線形制御系の位相面軌跡とステップ応答のシミュレーション” 奈良工業高等専門学校研究紀要 第30号 p63～68 (1995.3)
- 4) 栗本：“非線形制御系の位相面軌跡とステップ応答のシミュレーション (その2)” 奈良工業高等専門学校研究紀要 第31号 p35～40 (1996.3)
- 5) 栗本：“多変数制御系のレギュレータ特性のシミュレーション” 奈良工業高等専門学校研究紀要 第32号 p35～41 (1997.3)
- 6) 栗本：“デジタル制御系のボード線図と根軌跡のシミュレーション” 奈良工業高等専門学校研究紀要 第33号 p45～52 (1998.3)
- 7) 藤井(編)：“制御工学I (岩波講座 基礎工学20)” 岩波書店 (1967)
- 8) 伊沢：“自動制御入門 (改訂増補版)” オーム社 (1958)

# フーリエ級数によるひずみ波交流の3次元シミュレーション

栗本 尚

## Three Dimensional Computer Simulation of Distorted Wave by Fourier Series

Takashi KURIMOTO

As the distorted wave is the periodic wave and is represented by Fourier series, computer simulation is performed easily. When the results of computer simulation are used in learning the distorted wave, the effect of education is increased. In this paper the method to draw some distorted waves and these three dimensional Fourier spectra briefly by N88-BASIC is described. The author reported about the full rectified wave, the saw-tooth wave and the trapezoid wave in the reference 1). Continued from this reference 1), the half rectified wave and the pulse width modulation wave are taken up.

### 1 まえがき

参考文献1)において、全波整流波、鋸歯状波、台形波などのひずみ波交流について、フーリエ級数による波形シミュレーション、フーリエスペクトル、波形合成過程および構成波形などを、パソコンによる必要最小限の非常に短いプログラムにより求める方法について示した。ところで、これらのひずみ波交流は、そのフーリエ係数 $a_n$ または $b_n$ のいずれかが0になる場合で、フーリエスペクトルは2次元表示でもよい。しかし、半波整流波やパルス幅変調波のように、フーリエ係数 $a_0, a_n, b_n$ のいずれもが0でない周期波もある。<sup>2)</sup>このような周期波のフーリエスペクトルは、大きさの他に方向ももつベクトル量となるため、3次元表示するとよりわかりやすくなる。

ここでは、参考文献1)をベースとして、まず最初に、3次元表示の基本的な考え方を示し、つづいて、半波整流波、パルス幅変調波に関し、フーリエ級数による波形シミュレーション、3次元表示によるフーリエスペクトルなどを、パソコンのBASIC言語による非常に短いプログラムにより求める方法について示す。なお、この考え方により、他の任意の周期波についても、3次元フーリエスペクトルを含むシミュレーションを行う方法に容易に

拡張していくことができる。

### 2 3次元表示の基本的な考え方<sup>3)</sup>

#### 2.1 2次元表示と3次元表示

図1に示すように、 $x$ - $y$ 軸による2次元表示において、 $z$ 軸を図示のようにとる。ここで、まず $y$ 軸のまわりに $\theta_y$ 回転させ、次に $x$ 軸のまわりに $\theta_x$ 回転させるとする。適当な $\theta_y, \theta_x$ の回転を与えた場合には、図示のような $x$ - $y$ - $z$ 軸による3次元表示が得られる。

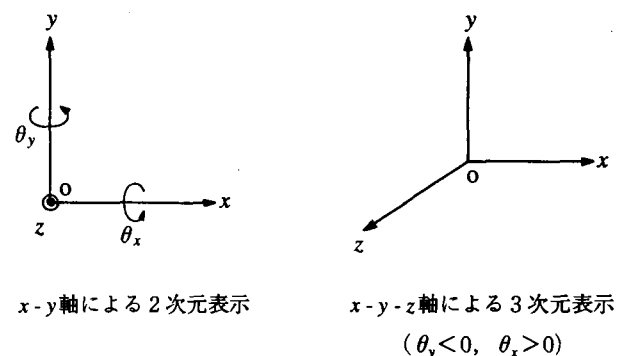


図1 2次元表示と3次元表示

2.2 3次元表示用変換式

2.2.1  $\theta_y$ 回転時の $x, z$ 変換式

y軸のまわりに $\theta_y$ 回転させたときのx軸およびz軸成分は、図2のように示される。x軸上のスタートポイント $x_s$ 、エンドポイント $x_e$ 、およびz軸上のスタートポイント $z_s$ 、エンドポイント $z_e$ に対し、水平軸 ( $\theta_x = \theta_y = 0$ のときのx軸) に関する成分を $A_{xs}, A_{xe}, B_{zs}, B_{ze}$ とし、仮垂直軸 ( $\theta_x = \theta_y = 0$ のときのz軸) に関する成分を $C_{xs}, C_{xe}, D_{zs}, D_{ze}$ とする。このときには、水平軸 (x軸) に関して次式が得られる。

$$\begin{cases} A_{xs} = x_s \cos \theta_y \\ A_{xe} = x_e \cos \theta_y \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} B_{zs} = z_s \sin \theta_y \\ B_{ze} = z_e \sin \theta_y \end{cases} \quad (2)$$

したがって、y軸のまわりに $\theta_y$ 回転させたときには、x軸 ( $\theta_y$ ) 上の $x_s, x_e$ とz軸 ( $\theta_y$ ) 上の $z_s, z_e$ の水平軸 (x軸) に関する変換成分は、次式の $x_1, x_2$ で与えられる。この $x_1, x_2$ が $\theta_y$ 回転後の水平軸 (x軸) 上の新しい $x_s, x_e$ となる。

$$\begin{aligned} x_1 &= A_{xs} + B_{zs} \\ &= x_s \cos \theta_y + z_s \sin \theta_y \rightarrow x_s \end{aligned} \quad (3)$$

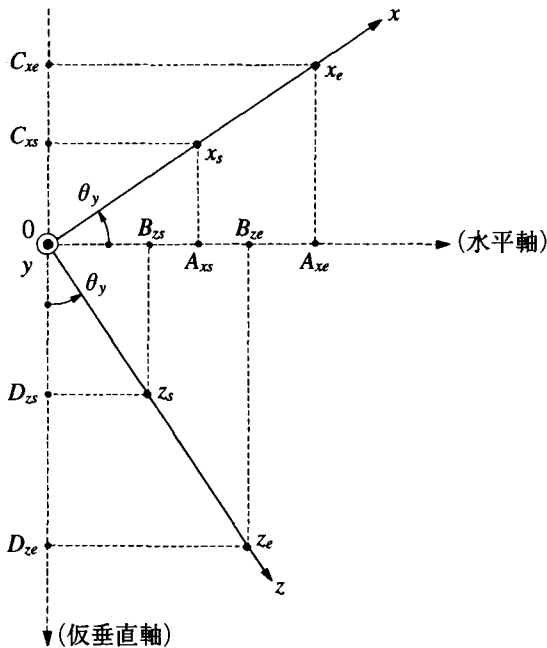


図2  $\theta_y$ 回転時のx軸およびz軸成分

$$\begin{aligned} x_2 &= A_{xe} + B_{ze} \\ &= x_e \cos \theta_y + z_e \sin \theta_y \rightarrow x_e \end{aligned} \quad (4)$$

一方、仮垂直軸 (z軸) に関して次式が得られる。

$$\begin{cases} C_{xs} = x_s \sin \theta_y \\ C_{xe} = x_e \sin \theta_y \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} D_{zs} = z_s \cos \theta_y \\ D_{ze} = z_e \cos \theta_y \end{cases} \quad (6)$$

したがって、y軸のまわりに $\theta_y$ 回転させたときには、z軸 ( $\theta_y$ ) 上の $z_s, z_e$ とx軸 ( $\theta_y$ ) 上の $x_s, x_e$ の仮垂直軸 (z軸) に関する変換成分は、次式の $z_1, z_2$ で与えられる。この $z_1, z_2$ が $\theta_y$ 回転後の仮垂直軸 (z軸) 上の新しい $z_s, z_e$ となる。

$$\begin{aligned} z_1 &= D_{zs} - C_{xs} \\ &= z_s \cos \theta_y - x_s \sin \theta_y \rightarrow z_s \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} z_2 &= D_{ze} - C_{xe} \\ &= z_e \cos \theta_y - x_e \sin \theta_y \rightarrow z_e \end{aligned} \quad (8)$$

なお、y軸のまわりに $\theta_y$ 回転させたときには、y軸上の

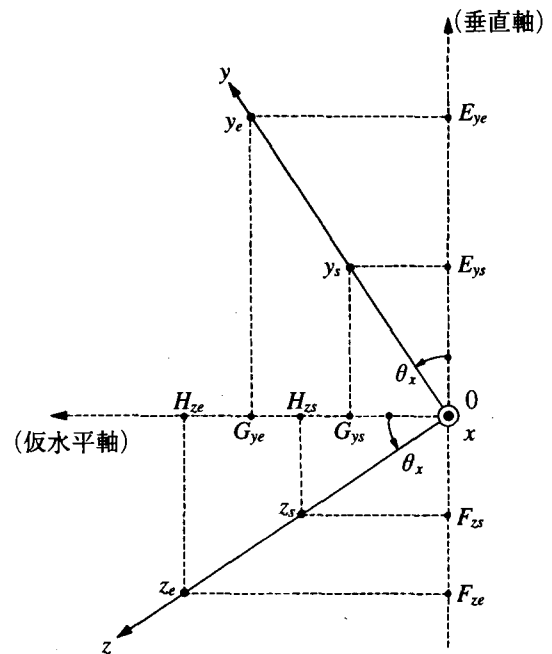


図3  $\theta_x$ 回転時のy軸およびz軸成分

スタートポイント $y_s$ 、エンドポイント $y_e$ は不変である。

2.2.2  $\theta_x$ 回転時の $y, z$ 変換式

$y$ 軸のまわりに $\theta_y$ 回転させた後、 $x$ 軸のまわりに $\theta_x$ 回転させたときの $y$ 軸および $z$ 軸成分は、図3のように示される。 $y$ 軸上のスタートポイント $y_s$ 、エンドポイント $y_e$ 、および $z$ 軸の新しい $z_s$  [(7)式]、新しい $z_e$  [(8)式] に対し、垂直軸 ( $\theta_x = \theta_y = 0$  のときの $y$ 軸) に関する成分を $E_{ys}, E_{ye}, F_{zs}, F_{ze}$  とし、仮水平軸 ( $\theta_x = \theta_y = 0$  のときの $z$ 軸) に関する成分を $G_{ys}, G_{ye}, H_{zs}, H_{ze}$  とする。このときには、垂直軸 ( $y$ 軸) に関して次式が得られる。

$$\begin{cases} E_{ys} = y_s \cos \theta_x \\ E_{ye} = y_e \cos \theta_x \end{cases} \quad (9)$$

$$\begin{cases} F_{zs} = z_s \sin \theta_x \\ F_{ze} = z_e \sin \theta_x \end{cases} \quad (10)$$

したがって、 $x$ 軸のまわりに $\theta_x$ 回転させたときには、 $y$ 軸 ( $\theta_x$ ) 上の $y_s, y_e$ と $z$ 軸 ( $\theta_x$ ) 上の $z_s, z_e$ の垂直軸 ( $y$ 軸) に関する変換成分は、次式の $y_1, y_2$ で与えられる。この $y_1, y_2$ が、 $\theta_x$ 回転後の垂直軸 ( $y$ 軸) 上の新しい $y_s, y_e$ となる。

$$\begin{aligned} y_1 &= E_{ys} - F_{zs} \\ &= y_s \cos \theta_x - z_s \sin \theta_x \quad \rightarrow y_s \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} y_2 &= E_{ye} - F_{ze} \\ &= y_e \cos \theta_x - z_e \sin \theta_x \quad \rightarrow y_e \end{aligned} \quad (12)$$

一方、仮水平軸 ( $z$ 軸) に関して次式が得られる。

$$\begin{cases} G_{ys} = y_s \sin \theta_x \\ G_{ye} = y_e \sin \theta_x \end{cases} \quad (13)$$

$$\begin{cases} H_{zs} = z_s \cos \theta_x \\ H_{ze} = z_e \cos \theta_x \end{cases} \quad (14)$$

したがって、 $x$ 軸のまわりに $\theta_x$ 回転させたときには、 $z$ 軸 ( $\theta_x$ ) 上の $z_s, z_e$ と $y$ 軸 ( $\theta_x$ ) 上の $y_s, y_e$ の仮水平軸 ( $z$ 軸) に関する変換成分は、次式の $z_3, z_4$ で与えられる。この $z_3, z_4$ が、 $\theta_x$ 回転後の仮水平軸 ( $z$ 軸) 上の新しい $z_s, z_e$ となる。

$$\begin{aligned} z_3 &= H_{zs} + G_{ys} \\ &= z_s \cos \theta_x + y_s \sin \theta_x \quad \rightarrow z_s \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} z_4 &= H_{ze} + G_{ye} \\ &= z_e \cos \theta_x + y_e \sin \theta_x \quad \rightarrow z_e \end{aligned} \quad (16)$$

なお、 $x$ 軸のまわりに $\theta_x$ 回転させたときには、 $x$ 軸上の $x_s, x_e$ は不変である。

2.3 3次元表示

3次元表示のために、 $x-y-z$ 軸の各成分を、水平軸 ( $x$ 軸) と垂直軸 ( $y$ 軸) に関する各成分に変換すると、(3)(4)式による $x_s, x_e$ 、および(11)(12)式による $y_s, y_e$ が得られる。これらの各成分を用いて図示することにより、3次元表示が得られる。なお、 $z_s, z_e$ については、 $\theta_x$ 回転のときには(7)(8)式による $z_s, z_e$ 、つづいて $\theta_x$ 回転のときには(15)(16)式による $z_s, z_e$ を用いて変換していくことになる。 $\theta_y, \theta_x$ を任意に設定することにより、任意の3次元表示とすることができる。

3 フーリエ級数による周期波のシミュレーション

3.1 半波整流波

3.1.1 半波整流波のフーリエ級数展開

図4に示すような半波整流波 $f(t)$ は、次式で示される。

$$f(t) = \begin{cases} A \sin \omega t & (0 \leq t \leq \frac{1}{2}T) \\ 0 & (\frac{1}{2}T \leq t \leq T) \end{cases} \quad (17)$$

そのフーリエ係数は、次式のように求められる。

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_0^{\frac{1}{2}T} A \sin \omega t \, dt = \frac{A}{\pi} \quad (18)$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^{\frac{1}{2}T} A \sin \omega t \sin n\omega t \, dt$$

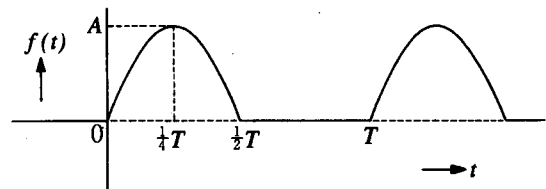


図4 半波整流波

$$= \begin{cases} \frac{1}{2}A & (n=1) \\ 0 & (n \neq 1) \end{cases} \quad (19)$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} A \sin \omega t \cos n\omega t dt$$

$$= \frac{A}{2\pi} \left\{ -\frac{1}{n+1} \cos(n+1)\pi + \frac{1}{n-1} \cos(n-1)\pi + \frac{1}{n+1} - \frac{1}{n-1} \right\}$$

$$= \begin{cases} 0 & (n: \text{奇数}) \\ -\frac{2A}{\pi} \frac{1}{(n-1)(n+1)} & (n: \text{偶数}) \end{cases} \quad (20)$$

したがって、半波整流波  $f(t)$  として次式が得られる。

$$f(t) = \frac{A}{\pi} + \frac{1}{2}A \sin \omega t$$

$$- \frac{2A}{\pi} \sum_{n=2(\text{偶数})}^{\infty} \frac{1}{(n-1)(n+1)} \cos n\omega t$$

$$= \frac{1}{2}A \sin \omega t + \frac{2A}{\pi} \left( \frac{1}{2} - \frac{1}{1 \cdot 3} \cos 2\omega t - \frac{1}{3 \cdot 5} \cos 4\omega t - \frac{1}{5 \cdot 7} \cos 6\omega t - \dots \right) \quad (21)$$

また、半波整流波  $f(t)$  のフーリエスペクトル  $F$  は、(21) 式より次式のようにになる。

$$F = \frac{A}{\pi} [n=0: \text{直流成分}] + \frac{1}{2}A [n=1: \text{sin基本波成分}]$$

$$- \frac{2A}{\pi} \frac{1}{(n-1)(n+1)} [n=2,4,6,\dots: \text{偶数, cos成分}] \quad (22)$$

このフーリエスペクトルには、直流成分、sin成分、cos成分を含んでいるためベクトルとなる。したがって、大きさの他に方向を含めた3次元表示をするとわかりやすくなる。

### 3.1.2 半波整流波のシミュレーション

#### (1) 半波整流波の発生

(21)式より、 $n=0,1,2 \sim 24$  (偶数) の14項数として、半波整流波  $f(t)$  をパソコンによりえがかせた1例を図5に示す。なお、このような半波整流波のシミュレーションを行わせるためのプログラムに関しては、参考文献1)の図6、または次の3.2.2(1)項の図9に示すプログラムを一部修正することにより容易に作成できるので、ここでは示していない。

#### (2) 半波整流波のフーリエスペクトル

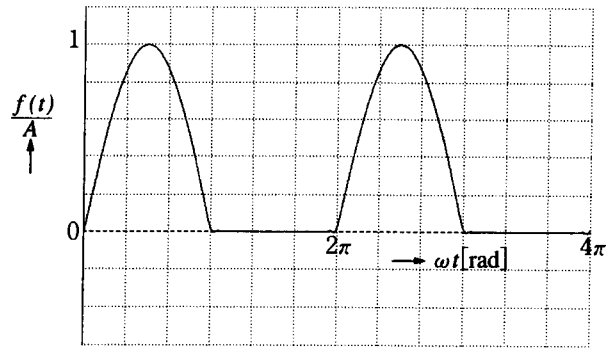


図5 半波整流波のシミュレーション

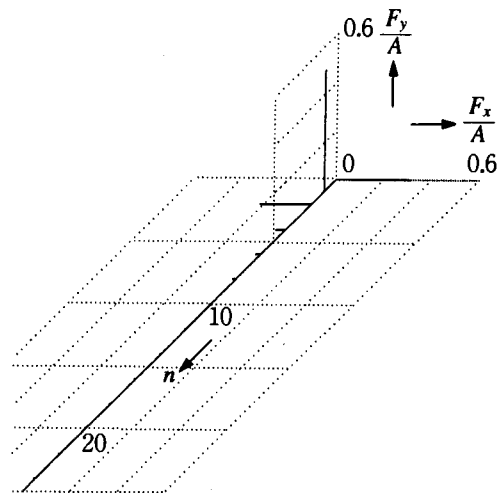


図6 半波整流波の3次元表示フーリエスペクトル

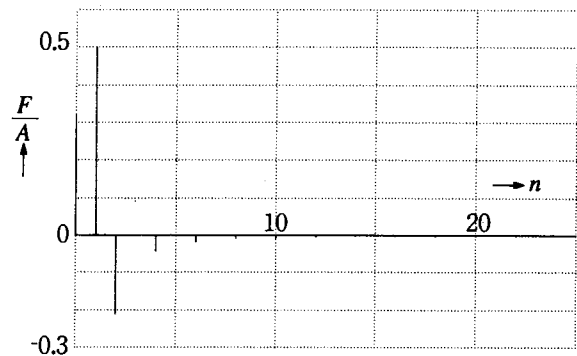


図7 半波整流波の2次元表示フーリエスペクトル

(22)式より、半波整流波の3次元表示フーリエスペクトルをパソコンによりえがかせた1例を図6に示す。また、半波整流波の大きさのみの2次元表示フーリエスペクトルをえがかせた1例を図7に示す。図6と図7より、大きさについてはほぼ一致していることがわかる。なお、このような3次元表示フーリエスペクトルをえがくためのプログラムに関しては、次の3.2.2(2)項の図11に示すプロ

ラムを一部修正することにより作成できるので、ここでは示していない。

これらのフーリエスペクトルより、 $n$ の増加とともに $F$ は急速に減少していくことがわかる。したがって、 $n$ として14項数もとれば、かなり正確な半波整流波のシミュレーションが可能となる。

### 3.2 パルス幅変調波

#### 3.2.1 パルス幅変調波のフーリエ級数展開

図8に示すようなパルス幅変調波 $f(t)$ は次式で示される。ここで、 $\tau$ は可変である。

$$f(t) = \begin{cases} A & (0 \leq t \leq \tau) \\ 0 & (\tau \leq t \leq T) \end{cases} \quad (23)$$

そのフーリエ係数は、次式のように求められる。

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_0^\tau A dt = \frac{A\omega\tau}{2\pi} \quad (24)$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^\tau A \sin n\omega t dt = \frac{A}{\pi n} (1 - \cos n\omega\tau) \quad (25)$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^\tau A \cos n\omega t dt = \frac{A}{\pi n} \sin n\omega\tau \quad (26)$$

したがって、パルス幅変調波 $f(t)$ として、次式が得られる。

$$f(t) = \frac{A\omega\tau}{2\pi} + \frac{A}{\pi} \left\{ \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} (1 - \cos n\omega\tau) \sin n\omega t + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \sin n\omega\tau \cos n\omega t \right\}$$

$$= \frac{A\omega\tau}{2\pi} + \frac{A}{\pi} \left\{ (1 - \cos \omega\tau) \sin \omega t + \frac{1}{2} (1 - \cos 2\omega\tau) \sin 2\omega t + \frac{1}{3} (1 - \cos 3\omega\tau) \sin 3\omega t + \dots \right\}$$

$$+ \frac{A}{\pi} \left\{ \sin \omega\tau \cos \omega t + \frac{1}{2} \sin 2\omega\tau \cos 2\omega t + \dots \right\}$$

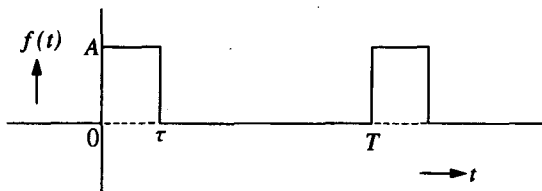


図8 パルス幅変調波 ( $\tau$ :可変)

$$\left. \frac{1}{3} \sin 3\omega\tau \cos 3\omega t + \dots \right\} \quad (27)$$

この $f(t)$ をさらにまとめると次式が得られる。

$$f(t) = \frac{A\omega\tau}{2\pi} + \frac{\sqrt{2}A}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \sqrt{1 - \cos n\omega\tau} \times \cos(n\omega t - \theta) \quad (28)$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{1 - \cos n\omega\tau}{\sin n\omega\tau} \quad (29)$$

また、パルス幅変調波 $f(t)$ のフーリエスペクトル $F$ は、(27)式より次式のようにになる。

$$F = \frac{A\omega\tau}{2\pi} [n=0: \text{直流成分}] + \frac{A}{\pi n} (1 - \cos n\omega\tau) [n=1, 2, 3, \dots: \text{sin成分}] + \frac{A}{\pi n} \sin n\omega\tau [n=1, 2, 3, \dots: \text{cos成分}] \quad (30)$$

一方、(28)(29)式より、このフーリエスペクトル $F$ は、次式のように表すこともできる。

$$F = \frac{A\omega\tau}{2\pi} [n=0: \text{直流成分}] + |F| \angle \theta [n=1, 2, 3, \dots: \text{sin成分} + \text{cos成分}] \quad (31)$$

$$|F| = \frac{\sqrt{2}A}{\pi n} \sqrt{1 - \cos n\omega\tau} \quad (32)$$

ここで、 $\theta$ は(29)式による。

このフーリエスペクトルも、直流成分、sin成分、cos成分を含んでいるためベクトルとなる。したがって、3次元表示フーリエスペクトルとして示すとわかりやすい。なお、2次元表示の場合には、(31)(32)(29)式より、 $n$ に対する大きさ $|F|$ と方向 $\theta$ の特性として表す必要がある。

#### 3.2.2 パルス幅変調波のシミュレーション

##### (1) パルス幅変調波の発生

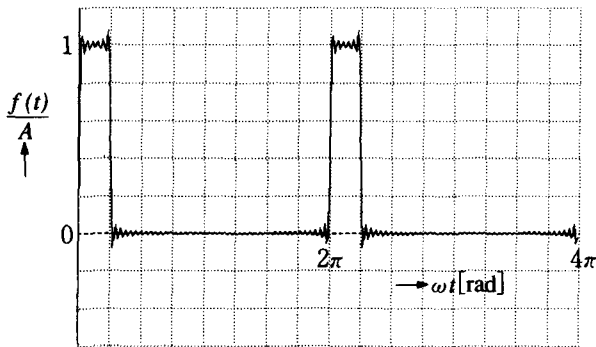
(27)式より、パルス幅変調波 $f(t)$ を求めるためのプログラムを図9に示す。このプログラムは、パソコンPC-9800シリーズのN88-BASICによっている。プログラムをできるかぎり短くするために、グラフの座標軸、目盛り線、計算特性のみをパソコンによりえがかせ、変数名、目盛り数字、パラメータ表示、タイトルなどについては、手書き、テンプレートまたは貼りつけによっている。なお、BASICもその種類により多少の差があるため、このN88-BASICとちがう場合には、適宜修正する必要がある。

パルス幅 $\omega\tau$  [rad] をパラメータとして、 $n=0, 1 \sim 50$ の51項数としたときの各パルス幅変調波 $f(t)$ を図10 (a) (b)に示す。

```

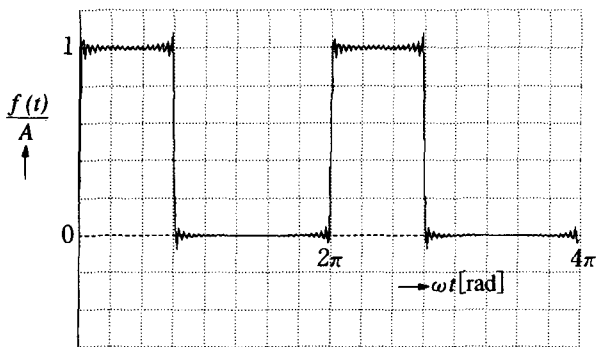
10 REM R11-PROG1
20 PI=3.1416 : WTE=4*PI : DWT=WTE/300 : A=1 : WTAU=PI/4
30 SCREEN 2,0 : CONSOLE ,,0,0
40 WINDOW (0,-1.2)-(WTE,.6)
50 VIEW (40,0)-(639,399)
60 LINE (0,0)-(WTE,0),,,&HF0F0
70 LINE (0,-1.2)-(0,.6)
80 FOR J=-1.2 TO .6 STEP .2
90 LINE (0,J)-(WTE,J),,,&H1111 : NEXT J
100 FOR J=0 TO WTE*1.01 STEP WTE/16
110 LINE (J,-1.2)-(J,.6),,,&H1111 : NEXT J
120 FOR WT=DWT TO WTE STEP DWT : F=A*WTAU/(2*PI)
130 FOR N=1 TO 50 STEP 1
140 F=F+A/(PI*N)*((1-COS(N*WTAU))*SIN(N*WT)+SIN(N*WTAU)*COS(N*WT))
150 NEXT N
160 LINE (WT-DWT,-PF)-(WT,-F) : PF=F : NEXT WT
170 END
    
```

図9 パルス幅変調波を求め  
るためのプログラム



プログラム：図9

(a)  $\omega\tau = \frac{1}{4}\pi$



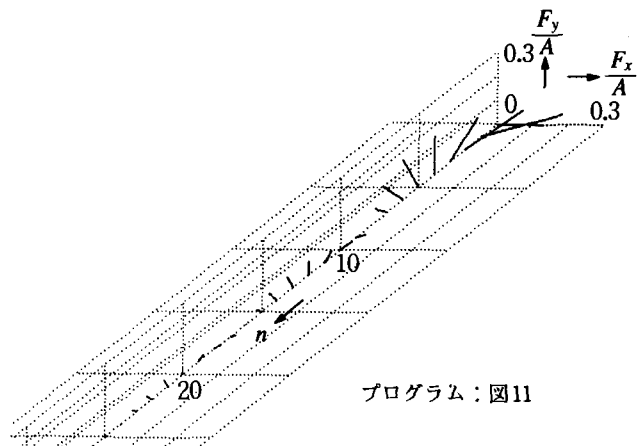
プログラム：図9 ただし  $20 \dots WTAU = \pi * 3/4$

(b)  $\omega\tau = \frac{3}{4}\pi$

図10 パルス幅変調波のシミュレーション  
(パラメータ： $\omega\tau$  [rad])

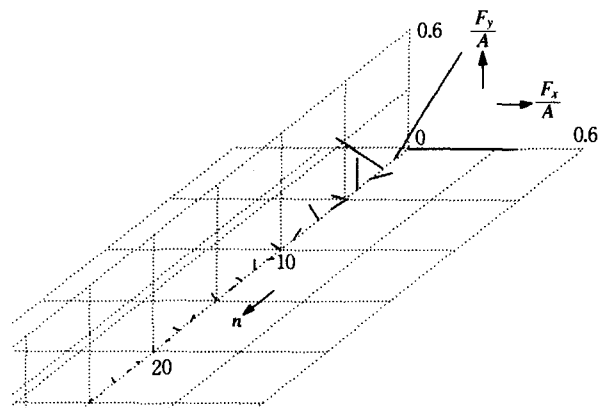
(2) パルス幅変調波のフーリエスペクトル

(30)式より、 $\omega\tau = \frac{1}{4}\pi$  [rad] のときのパルス幅変調波の3次元表示フーリエスペクトルを求めるためのプログラムを図11に示す。パルス幅 $\omega\tau$  [rad] をパラメータとする3次元表示フーリエスペクトルを図12(a)(b)に示す。また、



プログラム：図11

(a)  $\omega\tau = \frac{1}{4}\pi$



(b)  $\omega\tau = \frac{3}{4}\pi$

図12 パルス幅変調波の3次元表示フーリエ  
スペクトル (パラメータ： $\omega\tau$  [rad])

図12(a)の拡大図を図13に示す。

ここで、図11について、そのプログラム作成の概要を

```

10 REM R11-PROG2
20 NE=50 : PI=3.1416 : RAD=PI/180 : A=1 : WTAU=PI/4
30 SCREEN 2,0 : CONSOLE ,,0,0
40 WINDOW (-1.35,-.3)-(.3,1.35) : VIEW (40,0)-(639,399)
50 FOR I=1 TO 3 : READ XS,YS,ZS,XE,YE,ZE : GOSUB *ROTA
60 LINE (XS,-YS)-(XE,-YE),,,&H1111 : NEXT I
70 FOR J=0 TO NE STEP 5
80 XS=-.3 : XE=.3 : YS=0 : YE=0 : ZS=J : ZE=J : GOSUB *ROTA
90 LINE (XS,-YS)-(XE,-YE),,,&H1111 : NEXT J
100 FOR J=0 TO NE STEP 5
110 XS=0 : XE=0 : YS=0 : YE=.3 : ZS=J : ZE=J : GOSUB *ROTA
120 LINE (XS,-YS)-(XE,-YE),,,&H1111 : NEXT J
130 FOR J=-.3 TO .3 STEP .1
140 XS=J : XE=J : YS=0 : YE=0 : ZS=0 : ZE=NE : GOSUB *ROTA
150 LINE (XS,-YS)-(XE,-YE),,,&H1111 : NEXT J
160 FOR J=0 TO .3 STEP .1
170 XS=0 : XE=0 : YS=J : YE=J : ZS=0 : ZE=NE : GOSUB *ROTA
180 LINE (XS,-YS)-(XE,-YE),,,&H1111 : NEXT J
190 XS=0 : XE=A*WTAU/(2*PI) : YS=0 : YE=0 : ZS=0 : ZE=0 : GOSUB *ROTA
200 LINE (XS,-YS)-(XE,-YE)
210 FOR N=1 TO NE STEP 1
220 FX=A/(PI*N)*SIN(N*WTAU) : FY=A/(PI*N)*(1-COS(N*WTAU))
230 XS=0 : XE=FX : YS=0 : YE=FY : ZS=N : ZE=N : GOSUB *ROTA
240 LINE (XS,-YS)-(XE,-YE) : NEXT N
250 END
260 *ROTA
270 TY=-2.5*RAD
280 X1=XS*COS(TY)+ZS*SIN(TY) : X2=XE*COS(TY)+ZE*SIN(TY)
290 Z1=ZS*COS(TY)-XS*SIN(TY) : Z2=ZE*COS(TY)-XE*SIN(TY)
300 XS=X1 : XE=X2 : ZS=Z1 : ZE=Z2
310 TX=3*RAD
320 Y1=YS*COS(TX)-ZS*SIN(TX) : Y2=YE*COS(TX)-ZE*SIN(TX)
330 Z3=ZS*COS(TX)+YS*SIN(TX) : Z4=ZE*COS(TX)+YE*SIN(TX)
340 YS=Y1 : YE=Y2 : ZS=Z3 : ZE=Z4
350 RETURN
360 DATA 0,0,0,.3,0,0 : DATA 0,0,0,0,.3,0 : DATA 0,0,0,0,0,50
    
```

図11 パルス幅変調波の3次元表示フーリエスペクトルを求めるためのプログラム

プログラム：図11 ただし  
40 WINDOW (-.6,-.3)  
- (.3,6) :...

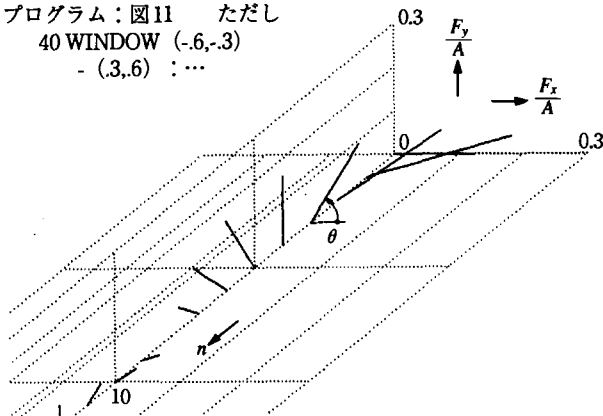


図13 図12(a)の拡大図

示す。

- ①  $\theta_y$ 回転時の $x, z$ 変換および $\theta_x$ 回転時の $y, z$ 変換のためのプログラムは、サブルーチンプログラム\*ROTA(260~350)として用いる。

- ②  $x, y, z$ 軸を、50~60,360と\*ROTAにより、点線で引く。
- ③  $z$ 軸に関する目盛り線を、 $x$ 軸方向については70~90と\*ROTAにより、 $y$ 軸方向については100~120と\*ROTAにより、点線で引く。
- ④  $x$ 軸に関する目盛り線を130~150と\*ROTAにより、 $y$ 軸に関する目盛り線を160~180と\*ROTAにより、点線で引く。
- ⑤  $n=0$ のときの $F$ を190~200と\*ROTAにより、 $n=1\sim 50$ のときの $F$ を210~240と\*ROTAにより、実線で引く。

なお、1例として、パルス幅 $\omega\tau = \frac{1}{4}\pi$  [rad] のときの大きさ $|F|$ と方向 $\theta$ の2次元表示フーリエスペクトルを図14に示す。図12(a)と図14より、フーリエスペクトルの大きさと方向について、ほぼ一致していることがわかる。

これらのフーリエスペクトルより、 $\omega\tau$ の値により多少の差はあるが、参考文献1)の3.2項の鋸歯状波の場合と同じように、 $n$ をかなり大きくしても、フーリエスペクトルの $F$ は徐々にしか減少しないことから、パルス幅変調波の正確なシミュレーションの難しいことがわかる。また、

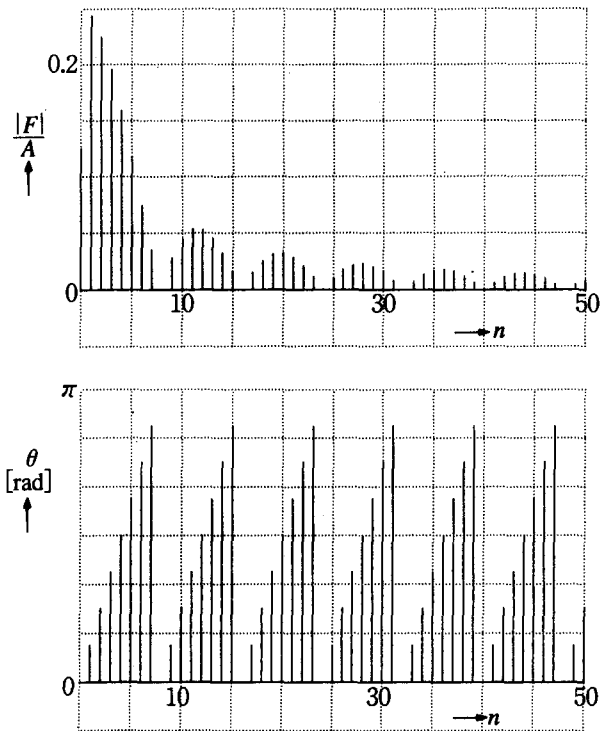


図14 パルス幅変調波の  
2次元表示フーリエスペクトル

パルス幅変調波の場合もギブス現象があらわれている。

#### 4 まとめ

参考文献1)にひきつづき、ひずみ波交流の1例としての半波整流波、パルス幅変調波について、パソコンにより、それらの波形発生、フーリエスペクトルなどを求める方法を示した。特にこれらのひずみ波交流は、フーリエ係数 $a_0, a_n, b_n$ のいずれもが0でない周期波であり、そのフーリエスペクトルは大きさと方向をもつベクトル量となるため、3次元表示させた。ところで、3次元表示のプログラム作成はそんなに容易ではないが、その基本的考え方を一応理解した上で、プログラムの作成法を十分に把握すれば、このプログラムをベースとして、応用展開をはかることは十分可能である。

このような3次元表示フーリエスペクトルにより、ひずみ波交流などの周期波を、単に理論計算だけでなく、より深く理解させるのに役立たせ得ることがわかる。このように、市販ソフトを用いなくても、周期波の波形や特性を、パソコンの簡潔なプログラムにより、比較的手軽にかつ任意に、可視化やシミュレーションできると非常に有効であり、教育効果も高い。

筆者は、かねてから自動制御系の設計・解析のために、各種システム特性や要素特性を、パソコンの簡潔なプログラムにより、任意に可視化したり、シミュレーションすることにとりこんできている。<sup>4)~6)</sup> さらに、このような考え方を、電気回路の共振回路の分野<sup>7)</sup>やフーリエ級数によるひずみ波交流の分野<sup>1)</sup>にも適用し、理論と実験を強力にバックアップして、それらの理解度を高めるのに非常に有用であることを示してきた。ここでは、このような考え方をひずみ波交流の分野にひきつづき適用してまとめた。

#### 参考文献

- 1) 栗本：“フーリエ級数によるひずみ波交流のシミュレーション” 奈良工業高等専門学校研究紀要 第33号 p53~58 (1998.3)
- 2) 平山：“電気回路論 (改訂版)” 電気学会 (1970)
- 3) 戸川・下関：“グラフィック振動論” サイエンス社 (1984)
- 4) 栗本：“グラフィック制御工学入門” コロナ社 (1994)
- 5) 栗本：“多変数制御系のレギュレータ特性のシミュレーション” 奈良工業高等専門学校研究紀要 第32号 p35~41 (1997.3)
- 6) 栗本：“デジタル制御系のボード線図と根軌跡のシミュレーション” 奈良工業高等専門学校研究紀要 第33号 p45~52 (1998.3)
- 7) 栗本：“実験支援のための共振回路の作動シミュレーション” 奈良工業高等専門学校研究紀要 第32号 p29~34 (1997.3)

## 自律型マイクロ・ロボットを通じた創造教育

道下 貴広、櫛 宏明、中島 レイ、島岡 三義、岸下 晴亮、阪部 俊也

Engineering Education to Cultivate the Creativity by Design and Production of Autonomous Robot

Takahiro MICHISHITA, Hiroaki ICHII, Rei NAKASHIMA, Mituyoshi SHIMAOKA,  
Haruaki KISHIGE and Toshiya SAKABE

The Department of Control Engineering in NNCT(Nara National College of Technology) puts the basis on four technical engineering, i.e. mechanical, electrical, control and information engineering. And this department is carrying out the engineering education in which the design and production of autonomous robot is performed. The reason why the robot-making was selected is that it is concrete and easy for the students to understand. This report describes the engineering education putting emphasis on the production of autonomous robot which is the main theme in this department.

### 1. はじめに

奈良高専電子制御工学科は、メカトロニクス、エレクトロニクスおよびコンピュータによる制御からなる総合的なシステム技術者の育成を目標として、平成二年機械工学科から分離改組させた学科である。カリキュラムとしては、(1)機械系、(2)電気、電子系、(3)計測、制御系、(4)情報系 など非常に広い分野をカバーしなければならない。一口に総合的なシステムエンジニアと云っても、なかなか、総合力が育つものではない。大学においても、機械系、電気系にかかわらず、複合化システムを避ける事は出来ないことから、各種の教育法が検討、実施されている<sup>(1)</sup>。高専では、ロボットの製作を行う学校が増え、報告がされている<sup>(2)(3)</sup>が、成績評価も含めた教科指導の面での報告はない。本学科では、一年生に対して、電子制御工学概論の教科を設ける事により、全体像の理解と目標を理解してもらう努力をしている。さらに、四年生において、実際にマイクロロボットを設計、製作することにより総合力を養う事を行っている。カリキュラム的には基礎科目が終了した五年生時が望ましいわけであるが、卒業研究あるいは進路指導などの観点から、多少の無理を承知しながらも、学科設立当初より四年生に対し意欲的に実施している。この総合科目も5回の経験を数える事となった。この種の総合科目の実施に当たっては、各種の問題が生じ、苦難の連続ではあったが、内容紹介、

実施方法、などをここに報告することで、教育方法としての御批判をいただければ幸いである。

### 2. ロボット設計製作の内容

創造性を育てる観点、ならびに学生の勉学意欲を高める観点から、ロボットコンテストの形態を採用し、テーマの設定からロボットコンテストまでの一連の内容を出来るだけ学生主体で実施するよう構成している。まず、製作しようとするロボットシステムの概要を図1に示す。制御部であるCPUを何にするか問題ではあったが、検討の結果、Z80マイクロコンピュータを使用し、ROMにプログラムを書き込める方式とした。

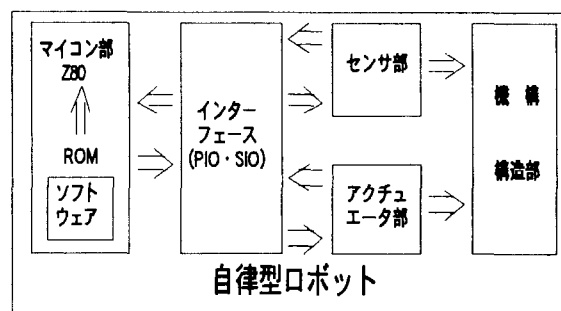


図1 自律型ロボットのシステム構造部

実施形態について、年間スケジュールを表1に示し、このスケジュールに沿って説明する。

表1 スケジュール

回数	月	内容
1	4月	設計製作についてのガイダンス、過去のコンテストビデオの紹介
2		メカトロニクスについて(講義)
3		ロボットコンテストのテーマ案の募集
4	5月	各自のテーマ案の説明討議、テーマの決定
5		テーマの決定、ロボットシステムのパート希望調査
6		グループ編成、パートの決定
7		ロボットのアイデアの検討
8	6月	各グループでのロボットの決定
9		仕様書の作成
11	6月末	必要物品の申請
13	9月	仕様書の完成
14		各パートでの作業、製作、テスト、プログラム
16	10月	各パート毎の説明
17		製作
27	1月末	ロボットコンテスト
28		
29	2月	ドキュメントの整理
30		発表会

### 3. テーマの設定

各年度のテーマは学生が中心になって決める事になっているが、テーマ設定における制約条件として次に示す事項を与えている。

- ① ロボットは制御部、センサ部、駆動部で構成され、自律型である事。
- ② 制御部は Z80CPU を使用する。
- ③ 大きさは300×300×300 mm 程度とする。
- ④ 電源は7.2V/100mA バッテリ 2個以内とする。
- ⑤ 製作予算はZ80、バッテリーを除き、1台当たり1.5万円以内とする。
- ⑥ 授業時間帯(三時間/週)で製作可能である事。

以上の制約条件の基、テーマの設定を行っているが、まず最初、各個人のテーマ案を募集し、これを基に次の授業で、各自説明を行い、クラスで討議決定する方式を取っている。しかしながら、毎年学生から提案されるテーマのなかには、非常に高度なものが含まれる。この事は、何が出来、何が出来ないかの判断が付かない事を意味している。やはり四年生での実施の問題点、ならびに技術をきちんと理解していない事が判る。この場合は教官側からのアドバイスを行う事になっている。

過去5年間に行ったテーマ名と概略を紹介する。

[平成5年度] (電子制御工学科の第一期生)

「障害物競争」；フィールドに置かれた箱を避けてゴールまで到着するタイムトライアルの競技。

[平成6年度]

「一本橋早渡り競争」；勾配のある橋を渡ってゴールまで到着するタイムトライアルの競技。

[平成7年度]

「ゴルフボール集め競争」；ランダムに置かれたゴルフボールを集め、所定の場所に入れる。タイムと数を競う。

[平成8年度]

「ゴルフボール集め競争」；平成7年度のテーマがやや高度であり、完成度が低い状態で終わったため、再挑戦。

[平成9年度]

「ピンポン玉を運びましょう」；少し段差のある道を通り、山積みされたピンポン玉をゴールまで運ぶ競技で、到着時間とゴールでのピンポン玉の数による総合点を競う。

この中で、ゴルフボール集め競争はランダムな位置のボールを集める機構と集めたボールを所定の場所に入れる機構とが必要なため、かなり苦勞を強いられテーマ設定の困難さを痛感した。他のテーマについては、ほぼ半数以上のロボットが競技が行える状況であった。

各年度におけるマイクロロボットの一例を図2、図3、図4に示す。

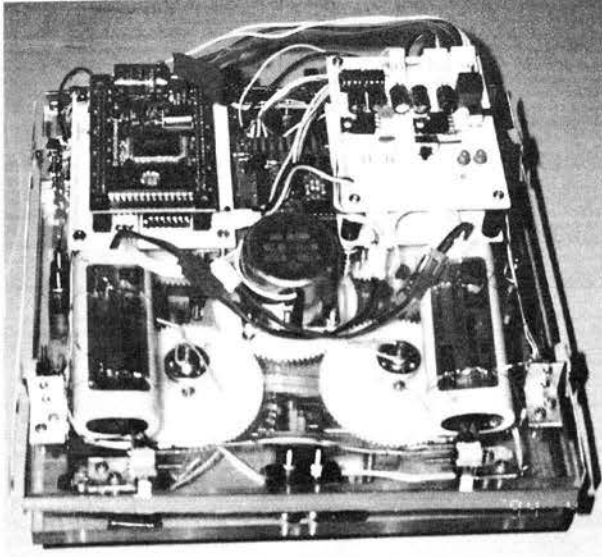


図2 平成5年度ロボットの一部

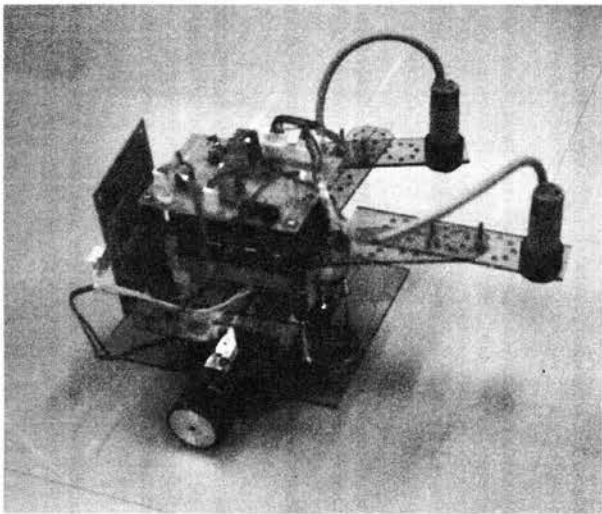


図3 平成6年度ロボットの一部

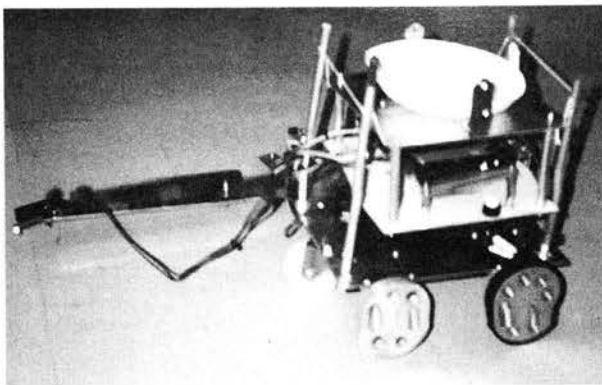


図4 平成9年度ロボットの一部

#### 4. グループ編成ならびに分担

製作するマイクロロボットは各自が1台ずつ製作する事が最も教育効果が上がる方法ではあるが、製作時間、予算などの問題から、グループで製作を行う。

1グループは6～8名で編成され、6台を製作する。グループ内での分担として、CPU部門2名、センサ部2名、駆動部2名、本体2名程度の割り振りとし、学生から希望部門調査を行い、グループ編成を行った。また、各グループにはリーダー、サブリーダーを決めさせ、グループ会議を基にすべての事が進行する体制とした。これは、グループとしての活動における協調性の育成と個人の活動と全体としての進行との理解を促す効果があると考えられる。しかしながら、グループ編成の困難さ、グループ活動の指導の困難さは解消されたわけではなく、試行錯誤が続いている。

#### 5. マイクロロボットのアイデアの集約

グループ活動においては、どうしても作業の係わり方に格差が生じてくる。これがこの種の教育の困難さである。そこで、後で述べるドキュメント、成績評価とも関連するが、出来るだけ個人レベルでの提出物を多く取り入れる工夫をしている。ここでも、各グループでの戦略或いはロボットについてのアイデアは、まず最初に各個人レベルでのアイデアを提出後、グループ内討議を経て最終的なアイデアが決定される。そして具現化への検討が行われ、各グループでのロボットが決定される。しかしながら、これらの事は机上での事である為、製作に伴って設計変更はしばしば行われる。この時、設計、仕様変更がなかなか、グループ全体に徹底しない事が多い。其の為グループ会議の励行と次に述べるドキュメントの整理の指導を行っているが十分効果は出していない。

#### 6. ドキュメントの作成

ドキュメントの作成はシステム開発において、思考、手法、工程、調査結果、試験結果、設計図面等は、トータルシステム完成の可否に繋がる重要なものであるとの認識で、指導を行っているが、ロボットそのものの完成に目が行き、十分な成果は得られていない現状である。ドキュメントは出来るだけ整理が容易なように、各種仕様書等のフォーマットを作成し、担当者、作成日を書くよう指導している。ここでは、ドキュメントとして整理

してほしい各種資料について項目のみを述べる。

- (1) マイクロロボットの動作順序と戦略
- (2) 動作順序のフローチャート
- (3) マイクロロボットの概略図、組立図、部品図
- (4) センサ特性、CPUとのインターフェース回路特性
- (5) モータ特性、CPUとのインターフェース回路特性
- (6) Z80におけるPIO,SIOの仕様書
- (7) プログラムリスト
- (8) 購入部品一覧表
- (9) 実習工場における工作計画表
- (10) ミーティング記録
- (11) 参考資料、技術資料

## 7. コンテストおよび発表会

ロボットコンテストは毎年1月下旬を設定しているが、過去5年間残念ながら予定通り行われた事が無い。これは、学生に取っては初めての経験である事から、組み上がれば、目的が達せられると考えてしまう事が大きな原因である。毎年繰り返し注意を促しているが、いまだ成果は得られていない。コンテストは、苦勞して製作したロボットが所望の活躍をした時、学生に大きな喜びと自信を与えている。

ロボットコンテスト終了後、ロボット製作についての発表会を行っている。発表はグループ単位とし、1人1分程度の説明をOHP1枚を用いて行い、質問時間も含み15分としている。

## 8. 成績評価

この種の総合科目における成績評価については、頭を悩ませる問題である。評価の困難さはグループ作業であり、作業の内容が個々人で異なる事に起因する。過去5年間、様々な検討を行ってきたが、現在、次のような評価法に落ち着きつつある。すなわち、グループとしての評価と個人としての評価の合計で表している。

- |                        |           |
|------------------------|-----------|
| ① 前期末テスト (個人)          | 20点       |
| ② ドキュメント作成 (個人)        | 10点       |
| ③ ドキュメントの完成度 (グループ)    | 10点       |
| ④ ロボットの評価 (グループ)       | 20点       |
| ⑤ 発表点 (個人)             | 10点       |
| ⑥ 平常点 (出席点) + $\alpha$ | 20点 + 10点 |

基本的には上記の通りであるが、完成度か努力の過程か

難しい事が多い。また、所属グループによる差もあり、担当者の協議で最終評価を行っている。御意見、御批判をいただければ幸いである。

最後に、このロボット製作教育には、有間淳一、栗本尚、坂本雅彦、飯田賢一、各氏の協力を得て行われた。ここに感謝の意を表す。

## 参考文献

- (1)小林彬：ロボットコンテスト「物作りによる創造性教育を考える」、日本工学教育協会誌第38巻6号、1990
- (2)川上誠他：沼津高専の自律知能ロボット開発、日本機械学会 '95ロボメカ講演会論文集、1995.
- (3)金田忠裕：ロボット設計製作教育と創造性育成カリキュラム、電子情報通信学会講演論文集、1998.

## 物づくりを重視した電子制御工学実験

島岡三義・樺 弘明・中田敏夫・道下貴広・飯田賢一

Experiments in Department of Control Engineering  
Attached Importance to Production

Mitsuyoshi SHIMAOKA, Hiroaki ICHII, Toshio NAKATA,  
Takahiro MICHISHITA and kenichi IIDA

We at the department of control engineering, Nara National College of Technology, have been undergoing a new education under the reformed curriculum since 1997. As one of the primary focuses under this curriculum, 'Experiments in Control Engineering' have already been implemented on first-year students since 1997. This course is based on four themes and aims at understanding the several electrical phenomena through production experiences. In this paper, the outline and characteristics of this course have been described. Furthermore, the problems to be solved have been cleared and its countermeasure has been discussed.

### 1. はじめに

奈良工業高等専門学校（以下「本校」と称す）電子制御工学科は、機械工学科の分離改組に伴い、平成2年4月に発足した。本校にはすでに電気工学科と情報工学科（機械工学科分離改組検討段階の昭和61年4月創設）の電気電子系学科が存在しており、新たに電子制御工学科が発足するにあたって、学科の特色を出すためのカリキュラム編成には多くの困難を要した。1つには、電子制御工学科は全く新しい複合学科であり、機械工学科や電気工学科のように歴史があつて、基幹をなす学問分野が明確であるという状況にはなかつたことである。2つには、高専の電子制御工学科の発足経緯として、本校のように機械工学科からの分離改組によるものと、全くの新設学科という2つの系統があり、カリキュラム編成の基本的な考え方に違いが見られ、両系統の学科のカリキュラムからは共通項をなかなか見出せない面があつたことによる。このため、各高専の電子制御工学科は独自に学科の位置づけや教育目標を掲げており、本校でも例外ではない。

また、電子制御工学科発足当初は実験実習設備も十分でなく、機械工学科からの分離改組のため、教官陣容も含め、実状に合わせた実験実習をせざるを得ない面が多かつた。当時、バブル経済の走りであり、学生の理工系離れが教育界・産業界で大きな問題となり、物づくりの

重要性が改めて叫ばれるようになった。高専は実験実習を重視することが一つの特色であり、物づくりを实践できる環境があつた。しかし、その後、卒業に要する修得単位数の削減があり、実験実習のウエイトを相対的に低下させざるを得ず、高専の特色である物づくりの機会の減少は高専の利点を損なうものとして、教育方法の改善が至急の課題となつた。各高専でもいろいろな取り組みがなされているが<sup>1)~16)</sup>、本校でも学科発足後数年を経過して実験設備や教授陣も充実してきたことから、平成9年度に大幅なカリキュラム改正を行い、電気・電子・情報・制御系の教育内容を充実させた。電子制御工学科としては学習すべき専門分野が多岐にわたり、それぞれの専門科目の関連を明確に理解させるのに、工学実験の有効利用が検討され、1年次から工学実験を課すこととした。5年間の長い高専生活においては、学習意欲を継続させていくことが極めて重要であり、1年次の導入教育はその後を左右すると言っても過言ではなく、体験に基づく諸現象の理解を深めさせ、学年進行に伴って学習していく専門科目への興味を持たせる必要があると考えられる。

本報告は、理論先行型でなく、物づくりを取り入れた1年次の電子制御工学実験（通年30週、3単位）の内容を紹介するとともに、実施経験および学生の感想を踏まえ、課題とその対策について議論する。

### 2. 工学実験の目的と内容の概略

工学実験ではいくつかの実験テーマがあって、それぞれに実験の目的が設定されている。しかし、ここでいう目的は、1年生に課す工学実験として達成すべき目標は何かという観点での目的である。中学校の理科における電気関係の内容としては、オームの法則やジュール発熱に関するものが主であり、高専1年生に高度な電気実験を課すことには無理があり、実験に使用する汎用性のある計測機器類(マルチテスタ、オシロスコープ、定電圧電源、発信器等)の使い方の習得を第1の目的としている。高学年になれば、ある電気・電子回路を設計し、プリント基板上に製作する機会が出てくると考え、ハンダ付け作業の訓練を第2の目的としている。工学実験は実験を行うことと、それに対する報告書の作成が1セットになっている。報告書を書く習慣のない1年生にとっては戸惑いが多いはずである。報告書を書くという習慣付けが第3の目的である。

上記の目的を達成するために、たとえば、計測機器類の使い方を習得させるにしても、初めて使用する機器類の取扱説明書をもとに説明しても、ほとんど身につかないであろうことは容易に想像できる。何か具体的な使い方の例を示してやることが必要で、例示のために取り上げたテーマの概略を表1に示す。

実験は4テーマであり、各テーマは6週をかけて消化する。学生は4班に分かれ6週ごとにローテーションで

表1 工学実験の内容の概略

テーマ名	内容の概略と教育の主眼
電気回路の実験	<ul style="list-style-type: none"> <li>・もっとも基本的なオームの法則の理解</li> <li>・電気回路を構成する重要素子の一つであるコンデンサのはたらきの理解</li> <li>・オシロスコープの見方・使い方</li> <li>・電圧・電流等を測定する機器自体が測定結果に及ぼす影響</li> </ul>
テスタの製作	<ul style="list-style-type: none"> <li>・製作図通りに作業を進めれば確実に出来上がる物の製作体験</li> <li>・製作図の指示の理解とその指示通りに忠実に実行することの重要性</li> </ul>
基礎電気回路実験	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ある制御回路の製作とその理解</li> <li>・LEDは目に見えない電流の流れを知らせてくれる表示灯</li> <li>・トランジスタは可動部分のないスイッチ</li> <li>・コンデンサは電荷を蓄えるタンクで、エネルギー貯蔵庫</li> </ul>
数値制御基礎実験	<ul style="list-style-type: none"> <li>・コンピュータ制御に必要なNC言語の文法の理解</li> <li>・自分の意図したことのNCプログラミングと実切削による確認</li> <li>・ノギス・マイクロメータの使い方</li> </ul>

次のテーマに移っていく。実験のやり方自体を知らない1年生に、懇切丁寧な実験マニュアルを作成しても、自力で実験ができるはずはなく、多くの種類の実験を課すよりは、1つのテーマについてじっくり時間をかけて、十分実験の内容も理解できるようなテンポで進めることが重要であると考えた。この6週の中には報告書作成の時間も含まれている。報告書も完成後に添削するよりは、実験の時間内に作成させ、作成途中段階で指導する方が1年生にとっては混乱がなく、理解が早められるとの考えによる。

実験内容が1年生に対してレベル的に適当かどうかは議論の余地があると考えている。映像文化に慣れ親しんでいる今日の学生に、目に見えない電気の流れを理解させるには、電気が流れている証拠や流れ方の様子を視覚的にとらえられるようなテーマ、方法が必要であろうとの観点でテーマを設定した。次章で内容をもう少し詳しく紹介したい。

### 3. 4つの実験テーマの内容

#### 3.1 電気回路の実験

1グループ約10名の学生を2班に分け、電気回路の基本法則であるオームの法則の理解を実験を通して深めるとともに、電圧計・電流計等の基礎的、汎用的計器の取り扱いを習得させることを目的としている。

1週目：3個の抵抗を直列に接続した場合の各抵抗の端子間電圧と電源電圧の関係を理解させる。このために、可変式定電圧直流電源、直流電圧計、直流電流計(いずれもマルチメータ使用)、ダイヤル可変抵抗器( $R_x$ )および固定抵抗器( $R_1=330\Omega$ 、 $R_2=510\Omega$ )を使用して、電源電圧 $E$ 、回路電流 $I$ 、各抵抗 $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_x$ の端子間電圧 $V_1$ 、 $V_2$ 、 $V_x$ をマルチメータで測定させる。測定結果から、①各抵抗においてオームの法則が成立しているか。②各抵抗端子間電圧の和( $R_1+R_2+R_x$ )と電源電圧 $E$ が等しいか。③式(1)が成立しているか。④式(2)~(4)が成立しているかを検討させる。

$$\frac{E}{I} = R_1 + R_2 + R_x \quad (1)$$

$$V_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_x} E \quad (2)$$

$$V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2 + R_x} E \quad (3)$$

$$V_x = \frac{R_x}{R_1 + R_2 + R_x} E \quad (4)$$

2週目：1週目の実験についての報告書の書き方の指

導を行う。学生は報告書を書くことが初めてであり、主に図や表の描き方、物理単位に気を付けるように指示して報告書を仕上げさせる。

3週目：3個の抵抗 ( $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_x$ ) を並列に接続した場合の各抵抗に流れる電流 ( $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_x$ ) と回路電流  $I$  との関係を理解させる。使用機器類は1週目と同じ物を使用する。電源電圧  $E$ 、回路電流  $I$ 、各抵抗  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_x$  を流れる電流  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_x$  を測定させ、式(5)~(7)が成立しているかどうかを調べさせる。

$$I_1 = \frac{\frac{1}{R_1}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_x}} I \quad (5)$$

$$I_2 = \frac{\frac{1}{R_2}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_x}} I \quad (6)$$

$$I_x = \frac{\frac{1}{R_x}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_x}} I \quad (7)$$

4週目：電流計と電圧計の動作原理を理解させ、あわせてその内部抵抗の測定方法を理解させる。使用機器類は、固定抵抗を  $1k\Omega$  とする以外は1週目と同じものを使用する。マルチメーターを電流測定モード、電圧測定モードに設定し、それぞれのモードにおけるマルチメーターの内部抵抗を測定させる。測定結果から、電圧測定モードにおける内部抵抗が、電流測定モードにおける内部抵抗より非常に大きいのはなぜか、また、1週目、3週目の実験における測定誤差が何に起因しているかを考えさせる。

5週目：コンデンサを直列と並列に接続させた場合の、各コンデンサの容量と合成容量との関係を理解させる。各コンデンサ（種類は特にこだわらないが、ここではマイラ形を使用している。）の容量  $C_1$ ,  $C_2$ 、と合成容量  $C$  を LCメーターで測定させ、式(8)（直列接続）および式(9)（並列接続）が成立しているかどうかを調べさせる。

$$C = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}} \quad (8)$$

$$C = C_1 + C_2 \quad (9)$$

6週目：電気回路を構成する重要な基本素子である抵抗 ( $100\Omega$ ) とコンデンサ（マイラ形  $0.1\mu F$ ）を図1に示すような RC直列回路を構成し、オシロスコープを用いて抵抗端子間、コンデンサ端子間の電圧波形を観察させる。実験中の様子を図2に示す。

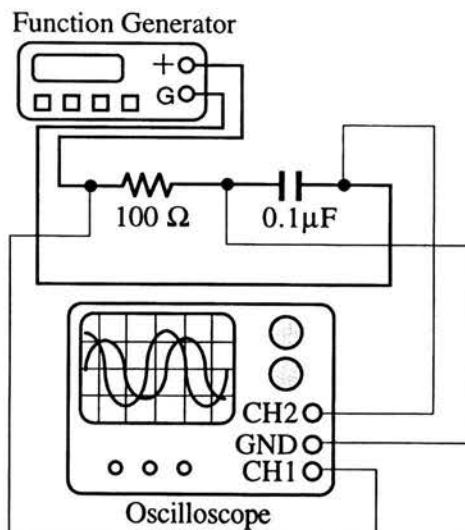


図1 RC直列回路図

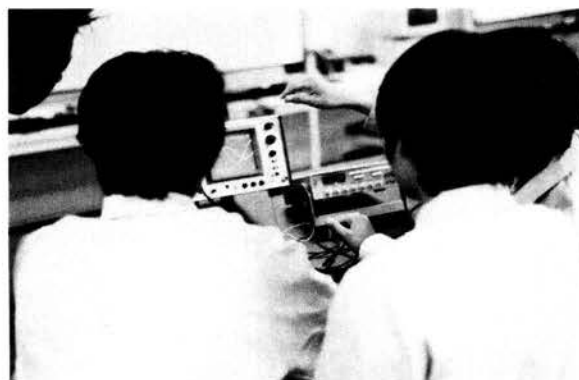


図2 オシロスコープによる波形観察

### 3.2 テスタの製作

工学実験において必要不可欠な計測機器の一つとしてテスタが挙げられる。本テーマでは、構造が比較的単純なアナログテスタの製作を通してその構造を知るとともに、ハンダ付け作業の習得も同時に行うことを目的としている。テスタ製作には図3に示す三和電気計器株式会社製のテスタキットKIT-8Dを使用している。2年次以降の実験に使用する計画もあり、テスタキット代金は学生の負担とし、一人一人に持たせることにより大切に使用してもらおうと考えている。

テスタの構造の学習、製作、完成したテスタの動作試験、テスタを使った簡単な実験といった順序で6週間を消化する。この6週間の詳しい内容を以下に述べる。

1週目：テスタの構造と使われている部品の解説として、メーターの原理、ダイオードや抵抗器、コンデンサ等の内部構造、極性やカラーコードの見方など、製作の前に最低限理解しておく必要のあるものを解説している。

2週目と3週目：テスタの製作を行う。ここでは、実際にプリント基板上に部品をハンダ付けする前に、ハン

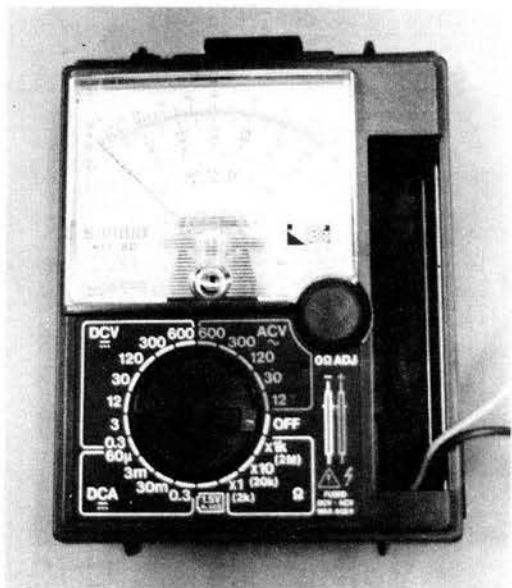


図3 アナログテスタの外観

ダ付け作業の練習もさせている。部品の取り付け作業においては、取扱説明書から抜粋した組立説明書を参考にさせているが、部品配置のみの説明で取り付けるべき抵抗器の抵抗値は省いてある。別に用意した対応表を基に、取り付けるべき抵抗の抵抗値を確かめさせながら製作を行わせている。

4週目：テスタの動作試験を行っている。メータの零位置調整に始まり、直流電流レンジ、直流電圧レンジ、交流電圧レンジ、バッテリーチェックレンジ、抵抗レンジ等の各種レンジのチェックを行う。この段階で大概の部品の取り付けミスが発見されるが、その場合は動作試験作業を中断し、ミスした箇所を修正させている。

5週目：製作したテスタを使用して、簡単な実験をさせている。実験の内容は「電気回路の実験」の1週目と同じものであるが、ここでは実験の前に示される抵抗の直・並列接続の理論式と、製作したテスタを使用した測定結果との関係を調べさせる目的で行っている。「電気回路の実験」では、製作したテスタよりも精度の高い計測器を使用しているため、製作したテスタを使用した場合に測定誤差が大きくなりやすい。そこで、なぜ電気回路の実験で使用した測定器よりも測定誤差が大きくなりやすいのか、学生自身の考えをレポートで提出させている。

6週目：5週目のレポートをもとにレポート指導を行っている。レポート作成中の様子を図4に示す。

学生が最も真剣に取り組むのは、やはり2週目から3週目までのテスタ製作とテスタを使用した実験である。「物を作り、それを使う」といった行為は、エンジニアを目指して入学してきた学生たちに受け入れられやすいものと思われる。



図4 レポート作成作業中の様子

### 3.3 基礎電気回路実験

学生の中には、中学校でダイオードやトランジスタを用いた簡単な電気回路の製作を経験している者もいるが、各素子についてどのような電気的特性があるのか基本的に理解していないようである。そこで、電気回路の基本的な素子であるダイオードやトランジスタの特性を、実験を通して理解するとともに、さらにこうした素子を用いて簡単な電気回路を製作し、その動作・現象を理解することを目的としている。

実験指導は、(1)実験、(2)レポート指導と簡単な口頭質問、(3)電気回路の製作、の3つに大きく分けて行っている。

1週目：ダイオードの特性に関する実験では、はじめにダイオードの「一方向にだけ電流が流れやすい」という基本的な特性を説明し、その種類や用途、さらにダイオード本体に表示されている記号から「アノード」・「カソード」の電極の見極め方を説明し、図記号との対応を確認させている。また、デジタルマルチテスタを用いて電極を調べる方法を説明し、実際に測定することで理解を深めさせている。ダイオードの動作原理については、物理的な詳しい説明は行わず、「真性半導体」、「P型半導体」や「N型半導体」、「電子」や「正孔」といったキーワードを用いてその動作原理を説明するにとどめている。実験は、ダイオードに順方向電圧、逆方向電圧を加えた場合の電流の状況を観測するもので、実験装置は直流安定化電源とデジタルマルチテスタの2種類だけである。

2週目：ダイオードの実験結果をレポートにまとめさせている。

3週目：トランジスタの特性に関する実験で、ダイオードの場合と同様、ベース、コレクタ、エミッタといった基本的な事項から説明を始め、スイッチング作用や増幅作用などトランジスタの特性や、PNP型とNPN型の2種類の構造があることなどを説明している。

動作原理の説明は、トランジスタ中の「電子」や「正

孔」の動きを、図を用いて説明をしている。

実験は数種類のベース電流に対して、コレクタとエミッタ間の電圧を変化させることで、コレクタ電流がどのように変化するか実際に回路を組み測定を行わせている。すでに1週目でダイオードの実験回路を組んでいるが、トランジスタの実験回路は複雑なため、実験回路を組むために相当時間がかかっている。また、実験を手際よく行わないとトランジスタの温度が上昇し、測定値が安定しないことも実験を難しくしている原因になっている。

4週目：トランジスタの実験結果をレポートにまとめさせている。

5週目と6週目：ダイオード・トランジスタの各実験を行い、素子の基本的な特性を理解した上で、簡単な電気回路の製作を行わせている。製作品は、発光ダイオード、トランジスタ、電解コンデンサ、抵抗の4素子を用いて、左右に配置した発光ダイオードが交互に点滅するシグナルウインカである。見本のシグナルウインカを参考に、学生自身に図5の回路図から各素子の適切なレイアウトを考えさせ、プリント基板上に配置・配線をさせている。完成品例を図6に示す。また、この6週のまとめのレポートを作成させている。

このような内容の実験経験のない学生にとって、指導書に示されている、順方向電圧回路・逆方向電圧回路を

組むことは難しいので、使用する装置すべてについてその使用方法を丁寧に説明している。

レポート指導においては、1年生にとって実験を行い、その結果をレポートにまとめる作業は、今まで経験のないことなので、レポートの基本的な書き方、例えば表番や表題の書き方、グラフの書き方などの指導を行っている。

回路が正しく組めれば、難しい実験ではないので結果の測定は特に問題はないが、学生にとって物理的な変化や視覚的刺激のない実験は、興味がわかないようであるし、十分理解できているのか不安でもある。また、実験装置の数に限りがあるため、すべての学生が主体的に実験を行えるわけではないので、グループ内で積極的に実験に参加する学生がメインとなって実験が行われる傾向がある。各学生が実験当事者であるということを実感してもらおうとともに、実験内容の理解を深めるために、一人一人に実験や結果に関する簡単な口頭試問を行い、説明してもらうことにしている。

シグナルウインカの製作では、学生によって1回で回路が正常に動作するものもいれば、回路図と自分の製作した回路との間を何十回と見直す学生もいる。しかし、学生にとってそうした苦勞の末に動くようになったとき、物づくりの楽しさを体感しているようである。

### 3.4 数値制御基礎実験

エンジニアを目指す者にとって、物づくりの体験は非常に重要である。塑性加工、鋳造加工、切削加工など物づくりに必要な加工法、機械・道具は非常に多く、すべてを体験することは不可能である。ここでは、コンピュータ制御機器の一つの代表例であるNCフライス盤を用い、プログラミングによる切削の体験を通して、自分の意図している作業手順をNC言語で正確に記述することを目的としている。また、物づくりにおいては寸法の測定は重要な作業である。測定器具として「物差し」は不十分である現実を認識させ、もっともポピュラーな測定器具である「ノギス」と「マイクロメータ」の使い方を理解させることも目的としている。

NCフライス盤による切削状況を図7に示し、主な仕様を表2に示す。

1週目：ノギスとマイクロメータ（いずれも最も基本的なタイプ）の使い方を解説し、寸法が明確にわかっているプラグゲージの寸法測定を通じて理解力を深めさせている。主尺と副尺の関係の解説が主ではあるが、持ち方、被測定物を挟むときの力の加減が測定結果に影響をおよぼすことも重要な事項として説明している。A4サイズ1枚（書式は教官側で用意）に測定結果と感想を書か

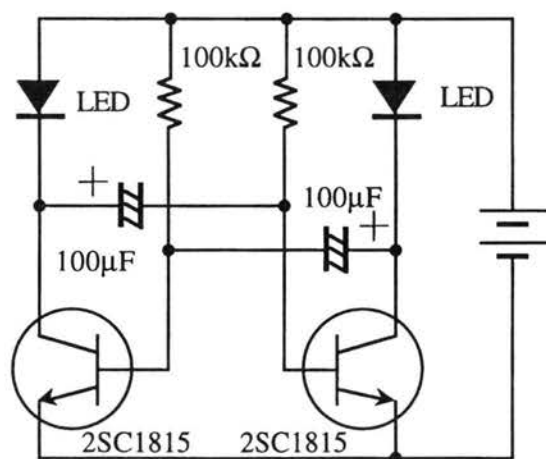


図5 シグナルウインカ回路図

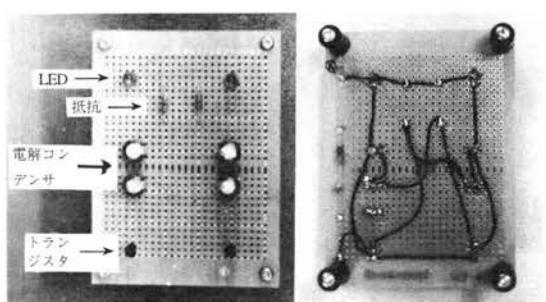


図6 シグナルウインカの完成品と裏面配線

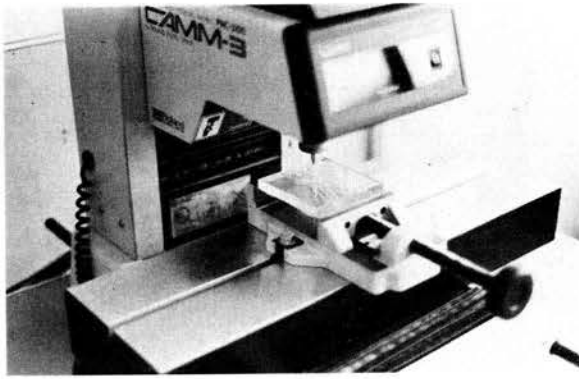


図6 シグナルウインカの完成品と裏面配線

表2 NCフライス盤システムの主な仕様

NCフライス盤	
メーカー・型番	ローランド PNC-3100G
XYテーブルサイズ	560×170mm
最大動作範囲	250×250×150mm
主軸回転数	3000～8000rpm
最大動作速度	XY軸 3.6m/min Z軸 1.8m/min
機械的分解能	0.0125mm/step
繰り返し精度	±0.05mm
主要NCコード	G機能 00, 01, 02, 03 04, 17, 18, 19 90, 91, 92
	M機能 02, 03, 05
使用可能 エンドミル径	Φ1～Φ6 (コレット方式)
制御用パーソナルコンピュータ	
メーカー・型番	NEC PC-9821Xe/U7W
OS	Windows95
CPU	i486DX2 66MHz
RAM	5.6MB
FDD & HDD	3.5" 1基 & 210MB

せ、1週目の報告書としている。学生全員の前で報告書の書き方で良くない点を指摘し、良く書いている学生の見本があれば、何がよいかを説明して報告書の書き方の指導をしている。

2週目と3週目：NCフライス盤でエンドミルによる平面輪郭切削を行うのに必要なNC言語の解説を行っている。NC言語は英文字と数値のみで、条件判断もなくシークショナルなプログラム構造のため原始的なプログラミング言語と言えるが、初学者には最も適した言語といえる。JIS規格の上ではG機能やM機能は豊富にあるが、プログラミング経験のない学生に対して多くの機能の説

明は負担になるだけである。G機能としては位置決め(G00)、直線補間(G01)および円弧補間(G02：時計回り、G03：反時計回り)に限定している。補助機能のM機能にしてもスピンドル回転(M03)・停止(M05)およびプログラムエンド(M02)の3種類だけである。一連の文法を解説後、簡単な輪郭切削のプログラム例(座標指定はアブソリュート方式、円弧補間では中心座標指定)を解説し、座標指定方式としてインクリメンタル方式、円弧補間での半径指定方式への書き換えを課題として、2・3週目の報告書としている。

4週目：エンドミルの破損防止と切削時間の短縮を主たる理由として、透明塩化ビニール板(切削面：95×95mm、板厚10mm)を素材として輪郭切削プログラムを作成させている。使用できるエンドミル径は6, 3, 1mmの3種類で、どれを使用するかは学生の選択に任せている。どのような輪郭に切削するかも学生の自由であり、最も短時間に仕上がるような工具経路を考えさせている。輪郭図とプログラムを4週目の報告書としている。

5週目：4週目に作成したプログラムにより実際に切削させている。パソコンへのプログラム入力はプログラムチェックも兼ねて教官が行っている。パソコン所有者は事前にフロッピーディスクで提出することも可とした。切削は数分で完了するので、塩化板の裏面に切削するプログラムを再度考えさせている。その輪郭図とプログラムを5週目の報告書としている。

6週目：5週目に作成したプログラムによる切削と、自作プログラムの改善点の検討をさせている。意図通りの切削ができた場合は改善点を見つけられない場合が多いが、失敗した場合は、切削中に間違い箇所を判断できるので、どこに問題があったかを自分なりに整理できるようである。自作プログラムの改善点の整理を6週目の報告書としている。

#### 4. 学生の感想および課題とその対策

##### 4.1 学生の感想

全実験終了後に実施した授業アンケートから学生の感想を探ってみたい。アンケートは次の11項目について当てはまるかどうかを質問している。

- (1)先生の説明はわかりやすかった
- (2)先生の授業に対する準備は十分であった
- (3)先生は授業を熱心に行った
- (4)この授業中先生に質問しやすかった
- (5)先生は学生の理解度を把握していた
- (6)この授業に興味を持った
- (7)この授業の内容はシラバスと一致していた

- (8)この授業は総合的に満足である  
 (9)指導書は実験内容を理解するのに役立った  
 (10)実験内容のレベルは適当だった  
 (11)私はこの実験に積極的に取り組んだ

回答は次の4つの選択肢から選択させている。

- (1)あてはまらない  
 (2)あまりあてはまらない  
 (3)ややあてはまる  
 (4)あてはまる

アンケート結果を表3に示す。平均値が4であれば全員が「あてはまる」と答えたことを意味する。また、4テーマの実験を総合的に振り返っての回答である。

1年生に対する授業は、学生たちは何を知っていて、何が理解できるかを把握しながら進めることが重要である。学生は期待と不安を抱えて授業に臨んでおり、上級生の授業とは違った緊張感が漂っている。表3の(1)~(3)の回答は我々教官の必死さが伝わったものと思われる。(6)以降の回答結果から、授業内容や進め方は概ね妥当なものだったと思われる。アンケートとは別に採取した学生のコメントを含め、課題とその対策について次節で議論する。

表3 アンケート調査結果

質問項目	回答 (%)				平均値
	(4)	(3)	(2)	(1)	
1	18.9	64.9	16.2	0.0	3.03
2	51.4	43.2	5.4	0.0	3.46
3	40.5	54.1	5.4	0.0	3.35
4	32.4	32.4	35.1	0.0	2.97
5	10.8	40.5	45.9	2.7	2.59
6	48.6	43.2	5.4	2.7	3.38
7	64.9	27.0	8.1	0.0	3.57
8	27.0	67.6	5.4	0.0	3.22
9	51.4	43.2	2.7	2.7	3.43
10	29.7	51.4	16.2	2.7	3.08
11	54.1	35.1	10.8	0.0	3.43

#### 4.2 課題とその対策

授業の内容とは直接関係しないが、表3の結果にも表れているとおり、教官に対して質問しにくい雰囲気があったようである。本科1年生から専攻科2年生まで、すべての学年の学生を相手にする高専の教官は、未学習の内容を常識の範疇として授業を進める危険を犯しやすい。学生の理解度を把握していないとの回答が半数近くあり、多くの学生は知らないことを質問する勇気を持っていな

いことを考えれば、学生は基本的には何も知らないという前提のもとで、理解度を把握する行為を積極的にすべきであったかも知れない。

アンケートにはないが、教官の説明を聞き取りにくいというコメントが多かった。学生実験室の中で4つのテーマを同時進行で行っているのが原因であるが、現状の施設設備ではやむを得ない面がある。また、初めて実験を行う1年生にとって、他のグループがどんなことをやっているかを目の当たりにでき、次への興味を誘えるメリットを考えれば、場所を分散して実験を行うことに躊躇を感じる。学生に無駄話をしないよう注意するだけでなく、当たり前ではあるが、説明するときは学生を自分の周りに集めさせる以外にない。

設備や教官スタッフの制約から、学生を4つの班に分けざるを得ない。2年次には別メンバーとの班編成を考えてほしいという要望が多かった。班内の学生との相性が悪いこともあれば、友達と同じ班になりたいという気持ちからそのような要望になっていると思われるが、在学中同じ班というのも好ましくなく、班分けにはある程度配慮してやる必要があると考える。共同して実験を行うことで、教室の中では伺い知れない、学生各人の性格が浮き彫りになってくるのであろうが、お互いを良く知るという点で工学実験が重要な働きをしていることを再認識した次第である。

指導書の中で使用機器類の解説が少ないとの指摘があった。メーカー名や型番程度の解説に留めているが、解説が少ないことが理解不足に結びつくとの指摘であり、解説がないと不安なのかも知れない。解説を載せても実際に使ってみなければわからないことが多く、指導書の作成にあたっては消化不良になりそうな内容を外すことを基本にしている。また、使用機器類のすべてを理解してほしいという要求を1年生には課していないし、記載された内容を読むより、実験によって具体的使用例を学び、学年進行に伴っていろいろな使い方を学ぶことの方が効果的であると考えている。

報告書を書くことはつらい作業だったようである。中学校では図や表を描くことはあまりなかったであろうし、作文とは異なって指導書を写すというような作業経験もなかったことと思われる。複写機の出現は写し取るだけの作業を楽しんでいるが、写し取る作業が理解の向上に重要な役割を果たすという認識を薄れさせているように思える。きれいな字を書けない自分を反省する学生もおり、ワープロ操作が得意でも、自分の手できれいな報告書を書けるようになる必要があることを今後も主張していくべきだと考える。

教官サイドの反省としては、実験の内容としてもう少

し深められた点があったことである。テストを使用した実験の内容が少々薄いように感じられ、今後は製作したテストの校正なども含め、テストを使用した実験の内容をもう少し充実させ、より実験色を強める考えである。

NC切削の素材としては割れやすいアクリルを避けて塩ビ板を使用した。直径6mmと3mmのエンドミルではバリ(簡単に取れるものであるが)が目立った。感触が木材に近くてバリの出にくい樹脂に変更する予定である。なお、作品例を図8に示す。直線補間が主体であったため、プログラムは比較的容易に作成できたようである。

また、学生自身が積極的に実験資料を集め、装置の扱い方を学習し、実験内容を理解するのが理想であると思われるが、自ら積極的に問題点を見つけ、調べることができる環境を提供できるようにすることも重要な課題と考えている。

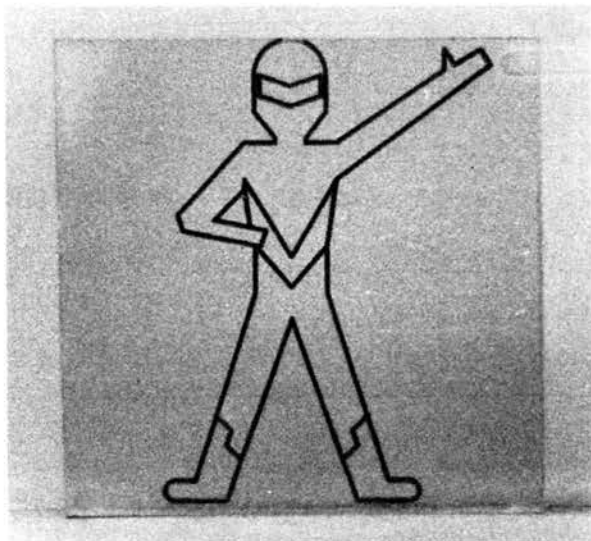


図7 NCフライス盤による切削作品例

## 5. おわりに

高専に入学してきた学生は専門科目を勉強することに大きな関心を寄せており、5年間の長い学習生活を続けていく上で、1年次の教育は極めて重要である。電子制御工学科としては1年次に初めて工学実験を実施した。理論先行型でない、物づくりを多く取り入れた実験スタイルは学生にも抵抗なく受け入れられ、2年次以降に学習する専門分野のごく一部ではあるが、学習の興味付けがなされたものと思う。初年度としてはまずまず成功であったと言えるが、今後一層を教育内容の充実にも努めたい。

電子制御工学科発足当初、工学実験実施にあたり本校電気工学科の多大なご協力があり、今回の工学実験に至

る重要な基礎知識やノウハウをご提供願った。記して謝意を表す。

最後に、学生の励ましのコメントも示して締めくくりとしたい。

- ・オームの法則などが良く理解できた。交流については三角関数を習う前でsin波やラジアンというのがよくわからなかった。

- ・自分でハンダ付けや組み立てをしたテストが動くのがうれしかった。

- ・普段あまり考えないダイオードやトランジスタの特性について理解できた。シグナルウインカの製作もおもしろかった。

- ・数値制御実験について、自分の思い通りに形が作れて楽しかった。プログラム通りに機械が動くのを実感できた。

- ・自分で理解し、実行することで聞くだけが多い講義より、はるかに自分に身に付いている量は多いと思います。

- ・ほとんどのことが初めてのことで、指導書を読んでもわからないことがたくさんあったけど、最後には結構理解できたと思う。

- ・実験は理解を深めるためにはすごく大事なことだとわかりました。

- ・1つの科目の中で色々なことを体験できたので楽しかったです。

- ・レポートは大変だったけど、実験は楽しかった。

- ・この実験は楽しかった。毎週金曜日の5、6、7時限目が待ち遠しかった。

## 参 考 文 献

- 1) 福原秀俱、伊藤 尚、西山芳明、広津正春、高専教育、第16号 (1993)、174.
- 2) 金野茂男、高専教育、第17号 (1994)、157.
- 3) 原田秀巳、大賀振作、高専教育、第18号 (1995)、217.
- 4) 中澤達夫、堀内征治、山本行雄、工学教育、Vol.44、No.1 (1996)、55.
- 5) 金野茂男、前田利明、佐藤太一、金原昭臣、南齊清巳、渡辺達男、久保和良、鹿野文久、高専教育、第19号 (1996)、204.
- 6) 小野信幸、和崎克己、鈴木 宏、堀内富雄、岸 佐年、坂口正雄、工学教育、Vol.45、No.1 (1997)、21.

## 多重化探索を取り入れた改良シミュレーテッド・アニーリング法Ⅱ

浅井 文男・塘 朋子\*・中道 上

### An Improved Simulated Annealing Method based on Multiplex Search II

Fumio ASAI, Tomoko TSUTSUMI\* and Noboru NAKAMICHI

我々が考案した多重化探索を取り入れた改良シミュレーテッド・アニーリング法は効率よく最適解を探索できる反面、評価関数値が最大の解と最小の解を確定的に選択するので局所解に陥りやすい性質をもっていた。今回は評価関数値とその逆数にそれぞれ比例する確率で2つの解をランダムに選択する操作を取り入れた改良SA法を提案する。この選択操作は遺伝的アルゴリズムにおける適応度比例戦略に対応するもので、小坏らのランダム選択とは異なる。この改良SA法を51都市巡回セールスマン問題に適用し従来の改良SA法と比較したところ、解の巡回経路長の平均値はあまり変わらないが分散は50%以上も減少し、巡回経路長が短い良質の解が高い頻度で得られることが確かめられた。

#### 1. はじめに

シミュレーテッド・アニーリング法(SA法)と遺伝的アルゴリズム(GA)は組み合わせ最適化問題を解くための汎用性のある計算法である。SA法は適当な操作(素過程)により1つの初期解から確率的な状態遷移を繰り返すことで最適解を探索するので、解空間の初期解に依存した狭い領域しか探索できない。一方、GAは互いに異なる初期解から始まる多重化された解系列に対して選択、交叉、突然変異の各操作を適用する計算法なので、解空間の広い領域を探索できるという特徴をもつ。小坏らはGAにおけるの解系列の多重化と選択操作をSA法に取り入れた改良SA法を考案し、良質の解が従来のSA法よりも高い頻度で得られることを見出した<sup>1)</sup>。しかし、小坏らが考案した選択操作は解系列の中から評価関数値がその平均値より大きな解と小さな解をランダムに選択し、前者を後者で置き換えるというもので、選択・置換の効率と効果が悪いという問題点があった。

我々は小坏らのアルゴリズム(以後ランダム選択改良SA法と呼ぶ)の問題点を解決するため、解系列の中から評価関数値が最大の解と最小の解を選択し、前者を後者で置き換えるという操作を採用した改良SA法(以後エリート保存選択改良SA法と呼ぶ)を考案した。この選択操

作はGAにおけるエリート保存戦略に対応するもので、常に置き換え可能な2つの解が選択され、かつ、置き換えにより解系列の評価関数値の平均値を可能な限り減少させることができる。我々のアルゴリズムを巡回セールスマン問題(TSP)に適用したところ、最適解が得られる確率がSA法やランダム選択改良SA法よりも向上し、エリート保存選択操作の有効性が確かめられた<sup>2)</sup>。しかし、この選択操作は問題のサイズが小さい場合(TSPでは都市数の少ない問題)に有効で、問題のサイズが大きくなると解系列が均質化し、局所解に陥りやすくなるという欠点をもつことが判明した。

今回我々は評価関数値に応じた確率で解をランダムに選択する操作を取り入れた改良SA法(以後適応度比例選択改良SA法と呼ぶ)を提案する。この選択操作はGAにおける適応度比例戦略に対応し、評価関数値とその逆数にそれぞれ比例する確率で評価関数値の大きな解と小さな解をランダムに選択し、前者を後者で置き換えるというものである。ランダムに解を選択することで、エリート保存選択改良SA法のように同じ解が高頻度で選択され、解系列が均質化することを防ぐことができる。また、選択確率を評価関数値に依存させることで、ランダム選択改良SA法よりも速やかに解系列の評価関数値の平均値を減少させることができる。適応度比例選択改良SA法を51都市巡回セールスマン問題に適用し従来の改良SA法と比較したところ、得られた解の巡回経路長の平均値はあまり変わらないが分散は50%以上も減少し、良質の解

\*住友金属システム開発株式会社

が高い頻度で得られることが確かめられた<sup>3)</sup>。

行した回数を意味する。

## 2. 適応度比例選択改良SA法

適応度比例選択改良SA法の基本アルゴリズムには従来のSA法と同様、メトロポリス法と呼ばれるモンテカルロ計算法を採用する。適応度比例選択改良SA法ではあらかじめ $K$ 個の初期解 $x_0^k$  ( $k=1, 2, \dots, K$ ) を用意しておき、メトロポリス法を適用して解系列 $\{x_i^k\}$  ( $i=0, 1, \dots; k=1, 2, \dots, K$ ) を生成する。メトロポリス法を $n$ 回適用するごとに解 $x_i^k$ の評価関数値 $c_i^k$ に比例した確率

$$p_i^k = c_i^k / \sum_j c_j^k \quad (1)$$

で解 $x_i^k$ を、評価関数値の逆数 $1/c_i^k$ に比例した確率

$$q_i^k = (1/c_i^k) / \sum_j (1/c_j^k) \quad (2)$$

で解 $x_i^k$ をそれぞれ選択し、 $x_i^k$ を $x_s^k$ で置き換える。解系列の多重化と解の選択・置換操作を取り入れた適応度比例選択改良SA法のアルゴリズムを表1に示す。

表1 適応度比例選択改良SA法

- 
- step1: 解 $x_i^k \leftarrow$ 初期解 $x_0^k$ , 温度 $T_i \leftarrow$ 初期温度 $T_0$   
 step2: メトロポリス法を $n$ 回適用する  
 step3: 解 $x_i^k$ と $x_s^k$ の選択と置き換えを行う  
 step4: 温度を下げる:  $T_{i+1} \leftarrow g(T_i)$   
 step5: step2へもどる
- 

## 3. 巡回セールスマン問題への適用

### 3.1 計算内容

考案した適応度比例選択改良SA法を51都市のTSPのベンチマーク問題に適用し、その性能を評価した。この問題はTSP Libraryのei151と呼ばれる2次元ユークリッド型のTSPであるが、最適解の巡回経路長が6.2になるように各都市のxy座標値を区間(0,1)上に規格化した。メトロポリス法の素過程には2点交換法を、アニーリングスケジュールには等比数列型 $T_{i+1} = g(T_i) = \alpha T_i$  ( $0 < \alpha < 1$ )をそれぞれ採用した。計算に用いた各種パラメータの設定値を表2に示す。これら設定値は数々の試行計算に基づく経験から決定したものである。表2においてサンプル計算の回数とは、解の巡回経路長の平均値と分散を求めるため、初期解をランダムに変えて計算を

表2 各種パラメータの設定値

解系列数 $K$	10
初期温度 $T_0$	1.0
温度変更の係数 $\alpha$	0.9999
素過程の回数	50000
選択・置換操作の回数	1000
サンプル計算の回数	100

### 3.2 計算結果

得られた解の巡回経路長の平均値と分散を表3に示す。比較のために他のSA法に基づく計算結果も表3に示す。

表3 巡回経路長の平均値と分散

	平均値	分散
SA法	7.3	0.092
ランダム選択改良SA法	6.9	0.051
エリート保存選択改良SA法	7.0	0.074
適応度比例選択改良SA法	6.9	0.018

表3からわかるように、各改良SA法で得られる解の巡回経路長の平均値はあまり変わらない。分散は適応度比例選択改良SA法の場合が最も小さい。分散がエリート保存選択改良SA法よりも約75%も小さくなるということは、巡回経路長が短い良質の解が高い頻度で得られることを意味する。しかし、計算時間は逆にエリート保存選択改良SA法よりも約17%増加する。今後は式(1)、(2)で与えられる確率にスケールリングを導入することで評価関数値の違いを拡大して選択・置換操作の効果を高め、解を得るための計算時間を短縮することを図りたい。

### 参考文献

- 1) 小坏 成一, 須貝 康雄, 平田 廣則: 遺伝的要素を取り入れた改良型アニーリング法によるブロック配置電子情報通信学会論文誌, No.1, pp.84-87 (1990)
- 2) 中道 上: 遺伝的アルゴリズムを取り入れた改良型シミュレーテッド・アニーリング法の研究, 奈良工業高等専門学校卒業研究報告書 (1997)
- 3) 塘 朋子: 遺伝的アルゴリズムを取り入れた改良型シミュレーテッド・アニーリング法の研究II, 奈良工業高等専門学校卒業研究報告書 (1998)

## A CMOS Threshold Gate and its applications

Ryo IGARASHI, Ken-ichi YAMAGUCHI

This paper discusses the circuit design of a CMOS threshold gate and its applications to the multiple valued logic circuits, multiple valued memory, A/D converter and D/A converter. CMOS threshold gates have been shown to be particularly attractive for multiple valued logic and multiple valued DRAM applications because of a simple circuit configuration and long retention characteristics of several minutes. Being applied CMOS threshold gates to a conventional logic circuit, silicon die area is reduced one third or one fourth. It is also emphasized that A/D converter and D/A converter with high accuracy are realized.

### 1. INTRODUCTION

Recent technological requirements of sophisticated electronic devices have created demand of large scale, complex, integrated circuits. Meeting the demand has required technological advances in materials and process refinement. It is, however, likely that limit of process technology is expected for VLSI circuits to be no more improved from viewpoints of manufacturing yield and cost.

It is, therefore, important that process dependency of VLSI circuits is lowered in technological advances. One of the most attractive approaches is to utilize multiple valued logic. Several proposals of this approach have reported<sup>[1],[2]</sup>. In this circuit, conventional MOSFET's with floating gates are used. Input signals are given to capacitors connected between several input terminals and the floating gate. An input weighting is determined by the values of capacitors. It is noted that capacitors are hard to be integrated in a VLSI circuit.

On the other hand, authors have studied Neuron Cell consisting of CMOS transistors.<sup>[3],[4]</sup> As a result of this study, it has been found that the Neuron Cell capable of positive and negative weighting is implemented, adding or subtraction input currents each other through current mirror. This Neuron Cell is used to realize not only neural network, but also threshold gates applied to multiple valued logic circuits.

In an application to multiple valued logic circuits, a multiple valued register is required to implement multiple valued system which avoids use of binary logic circuits. This paper describes multiple valued register with long retention characteristics and A/D converter with high accuracy and high performance.

When the CMOS threshold circuits are utilized as logic circuits, number of MOS transistors can be reduced one third or one fourth. This means that silicon die area of VLSI can be reduced without process innovation.

It may be concluded CMOS threshold gates provide substantial leverage over conventional CMOS gates because of simple circuit configuration and high function.

### 2 Basic multiple valued circuit

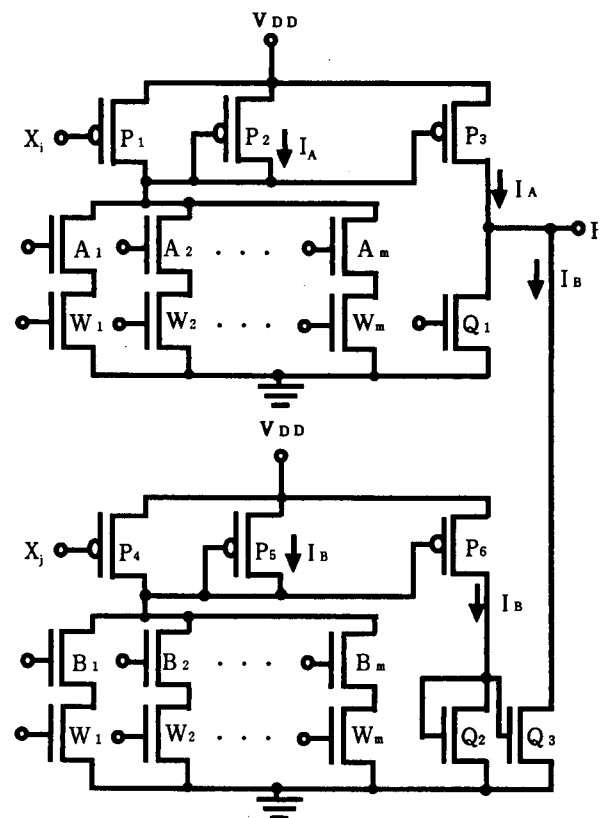


Figure 1 Basic multiple valued circuit



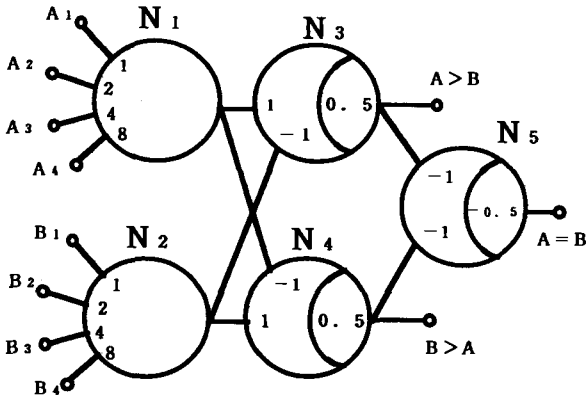


Figure 4 4 bit comparator

$N_2$  are given to  $N_3$  and  $N_4$  as inputs in order to obtain comparison results of  $A > B$  and  $A < B$  from  $N_3$  and  $N_4$ , respectively. Threshold gate  $N_5$  generates an output corresponding to  $A = B$ .

Figure 5 shows the circuit diagram of a part of the comparator shown in Figure 4. It is noted that this circuit consists of only MOSFET's.

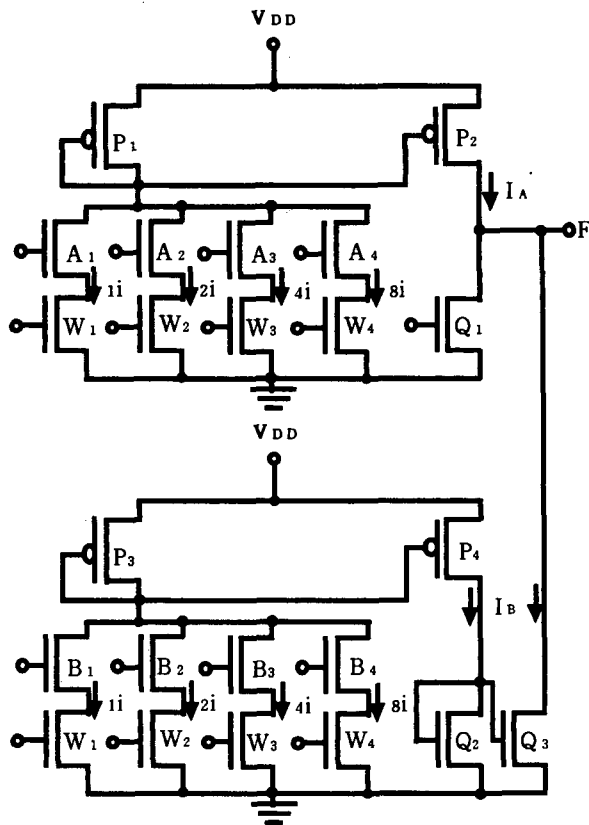


Figure 5 Circuit diagram of 4 bit comparator

In Figure 5, N channel MOSFET  $Q_2$  and  $Q_3$  consists of a

current mirror to implement negative weighting. Threshold gate  $N_3$  consists of N channel MOSFET  $Q_2$  and  $Q_3$ , and P channel MOSFET  $P_2$ . Threshold value is provided by a constant current of  $Q_1$ .

### 3. Structure of Multiple valued Register

At present, DRAM's are widely used as a main memory of MPU. It is, however, difficult for DRAM to be used as multiple valued memory because of its short retention time.

Authors have proposed Multiple valued DRAM cell consisting of two diodes and one capacitor in order to obtain longer retention time. It is, however, hard for this memory to be used in combination of multiple valued logic circuits. The reason is that a large current deviation takes place even if a small voltage change in the capacitor occurs. It is, therefore, required that multiple valued register has long retention characteristics equivalent to SRAM.

Figure 6 shows the circuit diagram of multiple valued register in which multiple valued information is stored in a form of electric charge in the capacitor.

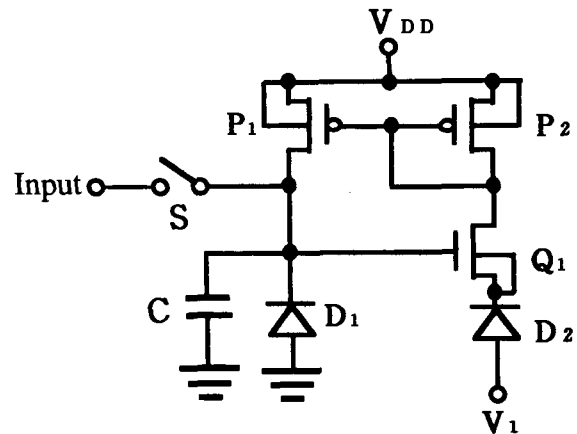


Figure 6 Circuit diagram of multiple valued register

Lets explain the theory of operation associated with Figure 6. The diodes  $D_1$  and  $D_2$  are designed so as to have the same electric characteristics. Parameters of NFET  $Q_1$  and a value of externally supplied voltage to the diode  $D_2$  are determined in order for the current of the diode  $D_2$  to be equal to the current of  $D_1$ . This current flows through NFET  $Q_1$  and PFET  $P_2$ . The current mirror consisting of PFET  $P_1$  and  $P_2$  supplies to the diode  $D_1$  the same current as the diode  $D_1$ . This means

that the current of the diode  $D_1$  is cancelled by the current of the diode  $D_2$ , resulting in no charging or discharging current in the capacitor. Therefore, a long retention time is obtained.

#### 4. Application to Multiple valued Multiplier

In a multiple valued system, it is desired to use multiple valued register in multiple valued arithmetic and logical operation instead of conventional binary register.

In figure 7, 2 bit multiple valued multiplier and multiple valued register are shown, storing the multiplication result from the multiplier to the register. When 2 bit input  $A_1, A_2$  is multiplied with input  $B_1, B_2$ , multiplication result is obtained as a current through PFET  $P_3$ .

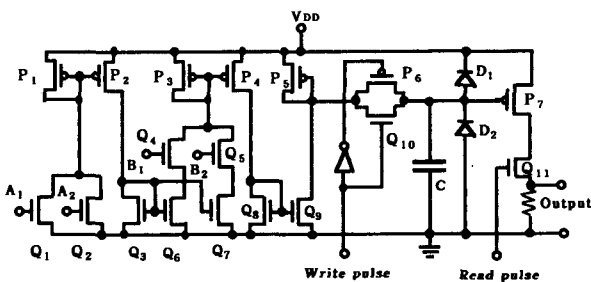


Figure 7 Application to multiple valued multiplier

The circuit consisting of PFET  $P_3, P_4$  is a current mirror. NFET  $Q_8, Q_9$  is also a current mirror. Through these current mirrors, an output current is generated in PFET  $P_5$ , being converted to a voltage.

In writing operation, a write pulse is applied to PFET  $P_6$ , NFET  $Q_{10}$ , a voltage corresponding to the output current is set to the capacitor  $C$ .

In Figure 7, an output current is converted to a voltage. This is for explanation purpose only. In general, it is not required to use resistor in a VLSI.

Figure 8 shows a simulation result of the system with multiple valued multiplier and register.

In an application of the multiple valued register to A/D converter system, the register is used as sample and hold circuit. An A/D converter is shown in Figure 9, which is designed with capability of high-speed operation. It becomes evident that an accuracy of each digital output is determined by values of reference currents and is not degraded by a significant bit.

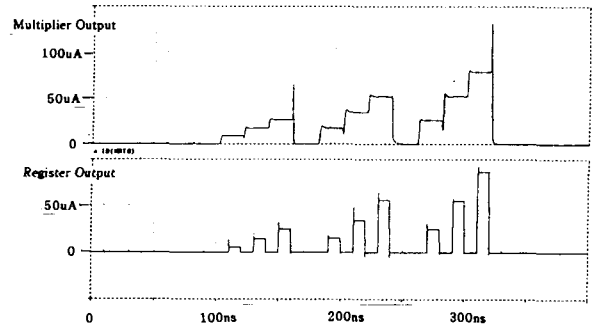


Figure 8 Simulation result of multiple valued multiplication system

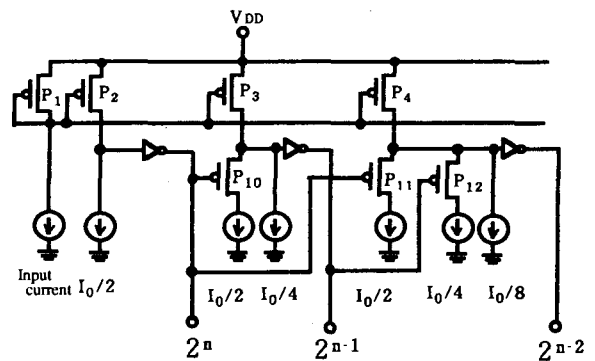


Figure 9 High precision A/D converter

In incorporated with the high precision A/D converter, reference current sources shown in Figure 10 are provided.

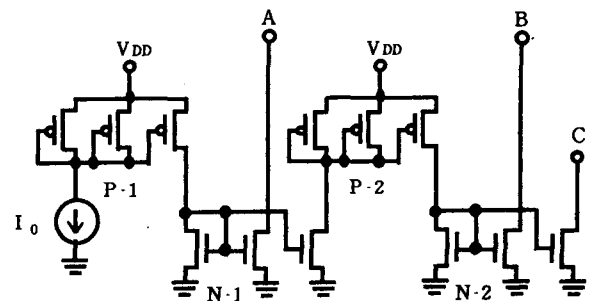


Figure 10 Reference current sources

Assuming that the maximum input current is  $I_0$ , the reference current sources have to generate  $I_0/2, I_0/4, I_0/8, I_0/16, \dots$

Referring to Figure 10, current mirror P-1 and P-2, consisting of three PFET's, and current mirror N-1 and N-2, consisting of three NFET are connected each other so that P-1 generates a half of input current ( $I_0/2$ ). N-1 generates an out-

put current same as input current.

It is, therefore, clear that  $I_0/2$  and  $I_0/4$  are obtained at terminal A and B, respectively.

If other reference current sources as shown in Figure 10 are added to terminal C,  $I_0/8$  and  $I_0/16$  are obtained.

## 5 Conclusions

It has been shown that utilizing neuron cell capable of positive and negative weighting as threshold gate, multiple valued logic circuit can be obtained. Using threshold gates, logic circuits are so simplified that number of FET's is reduced to one third or one fourth times as many as that of a conventional binary logic. It is, however, noted that further considerations are required from viewpoints of die area, power dissipation, operation speed, etc.

For further discussion, it is pointed out that threshold gates require DC current. However, much less power dissipation is assumed due to current mode operation which does not require power dissipation to charging and discharging wiring capacitors. One of effective approaches in power reduction is to control to shut down power sources when not required.

One of the most important problems is of speed degradation due to low charging capability when difference of positive current and negative current is small.

As for multiple valued register, it is described that long retention characteristics is obtained by supplying the same current as leakage current which flows through the memory diode. This type of register will be effective for realizing a simple multiple valued system.

It is, also, evident that the threshold gates, the neuron cell, the multiple register/memory, the A/D converter, a D/A converter, an analog circuit are integrated on a chip as well as conventional binary logic/memory.

It is, therefore, concluded that based on the threshold gates and multiple valued register/memory, LSI design capability is enhanced..

Engineers, Japan, Vol.68, No.5, pp.515-521.

- [2] T.Ohmi, T.Shibata:"An Intelligent MOS Transistor Featuring gate-level Weighted Sum and Threshold Operations"(1991), pp.919-922, IEDM
- [3] J. Kobayashi, Y. Nishimoto, Y. Mimura and R. Igarashi, "Current Summation Neuron Cell ( $\sigma$ -Neuron Cell)", Proceeding of the 3rd student convention of kansai-section of Institute of Electronics, Information and Communication Engineers, Japan.
- [4] J. Kobayashi, R. Yokosu and R. Igarashi, "A proposal of  $\sigma$ -Neuron Cell and its application", Proceeding of the 1997 convention of Institute of Electronics, Information and Communication Engineers, Japan.
- [5] K. Yamaguchi and R. Igarashi, "A multiple valued memory considerations" 1997 Joint convention of Kansai-section of electrical engineer related institutes, G11-2.

## References

- [1] M.Kameyama and T. Higuchi, "Multiple valued logic system and its application", Proceeding of the Institute of Electronics, Information and Communication



# インターネットにおける情報倫理教育に関する考察

工藤 英男・吉川 博史\*

About the Education of Information Ethics on the Internet

Hideo KUDO and Hiroshi YOSHIKAWA

高等専門学校や短期大学では、情報リテラシー教育において、コンピュータ操作、インターネット活用、情報技術の応用など教えている。それゆえ、学生は、学校の情報処理設備からインターネットを自由に利用できる。しかしながら、インターネットの情報倫理に関する題点もいくつか話題となっている。本稿では、高専の情報工学科や短大の経営情報学科での情報処理教育を進めるに当たって、学生のインターネットと情報倫理に関するアンケートを実施した結果について報告する。なお、アンケートの設問は、情報倫理教育研究グループにおいて作成されたものを利用させて頂いた。

## 1. はじめに

インターネットの普及により、高等専門学校（以下、高専と記す）、短期大学および大学の情報基礎教育の中で、インターネットの活用を含めた情報リテラシー教育が実施されつつある。また、関係学会では、情報倫理教育の必要性が指摘されている<sup>1)</sup>。

情報処理教育を行う上で、学生の意識を把握し、授業計画に取り入れることが重要であると考えている。そこで、数年来、入学時におけるコンピュータに関する意識の把握を目的として、アンケート調査を行ってきた<sup>2,3,4)</sup>。

本稿では、社会情勢を考慮して、「インターネットと情報倫理」に関する学生の意識を調査する目的で作成されたアンケート<sup>5)</sup>を利用して、所属の異なる同じ年齢の学生である高専の1・2年と高校生対象の報告<sup>6)</sup>との比較および高専の4・5年と短大生の1・2年との比較分析した結果について報告する。

## 2. 情報倫理に関する意識調査

ここでは、調査の概要と予備質問について示す。

### 2.1 意識調査の概要

この調査の目的は「インターネットと情報倫理」に関して、所属の異なる同じ年齢の学生を対象に学生の意識の比較分析することである。なお、高校生対象の報告では、大阪府立の工業高校の1年、兵庫県立の高校（総合学科）の1・2年を文献6より参考にさせてもらった。

**【対象】** アンケートを実施したのは、奈良高専の情報工学科1・2・4・5年、大阪短期大学の経営情報学科1・2年であり、人数はそれぞれ39名、42名、38名、40名、及び67名、38名であった。

**【調査項目】** 調査質問項は文献5を利用して頂いた。予備質問A（性別、パソコン所有の有無、インターネット利用の有無）、予備質問B（用語の知識）、本質問（個人情報、パスワードやセキュリティなど）の3つの区分からなる。

### 2.2 予備質問

学生を取り巻くコンピュータ環境について把握をする

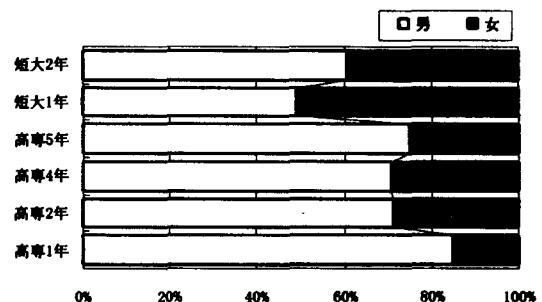


図1 回答者の性別

\* 大阪短期大学

ための設問である。

図1より、女子学生は、高専生が約1.5割から3割、短大生が約4割から5割である。

図2より、「パソコン所有の有無」については、高専生では3割から6割程の学生が個人で所有している。なお、短大生はノートパソコンを購入させているため、8割以上となっている。

図3より、「家庭でのインターネット利用」については、1割から3割で学年が上がるほど高くなっている。

図4より、「学校でのインターネット利用」については、高専生の4・5年で9割弱、短大生は5・6割である。

次に、学生の情報関連に関する用語等の知識レベルを確認する設問である。図5-aに高専生を、図5-bに短大生について、内側から外側に向かって知識のレベルが高い事を示すレーダーチャートで表す。

高専生においては、内側が1年生で学年が上がるにつれて外側になり、5年生が一番外側である。短大生も同様な傾向が見られるが、短大生に比べ、高専生の方が外側にある。高専生および短大生とも、「聞いたことのある」割合の高いものに、Windows、インターネット、ウイルスがある。「知らない」割合の高いものに、ネチケット、ブラウザ、電子マネーがある。

各学校の特徴を示すと、短大生は大方の学生がパソコンを所有し、半数がインターネットを利用しているが、用語の知識は低い。

高専生は6割の学生がパソコンを所有し、9割の学生がインターネットを利用し、用語の知識は豊富である。つまり、高専生は既に3年間コンピュータの専門教育を受けているため、同年齢の短大生よりも知識がある。

なお、比較のために高校生について補足すると、家庭でのパソコンの所有は、意外にも工業高校生が他の生徒に比べ半分以下と少ない。また、家庭でインターネットを使える環境がありながら、実際に使っている生徒は1割に満たない現状である。用語の知識に関して、「ISDN」「LAN」「DOS/V」などの専門用語については、「聞いたこともない」という生徒が4割から8割いる。「ネチケット」については、どの学科も8割以上の生徒が「聞いたこともない」と答えている。

### 3. 意識調査における分析結果

ここでは、情報倫理に対する学生の意識の違いについて、所属の異なる同じ年齢の学生における実態について分析する。

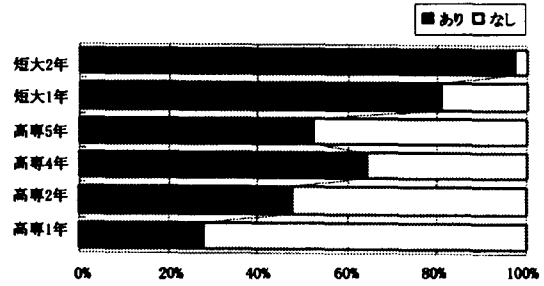


図2 パソコンの個人所有

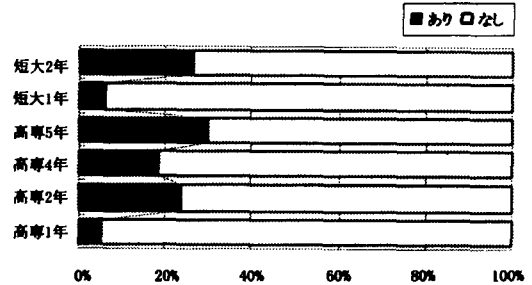


図3 家庭でのインターネット利用

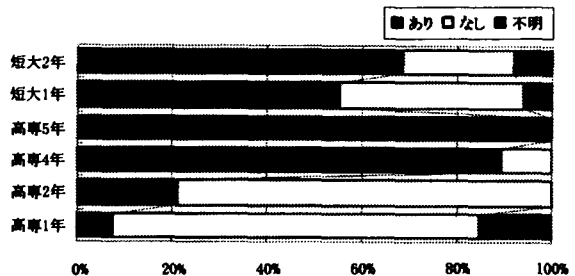


図4 学校でのインターネット利用

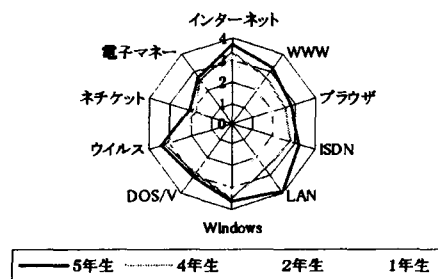


図5-a 用語の知識 (高専生)

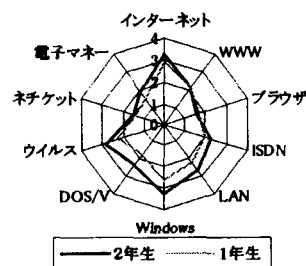


図5-b 用語の知識 (短大生)

3.1 本質問の結果

個人情報、知的所有権、セキュリティ（コンピュータ犯罪）、著作権及びフィルタリングについて順に示す。

(1) 個人情報に関する設問

a. 他人情報の閲覧

図6より、「コンピュータを用いて、他人の個人データ（住所、氏名、電話番号、性別、年齢など）を自由に見ることができるとしたら、あなたは見たいと思うか？」について、5段階（是非見たい、どちらかといえば見たい、どちらでもない、どちらかといえば見たくない、絶対に見たくない）で答えてもらった。

全体的に1割の学生が「是非見たい」、4割前後の学生が他人の情報に関心を示している。

b. 個人情報の閲覧

図7より、「コンピュータを用いて、他人があなたの個人データ（住所、氏名、電話番号、性別、年齢など）を見ることについてどう思うか？」について、5段階（大きな問題がある、ある程度問題がある、どちらでもない、ほとんど問題がない、まったく問題がない：図11まで同様なので、図中での表示は略す）で答えてもらった。

短大1年は4割であるが、短大2年と高専の4・5年では7割近くの学生が「問題である」と答えている。つまり、年齢が上がるほど、自分の個人情報を見られる事に問題を感じている傾向がみられる。

c. 個人データや写真の掲載

図8より、「ホームページなどに個人データを載せることについてどう思うか？」については、学年に関係なく、5割近くの学生が「問題である」と答えている。高校生も4割前後が「問題である」と答えているが、工業高校の1年では2割が「全く問題ない」と答えている<sup>6)</sup>。

図9より、「ホームページ等に個人の写真を載せることについてどう思うか？」については、3割前後の学生が「問題である」と答えているが、「問題がない」が高学年に増えている。なお、高校では工業高校で「問題がない」が他の学科に比べ多い<sup>6)</sup>。

以上、個人情報に関しては、他人の個人情報を覗きたいと思いと他人には自分の個人情報を知られたくないという両面が伺われる。ホームページに掲載する内容として、個人情報より写真の方が「問題がない」という回答に疑問を感じる。

(2) 知的所有権に関する設問

a. 他人の写真・音楽の貼付け

図10より、「ホームページなどに他人の写真や音楽を自由に貼付けもよいと思うか？」については、7割近い学

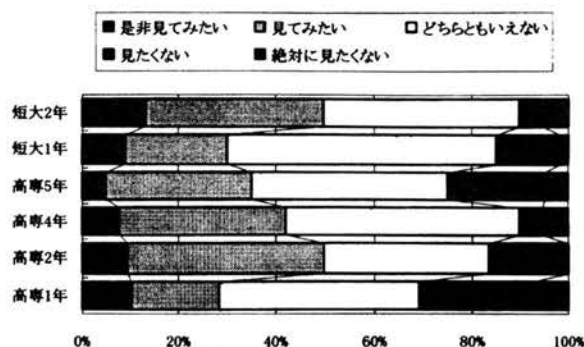


図6 他人の個人データ閲覧 (Q2)

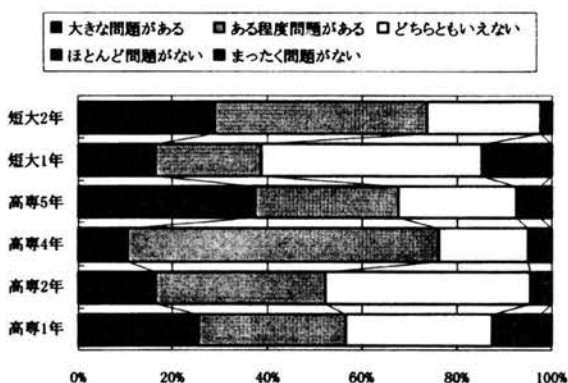


図7 他人の個人データ閲覧 (Q1)

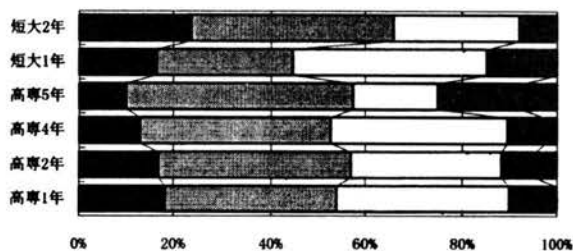


図8 他人の個人データ掲載 (Q3)

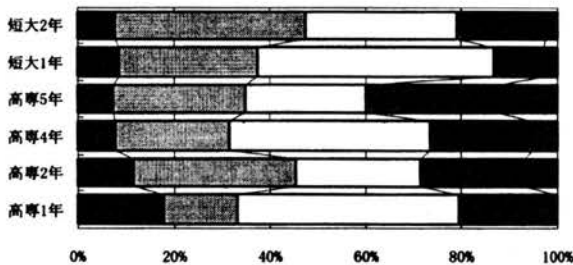


図9 写真の掲載 (Q4)

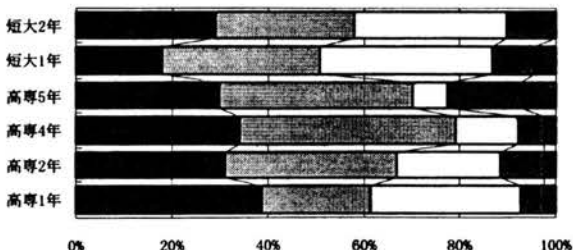


図10 他人の写真・音楽の貼付け (Q5)

生が「問題である」と答えている。短大生が若干低い傾向にある。

b. 勝手にリンク貼る

図11より、「他人のホームページに、勝手にリンクを貼るのは自由であると思うか？」については、6割以上の学生が「問題である」と答えている。

知的所有権に関して、他人の写真や音楽あるいは他人のホームページに、勝手にリンクを貼ることは、大方の学生らは良くないことと意識しているように伺われる。

(3) セキュリティなどに関する設問

a. パスワードの認識と公表の可否

図12に、「自分は盗まれて困るような情報を持っていないので、パスワードが他人に知られても問題がないと思うか？」を、図13に、「自分のパスワードは、友達に教えてもいいと思うか？」を示す。

両者とも、7割前後の学生が「問題である」答えている。高校生では4割と低いが、学年が進行につれて意識が高まっている。

b. 他人のパスワードでログイン

図14より、「あなたが、もし他人のユーザ名とパスワードを知ったとしたら、ログインしたいと思うか？」について、5段階（是非やってみたい、やってみたい、どちらともいえない、やってみたくない、絶対にやらない：図15も同様なので、図中での表示は略す）で答えてもらった。

2割強の学生が「やってみたい」と答えているが、「絶対にやらない」が3割ぐらいいる。工業を除く高校生では約3割が「やってみたい」と答えているが、工業高校では5割強が「やってみたい」と答えている<sup>6)</sup>。反面短大や高専の高学年では「やってみたくない」が5割程度ある。

c. コンピュータウイルスについて

図15より、「あなたが、もしコンピュータウイルスを開発できるとしたら、効果を試すために他人のコンピュータに入れてみたいと思うか？」については、2割弱の学生が「やってみたい」と答えており、「絶対にやらない」が5割に近い。工業を除く高校生では約2割が「やってみたい」と答えているが、工業高校では5割弱が「やってみたい」と答えている<sup>6)</sup>。反面短大・大学では「やってみたくない」が5割を超えている。

以上、セキュリティなどに関しては、パスワードの重要性の認識は大方理解されているようだが、不正なログインやウイルスの混入などに2割ほどの学生が関心を示している。また、工業高校の生徒においては、技術的な興味が高い傾向がみられる。

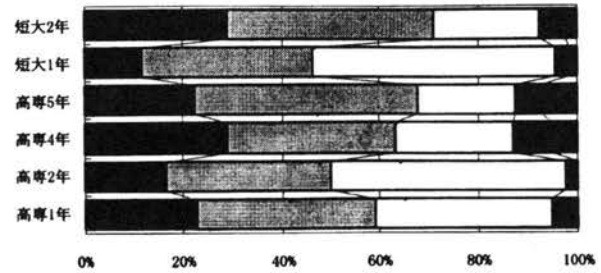


図11 勝手にリンクを貼る (Q 6)

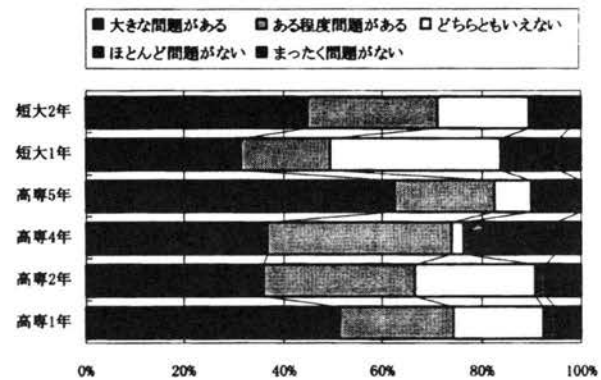


図12 パスワードの重要性 (Q 9)

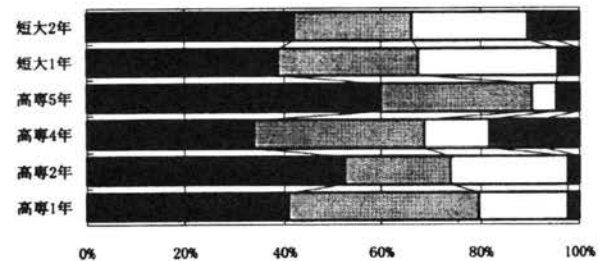


図13 パスワードの公表 (Q 8)

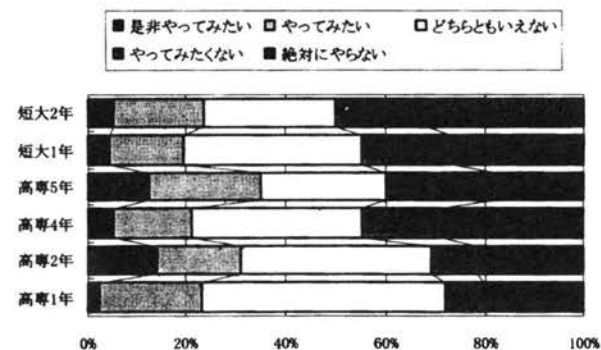


図14 他人のパスワードでログイン (Q 10)

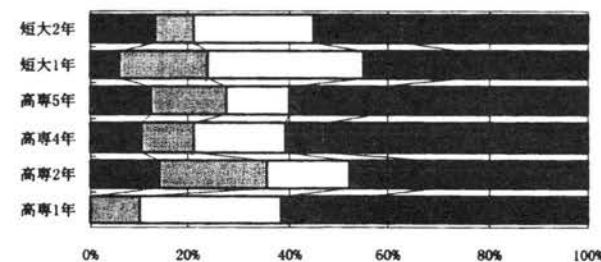


図15 ウイルスの混入 (Q 11)

(4) フィルタリングに関する設問

a. 猥褻・暴力画像について

図16より、「猥褻な画像や暴力シーンの画像などの情報がインターネットで見ることができる。そのような情報公開することにどう思うか？」について、5段階（大きな問題がある、ある程度問題がある、どちらでもない、ほとんど問題がない、まったく問題がない：図17も同様なので、図中での表示は略す）で答えてもらった。

2年を除く高専生の5割近くの学生が「問題がある」と答えている。短大とも高専と似た傾向である。なお、工業を除く高校生では約6割が「問題がある」と答えている。工業高校では「問題がある」と「まったく問題ない」がほぼ同数（3割強）である<sup>6)</sup>。

b. フィルタリングについて

図17より、「WWWサイトのフィルタリングについてどう思うか？」については、高専生が短大生より1割ほど多く「問題がある」と答えている。しかし、6割近くは「どちらでもない」と答えている。全体的にその意味が分からない学生が大半であろう。

c. システム管理者のメール内容の閲覧

図18より、「システム管理者は、個人メールの内容を見てもやむを得ないと思うか？」について、6割から8割が「問題がある」と答えている。学年が上がるにつれて問題意識が高まっている。

以上、猥褻な画像や暴力シーンの画像など有害なホームページのフィルタリングやレーティングについては、表現の自由との関係もあり、高専生の低学年の年齢では難しい問題である。また、「誰にとって不都合な情報が除去されるか」を正しい知識として身につけると回答もだいたい変化すると考えられる。なお、システム管理者のメール内容の閲覧については、検閲の意味でここに入れた。

(5) 著作権に関する設問

a. 市販ソフトの複製について

図19より、「市販ソフトウェアをコピーできるようにすることについてどう思うか？」について、5段階（よいと思う、試す程度ならよいと思う、安価なソフトならよいと思う、購入したソフトならかまわないと思う、よくないと思う：図20も同様なので、図中での表示は略す）で答えてもらった。「購入したソフトならかまわないと思う」が高学年に多く見られる。

b. ネットワークでの市販ソフトの利用について

図20より、「学校や職場で使っているネットワークで一つの市販ソフトを全員が使えるようにすることについてどう思うか？」について、「よいと思う」が学年が上がるほど高くなっている。

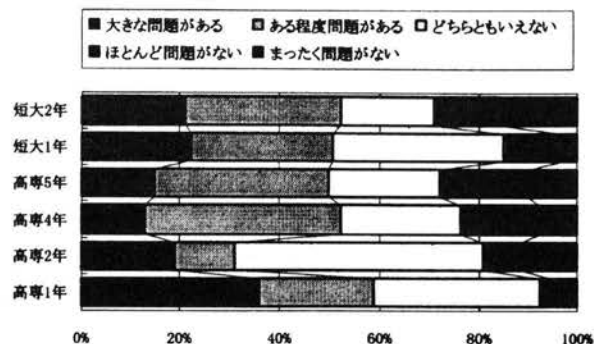


図16 猥褻・暴力画像について (Q 17)

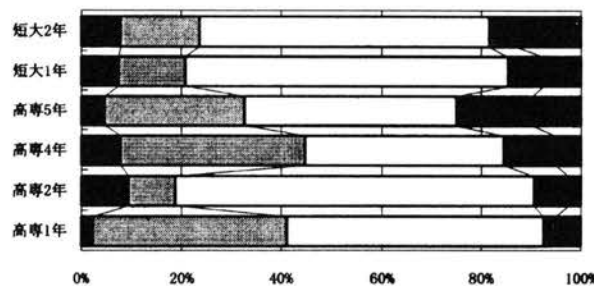


図17 WWWサイトのフィルタリングについて (Q 18)

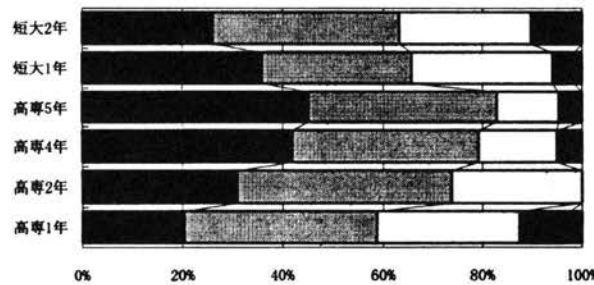


図18 システム管理者のメール閲覧 (Q 7)

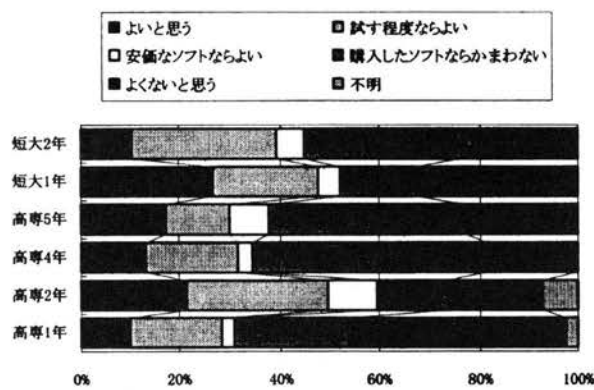


図19 市販ソフトの複製について (Q 15)

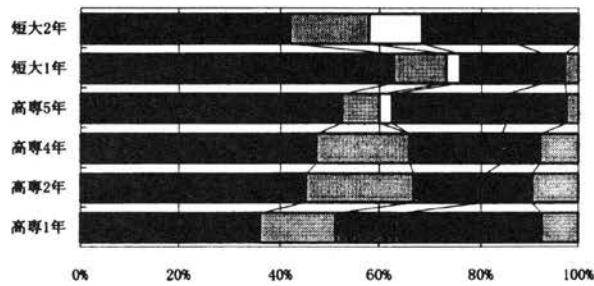


図20 ネットワークでの市販ソフトの利用 (Q 16)

以上、著作権に関しては、市販ソフトの複製及びネットワークでの市販ソフトの利用についての意識の低さが問題であると考えられる。

### 3.2 分析のまとめ

以上をまとめると、次のような傾向がみられる。個人情報に関しては高専生が意識が高く、個人情報に関しては、他人の個人情報を覗きたいと思いと他人には自分の個人情報を知られたくないという両面が伺われる。知的所有権他人の写真や音楽あるいは他人のホームページに、勝手にリンクを貼ることは、大方の学生らは良くないことと認識しているように伺われる。また、セキュリティに関してはパスワードの重要性の認識は大方理解されているようだが、不正なログインやウイルスの混入などに学校を問わず2割ほどの学生が関心を示している。また、フィルタリングについては高専生が意識が高い。知的所有権に関しては短大生が意識が低い。著作権に関しては、市販ソフトの複製及びネットワークでの市販ソフトの利用についての意識の低さが問題であると考えられる。

これらを考慮すると、単なる情報処理技術のみならずインターネット利用におけるガイドラインや社会的意義を踏まえた情報倫理教育の必要性を切に感じる状況である<sup>7, 8, 9, 10)</sup>。

## 4. おわりに

学習指導要領の改訂に伴い、高校では「情報」という新しい教科の設置が検討されている<sup>11)</sup>。これらの提案の中にも、情報倫理に関する教材が含まれている。また、大学での情報倫理の教材としては、私情協のテキスト<sup>12)</sup>がある。今後、高専においても、低学年から活用できるテキストが必要であると考えられる。

本稿では、「インターネットと情報倫理」に関して、所属の異なる同じ年齢の学生を対象に分析した結果について述べた。なお、アンケートに回答してくれた学生諸氏ならびに、データの集計を手伝ってくれた蓮尾拓哉、中島一幸の両君に感謝します。また、(財)上月教育財団より平成9年度情報教育研究助成(研究代表者:高橋参吉先生)で作成されたアンケートを利用させて頂いたことに謝意を表します。

## 参考文献

- 1) (社) 情報処理学会(短期高等学校における情報処理教育の実態に関する調査研究会): 短期高等学校における情報処理教育の実態に関する調査研究平成6年度報告書(1995)。
- 2) 工藤, 下村, 多喜: 高専入学生のコンピュータに対する意識調査, 教育システム情報学会第20回全国大会論文集, pp.145-146 (1995)。
- 3) 工藤, 吉川: 情報処理における高専生の意識調査(3)-高専4年生と短大1年生との比較-, 平成8年度情報処理教育研究集会講演論文集, pp.256-259 (1996)。
- 4) 工藤, 吉川, 安留: インターネットにおける情報倫理に関する意識調査(1)-高専生と短大生との比較-, 教育システム情報学会第23回全国大会論文集, pp.277-280 (1998)。
- 5) 河俣, 泉, 金田: インターネット活用における情報倫理教育(1), 教育システム情報学会第23回全国大会論文集, pp.289-292 (1998)。
- 6) 山上, 西野: インターネット活用における情報倫理教育(2), 教育システム情報学会第23回全国大会論文集, pp.293-296 (1998)。
- 7) 高橋, 渡邊, 乾: インターネット活用における情報倫理教育(3), 教育システム情報学会第23回全国大会論文集, pp.285-288 (1998)。
- 8) 工藤, 高橋, 渡邊: 高専におけるインターネット活用と情報倫理教育, 電子情報通信学会技術研究報告, ET98-55 pp.7-14 (1998)。
- 9) 工藤, 安留, 寺本, 吉川: “インターネットにおける情報倫理に関する意識調査(2)-高専生と短大生及び大学生との比較-”, 文部省平成10年度情報処理教育研究集会講演論文集, pp.389-392 (1998)。
- 10) 江澤, 安藤, 中條, 臼井, 赤松, 工藤: “ネットワーク市民と情報倫理の課題”, 情報処理学会研究会報告, 98-CE-50, Vol.98, No.102, pp.109-115 (1998)。
- 11) 研究代表者岡本敏雄: 高等学校段階における情報教育実施と評価のためのフィージビリティ・スタディ, 平成7・8年度文部省科学研究費(基盤研究(BX1))最終報告書(1997)。
- 12) 私立大学情報教育協会: 情報倫理概論(1995)。

## シミュレーションのプロセス制御への応用に関する考察

近藤 勝也

An application of a simulation to process control

Katsuya KONDO

A simulation is being used in various fields, because that makes possible to study characteristics of an actual subject without actual test. In process control, the simulation is also useful to analysis and design of the control system. But, there is some knowledge to use the simulation effectively. This paper gives my opinions considered based on many year's experience of steel plant control.

### 1. はじめに

工学, 社会, 自然界などを対象に, その全体あるいは一部を模擬するモデルを作り, その挙動を調べることによって本来調べたい対象の特性に検討を加えるのがシミュレーションである<sup>1), 2)</sup>. シミュレーションはさまざまな分野で活用されているが, 自動制御においても有力な検討手段である. 筆者が長年たずさわってきた鉄鋼製造プロセスのコンピュータ制御の分野においても, プロセス制御技術を検討するためにシミュレーションがよく用いられている<sup>3)~6)</sup>.

しかし, 制御プロセスの数式モデルを教科書通りに作って計算するだけでは, シミュレーションを実際の制御分野で有効に活用することは難しい. なぜなら, モデルを厳密にすればするほど, モデル作成時間や計算時間は多くなり, さらに解決すべき問題は不明瞭になり勝ちで, 肝心な問題解決が遅くなってしまふからである. これを改善するには, 対象の制御プロセスの解決すべき命題を明確にし, その問題解決に必要な十分なだけのシミュレーションモデルを作成し, その計算結果を効率よく評価することが大切である.

そこで本論文は, プロセス制御における筆者の技術開発経験をもとに, シミュレーション技術の応用において気をつけるべき事項を考察・整理した. プロセス制御のための制御理論は古典制御理論から現代制御理論まで幅広いが, ここで説明する自動制御系はラプラス変数とブロック図を用いて表される古典理論に限定した. 筆者の経験が古典理論が中心であったことと, シミュレーシ

ョンのノウハウとでもいうべき内容はこれで十分説明できるからである. また, ここではデジタル計算機を用いたシミュレーションを取りあげる. シミュレーション理論, シミュレーション用ソフトウェアやCADなどの説明は専門書<sup>1), 2), 7)</sup>を参照されたい.

### 2. プロセス制御とシミュレーション

#### 2.1 シミュレーションの効果

一般的に自動制御系は図1のように表せる<sup>8)</sup>. すなわち, 制御対象の出力である制御量が目標の値になるように, 調節部や操作部などの制御装置によって制御対象を操作する構成になっている.

自動制御の良否は目標値に対する制御量の動き(応答)で評価され, その偏差, 速応性, 安定性などが評価基準である. この性能のよい自動制御系を設計するための方法が古くから研究され, 実用性の高い理論や手法が数多く発表されている. しかし, 実際の制御対象に制御装置を結合してみないと, 最終的な制御の性能が判断できな

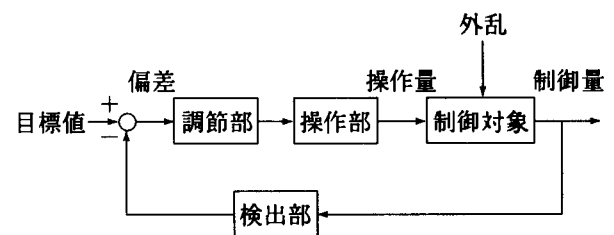


図1 自動制御系の構成

いのが通常である。そこで、シミュレーションを用いて事前に検討すると、次のような効果が期待できる。

- ①全体構想段階では、制御量や操作量の選定、検出部への要求事項、制御装置の仕様などをより具体的に検討できる。
- ②自動制御で達成できようであろう制御精度をより具体的に示すことができる。同時にその達成精度が実機調整の目標になる。
- ③制御装置の設計内容をシミュレートすると、設計の試行錯誤が簡単におこなえる。さらにこの過程で用いた制御プログラムや調整データを実機で使うと、製作工程の短縮が図られる。
- ④実機で発生したトラブルをシミュレーションで実現できれば、トラブル対策にかかる時間と費用を節約することができる。

## 2.2 シミュレーションの手順

シミュレーションに限らず、ものごとを押し進めるにあたっては、具体的に作業を進めることに気を取られ勝ちであるが、なぜそれをやるのかというような命題を明確にすることが大切である。すなわち、検討あるいは解決すべき問題点や目的をはっきりさせることである。命題を明確にした後、具体的な作業に取りかかる。

その命題の明確化に始まるシミュレーションの手順をフローにすると図2のようなになる。シミュレーションの具体的な作業にはモデルの作成、計算の実行、その評価などがある。この手順の詳細を次章以下に説明するが、シミュレーションの例は参考文献<sup>3)-6),9)</sup>を参照されたい。

## 2.3 数式モデルの線形性

数式を用いて自動制御系を表現する方法は制御理論の教科書に詳しく説明されている。(たとえば文献8)) 制御

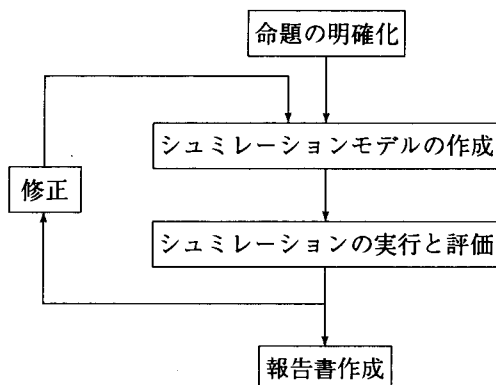


図2 シミュレーションの手順

対象、制御装置をとわず、物理的な基本式は微分方程式である。この基本式を制御理論で取りあつかうため、古典理論ではラプラス変換によって周波数領域の式に変換し、現代制御理論では微分方程式のまま変形して状態方程式を作る。古典、現代の両制御理論とも、通常は線形モデルを対象としており、非線形モデルは例外的に取りあつかわれる。

一方、シミュレーション計算ではデジタル計算機を使用するため、非線形モデルを簡単に計算できる。そこで、とくに制御対象を精度よくシミュレーションするために、物理的な非線形特性を非線形のままで計算することがよくおこなわれる。

ここでは以上の線形モデルと非線形モデルの使い分けについて、制御対象と制御装置に分けて説明する。

### (1) 制御対象

制御対象は自然界に存在する物理的な実体であり、厳密に言えばその特性を線形モデルで表すのが難しい。また制御対象が数式モデルで表せるかどうかとも保証されてなく、モデル化が研究の重要テーマである場合も多い。しかし、我々が通常の制御で取りあつかう対象は、すでにモデル化されているか、そうでなくとも線形とは限らないが簡単な式で表現できる場合が多い。

シミュレーションでは線形か非線形かにとらわれず、まずモデルが対象の特性とよく合うかどうか重点をおくようにする。つぎによく合うモデルならば数式は簡単なほどよい。大切なのはそのための基礎練習を日頃からしておくことである。すなわち制御対象に関する文献、実体の観察やデータの解析などによってその基本的な特性を理解し、最後に数式で表すような練習である。

### (2) 制御装置

制御装置は人工的に製作される装置なので、制御で使われる式はほとんど線形モデルである。したがって制御式は線形であるが、操作部は実際の装置なので一部非線形の部分が含まれる。また実際の制御装置につけられる危険防止対策は非線形になる。たとえば過大出力を防止するための飽和要素や、微小ノイズの悪影響を防止するための不感帯要素などがある。

## 3. 命題の明確化とモデル作成

### 3.1 制御プロセスの調査とモデル化方針

#### (1) 命題明確化の意義

システム開発のコストとリスクに関する法則<sup>10)</sup>に「初期の段階ほど、その計画や設計の失敗によって、役立たないシステムを作り、大きな損害を招く恐れがある」と

いうのがある。シミュレーション全体の中で一番始めの工程である命題の明確化はこの意味で大切である。

この段階でよく考えておれば、シミュレーションそのものが不要でなかったり、簡単な検討で済ませることができたと後悔することがよくある。逆に本当は始めから時間をかけてじっくり検討すべきであったのに、拙速にシミュレーションを始めたために、検討ケース数がむやみに増えるばかりで、いくら時間が経っても結論が出てこないこともある。

すべての場合に通用するような命題の明確化のうまい方法はなく、場合に応じて考えていかなければならないことが多い。あえていえば、一番大事な仕事であるから、その分野について一番よく分かった人がやるのがよい。結局、命題の明確化の成否は技術者の力に負うところが大きい。あえていえば、次にのべる調査や次節のデータ解析が問題整理の有力な道具になる。

## (2) 調査とモデル化方針

始めに調査をおこなって、モデルをどうするかを中心としたシミュレーションの方針を立てる。

調査のスタートは文献や資料などの先行技術の調査であるが、最初からシミュレーションが必要と決めてかからないようにする。広く先行技術を調べると、シミュレーション以外のもっと有効な解決方法が見つかることもある。この時の注意事項として、次のような項目があげられる。

- ①課題（又は問題点）のとらえ方が的外れでないか。
- ②先行技術はどこまでが分かっている、分からないのは何か。
- ③シミュレーションが技術的に可能か、それにより②の分からない部分を明らかにできるか、など。
- ④シミュレーションの結果が課題解決になるか。
- ⑤シミュレーションに要するコスト（人の工数、必要時間、費用など）が得られる効果に比べ適切か。

シミュレーションの実施が決まると、次に、目的に合った先行文献や資料が有るかどうかによって、その後の展開が大きく異なってくる。

先行文献などが有る場合はそれを最大限に利用すればよいので、説明は省略する。

無い場合は、シミュレーションに必要な幅広い分野の調査が必要である。たとえば、制御対象の知識やモデル化のための数式、対象の設備類の仕様書や回路図、運転条件などの調査が必要である。これに関して次のような注意点があげられる。

- ①この段階では、納得がいくモデル作りのために十分に時間をかけて調査する。
- ②目的と完全に一致した先行技術はなくても、関係す

る文献などは多いので、これらの文献をできるだけ多く集める。そのため、図書館、データベース、文献の孫引きなど、あらゆる手段を使う。

③自然界の対象を正確にモデル化しようとするれば、いくら複雑にしても切りがない。また、厳密なモデルにすればするほど、推定しなければならない係数が増えるし、シミュレーション結果の検証も複雑になる。

④対象をどこまで近似するかが重要である。そのためにシミュレーションの目的や課題を明確にし、その検討に必要な十分な近似式を考える。経験的には、的を外れない範囲で簡単な数式にするとよい結果が得られることが多い。

⑤一方では、シミュレーションを実行することにより問題が見えてくることもある。簡単なモデルでまず計算してみることも有効である。ただし、モデルが適切かどうかはいつも気にかけておく。

## 3.2 制御プロセスデータの解析

先の調査は文献や資料の検討のみであるが、対象のプロセスが既に存在している場合は、そのデータを収集し解析する。データにはそのプロセスで常時記録されているデータ（定時記録、操業記録など）と、解析のために特別に収集したデータがある。解析の目的がはっきりしている場合には後者のデータが望ましい。また、対象のプロセスが建設前でデータが収集できない場合は、類似設備のデータ収集ができないかを検討する。

このデータの解析により、対象特有の課題や問題点をより明確にすることができる。

データ収集と解析のもう一つの目的は、シミュレーションモデルの検証である。シミュレーションモデルが適正かどうかは、シミュレーション結果が対象のデータとよく合うかどうかで評価できる。従って、必要ならば特別に実験をおこなって、シミュレーションの検証に必要なデータを集める。

以下にデータ解析の注意点をあげる。

- ①データ収集に関しては必ずデータ測定方案を書く。データ収集が効率よくおこなえるだけでなく、方案作りを通して対象への理解が深まる。
- ②測定方案の中では図や表を多く使うのが望ましい。とくに対象の設備の図を自分で書くとう理解を深めるのに役立つ。
- ③測定やその方案作りにあたっては、対象設備の運転者や保守担当者と同等に話ができる知識を持つことが望ましい。
- ④データ収集のためにデータロガー（収集装置）やデータレコーダを使う場合には信号処理の基本事項に気を

つける。すなわち、サンプリング周期（周波数）とデータ数やデータの分解能などに十分注意しておく。これらが適切でないと、採取したデータが使えなかったり、解析精度が不十分になることがある。とくにアナログデータを収集した場合には、採取現場でデータを再生して、記録データのノイズや精度をチェックする。

### 3.3 シミュレーションモデル

先の調査やデータ解析の結果にもとづいて、シミュレーションのためのモデルを作成する。作成の手順は、まずプロセス全体のブロック線図を作り、次にフローチャートを作成する。それぞれについて以下に説明する。

#### (1) ブロック線図

実物をブロック線図で表すために何段階かに分けて簡略化していく。すなわち、実物の構成図、実物の部品名を使ったブロック線図、各部品を数式で表したブロック線図の順にかみ砕いていく。少なくとも始めはすべての手順を踏んでブロック線図を作成し、慣れてくると部品名を使ったブロック図は省略してもよい。なお、実物の構成図を書くとプロセスの理解に大変役立つので、面倒くさがらないでいつも作成するとよい。

ブロック線図の作成で注意すべき項目を次にあげる。

- ①ブロック線図全体は制御系であるから、入力又は目標値、出力又は制御量、出力のフィードバックと目標値の加え合わせ点、偏差、制御装置などをはっきり示す。
- ②制御対象、制御装置、センサーなどと実体の対応が付きやすいブロック線図にする。
- ③数式モデルは、極力ラプラス変数を用いて表現するが、必ずしも全てが線形である必要はない。とくに制御対象は線形モデルで表すことが難しいことが多いので、その場合はプロセスの数式モデルをそのまま用いて表す。
- ④後のフローチャートが作りやすいように、ブロック線図の中に注釈や説明を積極的に書き入れる。
- ⑤ブロック線図全体にわたり物理的な単位を明確にする。単位変換に必要な係数も省略しないで記入する。

#### (2) フローチャート

ブロック線図にもとづいてシミュレーション計算の手順をフローチャートにする。ブロック線図からいきなりプログラム（コーディング）を作るのに比べ、中間の段階としてフローチャートを作成すると、間違いが少ないプログラムを効率よく作ることができる。またフローチャートは計算結果を見てプログラムを修正するときにも役に立つ。

自動制御のシミュレーションでは対象の変数が時間と

ともに変化する様子を、微小時間 $\Delta t$ 毎の計算の繰り返しによって表現する。すなわち $\Delta t$ を十分小さい値にして、その時間内はシミュレーションの変数が線形変化するとして、 $\Delta t$ 時間後の各変数値を計算する。従ってフローチャートの基本的な構成は図3のようになる。 $\Delta t$ は計算の間隔であり、サンプリング周期ともいえる。

図では、始めにシミュレーション全体の初期値などを計算した後、 $\Delta t$ 時間毎の繰り返し計算をおこなう。繰り返し計算部分では、時刻 $t$ の変数値を基準として、時刻 $t + \Delta t$ の変数値がフローチャートの一巡計算で求められる。次の一巡計算では、時刻 $t + \Delta t$ の変数の値を基準に、時刻 $t + 2\Delta t$ の変数値を求める。

フローチャート作成上の注意点を次に示す。

- ①ブロック線図、フローチャート、プログラムのそれぞれの間で変数名の対応が取れるように書く。
- ②プログラムの中身はサブルーチンに分けるほうがよいので、フローチャートでもサブルーチン化を考え表現しておく。
- ③フローチャートの代わりにPAD(Problem Analysis Diagram)などで記述する方法もある<sup>11)</sup>。PADは階層構造を見やすくした書き方である。
- ④フローチャートでも、階層的に表現する方が分かりやすい。すなわち、まず全体の構成を1つの図で表し、各部分の詳細を別の図で説明する。

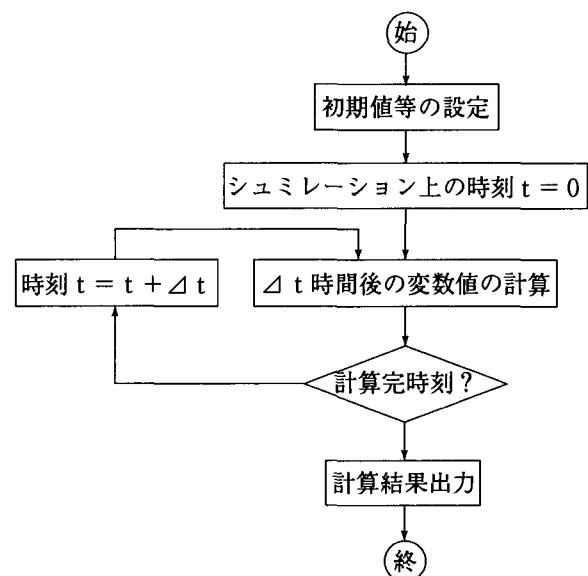


図3 フローチャートの基本構成

## 4. シミュレーションの実行と評価

### 4.1 プログラム

先のフローチャートにもとづいてプログラムを作成する。かなり前からシミュレーション用ソフトウェアが広く使われている<sup>2), 7)</sup>が、自動制御の勉強のために、一度はフローチャートに従って自分でプログラムを作成してみるべきである。従って、ここではプログラムを自作するという立場で説明するが、プログラミング技術の説明は文献<sup>11)</sup>に譲り、筆者の経験（といっても随分少ないが）から気のついたことをのべる。

#### (1) プログラム用言語

数式モデルの式をコーディングしやすい言語であれば、とくに問題はない。

①オーソドックスな言語としてはFORTRAN, C, PASCAL, BASICなどがあげられる。

③上の言語と同種ではないが、MathcadやMathematicaなどの数学ソフトは、数学的に記述した式通りにコーディングでき、シミュレーションに使えるソフトである。

③シミュレーションでは計算結果をグラフ（時間軸チャート）に表すことが不可欠である。従って、グラフ化をどうするかが言語選定の1つの目安になるが、数学ソフトはグラフ化機能が比較的充実している。

#### (2) コーディング

文献<sup>11)</sup>などと重複するかも知れないが、気のついたことを以下にのべる。

①プログラムは作成者のみでなく、本人以外の人が見ることが多いので、他人が見やすいプログラムを作ることが大切である。またこれは本人自身の誤りを少なくすることにも役に立つ。

②プログラムステップ数を少なくすることよりも、見やすく作ることを優先させるほうがよい。このためにステップ数が多くなってもよい。

③フローチャートと対応が付きやすいプログラムを作成する。

④デバッグの済んだ（使用実績のある）プログラムは安心して使えるので、既存のプログラムをできる限り多く使う。

### 4.2 計算の実行、デバッグおよびモデル修正

デバッグは誤りの修正であるが、プログラムによる計算が対象のモデルを正しく表しているかどうかと、制御プロセスのシミュレーションに特有の計算誤差について調べる。以下にそれらと計算の全般的な説明をのべる。

#### (1) 計算プログラムの誤り

計算プログラムが対象を正しくシミュレートしているかどうかを調べるために次の点に注意する。

①プログラムが大きい場合は小さく分割してデバッグした後、それらを結合して全体のデバッグをおこなう。

②デバッグではステップ信号などの分かりやすい入力に対するシミュレーションの動きを調べる。場合によっては正弦波信号を使うなどの工夫をする。

③デバッグの始めは計算結果の数値を調べる。すなわち、一部分をプリントアウトした計算結果と、フローチャート通りに電卓を使って手で計算した数値を比較する。

④数値デバッグの後に、シミュレーションの動きをグラフ（時間軸チャート）に書いて予想される通りの動きをしているかどうかを調べる。シミュレーションの信号を自由にグラフに書くことができるように、計算の中間結果に変数名を割りあてておく。

⑤数値データ、グラフをとわず、必ずプリンターに出力して、ハードコピーにする。CRT画面で確認しただけでは記録が残らないので不十分である。

#### (2) 制御プロセスに関する計算誤差

シミュレーションは対象を正しく表すこと以外に、計算誤差を無視できるくらいに小さくすることが必要である。制御プロセスの計算誤差に関してとくに気をつけねばならないパラメータは図3のサンプリング周期 $\Delta t$ である。

前述のように、シミュレーションでは時間 $\Delta t$ の間は、各変数はほぼ線形な変化をすると仮定して計算するので、この仮定が崩れるほど $\Delta t$ を大きくすると計算誤差が無視できなくなる。

$\Delta t$ 決定の目安を2次遅れ系を例に説明すると、系のステップ応答の立ち上がり時間に比べて $1/10 \sim 1/20$ 程度の $\Delta t$ を選ぶのがよいようである。これより $\Delta t$ が大きすぎると、計算誤差が無視できなくなり、実機の応答とシミュレーション結果との間に差がでてしまい、最悪の場合は計算ができなくなる。また $\Delta t$ が小さすぎると計算時間が長くなるだけで計算精度はほとんどよくなる。制御プロセス全体では、応答の一番速い系の立ち上がり時間を基準にし、上の目安で $\Delta t$ を決定する。

$\Delta t$ が適正かどうかを確認するには、 $\Delta t$ を十分小さな値からかなり大きな値まで変化させて、同じ計算をおこなう。それらの結果を比べて、 $\Delta t$ が十分小さければ計算誤差は無視できるので、 $\Delta t$ が大きくなって計算結果に差が出はじめると、その $\Delta t$ は大きすぎると判断し、それより小さな $\Delta t$ を使う。

#### (3) モデル修正と再計算

デバッグやモデル変更などで、プログラムを修正し再

計算するときの注意点をのべる。

①プログラム（コーディング）がフローチャートと違っているときはプログラムを直接修正するだけでよい。しかし、モデル変更を伴う修正の場合はプログラムだけでなく、ブロック線図やフローチャート（ドキュメントという）も必ず修正する。なお、正ドキュメントにメモを記入しておき、後で清書する方法でもよいが、プログラムとドキュメントは常に一致させておく。

②最近ではパソコンで手軽にシミュレーション計算ができるが、そのぶん無駄な計算が増え計算機に振りまわされやすい。そこで、条件をいろいろ変えて計算する場合は、計算の目的や条件などを書いたシミュレーション方案（計画書）を作成して計算を進める。方案を外れて計算する場合にも、新しい条件を方案に記入して全体の流れがわかるようにする。

#### 4.3 報告書作成

シミュレーションによる検討結果は最後に報告書にまとめる。その書き方についてはいろいろ参考書<sup>12), 13)</sup>が出版されている。以下には著者の経験から気のついたことをのべる。

①頭の中で考え整理したことが文章になるので、文字にする前に十分頭を使って整理する。なお、頭で考えたことを忘れてしまわないようにメモを取りながら整理するのがよい。

②お手本となる参考資料があれば、それを見ながらまとめると、内容の充実度や作成の速度などいろいろな点でよい報告書ができる。このようなよい参考資料（Good Example）を多く持つと大変効果がある。参考資料や自分の作成資料を日頃から集めておく。

また前出の調査資料、ブロック線図、フローチャートおよびシミュレーション方案など、それまでに作成した資料は十分に活用する。

③文章を書くには慣れが必要なので、日頃から練習をしておく。なお、報告書全体の目次から書き始めるのは有効な方法である。目次の構成を作りながら、頭に浮かんだ各項目の内容をメモしておく、文章を書く時に役に立つ。

また、よい文章を書くには何度も見直す必要があり、他人に見てもらうのもよい方法である。

④ワープロで報告書を作成するとき、文章を直接キーインする方法と、一度書いた下書きを見ながらキーインする方法がある。その人にとってどちらが向いているかで判断すればよい。筆者はキーボードの前で考えるよりも、鉛筆を持ってメモしながら考える方がまとめやすいので、下書きを作っている。

#### 5. あとがき

制御プロセスの検討に関して、シミュレーションを有効に活用するためのノウハウとでもいうべき項目を筆者の経験にもとづいて整理した。鉄鋼の製造プロセスの制御技術開発という限られた経験であるが、他の分野でも応用できるよう具体的なプロセス名は使わないで一般的に説明した。しかし、実用的なノウハウの範囲は広く、一部のまとめにしかなくないのが実状であろう。読者諸賢のご意見、ご指摘をお願いするしだいである。

#### 参考文献

- 1) 高橋安人：“コンピュータによるダイナミックシステム論” 科学技術社 (1970-11)
- 2) 薦田憲久, 大川剛直：“システムのモデリングとシミュレーション” 計測自動制御学会 (1995-3)
- 3) S.Tajima, K.Kondo, K.Yoshida and K.Morita：“Development of a new type AGC system for a tandem cold mill”, Iron and Steel Engineer, June 1981, pp.43~48 (1981-1)
- 4) 近藤勝也, 美坂佳助：“可逆圧延機板厚制御の動特性解析と非干渉制御”, 計測と制御, Vol.28, No.5, pp.445~452 (1989-5)
- 5) 上田一郎, 近藤勝也, 大井俊哉：“オブザーバ用いた可逆冷間圧延機の張力制御”, 計測自動制御学会論文集, Vol.28, No.7, pp.825~833 (1992-7)
- 6) 近藤勝也, 上田一郎, 岡本真明, 杉山治：“大出力・高応答の油圧サーボ制御の検討”, システム制御情報学会論文誌, Vol.9, No.12, pp.589~597 (1996-12)
- 7) 梶原宏之：“制御系CADツールの発展”, 計測と制御, Vol.33, No.6, pp.457~461 (1994-6)
- 8) 添田喬, 中溝高好：“自動制御の講義と演習”, 日新出版 (1988-4)
- 9) 近藤勝也, 栗田智, 喜田秀夫：“実験用圧延機の圧下位置制御のシミュレーション”, 奈良高専研究紀要, 第33号, pp.83~88 (1997)
- 10) 須賀雅夫：“システム工学”, コロナ社 (1981-3)
- 11) 川村一樹：“ソフトウェア工学入門”, 近代科学社 (1995-3)
- 12) 太田恵造：“卒業論文作成の手引き”, アグネ技術センター (1996-3)
- 13) 荊木美行：“大学生のための知的文章術”, 燃焼社 (1997-5)

## VHDLシミュレータを用いたCMOS乗算回路のグリッチの評価

世古 忠, 中村篤史

Measurement of the Number of Glitches for CMOS Multipliers Using VHDL Simulator

Tadashi Seko, Atsushi Nakamura

In this paper, we propose a new method to measure the number of glitches of CMOS circuit, and then develop the VHDL simulator augmented with an evaluator which implements the proposed method. The advantages of the tool are as follows: the description of the target circuits in VHDL is compact and relatively easy and the specification of the delay for gate is very simple. We applied the tool to array multiplier and Wallace tree type multiplier. As a result, we show the usefulness of the proposed method.

## 1. まえがき

近年、携帯用機器が広く普及し益々その高機能化・高性能化が求められており、LSIの回路規模の増大やクロック速度の高速化が必要になっている。LSIはバッテリーで動作させるため、電池の寿命や、発熱対策の上で、LSIの消費電力を正確に見積もることや、低消費電力設計が極めて重要な課題になっている。

CMOS回路の消費電力の大部分は、信号遷移による動的な消費電力であるため、消費電力を見積もる上で、信号の遷移回数を求めることが必要とされる[1]。信号の遷移には、論理の実現上必要な信号遷移（定常的な遷移）と過渡的な偽りの遷移（グリッチ遷移）がある。グリッチ遷移は、回路平均で信号遷移全体の20%、組合せ回路の加算回路では70%を占めると言われている[2]。従来のグリッチの評価においては、遅延モデルが単位遅延であるためグリッチが過小評価されたり[3][4]、任意のゲート遅延モデルを採用した場合は、記号シミュレーションが使われるため、小規模な回路に限られていた[2]。

一方、実際のLSI設計で用いられているVHDL処理系を用いると、ゲート遅延モデルとして、論理合成で用いられるゲートのセル・ライブラリが持つ値を用いた評価が可能になること、および入力として実回路で使われるものを用いることができるので、より精度の高いグリッチの見積もりが可能となる。

本論文では、VHDLシミュレータ[5]を用いたグリッチの評価法を開発し、配列型乗算回路とWallace木型乗算回路に適用し、グリッチの発生回数を評価した。

## 2. グリッチの評価法

## 2.1 遅延モデル

ここでは、CMOS回路の各ゲートの容量負荷による遅延モデルとして、立ち上り遅延( $\tau_r$ )と立ち下り遅延( $\tau_f$ )モデルを扱う。例えば、図1(a)のインバータの入力Aに図1(b)に示す入力に加えられた場合、出力Zの信号が0(1)から1(0)に立ち上(下)がる場合、Aの変化から $\tau_r$ ( $\tau_f$ )だけ遅れてZが変化する。

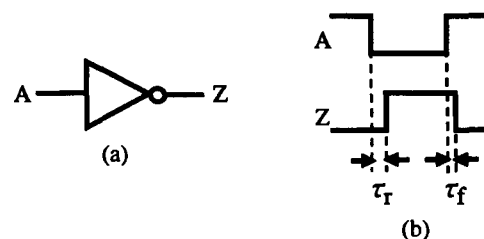


図1：遅延モデル

## 2.2 グリッチ

次に、図2(a)の回路のインバータとANDゲートがそれぞれ2.1で述べたような遅延をもつとき、入力A、Bに、

図2(b)のような入力が増えられた場合、出力Zに過渡的に、0→1→0、と変化するパルスが発生する。このような信号遷移は本来の論理を実現する上では不要な偽遷移であり、このようなパルスをグリッチ(glitch)と呼ぶ。

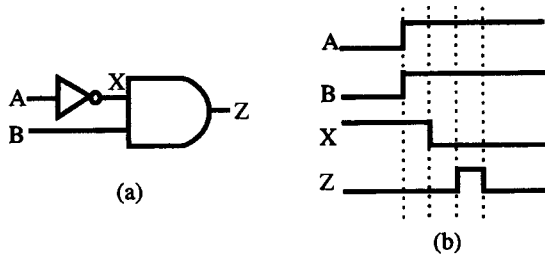


図2：グリッチの発生

2.3 グリッチの計算

1クロック周期（入力を投入してから、次の入力を投入するまでの期間）における信号の遷移を、論理の実現に必要な有効遷移(useful transition)と無効遷移(useless transition)に区別する。

このとき、次のルールを定義する。

ルール1

- (1) 信号遷移の総数 $n$ が奇数であるとき、有効遷移回数は1回であり、無効遷移回数は $n-1$ 回である。
- (2) 信号遷移の総数 $n$ が偶数であるとき、すべての信号遷移は無効遷移であり、 $n$ 回である。

ルール2

1つのクロックサイクルの間に発生するグリッチの回数を $N_g$ 、信号遷移回数の総数を $n$ とすると、 $N_g$ は次の式で与えられる。

$$N_g = \lfloor n/2 \rfloor \tag{1}$$

(ただし、記号 $\lfloor n/2 \rfloor$ は、 $n$ を2で割った商を表す。)

以上のルールの適用例を図3に示す。図3では2つのクロックサイクルの信号遷移を示す。 $\tau_0$ から $\tau_1$ の間の信号遷移の総数は5回であり、奇数であるため、有効遷移は1回、無効遷移は4回であり、グリッチの回数は2回である。また、 $\tau_1$ から $\tau_2$ の間の信号遷移の総数は6回であり、偶数であるため、無効遷移の回数は6回、グリッチの回数は3回である。

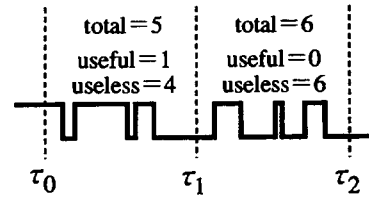


図3：信号遷移とグリッチの計算

3. VHDLを用いたグリッチの評価法

以下では、VHDLの処理系を用いたグリッチの回数の評価法について述べる。

3.1 計測システム

図4に開発したグリッチの計測システムの概要を示す。信号遷移回数の計測にはVHDLシミュレータを用いる。このシステムは、対象回路の記述部、ゲートに関する記述部、グリッチの計算部から成り立っている。ゲートの記述部では、ゲートの種類ごとに、入力に対する出力の値を計算し、信号遷移回数の累計を計数する。ここでは、ライブラリから取り出した遅延時間をもとに計算を行う。テストベンチでは、クロックサイクルごとに各ゲートの信号遷移回数から、2.2のルールに従ってグリッチの回数を計算する。

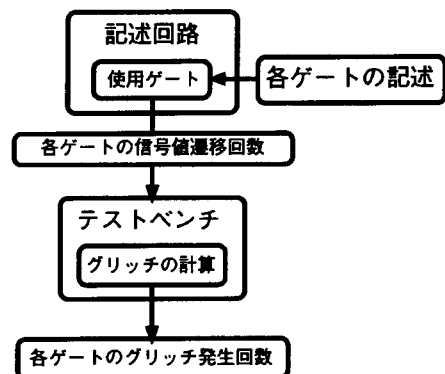


図4：計測システム

3.2 VHDLによる記述

図5に、図2の回路にたいするVHDL[6]記述例を示す。図5(a)は、2入力ANDゲートに対する記述例であり、17、18行目で立上(下)り遅延を設定している。この遅延値は、Synopsys社のclass.libライブラリの値を使用し

た。信号遷移回数を23行目、27行目で計測し、信号Tとして送信している。

図5(b)は、回路の構造記述を示す。27-30行でNOTゲートとANDゲートのコンポーネントが呼び出される。

図5(c)はグリッチの計算部の記述である。1行目の変数CHECKは、回路が定常状態になったときに変化する信号である。定常状態になった後に、記述回路から送られる各ゲート出力の信号遷移回数を2で割算し、グリッチの発生回数を求めている。なお、COUNTは各ゲートの信号遷移回数、PCOUNTは前入力時の各ゲートの信号遷移回数を示している。このように、グリッチの発生回数Gはクロックサイクルを重ねる度に累算される。

```

1 library IEEE;
2 use IEEE.STD LOGIC 1164.all;
3
4 entity AND2 is
5 port( A,B : in std logic;
6       Z : out std logic;
7       T : out integer range 0 to 100000
8 );
9 end AND2 ;
10
11 architecture TEXT of AND2 is
12 begin
13
14 AND2 : process
15 variable tmpZ,tmpPZ : std logic := 'U' ;
16 variable tmpT : integer range 0 to 100000 ;
17 constant rise time : TIME := 0.48 ns ;
18 constant fall time : TIME := 0.77 ns ;
19 begin
20 tmpZ := A and B ;
21
22 if(tmpPZ='0'and tmpZ='1') then
23 tmpT := tmpT + 1 ;
24 Z <= transport tmpZ after rise time ;
25 elsif (tmpPZ='1' and tmpZ='0') then
26 Z <= transport tmpZ after fall time ;
27 tmpT := tmpT + 1 ;
28 else
29 Z <= tmpZ ;
30 end if ;
31
32 T <= tmpT ;
33 tmpPZ := tmpZ ;
34 wait on A,B ;
35 end process ;
36 end TEXT ;

```

(a) 2ANDの記述

```

1 library IEEE ;
2 use IEEE.STD LOGIC 1164.all ;
3
4 entity EXAMPLE is
5 port (A,B,C : in std logic ;
6       Z : out std logic ;
7       T : out integer range 0 to 100000
8 );
9 end EXAMPLE ;
10
11 architecture TEXT of EXAMPLE is
12 component AND2

```

```

13 port( A,B : in std logic ;
14       Z : out std logic ;
15       T : out integer range 0 to 100000
16 );
17 end component ;
18 component NOT1
19 port (A : in std logic ;
20       Z : out std logic ;
21       T : out integer range 0 to 100000
22 );
23 end component ;
24
25 signal X : std logic ;
26
27 begin
28 N1 : NOT1 port map( A,X,T(0));
29 A1 : AND2 port map( X,B,Z,T(1));
30 end TEXT ;

```

(b) 回路の構造記述

```

1 process(CHECK)
2 begin
3 G(0) := G(0)+((COUNT(0)-PCOUNT(0))/2);
4 G(1) := G(1)+((COUNT(1)-PCOUNT(1))/2);
5 end process ;

```

(c) グリッチ計算部

図5：VHDL記述

## 4 実験

### 4.1 実験環境

実験は日本電算機(株)のJS5/70 Unixワークステーション (Sun Sparc Classicワークステーション相等：72MBメモリ)上に、東大VDECからライセンス貸与されたSynopsys社製のVHDL処理系 (VSSシミュレータおよびDesign Analyser) をインプリメントして行った。

### 4.2 対象回路

8 bitsのArray型乗算回路とWallace木型乗算回路を対象回路として実験を行った。図6に示すように、Array型乗算回路は、外部入力から内部の各ゲートの入力に至る信号の伝搬遅延の差が大きい回路構成をしている。これに対して、図7のWallace木型乗算回路は、伝搬遅延の差が小さい回路構成をしている。

VHDLによる記述行数は、各ゲートに対してそれぞれ35行、8ビットArray型乗算器が230行、8ビットWallace型乗算器が196行 (桁上げ保存回路の56行を含む)、テストベンチが83行であった。

### 4.3 結果

乗算回路の入力信号として一様ランダム信号1000組を与えた。表1に実験結果を示す。表1の行total transitions, useful transitions, useless transitions, number of glitches

はそれぞれ1入力ベクトル当たりの平均の信号遷移の総数, 有効遷移回数, 無効遷移回数, グリッチ回数を表わす. また,  $\gamma = (\text{useless}/\text{total}) \times 100(\%)$ は, 信号遷移総数に対するグリッチによる遷移回数の割合を表す. 表1の結果より, Wallace木型乗算回路はArray型乗算回路と比べて, 信号遷移総数とグリッチ遷移の割合がともに少なく, 消費電力が小さい回路であることが推測される.

表1: 実験結果

	Array	Wallace
total transitions	588.8	411.7
useful transitions	187.8	197.5
useless transitions	401.0	214.2
number of glitches	201.0	107.2
$\gamma$ (%)	68	52

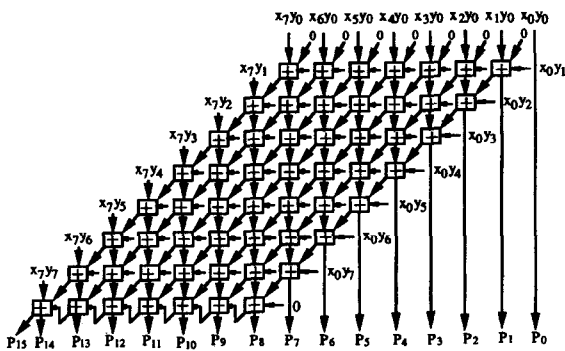


図6: Array型乗算器

5 まとめ

本論文ではVHDLシミュレータを用いたグリッチの評価システムを開発し, 2種類の乗算回路に適用し計測を行った. その結果Wallace木型乗算回路は, Array型乗算回路と比べて, 信号遷移総数およびグリッチの回数が少ない回路であることが分かった. 今後は, 回路変換法やゲート寸法最適化手法などを用いてグリッチの回数の削減を考慮した低消費電力化設計を開発する必要がある.

参考文献

[1] J.M. Rabaey and M. Pedram, edited, *Low Power Design Methodologies*, Kluwer Academic Publishers,1996.

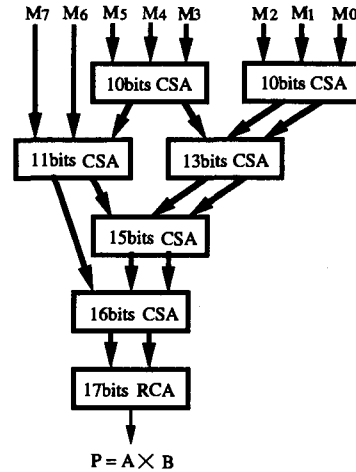


図7: Wallace型乗算器

[2] A. Shen, A. Ghosh, S. Devadas and K. Keutzer, "On Average Power Dissipation and Random Pattern Testability of CMOS Combinational Logic Networks", Proc. of International Conference on Computer Aided Design, pp.402-407,1992.

[3] J.Leijten, J. van Meerbergen and J. Jess, "Analysis and Reduction of Glitches Synchronous Networks", Proc. of European Design and Test Conference, pp.398-403,1995.

[4] T. Seko, M. Yoshioka and T. Kikuno, "Reducing Glitching Power Consumption of the GCD Circuit", Proc. of 1997 International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications, pp.673-676,1997.

[5] Synopsys, *VHDL System Simulator User's Guide*, Synopsys, 1997.

[6] IEEE, *IEEE Standard VHDL Language Reference Manual*, Std 1076-1993,IEEE,1994.

[7] P. C. H. Meier, R. A. Rutenbar and L. R. Carley, "Exploring Multiplier Architecture and Layout for Low Power", Proc. of IEEE 1996 Custom Integrated Circuits Conference, pp.513- 516, 1996.

## あるグラフの極大頂点集合を表現するダイアグラム

多喜 正城・増田 澄男\*・柏原 敏伸\*\*

### A Representation Diagram for Maximal Independent Set of a Graph

Masakuni TAKI, Sumio MASUDA, and Toshinobu KASHIWAHARA

Let  $H=(V(H), E(H))$  be a directed graph with distinguished vertices  $s$  and  $t$ . An  $st$ -path in  $H$  is a simple directed path starting from  $s$  and ending  $t$ . Let  $P(H)$  be defined as  $\{S \mid S \text{ is the set of vertices on an } st\text{-path in } H (s \text{ and } t \text{ are excluded})\}$ . For an undirected graph  $G=(V(G), E(G))$  with  $V(G) \subseteq V(H) - \{s, t\}$ , if the family of maximal independent sets of  $G$  coincides with  $P(H)$ , we call  $H$  an MIS-diagram for  $G$ . In this paper, we provide a necessary and sufficient condition for a directed graph to be an MIS-diagram for an undirected graph. We also show that an undirected graph  $G$  has an MIS-diagram iff  $G$  is a cocomparability graph. Based on the proof of the latter result, we can construct an efficient algorithm for generating all maximal independent sets of a cocomparability graph.

#### Sect. 1.

あるグラフにおける生成問題とは特別な性質を持ったグラフが与えられた時、その部分グラフのすべてを見つけ出す問題として捉えられる。生成問題の各種はグラフのいろいろなクラスについて考察されてきている。<sup>[1]-[7]</sup>

$H$ を頂点 $s, t$ を除いた有向グラフ (digraphと略す) とする。 $H$ における $st$ -pathを $s$ から出て、 $t$ に到着する単純有向道という。 $\{S \mid S \text{を } H \text{の } st\text{-path 上の頂点集合}\}$ として $P(H)$ を定義する。 $V(G) \subseteq V(H) - \{s, t\}$ である無向グラフ $G=(V(G), E(G))$ について、 $G$ の極大独立集合 (MISと略す) の族が $P(H)$ に一致するなら、 $H$ を $G$ のMISに対する表現ダイアグラムまたは $G$ のMIS-diagramという。

文献[4]に、任意の区間グラフがacyclic (閉路を持たない) 有効グラフ (dagと略す) であるMIS-diagramを持つという事を示している。Fig.1に例を示す。その結果が文献[6]において頂点に重みを付けた場合として展開されている。

無効グラフ $G$ に対して、acyclic MIS-diagramを構築できれば、 $G$ のすべてのMIS-diagramを作り出す問題はdagにおけるすべての $st$ -pathを作り出す事であるので、この方が簡単に作り出せる。この論文においては、次の2の

問題を考慮する。

問題1 : どのような種類の digraph が MIS-diagram となるか。

問題2 : どのような graph が MIS-diagram を持つか。

この論文では第2章においていくつかの定義を述べ。第3章において上の問題に対する必要条件と十分条件を示す。第4章において頂点に重みを付けた時のすべての最大重み独立頂点集合を表すための diagram を紹介し、第5章においてこの論文の結論とする。

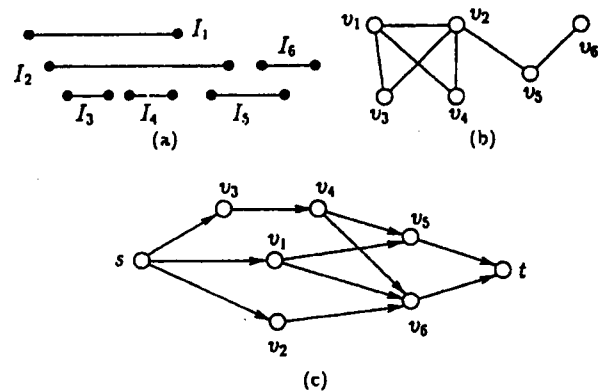


Fig. 1 (a) A family of intervals, (b) the corresponding interval graph  $G$  (vertex  $v_i$  corresponds to interval  $I_i$  for  $i=1,2,\dots,6$ ), and (c) an MIS-diagram for  $G$

\* 神戸大学工学部電気工学科

\*\* 大阪大学基礎工学部情報工学科

Sect. 2.

この論文において、有向グラフを digraph という。又、無向グラフを単にグラフと呼ぶ。頂点  $u$  と  $v$  との間にある無向辺を  $(u, v)$  と表す。 $u$  から  $v$  への有向辺を  $(u \rightarrow v)$  と表す。グラフ又は digraph  $G$  において、頂点の集合及び辺の集合をそれぞれ、 $V(G)$ 、 $E(G)$  と表す。グラフ  $G = (V(G), E(G))$  と digraph  $H = (V(H), E(H))$  について、 $G$  と  $H$  の積集合を  $G \cap H$  とする。すなわち、 $(V(G) \cap V(H), E(G) \cap E(H))$ 。同様に、 $G \cup H$  は、 $G$  と  $H$  の和集合である。

digraph  $G$  について、各無向辺  $(u, v)$  を有向辺  $(u \rightarrow v)$  に置き換える事により得られたグラフを  $G$  の underlying graph という。その結果として並列辺が生じる事もある。underlying graph が連結の時、その digraph が連結といわれる。digraph の連結成分は同様にして定義される。

digraph  $G$  において、頂点  $v$  に入る辺の数が  $0$  の時  $v$  は  $G$  の source と呼ばれる。一方、出ていく辺の数が  $0$  の時、 $v$  は  $G$  の sink と呼ばれる。digraph が推移的であるとは、二つの辺  $(u \rightarrow v)$  と  $(v \rightarrow w)$  が存在する時、辺  $(u \rightarrow w)$  の向き付けができる事である。グラフが comparability graph であるとは、推移的な向き付けが可能なグラフの事を言う。さらに、そのような方向づけの事を推移的向き付けという。すなわち、comparability graph は推移的向き付け可能グラフである。グラフ  $G$  の補グラフ  $G^c$  とは、そのグラフ  $G$  の頂点集合  $V(G)$  とその辺の補集合で構成されるグラフである。例えば、頂点集合  $V(G)$  の異なる頂点  $u, v$  について、 $G^c$  には辺  $(u, v)$  があるが、 $G$  にはその辺  $(u, v)$  がない。グラフが、cocomparability graph であるとは、その補グラフが comparability graph である時を言う。

互いに隣接していないグラフの頂点の集合を独立集合であるという。他のいかなる独立集合に含まれない独立集合を極大独立集合といい、ここでは MIS と略す。

頂点集合  $S$  が clique とは、その中の任意の  $2$  個の頂点が互いに隣接している時を言う。 $S$  が  $G$  の clique であれば、それは、 $G^c$  の独立集合である。

digraph において、有向歩道とは、頂点と辺の並びが  $(v_1, e_1, v_2, e_2, \dots, e_k, v_{k+1})$  であり、辺  $e_i$  は  $v_i$  から  $v_{i+1}$  への辺である。 $(i = 1, 2, \dots, k)$ 。有向歩道でその頂点がただ  $1$  度だけしか現れないものを directed path という。directed path でその頂点の最初と最後が同じ物を directed cycle という。directed cycle を持たない digraph を acyclic digraph といい dag と略す。

ここでは、directed path と directed cycle を元のグラフの部分グラフとして考える。すなわち、directed path  $P$  について、 $V(P)$ 、 $E(P)$  をそれぞれ  $P$  の頂点集合および辺集合とする。同様の定義を directed cycle についても行う。

頂点  $u$  と  $v$  をこの順で通って行く directed path  $P$  につい

て、 $P(u \rightarrow v)$  を  $P$  上の頂点と辺を経る  $u$  から  $v$  への directed path とする。directed cycle  $C$  についても同様に、 $C(u \rightarrow v)$  を表す。特に、 $C(u \rightarrow u)$  は  $u$  がただ一つの頂点である事を意味する。

もし  $G'$  が  $G$  の部分グラフであれば、グラフ  $G$  は  $G'$  を包含しているという。さらに、 $G'$  のどの頂点も辺もグラフの集合  $F$  のあるグラフに属しているなら、 $F$  は、 $G'$  を包含しているといわれる。この論文では、主として directed path の集合によりグラフが包含される場合について述べる。

Sect. 3.

この章では、問題 1 と 2 について解答を与える。

はじめに問題 1 について、 $H$  を頂点  $s$  と  $t$  を除いた digraph とする Sect. 1 で定義したように、 $P(H) = \{V(P) - \{s, t\} \mid P \text{ は } H \text{ の } st\text{-path}\}$ 。もし  $G$  の MIS の族が  $P(H)$  と一致するなら、 $H$  はグラフ  $G$  に対して MIS-diagram である。

各頂点および各辺がある  $st$ -path 上に有るなら  $H$  を  $st$ -full であるという。 $H$  の極大  $st$ -full 部分グラフが  $H$  の部分グラフであるなら、それは  $H$  の部分グラフが、 $st$ -full でありかつこの性質から極大であるという事である。Fig.2 にその例を示す、ここで、点線が極大  $st$ -full 部分グラフの中に含まれない辺を示している。 $H$  の極大  $st$ -full 部分グラフはただ一つだけであるという事に注目する。

そこで、次の Lemma は自明である。

Lemma 1 : あるグラフ  $G$  に対して、 $H$  が MIS-diagram であるのは、 $H$  の極大  $st$ -full 部分グラフが MIS-diagram である。□ (証明終了を示す)

従って、次のことが仮定できる。 $H$  自身が  $st$ -full である。

MIS-diagram であるための  $st$ -full digraph の条件を示すために、次の Lemma から始める。

Lemma 2 :  $H$  が directed cycle を持つと仮定する。その時、 $H$  は  $2$  個の  $st$ -path の集合によって包含される directed cycle を持つ。

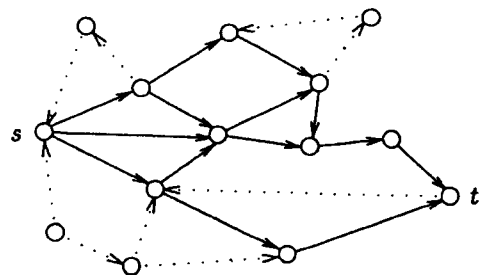


Fig. 2 An example of maximal  $st$ -full subgraph.

証明：CをHのdirected cycleの一つとする。この時、HはHの中にst-path  $P_1, P_2, \dots, P_k$  中の最小数によって包含される。そこで逆に  $k \geq 3$  を仮定する。明らかに、 $i=1, 2, \dots, k$  に対して、directed pathの集合  $\{P_1, P_2, \dots, P_k\} - \{P_i\}$  はHにおいていかなるcycleも包含しない。

$1 \leq i \leq k$  となる任意の整数  $i$  とする。sから  $P_i$  をたどって行き、最初にであったCの頂点を「Cにおける  $P_i$  の最初の頂点」というように表現する。同様に、「Cにおける  $P_i$  の最後の頂点」も定義できる。digraph  $C \cap P_i$  の連結成分をそれぞれ  $C_i^1, C_i^2, \dots, C_i^m$  とする。 $j=1, 2, \dots, m_i$  に対して  $C_i^j$  はdirected pathでありかつ  $C \cap P_i$  における孤立点である。一般性を失うことなく次の事が仮定できる。すなわち、 $C_i^1$  は「Cにおける  $P_i$  の最初の頂点」を含みかつ、辺の方向にしたがってCをたどれば  $C_i^1, C_i^2, \dots, C_i^m$  が順番にC上に現れる。

ここで、次の事実を得る

Fact：sから  $t \in P_i$  をたどる時、 $C_i^1, C_i^2, \dots, C_i^m$  がこの順に現れる。

証明：今、 $P_i$  上に  $C_i^1, C_i^2, \dots, C_i^m$  がこの順番通りに現れないとすると仮定する。 $C_i^1$  の定義により、 $C_i^1$  が最初に現れる。すなわち、整数  $j$  と  $l$  が存在し、 $C_i^1, C_i^2, \dots, C_i^j$  がこの順に現われ、そして、次に、 $C_i^l$  ( $l \geq j+2$ ) が現れる。

uを  $C_i^{l-1}$  の最後の頂点とし、vを  $C_i^1$  の最初の頂点とする。 $P_i$  がu以前にvを通過し、そしてCがuからvへのdirected pathを含むから、

$P_i \cup C(u \rightarrow v)$  がdirected cycleを含む、これを  $C'$  とする。C ( $u \rightarrow v$ ) 上のいかなる辺も  $P_i$  上に無いので、 $P_1, P_2, \dots, P_{i-1}, P_{i+1}, P_{i+2}, \dots, P_k$  の和集合がsから  $t$  へのC ( $u \rightarrow v$ ) を包含する有向歩道を含む、これを  $P'$  とする。 $\{P_1, P_2, \dots, P_k\} - \{P_i\}$  が以前に述べられたようないかなるdirected cycleも持たないので  $P'$  はst-pathである。従って、directed cycle  $C'$  は  $\{P_i, P'\}$  によって包含される。これは  $k \geq 3$  に矛盾 (Factの証明終了)。

このFactから、 $C_i^j$  と  $C_i^{j+1}$  の間の  $P_i$  を  $C_i^j$  と  $C_i^{j+1}$  の間のCに置き換える事により、他のst-pathを得る事ができる。できる限りその操作を続ける事により、 $C \cap P_i = 1, 2, \dots, k$  が連結である事を仮定できる。

$\{P_1, P_2, \dots, P_k\}$  がCを包含するなら、

$C \cap P_1$  と  $C \cap P_2$  が共通の頂点を持つと仮定する。

$P_1, P_2, \dots, P_k$  の定義から  $C \cap P_1$  と  $C \cap P_2$  がそのほかの頂点を含む事はない。すなわち、C上の  $P_1$  の最初の頂点からたどられたCである時、C上の  $P_2$  の最後の頂点がC上の  $P_1$  の最後の頂点の後に現れると仮定できる。

C上の  $P_1$  の最初の頂点を  $v'$ 、C上の  $P_2$  の最後の頂点を  $v''$  とする。仮定から、 $k \geq 3$ 、 $P_1 \cup P_2$  がdirected cycleを含まない。すなわち、 $P_1(s \rightarrow v')$ 、 $C(v' \rightarrow v'')$  と  $P_2(v'' \rightarrow t)$  を組み合

わせる事によりst-pathを得る。これを  $P'$  とする。明らかに  $\{P', P_3, P_4, \dots, P_k\}$  はCを包含し、これはkの定義に矛盾している。□

定理1：st-full digraph HがMIS-diagramであるのは、Hがdirected cycleを持たない時のみである。

証明：Hがdirected cycleを持ち同時にグラフGのMIS-diagramであるとする。Lemma 2から、directed cycle Cと2個のst-path  $P_1$  と  $P_2$  が存在し、 $\{P_1, P_2\}$  はCを包含する。Lemma 2における議論から、 $C \cap P_i$  が連結であると仮定する。C上の  $P_1$  の最初の頂点を  $v_1$ 、C上の  $P_1$  の最後の頂点を  $v_2$  とする (この時の「最初」、「最後」の言葉はLemma 2で用いたものと同じである)。また、 $v_3$  をC上の  $P_2$  の最後の頂点とする。従って、 $P_2$  が  $C(v_2 \rightarrow v_1)$  を包含し、 $v_3 \in V(P_1(v_1 \rightarrow v_2)) - \{v_2\}$  である。 $P_1(s \rightarrow v_1)$ 、 $C(v_1 \rightarrow v_2)$  と  $P_2(v_3 \rightarrow t)$  を組み合わせる事によりsから  $t$  への有向歩道が生じる事に成る。それらの頂点の辺の各々は  $P_1$  か  $P_2$  に属する。明らかに、この有向歩道はst-pathを含んでいる、これを  $P'$  という。HがGのMIS-diagramであることから、 $P'$  がGのMISに一致する。次に、そのようでない場合を述べておく。

$P_1$  と  $P_2$  の各々がGのMISに一致するとする。さらに、 $v_2$  が  $P_1$  と  $P_2$  の両方に有するとする。すなわち、Gには  $V(P_1) \cup V(P_2) - \{s, t\}$  の頂点  $v_2$  に連結でない辺が有る。

上に述べたように、 $V(P') \subseteq V(P_1) \cup V(P_2)$ 。すなわち、 $v_2 \in V(P')$  でない事より、 $P'$  はGのMISとは一致しない。□

ここで、st-full digraph Hに対する2つの言葉を定義する。Hがuからvへの長さ2以上のdirected pathをもつなら、Hの辺  $(u \rightarrow v)$  をredundant edgeという。Hのtransitive closure グラフ  $H^T$  を次のように定義する。 $V(H^T) = V(H)$ 、 $E(H^T) = \{(u \rightarrow v) | H \text{ が } u \text{ から } v \text{ への directed path をもつ}\}$ 。明らかに、 $H^T$  は推移的グラフである。

定理2：Hがdirected cycleを持たないst-full digraphであるのは、Hがredundant edgeを持たない時に限る。

証明：もし、Hがredundant edgeを持つならば、2つのst-path  $P_1$  と  $P_2$  が存在する、それらは  $V(P_2)$  が  $V(P_1)$  の真部分集合である。その時、 $P_2$  は極大集合には一致しない。

次に、Hがredundant edgeを持たないと仮定する。 $G'$  を  $H^T$  のunderlying (undirected) graphとし、 $G''$  を  $G'$  から  $s$  と  $t$  を除いて得られたグラフとする。さらに、 $G$  を  $G''$  の補グラフとする。Fig.3にこれらのグラフとdigraphを示す。 $V(G) = V(H) - \{s, t\}$  である事に注意する。

GのすべてのMISの族を  $F(G)$  とする。HがGにたいしてMIS-diagramである事は、すなわち、 $F(G) = P(H)$  である事を以下に述べる。

Hにおいて、2個の別々の st-path  $P_1$  と  $P_2$  に対して、H が acyclic より  $V(P_1) \neq V(P_2)$ 。P を H の任意の st-path とする。 $V_{st}(P)$  を  $V(P) - \{s, t\}$  とする。G の定義より  $V_{st}(P)$  は G の clique である。そしてその時それは G の独立集合である。 $V_{st}(P)$  が G の MIS でない と仮定する。その時、 $V(G) - V_{st}(P)$  の中に頂点  $v$  が存在し、 $\{v\} \cup V_{st}(P)$  が G の独立集合である。これは次の事を意味する。G' において、 $v$  が  $V_{st}(P)$  の中のすべての頂点に接続している：P (s と t を含む) 上のどの頂点も  $v$  への向きの辺を持つか  $H^T$  中の  $v$  からの向きの辺を持つ。

すなわち、P に 2 個の頂点  $u$  と  $u'$  が存在し、P において  $u'$  が  $u$  の次にある、そして  $H^T$  ( $u$  または  $u'$  が  $s$  か  $t$  であるかもしれない) の 2 個の辺 ( $u \rightarrow v$ ) と ( $v \rightarrow u'$ ) が存在する。transitive closure の定義により、H は  $u$  から  $v$  への directed path と  $v$  から  $u'$  への directed path を持つ。そこで、H が 2 以上の辺を持つ  $u$  から  $u'$  の directed path をもつことから、H における辺 ( $u \rightarrow u'$ ) が redundant edge、これは矛盾。その結果として、H における任意の st-path P に対して、 $V_{st}(P)$  は G の MIS である。それゆえ、 $F(G) \supseteq P(H)$

G の任意の MIS を D。D は G' の clique とする。文献[8]から、完全 digraph はハミルトン path を持つ。そこで、 $H^T$  は D のすべての頂点を通る directed path を持つ。transitive closure の定義により、これは、H が D のすべての頂点を通る directed path を持つ事を意味する。なぜなら、H は st-full かつ acyclic であるので、D のすべての頂点が H のある st-path の上に有る、これを  $P'$  とする。上記のごとく、

$V_{st}(P')$  が G の MIS であり、そして  $D = V_{st}(P')$  によって、 $F(G) \subseteq P(H)$  □

ここで問題 1 の解答の準備がなされた。Lemma 1 と定理 1 と 2 を組み合わせて、次の定理を得る。

定理 3 : digraph H が MIS-diagram であるための必要十分条件は、H の極大 st-full が directed cycle または redundant edge を持たないことである。

問題 2 については次の定理が与えられる。

定理 4 : グラフ G が MIS-diagram を持つための必要十分条件は、G が cocomparability graph である。

証明 : G が MIS-diagram H を持つとする。Lemma 1 より、H が st-full であるとして、定理 2 の証明で述べたように  $G'$ 、 $G''$  を定義すると、

$V(H) \subseteq V(G) \cup \{s, t\}$ 。さらに、任意の頂点  $v \in V(G)$  が少なくとも G の一つの MIS の要素であり、 $v$  は  $V(H)$  に含まれる。それゆえ、 $V(H) \subseteq V(G) \cup \{s, t\}$ 、よって、 $V(G) = V(G')$ 。任意の頂点  $u, v \in V(G)$  について、もし、 $(u, v) \in E(G)$  でないならば、G は  $u$  と  $v$  の両方を含む MIS を持つ。よって、 $H^T$  が  $(u \rightarrow v)$  と  $(v \rightarrow u)$  を持ち、 $(u, v) \in E(G')$ 。一方、 $(u, v) \in E(G)$  であるなら、 $H^T$  は  $(u \rightarrow v)$  と  $(v \rightarrow u)$  を持たない、すなわち、 $(u, v) \in E(G'')$  でない。よって、 $G''$  は G の complement。transitive closure  $H^T$  から作られるので  $G'$  と  $G''$  は comparability graph である。よって、G は cocomparability graph である。

逆に、G が cocomparability graph であるならば、次の方法で、G に対する MIS-diagram を作る事ができる。

- Step 1 : G の補グラフ  $G^c$  を作る。
- Step 2 : 推移的方向性を  $G^c$  の辺に与える。
- Step 3 : すべての redundant edge を取り去る。その結果としてのグラフの source と sink を  $V_{source}$  と  $V_{sink}$  とする。
- Step 4 : 各  $x \in V_{source}$  に対して、新しい source  $s$  を作り、辺 ( $s \rightarrow x$ ) を加える。同様に、各  $y \in V_{sink}$  に対して、新しい sink  $t$  を作り、辺 ( $y \rightarrow t$ ) を加える。 □

任意の区間グラフが cocomparability graph であること [9] から、この結果を文献[4]に発展させる。定理 4 の証明の後半に注目して行こう。ところで、推移的方向づけ (Step 2) と redundant edge の消去 (Step 3) の両方が多項式時間で実行される事が知られている<sup>[10][11]</sup>。それ故に、cocomparability graph の MIS-diagram が多項式時間で行われる事ができる。そこで、MIS-diagram における st-path すべてを見つける事によりグラフのすべての MIS-diagram を作り出す効果的な方法が得られる。

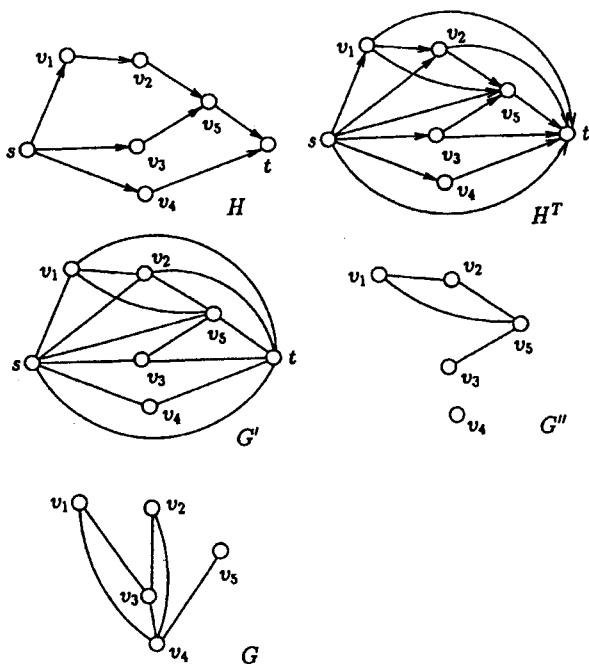


Fig.3 An example of H,  $H^T$ ,  $G'$ ,  $G''$  and G.

## Sect. 4.

$G$ を各頂点 $v \in V(G)$ に正の重み $w(v)$ を持ったグラフとする。 $G$ の独立集合について、 $G$ の独立集合の間で、その頂点の重みの和が最大の場合、最大重み独立集合(MWISと略す)と呼ばれる。ここでは、 $G$ のすべてのMWIS(MISではない)を表現するためのdiagramを構成する。これをMWIS-diagramという。Fig.4に例を示す。MWIS-diagramは常に $V(G)$ のすべての頂点を含むとは限らない。

重みはすべて正であるので、MWISはMISである。もしst-full MIS-diagram  $H$ があれば、MWIS-diagramを次のようにして得る事ができる。

$s$ と $t$ の重みを0とする。各頂点に対して、 $L(v)$ を $H$ の中の $v$ から $t$ へのdirected path上にある頂点の和の最大のものとする。 $L(t)=0$ から始める、 $L(\cdot)$ は $H$ がacyclicであるので簡単に計算できる。そこで、すべての辺( $u \rightarrow v$ )を取り去ると $L(v) > L(u) + w(v)$ 。これは、結果として得られたdigraphがMWIS-diagramであることが簡単に証明される。それゆえ、定理4から次の定理が導かれる。

定理5：グラフ $G$ の各頂点は正の重みを持つとする。もし、 $G$ がcocomparability graphであるなら、それは、MWIS-diagramを持つ。□

次の事は注意する必要がある、MWIS-diagramを持つグラフはcocomparability graphである必要はない。これをFig.5に示す。

## Sect. 5.

この論文では、無向グラフがMIS-diagramであるためのdigraphのための必要十分条件と無向グラフ $G$ がMIS-diagramを持つための必要十分条件は、 $G$ がcocomparability graphであることを示した。更に、正の重みを持つ場合に、MIS-diagramから簡単にMWIS-diagramを得る方法も示した。これらの結果に基づいて、cocomparability graphのすべてのMISまたはMWIS-diagramを効果的に得る事ができる。以前に述べられた事であるが、区間グラフがcocomparability graphである事から、われわれの結果を文献[4]と[6]に展開している。

更に、次の事を課題とする。

★digraphのどのような種類がMWIS-diagramとなり得るか？

★重み付きグラフに対してMWIS-diagramを持つための必要条件は？

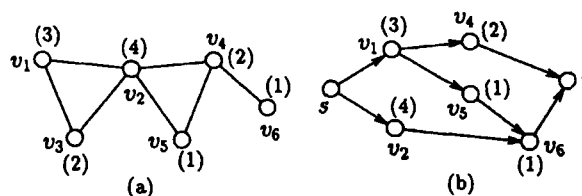


Fig. 4 (a) A weighted graph  $G$  (the numbers in parentheses show vertex weights), and (b) an MWIS-diagram for  $G$ .

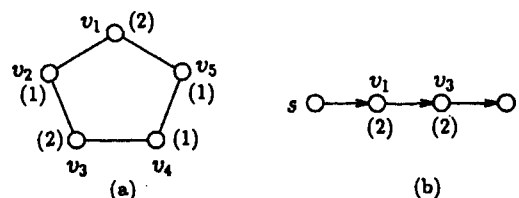


Fig. 5 (a) A graph that is not a cocomparability graph, and (b) its MWIS-diagram.

## 参考文献

- [1] S. Tsukiyama, M. Ide, H. Ariyoshi, and I. Shirakawa, "A new algorithm for generating all the maximal independent sets," *SIAMJ. Comput.*, vol.6, pp.505-517, 1977
- [2] S. Tsukiyama, H. Ariyoshi, and I. Shirakawa, and H. Ozaki, "An algorithm to enumerate all cutsets of a graph in linear time per cutset," *J. Assoc. Comput. Mach.*, vol.27, pp.619-632, 1980.
- [3] D. Rotem and J. Urrutia, "Finding maximum cliques in circle graphs," *Networks*, vol.11, pp.269-278, 1981.
- [4] J.Y.T.Leung, "Fast algorithm for generating all maximal independent sets of interval, circular-arc and chordal graphs," *J. Algorithms*, vol.5, pp.22-35, 1984.
- [5] S. Masuda, K. Nakajima, T. Kashiwahara, and T. Fujisawa, "Efficient algorithms for finding maximum cliques of an overlap graphs," *Networks*, vol.20, pp.157-171, 1990.
- [6] Y.D.Liang, S.K.Dhall, and S. Lakshminarayanan, "On the problem of finding all maximum weight independent sets in interval and circular-arc graphs," 1991 Symposium on Applied Computing, pp.465-470, IEEE Comput. Soc. Press, 1991.
- [7] T.Kashiwahara, S. Masuda, K. Nakajima, and T.Fujisawa, "Generation of maximum independent sets of a bipartite graph and maximum cliques of a circular-arc graph," *J. Algorithm*, vol.13, pp.161-174, 1992.

- [8] C. Berge, "Graphs and Hypergraphs, "North-Holland, Amsterdam, 1973.
- [9] M.C.Golubic,"Algorithmic Graph Theory and Perfect Graphs, "Academic Press, San Diego, CA, 1980.
- [10]J.Spinrad, "On comparability and permutation graphs," SIAM J. Comput., vol.14, pp.658-670, 1985.
- [11]A.V.Aho, M.R.Garey, and J.D.Ullman, "The transitive reduction of directed graph, "SIAM J. Comput., vol.1, pp.131-137, 1972.

強化学習における時系列学習データ分布の変動点推定<sup>注1)</sup>

山口 智浩 (情報工学科)

Estimating the change point of the variation of the time series learning data for reinforcement learning

Tomohiro Yamaguchi (Dept.of Information Science)

This paper presents the method for discriminating the learning model by the change point of the variation of the time series learning data. As a learning model for identifying the environment under variations, I present the Transitionally Observable MDP (TOMDP) model as transitions of the observable MDP according to intermittent changes in the observation of the environment. In order to estimate the timing for the intermittent change, I formalize it as the "Change Point Problem" of the state transition probabilities of the observable MDP. At the determined change point, the model-based reinforcement learning method switches to a different model (or creates a new model) according to the estimated variation. Then I show the simple experiment that estimating the intermittent change of the true probability of an event only from the maximum likelihood probability from the frequency of the observed time series results of the event.

## 1 はじめに

人工知能研究の課題のひとつに実世界で知的に振る舞うシステムの実現がある。しかしながら固定したアルゴリズムでは、環境変動に伴い想定外の状況が発生すると、対応が困難である。そこで、対象の動的な変動に逐次的に対応するための、適応や学習能力がシステムに必要となる。しかしながら、これまでの大量データからの(帰納/統計的)学習手法は、

- (1) 学習対象の定常性を仮定した統計的分布の同定。
- (2) 学習対象のゆるやかな変動に適応する逐次的学習手法。

であったため、両者には学習対象の非連続な変動に対応できず、学習精度が悪化する、という共通した問題点があった。これを解決するには、変動に応じて学習モデルを分節化するアルゴリズムが必要である。

そこで本研究では、学習データの時系列上での変動点を用いて、学習モデルを分節化する学習手法について述べる。すなわち、時系列の観測データでの独立同分布区間において学習対象を確率的モデルで同定しつつ、逐次的に更新する生起確率の変動点を検出することによって対象の変動を間接的に推定し、逐次的なモデル分節化によ

る学習と、状況に応じたモデル切り替えによって、単一モデル法と比べて学習の精度を向上させる。

本論文では、まず学習において変動点の検出がなぜ重要かについて述べた後に、簡単な例題をもとに変動点推定問題を定式化[1]し、次に一般の学習問題における変動点を用いたモデル分節化手法について述べた上で、強化学習における環境変動のモデルとして遷移観測MDP: TOMDPを提案する。そしてTOMDPに基づく強化学習法について説明する。

## 2 エージェント学習における変動点検出の重要性

## 2.1 ジャンプ変動に対する従来の学習手法の問題点

本論文では、学習データの時系列上での断続的な変動を仮定する。図1に時系列の観測データの分布の断続的な変動の様子を示す。図1において、変動点の前後でのステップ状の非連続/断続的な変化をジャンプ変動、変動点の間の分布が定常な区間を独立同分布区間と呼ぶ。

注1) 人工知能学会全国大会(第12回)

1998年6月17日、口頭発表

なぜ断続的な変動を仮定するのかというと、連続的な変動の場合は、分布全体を確率的な定常状態と見なして同定する従来手法が合理的だからである。

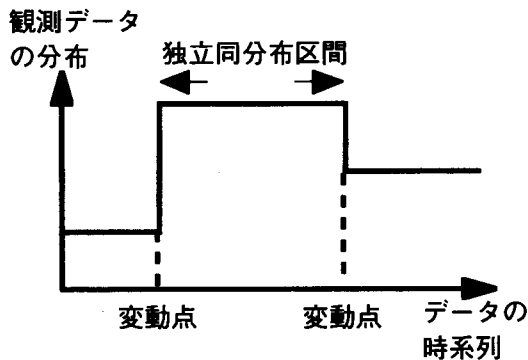


図1 時系列の観測データの分布の断続的な変動

では、ジャンプ変動に対する大量データからの帰納的学習手法の問題点を説明する。まず(1)学習対象の定常性を仮定した統計的分布の同定の場合、短期的には例外データとして統計的に無視されるが、長期的には、変動前後の分布の平均値に収束するため、全体での学習精度が悪化する。

次に(2)学習対象のゆるやかな変動に適応する逐次的学習法の場合、大きな変動には追従できないため、短期的には、学習精度が悪化するが、長期的には、変動後の分布に収束する。以上より、両手法ともジャンプ変動に対して学習精度が悪化する、という問題点が生じる。この問題を回避するには、観測データから変動点を検出し、学習データを変動点の前後で分割するのが合理的である。

## 2.2 学習における視点の転換

- 神の視点からエージェントの視点へ

学習データの変動点の検出がなぜ重要か？を議論するために、まず欧米流の学習手法が想定する仮定を以下に示す。

- (1)変動する対象は、長い期間観測すれば、確率的に定常状態と見なせる。
  - (2)対象は、全ての状態を完全に観測できれば定常。つまり、従来の学習手法は、いわば神の視点からの学習であった。但しここでは、全能の神にどうして学習が必要なのだろうか？という素朴な疑問は扱わない。
- さて、神の視点の学習は、1)学習時間無限大、2)全状態の完全観測、という2つの非現実的な仮定を前提としていたため、現実問題への適用が困難であった。現実問題を扱うには、神の視点からエージェントの視点への転換が必要である。つまりエージェントの学習アルゴリズムに要求される制約は、1)極めて短い有限時間での学習、2)

部分観測、の2点である。そこで本論文では、部分観測情報+少量データからの逐次的学習法を、エージェント学習と定義する。

## 2.3 部分観測状態からの隠れ状態の推定

学習に部分観測を仮定した場合の問題点は、perceptual aliasing問題が生じ、学習精度が悪化することである。perceptual aliasingとは、観測した見かけの状態が同じ場合、本来異なる状態(真の状態と呼ぶ)らの、区別がつかなくなる現象のことである。したがって、本来異なる真の状態に対し、異なる学習結果に収束すべきなのに、観測状態が区別できないため、学習結果が悪化する。そのため、従来は、直接観測できない状態を区別すべき場合、内部的に隠れ状態を新たに生成して区別する、という隠れ状態を推定する手法がとられてきた。しかしながら、隠れ状態をいつ生成すべきか、という問題がある。そこで本研究では、部分観測問題を解決する仮定として、観測可能な状態の時系列上での生起確率の変動を隠れ状態の遷移と見なす。

## 2.4 少量データからの逐次的学習法の論点

本論文では、外界の変動に対するオンライン学習を目標とするため、逐次的学習法を用いる。そこで、時系列観測データからの逐次的学習法において、ジャンプ変動を仮定する場合の問題点を以下に述べる。

- (1)学習データ中に変動点を含むと、全体の学習精度が悪化する。
  - (2)データ数増加に対し、必ずしも大数の法則が成り立たない。
  - (3)サンプリング数が少ないと、統計的誤差が発生する。
- (1)(2)は、分布に変動点を仮定することによる制約である。これらは、前述の通り、変動点の前後で学習データを分割すれば解決できるが、問題は、どうやって変動点を検出するかである。(3)は、逐次的学習法による制約であるが、変動点を用いて学習データを分割した直後に発生する。

では、逐次的学習法における変動点検出の論点について要約する。詳しくは後述するが、逐字的学習手法による変動点検出では、変動点出現後の観測時間が長い程、変動点の位置は正確に推定できるが、その反面、検出の速度は遅くなるため、学習精度が悪化する。つまり、変動点推定の精度と速度(または学習精度)とは、トレードオフの関係にあるといえる。この問題は、3.3節で議論する。以上より、エージェント学習で解決すべき課題は、学習データの変動点の検出である。

### 3 真の生起確率の変動点の逐次的推定

本章では、観測状態の時系列上での生起確率の変動点推定問題を、Change-Point Problem[2]として定式化し、逐次的な近似解法を提案する。

#### 3.1 Change-Point Problemの例題

時系列データにおいて観測状態の生起確率の変動点を推定する例題として、いかさまさいころへのすりかえ時点推定問題を考える。問題は、さいころの目の出方の観測確率の時系列から、いかさまさいころにすりかわった時点を見破れるか?である。但し、観測事象は、事象の結果(出た目の数)である。仮定として、シーケンシャルに事象の観測を行し、さいころ(や振り手)によって事象の真の生起確率が異なるとする。

Change-Point Problemとは、真の生起確率が断続的に遷移したと仮定した上で、事象の観測結果(頻度)から求めた見かけの生起確率の時系列から真の生起確率の変動点が推定することである。但し、真の生起確率は直接観測できないので、逐次的に解く場合には統計データからの生起確率の最尤推定を用いる。

#### 3.2 Change-Point Problemの基本的な解法

まず、最も単純なChange-Point Problemとは、変動点が1つの場合であり、n回の事象中、真の確率が1回だけ変動したと仮定し、真の確率の変動点:  $CP(t)=j$  を推定し、変動点前後での真の確率:  $Pbc(0 < t < j) \rightarrow Pac(j \leq t \leq n)$  とを両方決定する問題である。この場合の基本的な解法は、jが1~nまでのそれぞれの場合の  $Pbc, Pac$  を計算し、それぞれで結果の頻度から最尤推定した観測確率の分散が最も小さい場合を真の変動点とみなせばよい。

次に、変動点の数を複数回へ拡張した場合には、確率変動が、0回以上の場合のChange-Pointsの全ての組み合わせを調べれば、原理的には全ての変動点を決定可能である。最も困難な点は、逐次解法の場合、一般に変動点の数が未知となることである。しかも分割すればするほど精度は上がり、変動点数の上限はサンプリング回数そのものとなるので、それを抑えるためには、変動点の数ごとと並列に仮説を生成し、AIC等の仮説の選択基準を用いて、適切な変動点数を推定する必要がある。ここで、AICによる選択基準とは、モデル数(変動点の個数)が少なく、かつ精度が高いことである。

#### 3.3 移動最尤推定による逐次的な変動点の推定

では、観測確率の移動最尤推定による真の確率の変動点の推定について説明する。

まず観測確率の移動最尤推定とは、最近n stepでの事象の頻度から、事象の生起確率を最尤推定により求める近似的な手法である。移動最尤推定に用いるデータ数のことを、窓サイズと呼ぶ。表1に複数の窓サイズでの移動最尤推定の比較を示す。表1と2.4節での議論から、変動点推定の精度と速度とは、窓サイズを変数としてトレードオフの関係にある。しかも適切な窓サイズの大きさは状況や問題に依存するので、その決定は困難である。そこで、複数サイズでの移動最尤推定の共通点として(独立試行を仮定すると正しくないという意味で)素朴な主観的定理を仮定し、以下に述べる素朴なヒューリスティックを現在検討中である。

主観的定理:

真の確率の変動の有無に対する最尤推定確率の時系列的変動(+:増加, -:減少)は、変動なしの場合、+-均一にばらつくのに対し、変動ありでは、同一符号に変化が偏る。

提案する素朴なヒューリスティック:

複数窓サイズでの最尤推定確率の増減方向の多数決により、真の確率の変動点を近似的に推定する。

表1 複数の窓サイズでの移動最尤推定の比較

窓サイズ	データ数	分散	値の精度	変動への追従
小	少ない	大	悪い	敏感
大	多い	小	良い	鈍い

本章では、まず一般的な変動点を利用したモデル分節化学習法の手順を示した後に、具体的な学習法として強化学習法を用いる場合の、変動する環境下への本手法の適用について説明する。

#### 4.1 変動点を利用したモデル分節化学習法

トレンドの変動点を利用したモデル分節化学習法の手順を以下に示す。

- (1)独立同分布区間での、確率モデルによる対象の同定学習
- (2)学習モデルでの逐次的に更新する確率の変動点の検出
- (3)確率の変動点をトリガとした、モデル分節化による学習と隠れ状態の推定
- (4)観測データの変動に対する、状況に応じたモデル切り替えによる適切な行動の選択

#### 4.2 環境変動下での強化学習法

環境変動下で強化学習を行う場合、長期的な定常状態

に対して、学習エージェントが短期的には部分観測を行なっているとみなすと、部分観測下での強化学習法[6]と同様に以下の2つの手法が考えられる。

#### (1) メモリレスな接近

変動に対し、学習結果を適応的に追従させる手法で、本論文では、基本となる強化学習法として確率傾斜法[6]を採用し、学習パフォーマンスの下限を保証する。確率傾斜法とは、報酬和を極大化するように確率的に山登りする政策を学習する手法である。

#### (2) モデルベースな接近

変動に対し、オンラインで環境モデルを生成、分節化し、分割した環境モデルごとに、学習状態を分けて学習する手法である。モデルベース手法の論点は、モデル分節化の手がかりと、用いるモデルの種類である。

本論文では、(1)(2)を両方用いる。まず学習法として確率傾斜法を用い、3.3節で説明した手法を用いてオンラインで変動点を検出しながら、確率傾斜法で用いる学習モデルを分節化する。残るモデルベース手法の論点は、用いるモデルの種類である。

### 4.3 強化学習法における環境のモデル化

本節では、学習対象（環境と呼ぶ）をMDPモデルと仮定し、MDPベースの強化学習法を用いる場合について議論する。まず、MDPとは、環境を確率状態遷移グラフでモデル化した時、環境の状態遷移確率が一定かつ不変な性質である。もし、環境がMDPならば強化学習可能で、学習エージェントは、報酬の期待値を最大化する政策に一意に収束可能である。但し環境がMDPという制約は、環境中の全状態が観測可能という、神の視点を仮定するので、2.2節で議論した様に非現実的である。そこでこの制約を部分観測を導入して緩和した、部分観測MDP (POMDP) という問題のクラスでの強化学習法[6]が、近年さかんに研究されている。POMDPクラスの仮定は、1)学習エージェントの観測は真の状態に対して部分的、2)観測した状態は、真の状態に対して確率的、の2つである。しかしながら、POMDPモデルの獲得は、計算コストが極めて大きい上に、確率的なモデル化は、変動の遷移をうまく扱えない、という問題点があった。つまり、部分観測状態の生起確率が、真の状態に対して確率的に定常と仮定しているために、計算コストが大きく、しかも学習過程における環境変動等の過渡状態がうまく扱えないのである。そこで、本論文では、次節で環境変動を扱う新しい環境のクラスを導入する。

### 4.4 遷移観測MDPに基づく環境変動のモデル化

本論文では、学習エージェントから見て、環境変動が

断続的（ステップ状）な遷移だと仮定した上で、変動する環境のモデル化として、遷移観測MDP (Transitionally Observable MDP) を提案する。TOMDPとPOMDPとの共通点は、部分観測性である。一方両者の違いは、POMDPが観測状態と真の状態との対応が状態ごとに独立とみなすのに対し、TOMDPは、見かけのMDP全体での状態遷移確率の変動を仮定する点である。図2を用いて説明する。ある期間*i*にエージェントが観測した環境のMDPモデルを、見かけのMDPという意味でOMDP(*i*)とする。環境変動とは、部分観測エージェントにとって、観測不可能な真の状態遷移が生じることであるが、観測可能な状態遷移確率の変動として間接的に推定可能である。そこで、真の状態遷移を、OMDPの遷移としてモデル化するのがTOMDPである。つまり、状態遷移確率の変動点は、隠れ状態の状態遷移を示唆する。但し、隠れ状態が何を表すかの意味は得られないので、人間が解釈を与える必要はある。

では、次にTOMDP下での環境変動の検出法について説明する。OMDP(*i*)がいつ遷移したかは、直接観測不能だが、観測した状態遷移確率の時系列的な変動から推定可能である。つまり、観測した状態遷移確率の時系列におけるChange-Point Problemに帰着される。

但し、MDPモデルにおける状態遷移確率は行列であるので、原理的には、全ての状態遷移確率に対して、それぞれ真の確率の変動点を検出する必要がある。

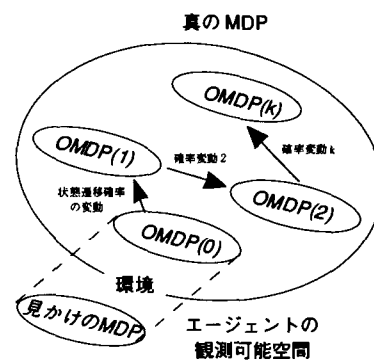


図2 遷移観測MDPの概要

## 5 実験

予備実験として3章で説明した状態遷移確率の複数窓サイズでの移動最尤推定結果について述べる。実験は、環境としてのMDPモデル中のある状態遷移確率を2000stepsごとにジャンプ変動させ、学習エージェントが観測した状態遷移の結果の頻度から、複数窓サイズで移動最尤推定させた。

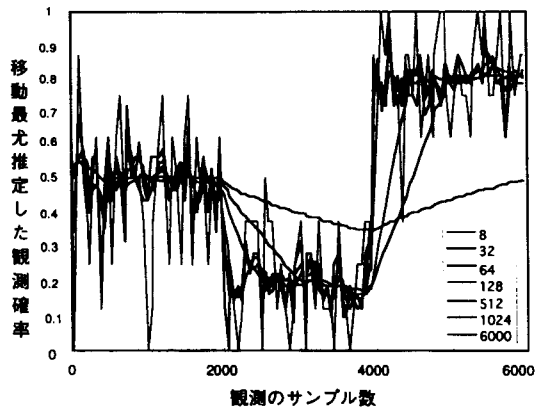


図3 状態遷移確率の逐次的な移動最尤推定結果

図3に状態遷移確率の逐次的な移動最尤推定結果を示す。窓サイズは、最小8データから、1024データまで6通り表示している。3.3節の表1で述べたように、窓サイズが大きい程、真の確率が定常な区間では最尤推定した遷移確率のばらつきが小さくなる反面、変動点後の新しい値への収束速度が遅くなると言える。

## 6 議論

### 6.1 精度と感度のトレードオフ問題

変動点を用いたモデル分節化における精度と感度のトレードオフ問題について議論する。ここで、感度とは観測値の変動に対する追従速度、精度とは観測した統計値の良さや確からしさとする。サンプル数（窓サイズ）に対するトレードオフの問題は、学習データが変動点を含まない場合には、大数の法則によって、データ数が増える程、精度が改善されるが、データの変動に対する感度は小さくなる。一方、学習データ中に変動点を仮定する場合には、データ数を増やす程変動点を含むリスクが増加するので、必ずしも大数の法則が成り立たないといえる。

### 6.2 関連研究

生起確率の変動点推定問題の最も簡潔な形は、数理統計学の分野でChange-Point Problem[2]として定式化されているが、基本的に大数の法則を仮定し、サンプリング数無限大の場合での理論的性質が議論されているに過ぎず、本研究のように少数のサンプリングデータに対し、逐次的に変動点を推定する近似的なアルゴリズム研究はない。また、制御分野でのシステムの同定研究の中には、同定対象のパラメータのジャンプを扱う研究[3][4]があるが、基本的にパラメータの値が直接観測可能な場合や、値の事前分布が既知との仮定が必要であり、本研究のよ

うに値の遷移が直接観測できない場合は扱われていない。

## 7 終わりに

本論文では、学習データの時系列上での変動点を用いて、学習モデルを分節化する学習手法について述べた。環境変動下において、学習エージェントにとって変動点の検出がなぜ重要かについて議論した上で、変動点推定の近似解法について議論し、変動する環境のモデルとして、遷移観測MDPを提案した。本手法の利点は部分観測による計算、学習コストの節約と、オンラインでの環境モデル生成である。今後の課題として、サッカーシミュレータでの環境モデルの分節化と、TOMDPモデルを用いた強化学習実験を予定している。

謝辞 Change-Point Problemに関して教示頂き、素朴なアイデアに適切なコメントをして下さった、大阪大学大学院基礎工学研究科数理学分分野統計数理講座の安芸重雄助教授に感謝します。MACC-97において議論して頂いた有馬淳氏、電総研の本村陽一氏、励まして下さった中島秀之氏に感謝いたします。

## 参考文献

- [1]山口：仮想個体と実ロボットとの並列環境強化学習システムにおける諸問題，MACC-97，第6回マルチエージェントと協調計算ワークショップ，(1997)，<http://www.kecl.ntt.co.jp/msrg/macc97/yamaguch.html>
- [2]Prakasa Rao, B.L.S., Asymptotic Theory of Statistical Inference, (1987), pp.275-289, [John Wiley & Sons Inc.]
- [3]西口、土屋：ニューラルネットワークを用いたマルコフジャンプ過程の状態推定法，計測自動制御学会論文集，Vol.26, No.10, (1990), pp.1193-1220
- [4]西口、土屋：ニューラルネットワークによるマルコフジャンプ過程の学習と推定，計測自動制御学会論文集，Vol.27, No.11, (1991), pp.1296-1301
- [5]鈴木義一郎、情報量規準による統計解析入門，(1995)，[講談社]
- [6]木村，Kaelbling：部分観測マルコフ決定過程下での強化学習，人工知能学会誌，Vol.12, No. 6, (1997), pp.822-830
- [7]Russell, S., Norvig, P.: Artificial Intelligence, -a modern approach-, (1995) discusses POMDP in Chapter 17, p.520, [Prentice-Hall International, Inc.]

- [8]Barto,A.G.,Bradtke,S.J.,Singh,S.P.: Learning to act using real-time dynamic programming,J.of Artificial Intelligence,Vol.72,No.1-2,(1995)pp.81-138

## チアクラウンエーテル化学結合型シリコンゴム感応膜を用いる 銀イオン選択性電極

大植正敏・吉野直美\*・村島健司・沢田英夫・木村恵一\*\*

Silver-ion Selective Electrode Based on Silicone-rubber Membrane Modified  
Chemically by Thiocrown Ether

Masatoshi OUE, Naomi YOSHINO, Kenji MURASHIMA, Hideo SAWADA  
and Keiichi KIMURA

3-(4-Triethoxysilylbutyl)-monothia-16-crown-5 was immobilized on silicone-rubber membranes by covalent bonding. Silver-ion selective electrode based on silicone-rubber membrane exhibited a Nernstian response in the  $\text{Ag}^+$  activity range of  $10^{-5}$ - $10^{-2}$  M with a response time of less than 60 sec. The neutral-carrier-type  $\text{Ag}^+$  electrode possesses high  $\text{Ag}^+$  selectivities against heavy or transition metal ions compared with conventional solid-state membrane  $\text{Ag}^+$  electrode.

### 結 言

液膜型-イオン選択性電極は電極膜にイオン認識するニュートラルキャリアを封じ込めセンシング部分とした化学的イオン測定機器である。クラウンエーテルは分子構造のドナー原子と空孔により特定金属イオンと錯形成、あるいは捕捉するためイオンセンシング化合物として広く知られ、ポリ塩化ビニル(PVC)を膜母材とする液膜型-イオン選択性電極のニュートラルキャリアとして研究されている。<sup>1)</sup> しかしながら、このPVC膜母材の液膜型-イオン選択性電極を医療などに用いると、ニュートラルキャリアの身体などへの溶出が懸念される。

これに反して、ニュートラルキャリアをシリコンに化学的に共有結合したシリコン膜の液膜型-イオン選択性電極はニュートラルキャリアの溶出が膜母材とキャリアが化学結合していることで阻止できると考えられる。<sup>2)-4)</sup>

ドデシル-モノチア-16-クラウン-5が、銀イオン選択性電極のニュートラルキャリアとして合成され、膜母材としてポリ塩化ビニル(PVC)を用いたところ、 $10^{-6}$ - $10^{-2}$  Mの銀イオン活量範囲で理論的なネルンスト応答(59mV/decade)を示し、その応答時間は30秒以内であっ

た。<sup>5)</sup>

ここでは、モノチア-16-クラウン-5を基本骨格とした二重結合を有するニュートラルキャリアを合成し、トリエトキシシリル基を付加させ、ニュートラルキャリアがシリコンゴムに共有化学結合した感応膜を調製し、液膜型-銀イオン選択性電極としての電位応答、応答時間、耐久性および選択性などの検討を行った。

### 実 験

#### 試薬

市販の和光純薬製1級または特級を用い、必要に応じて試薬を精製した。

#### 測定

赤外吸収スペクトル、IRは堀場製FT-IR:FT-300型、核磁気共鳴吸収、<sup>1</sup>H-NMRは日本電子製90MHz:JOEL-FX90-NMRを、また電極測定には東亜電波工業(株)製pH/mVメーター:HM-20E型を用いた。

#### 合成

1-プロモ-3-ブテンとマロン酸ジエチルを原料として(3-ブテニル)-モノチア-16-クラウン-5はドデシル-モノチア-16-クラウン-5の合成方法と同様に行った。<sup>6)-7)</sup>

\* 奈良先端科学技術大学院大学 物質創成科学研究科

\*\* 和歌山大学システム工学部 精密物質学科

## (3-ブテニル)-マロン酸ジエチル 2

収率59.3% ; 液体(b.p.64.0-65.5 °C/2.5 mmHg) ; IR(KBr):2985, 2915(C-H), 1731(C=O), 1646(C=C)  $\text{cm}^{-1}$ ;  $^1\text{H-NMR}$ ( $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$  1.27(6H,t, $\text{CH}_3$ ), 2.05(4H, m,  $\text{CH}_2 = \text{CHCH}_2\text{CH}_2$ ), 3.35(1H,m, $\text{CH}(\text{COOEt})_2$ ), 4.08-4.32(4H,q,( $\text{COOCH}_2\text{CH}_3$ )), 4.94-5.12(2H,m, $\text{CH}_2 = \text{CH}$ ), 5.63- 6.00(1H,m, $\text{CH}_2 = \text{CHCH}_2\text{CH}_2$ )

## 2-(3-ブテニル)-1,3-プロパンジオール 3

収率36.8% ; 液体(b.p.87.5-88.0 °C/2.5 mmHg) ; IR(KBr):3554(OH), 2940(C-H), 1646(C=C), 1038(C-OH)  $\text{cm}^{-1}$ ;  $^1\text{H-NMR}$ ( $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$  1.40-2.10(5H,m, $\text{CH}_2 = \text{CHCH}_2\text{CH}_2\text{CH}$ ), 3.45(4H,t, $\text{CH}_2\text{OH}$ ), 4.60(2H,s,OH), 4.90-5.13(2H,m, $\text{CH}_2 = \text{CHCH}_2\text{CH}_2$ ), 5.60-6.00(1H,m, $\text{CH}_2 = \text{CHCH}_2\text{CH}_2$ )

## 4-(3-ブテニル)-2,6-ジオキサヘプタン-1,7-二酸ジエチル 4

収率61.9% ; 淡黄色液体(シリカゲル; 酢酸エチル:n-ヘキサン=1:3, Rf=0.42); IR(KBr):2985, 2915(CH), 1754(C=O), 1631(C=C), 1131(COC)  $\text{cm}^{-1}$ ;  $^1\text{H-NMR}$ ( $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$  1.28(6H,t, $\text{COOCH}_2\text{CH}_3$ ), 1.46-2.28(5H,m, $\text{CH}_2 = \text{CHCH}_2\text{CH}_2\text{CH}$ ), 3.55(4H,d, $\text{CHCH}_2\text{O}$ ), 4.20(8H,q, $\text{CH}_2\text{CH}_3$ ,  $\text{OCH}_2\text{CO}$ ), 4.90-5.08(2H,m, $\text{CH}_2 = \text{CHCH}_2\text{CH}_2$ ), 5.60-6.04(1H,m, $\text{CH}_2 = \text{CHCH}_2\text{CH}_2$ )

## 5-(3-ブテニル)-3,7-ジオキサノナン-1,9-ジオール 5

収率63.1% ; 淡黄色液体 ; IR(KBr):3592(OH), 2920(C-H), 1615(C=C), 1115(COC), 1054(C-OH)  $\text{cm}^{-1}$ ;  $^1\text{H-NMR}$ ( $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$  1.20-2.24(5H,m, $\text{CH}_2 = \text{CHCH}_2\text{CH}_2\text{CH}$ ), 3.17(2H,s,OH), 3.55(12H,q, $\text{CH}_2\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ ), 4.90-5.10(2H,m, $\text{CH}_2 = \text{CHCH}_2\text{CH}_2$ ), 5.60-6.04(1H,m, $\text{CH}_2 = \text{CHCH}_2\text{CH}_2$ )

## 5-(3-ブテニル)-3,7-ジオキサノナン-1,9-ジ-p-トルエンスルホニル 6

収率42.1% ; 淡黄色液体(シリカゲル; 酢酸エチル:n-ヘキサン=1:1,Rf=0.42); IR(KBr):3061, 815(aromatic,C-H), 2920(C-H), 1600(C=C), 1100(COC), 1361, 1177(S=O)  $\text{cm}^{-1}$ ;  $^1\text{H-NMR}$ ( $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$  1.27-2.15(5H,m, $\text{CH}_2 = \text{CHCH}_2\text{CH}_2\text{CH}$ ), 2.44(6H,s,aromatic- $\text{CH}_3$ ), 3.32(4H,d, $\text{CHCH}_2\text{O}$ ), 3.57(4H,t, $\text{CHCH}_2\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{O}$ ), 4.13(8H,t, $\text{CHCH}_2\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{O}$ ), 4.88-5.08(2H,m, $\text{CH}_2 = \text{CHCH}_2\text{CH}_2$ ), 5.56-6.00(1H,br, $\text{CH}_2 = \text{CHCH}_2\text{CH}_2$ ), 7.32-7.80(4H,q,aromatic)

## (3-ブテニル)-モノチア-16-クラウン-5 7

収率38.0% ; 淡黄色液体(シリカゲル; 酢酸エチル:n-ヘキサン=1:4,Rf=0.33); IR(KBr):2923, 2869(C-H),

1638(C=C), 1131(C-O-C)  $\text{cm}^{-1}$ ;  $^1\text{H-NMR}$ ( $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$  1.30-2.22(5H,m, $\text{CH}_2 = \text{CHCH}_2\text{CH}_2\text{CH}$ ), 2.83(4H,d, $\text{CH}_2\text{SCH}_2$ ), 3.49-3.80(16H,m, $\text{OCH}_2$ ), 4.90-5.09(2H,m, $\text{CH}_2 = \text{CHCH}_2\text{CH}_2$ ), 5.60-6.04(1H,br, $\text{CH}_2 = \text{CHCH}_2\text{CH}_2$ ); MS: $\text{M}^+$ (m/e)304; 元素分析( $\text{C}_{15}\text{H}_{28}\text{O}_5$ )理論値C,59.18%; H,9.27%; 分析値C,59.02%; H,9.10%

## 3-(4'-トリエトキシシリルブチル)モノチア-16-クラウン-5 8

還流器をつけた3つ口フラスコに(3-ブテニル)-モノチア-16-クラウン-5(100 mg/0.33 mmol)の脱水ベンゼン(10 ml)溶液を入れ、塩化白金酸・6水和物(10 mg/ $1.93 \times 10^{-2}$  mmol)のテトラヒドロフラン(2 ml)溶液と、トリクロロシラン(200 mg/1.48 mmol)を加え一昼夜加熱還流した。その後、ヘリウム気流下常温で攪拌しながら溶媒を留去した。ここに、脱水エタノールを加え、氷冷下20時間攪拌後、エタノールを減圧留去した。

IR(KBr):2923, 2869(C-H), 1100(C-O-C), 1131(Si-OR)  $\text{cm}^{-1}$ ;  $^1\text{H-NMR}$ ( $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$  0.68 1.00(2H,m, $\text{SiCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}$ ), 1.10-1.56(7H,m, $\text{SiCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}$ ), 1.70-2.07(9H,q, $\text{Si}(\text{OCH}_2\text{CH}_3)_3$ ), 2.56-3.04(4H,br, $\text{CH}_2\text{SCH}_2$ ), 3.27-4.04(22H,m, $\text{Si}(\text{OCH}_2\text{CH}_3)_3$ ,  $\text{OCH}_3$ )

## 電極膜の作製

シリコーンゴムは一液型RTVゴムKE47T(脱アルコール型、信越化学工業社製)を用いて製膜した。シリコーンゴムとイオノフォアの割合は9/1 wt%である。膜にはさらに脂溶性塩であるジピクリルアミンナトリウム塩を添加した。それらを、クロロホルムに溶解し、溶液をテフロン容器(径1 cm、高さ0.8 cm)に注ぎ、放置し風乾により溶媒を留去して膜形成した。

## 電極構成

作成したシリコーン膜を直径5 mmの円盤状に切り、ポリ塩化ビニル管(PVC管:外径5 mm、長さ2.5 mm)にシリコーンゴムを接着剤として取り付けした。キャストされた膜は、 $1 \times 10^{-2}$  M  $\text{AgNO}_3$ 水溶液に一晩浸した。

## 電気化学セル

$\text{Ag-AgCl}/1 \times 10^{-2}$  M  $\text{AgNO}_3$ /membrane/測定液/0.1 M  $\text{NH}_4\text{NO}_3/4$  M  $\text{KCl}/\text{Ag-AgCl}$

## 選択係数

アルカリおよびアルカリ土類金属イオンと $\text{NH}_4^+$ は1 M、そして、重および遷移金属イオンは $1 \times 10^{-2}$  M水溶液とした。

## 結果と考察

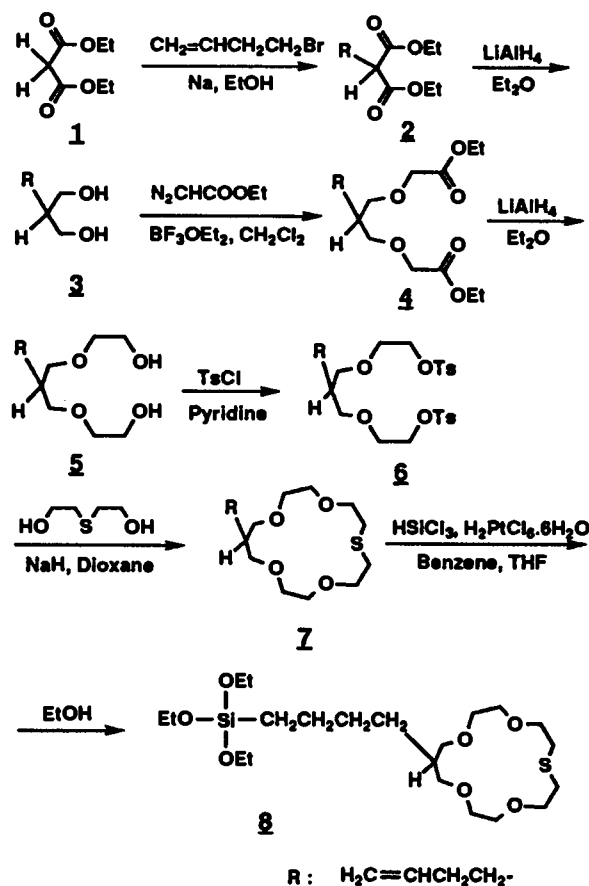
## 合成

Scheme 1に3-(4'-トリエトキシシリルブチル)-モノチア-16-クラウン-5の全合成経路を示した。化合物3のLiAlH<sub>4</sub>によるエステルの還元は-CH<sub>2</sub>OHを生じて、二重結合は還元されないことが分かった。閉環反応は高度希釈法を用いたが、他に金属イオンによるテンプレート反応で閉環する方法もある。両者を併用することで、より高収率を期待できるが、本実験では前者のみを用いた。化合物8は化合物7の二重結合へ、トリクロロシランを付加させ、アルコールと反応させてエトキシシランを合成する反応である。化合物7とシランとの結合確認は化合物7の<sup>1</sup>H-NMRの二重結合のプロトンシグナルの消滅(δ = 4.80-5.16, 2H; 5.52-6.08, 1H)により行った。しかし、実際には化合物8の<sup>1</sup>H-NMRに、二重結合のプロトンピークが残っていた。これは、反応直後の液でプロトン測定を行ったため、未反応化合物7が残っていたからと考えられた。従って、化合物8と7の<sup>1</sup>H-NMRにおける二重結合のプロトンピークと他のプロトンピークの比、Si-CH<sub>2</sub>によるプロトンピーク (2H, δ = 0.68-1.00) の出現、IRによる1131 cm<sup>-1</sup>のSi-OR吸収から化合物8が合成されていることを確認した。<sup>8)</sup>この化合物は金属アルコキシドの合成方法により生成物は加水分解によって、徐々に重合が進行するので、直ちに次の製膜操作に移る必要があった。

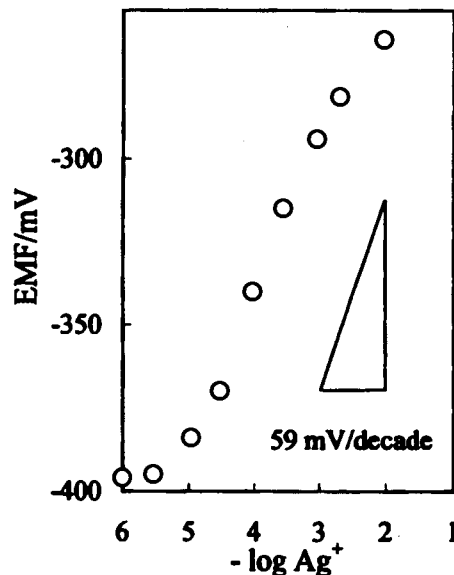
## 電極測定

膜母材を用い、シリコンゴム 90 mg、キャリア 10 mg、ジピクリルアミンナトリウム塩 25 mol% の割合をクロロホルム 0.6 ml に溶解し、室温で約 2 昼夜放置して膜を形成した。キャリアの重量比は、膜母材に対して 9/1 wt% が一般的であり、銀イオン測定には、脂溶性塩であるジピク

リルアミンナトリウム塩が陰イオンの移動を抑制するために必要であった。内部溶液と電位応答の関係を、10<sup>-3</sup>、10<sup>-2</sup>、そして、10<sup>-1</sup> M AgNO<sub>3</sub> 水溶液の各種で検討した。濃度が高くなるとともに、傾きは 59 mV/decade のネルンスト応答に近づいた。しかしながら、10<sup>-1</sup> M AgNO<sub>3</sub> 水溶液の測定では、傾きが 59 mV/decade になるが、さらに測定回数を増すに伴い、傾きが 59 mV/decade 以下になった。そのため、10<sup>-2</sup> M AgNO<sub>3</sub> 水溶液をイオン選択性電極の内部溶液とした。図 1 に液膜型—銀イオン選択性電極の銀イオン活量と電位応答の関係を示した。図から電極応答は 10<sup>-5</sup>—10<sup>-2</sup> M の銀イオン活量範囲において理論的なネ



Scheme 1

Fig. 2 Calibration plots of Ag<sup>+</sup> selective electrodes based on compound 8

ルンスト応答 (59 mV/decade)を60秒以内で示した。PVC膜母材では $10^{-6}$ – $10^{-2}$  Mの銀イオン活量範囲で電極応答が理論的であったが、化学結合型の膜母材を用いると低濃度の応答が(1/10)悪くなった。<sup>5)</sup>これはPVC膜ではニュートラルキャリアとPVCが化学結合することなく膜に存在するが、シリコーンゴムとニュートラルキャリアは化学結合、いわゆる共有結合によって、シリコーンゴム中に存在しているため、ニュートラルキャリアのモビリティが規制されることによりイオンの感応範囲が減少したと考えられた。電位応答測定初期は膜表面のジピクリルアミンナトリウム塩が溶出し、電位応答が不安定であったが次第に安定した。また、液膜型—イオン選択性電極では膜を測定対象イオン溶液でコンディショニングしなければならない。測定初期、電極はおよそ25 mV/decadeだったが、測定回数と共に、ネルンスト応答を示すようになった。これは、電極膜への銀イオンのコンディショニングによる銀イオンとキャリアの錯体形成がゆっくり進行したためと考えられる。

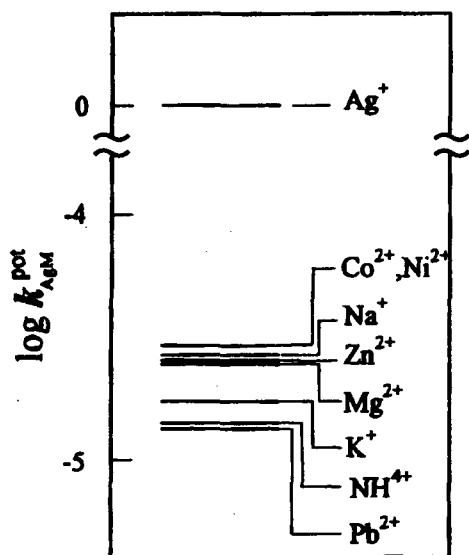


Fig. 3 Selectivity coefficients

#### 選択係数

他の金属イオンが一定量存在する溶液において、銀イオン活量変化における電位応答の測定を行った。図2に種々の異種イオンに対する銀イオンの選択係数を示した。図から銀イオンに対してアルカリおよびアルカリ土類金属イオン、そして、重および遷移金属イオンが $10^4$ – $10^5$ 倍存在しても銀イオンは妨害されることなく測定できる

ことを示している。これは、従来の硫化銀固体膜電極が重金属イオン共存下では銀イオン測定ができないことから考えると飛躍的な改良点であり、優れた点である。

#### 結 言

3-(4'-トリエトキシシリルブチル)-モノチア-16-クラウン-5の合成と、それをニュートラルキャリアとするシリコーンゴムの液膜型-銀イオン選択性電極の検討を行った。アニオンの移動抑制のためにジピクリルアミンナトリウム塩が添加された。膜は弾力性があり安定した電位応答が可能となり、銀イオン活量範囲 $10^{-5}$ – $10^{-2}$  Mで59 mV/decadeのネルンスト応答を60秒以内で示した。選択係数は、アルカリおよびアルカリ土類金属イオンと、重および遷移金属イオンで4–5となり、約 $10^4$ – $10^5$ 倍の異種金属イオンの混入でも銀イオン濃度測定は可能であった。

#### 文 献

- 1)(a)M. Oue, K. Akama, M. Tanaka and T. Shono, *Anal. Sci.*, **5**, 165(1989). (b)K. Kimura, T. Maeda, H. Tamura and T. Shono, *J. Electroanal. Chem. Interfacial Electrochem.*, **95**, 91(1979).
- 2)Y. Tujimura, T. Sunagawa, M. Yokoyama and K. Kimura *Analyst*[London], **121**, 1705(1996).
- 3)H. -B. Jenny, C. Riess, D. Ammann, B. Magyar, R. Asper and W. Simon, *Mikrochim. Acta*, **11**, 309(1980).
- 4)Y. Tujimura, M. Yokoyama and K. Kimura, *Electroanalysis*, **5**, 803(1993).
- 5)M. Oue, K. Kimura, K. Akama, M. Tanaka and T. Shono, *Chem. Lett.*, **1988**, 409.
- 6)D. Ammann, R. Bissig, M. Guggi, E. Pretsch and W. Simon, *Helv. Chim. Acta*, **58**, 1535(1975).
- 7)H. Sakamoto, K. Kimura, Y. Koseki, M. Matsuo and T. Shono, *J. Org. Chem.*, **51**, 4974(1986).
- 8)K. Kimura, T. Sunagawa and M. Yokoyama., *J. Chem. Soc., Chem. Commun.*, **1996**, 745.

## Specific Amplification of Gene Fragments of Alanine Racemases with Degenerate Primers

Yoko OKUBO and Kumio YOKOIGAWA \*

Conditions for amplification of gene fragments of alanine racemases from various bacteria was examined by polymerase chain reaction (PCR) with several degenerate oligonucleotide primers. The primers were designed based upon the conserved sequences around the Lys<sup>41</sup> and His<sup>168</sup> residues of the enzymes from *Bacillus subtilis*, *Bacillus stearothermophilus*, and *Salmonella typhimurium*. PCR with a pair of primers designed in due consideration of the codon usage of these alanine racemase genes was found to produce a specifically amplified product with a size of approximately 390-base pair from genomic DNA of *Bacillus psychrophilus*, *Bacillus psychrosaccharolyticus*, *B. subtilis*, *B. stearothermophilus*, *Enterobacter cloacae*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas fluorescens*, and *Serratia marcescens*, but not from a baker's yeast and *Aspergillus niger*. The gene fragments of alanine racemases are useful for cloning of the genes to compare the structure of the enzymes as a target for anti-bacterials.

### 1. Introduction

Alanine racemase (EC 5.1.1.1) catalyzes racemization of L- and D-alanine, and provides the latter enantiomer for the construction of the peptidoglycan layer of bacterial cell-walls. Accordingly, the enzyme has been studied as a target for antibacterial drugs. In fact, some halogenated derivatives of D-alanine and phosphoalanine-containing dipeptides were found to act as antibacterials by blocking the racemization of L- to D-alanine (1-5). However, the inhibition mechanism examined with an alanine analogue, (1-aminoethyl)-phosphonate (Ala-P), is different between the enzymes from Gram-positive and Gram-negative bacteria; the enzymes from Gram-positive bacteria are irreversibly inactivated by Ala-P, whereas the enzymes from Gram-negative bacteria were reversibly inhibited (6,7). Development of alanine racemase-directed antibacterials effective to wide varieties of bacteria requires detailed studies on the chemistry and geometry of active sites of various alanine racemases.

Alanine racemase is believed to occur widely in bacteria, and is interesting from a standpoint of comparative biochem-

istry. However, the distribution of the enzymes is not studied in detail. The enzymes from mesophiles, *Bacillus subtilis* var. *aterrimus* (8), *Pseudomonas putida* (9), *Streptococcus faecalis* (5), *Staphylococcus aureus* (10), *Escherichia coli* (11), and *Salmonella typhimurium* (12,13), and from a thermophile, *Bacillus stearothermophilus* (14), have been purified and characterized. We have also purified and characterized the thermolabile enzyme from a psychrotroph, *Pseudomonas fluorescens* (15). Many of these enzymes had to be purified more than 10,000-fold to homogeneity. Therefore, little protein was available for their structural works. Most enzymes from the mesophiles are unclear even in their cofactor requirement. Cloning and expression of the enzyme genes from various bacteria are essential for availability of pure alanine racemases in large quantities, and for their comparative biochemistry.

The four kinds of alanine racemase genes including two isozyme genes, *dadB* and *alr*, of the *Sl.typhimurium* alanine racemases were cloned, and their DNA and protein sequences were analyzed (14,16-19). The four amino acid sequences predicted from the nucleotide sequences show an identical octapeptide containing the active-site lysyl residue (19). However, the structures of active sites of other alanine racemases are still unclear.

Isolation of alanine racemase genes from bacteria of wide-

---

\*Department of Food Science and Nutrition, Nara Women's University, Nara 630, Japan

ly diverged groups would provide useful information for development of racemase-directed anti-bacterials, comparative biochemistry, and the molecular evolution of the enzymes. We here describe the amplification of a gene fragment of alanine racemase from various bacteria by polymerase chain reaction (PCR) with degenerate oligonucleotide primers designed on the basis of the conserved amino acid sequences of alanine racemases.

## 2. Materials and Methods

### *Microbe and culture conditions.*

Psychrotrophs (*Bacillus psychrophilus* ATCC23304, *Bacillus psychrosaccharolyticus* ATCC23296, and *Pseudomonas fluorescens* TM5-2(15)) were aerobically cultivated at 25 °C for 16 h in a medium containing 0.5% meat extract, 1% polypepton, 0.5% yeast extract, and 0.5% NaCl (pH7.0). A thermophile (*B. stearothermophilus* IFO 12550) was aerobically cultivated at 55 °C in a medium containing 1.5% polypepton, 0.1% glycerol, 0.01% yeast extract, 0.01% meat extract, 0.5% NaCl, 0.2% K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, 0.1% KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, and 0.01% MgSO<sub>4</sub> · H<sub>2</sub>O. Mesophiles (*Escherichia coli* JM109, *Bacillus subtilis* IFO 3007, *Enterobacter cloacae* IFO 3320, and *Serratia marcescens* IFO 3052) were cultivated at 30 °C for 18 h in LB medium (1% Tryptone, 0.5% yeast extract, 0.5% NaCl, 1 mM NaOH). *Aspergillus niger* IFO 4343 and bakers' yeast (Toyo Jozou Co. Ltd., Tokyo) were cultivated at 28 °C for 24 h in YPD medium (0.5% yeast extract, 0.5% peptone, 2% glucose).

### *Preparation of PCR templates.*

Genomic DNAs from bacteria, yeasts, and fungi were prepared as described by Wilson (20), Treco (21), and Specht *et al.* (22), respectively, and used as PCR templates.

### *Primers.*

Primers were designed from the two conserved sequences around the active-site Lys<sup>41</sup> and the His<sup>168</sup> residues of alanine racemases from *B. subtilis*, *B. stearothermophilus*, and *Sl. Typhimurium* (FIG.1). These primers were synthesized and purified by Funakoshi Co. Ltd., Tokyo, Japan.

### *Amplification of alanine racemase gene fragments.*

Routinely, 40 cycles of PCR were performed in a Program Temp Control System PC-700 (Aster Co., Fukuoka, Japan). The cycle is composed of denaturation at 94 °C for 2 min in the first cycle and 20 s in all subsequent cycles, annealing at 54 °C for 30 s, and extension at 72 °C for 1.5 min. The stan-

dard reaction mixture contained 1 µg genomic DNA, 9 mM Tris-HCl (pH8.4), 1.5mM MgCl<sub>2</sub>, 250 pmol of each primer, 10 nmol of each dNTP (deoxyribonucleoside triphosphate), and 1.25 units of *Taq* DNA polymerase (Perkin-Elmer/Cetus) in a final volume of 50 µl. The resulting PCR products were electrophoresed in 3.5% NuSieve GTG agarose (FMC Bioproducts, Rockland, ME), stained with ethidium bromide, and photographed under ultraviolet light.

### *Labeling of the gene fragment.*

The digoxigenin-labeled gene fragments of alanine racemases were prepared by PCR under the conditions described above except that genomic DNA and dNTP were replaced with 10 ng of the PCR product and DIG-DNA labeling mixture (Boehringer Mannheim), respectively.

### *Hybridization and detection.*

Hybridization and chemiluminescent detection were carried out with DIG Luminescent Detection Kit (Boehringer Mannheim). Cell lysates (1-3 µl) were spotted on a Hybond-N+ membrane (Amersham). The membrane was placed for 20 min on Whatman 3 MM paper wet with 0.4 N NaOH, then washed with 75 mM citrate buffer containing 0.75 M NaCl (pH 7.0). The membranes were prehybridized at 42 °C for 2 h in hybridization buffer containing 5 X SSC, 2% blocking reagent, 0.1% N-lauroylsarcosine, 0.02% SDS, and 50% formamide. The membranes were transferred to fresh hybridization buffer containing 500 pg/ml of the heat-denatured probe, then incubated at 42 °C for 16 h. Subsequently, the membranes were rinsed twice at room temperature in 2 X SSC containing 0.1% SDS, then washed at 68 °C in 0.1 X SSC containing 0.1% SDS. Incubation of the membrane with a conjugate of anti-digoxigenin antibody and alkaline phosphatase was done according to the manufacturer's recommendation (Boehringer Mannheim). X-ray films exposed to chemiluminescence that was produced by reaction of alkaline phosphatase with Lumigen PPD on the membranes were photographed.

## 3. Results

### *Amplification of gene fragments of alanine racemases.*

The nucleotide sequences of the primers used are outlined in FIG.1A, and the conserved sequences of alanine racemases used for the design of the primers are depicted in FIG.1B.

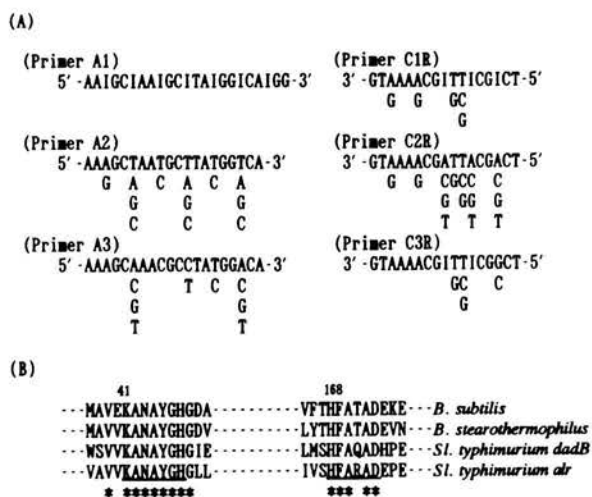


FIG.1. Primers used for amplification of alanine racemases (A) and the conserved sequences of the enzymes around Lys<sup>41</sup> and His<sup>168</sup> residues (B). The sequences used for design of the primers are underlined. Residue numbers are given as reported by Tanizawa *et al* (19); the single-letter amino acid code is used. Identical residues (\*) among the four sequences of the enzymes are shown below.

With these primers and genomic DNA of *B. psychrophilus* as a template, we examined the conditions for specific amplification of a gene fragment of alanine racemase by PCR. The size of the amplified product is predicted to be about 390 bp as judged from the distance between the two regions used for design of primers. Therefore, various combinations of the sense primer (A1, A2, and A3) and the antisense primer (C1R, C2R, and C3R) were employed in the PCR to amplify the about 390-base pair (bp) DNA fragment. PCR with primers A3 and C3R, which are designed considering the codon usage of alanine racemase genes, produced a specifically amplified product with a size of about 390 bp, although PCR with other pairs of primers yielded no product or non-specifically amplified products (FIG.2). When other genomic DNAs from *E. cloacae*, *B. psychrosaccharolyticus*, and *E. coli* were used as the templates, about 390 bp of DNA fragments were also specifically amplified under the same conditions. (FIG.3). Thus, PCR with primers A3 and C3R produced a specifically amplified product irrespective of the species of bacteria used for preparation of template DNAs.

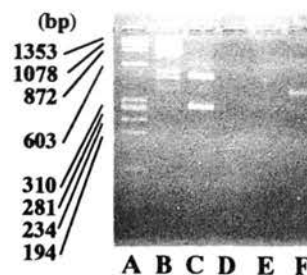


FIG.2. Effect of primer species on the specific amplification of a gene fragment of alanine racemase.

A, X174/*Hae* III digest; B, PCR with A1 and C1R; C, PCR with A2 and C1R; D, PCR with A1 and C2R; E, PCR with A2 and C2R; and F, PCR with A3 and C3R.

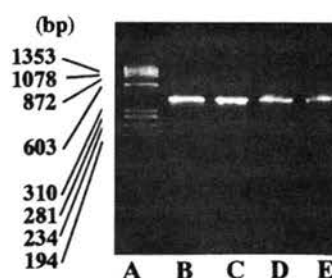


FIG.3. PCR products from genomic DNAs of *B. psychrophilus* (lane B), *B. psychrosaccharolyticus* (lane C), *E. cloacae* (lane D), and *E. coli* (lane E).

Lane A is a marker DNA (X174/*Hae* III digest).

When the amplified products were labeled with digoxigenin as described above, each labeled probe was hybridized with the genomic DNA from the respective bacterium (data not shown). These results suggest that each PCR product is a gene fragment of alanine racemase from the respective bacterium.

#### Amplification of about 390 bp DNA fragment from eukaryotes and prokaryotes.

The generality of this approach to amplify alanine racemase gene fragments was examined with genomic DNAs from eukaryotes and prokaryotes.

As shown in FIG.4, about 390 bp DNA fragments were amplified as the major product by this PCR irrespective of the species of bacteria. However, no PCR product was amplified from genomic DNAs of eukaryotes (bakers' yeast and *A. niger*).

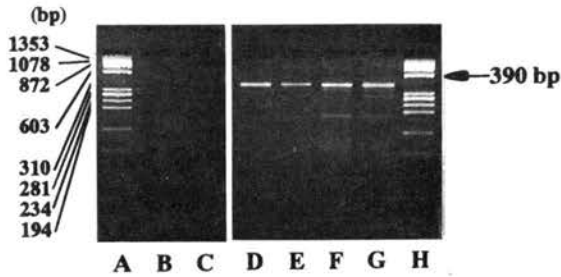


FIG.4 Amplification of about 390 bp of DNA fragments from eukaryotes and prokaryotes.

A and H,  $X174/Hae$  III digest; B, amplification from baker's yeast; C, amplification from *A. niger*; D, amplification from *B. subtilis*; E, amplification from *P. fluorescens*; F, amplification from *B. stearothermophilus*; and G, amplification from *S. marcescens*.

#### 4. Discussion

We designed several degenerate primers on the basis of the conserved sequences of the enzymes for amplification of gene fragments of alanine racemases from genomic DNA of bacteria. Although the enzymes from *B. subtilis*, *Sl. typhimurium*, and *B. stearothermophilus* have 9-10 conserved regions distributed evenly in their entire sequences (19), we chose the region around the Lys<sup>41</sup> and His<sup>168</sup> residues for the design of the primers, because of the length of continuous sequence of conserved residues and the minimization of the degeneracy. PCR with a combination of primers (A3 and C3R) designed considering the codon usage of alanine racemase genes was found to produce a specifically amplified product from *B. psychrophilus*. Primer A1 containing large numbers of inosine molecules and primer C2R with high degeneracy were unsuitable for specific amplification of the gene fragment.

Amplified products with the same size were also obtained by the PCR method from other bacteria (FIG.3,4). Our PCR method is probably useful for amplification of the gene fragments of alanine racemases from various bacteria.

No product was amplified from genomic DNAs of eukaryotes by the PCR method. Although the amplification from cDNA of the eukaryotes was not examined, these results consist with the general acceptance that alanine racemase is a typical prokaryotic enzyme. However, a cyclosporin-producing fungus was recently reported to have alanine racemase for biosyntheses of the cyclic undecapeptide (23). The amplification of the gene fragments of alanine racemases from

genomic DNAs and cDNA of various organisms is interesting from a standpoint of the distribution of the enzyme gene.

We here described the amplification of gene fragments of alanine racemases with degenerate primers. The gene fragments of alanine racemases are probably useful for cloning of the genes. Our PCR method is also useful for examination in the distribution of the gene.

#### References

- [1] Strominger, J., Ito, E., and Threnn, R. *J. Am. Chem. Soc.*, (1960) 82,998-999
- [2] Manning, J. M., Merrifield, N.E., Jones, W. M., and Gotschlich, E. C. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, (1974) 71,417-421
- [3] Wang, E., and Walsh, C. T. *Biochemistry*, (1978) 17,1313-1321
- [4] Atherton, F., Hassell, C., and Lambert, R. *J. Med. Chem.*, (1986) 29,29-39
- [5] Badet B., and Walsh, C. *Biochemistry*, (1985) 24,1333-1341
- [6] Badet, B., Inagaki, K., Soda, K., and Walsh, C. T. *Biochemistry*, (1986) 25,3275-3282
- [7] Atherton, F. R., Hall, M. J., Hassall, C. H., Lambert, R. W., Lloyd, W. J., and Ringrose, P. S. *Antimicrob. Agents Chemother.*, (1979) 15, 696-705
- [8] Yonaha, K., Yorifuji, T., Yamamoto, T., and Soda, K. *J. Ferment. Technol.*, (1975) 53,579-587
- [9] Adams, E., Mukherjee, K. L., and Dunathan, H. C. *Arch. Biochem. Biophys.*, (1974) 165,126-132
- [10] Roze U., and Strominger, J. L. *Mol. Pharmacol.*, (1966) 2, 92-94
- [11] Lambert M. P., and Neuhaus, F. C. *J. Bacteriol.*, (1972) 110,978-987
- [12] Wasserman, S. A., Walsh, C. T., and Botstein, D. *J. Bacteriol.*, (1983) 153,1439-1450
- [13] Esaki, N., and Walsh, C. T. *Biochemistry*, (1986) 25, 3261-3267
- [14] Inagaki, K., Tanizawa, K., Badet, B., Walsh, C. T., Tanaka, H., and Soda, K. *Biochemistry*, (1986) 25,3268-3274
- [15] Yokoigawa, K., Kawai, H., Endo, K., Lim, Y. H., Esaki, N., and Soda, K. *Biosci. Biotech. Biochem.*, (1993) 57,93-97
- [16] Ferrari, E., Henner, D. J., and Yang, M. Y. *Biotechnology*, (1985) 3,1003-1007

- [17] Wasserman, S. A., Daub, E., Grisafi, P., Botstein, D., and Walsh, C. T. *Biochemistry*, (1984) 23,5182-5187
- [18] Galakatos, N. G., Daub, E., Botstein, D., and Walsh, C. T. *Biochemistry*, (1986) 25,3255-3260
- [19] Tanizawa, K., Ohshima, A., Scheidegger, A., Inagaki, K., Tanaka, H., and Soda, K. *Biochemistry*, (1988) 27,1311-1316
- [20] Wilson, K. Short Protocols in Molecular Biology, 2nd Ed., ed. by Ausubel, F. M., Brent, R., Kingston, R. E., Moore, D. D., Seidman, J. G., Smith, J. A., and Struhl, K. (1992) Unit 2.4., John Wiley & Sons, New York
- [21] Treco, D. A. Short Protocols in Molecular Biology, 2nd Ed., ed. by Ausubel, F. M., Brent, R., Kingston, R. E., Moore, D. d., Seidman, J. G., Smith, J. A., and Struhl, K, (1992) Unit 13.11. John Wiley & Sons, New York
- [22] Specht, C. A., Dirusso, C. C., Novotny, C. P., and Ullrich, R. C. *Anal. Biochem.*, (1982) 119,158-163
- [23] Hoffmann, K., Schneider-Scherzer, E., Kleinkauf, H., and Zocher, R. *J. Biol. Chem.*, (1994) 269,12710-12714



## 低密度大粒子懸濁気泡塔の流動特性

河越 幹男・田中 智也・林 賢一・井口 高行

### Hydrodynamics of Three Phase Bubble Columns Containing Large Particles with Low Density

Mikio KAWAGOE, Tomonari TANAKA, Ken-ichi HAYASHI and Takayuki IGUCHI

Flow pattern and gas holdup in gas-liquid-solid bubble columns containing large particles with low density were investigated. Two flow patterns, floating region and fixed bed region, were found. In the floating region particles were suspended in liquid, and in the fixed bed region particles formed packed bed at the bottom of the column. Transition from floating to fixed bed regions occurred when the ratio of particle diameter to column one was between 0.2 and 0.26. The boundary between the two regions was not affected by the particle holdup, except for at low particle holdups. No effects of gas flow rate on the boundary were found in this experimental range. In the fixed bed region, gas holdups were found to be larger than those for air-water system for particles of 37 mm in diameter, while gas holdups were lower than those for air-water system for particles of 20 mm in diameter and column diameter of 61 mm. In the floating region, the gas holdup was almost equal to or larger than that for the air-water system. Coalescence and breakup of bubbles in the fixed bed region were discussed based on the simple two-layer model.

#### 緒 言

我々はこれまで気泡塔型培養装置を用いたキノコ菌糸体の液体培養について検討してきた。培養に用いたキノコ菌はアミガサタケ、スエヒロタケ、マツタケ菌である<sup>1-2)</sup>。その結果、キノコ菌糸は球形ペレットを形成することが多いことを見出した。さらに、菌種によっては標準気泡塔の方がエアリフト塔よりも培養成績が良い場合があることも分かった。我々が培養したキノコ菌糸の球形ペレットの直径は5~20mm、密度は1007~1050kg/m<sup>3</sup>であった<sup>1-2)</sup>。この場合、気泡塔は気液固三相気泡塔になる。

固体粒子を懸濁させた気液固三相気泡塔に関しては高密度小粒子(密度>2400kg/m<sup>3</sup>, 直径<3mm)の場合についての研究が多いが、最近、バイオリクターを想定して低密度大粒子(粒子径=1~13mm, 粒子密度=1034~1430kg/m<sup>3</sup>)を扱った研究<sup>3-7)</sup>も行われるようになってきた。Fig. 1にこれらの研究に使用された粒子を(直径, 密度)の座標上に示した。この図にはキノコ菌のペレットの範囲も示した。従来の研究<sup>3-7)</sup>に用いられている粒子と比べると、キノコ菌のペレットは、粒子径が大きく、か

つ粒子密度が小さいことが分かる。従って、必ずしも従来の研究結果が適用できるとは限らない。

本研究では、気泡塔型培養装置を用いて大型球形ペレットを形成する菌体を培養する際の操作、設計の基礎データを得るために、従来用いられた粒子よりもさらに低密度で、かつ粒子径も大きい粒子(図中の●印)を仕込んだ懸濁気泡塔の流動特性について検討した。

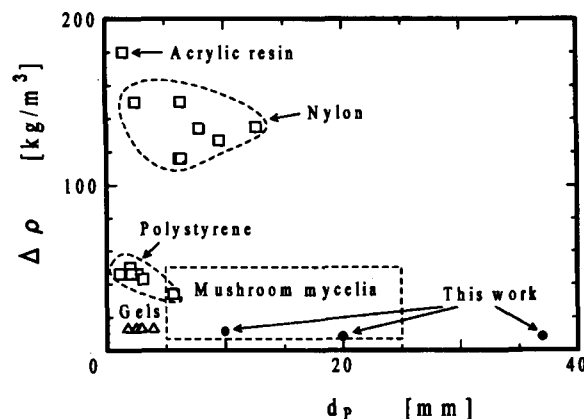


Fig. 1 Diameter and density of solid particles used in this work and in the previous investigations

1. 実験装置及び方法

実験装置の概略図をFig.2に示した。用いた気泡塔は塔径の異なる三種類であり、ガス分散器には多孔板を用いた。塔径、塔高、及び多孔板の開口比 (free area) をTable 1に示した。実験は液回分で、空気-水道水系で行った。ガスを流さないときの静止層高 $H_0$ は全て1 mとした。

用いた粒子は中空プラスチック球であり、中空部を水で満たし、中にステンレス製針金を挿入して比重を調節した。用いた粒子の詳細をTable 2に示す。 $\epsilon_{PO}$ はガスを流さない場合、即ち液-固系の粒子ホールドアップである。

デジタルカメラにより気液分離面を撮影して全気液混相高 $H_T$ を測定し、ガスホールドアップ $\epsilon_G (= (H_T - H_0) / H_T)$ を算出した。 $H_T$ は10回撮影して得た値の平均値とした。

2. 実験結果及び検討

2.1 粒子の流動状態

目視観察によると、粒子の状態には大別して2種類ある。一つは、全ての粒子が浮遊している粒子浮遊状態 (Floating) である。もう一つは、塔底に粒子固定層を形成する固定層共存状態 (Fixed-bed) である。固定層の粒子は、固定層上部の粒子を除くと、液の循環流によって塔底に圧着され、殆ど流動していなかった。固定層上部の粒子は流動状態にあった。粒子径が小さい (粒径20mm) 場合には流動化が激しく、粒子径が大きい (粒径37mm) 場合には2~3個の粒子のみが浮遊していた。

Table 1 Dimensions of bubble columns used

Diameter [cm]	Height [cm]	Free area [%]	Superficial air velocity [cm/s]
6.1	200	0.752	0.29~4.6
10.0	150	0.070	0.11~3.6
14.0	200	0.755	0.64~6.9

Table 2 Solid particles used in this study

Diameter [cm]	Density [kg/m <sup>3</sup> ]	Settling velocity [cm/s]	$\epsilon_{PO}$ [-]
10	1011	6.51	0.013~0.22
20	1008	8.07	0.053~0.43
30	1008	10.85	0.067~0.34

\*)  $\epsilon_{PO}$ : particle holdup without gas flow

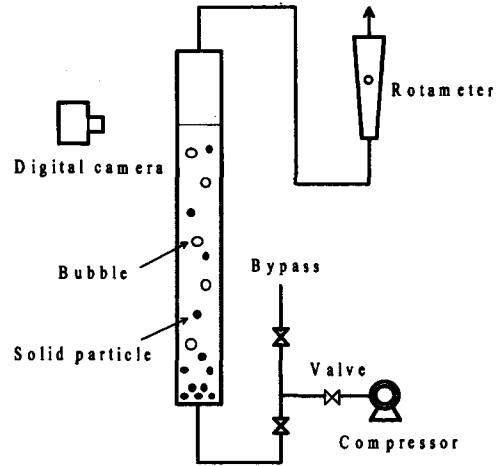


Fig. 2 Experimental setup

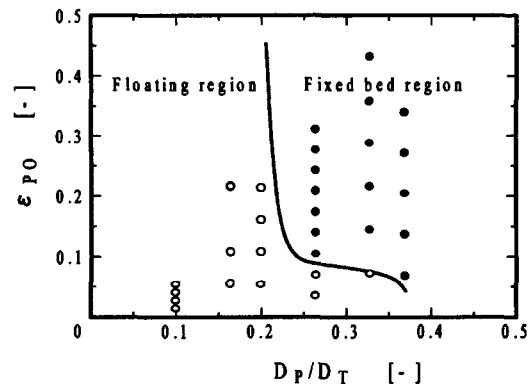


Fig. 3 Flow diagram of solid particles in the bubble columns

菌体ペレットを培養する場合、ペレットが塔底に沈降すると、ペレット内部への酸素供給量が減少し、菌体の生育が阻害され、場合によっては死滅するため、培養の継続が困難になる。従って、菌体の培養は浮遊領域でのみ可能である。この意味で、粒子の浮遊領域を明確にすることは、気泡塔型培養装置を設計、操作する上で必要不可欠である。

2.2 流動領域図

固定層共存領域から浮遊領域へ移行する限界ガス流速に関する研究は、ガラスビーズや金属球などの高密度小粒子を対象にしている場合が多い。しかし、これらの粒子は直径や密度が菌体ペレットと大きく異なるため、必ずしも菌体ペレットに対して適用できるとは限らない。このため、近年、バイオリクターを想定して、プラスチック粒子を用いた低密度大粒子を懸濁させた気泡塔の流動特性を検討した研究も見受けられる。本実験に最も近い条件で行われている宮原ら<sup>6)</sup>の相関法を用いて、本実

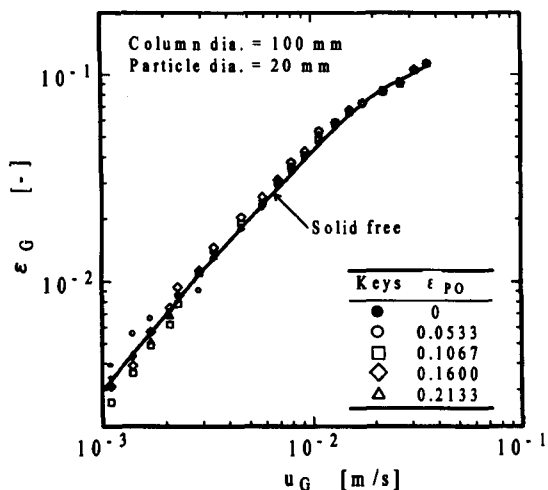


Fig. 4 Gas holdups in the bubble column for  $D_p/D_T=0.2$

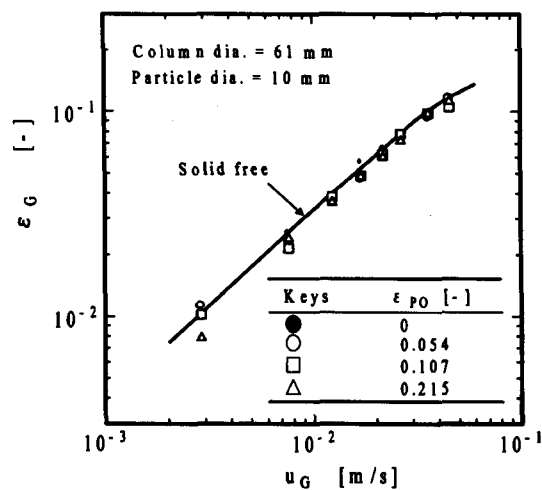


Fig. 5 Gas holdups in the bubble column for  $D_p/D_T=0.164$

験で用いた粒子の浮遊限界ガス流速を推算すると、0.02～0.5cm/sの範囲にある。Table 1に示したように、本実験のガス流速範囲の上限値は何れもこの臨界ガス流速を超えている。従って、本実験では、どの粒子も浮遊状態を示すはずであるが、以下に述べるように浮遊領域を持たない粒子が存在した。

本実験のガス流速範囲では、ガス流速の増減によって粒子の状態が変化することは殆どなく、粒子の流動状態は粒子径 $D_p$ と塔径 $D_T$ の比 $D_p/D_T$ と仕込み時の粒子ホールドアップ $\epsilon_{PO}$ によって決まった。そこで、縦軸に $\epsilon_{PO}$ 、横軸に $D_p/D_T$ をとって粒子の流動状態を表し、これをFig. 3に示した。○が浮遊状態、●が固定層共存状態を表す。

この図から浮遊領域と固定層領域の境界は、 $\epsilon_{PO}$ が0.1以上であれば、 $D_p/D_T=0.20\sim 0.26$ の間にあることが分かる。また、 $\epsilon_{PO}$ が0.1以下の場合にはこの境界が右方向に延びており、粒子径が大きくても浮遊状態になることを示している。従って、 $D_p/D_T$ が少なくとも0.2以下であれば、粒子を浮遊状態に保持できることが分かる。

### 2.3 浮遊領域のガスホールドアップ

粒子径20mm、塔径100mm ( $D_p/D_T=0.2$ )のFig. 4の場合、ガス流速 $u_G$ が4 mm/s以上では粒子ホールドアップ $\epsilon_{PO}$ の影響は認められず、水系とほぼ一致した。図中の実線が水-空気系のガスホールドアップである。 $u_G$ が4 mm/s以下の場合には、若干 $\epsilon_{PO}$ の影響が認められた。

Fig. 5に粒子径 $D_p$ が10mm、塔径 $D_T$ が61mmの場合 ( $D_p/D_T=0.164$ )のガスホールドアップ $\epsilon_G$ を示した。 $\epsilon_G$ は、水-空気系の結果とほとんど一致しており、懸濁粒子の $\epsilon_G$ に及ぼす影響は無視できた。

Fig. 6に粒子径10mm、塔径100mm ( $D_p/D_T=0.1$ )の $\epsilon_G$ を示した。懸濁系の $\epsilon_G$ は、低ガス流速では水系のそれより

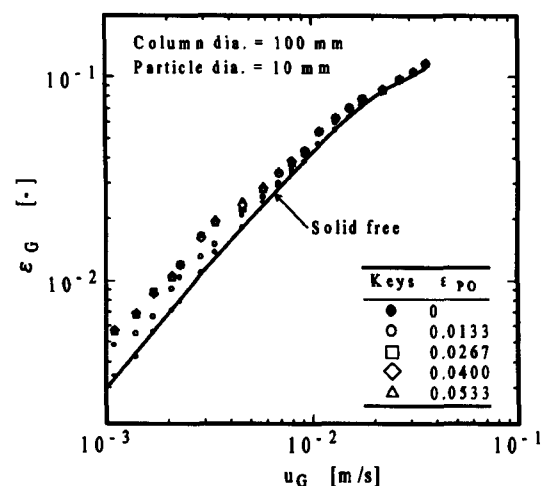


Fig. 6 Gas holdups in the bubble column for  $D_p/D_T=0.1$

も大きいですが、高ガス流速では水系と一致する。このことは、低ガス流速域では懸濁粒子が気泡の分裂を促進していることを示している。 $\epsilon_{PO}$ の影響は、 $\epsilon_{PO}$ が2.7%以下では $\epsilon_{PO}$ と共に増加するが、それ以上では、 $\epsilon_{PO}$ によらずほぼ同じガスホールドアップを示している。また、 $u_G$ が5 mm/s以下では、ガスホールドアップは水-空気系の2倍程度になっており、10mmの粒子による気泡の分裂効果が大きいことを示唆している。

このように、同じ粒子径10mmの粒子であっても塔径が異なれば、ガスホールドアップに及ぼす粒子の影響が異なる。この領域では気泡径は6～10mmで、粒子径とほぼ同程度であるので、粒子と気泡の衝突による気泡の分裂が起き易くなっていると考えられる。一方、塔径が小さいと気泡の合体が促進される傾向がある。従って、塔径61mmの場合には、気泡の合体速度と分裂速度がほぼ釣り合うため、ガスホールドアップに及ぼす粒子の影響

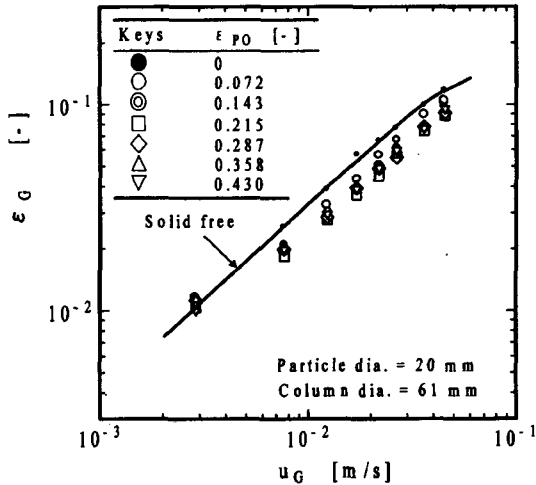


Fig. 7 Gas holdups in the bubble column for  $D_p/D_T=0.328$

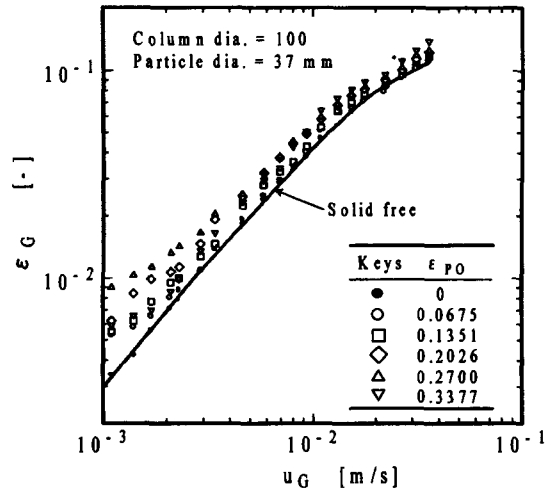


Fig. 8 Gas holdups in the bubble column for  $D_p/D_T=0.37$

が現れなかったものと推察される。一方、塔径が100mmの場合には、粒子による気泡の分裂の方が合体よりも優勢になったため、ガスホールドアップが増加したものと考えられる。粒子径20mmの場合には、10mmの場合ほど分裂効果が大きくないため、ガスホールドアップは水-空気系の場合と殆ど変わらなかったものと思われる。

以上の結果から、浮遊領域のガスホールドアップ  $\epsilon_G$  は水-空気系のそれと同じか、あるいはそれ以上になることが分かった。

2.4 固定層共存領域のガスホールドアップ

Fig. 7に粒子径  $D_p$  が20mm、塔径  $D_T$  が61mmの場合 ( $D_p/D_T=0.328$ ) の  $\epsilon_G$  を示した。 $\epsilon_G$  は、 $u_G$  が最も小さい3mm/sの場合、水-空気系の結果と一致するが、 $u_G$  が7mm/s以上では水-空気系の場合よりも小さくなり、固定層内で気泡の合体が起きていることを示唆している。

塔径100mm、粒子径37mm ( $D_p/D_T=0.37$ ) のFig. 8の場合、及び塔径140mm、粒子径37mm ( $D_p/D_T=0.264$ ) のFig. 9の場合には、 $\epsilon_G$  は水系の場合よりも大きくなっており、固定層内で気泡の分裂が促進されていると考えられる。ただし、 $\epsilon_G$  と  $\epsilon_{p0}$  は単純な比例関係にはなく複雑な増減を示している。例えば、Fig. 8の場合、 $\epsilon_G$  は、 $\epsilon_{p0}$  が0.27以下では  $\epsilon_{p0}$  と共に増加するが、 $\epsilon_{p0}$  が0.33以上では逆に減少している。

以上から、固定層内での気泡の合体、分裂には粒子径と塔径が複雑に影響していることが推察される。

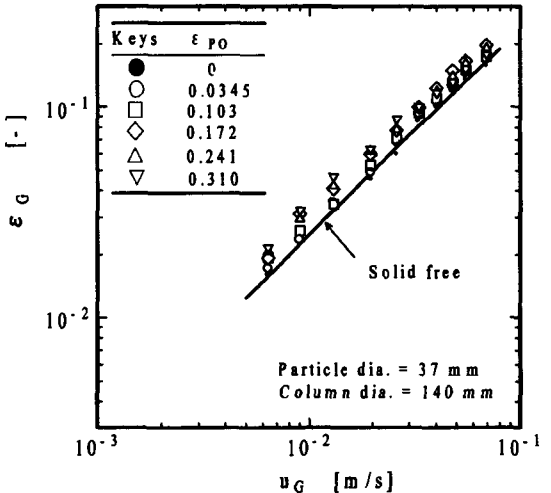


Fig. 9 Gas holdups in the bubble column for  $D_p/D_T=0.264$

及びその中間に粒子浮遊層が存在する。粒子浮遊層の全体に占める割合は、粒子径や仕込量によっても異なるが、それほど大きくはない。ここでは、簡単化のため粒子浮遊層は無視し、Fig.10のような固定層と気泡層の二層のみからなる二層モデルを考える。気泡層および固定層のガスホールドアップは層内で均一とし、それぞれ  $\epsilon_{GB}$  及び  $\epsilon_{GP}$  とする。また、気泡層及び固定層の層高をそれぞれ  $H_B$  及び  $H_P$  とする。層全体の層高を  $H_T$ 、ガスホールドアップを  $\epsilon_G$  とすると、ガスに対する物質収支から次式が得られる：

$$\epsilon_G = (\epsilon_{GP} - \epsilon_{GB}) \frac{H_P}{H_T} + \epsilon_{GB} \tag{1}$$

3. 固定層内における気泡の挙動

固定層共存領域では、塔底の固定層、塔頂の気泡層、

上式は、 $\epsilon_G$  対  $H_P/H_T$  のプロットは直線となり、勾配が  $(\epsilon_{GP} - \epsilon_{GB})$ 、切片が  $\epsilon_{GB}$  であることを示している。

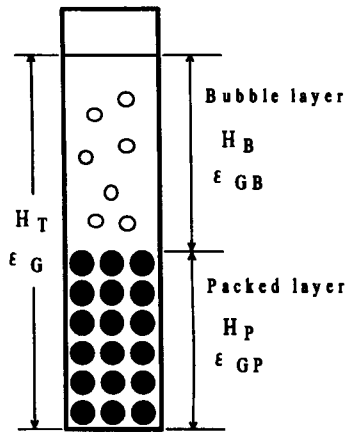


Fig.10 Two-layer model in fixed-bed region

Figs.11 ~ 13に  $D_p/D_T$  が0.264、0.328及び0.370の場合の  $\epsilon_G$  対  $H_p/H_T$  のプロットを示した。Fig.11は  $D_p/D_T=0.264$  の場合であり、低ガス流速域では(1)式が成立していることが分かる。この領域では、勾配がプラスであるので、 $\epsilon_{GP} > \epsilon_{GB}$  となり、固定層内のガスホールドアップは気泡層のそれよりも大きい。粒子層が気泡の上昇を阻害するか、または気泡の分裂を促進する、あるいは両方の効果のため、気泡の上昇速度が低下することにより、固定層内のガスホールドアップが増大したものと考えられる。しかし、空塔ガス流速  $u_G$  が約33mm/s以上では、ガスホールドアップが急激に低下し始める  $H_p/H_T$  の臨界値が存在する。このことは、この層高以上では固定層内で気泡の合体が促進され、大気泡が生成していることを示している。大気泡は固定層内を吹き抜けるようにして上昇する(channelling)ので、ガスホールドアップは低下する。

Fig.12は  $D_p/D_T=0.328$  のときの  $\epsilon_G$  対  $H_p/H_T$  のプロットである。 $H_p/H_T$  の小さい領域で  $\epsilon_G$  は急激に低下し、その後一定値を示している。このことは、固定層底部で気泡の合体が起こることを示している。その上部では、 $\epsilon_G$  は一定値を示しているので、気泡の合体、分裂は動的平衡に達している。

Fig.13は  $D_p/D_T=0.370$  のときの  $\epsilon_G$  対  $H_p/H_T$  のプロットである。 $u_G$  が10mm/s以上では、(1)式が成立することが分かる。 $u_G$  が10mm/s以下では、固定層上部でガスホールドアップが減少する傾向が認められ、気泡の合体が起こっていることを示唆している。

上述の考察に基づいて、Fig.14に固定層内における気泡の合体領域を示した。粒子径と塔径の比  $D_p/D_T$  によって、気泡の合体領域が大きく異なることが分かる。 $D_p/D_T=0.26$  の場合、気泡合体領域は固定層上部にあり、合体し始めるガス流速も大きい。これに対して、 $D_p/D_T=0.33$  の場合、固定層底部に合体領域があり、かつ、合体

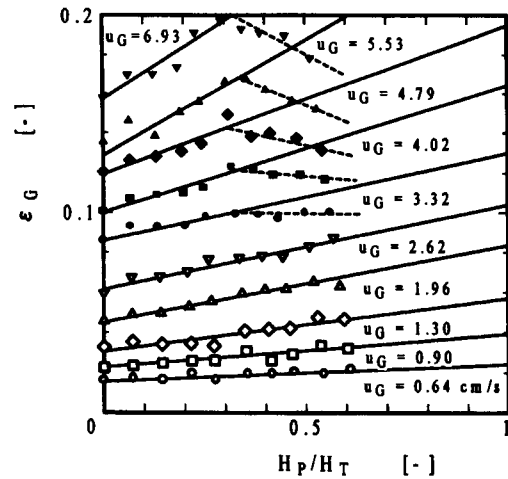


Fig.11 Plots of  $\epsilon_G$  against  $H_p/H_T$  for  $D_p/D_T=0.264$

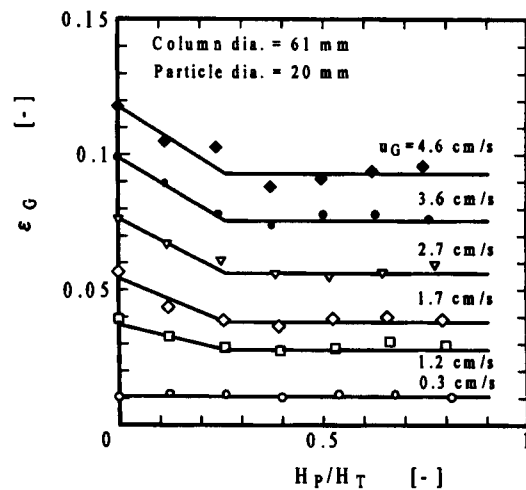


Fig.12 Plots of  $\epsilon_G$  against  $H_p/H_T$  for  $D_p/D_T=0.328$

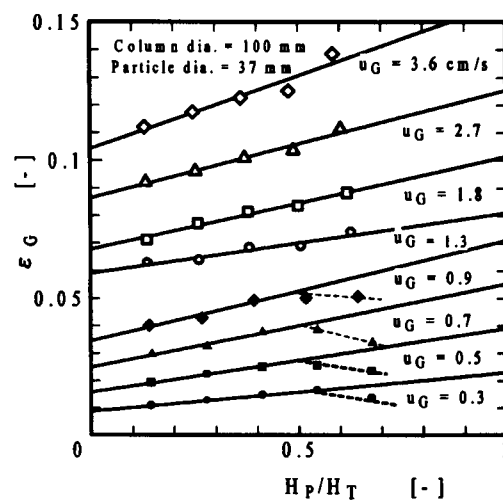


Fig.13 Plots of  $\epsilon_G$  against  $H_p/H_T$  for  $D_p/D_T=0.37$

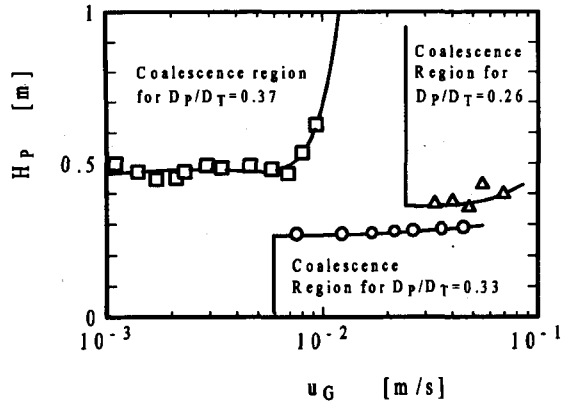


Fig.14 Coalescence region of bubbles in the fixed bed

し始めるガス流速も小さい。 $D_p/D_T=0.37$ の場合、気泡の合体は固定層上部で起こるが、 $D_p/D_T=0.26$ の場合とは異なり、低ガス流速領域で合体し、高ガス流速域では合体は起こらない。

以上のことから、 $D_p/D_T$ によって合体領域が大きく異なっていることが分かる。今のところ、この差が粒子径の影響なのか、塔径の影響なのか、あるいは開口比の影響であるかは明らかでない。

### 結 言

低密度大粒子を浮遊状態に保つためには、塔径は少なくとも粒子径の5倍は必要であることが分かった。粒子

浮遊領域におけるガスホールドアップは水系の場合と同じか、あるいはそれよりも大きくなった。固定層領域のガスホールドアップは、粒子径が小さい場合には塔底近傍で気泡の合体が起こるため、平均のガスホールドアップは水系の場合よりも小さくなった。粒子径が大きい場合には、ガスホールドアップは水系の場合よりも大きくなった。

(付記) 本研究内容は化学工学会富山大会(平成10年7月16日)にて発表した。

### 文 献

- 1)河越幹男：ケミカルエンジニアリング, 39, 54 (1994)
- 2)河越幹男・川上健太郎・野田秀夫：化学工学シンポジウムシリーズ50, 168 (1996)
- 3)Kawagoe, M., K. Hyakumura, S. Suye, K. Miki and K. Naoe: J. Ferment. Bioeng., 84, 333-336 (1997)
- 4)宮原敏郎・李明 斐・高橋照男：化学工学論文集, 16, 1217 (1990)
- 5)Miyahara, T., O. Kawate: Chem. Eng. Sci., 48, 127 (1993)
- 6)宮原敏郎・井上泰範・村上知由・吉岡茂：化学工学シンポジウムシリーズ 50, 144 (1996)
- 7)Sun, Y., T. Nozawa and S. Furusaki: J. Chem. Eng. Japan, 21, 15 (1988)
- 8)Tang, W. -T. and L. -S. Fan: AIChEJ., 35, 355 (1989)

## ファジイ代数の決定問題 II

荒金 憲一

## The Decision Problem for Fuzzy Algebras II

Kenichi ARAGANE

L. A. Zadeh により導入されたファジイ集合 ([5]) における集合演算を束での演算に置き換えて得られる代数系がファジイ代数 (Kleene algebra と同じ) ([1], [4]) である。これと演繹的に同値な、式 (シーケント) による形式的体系  $GFA$  を考える。[1] では、ワンのアルゴリズム (Wang's algorithm) による手法を用いて、 $GFA$  の  $cut$  除去定理を証明し、ファジイ代数に対する決定問題の肯定的解決を与えた。本論文では、G. Gentzen の方法 ([2], [3]) により、 $GFA$  の  $cut$  除去定理の証明をする。これにより、subformula property と本質的に同じ性質のものである“擬部分ワードの性質”を使って、ファジイ代数に対する決定問題の肯定的解決を与える。

1. ファジイ代数の式による形式的体系  $GFA$ 

〔定義1〕 (ワードの定義)

- (1) 定数  $0, 1$  はワードである。
- (2) 変数  $p_1, p_2, \dots, p_n, \dots$  はワードである。
- (3)  $x$  と  $y$  がワードのとき  $x \wedge y, x \vee y, \neg x$  はワードである。
- (4) 以上の (1), (2), (3) によって構成された記号列のみがワードである。

ワード全体の集合  $A$  において、[1] の定義2の  $F1 \sim F10^{\circ}$  が成り立つとき、 $A$  をファジイ代数 (Kleene algebra と同じ) とよび、 $FA$  と書く。つまり、 $FA$  は、最小元  $0$  と最大元  $1$  をもつ分配束で2重否定律とド・モルガン律とクリーネ律を満たす代数系のことである。また、ファジイ代数は、束で定義される不等式  $\leq$  を使って [1] の定理1のように定義することもできる。クリーネ律を考えない代数系がド・モルガン代数 (弱ファジー集合算と同じ) であり、これについての決定問題の肯定的解決は、[3] で与えられている。

〔定義2〕 (式 (シーケント) の定義)

ワードの有限列をギリシア大文字  $\Gamma, \Delta$  などで表す。ワードの有限列  $a_1, \dots, a_m$  を  $\Gamma$  とし、 $b_1, \dots, b_n$  を  $\Delta$  とするとき、 $FA$  での不等式  $a_1 \wedge \dots \wedge a_m \leq b_1 \vee \dots \vee b_n$  を式 (シーケント)  $\Gamma \rightarrow \Delta$  で表す。ただし、 $\Gamma$  が空のとき ( $\Gamma = \emptyset$  と書く)、 $1 \leq b_1 \vee \dots \vee b_n$  とし、 $\Delta = \emptyset$  のときは、 $a_1 \wedge \dots \wedge a_m \leq 0$  とする。 $\Gamma = \Delta = \emptyset$  の場合は考えない。

このとき、[1] で定義されたファジイ代数と演繹的に同値な、式による形式的体系  $GFA$  を次のように定義する。次の  $GFA$  から6つの推論規則 ( $\neg \vee_i \rightarrow$ ), ( $\rightarrow \neg \wedge_i$ ), ( $\neg \wedge \rightarrow$ ), ( $\rightarrow \neg \vee$ ) を取り除いても元の体系と同値であるが、これらは、本論文の定理4 ( $cut$  除去定理) を証明するのに本質的に必要となる。また、[4] では、始式 (B4) のかわりにそれと同値な推論規則 ( $\neg \rightarrow$ ), ( $\rightarrow \neg$ ) を考えている。ここでは、(B4) を考えることが同じく  $cut$  除去定理を証明する上で必要となる。

[定義3] (GFA の定義)

[1] 始式

$$(B1) a \rightarrow a \quad (B2) 0 \rightarrow \Delta \quad (B3) \Gamma \rightarrow 1 \quad (B4) a, \neg a \rightarrow b, \neg b$$

[2] 推論規則

(1) 構造に関する推論規則:

$$\begin{array}{c} \frac{\Gamma \rightarrow \Delta}{a, \Gamma \rightarrow \Delta} (w \rightarrow) \qquad \frac{\Gamma \rightarrow \Delta}{\Gamma \rightarrow \Delta, a} (\rightarrow w) \\ \frac{a, a, \Gamma \rightarrow \Delta}{a, \Gamma \rightarrow \Delta} (c \rightarrow) \qquad \frac{\Gamma \rightarrow \Delta, a, a}{\Gamma \rightarrow \Delta, a} (\rightarrow c) \\ \frac{\Gamma_1, a, b, \Gamma_2 \rightarrow \Delta}{\Gamma_1, b, a, \Gamma_2 \rightarrow \Delta} (e \rightarrow) \qquad \frac{\Gamma \rightarrow \Delta_1, a, b, \Delta_2}{\Gamma \rightarrow \Delta_1, b, a, \Delta_2} (\rightarrow e) \\ \frac{\Gamma_1 \rightarrow \Delta_1, a \quad a, \Gamma_2 \rightarrow \Delta_2}{\Gamma_1, \Gamma_2 \rightarrow \Delta_1, \Delta_2} (cut) \end{array}$$

(2) 論理記号に関する推論規則:

$$\begin{array}{c} \frac{a, \Gamma \rightarrow \Delta}{a \wedge b, \Gamma \rightarrow \Delta} (\wedge_1 \rightarrow) \qquad \frac{b, \Gamma \rightarrow \Delta}{a \wedge b, \Gamma \rightarrow \Delta} (\wedge_2 \rightarrow) \\ \frac{\Gamma \rightarrow \Delta, a}{\Gamma \rightarrow \Delta, a \vee b} (\rightarrow \vee_1) \qquad \frac{\Gamma \rightarrow \Delta, b}{\Gamma \rightarrow \Delta, a \vee b} (\rightarrow \vee_2) \\ \frac{a, \Gamma \rightarrow \Delta \quad b, \Gamma \rightarrow \Delta}{a \vee b, \Gamma \rightarrow \Delta} (\vee \rightarrow) \qquad \frac{\Gamma \rightarrow \Delta, a \quad \Gamma \rightarrow \Delta, b}{\Gamma \rightarrow \Delta, a \wedge b} (\rightarrow \wedge) \\ \frac{\Gamma \rightarrow \Delta}{\neg \Delta \rightarrow \neg \Gamma} (\rightarrow \neg) \end{array}$$

ただし,  $\Gamma$  が  $a_1, \dots, a_m$  のとき  $\neg \Gamma$  は  $\neg a_m, \dots, \neg a_1$  を表し,  $\Gamma = \emptyset$  のときは  $\neg \Gamma = \emptyset$  とする.

$$\begin{array}{c} \frac{a, \Gamma \rightarrow \Delta}{\neg \neg a, \Gamma \rightarrow \Delta} (\neg \neg \rightarrow) \qquad \frac{\Gamma \rightarrow \Delta, a}{\Gamma \rightarrow \Delta, \neg \neg a} (\rightarrow \neg \neg) \\ \frac{\neg a, \Gamma \rightarrow \Delta}{\neg(a \vee b), \Gamma \rightarrow \Delta} (\neg \vee_1 \rightarrow) \qquad \frac{\neg b, \Gamma \rightarrow \Delta}{\neg(a \vee b), \Gamma \rightarrow \Delta} (\rightarrow \neg \vee_2) \\ \frac{\Gamma \rightarrow \Delta, \neg a}{\Gamma \rightarrow \Delta, \neg(a \wedge b)} (\rightarrow \neg \wedge_1) \qquad \frac{\Gamma \rightarrow \Delta, \neg b}{\Gamma \rightarrow \Delta, \neg(a \wedge b)} (\rightarrow \neg \wedge_2) \\ \frac{\neg a, \Gamma \rightarrow \Delta \quad \neg b, \Gamma \rightarrow \Delta}{\neg(a \wedge b), \Gamma \rightarrow \Delta} (\neg \wedge \rightarrow) \qquad \frac{\Gamma \rightarrow \Delta, \neg a \quad \Gamma \rightarrow \Delta, \neg b}{\Gamma \rightarrow \Delta, \neg(a \vee b)} (\rightarrow \neg \vee) \end{array}$$

論理記号の導入により各推論規則の下式に新たに現れるワード  $a \wedge b, a \vee b, \dots$  などを主ワードとよぶ.

[定義4] ( $\vdash$  の定義)

式  $\Gamma \rightarrow \Delta$  が GFA で証明可能であるとき,  $GFA \vdash \Gamma \rightarrow \Delta$  と書く.

このとき, [1] と同様にして FA と GFA が演繹的に同値であることが成り立つ.

[定理1]  $a, a_1, \dots, a_m, b, b_1, \dots, b_n$  をワードとするとき, 次のことが成り立つ.

- (1)  $a \leq b$  が FA で成り立つならば  $GFA \vdash a \rightarrow b$
- (2)  $GFA \vdash a_1, \dots, a_m \rightarrow b_1, \dots, b_n$  ならば  $a_1 \wedge \dots \wedge a_m \leq b_1 \vee \dots \vee b_n$  が FA で成り立つ.

## 2. 混の規則

切の規則 (cut rule) と同値な次の推論規則 (混の規則 (mix rule)) を考える。

[定義 5] (混の規則 (mix rule) の定義)

$$\frac{\Gamma \rightarrow \Delta \quad \Sigma \rightarrow \Pi}{\Gamma, \Sigma^* \rightarrow \Delta^*, \Pi} (x)$$

ただし,  $x$  を混ワードとよび,  $\Sigma, \Delta$  から  $x$  をすべて取り除いたものをそれぞれ  $\Sigma^*, \Delta^*$  とする。

[定義 6] ( $GFA^+$  の定義)

$GFA$  の切の規則を混の規則で置き換えた体系を  $GFA^+$  とする。

$$GFA^+ = GFA - (cut) + (mix)$$

[3] と同様にして, 次のことが成り立つ。

[定理 2]

$$GFA \vdash \Gamma \rightarrow \Delta \iff GFA^+ \vdash \Gamma \rightarrow \Delta$$

## 3. $GFA^*$ での性質

[定義 7] ( $GFA^*$  の定義)

$GFA$  から切の規則を取り除いた体系を  $GFA^*$  とする。

$$GFA^* = GFA - (cut) = GFA^+ - (mix)$$

[3] と同様にして, 次のことが成り立つ。これは,  $cut$  除去定理の証明に用いられる  $GFA^*$  での重要な性質である。

[定理 3]

$$(A) GFA^* \vdash \Gamma \rightarrow \Delta \implies GFA^* \vdash [\Gamma] \rightarrow [\Delta]$$

$$(B) GFA^* \vdash \Gamma \rightarrow \Delta \implies GFA^* \vdash [\neg \Delta] \rightarrow [\neg \Gamma]$$

ただし, ワードの有限列  $\Gamma$  中にある  $\neg \neg x$  の形のワードを全て  $x$  で置き換えて  $\Gamma$  から得られるものを  $[\Gamma]$  と書く。  $\neg \neg x$  の形以外のものはそのままであり,  $[\neg \neg \neg x] = \neg \neg x$  とする。

<証明>

$GFA^* \vdash \Gamma \rightarrow \Delta$  とする。  $\Gamma \rightarrow \Delta$  の  $GFA^*$  での証明図  $P$  の長さ (使われている推論規則の個数)  $N$  についての帰納法により (A) と (B) を同時に示す。これからは,  $GFA^* \vdash \Gamma \rightarrow \Delta$  を  $\vdash^* \Gamma \rightarrow \Delta$  と書くことにする。

((Case 1))  $N = 0$  (つまり  $\Gamma \rightarrow \Delta$  が始式) のとき。

(1.1) 始式が (B1) のときは, 明らかである。

(1.2) 始式が (B2) のとき, (A) は明らかである。(B) : 
$$\frac{0 \rightarrow}{\rightarrow \neg 0} \frac{}{[\neg \Delta] \rightarrow \neg 0}$$

(1.3) 始式が (B3) のときは, (1.2) と双対である。

(1.4) 始式が (B4) のとき, 次の 3 通りの場合を考える。

(1.4.1)  $a$  の一番外側の論理記号が  $\neg$  でない場合 (変数と定数の場合も含む) は,  $[a, \neg a] = a, \neg a$  である。

(1.4.2)  $a = \neg c$  で  $c$  の一番外側の論理記号が  $\neg$  でない場合は,  $[a, \neg a] = [\neg c, \neg \neg c] = \neg c, c$  である。

(1.4.3)  $a = \neg \neg c$  の場合は,  $[a, \neg a] = [\neg \neg c, \neg \neg \neg c] = c, \neg c$  である。

いずれの場合も  $x, \neg x$  (または  $\neg x, x$ ) の形になるから

(A)  $\vdash^* [a, \neg a] \rightarrow [b, \neg b]$  が成り立つ。

(B)  $\vdash^* [\neg \neg b, \neg b] \rightarrow [\neg \neg a, \neg a]$  も同様に成り立つ。

((Case 2))  $N > 0$  のとき。

$\Gamma \rightarrow \Delta$  の  $GFA^*$  での証明図  $P$  の last rule を  $R$  とする.

(2.1)  $R$  が構造に関する推論規則のとき.  $\frac{\Gamma_1 \rightarrow \Delta_1}{\Gamma \rightarrow \Delta} (R)$

(A): 帰納法の仮定から  $\vdash^* [\Gamma_1] \rightarrow [\Delta_1]$  であり,  $\frac{[\Gamma_1] \rightarrow [\Delta_1]}{[\Gamma] \rightarrow [\Delta]} (R)$

(B): 帰納法の仮定から  $\vdash^* [\neg \Delta_1] \rightarrow [\neg \Gamma_1]$  であり,  $\frac{[\neg \Delta_1] \rightarrow [\neg \Gamma_1]}{[\neg \Delta] \rightarrow [\neg \Gamma]} (S)$   
ただし,  $R$  と双対な推論規則を  $S$  とする.

(2.2)  $R$  が  $(\wedge_i \rightarrow)$  のとき.  $\frac{a, \Gamma \rightarrow \Delta}{a \wedge b, \Gamma \rightarrow \Delta} (\wedge_i \rightarrow)$

(A): 帰納法の仮定から  $\vdash^* [a, \Gamma] \rightarrow [\Delta]$  であり,

$$\frac{\frac{[a, \Gamma] \rightarrow [\Delta]}{\dots} (\neg \neg \rightarrow)}{a, [\Gamma] \rightarrow [\Delta]} (\wedge_i \rightarrow)$$

点線の  $(\neg \neg \rightarrow)$  は, もし  $a = \neg \neg c$  の場合には,  $[a] = c$  になるので  $(\neg \neg \rightarrow)$  を使って  $a$  にする必要があるのでを表す.

(B): 帰納法の仮定から  $\vdash^* [\neg \Delta] \rightarrow [\neg \Gamma, \neg a]$  であり,

$$\frac{\frac{[\neg \Delta] \rightarrow [\neg \Gamma, \neg a]}{[\neg \Delta] \rightarrow [\neg \Gamma], \neg a} (\rightarrow \neg \neg)}{[\neg \Delta] \rightarrow [\neg \Gamma], \neg(a \wedge b)} (\rightarrow \neg \wedge_i)$$

(2.3)  $R$  が  $(\rightarrow \wedge)$  のとき.  $\frac{\Gamma \rightarrow \Delta, a \quad \Gamma \rightarrow \Delta, b}{\Gamma \rightarrow \Delta, a \wedge b} (\rightarrow \wedge)$

(A): 帰納法の仮定から  $\vdash^* [\Gamma] \rightarrow [\Delta, a]$  かつ  $\vdash^* [\Gamma] \rightarrow [\Delta, b]$  であり,

$$\frac{\frac{[\Gamma] \rightarrow [\Delta, a]}{[\Gamma] \rightarrow [\Delta], a} \quad \frac{[\Gamma] \rightarrow [\Delta, b]}{[\Gamma] \rightarrow [\Delta], b}}{[\Gamma] \rightarrow [\Delta], a \wedge b} (\rightarrow \wedge)$$

(B): 帰納法の仮定から  $\vdash^* [\neg a, \neg \Delta] \rightarrow [\neg \Gamma]$  かつ  $\vdash^* [\neg b, \neg \Delta] \rightarrow [\neg \Gamma]$  であり,

$$\frac{\frac{[\neg a, \neg \Delta] \rightarrow [\neg \Gamma]}{\neg a, [\neg \Delta] \rightarrow [\neg \Gamma]} \quad \frac{[\neg b, \neg \Delta] \rightarrow [\neg \Gamma]}{\neg b, [\neg \Delta] \rightarrow [\neg \Gamma]}}{\neg(a \wedge b), [\neg \Delta] \rightarrow [\neg \Gamma]} (\neg \wedge \rightarrow)$$

(2.4)  $R$  が  $(\rightarrow \vee_i)$  のときは, (2.2) と双対である.

(2.5)  $R$  が  $(\vee \rightarrow)$  のときは, (2.3) と双対である.

(2.6)  $R$  が  $(\neg \rightarrow \neg)$  のとき.  $\frac{\Gamma \rightarrow \Delta}{\neg \Delta \rightarrow \neg \Gamma} (\neg \rightarrow \neg)$

(A): (B) に関する帰納法の仮定から  $\vdash^* [\neg \Delta] \rightarrow [\neg \Gamma]$  が成り立つ.

(B):  $\vdash^* [\neg \neg \Gamma] \rightarrow [\neg \neg \Delta]$  は  $\vdash^* \Gamma \rightarrow \Delta$  と同じであり, (A)に関する帰納法の仮定から成り立つ.

(2.7)  $R$  が  $(\neg \neg \rightarrow)$  のとき.  $\frac{a, \Gamma \rightarrow \Delta}{\neg \neg a, \Gamma \rightarrow \Delta} (\neg \neg \rightarrow)$

(A): 帰納法の仮定から  $\vdash^* [a, \Gamma] \rightarrow [\Delta]$  であり,  $\frac{[a, \Gamma] \rightarrow [\Delta]}{a, [\Gamma] \rightarrow [\Delta]}$

$[\neg \neg a, \Gamma]$  は  $a, [\Gamma]$  と同じである.

(B): 帰納法の仮定から  $\vdash^* [\neg \Delta] \rightarrow [\neg \Gamma, \neg a]$  であり,  $\frac{[\neg \Delta] \rightarrow [\neg \Gamma, \neg a]}{[\neg \Delta] \rightarrow [\neg \Gamma], \neg a}$

$[\neg \Gamma, \neg \neg a]$  は  $[\neg \Gamma], \neg a$  と同じである.

- (2.8)  $R$  が  $(\rightarrow \neg \neg)$  のときは, (2.7) と双対である
- (2.9)  $R$  が  $(\neg \vee_i \rightarrow)$  のときは, 本質的に (2.2) と同様にできる.
- (2.10)  $R$  が  $(\rightarrow \neg \vee)$  のときは, 本質的に (2.3) と同様にできる.
- (2.11)  $R$  が  $(\rightarrow \neg \wedge_i)$  のときは, (2.9) と双対である.
- (2.12)  $R$  が  $(\neg \wedge \rightarrow)$  のときは, (2.10) と双対である.

(証明終)

#### 4. cut 除去定理

定理 3 を使って,  $GFA^+$  での *cut* (*mix*) 除去定理を証明する.

[定理 4] (*cut* 除去定理)

$\Gamma \rightarrow \Delta$  を任意の式とすると, 次のことが成り立つ.

$$GFA^+ \vdash \Gamma \rightarrow \Delta \iff GFA^* \vdash \Gamma \rightarrow \Delta$$

<証明>

$\Leftarrow$  : 明らかである.

$\Rightarrow$  :  $GFA^+ \vdash \Gamma \rightarrow \Delta$  とする.  $\Gamma \rightarrow \Delta$  の  $GFA^+$  での証明図を上から見て, 最初に使われている *mix rule* が次の形であるとする.

$$\frac{\frac{\vdots}{\Gamma \rightarrow \Delta} (R) \quad \frac{\vdots}{\Sigma \rightarrow \Pi} (S)}{\Gamma, \Sigma^* \rightarrow \Delta^*, \Pi} (x)$$

このとき, 混ワード  $x$  の次数 ( $x$  に含まれる論理記号の個数) と階数  $r$  についての 2 重帰納法で示す. ([2], [3] の G. Gentzen の方法) ここで, 左上式 ( $\Gamma \rightarrow \Delta$ ) の各糸ごとにシーケントの右辺に混ワード  $x$  が連続して現れているようなシーケント (左上式も含む) の個数を考えるとき, その各糸ごとの最大値を  $\text{rank}_l$  とする. 同様に  $\text{rank}_r$  も考えて  $r = \text{rank}_l + \text{rank}_r$  とする.  $\text{rank}_l \geq 1, \text{rank}_r \geq 1$  から  $r \geq 2$  である.

帰納法の仮定から,  $\vdash^* \Gamma \rightarrow \Delta$  かつ  $\vdash^* \Sigma \rightarrow \Pi$  であり,  $\vdash^* \Gamma, \Sigma^* \rightarrow \Delta^*, \Pi$  を示せばよい.

(Case 1)  $r = 2$  のとき.

(1.1) 左上式 ( $\Gamma \rightarrow \Delta$ ) が (B1) のとき.

$$\frac{x \rightarrow x \quad \Sigma \rightarrow \Pi}{x, \Sigma^* \rightarrow \Pi} (x) \text{ は } \frac{\Sigma \rightarrow \Pi}{x, \Sigma^* \rightarrow \Pi} (e \rightarrow) (c \rightarrow) \text{ に変換できる.}$$

(1.2) 右上式 ( $\Sigma \rightarrow \Pi$ ) が (B1) のときは, (1.1) と双対にできる.

(1.3)  $\Gamma \rightarrow \Delta$  が (B2) のとき.  $\frac{0 \rightarrow \Delta \quad \Sigma \rightarrow \Pi}{0, \Sigma^* \rightarrow \Delta^*, \Pi} (x)$  は  $\frac{0 \rightarrow \Delta^*, \Pi}{0, \Sigma^* \rightarrow \Delta^*, \Pi}$  に変換できる.

(1.4)  $\Sigma \rightarrow \Pi$  が (B2) のとき, 次の 2 つの場合に分けて考える.

(1.4.1)  $\Gamma \rightarrow \Delta$  が (B4) で  $\Sigma \rightarrow \Pi$  が (B2) のとき.

$$\frac{a, \neg a \rightarrow 0, \neg 0 \quad 0 \rightarrow \Pi}{a, \neg a \rightarrow \neg 0, \Pi} (0) \text{ は } \frac{0 \rightarrow}{a, \neg a \rightarrow \neg 0, \Pi} \text{ に変換できる.}$$

(1.4.2) 左の推論規則  $R$  が  $(\rightarrow w)$  で  $\Sigma \rightarrow \Pi$  が (B2) のとき,

$$\frac{\frac{\Gamma \rightarrow \Delta}{\Gamma \rightarrow \Delta, 0} \quad 0 \rightarrow \Pi}{\Gamma \rightarrow \Delta, \Pi} (0) \text{ は } \frac{\Gamma \rightarrow \Delta}{\Gamma \rightarrow \Delta, \Pi} \text{ に変換できる.}$$

(1.5)  $\Gamma \rightarrow \Delta$  が (B3) のときは, (1.4) と双対にできる.

(1.6)  $\Sigma \rightarrow \Pi$  が (B3) のときは, (1.3) と双対にできる.

(1.7)  $\Gamma \rightarrow \Delta$  が (B4) のときは, 次の場合に分けて考える.

$$(1.7.1) \quad b \text{ が混ワードのとき. } \frac{\frac{a, \neg a \rightarrow b, \neg b}{\Sigma \rightarrow \Pi} \text{ (S)} \quad \vdots}{a, \neg a, \Sigma^* \rightarrow \neg b, \Pi} \text{ (b)}$$

$r=2$  より右上式 ( $\Sigma \rightarrow \Pi$ ) が始式 (B1), (B2), (B3), (B4) であるかまたは, 推論規則  $S$  が ( $w \rightarrow$ ), ( $\wedge_i \rightarrow$ ), ( $\vee \rightarrow$ ), ( $\neg \rightarrow \neg$ ), ( $\neg \rightarrow \neg$ ), ( $\neg \vee_i \rightarrow$ ), ( $\neg \wedge \rightarrow$ ) のいずれかである.

(1.7.1.1)  $\Sigma \rightarrow \Pi$  が (B1), (B2), (B3) の場合は, それぞれ (1.2), (1.4), (1.6) と同じである.

(1.7.1.2)  $\Sigma \rightarrow \Pi$  が (B4) の場合.

$$\frac{a, \neg a \rightarrow b, \neg b \quad b, \neg b \rightarrow c, \neg c}{a, \neg a, \neg b \rightarrow \neg b, c, \neg c} \text{ (b)}$$

これは, 次のように変換できる.

$$\frac{\neg b \rightarrow \neg b}{a, \neg a, \neg b \rightarrow \neg b, c, \neg c} \quad \text{または} \quad \frac{a, \neg a \rightarrow c, \neg c}{a, \neg a, \neg b \rightarrow \neg b, c, \neg c}$$

また  $b = \neg b'$  の場合.  $\frac{a, \neg a \rightarrow \neg b', \neg \neg b' \quad b', \neg b' \rightarrow c, \neg c}{a, \neg a, b' \rightarrow \neg \neg b', c, \neg c} (\neg b')$  も同様に変換できる.

(1.7.1.3) 右の推論規則  $S$  が ( $w \rightarrow$ ) の場合.

$$\frac{\frac{a, \neg a \rightarrow b, \neg b \quad b, \Sigma \rightarrow \Pi}{a, \neg a, \Sigma \rightarrow \neg b, \Pi} \text{ (b)} \quad \Sigma \rightarrow \Pi}{a, \neg a, \Sigma \rightarrow \neg b, \Pi} \text{ (b)} \text{ は } \frac{\Sigma \rightarrow \Pi}{a, \neg a, \Sigma \rightarrow \neg b, \Pi} \text{ に変換できる.}$$

(1.7.1.4) 右の推論規則  $S$  が ( $\wedge_i \rightarrow$ ) と ( $\vee \rightarrow$ ) の場合は, ( $\rightarrow \neg \wedge$ ), ( $\rightarrow \neg \vee$ ) などを使って下の (1.7.1.7), (1.7.1.8) とそれぞれ本質的に同様にできる.

(1.7.1.5) 右の推論規則  $S$  が ( $\neg \rightarrow \neg$ ) の場合.

$$\frac{a, \neg a \rightarrow \neg c, \neg \neg c \quad \frac{\Sigma \rightarrow \Pi}{\neg \Pi \rightarrow \neg \Sigma}}{a, \neg a, (\neg \Pi)^* \rightarrow \neg \neg c, \neg \Sigma} (\neg c) \text{ は定理 3 を使って } \frac{\frac{\frac{\Sigma \rightarrow \Pi \quad c, \neg c \rightarrow a, \neg a}{\Sigma, \neg c \rightarrow \Pi^0, a, \neg a} \text{ (c)}}{[\neg \neg a, \neg a, \neg (\Pi^0)] \rightarrow [\neg \neg c, \neg \Sigma]}}{a, \neg a, (\neg \Pi)^* \rightarrow \neg \neg c, \neg \Sigma} \text{ に変換できる.}$$

(1.7.1.6) 右の推論規則  $S$  が ( $\neg \rightarrow \neg$ ) の場合.

$$\frac{a, \neg a \rightarrow \neg \neg c, \neg \neg \neg c \quad \frac{c, \Sigma \rightarrow \Pi}{\neg \neg c, \Sigma \rightarrow \Pi}}{a, \neg a, \Sigma \rightarrow \neg \neg \neg c, \Pi} (\neg \neg c) \text{ は } \frac{\frac{a, \neg a \rightarrow c, \neg c \quad c, \Sigma \rightarrow \Pi}{a, \neg a, \Sigma^0 \rightarrow \neg c, \Pi} \text{ (c)}}{a, \neg a, \Sigma \rightarrow \neg \neg \neg c, \Pi} \text{ に変換できる.}$$

(1.7.1.7) 右の推論規則  $S$  が ( $\neg \vee_i \rightarrow$ ) の場合.

$$\frac{a, \neg a \rightarrow \neg (c \vee d), \neg \neg (c \vee d) \quad \frac{\neg c, \Sigma \rightarrow \Pi}{\neg (c \vee d), \Sigma \rightarrow \Pi}}{a, \neg a, \Sigma \rightarrow \neg \neg (c \vee d), \Pi} (\neg (c \vee d)) \text{ は } \frac{\frac{a, \neg a \rightarrow c, \neg c \quad \neg c, \Sigma \rightarrow \Pi}{a, \neg a, \Sigma^0 \rightarrow c, \Pi} \text{ (c)}}{a, \neg a, \Sigma \rightarrow c \vee d, \Pi}}{a, \neg a, \Sigma \rightarrow \neg \neg (c \vee d), \Pi} \text{ に変換できる.}$$

(1.7.1.8) 右の推論規則  $S$  が ( $\neg \wedge \rightarrow$ ) の場合.

$$\frac{a, \neg a \rightarrow \neg (c \wedge d), \neg \neg (c \wedge d) \quad \frac{\neg c, \Sigma \rightarrow \Pi \quad \neg d, \Sigma \rightarrow \Pi}{\neg (c \wedge d), \Sigma \rightarrow \Pi}}{a, \neg a, \Sigma \rightarrow \neg \neg (c \wedge d), \Pi} (\neg (c \wedge d)) \text{ は, 次のように変換できる.}$$

$$\frac{\frac{\frac{a, \neg a \rightarrow c, \neg c \quad \neg c, \Sigma \rightarrow \Pi}{a, \neg a, \Sigma^0 \rightarrow c, \Pi} (\neg c) \quad \frac{a, \neg a \rightarrow d, \neg d \quad \neg d, \Sigma \rightarrow \Pi}{a, \neg a, \Sigma^* \rightarrow d, \Pi} (\neg d)}{a, \neg a, \Sigma \rightarrow c, \Pi} \quad \frac{a, \neg a, \Sigma \rightarrow d, \Pi}{a, \neg a, \Sigma \rightarrow c \wedge d, \Pi}}{a, \neg a, \Sigma \rightarrow \neg \neg (c \wedge d), \Pi}$$

(1.7.2)  $\neg b$  が混ワードのときは, (1.7.1) と本質的に同様にできる.

(1.8)  $\Sigma \rightarrow \Pi$  が (B4) のときは, (1.7) と双対にできる.

(1.9) 左の推論規則  $R$  が  $(\rightarrow w)$  のとき.

$$\frac{\Gamma \rightarrow \Delta}{\frac{\Gamma \rightarrow \Delta, x \quad \Sigma \rightarrow \Pi}{\Gamma, \Sigma^* \rightarrow \Delta, \Pi} (x)} \text{ は } \frac{\Gamma \rightarrow \Delta}{\Gamma, \Sigma^* \rightarrow \Delta, \Pi} \text{ に変換できる.}$$

(1.10) 右の推論規則  $S$  が  $(w \rightarrow)$  のときは, (1.9) と双対にできる.

(1.11) 左の推論規則  $R$  が  $(\rightarrow \wedge)$  のときは,  $S$  が  $(\wedge, \rightarrow)$  の場合だけを考えればよい.

$$\frac{\frac{\Gamma \rightarrow \Delta, a \quad \Gamma \rightarrow \Delta, b}{\Gamma \rightarrow \Delta, a \wedge b} \quad \frac{a, \Sigma \rightarrow \Pi}{a \wedge b, \Sigma \rightarrow \Pi}}{\Gamma, \Sigma \rightarrow \Delta, \Pi} (a \wedge b) \text{ は } \frac{\frac{\Gamma \rightarrow \Delta, a \quad a, \Sigma \rightarrow \Pi}{\Gamma, \Sigma^* \rightarrow \Delta^* \Pi} (a)}{\Gamma, \Sigma \rightarrow \Delta, \Pi} \text{ に変換できる.}$$

(1.12)  $R$  が  $(\rightarrow \vee_i)$  のときは,  $S$  が  $(\vee \rightarrow)$  の場合だけを考えればよいが, (1.11) と双対にできる.

(1.13)  $R$  が  $(\neg \rightarrow \neg)$  のときは, 次の4通りの場合に分けて考える.

(1.13.1)  $S$  が  $(\neg \rightarrow \neg)$  の場合.

$$\frac{\frac{a, \Gamma \rightarrow \Delta}{\neg \Delta \rightarrow \neg \Gamma, \neg a} \quad \frac{\Sigma \rightarrow \Pi, a}{\neg a, \neg \Pi \rightarrow \neg \Sigma}}{\neg \Delta, (\neg \Pi)^* \rightarrow (\neg \Gamma)^*, \neg \Sigma} (\neg a) \text{ は } \frac{\frac{\Sigma \rightarrow \Pi, a \quad a, \Gamma \rightarrow \Delta}{\Sigma, \Gamma^0 \rightarrow \Pi^0, \Delta} (a)}{\neg \Delta, (\neg \Pi)^* \rightarrow (\neg \Gamma)^*, \neg \Sigma} \text{ に変換できる.}$$

(1.13.2)  $S$  が  $(\neg \neg \rightarrow)$  の場合.

$$\frac{\frac{\neg a, \Gamma \rightarrow \Delta}{\neg \Delta \rightarrow \neg \Gamma, \neg \neg a} \quad \frac{a, \Sigma \rightarrow \Pi}{\neg \neg a, \Sigma \rightarrow \Pi}}{\neg \Delta, \Sigma \rightarrow (\neg \Gamma)^*, \Pi} (\neg \neg a)$$

これは, 次のように変換できる. 帰納法の仮定と定理3から  $\vdash^* [\neg \Delta] \rightarrow [\neg \Gamma], [\neg \neg a]$  であり,

$$\frac{[\neg \Delta] \rightarrow [\neg \Gamma], [\neg \neg a] \quad a, \Sigma \rightarrow \Pi}{\frac{[\neg \Delta], \Sigma^0 \rightarrow [\neg \Gamma]^0, \Pi}{\neg \Delta, \Sigma \rightarrow (\neg \Gamma)^*, \Pi}} (a)$$

(1.13.3)  $S$  が  $(\neg \vee_i \rightarrow)$  の場合.

$$\frac{\frac{a \vee b, \Gamma \rightarrow \Delta}{\neg \Delta \rightarrow \neg \Gamma, \neg (a \vee b)} \quad \frac{\neg a, \Sigma \rightarrow \Pi}{\neg (a \vee b), \Sigma \rightarrow \Pi}}{\neg \Delta, \Sigma \rightarrow (\neg \Gamma)^*, \Pi} (\neg (a \vee b))$$

これは, 次のように変換できる. 帰納法の仮定と定理3から  $\vdash^* [\neg \Pi] \rightarrow [\neg \Sigma], [\neg \neg a]$  であり,

$$\frac{\frac{[\neg \Pi] \rightarrow [\neg \Sigma], [\neg \neg a]}{[\neg \Pi] \rightarrow [\neg \Sigma], a \vee b} \quad \frac{a \vee b, \Gamma \rightarrow \Delta}{[\neg \Pi], \Gamma^0 \rightarrow [\neg \Sigma], \Delta} (a \vee b)}{\frac{[\neg \Delta], [\neg [\neg \Sigma]] \rightarrow [\neg (\Gamma^0)], [\neg [\neg \Pi]]}{\neg \Delta, \Sigma \rightarrow (\neg \Gamma)^*, \Pi}}$$

(1.13.4)  $S$  が  $(\neg \wedge \rightarrow)$  の場合.

$$\frac{\frac{a \wedge b, \Gamma \rightarrow \Delta}{\neg \Delta \rightarrow \neg \Gamma, \neg (a \wedge b)} \quad \frac{\neg a, \Sigma \rightarrow \Pi \quad \neg b, \Sigma \rightarrow \Pi}{\neg (a \wedge b), \Sigma \rightarrow \Pi}}{\neg \Delta, \Sigma \rightarrow (\neg \Gamma)^*, \Pi} (\neg (a \wedge b))$$

これは, 次のように変換できる. 帰納法の仮定と定理3から  $\vdash^* [\neg \Pi] \rightarrow [\neg \Sigma], [\neg \neg a]$  かつ  $\vdash^* [\neg \Pi] \rightarrow [\neg \Sigma], [\neg \neg b]$  であり,

$$\frac{\frac{\frac{[\neg \Pi] \rightarrow [\neg \Sigma], [\neg \neg a] \quad [\neg \Pi] \rightarrow [\neg \Sigma], [\neg \neg b]}{[\neg \Pi] \rightarrow [\neg \Sigma], a \wedge b} \quad a \wedge b, \Gamma \rightarrow \Delta}{[\neg \Pi], \Gamma^0 \rightarrow [\neg \Sigma], \Delta} \quad (a \wedge b)}{\frac{[\neg \Delta], [\neg [\neg \Sigma]] \rightarrow [\neg (\Gamma^0)], [\neg [\neg \Pi]]}{\neg \Delta, \Sigma \rightarrow (\neg \Gamma)^*, \Pi}}{}}$$

(1.14)  $S$  が  $(\neg \rightarrow \neg)$  のときは, (1.13) と双対にできる.

(1.15)  $R$  が  $(\rightarrow \neg \neg)$  のときは,  $S$  が  $(\neg \neg \rightarrow)$  の場合だけを考えればよい.

$$\frac{\frac{\Gamma \rightarrow \Delta, a}{\Gamma \rightarrow \Delta, \neg \neg a} \quad \frac{a, \Sigma \rightarrow \Pi}{\neg \neg a, \Sigma \rightarrow \Pi}}{\Gamma, \Sigma \rightarrow \Delta, \Pi} (\neg \neg a) \text{ は } \frac{\Gamma \rightarrow \Delta, a \quad a, \Sigma \rightarrow \Pi}{\Gamma, \Sigma^* \rightarrow \Delta^*, \Pi} (a) \text{ に変換できる.}$$

(1.16)  $R$  が  $(\rightarrow \neg \vee)$  のときは,  $S$  が  $(\neg \vee_i \rightarrow)$  の場合だけを考えればよい.

$$\frac{\frac{\Gamma \rightarrow \Delta, \neg a \quad \Gamma \rightarrow \Delta, \neg b}{\Gamma \rightarrow \Delta, \neg(a \vee b)} \quad \frac{\neg a, \Sigma \rightarrow \Pi}{\neg(a \vee b), \Sigma \rightarrow \Pi}}{\Gamma, \Sigma \rightarrow \Delta, \Pi} (\neg(a \vee b)) \text{ は } \frac{\Gamma \rightarrow \Delta, \neg a \quad \neg a, \Sigma \rightarrow \Pi}{\Gamma, \Sigma^* \rightarrow \Delta^*, \Pi} (\neg a) \text{ に変換できる.}$$

(1.17)  $R$  が  $(\rightarrow \neg \wedge)$  で  $S$  が  $(\neg \wedge \rightarrow)$  のときは, (1.16) と双対にできる.

((Case 2))  $r > 2$  のとき.

(2.1)  $\Gamma \rightarrow \Delta$  が (B1) のときは, (1.1) と同じである.

(2.2)  $\Sigma \rightarrow \Pi$  が (B1) のときは, (2.1) と双対にできる.

(2.3)  $\Gamma \rightarrow \Delta$  が (B2) のときは, (1.3) と同じである.

(2.4)  $\Sigma \rightarrow \Pi$  が (B2) のとき.

$$\frac{\frac{\Gamma_1 \rightarrow \Delta_1 (\Gamma_2 \rightarrow \Delta_2)}{\Gamma \rightarrow \Delta} (R) \quad 0 \rightarrow \Pi}{\Gamma \rightarrow \Delta^*, \Pi} (0) \text{ は, 次のように変換できる.}$$

$$\frac{\frac{\Gamma_1 \rightarrow \Delta_1 \quad 0 \rightarrow \Pi}{\Gamma_1 \rightarrow (\Delta_1)^*, \Pi} (0) \quad \left( \frac{\Gamma_2 \rightarrow \Delta_2 \quad 0 \rightarrow \Pi}{\Gamma_2 \rightarrow (\Delta_2)^*, \Pi} (0) \right)}{\Gamma \rightarrow \Delta^*, \Pi} (R)$$

(2.5)  $\Gamma \rightarrow \Delta$  が (B3) のときは, (2.4) と双対にできる.

(2.6)  $\Sigma \rightarrow \Pi$  が (B3) のときは, (2.3) と双対にできる.

(2.7)  $\Gamma \rightarrow \Delta$  が (B4) のときは, 次の場合に分けて考える.

(2.7.1)  $b$  が混ワードのとき.

$$\frac{\frac{\Sigma_1 \rightarrow \Pi_1 (\Sigma_2 \rightarrow \Pi_2)}{a, \neg a \rightarrow b, \neg b} (S) \quad \Sigma \rightarrow \Pi}{a, \neg a, \Sigma^* \rightarrow \neg b, \Pi} (b)$$

$r > 2$  より右上式  $(\Sigma \rightarrow \Pi)$  が始式になることはないので, 次の9通りに分けて考える.

(2.7.1.1) 右の推論規則  $S$  が構造に関する推論規則の場合は, あとの (2.10) に含まれる.

(2.7.1.2) 右の推論規則  $S$  が論理記号に関する推論規則で  $S$  が式の右辺の論理記号に関する場合は, あとの (2.12) に含まれる.

(2.7.1.3) 右の推論規則  $S$  が式の左辺の論理記号に関するもので混ワード  $b$  が主ワードでない場合は, あとの (2.14) に含まれる.

(2.7.1.4) 推論規則  $S$  が  $(\wedge_i \rightarrow)$  で  $b = c \wedge d$  が主ワードの場合.

$$\frac{\frac{a, \neg a \rightarrow c \wedge d, \neg(c \wedge d) \quad c, \Sigma \rightarrow \Pi}{c \wedge d, \Sigma \rightarrow \Pi} \quad c \wedge d, \Sigma \rightarrow \Pi}{a, \neg a, \Sigma^* \rightarrow \neg(c \wedge d), \Pi} (c \wedge d)$$

これは、次のように変換される。

$$\frac{\frac{a, \neg a \rightarrow c, \neg c}{a, \neg a \rightarrow c, \neg c} \quad \frac{a, \neg a \rightarrow c \wedge d, \neg(c \wedge d) \quad c, \Sigma \rightarrow \Pi}{a, \neg a, c, \Sigma^* \rightarrow \neg(c \wedge d), \Pi} (c \wedge d)}{\frac{a, \neg a, a, \neg a, (\Sigma^*)^0 \rightarrow \neg c, \neg(c \wedge d), \Pi}{a, \neg a, \Sigma^* \rightarrow \neg c, \neg(c \wedge d), \Pi}} (c)$$

(2.7.1.5) 右の推論規則  $S$  が  $(\vee \rightarrow)$  で  $b = c \vee d$  が主ワードの場合。

$$\frac{\frac{c, \Sigma \rightarrow \Pi \quad d, \Sigma \rightarrow \Pi}{a, \neg a \rightarrow c \vee d, \neg(c \vee d)} \quad \frac{c \vee d, \Sigma \rightarrow \Pi}{a, \neg a, \Sigma^* \rightarrow \neg(c \vee d), \Pi} (c \vee d)}{a, \neg a, \Sigma^* \rightarrow \neg(c \vee d), \Pi}$$

これは、次のように変換できる。

$$\frac{\frac{a, \neg a \rightarrow c, \neg c}{a, \neg a, a, \neg a, (\Sigma^*)^0 \rightarrow \neg c, \neg(c \vee d), \Pi} \quad \frac{a, \neg a \rightarrow c \vee d, \neg(c \vee d) \quad c, \Sigma \rightarrow \Pi}{a, \neg a, c, \Sigma^* \rightarrow \neg(c \vee d), \Pi} (c \vee d)}{\frac{a, \neg a, \Sigma^* \rightarrow \neg c, \neg(c \vee d), \Pi}{a, \neg a, \Sigma^* \rightarrow \neg(c \vee d), \neg(c \vee d), \Pi}} (c) \quad \begin{array}{c} \vdots \\ \hline \end{array} \quad \frac{a, \neg a, \Sigma^* \rightarrow \neg d, \neg(c \vee d), \Pi}{a, \neg a, \Sigma^* \rightarrow \neg(c \vee d), \neg(c \vee d), \Pi}}$$

(2.7.1.6) 推論規則  $S$  が  $(\neg \rightarrow \neg)$  で  $b = \neg c$  が主ワードの場合は、(1.7.1.5) と本質的に同じである。

(2.7.1.7) 右の推論規則  $S$  が  $(\neg \neg \rightarrow)$  で  $b = \neg \neg c$  が主ワードの場合。

$$\frac{\frac{c, \Sigma \rightarrow \Pi}{a, \neg a \rightarrow \neg \neg c, \neg \neg c} \quad \frac{\neg \neg c, \Sigma \rightarrow \Pi}{a, \neg a, \Sigma^* \rightarrow \neg \neg c, \Pi} (\neg \neg c)}{a, \neg a, \Sigma^* \rightarrow \neg \neg c, \Pi}$$

これは次のように変換できる。帰納法の仮定と定理3から  $\vdash^* [\neg \neg c, \Sigma] \rightarrow [\Pi]$  であり、

$$\frac{\frac{a, \neg a \rightarrow c, \neg c \quad [\neg \neg c, \Sigma] \rightarrow [\Pi]}{a, \neg a, [\Sigma]^p \rightarrow \neg c, [\Pi]} (c)}{a, \neg a, \Sigma^* \rightarrow \neg \neg c, \Pi}$$

(2.7.1.8) 推論規則  $S$  が  $(\neg \vee_i \rightarrow)$  で  $b = \neg(c \vee d)$  が主ワードの場合は、(2.7.1.4) と本質的に同様にできる。

(2.7.1.9) 推論規則  $S$  が  $(\neg \wedge \rightarrow)$  で  $b = \neg(c \wedge d)$  が主ワードの場合は、(2.7.1.5) と本質的に同様にできる。

(2.7.2)  $\neg b$  が混ワードのときは、(2.7.1) と本質的に同様にできる。

(2.8)  $\Sigma \rightarrow \Pi$  が (B4) のときは、(2.7) と双対にできる。

(2.9) 左の推論規則  $R$  が構造に関する推論規則の場合は、次の3通りに分けて考える。

(2.9.1)  $R$  が  $(\rightarrow w)$  で、 $x \notin \Delta$  の場合は、(1.9) と同じである。

(2.9.2)  $R$  が  $(\rightarrow w)$  で、 $x \in \Delta$  であり、 $x$  が増になるワードの場合。

$$\frac{\frac{\Gamma \rightarrow \Delta}{\Gamma \rightarrow \Delta, x \quad \Sigma \rightarrow \Pi} (x)}{\Gamma, \Sigma^* \rightarrow \Delta^*, \Pi} \quad \text{は} \quad \frac{\Gamma \rightarrow \Delta \quad \Sigma \rightarrow \Pi}{\Gamma, \Sigma^* \rightarrow \Delta^*, \Pi} (x) \quad \text{に変換できる。}$$

(2.9.3) その他の場合。

$$\frac{\frac{\Gamma_1 \rightarrow \Delta_1}{\Gamma \rightarrow \Delta} (R) \quad \Sigma \rightarrow \Pi}{\Gamma, \Sigma^* \rightarrow \Delta^*, \Pi} (x) \quad \text{は} \quad \frac{\frac{\Gamma_1 \rightarrow \Delta_1 \quad \Sigma \rightarrow \Pi}{\Gamma_1, \Sigma^* \rightarrow (\Delta_1)^*, \Pi} (x)}{\Gamma, \Sigma^* \rightarrow \Delta^*, \Pi} (R) \quad \text{に変換できる。}$$

(2.10) 右の推論規則  $S$  が構造に関する推論規則の場合は、(2.9) と双対にできる。

(2.11) 左の推論規則  $R$  が式の左辺の論理記号に関する推論規則のとき。

$$\frac{\frac{\Gamma_1 \rightarrow \Delta \quad (\Gamma_2 \rightarrow \Delta)}{\Gamma \rightarrow \Delta} (R) \quad \Sigma \rightarrow \Pi}{\Gamma, \Sigma^* \rightarrow \Delta^*, \Pi} (x) \quad \text{は} \quad \frac{\frac{\Gamma_1 \rightarrow \Delta \quad \Sigma \rightarrow \Pi}{\Gamma_1, \Sigma^* \rightarrow \Delta^*, \Pi} (x) \quad \left( \frac{\Gamma_2 \rightarrow \Delta \quad \Sigma \rightarrow \Pi}{\Gamma_2, \Sigma^* \rightarrow \Delta^*, \Pi} (x) \right)}{\Gamma, \Sigma^* \rightarrow \Delta^*, \Pi} (R) \quad \text{に変換できる。}$$

(2.12) 右の推論規則  $S$  が式の右辺の論理記号に関する推論規則のときは, (2.11) と双対にできる.

(2.13) 左の推論規則  $R$  が式の右辺の論理記号に関する推論規則で混ワード  $x$  が主ワードでないとき.

$$\frac{\frac{\Gamma \rightarrow \Delta_1 \quad (\Gamma \rightarrow \Delta_2)}{\Gamma \rightarrow \Delta} (R) \quad \Sigma \rightarrow \Pi}{\Gamma, \Sigma^* \rightarrow \Delta^*, \Pi} (x) \text{ は, 本質的に (2.11) と同様に変換できる.}$$

(2.14) 右の推論規則  $S$  が式の左辺の論理記号に関する推論規則で混ワード  $x$  が主ワードでないときは, (2.13) と双対にできる.

(2.15)  $R$  が  $(\rightarrow \wedge)$ ,  $S$  が  $(\wedge_i \rightarrow)$  で  $x = a \wedge b$  が主ワードのとき.

$$\frac{\frac{\Gamma \rightarrow \Delta, a \quad \Gamma \rightarrow \Delta, b}{\Gamma \rightarrow \Delta, a \wedge b} \quad \frac{a, \Sigma \rightarrow \Pi}{a \wedge b, \Sigma \rightarrow \Pi}}{\Gamma, \Sigma^* \rightarrow \Delta^*, \Pi} (a \wedge b) \text{ は, 次の3通りに分けて考える.}$$

(2.15.1)  $x \in \Delta, x \in \Sigma$  の場合.

$$\frac{\frac{\frac{\Gamma \rightarrow \Delta, a \quad a \wedge b, \Sigma \rightarrow \Pi}{\Gamma, \Sigma^* \rightarrow \Delta^*, a, \Pi} (a \wedge b) \quad \frac{\Gamma \rightarrow \Delta, a \wedge b \quad a, \Sigma \rightarrow \Pi}{\Gamma, a, \Sigma^* \rightarrow \Delta^*, \Pi} (a \wedge b)}{\Gamma, \Sigma^*, \Gamma^0, (\Sigma^*)^0 \rightarrow (\Delta^*)^0, \Pi^0, \Delta^*, \Pi} (a)}{\Gamma, \Sigma^* \rightarrow \Delta^*, \Pi}$$

(2.15.2)  $x \in \Delta, x \notin \Sigma$  の場合.

$$\frac{\frac{\frac{\Gamma \rightarrow \Delta, a \quad a \wedge b, \Sigma \rightarrow \Pi}{\Gamma, \Sigma \rightarrow \Delta^*, a, \Pi} (a \wedge b) \quad a, \Sigma \rightarrow \Pi}{\Gamma, \Sigma, \Sigma^0 \rightarrow (\Delta^*)^0, \Pi^0, \Pi} (a)}{\Gamma, \Sigma \rightarrow \Delta^*, \Pi}$$

(2.15.3)  $x \notin \Delta, x \in \Sigma$  の場合は, (2.15.2) と双対にできる.

(2.16)  $R$  が  $(\rightarrow \vee_i)$ ,  $S$  が  $(\vee \rightarrow)$  で  $x = a \vee b$  が主ワードのときは, (2.15) と双対にできる.

(2.17)  $R$  が  $(\rightarrow \neg \vee)$ ,  $S$  が  $(\neg \vee_i \rightarrow)$  で  $x = \neg(a \vee b)$  が主ワードのとき.

$$\frac{\frac{\Gamma \rightarrow \Delta, \neg a \quad \Gamma \rightarrow \Delta, \neg b}{\Gamma \rightarrow \Delta, \neg(a \vee b)} \quad \frac{\neg a, \Sigma \rightarrow \Pi}{\neg(a \vee b), \Sigma \rightarrow \Pi}}{\Gamma, \Sigma^* \rightarrow \Delta^*, \Pi} (\neg(a \vee b))$$

これは (2.15) と本質的に同様にできる.

(2.18)  $R$  が  $(\rightarrow \neg \wedge_i)$ ,  $S$  が  $(\neg \wedge \rightarrow)$  で  $x = \neg(a \wedge b)$  が主ワードのときは, (2.17) と双対にできる.

(2.19)  $R$  が  $(\neg \rightarrow \neg)$  で  $x$  が  $S$  の主ワードのときは, 次の4通りの場合に分けて考える.

(2.19.1)  $R$  が  $(\neg \rightarrow \neg)$ ,  $S$  も  $(\neg \rightarrow \neg)$  で  $x = \neg a$  が主ワードの場合は, (1.13.1) と同じである.

(2.19.2)  $R$  が  $(\neg \rightarrow \neg)$ ,  $S$  が  $(\neg \rightarrow \neg)$  で  $x = \neg \neg a$  が主ワードの場合. 帰納法の仮定と定理3から  $\vdash^* [a, \Sigma] \rightarrow [\Pi]$  であり,  $\vdash^* a, [\Sigma] \rightarrow \Pi$  を使えば (1.13.2) と本質的に同様にできる.

(2.19.3)  $R$  が  $(\neg \rightarrow \neg)$ ,  $S$  が  $(\neg \vee_i \rightarrow)$  で  $x = \neg(a \vee b)$  が主ワードの場合は, (1.13.3) と本質的に同様にできる.

(2.19.4)  $R$  が  $(\neg \rightarrow \neg)$ ,  $S$  が  $(\neg \wedge \rightarrow)$  で  $x = \neg(a \wedge b)$  が主ワードの場合は, (1.13.4) と本質的に同様にできる.

(2.20)  $S$  が  $(\neg \rightarrow \neg)$  で  $x$  が  $S$  の主ワードのときは, (2.19) と双対にできる.

(2.21)  $R$  が  $(\rightarrow \neg \neg)$ ,  $S$  が  $(\neg \neg \rightarrow)$  で  $x = \neg \neg a$  が主ワードのとき, 帰納法の仮定と定理3から,  $\vdash^* \Gamma \rightarrow [\Delta], a$  と  $\vdash^* a, [\Sigma] \rightarrow \Pi$  を使えば (1.15) と本質的に同様にできる.

(証明終)

### 5. FA の決定可能性

[定義 8] (擬部分ワードの定義)

ワード  $a$  の擬部分ワード全体の集合を  $S(a)$  で表し、次のように帰納的に定義する.

(1)  $a$  が変数または定数のとき

$$S(a) = \{a\}$$

(2)  $a, b$  がワードのとき

$$S(a \wedge b) = \{a \wedge b\} \cup S(a) \cup S(b)$$

$$S(a \vee b) = \{a \vee b\} \cup S(a) \cup S(b)$$

$$S(\neg a) = \{\neg a\} \cup S(a)$$

$$S(\neg(a \vee b)) = \{\neg(a \vee b)\} \cup S(\neg a) \cup S(\neg b) \cup S(a \vee b)$$

$$S(\neg(a \wedge b)) = \{\neg(a \wedge b)\} \cup S(\neg a) \cup S(\neg b) \cup S(a \wedge b)$$

最後に、ファジイ代数 (FA) が決定可能であることを示す.

[定理 5] (FA の決定可能性)

$a \leq b$  が FA で成立するかどうかを決定するための有限の手続きが存在する.

<証明>

定理 1 と定理 2 と定理 4 から、 $a \leq b$  が FA で成立するかどうかを判定するためには  $GFA^* \vdash a \rightarrow b$  が成立するかどうかを判定すればよい.  $GFA^*$  では“擬部分ワードの性質” (各推論規則の上式の中に現れるワードは、どれもその推論規則の下式に現れるワードの擬部分ワードのみであるという性質) を持っている. 従って、 $a \rightarrow b$  の  $GFA^*$  における証明図  $P$  の中に出てくるワードはすべて  $a$  と  $b$  の擬部分ワードのみである. また、一般に証明図中の 1 つの式には同じワードは高々 6 個 (両辺に 3 個ずつ) だけ現れるようにすることができる. よって  $P$  の中に出てくる可能性のある式の個数は有限個である. これらの有限個の式を使って  $a \rightarrow b$  の証明図  $P$  が存在するかどうかの判定は有限的になされる.

(証明終)

### REFERENCES

1. 荒金 憲一, ファジイ代数の決定問題, 奈良高専研究紀要 30 (1995), 115-123.
2. G. Gentzen, *Untersuchungen über das logische Schlissen*, *Mathematische Zeitschrift* 39 (1935), 176-216.
3. 竹村 康, 弱ファジー集合算の決定問題, 大阪産業大学論集 自然科学編 第88号 (1991), 43-48.
4. \_\_\_\_\_, ファジー集合算のシーケントによる形式化, 大阪産業大学論集 自然科学編 第89号 (1992), 13-15.
5. L. A. Zadeh, *Fuzzy sets*, *Information and Control* 8 (1965), 338-353.



## 高専生の英訳指導 (1)

加地 朱

### Teaching English Translation in a Technical College

KAJI Akashi

This paper aims to build up a teaching method in English translation from Japanese. The levels of vocabulary and sentence structures in this report are limited. Due to the fact that vocabulary and sentence structures used here should be learned in technical college students' junior high school days. The author clarifies one process of translation.

#### はじめに

高等専門学校の学生(以下、「高専生」とする)が、日本文を英訳すると、日本語と英語との重なりと違いとを意識していないところに問題がある。その一つの例として、主語のとりあげ方、すなわち主語が何であるのかを意識し、どのように英文を組み立てるのか、を学生は考えていないことが多いのを、本稿において問題としたい。学生が書く英文に関する問題点は、彼らが伝えようとする日本語の内容でさえ、日本語でわかりやすく説明することができないことにある。つまり伝えたい内容を、「だれがなにをした」という単文の形に分析し、分析したものを積み上げて説明することを彼らはしない。

日本語では一文のなかで主語が何度も変わることがありえる。そして、主語が変わっていくにつれて主語にあった動詞が選ばれるのである。だからこそ、日本語が分かっている時には、主語を強調した文でなくとも、十分に話がわかる。たとえば、次の例を見てほしい。

この生きにくい状況を作ったのは、この作品についていえば、「せわのやける、おひめさまみたいな」おかあさんひとりの、いわばわがままにあるようにも思えますが、おとうさんはどうなのでしょう。

—小松崎進『おかあさんだいきらい』p138

まず、動作は、この一文のなかに3つある。(ある、思えます、どうなのでしょう)「ある」に対応する主部は「この生きにくい状況を作ったのは」である。「思えます」に対応する主部は、本文に書かれていないが、補って考

えると、「私には」である。そして、「どうなのでしょうか」は「責任がないのでしょうか」と言い換えをすることにより、その主部を「責任が」と読みかえる。なお、「どうなのでしょうか」の前にある「お父さん」は、話題を提供する役割を果たすが、主部ではない。

ところが、英文の一文において主語が変わることは、あまり見受けられない。一文の英文には、一つの主語というのが基本である。つまり、一文の完結において、常に主語は何かという意識が、英語を使う際には必要なのである。

それでは、主語に関して、このような困難点をもっている学生に和文英訳を指導するには、どうしたらよだろうか。本稿では、高専生の英訳指導法の可能性を探ることを目的とする。

そのために、著者が3つの異なるジャンルの100文字程度の日本文を例にとり、英訳するならば、このように考えて訳す、ということ報告したい。その際3つの異なるジャンルの和文を材料とし、英訳する際に、どういった問題点があるのか、多少とも詳しく見てみたい。

#### 1. 英訳のレベル

英訳を学生たちに求めるとき、どのレベルまでを求めればよいのであろうか。これから取り上げるAのような抽象的概念を含んだ日本文の場合、抽象的単語を重ねて英文にするだけでも、意味は通じる。(試訳A-1)しかし、「尊敬」を「或る人が重要な人であると考えること」と分かりやすく解釈しなおし、それを英訳することで、より具体的になり、読者にとって理解しやすい英文にな

るのではないか。すなわち、英語というより日本語においての言い換えを加えるレベルが、抽象的英文レベルに加えて、もう一つある。

ところが、いくら言い換えをして日本語では分かりやすいと筆者が思っても、学生は易しい日本語に直すために、それに対応する単語や表現が思いつかなくて、和英辞典そのままを写してしまうことがある。こうなると、逆に原文の日本語に近づきすぎてしまう。その意味では、和文英訳を批判する研究者がいることも、理解はできる。

何が問題なのか。筆者は、和英辞典が悪い、というのではない。学生が和英辞典を信じ過ぎて、英英辞典はおろか、英和辞典を引き直すことさえしないことが多い。ここが問題なのだ。

彼らの書く英文のうち、難しげな用語を拾って読むだけで、なんとなく分かる気がする英文が目の前にはある。だが、もはや英文ではない。このように筆者に思わせるのは、たいてい主語が抜けていたり、英語の動詞に対応する目的語が抜けていることによる。

それでは、言い換えのタイプは、どういうものが考えられるか。大きくわけて、二つを設定したい。

一つのタイプは、英語で抽象的に英訳している部分に註を加えるタイプである。ただし、註を含めて用いる語彙や文法が中学校3年間で学ぶものくらいのみで構成されているのか、それ以上の難度のもので構成されているのかによって、英文の抽象度は異なる。ここでは英英辞典を活用することが含まれる(タイプ1)。

もう一つのタイプは、原文の日本語を易しく言い換えることによって、英文を考えてみようとするタイプである(タイプ2)。そのうち、日本語において難しい概念の単語の細部までを中学校3年間くらいの英単語や文法事項で説明するタイプをタイプ2-1とする。それに対して、タイプ2-2と設定するものは、原文の日本語全体の概要の意味(つまり核心)を取り上げて、中学校3年間位の単語や文法を使って説明しようとするものである。

たとえば原文において「…そのような可能性はないでもない」とあれば、2-1レベルでは「そのような可能性はあるかもしれない」と解釈するのに対して、2-2レベルでは「そのような可能性はある。」というふうに解釈する。原文で伝えている「ひょっとしたら、あるかもしれないし、ないかもしれない」という、はっきりと言いたくない気持ちは、2-2レベルでは核心から省略せざるを得ない。

なお、原則として、タイプ1も、タイプ2も、中学校3年間くらいの単語や文法を限界として考える言い換えである。このような限界を設けた英語の構成要素では、英文としての抽象度は、低いかもしれない。だが、たく

さんの語彙を知るよりも「何がどうした」をはっきりと解釈し、表現できることが、中学校3年間の英語を学び終わった学習者に求められる英語の力であると、筆者は考える。

## 2. 試 訳

### (1) ケース A

#### 原文

日本人は愛と尊敬というものを区別するのが好きである。しかし考えてみれば不思議なものである。愛する人は尊敬してはならず、尊敬する対象には恋してはならないという考えは存在するのであろうか。

(たとえ瞬時であれ、愛と尊敬が一致することだってあるはずだ。)

—松本道弘『英語でロジックに強くなる』(232)

#### 試訳A-1

The Japanese like to distinguish love from respect. This idea seems to be strange. Could it be possible we should not respect someone we love or should we not have affection for the one we respect?

#### 試訳A-2

The Japanese often think that loving someone and thinking someone is important, are different. This idea is strange to me. Shouldn't we look up to people while we love them? We must not love someone just because we think that person is great?

この原文は、一見したところ、かなり訳しにくい。と言うのは、かなり議論が抽象的な文章であるためである。そこで、原文の文脈全体というよりは、各文について、英訳しやすい日本語に直すことを試みる。その際、可能なかぎり、英文の典型を生かすように考えていきたい。

まず「尊敬というもの」という箇所であるが、これは「尊敬」の一語でいいだろう。筆者は「愛と尊敬」の両者について「～というもの」と言っているとしても、この「～というものは」は強調と言えるので、英訳にそのニュアンスを伝えることは、さしあたり不要であると考える。

ついで「区別する」という箇所であるが、二つの考え方があ

る。まず一つは“distinguish A from B”という表現を利用する。これは、高校教科書に出ている。すると「愛と尊敬を区別する」と言い直せる。すなわち「日本人は、愛と尊

敬とを区別するのが好きである」という文と考える。「好きである」は“like to”を使い、“The Japanese like to distinguish love from respect.”と試訳A-1にて記す。

しかし、尊敬 (respect) という単語を知らない生徒は当然いる。そこで、「尊敬」の別の表現を考えてみる。

たとえば、Hornbyらの辞書“*Idiomatic and Syntactic English Dictionary*”ではrespectをpay attention toもしくはbear in mindと説明しているが、attentionやbearという単語は高専生にとって、なじみにくいし、すぐには出てこない。そこで、やさしい日本語に置き換えると、たとえばこうなる。「或る人が重要な人である」と考える。すなわち、或る人に対して重要だと思ふことが間接的には尊敬するということを表すことになる。そこで「尊敬」を「～は重要である」と考えること」ということばを用いて表現することができる。さらに言えば、使用する単語は可能なかぎり、自然と生徒から出てくるものであることが必要だ。「～考える」も「～も重要である」も中学校で学ぶ範囲である。すなわち、「～考える」を動名詞を用いて「～考えること」と訳す方向に指導できる。ここから「尊敬」を、thinking someone is importantと訳す方向に指導することができる。

次に「区別する」という動詞であるが、中学生にとってはもちろんのこと、高専生の初級であってもdistinguishという動詞は思い付きにくいと思われる。そこで、筆者は、「AとBとは異なる」と解釈し直した。つまり「或る人を愛することと或る人を重要だと考えることは異なる」と分析した。

一文目の最後の部分の「～のが好きである」についてだが、「～が好き」を一步進めて、「好きだと感じることをしばしばする」と言い換える。つまり、ここでは「区別を頻繁にする」ということである。

今までの一文をわかりやすい日本語にまとめると、次のようになる。「日本人は、或る人を愛することと或る人を尊敬することは異なる、としばしば考える」と。それを英訳すると次のようになる。The Japanese often think that loving someone and thinking someone is important are different. (試訳A-2)

第二文目を見る。「考えてみれば」の部分であるが、何を考えてみるか、という第一文で説明した「日本人が愛と尊敬とを区別する考え方」についてである。それについて人々が考えをめぐらす、といているのである。

しかし、「だれが」考えるのかが、原文の日本語では明確になっていないため、ここで第二文の英文の主語を「人々」ではなく、人々の代表者としての「私」と考える。すなわち、「私は、第一文の考えについて考えをめぐらす」と解釈する。そして、ここでは、さらにすすめて、

「この考えは」と考えなおすことにする。

第二文後半「不思議である」について、続けてみていこう。ここで使われている「不思議」は、奇跡などといった類のものではない。次の第三文では、第二文の不思議の内容をさらに説明している。第三文とのつながりから読み取れるのは、原文が持つ「奇妙だ」とか「見慣れない」といった類の気持ちである。そこから筆者は「不思議」を「奇妙である」と解釈しなおした。

第二文の英文全体は、ゆえに、「この考えについては、私には奇妙である」という日本語に直したあとのものである。This idea is strange to me. なお、試訳A-1では、「奇妙であるように思える」のように下線部のニュアンスを加えてみた。

第三文目を読む。この文では、「考えが成り立つことはありえるのだろうか」と疑問を投げかけている。あるいは、疑いをもった目で、可能性の有無を見ようとしているとも解釈できる。つまり、この疑問からは、可能性がないのではないか、という原文の考えが見えるのである。

しかし、原文とて、確信をもって「考えはありえない」と言っているわけではない。そのことを暗に示しているのが、次の段落のはじめの文、「たとえ瞬時であれ、愛と尊敬が一致することだってあるはずだ。」(下線は筆者による。)である。とくに次の文の前半「～であれ」から筆者は万一あるかもしれないことを示す仮定法のニュアンスを漂わす助動詞の過去形を用いたのである。つまり「これから述べることは、本当に可能なのだろうか」という日本語訳にする(試訳A-1)。だが、仮定法を使うことが難しいと感じる学生もいるだろう。そのような場合、ここのニュアンスを省いてよいと思う(試訳A-2)。

さて、「成り立つことは、ありえるのだろうか」と原文が述べている内容は、「愛する人は尊敬してはならない」という内容と「尊敬する対象には恋してはならない」という内容との両方のようにみえる。一見すれば表と裏となり、同じ事を言っている。

ところが、多くの日本人が愛と尊敬とを区別するという第一文の立場から言うと、「尊敬すること」と「恋すること」とを、この第三文の中でも区別すべきであると筆者は考える。なぜなら、第一文もこの第三文も同じ一つの段落のなかで述べられていることだからである。

つまり、筆者は、原文が疑問を投げかけている内容を二つの別のこととして解釈する。言い換えると、「『愛する人は尊敬してはならない』あるいは『尊敬する対象には恋してはならない』』という考えに対し、原文が問いかけているのである。

それでは、原文の日本語において疑問とされている内

容を見てみる。二つの内容ともに、「～してはならない」でしめくくられている。そこで考えられる表現は、*must not* および *should not* である。*must not* が「～することを禁止している」意味を表すのに対し、*should not* は、「～すべきではない」という意味を表す。*must* と *should* との二つには、*obligation* (義務) という点において共通項がある。しかし、ここで Swan (1980) による二つの表現の使われる場面の定義を見てみたい。

まず、*must* の使い方である。

Generally, when *must* is used, the obligation comes from the speaker as in the two examples.

I really *must* stop smoking.

You *must* be here by 8 o'clock at the latest.

If we talk about or report an obligation that comes from 'outside' (a regulation, or an order from somebody else, for example) *must* is possible, but *have to* is more common.

I *have to* work from 9.00a.m. till 5.00p.m.(394)

つまり対象にする相手がだれにしろ、話し手自身が義務で何かをしなければならないと考える時に使われるのが、*must* である。

それに対して *should* の使い方は、このように説明してある。

*Should* and *ought to* are used to express obligation and duty, to give advice, and in general to say what we think it is right or good for people to do. ... In most cases, both *should* and *ought to* can be used with more or less the same meaning. There is, however, a very slight difference. When we use *should*, we give our own subjective opinion; *ought to* has a rather more objective force, and is used when we are talking about laws, duties and regulations (or when we want to make our opinion sound as strong as a duty or law). (550)

つまり、*should* は、「人々があることをするのは、良いことだ」という、話し手の前提を交える時に使うものである。

さて、原文に戻ってみると、「可能だろうか」と、原文が考えている内容は「義務である」と読み取れるが、この義務は「～しなければならない」と思っている内容ではなく、一般に良いと思われている義務である。そこで、

筆者は「～てはならない」の部分表現するのに、*must not* を選ばず、*should not* と英訳することを選んだ。

次に「～してはならない」内容についてである。「だれが愛」したり「尊敬」したりするかということ、明確にする主語が原文には書かれていない。すなわち、ここで英文にする時の主語にあたる対象を考える作業をする。すると、原文には、はっきりとは書かれていないのであるが、どの人にも、この制限がつくと考えることができる。ゆえに、一般的なことを述べる時に用いられる、*we/you/they* の中から主語を選ぶことを考える。

しかし、筆者は、*you* や *they* を主語として選ばない。なぜなら、この二つだと、原文を書いている松本氏には関係がないことであるが、彼以外の人間には、あてはまる、ということを表してしまうからである。その点 *we* を選ぶと、松本氏も「～してはならない」ことの対象に含めることも可能である。

すなわち、ここまでの原文の主語を「私たち」とし、以上のように書いたものが試訳A-2である。なお、試訳A-1は試訳A-2に訳す前に原文に忠実に訳そうとしたものである。

以下、原文サンプル「ケースB」および「ケースC」それぞれに試訳B-1とC-1とがある。これらもA-1のときと同様、原文の日本語のレベルに忠実に訳したものである。

## (2) ケースB

### 原文

島村はスーパーストアで、かなりな買物をした。かん詰類が主だが、刺し身もある。それに、生で食う野菜と果物がかさばった。手一杯にかかえた姿は、制服の手前、あまり体裁がよくない。

—多岐川恭『許された日々』(97)

次にとりあげたものは、場面状況を説明する要素が、いくつも並列されている小説の人物描写である。日本語の原文中において形容する部分には、「生で食う」や「手一杯にかかえた」のような節を使って書かれているところもある。これらをそのまま英訳すると、だらだらと文が続くように思える。

しかし、原文の日本語をよく見てみると、読点(「、」)を多く使っているため、あまり読むことに苦勞しない。読点で区切られている日本文に対応する英訳にすれば、あっさりとした英文になるはずである。すなわち、なるべく試訳B-2では単文を用いた。このため、試訳B-1は四文であるのに対し、試訳B-2では五文で書くことになった。

またB-2のなかでは、原文の日本語に出てくる情報の順番を変えているところもある。以上二つの理由のため、ケース1でしたように、原文に対する英訳を二つ同時に比較しながら示すと、理解しづらくなると思う。ゆえにここでは、試訳B-1とB-2とを独立して示すことにする。

#### 試訳B-1

Shimamura did a lot of shopping at a supermarket. He mainly bought canned food, and raw fish. He also bought vegetables to be eaten raw and fruits, which made his shopping bags full. In his uniform, he did not look good with his both hands full.

原文の一文目は、「かなりな買物」を「たくさん買い物をした」と読み替える。「買い物をした」という日本語を直訳するように、この部分をdid a shoppingと訳す。

二文目である。ここでは、「彼が買ったものは」という日本語を補って訳す。ここで、what he bought wasで文を始めることも考えた。しかし、この表現は、あえて使わなかった。

なぜなら、二つの理由がある。一つは、まどろっこしく聞こえる、という理由。もうひとつの理由は、あとの日本語とのつながりを見てのことである。つまり、原文の四文目では、「～姿は、」と主人公の姿について言及している。四文目までを一段目としてまとめると、原文の二文目の文の主語は、買ったものではなく、買った人物の方に焦点をあてるべきであろう。上記の理由から、筆者は、「彼は～を買った」と主語を「彼」にして訳することにした。

さて、鳥村が買ったものであるが、「かん詰め類」である。これは、「刺身」と並べて書かれているところから見て、缶詰められた食物だと察することは、容易だ。つまり、「缶詰める」という動詞“can”の過去分詞形を用いて、「食物」を修飾する。すなわち、二文目全体を次のように訳す。

He mainly bought canned food, and raw fish.

ここで筆者がfoodとraw fishとの間にコンマを入れたのは、mainlyが修飾するのはfoodまでであることを意識しているためである。

三文目に移る。三文目はじめの「それに」については、鳥村がかん詰め類や刺身以外に購入したものがある、と解釈した。「彼はかん詰めや刺身以外にも、また、買った」と考えるとHe also boughtになる。

「生で食う野菜や果物がかさばった」の部分表現するには、二つの動詞が関係してくる。すなわち、「食う」と「かさばる」である。このうち、「かさばった」を省略しては、意味をなさない。しかし、「食う」は「野菜」を形容詞するものとして扱うことは可能である。

まず「かさばった」の処理をする。この場面がかさばっているのは、買った物をいれている袋であろう、と想像はつく。すなわち、ここを訳すときには、「買った物が、買い物袋をいっぱいにした」と考える。言い換えると、「買った物が買い物袋をいっぱいにせしめた」となるだろう。そこで、「使役」の意味を頭に浮かべ、次の英訳を示す。

Things made the shopping bags full.

次に「食う」の処理を考える。「生で食う」のは、「人間」がである。「生で食う」が修飾している先の「野菜」の立場からであると、「生で食べられる」という受け身になる。そこで「生で食う野菜と果物」を、ひとまず、“vegetables which were eaten raw and fruits”としておく。現在形とも解釈できる時制で「食う」と原文では書かれているのに、受動態の助動詞“be”を“were”と過去形にしているのは、一文目や二文目の内容を過去のこととして、読者が認識できるからである。三文目は、一文目や二文目と同じ時のことと考えるのが自然だろう。

今までの二つの動詞に関する部分をまとめてみると、次のようになる。

Vegetables which were eaten raw and fruits made shopping bags full. — ①

しかし、この英訳部分の前には、He also boughtがある。He also boughtのうしろに、①をついで英訳全部をみると、関係代名詞を含む節以外に、主になる動詞が二つになってしまう。“He also bought”と“…made shopping bags full.”のように。

二つの動詞boughtとmadeとのいずれかを英文から削ることはできない。それでは、どちらかを関係代名詞を含む節の中の動詞にしてみてもどうか、と考えてみる。筆者はmadeを関係代名詞が含まれる節の動詞として考えてみた。

なぜなら、もし、boughtを関係代名詞節の中の動詞として考えるならば、主語にあたる場所に先行詞となる名詞が必要である。

ところが、boughtの主語、“he”を関係代名詞として書き始めることはできない。なぜなら、もし、He who also

bought vegetables which were eaten raw and fruits made shopping bags full.と書くと、買い物袋を一杯にしたのは、彼ということになり、買ったものよりも、彼に読者の視点が移ってしまう。

さらに関係代名詞 who の先行詞を代名詞 “he” と考えることは関係代名詞の役割としてはありえない。なぜなら、関係代名詞は修飾する節のマーカ―となる役割の他に「関係代名詞」という語を示すように、代名詞としても機能しているからである。以上のように考えると、made を関係代名詞節内の動詞として扱うより他にない。

そのように考えると、“vegetables and fruits made shopping bags full.” を “which made shopping bags full” と書くことになる。すなわち、“which made shopping bags full” が “vegetables and fruits” の修飾部分として機能するのである。

しかし、ここで問題が出てくる。先に訳した、「生で食う野菜や果物」の訳も関係代名詞を用いているのである。すなわち、いままでの部分訳をつきあわせてみると、下のようになる。

He also bought vegetables which were eaten raw and fruits which made shopping bags full.

このような英文だけを見ていると、誤解されやすい。なぜなら、下線をひいた関係代名詞が表す先行詞が、あたかも fruits を示しているかのように見えるから、という理由のためである。それでは、どうしたらよいのか。“which were eaten raw” を異なった形で形容することを考えるのである。“which were” を省略して、ただ、“eaten raw” を “vegetables” のうしろに付け加えるのも良いかもしれない。

しかし、筆者は “to be eaten raw” を加える。なぜなら、おそらく、主人公が買った野菜や果物は、だれでも、いつでも生で食べることができる物だろう。動詞が実際の時制や主語に左右されずに成立するとき用いられる表現方法として、不定詞がある。不定詞を使えば、時制の一致などの条件にとらわれずに訳をすることができる。

三文目の英訳の最後として、fruits と which とのあいだにコンマを付け加えておく。そうすると、先行詞の内容は単に「野菜や果物」ではなく、「野菜や果物を買ったこと」が含まれてくるからである。第三文目の全体は次のようになる。

He also bought vegetables to be eaten raw and fruits, which made his shopping bags full.

四文目にことばを補いながら、英訳するときのものになる日本語の形を整える。「(彼の) 手一杯に (買物袋を) 抱えた姿は、制服を着ているため、あまり格好がよくない。」と解釈する。ここで、日本語の骨格にあたる部分は、「(彼の) 姿は、あまり格好がよくない」である。この日本語をさらに解釈を進めると、「彼は、あまり格好よくみえなかった」となる。そこで、この部分を He did not look good. と訳すことにする。

四文目のなかで、まだ訳していない部分は「手一杯に (買物袋を) 抱えた」と「制服を着ているため」とである。両方とも、島村の様子を形容している。この部分を節を用いず、そのかわりに前置詞を用いて訳すと、英訳が長くなることはない。英訳していない部分は、それぞれ前置詞句として訳すと、with his hands full (「両手を一杯にして」) と in his uniform とになる。

次に前置詞句を置く場所について考える。もし、何もニュアンスの強調がないのであれば、これらの前置詞句は先に訳した英文の骨格部分に、次のように組み込まれるだろう。

He did not look good in his uniform with his hands full.

「制服姿が、格好がよくない」のであるから、look good という動詞句のうしろで、なるべく近いところに in his uniform を置くべきである。そして、さらに「両手が一杯」な制服姿の格好がよくない、という条件がついて限定しているので、in his uniform のうしろに with his hands full を続ける。

ところが、原文を見ると、「制服の手前、」と読点で区切られているように、この部分は独立して、残りの日本語全体を修飾しているようである。そのことから、筆者は、in his uniform を英文全体の文頭に、もってくることを考えた。すなわち、In his uniform, he did not look good with his hands full. とする。こうすることで、両手一杯が格好がよくない、と思わせるのではなく「制服姿」だからこそ両手いっぱい姿が格好よくないのだ、と強調されることになる。

以上の訳は、句を利用することで、できるだけ名詞の修飾部分を短く抑えたものである。しかし、今から行う試訳 B-2 は、原文の日本語の短く区切られた感じからは程遠い。しかし、内容を詳しくしようと努力するものである。また、今から訳す英訳は、日本語に沿って、そのまま訳すところもあるが、解釈の流れによって、原文の日本語にはないものを加えることもある。

## 試訳B-2

Shimamura bought a lot at a supermarket. He had full bags in both hands. In the bags, there were food in cans, raw fish, and many fresh vegetables and fruits.

Shimamura wore his uniform while shopping. He did not look good in his uniform when he was carrying shopping bags in his both hands.

まず、原文の一文目である。「かなりな買い物をした」を、「たくさん買った」と解釈し直す。すなわち、He bought a lot at a supermarket.と訳す。

次に、原文の二文目と三文目とを見ると、島村が買ったものの具体化されたものが書かれている。つまり、二文目と三文目とに出てくる、商品を取り上げてみると、かん詰め類、刺身、野菜、果物である。このうち、かん詰め類を分かりやすく言い直すと、「缶の中に入っている食物」(food in cans)となる。

また、三文目の解釈である。「生で食う」野菜や果物は、新鮮でないと、生では食べられない。そこから、「新鮮な」という形容詞を考え fresh vegetables and fruits とする。そして、これらの「野菜や果物がかさばった」という部分は、「たくさん野菜や果物」と解釈しなおす。すなわち、野菜や果物に関する部分の訳は、many fresh vegetables and fruits となる。

さて、かん詰め類などは、買い物袋に入れられているはず、と想像を働かせるならば、「(彼の) 買い物袋には～があった」と、二文目および三文目とをまとめることは容易に考えることができる。そこで、there 構文を利用することを考える。

There 構文は、物の存在を表す構文である。しかし There is/are と比較される、Here is/are の構文もある。両者は、話者と対象物との物理的距離に違いがある。対象物に話者が近ければ、Here is/are を用いる。しかし、いずれの構文にせよ、話者が話題のトっかかりとして用いられることが多い。

たとえば、熱帯雨林の破壊について書いている中学校教科書では、次のように始まっている。

Look at this picture on the wall. There is a beautiful bird in it. It lives in the Sarawak rain forest in Malaysia.

— New Crown English Series 2 p28.

(下線は筆者による。)

この例の二文目が示すように There 構文の意味上の主語は、“a beautiful bird”である。“a”が示している主語には、限定の意味が加えられていない。そして、次の文で

主語が “It” となり、ここで限定がされる。このように There 構文は話題の提供の場として働く。

話をもとにもどす。さらに in his shopping bag を置く位置が、英文の文頭なのか、あるいは文末に置くのかについて考えてみたい。原文を見てみると、「買い物袋」ということばは、どこにも出てこない。しかし、スーパーで買い物をしたことがある人であれば、買い物袋を持って移動することを想像するのは、自然であろう。日本文の一文目と二文目および三文目とのあいだを自然な流れとするために、英訳においても、「買い物袋」に言及するほうが、突然「～が…にあった」とするよりも理解しやすいのではなからうか。

Halliday (1976) らによると、まとまりがある英文である、と聞き手や読者が認識するとき、五つの要因が、この認識に関係している。その五つとは、reference; substitution; ellipsis; conjunction; lexical cohesion である。これらが、どういうものかを簡単に見ておく。

すでに言及されている内容のうち、特定のものが二度目以降に繰り返されることがある。このとき、reference の役割を果たす言葉、たとえば代名詞が用いられる。reference によって繰り返される内容は、ある特定の言及されている内容そのもの自身や、そのものが含まれているクラスと同等のものである。たとえば、次の例において reference の役割を果たしているのは下線が加えられた they である、と Halliday らは説明している。

Three blind mice, see how they run!

They all ran after the farmer's wife,

Who cut off their tails with a carving knife,

Did you ever see such a thing in your life,

As three blind mice? (31)

ここで they が示しているのは、前に言及されている three blind mice であり、ふつうのねずみではない。

つぎの二つの要因、substitution と ellipsis であるが、先の reference と同様、繰り返しの際に用いられる。しかし、reference と異なっているのは、reference が意味上の繰り返しであるのに対し substitution と ellipsis との両方とも、文法上の繰り返しを示すのに使われる。substitution では代用になる言葉、たとえば下に示す例のなかの one などが使われるのに対し、ellipsis では、繰り返されることを省く。ここでは substitution の例をあげる。

My axe is too blunt. I must get a sharper one.

one が示しているもの、すなわち話者が欲しいのは、切

れ味が悪くなっている、現在私が持っている斧ではない。欲しいのは、新しく、今の斧よりも、よく切れる斧である。すなわち、oneが示しているものは、axeである。

次の要因 conjunction には、主に接続詞 (and; but など) あるいは接続詞と同じような働きをする語群 after all など) が含まれる。Hallidayらは、conjunctionの下位区分も行っているが、ここでは触れない。

最後の要因、lexical cohesionは、ある特定の言葉から連想できる別の言葉を使って、以前言及したこととの関連性を持たせることをいう。たとえば、次の例を見て欲しい。

There's a boy climbing the old elm. That tree isn't very safe.  
(280)

この場合、the old elmを繰り返す代わりに、that treeを用いている。that treeがlexical cohesionとして機能しているのである。

以上のHallidayらによる、五つのcohesive devicesを念頭に置いて、英訳に戻る。すると、「買い物袋には～があった」とする方が「～が買い物袋にあった」とするよりも読みやすいと思う。すなわち、試訳ではIn the bagsを英文の文頭に置いたものにする。

原文四文目を見る。まずは、三つの部分に分けてみる。第一部分 (以下①とする) は、「彼は両手一杯に袋を持っていた」とする。第二部分 (以下②とする) は、「彼は制服を着ていた」とする。ただし、ここで「買い物中に」という副詞句をここに加えておく。第三部分 (以下③とする) は「彼は、体裁がよくなかった」とする。ここに「買い物袋をさげている時」という言葉を加える。

さて、①では、島村が買い物袋をさげている場面である。ここは、“He had full bags in both hands.”と訳す。そして、これを先程英訳した文の1文目と2文目との間にはさむと、「たくさんの買い物」と「買い物袋の中身」との、つながりの流れが読みやすくなると思う。すなわち1文目の「たくさんの買い物」を具体的に“full bags”と書くことで、「袋」に言い換えている。さらに同時に、この英訳部分は、“In the bags”と始まる、次の文へ導入部分としての役割も果たしている。①を入れることで島村が、たくさん購入したことに対する描写がまとまった。

次に②と③とを見る。ここからは、島村の買い物の中身というよりも、島村自身の姿の描写として考える。そこで、原文の日本語の文における二文目までとは別の段落で書き始める。すなわち②の主語をHeにするよりもShimamuraの方が分かりやすくなる、と思う。

また、③についてであるが、先に訳した部分では、“with his bags full”とした。この“with”の使い方 (付帯状況)

をすると、英文が長くなりすぎることはない。だが、この使い方は、中学校の教科書には出てこない。そうすると、ここでも言い換えが必要だろう。「彼の制服姿は、～の時、格好よくない」と筆者は解釈した。「～の時」とは、「両手に一杯買い物袋を持っている時に」と考える。

### (3) ケースC

最後に選んだ日本語は筆者の勤務先近くの郡山城についてである。

#### 原文

室町時代に筒井順慶が郡山城を築き、そして天正13年(1585)には100万石の豊臣秀長が入城し、城下町は飛躍的な発展をとげた。江戸時代には水野→松平→本多と城主が変わり、享保9年(1724)からは柳沢氏15万石の居城となり、明治をむかえている。

—【歩く地図奈良・大和路】(54)

選んだ日本語は、日本語らしい性格であると筆者は考える。日本語らしく感じる理由は二つある。まず一つの理由は、一文のなかで、次から次へと主語が変わっていくことにある。だがこの点は、主語とそれに対応する動詞を着実に捉えることができれば、解釈し英訳するのは難しくないはずだ。

このケースのもう一つの日本語らしい点は、用いられている用語が日本の事情を踏まえる必要があることである。歴史用語を含め、いかにこなれた日本語にするかが、ここでの問題点となるだろう。ケースCにおいても試訳C-1とC-2とを独立して示す。

#### 試訳C-1

In the Muromachi period (1333-1568), Tsutsui Junkei built the Koriyama Castle. Then in 1585, a controller worth one million *koku* (a unit of measure based on rice production) of land, Toyotomi Hidenaga occupied the castle. (Since then satellite towns developed greatly).

In the Edo period, the owners of the castle changed a lot; first there was Mizuno, next there was Matudaira, and then there was Honda. Finally in 1724, the castle became the Yanagisawa's residence. The family controlled land worth 150 thousand *koku*. They lived there till the beginning of the Meiji period.

まず、一文目を見る。ここでは、二人の人物が話題にあがっている。一人が、郡山城を築き、もう一人が時をおいて城に移り住んだ、ということである。英文では、

たいてい一文には、一つのトピック、と限定がされているのがふつうであるので、試訳においても、一人ずつが行ったことを一文ずつ分けて訳す。

「室町時代」および「天正13年」は、日本独自の年号であるので、英訳する際には、西洋の年代を書き加える。これらと同様に日本独自の土地測量単位である、「石」にたいしても説明を加えるべきだと思う。ここでは、「米の出来高を基にした、土地の計量単位」と説明を加える。

また、この原文の第一文全体を通して見ると、郡山城の持ち主の歴史が書かれている。それに対して「城下町は飛躍的な発展をとげた」については、補足説明として英訳中では注釈の形で( )のなかに納めたい。なぜなら、この部分は、城主が統治した街がどうだったかについて書かれているのであって、城主自身については言及されていないためである。以上を踏み、原文の第一文を、三つの短文から成立させる。すなわち、筒井順慶についての文(以下④とする)、豊臣秀長についての文(以下⑤とする)、豊臣秀長が統治した城下町の発展ぶりについての文(以下⑥とする)である。すなわち、原文の第一文は郡山が城下町になるまでの過程を表わしている。

④ In the Muromachi period(1335-1568), Tsutsui Junkei built the Koriyama castle.

⑤ Then in 1585, a controller worth one million *koku* (a unit of measure based on rice production) of land, Toyotomi Hidenaga occupied the castle.

⑥ (Since then satellite towns developed greatly).

原文の二文目を見る。この文においては、主語が明確には書かれていない。そうであるので、英訳するために「郡山城は」という主語を補う。そして、この文においても、内容ごとに区切って訳すことを考える。

原文二文目の始めの部分(「…かわり」まで。以下⑦とする)は、城主が次々と変わったということをあらわしている。その次の部分(「…となり」まで。以下⑧とする)では、ついには、城が柳沢氏のものになった、ということを表わす。原文第二文目における分割の最後の部分(以下⑨とする)は、柳沢氏が城主のまま明治時代になった、ということを表わしている。すなわち、原文二文目では江戸時代における城主の変遷がテーマである。

その原文二文目において、まわりと異なっている日本語の部分は「柳沢15万石の居城」である。(下線は筆者による。)この下線部分を「柳沢氏は15万石分の領地を統治していた」と解釈するのが妥当だろう。(以下⑩とす

る)しかし、問題は、下線部分を⑧の Yanagisawa's residence と関連させるのは難しいことにある。すなわち、関係代名詞などで下線部分と⑧とを関連づけるのは、困難である。

なぜなら、⑧においては「柳沢氏」が所有格として扱われているのに対し、下線部分における「柳沢氏」は主格として扱われているためである。すなわち、つぎのような英文は認められないだろう。

Finally in 1724, the castle became the Yanagisawa's (The family controlled land worth 150 thousand *koku*) residence.

それならば、どうすればよいか。筆者は⑧を書き終わるとすぐに⑨に移るのではなく、⑨に入る前に、先の下線部分を書くことにした。「城に入る」＝「支配する/統治する」ということであるから、⑧の直後に補足とし⑩を( )に入れなくても、不自然さはない、と判断したためである。

さて、⑨であるが、さらに言い換えをすると、「柳沢家が、明治時代になった時も、郡山城に住んでいた」と訳せばよい。もっといえば、明治時代の終わり頃には、郡山城が柳沢氏の城であったのかどうかは、読者にはわからないままである。しかし、明治時代に入った当初は、城が柳沢氏のものであっただろう、と想像はつく。そのため、「明治時代の始めまでは、彼ら(＝柳沢家の人々)は、そこに住んでいた」と訳しても問題はない。

⑦ In the Edo period(1600-1868), the owners of the castle changed a lot; first there was Mizuno, next there was Matudaira, and then there was Honda.

⑧ Finally in 1724, the castle became the Yanagisawa's residence.

⑨ The family controlled land worth 150 thousand *koku*.

⑩ They lived there till the beginning of the Meiji period.

原文の日本語は二文だけであるが、英訳にしてみると、下線部分を含め7文になった。以上のようにして書いたものが、試訳C-1である。

さて、この試訳C-1の英文は、構文としては単文のみを使っているのだから、節がない分、読みやすい。しかし、worthをはじめ occupied / satellite /developed /residence といった、中学生は学ばないだろう単語が、たくさん出てき

ている。そこで、もっと単語のレベルを中学生が学ぶレベルに近い単語を使用した訳にしてみたい。(試訳C-2)

#### 試訳C-2

In the Muromachi years, Tsutsui Junkei built the Koriyama castle. In 1585, Toyotomi Hidenaga, who was a land owner of one million *koku* (here *koku* means a unit of land measure) moved to the castle. (Towns around the castle began to be busy after that.) In the Edo years(1600-1868), the owners' family of the castle changed one after the other; first the Mizuno family, next the Matudaira family, and thirdly the Honda family.

Finally in 1724, the Yanagisawa began to live there. They had land of 150 thousand *koku* of rice. They lived in the castle until the Meiji years began.

一文目から見る。一文目を試訳C-1と同様の意味のグループに分けて訳す。まず、先程の④にあたる場所である。(以下⑪とする)ここではperiodが難しそうな単語であるため、periodの代わりにyearsを使う。すなわち、In the Muromachi years, …と訳す。

⑪ In the Muromachi years, Tsutsui Junkei built the Koriyama castle.

その次の⑤にあたる場所では二箇所、先程とは構文を変える。(以下⑫とする)一箇所目は、⑤において「同格」として扱った部分 [a controller worth one million *koku* (a unit of measure based on rice production) of land, Toyotomi Hidenaga] を Toyotomi Hidenaga, who was a land owner of one million *koku*のように関係代名詞を用いた構文にした。これは同格よりも関係代名詞の方に、学習者が馴染んでいる、と筆者が考えたためである。

もう一箇所、構文で変えたところは、「石」の説明部分である。C-1ではmeasureをbased on rice productionが後置修飾した。しかし、動詞の過去分詞による修飾(とくに後置修飾)は、関係代名詞に習熟しないと理解し難いと思われる。そこで、「石」が何を基準にした単位であるかには触れずに、「土地を測る単位」であることのみを説明することにした。

また⑤では豊臣氏の入城を「占める」という語彙で示した。このなかには、筒井氏と豊臣氏とのあいだに、何らかのやりとり、たとえば戦争であったかもしれないし、話し合いであったかもしれないが、やりとりの結果、豊臣氏の入城となったのである。

ところが、試訳C-2においては、両氏のやりとりの

過程を無視して、事実として豊臣氏が郡山城に移ったことを述べている。この訳には「入城」からイメージとして連想される「戦いの勝ち負け」は反映されていない。

⑫ In 1585, Toyotomi Hidenaga, who was a land owner of one million *koku* (here *koku* means a unit of land measure) moved to the castle.

⑥にあたる部分は、言葉の言い換えを増やした。(以下⑬とする)まず、「その後、城の周りの街は、忙しくなった」と解釈しなおす。最初の「その後」であるが、⑫で豊臣氏の話が話題になっているので、⑫全体をthatとして考える。次の「城下町」であるが、「城の周りの街」と考える。

⑬の最後の部分であるが、原文では「飛躍的な発展をとげた」になっている。しかし、この日本語を、抽象的な単語を用いずに表現しようと思えば、具体的な街の様子を頭に思い浮かべることが必要である。街がよく発展することにより、人通りが多くなり、人々が、せわしく動いている様子が筆者には見える気がする。そこから「街がいそがしくなった」という日本語が頭に浮かんだのである。同じ日本語の言い換えをするのでも、言葉の意味をやさしい語彙で説明する場合と、⑬の例が示すように、訳そうとする言葉から導かれる結果などのイメージを表現する場合とがある。

⑬ (Towns around the castle began to be busy after that.)

原文二文目に移る。今回の訳のうち、先の⑦に対応する部分(以下⑭とする)の内容は、江戸時代当初の城主の変遷である。先程の室町時代の時と同様に、江戸時代をthe Edo yearsと訳す。

⑭ In the Edo years(1600-1868), the owners' family of the castle changed one after the other; first the Mizuno family, next the Matsudaira family, and thirdly the Honda family.

その続きの部分の「城主がかわり」は、「城の主の家族は、一家族の次に別の家族が来た」と考える。ここでセットフレーズであるone after the otherを使ってみる。このフレーズは中学生には耳慣れないかもしれないが、単語のレベルでは『中学校学習指導要領』に示されているものばかりである。

次に⑧に対応するところ(以下⑮とする)を検討する。ここでは、柳沢氏が城主になったことを表わす。先の⑭と同様に「城の持ち主は～」としてもよいが、単調な文

を続けないうために、ここで主語を変える。すなわち、「1724年に、ついに柳沢氏の家族が、そこに住み始めた」とする。なお、柳沢家は、明治時代、爵位として伯爵を与えられている。すなわち格としては英国流に言えば Earlである。しかし、そうした歴史的な視点は、高専生の英訳においては、暫時、省略せざるをえない。

⑮ Finally in 1724, the Yanagisawa began to live there.

先のC-1においての⑩「柳沢氏15万石」は、本来であると、その広さの土地を「支配した」というニュアンスが必要である。しかし、同じ内容を「柳沢氏は15万石を所有した」と書いても、柳沢氏の影響力が15万石にかかることには変わりがない。そこで「支配」のニュアンスを「所有」と考え直して、日本語の解釈とする。すなわち、⑨に対応する⑯では、「柳沢家は15万石を産出する土地を持った」と考える。

⑯ They had land of 150 thousand *koku* of rice.

最後に⑯に対応する部分（以下⑰とする）について見る。内容は、⑩と同じことを訳す。ただし、語彙の面で前置詞句を使うかわりに副詞節を使うことにする。すなわち、C-1においてはthe beginning of the Meiji periodとしたところを、ここではthe Meiji years began.とする。

⑰ They lived in the castle until the Meiji period began.

ここで⑩～⑰のように訳した英訳を見直してみる。すると、⑮～⑰にかけての部分は共通して、柳沢氏の家族について書かれている。そのため、これからの英文は、郡山城をめぐるの人物の変遷を追った⑩～⑭の部分とは別の話であると解釈できる。

### 3. おわりに

今回、筆者が英訳をするならばという設定で、どのように英訳にする前の段階の和文を考えるかを示した。

まず主語をどう選ぶかによって、その主語を含む文の焦点が変わってきて、ひいては全文とのつながりが薄くなることもありえる。試訳B-1の三文目における関係代名詞が、たとえば、この例にあたる。同じパラグラフ中にある問題の文よりも以前の文では、「買ったもの」に焦点がある。それに対し、関係代名詞の選び方によっては、焦点が「買ったもの」よりも「買った人」に移ることも

ありえる。

また、日本語を読む時には少しも意識はしていないが、知らない間に主語を補って読みすすめることを、日本語を使える者なら行っている。だが、それは日本語における主語であって、必ずしも英語の主語とは重ならない。たとえば試訳C-1の⑧とC-2の⑮における主語である。「郡山城は」という主語を補うことは、まず日本語からは想像しやすい。だが、residenceという言葉（あるいは、ここはhouseでも良いかもしれないが）を思い浮かなければ「或る人が住んだ」という試訳C-2の⑮の形にすることも言い換えの可能性として残る。

「主語をどう立てるのか」を意識しないと、英文を書くのは難しい。特に、英訳に慣れない高専生の指導において、そうである。そこには、日本語と英語との相違による思考の相違という比較文化論的問題が横たわっている。今後、さらに「主語の選び方をどう考えるか」を指導する方法について、検討してみたいと思う。

### Reference

- 浅野 博ほか. 1998. *New Horizon English Course 3*. Tokyo: Tokyo Shoseki.
- 安藤美紀夫. 1981. おかあさんだいきらい 東京: 童心社
- 島岡 丘ほか. 1997. *Sunshine English Course 3*. Tokyo: Kairyudo.
- 多岐川恭. 1983. あなたの隣に犯人が 東京: 講談社
- 野間佐和子. 1996. 英語で読む日本史 東京: 講談社インターナショナル
- 松本道弘. 1983. 英語でロジックに強くなる 東京: 講談社
- 森住 衛ほか. 1997. *New Crown English Series New Edition 2*. Tokyo: Sanseido
- 森住 衛ほか. 1997. *New Crown English Series New Edition 3*. Tokyo: Sanseido.
- 山内一朗. 1995. 歩く地図奈良・大和路 東京: あるっく社
- Halliday, M.A.K. and Ruqaiya Hasan. 1976. *Cohesion in English*. New York: Longman
- Hornby, A.S., Gatenby E.V., and A.H. Wakefield. 1941. *Idiomatic and Syntactic English Dictionary*. Tokyo: kaitakusha
- Swan, Michael. 1980. *Practical English Usage*. Oxford: Oxford University Press.
- Opie, Iona and Peter Opie. 1955. *The Oxford Nursery Rhyme Book*. Oxford: Oxford University Press.



## 鶴見俊輔における個人と組織の問題について

## A Study on Individual and Organization of Shunsuke TURUMI

Tsuneyuki KIMURA

木村 倫 幸

あらゆる社会変革の運動が人々の集団による運動である以上、組織の問題を避けて通ることはできない。ところがわが国の従来の社会変革の運動では、組織とは、とりもなおさず先進的意識を持った集団のことであり、この組織が、前衛として存在し、その後に民衆が意識を注入されて従う、という形態が常識とされてきた。それ故民衆の間で、日常生活の経験から自然発生的に出現してきた社会変革の方向性を持った運動は、時にはその先駆性を評価されながらも、初歩的な、どちらかといえば一段レベルの低い運動形態とされ、いずれは「正統的」な社会運動によって取って代わられて組織的に発展させられるべきものと見なされてきたのである。しかもこれらの運動がそのように移行していくべきであるとの説明は、そのさまざまな流派を越えて左翼勢力一般に共通の認識であったと言えよう。

しかし「正統的」とされた左翼勢力が崩壊した現在、社会変革の運動とその組織の問題は、今一度問い直されてもよい時代に来ているのではないかと考えられる。そしてその場合に思い起こされる必要があるのは、社会変革の運動が組織的な運動であったとしても、そこに参加結集しているのは個々の人間たちであり、彼らの置かれているさまざまな意識や状況を抜きにしては運動を語ることはできないという単純な事実である。換言すれば、社会変革の運動自体が統一した明確な理想的目標を持つことができなくなったのと反比例して、逆に、各個人がそれぞれの立場から、それぞれの状況に応じて参加していくことのできる運動の形態が求められているのである。それ故この運動の形態には、従来の運動では問題とされなかった雑多さ、進み具合の差が伴い、これについて運動参加の側でも従来の社会変革の運動のイメージとは異なる意識の変革が迫られているのである。

そして戦後から現在にいたる運動において、この点に注意を喚起し続けてきた一人が哲学者鶴見俊輔であろう。鶴見は、自らの立場を「私的な根」と規定し、そこから日本社会に対して積極的な発言と行動を続けてきたが、その姿勢に右の問題が深く関わっていることは疑えないところである。本稿は、鶴見の提出した視点の解明を通じて、社会運動における個人と組織の関わりあいの問

題を探っていく。

## 二

鶴見の因って立つ視点が「私的な根」であり、「普通人の中にある革命性」であることを、これまで指摘してきた。<sup>①</sup>これは、「もともと小さな私の中にひそむ可能性への信頼」<sup>②</sup>という言葉で示されているように、その根拠を自分の内部に持つ視点である。鶴見は、この視点について、「子どもの眼」に起源を求め、そこから、「子どもの時の自分の眼を、自分の中にどのように保ち続けるか」<sup>③</sup>という問題として、次のように述べる。

「自分の底においていくと、一枚というよりも、何枚かの絵が折り重なっていると思います。古い古い記憶というのは、絵の柄になっているんですね。それが一枚の絵だからこそ、その後の自分の生きていく、その時その時の脈絡の中において見る時に、別の新しい意味が、同じ絵の中から見えてくる」(同)。

ここには子どもの思想の起源とその成長を絡めて、人間の重要な思想的課題が語られている。すなわちわれわれは、人間自身の精神の奥底にある「自分じしんを育ててくれる内部の力、要するに内燃機関みたいなもの、エンジン」(一〇一八四)、あるいは「自分の中の秘密の自分」(一〇一七〇)の存在を自覚していくところに鶴見の視点が据えられていることを見なければならぬであろう。この「子どもの眼」がどのようなものであるか、どのような意味をもってあるか、は不明であり意味を持たないものではない。しかし「誰にたいしても必ず、誰にたいしてもけっして明かさなない自分の部分」(一〇一九四)が自分の根であること、そしてこれと現在の自分を結びつける「自分の内部で行われる演算」(二〇一七〇)こそが人生の重要な演算であると鶴見は指摘する。

このことは、換言すれば「自分を分割して、今自分のいるところを別の人間の視点から見ると」(二〇一七九)ということになる。これが「子どもの眼」であって、鶴見の視点の奥底に据え付けられた「自分を分割して」「分裂して考える」ことの重みは、個人から発し組織的な運動へ移行していく場合にも、一貫したものと主張される。そしてこれは、次のような主張となつて、日本の教育・社会に対する批判に通じる。

「子どもの眼がわれわれの中に生き続けられれば、われわれは大人になつて、老人になつていくわけですから、自分の中に分割するカラクリができるということになります。考えることができるようになる。ただし機械にはなりにくくなりますよ。一致団結の姿がやっぱり機械の姿なんですね。だけでもわれわれは、現状にたいして不同意の自分というものをもっていなければならぬし、自分の中に不協和音というものを抱いているような人間にならなければ、どうも困るんですね」(同)。<sup>④</sup>

自分の中における「不協和音」を抱く、自分を「分割して」「分裂して考える」という視点は、自分自身を客観化して考える契機を与えると同時に、その客観化された自分と関わるもう一つの自分を感じる契機を与える。そしてそのような関係が全体として、自分の存在を普遍性の原理へと委ねてしまわないための主体性を示すことになるが、この主体性はまた、自分自身を完全性や完結性として示すのではなく、あくまでも不完全・不完結のものとして認識する。そしてこの点に他の個人との結びつきの場の特徴が生じる。

## 三

右に述べた他の個人との結びつきの場として、まず家・家族がある。鶴見によれば、「家というものは、いつ家人に殺されてもよいという覚悟にむすばれた場であると言える。そういう場で、体力差のあるもの、知力差のあるもの、関心の差のあるもの、かせぐ力の差のあるものが、たがいに助け合つて、共同のくらしをたてている。それが家という、おたがいをそだてる場であり、その場をなりたせるものと力として、おたがいにたいしてはたらく親和力がある」(二〇一一〇)とされる。

ここで言われている「親和力」(そだてあいの関係)が家・家族を成立させている基本的な要素であり、この力が、家・家族の発端である性に対する欲望や生殖に対する欲望よりも大きいとされていることが留意されねばならない。このことは、鶴見が井伏鱒二の小説「黒い雨」を引用しつつ家族のあり方を問いかける時により明確になる。

井伏の小説は、広島で原爆に打たれた人びとが、市外に逃れていく様子を描

いたものであるが、その中で主人公が小学校一年ぐらいの男の子と出会う場面がある。これについて「自然にそこに道づれの間柄が生じる。しばらくの道を歩く時の、おたがいに對する痛いほどの共感。情が移ってしまわないために、無理しても、名前を聞くまいとする抑制。つかの間のこの切実な助け合いが、家のつながりの原型であると思う」(一〇一―三三)と述べる鶴見は、まさしく「不釣合の力をもつ数人が助けあう時」(一〇一―三八)、そこに家・家族の本質を見る。

この「能力にちがいのある相手を助けようとする気組み」(一〇一―二五)という視点は、先述の、自分を「分割して」「分裂して考える」視点、自分を不完全・不完結なものとして認識する視点と共通のものを有している。すなわち自分についてと同様、家・家族についてもそれを完全・完結したものとしては見なさないという姿勢であり、その不完全性・不完結性の存在、置かれている状況による変化を許すということである。

この点について家・家族の視点が陥ってきた過去について、鶴見はこう批判する。

「家は、人間の生命の連続を保證する場所と言える。(略) そのうけつぎが、特定の人から人へとなされてゆくので、その特定の人たち以外のものをのけものにするという性格をもちやすい。／家の中のものにたいしてはかぎりなくゆるし、家の外のものにたいしては、家の中では考えられないような冷酷さをもつてたいするという二重の態度は、国のレベルでも、明治以後にくりかえされてきた」(一〇一―三三)。<sup>⑤</sup>

これは、家を無条件に完成・完結したものと見て、その見方を押しつけていく傾向に対する批判であるが、このように完全な思想・普遍性の原理によって一色に塗ってしまうということに対して、鶴見は、絶えず警戒を呼びかける。そしてこの姿勢は、集団・組織に対する態度についても同様である。

#### 四

右のような鶴見の姿勢は、社会運動の地平に写された場合、大規模な組織よりも、まずもって家・家族に近い形の集団であるサークル運動にその特徴を見

出すことができるであろう。

サークル運動が何であるかということは、この言葉がわが国に入ってからの変遷を考慮しても、厳密に定義することは難しいが、一般には文化活動を担う小さい集団と言えるであろう。鶴見はこれを「おたがいに顔を見られる、あるいは全然同席できないような条件ならば、何らかの仕方でおたがいをしっかりと見わけられる(個体識別)というくらいの小さい集まり。そういう集まりをおしてすすめられる文化活動」(九一―一〇〇)と定義する。この場合に文化というものが広く理解されて、生産、衣食住の生活様式、遊び、休息の仕方等々にいたるまで含まれている。

そして鶴見は、このサークルの基礎に、明治以降に日本に入ってきた自由主義(これには、重臣型自由主義と知識人型自由主義の二つの型がある)とは別に、「明治以前から、日本の民衆の間にさまざまの会があり、おかみの支配の及ばぬ空間を大切にしてくこうという習慣があった」(九一―九六)と指摘する。すなわち、重臣型自由主義(英国流の秩序を手本とする自由尊重、議会内部における自由の尊重)や知識人型自由主義(二〇世紀初頭の欧米で尊重されていく程度の言論表現・知識獲得の自由を求めた)とは別個に、これらに還元できない「民衆相互の互いを尊重する習慣」(九一―九七)がサークルの内部に生きていくのである。

「たかが老人の盆栽いじり、田舎もののひねる月並俳句と、ヨーロッパ近代文化の規準によって軽んじるのも、一つの正当さをもっているだろうが、盆栽も月並俳句も日本の民衆の習慣として、ぬきがたい意味をもつことにも気がつくほうがいい。そこには、前衛政党の支配、社会主義社会の成立以後にも、生きのびてゆくであろう民衆の自由への希望がこもっているものと私は思う。(略) 千年の眼をもつてすれば、それらのいくらかひねこびた現在形をおして、日常生活の小さな物をいかにして自在な生き方を演じようとする市井人の志をうかがうことができよう。一つ一つのサークルは、ひしゃげた小宇宙なるままに、当事者それぞれの、生き方への願いをうつつしている」(同)。

この鶴見の言葉には、サークル運動の持つ本質が示されている。そしてここからサークルの特色として、「つきあい」、「つきあいの成熟にかける時間」、「自我のくみかえ」、「あいまいなものの存在が許される思考の場面」、「過程そのものに打ちこむ態度」等が指摘される。特に最後の事柄については、次のように

語られる。

「自律的に一個のサークルとして計画をたてて長期にわたって活動をつづけ、ばらばらの能力が結びついてゆくことが見られ、一つのことにおいて先んじるものの力、おかれているものの力が、たがいに共有されて一つの力となつてはたらくことがみられる。おかれている力とむすびつくことによって、すすんでいる力は、それ自身で孤立して前に進むのとはちがう何か貴重なものを得てゆく」(九一—一〇二)。

これから明らかなように、サークルには、個人の場合における、「自分を分割して」「分裂して考える」視点、家・家族の場合における「親和力」と共通のものが存在する。つまりサークルにおいては、さまざまな価値観が出会う過程が重要なものであり、絶えず「仮とじの本のような形」(九一—一〇二)で「あいまいなもの」の存在を許容する。そしてこの中でサークルに参加する諸個人が共有する思想にも、社会で一般に考えられているとは異なる特徴が見られる。

「サークルにおいては、話すことが考えることになりうるし、考えながら話すこともできる。他人の主張をとりいれて、自分のものとして話すこともあたりまえのことと思われる。思想実現の領域に限られていることではあるが、ここでは、私有は越えられており、ここに、サークルがこれに属するものにあたる豊かな感覚の源泉があると思われる」(九一—一〇二)。

この指摘は、サークルを構成する民衆の姿勢を端的に示している。民衆はここで、自分の感性や習慣としてこの態度を自然のうちに採用するのであり、「社会習慣としての民主主義」(九一—一〇二)として獲得する。<sup>⑥</sup>

このように鶴見は、個人、家・家族、サークルを通じて、その基底に存在する「不協和音」「あいまいさ」あるいは「雑然さ」とこれに伴う自助的な「助け合い」の態度が自然発生的な民衆の態度として根づいており、いわば「大衆の知的伝統」<sup>⑦</sup>として存在していると主張する。そこで次にはこうした態度と、社会変革の運動との関わり方が問題となってくる。そしてこの問題において、従来の運動では考慮に値しないと見なされてきた自然発生的要素の意義が浮かび上がるのである。

## 五

さて以上のように鶴見の視点には、民衆の間に存在している幅広い「雑然さ」が不可欠のものとされているのであるが、それはまた思想的には、さまざまな立場を是認する多元的なものである。ところがまさにこの点に最大の問題が存在する。というのも鶴見の視点と正反対の立場が、従来の日本の社会変革の運動、とりわけ社会主義を目ざす運動において、伝統的に正しいとされてきた立場であつたからである。すなわち「雑然さ」や「あいまいさ」ではなく、一致団結と規律、思想の一元的な純粋化が最大の目標とされたということを指摘しておかなければならないであろう。しかもその際、思想の領域に言及すれば、意識的なもの——特に社会主義変革を目ざす意識と理論は、大衆・民衆の内部から自然発生的に出てくることはできず、進歩的知識人と運動を推進していく指導者によって、外部から注入されるべきであるとされたのである。それ故民衆は、この知識人と指導者の意識と理論に従い、自らを革新的に変革してはじめて社会変革の運動に参加寄与できるとされた。

このことを過去社会主義運動の最大の指導者として圧倒的に支持されて来たレーニン (Lenin, V. I.: 一八七〇—一九二四) の主張から示してみよう。

レーニンは、「革命的理論なしには革命的運動もありえない」<sup>⑧</sup>とする立場から、社会変革の運動における理論闘争の意義を強調し、この問題に即して「意識性と自然発生性との関係」<sup>⑨</sup>を次のように述べる。

「われわれはいま、労働者は社会民主主義的意識をもっているはずもなかった、と言った。この意識は外部からもちこむはなかつたのである。労働者階級が、まったくの独力で、組合主義的意識、すなわち、組合に団結し、雇い主と闘争をおこない、労働者に必要なあれこれの法律を政府に公布させるためにつとめる等々のことが必要だという確信しかつくりあげえないことは、すべての国の歴史の立証するところである」<sup>⑩</sup>。

すなわち労働者階級・民衆の自然発生的意識は、せいぜいのところ組合主義止まりであり、社会の改良主義的要求の枠を越え出ることにはできない、社会変革の意識・社会主義形成の理論は、彼らに対して外部から注入される以外にない、というのがレーニンの主張である。ここからは直接に、社会変革の運動に

関して、意識性の全能化と自然発生性の排除が結論される。それは現実には、民衆に対して「科学的」社会主義の理論を押しつけ、それによる社会運動の組織を押しつけることとなった。そしてこの思想の純粹化、組織の純粹化こそが運動を評価する基準となったのである。それ故、民衆の持つ「あいまいさ」「雑然さ」は、「知的伝統」として評価されるどころか、一刻も早く克服するべき対象、運動に対する阻害要因としてしか見なされなくなった。このような状況が、従来の社会変革の運動の主流として君臨してきたことは周知の事実である。①

## 六

このような運動のあり方に対する鶴見の立場は自ずと明らかである。これについて鶴見は、次のように述べる。

「社会批判の運動は、しばしば、というよりも、ほとんどいつも、自分たちの運動そのものの絶対化を前提としている。そこから、社会批判の運動には、それが科学を看板にかかっている場合にも、狂性がつきまとい、しかも、みずからの狂性に眼を向けようとする意志をもたない。自分たちの考え方は狂信的でないとはじめに措定することによって、狂性の探索と認識とを、あらかじめ原理的に排除している」(九一―二七)。

「私は好みとして、思想を純化する、純粹化していくことに反対なんです。思想にとらえられると、そういうふうになりやすい。思想は感情の中で育まれるので、それは思想を育んだ感情に対する一種の批判なんです。／＼ユートピアを思い描いて自分を純粹化する。」「このように生きたい。だから機械のように正確になりたい」――自分がそれをどこで思いついたのかということとを全部消しちゃって、機械の運動としての論理計算だけやりたい。たしかに、それを通していくらかの発見ができるというのにはわかりますよ、われわれは自分という機械に依存しているんだから。(略)だけど、一体化したと信じるどころから、逆にそれを守りきれないときにその罰を受ける」(K・上―二六五)。

これらは、従来の社会変革の運動において見落とされてきた重要な点を明らかにする。それは、正義、進歩、科学がわが方にありとして運動を推進してい

く人々が陥る絶対化、純粹化さらには狂信化への危険であり、権力批判・反権力の運動自体が持つ、この思想を他に押しつけていく権力構造である。鶴見は、これまでと同様、個人、家・家族、サークルにおける視点から、社会変革の運動に対しても、そこに柔軟さ、相対化の要素が不可欠であることを指摘する。これは、原理をそのままある状況に適用していくのではなく、状況そのものが原理のみでは把握できないという認識を伴う視点であり、原理を状況から見直す視点でもある。鶴見は、この視点が社会変革の運動に欠如してきたことが、運動における不毛な論争と押しつけを生み出したと見る。そして状況の中から新しく考えていくという姿勢の重要性を強調する。「かくあるべし、かくありたいと真円のような空中の思想を押しつけたがる人はいます。けれども、庶民の方は、つねに地上に足をつけて歩いていきたい」②、あるいは「原理原則を押しつけることに対するある種のこっけいさと、その非人間性」③という鶴見の指摘には、社会変革の運動における民衆不在の場での原理をめぐる空論と決めつけと押しつけの歴史に対する痛烈な批判が存在する。

それ故、この運動における柔軟さ、相対化の要素とは、運動の観点から言えば、運動自身が社会・民衆に向かって開かれており交流があること、そして民衆との比較によって運動の置かれている位置を絶えず確かめていくことを意味する。先進的意識を持った部分が民衆を指導していくような場合でも、その理論なり思想なりを押しつけることのないような態度と保障が必要とされるのである。④

## 七

さて鶴見のこの観点は、社会変革の運動に対してのみならず、これと峻立する国家権力に対しても貫かれていることが指摘されねばならない。これはもちろん「私的な根」において日本の国家機構と対峙する姿勢であるが、そのあり方を鶴見はアナキズムと名づけ、この意味について、「十八史略」の一例を引いて、次のように説明する。

「山の中に行くとき土くれを打って唄を歌っている人がいる。腹つづみを叩きながら。「日が出れば仕事をして、日が入れば休む。井戸を掘って飲んで、田

を耕して食う。帝力我において何をかあらん」／(略)これがアナキズムを考  
えるときの元のモデルのような気がしますね」(K・上―二六五)。

そして鶴見によれば、この解釈には三通りあるとされる。すなわち、A「統  
治能力を意識させない為政者の風格」(K・上―二六八)、B「統治なんてわず  
かなものだという為政者の自覚」(同)、C「生活は政治を含めて、おおかたは  
無意識の過程であるということ」(同)である。このうちアナキズムにとって  
重要とされるのはBとCであるが、このような国家に対する態度は、国家権力  
と抗争してこれを打倒廃絶するというものではなく、「国家について沈黙と不  
信を貫いていく」(K・上―二六九)態度とされる。

「国家を相対化するというのは国家を潰すことじゃないんですよ。宗教があ  
り知識があると、一つの体系が存在全部を貫通すると考えてしまう。私はそれ  
に反対なんです。個人、村、町、市、国家とだんだん大きくなっていく体系が  
真だとは思わない。世界国家ができたって、おれとは関係ない・・・この視線  
が大切なんです」(K・上―二七三)。

ここから鶴見は、「無所有の政治学」、「無所有の側からの国家批判」(K・上  
―二八五)をアナキズムの真の意味とする。それは、「無所有のところは、国家  
が細目を決定するのではないが、しかし公パブリックなんです」(同)とす  
る立場であり、これによって「私、公、国家と区別する政治学」(同)がつく  
られるべきであると示唆する。このことは、公Ⅱ国家という明治以後に刷り込  
まれた観念を徹底的に再検討し、「ふつうの人間にとつての政治学」(同)こそ  
が自然であるとする主張となる。それ故、政府・官僚の近代国家による思想・  
政策の画一的な押しつけに対しては、当然のことながら反対の立場をとる。近  
代国家への批判は、この視点からなされる。

「軍事的・経済的競争を主な目的とする国家は、その国民を均質化してゆく。  
国家の内部にデコボコがあることを許さない。デコボコをならしてゆくことを  
通して、文明生活のより高度の能率を実現するのである」<sup>⑤</sup>。

「そういう進歩を国民生活の目標とするなら、身障者は足手まといである。  
進歩の足をひっぱる人口ということになる。官僚の中心部をつくる健全な中  
年の男たちの文明観からすると、その足を引っ張るものとして老人があり、そ  
して乳幼児もいるだろう。アジア、アフリカの人びともまた、後進国民として、  
進歩の恩恵にあずかるとしても、進歩の足をひっぱるものというまなざしをさ

けることはできない。／だが中年はあかん坊からそだったものであり、やがて  
老いる。国家間の軍事的・経済的競争によって進歩する文明への賛美は、私の  
ように老年の身障者の眼からみると、うけいれがたい」<sup>⑥</sup>。

## 八

以上われわれは、鶴見の依って立つ視点を、不十分ながらも個人、家・家族、  
サークル、社会変革の運動そして国家権力との関係という諸段階において検討  
してきた。この検討過程で明らかになったことは、鶴見の言う視点が、いかな  
る場合にも自立した自己、「私的な根」の上に置かれているとはいえず、その自  
己そのものは絶えず自分を「分割して」「分裂して考える」という本質を持つ  
ものであるということ、常に不完全性・不完結性の認識を伴うということであ  
る。それは集団・組織における「あいまいさ」「雑然さ」、包容力の承認という  
ことであり、この視点を絶えず強調してきた鶴見の主張は、国家権力の押しつ  
けに対する粘り強い抵抗の力となると同時に、社会変革の運動に対してもその  
内部において押しつけの権力構造が成立するのに対するブレーキとして作用し  
てきたと言えるであろう。すでに見てみたように、思想の純粹化・普遍化の傾  
向こそが運動自体の慢心を示しているからである。

この意味で自己の根拠として「思想の準拠わく」(九―一六)を示唆する鶴  
見の次の指摘は、深い意味を有している。

「現代の社会の複雑なルールを一度は、もっと単純なルールにもどって考え  
直すべきなのだ。そうでないと、われわれは、今偶然にわれわれをとりまいて  
いる社会制度に引きずってゆかれるだけになる。われわれは、現代社会のまっ  
ただなかに、ひとりひとりが、自分ひとりで、あるいは協力して、単純な生活  
の実験をもつべきだ。そこがそのままユートピアになるというのではなく、現  
代の権力的支配にゆずらない生活の根拠地として、思想の準拠わくとして必要  
なのだ」(九―一五―一六)。

しかし、鶴見の視点の現代において持つ意味が右のように把握されたとはい  
えず、そこにはなお少なからぬ課題が存在していることを指摘しなければならな  
い。それは、鶴見の持つ視点の的確さ、有効性のちょうど裏返しの問題である

と言えよう。すなわち個人に関して言えば、自分を「分割して」「分裂して考える」「自己は、またエゴとしての自己を生きる自己」であり、家・家族の「親和力」はまた分裂分散しつつある現実の家族であり、「あいまいさ」の存在を許す組織は、また分裂し有効性を持たぬ組織となるという問題等々である。鶴見の立場からすれば、彼の視点は、ある傾向に対する「反傾向」ではなくて、「非傾向」ということになるが、この独特の視点そのものが持つ有効性の検討——それが鶴見の思想の基底であるプラグマティズムの検討を不可欠のものとする——が必要ないように思われる。

しかしかかる課題を残すとはいえ、鶴見の視点は今なお有効であり、この視点が社会変革の運動・組織の中にどれだけ拡大定着しているかということがその運動・組織の民主主義度を測定する基準であることは疑えない事実であると言わねばならないであろう。

### 註

- ① 拙稿「鶴見俊輔の自立の思想について」、奈良工業高等専門学校紀要第三三三号、一九九八年。
- ② 「鶴見俊輔集九 方法としてのアナキズム」、筑摩書房、一九九一年、一七七ページ。以下本書からの引用は、(九一―七七)等と表記する。
- ③ 「鶴見俊輔集一〇 日常生活の思想」、筑摩書房、一九九二年、七〇ページ。以下本書からの引用は、(一〇―七〇)等と表記する。
- ④ このことは、教育については次のような批判となる。  
「私は、自分の内燃機関とからめて、成長というものはなければいけないと思うし、子どもの眼というのは必ず内燃機関の図柄をもっている。ところがわれわれが、小学校、中学校、高等学校というふうには、長い教育過程を経るにつれて、受験に成功すれば成功するほど、われわれは自分じしんの内燃機関を自分じしんに見えないようにかくしてしまうんですね。(略)それはだいたい人間見えていて、優等生は弱いなということ。(略)自分の内燃機関というものと無関係になっちゃって、遠い遠いところまで来ちゃってるといふ人が多いんですね」(二〇―一八四―五)。

また日本社会に対する批判は、こうである。

「この、自分の内部に分裂を含まないということは、日本人の能率の基礎なんだけれども、それがものすごく危険なんです。一九三二年ですと、戦争するかしないかという岐路にたっている時に、戦争をしたらまずいんじゃないかという考え方が、強い流れとしておこってこない」(二〇―七五)。

「アメリカにたいして戦争をしかける時も、当然に疑うべきなのに、分裂する仕組みを知らないから、政府の目的を肯定したうえでなんでも能率的に処理する。(略)目的について疑う、ちがう意見を出しあつて対立の中で考えを深めていくという習慣が、われわれの中にない。そこに日本的能率主義の基礎があり、そこに日本の思想の危険があるんですね」(二〇―七五―六)。

⑤ とりわけ家の思想原理の悪しき側面は、戦前戦中における家族国家としての完全性・優越性の強調にあらわれる。この点を鶴見は、つぎのように指摘する。

「家を大切にするものはそのことをとおして家族国家を大切にし、その家族国家が、家族外のものとして圧迫をくわえる朝鮮人、中国人にたいして、軽蔑と虐待をあたたまえのこのようにつづけていた。一九三一年から一九四五年にかけての日本の侵略の歴史をたどりなすならば、(略)家が国家の道具として使いこなされるという可能性を戦後の今日もなおおぼろいおとしたとは言えない」(二〇―三三〇)。

⑥ それ故、サークル内におけるさまざまな価値観の出会いという過程が妨げられる時、この特徴は脅かされる。このことは、組織的な運動全般にも関わる問題であるが、これについては、次のように指摘される。

「サークルという小集団の思想史においても、メンバーが固定して、外へのはたらきかけや外の人びとの交流がない時には、思想の固定と絶対化の契機はくりかえしあらわれる。サークルという形そのものは、別に、ファシズムや絶対主義への対抗勢力としてつねにたよりになるものではなく、サークルの精神現象学の中に、サークルの内なるファシズムは、つねに新しくたちあらわれる」(九一―一六)。

⑦ 鶴見俊輔「期待と回想」、晶文社、一九九七年、上巻、一八九ページ。以

下本書からの引用は、(K・上―一八九)等と表記する。

⑧ レーニン『なにをなすべきか』、大月書店・国民文庫、一九七一年改訂、四一ページ。

⑨ 同書、四八ページ。

⑩ 同書、五〇ページ。

⑪ レーニンの主張では、思想の純粹化こそが組織の力量を高めるものであり、このため労働者・民衆の自然発生的な思想・運動は、社会主義的な「意識性」を注入されない限り、最終的には資本主義体制を強化するものでしかあり得ないとされる。

「およそ労働運動の自然発生のまゝに拝跪すること、およそ『意識的要素』の役割、社会民主党の役割を軽視することは、とりもなおさず―その軽視する人がそれを望むと望まないとはまったくかわりなく―労働者にたいするブルジョア・イデオロギーの影響を強めることを意味する、ということである」(前掲書、六〇ページ)。

この主張がいかなる運動形態と政治体制を生んだか、ということも、歴史の立証するところである。

⑫ 『鶴見俊輔座談 日本人とは何だろうか』、晶文社、一九九六年、四四五ページ。

⑬ 同書、四四九―五〇ページ。

⑭ この要素の欠如、社会からの運動の分断から生じる行き詰まりがリンチの思想であると言えよう。鶴見は、リンチの思想を超えるものとして大衆の間隔を指摘する。(九―二五三―六) 参照。

⑮ 木村聖哉・鶴見俊輔『結びの家』物語』、岩波書店、一九九七年、二三八ページ。

⑯ 同書、二三七ページ。

なお本書は、ハンセン病回復者の宿泊所建設にボランティアとして参加した学生たちの物語であるが、この中に生涯をハンセン病の研究、患者の療養・管理に捧げた、長島愛生園の初代園長・光田健輔(一八七六―一九六四)が登場する。問題は、この全く「善意の人」光田が、また「終生強制隔離」の首唱者であり実践者であったことである。ハンセン病医学の權威とされた光田の思想が、この病気がもはや克服され得る病氣と判明した

後も、国家の治安思想と相俟って、長く日本を支配し、患者とその家族を苦しめ続けることとなった。こうした「終生強制隔離」こそ、国家による押しつけの代表的なものであり、鶴見のいうアナキズムの対極にあるものと言えよう。またこのことは、主観的善意と、それが具体的な状況において持つ客観的意味との関係という問題も提起している。

## 夏目漱石『坊っちゃん』の「乱暴者」

武田充啓

はじめに

「坊っちゃん」は、明治三十九（一九〇六）年四月一日発行分の「ホトトギス」に掲載された短編である。その明治三十八・九年の「断片」に、漱石は「世界向後の趨勢は人間はみな自殺するものであると云ふ命題が事実証明せらるゝ、時期に到底する」と書いた。

○今人について尤も注意すべき事は自覚心が強過ぎる事なり。（略）此知覚は文明と共に切実に鋭敏になるが故に一挙手一投足も自然なる能はず。人々ココセコセして鷹揚な人を見る事能はざるに至る。（略）而して現今の文明は天下の大衆を駆つて悉く探偵的自覚心を鋭敏ならしむる世なり。思ふに自覚心の鋭きものは安心なし。起きて居るうちは無論の事寝て居る間も飯を食ふ間も落ちつく事なし。此故に探偵を犬と云ふ。（略）

天下に何が業になると云ふて己れを忘るゝより鷹揚なる事なし無我の境より歎喜なし。カノ芸術の作品の尚きは一瞬の間なりとも恍惚として己れを遺失して、自他の区別を忘れしむるが故なり。是トニツクなり。此トニツクなくして二十世紀に存在せんとすれば人は必ず探偵的となり泥棒的となる。恐るべし。（同「断片」。以下、断りのない場合、傍点は引用者による。）

漱石が二十世紀の「安心」なる世界を芸術による「トニツク」に求めたことは疑いが無い。彼の創作は、「自殺」だけが安心への道として残されているような「探偵的」社会を生きる人間に対して処方された薬であり、望ましき生への強壯剤としてある。そしてそのことは「坊っちゃん」についてもいえるのである。

△汝の見るのは利害の世なり。われの立つは理否の世なり。汝の見るは現象の世界なり。われの視るは実相の世なり。人爵——天爵。栄枯——正邪。得失——善悪。……（同「断片」）

「坊つちゃん」での試みの一つは、右でいわれている「われ」の視点に「おれ」を立ててみることに。そのためには「おれ」から「自覚心」を取り去ること。つまりは「単純」で「無鉄砲」な、それでいて「正直」で「欲がなくって、真直な気性」(四)の人物を登場させること。そのようにして「己れ」を忘れた「おれ」を読者に差し出すことで、読者にもまた一瞬の間なりとも「己れ」を離れ得る機会を提供することであった。

何だか生徒全体がおれ一人を探偵して居る様に思われた(三)

しかし「世の中」に出た「おれ」は、自らが「探偵的」とならざるをえない現実に直面することになるだろう。また、「今」その「過去」を報告しようとする語り手は「過去」の「己れ」をよくよく吟味し反省しなければならぬだろう。つまり「おれ」は「真直」に生きるためにこそ「自覚心」をもたざるを得ず、また語り手は自分を「正直」に語るためにこそ「単純」なままではいられないのである。したがって「坊つちゃん」はまた、自殺願望を抱えたまま神経衰弱的な世界で安心立命できない「人間」を救うために拵えられたはずの「おれ」が、逆に「世間」や彼自身の「自覚心」からどのようにして救い出されるのかを読む物語ともなるのである。

「坊つちゃん」執筆の前後に、漱石は次のような言葉を手紙に記している(明治二十九年森田草平宛書簡より)。

自分の弱点に対しては二様に取り扱ふ方法がある。一は之を隠して自己の虚栄心を失望させまいとする。(略)一はコンフェッションである。(一月九日)

僕のつむじは真直なものさ。猫をかくのは立派な考だと思つてゐる。決してブクブク湧いて出ては来ない。只無闇にかいてるとあんなものが出来るのです。／天下に己れ以外のものを信頼するより果敢なきはあらず。而も己れ程頼みにならぬものはない。どうするのがよいか。(二月十三日)コンフェッションの文学は結構である。コンフェッションの文学程人に教へるものはない。(二月十五日)

破戒読了。明治の小説として後世に伝えるべき名篇也。(四月三日)

小論では、「坊つちゃん」の世界の基底に「自殺」の問題があるこということを確認した上で、大きく以下の二つの問題について考えてみたいと思う。一つは、語り手が自分自身を語る「坊つちゃん」の方法とそこで目指されているものが、「探偵的自覚心」→「自己」への執着と「鷹揚」「無我」→「自己」からの解放という、正反対の二つの方向に引き裂かれてしまつてゐる点についてである。この問題は、主人公である「おれ」が、なぜ受動的、非主体的な人物として性格設定されているのか、という問題、すなわち作者の「芸術」観(コンフェッションの文学)や「自然」観(「無我」と「無法」)に関わる問題である。もう一つは、何故「おれ」は他の誰ひとり的人物ともつながることなく、本来的に生きる場所をこの現実世界に失い、死の世界の近くにいるように見えるか、という問題である。このことは、その「無鉄砲」を「親譲り」のものとして抱え込まれたまま、それが何であるかを見極めることも、またそれから逃れることも許されずにいる「おれ」が、「無闇」や「乱暴」として、それを噴出させる以外にない彼のあり方と深く関わつてゐる。つまり生身の人間としての「おれ」と要請された「自然」としての「おれ」とのズレの問題である。

#### 一、「おれ」という死者

「坊つちゃん」は、未熟な人間が成長していく話ではない。「おれ」は単純であり、自分の欲望に無自覚と言う意味では「己れ」を忘れた無垢な人間である。「坊つちゃん」が目論んでいるのは、そんな人間を一陣の涼風のように「世の中」に送り込むことであり、そしてその人物自身が「世間」に染まつて複雑になつたり汚れてしまつたりする前に、つまりは「おれ」が別の存在になつてしまふ前に彼をそうした「不浄の地」(十一)から救い出すことである。しかしそれは成功しているのだろうか。

「是でも元は旗本だ」「こんな土百姓とは生まれからして違ふ」「正直だから、どうして、か分からないんだ」(四)「此所へ来てからまだ一カ月立つか、立たないうちに、急に世のなかを物騒に思い出した。(略)もう五つ六つ年を取つた様な気がする。早く切り上げて東京へ帰るのが一番よからう」(七)「こんな土地に一年も居ると、潔白なおれも」(十)。しかしこのようにして「おれ」

が自分自身を確認しようとするほど、彼はその自己認識を裏切つて「己れ」を離れられなくなり、次第に「世間」に染まつていくことになる。

「人間程宛にならないものはない」(七)。「おれ」にあるのは成長や成熟ではなく、変化だけである。そしてその変化はその人物の意思や思惑とかかわりなく突然に、そして決定的に起こり、一旦起こつた変化は人間にはどうしても追いつけないものとして示される。「坊つちやん」におけるそのような決定的変化とは、「おれ」の語りが始まる以前にすでに起こつていたことであり、最後まで隠されていた事実である。それは他でもない清の死であり、清の死によつて「おれ」は己の経験語るべき正當な相手を永遠になくするのである。正當というのは、一心同体のごとく思いを分かち合い、その運命を共同する「片破れ」的存在、彼の存在をどこまでも肯定し彼の行為を全面的に承認し得る唯一の存在としての清のことである。

「坊つちやん」は、いわばそうした清に書かれる約束であつた「おれ」の長い、しかし遅れてしまつた手紙である④。もともと「手紙をかくのが大嫌」(二)な「おれ」は、「逢つて話をする方が簡単だ」(十)と清に書きかけた手紙を途中でやめてしまふ。死んでしまつてもう「声」が直接届かなくなつた清に対して、それでもわき上がってくる叫びを「おれ」は「語る」書く以外にない。このとき「おれ」にとつて「語る」こと「書く」ことは、ただ清に向かつてだけ語ることはなくなる。自己を自身に向かつて「語る」こと「書く」こと、そのことが彼の「主体」獲得に向けての自己検証となり、自己確認となるのである。この語り手の位置を得たという点で、「坊つちやん」は、「自己」をその「過去」に遡つて検証し、「自己」の表現を通じて自己認識を深め、そこから自己変革を試みようとする漱石生涯の文学的実践としての第一歩を踏み出した作品とみることができる。しかしそのことと同時に、「坊つちやん」には「自己」を見つめるということよりも、むしろ「自己」を放棄してしまいたいという欲望が、もっと言つてしまえば、いっそ「自己」を消し去つてしまいたいというような絶望が、他方でその背景にあるように思われるのである。

車へ乗り込んだおれの顔を睨と見て「もう御別れになるかも知れません。随分御機嫌やう」と小さな声で云つた。目に涙が一杯たまつて居る。おれは泣かなかつた。然しもう少しで泣くところであつた。汽車が余つ程動き

出してから、もう大丈夫だらうと思つて、窓から首を出して、振り向いたら、矢つ張り立つて居た。何だか大変小さく見えた。(一)

死者の世界からの、自分の存在に対する視線。死んだ人の立場に立つてはじめて自分の命の姿を掴むことができるのかもしれない。「もと由緒あるものだつた」が「瓦解のときに零落し」た清、そして待ちに待った人と「一所になる」(二)という夢を見続けるわずかな時間も許されず今はもう死んでしまつた清、そういう視点に重ねて自分を眺めてみることに。そこで「坊つちやん」という存在をあらためて見つけたとき、「おれ」は自らその立場に身を置こうとしたのである。もちろん「おれ」は、自分が清と違ふ存在であることは知つていゝ。しかしそのときはじめて「おれ」は清がそう呼ぶ「坊つちやん」になりたい、と本気で思つたのではなかつたか。親兄弟に見放され、町内からは「乱暴者の悪太郎」と決めつけられ、「人に好かれる性ではない」と自分をあきらめていた男が、清が評価する「真直」で「純粹」で「正直」で「單純」な、そしてだからこそ清がそう呼ぶところの「坊つちやん」でありたいと心から思う。それは死にたいということである。「坊つちやん」には永遠の若さがある。若さは単純さであり、その主体性のなさである。そして永遠の若さとは死である。「坊つちやん」とは、自分の意志を持たずに人々の間に住んでいる(自然)であり、(死)なのである。

「おれ」は偶然に対して素直に物理学校に行き、偶然のなりゆきで四国に行く。そして偶然の重なりの中で暴力を振るう。それは彼の必然となる。「おれ」は子どもの頃から「別段何になると云ふ了見もなかつた」(一)し、どのようになきようなどという主体的な意志も持たなかつた。彼はそのように(自然)だつたのである。最後に東京に帰つた「坊つちやん」が死んでいるのではなく、「坊つちやん」は最初から死んでいる。あるいは少なくとも「おれ」は「今」死にたいのである。もちろん彼には自分が本当に死ねないのではないかという恐怖がある。だから彼は語る「書く」。しかしそうした「おれ」の恐怖を先回りして保護してくれているのか、あるいは早く来いと急かしているのか、いずれにせよ清はすでに死んで、そこで「おれ」を待っているのである。

## 二、要請された非主体性

「坊つちゃん」は善悪の問題を扱っている。しかし「好き嫌」の問題にしかできなかった。だから、結末の「勝ち負け」は見かけとは逆転している。このことはこれまでからよく指摘されてきたことである。公正や公平を社会に実現しようとする男たちが、自分たちの「正しさ」を好悪の感情で支えられた私的な暴力で示すしかなく、そのために結局のところは自らの職を失いその地を追放されてしまうことになる物語。そのように読めば、「坊つちゃん」は敗北者の回顧談になる。しかし、そうではない読み方はできないだろうか。

片岡豊が指摘しているように、たしかに「坊つちゃん」は、いつでも主体的な意志を欠いて受動的に振る舞うしかない存在である。片岡氏は「坊つちゃん」の「没主体性」は「力」に対するアンビバレットな傾向を導いている」とし、「坊つちゃん」がその「反発の背後に「権威」に「力」に対する親近感、もしくは憧憬を隠し持っていた」点を鋭く指摘している<sup>②</sup>。しかし同じその受動性について、逆に消極的ではあるけれども肯定的な価値をもつものとして設定された可能性を考へることはできないだろうか。つまり、公平性を保つために要請された「自然」としての非主体性である。

山嵐に対して「赤シャツと野だを撲つてやらないかと面白半分に勧めて」みる(九)「おれ」は、自分の宿直中の温泉行きという「あやまり」については「公け」にして笑われていた(六)が、自分の「正しさ」については山嵐ほどには真剣に「公け」のものにしようとはしていない。というより出来ないのである。「おれ」は善悪の問題に対して、「論法」で対応するには「あまり単純過ぎる」(山嵐による「おれ」評価、「おれ」はその評を素直に受け入れている(十一)し、「脳がわるい」(「おれ」自身による自己評価(六)のである。その点では山嵐は「おれより智慧のある男」(十一)であり、だからこそ生徒処分の職員会議で厳罰と「公けに謝罪」することを求め(六)、赤シャツ相手に「正義」の一言を口にもする(十一)のである。赤シャツや野だに「天誅」を加えるにいたる場面での「おれ」の行動は、ほとんどが「山嵐の踵をふんであとから」(十)行われているだけであり、その振る舞いには辛抱も根気もなく、偶然がなければ平気で放棄されてしまう程度のものにすぎない。なぜ「おれ」はこれ

ほどまでに非主体的なのであるか。このことは、なぜそのように彼は「自然」でなければならぬのか、と問うことと同じである。

山嵐に言わせれば、赤シャツは「大人しい顔をして、悪事を働いて、人が何か云ふと、ちゃんと逃道を拵へて待つてる」(九)ような「奸物」となるのだが、では赤シャツは本当に悪い人間か。それは決してわからない。そういうふうには作者は書いていない。しかしそのうえで「坊つちゃん」は、山嵐と「おれ」が赤シャツと野だに対して「理非を弁じないで腕力に訴える」ことを「無法」(十一)とせず、むしろその「乱暴」を肯定しているのである。「おれ」は「単純過ぎる」若者であり、実際にはそのように「単純」であり続けることがまず相当に困難なことなのだが、それほどの「単純」さをもってはじめてできるであろうような非反省的・他者追隨的な、すなわち無意識的・非利己的な行動があり、それが暴力にまでつながら、そのような暴力でしか叩けない隠された不正をただすというかたちに「坊つちゃん」はなっている。

可愛想に、もし赤シャツが此所へ一度来てくれなければ、山嵐は、生涯天誅を加えることは出来ないのである。(十一)

作者は現実世界では認められない不可能な行為を成立させるために「坊つちゃん」では「おれ」を最後まで利害損得を計算しない人物として描かねばならず、私的な暴力が私利私欲のためでない「腕力」(十一)として「正しく」行使されるような偶然を用意する必要があつたのである。そのためには「おれ」はどこまでも非主体的でなければならなかつたし、その意味で彼は「自然」でなければならぬのである。

「自分だけ悪い事をしなくつても、人の悪いのが分らなくつちや、やつぱりひどい目に逢ふでせう」と当の赤シャツにすでに早くからその「単純なのを笑」われていながら(五)、結末近くになつても「なんで田舎の学校はさう理屈が分らないんだらう」(十一)と焦れる「おれ」は、さすがに懲りない「単純」さを維持していて、同じ「理屈」であつても「田舎の学校」の「理屈」と自分の「理屈」とが別のものでありうることにまだ気づいていない。そこに「欲」が、とくに自分自身の「欲」が介在しようという視点をもたされていないからである。これに気がついてしまえば、彼もその単純さを失い、代わりに「智慧」

を持つことになる。「智慧」は彼を主体的な存在へと変えていくだろう。そして「おれ」がほんの少しでも主体的になれば、その主体としての自己の利害損得、すなわち「利己」から自由ではいられなくなる。そのように「おれ」は非主体的でなければならないのである。こうした制限があらかじめ設けられている限り、「坊つちやん」が「おれ」の「主体性」獲得の物語となることはない。

### 三、「親譲り」と「無暗」「無鉄砲」

校舎の「二階から飛び降り」る。たまたま「募集の広告が出て居たから、何も縁だと思つて」物理学校に「入学」する。「教師になる気も、田舎へ行く考へも何もなかつた」のに教師として四国に行く。「なぜそんな無暗をした」。おれの「無鉄砲」は「親譲り」だ。それが「おれ」の答えである。

「おれ」は、とりあえず「無鉄砲」とか「無闇」とでも呼んでおくしかないような何もかをうまく制御することもできずに抱え込んでいる。そして「おれ」は、その「無鉄砲」を「親譲り」と呼んでいる。ここではこの点について考えてみよう。

周知のことだが、彼自身が語る彼の「親」に関する挿話についてだけいえば、彼の「無鉄砲」が「親譲り」であるという証拠はどこにも見つからない。どうやら「親譲り」とは、自分で選択したり、制御したりすることができないものに対して、一つの方便として、とりあえずの名指しとして、彼がそう呼んでいるだけにすぎないものなのである。物理学校への入学や四国行きを「無鉄砲」とし、それを「親譲り」と呼んでいるのは、偶然を必然のものとして置き換え、それを受け入れていく自分（の受動性、主体性のなさ）を言い訳しているのであり、それは一方で自らが「自然児」であるという宣言として見られることのできるのだが、他方で自分の抱える「無鉄砲」「自然」というものに対して、どう向かい合えばよいのかわからない。そのわからなさが、そのまま「おれ」の受動性と暴力性という現実世界に対する両義的な姿勢として現れていると見ることもできるのである。いずれにせよ、「親譲り」という言葉で示されているのは、その人生を決定しているかに見える「おれ」の性質なり性格なりが、彼自身によって主体的に選択され形成されてきたものではない、とい

うことであり、要するにそれらは自分ではどうすることもできないものなのだということである。

「おれ」は、親から譲り受けたものが「何であるか」ということを読者に知らせているのではない。それが何であれ本人の意思に関わらずとにかく譲り受け「させられる」ものが人にはあるのだということを、むしろ自分自身に言い聞かせているのである。「おれ」は、読者への説得力のためというより、自分の軽率で乱暴な行為を自分自身にむりにも納得させようとする言い訳として、あるいは自分の行動によって被る「損」「失策」「祟り」を自身にあきらめさせる手段として、性格の正統性を行為（とその帰結）の正当性にすりかえるかたちで、あるいは自分の抱え込んだ「無鉄砲」「自然」を「当然」や「必然」に読み替えるかたちで、「親譲り」の言葉を用いているのである。それは極言すれば、自分の失敗のすべては「親」、すなわち「自然」のせいであるとして責任を転嫁することである。しかしこのことは、単に「親」を、「へ自然」を否定しているのではない。むしろ「おれ」にとつて「親」「自然」が重要な存在であることも示している。語り手は血のつながった肉親としての「親」に疎まれた存在が、今度は逆に自分の方から「親」を無視しつつも、しかし全面的には否定しきれずに、自分が自分であることの何らかの根拠としての「親」を「へ自然」に対して求めてしまう「おれ」を語っている。このように考えれば、「おれ」の「真つ直でよい御気性」もまた自覚的にそれを選べるものでもないという意味で「親譲り」「自然」なのだといえるのである。

「無暗」は、実は清にもある。清は「おれ」を「無暗に珍重し」また「あなたは御可愛想だ、不仕合せだと無暗に云ふ」(一)。校長の狸は「無暗に法外な注文」(二)をし、下宿のイカ銀は人のお茶を「無暗に飲む」(三)。山嵐は「無暗に牛肉を頬張り」(十)、新聞でさえ「無暗な嘘を吐く」(十一)のである。

寝るときにつく「尻持」の「頓」を「どんな音がする」「わるい癖」だと咎められ、開き直つて階下の下宿人を「凹ましてやつた」とする「おれ」(四)は、今度は逆に宿直の夜、中学生たちに「二階が落つちる程どん、どん、どん」と「床板を踏みならす音」「足音に比例した大きな関の声」といった「気狂ひじみた」いたずらをされてしまう(四)。彼らも「おれ」も同じ「無暗」を生きているのである。

「無暗」対「無暗」の闘い、これが「おれ」の生きる世界である。もちろん

「おれ」は、清に対してはその「無暗」を受け入れている。しかし基本的に「おれ」の世界は、「無暗」あるいは「乱暴」と「大人しい」との対によって構成されている。「おれが大人しく宿直をする。生徒が乱暴をする」(六)。萩野の爺さんは「無暗に出て来ないから大きに楽」(七)であり、もちろんうらなりは「人形の様に大人しい」(七)。いったいに「おれ」は「大人しい」人間に同情的で優しい。しかし他人の「無暗」や「乱暴」には反発的で厳しいのである。では「おれ」自身にとって「無暗」とは何であったのか。「おれ」は自分の「無鉄砲」や「無暗」を正体も分らないまま、それをもてあましていたのではなかったか。

木村巧は、「おれ」を評して(へおれ)には自分について省察するような姿勢と、主體的な自己認識が欠如している」と指摘している<sup>③</sup>が、「おれ」に「無鉄砲」や「無暗」がある以上、自己認識どころか「主体」そのものがかなり疑わしいのである。清が「真っ直でよい御気性だ」といくら「おれ」を可愛がり誉め上げて「おれ」は「不思議」「不審」「分からなかった」「気味がわるかった」のである。「真直」な気性といったところで、それは「おれ」にとつて彼の「無鉄砲」や「無暗」と区別されるものではなかったからである。つまり町内の者たちが「乱暴者の悪太郎」と見なしたものと清が評価した「真直でよい御気性」とは、「無鉄砲」や「無暗」とでも呼ぶしかない彼の(へ自然)から出てきているという点で異なるところのない共通のものだったのである。(周囲の悪評を一方的に受入れる)のも(清の評価には懐疑的)なもの、(自分に關する認識を進んで形成しようとはしていない)のも、つまりは「おれ」が自分のうちに「無鉄砲」「無暗」を、つまりは(へ自然)を抱えているからであり、それを「おれ」がはつきり何ものと名指せないかぎり、「おれ」にとつて「自己」とは何かという問いそのものが成り立たない、無効なのである。こういう人間に自分以外の他人が「人間」として見えるだろうか。「おれ」にあだ名で呼ばれないほど唯一の人間といつてよい清でさえ、一人の「人間」として見られていたかどうか疑わしい。「おれ」が「坊つちやん」を再発見するのは清の死後のことであり、その清は、私利私欲のない「無我」の女、理想の「善人」へと「おれ」の「無暗」な思い込みによって変化させられていたからである。

この抱え込んだ己の内部の異和に匹敵するものが現実世界に見当たらないと

いうことが、「おれ」の悲劇なのだ。「おれ」が敵とみなし、暴力で排除しようとした他者は、「おれ」に「漱石」自身の内的な異和なのだ。「坊つちやん」には現実世界に対するほとんど全面的な否定の意志がある。「坊つちやん」という虚構は、こうして現世の否定を肯定する(へ自然)を、ときに(へ暴発する力)として、すなわち「無鉄砲」「無暗」として描くことによって、その魅力を確保しているのである。

#### 四、理想と虚構、あるいは、清と「おれ」

「おれ」と清との関係は、夫婦に擬せられるほどに深く結ばれた関係であるかのように錯覚してしまいがちである。が、二人は決してそれほど通じ合っている仲ではない、そして二人のずれた関係は最後まで変わらないのである。なるほど「田舎者は人がわるい」とか「天候だつて東京より不順に極つて」とは「おれ」の言葉でなく清の手紙にある言葉である(七)。しかしそうやって何かと「おれ」を氣遣い世話を焼いて「為替で十円」をくれまでした清に対する「おれ」の反応は「なるほど女は細かいものだ」なのである(七)。「この次には責めてこの手紙の半分位の長さのを書いてくれ」という清の切なる望み(七)に対しても「おれ」は叶えてはやらす「かうして遠くへ来て迄、清の身の上を案じてゐてやりさへすれば、おれの真心は清に通じるに違ない。通じさへすれば手紙なんぞやる必要はない。やらなければ無事で暮らしてると思つてるだらう」と考える(十)。この思い込み、すれ違いこそが二人の関係なのである。

清なんてのは見上げたものだ。教育も身分もない婆さんだが、人間としては頗る尊とい。……ほめられるよりも、ほめる本人の方が立派な人間だ。

#### (四)

かうして田舎へ来て見ると矢つ張り善人だ。あんな氣立てのい、女は日本中さがして歩行いたつて滅多にはない。(七)

人間は好き嫌で働くものだ。論法で働くものぢやない。(八)

清が「おれ」に勝手に認められ肯定されていくのは、彼女が「好き嫌で働く」人間だからである。しかし清が「おれ」と異なるのは、彼女に「信」がある点である。彼らは二人とも「無暗」を抱えて生きている。しかし「人間は好き嫌で働くものだ」というのは「おれ」の得た認識であり、残念なことにそれを認識として得たときには自らがそのように生きて行くにいくということに気づき始めているのである。逆に言えばそのように生きて行くことができなくなつて初めてそれに気がついているのである。対して清は自らそれを生きて実践しているのである。むしろ幼い頃の「おれ」はそれと知らずにそのことを自分の生き方として実践し得ていたのである。だから清もそういう「おれ」を「坊つちやん」と呼んで誉めたのである。だが「今」はどうであろうか。「単純」であること「智慧」がないことが、「正しさ」であるとは限らないということに気づいていく「おれ」は、「無鉄砲」もまた、いつでも必ず「善」とつながるものではないことにも気づいていく。たしかに「無鉄砲」は論法で出てくるものではない。ただ自分の「好き嫌」に従うときだけ、自分だけに正直で正しい「無暗」や「無鉄砲」が出てくるのである。複雑かつ「物騒」(五六)(七)な世の中では「正直」とつながろうとする「智慧」や「無鉄砲」もまた複雑にならざるを得ない。

世間がこんなものなら、おれも負けない気で、世間並みにしなくちや、遣り切れない訳になる。巾着切りの上前をはねなければ三度の御膳が戴けないと事が極まればかうして、生きてるのも考へ物だ。と云つてびんびんした達者なからだで、首を縊つちや先祖へ済まない上に、外聞が悪い。(七)人があやまつたり詫びたりするのを、真面目に受けて勘弁するのは正直過ぎる馬鹿と云ふんだらう。あやまるのも仮りにあやまるので、勘弁するのもし仮りに勘弁するのだと思つてれば差し支ない。もし本当にあやまらせる気なら、本当に後悔する迄叩きつけなくてはいけない。(十)

運ばれていくこと、流され巻き込まれていくことが人生であると知りつつある「おれ」は、自分の居場所がこの現実の世界のどこにもないとわかりはじめている。にもかかわらず、しかしそこから逃れること降れることができない。だとすればせめて「損」をしないことを願う以外にない。この思惑の行き

着くところが東京への撤退というかたちになるのだが、この「損」に対する氣遣い、配慮が「おれ」と清の大きな違いなのである。

「おれ」と山嵐との違いにも簡単に触れておこう。いうまでもなくそれは「主体」「智慧」のあるなしである。山嵐には自分の主体を賭けた「計画」がある。「おれ」はしかしそうした「計画」に本気ではない。あくまでも「加勢」(十)にとどまるのである。山嵐が赤シャツの「悪い所を見届け」ようとする場面では辛抱も我慢もできず「いやに」なり「飽き」てしまい「休まうか」と思う(十一)。山嵐に一定の距離をおく「おれ」を描く作者は、醒めた目で山嵐を見ている。山嵐の持つ「智慧」とは、自分が抱えている「無暗」「無鉄砲」を「世間」で通用させようような「理屈」を拵えただけではじめて外に出すということであつて、それはその意味で計算であり「作略」(八)なのである。そのことに「おれ」は最後まで距離を置いているが、これは作者があえて「おれ」にそうさせて「利害」や「得失」からの無垢を最後まで救っているのである。「天誅」といへどもそれは単純に「無鉄砲」を爆発させたものではなく、あらかじめ計算され計画された「天誅」なのである<sup>④</sup>。それはもはや無垢なへ自然の力ではありえない。人間が生きていくうえでの「智慧」であり「作略」の一つなのである。策略から被る「損」を避けるための策略。「おれ」は、この世界で生きていく限り、自分もまたこうした「作略」に巻き込まれて行くしかないことに気づき始めている。彼はもはやたんに「無鉄砲」ではありえなくなりつつあるのである。このことは彼が理想としての清を一方的に「製造し」、彼女を価値ある「善人」として崇めていくこと、つまり自分自身はそんな彼女のように生きられないということに自覚していくこと、と並行している。

「おれ」は、うらなりに対しても「君子」や「聖人」といった言葉を思い浮かべているが、清にしてもうらなりにしても、本当の聖人君子として描かれているわけではない。彼らはその人となりとして「善人」であるが、善行を社会に実践できる人たちとしては決して描かれてはいないのである。清がどれだけ「おれ」を評価しようが、それで世間が少しでも変化するかというと、そうはならないのである。「おれ」は、善悪の判断からではなく、ただ自分の「好き嫌」で行動し、それがたまたま世界を変えそうな、少なくとも世間の秩序を乱しそうな動きになる。それが「無鉄砲」であり「無暗」なのであるが、もちろ

んそうした「おれ」の「乱暴」を正当化するような根拠もない。「おれ」の暴力によって赤シャツらに「天誅」を加えるということは、現実には不可能な行為、無効な行為である。だからこそこうした行為が読者へのサービスにもなるのである。つまりこうした「おれ」の「乱暴」は、実際の「現実」とはつながらなくてもよい「虚構」の行為としてあるのであり、「現実」の延長線上に思い描かれる到達と実現の可能性を持った目標としての「理想」の行為ではないのである。「おれ」はその意味で聖人でも君子でもなく、まして善人としてあがめられ憧れられるような人ではないのである。

うらなりや清と「おれ」との間には、けっして埋まらない大きな溝がある。うらなりや清は、まだそれでも現実の延長線上に何とか思い描くことができるという意味である種の「理想」の人たちではあるが、「おれ」はほとんど現実と直接のかかわりを持たない「虚構」の人なのである。そして理想の人たちを描くだけにとどまらず、虚構の人を描かねばならなかったところに、作者の現実に対する絶望の深さがうかがえるのである。

##### 五、抱え込まれた「自然」

「好き嫌で働く」人間としての自分を肯定し、「坊つちやん」を信じることでできた清と他者の「無暗」をひたすら受け入れるうらなりや清と同じ存在と見なすわけにはいかない。しかし清やうらなりは、「金や威力や理屈」(八)だけが幅を利かす時代の変化のただ中で、人々の「欲望」「暴力」「作略」といった不浄のものに翻弄されながら、自らはなんら世界に手を下すこともできずに退くしかない人たちであった。そして、もちろんその人物に「自然」を背負わせるといふ作者の意図によって、「現実」に対しては距離を置いて身を引いているしかなく、ただ退却することしか許されていない人物こそが、他でもないこの「おれ」という存在なのである。

そこで仕方がないから、こつちも向の筆法を用いて捕まえられないで、手の付け様のない返報をしなくてはならなくなる。そうなつては江戸つ子も駄目だ。駄目だが一年もこうやられる以上は、おれも人間だから駄目でも

何でもそうならなくつちや始末がつかない。どうしても早く東京へ帰つて清と一所になるに限る。こんな田舎に居るのは墮落しに来て居る様なものだ。新聞配達をしたつて、こゝまで墮落するよりはましだ。(十)

「作略」に汚れたくもなく損をしたくもない。「おれ」は「無暗」「無鉄砲」を、つまりは「自然」を抱えたまま、その使い方も分からぬままに、ただ退く以外にない。うらなりが「おれ」から「聖人」「君子」として敬愛されるのは、黙って「損」を引き受ける存在だからというだけではない。「うらなり君程大人しい人は居ない」(六)から、彼が「人形のように大人しい」(七)からなのである。「おれ」は、つまりは「大人しい人」が「すき」なのであり、そしてそこが「おれ」の限界なのだが、「おれ」は「大人しい」うらなりもまた彼なりの「無暗」や「無鉄砲」を抱えているのではという疑いを少しも持たない。大多数の他者を「好き嫌」の「嫌」で否定するより他に自己を肯定できない「おれ」とは異なり、うらなりは(たとえそれが「無暗」なものであったとしても)他者の言葉を字義どおり、顔面どおりに受け取ることを徹底することで「無暗」「無鉄砲」の発現を抑え込みつつ、やっとな裏表のない世界に生きることに成功しているのである。清にしたところで、彼女が自身で抱える「無暗」を自分の「信」によって方向づけし、「主従」の関係の枠組みの中で生きるというかたちでコントロールしていたことに「おれ」が気づいていたかどうかは疑わしい。「後生だから清が死んだら坊つちやんの御寺へ埋めて下さい。御墓のなかで坊つちやんの来るのを楽しみに待つております」(十一)という清は、死ぬ間際まで自分の「無暗」を押し付けたかに見えるが、それは死んでもこの世の「主従」の関係の枠組みを維持し続けようとしたのだともいえるのである。この「無暗」、すなわち「自然」とその制御の問題に、はたして「おれ」自身はどこまで意識的であるのか。清を養源寺に葬ったことさえ、彼女に言われたからそうしたにすぎない。まったく受動的な行為で終わっているのだとすれば、である。しかしくり返しになるが、そのことはあえて作者が「おれ」を濁らせないままでこの作品を終わらせたかっただけを示しているのである。裏表が見え始めている「おれ」にとつて、しかしうらなりのように「損」を引き受けることもできないのであれば、自分自身が「作略」する人になる以外に、裏表のある世界を知りつつ「損」から逃れる手だてはないからである。つまり

「坊つちやん」の世界には、「無鉄砲」「無暗」を、無垢なへ自然の発露として行使し得るような「坊つちやん」が生きる場所はずでなくなっているのがある。

赤シャツや野だに「天誅」を加える場面で、「おれ」は山嵐の「理屈」を無視して、まだ山嵐が赤シャツに「談判」している最中であるにもかかわらず、「只癩癩のあまりに、ついぶつけるともなしに」野だに玉子を「打つけて」いるのだが、これはあくまでも私利私欲と離れた無垢なへ自然の発露としての「乱暴」を描こうとする作者の最後意地であろう。「生卵でも栄養をとらなくつちあ週二十一時間の授業が出来るものか」(七)。そして芋ばかりの下宿の食事の足りない栄養を補うためにあるはその玉子を投げつけて割ってしまったことは、すなわち教師を辞めることであり、下宿をやめることであり、この「四国辺」の片田舎を去ることであろう。しかし「おれ」に帰る故郷はあるのだろうか。

もう立つと云ふ三日前に清を尋ねたら、北向の三畳に風邪を引いて寝て居た。おれの来たのを見て起き直るが早いのか、坊つちやん何時家を御持ちなさいますと聞いた。卒業さへすれば金が自然とポツケツトの中に湧いて来ると思つて居る。そんなにえらい人をつらまへて、まだ坊つちやんと呼ぶのは愈馬鹿げて居る。おれは単簡に当分うち持たない。田舎へ行くんだと云つたら、非常に失望した容子で、胡麻塩の鬢の乱れを頻りに撫でた。余り気の毒だから「行く事は行くがちき帰る。来年の夏には此度と帰る」と慰めてやつた。それでも妙な顔をして居るから「何を見やげに買つて来てやらう、何が欲しい」と聞いてみたら「越後の笹鮎が食べたい」と云つた。(一)

理想は失われ、食べ物という現実になる。清の「玄関付きの家」で「坊つちやん」と「一所になる」という夢が、土産の「笹鮎」に変えられていたように、「おれ」の故郷は喪われ、だから彼は異郷の地でその「食い心棒」(一六)を強調されていたのである。それは「坊つちやん」をロマン的な故郷喪失の物語にしないための、「おれ」をメランコリーから遠ざけるための工夫であった。東京から田舎へ、そしてまた東京へと戻る形の話にし、「文学」的なるものを拒絶

し、金銭や食べ物といった日常性への執着を徹底させまでして隠蔽してきたことが、ここで「おれ」自らが玉子を投げつけるという行為によって一挙に露わになったのである。

清が「おれ」が帰ってきたにもかかわらず、まもなく死ななければならなかったのは、もうすでに「おれ」が以前の「坊つちやん」ではなくなってしまうことに気づかざるを得なかったからであろう。清はそうなることを見越してでもいたかのように東京を発つ「おれ」に「もう御別れになるかも知れません」と「小さな声」で挨拶していた(一)。清は「おれ」が東京を離れたときにすでに死んでいた。彼女がもう一度「坊つちやん」に逢えるのは死者の世界だけであることを作者は知っていたのである。

作者には、「芸術」という出口／入口もまた見えていたのかもしれない。しかし、清にふさわしい存在でありたいと願う男、あるいは今はもう死にたいと思つている男には、自分が抱え込まれたへ自然の正体を見極めることが許されていない。ただ身を退けることしかできない自分、そしてその退けた身をおさめるための帰る場所を持たない自分、清にさえ認めてもらえそうになく、死さえも許されずにいる自分自身を「只無闇にかいて」みることに、正直に語る「告白すること。それが「坊つちやん」という小説、すなわち「コンフェシヨンの文学」で語り手が試みていることである。

#### 註

- ① 村瀬士朗「世の中の実験―坊つちやん論―」(『国語国文研究』一九八七・九)は、「坊つちやん」という小説は「未完了であり続けるしかない清への返礼の代償」としての「おれ」坊つちやんの語りとしてであると指摘している。
- ② 片岡豊(没主体)の悲劇―「坊つちやん論―」(『立教大学日本文学』一九七七・一二)
- ③ 木村功「坊つちやん論―おれへの形象について―」(『日本文学』一九九四・五)なお、氏は主人公の変容を重視する氏の論点を明瞭にするために「語り手」とその「語り手」によって語られている存在とを区別し、そ

れをへおれ」と表記して論じているが、ここでは「無闇」と「非主体性」とをへ自然」という価値として抱え込まれた存在である主人公の一貫性を重視する観点から、それを語り手と全く異なった存在とはしない「おれ」として扱った。

④ 戸松泉「『坊つちやん』論―へ大尾へへの疑問―」（『東京女子大学日本文学』一九八八・九）は、これがあくまでも山嵐の「天誅」であり、「坊つちやん」の論理からは「墮落」となると論じている。

⑤ 小森陽一「『坊つちやん』の語りの構造―裏表のある言葉―」（『日本文学』一九八三・三―四）に、うらなりの「沈黙」の位置が、赤シャツの「裏表のある」世界や山嵐の「公的言語世界」や語り手の「私」的言語世界を相対化しているとの指摘がある。

# 円柱列を通過する粘弾性流体の流れにおける 圧力損失測定と流れの可視化

小柴 孝・森 教安\*・中村喜代次\*

Measurement of Pressure Loss and Flow Visualization in the  
Flow of Viscoelastic Fluids through Cylinder Arrays

Takashi Koshiba, Noriyasu Mori\*, Kiyoji Nakamura\*

日本レオロジー学会誌 Vol.26, No.1, pp.27~34, 1998

高分子溶液などの粘弾性流体が、内部に複雑な空孔構造を有する多孔質体内や粒子充填層を通過するとき、流体のレオロジー特性により流れ抵抗が変化することは、近年、多くの研究者により報告されている。彼らの報告では流量増加にともなう流れ抵抗の増大、すなわち過剰圧力損失の発生と流路内で生じる伸長流れによる液体の伸長粘度特性の関係を明らかにすることを目的としている。しかしながら多孔質体内の複雑な流路構造を詳細に調べることは非常に困難であることから多くの研究者は、多孔質体内における拡大・縮小ならびに屈曲構造をモデル化した流路を用いて圧力損失測定と流れの可視化について実験を行っている。その結果、過剰圧力損失の発生は伸長粘度の非線形性、すなわち stretch-thickening 性が関与していると考えたが、実験に用いた試料流体の伸長粘度測定を行い、直接、圧力損失への寄与について検討したものはほとんど見あたらない。

そこで本研究では、多孔質体のモデル流路として円柱列を含む2次元流路を作成し、圧力損失測定と流れの可視化実験を行い、圧力損失に関する流路構造の依存性を調べた。そして別途測定した高分子流体の伸長粘度特性と圧力損失の関係を明らかにし、過剰圧力損失発生挙動について考察を行った。実験には円柱径ならびに配列の異なる4種類の流路を用意し、試料流体として2種類の濃度のポリアクリルアミド (PAA) 水溶液を用いた。

Figure 1 に0.1wt%PAA水溶液の測定結果を示す。本実験では流れ抵抗に関し、円柱列を通過するときの圧力損失を管摩擦係数、流量をレイノルズ数により表し、このときの管摩擦係数とレイノルズ数の積を円柱列流路の空間体積と表面積が等しい等価管路における値との比、すなわち流れ抵抗  $\beta$  により表した。また円柱列内で生じる

伸長流れをデボラ数により表した。

Figure 1 よりデボラ数の増加とともに流れ抵抗比が増加し、過剰圧力損失が発生していることがわかる。なお過剰圧力損失発生前では流れ抵抗比は、一定値を示すが、このデボラ数域ではせん断粘度の非ニュートン性が流れを支配していることを表している。この過剰圧力損失発生デボラ数は、別途測定したPAA水溶液の伸長粘度における stretch-thickening 性を示す値と一致することがわかった。

また流れの可視化結果は、PAA濃度により異なった流れ挙動を示したが、過剰圧力損失の発生が流体の伸長特性によるものであることを示唆するものであった。

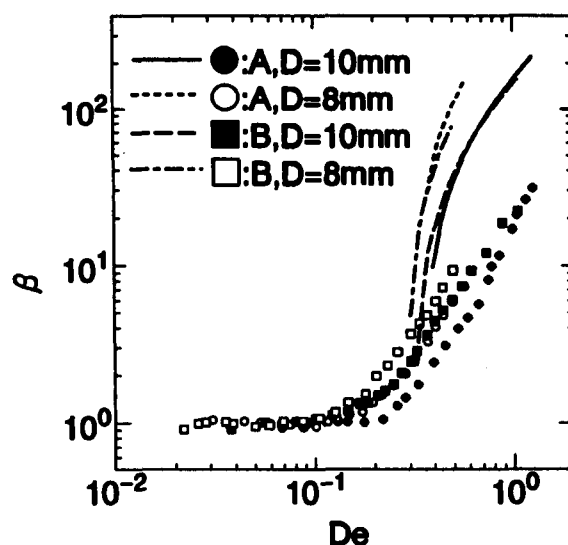


Fig.1 Comparison between the increment of flow resistance and elongational property for 0.1wt%PAA solution. Solid line:Channel A(D=10mm), Dotted line:Channel A(D=8mm), Broken line:Channel B(D=10mm), Dot-dash-line:Channel B(D=8mm)

\* 大阪大学

## Evaporation-Induced Cellular Convection In Thin Liquid Layers

Wen-Jei Yang\*, Kai-Hua Guo\*\*, and Masahiko Sakamoto

Experimental Heat Transfer, Vol.10 No.3, pp.191-206.(1997),

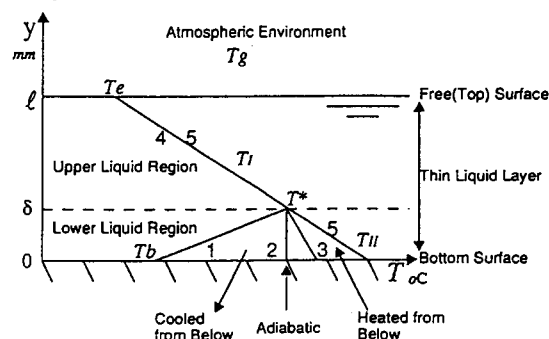
Two types of natural convection are well-known. One is induced by the buoyancy force, called the Rayleigh-Benard type and the other is by the surface tension force, being referred to as the Marangoni-Benard type. In common to the two type is the requirement for a negative temperature gradient in the direction normal to a liquid layer, namely heated from below or cooled from above. Recently, temperatures were measured at different depths in both liquid layer and air layer above the liquid free surface during the evaporation of liquid pools. It was concluded that (i) cellular convection occurs when the liquid layer is cooled from below and (ii) the temperature profile in the layer is nonlinear. However, no attempt was made to explain the mechanism. In this study, cellular convection patterns inside very thin liquid films for three organic liquid are observed by means of the Schlieren method. A model is developed to explain the mechanism of the evaporation-induced cellular convection.

The experiment was performed in an atmospheric environment at room temperature of about 20 °C. These organic liquids, ethanol (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O), methanol (CH<sub>4</sub>O), and acetone (C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>O), were employed as test liquids. A test run was made by filling the desired amount of liquid into the stationary test pool and covering it with a glass plate. When all evidence of fluid motion was absent and the temperature in the liquid layer was believed to be uniform (after waiting about half an hour), the cover was removed carefully. Evaporation of the liquid layer started immediately at this moment and the liquid surface was cooled by evaporation. At a certain moment, about 2-3 seconds after removing the cover, a convection pattern appeared on the screen and the photograph was taken.

Results are summarized in the following. (i) Convection cells induced by thermocapillary in an evaporating liquid layer evolve from small to large size, when the evaporation process begins with a liquid layer which is quiescent and isothermal. In other words, the wave number of the cellular convection decrease from its onset state to the final stationary state. This kind of transient process is generally observed in systems with a moderate Marangoni number, say, Ma less than 2000. (ii) The stationary cell size depends on the

dominate system parameter, the Marangoni number. The cell wave length is larger, or the cell wave number is smaller, for a large Ma. (iii) The convection pattern depends mechanism. For thermocapillary-dominated convection, the pattern is in a tessellated cell configuration, which can be generally idealized as uniform hexagonal cells; while for buoyancy driven flows, the pattern will involve vermiculated rolls, which may be idealized as two-dimensional rolls. (iv) When the Marangoni number is sufficiently large, say, Ma=5000, the stationary tessellated cell pattern becomes unstable; unsteady ribs appear and cell partitions keep moving and re-forming new cells in a chaotic way. When the Marangoni number increases further, it is expected that a fully turbulent flow pattern will be found in a evaporating liquid layer.

Figure 1 depicts three possible temperature profile in a thin liquid layer which we have proposed. This model has been developed to explain the mechanism of cell convection in a thin liquid layer with the upper layer undergoing evaporating and the bottom layer being cooled, adiabatic, or heated. This model suggests the formation of two regions in the liquid layer with the occurrence of cellular flow patterns in the top heated. The mechanism is distinctly different from those of the Rayleigh-Benard and conventional Marangoni-Benard type cellular convections.



- Line 1: positive temperature gradient due to cooling from below  
 Line 2: zero temperature gradient due to no heat flow from below  
 Line 3: negative temperature gradient due to heated from below  
 Line 4: negative temperature gradient due to surface evaporation

Figure 1. A model for evaporation-induced natural convection in a horizontal thin liquid layer of thickness of 1 mm or less subjected to cooled, insulated, and heated from below (line 1, 2, and 3) as compared with Rayleigh-Benard and Marangoni-Benard convection (line 5).

\*Dept. of Mechanical Engineering and Applied Mechanics, The University of Michigan

\*\*Guangzhou Institute of Energy Conversion, Chinese

## 振 動 研 削 切 断

花崎伸作\*・藤原順介\*・和田任弘

Vibratory Cut-Off Grinding

Shinsaku HANASAKI\*, Junsuke FUJIWARA\* and Tadahiro WADA

日本機械学会論文集 (C編) 64巻, 622号, (1998), 2267 - 2272.

外周刃切断砥石による精密研削切断においては、工作物の板厚より大きな砥石切込み深さを与える1パス研削切断が一般によく行われる<sup>(1)</sup>。この場合、切断砥石が薄くなるほど、切断砥石の曲げ剛性が低下し、砥石が曲がりやすくなるので、切断軌道に曲がりが生じやすい。切断砥石に曲がりが生じる主な原因としては、切断砥石両側面のエッジにおける偏摩耗による主軸方向の研削分力の発生<sup>(2)</sup>があげられる。このため、テーブルの送り速度 ( $V_w$ ) を小さくする、あるいは切断砥石の周速度 ( $V_s$ ) を大きくすることによって、切断砥石に作用する研削抵抗を小さくし、切断軌道の曲がりを抑制することができる。しかし、 $V_w/V_s$  を小さくし過ぎると、砥粒切込み深さの最大値が小さくなり、一個当りの砥粒切れ刃に作用する切削力が小さくなるため、砥粒切れ刃の摩耗面積の増大とともに、研削抵抗が増大し多量に研削熱が発生する。とくに、鋼材の研削切断においては、研削焼けなどの熱的損傷も問題となる。そこで、これまでに種々の対策が提案されている。たとえば、水野ら<sup>(3)</sup>は、研削抵抗をテーブル送り速度操作方式で制御するシステムを開発した。また、石川ら<sup>(4)</sup>、<sup>(5)</sup>は、工作物の送りに微小振動を加えながら研削切断を行う方法を提案している。これらの研究成果は、切断精度の向上が可能であり、精密研削切断には有効な方法であると思われる。しかし、今までに提案された研究成果の多くは、非一体型のダイヤモンド外周刃切断砥石を使用しており、一般切断砥石を使用した研究は少ない。一般切断砥石は、非一体型のダイヤモンドやCBN切断砥石に比べ曲がりやすく、切断軌道の曲がりも生じやすい。さらに砥粒が摩耗しやすいこともあるため、多量の研削熱も発生しやすい。しかし、一般切断砥石は、各種材料の精密研削切断用砥石として多く使

用されているのが現状である。そこで本研究では、一般切断砥石による工作物SKH51およびアルミナセラミックスの高能率研削切断を行うために、振動クリープフィード研削<sup>(6)</sup>で行ったテーブル送り方向に工作物を微小振動させる研削方法を一般切断砥石による研削切断にも応用できると考え、工作物に微小振動を加えることの効果を実験的に調べた。

得られた主な結果は、次の通りである。

- (1) 工作物SKH51およびアルミナセラミックスを研削切断する場合、工作物に振動を加えることによって、研削動力は低下し、また動力の変動幅も小さくなり、安定な研削切断が行われる。
- (2) 工作物SKH51を研削切断する場合、工作物に振動を加えることによって、研削焼けおよび切断によるバリの発生を防止できる。
- (3) 工作物SKH51を研削切断する場合、工作物に振動を加えることによって、切断間隔を小さく、すなわち、切り離させる工作物の幅を小さくすることができる。

(参考文献)

- (1) 庄司, 精密工学会誌, 60-2(1994), 168.
- (2) 庄司・水野, 精密工学会誌, 55-10(1989), 1886.
- (3) 水野・井山・遠藤・森, 精密工学会誌, 59-7(1993), 1169.
- (4) 石川, 精密工学会誌, 60-2(1994), 163.
- (5) 石川・諏訪部・樹田・畝田, 精密工学会誌, 62-3(1996), 438.
- (6) 花崎・藤原・和田・長谷川, 機論, 60-573, C(1994), 1829.

## 球状黒鉛鑄鉄の高速切削における工具摩耗

花崎伸作\*1・藤原順介\*1・和田任弘・安富雅典\*2

Tool Wear in High Speed Turning of Nodular Cast Iron

Shinsaku HANASAKI\*1, Junsuke FUJIWARA\*1, Tadahiro WADA and Masanori YASUTOMI\*2

粉体および粉末冶金 44巻, 12号, (1997), 1151-1156.

ねずみ鑄鉄の高速切削に効果があるアルミナセラミックス工具で、球状黒鉛鑄鉄を切削すると、ねずみ鑄鉄切削時に比べ工具摩耗はかなり大きくなる。このため、球状黒鉛鑄鉄の切削に適した工具材種を選定するための研究報告は多い。たとえば、勝村らは<sup>(1), (2)</sup>,  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{TiC}$ セラミックス工具中のTiC量,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 粒度, TiC粒度が工具摩耗に及ぼす影響を調べ、逃げ面摩耗幅は、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 粒度, TiC粒度によらずTiC量の多い工具ほど小さくなることを報告している。また、鳴瀧らは<sup>(3)</sup>, アルミナ系セラミックス工具と炭化物系セラミックス工具とでは、炭化物系セラミックス工具が、球状黒鉛鑄鉄切削に適した工具であることを報告している。以上のことから、球状黒鉛鑄鉄の切削には、炭化物を多く含んだセラミックス工具が、有効な工具であると考えられるが、高速切削時や、高送り時での検討が、乏しいように思われる。セラミックスを超硬合金工具表面にコーティングすることによりセラミックスの耐摩耗性と超硬合金の耐欠損性を兼備えたコーテッド超硬工具は、球状黒鉛鑄鉄の高送り切削に効果があると考えられる。コーテッド超硬工具は、被削材に適したコーティング層を設計することが可能であり、これを、球状黒鉛鑄鉄切削に適用するためには、各種のコーティング層の切削特性を調べる必要がある。また、ねずみ鑄鉄の高速切削時や、焼入れ鋼などの硬質材料の切削に効果があるCBN工具も、高速切削には有効と考えられる。しかし、CBN工具は結合材によって工具摩耗に大きな差があるので、球状黒鉛鑄鉄の高速切削に適したCBN工具を明らかにする必要がある。そこで本研究では、球状黒鉛鑄鉄の高速・高送り旋削時に適した工具材種を明らかにするために、市販されているコーテッド超硬工

具、セラミックス工具、CBN工具の摩耗特性を調べ、それらの特性を比較検討した。さらに、球状黒鉛鑄鉄の切削に適した工具については、その理由を明らかにするためにSEM観察を行い考察を加えた。

得られた主な結果は、次の通りである。

- (1) コーティング層  $\text{TiN-TiCN-Al}_2\text{O}_3\text{-TiN}$  をCVDコーティングしたコーテッド超硬工具は、かなりの広範囲の切削速度で使用可能である。また送りが大きくなっても、使用できる。
- (2) TiC含有量の多いアルミナ系セラミックス工具も、かなりの広範囲の切削速度で使用可能である。しかし、送りが大きくなると、破損が生じやすい。
- (3) 球状黒鉛鑄鉄をTiCを含有したアルミナセラミックス工具で切削した場合、切削速度5m/s以下では、TiC含有量を多くすると工具摩耗が抑制される。しかし、高速切削時には、TiC含有量を多くすると、工具摩耗が促進される。
- (4)  $\text{TiN-Al}_2\text{O}_3\text{-TiN}$  をコーティングした窒化けい素系セラミックス工具も、球状黒鉛鑄鉄の高送りに適した工具である。しかし、切削速度が大きくなると破損が生じやすい。

(参考文献)

- (1) 勝村・蕎麦田・上原・鈴木, 粉体および粉末冶金, 36(1989)903.
- (2) 勝村・高橋・木曾・鈴木, 粉体および粉末冶金, 37(1990)566.
- (3) 鳴瀧・間田, 精密工学会誌, 53(1987)589.

\*1 大阪大学大学院工学研究科

\*2 大阪電気通信大学工学部

# チップブレイカに関する研究

花崎伸作\*・藤原順介\*・和田任弘

Study on Chip Breaker

Shinsaku HANASAKI\*, Junsuke FUJIWARA\* and Tadahiro WADA

粉体および粉末冶金 45巻, 2号, (1998), 147-152.

鋼の仕上げ旋削時における切りくず処理の重要性は古くからいわれており、チップブレイカによって、切りくずを折断するのが一般的である。しかし、最近のように、高速で切削が行われる場合には、切りくずが薄く柔軟になり折れにくい。そこで今までに、図1に示す広範囲の送りと切込みに対し切りくず折断可能なチップブレイカ形状を設計・試作し<sup>(1)</sup>、このチップブレイカを用いて、被削材SS400の乾式旋削時の切りくず折断機構<sup>(2)</sup>を明らかにした。さらに、このチップブレイカで4種類の鋼(SCM440, S55C, SUS304, SK5)を乾式旋削した結果、切りくず折断可能な送りと切込みの範囲はSS400に比べるとやや狭くなるが、実用上ほとんどの切削条件に対して切りくず折断可能なことがわかった<sup>(3)</sup>。しかしながら、この場合に得られた切りくずの形状は、SS400の乾式切削とは異なった形状の切りくずも生じており、既報<sup>(2)</sup>のSS400の場合とは異なった切りくず折断様式の存在がうかがえる。そこで本研究では、本チップブレイカ各部の切りくず折断に対する効果を詳細に調べることによって、広範囲の切削条件で切りくず折断可能なチップブレイカ的设计に有用な情報を得ることを目的とした。すなわち、本チップブレイカ付きバイトで各種鋼の乾式旋削を行い、切りくず折断機構を明らかにし、ブレイカ各部の切りくず折断作用について詳細に検討を加えた。

得られた主な結果は次の通りである。

- (1) 本チップブレイカ付きバイトで、5種類の鋼を乾式旋削した場合、切りくず折断様式は7つのタイプに分類できる。
- (2) チップブレイカ各部の切りくず折断有効範囲と切りくず形状は、次のようになる。微小面取りコーナは切込み、送りがともに小さい範囲において有効に作用し、タイプ1, 2の切りくずになる。ポジ

リード部のブレイカ壁は、それよりもやや大きい送りに対して有効に作用し、タイプ3の切りくずになる。ネガリード部のブレイカ壁は切込みが小さく、送りが大きい範囲において有効に作用し、タイプ5の切りくずになる。すくい面に設けた段は、切込みが大きく、送りが小さい範囲において、有効に作用し、タイプ4の切りくずになる。

- (3) 本チップブレイカの主切れ刃に垂直に設けた段は、切りくず生成時に切りくずに転写され、切りくずを横向きにカールさせるのに有効に作用する。さらに、この段は、切りくずが曲げられて折れる場合には、切りくずを折れやすくする効果がある。

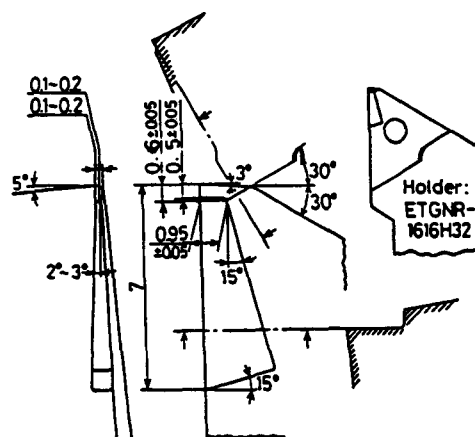


図1 広域型チップブレイカ

### (参考文献)

- (1) 長谷川・花崎・藤原・和田, 精密工学会誌, 52 (1986) 1211.
- (2) 長谷川・花崎・藤原・和田, 精密工学会誌, 52 (1986) 858.
- (3) 長谷川・花崎・藤原・和田, 精密工学会誌, 54 (1988) 1975.

\* 大阪大学大学院工学研究科

## オーステンパ処理球状黒鉛鋳鉄の切削における工具摩耗

和田任弘・藤原順介\*<sup>1</sup>・花崎伸作\*<sup>1</sup>・安富雅典\*<sup>2</sup>

### Tool Wear in Cutting of ADI

Tadahiro WADA, Junsuke FUJIWARA\*<sup>1</sup>, Shinsaku HANASAKI\*<sup>1</sup> and Masanori YASUTOMI\*<sup>2</sup>

日本機械学会論文集 (C編) 64巻, 626号, (1998), 4065-4071.

オーステンパ処理された球状黒鉛鋳鉄 (Austempered Ductile Iron 以後, ADIと呼ぶ.) は, 高強度・高硬度であるため, 機械部品としての利用が期待されている。しかし, 超硬合金工具による旋削 (切削速度1.67m/s) では, 工具寿命時間が数分程度しかなく, 切削がかなり困難な材料である<sup>(1)</sup>。このADIの切削には, 硬質材料の仕上げ切削に効果があるCBN工具やセラミックス工具が適した工具材種と考えられるが, それについては次のような報告がある。新谷ら<sup>(2)</sup>は, 結合材の異なるCBN工具を用い, 仕上げ切削における最適条件と工具材種の選定を行い, さらにCBN工具の摩耗機構について考察を加えている。また, 加藤ら<sup>(3)</sup>は, 配合要素の異なるCBN工具でADIの仕上げ切削を行い, 工具の配合成分やc-BN粒径が工具摩耗および仕上げ面粗さに及ぼす影響を検討し最適加工条件の検討を試みている。これらいずれの研究も, 仕上げ切削におけるCBN工具の有効性を示しているが, 送りや切込みが大きい場合に対する有効性は明らかでない。ねずみ鋳鉄の高送り切削には, セラミックス工具が一般に使用されており, 鳴瀧<sup>(4)</sup>も, ねずみ鋳鉄の切削にはセラミックス工具が適していることを示している。また, 高靱性の超硬合金を母材として, 耐摩耗性に優れたセラミックスをコーティングしたコーテッド超硬工具も, ADIの高送り切削に有効な工具と考えられる。木曾ら<sup>(5)</sup>は, 超硬合金, サーメット, コーテッド超硬合金, セラミックスの工具材種でADIの旋削を行い, 工具材種が工具摩耗に及ぼす影響について調べている。能率加工を実現するためには, 高速度・高送り切削は有効な手段であるが, ADIを高速切削したときの摩耗機構については, 明らかにされていない。そこで本研究では, ADIの高速

度・高送り切削時に適した工具材種を明らかにするために, 市販されているコーテッド超硬工具およびセラミックス工具の摩耗特性を調べ, それらの特性を比較検討した。さらに, 各工具の摩耗面のSEM観察を行い, 摩耗機構について考察を加えた。

得られた主な結果は次の通りである。

- (1) コーテッド工具の中では, Ti(CN)-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiN コーテッド工具の摩耗進行が最も遅かった。
- (2) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>セラミックス工具の摩耗進行も, Ti(CN)-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiN コーテッド工具と同程度に遅かった。
- (3) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>セラミックス工具, および低速切削時のSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>セラミックス工具の逃げ面には, アプレシブ摩耗が観察された。
- (4) 送りを0.4mm/revと大きくした場合, 切削距離が増加しても, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>セラミックス工具の工具摩耗は急増しない。これに対し, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>セラミックス工具は破損しやすく, またコーテッド工具では, コーティング層が摩滅し母材が露出すると, 工具摩耗は急増する。

(参考文献)

- (1) 上野・ほか3名, 機論, 54-503, C(1988-7), 1520.
- (2) 新谷・ほか3名, 精密工学会誌, 56-12(1990), 2261.
- (3) 加藤・ほか2名, 機論, 57-541, C(1991-9), 3027.
- (4) 鳴瀧, 機論, 58-543, C(1992-3), 675.
- (5) 木曾・ほか2名, 鋳物, 61-9(1989), 615.

\*1 大阪大学大学院工学研究科

\*2 大阪電気通信大学工学部

# 設計者の個性を考慮する構造物の概念設計支援

平 俊男・田中 正夫\*

Personalized Assistant for Conceptual Structural Design

Toshio HIRA and Masao TANAKA

日本機械学会論文集 (C編) 64巻, 621号 (1998), 1618~1625.

概念設計では、設計者個別の経験的・試行錯誤的な満足化が多様な尺度から行われる。提案する設計アシスタントシステムでは、設計者個別の価値観を候補提示に反映することを基本的機能とし、さらにゆらぎを許容しておく。これは、設計者の視点の切替えをもたらし、新規候補の検討を促す意味で重要となる。システムの候補生成・提示と設計者の意思決定との対話過程において、システムが設計者の個性を取込むのと共に、設計者は自らの価値観を明確にしていく(図1)。ここで示す個性化は、システムのそれであると同時に設計者のそれでもある。

複数の価値基準のそれぞれに対して、単一の価値基準を持つエージェントを準備する。エージェントは、競合候補の評価を遺伝的操作に基づく確率的な応答として表現する。各エージェントの適合度をもとにひとつのエージェントが選択され、その推薦する候補が提示される。提示候補に対する設計者の意思決定によって、適合度などのエージェントパラメータが変化し、これらには設計者個別の価値観が反映されていると考えられる。

ケーススタディとして橋梁構造物をとりあげ、構造機能性、優美さに関するデザイン性、経済性の価値基準を考え、異なる価値観を持つ2人の設計者I、IIについて、候補提示の様子を調べた。設計者I、アシスタントIは3支間ローゼアーチ橋(図2)、設計者II、アシスタントIIは3支間プラットトラス(図3)をそれぞれ生成し、このとき得られたエージェントパラメータを用いて、設計者I、IIに対する新たな設計支援を行った。橋梁形式の候補評価個体群(図4)では、アシスタントが支援対象とするそれぞれの設計者へ個性化を進めていることが分かる。このとき、構造機能性を重視すると考えられる設計者IIが、構造機能性に劣るつり橋形式を選択した場合においても、アシスタントIIは、けた形式に関して構造機能性に有利なトラスけた(図5(b))を候補として多く提示することがみとめられた。このことは、アシスタントにとって初めての候補提示においても獲得された個性が反映されることを表している。また、この提示はつり

橋形式によって優美さを表現し、トラスけたで構造機能性を持たせる新たな候補の示唆といえるものである。すなわち、候補提示のゆらぎによって設計者に多様な候補を検討させながらも、大域的には方向性を保つ設計支援となることが分かる。

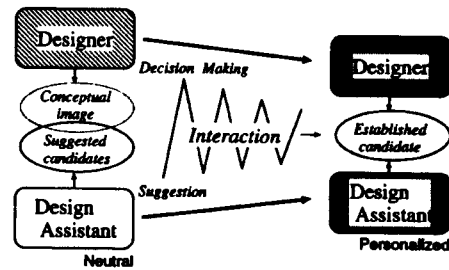


Fig.1 Personalization at the conceptual stage



Fig.2 Established 3-spanned Lohse arched bridge by Designer I and Assistant I

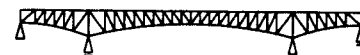


Fig.3 Established 3-spanned Pratt truss bridge by Designer II and Assistant II

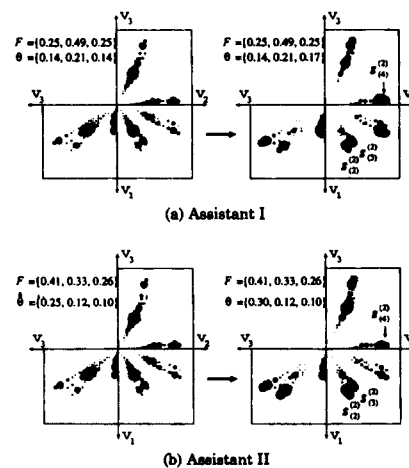


Fig.4 Candidate population at P<sub>2</sub> on the second assisting

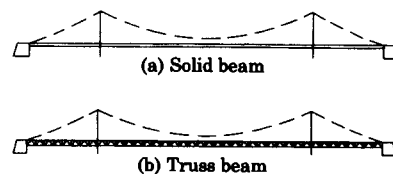


Fig.5 Candidates for beam type of suspension bridge

\* 大阪大学大学院基礎工学研究科

## 回転水中紡糸法によるCo-Cu-Be-合金細線の製作とその凝固組織

島岡三義・大中逸雄\*・山内 勇\*\*・前田宗彦\*\*\*

Production of Co-Cu-Be Alloy Fiber by In-Rotating-Water-Spinning Process and Its Solidification Structure

Mitsuyoshi SHIMAOKA, Itsuo OHNAKA,  
Isamu YAMAUCHI and Munehiko MAEDA

日本金属学会誌、第61巻、第10号 (1997)、pp.1115-1121.

回転水中紡糸法における5～97at%CuのCo-Cu合金の紡糸性についてのBe添加の効果、得られた細線の凝固組織および引張試験による機械的性質を調べた。Be濃度5at%のCo-Cu-Be合金では、1.5m以上の長い、高い円形度の断面を有する連続細線が得られた (Fig.1 参照)。長い細線を製作するには、ノズル部を急激に絞り、溶融合金と石英ノズルとの反応が過度に進行しない内にすばやく噴射することが重要であった。5～50at%Cuにおいては、急冷によって一層微細化されたCo-rich相のデンドライト凝固組織となり、デンドライト二次アーム間隔は冷却速度の約1/3乗に逆比例した。Cu濃度の増大にともない、デンドライト二次アーム間隔が減少し、その傾向は計算された結果と比較的良好に一致した。60～80at%Cuでは、Co-rich相とCu-rich相に分離した粒状組織が観察された (fig.2, fig.3 参照)。これらの組織は、急冷によって液相分離温度以下に過冷された結果形成されるものであり、

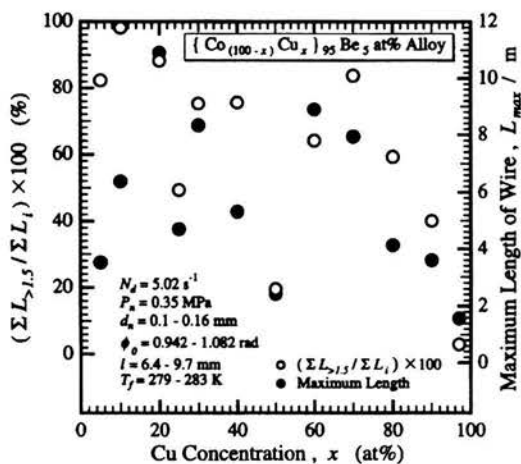


Fig.1 Spinnability of Co-Cu alloys with 5at%Be.

- \* 大阪大学工学部材料開発工学科  
(現在：大阪大学大学院知能・機能創成工学専攻)
- \*\* 大阪大学工学部材料開発工学科  
(現在：大阪大学大学院マテリアル科学専攻)
- \*\*\* 奈良工業高等専門学校電子制御工学科学生  
(現在：大阪大学基礎工学部学生)

本プロセスでは80Kあるいはそれ以上の過冷が生じているものと推定される。90および97at%Cuでは、Cu-rich相のデンドライト凝固組織が観察された。急速凝固細線の伸びは5at%Cuで20%であり、Cu濃度の増大に伴い伸びは減少した。二相分離組織の場合、伸びはおよそ5%以下であったが、折れることなしに180度以上の曲げを可能にする良好な靱性があった (Fig.4 参照)。引張強さは300～600MPaの範囲であった。

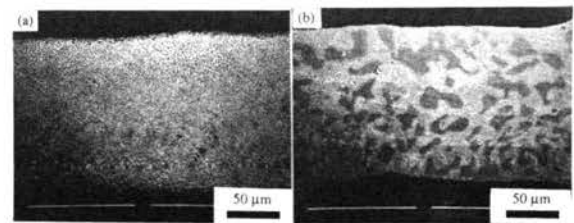


Fig.2 SEM views of longitudinal section of rapidly solidified  $(\text{Co}_{40}\text{Cu}_{60})_{95}\text{Be}_5$  wire. (a) $dn=0.12\text{mm}$ ,  $\phi_0=1.012\text{rad}$ , (b) $dn=0.15\text{mm}$ ,  $\phi_0=0.925\text{rad}$

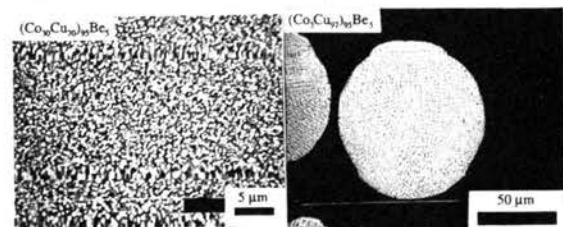


Fig.3 SEM views of rapidly solidified structure of  $(\text{Co}_{30}\text{Cu}_{70})_{95}\text{Be}_5$  and  $(\text{Co}_3\text{Cu}_{97})_{95}\text{Be}_5$  wires.

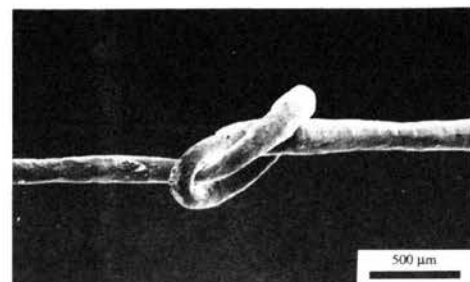


Fig.4 SEM view of as-cast  $(\text{Co}_{50}\text{Cu}_{50})_{95}\text{Be}_5$  wire with fully ductility.

# DEPENDENCE OF TEMPERATURE ON SURFACE TENSION AND SHAPE OF DROPLET ON A HORIZONTAL FLAT PLATE

T.Nakata, T.Hosokawa,\* and Y.Fujiwara\*

Proceedings of the Sixth Australasian Heat and Mass Transfer Conference,(1998), Begell House, Inc.,337-344.

On dropwise condensation, it has been well known that the behavior of condensate drops on a condensing surface has a main effect on the heat transfer characteristic. And authors have investigated the relation between the behavior of condensate drops and the heat transfer. From previous papers, we found that it was very important to make clear the shape of droplets on a condensing surface. We firstly investigated the dependence of temperature on surface tension by maximum bubble pressure method, because the shape of a droplet was influenced by the surface tension. Figure 1 shows the experimental results for each mole concentration of SLS solution. However, we can not usually obtain the close shape of a droplet while the condensing drops are grown up with time.

Therefore, in this paper, we estimate the shape of a droplet on unwettable flat plate in the air. We discussed the shape of a droplet by using CCD camera and compared the experimental results with its calculated results. Figure 2 shows the relation between the diameter  $D$  and the aspect ratio (height  $h$  divided by diameter  $D$ ) of a droplet for several surface tension  $\sigma$ .

Conclusions were drawn as the followings;

1. The dependence degree of changeable temperatures on surface tension was obtained under 100 °C.
2. For several surface tensions, limit diameters of droplets which we were able to estimate as spherical shape were obtained.

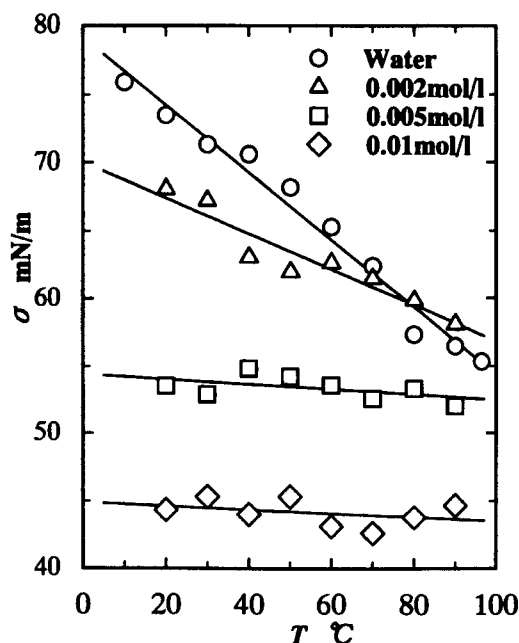


Fig.1 Relation between  $\sigma$  and  $T$

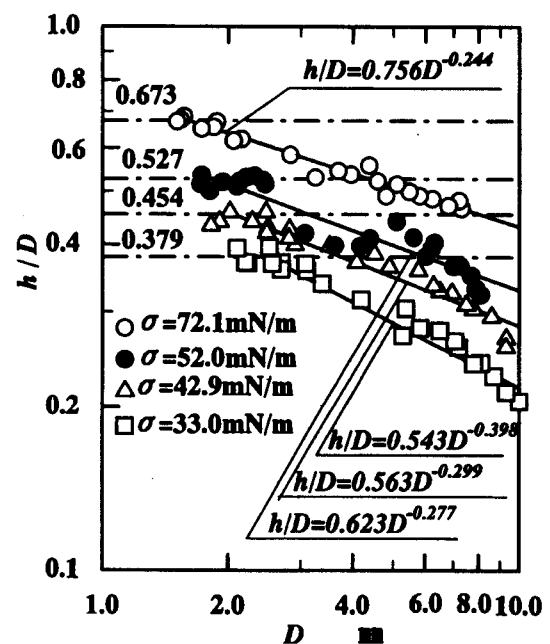


Fig.2 Relation between aspect ration ( $h/D$ ) and  $D$

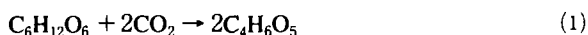
\* Himeji Institute of Technology.

## Application of Bubble Column Fermentors to Submerged Culture of *Schizophyllum Commune* for Production of L-Malic Acid

Mikio Kawagoe, Keiichi Hyakumura, Shin-Ichiro Suye,  
Koujirou Miki and Kazumitsu Naoe

Journal of Fermentation and Bioengineering, 84, 333-336 (1997)

Some mushrooms produce useful materials such as organic acids, vitamins, enzymes and polysaccharides that have been evaluated as anticancer agents. Litchfield *et al.* investigated the submerged culture of morel mycelia employing a glass bottle with an aeration tube as a culture vessel for the purpose of large scale production. Tachibana found that one strain of *Schizophyllum commune* efficiently produces L-malic acid, which is used as a food additive, from glucose and calcium carbonate. They inferred from their experimental data that L-malic acid in the culture of *S. commune* IFO-4928 was produced through the following reaction called CO<sub>2</sub>-fixing fermentation:



They investigated in detail the effects of various components in the medium on L-malic acid production in shaking flask culture and the effect of pressure in a jar fermentor.

Cultures of mushroom mycelia are aerobic. For such aerobic cultivation, bubble columns, which have been used as gas-liquid reactors in the chemical industry and bioreactors in the biochemical industry, are considered to be adequate because they have high oxygen transfer rates and excellent mixing properties despite their simple construction. In this study, to find optimum designs and operating conditions for the large-scale culture of mushroom mycelia in bubble column fermentors, we investigated the effects of air flow rate, cultivation temperature and composition of medium on the production of L-malic acid by *S. commune* using two types of bubble columns.

Maximum yields of L-malic acid were attained at a superficial air velocity of 0.7 cm/s for the standard bubble column and 1.7 cm/s for the external-loop airlift column. The optimum temperature was 27 °C for both types of column, and the optimum concentrations of both calcium carbonate and glucose were 50 g/l. The yield of L-malic acid under optimum conditions for the airlift column was larger than for the

standard bubble column.

From the comparison of the production rates of L-malic acid in flask culture, a jar fermentor, an airlift column, and a standard bubble column, the airlift bubble column was found to be most suitable for the culture of *S. commune* for L-malic acid production.

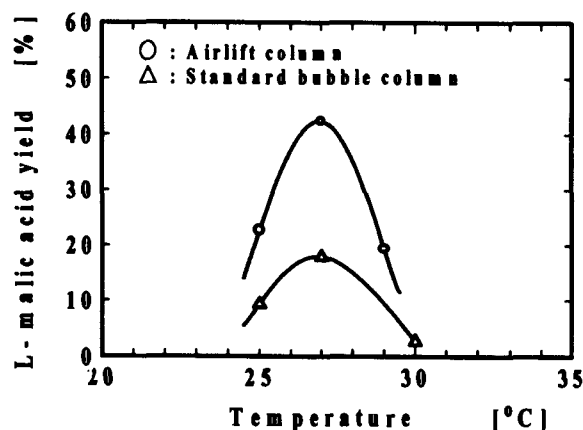


Fig. 1 Effect of temperature on L-malic acid yield for the airlift column and the standard bubble column.

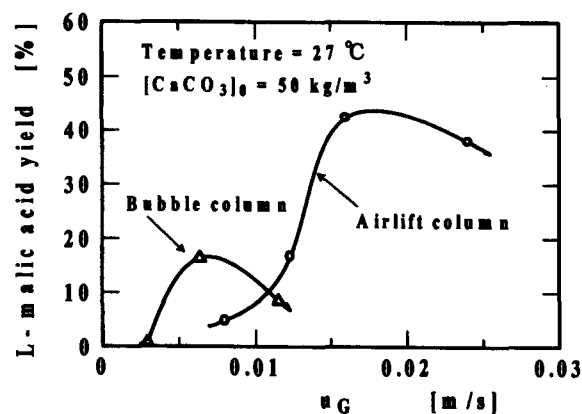


Fig. 2 Effect of superficial gas velocity on L-malic acid yield for the airlift and the standard bubble columns.

## 学校5日制と高専生の意識

木村倫幸・中村善一

Five-Days School System and Consciousness of Students

Tsuneyuki KIMURA and Yoshikazu NAKAMURA

### 1. はじめに

本校に学校5日制が導入された1992年4月よりすでに6年以上が経過した。この時期本校においては、制度的には本科のカリキュラムの改訂(1988年度入学生より段階的实施—ただし学科によって多少時期が異なる)、専攻科の設置(1992年度)など、大きな変革の波が押し寄せて来、これは将来の構想・改革という問題として今もなお続いている。また教育の側面から見れば、学生の毎年のような質の変化、少子化傾向の見通しなど、高専教育の存在そのものが問われる時代となってきた。

このような時期に、本校において現在では当然過ぎるぐらいの既成事実として受け止められている学校5日制についての調査結果を報告することは、この調査結果を通して現在の高専生の意識の一部を垣間見、そこに将来の高専制度の改革の契機を見い出すことができるのではないかと考えるからである。

### 2. 学校5日制の導入と経過

上述のように、本校では92年4月に学校5日制が導入された。しかしこの導入は、これに対する教職員や学生の側の準備も制度的条件も全く整わぬまま実施されたので、学内に多大の混乱を引き起こした。例えば、1週間当たりの総授業時間数を据え置いたまま、授業日数を週6日から週5日へと圧縮したことによる授業の過密、しかも実施当時、その授業が1授業時間当たり50分間そのままとされたため、午前の授業が終了する時刻が12時40分となる不自然さ、また8時間授業の日には終業時刻が17時になり、教職員の勤務時間を超過してしまう恐れもあること、さらには諸会議をこの授業終了後に行わざるを得ないことによる教官の負担増などである。学校5日制の急激な実施によるこうした矛盾は誰の目にも明らかとなり、同年7月に厚生補導委員会によって実施された学生アンケートでもその実態が示された。<sup>①</sup>

これらの諸問題を解決するために、その半年後の10月よりいくつかの改善策が実施された。すなわち従来1授業時間50分を基本としていた授業時間を、2授業時間連続で90分を基本とし、例外的な場合にのみ1授業時間を45分とするという授業時間の改革、またこれに伴って休憩時間の5分間を融通させてとることができることとしたこと、などである。こうした改善策の結果、教職員、学生の負担はある程度軽減されることになった。<sup>②</sup>

その後88年度より段階的に実施されてきたカリキュラムにおける10単位減が徐々に完成されたこともあって、学校5日制は、本校で定着した制度となったと思われるが、しかし実施当初に問題となった諸課題が完全に克服されたとは言えない側面も残っている。

### 3. 調査の対象と方法

本調査は、94年から98年の5年間にわたって実施された。調査の時期は概ね1月末～2月であり、その対象は、本校

第1学年、第3学年および第4学年に在籍の学生で、それぞれの対象人員は、次の表の通りである。対象学年をこの3学年としたのは、調査集計にあたる側の理由が主であるが、調査対象を第1学年と第4学年とすることで、高専の低学年と高学年とを代表させ、またその中間的な状態にあると思われる第3学年を対象とすることで、過渡的な状況を探ろうとした。なおいずれの年度、対象学年とも、1学年5クラスのうちの3～5クラスを調査しているので、その学年の主要な傾向を調査することができたのではないかと考える。

調査項目は、(1)週末(土曜日・日曜日)の生活について——①生活での「ゆとり」について、②「ゆとり」の時間の使い方、③クラブ活動について、④アルバイトについて、⑤土曜日の図書館利用について、(2)平日(月～金曜日)の生活について——①生活の「ゆとり」について、②クラブ活動について、③アルバイトについて、(3)全体として現時点での学校5日制について——の3部から構成されている。

ただし本稿では、(1)週末(土曜日・日曜日)の生活について、(2)平日の生活についての項目で、ともに基本的な設問事項についてのみ分析評価を行ない、クラブ活動、アルバイト、および土曜日の図書館利用については次回にまわすこととした。

なお本校におけるこの種の調査には、前述の92年7月の厚生補導委員会による調査(学生主事[当時]・泉生一郎化学工学科教授)、並びに翌93年2月に実施された、同じく厚生補導委員会による調査がある。本調査はこれらの先例に学び継承する性格のものである。調査項目等についても、これらの調査を参考にさせていただいた。

### 調査対象人員

年 度	94	95	96	97	98
第1学年	117	121	123	120	112
第3学年	118	116	152	168	148
第4学年	182	175	119	96	118

## 4. 調査結果と分析

Q：学校5日制が実施されていますが、あなたの週末(土・日曜を意味する)の生活にゆとりがありますか。

### 第1学年

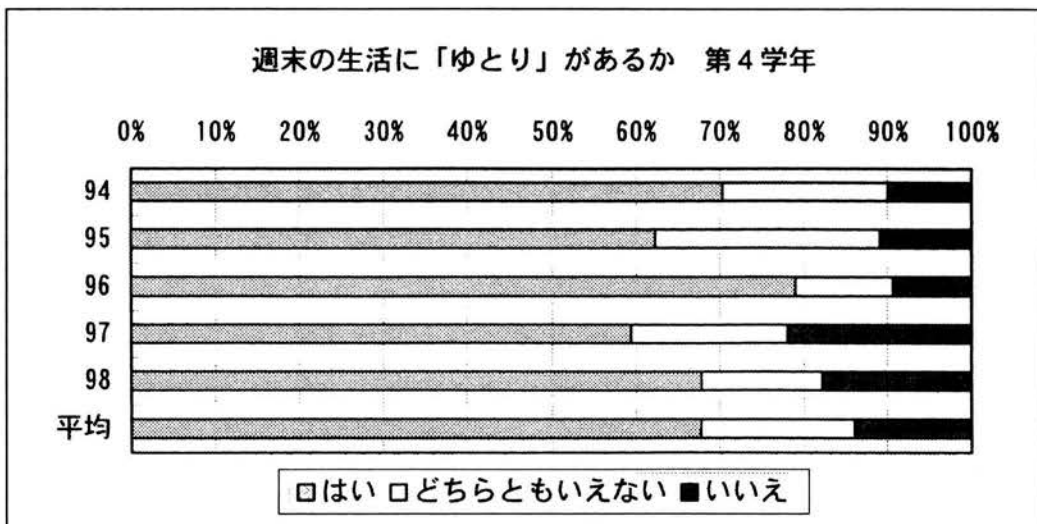
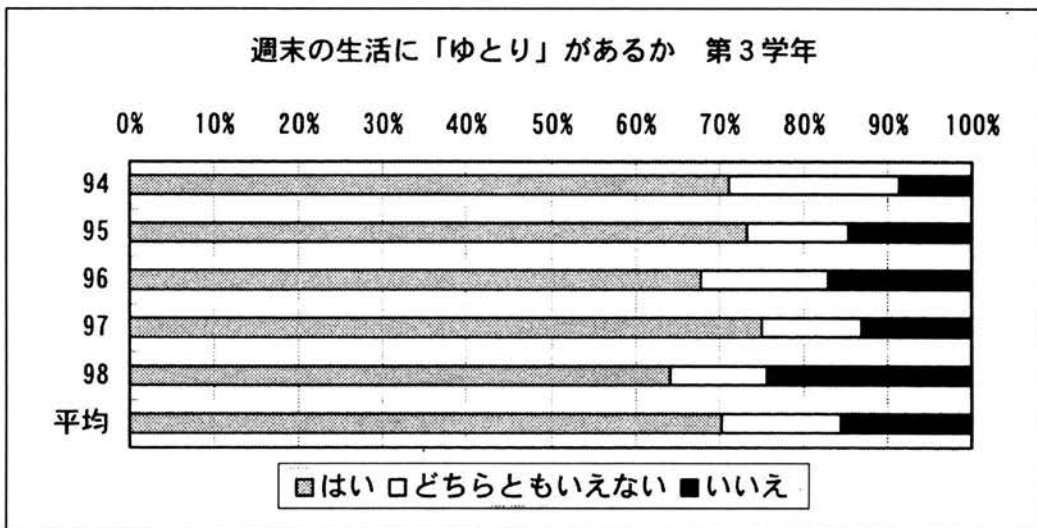
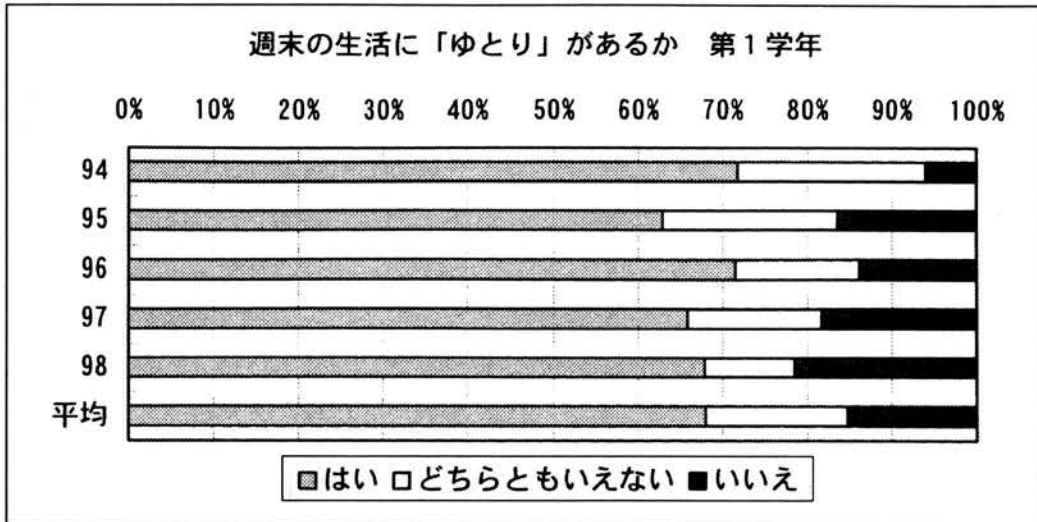
年 度	94	95	96	97	98	平均
はい	84(72%)	76(63%)	88(71%)	79(66%)	76(68%)	68%
いいえ	7(6%)	20(16%)	17(14%)	22(18%)	24(21%)	15%
どちらともいえない	26(22%)	25(21%)	18(15%)	19(16%)	12(11%)	17%

### 第3学年

年 度	94	95	96	97	98	平均
はい	84(71%)	85(73%)	103(68%)	126(75%)	95(64%)	70%
いいえ	10(9%)	17(15%)	26(17%)	22(13%)	36(24%)	16%
どちらともいえない	24(20%)	14(12%)	23(15%)	20(12%)	17(12%)	14%

### 第4学年

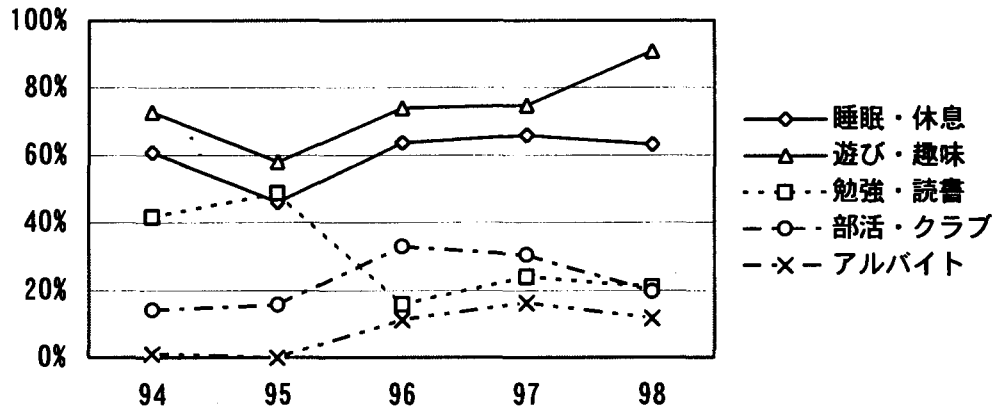
年 度	94	95	96	97	98	平均
はい	128(70%)	109(62%)	94(79%)	57(59%)	80(68%)	68%
いいえ	18(10%)	19(11%)	11(9%)	21(22%)	21(18%)	14%
どちらともいえない	36(20%)	47(27%)	14(12%)	18(19%)	17(14%)	18%



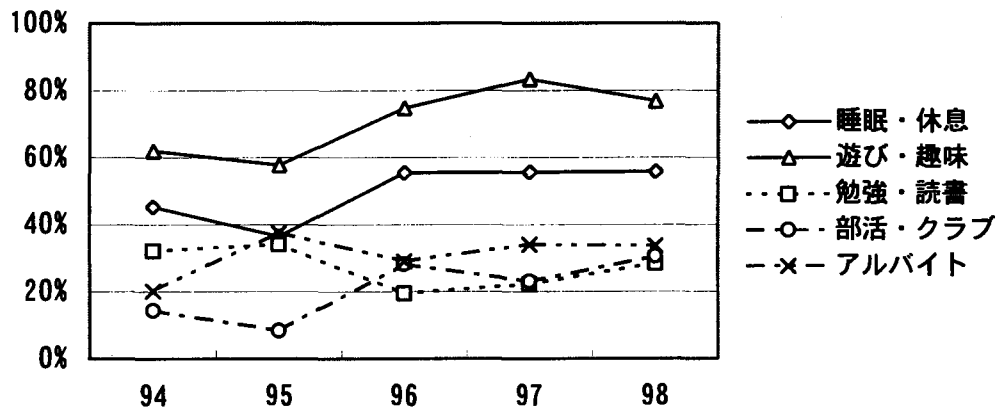
約70%の学生が、ゆとりがあると答えており、土・日曜の二日連続の休みは肯定的評価を受けている。この設問では学年による差が余りない。しかし「いいえ」と「どちらともいえない」の合計が約30%ある中では、年度がさがるにつれて「どちらともいえない」の回答の比率が減少し、「いいえ」の回答の比率が増加しており、土・日曜にゆとりがないと明確に意思表示する学生が増加している。

Q：上の問で、週末（土・日曜）にゆとりがあると答えた人は、そのゆとりの時間を何にあてていますか。具体的に2つ程度あげて下さい。

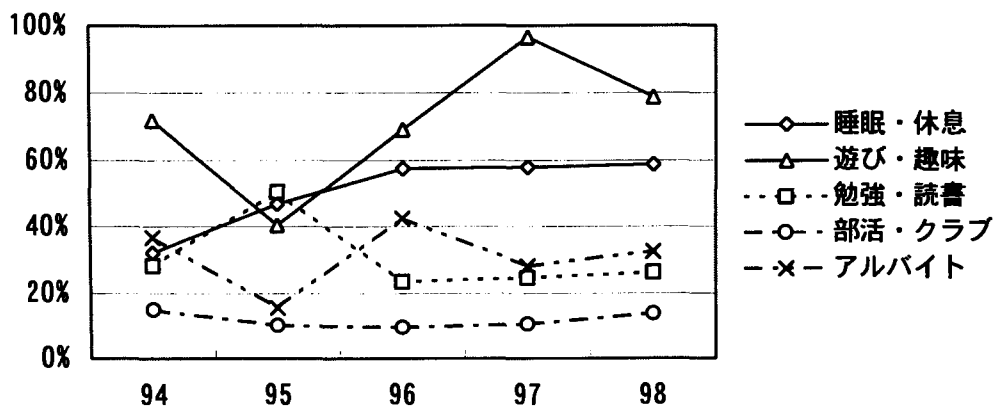
週末における時間の過ごし方 第1学年



週末における時間の過ごし方 第3学年



週末における時間の過ごし方 第4学年



この設問については、興味深い結果が見られる。まずいずれの学年においても、ゆとりの時間をあてる第1位が「遊び・趣味」であり、第2位が「睡眠・休息」であることは共通している。

ところが第3位以下になると明確な差が見られる。すなわち第1学年では、3位、4位がそれぞれ「勉強・読書」と「部活・クラブ」であり、5位が「アルバイト」であるのに対して、第3、第4学年では、「アルバイト」が3位に浮上する。そして4位、5位に「勉強・読書」「部活・クラブ」が位置する関係になる。また第4学年の「勉強・読書」と「部活・クラブ」の比率では、「部活・クラブ」が顕著に低下している。

なお第1学年の「アルバイト」については、5年間の総計では5位であるものの、ここ3年間（96年以降）増加していることが注目される。

平日（月～金）の生活について

Q：学校五日制実施の平日の生活にゆとりがありますか。（特に授業などで）

第1学年

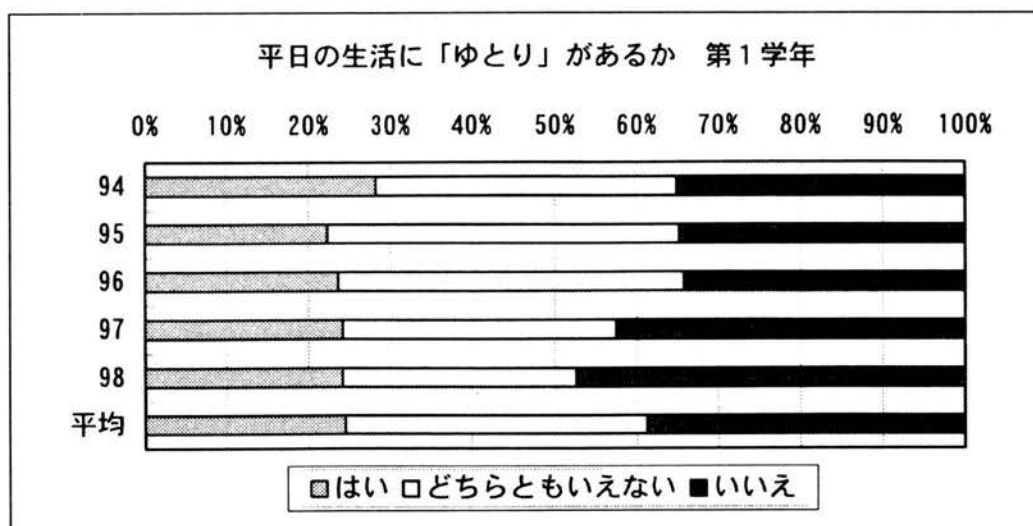
	94	95	96	97	98	平均
はい	33 (28%)	27 (22%)	29 (24%)	29 (24%)	27 (24%)	24%
いいえ	41 (35%)	42 (35%)	42 (34%)	51 (43%)	53 (47%)	39%
どちらともいえない	43 (37%)	52 (43%)	52 (42%)	40 (33%)	32 (29%)	37%

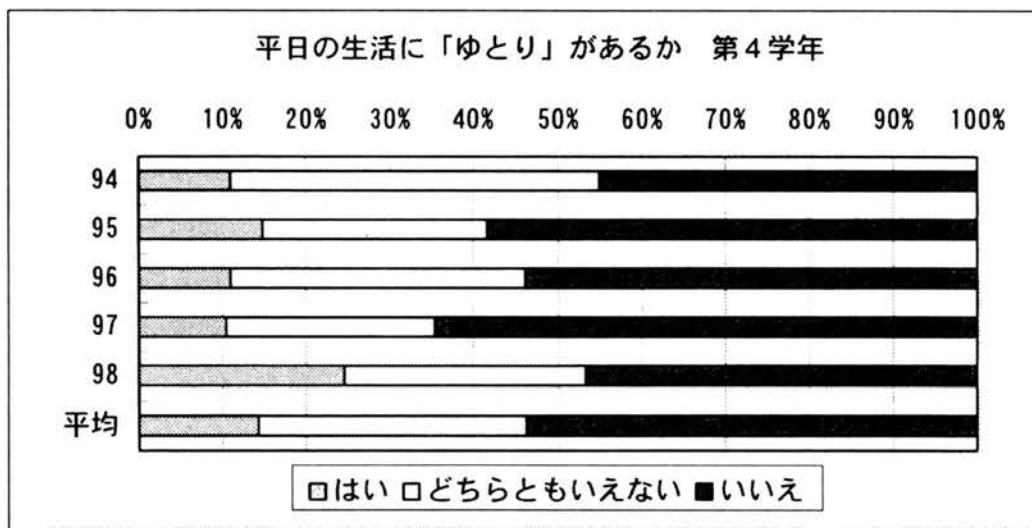
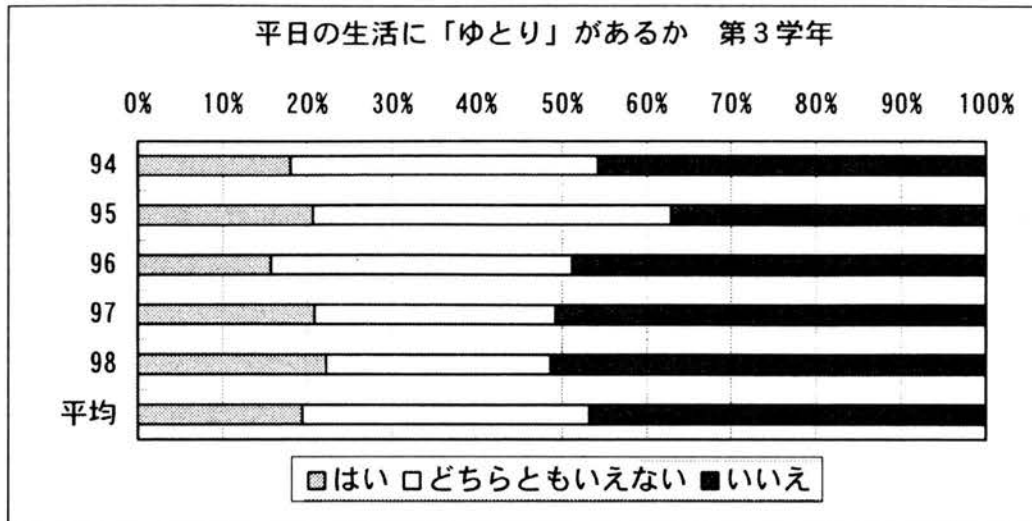
第3学年

	94	95	96	97	98	平均
はい	21 (18%)	24 (21%)	24 (16%)	35 (21%)	33 (22%)	19%
いいえ	53 (46%)	43 (37%)	74 (49%)	85 (51%)	76 (51%)	47%
どちらともいえない	42 (36%)	49 (42%)	54 (35%)	48 (28%)	39 (27%)	34%

第4学年

	94	95	96	97	98	平均
はい	20 (11%)	26 (15%)	13 (11%)	10 (10%)	29 (24%)	14%
いいえ	82 (45%)	102 (58%)	64 (54%)	62 (65%)	55 (47%)	54%
どちらともいえない	80 (44%)	47 (27%)	42 (35%)	24 (25%)	34 (29%)	32%





この設問では、すべての学年において否定的評価が肯定的評価を上回っている。しかも学年の進行とともに肯定的評価が減少し、否定的評価が増加している。すなわち第1学年では「ゆとりがある」と「いいえ」の回答平均が、それぞれ24%と39%であるのに対して、第3学年では、19%と47%に、第4学年では、14%と54%になっている。特に第4学年では、半数以上の学生が否定的回答を寄せており、「どちらともいえない」の回答を重ねると85%以上の学生が「ゆとり」を感じていないようである。平日における「ゆとり」についてこのような状況は、カリキュラム上の重要な課題を提起すると考えられる。

Q：全体として現時点で学校5日制は？

**第1学年**

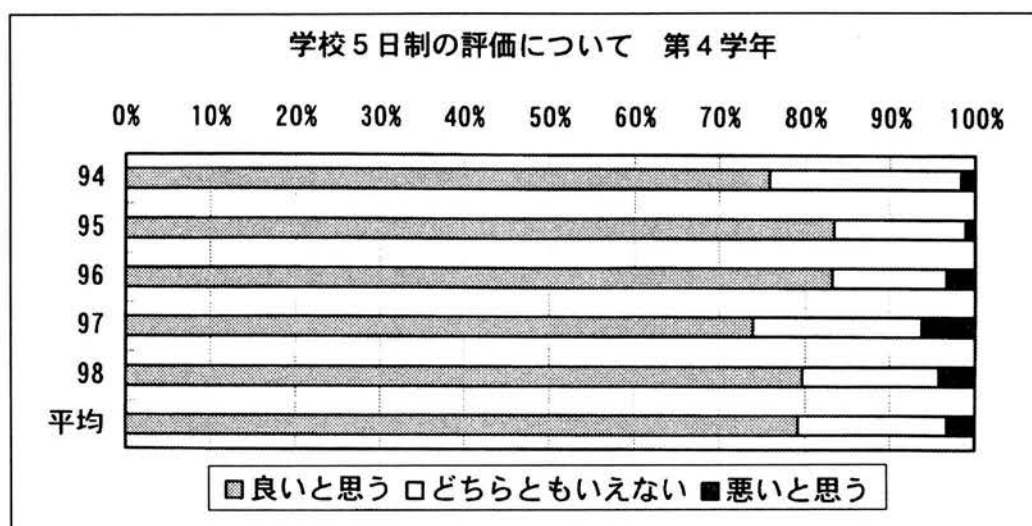
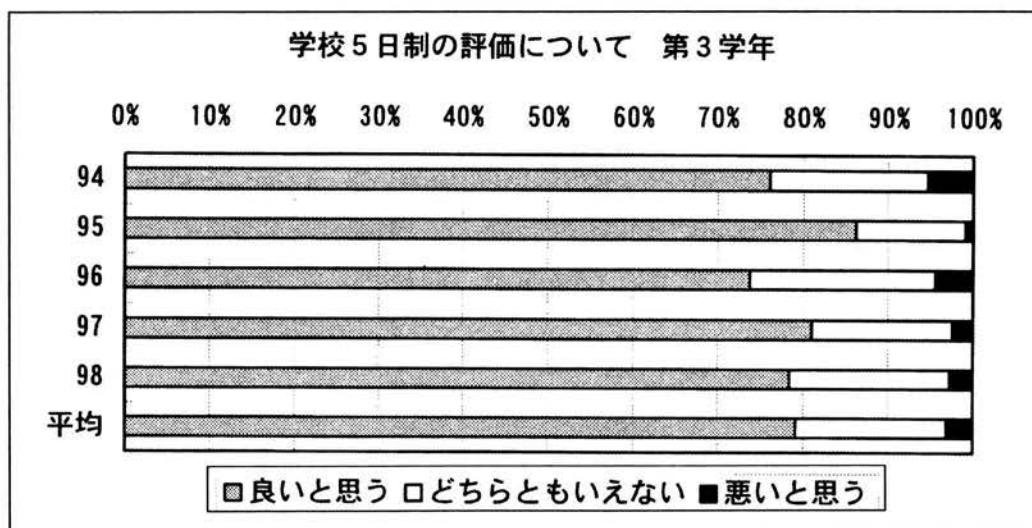
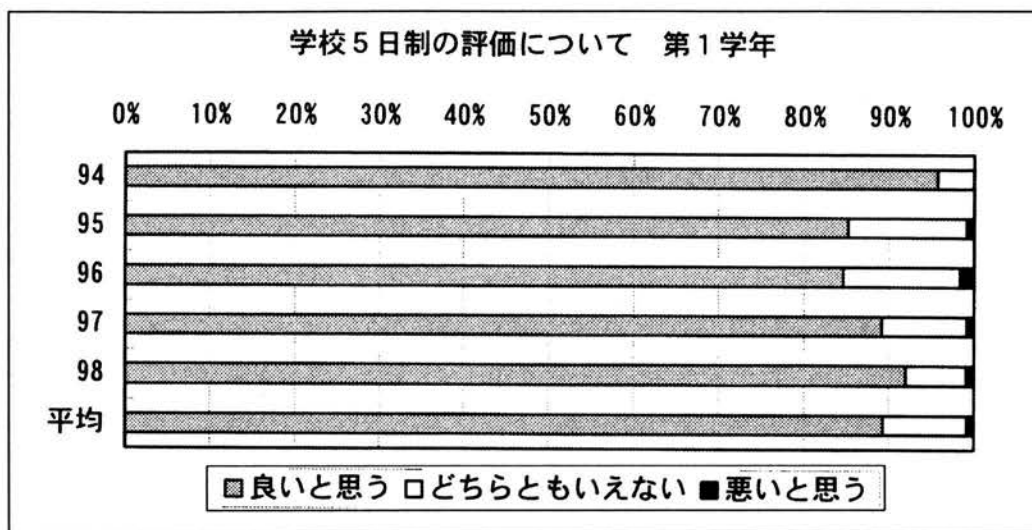
年 度	94	95	96	97	98	平均
良いと思う	111 (96%)	103 (85%)	104 (84%)	107 (89%)	103 (92%)	89%
悪いと思う	0 (0%)	1 (1%)	2 (2%)	1 (1%)	1 (1%)	1%
どちらともいえない	5 (4%)	17 (14%)	17 (14%)	12 (10%)	8 (7%)	10%

**第3学年**

年 度	94	95	96	97	98	平均
良いと思う	86 (76%)	100 (86%)	112 (74%)	136 (81%)	116 (78%)	79%
悪いと思う	6 (5%)	1 (1%)	7 (4%)	4 (2%)	4 (3%)	3%
どちらともいえない	21 (19%)	15 (13%)	33 (22%)	28 (17%)	28 (19%)	18%

第4学年

年度	94	95	96	97	98	平均
良いと思う	138(76%)	146(83%)	99(83%)	71(74%)	94(80%)	79%
悪いと思う	3(2%)	2(1%)	4(3%)	6(6%)	5(4%)	3%
どちらともいえない	41(22%)	27(16%)	16(14%)	19(20%)	19(16%)	18%



この設問については、いずれの学年でも圧倒的多数が肯定的評価であり、否定的評価は少数に過ぎない。しかし第1学年で約10%、第3、4学年で約20%の学生が「どちらともいえない」と回答しているのは、今後検討されるべき複雑な内容を含んでいるようである。

## 5. 評価と今後の課題

以上の調査結果から、概ね次のような事柄が結論されるであろう。

①学校5日制は、約80%の学生が肯定的評価を下しており、制度としてはほぼ定着している。しかしこれに対する否定的評価は、少数派であるとはいえ根強いものがある。

②この否定的評価の理由の一つとして、週末(土・日曜日)と平日(月～金曜日)における、ゆとりの有無・格差があげられる。すなわち週末においては約70%の学生が生活にゆとりを感じているのに対して、平日ではその割合が20%程度に過ぎない。つまり週に2日間の休みがあるとはいえ、平日の5日間の授業は、学生にとって、特に高学年になるほど膨大過密なものとして受け止められているということである。この状況については、本稿では割愛したが、「学校5日制の長所・短所」の自由記述の回答で、「短所」として平日の授業の過密を記した学生が目立ったことから裏付けられるようである。

本調査結果にあらわれたような、平日の学校生活においてゆとりの無さを学生が感じているという状況は、今後学校5日制を維持していく上で大きな問題をはらんでいると言わねばならない。

③週末におけるゆとりの時間の使い方については、いずれの学年でも「遊び・趣味」「睡眠・休息」が上位に来ているのは、上述の、平日のゆとりの無さとの関係で、その裏返しとして考えるべきであろう。またアルバイトについては、高学年で目立ち、第1学年でも近年増加していることが注目される。これについての詳細は次に譲らざるを得ないが、学生生活におけるアルバイトの占める位置については、厚生補導の視点からの分析も必要であろう。

以上学校5日制に関する学生の意識について、その一端を紹介したが、このささやかな調査結果だけからでも、高専の現状とあり方についてのさまざまな問題点が浮かび上がってくる。われわれは、このような現実には足を踏まえて、今後の高専像を見据えていく必要があるように思われる。

最後に、本調査の実施に際して多大のご協力をいただいた諸先生方に心より感謝の意を表します。

註 ① 1992年度(平成4年度)奈良工業高等専門学校 厚生補導研修会報告書、pp.10～14およびpp.33～39.

② 1993年度(平成5年度)近畿地区高等専門学校教官研究集会報告書、pp.36～44.

## 教育研究活動一覽

### (機械工学科)

アモルファス合金の熱的安定性と水素ぜい化について

岩井保善

KOYO LINDBERG NEWS,

Vol. 606, (1997)

歳差運動するオープン形遠心羽根車に作用する流体力モーメント

横山大造 (阪大院), 吉田義樹 (阪大基工), 辻本良信 (阪大基工), 大橋秀雄 (工学院大), 加納文質

日本機械学会関西支部第73期定時総合講演会  
(1998年3月24日 講演)

ふれまわり運動するオープン形遠心羽根車に作用する流体力

石井伸弘 (阪大院), 横山大造 (阪大院), 吉田義樹 (阪大基工), 辻本良信 (阪大基工), 大橋秀雄 (工学院大), 加納文質

日本機械学会論文集 (B編), 63巻615号 pp3609-3616  
(1997年11月)

ボルツマン修正方程式を用いた低浮上量スライダの開発

福島稔彦 (シャープ), 稜野勝 (シャープ), 加納文質, 相良智行 (シャープ), 松田健 (シャープ)

日本機械学会第75期通常総会講演会  
(1998年3月31日 講演)

円柱列を通過する粘弾性流体の流れにおける圧力損失測定と流れの可視化

小柴 孝, 森 教安 (阪大・工), 中村喜代次 (阪大・工)

日本レオロジー学会誌 vol.26, No.1, pp27~34

H型のダイレス曲げ

小島耕二, 吉備和敏 (専攻科), 関口秀夫, 南条 實 (南条製作所)

平成10年度塑性加春季講演会論文集, pp57~58  
(1998)

ダイレス加工技術の応用

小島耕二

日本塑性加工学会第17回ロールフォーミング公開セミナー (ロールフォーミング製品の付加価値向上技術)  
(平成10年7月28日 講演)

ミニたたら操業実験と物造り教育

小島耕二, 関口秀夫

日本塑性加工学会誌「塑性と加工」, 39-450, pp741~742 (1998)

高圧空気により駆動される船舶用推進装置および蒸発によって誘起される薄い液相内のベナール対流について

坂本雅彦

日本機械学会関西支部流体工学懇話会  
(1997年10月25日 講演)

Evaporation-Induced Cellular Convection in Thin Liquid Layers

Wen-Jei Yang (The Univ. of Michigan), Kai-Hua Guo (Chinese Academy of Science), and Masahiko Sakamoto

Experimental Heat Transfer, vol.10, No.3, pp191-206 (1997)

焼付き機構に関する基礎的研究 (Lim & Ashby の条件と Burwell & Strang の条件の比較)

野々垣 稔, 八木和行 (東京工業大学・院), 中原綱光 (東京工業大学)

日本トライボロジー学会トライボロジー会議'97大阪  
(1997年11月5日 講演)

構造形態イメージより想起される感覚的印象に関する考察（構造物の概念設計を例として）

平 俊男, 名古朋子, 田中正夫 (阪大基工),  
日本機械学会 第7回設計工学・システム部門講演会  
(1997年11月 講演)

概念設計における視覚的思考に関する一考察

平 俊男, 田中正夫 (阪大基工),  
NCP研究会・機械の強度と形態研究懇話会 (日本機械  
学会関西支部) 第21回シンポジウム  
(1997年12月 講演)

設計者の個性を考慮する構造物の概念設計支援

平 俊男, 田中正夫 (阪大基工),  
日本機械学会論文集 (C編), 64巻, 621号,  
(1998-5), pp1618-1625

Web アクセスに見る奈良高専像—機械工学科・  
情報工学科の場合—

平 俊男, 武藤武士,  
高専情報処理教育研究発表会予稿集, pp144-147,  
(1998年8月25日 講演)

煮沸封入による高負圧発生の試み

廣 和樹, 國本雅弘(神大工), 大出義仁(名工大生シ工)  
平成10年秋季第59回応用物理学会学術講演会  
(平成10年9月17日 講演)

Tool Wear in High Speed Turning of Sintered Steels

Shinsaku HANASAKI (Osaka Univ.), Junsuke FUJIWARA  
(Osaka Univ.), Tadahiro WADA  
Proc. of ICPE '97, pp351-356  
November 1997

球状黒鉛鑄鉄の高速切削における工具摩耗

花崎伸作 (大阪大学), 藤原順介 (大阪大学), 和田任  
弘, 安富雅典 (大阪電通大)  
粉体および粉末冶金, 44巻12号, pp1151-1156,  
1997年12月

チップブレイカに関する研究

花崎伸作 (大阪大学), 藤原順介 (大阪大学), 和田任弘,  
粉体および粉末冶金, 45巻2号, pp147-152,  
1998年2月

振動研削切断

花崎伸作 (大阪大学), 藤原順介 (大阪大学), 和田任弘  
日本機械学会論文集 (C編), 64巻622号, pp2267-  
2272, 1998年6月

AN EXPERIMENTAL AND NUMERICAL  
ANALYSIS OF TURBULENT HEAT TRANSFER  
IN A CONFINED COAXIAL JET

Marek Jaszczur, Elzbieta Fomalik, Zygmunt Kolenda, Janusz  
S. Szmyd (Staszic Univ of Mining and Metallurgy), Masanori  
Yao, and Kenjiro Suzuki (Kyoto Univ.)  
Transport Phenomena in Thermal Science and Process Engi-  
neering  
(平成9年12月2日 講演)

(電気工学科)

ヒステリシスコンパレータを用いた電流追従形高  
力率コンバータ

芝山清忠 (専攻科), 田守里士 (同), 井村榮仁  
平成9年電気関係学会関西支部連合大会  
講演論文集G4-42  
(1997年11月24日 講演発表)

イオンビームアシスト蒸着法による各種Pc薄膜  
の有機太陽電池への応用

青柳倫太郎, 京兼 純, 吉野勝美 (大阪大学)  
平成9年度電気関係学会関西支部連合大会  
(平成9年11月24日 講演)

フラーレン導入PUEの高電界効果とアクチュエ  
ータへの応用

石本晴彦, 祐源秀行, 平井利彦 (信州大学), 上田 敦  
(ニッタ株), 京兼 純  
平成9年度電気関係学会関西支部連合大会  
(平成9年11月24日 講演)

## フッ素系Liイオンゲル電解質の電気的特性I

李 京浩, 有吉有貴子, 沢田英夫, 京兼 純  
平成9年度電気関係学会関西支部連合大会  
(平成9年11月24日 講演)

## インドネシア事情あれこれ

京兼 純  
大和高田市公民館・文化講座  
(平成10年3月8日 講演)

ポリウレタンエラストマーのアクチュエータへの  
応用

京兼 純  
第120回 電気材料技術懇談会  
(平成10年3月17日 講演)

ポリエステル系ポリウレタンエラストマーの誘電  
特性とアクチュエータへの応用

祐源秀行, 石本晴彦, 平井利彦 (信州大学), 上田 敦  
(ニッタ (株)), 京兼 純  
平成10年度電気学会全国大会  
(平成10年3月26日 講演)

## イオンビームアシスト蒸着法を用いた有機薄膜太陽電池に関する研究

青柳倫太郎, 京兼 純, 吉野勝美 (大阪大学)  
平成10年度電気学会全国大会  
(平成10年3月26日 講演)

## フッ素系Liイオンゲル電解質の電気的特性II

李 京浩, M. Redzuan, 有吉有貴子, 沢田英夫, 京兼 純  
平成10年度電気学会全国大会  
(平成10年3月26日 講演)

## インドネシアに魅せられて

京兼 純  
平成9年度 帰国専門家連絡会会報 (国際協力事業  
団・国際協力総合研修所編集)  
(平成10年3月 出版)

## イオンビームアシスト蒸着法による有機薄膜太陽電池に関する研究

青柳倫太郎, 赤木誠志, 京兼 純, 吉野勝美 (大阪大学)  
電気化学会第65回学術大会・シンポジウム  
(平成10年4月4日 講演)

## イオンビームアシスト蒸着法による有機薄膜の高次構造制御と太陽電池の応用研究

京兼 純  
関西エネルギー・リサイクル科学研究振興財団 研究助成  
(平成10年4月10日 完了報告書)

## 新高分子実験学 9巻 (高分子の物性(2) 1章 導電性)

京兼 純, 吉野勝美 (大阪大学)  
高分子学会編・共立出版株式会社  
(平成10年5月25日 出版)

## イオンビームアシスト蒸着法による有機薄膜太陽電池に関する基礎研究

京兼 純, 青柳倫太郎, 赤木誠志, 吉野勝美 (大阪大学)  
電気化学会第65回学術大会/シンポジウム, 粒子線を用いた次世代プロセス技術論文集pp67-72 (1998)  
(平成10年6月15日 出版)

## Electro-contraction Effect of Polyurethane Elastomer (PUE) and Its Application to Actuators

J. Kyokane, H. Ishimoto, H. Yugen, T. Hirai (Shinshu Univ.) T. Ueda (Nitta Co.), K. Yoshino (Osaka Univ.)  
International Conference on Science and Technology of Synthetic Metals (ICSM '98), Montpellier, France  
(July 13, 1998, Poster Presentation)

## 有機蒸着薄膜の電気・電子素子への応用

京兼 純  
第126回 電気材料技術懇談会  
(平成10年9月25日 講演)

### Realtime Gesture Recognition under the Multi-layered Parallel Recognition Framework of QVIPS

Toshiyuki Kirishima, Kosuke Sato (Nara Institute of Science and Technology), Hirokazu Narita, Kunihiko Chihara (Nara Institute of Science and Technology)

The third IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition, pp 579-584 (April, 1998)

### プロトコル学習による身振りの実時間画像認識

桐島俊之, 佐藤宏介 (奈良先端科学技術大学院大学), 千原國宏 (奈良先端科学技術大学院大学)

電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol. J81-D-II, No. 5, pp785-794 (May, 1998)

### 多注視点の動的制御によるリアルタイム身振り認識

桐島俊之, 佐藤宏介 (奈良先端科学技術大学院大学), 千原國宏 (奈良先端科学技術大学院大学)

画像の認識・理解シンポジウム (MIRU '98) 講演論文集 Vol. 2, pp19-25 (July, 1998)

### アモルファスPVモジュールの屋外における熱回復効果の実験的検討

細矢尚之 (専攻科), 正辻和成 (専攻科), 山脇竹治 (鐘淵化学工業), 水上誠志郎 (鐘淵化学工業), 高橋晴雄

平成9年電気関係学会関西支部連合大会 G5-32 (1997年11月24日 講演)

### アモルファスPVモジュールの方位に対する発電量の比較

正辻和成 (専攻科), 細矢尚之 (専攻科), 山脇竹治 (鐘淵化学工業), 水上誠志郎 (鐘淵化学工業), 高橋晴雄

平成10年電気学会全国大会 1807, 講演論文集 (1998年3月27日 講演)

### アモルファスPVモジュールの屋外における熱回復効果の実験的検討 II

細矢尚之 (専攻科), 正辻和成 (専攻科), 山脇竹治 (鐘淵化学工業), 水上誠志郎 (鐘淵化学工業), 高橋晴雄

平成10年電気学会全国大会 1808, 講演論文集 (1998年3月27日 講演)

### 紙幣音データのスペクトル情報を用いた紙幣の新旧識別

寺西 大, 大松 繁 (大阪府立大学), 小坂利寿 (グローリー工業)

電気学会論文誌11月号 Vol. 117-C, pp1677-1681, 1997

### 音響エネルギーパターンによる紙幣の新旧識別

寺西 大, 大松 繁 (大阪府立大学), 小坂利寿 (グローリー工業)

平成9年電気関係学会関西支部連合大会 (1997年11月24日 講演)

### 音響信号情報を用いた紙幣の新旧識別

寺西 大, 大松 繁 (大阪府立大学)

統計数理研究所共同研究レポート106

(1998年1月23日 講演)

### ゆらぎ制御による工業的作業の効率化

窪晋一郎, 上田悦子, 土井 滋貴

平成9年電気関係学会関西支部連合大会, G2-4 (1997.11. 講演)

### 生活行動パターン認識による生活センシング法の基礎実験

上田悦子, 高田喜雄 (松下電工), 長井一郎 (松下電工), 土井滋貴, 高橋晴雄

平成9年電気関係学会関西支部連合大会, G2-27 (1997.11. 講演)

### ゆらぎに着目したモルフォロジーフィルターによるテクスチャ解析

土井俊介, 上田悦子, 土井 滋貴

電子情報通信学会関西支部学生会第3回学生会研究発表会, A-21 (1998.3 講演)

### ゆらぎに着目した工業的作業の効率化

窪晋一郎, 土井 滋貴

電子情報通信学会関西支部学生会第3回学生会研究発表会, A-22 (1998.3 講演)

win32APIで学ぶWindowsプログラミング再入門  
第1回Windowsプログラミングへの指針

土井 滋貴

雑誌インターフェース1998年3月号, pp171~177 CQ  
出版 (1998.1 掲載)

win32APIで学ぶWindowsプログラミング再入門  
第2回ダイアログボックスとメッセージボックス

土井 滋貴, 上田悦子

雑誌インターフェース1998年4月号, pp180~188 CQ  
出版 (1998.2 掲載)

win32APIで学ぶWindowsプログラミング再入門  
第3回標準コントロールを使う

土井 滋貴, 上田悦子

雑誌インターフェース1998年5月号, pp190~198 CQ  
出版 (1998.3 掲載)

win32APIで学ぶWindowsプログラミング再入門  
第4回標準コントロールとメッセージ

土井 滋貴, 上田悦子

雑誌インターフェース1998年6月号, pp140~147 CQ  
出版 (1998.4 掲載)

win32APIで学ぶWindowsプログラミング再入門  
第5回コントロールの応用

土井 滋貴

雑誌インターフェース1998年7月号, pp167~175 CQ  
出版 (1998.5 掲載)

win32APIで学ぶWindowsプログラミング再入門  
第6回グラフィックを使う

土井 滋貴

雑誌インターフェース1998年8月号, pp151~159 CQ  
出版 (1998.6 掲載)

win32APIで学ぶWindowsプログラミング再入門  
第7回メモリとスレッド

土井 滋貴, 那須靖弘 (甲子園大学)

雑誌インターフェース1998年10月号, pp140~150  
CQ出版 (1998.8 掲載)

win32APIで学ぶWindowsプログラミング再入門  
第8回アプリケーションを組み立てる(1)

信号処理おためしツール

土井 滋貴, 上田悦子

雑誌インターフェース1998年11月号, pp134~141  
CQ出版 (1998.9 掲載)

個人照合を目的としたビデオカメラによる筆記動作  
入力への試み

岸根勇祐, 中村 善一

電気学会関西支部平成9年度高専卒業研究発表会  
(平成10年3月6日 講演)

HEMTを用いた光波と高周波のミキシング

松島朋史, 村田博司, 井筒雅之, 末田 正

第58回応用物理学会学術講演会  
(平成9年10月 講演)

HEMTおよびMESFETを用いた光波と高周波の  
ミキシングによる信号検出

洞 泰志, 松島朋史, 村田博司, 井筒雅之, 末田 正

平成9年電気関係学会関西支部連合大会  
(平成9年11月 講演)

同位体ガスレーザ発振を用いた同位体ガス濃度比  
測定

松島朋史, 川那辺純一, 前川 寛, 細見晶平, 張 吉  
夫, 末田 正

第45回応用物理学関係連合講演会  
(平成10年3月講演)

## 同位体ガスレーザー発振を用いた同位体ガス濃度比測定 [II]

松島朋史, 川那辺純一, 前川 寛, 細見晶平, 張 吉夫, 末田 正

第59回応用物理学会学術講演会

(平成10年9月講演)

## (電子制御工学)

### 移動ロボットの規範軌道追従のための車輪協調制御システムの一構成

飯田賢一, 鎌野琢也 (徳島大学), 鈴木茂行 (徳島大学)

電気関係学会関西支部連合大会

(平成9年11月 講演)

### 移動ロボットの規範軌道追従における協調制御システムの構成法

飯田賢一, 鎌野琢也 (徳島大学), 鈴木茂行 (徳島大学)

電気学会全国大会

(平成10年3月 講演)

### 移動ロボットの軌道追従における協調制御システムの一構成

飯田賢一, 鎌野琢也 (徳島大学), 鈴木茂行 (徳島大学)

第42回システム制御情報学会研究発表講演会

(平成10年5月 講演)

### 奈良高専におけるメカトロ教育について

早川恭弘, 阪部俊也, 櫛 弘明, 中島レイ

日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会

(1998年6月27日 講演)

### 非線形機械的インピーダンスを有する対象物の特性表現と運動制御

川村貞夫 (立命館大学), 櫛 弘明, 深尾典久 (滋賀県工業技術総合センター)

第16回日本ロボット学会学術講演会

(1998年9月18日 講演)

## High Accuracy Phase Measurement in Phase-Shifting Speckle Interferometry

Y. Oshida, Y. Iwahashi (Osaka Sangyo Univ.) and K. Iwata (Osaka Prefecture Univ.)

OPTICAL REVIEW Vol. 4, No. 5, pp588-592 (Oct. 1997)

### 開放端から放出される衝撃波により誘起される渦輪

岸下晴亮, 上浦秀樹 (奈良高専専攻科), 養田登世子 (有明高専), 西田迪雄 (九州大学)

可視化情報学会長岡講演会

(1996年11月7日 講演)

### 開放端から放出される衝撃波により誘起される渦輪

岸下晴亮, 養田登世子 (有明高専), 西田迪雄 (九州大学)

平成8年度衝撃波シンポジウム, 東京農工大

(1997年3月15日 講演)

### 衝撃波管から放出される衝撃波と渦の干渉 (コンピュータ動画による可視化)

上浦秀樹 (奈良高専専攻科), 岸下晴亮

日本機械学会 関西学生会卒業研究発表講演会

(1997年3月20日 講演)

### 高圧空気を駆動源とする船舶用推進装置の開発 (二相流ジェットの水取り込み量測定)

池宮政弘 (奈良高専専攻科), 坂本雅彦, 岸下晴亮

日本機械学会 関西学生会卒業研究発表講演会

(1997年3月20日 講演)

## Fluid Mechanics (Fluid Dynamics)

Haruaki Kishige

Pathumwan Technical College in Thailand

(July. 30, Sep. 3, 1997 Special Lecture)

### Shock/vortex ring interaction: effects of an initial shock strength

Toyoko Minota (Ariake National College of Technology),  
Haruaki Kishige, Michio Nishida (Kyushu University)  
Proc. of 2nd Int. Workshop on Shock-Wave / Vortex Interaction,  
Sendai  
(Oct. 20, 1997 Oral Presentation)

### Fluid Power Control Laboratory (Closed-Loop Pneumatics)

Tiab Eaukit, Haruaki Kishige  
Pathumwan Technical College in Thailand  
(Dec. 1997 Text book in JICA Project)

### Numerical studies of shock/vortex ring interaction

Haruaki Kishige, Toyoko Minota (Ariake National College of  
Technology), Michio Nishida (Kyushu University), Tiab Eaukit  
(Pathumwan Technical College)  
The Seventh Asian Congress of Fluid Mechanics (7ACFM),  
Madras, India  
(Dec. 10, 1997 Oral Presentation)

### Fluid Power Transmission

Haruaki Kishige  
Pathumwan Technical College in Thailand  
(Feb. 26, 1998 Special Lecture)

### 開放端から放出される衝撃波により誘起される渦輪の可視化

岸下晴亮, 養田登世子 (有明高専), 西田迪雄 (九州大学)  
日本機械学会 九州支部夏季講演会・宮崎地方講演会  
(1998年7月23日 講演)

### 回転水中紡糸法によるCo-Cu-Be合金細線の製作とその凝固組織

島岡三義, 大中逸雄 (大阪大学), 山内 勇 (大阪大学),  
前田宗彦 (本学学生, 現 大阪大学学生)  
日本金属学会誌, 第61巻, 第10号, pp1115-1121  
(1997年10月)

### Undercooling in Co-Cu alloys and its effect on solidification structure

I. Yamauchi (Osaka Univ.), N. Ueno (Nippon Steel Co.), M.  
Shimaoka, I. Ohnaka (Osaka Univ.)  
Journal of Materials Science, Vol. 33, No. 2, pp371-378  
(1998年2月)

### 磁場中での回転液中紡糸によるアモルファス極細線の製作に関する研究

島岡三義  
科学研究費補助金 (基盤研究C-2) 研究成果報告書  
(平成8年度~平成9年度)  
(1998年3月)

### ぬれにくい傾斜平板上の単一液滴の離脱 (表面張力, 傾斜角および表面粗さの影響)

中田敏夫, 細川 力 (姫工大), 藤原良樹 (姫工大)  
日本機械学会関西支部  
(平成9年11月7日 講演)

### 滴状凝縮における傾斜円管外面の滴挙動

細川 力 (姫工大), 藤原良樹 (姫工大), 山崎裕司  
(住友ゴム), 中田敏夫  
姫路工業大学工学部研究報告, No. 50, (1997-12),  
pp23-32.

### 人間との機械的親和性を有する空気圧アクチュエータの開発とロボット装具への応用

早川恭弘, 玉井 雅 (立命館大学), 栗林信之 (立命館大学),  
川村貞夫 (立命館大学)  
第2回知能メカトロニクスワークショップ  
(1997年10月4日 講演)

### 空気圧アクチュエータを用いた移乗補助介護機器の開発

早川恭弘, 山本貴志, 井関典克  
平成9年秋季油空圧講演会  
(1997年10月23日 講演)

### 空気圧アクチュエータを用いた介護補助用移乗機の開発

早川恭弘

IFPEX '97 第18回油圧・空気圧国際見本市  
大学・研究室展出版内容説明書

### 空気圧ベローズアクチュエータを用いた移動式自動移乗機の開発

早川恭弘

IFPEX '97 第18回油圧・空気圧国際見本市  
大学・研究室展出版内容説明書

### 拮抗型空気圧ベローズアクチュエータを用いた6軸微動挿入装置の開発

早川恭弘

IFPEX '97 第18回油圧・空気圧国際見本市  
大学・研究室展出版内容説明書

### 自動制御

中野道雄, 高田和之, 早川恭弘共著  
森北出版株式会社 (1998)

### Practical Design of a Sliding Mode Controller for Pneumatic Actuators

S. R. Pandian, Yasuhiro Hayakawa, Yoshinori Kanazawa, Yoshiyuki Kamoyama and Sadao Kawamura (Ritsumeikan Univ.)

Transaction of the ASME, Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control, Vol. 119, December, 666/674 (1997)

### 人間親和性を重視した移動式介護補助用移乗機を開発

早川恭弘

機械設計, 第42巻, 第2号, 66/71 (1998)

### 介護動作の違いによる介護者の生体負担度の分析

伊坂忠夫 (立命館大学), 重歳憲治 (立命館大学), 早川恭弘, 川村貞夫 (立命館大学)

第10回バイオエンジニアリング講演会  
(1998年1月25日 講演)

### A Robotic Orthosis based on Mechanical Compatibility with Humans

S. Kawamura, Y. Hayakawa, M. Tamai, N. Kuribayashi and K. Suto (Ritsumeikan Univ.)

1998 IEEE International Conference on Robotics and Automation (May 18, 1998)

### 奈良高専におけるメカトロ教育について

早川恭弘, 阪部俊也, 櫛弘明, 中島レイ, 道下貴広  
ロボティクス・メカトロニクス講演会 '98  
(1998年6月27日 講演)

### Development of a Human Assist Transfer Machine by Using Pneumatic Bellows Actuators

Yasuhiro Hayakawa, Takashi Yamamoto, Noriyoshi Iseki, Yuji Amano, S. R. Pandian and Sadao Kawamura (Ritsumeikan Univ.)  
Proceedings of The 3rd International Conference on Advanced Mechatronics (August 4, 1998)

### Modelling and Control of a Pneumatic Rotary Actuator

S. R. Pandian, K. Ieda, Y. Kamoyama, S. Kawamura (Ritsumeikan Univ.) and Y. Hayakawa

Proceedings of Bath Workshop on Power Transmission and Motion Control (September 11, 1998)

### 空気圧アクチュエータを用いた立ち上がり補助装置の試作

早川恭弘, 川村貞夫, S. R. Pandian, 栗林信之, 須藤健太郎, 武村史朗

第16回日本ロボット学会学術講演会  
(1998年9月18日 講演)

### ベーン型空気圧モータに関する研究

#### —第一報：モデリング—

武村史朗, S. R. Pandian, (立命館大学), 早川恭弘, 川村貞夫 (立命館大学)

第16回日本ロボット学会学術講演会  
(1998年9月20日 講演)

ベーン型空気圧モータに関する研究  
 —第二報：スライディングモード制御の適用—  
 S. R. Pandian, 武村史朗 (立命館大学), 早川恭弘, 川  
 村貞夫 (立命館大学)  
 第16回日本ロボット学会学術講演会  
 (1998年9月20日 講演)

(情報工学科)

人工衛星を使って電波のドップラー効果を体験する  
 浅井文男  
 第28回物理教育研究集会  
 (1997年11月22日 講演)

遺伝的アルゴリズムを取り入れた改良型シミュレ  
 ーテドアニーリング法の研究Ⅱ  
 中道 上, 浅井文男  
 電気関係学会関西支部連合大会  
 (1997年11月24日 講演)

遺伝的アルゴリズムを取り入れた改良型シミュレ  
 ーテドアニーリング法の研究Ⅲ  
 塘 朋子, 中道 上, 浅井文男  
 電子情報通信学会関西支部第3回学生会研究発表講演会  
 (1998年3月9日 講演)

選択処理を組み合わせた改良型シミュレーテドア  
 ニーリング法に関する研究  
 中道 上, 塘 朋子, 浅井文男  
 電子情報通信学会関西支部第3回学生会研究発表講演会  
 (1998年3月9日 講演)

高校物理における人工衛星の教材化  
 浅井文男  
 第45回応用物理学関係連合講演会  
 (1998年3月29日 講演)

アマチュア衛星を使った電波のドップラー効果の  
 観測と演示実験  
 浅井文男  
 応用物理教育, Vol. 22, No. 1, pp9-14, 1998.

電波のドップラー効果の学生実験  
 浅井文男  
 日本物理学会1998年秋の分科会  
 (1998年9月28日 講演)

漏れ電流を補償した多値メモリの一構成法  
 山口賢一, 五十嵐 良  
 電気関係学会関西支部連合大会G11-2  
 (1997年11月24日 講演)

漏れ電流を補償した多値メモリの記憶保持特性  
 五十嵐 良, 山口賢一  
 電気関係学会関西支部連合大会G11-3  
 (1997年11月24日 講演)

しきいゲートを用いた画像処理に関する研究  
 山本尚寛, 五十嵐 良  
 第3回電子情報通信学会関西支部学生会研究発表講演会  
 (平成10年3月9日 講演)

多値演算と多値レジスタに関する研究  
 仲上竜太, 五十嵐 良  
 第3回電子情報通信学会関西支部学生会研究発表講演会  
 (平成10年3月9日 講演)

多値メモリの高性能化に関する研究  
 山口賢一, 吉田浩章, 五十嵐 良  
 第3回電子情報通信学会関西支部学生会研究発表講演会  
 (平成10年3月9日 講演)

### 多値化によるLSIの高密度・高機能化

五十嵐 良

セミコン関西98アカデミアプラザ・ポスターセッションコーナー

(1998年6月3日～6月5日発表)

### 多値レジスタの構成と多値演算への応用

五十嵐 良, 山口賢一

多値論理研究ノート第21巻, 第18号

(1998年7月18日 講演)

### 銀行小切手上的印影の自動照合の試み

上田勝彦, 武藤武士, 梅谷真也, 酒田善史

1998年電子情報通信学会総合大会

(1998年3月28日 講演)

### Automatic Verification System for Seal Imprints on Japanese Bank Checks

Katsuhiko Ueda, Takeshi Mutoh and Ken'ichi Matsuo

14th International Conference on Pattern Recognition (Brisbane, Australia)

(August 18, 1998. Oral Presentation)

### メロディー構成を考慮した作曲支援ツールの開発

広安聖知, 工藤英男

教育システム情報学会関西支部第12回学生研究発表会

(1998年3月14日 講演)

### デバッグ作業者の思考を定期的なインタビューと視点の移動により追跡する実験

内田真司, 工藤英男, 門田暁人 (奈良科学技術大学院大学)

情報処理学会第56回全国大会

(1998年3月17日 講演)

### 定期的なインタビューを取り入れたデバッグプロセスの実験と分析

内田真司, 工藤英男, 門田暁人 (奈良科学技術大学院大学)

ソフトウェア技術者協会, ソフトウェア・シンポジウム'98

(1998年6月17日 講演)

### リスク要因を考慮した生活設計学習システムの試作

松永公廣 (摂南大学), 工藤英男

摂南大学経営情報学部, 経営情報研究, Vol. 6, No. 1, pp 61-72 (1998年7月)

### インターネットにおける情報倫理に関する意識調査(1) —高専生と短大生との比較—

工藤英男, 吉川博史 (大阪短期大学), 安留誠吾 (南大阪大学)

教育システム情報学会第23回全国大会

(1998年8月8日 講演)

### 高専におけるインターネット活用と情報倫理教育

工藤英男, 高橋参吉 (大阪府立高専), 渡邊耕平 (大阪府立高専)

電子情報通信学会, 教育工学研究会

(1998年9月5日 講演)

### 実験用圧延機の圧下位置制御のシミュレーション

黒越寛人, 近藤勝也

電子情報通信学会関西支部 第3回学生会研究発表講演会

(1998年3月 講演)

### Evaluating the Number of Glitches Using VHDL Simulator

T. Seko, A. Nakamura and T. Kikuno

Proc. of 1998 International Conference On Circuits/Systems, Computers And Communications (Sokcho, Korea), pp1413-1416, 1998.

(July 15, 1998 講演)

### 3-regular graphにおける頂点染色数と頂点被覆数の数え上げとそのアルゴリズム

藤森文夫, 多喜正城

電気学会関西支部高専卒業研究発表会  
(平成10年3月6日 講演)

### A Representation Diagram for Maximal Independent Sets of a Graph

Masakuni TAKI, Sumio MASUDA(Kobe Univ.), Toshinobu KASHIWABARA(Osaka Univ.)

IEICE TRANS. FUNDAMENTALS, VOL. E81-A, No. 5  
MAY 1998

### 計算機ネットワークに関する学生実験の一試み

西野貴之, 本間啓道, 世古 忠

第18回情報処理教育研究発表会  
(1998年8月25日 講演)

### 奈良高専における対外ルータの設定について

川辺涼子, 榊原和彦, 本間啓道

第18回情報処理教育研究発表会  
(1998年8月25日 講演)

### カラー文書からの単色文字領域抽出の高精度化

松尾賢一, 上田勝彦, 梅田三千雄 (大阪電通大)

平成9年 電気関係学会関西支部連合大会  
(平成9年11月24日 講演)

### 情景画像からの看板文字列領域の抽出—文字列領域抽出における2値化手法の提案—

松尾賢一, 上田勝彦, 梅田三千雄 (大阪電通大)

画像ラボ 1月号 (平成10年1月), No. GAO 9-12,  
pp56-60

### 情報工学科の新情報処理システムについて

武藤武士, 工藤英男

平成9年度 情報処理教育研究集会 (文部省)  
(1997年10月4日 講演)

### 模擬育種法を用いたフィルタシーケンスの自動生成の試み

武藤武士, 駒形伸子, 上田勝彦

ワークショップ「インタラクティブ進化的計算論」  
(1997年3月5日 講演)

### 模擬育種法を用いた画像処理アプリケーションの作成

駒形伸子, 武藤武士

平成9年度電気学会関西支部高専卒業研究発表会  
(1997年3月 講演)

### 模擬育種法を用いた簡易な画像加工支援システムの開発

武藤武士, 上田勝彦

情報処理学会フロンティア領域ジョイント研究会: 人文科学とコンピュータ分科会  
情報処理学会研究報告98CH38 pp 45-52  
(1998年5月29日 講演)

### アルゴリズムアニメーションを用いた「アルゴリズムとデータ構造」授業の試み

武藤武士

平成10年度 情報処理研究発表会  
(1998年8月25日 講演)

### 行為の同型性に基づく強化学習法

山口智浩, 野村勇治 (大阪大学基礎工学部), 田中康祐 (大阪大学基礎工学部), 谷内田正彦 (大阪大学基礎工学部)

人工知能学会誌, Vol. 12, No. 6, pp 870-880,  
1997年11月

### The Species Fitness Method for the Evolution of Cooperative Behavior in a Group Task

Masaki Kitahashi (Osaka Univ), Tomohiro Yamaguchi, Masahiko Yachida (Osaka Univ)

Proceedings of 3rd International Symposium on Artificial Life and Robotics (AROB-98), vol. 1, pp 170-173  
(1998年1月19日 講演)

### 種を単位とした適応度評価による利他的コミュニケーションの進化的獲得

北橋昌樹 (大阪大学基礎工学部), 山口智浩, 谷内田正彦 (大阪大学基礎工学部)  
情報処理学会, 知能と複雑系研究会, 情処研報 Vol. 98, No. 4, 98-ICS-110-7, pp69-72 (1998年1月22日 講演)

### 次的学習法における時系列学習データ分布の変動点推定

山口智浩  
人工知能学会全国大会 (第12回), 講演論文集, pp93-96 (1998年6月17日 講演)

### (化学工学科)

#### ポリエーテルスルホン (PES) の環境応力割れ

田中智也, 河越幹男, 井口高行  
日本材料学会第8回高分子材料シンポジウム  
(1998年8月21日 講演)

### Resonance Raman Characterization of Antimony (III) Hyperporphyrin

Junji Teraoka (Graduate School of Science, Osaka City University) and Hirohito Ishimaru  
Chemistry Letters 1293, (1997)

### アンチモンポルフィリンの電子状態と共鳴ラマンスペクトル

石丸裕士, 田中元英, 寺岡淳二\* (\*阪市立大・理)  
日本化学会 第74春季年会講演予稿集 II (p.1320)  
(1998年3月30日 講演・同志社大)

### 鉛(II)ポルフィリンの共鳴ラマンスペクトル

石丸裕士, 杉井 光, 寺岡淳二\* (\*阪市立大・理)  
第48回錯体化学討論会講演要旨集 (p.453)  
(1998年9月27日 講演・高知大)

### 様々な環境下でのハイパーポルフィリン

石丸裕士, 城森敏夫, 辻内伸仁, 泉生一郎, 寺岡淳二\*  
(\*阪市立大・理)  
第48回錯体化学討論会講演要旨集 (p.468)  
(1998年9月27日 講演・高知大)

### 金属塩化物-GICの光感性

岩下哲雄 (大工研), 泉生一郎, 浜田洋司, 大西康幸  
日本学術振興会第117委員会 (炭素材料関連) 244回本委員会 (平成9年11月14日 講演)

### 奈良高専・物質化学工学科における二、三の取り組み

泉生一郎  
豊橋技術科学大学・物質工学系教育研究講演会  
(平成9年11月28日 講演)

### 金属塩化物黒鉛層間化合物の光感性

浜田洋司, 泉生一郎, 大西康幸, 岩下哲雄 (大工研)  
日本化学会第74春季年会  
(平成10年3月28日 講演)

### Selective CO<sub>2</sub> Reduction Using the Photochemical Diode of the System n-TiO<sub>2</sub>/Ti/Cu-Ag

Y. Ohnishi, I. Izumi, K. Morimoto  
DENKI KAGAKU, Vol. 66 (No.6), pp 590 ~ 593 (1998)

### Photosensitization of Graphite Intercalation Compounds with Metal Chlorides

N. Iwashita (Osaka National Industrial Research Institute), I. Izumi, Y. Hamada, Y. Ohnishi  
EUROCARBON '98 (1998年7月6日 講演)

### 光化学ダイオードによる光エネルギー変換と還元反応

泉生一郎  
KYOEI (共栄社化学(株)社報・技術リポート), No.106, 19 ~ 25 (1998)

チアクラウンエーテル化学結合型シリコンゴム  
感応膜を用いる銀イオン選択性電極

吉野直美・村島健司・沢田英夫・大植正敏・木村恵一  
(大阪大学, 物質・生命工学専攻)  
日本化学会第74春季年会, p.348  
(平成10年3月27日 講演)

Evaluation of an Alanine Racemase Gene as an  
Indicator for the Detection of Various *Escherichia*  
*coli*: Reactivity of the Gene Fragment with Various  
*E. coli* O157:H7 Isolates

K. Yokoigawa (Nara Women's Univ.), Y. Okubo, M. Nakahira  
(Nara Women's Univ.), S. Umesako (Nara Prefectural Institute  
of Public Health), S. Imai (Nara Prefectural Institute of Public  
Health), and H. Kawai (Nara Women's Univ.)  
J. Ferment. Bioeng., **84** (5) 471-474 (1997)

低温菌 *Bacillus psychrosaccharolyticus* 由来アラ  
ニンラセマーゼの精製と性質

大久保陽子, 横井川久己男 (奈良女大), 江崎信芳 (京  
大), 左右田健次 (関大), 河合弘康 (奈良女大)  
1998年度日本農芸化学会大会 (名城大学)  
(1998年4月2日 講演)

Alanine Racemase Gene Fragments as Probes for  
Detecting *Bacillus stearothermophilus* and *Bacillus*  
*psychrosaccharolyticus* in Foods

Y. Okubo, K. Yokoigawa (Nara Women's Univ.), and  
H. Kawai (Nara Women's Univ.)  
J. Ferment. Bioeng., **85** (6) 559-563 (1998)

光学活性アミノ酸の効率的生産方法

大久保陽子  
化学工学「トピックス」, **62** (8), 471-472 (1998)

Influence of Nafion film on the Kinetics of Anodic  
Hydrogen Oxidation

Jun Maruyama\*, Minoru Inaba\*, Katsumi Katakura, Zem-  
pachi Ogumi\*, and Zen-ichiro Takehara\* (\*Kyoto Uni)  
Electro Analytical Chemistry, 447(1998)201-209

Mass Transport in Hydrogen Oxidation on Partially  
Immersed Nafion-Coated Electrodes

Zempachi Ogumi\*, Xiaoming Xiao\*, Takeshi Abe\*, Minoru  
Inaba\* and Katsumi Katakura(\*Kyoto uni)  
The 38th Battery Symposium in Japan (Suita)  
(International symposium on gaseous electrodes and cells)  
(November 11, 1998, Oral Presentation)

フッ素系プラズマ重合膜で被覆した白金電極の挙動

国居 新, 丸山 純, 安部武志, 小久見善八, 内本喜  
晴 (京都大学), 片倉勝己  
第38回電池討論会 (1998年11月12日 講演)

The Effect of Gas Bubbles Captured in a Porous  
Nickel Oxide Electrode on the Charge-Discharge  
Reaction of Ni-Zn Cells

K. Katakura, T. C. Adler, F. R. McLarnon, and E. J. Cairns  
(Lawrence Berkeley National Laboratory)  
The 49th Annual Meeting of the International Society of Elec-  
trochemistry (KOKURA)  
(September 14, 1998, Poster Presentation)

Application of Bubble Column Fermentors to Sub-  
merged Culture of *Schizopyllum commune* for pro-  
duction of L-Malic Acid

M. Kawagoe, K. Hyakumura, S. Suye, K. Miki and K. Naoe  
J. Ferment. Bioeng., **84**, 333-336 (1997)

Hydrodynamics and Axial Liquid-Phase Mixing in  
an External-Loop Airlift Column with a Tapered  
Riser

M. Kawagoe, S. Yoshida and Y. Ishii  
4th Japanese/German Symposium "Bubble Columns"  
(Dec. 2, 1997 講演)

低密度大粒子懸濁気泡塔の流動特性

河越幹男, 田中智也, 井口高行  
化学工学会富山大会  
(1998年7月16日 講演)

圧縮成型含塩鉄器からの脱塩に関する速度論的研究

河越幹男, 吉原 忍, 川本耕三 (元興寺文化財研究所)

日本文化財科学会第15回大会

(1998年7月18日 講演)

Synthesis of Novel Fluoroalkylated Oligomers Containing Phosphinico Segments: A New Approach to Functional Materials Possessing Anti-HIV 1 Activity

H. Sawada, D. Tamada, T. Kawase (阪市大生科), Y. Hayakawa (名工研), and M. Baba (鹿児島大医)

*Macromolecules*, **30**, 6706(1997)

Synthesis and Properties of Fluoroalkylated Oligomers Containing Poly (oxyethylene) Units

H. Sawada, M. Itoh, K. Lee, J. Kyokane, T. Kawase (阪市大生科), Y. Hayakawa (名工研), K. Yoshino (阪大工), and M. Baba (鹿児島大医)

*J. Jpn. Oil Chem. Soc.*, **47**, 685 (1998)

Novel Perfluorocyclohexylation with Bis (perfluorocyclohexane carbonyl) Peroxide

H. Sawada, M. Kurachi, T. Kawase (阪市大生科), K. Takishita, T. Tanedani (石原薬品), and K. Aoshima (日本油脂)

*Chem. Lett.*, 153, (1998)

フルオロアルキル基含有酸性染料によるナイロンの撥水染色

川瀬徳三, 中野加寿代, 皆川 基 (阪市大生科), 沢田英夫, 好野則夫 (東京理大工)

繊維学会誌, **54**, 26 (1998)

フルオロアルキル基含有オリゴマー型界面活性剤

川瀬徳三 (阪市大生科), 沢田英夫

表面, **33**, 221 (1998)

Surface Chemical and Solution Properties of Fluorinated Silicon Oligomers with Carboxylic Acid Groups

J. Nakagawa, K. Kamogawa, H. Sakai (東京理大理工), T. Kawase (阪市大生科), H. Sawada, J. Manosroi, A. Manosroi (Chiang Mai 大学), and M. Abe (東京理大理工)

*Langmuir*, **14**, 2055 (1998)

Molecular Assemblies of Fluorinated Silicon Oligomers with Carboxylic Acid Groups: Effects of Chemical Oligomer Structure on Assembly Shape

J. Nakagawa, K. Kamogawa, N. Momozawa, H. Sakai (東京理大理工), T. Kawase (阪市大生科), H. Sawada, Y. Sano (食総研), and M. Abe (東京理大理工)

*Langmuir*, **14**, 2061 (1998)

Fluorinated Functional Materials Possessing Biological Activities: Gel Formation of Novel Fluoroalkylated End-capped 2-Acrylamido-2-methylpropanesulfonic Acid Polymers under Non-crosslinked Conditions

H. Sawada, S. Katayama, Y. Ariyoshi, T. Kawase (阪市大生科), Y. Hayakawa (名工研), T. Tomita (東北大農), and M. Baba (鹿児島大医)

*J. Mater. Chem.*, **8**, 1517 (1998)

Surface Antibacterial Activity of Fluoroalkylated 2-Acryloxyethyltributylphosphonium Chloride-trimethoxyvinylsilane Co-oligomers

H. Sawada, Y. Ikematsu, T. Kawase (阪市大生科), Y. Hayakawa (名工研), M. Sugiya, and T. Watanabe (日本化学工業)

*J. Jpn. Res. Institute Mater. Technol.*, **16**, 257 (1998)

Synthesis and Properties of Gelling Fluoroalkylated End-capped Oligomers Containing Hydroxy Segments

H. Sawada, T. Tanimura, S. Katayama, T. Kawase (阪市大生科), T. Tomita (東北大農), and M. Baba (鹿児島大医)

*Polymer J.*, **30**, 797 (1998)

### ホスホニウムセグメントを有するフルオロアルキル基含有オリゴマー類の合成と性質

沢田英夫, 河井義和, 杉矢 正, 渡辺 努 (日本化学工業), 川瀬徳三 (阪市大生科), 色材, 印刷中

### RD6-2198, a Novel Betain-type Fluoroalkylated Oligomer, Inhibits the Replications of Human Immunodeficiency Virus Type 1 and Other Enveloped Viruses

M. Fujiwara, N. Ashida, M. Okamoto, T. Mizuta (創薬技術研究所), T. Ide, Y. Hanasaki, K. Katsuura (東ソー) H. Sawada, S. Shigeta (福島県立医大), K. Konno, Yokota (創薬技術研究所), and M. Baba (鹿児島大医)  
*Antiviral Res.*, **38**, 141 (1998)

### Preparation and Characteristics of Perfluorodiacetylene Langmuir – Blodgett Films

N. Terasawa, Y. Hayakawa, H. Fukaya, E. Hayashi, K. Kato, S. Fujii (名工研), H. Sawada, K. Li, J. Kyokane  
*Polymer*, **39**, 5889 (1998)

### 「ベタイン型フルオロアルキルオリゴマーの抗HIV-1活性と作用機序

藤原将寿, 岡本昌之, 水田 正 (創薬技術研究所), 井出輝彦, 花崎保彰, 勝浦公男 (東ソー), 沢田英夫, 茂田士郎 (福島県立医大), 紺野謙治, 横田智之 (創薬技術研究所), 馬場昌範 (鹿児島大医学部), 第11回日本エイズ学会総会 (熊本市産業文化会館), 1997年12月

### ペルフルオロジアセチレンLB膜の調整とその性質

寺沢直弘, 早川由夫, 深谷治彦, 三木 健, 林 永二, 阿部 隆 (名工研), 李 京浩, 京兼 純, 沢田英夫, 第21回フッ素化学討論会, 北海道自治労会館, 平成9年10月

### リン酸セグメントを有するフルオロアルキル基含有オリゴマー類の合成とその性質

沢田英夫, 玉田大介, 川瀬徳三 (阪市大生科), 早川由夫 (名工研), 第21回フッ素化学討論会, 北海道自治労会館, 平成9年10月

### ゲル化能を有するヒドロキシセグメント含有フッ素系オリゴマー類の合成

沢田英夫, 中村 裕, 谷村敏博, 川瀬徳三 (阪市大生科), 早川由夫 (名工研), 第21回フッ素化学討論会, 北海道自治労会館, 平成9年10月

### フルオロアルキル基含有シランカップリング剤による表面フルオロアルキル化]

丹葉敬一, 川瀬徳三, 藤井富美子 (阪市大生科), 沢田英夫, 繊維学会, 大阪府立大学, 平成9年11月

### フッ素の凝集効果が活かされた新規なフッ素機能性材料の開発と応用—ゲル化機能を有する材料への展開

沢田英夫, 有機合成化学協会中国四国支部, 平成9年10月

### フッ素の凝集効果が活かされた新しいフッ素系機能性材料の開発

沢田英夫, 豊橋技術科学大学特別講演, 平成9年11月

### フルオロアルキル基含有オリゴマー類の物性

川瀬徳三 (阪市大生科), 沢田英夫, 関西油化学講習会 (日本油化学会関西支部), 平成9年10月

### フッ素の凝集効果が活かされた新しいフッ素系機能性材料の合成

沢田英夫, 川瀬徳三 (阪市大生科), 日本油化学会東海支部, 平成9年11月

### フルオロアルキル基含有2-ホスホノエチルメタクリレートオリゴマー類の合成と性質

沢田英夫, 玉田大介, 川瀬徳三 (阪市大生科), 早川由夫 (名工研) 第36回油化学討論会, 京都工芸繊維大学, 平成9年10月

### ゲル化能を有するヒドロキシセグメント含有フッ素系オリゴマー類の合成

沢田英夫, 中村 裕, 谷村敏博, 川瀬徳三 (阪市大生科), 早川由夫 (名工研) 第36回油化学討論会, 京都工芸繊維大学, 平成9年10月

### フルオロアルキル基含有ベタイン型オリゴマー類のゲル化

沢田英夫, 川瀬徳三 (阪市大生科), 早川由夫 (名工研), 高分子学会第9回高分子ゲル研究討論会, 東京大学山上会館, 平成10年1月

### フルオロアルキル基含有アクリルアミドオリゴマー類の合成と性質

沢田英夫, 吉野美子, 川瀬徳三 (阪市大生科), 早川由夫 (名工研), 高分子学会第9回高分子ゲル研究討論会, 東京大学山上会館, 平成10年1月

### フルオロアルキル基含有リン酸オリゴマー類の合成と性質

沢田英夫, 玉田大介, 川瀬徳三 (阪市大生科), 早川由夫 (名工研), 高分子学会第9回高分子ゲル研究討論会, 東京大学山上会館, 平成10年1月

### RD6-2198のin vivo抗ヘルペスウイルス活性

芦田則之, 岡本昌之, 藤原将寿, 水田 正, 紺野謙治 (創業技術研究所), 花崎保彰, 井出輝彦, 勝浦公男 (東ソー), 沢田英夫, 茂田士郎 (福島県立医大), 横田智之 (創業技術研究所), 第9回抗ウイルス化学療法研究会, 長井記念ホール (徳島大学), 平成10年4月

### ビス (ペルフルオロシクロヘキサニル) ペルオキシドの熱分解

沢田英夫, 蔵地皆佳, 滝下勝久, 種谷利幸 (石原薬品), 青嶋一仁 (日本油脂), 川瀬徳三 (阪市大生科), 日本化学会第74回春季年会, 同志社大学, 平成10年3月

### ビス (ペルフルオロシクロヘキサニル) ペルオキシドによるペルフルオロシクロヘキシル基含有化合物の合成とその性質

沢田英夫, 蔵地皆佳, 川瀬徳三, 前川智美 (阪市大生科), 日本化学会第74回春季年会, 同志社大学, 平成10年3月

### フルオロアルキル基含有ホスホニウムオリゴマー類の合成と性質

沢田英夫, 河井義和, 杉矢 正, 渡辺 努 (日本化学工業), 川瀬徳三 (阪市大生科), 日本化学会第74回春季年会, 同志社大学, 平成10年3月

### フルオロアルキル基含有ビニルホスホネートオリゴマー類の合成と性質

沢田英夫, 玉田大介, 李 京浩, 京兼 純, 川瀬徳三 (阪市大生科), 日本化学会第74回春季年会, 同志社大学, 平成10年3月

### ホスホニウムセグメントを有するオリゴメリックなフルオロシランカップリング剤の合成と抗菌活性

沢田英夫, 池末由香, 杉矢 正, 渡辺 努 (日本化学工業), 川瀬徳三 (阪市大生科), 日本化学会第74回春季年会, 同志社大学, 平成10年3月

### フルオロアルキル基含有ベタイン型オリゴマー類の合成と性質

沢田英夫, 梅戸美知憲, 川瀬徳三 (阪市大生科), 日本化学会第74回春季年会, 同志社大学, 平成10年3月.

### ゲル化能を有するポリ(オキシエチレン)ユニット含有含フッ素オリゴマー類の合成と高分子電解質への応用

沢田英夫, 有吉夕貴子, 李 京浩, 京兼 純, 川瀬徳三 (阪市大生科), 日本化学会第74回春季年会, 同志社大学, 平成10年3月

フルオロアルキル基含有N-(1,1-ジメチル-3-オキソブチル)アクリルアミドオリゴマー類の合成と性質 沢田英夫, 吉野美子, 乾 泰子, 好野則夫 (東京理大工), 川瀬徳三 (阪市大生科), 日本化学会第74回春季年会, 同志社大学, 平成10年3月

ヒドロキシル基を有するフルオロアルキル基含有アクリルアミドオリゴマー類の合成と性質

沢田英夫, 吉野美子, 川瀬徳三 (阪市大生科), 日本化学会第74回春季年会, 同志社大学, 平成10年3月

フルオロアルキル基含有ベタインオリゴマー水溶液の光散乱

川瀬徳三 (阪市大生科), 沢田英夫, 片山慎介, 日本化学会第74回春季年会, 同志社大学, 平成10年3月

ポリ (オキシエチレン) 鎖を有するフルオロシランカップリング剤によるガラスの表面改質

和氣厚仁, 川瀬徳三, 藤井富美子 (阪市大生科), 沢田英夫, 日本化学会第74回春季年会, 同志社大学, 平成10年3月

Antiviral activity of RD6-2198 against intravaginal infection with herpes simplex virus type 2 in mice

N. Ashida, M. Okamoto, M. Fujiwara, T. Mizuta, K. Konno (創業技術研究所), Y. Hanasaki, T. Ide, K. Katsuura (東ソ一), H. Sawada, S. Shigeta (福島県立医大), and T. Yokota (創業技術研究所), 11th International Conference on Antiviral Research, San Diego, California, USA, April 1998

フルオロアルキル基含有オリゴマーによるセルロースの撥水-抗菌加工の検討

川瀬徳三, 丹葉敬一, 藤井富美子 (阪市大生科), 沢田英夫, 和田邦身 (カケン), 平成10年度繊維学会年次大会 (東京・国立教育会館), 1998年6月

Surface modification of glass using fluoroalkyl end-capped silane coupling agents

A. Wake, T. Kawase, T. Fujii (阪市大生科), H. Sawada, and Y. Ikematsu, The 7th International Conference on Composite Interface (ICCI-VII), Structure and Functions of Interphases, Shonan Institute of Technology, Fujisawa, Japan, May 1998

フルオロアルキル基の凝集効果が発現された新しい含フッ素高分子ゲルの合成

沢田英夫, 川瀬徳三 (阪市大生科), 第47回高分子討論会 (高分子学会), 平成10年9月

ヒドロキシ基を有するフルオロアルキル基含有アクリルアミドオリゴマー類の合成とゲル化

沢田英夫, 吉野美子, 川瀬徳三 (阪市大生科), 第47回高分子学会年次大会, 国立京都国際会館, 平成10年5月

フルオロアルキル基含有ベタイン型オリゴマー類の合成と性質

沢田英夫, 梅戸美知憲, 川瀬徳三 (阪市大生科), 第47回高分子学会年次大会, 国立京都国際会館, 平成10年5月

ホスホニウムセグメントを有するフルオロアルキル基含有オリゴマー類の合成と性質

沢田英夫, 河井義和, 杉矢 正, 渡辺 努 (日本化学工業), 川瀬徳三 (阪市大生科), 第47回高分子学会年次大会, 国立京都国際会館, 平成10年5月

ペルフルオロシクロヘキシル基を有するオリゴマー類の合成と性質

沢田英夫, 蔵地皆佳, 滝下勝久, 種谷利幸 (石原薬品), 青嶋一仁 (日本油脂), 川瀬徳三 (阪市大生科), 第47回高分子学会年次大会, 京都国際会館, 平成10年5月

### ゲル化能を有するポリ(オキシエチレン)ユニット含有含フッ素オリゴマー類の合成と性質

沢田英夫, 有吉夕貴子, 李 京浩, 京兼 純, 川瀬徳三 (阪市大生科), 第47回高分子学会年次大会, 京都国際会館, 平成10年5月

### フルオロアルキル基含有ビニルホスホン酸オリゴマー類の合成と性質

沢田英夫, 玉田大介, 川瀬徳三 (阪市大生科), 高分子学会第44回高分子研究発表会 (神戸) (兵庫県民会館), 1998年7月

### ビス (ペルフルオロシクロヘキサニル) ペルオキシドの熱分解と本過酸化物によるペルフルオロシクロヘキサニル基含有オリゴマーの合成

沢田英夫, 蔵地皆佳, 川瀬徳三 (阪市大生科), 滝下勝久, 種谷利幸 (石原薬品), 高分子学会第44回高分子研究発表会 (神戸) (兵庫県民会館), 1998年7月

### Synthesis and properties of perfluorocyclohexylated compounds with bis (perfluorocyclohexane carbonyl) peroxide

H. Sawada, M. Kurachi, M. Oue, K. Takishita, T. Tanedani (石原薬品), T. Maekawa, and T. Kawase (阪市大生科), 12th European Symposium on Fluorine Chemistry, Freie University, Berlin, Germany, August 1998

### Synthesis and properties of fluoroalkylated end-capped betaine oligomers

H. Sawada, M. Umedo, M. Oue, and T. Kawase (阪市大生科), 12th European Symposium on Fluorine Chemistry, Freie University, Berlin, Germany, August 1998

### Synthesis and properties of fluoroalkylated end-capped acrylamide oligomers containing hydroxy groups

H. Sawada, Y. Yoshino, M. Kurachi, M. Umedo, M. Oue, and T. Kawase (阪市大生科), 12th European Symposium on Fluorine Chemistry, Freie University, Berlin, Germany, August 1998

### Flip-flop type fluoroalkyl end-capped silane coupling agents

A. Wake, T. Kawase, T. Fujii (阪市大生科), H. Sawada, and Y. Ikemastu, 12th European Symposium on Fluorine Chemistry, Freie University, Berlin, Germany, August 1998

### Antibacterial fluoroalkyl end-capped silane coupling agents

T. Kawase, K. Tanba, T. Fujii (阪市大生科), Y. Ikemastu, Y. Kawai, and H. Sawada, 12th European Symposium on Fluorine Chemistry, Freie University, Berlin, Germany, August 1998

### Self-Organization of Fluoroalkyl End-capped Oligomers

T. Kawase, E. Miyoshi, K. Nishinari (阪市大生科), and H. Sawada, 12th European Symposium on Fluorine Chemistry, Freie University, Berlin, Germany, August 1998

### Synthesis and Applications of Fluoroalkylated End-capped Oligomers

H. Sawada, A Lecture of Organofluorine Chemistry in the Potsdam University, Germany, September 3, 1998

### ペルフルオロジアセチレンLB膜の表面特性及び電気特性

寺沢直弘, 早川由夫, 深谷治彦 (名工研), 李 京浩, 京兼 純, 沢田英夫, 日本化学会第75秋季年会 (愛媛大学), 平成10年9月

### 含フッ素有機過酸化物を用いて改質したポリマーの気体及び液体透過性

早川由夫, 寺沢直弘, 西田雅一 (名工研), 沢田英夫 名古屋工業技術研究所報告, **46**, 417 (1997)

### フルオロアルキル基含有のホスホネートオリゴマー類及びその製造方法並びにこれを含有する界面活性剤及び樹脂組成物

沢田英夫, 志村征爾, 杉矢 正, 渡辺 努 (日本化学工業), 特願 平10-58951号, 平成10年2月24日

フルオロアルキル基含有のホスホネートオリゴマー類及びその製造方法並びにこれを含有する界面活性剤及び樹脂組成物

沢田英夫, 志村征爾, 杉矢 正, 渡辺 努 (日本化学工業), 特願 平10-58952号, 平成10年2月24日

フルオロアルキル基含有のホスホニウムオリゴマー類及びその製造方法並びに抗菌剤, 抗菌界面活性剤及び抗菌性樹脂組成物

沢田英夫, 志村征爾, 杉矢 正, 渡辺 努 (日本化学工業), 特願 平10-59095号, 平成10年2月25日

フルオロアルキル基含有のホスホニウムオリゴマー類及びその製造方法並びに抗菌剤, 抗菌界面活性剤及び抗菌性樹脂組成物

沢田英夫, 志村征爾, 杉矢 正, 渡辺 努 (日本化学工業), 特願 平10-59096号, 平成10年2月25日

フルオロアルキル基含有のホスホニウムオリゴマー類及びその製造方法並びに抗菌剤, 抗菌性表面処理, 抗菌性界面活性, 及び抗菌性樹脂組成物

沢田英夫, 志村征爾, 杉矢 正, 渡辺 努 (日本化学工業), 特願 平10-59097号, 平成10年2月25日

ホスホニウムオリゴマー類及びその製造方法並びに抗菌剤, 抗菌性表面処理, 及び抗菌性樹脂組成物

沢田英夫, 志村征爾, 杉矢 正, 渡辺 努 (日本化学工業), 特願 平10-99965号, 平成10年3月30日

ベタイン型重合体, その製造方法及び抗ウイルス剤

沢田英夫, 馬場昌範 (鹿児島大医), 花崎保彰 (東ソ一), PCT/JP97/00570 (1997-2-27 [海外特許出願; 国際公開番号: W097/32909] (1997-9-12))

新規カップリング剤: リンにフッ素・シリコン基結合

沢田英夫, 川瀬徳三 (阪市大生科), 日本化学工業, 化学工業日報, 平成10年4月20日

Hydrophilic surroundings requisite for the solubilization of proteins related with their hydrophobicity in the AOT reversed micellar extraction

Imai, M., Natsume, T., Naoe, K., Shimizu, M., Ichikawa, S., and Furusaki, S.

*Bioseparation*, **6**, 325-333 (1997)

Extraction conditions for protein in Span 60 reverse micellar system

Ura, O., Naoe, K., Kawagoe, M., and Imai, M.

In "Biochemical Engineering: Marching toward the Century of Biotechnology" (Ed. by Z. Y. Shen, F. Ouyang, J. T. Yu, Z. A. Cao), pp942-945, Tsinghua Univ. Press (Beijing) (1997)

Proc. 4th Asia-Pacific Biochemical Engineering Conference '97, (Beijing, China)

(1997年10月20日講演)

Efficacy of guanidium salts in backward extraction of protein from reverse micellar organic phase

Naoe, K., Murata, M., Kawagoe, M., and Imai, M.

In "Biochemical Engineering: Marching toward the Century of Biotechnology" (Ed. by Z. Y. Shen, F. Ouyang, J. T. Yu, Z. A. Cao), pp926-929, Tsinghua Univ. Press (Beijing) (1997)

Proc. 4th Asia-Pacific Biochemical Engineering Conference '97, (Beijing, China)

(1997年10月23日講演)

Stabilization effect of trehalose addition on protein solubilization into reverse micelles

Naoe, K., Yamamoto, M., Kita, Y., Kawagoe, M., and Imai, M. 4th Workshop "Principles of Protein Architecture", (Mishima) pp264

(1997年12月10日講演)

Span60逆ミセルを用いたタンパク質の抽出条件  
浦 理, 直江一光, 河越幹男, 今井正直 (東京農工大)

"液膜及び分子認識材料利用技術の基礎と応用", (化学工学会「液膜及び分子認識液体利用プロセス」特別研究会編), pp147-154 (1998)

**Protein extraction in reverse micelles of Span 60**

Naoe, K., Ura, O., Hattori, M., Kawagoe, M. and Imai, M.

In "Advances in Bioseparation Engineering 1997", (Ed. by The Special Study Group for Bioseparation Engineering of SCEJ), pp91-96 (1998)

**Comparison of the Effect of Guanidium Salts and Trehalose in Reverse Micellar Protein Extraction**

Naoe, K., Yamamoto, M., Kita, Y., Kawagoe, M., Hakoda, S., and Imai, M.

In "Advances in Bioseparation Engineering 1997", (Ed. by The Special Study Group for Bioseparation Engineering of SCEJ), pp97-102 (1998)

**シュガーエステル逆ミセルを用いたタンパク質抽出**

西野卷子, 直江一光, 河越幹男, 今井正直 (東京農工大)

化学工学会第63年会, M317 (関西大学)  
(1998年3月26日講演)**AOT逆ミセル有機溶媒へのタンパク質の抽出挙動とタンパク質の水和**

山本真史, 直江一光, 河越幹男, 今井正直 (日本大学)

化学工学会富山大会, A-15  
(1998年7月16日講演)**両親媒性分子による水性二相分配系の形成とタンパク質分離**

田中公廣, 直江一光, 河越幹男, 今井正直 (日本大学)

化学工学会富山大会, A-16  
(1998年7月16日講演)**Span60逆ミセルにおけるタンパク質の可溶化状態**

浦理, 直江一光, 河越幹男, 今井正直 (日本大学)

化学工学会第31回秋季大会 (山形大学), H120  
(1998年9月29日講演)**電極に固定化した *Aspergillus niger* の電気化学的特性**

三木功次郎, 服部由果里, 加納健司 (京大大学院), 池田篤治 (京大大学院)

1998年度日本農芸化学会大会  
(平成10年4月1日 講演)**生体内酸化還元反応を利用したバイオセンサの開発とその特性**

三木功次郎

'98国際食品工業展アカデミックプラザ  
(平成10年6月10日 講演)**(一般科)****大和古代地名辞典**

日本地名学研究所編 五月書房

大矢良哲, 池田末則 (日本地名学研究所), 木村芳一  
(奈良芸術短大) ほか (平成10年1月28日)**雄勝町の自然石塔婆群と蝦夷の反乱**

大矢良哲

『雄勝-秋田県雄勝町文化調査報告書』(五月書房)  
253~273頁 (平成10年6月28日)**『続・夢幻乱歩館』と『家裁の人』**

神澤和明

『演劇会議』第95号, pp99~101  
(平成9年11月8日発行)**ピッコロ劇団『私の夢は舞う』**

神澤和明

『テアトロ』第666号, pp50~51  
(平成10年3月1日発行)**「しゃべる, 論じる, また, 語る」**

神澤和明

『演劇会議』第96号, pp62~64  
(平成10年4月11日発行)

## 「人の心は見えないけれど」

神澤和明

「演劇会議」第97号, pp57～59

(平成10年7月11日発行)

## 「疑う権利」と民主主義—鶴見俊輔への試み

木村倫幸

「季報・唯物論研究」第64号, pp189～201

(1998年4月)

## 書評—田口富久治・鈴木一人『グローバリゼーションと国民国家』(青木書店)

木村倫幸

「季報・唯物論研究」第62号, pp140～143

(1997年10月)

## 書評—日本社会教育学会編『ボランティア・ネットワーク—生涯学習と市民社会』(東洋館出版)

木村倫幸

「季報・唯物論研究」第63号, pp103～106

(1998年1月)

## 書評—野沢尚『破線のマリス』(講談社)

木村倫幸

「季報・唯物論研究」第63号, pp106～109

(1998年1月)

## 書評—高村薫『レディ・ジョーカー』(毎日新聞社)

木村倫幸

「季報・唯物論研究」第65号, pp152～154

(1998年7月)

## 書評—社会主義理論学会編『二〇世紀社会主義の意味を問う』(御茶の水書房)

木村倫幸

「季報・唯物論研究」第65号, pp155～159

(1998年7月)

## Fluctuation Effects of Gauge Field in the Slave-Boson t-J model

I. Ichinose (Tokyo Univ.), T. Matsui (Kinki Univ.), K. Sakakibara

J. Phys. Soc. Jpn Vol. 67, 543, February 1998

## 夏目漱石『野分』の「文学者」

武田充啓

国文学年次別論文集成平成八年版近代分冊

(平成10年9月)

## Compiling resources in a linear logic programming language

Mutsunori Banbara and Naoyuki Tamura (Kobe University)

In Proceedings of the JICSLP '98 Post Conference Workshop on Implementation Technologies for Programming Languages based on Logic, pp32～45

(平成10年6月)

## Java implementation of a linear logic programming language.

Mutsunori Banbara and Naoyuki Tamura (Kobe University)

In Proceedings of the Symposium on Industrial Applications of PROLOG, pp56～63

(平成9年10月)

## 『高専留学生の日本語』改訂版

細井誠司, 勢田勝郭, 武田充啓

(平成10年3月30日発行)

## 「オリエンタリズム」を越えて

松井良明

スポーツ史学会会報『ひすば』No.38, 2～3頁

(1997年12月8日)

## 1996年スポーツ史関連文献書誌

鈴木純子(東京YMCA社会体育専門学校), 中房敏朗(仙台大学), 松井良明

スポーツ史学会編『スポーツ史研究』11, 57～71頁

(1998年1月1日)

『日常と犯罪—西洋近代における非合法行為—』

常松 洋・南 直人編

松井良明 執筆担当：第3章「ボクシングと刑法」65  
～98頁 昭和堂（1998年2月25日 共著）

CD-ROM世界大百科事典プロフェッショナル  
版

松井良明 執筆担当：「犬ぞりレース」

日立デジタル平凡社（1998年3月 共著）

なもで踊り伝承—「布留社南無手踊」をめぐっ  
て—

松井良明，橋本紀美（安堵町歴史民俗資料館）

日本体育学会スポーツ人類学専門分科会編『スポーツ  
人類学研究』2, 33～38頁（1998年3月）

奈良工業高等専門学校 研究紀要第34号

平成11年3月15日

編集兼 奈良工業高等専門学校  
発行者 大和郡山市矢田町22

印刷所 株式会社 春日  
奈良市三条栄町9-18

# RESEARCH REPORTS

## OF NARA NATIONAL COLLEGE OF TECHNOLOGY

NO. 34, 1998  
CONTENTS

On the Mechanism of Benard Convection in a Thin Liquid Layer Induced by Evaporation ..... Masahiko SAKAMOTO and Wen-Jei YANG .....	1
A trial for generating high negative pressure by sealing a plug in a boiling water .....	Kazuki HIRO ..... 5
Super Finishing with Water Soluble Grinding Fluid .....	Tadahiro WADA ..... 9
Simulation of A 3-Phase High Power Factor Converter Using Hysteresis Comparator ..... Shigeji IMURA and Satoshi TAMORI .....	15
Electro-striction Effect of Polyurethane Elastomer (PUE) and Its Application to Actuators Jun KYOKANE, Haruhiko ISHIMOTO, Hideyuki YUGEN, Toshihiro HIRAI, Takashi UEDA and Katsumi YOSHINO .....	21
Realtime Gesture Recognition by Dynamic Control of Visual Interest Points ..... Toshiyuki KIRISHIMA, Kosuke SATO and Kunihiro CHIHARA .....	27
Fluctuating drive for industrial works .....	Shigeki DOI ..... 33
Electrooptic Light Modulator for Tunable CO <sub>2</sub> Laser .....	Tomoshi MATSUSHIMA and Kouhei MIZUNO ..... 37
Computer Simulation of Constant $M$ and $\phi$ Chart and Nichols Chart in Continuous Control System ..... Takashi KURIMOTO .....	43
Three Dimensional Computer Simulation of Distorted Wave by Fourier Series .....	Takashi KURIMOTO ..... 51
Engineering Education to Cultivate the Creativity by Design and Production of Autonomous Robot ..... Takahiro MICHISHITA, Hiroaki ICHII, Rei NAKASHIMA, Mituyoshi SHIMAOKA, Haruaki KISHIGE and Toshiya SAKABE .....	59
Experiments in Department of Control Engineering Attached Importance to Production ..... Mitsuyoshi SHIMAOKA, Hiroaki ICHII, Toshio NAKATA, Takahiro MICHISHITA and kenichi IIDA .....	63
An Improved Simulated Annealing Method based on Multiplex Search II ..... Fumio ASAI, Tomoko TSUTSUMI and Noboru NAKAMICHI .....	71
A CMOS Threshold Gate and its applications .....	Ryo IGARASHI and Ken-ichi YAMAGUCHI ..... 73
About the Education of Information Ethics on the Internet.....	Hideo KUDO and Hiroshi YOSHIKAWA ..... 79
An application of a simulation to process control .....	Katsuya KONDO ..... 85
Measurement the Number of Glitches for CMOS Multipliers Using VHDL Simulator ..... Tadashi SEKO and Atsushi NAKAMURA .....	91
A Representation Diagram for Maximal Independent Set of a Graph ..... Masakuni TAKI, Sumio MASUDA, and Toshinobu KASHIWARA .....	95
Estimating the change point of the variation of the time series learning data for reinforcement learning ..... Tomohiro YAMAGUCHI .....	101
Silver-ion Selective Electrode Based on Silicone-rubber Membrane Modified Chemically by Thiocrown Ether ..... Masatoshi OUE, Naomi YOSHINO, Kenji MURASHIMA, Hideo SAWADA and Keiichi KIMURA .....	107
Specific Amplification of Gene Fragments of Alanine Racemases with Degenerate Primers ..... Yoko OKUBO and Kumio YOKOIGAWA .....	111
Hydrodynamics of Three Phase Bubble Columns Containing Large Particles with Low Density ..... Mikio KAWAGOE, Tomonari TANAKA, Ken-ichi HAYASHI and Takayuki IGUCHI .....	117
The Decision Problem for Fuzzy Algebras II .....	Kenichi ARAGANE ..... 123
Teaching English Translation in a Technical College .....	Akashi KAJI ..... 135
A Study on Individual and Organization of Shunsuke TURUMI .....	Tsuneyuki KIMURA ..... 154
Ranboumono (A Rough) in Natsume Soseki's <i>Botchan</i> .....	Mitsuhiro TAKEDA ..... 164
Abstracts .....	165
Five-Days School System and Consciousness of Students .....	Tsuneyuki KIMURA and Yoshikazu NAKAMURA ..... 175
Research Activities in 1997~1998.....	183