

ISSN 0387-1150

研 究 紀 要

第 31 号

平成 7 年度

奈良工業高等専門学校

目 次

伸長粘度測定に対する異方倍率光学系の適用	小柴 孝・森 教安	1
振動クリープフィード研削	和田 任 弘	5
球状黒鉛鋳鉄の切削におけるセラミックス工具およびCBN工具の摩耗	和田 任 弘	11
アモルファス太陽電池モジュールの温度回復効果についての実験的検討	高橋 晴雄・上田 泰弘・山脇 竹治	17
モルフォロジーフィルタを用いた心電図のRR時間の測定方法	土 井 滋 貴	21
Analysis of Tunable Waveguide CO ₂ Laser Making Use of Three-Mirror Type Internal Modulation Method	松 島 朋 史	25
位相シフトスペckル干渉法における位相差計算法	押田 至啓・西田 茂生	31
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)	栗 本 尚	35
2 慣性系状態フィードバックコントローラの制約条件下におけるゲイン設計方法	中 島 レ イ	41
平均場理論に基づくボルツマン・マシン学習の性能評価	浅井 文男・新家 康裕	45
重み値可変機能を有する ν MOSFET回路とその応用	小林 淳・五十嵐 良	49
フラッシュメモリの記憶保持テストの高速化	土屋 宏・森野 勲・五十嵐 良	55
オブジェクト指向による手話表現ツール	工藤 英男・杉山 絵美・吉川 博史	61
コンピュータ不安尺度を用いた意識調査	下 村 満 子	67
重みつき区間グラフの最大k-独立頂点集合を求めるアルゴリズム	多喜 正城・奥田 哲也・木津 隆史・荒木 俊郎・柏原 敏伸	71
外部液循環式エアリフト塔の液側及びガス側混合特性	河 越 幹 男	77
ファジイ代数に関連する代数系について	荒 金 憲 一	81
A Note on Generalized Vietoris Topology and Pixley-Roy Topology	池 永 彰 吾	91
フリーダ・ヴェッチ再評価	片 山 悦 男	93
第二言語習得における言語知識と宣言的知識	松 林 城 弘	105
夏目漱石『野分』の「文学者」	武 田 充 啓	113
論文抄録		123
教官研究活動一覧表		127

伸長粘度測定に対する異方倍率光学系の適用

小 柴 孝・森 教 安*

Application of Anamorphic Optics to Elongational Viscosity Measurement

Takashi KOSHIBA and Noriyasu MORI

An anamorphic optics is applied to the measurement of elongational viscosity with Spinline-Rheometer to improve the accuracy of measurement. The spinline contour obtained by using the anamorphic optics has the significant accuracy in comparison with the results in the past. It is found that the elongational viscosity measured by this optics shows the remarkable stretch-thickening property. Furthermore, it is clarified that the values of elongational viscosity become independent of flow rate by taking a long spinline length.

1. 緒 論

高分子溶液の伸長粘度を測定するのに、現在、オープン・サイフォン法、スピライン法、対向ジェット法や急絞り流路を用いる方法など¹⁾が提案されているが、中でもスピライン法による測定方法は、装置構造が非常に簡単であり、スピラインの形状から容易に伸長粘度が得られることから広く一般に用いられている。しかしながらスピラインレオメータによる方法では、ノズルより流れ出た溶液に一定伸長流動を与えることが困難であることや、得られた伸長粘度の値は実験条件に大きく依存したものであること等、多くの課題を含んでいる。従来²⁾の報告によれば、これはノズルより流出した溶液フィラメントの形状を十分な長さの領域まで正確に把握することができないことにその原因があったとされていた。そこで本研究では、このような観点からこの溶液フィラメント形状を精度良く測定するために一方向のみに拡大できる異方倍率光学系³⁾を適用し、測定精度の向上を図ると同時に得られた伸長粘度の値について評価を行った。

2. 伸長粘度の測定原理

現在、スピラインレオメータによる伸長粘度の測定には、二通りの方法が用いられている。一つは、スピラインに沿って局所的に伸長粘度の変化を調べる方法であり、もう一つは、スピラインの適当な区間の平均値として伸長粘度を評価する方法である。本実験では、後者による評価を行った。以下、Jones¹⁾らによって提案された平均伸長粘度の測定原理について述べる。

図1は、ノズル出口から流出する高分子溶液の伸長流れを示したものである。この伸長流れに対し、長さLの区間での平均伸長速度 $\dot{\epsilon}_m$ 、平均伸長応力Tは次式で与えられる。

$$\dot{\epsilon}_m = \frac{4Q}{\pi L} \left(\frac{1}{D_L^2} - \frac{1}{D_0^2} \right) \quad (1)$$

$$T = \frac{4}{\pi D_{AV}} (F_N + F_i - F_g) \quad (2)$$

ここで、Q：体積流量、L：測定区間距離、 D_L ：Z=Lでの溶液径、 F_N ：ノズル出口での外力である。溶液の慣性力 F_i および溶液に働く重力 F_g は、この場合、式(3)および式(4)で与えられる。また F_N は測定値である。ここで ρ ：密度、g：重力加速度、 V_L ：Z=Lでの流速、 V_0 ：ノズル出口での流速である。

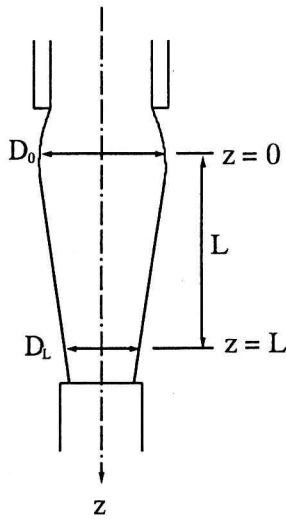


図1 スピンライン模式図

$$F_i = \rho Q (V_L - V_0) \quad (3)$$

$$F_G = \int_0^L \rho g \frac{\pi}{4} D(Z)^2 dz \quad (4)$$

したがって、平均伸長粘度 η_{Eapp} は次式で定義される。

$$\eta_{Eapp} = \frac{T}{\dot{\epsilon}_m} \quad (5)$$

3. 異方倍率光学系

異方倍率光学系³⁾とは、シリンドリカルレンズ（円柱を半分にした形状のレンズ）の曲面側どうしを向かい合わせて構成されており、レンズの円周方向の像に対してのみ拡大した倒立虚像が得られる光学系である。以下に異方倍率光学系の原理を示す。

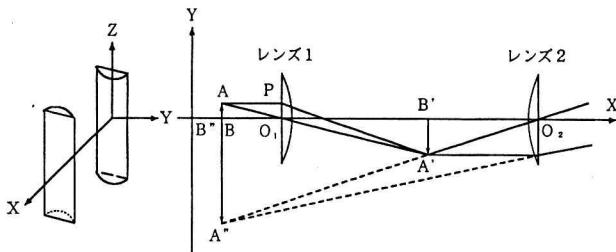


図2 異方倍率光学系概略図

図2は本研究に用いた異方倍率光学系の概略図である。Bの位置にある物体ABは、レンズ1を通過するとB'の位置に倒立虚像A'B'となって現れる。さらにこの像をレンズ2を通して見るとB''の位置に、拡大された倒立虚像A''B''が現れる。したがってy軸方向に反転拡大した像が得られる。これに対してz軸方向にはレンズに

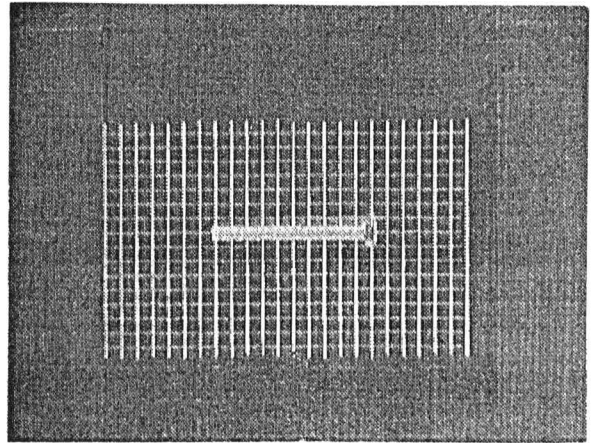


図3 ボルトの写真

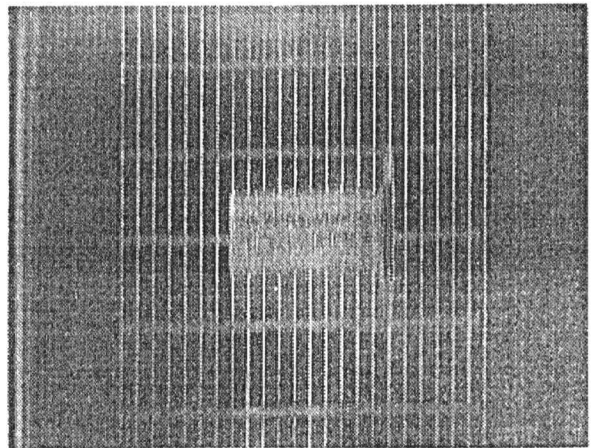


図4 異方倍率光学系によるボルトの拡大写真

曲面が無いためレンズは像に影響を与えず、拡大されずに元の大きさのままである。したがって異方倍率光学系を通して見ると、y軸方向のみに拡大された像が得られる。図3および図4にその様子を示す。図3と図4は、サンプルとしてM4の長さ10mmのボルトを用いたときの写真であり、異方倍率光学系を通す前と通した後の写真を比較すると径方向のみ像が拡大されていることが分かる。

レンズ1は、図2に示すように物体ABの倒立実像をA'B'として結像される。このときの像の位置は、レンズの公式によって求めることできる。

$$\frac{1}{v_1} - \frac{1}{u_1} = \frac{1}{f_{11}} \quad (6)$$

f_{11} はレンズ1の焦点距離 ($f_{11} < 0$)、 u_1 は物体からレンズまでの距離 ($u_1 > 0$) である。また、このときの像倍率 m_1 は、

$$m_1 = \frac{A'B'}{AB} = \frac{A'B'}{PO_1} = \frac{f_{11} - v_1}{v_1} \quad (7)$$

となる。レンズ2は図2に示すようにA'B'の像を正立虚像A''B''として結像される。このときの像の位置はレンズの公式によって求められ、その像の倍率は、

$$\frac{1}{v_2} - \frac{1}{u_2} = \frac{1}{f_{22}} \quad (8)$$

$$m_2 = \frac{A'B'}{AB} = \frac{OB'}{OB} = \frac{v_2}{u_2} \quad (9)$$

となる。 f_{22} はレンズ2の焦点距離 ($f_{22} > 0$)、 v_2 はレンズ2から像 $A'B'$ までの距離 ($v_2 > 0$)、 u_2 は像 $A'B'$ からレンズ2までの距離 ($u_2 > 0$) である。したがって異方倍率光学系の像倍率は

$$m = m_1 \cdot m_2 \quad (10)$$

となる。本実験で用いたレンズの焦点距離は、 $f_{11} = f_{22} = 13.0\text{cm}$ である。式(5)~(10)より像の位置を求めることができ、その値は、 $u_1 = 18.2\text{cm}$ 、 $v_1 = -45.3\text{cm}$ 、 $m_1 = -2.48$ 、 また $u_2 = 11.1\text{cm}$ 、 $v_2 = 73.9\text{cm}$ 、 $m_2 = 6.7$ 、 $m = -16.6$ となる。

4. 実験装置

図5にスピンドラインレオメータの概略図を示す。溶液は、ピストンポンプにより一定流量で押し出され、パイプ内を通りノズルより鉛直下方へ流出する。押し出された溶液は、巻取りドラムおよび真空ポンプの負圧によって引っ張られて伸長流れとなる。実験条件となる流量は、ピストンの移動速度を任意に設定することで調整することができ、ノズルに作用する伸長力の値は、片持ち梁であるパイプのたわみ量を光学の変位センサーで測定し、求めることができる。ノズルより流出した溶液のスピンドライン形状は、異方倍率光学系を通して水平方向のみ拡大された像を写真撮影し、その写真から径の変化を測定することができる。なお本実験ではスピンドライン長さ (L) は、ノズル径 ($\phi = 1.61\text{mm}$) の50倍とした。

試料流体として本実験では、PAA (ポリアクリルアミド) 1.0wt% 水溶液を用い、伸長粘度の流量に対する依存性を調べるため2種類の流量について実験を行った。

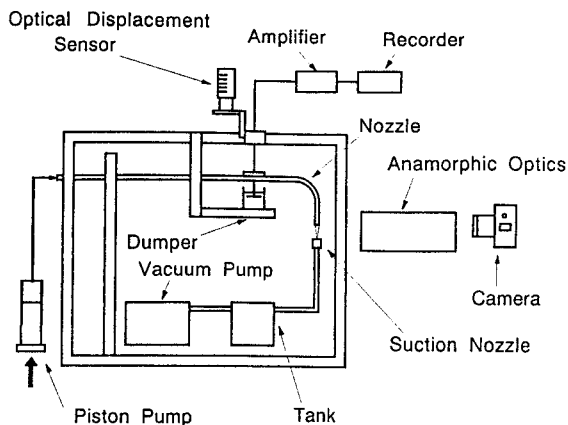


図5 実験装置概略図

6. 実験結果と考察

異方倍率光学系を用いて高分子溶液の伸長粘度測定を行うにあたり、まず溶液径の変化について調べた。図6は、スピンドライン長さに対する溶液径の変化の様子を示したもので、ノズル外力を一定とし、2種類の流量に対する溶液径の測定結果である。ただし図6ではノズル径が、一定であるにも関わらず溶液径の大きさにかなり差が生じているが、これは図1にも示したようにノズル出口で生じるせん断応力の緩和、すなわちバラス効果によるものである。

図6の結果より溶液径は、流れ方向のスケールに対し、かなり精度良く測定されていることが分かる。特に流量が大きい場合、ノズル出口近くの溶液径は、かなり顕著に変化しており、非常に大きな伸長変形を受けていることが分かる。しかしノズルより下流側に行くに従い、次第にその変化は緩やかなものとなり、流量の低い場合と良く似た傾向を示していることがわかる。

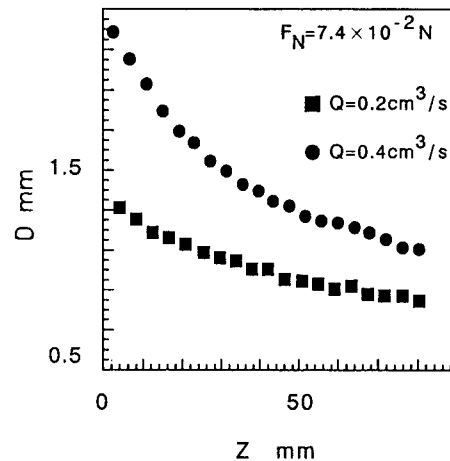


図6 溶液径の変化

次に伸長粘度の測定結果について図7にその結果を示す。図7の縦軸は、式(5)で定義される平均伸長粘度、横軸は式(1)で定義される見かけの平均伸長速度である。この図より、PAA 1.0wt% 水溶液では、いずれの流量においてもわずかな伸長速度の増加に対し、伸長粘度が急激に増加するstretch-thickening性を示していることがわかる。この伸長粘度のstretch-thickening性は、これまでの結果²⁾と非常に良く一致しており、異方倍率光学系を用いても高分子溶液の伸長特性を明確にすることが可能であることが分かった。しかし伸長粘度の流量依存性については、従来の結果ほど顕著なものではなく、むしろ流量に依存しない結果となっている。これは、図6に示したようにスピンドライン長さを十分大きくとることで溶液径の変化が流量の大きさに比例したためと考えられる。

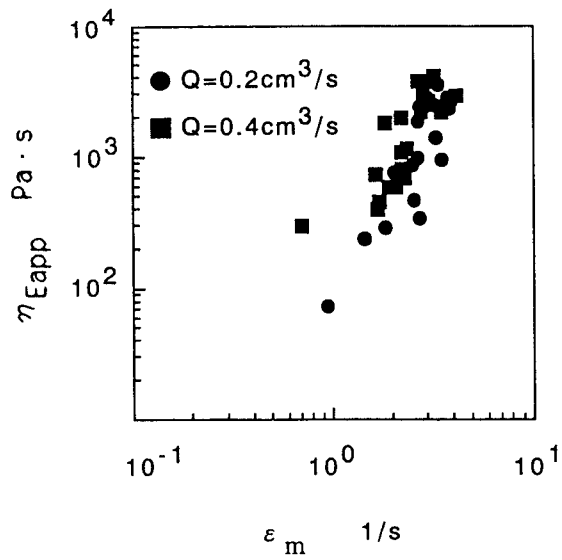


図7 伸長粘度

7. 結 論

異方倍率光学系を用いたスピンドルレオメータにより高分子溶液の伸長粘度測定を行った。その結果、異方倍率光学系の適用により溶液フィラメント径の測定精度が向上し、より正確な伸長粘度の値が得られた。また伸長粘度の流量依存性についてはスピンドル長さを十分大きくとることにより解消することが可能であることが見いだされた。

参考文献

- 1) H. A. Barne, J. F. Hutton K. Walters:
“An Introduction to Rheology”, Elsevier, (1989)
- 2) 萩原：奈良高専機械工学科卒業研究報告書, (1993)
- 3) 久保田, 久迩, 近藤：日本音響学会講演論文集,
(1979), 247
- 4) 久保田, 山田, 近藤：日本音響学会講演論文集,
(1979), 251

振動クリープフィード研削

和田 任 弘

Vibratory Creep Feed Grinding

Tadahiro WADA

In creep feed grinding, the maximum grain depth of cut becomes smaller, and so the cutting force on an effective edge becomes smaller. Then the loading and grazing often occurs on the working face of the grinding wheel. Because of a long arc of contact, the temperature at the grinding point rises with the increase of cutting force. Consequently thermal damage such as a burn mark is often made on a workpiece. In order to prevent the formation of the burn mark, vibratory creep feed grinding is proposed in this study. The workpiece was forced to vibrate in the table feed direction, that is to say, the frequency f is 30Hz and amplitude $2A$ is from 0.32 to 1.5mm. In order to clarify the effectiveness of the vibratory creep feed grinding, the grinding, performance are experimentally investigated. The main results obtained are as follows: (1) In the vibratory creep feed grinding, the grinding force was changing every moment. So, the grinding force was adopted the maximum value of the vertical grinding force. The maximum vertical grinding force " Fv " increased with the increase of the table speed. (2) In creep feed grinding of Al_2O_3 ceramics under the wheel depth of cut 2mm and the table speed 0.0417mm/s, the ground surface roughness in the vibratory creep feed grinding became smaller than that in conventional creep feed grinding.

1. 緒 言

クリープフィード研削は、砥石切込み深さを大きくして、全取代をワンパスあるいは数パスで所定の寸法に仕上げる高能率研削法の一つである。この加工法では、通常の研削に比べ、砥粒切込み深さの最大値が小さくなるため、一個当りの砥粒切れ刃に作用する切削力が小さくなり、砥粒の破碎や脱落が起りにくくなり、砥粒切れ刃の摩耗面積の増大につれ、研削抵抗の増大とともに研削熱が多量に発生する。さらに、クリープフィード研削では、砥石と工作物との接触弧が長くなるため、接触弧内部へ研削油剤が供給されにくくなり、研削油剤による冷却が悪くなる。これらのため、鋼材のクリープフィード研削では、目づまりや目つぶれを起こし、研削焼けが起りやすい。これまでに、工作物をテーブル送り方向

に微小振動させることによって、砥石作用面に適度の自生作用に促し、かつ接触弧内部へ研削油剤を確実に供給させ、研削焼けを防止することができると考え、振動クリープフィード研削を試みた⁽¹⁾。すなわち、高速度工具鋼SKH4ならびにステンレス鋼SUS304を工作物とし、一般砥石で振動クリープフィード平面研削を行った結果、研削焼けが防止できるなどの効果があることを示した。

そこで本研究では、この振動クリープフィード研削時の砥石に作用する研削抵抗を調べるとともに、アルミナセラミックスを工作物として、振動クリープフィード研削を行い、工作物の振動が研削性能に及ぼす影響を調べる。

2. 実験装置および方法

使用研削盤は、岡本工作所製 精密平面研削盤PSG-6E (主軸電動機: 1.1kW) で、低速でテーブルを送るこ

とができるようにして用いた。

図1に、実験装置の概略を示す。振動装置の加振源には、超仕上げ加工用振動ユニットを用いた。研削幅 $b = 3\text{mm}$ の工作物を、テーブルに取付けた振動装置により、テーブル送り方向に微小振動させながらクリープフィード平面研削を行った。工作物の振動数を一定 ($f = 30\text{Hz}$) とし、全振幅は、 $0.32 \sim 1.5\text{mm}$ の範囲で変化させた。なお、振動の周期 (30Hz) は、砥石回転数 (55rps) と整数比にならないように選んだ。

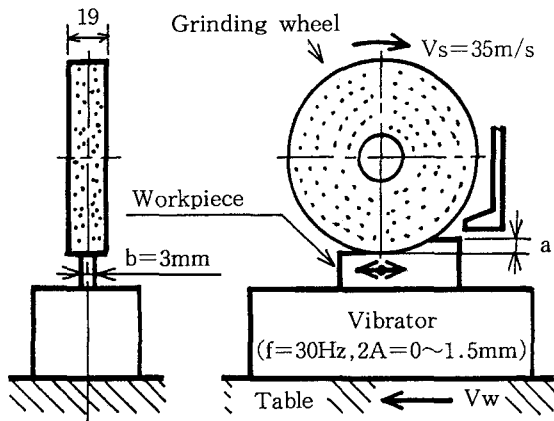


図1 実験装置

表1に、本研究で用いた研削条件を示す。SKH4ならびにSUS304の研削に使用した砥石は、鋼用によく用いられているWA砥石を用いた。また、一般砥石の中では、熱伝導性ならびに砥粒の破砕性が良いGC砥石も用いた。アルミセラミックスの研削には、GC砥石のみを用いた。研削油剤としては、ソリューション型水溶性研削油剤（ノリタケ カンパニー リミテド社製 ノリタケクール AF-T）を水道水で20倍に希釈して用いた。

表1に示す研削条件で下向き研削を行い、研削抵抗ならびに研削面の状態を調べた。なお、テーブル送り速度を小さくするとスティックスリップが発生しやすくなるが、本実験の範囲のテーブル送り速度では、その発生は見られなかった。

表1 研削条件

Grinding wheel	WA80H7V, GC120H7V
Grinding wheel diameter	$D = 202 \sim 204\text{ mm}$
Grinding wheel speed	$V_s = 35\text{ m/s}$
Wheel depth of cut	$a = 1.69 \sim 12.9\text{ mm}$
Table speed	$V_w = 0.0417 \sim 0.317\text{ mm/s}$
Width of cut	$b = 3\text{ mm}$
Workpiece	SKH4(HRC66), SUS304(HV226) Al ₂ O ₃ (HV1530)
Grinding fluid	Solution type (Q=13L/min)
Dressing conditions ;	
Dresser	Single point diamond
Dressing speed	3.3 mm/s
Dressing infeed	0.01 mm (5 times)
Vibration conditions ;	
Frequency	$f = 30\text{ Hz}$
Amplitude	$2A = 0.32 \sim 1.5\text{ mm}$

研削抵抗の測定には、自作の八角リングタイプ動力計により、垂直方向と水平方向の研削抵抗をメモリスコープに記録させた。研削抵抗の測定系の固有振動数は、垂直方向457Hz、水平方向725Hzである。

3. 実験結果および考察

3.1 工作物の送り速度の最大値 V_{wmax} ⁽¹⁾

工作物の送り方向に振動を加えると、実際に研削しているときの送り速度の最大値 V_{wmax} （砥石が工作物と接触する直前の速度）は、テーブル送り速度にくらべかなり大きくなる。すなわち、工作物の送り方向の振動は正弦波振動をしているので、工作物の振動数を f 、全振幅を $2A$ とすると、時刻 t における工作物の位置 x と速度 V はそれぞれ、

$$x = V_w \cdot t + A \sin(2\pi f t) \quad \dots \quad (1)$$

$$V = V_w + 2\pi f A \cos(2\pi f t) \quad \dots \quad (2)$$

と表わされる。工作物の送り方向の振動により、砥石が工作物から離れるときの速度は0であるので、その時の時刻 t_a を求めると、

$$t_a = \frac{1}{2\pi f} \cos^{-1}\left(-\frac{V_w}{2\pi f A}\right) \quad \dots \quad (3)$$

となる。次に時刻 t_a における位置 x_a を求めると、

$$x_a = V_w \cdot t_a + A \sin(2\pi f t_a) \quad \dots \quad (4)$$

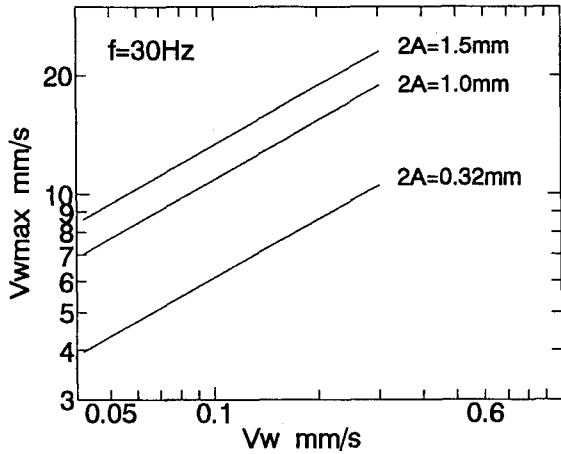
となり、 x_a まで移動したとき、すなわち砥石が工作物と再び接触するときの時刻 t_b ($t_b > t_a$) において実際の送り速度は最大になる。このときの送り速度を V_{wmax} とすると、 V_{wmax} は、式(5)であらわされる。

$$V_{wmax} = V_w + 2\pi f A \cos(2\pi f t_b) \quad \dots \quad (5)$$

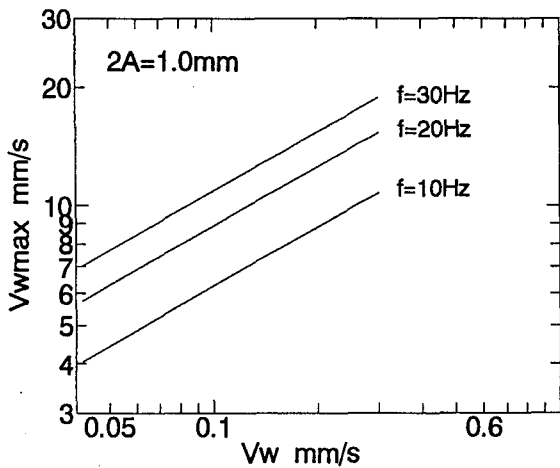
振動クリープフィード研削を行った場合、テーブル送り速度 V_w と工作物の送り速度の最大値 V_{wmax} との関係を示す。工作物の振動数ならびに全振幅を変化させた場合について計算を行い、両対数グラフ上に表した。その結果を、図2に示す。図2(a)は、 $f = 30\text{Hz}$ 一定とし、工作物の全振幅 $2A$ を、 $0.32, 1.0, 1.5\text{mm}$ に変化させた場合について示す。工作物の全振幅 $2A = 1.0\text{mm}$ の場合、 $V_w = 0.0417\text{mm/s}$ では、 $V_{wmax} = 7\text{mm/s}$ 、また $V_w = 0.317\text{mm/s}$ では、 $V_{wmax} = 19\text{mm/s}$ と計算され、実際の送り速度の最大値は、テーブル送り速度に比べかなり大きくなる。また、工作物の全振幅 $2A$ が大きいほど、 V_{wmax} は大きくなる。図2(b)は、 $2A = 1.0\text{mm}$ 一定とし、振動数 f を $10, 20, 30\text{Hz}$ に変化させた場合について

示す。工作物の振動数 f が大きいほど、 V_{wmax} は大きくなる。図2(a), (b)に示すいずれの場合であっても、 V_w と V_{wmax} とは、両対数グラフ上で直線となり、その傾きは、工作物の振動数や全振幅によらず一定であることがわかる。すなわち、 V_w と V_{wax} との関係は、式(6)のように表わされる。

$$V_{wmax} = C_1 \cdot V_w^{n_1} \dots\dots\dots (6)$$



(a) 全振幅を変化させた場合



(b) 振動数を変化させた場合

図2 V_w と V_{wmax} との関係

ここで、図2(a), (b)に示されるすべての直線において、 n_1 は0.5と計算される。ただし、 C_1 は、 f と $2A$ による定数である。

さて、平面研削において最大砥粒切込み深さ g_{max} は、連続切れ刃間隔を λ とすると次式で与えられる⁽²⁾。

$$g_{max} \doteq 2 \lambda \frac{V_w}{V_s} \sqrt{\frac{a}{D}} \dots\dots\dots (7)$$

ところが砥粒1個当りに作用する切削力は、最大の砥粒切込み深さ g_{max} と関係がある。式(7)において、 g_{max} は $V_w \cdot \sqrt{a}$ に比例するので、振動クリープフィード研削において、テーブル送り速度を大きくすると、 V_{wmax}

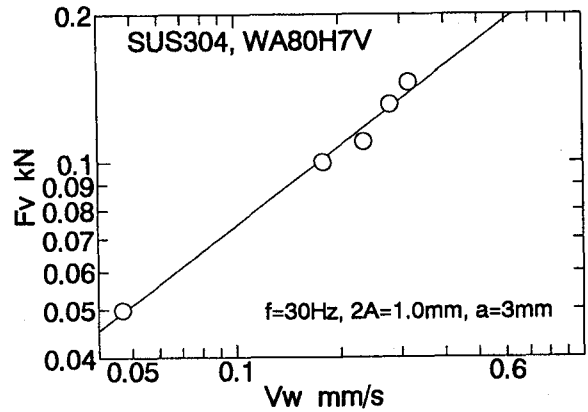


図3 V_w と F_v との関係



WA80H7V, SKH4, $V_s=35\text{m/s}$, $a=3\text{mm}$, $V_w=179 \mu\text{m/s}$, $b=3\text{mm}$, $2A=1\text{mm}$, Down-cut

図4 研削抵抗 F_v のオシログラム

が大きくなり、最大の砥粒切込み深さも大きくなる。このため、砥石に作用する切削力も大きくなると考えられる。図3に、工作物SUS304をWA砥石を用い、工作物の振動数 $f=30\text{Hz}$ 、全振幅 $2A=1.0\text{mm}$ 、砥石切込み深さ $a=3\text{mm}$ で振動クリープフィード研削を行った場合、テーブル送り速度が、垂直方向研削抵抗の最大値に及ぼす影響を両対数グラフ上に示す。ここで、垂直方向研削抵抗のオシログラムの一例を図4に示す。砥石には、衝撃的な研削力が作用し、研削抵抗は時間とともに変化するるので、研削抵抗は最大値 F_v で表した。図3に示したように、テーブル送り速度の増加につれ、 F_v は増加するが、 V_w と F_v との関係は、両対数グラフ上で直線となっている。このため、 V_w と F_v との関係は、式(8)で表される。

$$F_v = C_2 \cdot V_w^{n_2} \dots\dots\dots (8)$$

ここで、 n_2 は、図3より約0.54となり、 $n_1 (=0.5)$ とほぼ等しくなる。

図5は、 V_{wmax} が F_v に及ぼす影響を調べたものである。式(7)に示すように、 V_{wmax} が増加すると、 g_{max} が増加し、砥粒1個当りに作用する切削力が大きくなり、 F_v が増加したものと考えられる。

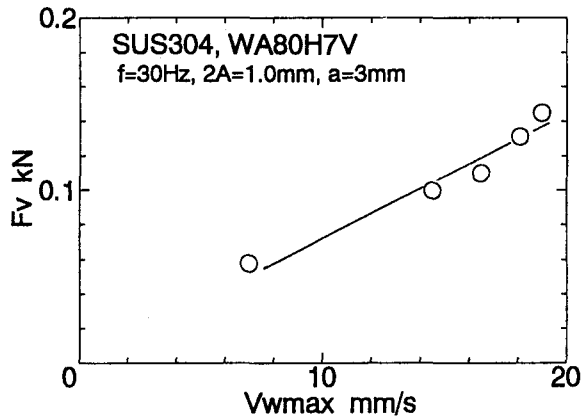


図5 VwmaxとFvとの関係

3.2 アルミナセラミックスの振動クリープフィード研削³⁾

前述のように、工作物を微小振動させるクリープフィード平面研削では、砥粒が衝撃的な切削力を受けるため、砥石の半径方向の減耗量が大きくなる。このことは、工作物にも起こり、工作物は砥粒によって同様な切削力を受ける。このため、硬脆性材料の工作物では、工作物内に微小クラックが生じ、この部分を砥粒が削り落とすことによって、通常の砥石によっても研削が可能になると考えられる。そこで、GC120H7V砥石を用い、砥石切込み深さ2mm、テーブル送り速度 $41.7\mu\text{m/s}$ で Al_2O_3 のクリープフィード平面研削を行い、振動の効果調べた。その結果、振動の有無によらず、砥石作用面には、研削幅 $b=3\text{mm}$ のかなり深い溝が生じる。工作物を振動させた場合の砥石の半径方向の減耗量（砥石作用面の溝の深さ）は、振動させない場合に比べ大きい。しかし、振動させた場合、砥石は研削幅方向にはほぼ一様に損耗しているのに対し、振動させない場合は不均一である。また、振動させない場合、数mmのき裂形の切りくずが得られ、研削動力の平均値ならびに変動幅は、振動させた場合に比べかなり大きい。

図6に、工作物の研削幅中央を、レーザ式変位計（スポット楕円径 $1\times 2\text{mm}$ ）によって、研削方向に走査し、表面形状を測定した結果を示す。図(a)に示すように、工作物に振動を加えない場合、研削仕上げ面には、かなり大きな凹凸がみられる。これに対し、図(b)に示すように、工作物に振動を加えた場合、砥石の半径方向の減耗量の増加につれ、実際の砥石切込み深さが減少するため、切り残し量は、工作物後端部に近づくにつれ増加する。しかし、平滑な仕上げ面が得られる。

図6(b)で得られた工作物の研削幅中央を、触針式表面粗さ計によって研削方向に走査したときに得られた研削仕上げ面のプロフィールを図7に示す。工作物を振動させる場合、かなり良好な研削仕上げ面が得られる。

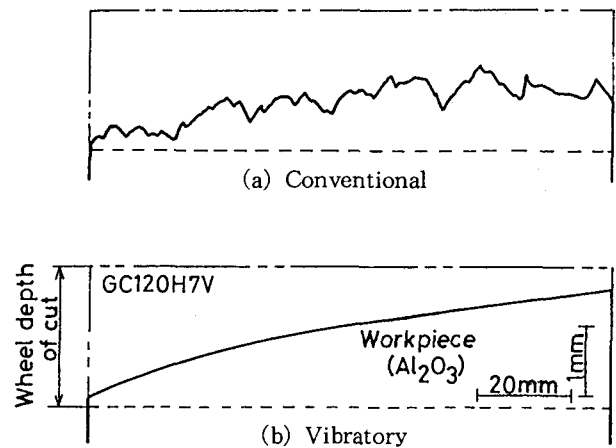


図6 レーザ式変位計による研削仕上げ面

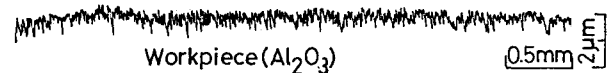


図7 触針式表面粗さ計による研削仕上げ面

4. 結 言

一般砥石で鋼材をクリープフィード平面研削すると、研削焼けが発生しやすい。この研削焼けを防止するために、振動クリープフィード研削が試みられた。本研究では、振動クリープフィード研削時の砥石に作用する研削抵抗を調べ、さらに、一般砥石でアルミナセラミックスのクリープフィード研削を行い、工作物に振動を加える効果を調べた。

得られた主な結果は、次の通りである。

- (1) 振動クリープフィード研削時の工作物の送りの最大値 Vw_{max} とテーブル送り速度 Vw との関係は、両対数グラフ上で直線となり、その傾きは、工作物の振動数や全振幅によらず、一定である。
- (2) 振動クリープフィード研削時の研削抵抗 Fv とテーブル送り速度 Vw との関係は、両対数グラフ上で直線となる。
- (3) 振動クリープフィード研削時の研削抵抗 Fv と Vw_{max} との関係は、一次関数で表される。
- (4) アルミナセラミックスをGC120H7V砥石で、振動クリープフィード平面研削した場合、工作物を振動させない場合に比べ良好な研削仕上げ面が得られる。

参考文献

- (1) 花崎, 藤原, 和田, 長谷川, 振動クリープフィード研削, 日本機械学会論文集 (C編), 60, 573 (1994-5)

1829.

(2)精密工学会編, 新版精密工作便覧, (1992), 261, コ
ロナ社.

(3)花崎, 藤原, 和田, 長谷川, テーブル送り方向に微小
振動させるクリープフィード平面研削, 精密工学会関
西支部1992年度定期学術講演会講演論文集. (1992).

球状黒鉛鋳鉄の切削におけるセラミックス工具およびCBN工具の摩耗

和田 任 弘

Tool Wear of Ceramics Tools and CBN Tools in Cutting of Nodular Cast Iron

Tadahiro WADA

Nodular cast iron (FCD) has both high tensile strength and high hardness. However, in turning of FCD with a cemented carbide tool, the tool wear in turning of FCD becomes larger than that in turning of gray cast iron (FC), and the tool reaches the tool life in a few minutes. In this report, in order to find out effective tool material for turning of FCD, two ceramics tools and five CBN tools were used. In turning of FCD700, the tool wear was experimentally investigated. The main results obtained are as follows: (1) The progress of the tool wear of CBN tool in type TiC binder was the slowest among the two ceramics tools and the five CBN tools. (2) The slope of V-T diagram of the two ceramics tools was largest among the two ceramics tools and the five CBN tools.

1. 緒 言

球状黒鉛鋳鉄は、高い引張り強さを持つとともに高硬度であるため、高強度と耐摩耗性が要求される機械部品に多く使用されている。しかし、球状黒鉛鋳鉄を超硬合金工具を用い旋削すると、工具寿命は、ねずみ鋳鉄 (FC) に比べ短くなるため、球状黒鉛鋳鉄切削時における工具摩耗に関する報告は多くなされている。勝村らは⁽¹⁾²⁾、FCD600を Al_2O_3 -TiCセラミックス工具で切削し、工具材種中のTiC量、 Al_2O_3 およびTiC粒度が工具摩耗幅に及ぼす影響について調べている。また、鳴瀧らは⁽³⁾、アルミナ系セラミックス工具および炭化物系セラミックス工具によるFCD切削を行っている。この結果、アルミナ系セラミックス工具は、 $MgO \cdot Al_2O_3$ のスピネルが工具表面に生成され、これが工具の耐摩耗性を低下させる大きな原因としている。そこで、鳴瀧らは、FCDの成分と反応しにくい炭化物系セラミックス工具を試作し、実験を行った結果、この炭化物系セラミックス工具は、材質的にFCD切削に適した工具であるとしている。

さて、焼入れ鋼の切削に効果があるCBN工具も、球状黒鉛鋳鉄の切削に有効であると考えられるが、CBN

工具の結合剤が、工具摩耗に大きな影響を及ぼすことから、FCD切削に適したCBN工具の選定が必要になる。

そこで本研究では、セラミックス工具やCBN工具でFCD700の乾式切削を行い、それぞれの工具材種に対する工具摩耗を詳細に調べた。

2. 実験方法

実験に用いた被削材FCD700の化学成分を表1に、機械的性質を表2に示す。表2に示すように、FCD700の引張り強さは、784MPa、硬度はHB253である。また、FCD700の顕微鏡組織を、図1に示す。図1に示すように、黒鉛が球状化されているのがわかる。

表1 被削材FCD700の化学成分(%)

C	Si	Mn	P	S	Mg	Fe
3.35	2.62	0.302	0.026	0.020	0.041	Bal.

表2 被削材FCD700の機械的性質

引張り強さ(MPa)	耐力(MPa)	伸び (%)	硬度(HB)
784	580	2.5	253

図2に、切削実験の概略を示す。使用した工作機械は、無段変速装置を取付けた昌運工作所製ST5×1000型高速精密旋盤（7.5/11kW，8～2500rpm）である。被削材FCD700の形状は、図2に示すように、外径180mm，内径60mm，厚さ20mmの円盤で、主軸回転数を一定とし、FCD700の端面切削を行った。したがって、切削速度は、バイトの位置(X軸)とともに変化する。このため、本研究では、切削速度の平均値を、便宜上切削速度 \bar{v} とした。

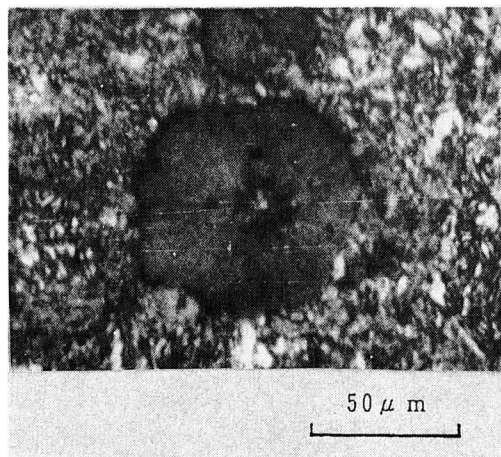


図1 被削材FCD700の顕微鏡組織

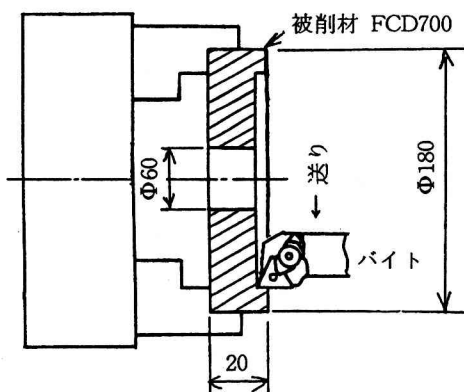


図2 切削実験の概略

使用バイトは、市販のTNGA160408型スローアウェイチップを、MTGNR2525M16型外径加工用バイトホルダ（東芝タンガロイ社製）に取付けたもので、このときの工具形状は、 $(-6^\circ, -6^\circ, 6^\circ, 6^\circ, 30^\circ, 0^\circ, 0.8)$ となる。

使用した工具材種は、表3ならびに表4に示すセラミックス工具とCBN工具である。セラミックス工具については、アルミナ系のセラミックス工具（I）と、窒化けい素系のセラミックス工具（II）を用いた。CBN工具については、表4に示すように5種類のCBN工具を用いた。すなわち、結合剤が、TiN，Co，TiC， Al_2O_3 系のCBN工具である。なお、セラミックス工具およびCBN工具の切れ刃には、 $0.15\text{mm} \times (-25^\circ)$ のプレホーニ

表3 セラミックス工具

セラミックス工具	母材	コーティング層	(膜厚 μm)
セラミックス工具(I)	Al_2O_3 -Ti(CN)	TiN*	(1)
セラミックス工具(II)	Si_3N_4	TiN- Al_2O_3 -TiN**	(2~3)

*：単層PVDコーティング

**：多層CVDコーティング

表4 CBN工具

CBN工具	cBN含有量 (Vol.%)	結合剤	硬度 (HK)
CBN工具(I)	70	TiN系	3300
CBN工具(II)	90	Co系	3600
CBN工具(III)	60	TiC系	3200
CBN工具(IV)	60	Al_2O_3 系	3100
CBN工具(V)	55	TiC系	2800

表5 切削条件

切削速度	$\bar{v}=100\text{m/min}$ (50~150m/min) 200m/min (100~300m/min) 300m/min (150~450m/min)
送り	$S=0.2\text{mm/rev}$
切込み	$a=0.3\text{mm}$
切削方式	乾式切削

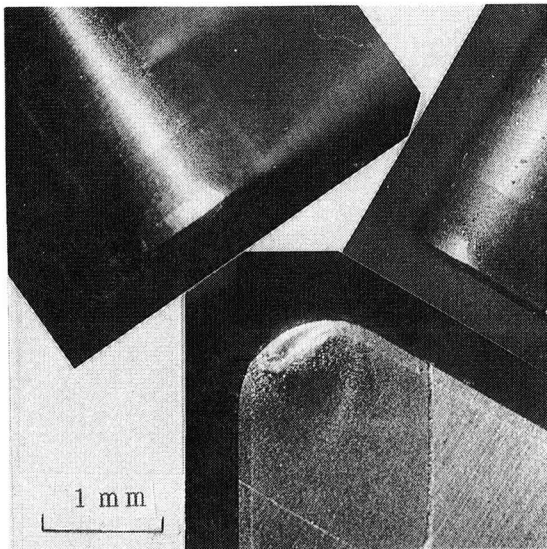
ングを施してある。

表5に、切削条件を示す。送り、切込みは、それぞれ0.2mm/rev，0.3mmと一定とし、切削速度の平均値を、100，200，300m/minとした。すなわち、切削速度 $\bar{v}=100\text{m/min}$ の場合、被削材内径部で、切削速度は50m/min，外径部で、150m/minとなる。表5に示す切削条件で、FCD700の端面切削を行い、工具摩耗などを調べた。

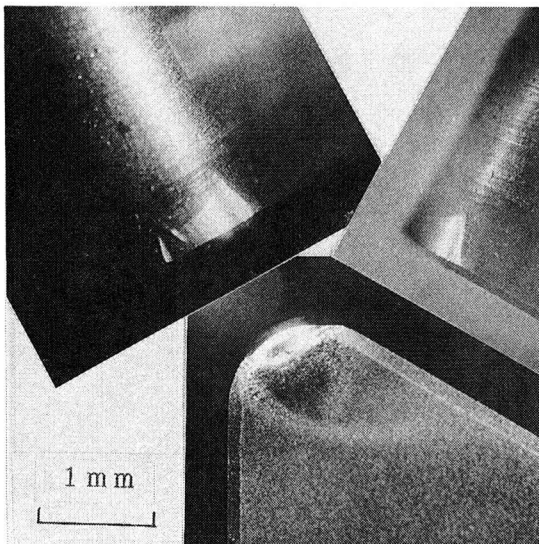
3. 実験結果および考察

3.1 主軸回転数一定の場合

図3に、切削速度 $\bar{v}=300\text{m/min}$ ，切込み0.3mm，送り0.2mm/revでFCD700を端面切削した場合、各切削距離おける工具の摩耗状態を示す。図(a)に、TiC系結合剤のCBN工具(III)を、図(b)に、 Al_2O_3 系結合剤のCBN工具(IV)を示す。いずれのCBN工具であっても、すくい面の摩耗形態は、良く似ており、すくい面が少しへこんだ状態である。しかし、逃げ面の摩耗形態は、大きく異なっている。すなわち、CBN工具(IV)には、前切れ刃側に境界摩耗が大きくあらわれているのに対し、CBN工具(III)には、大きな境界摩耗はみられない。



(a) CBN工具 (III)



(b) CBN工具 (IV)

図3 工具摩耗

FCD700, $\bar{V}=300\text{m/min}$, $S=0.2\text{mm/rev}$,
 $a=0.3\text{mm}$, $L=647\text{m}$, Dry

種々実験を行った結果、FCD700を各種工具材種で切削した場合、逃げ面摩耗が主な工具損傷であった。

図4に、切込み0.3mm, 送り0.2mm/revで各種工具を用い切削を行った場合、切削距離と逃げ面摩耗幅の最大値 VB_{\max} との関係を切削速度 \bar{V} を変化させて示す。先ず、図(i)に示す $\bar{V}=100\text{m/min}$ の場合について述べる。図i(a)に示すセラミックス工具の場合、2種類のセラミックス工具において、工具の摩耗進行に大差ない。

次に、図i(b)に示すCBN工具の場合について述べる。cBN含有率が、60~70%Vol.のCBN工具

(I), (III), (IV)を比較すると、 Al_2O_3 系結合剤のCBN工具(IV)の摩耗進行が、もっとも速い。また、CBN工具(IV)の摩耗進行は、図(a)に示すアルミナ系のセラミックス工具(I)の場合とよく似ている。しかも、CBN工具(IV)とアルミナ系のセラミックス工具(I)で切削した場合の工具の摩耗形態もよく似ており、前切れ刃側の境界摩耗がかなり大きくなった。これに対し、TiC系結合剤のCBN工具(III)の摩耗進行は、かなり遅い。また、TiN系結合剤のCBN工具(I)は、CBN工具(III)と(IV)の中間的な摩耗進行を示す。

次に、TiC系結合剤のCBN工具を比較すると、cBN含有率60%Vol.のCBN工具(III)の方が、cBN含有率55%Vol.のCBN工具(V)に比べ、摩耗の進行は遅い。これは、表4に示したようにCBN工具(V)の硬度がHK2800であることから、cBN含有率が多いCBN工具(III)の方が、工具の硬度が大きいため、耐摩耗性が向上したと考えられる。なお、Co系結合剤のCBN工具(II)の摩耗進行は、CBN工具(I)の場合とよく似ており、CBN工具(III)と(IV)の中間的な摩耗進行を示す。

次に、図4(ii)に示す切削速度 $\bar{V}=300\text{m/min}$ の場合について述べる。図ii(a)に示すセラミックス工具の場合、2種類のセラミックス工具において、工具の摩耗進行にほとんど差はない。また、図i(a)に示す切削速度 $\bar{V}=100\text{m/min}$ の場合と比較すると、摩耗進行は遅くなっている。これは、 $\bar{V}=100\text{m/min}$ の場合、いずれのセラミックス工具であっても前切れ刃側の境界摩耗が、かなり大きくなっていた。これに対し、 \bar{V} を300m/minに大きくすると、前切れ刃側の境界摩耗が、かなり小さくなり、境界摩耗幅の減少が VB_{\max} の減少につながったためである。

次に、図ii(b)に示すCBN工具の場合について述べる。図i(b)に示す切削速度 $\bar{V}=100\text{m/min}$ の場合に比べ摩耗進行は速くなっており、CBN工具による摩耗進行に大きな差は見られないが、TiC系結合剤のCBN工具(III)、CBN工具(V)の摩耗進行が、やや遅い。

図5に、切込み0.3mm, 送り0.2mm/revで切削した場合の $V-T$ 線図を示す。工具寿命の判定基準は、 $VB_{\max}=0.2\text{mm}$ とした。図(a)に、セラミックス工具の場合を、図(b)に、CBN工具の場合を示す。図(a), 図(b)を比較すると、2種類のセラミックス工具の工具寿命曲線の勾配が最も急になっている。このことから、これら2種類のセラミックス工具は、短時間だがFCD700高速切削に使用可能であることがわかる。また、図(b)から、TiC系結合剤のCBN工具(III)

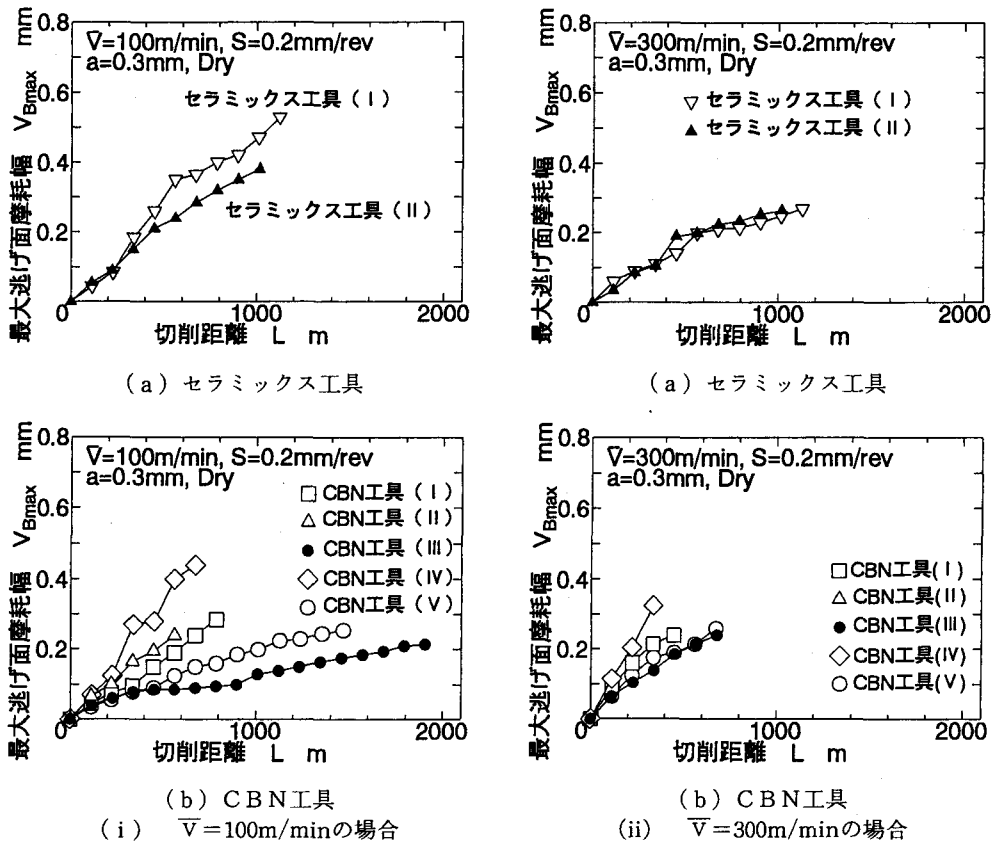


図4 切削距離と逃げ面摩耗幅の最大値との関係
FCD700, S=0.2mm/rev, a=0.3mm, Dry

およびCBN工具(V)が、FCD700の切削に適していることがわかる。この2種類のCBN工具を比較すると、前述したように切削速度200m/min以下では、cBN含有率が60%Vol.のCBN工具(III)のほうが、55%Vol.のCBN工具(V)よりもFCD700の切削に有効である。しかし、切削速度300m/minでは、工具寿命時間に大きな差はない。

3.2 切削速度一定の場合

前述したように、これまでの実験では、主軸回転数を一定にしてFCD700の端面切削を行った。このため、切削速度は、バイトの位置(X軸)によって変化する。そこで、切削速度一定で実験を行うために、バイトの位置によって主軸回転数を制御できるように、使用工作機械を改良した。そして、数種類の工具材種について、表6に示す切削条件でFCD700の端面切削を行った⁽⁴⁾。切削速度の平均値が同じで、主軸回転数一定で切削したとき

表6 切削条件

切削速度	V=100,200,300m/min
送り	S=0.2mm/rev
切込み	a=0.3mm
切削方式	乾式切削

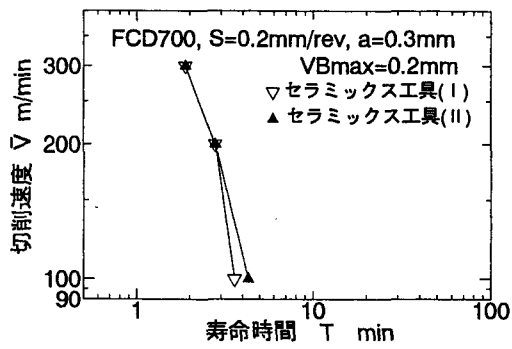
(切削速度が変化)と、切削速度一定で切削したとき(主軸回転数が変化)とでは、逃げ面摩耗幅の最大値VBmaxがどの程度異なるかについて調べた結果の一例を、図6に示す。図(a)は、CBN工具(I)、図(b)はCBN工具(III)の場合である。いずれのCBN工具であっても、主軸回転数一定で切削した場合と、切削速度一定で切削した場合とでは、摩耗進行に大きな差はみられない。また、切削速度の平均値 \bar{V} が、200,300m/minの場合についても同様な実験を行ったが、表5,6に示す切削条件の範囲内では、いずれのCBN工具であっても、主軸回転数一定で切削した場合と、切削速度一定で切削した場合とでは、摩耗進行に大きな差はみられなかった。

4. 結 言

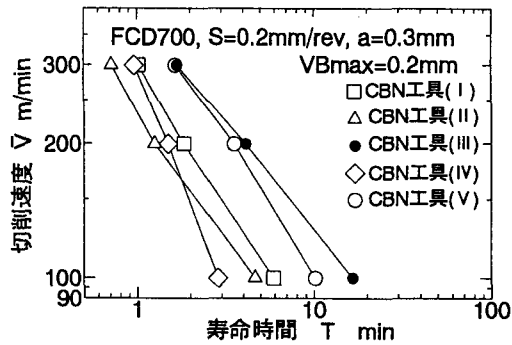
本研究では、FCD700を2種類のセラミックス工具および5種類のCBN工具で端面切削し、そのときの工具摩耗を詳細に調べた。

得られた主な結果は次の通りである。

- (1) TiC系結合剤のCBN工具が、FCD700の切削に適している。
- (2) アルミナ系および窒化けい素系のセラミックス工具

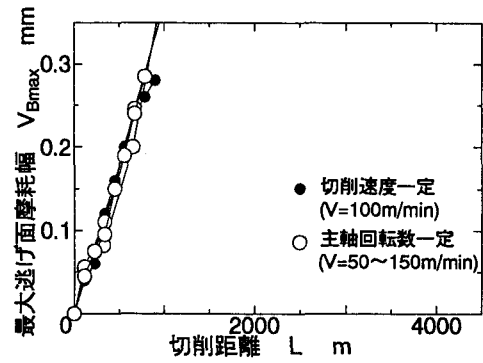


(a) セラミックス工具

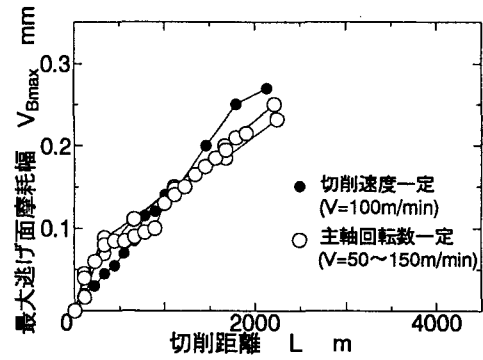


(b) CBN工具

図5 V-T線図



(a) CBN工具 (I)



(b) CBN工具 (III)

図6 切削距離と逃げ面摩耗幅の最大値との関係
FCD700, $\bar{V}=100\text{m/min}$, $S=0.2\text{mm/rev}$,
 $a=0.3\text{mm}$, Dry

でFCD700を切削した場合、工具寿命曲線の勾配は、本研究で使用した工具材種中、最も急になる。

- (3) FCD700を $\bar{V}=100\text{m/min}$ で切削した場合、CBN工具(III)の前切れ刃側の境界摩耗は、かなり小さい。しかし、他のCBN工具およびセラミックス工具では、前切れ刃側の境界摩耗が大きくなる。
- (4) 切削速度の平均値 \bar{V} が同じ場合、主軸回転数一定で切削したときと、切削速度一定で切削したときとは、摩耗進行に大きな差は生じない。

謝 辞

本研究を行うにあたり、被削材FCD700および切削工具を提供いただいた東芝タンガロイ株式会社に感謝の意を表わします。

参考文献

- (1)勝村, 蕎麦田, 上原, 鈴木, $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiC}$ セラミックス工具の切削性能に及ぼすセラミックス粒度の影響, 粉体および粉末冶金, 36, 8(1989)903.
- (2)勝村, 高橋, 木曾, 鈴木, $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiC}$ セラミックス工具の切削性能に及ぼすTiC量と粒度の影響, 粉体および粉末冶金, 37, 4(1990)566.
- (3)鳴龍, 間田, 球状黒鉛鋳鉄切削におけるセラミックス工具の摩耗, 精密工学会誌, 53,4(1987)589.
- (4)花崎, 藤原, 和田, 三木, 球状黒鉛鋳鉄の切削における工具摩耗, 精密工学会1995年度関西地方定期学術講演会講演論文集, (1995)25.

アモルファス太陽電池モジュールの 温度回復効果についての実験的検討

高橋 晴雄・上田 泰弘*・山脇 竹治*

Experimental Investigation for Thermal Annealing Effect on a-Si PV Modules

Harou TAKAHASHI, Yasuhiro UEDA* and Takeharu YAMAWAKI*

To investigate the thermal annealing effect (Staebler-Wronski Effect) on amorphous Silicon Photo-Voltaic module (a-Si PV module) for the seasonal variations of the sunlight and the ambient temperature, a continuous measuring system is constructed to measure automatically the change of electrical characteristics for two types of a-Si PV modules : one module covered with the heat insulating material (heat-insulated module) and another un-covered with it (normal module). The changes of the generated power in two types of a-Si PV modules are totalized by monthly for one year. It has been cleared that the power generating efficiency of the heat-insulated module is approximately 7[%] higher than that of the normal module.

電力用アモルファス太陽電池モジュールの実使用状態での温度回復効果を調べるために、通常モジュールと保温効果を高めるために裏面に断熱材を貼り付けた断熱モジュールとを同一条件で屋外に設置し、1年間の積算発電量が、通常のものに比べて、約7[%]増加することが判明し、実使用状態における保温が、温度回復効果を促進させるのに有効であることが明らかになった。

1. まえがき

アモルファス・シリコン (a-Si) 太陽電池には、光劣化による変換効率は低下するが、モジュール温度を高くすると変換効率は回復する現象 (温度回復効果) すなわち、ステブラーロンスキー効果 [Staebler-Wronski Effect] がある[1,2].

電力用のa-Si太陽電池モジュールでは、光照射による変換効率の低下 (光劣化) が気温変化による温度回復効果によって発電効率がどの程度回復するかを調べておくことは、長期の屋外暴露使用での高発電量を維持するための重要な要素となる。

そこで、通常のアモルファス・シリコン太陽電池モジュール (通常モジュール) とモジュール裏面に断熱材を張り付けたもの (断熱モジュール) を同一設置条件のもとで、

屋外に暴露状態における積算発電量の計測から、実使用状態における温度回復効果についての比較実験を行った。

1年間の暴露実験では、断熱モジュールの方が通常のモジュールより年間を通して発電量が約7[%]増加することが明らかになった。以下、本論文では、これらの実験結果について述べる。

2. 実験モジュールの概要と基本特性

本実験に使用するアモルファス・シリコン (a-Si) 太陽電池モジュールは、460×1,224mm²の枠に8枚のサブモジュールで構成されたものである。

同じロットで製造された2つのモジュールの一方は、通常モジュールと呼び、他方の裏面に断熱のために発泡スチロールを張り付けたものを断熱モジュールと呼ぶ。この2つのモジュールを、方位角は真南で傾斜角は35度の同じ条件で本校屋上に設置して暴露実験を行っている。通常モジュールの基本特性は、以下の通りである。

*鐘淵化学工業(株) (KANEKA Corporation)

開放電圧 27.9 [V]
 短絡電流 1.8 [A]
 最大発電電力 28.1 [W]
 変換効率 5.8 [%]

計測システムは、パーソナルコンピュータを使用して、電子負荷装置により各太陽電池モジュールの電圧を変化させてシンク電流を計測し、同時に、各太陽電池モジュール温度を計測するように構成したもので、各太陽電池モジュールの計測時間間隔は10分で、1日の計測時間は朝6時から夕方6時までの12時間である。1モジュール当たりの1回の計測所要時間は約5秒である。

図1は、本計測システムにより計測した通常モジュールの電圧・電流特性の一例を示したものである。モジュール電圧を0.5 [V] ずつ変化させながら、シンク電流を計測して、プロットさせたものである。

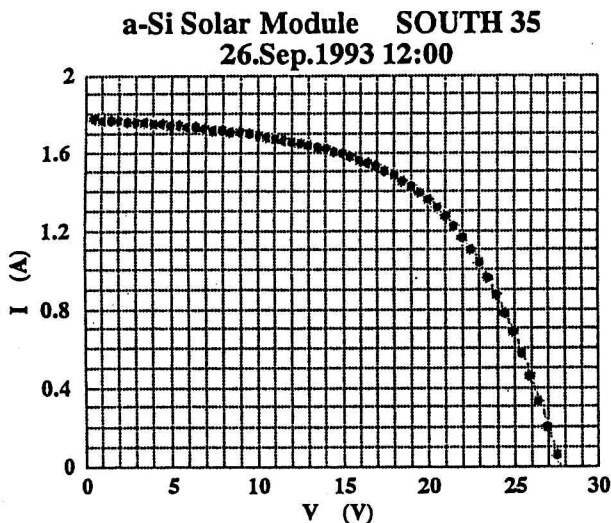


図1 太陽電池の電圧・電流特性の測定例
 Fig.1 Measured example of V-I characteristics in a-Si solar module

3. 計測結果

3.1 日中の発電電力推移

測定時の瞬時最大発電電力値は、計測した電圧・電流特性から、電圧と電流の積が最大となる値から求めている。この最大電力値を次の計測時（10分後）まで一定として10分間の積算電力を求め、72点分（12時間）の合計を一日の総発電量としている。

図2は、1日における発電量推移の例として、1994年4月3日（晴天）の1時間毎の積算発電量を通常モジュールと断熱モジュールについて示したものである。

Generated power distribution in a day (April 3, 1994)

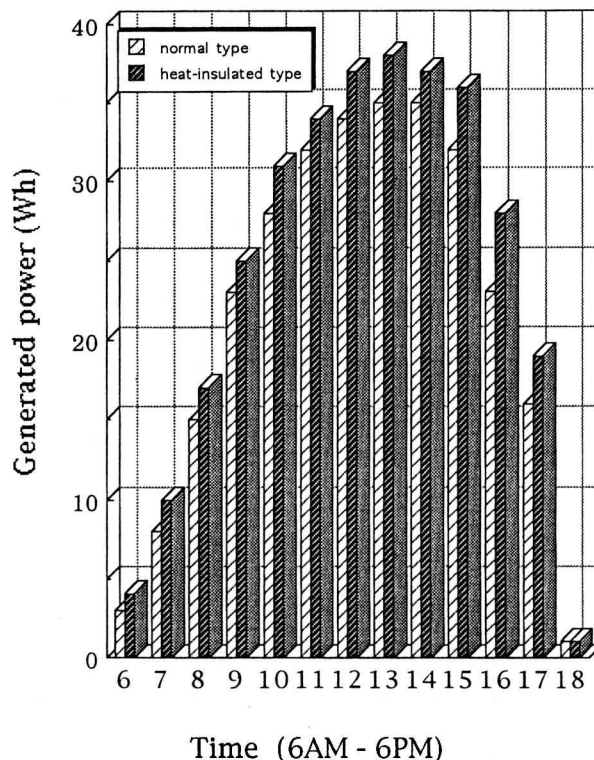


図2 1日おける1時間毎の積算発電量
 Fig.2 Generated power distribution in a day (from AM6 to PM6 on April 3, 1994)

常に断熱モジュールの発電量が通常の場合よりも大きくなっており、午後において保温効果が顕著に表われていることがわかる。

この日の積算発電量は、

通常モジュール：280 [Wh]

断熱モジュール：310 [Wh]

であり、断熱の方が通常に比べ、約10.7 [%] 増加していることになる。

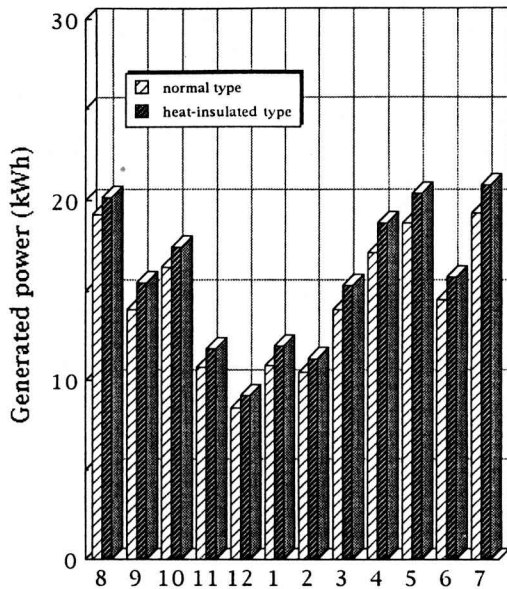
3.2 各月の積算発電電力の推移

各月の積算発電電力は、一日の総発電量を1カ月間分について加算すれば求められるが、計測装置のエラー等によりデータ欠損日が存在するため、日数換算して比較を行う。各月の発電電力の測定結果に対して日数換算した後の積算電力を「積算発電電力」として、次式の関係から求めている。

$$\begin{aligned}
 & \text{[積算発電電力]} \\
 & = \text{[1カ月間の実際の発電電力]} \\
 & \quad / (\text{[実際の計測日数]} \\
 & \quad / \text{[1カ月の日数]}) \dots\dots\dots (1)
 \end{aligned}$$

この[積算発電電力]を1カ月前の積算発電量としている。

図3は、1993年8月から1994年7月までの1年間についての各月毎の積算発電電力の推移を示したものであり、図4は、各モジュール温度を各月の推移で示したものである。ここで各モジュール温度ならびに気温は、1日における最高温度を1月間加算してその月の日数で除した月平均値を示したものである。



Month (Aug. 1993 - July 1994)

図3 各月の積算発電量の推移
Fig.3 Monthly generated power (from Aug. 1993 to Jul. 1994)

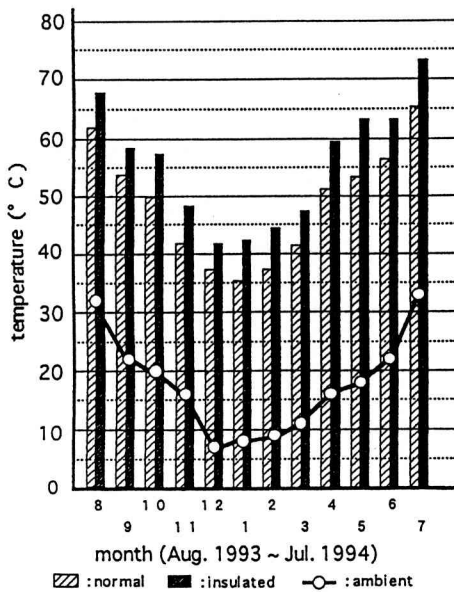


図4 各月のモジュール温度の推移
Fig.4 Monthly temperatures change (from Aug. 1993 to Jul. 1994)

各月においても断熱モジュールの積算発電電力が、通常モジュールよりも常に上回っていることがわかる。1年間の総積算発電量は、

通常モジュール：175 [kWh]

断熱モジュール：188 [kWh]

であり、断熱の方が通常に比べ、約7[%]増加していることになる。

一方、断熱モジュール温度は、通常モジュールに比べ、最大で12 [°C]、平均7 [°C] 上昇していることがわかる。

3.3 発電効率の推移

発電効率 Eff は、次式で定義される。

$$Eff = \frac{\text{[単位面積当たりの1日の積算発電量]}}{\text{[1日の積算日射量]}} \dots\dots\dots (2)$$

図5は、1993年7月29日(測定開始日)から1994年9月10日までの各月の晴天日を選んで、発電効率 (Eff) の推移を図示したものである。また、図6は、各モジュールの最高気温とその日の最高気温の推移をプロットしたものである。

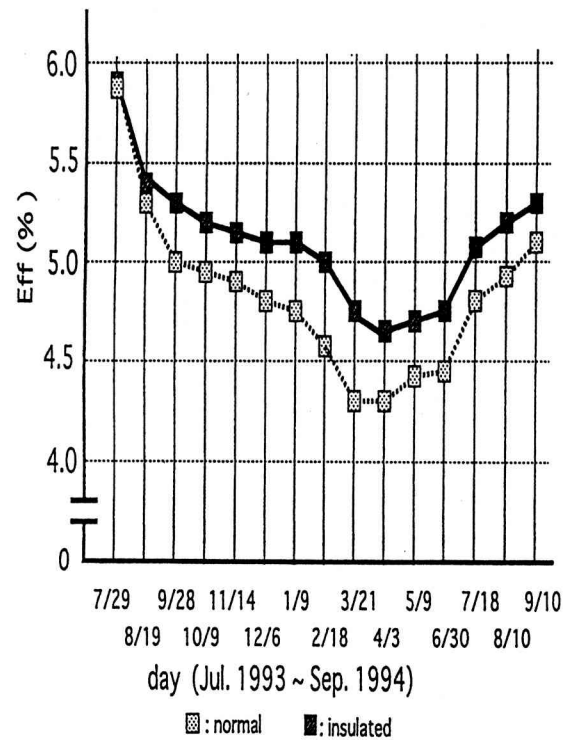


図5 発電効率 (Eff) の推移
Fig.5 Monthly change in generating factor

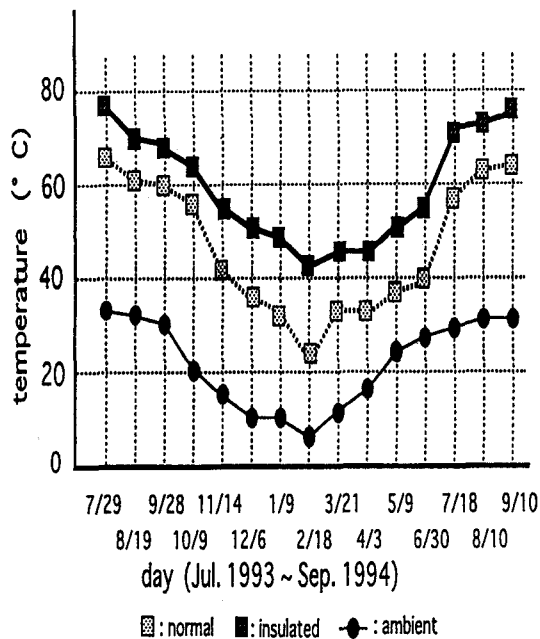


図6 モジュール温度の推移

Fig.5 Monthly change in module temperature

発電効率は、両方の全体的な傾向として、測定開始日にはほとんど同じ(5.8%)であったものが、光照射劣化により低下するが、春から夏にかけて気温の上昇とともに回復することを示している。

断熱モジュールにおいては、常に通常モジュールの発電効率を上回っており、冬場から春にかけて差の大きいことがわかる。

また、モジュール温度に関しては、断熱モジュールの温度が冬場において相対的に高い傾向であり、冬場から春にかけて、断熱効果が顕著に表われる傾向を示している。

測定結果から、屋外暴露実験による劣化に関しては、計測当初(1993年7月29日)の発電効率と14カ月後(1994年9月29日)の発電効率を比較して見ると、通常モジュールでは、約72%に減少(劣化)するが、断熱モジュールでは、熱回復効果により劣化が約81%に抑制されていることになる。

4. むすび

通常のアモルファスモジュールの裏面の断熱材を貼り付けた断熱モジュールで、モジュール温度が平均して約7度上昇することに伴い、通常モジュールに比べ実際の年間積算発電量が約7[%]増加することが明らかになった。

アモルファスモジュールでは、温度が上がれば変換率が上がること、すなわち、単結晶系や多結晶系モジュールとは逆の特性になることが実験的に確認できた。

アモルファスモジュールを電力用に使用する場合、保温効果を高めた断熱状態での使用が発電電力を増加させるための有効な手段となることが実証された。

今後は、断熱効果をより高める工夫をして、屋外暴露実験に継続し、モジュール温度と熱回復効果の関係についてさらに長期的に検証していく予定である。

参考文献

- (1) 浜川圭弘, 桑野幸徳: 「太陽エネルギー工学」(1994), [培風館]
- (2) 逸見次郎: 「アモルファス太陽電池の長期劣化抑制法に関する考察」 「太陽エネルギー」 Vol.20, No1, 日本太陽エネルギー学会
- (3) 上田泰弘, 山脇竹治, 土井滋貴, 京兼純, 高橋晴雄: 「太陽電池モジュールの高効率化発電に関する基礎実験」, 平成5年関西支部電気連大G2-24
- (4) 上田泰弘, 山脇竹治, 土井滋貴, 京兼純, 高橋晴雄: 「太陽電池モジュールの高効率化設置角度の実験的検討」平成6年電気全大515
- (5) 上田泰弘, 山脇竹治, 高橋晴雄: 「アモルファス太陽電池の設置角度に対する発電能力変化と温度効果についての実験的検討」平成6年関西支部電気連大G2-12
- (6) 上田泰弘, 山脇竹治, 高橋晴雄: 「アモス太陽電池の温度効果についての実験的検討」平成6年太陽エネルギー学会・風力エネルギー協会講演論文集II-6

モルフォロジーフィルタを用いた 心電図のRR時間の測定方法

土井 滋 貴

Measurement Method of RRperiod of ECG Using Morphological Filtering

Shigeki DOI

快適性などの生理指標を得るための簡易な計測環境で使用できる心電図のRR時間の測定方法を提案し検討する。提案する系では、商用電源からの誘導ノイズや筋電からの影響を抑制するためにいくつかの線形及び非線形な信号処理的手法を利用する。また、1次元信号への効果的なモルフォロジーフィルタの導入方法の指針についても述べる。

1 はじめに

最近の工学の目指す分野の1つとして、快適さやリラクゼーションなど人の生理的、身体的な効果を扱う分野がある。この場合、効果の指標として、心理指標や生理指標の測定が行われる。快適さやリラクゼーションを反映するとされる生理指標の1つに心臓の動きがある。快適さやリラクゼーションの度合いは図1に示す脈拍として扱われるRR時間(間隔)の他にPR時間(間隔)やそれらの変動係数及び時間ゆらぎ成分の集波数スペクトルに現れると言われている(1)(2)。そこでRR時間の測定を簡易な計測系で可能にするために、アーチファクトを取り除いてR波の位置を見つける方法としていくつかの信号処理手法を検討する。今回述べる計測系はアナログアンプ及びAD変換器を介して信号を計算機に取り込み、ソフト的に処理を行う。

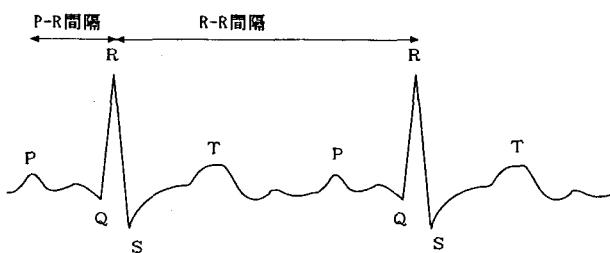


図1 心電図のP-R時間とR-R時間

2. サンプリング以前

2.1 心電用プリアンプ

心電用のプリアンプは医療用の電子装置としては一般的である。標準的な仕様として、入力インピーダンス数MΩ、周波数特性0.5~200Hz程度が要求される(3)。今回使用する55dBほどのゲインを持つヘッドアンプの回路図を図2に示す。図2のアンプは後からデジタルフィルタ処理を行うことを考慮して、前述の周波数特性よりも十分広い低減カットオフ0.062Hz(6dB/oct.)、高域カットオフ1800Hz(12dB/oct.)の周波数特性を持つ。

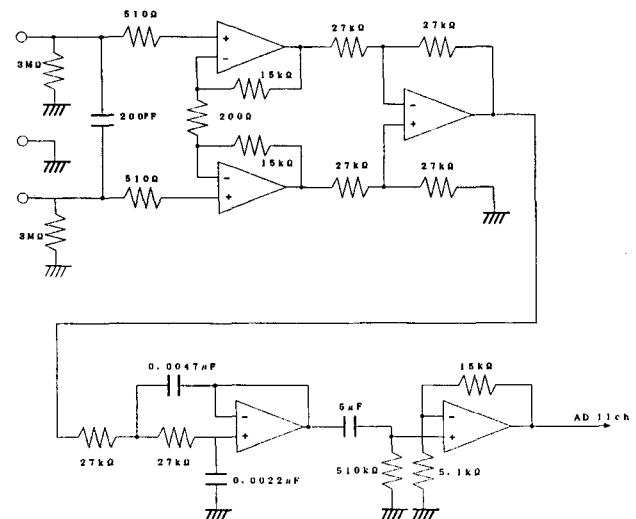


図2 心電用ヘッドアンプ

2.2 オーバサンプリング

サンプリングを行う場合、エイリアシングを避けるためにアナログ部分でローパスフィルタを使用するが、オーバサンプリングを用いることによってアナログ部分の負担を軽減できる。今回は最終的なサンプリング周波数を480Hzとしてその4倍1920Hzでオーバサンプリングを行い、単純にその4点を加算して1サンプリングとしている。この場合の周波数特性を図3に示す。

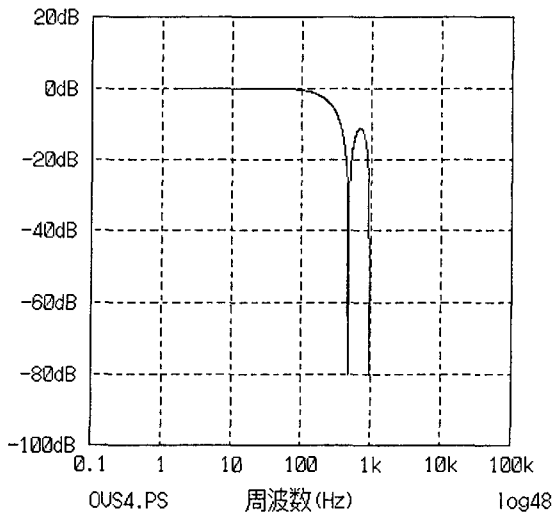


図3 480Hzサンプリングの周波数特性
(4倍オーバーサンプリング)

3 サンプリング以後

3.1 R波のピークを見つける

心電図のR波は比較的特徴のある大きな信号であるから、そのピークの位置を見つける処理はさほど困難ではない。ここではピークを見つける方法として一般的な信号の1次微分と2次微分をとり、その1次微分値が0、かつ2次微分値が大、の条件を満たす点を見つけだす方法を使用する。簡易な測定環境の場合、商用電源からの誘導ノイズの影響が生じてくる。そこで1次微分の際に8点おきにサンプリングすることにより60Hzのノッチを作って誘導ノイズ抑制する。

このノッチフィルタの周波数特性を図4に示す。このフィルタ後の信号を積分した信号を元信号、1次微分後の信号は併せて図5に示す。商用電源からの誘導ノイズである60Hzの成分が抑制されていることがわかる。

3.2 モルフォロジーフィルタによる筋電の抑制

非線形なフィルタリングとしてモルフォロジーフィルタが注目されている(4)(5)(6)。この筋では心電に重量する筋電成分の抑制にモルフォロジーフィルタを利用してみ

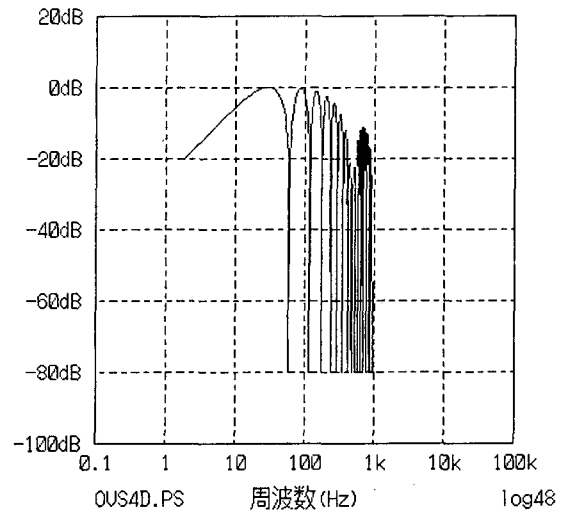
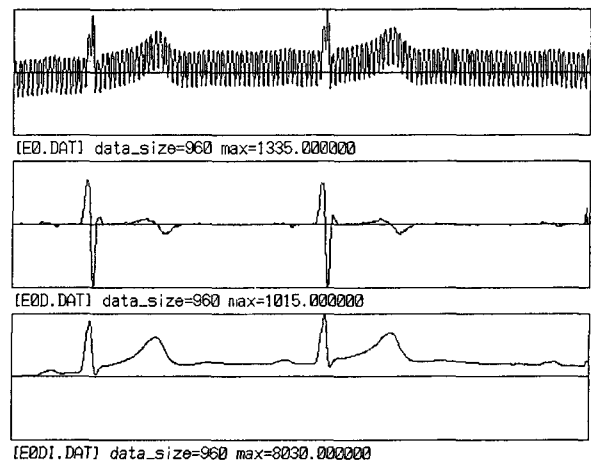


図4 1次微分フィルタの周波数特性



上段：元信号

中段：1次微分後の信号

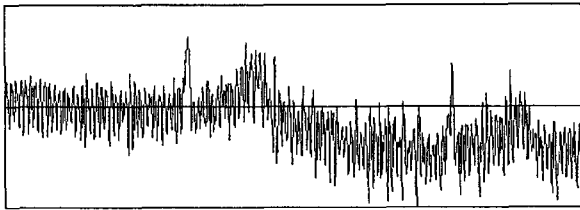
下段：1次微分後の信号を積分した信号

図5 フィルタ後の信号

る。モルフォロジーでのopening及びclosingはここのような重畳された雑音成分を取り除く手法としては適当とされるが、その非線形な振る舞いは必ずしも従来の線形帯域フィルタと同様な使い勝手とは言えない。

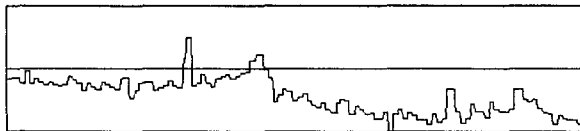
はじめに不適当な処理例を示す。図6に心電に筋電が重畳している場合の計測データ例を示す。図7は図6の筋電の重畳した信号(測定中に大きく動いた場合などに生じる)に対して、長さ7点の横棒状の構造要素でopeningとclosingを行い、ピークを検出するために同様に1次微分と2次微分を計算している。おな、図7下段の2次微分のグラフはピークを見やすくするために正負を逆に表示している。この場合、理論的には元波形に対し12.5msec.以下のパルスが消去されることになる。opening+closing後の信号をみると筋電の重畳部分が抑制されているが、微分後にはモルフォロジーフィルタ

で発生した非線形な要素が強調され、かえってR波のピーク検出を困難にしている。

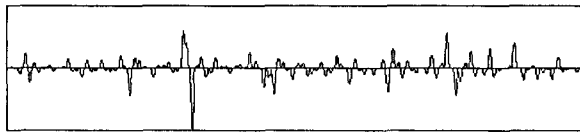


[D0.DAT] data_size=960 max=1457.000000

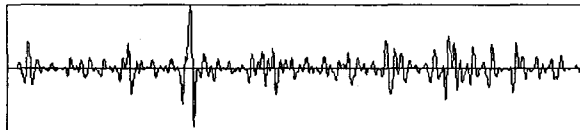
図6 筋電成分の重畳した元信号 (2秒間)



[M031M1.DAT] data_size=960 max=1237.000000



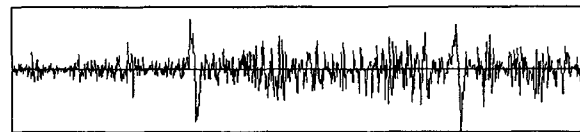
[M031M1D.DAT] data_size=960 max=5850.000000



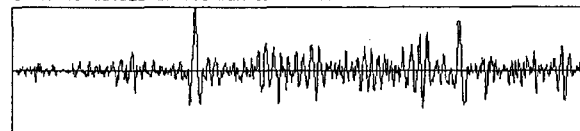
[31M1DD1.DAT] data_size=960 max=35251.000000

上段：図6の元波形をopening+closing
 中段：上段の信号を微分
 下段：中段の信号を微分 (正負逆表示)

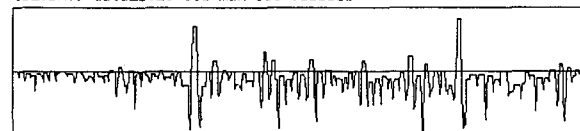
図7 元信号を直接opening+closingする



[D1.DAT] data_size=960 max=1264.000000



[D2.DAT] data_size=960 max=9117.000000



[D4.DAT] data_size=960 max=5476.000000

上段：図6の元波形の1次微分
 中段：上段の信号を微分 (正負逆表示)
 下段：中段の信号をopening (正負逆表示)

図8 2次微分信号をopeningする

次は2次微分までは従来どおり計算し、そのピーク群に対してopeningを施してみる。その結果を図8に示す。図8中段、下段の2次微分以降のグラフも図7と同様に正負を逆に表示している。図8下段のグラフでは重量さ

れた筋電部分のピークのみが抑制されていることがわかる。

つまり、モルフォロジーフィルタを使う際には信号に対して直接利用するのではなく、ある程度特徴抽出の済んだ信号に対して処理を行い、その結果を参照するという間接的な利用方法が適当であるといえる。

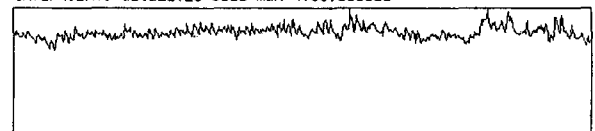
4 RR時間の測定例

4.1 1/fゆらぎ照明の評価

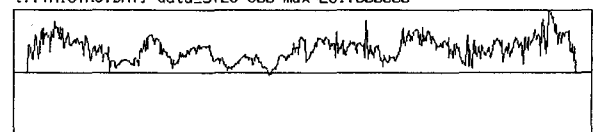
筆者は快適な照明環境をめざした1/fゆらぎ照明(7)(8)について検討しているが、本節ではその生活指標に利用した例を述べる。一般に快不快等の心理状態と人の循環器系とは密接な関係があるとされ、その定量的解析方法も多数考案されている。ここでは最も基本的なRR時間とその時間ゆらぎの周波数スペクトル解析を行った例を図9に示す。



[A:LP4.DAT] data_size=9000 max=4768.000000



[..#N13#R3.DAT] data_size=600 max=231.000000



[..#N13#R3R1.DAT] data_size=600 max=0.845515

上段：照明の輝度
 中段：2秒毎のRR時間
 下段：LF/HF比

図9 1/fゆらぎ照明評価実験での使用例

図9上段のグラフは照明の輝度を表し、5分間のパターンが4パターンで構成され1試行20分間となる。最初は輝度変化のない定常点灯、次に1/fゆらぎ点灯、更に最初と同じ定常点灯、最後は1様乱数点灯である。図9中段のグラフはRR時間を2秒毎に測定した結果600点をグラフにしている図9下段は、中段のデータを32点窓(64秒)で切り取りLF/HF比(9)(10)を計算し常用対数をとって表示している。この場合のRR時間データは0.5Hzサンプリングとなるので、LFは0.0625~0.14Hz、HFは0.156~0.25Hzの成分となる。RR時間については顕著な変化は見られないが、LF/HF比をみるとゆらぎ照明時に低下傾向がみられる。

4 ま と め

従来から信号処理に用いられる線形のデジタルフィルタと非線形フィルタであるモルフォロジーフィルタを用いることにより、簡易な計測環境での高精度で雑音許容度の高RR時間の測定が可能になった。更にPR時間測定(11)への応用も可能である。

参考文献

- (1)三谷恵一, 他: "リラクセーションのすすめ", 大学教育出版. (1993)
- (2)長町三生: "快適科学", 海文堂, (1992)
- (3)椎名晋一, 他: "臨床生理学", 医歯薬出版, (1987)
- (4)Charles R. Giardina, 他: "Morphological Methods in Image and Signal Processing", Prentice-Hall (1988)
- (5)間瀬茂, 他: "モルフォロジー画像解析[1]", 信学誌, vol.74, no.2, pp.166-174, (1991.2)
- (6)間瀬茂, 他: "モルフォロジー画像解析[2]", 信学誌, vol.74, no.3, pp.271-279, (1991.3)
- (7)土井滋貴, 他: "1/fゆらぎ照明に関する考察", 奈良高専研究紀要, no.29, pp23, (1993)
- (8)大塚智仁, 土井滋貴, 他: "1/fゆらぎ照明における安らぎ効果の実験的検討" 平成7年電気系学会関西連大, (1995)
- (9)BRUCE POMERANZ, 他, : "Assessment of autonomic function in humans by heart rate spectral analysis", Am J Physiology, vol.248-H, pp.151-153. (1985)
- (10)井上雄一: "心拍変動パワースペクトルを用いた恐慌障害患者の神経機能", 臨床脳波, vol.37, no.2, pp.86 (1995.2)
- (11)土井俊介, 土井滋貴: "スケール・スペース・フィルタリングを用いた心電図波形のP-R時間の測定", 平成7年電気系学会関西連大, (1995)

Analysis of Tunable Waveguide CO₂ Laser Making Use of Three-Mirror Type Internal Modulation Method

Tomoshi MATSUSHIMA

This paper presets an analysis of the proposed tunable waveguide CO₂ laser making use of three mirror type internal modulation method.

From the analysis of internal modulation, the relation between frequency-shifted output power and modulation index is obtained using the single pass laser gain as a parameter. It is shown that a laser with higher gain is favorable for this system.

Moreover, the frequency response of the tunable laser and the effect of the modulator location in the laser cavity using the analytical method of Leeb and Scholtz is discussed.

1. Introduction

A tunable CO₂ laser may have application in various fields, like laser communication, optical radar and high-resolution spectroscopy, etc. In these applications, it is desirable to have a tunable CO₂ laser, which is able to achieve the fine tuning over a wide frequency range.

However, since an energy level characteristic to the laser medium is used in a conventional laser, the transition frequency is fixed and the oscillation frequency is fixed within the gain bandwidth.

In a CO₂ laser, most of the oscillation spectra is located near 9.6 μm and 10.6 μm and each spectrum contains almost 20 spectral lines which are divided into P branch and R-branch. Therefore, a tunable CO₂ laser which efficiently emits a light beam modulated at the frequencies within the gaps between adjacent laser lines has been studied.

Tunable CO₂ laser are divided into two types: the type in which particular oscillation spectral lines are selected by inserting a dispersive medium such as a diffraction grating into the cavity and

the type in which the frequency is changed by varying the cavity length. In the former, the dispersed oscillation wavelength is selected and the separation of the adjacent spectral lines corresponds to about 55 GHz. In the latter, the frequency can be varied continuously but the tuning range is mainly limited by the gain bandwidth.

However, in a conventional CO₂ laser, the gain bandwidth corresponds to at most 50 MHz. To expand the tuning range, a high-pressure operation is used. But it is difficult to excite the laser material continuously under high pressure.

However, even in this type laser, the pressure for continuous operation is less than 40 kPa. When this type of laser is used as a tunable laser, the variable frequency is about 1 GHz.

One possible method of expanding the tuning range beyond the gain bandwidth is to modulate the output of lasers. The laser output is modulated to generate the sidebands. Then the carrier, the upper or the lower sideband is extracted by a filter like a F-P etalon to yield the frequency-shifted output. So that the range of frequency shifting is expanded beyond the laser gain bandwidth. Since

a laser is operated continuously in this method, the frequency and output power are stable and reproducible. In this case, the modulation should be achieved by using the opto-electrical effect so that high-frequency modulation can be achieved. However, it is necessary to use the broad band and high sensitivity modulator to obtain the broad tuning range and the high efficiency.

This leads to the difficulty in the fabrication of the modulator at the longer wavelength such as $10.6 \mu\text{m}$, because the half-wave voltage of the electrooptic modulation is proportional to the wavelength. In this case, a special consideration must be made.

In the laser modulation method, there are external modulation and internal modulation methods. Since a modulator is placed outside the laser in the former method, a high-modulation voltages required to achieve a large frequency-shifted output.

In the internal modulation method, a modulator is placed in the laser cavity and a strong internal light is modulated.

Therefore, for a given modulation voltage, larger sideband components are obtained in the internal modulation method than in the external modulation method. However, in the internal modulation method, a special method is required to extract the output.

In a previous report[1], we proposed a novel frequency-tunable CO_2 laser system using an internal modulator and briefly described an analysis of the proposed method. In this proposed scheme, a tunable filter is used as the output laser mirror. One of the sideband components produced by the modulator is taken out efficiently by the filter as a frequency-shifted output.

In this study, the internal modulation method is adopted to realize a high-frequency tunable CO_2 laser and a tunable filter is used as the output mirror. The operational analysis results will be described.

In the analysis, the relation between frequency-shifted output power and modulation index is obtained using the single-pass laser gain as a parameter. At the same time, the influence of the modulator position in the cavity also is investigated.

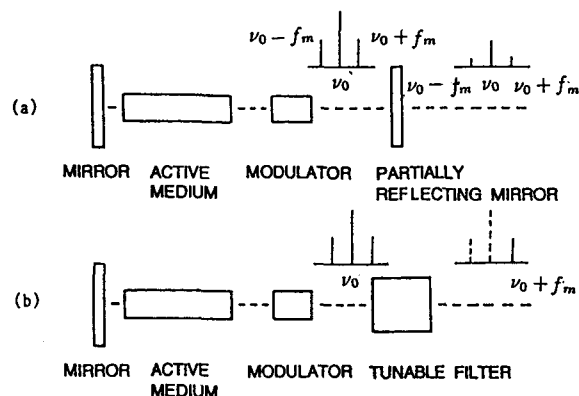


Fig.1 Conventional internal modulation method (a) and proposed internal modulation method making use of tunable frequency filter as an output mirror (b).

2. Operation Principle and Analysis

2.1 Operational analysis

When a tunable CO_2 laser is set up using the internal modulation method, an important point is how to efficiently extract one of the sideband wave components generated in the laser cavity. When a conventional internal method is used as shown in Fig.1(a), the carrier wave and multiple sideband wave are extracted. Since the partial transmission mirror is not high in this case, only a part of the sideband component generated in the cavity becomes the frequency-shifted output.

Now let us consider the case where a laser cavity contains a tunable filter which is used as the output mirror, as shown in Fig.1(b). A tunable filter is composed of a Fabry-Perot cavity and one of the mirrors is placed on a piezoelectric mount. In this type of filter, the mirror-to-mirror distance is varied by the voltage applied to the piezoelectric device. The reflectance to the particular sideband wave is low and the reflectance to the other wave is high. Therefore, the carrier wave and unwanted sideband wave are reflected back to the lasing material, while only one sideband wave component is extracted efficiently.

Since a laser cavity contains three mirrors to carry out internal modulation in this configuration this method will be referred to as a three-mirror-type internal modulation method.

Hereafter, the sideband laser beam component of interest is referred to be as a frequency-shifted output.

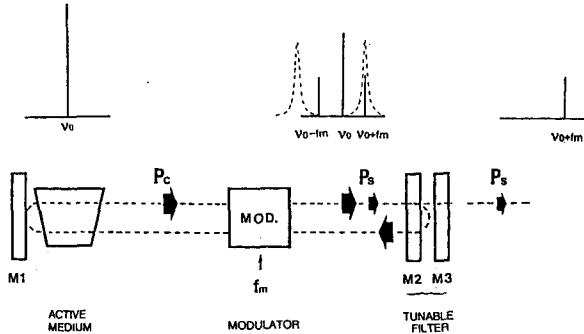


Fig.2 Principle of tunable CO₂ laser making use three mirror type internal modulation method.

Figure 2 illustrates the operational principle. The laser cavity is composed of three mirrors, M_1 , M_2 , M_3 . The tunable filter was composed of a mirror M_2 and mirror M_3 . The mirror M_3 was mounted on a piezoelectric device to provide electrical adjustment of the filter resonance frequency. The modulator and laser material are located between the mirrors M_1 and M_2 . Using the modulator, the internal light intensity is modulated to generate the sideband components ($\nu_0 \pm n f_m$), where ν_0 is the frequency of the carrier wave, f_m is the modulation frequency, and n is an integer. If $n=1$, for simplicity, the frequencies of the side band waves are $\nu_0 \pm f_m$. If the filter is tuned for $\nu_0 + f_m$ (or $\nu_0 - f_m$) by applying a dc voltage to the piezoelectric device, the component for $\nu_0 + f_m$ (or $\nu_0 - f_m$) is extracted as the frequency-shifted output.

The other component than the frequency-shifted output is reflected by the filter and returns to the cavity. In particular, the reflected carrier wave is modulated again and contributes to generation of the sideband waves. The frequency of the frequency-shifted output can be converted by simultaneously varying the modulation frequency and transmission frequency of the filter.

2.2 Analysis of operation

In general, the sideband components generated in a laser cavity by internal modulation depends strongly on the internal optical intensity. It has been reported that when the modulation frequency

is near n times the frequency of longitudinal mode, sideband components increase, where n is an integer.

The relationship between the internal optical intensity and frequency-shifted output and the dependence of the frequency-shifted output on the modulation frequency in the three-mirror-type internal modulation method will be discussed.

2.2.1 Internal optical intensity and frequency shifted output

The internal optical intensity in a laser with homogeneous lasing material such as a CO₂ laser is given by Rigrod [2] as

$$P_{int} = I_s A \times \frac{\sqrt{1 - \alpha_1} \times \{g_0 L + \ln \sqrt{(1 - \alpha_1)(1 - \alpha_2)}\}}{(\sqrt{1 - \alpha_1} + \sqrt{1 - \alpha_2}) \{1 - \sqrt{(1 - \alpha_1)(1 - \alpha_2)}\}} \quad (1)$$

Where I_s is the saturation parameter, A is the cross section of a laser beam, g_0 is the small signal gain, L is the length of the lasing material, and α_1 , and α_2 are the mirror losses. When Eq. (1) is applied to the three-mirror type internal modulation method, α_1 , and α_2 are given by

$$\alpha_1 = \alpha_1' \quad (2)$$

$$\alpha_2 = \alpha_2' + T_c + \{1 - J_0^2(\delta)\} \quad (3)$$

where α_1' and α_2' are losses inevitable in an optical system and are the reflection loss on the mirror surface, the diffraction loss in a modulating device transmission loss etc. T_c is the transmission coefficient on the filter for the carrier wave, and is the phase modulation coefficient after the beam passes through the modulator. In this analysis, it is assumed that modulation is carried out by small amplitude, the modulation frequency is sufficiently high, and the sideband components generated during modulation are located outside the gain band width of the laser. $J_0(\delta)$ is the zero-order Bessel function. The frequency-shifted output P_{cov} extracted by the filter is given by

$$P_{cov} = P_{int} \cdot |J_n(\delta)|^2 \cdot T(nf) \quad (4)$$

where $J_n(\delta)$ is the n -th order Bessel function, $T(nf)$ is the transmission coefficient of the filter for the n -th order sideband frequency ($\nu_0 \pm n f_m$). Similarly, the output of the carrier P_c is given by

$$P_c = P_m \cdot |J_0(\delta)|^2 \cdot T_c \quad (5)$$

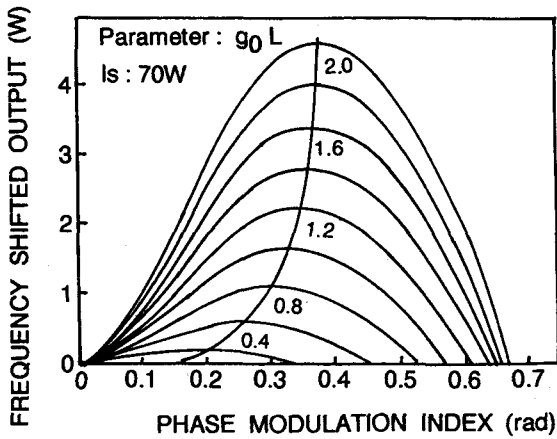


Fig.3 Frequency shifted output power versus phase modulation index with the laser gain as a parameter.

Figure 3 shows an example of the relationship between the modulation index and frequency-shifted output using the laser gain as the parameter. When the gain is higher than a certain value, the frequency-shifted output can be increased only by increasing the gain without increasing the modulation index. This result indicates that a waveguide-type laser, which has a high gain, is suitable.

2.2.2 Modulation frequency dependence of frequency shifted output

To evaluate the characteristic of the frequency shifted output, the ratios of the sideband component and the carrier wave component to the modulation frequency were investigated using the analytical method of Leeb and Scholtz [3].

In this analysis, it was assumed that the phase modulation index was small and the higher-order sideband component was negligibly small compared with the first-order sideband component.

It was assumed also that the modulation device inserted internally was sufficiently thin so that the phase of the modulated wave did not change while the light passed through the device. To find the effect of the phase modulation on the laser oscillation we employ the model shown in Figs.4 (a) and (b).

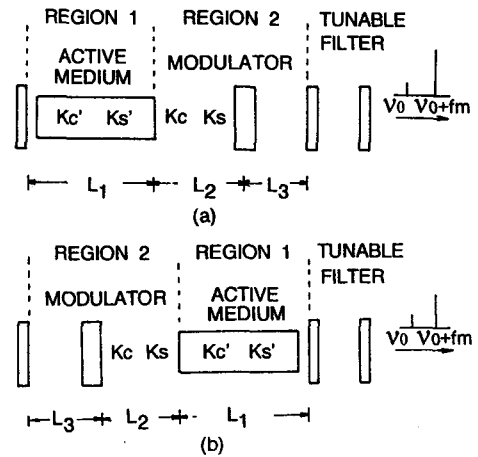
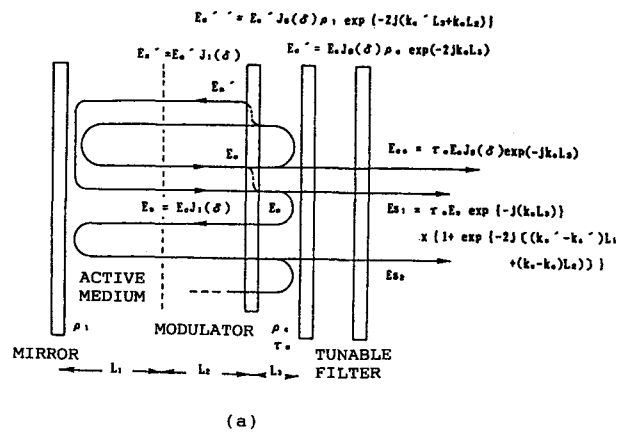


Fig.4 Arrangement for the three mirror type internal modulation with the modulator close to tunable filter (a), and the modulator close to reflection mirror (b).

In Fig.4(a), the modulation device is placed at the side of the F-P interferometer (tunable filter), and in Fig.4(b), it is placed at the side of the reflecting mirror. The laser cavity is divided into the laser medium region (region 1) and the remainder (region 2).

The propagation constants of the carrier wave and sideband wave are k_c and k_s in region 1 and K_c and K_s in region 2, respectively. The length of region 1 is L_1 , the distance between region 1 and the modulation device is L_2 and the distance between the modulation device and tunable filter or reflection mirror is L_3 .



(a)

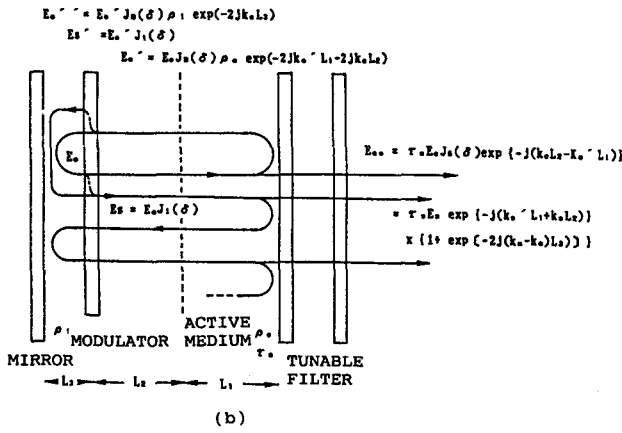


Fig.5 Model for determination carrier and side band amplitude. The three-mirror-type internal modulator close to tunable filter(a) and the modulator close to the reflection mirror(b).

The closed loop in Fig.5 (a) represents the laser oscillation. Just before entering the modulator, the carrier wave traveling to the right has an amplitude E_c . After passing the modulator and after reflection from filter, the carrier wave E_c' reentering the modulator is

$$E_c' = E_c J_0(\delta) \rho_c \exp(-2jk_c L_3) \quad (6)$$

where k_c is the complex propagation constant and ρ_c is the amplitude reflection of filter. Considering the subsequent phase modulation and reflection from mirror M_1 , one obtains for the carrier wave E_c'' after a complete roundtrip

$$\begin{aligned} E_c'' &= E_c' J_0(\delta) \rho_1 \exp\{-2j(k_c' L_3 + k_c L_2)\} \\ &= E_c J_0^2(\delta) \rho_1 \rho_c \exp\{-2j(k_c' L_1 + k_c L_2 + k_c L_3)\} = E_c \end{aligned} \quad (7)$$

Under steady-state condition, the latter identity has to be fulfilled and represents the oscillating condition give by

$$J_0^2(\delta) = \frac{1}{\rho_1 \rho_c \exp\{-2j(k_c' L_1 + k_c L_2 + k_c L_3)\}} \quad (8)$$

As indicated in Fig5(a), the continuous energy transfer from the laser oscillation to each sideband may be represented by two sideband traveling waves E_s and E_s' . E_s and E_s' are given by

$$E_s = E_c J_1(\delta) \quad (9)$$

$$\begin{aligned} E_s' &= E_c' J_1(\delta) = E_c J_0(\delta) \rho_c \exp(-2jk_c L_3) \times J_1(\delta) \\ &= E_c J_0(\delta) \rho_c \exp(-2jk_c L_3) \end{aligned} \quad (10)$$

Just before entering the filter, sideband wave

traveling to the right has an amplitude E_{s0}' .

E_{s0}' is given by

$$E_{s0}' = E_s \exp\{-j(k_s L_3)\} + \rho_1 E_s'(\delta) \exp\{-j(2k_s L_1 + 2k_s L_2 + k_s L_3)\} \quad (11)$$

The combination of (8) and (10) leads to

$$E_{s0}' = E_s \exp\{-j(k_s L_3)\} \times [1 + \exp\{-2j[(k_s' - k_c') L_1 + (k_s - k_c) L_2]\}] \quad (12)$$

To calculate the coupled out sideband E_{s0} , we add these two waves before considering the infinite of roundtrips they undergo within the resonator.

Summation of the coupled out contribution (E_{s1} , E_{s2} , \dots) to E_{s0} yields

$$\begin{aligned} E_{s0}' &= \tau_s E_s \exp\{-j(k_s L_3)\} \times [1 + \exp\{-2j[(k_s' - k_c') L_1 + (k_s - k_c) L_2]\}] \times \sum (\rho_1 \rho_s)^n J_0^{2n}(\delta) \\ &\quad \times \exp\{-2j(k_s' L_1 + (k_s L_2 + k_s L_3))\} \\ &= \tau_s E_s \exp\{-j(k_s L_3)\} \times [1 + \exp\{-2j[(k_s' - k_c') L_1 + (k_s - k_c) L_2]\}] \\ &\quad \times \frac{1}{1 - (\frac{\rho_s}{\rho_c}) \exp\{-2j[(k_s' - k_c') L_1 + (k_s - k_c) L_2 + (k_s - k_c) L_3]\}} \end{aligned} \quad (13)$$

and further, with τ_c as the amplitude transmission of the filter, the coupled out carrier is

$$E_{c0} = \tau_c E_c J_0(\delta) \exp(-jk_c L_3)$$

The ratio of the amplitude of the sideband component E_{s0} to the carrier wave component E_{c0} is shown in Fig. 5(a) is given by the following equation.

$$\begin{aligned} \frac{E_{s0}}{E_{c0}} &= \frac{\tau_s J_1(\delta)}{\tau_c J_0(\delta)} \exp\{-j(k_s - k_c) L_3\} \\ &\quad \times \frac{1 + \exp[-2j\{(k_s' - k_c') L_1 + (k_s - k_c) L_2\}]}{1 - (\frac{\rho_s}{\rho_c}) \exp[-2j\{(k_s' - k_c') L_1 + (k_s - k_c) L_2 + (k_s - k_c) L_3\}]} \end{aligned} \quad (14)$$

Using the same analytical method, the ratio of the sideband component E_s to the carrier wave component E_c is show in Fig. (b) is give by

$$\begin{aligned} \frac{E_s}{E_c} &= \frac{\tau_s J_1(\delta)}{\tau_c J_0(\delta)} \exp[-j\{(k_s' - k_c') L_1 + (k_s - k_c) L_2\}] \\ &\quad \times \frac{1 + \exp\{-2j(k_s - k_c) L_3\}}{1 - (\frac{\rho_s}{\rho_c}) \exp[-2j\{(k_s' - k_c') L_1 + (k_s - k_c) L_2 + (k_s - k_c) L_3\}]} \end{aligned} \quad (15)$$

Therefore, the output power ratio R is given by

$$R = \left| \frac{E_s}{E_c} \right|^2 \quad (16)$$

where τ_s and τ_c are complex amplitude transmission coefficient of the tunable filter and ρ_s and ρ_c are the reflection coefficients of the tunable filter.

Here, $k_s' - k_c'$ is the difference between the propagation constants of the sideband and carrier waves in region 1. When the laser is excited at the center frequency of the gain curve, it is given by

$$k_s' - k_c' = \frac{2\pi f_m}{c} \left[1 + \frac{\beta f_r}{\pi B \{1 + 4(\frac{f_m}{B})^2\}} \right] (1 - 2j \frac{f_m}{B}) \quad (17)$$

Where f_r is the frequency of the longitudinal mode spacing ($c/2L$), f_m is the modulation frequency, and B is the gain curve width, β is the loss caused while the carrier wave travels round the cavity and is given by

$$\beta = -\ell n[J_0^2(\delta) \rho_s \rho_c] \quad (18)$$

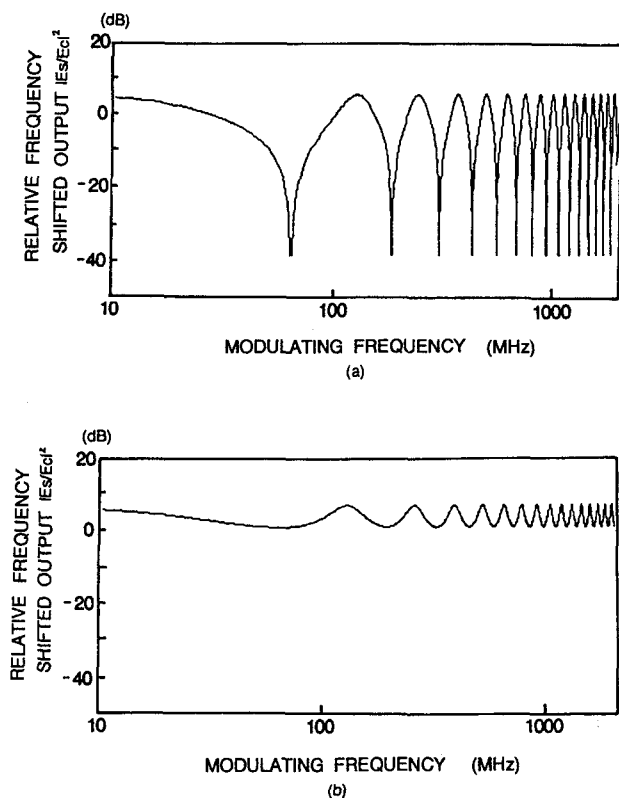


Fig.6 Calculated relative sideband power versus modulating frequency. Parameters are $|\tau_s|^2=0.95$, $|\tau_c|^2=0.05$, $|\rho_s|^2=0.05$, $|\rho_c|^2=0.05$, $B=100\text{MHz}$, $L_1=1\text{m}$, $L_2=0.2\text{m}$, $L_3=0$, $\delta=0.3$, Modulator close to tunable filter (a), and the modulator close to reflection mirror(b).

Figure 6(a) and (b) show examples of the modulation frequency dependencies of the sideband power obtained by using Eq.(14) to (18). Fig.6(a) is based on the results shown in Fig.5(a), While Fig.6(b) is based on that shown in Fig.5(b). However, it is assumed that (τ_s/τ_c) and (ρ_s/ρ_c) are maintained constant for modulation frequency by adjusting the mirror-to-mirror distance of the tunable filter. Therefore, as observed in the conventional internal modulation, the output ratio is high at the frequencies $n \times f_m$, where n is an integer.

The modulation frequency dependence of the output ratio in Fig.6(b) is less than that in Fig.6(a).

3. Conclusion

We described an analysis of the tunable waveguide CO_2 laser making use of three-mirror type internal modulation method. From the analysis of internal modulation, the relation between frequency-shifted output power and modulation index is obtained using the single-pass laser gain as a parameter. It was shown that a laser with higher gain is favorable for this system.

Moreover, the effect of the modulator location in the laser cavity also is discussed using the analytical method of Lees and Scholtz.

REFERENCES

1. T.Matsushima and T.Sueta. The Trans. of the Inst. of Electronics, Information and Comm. Eng., 75, 1, pp8-16(1992).
2. W.W.Rigrod. Saturation effects in the high-gain lasers. J.Appl. Phys., 36, 8, pp.2487-2490(1965).
3. W.R.Leeb and A.L.Scholtz. Single-mode laser frequency modulation. IEEE J. Quantum Electron., QE-13, 11, pp.925-929(1977).

位相シフトスペックル干渉法における位相差計算法

押田 至啓・西田 茂生

Algorithm of Arctangent Calculation in Phase-Shifting Speckle Interferometry

Yoshihiro OSHIDA and Shigeki NISHIDA

Phase-shifting speckle interferometry is used for measuring the displacement with high accuracy. In this method, the phase data is obtained by arctangent calculation with the phase-shifted speckle images. This calculation needs too much time. Moreover, to obtain the distribution or the frame data, the calculations for 400000 picture elements are necessary. The fast calculation algorithm using the look-up table is described. Thus, the displacement will be measured with high accuracy in real time.

1 緒 言

粗面物体の変位や変形を非接触で、しかも光の波長程度の精度で測定する方法として、従来、ホログラフィ干渉法やスペックル干渉法、スペックル写真法等が行われてきた¹⁾。しかし、これらの方法では写真現像処理が必要であり実時間での測定には適していない。この欠点を補う方法としてTVカメラを用いた電子式スペックル干渉法(ESPI)が用いられている^{2,3)}。この方法は粗面物体のスペックルを含んだ像をTVカメラを用いてコンピュータあるいは画像処理回路に取り込み、電気的な画像データ処理を行うことにより、変位分布を干渉縞に対応した縞パターンで得る方法である。これにより光の波長程度の精度で変位をほぼ実時間に近い形で測定することができる。

さらに高い測定精度で測定する方法として、位相シフト法(縞走査法)をESPIに適用し光の波長の1/100程度の精度で変位⁴⁾やたわみ、ひずみ^{5,6)}を測定する方法が提案されている。これらの方法ではコンピュータによる画像データの演算処理により光の位相情報を求め、変位や、ひずみの値を得ている。このため、演算処理に時間を要し、実時間測定が難しくなっている。この演算をデジタル回路により行い、変位分布をビデオレートで測定する方法⁷⁾も提案されているが、この方法では大容量の画

像メモリと複数の画像処理装置が必要となり、大規模なシステムとなる。一方、最近のコンピュータの急速な性能向上のため、演算処理をより実時間に近く行うことが可能となってきている。

そこで、本論文ではパーソナルコンピュータで位相シフト法の処理を行うことを目的とし、位相演算処理中で最も時間を要するアークタンジェント演算を高速に行うための計算アルゴリズムについて述べる。

2 位相シフトスペックル干渉法の原理

変位測定のための位相シフトESPIシステムを図1に示す。レーザからの光をハーフミラーにより2つに分け、変位を測定する粗面物体と、表面が粗面である参照面を照明する。TVカメラ(CCDカメラ)の撮像面上に物体面を結像させる。このとき、撮像面上では、物体面、参照面それぞれから散乱された光が干渉を起こし、両光路間の光路差を位相情報として持ったスペックル像が得られる。物体面上の点P(位置ベクトル \mathbf{r})に対応した撮像面上の点Qにおける光の強度 $I_b(\mathbf{r})$ は次式のように表される。

$$I_b(\mathbf{r}) = I_o(\mathbf{r}) + I_R(\mathbf{r}) + 2\sqrt{I_o(\mathbf{r})I_R(\mathbf{r})} \cos \phi_b(\mathbf{r}) \quad (1)$$

ただし、 $I_o(\mathbf{r})$ 、 $I_R(\mathbf{r})$ はそれぞれ物体光、参照光の強度である。また、位相 $\phi_b(\mathbf{r})$ は物体光と参照光間の

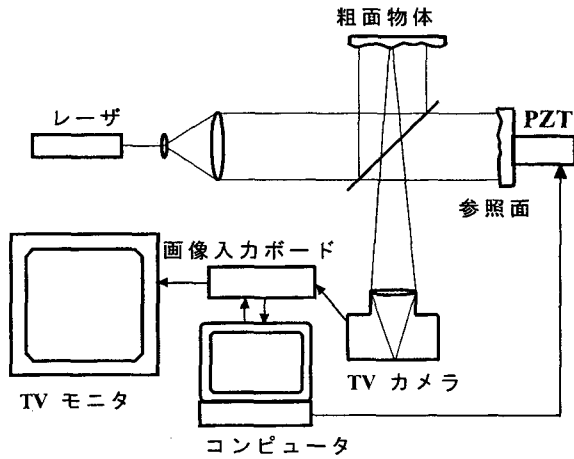


図1 位相シフトスペックル干渉計

光路差を l とし、レーザ光の波長を λ とすれば

$$\phi_b(\mathbf{r}) = \frac{2\pi}{\lambda} l(\mathbf{r}) \quad (2)$$

で与えられ、粗面のため空間的にランダムな量となる。

次に、物体が変形すれば、物体光と参照光の間の光路差が変化するため、位相 $\phi_b(\mathbf{r})$ は $\phi_a(\mathbf{r})$ に変化する。図1に示す光学系のように、物体照明方向と観測方向が一致する場合には、物体の変位のこの方向成分を d とすれば、

$$\phi_a(\mathbf{r}) = \frac{2\pi}{\lambda} \{l(\mathbf{r}) + 2d(\mathbf{r})\} = \phi_b(\mathbf{r}) + \frac{4\pi}{\lambda} d(\mathbf{r}) \quad (3)$$

と表される。

(2)、(3)より、 $\phi_a(\mathbf{r}) - \phi_b(\mathbf{r})$ を求めれば物体の変位を測定することができる。

$$\phi_a(\mathbf{r}) - \phi_b(\mathbf{r}) = \frac{4\pi}{\lambda} d(\mathbf{r}) \quad (4)$$

変形前後の2つのスペックルパターンから、スペックルの位相 $\phi_b(\mathbf{r})$ 、 $\phi_a(\mathbf{r})$ を精度よく求めるために位相シフト法を用いる。位相シフト法は参照光あるいは物体光に位相シフトを加えて得られる数枚の画像データからスペックルの位相を計算により求める方法である。ここでは、参照光に $\pi/2$ ごとの位相シフトを加えた4枚の画像から位相を計算する4ステップ法を用いる。

まず、物体変形前のスペックル画像データに位相シフトを加える。参照面を $\lambda/8$ ずつ光の照明方向に平行移動すれば、参照光に $\pi/2$ ごとの位相シフトを加えることができる。このとき各スペックル像の強度は次式のようになる。なお、以下の表記において各量が位置に依存することを表す (\mathbf{r}) は省略する。

$$I_{bi} = I_o + I_R + 2\sqrt{I_o I_R} \cos\left(\phi_b + \frac{\pi}{2} i\right) \quad (5)$$

$$(i=0,1,2,3)$$

(5)式より、 $\phi_b(\mathbf{r})$ は次式を用いて計算することがで

きる。

$$\phi_b = \tan^{-1} \frac{I_{b4} - I_{b2}}{I_{b1} - I_{b3}} \quad (6)$$

物体変形後に参照光に $\pi/2$ ごとの位相シフトを加えた4枚のスペックル画像を取り込めば、それぞれの強度は(5)式と同様に

$$I_{ai} = I_o + I_R + 2\sqrt{I_o I_R} \cos\left(\phi_a + \frac{\pi}{2} i\right) \quad (7)$$

$$(i=0,1,2,3)$$

となり、 $\phi_a(\mathbf{r})$ は(6)式と同様に

$$\phi_a = \tan^{-1} \frac{I_{a4} - I_{a2}}{I_{a1} - I_{a3}} \quad (8)$$

で計算することができる。

したがって、(6)、(8)式によりその差は

$$\phi_a - \phi_b = \tan^{-1} \frac{I_{a4} - I_{a2}}{I_{a1} - I_{a3}} - \tan^{-1} \frac{I_{b4} - I_{b2}}{I_{b1} - I_{b3}} \quad (9)$$

で求めることができ、これと(4)式から、物体の変位 d を測定することができる。

この演算をTVカメラ上のすべての画素にわたり繰り返せば、物体の変位分布を得ることができる。

ただし、(6)、(8)式で得られる位相値はアークタンジェントの主値であり、分母分子の符号からこれを拡張しても $-\pi$ から π の範囲の値しか得られない。このため、それぞれの計算値には 2π ごとの不連続な点があり、差を求めるときに $\phi_b(\mathbf{r})$ 、 $\phi_a(\mathbf{r})$ の不連続点の違いによる 2π の補正を行わなければならない。この補正演算を取り除くため(9)式を次のように変形する。

$$\phi_a - \phi_b = \tan^{-1} \frac{(I_{b1} - I_{b3})(I_{a4} - I_{a2}) - (I_{b4} - I_{b2})(I_{a1} - I_{a3})}{(I_{b1} - I_{b3})(I_{a1} - I_{a3}) + (I_{b4} - I_{b2})(I_{a4} - I_{a2})} \quad (10)$$

これにより、 2π の補正をせずに位相差、すなわち変位の値を得ることができる。ただし、アークタンジェントの値は $-\pi$ から π の範囲でしか得られないため、この場合にも得られた差の値に 2π ごとの位相飛びは生じる。

3 位相シフトESPI処理システム

今回用いた画像処理システムでは、1フレームあたり 768×512 画素の画像入力ボードを用いた。また、コンピュータはインテル8086系CPUを搭載したNEC PC-9801シリーズのパーソナルコンピュータを用いた。

本装置では、各画素の光強度データは8bitのA-D変換器により256階調にA-D変換され、コンピュータ内のメモリに取り込まれる。物体変形前4フレーム、物体変形後4フレームの合計8フレームの画像データを取り込み、(10)式により変形前後のスペックルの位相差を計算する。すなわち、1フレームの結果を得るためには(10)式の

演算を393216回繰り返すことになり、演算時間を要する。

演算結果は8 bitのD-A変換器を用いてTVモニタ上に表示する。このため、演算結果を8 bitで表現することとし、 $-\pi$ ラジアンを0、 π ラジアンを256で表現する。

4 アークタンジェント演算

位相差を求めるために(10)式のアークタンジェントの演算を行うが、一般に、アークタンジェントの演算を行うには級数展開して求める。しかし、この方法では演算時間が長く、特に本測定法のように約40万回の演算を繰り返さなければならないような場合には非常に処理に要する時間が長くなる。そこで本方法では、あらかじめアークタンジェントの演算を行ったテーブルを作成し、これを参照することにより演算の高速化を図った。

アークタンジェントの主値は $[-\pi/2, \pi/2]$ であり、また、奇関数であることから $[0, \pi/2]$ の範囲の第1象限についてのみ考える。本法では 2π ラジアンを8 bitで表現するため、第1象限は $[80h, C0h]$ で表される、ただし、数字の後ろのhは16進数であることを表す。

光強度は8 bitで表現されるため、値はFFh以下であり、コンピュータに取り込まれた後の(10)式における分母、分子はいずれも値がFFFFh以下である。そこで、分母の値をFFFFhとし、分子の値を0hからFFFFhまで変化させて、アークタンジェントの演算を行う。この計算結果を、セグメント・アドレスが70000hで、分子の値をオフセット・アドレスとするメモリ上の64kバイトの領域に記録する。同様に、分子の値をFFFFhとし、分母の値を0hからFFFFhまで変化させて、アークタンジェントの演算を行った結果を、セグメント・アドレスが60000hで、分母の値をオフセット・アドレスとするメモリ上の64kバイトの領域に記録する。これらが、それぞれ、図2に示す領域①、領域②の計算結果に対応している。これが以下のアークタンジェント演算のルックアップ・テーブルとなる。

次に、このテーブルを用いた(10)式の演算について述べる。

(10)式の演算結果は、分母、分子の符号によって次のように第1、第2、第3、第4象限の4つに分けられる。

- 第1象限：分母 [正] 分子 [正]
- 第2象限：分母 [負] 分子 [正]
- 第3象限：分母 [負] 分子 [負]
- 第4象限：分母 [正] 分子 [負]

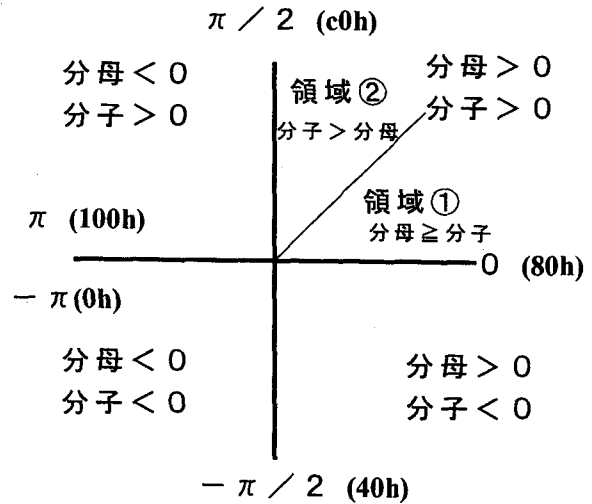


図2 アークタンジェントの演算範囲

作成したテーブルは第1象限についてのものであるから、分母、分子ともに絶対値を取り、テーブルから位相値を求め、その後各象限に拡張を行う。

まず、分母、分子の絶対値を取り、大きさを比較する。

分母 \geq 分子の場合には図2の領域①となり、セグメントが70000hのテーブルを用いる。このテーブルは分母の値がFFFFhであるとしてアークタンジェントの値を求めたものであるから、これを参照するためのオフセット・アドレスの値OFF.ADDを

$$\text{OFF. ADD} = \frac{\text{分子} \times \text{FFFFh}}{\text{分母}} \quad (11)$$

とする。このアドレスに格納された値を読み込めばアークタンジェントの演算結果を得ることができる。

同様に、分子 $>$ 分母の場合には図2の領域②となり、セグメントが60000hのテーブルを用いる。このテーブルは分子の値がFFFFhであるとしてアークタンジェントの値を求めたものであるから、これを参照するためのオフセット・アドレスの値OFF.ADDを

$$\text{OFF. ADD} = \frac{\text{分母} \times \text{FFFFh}}{\text{分子}} \quad (12)$$

とする。このアドレスに格納された値を読み込めばアークタンジェントの演算結果を得ることができる。

次に、得られた結果を0からFFh、すなわち $-\pi$ から π ラジアンに拡張する。このためにはテーブルから得られた値をAXとすれば、各象限ごとで次の計算をすればよい。

- 第1象限：AX
- 第2象限： $180h - AX$
- 第3象限： $AX - 80h$
- 第4象限： $100h - AX$

以上の演算により、(10)式で表されるアークタンジェン

トの演算結果を0から 2π 、すなわち $-\pi$ から π ラジアンで得ることができる。

5 実験および実験結果

本演算法により、位相シフト法の演算処理が行えることを検証するために、図1の光学系を用いた変位測定実験を行った。物体としては片持ちばりを用い、その自由端に変位を加えた。本法により得られた結果を図3、図4に示す。図3は位相計算結果をモニタ上に表示したものであり、各点の明るさが位相値を表している。白が $-\pi$ ラジアンで、黒が π ラジアンを表している。図4は、この画像の1走査線上の値をグラフに表したものである。

演算時間は、コンピュータとしてNEC PC-9801VX2 (CPU80286, 10MHz) を用いた場合、約45秒であった。また、NEC PC-9821Bp (CPU80486DX2, 66MHz) を用いた場合、約6秒であった。なお、参考のために、同様の演算をC言語の $\text{atan}()$ 関数を用いて行った結果では、PC-9821Bpを用いて約2分の演算時間を要した。

6 結 言

スペックル干渉法その他で広く用いられている位相シフト法における、アークタンジェントの演算を高速に行うことを目的として、テーブルを用いた演算法を示した。

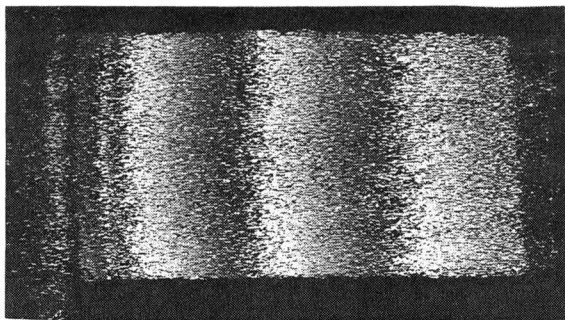


図3 位相演算結果 (モニタ出力結果)

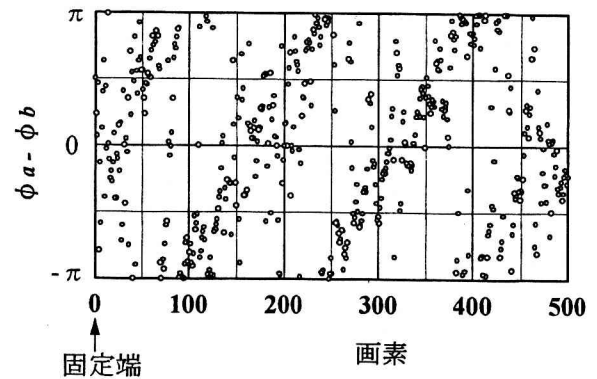


図4 位相演算結果 (走査線上)

本方法では、あらかじめアークタンジェント演算を行ったテーブルを参照することにより、演算時間の短縮を行っている。実験より、約6秒で1フレーム(約40万画素)の演算を行うことができた。さらに、最近のコンピュータの高速化と急速な性能の向上により、より実時間に近い測定が可能になるものと考えられる。

参考文献

- 1) 谷田貝豊彦, 応用光学光計測入門, 146(丸善, 1998).
- 2) K.H. Øgmoe and H.M. Pedersen, J. Opt. Soc. Am. **67**, (1977) 1578.
- 3) 押田至啓, 西田茂生, 奈良工業高等専門学校研究紀要第25号(1990)1.
- 4) S. Nakadate and H. Saito, Appl. Opt. **24** (1985) 2172.
- 5) 押田至啓, 岩橋善久, 岩田耕一, 光学連合シンポジウム'93講演予稿集 (1993) 11.
- 6) Y. Oshida, Y. Iwahashi and K. Iwata, Proceedings of Plasticity '95(1995) 187.
- 7) 加藤純一, 山口一郎, 桑島茂純, 第55回応用物理学会講演予稿集 (1994) 824.

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)

栗本 尚

Computer Simulation of Phase Plane Trajectory and Step Response
in a Nonlinear Control System (No.2)

Takashi KURIMOTO

In design and analysis of a nonlinear control system containing an on-off element etc., the phase plane trajectory and the step response are used. 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 some basic nonlinear control systems in the reference 1). Continued from this reference 1), two on-off control systems with hysteresis or both dead band and hysteresis, and an on-off control system with delay time are taken up.

1 まえがき

参考文献1)において、リレーや電子スイッチのようなオンオフ要素を含む非線形制御系として、オンオフ制御系、不感帯のあるオンオフ制御系、微分要素を含むオンオフ制御系に関し、必要最小限の非常に短いプログラムにより、位相面軌跡とステップ応答を求め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、動作すきまのあるオンオフ制御系、不感帯と動作すきまのあるオンオフ制御系、むだ時間のあるオンオフ制御系などの非線形制御系の設計・解析のために、パソコンのBASIC言語により、位相面軌跡とステップ応答を求める方法について示す。

2 オンオフ要素を含む非線形制御系

2.1 非線形制御系の構成

2次系の制御対象 $G_i(s)$ を

$$G_i(s) = \frac{K}{s(T_1s+1)} \quad (1)$$

として、この $G_i(s)$ を、オンオフ要素からなるコントローラ $G_c(s)$ により制御する、図1に示すような非線形制御系について示す。

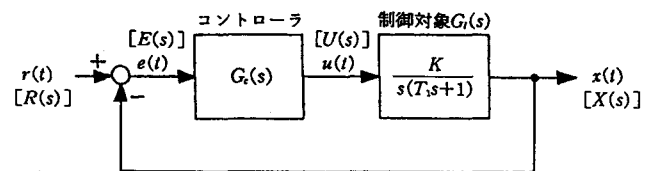


図1 非線形制御系

2.2 動作すきまのあるオンオフ制御系

2.2.1 動作すきまのあるオンオフ要素特性

図1の非線形制御系における $G_c(s)$ が、図2に示すような動作すきまのあるオンオフ要素となる場合について示す。このときの $e(t)$ に対する特性は、次式のように表される。

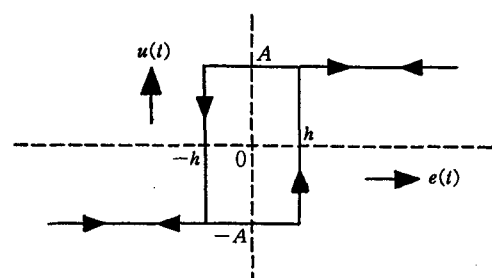


図2 動作すきまのあるオンオフ要素特性 [$G_c(s)$]

$$\text{sign}[e(t)] = \begin{cases} 1 & e(t) > h \\ 0 & e(t) = h \\ -1 & e(t) < h \end{cases} \quad \begin{matrix} \dot{e}(t) > 0 \\ (e(t) \text{ 増加時}) \\ \dot{e}(t) < 0 \\ (e(t) \text{ 減少時}) \end{matrix} \quad \begin{matrix} e(t) > -h \\ e(t) = -h \\ e(t) < -h \end{matrix} \quad (2)$$

2.2.2 制御系の特性式

図1の制御系($G_c(s)$: 図2)において、ラプラス変換された s 領域では、次式が得られる。

$$E(s) = R(s) - X(s) \quad (3)$$

$$X(s) = \frac{K}{s(T_1s+1)} A \text{sign}[E(s)] \quad (4)$$

$$\text{sign}[L^{-1}\{E(s)\}] = \text{sign}[e(t)] \quad (5)$$

ここで、(5)式の $\text{sign}[e(t)]$ は、(2)式による。(4)式の $X(s)$ を(3)式に代入すると、次式が得られる。

$$T_1s^2E(s) + sE(s) = T_1s^2R(s) + sR(s) - KA \text{sign}[E(s)] \quad (6)$$

この制御系にステップ入力を加えたときの $e(t)$ の応答を求めるため、初期条件 $e(0) = 0, \dot{e}(0) = 0$ として、 $R(s), E(s)$ を逆ラプラス変換して時間 t 領域に変換すると、次式のような2階常微分方程式が得られる。

$$R(s) = \frac{1}{s} \rightarrow r(t) = 1, \dot{r}(t) = 0, \ddot{r}(t) = 0 \quad (7)$$

$$T_1\ddot{e}(t) + \dot{e}(t) = -KA \text{sign}[e(t)] \quad (8)$$

2.2.3 1階2元連立常微分方程式への変換

(8)式による2階常微分方程式を1階2元連立常微分方程式に変換すると、次式ようになる。

$$\begin{cases} \dot{e}(t) = c(t) \\ \dot{c}(t) = -\frac{1}{T_1}c(t) - \frac{K}{T_1}A \text{sign}[e(t)] \end{cases} \quad (9)$$

$$= f[t, e(t), c(t)]$$

この(9)式について、ルンゲ・クッタ法による解法式を用いて、 $e(t)$ に関する位相面軌跡 $\dot{e}(t)[c(t)] - e(t)$ 特性、時間応答 $e(t) - t$ 特性を求めることができる。

一方、(3)式を t 領域に変換すると、次式が得られる。

$$e(t) = r(t) - x(t) \quad (10)$$

したがって、ステップ入力 $r(t) = 1$ に対し、 $x(t)$ (ステップ応答)、 $\dot{x}(t)$ は、次式より求められる。

$$x(t) = 1 - e(t) \quad (11)$$

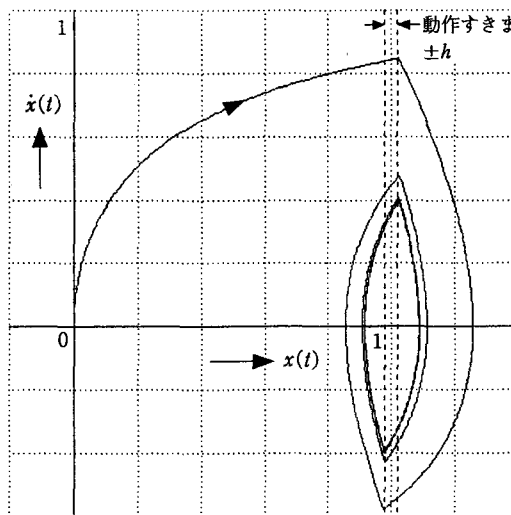
$$\dot{x}(t) = -\dot{e}(t) \quad (12)$$

2.2.4 位相面軌跡とステップ応答

(9)(2)式と(11)(12)式およびルンゲ・クッタ法の解法式[参考文献2)の2.4.4(a)項の式(2.136)~(2.140)参照、ただし $x(t) \rightarrow e(t), y(t) \rightarrow c(t)$] より、この動作すきまのあるオンオフ制御系の位相面軌跡 $\dot{x}(t) - x(t)$ 特性を求めるためのプログラムを図3に示す。また、ステップ応答 $x(t) - t$ 特性を求めるためのプログラムについては、図3において、 t に対する $x(t)$ が計算されているため、図3の一部修正により容易に作成できるが、一応そのプログラムを図4に示す。

このプログラムは、パソコンPC-9800のN-88 BASICによる。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、目盛線、計算特性のみをパソコンによりえがかせ、変数名、目盛数字、パラメータ表示、タイトルなどは、手書きまたは貼りつけによる。

ここで、 $G_1(s)$ の $K=1, T_1=1, G_c(s)$ の $A=1$ の場合について、1例として、 $h=0.02$ のとき、この動作すきまのあるオンオフ制御系の位相面軌跡 $\dot{x}(t) - x(t)$ 特性、ステップ応答 $x(t) - t$ 特性を求めた結果を図5および図6に示す。図5において、動作すきまのあるオンオフ要素の切替動作が明確に出ている。なお、動作すきまのあるオンオフ要素は、図3の160~170, 40により、また、図4の160~170, 40によっている。



$G_1(s): K=1, T_1=1, G_c(s): A=1, h=0.02$
プログラム: 図3

図5 動作すきまのあるオンオフ制御系の位相面軌跡 $\dot{x}(t) - x(t)$ 特性

```

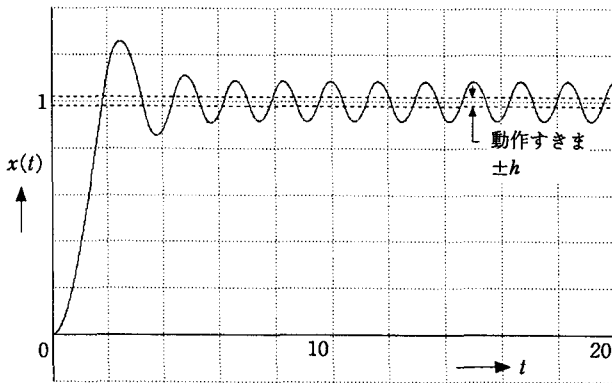
10 REM R5-PROG1
20 TE=20 : DT=.01 : K=1 : T1=1 : A=1 : H=.02 : E=1 : C=0
30 X=1-E : Y=-C
40 DEF FNF(T,E,C)=-1/T1*C-K/T1*A*SG
50 SCREEN 2,0 : CONSOLE ,0,0
60 WINDOW (-.2,-1)-(1.4,.6)
70 VIEW (240,0)-(639,399)
80 LINE (-.2,0)-(1.4,0)
90 LINE (0,-1)-(0,.6)
100 FOR J=-1 TO .6 STEP .2
110 LINE (-.2,J)-(1.4,J),,,&H1111 : NEXT J
120 FOR J=-.2 TO 1.41 STEP .2
130 LINE (J,-1)-(J,.6),,,&H1111 : NEXT J
140 LINE (1+H,-1)-(1+H,.6),,,&HFOFO : LINE (1-H,-1)-(1-H,.6),,,&HFOFO
150 FOR T=0 TO TE STEP DT
160 IF C>0 THEN SG=SGN(E-H)
170 IF C<0 THEN SG=SGN(E+H)
180 K1=DT*C : L1=DT*FNF(T,E,C)
190 K2=DT*(C+1/2*L1) : L2=DT*FNF(T+1/2*DT,E+1/2*K1,C+1/2*L1)
200 K3=DT*(C+1/2*L2) : L3=DT*FNF(T+1/2*DT,E+1/2*K2,C+1/2*L2)
210 K4=DT*(C+L3) : L4=DT*FNF(T+DT,E+K3,C+L3)
220 E1=E+1/6*(K1+2*K2+2*K3+K4) : C1=C+1/6*(L1+2*L2+2*L3+L4)
230 X1=1-E1 : Y1=-C1
240 LINE (X,-Y)-(X1,-Y1)
250 E=E1 : C=C1 : X=X1 : Y=Y1 : NEXT T
260 END
    
```

図3 動作すきまのあるオンオフ制御系の位相面軌跡 $\dot{x}(t)$ — $x(t)$ 特性を求めめるためのプログラム

```

10 REM R5-PROG2
20 TE=20 : DT=.01 : K=1 : T1=1 : A=1 : H=.02 : E=1 : C=0
30 X=1-E : Y=-C
40 DEF FNF(T,E,C)=-1/T1*C-K/T1*A*SG
50 SCREEN 2,0 : CONSOLE ,0,0
60 WINDOW (0,-1.4)-(TE,.2)
70 VIEW (40,0)-(639,399)
80 LINE (0,0)-(TE,0)
90 LINE (0,-1.4)-(0,.2)
100 FOR J=-1.4 TO .21 STEP .2
110 LINE (0,J)-(TE,J),,,&H1111 : NEXT J
120 FOR J=0 TO TE STEP TE/10
130 LINE (J,-1.4)-(J,.2),,,&H1111 : NEXT J
140 LINE (0,-1-H)-(TE,-1-H),,,&HFOFO : LINE (0,-1+H)-(TE,-1+H),,,&HFOFO
150 FOR T=0 TO TE STEP DT
160 IF C>0 THEN SG=SGN(E-H)
170 IF C<0 THEN SG=SGN(E+H)
180 K1=DT*C : L1=DT*FNF(T,E,C)
190 K2=DT*(C+1/2*L1) : L2=DT*FNF(T+1/2*DT,E+1/2*K1,C+1/2*L1)
200 K3=DT*(C+1/2*L2) : L3=DT*FNF(T+1/2*DT,E+1/2*K2,C+1/2*L2)
210 K4=DT*(C+L3) : L4=DT*FNF(T+DT,E+K3,C+L3)
220 E1=E+1/6*(K1+2*K2+2*K3+K4) : C1=C+1/6*(L1+2*L2+2*L3+L4)
230 X1=1-E1 : Y1=-C1
240 LINE (T,-X)-(T+DT,-X1)
250 E=E1 : C=C1 : X=X1 : Y=Y1 : NEXT T
260 END
    
```

図4 動作すきまのあるオンオフ制御系のステップ応答 $x(t)$ — t 特性を求めめるためのプログラム



$G_t(s) : K=1, T_1=1, G_c(s) : A=1, h=0.02$
プログラム : 図4

図6 動作すきまのあるオンオフ制御系のステップ応答 $x(t)$ — t 特性

2.3 不感帯と動作すきまのあるオンオフ制御系

2.3.1 不感帯と動作すきまのあるオンオフ要素特性

図1の非線形制御系における $G_c(s)$ が図7に示すような不感帯と動作すきまのあるオンオフ要素となる場合について示す。このときには、2.2.1項の(2)式を、次式のように変更すればよい。

$$\begin{aligned}
 & \dot{e}(t) > 0 & \dot{e}(t) < 0 \\
 & (e(t) \text{ 増加時}) & (e(t) \text{ 減少時}) \\
 \text{sign}[e(t)] = & \begin{cases} 1 & e(t) > h_2 & e(t) > h_1 \\ 0 & -h_1 \leq e(t) \leq h_2 & -h_2 \leq e(t) \leq h_1 \\ -1 & e(t) < -h_1 & e(t) < -h_2 \end{cases}
 \end{aligned}
 \tag{13}$$

2.3.2 位相面軌跡とステップ応答

不感帯と動作すきまのあるオンオフ制御系については、

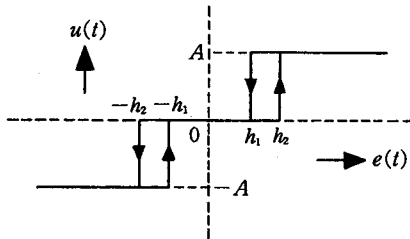


図7 不感帯と動作すきまのあるオンオフ要素特性 $[G_c(s)]$

(9)(13)式と(11)(12)式より、ルンゲ・クッタ法を用いて、位相面軌跡 $\dot{x}(t)-x(t)$ 特性、ステップ応答 $x(t)-t$ 特性を求めることができる。この場合のプログラムは、図3および図4のプログラムの一部修正により容易に得られるので、ここには示していない。1例として、 $h_1=0.03$ 、 $h_2=0.05$ とし、その他は図5および図6と同じ条件のときの位相面軌跡とステップ応答を図8および図9に示す。図8において、不感帯と動作すきまのあるオンオフ要素の切合作動が明確に出ている。

3 むだ時間のあるオンオフ制御系

3.1 位相面軌跡上の経過時間³⁾

位相面軌跡 $\dot{x}(t)-x(t)$ 特性は、 $x(t)$ と $\dot{x}(t)$ から時間 t を消去した形でえがかれている。この $\dot{x}(t)-x(t)$ 特性上の時間 t_1 から時間 t_2 までの経過時間 t は、次式より求められる。

$$\dot{x}(t) = \frac{dx(t)}{dt} \rightarrow t = t_2 - t_1 = \int_{x_1}^{x_2} \frac{1}{\dot{x}(t)} dx(t) \quad (14)$$

この(14)式を計算するのに、 $\dot{x}(t)-x(t)$ 特性の各部分を、図10に示すように、 $x(t)$ 軸上に中心をもつ、半径 r の円弧により近似して求める。図10において、次式

$$\{x(t)-a\}^2 + \{\dot{x}(t)\}^2 = r^2 \quad (15)$$

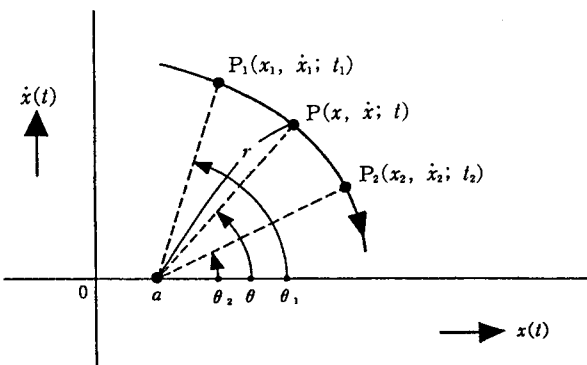


図10 位相面軌跡上の経過時間

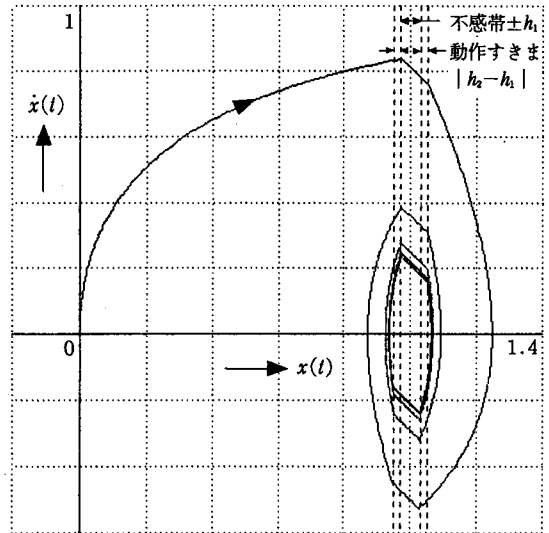


図8 不感帯と動作すきまのあるオンオフ制御系の位相面軌跡 $\dot{x}(t)-x(t)$ 特性

$G_I(s): K=1, T_1=1, G_c(s): A=1, h_1=0.03, h_2=0.05$

図8 不感帯と動作すきまのあるオンオフ制御系の位相面軌跡 $\dot{x}(t)-x(t)$ 特性

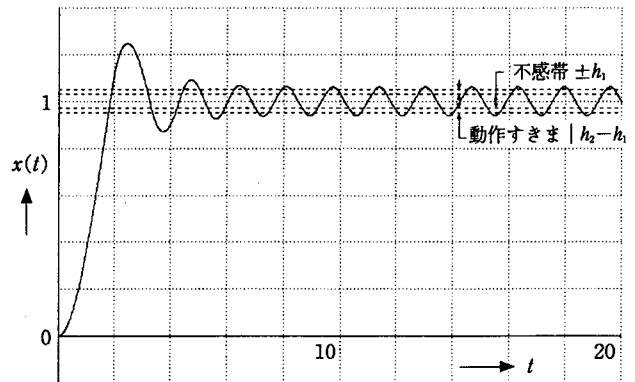


図9 不感帯と動作すきまのあるオンオフ制御系のステップ応答 $x(t)-t$ 特性

$G_I(s): K=1, T_1=1, G_c(s): A=1, h_1=0.03, h_2=0.05$

図9 不感帯と動作すきまのあるオンオフ制御系のステップ応答 $x(t)-t$ 特性

$$\cos \theta = \frac{x(t)-a}{r} \quad (16)$$

が得られることから、(14)式は次式のようになる。

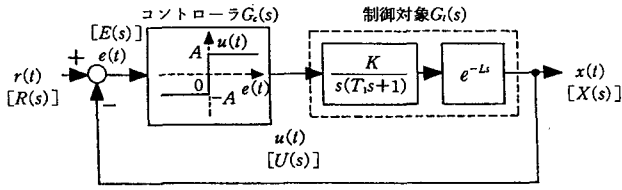
$$t = t_2 - t_1 = - \int_{\theta_1}^{\theta_2} d\theta = \theta_1 - \theta_2 \quad (17)$$

したがって、 $P_1 \rightarrow P_2$ の経過時間 t は、 $P_1 \sim P_2$ 間の角度変化として求めることができる。

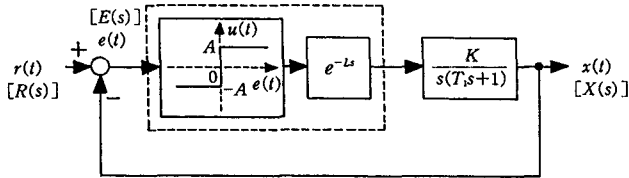
3.2 むだ時間のあるオンオフ制御系

3.2.1 制御系の構成

図11(a)に示すように、制御対象が2次系とむだ時間からなるオンオフ制御系について示す。この図11(a)については、図11(b)のように等価変換し、オンオフ要素とむだ時間をまとめて考える。



(a) 制御対象にむだ時間のあるオンオフ制御系



(b) (a)を等価変換した制御系

図11 むだ時間のあるオンオフ制御系

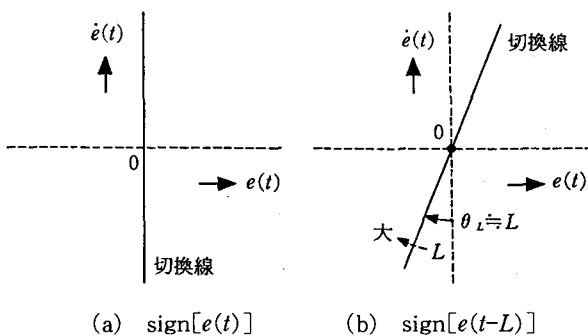
3.2.2 制御系の特性式⁴⁾

図11(b)による、むだ時間のあるオンオフ制御系については、図1および図2の制御系における(4)(5)(2)式を、次式のように変更すればよい。

$$X(s) = \frac{K}{s(Ts+1)} A \text{sign}[E(s)e^{-Ls}] \quad (18)$$

$$\begin{aligned} \text{sign}[L^{-1}\{E(s)e^{-Ls}\}] &= L^{-1}\{E(s)e^{-Ls}\} \\ &= \text{sign}[e(t-L)] = \begin{cases} 1 & > 0 \\ 0 & = 0 \\ -1 & < 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (19)$$

ところで、この $\text{sign}[e(t-L)]$ は、 $\text{sign}[e(t)]$ に、むだ時間、即ち時間遅れ L をもたせたものである。この L は、位相面軌跡 $\dot{e}(t)-e(t)$ 特性上では、(17)式を考慮すると、図12に示すように、原点0を中心とし、 $\text{sign}[e(t)]$ の切換線 $e(t)=0$ を、 L に対応する角度 θ_L だけCW方向に回転



(a) $\text{sign}[e(t)]$ (b) $\text{sign}[e(t-L)]$

図12 $\dot{e}(t)-e(t)$ 特性上のむだ時間のあるオンオフ要素の切換線

させることにより近似できる。また、 $\text{sign}[e(t-L)]$ によるオンオフ要素の切換線は、 $t \geq L$ において、次式のようにになる。

$$\dot{e}(t) = \left\{ \tan\left(\frac{1}{2}\pi - \theta_L\right) \right\} e(t) \quad (20)$$

$$\theta_L \doteq L \quad (21)$$

なお、 $0 \leq t < L$ においては、

$$\text{sign}[e(t-L)] = 0 \quad (22)$$

となる。

この(20)~(22)式を用いると、2.2.3項の(9)式および(19)式に対応する式は、次式のようにになる。

$$\begin{cases} \dot{e}(t) = c(t) \\ \dot{c}(t) = -\frac{1}{T_1} c(t) \end{cases} \quad (23)$$

$$-\frac{K}{T_1} A \text{sign}\left[\left\{ \tan\left(\frac{1}{2}\pi - L\right) \right\} e(t) - c(t)\right]$$

$$\begin{cases} \text{sign}\left[\left\{ \tan\left(\frac{1}{2}\pi - L\right) \right\} e(t) - c(t)\right] = 0 & 0 \leq t < L \\ \text{sign}\left[\left\{ \tan\left(\frac{1}{2}\pi - L\right) \right\} e(t) - c(t)\right] \end{cases} \quad (24)$$

$$= \begin{cases} 1 \\ 0 \\ -1 \end{cases} \quad t \geq L \quad \left\{ \begin{array}{l} > 0 \\ = 0 \\ < 0 \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} > 0 \\ = 0 \\ < 0 \end{array} \right.$$

3.2.3 むだ時間のあるオンオフ要素の切換線

$e(t)$ に対する出力 $x(t)$ およびその微分値 $\dot{x}(t)$ は、(11)(12)式と同じ式により表される。また、(20)式に対応する $\dot{x}(t) - x(t)$ 特性上の切換線は、(20)(21)(11)(12)式より、次式のようにになる。

$$\dot{x}(t) = \left\{ \tan\left(\frac{1}{2}\pi - L\right) \right\} \{x(t) - 1\} \quad (25)$$

この(25)式による $\dot{x}(t) - x(t)$ 特性上の切換線は、図13のように示される。むだ時間 L が大きくなるにしたがって、 $L=0$ のときの切換線 $x(t)=1$ から、点(1,0)を中心としてCW方向に $\theta_L=L$ だけ回転していく。

3.2.4 位相面軌跡とステップ応答

むだ時間のあるオンオフ制御系については、(23)~(25)式と(11)(12)式より、ルンゲ・クッタ法を用いて、位相面軌跡 $\dot{x}(t) - x(t)$ 特性、ステップ応答 $x(t) - t$ 特性を求めることができる。この場合のプログラムも、図3および図4のプログラムの一部修正により比較的容易に得られるので、

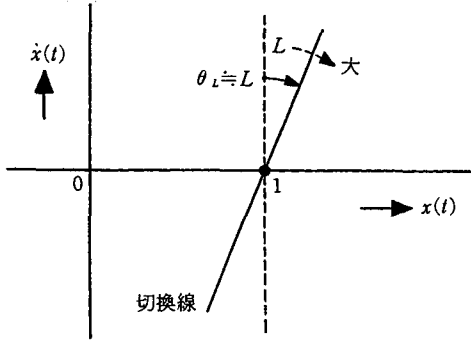
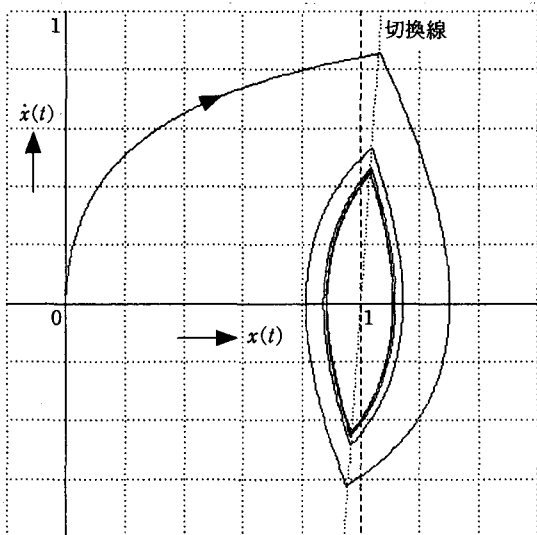


図13 $\dot{x}(t)-x(t)$ 特性上のむだ時間のあるオンオフ要素の切換線

ここには示していない。

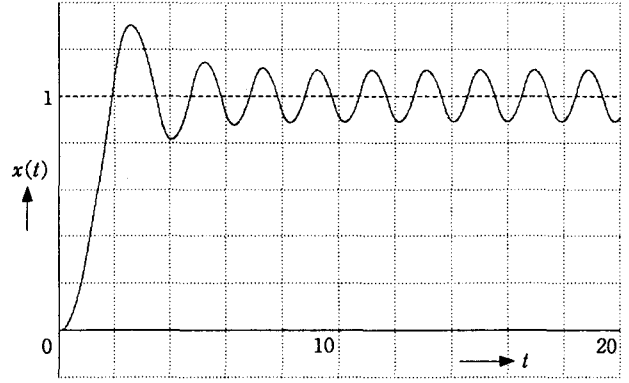
ここでは、 $G_1(s)$ の $K=1$, $T_1=1$, $G_c(s)$ の $A=1$ の場合 [参考文献1) の図3と同じ条件] について、1例として、 $L=0.07$ のときの位相面軌跡とステップ応答を図14および図15に示す。 L を大きくするにしたがって、位相面軌跡としては、オンオフ要素の切換線がCW方向に回転していき、リミットサイクルが大きくなっていく。また、ステップ応答としては、最初のオーバーシュートおよびリミットサイクルの振幅が、ともに大きくなっていく。

なお、むだ時間のあるオンオフ制御系に対し、参考文献1) の3.3項に示したように、微分要素を含ませることにより、制御性能を向上させることができる。これは、オンオフ要素の切換線が、むだ時間 L が大きくなるにしたがって、CW方向に回転していくのに対し、微分要素 T_d の T_d を大きくするにしたがって、CCW方向に回転していくことによる。



$G_1(s): K=1, T_1=1, G_c(s): A=1, L=0.07$

図14 むだ時間のあるオンオフ制御系の位相面軌跡 $\dot{x}(t)-x(t)$ 特性



$G_1(s): K=1, T_1=1, G_c(s): A=1, L=0.07$

図15 むだ時間のあるオンオフ制御系のステップ応答 $x(t)-t$ 特性

4 まとめ

ここでは、参考文献1) にひきつづき、特定の特性をもつオンオフ要素や、むだ時間のある制御対象を含むオンオフ制御系について、位相面軌跡とステップ応答を求める方法を示し、このような非線形制御系の設計・解析に活用し得ることを示した。

筆者は、かねてから、連続制御系、デジタル制御系、さらに非線形制御系などについて、パソコンを活用した制御系の可視化やシミュレーションに順次とりこんでいる。現在までに得られた成果^{1) 2) 5)}は、まだまだささやかなものではあるが、今後とも、それらをベースとして、各種の観点から、さらに上記各制御系の設計・解析方法の確立をめざしていく。一方、多変数制御系、ロボット制御系、ファジィ制御系などの最新の制御系に対しても、応用展開をはかっていきたい。

参考文献

- 1) 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)
- 2) 栗本：“グラフィック制御工学入門” コロナ社 (1994.9)
- 3) 藤井 (編)：“制御工学III (岩波講座 基礎工学20)” 岩波書店 (1968)
- 4) 寺尾・笠井：“電気自動制御” 電気書院 (1959)
- 5) 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)

2 慣性系状態フィードバックコントローラの 制約条件下におけるゲイン設計方法

中 島 レ イ

A Gain Design Method of a Feedback Controller for Industrial Robots

Ray NAKASHIMA

In the industrial motor drive systems used in industrial robots, a torsional vibration is often generated by the elastic elements in torque transmission. Such a system is simply modeled as a 2-mass-system. The state feedback control is useful to suppress the torsional vibration.

In this paper, we propose the gain design method of the state feedback controller for the 2-mass-system.

The control performance of the proposed system is checked by the computer simulation.

1 まえがき

産業用ロボットで一般的に使われるサーボモータは、減速機を使用することによりロボットアームの制御に適した低速回転で高トルクの特性を得ることができる。しかしその反面、減速機の剛性が低いため、過度応答時にねじり共振振動が発生し、アーム先端を高速制御できないという問題がある。

この問題を解決するためにロボットアームの制振制御は、通常、軸間の干渉を無視して、各軸を2慣性系モデルで近似して実施されている。しかし、状態量をオブザーバで推定し、それをフィードバックする制御方式では、そのフィードバックゲインの決定が試行錯誤的に行われていることが多い。^{[1]~[5]}

本論文では、2慣性系の状態フィードバック制御で、速度及び位置のフィードバックゲインを与えた場合のねじり角フィードバックゲイン決定法を提案する。

2 2慣性系モデル

図1に2慣性系モデルのブロック線図を示す。このモデルにおいて、各粘性摩擦係数は無視している。

また、図1を状態方程式で表すと式(1)となる。

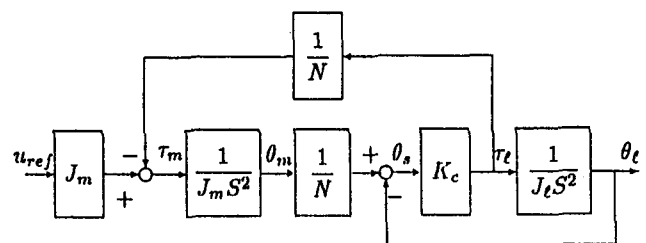
$$\dot{x} = Ax + Bu_m \quad (1)$$

状態量 x は、観測量がモータ角度のため次のように選ぶこととする。

$$x = \left[\int \theta_m dt \quad \theta_m \quad \dot{\theta}_m \quad \theta_s \quad \dot{\theta}_s \right]^T$$

ここで、

$$\begin{aligned} \theta_m &: \text{モータ角度} & \dot{\theta}_m &: \text{モータ角速度} \\ \theta_s &: \text{ねじり角} & \dot{\theta}_s &: \text{ねじり角速度} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \tau_m &: \text{モータに与えられるトルク} & \tau_e &: \text{アームに与えられるトルク} \\ J_m &: \text{モータの慣性モーメント} & J_e &: \text{アームの慣性モーメント} \\ \theta_m &: \text{モータの回転角} & \theta_e &: \text{アームの回転角} \\ K_c &: \text{減速機のパネ定数} & N &: \text{減速比} \end{aligned}$$

図1：ブロック線図

また、A, Bは次のように表わされる。

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -K_f N \omega_n^2 & -2\zeta \omega_n K_f N \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & -(1+K_f) \omega_n^2 & -2\zeta \omega_n (1+K_f) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B = [0 \ 0 \ 1 \ 0 \ \frac{1}{N}]^T$$

ここで、 ω_n は負荷側固有角周波数、 K_f は慣性比と呼ばれるもので、負荷側慣性モーメントを J_l 、モータ慣性モーメントを J_m 、減速比を N 、減速機バネ定数を K_c とすると次式で与えられる。

$$\omega_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K_c}{J_l}}$$

$$K_f = \frac{J_l}{J_m N^2}$$

また、 ζ は減衰定数である。

3 2慣性系の状態フィードバック制御

通常観測量はモータ角度のみであり、他の状態量はオブザーバ等を用いて推定する必要がある。しかしここでは簡単のため、推定量と実際の状態量が一致していると考える。

ねじり角共振振動を抑制するために、ねじり角をフィードバックする制御系を考える。モータ角度指令 θ_{ref} が与えられたとき、モータ加速度指令値 u_{ref} を次式で与える。

$$\begin{aligned} u_{ref} &= K_V \{ K_P (\theta_{ref} - \theta_m) - \dot{\theta}_m \} \\ &+ K_I \int K_V \{ K_P (\theta_{ref} - \theta_m) - \dot{\theta}_m \} dt \\ &- K_S \theta_s - K_{SD} \dot{\theta}_s \end{aligned} \quad (2)$$

実際の制御はデジタル演算で行われるので、 u_{ref} がサンプリングタイム T_s 秒間一定(0次ホールド)として式(1)を離散値化する。

$$x(k+1) = A_D x(k) + B_D u_{ref}(k) \quad (3)$$

また次式は、式(2)を離散値化したものである。ただし、モータ速度はモータ角度の差分より求める。

$$\begin{aligned} u_{ref}(k+1) &= K_V \left\{ K_P (\theta_{ref}(k) - \theta_m(k)) - \frac{\theta_m(k) - \theta_m(k-1)}{T_s} \right\} \\ &+ \sum K_I K_V \left\{ K_P (\theta_{ref}(k) - \theta_m(k)) \right. \\ &\left. - \frac{\theta_m(k) - \theta_m(k-1)}{T_s} \right\} T_s - K_S \theta_s(k) - K_{SD} \dot{\theta}_s(k) \\ &= -[K_1 \ K_2] x(k) + K' x_{ref}(k) \end{aligned} \quad (4)$$

ただし、

$$\begin{aligned} K_1 &= [K_V K_I (K_P + \frac{1}{T_s}) \quad K_V (K_P + \frac{1}{T_s}) \quad 0 \quad K_S \quad K_{SD}] \\ K_2 &= [-\frac{K_I K_I}{T_s} \quad -\frac{K_V}{T_s} \quad 0 \quad 0 \quad 0] \\ K' &= [K_V K_P K_I \quad K_V K_P \quad 0 \quad 0 \quad 0] \end{aligned}$$

4 システムの安定解析

式(3)のシステムに式(4)の制御系を施した場合の安定解析について述べる。

式(3)に式(4)を代入すると次式となる。

$$\begin{aligned} x(k+1) &= A_D x(k) - B_D K_1 x(k-1) \\ &- B_D K_2 x(k-2) + K' x_{ref}(k) \end{aligned} \quad (5)$$

従って、このシステムの安定解析に用いるべきモデルは次式となる。

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} x(k+1) \\ x(k) \\ x(k-1) \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} A_D & -B_D K_1 & -B_D K_2 \\ A_E & A_0 & A_0 \\ A_0 & A_E & A_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(k) \\ x(k-1) \\ x(k-2) \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (6)$$

ここで、 A_E は 5×5 の単位行列、 A_0 は 5×5 の零行列である。

安定条件は、式(6)の固有値がすべて単位円内にあるときである。すなわち、最悪極の原点からの距離 l が1以下の時である。しかし、離散系の極からは、減衰定数などがわかりにくいため、これを連続系に換算する。離散系から連続系への変換は以下で行う。

$$S = \alpha + j\beta = \frac{1}{T_s} \log l + j \frac{\theta}{T_s} \quad (7)$$

ただし、

l, θ : 離散系の極

l は原点からの距離、 θ は角度

$S = \alpha + j\beta$: 連続系の極

T_s : サンプリングタイム

連続系の安定条件は、 $\alpha < 0$ であり、正確な表現ではないが、 α が小さいほど収束が速くなる。

5 フィードバックゲインの決定

フィードバックゲインは、前述の安定条件を満たすような極を与えると求めることができる。

しかし本論文では、フィードバックゲインのうち K_P , K_V , K_I が与えられているとき、減衰定数(ζ)が最大となるような K_S , K_{SD} を求めることを考える。

具体的には、式(6)のモデルに制御対象の各パラメータ及びフィードバックゲインを与えて固有値(極)を求める。その中で最悪極(実部が最大及び減衰定数が最小なもの)がS平面上のどこに位置するかを観測する。たとえば図2に示すような位置に極があるとすると $\alpha > 0$ であれば系は不安定である。また $\alpha < 0$ でも極が虚軸に近いと(つまり、 $\cos \phi \rightarrow 0$)であれば振動なかなか収束しない。そこで、最悪極を減衰定数 ζ の最小値(= $\min(-\cos \phi)$)と実軸の最大値 $\max(\alpha)$ で観測する。

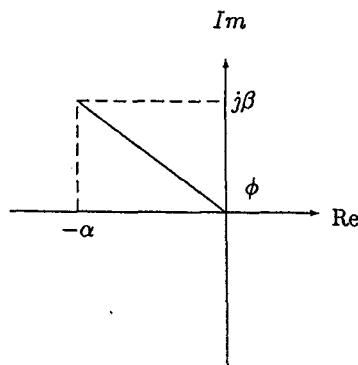


図2：極配置

図3は K_{SD} をパラメータとして、 K_S を変化させたときの最悪極の変化を表したものである。この図より、 ζ が最大となるところを K_S の値とする。

しかし、 K_{SD} の値によって最大点が異なるので、次に K_P , K_V , K_I , K_S を固定し、 K_{SD} を変化させたときの最悪極の変化を見る。図4がそのときの図である。この図の ζ が最大となるところを読みとることで K_{SD} が決定される。

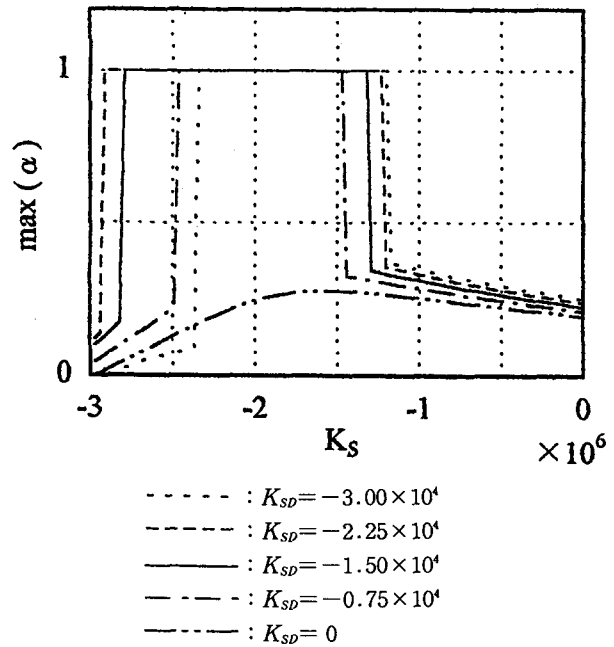
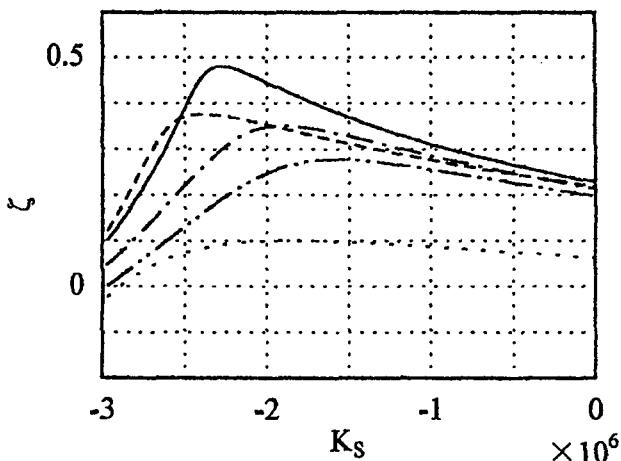


図3：極の変化1
(K_P , K_V , K_I , K_{SD} を固定したとき)

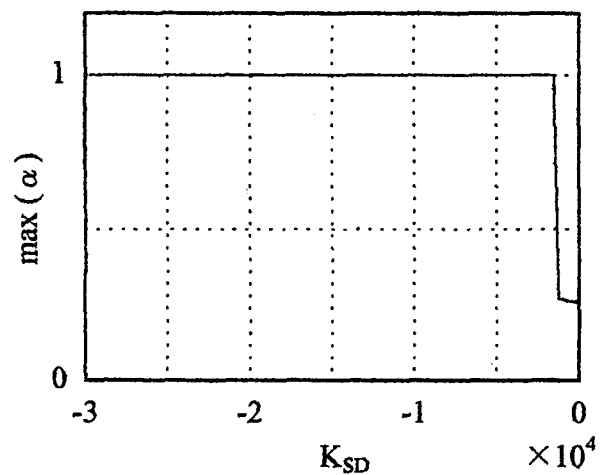
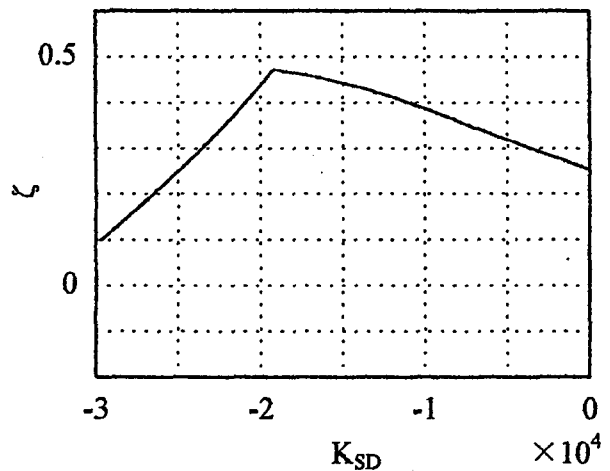


図4：極の変化2
(K_P , K_V , K_I , K_S を固定したとき)

6 シミュレーション結果

シミュレーション条件を以下のように設定する。

$$\omega_n = 14\pi, K_f = 10, N = 160$$

フィードバックゲインは、

$$K_P = 15, K_V = 200, K_I = 10$$

を与えたとき、

$$K_S = -2 \times 10^6, K_{SD} = -1.9 \times 10^4$$

が最適となった。このとき、アーム速度のステップ応答に関してシミュレーションを行う。図5は、上記フィードバックゲインを用いたときの速度ステップ応答を、図6は、 ζ を最大にしないような K_S, K_{SD} の値 ($K_S = -5 \times 10^5, K_{SD} = -2 \times 10^3$) としたときの速度ステップ応答である。

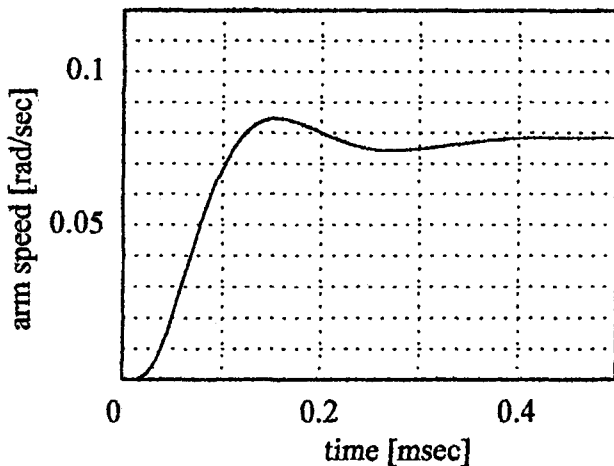


図5：シミュレーション結果1
(ζ を最大としたとき)

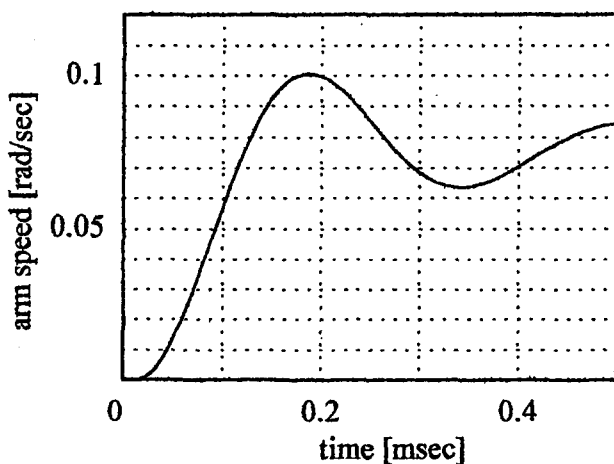


図6：シミュレーション結果2
(ζ を最大としないとき)

図5と図6を比較すると、 ζ が最大となるように設計したものは、振動が抑制されていることがわかる。

7 あとがき

ねじり角をフィードバックした2慣性系の制振制御における、フィードバックゲインの一決定法を提案し、その効果をシミュレーションにより確認した。

今回は、推定量と実際の状態量が一致していると考えて解析を行った。今後は、オブザーバモデルが実際のシステムと異なる場合、すなわち、推定量と実際の状態量が一致しない場合、制御にどのような影響を及ぼすか検討する必要がある。

参考文献

- [1] 小山 “低剛性な負荷機械を駆動する電動機の各種速度制御系の特性比較”，電学論D, 107,1010 (昭62-8) .
- [2] 大内、矢野, “デジタルオブザーバによるギヤバッククラッシュを有する電動機の軸ねじり振動抑制制御”，電学論D, 110,410 (平2-4) .
- [3] 杉本, “積分器負荷形オブザーバを用いた二慣性共振系の速度制御” 電学論D, 111,798 (平3-9) .
- [4] K.Fujikawa, Z.Q.Yang, H.Kobayashi, T.Koga, “Robust and fast speed control for torsional system based on state-space method”, Proc.of IECON '91, p.687(1991)
- [5] 堀, “負荷加速度制御と状態フィードバックによる2慣性系の制御” 平4電気学会全大, No.635

平均場理論に基づくボルツマン・マシン学習の性能評価

浅井 文男・新家 康裕*

Performance of the Mean Field Learning Algorithm for Boltzmann Machines

Fumio ASAI and Yasuhiro SHINYA

ボルツマン・マシンの学習則は情報処理分野の多くの問題に対して有効であることが確認されている。しかし、そのアルゴリズムは確率変数に対する広範な平均操作を含んでいるので、一般に動作が非常に遅い。物理学の平均場理論を導入すると、確率的なボルツマン・マシンの動作を確定的にすることができる。平均場理論をテスト用のボルツマン・マシン学習に適用したところ、学習速度が50倍程度向上することが判明した。平均場方程式を解くアルゴリズムを高速化すれば、さらに学習速度の向上が期待できる。

1 はじめに

アクレイ達はユニットが対象な重み $w_{ij}=w_{ji}$ で相互に結合し、確率的に動作するニューラルネットワークに適用できる一般的な学習則を提案した¹⁾。確率的環境を学習したネットワークの状態の出現確率はボルツマン分布で与えられるので、このようなネットワークをボルツマン・マシンと呼ぶ。ボルツマン・マシンはコード化問題、対称性学習問題、統計的パターン認識、スピーチの認識など多くの学習問題に適用され、その有効性が確かめられている。情報処理の分野で広く応用されている多層パーセプトロンに対する誤差逆伝搬学習則と比較すると、学習則が局所的である点でボルツマン・マシンは現実の神経組織のモデルとしての優位性があり、また、ハードウェアで実現するのに適している。

ボルツマン・マシンの学習則を計算機上でシミュレートするとき、そのアルゴリズムはモンテカルロ法に基づく統計的な処理を含むので、一般に非常に長い計算時間が必要になる。しかし、平均場理論を導入すると統計的な処理を平均場方程式を解くという確定的な操作に置き換えることができる。ビルプロ達はホップフィールドネットワークを用いて組み合わせ最適化問題を解く場合、平均場理論を取り入れたシミュレートド・アニーリング法

(平均場アニーリング法)を採用すると、計算時間が1桁ないし2桁短縮できることを示した²⁾。

我々は可視ユニット1個と隠れユニット1個で構成されるボルツマン・マシンに単純な確率的環境を学習させる問題に対して平均場理論を導入したアルゴリズムを適用し、従来のアルゴリズムに基づく計算と比較した。その結果、平均場理論を導入することによって学習速度が約50倍高速になることが判明した。

2 ボルツマン・マシン学習

2.1 ボルツマン・マシンの動作

N 個のユニット $i(i=1,2,\dots,N)$ が対称な重み $w_{ij}(w_{ij}=w_{ji}, w_{ii}=0)$ で結合しているボルツマン・マシンを考える。ユニット i の状態(出力) v_i は他のユニットからの総入力(閾値を h_i とする)

$$u_i = \sum_{j \neq i}^N w_{ij} v_j + h_i \quad (1)$$

に応じて次式で与えられる確率 P で1、確立 $1-P$ で0をとる。式(2)において、 $f(x)$ はシグモイド関数、 T は温度と呼ばれるパラメータである。

$$\left. \begin{aligned} P[v_i^{\text{new}}=1] &= f(u_i/T) \\ f(x) &= \frac{1}{2} \left\{ 1 + \tanh(x/2) \right\} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

*本校卒業生 現在、北見工業大学

ボルツマン・マシンを動作させる、すなわち更新規則(2)に従ってユニットの状態をランダムに更新してゆくと、やがてボルツマン・マシンは平衡状態に達する。このときボルツマン・マシンが $V = (v_1, v_2, \dots, v_N)$ の状態をとる確率はボルツマン分布

$$P(V) = c \exp \left[-\frac{E(V)}{T} \right] \quad (3)$$

で与えられる。ここで $E(V)$ は

$$E = -\frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1, j \neq i}^N w_{ij} v_i v_j - \sum_{i=1}^N h_i v_i \quad (4)$$

で定義されるボルツマン・マシンのエネルギーである。

2.2 ボルツマン・マシン学習

図1に示すように、ボルツマン・マシンを構成するユニットを可視ユニットと隠れユニットの2つのグループに分ける。学習させる確率的環境を外部から与えたときボルツマン・マシンは可視ユニットを通じてそれを見ることができる。重み w_{ij} と閾値 h_i を適当に調整すると、ボルツマン・マシンが平衡状態でとる確率分布 $P^{(-)}$ (V) を外部環境の確率分布 $P^{(+)}$ (V) に一致させることができる。この操作をボルツマン・マシン学習と呼ぶ。

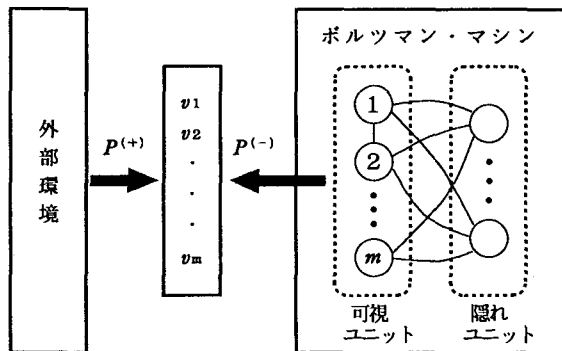


図1 ボルツマン・マシン学習

ボルツマン・マシンの確率分布 $P^{(-)}(V)$ と外部環境の確率分布 $P^{(+)}$ (V) との距離はカルバックダイバージェンス

$$G = \sum_V P^{(+)}(V) \ln \left[\frac{P^{(+)}(V)}{P^{(-)}(V)} \right] \quad (5)$$

で定義される。 G は非負の量で、 $P^{(-)}(V)$ と $P^{(+)}(V)$ が完全に一致する場合のみ0になる。よって、 w_{ij} と h_i を調整することにより G を最小化することが学習に相当する。簡単のため $h_i = w_{ii}$ とおくと、以下の規則に従って w_{ij} を修正してゆけば、 G を減少させることができる。

$$\Delta w_{ij} = -\frac{\epsilon}{T} (p^{(+)}_{ij} - p^{(-)}_{ij}) \quad (6)$$

ここで ϵ は修正の程度を表す微小な定数、 $p^{(+)}_{ij}$ は $P^{(+)}$

(V) に従って可視ユニットを固定してボルツマン・マシンを平衡状態にしたとき、ユニット i と j の状態がどちらも1になる平均確率、また、 $p^{(-)}_{ij}$ はすべてのユニットを自由にして平衡状態にしたとき、ユニット i と j の状態がどちらも1になる平均確率を表す。計算機上でボルツマン・マシン学習をシミュレートするためのアルゴリズムを表1に示す。また、表1のstep1~step4を実行するために必要なモンテカルロ計算のアルゴリズムを表2に示す(ボルツマン・マシンをBMと記す)。

表1 学習アルゴリズム

-
- step1: 確率分布 $P^{(+)}(V)$ に従って可視ユニットを固定し、BMを温度 T の平衡状態にする。
 - step2: BMを動作させながら、 $p^{(+)}_{ij}$ を計算する。
 - step3: すべてのユニットを自由にし、BMを温度 T の平衡状態にする。
 - step4: BMを動作させながら、 $p^{(-)}_{ij}$ を計算する。
 - step5: 式(6)に従って重み w_{ij} を修正する。
 - step6: step1にもどる。
-

表2 モンテカルロ計算のアルゴリズム

-
- step1: 1つのユニット k をランダムに選ぶ。
 - step2: 式(1)、(2)より総入力 u_k 、確率 P を計算する。
 - step3: 一様乱数 r ($0 \leq r \leq 1$) を発生させ、 $r \leq P$ なら $v_k = 1$ に、 $P < r$ なら $v_k = 0$ とする。
 - step4: step1にもどる。
-

2.3 シミュレーテッド・アニーリング法

外部環境の確率分布 $P^{(+)}(V)$ が広い範囲の確率を表す場合、表1のstep1~step4において、温度 T をかなり低く設定する必要がある。しかし温度が低いときはエネルギーの局所的な最小状態に落ち込む傾向があるので、ボルツマン・マシンが平衡状態に達するまでに非常に長い時間がかかる。一方、高い温度から出発して望ましい温度 T に達するまで徐々に温度を下げていくと、最初から温度を T に設定するよりもずっと速く平衡状態を実現することができる。この手法をシミュレーテッド・アニーリング法と呼ぶ。

3 平均場理論に基づくボルツマン・マシン学習

2つのユニット i 、 j の状態がどちらも1になる平均確率 p_{ij} は $v_i v_j$ の期待値に等しいので

$$p_{ij} = \langle v_i v_j \rangle \quad (7)$$

v_i と v_j の相関を無視すると、 p_{ij} は次式で近似できる。

$$p_{ij} = \langle v_i \rangle \langle v_j \rangle \tag{8}$$

ここで $\langle v_i \rangle$ は v_i の期待値である。式(1)、(2)より

$$\langle v_i \rangle = \left\langle \frac{1}{2} \left\{ 1 + \tanh \left(\frac{1}{2T} \left(\sum_{j \neq i}^N w_{ij} v_j + h_i \right) \right) \right\} \right\rangle \tag{9}$$

式(9)の右辺の v_j を $\langle v_j \rangle$ で置き換えると

$$\langle v_i \rangle = \frac{1}{2} \left\{ 1 + \tanh \left(\frac{\beta}{2} \left(\sum_{j \neq i}^N w_{ij} \langle v_j \rangle + h_i \right) \right) \right\} \tag{10}$$

ここで β は温度パラメータの逆数 ($1/T$) である。式(9)を式(10)で近似する方法を平均場近似と呼ぶ。平均場近似は物理学の多体問題を1体問題に変換するために広く用いられている近似法である。平均場方程式と呼ばれる式(10)は N 個の未知数 $\langle v_i \rangle$ に対する連立方程式なので、数値的に容易に解くことができる。平均場理論に基づく学習アルゴリズムを表3に示す。

表3 平均場理論に基づく学習アルゴリズム

- step1: 確率分布 $P^{(+)}(V)$ に従って可視ユニットを固定し、式(10)を解いて $\langle v_i \rangle$ を求める。
- step2: 式(8)より $p^{(+)}_{ij}$ を計算する。
- step3: すべてのユニットを自由にし、式(10)を解いて $\langle v_i \rangle$ を求める。
- step4: 式(8)より $p^{(-)}_{ij}$ を計算する。
- step5: 式(6)に従って重み w_{ij} を修正する。
- step6: step1にもどる。

4 簡単な学習問題への適用

図2に示すように、可視ユニット1個と隠れユニット1個でボルツマン・マシンを構成し、可視ユニットの状態が1になる確率が p である外部環境の確率分布 $P^{(+)}(v_i=1) = p$ を学習させる³⁾。表1の学習アルゴリズムに基づくプログラムは文献3のサンプルをそのまま使用する。このプログラムで採用されている、シミュレート・アニーリング法(SA法)取り入れたアルゴリズムを表4に示す。また、表3のアルゴリズムにシミュレート・アニーリング法を取り入れて、平均場理論に基づくプログラムを作成する。平均場方程式は逐次代入法を用いて非同期的に解く。

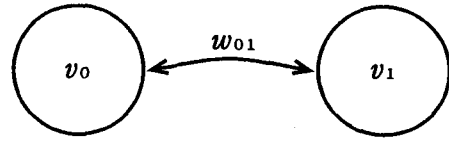


図2 テスト用のボルツマン・マシン

表4 SA法を取り入れた学習アルゴリズム

- step1: 確率 p で可視ユニットを $v_i=1$ に固定し、アニーリングを行ってBMを平衡状態にする。
- step2: BMを動作させながら $v_0=1$ となる回数 $n^{(+)}_{01}$ を数える。
- step3: すべてのユニットを自由にし、アニーリングを行ってBMを平衡状態にする。
- step4: BMを動作させながら、 $v_0=v_1=1$ となる回数 $n^{(-)}_{01}$ を数える。
- step5: step1~step4を反復して $n^{(+)}_{01}$ 、 $n^{(-)}_{01}$ の平均値を求め、 $p^{(+)}_{01}$ 、 $p^{(-)}_{01}$ とする。
- step6: 式(6)に従って重み w_{ij} を修正する。
- step7: step1にもどる。

プログラムを実行するために必要な各種のパラメータは表5のように設定する(平均場理論を導入したアルゴリズムに基づく学習をMFA学習と記す)。プログラムの実行はワークステーションNEWS5000上で行う。

表5 パラメータの設定

	従来の学習	MFA学習
step7の回数	30	3000
step5の回数	128	128
step4の回数	1000	1
step2の回数	1000	1
初期温度	100	100
最終温度	10	10
微小定数 ϵ	0.1	0.001
確率 p	0.1	0.1

5 計算結果と考察

従来の学習アルゴリズムによる計算結果を図3に示す。グラフ $P^{(-)}(v_i=1)$ は可視ユニットの状態が1になる確率、グラフ G はカルバックダイバージェンスを表す。演算回数というのは、プログラムの実行中に繰り返された表2のモンテカルロ計算(1モンテカルロステップ)の総反復回数のことである。演算回数が増加するとカル

バックダイバージェンス G は減少してゆき、演算回数が 2×10^6 あたりで G はほぼ0となり、 $P^{(-)}(v_i=1)$ も外部から与えた値 $p=0.1$ にはほぼ等しくなる。よって従来の学習アルゴリズムを用いた場合、学習を達成するのに必要な演算回数は約 2×10^6 である。

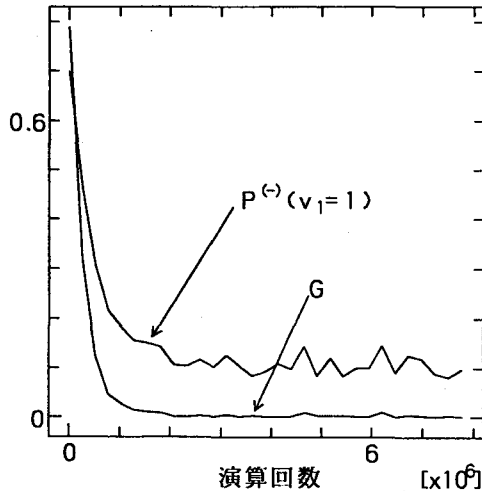


図3 従来の学習の場合

次に、平均場理論を導入した学習アルゴリズムによる計算結果を図4に示す。この場合の演算回数というのはプログラムの実行中に繰り返された表3のstep1とstep3における逐次代入操作の総反復回数のことである。

図3と同様に演算回数が増加するとカルバックダイバージェンス G は減少してゆき、演算回数が 4×10^4 あたりで G はほぼ0となり、 $P^{(-)}(v_i=1)$ も外部から与えた値 $p=0.1$ にはほぼ等しくなる。よって平均場理論に基づく学習アルゴリズムを用いた場合、学習を達成するのに必要な演算回数は約 4×10^4 である。

簡単なボルツマン・マシン学習の場合、平均場理論を導入することにより演算回数は約1/50に減少する、言い換えると学習速度は約50倍に向上することがわかった。一般に平均場理論では自由度(ユニット)の個数が多いほど近似式(8)や(10)の精度が高くなるので、多くのユニットで構成されるボルツマン・マシンを用いた高度な学習問題に対しても同程度あるいはそれ以上の加速効果が期

待できる。また、平均場方程式を解くために使用した逐次代入法は収束が遅い(1次の収束)ことが知られている。よって、デルタ2乗法のような数値計算上の加速法を組み合わせれば、さらに学習速度が向上する可能性があると思われる。

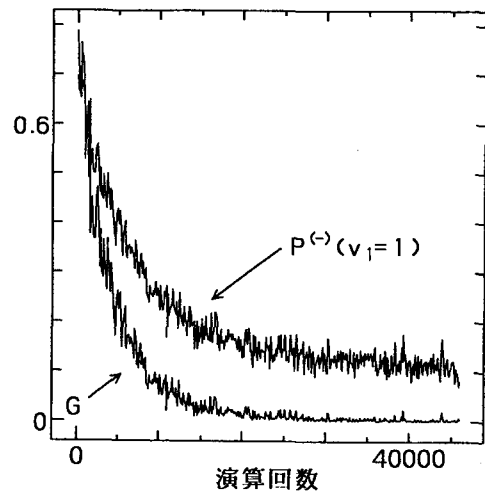


図4 MFA学習の場合

参考文献

- 1) Ackley, D., Hinton, G. and Sejnowski, T.: *A Learning algorithm fo Boltzmann machines*, Cognitive Science 9, pp. 147-169 (1985)
- 2) Bilbro, G., R. Mann, T. K. Miller, W. E. Snyder, D. E. Van den Bout, and M. White: *Optimization by Mean Field Annealing*, In *Advances in Neural Information Processing Systems I*, pp.99-98 (1989)
- 3) 飯沼一元: 入門と実習・ニューロコンピュータ, 技術評論社, pp.117-127 (1994)
- 4) 新家康裕: 平均場理論に基づくボルツマン・マシン学習の高速化に関する研究, 奈良工業高等専門学校卒業研究報告書 (1995)

重み値可変機能を有する ν MOSFETの回路とその応用

小林 淳*・五十嵐 良

Neuron Mosfet Circuit with Weighting Capability and its Application

Jun KOBAYASHI, Ryo IGARASHI

脳細胞ニューロンによく似た構造を持つニューロンMOSFET (ν MOSFET) [1][2][3][4][5]は、簡単な構造であり、多機能性を持ったデバイスである。その構造は、複数の入力を持ち、それぞれの入力に加えられた入力信号を重み付けすることができる。従来、重み付けにはキャパシタを用いるが、重み付けに抵抗を用いた場合でもニューロンの機能が実現できることがわかった。しかし、これらの重み値は固定のままである。通常、ニューロンの重み値は変化するものと考えられている。そこでnMOSFETおよびpMOSFETを使ったスイッチ回路を用いて、重み値可変 ν MOS回路を作成した。その結果、よりニューロンの機能を持つ ν MOS回路を実現することができた。さらに、重み値可変 ν MOS回路を用いた応用回路を作成した。そして、重み値可変 ν MOS回路が新たな機能を実現する上で非常に有用であることがわかった。

1 はじめに

半導体産業の進歩に伴い、より高性能なコンピュータとその性能を最大限生かしたソフトウェアが開発されている。しかし、操作が簡単で“誰にでも使える”コンピュータは、まだ実現されていない。その理由として、現在のコンピュータの主流であるフォン・ノイマン型のコンピュータは2値情報のみ扱うため柔軟性に欠けることが挙げられる。それをソフトウェア上で補おうとしても、より処理速度の速いCPUと膨大な情報を記憶するシステムが必要となる。しかし、ハードウェア上で多値情報を処理することができれば、操作性の改善に有効な手段を提供するものと考えられる。そのためには人間の脳に匹敵する知的情報処理回路[3]が必要となる。ただ、フォン・ノイマン形式による知的情報処理回路は、非常に多くの素子を必要とすることから、さらなる微細化と高集積化を推進しなければならない。しかし、1素子で複数の入力信号を処理し出力することができれば、チップあたりの処理能力が上がり、少数の素子で知的情報処理回路を作成することができる。その能力を持っている素子が、

東北大学工学部電子工学科が開発した ν MOSFETである。 ν MOSFETは、複数の入力を持ち、入力に加える入力信号の重み付けを可能にしたデバイスである。複数の入力を持つことから、多値情報にたいしても容易に処理することができる。

本研究では、重み付けに抵抗を用いた ν MOS回路と今まで固定であった重み値を可変にした ν MOS回路とその応用回路の概要について述べる。

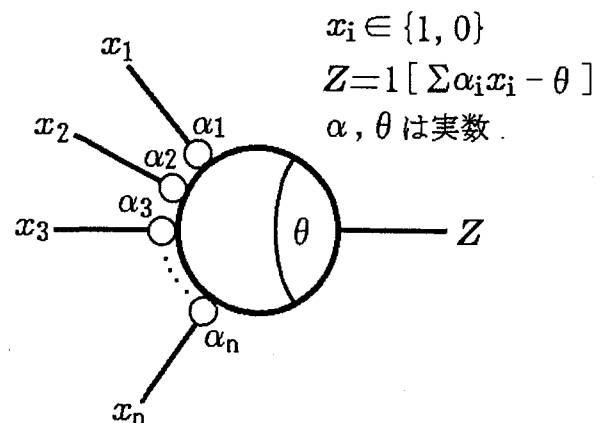


図1：マッカロとピッツの神経細胞のモデル[6]

2 ν MOSFET

図2は、 ν MOSFETの概念図である。 ν MOSFETは、通常のMOSFETのゲートをフローティング（フローティングゲート）とし、複数の入力端子とフローティングゲートを容量結合することによって構成されている。そのため、MOSFETがゲート電圧によって電流が制御されるように、 ν MOSFETではフローティングゲートにかかる電圧によって電流が制御される。つまり ν MOSFETは複数の入力端子に加えられた信号の状態によって“ON”、“OFF”が制御される。

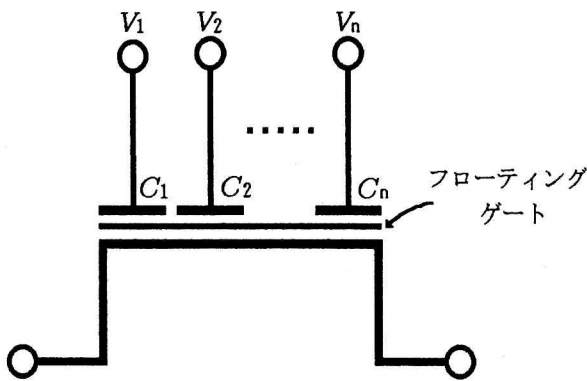


図2： ν MOSFETの概念図

(1)式はフローティングゲートの電位 ϕ_F をあらわす式である。

$$\phi_F = \frac{C_1 V_1 + C_2 V_2 + \dots + C_n V_n}{\sum_{i=1}^n C_i} \quad (1)$$

この式はそれぞれの入力信号をキャパシタCによって重み付けし、重み付けられた信号の和によってフローティングゲートの電位が決まることを意味している。

3 抵抗による ν MOS回路

通常、重み付けにはキャパシタを用いるが、本研究では、重み付けに抵抗Rを用いた場合について検討した。抵抗を用いた時にゲートにかかる電圧 Φ_F は、次式のようになる。

$$\Phi_F = \frac{Y_1 V_1 + Y_2 V_2 + \dots + Y_n V_n}{\sum_{i=1}^n Y_i} \quad (2)$$

但し、 $Y_i = \frac{1}{R_i} (i=1, 2, \dots, n)$

結果として、抵抗を用いた場合でもニューロンの機能を実現することができる。本研究では、次の図3のような ν MOSコンバータ[1][4][5]を作成し、実際に動作を確認した(図4および表1)。 ν MOSコンバータとは、

ゲートにかかる電圧に担当する電位を出力することのできる回路である。したがって、図3のような重み値の比率の場合、D/Aコンバータの働きをする回路となる。

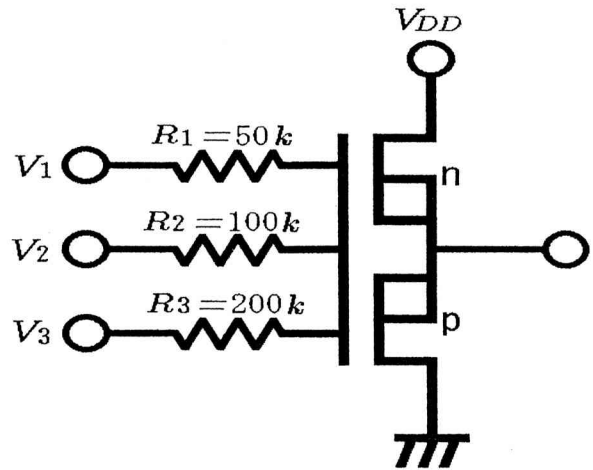
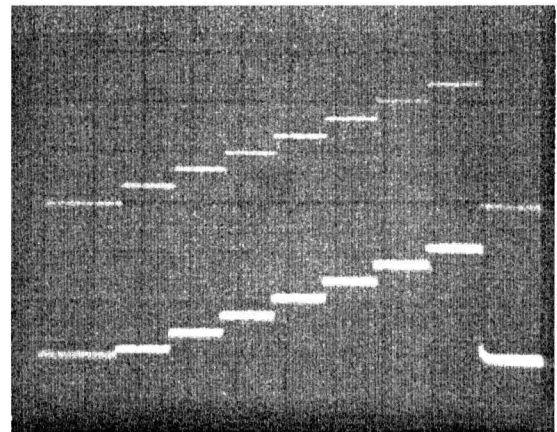
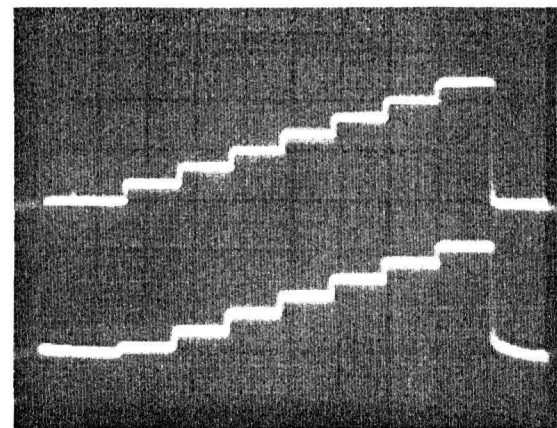


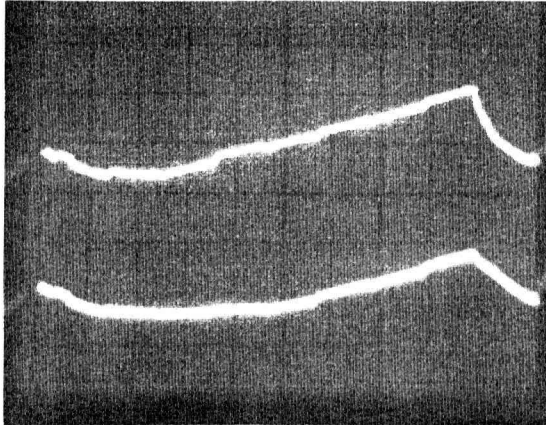
図3：抵抗を用いた ν MOSコンバータ



縦軸0.2V/div
横軸0.1ms/div
(a) 入力パルス1kHz



縦軸0.2V/div
横軸10 μ s/div
(b) 入力パルス10kHz



縦軸0.2V/div
横軸0.1 μ s/div
(c) 入力パルス1MHz
上の波形：ゲート電圧
下の波形：出力電圧

図4：図3の動作波形

表1：直流電圧を用いた時の出力電圧

入力電圧(v)			出力電圧 (v)	入力電圧(v)			出力電圧 (v)
V_1	V_2	V_3		V_1	V_2	V_3	
0	0	0	0.00	5	0	0	2.33
0	0	5	0.32	5	0	5	3.06
0	5	0	1.01	5	5	0	3.78
0	5	5	1.73	5	5	5	4.50

図4と表1の結果から、次のようなことがわかった。

- 入力信号に低周波パルスや直流電圧を扱うことができる。
- 抵抗に電流が流れるため、抵抗の電力消費を考慮する必要がある。
- 抵抗とMOSFETのもつキャパシタによって積分回路が存在するため、高抵抗の場合、動作速度が低下する。

本研究では、抵抗を用いた μ MOS回路が入力信号として直流電圧を扱えることから、抵抗を用いた μ MOS回路を用いて、重み値可変 μ MOS回路の構成を試みた。

4 重み値可変 μ MOS回路

前に述べたように、これまでの μ MOSFETの重み値は固定のままである。もし、重み値が可変になるとより人間の脳細胞ニューロンに類似したデバイスとなる。本研究では、nMOSFET、pMOSFETを用いたスイッチ回路を使用し、制限付きの重み値可変 μ MOS回路を構成した。

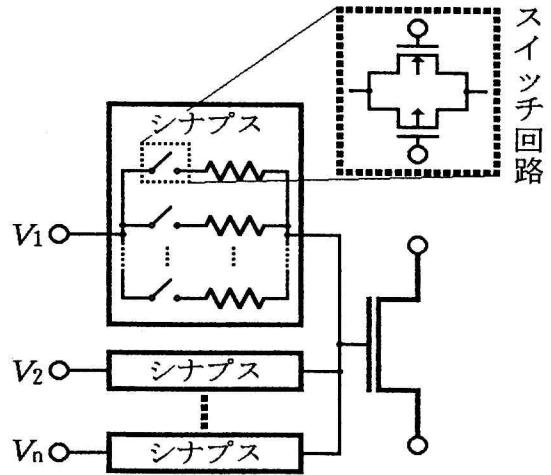


図5：重み値可変 μ MOS回路

図5の回路は、表2のようにnMOSFET、pMOSFETのゲートに0vもしくは5vの制御信号を加えてスイッチを制御させる。そして、シナプス中の各スイッチを“ON”または“OFF”にすることによって重み値を変化させることができる。

表2：スイッチの状態

n	p	スイッチ
5 v	0 v	ON
0 v	5 v	OFF

重み値可変 μ MOS回路を用いて、 μ MOSコンバータを構成し動作を確認した結果、図4と同様の結果が得られた。

5 重み値可変 μ MOS回路の応用

重み値可変 μ MOS回路の応用例として、外部信号のみで基本的な論理を実現できる回路（Soft-Hardware Logic回路[1][5]）を構成した。この回路は、表3に示す重み値の比率によって、AND、OR、NAND、NOR、XOR、XNORの論理を表現することができる。

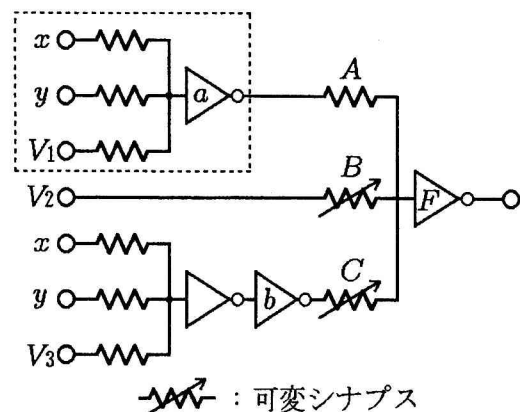


図6：Soft-Hardware Logic回路

表3：電圧および重み付けの状態

Logic	電 圧 (v)			重み値(比率)		
	V_1	V_2	V_3	A	B	C
OR	5	d	d	1	—	—
AND	0	d	d	1	—	—
NOR	5	d	5	1	—	2
NAND	5	d	0	1	—	2
XOR	5	5	0	1	1	1
XNOR	0	0	5	1	1	1

d : Don't care

— : All switch→OFF

図6の点線部のところは、 ν MOSインバータ[1][4][5]と呼ばれる回路である。 ν MOSインバータは、それぞれ重み値を越えると“LOW”を出力し、越えなければ“HIGH”を出力する。

Soft-Hardware Logic回路の動作例として、Exclusive OR(XOR)とNANDについて述べる。まず、XORの場合、aの ν MOSインバータのしきい値を越えるためには、 V_1 が“1”であるためx、yどちらか一方の入力が“1”であればよい。bの ν MOSインバータの場合、 V_3 が“0”であるためx、yの両方が“1”でなければ、しきい値を越えることはできない。Fの ν MOSインバータは、 V_2 が“1”であるためaの ν MOSインバータと同様の動作をする。結果として、表4のようにFはXORの動作を出力している。

表4：入力信号による各 ν インバータの出力(XOR)

x	y	V_1	a	x	y	V_3	b	a	b	V_2	F
0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0
0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1
1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1
1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0

1 : HIGH LEVEL

0 : LOW LEVEL

表5：入力信号による各 ν インバータの出力(NAND)

x	y	V_1	a	x	y	V_3	b	a	b	F
0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1
0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1
1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1
1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0

1 : HIGH LEVEL

0 : LOW LEVEL

NANDの場合、a、bの動作についてはまったく同じである。Fの動作については、Bのシナプスのスイッチがすべて“OFF”になっているため V_2 の電圧は無視することができる。したがって、Fのゲートにかかる電圧はAとBの重み値だけを考慮すればよい。ここで、Aにかか

る電圧を V_A 、Bにかかる電圧 V_B とし、比率の基本となる抵抗値をRとする。(2)式からFのゲートにかかる電圧 Φ_F を計算すると

$$\Phi_F = \frac{V_A/R + V_B/0.5R}{1/R + 1/0.5R} = \frac{V_A}{3} + \frac{2V_B}{3}$$

となる。ここで、インバータのしきい値を単純に $V/2$ と考える。 V_B の電圧が0の時、 V_A に電圧Vを加えても Φ_F はしきい値を越えないため“HIGH”を出力する。一方、 V_B の電圧がVの時、 V_A が0であってもVであっても Φ_F はしきい値を越えるため“LOW”を出力する。つまり、この重み値の比率では V_A の電圧よりも V_B が優先される。だから、Fの出力はbの出力を反転した値となる。

表3の重み値の比率は、一例であり決まっているわけではない。したがって、他の重み値でSoft-Hardware Logic回路を動作させることができる。なお、重み付けに用いた抵抗の値は電力消費や動作速度を考慮して決定する必要がある。

6 終わりに

nMOSFETとpMOSFETを使ったスイッチ回路を用いて ν MOSFETの重み値を可変にすることができ、よりニューロンに類似した回路を実現することができた。また、簡単な応用例として、外部信号のみですべての基本的な論理を変化することのできる回路を示した。

結果として、重み値可変 ν MOS回路を用いる回路は、各種機能を実現する上で非常に有用であることがわかった。また、重み付けに用いた抵抗が電力を消費すること、高抵抗の場合動作速度が低下することから、重み値可変 ν MOS回路の用途に応じた抵抗を用いる必要があると言える。つまり、これまでの論理設計で構成された回路を重み値可変 ν MOS回路を用いて構成する時、素子数を減らすことができるが電力消費を考慮する必要がある。

今後の課題は、 ν MOSFETを用いた回路は現在の各論理設計法では設計することができないため、重み値可変 ν MOS回路を考慮した新たな論理設計法を考えることである。そのためには、これまでの論理設計法で実現している回路を重み可変 ν MOS回路を用いた回路に変換するのではなく、重み値可変 ν MOS回路を用いてできる回路から構成していくほうが望ましい。したがって、重み値可変 ν MOS回路がニューロンに類似していることから、ニューロコンピュータの基礎となる要素や数式を考慮していけば新たな論理設計法が確立するものと考えられる。

参考文献

- [1] T.Ohmi, T.Shibata:“An Intelligent MOS Transistor Featuring gate-level Weighted Sum and Threshold Operations”(1991), p.919-p.922, IEDM
- [2] 大見 忠弘: “シリコンテクノロジーの展望” (1992), p.1207-p.1215, 電子情報通信学会
- [3] 柴田 直, 大見 忠弘: “4端子デバイスニューロンMOSFETで実現する知的情報処理回路” (1994), p.271-p.272, 電子情報通信学会秋季大会講演論文集エレクトロニクス2
- [4] 小林 淳: “ニューロンMOSFETの基本特性の解明” (1994), 奈良高専情報工学科卒業研究報告書
- [5] 奥田 哲夫: “ニューロンMOSのデジタル回路への応用” (1994), 奈良高専情報工学科卒業研究報告書
- [6] 中野 馨, 坂口 豊, 森田 昌彦, 新妻 素直, 脇本 良則, 田中宏一良, 藤田 啓介, 衛 作人: “ニューロコンピュータの基礎”, コロナ社

フラッシュメモリの記憶保持テストの高速化

土屋 宏・森野 勲・五十嵐 良

A High-Speed Testing of Flash Memory Retention characteristics

Hiroshi TSUCHIYA, ISAO MORINO and Ryo IGARASHI

フラッシュメモリの発展に伴い、大容量化、微細化が進み、その評価テストに多くの時間が必要となっている。中でも記憶保持特性のテストには時間がかかり、この時間の短縮が必要となっている。そこで、本研究では記憶保持特性の評価テストの高速化を目的にEPROMの故障モデルを想定し、そのモデルに対して紫外線を用いた記憶保持特性のテスト方法を提案し、これを用いた場合の各EPROMの特性を測定し、その結果より、新たな評価方法の実用性について検討する。

1 はじめに

フラッシュメモリは磁気メモリの置き換えをめざし、めざましい発展を遂げている。これに伴いフラッシュメモリの大容量化、微細化が進み評価テストに多くの時間が必要となっている。

テストでは消去書き込み特性、記憶保持特性、書き換え特性の3特性を評価する必要がある、特に記憶保持特性のテストに多くの時間がかかり、この時間の短縮が必要となっている。

そこで、本研究では記憶保持特性の評価テストの高速化を目的として故障モデルを想定し、このモデルに対して紫外線を用いた記憶保持特性のテスト方法を提案し、実験結果からこの方法の実用性についての検討を行った。実験には紫外線の照射が容易なEPROMを代用した。

2 故障モデル

2.1 EPROMの構造

EPROMに用いられるnチャンネルFAMOSの構造を図1に示す。

FAMOSのゲート電極は制御ゲートとフローティングゲートの二重構造となっており、下部のフローティングゲートは酸化膜 (SiO_2) 内に埋め込まれている。情報の記憶はこのフローティングゲートに電子を蓄えることに

よって行われる。

フローティングゲートに電子を注入するにはドレインに10V~20V程度の電圧を印加し、ゲートに正の電圧を印加する。これによってソース・ドレイン間にチャンネルを生じさせ、電流を流す。ドレイン付近の空乏層の電界が電子を加速させ、その電子の衝突電離により生じた電子が酸化膜を突き抜けてフローティングゲートに注入させる。注入された電子は周囲の酸化膜に阻まれて外に飛び出すことができないので電子はドレイン電圧を元に戻しても安定で、半永久的に蓄えられる。蓄えられた電子はメモリセルのしきい値電圧を高くするため、他の状態と区別することができ“1”、“0”の2値情報が記憶できる。

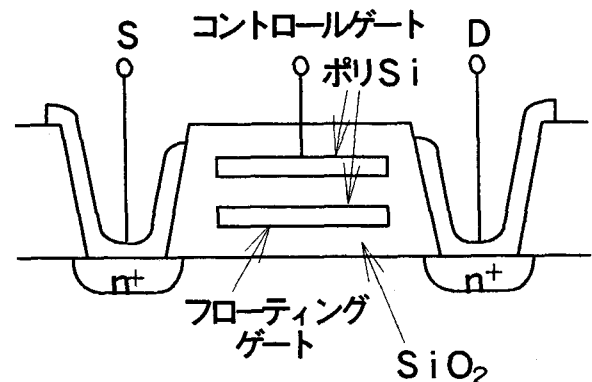


図1 nチャンネルFAMOSの構造

情報の消去には253.7nm程度の波長の紫外線を照射す

る。これによって、フローティングゲート内の電子は酸化膜を透過できるエネルギーを得て周囲の伝導体に放出される。

2.2 故障モデル

EPROMのメモリセルの故障には、図2のように酸化膜中にトラップが生じるモデルを想定する。

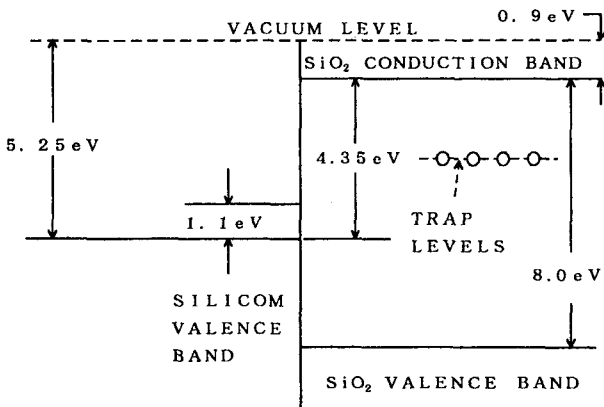


図2 Si-SiO₂エネルギーバンド

メモリセルへの情報書き込みにおいて、電子がSiに注入されるが、このとき、図2に示すように、電子の一部がSiO₂中やSi-SiO₂界面付近の電荷トラップに捕らわれることがある。このトラップは、セルのしきい値電圧に影響し、情報書き込み、消去の誤りの原因になったり、酸化膜の疲労の原因にもなると考えられる。

3 評価方法

故障モデルのセル（故障セル）の情報書き込み、消去について考える。

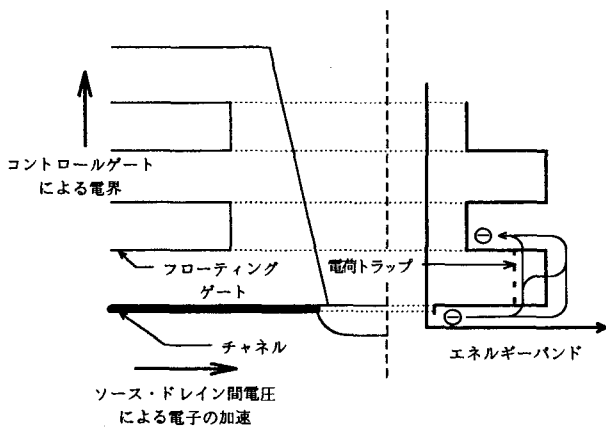


図3 故障セルの情報書き込み

故障セルの書き込みは図3のようになると考えられる。ソース・ドレイン電圧によって電子はエネルギーを得て、

コントロールゲートの電界により誘導されてフローティングゲートに遷移する。ここで電荷トラップが存在すると仮定すると、電荷トラップに捕らわれた後、再びエネルギーを得て電位障壁を越えフローティングゲートに遷移するパターンが考えられる。これらの場合、少量のエネルギーで電子がフローティングゲートに遷移することができるが、チャンネルの電子の多くが電位障壁を越えるだけのエネルギーを持つことから、電荷トラップの有無に関係なく情報の書き込みが行われる。つまり、故障セルの書き込みは正常セルとほとんど違いがないと考えられる。

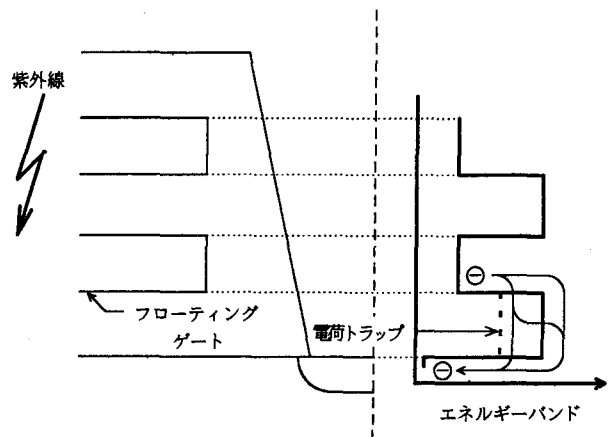


図4 故障セルの情報消去

故障セルの消去は図4のようになると考えられる。通常セルでのフローティングゲートの電子消去は、253.7nm以下の波長の紫外線を用いることにより行う。しかし、電荷トラップが存在する（故障セル）と仮定すると、波長が253.7nm以上の紫外線（長波長紫外線）の照射によって電子が一端電荷トラップまで遷移し、さらに、長波長紫外線の照射によって伝導体にたどり着くパターンが考えられる。つまり、253.7nm以上の波長の紫外線（エネルギーの低い紫外線）を用いることによっても情報の消去が可能である。このことから、情報消去時に長波長紫外線を用いた場合、故障セルのみが消去され、正常セルは消去が行われないということになり、今回想定した故障モデルのセルの検出を容易に行うことができる。

4 実験

4.1 しきい値電圧

EPROMは図5のようにゲート電圧による電界とフローティングゲートの電子による電界の差がある程度以上になると反転層（チャンネル）が生じ、ドレイン・ソース間に電流が流れてセルの情報に変化する。つまり、フローティングゲートの電子量の増加によって情報が変化する

のに必要なゲート電圧が上昇するのである。このため、読み出し状態においてゲート電圧が一定の場合にフローティングゲートの電子量によって“0”、“1”の2値の値を取り出すことができる。このときの“情報が変化するのに必要なゲート電圧”がしきい値電圧となる。

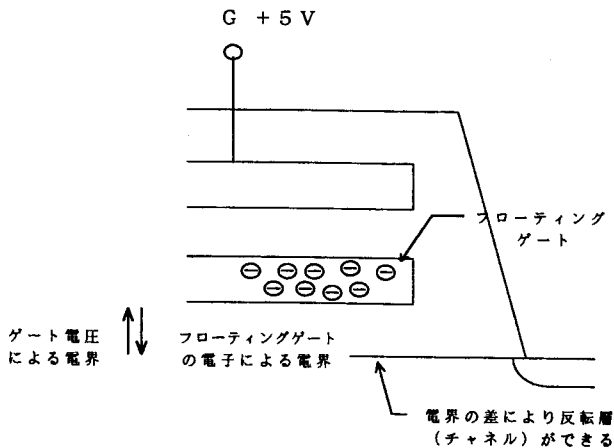


図5 EPROMの読みだし

EPROMのセル情報の読み出しは電源電圧の電圧がセルのゲートに加わり動作することから、本研究においてのしきい値電圧はビットの値（セルの情報）が“0”（書き込み状態）から“1（消去状態）”に変化するときのEPROMの電源電圧とする。

4.2 しきい値電圧の変化の測定

外因を加えた場合のEPROMのセル全体のしきい値電圧の変化を測定した。外因には、故障セルを検出できると考えられる長波長紫外線の照射、そして、その結果を比較する材料となる消去可能紫外線の照射、そして、現在、企業で行われている方法である熱の印加の3つを用いた。

実験はEPROMをPC（パーソナルコンピュータ）で制御し、全てのビットに対し書き込みを行い、各セルのしきい値電圧を上昇させた後、EPROMのしきい値電圧の測定、外因の印加を繰り返すことにより行った。しきい値電圧の測定は電源電圧を増加させ、それぞれの電圧において、情報の変化したセルの度数を記録することにより行った。このようにすることによりEPROMのセルのしきい値電圧の度数分布を得ることができ、外因に対してEPROMの内容がどのように変化したか基準を得ることができる。

また、外因の印加は消去可能紫外線の照射の場合は254nmの波長の紫外線を2cm離れた位置から照射し、長波長紫外線の照射の場合は365nmの波長の紫外線を同様に2cm離れた位置から照射した。そして、熱の印加の場合は300℃の大気中にEPROMを放置した。

実験にはEPROMには512kbitのメモリを使用した。

実験の容易化を行うため、EPROMの使用領域をアドレス番地0000～3FFFと全体の1/4にあたる量（128kbit）に限定した。

4.3 故障セルの検出

長波長紫外線の照射を行った場合、故障セルの方が正常なセルよりしきい値電圧の低下が速いと考えられるため、長波長紫外線を照射した場合の各セルのしきい値電圧が一定量（7V→4V）低下するのに必要な照射時間の測定を行った。また、その比較材料として消去可能紫外線を照射した場合の測定も同様に行った。

実験は、まずEPROMの全てのセルに“0”の情報を書き込んで（書き込み状態として）しきい値電圧を7V以上にする。その後、EPROMの電源電圧を7Vに固定して紫外線照射を開始し、紫外線照射の開始からしきい値電圧が7Vをきったまでの時間を記録する。全てのセルのしきい値電圧が7Vをきった時点で紫外線の照射を継続したまま、EPROMの電源電圧を4Vに変更し、紫外線照射の開始からしきい値電圧が4Vをきったまでの時間を記録する。そして、記録した時間の差を算出することにより、各セルのしきい値電圧が7V→4Vに低下するまでにかかった時間を得ることができる。これらの実験の時間の記録、及び、時間の計算はプログラムを製作して行った。なお、プログラムの処理の関係上実験に使用したEPROMの領域はアドレス番地0000～1FFFの64kbitに限定してある。

5 実験結果及び考察

5.1 紫外線の照射および熱の印加

図6、7、8にEPROM“a”に対し消去可能紫外線、長波長紫外線の照射、及び、熱を印加を行った場合のEPROMの電源電圧の変化に対する情報の変化したセルの度数を示す。紫外線の照射時間間隔は図6、7それぞれ5分、4時間である。図8は300℃の大気中に5時間EPROMを放置したものである。

これらは、EPROMの電源電圧より低いしきい値電圧のセルの個数を示しており、このグラフの微分（差分）をとることにより、セルのしきい値電圧の個数をもっとも多い電圧を求めることができる。

図6、7、8より以下のことが確認できた。

- ① 書き込みや消去の方法にもよるがEPROMのセルのしきい値電圧は一定であることが理想であるが、実際は、ばらつきが大きくグラフが曲線を描いている。
- ② 外因の印加によるセル全体のしきい値電圧が低下していき、低下の度合いも印加するものによって異なる。

- ③ 紫外線の照射によるセル全体のしきい値電圧の低下の度合いが減少していく。
- ④ 消去可能紫外線の照射を行った場合セルのしきい値電圧のばらつきが減少しているのに対し、長波長紫外線の照射を行った場合セルのしきい値電圧のばらつきが増大している。また、熱印加の場合のセルのしきい値電圧のばらつきの増大はほとんどみられない。

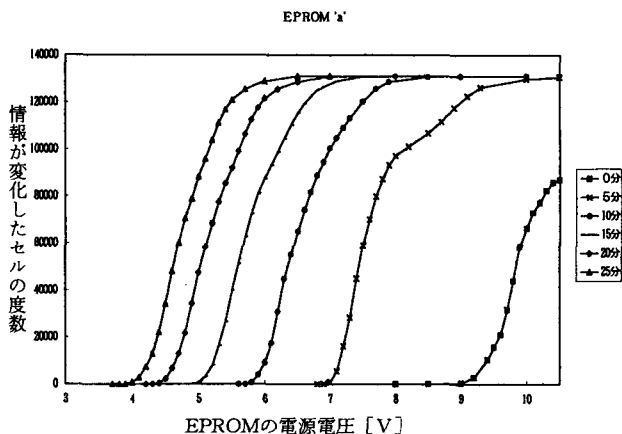


図6 消去可能紫外線の照射による EPROMのしきい値電圧の変化

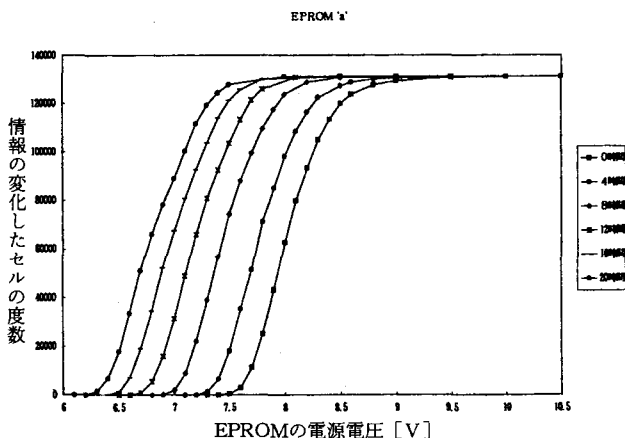


図7 長波長紫外線の照射による EPROMのしきい値電圧の変化

それぞれ確認できたことについて述べる。

まず、①についての問題点について検討する。EPROMの個々の特性を比較するためにEPROM全体のしきい値電圧が必要となる。しかし、このしきい値電圧が一定でないために何をEPROM全体のしきい値電圧として用いればいいのか決めなければならないことである。基準としては、EPROMのセルの中でもっともしきい値電圧が低い電圧、EPROMのセルのしきい値電圧の個数が多い電圧をあげることができる。この両者を比較すると図9のようになる。実線は消去可能紫外線の照射を行ったもので照射時間の単位は [min]、点線は長波長紫外線を照射を行ったもので照射時間の単位は [hour] である。

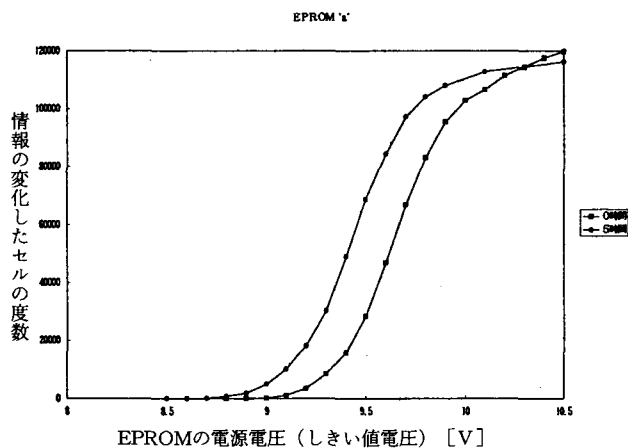


図8 熱(300℃)印加によるEPROMのしきい値電圧の変化

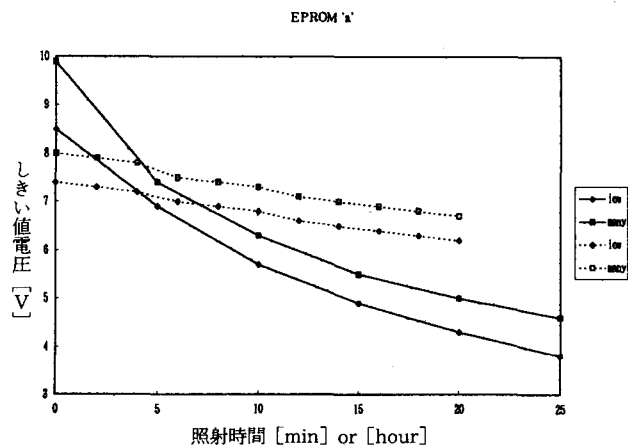


図9 EPROM全体のしきい値電圧の基準

図9より、基準の両者には電圧の高低の違いはあるがほぼ同じような変化を示していることがわかった。このことから、基準をどちらに設定してもさしたる影響がないと考え、本研究におけるEPROM全体のしきい値電圧の基準はEPROMのセルのしきい値電圧の個数が多い電圧とすることにした。

②について、長波長紫外線の照射によるセルのしきい値電圧の低下が起こらないはずであるが、実験において消去可能紫外線の照射の場合よりは非常にわずかであるがセルのしきい値電圧の低下が発生している。これは、長波長紫外線の波長成分を測定したところ、非常にわずかであるが消去可能な紫外線の波長 (254nm) を含むことが確認されたことから、この成分によるセルのしきい値電圧の低下が原因であることが分かった。

③についてはしきい値電圧の低下の現象に伴ってフローティングゲートの電子が減少し、紫外線の光子との衝突確率が減少するため、しきい値電圧の低下の度合いが減少するのではないかと考えられる。

④について、消去可能紫外線を照射した場合は、③で述べた様にしきい値電圧の高いものほどしきい値電圧の

低下が速くなり、しきい値電圧の低いものほどしきい値電圧の低下が遅くなることから、照射によって各セルのしきい値電圧のばらつきが減少するのではないかと考えられる。長波長紫外線を照射した場合は、エネルギーの低い（波長の長い）光を照射するため、酸化膜中の不純物、光子とフローティングゲートの電子の衝突のばらつきにより、セルのしきい値電圧のばらつきが増大するものと考えられる。熱の印加の場合は、電子全体に対して均等に熱エネルギーを印加するために熱印加の場合のセルのしきい値電圧のばらつきはほとんどないと考えられる。

次にEPROMの特性の比較を行う。

先ほど決めたとおりEPROM全体のしきい値電圧の基準はEPROMのセルのしきい値電圧の個数をもっとも多い電圧とし、特性の異なる2つのEPROMについて比較を行った。図10が消去可能紫外線の照射によるEPROM全体のしきい値電圧の変化を示したものであり、図11が長波長紫外線の照射によるEPROM全体のしきい値電圧の変化を示したものである。

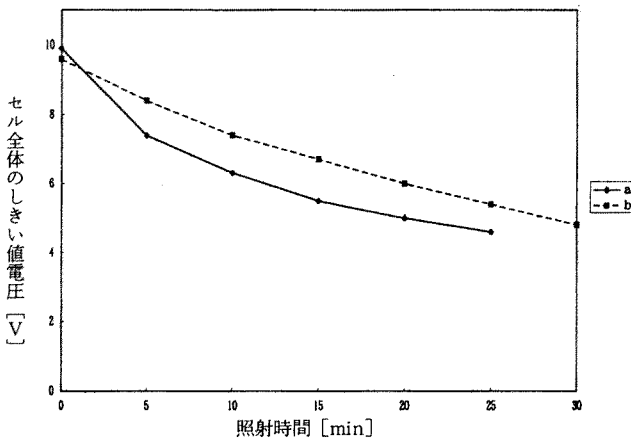


図10 消去可能紫外線の照射によるEPROMの全体しきい値電圧の変化

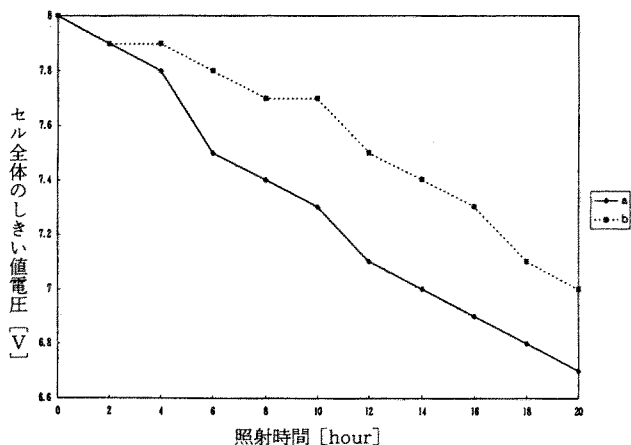


図11 長波長紫外線の照射によるEPROMの全体しきい値電圧の変化

消去可能紫外線、長波長紫外線の照射共に、EPROM 'a'、'b'を比較した場合、'a'の方が全体のしきい値電圧の低下が大きいことが確認できる。これより、EPROMの特性に違いが生じており、EPROMの内部構造に何らかの相違が生じていることが想定できる。この場合はフローティングゲートとチャンネルの間の酸化膜の状態が大いに関係しているのではないかと考えられる。

5.2 故障セルの検出

実験の結果として長波長紫外線の照射によって特異な結果が得られたもの、および、一般的であったものの結果を図12、13に示す。

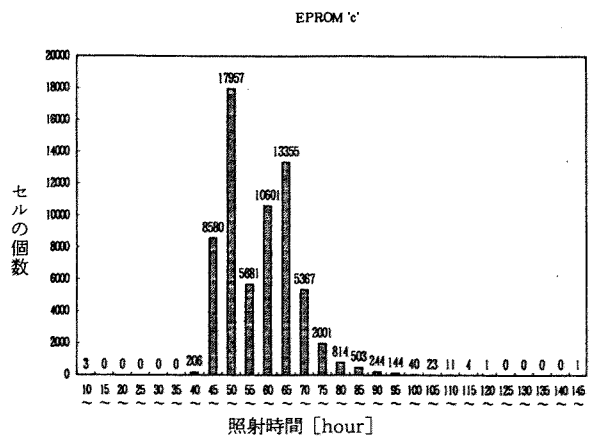


図12 一定量のしきい値電圧低下に必要な長波長紫外線の照射時間 (EPROM 'c')

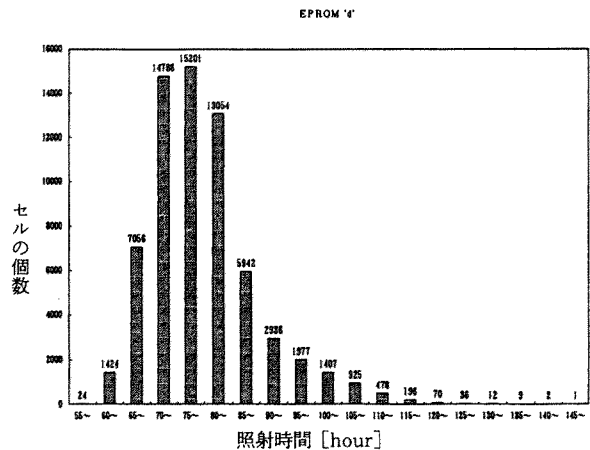


図13 一定量のしきい値電圧低下に必要な長い波長紫外線の照射時間 (EPROM 'd')

また、特異な結果が得られたEPROM 'c'に消去可能紫外線を用いて同様な実験を行った場合の結果を図14に示す。

図12に示すように、一定量のしきい値電圧低下に必要な長波長紫外線の照射時間が極端に短いものが確認できた。また、図14に示すようにこのEPROMに消去可能紫外線の照射を用いて同様な実験を行った場合、このような特徴をみることができなかった。このようにEPROM 'c'

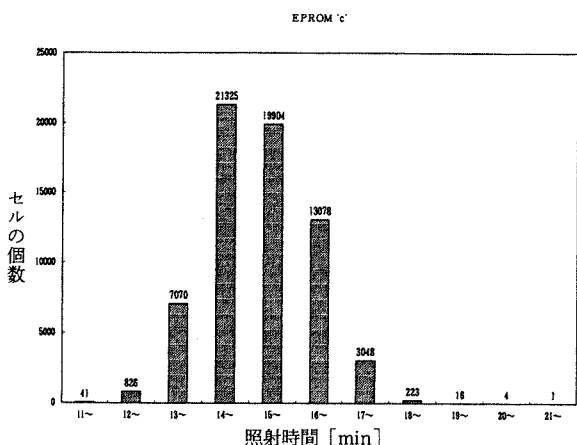


図14 一定量のしきい値電圧低下に必要な長波長紫外線の照射時間 (EPROM 'c')

は理論で述べたような特性を示すため、このEPROMは故障セルを持ち、一定量のしきい値電圧低下に必要な長波長紫外線の照射時間が極端に短いものが故障セルではないかと考えられる。また、故障セルと目されるセルは同じアドレス (1692番地) の2、4、8ビット目に当たり、位置的に非常に近いため同一の故障が起こっているのではないかと考えられる。

また、図12には先ほどとは逆に一定量のしきい値電圧低下に必要な長波長紫外線の照射時間が極端に長いものが確認できる。このような結果を示したEPROMはほかにもいくつかあり、このようなセルは電位障壁が極端に高いのか、それともなにか別の故障を持っているのかなど、どのようになっているのか考える必要が残る。

その他としては、EPROMより、一定量のしきい値電圧低下に必要な紫外線の照射時間が大きく異なることが確認できた。図12、図13においてもセルの個数の最大の照射時間を見るとEPROM 'c' が75時間前後必要であることがわかる。また、これは消去可能紫外線の照射の時も同様でセルの個数の最大の照射時間が10分前後のものや、この倍の20分前後のものも確認できた。このことから、EPROMごとのセルの性能に大きな違いがあることが再確認できた。

6 まとめ

本研究では、記憶保持特性試験に長波長紫外線の照射が適用できるかどうか検討を行うため、故障モデルを考え、実験によって長波長紫外線の照射によるセルのしきい値電圧の低下がどのようになるのか確認を行い、故障

セルの検出を行った。

実験により、長波長紫外線の照射、消去可能紫外線の照射、熱の印加によるEPROMのセルのしきい値電圧の低下の仕方が異なり、特に、長波長紫外線の照射によるしきい値電圧の低下はセルの性能 (構造) に大いに関係していること、EPROMに消去可能紫外線、長波長紫外線を照射することにより、セルの性能 (構造) にばらつきがあることを結果より想定できることが確認できた。そして、故障セルの検出が行うことができた。これにより、長波長紫外線の照射がEPROMのセルの調査に有効であり、記憶保持特性試験に長波長紫外線の照射が適用できると考えた。

しかし、この実験を進めるにつれ、問題がいくつか生じることが分かった。まずは、紫外線の照射によるEPROMの破壊である。故障セルの検出の実験において長波長紫外線の照射を用いるとEPROMには一週間前後紫外線が照射されることになり、二割程度のEPROMが動作不可能となった。このことより、セル以外 (配線など) の部品における故障、および、破壊の発生、また、それらの故障と紫外線の関係について考える必要がある。つぎにEPROMごとのセルの性能の違いである。実験により、EPROMごとに外因に対するしきい値電圧の低下の度合い、および、一定量のしきい値電圧の低下に必要な照射時間がかなり異なるため、故障と正常ある程度の基準を設定しなければならない。

以上のように記憶保持特性試験に長波長紫外線の照射を適用するには、いくつかの利点、および、いくつかの欠点が考えられるが、試験時間を短縮するメリットは大きいので、記憶保持特性試験に長波長紫外線の照射が適用されていくのではないかと考えられる。

参考文献

- [1] 志波・久保田・黒田・原：“EPROMとEEPROM複合プロセスの信頼性に与える影響、電子情報通信学会文誌、1991-3
- [2] 秋元・Dierickx：“スマートイメージセンサ用EPROMの検討”電子情報通信学会技術研究報告、1993-05
- [3] 佐藤・岩佐・沢田・安西・和田：“1トランジスタ型メモリセルを用いたビット消去可能なFlash EEPROM技術”電子情報通信学会技術研究報告、1993-05

オブジェクト指向による手話表現ツール

工藤 英男・杉山 絵美*・吉川 博史**

A Study of Japanese Sign Expression Tool by the Object-Oriented Approaches

Hideo KUDO, Emi SUGIYAMA and Hiroshi YOSHIKAWA

本稿では、手話学習における入門として、挨拶に関する手話を表現するツールについて報告する。手話表現で重要なものは、手と顔の位置関係、その動く方向と速さ、表情である。現在、市販されている教本ではその時間的・空間的な動きの理解は困難である。

そこで、手の動きや形などを動画像で表現することにより、手話の理解がより確実なものとなるように配慮を行った。

1 まえがき

手話はろうあ者同士のコミュニケーション手段の一つであり、言語系列上から言うと身ぶり語に属する。身ぶり語とは、身ぶり・表情・手の運動を素材とした表現の様式である。

手話の単語の数は、全日本ろうあ連盟より出版されている「私たちの手話」1～7巻⁶⁾を合わせても3000語ほどである。そのため、一つの手話の単語が話し言葉の二つや三つにあたる意味を持っている場合がある。また動詞も名詞も同じ形で表す。それらのどの意味で使われているのかは、話の前後の続き具合や声、唇の動きなどから判断をする。話し言葉では一つの単語であるものを手話では区別して表すこともある。また手話は手の動作の方向によって意味が変わることがある。そこで、手話で話すときには最初にテーマを示し、言葉より実際の行動に合わせる必要がある。

手話の学習は、教本やビデオを利用した自主学习と講習会や手話サークルなどのグループ活動が主体である。しかし、教本の場合もビデオの場合にも学習者と対話的な指導が困難で、どうしても受動的になる。講習会や手話サークルに参加する場合には、多人数の参加者個人個

人のレベルに合わせた指導を行うことは困難である。

そこで、本稿では日本語表現に対応する手話表現を描画するツール⁶⁾を作成した。具体的には、それぞれの単語と手話表現との関係を結びつける辞書が必要であるので、手話学習入門として挨拶に関する手話における辞書を作成した。

手話表現で重要なものは、手と顔（頭）の位置関係、その動く方向と速さ、表情である。現在、市販されている教本ではその時間的・空間的な動きの理解は困難である。手の動きや形などを動画像で表現することにより、手話の理解がより確実なものとなるように目指した。

2 手話表現ツールの設計

入力された日本語に対応する手話表現を画面上で描画するツールを作成する。このツールは、図1に示すよう

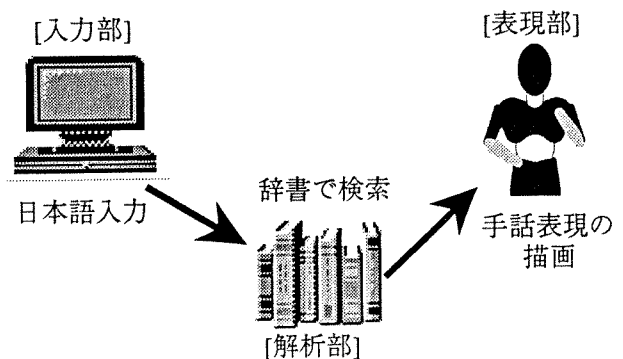


図1 ツールの概要

*NTT関西移动通信網(株)

**大阪短期大学

に入力部・解析部・表現部の三つのオブジェクトから成る。入力部で日本語を入力し、解析部で入力された日本語に対応する手話表現を検索し、表現部では手話表現を描画する。以下に、各オブジェクトの役割について述べる。

2.1 入力部

入力部は、入力された日本語に対応する手話表現を検索するために、解析部に問い合わせる。日本語の単語は漢字や平仮名を用いることにより、また言い方の違いにより何通りかに表現することができる。しかし、辞書には一通りの表現でしか日本語の単語を定義しない。そこで、入力部では入力された日本語と辞書に定義する日本語を対応させるための変換を行う。そのための変換表を入力部に準備しておく。入力された日本語が変換表に定義してあれば変換後の日本語をメッセージとし、定義していなければ入力された日本語をメッセージとして解析部に送る。入力部の役割と解析部へのメッセージを図2に示す。

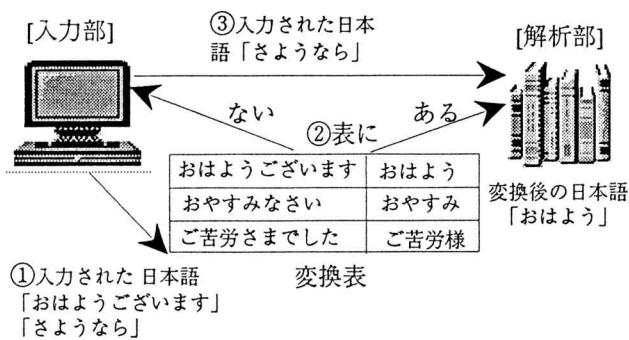


図2 入力部の役割と解析部との関係

2.2 解析部

解析部では、描画できる手話の日本語表現と手話表現を描画するために必要となるパラメータの値を定義する。日本語に対応する手話表現の辞書番号（描画すべき手話表現が辞書の何番目に書かれているのか）とパラメータの値をメッセージとして表現部に送る。その他、ビューの初期化やビュー内部の表示も行う。解析部の役割と表現部へのメッセージを図3に示す。

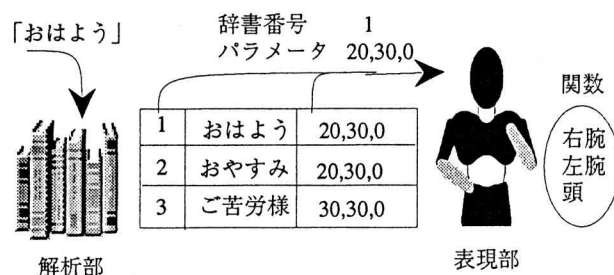
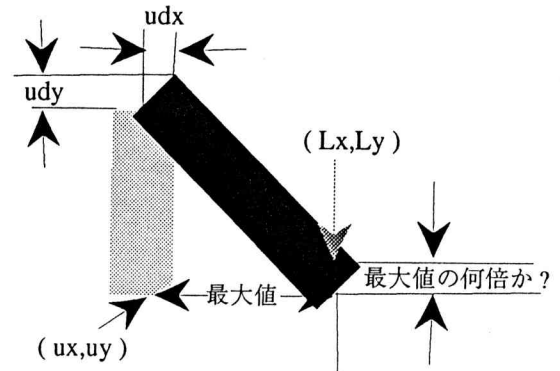


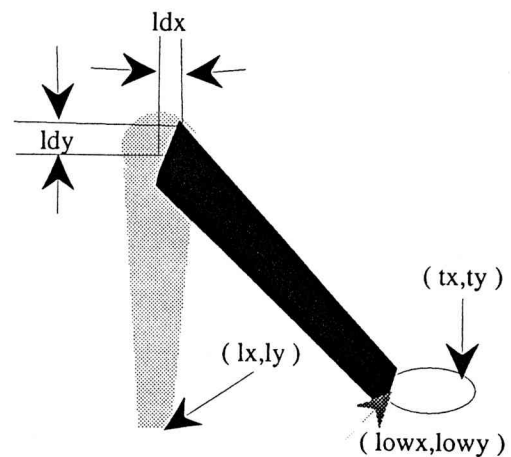
図3 解析部の役割と表現部との関係

2.3 表現部

表現部では、日本語の単語に対応した手話表現を定義する。体・右腕・左腕・頭の各部を描画するための関数を用意しておき、解析部から送られてきた辞書番号とパラメータの値によって異なった動作をさせる。以下の方法により、右腕・左腕・頭の各部を動作させて、手話表現を描画する。



上腕の場合



下腕・手の場合

図4 腕を動作させるために与えるパラメータ

腕は上腕・下腕・手に分割し、各部をどのように動作させるかを考えてパラメータの値を決めておく。実際にはひじ・手首・指先・頭それぞれの座標を変化させながら与えることにより、各部を移動させて手話表現を描画する。頭を描画するための関数には、頭の（楕円）中心の座標を与える。また、右腕・左腕の各部を描画するための関数には、図4に示す座標と変化量をパラメータとして与える。

図中の (u_x, u_y) は上腕が動作する前の座標で、 (L_x, L_y) は動作終了後の座標である。また (l_x, l_y) は下腕が動作する前の座標で、 (low_x, low_y) は動作終了後の座標である。 (t_x, t_y) は手の動作終了後の座標で、動作する前の座標は (low_x, low_y) からの距離によ

り表す。各部の座標の移動量で最も大きい値を最大値として定義する。その他の座標の移動量は、最大値の何倍であるかにより与える。各部を移動させるためには、ある変数を0から最大値まで変化させ、その変数を利用して各座標を変化させながら各部の描画を行う。

また、 $udx \cdot udy \cdot ldx \cdot ldy$ も、動作する前と動作終了後の変化量を最大値の何倍かで表し、変数を利用して変化させる。このように変数を利用することで各部の移動は実現できるが、この移動だけでは平面的な動作しか表現できない。前後に移動する動作を表現するためには、大きさを変化させる等の操作が必要がある。円が前後に移動するのを表現するためには、円の直径を変化させれば良い。しかし、お辞儀をしているのを表現するためには、お辞儀の角度により頭の形を変化させる。つまり、楕円を円に変化させていく必要がある。PostScriptで楕円を描くには、まず円を描いてからxと座標とy座標の倍率を変えているので、頭の形を変化させるには、この倍率を変化させれば良い。これらの操作を行う関数を用意すると、手話表現を描画できる。

2.4 ツールの作成環境

NeXTstep開発環境のもとで、使用した言語としてはObjective-CとPostScriptを用い、以下の手順でツールを作成した。

1. アプリケーションの設計
2. Project Builderによるプロジェクトの作成
3. Interface Builderによるユーザインターフェースの作成 (カスタムクラスの作成とオブジェクトの連結)
4. Objective-Cを使用したソースコードの作成
5. PostScriptを使用した辞書の作成
6. Project Builderによるアプリケーションのコンパイルと実行

表1 各メソッドの機能

オブジェクト	メソッド名	機能
入力部	pressCodeClear:	日本語入力部分のテキストフィールドをクリアし、入力可能状態にする。
	pressCode:	入力された日本語を変換表を使って変換し、手話表現部分のテキストフィールドに表示する。
解析部	pressPlay:	日本語表現に対応する手話表現を描画するために、パラメータを与える。
	pressViewClear:	ビューを初期化するためのメッセージを送る。
	initFlame:	ビューを初期化する。
	drawSelf::	ビューの内部を描画する。
表現部	focus:::	手話表現を描画する。

なお、プロジェクトとは、新しいアプリケーションを作成するのに必要なテキストおよびデータファイルの完全な接続のことである。カスタムクラスとは、ユーザによって定義されるクラスのことである。Application Kitに定義されているクラスのサブクラス化を行い、必要なメソッドを付け加えることでカスタムクラスを作成する。各オブジェクトの役割を実現するためのメソッドとその機能を表1にまとめる。

作成した手話表現ツールでは、挨拶に関する手話表現を動画像で表現する。入力できる日本語つまり辞書に定義されている手話表現は、挨拶の表現とする。また、描画できる手話表現は、指の動きを伴わない挨拶の表現に限定した。以下に作成したツールの各オブジェクトの詳細を述べる。

3 手話表現ツール

3.1 入力部

入力部 (Input) は図5に示すように日本語入力部分と解析部に連結している。まず、日本語入力部分でのイベントが起こった時に、アプリケーションの起動時・終了時に動作する。

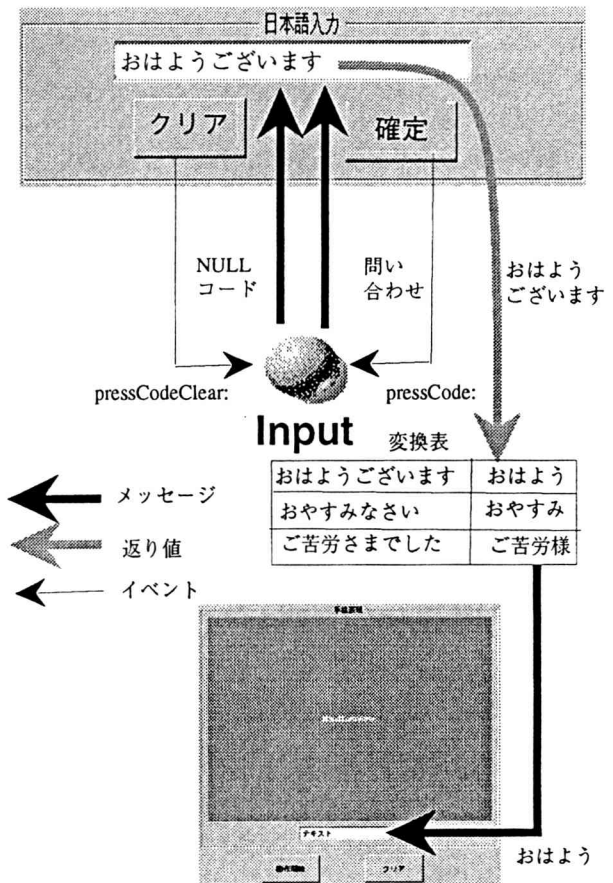


図5 入力部の動作

クリアボタンを選択すると、pressCodeClear：メソッドが実行され、日本語入力部分のテキストフィールドにNULLコードを送ることにより、テキストフィールドをクリアされて入力可能状態となる。確定ボタンを選択するとpressCode：メソッドが実行され、日本語入力部分のテキストフィールドにメッセージを送って問い合わせ、戻り値として入力された日本語を受け取る。その日本語と変換表に定義されている日本語とを順に比較し、等しい場合に変換後の日本語を手話表現部分のテキストフィールドに表示するメッセージを解析部へ送る。

図5では、「おはようございます」が入力された時の動作を示している。入力された日本語が変換表に定義されていない場合は、入力された日本語を手話表現部分のテキストフィールドへ表示するメッセージを解析部へ送る。これらの動作により、入力された日本語を辞書に定義してある形に変換し、表示することができる。

3.2 解析部

解析部は、入力部と表現部、ユーザインターフェースの手話表現部分に連結しており、手話表現部分でのイベントにより動作する。まず、動作開始ボタンを選択するとpressPlay：メソッドが実行され、動作開始ボタンを選択するとpressViewClear：メソッドが実行され、手話表現部分のテキストフィールドへメッセージを送って問い合わせ、戻り値として日本語を受け取る。その日本語と辞書に定義してある日本語とを順に比較し、等しい場合にその辞書番号と手話表現を描画するための最大値・

変数その辞書番号と手話表現を描画するための最大値・変数・動作の種類をメッセージとして表現部へ送る。

これらの動作により、手話表現を描画するための準備ができる。図6では、戻り値として受け取った日本語が「おはよう」であった場合の動作を示している。

クリアボタンを選択すると、HandComViewを初期化する。そのために、initFlame：メソッドを再定義している。このようにすることで、図6の右下に示すように画面がクリアされる。

その他、ビューの内部を描画する場合に必要なdrawSelf：メソッドを再定義している。drawSelf：メソッドはViewクラスで定義されているdisplayというメソッドの中から呼び出される。ビューを表示させる際自動的にdisplayメソッドを起動するようになっているので、drawSelf：メソッドの中で描画を行うようになっていない場合は正しい表示が得られない。そこで、解析部で変数を0から最大値まで変化させdrawSelf：メソッドを介してメッセージを表現部へ送っている。また、プログラム中からビューに描画を行わせるために、drawSelf：メソッドを直接起動せずdisplayメソッドを起動するように記述している。

3.3 表現部

表現部 (Express) は解析部からメッセージを受け取ることにより動作し、focusメソッドを実行する。focusメソッドでは、体・右腕・左腕・頭の各部を描画するための関数を用意し、各関数へ与えるパラメータの値を辞書番号別に定義している。解析部から辞書番号・最大値・変数・動作の有無をメッセージとして受け取ると、各関数へパラメータの値を与えて各部を描画する。このとき受け取るメッセージの変数が変化するので各部が描画される位置も移動する。

この描画方法では、パラメータを与えると各部を一定方向に移動させることはできるが、移動する方向が変化するには新たにパラメータを与えなければならない。また、各関数でも新たに移動を定義する必要がある。従って、一種類の手話表現でも移動方向の種類は数種類定義しなければならない。

手話表現の動作の種類としては、動作なし、移動する方向の変化なし、移動する方向が一度だけ変化、動作の繰り返しの四通りがある。この違いは動作の有無というメッセージにより定義する。動作なしの場合は、変数を利用する必要がない。移動する方向が一度だけ変化する場合は変数を一つ定義しておき、移動する方向が一度だけ変化する場合には変数の値を二つ定義しておく。動作の繰り返しの場合は、変数を入れ子にしておき、各変数

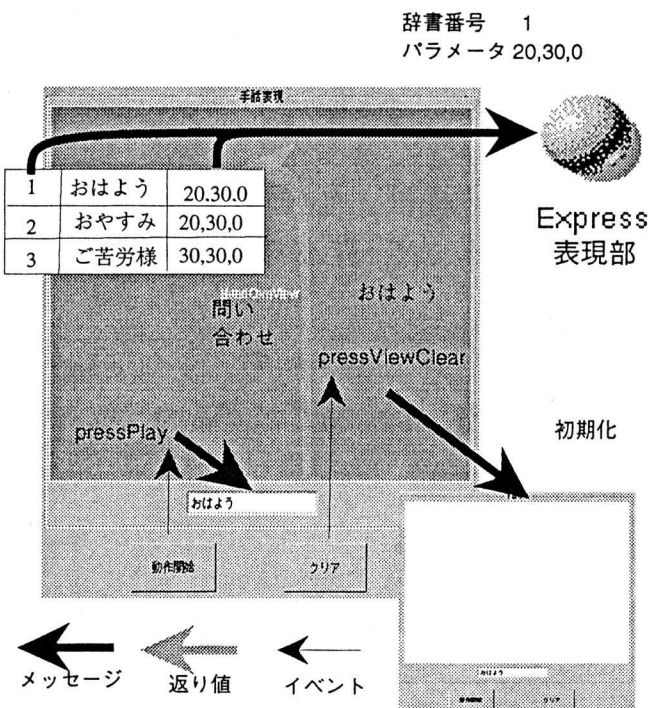


図6 解析部の動作

を変化させる。入れ子の外側の変数には、繰り返し回数を定義しておく。

作成した各部の移動の種類は、右腕が14種類、左腕が5種類、頭が3種類である（付録1を参照）。これらの動作を組み合わせることにより、挨拶表現が10種類（おはよう、おやすみ、ご苦労様、どういたしまして、さようなら、ありがと、よろしくお祈いします、お元気で、御無沙汰しています、こんばんは）と関連の表現が4種類（朝、寝る、良い、ファイト）描画できる。図7に作成した手話表現描画の例を示す。

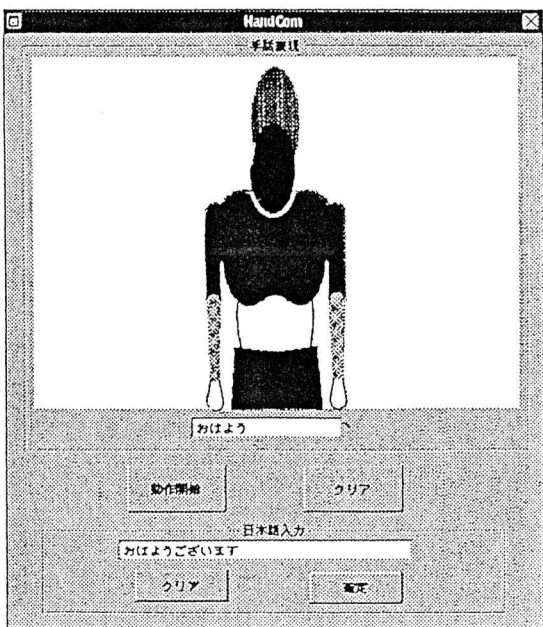
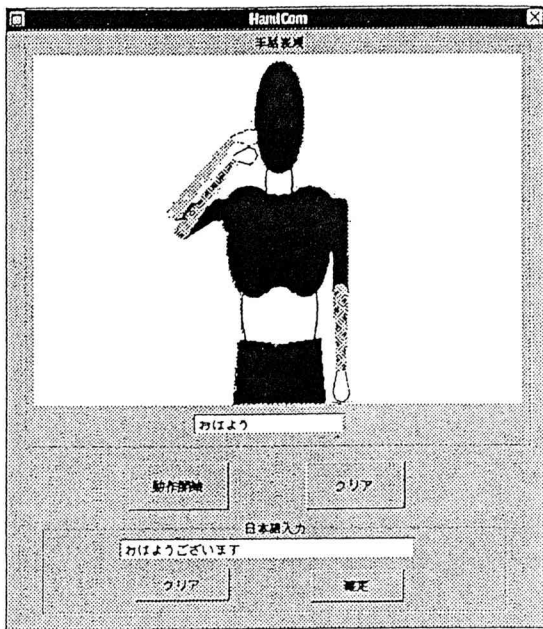


図7 手話表現描画中

4 考察

本稿で作成したツールによる手話表現の描画では、腕等の動きに関しては視覚的に理解のしやすくなっている。またツールのユーザインターフェースは、必要な機能を備えている。しかし、いくつかの問題点が残っている。

一つ目は、手話表現描画中はどのような操作もできないので、手話表現を停止するためのボタンを付加することでより使いやすくなる。

二つ目は、表現部では体・右腕・左腕・頭を描画するための関数を定義し、それらの関数内で移動の種類毎に座標の計算式を定義しているため、一種類の移動を定義するために各関数に与えるパラメータと座標の計算式との二度に分けて定義を行っていることになる。全ての移動に対して座標を計算できる計算式を関数内で定義し、計算に必要な値をパラメータとして与えるようにすれば一度の定義だけで良い。しかし、このためには、あらゆる動きを表現できる計算式を求める必要がある。

三つ目は、顔の表情や指の動きなど微妙な動きを描画することができない。それらを伴う数多くの手話表現があるので、全ての手話表現を対象とするには微妙な動きを描画できるようにする必要がある。その際動きが細かく非常に見えにくくなるので、描画を工夫する必要がある。

5 あとがき

オブジェクト指向に基づいた開発を行うことにより、データに不整合が生じることなく各部を個別に作成でき、ある一部の改良のために全体を更新する必要がなくツールを作成できた。また、ツール全体をいくつかのオブジェクトに分けて考えることによって、開発の効率化を図れ、各オブジェクトを個別に作成した後統合する際、データの受け渡しがメッセージにより問題なく行えた等の利点が挙げられる。

手話表現ツールは、辞書に定義してある手話表現が描画可能である。しかし、辞書に定義した手話表現はごく限られたものあり、ろうあ者と十分なコミュニケーションをすることができない。ろうあ者と健聴者のコミュニケーションを十分なものにするためには、数多くの手話表現を必要とする。それらを辞書に定義して描画できるようにするためには、かなりの労力と時間がかかると考えられる。

謝辞 オブジェクト指向に基づいたツールの作成の研究に際し、卒業研究で協力して頂いた平成2年度の民辻泰子さん⁽¹⁾、3年度の山谷嘉代子さん⁽²⁾、4年度の山本昌弘

君³⁾，最後に手話表現ツールの原型を作った5年度の岡村淳司君⁴⁾に感謝します。

参考文献

(1)民辻泰子：オブジェクト指向による人物の行動表現ツールの試作，奈良工業高等専門学校情報工学科，平成2年度卒業研究報告書（1991）。

(2)山谷嘉代子：オブジェクト指向によるシナリオ表現ツールの試作，奈良工業高等専門学校情報工学科，平成3年度卒業研究報告書（1992）。

(3)山本昌弘：動画による人物の行動表現ツールの作成，

奈良工業高等専門学校情報工学科，平成4年度卒業研究報告書（1993）。

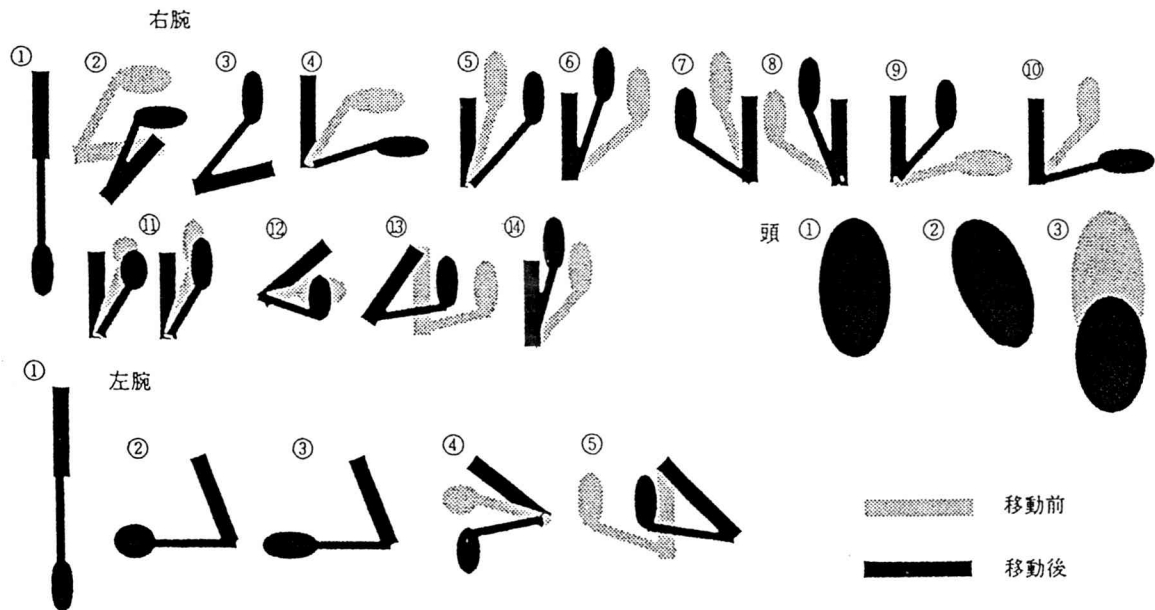
(4)岡村淳司：オブジェクト指向に基づく手話表現システムの試作，奈良工業高等専門学校情報工学科，平成5年度卒業研究報告書（1994）。

(5)杉山絵美：オブジェクト指向による手話表現描画ツールの作成，奈良工業高等専門学校情報工学科，平成6年度卒業研究報告書（1995）。

(6)全日本聾啞連盟手話研究委員会編：「私たちの手話」1～7巻，(財)全日本ろうあ連盟（1969～1982）。

(7)全日本聾啞連盟手話研究委員会編：「私たちの手話 会話編」1～3巻，(財)全日本ろうあ連盟（1977～1982）。

付録1 各部の移動の種類



コンピュータ不安尺度を用いた意識調査

下村 満子

Research on Attitude for Computing Using Computer Anxiety Scale

Michiko SHIMOMURA

コンピュータ不安尺度 (CAS) を用いて、情報工学科学生のコンピュータに対する意識や態度に関する調査を行った。その結果、コンピュータ不安は、「嫌悪・回避」「不安・緊張」「(非)効力感」の3つの因子からなるという従来の研究結果と一致する結果が得られた。また、学年進行に伴って平均CAS得点は増加するが、これには「嫌悪・回避」の因子のみが関与することが明らかとなった。また、低学年では早期に自分でパソコンを所有していたかどうかはコンピュータに対する意識を左右しているが、高学年ではコンピュータ関係の職業への興味、特にソフトウェア関連の業種を希望するかどうかと不安傾向との関連が強く見られた。

1 はじめに

コンピュータ不安とは、コンピュータに対する否定的・消極的な態度の総称と定義される¹⁾。一般的にこれはコンピュータ学習の初期に見られるもので、学習の進行に伴って軽減していくものと捉えられることが多い。しかし、前にも指摘したようにコンピュータを専門に学んでいる情報工学科の学生で、しかも高学年になってもコンピュータに対して否定的、消極的な態度を持つ学生が存在する²⁾。

本研究では、小川ら¹⁾によって開発されたコンピュータ不安尺度 (Computer Anxiety Scale, 以後CAS) を用いて、高専情報工学科の学生のコンピュータに対する意識調査を行った。CASは、本来はその名の示すようにコンピュータ不安を測るために開発されたものである

本研究の一部は、平成7年度文部省情報処理教育研究会において発表された。

調査は、筆者の指導のもとで平成6年度情報工学科卒業生岩村浩昭君の卒業研究の一部として行われた。記して感謝します。

また授業時間中の調査に快く協力していただいた、情報工学科の五十嵐良教官、工藤英男教官、松尾賢一教官に感謝します。

が、不安という否定的な側面に限らず、広くコンピュータに対する意識や態度を測定するためにも用いることができると考えられる。

本論では「不安」を否定的・消極的な多様な情緒を含む概念として用いることとする。そして、CASによってコンピュータに対する態度の情緒的側面を測定し検討する。

特に今回は、1年生から5年生までを縦断的に調査するとともに、前年度の調査結果²⁾と比較することによって、コンピュータに対する学生の意識や態度の変化についても分析を試みたので報告する。

2 調査 1

【対象】奈良高専情報工学科1年生42名。

【日時】平成6年5月初旬。プログラミングの授業で、Pascalの処理系を学習し始めて間もない時期に調査を行った。

【調査項目】CAS20項目、及び入学前にコンピュータを使用したことがあるかどうか、コンピュータに興味があるかなどの質問項目からなる質問用紙によって調査を行った。

CASとは、「コンピュータ操作は楽しくない」「コンピュータを利用するのを楽しみにしている」などの20

項目の質問に対して、「まったくあてはまらない」から「非常にあてはまる」まで4段階で答え、不安が高い方に得点4、低い方に得点1を割り当てるものである。従って、個人のCAS得点は最高80点、最低20点で、得点が高い方が不安が高いことを示している。

【結果と考察】

CAS得点は、20点から80点に分布するので、50点以上であればやや不安傾向が高いと考えることができる。

主な質問項目への回答別CAS得点を表1に示す。

表1 調査1における回答別平均CAS得点

男女		入学前の計算機使用経験		計算機への興味		理系科目	
男	女	有	無	有	無	得意	不得意
44.8	42.2	43.6	51.2*	43.4	50.5**	44.2	43.9

* $p<.05$ ** $p<.05$

全体的に強い不安は見られないが、入学前にコンピュータを使用したことがない学生には、やや不安傾向が見られる。これは、いわゆる初期不安と考えられ、入学前のコンピュータ使用経験の有無が不安に影響を及ぼす傾向があることがわかった。また、1年生の5月の時点でコンピュータに興味がないと答えた数名の学生CAS得点も高く、このことから興味の有無と不安とが関係があることは明らかであるが、コンピュータへの興味と不安との因果関係、つまり不安があるから興味がないのか、興味がないから不安があるのかについては明確ではない。性別、理系科目の得手不得手による差は有意ではなかった。

3 調査2

【対象】奈良高専情報工学科1年生41名、2年生41名、3年生36名、4年生35名、5年生38名。

【日時】平成6年10～11月。5年生は卒業研究の時間中、他の学年はプログラミング等の授業時間中に調査を行った。

【調査項目】CAS20項目と、自分でパソコンを所有しているかどうか、入学前からパソコンを持っていたか、将来コンピュータ関係の職業に就きたいかなどの質問項目などからなる質問紙によって調査を行った。また、自分がコンピュータに対して嫌悪や不安を感じる時はどういうときか、自由記述で回答を求めた。

【結果と考察】

(1) CAS得点の分布

学年別のCAS得点の分布を図1に示す。

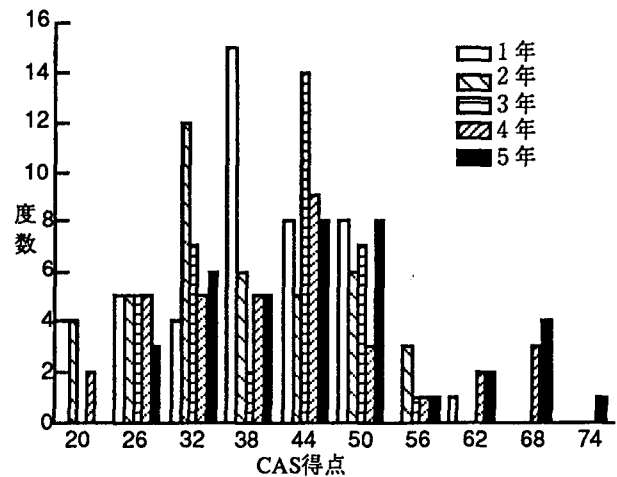


図1 CAS得点分布

学年別に見ると、1、2年は40点以下にピークがあり、コンピュータに対して肯定的・積極的な態度の学生が多いことがわかる。高学年になると、人数は少ないが60点以上というやや不安傾向の強い学生が存在している。

(2) 平均CAS得点

各学年の平均CAS得点は表2に示す。全体の平均としては学年進行に伴ってCAS得点が増加していることがわかる。

表2 調査2における学年別CAS得点

	1年	2年	3年	4年	5年	全学年
男子	41.5	39.8	42.4	41.2	47.1	42.4
女子	44.5	37.8	48.0	49.9	51.8	46.3
平均	42.3	39.4	43.1	43.7	48.1	43.2

1年生について5月に行った調査1の結果と比較すると、多少CAS得点は減少している。これは、学習の進行により、いわゆる初期不安が解消された結果と考えられる。

また昨年度、現2年生と4年生について行った調査の結果²⁾と比較すると、現2年生は昨年度38.0、今年度39.4、現4年生は昨年度41.0、今年度43.7でいずれも増加傾向が見られた。従って、同一年度の縦断的調査、同一学年の追跡調査ともに、2年生以降は平均CAS得点が増加する傾向が見られている。前にも述べたように²⁾、ここで見られる不安は明らかに初期不安とは異なるものと考えられる。また、前述の得点分布からも明らかのように、高学年においてもCAS得点が高い学生の数は決して多くはない。しかし、それら少数の学生が強い不安傾向を示していることにより、平均値を押し上げる結果となっているようである。従って、学年進行に伴って全体的に不安傾向が強まるというわけではなく、一部の学

生にそのような傾向が強くみられるということに注意しなければならない。

主な質問項目への回答別の平均CAS得点を表3に示す。低学年では、自分のパソコンを持っているかどうかによって、コンピュータへの意識や態度が変わっていることがわかる。低学年では将来職業についての意識はまだ漠然としたものであり、またソフト・ハードというカテゴリーについての知識もあまりないため、結果に差が見られなかったと思われる。

これに対して学年が進行すると、パソコンを持っているか否かは意識や態度にはほとんど無関係となり、代わってコンピュータ関係の事柄に興味があるかどうか、将来コンピュータ関係の職業に就きたいと思っているかどうかといった質問項目と不安の程度とが大きな関連性を持つようになっていくことがわかる。高学年ではかなりの比率でパソコンを所有するようになるが、その場合、コンピュータの所有と興味・関心とは必ずしも一貫していないようである。例えば4年生のデータでは、自宅にパソコンを所有している学生が、35名中30名にのぼっている(うち20名が高専入学後に購入している)。しかしパソコンを所有していると答えた学生のCAS得点もかなり高いものであり、パソコンを所有していることが必ずしも不安の軽減につながっていないことが明らかである。

コンピュータ関係の事柄に興味がなく、関連の職業にも就きたくない学生に不安傾向が強いのは、いわば当然

の結果であり、その因果関係についてはここでは論議できない。しかし、ここで注目すべきことは、不安の程度はハード関係の職業に就きたいかどうかよりも、ソフト関係の職業に就きたいかどうかということと大きく関わっていることである。言い換えると、ソフト関係の職業に就きたくなく、コンピュータに対する不安が高い学生が、相当数存在すると言うことである。低学年ではソフト関係の職業に就きたい学生の方が多いが、3年生ではほぼ同数になり、4年以降で逆転する。同時に、ソフト関係の職業に就きたくない学生のCAS得点が有意に高くなっている。

性差に関しては、全体として女子の方が男子に比べてやや不安が高い。一般的にも女子の方がコンピュータ不安が高く、またコンピュータに限らず「不安傾向」が強いことが知られているが、本調査においては学年による差が大きく、女子の人数も少ないためここで一概に結論づけることは出来ない。

表3 調査2における回答別平均CAS得点

	現在パソコン所有		入学前パソコン所有		計算機への興味		ソフト関係の職業		ハード関係の職業	
	有	無	前	後	有	無	yes	no	yes	no
1年	39.8	44.1	41.8	34.8*	41.1	46.4	41.7	44.2	44.8	41.6
2年	36.8	44.3	35.2	40.1	36.8	50.0**	37.7	41.9	39.2	39.5
3年	40.0	47.6**	38.8	40.7	40.5	51.0**	37.4	48.3**	42.8	43.3
4年	42.7	50.3	35.8	45.5	38.3	55.5**	33.0	51.0**	41.1	45.5
5年	48.0	48.2	43.4	50.6	44.5	54.9**	39.8	54.8**	48.3	48.0
全学年	41.5	46.1**	38.5	44.0**	40.2	52.0**	38.5	48.9**	42.8	43.5

*p<0.05, ** p<0.01

表4 因子分析結果

	因子加重		
	因子1	因子2	因子3
操作は楽しくない	0.789	-0.174	0.204
操作するのを出来るだけ避けている	0.697	-0.285	0.201
親しみを感じている	0.749	-0.170	0.274
操作するときを楽しみにしている	0.851	-0.190	0.101
操作したときの反応を見るのが好きである	0.645	-0.086	0.033
使うのは嫌いである	0.741	-0.404	0.198
仕事をするのは気持ちがいい	0.802	-0.125	0.306
操作しても特に緊張しない	0.132	-0.675	0.230
操作を失敗するのではいつも心配している	-0.057	-0.502	0.343
使おうとすると不安になる	0.315	-0.611	0.278
リラックスして操作できる	0.174	-0.643	0.418
利用するのを恐れている	0.439	-0.718	0.101
前に座っても恐怖はない	0.083	-0.626	0.054
前に座ると恐いような気がする	0.269	-0.718	0.066
操作すると体が硬くなってしまふ	0.054	-0.661	0.142
操作の手順をはっきり認識できる	0.258	-0.229	0.649
どんな反応をするか予測できる	0.054	-0.240	0.796
解説書を読んで理解できる	0.218	-0.061	0.785
常に適切な操作を行える	0.281	-0.165	0.754
自信を持って操作できる	0.316	-0.323	0.681

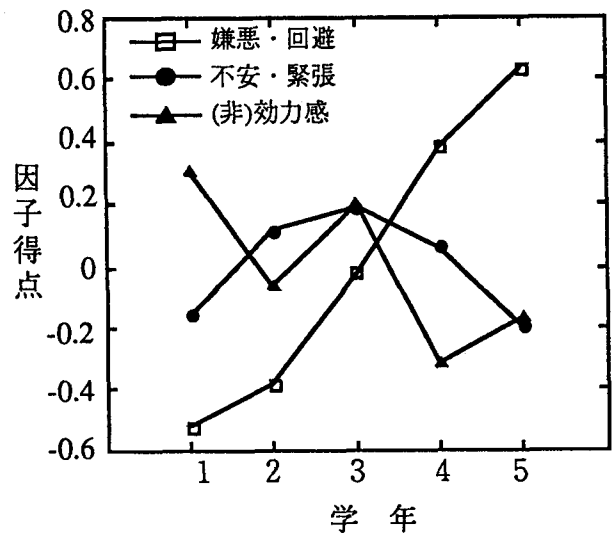


図2 学年・因子別因子得点

(3) 因子分析

CAS得点について因子分析（主成分法）を行った。表4に示すように、第1因子「嫌悪・回避」、第2因子「不安・緊張」、第3因子「（非）効力感」の3因子が得られた。この3因子構造は、小川らによる大学生を対象とした研究結果と一貫するものである¹⁾。

次に各因子について因子得点を求めた。学年による各因子の因子得点の変化を図1に示す。明らかに高学年ほど第1因子「嫌悪・回避」の得点が高いことがわかる。これに対して「不安・緊張」「（非）効力感」については、学年による差は少なく、また高学年ほど減少する傾向が見られる。

つまり、情報工学科生にコンピュータ不安があるとするならば、その実体は「嫌悪・回避」であるといえることができる。

(4) 自由記述による回答の分析

自由記述による回答を概観し、コンピュータに対する否定的な感情を生ずる要因としてまとめると、(1)操作性、(2)プログラミング、(3)ハードウェアの性能、(4)他者の存在や評価、の4つが特徴的である。

(1)の操作性には、操作ミスへの対処が出来ない、タイピングの遅さなどがあげられているが、基本的な操作に関する不安は少ないようである。(2)のプログラミングに関連した不安はもっとも多く、また多様である。言語が理解できない、エラーが出る、暴走する、自分の思った結果が出ないなど、プログラミングを学習する上で、いわば必ず遭遇するような出来事が記述されていることが多い。(3)ハードウェアの性能に関しては、端末の処理速度が遅い、メモリ不足など、やや高度な不満が見られた。(4)他者の存在や評価への社会的な不安が多く見られるのも特徴の一つである。時間に追われる、人より遅い、プログラミングしているのを他人に見られている、他人に比べて自分の能力が劣っているのではないかと感じる、適性に自信が持てない、などである。

4 総合論議

コンピュータ不安尺度（CAS）を用いて、情報工学科生のコンピュータに対する意識・態度の関する調査を行った。

調査の結果、全体的にコンピュータへの態度は積極的・肯定的であるが、高学年になると一部強い不安傾向を示す学生が存在することがわかった。

強い不安傾向を示す学生は、同時に、コンピュータへの関心が低く、ソフトウェア関連の職業に就きたくないと考えていることもわかった。

さらに因子分析を行った結果、コンピュータ不安は「嫌悪・回避」、「不安・緊張」、「（非）効力感」の3因子構造をなし、情報工学科生に見られる不安は「嫌悪・回避」の因子で特徴づけられることが明らかになった。すなわち、学年進行に伴って平均CAS得点は増加するが、これには「嫌悪・回避」の因子のみが関与している。

先述のように、学生のコンピュータへの意識は概して良好である。これは、情報工学科である以上当然のことであろう。しかしながら、縦断的調査、追跡調査ともに、3年生頃を境にして、コンピュータに対して不安（ここではすなわち嫌悪）を抱く学生が増加していく傾向を示していることは、決して無視できない事実である。このような情報工学科特有の不安感に対処するためには、一般的に言われているようにいわゆるリテラシー教育を適切に行えば良いと言うわけではなく、専門的な教育のカリキュラムや方法を検討する必要があると思われる。

参考文献

- 1)小川亮：コンピュータ不安検査と情緒的リテラシー形成のための教材の開発研究。平成4年度文部省科学研究補助金重点領域研究「情報化社会と人間」研究成果報告書（1993）。
- 2)下村満子：高専生におけるコンピュータ不安に関する調査研究。奈良高専紀要，30(1994)，89-92。

重みつき区間グラフの最大 k -独立頂点集合を求めるアルゴリズム

多喜 正城・奥田 哲也*・木津 隆史*・荒木 俊郎*・柏原 敏伸*

An Efficient Algorithm For Finding a Maximum Weight k -Independent Set
on a Weighted Interval Graphs

Masakuni TAKI, Tetsuya OKUDA*, Takafumi KIZU*,
Toshiroh ARAKI*, Toshinobu KASHIWABARA*

A problem of k -independent set on a weighted interval graphs is the problem to find that the sum of weighted vertices, which are in the union set of k -independent set, is a maximum. In the concrete, this problem will be able to apply k processors to process scheduling with priority. The problem of k -independent set is NP-Complete for general graph (8). An $O(n^k)$ time algorithm for a maximum weight k -independent set on a weighted interval graphs with n vertices has been presented already (1). An $O(kn^2)$ time algorithm for the problem of k -independent set on unweighted interval graphs can be made by an algorithm of (2). With a slight extension of this algorithm, an $O(kn^3)$ time algorithm for the problem of k -independent set on weighted interval graphs also can be solved. In this paper, by more extending an algorithm of (2), we propose an $O(kn^2)$ time algorithm for solving the problem of k -independent set on weighted interval graphs by using the algorithm.

key-word; 区間グラフ, 推移的グラフ, k -独立頂点集合, k -クリーク

1 はじめに

重みつき区間グラフの k -独立頂点集合問題は、 k 個の独立頂点集合の和集合で、その頂点の重みの和が最大となるものを求める問題である。具体的には、 k 個のプロセッサに対する優先度つきプロセススケジューリングへの適応が考えられる。

一般のグラフの k -独立頂点集合問題は、NP-Complete であることが知られており(8)、重みつき区間グラフの最大重み k -独立頂点集合については $O(n^k)$ の時間計算量を持つアルゴリズムが既に発表されている(1)。

また、重みなしの区間グラフの k -独立頂点集合問題については、(2)のアルゴリズムを用いることにより $O(kn^2)$ のアルゴリズムが構成できる。これを単純に拡張することで、重みつき区間グラフの k -独立頂点集合

問題についても $O(kn^3)$ のアルゴリズムを得ることはできる。

この報告では、(2)のアルゴリズムをさらに拡張し、重みつき推移的グラフの k -クリークを $O(kn^2)$ で見つけるアルゴリズムを提案し、それをを用いて重みつき区間グラフの k -独立頂点集合問題を $O(kn^2)$ で解くアルゴリズムを示す。

2 定義

頂点集合を V として、辺集合を $E = \{(u, v) \mid u, v \in V\}$ とするようなグラフを $G = (V, E)$ と表す。本報告では、 (u, v) が順序対である場合、非順序対である場合の両方を扱う。どちらを意味しているかは文脈より明らかであるが、順序対であることをはっきり述べる時には有向辺と呼び、同様に非順序対である時は無向辺と呼ぶ。辺 $(u, v) \in E$ が順序対であるようなグラフを有向グラフといい、非順序対であるようなグラフを無向グラフという。

*大阪大学基礎工学部情報工学科

本報告では、 V, E がともに有限集合であり E に自己閉路 (v, v) を含まないグラフのみを扱う。グラフの頂点数は n とする。

グラフ $G=(V, E)$ の各頂点から非負実数 R^+ への関数 $w:V \rightarrow R^+$ が定義されたグラフを重み付きグラフといい、2項組 (G, w) で表す。このとき $w(v) (v \in V)$ を頂点 v の重みという。

無向グラフ $G=(V, E)$ に対して、 $V' \subseteq V$ に属するどの頂点間にも辺が存在しないとき、 V' を G の独立頂点集合 (independent set) という (図1)。 k 個の独立頂点集合の集合を k -独立頂点集合 (k -independent set) という。

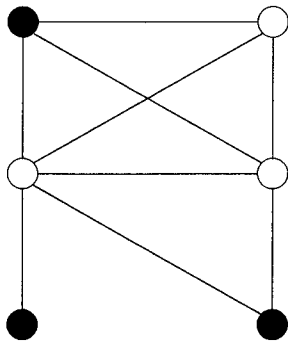


図1 独立頂点集合の例

重み付きグラフ (G, w) に対し、 G の k -独立頂点集合の中で各独立頂点集合に属している頂点の重みの総和が最大となるものを最大重み k -独立頂点集合 (maximum weight k -independent set, MWKIS) という。

無向グラフ $G=(V, E)$ に対して、 $V' \subseteq V$ に属する全ての頂点間に辺が存在するとき V' を G のクリーク (clique) という (図2)。有向グラフに対しても同様に、全ての頂点間に有向辺が (少なくとも) 1つ存在するような頂点集合もクリークと呼ぶ。互いに頂点を共有しない k 個のクリークの集合を k -クリーク (k -disjoint clique) という。

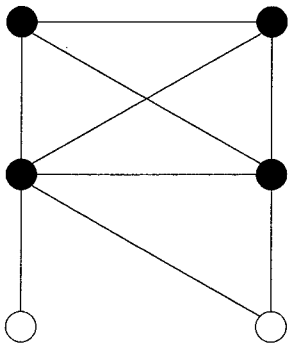


図2 クリークの例

k -クリークの中で各クリークに属している頂点の重みの総和が最大となるものを最大重み k -クリーク (maximum weight k -disjoint clique, MWKDC)。

有向グラフにおいて、頂点を共有しない k 個の有向道の集まりを k -disjoint path と呼ぶ。重み付きの場合に、頂点の重み総和が最大となるような k -disjoint path を最大重み k -disjoint path と呼ぶ。

F を集合族とする。 F と無向グラフ $G=(V, E)$ の頂点集合 V との間に、2つの集合が空でない共通集合を持つことと対応する2頂点間に辺が存在することが同値であるような1対1対応が存在するとき、 G を集合族 F に対応する交グラフ (intersection graph) と呼ぶ。このとき、集合族 F をグラフ G のモデルと呼ぶ。

数直線上の区間の集合 I をモデルとした交グラフを区間グラフ (interval graph) といい、 I を区間モデルという (図3、4)。区間の集合 $I = \{I_1, I_2, \dots, I_n\}$ に対し、各区間の端点を $p_i (1 \leq i \leq 2n)$ 、端点 p_i の座標を x_i と表す。

各端点の座標 $x_i (1 \leq i \leq 2n)$ は互いに異なるとして一般性を失わない(5)。区間 $I = (p_i, p_j) \in I$ において $p_i, p_j (x_i < x_j)$ をそれぞれ区間 I の始点、終点と呼ぶ。区間 $I_1 = (p_{i1}, p_{j1}), I_2 = (p_{i2}, p_{j2}) \in I$ において、 $x_{i1} < x_{i2}$ ならば $I_1 < I_2$ と定義する。

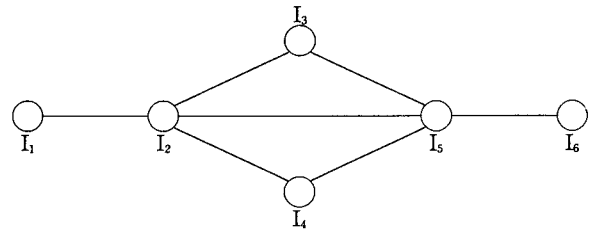


図3 区間グラフの例

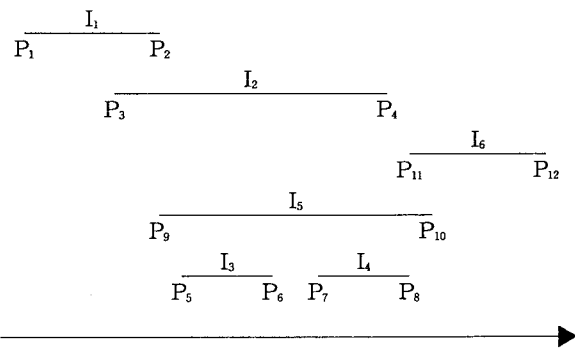


図4 区間モデルの例

有向グラフが以下の条件を満たすとき、推移的 (transitive) であるという。

- 有向閉路を持たない。
- 任意の3頂点、 u, v, w に対して、有向辺 (u, v) と (v, w) が存在するならば (u, w) が必ず存在する。

ネットワーク (network) $N=(U, A, s, t, b, c)$ とは、頂点集合 U とそれらの間を接続する有向辺の集合 A からなるグラフの構造を持ち、その各辺 $a \in A$ にはコストと

呼ばれる重み $c_i = c(a_i)$ が割り当てられている。

ネットワーク N の各辺 $a_i \in A$ に非負の定数値を持つ容量 $b_i = b(a_i)$ が割り当てられているとき、 N における $s \in U$ から $t (\neq s) \in U$ へのフロー (flow) f とは、定義域を A とし、かつ次式を満たすような実数値関数 f をいう。

$$\sum_{v_i \in \Gamma(w)} f(v_i, v_j) - \sum_{v_i \in \Gamma^{-1}(w)} f(v_j, v_i) = \begin{cases} F: v_i = s \\ -F: v_i = t \\ 0: v_i \neq s, t \end{cases}$$

$$0 \leq f(v_i, v_j) \leq c(v_i, v_j), (v_i, v_j) \in A$$

ここで、 $\Gamma(v_i) = \{v_j \mid (v_i, v_j) \in A\}$ であり、 $\Gamma^{-1}(v_i) = \{v_j \mid (v_j, v_i) \in A\}$ である。 F をフロー f の値といい、 $|f|$ と表す。頂点 s, t をそれぞれ f の始点 (source)、終点 (sink) という。

各 $f(u, v)$ の値が整数であるようなフローを integral フローと呼ぶ。またフロー f のコスト $COST(f)$ は

$$\sum_{a \in A} c(a) f(a) \quad \text{で定義される。}$$

3 重みつき推移的グラフの最大重み k-クリークを求めるアルゴリズム

この章では、 $O(kn^2)$ で重みつき推移的グラフの最大重み k-クリーク (MWKDC) 求められることを示す。

3.1 推移的グラフからのネットワークの構成

重みつき推移的グラフ $(G_T, w) = ((V, E), w)$ が与えられたとする。この (G_T, w) に対応するネットワーク $N(G_T, w) = (U, A, s, t, b, c)$ をつぎのような手順で構成する。

1. (G_T, w) から新しい有向グラフ $(G^1, w) = ((V^1, E^1), w)$ を作成する。 V^1, E^1 はそれぞれ $V^1 = V \cup \{s, t\}$ 、 $E^1 = E \cup \{(s, v), (v, t) \mid v \in V\}$ と定義される。 $s, t \notin V$ であり、 $w(s) = w(t) = 0$ とする。

2. (G^1, w) についてレベル $l(v)$ を $v \in V^1$ について次のように定義する

- $l(s) = 0$
- $v \neq s$ のとき、 $l(v) = \max\{l(u) \mid (u, v) \in E^1\} + w(v)$

なお、この $l(v)$ は適切なトポロジカルソートアルゴリズム(7)を用いれば、 $O(n^2)$ で計算できる。

3. (G^1, w) を次のようにしてネットワーク $N(G_T, w)$ に変換する。

- (a) $U = \{v, v' \mid v \in V\} \cup \{s, t\}$ 。ここで、 v' は、各頂点 $v \in V$ に対して新しく作成し、 $l(v') = l(v)$ とする。なお、 $v \in V \cup s, t$ については、 $l(v)$ は G^1 と同じとする。
- (b) $A = \{(t, s)\} \cup A' \cup A_v \cup A_s \cup A_t$ 。ここで (t, s)

は戻り辺 (return edge) であり、

- $A' = \{(u', v) \mid (u, v) \in E\}$
- $A_v = \{(v, v') \mid v \in E\}$
- $A_s = \{(s, v) \mid v \in V\}$
- $A_t = \{(v', t) \mid v \in V\}$

(c) 容量 $b(a)$ を次のように定義する。

- $b((t, s)) = k$
- $a \in A - \{(t, s)\}$ のとき、 $b(a) = 1$

(d) コスト $c(a)$ を次のように定義する。

- $a \in A_v \cup (t, s)$ のとき、 $c(a) = 0$
- $a = (u, v) \in A' \cup A_s \cup A_t$ のとき、 $c(a) = l(v) - l(u) - w(v)$

以上の手順は $O(n^2)$ にて計算できることが容易に示せる。

3.2 ネットワーク N の最小コストフローを推移的グラフ (G_T, w) の最大重み k-クリーク

この節では、前節で作成したネットワーク $N(G_T, w)$ の最小コストフローから、 (G_T, w) の MWKDC が得られることを示す。

まず、次の2つの補題を証明を省いて用いる(2)。

[補題1] 任意の正の整数 k について、 $N(G_T, w)$ に $|f| = k$ であるような integral フローが存在すれば、 (G_T, w) において k -disjoint path $\{P_1, P_2, \dots, P_k\}$ が存在する。

[補題2] ある整数 k について、 (G_T, w) に k -disjoint path $\{P_1, P_2, \dots, P_k\}$ が存在すれば、 $N(G_T, w)$ において、 $|f| = k$ であるような integral フローが存在する。続いて、次の補題を証明する。

[補題3] ある正の整数 k について、 $|f| = k$ であるような integral フロー f に対応する k -disjoint path $\{P_1, P_2, \dots, P_k\}$ の各頂点の重みの総和は $\sum_{i=1}^k \sum_{v \in P_i} w(v) = kl(t) - COST(f)$ である。

証明 フロー f に関連するコストは次のように表わされる

$$\begin{aligned} COST(f) &= \sum_{v \in V} 0 \cdot f(v, v') + \sum_{(u, v) \in E} (l(v) - l(v') - w(v)) f(u', v) \\ &\quad + \sum_{v \in V} (l(v) - l(s) - w(v)) f(s, v) \\ &\quad + \sum_{v \in V} (l(t) - l(v') - w(t)) f(v', t) + 0 \cdot f(t, s) \quad (1) \\ &= \sum_{(u, v) \in A} (l(v) - l(u)) f(u, v) - (l(s) - l(t)) \cdot f(t, s) \\ &\quad - \left\{ \sum_{v \in V} w(v) f(s, v) + \sum_{(u, v) \in E} w(v) f(u', v) \right\} \quad (2) \end{aligned}$$

式(2)の最初の項 $\sum_{(u,v) \in A} (l(v)-l(u)) f(u,v)$ はどのような関数 $l(\cdot)$ についても常に0になることが知られている(9)。また、各 $u, v \in V$ について、 v が p_i の中に含まれていれば、 $f(u', v) = 1$ もしくは $f(s, v) = 1$ であり、そうでなければ $f(u', v) = 0$ もしくは $f(s, v) = 0$ であることから、次のように書ける。

$$\begin{aligned} \text{COST}(f) &= 0 + l(t) |f| - \sum_{i=1}^k \sum_{v \in P_i} w(v) \\ &= kl(t) - \sum_{i=1}^k \sum_{v \in P_i} w(v) \end{aligned} \quad \text{Q.E.D.}$$

$kl(t)$ が定数であるので、以上の補題から、 (G_t, w) の最大重み k -disjoint path は、 $N(G_t, w)$ の $|f| = k$ の最小コストフローを求めれば得られるといえる。また (G_t, w) が推移的グラフであることから、最大重み k -disjoint path は MWKDC に一致する(3)。

以上より、推移的グラフの最大重み k -クリークを求める問題は、最小コストフローを求める問題に帰着されたことになる。

[補題4] $N(G_t, w)$ の任意の辺 $a \in A$ のコスト $c(a)$ は負でない。

証明 $a \in Av \cup (t, s)$ のとき、 $c(a) = 0$ 。一方

$$\begin{aligned} a &= (u, v) \in A' \cup As \cup At \quad \text{のとき、} \\ c(a) &= l(v) - l(u) - w(v) \\ &= \max\{l(u') \mid (u', v) \in E'\} - l(u) \geq 0 \quad \text{Q.E.D.} \end{aligned}$$

すべての辺のコストが負でない場合、最小コストフローを $O(kn^2)$ で求めるアルゴリズムが存在する(4)(6)。

よって、次の定理が得られる。

[定理1] 頂点数 n の重みつき推移的グラフの最大重み k -クリークは $O(kn^2)$ で見つけることができる。

4 重みつき区間グラフの最大重み k -独立頂点集合を求めるアルゴリズム

この章では、 $O(kn^2)$ で重みつき区間グラフの最大重み k -独立頂点集合 (MWKIS) を求めるアルゴリズムを示す。

4.1 重みつき区間グラフからの推移的グラフの構成

与えられた区間グラフの集合 O をモデルとする重みつき区間グラフ $(G, w) = ((V, E), w)$ から、次のようにして有向グラフ $(G_t, w) = ((V, E_t), w)$ を作成する。

各 $v \in V$ と対応する区間 $I_v \in I$ について、 $I_v < I_u$ であるような $u \in V - \{v\}$ が存在すれば、そのような u すべてについて、 (u, v) を E_t に加える。

なお、この変換は $O(n^2)$ で容易に行うことができる。また、有向グラフ G_t は推移的グラフである(5)。

4.2 区間グラフの最大重み k -独立頂点集合と推移的グラフの最大重み k -クリーク

[補題5] $C = \{C_1, C_2, \dots, C_k\}$ が (G_t, w) における k -クリークならば、 C は (G, w) における k -独立頂点集合である。

証明 任意の $u, v \in C_i (1 \leq i \leq k; u \neq v)$ について、 $(u, v) \in E_t$ として一般性を失わない。このとき、 $I_u < I_v$ であるから、 $(u, v) \in E_k$ 。つまり、 C_i は (G, w) における独立頂点集合、また $\bigcap_{i=1}^k C_i = \emptyset$ 。

Q.E.D.

[補題6] $S = \{S_1, S_2, \dots, S_k\}$ が (G, w) における k -独立頂点集ならば、 S は (G_t, w) における k -クリークである。

証明 任意の $u, v \in S_i (1 \leq i \leq k; u \neq v)$ について、それぞれの頂点に対応する区間 I_u, I_v が、 $I_u < I_v$ であるとして一般性を失わない。ここで、 $(u, v) \notin E_t$ であるから、 (G_t, w) の作り方より、 $(u, v) \in E_k$ 。つまり、 S_i は (G_t, w) におけるクリーク。また $\bigcap_{i=1}^k S_i = \emptyset$ 。

Q.E.D.

[補題7] $C = \{C_1, C_2, \dots, C_k\}$ が (G_t, w) における MWKDC ならば、 C は (G, w) における MWKIS である。

証明 (G, w) において、 $w(C) < w(C')$ であるような k -独立頂点集合が存在すると仮定する。ところが C' は (G_t, w) における k -クリークでもあるので、 (G_t, w) において C が MWKD であることに反する。

Q.E.D.

この補題より、 (G_t, w) における MWKDC を求めれば、 (G, w) の MWKIS が得られることがわかる。

4.3 アルゴリズム

前節までの内容により、次のアルゴリズムと定理を得る。

重みつき区間グラフの MWKIS を求めるアルゴリズム:

1. 重みつき区間グラフ (G, w) を重みつき推移的グラフ (G_t, w) に変換する
2. (G_t, w) からネットワーク $N(G_t, w)$ を作成する
3. $N(G_t, w)$ の最小コストフローを求める

[定理2] 頂点数 n の重みつき区間グラフの最大重み k -独立頂点集合は $O(kn^2)$ で求めることができる。

5 まとめ

本報告では、重みつき推移的グラフの k-クリークを求める $O(kn^2)$ アルゴリズムを提案し、それを用いて重みつき区間グラフの k-独立頂点集合を求めるアルゴリズムを示した。

〔補題 3〕における $COST(f)$ と重みの関係式は、

$$\sum_{i=1}^k \sum_{v \in E_i} w(v) = kl(t) - COST(f) \text{ と得られている。}$$

$kl(t)$ は実際には定数であり、 $l(\cdot)$ がいかなる関数であるかには依存していない。 $l(\cdot)$ を適切に設定することにより、他のグラフの k-独立頂点集合 / k-クリーク問題に対する応用が期待できる。

参考文献

- (1) Ju Yuan Hsiao, Chuan Yi Tang and Ruay Shiung Chang, An efficient algorithm for finding a maximum weight 2-independent set on interval graphs, Information Processing Letter, 43(1992) 229-235.
- (2) Chong S. Rim, Toshinobu Kashiwabara and Kazuo Nakajima, Exact Algorithms for Multilayer Topological Via Minimization, IEEE transactions on computer-aided design of integrated circuit and systems, Vol.8, No.11, 1989.
- (3) F.Gavril, Algorithms for Maximum k-Colorings and K-Coverings of Transitive Graphs, Networks, 17, pp.465-470, 1987.
- (4) E.L.Lawler, Combinatorial Optimization: Networks on Matroids, Reading, MA: Holt, Rinehart and Winston, 1976.
- (5) M.C.Golumbic, Algorithmic Graph Theory and Perfect Graphs, Reading, MA: Academic Press, 1980.
- (6) J.Edmonds and R.M.Karp, Theoretical improvements in algorithmic efficiency for network flow problems, J.Amer.Chem.Mach., 14, 248-264, 1972.
- (7) A.V.Aho, J.E.Hopcroft, and J.D.Ullman, The Design and Analysis of Computer Algorithms, Reading, MA: Addison Wesley, 1974.
- (8) M.Yannakakis and F.Gavril, The maximum k-colorable subgraph problem for chordal graphs, Information Processing Letter, 24(1987)133-137.
- (9) L.R.Ford Jr. and D.R.Fulkerson, Flows in Networks, Princeton Univ.Press, Princeton, NJ, 1962.

外部液循環式エアリフト塔の液側及びガス側混合特性

河越 幹 男

Mixing Properties in Liquid and Gas Phases in an External-Loop Airlift Column

Mikio KAWAGOE

Mixing properties in liquid and gas phases were analyzed based on the dispersion model. Three kinds of nozzles were used as gas distributors. The dispersion coefficient in liquid was obtained from the residence time distribution measured directly by a solid tracer method. The gas phase dispersion coefficient was measured by a pulse response method using helium as tracer. As a result, the liquid phase dispersion coefficient agreed approximately with the one in the bubble column without downcomer (standard bubble column). The gas phase dispersion coefficient was also found to agree with the standard bubble column, if we use the slip velocity between bubbles and liquid instead of average rising velocity of bubbles. No appreciable effects of nozzle were found in gas holdup, liquid circulation velocity and dispersion coefficients.

緒 言

液循環用の側管を設けた外部液循環式エアリフト型気泡塔は、低ガス流速領域においても循環液流速が速いため、酸素移動速度や伝熱速度が大きく、かつ混合速度も速いなど優れた特性を有しており、最近、好気性菌の培養装置として注目されている¹⁾。

液及びガスの混合特性は、培養特性に影響を与える主因子の一つであるのみならず、装置内における気液混相の挙動に関する情報をも与えてくれる因子でもある。本研究では、液側及びガス側の混合特性に及ぼす操作因子、特に液循環流速の影響を検討するため、滞留時間分布を測定し、1次元混合拡散モデルに準拠して混合拡散係数を求め、混合特性を解析した。

1. 実験装置及び方法

Fig. 1 に用いたエアリフト塔とガス分散ノズルを示した。エアリフト塔は、上昇管径29cm、下降管径

14cm、全高325cmの透明アクリル樹脂製である。ガス分散ノズルは、(a)円筒ノズル、(b)円錐ノズル、(c)多孔ノズルの3種類を用いた。何れのノズルも上端径は全て10cmである。多孔ノズルは二重円筒からなり、内塔壁

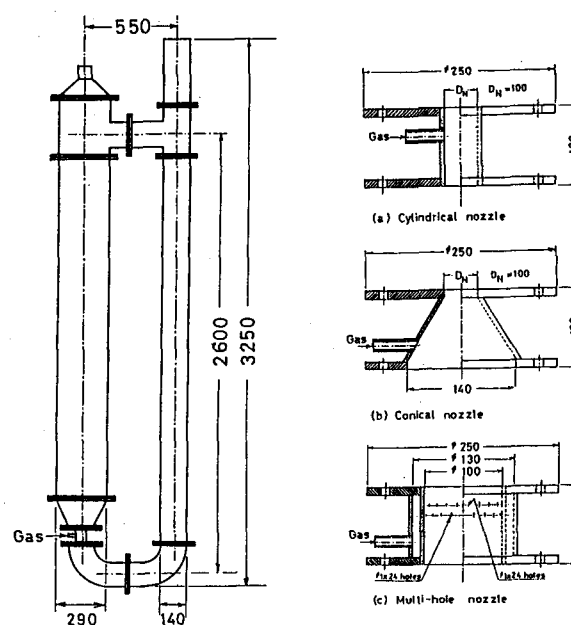


Fig. 1 Airlift column and gas spargers used

に気泡生成用の孔（孔径1mm）を合計48個開けてある。

液側及びガス側混合の測定方法をFig. 2に示した。液の滞留時間分布は個体粒子をトレーサーとして滞留時間を視察により直接測定した。比重を液のそれと等しくなるように調整した直径12mmのプラスチック球を塔内に入れ、上昇管の塔底入口から流入し、塔頂出口から流出するまでの時間を200回測定して滞留時間分布を求めた。

ガス側の滞留時間分布関数はヘリウムガスをトレーサーとしたパルス応答法により測定した。上昇管塔底からヘリウムガスを注射器でパルスの注入し、塔頂出口で熱伝導度セルを用いてその応答を計測した。ガス混合の場合、塔頂部分の混合も無視できないので、この部分の影響を除き、気液混相内の正味の混合特性を求めめるため、塔頂からトレーサーを注入して塔頂部分の滞留時間分布関数を求めた。

ガスホールドアップは、上昇管の塔壁に20cm間隔で設けたタップにマンメータを連結して測定した静圧勾配から求めた。液循環流速は、固体トレーサーの下降管内における流下速度を直接測定して求めた。

2. 実験結果及び検討

2.1 ガスホールドアップと液循環流速

Fig. 3に上昇管内の平均ガスホールドアップ ϵ_G を上昇管断面積に基づく空塔ガス流速 u_G に対してプロットした。このプロットから分かるように、ノズルの影響はほとんど認められず、全データは次式で相関できた。

$$\epsilon_G = 1.1 u_G^{0.8} \quad (1)$$

Fig. 4には上昇管内の空塔液流速 u_L と u_G の関係を示した。この場合もノズルの影響は認められず、 u_L は次式で相関できた。

$$u_L = 0.35 u_G^{0.28} \quad (2)$$

ここで、(2)、(3)式中の u_G と u_L の単位はm/sである。

上昇管内では気液は上昇並流であるので、気液間のスリップ速度 u_s は次式で定義される。

$$u_s = \frac{u_G}{\epsilon_G} - \frac{u_L}{1 - \epsilon_G} \quad (3)$$

本実験範囲では $\epsilon_G < 0.15$ であり、 ϵ_G が1に比べて十分小さいので、(3)式の右辺第2項の分母を $(1 - \epsilon_G) \approx 1$ として、(1)、(2)式を(3)式に代入すると、 u_s は次式で表される：

$$u_s = (0.91 - 0.35 u_G^{0.08}) u_G^{0.2} \quad (4)$$

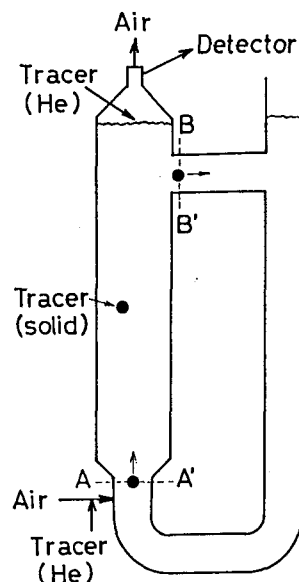


Fig. 2 Measurement of liquid phase and gas phase residence time distributions in airlift column

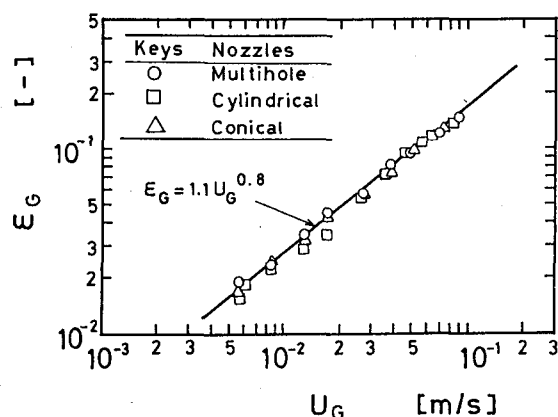


Fig. 3 Correlation of gas holdup in the riser with superficial gas velocity

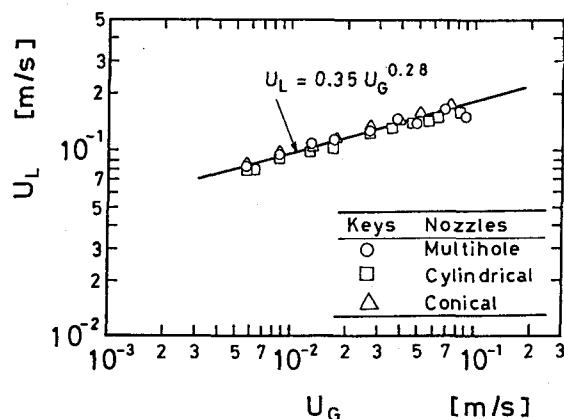


Fig. 4 Correlation of liquid velocity in the riser with superficial gas velocity

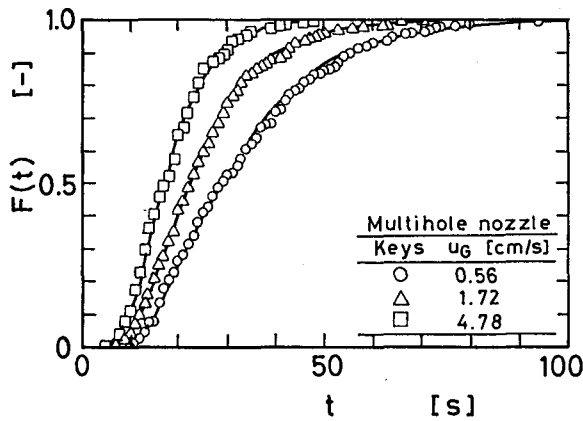


Fig. 5 Cumulative residence time distributions of liquid obtained by solid tracer method

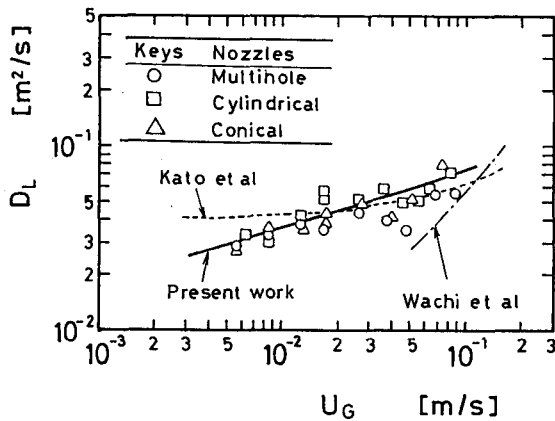


Fig. 6 liquid phase dispersion coefficient obtained by solid tracer method

(4)式から u_s を計算すると、 $u_c=0.005\text{m/s}$ のとき $u_s=0.236\text{m/s}$ 、 $u_c=0.1\text{m/s}$ のとき $u_s=0.391\text{m/s}$ である。この u_s の値は単一気泡の上昇速度とほぼ等しく、妥当な結果である。

2.2 液側混合拡散係数

混合拡散モデルに基づくと、滞留時間分布の分散 σ^2 と液混合のPeclet数 Pe_L の間には次の関係がある。

$$\sigma^2 = \frac{2}{Pe_L} - \frac{2}{Pe_L^2} [1 - \exp(-Pe_L)] \quad (5)$$

ここで、 $Pe_L = u_L H / D_L$ 、 H は上昇管高さ、 D_L は液側混合拡散係数である。固体粒子200個の滞留時間を測定し、分散 σ^2 を次式から求めた。

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (t_i - \bar{t})^2}{N\bar{t}^2} \quad (6)$$

ここで、 N は測定粒子の個数、 t_i は個々の粒子の滞留時間、 \bar{t} は平均滞留時間である。Fig. 5 に累積滞留時間分布関数の混合拡散モデルによる計算値 (Appendix参照) と実測値の比較を示した。実線が計算値、プロットが実測値である。計算値と実測値は良く一致し、拡散モデル

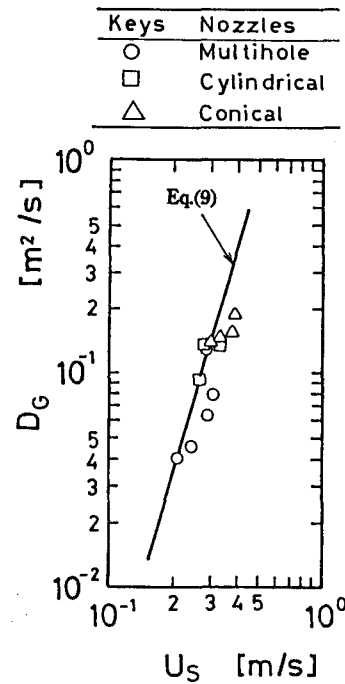


Fig. 7 Correlation of gas phase dispersion coefficients with slip velocity between gas and liquid phases

が適用できることが分かる。

液側混合拡散係数 D_L は、(6)式から求めた分散 σ^2 を(5)式に代入して Pe_L を計算し、 $D_L = u_L H / Pe_L$ から算出した。Fig. 6 に求めた D_L 対 u_G の関係を示した。 D_L はガス流速とともにほぼ単調に増加している。ガス分散ノズルの影響に着目すると、 $u_G > 0.04\text{m/s}$ で多孔ノズルの場合の D_L が若干小さくなる傾向が認められる。この領域では、多孔ノズルを用いた場合、比較的小さな均一な気泡が生成されるため、依然として気泡流動に近い状態を示しているのに対し、他のノズルの場合には大気泡が発生し、攪乱流動に近い流動状態になっているためである。しかし、このノズルの影響は小さいので無視すると、次の実験式が得られた。

$$D_L = 0.144 u_G^{0.3} \quad (7)$$

Fig. 6 には加藤ら²⁾ 及びWachiら⁵⁾ の結果も併せて示した。加藤らの結果は標準気泡塔に対する実験式であり、本実験結果とほぼ一致している。Wachiらの結果は外部液循環式エアリフト塔に対する相関式である。この相関式は、テラー混合理論に準拠して導出されており、 $u_G > 0.2\text{m/s}$ 以上では実測値と良く一致することが示されているが、低ガス流速領域での検討はなされていない。Fig. 6 に示した計算値は、彼らの相関式を単純に外挿した値である。低ガス流速では実測値よりもかなり小さくなる傾向が認められる。

2.3 ガス側混合拡散係数

ガス側の総括滞留時間分布関数 $E_0(t)$ は、気液混相内の分布関数を $E(t)$ 、塔頂部のそれを $E_T(t)$ とすると、次式で表される。

$$E_0(t) = \int_0^t E(t_0) E_T(t-t_0) dt_0 \quad (8)$$

実測できる滞留時間分布関数は $E_0(t)$ と $E_T(t)$ であるので、求める $E(t)$ は著者³⁾ が以前提出したFourier変換法により求めた。ガス側混合拡散係数 D_G は得られた $E(t)$ の最大値とPeclet数の関係から求めた。

液回分式の標準気泡塔の場合、Fieldら¹⁾ は D_G を平均気泡上昇速度 u_G/ϵ で相関している。エアリフト塔の場合、上昇管は気液並流であるので、平均気泡上昇速度の代わりに平均スリップ速度 u_s を用いると、Fieldらの相関式は次式で表される。

$$D_G = 56.4 D_C^{1.33} u_s^{3.56} \quad (9)$$

ここで、 D_C は塔径（上昇管）である。Fig. 7に D_G 対 u_s のプロットを示した。本実験結果は(9)式とほぼ一致している。ノズルの影響はほとんど認められない。このことは、ガス側混合を決める主因子は気泡一液間のスリップ速度であり、塔壁に対する気泡上昇速度ではないことを示している。

結 言

固体粒子トレーサー法を用いて液滞留時間分布を直接測定して累積滞留時間分布を求めた。その結果から、液側混合は混合拡散モデルによって表されることが分かった。液側混合拡散係数は気泡塔の結果とほぼ一致した。一方、ガス側混合拡散係数に関しては、平均気泡上昇速度の代わりに気泡一液間のスリップ速度を用いれば、従来の気泡塔に対する相関式が適用できることを明らかにした。

<Appendix> 液側の累積滞留時間分布関数

留積滞留時間分布関数 $F(\theta)$ は次式で表される。

$$F(\theta) = 1 - 4 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{M \delta_n (M \sin \delta_n + \delta_n \cos \delta_n)}{(M^2 + 2M + \delta_n^2)(M^2 + \delta_n^2)} \times \exp\left[M - \left\{\frac{M^2 + \delta_n^2}{2M}\right\} \theta\right] \quad (A-1)$$

ここで、 $M = Pe_L/2$ 、 δ_n は次式の n 番目の正根である。

$$\cot \delta = (\delta/M - M/\delta)/2 \quad (A-2)$$

Nomenclature

D_C	= column diameter	[m]
D_G	= gas phase dispersion coefficient	[m ² /s]
D_L	= liquid phase dispersion coefficient	[m ² /s]
$E(t)$	= residence time distribution function	[1/s]
H	= height of gas-liquid dispersion	[m]
N	= number of solid tracer	[-]
Pe_L	= Peclet number in liquid phase	[-]
t	= time	[s]
\bar{t}	= mean residence time	[s]
u_G	= superficial gas velocity in the riser	[-]
u_L	= superficial liquid velocity in the riser	[-]
u_s	= slip velocity between gas and liquid	[-]
ϵ_G	= gas holdup in the riser	[-]
σ	= standard deviation	[-]

Literature cited

- 1) Field, R. W. and J. F. Davidson: Trans. Instn. Chem. Engrs, **58**, 228(1980)
- 2) Kato, Y. and A. Nishiwaki: Kagaku Kogaku, **35**, 912(1971)
- 3) Kawagoe, M., T. Otake and C. W. Robinson: J. Chem. Eng. Japan, **22**, 136(1989)
- 4) Kawagoe, M., K. Hyakumura and K. Miki: Preprints of 3rd German/Japanese Symposium, p. 111(1994)
- 5) Wachi, S., H. Morikawa and K. Ueyama: J. Chem. Eng. Japan, **20**, 309(1987)

ファジイ代数に関連する代数系について

荒 金 憲 一

On Algebras Relating to Fuzzy Algebras

Kenichi ARAGANE

全体集合を U とする。通常の場合(クリस्प集合) A は $\mu_A: U \rightarrow \{0,1\}$ を特性関数として表される。ファジイ集合とは、この μ_A を閉区間 $[0,1]$ への写像としたものである。このファジイ集合演算 \cap, \cup, \circ を束としての演算 \wedge, \vee, \neg にそれぞれ置き換えて得られる代数系がファジイ代数(クリーネ代数と同じ)である。ここでは最小元 0 と最大元 1 をもつ分配束(bounded distributive lattice)の中でファジイ代数に関連する代数系について考える。

1. 代数系の定義

[定義1] $0, 1$ を含む集合 A での2項演算 \wedge, \vee が定義され、任意の $x, y, z \in A$ に対して次の等式が成り立つとき、代数系 $\mathfrak{A} = \langle A; \wedge, \vee, 0, 1 \rangle$ を限定分配束(bounded distributive lattice)という。限定分配束の全体からなるクラスを \mathbb{BDL} で表す。

(L1) $x \wedge 0 = 0$	(L1) $^\circ$ $x \vee 0 = x$	(0は最小元)
(L2) $x \wedge 1 = x$	(L2) $^\circ$ $x \vee 1 = 1$	(1は最大元)
(L3) $x \wedge x = x$	(L3) $^\circ$ $x \vee x = x$	(冪等律)
(L4) $x \wedge y = y \wedge x$	(L4) $^\circ$ $x \vee y = y \vee x$	(交換律)
(L5) $(x \wedge y) \wedge z = x \wedge (y \wedge z)$	(L5) $^\circ$ $(x \vee y) \vee z = x \vee (y \vee z)$	(結合律)
(L6) $x \wedge (x \vee y) = x$	(L6) $^\circ$ $x \vee (x \wedge y) = x$	(吸収律)
(L7) $x \wedge (y \vee z) = (x \wedge y) \vee (x \wedge z)$	(L7) $^\circ$ $x \vee (y \wedge z) = (x \vee y) \wedge (x \vee z)$	(分配律)

今後は代数系 \mathfrak{A} とその台集合 A を同じ記号 A で表すことにする。

[注意1]

- (1) $x \leq y \iff x \wedge y = x$ で定義される A 上の2項関係 \leq は順序関係であり、 $x \leq y \iff x \vee y = y$ が成り立つ([1]の注意1(2))。
- (2) (L1)~(L7) $^\circ$ と [2] の定理1の $T1 \sim T8^\circ$ は同値である。

今後はすべて $\langle A; \wedge, \vee, 0, 1 \rangle \in \mathbb{BDL}$ とし、 A 上の1項演算 \neg がつねに定義されているものとする。

[定義2] 次の条件を満たす(任意の $x, y \in A$ に対してという意味であるが今後はこれを省略する。) $A \in \mathbb{BDL}$ をド・モルガン代数(de Morgan algebra)といい、その全体を \mathbb{M} で表す。

$$(M1) \neg(x \wedge y) = \neg x \vee \neg y \quad (M2) \neg\neg x = x$$

[注意2] $A \in \mathbb{M}$ のとき (1) $\neg(x \vee y) = \neg x \wedge \neg y$ (2) $\neg 0 = 1$ (3) $\neg 1 = 0$ が成り立つ.

[証明] (1): $\neg(x \vee y) = \neg(\neg\neg x \vee \neg\neg y) = \neg\neg(\neg x \wedge \neg y) = \neg x \wedge \neg y$.

(2): $\neg 0 = \neg(\neg 1 \wedge 0) = \neg\neg 1 \vee \neg 0 = 1 \vee \neg 0 = 1$. (3): (2)より $\neg 1 = \neg\neg 0 = 0$.

[定義3] 次の条件を満たす $A \in \mathbb{M}$ を弱ファジイ代数([8])といい, その全体を \mathbb{W} で表す.

$$(W) x \wedge y = 0 \implies y \leq \neg x$$

[注意3] $A \in \mathbb{W}$ のとき $x \vee y = 1 \implies \neg x \leq y$.

[定義4] 次の条件を満たす $A \in \mathbb{M}$ をファジイ代数(Kleene algebraと同じ)といい, その全体を \mathbb{K} で表す.

$$(K) x \wedge \neg x \leq y \vee \neg y$$

[注意4] $A \in \mathbb{K}$ のとき $x \wedge y = 0 \implies y \leq \neg x$ が成り立つ.

[証明] $x \wedge y = 0$ とする. $\neg x = \neg x \vee 0 = \neg x \vee (x \wedge y) = (\neg x \vee x) \wedge (\neg x \vee y) \geq (y \wedge \neg y) \wedge (\neg x \vee y) = \neg y \wedge (y \wedge (\neg x \vee \neg x)) = \neg y \wedge y$ から $\neg y \wedge y \leq \neg x$. これより $\neg x = \neg x \vee (\neg y \wedge y) = (\neg x \vee \neg y) \wedge (\neg x \vee y) = 1 \wedge (\neg x \vee y) = \neg x \vee y$. よって $y \leq \neg x$.

[定義5] 次の条件を満たす $A \in \mathbb{M}$ をブール代数(Boolean algebra)といい, その全体を \mathbb{B} で表す.

$$(B) x \wedge \neg x = 0$$

[注意5]

(1) $A \in \mathbb{B}$ のとき $x \vee \neg x = 1$ が成り立つ.

(2) $A \in \text{BDL}$ のとき, $A \in \mathbb{B}$ であることは次の (i) ([4]), (ii) と互いに同値である.

$$(i) \begin{cases} x \wedge \neg x = 0 \\ x \vee \neg x = 1 \end{cases} \quad (ii) \begin{cases} x \wedge y = 0 \iff y \leq \neg x \\ \neg(x \wedge y) = \neg x \vee \neg y \\ \neg\neg x = x \end{cases}$$

(3) $\mathbb{B} \subsetneq \mathbb{K} \subsetneq \mathbb{W} \subsetneq \mathbb{M}$

[証明] (2): $A \in \mathbb{B} \implies (i), (ii) \implies A \in \mathbb{B}$ は明らかである.

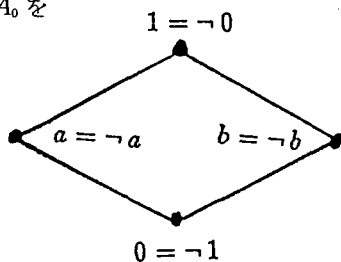
(i) \implies (ii): $x \wedge \neg x = 0$ より $y \leq \neg x \implies x \wedge y = 0$ は明らか. 逆に $x \wedge y = 0$ のとき $\neg x = \neg x \vee 0 = \neg x \vee (x \wedge y) = \neg x \vee y$ より $y \leq \neg x$.

ここで $(x \wedge y = 0 \text{ かつ } x \vee y = 1) \implies y = \neg x \dots \textcircled{*}$. なぜなら, 上と同様にして $x \wedge y = 0 \implies y \leq \neg x$.

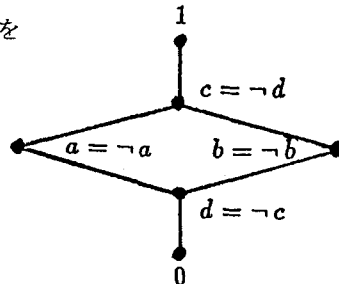
$\neg x = \neg x \wedge 1 = \neg x \wedge (x \vee y) = \neg x \wedge y$ より $\neg x \leq y$ であるから. このとき $\textcircled{*}$ の x を $\neg x$ に, y を x にすれば $x = \neg\neg x$.

また $(x \wedge y) \wedge (\neg x \vee \neg y) = (x \wedge y \wedge \neg x) \vee (x \wedge y \wedge \neg y) = 0$. $(x \wedge y) \vee (\neg x \vee \neg y) = (x \vee \neg x \vee \neg y) \wedge (y \vee \neg x \vee \neg y) = 1$ より $\textcircled{*}$ から $\neg x \vee \neg y = \neg(x \wedge y)$.

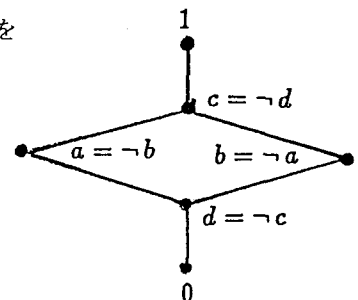
(3): A_0 を



A_1 を



A_2 を



とすれば $A_0 \in \mathbb{M} - \mathbb{W}$, $A_1 \in \mathbb{W} - \mathbb{K}$, $A_2 \in \mathbb{K} - \mathbb{B}$ である.

[定義6] 次の条件を満たす $A \in \text{BDL}$ をストーン代数 (Stone algebra) といい([5]), その全体を \mathbb{S} で表す.

$$(S1) x \wedge \neg x = 0 \quad (S2) \neg(x \wedge y) = \neg x \vee \neg y \quad (S3) \neg 0 = 1$$

[注意6]

- (1) $A \in \mathbb{S}$ のとき (i) $\neg 1 = 0$ (ii) $\neg(x \vee y) = \neg x \wedge \neg y$ (iii) $x \leq \neg \neg x$ が成り立つ。
 (2) $A \in \mathbb{BDL}$ のとき, $A \in \mathbb{S}$ であることは次の (i), (ii) ([7]), (iii) と互いに同値である.

$$(i) \begin{cases} x \wedge \neg x = 0 \\ \neg(x \wedge y) = \neg x \vee \neg y \\ x \leq \neg \neg x \\ \neg 1 = 0 \end{cases} \quad (ii) \begin{cases} x \wedge \neg x = 0 \\ x \wedge y = 0 \implies y \leq \neg x \\ \neg x \vee \neg \neg x = 1 \end{cases} \quad (iii) \begin{cases} x \wedge y = 0 \iff y \leq \neg x \\ \neg(x \wedge y) = \neg x \vee \neg y \end{cases}$$

(3) $\mathbb{B} \subsetneq \mathbb{S}$

[証明] (1): (i) : $0 = 1 \wedge \neg 1 = \neg 1$. (ii) : (S2) より $x \leq y \implies \neg y \leq \neg x$ である. これと $x, y \leq x \vee y$ から $\neg(x \vee y) \leq \neg x \wedge \neg y$. また $(x \vee y) \wedge (\neg x \wedge \neg y) = (x \wedge \neg x \wedge \neg y) \vee (y \wedge \neg x \wedge \neg y) = 0$. この両辺に否定をとると $\neg(x \vee y) \vee \neg(\neg x \wedge \neg y) = 1$. このとき $\neg x \wedge \neg y = (\neg x \wedge \neg y) \wedge 1 = (\neg x \wedge \neg y) \wedge (\neg(x \vee y) \vee \neg(\neg x \wedge \neg y)) = (\neg x \wedge \neg y) \wedge \neg(x \vee y)$ より $\neg x \wedge \neg y \leq \neg(x \vee y)$. $\therefore \neg(x \vee y) = \neg x \wedge \neg y$.

(iii) : $\neg \neg x = \neg \neg x \vee 0 = \neg \neg x \vee (\neg x \wedge x) = (\neg \neg x \vee \neg x) \wedge (\neg \neg x \vee x) = \neg(\neg \neg x \wedge x) \wedge (\neg \neg x \vee x) = 1 \wedge (\neg \neg x \vee x) = \neg \neg x \vee x$ から $x \leq \neg \neg x$.

(2) : $A \in \mathbb{S} \implies$ (i) は (1) より明らかである. (i) \implies (ii) : $1 \leq \neg 1 = \neg 0$ より $\neg 0 = 1$. $x \wedge y = 0$ のとき $y = y \wedge 1 = y \wedge \neg(x \wedge y) = y \wedge (\neg x \vee \neg y) = (y \wedge \neg x) \vee (y \wedge \neg y) = y \wedge \neg x$ より $y \leq \neg x$. $\neg x \vee \neg \neg x = 1$ は明らかである.

(ii) \implies (iii) : $(x \wedge y) \wedge (\neg x \vee \neg y) = (x \wedge y \wedge \neg x) \vee (x \wedge y \wedge \neg y) = 0$ より $\neg x \vee \neg y \leq \neg(x \wedge y)$. ここで $(x \wedge y) \wedge a = 0$ とすると $y \wedge a \leq \neg x$ から $y \wedge a \wedge \neg \neg x \leq \neg x \wedge \neg \neg x = 0$ であり, $a \wedge \neg \neg x \wedge y = 0$ より $a \wedge \neg \neg x \leq \neg y$. このとき $a = a \wedge 1 = a \wedge (\neg x \vee \neg \neg x) = (a \wedge \neg x) \vee (a \wedge \neg \neg x) \leq \neg x \vee \neg y$. a として $\neg(x \wedge y)$ をとることができるから $\neg(x \wedge y) \leq \neg x \vee \neg y$. よって $\neg(x \wedge y) = \neg x \vee \neg y$.

(iii) $\implies A \in \mathbb{S}$: $y \leq \neg x \implies x \wedge y = 0$ で y を $\neg x$ とすれば $x \wedge \neg x = 0$. $1 \wedge 0 = 0$ より $1 \leq \neg 0$ であるから $\neg 0 = 1$.

(3) : A_3 を  とすれば $A_3 \in \mathbb{S} - \mathbb{B}$ である.

[5]でド・モルガン代数とストーン代数に共通な代数系としてMS-代数が次のように定義されている.

[定義7] 次の条件を満たす $A \in \mathbb{BDL}$ をMS-代数といい, その全体をMSで表す.

$$(MS1) \neg(x \wedge y) = \neg x \vee \neg y \quad (MS2) x \leq \neg \neg x \quad (MS3) \neg 1 = 0$$

[注意7]

(1) $A \in \mathbb{MS}$ のとき (i) $\neg(x \vee y) = \neg x \wedge \neg y$ (ii) $\neg 0 = 1$ (iii) $\neg \neg \neg x = \neg x$ が成り立つ.

(2) $\mathbb{M} \subsetneq \mathbb{MS}$

[証明] (1): (i) : (MS1) より $x \leq y \implies \neg y \leq \neg x$. すると $x, y \leq x \vee y$ から $\neg(x \vee y) \leq \neg x \wedge \neg y \leq \neg \neg(\neg x \wedge \neg y) \leq \neg(\neg \neg x \vee \neg \neg y)$. また $x \vee y \leq \neg \neg x \vee \neg \neg y$ より $\neg(\neg \neg x \vee \neg \neg y) \leq \neg(x \vee y)$. よって $\neg(x \vee y) = \neg x \wedge \neg y$.

(ii) : $1 \leq \neg 1 = \neg 0$ より $\neg 0 = 1$.

(iii) : $x \leq \neg \neg x$ より $\neg \neg \neg x \leq \neg x$. $\neg x \leq \neg \neg \neg x$ は明らかであるから $\neg \neg \neg x = \neg x$.

(2) : $A_3 \in \mathbb{MS} - \mathbb{M}$.

[注意6] の(2)から $A \in \mathbb{S} \iff (A \in \mathbb{MS} \text{ かつ } x \wedge \neg x = 0)$ が成り立つ.

ファジイ代数とストーン代数に共通な代数系として次のKS-代数を定義する.

[定義8] 次の条件を満たす $A \in \text{MS}$ をKS-代数といい, その全体を KS で表す([6]では \mathbb{K}_2 と呼ばれている).

$$(KS1) \neg\neg x \wedge \neg x = x \wedge \neg x \quad (KS2) x \wedge \neg x \leq y \vee \neg y$$

[注意8] (1) $\mathbb{K} \not\subseteq \text{KS}$ (2) $\text{S} \not\subseteq \text{KS}$ (3) $\mathbb{K} \cap \text{S} \not\subseteq \text{KS}$

[証明] (1): $A_3 \in \text{KS} - \mathbb{K}$ (2): $A_2 \in \text{KS} - \text{S}$ (3): (1), (2)より明らか.

弱ファジイ代数とKS-代数に共通な代数系として次のWS-代数を定義する.

[定義9] 次の条件を満たす $A \in \text{MS}$ をWS-代数といい, その全体を WS で表す.

$$(WS1) \neg\neg\neg x \wedge \neg x = x \wedge \neg x \quad (WS2) x \wedge y = 0 \implies y \leq \neg x$$

[注意9] $\text{W} \not\subseteq \text{WS}$, $\text{KS} \not\subseteq \text{WS}$, $\text{WS} \not\subseteq \text{MS}$

[証明] $A_3 \in \text{WS} - \text{W}$, $A_1 \in \text{WS} - \text{KS}$, $A_0 \in \text{MS} - \text{WS}$

[定義10] 次の条件を満たす $A \in \text{BDL}$ を擬補代数(pseudo-complemented algebra)といい([7], [10]), その全体を P で表す.

$$(P1) x \wedge \neg x = 0 \quad (P2) x \wedge y = 0 \implies y \leq \neg x$$

[注意10] (1) $A \in \text{P}$ のとき $\neg 1 = 0$, $\neg 0 = 1$ が成り立つ.

(2) $A \in \text{BDL}$ のとき, $A \in \text{P}$ であることは次の (i)([4]), (ii)([11]) と互いに同値である.

$$(i) \ x \wedge y = 0 \iff y \leq \neg x \quad (ii) \ \begin{cases} x \wedge \neg x = 0 \\ \neg(x \vee y) = \neg x \wedge \neg y \\ \neg\neg(x \wedge y) = \neg\neg x \wedge \neg\neg y \\ x \leq \neg\neg x \end{cases}$$

(3) $\text{S} \not\subseteq \text{P}$

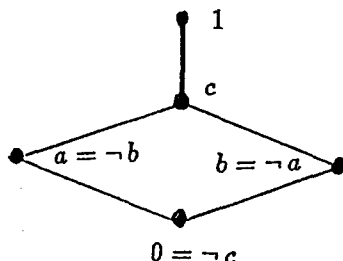
[証明] (1): $\neg 1 = 1 \wedge \neg 1 = 0$. $1 \wedge \neg 1 = 0$ より $1 \leq \neg 1 = \neg 0$ であり $\neg 0 = 1$.

(2): $A \in \text{P} \implies (i)$ は明らかである. $(i) \implies (ii)$: (i) の \iff で y を $\neg x$ にすると $x \wedge \neg x = 0$. $x \leq y$ のとき $x \wedge \neg y \leq y \wedge \neg y = 0$ より $x \wedge \neg y = 0$ であり $\neg y \leq \neg x$. よって $x \leq y \implies \neg y \leq \neg x$. $x, y \leq x \vee y$ より $\neg(x \vee y) \leq \neg x \wedge \neg y$. また $(\neg x \wedge \neg y) \wedge (x \vee y) = 0$ より $\neg x \wedge \neg y \leq \neg(x \vee y)$. $\therefore \neg(x \vee y) = \neg x \wedge \neg y$. また $x \wedge \neg x = 0$ から $x \leq \neg\neg x$ が成り立つ. ここで $x \wedge y = 0 \iff \neg\neg x \wedge y = 0 \dots \textcircled{*}$. なぜなら $x \wedge y = 0$ とすると $y \leq \neg x$ より $\neg\neg x \wedge y \leq \neg x \wedge \neg\neg x = 0$. 逆に $\neg\neg x \wedge y = 0$ とすると $x \leq \neg\neg x$ より $x \wedge y \leq \neg\neg x \wedge y = 0$ であるから. このとき $(x \wedge y) \wedge \neg(x \wedge y) = 0$ で $\textcircled{*}$ を使うと $\neg\neg x \wedge (y \wedge \neg(x \wedge y)) = 0$. 再び $\textcircled{*}$ より $\neg\neg x \wedge \neg\neg y \wedge \neg(x \wedge y) = 0$. よって $\neg\neg x \wedge \neg\neg y \leq \neg(x \wedge y)$. さらに $x \wedge y \leq x, y$ より $\neg\neg(x \wedge y) \leq \neg\neg x \wedge \neg\neg y$. $\therefore \neg\neg(x \wedge y) = \neg\neg x \wedge \neg\neg y$.

(ii) $\implies A \in \text{P}$: (ii)より $x \leq y \implies \neg y \leq \neg x$ と $\neg\neg x = \neg x$ と $\neg 1 = 0$ と $\neg 0 = 1$ が成り立つ.

$x \wedge y = 0$ とする. $\neg x = \neg\neg\neg x = \neg\neg(\neg x \vee 0) = \neg\neg(\neg x \vee (y \wedge \neg y)) = \neg\neg((\neg x \vee y) \wedge (\neg x \vee \neg y)) = \neg\neg(\neg x \vee y) \wedge \neg\neg(\neg x \vee \neg y)$. ここで $\neg\neg(\neg x \vee \neg y) = \neg(\neg\neg x \wedge \neg\neg y) = \neg(\neg\neg(x \wedge y)) = \neg\neg 0 = 1$ であるから $\neg x = \neg\neg(\neg x \vee y) \geq \neg x \vee y$. また $\neg x \leq \neg x \vee y$ は明らか. よって $\neg x = \neg x \vee y$ より $y \leq \neg x$.

(3): A_4 を



とすれば $A_4 \in \text{P} - \text{S}$.

MS-代数と同様にしてMP-代数を次のように定義する.

[定義11] 次の条件を満たす $A \in \text{BDL}$ を MP-代数といい, その全体を MP で表す.

$$(MP1) \neg(x \vee y) = \neg x \wedge \neg y \quad (MP2) \neg\neg(x \wedge y) = \neg\neg x \wedge \neg\neg y \quad (MP3) x \leq \neg\neg x \quad (MP4) \neg 1 = 0$$

[注意11] (1) $A \in \text{MP}$ のとき $\neg 0 = 1$, $\neg\neg(x \wedge y) = \neg(\neg x \vee \neg y)$, $\neg\neg(x \vee y) = \neg(\neg x \wedge \neg y)$ が成り立つ.

(2) $\text{MS} \subsetneq \text{MP}$

[証明] (2): $A_4 \in \text{MP} - \text{MS}$

KS-代数, WS-代数と同様にしてKP-代数, WP-代数を次のように定義する.

[定義12]

(1) 次の条件を満たす $A \in \text{MP}$ を KP-代数といい, その全体を KP で表す.

$$(KP1) \neg\neg x \wedge \neg x = x \wedge \neg x \quad (KP2) x \wedge \neg x \leq y \vee \neg y$$

(2) 次の条件を満たす $A \in \text{MP}$ を WP-代数といい, その全体を WP で表す.

$$(WP1) \neg\neg x \wedge \neg x = x \wedge \neg x \quad (WP2) x \wedge y = 0 \implies y \leq \neg x$$

[注意12] (1) $A \in \text{KP}$ のとき $x \wedge y = 0 \implies y \leq \neg x$ が成り立つ.

(2) $\text{KS} \subsetneq \text{KP}$, $\text{P} \subsetneq \text{KP}$, $\text{WS} \subsetneq \text{WP}$, $\text{KP} \subsetneq \text{WP}$, $\text{WP} \subsetneq \text{MP}$

[証明] (1): $x \wedge y = 0$ とする. [注意4] と同様にして $\neg y \wedge y \leq \neg x$ であり, これより $\neg x = \neg x \vee (\neg y \wedge y) = (\neg x \vee \neg y) \wedge (\neg x \vee y)$. このとき $\neg x = \neg\neg\neg x = \neg\neg((\neg x \vee \neg y) \wedge (\neg x \vee y)) = \neg\neg(\neg x \vee \neg y) \wedge \neg\neg(\neg x \vee y) = \neg\neg\neg(x \wedge y) \wedge \neg\neg(\neg x \vee y) = \neg\neg(\neg x \vee y) \geq \neg x \vee y$ から $\neg x \vee y \leq \neg x$. $\neg x \leq \neg x \vee y$ は明らか. よって $\neg x = \neg x \vee y$ から $y \leq \neg x$.

(2): $A_4 \in \text{KP} - \text{KS}$, $A_2 \in \text{KP} - \text{P}$, $A_4 \in \text{WP} - \text{WS}$, $A_1 \in \text{WP} - \text{KP}$, $A_6 \in \text{MP} - \text{WP}$

[定義13] $\text{B}, \text{K}, \text{W}, \text{M}$ 中の代数系はそれぞれ自己双対的(self-dual)である. S の代数系と双対(dual)な代数系の全体を $\tilde{\text{S}}$ で表す($\text{S} \longrightarrow \tilde{\text{S}}$ と書く). P についても同様に $\tilde{\text{P}}$ で表す. このとき $\text{KS} \longrightarrow \text{K}\tilde{\text{S}}$, $\text{WS} \longrightarrow \text{W}\tilde{\text{S}}$, $\text{MS} \longrightarrow \text{M}\tilde{\text{S}}$, $\text{KP} \longrightarrow \text{K}\tilde{\text{P}}$, $\text{WP} \longrightarrow \text{W}\tilde{\text{P}}$, $\text{MP} \longrightarrow \text{M}\tilde{\text{P}}$ と同様にできる.

[1]では S , $\tilde{\text{S}}$, $\text{M}\tilde{\text{S}}$ 中の代数系がそれぞれ擬ファジイ代数(PFA), 準ファジイ代数(QFA), MQ-algebra(MQA) と呼ばれている. [6]では $\text{K}\tilde{\text{S}}$ が K_1 と呼ばれている.

[1]と同様に $\text{M}\tilde{\text{S}}$ と $\text{M}\tilde{\text{S}}$ に共通な代数系として, $\text{M}\tilde{\text{S}}\tilde{\text{S}}$ -代数([1]のMQS-algebra(MQSA))を次のように定義する.

[定義14] 次の条件を満たす $A \in \text{BDL}$ を $\text{M}\tilde{\text{S}}\tilde{\text{S}}$ -代数といい, その全体を $\text{M}\tilde{\text{S}}\tilde{\text{S}}$ で表す.

$$(M\tilde{S}\tilde{S}1) \neg(x \wedge y) = \neg x \vee \neg y \quad (M\tilde{S}\tilde{S}2) \neg(x \vee y) = \neg x \wedge \neg y \quad (M\tilde{S}\tilde{S}3) \neg\neg\neg x = \neg x \\ (M\tilde{S}\tilde{S}4) \neg 0 = 1 \quad (M\tilde{S}\tilde{S}5) \neg 1 = 0$$

[注意13] $\text{M}\tilde{\text{S}} \subsetneq \text{M}\tilde{\text{S}}\tilde{\text{S}}$, $\text{M}\tilde{\text{S}} \subsetneq \text{M}\tilde{\text{S}}\tilde{\text{S}}$, $\text{M}\tilde{\text{S}} \subsetneq \text{M}\tilde{\text{S}}\tilde{\text{S}}$

[証明] ド・モルガン律のどちらか一方が成り立てば $x \leq y \implies \neg y \leq \neg x$ が成り立つから $(\neg\neg x \leq x$ または $x \leq \neg\neg x) \implies \neg\neg\neg x = \neg x$ が成り立つ.

A_5 を \bullet $1 = \neg a$ とすれば $A_5 \in \text{M}\tilde{\text{S}}\tilde{\text{S}} - \text{M}\tilde{\text{S}}$, $A_3 \in \text{M}\tilde{\text{S}}\tilde{\text{S}} - \text{M}\tilde{\text{S}}$, $A_5 \in \text{M}\tilde{\text{S}}\tilde{\text{S}} - \text{M}\tilde{\text{S}}$ である.



さらに \tilde{MIP} と MIP に共通な代数系として, MPP -代数を次のように定義する.

[定義15] 次の条件を満たす $A \in BDL$ を MPP -代数といい, その全体を MPP で表す.

$$(MPP1) x \leq y \implies \neg y \leq \neg x \quad (MPP2) \neg\neg(x \wedge y) = \neg(\neg x \vee \neg y) \quad (MPP3) \neg\neg(x \vee y) = \neg(\neg x \wedge \neg y)$$

$$(MPP4) \neg\neg\neg x = \neg x \quad (MPP5) \neg 0 = 1 \quad (MPP6) \neg 1 = 0$$

[注意14] $MSS \subsetneq MPP$, $MIP \subsetneq MPP$, $MP \subsetneq MPP$

[証明] $A_1 \in MPP - MSS$, $A_2 \in MPP - MIP$, $A_3 \in MPP - MP$

以上のことを次頁の [図1] のようなハッセ図にまとめることができる. 線で結ばれた下にあるものがクラスとして大きくなる. $\left\{ \begin{matrix} \dots \\ \dots \end{matrix} \right.$ が各代数系の公理であり, (\dots) はそこで成り立つ式である.

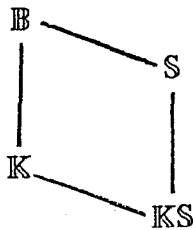
中央の $B-K-W-M-MSS-MPP$ は自己双対的であり, これを中心にして左右が双対になっている.

[定理1]

(1) 次の [図2] の中にある 18 通りの平行四辺形において, [1], [5] と同様に次のことが成り立つ.

例えば

の場合



$B_1 \in K, B_2 \in S$ のとき次のことが成り立つ.

- (i) $B_1 \times B_2 \in KS$
- (ii) $B_1 \times B_2 \in K \iff B_2 \in B$
- (iii) $B_1 \times B_2 \in S \iff B_1 \in B$

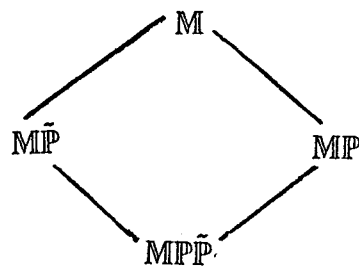
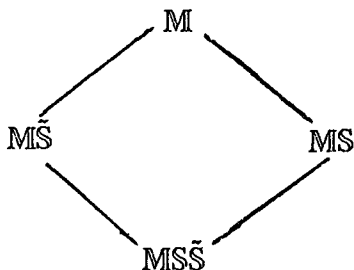
ただし, $B_1 \times B_2$ は集合としての直積であり,

$(x_1, y_1), (x_2, y_2) \in B_1 \times B_2$ のとき

$\neg(x_1, y_1) = (\neg x_1, \neg y_1), (x_1, y_1) \wedge (x_2, y_2) = (x_1 \wedge x_2, y_1 \wedge y_2), (x_1, y_1) \vee (x_2, y_2) = (x_1 \vee x_2, y_1 \vee y_2)$ とする.

(2) [図2] と双対な [図1] における左側の部分についても(1)と同様なことが成り立つ.

(3) 次の2つの平行四辺形においても(1)と同様なことが成り立つ.



[証明] (1): 一般に代数系のクラスを A とするとき, $B_1, B_2 \in A \iff B_1 \times B_2 \in A$ が成り立つ.

(i): $B_1 \in KS, B_2 \in KS$ から $B_1 \times B_2 \in KS$ が成り立つ.

(ii): \implies : (B の公理の全体) \subset (K の公理の全体) \cup (S の公理の全体) である. B の公理のうち K にあるものは $B_2 \in K$ から B_2 で成り立つ. B の公理のうち K にないものは S にあり, $B_2 \in S$ より B_2 で成り立つ. $\therefore B_2 \in B$.

\impliedby : $B_2 \in B$ より $B_2 \in K$ であり, $B_1 \in K$ から $B_1 \times B_2 \in K$ が成り立つ.

(iii): (ii) と双対にできる.

2. Glivenko の定理の拡張

Glivenko の定理([3],[4])の拡張([12])を考える.

[定理 2] $A \in \text{BDL}$ のとき, 次のように定義する.

$$\mathbf{B}(A) = \{x \in A \mid x \wedge \neg x = 0\}$$

$$\mathbf{M}(A) = \{x \in A \mid \neg \neg x = x\}$$

$$\mathbf{D}(A) = \{x \in A \mid \neg x = 0\}$$

$$\mathbf{M}^*(A) = \{x \in A \mid x \leq \neg \neg x\}$$

$$\mathbf{K}(A) = \{x \in A \mid x \wedge \neg x \leq y \vee \neg y \text{ for all } y \in A\}$$

$$\mathbf{K}_u(A) = \{x \in A \mid x \wedge \neg x \leq y \sqcup \neg y \text{ for all } y \in A\}$$

$$\mathbf{K}_{nu}(A) = \{x \in A \mid x \sqcap \neg x \leq y \sqcup \neg y \text{ for all } y \in A\}$$

$$x \sqcup y = \neg \neg (x \vee y) \quad x \sqcap y = \neg \neg (x \wedge y)$$

このとき, 次のことが成り立つ.

- (1) $A \in \text{MP} \implies \mathbf{B}(A) \in \mathbf{P}$
- (2) $A \in \text{MSS} \implies \mathbf{M}(A) \in \mathbf{M}$
- (3) $A \in \text{MP} \implies \mathbf{D}(A) \cup \{0\} \in \mathbf{S}$
- (4) $A \in \text{MP} \implies \langle \mathbf{M}(A); \wedge, \sqcup, \neg, 0, 1 \rangle \in \mathbf{M}$
- (5) $A \in \text{MSS} \implies \mathbf{M}^*(A) \in \mathbf{MS}$
- (6) $A \in \text{MPP} \implies \langle \mathbf{M}(A); \sqcap, \sqcup, \neg, 0, 1 \rangle \in \mathbf{M}$
- (7) $A \in \mathbf{M} \implies \mathbf{K}(A) \in \mathbf{K}$

[証明] (1): $x, y \in \mathbf{B}(A)$ とする. $(x \wedge y) \wedge \neg (x \wedge y) \leq \neg \neg (x \wedge y) \wedge \neg \neg \neg (x \wedge y) = \neg \neg (x \wedge y) \wedge \neg \neg (\neg x \vee \neg y)$
 $= \neg \neg ((x \wedge y) \wedge (\neg x \vee \neg y)) = \neg \neg ((x \wedge y \wedge \neg x) \vee (x \wedge y \wedge \neg y)) = 0$ から $x \wedge y \in \mathbf{B}(A)$. 他は明らか.

このとき (1) より次のことが成り立つ. $A \in \text{MS} \implies \mathbf{B}(A) \in \mathbf{S}$. $A \in \mathbf{M} \implies \mathbf{B}(A) \in \mathbf{B}$. これより [9] で証明されている $A \in \mathbf{K} \implies \mathbf{B}(A) \in \mathbf{B}$ も明らかである.

(2): $x, y \in \mathbf{M}(A)$ のとき $\neg \neg (x \wedge y) = \neg \neg x \wedge \neg \neg y = x \wedge y$ から $x \wedge y \in \mathbf{M}(A)$. また $\mathbf{M}(A) = \{\neg x \mid x \in A\} = \{\neg \neg x \mid x \in A\}$ ともできる.

(3): $x, y \in \mathbf{D}(A)$ とする. $\neg 1 = 0$ から $1 \in \mathbf{D}(A)$. $\neg (x \wedge y) = \neg \neg \neg (x \wedge y) = \neg (\neg \neg x \wedge \neg \neg y) = \neg 1 = 0$. $\neg (x \wedge 0) = \neg 0 = 1$. $\neg (x \vee y) = \neg x \wedge \neg y = 0$. $\neg (x \vee 0) = \neg x = 0$. $\neg (x \wedge y) = 0 = \neg x \vee \neg y$. $\neg (x \wedge 0) = 1 = \neg x \vee \neg 0$. $\neg (x \vee y) = 0 = \neg x \wedge \neg y$. $\neg (x \vee 0) = 0 = \neg x \wedge \neg 0$. また $x \wedge \neg x = 0$. $0 \wedge \neg 0 = 0$. よって $\mathbf{D}(A) \cup \{0\} \in \mathbf{S}$.

(4): $x, y \in \mathbf{M}(A)$ とする. $x \sqcup y = \neg (\neg x \wedge \neg y)$ である. $\neg \neg (x \sqcup y) = \neg \neg \neg \neg (x \vee y) = \neg \neg (x \vee y) = x \sqcup y$ より $x \sqcup y \in \mathbf{M}(A)$. 次に $x \sqcup y = \sup\{x, y\}$ を示す. $\neg x \wedge \neg y \leq \neg x$ より $x = \neg \neg x \leq \neg (\neg x \wedge \neg y) = x \sqcup y$. 同様に $y \leq x \sqcup y$. $x, y \leq u \in \mathbf{M}(A)$ のとき $\neg u \leq \neg x \wedge \neg y$ から $x \sqcup y = \neg (\neg x \wedge \neg y) \leq \neg \neg u = u$. さらに $x \wedge (y \sqcup z) = \neg \neg x \wedge \neg \neg (y \vee z) = \neg \neg (x \wedge (y \vee z)) = \neg \neg ((x \wedge y) \vee (x \wedge z)) = (x \wedge y) \sqcup (x \wedge z)$. $x \sqcup (y \wedge z) = (x \sqcup y) \wedge (x \sqcup z)$ も同様に成り立つ. $\neg (x \wedge y) = \neg (\neg \neg x \wedge \neg \neg y) = \neg x \sqcup \neg y$. $\neg (x \sqcup y) = \neg \neg \neg \neg (x \vee y) = \neg \neg (x \vee y) = \neg x \wedge \neg y$.

(5): $x, y \in \mathbf{M}^*(A)$ とする. $x \wedge y \leq \neg \neg x \wedge \neg \neg y = \neg \neg (x \wedge y)$. また $x \leq x \vee y$ より $x \leq \neg \neg x \leq \neg \neg (x \vee y)$. 同様に $y \leq \neg \neg (x \vee y)$ から $x \vee y \leq \neg \neg (x \vee y)$. $\therefore x \wedge y, x \vee y \in \mathbf{M}^*(A)$.

(6): $x, y \in \mathbf{M}(A)$ とする. $\neg \neg (x \sqcup y) = \neg \neg \neg \neg (x \vee y) = \neg \neg (x \vee y) = x \sqcup y$. $\neg \neg (x \sqcap y) = x \sqcap y$ も同様である. $x \sqcup y = \sup\{x, y\}$, $x \sqcap y = \inf\{x, y\}$ は (4) と同様にできる.

$\neg (x \sqcup y) = \neg \neg \neg \neg (x \vee y) = \neg \neg (\neg x \wedge \neg y) = \neg x \sqcap \neg y$. $\neg (x \sqcap y) = \neg x \sqcup \neg y$ も同様である.

$x \sqcap (y \sqcup z) = \neg \neg (x \wedge \neg \neg (y \vee z)) = \neg \neg (\neg \neg x \wedge \neg (\neg y \wedge \neg z)) = \neg \neg \neg \neg (\neg x \vee (\neg y \wedge \neg z)) = \neg \neg \neg \neg ((\neg x \vee \neg y) \wedge (\neg x \vee \neg z)) = \neg \neg (\neg (\neg x \vee \neg y) \vee \neg (\neg x \vee \neg z)) = \neg \neg (\neg (x \sqcap y) \wedge \neg (x \sqcap z)) = (x \sqcap y) \sqcup (x \sqcap z)$. $x \sqcup (y \sqcap z) = (x \sqcup y) \sqcap (x \sqcup z)$ も同様である.

(7): $x, y \in \mathbf{K}(A)$ とする. $\neg x \wedge \neg \neg x = \neg x \wedge x \leq y \vee \neg y$ for all $y \in A$ から $\neg x \in \mathbf{K}(A)$. $(x \wedge y) \wedge \neg (x \wedge y) = (x \wedge y) \wedge (\neg x \vee \neg y) = (x \wedge y \wedge \neg x) \vee (x \wedge y \wedge \neg y) \leq (x \wedge \neg x) \vee (y \wedge \neg y) \leq z \vee \neg z$ for all $z \in A$. $\therefore x \wedge y \in \mathbf{K}(A)$. $(x \vee y) \wedge \neg (x \vee y) \leq z \vee \neg z$ for all $z \in A$ も同様である. このとき次のことが成り立つ.

(4),(7) より $A \in \text{MP} \implies \langle \mathbf{K}_u(\mathbf{M}(A)); \wedge, \sqcup, \neg, 0, 1 \rangle \in \mathbf{K}$.

(2),(7) より $A \in \text{MSS} \implies \mathbf{K}(\mathbf{M}(A)) \in \mathbf{K}$.

(6),(7) より $A \in \text{MPP} \implies \langle \mathbf{K}_{nu}(\mathbf{M}(A)); \sqcap, \sqcup, \neg, 0, 1 \rangle \in \mathbf{K}$.

REFERENCES

1. 荒金憲一, MS-algebra に双対な代数系について, 奈良高専研究紀要 28 (1993), 105-111.
2. _____, ファジイ代数の決定問題, 奈良高専研究紀要 30 (1995), 115-123.
3. R. Balbes and P. Dwinger, *Distributive Lattices*, University of Missouri Press, Columbia, Missouri, 1974.
4. G. Birkhoff, *Lattice Theory*, 3rd ed., American Math. Soc. Providence, Rhode Island, 1967.
5. T. S. Blyth and J. C. Varlet, *On a common abstraction of de Morgan algebras and Stone algebras*, Proceedings of the Royal Society of Edinburgh 94A (1983), 301-308.
6. _____, *Subvarieties of the class of MS-algebras*, Proceedings of the Royal Society of Edinburgh 95A (1983), 157-169.
7. G. Grätzer, *General Lattice Theory*, Academic Press, New York, San Francisco, 1978.
8. 近藤通朗, ファジイ論理関数の性質について, 日本数学会1993年度年会応用数学分科会講演アブストラクト (1993), 29-30.
9. _____, *Complementary operation in fuzzy set algebras*, Mathematica Japonica 38 (1993), 871-876.
10. 松本和夫, *On a lattice relating to the intuitionistic logic*, Journal of the Osaka Institute of Science and Technology 2 (1950), 97-107.
11. P. Ribenboim, *characterization of the sup-complement in a distributive lattice with last element*, Summa Brasiliensis Mathematicae 2 (1949), 43-49.
12. H. P. Sankappanavar, *Semi-De Morgan algebras*, The Journal of Symbolic Logic 52 (1987), 712-724.

A Note on Generalized Vietoris Topology and Pixley-Roy Topology

Shôgo IKENAGA

We introduced the generalized Vietoris topology $\mathbf{T}(\lambda)$ on the hyperspace 2^X . The topology $\mathbf{T}(\omega)$ is coincident with the Vietoris topology and $\mathbf{T}(w(X)^+)$ is coincident with the Pixley-Roy topology. There exists an example such that $\mathbf{T}(\lambda)$ is coincident with the Pixley-Roy topology for some $\lambda < w(X)^+$.

Let (X, τ) be a topological space, where τ is the collection of all open subsets of X and let $2^X = \{F \subset X : F \text{ is a nonempty closed subset of } X\}$. For every subcollection \mathbf{U} of τ , let $\langle \mathbf{U} \rangle = \{F \in 2^X : \text{for every } U \in \mathbf{U}, F \cap U \neq \phi \text{ and } F \subset \cup \mathbf{U}\}$, where $\cup \mathbf{U} = \cup \{U : U \in \mathbf{U}\}$. For every $F \in 2^X$ and for every open set U with $F \subset U$, let $[F, U] = \{G \in 2^X : F \subset G \subset U\}$. Let $\mathbf{B}(\lambda) = \{\langle \mathbf{U} \rangle : \mathbf{U} \subset \tau \text{ and } |\mathbf{U}| < \lambda\}$ for every cardinal number λ .

The countable cardinal number and the first uncountable cardinal number are denoted by ω and ω_1 , respectively. The successor of the cardinal number λ is denoted by λ^+ . For $x \in X$, $\chi(x)$ denotes the character of x and $\chi(X)$ denotes the character of X . $w(X)$ denotes the weight of X . $d(X)$ and $hd(X)$ denote the density and the hereditary density of X , respectively. For every subset A of X , \bar{A} denotes the closure of A . (See [1] for these notations.)

Proposition 1. *For every cardinal number λ , the collection $\mathbf{B}(\lambda)$ is a base for some topology on the hyperspace 2^X .*

Proof. Suppose that $F \in 2^X$ and $F \in \langle \mathbf{U} \rangle \cap \langle \mathbf{V} \rangle$, where $\mathbf{U} \subset \tau$, $\mathbf{V} \subset \tau$ and $|\mathbf{U}| < \lambda$, $|\mathbf{V}| < \lambda$. Then for every $U \in \mathbf{U}$, $F \cap U \neq \phi$ and for every

$V \in \mathbf{V}$, $F \cap V \neq \phi$ and $F \subset (\cup \mathbf{U}) \cap (\cup \mathbf{V})$. Let $T = (\cup \mathbf{U}) \cap (\cup \mathbf{V})$ and $\mathbf{W} = \{U \cap T : U \in \mathbf{U}\} \cup \{V \cap T : V \in \mathbf{V}\}$. For every $U \in \mathbf{U}$ and for every $V \in \mathbf{V}$, $F \cap (U \cap T) = F \cap U \neq \phi$ and $F \cap (V \cap T) = F \cap V \neq \phi$. Furthermore, $F \subset (\cup \mathbf{U}) \cap (\cup \mathbf{V}) \cap T = \cup \mathbf{W}$. Hence $F \in \langle \mathbf{W} \rangle$. Let $G \in \langle \mathbf{W} \rangle$, then $G \subset \cup \mathbf{W}$ and $G \cap W \neq \phi$ for every $W \in \mathbf{W}$. Then $G \subset \cup \mathbf{U}$ and $G \cap U = G \cap (U \cap T) \neq \phi$. Hence $G \in \langle \mathbf{U} \rangle$. Similarly, $G \in \langle \mathbf{V} \rangle$. Hence $F \in \langle \mathbf{W} \rangle \subset \langle \mathbf{U} \rangle \cap \langle \mathbf{V} \rangle$ and $\mathbf{B}(\lambda)$ is a base for 2^X . \square

Let $\mathbf{T}(\lambda)$ be the topology on 2^X which is induced by $\mathbf{B}(\lambda)$. $\mathbf{T}(\lambda)$ is called the *generalized Vietoris topology* on 2^X . The topology $\mathbf{T}(\omega)$ is the Vietoris topology (or the finite topology) on 2^X . Let $\mathbf{B}_\infty = \{[F, U] : F \in 2^X \text{ and } U \text{ is an open subset of } X \text{ with } F \subset U\}$. Also \mathbf{B}_∞ is a base for 2^X . The topology \mathbf{T}_∞ which is induced by \mathbf{B}_∞ is the Pixley-Roy topology on 2^X .

Proposition 2. *Let λ and μ be cardinal numbers. If $\lambda \leq \mu$ then $\mathbf{T}(\lambda) \subset \mathbf{T}(\mu)$.*

Proof. Since $\mathbf{B}(\lambda) \subset \mathbf{B}(\mu)$, it is obvious. \square

Proposition 3. *For every cardinal number λ , $\mathbf{T}(\lambda) \subset \mathbf{T}_\infty$.*

Proof. Suppose $F \in \langle U \rangle \in \mathbf{B}(\lambda)$. Let $T = \cup U$. For every $G \in [F, T]$, $F \subset G \subset T$. Since $G \cap U \supset F \cap U \neq \phi$ for every $U \in \langle U \rangle$, $G \in \langle U \rangle$. Hence $F \in [F, T] \subset \langle U \rangle$. This means that $\mathbf{T}(\lambda) \subset \mathbf{T}_\infty$. \square

Theorem. Let (X, τ) be a topological space and let α and β be cardinal numbers. For every $F \in 2^X$, there exists a dense subset D of F such that $|D| \leq \alpha$ and for every point $x \in D$, $\chi(x) \leq \beta$. Let $\gamma = (\alpha \cdot \beta)^+$. Then $\mathbf{T}(\gamma)$ is the Pixley-Roy topology on the hyperspace 2^X .

Proof. Let $F \in 2^X$ and let U is an open set with $F \subset U$. We shall show that $[F, U] = \langle \mathbf{W} \rangle$ for some $\langle \mathbf{W} \rangle \in \mathbf{B}(\gamma)$. There exists a subset D of F such that $\bar{D} = F$ and for every $x \in D$, $\chi(x) \leq \beta$. For every $x \in D$, there exists a base $\mathbf{V}(x)$ of x such that $|\mathbf{V}(x)| \leq \beta$. Let $\mathbf{W} = \{V \cap U : V \in \mathbf{V}(x) \text{ and } x \in D\} \cup \{U\}$. Then $|\mathbf{W}| \leq \alpha \cdot \beta < \gamma$. Suppose $G \in \langle \mathbf{W} \rangle$, then $G \subset U$. For every $x \in D$ and for every $V \in \mathbf{V}(x)$, $V \cap G = (V \cap U) \cap G \neq \phi$. Hence $x \in \bar{G} = G$. Then $D \subset G$ and $F = \bar{D} \subset \bar{G} = G$. Hence $F \subset G \subset U$ and $G \in [F, U]$. Thus $\langle \mathbf{W} \rangle \subset [F, U]$. Suppose $G \in [F, U]$. Then $F \subset G \subset U$ and $(V \cap U) \cap G = V \cap G \neq \phi$ for every $V \cap U \in \mathbf{W}$, where $V \in \mathbf{V}(x)$ for some $x \in D$. Furthermore, $U \in \mathbf{W}$ and $G \cap U = G \neq \phi$ and

$U \cap \mathbf{W} = U \supset G$. Then $G \in \langle \mathbf{W} \rangle$ and $[F, U] \subset \langle \mathbf{W} \rangle$. Hence $\langle \mathbf{W} \rangle = [F, U]$. This completes the proof. \square

Corollary. The topology $\mathbf{T}(w(X)^+)$ is the Pixley-Roy topology on the hyperspace 2^X , where we assume that $w(X) \geq \omega$.

Proof. For every $F \in 2^X$, $d(F) \leq w(X)$ and for every $x \in X$, $\chi(x) \leq w(X)$. By Theorem, $\mathbf{T}((w(X) \cdot w(X))^+) = \mathbf{T}(w(X)^+)$ is the Pixley-Roy topology. \square

There exists a space X such that for some $\lambda < w(X)^+$, $\mathbf{T}(\lambda)$ is the Pixley-Roy topology on 2^X .

Example. Let S be the Sorgenfrey line. Then $w(S) = 2^\omega$. Since S is a subspace of some linearly ordered space, $hd(S) = d(S) = \omega$ (see [1, pp. 222]). Clearly, $\chi(S) = \omega$. Then $(hd(S) \cdot \chi(S))^+ = (\omega \cdot \omega)^+ = \omega_1$. Hence $\mathbf{T}(\omega_1)$ is the Pixley-Roy topology on 2^S . The other hand, $(w(S))^+ = (2^\omega)^+ > \omega_1$. \square

Reference

- [1] Engelking, R. General Topology, (1989) Berlin, Heldermann.

フリーダ・ヴェッチ再評価

片山悦男

Reevaluation of Fleda Vetch

Etsuo KATAYAMA

In *The Spoils of Poynton* which appeared serially in *The Atlantic Monthly* in 1896, Henry James combines the “scenic method” and the technique of point of view and produces a notable work which heralds the advent of his “major phase.” But the opinions of critics are divided on the assessment of Fleda Vetch, a focalizing character of this narrative. To take an example, Oscar Cargill thinks Fleda is “corrupted by the struggle for possessions” of Poynton, while Alan H. Roper finds the disposition of “sympathy and altruism” in her. These very different opinions about the focalizing character may be caused by some change in the technique of point of view. This study is an attempt to elucidate the duality of point of view shown by the focalizing character to which that technical change is mostly attributed.

1895年1月5日聖ジェイムズ劇場 (St. James's Theater) でその当時Saturday Review誌の演劇担当の記者だったバーナード・ショーやPall Mall Gazetteの新聞記者だったH. G. ウェルズや雑誌Womanの副編集長だったアーノルド・ベネットなどの人々の前で、その夜上演された彼の自信作Guy Domvilleのカーテンコールにその劇の主役のGeorge Alexanderに手を引かれて観客の前に引っ張り出され「全くの駄作だ」(a rotten play)と罵声を浴びせられて¹⁾以来、ジェイムズが劇作での成功を諦め小説に天職を見出し小説復帰後の最初の注目作『ポイントン邸の蒐集品』の中で、一連の場面や登場人物の出会いの中で物語を展開していく「劇的手法」(scenic method)とそれらの場面や出会いの中で議論されたり言及される問題の解釈を「視点人物」(focalizing character)の意識を通してのみ読者に提示する視点の技法の両方を巧妙に用い後期の作品の先駆けとなる作品を書いたことは批評家たちの意見の一致するところと考えます。

しかし、視点人物フリーダ・ヴェッチについては批評家たちの意見は分かれます。フリーダの「道德的ヒステリー」(moral hysteria)を指摘する人²⁾もいれば、彼女の「高潔さ」(integrity)を指摘する人³⁾もいます。

また、フリーダ自身がポイントン邸を巡る財産争いによって墮落させられていたとする人⁴⁾もいれば、彼女に「思いやりと利他主義」(sympathy and altruism)を認める人⁵⁾もいます。前後の脈絡無しに思いつくまま並び上げただけでもフリーダ・ヴェッチに対する正反対の評価がいくつもあることを考えますと、James W. Garganoでなくても、フリーダの行動は非常に幅の広い意見の不一致を引き起こすように計算されている⁶⁾と考えたくなるものです。ただ私にはフリーダに対する正反対の評価は彼女の置かれている境遇やこの物語における視点人物としての彼女の使われ方も深い関係があるように思われますので、ここではその点について考察し、できればこの作品でジェイムズの視点の技法がどのような変貌を遂げているのか解明してみたいと思います。

1

それではそもそもフリーダ・ヴェッチはいかなる女性なのでしょう。第2章で紹介される彼女の状況を簡単に述べますと、フリーダは財産も家もなく、画家として身を立てる計画も挫折した模様なので将来の展望もない不安定な状況にある女性として描かれています。その上

彼女の母親は既に亡く、父親は彼女の生活費を少しは払ってくれるのですが、彼女との同居は望んでいないので、フリーダはRobert C. Macleanが評したように何か得をしそうな家の居候となって生活する「職業的居候」(professional house guest)⁷⁾にならざるを得ない状況にもある女性です。つまり他人の家の居候となることがフリーダにとって唯一生計を立てる道なのです。

第1章のウォーターバス邸のブリッグストック家のパーティーに招待されているフリーダ・ヴェッチは既にこのことを意識していると思われます。同じようにそのパーティーに招待されているゲレス夫人に同調してウォーターバス邸の「低俗さ」(vulgarity)や「審美感覚」(taste)の無さに反撥して、フリーダはゲレス夫人と共にウォーターバス邸の水彩画を「家族で冗談に天才の作品と言っているが、その絵の話をするだけで身震いするような一組のおかしな水彩画」(a set of comic watercolours, a family joke by a family genius, ..., that they shudderingly alluded to.) (7)⁸⁾と評しているのですが、第13章ではそのウォーターバス邸の絵を見て本来画家志望のフリーダが用心して絵を描かなくなったと述べられています。

She [Fleda] had not indeed struggled with a brush since her visit to Waterbath, where the sight of the family splotches had put her immensely on her guard. (148)

そうすると第1章でフリーダとゲレス夫人がその絵の話をするだけで身震いすると評したウォーターバス邸の水彩画は実際には画家志望のフリーダの絵よりも巧く描かれている絵であることがわかります。このことはフリーダが第1章ではその水彩画についての彼女の本当の感想を述べてなくて、ゲレス夫人に気に入られて彼女の家の居候となるために彼女の意見に同調していただけだということを暗示させます。実際に第2章でフリーダはウォーターバス邸のパーティーの後一カ月間ゲレス夫人の住むカドゥガン邸に通い、彼女の話し相手になり、終いにはその家族の一員つまり居候となってカドゥガン邸に居座ってしまうのです。正にフリーダは職業的居候として生活の道を確保したと言えます。

更に第3章でゲレス夫人からポイントン邸を初めて紹介されてフリーダが感激して流す涙を‘the natural and usual sign of her submission to perfect beauty’ (21)と形容した時、作者ジェームズはフリーダの職業的居候としてのプロ意識を強調しているように思われます。というのは、その語句は、他人の家の居候となって生活するフリーダにとってその家の家具や蒐集品は全て

‘perfect beauty’なのであって、それらに感激して流す涙は職業的居候フリーダにとっては要するに商売柄「自然は身についたいつもの印」と解釈できるからです。批評家たちに正反対に評価される視点人物フリーダ・ヴェッチの不可解な言動を解く最初の重要な鍵は、財産も家も正式の職業もないフリーダにとって自分の生存の道を確保することが何にもまして重要であり、そのために自分の本心を隠して相手の意見に同調する時にはフリーダの視点もそれに応じて変化することがあることを認識することのように思われます。そしてそれに気づいていない読者がフリーダの本心を表していない彼女の言動を彼女の本心を表すものと勘違いして正反対の評価を下しているように思えます。

2

フリーダの謎を解く二番目の鍵は第1章のウォーターバス邸のパーティーで出会うゲレス夫人の一人息子オーウェンに対してフリーダが抱く結婚願望です。第1章の終わりから第2章の冒頭にかけて語られる個所で、フリーダは頭の弱い夫オーウェンを指図する自分の姿とポイントン邸の蒐集品に囲まれた結婚生活を夢見ているように思えます。

She [Fleda] herself was prepared, if she should ever marry to contribute all the cleverness, and she liked to figure it out that her husband would be a force grateful for direction. ... as she came up to town on the Monday what she stared at from the train in the suburban fields was a future full of the things she particularly loved.

These were neither more nor less than the things with which she had had time to learn from Mrs. Gereth that Poynton overflowed. (10-12)

そしてこの結婚願望を第1章からずっとオーウェンに対して抱き続けているが故に、フリーダは寡婦に相続権を認めない当時のイギリスの相続法によってポイントン邸やその蒐集品をオーウェンやモナに取り上げられることに感情的になって反撥しているゲレス夫人に同情しながらも、結局はオーウェンに有利なように行動するので⁹⁾。

例えばゲレス夫人が移ることになっているリックス邸は、依然そこを訪れたモナが気に入ったことを考えると、ポイントン邸より寧ろウォーターバス邸の考え方と共通

点が多いことをフリーダは知っているのですが (Fleda... knew her reasons for believing that the maiden aunt's principles had had much in common with the principles of Waterbath.) (48)、第5章でゲレス夫人とリックス邸の下見に行った時、フリーダは第1章でゲレス夫人に同調してあれほど非難したウォーターバス邸と同じ趣向のリックス邸の壁紙の鮮やかさを誉めようとしています。リックス邸のことを全く非難せず、逆にリックス邸やそこの前の持ち主の独身の伯母まで気に入った素振りを見せるフリーダの態度を見て、ゲレス夫人は第5章の終わりで「でも、そんなものでも何とかなるかもしれないわね。」“Well, something can be done with it!” (55) と述べてリックス邸に引っ越す気持ちになり、第6章で主だった蒐集品とともにリックス邸に引っ越すのです。リックス邸を訪れたこの時のフリーダの態度は、第4章でゲレス夫人をポイントン邸からリックス邸へ引っ越しさせて欲しいとフリーダに頼んだオーウェンの意向に添ったものと考えざるをえません。何故ならフリーダは第6章で自分がオーウェンのスパイ (an underhand “companion”) (60) になっていることを意識していますし、第11章ではリックス邸を訪れた時の自分の態度を評して「私の忌まわしい二重のたくらみ」 (my hideous double game) (127) とゲレス夫人に告白しているからです。そしてオーウェンの意向に従ったフリーダの態度の根底に彼女の結婚願望があることは言うまでもないでしょう。フリーダの不可解な言動を解く二番目の鍵は、フリーダが自分の生存の道を確保しようとする時だけでなく、自分の結婚願望に従って行動する時も他人に対して自分の本心を隠して行動することがあり、それに応じて彼女の視点も変化することがあるということを認めることのように思えます。

3

第1章からオーウェンに結婚願望を抱き続けているフリーダに対して、オーウェンは第6章で彼女と初めて二人きりで出会い、彼女に小さな針刺しを贈り、「いいかい、僕は君にわかってほしいんだ」“I want you to understand, you know - ...” (67) と述べて、何やら意味不明の好意を示します。オーウェンには婚約者のモナがいることがわかっていながら、彼の意味不明の好意を結婚につながる求愛と考えようとするところから、フリーダの結婚願望に基づいたegotismが生まれます。そしてこのフリーダのegotismが彼女の謎を解く第三の鍵のように思われます。

第6章でゲレス夫人がポイントン邸の主だった蒐集品

をリックス邸に持ち去った件で結婚を無期延期したモナに催促されて、その返還交渉にリックス邸を訪れたオーウェンに対して、フリーダはゲレス夫人の居候という自分の立場も顧みずに、蒐集品を返還するようにゲレス夫人を説得することを約束します。居候という仕事を擲ってでもオーウェンに献身しようとするフリーダを見て、オーウェンは「ここ (リックス邸) はとても素敵だと思います。・・・私だけでしたらそれでもきっと我慢できるのですが」“I think it's awfully nice here,”... “I assure you I could do with it myself.” (100) と述べていますが、それを聞いてフリーダはポイントン邸のことが全て解決すれば彼女と結婚してリックス邸に住んでもよいとオーウェンが言っていると想像しています。“With everything patched up at the other place, I could live here with you. Don't you see what I mean?” (101) フリーダの想像するこのオーウェンの台詞は彼女の結婚願望からくるegotismに影響されて、フリーダがオーウェンの意図を自分本位に解釈したところから生まれたものと考えられます。というのはオーウェンは前の自分の台詞に続けて“I mean I could put up with it just as it was; ... I mean if everything was back at Poynton, if everything was all right.” (101) と述べて、ポイントン邸への蒐集品の即時返還を求める要求を繰り返し、返還を催促するモナとの結婚を諦めていないことを示しているからです。この後もオーウェンの意味不明の好意を結婚につながる求愛と考えようとするフリーダのegotismは続くのですが、フリーダのegotismの面白い点は、この後フリーダがegotismに支配されたまま行動するのではなくて、客観的事実も見ようとしているところです。

例えば第11章でポイントン邸に蒐集品を返還する見返りとしてオーウェンをモナから奪うようにフリーダに求めるゲレス夫人に対して、フリーダはオーウェンがモナを大変気に入っていてモナもオーウェンを決して手放さないと述べて、その要求を断っています。“He [Owen] cares for her [Mona] too much.” ... “...But she'll hold him fast; she'll never let him go.” (127-8) このことからオーウェンがモナを愛していてモナもオーウェンと結婚しようと思っているという客観的事実がフリーダに見えていることがわかります。

しかしオーウェンがモナを本当に愛していて結婚しようと思っているということを客観的事実として認めることは、フリーダにとってオーウェンの意味不明の好意を結婚につながる求愛と考えようとしている自分のegotismを否定することです。オーウェンに対して結婚願望を抱いている限り、フリーダは自分のegotismを否定するこ

とはできません。そしてオーウェンの意味不明の好意を真意を確かめ、できれば彼と結婚するために、フリーダはゲレス夫人の要求を入れてモナからオーウェンを奪い取って結婚しようとする悪女の役割を受け入れる決心をするのです¹⁰⁾。次の一節にはフリーダが悪女の役割を受け入れた時の状況が述べられています。

...; and of her reasons for staying on at Ricks the force was ebbing. One of these was her pledge to Owen - her vow to press his moter close; the other was the fact that of the two discomforts, that of being prodded by Mrs. Gereth and that of appearing to run after somebody else, the former remained for a while the more endurable.

As the days passed, however, it became plainer that her only chance of success would be in lending herself to this low appearance. Then, moreover, at last, her nerves settling the question, the choice was simply imposed by the violence done to her taste -... (139)

しかし、引用文中にあるように、悪女の役割を受け入れることは本来道徳性と自尊心の強い自我の持ち主であるフリーダの「審美感覚」(taste)に反することであり、「羽目を外すこと」“By letting yourself go” (124) つまりオーウェンと肉体関係を結ぶことでモナからオーウェンを奪って結婚するように求めるゲレス夫人の要求¹¹⁾もその意味では当然彼女の審美感覚に反しています。第12章の終わりでゲレス夫人から“Only let yourself go, darling - only let yourself go!” (124)と言われて、オーウェンと肉体関係を結びモナからオーウェンを奪うように示唆されながら、リックス邸からロンドンの父の家に帰ろうとしているフリーダの中には、ゲレス夫人の公正さに訴えて蒐集品を返還させようとしたが失敗してリックス邸の蒐集品の美しさも目に入らなくなった道徳的なフリーダと、モナからオーウェンを奪って結婚しようとする悪女の役割を受け入れた反道徳的なフリーダと、自分の審美感覚に反する悪女の役割を受け入れたことに内面的な反撥を感じているフリーダという三人のフリーダがいるという言い方もできるでしょう。

ロンドンの父の家に帰ったフリーダは居候の仕事が無くなったことから自分の存在を揺るがすような「不安感」(a feeling of suspense) (145) に襲われます。すると正義感からゲレス夫人が蒐集品を返還しなければ彼女の下には帰らないと思っていたにも拘わらず、ゲレス夫人

が蒐集品を返したら自分の帰る所が無くなることに気づき、フリーダは蒐集品を返還した後のがらんとした家の中で身につける物以外に財産の無くなったゲレス夫人の「やつれて異様な」(gaunt and unnatural) (146) 姿を想像して彼女の不安感は一層かて立てられます。

またフリーダが外出した時によく通る画材店のショーウィンドーに置かれている絵がいつまで経っても買い取られていないことに気づき、フリーダの不安は更に募ります。何故ならその絵はフリーダの描く絵よりも巧く描かれているので、その絵が売れないことはフリーダの絵も売れないことを意味し、更にそのことは画家志望のフリーダにとって唯一生計を立てる道が絶たれることも意味するからです。フリーダの生存を揺るがす不安感は二重三重に掻き立てられ、今やフリーダにとってモナからオーウェンを奪って結婚することが自分の生存の道を確認する唯一の道となり、フリーダは悪女の役割に真剣に取り組まざるを得ない状況に追い込まれていくのです。そしてそのような状況に追い込まれているフリーダの前に、ゲレス夫人からの手紙でフリーダの居所を教えられたオーウェンが現れ、フリーダの父の家で二人の会談が始まります。

4

しかし勿論モナからオーウェンを奪って結婚するためにロンドンに帰って来たという理由を表に出して、フリーダがオーウェンに会える訳はありません。それは飽くまで裏の理由で、フリーダは表の理由つまりゲレス夫人の反感を買うくらい蒐集品の返還を説得したが結局失敗し盗品の蒐集品を見るのも嫌になったのでロンドンに帰った来たという理由にこだわるざるを得ないのです。オーウェンと会うのに裏の理由があることをオーウェンに知らせないことでオーウェンを騙し、表の理由だけでオーウェンと会っていることでゲレス夫人を騙していることをフリーダが意識していることは次の文からも窺えます。

There was a matter as to which she [Fleda] had deceived him [Owen], and there was a matter as to which she had deceived Mrs. Gereth, ... (156)

それでもモナからオーウェンを奪って結婚することに自分の将来の生存の道がかかっていることを意識するフリーダがその裏の理由を忘れることはできません。それ故フリーダは表の理由を強調しながら裏の目的も達成するような方法を取ろうとするのです。その方法とはゲレス夫人に蒐集品返還を説得して失敗し彼女の家を出たために居候の仕事も棒に振り、今は父の家の安っぽい蒐集

品に囲まれて暮らしている、いわば身を落としてまでオーウェンのために献身的に尽くしている自分の誠意と公正さを印象づけることでオーウェンの好意を愛情にまで深め、オーウェンに自分でモナとの婚約を解消させた後で自分に求婚させようというものです。蒐集品を奪ったゲレス夫人に対してオーウェンが断固とした法的手段を取らないことに機嫌を損ねて婚約を無期延期したモナに反感を抱いている¹²⁾ オーウェンがフリーダの思惑通りに彼女の献身ぶりに心引かれ、“... I'm half mad to say to you that there's only one person on the whole earth I really love,..." (167) と述べて、フリーダに愛を告白しかけた瞬間に、ブリッグストック夫人がフリーダの父の家を訪ねてくるのです。

ブリッグストック夫人を交えた会談の中でもフリーダはブリッグストック夫人に対して機転の利いた対応をすることで自分が優れた人間であることをオーウェンに印象づけ、彼を自分の「誠実さ」(simplicity)や「機知」(tact)の虜にして彼の愛情を獲得しようとしていることは次の一節からも窺えます。

Another aspect was that he would admire her, adore her, exactly in proportion as she herself should rise gracefully superior. Fleda felt for the first time free to let herself "go", as Mrs. Gereth had said, and she was full of the sense that to "go" meant now to aim straight at the effect of moving Owen to rapture at her simplicity and tact. (170)

引用文中の'let herself go'という表現はオーウェンをモナから奪って結婚するためにオーウェンと肉体関係を結ぶようにゲレス夫人がフリーダに示唆した表現ですが、そのような悪女の役割が自分の審美感覚に反して内心反撥を感じているために、フリーダは本来道徳的な自分の自我に合った限りなく悪女らしくらぬ悪女の手法つまり彼女の誠実さとか機転とか公正さといった個人的な資質でオーウェンに結婚したいと思わせるほど感銘を与えるように普段の自分の限度を超えて羽目を外して振る舞うことに'let herself go'という表現を使っているのです。

それでも肉体関係を結ぶにせよ個人的な資質を使うにせよ、モナやブリッグストック夫人にとってフリーダがオーウェンを奪おうとしている悪女であることに変わりはありません。オーウェンと二人きりで会談していた時、フリーダがオーウェンから「彼女(モナ)が君(フリーダ)は性悪女だと言っていた」“...She [Mona] said you [Fleda] weren't honest.” (164) と聞いて衝撃

を受けているのは、この客観的事実をフリーダが認識できたことを表しているように思えます。そしてフリーダの父の家を訪ねて来たブリッグストック夫人がフリーダを悪女と疑うモナの疑念を共有していて、その疑念を確かめるために来ていることもフリーダは認識しているように思えます。このフリーダの認識と、自分の審美感覚に反する悪女の役割を受け入れたことに対するフリーダの内面的な反撥と、オーウェンがモナに反感を抱いていて自分と結婚したいと思い始めているという優越的な意識から、フリーダはブリッグストック夫人の「フリーダさん、いいこと、私はあなたにただお願い事を言いに来ただけだと思っているの」「I came, I believe, Fleda, just - you know - to plead with you.” (177) という台詞に対して自分がまるで悪女ではないかのように、「まるで私が劇に出てくる悪女の一人みたいに」「As if I were one of those bad women in a play?» (177) と答えてしまうのです¹³⁾。

この一言でブリッグストック夫人が自分を「いかがわしい人間として実際にその姿をはっきりと現した人物」(a presence that had really defined itself as objectionable)(177)つまり悪女であると決めつけて帰ったことがわかり、そのことで自分が本当に悪女になってしまったと意識するが故に、フリーダは逆にその一言で積極的な悪女の役回りができなくなってしまいます。しかしフリーダの発言の背景にはオーウェンがモナよりも自分と結婚したいと思い始めているというフリーダの意識があることは前述した通りです。そこでフリーダは悪女の役割を果たせなくなった今、オーウェンの愛情を頼ろうとし、オーウェンが男らしく自分のしなければならぬことをしている姿、つまりモナとの婚約を解消し自分に求愛するオーウェンの姿を想像するのです。

The scene at her father's rooms had extinguished all offices, and the scene at her father's rooms was of Mrs. Gereth's producing. Owen must at all events now act for himself:... Owen had grown larger to her:he would do, like a man, whatever he should have to do. (179-180)

第16章でフリーダは「強い個人的な欲求」(a strong personal need)(179)と称して父親の家から姉マギーの家に移りオーウェンの前から一時姿を隠しますが、このこともオーウェンの愛情に頼ろうとするフリーダがオーウェンの愛情を掻き立て、その「意志の堅さ」(steadiness)(181)を試そうとしたものと考えられます。そしてオーウェンはフリーダの思惑通りに愛情を掻き立てられ、“Why have you left me just when I want you

most?” (181) で始まる手紙をフリーダの下に寄越して来て姉マギーの家で二人の会談が始まるのです。

ここまでは万事順調にフリーダの思惑通りに進んでいるように思えます。しかしオーウェンが本当にフリーダの思惑通りに彼女の優れた個人的資質に強い感銘を受けて愛情を深め、モナとの婚約を解消して彼女に求婚するかどうかフリーダ自身が疑問に思っているようなところがあります。

She never knew the extent of her tenderness for him till she became conscious of the present force of her desire that he should be superior, be perhaps even sublime. She obscurely made out that superiority, that sublimity mightn't after all be fatal. (180)

フリーダは自分が優れた人間であることを強調することでモナからオーウェンを奪う彼女の作戦が成功するためには、オーウェン自身が優れた人間であるか優れた人間であることを志向する人間でなければいけないという客観的事実がわかっているのです。そして彼女の作戦がそのような客観的事実を無視した彼女のegotismの粹を出ない作戦であることもフリーダにはわかっているように思えます。それだからこそフリーダはオーウェンに優れた人間であって欲しいと願わずにはいられないのだし、そうでなければフリーダが人間的に優れていても作戦を成功させる決め手にはならないことがフリーダ自身わかっているのだと思います。

それではオーウェンは優れた人間になりたいと思うような人間なのでしょうか。この二人の会談の後半部分でフリーダが「完全な人間であれば幸せになれるですよ」「You'll be happy if you're perfect!» (193) と言う箇所があります。この台詞もオーウェンに優れた人間になって欲しいと願うフリーダの願望から生まれた台詞と考えられますが、これに対してオーウェンは「私は完全な人間だと言うつもりはありませんが、今夜には(モナの婚約破棄の)手紙が来るでしょう」「I don't pretend to be perfect, but I shall find a letter [of rupture from Mona] tonight.» (193) と答えています。このオーウェンの台詞は彼が優れた人間になりたいと思うような人間でもないし、そのような観点からフリーダを好きになっているのでもないことを示しています。

しかし確かにオーウェンはフリーダに対して意味不明の好意を示していますし、この会談の中で“Don't you know what I mean, Miss Vetch? I want you to marry me?” (186) と述べてフリーダに求婚までしているのです。それでもフリーダが“Why in the world,

if everything had changed, didn't you break off?” (192) と述べてオーウェンに自分からモナとの婚約を解消するように求めると、オーウェンは“If didn't break off it was just on purpose to leave it to Mona.” (192) と述べて自分からモナとの婚約を解消する意志の無いことを示しています。オーウェンは婚約を無期延期したモナに対する感情的な反撥から一時的に自分に求婚しているだけでモナとの結婚の意志をまだ残していることがフリーダにも次第に分かり始め、フリーダを絶望して“You're not all right - you're all wrong!” ... “You mustn't stay here, you mustn't” (192) と叫んでしまいます。

それではフリーダに対するオーウェンの意味不明の好意が彼のモナに対する一時的な反撥だけから来たものかということ、そうではなくてオーウェンはフリーダに他にも含むところがあるらしく作者ジェームズはそのことを‘...; but there was clearly something he longed for besides.’ (193) と述べています。オーウェンがその他にフリーダに望む物とは彼女との肉体関係に他なりません。オーウェンは「でももし(モナの婚約破棄の)手紙が来なくても...」“But say there's no letter [of rupture from Mona]-” (195) と述べて、モナの婚約破棄を通知する手紙が来なくてもフリーダとの交際継続を望んでいることをほのめかしています。それに対してフリーダは「たとえ彼女(モナ)があなただけを解放しなくてもあなたはおっしゃるのですか、あなたは私に余りに多くのことを求め過ぎているわ」「You mean, even if she doesn't let you off? Ah you ask me too much!» (195) と答えています。こお二人の遣り取りはフリーダに対するオーウェンの意味不明の好意の真意の中に、フリーダを結婚相手としてではなくて愛人として自分の下に引き留めておこうとするオーウェンの思惑があることを暗示していますし、更にそのことをフリーダ自身も認識していることも暗示しています。

しかしオーウェンがフリーダに示してきた意味不明の好意の真意が婚約者モナに対するオーウェンの感情的反撥やフリーダを愛人として求めるオーウェンの性的願望だけだとしたら、オーウェンがフリーダに求婚し二人が抱擁した時にフリーダが「一瞬の寂寥感」(the momentary sense of desolation) (189) を感じることはないでしょう。オーウェンの意味不明の好意の中に彼の感情的反撥や性的願望以外に何かフリーダの与り知らぬことがあると直感するがゆえにフリーダは寂寥感を感じているように思えます。この二人の会話の最後の辺りでフリーダが“There are things too utterly for yourselves alone. How can I know? What do I know?” (195) と述べ

ているのも、オーウェンの意味不明の好意の中にフリーダには全く分からない思惑が潜んでいることを直感しているためだと思われます。

いずれにしても第16章のフリーダとオーウェンの最後の会談の場面は、フリーダが自分の優れた個人的資質を強調することでオーウェンの愛情を獲得しモナとの婚約を解消させた後に自分に求愛させようとする彼女のegotismに基づいた作戦を実行しようとして、そのような彼女の思惑とは全く違う思惑を持ってオーウェンが彼女に接近しようとしているという客観的事実をフリーダが認識する場面と言えます。しかしフリーダのegotismが客観的事実と衝突して崩壊しかけた瞬間に、フリーダは自分のegotismを堅持しようとするのです。

フリーダはモナとの婚約を解消する役目を彼女に押し付けようとするオーウェンに対して、次のように述べてその問題を自分で解決するように求めてモナの下に帰しています。

“You must settle that with Mona. You mustn't break faith. Anything's better than that. You must at any rate be utterly sure. She must love you - how can she help it? I wouldn't give you up! said Fleda. ... “The great thing is to keep faith. Where's a man if he doesn't? If he doesn't he may be so cruel. So cruel, so cruel, so cruel!” Fleda repeated. “I couldn't have a hand in that, you know: that's my position - that's mine. You offered her marriage. It's a tremendous thing for her.” (196-7)

この台詞にも矢張り自分が優れた人間であることを強調することでオーウェンの愛情を深め、モナとの婚約を解消させた後で自分に求婚させようとするフリーダの意図が見受けられます。しかしこの時のフリーダにはモナが今もオーウェンを愛していてオーウェンも一時的にモナに反撥しているがモナとの結婚を意志を残していることが分かっているし、オーウェンがフリーダのように優れた人間になりたいと思うような人間ではないことも分かっているし、オーウェンがフリーダには結婚ではなくて愛人関係を求めていることも分かっているし、その上何よりオーウェンが何かフリーダの与り知らぬ意図を意図を秘めて求婚していることが分かっているのです。そういったフリーダの意図を無にするような客観的事実が分かっているながら、それでも猶そのegotismに基づいた作戦を取り続けたことは、それが最早モナからオーウェンを奪う悪女の作戦ではなくなり、フリーダが一人の女

性としてオーウェンに自分の立場を認めて欲しいと願い、男女が互いに相手の立場を認め合い愛し合って結婚する本当の意味での結婚にこだわっていることを表しているように思えます。そしてフリーダは実際に自分に求婚したオーウェンは今モナよりも自分の方を愛していると信じ、オーウェンが自分からモナとの婚約を解消して、その後で彼女に求婚すべきだという彼女の立場を認めて欲しいと願ってオーウェンをモナの下に帰すのです¹⁴⁾。そして自分の意図を無にする客観的事実がわかっていながら、自分から愛を告白した実際に自分に求婚したオーウェンの愛を信じようとした所に、オーウェンに対する結婚願望からくるegotismに捕らわれた生身の女性フリーダの真の姿があるように思われます。この後もフリーダはこのegotismに捕らわれ続け、モナの下に帰ったオーウェンがモナとの婚約を解消して自分の下に帰って来てくれると信じ続けるのです。

5

しかしオーウェンが帰って十日経っても彼から何の連絡もないので、フリーダは内心失敗したと思うようになり「彼らは皆何を企んでいるのだろう」“What game are they all playing?” (200) と考えます。第17章以降はフリーダがこの企みつまり前章でオーウェンと抱擁し「一瞬の寂寥感」を感じた時に直感したオーウェンの秘密の企みに気づいていく認識の過程とも言えるでしょう。それではこの企みとは一体何なのでしょう。この後結局オーウェンとモナは結婚しますが、その結婚式の様子を伝えるモーニングポスト紙の記事に次のような一文があります。'...; the scale of the affair sufficiently showed that the preparations had been in hand for some time back.' (251)

つまりオーウェンとモナの結婚式の準備はその規模からしてかなり前から始まっていたというのです。実際にどのくらい前から始まったのか我々読者は推測する他はないのですが、ゲレス夫人が第20章で“They're to be married on the seventeenth at Waterbath church.” (241-2) と述べていますので、仮にその結婚式を12月17日と仮定して日付を逆算していきますと、第13章の後半でフリーダがオーウェンと通りで出会い、フリーダの父の家でオーウェンがフリーダに求愛しかけているところにブリッグストック夫人が入って来てフリーダと一連の遣り取りをする第14、15章の場面は11月15日になります¹⁵⁾。またその第14章の場面でオーウェンはフリーダに「十日間モナに会っていないし、... (ロンドンの) 町から動いてもいない」“I haven't seen Mona for ten

days, . . . , and I haven't budged from town." (159) と述べていますので、オーウェンは11月6日から11月15日までモナに会っていないことになります。この後第19章でオーウェンをモナの下に追い帰したフリーダがゲレス夫人と共にオーウェンを捜してロンドンの彼のクラブに出掛けて行くのが11月27日となり、その時クラブのポーターが二週間オーウェンに会っていないと言っているので ' . . . he [a hall-porter] had not seen Owen for a fortnight . . . ' (229)、オーウェンは11月14日から11月27日までロンドンの彼のクラブに帰っていないことになります。すると第14章で「十日間 (11月6日～11月15日) モナに会っていないし . . . (ロンドンの) 町から動いてもいない」と述べたオーウェンの台詞に矛盾することになります。クラブのポーターがゲレス夫人に嘘をつく理由はないので、オーウェンがフリーダに嘘をついていたことになります。オーウェンは彼のクラブに帰らなかった11月14日から11月27日までの期間の大半をモナのいるウォーターバス邸に滞在していた可能性が高くなります。そうすると11月15日にフリーダの父の家でフリーダに求愛し11月17日にフリーダの姉の家でフリーダに求婚したオーウェンはモナのいるウォーターバス邸から出掛けて来たことになります。この辺りの事情とオーウェンとモナの結婚式の準備がかなり前から始まっていたことを考えますと、オーウェンがフリーダに求婚していた最中にもオーウェンとモナの結婚式の準備は進んでいたことになり、オーウェンのフリーダへの求婚は見せかけだけのものということになるのです。そしてそのことは第16章でフリーダがオーウェンと抱擁した時に直感した一瞬の寂寥感や、モナの婚約破棄の手紙が来なくてもフリーダとの交際継続を望んだオーウェンの態度とびたりと一致するのです。

さらに第17章でフリーダはロンドンのホテルにゲレス夫人を訪ね、夫人がブリッグストック夫人の訪問を受けフリーダとオーウェンの親密さを伝える話を聞きフリーダがモナからオーウェンを奪い取ったと信じ込み蒐集品を全てポイントン邸に返還した話を聞かされます。その時フリーダはブリッグストック夫人が「オーウェンはフリーダの足元に伏せていた」 "... she [Mrs. Brigstock] had found Owen at your feet." (205) とか「オーウェンはフリーダと結婚するためなら何でもするだろう」 "She knows he'd do anything to marry you." (205) と述べて、フリーダがオーウェンをモナから奪い取ったとゲレス夫人に信じ込ませたことも知ります。そしてブリッグストック夫人の話が事実でない (つまりオーウェンはフリーダの足元に伏せてはいなかったし、フリーダと結婚するために何でもするどころかモナとの婚約を

自分から解消しようとしなかった) ことがわかるフリーダはブリッグストック夫人の訪問に別の意図があったことを確信するのです。

フリーダに対するオーウェンの見せかけだけの求婚と別の思惑を秘めたブリッグストック夫人のゲレス夫人訪問は、ゲレス夫人側のオーウェンの花嫁候補者のフリーダがオーウェンをモナから奪い取ったとゲレス夫人に信じ込ませ蒐集品をポイントン邸に返還させるために二人が連携して仕組んだ策略だったのです⁶⁰。

フリーダはこの策略に対する確信を次第に深めていくのですが、オーウェンに対して結婚願望を抱きegotismに陥っているために、オーウェンの求婚が見せかけであったという客観的事実を中々受け入れることができません。第18章でオーウェンをモナの下に追い帰した話をフリーダから聞いてオーウェンを一緒に捜しに行こうと誘うゲレス夫人に対してフリーダは「準備ができれば彼は帰って来ます」 "He'll come when he is ready," (221) と述べて、ゲレス夫人への同行を断っています。モナとの婚約を解消して結婚する準備ができたならオーウェンは自分の下に戻って来るとフリーダは信じようとしているのです。それでもオーウェン達の策略に騙されてゲレス夫人が蒐集品を返還してしまいオーウェンとモナが今にも結婚しようとしているという客観的事実も見えているため、フリーダのオーウェンに対する結婚願望は追い詰められ絶望的な結婚願望とも言うべきものに変貌していきます。ゲレス夫人から「間抜けでなかったら誰でもあなたを腋の下に抱えて結婚登録所に引っ張って行っただけでしょう」 "Anyone but a jackass would have tucked you under his arm and marched you off to the Registrar!" (220) と言われ、フリーダが「今から結婚登録所に行く」 "I'll go to the Registrar now." (221) と言いつつ時、彼女を突き動かしているのは絶望的な結婚願望でしょう。この後フリーダとゲレス夫人はオーウェンを捜し回りますが結局見つからず、フリーダは姉のマギーの家に帰りオーウェンからの連絡を待ちます。しかしマギーの家に帰ってから三日目にゲレス夫人が訪ねて来てオーウェンとモナの結婚を告げ、フリーダとオーウェンの結婚の可能性が無くなった時、フリーダの結婚願望も抑圧されることになるのですが、決して消えることは無く後で別の形をとって現れることになりません。

また一方ではオーウェンとの結婚の可能性が無くなることは、家も財産も職業も無いフリーダにとっては将来の生活の保障が無くなることを意味し、ゲレス夫人にとっては自分の老後の世話をしてくれる忠実な息子の嫁が居なくなることを意味します。第20章でゲレス夫人がオー

ウェンとモナが結婚した経緯について「送り返された蒐集品がポイントン邸に着き始めたことがわかると、モナはオーウェンに対してフリーダなら決して取らないようなある手段（肉体関係を結ぶこと）を取り、オーウェンがフリーダの方を振り向く暇も無いうちに二人は結婚登録所に行き結婚した」（240-1）という説明をする時、その中で強調されるのはオーウェンの前に身を投げ出して彼と結婚したモナに対して、オーウェンの前に身を投げ出さず彼をモナから奪うことのできなかつたフリーダの責任です。ゲレス夫人はオーウェンをモナから奪うことのできなかつたフリーダの責任を殊更に強調することで、フリーダに自分の老後の世話をさせようとしているのです。そのことは説明の最後にゲレス夫人が述べた台詞「でも有り難いことに私は死ぬでしょうね。その時まで..私を見捨てないで」“Well, I shall [die], thank God! Till then”... “don’t desert me.” (243) によく現れています。

そのゲレス夫人の哀願する言葉を聞きフリーダは「修道女の誓いの言葉のように」（as the vow of a nun）(243) 彼女を見捨てないことを約束するのですが、フリーダがゲレス夫人の老後の世話を引き受けたのはオーウェンと結婚できなかったことに対する自分の責任を認めたからでも、老後を一人で過ごすゲレス夫人を可哀相だと思ったからでもなく、フリーダにはそうするより他に生きて行く道が無かつたからなのです。

フリーダは最初オーウェンとモナが結婚したことでゲレス夫人との縁は切れたと感じ、蒐集品の無くなつたリックス邸に一人残されたゲレス夫人には居候の彼女を養う財産も無いと思つているように思えます。第21章の冒頭に出て来るゲレス夫人の手紙の中の「あなたと私にはいつも一緒になつて気楽に憎むことのできる物があります」“... there are always things you and I can comfortably hate together,...” (245) という文の中の「気楽に」（comfortably）という語にゲレス夫人が今でも少しは財産を残しているという意味を読み取つてフリーダがリックス邸にゲレス夫人の老後の世話をしに行くところから、そのことは逆に推測されるのです。

This communication made her [Fleda] easier, if only by its acknowledgement that her friend had something left: it still implied recognition of the principle of property. Something to hate and to hate” comfortably,” was at least not the utter destitution to which, after their last interview, she had helplessly seemed to see the ex-mistress of Poynton go forth. (245-6)

そしてフリーダもオーウェンとの結婚の可能性が無くなり将来の生活の保障も無くなつたことを意識しているために、当分の間自分の生存を道を確認するためにゲレス夫人の老後の世話を係つまり召使になることを受け入れていることは、先程のゲレス夫人の手紙の中で夫人がフリーダのことを「家具」（furniture）即ち召使に例えた“Moreover, with nothing else but my four walls, you’ll at any rate be a bit of furniture.” (245) ことに対して、フリーダがその家具という自分の立場を受け入れていることを示す次の文からも窺えます。

The position of a scrap of furniture was one that Fleda could conscientiously accept, and she by no means insisted on so high place in the list. (245)

そしてフリーダがゲレス夫人の召使という立場を受け入れた時、この物語の視点人物フリーダ・ヴェッチの視点にも召使の視点が入ってくるように思えます。そのことはこの物語の冒頭でフリーダが自分の本心を隠してゲレス夫人に同調し夫人の居候になろうとした時に、フリーダの視点に居候の視点が入っていたことによく似ています。フリーダはリックス邸に着いた時色あせた織物と四本の紡錘機の脚を巧く組み合わせた配置の仕方に「芸術室の着想」（the artist’s idea）(179) が働いていると述べてゲレス夫人の才能を称賛するのですが、その称賛の言葉にはこれから仕える主人に対する召使のリップサービスの要素が入っていることを否定することはできません。

この後更にフリーダはリックス邸に以前住んでいた独身の伯母まで持ち出し、彼女の「大変優しくて人間的で女らしい声」（a voice so gentle, so human, so feminine）(249) がゲレス夫人に届き「何か夢見ていたが取り損ねたという印象」（the impression ... of something dreamed and missed）(249) を与えるような家具の配置をさせたことと述べ、仕上げにその亡くなった伯母の亡霊の気配まですると言ひ出し、ポイントン邸には亡霊は居なかつたと述べてリックス邸を持ち上げようとするのです。また「その伯母の苦しみに比べたらゲレス夫人の苦しみなんかまだましよ」というようなことを言つて、フリーダは召使の立場から意気消沈している主人のゲレス夫人を慰めようとします。

“What I mean is, for this dear one of ours, that if she had (as I know she did; it’s in the very taste of the air!) a great accepted pain -” ... “Why, it was worse than yours.” (250)

こうしてフリーダのリップサービスの言葉によって意

気消沈していたゲレス夫人も少しは慰められ二人は主人と召使として新しい生活を始めるのですが、召使は飽くまで「他人」(stranger)であってオーウェンと結婚してゲレス夫人にとって息子の嫁となった「仲間」(yoke-fellow)(253)ではないのです。

第22章の冒頭では主人と召使として新しい生活を始めたゲレス夫人とフリーダの関係が結局は他人の関係に変わってしまうことが暗示されています。そしてこの二人の最後の会話の中でゲレス夫人が「私も少しは持ちこたえるでしょうが、ずっと長生きするわけではありませんよ」“... I shall last a little, but I shan't last forever.”(257)と述べて、フリーダに自分の死後の身の振り方を考えるように促したその直後に、オーウェンからポイントン邸の「蒐集品中の逸品」(the gem of the collection)(258)を受け取ってほしいという趣旨の手紙がフリーダの元に届くのです。

フリーダはオーウェンの申し出の真意がわからない素振りを見せていますが、第16章でモナの婚約破棄の手紙が来なくてもフリーダとの交際継続を求めたオーウェンがフリーダには結婚ではなくて愛人関係を求めていることがわかっているので、その申し出の真意が愛人関係の再要求であることも分かっているように思えます。第20章の最後でフリーダが「私が息子さんの邪魔になってはいけないわ」“I mustn't put myself in your son's way, you know.”(243)とゲレス夫人に述べているのも、オーウェンが結婚後も自分との愛人関係を求めてきて、そのことがオーウェンの結婚の邪魔になることがフリーダにはわかっていたからのように思えます。そして逸品の蒐集品とは結婚後も変わらないオーウェンの愛をフリーダに証明するための証しと言えるでしょう。

そしてこの物語の最後でクローズアップされるのはオーウェン・ゲレスという男の実像です。オーウェンは『ある婦人の肖像』の中で結婚した主人公イザベルに求愛したイギリス人貴族ウォーバートンと同じように、結婚後も愛人を持つことを容認する当時のヨーロッパの上流社会の伝統を体現する人物と言えるでしょう。またその社会を成立させている要素の一つである遺産相続法に基づいて、自分の母親を騙してまで蒐集品を取り上げ着の身着のままの状態の家から追い出し死なせようとしていることに対して、オーウェンは息子としての責任とか背徳感を感じていないように思えます。クリストフ・ウェジリンが海外に渡ったアメリカ人に認めた「因襲の手による個人の責任の消滅」(the death of individual responsibility at the hands of convention)¹⁷⁾という道徳的問題は本来このオーウェン・ゲレスのように法律とか伝統とか因襲に支えられた社会に安住するヨーロ

パ人の問題であるとも言えるでしょう。

そしてフリーダはオーウェンの申し出に応じて蒐集品を受け取ることが彼との愛人関係を始めることと暗に知りながら、ゲレス夫人が亡くなると彼女の老後の世話係としての自分の仕事も無くなるという自分の生存に対する不安からオーウェンの申し出に応じようとするのです。更にオーウェンの申し出に応じて蒐集品を取りに行こうと決めた時にフリーダが「秘かな恍惚感」(secret rapture)(260)を感じているのは、蒐集品を受け取ってオーウェンとの愛人関係を始めることが彼女の抑圧された結婚願望を屈折した形で満たすことを表しているように思えます。

またフリーダが蒐集品を取りにポイントン邸に向かう自分の姿を「聖堂」(shrine)に向かう「巡礼者」(pilgrim)(259)に準えたのは、オーウェンの申し出を受け入れることが第一義的に自分の生存の道を確保するという人間にとって何よりも大切な意味では神聖なことであるからでしょうし、ポイントン邸に出かける直前にフリーダが戦利品の蒐集品を自分の外套の下に隠して帰る自分の姿を想像しているのは (She pictured her return that evening with her trophy under her cloak;)(261)、オーウェンの申し出を受け入れることが愛人関係を始めるという些か人に知られたいく如何わしいことを意味するからでしょう。

オーウェンの申し出を受けることが彼の愛人になるのを承諾することだという意識がフリーダの意識となつてこの物語の文面にでることはないのですが、ポイントン邸に蒐集品を取りに行く時自分が何か後ろめたいことをしているという意識をフリーダが持っていることは、彼女がポイントン邸に着いた時脚の悪い年老いたポーターから厳しい目付きで見上げられて、脅えて「彼ら(オーウェンとモナ)は帰って来てるの」と問いかけ、オーウェンとモナが帰って来たら彼女がそこに居てはいけないことをその老ポーターも知っているはずだとフリーダが考えることから推測されます。

“They've come back?” She had a confused absurd sense that even he [an old porter] would know that in this case she mustn't be there. (263)

そして最後のポイントン邸炎上はこの物語の視点人物で最も健全で正しい判断力の持ち主であるはずのフリーダが自分の行為が不正であることを知りながらその不正を行おうとした時に、それを妨害するために作者が設定した偶発的事件と考えられます。しかしその偶発的事件をフリーダは前以て想像しています。

Something, in a dire degree at this last

hour, had begun to press on her heart: it was the sudden imagination of a disaster, or at least of a check, before her errand was achieved. (262)

主人公フリーダが想像したことが現実となった点は、同じように主人公の家庭教師が想像することが次々と現実のこのように語られていくジェイムズの実験小説の傑作『ねじの回転』への道を開くものと言えます。またこの物語でフリーダの視点は居候の視点、悪女の視点、そして一瞬正当な結婚を願う結婚適齢期の女性の視点となり、その後召使の視点、最後に愛人の視点へと変わっていくのですが、フリーダ本来の自我が表に出た結婚適齢期の女性の視点を除いて残りの視点は全て家も財産も職業も無い無一物の境遇を生き抜いていくためにフリーダが一時的に身につけた視点と言えます。その意味でこの作品は貧しい女性が自分の不遇な境遇を強かに生き抜いて行く姿を描いたジェイムズの作品にしては珍しくリアリズムに近づいた作品とも言えるのではないのでしょうか。

注

- 1) Leon Edel, *Henry James A Life*, (New York: Harper & Row, Publishers. 1985), pp.415~421. 罵声だけでなく一等席のジェイムズの友人達からは称賛の拍手も送られていた。その夜の聖ジェイムズ劇場は拍手喝采と罵声の相争う「修羅場」(pandemonium)の光景を呈していた。
- 2) Yvor Winters, "Maul's Well or Henry James and the Relation of Morals to Manners" in *In Defense of Reason*, (The University of Denver Press), p.319.
- 3) James W. Gargano, "The Spoils of Poynton: Action and Responsibility" *Sewanee Review*, LXIX, No. 4, (Autumn, 1961), p.659.
- 4) Oscar Gargill, *The Novels of Henry James*, (New York, 1961), p.239.
- 5) Alan H. Roper, "The Moral and Metaphorical Meanings of *The Spoils of Poynton*," *American Literature*, XXXII, (May, 1960), p.194.
- 6) Gargano, p.650.
- 7) Robert C. Mclean, "The Subjective Adventure of Fleda Vetch," *American Literature*, Vol.36, No. 1, (March, 1964), p.14.
- 8) 引用は再版された New York Edition (New Jersey: Augustus M. Kelly, Publishers, 1976) vol.10中の *The Spoils of Poynton* による。以下引用末尾の数字はこの版の頁数を示す。
- 9) Leon Edel and Lyall H. Powers ed., *The Complete Notebooks of Henry James*, May 13, 1895, (New York, Oxford University Press, 1987), p. 122. 秘かにオーウェンを愛しているが故にフリーダはゲレス夫人に恐ろしい譲歩をさせ持ち去った物を返還させるとジェイムズは述べている。
- 10) 第13章の 'How had Mrs. Gereth known in advance that if she had chosen to be "vile" (that was what Fleda called it) everything would happen to help her?' (144) という文章から、自分が「下品な」(vile)人間つまり悪女になるという意識をフリーダが持っていることかわかります。
- 11) 'let yourself go' という表現がオーウェンと肉体関係を結ぶ事を暗に意味していることはジェイムズの *Notebooks* に詳しい。ジェイムズはゲレス夫人の無意識の「野蛮さと不道徳さ」(brutality and immorality)を強調したかったのである。(cf. *The Notebooks*, Feb.13th, 1896, pp. 155-6)
- 12) 「彼女(モナ)は蒐集品が手に入らなければ、僕なんか要らないんだ」"And if she can't get them she doesn't want me." (161) というオーウェンの台詞にもモナに対する彼の反感がよく現れている。
- 13) ピーター・ブルックはこの場面について「自分の役割についてのフリーダ自身の自意識が彼女を解放し、自分の演技に読み取られるかもしれない意味をより高尚に意識しながら行動させる、つまり彼女は自分の行動が生み出す「暗号」(signs)に気づいていて、自分が言葉を体現していることに気づいている」と述べています。(cf. Peter Brook, *The Melodramatic Imagination*, New York: Columbia University Press, 1985, pp. 163-4)
- 14) この辺りのフリーダの行動を表してウィンターズはフリーダの道徳的ヒステリーを指摘し、コロナ・シャープはフリーダが厳正な論理の為に「ゆったりとした常識」(expansive common sense)を放棄していると述べています。(cf. Sister M. Corona Sharp, *The Confidante in Henry James*, Indiana: University of Notre Dame Press, 1963, pp.113-4.)
- 15) 何故これらの場面が11月15日になるのか概略を示しますと、第20章でフリーダの家にゲレス夫人が来てオーウェンとモナの結婚を告げてリックス邸に帰ってから二週間の内にゲレス夫人の手紙が二通来てフリーダは15日にリックス邸に向かったとあるので

(247)、その15日は12月15日となり、ゲレス夫人がフリーダの家を訪ねるのは11月30日となります。また第19章でフリーダとゲレス夫人がオーウェンを捜し回って見つからないので、ゲレス夫人がリックス邸に帰ってから三日目に夫人の電報がフリーダの下に届いたとあるので(235)、フリーダとゲレス夫人がオーウェンを捜し回るのは11月27日となる。すると第17、18章でフリーダがゲレス夫人のいるロンドンのホテルを訪ね蒐集品のポイントン邸への返還を告げられる場面も11月27日となる。またその場面はオーウェンが最後にフリーダの下を去ってから十日

後にゲレス夫人の電報が届いて直後の場面なので(198)、第16章でオーウェンがフリーダに求婚するのは11月17日となる。そしてその場面は第14、15章のフリーダの父の家での問題の場面の二日後のことなので11月15日となる。

- 16) この策略を最初に指摘したのはロバート・C・マクレーンでした。(cf. Mclean, pp. 26-7)
- 17) Christof Wegelin, *The Image of Europe in Henry James*, (Dallas: Southern Methodist University Press, 1958), p.63.

第二言語習得における言語知識と宣言的知識

松 林 城 弘

Linguistic Competence and Declarative Knowledge in Second Language Acquisition

Kunihiro MATSUBAYASHI

This paper focuses on both 'linguistic competence' based on Universal Grammar and 'declarative knowledge' proposed by Cognitive Psychology. In particular, this study discusses L2 learners' acquisition of English pronouns from the viewpoint of an interaction between the syntactic knowledge (linguistic competence) and the semantic/functional knowledge (declarative knowledge). As a result, it is proposed in this paper that a number of problems which Universal Grammar apparently cannot handle have to be dealt with an integrated framework based on Cognitive Psychology.

I 序 論

普遍文法理論の整備・発展に伴い、70年代半ば以降、この理論に依拠した第二言語習得研究が盛んになってきた。普遍文法理論研究では、Chomsky(1965)以来なされて来たように、言語知識(Linguistic competence)と言語運用(Linguistic performance)を識別した上で、言語知識とはどのような性質を帯び、どのように習得されるのかという点を研究の対象とし、言語運用に関しては研究の対象外とされてきた。勿論、このパラダイムに基づく第二言語習得研究にもこの言語理論が反映されてきた。

ところが、80年代半ばになると、そのような言語知識の習得のみを研究対象としたのでは第二言語の習得過程の全体像が把握できないという反省から、第二言語の運用過程をも視野に入れた習得モデルが提案されるようになってきた。こうしたモデルでは、普遍文法理論が提案する言語知識を基盤として、認知心理学や言語処理理論といった言語運用に係わる諸要因をも加味した上で、言語知識の習得から言語の運用に至る第二言語の習得過程をより包括的に説明しようとする。

本稿では、こうしたモデルの中から、普遍文法理論に基づいた言語知識(competence)と認知心理学に基づいた宣言的知識(declarative knowledge)に焦点をあてたモデルを取り上げながら、これら両知識がどのように関係し、また、第二言語の習得過程の中にどのように位置付けられるのか、という点について議論する。まず次節では、competenceとはどのような知識なのか、また、declarative knowledgeとはどのような知識なのかということを観した後、これら知識を取り込んだ第二言語の統合的モデルを簡単に紹介する。そしてIII節では、幾つかの先行研究の実験結果を通じて、言語知識と宣言的知識が具体的にどのような関係にあるのかという点を確認しながら、第二言語の統合的モデルの妥当性について考えてみたい。

II 第二言語習得における統合的モデル

普遍文法理論に基づく言語習得研究では、原理(言語習得の基礎となる一連の普遍的原理)と幾つかの原理に付随

するパラメタ（個別言語の特性に対処する媒介変数）を想定することにより、言語の知識とその習得を説明しようとする。そこで想定された原理とパラメタ、及びその作用により習得される言語知識は、抽象的なレベルで個々人の心の中に表示される静的な知識であり、competenceという用語で一般的に把握されている。Widdowsonはcompetenceの性質を次のように述べている。

Competence is the knowledge of something much more abstract than language: it is knowledge of system of rules, of parameters or principles, configurations in the mind for which language simply serves as evidence. (1989, p.129)

さらに、このような限定的な性質を持つ言語知識は、言語の運用とは明確に区別されており、普遍文法理論を提唱したChomsky自身「話者・聴者の持っている母語の知識（言語知識）は、言語の実際的な使用（言語運用）とは根本的に区別される」（1965, p.4）と述べ、その区別を明確にしている。また、第二言語習得研究においてもこの根本的な識別はなされている。普遍文法理論に基づく第二言語習得研究を先導するWhite自身もこの点について次のように述べている。

Universal Grammar is concerned only with explaining aspects of linguistic competence and accounting for how it is acquired. When we look at the potential role of UG in second language acquisition, therefore, we shall not consider many of second language performance, important though these are. (1989, p.18)

下の図1は、Whiteが提示した認知モジュールであるが、この図からも明らかなようにcompetence（図中ではUG）は他の認知メカニズムとは区別されるのである。

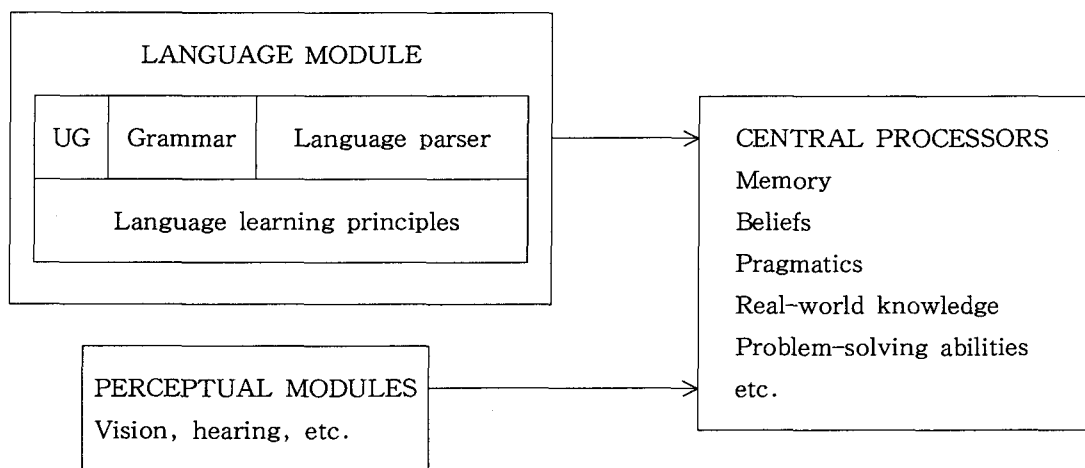


図1. Cognitive modularity (White 1989, p.178)

以上のように、competenceとは、言語運用とは切り離された極めて限定的な言語知識であると捉えることができる。

80年代前半迄は、このような言語知識の習得を対象とする第二言語研究、つまり、第一言語習得に作用するとされる普遍文法が第二言語習得にも作用するかどうかという点を対象とする研究が主流をなしていた。ところが、80年代半ばになると、言語運用に係わる諸要因を認知的な視点から捉えることにより、言語知識の習得から言語運用に至る第二言語の習得過程を包括的に説明しようとする研究が散見されるようになってきた。

例えば、Sharwood Smith (1986a) は、言語知識 (cometence) と言語運用 (performance) の橋渡しするメカニズムとして 'Control' という要因を想定し、第二言語の習得過程を説明しようとした。'Control' は以下のように定義されている。

Control involves mechanisms which access knowledge in long-term memory and integrate the

various bits of information that has been accessed in acts of utterance comprehension and utterance production. Linguistic control mechanisms, which process linguistic competence, form a subset of all processing mechanisms used in actual language use. (p.14)

さらに、Sharwood Smithは、Competence/Controlの関係を図式的に整理しているが、それを基に再整理してみると、図2になる。

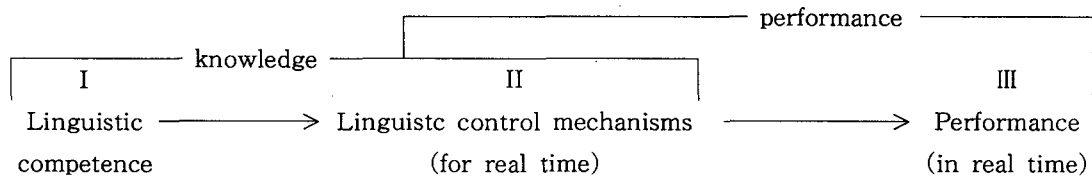


図2. CompetenceとControlの関係(based on Sharwood Smith 1989b, p.244)

このように、Sharwood Smithは、言語処理メカニズムの観点から第二言語の習得過程を捉えることにより、言語知識の習得及びその運用の過程を説明しようとした。

こうした研究以外にも認知心理学に基づいて知識の習得から運用に至る過程を説明しようとする研究も行われるようになってきた (cf. McLaughlin, 1987)。この分野の習得研究は、例えば、Faerch and kasper (1986) や O' Malley, Chamot and Walker(1987) の研究に見られるように、認知心理学に基づいた宣言的知識 (declarative knowledge) と手続的知識 (procedural knowledge) を基盤とした研究が多い。但し、これらの研究は、普遍文法理論が提唱する言語知識とは関係せず、あくまでも認知心理学の知見を第二言語習得に応用した研究である。

宣言的知識は、'knowing that' に係わる知識であり、手続的知識は、'knowing how' に係わる知識である。さらに、Ellis (1990, p.177) の定義を借りれば、それぞれの知識は下のようになる。

- Declarative knowledge consists of such information as the definitions of words, facts, rules and memory for images and sequence of events.
- Procedural knowledge is represented in memory in terms of 'production systems' consisting of a condition and an action.

また、宣言的知識や手続的知識は学習により得られる知識であり、学習段階に応じて、宣言的知識は手続的知識へと変換される。Anderson (1980) は、この知識変換の過程を次の3段階で捉えている。

1. In the **cognitive stage** the learner makes use of conscious activity. The knowledge acquired is typically declarative in nature and can often be described verbally by the learner.
2. In the **associative stage**, errors in the original declarative knowledge are detected and corrected and the knowledge is also proceduralized. During this stage condition-action pairs which are initially represented in declarative form are gradually converted into production sets. The initial declarative representation is never lost, however.
3. Finally, in the **autonomous stage** performance becomes more or less totally automatic and errors disappear. The learner relies less on working memory and performance takes place below the threshold of consciousness. (cited in Ellis, 1990, p.177)

繰り返しになるが、このような知識とその知識変換の過程を応用して第二言語の習得過程を説明しようとする研究は、普遍文法理論とは一線を画して行われてきた。ところが、最近のTowell and Hawkins(1994)の研究では、普遍文法理論が提唱する言語知識 (普遍文法) と認知心理学の宣言的及び手続的知識を一つの枠組の中に位置付け、両者の相互関係を探ろうとしている。Towell and Hawkinsは、その相互関係を明らかにするために図式化を試みているが、それを簡略化して示したのが図3である。

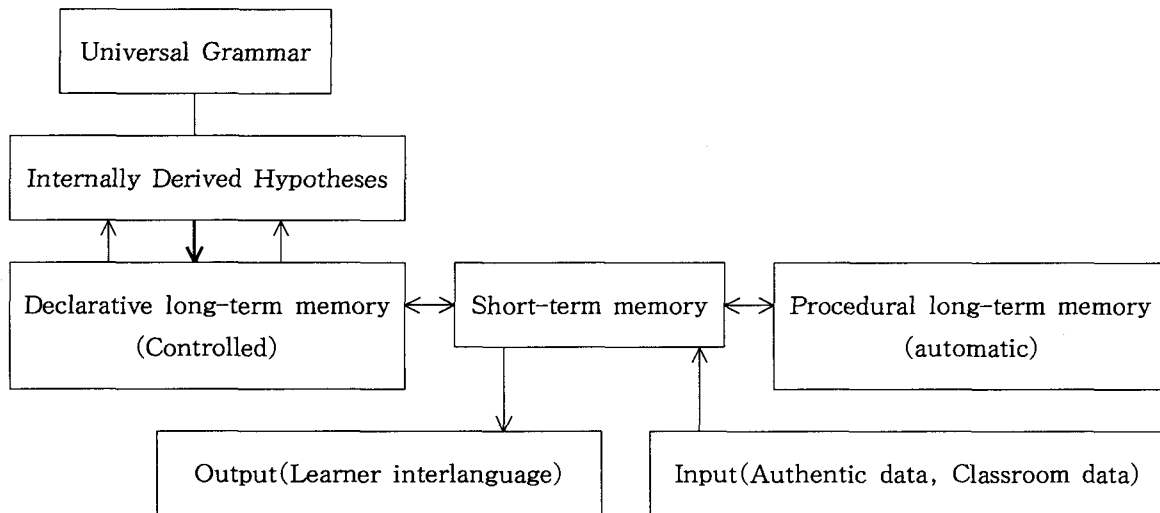


図3. A model of second language acquisition (based on Towell & Kawkins, 1994, p.249)

図が示すように、普遍文法 (Universal Grammar) を基盤とし、それに宣言的 (Declarative) 及び手続的 (Procedural) な知識が加わり、短期記憶 (Short-term memory) を介してアウトプットやインプットと相互作用する。もう少し詳しくみてみると、まず、学習者の知識は普遍文法から生まれた仮説 (図中では Internally Derived Hypotheses) に集約される。この仮説は、宣言的知識 (Towell & Howkins では 'encyclopedic knowledge, situational knowledge, discourse knowledge, knowledge of lexicon' と定義されている) と相互に関連し、修正・再構築される。このような仮説構築の過程と並行して、手続的知識 (Towell & Howkins では 'knowledge of the processing mechanisms, especially those in the formulator' と定義されている) も発達する。これら宣言的及び手続的知識は学習された知識であり、学習者が接するインプットデータから短期記憶を経て段階的に発達する。勿論、この発達段階には Anderson が言う認知的 (Cognitive) 段階、連合的 (Associative) 段階、自動的 (Autonomous) 段階が含まれる。従って、仮説を基とした知識の中には、宣言的な知識として学習者の心に表示されている段階の知識もあれば、宣言的知識から手続的知識へと変換され、さらに自動化が十分進んだ技能知識にまで発達している知識もある。言語運用の基盤となる普遍文法が一方にあり、実際の言語運用の際に必要な宣言的及び手続的知識が一方にある。このモデルは、これら双方を有機的に結び付けることによって、第二言語の習得過程の側面を明らかにしようとする試みであると言える。

80年代前半迄、普遍文法理論に関連した第二言語習得研究の中心課題は、普遍文法が第二言語においても作用するかどうかということであった。しかし、90年前後にかけて、Sharwood Smith や Towell & Hawkins の研究のように、言語知識の習得だけに留まらず、その運用までも説明しようとする動きもでてきた。この傾向は90年代後半にかけて益々活発になるものと考えられる。次節では、特に、Towell & Hwkins のモデルに焦点を合わせ、言語知識と宣言的知識が具体的にどのような関係にあるかという点を幾つかの先行研究の実験結果を通じて確認しながら、第二言語習得における統合的モデルの妥当性及び必要性について考えてみたい。

III 言語知識と宣言的知識の関係

前節では、言語知識と宣言的知識について概略を示したが、本節では、実験データを基に、これら両知識が具体的にどのように関連するののかという点を考えてみたい。その手立てとして、普遍文法理論の原理C及びAの知識と、それに係わる宣言的知識に焦点を当てて議論してみたい。

まずは、原理Cと宣言的知識の関係について考察する。原理Cとは、「指示表現 (R-expression) は自由である」とする制約である。つまり、指示表現 (固有名詞、定名詞句、変項) は、それを構成素統御するどの名詞句にも束縛されてはいけないとする制約である。例えば、下の例文 (1a-d) の内、(1-c) のみがこの制約に抵触し非文となる。

- (1) a. When he_i got angry, John_i broke a vase.
 b. John_i broke a vase when he_i got angry.
 c. *He_i broke a vase when John_i got angry.
 d. When John_i got angry, he_i broke a vase.

Solan(1983)や大津(1987)は、英語を母語とする子供を対象に、このような制約についての知識を所持しているかどうかということ調べたが、比較的年齢の低い子供でも、すでにこのような言語知識を獲得しているという結果を報告している。このことから推測すると、原理Cは、比較的早い段階で英語母語話者の言語知識の一部となり、Towell & Hawkinsの言う仮説 (Internally Derived Hypotheses) の一部にもなっているものと考えられる。

しかしながら、神崎(1994)が言うように、原理Cは代名詞の照応を統語規則から予測する制約としては優れているが、文と文、或るは、語と語の因果関係といった意味的な制約による照応関係の予測に関しては何の責任も持たない。例えば、Garvey et al.(1975, p.228)による下の例文(2a-c)では、語と語の因果関係によって代名詞の照応がある程度予測できる。

- (2) a. Rosemary_i trusted the secretary_j because she_{i/j} was a good administrator.
 b. Rosemary_i trusted the secretary_j because she_{3/j} was efficient.
 c. Rosemary_i trusted the secretary_j because she_{i/3} gullible.

(2a)では、代名詞がRosemaryかsecretaryのどちらを指示するか極めて曖昧であるが、(2b)では、secretaryを指示し、(2c)では、Rosemaryを指示する可能性が高い。原理Cの予測では、どの文においても、代名詞の先行詞はRosemaryとsecretaryになることを考え併せれば、語と語の因果関係に基づいた照応の予測は、原理Cを補足説明できるものと考えられる。

また、Garvey et al.では、英語を母語とする成人を対象として、下のような文を使って実験を行っている。

- (3) a. John_i telephoned Bill_j because he_{i/3} had good news.
 b. John_i admired Bill_j because he_{3/j} was a fine athlete.
 (4) a. George_i telephoned Walter_j because he_{i/3} wanted sympathy.
 b. George_i criticized Walter_j because he_{3/j} wanted sympathy.

(3a)(4a)のtelephoneという動詞は事務的な動詞であるのに対して、(3b) admire, (4b) criticizeは、'emotional state on the part of the subject of the antecedent clause' (Garvey et al., p241)を表す動詞である。被験者の反応は、事務的な動詞が挿入された文では、代名詞の先行詞としてNP1、つまり、(3a)ではJohn、(4a)ではGeorgeを選択し、感情を表す動詞が挿入された場合、NP2、つまり、(3b)ではBill、(4b)ではWalterを選択する傾向が強かった。

Towell & Hawkinsは、宣言的知識の中には、discourse, situational, lexiconの各知識が含まれるとしているが、Garvey et al.が示した現象はまさしくこの宣言的知識から生じた現象であり、被験者が普遍文法(原理C)から生まれた仮説を補足・修正した結果生じた現象であると捉えることができる。

ここまで第一言語習得における原理Cの知識と宣言的知識の係わりを概観してきたが、次に、第二言語習得における原理Aの知識と宣言的知識の係わりをみてみたい。

原理Aとは「照応形(anaphor)はその統率範疇(governing category)の中で束縛される」と規定される制約である。照応形には、再帰代名詞や名詞句の痕跡などが含まれ、それらは最小節の中に先行詞を必要とする。例えば、下の(5)では、再帰代名詞の先行詞は最小節中のJuneになる。

- (5) Alice_i knows that May_j thinks that June_k hit herself_{i*/*/k}.

Hirakawa(1990)は、(6)のような実験文を使って、日本人英語学習者の原理Aに関する知識の習得状況を調査して

いる。(文尾の数字は、被験者65名中NP1を選択した人数である)

- (6) a. John said that Bill *hit* himself. (NP1の選択: 65の内 7)
 b. June says that Alice *understands* herself. (NP1の選択: 65の内11)
 c. Tom thinks that John *hates* himself. (NP1の選択: 65の内19)
 d. Ann remembers that Mary *introduced* herself. (NP1の選択: 65の内 5)
 e. Bob knows that Paul *blames* himself. (NP1の選択: 65の内14)

再帰代名詞の先行詞は全体で77%の確率でNP2が選択されており、概して原理Aの制約に従っているとみなせるが、個々の例文を見てみると、文尾の数字が示すように、hate, blameという感情を示す動詞が使用されている文は、NP1を選択する可能性がやや高い。この傾向は、Garvey et al.が示した現象ほど強くはないが、いずれにしても、原理Aの知識の中に語彙項目に関する宣言的知識が混入して現れた現象であると捉えることができる。

また、松林(1994)では、英語を母語とする英米人10名と日本人英語学習者86名を対象に、(7a, b)中の再帰代名詞の先行詞の選択状況を調べた。また、86名の日本人を対象に、(8a, b)中の再帰代名詞の先行詞の選択状況も調べた。

- (7) a. Bill said that Tom blamed himself.
 b. Bill *angrily* said that Tom blamed himself.
 (8) a. 太郎は明が彼自身を責めたとやった。
 b. 太郎は明が彼自身を責めたと怒ってやった。

表1は、被験者の反応結果(%)をまとめたものである。

表1. 再帰代名詞の先行詞選択結果(%) (数字は小数点第1位で四捨五入してある)(松林 1994)

	英米人		英語学習者		日本人	
	(7a)文	(7b)文	(7a)文	(7b)文	(8a)文	(8b)文
NP1(Bill, 太郎)	0	0	11	46	12	34
NP2(Tom, 明)	100	100	76	43	71	55

まず、日本人の「彼自身」における反応に注目してみると、(8a)文においては「彼自身」の先行詞として12%の確率でNP1(太郎)が選択され、71%の確率でNP2(明)が選択されている。一方、(8b)文では、NP1の選択は12%から34%に増えている反面、NP2の選択は71%から55%に減少している。この結果は、「怒って」という主文の主語の感情を表す副詞が挿入されることにより「彼自身」の先行詞としてNP1が選択される傾向が強くなることを表している。次に、英語学習者の反応においても「彼自身」における反応と同様に、“angrily”という主文の主語の感情を表す副詞が挿入されることにより、“himself”の先行詞としてNP1(Bill)を選択する傾向が強くなっている。この英語学習者の反応は、英米人の反応(7a, 7b文ともにNP1選択0%、NP2選択は100%)には見られない反応であるが、松林(1994)では、こうした学習者の反応結果を「感情移入」という観点から説明を加えた。つまり、日本語の「彼自身」の先行詞を決定する際に、「感情移入」という因子が作用し、この因子が英語学習者の“himself”の先行詞決定にも関与すると捉えられた。言い換えると、英米人は、「感情移入」という要因に影響されることなく、原理Aという構造的な制約に従うものの、英語学習者の場合、「彼自身」という再帰代名詞が持つ特質、つまり、「感情移入」という心理的・認識論的要因に左右されやすいという日本語特有の文処理上の特質の影響を受けて“himself”の先行詞も決定される、と説明された。

本稿では、このような「感情移入」に係わる知識を宣言的知識として捉えなおし、日本語再帰代名詞「彼自身」の先行詞を決定する際に関与するこの宣言的知識が、英語再帰代名詞“himself”の先行詞決定にも関与するという、

言わば、宣言的知識の転移現象として捉える。この観点から松林（1994）の実験結果を再解釈してみると、(9)のように言える。

(9) 日本人英語学習者は、“himself”の先行詞を決定する際に、日本語の「感情移入」という宣言的知識の影響を受ける。この場合の宣言的知識は日本語特有のものであり、英語母語話者が“himself”の先行詞を決定する際には関与しない知識である。従って、日本人英語学習者の反応を解釈するには、普遍文法の原理Aという制約に加えて、「感情移入」という日本語独自の宣言的知識の影響を考える必要があり、Towell & Hawkinsが提案するような統合的モデルが必要となってくる。

本節では、普遍文法理論の原理C及びAの知識と、それに係わる宣言的知識が具体的にどのように関連するのかという点を、幾つかの実験データを基にして議論した。その結果相対的に言えることは、普遍文法理論が提案する言語知識と認知心理学に基づいた宣言的知識は、各々別個に取り扱われるのではなく相互に関連する知識として、Towell & Hawkinsが提案するような統合的な枠組の中に適正に位置付けられることが必要ではないかということである。

IV 結 論

本稿は、代名詞の照応可能性を決定する要因は、統語的な言語知識のみならず、認知心理学の提案する宣言的知識も重要な要因の一つであるという立場を支持するものである。この立場から、Towell & Hawkinsのモデルを引用しながら議論した。確かに原理AやCといった制約は、代名詞の照応を統語的に記述する有効な原理であると考えられるが、なおもそれら統語的制約のみでは説明できない幾つもの例が存在する。これらの例を統一的に説明するためには、人間の認知に深く関わった宣言的知識を想定する必要があると考えられる。その意味で今回取り上げた統合的モデルは、第二言語の習得過程を解明する一つの手がかりになるのではないかと思われる。

参考文献

- Chomsky, N. 1965. *Aspects of the Theory of Syntax*. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Ellis, R. 1990. *Instructed Second Language Acquisition*. Oxford: Blackwell.
- Faerch, C and Kasper, G. 1986. “Cognitive Dimensions of Language Transfer.” In E. Kellerman and M. Sharwood Smith (eds.), *Cross-linguistic Influence in Second Language Acquisition*. Oxford: Pergamon.
- Garvey, C., Caramazza, A. and Yates, J. 1975. “Factors Influencing Assignment of Pronoun Antecedents,” *Cognition*, 3: 227-243.
- Hirakawa, M. 1989. “A study of the L2 acquisition of English reflexives,” *Second Language Research*, 6: 60-85.
- 神崎高明 1994. 「日英語代名詞の研究」, 研究社出版.
- 松林城弘 1994. 「英語再帰代名詞の解釈における日本語の影響について」『奈良工業高等専門学校研究紀要』第29号: 190-113.
- O’Malley, J., Chamot, A. and Walker, C. 1987. “Some Applications of Cognitive Theory to Second Language Acquisition.” *Studies in Second Language Acquisition*, 9: 287-306.
- Sharwood Smith, M. 1986a. “Comprehension versus Acquisition: Two Ways of Processing Input.” *Applied Linguistics*, 7: 239-256.
- Sharwood Smith, M. 1986b. “The Competence/Control Model, Crosslinguistic Influence and the Creation of New Grammars.” In E. Kellerman and M. Sharwood Smith (eds.), *Cross-linguistic Influence in Second Language Acquisition*. Oxford: Pergamon.
- Towell, R. and Hawkins, R. 1994. *Approaches to Second Language Acquisition*. Clevedon: Multilingual Matters Ltd.

White, L. 1989. *Universal Grammar and Second Language Acquisition*. Philadelphia: John Benjamins.

Widdowson, H. G. 1989. "Knowledge of Language and Ability for Use." *Applied Linguistics*, 10
128-137.

武田 充啓

『野分』の作品としての矛盾や欠点については、従来から多くの指摘がなされてきた。そしてそれら批判の多くは、白井道也はよくその行動や主張を貫き得たか、という視点からのものであったといつてよい。

たとえば西垣勤^①は、「江湖雜誌」に載せられた道也の文章「解脱と拘泥」、あるいは電車事件で検挙された同僚の家族を救うための演説「現代の青年に告ぐ」に示された内容は、「今尚我々を衝つ根源的な」批判力を持つてはいるものの、それはあくまでも《文学的内面的なラディカリズム》にすぎず、政治的社会的な行為や行動につながるものではないことを指摘している。また《高柳の結核療養のための中野輝一の百円の金によって救われることになる》結末について、それが作品を終わるための便宜でしかないというだけでなく、仮に中野が『人格論』を出版すれば、道也は兄が勤める会社の社主の息子によって救われ、さらに『人格論』の出版までもしてもらうことになり、「もしそうなたあとで道也がその内実を知れば憤死でもする他はあるまい」という意味で、『野分』の作品としての行き詰まりをそこに見ている。

あるいは酒井英行^②は、おそらくは同じ点について、「道也には、「わたしの道」（自然）と「天意」との矛盾・対立への問い詰めが欠落している。自己内面の「自然」と「天意」との予定調和が、道也の独善的な行動力の母胎である。自己を過信した道也が、前のめりに自己を社会・他者に投企してゆく、その切迫感だけが空転しているのだ」と述べ、道也の演説においては、大学教授の足立に対する侮蔑（個別的な評価）を忘れたかのように「学者」を一般化し、その《学者の優位を唱え》てしまっている点をあげて、単なる「学者」と自己を峻別する拠点であった「文学者」としての自己定立が崩壊していることを指摘する。結末に關しては、「作者」による道也の聖化、道也との一体化による（その崇高さへの）自己陶醉が、《高柳の個別的な真の不幸》を見落とす結果になり、《道也は、終に高柳を救済することができなかった》、《高柳の精神の死を救い、真の創作意欲を起こさせたものは、中野の提供した金であったのだ》としている。

'Bungakusha (Men of letters)'
in Natume Soseki's *Nowaki*

Mitsuhiro TAKEDA

しかし村瀬士朗③は、従来のこうした代表的な見方とは異なった読みを試みている。村瀬氏は、『野分』は結果的には白井道也の行動や主張がよく貫かれることになった作品である、という読みを示そうとしているのである。そしてその読みは十分な説得力を持っている。氏の独創は、『野分』を《「文学者」白井道也とその読み手の関係それ自体を作品内にとり込んで顕在化した》作品として読むところにある。村瀬氏は、『道也と関係することによって大きく「己れ」を換えて行動する高柳こそ道也の「知己」』だとし、『野分』を《高柳の自己変革のドラマ》として捉え直している。《「小説家」高柳の役割》は、「警世家」道也を真似ることではなく、むしろその人物を描き、その「人格」を世に伝えることである。だとすれば高柳の「自己を代表すべき作物」とは、『白井道也を描いた『野分』という作品それ自体だということになる』。

『野分』は、高柳の《「志」を作品化したもの》であり、『その「志」は、「現代の青年に告ぐ」で道也が述べた「予言」を実現するべくとった作品末尾の高柳の行為にこめられていくことになる』。中野や妻や兄といった《さまざまな立場の読者と「文学者」白井道也の関係》を、『自己媒介して提示しながら、最終的に「作者」は道也の「知己」高柳の立場を選んで』いる。結末の高柳の行為は「茶番」かも知れないが、それが見えないはずがない「作者」は、高柳の《「志」を、全く相対化することなく》《高柳と一体化し、高柳になり代わって語ることでテキストを閉じ》ている。そう村瀬氏は読むのである。中野に課せられた問題については、『高柳の「知己」として「人格論」を受け取って変化するか、という問いは「朋友」としての中野に対する問いであると同時に「文学者」志望の青年中野輝一に「文学者」としての態度決定を迫るものでもある』とし、『中野の境遇や作中のあり方から「人格論」の行方を決定されたもののように考えることは』《ただ作中に描かれた社会のありようをそのまま肯定することではない》と指摘し、『野分』における「文学者」の自立の最後のバトンは私達読者のもとに託されてある』とするのである。

『野分』を高柳周作の自己変革のドラマとして読めば、その高柳の最後の行為において、白井道也の主張は貫かれて見ると見る点では、私は基本的に村瀬氏に同意する。しかし、『野分』を《「文学者」の自立》

の物語としてその可能性を読みとろうとする氏の姿勢に対しては若干の疑問がある。

以下、小論では、『野分』を「文学者」という「関係」の成立の物語として捉え、ではどういう条件において「文学者」という「関係」が成立するのかについて、私なりの見解を示したいと思う。それは、道也と高柳、高柳と中野の間に、それぞれ個別にしか「感化」がおよばないこと、したがって『野分』の「文学者」は、一対一で向かい合う二人の間でのみ成立する特別な「関係」としてあることを明らかにすることである。

一

「白井道也は文学者である」。周知のように『野分』はこの宣言めいた一文によって語り始められる。そして「文学者」である白井道也の言動が、文学者志望の青年高柳周作を「感化」することになるというストーリーを持つ。

では「文学者」白井道也とは誰か。八年前に大学を卒業し、「石油の名所」新潟から、「炭鉱の煙を浴び」る九州、「他県のもの」を外国人と呼ぶ「中国地方の田舎へと中学を「流して」歩いた末、去年の春「飄然」と「東京へ「戻って来た」男。

三度教師となって三度追ひ出された彼は、追ひ出される度に博士よりも偉大な手柄を立てた積りで居る。博士は偉からう、然し高が芸で取る称号である。富豪が製艦費を献納して従五位を頂戴するのと大した変りはない。道也が追ひ出されたのは道也の人物が高いからである。正しき人は神の造れる凡てのうちにて最も尊きものなりとは西の国の詩人の言葉だ。道を守るものは神よりも貴しとは道也が追はるゝ毎に心のうちで繰り返す文句である。但し妻君は嘗て此の文句を道也の口から聞いた事がない。聞いても分るまい。(一)

ここで、のちに「作者」を自称して作品に顔を出しもある語り手は、「手柄を立てた積りで居る」というやや距離を置いた観察から「人物が

高いからである」という断定へと、その視線を道也に寄り添わせるようにすつと移動させている。しかしすぐあとに「西の国の詩人」という他人の言葉を持ち出してふたたび距離をとり、「神よりも貴し」という道也自身の言葉を重ねるのである。「作者」は、「人物が高い」という先の言葉の出所を曖昧にし、それが絶対的な響きとして残らないように配慮している。そして「作者」は、その視点の揺らぎや勇み足を隠蔽するために、さらにまた道也の人物を相対的にははつきりと示しておきたいがために、「高い」「貴し」といった精神の高貴さを理解しない存在としての「妻」を要請するのである。

むしろ「俗」世間という「単純な世界」に生きる妻には「夫としての道也の外に」「学者としての道也」「志士としての道也」「道を守り俗に抗する道也」などいるはずもない。しかし、では彼女はその「単純な世界」を生きる一人の人間として道也に拮抗するだけの肉体的な存在感なり、日常生活者の論理なりを持つていかうと、そうではないのである。「作者」は道也に近寄りすぎたときには、すぐさまそこから離れようとし、また道也を相対化しようとさえしているかに見える。しかし、実のところ「作者」は道也の相対的な「高さ」をすでにあるものとして認めており、彼の「高さ」を維持することに積極的に加担してきているのである。道也を相対化しようとする人物たちはそのことによってむしろ相対的に道也より「低い」存在であることが確認されるだけに終わる。そもそも道也に拮抗し得る人物がない以上、相対化ができないのは目に見えている。というより、「作者」には最初から道也に自己を相対化させ、そこから自己変革に向けて歩を進めさせる気などさらさらないのである。

同化は社会の要素に違ない。仏蘭西のタルドと云ふ学者は社会は模倣なりとさへ云ふた位だ。同化は大切かも知れぬ。其大切さ加減は道也と雖ども心得て居る。心得て居る所ではない。高等な教育を受けて、広義な社会観を有して居る彼は、凡俗以上に同化の功德を認めてゐる。たゞ高いものに同化するか低いものに同化するかと問題である。此問題を解釈しないで徒らに同化するの世の爲めにならぬ。自分から云へば一分が立たぬ。

(一)

世が容れぬなら何故こちらから世に容れられやうとはせぬ？世に容れられ様とする刹那に道也は綺麗に消滅して仕舞ふからである。道也は人格に於て流俗より高いと自信して居る。流俗より高ければ高い程、低いものゝ手を引いて、高い方へ導いてやるのが責任である。高いと知りながらも低きに就くのは、自から多年の教育を受けながら、此の教育の結果がもたらした財宝を床下に埋むる様なものである。自分の人格を他に及ぼさぬ以上は、折角に築き上げた人格は、築き上げぬ昔と同じく無功力で、築き上げた労力丈を徒費した訳になる。(中略)学問は綱渡りや皿廻しとは違ふ。芸を覚えるのは末の事である。人間が出来上るのが目的である。(同)

ここで言われているのは次のようなことである。自分より「高い」ものには「同化」してもよいが、「低い」ものには「同化」すべきでないし、したくない。「高い」自分は、「低い」誰かを「感化」すべきなのであり、それが自分の使命なのである。

「人格に於て流俗より高いと自信して居る」道也は、決してその先を自問したり、自分を疑うようなことはない。道也はすでにそうした問題を超越した「崇高」な「一人坊つち」なのであり、彼自身が自分の「滑稽」さに気づいて「低きに就く」ようなことなど起こりえないのである。『野分』に、道也に対する根本的な相対化があるとすれば、百円の金によって著作の出版と借金の返済という問題が一挙に解消されることになる、その結末以外にはないのである。これについてはのちに見る。

学問にとって「芸を覚えることは末の事」であり、本当は「人間が出来上がるのが目的」である。道也はそう考える。しかし「世は名門を謳歌する、世は富豪を謳歌する、世は博士、学士迄も謳歌する」(三)。
なぜか。「公正な人格に逢ふて、位地を無にし、金錢を無にし、もしくは其学力、才芸を無にして、人格其物を尊敬する事を解して居らん。人間の根本義たる人格に批判の標準を置かずして、其上皮たる附属物を以て凡てを律しやうとする」(同)からである。つまり「附属物が本体を踏み潰す世」だからである。「あの時分は今とは大分考へも違つてゐた。己れと同じ様な思想やら、感情やら持つてゐるものは珍らしくあるまい

と信じて居た。従つて文筆の力で自分から卒先して世間を警醒しやうと云ふ気にもならなかつた」(三)。

では「附屬物」(文学士という肩書)のできる教師をやめて「文筆の力」という「本体」で生きようとすればどうなるか。「江湖雜誌の編輯で二十円、英和字典の編纂で十五円」、合わせて三十五円が月々の定取であり、「此外に」新聞や雑誌に「毎日毎夜筆を休ませたことはない位に」書いて、「たまさか二円、三円の報酬」を得られるだけである。したがつてもちろん妻や兄からは「無考」「困つた男」「訳がわからない」「変人」「無鉄砲」「どうかして居る」「馬鹿」「無暗」「頑固」などと罵られ、中野からは「愛嬌のない男」「あれで文学士」と軽蔑されるのである。

道也は「文学はほかの学問とは違ふ」のだと言ひ。確認しよう。では道也のいう「文学」とは何であり、「文学者」とは誰であるのか。

「(前略)文学は人生其物である。苦痛にあれ、困窮にあれ、窮愁にあれ、凡そ人生の行路にあたるものは即ち文学で、それ等を嘗め得たものが文学者である。文学者と云ふのは原稿紙を前に置いて、熟語字典を参考して、首をひねつてゐる様な閑人ぢやありません。円熟して深厚な趣味を体して、人間の万事を臆面なく取り捌いたり、感得したりする普通以上の吾々を指すのであります。其取り捌き方や感得し具合を紙に写したのが文学書になるのです。だから書物は読まないでも実際其事にあたれば立派な文学者です。従つてほかの学問が出来得る限り研究を妨害する事物を避けて、次第に人世に遠かるに引き易へて文学者は進んで此障害のなかに飛び込むのであります。」(六)

二

こうした道也の考える「文学者」とは対照的に、「附屬物」としての文化、あるいは文学を生きる人間として形象されている青年が中野輝一である。

彼の部屋にあるヴィーナスは「無論模造」である。彼の目の前で輝く

婚約者のダイヤモンドは、彼女の父親が競馬の「賭」で儲けた五百円のお金で買った指輪であり、その「美しき手」に必要な「貴き飾り」である。また中野が話題にするメリメのヴィーナス像が動き出して男を死なせてしまふ話も、「出来合の指環」に対する「本物」の持つ力の恐ろしさを伝えている。そこで中野の恋人は、彼女自身が中野の「装飾品」にすぎないことをほとんど自覚してでもいるかのように、本気で怖がつてみせるのである。しかし「甘き恋に酔ひ過ぎたる」中野は性慾もなく「愛嬌に醋をかけた様な」「此酸味に舌を打つ」のである。

二人の世界は愛の世界である。愛は尤も真面目なる遊戯である。遊戯なるが故に絶体絶命の時には必ず姿を隠す。愛に戯れる余裕のある人は至幸である。／愛は真面目である。真面目であるから深い。同時に愛は遊戯である。遊戯であるから浮いてゐる。深くして浮いてゐるものは水底の藻と青年の愛である。(七)

「水底の藻」が次作『眞美人草』において、小野の暗い出自や彼の内面をあらわす喩として用いられることになるのはまだ先のことである。そしてヴィーナスが隠蔽しようとした「過去」の蘇りとしてへ動くことに本気で恐れることになるのもまた。

しかし注意すべきなのは中野の「恋愛論」である。「現代青年の煩悶に対する解決と云ふ題」にふさわしい「高説」とは、どうしても思えない軽薄なものとして、「作者」はそれを紹介しているのだが、そこには見過ごせない言葉が含まれているのである。

「我々が生涯を通じて受ける煩悶のうちで、尤も痛切な尤も深刻な、又尤も激烈な煩悶は恋より外にないだらうと思ふのです。(中略)我々が一度此煩悶の炎火のうちに入ると非常な変形をうけるのです」／「変形? ですか」／「えゝ形を変ずるのです。今迄は只ふわふわ浮いて居た。世の中と自分の関係がよくわからないで、のんびんぐらりに暮らして居たのが、急に自分が明瞭になるんです」／「自分が明瞭とは?」／「自分の存在がです。自分が生きて居る様な心持が確然と出てくるのです。だから恋は一方から云へば煩悶

に相違ないが、然し此煩悶を経過しないと自分の存在を生涯悟る事が出来ないのです。(中略)夫だから恋の煩悶は決して他の方法によつて解決されない。恋を解決するのは恋より外にないです。恋は吾人をして煩悶せしめて、又吾人をして解脱せしむるのである。(三)

「世の中が、どれ程悲観すべきものであるか位は知つてゐる積りだ」という中野は、書物の上でだけではなく「實際だつて、是で中々苦痛もあり煩悶もあるんだよ」と高柳に言つてみせている。むろん高柳は「高い山から谷底を見下ろした様」に、中野を相手にしない。「訳は段々話すよ」という中野の「訳」は決して話されることはない。高柳は「公然とにやにや笑つた。些つとは察する積りでも、察しやうがない」からである。中野は恋の「理論家」であつて恋の「實際家」ではない。しかし彼が否応なく實際家として生かされてしまつたときには、必ず嘗めるであろう「煩悶」を、すでにその存在の深奥に潜ませているのである。『こゝろ』において結晶することになる、「恋」とそれによる存在の「変形」という主題の淵源は、『野分』のこの中野の言葉にあるのである。

唐突に思われるかも知れないが、『こゝろ』を取りあげたのは、他にも理由がある。『こゝろ』の先生が青年の「私」に告げる、「恋に上る階段」説とでもいふべきものが、ここ『野分』においても、同様にあてはまりそうに見えるからである。

「今それ程動いちやあません」

「あなたは物足りない結果私の所に動いて来たぢやありませんか」

「それは左右かも知れません。然しそれは恋とは違ひます」

「恋に上る階段なんです。異性と抱き合ふ順序として、まづ同性の私の所へ動いて来たのです」

「私には二つのものが全く性質を異にしてゐるやうに思はれます」

「いや同じです。(中略)あなたが私から餘所へ動いて行くのは仕方がない。私は寧ろそれを希望してゐるのです。然し……」

(『こゝろ』上十三)

恋は罪悪ですよ。それは貴方もよく分かっているはずですよ。と先生は青年の「私」に言う。そこで先生が言っているのは、人は「恋に上る階段」を上がつていくのだが、自分が今どの段に足を乗せているかは知り得ない、気がつくのは、いつも決まつて「階段」を一つ上つてしまつた後からにすぎない、といふことである。ちやうど「故郷」が捨てられて初めて「発見」されるように。

「もとは極親密でした。然しどうもいけません。近頃は——何だか——未来の細君か何か出来たんで、あんまり交際してくれないのです」(六)。実のところ、中野は高柳を捨てて「異性」の恋人のもとに走つたのであり、高柳はまた中野を離れ「異性と抱き合ふ順序として、まづ」道也先生の所へ動いていったのである。「異性」が、たんに女性をのみさすのではなく、彼の憧れや理想を振り向ける対象となるものの喩であることはいうまでもない。もつとも高柳には、その時点ですでに、「異性」へと「階段」を上つていくための時間が与えられていないという点が異なっている。しかしそのために高柳の「恋」は「順序」としてのものを超えた、ある特別なものになるのである。

三

しかし、まずは高柳と中野の関係から見ていこう。

同じ年に卒業したものは両手の指を二三度屈する程ある。然し此二人位親しいものはなかつた。(中略)此兩人が卒然と交を訂してから、傍目にも不審と思はれる位昵懇な間柄となつた。(中略)／＼天下に親しきものが只一人あつて、只此一人より外に親しきものを見出し得ぬとき、此一人は親でもある。兄弟でもある。さては愛人である。高柳君は単なる朋友を以て中野君を目しては居らぬ。(二)

中野の「住む半球には今迄いつでも日が照つて居た」。だから自分の足の下に真つ暗な半球があると気がついたところで、「嘸暗い事だらうと身に沁みてぞつとする事はあるまい」。

高柳君は此暗い所に淋しく住んでゐる人間である。中野君とは只大地を踏まへる足の裏が向き合つて居ると云ふ外に何等の交渉もない。縫ひ合はされた大島の表と秩父の裏とは覚束なき針の目を忍んで繋ぐ、細い糸の御蔭である。此細いものを、するすると抜けば鹿児島県と埼玉県の間には依然として何百里の山河が横たわつて居る。

(二)

高柳にとって中野は「親」であり「兄弟」であり「愛人」である。と同時に中野は、また足の裏を向き合わせている以外に「何等の交渉もない」人間である。この落差は何なのだろうか。これはたんにその精神生活と経済生活とを分けてそう言っているだけのことなのであろうか。高柳と中野の関係は、道也とその妻お政の関係に似ている。

博士になり、教授になり、空しき名を空しく世間に謳はれるが為、其反響が妻君の胸に轟いて、急に夫の待遇を変へるならば此細君は夫の知己とは云へぬ。世の中が夫を遇する朝夕の模様で、夫の価値を朝夕に変へる細君は、夫を評価する上に於て、世間並みの一人である。(中略)従つて夫から見ればあかの他人である。(中略)道也は自分の妻を矢張りこの同類と心得てゐるだらうか。至る所に容れられぬ上に、至る所に起居を共にする細君さへ自分を解してくれないのだと悟つたら、定めて心細いだらう。(中略)順境にある者が細君の心事をここ迄に解剖する必要がない。(中略)病氣も無いのに汚いものを顕微鏡で眺めるのは、事なきに苦しんで肥柄杓を振り廻すと一般である。只此順境が一転して逆落としに運命の淵へころがり込む時、如何な夫婦の間にも氣まづい事が起る。親子の絆もぼつりと切れる。美しいのは血の上を薄く蔽ふ皮の事であつたと氣がつく。道也はどこ迄氣がついたか知らぬ。

(一)

道也が妻を「金さへとれゝば」よいと考えている人間だと見なし、勉めるように、高柳は中野を「生活には困らないし、時間は充分あるし、勉強はしたい丈出来るし、述作は思ふ通りにやれる」「実に幸福」な人間だと決めつけている。「妻君は次第と自分の傍を遠退く様になつた」と

書かれ、壁に「細君の影が写つてゐる。其影と細君とは同じ様に無意義に道也の眼に映じた」とされる。「至る所に起居を共にする細君」はしかし、やはり道也にとって「何等の交渉もない」人間なのである。

中野君は無論上等である。高柳君を顧みながら、こつちだよと、さも物馴れたさまに云ふ。今日に限つて、特別に下等席を設けて貰つて、そこへ自分丈這入つて聴いて見たいと一人坊つちの青年は、中野君のあとを付けたが階段を上ぼりつゝ考へた。己れの右を上る人も、左を上る人も、又あとからぞろぞろついて来るものも、皆異種類の動物で、わざと自分を包囲して、のつびきさせず二階の大広間へ押し上げた上、あとから、慰み半分の手を拍つて笑ふ策略の様に思はれた。

(四)

『こゝろ』の「階段」にせよ、『野分』の「階段」にせよ、それらが、本人の意志や意識にかかわらず、自動的に人を運んでいくようなものとして描かれている点で共通している。そこでは人は「一歩でも退く事はならぬ」のである。

中野は「余裕」があるという点で高柳より高い位置にいる。しかし、おなじその「余裕」のために高柳の真の不幸に気がつかない、聞き出し得ないという点で、高柳に「高い山から谷底を見下ろした様に」見下げられてしまうのである。高柳は、のちに道也には告白する自分の「過去」を、中野には一言も打ち明けてはいない。だから中野は恋人に高柳の出身を尋ねられて、「農、なんでせう」などと寝ぼけたことを言わざるを得ないのである。高柳と中野はこの程度に「親しい」間柄だと言わねばならないのである。

高柳は、自分の上っている「階段」がどうも違う、中野の後を追いかけていくのでは、いつまでたつても自分が自分らしくあることはできないのではないかと思つている。しかし、それ以外にどうしていいのかわからないのである。

四

つぎに高柳と道也の関係を見よう。

高柳は道也の「知己」として扱われることになるのだが、その前から、道也の「同類」であることが明らかにされている。それは「零落」した「服装」において「伯中の間」であるというだけでは、高柳もまた彼なりの「本体」論を持っていることである。「入らない切符杯を買ふのかい」「穿めもしない手袋を握つて歩いてるのは何の為めだい」(四)と高柳は中野に言っている。そしてこの高柳の「本体」論は、彼の文学観とも深く関わっているのである。

「自然なんて、どうでもいゝぢやないか。(中略)僕のは書けば、そんな夢を見た様なものぢやないんだからな。(中略)たとえ飛び立つ程痛くつても、自分で自分の身体を切つて見て、成る程痛いなと云う所を充分書いて、人に知らせて遣りたい。呑気なものや気楽なものには到底夢にも想像し得られぬ奥の方にこんな事実がある。人間の本体はこゝにあるのを知らないかと、世の道楽ものに教へて、(中略)恐れ入つたと頭を下げさせるのが僕の願いなんだ」(二)

高柳は道也に対して、ある特別な出会い方をしている。それは「生まれて初めて」というかたちをとる。二人を媒介するのが中野であるということは見やすいが、そのきっかけは、この二人がそれぞれへ生まれて初めて〆の経験をするところから始まるのである。

取材のために中野を訪ねた道也は、「生まれてから未だ嘗てこんな綺麗な室へ這入つた事はない」という経験をしている(三)。そしてこのときの中野の談話が「僕の恋愛観」という表題で掲載されている同じ江湖雑誌上に、道也(憂世子)の「解脱と拘泥」も載せられていて、高柳はそれを読むことになるのであり、この道也の文章との出会いは、高柳が中野に連れられて「生まれてから、是が始めて」という音楽会(四)の経験のすぐあとの出来事として描かれているのである。

「解脱と拘泥」を読む高柳は「今迄解脱の二字に於て曾て考へた事はなかつた」ことに気づく(五)。そして道也を訪ねた高柳は丁寧に頭を

下げている。「丁寧に頭を下げた事は今迄何度もある。然し此時の様に快く頭を下げた事はない」くらいに丁寧に、「同類に対する愛隣の念より生ずる真正の御辞儀」をするのである(六)。そしてその文章を評価された道也は「然し今迄僕の文章を見てほめてくれたものは一人もない。君丈ですよ」と打ち明けるのである。

高柳は自分の「歴史」に苦しめられている。郵便局の役人であり、公金を横領し牢獄の中で肺病死した父親から、その「罪」と「病」が「遺伝」したのではないか。そんな暗い「過去」が、輝かしい「未来」の成功を奪い、「麵麩の為め」だけに生きる「現在」に自分を縛りつけているのだと、高柳は悩むのである(八)。

しかしへ生まれて初めて〆の経験になら、そういう「現在」から解放してくれる解脱の力があるのだとでもいうように、「作者」は「今迄」に「なかつた」こととして二人の出会いを綴っていく。そうして高柳は、道也の演説「現代の青年に告ぐ」に対してやはり、「生まれて始めてこんな痛快な感じを得た」という経験をするのである(十二)。だから中野が高柳の転地療養のために都合した百円について、「百円の金は聞いた事がある。が見たのは是が始めてである。使ふのは勿論の事始めてある」と書かれるとき、高柳はその「百円」を、いざれ道也に密接に関わるかたちで「使ふ」ことになるのだな、ということがわかるのである。

五

村瀬氏も言うように『野分』の評価の鍵は、道也の『人格論』の出版と借金に関わってやりとりされる百円のめぐる回路をどう捉え、どう解釈するかにある。

結核になった高柳は、中野に百円の金を借りて転地療養をすることになる。暇乞いに道也を訪ねると、借金取りが来ていて、百円の金の取り立てをしている。高柳は、中野に借りた手元の百円で道也の「人格論」の原稿を買い取り、それを自分の著作の「代り」として中野に届けようと「暗き夜の中に紛れ去」るのである。

小森陽一はこの『「百円」の流通過程を客観的に見てみると、その中には多くの潜在的な裏切りが内包されて』いるとして、それらを次の四

つにまとめている④。

(一)道也が「人格論」を書いたのは、そこに記された思想によって読者に働きかけるためだ。「人格論」を出版してなるべく多くの読者に自分の思想を伝えようとしていたのに、高柳の行為は道也が「文学者」となる可能性を摘み取ってしまった。

(二)借金の取り立ては、兄が、資本家を批判する道也の言論活動を封殺するために仕組んだ罠であり、高柳の行為は結果的に中野の父(道也)の兄の会社の経営者)を利することになってしまった。

(三)高柳は将来の自分の著作と引き換えに百円を借りている。だとすれば高柳は中野との約束を破っただけではなく、自ら「文学者」になる可能性を摘み取ってしまった。

(四)道也は「現代の青年に告ぐ」という演説で「人事上」に金銭の力を作用させることを批判していた。高柳自身や道也の「人事上」の問題に、金満家である中野の金を使ってしまった高柳は、その意味で道也の思想を裏切っている。

(四)についてはしかし、「訳のわかった」「文学者」高柳が、「金」の使い方を「金満家」中野に教えているのだ、と考えれば、逆に道也の思想に忠実だということになる。いずれにせよこうした問題は、道也の原稿を高柳から受け取った中野が「人格論」を出版しさえすれば解消する問題である。小森氏もまた道也の「人格論」が日の目を見ないだろうことを前提にしているのである。しかし仮にそうだととしても、

(一)道也は高柳に対して「君丈」が「僕の知己ですね」といつていた。その高柳に彼自身の著作として、それ「より偉大なる」ものとして選ばれたことこそが、道也にとって真に「文学者」になることではなかったか。もともと「人格論」の出版の予定が立たなかったのも道也に「知己」や「同類」がいなかったからであり、世の中が道也を遇する「朝夕の模様」で道也の価値を「朝夕に変える」ような「読者」なら「あかの他人」にすぎないと考えて、真に必要としていなかったからではなかったか。

(二)同様に、高柳はこの行為においてのみ(道也と高柳に共通する理想としての)「文学者」の可能性を持つのではないか。

という疑問は残る。もちろんそれでも近い将来の高柳の死と中野の金があつて初めてそれが可能になっているというのには消せない事実であり、これ以上ない皮肉であり、逆説であるのだが。

しかし右のことが成り立つためには「文学者」とは何かをもう少し明確にする必要がある。

たとえば中野は、療養費を負担する代わりに、高柳の「一大傑作」をもらい受け、それを「世間へ」出すという契約を申し出ていた。しかしこれは、村瀬氏の言うように「無意味に人の世話になるのが厭」という高柳に療養費をうけとらせるための方便にすぎないものだったのだろうか。

もし「方便」でそうしたのだとすれば、中野の目的は高柳を転地させ療養させることにあり、したがって中野は高柳の持ち込んだ道也の「人格論」に対して、口では貰うと言いながら、実際には(そこに「金持」批判が含まれているのならなおさら?)出版を本気で考えることなく、高柳に対してあらためて百円の金の用立てを申し出ることさえも考えられるであろう。また反対に、もし中野が「真面目」でそうしたのなら、つまり高柳を「保護」するこれまでの一段高い立場からではなく、高柳と対等の立場で契約を申し出ているのなら、高柳自身の著作こそが中野にとっては意味があることになるのだから、高柳の「自己を代表すべき作物を転地先よりもたらし帰る代りに」という「代りに」が、いくら高柳にとって「より偉大なる人格論」であっても、中野においては成り立ちほしないだろう。

とすれば、やはり道也から中野への「感化」の線は、切れていると言わねばならないだろう。中野にとって道也は、直接には「文学者」と呼べる(呼び合える)存在ではないのである。

雑誌を編集し字典を編纂する三文文士と「地理教授法の翻訳の下働き」で口を糊する「筆耕」。しかし目の前の青年を「知己」と呼び「君丈です」と打ち明けた男と、「先生、私はあなたの弟子です」と告白し自身自身の作物として「先生」の著作のすべて(著者名までも)を引用

する男。こうした道也と高柳の特別な「関係」においてのみ、二人は「文学者」を生きることになる。そしてそこでは、「感化」と「死」とを前提にして初めて出現する「真面目／恋」以外に、「文学者」を支えるものなどありはしないのである。

窮地を救われる道也は、たしかに道化に見える。しかし、小森氏もいうように、この事態は読者にしか把握できない。もしも漱石が理想の喪失を生きる当代青年層に対する処方箋として『野分』を書いたのだとすれば、漱石は白井道也のように生きろといっているのではない。その「滑稽」を乗り越えて、高柳周作のように生きろ／死ねといっているのである。むろん道也の「人格論」を百円の金で買った高柳のようにではない。それを自分の著作として引用し、受け取る者の進退をこそ問う形で中野に渡そうとする高柳のようにである。高柳はそこで道也という「恋人」を離れ、昔の「恋人」である中野に、対等な立場で正面から向かい合おうとしているのである。それは、いわば垂直の関係にある「感化／恋」の「階段」から自ら身を引き離し、水平の関係にある「友情」へと飛躍することであり、意志や意識に関わらず人を「押し上げ」ていく「自然」や「運命」といったものに対する、「意志」や「意識」の側からの挑戦である。そしておそらくこの行為こそが、「文学者」道也先生が望みつつ、しかし「人格論」には直接書かれていないことであり、これによって初めて「人格論」が補完され、さらにそれを乗り越える可能性を持つという意味で、「文学者」高柳の「作物」なのである。したがって中野は、道也の「人格論」を出版するかしないかではなく、ただ「文学者／朋友」として現れた高柳にどう向かい合うかのみ、応えればよいのであり、応えねばならないのである。

註

- ①西垣勤「『野分』私論」（『日本文学』二一巻六号、一九七二、六）のち『漱石と白樺派』有精堂出版所収 一九九〇、六）
- ②酒井英行「『野分』論」（『文芸と批評』五巻十号、一九八四、七）のち『漱石 その陰翳』有精堂出版所収 一九九〇、四）
- ③村瀬士朗「流通する『文学』、『文学者』の自立——『野分』論——

- （季刊『文学』二巻一号 一九九一、一）
- ④小森陽一「大学屋から新聞屋へ」（『夏目漱石を読みなおす』ちくま新書第五章 一九九五、六）

なお、『野分』の引用はすべて三十五巻本『漱石全集』（岩波書店、一九五六、六）第四巻によった。旧字体は新字体に改め、ルビは必要と思われるものとどめた。

構造物の概念設計における遺伝子的事例ベース

田中正夫*, 平俊男

Genetic Case-Base for Conceptual Structural Design

Masao TANAKA* and Toshio HIRA

システム制御情報学会論文誌 第8巻 第9号

設計問題に対する知識工学的手法を補完する意味で、事例指向のアプローチが有望視されている。しかし、得られる設計解が過去の設計事例に強く影響を受けることが概念設計では問題となる。本論文では、構造物の概念設計支援における事例ベースの構築及び設計候補の生成に対して遺伝的アルゴリズムの利用を提案し、例として橋梁構造物の概念設計をとりあげた。

構造物の概念設計では位相と幾何が設計対象になるが、位相が異なる場合、その幾何を定める属性空間は大きく異なる。ここでは、構造属性を染色体の表現型とし、形態の位相及び属性空間の差異が、発現に参照される遺伝子座の差異によって生ずるものとする(図1)。ただし、位相の異なる形態にあっても類似の役割を担う属性は同じ遺伝子座から発現される。また、実際に実現、収集され得

る設計事例は、本来の設計空間の一部を表すサンプルに過ぎない。そこで、構造属性の事例頻度を反映するように交叉、突然変異等の遺伝的操作を行い、設計事例群そのものではなく、事例の特徴を組合せとして併せ持つものも含む個体群を生成し、これを遺伝的事例ベースとした。

橋梁構造物を例に5000個体からなる個体群に対して、211事例を参照する遺伝的操作を繰返し事例ベースの構築を試みた。個体群中に最も多く存在する染色体 \hat{c} を図2に示す。図中“?”は実事例には存在しない属性を表す。染色体 \hat{c} は斜張橋として発現され、斜張橋実事例 c_{141} の特徴を主に保持する。一方で同程度の設計仕様を持つアーチ橋やつり橋事例とも一致パターン(網掛け部)を有している。つまり事例ベースを構成する染色体は事例群の特徴を多重的に保持しており、事例の圧縮表現とみなせる。

次に設計仕様と事例ベースを構成する個体との類似度を個体適合度とする淘汰を行い、候補個体群を生成した。この候補個体群から親個体をランダムに選択し、それらの交叉を基に組合せ的に子個体をつくり候補とする手法を提案し、事例を反映するが必ずしも支配的とはならないことを示した。

提示候補の採否は設計者に委ねるが、本手法は、事例に照らして標準的な候補をはじめ、それにとらわれない幅広い候補の検討を設計者に示唆するものであり、設計のバラエティを確保する意味で有効であると考えられる。

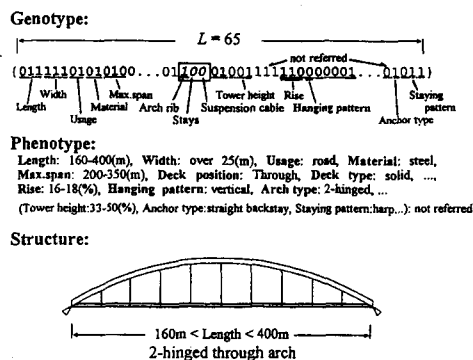


図1 構造物の染色体表現の例

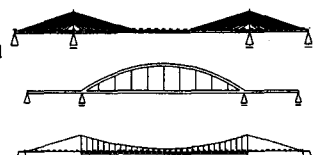
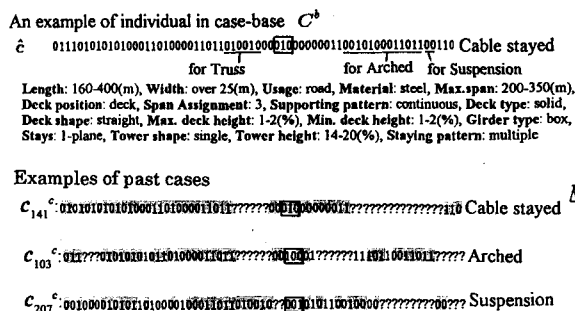


図2 遺伝的事例ベースを構成する染色体の例

*大阪大学基礎工学部

超臨界乾燥法による遺跡出土木材の保存処理

河越 幹男・谷尻 陽子

Preservation Treatment of Waterlogged Wood by Supercritical Drying

Mikio Kawagoe and Yohko Tanijiri

日本文化財科学会誌「考古学と自然科学」、第29号、11～24頁（1995）

Archaeology and Natural Science, Vol.29, pp.11-24 (1995)

保存処理時間の長期化というPEG含浸法の最大の難点を克服するため、超臨界乾燥法による出土木材の保存処理法について検討した。超臨界乾燥法を実用化の上で必要となる処理時間の推算を可能にするため、薬液の含浸速度を拡散モデルに準拠して解析し、収縮率と含水率との関係について考察した。

装置は日立臨界点乾燥装置HCP-2形を用い、試料は元興寺文化財研究所から提供されたシラカシ、イヌツゲ、ハンノキ、ヌルデ、マツを用いた。

収縮率：図1に体積収縮率と含水率の関係を示した。自然乾燥の場合には収縮率と含水率の間に比例関係が成立している。超臨界乾燥の場合の収縮率は自然乾燥の場合の約1/4程度であった。

エタノール含浸系：図2に有効拡散係数対含水率のプロットを示した。含水率による変化はほとんど認められず、平均値は $0.302\text{cm}^2/\text{d}$ であった。この値は平均分子拡散係数の約44%である。

酢酸イソアミル含浸系：酢酸イソアミル系の有効拡散係数をエタノール系のそれに対してプロットしたところ、両含浸系の分子拡散係数の比から予測される値よりも小さかった。簡単化のため、酢酸イソアミル含浸系の有効拡散係数はエタノールの場合と等しいとした。

超臨界二酸化炭素系：超臨界二酸化炭素中の酢酸イソアミルの分子拡散係数は、船造らの推算式を用いると $11.5\text{cm}^2/\text{s}$ となった。エタノール系の場合と同様に有効拡散係数は分子拡散係数の44%とすると、この系の有効拡散係数は $5.06\text{cm}^2/\text{s}$ となる。

所要時間：試料No.21 ($18.9 \times 21.6 \times 18.9\text{mm}$)について所要時間を著者らの方法を用いて計算すると、超臨界乾燥の場合には5.6日、PEG含浸の場合には20.6日となった。すなわち、超臨界乾燥法に要する時間はPEG含浸法の場合の約1/4であり、処理時間の短縮化が可

能であることが分かった。

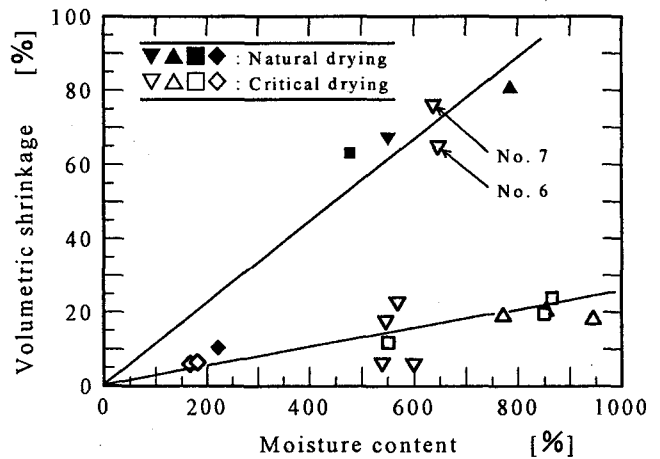


図1 体積収縮率と含水率の関係

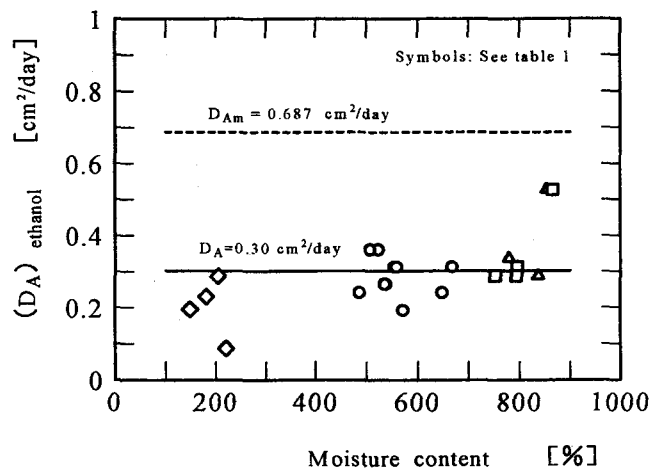


図2 エタノール含浸系の有効拡散係数

Synthesis and Surfactant Properties of Novel Fluoroalkylated Allyl- and Diallyl-ammonium Chloride Oligomers

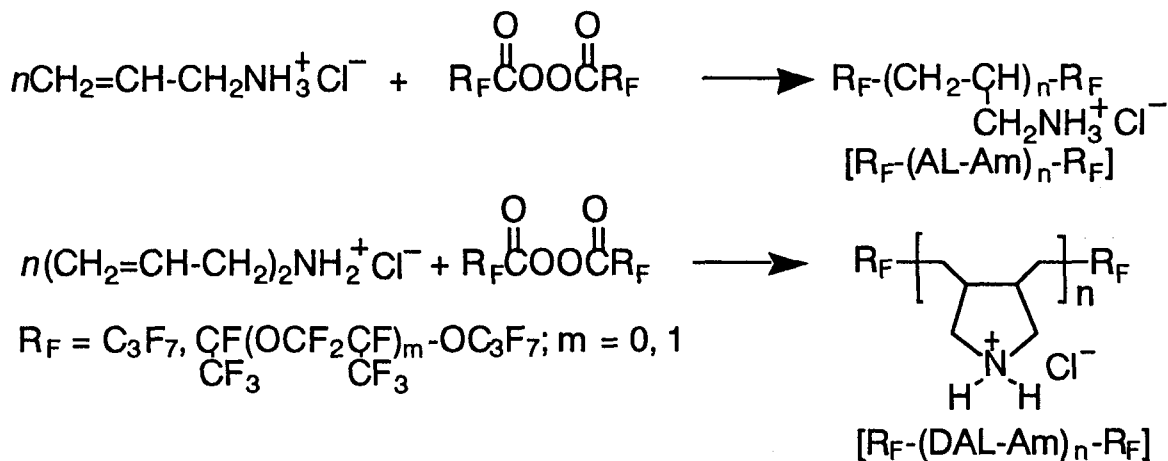
Hideo SAWADA, Kei-ichi TANBA, Masatoshi OUE, Tokuzo KAWASE*, Yoshio HAYAKAWA**, Motohiro MITANI***, Yoshihiro MINOSHIMA***, Masami NISHIDA***

Polymer, Vol.36 (1995), 2103~2105.

アリル化合物は、一般に退化的連鎖移動を起こしやすいためラジカル重合性に乏しいと考えられていた。しかしながら、著者らは最近、アリル化合物としてアリルアルコール及びポリオキシエチレンユニット含有アリルアルコールに注目し、過酸化フルオロアルカノイルと反応させることにより、フルオロアルキル基が直接炭素-炭素結合にて導入されたアリルアルコールオリゴマー類 $\{R_F-[CH_2CHCH_2O(CH_2CH_2O)_mH]_x-R_F; m=0,1,2,3 \dots etc.\}$ がラジカルプロセスにより合成されることを見いだした。さらにこれらオリゴマー類は、ノニオンタイプの新規なフッ素系高分子界面活性剤として有用であることも明らかにさせてきた。

本研究ではアリル化合物としてアリル及びジアリルアミンに注目し、これら塩酸塩と過酸化フルオロアルカノイルとの反応及び得られた化合物の性質に関して検討を行った。

アリルアミン類の求核性が抑えられたアリル及びジアリルアミン塩酸塩を過酸化フルオロアルカノイルと懸濁系により反応させることにより、フルオロアルキル基が直接導入されたアリル及びジアリルアミンオリゴマーがそれぞれ得られることがわかった。なお、ジアリルアミン塩酸塩との反応においては5員環構造を有すると考えられるオリゴマーが得られた。



これら新規に合成されたオリゴマーは、それぞれ水溶性であり、特に環状構造を有するジアリルアミンオリゴマーにおいては、水以外に、メタノール、エタノールおよびDMSO等の水溶性極性有機溶剤に可溶となることがわかった。さらに、本オリゴマーは、高分子量化合物でありながら、対応するフッ素を含まないポリ(アリルアンモニウムクロリド)に比べ水の表面張力を10mN/m

レベルまで低下させることから、カチオン系の新規なフッ素系高分子界面活性剤として興味深い。

従来、高分子系界面活性剤はCMC(臨界ミセル形成濃度)に相当するbreak pointを示さないことが知られている。しかしながら、これらフルオロアルキル基含有オリゴマーは、興味深いことにCMCに相当する明確なbreak pointをそれぞれ示すことが明らかとなった。従って、本オリゴマーは水溶液中においてミセルもしくはベシクルに相当する分子集合体を形成していることが示唆された。

*Osaka City University

**National Industrial Institute of Nagoya

***NOF Corporation

教官研究活動一覽

(機械工学科)

金属系新素材データベースに関する調査研究報告書

岩井保善

日本機械工業連合会 (平成7年3月 分担)

Vibration and Control in Rotating Machinery

Fumikata Kano

ROMAC Conference, University of Virginia,
Presentation 12, 1994

Measurement of pressure loss in the flow of polymer solutions through wavy channels

T. KOSHIBA, N. MORI (Osaka Univ.),

K. NAKAMURA (Osaka Univ.)

Rheologica Acta. vol.33, No.5 pp.435-438 (1994)

波付き流路における粘弾性流体の流れ

小柴 孝, 森 教安 (大阪大学), 中村喜代次 (大阪大学)

日本機械学会北陸支部第32期総会・講演会 (平成7年3月18日 講演)

円柱列流路における粘弾性流体の流速測定

寒野 毅 (大阪大学), 小柴 孝, 森 教安 (大阪大学), 中村喜代次 (大阪大学)

日本機械学会関西学生会学生員卒業研究発表会 (平成7年3月22日 講演)

波付き流路における粘弾性流体の圧力損失測定と流れの可視化

小柴 孝, 森 教安 (大阪大学), 中村喜代次 (大阪大学)

日本繊維機械学会第48回年次大会 (平成7年6月8日 講演)

ビード加工装置の試作

小島耕二, 関口秀夫, 藤波裕士 (インノ)

第45回塑性加工連合講演会 (平成6年10月14日 講演)

工具を用いない塑性加工

小島耕二

日本機械学会関西支部 第253講演会 (平成6年11月5日 講演)

管材の新しい加工技術—曲げ加工を中心に—

小島耕二

日本塑性加工学会 第162回シンポジウム (平成7年2月3日 講演)

冷間成形機による角鋼管のコーナーRについて

(第23報—エクストロールフォーミングの研究)

北脇岳夫 (東洋特殊鋼業), 武田 眞 (東洋特殊鋼業), 関口秀夫, 小島耕二, 大矢一幸 (奈良高専・専攻科)
平成7年度塑性加工春季講演会 (平成7年5月20日 講演)

A Ship Propulsion Device Using High-Pressure Gas

Michihisa TSUTAHARA (Kobe Univ.), Masahiko SAKAMOTO, Takeyoshi KIMURA (Kobe Univ.), Kiyoshi HASHIMOTO (Aviation College)

31st AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference and Exhibit 1995年7月

高圧空気を駆動源とする船舶用推進装置の性能向上に関する研究 (ノズル内への水流増加による性能向上)

葛原道久 (神大工), 坂本雅彦, 木村雄吉 (神大工), 橋本 潔 (航空大)

日本機械学会論文集B編61巻, 583号 1995年3月

Performance Improvement of Ship Propulsion
Equipment Driven by High-Pressure Gas

Masahiko SAKAMOTO, Michihisa TSUTAHARA
(Kobe Univ.), Takeyoshi, KIMURA (Kobe Univ.),
Kiyoshi HASHIMOTO (Aviation College)
The 2nd ASME/JSME Fluids Engineering Conference
1995年8月

日本塑性加工学会編：材料—高機能化材料への挑
戦—

関口秀夫（一部執筆分担）
コロナ社（1994年11月25日 出版）

高圧空気と駆動源とする船舶用推進装置の性能向
上に関する研究（二次元ノズル後部平板の形状によ
る影響）

坂本雅彦, 蔦原道久（神大工）, 木村雄吉（神大工）,
橋本 潔（航空大）
日本機械学会第72期通常総会講演会講演論文集No.95-1
1995年3月講演

魅力ある生産加工技術社・研究社の育成を目指し
て

関口秀夫（一部執筆分担）
日本塑性加工学会（1995年3月 出版）

水流への混入空気の膨張による船体抵抗低減に関
する研究

蔦原道久（神大工）, 坂本雅彦
日本機械学会論文集B編61巻, 586号 1995年6月

基礎塑性加工学

関口秀夫編著
森北出版（1995年4月10日 出版）

水流への空気混入による船体抵抗低減装置に関す
る研究（スポイラー形状による影響）

坂本雅彦, 蔦原道久（神大工）
日本機械学会流体工学部門講演会講演論文集No.940
1994年11月

Activities of Committee on Environmental
Issues of JSTP

H.Sekiguchi
Workshop “Ecology and Economy in Metal
Forming and Cutting” Aachen, Germany (1995
年6月12日 講演)

高圧空気を駆動源とする船舶用推進装置（装置内
の流れと水流導入量による性能の検討）

坂本雅彦, 阪部俊也, 岸下晴亮
日本機械学会第73期全国大会講演会講演論文集 1995
年9月

最近の塑性加工技術開発の研究動向

関口秀夫
中国 北京機電研究所, 燕山大学, 東北大学, 第一汽
車等における一連の講義（1995年8月20日～9月10日
講演）

高圧空気を駆動源とする船舶用推進装置の性能向
上に関する研究（アクチュエータ増設による性能向上）

坂本雅彦, 蔦原道久（神大工）, 木村雄吉（神大工）
日本機械学会論文集B編61巻, 590号 1995年10月

ジャーナルすべり軸受の混合潤滑摩擦特性—表面
形状の影響—

野々垣 稔, 桃園 聡, 中原綱光（東京工業大学）
(社)日本トライボロジー学会 トライボロジー会議
'94秋 金沢（平成6年10月29日 講演）

ジャーナルすべり軸受の混合潤滑摩擦特性—片あ
たりの影響—

八木和行, 細川博史, 野々垣 稔
日本機械学会関西学生会学生員卒業研究発表講演会
（平成7年3月22日 講演）

多価値基準を考慮する集団に基づく設計候補生成とそのゆらぎ（構造物を例として）

平 俊男, 田中正夫 (阪大基礎工学部)

日本機械学会関西支部第70期定時総会講演会 講演
1995年3月

創発と設計

田中正夫 (阪大基礎工学部), 平 俊男

日本機械学会関西支部第70期定時総会講演会 講演
1995年3月

合議を模した複数エージェントによる設計支援システム

平 俊男, 田中正夫 (阪大基礎工学部)

日本機械学会第5回設計工学・システム部門講演会
講演1995年7月

構造物の概念設計における遺伝子的事例ベース

田中正夫 (阪大基礎工学部), 平 俊男

システム制御情報学会論文集, 8巻9号 1995年9月

金蒸着されたペルセロ容器における負圧の上昇

広和 樹, 大出義仁 (名工大)

応用物理学学会秋季学術講演会 平成7年8月26日

角柱を挿入したチャネル乱流の速度場と温度場の同時測定

矢尾匡永, 中谷洵, 奥田雅海 (中外炉工業), 鈴木健二郎 (京大工)

第26回乱流シンポジウム講演論文集, 423-426 1994年7月23日 (講演)

角柱を挿入したチャネル乱流の速度場と温度場の同時測定

矢尾匡永, 中谷洵, 奥田雅海 (中外炉工業), 鈴木健二郎 (京大工)

日本機械学会論文集, 60巻, 580号, B編, 4192-4199
1994年12月

WAVELET ANALYSIS OF THE VELOCITY AND TEMPERATURE SIGNALS MEASURED IN A CHANNEL OBSTRUCTED BY A SQUARE ROD

M.Yao, M.Nakatani, M.Okuda and K.Suzuki (Kyoto Univ.)

Proc. of 10th. Turbulent Shear Flows, Vol.3, pp28. 19-28 (Aug. 24, 1995)

ADIの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

精密工学会, 切削加工専門委員会編, オーステンパ球状黒鉛鋳鉄の切削加工, pp.50~68(1995.3)

一般切断砥石による振動研削切断

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, 関西支部第70期定時総会・講演会 (平成7年3月21日 講演)

球状黒鉛鋳鉄の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, 三木俊明 (東芝タンガロイ)

精密工学会, 1995年度関西地方定期学術講演会 (平成7年7月28日 講演)

電気工学科

溝構造基板上に作製した有機ポリシラン蒸着薄膜 II

青木幸生, 服部励治*, 白藤純嗣*, 藤木 剛**, 川崎真一**, 西田亮一**

*大阪大学 工学部 電気工学科

**大阪ガス(株) 新技術研究所

応用物理学学会 平成7年春季第42回応用物理学関係連合講演会 1995年3月

一面軸配向したポリジメチルシラン蒸着薄膜

青木幸生, 服部励治*, 白藤純嗣*, 藤木 剛**, 川崎真一**, 西田亮一**

*大阪大学 工学部 電気工学科

**大阪ガス(株) 新技術研究所

応用物理学会

平成7年秋季第56回応用物理学会学術講演会 1995年
8月

反強誘電性液晶における電界による層回転

中山敬三, 京兼 純, 森武 洋 (大阪大学), 明神功記 (大阪大学), 尾崎雅則 (大阪大学), 吉野勝美 (大阪大学)

液晶討論会 (平成6年10月17日 講演)

イオンアシスト蒸着法を用いた有機薄膜発光素子の基礎研究

谷口 功, 京兼 純, 吉野勝美 (大阪大学)

電気関係学会関西支部連合大会 (平成6年11月12日 講演)

導電性LB膜に関する基礎研究 II

吉水道朗, 京兼 純, 吉野勝美 (大阪大学)

電気関係学会関西支部連合大会 (平成6年11月12日 講演)

イオンビームアシスト蒸着法による有機薄膜の電気・電子素子への応用 (II)

京兼 純, 谷口 功, 吉野勝美 (大阪大学)

第5回粒子線の先端的応用技術に関するシンポジウム (BEAMS '94) (平成6年11月22日 講演)

イオンアシスト蒸着法による導電性有機薄膜を固体電解質とするコンデンサの研究

京兼 純, 吉野勝美 (大阪大学)

電気学会論文誌C, 114巻11号, pp.1095~1100 (1994)

導電性LB膜に関する基礎研究 III

吉水道朗, 沢田英夫, 京兼 純, 吉野勝美 (大阪大学)
平成7年度電気学会全国大会 (平成7年3月29日講演)

イオンビームアシスト蒸着法による有機薄膜の電気・電子素子への応用 (II)

谷口 功, 京兼 純, 吉野勝美 (大阪大学)

平成7年度電気学会全国大会 (平成7年3月29日 講演)

Effects of Ion Beam Irradiation on Electrical Properties of Langmuir-Blodgett (LB) Films

J. Kyokane, M. Yoshimizu and K. Yoshino (Osaka Univ.)

Synthetic Metals, Vol.71, pp.2217~2218 (1995)

Conducting Organic Thin Films by Ion-Assisted Evaporation and Their Application to Electronic Devices and Components

J. Kyokane, I. Taniguchi and K. Yoshino (Osaka Univ.)

Synthetic Metals, Vol.71, pp.2219~2220 (1995)

奈良高専における本科と専攻科の電気・電子材料系の教育と研究

京兼 純

平成7年度 全国高等専門学校・長岡技術科学大学電気系教官交流研究集会 (平成7年8月7日 講演)

Effects of Ion Beam Irradiation on Electrical Properties of Conducting LB Films

J. Kyokane, M. Yoshimizu, I. Taniguchi and K. Yoshino (Osaka Univ.)

International Symposium on Electrical Insulating Materials (1995 ISEIM), Tokyo, Japan (September 18, 1995, Oral Presentation)

有機蒸着薄膜を用いた電気・電子素子への応用
京兼 純, 谷口 功, 上田 敦 (ニッタ株), 吉野
勝美 (大阪大学)

電子情報通信学会 有機エレクトロニクス研究会 (有
機新材料, OME 95-32, PP.19~24) (平成7年9
月25日 講演)

Optical Properties of Perfluoroalkylated Poly
(diphenyl-acetylene)

K. Tada (Osaka Univ.), H. Sawada, J. Kyokane
and K. Yoshino (Osaka Univ.)

Jpn. J. Appl. Phys., Vol.34, pp.L1083~L1085
(1995)

ニューラル・ネットワークを用いた人の動き情
報からの睡眠状態判定法の開発

土井滋貴, 佐久間崇 (松下電工), 長井一郎 (松下電
工), 高橋晴雄

電気学会論文誌[C] Vol.114-C, No.11, pp.1160~1165
(1994年11月)

太陽電池モジュールの高効率化設置角度の実験的
検討

上田泰弘 (専攻科), 山脇竹治 (鐘淵化学工業), 土
井滋貴, 京兼 純, 高橋晴雄

平成6年電気学会全国大会 講演論文集 515 (1994
年3月29日 講演発表)

アモルファス太陽電池の設置角度に対する発電能
力変化と温度効果についての実験的検討

上田泰弘 (専攻科), 山脇竹治 (鐘淵化学工業), 高
橋晴雄

平成6年電気関係学会関西支部連合大会 講演論文集
G2-12 (1994年11月13日 講演発表)

1/f 揺らぎの室内照明に関する基礎実験

大塚智仁 (専攻科), 土井滋貴, 高橋晴雄

平成6年電気関係学会関西支部連合大会 講演論文集
G14-3 (1994年11月13日 講演発表)

アモルファス太陽電池の温度効果についての実験
検討

上田泰弘 (専攻科), 山脇竹治 (鐘淵化学工業), 高
橋晴雄

平成6年太陽/風力エネルギー講演論文集 pp.21~
24 (1994年12月8日 講演発表)

間欠性カオスを用いた1/f ゆらぎ照明の基礎実
験

大塚智仁 (専攻科), 小西啓治, 土井滋貴, 高橋晴雄

平成7年電気学会全国大会 講演論文集 51 (平成7
年3月28日 講演発表)

EDUCATION ON COLLEGES OF TECH-
NOLOGY IN JAPAN

Haruo TAKAHASHI

Inter-ASEAN Technical Exchange Program on
Polytechnic Seminar on Human Resources Deve-
lopment in Electronic Fields

Invited Presentation (Surabaya, INDONESIA)
(January 25, 1995)

ニューラルネットワークを用いた人の動き情報か
らの睡眠状態判定法の開発

土井滋貴, 高橋晴雄

画像ラボ (日本工業出版) Vol.6, No.8, pp.50~53

超音波センサとスケール・スペース・フィルタリ
ングを用いた物体の形状認識方法

土井滋貴, 松田 稔 (大阪電通大)

平成6年電気関係学会関西支部連合大会, G2-25
(1994.11 講演)

超音波センサとスケール・スペース・フィルタリ
ングを用いた距離計測系

土井滋貴, 高橋晴雄, 松田 稔 (大阪電通大)

平成7年電気学会全国大会 (1995.3 講演)

必ずわかるC言語

土井滋貴

CQ出版社 (1995.5 出版)

Window3.1によるI/O操作の実験

土井滋貴

インターフェース, 21巻, 7号, 175~186頁 (1995.7)

楽曲の特徴量-平均推移エントロピー-

松田 稔 (大阪電通大), 秋山好一 (大阪電通大),
土井滋貴

日本音響学会平成7年度秋季研究発表会 (1995.9 講演)

筆者の自動照合のための偽筆の分析

中村善一, 豊田順一 (阪大・産研)

1995年電子情報通信学会総合大会 (平成7年3月29日
講演)S_nO₂系半導体ガスセンサを用いたパターン認識型
匂いセンシングシステムの開発

桐島俊之, 岡崎哲三, 成田紘一, 中村善一

電気関係学会関西支部連合大会 (1994年11月13日 講演)

インターネット利用における教育方針について

榊原和彦, 市原 亮, 成田紘一

全国高専情報処理研究発表会 (1995年8月22日 講演)

A Side-Wall Emitting ZnSe/AlN Waveguide
CO₂ LaserTomoshi MATSUSHIMA and Tadasi SUETA
(Setsunan University)Conf. Digest, The 19 th Int. Conf. on Infrared
and Millimeter waves, (Sendai) Tu2. 2, pp.159
(1994). (Oct. 1994, Oral Presentation).

能動形F-P光変調器

松島朋史, 末田 正 (摂南大学)

電気関係学会関西支部連合大会 (平成6年11月 講演)

10.6 μm帯能動形ファブリペロー光変調器

松島朋史, 末田 正 (摂南大学)

第56回応用物理学会学術講演会 (平成7年8月29日
講演)

電子制御工学科

Deflection Gradient Measurement Using a
Phase-shifting Speckle Shearing Interferometer

Y.Oshida, Y.Iwahashi (大阪産業大学)

and K.Iwata (大阪府立大学)

The fifth international symposium on plasticity
and its current applications, Proceedings of
Plasticity '95, p187 (1995年7月21日 講演)Focusing of Shock Waves Reflected from a
Parabolic WallH. Kishige, K. Teshima (Kyoto University of
Education) and M. Nishida (Kyushu University)
Proceedings of Asian-Pacific Conference Aerospace
Technology and Science, 503-508.

Hangzhou, China (October 13, 1994)

軸対称収束衝撃波の可視化と圧力・密度測定および
数値計算による挙動解析

科学研究費補助金 [一般研究(C)] 研究成果報告書

(平成5年度~平成6年度)

研究代表者 岸下晴亮 (平成7年3月 発行)

Shock Focusing Analysis with Vibrational
ExcitationH. Kishige, K. Teshima (Kyoto University of
Education) and M. Nishida (Kyushu University)
Shock Waves @ Marseille, R.Brun •L.Z.Dumitrescu ed., Springer Verlag, Vol.4,
93-98. (published June, 1995)

機械系専門用語を用いたアンケート調査による教育評価—アデレード大学, 奈良工業高等専門学校, 姫路工業大学の場合—

細川 力 (姫工大), 中田敏夫, ルッセル ラクストン (アデレード大)

工業教育, 第43巻, 第4号, 4-9 1997年7月

2次元変位分布を用いたポアソン比測定

西田茂生, 吉田 敦, 押田至啓, 難波慎吾 (大府大), 岩田耕一 (大府大)

精密工学会 1995年9月29日 講演

空気圧ベローズを用いたロボットマニピュレータの基本性能と外力推定

後藤健夫, 小山 浩, 川村貞夫 (以上立命館大学), 早川恭弘

第12回日本ロボット学会学術講演会 (1994年11月22日 講演)

Hexahedron Rubber Actuatorの開発

清水高章 (立命館大学), 早川恭弘, 川村貞夫 (立命館大学)

第12回日本ロボット学会学術講演会 (1994年11月20日 講演)

拮抗形空気圧ベローズアクチュエータの基本性能

早川恭弘, 川村貞夫 (立命館大学)

日本機械学会論文集 (C編), 第61巻, 第581号, 115/123 (1995年1月)

空気圧ハンドリングの力制御の現状と課題

早川恭弘

油圧と空気圧, 第26巻, 第2号, 141/146 (1995年3月)

内圧式拮抗型ベローズによる6軸力推定装置の開発

早川恭弘, 竹田貴博, 河合大輔, 西田知之, 園部 聡, 川村貞夫 (立命館大学)

第39回システム制御情報学会講演会 (1995年5月18日 講演)

Development of a Hexahedron Rubber Actuator

Takaaki Shimizu (Ritsumeikan Univ.), Yasuhiro Hayakawa, Sadao Kawamura (Ritsumeikan Univ.)

IEEE 1995 International Conference on Robotics and Automation, 2619/2624 (1995年5月26日 講演)

空気圧ベローズアクチュエータを用いた張力拮抗型高速高出力ロボットマニピュレータの開発

早川恭弘, 川村貞夫 (以下立命館大学), 小山 浩, 後藤健夫

ロボティクス・メカロニクス講演会 (1995年6月22日 講演)

HRAを用いた拮抗型マニピュレータの開発

清水高章, 瀧美征史 (以上立命館大学), 早川恭弘, 川村貞夫 (立命館大学)

ロボティクス・メカロニクス講演会 (1995年6月22日 講演)

拮抗型ベローズアクチュエータを用いた6軸力推定・微動装置の開発

早川恭弘, 竹田貴博, 川村貞夫 (立命館大学)

日本機械学会第73期全国大会講演会 (1995年9月11日 講演)

Design of Powerful Robot Using Pneumatic Bellows Actuators

Sadao Kawamura (Ritsumeikan Univ.), Yasuhiro Hayakawa, Takeo Goto (Ritsumeikan Univ.), Hiroshi Oyama

7th International Conference on Advanced Robotics (1995年9月21日 講演)

情報工学科

物理教育に情報処理を取り入れた教材の開発

浅井文男

教育工学関連学協会連合第4回全国大会(1994年10月9日 講演)

高専における情報処理と応用物理の総合化の試み

浅井文男, 市原 亮, 堀内泰男

第42回応用物理学関係連合講演会(1995年3月29日 講演)

高専における基礎専門科目の総合化

浅井文男, 堀内泰男, 市原 亮

平成7年度工学・工業教育研究講演会(1995年7月26日 講演)

ファジィ制御システムにおけるメンバーシップ関数に関する考察

大槻典正, 五十嵐 良

第2回電気学会関西支部高専卒業研究発表会(1995年3月3日 講演)

重み値可変機能を有するVMOSFET回路とその応用

小林 淳, 五十嵐 良

セミコン関西95大学ポスターセッション(1995年6月22日 講演)

フラッシュメモリの記憶保持テストの高速化

土屋 宏, 森野 勲, 五十嵐 良

セミコン関西95大学ポスターセッション(1995年6月22日 講演)

Extraction of Signature and Seal Imprint from Document

Katsuhiko Ueda

Seventh Conference of the International Graphonomics Society (London, Canada) (Oral Presentation, August 10, 1995)

Extraction of Signature and Seal Imprint from Bankchecks by Using Color Information

Katsuhiko Ueda

Third International Conference on Document Analysis and Recognition (Montreal, Canada) (Poster Presentation, August 15, 1995)

ソフトウェア設計教育の支援システムの試作

工藤英男, 多喜正城, 的場裕司(甲南大学)

文部省平成6年度情報処理教育研究集会(1994年12月1日 講演)

異なる設計手法の統合学習支援システムの設計

工藤英男, 城間順一, 松本健一*, 鳥居宏次*

(*奈良先端科学技術大学院大学)

CAI学会研究会(1995年1月21日 講演)

異なる設計手法の統合学習支援システムの構築

城間順一, 工藤英男

情報処理学会, 第50回全国大会(1995年3月17日 講演)

An Integrated Supporting System for Learning Different Kinds of Software Design Methods

Hideo Kudo, Kenichi Matsumoto* and Koji Torii* (*Nara Institute of Science and Technology)

Proceedings of the Software

Education Conference (SRIG-ET94), IEEE Computer Society, pp.34-41 (1995)

高専入学生のコピュータに対する意識調査

工藤英男, 下村満子, 多喜正城

教育システム情報学会, 第20回全国大会 (1995年8月
4日 講演)

情報工学専攻学生におけるコンピュータ不安とその要因

下村満子, 多喜正城

教育工学関連学協会連合第4回全国大会 (1994年10月
講演)

視覚刺激の時系列的処理限界の検討

下村満子

関西心理学会第106回大会 (1994年11月 講演)

人間における認知, 情報処理過程 (I): 特徴の空間的, 時間的統合過程と注意の問題

下村満子, 御領 謙 (千葉大学)

臨床脳波, 37, 51-60 (1995年1月)

人間における認知, 情報処理過程 (II): 単語の認知過程

御領 謙 (千葉大学), 下村満子

臨床脳波, 37, 116-124 (1995年2月)

複合RSVPタスクにおけるエラーパターン

下村満子

日本基礎心理学会第14回大会 (1995年5月 講演)

Processing of constituent characters in Kanji words in proofreading Japanese sentences

Shimomura, M. and Yokosawa, K. (NTT Basic Research Laboratories)

Psychological Research, 58, 51-60 (1995年8月)

Experimental Evaluation of Dynamic Scheduling for Parallel Logic Simulation Using Benchmark Circuits

Tadashi SEKO and Tohru KIKUNO

IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications, and Computer Sciences, Vol.E 77-A, No.11, pp.1910-1912, 1994

Application of Content Addressable Memory Processor to Pattern Parallel Fault Simulation

Tadashi SEKO and Tohru KIKUNO

Proceeding of Fifth Generation Computer Systems 1994 Workshop on Parallel and Distributed LSI-CAD, 1994 pp.103-110, 1994 (1994年12月 講演)

A Circui Partitioning Method for Reducing Rollbacks in Parallel Logic Simulation

Tadashi SEKO and Tohru KIKUNO

Proceeding of Fifth Generation Computer Systems 1994 Workshop on Parallel and Distributed LSI-CAD, 1994 pp.111-116, 1994 (1994年12月 講演)

ベースボールコーチングシステムに関する研究

多喜正城, 内田眞司

CAI学会関西支部学生によるコンピュータ利用研究発表会論文集 1995.3

マルチメディアを利用したスポーツコーチングシステムの研究

多喜正城, 工藤英男, 金堀 進

教育システム情報学会, 第20回全国大会 (1995年8月
4日 講演)

トランスバーサル型SAWフィルタの最適化設計

寶代 壘, 永田 隆

電気学会関西支部, 第2回高専卒業研究発表会 (平成
7年3月3日 講演)

色彩情報を用いた情景画像からの文字列抽出

松尾賢一, 上田勝彦, 梅田三千雄 (大阪電気通信大学)
情報処理学会技術研究会 (平成6年12月16日 講演)

道路情景画像からの速度標識の抽出の検討

松尾賢一, 上田勝彦, 梅田三千雄 (大阪電気通信大学)
情報処理学会第50回 (平成7年度前期) 大会 (平成7年3月15日 講演)

平均隣接数を用いた情景画像からの文字列抽出の検討

松尾賢一, 上田勝彦, 梅田三千雄 (大阪電気通信大学)
1995年電子情報通信学会総合大会 (平成7年3月30日 講演)

輪郭平均隣接数を用いた情景画像からの文字列抽出の検討

松尾賢一, 上田勝彦, 梅田三千雄 (大阪電気通信大学)
1995年電子情報通信学会ソサエティ大会 (平成7年9月6日 講演)

濃度修正された情景画像からの文字列抽出の検討

松尾賢一, 上田勝彦, 梅田三千雄 (大阪電気通信大学)
情報処理学会第51回 (平成7年後期) 大会 (平成7年9月22日 講演)

カラー情景画像からの道路標識抽出の検討

中井 徹, 松尾賢一, 上田勝彦, 梅田三千雄 (大阪電気通信大学)
情報処理学会第51回 (平成7年後期) 大会 (平成7年9月22日 講演)

セルオートマトンによる位置決め搬送システムの構成

武藤武士, 北村新三 (神戸大学)
第21回知能システムシンポジウム予稿集, pp.113-116
(平成7年3月 講演)

化学工学科

Evaluation Methods For Lining Performance

T. Iguchi

China Japan Symposium on Anti-Corrosion
Polymer Materials, Collection of the Papers,
p53 (1994)

有機ライニング性能の測定

井口高行

日本材料学会第27回高分子材料セミナー (平成6年11月11日 講演)

環境液によるビニルエステル樹脂ライニング材の性能低下

上嶋秀和 (専攻科), 井口高行

材料, Vol.43, No.495, p1553 (1994)

耐食性コーティングの耐久性

井口高行

日本材料学会「高分子材料の耐久性評価」に関する講習会 (平成7年6月28日 講演)

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, 伊東信孝*, 寺岡淳二* (*阪市立大・理)
日本化学会, 第69春季年会 (1995年3月 講演)

水溶液中での黒鉛の電解改質に関する研究 (塩化銅水溶液中での電気化学的挙動)

佐藤淳一 (北陸先端科技大学院大), 泉 生一郎, 西野敬智 (阪大・工), 大西康幸, 佐藤一郎, 岩下哲雄
(大阪工業技術研究所)

'94電気化学秋季大会 (平成6年9月20日 講演)

水溶液中での黒鉛の電解改質に関する研究 (塩化銅水溶液中での電気化学的挙動)

佐藤淳一 (北陸先端科技大学院大), 泉 生一郎, 西野敬智 (阪大・工), 大西康幸, 佐藤一郎, 岩下哲雄 (大阪工業技術研究所)

電気化学協会, 技術・教育研究論文誌, Vol.3, No.2, pp.111~119 (1994)

The Acceleration of Halide Ions on Photocatalytic Antibacterial Action of TiO_2 against Oral Microorganisms

K. Onoda*, H. Shuto*, Y. Nakagawa*, T. Morioka** and I. Izumi (* Shiken Co., LTD., ** Kyushu Univ.)

'95 Asian Conference on Electrochemistry (平成7年5月28日 講演)

光触媒と環境クリーニング

泉 生一郎

奈良化学系産官学技術懇話会第1回化学技術セミナー (平成7年8月23日 講演)

エネルギー・環境・材料の電子応用化学

奈良化学系産官学技術懇話会第1回化学技術セミナーレジュメ, pp.30~33 (1994)

機能性新規化合物の合成とその分析化学への応用に関する研究

大植正敏

奈良化学系産官学技術懇話会第一回化学技術セミナーレジュメ, 42-45頁 (1995. 8. 23)

超臨界乾燥法による遺跡出土木材の保存処理法に関する基礎研究

河越幹男, 谷尻陽子

日本文化財科学会第12回大会 (1995年6月17日 講演)

遺跡出土鉄器からの脱塩に関する速度論的研究

河越幹男, 村田昌代, 川本耕三 (元興寺文化財研究所)

日本文化財科学会第12回大会 (1995年6月17日 講演)

円錐型エアリフト気泡塔の流動及び液側混合特性

河越幹男, 前岡孝司

化学工学会山口大会 (1995年7月21日 講演)

外部液循環式エアリフト塔によるマツタケ菌糸の大量培養

河越幹男, 川上健太郎, 野田秀夫 (関西化学機械製作株)

キノコ技術集談会第7回年会 (1995年8月31日 講演)

超臨界乾燥法による遺跡出土木材の保存処理

河越幹男, 谷尻陽子

日本文化財科学会誌「考古学と自然科学」, 第29号, 11~24頁 (1995) (1995年9月)

エアリフト型気泡塔によるマツタケ菌糸の大量培養

河越幹男, 川上健太郎, 野田秀夫 (関西化学機械製作株)

化学工学会第28回秋季大会 (1995年9月28日 講演)

Determination of Horseradish Peroxidase Concentration using the Chemiluminescence of Cypridina Luciferin Analogue, 2-Methyl-6-(*p*-Methoxyphenyl)-3, 7-Dihydroimidazo[1, 2-a]pyrazin-3-one

M. Mitani, Y. Yokoyama, S. Ichikawa (日本油脂), H. Sawada, T. Matsumoto (日本油脂), K. Fujimori (筑波大), and M. Kosugi (群馬大)
J. Biolumin. Chemilumin., **9**, 355 (1994)

Synthesis and Properties of Perfluoropropylated Naphthalocyanines with Perfluorobutyryl Peroxide

H. Sawada, M. Mitani, M. Nakayam (日本油脂), Y. Morishita, and M. Katayose (日立化成)

J. Jpn. Res. Institute Mater. Technol., **13**, 47 (1995)

ヒドロクロロフルオロカーボン中における過酸化フルオロアルカノイルの熱分解

沢田英夫, 三谷元宏, 森屋泰夫 (日本油脂)
材料技術, **12**, 290 (1994)

Synthesis and Surface Properties of Novel Fluoroalkylated Acrylic Acid Co-oligomers Containing Dimethylsilicone Segments

H. Sawada, A. Ohashi, M. Oue, M. Abe (東京理大), M. Mitani, H. Nakajima, M. Nishida, and Y. Moriya (日本油脂) *J. Jpn. Oil Chem. Soc.*, **43**, 1097 (1994)

Synthesis and Properties of Novel Fluoroalkylated Allyl Alcohol Oligomers

H. Sawada, K. Tanba, M. Oue, T. Kawase (大阪市大), M. Mitani, Y. Minoshima, H. Nakajima, M. Nishida, and Y. Moriya (日本油脂) *Polymer*, **35**, 4028 (1994)

パーフルオロアルカノイルパーオキサイドによる絹の表面改質

川瀬徳三, 花田幸子, 藤井富美子, 皆川 基 (大阪市大), 沢田英夫, 松本竹男, 森屋泰夫 (日本油脂)
繊維学会誌, **51**, 86 (1995)

フルオロアルキル基が炭素-炭素結合により導入されたビニルアルコールオリゴマー類の合成と性質

沢田英夫, 山口佳織, 三谷元宏, 中島弘充, 西田真佐美, 森屋泰夫 (日本油脂), 材料技術, **13**, 176 (1995)

過酸化フルオロアルカノイルを用いた代替フロン溶媒下におけるフルオロアルキル基含有オリゴマー類の合成

沢田英夫, 三谷元宏, 蓑島義浩, 中島弘充, 西田真佐美, 森屋泰夫 (日本油脂), 材料技術, **13**, 212 (1995)

Synthesis and Surfactant Properties of Novel Fluoroalkylated Allyl- and Diallyl-ammonium Chloride Oligomers

H. Sawada, K. Tanba, M. Oue, T. Kawase (大阪市大), Y. Hayakawa (名工研), M. Mitani, Y. Minoshima, M. Nishida, and Y. Moriya (日本油脂), *Polymer*, **36**, 2103 (1995)

含フッ素有機過酸化物の反応性を利用したフッ素系界面活性剤の合成と応用(1) 含フッ素有機過酸化物の反応性

沢田英夫, 材料技術, **12**, 262 (1994)

含フッ素有機過酸化物の反応性を利用したフッ素系界面活性剤の合成と応用(2) フルオロアルキル基含有芳香族化合物の合成と応用 (I)

沢田英夫, 材料技術, **12**, 299 (1994)

含フッ素有機過酸化物の反応性を利用したフッ素系界面活性剤の合成と応用(2) フルオロアルキル基含有芳香族化合物の合成と応用 (II)

沢田英夫, 材料技術, **13**, 27 (1995)

含フッ素有機過酸化物の反応性を利用したフッ素系界面活性剤の合成と応用(3) フルオロシリコンの合成と応用 (I)

沢田英夫, 材料技術, **13**, 60 (1995)

含フッ素有機過酸化物の反応性を利用したフッ素系界面活性剤の合成と応用(3) フルオロシリコンの合成と応用 (II)

沢田英夫, 材料技術, **13**, 90 (1995)

含フッ素有機過酸化物の反応性を利用したフッ素系界面活性剤の合成と応用(4) フルオロアルキル基含有界面活性剤の合成と特性 (I)

沢田英夫, 材料技術, **13**, 160 (1995)

含フッ素有機過酸化物の反応性を利用したフッ素系界面活性剤の合成と応用(4) フルオロアルキル基含有界面活性剤の合成と特性 (II)

沢田英夫, 材料技術, **13**, 188 (1995)

Perfluoropropylated Phenol and Aniline Derivatives with Perfluorobutyryl Peroxide

H. Sawada, M. Mitani, Y. Minoshima, and M. Nakayama (日本油脂), *Chemical Technology News (Korea)*, **1**, No8, 41 (1994)

含フッ素有機過酸化物の反応性を利用したフッ素系化合物の合成と応用

沢田英夫, 表面, **33**, 221 (1995)

新しい機能性材料—フルオロシリコン化合物

沢田英夫, 化学工学, **59**, 514 (1995)

含フッ素有機過酸化物の反応性を活かした新規フッ素系機能性材料の開発

沢田英夫, 日本化学会若い世代の特別講演会賞受賞, 1994年10月2日

含フッ素有機過酸化物を用いた新規フッ素系機能性材料の合成と物性

沢田英夫, 阿部正彦*, 荻野圭三*, 好野則大* (*東京理大), 色材協会賞(論文賞)受賞, 1994年11月10日

フルオロアルキル基含有アリルアミンオリゴマーの合成と性質

沢田英夫, 丹葉敬一, 大植正敏, 川瀬徳三(大阪市大), 早川由夫(名工研), 三谷元宏, 西田真佐美, 森屋泰夫(日本油脂), 日本化学会第69回春季年会講演(立命館大学), 1995年3月

フルオロアルキル基含有トリメチルアンモニウム系オリゴマーの合成と性質

沢田英夫, 片山慎介, 大植正敏, 川瀬徳三(大阪市大), 早川由夫(名工研), 三谷元宏, 西田真佐美, 森屋泰夫(日本油脂)

日本化学会第69回春季年会講演(立命館大学)

1995年3月

フルオロアルキル基含有4-ビニルピリジンオリゴマー類の合成と性質

沢田英夫, 和氣厚仁, 大植正敏, 川瀬徳三(大阪市大), 早川由夫(名工研), 阿部正彦(東京理大), 三谷元宏, 西田真佐美, 森屋泰夫(日本油脂)

日本化学会第69回春季年会講演(立命館大学)

1995年3月

フルオロアルキル基含有スルホン酸オリゴマーの合成と性質

沢田英夫, 大橋朝妃, 大植正敏, 川瀬徳三(日本油脂), 早川由夫(名工研), 三谷元宏, 西田真佐美, 森屋泰夫(日本油脂)

日本化学会第69回春季年会講演(立命館大学)

1995年3月

カルボキシル基含有環状フルオロシリコンオリゴマー類の合成と性質

沢田英夫, 山本恵司, 大植正敏, 川瀬徳三(大阪市大), 早川由夫(名工研), 三谷元宏, 西田真佐美, 森屋泰夫(日本油脂)

日本化学会第69回春季年会講演(立命館大学)

1995年3月

フルオロアルキル基含有オリゴマーの合成における代替フロン溶媒の検討

沢田英夫, 三谷元宏, 蓑島義浩, 中島弘充, 西田真佐美, 森屋泰夫(日本油脂)

日本化学会第69回春季年会講演(立命館大学)

1995年3月

フルオロアルキル基含有オリゴマーの消泡剤としての検討

川瀬徳三（大阪市大），沢田英夫，丹葉敬一，森屋泰夫（日本油脂）

日本化学会第69回春季年会講演（立命館大学）

1995年3月

フルオロシリコンオリゴマー類の表面張力と抗エイズ活性

沢田英夫，細井千晶，大植正敏，馬場昌範（鹿児島大医），川瀬徳三（大阪市大），三谷元宏，中島弘充，西田真佐美，森屋泰夫（日本油脂）

日本化学会第69回春季年会講演（立命館大学）

1995年3月

フルオロアルキレン基含有カチオン及びアニオン系オリゴマー類の合成と性質

沢田英夫，角野栄作，大植正敏，早川由夫（名工研），三谷元宏，西田真佐美，森屋泰夫（日本油脂）

日本化学会第69回春季年会講演（立命館大学）

1995年3月

ポリジメチルセグメントを有する含フッ素アクリル酸コオリゴマーの溶液物性

阿部正彦，宮崎大輔（東京理大），大橋朝妃，沢田英夫

日本化学会第69回春季年会講演（立命館大学）

1995年3月

フルオロアルキル基含有アリルアミンオリゴマーの合成と性質

沢田英夫，丹葉敬一，大植正敏，川瀬徳三（大阪市大），早川由夫（名工研），三谷元宏（日本油脂）

第44回高分子学会年次大会（パシフィコ横浜）

1995年5月

フルオロアルキル基含有4-ビニルピリジンオリゴマー類の合成と性質

沢田英夫，和氣厚仁，大植正敏，川瀬徳三（大阪市大），早川由夫（名工研），三谷元宏（日本油脂）

第44回高分子学会年次大会（パシフィコ横浜）

1995年5月

カルボキシル基及びスルホン酸基を有する含フッ素オリゴマー類の合成と抗エイズウイルス活性

沢田英夫，大橋朝妃，大植正敏，馬場昌範（鹿児島大医），川瀬徳三（大阪市大），早川由夫（名工研），三谷元宏（日本油脂）

第44回高分子学会年次大会（パシフィコ横浜）

1995年5月

フッ素化合物及びフルオロシリコン化合物の特性と開発動向

沢田英夫

テクノシステム主催講演会，1995年5月

フルオロアルキル基含有酸性染料によるナイロンの表面フルオロアルキル化

川瀬徳三，中野加寿代，皆川基（大阪市大），沢田英夫，好野則夫（東京理大）

繊維学会年次大会，1995年6月

オリゴメリックなフッ素系界面処理剤

沢田英夫，川瀬徳三（大阪市大）

第33回日本接着学会年次大会，関西大学

1995年6月

フッ素系界面活性剤の合成と応用

沢田英夫，技術情報協会主催講演会，1995年7月

ポリエステル表面フルオロアルキル化

川瀬徳三（大阪市大），沢田英夫

第44回高分子討論会，1995年9月（関西大学千里山キャンパス）

抗菌活性や汚れ防止—フッ素系新機能ポリマー

沢田英夫, 早川由夫 (名工研), 川瀬徳三 (大阪市大),
富田敏夫 (東北大)

日刊工業新聞, 1995年9月5日

変性剤塩酸グアニジンによるタンパク質の構造形成

直江一光

化学工学「トピックス」Vol.58, No.10, pp.849
(1994)

逆ミセルによるタンパク質の抽出分離に関する基礎研究

今井正直, 清水 賢, 直江一光

分離技術, Vol.24, No.3, pp.9-10 (1994)

Induction of Protein Extraction Using Reverse Micelles by Guanidine Hydrochloride Addition.

K. NAOE, Y. SHINTAKA, Y. MAWATARI,
M. KAWAGOE, M. IMAI (Tokyo Univ. Agri.
& Technol.)

“ADVANCES IN BIOSEPARATION ENGINEERING
1994”, (Ed. by The Special Study Group for
Bioseparation Engineering of SCEJ), pp.75-82
(1995)

逆ミセルを用いたニワトリ卵白からのリゾチーム抽出における低濃度塩酸グアニジンの添加効果

新宅幸恵, 直江一光, 河越幹男, 今井正直 (東京農工大)

化学工学会第60年会 (1995年3月28日 講演)

修飾タンパク質のAOT逆ミセルへの可溶化

直江一光, 甲斐敏雄, 河越幹男, 今井正直 (東京農工大)

化学工学会山口大会 (1995年7月21日 講演)

Electrocatalytic Activity of Cytochrome c for the Reduction of Nitric Oxide

K. Miki, T. Ikeda (Kyoto Univ.) and H. Kinoshita
(Kuwassui Women's College), *Electroanalysis*, **6**,
703 (1994)

Bioelectrocatalysis by Alcohol Dehydrogenase from *Acetobacter aceti* Absorbed on Bare and Chemically Modified Electrodes

H. Yanai (Kyoto Univ.), K. Miki, T. Ikeda
(Kyoto Univ.) and K. Matsushita (Yamaguchi
Univ.), *Denki Kagaku*, **62**, 1247 (1994)

Bioelectrocatalysis at the Yeast Cell-Immobilized Electrode with Mediators

K. Miki, T. Tsuchida, M. Kawagoe, H. Kinoshita
(Kuwassui Women's College) and T. Ikeda
(Kyoto Univ.), *Denki Kagaku*, **62**, 1249 (1994)

固定化酵母細胞—電極間におけるメディエータを用いた電子伝達共役とその応用

三木功次郎, 槌田篤志, 河越幹男, 木下英明 (活水女子大), 池田篤治 (京都大学)

日本分析化学会第43年会 (1994年10月13日 講演)

尿酸の酸化電流測定に基づく血清中の無機リン酸及びアデノシンデアミナーゼ活性の測定

木下英明 (活水女子大), 三木功次郎, 池田篤治 (京都大学)

日本分析化学会第43年会 (1994年10月13日 講演)

パン酵母固定化電極におけるバイオエレクトロカタリシス

三木功次郎, 槌田篤志, 河越幹男, 木下英明 (活水女子大), 池田篤治 (京都大学)

第40回ポーログラフイーおよび電気分析化学討論会
(1994年11月29日 講演)

Amperometric Determination of the Activities of Clinically Important Enzymes in Serum using a Plastic Formed Carbon Electrode Covered with a Dialysis Membranes

木下英明 (活水女子大), 三木功次郎, 池田篤治 (京都大学)

第40回ポーラログラフィーおよび電気分析化学討論会 (1994年11月29日 講演)

膜被覆電極を用いる生体触媒活性測定法

池田篤治*, 黒崎敏靖*, 加藤 寛*, 加納健司 (*京都大学), 木下英明 (活水女子大), 三木功次郎
日本化学会第69春季年会 (1995年3月28日 講演)

細胞の酸化還元触媒能の電気化学

池田篤治*, 加納健司*, 黒崎敏靖*, 加藤 寛 (*京都大学), 三木功次郎
電気化学会第62回大会 (1995年4月4日 講演)

細胞の酸化還元触媒活性の電気化学分析法

池田篤治*, 加納健司*, 黒崎敏靖*, 加藤 寛 (*京都大学), 木下英明 (活水女子大), 三木功次郎
第56回分析化学討論会 (1995年5月12日 講演)

細胞の酸化還元触媒活性測定法

池田篤治*, 加納健司*, 黒崎敏靖*, 加藤 寛 (*京都大学), 三木功次郎
1995年度日本農芸化学会大会 (1995年8月2日 講演)

パン酵母細胞—電極間におけるメディエータを用いた電子伝達共役

三木功次郎, 木下英明 (活水女子大), 池田篤治 (京都大学)
1995年度日本農芸化学会大会 (1995年8月2日 講演)

一般教科

ファジイ代数の決定問題

荒金憲一

第13回東論談話会 (1994年12月9日 講演)

藤原京時代の文化について

大矢良哲

関西工業教育協会, 高専部会だより, 第35号 (平成7年3月30日 発行)

『ポイントン邸の蒐集品』再考

片山悦男

京大英文学会年次大会 (平成6年11月5日 講演)

戦後戯曲の五十年

神沢和明

『シアターアーツ』創刊号, pp.133~134 (平成6年12月10日 発行)

前進座「母」と関芸「薫ing」

神沢和明

『テアトロ』第627号 (平成7年3月1日 発行)

書評——高田純著『承認と自由——ヘーゲル実践哲学の再構成』

木村倫幸

季報・唯物論研究 第51/52号 (1995年2月)

書評——高村薫著『照柿』

木村倫幸

季報・唯物論研究 第51/52号 (1995年2月)

書評——石井伸男・島崎隆編『意識と世界のフィロソフィー—〈私〉はいまどこにいるのか』

木村倫幸

季報・唯物論研究 第53/54号 (1995年8月)

ドイツ語の複合前置詞について

桐川 修

京都ドイツ文学会会報 第20号 1994年

専攻科の現状と課題

国方太司, 泉生一郎

舞鶴工業高等専門学校講演会 (講演: 平成7年3月)

英語で進める授業にいかに関れさせるか—多様な学習者を迎えて—

国方太司

英語授業研究会関西支部第55回例会 (講演: 平成7年4月)

Story Reproduction

樋口忠彦 (近畿大学), 国方太司

樋口忠彦編著『個性・創造性を引き出す英語授業—授業変革のために—』(研究社) 第3章, 第2節 pp126-131 (平成7年7月)

Fermions in Magnetic Field versus Hard-Core Bosons in Two Dimensions

松居哲生 (近畿大), 榊原和彦 (奈良高専), 高野浩志 (上越教育大)

Physics Letters A 194, 413, (1994)

奈良高専のコンピュータシステムの構成と運用

榊原和彦 (奈良高専), 市原 亮, 世古 忠

平成6年度 情報処理研究集会 1994.12

スーパーコンピュータによる多数のエルミート行列の対角化

榊原和彦 (金沢大)

東京大学大型計算機センター Center New Supplement (1995.2)

奈良高専のコンピュータシステムの構成と運用

榊原和彦 (奈良高専), 市原 亮, 世古 忠

平成6年度 情報処理研究集会 1994.12

奈良高専におけるインターネットの利用

榊原和彦 (奈良高専), 市原 亮, 武藤武士, 成田絃一

情報処理教育研究発表会論文集, 第15号, 38 (1995)

Numerical study of the charge-spin separation in t-J model

榊原和彦 (奈良高専)

平成6年度 近畿大学研究会 近畿大学 1994.10 (講演)

奈良高専のコンピュータシステムの構成と運用

榊原和彦 (奈良高専), 市原 亮, 世古 忠

平成6年度 情報処理研究集会 九州大学 1994.12 (講演)

奈良高専におけるインターネットの利用

榊原和彦 (奈良高専), 市原 亮, 武藤武士, 成田絃一

第15回高等専門学校情報処理教育研究委員会 1995.8 (講演)

夏目漱石『三四郎』の低徊家

武田充啓

国文学年次別論文集 近代 (二) 平成5年 (1993) 版 (平成7年5月)

新編 高専の化学 問題集

笹本 忠, 中村茂昭, 編集

有機化合物, 土岐 進

森北出版 平成7年3月20日 発行

『新生』の「序の章」について

細井誠司

『国文学年次別論文集』近代 (一) 平成5年 (1993) 版 平成7年5月

Gain Dispersion of Optically-Pumped Far
Molecular Laser Media in Ring Resonator.

K. Matsushima (Kansai Univ.), Y. Horiuchi,
T. Togawa, N. Sokabe (Osaka City Univ.)
Proceedings of the 19-th Int. Conf. on IR and
MM Waves. ppl67-168. (平成6年10月18日 講演)

導波型CO₂レーザーによる遠赤外レーザー分子の
光音響分光

堀内泰男, 武山隆一*, 曾我部 伸 (*大阪市大)
応用物理関係連合講演会 (平成7年3月20日 講演)

導波型CO₂レーザーによる遠赤外レーザー分子の
光音響分光II

堀内泰男, 武山隆一*, 柳原茂人*, 曾我部 伸 (*大
阪市大)
応用物理関係連合講演会 (平成7年8月28日 講演)

『歴史学事典』2 からだとくらし 樺山紘一
責任編集

松井良明
執筆担当: 「海水浴」「球技/球戯」「スキー/橇」
「スケート」「釣り」「闘牛」「登山」「ボクシング」
「ボートレース」「ポロ」「野外レクリエーション」
弘文堂 (1994年10月15日 共著)

図書紹介 Valerie Warren, Tennis Fashion: Over
100 Years of Costume Change, The Wimbledon
Lawn Tennis Museum, 1993.

松井良明
スポーツ史学会会報『ひすぼ』No.28, 7-8頁 (1994
年10月30日)

19世紀イギリスにおけるコモン・ローとスポーツ
における合法性・違法性

松井良明
スポーツ史学会第8回大会 (大阪学院大学) (1994年
11月26日)

帝国主義時代の体育

—学校体育の制度化をめぐる—

松井良明
第16回「教育と社会」研究会 (広島大学) (1994年12
月20日 講演)

『遙かなる大地へ』

—映像文化とスポーツ史—

(連載: 映像文化にみるスポーツ[4])

松井良明
日本体育学会編『体育の科学』1月号 (第45巻第1号)
76-79頁 (1995年1月1日)

帝国主義時代の体育

—学校体育の制度化—

松井良明
平成6年度科学研究費補助金総合研究 (A) 研究成果
報告書

『帝国主義時代のイギリスにおける教育の総合的研究』
村岡健次 (甲南大学) (研究代表) 39-44頁 (1995年
3月)

コモンローとスポーツ

—19世紀イギリスにおける「不法な遊戯」と

「合法的スポーツ」—

松井良明
スポーツ史学会編『スポーツ史研究』第8号,
15-21頁 (1995年3月)

『スポーツ史講義』稲垣正浩・谷釜了正編著

松井良明
執筆担当: 「ブラッディ・スポーツ—野蛮なるものの
栄枯盛衰—」110-114頁
大修館書店 (1995年4月1日 共著)

不法な遊戯

—英国スポーツの近代化と刑法—

松井良明
平凡社『月刊百科』No.392, 4-8頁 (1995年6月1日)

Language Transfer in Japanese Learners'
Acquisition of English Pronouns: Pragmatic
Transfer from Japanese.

Kunihiro Matsubayashi

Studies in Comparative Culture No.28. pp.48-59.

March, 1995.

日本人学習者による英語受動文習得に関する一考
察

松林城弘

「英語教育研究」第18号, pp.106-111. 1995年3月

日本人学習者による英語再帰代名詞及び代名詞習
得における日本語の転移：日本語からの言語処理
上の転移を中心として

松林城弘

同志社大学言語学会 1995年2月 講演

奈良工業高等専門学校 研究紀要第31号

平成8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 共同精版印刷株式会社
奈良市三条大路2丁目2-6

RESEARCH REPORTS

of NARA NATIONAL COLLEGE OF TECHNOLOGY

NO. 31, 1995
CONTENTS

Application of Anamorphic Optics to Elongational Viscosity Measurement Takashi KOSHIBA and Noriyasu MORI.....	1
Vibratory Creep Feed Grinding..... Tadahiro WADA.....	5
Tool Wear of Ceramics Tools and CBN Tools in Cutting of Nodular Cast Iron... Tadahiro WADA.....	11
Experimental Investigation for Thermal Annealing Effect on a-Sip PV Modules Harou TAKAHASHI, Yasuhiro UEDA and Takeharu YAMAWAKI.....	17
Measurement Method of RRperiod of ECG Using Morphological Filtering..... Shigeki DOI.....	21
Analysis of Tunable Waveguide CO ₂ Laser Making Use of Three-Mirror Type Internal Modulation Method..... Tomoshi MATSUSHIMA.....	25
Algorithm of Arctangent Calculation in Phase-Shifting Speckle Interferometry Yoshihiro OSHIDA and Shigeki NISHIDA.....	31
Computer Simulation of Phase Plane Trajectory and Step Response in a Nonlinear Control System(No.2) Takashi KURIMOTO.....	35
A Gain Design Method of a Feedback Controller for Industrial Robots..... Ray NAKASHIMA.....	41
Performance of the Mean Field Learning Algorithm for Boltzmann Machines Fumio ASAI and Yasuhiro SHINYA.....	45
Neuron MOSFET Circuit with Weighting Capability and its Application Jun KOBAYASHI and Ryo IGARASHI.....	49
A High-Speed Testing of Flash Memory Retention Characteristics Hiroshi TSUCHIYA, Isao MORINO and Ryo IGARASHI.....	55
A Study of Japanese Sign Expression Tool by the Object-Oriented Approaches Hideo KUDO, Emi SUGIYAMA and Hiroshi YOSHIKAWA.....	61
Research on Attitude for Computing Using Computer Anxiety Scale..... Michiko SHIMOMURA.....	67
An Efficient Algorithm Fory Finding a Maximum Weight k-Independent Set on a Weighted Interval Graphs..... Masakuni TAKI, Tetsuya OKUDA, Takafumi KIZU, Toshiroh ARAKI and Toshinobu KASHIWABARA.....	71
Mixing Properties in Liquid and Gas Phases in an External-Loop Airlift Column Mikio KAWAGOE.....	77
On Algebras Relating to Fuzzy Algebras..... Kenichi ARAGANE.....	81
A Note on Generalized Vietoris Topology and Pixley-Roy Topology..... Shôgo IKENAGA.....	91
Reevaluation of Fleda Vetch..... Etsuo KATAYAMA.....	93
Linguistic Competence and Declarative Knowledge in Second Language Acquisition Kunihiko MATSUBAYASHI.....	105
'Bungakusha(Men of letters)' in Natume Soseki's <i>Nowaki</i> Mitsuhiro TAKEDA.....	113
Abstracts	123
Research Activities in 1994~1995	127