

ISSN 0387-1150

研 究 紀 要

第 29 号

平成 5 年度

奈良工業高等専門学校

目 次

スピンラインレオメータにおける伸長粘度の数値解析	小 柴 孝	1
電流形アクティブフィルタ制御回路のシミュレーション	井 村 榮 仁	7
Controlling Chaotic Dynamics by Switching One Parameter	Keiji KONISHI and Iichi KIMURA	13
1 / f ゆらぎ照明に関する考察	土井 滋貴・高橋 晴雄	23
書写技能に基づく特性値を用いた筆者照合	中 村 善 一	27
インテリジェントなパソコン通信システムの開発	成田 紘一・濱田 敏広	33
F - P 形 SSB 光変調器を用いた 10.6 μ m 帯周波数変換器	松 島 朋 史	37
高次制御系のステップ応答のシミュレーション	栗 本 尚	45
セルオートマトン法による流れの数値計算	坂本 雅彦・山田 孝信	51
電子ニュース転送ツール“sendnews”の改良	浅井 文男・藤井 直人・福本 圭司	55
ソフトウェア設計教育の支援システムにおけるガイド機構	工 藤 英 男	61
日本語認知過程に関する一考察	下 村 満 子	65
Analysis of Rollbacks in Parallel Logic Simulation Based on Virtual Time*	Tadashi SEKO, Fang WANG and Tohru KIKUNO	71
多段論理回路での実現を考慮した順序回路の状態割当て法について	世古 忠・西野 繁之	79
UNIX における遠隔地への高品位文書出力	山井 成良・青井 紀子・伊藤 香代	83
光化学ダイオードによる起電力発生	大西 康幸・泉 生一郎・林 裕信・栗谷 尚志・岡田 斗士	87
電磁誘導法によるゲル粒子懸濁気泡塔内の粒子濃度分布の測定	河 越 幹 男	91
Newton - Raphson 法の拡張	福蔭 克彦・北川 誠之助	95
「ねじの回転」試論	片 山 悦 男	101
英語再帰代名詞の解釈における日本語の影響について	松 林 城 弘	109
社会的過程と意識 —— G・H・ミードにおける「精神」についての考察 ——	木 村 倫 幸	120
夏目漱石『坑夫』の逃亡者	武 田 充 啓	132
論文抄録		133
教官研究活動一覧表		143

スピINLINEレオメータにおける伸長粘度の数値解析

小 柴 孝

Numerical Analysis of Elongational Viscosity in Spinline Rheometer

Takashi KOSHIBA

高分子流体の伸長粘度を測定する方法としてスピINLINEレオメータがある。この方法は、ノズルから流出する高分子溶液の伸長流れを利用したものであるが、得られた伸長粘度は実験条件や測定条件により異なった特性を示すことが報告されている。本研究はこのことに関し数値計算により高分子溶液の伸長特性を解明することを目的とした。高分子流体のレオリソ式として本研究ではGiesekusモデルを採用した。そして伸長特性に影響をおよぼす重力、慣性力について考察を行った。その結果、溶液に作用する重力、慣性力により伸長粘度の値は異なったものになることが明らかとなった。

1. 緒 論

最近、高分子流体の伸長粘度に関する研究が多くなされるようになってきた^{1), 2)}。これは、これまでこのような流体の代表的な特徴である非ニュートン性および弾性特性だけでは高分子溶液の流れ挙動を十分解明できないということから生じたことである。一般に高分子溶液の伸長特性は伸長粘度のstretch-thickening性により評価され、その測定方法は数多く提案されている。中でもスピINLINEレオメータはその代表的なもので装置の簡潔さ、および測定が容易であることから広く一般的に用いられている方法の一つである^{2), 3)}。ところがこのような方法により得られた伸長粘度は、見かけ上の伸長粘度として評価されており、実験条件および測定条件により異なったstretch-thickening性を示すことが報告されている⁴⁾。そのため高分子溶液の伸長特性は不明な点が多いとされており、いまだ十分な解明はなされていない。

そこで本研究はこの様な不明な点が多い高分子溶液の伸長特性についてスピINLINEレオメータを対象に数値計算によりその特性を明確にすることを目的とした。数値計算にあたって本研究では高分子溶液のレオリソ式(構成式)としてGiesekusモデル⁵⁾を用いて、伸長特

性に影響を及ぼすと考えられる慣性力、重力について考察を行った。

2. 基礎式と数値計算

スピINLINEにおける高分子溶液の速度や伸長応力の変化を解析するためには運動方程式と流体の構成式が必要である。

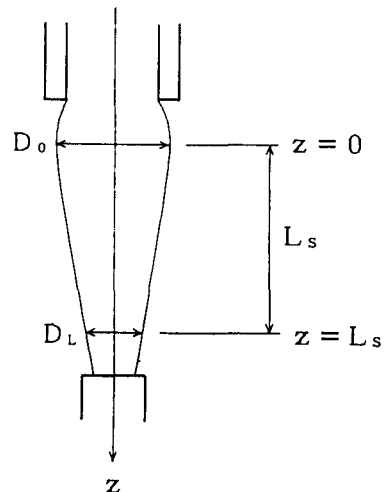


図1 スピINLINEの模式図

スピンラインにおける流れを図1に示すように円柱座標を用いて定常一軸伸長流れであると考え、この場合の運動方程式は溶液の表面張力と空気抵抗を無視すると次式で与えられる。

$$\frac{d}{dz} \left(\frac{\tau_{zz} - \tau_{rr}}{v} \right) + \frac{\rho g}{v} - \rho \frac{dv}{dz} = 0 \quad (1)$$

ここで z : ノズル出口からの距離、 $\tau_{zz} - \tau_{rr}$: 伸長応力、 v : 流速、 ρ : 密度、 g : 重力加速度である。

構成式として本計算では高分子溶液の非ニュートン性および弾性特性をよく表現することができるGiesekusモデルを用いた。式(2)にその構成式を示す。

$$\begin{aligned} \tau &= \tau_s + \tau_p \\ \tau_s &= \eta_s \dot{\gamma} \\ \tau_p + \lambda \frac{d\tau_p}{dt} + \frac{\alpha \lambda}{\eta_p} \{ \tau_p \cdot \tau_p \} &= \eta_p \dot{\gamma} \end{aligned} \quad (2)$$

ここで τ : 偏差応力テンソル、 τ_s : 偏差応力テンソルのうち溶媒 (ニュートン流体) の寄与分、 τ_p : 偏差応力テンソルのうち高分子の寄与分、 η_s : 溶媒粘度、 η_p : 高分子粘度、 λ : 緩和時間、 α : 動的パラメータ、 $\dot{\gamma}$: 変形速度テンソル、 $\frac{d}{dt}$: 高分子の寄与分の上対流微分である。

またGiesekusモデルの物質関数を以下の式⁵⁾で与える。

$$\text{第一法線応力差係数 : } \Psi_1 = \frac{1}{\gamma^2} \frac{\eta_p}{\lambda} \left\{ \frac{2n_2(1-\alpha n_2)}{\alpha(1-n_2)} \right\} \quad (3)$$

$$\text{定常せん断粘度 : } \eta = \eta_s + \left[\eta_p \left\{ \frac{(1-n_2)^2}{1+(1-2\alpha)n_2} \right\} \right] \quad (4)$$

定常伸長粘度 :

$$\begin{aligned} \eta_E &= 3\eta_s + \\ &\frac{\eta_p}{2\alpha} \left[3 + \frac{1}{\lambda \dot{\epsilon}} \left\{ \sqrt{1-4(1-2\alpha)\lambda \dot{\epsilon} + 4(\lambda \dot{\epsilon})^2} \right. \right. \\ &\quad \left. \left. - \sqrt{1+2(1-2\alpha)\lambda \dot{\epsilon} + (\lambda \dot{\epsilon})^2} \right\} \right] \end{aligned} \quad (5)$$

ここで

$$n_2 = \frac{1-\Lambda}{1+(1-2\alpha)\Lambda}$$

$$\Lambda^2 = \frac{1}{8\alpha(1-\alpha)\chi^2} \left\{ \sqrt{1+16\alpha(1-\alpha)\chi^2} - 1 \right\}$$

$$\chi = \lambda \dot{\gamma}$$

次に数値計算について説明する。計算は先にも記したようにスピンラインを円柱座標系にとり、定常一軸伸長流れとして行った。この場合、運動方程式および構成式は以下の式で与えられる。

運動方程式 :

$$\{ (\tau_{zz} - \tau_{rr}) + \rho v^2 \} \frac{dv}{dz} - v \frac{d}{dz} (\tau_{zz}) + \frac{d}{dz} (\tau_{rr}) = \rho g v \quad (6)$$

応力成分 :

$$\tau_{prr} + \lambda \left\{ \frac{d\tau_{prr}}{dz} + \tau_{prr} \frac{dv}{dz} \right\} + \frac{\alpha \lambda}{\eta_p} (\tau_{prr})^2 = -\eta_p \frac{dv}{dz} \quad (7)$$

$$\tau_{pzz} + \lambda \left\{ \frac{d\tau_{pzz}}{dz} + \tau_{pzz} \frac{dv}{dz} \right\} + \frac{\alpha \lambda}{\eta_p} (\tau_{pzz})^2 = 2\eta_p \frac{dv}{dz} \quad (8)$$

この様にして得られた式を連立させ、ルンゲ-クッタ法により解き、速度分布を求める。そして得られた速度分布よりスピンラインの形状を求め、Jonesら²⁾の定義式により伸長粘度を評価した。この整理方法は伸長粘度の実験において一般的に用いられていることから、本計算においてもこの方法によりその値を求めた。

Jonesらの定義によると平均伸長応力は式(9)で与えられる。

$$\sigma_m = \frac{4}{\pi D_{AV}^2} (F_N + F_i - F_g) \quad (9)$$

ここで D_{AV} : 溶液平均径 ($= D_L + D_0 / 2$)、 F_N : ノズル出口での外力 (引っ張り力)、 F_i : 溶液の慣性力、 F_g : 溶液に働く重力である。

今、流量を Q とすると F_i 、 F_g はそれぞれ以下の式で与えられる。

$$F_i = \rho Q (V_L - V_0) \quad (10)$$

$$F_g = \int_0^L \rho g \frac{\pi D(z)^2}{4} dz \quad (11)$$

この場合、平均伸長速度は次式で定義される。

$$\dot{\epsilon}_m = \frac{1}{L} (V_L - V_0) \quad (12)$$

したがって平均伸長粘度は

$$\eta_E = \frac{\sigma_m}{\dot{\epsilon}_m} \quad (13)$$

として求めることができる。

実際の計算についてはノズル外力と流量を与えて行った。

3. 計算結果と考察

3.1 モデルパラメータの依存性

Giesekusモデルは微分型のMaxwellモデルにおいて見られる伸長粘度の特異性を改善したもので高分子溶液の伸長特性を広範囲の伸長速度にわたってよく表すことができることから最近、実際の流れ解析において広く用いられているモデルである。

そこで本研究ではスピンラインにおける流れの計算を始める前に、まず構成式(2)に含まれるモデルパラメータの各物質関数に対する依存性について検討した。すなわちパラメータの与え方により物質関数がどのように変化

するかを調べた。表1に検討用を選んだパラメータを示す。

表1 モデルパラメータ

CASE	λ	η_p	α	η_s
①	0.1	1.0	0.1	0.01
②	0.1	1.0	0.1	0.1
③	1.0	10.0	0.1	0.1
④	1.0	10.0	0.1	0.1
⑤	1.0	10.0	0.01	0.1

図2～図5に表1のパラメータを用いた時の定常せん断粘度 (η) と定常伸長粘度 (η_E) および第一法線応力差係数 (Ψ_1) の計算結果を示す。

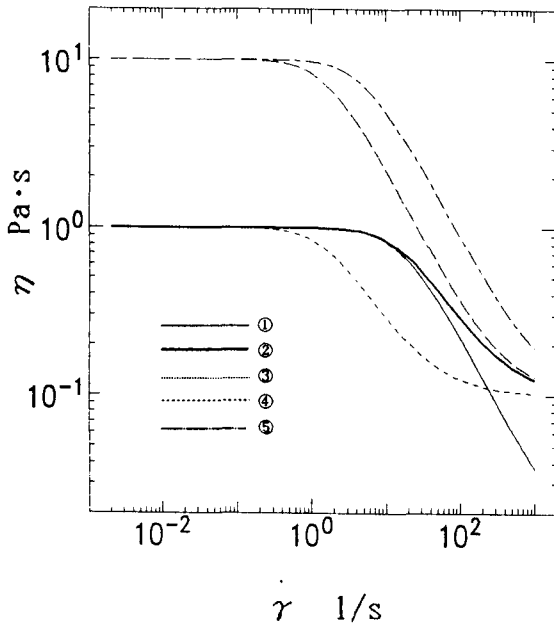


図2 定常せん断粘度のパラメータ依存性

これらの図より η_p については物質関数の絶対値に大きく影響を与え、 α についてはせん断粘度の shear-thinning 性と伸長粘度の stretch-thickening 性の大きさに影響を与えることがわかる。また λ については shear-thinning 性と stretch-thickening 性が始まるせん断速度と伸長速度の値に影響を与えることがわかる。 η_s についてはその定義を溶媒粘度としていることから物質関数の諸特性、すなわち shear-thinning 性および stretch-thickening 性に直接影響を与えるものではないことがわかる。

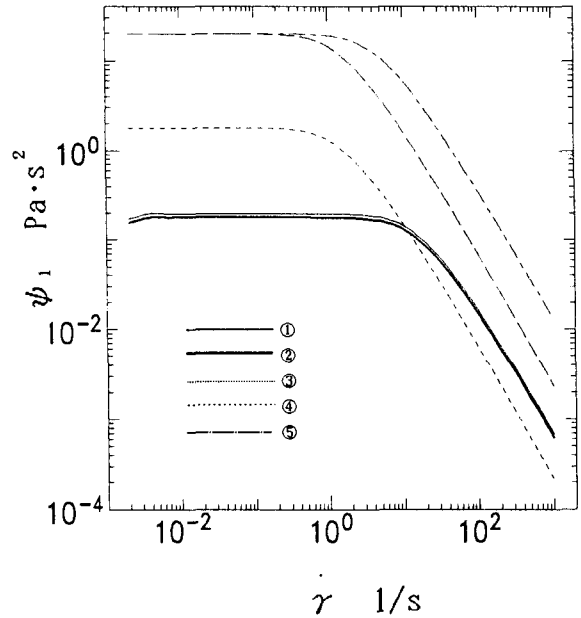


図3 第一法線応力差係数のパラメータ依存性

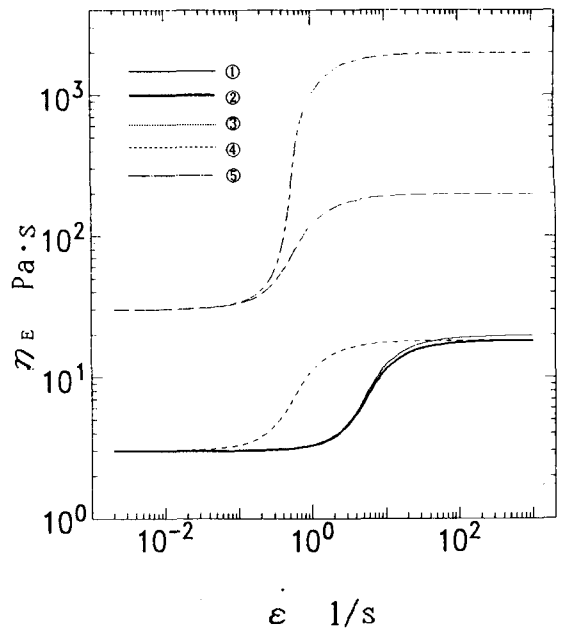


図4 定常伸長粘度のパラメータ依存性

以上の結果と実際の高分子溶液の諸特性を考慮して以後の計算においては表1の case ⑤のパラメータを用いることにした。

3.2 伸長粘度の計算

図5に伸長粘度の計算結果を示す。

この図では溶液に作用する慣性力および重力の影響を調べるため $\rho = 0$ と $\rho = 1000$ の場合について計算を行った。さらに伸長粘度の流量による依存性を調べるため流量を2種類変えて行った。この結果、 $\rho = 0$ の場合は図4の定常伸長粘度と同じようなstretch-thickening性を示し、その傾向は流量に依存しないことがわかる。しかし高伸長速度域では流量の違いによる差異が顕著となっている。

次に $\rho = 1000$ の結果についてであるが、この場合、 $\rho = 0$ の結果とは異なり、低伸長速度域では伸長粘度のstretch-thickening性は見られず、逆にstretch-thinningとなっている。しかもこの傾向は流量を変化させても同じような結果を示している。しかし高伸長速度域では伸長粘度は $\rho = 1000$ の結果とほぼ一致するような傾向を示している。

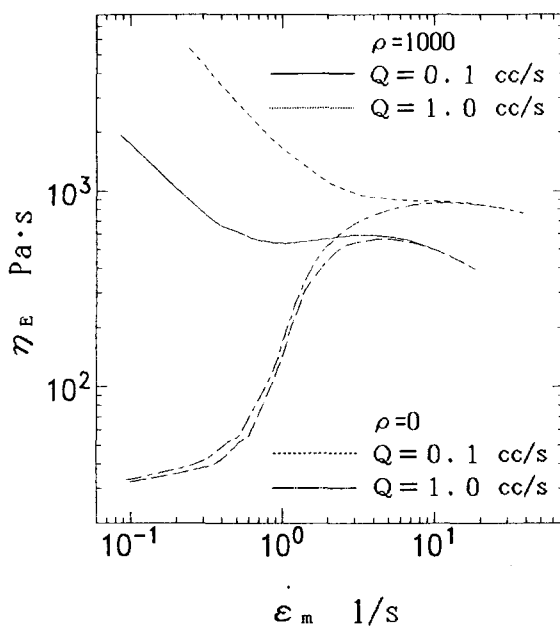


図5 伸長粘度の計算結果

以上の結果をこれまで報告されてきた高分子溶液の伸長粘度の実験結果と比較するとその傾向は $\rho = 0$ の場合と良く似ており、このことと式(9)からスピニラインにおいて重力および慣性力は伸長力に比べてさほど大きなものではないと考えられる。ところが実際のスピニラインレオメータでは図1および式(9)から式(13)に示すようにノズルから鉛直下方に流出する溶液の径の変化とそのときの伸長力の測定により伸長粘度を求めていることから重

力の効果を無視することは実験の評価方法と矛盾する。

そこでこの重力の効果をさらに明確にするため溶液径の変化および溶液に作用する伸長力、重力、慣性力の大きさについて考察を行った。

図6は図5と比較するため式(9)に示した平均伸長応力における重力の効果を伸長速度の変化に対し示したものである。本研究ではこの重力の効果を式(14)により表した。

$$\beta = \frac{F_g}{F_N + F_g} \quad (14)$$

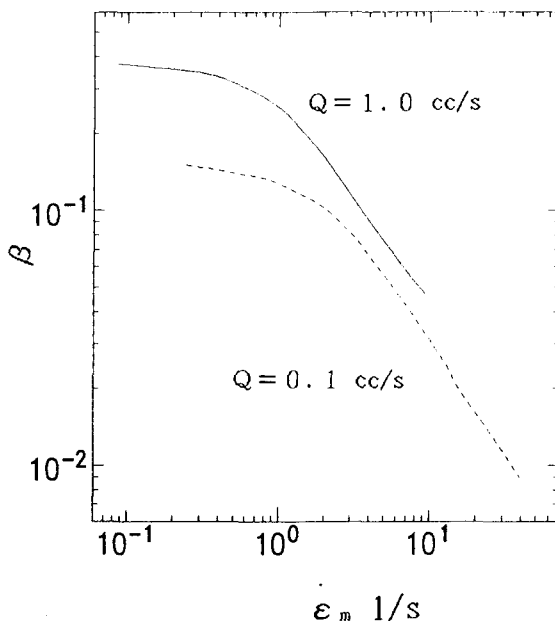


図6 重力の効果

この結果と図5より、伸長速度の増加に対し重力が伸長力のおよそ5%以上になると伸長粘度への影響が顕著となることがわかる。しかもこの傾向は流量をかえても同様の結果を示している。このことから低伸長速度域では重力の影響は非常に大きいものであることがわかった。また慣性力についてその影響は非常に小さく、 10^{-6} のオーダーであった。

図7および図8は溶液径の変化の様子を示したものである。これらの図より伸長力が多い場合、溶液径は流れ方向に対し減少し、溶液は伸長変形を受けていることがわかる。ところが伸長力が小さくなると、溶液径の変化はそれほど顕著ではなく、特に流量が小さい場合には、溶液径は長さLの距離において最小値を持つような結果が得られた。すなわちノズル出口近傍において溶液は伸長変形を受け、その径は小さくなるが、ノズルより離れるとそれまでとは異なり、溶液径は次第に大きくなっている。

このような結果は実際のスピンラインにおいては見られないものであり、数値計算上生じたものかどうかは、ここでは明らかにすることができなかったが、おそらく運動方程式の導出の際、溶液の表面張力および空気抵抗を無視したことに原因があると考えられる。またノズル出口におけるせん断力の効果、すなわちせん断応力の緩和（実際のスピンラインレオメータではせん断応力の緩和作用によりノズル出口では溶液径が一旦、大きくなるバラス効果が生じている。）も原因の一つであると考えられる。したがって、より詳細な解析にはこのような効果を含めて行う必要があると考える。

4. 結 論

スピンラインレオメータにおける高分子溶液の伸長特性について数値計算によりその特性を解明することを目的とし、Giesekusモデルにより計算を行った。その結果、溶液に作用する重力および慣性力により伸長粘度の値は異なったものになることが明らかとなった。特に重力は伸長粘度の値に大きな影響をおよぼし、その影響は低伸長速度域において顕著なものであることがわかった。また慣性力については重力に比べ、ほとんど影響を与えないことがわかった。

参考文献

- 1) M. Moan, A. Magueur, J. Non-Newtonian Fluid Mech., vol. 27, p173, (1988)
- 2) D. M. Jones, K. Walters and P. R. Williams, Rhol. Acta, vol. 26, p20, (1987)
- 3) R. M. Patel, D. C. Bogue, J. Rheology, vol. 33, No. 4, p607, (1989)
- 4) 森, 小柴, 中村, 繊維機械学会論文集, vol. 46, No. 2, p41, (1993)
- 5) R. B. Bird, R. C. Armstrong and O. Hassager, "Dynamics of Polymeric Liquids, Vol. I" J. Wiley Sons, New York, (1987)

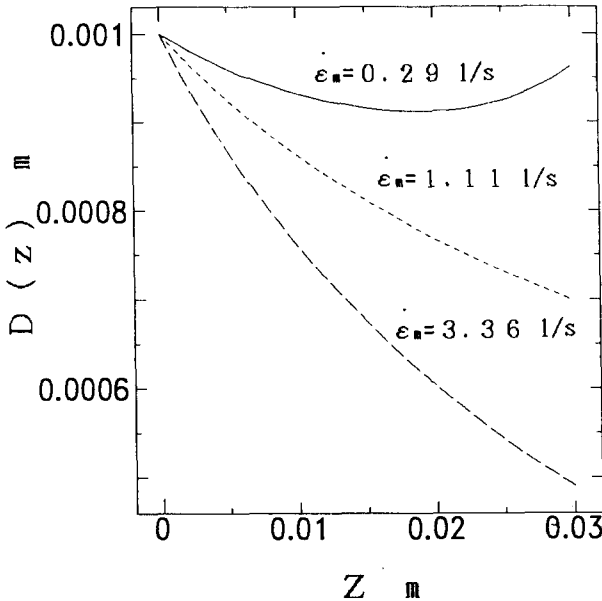


図7 溶液径の変化 ($Q=1.0\text{cc/s}$)

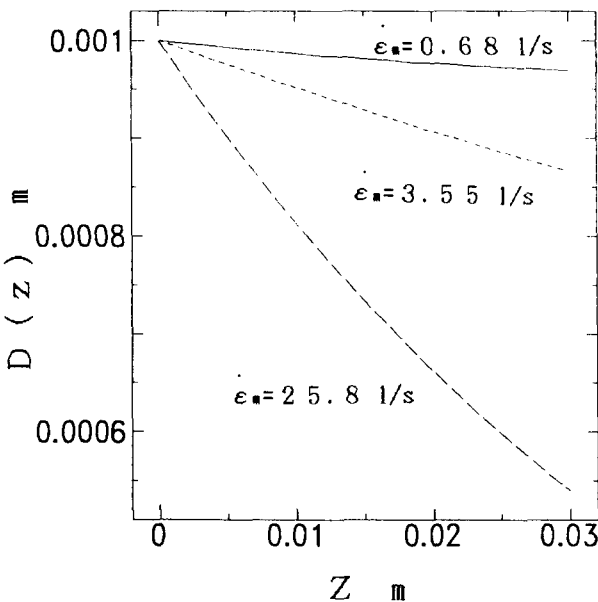


図8 溶液径の変化 ($Q=1.0\text{cc/s}$)

電流形アクティブフィルタ制御回路のシミュレーション

井 村 榮 仁

Simulation of A Control Circuit of A Current Type Active Filter

Shigeji IMURA

In this paper, the PWM output signal by experiment is compared with the corresponding wave form by simulation for control circuit of a current type active filter using GTO. This control circuit is constructed with hardware. In many cases, any signal component except for side band components differ from that of analog input in magnitude and phase. Three causes are considered as follows:

- (1) Inaccuracy of control circuit
- (2) Error generated in PWM output for complicated input analog signal concerning control logic
- (3) System constants including characteristic of main device (for example GTO)

We study here only cause (2) and show some result of both experiment and simulation.

1. まえがき

アクティブフィルタの制御回路としては、ソフトウェアによるものとハードウェア¹⁾によるものとがある。本論文ではGTOを用いた電流形アクティブフィルタ(以下、AFと略記する)の制御回路を後者により構成し、簡単な高調波抑制実験を行った。この実験結果について、シミュレーションによる分析データをもとに検討を加えた。

尚、高調波発生源として位相制御可能なサイリスタ整流回路を用いた。アナログ信号が、GTOコンバータの出力PWM信号に変換されるとき、測波帯を別にしても必ず差異が生ずる。この原因を明らかにするためには、実験と並行して信頼できるシミュレーションにより裏付をとる必要がある。考えられる誤差の原因として(1)制御回路の精度、(2)複合電流波形や整流電流波形のように複雑なアナログ信号をPWM信号に変換した時に生ずる誤差、(3)半導体デバイス(例えば、GTO)のスイッチング特性を含むシステム定数、などを挙げることができる。今回は、特に事項(2)についてのみ考察することとした。その結果、単一高調波および複合高調波の場合には、制御回路への入力信号成分とこれに対応するPWM

信号中のそれらの間に、実験およびシミュレーション結果のどちらにおいても、ほぼ満足すべき一致の得られることが確認できた²⁾。一方、整流電流波形のように無限次数まで高調波成分を含む場合には、少し問題のあることも判明した。さらに、実験結果では事項(3)の原因も考慮しなければならないことなど、今後の検討課題である。

2. アクティブフィルタ(AFシステム)と等価回路

図1(A)にGTOを用いた電流形AFシステムを示す。ここでは、サイリスタ整流回路から発生する高調波電流の抑制を考えている。系統に流出した整流回路からの電流 i_a (U相電流)、 i_c (W相電流)を直流増巾器を經由してAF制御回路に取込む。GTOコンバータと系統との間に $\Delta-Y$ 変圧器を使用することを考慮し、同図(B)の制御回路ブロック図に示すように、入力部の最初にV相電流 $i_b = -(i_a + i_c)$ を合成した後、 $\Delta-Y$ 変換回路に加えている。以下、ハイパスフィルタ(HPF)により高調波成分のみを取出し、これにコイル電流 i_L を制御するための基本波成分を足しあわせて、各相の制御信号 i_a^* 、 i_b^* 、および i_c^* を生成する。さらに、コイル電流 i_L が変動する場合のPWM出力を補償するため、これ

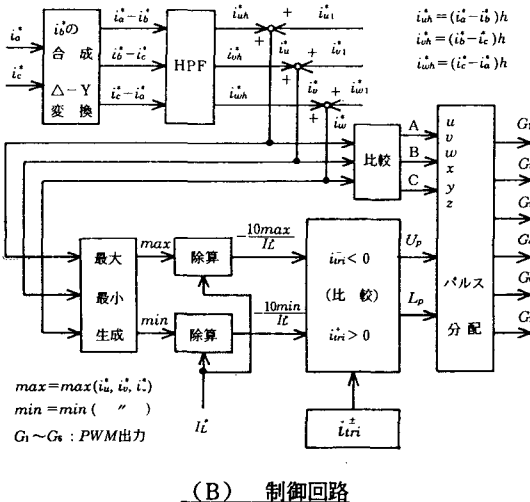
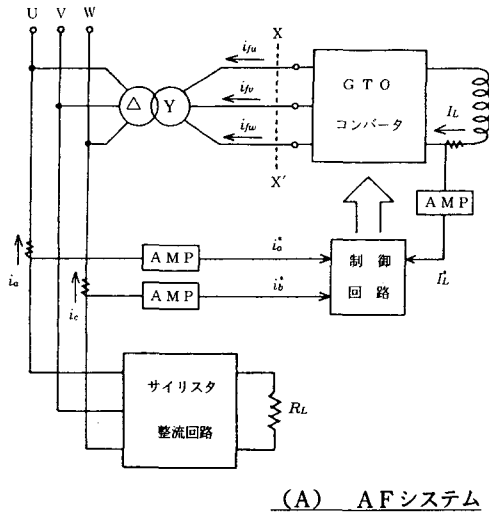


図1 AFシステムと制御回路

らの信号を I_L^* で除した信号を、最終的にパルス巾変調(PWM)信号に変える。こうすることで、本システムでは、制御回路1(v)がGTOコンバータ出力電流の I_L/I_L^* (A)に対応する。

次にシミュレーションによる検討を実行するために、上記システムの等価回路を図2に掲げる。先の図1(A)でxx'より左を見たインピーダンスは、一般に非常に小さいので、ここでは零とみなすことができる。また、コイルLのかわりに今回の実験では定電流源を使用し I_L を一定とした。同様に I_L^* も10(v)一定に固定した。尚、 i_a^* 、 i_b^* および i_c^* は、サイリスタ整流回路からの電流を上記の比率にしたがって電圧信号に変換したものである。故に回路構成上、 $i_{fu} = k \cdot i_u^*$ 、 $i_{fv} = k \cdot i_v^*$ および $i_{fw} = k \cdot i_w^*$ (ただし、

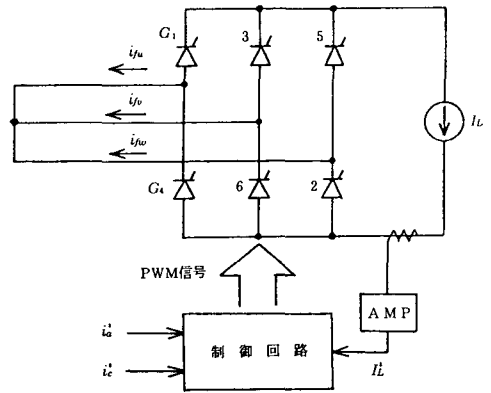


図2 等価回路

$k = I_L/I_L^*$ が成立しなければならない。尚、定電流源の電流値 I_L は、 $0 \leq I_L \leq 60$ (A)の範囲において調整できるようにしている。

3. 高調波抑制実験とシミュレーション

3-1 高調波発生源

図3(A)は高調波発生源として製作した位相制御可能なサイリスタ整流回路である。同図(B)に電圧波形およびU相の高調波電流 i_a ($\alpha \approx 40^\circ$ の場合)を示す。線間電圧70(v)、負荷抵抗30(Ω)とし、制御角は $0 \leq \alpha < 60^\circ$ の範囲で可変となっている。ただし、本報告では $\alpha = 0^\circ$ および 40° の2種類の場合における実験データが与えられている。 i_a および i_c は直流増巾器を通し、電圧信号 i_a^* および i_c^* に変換した後AF制御回路に入力する。さて、3相電圧 e_{RU} 、 e_{RV} および e_{RW} を

$$\left. \begin{aligned} e_{RU} &= \sqrt{2}E_{RG} \sin\left(\theta + \frac{\pi}{6}\right) \\ e_{RV} &= \sqrt{2}E_{RG} \sin\left(\theta - \frac{\pi}{2}\right) \\ e_{RW} &= \sqrt{2}E_{RG} \sin\left(\theta - \frac{7}{2}\pi\right) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(1)$$

とすれば、図3(B)の i_a をフーリエ級数展開して得られる基本波成分 $(i_a)_1$ は、制御角 α のとき、

$$(i_a)_1 = a_1 \cos \theta + b_1 \sin \theta \dots\dots\dots(2)$$

ただし、

$$\left. \begin{aligned} a_1 &= \frac{\sqrt{3}I_m}{2\pi} \left\{ -2 \cos\left(2\alpha + \frac{4\pi}{3}\right) - \sin\left(2\alpha - \frac{\pi}{6}\right) + \frac{\pi}{3} \right\} \\ b_1 &= \frac{\sqrt{3}I_m}{2\pi} \left\{ -2 \sin\left(2\alpha + \frac{4\pi}{3}\right) + \cos\left(2\alpha - \frac{\pi}{6}\right) + \pi \right\} \end{aligned} \right\}$$

となる。ここに、 $I_m = \sqrt{2}E_{RG}/R_L$ 、 R_L : 負荷抵抗。

後述のシミュレーションでは、 i_a から式(2)の $(i_a)_1$ を引

くことによってハードウェア構成におけるHPFを実現している。

3-2 ハードウェアと制御ロジック

電流形AF制御回路は、速い応答性を必要とするので通常ハードウェアで構成する。はじめに、図1(B)を参照して制御回路全般の動作について説明する。高調波発生源の歪波電流は上述のように電圧に変換されAF制御回路に入力される。このとき、3相電流の和は零であるから、整流回路のU相およびV相の電流信号 i_u^* および i_v^* を検出して、W相電流 i_w^* は制御回路内部で生成する。ところで、実際のAFシステムでは Δ -Y変圧器を経由して系統に接続されるため、これら i_u^* 、 i_v^* および i_w^* をやはり変換しておく必要がある。さらに、基本波成分についてはAFにより発生しなくてもよいので、HPFを通すことでこれら電流信号の高調波成分のみを取出す。これらは、図中の i_{uh}^* 、 i_{vh}^* および i_{wh}^* で示されている。一方、電流源としてのコイル電流を制御するために、変圧器2次側の相電圧と同相の基本波成分 i_{u1}^* ~ i_{w1}^* を利用する。

結局、これら両者の和として $i_u^* = i_{uh}^* + i_{u1}^*$ 、 i_v^* および i_w^* のアナログ信号を作り、これらをPWM信号に変えるのである。

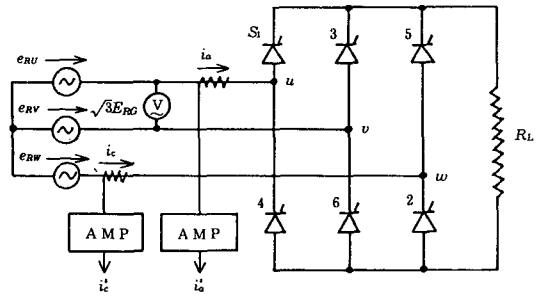
次に制御ロジックについて述べる。先の図2に示す電流形GTOコンバータでは上側GTOである G_1 、 G_3 および G_5 のどれか一つと同様に下側GTOの G_4 、 G_6 および G_2 のどれか一つが常に導通しているように制御しなければならない。図4を用いて各GTOの制御信号の論理表現について考える。まず、 $\max = \max(i_u^*, i_v^*, i_w^*)$ および $\min = \min(i_u^*, i_v^*, i_w^*)$ なる信号を作る。これと正負の三角波(波高値を I_{tri}^* とする) i_{tri}^* 、 i_{tri}^- とを比較し、

$$\begin{aligned} \max \leq i_{tri}^* & \text{ のとき } U_p = 1, \text{ そうでないとき } U_p = 0 \\ \min \leq i_{tri}^- & \text{ " } L_p = 1, \text{ " " " } L_p = 0 \end{aligned} \quad \dots(3)$$

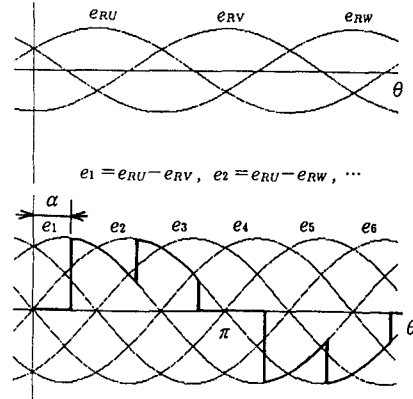
なる信号を得る。ある任意の時点、たとえば図中の時点 t_1 では、 $U_p = L_p = 1$ である。このとき、PWMの理論によれば当該GTOにオンパルスを与えることになる。 t_1 では G_1 (上側、U相)と G_2 (下側、W相)の2つのGTOが点弧する。 t_2 では、やはり $U_p = L_p = 1$ であるが今度は、 $G_3 = G_2 = 1$ 。今、図4において正負2つの三角形で囲まれているひし形の範囲を領域II、それ以外の範囲を領域Iと呼ぼう。しからは、ある時点において

[a] $U_p = L_p = 1$ であるのは、 i_u^* 、 i_v^* 、および i_w^* のうち2つ以上が領域Iにある。

[b] $U_p = 1$ 、 $L_p = 0$ または $U_p = 0$ 、 $L_p = 1$ また



(A) サイリスタ整流回路



(B) 歪波電流 i_a の例

図3

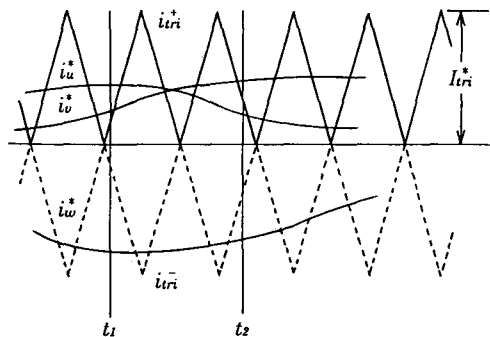


図4 制御ロジックの説明図

は $U_p = 0$ 、 $L_p = 0$ であるのは i_u^* 、 i_v^* 、および i_w^* のうち2つ以上が領域IIにある。

ということがわかる。

さらに i_u^* 、 i_v^* 、 i_w^* の大小関係を表す変数として、 $i_u^* \geq i_v^*$ のとき、 $A = 1$ 、そうでないとき、 $A = 0$
 $i_v^* \geq i_w^*$ "、 $B = 1$ 、 "、 $B = 0$
 $i_w^* \geq i_u^*$ のとき、 $C = 1$ 、そうでないとき、 $C = 0$

とおく。こうすれば、例えば i_u^* が最大であることは論理変数 $u = A \cdot \bar{C}$ が"1"であり、最小であることは $x = \bar{A} \cdot C$ が"1"であることにより判定できる。 i_v^* 、 i_w^*

の最大、最小についても同様で、

$$\left. \begin{aligned} u &= A \cdot \bar{C}, v = \bar{A} \cdot B, w = \bar{B} \cdot C \\ x &= \bar{A} \cdot C, y = A \cdot \bar{B}, z = B \cdot \bar{C} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(4)$$

と定義する。その作り方から、いかなる場合も u, v および w の中のただ 1 つだけが“1”となる。 x, y および z についても同じことが言える。よって [a] の場合には、 $G_1 = U_p \cdot u, G_3 = U_p \cdot v, G_5 = U_p \cdot w, G_4 = L_p \cdot x, G_6 = L_p \cdot y$ および $G_2 = L_p \cdot z$ であることがわかる。[b] の場合はどうか。たとえば、 $U_p = 0$ とすれば上側のすべての GTO (G_1, G_3, G_5) はすべてオフとなり、回路の破壊を招くことになる。また、このとき $L_p = 1$ または $L_p = 0$ のどちらかはわからない。そこで、制御ロジックとしてこの場合は、中間の大きさの相の上下の GTO にオン信号を送り、電流源の循環モードを形成させている。例えば u 相信号が中間の大きさであることは、それが最大でも最小でもない条件と等価だから、 $\overline{u+x}$ が 1 であることにより判定できる。したがって、[a]、[b] の両方の場合を含めて $G_1 \sim G_6$ の各 GTO の制御信号は、次式となる。

$$\left. \begin{aligned} G_1 &= U_p \cdot u + \overline{U_p \cdot u + x} \\ G_3 &= U_p \cdot v + \overline{U_p \cdot v + y} \\ G_5 &= U_p \cdot w + \overline{U_p \cdot w + z} \\ G_4 &= L_p \cdot x + \overline{L_p \cdot u + x} \\ G_6 &= L_p \cdot y + \overline{L_p \cdot v + y} \\ G_2 &= L_p \cdot z + \overline{L_p \cdot w + z} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(5)$$

3-3 高調波抑制実験とシミュレーション

図 3 (A) のサイリスタ整流回路において α をいくつかの値に変え、発生した歪電流を図 1 (A) の制御回路に入力する ($\sqrt{3} E_{RG} = 70(\text{V}), R_L = 30(\Omega)$)。この時、計測用微小抵抗および直流増巾器の倍率を $I_L/I_L^*(A)$ が 1 (V) に対応するように選ぶ。

I_L としては 20(A)、30(A) および 40(A) とし、 $I_L^* = 10(\text{V})$ に固定して実験を行った。こうして $i_a^*, i_b^*, i_c^*, i_u^*, i_w^*, i_{fu}, i_{fv}, i_{fw}, G_1$ および G_4 などの高調波成分を波形記憶解析装置により測定する。また、オペアンプで $G_1 - G_4$ の信号を作り、対応する i_{fu} との和 (または差、 i_{fu} の計測方向による) の信号を生成する。

一方、シミュレーションでは式(1)および(2)を用い、また θ の各範囲を考慮

して入力信号 i_a, i_c を組み立てる。次に i_a から $(i_a)_1$ を引くことにより高調波成分のみを得ることができる。ただし、整流回路におけるサイリスタの電圧降下および転流重なり角は今回無視している。また、 i_{u1}^* に相当する信号として実験に対応する振巾、位相の関数を上記の高調波成分に加えて

$$i_u^* = (10/I_L^*) \cdot (Ki_{u1}^* + i_{uh}^*) \dots\dots\dots(6)$$

のようにして作る。ここに、 K は基本波成分を制御するための系数である。 i_u^*, i_w^* などと同様である。式(5)、(6)から基本波 1 周期における $G_1 \sim G_6$ の PWM パターンが計算できる。尚、1 周期の分割数は 6000 とした。

図 5 に実験結果およびシミュレーション結果の一例を掲げる。上段が $i_u^*, (G_1 - G_4)$ および $i_u^* + (G_1 - G_4)$ の実験波形である。下段は、対応するシミュレーション波形を示す。また、左側が制御角 $\alpha = 0^\circ$ の例、右側が $\alpha = 40^\circ$ のそれである。波形よりよい一致の得られていることがわかる。このことは、ハードウェアによる制御回路の動作、シミュレーションプログラムの内容のどちらも信頼できるものと考えてよい。さらに詳細に分析するために、表 1、2 にこれらのスペクトルの大きさについてのデータを与える。表 1 は、入力データとしての i_u^* のスペクトルのうち主なものを、実験結果およびシミュレーション結果を対比して並べてある。同様に表 2 は、 i_u^* についてのものである。表 3 は、実験結果としての $i_u^*, G_1 - G_4$ および i_{fu} のスペクトルの大きさについて調べたものである。表 1、2 からわかるように PWM 以前のアナログ信号については実験結果とシミュレーショ

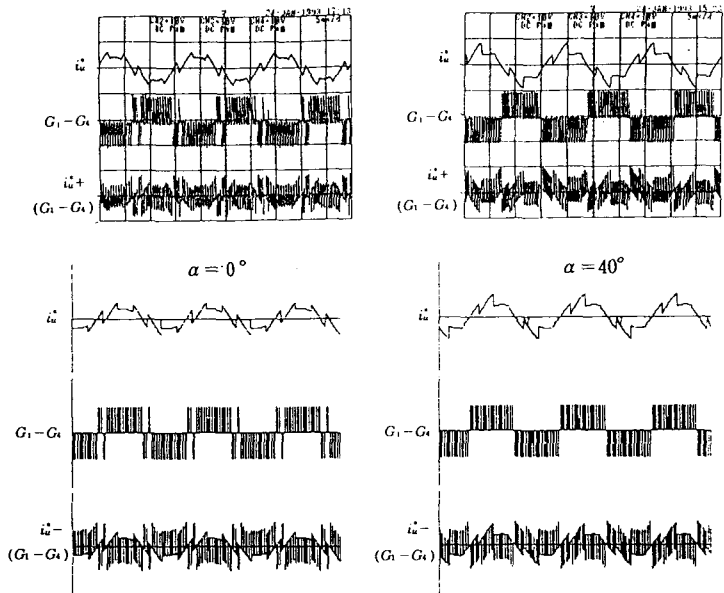


図 5 実験波形(上)とシミュレーション(下)

表1 i_a^* のスペクトル分析(主なもの)

次数	$\alpha = 0^\circ$		$\alpha = 40^\circ$	
	実験	シミュレーション	実験	シミュレーション
5	0.719	0.787	0.810	0.787
7	0.359	0.393	0.359	0.393
11	0.265	0.316	0.276	0.316
13	0.190	0.226	0.202	0.226

ン結果とは若干の差異が生じているが、ほぼ近い値が得られている。しかし、表3におけるようにPWM信号である $G_1 - G_4$ とそのアナログ入力である i_u^* との違いは微増している。また、GTOコンバータの出力である ifu は、第1節で掲げた原因の事項(2)、(3)のため、さらに差が増しているようである。課題として、これらの原因を究明し、一層の精度を向上させるために、今回は各信号の振巾のみに着目したが、位相についての情報の検討も考慮しなければならない。

4. あとがき

ハードウェアで構成されたAF制御回路の制御ロジックをもとに、サイリスタ整流回路から発生される高調波を、実験およびシミュレーションにより行った。制御回路の動作はほぼ期待通りであることが確認できたが、一方で無限の次数の高調波を含むようなアナログ信号を変換してPWM信号を得る場合の誤差の問題、主回路定数やスイッチングデバイスの特性などの影響で、さらに抑制効果が低下することなど課題も残っている。

文 献

- 1) T. NAKAJIMA et. al : Compensation of non-stationary Harmonics using Active Filter, PESC, vol.2, VI D-3, 1983.
- 2) 井村 : 奈良高専研究紀要第25号, pp29-34, 平成元年

表2 i_u^* のスペクトル分析(主なもの)

次数	$\alpha = 0^\circ$		$\alpha = 40^\circ$	
	実験	シミュレーション	実験	シミュレーション
5	1.322	1.364	1.523	1.364
7	0.569	0.682	0.510	0.682
11	0.501	0.546	0.536	0.546
13	0.250	0.390	0.227	0.390

表3 i_u^* 、 $G_1 - G_4$ および ifu のスペクトル比較

次数	$\alpha = 0^\circ$			$\alpha = 40^\circ$		
	i_u^*	$G_1 - G_4$	ifu	i_u^*	$G_1 - G_4$	ifu
5	1.322	1.209	1.133	1.523	1.435	1.388
7	0.569	0.567	0.442	0.510	0.410	0.468
11	0.501	0.321	0.436	0.536	0.589	0.492
13	0.250	0.191	0.286	0.227	0.207	0.194

Controlling Chaotic Dynamics by Switching One Parameter

Keiji KONISHI and Ichi KIMURA

It is demonstrated that chaotic motions in a continuous-time dynamical system can be controlled by switching an accessible system parameter (p) to the only three values (p_- , p_0 , p_+). The method for controlling chaotic motions is based on the OGY method [E.Ott, C.Grebogi, and J.A. Yorke, Phys. Rev. Lett. **64**, 1196(1990)] and the OPF method [V.Petrov, B.Peng, and K.Showalter, J.Chem. Phys. **96**, 7506(1992)]. However, it needs not varying the accessible system parameter carefully. To confirm the control ability of the method, it is applied to the Rössler equations, the Lorenz equations, and Chua's circuit.

1. Introduction

Chaotic phenomena, which occur in nature and man-made systems, have been studied with academic interest since the beginning of 1980. Most of studies have discussed to find out an order within chaos [1]-[3]. It can be said with some confidence that routes to chaos [3]-[7] and borderline chaos [8,9] are presently well understood. In contrast, once one enters the chaotic regime it appears that we understand chaos very little and we don't know how to apply chaos to engineering.

The presence of chaos in physical systems may be detrimental to the operation as it cannot be predicted. It was said that chaos couldn't be used in engineering applications. In a recent letter, Ott, Grebogi, and Yorke (OGY) proposed a new method which took advantage of a feature of chaos [10]-[13]. Their method (OGY method) is to convert the chaotic motions found in a physical system to a periodic motion or aperiodicity by making only small time-dependent perturbations

of an accessible system parameter. A main advantage of the OGY method is that one can obtain different performances for the same system in the same parameter range. Ditto, Rauseo, and Spano have demonstrated the applications of the OGY method to stabilized periodic orbits in a chaotic mechanical system [14]. For low-dimensional chaos described by 1-D maps, an occasional proportional feedback method (OPF method) which is essentially a limiting case of the OGY method can be used [15,16]. The OPF method is very useful for low-dimensional chaos, because it requires only three 1-D maps. Many physical systems have been controlled experimentally with these methods [17]-[25].

Both the OGY and the OPF methods need to perturb an accessible system parameter very carefully in the small parameter range. However, we think that most of practical systems don't have such parameter. In this paper we modify these methods to control chaotic motions by switching an accessible system parameter (p) to closed three values (p_- , p_0 , p_+), and confirm that

this switching method works well.

The plan of this paper is as follows. We review the OGY and the OPF methods in Section 2. In Section 3, the switching method is explained. In Section 4, the control ability for the switching method is illustrated by controlling chaotic motions in the Rössler equations, the Lorenz equations, and Chua's circuit. Finally, in Section 5 we discuss the features of the switching method, and present the conclusions of the work.

2. The OGY and The OPF Methods

2.1 The OGY Method

The OGY method is meant for stabilizing chaotic motions in time-discrete dynamical systems. For time-continuous chaotic dynamical systems, the Poincaré section is used to make time-discrete systems. On the surface of the Poincaré section, the map is given by

$$\mathbf{u}_{n+1} = \mathbf{F}(\mathbf{u}_n, p), \quad (1)$$

where $\mathbf{F}$, p , n are the nonlinear map, the accessible system parameter, and the discrete time. We assume that the parameter p is allowed to fluctuate in a small range about some nominal value p_0 . Let the range in which we are allowed to fluctuate the parameter p be

$$p_- < p < p_+, \quad (2)$$

$$p_- = p_0 - \delta p, \quad p_+ = p_0 + \delta p. \quad (3)$$

At $p = p_0$, there are many unstable periodic orbits (UPO's) represented as a finite number points on the surface of the Poincaré section. Denote $\mathbf{u}_F(p_0) = \mathbf{F}(\mathbf{u}_F(p_0), p_0)$ as the fixed point one wants to stabilize. Since the parameter range $[p_-, p_+]$ is small and we focus a very narrow vector field around $\mathbf{u}_F(p_0)$, we can use the linear approximation for the map at $p = p_0 + \delta p$

$$\begin{aligned} \mathbf{u}_{n+1} - \mathbf{u}_F(p_0) &= \mathbf{F}(\mathbf{u}_n, p) - \mathbf{u}_F(p_0) \\ &\approx \mathbf{w}\delta p + \mathbf{E}[\mathbf{u}_n - \mathbf{u}_F(p_0) - \mathbf{w}\delta p], \end{aligned} \quad (4)$$

where $\mathbf{E}$ is the linearized vector field around $\mathbf{u}_F(p_0)$. It is given by

$$\mathbf{E} = \lambda_u \mathbf{e}_u \mathbf{f}_u + \lambda_s \mathbf{e}_s \mathbf{f}_s, \quad (5)$$

where $\mathbf{e}_u$, $\mathbf{e}_s$ are the unit vectors in the unstable and stable directions of $\mathbf{E}$, and λ_u , λ_s are the unstable and stable eigenvalues of $\mathbf{E}$. Furthermore, $\mathbf{f}_s$, $\mathbf{f}_u$, are contravariant basis vectors defined by $\mathbf{f}_s \cdot \mathbf{e}_s = \mathbf{f}_u \cdot \mathbf{e}_u = 1$, $\mathbf{f}_s \cdot \mathbf{e}_u = \mathbf{f}_u \cdot \mathbf{e}_s = 0$. The shift ratio of the fixed point $\mathbf{u}_F(p)$ for the parameter p is presented by

$$\mathbf{w} = \left. \frac{\partial \mathbf{u}_F(p)}{\partial p} \right|_{p=p_0} \quad (6)$$

Eq.(4) is rewritten

$$\begin{aligned} \mathbf{u}_{n+1} - \mathbf{u}_F(p_0) &= \mathbf{w}\delta p + [\lambda_u \mathbf{e}_u \mathbf{f}_u + \lambda_s \mathbf{e}_s \mathbf{f}_s] \\ &\quad [\mathbf{u}_n - \mathbf{u}_F(p_0) - \mathbf{w}\delta p]. \end{aligned} \quad (7)$$

In the time evolution of the chaotic system, the orbit will sometime visit near $\mathbf{u}_F(p_0)$. When the chaotic orbit $\mathbf{u}_n$ comes to near $\mathbf{u}_F(p_0)$, the parameter p is changed from p_0 to $p_0 + \delta p$. In order to place the orbit $\mathbf{u}_{n+1}$ on the stable manifold of $\mathbf{u}_F(p_0)$, we choose the parameter $p = p_0 + \delta p$ so that

$$\mathbf{f}_n \cdot (\mathbf{u}_{n+1} - \mathbf{u}_F(p_0)) = 0. \quad (8)$$

We get

$$\delta p = \frac{\lambda_u \mathbf{f}_u \cdot (\mathbf{u}_F(p_0) - \mathbf{u}_n)}{(1 - \lambda_u) \mathbf{w} \cdot \mathbf{f}_u}. \quad (9)$$

Since the parameter p is allowed to fluctuate in the small range $[p_-, p_+]$, the chaotic orbit $\mathbf{u}_n$ is controlled in the strip described by

$$\mathbf{u}_F(p_0) + \mathbf{u}_- < \mathbf{u}_n < \mathbf{u}_F(p_0) + \mathbf{u}_+, \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{u}_- &= -\delta p \cdot (1 - \lambda_u^{-1}) \mathbf{g} \cdot \mathbf{f}_u, \\ \mathbf{u}_+ &= \delta p \cdot (1 - \lambda_u^{-1}) \mathbf{g} \cdot \mathbf{f}_u. \end{aligned} \quad (11)$$

If the chaotic orbit $\mathbf{u}_n$ falls in the strip defined by Eq.(10), the parameter p is fluctuated on the basis of Eq.(9) to place it on the stable manifold. Once it gets on the stable manifold, the parameter p is reset to p_0 . In the time evolution, the orbit approaches the fixed point $\mathbf{u}_F(p_0)$ along the stable manifold. The orbit stays on the $\mathbf{u}_F(p_0)$ for some time, but it will be soon depart from $\mathbf{u}_F(p_0)$. However, one can stabilize the orbit near $\mathbf{u}_F(p_0)$ by repeating the above procedure.

2.2 The OPF Method

Low-dimensional chaotic dynamical systems can be described by 1-D maps. Figure 1(a) shows 1-D return maps in the local vicinity of the unstable fixed points for the accessible system parameter $p = p_-, p = p_0, p = p_+$. We assume that these 1-D return maps have the same slope in the local vicinity. When a chaotic orbit x_n comes to near the unstable fixed point $x_F(p_0)$, the accessible system parameter p is varied from p_0 to $p_0 + \delta p$ as shown in Fig.1(b). Then the orbit x_{n+1} gets on the fixed points $x_F(p_0)$, and stays on $x_F(p_0)$ for some time. However, it will soon depart from $x_F(p_0)$. In order to stabilize the orbit near $x_F(p_0)$, one repeats the above procedure. We assume that the accessible system parameter p can be

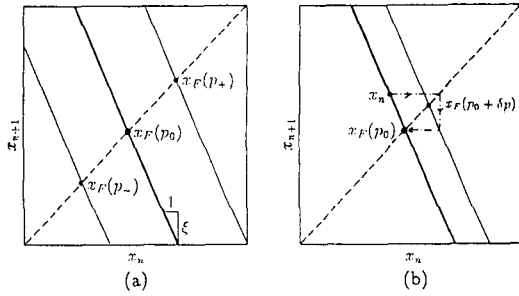


Figure 1: Schematic of the OPF method for 1-D maps in local vicinity of the unstable fixed point. (a) The 1-D maps for each parameter $p = p_-, p = p_0, p = p_+$. (b) The chaotic orbit x_n getting on the unstable fixed point.

fluctuated in the small range like the OGY method in Sec.2.1. δp satisfies following condition:

$$\begin{aligned} x_F(p_0) &= f(x_n, p_0 + \delta p) \\ &= \xi x_n + (1 - \xi)(x_F(p_0) + \delta p g), \end{aligned} \quad (12)$$

where g is the shift ratio of the unstable fixed point $x_F(p_0)$ for the parameter p

$$g = \left. \frac{\partial x_F(p)}{\partial p} \right|_{p=p_0}. \quad (13)$$

So we can get

$$\delta p = \frac{\xi(x_n - x_F(p_0))}{(1 - \xi)g}. \quad (14)$$

It is clear that the OPF method is essentially a limiting case of the OGY method. The OPF method is very useful for controlling low-dimensional chaos, as it needs the only three 1-D maps. Values for the OPF method (i.e., δ, g) can easily be calculated from these maps.

3. A Switching Method

In the OGY and OPF methods, the amplitude of an accessible system parameter must be varied very carefully for controlling chaos. It is easy that one varies the amplitude of the parameter carefully on computer simulations, but in practical system (e.g., nonlinear laser systems, nonlinear circuits, nonlinear mechanics, and so on) varying it is very difficult. On the basis of these methods we propose a new control method. In this method chaotic motions can be controlled by switching the accessible system parameter p to the only three closed values (p_-, p_0, p_+). It is easy that one switches the parameter in a practical system.

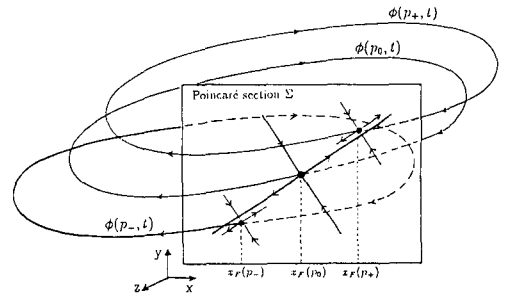


Figure 2: The vector field on the surface of the Poincaré section Σ and UPO's for each parameter.

Consider a time-continuous dynamical system

$$\frac{d\mathbf{X}}{dt} = \mathbf{H}(\mathbf{X}, p), \quad (15)$$

where $\mathbf{X} \in R^n$, p , $\mathbf{H}$ are the n -dimensional system variables, the accessible system parameter,

and the nonlinear function. To simplify the analysis we assume that $n=3$ and the Lyapunov dimension D_L is closed to two, then Eq.(15) can be analyzed by a 1-D map and controlled with use of the OPF method.

It is assumed that the accessible system parameter p can be switched to the only three closed values (p_- , p_0 , p_+). Figure 2 shows the vector field on the surface of the Poincaré section Σ for $p = p_-$, $p = p_0$, $p = p_+$. Unstable periodic orbits (UPO's) $\phi(p, t)$ for each p exist in the vector field. As p_- , p_0 , p_+ are very close, we assume

$$\begin{cases} \phi(p_-, t) = \phi(p_-, t + T) \\ \phi(p_0, t) = \phi(p_0, t + T) \\ \phi(p_+, t) = \phi(p_+, t + T), \end{cases} \quad (16)$$

$$|x_F(p_-) - x_F(p_0)| \approx |x_F(p_+) - x_F(p_0)|, \quad (17)$$

where

$$\begin{cases} x_F(p_-) = \{\phi(p_-, t) |_{\Sigma}\}_x \\ x_F(p_0) = \{\phi(p_0, t) |_{\Sigma}\}_x \\ x_F(p_+) = \{\phi(p_+, t) |_{\Sigma}\}_x. \end{cases} \quad (18)$$

The characteristics of these UPO's are almost same. When the chaotic orbit x_n comes to near the unstable fixed point $x_F(p_0)$, the accessible system parameter p is switched from p_0 to p_- or p_+ . The parameter p remains p_+ or p_- for some time t_* until the chaotic orbit gets on the UPO $\phi(p_0, t)$. The time t_* is in proportion to δp in Eq.(14).

$$t_* = kT \frac{\xi}{\xi - 1} \frac{|x_n - x_F(p_0)|}{s}, \quad (19)$$

$$s = \frac{|x_F(p_+) - x_F(p_-)|}{2}, \quad (20)$$

where $k \leq 1$ is the constant value. The region $[x_-, x_+]$, in which the chaotic orbit can be controlled, is calculated from Eqs.(19)(20).

$$x_- = x_F(p_0) - \frac{(\xi - 1)}{\xi} \frac{s}{k}, \quad x_+ = x_F(p_0) + \frac{(\xi - 1)}{\xi} \frac{s}{k}. \quad (21)$$

The switching method has the following procedure:

1. Examine the dynamics of the chaotic system and the small parameter range $[p_-, p_+]$, in which chaotic motions occur, is determined.

2. Obtain the 1-D maps for each parameter p_- , p_0 , p_+ by using the Poincaré section or the Lorenz plotting.
 3. From these maps, calculate $x_F(p_-)$, $x_F(p_0)$, $x_F(p_+)$, ξ .
 4. To obtain the period T for the UPO, average the return times of chaotic orbits near the fixed point $x_F(p_0)$.
 5. Calculate the region $[x_-, x_+]$ from Eq.(21).
 6. Control the chaotic orbit on the basis of Eq.(19)
- In the step 5, determining the constant value k in Eq.(19) is difficult. We shall return to this problem later.

4. Numerical Simulations

In this section, with use of the switching method, we control the chaotic motions in the Rössler equations, the Lorenz equations, and Chua's circuit which are described by the 1-D maps, and discuss the relationship between the constant value k and the control ability.

4.1 The Rössler Equations

The Rössler equations are described by

$$\begin{cases} dx/dt = -y - z \\ dy/dt = x + 0.2y \\ dz/dt = 0.2 + xz - az. \end{cases} \quad (22)$$

We choose the parameter a as an accessible system parameter p , and determine as follows:

$$p_0 = a_0 = 5.7, \quad \delta p = \delta a = 0.05. \quad (23)$$

The equations (22) is computed with the Runge-Kutta algorithm (time step $\Delta t = 0.002$). The Poincaré section Σ_R is defined by $\Sigma_R = \{x, y, z | x = 0, y < 0\}$. The 1-D maps in local vicinity of the unstable fixed points for each parameter a_- , a_0 , a_+ are shown in Fig.3(a). From these 1-D maps we can get

$$\begin{aligned} y_F(5.65) &= -8.32414, \\ y_F(5.70) &= -8.38370, \\ y_F(5.75) &= -8.44261, \\ \xi &= -2.35855. \end{aligned} \quad (24)$$

The period T of the UPO can be calculated by av -

eraging return times of chaotic orbits near the unstable fixed point $y_F(5.70)$.

$$T \approx 2940 \times 0.002 = 5.88. \quad (25)$$

4.2 The Lorenz Equations

The Lorenz equations are described as follows:

$$\begin{cases} dx/dt = 10(y - x) \\ dy/dt = rx - y - xz \\ dz/dt = -\frac{8}{3}z + xy. \end{cases} \quad (26)$$

We choose the parameter r as an accessible system parameter p , and determine as follows:

$$p_0 = r_0 = 28.0, \quad \delta p = \delta r = 0.1. \quad (27)$$

The equations (26) is computed with the Runge-Kutta algorithm (time step $\Delta t = 0.005$). The 1-D maps in local vicinity of the unstable fixed points for each parameter r_- , r_0 , r_+ are shown in Fig.3 (b). So we can get

$$\begin{aligned} z_F(27.9) &= -39.7187, \\ z_F(28.0) &= -39.8457, \\ z_F(28.1) &= -39.9734, \\ \xi &= -2.21957, \\ T &\approx 154 \times 0.005 = 0.77. \end{aligned} \quad (28)$$

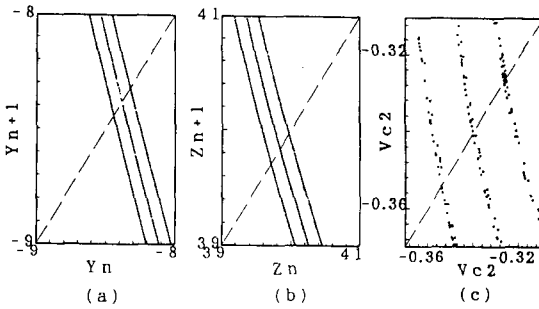


Figure 3: The 1-D maps in local vicinity of the unstable fixed points for each parameter. (a) The maps of the Rössler equations ($\alpha_0 = 5.70$, $\delta\alpha = 0.05$) is constructed with the Poincaré section Σ_R . (b) The maps of the Lorenz equations ($r_0 = 28.0$, $\delta r = 0.1$) is constructed with the Lorenz plotting. (c) The maps of Chua's circuit ($G_0 = 0.7$, $\delta G = 0.004$) is constructed with the Poincaré section Σ_C .

4.3 Chua's Circuit

Chua's circuit is an well-known autonomous electronic circuit generator of chaotic motions [26]. The equations of the circuit can be written in the following dimensionless form:

$$\begin{cases} C_1 \cdot dV_{C1}/dt = G \cdot (V_{C2} - V_{C1}) - g(V_{C1}) \\ C_2 \cdot dV_{C2}/dt = G \cdot (V_{C1} - V_{C2}) + i_L \\ L \cdot di_L/dt = V_{C2} \\ g(V) = m_0 V + \frac{1}{2}(m_1 - m_0)[|V + B_p| - |V - B_p|]. \end{cases} \quad (29)$$

The dynamical behavior of the system is governed by the seven parameters (C_1 , C_2 , G , L , m_0 , m_1 , B_p). These parameters are chosen as (1/9, 1, 0.7, 1/7, -0.5, -0.8) to generate the double scrolls. The parameter G are chosen as an accessible system parameter p , and determined as follows:

$$p_0 = G_0 = 0.7, \quad \delta p = \delta G = 0.004. \quad (30)$$

Figure 4 illustrates Chua's circuit for controlling chaotic motions. The equations (29) is computed with the Runge-Kutta algorithm (time step $\Delta t = 0.005$). The Poincaré section Σ_C is defined by $\Sigma_C = \{V_{C1}, V_{C2}, i_L | V_{C2} > 1, i_L = -1.05\}$. The 1-D maps in local vicinity of the unstable fixed points for each parameter G_- , G_0 , G_+ are shown in Fig.3 (c). So we can get

$$\begin{aligned} V_{C2F}(0.696) &= -0.35339, \\ V_{C2F}(0.700) &= -0.33934, \\ V_{C2F}(0.704) &= -0.32590, \\ \xi &= -2.93704, \\ T &\approx 6950 \times 0.0005 = 3.475. \end{aligned} \quad (31)$$

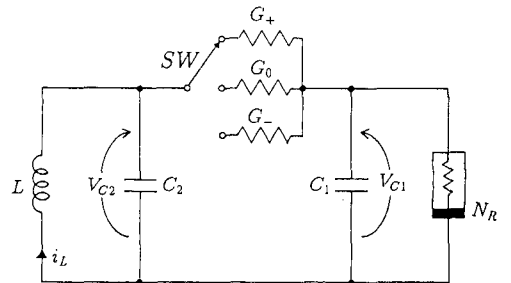


Figure 4: Chua's circuit to be controlled

4.4 Controlling Chaos

Controlling chaotic motions in the Rössler equations, the Lorenz equations, and Chua's cir-

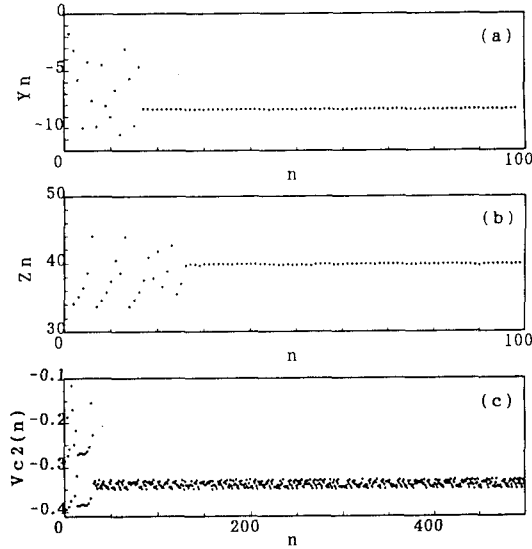


Figure 5: Controlling chaos in autonomous equations with use of the switching method. (a) Value of $y(t)$ of the Rössler equations on the surface of the section Σ versus iteration n . (b) Value of $z(t)$ of the Lorenz equations versus iteration n . (c) Value of $Vc2(t)$ of the Chua's circuit on the surface of the section Σ versus iteration n .

circuit are achieved with the switching method (Fig. 5). In Fig.5(a) the chaotic orbit y_n of the Rössler equations strikes the range $[y_-, y_+]$ defined by Eq.(21) at $n=17$. After $n=17$, the chaotic orbit y_n

is stabilized near $y_F(\alpha_0)$. Similarly, the chaotic orbit z_n of the Lorenz equations is stabilized near $z_F(r_0)$ after $n=25$ as shown in Fig.5(b). The chaotic orbit $Vc2(t_n)$ of chua's circuit is stabilized near $Vc2F(G_0)$ after $n=31$ as shown in Fig.5(c).

Figure 6(a) shows the wave form $y(t)$ of the Rössler equations at which controlling the chaotic motion is achieved. The orbit $y(t)$ is chaotic until $t=13.82$. At $t=13.82$, this orbit $y(t)$ falls in the range defined by Eq(21), and then the accessible system parameter α is switched from $\alpha_0=5.70$ to $\alpha_-=5.65$ as shown in Fig.6(d). The parameter α remains α_- for the time t_* calculated from Eq. (19), then returns to α_0 . After $t=13.82$, the orbit $y(t)$ is stabilized by switching the parameter α . In the case of the Lorenz equations and Chua's circuit, we can get the results similar to the Rössler equations (Figs.6(b)(e), Figs.6(c)(f)).

We should notice that it is not easy that the constant value k is determined theoretically. However, chaotic motions can actually be controlled in a relatively wide range of k . In order to confirm whether controlling the chaotic motion is achieved or not for each k , we observe that the chaotic motion is stabilized for 5000 iterations. Controlling chaotic motions of the Rössler and Lorenz equations can be achieved with $k \in [0.234, 0.873]$ and $k \in [0.204, 1.000]$, respectively. Hence

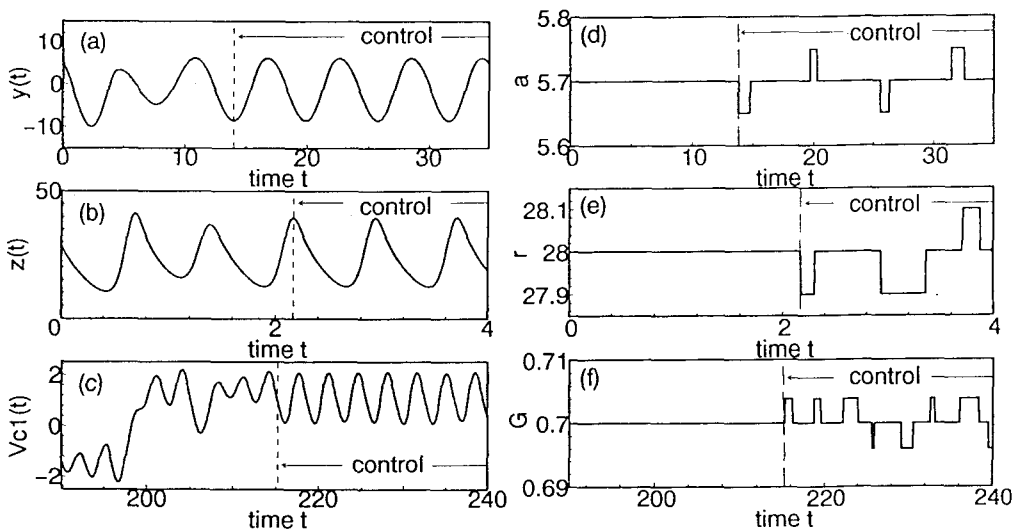


Figure 6: The wave forms ((a)~(c)) and the accessible system parameter ((d)~(f)) at which controlling chaos is achieved. (a),(d) The Rossler equations. (b),(e) The Lorenz equations. (c),(f) Chua's circuit.

one can control chaotic motions by choosing the suitable constant value k .

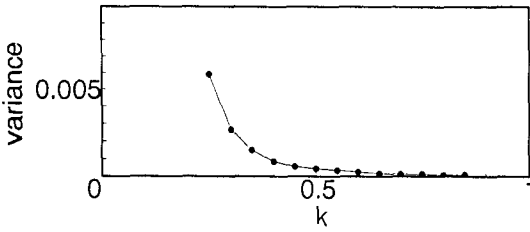


Figure 7: The variance of the stabilized orbits of the Rössler equations versus the constant value k .

In this switching method a stabilized orbit fluctuates a little about the unstable periodic orbit one wants to stabilize (of course it also fluctuates in the OGY and OPF methods). We calculate the variance of the fluctuations of the stabilized orbit as the control ability for this switching method, and investigate the relationship between the constant value k and the variance. Figure 7 shows the variance of the stabilized orbit of the Rössler

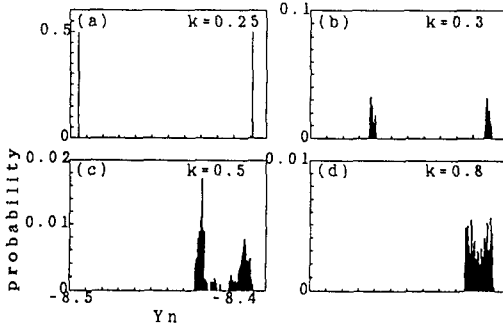


Figure 8: The probability distributions of the stabilized orbits of the Rössler equations for each k . (a) $k=0.25$. (b) $k=0.30$. (c) $k=0.50$. (d) $k=0.80$.

equations for each constant value k . There is an exponential decrease. It presents that as the constant value k increases, fluctuations of the stabilized orbit decreases. The variance approaches zero at $k \sim 0.85$, but one cannot control at which k slightly exceeds 0.873. Therefore we consider that $k \sim 0.7$ is the best value for controlling the chaotic motion of the Rössler equations. Figure 8 indicates the probability distributions of the stabilized orbit at each constant value k . Figure 8(a) represents that, for $k \sim 0.25$, the chaotic motion is stabilized on a period-2 orbit very closed to the

period-1 unstable orbit. As the value of k increases, the stabilized orbit approaches the period-1 unstable orbit and its fluctuations become small (Figs.8(b) ~ (d)). In the case of the Lorenz equations, the variance abruptly increases at $k \sim 0.8$ as shown in Fig.9. There are two steady states at k . Figure 10 indicates the probability distributions of the stabilized orbit at each steady state. From these figures we consider that, for $k \in [0.3, 0.7]$, one can control the chaotic motion of the Lorenz equations with good ability.

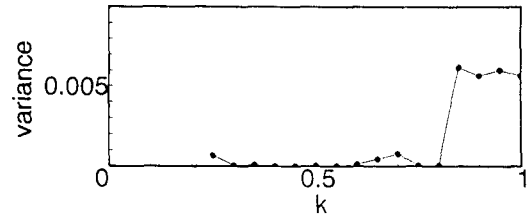


Figure 9: The variance of the stabilized orbits of the Lorenz equations versus the constant value k .

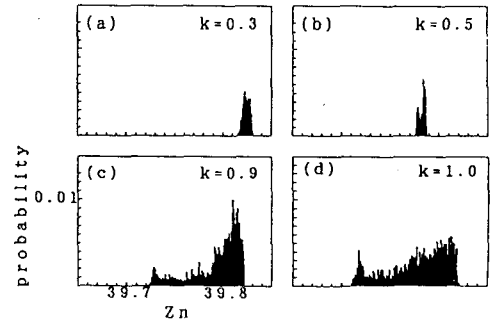


Figure 10: The probability distributions of the stabilized orbits of the Rössler equations for each k . (a) $k=0.30$. (b) $k=0.50$. (c) $k=0.90$. (d) $k=1.00$.

5. Conclusion

In this paper we have presented that chaotic motions in time-continuous dynamical systems can be controlled with the switching method. Compared to the OGY and OPF methods, the switching method has one advantage and two disadvantages.

The advantage is that the switching method needs not carefully perturbations of the amplitude of the accessible system parameter. For most of physical systems, it is very difficult that one carefully perturbs an accessible parameter in a small parameter range. However, In this

switching method, chaotic motions in physical systems can be controlled by switching the parameter to the only three closed values.

One of the disadvantages is that, in a system without a periodic external force, one has to estimate the period T of the unstable periodic orbit one wants to stabilize. However, it is easy that one estimates it roughly by averaging the times of the chaotic orbit near the unstable periodic orbit to return the Poincaré section. Another disadvantage is that the constant value k cannot be determined theoretically. If the dynamical equation of a physical system is known, the constant value k can be determined by examining the detail characteristics of the UPO one wants to stabilize, but it is very difficult and not practical. We confirm that chaotic motions in the Rössler and the Lorenz equations can be stabilized with the constant value k in a relatively wide range. Furthermore, the relationship between the constant value k and the control ability for this switching method is investigated with the variance of fluctuations of the stabilized orbit.

In this paper we have proposed the switching method based on the OPF method, and described that low-dimensional chaotic motions in the Rössler, the Lorenz equations, and Chua's circuit can be controlled with the switching method. We think that chaotic motions except for low-dimensional chaos can be also controlled with a switching method based on the OGY method. We can say that, for physical systems, this switching method is the most useful and practical of all methods which have been proposed.

Acknowledgments

The authors gratefully acknowledge the support of Prof. Youji Takeda (University of Osaka Prefecture). One of the authors, K. Konishi, would like to thank Dr. Yoshiaki Shirao, Dr. Hiroaki Kawabata, Dr. Yoshio Inagaki (University of Osaka Prefecture), Prof. Masya Hirata (Osaka Prefectural College of Technology) and Mr. Toshikuni Nagahara (University of Osaka Prefecture) for their useful discussions about chaotic

dynamics and warm encouragement.

References

- [1] J.M.T. Thompson and H.B. Stewart, *Nonlinear dynamics and chaos*, Springer-Verlag, 1989.
- [2] J. Guckenheimer and P. Holmes, *Nonlinear oscillations, dynamics system, and bifurcation of vector fields*, Springer-Verlag, 1983.
- [3] P. Berge, Y. Pomeau and C. Vidal, *Order with chaos towards a deterministic approach to turbulence*, Wiley and Sons, New York, 1984.
- [4] M.J. Feigenbaum, The universal metric properties of nonlinear transformations, *J. Stat. Phys.*, 21, 669 (1979).
- [5] M.J. Feigenbaum, Universal behavior in nonlinear systems, *Los Alamos Science*, 1, 4 (1980).
- [6] J. Stavanace, F. Heslot and A. Libchaber, Fixed winding number and the quasiperiodic route to chaos in a convective fluid, *Phys. Rev. Lett.*, 55, 596 (1985).
- [7] T. Bohr, P. Bak and M.H. Jensen, Transition to chaos by interaction of resonances in dissipative system 2. Josephson junctions, chargedensity waves, and standard maps, *Phys. Rev.*, A30, 1960 (1984).
- [8] M.H. Jensen, L.P. Kadanoff, A. Libchaber, I. Procaccia and J. Starams, Global universality as the onset of chaos: Results of a forced Rayleigh-Benard experiment, *Phys. Rev. Lett.*, 55, 2798 (1985).
- [9] T.C. Halsey, M.H. Jensen, L.P. Kadanoff, I. Procaccia and B.I. Shraiman, Fractal measures and their singularities, *Phys. Rev.*, A33, 1141 (1986).
- [10] E. Ott, C. Grebogi and J.A. Yorke, Controlling chaos, *Phys. Rev. Lett.*, 64, 1196 (1990).
- [11] F.J. Romeiras, C. Grebogi, E. Ott and W.P. Dayawansa, Controlling chaotic dynamical systems, *Physica D*, 58, 165 (1992).
- [12] E. Ott, C. Grebogi and J.A. Yorke, *CHAOS/XAOC*, 153, AIP, N.Y. (1990).
- [13] T. Shinbrot, C. Grebogi, E. Ott and J.A. Yorke, Using small perturbations to control chaos, *Nature*, 363, 411 (1993).

- [14] W.L.Ditto, S.N.Rauseo and M.L.Spano, Experimental control of chaos, *Phys.Rev.Lett.*, 65,3211(1990).
- [15] B.Peng, V.Petrov, and K.Showalter, Controlling chemical chaos, *J.Phys.Chem.*, 95,4957 (1991).
- [16] V.Petrov, B.Peng, and K.Showalter, A map-based algorithm for controlling low-dimensional chaos, *J.Chem.Phys.*, 96,7506(1992).
- [17] E.R.Hunt, Stabilizing high-period orbit in a chaotic system: The diode resonator, *Phys.Rev.Lett.*, 67,1953(1991).
- [18] R.Roy, T.W.Murphy, Jr.T.D.Maier and Z.Gills, Dynamical control of a chaotic laser: Experimental stabilization of a globally coupled system, *Phys.Rev.Lett.*, 68,1259(1992).
- [19] K.Konishi, Y.Shirao, H.Kawabata, M.Hirata, T.Nagahara and Y.Inagaki, Chaotic phenomena in the Maxwell-Bloch equations with time delay, *IEICE Trans.Fundamentals.*, E75-A,1747(1992).
- [20] K.Konishi, Y.Shirao, H.Kawabata, T.Nagahara and Y.Inagaki, Controlling Chaos in the Maxwell-Bloch equations with time delay, *Proceeding of the 1993 IEICE Spring Conference*, A-78 (in Japanese).
- [21] K.Konishi, Y.Shirao, H.Kawabata, T.Nagahara and Y.Inagaki, Controlling Chaos in the Maxwell-Bloch equations with time delay, *IEICE Trans.Fundamentals.*, E76-A,1121 (1993).
- [22] N.J.Mehta and R.M.Henderson, Controlling chaos to generate aperiodic orbits, *Phys.Rev.*, A44,4861(1992).
- [23] U.Dressler and G.Nitsche, Controlling chaos using time delay coordinates, *Phys.Rev.Lett.*, 68,1(1992).
- [24] G.Nitsche and U.Dressler, Controlling chaotic dynamical systems using time delay coordinates, *Physica D*, 58,153(1992).
- [25] D.Auerbach, C.Grebogi, E.Ott and J.A.Yorke, Controlling chaos in high dimensional systems, *Phys.Rev.Lett.*, 69,3479(1992).
- [26] T.Matsumoto, L.O.Chua, and M.Komuro, The double scroll, *IEEE Trans.CAS*-32,789 (1985).

1 / f ゆらぎ照明に関する考察

土井 滋貴・高橋 晴雄

Study on 1/f - Fluctuations for Illumination

Shigeki DOI and Haruo TAKAHASHI

より快適な生活環境をめざし、照明を1/f ゆらぎという視点から考察する。たとえば伝統的な照明は暖炉、ろうそく、あんどん、ガス燈など炎を用いたものであり、それらはすべてゆらぎのイメージがある。諸実験から、これらの伝統的な照明には1/f ゆらぎの要素が少なからず存在することがわかった。更に1/f ゆらぎを人工的に付加した人工照明に関しても、生体に1/f ゆらぎの影響が反映されることがわかった。

1. はじめに

より快適な生活環境を考えると、普段の生活に深く入り込んだ科学技術のために再考をすることすら忘れてしまった根拠のあいまいな技術的な常識が多数存在することに気づく。例えば、一定に保たれる空調の温度や湿度、室内の照度、統一的な壁の色彩、意匠等。

これらはちらつきやむらや歪みといったものを常に排除する方向にしかベクトルの向かない技術の産物であるが、誰もがそれらの方向性を疑わなかった。しかし真の快適さを得るためにはこのような方向性は考え直さなければいけない。ここではそれらの中で、照明に注目し、新しい試みを行ったので報告する。

2. 自然光源の1/f ゆらぎの観察

前述の状況を再考する1つの方向に1/f ゆらぎという視点がある。1/f ゆらぎとは、ある事象の強度等の量として表される振る舞いの時間的な変化に注目したとき、その量の周波数スペクトルの分布が周波数と逆比例関係にあるものをいう。自然界の現象は大半が1/f ゆらぎの傾向を示すとされている。

そのような視点で生活の場での照明を再考すると、たとえば暖炉、ろうそく、あんどん、ガス燈など炎を用いたものが存在し、それらはすべていくらかのゆらぎのイメージがあることに気づく。また昼間の自然光つまり太陽光についても雲による遮光があり、ゆらいでいる。実際これらの光源を計測すると確かに1/f ゆらぎになっていることが確かめられた。その1例としてろうそくの炎の観察結果を示す。

観察実験は暗室においてろうそくを灯し、その炎をビデオカメラで撮り、計算機に画像情報として取り込み分析した。取り込みの仕様は以下のようである。

1 画素	: 6ビット諧調×3色
	3 バイト
1 フレーム	: 縦48画素×横32画素
	4,608バイト
フレーム間隔	: 50ミリ秒
1 カット	: 1024フレーム
	51.2秒
	4,718,592バイト

図1は取り込んだ画像から計算した輝度を時間軸のグラフにしたものである。ここでの輝度は個々画素の値を合計したものとしている。

このデータをフーリエ変換しパワースペクトルにしたものを図2に示す。図2での縦軸横軸は対数で取られている。傾きが-1となり、 $1/f$ ゆらぎの性質がよく現れている。

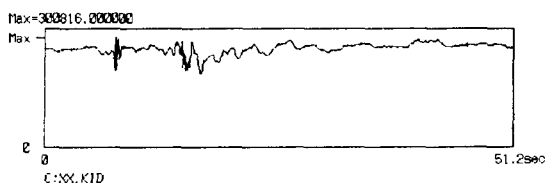


図1 ろうそくの炎の輝度

炎の色についても観察する。図3は画像データを x y 色度図に表したものである。ここでの x y 色度図は等色関数は省略し、式に示すように、そのまま R , G , B の値を $R+G+B$ の値で割って計算している。

$$x = R / (R + G + B) \quad \text{式}$$

$$y = G / (R + G + B)$$

R , G , B は0から63までの離散量

分布の状態は色温度の軌跡の一部となっている。

ここで計算される x の値について、フーリエ変換を行い、周波数軸で表現したものが図4である。このグラフ

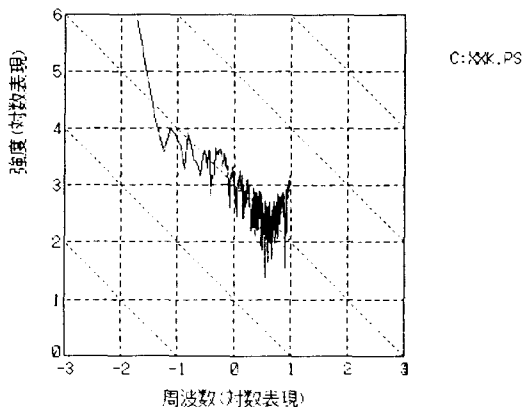


図2 ろうそくの炎の輝度のパワースペクトル

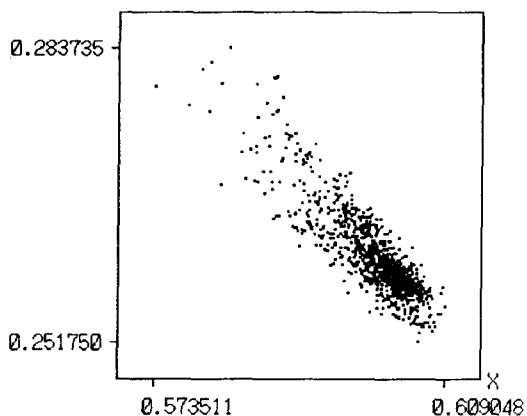


図3 ろうそくの炎の色度図

も $1/f$ ゆらぎの傾向がよく現れている。つまり炎はその色についても、 $1/f$ ゆらぎでゆらいでいることがわかる。

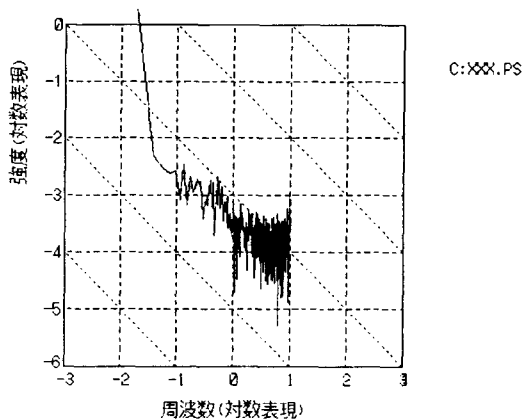


図4 ろうそくの炎の色(r 成分)の比率の時間的なパワースペクトル

輝度と色について観察したが、動きはどうだろうか。画像データから炎の輪郭を計算し、重心をもとめ、その移動について調べる。図5は重心の横方向、図6は縦方向の位置をフーリエ変換し周波数成分を表したものである。ともにこれらも $1/f$ ゆらぎの傾向があることがわかる。

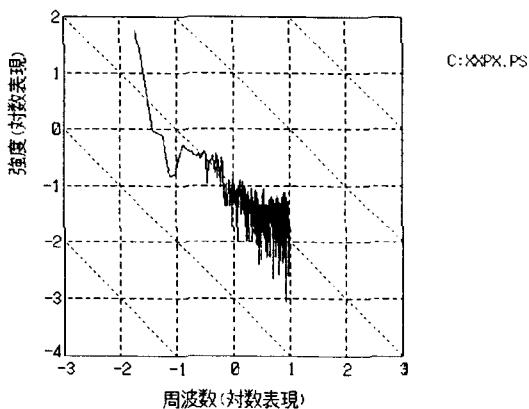


図5 ろうそくの炎の動き（縦方向）
時間的なパワースペクトル

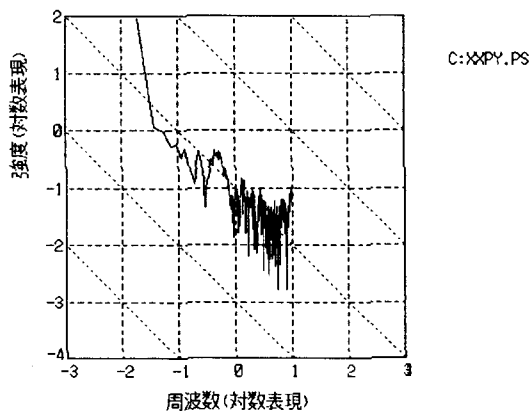


図6 ろうそくの炎の動き（縦方向）
時間的なパワースペクトル

3. 照度の1/fゆらぎの再現と評価

次にこれらのゆらぎの再現を考える。

1/f ゆらぎ信号を発生させるにはいくつかの手法があるがここでは図7にします。一様乱数をフィルタリングして1/f ゆらぎ信号の生成を試みた。

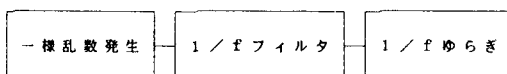


図7 1/f ゆらぎ信号の生成方法

図8は一様乱数、図9は1/f フィルタを通過したあとの乱数のパワースペクトルである。スペクトルの形状から見ると、いままで見てきた自然現象から発生する1/f ゆらぎとかわらない。

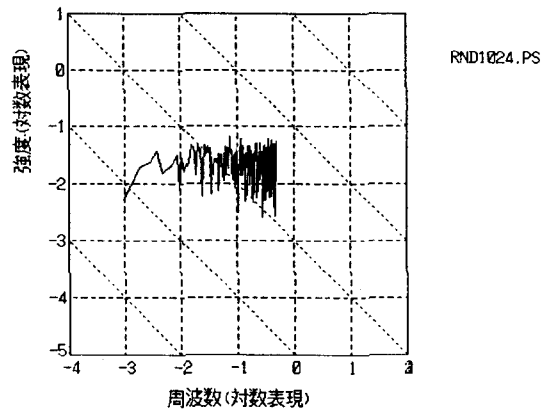


図8 一様乱数のパワースペクトル

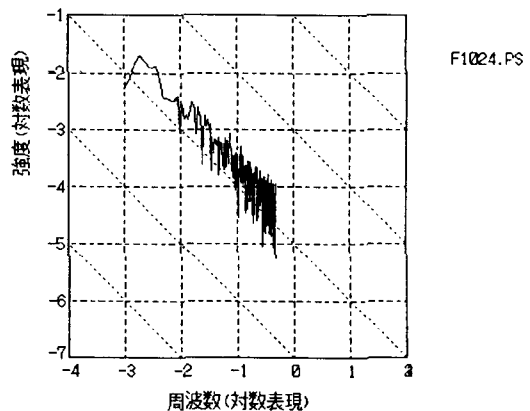


図9 1/f フィルタを施したあとの
乱数のパワースペクトル

この乱数を加工して生成した1/f ゆらぎ信号を使って白熱電球の供給電力を制御し、白熱電球の点灯輝度を制御してみる。白熱電球の輝度をろうそくと同様の方法で画像計測し、そのデータから輝度を計算する。図10が輝度の時間軸のグラフ、図11がパワースペクトルである。輝度が1/f ゆらぎになっているのがわかる。

最後にこれらの照明環境下で生体的な影響を調べる。図12はのべ20人の被験者による各照明環境下における心拍数を調べたものである。実験は同一種類の照明環境下

で休憩をとりながら合計10分間の心拍数を計測する。

平均照度の違いによる影響があるにしろ、 $1/f$ ゆらぎ制御を行った照明環境下での心拍数がろうそくの照明の場合について少ない心拍数になっている。

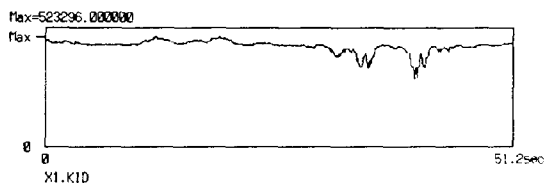


図10 $1/f$ ゆらぎ制御された白熱電球の輝度

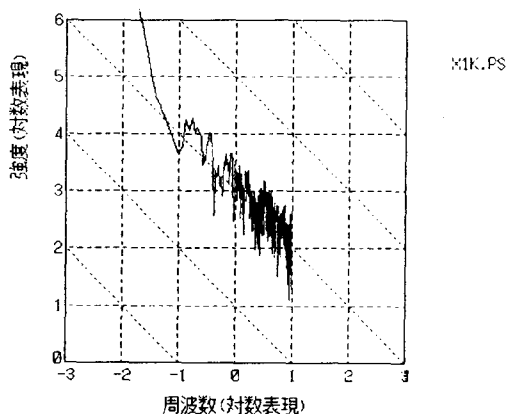


図11 $1/f$ ゆらぎ制御された白熱電球の輝度の時間的パワースペクトル

4. まとめ

諸実験から、ろうそくなど伝統的な照明には $1/f$ ゆらぎの要素が少なからず存在することがわかった。 $1/f$ ゆらぎを人工的に付加した人工照明に関しても、生体に $1/f$ ゆらぎの影響が反映されることがわかった。

参考文献

- 1) 土井他：1/f揺らぎ照明の基礎実験
平成4年電気関係学会関西支部連合大会
- 2) 土井他：1/fゆらぎ照明制御の実験
平成5年電気学会全国大会

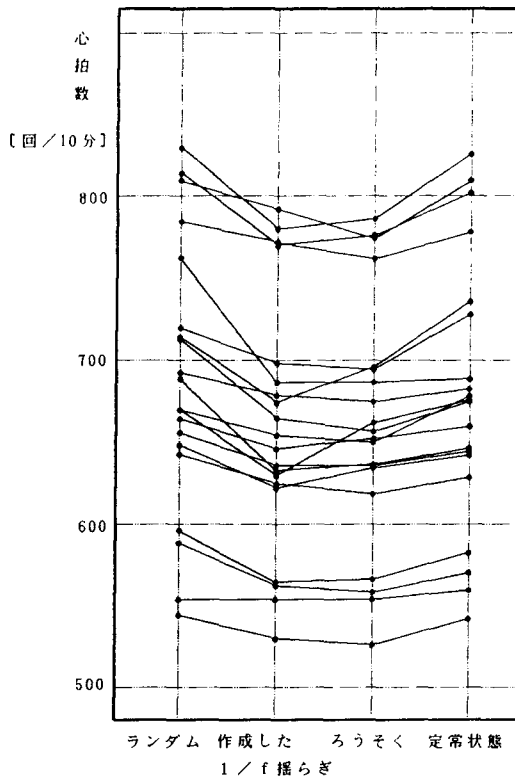


図12 各照明環境下における心拍数

書写技能に基づく特性値を用いた筆者照合

中 村 善 一

Automatic Writer Verification
Using Parameters Derived from Calligraphic Skills

Yoshikazu NAKAMURA

情報化社会の進展に伴いコンピュータによる個人識別技術の確立が期待されている。本論文では、筆跡に個人性が現れるのは個人が習得している書写技能に差があるためと考え、書写技能に基づく特性値を用いた筆者照合を提案し、その有効性を実験により検証する。10人の筆者がタブレット上の一定枠内に書いた片仮名4文字のデータ（各人100個）に対して照合実験を行った。その結果、誤棄却率14.2～8.0%、誤照合率0.022%～0.18%となり、書写技能に基づく特性値による筆者照合が有効であることが明らかになった。

1. まえがき

現代社会において、銀行におけるATM、CDや各種クレジットカードの利用、あるいは特定場所への入退室管理など、個人識別が必要な場面が著しく増えており、コンピュータを用いた迅速かつ正確な識別技術の確立が期待されている。コンピュータを用いた個人識別の一つとして、筆跡に個人性が現れることを利用した筆者認識がある。

筆者認識の研究は主に欧米でオンライン署名照合を中心に行われており、これらには筆跡の動的情報（座標、速度、加速度、筆圧などの時系列データ）を直接照合するものと、動的情報から特徴量を抽出し照合するものがある⁽¹⁾。日本においても最近筆跡の動的情報を用いた署名照合の研究が行われている^{(2)～(5)}。しかし、署名照合においては照合率の高さが問題となり、筆跡のどのような特性に個人差があるのか、またそれら特性が個人内でどの程度変動するのかについては明らかにされていない。筆者の知る限り、タブレットよりオンライン入力された筆跡、特に日本文字に対して文字の形態やペンの動きを含めてどのような特性に個人性が現れるかを検討した例はない。

そこで筆者は、筆跡に個人性が現れるのは各個人が習得している書写技能に個人差があるためであると考え、書写技能に基づいて機械的に抽出できる特性値を定義し、それら特性値が個人間で差があることを、タブレットよりオンライン入力された筆跡データに対して実験的に明らかにし、その結果を報告している⁽⁶⁾。

本論文では、この結果を踏まえて、書写技能に基づく特性値を用いた筆者照合の可能性を照合実験により検討したので報告する。以下、2.で書写技能に基づく特性値を定義し、3.で筆者照合実験を行った結果と検討について述べる。

2. 書写技能に基づく特性値の定義

筆跡に個人性が現れる主な要因は、書字学習の過程で生じた書字習慣の差であると考えられる。すなわち、我々は小学生の頃より書写教育に親しみ、より正しく美しい文字を書くための練習が繰り返され、その中で書き癖が固定され、恒常的な個人性が筆跡の中に現れる。従って、書写技能に基づいて機械的に抽出可能な特性値を定義する。

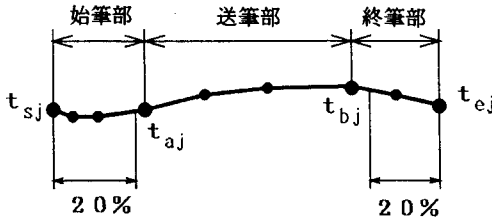


図1 点画の分解

で表す。ここで、 $(x(t), y(t))$ は枠の左上隅を原点としたペンの座標位置を表す。また、 $p(t)$ はペンのアップ・ダウン情報を表し、ペンダウンの時1、ペンアップの時0となる。 t はサンプリングの番号を表す整数であり、 N は総サンプリング数である。更に、サンプリング間隔を時間の単位としたときのペンの速度を、

$$v(t) = \left\{ (x(t+1) - x(t))^2 + (y(t+1) - y(t))^2 \right\}^{1/2} \quad (2)$$

と定義する。

ペンのダウンからアップまでを点画、アップからダウンまでを空画とする。 j 番目の点画の始点を $(x(t_{sj}), y(t_{sj}))$ 、終点を $(x(t_{ej}), y(t_{ej}))$ で表す。また、点画は始筆部、送筆部、終筆部に次のように分解する。始点からの長さが、点画の長さの20%を初めて越える点 $(x(t_{aj}), y(t_{aj}))$ までを始筆部とする。同様に、終点から始点へ向かっての長さが、点画の長さの20%を初めて越える点 $(x(t_{bj}), y(t_{bj}))$ までを終筆部とする。従って、残りの部分が送筆部となる。但し、点画の長さは座標点列を直線で結んでいった距離である。図1に点画の分解の様子を示す。

一字の造形特性を表す点画の始点位置・方向・長さに関しては、文字の大きさに依存せずに定義する。そこで、外接矩形の縦横の長さを1に正規化し、外接矩形の中心を原点とする座標系に変換する。変換後の $x(t), y(t)$ を、それぞれ $x^*(t), y^*(t)$ で表すことにする。

なお、以下の定義において、添え字 i は文字と字間の番号を、添え字 j は点画と空画の番号を表す。

2.2.1 造形法に関する特性値

- (1) 天地左右のあき: B_t, B_b, B_l, B_r

図2のように定義する。

- (2) 字間: L_i

図2のように定義する。

- (3) 文字の中心位置: (x_{ci}, y_{ci})

外接矩形の中心座標 (x_{ci}, y_{ci}) で定義する。

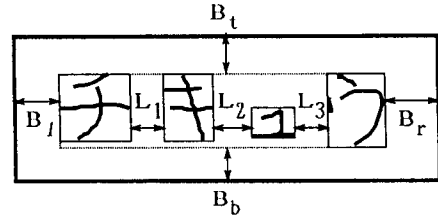


図2 天地左右のあきと字間

- (4) 文字の大きさ: S_i

$$S_i = W_i \times H_i \quad (3)$$

但し、 W_i, H_i は、それぞれ外接矩形の幅と高さである。

- (5) 文字の縦横比: R_i

$$R_i = W_i / H_i \quad (4)$$

- (6) 点画の始点位置: (x_{sj}, y_{sj})

$$x_{sj} = x^*(t_{sj}), \quad y_{sj} = y^*(t_{sj}) \quad (5)$$

- (7) 点画の方向: $T\theta_j$

点画の始点、終点間を結ぶ直線の方法で定義する。

- (8) 点画の長さ: Tl_j

$$Tl_j = \sum_{t=t_{sj}}^{t_{ej}-1} \left\{ (x^*(t+1) - x^*(t))^2 + (y^*(t+1) - y^*(t))^2 \right\}^{1/2} \quad (6)$$

2.2.2 用筆法に関する特性値

- (1) 点画の平均速度: Tv_j

$$Tv_j = \frac{\sum_{t=t_{sj}}^{t_{ej}-1} v(t)}{t_{ej} - t_{sj}} \quad (7)$$

- (2) 空画の方向: $K\theta_j$

点画の終点と次の点画の始点を結ぶ直線の方法として定義する。

- (3) 空画の長さ: Kl_j

$$Kl_j = \left\{ (x(t_{sj+1}) - x(t_{ej}))^2 + (y(t_{sj+1}) - y(t_{ej}))^2 \right\}^{1/2} \quad (8)$$

- (4) 空画の速度: Kv_j

$$Kv_j = Kl_j / (t_{sj+1} - t_{ej}) \quad (9)$$

- (5) 始筆部方向: $SI\theta_j$

点画の始点と始筆部の終点を結ぶ直線の方法で定義する。

- (6) 始筆部平均速度: SIv_j

$$SIv_j = \frac{\sum_{t=t_{aj}}^{t_{bj}-1} v(t)}{t_{bj} - t_{aj}} \quad (10)$$

(7) 送筆部方向: $SO\theta_j$

送筆部の始点と終点を結ぶ直線の方角で定義する。

(8) 送筆部平均速度: SOv_j

$$SOv_j = \frac{\sum_{t=t_{aj}}^{t_{bj}-1} v(t)}{t_{bj} - t_{aj}} \quad (11)$$

(9) 終筆部方向: $SY\theta_j$

終筆部の始点と終点を結ぶ直線の方角で定義する。

(10) 終筆部平均速度: SYv_j

$$SYv_j = \frac{\sum_{t=t_{bj}}^{t_{ej}-1} v(t)}{t_{ej} - t_{bj}} \quad (12)$$

3. 照合実験

3.1 実験に用いるデータ

実験に用いるデータは、10人の筆記者が、タブレット上に置いたデータ用紙の枠内(12mm×60mm)に、「チキュウ」という文字を筆記したものであり、各人からそれぞれ100個収集した(同時に10個を日を変えて10回収集)。データは、コードレスのスタイラスペン(ボールペン芯)を持つタブレットより、0.1mm/point, 100 points/secで入力した。図3にデータの一部を示す。

なお、奇数番目のデータを学習サンプル、偶数番目をテストサンプルとして用いる。

3.2 照合の方法

照合は、分散の逆数で重み付けしたユークリッド距離を用いて行った。未知サンプルの筆者*i*に対する距離を

$$D_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m \frac{(f_j - \mu_{ij})^2}{\sigma_{ij}^2}}{m}} \quad (13)$$

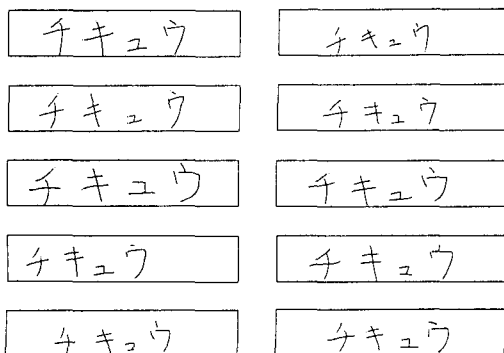


図3 実験に用いたデータの例

m : 特性値の数

f_j : 未知サンプルの*j*番目の特性値

μ_{ij}, σ_{ij}^2 : 学習サンプルより求めた筆者*i*の*j*番目の特性値の平均と分散

で計算し、この D_i があるしきい値 T_i に対して、 $D_i \leq T_i$ ならば受理し、 $D_i > T_i$ ならば棄却する。

具体的な T_i の設定は、学習サンプルに対して(13)式で定義される距離を求め、その平均と標準偏差を D_{mi}, D_{si} とし、

$$T_i = D_{mi} + w \cdot D_{si} \quad (14)$$

とする。ここで w は重み係数である。

3.3 実験の方法

10人の筆者それぞれについて、その筆者のテストサンプルを自筆、他の9人のテストサンプルを偽筆として実験を行う。従って、自筆500個、偽筆4500個となる。

実験に使用する特性値は、その種類による照合率の違いを検討するため、①造形法(特性値の数67個)、②用筆法(特性値の数107個)、③全特性値(特性値の数174個)の3種類とした。また、重み係数 w を1.0から4.0まで0.5刻みに変化させて実験した。

3.4 実験の結果と検討

図4に照合実験の結果を示す。この結果から以下のことがいえる。

自筆を誤って棄却する誤棄却率 P_1 を見ると、造形法が用筆法、全特性値にくらべ低くなっている。このこと

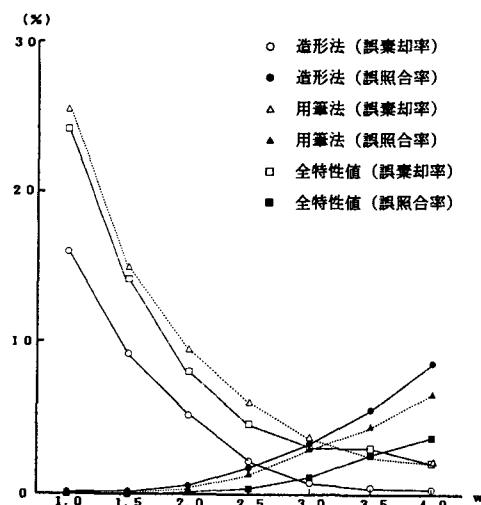


図4 照合実験結果

は、造形法に関する特性値が用筆法にくらべ安定しており自筆の距離 D_i の広がり小さいことを意味する。

逆に、偽筆を誤って受理する誤照合率 P_2 は、用筆法が造形法よりも低くなっている。このことは、用筆法に関する特性値が造形法にくらべ自筆と偽筆の間で差があり、互いの距離 D_i の平均が離れているためと考えられる。全特性値の P_2 は用筆法よりも更に低くなっており、造形法と用筆法を組み合わせる効果が認められる。

次に総合的な照合率を評価する。 P_1 と P_2 がほぼ等しくなる w の値とそのときの P_1 , P_2 は、

造形法 $w = 2.5$, $P_1 = 2.2\%$ $P_2 = 1.89\%$

用筆法 $w = 3.0$, $P_1 = 3.8\%$ $P_2 = 3.02\%$

全特性値 $w = 3.5$, $P_1 = 3.0\%$ $P_2 = 2.64\%$

であり、造形法が1%程度低くなった。しかし、実際の筆者照合を考えた場合、 P_1 はある程度高くても再試行により救済できるが、 P_2 は犯罪に直結するため可能な限り0%に近づける必要がある。このことを考慮に入れると、全特性値を用いる場合が最も良く、 $w = 1.5 \sim 2.0$ で $P_1 = 14.2\% \sim 8.0\%$, $P_2 = 0.022\% \sim 0.18\%$ という良好な値を得た。

以上の結果より、本論文で定義した書写技能に基づく特性値は筆者照合に有効であることが確かめられた。また、今回の実験が片仮名を使用していることを考慮すると、より個人性が現れると考えられる漢字を用いることにより更に高い照合率が期待できる。

4. むすび

書写技能に基づく特性値を用いた筆者照合実験を行った。その結果、造形法に関する特性値、用筆法に関する特性値、全特性値を用いた場合のいずれにおいても良好な照合率が得られた。特に誤棄却は救済できるが誤照合は犯罪に直結するという立場で考えた場合、全特性値を用い誤棄却率14.2%~8.0%, 誤照合率0.022%~0.18%という結果を得た。この結果は、比較的個人性が現れにくい片仮名であることを考慮すれば十分満足のいくものといえる。

今後の課題として、しきい値の自動決定法、精巧な偽筆への対応を検討し実用的な個人識別システムを確立することが挙げられる。

文 献

- (1) Plamondon R. and Lorette G.: "Automatic Signature Verification and Writer Identification - The State of the Art", Pattern Recognition, 22,2, pp.107-131 (1989-02).
- (2) 田口英郎, 桐山公一, 田中永二, 藤井克彦: "ペンの動きに着目したオンライン署名識別法", 信学論(D), J71-D, 5, pp. 830-840 (1988-05).
- (3) Yoshimura M., Kato Y., Matsuda S., and Yoshimura I.: "On-line Signature Verification Incorporating the Direction of Pen Movement", IEICE Trans., E74, 7, pp.2083-2092 (1991-07).
- (4) 李永鎬, 金太均, 安居院猛, 中嶋正之: "木マッチングによる英字署名識別に関する研究", 信学論(D), J75-D-II, 1, pp.31-38 (1992-01).
- (5) 金長吉, 渡辺正晴, 川嶋稔夫, 青木由直: "非公開パラメータに基づくオンライン署名照合", 信学論(D), J75-D-II, 1, pp.121-127 (1992-01).
- (6) 中村善一, 豊田順一: "書写技能に基づく筆跡の個人性の計測", 1992年信学秋季全大, D-319.
- (7) 近藤弘文, 宮崎葵光, 山口操風: "小学校実践書写指導", 東京書籍 (1990).

インテリジェントなパソコン通信システムの開発

成田 紘一・濱田 敏広*

Development of the Intelligent PC Communication System

Hirokazu NARITA and Toshihiro HAMADA

本論文は、電話回線とイーサネット回線の両方をサポートするパソコン通信用の端末側システムの開発について述べられたものである。電話回線への接続は、パソコン通信用の端末側システムの RS-232C 回線によりモデムを経由して行われる。イーサネット回線への接続のために LAN コントローラを使用したインターフェイスが新しく開発された。ソフトウェアは当研究室で既に開発されているパソコン通信用端末ソフトを拡張することにより作成された。本システムの開発は本校の教育用電子計算機室のイーサネット回線や各種のパソコン通信センターに接続して行われた。通信結果から、本システムは既存の電子メールやパソコン通信に十分使用可能であることが分かった。

1. まえがき

パーソナルコンピュータすなわちパソコン(PC)も、最近では、ワープロ、簡易言語、簡易データベース等の使用以外に、各種データベースセンターからのネットワークを通じての情報収集やパソコン通信センターへ接続しての電子掲示板や電子伝言板、電子メール等の端末機として使用されるようになってきた。特に、会員制のパソコン通信センターの会員数は全国で百万人以上といわれている。

ところで、UNIX を OS とするワークステーション (WS) も高スピード化し、また安価になってきたので多数の機種が各所で使用されるようになってきた。それに伴ってダウンサイジングが進み、LAN によりそれらを総合的に接続したネットワークシステムが発達してきた。また、これらの LAN を広域的に接続する広域ネットワーク (WAN) も、最近、特に急速な発達をしてきている。そして、全国規模の電子メールシステムも各所で構築されてきている。パソコンも LAN に接続し、これらの WAN を利用できるようになってきている。

また、LAN は一般にイーサネット回線を利用したものが多く、本校にもこの回線が設置されている。

パソコンを通信センターへ接続するためには、一般的には、モデムを使って電話回線を利用することが多い。そのため、パソコンを各種センターへ接続して使用するためのソフトが開発されてきている。例えば、市販のものとしては「まいと〜く」、「CCT98」などがあり、フリーソフトとしては「WTERM」等がある。一方、イーサネットに接続するためには、パソコンがイーサネット用のインターフェイスを標準に持っていないことより、このインターフェイスが各種の拡張ボードとして市販されており、それらを使って情報センターへ接続するためのソフトもこれまた多数のものが市販されてきている。

パソコンを情報センターへ接続して利用する状況は上記のような環境状態にあるが、その利用形式は電話回線を使用した場合も、LAN 回線を使用した場合もほぼ同様な形態であるにもかかわらず、市販のシステムは別ソフトになっており、使用者にとっては甚だ不便な状態にある。そこで、我々は電話回線と LAN 回線の両方をサポートするハードも含んだパソコン用の通信システムを開発したので報告する。

*香川県工業技術センター

2. ネットワークインターフェイスの開発

パソコンを電話回線に接続するためにはモデムを必要とするが、モデムとパソコンの接続にはRS-232C回線を必要とする。しかしながら、この回線はパソコンには標準装備されているので、このシステムではそれを使用することにした。もう一つのLAN回線、ここではイーサネット回線を考えているが、このインターフェイスはパソコンには標準装備されていない。そのため、各種のメーカーからこのインターフェイスがオプションボードとして市販されているが、そのファームウェア等の内容が公開されていないため、使用者が独自でソフトウェアを作成することは困難である。そこで、我々はパソコンPC 9801シリーズ用のイーサネットインターフェイスを製作した。使用されたLANコントローラ用のLSIはMB 86950である。また、対象ネットワークの物理接続は10 BASE -5とした。使用LSIの特徴を下記に示す。

- ・システムバスデータ転送レートは20Mbytes/sec
 - ・内蔵バッファマネージメントによりソフトウェアのオーバーヘッドの低減
 - ・64グループのマルチキャスト・アドレス・フィルタ機能の内蔵
 - ・10Mbpsマンチェスタ・エンコーダ/デコーダの内蔵
- このコントローラはトークンリンク方式のStarLAN (1BASE5) と、IEEE802.3に準拠しているCSMA/CD方式のイーサネット (10BASE -5) の両方を制御できるが、ここでは情報センターマシンのOSをUNIXと考えているのでイーサネット方式として使用した。

このLANコントローラをイーサネット方式として利用するためイーサネットエンコーダ/デコーダであるMB86951をMB86950に接続した。設計されたインターフェイスはPC9801シリーズの拡張ボードバス接続できるよう製作された。

デバイスドライバ作成では汎用性・拡張性を持たせることを最重要課題と考えた。現在のところネットワークプロトコルとしてはTCP/IPが主流である。しかし、この規格を満足するドライバを新しく開発することは大きな労力が必要である上に、本研究の主眼でもない。そこで、本研究では今後のプロトコルの変化にも対応できるよう、プロトコルドライバの下位にあるMLDI (Mac Level Driver Interface) ドライバを作成し、これをプロトコルドライバと切り放した。そして、プロトコルドライバとしてはアスキー社のInetBIOSを採用した。ネットワークインターフェイスのソフトウェアの階層構造を図1に示す。

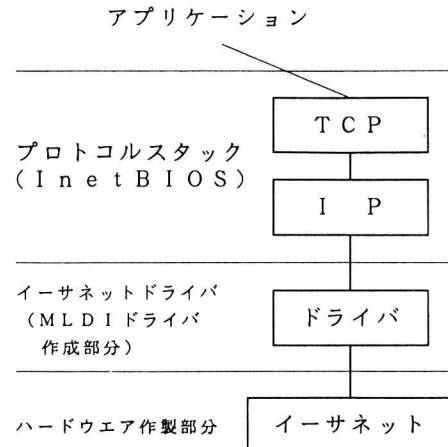


図1 デバイスドライバの階層構造

作成したMLDIドライバは約9 Kバイトであったが、これをMS-DOS上でフロントエンドプロセッサと共に常駐させても本研究で開発されたシステムの実行にはさしつかえなかった。

製作したインターフェースボードを図2に示す。

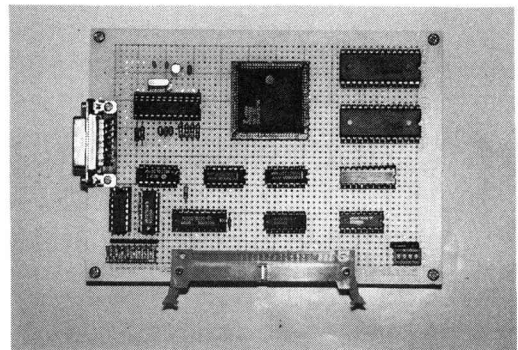


図2 製作されたインターフェースボード

3. システムの機能概要

本システムの開発目的の一つは、コンピュータの扱いに馴れていない人でも容易に通信ネットワークを使用できるようにすることである。そのため、マンマシーンインターフェイスの優れたシステムを構築するため、パソコンの操作も、できるだけキーボードを使用しなく、マウスでもって処理できるよう設計された。本システムは筆者の一人によって既に開発されているパソコン通信ソフト「飛火野」の内容を拡張したものである。設計された機能の主たるものについて以下に述べる。

3.1 回線接続機能

この機能は、パソコンを電話回線やイーサネット回線を使用して情報センターに接続し、センターの端末として利用する機能である。電話回線使用時は無手順で接続されるが、イーサネット回線の場合は、前章で述べたごとく TCP/IP プロトコルが使用される。パソコンやワークステーションをイーサネット回線で接続する場合、TCP/IP プロトコルを使った Telenet 等の端末機能が使用できるが、ここでは、Telenet と同様な機能を持つプログラムを新しく作成した。これは、Telenet コマンドを使用した場合、履歴機能や画面制御機能が設計できなくなるからである。

3.2 接続先登録機能

この機能は使用回線の設定やモデムの各種パラメータ（通信先の電話番号、ダイヤル回数等）を設定するものであり、これまでに開発されているパソコン通信ソフトの何れもが持っている機能である。本システムでは、さらにイーサネットアドレス等の LAN 回線パラメータの設定ができるようになっている。これによく似た機能はマッキントッシュにも見られるが、本システムのように電話回線と同一システムには置かれていない。

3.3 便箋機能

この機能は、電子メールや電子掲示板等において、相手に送る文章を作成するものである。市販のパソコン通信ソフト等においては、外部コマンド（チャイルドプロセス）としてエディタを起動するか、もしくは、自らのエディタを持っている。しかしながら、プログラム開発者以外でエディタを使用することは使いづらく、むしろワープロの方が使用しやすい。そこで、本システムでは簡易ワープロを作成した。エディタと違い、ワープロでは多数のバッファメモリを使うが、ここでは、システム部分がかなり大きなメモリエリアを取るため、半角で 80 桁 300 行の文章しか作成できない。しかしながら、電子メールの文章としてはこれで十分だと思われる。さらに、通常のエディタやワープロと同様な機能、すなわち、ファイルの入出力、文字列検索、範囲削除、範囲複写、桁数設定等の機能が付加されている。

3.4 履歴機能

この機能は、通信中に、CRT のスクロールに伴って、表示されている内容が消えてしまい、通信状況が把握できないので、CRT に表示されている内容をいったんバッファに蓄えておき、いつでも取り出して過去の通信状況を表示する機能である。この機能も他の通信ソフト

には標準で付属しているものである。しかしながら、本システムではさらに、通信内容を便箋バッファに転送したり、ファイルに記憶したり、必要範囲を削除したり、通信中に過去の通信内容をプリントしたりすることができ、これまでのシステムより高機能となっている。

3.5 ファイル転送機能

この機能は、キャラクタファイルやバイナリファイルを上アップ及びダウンするためのものである。パソコン通信では通常 XMODEM プロトコルが使用されるが、ここでは、それ以外にも YMODEM、KERMIT が使用できる。もちろん、キャラクタファイルによる無手順転送も可能で、この場合はハングアップした場合を考えてタイマー監視が行われている。

4. プログラム作成と実行結果

本システムは MS-DOS 上で構築され、それらのプログラムは全てボーランド社の Turbo-C と Turbo-Assembler を使って作成された。これらのプログラムはできるだけオブジェクト指向にそって作成された。そのため、どの機能の実行途中であっても他の機能へ直ちに切り変わることが可能である。

作成されたプログラムはソースで約 275K バイト、実行プログラムで約 239K バイトであった。

図 3 にマウスにより実行するコマンドのメニュー画面を示す。

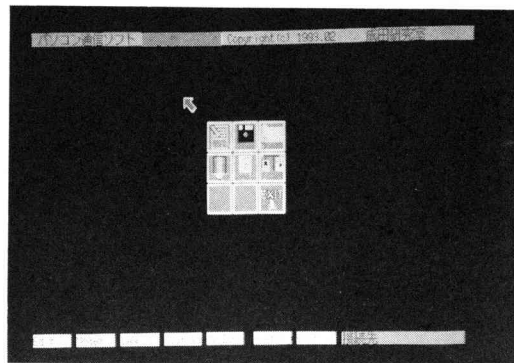


図3 メニュー画面

図 4 は接続先設定コマンドで LAN 回線の接続先登録を行っているところであり、ここで、イーサネットアドレス等の設定を行う。図 5 は電話回線使用時における接続先登録画面である。ここでは、モデムの各種の設定を行う。オートログイン用の各種データもここで設定することができる。実際に接続してからの画面で、ファイル転送コマンド時の画面を図 6 に示す。

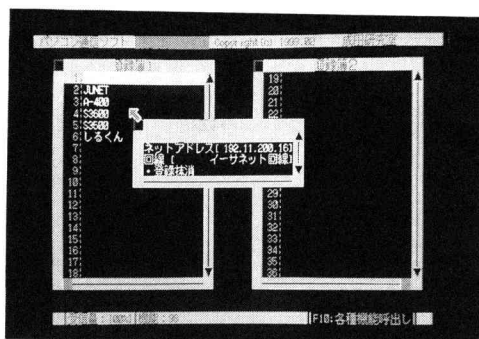


図4 接続先登録画面 (LAN)

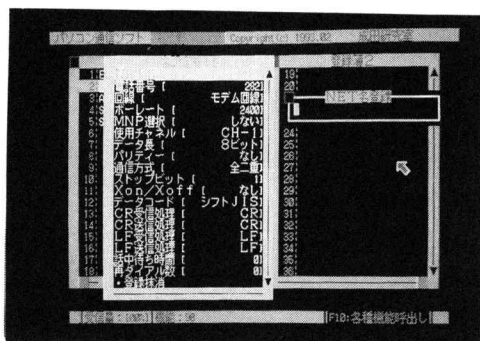


図5 接続先登録画面 (電話回線)

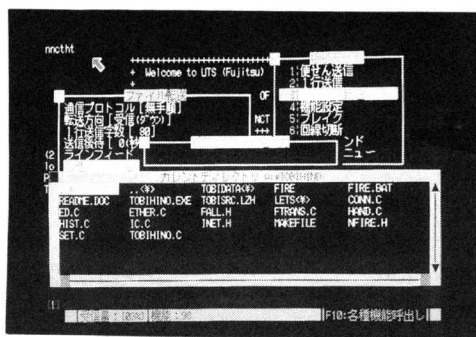


図6 ファイル転送画面

5. おわりに

本研究において、電話回線とイーサネット回線の両方に対応した端末側のパソコン通信システムがPC9801シリーズのパソコンでMS-DOS上で開発された。当初は機種依存性をできるだけなくすることが考えられたが、マンマシンインターフェイスの優れたシステムの構築を行うためには、どうしてもPC9801の機能を必要とし、MS-DOSのコマンドだけでの作成は不可能であった。現在までのところバグもなく稼働しているが、実行プログラムが大きくなったこともあり、回線制御のスピードが遅くなってしまった。そのため、LAN回線の高速な特徴が生かせなかった等の問題点が残った。現在、電話回線とイーサネット回線の両方をサポートしたセンターマシン用のシステムを開発中であり、その後、そのシステムに対応できるように本システムを改良していく予定である。

謝 辞

本システムの一部のプログラムを卒業研究として作成してくれた現本校専攻科生の桐島俊之君に厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 荒井文吉：手作りパソコンLANシステム (1992)，技術評論社
- 2) アスキー：InetBIOS対応アプリケーションガイド (1990)，アスキー
- 3) 富士通：LANコントローラユーザズマニュアル

F - P 形 SSB 光変調器を用いた $10.6\mu\text{m}$ 帯周波数変換器

松 島 朋 史

$10.6\mu\text{m}$ Band Frequency Translator using a F - P Type SSB Light Modulator

Tomoshi MATSUSHIMA

A novel $10.6\mu\text{m}$ band frequency translator using a rotating waveplate type SSB light modulator in a Fabry - Perot interferometer is proposed. In the proposed scheme, a CdTe is used as the rotating waveplate.

The theoretical analysis for the performance of such a translator is presented.

From the analysis, the relation between conversion efficiency and retardation is obtained using the mirror reflectivity of a F - P interferometer as a parameter. It is shown that the conversion efficiency of 70% would be obtainable for 0.4 retardation by the proposed method.

1. まえがき

レーザ光の周波数を変える（周波数変換）方法の一つとしては、光を変調して、側波帯を発生させ、その成分の一つをファブリペローエタロン等によって取り出すことが考えられる。この方法の利点としては、変調周波数を変化させるだけで容易にレーザ光の周波数を微細に、精度よく可変できることが挙げられる。この場合、変調には、高い変調周波数を可能にすることから電気光学効果を利用するのが妥当である。

一方問題点としては、広い周波数可変範囲と大きな周波数変換出力を得るには、広帯域で高効率な変調器が要求されることである。しかし、電気光学効果を用いる場合、同じ変調度を得るための変調電圧は波長に比例するため、炭酸ガスレーザ光のような長波長帯において、大きな側波帯成分を発生させ、その結果、十分な周波数変換出力を得るには非常に大きな変調電圧が必要となる。この為、可視光における方法をそのまま利用するのは実際のではなく、何らかの工夫が必要となる。

本章では、 $10.6\mu\text{m}$ 帯における電気光学効果を利用した周波数変換器として、低い変調電圧で高効率変調が可能な F - P 形光変調器を用いることを考える。

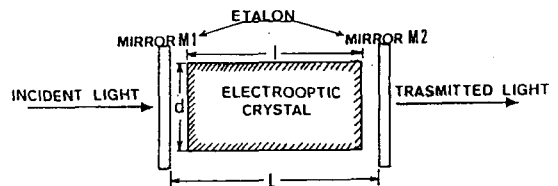


図 2 - 1 Fabry - Perot 光変調器の構成

また、通常の F - P 形変調器に用いられている位相変調素子の変わりに SSB 変調素子を用いた 2 ミラーおよび 3 ミラー F - P 形光変調器の動作解析を行った結果について述べる。これらの結果より、F - P 形 SSB 光変調器は低電力、高効率周波数変換器として有望であり、特に 3 ミラー F - P 形光変調器では、変換効率が 0.4rad のリターデーションで 70% にも達することを計算例では示す。

2. 10.6 μm 帯 F-P 形光変調器

2.1 構成と原理

図 2-1 に示すように、F-P 光変調器は F-P 干渉形内部に光位相変調素子を挿入して構成される。

参考文献[1]より、図に示すミラー M_1, M_2 の複素反射係数及び透過係数を $\rho_1, \rho_2, \tau_1, \tau_2$ 、光波の片道の損失 δ 、共振器内部での位相変調の振幅および変調周波数を $\Delta\theta, f$ とし、結晶の光学長を考慮したミラー間隔を L とすれば、光強度の透過係数 T は

$$T = \frac{T_{\max}}{1 + F \sin^2(\theta_0 + \Delta\theta \sin 2\pi f t)} \quad (2-1)$$

となる。ここで

$$T_{\max} = \frac{T_1 T_2 \exp(-2\delta)}{\{1 - \exp(-\Gamma)\}^2} \quad (2-2)$$

$$T_i = \tau_i \tau_i^* \quad (2-3)$$

$$|\rho_1 \rho_2 \exp(-2\delta)| = \exp(-\Gamma) \quad (2-4)$$

$$\theta_0 = \frac{2\pi\nu L}{c} \frac{1}{2} - \arg(\rho_1 \rho_2) \quad (2-5)$$

$$F = \frac{4 \exp(-\Gamma)}{1 - \exp(-\Gamma)^2} \quad (2-6)$$

である。ここで θ を $\theta = \theta_0 + \Delta\theta \sin 2\pi f t$ で表わし、移相量とする。 θ_0 は光学バイアスである。

式(2-1)は F-P 形光変調器の電力透過係数 T と移相量 θ の関係を示し、これを図示したのが図 2-2 である。図からもわかるように、光学バイアス θ_0 を $n\pi$ の近傍にすれば、小振幅時 $\Delta\theta < 1$ のときは、高性能の光強度変調器として動作する。

10.6 μm 帯での電気光学結晶として、光の透過損失の少ない CdTe 結晶を用い、F-P 形光変調器を構成し、結晶両端面の AR コーティングによる反射損失、及び吸収損失を合わせて 1.6% とした場合、変調感度 M ($M = dT/d\theta$) は 12 となる。この値は通常の強度変調器構成法に比べて 12 倍となり、F-P 形変調器は高感度な変調器といえる。一方、高感度なのに反して、変調帯域幅は F-P 干渉計内での光の通過時間の増加によって減少する。しかし、図 2-3 に示すように光の多重反射を利用しているため、F-P 共振器の縦モード周波数間隔 f の

整数倍 ($= nc/2L$, n : 整数, L : F-P 共振器長, c : 光速) 付近の周波数で高効率な変調を行うことができる。この変調器を利用して周波数変換を行う場合、周波数変換出力は、レーザの出力光を F-P 形光変調器で変調し、側波帯を発生させ、その成分の一つを F-P エタロン等のフィルタで取り出すことにより得られる。

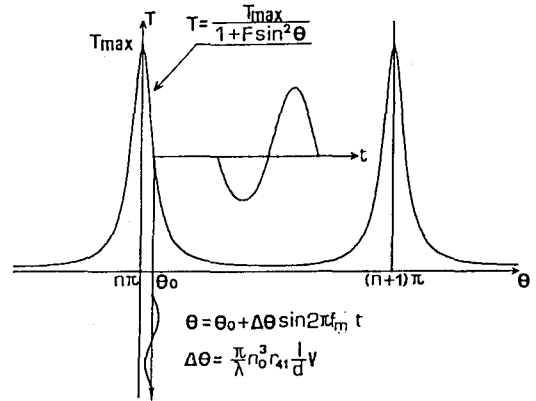


図 2-2 F-P 形光変調器の電力透過係数 T と位相量 θ の関係

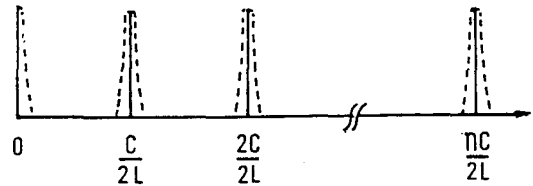


図 2-3 F-P 形光変調器の変調特性

3. F-P 形 SSB 光変調器

3.1 SSB 変調器の構成と原理

前述のように F-P 形光変調器は高効率であるが、被変調光に搬送波及び高次の側波帯成分が生じる。変調器を利用して周波数変換を行う場合、できるだけこれらの不要な成分を生じないことが望ましい。Buhrer 等[2][3]は変調電界、搬送波共に円偏波を用いることにより、被変調光に搬送波成分及び高次の側波帯成分が生じない SSB 変調器を提案し実験を行っている。図 3-1 は通常の位相変調による 1 次の側波帯出力と SSB 変調によって得られる側波帯出力との比較を示したものである。縦軸は入力光強度で正規化した側波帯成分、横軸は位相変調指数である。実線は SSB 変調方式、破線は通常の位相変調方式を示したものである。これより、通常の位相変調方式では両側波帯および高次の側波帯成分が発生するため、完全にシフトした周波数成分を得ること

はできないのに対し、SSB 変調方式では、位相変調の深さを π とすることにより、搬送波成分を側波帯成分に完全に変換することができる。

この Buhner 等の SSB 変調器構成をそのまま赤外光の周波数変換に用いると、大きな変調電圧が必要となる。そこで、変調電圧の低減化を計るため、SSB 変調器を

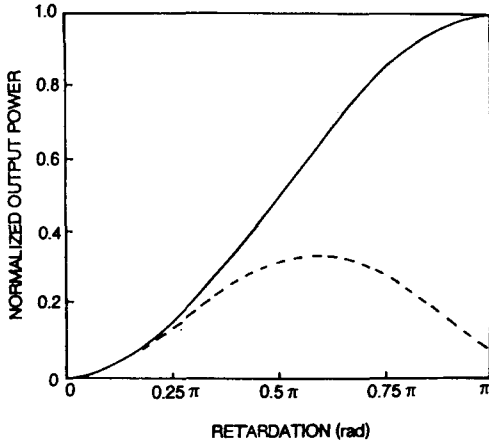


図 3-1 通常の位相変調による 1 次の側波帯出力（点線）と SSB 変調によって得られる側波帯出力（実線）との比較

F-P 干渉計内に挿入した F-P 形 SSB 変調器を提案した。

まず、SSB 変調器の動作原理について述べる。回転している半波長板 ($\lambda/2$ 板) に入射した円偏光の周波数は $\lambda/2$ 板の回転周波数の 2 倍だけシフトする。この回転する $\lambda/2$ 板の状態は、適当な対称性を有する電気光学結晶によって得ることができる。例えば ZnS, LiNbO₃ 結晶を用いた光周波数シフタが提案されている。10.6 μm 帯でも CdTe 結晶を用いて実験が行われている[4]。図 3-2 は電気光学結晶を用いた SSB 変調器の構成を示す。この方法では、結晶に回転電界を印加し、その結果生じる複屈折の主軸の回転を利用する。半波長電圧を結晶に印加すれば、光周波数は変調周波数分だけ上方、または下方にシフトし、単側波帯変調 (SSB 変調) が可能となる。

CdTe 結晶は 10.6 μm 帯で透明域をもち、赤外変調に用いる電気光学結晶として最も適したもので、光学的対称性は $\bar{4}3m$ に属する。この結晶を用いて、光周波数シフトに必要な回転する $\lambda/2$ 板の状態を作るには図 3-2 に示すようにに結晶軸を設定する。

図 3-2 に示すように 3 回転対称軸である $[111]$ 軸を光の伝搬方向 (z 軸) とする。この軸に垂直な面に一定振幅の回転電界を与える。回転電界を得るために印加

電界を

$$\begin{bmatrix} E_x \\ E_y \end{bmatrix} = E_m \begin{bmatrix} \cos \omega_m t \\ \sin \omega_m t \end{bmatrix} = E_m R_e[e_i] \quad (3-1)$$

ただし

$$e_i = \begin{bmatrix} 1 \\ j \end{bmatrix} = \exp(j\omega_m t) \quad (3-2)$$

とすると、屈折率楕円体の z 軸に垂直な断面は図 3-3 に示すようになる。ここで j は虚数単位とする。このとき、 z 軸方向に伝搬する光に対する主屈折率 n_1, n_2 およびその主軸の回転角は次式で与えられる。

$$n_1 = n_0 + \frac{1}{\sqrt{6}} \gamma_{41} n_0^3 E_m \quad (3-3)$$

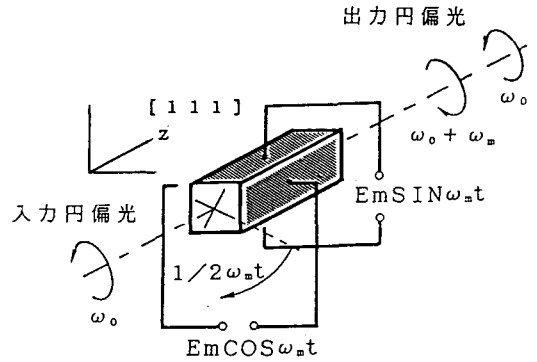


図 3-2 電気光学結晶を用いた SSB 変調器の構成

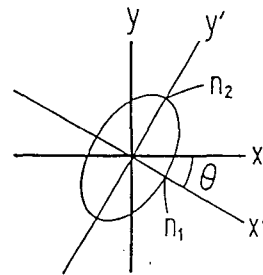


図 3-3 屈折率楕円体

$$n_2 = n_0 - \frac{1}{\sqrt{6}} \gamma_{41} n_0^3 E_m \quad (3-4)$$

$$\theta = \frac{\omega_m t}{2} \quad (3-5)$$

式(3-3), (3-4)より, 主屈折率 n_1, n_2 は時間 t によらず一定であり, 主軸は角周波数 $\omega_m/2$ で, 印加電圧と反対方向に回転することが分かる。長さ L の結晶中を伝搬するとき生ずるリターデーション $\Delta\phi$ は

$$\Delta\phi = \frac{2}{\sqrt{6}} \frac{2\pi}{\lambda} n_0^3 \gamma_{41} E_m L \quad (3-6)$$

となる。

次に, このように複屈折の主軸が角周波数 $\omega_m/2$ で一緒に回転している状態に, z 軸方向に円偏光 e_i が入射したときの出力光 e_0 を考える。

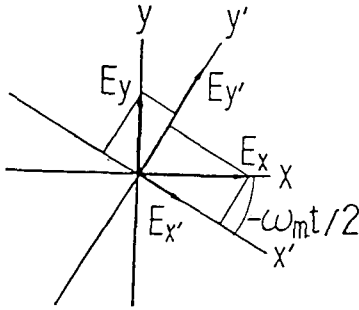


図3-4 入射光と主軸が $\omega_m t/2$ で回転するときの関係

入射円偏光 e_i を次式で表す。

$$e_i = \begin{bmatrix} 1 \\ -j \end{bmatrix} = \exp(j\omega_0 t) \quad (3-7)$$

ここで, ω_0 は入射光の角周波数を示す。上式の実数部分をとれば, カッコ内の上の行より, x 成分の, 下の行より y 成分の光波の振幅を得る。出力光を求めるには

- 1) $\theta = \omega_m t/2$ の座標変換を行う。回転する主軸方向(x', y' 軸)に入射光の成分を分ける。
- 2) x' 成分と y' 成分との間には式(3-6)で示されたリターデーションが与えられる。
- 3) 出力面で再び $\theta = -\omega_m t/2$ の座標変換を行い x, y 軸に戻すことによって出力光 e_0 は

$$\begin{aligned} e_0 &= \begin{bmatrix} \cos(\frac{\omega_m t}{2}) & \sin(\frac{\omega_m t}{2}) \\ -\sin(\frac{\omega_m t}{2}) & \cos(\frac{\omega_m t}{2}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \exp(j\frac{\Delta\phi}{2}) & 0 \\ 0 & \exp(-j\frac{\Delta\phi}{2}) \end{bmatrix} \\ &\quad \times \begin{bmatrix} \cos(\frac{\omega_m t}{2}) & -\sin(\frac{\omega_m t}{2}) \\ \sin(\frac{\omega_m t}{2}) & \cos(\frac{\omega_m t}{2}) \end{bmatrix} e_i \\ &= \cos \frac{\Delta\phi}{2} \begin{bmatrix} 1 \\ -j \end{bmatrix} \exp(j\omega_0 t) \end{aligned}$$

$$+ \sin \frac{\Delta\phi}{2} \begin{bmatrix} -j \\ 1 \end{bmatrix} \exp[j(\omega_0 + \omega_m)t] \quad (3-8)$$

となる。

式(3-8)より, $\Delta\phi = \pi$ となるときに入射光の角周波数(以下3-1節では ω_0, ω_m をそれぞれ入射光, 変調波の周波数と呼ぶことにする)は ω_0 から $(\omega_0 + \omega_m)$ に完全にシフトすることがわかる。ここでは入射光と複屈折の主軸の回転方向と同一方向としたが, それらを互いに逆方向に回転するようにとれば入射光の周波数は ω_0 から $(\omega_0 - \omega_m)$ にシフトすることになる。また $\Delta\phi = \pi$ の条件でない場合は搬送波成分を生じる。しかし, 搬送波成分は $1/4$ 波長板と偏光板を用いて取り除くことができる。

この方法を用い, $10.6 \mu\text{m}$ 帯に於ける周波数変換光を得ようとしても完全に周波数シフトを行う($\Delta\phi = \pi$)には大きな電圧(例えばCdTe結晶の縦横比が1の場合は68kV)が必要となる。そこで, 印加電圧の低減化を計るため, 前章で述べたF-P形変調器構成をここでも用いることを考える。まず2ミラーF-P形SSB変調器, 次に3ミラーF-P形SSB変調器構成を用いた場合について述べる。

3.2 2ミラーF-P形SSB変調器

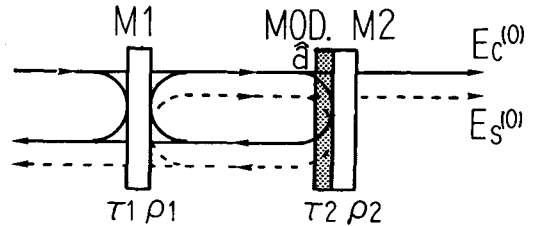


図3-5 2ミラーF-P形SSB変調器の構成

図3-5に2ミラーF-P形SSB変調器の構成を示す。ここでも前述の場合と同様に, 結晶は薄く被変調光が結晶を通過する間に変調電界の位相が変化しないものとし, さらに出力側ミラーに密着しているものとする。変調が行われている時は共振器内部には搬送波成分のほかに側波帯成分が生じている。それぞれの振幅を E_c, E_s とおく。定常状態では E_c, E_s のモードが変調を受け, そのエネルギーの一部を相互に交換し, 変調器を一巡すると, また同一のモード分布 E_c, E_s を取らなければならない。定常状態を考え, 結晶の直前での光波のモード分布

α を

$$\alpha = E_c \begin{bmatrix} 1 \\ -j \end{bmatrix} \exp(j\omega_0 t) + E_s \begin{bmatrix} -j \\ 1 \end{bmatrix} \exp\{j(\omega_0 + \omega_m)t\} \quad (3-9)$$

とおく。ただし

$$R_e[\alpha] = \begin{bmatrix} E_x \\ E_y \end{bmatrix} \quad (3-10)$$

である。光が結晶を往復することにより、 $2\Delta\phi$ が生じるが、これ以降、 $2\Delta\phi$ を $\Delta\phi$ とすることにする。光が結晶を往復した時点での損失を無視したモード分布 α' は

$$\alpha' = E_c \rho_2 A \begin{bmatrix} 1 \\ -j \end{bmatrix} \exp(j\omega_0 t) + E_s \rho_2 A \begin{bmatrix} -j \\ 1 \end{bmatrix} \exp\{j(\omega_0 + \omega_m)t\} \quad (3-11)$$

となる。ただし

$$A = \begin{bmatrix} \cos(\frac{\omega_m t}{2}) & \sin(\frac{\omega_m t}{2}) \\ -\sin(\frac{\omega_m t}{2}) & \cos(\frac{\omega_m t}{2}) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \exp(j\Delta\phi) & 0 \\ 0 & \exp(-j\Delta\phi) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \cos(\frac{\omega_m t}{2}) & -\sin(\frac{\omega_m t}{2}) \\ \sin(\frac{\omega_m t}{2}) & \cos(\frac{\omega_m t}{2}) \end{bmatrix} \quad (3-12)$$

である。

式(3-11)、(3-12)より α' は

$$\alpha' = \rho_2 (E_c \cos \Delta\phi + E_s \sin \Delta\phi) \begin{bmatrix} 1 \\ -j \end{bmatrix} \exp(j\omega_0 t) + \rho_2 (-E_c \sin \Delta\phi + E_s \cos \Delta\phi) \begin{bmatrix} -j \\ 1 \end{bmatrix} \exp\{j(\omega_0 + \omega_m)t\} \quad (3-13)$$

となる。式(3-9)と比較して、光波が結晶を一往復する間に、周波数 ω_0 の成分が E_c から $E_c \cos \Delta\phi + E_s \sin \Delta\phi$ に、周波数 $\omega_0 + \omega_m$ の成分 E_c から $-E_c \sin \Delta\phi + E_s \cos \Delta\phi$ に、なることがわかる。

光波が結晶を一回通過したときの損失 $\exp(-\delta)$ 、光学バイアスを θ_0 、光波が変調器を一周する間に生じる位相のずれを $\Delta\theta$ とする。 θ_0 、 $\Delta\theta$ は次のように表わされる。

$$\exp(-\Gamma) = \rho_1 \rho_2 \exp(-2\delta) \quad (3-14)$$

$$\theta_0 = \omega_0 \left(\frac{L}{c} \right) - \frac{1}{2} \arg(\rho_1 \rho_2) \quad (3-15)$$

$$\Delta\theta = \omega_m \left(\frac{L}{c} \right) - p\pi \quad (3-16)$$

$$\Delta\theta < \frac{\pi}{2} \quad (3-17)$$

ここで、損失を考慮した場合、式(3-13)は α' がミラー1で反射して、再び結晶の直前に戻ったときのモード α'' は

$$\alpha'' = \left\{ \exp(-\Gamma) (E_c \cos \Delta\phi + E_s \sin \Delta\phi) \begin{bmatrix} 1 \\ -j \end{bmatrix} \exp(j\omega_0 t - 2\theta_0) + \exp(-\Gamma) (-E_c \sin \Delta\phi + E_s \cos \Delta\phi) \exp(-2j(\theta_0 + \Delta\theta)) \begin{bmatrix} -j \\ 1 \end{bmatrix} \exp\{j(\omega_0 + \omega_m)t\} + \tau_1 \exp(-j\theta_0) \right\} \begin{bmatrix} 1 \\ -j \end{bmatrix} \exp(j\omega_0 t) \quad (3-18)$$

となる。

定常状態を考えて、 $\alpha = \alpha''$ で係数を比較することにより、 E_c は

$$E_c = \frac{\tau_1 \exp(-j\theta_0) [1 - \exp\{-\Gamma - 2j(\theta_0 + \Delta\theta)\} \cos(\Delta\phi)]}{[1 - \exp(-\Gamma - 2j\theta_0) \cos(\Delta\phi)]} \times [1 - \exp\{-\Gamma - 2j(\theta_0 + \Delta\theta)\} \cos(\Delta\phi)] + \exp 2\{-\Gamma - 2j(\theta_0 + \Delta\theta)\} \sin^2(\Delta\phi) \quad (3-19)$$

となる。

また E_s は

$$E_s = \frac{-\tau_1 \exp(-j\theta_0) [1 + \exp\{-\Gamma - 2j(\theta_0 + \Delta\theta)\} \sin(\Delta\phi)]}{[1 - \exp(-\Gamma - 2j\theta_0) \cos(\Delta\phi)]} \times [1 - \exp\{-\Gamma - 2j(\theta_0 + \Delta\theta)\} \cos(\Delta\phi)] + \exp 2\{-\Gamma - 2j(\theta_0 + \Delta\theta)\} \sin^2(\Delta\phi) \quad (3-20)$$

となる。

そこでF-P共振器から取り出されるモードを α'' とすると、光波はもう一度結晶を通過するので α''' は

$$\alpha''' = \tau_2 \exp(-\delta) \left(E_c \cos \frac{\Delta\phi}{2} + E_s \sin \frac{\Delta\phi}{2} \right) \times \begin{bmatrix} 1 \\ -j \end{bmatrix} \exp(j\omega_0 t) + \tau_2 \exp(-\delta) \left(-E_c \sin \frac{\Delta\phi}{2} + E_s \cos \frac{\Delta\phi}{2} \right) \begin{bmatrix} -j \\ 1 \end{bmatrix} \exp\{j(\omega_0 + \omega_m)t\} \quad (3-21)$$

となる。

これより、F-P形光変調器から出力される搬送波成分を E_{cout} 、側波帯成分を E_{sout} とすると、 E_{cout} は

$$E_{\text{out}} = \frac{\tau_1 \tau_2 \exp(-\delta) [1 - \exp\{-\Gamma - 2j(\theta_0 + \Delta\theta)\}] \cos\left(\frac{\Delta\phi}{2}\right)}{[1 - \exp(-\Gamma - 2j\theta_0) \cos(\Delta\phi)]} \times \left[1 - \exp\{-\Gamma - 2j(\theta_0 + \Delta\theta)\} \cos\left(\frac{\Delta\phi}{2}\right) \right] + \exp 2\{-\Gamma - 2j(\theta_0 + \Delta\theta)\} \sin^2(\Delta\phi) \quad (3-22)$$

となる。

また E_{sout} は

$$E_{\text{sout}} = \frac{-\tau_1 \tau_2 [1 + \exp\{-\Gamma - 2j(\theta_0 + \Delta\theta)\}] \sin\left(\frac{\Delta\phi}{2}\right)}{[1 - \exp(-\Gamma - 2j\theta_0) \cos(\Delta\phi)]} \times [1 - \exp\{-\Gamma - 2j(\theta_0 + \Delta\theta)\} \cos(\Delta\phi)] + \exp 2\{-\Gamma - 2j(\theta_0 + \Delta\theta)\} \sin^2(\Delta\phi) \quad (3-23)$$

となる。

光学バイアス $\theta_0 = 0$ で F-P 形光変調器のミラーの反射率をパラメータとして、リターデーションと周波数変換出力光との関係を図 3-6 に示す。

図中破線で示すように 2 ミラー F-P 形 SSB 光変調器の場合、出力側には搬送波成分も出力される。この場合、搬送波成分を取り除くには $1/4$ 波長板と偏光板を用いればよい。この方法は光の多重干渉を利用した F-P エタロンに比べて、安定に動作を行うことができる。図 3-7 は F-P 形 SSB 光変調器および F-P 形光変調器を利用しない SSB 変調 (図中破線) との比較を示す。これより、リターデーションが比較的小さい範囲では F-P 形 SSB 光変調器を用いて周波数変換を行うことが有利であることがわかる。

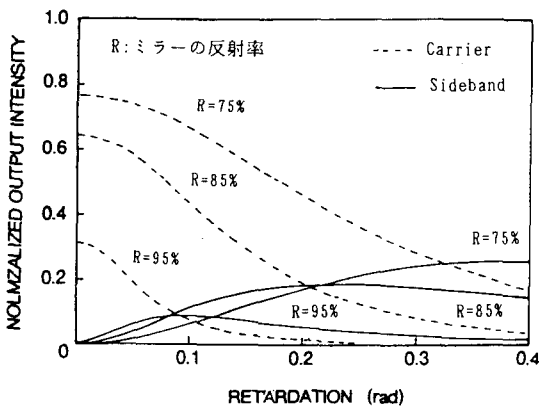


図 3-6 リターデーションと周波数変換出力光との関係

3.3 3 ミラー F-P 形 SSB 光変調器

ここでは前節と同様に 3 ミラー方式を用いた F-P 形

SSB 光変調器について述べる。F-P 形 SSB 光変調器は通常の F-P 形光変調器に比べて効率よく周波数変換を行うことができるが、出力側に搬送波成分も含まれる。そこで、出力側ミラーに複合ミラーを用いて搬送波成分を除去すると共に、周波数変換効率を計る方法について述べる。

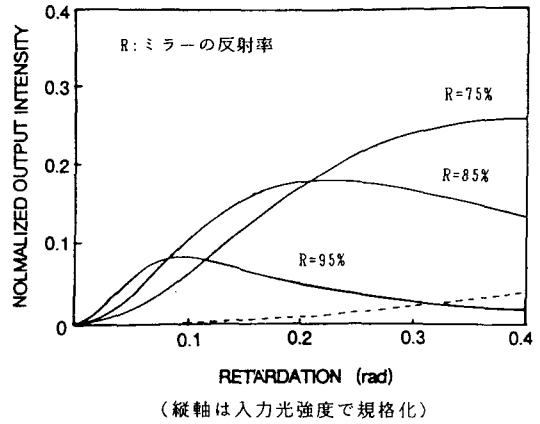


図 3-7 F-P 形 SSB 光変調器および F-P 形光変調器を利用しない SSB 変調 (図中破線) との比較

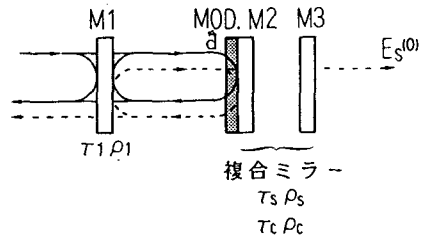


図 3-8 3 ミラー F-P 形 SSB 変調器の構成

図 3-8 に 3 ミラー F-P 形 SSB 変調器の構成を示す。この場合出力ミラーは 2 枚のミラーで構成された複合ミラーとなっている。前節と同様に SSB 変調素子は十分薄く、出力側ミラーに密接しているものとする。

搬送波の振幅 E_c 、側波帯成分の振幅 E_s とおき、2 ミラー F-P 形 SSB 変調器と同様の考え方で動作解析を行うと、変調器から取り出される搬送波成分 $E_c(0)$ 、 $E_s(0)$ は次式となる。

$$E_c(0) = \tau_1 \left\{ E_c \cos\left(\frac{\Delta\phi}{2}\right) - E_s \sin\left(\frac{\Delta\phi}{2}\right) \right\} \quad (3-24)$$

$$E_s(0) = \tau_1 \left\{ E_c \sin\left(\frac{\Delta\phi}{2}\right) + E_s \cos\left(\frac{\Delta\phi}{2}\right) \right\} \quad (3-25)$$

ここで, E_c , E_s は

$$E_c = \frac{\tau_1 \exp\left\{-\delta - j\omega_0\left(\frac{L}{c}\right)\right\} \left[1 - \exp(-\Gamma - j\theta_0)\right]}{\left[1 - \exp(-\Gamma - 2j\theta_0)\left(1 + \frac{\rho_s}{\rho_c}\right) \cos(\Delta\phi)\right]} \cdot \frac{\left\{\left(\frac{\rho_1}{\rho_2}\right) \cos^2\left(\frac{\Delta\phi}{2}\right) - \sin^2\left(\frac{\Delta\phi}{2}\right)\right\}}{+ \left(\frac{\rho_s}{\rho_c}\right) \exp(-2\Gamma - 4j\theta_0)} \quad (3-26)$$

$$E_s = \frac{\tau_1 \exp\left\{-\delta - j\omega_0\left(\frac{L}{c}\right)\right\} \exp(-\Gamma - 2j\theta_0)}{\left[1 - \exp(-\Gamma - 2j\theta_0)\left(1 + \frac{\rho_s}{\rho_c}\right) \cos(\Delta\phi)\right]} \cdot \frac{\sin\left(\frac{\Delta\phi}{2}\right) \cos\left(\frac{\Delta\phi}{2}\right) \left\{1 + \left(\frac{\rho_1}{\rho_2}\right)\right\}}{+ \left(\frac{\rho_s}{\rho_c}\right) \exp(-2\Gamma - 4j\theta_0)} \quad (3-27)$$

である。

光学バイアス $\theta_0 = 0$ とした場合に於けるリターデーションと周波数変換出力の関係を図3-9に示す。2ミラー方式と異なり, 3ミラー方式の場合は出力側に搬送波成分が出ないように複合ミラーの間隔を変えて, 搬送波に対する反射率を100%にすることができる。図より, リターデーションが小さな範囲では $R_s = 0$ として, 側波帯に対する複合ミラーの透過率を最大にするより, 適当な反射率を持たせた方が良いことが分かる。

これらの解析結果より, F-P 形光 SSB 変調器は低電力, 高効率周波数変換器となる可能性があると考えられる。特に3ミラー方式では70%にも達する変換効率をもつ可能性があり, 赤外域に限らず周波数変換器として有望であると考えられる。

例えば, F-P 形光共振器内に挿入する電気光学結晶として, $4 \times 4 \times 20$ mmの大きさの CdTe 結晶を用いた場合, 変調電圧600Vでリターデーションは0.15となる。そこで反射率85%のミラーを用いて F-P 形光 SSB 変調器を構成すれば, 変換効率は20%となり, また3ミラー方式で入力側のミラーの反射率を90%としたときには, 変換効率は70%に達する。通常の位相変調方式を用いて得られる変換効率は, このとき1%程度であることを考えると, 低い変調電圧で, 高い変換効率を得ることが可能となることが考えられる。

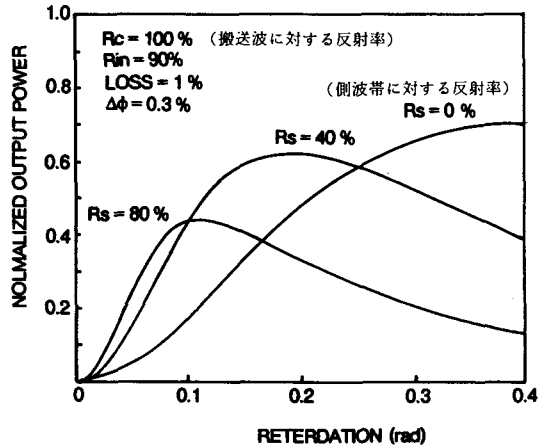


図 3-9 リターデーションと周波数変換出力の関係

4. 結 言

SSB 変調素子を用いた F-P 形 SSB 光変調器を提案すると共に動作解析を行った。この解析結果より, F-P 形光 SSB 変調器は低電力, 高効率周波数変換器となる可能性があると考えられる。特に3ミラー F-P 形 SSB 光変調器は, リターデーション0.4rad で約70%にも達する変換効率を得られる可能性があり, 赤外域に限らず光周波数変換器として有望であると考えられる。

参考文献

- [1] 小林, 末田, 牧本: 量子エレクトロニクス研究会資料, QE-70-53(1971)
- [2] C.F.Buhrer, D.Baird and E.M.Conwell: Appl.Phys.Lett., 1, 46(1962)
- [3] J.P.Campbell and W.H.Steier: IEEE J.Quantum Electron., QE-7, 243(1971)
- [4] G.M.Cater, H.A.Haus: IEEE J.Quantum Electron., QE-15, No.4(1979).

高次制御系のステップ応答のシミュレーション

栗 本 尚

Computer Simulation of Step Response in a Control System of High Order

Takashi KURIMOTO

In design and analysis of an automatic control system, frequency characteristics as Bode diagram, Nyquist diagram and root locus, and step response are used properly. Especially the step response is useful to judge the result directly. At first, using Runge-Kutta method in order to solve the ordinary differential equation of order 4 by computer, the method to draw the step response in the control system of order 4 is described. Then, about an example of the control system of order 4, one very short program by N88-BASIC to draw the step response and some step responses are described. Finally, the validity of this result is considered.

1 まえがき

自動制御系の設計・解析方法としては、ボード線図、ナイキスト線図、根軌跡などの周波数特性やステップ応答、位相面軌跡などの時間特性による方法があり、必要に応じて、それらのうちの適当な方法が用いられている。制御系については、一般的に数式で記述されることが多いため、これらの各特性をコンピュータで作成することは、そんなに困難ではない。現状では、制御系設計解析用ソフトも、ある程度市販されている。しかし、市販ソフトは、インタフェース性はよいものの、コストも高く、使用上の制約も多い。そこで、もっとコンピュータ利用の原点にもどって、これらの各特性を、必要最小限の非常に短いプログラムによって、任意のスケールで正確に作成できれば、有効な場合もある。特にステップ応答は、制御系の制御状況を直観的にみることができ、制御系を周波数特性により設計解析した場合でも、そのステップ応答を確認できるならば、非常に有効である。

ここでは、まずコンピュータによる常微分方程式の解法としてのルンゲクッタ法を用いて、高次制御系の1例としての4次制御系のステップ応答を求めることのできる解法について示す。次に、4次制御系の1例について、

そのステップ応答を求めるための非常に短いプログラムを BASIC 言語により作成し、それにより求めたステップ応答例を示し、その結果の妥当性について検討する。なお、この考え方により、5次以上の高次制御系のステップ応答を求める方法に拡張していくことは可能である。

2 ルンゲクッタ法によるn階常微分方程式の解法¹⁾

2.1 ルンゲクッタ法による解法の考え方

コンピュータによる常微分方程式の解法としては、オイラー法、ルンゲクッタ法などがある。オイラー法は古くからよく知られているが、1点のデータから接線の勾配をきめて、次の点を求めていくため、その誤差も大きい。ルンゲクッタ法では、1点における4個のデータを用いて、次の点を求めていくことにより、誤差の低減をはかっている。

次式の常微分方程式の解 $y(x)$ を、図1に示すようなルンゲクッタ法により求める。

$$\frac{dy(x)}{dx} = f[x, y(x)] \quad (1)$$

初期値または、すでに求められた点を $P_i(x_i, y_i)$ 、これから求めようとする点を $P_{i+1}(x_{i+1}, y_{i+1})$ とすると、 y_{i+1} を次の手順により求める。

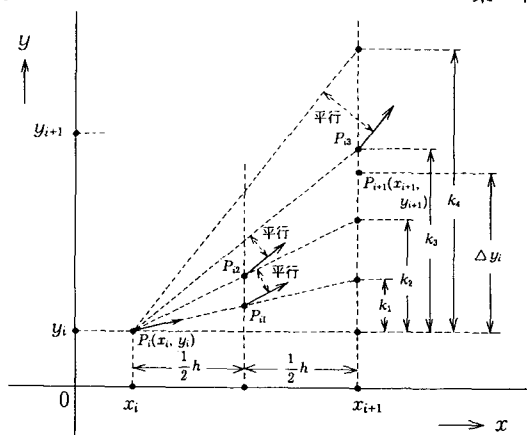


図1 ルンゲクッタ法の図的説明図

- ① $P_i(x_i, y_i)$ における勾配を、 k_1 が次式となるようにきめる。

$$k_1 = hf(x_i, y_i) \quad (2)$$

- ② $P_{i1}(x_i + \frac{1}{2}h, y_i + \frac{1}{2}k_1)$ における勾配を、 k_2 が次式となるようにきめる。

$$k_2 = hf(x_i + \frac{1}{2}h, y_i + \frac{1}{2}k_1) \quad (3)$$

- ③ $P_{i2}(x_i + \frac{1}{2}h, y_i + \frac{1}{2}k_2)$ における勾配を、 k_3 が次式となるようにきめる。

$$k_3 = hf(x_i + \frac{1}{2}h, y_i + \frac{1}{2}k_2) \quad (4)$$

- ④ $P_{i3}(x_i + h, y_i + k_3)$ における勾配を、 k_4 が次式となるようにきめる。

$$k_4 = hf(x_i + h, y_i + k_3) \quad (5)$$

$$\Delta y_i = \frac{1}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) \quad (6)$$

$$y_{i+1} = y_i + \Delta y_i \quad (7)$$

上記の①～⑥の手順により求められた $P_{i+1}(x_{i+1}, y_{i+1})$ を用いて、同様にして $P_{i+2}(x_{i+2}, y_{i+2})$ を求め、これを順次くりかえしていく。

2.2 1階n元連立常微分方程式

1階n元連立常微分方程式は、次式で示される。

$$\begin{cases} \frac{dy_1(x)}{dx} = f_1[x, y_1(x), y_2(x), \dots, y_n(x)] \\ \frac{dy_2(x)}{dx} = f_2[x, y_1(x), y_2(x), \dots, y_n(x)] \\ \dots\dots\dots \\ \frac{dy_n(x)}{dx} = f_n[x, y_1(x), y_2(x), \dots, y_n(x)] \end{cases} \quad (8)$$

ここで、 x は独立変数で、時間 t となる場合もある。

2.3 1階2元連立常微分方程式の解法

(8)式において $n=2$ とし、独立変数 $x \rightarrow t$ (時間) としたときの1階2元連立常微分方程式は、次式となる。

$$\begin{cases} \frac{dy_1(t)}{dt} = f_1[t, y_1(t), y_2(t)] \\ \frac{dy_2(t)}{dt} = f_2[t, y_1(t), y_2(t)] \end{cases} \quad (9)$$

ルンゲクッタ法により、この(9)式の解を求めるのに、(2)～(7)において、 $x \rightarrow t$ として適用した、次式の解法公式が得られている。なお、以下では $y_1(t) \rightarrow y_1, y_2(t) \rightarrow y_2, h \rightarrow \Delta t$ とする。

$$\begin{cases} k_1 = \Delta t f_1(t_i, y_{i1}, y_{i2}) \\ l_1 = \Delta t f_2(t_i, y_{i1}, y_{i2}) \end{cases} \quad (10)$$

$$\begin{cases} k_2 = \Delta t f_1(t_i + \frac{1}{2}\Delta t, y_{i1} + \frac{1}{2}k_1, y_{i2} + \frac{1}{2}l_1) \\ l_2 = \Delta t f_2(t_i + \frac{1}{2}\Delta t, y_{i1} + \frac{1}{2}k_1, y_{i2} + \frac{1}{2}l_1) \end{cases} \quad (11)$$

$$\begin{cases} k_3 = \Delta t f_1(t_i + \frac{1}{2}\Delta t, y_{i1} + \frac{1}{2}k_2, y_{i2} + \frac{1}{2}l_2) \\ l_3 = \Delta t f_2(t_i + \frac{1}{2}\Delta t, y_{i1} + \frac{1}{2}k_2, y_{i2} + \frac{1}{2}l_2) \end{cases} \quad (12)$$

$$\begin{cases} k_4 = \Delta t f_1(t_i + \Delta t, y_{i1} + k_3, y_{i2} + l_3) \\ l_4 = \Delta t f_2(t_i + \Delta t, y_{i1} + k_3, y_{i2} + l_3) \end{cases} \quad (13)$$

$$\begin{cases} y_{(i+1)1} = y_{i1} + \Delta y_{i1} \\ \quad = y_{i1} + \frac{1}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) \\ y_{(i+1)2} = y_{i2} + \Delta y_{i2} \\ \quad = y_{i2} + \frac{1}{6}(l_1 + 2l_2 + 2l_3 + l_4) \end{cases} \quad (14)$$

2.4 n階常微分方程式の解法

n階常微分方程式については、適当な変数により、1階n元連立常微分方程式に変形して解くことができる。ここでは、次式のn階常微分方程式を1階n元連立常微分方程式に変換する。

$$\frac{d^n y(t)}{dt^n} = f\left[t, y(t), \frac{dy(t)}{dt}, \frac{d^2 y(t)}{dt^2}, \dots, \frac{d^{n-1} y(t)}{dt^{n-1}}\right] \quad (15)$$

ここで、変数を次式のようにおきかえる。

$$\begin{cases} y(t) = y_1(t) \\ \frac{dy(t)}{dt} = \frac{dy_1(t)}{dt} = y_2(t) \\ \frac{d^2 y(t)}{dt^2} = \frac{d}{dt}\left[\frac{dy(t)}{dt}\right] = \frac{dy_2(t)}{dt} = y_3(t) \\ \dots\dots\dots \end{cases} \quad (16)$$

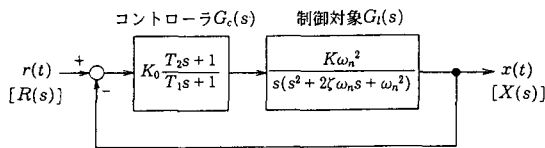


図2 4次制御系

$$\begin{aligned}
 X(s) &= W(s)R(s) = \frac{G(s)}{1+G(s)} R(s) \\
 &= \frac{G_c(s)G_t(s)}{1+G_c(s)G_t(s)} R(s) \\
 &= \frac{K_0K\omega_n^2T_2s + K_0K\omega_n^2}{T_1s^4 + (2\zeta\omega_nT_1 + 1)s^3 + \omega_n(\omega_nT_1 + 2\zeta)s^2} \\
 &\quad + \omega_n^2(1 + K_0KT_2)s + K_0K\omega_n^2} R(s) \quad (28)
 \end{aligned}$$

3.2.2 1階4元連立常微分方程式への変換

図2の $X(s)$ よりステップ応答 $x(t)$ を求めるため、初期条件 $x(0)=0, \dot{x}(0)=0, \ddot{x}(0)=0, \dddot{x}(0)=0$ として、 $R(s)$ 、 $X(s)$ を t 領域に変換すると、次式の微分方程式が得られる。

$$R(s) = \frac{1}{s} \rightarrow r(t) = 1, \frac{dr(t)}{dt} = 0 \quad (29)$$

$$\begin{aligned}
 T_1s^4X(s) + (2\zeta\omega_nT_1 + 1)s^3X(s) + \omega_n(\omega_nT_1 + 2\zeta)s^2X(s) \\
 + \omega_n^2(1 + K_0KT_2)sX(s) + K_0K\omega_n^2X(s) \\
 = K_0K\omega_n^2T_2sR(s) + K_0K\omega_n^2R(s)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rightarrow T_1\dddot{x} + (2\zeta\omega_nT_1 + 1)\ddot{x} + \omega_n(\omega_nT_1 + 2\zeta)\dot{x} \\
 + \omega_n^2(1 + K_0KT_2)x + K_0K\omega_n^2x \\
 = K_0K\omega_n^2T_2\dot{r} + K_0K\omega_n^2r \quad (30)
 \end{aligned}$$

$$\left[\dddot{x} = \frac{d^4x(t)}{dt^4} \dots x = x(t) \dots r = r(t) \right]$$

したがって、(30)式に対応する次式が得られる。

$$\begin{aligned}
 \dddot{x} &= -\frac{K_0K\omega_n^2}{T_1}x - \frac{\omega_n^2(1 + K_0KT_2)}{T_1}\dot{x} \\
 &\quad - \omega_n\left(\omega_n + \frac{2\zeta}{T_1}\right)\ddot{x} - \left(2\zeta\omega_n + \frac{1}{T_1}\right)\ddot{x} \\
 &\quad + \frac{K_0K\omega_n^2}{T_1} \quad (31)
 \end{aligned}$$

この(31)式を(20)式に対応する1階4元連立常微分方程式に変換すると、次式のようになる。

$$\begin{cases}
 \dot{x} = y, \quad \dot{y} = z, \quad \dot{z} = v \\
 \dot{v} = -\frac{K_0K\omega_n^2}{T_1}x - \frac{\omega_n^2(1 + K_0KT_2)}{T_1}y \\
 \quad - \omega_n\left(\omega_n + \frac{2\zeta}{T_1}\right)z - \left(2\zeta\omega_n + \frac{1}{T_1}\right)v \\
 \quad + \frac{K_0K\omega_n^2}{T_1} = f(t, x, y, z, v) \\
 \left[\dot{y} = \frac{dy(t)}{dt}, \quad y = y(t) \dots v = v(t) \right]
 \end{cases} \quad (32)$$

この(32)式について、(21)～(24)式のルンゲクッタ法による解法式を用いて、ステップ応答 $x(t)-t$ 特性を求めることができる。

3.2.3 ステップ応答²⁾

(32)式と(21)～(24)式より、この4次制御系のステップ応答 $x(t)-t$ 特性を求めるためのプログラムを図3に示す。このプログラムは、パソコンPC-9800のN-88 BASICによる。また、プログラムをできるかぎり短くするために、座標軸、目盛線、計算特性のみをえがかせ、目盛数字、パラメータ表示などは、手書きによる。

1例として、 $G_t(s)$ の $K=5, \zeta=0.4, \omega_n=3$ のとき、 $G_c(s)$ として、① $K_0=0.1, T_1=0.1, T_2=2$ ② $K_0=0.2, T_1=0.2, T_2=1$ の各場合について、この4次制御系のステップ応答 $x(t)-t$ 特性を図4に示す。なお、特性①,②は重ね書きによる。また、この4次制御系についてボード線図を作成して、ゲイン余 g_m 、位相余 ϕ_m を求めたが、① $g_m=9.0\text{db}, \phi_m=45^\circ$ ② $g_m=4.2\text{db}, \phi_m=26^\circ$ となり、いずれの場合も安定である。

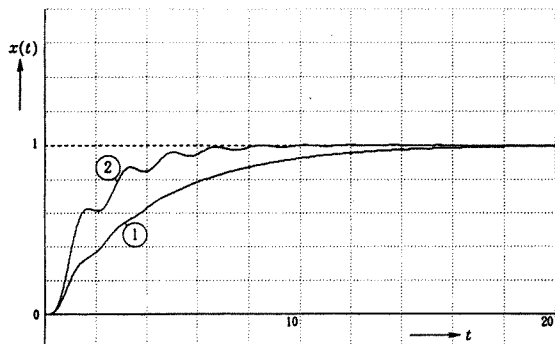
ここで、図3について、そのプログラム作成の概要を示す。

- ① 20～40：定数、パラメータ設定値などを指定する。
- ② 50：計算式を指定する。[(32)式の $f(t, x, y, z, v)$]
- ③ 70：ディスプレイの x, y 軸の変化範囲を指定する。
[x 軸： t 0～20, y 軸： $x(t)$ -0.2～1.8]
- ④ 80：ディスプレイ640×400のうちの使用範囲を指定する。
- ⑤ 90～100： x, y 座標軸を実線で引く。
- ⑥ 110～140： x, y 軸に関する目盛線を点線で引く。
- ⑦ 150： $x(t)$ の目標値を点線で引く。
- ⑧ 160～270：(21)～(24)式のルンゲクッタ法により、 t を変化させていったときの $x(t)$ を順次計算し、プロットして、ステップ応答を求める。

```

10 REM PROG1
20 K=5 : ZE=.4 : WN=3 : K0=.1 : T1=.1 : T2=2 : X=0 : Y=0 : Z=0 : V=0
30 'K=5 : ZE=.4 : WN=3 : K0=.2 : T1=.2 : T2=1 : X=0 : Y=0 : Z=0 : V=0
40 TE=20 : DT=.05
50 DEF FNF(T,X,Y,Z,V)=-K0*K*WN^2/T1*X-WN^2*(1+K0*K*T2)/T1*Y-WN*(WN+2*ZE/T1)*Z-(2
  *ZE*WN+1/T1)*V+K0*K*WN^2/T1
60 SCREEN 2,0 : CONSOLE ,,0,0
70 WINDOW (0,-1.8)-(TE,.2)
80 VIEW (40,0)-(639,399)
90 LINE (0,0)-(TE,0)
100 LINE (0,-1.8)-(0,.2)
110 FOR J=-1.8 TO .21 STEP .2
120 LINE (0,J)-(TE,J),,,&H1111 : NEXT J
130 FOR J=0 TO TE STEP TE/10
140 LINE (J,-1.8)-(J,.2),,,&H1111 : NEXT J
150 LINE (0,-1)-(TE,-1),,,&HF0F0
160 FOR T=0 TO TE STEP DT
170 K1=DT*Y : L1=DT*Z : M1=DT*V : P1=DT*FNF(T,X,Y,Z,V)
180 K2=DT*(Y+1/2*L1) : L2=DT*(Z+1/2*M1) : M2=DT*(V+1/2*P1) : P2=DT*FNF(T+1/2*DT,
  X+1/2*K1,Y+1/2*L1,Z+1/2*M1,V+1/2*P1)
190 K3=DT*(Y+1/2*L2) : L3=DT*(Z+1/2*M2) : M3=DT*(V+1/2*P2) : P3=DT*FNF(T+1/2*DT,
  X+1/2*K2,Y+1/2*L2,Z+1/2*M2,V+1/2*P2)
200 K4=DT*(Y+L3) : L4=DT*(Z+M3) : M4=DT*(V+P3) : P4=DT*FNF(T+DT,X+K3,Y+L3,Z+M3,V
  +P3)
210 X1=X+1/6*(K1+2*K2+2*K3+K4)
220 Y1=Y+1/6*(L1+2*L2+2*L3+L4)
230 Z1=Z+1/6*(M1+2*M2+2*M3+M4)
240 V1=V+1/6*(P1+2*P2+2*P3+P4)
250 LINE (T,-X)-(T+DT,-X1)
260 X=X1 : Y=Y1 : Z=Z1 : V=V1
270 NEXT T
280 END

```

図3 4次制御系のステップ応答 $x(t)$ - t 特性を求めるためのプログラム

$G_t(s) : K=5, \zeta=0.4, \omega_n=3$
 $G_c(s) : \textcircled{1} K_0=0.1, T_1=0.1, T_2=2$
 $\textcircled{2} K_0=0.2, T_1=0.2, T_2=1$
 プログラム: ①図3, ②図3 ただし 20→30

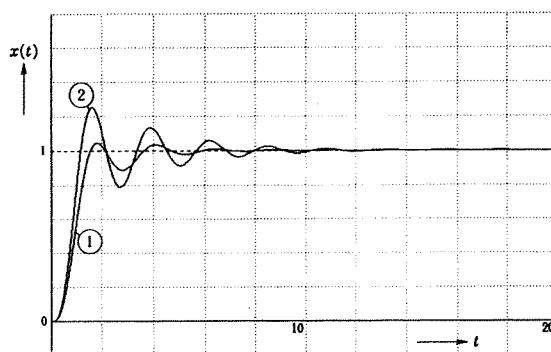
図4 4次制御系のステップ応答

4 4次制御系のステップ応答 の求め方に関する考察

4.1 近似3次制御系のステップ応答

図3による4次制御系のステップ応答を求めるためのプログラムにおいて、 $G_c(s)$ の $K_0=1, T_1=0.018, T_2=0$ とし、 $G_t(s)$ の $K=1, 1.4$ として、この4次制御

系を安定な3次制御系に近似したときのステップ応答 $x(t)$ - t 特性を求めると、図5のようになる。ここで、 $G_c(s)$ の $T_1=0$ としたいが、その時には計算不能となるため、オーバーフローしない最小値を T_1 としている。また $G_t(s)$ の $K=5$ のときには、この近似3次制御系は不安定となるため、 K を①1 ②1.4としている。



$G_t(s) : \zeta=0.4, \omega_n=3, K \textcircled{1} 1 \textcircled{2} 1.4$
 $G_c(s) : K_0=1, T_1=0.018, T_2=0$
 プログラム:
 ①図3 ただし 20 $K=1 \cdots K_0=1: T_1=.018: T_2=0 \cdots$
 ②図3 ただし 20 $K=1.4 \cdots K_0=1: T_1=.018: T_2=0 \cdots$

図5 近似3次制御系のステップ応答

4.2 3次制御系のステップ応答

4.2.1 3階常微分方程式の解法

3次制御系のステップ応答を求めるための、②①～④式に対応するルンゲクッタ法による解法式は、4次制御系の場合と同様に求められる。

4.2.2 3次制御系のステップ応答

4.1項の近似3次制御系と等価な、図6に示すような3次制御系について、その解法式を用いて、比例ゲイン K をパラメータとするステップ応答 $x(t)-t$ 特性を求めると、図7のようになる。この図7の① $K=1$ ② $K=1.4$ の場合が、図5と対応しており、ほぼ同じステップ応答となっていることがわかる。

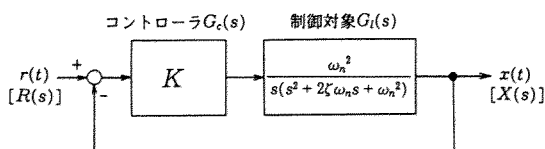
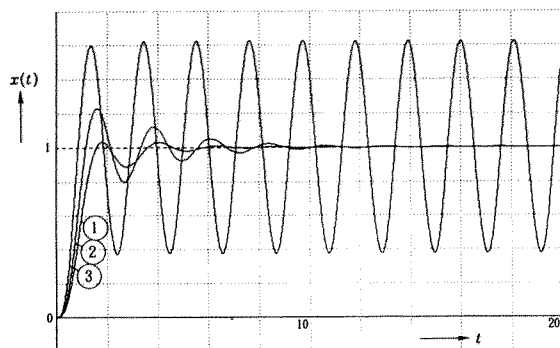


図6 3次制御系



$G_t(s): \zeta=0.4, \omega_n=3$ $G_c(s): K$ ①1②1.4③2.4

図7 3次制御系のステップ応答

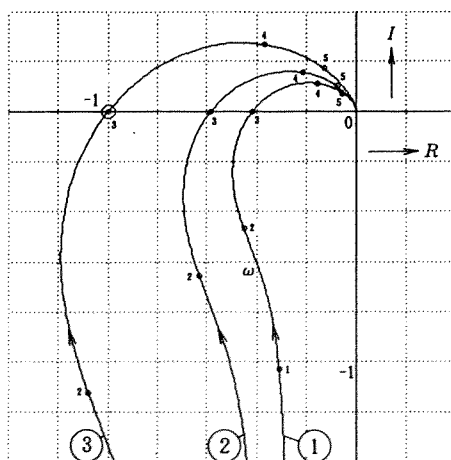
4.2.3 3次制御系のナイキスト線図

図6の3次制御系について、 K をパラメータとするナイキスト線図を作成すると図8のようになる。 $K=2.4$ のときには、図7のステップ応答と図8のナイキスト線図のいずれにおいても安定限界となっていることがわかる。

4.3 ステップ応答の求め方の妥当性

4.1～4.2項における比較検討から、4次制御系のステップ応答を求めるのに、③式と②①～④式のルンゲクッタ法による解法式を用いることは、一応妥当であるとい

える。なお、図5のステップ応答において、 $K=2.3$ とすると、発振応答となり安定限界となる。図7と図8では、 $K=2.4$ が安定限界であり、ほぼ近い結果が得られていることもわかる。



$G_t(s): \zeta=0.4, \omega_n=3$ $G_c(s): K$ ①1②1.4③2.4

図8 3次制御系のナイキスト線図

5 まとめ

高次制御系の1例としての4次制御系について、ステップ応答を求める方法を示したが、このように、市販ソフトを用いずに、制御系の各種特性を、パソコンの短いプログラムにより可視化できると、非常に有効である場合もある。ところで、制御工学に関しては、古典制御理論による1変数制御系から、現代制御理論による多変数制御系、さらにはファジー制御、ニューロ制御と発展を続けており、その内容もますます複雑難解になりつつある。このようなときに、各種市販ソフトの活用と並行して、制御系の各種のシステム特性や要素特性を、パソコンにより任意に可視化できると、その内容の理解に大いに役立ち、かつ各種制御系の設計解析にも活用できる。このような観点から、今後ともパソコンを活用した各種制御系の可視化やシミュレーションにとりこんでいきたいと考える。

参考文献

- 1)三木(米山 監修)：“パーソナルコンピュータによる数値計算入門” オーム社 (1983)
- 2)戸川, 下関：“グラフィック振動論” サイエンス社 (1984)

セルオートマトン法による流れの数値計算

坂本 雅彦・山田 孝信*

Simulating Flow by Using Cellular Automaton

Masahiko Sakamoto and Takanobu Yamada

Recently many kinds of flow on the Cellular Automaton were proposed. In this study, we applied the method to a simulation of flow around plate. We were able to observe vortex flow which is particular characteristics to the flow around the plate. In the results, this method is applied to the flow simulation, but calculating time depends on the CPU capacity.

2. 基礎理論

1. 緒 言

近年流れの数値計算法として注目されつつあるセルオートマトン法は格子により離散化された平面上を離散速度で運動する格子を統計力学的に処理することで連続体としての流体を模擬するものである^{(1), (2)}。空間、時間そして状態の全てが離散値をもつという特長はこの方法が並列処理等の高速計算処理に適応している。これは、格子の状態変化が近傍の状態にのみ依存し、極めて局所的な処理により成立するからである。この局所的な処理により大規模な並列処理計算に適したものである。このモデルは格子間の衝突時に、質量および運動量が保存されていること、等方性が保たれている格子が空間を離散化するという条件のもとで Navier-Stokes 方程式が導出されている。

本研究では、セルオートマトンによる流れの計算法を確立するため平板周りの流れ⁽³⁾を例に数値計算を行い、その流れを実験により観察し両者を比較検討した。

セルオートマトンでは連続体としての流れを微視的レベルとしてこれを離散的な状態に置き換え粒子の運動に対する時間発展を行い、巨視的レベルとして統計的にこれらの状態を疎視化し、結果として流れ場の速度および流線等の連続体としての物理的な状態を求める手法である。以下にこれらの詳細について述べる。

2.1 状態の表現

二次元の流れ場として等方性を重視して図1に示す離散化を考え、同時刻・同格子点に同じ速度を持つ粒子は存在できないという排他原理を守る。時刻 t_* ($t_* = 0, 1, 2, \dots$) における格子点 r_* の状態は速度 $C_i = \{\cos(\pi i/3), \sin(\pi i/3)\}$, ($i = 0, 1, 2, \dots, 5$) の粒子の存在有無により、その状態は1または零の値となる7個のブール変数の集合により表される。

$$n(t_*, r_*) = \{n_i(t_*, r_*) : i = 0, 1, 2, \dots, 6\} \quad (1)$$

ここで $n(t_*, r_*) = 0, 1$ のいずれかの値を持ち0の場合には粒子が存在せず、1の場合に粒子は存在する。さらに $i = 6$ は静止粒子の存在状況を表すセルを示す。

*三菱重工業(株)神戸造船所

2.2 粒子の衝突および並進運動

複数の粒子が同時刻に同格子点にあらかじめ定められた衝突則にしたがって質量と運動量を保存するように散乱する。衝突の状態の変化による簡単な例としてFHP-Iモデルを用いた場合を図2に示す。2個の粒子が正面衝突する二体衝突では二通り、3個の粒子が衝突する三体衝突では3通りの衝突が考えられるが、鏡映対称性を考慮して等しい確率でこれらを振り分ける。ここで、衝突関数として次式が与えられる。

$$\begin{aligned} \Delta_i = & \xi_i + n_{i+4}(1-n_i)(1-n_{i+2})(1-n_{i+3})(1-n_{i+5}) \\ & + (1-\xi)n_{i+2}n_{i+5}(1-n_i)(1-n_{i+1})(1-n_{i+3})(1-n_{i+4}) \\ & - n_in_{i+3}(1-n_{i+1})(1-n_{i+2})(1-n_{i+4})(1-n_{i+5}) \\ & + n_{i+1}n_{i+3}n_{i+5}(1-n_i)(1-n_{i+2})(1-n_{i+4}) \\ & - n_in_{i+2}n_{i+4}(1-n_{i+1})(1-n_{i+3})(1-n_{i+5}) \end{aligned} \quad (i=0, 1, 2 \dots 5) \quad (2)$$

ここに Δ_i は0, ± 1 のいずれかの値をもち、 ξ は衝突の状態を鏡映対称性を考慮して非決定論的に状態を振り分けるブル変数である。

各格子点での質量保存と運動量保存は上述の衝突関数

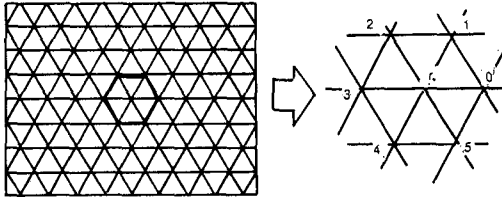


図1. 格子状態(FHP-I model)

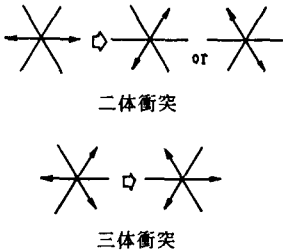


図2. 衝突則

Δ_i を用いて次式で表される。

$$\sum \Delta_i = 0 \quad (3)$$

$$\sum c_i \Delta_i = 0 \quad (4)$$

粒子は各格子点で衝突後1タイムステップでその速度方向の格子点に移動し、結局衝突と並進運動を合わせた1タイムステップの状態の変化は次式で表される。

$$n_i(t_* + 1, r_* + c_i) = n_i(t_*, r_*) + \Delta_i \quad (5)$$

2.3 疎視化

微視的に格子の状態は時間発展で局所的平衡として見ることができる。したがって分布関数を考慮して任意の有限領域(疎視化領域と呼ぶ)での粒子数の平均値は、

$$N_i(t_*, r_* + c_i) = \langle n_i(t_*, r_*) \rangle \quad (6)$$

で与えられ、格子点 r_* での粒子数および運動量の平均値は、次式で表される。

$$\rho(t_*, r_*) = \sum N_i(t_*, r_*) \quad (7)$$

$$j(t_*, r_*) = \sum c_i N_i(t_*, r_*) \quad (8)$$

結果として疎視化領域における流体の速度 $u(t_*, r_*)$ は次式で定義される。

$$u(t_*, r_*) = j(t_*, r_*) / \rho(t_*, r_*) \quad (9)$$

2.4 巨視的状态の関係式

疎視化を行った領域、つまり平均値レベルの質量保存および運動量保存則は次式で表される。

$$\sum N_i(t_* + 1, r_* + c_i) = \sum N_i(t_*, r_*) \quad (10)$$

$$\sum c_i N_i(t_* + 1, r_* + c_i) = \sum c_i N_i(t_*, r_*) \quad (11)$$

時間と空間にゆっくりと変化する密度と運動量を持つ局所的平衡が設定可能とすると、格子点数と時間を十分にとることで連続体とみなすことができる。そこで、式(10)をスケール変換し、テイラー展開し一次まで考慮すると次の連続の式を得ることができる。

$$\frac{\alpha \rho}{at} + \Delta(\rho u) = 0 \quad (12)$$

同様に式(11)をテイラー展開すると次式を得る。

$$\frac{\alpha \rho}{at} + (\sum c_i N_i) + \sum c_i (c_i \Delta N_i) = 0 \quad (13)$$

ここで N_i の形から式(13)がNavier-Stokes方程式とほぼ同等となることがわかる。

3. 数値計算

平板周りの流れでは図3に示すように定常流れを仮定し粒子は系内の左側より流入し、右側に流出する。粒子の衝突則はFHP-Iモデルを用い、図4に示すように固定壁ではslip-noslip条件を1:3の割合で与え、質量および運動量の保存則を満足するように与えた。計算のフローチャートを図5に示す。ただし、計算では系内の格子点数を 960×480 、平板の高さを120、位置を上流より640とした。また、疎視化領域は 32×32 の格子領域でとり、速度は100ステップでの時間平均をとった。

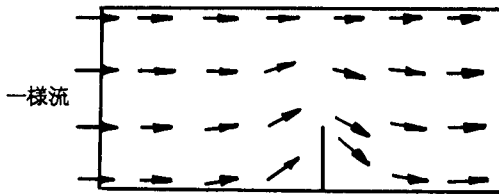
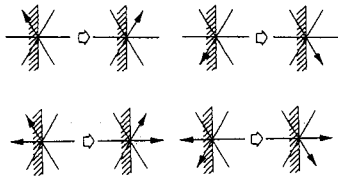
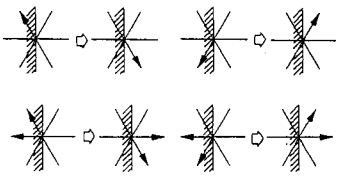


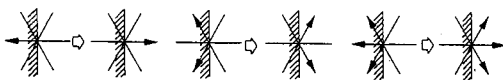
図3. 平板周りの流れ



滑りあり



滑りなし



両者共

図4. 境界条件

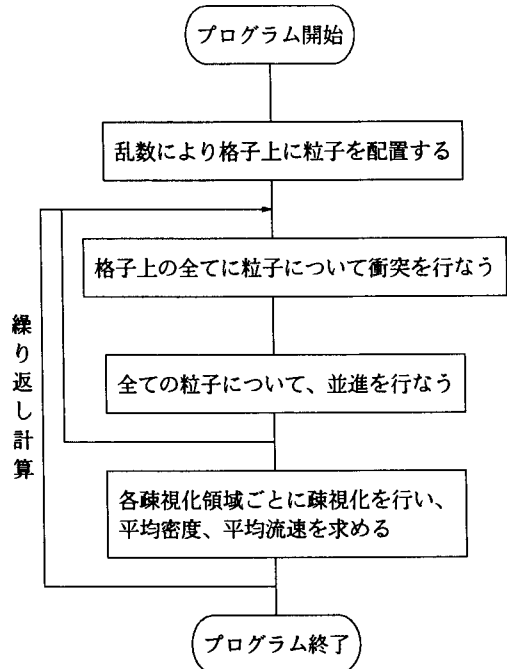


図5. 計算のフローチャート

4. 計算結果および考察

図6に計算結果の一例として20000タイムステップにおける平板周りの速度分布を示す。平板の上流では淀み点（stagnation point）が、一方後方には渦が存在していることがわかる。上流より流入する粒子の速度分布は一樣ではないがこれは今回適用した固定壁での境界条件ならびにタイムステップ数等の問題が生じたためであると考えられる。図7に

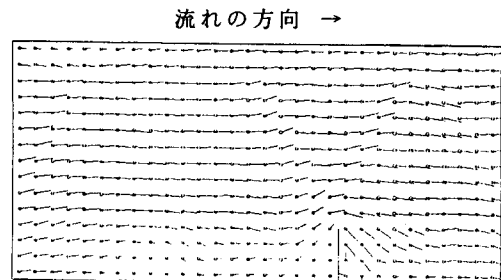


図6. 数値計算結果

レイノルズ数が150の結果における平板回りの観察結果を示す。観察結果は平板の上流側で淀み点（stagnation point）が、下流側で渦の発生が確認され定性的には数値計算結果との一致が確認された。

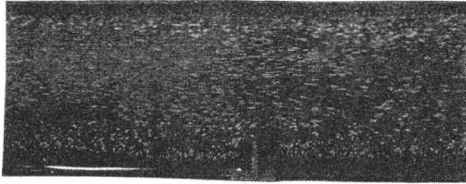


図7. 平板周りの流れの観察結果

今回の計算ではパソコンレベルで一週間程度の計算時間を要した。本計算処理はその局所性向きのため計算の平行化処理を行うことで飛躍的な計算時間のアップならびに計算精度の向上が図れると考えられる。

本計算プログラムの作成について神戸大学工学部教授 葛原道久先生、元大学院生 美濃君ならびに村田君のご指導を得た。ここに深く感謝の意を表す。

文 献

- (1)吉沢, 高橋, 論文 (B編) 57-540, B (1991), 2663
- (2)小林, 高橋, 論文 (B編) 57-540, B (1991), 2671
- (3)葛原, 富山, 木村, 村田, 機論投稿中

電子ニュース転送ツール “sendnews” の改良

浅井 文男・藤井 直人*・福本 圭司**

An improved “sendnews” for sending NetNews

Fumio ASAI, Naoto FUJII, Keiji FUKUMOTO

複数の電子ニュースを1つにまとめて圧縮し、電子メールに変換するツール (sendnews2)を作成した。sendnews2はsendnewsの機能を拡張したツールで、利用環境や目的に応じて、まとめるニュースの個数、メールのサイズ、圧縮の有無などを指定することができる。50個のニュースを圧縮して1個のメールで転送する場合、sendnewsと比較すると、ディスク消費量は約40%、転送時間は約13%に節約(短縮)できる。

1. はじめに

電子ニュース (NetNews)は計算機ネットワーク上における不特定多数あるいは特定のグループのメンバーを対象にしたコミュニケーションツールである。電子ニュースはメッセージの交換ばかりでなく、個人が作成した各種のプログラム (フリーソフトウェア)の配布にも使用されている。

ローカルな計算機ネットワークでは、ワークステーションの端末としてパソコン (MS-DOSマシン)が接続されていることが多い。このような場合、電子ニュースシステムのホストマシンに配信されてきたパソコン用のプログラムを記事とするニュース (今後はプログラムニュースと記す)は、自動的にこれらのパソコンに転送され、復元処理されると都合がよい。

標準的な電子ニュースシステムの一つであるBnewsシステムには電子ニュースを電子メールに変換して送るツール (sendnews)が付属している。sendnewsを利用すれば、イーサネットではホストマシンに接続されたパソコンにプログラムニュースを転送することが容易に

できる。しかし、sendnewsは1個の電子ニュースを1個の電子メールに変換して送るため、多数のニュースを転送する場合はオーバーヘッドによる転送効率の低下とニューススプールディスクの消費が問題になる。この問題の解決策は“batched feed”方式のように、複数のニュースをまとめて1個の電子メールで送ることである。

この考えに基づいて sendnews を改良した電子ニュース転送ツールが sendnews2である。sendnews2を用いると複数のニュースを指定した条件でまとめ、さらに必要に応じて圧縮した後、テキストファイルに変換して1個あるいは複数個の電子メールで送ることができる。

2. sendnews2の仕様

sendnews2は以下の3つの基本動作モードをもつ。

- 1)蓄積動作モード
- 2)変換動作モード
- 3)sendnews 互換動作モード

2.1 蓄積動作モード

sendnews2を使用してニュースグループ “labo”に属するニュースをホスト名 “pghost”のパソコンに転送

* (株)三菱電機 ** 奈良高専電子情報専攻科

する場合、Bnewsシステムの“sys”ファイルには以下のように記述する。

```

/usr/lib/news/sys
pchost:labo::usr/lib/news/sendnews2 rnews@pchost

```

電子メールの宛先アドレス“rnews@pchost”がsendnews2のソースプログラムで指定された電子メールの宛先アドレス“TOADR”と一致すると、sendnews2は蓄積動作を行う。蓄積動作における処理の流れを図1に示す。

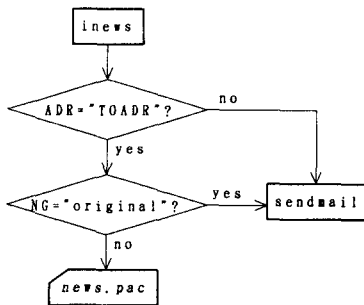


図1 蓄積および互換動作モード

sendnews2はinews(rnews)から渡されたニュースのヘッダと記事の各行の先頭に“N”の文字を付加して蓄積ファイル“news.pac”に順次、書き込む。その際、個々のニュースは改行コードのみを含む1行で分離される。

2.2 変換動作モード

電子メールの宛先アドレスが引数にない場合、sendnews2は変換動作を行う。変換動作における処理の流れを図2に示す。sendnews2は引数で指定された条件に従って蓄積ファイル“news.pac”から複数のニュースを取り出し、圧縮／テキスト変換した後、電子メールに変換する。

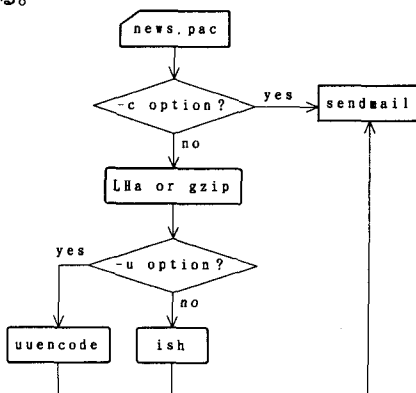


図2 変換動作モード

sendnews2は表1に示す引数を指定することができる。-pと-sが同時に指定されたときは、先に指定条件を満たす処理が行われる。また、-uと-cが同時に指定されたときは、-uは無視される。-uを指定しないと圧縮されたニュースはishによってテキストファイルに変換される。このとき7ビットJISコードが使用される。

表1 変換動作モードの引数

-p []:	1個のメールで送るニュースの個数を指定する
-m []:	1度で送るメールの個数を指定する
-s []:	1個のメールのサイズを指定する
-c	: ニュースをまとめるだけで、圧縮しない
-u	: uuencodeでテキストファイルに変換する

変換動作の対象となるニュース全体のサイズが小さい場合、圧縮してテキストファイルに変換すると、変換前よりもサイズが増加することがある。このため、ニュース全体のサイズがしきい値（3キロバイト）以下なら、-cを指定していなくても圧縮／テキスト変換は行われない。すなわち、-cを指定したときと同じ処理を行う。

◎ 引数指定の具体例

○sendnews2 (引数なし)

“news.pac”に蓄積されているすべてのニュースを圧縮／テキスト変換して、1個のメールで送る。

○sendnews2 -m 10 -c

“news.pac”に蓄積されているすべてのニュースを10個に分割し、それぞれ圧縮せずにメールで送る。

○sendnews2 -p 100

100個のニュースを圧縮／テキスト変換して、1個のメールで送る。“news.pac”に蓄積されているニュースが100個に満たない場合、すべてのニュースが処理される。100個以上のニュースがある場合、100番目のニュースで処理が打ち切られる（以下同様）。

○sendnews2 -m 5 -s 10240 -u

1個のメールのサイズが10キロバイトになるまでニュースをまとめて圧縮し、uuencodeでテキストファイルに変換して5個のメールで送る。

2.3 sendnews互換動作モード

このモードはsendnewsと互換性を保つためにある。すなわち、互換動作指定ファイル“original”に特定のニュースグループ名を記述しておく、そのグループに属するニュースに対して、sendnews2はsendnewsと同じ動作を行う。例えば“original”に以下のような記述がある場合、ニュースグループ“labo.binaries”と“labo.image”に属するニュースは“news.pac”に蓄積されず、1個ずつ電子メールに変換される。

```

      /usr/lib/news/original
labo.binaries
labo.image

```

“sys”ファイルで指定した電子メールの宛先アドレスが“TOADR”と異なる場合も sendnews と同じ動作を行う。

3. sendnews2の性能評価実験

3.1 実験システムの構成

(1) ハードウェア

電子ニュースシステムのホストマシンは NEWS 3460, ニュースの転送を受けるパソコンは PC-9801RX である。これらをイーサネットで接続する。どちらもニュースプールディスクはハードディスクである。

(2) ソフトウェア

ホストマシンの電子ニュースシステムは Bnews (ver.2.11.7), パソコン側の TCP/IP 通信ソフトウェアは JNET(ver.9111)を使用する。

圧縮ツールは LHa(ver.1.00)または GNU gzip(ver.1.2.2)を使用する。LHa はパソコンで使用される標準的なアーカイバである。gzip は UNIX マシンで使われる標準的な圧縮ツール compress よりも処理速度、圧縮率ともにすぐれている。

バイナリ→テキスト変換ツールは ish(ver.1.11)または uuencode を使用する。ish はパソコンで使われる標準的な変換ツールで、エラー訂正機能も備えている。

3.2 実験内容

1 回の実験でパソコンに転送する電子ニュースは 50 個で、それらの記事は内容の異なる平文で構成され、1 個の記事のサイズは 1～3 キロバイトである。50 個の記事全体のファイルサイズは 142 キロバイトである。電子メールの転送には SMTP を使用する。

(1) 測定量

①処理時間 (秒)

“news.pac”に蓄積された 50 個のニュースすべてを引数の指定に従ってメールに変換するために要する時間。

②転送時間 (秒)

変換動作で作成されたメールすべてをパソコンに転送するために要する時間。

③ディスク消費量 (キロバイト)

作成されたメールによって消費されるメールキューディレクトリ(/usr/spool/mqueue)のディスク容量。

④ファイルサイズ (キロバイト)

転送されたメール全体のファイルサイズ。すなわち、パソコン側のメールプールディレクトリに作成されるファイル(¥spool¥mail¥rnews.txt)のサイズ。

(2) 引数の指定

各実験ごとに、NN 個のニュースを 1 個のメールにまとめ、NM 個のメールを転送する。NN と NM の組み合わせは、(NN,NM) = (1,50)…実験 1 のみ、(5,10), (10,5), (25,2), (50,1) である。

○実験 1 : sendnews2 -p NN -m NM -c

圧縮/テキスト変換は行わない。(NN,NM) = (1,50) の場合が sendnews による転送に相当する。

○実験 2 : sendnews2 -p NN -m NM

LHa で圧縮し、ish でテキストファイルに変換する。

○実験 3 : sendnews2 -p NN -m NM

gzip で圧縮し、ish でテキストファイルに変換する。gzip は引数 -9 を指定し、圧縮率を最大にする。

○実験 4 : sendnews2 -p NN -m NM

gzip で圧縮し、ish でテキストファイルに変換する。gzip は引数 -1 を指定し、処理速度を最大にする。

○実験 5 : sendnews2 -p NN -m NM -u

gzip で圧縮し、uuencode でテキストファイルに変換する。gzip は引数 -9 を指定し、圧縮率を最大にする。

3.3 実験結果

実験 1, 2, 3, 4, 5 の結果をそれぞれ表 2, 3, 4, 5, 6 に示す。sendnews で転送した場合(実験 1 の NN=1)の測定値を基準(100%)にして、実験 1 と 2 の測定値を相対的に表したグラフを図 3, 4 に示す。また、圧縮/テキスト変換を行う実験 2～5 において、ニュースが 50 個の場合の測定値を比較したグラフを図 5 に示す。

表 2 実験 1 の結果

ニュース	処理時間	転送時間	ディスク容量	ファイルサイズ
1	41.6	81.3	189	156
5	10.2	29.5	148	142
10	6.5	24.8	144	140
25	4.4	21.8	150	139
50	3.4	20.8	145	139

表 3 実験 2 の結果

ニュース	処理時間	転送時間	ディスク容量	ファイルサイズ
5	26.3	19.7	83	79
10	19.4	14.6	72	70
25	16.5	10.9	67	65
50	15.4	10.2	69	64

表4 実験3の結果

ニュース	処理時間	転送時間	ディスク容量	ファイルサイズ
5	18.8	20.1	82	78
10	13.3	14.3	71	68
25	10.6	10.5	63	62
50	9.6	9.4	65	60

表5 実験4の結果

ニュース	処理時間	転送時間	ディスク容量	ファイルサイズ
5	17.4	22.4	94	84
10	11.0	15.1	82	75
25	6.7	12.0	77	71
50	5.8	10.7	82	70

表6 実験5の結果

ニュース	処理時間	転送時間	ディスク容量	ファイルサイズ
5	13.7	23.7	44	48
10	9.2	14.4	74	67
25	8.4	10.6	68	62
50	8.1	9.5	70	60

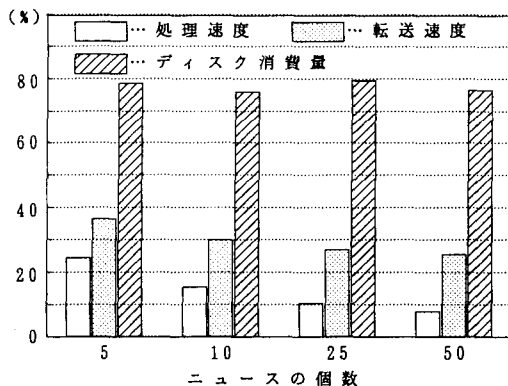


図3 実験1における測定値の比較

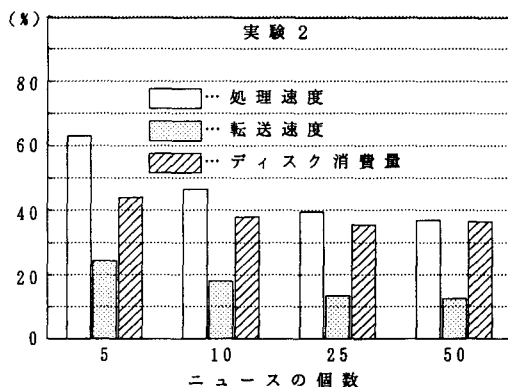


図4 実験2における測定値の比較

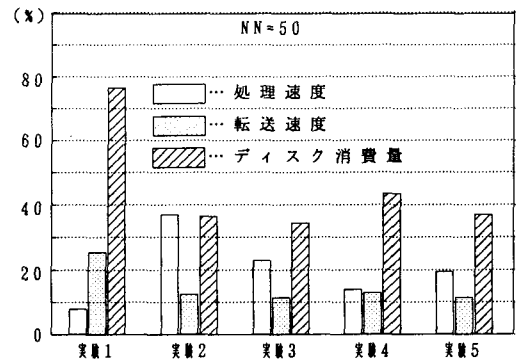


図5 ニュースが50個の場合の比較

4. 考 察

(1) ニュースをまとめる効果

表2および図3より、ニュースをまとめて転送するだけで転送時間が非常に短縮されることがわかる。この効果はまとめるニュースの個数が比較的少なくても顕著であり、5個のときでも1個ずつ転送する場合の36%に短縮される。転送時間が短縮されるのは、

①メールのヘッダ、②SMTPによる転送手順がそれぞれ節約できるからであるが、50個のニュースを1個ずつメールで転送する場合でも、ヘッダの付加によるファイルサイズの増加は全体で約19キロバイト（～13%）にすぎない。よって、②の節約効果が非常に大きいことがわかる。

ディスク消費量はニュースの個数にあまり依存せず、1個ずつ転送する場合の80%程度である。プログラムニュースのように記事のサイズが大きい場合、ニュースをまとめるだけではディスク消費量を実質的に減少させることができない。

(2) ニュースを圧縮する効果

表3および図4より、ニュースを圧縮すると転送時間がさらに短縮するばかりでなく、ディスク消費量も大幅に減少することがわかる。まとめるだけの場合と異なり、転送時間の短縮はニュースの個数が多いほど顕著で、50個のときは1個ずつ転送する場合の13%にまで短縮される。それに対してディスク消費量はニュースの個数にあまり依存せず、1個ずつ転送する場合の40%程度になる。

(3) 圧縮/テキスト変換ツール

表3～6および図5より、転送時間とディスク消費量（特に転送時間）は圧縮/テキスト変換ツールの組み合わせにあまり依存しないことがわかる。これはLHアとgzipの圧縮率が同程度（～33%）で、かつ、ishと

uuencodeによる増加率も同程度（～38％）であるためと考えられる。LHaの処理速度はgzipに劣るので、実験2と実験3～5の処理時間には平均で約2倍の差が生じている。

これらの結果から、圧縮／テキスト変換ツールにはgzipとuuencodeを使用するのが適切であると結論できる。パソコン用のgzipとuudecodeも提供されているので、パソコン側におけるニュースの復元は容易である。

参考文献

- 1) 福本圭司：“sendnewsによる電子ニュース転送方法の改善” 奈良工業高等専門学校卒業研究報告書(1991)
- 2) 藤井直人：“sendnewsによる電子ニュース転送方法の改善Ⅱ” 奈良工業高等専門学校卒業研究報告書(1992)

ソフトウェア設計教育の支援システム におけるガイド機構

工 藤 英 男

Guide Mechanism of CAI System for Software Design Education

Hideo KUDO

ソフトウェア技術者の養成においては、ソフトウェア開発における分析や設計に関する知識のみならず、それらの実習も必要と考えている。最近では、ソフトウェア開発の工程全般を網羅するCASEツールまで市販されている。しかしながら、それらの購入は教育現場では高価で入手が困難であり、また入手できても、それらの機能が豊富すぎて教育的ではなく、各種実験データの収集には不都合な面がある。

そこで、複数の設計法を学生が主体的に学習でき、演習まで含んだCAIシステムの構築を進めている。本稿では、ソフトウェア設計の部分における教育支援のためのCAIシステムのガイド機構について、その基本設計の構想を述べる。

1. まえがき

ソフトウェア開発において、様々なソフトウェア設計法が提案されているが、それらの有効性が定量的に把握されていない^[1]。そのため、設計作業の内容を教育現場の実験により、定量的に考察し何が設計での本質的な項目であるかを検討してきた^[2]。また、ソフトウェア開発における要求分析のDFD作成支援ツールの試作などを行ってきた^[3]。しかし、設計情報は従来工程ごとに独立で、次の工程にはドキュメントの形式で引き渡されていた。そのために、次工程ではドキュメント上の情報を人手で入力して作業を進めなければならない、作業や分析に問題があった。

そこで、各工程での設計情報やドキュメント等を計算機上でデータベースとして一元管理し利用するために、市販のCASEツールを活用することも考えられる。

ここでのCASEとは、Computer Aided Software Engineeringの略で、ソフトウェア技術活動におけるコンピュータ支援であり、その目標は「統合化されたツールの集合によるソフトウェアライフサイクル全体の自動化」、「ソフトウェア開発の生産性の向上」、「ソフトウェア製品の品質の向上」である^[4]。

CASEには様々な種類があり waterfall lifecycle modelの基準により分類すると、次のようになる^[5]。

- ①上流工程支援CASE：業務分析・要求分析から設計工程を支援
- ②下流工程支援CASE：詳細設計、プログラム作成、テスト、運用・保守を支援
- ③最上流工程支援CASE：システムの構想を立て計画化する作業を支援
- ④統合化CASE：上流から下流までの一連の流れを連続して支援

ところで、高等教育機関における実践的なソフトウェア技術者の養成においては、単なるプログラミング教育に留まらず、ソフトウェア開発における上流工程での分析や設計に関する知識のみならず、それらの実習も必要と考えている。そのためにはCASEツールの活用も一つの方法であるが、企業でのCASE導入事例の報告においても種々の問題を抱えている^[6]。

しかしながら、教育現場では高価で入手が困難であり、また入手できても、それらの機能が豊富すぎて教育的ではなく、各種実験データの収集には不都合な面がある。例えば、データ収集のための計測機能を後で市販のCASEツールに組み込むことは容易ではない。

そこで、3つの機能を備えたCAI(Computer As

sisted Instruction) システムの構築を進めている。

本稿では分析および設計の部分である上流CASEのCAIシステムにおけるガイド機構について、その基本設計の構想を述べる。

このシステムの特徴の一つとして、利用者である学生が学習過程を楽しみながら設計手法を学び、演習できる環境の提供である。なお、本システムにおける構築の背景ならびに基本設計での基本的な考え方の詳細については、文献[7～9]を参照されたい。

2. ソフトウェア設計技法

本システムで扱う教材の対象であるソフトウェア設計における手法について整理すると、以下のようになる。

歴史的には構造化分析法(SA: Structured Analysis)や構造化設計法(SD: Structured Design)が提唱され、その後多くの設計手法が考案された^[10]。それらの設計法はモデル化の視点により、次の4つに分類される^[11]。

- ①プロセス指向：データ加工機能
- ②データフロー指向：データの動き
- ③データ構造指向：データの階層性
- ④オブジェクト指向：データと処理

表1には、主な設計手法についての比較を各工程や目的に応じて用いる表記法を示した例である^[12]。

表中の設計手法について、SA/SDとは構造化分析設計法(Structured Analysis/Structured Design)、SSADM^[13]とは構造化システム分析と設計技法(Structured Systems Analysis and Design Method)、OMT法^[14]とはオブジェクト指向分析・設計技法(Object Modeling Technique)、OOA/OODとはオブジェクト指向分析/オブジェクト指向設計(Object Oriented Analysis/Object Oriented Design)である。

なお、表中のDFDとはデータの流れを基準にプロセスをモデル化するもの(Data Flow Diagram データフローダイアグラム)、ERDやデータの実体とそれらの関連をモデル化するもの(Entity Relationship Diagram)、STDとは状態遷移図(State Transition Diagram)である。

また、②と③に関する手法はデータ主導型ともいわれ、表1に示したSA/SD以外にも、JSP法であるジャクソンのプログラミング技法(Jackson Structured Programming)、SADTである Softech社のD.Rossの考案した構造的分析設計法(Structured Analysis and Design Technique)、JSD法であるジャクソンシステム開発法(Jackson Systems Development)、R/SAであるJ.Hatleyらが提唱したリアルタイムシステムのための構造化分析手法などがある。

しかしながら、全ての設計手法を網羅することは非常に困難なため、各種の設計手法の基礎となるものとして、SA/SDから教材の対象として考えることとした。

3. CAIシステム

3.1 機能の概要

本システムでは、次の3つの機能を備えたCAIシステムの構築を進めている。

- ①学生が主体的に各種の設計法を学習できる機構
- ②統一操作での各種設計法によるソフトウェア開発の演習環境
- ③設計法を比較するための計測データ収集機構

そこで、分析および設計の部分である上流CASEの対象としては、種々の設計法の基本となる構造化設計法を中心にSSADMとOMT法における学習と実習ができる教材を対象とする。

表1 分析・設計手法の比較

設計手法	分 析			設 計			提案者
	機 能	デ ー タ	状 態	機 能	デ ー タ	状 態	
SA/SD	DFD プロセス仕様	データ辞書	×	構造図	データ辞書	×	Yourdon, DeMarco
SSADM	機能定義 DFD	論理データ図 実体履歴	実体イベント 影響関連図	プロセス分解図 プロセス仕様	詳細データモデル	実体イベントモデル	LBM S社
OMT法	機能モデル DFD	ERD	動的モデル STD	機能モデル DFD	ERD	動的モデル STD	J.Rumbaugh, et al
OOA/OOD	サービス層	属性層	オブジェクト状態図 STD	サービスチャート	×	オブジェクト状態図 STD	Coad, Yourdon

3.2 ハイパーテキストの採用

本システムの実現において効率的に開発するために、ならびに運用において学習効果を期待して、ハイパーテキスト^[15, 16, 17]を採用することにした。

ハイパーテキストには、人間が考える連想的様式に対応している特徴があり、教育用アプリケーションの実績も豊富であり、学習教材への応用としては最適と考えた。各種設計法において、ソフトウェアの開発の作業工程のチャートなどの図的記法も含むドキュメント管理に適している。なお、システムの開発においては、大規模なものを想定せずに、小規模なものから手掛け順次機能を拡張して行く方針をとり、ハイパーテキストによるスタックカード^[18]を用いた。

3.3 システムの概要

ハードウェア構成は図1に示すように、複数のパソコンとワークステーションから構成し、設計法の学習とその演習を行う複数の学習者用のパソコンと収集されたデータ分析を行う監視者用のNeXTをネットワークで接続されている。各種のデータは複数の学習者用のパソコンからLocalTalkによりデータ収集用のパソコンに転送し、さらにThin-Ethernetによりワークステーションに転送して解析を行う。

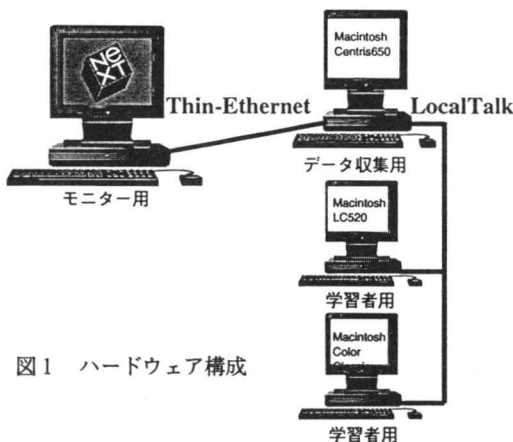


図1 ハードウェア構成

次に、ソフトウェア構成は図2に示すように、学習者と監視者の2つの部分からなる。システムの機能として、前者は設計法の学習と設計演習に伴うデータ収集部、後者は開発情報データの解析及び評価の部分と分析結果の表示部からなる。

- 入出力インターフェース部：学習者と学習制御部、演習制御部との情報の受渡しを行う機構
- 学習制御部：複数の設計手法の教材DB部を制御する機構
- 演習制御部：複数の設計法による演習のガイド教

材、演習の工程での成果物を保管する演習DB部を制御する機構

- データ収集部：演習時の開発履歴などの開発情報DB部のためのデータを収集する機構

- 解析・評価部：各種データを解析する機構

- 表示部：分析結果の表示する機構

なお、データベース（DB）部は次の3つからなる。

- 設計教材DB部：複数の設計法の学習教材の保管
- 開発情報DB部：演習の工程での成果物の保管
- 演習DB部：実習用スタック集と演習状況の記録

ところで、ガイド機構は特に設計教材DB部と学習制御部に関連したものである。

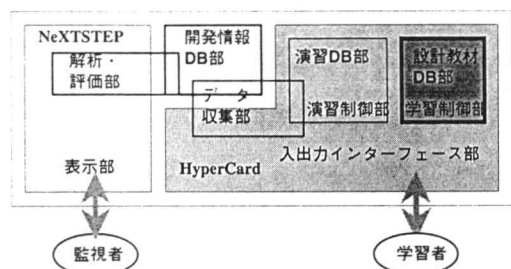


図2 ソフトウェア構成

4. ガイド機構

4.1 設計法教材の構成

CAIシステムにおけるガイド機構について、その基本設計の構想を述べる。

図2の設計教材DB部における設計法教材の構成は図3に示すように、各設計法の教材と共通部品である用語集と図的記法のスタックから構成する。設計手順に従いカードとのリンクを張り、さらに各専門用語に対しても説明が参照できるようにリンクを張る。

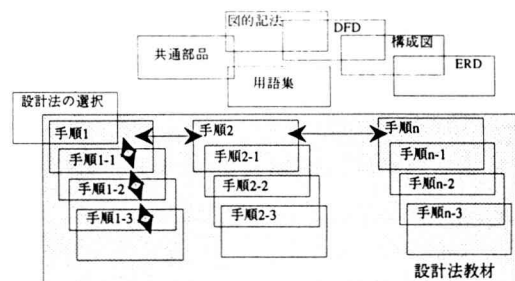


図3 設計法教材スタックの構成

4.2 設計実習の構成

各設計法による実習においては、図2の演習DB部

において、実習用スタック集を用意する。図4に示すように前記の設計法教材スタックをバックグラウンドとして、実習用のカードを重ねる方式をとる。なお、実習の際におけるデータ収集はスクリプトにより別のカードに保存する仕掛を考えている。

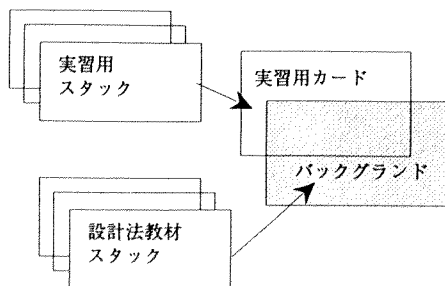


図4 設計実習スタックの構成

5. あとがき

本CAIシステムの開発手順としては、最終的な目的である設計法の定量的な評価を目標に、データ収集の実験環境を実現するにあたり、手始めに数ある設計法の中から構造化設計法の学習環境の構築を行っている。また、データの収集・解析機構などについては別稿で述べる。さらに、設計手法に関する教材などは現在のパソコンから分散環境のワークステーションへの移行を計画している^[19, 20]。

謝 辞

本研究の一部は文部省科学研究費（一般研究(C) 課題番号05680188，試験研究(B)(1)課題番号04559013)の補助を受けている。ここに付記して深く感謝を致します。

また、本研究を進めるにあたり、協力を頂いた平成5年度卒業研究生であった中野真由美、中野有起子、長橋雅明、岡村淳司、城間順一、西岡正隆の諸氏、ならびに専攻科生の松村崇史君に感謝します。

参考文献

- [1] Robert B. Grady and Deborah L. Caswell : “ソフトウェア・メトリクス” 日経BP社 (1990).
- [2] 工藤, 杉山, 藤井, 鳥居: “実験に基づくプログラム設計過程の定量化の試み”, 情報処理学会ソフトウェア工学研究会報告, No.58, pp.81-88 (1988).
- [3] 工藤, 八木, 松村: “ソフトウェア開発における要

求分析のDFD作成支援ツールの試作”, 奈良工業高等専門学校研究紀要, 第28号, pp.45-52 (1993).

- [4] 竹下 亨: “CASE概説”, 共立出版 (1990).
- [5] 加藤英雄: “実践CASE入門”, 共立出版 (1990).
- [6] 渡辺, 丸田, 唐沢, 本山: “市販CASEツールの導入とその問題点”, ソフトウェアシンポジウム93論文集, pp.113-116 (1993).
- [7] 工藤, 多喜: “ソフトウェア設計教育の支援システムの構想”, 情報処理学会全国大会講演論文集(1), pp.53-54 (1993).
- [8] 工藤, 多喜, 吉川: “ソフトウェア設計教育の支援システムの基本設計”, C A I 学会研究報告, Vol.93, No.4 pp.11-14 (1993).
- [9] 工藤, 多喜, 富島, 的場: “ソフトウェア設計教育のためのC A I システム”, 文部省情報処理教育研究集会講演論文集, pp.321-324 (1993).
- [10] 加藤潤三: “オブジェクト指向分析・設計と従来の方法論との比較”, 情報処理学会オブジェクト指向分析・設計チュートリアル資料, pp.51-65 (1993).
- [11] 情報処理学会編: “情報システムの計画と設計”, 培風館, pp.35-57 (1991).
- [12] 伊藤昌夫: “多様性に対処するソフトウェア開発環境への一考察とその実現”, ソフトウェアシンポジウム93論文集, pp.152-161 (1993).
- [13] 伊藤武夫訳: “構造化システム分析と設計技法 SSADM - その適用と状況について -”, 近代科学社 (1991).
- [14] Rumbaugh J, Blaha M, Premerlani W, Eddy F, Lorensen W: “Object Oriented Modeling and Design”, Prentice Hall (1991).
- [15] 高田広章: “ハイパーテキストとそのプログラミング環境への応用”, 情報処理, Vol.30, No.4, pp.406-413 (1989).
- [16] 近谷英昭訳: “知的データベース・オブジェクト指向・演繹・ハイパーメディア”, オーム社 (1992).
- [17] 斉藤 孝訳: “HYPER Text & HYPER Media”, HBJ 出版局 (1991).
- [18] Danny Googman: “ハイパーカードスタックウェア開発技法(上・下)”, BNN (1989).
- [19] 山井, 工藤, 鈴木, 下條: “分散型ハイパーテキストを用いた教育支援システムの設計”, 文部省情報処理教育研究集会講演論文集, pp.255-258 (1992).
- [20] 山井, 工藤, 鈴木, 下條, 中野, 久保, 中西: “分散環境における教育支援用ハイパーテキストシステムの構想”, 奈良工業高等専門学校研究紀要, 第28号, pp.71-74 (1993).

日本語認知過程に関する一考察

下 村 満 子

A study of Japanese word recognition

Michiko Shimomura

日本語の文字・単語認知過程に関して、実験心理学的検討を行った。文字を単独で提示したときの時間的結合錯誤、単語を単独で提示したときの Whole-word advantage、読文中の文字処理の抑制効果といったアルファベット文字や英単語の認知に特有の現象について、日本語での検討を行った。RSVP タスク、異同マッチング課題、誤字検出課題を用いた実験の結果、先述の英語でみられる現象は日本語では再現しなかった。これは、(1)文字種による比較的初期段階での視覚的処理の違い、(2)日本語では、英語にみられるような文字と単語の間の階層的な関係はなく、むしろ両者は機能的に等価であることに起因すると考えられる。

1. はじめに

我々が文章を読むとき、何を単位として、どのような処理が行われているのだろうか。通常の読書において文章を1文字ずつ逐次的に処理をしているとは考え難い。おそらくは、もっと大きな単位、例えば単語や文節がひとまとまりに処理されて、意味へのアクセスが行われていると思われる。もちろん1文字ずつ逐次的に読んでいくこともあるだろうし、場合によっては、部首や部分を単位とした詳細な形態処理をすることもあろう。つまり、読みの過程にいくつもの処理のレベルを考慮することができる。そのように考えたとき、それぞれのレベルの処理の間にはどのような関係があるのだろうか。

英語では、多くの研究から単語レベルの処理が文字レベルの処理に比べて優位性ないしは優先性を有すると考えられている。例えば階層モデル[1][2]では、いったん高次の処理単位、つまり単語が活性化されると、その構成要素である文字の処理は単語の処理（結果）の影響を受けて付加的に行われると考える。また、Raceモデル[3][4]では、単語と文字は同時に並列に処理されるが、単語の処理の方が早く完了して、その情報が反応に利用されると考える。どちらのモデルが妥当かという議

論はここでは行わない。ここでの主な興味は、先にも述べたように、いくつかの処理レベルの関係がどうなっているのかという点にある。以下、英語で見られる単語や文字の認知特性と比較しつつ、日本語特有の認知過程について述べてみたい。

2. 文字の処理

刺激をディスプレイ上の同一位置に高速で連続的に提示する方法を Rapid Serial Visual Presentation といい、通常 RSVP と呼ばれている。そして RSVP で

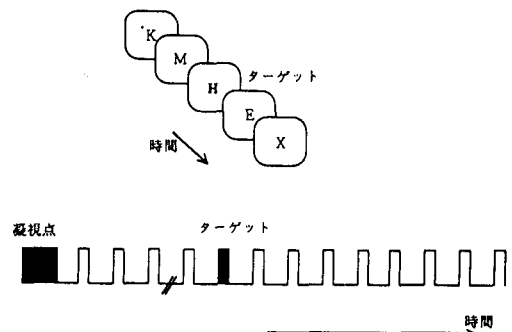


図1 RSVP 課題

提示された刺激系列の中からある特徴で定義されたターゲットを検出する課題（例えば黒い文字系列から白い文字を検出する）をRSVP課題と呼ぶ（図1）。このRSVP課題においては、誤答がシステマティックに発生することが知られている[5]。例えば、刺激がアルファベットの場合には、ターゲットの直後の刺激をターゲットとして誤答することが、他に比べて多い（以下、ポストパターン）。

この課題では、2つの特徴、すなわちターゲットを定義する特徴（Target-defining Feature, 以下TdF）と報告すべき特徴（Reported Feature, 以下RF）の処理が考えられる。黒い文字系列から白い文字を検出する課題では、TdFは色、RFが文字（形態）に対応する。結合錯誤が生じるということは、この2つの特徴が独立に処理されていることを示していて興味深い。

英語で見られる誤答のポストパターンの説明として、Early-selection Two-stage model[6]とLate-selection Two-stage model[7]の2種類のモデルがある。Early-selection Two-stage modelでは、まずTdFが処理され、次にRFが処理される、すなわち、ターゲット色の処理が完了した後、その色を持った文字が同定されると考える。この時、ターゲットの色とターゲット直後の文字（形態）が結合することにより、誤答のポストパターンが生じると考えられる。

これに対してLate-selection Two-stage modelでは、TdFとRFは並列に処理され、後で統合されると考える。しかし、TdFとRFの処理速度は異なり、アルファベット文字と色の場合では、色の処理が完了する方が遅いので、ターゲットの色の処理が完了した時点でターゲットの次の文字（形態）が処理されている確率が高く、ポストパターンが生じると考えられる。

2.1 RSVP実験

前述のようにRSVP課題では、形や色といった文字の持つ諸特徴の処理過程を、特に2つの特徴が独立に処理されているかどうか、またその処理間の相対的な時間関係などを調べることが出来る。そのような興味から、漢字、平仮名、アルファベットを刺激として実験を行った^{*}。課題は、水色の文字系列の中から白い文字を検出するというものである。提示時間は1文字あたり約16ms、ISIは約72msであった。

漢字、アルファベットは各15名、平仮名は11名の被験者（奈良高専学生）について実験を行った。その結果、

^{*}本実験は、平成4年度情報工学科卒業生本有京子さんの卒業研究の一部として行われた。

アルファベットが刺激の場合は、先行研究と同様のポストパターンが得られた。これに対して漢字を刺激とすると、ターゲットの直前を答える誤答が多く（プレパターン）、平仮名を刺激とすると直前と直後を答える割合がほぼ等しくなった（シンメトリーパターン）。

この差は、刺激文字種の視覚的な複雑さによって、処理の初期段階における符号化の速度が異なることから生じると考えられる。また、刺激セットの大きさから来る予期や熟知性などが影響を及ぼしていること可能性も考えられる。しかしながら、いずれにせよ、プレパターンやシンメトリーパターンの生起は、Early-selection Two-stage modelでは説明が困難であり、現時点で得られているデータからは、一種のRaceモデルであるLate-selection Two-stage modelの方が妥当と思われる。

3. 単語の処理

単語認知に特有の現象として、もっとも有名なものは単語優位効果であろう。この現象は100年以上前から報告されており[8]、瞬間提示と強制選択の手法を用いた実験[9][10]によって広く知られるようになった。単語優位効果は、単語の処理は非単語の処理に比べて、文字どおり優位性を持っていることを示している。

この単語優位効果は日本語においても報告されている[11][12]。このことから、単語（漢字、平仮名）が無意味な文字列とは異なった処理過程を有する、すなわち1文字単位の処理が行われているのではないと考えられる。

また、これとは別に英語では、Whole-Word Advantage（以下、WWA）と呼ばれる現象が報告されている[13][14]。これは継時照合課題において、単語全体どうしを比較する方が（全体照合）、単語内の1文字どうしを比較するよりも（部分照合）、同じと答える反応が速いというものである。この現象は、単語単位の処理が存在し、かつ単語レベルの処理が文字レベルの処理に優先することを示している（それ故に、この現象はWord-Priority Effectと呼ばれることもある）。

3.1 継時照合実験

英語で見られるWWAが言語その他の要因に関わらずrobustな現象であるかどうかを調べるために、日本語の単語・非単語を用いて、2種類の照合課題を比較する実験を行った[15]。単語、非単語とも2文字の漢字あるいは4文字の平仮名から成る。刺激条件はブロック間であり、計4ブロックを被験者内で行った。ただし、ブ

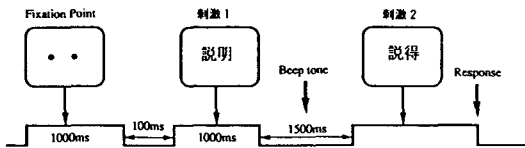


図2 照合課題

ロックの順序は被験者間でバランスをとった。手続きは以下の通りである(図2)。凝視点に続いて1つ目の刺激が1秒間提示される。1.5秒のISIの後、2つ目の刺激が提示され、被験者の反応と同時に消える。2種類の課題は同じブロック内でランダムに出現した。また1つ目の刺激と2つ目の刺激のISIの間にBEEP音が鳴り、どちらの課題を行うかを被験者に知らせた。BEEP音が1回鳴ったときには部分照合(i.e., 1文字目の照合)、2回鳴ったときには全体照合を示す。従って、正答するためには、どちらの課題であっても、被験者は1つ目の刺激はその全体を処理しなければならなかった。2つの課題について、1つ目の刺激と2つ目の刺激が同じ場合(同じと判断するのが正答のとき)の反応時間を比較する。

25名の被験者(成人男女)について実験を行った結果、刺激が単語の場合には、漢字表記であっても平仮名表記であっても、2つの課題の間に有意差はなく、英語で得られたようなWWAは見られなかった。また刺激が非単語の場合には、全体照合よりも部分照合の方が有意に速かった。

非単語の結果は、非単語が1文字ずつ逐次的に処理されていることを示している。これに対して、単語では、単語全体と1文字がほぼ同じ速さで処理されており、明かに1文字より大きな処理の単位があることを示している。しかし、WWAが得られないことから、日本語においては単語レベルの処理と文字レベルの処理は同等であり、そこから得られる情報のavailabilityがほぼ等しいと解釈される。

4. 読文時の処理

次にもう少し実際の読文場面に近い状況における文字と単語の処理について考えてみる。文章を読みながら特定の文字(ターゲット)を検出する文字検出課題において、ターゲットがtheやandのような出現頻度の高い単語に含まれるときに、特に検出されにくいことが報告

されている[16]。これは、Missing-Letter Effect,あるいはWord-Frequency Disadvantageと呼ばれる。また、ターゲットが非単語に含まれるときよりも正しい単語に含まれるときの方が、検出が困難であることも報告され[17]、Word-Inferiority Effectと呼ばれることがある。さらに検出率は、文章を一度に提示する単位に依存することも示されている[18]。すなわち一度に1単語ずつ継続的に提示したとき、一度に4単語ずつあるいは全文(通常のフォーマット)を提示するときよりも、検出率が高かった。

これらの知見から読みの過程における文字・単語の処理について、次のような仮説(Unitization hypotheses)が提案されている。ある状況で利用できる最も高次の単位の処理が完了すると、下位の単位の処理の完了を待たずに処理は次の対象へと移動する。前に述べたように英語の場合には、単語の処理の方が個々の文字の処理よりも優先される。従って、通常のフォーマットの文章を読むときには、単語の処理から必要な情報が得られれば、個々の文字の処理が完了する前に処理対象は次の単語へと移り、結果として文中の文字レベルの処理は抑制される(以後、抑制効果と呼ぶ)。単語が高頻度語の場合には、その中に含まれる文字の処理が完了して反応に利用される確率は特に高くなる。これに対して、一度に1単語ずつしか提示されない場合には、単語レベルの処理が完了した後も、移動する次の対象がないために、同一の単語を処理し続ける。このため文字レベルの処理も完了して、ターゲットが検出される確率が高くなると考えられる。

4.1 誤字検出実験1

文章中から誤字を検出する課題を用いて、日本語における読文時の処理単位について検討した[19]。誤字検出課題は、文字検出課題の一種であるが、ターゲットが予め決められるかわりに、文脈から何がターゲットであるかを決定しなければならない。従って、被験者はただ文中にあるターゲットを探すだけでなく、文章を理解することが要求され、より通常の読みに近い状況での実験が可能である。

一方、誤字検出課題では、誤字によって本来の処理単位が壊されてしまうという問題がある。この問題を解決するために、ここでは正しい文字と視覚的に類似している類似誤字を用いた。類似誤字を含む単語は、単語単位のおおまかな処理では正しい単語として知覚されるが、文字単位の詳細な処理が行われると、誤字として知覚されると考えられる。従って、類似誤字の検出は文字レベルの詳細処理が行われたことを示す。

手続きは以下の通りである。35文字程度の日本語短文をディスプレイ上に提示する。提示方法はRSVPの変形 (Spatial distributed form of RSVP) を用いた。すなわち一度に提示する単位は1文字/単語/文節/全文のいずれかで、提示時間は1文字あたり100ms/250ms/400msのいずれかである (図3)。また、誤字の半分は類似誤字、半分は非類似誤字である。実験条件はすべて被験者内で行った。半数の試行には誤字が含まれており、被験者は、誤字を見つけたらすぐにボタンを押し、誤字を書き留めることを求められた。また実験終了後、類似漢字に関しては、漢字の知識を調べるテストを行った。

24名の被験者 (成人男女) について実験を行った結果、類似誤字の検出率は非類似誤字の検出率よりも有意に低く、誤字検出課題においても、文字の詳細な処理はあまり行われず、もっと大まかな処理をしていることが明らかになった。また、提示時間が短いときには、提示単位が大きい方が検出率が高いが、提示時間が長いときは、文全体・1文字を単位としたときよりも単語・文節を単位としたときの方がやや高いという傾向が見られた。しかし、英語と異なりその差は有意ではなかった。誤字検出と同時に文章理解課題を課した場合にも、この結果は一貫していた。

前述のように英語では、文全体を一度に提示したときよりも、1単語ずつ提示したときのほうが文字検出率が高く、読文中に個々の文字の処理は抑制されていると考えられている。日本語においてこのような差が見られなかったことは、全文を提示したときの文字レベルの抑制効果が、英語に比べて少ないことを示唆していると考えられる。もちろんこの結果の相違は、文字検出と誤字検出という課題の違いにも影響されているはずであり、今後の課題を残すものである。

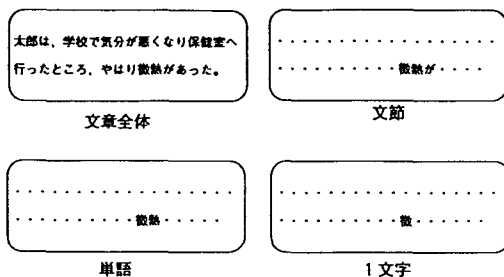


図3 誤字検出実験の提示単位

4.2 誤字検出実験2

上で述べた誤字検出実験では、単語単位と文節単位の差は明かにならなかった。英語においては、冠詞+名詞や前置詞+名詞といった高頻度の句が処理単位を形成する可能性が示されているが[20]、日本語では、例えば漢字名詞+助詞といった文節はどのように処理されるのだろうか。この疑問に答えるために、文節中の平仮名の処理に注目して実験を行った[21]。

被験者は紙に印刷されたエッセイを読み、その面白さと読みやすさを評定することを求められた。また同時に、誤字があれば丸をつけるよう教示された。さらに、普通に新聞や雑誌を読むくらいの速さで読み、読み終わったところに後から誤字を発見しても、決して後戻りをしてはいけなことが強調された。

74名の被験者 (S女子短大生) について集団実験を行った。その結果、漢字の後の助詞が誤字の場合 (e.g., 風景ゆ) と、平仮名单語中の最後の文字が誤字の場合 (e.g., たくさむ) は、平仮名の後の助詞が誤字の場合 (e.g., おしゃれよ) と平仮名单語中の最後以外の位置に誤字が含まれている場合 (e.g., あたにかい) に比べて、誤字検出率が低かった。ベースラインが設定されていないので相対的な比較しかできないが、漢字+助詞の形の文節や出現頻度の高い平仮名单語 (形容詞、副詞など) は、平仮名の連続する文字列に比べて、ひとまとまりとして処理されることが多いと解釈できる。

また誤字検出における視覚的注意の役割を調べるために、文中の単語間、文節間にスペースを挿入する条件も設けた。その結果、スペースを入れた方が、スペースのない通常のフォーマットの文章よりも、誤字検出率が高かった。これは、文章が人工的なスペースで区切られることによって、視覚的注意が単語や文節を構成する個々の文字に向けられやすくなったと解釈される。

5. まとめ

ここまで述べてきたようないくつかの単語認知特有の現象から、単語認知過程を推測し、英語と日本語で見られる違いから考えられる日本語の特性についてまとめる。と次のようになる。

まず、単語優位効果は、英語でも日本語でも見られる。1文字がシラブルに対応する平仮名でも、1文字で音韻・意味の情報をも担う漢字であっても、単語は文字単位の逐次的な処理ではなく、より大きな単位、おそらくは単語単位で処理されていると考えられる。これに対して、WWAは日本語では見られなかった。単語優位効果は見られ、WWAは見られないことから、単語レベルの処理

と文字レベルの処理の関係が、英語と日本語で異なっていると考えられる。英語においては、階層モデルにせよ Race モデルにせよ、単語レベルの処理が優位性、優先性を有すると考えるのに対して、日本語では文字レベルの処理単位と単語レベルの処理単位は機能的に等価であると考えられる。この仮定は、日本語の誤字検出課題において、英語で見られた文中の文字の処理の抑制効果が見られなかったことと一貫している。

はじめに述べたように、ここではモデルの妥当性を詳細に検討することはない。しかしながら、いずれにしても英語の研究から提案されたモデルを日本語に適用する際には、修正が必要なことは明らかになったと思われる。例えば、階層モデルでは、漢字単語と漢字1文字が同じ階層にある可能性が考えられる。また、Race モデルでは、単語と文字の処理が同じくらいに完了すると考えると、日本語での結果の説明は出来よう。

しかし、単語の処理結果と文字の処理結果の availability がほぼ等しいと仮定したとして、どのような場合にどちらの処理結果がその後の処理や反応に用いられるのかは明かになっていない。ここまでの実験では、この問題に答えるための重要な要因である単語の出現頻度が検討されておらず、早急な検討課題のひとつである。また、4.2のような検討を始めたばかりであるが、文字や単語の処理と注意との関わり、つまりどの単位の処理にどれくらいの注意（資源）を振り向けるかという問題も興味深い点である。

4.1の最後でも述べたように、誤字検出課題というやや特殊な課題からは、処理単位という観点の議論がしにくいことは否めない。しかし、26文字ですべての文章を表記するアルファベットと異なり、日本語では、平仮名と漢字では文法的な役割も違い、それ故に平仮名が出現する位置には明確な規則性がある。また、漢字はあまりにも字種が多い。これらのことから、処理単位を論じるために、英語でさかんに行われるような文字検出課題を行うことは、実際に困難である。日本語の処理単位を調べるのに適した実験課題を検討することが急務と考える。

参考文献

- [1] McClelland, J.L., & Rumelhart, D.E. An interactive activation model of context effects in letter perception: Part 1. An account of basic findings. *Psychological Review*, 88(1981), 375-407.
- [2] Paap, K.R., Newsome, S.L., McDonald, J.E., & Schvaneveldt, R.W. An activation-verification model for letter and word recognition: The word superiority effect. *Psychological Review*, 89(1981), 573-594.
- [3] Allen, P.A., & Maden, D.J. Evidence for a parallel input serial analysis model of word processing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 16(1990), 48-64.
- [4] Chambers, S.M., & Forster, K.I. Evidence for lexical access in a simultaneous matching task. *Memory & Cognition*, 3(1975), 549-559.
- [5] Raymond, J.E., Shapiro, K.L., & Arnell, K.M. Temporary Suppression of visual processing in an RSVP task: An attentional blink? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18(1992), 849-860.
- [6] Broadbent, D.E., & Broadbent, M.H.P. Encoding speed of visual features and the occurrence of illusory conjunctions. *Perception*, 15(1986), 515-524.
- [7] Keele, S.W., & Neill, W.T. Mechanisms of attention. In E.C. Carterette & M.P. Friedman (eds.), *Handbook of perception IX* (1978), 3-47.
- [8] Cattell, J. The inertia of the eye and brain. *Brain*, 8(1885), 295-312.
- [9] Reicher, G.M. Perceptual recognition as a function of meaningfulness of stimulus material. *Journal of Experimental Psychology*, 81(1969), 275-280.
- [10] Wheeler, D.D. Processes in word recognition. *Cognitive Psychology*, 1(1970), 59-85.
- [11] Miura, T. The word superiority effect in a case of Hiragana letter strings. *Perception & Psychophysics*, 24(1978), 515-518.
- [12] Yokosawa, K., & Umeda, M. Processing in

本論文の内容は、日本認知科学会パターン認識と知覚モデル研究分科会（平成5年6月26日）において発表されたものである。

- human Kanji - word recognition. Proceeding of the 1988 IEEE International Conference on Systems, Man, & Cybernetics(1988), 377 - 380.
- [13]Johnson,N.F., Turner - Lyga,M., & Pettergrew,B.S. Part-whole relationships in the processing of small visual patterns. *Memory & Cognition*, 14(1986), 5 - 16.
- [14]Marmurek,H.H.C. Whole and part comparison of words and nonwords. *Memory & Cognition*, 14(1986), 113 - 123.
- [15]Shimomura,M., & Yokosawa,K. Processing of Kanji and Kana characters within Japanese words. *Perception & Psychophysics*, 50(1991), 19 - 27.
- [16]Healy,A.F. Detection errors on the word the: Evidence for reading units larger than letters. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 2(1976), 235 - 242.
- [17]Healy,A.F., & Drewnowski,A. Investigating the boundaries of reading units: Letter detection in misspelled words. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 9(1981), 413 - 426.
- [18]Healy,A.F., Oliver,W.L., & McNamara,T.P. Detection letters in continuous text: Effects of display size. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 13(1987), 279 - 290.
- [19]Yokosawa,K., & Shimomura,M. On the role of stimulus similarity and segmentation in misprint detection. In D.Brogan(Ed.) *Visual Search* 2(1993),369 - 376. Taylor & Francis.
- [20]Drewnowski,A., & Healy,A.F. Detection errors on the and and: Evidence for reading units larger than words. *Memory & Cognition*, 5(1977), 636 - 547.
- [21]Shimomura,M., & Yokosawa,K. The role of Kana function words in Japanese reading units. *International Journal of Psychology*, 27 (1992), 77.

Analysis of Rollbacks in Parallel Logic Simulation Based on Virtual Time*

Tadashi SEKO, Fang WANG[†] and Tohru KIKUNO[†]

We analyze rollback that commonly takes place in the optimistic implementation of parallel logic simulations. After discussing invalid rollbacks in Jefferson's simulation model, we propose a new simulation model which try to reduce the occurrences of invalid rollbacks. Then, we take a simple circuit, a regular input signal and simulation system including two computing processors, and discuss if the given simulation with the circuit and the input brings about rollbacks or not. Although results include only special case study, we believe that this will become a first step toward rollback analysis.

1. Introduction

Recently parallel logic simulations have made remarkable progress and many hardware implementations have also been tried extensively. In the parallel logic simulation, each gate has a local time in it, and on receiving an event with a time stamp each gate advances its local time. Depending on how to advance local times, parallel logic simulation are partitioned into two approaches: conservative method[5] and optimistic method[2][4].

In the conservative method, proposed by Chandy and Misra [1], only when two events are received by two input terminals of a gate, the

gate is evaluated and the local clock of the gate is advanced. Thus the gate, which has received only one event at an input terminal must wait for another event. It is clear that in the conservative method so-called deadlocks take place in the circuit. Thus, many null messages are generated and these often reduce the performance of parallel logic simulations.

On the other hand in the optimistic method, proposed by Jefferson[3], when at least one event is received by an input terminal of a gate, the gate is evaluated using a previous value on another input terminal. Then based on the event, the local time of the gate is advanced. If the previous value used by the evaluation of the gate appear to be not correct afterward, the local time of the gate must be rolled back and the gate must be reevaluated. Thus how to reduce the number of rollbacks is an essential problem in the optimistic method.

In this paper, we try to analyze the rollback problem from the theoretical point of view. Concerning experimental evaluation of rollback in

* This work was presented at Joint Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications, 1993(JTC-CSCC'93).

[†] The authores are with the Faculty of Engineering Science, Osaka University, Toyonaka-shi, 560 Japan.

parallel logic simulation, Matsumoto and Taki [4] have proposed and implemented a novel architecture for a multiprocessor system, and already presented many nice reports on the evaluations using benchmark circuits.

The rollbacks in the parallel logic simulation can have significant association among parameters of the simulation such as type of gate in the circuit, the number of gates, connection pattern of gates, distribution of gates to processors, the number of processors, and so on. It may be one of the main reasons why the analysis of rollback, from the theoretical point of view, has not yet done. Thus, in this paper we take a very simple circuit, a regular input signals, and only two processors and discuss about all possible cases enumerably.

The organization of this paper is as follows: Section 2 gives notations and assumptions. Section 3 at first introduces Jefferson's simulation model, explains invalid rollbacks on Jefferson's model. Section 4 presents main results on rollback analysis and Section 5 gives some concluding remarks.

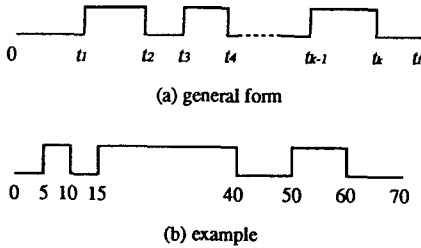


Figure 1 Input signal

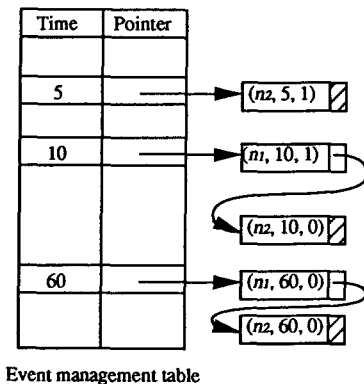


Figure 2 Event list

2. Parallel Logic Simulation

2.1 Event sequence

We assume that an input signal on a net n_i is represented by the following event sequence (See Figure 1(a)): $[n_i, S, 0][n_i, t_1, 1][n_i, t_2, 0][n_i, t_3, 1][n_i, t_4, 0] \dots [n_i, t_{k-1}, 1][n_i, t_k, 0][n_i, E, -]$.

Each event $[n_i, t_j, x]$ implies that at time t_j , the value of input signal on net n_i changes to x . When we don't concern with distinction of net, we delete it from event and use $[t_j, x]$ instead of $[n_i, t_j, x]$.

For example, event sequence for input signal in Figure 1(b) is $[S, 0][5, 1][10, 0][15, 1][40, 0][50, 1][60, 0][E, -]$. We assume that all events are registered and controlled by an event management table shown in Figure 2.

2.2 Gate evaluation

Now we explain a gate evaluation. Consider AND gate shown in Figure 3(a), two input terminals n_1, n_2 and one output terminal n_3 . We assume that AND gate has a local time t_L and a delay time Δ . Let $I(n_i)$ denote a signal given to

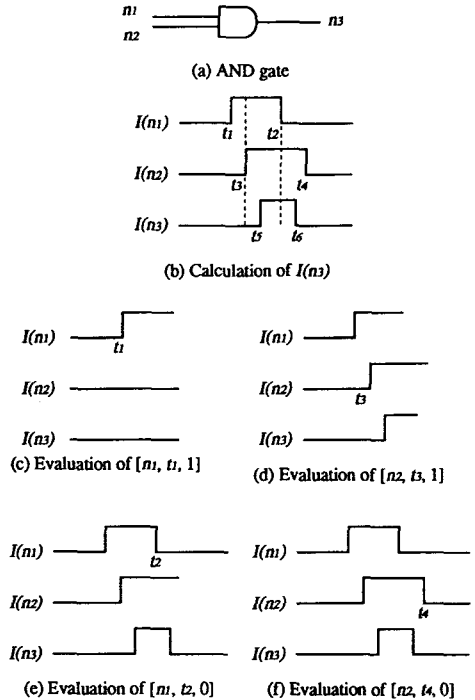


Figure 3 Gate evaluation

terminal n_i . Then Figure 3(b) implies that $I(n_3)$ for output terminal n_3 is calculated based on $I(n_1)$ and $I(n_2)$ for two input terminals n_1 and n_2 , where $t_5 = t_3 + \Delta$ and $t_6 = t_2 + \Delta$. The detailed steps of this calculation are shown in Figure 3(c) - Figure 3(f).

Figure 3(c) shows the first step: evaluation of an event $[n_1, t_1, 1]$. The event implies that the value of $I(n_1)$ changes at t_1 . We assume that $I(n_2)$ holds the previous value. Then the value of $I(n_3)$ doesn't change, that is an event $[n_3, t_1 + \Delta, 0]$ is generated. Additionally, we set the local time of AND gate $t_L = t_1$.

Next, Figure 3(d) shows the second step: evaluation of an event $[n_2, t_3, 1]$. The event implies that the value of $I(n_2)$ changes at t_3 . We assume that $I(n_1)$ holds the same value as in Figure 3(c). Then the value of $I(n_3)$ changes at $t_3 + \Delta = t_5$ and an event $[n_3, t_5 + \Delta, 1]$ is generated. We update the local time $t_L = t_5$.

Then Figure 3(e) shows the third step: evaluation of an event $[n_1, t_2, 0]$. We assume that $I(n_2)$ holds the same value as in Figure 3(d). Then the value of $I(n_3)$ changes at $t_2 + \Delta = t_6$ and an event $[n_3, t_6 + \Delta, 0]$ is generated. We update the local time $t_L = t_6$.

Finally Figure 3(f) shows the fourth step: evaluation of an event $[n_2, t_4, 0]$. We assume that $I(n_1)$ holds the same value as in Figure 3(e). The value of $I(n_3)$ doesn't change, and an event $[n_3, t_4, 0]$ is generated. We update the local time $t_L = t_4$.

If there exist no other interrupted events to be evaluated than four events in Figure 3(c) - (f), and evaluation of $[n_1, t_1, 1]$ is executed at t_p , then evaluations of $[n_2, t_3, 1]$, $[n_1, t_2, 0]$ and $[n_2, t_4, 0]$ are executed at time $t_p + 1$, $t_p + 2$, $t_p +$

3, successively. We call these times physical times.

2.3 Parallel logic simulation

Parallel logic simulation is executed by a logic simulation system on large-scale MIMD multiprocessors. The simulation system consists of one control processor and n ($n \geq 2$) computing processors. The control processor include two kernel functions for parallel logic simulations: Processor scheduling for load distribution and message scheduling for synchronization.

Each computing processor evaluates gates which are assigned to it. Figure 4 shows a conceptual illustration of the logic simulation system. Consider, as an example, an assignment of gates to computation processors P_1 and P_2 shown in Figure 5. Consider two kinds of input signal values shown in Figure 6. We assume the time needed for gate evaluation is one physical time. Additionally, we assume that the delay time of each gate is also one physical time. During the evaluation of gate, computing processors receive events and send events each other. We assume that communication overhead for these is one physical time.

Then, in order to represent scheduling, we use a chart shown in Figure 7. The horizontal line t_p denotes a physical time. In Figure 7, (G, n, t, y) between k and $k+1$ at P_i implies that computing processor P_i evaluates an event $[n, t, x]$ at physical time k , where n is an input terminal of gate G . After that, P_i generates an event $[n, t+1, y]$ and updates the local time of G to t . If n' is an input terminal of some other gate G' which is assigned to P_j ($j \neq i$), then this event $[n', t+1, j]$ is sent. As mentioned before, we assume that this message transmission takes one physical time. Additionally, these transmissions from G to G' are shown by dotted lines in Figure 7.

By message transmission (that is, transmission of an event $[n', t+1, y]$ to another computing processor P_j), the relation $t+1 < t'$ sometimes holds for the local time t' of gate G' . This relation between the time in the event and the local time plays an important role for rollbacks.

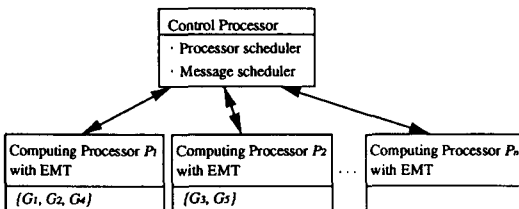


Figure 4 Parallel logic simulation

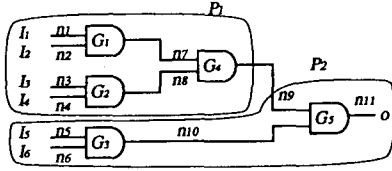


Figure 5 Example of circuit

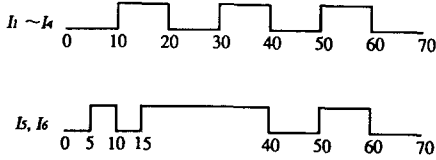


Figure 6 Example of output

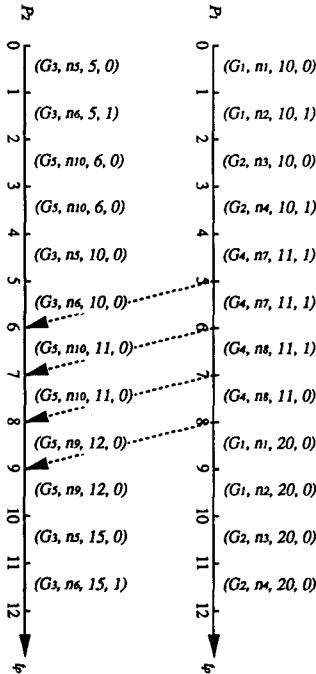


Figure 7 Message transmission(to be continued)

2.4 Rollbacks

Figure 8 shows a typical rollback. At first, we assume that the local time of AND gate is less than nine, delay time of AND gate is one, and events $[n_2, 10, 1], [n_1, 20, 0], [n_2, 15, 0]$ are evaluated in this order. Additionally, at the evaluation of $[n_2, 10, 1]$, input signals $I(n_1)$ and $I(n_2)$ take the values shown in Figure 8(a). Then, as the result of the evaluation, an event $[n_3, 11, 1]$ is generated.

Next, by the evaluation of the event $[n_1, 20, 0]$, an event $[n_3, 21, 0]$ is generated. Thus, at this stage both of values of $I(n_2)$ and $I(n_3)$ are determined to be one from $t=11$ to $t=21$, as shown in Figure 8(b). Furthermore, the local time of AND gate is set to 20.

Then, the event $[n_2, 15, 0]$ is evaluated. We note that the time 15 in the event $[n_2, 15, 0]$ to be evaluated is less than the local time 20 of AND gate which is set by the previous evaluations. Intuitively speaking, the time of AND gate is already 20, but the evaluation at the time 15 must be executed. Thus, the time of AND gate must be rollbacked from 20 to 15 in order to evaluate the event $[n_2, 15, 0]$.

It is clear that the value of $I(n_2)$ between $t=15$ and $t=20$ is different from the one shown in Figure 8(b). According to this change of $I(n_2)$, the value of $I(n_3)$ also must be changed between $t=16$ and $t=21$. This reevaluation of these value of $I(n_3)$ is an essential mission of rollbacks.

3. Models and Definitions

In this section, we explain Jefferson's simulation model and definition of rollback, and point out some drawbacks of this definition. Then we

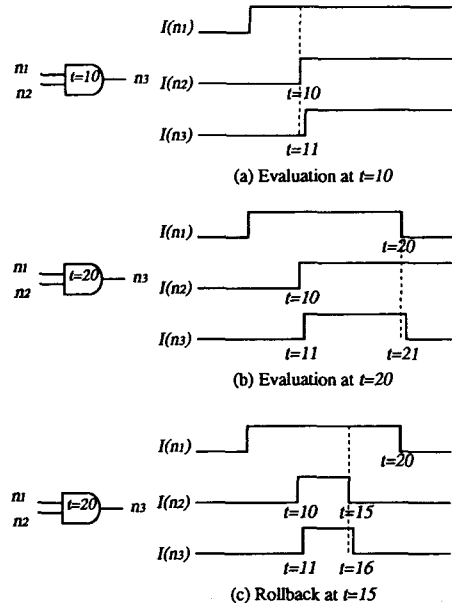


Figure8 Rollback

propose a new simulation model to improve Jefferson's simulation model.

3.1 Jefferson's model and definition

The following Step1-Step5 summarizes Jefferson's simulation model. The procedure is for computing processor P_i .

Step1(Increment simulation time)... If an event management table of P_i is not null, then increment physical time t_p of P_i by one.

Step2(Select an event)... From an event management table, P_i takes an event $[n, t_s, x]$, which is on the top of the event list with the smallest time in the event management table.

Step3(Decide rollback)... Let G be a gate with input terminal n , and t_i be a local time of G . If $t_s < t_i$, then P_i decides that rollback has occurred at G , and jumps to rollback processing.

Step4(Evaluate the event)... P_i evaluates the event $[n, t_s, x]$, and generates a new event $[n', t_s + \Delta, y]$ where n' is an output terminal of G and Δ is the delay time of G .

Step5(Store new event)... Let G' be a gate with input terminal n' . If G' is assigned to P_i , then P_i stores the event $[n', t_s + \Delta, y]$ into event management table. However, if G' is assigned to another $P_j (j \neq i)$ then P_i sends the event to P_j .

Step6(Receive new event)... During the execution of Step1-Step5, if P_j receives new events from other P_k 's ($k \neq i$), P_i stores these into event management table. However, if the same event $[n', t_s + \Delta, y]$ is already in event management table, then P_i don't store it any more. Then, go to Step1 again.

In Jefferson's simulation model, rollback is defined in the following way.

Definition 1 Assume that a local time of gate G is t_i , and event $[n, t_s, x]$ is going to be evaluated such that n is an input terminal of gate G . Then rollback takes place at gate G if and only if $t_s < t_i$ holds.

The following (J1),(J2) characterize the Jef-

erson's approach to rollback.

- (J1) The condition of rollback takes care the relation between times t_s and t_i only.
- (J2) Whenever an event $[n, t_s, x]$ is evaluated, another event $[n', t_s + \Delta, y]$ is inevitably generated.

3.2 Invalid rollbacks

The two facts J1 and J2 imply that there exists certain rollback for which by reevaluation of a gate G , no value changes occur at the output terminal. We call such rollbacks invalid rollbacks. If the value of output terminal changes by reevaluation of a gate G , we say that a valid rollback has occurred.

For example, consider a combinational circuit shown in Figure 5 and input signals $I_1 - I_6$ shown in Figure 6 again. We have already given a chart shown in Figure 7, which represents a

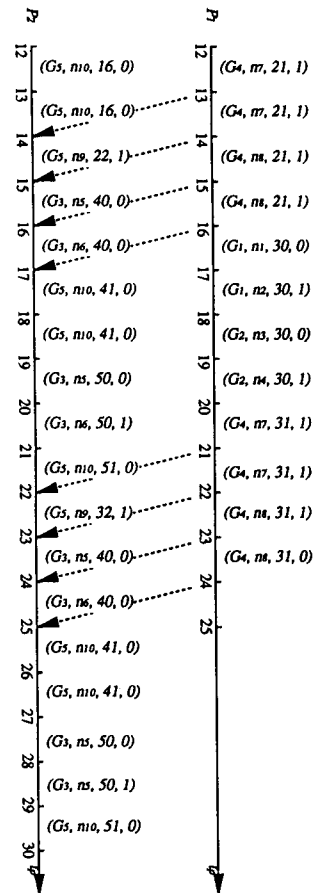


Figure 9 Message transmission(continued)

logic simulation by P_1 and P_2 from beginning to $t_p=12$. Figure 9 shows a chart which represents a logic simulation from $t_p=12$ to $t_p=24$. We notice that at time $t_p=22$, the event $[n_3, 32, 1]$ is transmitted from P_1 to P_2 and the local time of P_2 is already 51. Thus, according to Jefferson's definition, rollback takes place at gate G_5 . But this rollback results in an invalid rollback.

3.3 New model

In order to reduce the number of invalid rollbacks from parallel logic simulations, we propose a new simulation model. The following procedure is for computing processor P_i .

Step1(Increment simulation time)···This is the same as Step1 in Jefferson's model. Let t_p denote the current time.

Step2(Select an event)···This is also the same as Step1 in Jefferson's model. Let $[n, t_s, x]$ be the event taken by P_i .

Step3(Decide rollback)···We adopt the same condition to decide if rollback takes place at gate G or not. Let t_l be a local time of gate G .

Step4(Evaluate the event)···Assume that before the evaluation (at the time t_p-1) output signal of gate G took value z . Then, assume that by evaluation of $[n, t_s, x]$ output signal takes value y . In our model, only if $y \neq z$, P_i generates a new event $[n', t_s + \Delta, y]$, and go to Step5. However if $y = z$ then skip Step5 and go to Step6.

Step5(Store new event)···This is the same as Step 5 in Jefferson's model.

Step6(Receive new event)···This is the same as Step6 in Jefferson's model.

The change in Step4 clearly makes it possible to reduce the number of events generated by the evaluation, and then as the result the proposed model can reduce the number of invalid rollbacks.

4. Main Results

4.1 Basic considerations

In this subsection, we consider several combi-

national circuits, whose topology is specified in Figure 10. In Figure 10, G_1 through G_5 represent some gates such as AND, OR, EXOR, NAND, NOR, and n_1 through n_{11} represent input or output terminals. Next, Figure 11 shows four kinds of input signals $I(1)$, $I(2)$, $I(3)$ and $I(4)$ from time 0 to time 70. In Figure 11(b), $x_i (1 \leq i \leq 6)$ represent some positive integers such that $0 < x_1 < x_2 < x_3 < x_4 < x_5 < x_6 < 70$.

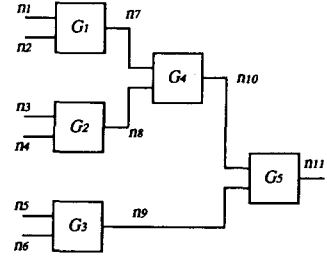


Figure 10 Circuit topology

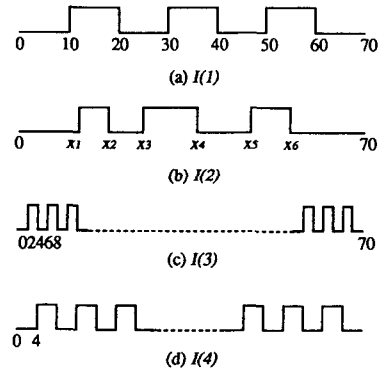
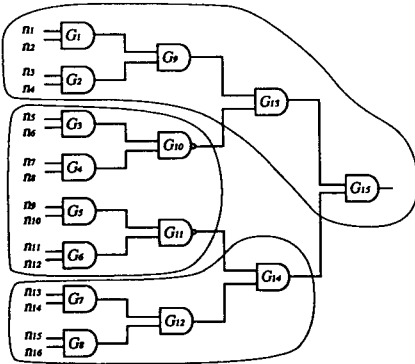


Figure 11 Input $I(1), I(2), I(3), I(4)$

Proposition 1 Consider a combinational circuit C_1 obtained by introducing AND gate for each G_i in Figure 10. Assume that input signal $I(1)$ is put on each of input terminals $n_1, n_2, n_3, n_4, n_5, n_6$. Additionally assume that a set of gates $\{G_1, G_2, G_4\}$ and $\{G_5, G_6\}$ are assigned to computing processors P_1 and P_2 , respectively. Then rollback takes places at G_5 .

Next, we refer the circuits obtained by introducing OR, NAND, NOR gates for G_i in Figure 10 by C_2, C_3, C_4 respectively. Then, rollback takes place at G_5 in C_2, C_3, C_4 also.

Proposition 2 Consider a combinational circuit C_5 obtained by introducing EXOR gate for each G_i in Figure 11. Assume that we use the same

Figure 12 Circuit C_7

input and assignment as Proposition 1. Then no rollback takes place at any gate.

Proposition 3 Consider a combinational circuit C_6 obtained by introducing NAND gate for G_1 , OR gate for G_2 , and AND gates for G_3 , G_4 , G_5 . Assume that we use the same input and assignment as Proposition 1. Then rollback takes place at G_5 .

4.2 Some extensions

Proposition 4 Even if we use an input signal $I(2)$ instead of $I(1)$, the statements in Propositions 1, 2 and 3 hold true.

Proposition 5 Assume that input signal $I(2)$ is put on n_1 , n_2 , n_3 , n_4 , n_5 and input signal $I(3)$ is put on n_6 . We use the same assignment as Proposition 1. Then no rollback takes place at any gate in C_1 , C_2 , ..., C_5 .

Proposition 6 Assume that an input signal $I(2)$ is put on n_1 , n_2 , n_3 , n_4 , n_5 and input signal $I(4)$ is put on n_6 . We use the same assignment as Proposition 1. Then for C_1 and C_3 , rollback takes place at G_5 . On the other hands, for C_2 , C_4 and C_5 no rollback takes place at any gate.

Proposition 7 Consider a circuit C_7 and an assignment shown in Figure 12. Assume that input signal $I(1)$ is put on each of n_1 , n_2 , ..., n_8 . Then rollbacks take place at G_{14} and G_{15} .

5. Conclusion

We have proposed an improvement of Jefferson's simulation model that tries to reduce the

number of invalid rollbacks. Then using a new simulation model, we have clarified several properties on rollbacks. Since rollbacks are very complicated phenomena, there still remain many important future research works to be attached. The followings summarize some of them:

- (1) To clarify a class of rollbacks that are detected at Step3.
- (2) To formalize a combinational problem that minimizes the number of invalid rollbacks, and to solve it.
- (3) To implement a heuristic program (for solving the problem in (2)), and to evaluate it using benchmark circuits.

Acknowledgement

The authors would like to thank Prof. I. Shirakawa of Osaka Univ. and Mr. Y. Matsumoto for their many help to this research.

References

- [1] K.M.Chandy and J.Misra: "Distributed simulation: A case study in design and verification of distributed programs," *IEEE Trans. on Software Eng.*, Vol.5, No.5, pp.440-452 (1979).
- [2] M.J.Chung and Y.Chung: "Data parallel simulation using time-warp on the connection machine", *Proceedings of 26th ACM/IEEE Design Automation Conference*, pp.98-103(1989).
- [3] D.R.Jefferson: "Virtual time", *ACM Trans. on Programming Language and Systems*, Vol.7, No.3, pp.404-425(1985).
- [4] Y.Matsumoto and K.Taki: "Parallel logic simulation on a distributed memory machine", *Proceedings of 1992 European Conference on Design Automation*, pp.76-80 (1992).
- [5] L.Soule and A.Gupta: "Parallel distributed-time logic simulation", *IEEE Design & Test of Computers*, pp.32-48(1989).

多段論理回路での実現を考慮した 順序回路の状態割当て法について

世古 忠 西野 繁之

On a Method of State Assignment of Sequential Circuit Targeting Multilevel Implementations

Tadashi SEKO, Shigeyuki NISHINO

In this paper, we present a new code embedding heuristic algorithm of synchronous finite state machines, targeted towards multilevel combinational and feedback register implementations. At first the algorithm constructs undirected weighted graph according to MUSTANG and then it assigns a Hamming distance minimum code to the only one state which has maximum weight. We have run benchmarks on Sun 3/60 and the results showed the good improvements comparing with the previous results.

1. はじめに

最近, VLSIの設計工程の大幅な短縮をめざす論理合成⁽¹⁾に関する研究が注目を集めている。論理合成とは回路の基本機能モジュールとそれらの間のデータ転送と制御条件を機能記述言語で記述し, それ以降の論理最適化とレイアウト設計をCADにより自動的に行い, 最終的な回路のマスクパターンまでを自動的に生成する技術である。本稿では論理合成における論理最適化の一処理である順序回路の状態割当て問題⁽⁴⁾を扱う。

状態割当ては制御回路を一つの同期式順序回路(有限状態機械FSM)とみなして合成を行う場合, 論理最適化処理の前に記号で表現された状態に符号を割り当てる操作である。符号の割当て方によって最終的に合成される回路の大きさが変わるので, できる限り回路が小さくなるような符号を見つけることが研究目標となる。状態割当てに関する研究はこれまでKISS⁽²⁾等のようにPLAを対象とした2段論理FSMに対して行われてきた。しかし, 一般に順序回路は多段論理で実現されることが多く近年では多段論理の最適化まで考慮した研究が行われている。その代表的なものにMustang⁽³⁾がある。

本稿では多段論理を考慮した状態割当てにおける符号埋め込みアルゴリズムを新しく提案する。本手法の有効性を計算機実験により評価した結果, 従来と比較してリテラル数削減の効果が認められた。

2. 多段論理に対する状態割当て

2.1 状態遷移表と状態遷移グラフ

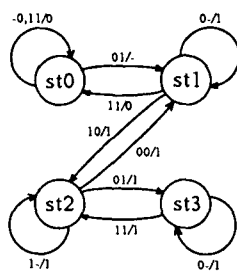
同期式順序回路の動作は状態遷移表または状態遷移図で与えられる。表1に入力数2, 出力数1, 状態数4の状態遷移表の一例を示す。表1と等価な図的表現として図1のような状態遷移図が用いられる。状態遷移表の内部表現として状態遷移グラフ $G(V, E, W(E))$ を用いる。ここで V は G の点の集合であり, 各点は各状態に一対一対応する。 E は枝の集合を表し, 枝 (v_i, v_j) は状態 v_i から状態 v_j への状態遷移が存在することを示す。 $W(E)$ は枝のラベルの集合を表し, 各ラベルはその枝に対応する状態遷移の入力と出力値を表す。

2.2 状態割当て

記号で表現された状態遷移表の各状態に符号を割り当てる操作を状態割当てという。ここでは符号長は $\log_2$ (状態数)とし, 各状態には異なる符号を割り当てる。本稿

表1 状態遷移表の一例

入力	現状態	次状態	出力
- 0	st0	st0	0
1 1	st0	st0	0
0 1	st0	st1	-
0 -	st1	st1	1
1 1	st1	st0	0
1 0	st1	st2	1
1 -	st2	st2	1
0 0	st2	st1	1
0 1	st2	st3	1
0 -	st3	st3	1
1 1	st3	st2	1

図1 状態遷移図の一例
(表1)

では符号割当て後の状態遷移表から求まる次状態関数と出力関数の論理式を多段論理回路で実現する場合の状態割当て問題を扱う。

2.3 多段論理合成

状態割当て後の次状態関数を多段論理で実現することを考慮した状態割当てを行い順序回路を合成する。多段論理の簡単化は次の2つの処理によって行われる。

- (1) 複数の式に現れる共通部分式や共通部分キューブを他のリテラルで置き換える処理
- (2) 一つの式に存在する共通部分キューブを括り出し因数分解する処理。

(1), (2)の処理により簡単化が行われる状態割当てが目標となる。ここでは、簡単化の評価基準として次状態関数および出力関数の総リテラル数が最小になることを目指す。

2.4 従来手法

多段論理合成を前提とした従来の状態割当て手法⁽³⁾は、次の2種類の処理から成り立っている。

- (1) 重み付き完全グラフの作成
- (2) 符号のグラフへの埋め込み

(1)では与えられた状態遷移表から各状態間に重みを設定し、各状態間の重みを枝に各状態を節点に対応させた重み付き完全グラフ $G_M(V, E_M, W(E_M))$ を作成する。本稿で扱う重み計算は、各状態に対する入力と遷移して来る元の状態に基づき、同一または類似した入力により遷移してくる状態間と、同じ状態から遷移してくる状態間に大きな重みを与え、次の状態への関数における共通キューブの使われる回数を最大にする。

(2)では(1)で計算した重みに基づき、各状態に符号を割り当てる。図2に符号埋め込みアルゴリズムを示す。図2のアルゴリズムでは、まず G_M の各節点に対して、その節点に接続している枝の中から枝の重みの大きい順

```

GG =  $G_M$ 
while(GG is not empty){
  Select  $v_i \in GG, y_i \in GG$  such that
     $\sum_{i=1}^{N_b} w(e_M(v_i, y_i))$  is maximum;
  Assign the  $y_i$  and  $v_i$  minimally distant codes;
  GG = GG -  $v_i$ ;
}

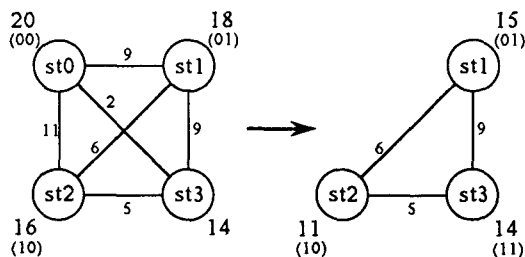
```

図2 符号埋め込みアルゴリズム

に N_b (符号長) 個を選び、その重みの和を求めて状態の重みとする。最大状態の重みをもつ状態 v_i を選択し、それに接続する N_b 個の枝に接続されている各状態 y_i に v_i とハミング距離が最小の符号を割り当てる。

この割り当てが終了すると v_i を G_M から除去し、すべての状態に符号が割り当てられるまで、この手続きを繰り返す。

図3は表1の状態遷移表に対して状態割当てが行われる様子を示す。左図の枝の数字は(1)により計算した状態間の重みを表す。また、各状態st0～st3の肩の数字は(2)により計算された状態の重みを表す。()内は2桁の符号を表す。今、符号長は2としているので、st0の状態の重みはそれに接続する枝の重みを大きい順に2個11, 9を取り出し、それらを加算して20となる(他の状態についても同様である)。次にst0に接続する各状態に対して重みが大きい順に、ハミング距離最小の符号を割り当てると、それぞれst0(00), st1(10), st2(01)に符号が割り当てられる。図3の右の図は、st0とそれに接続する枝を除去したグラフに対して同様に状態の重みを計算し、st3に符号(11)を割り当てる様子を示す。



(注: () 内は符号を表す)

図3 符号の埋め込み (従来手法)

従来手法の問題点

図2の符号埋め込みアルゴリズムに対して、次の2つの問題点を指摘することができる。(1) 最大の重みをもつ状態とそれに接続する符号長個の状態間のみの関係に着目しており、それ以外の状態間で、大きい重みをもつ枝が存在してもその処理が後で行われる。(2) 符号を割り当てる際に距離最小の符号が複数個あるときどの符号が割り当てられるのかは任意であり、割り当て方が

曖昧である。次節では以上の問題点を解決するための新しいアルゴリズムを提案する。

2.5 本手法

本研究で提案する新しい符号の埋め込みアルゴリズムを図4に示す。図4のアルゴリズムでは最大の重みを持つ状態に接続している枝の中で重みが最大の枝を1本だけ取り出し、それらの状態間に距離が最小の符号を割り

当てる。その後、割り当てられた状態に接続する枝の重みを0としてすべての状態の重みを再計算し、同様に符号割当てを続ける。

本アルゴリズムは2.3で述べた(1), (2)の問題点を解決している。まず(2)については、重みが最大の状態に接続する枝の中で重みが最大の枝を1本のみ選択することにより、符号の割当てにおける任意性を除去した。次に(1)については、重みの小さい枝への符号割当てが

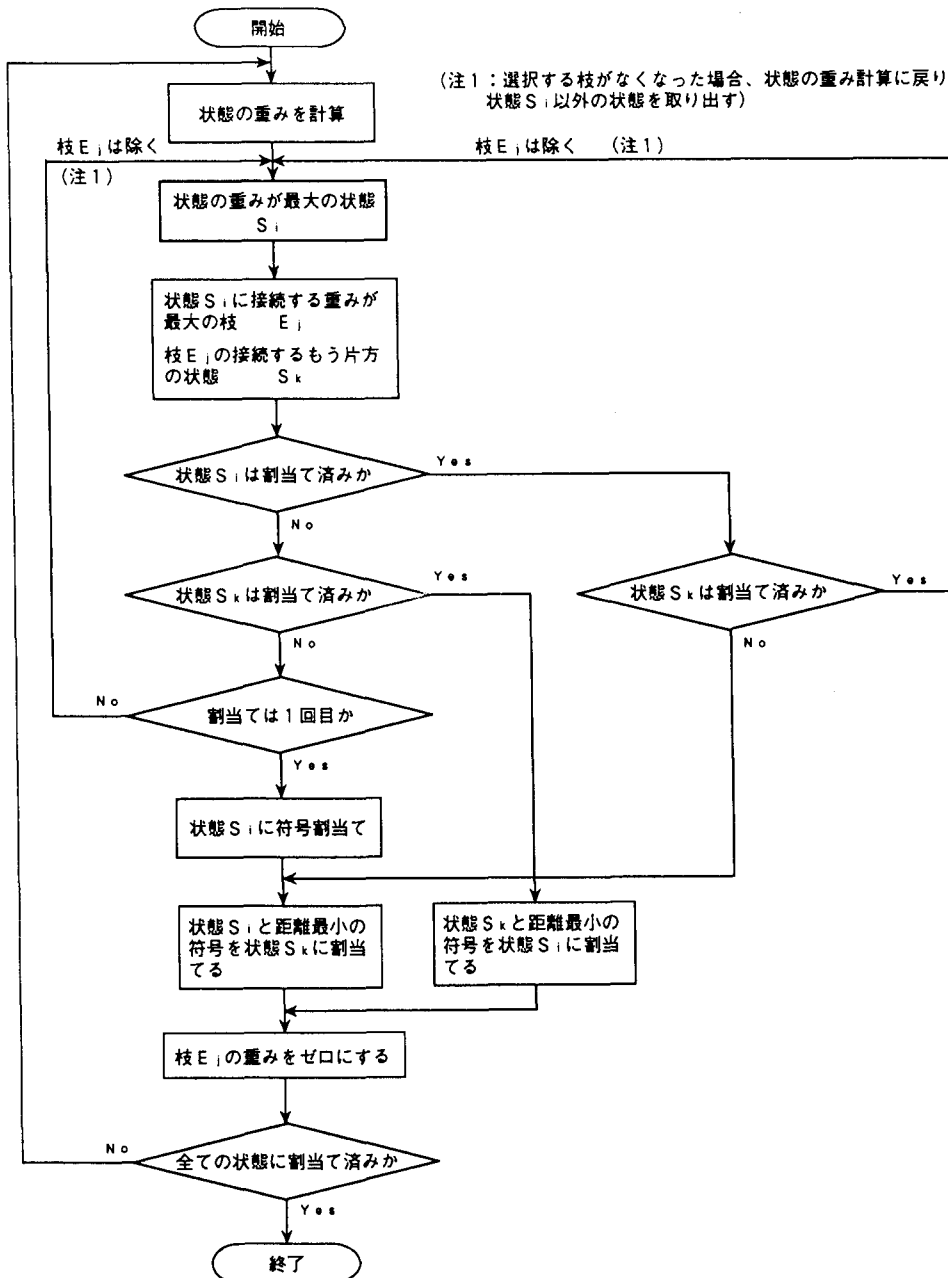


図4 符号の埋め込みアルゴリズム（本手法）

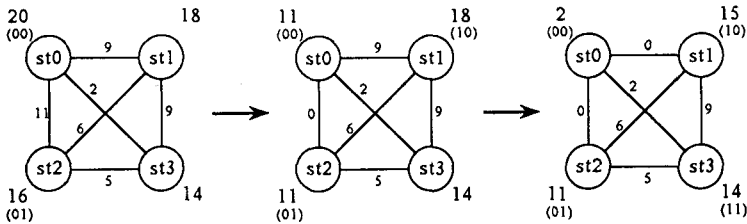


図5 符号の埋込み (本手法)

後で行われ、重みの大きい枝への割り当てが先に行われることにより解決されている。

図5に本手法の符号埋め込みの様子を示す(図3と同一の例)。本手法では最初に状態の重みが最大の状態st0と、それに接続する枝の中で重みが最大の枝(重み11)に接続する状態st2にそれぞれ符号(00), (01)を割り当てる。次にその枝の重みを0として再度状態の重みの計算を行いst1に(10)を割り当て、最後にst3に(11)を割り当てる。

3. 評価実験

提案アルゴリズムをC言語で記述し、SUN/3/60上で実験を行った。順序回路はMCNC'89ベンチマーク回路⁽⁶⁾を使用した。評価実験の手順を図6に示す。図6では最初に回路(FSM)を入力し、状態遷移表から重み付き完全グラフを作成し、次に本手法の符号埋め込みアルゴリズムを適用し符号割当てを行った後、ESPRESSOIIを使用して2段階論理簡化を行い、最後に多段階論理簡化を行いリテラル数を評価した。表2に評価実験の結果を示す(MUSTANG およびランダムの結果は文献(3)より引用した)。表2の結果より本手法はランダム割当てと比較した場合、lionを除くすべての回路でリテラル数の削減が認められる。またMUSTANGと比較した場合10個のベンチマーク中、8個の回路でリテラル数が削減されている。例えばdk15では約40%の削減率が得られており本手法の有効性が認められる。なおbbtas,s8の回路では若干の増加が見られるが、これは重み計算にファ

図6 評価実験の手順

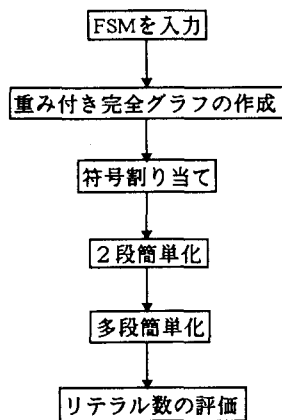


表2 評価実験の結果

FSM名	ランダム	MUSTANG	本手法
bbara	120	108	104
bbtas	37	32	37
dk14	156	143	124
dk15	122	128	81
dk16	553	346	321
ex4	113	102	98
lion	20	22	21
modulo12	43	36	35
s8	79	69	77
shiftreg	37	8	4

イン指向の手法を用いているためと考えられる。

4. むすび

本研究では多段階論理での実現を考慮した順序回路の状態割当てにおける、符号埋め込みアルゴリズムを提案し評価実験を行った結果、本手法の有効性が認められた。

今後、さらに他の重み計算法を用いた場合の本手法の評価を行う予定である。

謝 辞

本研究を行う機会を与えて頂いた大阪大学工学部白川功教授に深謝します。

文 献

- (1)安浦 寛人: “論理合成時代のハードウェア記述言語”, 情報処理, Vol.33, No.11, pp.1236-1243, 1992.
- (2)G.De Micheli, R.K. Brayton, A.L. Sangiovanni-Vincentelli: “Optimal State Assignment for Finite State Machines”, *IEEE Trans. Comput. Aided Design*, vol. CAD-4, pp. 269-284, Jul. 1985.
- (3)S. Devadas, H-K. T. Ma, A. R. Newton and A. Sangiovanni-Vincentelli: “Mustang: State Assignment of Finite State Machines Targeting Multi-level Logic Implementations”, *IEEE Trans. Comput. Aided Design*, Vol.7, no.12, pp.1290-1300, Dec., 1988.
- (4)P. Ashar, S. Devadas, A. R. Newton: “Sequential Logic Synthesis”, *Book, Kluwer Academic Publishers*, 1992.
- (5)R.Lisanke: “Logic synthesis optimization benchmarks user guide version 2.0”, *Technical report, Microelectronics Center of North Carolina*, 1988.

UNIXにおける遠隔地への高品位文書出力

山井 成良・青井 紀子*・伊藤 香代**

Design and Implementation of High Quality Remote Print-out Facility on UNIX

Nariyoshi YAMAI, Noriko AOI and Kayo ITO

遠隔地の端末からモデムやネットワークを介してコンピュータを利用する場合、ユーザの手許にプリンタがないために文書を出力できないことが多く、不便である。そこで本研究では最近普及率が向上してきているファクシミリを利用して、文書をUNIXシステムから遠隔地のユーザに出力できる利用環境を提供することを目的としている。本研究で作成した文書出力システムは、ページ記述言語の1つであるPostScript処理系を用いることにより、テキストファイルだけでなく図を含んだ文書やTeX, LaTeXなどで作成した高品位な文書を出力することができる。また、文書の画像データをMH符号化により圧縮し、ファクシミリアダプタへのデータ転送の高速化を図っている。

1. まえがき

最近、データ通信技術の発達により、遠隔地の端末から広域ネットワークやモデムを介してコンピュータを利用する形態が一般的になりつつある。しかし、このような利用形態では、文書をコンピュータ側に接続されたプリンタにしか出力できないシステムが多い。従って、手許にプリント出力を得るためには、まず出力したい文書をコンピュータ側から端末側にファイル転送する必要があり、不便である。

また、最近では携帯用パーソナルコンピュータからの利用が増加しており、この場合手許にプリンタがないことが多く、文書の出力を得ることができない。

そこで、本研究では最近普及率が向上してきているファクシミリに注目し、ファクシミリアダプタを用いて

図1に示すようにUNIXシステムから遠隔地のユーザに高品位の文書を出力できる利用環境を提供することを目的としている。

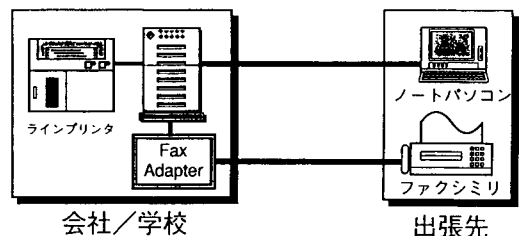


図1 ファクシミリを用いた遠隔地への文書出力

2. 遠隔地への文書出力機能

図1に示す構成でUNIXシステムからファクシミリで文書を出力する場合には、次の点が問題となる。

- 出力文書の画像データへの変換
- 出力処理系

以下では、それぞれの点について本研究での実現方法を示す。

* 本校卒業生。現在、日本放送協会

** 本校卒業生。現在、松下電子部品

2.1 出力文書の画像データへの変換

ファクシミリは画像を電送する装置であるため、文書をファクシミリで出力するためには出力文書を画像データに変換する必要がある。

本研究ではファクシミリアダプタとして HAL 研究所製の“HALFAX-9600EX”を使用した。この製品はプリンタ（日本電気製 PC-PR201）のエミュレーション機能を有しているため、テキストファイルを出力する場合には UNIX 側では普通のプリンタとして扱うことができ、出力文書を画像データへ変換する必要がない。

また、図を含んだ文書や TeX, LaTeX などで作成した高品位な文書を出力できるようにするため、ページ記述言語 PostScript 処理系の 1 つである ghostscript を用いた。これは、PostScript では基本的にデバイスに依存しない出力画像を得ることができ、また ghostscript はソースプログラムが公開されており、ファクシミリアダプタ用のデバイスドライバを作成して組み込むことが容易に行えるためである。

なお、ghostscript では日本語化パッケージが開発されており、数種類の日本語フォントを利用することができるが、本研究では品質に優れ、かつ入手が容易なツァイト社製「書体倶楽部」フォントを使用した。

2.2 出力処理系

文書をファクシミリで出力するためには、出力先電話番号の指定を行える出力処理系が必要となる。本研究ではプリンタに出力する場合と同様のユーザインターフェースを提供でき、また他のプログラムから容易に利用できる点から、UNIX の標準的なプリンタ出力処理系である lpr を拡張して、次のように -F オプションで出力先電話番号の指定を行えるようにした。

```
lpr -Pfax -F電話番号 ファイル名...
```

ここで、-Pfax は出力先デバイスがファクシミリであることを示すオプションである。なお、これにより lpr に関連する他のコマンド群、すなわち出力待ちの文書の一覧を見るコマンド lpq や文書出力を中止するコマンド lprm もそのまま利用することができる。

UNIX の処理系は、ユーザが文書の出力を指示するための lpr、出力文書を順次プリンタに送り出す lpd、並びにプリンタに合わせて出力文書を加工する出力フィルタの 3 つのプログラムから構成されている。本研究では図 2 に示すように lpr が -F オプションで指定された電話番号をコントロールファイルに書き込み、それを lpd が読み込んで出力フィルタに引き渡せるように lpr、lpd プログラムの拡張を行った。

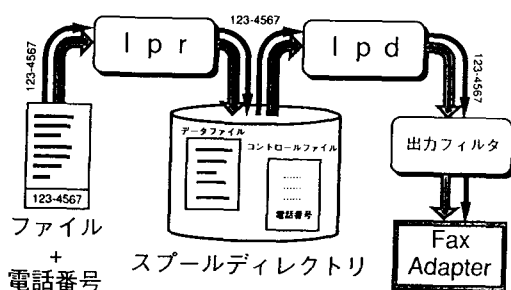


図2 処理の流れ

2.3 出力フィルタ

本システムでは、ファクシミリへの送信やエラー時の処理等の通信制御は、全て出力フィルタの 1 つである if フィルタによって行われる。また、ファクシミリアダプタに合わせた文字コードの変換や ghostscript の起動などもこの出力フィルタで行われる。本研究で作成した if フィルタで行われる処理を以下に示す。

(a) 引数のチェック

引数として出力先電話番号が指定されているかどうかを調べ、指定されていない場合にはエラーとする。

(b) ファクシミリアダプタの初期化

ファクシミリアダプタを初期化し、送信元 ID や日付・時刻の設定などを行う。

(c) 出力文書の変換

テキストファイルの場合には漢字コードや改行コードなど、ファクシミリアダプタに合わせた各種の文字コードの変換を行う。

また、PostScript ファイルの出力の場合には、ghostscript を起動し、画像データに変換する。

(d) 文書の送信

変換した出力文書をファクシミリアダプタに送り、指定された出力先へ文書を送信する。

(e) エラーの検出・通知

ファクシミリアダプタから通信記録を読み出して正常に送信されたかどうかを調べ、エラーが検出された場合にはその旨を電子メールでユーザに通知する。

2.4 データ転送の高速化

本研究で使ったファクシミリアダプタでは、次の 2 つのデータ転送方法を利用できる。

- PC-PR201 用プリンタコマンドを用いる方法。
- MH 符号化した画像データを直接転送する方法。

ここで、MH(Modified Huffman)符号化は画像データの圧縮方法としてG3ファクシミリ規格で規定されており、実際に多くのファクシミリ機器で利用されている。

高品位文書を出力する場合、上記aの方法では転送する画像データはビットマップで表されるため、転送量が膨大になり、ファクシミリアダプタへの転送にかなりの時間が必要となる。

そこで、本研究では上記bの方法を採用し、MH符号化機能を持つデバイスドライバを作成してghostscriptに組み込んだ。

3. 出力結果

本研究で作成したファクシミリ出力処理系を用いて、実際にファクシミリへ文書を出力した結果を図3～5に示す。このうち、図3はテキストファイルの出力結果、図4はLaTeXによる高品位文書の出力結果、図5はPost Scriptによる図の出力結果である。また、図6に電子メールで発信者に返されたエラーメッセージの例を示す。

更に、本研究では、MH符号化によるデータ転送の高速化の効果を調べるため、いくつかの高品位文書についてMH符号化を行わない場合(PC-PR201用デバイスドライバを使用)とMH符号化を行った場合(HALFAX用デバイスドライバを使用)の転送データ量の比較を行った。その結果を図7に示す。なお、この比較においてPC-PR201の解像度(160dpi)はファクシミリの解像度(横204dpi×縦196dpi)より低いいため、MH符号化を行っていない場合の転送データ量はファクシミリと同等の解像度になるように換算している。この図から、MH符号化により転送データ量が15%～67%とかなり小さくなっていることがわかる。

4. あとがき

本稿では最近普及率が向上してきているファクシミリを利用して、文書をUNIXシステムから遠隔地のユーザに出力する文書出力システムについて述べた。

本研究で作成した文書出力システムを使用した結果、テキストファイルだけでなく図を含んだ文書やTeX、LaTeXなどで作成した高品位な文書を十分満足できる品質で出力することができた。また、MH符号化による画像データの圧縮を行い、データ転送の高速化を実現することができた。

```

1/30 21:41 FROM:13725@acorn
/.....
HALFAXのエラーコードの内容
.....
0x11 DIS 送出後 応答無し
0x12 コマンド実行エラー(タイムアウト)
0x13 応答待ちコールド
0x14 実行バックグラウンドオーバーフロー
0x15 終了後 送出後 応答無し
0x16 処理未定値コールド(MIPS)
0x17 終了後 送出後 応答無し
0x18 処理未定値コールド(EOP)
0x19 EOP後 送出後 応答無し
0x20 処理未定値コールド(ROM)
0x21 タイムアウト(DIS)
0x22 処理未定値コールド(LIS)
0x23 通信モード切替
0x24 トレーニングシケンス 応答無し
0x25 処理未定値コールド(トレーニング)
0x26 トレーニング失敗
0x27 転送データエラー(11無し)
0x28 図像接続エラー
0x29 不正 途中
0x30 不正 途中
0x31 図像接続エラー
0x32 不正 途中
0x33 DCN 出力フラグ

```

図3 テキストファイルの出力結果

```

1/30 18:42 FROM:1393@acorn
PAGE:02
2

```

1. ハイパーテキストの概念を他のユーザが利用している端末やその画面、ウィンドウあるいは他のユーザが参照している教材にまで拡張し、これらに対してリンクを作成・参照できる機能。
2. 従来のハイパーテキストが自画面のみを操作していたのに対し、マルチユーザ化に伴い、他のユーザの画面も遠隔操作する機能。

これらの機能をいいます。教師がそれぞれの学習者のウィンドウへのリンクを参照することにより、容易にそれぞれの学習状況を把握することができたり、教師が学習者の画面を遠隔操作することにより学習者に適切な指示を与えたり、一斉に教材を提示したり、更にはグループ学習を支援したりすることが可能になる(図1)。

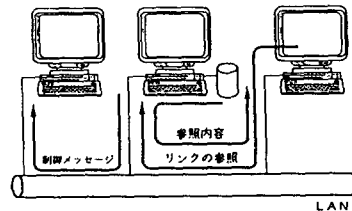


図1: 本システムでの機能拡張

これらの機能や、既に開発されている教育支援通信システム「Ascnet」[7]の機能を組み込むことによって、教材提示機能、ユーザ管理・指示機能、ユーザ間通信機能など個人学習だけでなく、グループ学習や一斉授業にも対応し、教材の共有も可能な教育支援システムを実現するための核として、もととなるハイパーテキストシステムの開発を行った。

以下本稿では、このハイパーテキストシステムの背景や実現方法、機能について述べる。

なお本研究ではシステムをUNIX上のX Window Systemを用いて実現した。

図4 LaTeXによる高品位文書の出力結果



図5 PostScriptによる図の出力結果

```

From daemon@info.nara-k.ac.jp Thu Jan 30 12:33:37 1992
Received: from artemis.info.nara-k.ac.jp by nnetgw.info.nara-k
id AA29290: Thu, 30 Jan 92 12:33:35 JST
Received: by artemis.info.nara-k.ac.jp (4.0/6.4J.6-info2)
id AA01445: Thu, 30 Jan 92 12:33:33 JST
Date: Thu, 30 Jan 92 12:33:33 JST
From: daemon@info.nara-k.ac.jp
Return-Path: <daemon@info.nara-k.ac.jp>
Message-Id: <9201300333.AA01445@artemis.info.nara-k.ac.jp>
To: 137259nnetgw.info.nara-k.ac.jp
Subject: printer job

Your printer job (test.1)
was printed but had the following errors:
error 81 occurs
回線接続エラー

```

図6 エラーメッセージの例

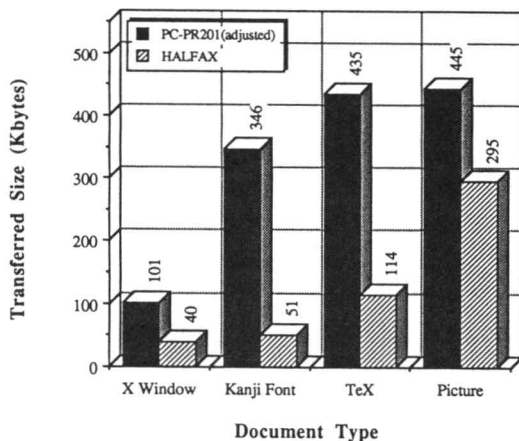


図7 データ転送方法によるファイルサイズの比較

今後の課題としては、高品位文書の送信だけでなく、他のファクシミリから送信されてきた文書を UNIX 側で受信できるような機能を付加することが挙げられる。

参考文献

- (1) 青井紀子：“UNIXにおける遠隔地への文書出力”，平成3年度卒業研究報告書，奈良工業高等専門学校情報工学科(1992)。
- (2) 伊藤香代：“UNIXにおける遠隔地への高品位文書出力”，平成4年度卒業研究報告書，奈良工業高等専門学校情報工学科(1993)。
- (3) 安田晴彦：“新版ファクシミリ基礎と応用”，電子情報通信学会(1982)。
- (4) HAL 研究所：“HALFAX9600/9600EX ファクシミリ・アダプタ取扱い説明書第1版”，HAL 研究所(1990)。

光化学ダイオードによる起電力発生

大西 康幸・泉 生一郎・林 裕信・栗谷 尚志・岡田 斗士一

The Product-Separable Photochemical Diode as an Electrochemical Photovoltaic Cell

Yasuyuki OHNISHI, Ikuichiro IZUMI, Hironobu HAYASHI,
Naoji AWATANI and Toshikazu OKADA

The product-separable photochemical diode has already been studied with respect to a photoelectrolysis cell in which optical energy is converted into chemical energy. In the present work an attempt is made to apply the product-separable photochemical diode to the conversion of optical energy into electrical energy. When the photoelectrochemical device composed of $n\text{-TiO}_2/\text{Ti}$ is exposed to Xe light, it can become successful as an electrochemical photovoltaic cell and result in photovoltage.

1. 緒 言

太陽エネルギーを電気エネルギーに変換する手段として、半導体の $p-n$ 接合や半導体と金属との接合による固体の太陽電池が広い範囲ですでに実用化されている。また半導体を適当な溶液に浸漬することにより容易に形成される、半導体/溶液接合による光エネルギー変換に関する研究も、1973 年から翌年にかけての第一次石油危機が引き金となって多方面から大きな注目を浴び、特にここ 20 年間に著しい発展を遂げてきた¹⁾。粉末光触媒に関する研究は、そうした中で広範囲の研究者によって活発に行われてきており²⁾、筆者らも光コルベ反応³⁾や有機化合物の光触媒分解⁴⁾、そして抗菌反応⁵⁾などの光触媒利用の研究に取り組んできている。ただ、この粉末光触媒ではその触媒上で同時に酸化・還元反応が進行するため、逆反応や副反応が併発するという問題が懸念される。そうした問題点を考慮して開発したのが生成物分離型光化学ダイオード (product-separable photochemical diode; 以下、PS 型光化学ダイオードと略す)⁶⁾で、これまで、水分解による水素製造⁷⁾、金属電析⁸⁾、光クロノポテンシオメトリー⁹⁾、炭酸水素塩溶液からの有機化合物の合成¹⁰⁾などに応用し、興味ある

結果を得てきた。

この PS 型光化学ダイオードは光励起された電子と正孔により惹き起こされた酸化、還元両反応からの生成物を完全に分離し、電荷分離および化学反応両過程での逆反応を抑える工夫を施したもので、光エネルギーの化学的エネルギー変換システムの一つと考えることができる。

本研究では視点を変え、湿式光センサ等への応用を意図して、PS 型光化学ダイオードにより発生する光起電力の測定を種々の溶液で行ったので、それらの結果をここに報告する。

2. 実 験

PS 型光化学ダイオードを構成する Ti および TiO_2 の電気化学特性を、作用極に Ti 線電極 ($1\text{ mm } \phi \times 13\text{ mm}$)、および Ti 線を焼成して作った TiO_2 薄膜電極 ($1\text{ mm } \phi \times 12\text{ mm}$) を用い、対極に平滑白金板 ($25 \times 15.5\text{ mm}^2$)、参照電極に飽和カロメル電極 (SCE)、電解セルには両極室をガラスフィルターで仕切った H 型セルを用いてサイクリックボルタンメトリーを行うことによって調べた。なお、照射下での測定は光源に 500W Xe ランプを用い、光照射による電流変化が観察しやすい電位範囲で行った。

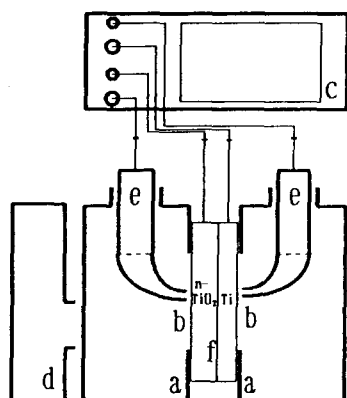


Fig.1 Experimental set-up for the potential measurement of photochemical diode

- a:pyrex glass cell e:saturated calomel
b:Luggin capillary electrode
c:pen recorder f:n-TiO₂/Ti thin film
d:0.5kW Xe lamp electrode

PS 型光化学ダイオードの作製は、まず厚さ 0.06mm の金属 Ti 板(30 × 30 mm²)をエタノールと 1mol・dm⁻³ 硝酸に浸して脱脂、洗浄した後、600℃の電気炉で 5 時間焼成して多結晶酸化チタン半導体とした。他方、裏面は研磨して光沢のあるチタン金属面とした。こうして作った n-TiO₂/Ti 板を Fig.1 のように 2 個のパイレックス製反応容器に挟み込み、n-TiO₂ 側に 1mol・dm⁻³ 水酸化ナトリウム溶液、Ti 側に 0.5mol・dm⁻³ 硫酸溶液を入れて、両液を U 字型塩橋で連結することによって光化学ダイオードを構成した。なお、n-TiO₂ 面への照射は 500W Xe ランプで行った。

光照射下における光化学ダイオードの TiO₂ 面と Ti 面の電極電位は、それぞれルギン毛管によって参照電極に通じ、レコーダに記録することによって測定した。

光化学ダイオードの光起電力は、2 液に白金線電極(0.1 mm φ × 5 mm)を挿入し、それらの端子間電圧をレコーダで記録することによって測定した。

なお、実験に使用した試薬はすべて市販特級品で、溶液の調製は 2 回蒸留水を用いて行った。

3. 結果と考察

3.1 Ti および TiO₂ 電極の電気化学的挙動

PS 型光化学ダイオードを構成するそれぞれの電極について、サイクリックボルタンメトリーから電気化学特性を検討したのが Fig.2 である。Ti 電極については、0.5mol・dm⁻³ 硫酸溶液中で、およそ 0.15V 付近から溶存酸素の還元あるいは水素発生に基づくカソード還元

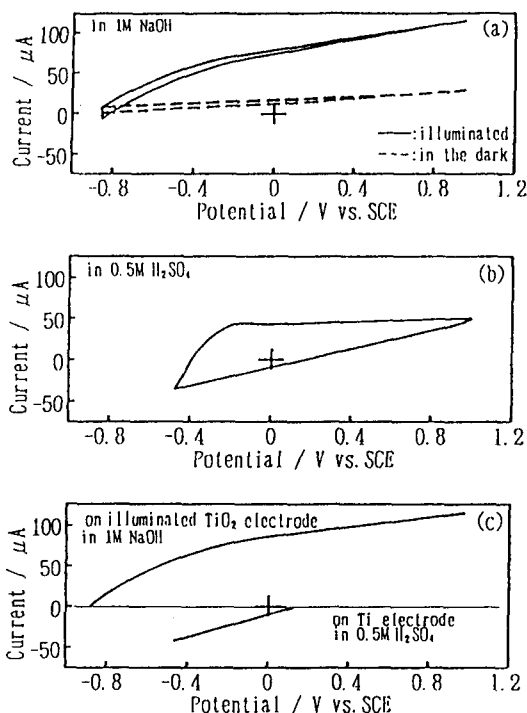


Fig.2 Photoelectrochemical behavior of photochemical diode

電流が観察された。一方、n 型半導体である TiO₂ 電極については、1mol・dm⁻³ 水酸化ナトリウム溶液中、光照射によって -0.8V 付近からアノード光電流が観察された。当然のことながら、この光電流は暗所下では見られなかったもので、水分解による酸素発生に起因するものと考えられる。

得られた電流-電位曲線を基にして Ti 電極ではカソード還元電流領域、TiO₂ 電極ではアノード酸化の光電流領域を共に同一の図面に移し変えると Fig.2(c) のようになった。図から明らかなように、硫酸溶液中、Ti 電極上での酸素還元あるいは水素発生と、光照射下での n-TiO₂ 電極上での酸素発生が、ある電位において同時に進行するすなわち光電気化学セルを構成し得ることが判る。従って、これら両電極を組み合わせ PS 型光化学ダイオードの n-TiO₂ 面への光照射によって、光電気化学セルとしての機能をもたせることが可能となる。

3.2 PS 型光化学ダイオードの動作原理

前項の電流-電位特性の検討から、PS 型光化学ダイオードの Ti 電極上での酸素還元あるいは水素発生と、光照射下 TiO₂ 電極上での酸素発生が、外部バイアスなしで進行し得ることが示唆された。

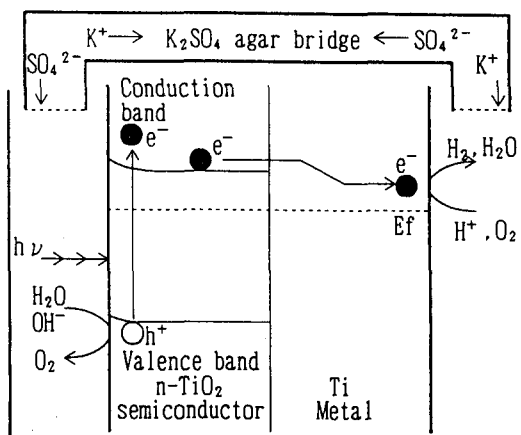


Fig.3 Energy model of product-separable photochemical diode

この光化学ダイオードは、 n - TiO_2 半導体電極と電解液との接合で生じた空間電荷層内で、半導体のバンドギャップ(3.0eV)以上のエネルギーの光を吸収することによって作動することになるが、その動作原理を Fig.3 に示す。すなわち、半導体面への光照射により価電子帯の電子が伝導帯に引き上げられ、価電子帯には正孔が生じる。この光励起された電子-正孔対が空間電荷層内の電位こう配によって分離され、正孔は半導体表面に移動し、 OH^- イオンや水分子に捕獲されそれらを酸化する。他方、励起電子は半導体内部から裏側暗部の金属表面に移動し、溶存酸素や H^+ イオン、水分子に捕獲されてそれらを還元する。

3.3 PS 型光化学ダイオードによる起電力発生

PS 型光化学ダイオードの TiO_2 面への光照射の際に、光電流を抑えれば光起電力が得られるはずである。具体的には、PS 型光化学ダイオードの 2 液に連結した塩橋を取り除けば、半導体および金属表面での正孔と励起電子の捕獲反応が電荷のアンバランスを生じさせるため、電荷分離を抑制することになる。こうして、半導体面での酸化反応と金属面での還元反応といった電荷の一方向の流れが円滑にいかなくなり、いわゆる反応の整流効果が低下してしまう。従って、半導体面に光照射を行うと励起電子が半導体内部にたまり、フェルミ準位を押し上げるとともに金属側に移動し、正孔の残った価電子帯との間に起電力が生じるものと考えられる。

Fig.4 には、塩橋を取り除いた光化学ダイオードの n - TiO_2 面と Ti 面のそれぞれの電極電位に対する光照射の影響を表した。

図は、 TiO_2 側に $1\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ 水酸化ナトリウム溶液、 Ti 側に $0.5\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ 硫酸溶液を用いた場合の結果で

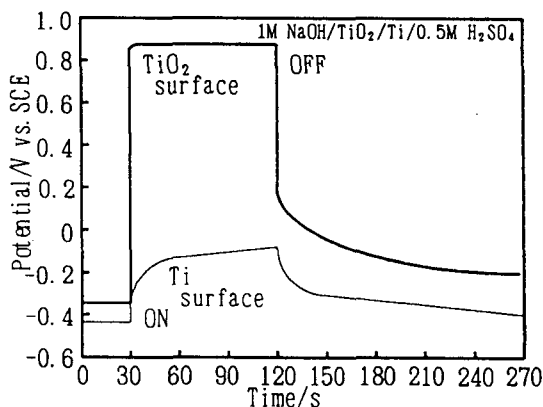
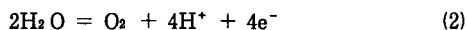
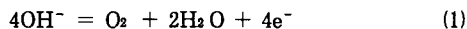


Fig.4 Potential change induced by illuminated photochemical diode

Table 1 Photo-potential response on photochemical diode(V)

No.	electrolyte		TiO_2 surface		Ti surface	
	TiO_2	Ti	dark	ill.	dark	ill.
1	1M NaOH	0.5M H_2SO_4	-0.35	0.84	-0.47	-0.08
2	1M NaOH	0.3M K_2SO_4	-0.06	0.87	-0.10	0.37
3	1M NaOH	1M NaOH	0.09	0.85	0.09	0.47
4	0.3M K_2SO_4	1M NaOH	0.04	0.35	0.07	0.27
5	0.5M H_2SO_4	0.5M H_2SO_4	-0.62	-0.16	-0.61	-0.18

あるが、 TiO_2 面では -0.35V の自然浸漬電位だったのが、光照射によって 0.84V にまで電位が変化する。他方 Ti 面では -0.47V から -0.08V に電位が変化する。これらの電位からみて、 TiO_2 面での電位決定反応は(1)、(2)式のような平衡反応、そして Ti 面では(3)式の水素発生反応よりもむしろ(4)式のような溶存酸素の還元が電位決定反応となっているものと考えられる。



いずれの反応にも水酸化物イオンやプロトンが関与しており、Table 1 に示すように溶液の pH が電極電位に大きく影響する。

これらの測定結果から、水酸化ナトリウム/ TiO_2 / Ti /硫酸溶液からなる光化学ダイオードで最も大きな電極電位の差、すなわち光起電力を生じることが明らかとなった。

文 献

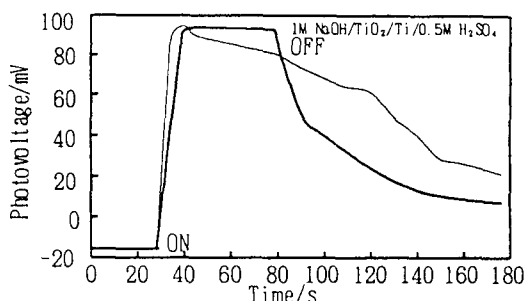


Fig.5 Photovoltage induced by illuminated photochemical diode saturated with
 — : oxygen
 - - : air

Fig.5 では、2 液に白金線電極を挿入し、両極間の起電力測定を行った。

これは光化学ダイオードの光起電力に相当するもので、Ti 側溶液に酸素ガスを吹き込むと起電力の値はほとんど変わらないが、より長い時間の起電力の安定が見られた。逆にアルゴンガス飽和下では起電力の低下が早められ、(4)式が電位決定反応であることを支持する結果となった。

4. 結 言

n-TiO₂/Ti からなる PS 型光化学ダイオードで発生する光起電力の測定を行い、概略以下の結論を得た。

- (1) 硫酸溶液中での Ti 電極と光照射下における n-TiO₂ 電極での電流-電位特性を調べ、PS 型光化学ダイオードの機能を確認した。
- (2) イオン電荷のアンバランスを調整するための塩橋を取り除けば、光化学ダイオードの n-TiO₂ 面への光照射によって、TiO₂ 面と Ti 面の電極電位が変化した。それらの電位決定反応は、pH および溶存酸素の影響を受ける平衡反応であることが分った。
- (3) この光化学ダイオードで発生する光起電力は、酸素ガス飽和下で安定し、アルゴンガス飽和下で起電力の低下が早くなった。

このように PS 型光化学ダイオードの特徴であった電荷分離による反応の整流効果は、2 液を連結した塩橋を取り除くことにより光起電力の発生にとって替えることができる。これは光に感知して電気エネルギーに変える湿式光センサとしての応用につながる結果といえよう。

- 1) 魚崎浩平, 化学 40, 385 (1985).
- 2) 安保正一, 千葉勝一, 友成雅則, 表面 29, 156 (1991).
- 3) I.Izumi, Fu-Ren F.Fan and A.J.Bard, J. Phys.Chem. 85, 218 (1981).
- 4) 泉 生一郎, 電気化学 53, 178 (1985).
- 5) K.Onoda, J.Watanabe, Y.Nakagawa and I. Izumi, DENKI KAGAKU 56, 1108 (1988).
- 6) 泉 生一郎, 化学工業 39, 212 (1988).
- 7) 大西康幸, 泉 生一郎, 渡辺庄一郎, 小川 洋, 小山俊洋, Chem. Expr. 5, 817 (1990).
- 8) 大西康幸, 泉 生一郎, 西川康生, 西尾 拓, 土肥 徹, 電気化学協会 技術・教育研究論文誌 1, 25 (1992).
- 9) 泉 生一郎, 大西康幸, 奈良高専研究紀要 No.22, 79(1986).
- 10) Y.Ohnishi, I.Izumi, T.Dohi and D.Watanabe, DENKI KAGAKU 61, 880(1993).

電磁誘導法によるゲル粒子懸濁気泡塔内の 粒子濃度分布の測定

河 越 幹 男

A Novel Measurement Method of Gel Particle Distribution in a Bubble Column Based on Electromagnetic Induction

Mikio KAWAGOE

A novel method which is based on the principle of electromagnetic induction was devised to measure the concentration profile of gel particle along the axis of a bubble column. A pair of concentric coil was used, in which the bubble column was set. To obtain gel particles with high permeability, colloidal magnetite was mixed with calcium alginate solution. We obtained gel particles having diameter of 3.4mm and density of 1310 kg/m³. Using the magnetic gel particle, we showed that the concentration profile of particle in the bubble column can be measured by the electromagnetic induction method. The profile obtained was found to be in good agreement with the sedimentation-diffusion model.

緒 言

ゲルは酵素や菌体の固定化担体として広く利用されており、ゲル粒子を懸濁した気泡塔はバイオリアクターとして注目されている¹⁾。ゲル粒子は、粒子径が2～4mmと大きいにも係わらず、密度が1010～1500kg/m³で水より僅かに大きい程度であるため、低ガス流速でも粒子が流動化する。粒子濃度分布は装置の性能を決める基本因子の一つであり、粒子径が小さく、密度が大きいガラスビーズのような液物性と大きく異なる物性をもつ粒子については直接採取法、電気伝導度法などの測定法が用いられている。しかし、ゲル粒子のような大粒子の場合、適当な濃度測定法がない。直接採取法では、粒子径が大きいため多量の混相液を採取しなければならず誤差が大きくなる。また、ゲルの電気伝導度は水と同程度であるため、電気伝導度法は用いることはできない。

本研究では、電磁誘導の原理を応用した粒子濃度分布の測定法を考案し、塔外に設置した二重コイルに生じられる誘導電圧を測定することによってゲル粒子濃度分布を求めた。本方法は非接触式であるため、測定による実

験系への擾乱がなく、濃度分布の測定法として優れている。さらに、得られた粒子濃度分布を沈降拡散モデルに基づいて解析し、本測定法の妥当性を検討した。

1. 測 定 法

同心円状に巻いた二重コイルの一方(1次コイル)に交流電流 J を流すと、電磁誘導によって他方のコイル(2次コイル)に誘導電圧 E が発生する：

$$E = -M(dJ/dt) \quad (1)$$

ここで、 M は相互インダクタンスであり、決まったコイルの場合にはコイルの空心部に存在する媒質の透磁率に比例する。従って、懸濁粒子の透磁率と液体やガスの透磁率の間に差があれば、誘導電圧 E は粒子濃度によって変化するので、 E を測定すれば粒子濃度が求められる。

2. 実験装置及び方法

(1)実験装置 装置の概略図をFig.1に示した。気泡塔は内径56mm、高さ1mのアクリル樹脂製である。ガス分散板は孔径1mm、孔数19個の多孔板である。用いた誘導コイルをFig.2に示した。コイルは外径63mm、

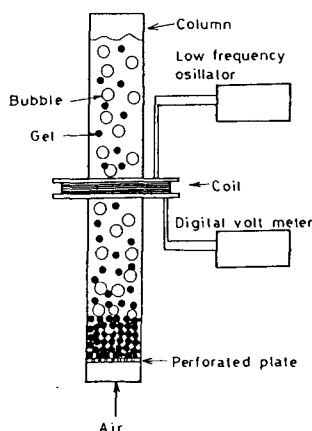


Fig.1 Experimental setup

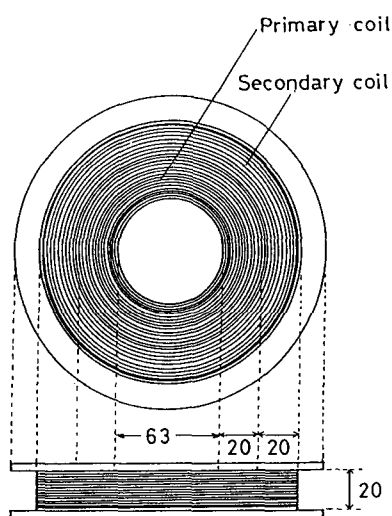


Fig.2 Induction coil used

幅20mmの円筒にコイルを二重に巻いたものであり、内側を1次コイル、外側を2次コイルとした。巻数は、1次コイル、2次コイルとも1400回である。

(2)磁性ゲル粒子 アルギン酸カルシウムゲルの透磁率は水のそれとほとんど変わらないので、マグネタイトのコロイド粒子を混入した透磁率の大きいゲル粒子（磁性ゲル粒子）を作製した。磁性ゲル粒子は、アルギン酸ナトリウム水溶液と、湿式法³⁾によって作成したマグネタイト・コロイド溶液との混合溶液を作り、水酸化カルシウム水溶液に滴下して作製した。得られたゲルの平均粒子径は3.4mm、密度は1310kg/m³であった。

3. 実験結果及び検討

(1)測定周波数 周波数を10～3000Hzと変化させて、

コイルの空心部に磁性粒子を充填した時の誘導電圧と充填しない時の誘導電圧をそれぞれ測定し、その差 ΔE を求めた。Fig. 3に示したように、 ΔE は1500Hzのときに最大値を示したので、以下の測定は1500Hzで行った。

(2)粒子濃度と誘導電圧の関係 Fig. 4に、磁性粒子の濃度分布が一様な十分厚い粒子層の中央部にコイルを設置した時の ΔE と、磁性粒子の体積分率 ϵ_p との関係を示した。 ΔE と ϵ_p は比例関係にあることが分かる：

$$\epsilon_p = \alpha \Delta E \quad (2)$$

ここで、 α は定数であり、作製したゲルのマグネタイト含有量によって若干変化するので、その都度測定した。

(3)粒子濃度分布 Fig. 5に粒子仕込量とガス流速 u_g を変化させた場合の粒子濃度分布を示した。

Fig. 5 - aに示したように、低ガス流速では、塔底部に粒子濃度が一定の固定層が形成され、その上部に僅か

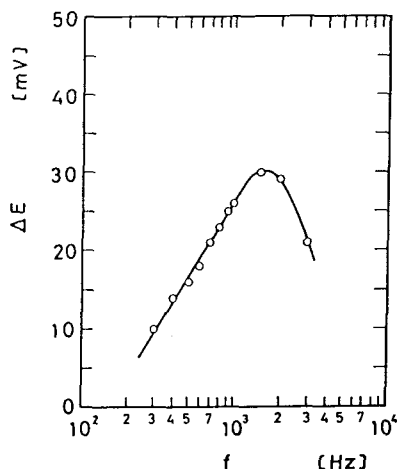


Fig.3 Variation in induction voltage with frequency of alternating current

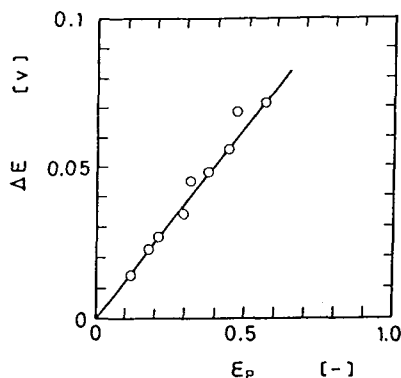


Fig.4 Relation between induction voltage and holdup of magnetic particle

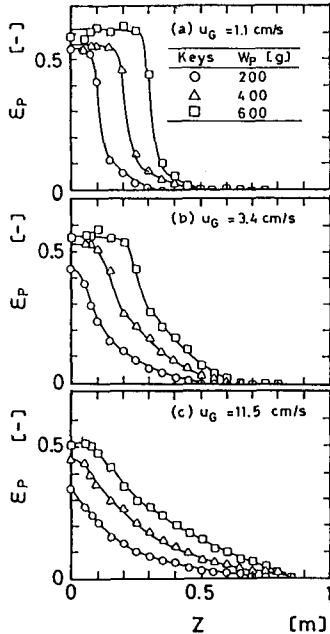


Fig.5 Typical particle holdup distribution observed

な粒子が浮遊している希薄層が存在する。ガス流速が増加すると、Fig. 5 -b に示されているように、固定層高は減少し、浮遊粒子の割合が増加する。固定層と浮遊層の間は分布が緩やかになり、両者の境界が不明瞭になる。さらにガス流速が増加すると、Fig. 5 -c のようになり、固定層は消失し、全粒子が浮遊ようになる。粒子濃度は高さと共に指数関数的に減少する。

(4)ガスホールドアップ Fig. 6 にガスホールドアップ ε_g とガス流速 u_g の関係を示した。ゲル粒子が存在すると、 ε_g が急激に低下することが分かる。ゲル粒子が存在しない場合には、 ε_g は従来の Kumar らの文献値²⁾ とほぼ一致している。粒子懸濁系では、仕込量の増加と共に ε_g は若干減少する傾向が認められる。また、塔径が小さいことによる壁効果のため、実測値は加藤らの計算値¹⁾ よりも若干大きくなっている。

4. 沈降拡散モデル

加藤¹⁾ らは、固体粒子懸濁気泡塔について実験的に研究した。その結果、粒子層は固定層とその上部の希薄層に分かれることを見出した。さらに、希薄層の粒子濃度分布を整理するため、沈降拡散モデルを提出している。ここでは、彼らの沈降拡散モデルに準拠して希薄層の粒子分布を解析した。基礎式は次式で表される。

$$kE_p \frac{d^2 \varepsilon_p}{dz^2} + V_p \frac{d\varepsilon_p}{dz} = 0 \quad (3)$$

ここで、 E_p は粒子の混合拡散係数、 V_p は平均沈降速度、 Z_p は高さ、 ε_p は粒子体積分率である。塔高が十分大きい場合には、上式の解は次式で与えられる¹⁾。

$$\varepsilon_p = \varepsilon_{p0} \exp\{-\lambda(z - H_F)\} \quad (4)$$

ここで、 $\lambda = v_p/E_p$ 、 H_F は濃厚層の高さ、 ε_{p0} は濃厚層の粒子体積分率であり、通常 0.5～0.6 の範囲にある。Fig. 7 に(4)式に従った ε_p 対 z の片対数プロットを示した。希薄層の ε_p 対 z の関係は直線となり、(4)式の関係が成立し、この勾配から λ が求められる。この方法で求めた λ を u_g に対してプロットし、Fig. 8 に示した。このプロットから次式を得た。

$$\lambda = 0.93u_g^{-0.64} \quad (5)$$

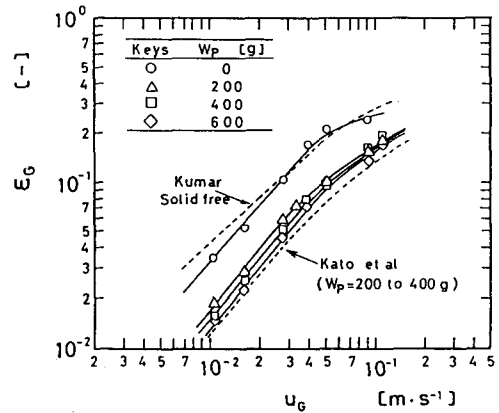


Fig.6 Gas holdup as a function of u_g

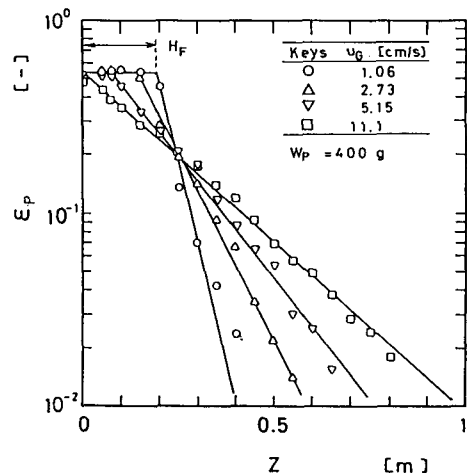
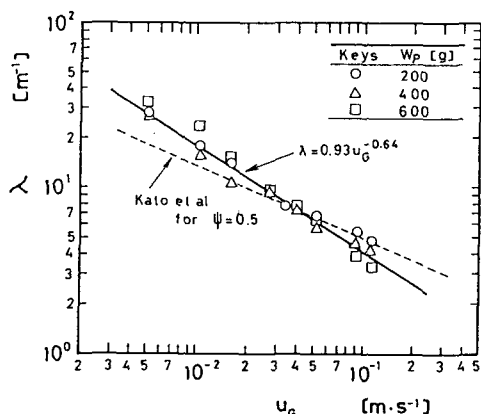
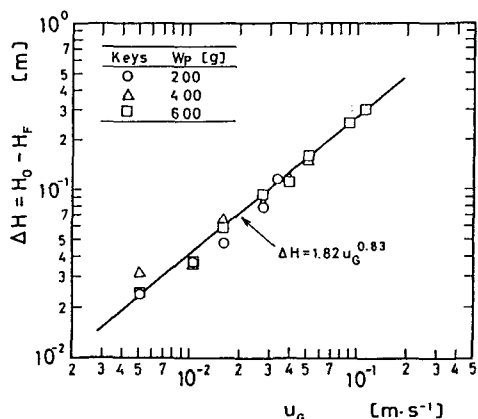


Fig.7 Semi-log plot of axial distribution of particle holdup

Fig. 8 Correlation of λ with u_G Fig. 9 Correlation of ΔH with u_G

加藤ら¹⁾は v_p と E_p に対する相関式を与えており、これらを用いると λ を推算できる。彼らの結果を用いて本実験条件に対する λ を求めると次式が得られた。

$$\lambda = 10.9 \Psi^{2.5} u_G^{-0.424} \quad (6)$$

ここで、 $\Psi = \varepsilon_L / (\varepsilon_L + \varepsilon_p)$ 、 ε_L は液ホールドアップである。 Ψ は 0 ~ 1 の値を取り得る。ここでは、中間の値 $\Psi = 0.5$ として加藤らの結果との比較を行った。Fig. 8 から(6)式は実験値とほぼ一致することが分かる。

ガス流速を増すと濃厚層内のガスホールドアップが増加するため、固定層は膨張する。一方、固定層の一部は浮遊し、希薄層となる。従って、全体としての固定層高さの増減は両者の大小関係によって決まる。本実験の場合、浮遊量の方が層膨張よりも大きかったため、固定層高はガス流速の増加と共に減少した。高ガス流速領域では固定層も流動化していたので、以後では固定層の代わりに濃厚層という用語を用いる。いま、最初の濃厚層高を H_0 、任意のガス流速における濃厚層高を H_F とする。ガス流速による濃厚層高の減少量 $\Delta H (= H_0 - H_F)$ とガス流速の関係を Fig. 9 に示した。両者の間には良好

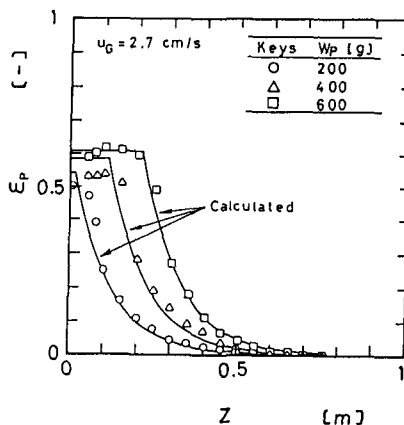


Fig. 10 Comparison of observed values with ones estimated

な直線関係が存在し、このプロットから次式を得た。

$$\Delta H = 1.82 u_G^{0.83} \quad (7)$$

以上の結果を用いて(4)式から計算した粒子濃度分布の計算値と実測値の比較を Fig. 10 に示した。計算に際して濃厚層の粒子濃度分布は一定と仮定し、その濃度は濃厚層と希薄層の粒子量の和が仕込量と等しくなるように決めた。計算値と実測値はよく一致しており、ゲル懸濁系に対しても沈降拡散モデルが適用できた。

結 言

電磁誘導法による粒子濃度分布の測定を試み、測定が可能であることを示した。得られた粒子濃度分布は沈降拡散モデルにより整理できた。

文 献

- 1) Kato, Y., S. Morooka, M. Koyama, T. Kago and S. Yang: J. Chem. Eng. Japan, 18, 308 (1985)
- 2) Kumar, A., T. E. Degaleesan, G. S. Ladadha and H. E. Hoelscher: Can. J. Chem. Eng., 54, 503 (1976)
- 3) Simoizaka, J., K. Nakatsuka, R. Chubachi and Y. Sato: Nihon Kagaku Kaisi, 6(1976)
- 4) Sun, Y, T. Nozawa and S. Furusaki: J. Chem. Eng. Japan, 21, 15(1988)
- 5) Yasunishi, A., M. Fukuma and K. Muroyama: Kagaku Kogaku Ronbunshu, 12, 420(1986)

Newton - Raphson 法の拡張

福蔭 克彦・北川 誠之助

An extension of Newton - Raphson Method

Katsuhiko FUKUSHIMA ・ Seinosuke KITAGAWA

For solving the equation $f(x)=0$, Newton - Raphson Method is well - known theorem. In this paper we study to extend this theorem by using the Taylor expansion.

1. はじめに

曲線 $y=f(x)$ 上の点 $(x_\mu, f(x_\mu))$ で引いた接線と x 軸との交点を $(x_{\mu+1}, 0)$ としたとき, 漸化式

$$(1) \quad x_{\mu+1} = x_\mu - \frac{f(x_\mu)}{f'(x_\mu)}$$

が得られる。図を書けばすぐに分かるように x_μ より $x_{\mu+1}$ の方が方程式 $f(x)=0$ の解に近い, そこで, (1) で与えられた数列を計算して $f(x)=0$ を解くと言うのが Newton - Raphson 法 (以下では Newton 法) であった。ところで Newton 法を逆関数の Taylor 展開の応用としてみると, より高次の Newton 法が得られる。その一部は [4] に述べたが, 本論文はその続報である。

2. 逆関数の微分

z の近傍で定義された複素解析関数 $w=f(z)$ が $f'(z) \neq 0$ のとき f の逆関数 $z=f^{-1}(w)=\varphi(w)$ が存在する。 φ の導関数を求める, 先ず

$$(2) \quad \varphi'(w) = \frac{dz}{dw} = \frac{1}{\frac{dw}{dz}} = \frac{1}{w'} \quad \text{に注意すると}$$

$$\varphi^{(k)}(w) = \frac{dz}{dw} \varphi^{(k-1)}(w) = \frac{1}{\frac{dw}{dz}} \frac{d}{dz} \varphi^{(k-1)}(w)$$

$$= \frac{1}{w'} \frac{d}{dz} \varphi^{(k-1)}(w)$$

だから, $k=2, 3, 4, 5$ の場合を求めると

$$(3) \quad \varphi^{(2)}(w) = -\frac{w^{(2)}}{(w')^3}$$

$$(4) \quad \varphi^{(3)}(w) = -\frac{-w^{(3)}w' + 3(w^{(2)})^2}{(w')^5}$$

$$(5) \quad \varphi^{(4)}(w) = -\frac{-w^{(4)}(w')^2 + 10w^{(3)}w^{(2)}w' - 15(w^{(2)})^3}{(w')^7}$$

$$(6) \quad \varphi^{(5)}(w) = \frac{-w^{(5)}(w')^3 + 15w^{(4)}w^{(2)}(w')^2}{(w')^9}$$

$$+ \frac{10(w^{(3)})^2(w')^2 - 105w^{(3)}(w^{(2)})^2w' + 105(w^{(2)})^4}{(w')^{11}}$$

3. Taylor 展開

$w_\mu = f(z_\mu)$ を中心に $\varphi = f^{-1}$ の Taylor 展開を考える。

$$(7) \quad z = \varphi(w) = z_\mu + \varphi^{(1)}(w_\mu) + \frac{1}{2!} \varphi^{(2)}(w_\mu)(w - w_\mu)^2 +$$

$$\frac{1}{3!} \varphi^{(3)}(w_\mu)(w - w_\mu)^3 + \frac{1}{4!} \varphi^{(4)}(w_\mu)(w - w_\mu)^4 + R_5$$

ここで R_5 は剰余項で

$$R_5 = \frac{(w - w_\mu)^5}{4!} \int_0^1 \varphi^{(5)}(w_\mu + (w - w_\mu)t)(1-t)^4 dt$$

である。

(7)で $w = 0$ とし, $\zeta = f^{-1}(0) = \varphi(0)$ とおくと

(2)から(5)より

$$(8) \quad \zeta = z_\mu - \frac{w_\mu}{w'_\mu} + \frac{1}{2!} \left(-\frac{w_\mu^{(2)}}{w'_\mu} \right) \left(-\frac{w_\mu}{w'_\mu} \right)^2 +$$

$$\frac{1}{3!} \frac{-w_\mu^{(3)}w'_\mu + 3(w_\mu^{(2)})^2}{(w'_\mu)^2} \left(-\frac{w_\mu}{w'_\mu} \right)^3 + \frac{1}{4!}$$

$$\frac{-w_\mu^{(4)}(w'_\mu)^2 + 10w_\mu^{(3)}w_\mu^{(2)}w'_\mu - 15(w_\mu^{(2)})^3}{(w'_\mu)^3} \left(-\frac{w_\mu}{w'_\mu} \right)^4 + R_5$$

$$(9) \quad R_5 = \frac{(-w_\mu)^5}{4!} \int_0^1 \varphi^{(5)}((1-t)w_\mu)(1-t)^4 dt \quad \text{但し}$$

$$w_\mu^{(j)} = f^{(j)}(z_\mu) \quad \text{とする。}$$

(8)の右辺の第二項までが Newton 法の漸化式(1)の $z_{\mu+1}$ である。本稿では第5項までを採用して $z_{\mu+1}$ として考察する。即ち

$$(10) \quad z_{\mu+1} = z_\mu + h_\mu$$

$$h_\mu = k_\mu + \frac{k_\mu^2}{2!} \left(-\frac{w_\mu^{(2)}}{w'_\mu} \right) + \frac{k_\mu^3}{3!} \frac{-w_\mu^{(3)}w'_\mu + 3(w_\mu^{(2)})^2}{(w'_\mu)^2} +$$

$$\frac{k_\mu^4}{4!} \frac{-w_\mu^{(4)}(w'_\mu)^2 + 10w_\mu^{(3)}w_\mu^{(2)}w'_\mu - 15(w_\mu^{(2)})^3}{(w'_\mu)^3}$$

ここで $k_\mu = -\frac{w_\mu}{w'_\mu}$ とする。

4. 基本定理

以上の背景の下で, Newton-Raphson 法を拡張する。

定理

$w = f(z)$ は z_0 の近傍で定義され, $w_0 w'_0 \neq 0$ 。

$$z_1 = z_0 + h_0.$$

$$h_0 = k_0 + \frac{k_0^2}{2!} \left(-\frac{w_0^{(2)}}{w'_0} \right) + \frac{k_0^3}{3!} \frac{-w_0^{(3)}w'_0 + 3(w_0^{(2)})^2}{(w'_0)^2} +$$

$$\frac{k_0^4}{4!} \frac{-w_0^{(4)}(w'_0)^2 + 10w_0^{(3)}w_0^{(2)}w'_0 - 15(w_0^{(2)})^3}{(w'_0)^3}$$

$$k_0 = -\frac{w_0}{w'_0} \quad \text{とする。}$$

$$K_0 = \left\{ z; |z - z_0| \leq \frac{12}{5} |k_0| \right\} \quad \text{とし, } f(z) \text{ は } K_0 \text{ で正則}$$

とする。

$$M = \max_{1 \leq j \leq 4} \max_{k_0} |w^{(j)}| \quad \text{とおくとき}$$

(11) $5|k_0|M \leq |w'_0|$ を満たすと仮定する。その時漸化式

(10)で得られる数列 $\{z_\mu\}$ は K_0 に含まれ, $f(z) = 0$ の解 ζ に収束する。そして ζ は $f(z) = 0$ の単根である。

5. 定理の証明

$$|h_0| \leq |k_0| + \frac{|k_0|^2}{2!} \frac{|w_0^{(2)}|}{|w'_0|} + \frac{|k_0|^3}{3!} \frac{|w_0^{(3)}||w'_0| + 3|w_0^{(2)}|^2}{|w'_0|^2} +$$

$$\frac{|k_0|^4}{4!} \frac{|w_0^{(4)}||w'_0|^2 + 10|w_0^{(3)}||w_0^{(2)}||w'_0| + 15|w_0^{(2)}|^3}{|w'_0|^3}$$

$$\leq |k_0| + \frac{|k_0|^2}{2!} \frac{M}{|w'_0|} + \frac{4|k_0|^3}{3!} \left(\frac{M}{|w'_0|} \right)^2 + \frac{26|k_0|^4}{4!} \left(\frac{M}{|w'_0|} \right)^3$$

$$\leq |k_0| + \frac{|k_0|^2}{2!} \frac{1}{5|w'_0|} + \frac{4|k_0|^3}{3!} \left(\frac{1}{5|w'_0|} \right)^2 + \frac{26|k_0|^4}{4!} \left(\frac{1}{5|w'_0|} \right)^3$$

$$= \left(1 + \frac{1}{2!5} + \frac{4}{3!5^2} + \frac{26}{4!5^3} \right) |k_0| = \frac{1673}{1500} |k_0| < \frac{6}{5} |k_0| < \frac{12}{5} |k_0|$$

$$(12) \quad |h_0| < \frac{12}{5} |k_0|$$

$$(13) \quad |f'(z_1) - f'(z_0)| \leq \left| \int_{z_0}^{z_1} f''(z) dz \right| \leq M |z_1 - z_0| = M |h_0|$$

$$\leq M |k_0| \frac{1673}{1500} \leq \frac{|w'_0|}{5} \frac{1673}{1500} = \frac{1673}{7500} |f'(z_0)| \quad \text{だから}$$

$$|f'(z_1)| = |-f'(z_0) - (f'(z_1) - f'(z_0))|$$

$$\geq |f'(z_0)| - |f'(z_1) - f'(z_0)|$$

$$\geq |f'(z_0)| - \frac{1673}{7500} |f'(z_0)| = \frac{5827}{7500} |f'(z_0)| \quad \text{従って}$$

$$(14) \quad |w'_1| \geq \frac{5827}{7500} |w'_0|$$

一方 $z(t) = z_0 + h_0 t$ ($0 \leq t \leq 1$) とおき、部分積分法より

$$h_0^2 \int_0^1 (1-t) f''(z(t)) dt = -f'(z_0) h_0 + f(z_1) - f(z_0)$$

$$(15) \quad w_1 = h_0^2 \int_0^1 (1-t) f''(z(t)) dt +$$

$$w'_0 \left\{ \frac{k_0^2}{2!} \frac{-w_0^{(2)}}{w'_0} + \frac{k_0^3}{3!} \frac{-w_0^{(3)} w'_0 + 3(w_0^{(2)})^2}{(w'_0)^2} + \frac{k_0^4}{4!} \frac{-w_0^{(4)} (w'_0)^2 + 10 w_0^{(3)} w_0^{(2)} w'_0 - 15 (w_0^{(2)})^3}{(w'_0)^3} \right\} \quad \text{だから}$$

$$|w_1| \leq \frac{1}{2} |h_0|^2 M + |w'_0| \left\{ \frac{|k_0|^2}{2!} \frac{M}{|w'_0|} + \frac{4}{3!} \frac{|k_0|^3 M^2}{|w'_0|^2} + \right.$$

$$\left. \frac{26}{4!} \frac{|k_0|^4 M^2}{|w'_0|^3} \right\} \leq \frac{1}{2} \left(\frac{1673}{1500} \right)^2 |k_0|^2 M +$$

$$|k_0| |w'_0| \left(\frac{1}{2} \frac{1}{5} + \frac{4}{3!} \frac{1}{5^2} + \frac{26}{4!} \frac{1}{5^3} \right)$$

$$(16) \quad |w_1| \leq \frac{1}{2} \left(\frac{1673}{1500} \right)^2 |k_0|^2 M + \frac{173}{1500} |k_0| |w'_0|$$

(14)の逆数を考えて

$$(17) \quad \frac{1}{|w'_1|} \leq \frac{7500}{5827} \frac{1}{|w'_0|} \quad (16) \text{と}(17) \text{の両辺を掛け合わせて}(18) \text{を使うと}$$

$$(18) \quad |k_1| = \frac{|w_1|}{|w'_1|} \leq \frac{7500}{5827} \left\{ \frac{1}{2} \left(\frac{1673}{1500} \right)^2 \frac{M |k_0|}{|w'_0|} + \frac{173}{1500} \right\}$$

$$\times |k_0| < \frac{1}{2} |k_0| \quad \text{より}$$

$$(19) \quad \frac{|k_1|}{|k_0|} < \frac{1}{2} \quad \text{を得る。}$$

$$\text{又}(17) \text{より} \quad \frac{M}{|w'_1|} \leq \frac{7500}{5827} \frac{M}{|w'_0|} \quad \text{これと}(18) \text{を掛けて}$$

$$(20) \quad \frac{M |k_1|}{|w'_1|} \leq \frac{7500 \cdot 539392}{5827 \cdot 300} \frac{M |k_0|}{|w'_0|} \leq \frac{M |k_0|}{|w'_0|} \leq \frac{1}{5}$$

これは $\mu = 0$ の(11)に対応しているから $\mu = 1$ の場合の仮定を満たしていることを示している。次に

$$K_1 = \left\{ z; |z - z_1| \leq \frac{12}{5} |k_1| \right\} \quad \text{とおくと} \quad z \in K_1 \Rightarrow$$

$$|z - z_1| \leq \frac{12}{5} |k_1| \Rightarrow |z - z_0| \leq |z - z_1| + |z_1 - z_0|$$

$$\leq \frac{12}{5} |k_1| + \frac{6}{5} |k_0| \leq \frac{12}{5} |k_0| \Rightarrow z \in K_0$$

$K_1 \subset K_0$ 以下同様に $\{k_\mu\}$ $\{K_\mu\}$ を定めていくと

$K_\mu \subset K_{\mu+1}$ 且つ(19)より $k_{\mu+1} \leq 1/2 k_\mu$ を満たすから

$\{z_\mu\}$ は収束する。又 $f(z_\mu) = -k_\mu f'(z_\mu)$ を満たし $k_\mu \rightarrow 0$ ($\mu \rightarrow \infty$) より数列 $\{z_\mu\}$ の極限値 ζ は $f(\zeta) = 0$ となる。 ζ が単根であることは、

$$|f'(\zeta) - f'(z_0)| \leq \left| \int_{z_0}^{\zeta} f''(z) dz \right| \leq M |\zeta - z_0|$$

$$\leq M \frac{12}{5} |k_0| \leq \frac{12}{5^2} |w'_0| = \frac{12}{5^2} |f'(z_0)| < |f'(z_0)|$$

$$\therefore f'(\zeta) \neq 0$$

従って ζ は $f(z) = 0$ の単根である。

6. 例

今までの議論が実数の Category に限っても良いことが容易に分かる、この場合解析的と言う仮定は連続的微分可能という仮定に置き換わる、最初の例はそのような例である、又、Newton法(1)は複素数の Category でも成り立つ事が知られている。

例 1

$f(x) = x^3 + x + 1$ 場合、 $f'(x) > 0$, $f(-1) = -1$, $f(0) = 1$ より $f(x) = 0$ は $(-1, 0)$ で唯一の解を持つ。 -1 から始めて

Newton法(1)

μ	x_μ	$ f(x_\mu) $
1	-0.75	0.171875
2	-0.6860465	0.0089410
3	-0.6823395	0.0000282

拡張 Newton法(10)

μ	x_μ	$ f(x_\mu) $
1	-0.684875	0.0061119
2	-0.6823278038281	4.0624E-13
3	-0.6853278038280	1.084E-19

例 2

$f(z) = z^6 + 6z + 10$ の場合

$$|z| \geq 2 \text{ のとき } |f(z)| \geq |z|^5 - 6 - 10 \geq 2 \cdot (2^5 - 6)$$

$-10 > 0$ 故に $f(z) = 0$ の解は全て $|z| < 2$ に含まれる。又

$\text{Min} f(x) = f(-1) = 5$ より $f(z) = 0$ は実数解を持たない、 $f(z)$ は実係数の多項式だから共役解を持つ。偏角原理から第一、第四象限に一組の解を持ち第二、第三現象

にそれぞれ二組の解を持つ[3]。 $\sqrt{3}+i$ から初めて第一現象の解を近似してみよう。

Newton 法(1)

μ	z_μ	$ f(z_\mu) $
1	1.51530+0.9076147669i	11.418
2	1.40205+0.8790896445i	1.8311
3	1.37887+0.8815791334i	0.07824
4	1.37468+0.8824171458i	0.00015
5	1.37468+0.8824193380i	6.587E-10

拡張 Newton 法(10)

μ	z_μ	$ f(z_\mu) $
1	1.39919+0.8786009506i	1.6400
2	1.37468+0.8824192251i	0.00002
3	1.37887+0.8815791334i	2.60E-18

例 3

$f(z) = z^5 + z^2 + 1$ の場合

$|z| \geq \sqrt{2}$ の時 $|f(z)| \geq |z|^2 ||z|^3 - 1| - 1 \geq 2(2\sqrt{2} - 1) > 0$ 故に $f(z) = 0$ の解は全て $|z| < \sqrt{2}$ に含まれ、また $f(z) = 0$ は 5 次式だから実数解を持つ。例 2 と同じように偏角原理より各象限に一つずつ解を持つ。1-i から出発して第 4 現象の解を近似してみよう。

Newton 法(1)

μ	z_μ	$ f(z_\mu) $
1	0.8475609-0.87195121951i	0.946558
2	0.7706813-0.80504667298i	0.164249
3	0.7523702-0.78598454906i	0.008931
4	0.7515200-0.78462152985i	0.000037
5	0.7515192-0.784615922109i	3.88E-10

拡張 Newton 法(10)

μ	z_μ	$ f(z_\mu) $
1	0.7689376-0.80468597518i	0.15527
2	0.7515187-0.78461715930i	0.000007
3	0.7515192-0.784615922103i	1.21E-19

7. 誤差の評価

求めた数値が小数点以下どこまで正しいのであろうか、Newton 法には次のような評価式がある [1]

(21)

$$|\zeta - z_{\mu+1}| \leq \frac{M}{2|f'(z_\mu)|} |z_\mu - z_{\mu-1}| \quad \text{但し } M = \max |f''|$$

拡張 Newton 法については、(8)及び(9)より

$$\zeta = z_{\mu+1} + R_5, \quad R_5 = \frac{(-w_\mu)^5}{4!} \int_0^1 \varphi^{(5)}((1-t)w_\mu) dt$$

だから

(22)

$$|\zeta - z_{\mu+1}| = |R_5| \leq \frac{|w_\mu|^5}{4!} \int_0^1 |\varphi^{(5)}((1-t)w_\mu)| (1-t)^4 dt$$

ここで $M = \max_{1 \leq j \leq 5} \max_{K_0} |f^{(j)}|$, $m = \min |f'|$ とすると(6)より

$$|\varphi^{(5)}((1-t)w_\mu)| \leq 236 \frac{M^4}{m^4} \quad \text{これと(22)より}$$

$$(23) \quad |\zeta - z_{\mu+1}| \leq 2 \frac{M^4}{m^4} |f(z_\mu)|^5$$

例 1 に以上の評価を適用すると

$f'(x) = 3x^2 + 1$, $f''(x) = 6x$, $K_0 = [-1, 0]$, $M = 6$, $m = 1$ だから

$$|f(x_2)| \leq 4.06245 \times 10^{-13} < 5 \times 10^{-13} \quad 2 \frac{M^4}{m^4} = 2592 < 3 \times 10^3$$

$|\zeta - x_3| < 3 \times 10^3 \times (5 \times 10^{-13})^5 < 6 \times 10^{-56}$ より x_3 は小数点以下 54 桁まで正しいことが分かる。

8. おわりに

Ostrowski[1]に於て Newton 法の証明に述べているように本論文でも零点の存在を仮定していないことに注意しておく [4] に続く本論文で Newton 法の拡張を取り扱ったが一般に $\varphi = f^{-1}$ の $w_\mu = f(z_\mu)$ を中心とする Taylor 展開をすると

$$(24) \quad z = \varphi(w) = \sum_{v=0}^n \frac{\varphi^{(v)}(w_\mu)}{v!} (w - w_\mu)^v +$$

$$\frac{(w - w_\mu)^{n+1}}{n!} \int_0^1 \varphi^{(n+1)}(w_\mu + (w - w_\mu)t) (1-t)^n dt$$

そこで $w = 0$ において始めの $(n+1)$ 項を取ると

⑤ $z_{\mu+1} = \sum_{v=0}^n \frac{\varphi^{(v)}(w_{\mu})}{v!} (-w_{\mu})^v$ が得られる。この漸化

式による数列についても同様な結果得られるであろう。

参考文献

- [1] A.M.Ostrowski Solution of Equation in Euclidian and Banach spaces Academic Press
- [2] 清水 辰次郎 実用数学 朝倉書店
- [3] 小松 勇作 関数論演習 同上
- [4] 福嶋 北川 Newton 法について
高専教育 16 号

「ねじの回転」 試論

片 山 悦 男

A Study on *The Turn of the Screw*

Etsuo KATAYAMA

The Turn of the Screw has caused lots of controversy among the Jamesian critics, which is too complicated to find its way out until now. It is also one of the problem works which were produced by Henry James at the turn of the century and in which the novelist pursued the possibility of development in the art of fiction to the limit. And the results of his pursuit reflected in this problem work foreshadow the advent of the new art of novel called 'stream of consciousness.' This study, I believe, presents a new point of view from which we can find the way out of that complicated controversy.

1

この作品の中で家庭教師が見る人影をめぐって展開されてきた、従来の幽霊実在説や幻影説はいずれも、ジェイムズが視点の技法を駆使した作家であることを些か忘れているように思える。例えば、幽霊実在説のロバートハイルマンは、この物語の中に家庭教師と悪魔の戦いを見て、その戦いを新しい装いを纏った「道徳劇」("morality play")によく見られる戦いと考えが¹⁾、そう考える時、ハイルマンは、子供を救うために悪魔と戦っていると考え家庭教師の想像力に掬め捕られているのではないか。また、幻影説のエドモンド・ウィルソンのように、家庭教師を「性的抑圧を持った神経症の患者」("a neurotic case of sex repression")²⁾ 決め付けてしまえば、確かに彼女は幻影は見るとは、視点の技法を巧みに使った、このような手記を、その彼女自身が書き残すことは不可能に近い。更に最近ではS. フェルマンやウィリアム・R. ゲーツが家庭教師の狂気に焦点を当てて、家庭教師は自分の狂気を子供達に転嫁することで自分の正気を証明しようとしている、という考え方を提起している³⁾。しかし、そのような幼い子供達が狂気だとはとても考えられないし、家庭教師が狂

気であることも、彼女を神経症の患者と考える場合と同じように、彼女がこの手記を書き残していることを考えると信じがたい。

本質的に幻影説の立場に立つ筆者は、ここで一つの問題を提起したい。つまり、幻影を見ることはいつも狂気を意味するのかと。結論を先に言えば、幻影を見ることは必ずしも狂気を意味しないというのが私の主張である。そして、この点にこそ視点の技法の入り込む余地があるのであり、ジェイムズは単なる幽霊話を書いたのでもなければ、悪霊が子供に取り付けて破壊させる恐怖物語を書いたのでもないであろう。

また、ジェイムズの視点の技法は、彼が初期の作品以来取り組んできた egotism の問題とも深く関連している。家庭教師とグロース夫人の交流の中に、egotism から抜け出す解決策の萌芽とも言えるべきものが潜んでいると私は思う。

いずれにしても、私はこの作品を視点の技法を駆使した幽霊話のパロディーと見る。しかし、その視点の技法そのものは決してパロディー的なものではなくて、ジェイムズが十九世紀的な egotism の問題と真剣に取り組んだ結果得た成果であり、二十世紀の作家達への発展の可能性を秘めた遺産となったのである。

以上のような観点から、私は幻影説の立場に立ち、家

庭教師が自分の見る幻影を幽霊に仕立てていく過程とその結末を、家庭教師の egotism とジェイムズの視点の技法との関連で、些か独断的に論考してみたい。

2

3章でブライの屋敷の塔の上に見知らぬ人影を見つけた後、家庭教師はそのことをグロース夫人に相談しようと思うが、玄関で会った彼女の穏やかな様子を見て、話すのを止めてしまう。

It came to me straightway, under her [Mrs. Grose's] contact, that, with plain heartiness, mere relieved anxiety at my appearance, she knew nothing whatever that could bear upon the incident I had there ready for her. I had not suspected in advance that her comfortable face would pull me up, and I somehow measured the importance of what I had seen by my thus finding myself hesitate to mention it. Scarce anything in the whole history seems to me so odd as this fact that *my real beginning of fear was one, as I may say, with the instinct of sparing my companion.* (179-180)⁴⁾

(italics mine)

後に、家庭教師は、屋敷内に複雑な問題のないことや、自分が召使達から騙されたり、からかわれてはいないことを確かめる。そして、彼女が見た人影について、周囲の人々が何も知らないこともわかってくる。こうして、現実的で客観的な「常識的な推測」(“sane inference”) (180)が否定されると、問題は家庭教師自身にあるということになる。引用文中のイタリック部分に、「私の本当の不安は、グロース夫人にはその話をしないでおうと本能的に思ったことから始まった、と言ってもよいだろう」とあるのは、問題が自分自身にあることを、家庭教師自身がその時本能的に意識していたことを示しているように思える。つまり、その時家庭教師は、自分が幻影を見ていることを、半ば無意識の内に認識しているのである。「自分は幻影を見ているのかもしれない」という潜在化した意識は、家庭教師によって、台詞としても、自分の意識としても決して語られることはない。そして、この時同時に、「幻影を見ている自分は狂人ではないのか」という潜在意識もまた、家庭教師の中に生まれているように思える。このように考えていくと、この手記は、ジョン・シルバー⁵⁾やゲーツ⁶⁾が言うように、自分は狂人ではないと自己弁護し、ブライでの自分の行動を正

当化しようとする家庭教師の弁明書とも考えられる。

ただ、ここで、家庭教師は幻影を見ることを狂気と同一視していることを見落としてはならない。家庭教師が狂人であり、また狂人であり続けたなら、このような優れた手記を彼女が書き残せるはずはない。幻影を見ることが狂気ではないからこそ、家庭教師は、数十年経た後に、過去の自分の未熟な家庭教師振りを振り返って、このような手記を書き残すこともできるのである。

しかし、この時点で家庭教師が見知らぬ人影を見ていることは、少なくとも家庭教師自身にとっては否定しようのない事実である。そして、家庭教師は幻影を見る自分の狂気に対する恐怖の余り、その人影を自分にはしか見えない幻影ではなくて、グロース夫人やマイルズやフロラにも見える幽霊にしようと苦悶する。そして、その家庭教師の苦悶の様子が、逆にグロース夫人やマイルズやフロラから見れば、皮肉にも狂気そのもののように見えるのである。

次に、彼女が塔の上に見た人影が幻影ではなくて幽霊であると、自分自身にも、また他の人々にも信じこませようとする、家庭教師の苦悶の経過をたどることにしよう。

3

家庭教師が塔の上に見た人影は、次に食堂の窓の外のテラスに現れる。その時、その人影は一瞬家庭教師をじっと見詰めはするが、同時に他のものを次々に見回す。その様子を見て、家庭教師は、彼が現れたのは彼女が目的なのではなくて、誰か他の人間が目的だったのだと確信するようになる(184)。この認識の変化こそ、その人影が自分の内面を投影した幻影ではなくて、自分とは関係のない幽霊だと考えようとする、家庭教師の潜在化した意識の変化を表している。そして、その人影が自分とは関係のない幽霊か何かであるという確信を多少なりとも持てたことから、家庭教師はグロース夫人にその人影の話をする。

家庭教師が話す人影の具体的な特徴が、ブライで以前雇われていた馬丁で、その時は既に死んでいるピーター・クイントの特徴と一致することが、幽霊実在説の最大の論拠であり、反対に幻影説の弱点になっていることは周知の通りだが、この点にも疑問は残る。それは、家庭教師が語る人影の特徴を、グロース夫人は生前のクイントの特徴だと明言はしていないことである。この人影の特徴は、ハイルマン⁷⁾やネーサン・B. フェギン⁸⁾が言うように、西洋ではよく知られた悪魔の特徴である。そして、この時点で既にクイントが死んでいることを、グ

ローズ夫人は当然知っている。それゆえ、グロース夫人にしてみれば、家庭教師の前に現れた人影が、ありふれた悪魔の形相をしていて、ブライの屋敷に関係がありそうだとすれば、死んだクイントが亡霊となって、家庭教師の前に現れたと考えるのは、グロース夫人の暗示を受けやすい性質を考えると、ごく自然なことのように思える⁹⁾。その上、クイントは生前ブライで悪事を行っていたらしく、死ねば天国ではなくて地獄に落ちて、悪魔に化けても不思議ではない人物である。ただ、グロース夫人自身は家庭教師が語る人影の特徴を聞いて、「クイントだわ」と口走ったことを後悔しているらしく、家庭教師がこの話題に触れる度に口ごもってしまう（“She [Mrs. Grose] wished, of course – small blame to her! – to sink the whole subject;”）(209)。ここに、家庭教師の話す曖昧な幽霊話に、軽率にもついうっかりと乗ってしまったグロース夫人の、自分自身に対する後悔と反省の跡が窺える。

しかし、クイントの名前を口走ったグロース夫人の動機が何であれ、その発言で、家庭教師の見た人影が死んだクイントの亡霊であることが、半ば客観的に裏付けられた形になる。こうして、グロース夫人を自分の空想の中に取り込み、彼女の見た人影が幻影でなくてクイントの亡霊であると、グロース夫人に確認してもらったことで、家庭教師は自分の狂気に対する恐怖から逃れることができる。

そして、家庭教師は想像力を更に飛躍させて、クイントの亡霊はマイルズに取りつこうとしていると考えようになり、また、フローラには彼女の前任者のジェスルの亡霊が取りつこうとしていると考える。その上、家庭教師は、マイルズとフローラがそれらの亡霊を見ることは、その亡霊に取りつかれて破滅させられることだと考えるようになり、彼女がそれらの亡霊を見れば見るほど、マイルズとフローラは亡霊に会わなくて済み(199)、彼女が犠牲になることで、マイルズとフローラひいてはブライの屋敷全体の平和が保たれると、その考えを一層飛躍させていくのである(195)。それでも、家庭教師には、クイントの亡霊を見たのは彼女一人であり、グロース夫人を始め他には誰もその亡霊を見ていないことがよくわっている。

She [Mrs. Grose] herself had seen nothing, not the shadow of a shadow, and nobody in the house but the governess was in the governess's plight; (193)

それだけに、亡霊が子供達に取りついて破滅させようとしているという恐ろしい考えを、他の人々に理解させようとする時、何よりもその証拠が家庭教師にとって必

要になる。その証拠とは、家庭教師以外の人々にも亡霊の姿が見えることであり、子供達が亡霊の影響を受けて破滅（墮落）しかけている具体的な状況である。食堂の窓の外に亡霊の姿を見掛けて以来、家庭教師はマイルズとフローラを厳しく監視するようになるが、それは子供達を守るためというよりむしろ、そのような証拠を見つけるためである。そして、その証拠を見付けることができれば、家庭教師は自分の考えの正しさを他の人々に証明できるだけでなく、彼女が内心密かに恐怖する自分の狂気を否定することもできる¹⁰⁾。この時の家庭教師の心理状態は次の文から窺える。

I began to watch them [Miles and Flora] in a stifled suspense, a disguised tension, that might well, had it continued too long, have turned to something like madness. What saved me, as I now see, was that it turned to another matter altogether. It didn't last as suspense – it was superseded by horrible proofs. Proofs, I say, yes – from the moment I really took hold. (199)

そして、そのような心理状態になった直後の場面で、家庭教師はフローラと一緒に湖に遊びに行き、その湖畔に亡霊らしき人影を認め、一方フローラの方に目をやると、その少女が小さな穴の開いた板切れに木切れを差し込もうと必死になっているさまを目の当たりにする。家庭教師の目から見れば、このフローラの行動は、少女が正に亡霊の影響を受けて、墮落しかけている証拠に見える。そして、この場面のすぐ後で、家庭教師は直接フローラに確かめてもないのに、フローラもその亡霊を見たと言ったグロース夫人に断言し（“Two hours ago, in the garden... Flora saw!”）(203)、また、ジェスルとは一面識もないのに、湖畔に現れた亡霊はジェスルだともグロース夫人に断言する。

My friend [Mrs. Grose], with an odd impulse, fell back a step. 'Was she some one you've never seen?' 'Never. But some one the child has. Some one you have.' Then to show how I had thought it out: 'My predecessor [Jessel] – the one who died.' (204) (italics mine)

引用文のイタリック部分は、家庭教師がその亡霊をジェスルと判断できた理由が、以前から彼女を見知っているからではなく、ジェスルの亡霊がフローラに取りつこうとしていると家庭教師自身が考えているからだということをよく表している。こうして家庭教師は自分の考えの正しさを証明する証拠を手に入れ、グロース夫人にも

それを証明できたと思う。

しかし、その証拠とは総て家庭教師の目を通して見たものであり、第三者に対して客観的に家庭教師の考えの正しさを証明しているとは言い難いものである。例えば、穴の開いた物に棒切れか何かを差し込もうとするのは、幼児に見られる一般的な傾向であり、そのことでその子供が墮落していると考えるのは、そう考える人自身に問題があると考えの方が正しい。

それでも、少なくとも家庭教師にとっては、その湖畔でのフローラの行動は、彼女の考えの正しさを示す証拠となり、この後見知らぬ人影に出会う時、彼女はそれを幻影と考えて、自分の狂気に脅えることなく、クイントやジェスルの亡霊と断定的に考えることができるようになる。

4

10章以降家庭教師は亡霊が子供達に悪い影響を与えていると断定的に考えることができるようになったことから、亡霊の名前も憚ることなく公言するようになり、子供達の行動を直ぐに亡霊と結び付けて考えるようになる。例えば、ある夜フローラがベッドを抜け出して、こっそりと中庭の方を見ているのに気付いた家庭教師が、フローラは以前湖畔で話をすることができなかったジェスルの亡霊と話をしていると考える場面(228)が、そのよい例である。ところが、その亡霊とは、家庭教師が塔の寝室の窓から良く見てみると、マイルズである。

このマイルズの真夜中の散歩は、家庭教師をからかうために、彼とフローラが示し合わせて仕組んだ芝居なのだが(234)、この時マイルズをこのような行動に駆り立てているものは、家庭教師の思い通りのことしかできないプライドでの不自然な生活を抜け出して、もっと世間を知りたいと願う(251)、彼の年頃の少年にとっては、正常かつ正当な欲求である。このマイルズの欲求を、その年頃の少年の自然な欲求として、家庭教師が認識することができない理由の一つは、マイルズの退校の原因が家庭教師にわからないことであるが、更に突き詰めて考えてみるとそのわからない退校の原因を、自分が見ている幻影と結び付けて考えようとする家庭教師の egotistic な想像力がその根底にあることがわかる。ある対象や事象を自分に都合の良いように解釈する egotism は、ジェイムズが初期の作品以来追究してきた問題の一つだが、この家庭教師の中にも確かに存在する。

そして、この egotism は、グロース夫人に対する家庭教師の態度の中にも見られる。彼女は常にグロース夫人を亡霊の悪い影響から子供達を守るための協力者と見

ていて、その意味で自分の意見の支持者だと思っている。しかし、その家庭教師自身も感じているように、グロース夫人はどうやら亡霊が取りついているはずの子供達よりも、クイントとジェスルの亡霊の話を断定的に公言し始めた家庭教師の方が心配らしいのである。

...she [Mrs. Grose] addressed her greatest solicitude to the sad case presented by the deputy-guardian [governess]. (230-231)

グロース夫人は、ゲーツが言うように、会話の上では確かに家庭教師からその考えを一方的に押し付けられ、丸め込まれたり、脅かされたりしているように見えるけれども¹¹⁾、その行動は必ずしも家庭教師の意向に従っているわけではない。例えば、家庭教師との最後の場面で、グロース夫人は家庭教師からマイルズとフローラを三秒たりとも会わせないで欲しいと求められ、それを約束しておきながら(288)、フローラとロンドンに向かう前に、マイルズとフローラを会わせ、一緒に朝食をとっている(294)。この時点で、グロース夫人が約束を破っていることは家庭教師にもわかっており、更に、この手記を書く時点では、当然のことながら、そのことは家庭教師の脳裏にあるはずである。それ故、グロース夫人に対して多少の疑念を抱いてもよいはずの家庭教師が、何故、

...an awestricken tenderness [of Mrs. Grose], ..., of which the very breath has remained with me as that of the sweetest of human charities." (193)

とか、

...if she [Mrs. Grose] hadn't [believed me], I don't know what would have become of me," (230)

などと、グロース夫人に対する感謝の気持ちを、この手記に書き残しているのだろうか。この謎を、20章と21章の場面から考えてみたい。

20章で姿の見えなくなったフローラを捜して、家庭教師とグロース夫人は湖に向かい、その湖畔にフローラを見つけるが、その時対岸にジェスルの亡霊が現れるのを家庭教師は見ると。その亡霊を家庭教師はフローラやグロース夫人に見せようとするが、フローラはその方向を見向きもしないし、グロース夫人も何も見えないと断言する。この時点で、家庭教師は幻影を見ている狂人に近い人物であることが、フローラとグロース夫人の目の前で否定しようもなく明らかになったわけである。特に、妥協を知らないフローラの子供の目には、家庭教師は狂人としてはっきりと焼き付けられたのであり、それ故、フローラは "Take me away, take me away - oh

take me away from her!" (281)と言って、家庭教師に近付くことさえ厭がり、二度と彼女に会うことなく、グロース夫人と共にロンドンへ去ってしまう。

これに対して、グロース夫人の態度は少し違っていて、以前と同じように家庭教師に接し、時には家庭教師の主張を受け入れているように思える箇所さえある。例えば、フローラから恐ろしい話を聞かされたグロース夫人が告白すると、家庭教師は "It so justifies me!" (290)と述べるが、それに対してグロース夫人は "It does that, Miss!" (290)と答えて、その真意はともかく、外見上は家庭教師に同意する。このグロース夫人の台詞について、グロース夫人自身の真意と家庭教師の解釈が違うという考え方を私は支持する¹²⁾。つまり、家庭教師はその台詞を「クイントとジェスルの亡霊が子供達に取りつこうとしている」という彼女の考えが正しかったと解釈するが、一方グロース夫人は「フローラに会わないようにしようという家庭教師の考え方は正しい」という意味で言っているのである。台詞を話した本人の真意と、その台詞に対する家庭教師の解釈の間のこのような食い違いは、この小説の最後の場面のマイルズの台詞, "Peter Quint - you devil!" (309)についても言えることだが、この点については視点の技法との関連で後で考察したい。

それでも、グロース夫人の台詞の真意が何であれ、egotistic な家庭教師はそれを自分の都合の良いように解釈し、グロース夫人が再び彼女の考え方を支持し、信じてくれるようになったと考える。もし、この時グロース夫人がフローラのように家庭教師を狂人と決め付け、敬遠するような態度をとっていたら、家庭教師は本当の狂人となり、この彼女の手記も存在しなかったのではないだろうか。その意味では、家庭教師を狂人として敬遠せず、普段と同じように接したグロース夫人の態度が、家庭教師を狂気から救ったとも言える。そして、そのことが家庭教師自身にもよくわかっているからこそ、グロース夫人に対する感謝の気持ちを何度も手記の中で表明しているのである。そして、最後まで他者（グロース夫人）を信じようとした家庭教師や、最後まで "human charity" (193)をもって他者（家庭教師）に接しようとしたグロース夫人の態度の中に、ジェイムズが創作時代以降の諸作品で追究したと言われる、「自分が作り出す孤独な世界に自分自身を閉じ込めた個人が、他者とかかわり合って生きる道はどこにあるのか」という問題¹³⁾に対する、ジェイムズ自身の解答が微かに見えてくるように思える。そして、それは同時に、ジェイムズが初期の作品以来取り組んできた egotism の問題に対する解答でもあったと私は思う。

それでは、何故グロース夫人はそうのように思いやりのある態度を家庭教師に示すことができたのだろうか。その理由は、グロース夫人が家庭教師の窮境をよくわかっていたからである。つまり、その窮境とは、家庭教師がハーレー通りの主人に夢中になっていて、何やら曰く有りげな幻影を見ている状況のことである。そして、グロース夫人は家庭教師をその窮境から救う方策はただ一つ、ハーレー通りの主人と家庭教師を会わせることだと信じているのである。家庭教師との最後の別れの場面における "I'll save you without him[Miles]." (292)というグロース夫人の台詞の裏には、「ハーレー通りの主人をブライに連れて来て、きっとあなたに会わせてあげますよ」という彼女の善意が隠されているように思える。

また、グロース夫人は家庭教師の状況について以前からマイルズやフローラと話し合っているらしく、家庭教師もそのことを薄々感じていて、次のように述べている。

...it was absolutely traceable that they[Miles and Flora] were aware of my predicament... I do mean, on the other hand, that the element of the unnamed and untouched [i.e. Quint and Jessel] became, between us, greater than any other, and that so much avoidance couldn't have been made successful without a great deal of tacit arrangement. (241)(italics mine)

例えば、マイルズとフローラは家庭教師との関係が悪くなると、どちらかが "When do you think he [the master in Harley Street] will come?" (246)と決まったように家庭教師に尋ねて、その場を切り抜けるが、このことを考えてみても、マイルズとフローラが家庭教師の状況についてグロース夫人と話し合っていて、それに基づいて行動していると考えの方が辻褄が合う。そしてそれを家庭教師は、引用文中にあるように、「暗黙の申し合わせ」("tacit arrangement")と感じているのである。すると、最後の場面で、家庭教師から問い詰められて、マイルズが "Peter Quint - you devil!" (309)とクイントの名前を口にするのは、家庭教師や幽霊実在説派が考えるように、マイルズがクイントの亡霊の影響を受けているからではなくて、様子が変な家庭教師の状況について、マイルズがグロース夫人やフローラと話し合っていたからということになる。

しかし、マイルズは最後に家庭教師の腕の中で死んでしまう。我々はこの問題をジェイムズの視点の技法との

関連で考えなければならない。既に考察してきたように、家庭教師は、子供達にクイントとジェスルの亡霊が悪い影響を及ぼしていると考え、子供達の言動を総てその視点から見ようとする。彼女の考え方を否定するような反証がしばしば提示されるが、それでも猶、家庭教師はその考えを持ち続け、逆に反証が示されない場合は、更にその考えを飛躍させて、自分の想像したことがまるで事実であるかのように述べる¹⁴⁾。例えば、そのような場面として、16章の場面を挙げることができる。マイルズから「一体、いつになったら学校に帰れるの」(249)と聞かれて、家庭教師は恐慌状態に陥り、一人で教会から引き返して来て、勉強部屋でジェスルの亡霊を見る。そして、その亡霊は一言も喋っていないのに、

'That she [Jessel] suffered the torments -!
... 'Of the lost. Of the damned. And that's
why, to share them - '...'She wants Flora.'
(259 - 260)

と、その亡霊が語ったと、家庭教師はグロース夫人に打ち明ける。明らかに、家庭教師は自分が想像したことを事実として報告している。

そして、家庭教師が腕の中でマイルズを死なせてしまう最後の場面も、この延長線上にあるものと思われる。まず、家庭教師に「彼とは誰のことなの」と問い詰められた時のマイルズの台詞 "Peter Quint - you devil !... Where ?" (309) について考えてみよう。家庭教師の状況についてグロース夫人と話し合っているマイルズの立場からすると、この台詞は、多くの批評家が同意するように、「ピーター・クイントの事だろ、先生こそ悪魔なんだ... (クイントなんか) どこにいるんだい」という意味に解釈でき、マイルズの真意もそこにあると思われる。しかし、マイルズがクイントの亡霊の影響を受けているという考えに取りつかれている家庭教師の視点に立てば、彼女はその台詞を「ピーター・クイントの亡霊やぁーい... どこへ行ってしまったんだい」という意味に、つまり、クイントの亡霊に対するマイルズの呼び掛けの言葉と理解した可能性が高いように思える。前述した21章の場面で、グロース夫人の台詞についてグロース夫人自身の真意と家庭教師の解釈が違うと考察したのと同じように、ある対象に対する複数の人間の解釈を、その人の視点の性質に応じて、このように半ば意図的に乖離させるジェームズの難解な視点の技法がここに典型的に見られる。また、自分の狂気に対する恐怖心から、家庭教師が既に非常な興奮状態にあることも考え合わせると、家庭教師はこの時点でマイルズの言動について客観的な判断を下す能力を全く失っているか、或は、失っているように、ジェームズが視点の技法というねじを一

ひねりして見せ掛けたと考えられる。すると、家庭教師の腕の中でマイルズが悪魔払いをされて死んだという事実は、マイルズが亡霊の影響を受けているという考えに取りつかれて、客観的判断力を失った家庭教師が、その考えに基づいて想像したことを事実として述べているだけで、第三者の証言などから立証される客観的事実とは根本的に異なるものと考えられる。

それでは、何故家庭教師はそのような考えをもち続けることができたのだろうか。作者ジェームズの立場からすると、子供達が亡霊の影響を受けているという考えを家庭教師が持ち続けることが、この話に「悪の雰囲気を充満させる」("causing the situation to reek with the air of Evil.")¹⁵⁾ ことになるのである。序文のジェームズの解説からすると、クイントとジェスルの亡霊は、俗に言うところの幽霊などではなくて¹⁶⁾、家庭教師の空想の世界にのみ存在する悪魔の類であり、それらの亡霊が果たすべき「悪の雰囲気を充満させる」という仕事とは、正にそのような亡霊が存在する空想の世界を家庭教師が想像し続けることであり、またその想像に基づいた視点を家庭教師が持ち続けることなのである。つまり、子供達が亡霊の影響を受けているという考えを家庭教師が持ち続けることが、この物語の成立の基盤になっているのである。

また、家庭教師の生い立ちから考えると、多くの批評家が指摘するように、十九世紀のイギリスの牧師の偏狭な中流家庭に育ち、人間とは本質的に罪深いという原罪の考え方が自然に身につけている、その家庭教師が、悪の暗示を受けやすく、幻影を見やすい性質の女性であった¹⁷⁾ ということは十分考えられる。それでも、子供達が亡霊の影響を受けているという彼女の考えを、客観的に否定する証拠を何度も突き付けられて、猶、そのような考えをもち続けるには、家庭教師にそれなりの個人的な理由があると考えるべきである。そして、その個人的理由とは、既に何度も指摘してきたように、自分の狂気に対する家庭教師の恐怖心であると私は思う。

20章冒頭の場面で、家庭教師はフローラやグロース夫人の目の前でジェスルの亡霊を見て、"She was there, so I was justified; she was there, so I was neither cruel nor mad." (278) と狂喜して独白する。しかし、グロース夫人やフローラからは何も見えないときっぱりと否定される。すると、家庭教師は自分の立場が足元から崩れるのを感じ、恐ろしい崩壊感に襲われる。これは、亡霊が子供達に影響を及ぼしているという彼女の考えや、その視点の崩壊を意味し、その亡霊とは彼女にしか見えない幻影であるという事実を、決定的に家庭教師に突き付けることになる。そして、家庭教師は、何

度も幻影を見る自分の狂気を、否応無しに受け入れざるを得なくなる。

しかし、ハーレー通りの主人とのロマンスを夢見る家庭教師にとって、自分の狂気を認めることは絶対にできない。それ故、家庭教師は、崩壊したはずの自分の視点を、どうしても持ち続けなければならない。そして、その視点を保つために、家庭教師は、マイルズの退校の原因となった学校での出来事を、マイルズ自身の口から聞き出そうとし、彼がクイントの亡霊の悪い影響を受けている証拠を手に入れようとする。ただ、その家庭教師の視点は既に一度壊れて、ひびが入っており、その隙間からは、今まで見ることでできなかった客観的事実が絶えず見え隠れする。マイルズと二人きりになった最後の場面で、家庭教師の脳裏に浮かんだ、

To do it in any way was an act of violence,
for what did it consist of but the obtrusion of
the idea of grossness and guilt on a small
helpless creature[Miles]...(301)

とか、

...if he[Miles] was innocent, what then on
earth was I? (307)

という意識は、家庭教師に客観的事実が見え始めた証拠とも言える。

しかし、こういったことを事実として認めることは、幻影を見ることを狂気と考える家庭教師にとっては、自分が狂人であることを認めることであり、結局はこの物語の崩壊につながる。つまり、マイルズはクイントの亡霊の悪い影響を受け続け、最後に自分の努力でその影響が途絶えたので死んだのだという想像を、家庭教師が最後まで持ち続けなければ、この物語は一貫性のある形では成立しないのである。

アレクサンダー・ジョーンズは "...in any story employing the first-person point of view, the narrator must, on the whole, be trustworthy." と主張し、家庭教師がそのような話し手でなければ、彼女は病的な嘘つきになると考える¹⁸⁾が、家庭教師は、そのような意味において、信頼できる話し手でもなければ病的な嘘つきでもない。「限度を越えて自由に機能する想像力」("an imagination working freely, working...with extravagance")¹⁹⁾、つまり、「主観と客観の二重の特権」("the double privilege of subject and object")²⁰⁾を与えられた想像力を持つ話し手を登場させることによって、この作品は、ジョーンズが考えるような伝統的な一人称私小説の枠を越えてしまっているのである。ファギンは "The Turn of the Screw, if read as Edmund Wilson reads it, becomes or-

thodox James Joyce or D. H. Lawrence; it ceases to be Henry James."²¹⁾ と、この作品の持つ意義を否定的に考えているが、逆に、それらの作家の文学の可能性の端緒を開く作品として、『ねじの回転』の存在価値を肯定的に考えるべき時期が来ているのではないだろうか。

付記：本稿は「ALBION」復刊第38号（京大英文学会）の掲載論文に、多少の加筆、修正を加えたものである。

注

- 1) Robert Heilman, "The Turn of the Screw as Poem," in Gerald Willen ed., *A Casebook on Henry James's "The Turn of the Screw."* (New York: Thomas Y. Crowell Company, 1960), p.178.
- 2) Edmund Wilson, "The Ambiguity of Henry James," *A Casebook*, p.115.
- 3) cf. Shoshana Felman, *Writing and Madness*, (Ithaca, New York: Cornell University Press, 1989), p.235.; William R. Goetz, *Henry James and the Darkest Abyss of Romance*, (Baton Rouge: Louisiana State University Press, 1986), pp.146-147.
- 4) 引用は *The Novels and Tales of Henry James* New York: Augustus M. Kelly・Publisher's 1971), vol.12 中の *The Turn of the Screw* による。以下、引用する際は括弧内にその頁数を示す。
- 5) John Silver, 'A Note on the Freudian Reading of "The Turn of the Screw,"' *A Casebook*, p.240.
- 6) Goetz, p.124.
- 7) Heilman, p.181.
- 8) Nathan Bryllion Fagin, "Another Reading of *The Turn of the Screw*," *A Casebook*, p.157.
- 9) ハロルド・C. ゴダードはこのことを, "So do the governess's fears and repressed desires and the housekeeper's memories and anxieties unconsciously collaborate." と表現し, グロース夫人の「暗示を受けやすい性質」("suggestibility")について指摘している。cf. Harold C. Goddard, "A Pre-Freudian Reading of *The Turn of the Screw*" *A Casebook*, pp.255-256.

- 10) フェルマンはこのことを, "Hence, to prove that the children are mad (that they are possessed by the Other - by the ghosts) is to prove that the governess is not mad:" と述べているが, フェルマンはこの考えを, 家庭教師自身が既に意識して行動していることに注目することが大切である。つまり, 子供達が幽霊の影響を受けている証拠とは, 家庭教師の目から見た主観的な証拠であり, フェルマンがその論の前提にしているような客観的な証拠とはなりえないのである。問題は, 家庭教師が幻影を見ることを狂気と考えることにあり, そう考えるからこそ, 家庭教師は幻影を見る自分の狂気を恐怖する余り, その狂気子供達に転嫁して, 自分は狂気でないことを証明しようとするのである。cf. Felman, p.235.
- 11) Goetz, p.131.
- 12) 大津栄一郎, 「『ねじの回転』と幽霊」, 「ヘンリー・ジェイムズ研究」高橋正雄編, (北星堂書店, 1966), p.188.
- 13) 青木次生, 「巨匠の戯れ - ヘンリー・ジェイムズの『ねじの回転』-」, 「季刊英文学」第9巻第2号(あぼろん社, 1972), p.161.
- 14) cf. Alexander E. Jones, "Point of View in *The Turn of the Screw*," *A Casebook*, p.314; Goetz, p.125.
- 15) Preface, p.xx.
- 16) Preface, p.xx.
- 17) cf. Oscar Cargill, "Henry James as Freudian Pioneer," *A Casebook*, p.229; Goddard, pp. 270-271; Joseph J. Firebaugh, "Inadequacy in Eden: Knowledge and *The Turn of the Screw*" *A Casebook* p.297.
- 18) Jones, p.316.
- 19) Preface, p.xvii.
- 20) Henry James, *The Ambassadors* vol.1 (New York Edition), (New York: Augustus M. Kelly・Publisher's, 1971), Preface, p.xviii.
- 21) Fagin, pp.155-156.

英語再帰代名詞の解釈における日本語の影響について

松 林 城 弘

The Influence of Japanese on the Interpretation of English Reflexives

Kunihiro MATSUBAYASHI

During the past decade, second language acquisition research has paid considerable attention to the acquisition of English reflexives in terms of the Universal Grammar (UG)-driven theory, but this paper reports that the interpretation of English reflexives by Japanese learners cannot be easily explainable just in terms of the effects of UG. In particular, experimental results in the paper suggest that Japanese learners transfer the epistemological properties of Japanese reflexives in interpreting English reflexives. Based on the results, I suggest that epistemological consideration help good accounts for the interpretation of English reflexives especially by Japanese learners.

I 序 論

最近の普遍文法(Universal Grammar)理論では、再帰代名詞とその先行詞決定に関わる文法として、英文(1)が示すような事実を提示している。

- (1) a. John said that Bill_i blamed himself_i.
b. *John_i said that Bill blamed himself_i.

“Bill”は再帰代名詞“himself”の先行詞になり得るが、“John”はなり得ない。この制約は、「束縛理論の原理A」(Principle A of the Binding Theory)によって(2)のように説明されている。

- (2) 照応表現(anaphor)はその統率範疇(governing category)内で束縛(bound)されなくてはならない。

例文(1)の場合、再帰代名詞を含む最小の節(clause)が統率範疇であり、himselfはその範疇内にあるBillに束縛される。一方、統率範疇外にあるJohnはhimselfの先行詞として機能し得ないことになる。

最近、この制約の作用性について言語習得という観点から実験的に考察を加える研究が増えている。例えば、

Solan(1989)は、英語を母語とする4歳から6歳の子供36名を対象に、(3)における再帰代名詞の解釈を調べたところ、himselfの先行詞は“horse”であるという解釈は全体の95%に達するという結果を得ている。

- (3) The dog said that the horse hit himself.

また、英語を母語とする成人を被験者とした実験でも子供の場合とほぼ同じ結果がでており(cf. Thomas 1989, Hirakawa 1990), 英語の再帰代名詞が最小節内で束縛されることを示している。

本稿の目的は、英語母語話者に作用するとされている上記の制約が、第二言語習得の場合、つまり既に母語を習得している上にさらに別の言語を習得する場合にも同じように作用するかどうかという点を実験的に検討することである。この検討に際しては、拙稿(1993)に基づいて日本人学習者による英語の再帰代名詞の習得に焦点を当てながら、日本語再帰代名詞「自分」「自分自身」及び「彼自身／彼女自身」の特質が英語再帰代名詞“himself”の習得にどのような影響を及ぼし得るかを中心に議論する。

II 日英語再帰代名詞

本節ではまず、日英語再帰代名詞の異同を把握するために Wexler & Manzini (1987) によって提案された「統率範疇パラメータ」(Governing Category Parameter) をとりあげる。次いで、Nakamura (1989) の提案を取り込みながら統率範疇パラメータの問題点を指摘し、日英語における再帰代名詞とその先行詞に関する構造条件を簡単に整理する。

Wexler & Manzini によると、統率範疇は各言語間においてパラメータ化されており、(4) で示す五つの異なったパラメータ値を持っているとされている。

- (4) α is a governing category for β iff α is the minimal category which contains β and
- a. has a subject, or (English)
 - b. has an INFL, or (Italian)
 - c. has a TNS, or (Russian)
 - d. has an indicative TNS, or (Icelandic)
 - e. has a root TNS. (Japanese)

英語は(4a)の値を持ち、日本語は(4e)の値を持つとされている。つまり、英語の場合、最小の節が統率範疇になり、例文(1a)で示したように himself の先行詞は最小の節内にある Bill であると仮定される。一方、日本語では文全体が統率範疇になり、例文(1)に相当するとされる日本語文「ジョンはビルが自分を責めたと言った」では、ジョンとビルのいずれも自分の先行詞となり得ると仮定される。このように、日英語の再帰代名詞は共に統率範疇内で束縛されなければならないという制約に従う反面、その統率範疇のパラメータ値は異なり、英語再帰代名詞は最小節内にその先行詞を持ち、日本語再帰代名詞は文中にあるどの名詞句でもその先行詞の候補になり得ると説明されている。

統率範疇パラメータに関する上記の説明では、英語の“himself/herself”が日本語の「自分」に相当すると言う前提の基に進められているが、必ずしもこの相対関係が成立するとは限らない。Nakamura は日本語の再帰代名詞には「自分」以外に「自分自身」及び「彼自身／彼女自身」が存在し、それら再帰代名詞を統率範疇から捉えた場合、英語の“himself/herself”に相当するのは「自分」ではなく「自分自身」及び「彼自身／彼女自身」であるとし、“himself/herself”と「自分」との相対関係に疑問を投げかけている。

Nakamura は、「自分」「自分自身」及び「彼自身／彼女自身」という再帰代名詞の間にはその形態素形式

と束縛性に明らかな相互関係があるとし、英語の“~self”に相当する「~自身」という形態素を持つ「自分自身」及び「彼自身／彼女自身」は、“himself/herself”と同様に局所的束縛(local binding) されるとしている。(5) が示すように「自分自身」及び「彼自身／彼女自身」は最小節内にその先行詞を持つことになる。

- (5) 太郎：は「次郎」が自分自身／彼自身。を紹介したと言った。

一方、「~自身」という形態素を持たない「自分」は長距離束縛(long-distance binding) が可能であるとされている。(6) が示すように「自分」の先行詞は最小節外においても可能になる。

- (6) 太郎：は「次郎」が自分。を紹介したと言った。

この Nakamura の提案に従って日英語の各再帰代名詞の束縛性を整理すると、表(7)になる。

	長距離束縛	局所的束縛
日本語	自 分	自分自身／彼自身
英語	—	himself

(7) が示すように、“himself”と「自分」との間には統率範疇パラメータの考え方があてはまるものの“himself”と「自分自身」及び「彼自身」との間にはあてはまらない。この Nakamura の提案を取り入れるならば、日英語再帰代名詞における統率範疇パラメータそのものの修正が必要になり、Wexler & Manzini による説明に深刻な問題を呈することになる。

本節では、日英語における再帰代名詞とその先行詞に関する構造条件を簡単に整理するために Wexler & Manzini 及び Nakamura の提案を取り上げたが、本稿では特に、Nakamura の提案に従い日本語には「自分」、「自分自身」及び「彼自身／彼女自身」という再帰代名詞が存在するという前提に立ち以後の議論を展開する。次節では、日本人学習者が“himself”という再帰代名詞を含んだ英語文を処理する際に、これら日本語再帰代名詞がどのような影響を及ぼし得るかを拙稿を基にして考察する。

III 日本人学習者による英語再帰代名詞の習得(1)

拙稿では、日本で英語を学習する日本人高校生86名と英語を母語とする英米人10名を被験者とし、(8)で示す2タイプの英語文(各タイプ3文ずつの合計6文)を

使用して実験を行った。各被験者は“himself”の先行詞として適切だと思うものを各文の後に示された選択肢の中から選ぶように指示された。

(8) Aタイプ: John said that Paul blamed himself.

- a. John b. Paul c. either John or Paul
d. someone else e. don't know

Bタイプ: John angrily said that Paul blamed himself.

- a. John b. Paul c. either John or Paul
d. someone else e. don't know

さらに日本人高校生86名に関しては、「自分」を含む(9)の2タイプの日本語文(各タイプ3文ずつの合計6文)を使用して実験を行った。各被験者は「自分」の先行詞として適切だと思うものを各文の後に示された選択肢の中から選ぶように指示された。

(9) Aタイプ: 太郎は明が自分を責めたと言った。

- a. 太郎 b. 明 c. 太郎または明
d. 誰か他の人 e. わからない

Bタイプ: 太郎は明が自分を責めたと怒って言った。

- a. 太郎 b. 明 c. 太郎または明
d. 誰か他の人 e. わからない

表(10)は、各被験者の反応結果(%)をまとめたものである。(表中の数字は小数点第1位で四捨五入してある。)

(10)

	統制群(英米人)		実験群(英語学習者)		統制群(日本人)	
	タイプA	タイプB	タイプA	タイプB	タイプA	タイプB
NP1(John, 太郎)	0	0	11	46	61	82
NP2(Paul, 明)	100	100	76	43	27	5
NP1/NP2	0	0	5	6	7	9

まず、英米人の反応に注目すると、タイプA・B文に関係なく100%の確率でNP2(Paul)が選択されている。一方、英語学習者の場合、タイプAでは11%(NP1)と76%(NP2)で、NP2が優先的に選択されているが、タイプB文ではNP1(46%)とNP2(43%)で、ほぼ同じ確率で選択されている。この結果から言えることは、英米人の場合、主文中に“angrily”という副詞が挿入されているかいないかに関わらず、束縛理論の原理A、つまり“himself”は最小節内で束縛されるという制約に従って反応しているということである。一方、英語学習者の場合は、“angrily”という副詞の影響によってNP1を選択する確率が高くなり、結果的に原理Aの制約に違反する形となっている。次に、日本語文に対する日本人被

験者の反応に注目すると、タイプA文では「自分」の先行詞として61%の確率でNP1(太郎)が選択され、27%の確率でNP2(明)が選択されているが、タイプB文では、82%(NP1)と5%(NP2)でNP1が優先的に選択されている。この結果は、主文中の「怒って」という副詞の影響を受けたものと解釈できる。

以上の結果から総体的に言えることは、英語学習者と日本人統制群の別に関わりなく日本人被験者の場合、主文中に挿入された“angrily”または「怒って」という副詞に影響されて再帰代名詞の先行詞を決定する傾向があるということである。この傾向は英米人の反応は見られない傾向であり、日本人被験者独自の反応であると言える。さらに、英語学習者と日本人統制群のタイプB文でのNP1選択の相関関係を調べてみると、「自分」の先行詞としてNP1を選択した被験者が“himself”の先行詞としてもNP1を選択している傾向があり($r=0.441$, $p<.05$), 「自分」の先行詞を決定する際に「怒って」という副詞が影響を与えると同様に、“himself”の先行詞を決定する際にも“angrily”という副詞が影響を与えると考えてよいであろう。

“angrily”または「怒って」という副詞は、主文の主語の感情(あるいは意識)を表すと言ってよい。例えば、(11)のタイプAでは、主文の主語(太郎)が補文の内容(明が自分を撲った)を客観的に報告しているにすぎない。その結果、「自分」を撲ったのは太郎なのか明なのか極めて曖昧である。ところがタイプB文では、「怒って」という副詞が挿入されることにより主文の主語(太郎)の感情が補文に移入しやすくなり、補文の内容が「明が僕(つまり太郎)を撲った」という感じが強くなる。その結果として、「自分」の先行詞は太郎になりやすい。

(11) Aタイプ: 太郎は明が自分を撲ったと言った。

Bタイプ: 太郎は明が自分を撲ったと怒って言った。

英語学習者と日本人統制群の反応は、まさにこのような主文の主語の感情を補文に移入することにより表れたものと解釈できる。

この節で述べてきたように、「自分」の先行詞決定には、パラメータ値という構造的な制約のみでは捉えることができない「感情移入」¹という極めて心理的・認識的な要因も関与してくる。加えて、この感情移入という要因は日本人学習者が“himself”の先行詞を決定する際にも関与する。本節では、拙稿に基づいて日本語再帰代名詞として「自分」のみを取り上げたが、次節では、拙稿において取り上げなかった「自分自身」及び「彼自身/彼女自身」を付け加えて考察する。

IV 日本人学習者による英語再帰代名詞の習得(2)

第Ⅱ節で概観したように、日本語には「自分」以外にも「自分自身」及び「彼自身／彼女自身」という再帰代名詞が存在すると仮定されている。さらに、「自分自身」及び「彼自身／彼女自身」と“himself”はその統率範疇において同じであり、最小節内に先行詞を持つと仮定されている。本節では、「自分自身」及び「彼自身／彼女自身」という再帰代名詞の先行詞決定に際しても感情移入という因子が関与するかどうか、また日本人学習者が“himself”の先行詞を決定する際にも同じようにその因子が関与するかどうかを実験的に調べる。今回の実験方法は、概ね拙稿の実験手順を踏襲し、被験者に関しても同じである。⑫は、実験で使用した日英語の刺激文(各タイプ3文ずつ)である(補遺参照)。

⑫ 日語タイプA: 太郎は明が自分自身を責めたと言った。

太郎は明が彼自身を責めたと言った。

日語タイプB: 太郎は明が自分自身を責めたと怒って言った。

太郎は明が彼自身を責めたと怒って言った。

英語タイプA: John said that Paul blamed himself.

英語タイプB: John angrily said that Paul blamed himself.

表⑬は、各被験者の反応結果(%)をまとめたものである。(表中の数字は小数点第1位で四捨五入してある)

⑬

	統制群 (英米人)		実験群 (英語学習者)		統制群 (日本人)			
	himself タイプA	タイプB	himself タイプA	タイプB	自分自身 タイプA	タイプB	彼自身 タイプA	タイプB
NP1(John, 太郎)	0	0	11	46	16	38	12	34
NP2(Paul, 明)	100	100	76	43	67	49	71	55
NP1/NP2	0	0	5	6	8	10	4	7

まず、日本人統制群の「自分自身」における反応に注目すると、タイプA文においては「自分自身」の先行詞として16%の確率でNP1(太郎)が選択され、67%の確率でNP2(明)が選択されており、NP2の方が優先的に選択されている。ところが、タイプB文では、NP1選択の確率はタイプA文の16%に比べて38%と高くなるが、NP2の選択はタイプA文の67%に比べて49%と低くなっている。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「自

分自身」の先行詞としてNP1(太郎)が選択される傾向が強くなることを示している(タイプA・B文におけるNP1選択の差は、 $t=5.15$, $df=85$, $p<.01$ で有意な差である)。この結果は、「自分自身」は最小節内にその先行詞を持つというNakamuraの仮定に必ずしも合致しないものになっている。

次に、「彼自身」における反応に注目すると、タイプA文では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、タイプB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、「自分自身」の場合と同様に、「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(太郎)が選択される傾向が強くなることを示している(タイプA・B文でのNP1選択の差は、 $t=5.11$, $df=85$, $p<.01$ で有意な差である)。この結果もやはりNakamuraの仮定に必ずしも合致しないものになっている。

英語学習者の反応においても「自分自身」及び「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(John)を選択する傾向が強くなっている。さらに、英語学習者と日本人統制群のタイプB文におけるNP1(Johnまたは太郎)選択の相関関係を調べると、「自分自身」の先行詞としてNP1を選択した被験者が“himself”の先行詞としてもNP1を選択する傾向があり($r=0.279$, $p<.05$)、「彼自身」の先行詞としてNP1を選択した被験者も“himself”の先行詞としてNP1を選択する傾向がある($r=0.237$, $p<.05$)。

この英語学習者の反応は、英米人の反応(タイプA・B文ともにNP1選択は0%, NP2選択は100%)には見られない日本人英語学習者独自の反応であり、「自分自身」及び「彼自身」の先行詞を選択する際に関与する「感情移入」という因子を“himself”の先行詞を選択する際にも持ち込んだ結果によるものであると考えられる。つまり、日本語文における文処理の特徴が、英語文の文処理に混入した結果であると考えられる。

まとめると、本節で取り上げた「自分自身」及び「彼自身」の先行詞決定には、第Ⅲ節で取り上げた「自分」の先行詞決定の場合と同様に、主文の主語の「感情移入」という極めて心理的・認知的な要因が関与することが判明した。さらに、この要因は日本人英語学習者が“himself”の先行詞を決定する際にも影響を与え、“himself”は最小節内にその先行詞を持つとする束縛理論の原理Aに違反する動因にもなっていることが明らかになった。

V 結 論

英語母語話者は“himself”の先行詞決定に関して束縛理論の原理Aに従うという結果が先行研究において確認されているが、同様のことが本稿の実験においても確認された。加えて、英語母語話者は主文の「感情移入」という極めて心理的・認識的な要因に影響されることなく、束縛理論の原理Aという高度に形式的・構造的な制約に従うということも確認できた。これに対して、日本人英語学習者の場合、「自分」、「自分自身」及び「彼／彼女自身」という日本語再帰代名詞が持つ特質、つまり、心理的・認識論的な因子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、英語の“himself”の先行詞も決定するということが、拙稿及び本稿の結果において確認された。

英語においては決定的な意味を持つ形式的・構造的な制約も、少なくとも日本語再帰代名詞に関してはあまり意味を持たないかもしれない。日本人による再帰代名詞の処理過程上に関与する心理的・認識論的な側面も十分に視野に入れた上で、日英語再帰代名詞の先行詞決定に関わる類似と相違を捉えることが必要であろう。勿論、本稿で捉えた日英語再帰代名詞に関わる相違点についてまだまだ十分なものとは言えず²、今後さらに議論を深めていく必要がある。

注

1. 感情移入(Empathy)に関しては, Kuno, S., and E. Kaburaki. 1977. "Empathy and Syntax." *Linguistic Inquiry*, 4, pp. 627-672. 及び Kuno, S. 1987. *Functional Syntax*. Chicago: The University of Chicago Press. に詳しい。
2. 沢田治美「日本語の代名詞化・再帰代名詞化の条件について：特に話者の視点とその移動を中心として」『英語教育』2・3月号(1975)。では、「話者の視点」といった心理的・認識論的な因子が日本語の代名詞化・再帰代名詞化においては重要な役割を果たすと主張されている。

参考文献

- Wexler, K., and M. Rita Manzini. 1987. "Parameters and Learnability in Binding Theory." In T. Roeper and E. Williams, eds., *Parameter Setting*. Dordrecht:Reidel, pp. 41-76.

- Solan, L. 1987. "Parameter Setting and the Development of Pronouns and Reflexives." In T. Roeper and E. Williams, eds., *Parameter Setting*. Dordrecht:Reidel, pp. 189-210.
- Thomas, M. 1989. "The Interpretation of English Reflexive Pronouns by Non-native Speakers." *Studies in Second Language Acquisition*, 11: pp. 281-303
- Hirakawa, M. 1990. "A Study of the L2 Acquisition of English Reflexives." *Second Language Research*, 6: pp. 60-83.
- Nakamura, M. 1989. "Reflexives in Japanese." *Gengo kenkyu*, 98: pp. 206-230.
- 松林城弘「日本人学習による英語の再帰代名詞習得に関する一考察」『主流』（同志社大学英文学会編），第54号(1993): pp. 83-95.

補遺（日・英語再帰代名詞テスト文）

日本語タイプA文（「自分自身」を含む文3文，「彼自身」を含む文3文の合計6文）

1. 太郎は明が自分自身を責めたと言った。
2. 太郎は明が自分自身を推薦したと言った。
3. 太郎は明が自分自身を紹介したと言った。
4. 太郎は明が彼自身を責めたと言った。
5. 太郎は明が彼自身を推薦したと言った。
6. 太郎は明が彼自身を紹介したと言った。

日本語タイプB文（「自分自身」を含む文3文，「彼自身」を含む文3文の合計6文）

1. 太郎は明が自分自身を責めたと怒って言った。
2. 太郎は明が自分自身を推薦したと嬉しそうに言った。
3. 太郎は明が自分自身を紹介したと誇らしげに言った。
4. 太郎は明が彼自身を責めたと怒って言った。
5. 太郎は明が彼自身を推薦したと嬉しそうに言った。
6. 太郎は明が彼自身を紹介したと誇らしげに言った。

英語タイプA文（3文）

1. John said that Paul blamed himself.
2. John said that Paul recommended himself.
3. John said that Paul introduced himself.

英語タイプB文（3文）

1. John angrily said that Paul blamed himself.
2. John gladly said that Paul recommended himself.
3. John proudly said that Paul introduced himself.

社会的過程と意識

— G・H・ミードにおける

「精神」についての考察

木村 倫 幸

Social Process and Consciousness
— A Study of “Mind” on
G.H.Mead —

Tsuneyuki KIMURA

「精神は、社会的過程のなかに、その過程が全体として、その過程に参加している一定の諸個人のいずれかの経験のなかにはいるか、あるいはそこに存在するときにだけ発生する。このことがおこるとき、その個人は自己意識的となり、精神をもつ」。

社会学者として著名な、G・H・ミード (Mead, George Herbert 1863-1931) は、人間の精神、自我意識の形成の考察にあたって、一貫して社会的過程の側からアプローチする。それは当時としては、従来の心理学において対象とするには困難であった領域に対して科学的探究の光をあてることであった。ミードは、この領域に右に述べた側から接近することにより、実はこの領域が最初から独立して存在している諸個人間の相互作用によって成立しているものではなく、逆に、諸個人は、社会的過程に組み込まれることにより、この過程で形成されるものであることを明らかにした。すなわち個人は、社会的過程の中で精神、自我意識を形成するのであって、社会的過程を抜きにしては何も語ることができないのである。この意味で、個人の意識は、それ自身で実体として存在するといふよりも、機能として、社会的過程の結果として考えられねばならない。

かかる視点は、現代社会における個人を考察する場合に非常に重大な示唆を与える。近代市民社会の典型たる独立的個人によって成立している社会ではなく、機能として考えられる個人、自我意識という指摘は、近代社会の原理そのものの反省を含むものであり、われわれは、この視点とそこからの展開とを検討することによって、個人および社会の関係のより深い理解が可能になると信じる。ミードが社会学の分野においてのみならず、哲学においても重視されねばならない理由はこの存在するのである。小論は、ミードの自我意識論、社会論の前段階にあたる精神の領域の検討を通じて、彼の視点の社会的性格を解明するとともに、今後探究されるべき領域への手がかりとして、その位置を確認しようとするものである。

一

ミードは、自己の立場について次のように語る。

「わたしが明らかにしようとするアプローチの要点は、社会という立場から、すくなくとも社会的秩序にとって欠くことのできないコミュニケーションという立場から、経験をあつかうものである(四頁)。

すなわち社会に存在している諸個人のあり方、その意識、行為等のすべて（経験）が、社会的過程に関わり、依存するものとして示されることになる。とりわけ自我、精神、意識がかかるものとして説明されるわけであるが、このためには、それまでの心理学的立場の動向との関連が考慮されねばならない。

ミードが右のような立場をとる以前に、意識に関して考察する心理学的立場は、主要には次の二つのものであった。すなわち一方は J・B・ワトソン (Watson, John Broadus 1878-1958) の行動主義の立場であり、他方は W・ジェームズ (James, William 1842-1910) の内観をも重視する立場であった。前者はいわば主観的経験の領域を切り捨て、内的な経験をすべて外的な行動として説明する。「それは、行為をおこしたままに観察し、それを、内的な経験、すなわち意識そのものとしての観察にもちこむことなしに、個人の意識の説明に利用しようとするものである」(六頁)。これに対して後者、ジェームズは、ある事物を意識との関連で説明することは、それを時間的な系列によってとともに、個人の経験という系列によっても説明することに他ならないとする。つまり「一定の内容を異なつたふたつの系列で処理したことにすぎない」(七頁) というものであった。

以上のような立場に対して、ミードは、心理学自体を意識の領域のみに限定することはできないが、しかしそれはまた内観——「個人の経験の内部に、他のいかなる科学ともかわりのない現象——すなわちただ当の個人自身だけが経験的に接近しているという現象」(同)——をも探究する科学である、とする。そして心理学にとってのこのような素材である「内的」経験に対して、行動主義の観点からの接近が可能であると主張する。

このことは、ミードの言葉を借りれば、「われわれのこの広い意味での行動主義は、個人の経験にかんする研究に、個人の行為という観点から、それもとくに（中略）他人によって観察できるものとしての個人の行為という観点からアプローチするにすぎない」(五頁) ということであり、そしてこの、他人によって観察可能な行為は、個人の内部にあらわれてくるのである。ただし「それは、別の世界すなわち主観的な世界でという意味でなく、その個人という生物体の体内にあらわれるという意味においてである」(八頁) とされる。すなわち個人の「内的」経験は、個人の内部に、「生物体の体内」に、「態度」あるいは「いろいろな動作のはじまり」(同) として——後に検討するような「身振り」としてあらわれるのである。

さらにかかる行為は、最初に述べたように、社会的文脈という立場から理解されねばならない。というのも「個人の行動は、かれがその成員である社会集団の行動との関連においてだけ理解される」(九頁) からであり、「かれの個人的な動作は、かれ個人をこえ、その集団の他の成員をふくむより広い社会的な動作にふくまれているからである」(同)。それ故ミードの立場は、社会集団の活動全体を前提とし、これとの関連で個人の行為がいかに生まれるかを探究するものである。彼はこの立場を「社会行動主義」と名づけるが、ここからするならば、個人の行為は、まずその存在以前にすでに前提となっている社会集団との関係として形成されるのであって、個人の自我意識、精神のようなものも、この関係から発生してくるとされる。そしてこの場合、個人に対して決定的な影響を及ぼすが、「社会集団の組織化された行為」(同) となる。個人は、究極的には、この社会集団のある面での機能性をあらわすものとなる。

二

さて以上の基本的な立場から、ミードは、ダーウィン (Darwin, Charles Robert 1809-82) の心理学を批判しつつ、次のように述べる。

「われわれには生物体に行動をひきおこすものとして、意識がまずもって存在するという証拠がない。(中略) 意識が社会的動作の先行条件としてあるのではなく、社会的動作が意識の先行条件なのである。(中略) だから社会的動作は、その始動した段階もしくは形態においては、どんな形態の意識もなしに、あるいはそれとは離れて成立する」(二一—二二頁)。

このような観点において、社会的動作の一部分として見なされる「身振り」概念が注目される。「身振り」は、ヴント (Vundt, Wilhelm 1832-1920) によって取り出された概念であるが、彼によると、身振りとは個人の情動あるいは知能的態度との間にパラレリズムが成立するとされる。そしてこの同じパラレリズムが他の個人にも存在しており、これによって、ある個人の身振りが他の個人にも同様な身振りを引き起こした場合、もとの個人の観念と同じ観念が他の個人にも生じて、ここに対話が成立するとされる。しかし、ミードによれば、このような理論に立って進んで行く場合には困難が生じる。というのは、ある個人の身振りが、他の個人にもとの個人とは異なった反応、身振りを生じさせる場合があり、このようなときにはある個人の観念と同じ観念が他の個人の中に生じないからである。

従って身振りは、もっと後の段階につながるものとして考察される必要がある。ミードが例に出している「二匹の犬の喧嘩の場合、第一の犬の攻撃の態度によって、第二の犬が刺激され反応する、するとこの反応そのものが刺激となって第一の犬の態度が変化する、すなわち「このばあいの状況は、動作のある部分が、相手方の適応をおこすような他の個体にとっての刺激となっている。この適応が、今度は、はじめの個体にたいする刺激となり、その態度をかえさせ、前とは別の行動をとらせる」(四九頁)のである。

この意味で身振りは、「他の個体に反応をひきおこす刺激である社会的動作のはじまりの部分」をさす(同)と言える。二匹の犬の場合には、両者の構えに事実上の変化が起こるに過ぎないが、人間の個体間にとっては、「身振りは、社会的動作という組織体の部分であって、その組織体のきわめて重要な要素である」(五〇頁)。つまり最初の前提として、ひとつの社会過程があり、われわれはそこから身振り——「他の個体の反応による適応を生み出す動作の局面」(同)——について取り出して考察することができるのである。

とりわけ人間にとっては、身振りが引き起こす反応が、他人に起こったのと同じように自分自身にも起こるとき、その身振りは意味を持つようになる。「身振りがそれをなすつつある個人に、それがむけられている他の個人にはっきりとした反応をひきおこした、あるいはひきおこすと考えられたとまったく同じ反応を暗黙のうちにひきおこしたとき(五二頁)に、「有意義シンボル」(significant symbol)となるのである。これは、たんなる身振りのみでなく、有声的なそれと同様なものとなる。すなわち、「有声身振り」[vocal gesture] (中略)は、それを発している人に、それをうけとっている個人、あるいは、はっきりとそれに反応している個人にたいするのとおなじ影響をもち、その結果、それを発している個人の自我に関係づけられるとき、有意義シンボルとなる」(五一頁)。特にこの有声身振りは、次の点で注目されるべきである。「すなわち、個人は自分のいうことをきくことができ、そして、自分のいうことをききながら他人が反応するように反応する傾向がある」(七七頁)からである。つまりわれわれは、有声身振り、音声刺激によって、われわれが他人に引き起こしたのと同じ反応を自身自身の中に引き起こし、このことを通じて、「他の人びとの諸態度を自分自身の行為のなかにとりいれている」(七六頁)のである。このことは、後に展開される個人の自我形成にあたって重要な意味を持つてくることになる。

以上のような身振りとそれに対する反応という関係から、われわれは「意味」

あるいは「意味内容」^{シニフィヤンス}を理解することになる。そしてここにミードの依って立つ基本的な視点——社会行動主義——の特徴を端的に知ることができるのである。さて、ミードによれば、「意味」は次のような三重の構造を基礎にしている。

「ある生物体の身振り、その身振りがはじめの局面をしめしている社会的動作の結果、そしてその身振りにたいする他の生物体の反応、この三者が、三角あるいは三重の関係をつくる。すなわち、はじめの生物体と身振りの関係、第二の生物体と身振りの関係、そして、あたえられた社会的動作のその後における諸局面と身振りとの関係である」(八四頁)。

このような三重の構造が、意味が発生し存在する領域を形成する。身振りに関して言えば、それは「社会的動作にたいしてそれにかかわっている人びとの側に一定の反応があるという結果」(同)を示している。換言すれば、「第二の生物体が第一の生物体の身振りにたいして、あたえられた「第一の生物体の」動作の完成を指示あるいは規制するものとして反応する関係」(同)が身振りに意味を与える。つまり身振りの意味は、身振りに対する反応との関係によって生じるのであり、第一の生物体の身振りに対する第二の生物体の反応が、「その身振りの解釈」——その身振りの意味の引き出し——(八八頁)とされる。

このように身振りの意味は、社会的動作の中に存在するのであって、第二の生物体の適応的反応が存在してはじめて、第一の生物体の身振りの意味が与えられるというのも、両者の基礎に社会的行為がすでに前提されていなければならないからである。すなわち、「意味は、それが関係している社会的動作のさまざまな局面のあいだの関係形成のなかに暗黙に——つねに明白でないとしても——存在し、そこから発達する」(八四頁)のである。従って身振りは、それを発する生物体および反応する他の生物体を含む社会集団における一定の態度を表象するものとなる^②。

しかもすでにこの節の最初で引用したように、社会的動作は、その始まりの段階においては意識なしに成立するということが、ここで再び思い起こされねばならない。すなわち右で見てきた「身振りの解釈は根本的に、精神それ自体の内部に進行する過程、あるいは不可避免的に精神をふくむような過程ではない」(八六頁)のである。従ってわれわれは、意味を、それ自体として存在するものと認めることはできず、生物体あるいは生物体の集団と、これの対象あるいは環境に対する関係に求めねばならない。ミードも指摘するように、「意味は、本質的にも本来的にも、心的な内容(精神もしくは意識の内容)ではない」(八八頁)。われ

われはここにミードの徹底した社会過程重視の立場を確認するとともに、ここからいかに意識、思考——精神——が展開されるかを検討しなければならない。

三

社会的動作およびその始まりとされる身振りが、さしあたっては意識なしに行なわれるものであるとすれば、人間以下の動物の場合のように、身振りが意識を伴わない場合には、それは意味を持たない。そしてミードの指摘のごとく、「人間の社会的経験が、有意義シンボルと一体化するときだけ、意味は意識をとまなう(八八頁)」。つまり「現代に通用する言葉でいえば、意味は社会的経験のなかに生まれるものであり、ちょうど色が視覚器官をもった生物体の意識のなかに生まれるというのとおなじである(九七頁)」。

そしてこの場合、意味を特徴づけるのが「指示」という言葉である。すなわち意味の本性とされた三重の構造——第一の個体の身振り、第二の個体のそれに対する反応、および第一の個体による一定の社会的動作の完成——において個人が他人に対して指示するとき、それは同時に、それを発している本人にも指示されるのであり、彼は、いわば自分自身と他人との一体化をはかっているのである。また指示を与えられた側にも、「聞き手は、ただ命令によって動くのではなく、他人がかれにあたえるのとおなじ指示を自分自身にあたえている(一一七頁)」のであって、「このことが、行動主義の用語において、いわゆる人がなにかを意識しているということである(同)」とされる。われわれは、指示することによってあるものの意味を自己自身および他人に伝えるのであり、そのものを利用可能な状態に導く。そしてその際に、「われわれが精神のなかにもつものが刺激の諸特質を指示することであり、それが対象にたいして一定の反応をみちびく(一一〇頁)」ということ、また「諸君は、どんな刺激が複雑な反応をみちびくかを自分自身に指示しており、刺激の順序によって全反応がどうなるかを決定している(一一〇二頁)」ということに注目するならば、この刺激を他人および自分自身に指示できるということ(すなわち、反応をもたらす特質の指摘)が、「合理的な行為の内容と見なされることが理解されるであらう。ミードによれば、「諸君が推論しているとき、諸君は一定の反応をよびおこす特質を諸君自身に指示しており——それが諸君のしているすべてなのだ(同)」ということになる。

また、指示することの特徴のひとつとして、「個人が、意味を他人の役割をとっ

ているかれ自身に指示するかぎり、かれは自分の見通しを獲得しつつある(九七頁)」とされるが、このことは、個人が、自己の行動について反省的および選択的思考を持つことを意味する。反省的思考は、個人が他人に引き起こすと同様の反応を、自分自身において引き起こすことにおいてあらわれるが、これについてミードは、次のように述べる。

「思考の先づきであり、そのなかで反省作用がおこる行動の一時停止という形のなかに、未来の行動のさまざまな可能性あるいは択一性が、一定の社会的状況のもとで、個人の経験の内部に前もって暫定的に、そして個人の選択がゆるされるという形で、個人にむかって開かれていく(九九頁)」。それ故、「反省作用あるいは反省的行動は、自我意識という条件のもとでだけおこり、個々の生物体によるその行為の積極的なコントロールと組織化とを可能にする(同)」。

従って反省的行動は、現在の行為を対象としつつも、未来の行為に関わるものとして問題にされねばならないし、択一性もかかる方向において検討されねばならない。そしてこのことが人間の知能の特徴となる。つまり人間は、未来についての考察から、現在の行為の決定因として何らかの形で未来を取り入れ、未来における反応を選択し、その反応が顕在化する前に潜在的な態度をとること、現在の行動をコントロールするのである。これが人間の知能であって、「知能とは、本質的に、過去の経験に基礎をもつ未来の可能な結果との関連で、現在の行動の諸問題を解決する能力である(一一〇八頁)」。すなわち、知能は、過去と未来とにでらして、あるいはそれらとの関連で、現在の行動の諸問題を解決する能力である(同)。「そして、知能をはたらかせる過程は、あたえられた環境状況の刺激にたいする反応あるいは反作用を遅延させ、組織化し、そして選択する過程である(同)」ということになる。この反応は、当然遅延反応であり、これが可能になるのは、未来の反応についての中枢神経系による予めの内在的なテストによってであるとされる。そしてこの結果、行動についての選択およびコントロールと組織化がなされる訳である。かくして人間は、自分の現在の行動について、過去および未来を重ね合わせることによって、反応の択一の可能性を検討し、内在的にテストする。この遅延反応が、動物の本能的習慣的反応と人間の知能的行為とを区別する特徴なのである。

しかしここで、われわれは、「このコントロールと組織化は、生物体の社会的、物理的環境、すなわちこの生物体があるのなかにふくまれるようになり、またそれによって反応するさまざまな社会的、物理的状況との関連でおこなわれる」

(九九—一〇〇頁) ことに再度留意しなければならない。というのも「人間の知能の特質は、未来がわれわれの現在の行為を決定するものとして、どうあるべきかの心象をもつことである」(一二八頁)としても、その知能は、また「観念を媒介にして、現在としての未来を描く」(同) 特質を持っているからである。そしてミードにとって観念とは、次のことに他ならない。

「一定の社会的状況あるいは社会的動作を構成する母体あるいは複雑な態度および反応を、その状況あるいは動作に関与している諸個人のいずれかの内部にとりこむこと」^③(中略) が、観念^④というものに該当するすべてである。あるいは、それはすくなくとも一定の個人の「精神のなかに」観念が生まれ、存在する唯一の基礎である」(八二頁、註)。

すなわち、人間が自己の行為をコントロールし組織化するという場合でも、個人は、身振りが有意味シンボルとなる際に置かれていたのと同様の構造の中に置かれているのであって、未来にむけての択一的な反応に関しても、「このような択一的な行動様式は、それがふくまれる社会的諸動作、およびそこからその有意味性が生み出される社会的諸動作をはなれては意味がない」(九八頁)とされる。この意味で人間の意識、精神の形成は、社会的過程との密接な関係の下で検討されねばならないことが理解されるのである。

四

以上簡単に見てきたように、ミードにおいては人間の知能的行為は、すべて社会的過程において社会的動作を前提にしてなされるものであった。それぞれの個体による知能的行為以前に社会的過程が先行し、意識が生じる前にすでに個体間に社会的関係が成立しているとされる。そして意味は、この社会的関係の中でのみ意味を有するものとなる。従って、先にも述べたように、「意味は、本質的にも本来的にも、心的な内容ではない」のであり、「精神および自然の内容のすべてでは、それが意味の性質を担うかぎり、その意味の存在が前提として社会過程の内部の、そして社会的動作の構成的局面の三重の關係に依存している」(一二二頁)。かかる視点からすれば、意識も、実体的なものとしてではなく、機能的なものとして見なされる。「そして意識という用語の主要な意味のいずれにおいても、意識は脳の内部よりも客観的世界のなかに位置づけられねばならない——意識は、われわれが住んでいる環境に属するか、もしくは環境の特質である」

(同)。

人間は、このような社会的過程、環境に対する関係において自己の反応と態度を組織化しコントロールするのであって、このことは人間が意味を獲得し、言語によってこれをコントロールすることで可能となる。すなわち「人間は、自分自身および他人にむかつて、環境のなかにあつて複雑で高度な反応をよびおこす諸性質はなにかを指示することができ、そのような指示能力によって、かれの反応をコントロールできる」(一四〇頁)とされる^⑤。さらには、この結果として自我が出現する可能性があらわれる。ミードによれば、「自我の組織化とは、生物体個人による、その社会的環境にたいする諸態度の組合せの組織化にすぎない」(二〇〇頁)のである。つまり自我意識は、このような組織化とコントロールを通して、個人が自分自身に対する他人の反応、態度をとり入れることで形成され、これにに応じてその個人の内部に、それがより普遍化された「一般化された他者 (generalized other)」の態度が形成されていくことになる。しかし自我および社会有機体についてのこれ以上の検討は後日を期したい。

ミードにおいては、自我意識を形成する前段階と言うべき精神は、かくして社会的過程の内部に発生し形づくられるものとして見なされねばならない。すなわち個人の思考、意識、精神の存在以前にすでに社会的過程において諸個人が相互に関連づけられ、影響を及ぼしあっているものであり、個人の経験はまず社会的経験として説明されなければならないのである。この意味でミードの次の言葉は、まさしくその核心を突いていると言えるであろう。

「精神を、人間個人という立場からだけ見ることは不合理である。というのは精神は個人に焦点があるけれども、本質的に社会的現象だからである。個人の生物学的諸機能ですら、本来社会的なものだからである。精神の説明をともかくも承認されるものにするためには、個人の主観的経験を、頭脳の自然的、社会生物学的活動との関係のなかにもちこまなければならない。そして、このことが可能なのは、精神の社会的性質が認められるときだけである」(二四一—二四二頁)

註

① G.H.Mead : *Mind, Self and Society from the Standpoint of a Social Behaviorist*, 1934. (稲葉三千男他訳『精神・自我・社会』青木書店、一九七三年、一四二頁)。

以下本書からの引用は、邦訳の頁数を記す。ただし、訳文中の「」は、訳者によるものである。

② 「このようにして、どのような身振りも、一定の社会集団あるいは共同社会の内部で、特定の動作あるいは反応、すなわち、それがむけられている個人のなかにはつきりとよびおこし、それをなしている個人のなかに暗黙によびおこしている動作あるいは反応を表象するものとなる」(五三頁)。

③ 具体的には、「その個人の意識のなかに、他の諸個人にたいするかれの態度、そのかれの態度にたいする他の諸個人の反応、かれにたいする諸個人の態度、そしてそのような態度にたいするかれの反応をとりこむこと」(同)とされる。

④ 別の個所では、次のように述べる。

「『これが、あれになる』と確認できること、ある種の身振り——有声身振りであれ、他のものであれ——をもって、その意味を他人および自己自身にしめすように利用できること、そうすることで、その意味との関連で行為をコントロールすること、これが動物の知能に見いだせない人間の知能の特色である」(一二九頁)。

夏目漱石『坑夫』の逃亡者

‘Tōbōsha’ (A Fugitive)

in Natsume Sōseki’s *Kōfu*

Mitsuhiro Takeda

武田 充啓

はじめに

『坑夫』（明治四一、一〜四）は、東京の「相当の地位を有つたものゝ子」である一人の青年が、ある「過去」の事情のために生家から「逃亡」し、ポン引きにつかまって鉾山に送り込まれることになる境遇を、後年、同一人物である語り手が回想する形で成立している。

この作品には、明らかな素材があり、下敷きになった荒井某の体験は聞き書きメモとしても残されている。執筆の準備に十分な時間がなかったこと①、素材がほとんどそのまま作品となっていること②などもあり、作者のオリジナリティーという点では、とくにその『内面性』③が注目されてきた。以後、その「心理分析」や「意識の流れ」④を軸にした小説の方法論的視点から、作者自身の「理論」がいかに「実践」されたかが問われ⑤、あるいは作者自身の「内面」をも含めたその「実生活」とこの「作品」との関わりなどが問われてきている⑥。

しかし『坑夫』の魅力の一つが、語り手のその語り口にあることは異論のないところである。そしてその一方で、「人間（の心）は変わるものだ」と主張する語り手にどこか物足りなさを、その説得力の不足を感じないでもない。この物足りなさはどこからくるのであろうか。従来、作者と素材の関係は研究されてきたが、語り手が自分の過去をどう扱うかという視点からは、あまり論じられていないように思われる。

したがって私がここで試みるのは、語り手の「過去」の扱い方を中心に、彼の『現在』までを含めて考察しつつ、『坑夫』を読み返してみることである。そこでまず、『坑夫』という作品全体を貫いている問題を確認することから始めたい。

一 『坑夫』を貫く〈問題〉あるいは「中を行く男」

『坑夫』は、男が感想をもらす場面から始まる。

さつきから松原を通つてゐるんだが、松原と云ふものは絵で見たよりも余つ程長いもんだ。何時迄行つても松ばかり生えて居て一向要領を得ない。此方がいくら歩行たつて松の方で発展して呉れなければ駄目な事だ。いつそ始めから突つ立つた儘松と睨めつ子をしてゐる方が増した。

「絵」よりも現実の松原の方が「長い」。しかし、「歩行」ていることと「立つた儘」でいることの違いがはつきりしないのだとすれば、現実の松原もまた「絵」と区別はつかないことになる。ここにすでに「坑夫」を貫く問題が顔を出している。

問題はさらにはつきりしてくる。男は、松原を抜ける途中の掛茶屋で「粹天だか、どてらだか分らない着物を着た男」（「粹天とどてらの中を行く男」「粹天とどてらの合の子」とも表現される）に出会う。そうしてこの人物の「ぢりく」とした「何処迄も落附いてゐる。がそれで滅法早い」眼差しに捉えられるのである。男を鉾山へ連れていくことになるこのボン引きの「服装」や「白眼」の描写は、甲だか乙だか「分らない」が、甲のようでもあり乙のようでもある「合の子」が、ひたすら甲と乙の「中を行く」ことになる主人公のこれからの生き方を暗示しているのである。

一旦飛び出したからは、もつとどうあつても家へ戻す簡はない。東京にさへ居り切れない身体だ。たとひ田舎でも落ち付く気はない。休むと後から追っ掛けられる。昨日迄のいさくさが頭の中を切つて廻つた日にはどんな田舎だつて遣り切れない。だから只歩くのである。

冒頭から現れる文中、文末の否定形の多用は、ここでもまだ続いている。男を「追つ掛け」てくるものは彼の「過去」であり、男が歩き続けるのはそれから逃れるためであることが明かされる。「足より松より腹の中が一番苦しい」のは、男が未来を持ってないでいるからである。過去と未来のはざまとしてあるはずの自身の「現在」の位置どりに「一向要領を得ない」まま、男は「只歩く」しかない。

顔の先一間四方がぼうとして何だか焼き損なつた写真の様に曇つてゐる。しかも此の曇つたものが、いつ晴れると云ふものもなく、只漠然と際限もなく行手に広がつてゐる。（中略）歩くのは居た、まれないから歩くので、此のぼんやりした前途を抜出す為に歩くのではない。抜け出さうとしたつて抜け出せないのは知れ切つてゐる。

男は、未来を見い出そうとはしない。また自分の「過去」を検証しようとするでもない。「どこ迄も半陰半晴の姿で、どこ迄も片付かぬ不安が立て置めて居

る」彼の「現在」をたださまよい続けるのである。そしてこれが「坑夫」を貫いている「中を行く」という問題である。「暗い所」「人の居ない所」といった言葉が多用され、そこが彼のとりあえずの「目的」の場所として選ばれてはいる。しかし、男の本当の目的は「生涯片付かない不安の中を」片付かないまま「歩いて行く」こと、そのことなのである。

こうしてこの「中を行く」という問題が、「坑夫」を貫いていることを見て取れば、たとえば男が鉾山へ向かう汽車の中で耳にするようになる「亭主と泥棒」の話（強盗に入った泥棒がその家の主人から贖金をつかまされ、その主人を贖金使いとして振れて歩くという話。この二人の「何方が罪が重い」かが問われる所で会話は途切れている）が、前後の脈絡なしに出てくること、またすぐその後「睡眠」が話題になることなども、不自然なことではなく、むしろ計算され選ばれてそこに並べられていることがわかる。いずれも「片付かない」ことであり、「中を行く」ことだからである。

「睡眠」は、「生き戻り損なう危険も伴つてゐないから」「自滅の一着として、生きながら坑夫になるものに取つては、至大なる自然の養である。其の自然の養が偶然にも今自分の頭に落ちて来た」。男は「生きてゐる以上は是非其の経過を自覚しなければならぬ時間」を、丸潰しに「できたのである」。「先づ凡人は死ぬ代りに睡眠で間に合せて置く方が軽便である」。しかし「正直に理想を云ふと、死んだり生きたり互違にするのが一番よろしい」ということになる。

汽車を降り、「大きな宿の」「心持の判然する程真直」な「広い往還の真中に立つて遙か向ふの宿外を見下した」ときの男の「一種妙な心持」についても、「実世界の事実」と「夢」の「合の子」のようなものとして考えることが出来るであろう。「魂が寝返りを打たないさき、景色が如何にも明瞭である」と心附いたあと、——其の際どい中間に起つた。「明らかな外界を明らかにと感受する程の能力は持ちながら、是れは実感であると自覚する程作用が鋭くなかつた為」「事実に等しい明らかな夢と見た」。現実だと確かめることは出来る。「出来ると云ふ事はちゃんと心得てゐながらも、出来ると云ふ観念を全く遺失して、単に切実なる感能の印象を眸のなかにうけながら立つてゐた」。ここでは「低徊趣味」がはつきり見て取れる。この「心持」は、一個の事件ででもあるかのように、その真相を明らかにすべく「魂」「自覚」「観念」と視点を移しながら何度も言い換えられ、説明されている。そしてその「低徊」は、やはり「中を行く」ものを対象としているのである。

山中の「破屋」の場面では、男は「昨夜と今日の間に厚い仕切りが出来て、截然と区別がついた様」に思え、「かう心に連続がなくなつては不思議な位自分で自分が当にならなくなる。要するに人世は夢の様なものだ」と考える。ここでも「睡眠」が彼に不連続感をもたらすのだが、この意識の不連続は「中を行く」問題と密接に関わっている。先の「睡眠」の話でも明らかなように、そして「自覚があつて死んでたらこんなだらう。生きてるけれども動く気にならなかつた」というここの男の心情に今また注意すれば、男が意識の不連続の状態を一種の理想郷としていることが確認できる。「夢」と「現実」とを区別し、「夢」の中に住んでいたいというのではない。「坑夫」では、「現実」と「夢」とが、いわば同じ位相(片付く)にあり、この一つの位相に対して、「中を行く」(片付かない)というもう一つの位相があるのである。

「山の中の山を越えて、雲の中の雲を通り抜けて」男がいよいよ鉾山のある町に着いたときにも、その目の前に現れた銀行、郵便局、料理屋と「凡てが昔の生えない、新しづくめ」の町を、むしろ「全く夢の様な気持で」眺めることになる。そうして彼は「何だか又現実世界に引き摺り込まれる様な気がして、少しく失望した」のである。これは「夢」と「現実」の逆立の表現ではない。彼はここでも「中を行く」世界にいるのであり、その世界に留まりたいという願望を素直に表明しているのである。

このようにして見てくれば、坑夫体験の中心舞台となる鉾山のいわゆる「シキ」の中で、彼がどのような体験をすることになるかについても、またおおよその見当はつくのである。しかし「中を行く」問題にすべてを還元することがここの目的ではない。それは『坑夫』における「中を行く」という問題を一般化してしまいい、その固有性を見失うことにもなる。「中を行く」という問題が、『坑夫』におけるいわば縦糸だとすると、その横糸として編み込まれているのが、「自殺」と「過去」の問題である。この二つの問題の間われ方が、『坑夫』という作品をどのような模様に編み上げることになるかについて、以下に考察してみたい。

二 自己の内なる他者(無意識)と(肉体)の発見

「自殺」については、『坑夫』の冒頭近く、次のような形で早くも言及されている。

今考へると馬鹿々々しいが、ある場合になると吾々は死を目的にして進むのを貫てもの慰藉と心得る様になつて来る。但し目指す死は必ず遠方になければならないと云ふ事も事実だらうと思ふ。

語り手は、十九歳の当時の自分の行為が、一方で「自殺」のもくろみでもあったことを明かしている。「自殺」は、「生」から「死」へと向かうものである。「中を行く男」が、「生」と「死」の「中を行く男」でもある以上、片付かないことに耐えかねて「一層の事」を望んでみたところで、片付くことはあり得ない。「死」は出来るだけ「遠方」に引き延ばされる。実際には、青年は「生」と「死」の間の行きつ戻りつを、振り子のように繰り返すことになるのである。「暗くなつた所を又暗い方へと踏み出して行つたら、遠からず世界が闇になつて、自分の眼で自分の身体が見えなくなるだらう。さうなれば気楽なものだ」。しかし青年は、一旦通り過ぎたはずの「茶店の方へ逆戻り」する。「暗い所から一歩立ち退く」というこの行為が、「生」と「死」の間で演じることになる以後の青年の振る舞いを暗示している。

「生」から「死」へと向かつていくはずのものが、再び「生」へと足を向けることになる「矛盾」について、語り手は「性格なんて纏つたものはありやしない」「本当の人間は妙に纏めにくいものだ」と、その「無性格論」を披露する。だが注意しなければならないのは、この「無性格論」が、自己の内なる他者の発見を含んでいるという点である。

「無性格論」は、彼の「宿命論」と重なるように見える。というのは、語り手は(初めて入った「シキ」の中で、案内の初さんに「まだ下りられるか」と聞かれて「下りませう」と答えるまでの心理を説明する箇所において、次のようにその由来を説いてもいるからである。

かう云ふ時の出処進退は、全く相手の思はく一つで極まる。如何な馬鹿でも、如何な利口でも同じ事である。だから自分の胸に相談するよりも、初さんの顔色で判断する方が早く片が附く。つまり自分の性格よりも周囲の事情が運命を決する場合である。性格が水準以下に下落する場合である。平生築き上げたと自信してゐる性格が、滅茶苦茶に崩れる場合のうちに尤も顕著なる例である。——自分の無性格論は此処からも出てゐる。

「自分の性格」ではなく、「周囲の事情が運命を決する」。おそらく、そういう「場合」を実際に数多く体験することになった語り手は、「近頃では宿命論者の立脚地から人と交際をしてゐる」というのである。しかし、語り手が「運命」の鍵は「自分」ではなく、「周囲の事情」が持っているといるとき、その「周囲」のうちには、もう一人の「自分」も含まれていたのである。

坑道の「どん底」の八番坑で、一人取り残された青年は、疲労のために意識が次第に希薄になっていく「嬉しさを自覚してゐた」。「墮落が自滅の第一着なら、此の境界は」「終局地を去る事遠からざる停車場である」。しかし青年の意識が「愈々近くに近づいた時」、突然その連続性が失われるのである。

眼を開けた時に、眼を開けない前の事を思ふと、「死ぬぞ、死んぢや大変だ」迄が順々につながつて来て、そこで、ぶつりと切れてゐる。切れた次ぎは、すぐ眼を開いた所作になる。つまり「死ぬぞ」で命の方向転換をやつて、やつてからの第一所作が眼を開いた訳になるから、二つのものは全く離れてゐる。それで全く続いてゐる。続いてゐる証拠には、眼を開いて、身の周囲を見た時に、「死ぬぞ……」と云ふ声が、まだ耳に残つてゐた。僅かに残つてゐた。自分は声だの耳だのと云ふ字を使ふが、外には形容しやうがないからである。形容所ではない、実際に「死ぬぞ……」と注意して呉れた人間があつたときや受け取れなかつた。けれども、人間は無論ある者はなし。

では「死ぬぞ……」は誰が言ったのか。「神は大嫌だ」という語り手は、またそれを「自分の影身に付き添つてゐる」人々（たとへば「恋人」）の「魂」だとすることも潔しとはせず、「本能に支配され」たもの、「矢つ張り自分が自分の心に、あわてゝ思ひ浮かべた迄であらう」と結論する。自分自身が「全く離れてゐる。それで全く続いてゐる」のだとすれば、自分の中にもう一人の自分、すなわち他者が存在していることになる。「氣を付けべき事と思ふ」。ここには、自己の内部に意識の連続から切り離されたもう一人の人間がいることの発見がある。（この他者は、また別の側面から「潜伏者」とも呼ばれることになるが、「潜伏者」については、後に語り手の「過去」の問題と絡めて問ふことにしたい。）この他者の発見が、彼の「無性格論」なり「宿命論」なりの母体となつてゐることを確認しておきたい。

こうして青年は、自己の内なる他者に裏切られ、「自殺」あるいは「自滅」と

いう秘かな欲望を殺されることになるのだが、その一方で、青年の「運命を決する」「周囲の事情」に、彼自身の肉体もまた含まれるものであったことが明らかになる。「健康の証明書」をもらうために「診療場」に向かう場面である。

自分も、もうやがて死ぬんだと思ひ出した。死んで此処の土になつたら不思議なものだ。かう云ふのを運命といふんだらう。運命の二字は昔から知つてたが、たゞ字を知つてゐる丈で意味は分らなかつた。（中略）けれども人間の一大事たる死と云ふ實際と、人間の獣類たる坑夫の住んでゐるシキとを結び付けて、二三日前迄不足なく生ひ立つた坊つちやんを突然宙に釣るして、此の二つの間に置いたとすると、坊つちやんは始めて成程と首肯する。運命は不可思議な魔力で可憐な青年を弄ぶもんだと云ふ事が分る。

しかし、診療場の「臭い迄が夢の様な不思議に」なり、「本人からしてが、何物だか殆ど要領を得ない。本人以外の世界は明瞭に見える丈で、どんな意味のある世界か薩張り見当がつかない」くなりしては、青年の思い描く「運命」は、彼自身の肉体によつて覆される。医者の診断は「気管支炎」である。しかし「肺病の下地」であるはずの青年の肉体は、彼の幾分かロマンティックな「死」の空想を許さない。現実の「死」を青年と背中合わせのものにすると同時に彼から無限に引き離しするのである。「死」は、本人の意志や意識とは無縁の位相にある。肉体がそれを教える。肉体もまた、自己と「全く離れてゐる。それで全く続いてゐる」他者なのである。

「中を行く」はずの男が「自殺」などできないことは知れてゐる。しかし「中を行く男」は、「人の居ない所」へと歩を進めながら、「自殺」という秘められた自己の欲望を横切ること、自己の内なる他者としての「無意識」や「肉体」を見い出すことになる。「暗い所」だからこそ見えるものがあるのである。

「坑夫と聞いた時、何となく嬉しい心持が」し、「尤も死に近い状態で作業が出来」ることを「当初の目的にも叶ふ」と考えていた青年と、「難有い誨を垂れ、尊とい涙を流した」相手の安さんも「矢つ張り仕舞には金さんの様に」「死ぬだらう」と考えながら「涙も、情も」「未練も、心残りもなかつた」青年との間には、「死」に対する認識の明らかな違いが認められる。そしてたしかに「坑夫」以前の青年の認識と、「死は必ず遠方になければならない事も事実だ」と指摘し、安さんとの出会いを「全くの小説である」と言明する語り手の認識との差もはっ

きりしている⑦。

しかし、たった二三日の出来事であるこの坑夫体験の間に、あるいはその後、当時の青年が得た認識と、語り手が今抱えている認識との間にそれほど大きな違いが見られないのである⑧。「自殺」や「死」に対する認識については特にそれがある。「運命が何とかな始末をつけて呉れるだらう。死んでもいい、生きてもいい。華厳の瀑杯へ行くのは面倒になった」というのは当時の青年である。語り手を待たずとも、青年はすでに「宿命論者」なのである。だとすれば、語り手が十分に長い時間を経た今、あらためて過去を回想し叙述することの意味はどこにあるのだろうか。

語り手は「正体の知れない」自己を真に今「現在」生きていけるといえるのだろうか。このことは「無性格論」や「宿命論」を口にしなが、したがって「無意識」や「肉体」といった自己の内なる他者の存在に気付いていながら、叙述においてはその発見指摘にとどまり、それ以上の発展展開がなされないことと関連している。語り手は本当に《真に自己自身であらうとした》⑨のであろうか。以下では、語り手がどのように設定され、どのようにその「過去」を取り扱い、どのように彼の《現在》を生きようとしているのかを、やはり「中を行く」問題を軸にしつつ見ていきたい。

三 「中を行く」語り手の位置

『坑夫』の語り手に関して、森田草平氏は、『主人公みずから過去の履歴を語る体になっているが、いっそう自分で自分の経験を物語っているようには思われない。主人公の行動と語る人の気持ちとがかけ離れている』。《語る者と語られる者とは、なにかその間に一脈相通するものが必ずあってしかるべきはず》なのに『坑夫』の語り手には少しもそれがない』として、次の点を批判している。

一、あれだけの苦楚を嘗めてきた人にしてはじめてこれだけのことが言われるんだと思うようなところがない。

二、言うことがすべて学究的である。

三、一度は坑夫にまでなりさがった人間として、いまは何をしているんだかさっぱり見当がつかない。

そして、要するに『坑夫』の語り手は「作者自身」、つまりは漱石その人とは思えないというのである⑩。森田氏の指摘は、『坑夫』における語り手の問題

について、重要な手がかりを与えてくれる。

たとえば作者自身は、主人公と語り手との距離について、そしてその距離がもたらす功罪について、次のように述べている。

あれに出てる坑夫は、無論私が好い加減に作った想像のものである。坑夫の年齢は十九歳だが、十九の人としちや受取れぬ事が書いてある。だから現実の事件は済んで、それを後から回顧し、何年か前のことを記憶して書いてる体となつてゐる。従つてまア昔話と云つた書方だから、其時其人が書いたやうに叙述するよりも、どうしても感じが乗らぬわけだ。それはある意味では文学の価値は下る。其代り（自分を弁護するんぢやないが……）昔の事を回顧すると公平に書ける。それから昔の事を批評しながら書ける。良い所も悪い所も同じやうな眼を以て見て書ける。一方ぢや熱が醒めてる代りに、一方ぢや、さあ何と云つて好いか——遠い感じがある。当りが遠い。所謂センチシヨナルの烈しい角を取ることが出来る。これは併しある人々には気に入らんだらう。（『坑夫』の作意と自然派伝奇派の交渉）

語られる主人公と語り手との違いは、十分に与えられたその後の「時間」である。「時間」は、語り手の語り「遠い感じ」と「公平」さをもたらすことになるが、「遠い感じ」の現実性（臨場感）の欠如というマイナス面が、「非人情」的視点からむしろプラスとして考えられていること、また「公平」さが、客観性を保証するものとして重視されていることが確認できる。

語り手の現実性（臨場感）を高めるといふ意味では、語られる人と語る人が同一であること、すなわち「本人」が自己を語るといふだけでなく、その《現在》をリアルタイムで語ることが望ましい。しかし『坑夫』では、語り手自身「俗人は其の時其の場合に書いた経験が一番正しいと思ふが、大間違である。刻下の事情と云ふものは、転瞬の客気に駆られて、飛んでもない誤謬を伝へ勝ちのものである」と述べているように、「正しさ」を優先する観点から《現在》を語ることは退けられている。ではそれほど語りの客観性あるいは《正しさ》を重視するのであれば、語られる人と語る人とをいっそ「別人」にすべきだとも考えられるが、やはり「本人」がその語り手として選ばれているのである。

このことは、おそらく『坑夫』が扱う《人間の（心の）変化》という問題と関わっている。ここでは「変化」が、外部からではなく、内部から《意識の流れ》

の上で問われようとしており、だとすれば語り手として「本人」以上の適格者は他にないことになるからである。ただしこの「本人」による叙述をより「正しい」ものとするための必要条件として「時間」が付加される。「時間」が語り手を「別人」に近づけてくれるからである。

「本人」であると同時に「別人」であること。これが『坑夫』の語り手に課せられた条件である。「時間」は、語り手の存在条件として『坑夫』に持ち込まれることになるが、このことは、語り手が語られる人「本人」であることと「別人」であることとの「中を行く男」であること、また「中を行く男」であらねばならないことを意味している。「中を行く男」がその両端の一方に片寄れば、「変化」を正しく問えなくなり、もう一方により近寄れば、「作者」という「別人」が顔を出すことにもなる。「中を行く男」自身が「中を行く」問題を扱うこと、また「変化」を今生きつつある男が「変化」を問うこと、『坑夫』の試みの困難さはここにある。

しかし一方、『坑夫』の魅力の源泉が、語り手とその語り口にあるのもまた事実である。たとえば小宮豊隆氏は『人間は刻々に流動して止まない、生きものである。生きて流動する以上、矛盾もあれば撞着もある』、『従つて生きた人間を、最も自然に描き出すとするならば、その人間は所謂「無性格」に描き出されるより外に途がない』と語り手の「無性格論」を擁護する^①のだが、『坑夫』において最も「生きた人間」を感じさせるのは、語り手の描き出す青年ではなく、むしろ語り手自身なのであり、「最も自然に描き出」されているのは、彼の語りそのものである。

文末を「た」でくくるのを基本にしつつ、しかし「作者」の「作意」を裏切るかのように、随所に現在形（文末「る」）を状況中継的に取り入れる。加えて語り手は、意識的に過去の時間と現在の時間を混同させ、臨場感を高めている^②。自然描写など、文が長くなることもあるが、例外的で、一般に一文は短い。独白よりは対話に近いリズムで刻まれた短い文の重ね合わせから、一種の軽みを帯びた独特のリズムが生み出される。そして森田氏が批判の第一の点としてあげていた問題の原因の一つは、この文体の持つ一種の「軽さ」が、「昔」の青年の未熟を伝えるのに適しているが、「今」現在の語り手の成熟の証としては、むしろ反証として機能してしまうという点にある。

『坑夫』の語り手は、人間は変わる、と主張する。しかし森田氏が批判の第三の点としてあげているように、語り手は自分の「今」を明らかにしない。それで

いてその人間の変化を示すためには、変化の結果を語りそのものの内に込めて表現する他にない。そして皮肉なことに、その語りは「軽さ」を印象づけてしまうために「昔」と「今」とで彼の性格は不変となる。森田氏のいう「一脈相通するもの」がこれで、しかもこれだけだとすれば問題の解決にはなるまい。これもまた「本人」と「別人」の「中を行く」べき語り手が、「別人」の方に片寄りすぎたための弊害の一つと考えられなくもない。しかし語り手の「軽さ」には、その設定上の「中を行く」条件とは別のレヴェルの、より本質的な原因があるように思われる。そしてそれは彼の「過去」の取り扱い方と深く関わっているのである。

四 捨てられた「過去」

「此の鉱山行だつて、昔の夢の今日だから、此の位人に解る様に書く事が出来る」。「其時の自分を今の眼の前に引擦り出して、根掘り集掘り研究する余裕がなければ、たとひ是程にだつて到底書けるものぢやない」。語り手は、自分の「過去」を叙述するにあたって、「現在」の「余裕」をことさらに強調してみせる。そうして、人間に「変化」があることを主張し、それを肯定しようとするのである。

一人人間は、自分を四角張つた不変体の様に思ひ込み過ぎて困る様に思ふ。
（中略）——自分の心の始終動いてゐるのも知らずに、動かないもんだ、変らないもんだ、変つちや大変だ、罪悪だ杯とくよくよく思つて、年を取つたら——只学問をして、月給をもらつて、平和な家庭と、尋常な友達に満足して、内省の工夫を必要と感ずるに至らなかつたら、又内省が出来程の心機転換の活作用に見参しなかつたならば——あらゆる苦痛と、あらゆる窮迫と、あらゆる流転と、あらゆる漂泊と、困憊と、懊惱と、得喪と、利害とより得た此の経験と、最後に此の経験を尤も公明に解剖して、解剖したる一々を、一々に批判し去る能力がなかつたなら——難有い事に自分は此の至大なる責を有つてゐる、——凡て是等がなかつたならば、自分はこんな思ひ切つた事を云やしない。

『鉱山行』の途中、同行することになる赤毛布や小僧との出会いによって、青年自身が自己を相対化して見ることが出来るようになったとき、語り手は青年が

「一生の一大事の様に」「生死の分れ路の様に考へてゐた」「逃亡」を「坊ちやん」としての墮落だらくと書き換へている。しかしこのとき、意識的に無意識的にか、語り手は何か大切な「過去」を切り捨てたのではなかったか。

青年の「逃亡」の原因は、三角関係と目される人間関係のもつれからのように語られている。澄子と艶子という二人の少女の間に立った青年は、「第一の少女の傍に居たら、この先どうなるかわからない、ことに因ると實際并解の出来ない様な怪しからん事が出来るかも知れないと考へる。彼が實際の人間関係からではなく、自分自身から逃げ出そうとしている点については、従来から指摘されている。しかし注意すべきなのは、彼がそれまでのような「中を行く男」ではいられなくなることを恐れて「逃亡」しているという点である。つまり彷徨する青年は、その生まれからして、いずれか一方に「片付く」ことを恐れる「逃亡者」なのである。

「両立しない感情が攻め寄せて来て」青年の「乱れた頭はどうあつても解けない」。

到底思ふ様に纏まらなと云ふ一点張に落ちて来た時に——やつと気がついた。つまり自分が苦しんでいるんだから、自分で苦みを留めるより他に道はない訳だ。今迄は自分で苦しみが、自分以外の人を動かして、どうにか自分に都合のいい様な解決があるだらうと、只管に外のみを当にあてしてゐた。

青年は問題を現実に解決するのではなく、「内面」の問題として処理しようとする。だがすぐに「鏡に写る自分の影を氣にしたつて、どうなるもんぢやない。世間の掟といふ鏡が容易に動かせないとすると、自分の方で鏡の前を立ち去るのが何より」と考える青年は、いったんは抱え込んだ「内面」をまるで物のように、再び「外」に放り出すかに見える。自分自身の「過去」もまた一つの「鏡」であり、しかもその前から立ち去ろうにも立ち去れない「鏡」であるということに十分意識的とはいえない青年が、「自殺するより外に致し方がない」と結論したところで、そこにどんな重さをも感じられないのは当然であらう。

しかしここで確認しておかねばならないのは、青年が「外」の現実であれ「内面」の心理であれ、「現在」というものに対して極めて冷淡な姿勢をとっていること、そしてこの姿勢が語り手にも共通していることである。語り手は、自身の「現在」についてほとんど叙述しようとはしないのである。

青年の軽薄さや短絡さは、その後「自殺はいくら稽古しても上手にならない」「自殺が急に出来なければ自滅する」「生家に居ては自滅しやうがない」「どうしても逃亡が必要」と次々に変心していく過程でも貫かれており、青年の性格の、あるいは人間の一種の「軽さ」を決定づけている。そして『坑夫』を読む場合に重要になるのは、この「軽さ」が否定的なものとして、あるいは乗り越えられるべきものとして設定されているのではなく、むしろそれが必然的、現実的なものとして積極的に肯定されるべく存在しているという点である。

「中を行く男」にふさわしいこの「軽さ」については、「昔」を語る語り手となった「今」も事情は変わつてはいない。変わったとすれば、その自覚においてであらう。未だ「片付かない」男としての自覚があるからこそ、「軽さ」を抱えながら、しかし禁欲的に彼は「現在」を語らず「過去」だけを語るのである。

逃亡をしても此関係を忘れる事は出来まいとも考へた。又忘れる事が出来るだらうとも考へた。要するに、して見なければ分らないと考へた。たとひ煩悶が逃亡に付き纏つて来るにしても夫は自分の事である。あとに残つた人は自分の逃亡の為に助かるに違ひないと考へた。のみならず逃亡をしたつて、何時迄も逃亡してゐる訳ぢやない。急に自滅がしにくいから、まづ其一着として逃亡して見るのである。だから逃亡して見ても矢張り過去に追はれて苦しい様なら、其の時餘に自滅の計を廻らしても遅くはない。それでも駄目と極まれば其時こそ蛇度自殺して見せる。

追いかけてくるはずの「過去」は、しかし叙述されない。語り手は「過去」を選択する。『坑夫』には「過去」から逃げようとする当時の青年がいて、「過去」と向かい合おうとする「現在」の語り手がいる。『坑夫』が問題にする「過去」とは、青年を追いかけてくる三角関係がらみの「過去」ではなく、その結果として青年が奮めることになる坑夫体験という「過去」である。この二つの「過去」は単に別個のものというだけでなく、全く種類の異なる「過去」である（この点は後に見る）。おそらく語り手は「過去」から逃れられないことを知っている。しかし青年が単に「過去」から逃れるためだけでなく、「中を行く男」でなくなることを恐れて「逃亡」した、その初志を貫徹しようとするかのように、語り手は自分の「過去」の一部には向かい合いつつ、一部には背を向けようとする。この意味でも語り手は「中を行く男」なのである。

以下では、「過去」と向かい合う姿勢もまた「中を行く」ことにならざるを得ない語り手の事情について、彼の「理論」とその「実践」という観点から詳しく見てみたい。

五 「潜伏者」に対する認識と「過去」を語る倫理

語り手の持つ「一つの理論」、すなわち〈潜伏者の理論〉を見ておこう。

病気に潜伏期がある如く、吾々の思想や、感情にも潜伏期がある。此の潜伏期の間には自分で其の思想を有しながら、其の感情に制せられながら、ちつとも自覚しない。又此の思想や感情が外界の因縁で意識の表面へ出て来る機会がないと、生涯其の思想や感情の支配を受けながら、自分は決してそんな影響を蒙つた覚えがないと主張する。(中略) 自分が前に云つた少女に苦しめられたのも、元はと云へば、矢張り此の潜伏者を自覚し得なかつたからである。此の正体の知れないものが、少しも自分の心を冒さない先に、劇業でも注射して、悉く殺し尽くす事が出来たなら、人間幾多の矛盾や、世上幾多の不幸は起らずに済んだらうに。

この「理論」によって語り手が「潜伏者」を扱うのには、次の三つのレヴェルがある。

一つはそれが「虚栄心」「娯楽心」「娯楽心」「芝居心」などとして、その正体ははっきりと名指される場合である。たとえば青年が赤毛布と自分を比較して「心底から此の若い男は自分と同じ人間だ」と気づいたとき、「こんなものか」と「興を醒まして」しまうのは「虚栄心」のためであり「人間の虚栄心ほど逆も抜けがない」と評言される場面。あるいは坑内八番坑の「どん底」で「死を転じて活に帰す経験」をした後に、梯子を上る途中で今度は逆に「活上より死に入る作用」によって「死んじまへ」と「手を離しかけた時」のことである。「今迄浮気に自殺を計画した時は、いつでも花々しく遣つて見せたい」「人が賞めてくれる様に死んで見度いと考へてゐた」「どうしても便所や物置で首を絞めるのは下等だと断念してゐた。其虚栄心が、此の際突然首を出した」とされる場面などに見られる。

二つ目は「潜伏者」が関わっているらしいものとして取り上げられるが、「虚栄心」のようにとは名指されない場合である。たとえば鉾山へと向かう

汽車の中で「自分の隣りに腫物だらけの、腐爛目の、痘痕のある男」が乗り込んできたとき、青年が「急に心持が悪くなつて席を移す」場面では、「矢張り醜なもの、傍へは寄りつき度くなかつた」と説明される。これも一種の「虚栄心」と考えられなくもないが、語り手はそれを「虚栄心」と名指しては呼ばないし、別の名で呼んだりもしていない。語り手はその青年の態度について「それなら万事がう几帳面に段落を附けるかと思ふと、さうでないから困る」と、同じように「醜ない」はずの長蔵や茶店のかみさんに対したときとは異なることを取り上げ、その矛盾を指摘しつつ、しかしそれ以上の追及は避けているのである。

三つ目のレヴェルは、「解剖」そのものを放棄している場合である。語り手は、青年が坑夫になることを決意する場面で、すでに「元来人間は締りのないものだから、はつきりした事はいくら自分の身の上だつて、斯うだとは云ひ切れない。況して過去の事になると自分も人も区別はありやしない。凡てがだらうに変化して仕舞ふ。無責任だと云はれるかも知れないが本当だから仕方がない。これからさきも危しい所はいつでも此の式で行く積りだ」と宣言してゐるのである。

こうした語り手の「潜伏者」の扱い方の三つのレヴェルは、素材としての「過去」の取り上げ方としては、次のような形で対応することになる。

一、解剖・批判のできる(「潜伏者」を名指せる) 素材としてそれを取り上げる。
二、解剖・批判はできない(「潜伏者」を名指せない) が素材として取り上げる。
三、解剖・批判ができないので素材としては取り上げない。

たとえば、語り手はこう語っている。

自分は自分の生活の中尤も色彩の多い当時の冒険を暇さへあれば考へ出して見る癖がある。考へ出す度に、昔の自分の事だから遠慮なく厳密なる解剖の刀を揮つて、縦横十文字に自分の心緒を切りさいいんで見るが、其の結果はいつも千遍一律で、要するに分らないとなる。昔だから忘れちまつたんだ杯と云つては不可ない。此の位切実な経験は自分の生涯中に二度とありやしない。二十以下の無分別から出た無茶だから、其の筋道が入り乱れて要領を得んのだと評しては猶不可ない。経験の当時こそ入り乱れて滅多矢鱈に盲動するが、其の盲動に立ち至る迄の経過は、落ち着いた今日の頭脳の批判を待たなければとても分らないものだ。

叙述は一見矛盾しているようにも見えるが、それは「分かる／分らない」と

するその対象が途中で別のものに変わっているためである。しかし語り手がここで、「過去」一般としての、「要するに分らない」ものとしての「過去」（先の第二、三のレヴュエルに関わるもの）があるということ、そしてそれは別のレヴュエルで、その「経過」が解剖され批判されてそこに潜んでいた「潜伏者」をはっきりそれと名指すことができるような「過去」（第一のレヴュエルに関わるもの）があるということを語っていることは確認できる。

『坑夫』の語り手の「過去」に対する三様の態度を押さえたうえで、もう一度青年の三角関係に関わる「過去」の問題を振り返ってみることにしたい。これは、先に見た素材としての「過去」の取り上げ方でいえば、第二、第三のレヴュエルに関わるものであるが、『坑夫』が取り上げずに捨ておいた、あるいは取り上げはしても「解剖」の放棄されたままであるこの「過去」に特にこだわるのは、この問題が語り手の〈現在〉とどう関わるかによって、この作品が抱え込む問題の質や広がりには大きな違いが出てくると思われるからである。「過去一年間の大きな記憶が、悲劇の夢の様に、朦朧と一団の妖氣となつて、虚空遙に際限もなく立て置めてる様な心持ちであつた」とされる青年のこの「過去」は、彼を「暗い方へ」「人の居ない所」へとひたすらに歩ませた元凶であり、「生涯片付かない不安の中を」歩み行く男として決定づけた当のものである。「中を行く男」がそうであり続けるのは、この「過去」によるのであり、語り手が今なお「中を行く男」であるかぎり、この「過去」は彼の〈現在〉の問題であるはずだからである。この「過去」は、第一のレヴュエルの「潜伏者」の正体を明かし得たような「過去」と同列に扱うことはできない。また、この「過去」こそがその原因である以上、「中を行く」問題一般としてこれを取り扱うこともできないのである。

追に親の名前や過去の歴史はいくら棄鉢になつても長蔵さんには話し度くなかつた。長蔵さん許りぢやない、凡ての人間に話し度くなかつた。凡ての人間は愚か、自分にさへ出来る事なら語り度くない程情ない心持でひよろ／＼してゐた。（中略）本当を云ふと、当時の自分はまだ嘘を突く事を能く練習して居なかつたし、胡摩化すと云ふ事は大変な悪事の様に考へてゐたんだから、聞かれたら定めし困つたらうと思ふ。

安さんが「今でも腹ん中にある」という「昔」、「ある女と親しくなつて」「それが基で容易ならん罪を犯した」という「過去」と比べると、青年の「過去」に

は大した「罪」らしきものもなく、飯場で南京虫に刺されて泣きながら「艶子さんよりも澄江さんよりも、家の六畳の間が恋しく」思へてしまふといった姿にいたつては、いかにも青年らしい浮ついた問題に過ぎないもののものである。しかし、それはあくまで当時の青年にとつての「過去」であり、「二三年前から一昨日迄持ち越した現在に等しい過去」なのである。

「君はどうだ」と安さんから質問されて「用意の返事を持ち合せなかつたから、はつと思つた」青年は、すぐにも「自分の心事を」「打ち明けて仕舞はうかと思つた。すると相手は、さも打ち明けさせまいと自分を遮る如くに、話の続きを始め」るのである。このことは、語り手が今もなお彼の三角関係に関する「経験」を語らないでいることが、語り手の〈現在〉のうちに、語り得ない「潜伏者」としてそれが抱え込まれていることを暗示しているように思われる。

語り手自身は、このことに関して「そつくり其の儘書き立てたら、大分面白い続きものが出来るんだが、そんな筆もなし時もないから、まあ已めにして」と言い訳している。語り得る（解剖・批判が可能な）ものについては「人に解る様に」語る。語り得ない（小説）になりそうなものについては沈黙する。こうした語り手の〈語りの理論〉は、解剖・批判がきちんと出来れば自身の「過去」を「小説」としてではなく、「事実」として語り得るという確信（たとえそのようにして「事実」だけで出来上がったものが「小説」とは呼ばれなくても、そんな小説作品があつてもよいというメタレヴュエルの主張が含まれている）が、その前提としてある。この「理論」に従つて解釈すれば、彼のいわゆる三角関係に関する「過去」については、それを「事実」として叙述できそうになく「小説」になりそうなので割愛した、ということになる。三角関係の「過去」は語り手の「意識の表面に出て」きてはいる。が、彼の「頭脳」は〈現在〉未だそれを解剖し批判し得るほどに「落着いて」はいない、と考えることが出来るのである。

しかし、語り手が〈潜伏者の理論〉を持ち合わせている以上、それが彼の〈現在〉を脅かすものとして自覚されているかどうかはともかくとしても、少なくとも彼は「潜伏者」としてそれを抱え込んでいることもまた「事実」なのである。

『坑夫』の矛盾は、語り手が〈潜伏者の理論〉を持ち合わせながら、したがつて当然「潜伏者」として扱われてしかるべきはずの、この生き残っている「事実」の問題が、もう一つの〈語りの理論〉のために、彼の〈現在〉の問題としてはどこにも位置づけられずに切り捨てられていること、それに対して、取り上げられている坑夫体験が、語り手の〈現在〉や未来に影響を及ぼす「潜伏者」としてで

はなく、彼がすでに「公明に解剖して、解剖したる一々を、一々に批判し去」った、いわば死んだ「事実」として、その多くが並べられてしまっているところにある。そしてこの観点から見れば、彼の語りの「軽さ」も、この死んだ「事実」を生きているらしく見せかける装置として機能していると言え言い得るのである。いずれにせよ矛盾は、語り手が「語り手の理論」と「潜伏者の理論」の二つの「理論」を併せ持つこと、そしてそれらの「理論」の「中を行く」「合の子」としてしか現実化できないところからきているのである。

こうした論者の言説は、人間とはそのように矛盾した存在であり、人間の拵えたものはまたそのように矛盾しているものである、とするこの作品の語り手自身の言葉によって、あらかじめ封じられているともいえるのだが、『坑夫』に不満を感じるとすれば、その原因の一つがここにあることは間違いない。それは、彼が人間として成長している／＼ないといった問題とは別の、彼の「理論」上の問題である。その「語り手の理論」上、語り手は自身がそれから「逃亡」している当のものについては解剖を放棄し、「逃亡」しなくてはすむ「過去」にのみ向かい合うことになるからである。

おわりに あるいは半身の逃亡者

語り手は、青年の当時と比べて真に変化したといえるのだろうか。「本当に煩悶を忘れる為には、本当に死ななくつては駄目だ」が、「正直に理想を云ふと、死んだり生きたり互違にするのが一番よろしい」「其の時は正直にこんな馬鹿氣た感じが起つた」。生死を自らの意志によって選択すること。そして「生」と「死」との間を自由に往還すること。「こんな常識をはづれた希望を、真面目に抱かねばならぬ程、其の当時の自分は情ない境遇に居つた」と語り手は嘆いてみせる。だが、人間ではなく「境遇」を問題にするのであれば、「現在」の境遇が当時と同じようなものになれば、今でも同じことを「理想」にしかねないのではないか。「昔し神妙なもの」が、今横着になる位だから、今の横着がいいつ何時又神妙にならんとは限らない」という語り手は、山越えの場面でもまた次のように述べているのである。

生きながら葬られると云ふのは全く此の事である。それが、その時の自分には唯一の理想であつた。だから此の雲は全く難い。難いといふ感謝の念

よりも、雲に埋められ出してから、まあ安心だと、ほつと一息した。今考へると何が安心だか分りやしない。全くの気違だと云はれても仕方がない。仕方がないが、斯う云ふ自分が、時と場合によれば、翌が日にも、亦雲が恋しくならんとも限らない。それを思ふと何だか変だ。吾が身で吾が身が保証出来ない様な、又吾が身が身でない様な気がする。

「解剖」と「批判」の「能力」は、たしかに青年当時とは比べものにならない。しかし、語り手に与えられた「時間」が、仮に彼の「能力」を保証するとしても、この「内省」の力は限られた「過去」を捌く「裁き力」であつて、「現在」の自己に対しては無力なのである。つまり、語り手が「経験の賜」として手にしているはずの「能力」は、実は彼の「現在」と切り離されている。彼の将来を左右することがない。この「内省」は彼を本質的に変えることがないのである。なるほど現実の経験によって内省力は育まれる。だが「内省」は現実を動かしはしない。彼の「現在」を判断する具体的な生活なり行為なりを欠いたまま、その語る立場だけが「余裕」あるものとしていくら強調されても、それだけで人間の「変化」を説得することには無理がある。読者がこの語り手に本質的な変化や成長を認めることができないのはこうした事情によっている。

ここで人間の変化を決定しているのは、「解剖」や「批判」によって得られる認識やその深化ではなく、むしろ「境遇」であり「時と場合」であり、要するに一個の人間を超えたものである。「潜伏者」も基本的にはこの人知を超えた「神秘」や「運命」の圏域にあり、したがってその機能は説明されても、その機構については十分に問われることがなく、「劇業でも注射して、悉く殺し尽くす事が出来たなら」と半ば放棄される他にない。こうして「人間幾多の矛盾や、世上幾多の不幸」については手つかずのまま、ただ「気の毒」として放置されることになる。語り手にできるのはただ、自分の「過去」を「乳臭い、気取つた、偽りの多いもの」とならぬように、「面白い続きもの」にしないように、つまりは「小説」にならぬように、「事実」として叙述することだけなのである。

語り手は、自分の叙述についてこう語っている。

纏まりのつかない事実を事実の儘に記す丈である。小説の様に拵へたものぢやないから、小説の様に面白くはない。其の代り小説よりも神秘的である。凡て運命が脚色した自然の事実は、人間の構想で作り上げた小説よりも無法

則である。だから神秘である。と自分は常に思つてゐる。

「自然の事実」は「運命」に「脚色」される。「運命」は「坊つちやん」を「突然宙に釣るして」「人間の一大事たる死と云ふ實際と、人間の獣類たる坑夫の住んでゐるシキ」との「二つの間に置いた」。そして重要なことは、「坊つちやん」は、それを振り返つて語る今も「宙に釣る」されたままである、という点である。「事実」がもたらす「神秘」とは、この〈宙つり〉のことではなくて何であらう。

「小説」は「坊つちやん」に「纏まり」をつけようとし、決して〈宙つり〉のままにはおくまい。彼の経験と「時間」に見合った見識や人格をあたえるであらう。だが「坑夫」は、彼にそうした意味での成熟を許さない。語り手は「時間」を与えられ、それによって彼は過去を回顧し叙述することが可能になった。しかしそのことは、彼の〈現在〉を生きるのに適当で安全な位置が約束されたということ、を些かも意味しない。そして依然「坊つちやん」のままであるしかない彼は、叙述することによって成長するわけでもないのである③。

〈宙つり〉にされた場、語り手となった今も男がそこに、い続けようとするこの場、それこそが、かの青年坑夫がそこへと「迷」しようとした「中を行く」世界に他ならない。「片付かない」ということを、その身に引き受け得る「余裕」が試され続ける場の〈現在〉において、語り手の「余裕」はすでにあるものではなく、彼の課題としてあるのである。そしておそらく、追いかけてくる「過去」に対して半身で構えつつ「迷」せざるを得ない語り手が見せる語り口の〈軽さ〉は、「余裕」という課題に対する彼なりの前向きな姿勢の現れの一つでもあるのである。

註

① この点については、小宮豊隆「『坑夫』」（『夏目漱石』（下）岩波文庫）に詳しい。

② 比較的最近では、たとえば青柳達雄「漱石『坑夫』の材源」（『言語と文芸』一〇〇、一九八六・一二）が、素材と作品の異同を論じ、作者の青春期の「美生活」と照らし合わせつつ、「坑夫」のむしろ虚構性を指摘している。

③ 小宮豊隆「『虞美人草』」「坑夫」解説」（『漱石全集』第三巻、岩波書店、一九六六・一二）ここで小宮氏は、「虞美人草」に比べて「人間の心の動きその

ものに対する漱石の関心の深さは」「一層明瞭に現はれる」と指摘している。なお氏は自身は「精神分析」という語を使用している。

また氏は「『坑夫』建築の三大支柱」として、一つはいわゆる「無性格論」の展開、「他の一つは、云ふまでもなく、私の指摘」、「今一つは、それとは反対の、私を離れた、真面目、親切、誠実——愛の強調を取りあげているが、この三つの「柱」については後出⑥によって反駁されている。

④ 「内面」を「心理」ではなく、「意識」の観点から捉え、「坑夫」に〈意識の流れ〉を見ようとしたのは、中村真一郎「意識の流れ」小説の伝統」（『文学の魅力』、東京大学出版会、一九五三・五所収）である。中村氏の指摘以後、ウィリアム・ジェームズから影響を受けた〈意識の流れ〉小説の範型あるいは祖形としてこの作品を評価しようとする見方は、「坑夫」研究に一つの流れを生み出してきた。

⑤ たとえば平岡敏夫氏「『虞美人草』から『坑夫』」「三四郎」へ——低徊趣味と推移趣味——（『漱石序説』、筑摩書房、一九七六・一〇所収）は、『文芸の哲学的基礎』（明治四〇、五・六）や『坑夫』執筆直後の『坑夫』の作意と自然派伝奇派の交渉（同四一、四）などを参照しつつ、「事件の其物の真相」に迫る方法として「推移趣味」よりは「低徊趣味」に沿った作品であること、これを個人内部の「意識の連続」の視点から成し得たこと、そのために従来のこの作者の作品の特徴であった文明批評的側面は幾分か薄められたことを指摘し、前作『虞美人草』から次作『三四郎』へとつなぐこの作品の位置づけをしている。

⑥ たとえば佐藤泰正氏「『坑夫』——『意識の流れ』の試み——」（『夏目漱石論』、筑摩書房、一九八六・一一所収）は、「回想という手法は単に事柄の分析、あるいは夢幻の情趣の点綴という効果のみに終るものではなかったはずだ」とし、「片付かぬ不安」「半陰半晴の姿」という言葉には、「作者自身の青春彷徨の影がひめられてはいないか」という視点から、その「美生活」上の「内面の機微」の反映を『坑夫』にさぐる試みを展開している。

⑦ たとえば佐々木雅彦氏「『坑夫』論——彷徨の意味——」（『作品論夏目漱石』、双文社出版、一九七六・九所収）は、「『自殺』死は可能なのか」という問題が「坑夫」の「隠されて見えない真の主題」であるとし、「（人間）の〈死〉に対する本源的な受動性」のために「いわば彼は、希望する〈死〉を死ねず、死んだとしても、たゞ曖昧な〈死〉を死ぬしかないのだ」と指摘している。私

には、『坑夫』の問題は「自殺が可能か否か」よりは、「人間が真に変化するかどうか」あるいは「人は自分の意志や自己の認識の深化によって本当に変化することができるのかどうか」という問いの方に力点が置かれているように思える。そしてその答えはどうかや否であるらしいのである。その点では、むしろ氏の指摘する『娑婆氣』と『芝居氣』に執つて、むしろますます多くの〈生〉を抱えながら生きるしかない」という言葉に注目したい。この諦念の深さが、語り手においては当時の青年よりはずっと徹底していて、語り手の諦念もそこから来るものとも考えられるからである。

⑧ たとえば丹羽章氏『坑夫』の世界」(四国学院大学論集 七〇、一九八八・一二)は、「帰京する青年には、最早『此の先どうなるかわからない』自己自身というものから、逃走する事も、あるいはそれを回避し、保留する事も、本来かなわぬものである事だけは確認されていた筈である。自己というものが自己自身にとってさえ遂に謎でしかありえぬものならば、人はその『正体の知れない』自己を生きる他に術はない。どうしようもなく罪を犯してしまう人間というものを、生き抜く他はないのである。」と指摘している。

「筈である」以前の部分については丹羽氏も青年の認識であることを認めている。私が問題にしたいのは「他に術はない」「他はない」とされる後半部分である。これが誰の認識であり覚悟であるのかははっきりしない。前半部分と後半部分の間には実に大きな距離がある。これがすでに青年のものなら、語り手の出てくる余地はない。またこれが語り手のものならば、では彼はそれを得るにふさわしい叙述を展開しているかが問題となる。何より語り手の〈現在〉が問題となるのである。丹羽氏自身はこれを「漱石文芸の重要な主題となる事柄」とし、「作品『坑夫』はまさにその事に向って一歩踏み出さんとした作品」と評価しているが、ここでは「作者」の認識を問う前に、あくまでも語り手とその認識にこだわってみたい。『坑夫』では、語り手が直接自分の「過去」を扱い、その取捨選択から解剖分析までをする形をとっているからである。

⑨ 丹羽章 前掲⑧に同じ。

⑩ 森田草平『虞美人草』と『坑夫』(『夏目漱石』(一) 講談社学術文庫)

⑪ 小宮豊隆 前掲③に同じ。

⑫ たとえば『坑夫』と云へば名前の示す如く、坑の中で、目の目を見ない家業である。娑婆に居ながら、娑婆から下へ潜り込んで、暗い所で、魃塊土塊を相手に、浮世の声を聞かないで済む。定めて陰気だらう。そこが今の自分には何よ

りだ。世の中に人間はこてくゝゐるが、自分程坑夫に適したものは決してないに違ない。坑夫は自分に取って天職である。——と茲^{こゝ}迄明瞭には無論考へなかつたが、……」など。

⑬ 語り手の非成熟を否定的に見る見方は、この語り手に教養小説的な成長を期待してみたり、彼の語りをいわゆる自然主義的な告白として読もうとする姿勢から生まれるのではないか。ここではむしろ、人間が真に変化することなどありえないのではないか、という疑問と背中合わせの形で「余裕」なる言葉が使用されているのだと考えたい。語り手の叙述として現れた言葉の表面では、人間が「不変体」でないことを強調しているように見えるが、同時に一方その「不変」を肯定する表現が成立している。つまり、人間は変わる、変わる、といいながら、それを語るその語り口によって、反対のこと、すなわち人間は変わらないものだということを主張しているようにも読めるからである。

語り手の「余裕」を認めなければ、過去を冷静に解剖・批判しつつ報告することはできない。したがってこの「余裕」は作業仮説的に「作者」によって導入されたものである。そして人間の変化の鍵を持つのは人間を超えたものであり、人は自分の認識や意志によって真に変化したり成長したりすることはできない、という認識が「作者」のものであるとすれば、否定されるべく仮に認められた語り手の「余裕」とは「作者」のアイロニーに他ならない、ということにもなる。中を行くべく定められた自己の宿命を自覚しつつ、なおその自身を笑い飛ばそうとする〈軽さ〉の源泉として見るならば、「余裕」は語り手の精一杯のユーモアともとれる。しかしいずれにせよ、語り手は自身の語り得る「過去」についてのみ「余裕」を持って語るのであり、語り得ぬものについては沈黙せざるを得ないのである。「潜伏者」というものがあるという認識は「余裕」とはなり得ない。「潜伏者」に対して「余裕」を持つことは原理的に不可能だからである。

本文の引用は岩波新書版全集による。ただし原則として新字体を用い、振り仮名は必要なものに限った。

A NEW FORMING METHOD OF NON - CIRCULAR TAPERED PIPES

K. KOBATAKE, T. MIURA*, S. KIMURA**,
H. SEKIGUCHI and G. LUAN***

Advanced Technology of Plasticity (Proc. of 4th Int. Conf. on Technology of Plasticity), (1993), 67 - 72.

It is difficult to give tapered shapes for non-circular steel pipes over a long length in conventional plastic working processes. A new method for making tapered pipes having various cross-sections has been developed. In this method, non-circular pipes are first produced from round pipes by roll-forming, and then the pipes are drawn for giving tapered shapes using dieless forming technique.

In dieless drawing process, a drawing pipe is locally heated to a high temperature by an induction heating coil. (Fig.1) It is then pulled in the axial direction at a velocity V_1 , while the heating coil is moved at a velocity V_2 . Since the reduction of area is determined solely by the ratio of the velocities of V_1 and V_2 , a tapered pipe can be obtained by changing the ratio of two velocities during the deformation. In the experiments, square shaped steel pipes were mainly used, and tapered pipes with large angles are obtained. (Fig.2) A precise drawing can be conducted within an error of $\pm 1.0\%$ in taper angle. (Fig.3)

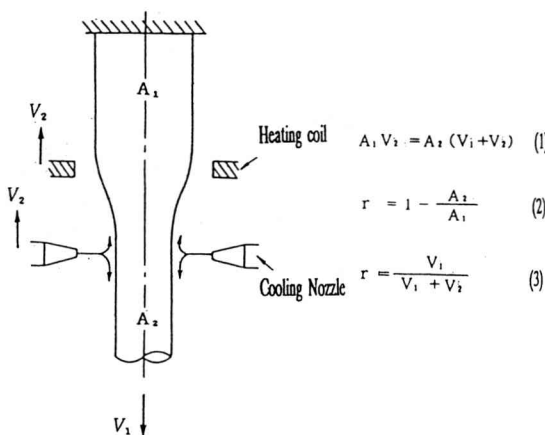


Fig.1 Dieless drawing process

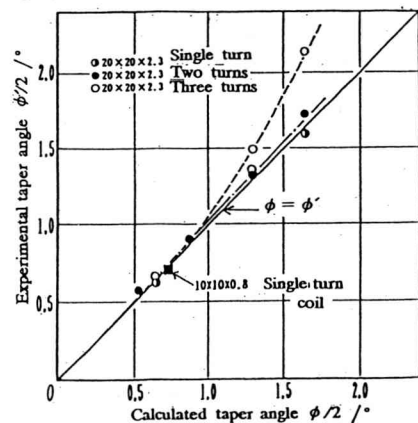


Fig.3 Relationships between experimental taper angle of products and calculated ones

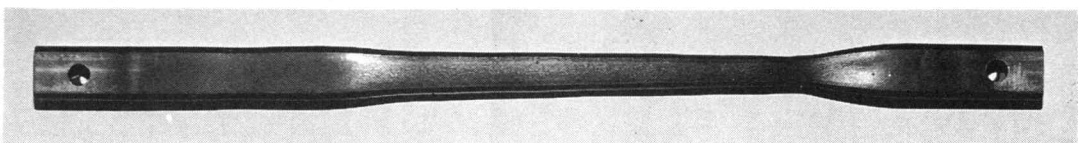


Fig.2 Example of tapered pipe

* Nippon Steel Metal Products Co., Ltd.

** Toyo Superior Steel Tube Works, Ltd.

***Northeast Univ. in CHINA

A NEW FORMING PROCESS OF RECTANGULAR STEEL PIPES

T. KITAWAKI*, M. TAKEDA*, S. KIMURA* and H. SEKIGUCHI

Advanced Technology of Plasticity (Proc. of 4th Int. Conf. on Technology of Plasticity), (1993), 539-544.

A new process named "extroll-forming" for manufacturing pipes with square, rectangle, and other non-axisymmetric cross-sections have been developed and applied to an actual production line. In this process, using by a hydraulic cylinder, round mother pipes are extruded through several pairs of non-driven grooved rolls and formed into product pipes with required cross-sections. (Fig.1)

In this study, the functions of the extroll-forming machine for producing square and rectangular steel pipes are investigated. The fundamental characteristics of deformation and products are examined by compairing with those in the conventional roll-forming process. A pipe during extroll-forming is being not only constricted by the forming rolls but also strongly pressed in the axial direction by the hydraulic cylinder. (Fig.2) The required pressure for deformation increases with increasing of the forming ratio and the width/height ratio of products. Under such a forming condition, the material of forming pipe is easy to move to the corner portions during deformation, and, as a result, rectangular pipes which have smaller corner radii can be produced by the extroll-forming method. (Fig.3)

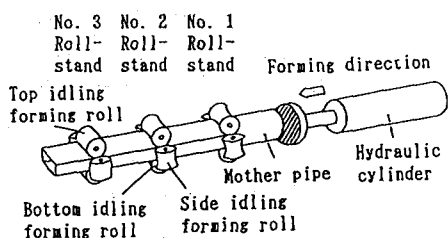


Fig.1 Schematic illustration of forming processes

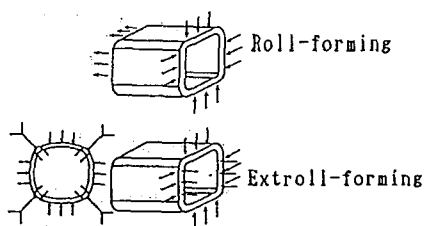


Fig.2 Schematic diagram of direction of forces working on pipe in roll gap

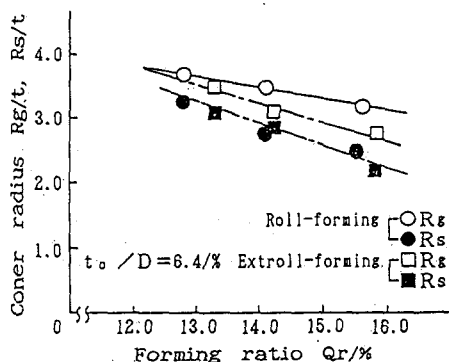
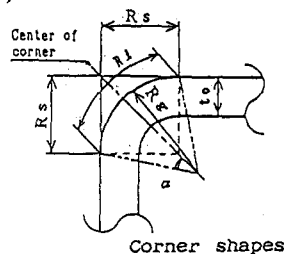


Fig.3 Relationship between Q_r and R_g/t , R_s/t

ジャーナルすべり軸受の混合潤滑摩擦特性の近似解析

野々垣 稔・中原 綱光*

Approximate Analysis of Frictional Characteristics in Mixd Lubrication of Journal Sliding Bearing

Minoru NONOGAKI, Tsunamitsu NAKAHARA

日本トライボロジー学会“トライボロジスト”，第38巻，第4号(1993). P337～344.

面接触タイプであるジャーナルすべり軸受の混合潤滑摩擦特性を理解するために，混合潤滑下における曾田の理論で流体潤滑作用に関する式および表面形状パラメータについて改良した次の混合潤滑摩擦係数式を提案した。

$$\mu = (\mu_b' - c'\sqrt{S}) \frac{p}{p_m} b' \left(1 - \frac{2\pi R^2}{h_m c''} S\right)^n + c'\sqrt{S} \quad (1)$$

ここで， S は軸受定数 ($S = \eta N/p$ ， η ：粘度， N ：速度， p_m ：軸受平均面圧)， p_m は軸受の硬さ（塑性流動圧力）， R は軸受半径， μ_b' は境界摩擦係数， c' は流体摩擦係数式における定数 ($\mu_f = c'\sqrt{S}$)， b' と n はあらさの形状をあらわす定数， h_m はあらさの最大高さ， c'' は等価半径すき間（軸受面の形状誤差の影響を考慮した係数）である。なお， c'' ， h_m ， b' ， n が表面形状パラメータである。

提案した混合摩擦係数式における面圧，速度，硬さ，粘度，境界摩擦係数および表面形状パラメータの摩擦係数曲線におよぼす影響について調べた結果，その傾向はMckeeの実験結果とよく一致しておりこの混合摩擦係数式が有効であることがわかった。そしてこの摩擦係数式はそれぞれの因子の影響を表示でき，特になじみ過程をよく表示でき，提案した混合摩擦係数式から次に示すようなジャーナルすべり軸受の混合摩擦特性を鮮明にすることができた。

- (1) 面圧が大きいほど摩擦係数 μ は低く現れ， μ の極小値も低く，その点の軸受定数 S の値も面圧が大きいほど小さくなる。また，立ち上がってからの摩擦係数曲線の傾斜は面圧が大きいほど小さくなる。（図1）
- (2) 回転数が大きいほど摩擦係数 μ は低く現れ， μ の極小値も低く，その点の軸受定数 S の値の回転数が大きいほど小さくなる。また，立ち上がってからの摩擦係数

曲線の傾斜は回転数が大きいほど小さくなる。

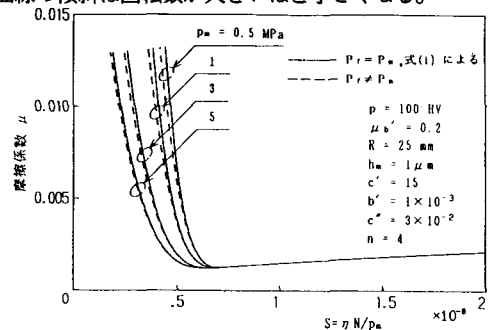


図1 面圧の影響

- (3) 粘度は回転数と同じ効果である。
- (4) 材料の硬さが低いほど摩擦係数は低く現れ，摩擦係数の極小値も低く，その点の軸受定数 S の値も硬さが低いほど小さくなる。また，立ち上がってからの摩擦係数曲線の傾斜は硬さが高いほど大きくなる。
- (5) 境界摩擦係数が大きくなると，立ち上がってからの摩擦係数曲線の傾斜は大きくなる。
- (6) なじみが進行するとあたりが広がると同時にあらさの先端がトランケートされることによって，摩擦係数曲線が立ち上がる S の値は小さくなり，立ち上がりの勾配が増大する。
- (7) h_m はある程度測定可能であり， μ_b' と表面形状パラメータ c'' ， b' ， n の情報がわかれば式(1)から摩擦係数曲線が得られるのであるが， μ_b' ， b' ， c'' ， n を前もって知ることは困難であるので逆に式(1)は実験データから μ_b' ， b' ， c'' ， n を評価することに役立つと考えられる。すなわち，実験で得られた摩擦係数曲線から表面形状パラメータを式(1)で評価してその軸受の表面形状やなじみの進行状態を推察することができるものと考えられる。

* 東京工業大学

ジャーナルすべり軸受の混合潤滑摩擦特性 (表面形状パラメータの評価試験)

野々垣 稔・中原 綱光*

Frictional Characteristics in Mixed Lubrication of Journal Sliding Bearing
(Evaluation Tests of Surface Topographical Parameters)

Minoru NONOGAKI, Tsunamitsu NAKAHARA

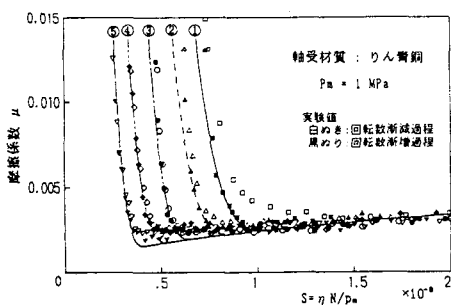
日本トライボロジー学会“トライボロジスト”，第38巻，第4号(1993)．P345～350．

混合潤滑下における摩擦特性に及ぼす表面形状パラメータの影響を定量的に評価することを目的に，図1に示す部分ジャーナル軸受試験機を用いて実験を行い，混合潤滑下における曾田の理論を改良した次に示す混合摩擦係数式(1)によって表面形状パラメータの評価を試みた。

$$\mu = \left(\mu_b' - c' \sqrt{S} \right) \frac{p}{p_m} b' \left(1 - \frac{2\pi R^2}{h_m c''} S \right)^n + c' \sqrt{S} \quad (1)$$

その結果，式(1)は実験データから表面形状パラメータを評価することに役立つことがわかった。図2はあたりが十分にでない状態からなじみ運転を繰り返し実施することによって，軸受のなじみを進行させた場合の実験結果を示し，図3はそのときの等価平均すきま c'' と

あたりの面積比の関係を示す。なじみの進行に伴い軸受のあたりが大きくなると等価半径すきま c'' は単調に減少し，摩擦係数の立ち上がる軸受定数 S が小さくなるのがわかる。そして，混合摩擦係数式(1)によると摩擦係数の立ち上がる軸受定数 S は等価半径すきま c'' とあらかの最大高さ h_m の積の値によって決まり，その値によってなじみの度合の判断ができる。



番号	定数値	計 算			
		n	c''	b'	h_m
①	■	4.0	2.90×10^{-2}	1.50×10^{-3}	1.5×10^{-3}
②	▲	4.0	2.40×10^{-2}	1.50×10^{-3}	
③	●	3.7	1.80×10^{-2}	1.50×10^{-3}	
④	◆	3.5	1.46×10^{-2}	0.80×10^{-3}	
⑤	▼	3.5	1.13×10^{-2}	0.80×10^{-3}	

図2 あたりの影響

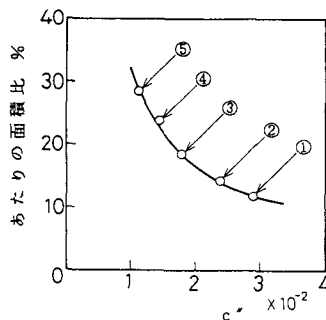


図3 c'' とあたりの面積比の関係

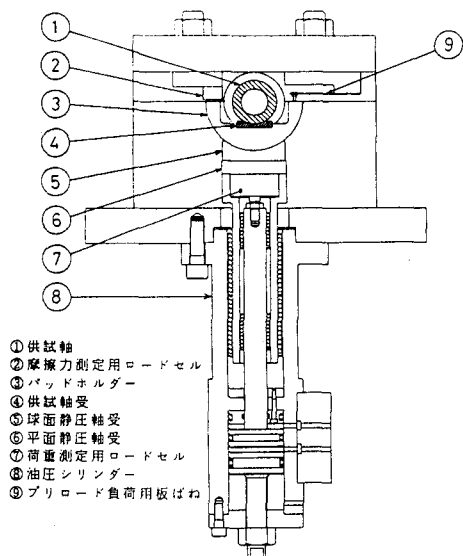


図1 部分ジャーナル軸受試験機

Preparation and Characteristics of Capacitors with Organic Conductor as Solid Electrolyte by Ion - Assisted Evaporation

Jun KYOKANE, Isao ISA* and Katsumi YOSHINO**

Japanese Journal of Applied Physics Vol. 32, No. 3A (1993) pp.1303 - 1307

A technique utilizing ion beam energy or a cluster ion beam has been developed for inorganic thin films. These thin films, with improved properties such as increased packing density, enhanced crystallization, controlled morphology, and minimized pin holes have been produced.

In this paper, we reported a simple technique for improving the quality of the evaporated organic thin film by ion-beam-assisted deposition. As an example, we showed the excellent characteristics of a solid capacitor using TCNQ complex films obtained through this method. That is, recently, an electrolyte capacitor using the conducting charge transfer complex or conducting polymers as solid electrolyte has attracted much attention. To establish high-quality capacitors with a large capacitance per unit area and wide frequency response of impedance, it is very important to insert an organic conductor into small pore with a diameter less than several μm formed on oxide metal plate. For example, capacitors utilizing a fusible TCNQ complex have been reported to penetrate the pores of Al substrates in a liquid state. However, a stable fusible charge transfer complex or conducting polymers appropriate for such a purpose are highly limited. On the other hand, it has not been easy to obtain such capacitors by utilizing the simple evaporation technique.

Therefore, we have applied a new technique using ion beam irradiation during the preparation

of the solid electrolyte by evaporation.

The results of this study are summarized as follows.

(1) A method of ion-beam-assisted deposition of organic materials utilizing the Kaufman-type ion source was proposed.

(2) The quality of a TCNQ complex film prepared by this method was confirmed to be greatly improved compared with that obtained using the conventional evaporation method.

(3) Crystalline growth in evaporated thin films was confirmed to occur in the range of ion beam current between $0.05 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ and $0.3 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ for the ion beam energy of 100 eV.

(4) Electrochemical capacitors fabricated using the TCNQ complex on a porous Al plate by the present ion-assisted deposition method exhibited large capacitance per unit area, and ideal frequency dependence of impedance up to 10^6 Hz , contrary to the capacitor with a liquid electrolyte.

(5) This technique of the ion-beam-assisted deposition method of organic materials can be widely applied to electronic components and devices.

* Central Research Laboratory, Japan Carlit Co., Ltd.

** Faculty of Engineering, Osaka University

軸対称放物面から反射する衝撃波の数値解析

Numerical Analysis of Shock Waves Reflected from an Axisymmetrical Parabolic Wall

岸下 晴亮, 手島 光司^{*1}, 西田 迪雄^{*2}

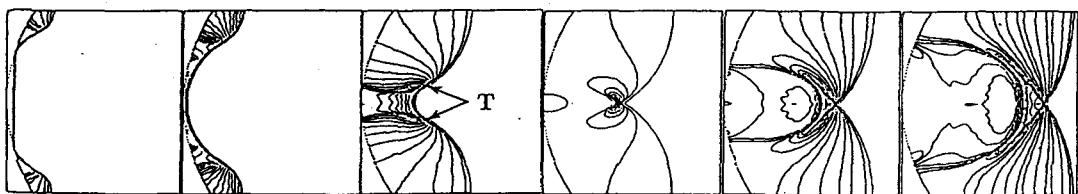
日本機械学会論文集B編, 第58巻第553号 2707-2713.(平成4年9月)

伝播方向に湾曲した衝撃波が進行するにつれて収束し局所的に高い圧力を生み出す現象は、衝撃波の収束と呼ばれ体内の結石破壊に応用されている。本論文は、凹状軸対称放物端面を持つ円筒内を進行し反射する衝撃波の挙動を、軸対称オイラー方程式を時間分割法と Piece-wise-Linear-Method (PLM) を組み合わせた数値解析法により、入射衝撃波マッハ数や反射板深さ、気体種類等を変化させて調べたものである。

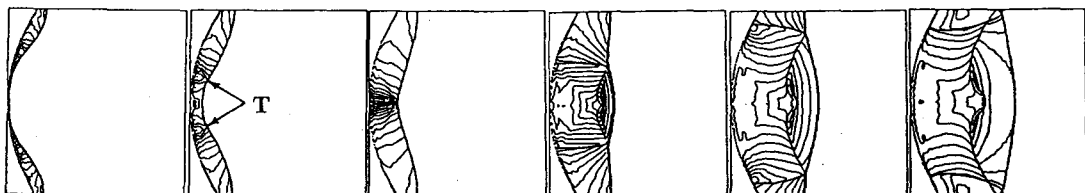
入射衝撃波マッハ数を 1.01 および 3 とし、単原子気体で、 $y = 0.325x^2$ の放物面反射板から反射する衝撃波の時間的変化を等密度線図を用いて図 1 に示す。マッハ数が小さい場合には、周辺からの反射衝撃波が中心軸上で衝突し、互いに反射し合うことによる衝撃波が、反射板中心部からの反射衝撃波の前方を進行している。マッハ数が大きくなると周辺からの反射衝撃波が中心軸に到達する前に、反射板中心部からの反射衝撃波が進行し、周辺からの反射衝撃波を追い越して行く。こうしたパ

ターンの変化は、この反射板で単原子気体を用いた場合、入射衝撃波マッハ数が 1.03 程度で起こる。また、衝撃波の収束は、周辺からの反射衝撃波の中心軸上での衝突により達成されるのではなく、反射衝撃波背後の領域における圧縮波と反射衝撃波との三重点が、中心軸上で衝突することにより達成されることが明かとなった。さらに、気体力学的焦点における最高到達圧力および温度とその位置を調べたことが明かとなった。

- 1) 軸対称における圧力増幅率の入射衝撃波マッハ数の増大に伴う変化は、一旦減少して極小値を持ち、緩やかに上昇し一定値となる。また、最高圧力増幅率、最高到達温度は二次元に比べて非常に大きくなる。
- 2) 最高圧力が達成された後、反射衝撃波の中心部を通過し反射衝撃波直後に進入してきた気体と、反射板側の気体力学的収束を経験した気体との間に接触面が形成され、密度、温度の不連続が生じる。



(a-1) time=0.2 (a-2) time=0.3 (a-3) time=0.7 (a-4) time=0.9 (a-5) time=1.1 (a-6) time=1.3
等密度線図の時間的変化 ($Ms=1.01, a=0.325, \gamma=1.67$)



(a-1) time=0.1 (a-2) time=0.15 (a-3) time=0.2 (a-4) time=0.3 (a-5) time=0.4 (a-6) time=0.5
図 1 等密度線図の時間的変化 ($Ms=3.0, a=0.325, \gamma=1.67$)

*1 京都教育大, *2 九州大学工学部

Focusing of Shock Waves Reflected from an Axisymmetrically Parabolic Wall

Haruaki KISHIGE, Koji TESHIMA*¹ and Michio NISHIDA*²

Shock Waves, K.Takayama ed., SpringerVerlag (1991) 341-345. (published November,1992)

It is well known that shock wave which are concave to the propagation direction converges to produce a locally high pressure. This phenomenon is referred to as shock focusing.

In the axisymmetrical flow field, it is expected that higher temperature and stronger pressure can be achieved than in the two-dimensional case. In the view of this point, the shock reflection and focusing from an axisymmetrically parabolic wall were numerically and experimentally investigated in the present paper. The experimental work is to pursue the possibility of heating gas to a high temperature by a shock focusing technique using an axisymmetrically parabolic wall.

Figure 1 shows the model of a shock wave propagating in a circular duct. The end of the duct is parabolic in shape which is given by $x = ar^2$.

The measured pressure histories are shown in Fig.2(a). The first sharp rising is due to the incident shock arrival on the piezo pressure transducer and secondary gently rising is the reflected shock arrival. Furthermore the third time rising which is the maximum peak in the measured pressure history, is due to the propagation from the focusing. Numer-

ically obtained pressure profiles are shown in Fig.2(b). The measured pressure profiles almost agree with simulated ones.

The gas heating to a high temperature can be realized by a shock focusing technique and this has been partly confirmed in the experiments of radiation from the gas heated by shock focusing.

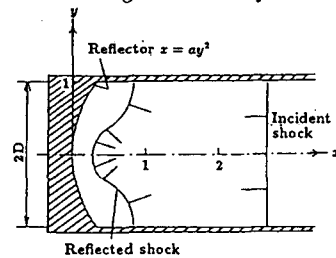


Fig.1 A model of shock reflection from a parabolically concave reflector

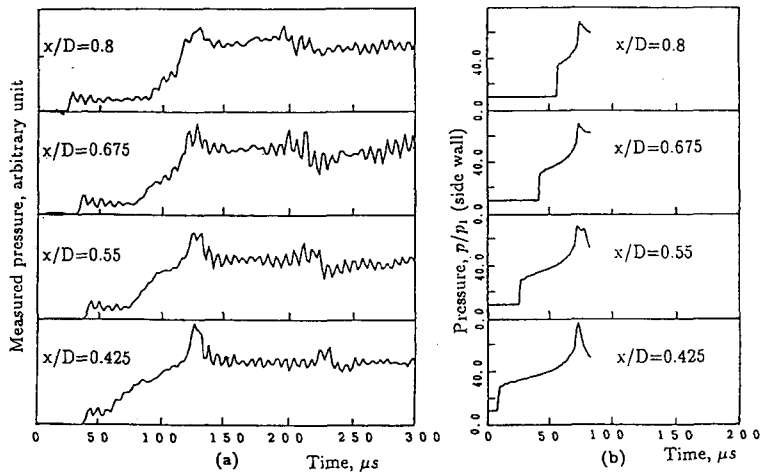


Fig.2 Measured (a) and calculated (b) pressure histories at the side wall in shock tube

*1 Department of Industrial Arts Education, Kyoto University of Education

*2 Department of Aeronautical Engineering, Kyushu University

空気圧ベローズアクチュエータの基本性能と力センサーへの応用

早川 恭弘・川村 貞夫*

Basic Performance of Bellows Actuator and its Application to a Force Sensor

Yasuhiro HAYAKAWA and Sadao KAWAMURA

日本ロボット学会誌, 第11巻, 5号 (1993), p156～p164

空気圧駆動システムは一般に簡単な構成でありながら容易に強い力を発生可能であり, 空気の圧縮性によってコンプライアントな運動も作れると考えられる。しかしながら, 空気の圧縮性などから全体のシステムが高次システムとなり制御が困難になることや, シリンダなどでは摺動部の摩擦が位置を決め精度を低下させるという問題がある。空気の圧縮性やバルブの動的な遅れに対する制御性能の改善は既にいくつかの方法が提案されている。しかし, 摺動部分の摩擦に関してはロバストな制御系を構成して外乱としての摩擦の影響を小さくすることは可能であるが, シリンダを利用する限り本質的に摩擦の影響をなくすることは出来ない。そこで, 本研究では摺動部分のないベローズをアクチュエータに利用することを検討した。ベローズアクチュエータの場合, 摩擦がないことから外界から加わった力はすべてベローズ内の圧力変化として測定可能となり, 原理的には圧力を測定することによりベローズを力センサとしても使用できることになる。

本論文ではベローズをアクチュエータと力センサの両方に利用することを考え, センサとアクチュエータの同時使用いわゆるセンシングアクチュエータの可能性を検討した。

図1に, 外力とベローズアクチュエータ内圧の関係を示す。内圧 p 外力 f_{ex} は, 次式のように一次式で表され, y 切片もベローズ変位 x に関して直線近似式で表されることが明らかとなった。

$$f_{ex} = 3.404 \times 10^{-4} p - 2792.2x - 3.84 \quad (1)$$

(1)式を用いることにより, 時間的に変化する外力に対

し一定の接触力 f を維持するようにベローズ先端位置を制御した場合の結果を図2に示す。ベローズ変位 x の変動に対し, f がほぼ一定値を維持しておりセンシングアクチュエータとしても利用できることが確認された。

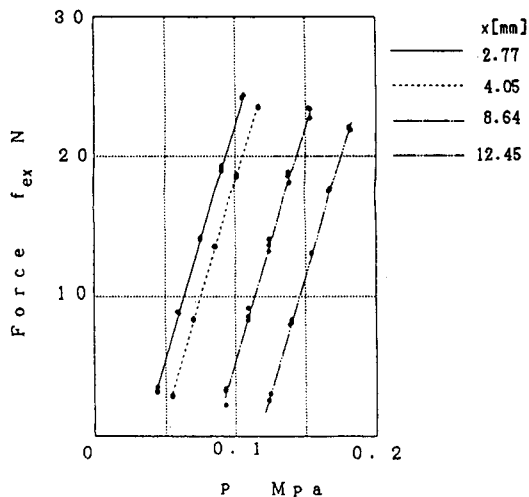


Fig.1 Static characteristic of bellows sensor

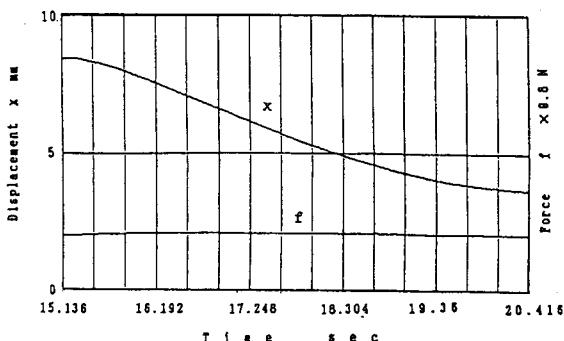


Fig.2 Experimental result

遺跡出土木材の乾燥と変形

河越 幹男・百村 敬一・石垣 昭

日本文化財科学会誌「考古学と自然科学」, 第26号(1993), 1-14頁

Drying Behavior and Dimensional Change of Waterlogged Wood

Mikio KAWAGOE, Keiichi HYAKUMURA and Akira ISHIGAKI

Archaeology and Natural Science, Vol. 26(1993), pp.1-14

遺跡出土木材を空气中に放置すると、急速に乾燥して収縮し、はなはだしきは全く原形を留めないまでに変形することすらある。このため、種々の保存法がとられており、その中の一つにPEG含浸法がある。著者らはPEG含浸法を拡散理論によって解析し、その処理時間の推定も行った。しかし、PEG含浸処理を施した出土木材でも長期保存中に変形することが知られている。また、出土木材によっては、樹種、劣化状態、処理にかかる費用と時間などを勘案して、時には自然乾燥による保存法がとられる場合もある。

本研究では、自然乾燥による出土木材の保存処理、及びPEG含浸処理を施した出土木材の長期保存に関する基礎的知見を得るため、出土木材の乾燥と変形を測定し、その挙動について検討した。

その結果、出土木材の乾燥は恒率乾燥期間と減率乾燥期間に大別できることが分かった。減率乾燥期間の乾燥速度曲線は凸の曲線になり、出土木材の乾燥挙動は繊維状材料の特性と類似していることが分かった。乾燥末期の乾燥速度から求めた水分移動係数は現生材の文献値とほぼ一致した。出土木材の臨界含水率及び平衡含水率は現生材のそれと若干異なっていた。

乾燥による収縮は、広葉樹の場合に大きく、針葉樹の場合には比較的小さい。広葉樹の場合には、方向による収縮率の差異が大きいために変形が著しくなり、乾燥による保存処理は困難である。針葉樹の場合には収縮率も小さく、かつ方向による差異も少ないので、場合によっては乾燥による保存処理も可能であると考えられる。

乾燥速度は簡単な実験式で整理できた。この速度式から所用乾燥時間の推算式を導き所用時間の推算が可能であることを示した。

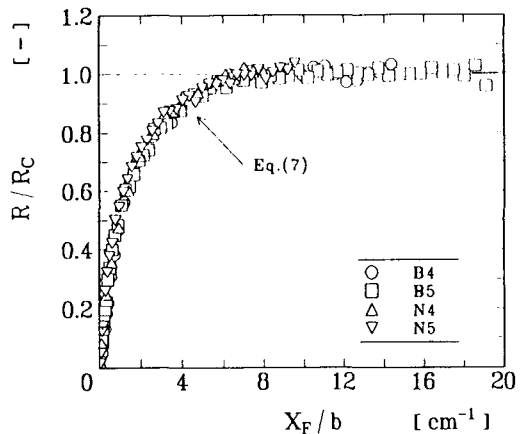


図1 乾燥速度の相関

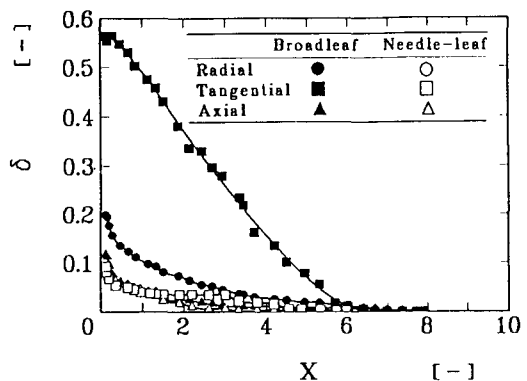


図2 収縮率と含水率の関係

教官研究活動一覽

(機械工学科)

冷間成形機による角鋼管のコーナーRについて(第19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, 小畠耕二

第43回塑性加工連合講演会

(平成4年10月3日 講演)

日本における最近の加工技術の発展動向について

関口秀夫

リュブリアナ大学 (スロベニア)

(平成5年4月14日 講演)

諸外国との比較でみた我国大学の教育制度や若手研究者受入れについての問題点

関口秀夫

日本塑性加工学会教育問題研究委員会

(平成5年4月26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20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, 小畠耕二

塑性加工春季講演会

(平成5年5月26日 講演)

地球環境と塑性加工

関口秀夫

日本塑性加工学会国際フォーラム

(平成5年5月26日 講演)

新しい加工法開発の意義と応用例

関口秀夫

東北大学 (中国)

(平成5年6月17日 講演)

プレス加工技術者のための新素形材加工Q & A

関口秀夫, 小畠耕二ほか

日刊工業新聞社

(平成5年7月30日 発刊)

A New Forming Method of Non - Circular Tapered Pipes

K.Kobatake, T.Miura (Nippon Steel Metal Products), S.Kimura (Toyo Superior Steel Tube), H.Sekiguchi and G.Luan (Northeast Univ.in China)

Advanced Technology of Plasticity (Proc. of 4th Int. Conf. on Technology of Plasticity)

(Beijing), pp.67~72 (9.1993)

A New Forming Process of Rectangular Steel Pipes - Extrusion Forming

T.Kitawaki (Toyo Superior Steel Tube), M. Takeda (Toyo Superior Steel Tube), S.Kimura (Toyo Superior Steel Tube) and H.Sekiguchi

Advanced Technology of Plasticity (Proc. of 4th Int. Conf. on Technology of Plasticity)

(Beijing), pp.539~544 (9.1993)

冷間成形機による角鋼管のコーナーRについて(第21報)

北脇岳夫 (東洋特殊鋼業), 武田眞 (東洋特殊鋼業),

関口秀夫, 小畠耕二, 大矢一幸 (奈良高専・専攻科)

第44回塑性加工連合講演会

(平成5年9月30日 講演)

パーソナルコンピュータによる設計支援システムの試作

服部善行 (都立工業高専), 池田茂 (都立工業高専), 野々垣稔

東京都立工業高等専門学校研究報告, 第28号 (1992)

ジャーナルすべり軸受の混合潤滑摩擦特性の近似解析

野々垣稔, 中原綱光 (東京工業大学)

日本トライボロジー学会 “トライボロジスト”, 第38巻, 第4号, pp. 337~344 (1993)

ジャーナルすべり軸受の混合潤滑摩擦特性 (表面形状パラメータの評価試験)

野々垣稔, 中原綱光 (東京工業大学)

日本トライボロジー学会 “トライボロジスト”, 第38巻, 第4号, pp. 345~350 (1993)

振動クリープフィード研削

花崎伸作 (大阪大学), 藤原順介 (大阪大学), 和田任弘, 長谷川嘉雄 (摂南大学)

日本機械学会 関西支部第68期定時総会講演会
(平成5年3月15日 講演)

スピンラインレオメータにより測定される 希薄高分子溶液の見かけの伸長粘度の評価

森 教安(阪大・工), 小柴 孝, 中村喜代次(阪大・工)

繊維機械学会論文集, Vol.46, No.2, pp.41~48 (1993)

粒子充填層を通過する高分子溶液の流れにおける 圧力損失の測定

小柴 孝, 森 教安(阪大・工), 中村喜代次(阪大・工)

日本レオロジー学会誌, Vol.21, No.3, pp.163~169 (1993)

円柱列を通る粘弾性流体の流れ

加藤宏行(阪大・工), 小柴 孝, 森 教安(阪大・工), 中村喜代次(阪大・工)

日本機械学会関西学生会卒業研究発表会
(平成5年3月13日 講演)

円柱を通る粘弾性流体の流れ

鳥越 実(阪大・工), 小柴 孝, 森 教安(阪大・工), 中村喜代次(阪大・工)

日本機械学会関西支部 第68期定時総会講演会
(平成5年3月15日 講演)

円柱列を通過する粘弾性流体の流れのシミュレーション

森 教安(阪大・工), 鳥越 実(阪大・工), 小柴 孝, 中村喜代次(阪大・工),

日本繊維機械学会 第46回年次大会
(平成5年6月14日 講演)

円柱列を通過する粘弾性流体の流れ

— 圧力損失の測定と流れの可視化 —

小柴 孝, 森 教安(阪大・工), 加藤宏行(阪大・工), 中村喜代次(阪大・工),

日本繊維機械学会 第46回年次大会
(平成5年6月14日 講演)

屈曲管路内における粘弾性流体の流れ

小柴 孝, 森 教安(阪大・工), 中村喜代次(阪大・工)

日本繊維機械学会 第46回年次大会
(平成5年6月14日 講演)

金属ベルセロ容器系における到達負圧値向上へのアプローチⅢ (サイズ効果)

廣 和樹, 大出義仁(名工大), 市川 真(名工大), 後藤隆司(名工大)

第53回応用物理学学会学術講演会
(平成4年9月17日 講演)

Raising of negative pressure to -200 bar for some organic liquids in a metal berthlot tube

Y. Ohde, H. Watanabe, K. Hiro, K. Motosita and Y. Tanzawa

Journal of physics D: Applied Physics, Vol 26, No.8, pp.1188~1191 (1993)

液体金属の管内噴流熱伝達

矢尾匡永, 中谷 洵, 鈴木健二郎(京大)

第5回計算力学講演会
(平成4年11月10日 講演)

角柱を有する平行平板間流れの可視化と熱伝達

矢尾匡永, 中谷 洵, 妹尾年浩 (専攻科), 鈴木健二郎 (京大)
第30回日本伝熱シンポジウム
(平成5年5月28日 講演)

(電気工学科)

TCNQ 錯体系のLB 膜に関する基礎研究

京兼 純, 藤田大作, 吉野勝美 (大阪大学)
平成4年度電気関係学会関西支部連合大会
(平成4年11月21日 講演)

イオンアシスト法による有機蒸着薄膜の固体コンデンサへの応用

京兼 純, 富川修次, 吉野勝美 (大阪大学)
平成4年電気関係学会関西支部連合大会
(平成4年11月22日 講演)

イオンアシスト法による有機蒸着薄膜を電解質とする固体コンデンサの基礎特性

京兼 純, 吉野勝美 (大阪大学)
第3回粒子線の先端的应用技術に関するシンポジウム
BEAMS 1992 pp.349
(平成4年11月25日 講演)

固体電解コンデンサの製造方法

京兼 純, 吉野勝美 (大阪大学), マルコン電子(株)
特願 平4-160136号
(平成4年12月 出願)

Preparation and Characteristics of Capacitors with Organic Conductor as Solid Electrolyte by Ion - Assisted Evaporation

J. KYOKANE, I. ISA (Jpn. Carlit Co. Ltd.) and K. YOSHINO (Osaka Univ.)
Jpn. J. Appl. Phys., Vol.32, No. 3A, pp.1303~1307 (1993)

イオンアシスト法による有機薄膜を電解質とする固体コンデンサへの応用

京兼 純, 吉野勝美 (大阪大学)
電気化学協会 第60回大会
(平成5年4月1日 講演)

イオンアシスト法による有機蒸着薄膜を用いた電気・電子素子への応用Ⅱ

京兼 純, 富川修次, 藤田大作, 吉野勝美 (大阪大学)
電気化学協会技術・教育研究論文誌 Vol.2, No. 1, pp. 7~13(1993)

イオンビームアシスト蒸着法による有機薄膜を用いた電気・電子素子への応用

京兼 純
化学工学『トピックス』 Vol.57, No. 9, pp.62 (1993)

Characteristics of Capacitor with Organic Conductors as Solid Electrolyte by Ion - Assisted Evaporation

J. KYOKANE, S. TOMIKAWA, D. FUJITA and K. YOSHINO (Osaka Univ.)
Joint Conference: 1993 International Workshop on Electrical Insulation and 25th Symposium on Electrical Insulating Materials (IEEJ), Nagoya, Japan (September 7, 1993, Oral Presentation)

Chaotic Phenomena in the Maxwell-Bloch Equation with Time Delay

K. Konishi, Y. Shiara, H. Kawabata (Univ. of Osaka Pref.), M. Hirata (Osaka Pref. College of Technology), T. Nagahara, Y. Inagaki (Univ. of Osaka Pref.)
IEICE Trans. Fundamentals, Vol. E 75 - A, No. 12 Dec., pp.1747~1750 (1992)

時間遅れを含むMaxwell - Bloch 方程式におけるカオスの制御

小西啓治, 白尾嘉章, 川畑洋章, 永原敏邦, 稲垣嘉雄,
(以上 大阪府立大学)
1993年電子情報通信学会秋季大会A - 45
(平成5年3月29日 講演)

Controlling Chaos In The Maxwell-Bloch Equations with Time Delay

K. Konishi, Y. Shirao, H. Kawabata, T. Naga-hara, Y. Inagaki (Univ. of Osaka Pref.)

IEICE Trans. Fundamentals, Vol. E76 - A, No. 7 Jul., pp., 1121~1125 (1993)

奈良工業高等専門学校電気工学科における工業英語教育について

高橋晴雄

(株)日本工業英語協会主催

「教員のための工業英語指導研修会」

(平成5年2月22日 特別講演)

工業英検4級をクリア

高橋晴雄

(株)日本工業英語協会

(平成5年2月 出版)

インドネシア電子工学ポリテクニク (EEPIS) プロジェクトにおける第4次派遣専門家の活動報告

高橋晴雄, 井上光輝 (大阪府立高専), 角田幸紀子 (木更津高専), 真館尚志 (北九州高専), 多喜正城, 鈴木晴雄 (JICA 専門員), (故) 関川三男 (前長野高専)
高専教育第16号 pp.271~281 (1993)

電子回路Ⅱ

滑川敏彦 (阪大名誉教授), 高橋晴雄

森北出版

(平成5年4月 出版)

高専における工業教育の実践 (奈良高専電気工学科での試み)

高橋晴雄

(株)日本工業教育協会 平成5年度工学・工業教育研究講演会

(平成5年7月27日 講演)

モフォロジカル・フィルタリングの旋律パターン解析への応用

川村哲也 (大阪電通大), 秋山好一 (大阪電通大),

松田 稔 (大阪電通大), 土井滋貴

日本音響学会平成4年度秋季研究発表会

(1992年10月6日 講演)

C言語プログラミングの基本テクニック

土井滋貴, 他

雑誌トラ技コンピュータ1992年11月号CQ出版

(1992年10月 掲載)

リカレント構造をもちいたニューラルネットワークによる入眠判定

溝上 潤, 土井滋貴, 高橋晴雄, 長井一郎 (松下電工),

佐久間 崇 (松下電工),

平成4年電気関係学会関西支部連合大会

(1992年11月 講演)

1/f 揺らぎ照明の基礎実験

芦口正史, 土井滋貴, 高橋晴雄,

平成4年電気関係学会関西支部連合大会

(1992年11月 講演)

人の動き検出による入眠検知法の開発

土井滋貴, 高橋晴雄, 長井一郎 (松下電工),

佐久間 崇 (松下電工), 中根芳一 (大阪市立大)

生理人類学会第29回大会

(1992年11月21日 講演)

MS-DOSユーティリティから学ぶテクニック

土井滋貴, 他

雑誌トラ技コンピュータ1993年1月号CQ出版

(1992年12月 掲載)

MS-DOS 基本プログラミング第2集

—— PC9801の割り込みとBIOS活用法 ——

土井滋貴, 他

CQ出版

(1992年12月20日 出版)

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別

土井滋貴

工業分野における微生物ならびに生体機能の応用の関する研究

平成4年度特定研究報告書
(1993年3月)

特集必ずわかるC言語入門

土井滋貴

雑誌トラ技コンピュータ1994年4月号CQ出版
(1993年3月掲載)

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

溝上 潤, 土井滋貴, 高橋晴雄, 佐久間 崇 (松下電工), 長井一郎 (松下電工)

平成5年電気学会全国大会
(1993年3月 講演)

1/f 揺らぎ照明制御の実験

芦口正史, 土井滋貴, 高橋晴雄

平成5年電気学会全国大会
(1993年3月 講演)

Multi-Transputer Implementation of Morphological Filtering

Kazuyoshi Mori (Osaka Electro-Communication University), Tetsuya Kawamura (Osaka Electro-Communication University),

Minoru Matsuda (Osaka Electro-Communication University), Shigeki Doi

Transputer/Occam Japan 5
(1992年6月 講演)

先端応用事例3 (ファジィ制御の応用)

土井滋貴

財団法人尼崎市産業振興協会
尼崎新技術開発研究会
(1992年8月18日 講演)

高専におけるC言語について

—— 電気系学科におけるC言語教育 ——

土井滋貴

高等専門学校情報処理教育研究委員会

情報処理教育研究発表会

(1992年8月24日 講演)

ZnSe/A ℓ N面発光導波形炭酸ガスレーザ

松島朋史, 福本雅一 (株式会社 東芝), 末田 正

(摂南大学)

第54回応用物理学学会学術講演会

(平成5年9月27日 講演)

(電子制御工学科)

共通光路位相シフト・スペckル・シアリング干渉計によるたわみ勾配の測定

押田至啓, 岩橋善久 (大阪産大), 岩田耕一 (大阪府立大)

光学連合シンポジウム旭川'93

(1993年9月25日 講演)

軸対称放物面から反射する衝撃波の数値解析

岸下晴亮, 手島光司 (京教大), 西田迪雄 (九大・工)

日本機械学会論文集B編, 第58巻 第553号 pp.2707~2713.

(平成4年9月25日 発行)

衝撃波の収束による高温の発生

岸下晴亮, 手島光司 (京教大), 西田迪雄 (九大・工)

衝撃波ワークショップ

(平成4年10月31日 講演)

軸対称放物面から反射する衝撃波の収束

岸下晴亮, 手島光司 (京教大), 西田迪雄 (九大・工)

平成4年度衝撃波シンポジウム講演論文集 pp.373
(1993)

(平成5年1月24日 講演)

Focusing of Shock Waves Reflected from an Axisymmetrically Parabolic Wall

H. Kishige, K. Teshima (Kyoto University of Education) and M. Nishida (Kyushu University)

Shock Waves, K. Takayama ed., Springer-Verlag (1991) pp.341~345.

(published November, 1992)

Shock Focusing Analysis with Vibrational Excitation

H. Kishige, K. Teshima (Kyoto University of Education) and M. Nishida (Kyushu University)

The 19th INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SHOCK WAVES, Marseille, July 27 (1993)

ウォータジェット推進の非線形格子モデル

坂本雅彦, 葛原道久, 木村雄吉 (以上神大工),

橋本 潔 (航空大)

日本機械学会関西支部第251回講演会

(1992年11月28日 講演)

セルオートマトン法による重力場における流れのシミュレーションに関する研究

美濃雅彦, 葛原道久, 木村雄吉, 富山明男 (以上神大工), 坂本雅彦

日本機械学会関西支部 第68期定時総会講演会

(1993年3月15日 講演)

高圧空気により駆動されるウォータジェット(二次元ノズル及び軸対称ノズルの特性)

坂本雅彦, 葛原道久, 木村雄吉 (以上神大工),

橋本 潔 (航空大), 美濃雅彦 (神大工)

日本機械学会 第70期通常総会講演会

(1993年3月31日 講演)

高圧空気により駆動される船舶用推進装置

葛原道久 (神大工), 坂本雅彦, 木村雄吉 (神大工),

橋本 潔 (航空大), 美濃雅彦 (神大工)

日本機械学会論文B編, Vol.59, No.565 (1992)

A laser three-focus velocimeter using an array of laser diodes for simultaneous measurement of particle size and velocity

N. Nakatani (Ashiya University), T. Oshio (Ashiya University) T. Sakabe

REVIEW OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS, Vol.64 No.2, pp.331~337 (1993)

ヘテロダイン干渉センサーのクロストークによる非線形性とその低減

中谷 登 (芦屋大), 阪部 俊他

光学 第22巻, 第6号 (1993)

回転液中紡糸法における $S_{n63}P_{b37}$ (wt%) 合金細線の断面形状変化

島岡三義, 大中逸雄 (阪大・工)

日本金属学会1992年秋期 (第111回) 大会

(平成4年10月7日 講演)

Dynamic Insertion by a Pneumatic Gripper using Bellows Actuator

Y. Hayakawa, H. Hanafusa, S. Kawamura (Ritsumeikan Univ.),

The First Japanese-French Congress of Mechatronics, pp.51~56 (1992)

(1992年10月20日 講演)

Sensing Actuators Using a Pneumatic Bellows System and Its Application to a Soft Gripper

Y. Hayakawa, S. Kawamura (Ritsumeikan Univ.), IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.398~403 (1993)

(1993年5月4日 講演)

空気圧ベローズアクチュエータの力センサーへの応用

早川恭弘, 川村貞夫 (立命館大学)

第37回システム制御情報学会研究発表講演会

(1993年5月19日 講演)

空気圧ベローズをセンシングアクチュエータとして用いるロボットアームの開発

永井克明, 早川恭弘, 栗本 尚, 川村貞夫(立命館大学)
日本機械学会 Dynamics and Design Conference '93
(1993年7月23日 講演)

マイクロメカニズムへ応用のための拮抗型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)
計測自動制御学会 第32回学術講演会
(1993年8月5日 講演)

空気圧ベローズを用いたセンシングアクチュエータ

早川恭弘
パワーデザイン Vol.31, No.8, pp.50~51 (1993)

空気圧ベローズアクチュエータの基本性能と力センサーへの応用

早川恭弘, 川村貞夫(立命館大学)
日本ロボット学会誌 Vol.11, No.5, pp.156~164
(1993)

(情報工学科)

電子インダクターを利用した電気振動の実験・観察

浅井文男
理科教室, No.443, pp.78~81
(1992年10月 出版)

アクノレッジ優先プロトコルの評価

乾 有美子, 浅井文男
JAMSATシンポジウム'93
(1993年3月28日 講演)

アクノレジメント優先プロトコルの性能評価

乾 有美子, 浅井文男

モービルハム, No.261, pp.72~75
(1993年4月 出版)

色情報の利用による文書の署名と印影の分離抽出

上田勝彦
第37回システム制御情報学会研究発表講演会, 6020
(平成5年5月20日 講演)

ハイパーテキストCAIシステムの基本設計

山井成良, 工藤英男, 下條真司(大阪大学),
久保 登(シャープ)
CAI学会第39回研究会
(1992年10月17日 講演)

分散型ハイパーテキストを用いた教育支援システムの設計

山井成良, 工藤英男, 鈴木忠二, 下條真司(大阪大学)
文部省平成4年度情報処理教育研究集会
(1992年12月10日 講演)

C言語におけるプログラミングスタイルに関する一考察

松村崇史, 工藤英男
電子情報通信学会 春季大会
(1993年3月30日 講演)

カラーイメージスキャナのコンピュータモデル化

鶴田智久, 岸田 健(豊田工大), 吉田育弘(シャープ), 賀好宣捷(シャープ), 鈴木忠二
電子情報通信学会 春季大会
(1993年3月28日 講演)

画像電子ハンドブック(第1編9章)

鈴木忠二
コロナ社
(1993年3月31日 出版)

ディスプレイ (第4章)

鈴木忠二

丸善株式会社

(1993年3月31日 出版)

RSVPタスクにおける誤答パターンの検討

下村満子

日本基礎心理学会 第12回大会

(平成5年5月 講演)

日本語における単語・文字認知過程の諸特性

下村満子

日本認知科学会パターン認識と知覚モデル研究分科会

(平成5年6月 講演)

組合せ回路の論理シミュレーションのためのスケジューリングアルゴリズム

久郷 剛, 世古 忠

電子情報通信学会春季大会講演論文集

(1993年3月29日 講演)

分散論理シミュレーションのためのスケジューリングに関する考察

世古 忠, 菊野 亨 (大阪大学)

電子情報通信学会春季大会講演論文集

(1993年3月29日 講演)

組合せ回路の並列論理シミュレーションにおけるスケジューリング問題について

世古 忠, Itthichai ARUNGSRISANGCHAI
(大阪大学), 白川 功 (大阪大学)電子情報通信学会論文誌, Vol. J76 - A, No. 6, pp.916
~918 (1993)

Analysis of Rollbacks in Parallel Logic Simulation for Tree - Connected Circuit

Tadahi SEKO, Fang WANG (Osaka Univ.) and

Thoru KIKUNO (Osaka Univ.)

Proceedings of 1993 Joint Technical Conference
on Circuits/Systems, Computers and Commu-
nications, pp.581~586 (1993)

(1993年7月28日 講演)

Experimental Evaluation of Processor Scheduling Algorithm for Parallel Logic Simulation

Tadashi SEKO, Takeshi KUGO, Fang WANG
(Osaka Univ.) and Thoru KIKUNO (Osaka
Univ.)Proceedings of 1993 Joint Technical Conference
on Circuits/Systems, Computers and Commu-
nications, pp.587~592 (1993)

(1993年7月28日 講演)

濃淡及び色情報による情景画像からの文字列抽出

松尾賢一, 梅田三千雄 (大阪電通大)

電子情報通信学会, 技報, PRU 92 - 121

(1993年 講演)

UNIXにおける負荷の推定方法に関する考察

関 努 (豊橋技術科学大学), 若林 進 (大阪大学),
山井成良

日本UNIXユーザ会 第20回jus UNIXシンポジウム

(平成4年10月27日 講演)

UNIXにおける遠隔地への高品位文書出力

伊藤香代, 山井成良

CAI学会関西支部第7回学生・生徒によるコン
ピュータ利用研究発表会

(平成5年3月6日 講演)

(化学工学科)

有機ライニング皮膜の耐久性評価

井口高行, 奥田 聡 (同志社大学・工)

高分子学会ポリマー材料フォーラム

(1992年12月9日 講演)

温度勾配下におけるライニング材中への液拡散の動特性

小南良太, 中谷武志, 井口高行

日本材料学会 第3回高分子材料シンポジウム

(1993年8月27日 講演)

水分センサーを応用した有機ライニング性能の測定

上嶋秀和, 梅原 忠, 井口高行

日本材料学会 第3回高分子材料シンポジウム

(1993年8月27日 講演)

臭化カリウム水溶液中での黒鉛の電解改質に関する研究

佐藤淳一, 泉 生一郎, 大西康幸, 浅井洋志 (片山化学工業研究所), 岩下哲雄 (大工試), 稲垣道夫 (北大・工)

第19回炭素材料学会年会

(平成4年12月4日 講演)

生成物分離型光化学ダイオードによる炭酸水素塩からの有機化合物の生成

土肥 徹, 大西康幸, 泉 生一郎

日本化学会 第65春季年会

(平成5年3月30日 講演)

生成物分離型光化学ダイオードによるマレイン酸からコハク酸への還元

大西康幸, 泉 生一郎

電気化学協会 第60回大会

(平成5年4月1日 講演)

生成物分離型光化学ダイオードによるマレイン酸からコハク酸への還元

大西康幸, 泉 生一郎, 土肥 徹, 坂本美智乃, 飯田康博

電気化学協会 技術・教育研究論文誌 Vol.2, No. 1

pp.17~20 (1993)

Production of Organic Compounds from Aqueous Bicarbonate using Product-Separable Photochemical Diode

Y. Ohnishi, I. Izumi, T. Dohi, D. Watanabe

DENKI KAGAKU, Vol. 61, No. 7 pp.880~882

(1993)

New Symmetrical Chiral Dibenzyl- and Diphenyl-Substituted Diamido-, Dithionoamido-, Diaza- and Aza-pyridino-18-Crown-6 Ligands

Peter Huszthy (Institute of Organic Chemistry, Technical University, Budapest, Hungary), Masatoshi Oue, Jerald S. Bradshaw, Cheng Y. Zhu, Tingmin Wang, N. Kent Dalley, Janet C. Curtis, and Reed M. Izatt (Brigham Young University)

J. Org. Chem., Vol.57, pp.5383~5394 (1992)

Enantiomeric Recognition of Organic Ammonium Salts by Chiral Pyridino-18-Crown-6 Ligands: A Short Review

Jerald S. Bradshaw, Peter Huszthy, Christopher W. McDaniel, Masatoshi Oue, Cheng Y. Zhu, and Reed M. Izatt (Brigham Young University), Shneior Lifson (Weizmann Institute of Science, Rehovot, Israel)

J. Coordination Chem., Section B, Vol.27, pp. 105~117 (1992)

不斉炭素有するトリピーリジン環型大環状配位子の合成

大植正敏

工学分野における微生物並びに生物機能の応用に関する

る研究

平成4年度特定研究成果報告書, pp.16~22 (1993)
(平成5年3月)

Oxygen Permeation Through Perfluorinated Carboxylate Ion Exchange Membranes

M. INABA, T. KUROE, Z. OGUMI, Z. TAKEHARA (KYOTO UNIV.), K. KATAKURA, S. ICHIKAWA and Y. YAMAMOTO (RITSUMEI UNIV.)

Electrochimica Acta, Vol. 38, No. 13, pp.1727~1731 (1993)

テーパー付角形気泡塔の流動特性

河越幹男, 大竹伝雄 (中部大学)

化学工学第25回秋季大会

(1992年10月1日 講演)

遺跡出土木材の乾燥と変形

河越幹男, 百村敬一, 石垣 昭

日本文化財科学会誌「考古学と自然科学」, 第26号, 1~14頁

(1993年3月 発行)

テイラー混合理論に準拠した気泡塔における液側混合特性の解析

河越幹男, 大竹伝雄 (中部大学)

化学工学会第58年会

(1993年3月29日 講演)

PEG含浸処理を施した遺跡出土木材の乾燥と変形

河越幹男, 百村敬一, 石垣 昭

日本文化財科学会第10回大会

(1993年5月22日 講演)

酵素固定化膜と過酸化水素電極を組み合わせたグルコースセンサーの応答特性

河越幹男, 末 信一郎 (福井大学)

化学工学会富山大会

(1993年7月22日 講演)

酵素固定化膜における固定化酵素量の評価方法

末 信一郎, 中村良治 (福井大学), 河越幹男

化学工学会富山大会

(1993年7月22日 講演)

エポキシ化合物架橋化キトサンによるウリカーゼの固定化

西窪伸之, 河越幹男, 水沢厚志 (ダイキン),

末 信一郎, 中村良治 (福井大学)

キチンキトサン研究会

(1993年7月 講演)

Reactions of Fluoroalkanoyl Peroxides with Organosilicon Compounds

H. Sawada, Y. - F. Gong (群馬大), Y. Minoshima, T. Matsumoto, M. Nakayama (日本油脂), M. Kosugi, and T. Migita (群馬大)

J. Fluorine Chem., Vol.59, pp.275 (1992)

過酸化フルオロアルカノイルを用いてフルオロアルキル化したポリスチレンの表面特性 (第3報)

森川公雄, 阿部正彦, 荻野圭三 (東京理科大), 沢田英夫, 松本竹男 (日本油脂), 島田広道, 松林信行, 西嶋昭生 (化技研)

色材協会誌, Vol.65, pp.612 (1992)

過酸化フルオロアルカノイルとジフェニルシロキサンとの反応によるフルオロシリコン化合物の合成と物性

阿部正彦, 松田賢治, 森川公雄, 荻野圭三 (東京理科大), 沢田英夫, 松本竹男 (日本油脂)

色材協会誌, Vol.65, pp.750 (1992)

Synthesis of Perfluoro-oxa-alkylated Compounds by Use of Perfluoro-oxa-

alkanoyl Peroxides and Their Applications

H. Sawada

J. Fluorine Chem., Vol.61, pp.253 (1993).

Facile Perfluoroalkylation of Uracils and Uridines at C-5

M. Nishida, S. Fujii, H. Kimoto, Y. Hayakawa (名工試), H. Sawada, and L. A. Cohen (NIH, USA)

J. Fluorine Chem., Vol.63, pp.43 (1993)

Fluorinated Organic Peroxides - Their Decomposition Behavior and Applications

H. Sawada

Reviews on Heteroatom Chemistry, Ed., by S. Oae., Vol.8, pp.205 (1993).

Metastable Ion Study of Organofluorinated Compounds. Part III α, α, α -Trifluoroanisole and α, α, α -Trifluorocresols

S. Tajima, T. Yanagisawa, M. Iizuka, S. Tobita (群馬高専), M. Mitani (日本油脂), H. Sawada, T. Matsumoto (日本油脂)

Int. J. Mass Spectrom. Ion Processes, Vol.125, pp.55 (1993)

フッ素系シランカップリング剤によるマグネタイト微粒子の表面改質法

好野則夫, 山口英一郎, 山本 洋, 板垣剛之 (東京理科大), 松本竹男 (日本油脂), 沢田英夫, 近藤行成, 阿部正彦 (東京理科大)

日本化学会誌, pp.995 (1993)

フルオロシリコン化合物の合成とその応用 (1)

沢田英夫

高分子加工, Vol.42, pp.395 (1993).

フルオロシリコン化合物の合成とその応用 (2)

沢田英夫

高分子加工, Vol.42, pp.459 (1993).

フルオロ置換ポリマーの気体および液体透過性

早川由夫, 西田雅一 (名工試), 沢田英夫

日本化学会第64秋季年会

(平成4年10月2日 講演)

新規フルオロシリコンの合成とその特性

阿部正彦, 松田賢治, 荻野圭三 (東京理科大),

沢田英夫, 松本竹男 (日本油脂)

第31回油化学討論会・油化学研究発表会

(平成4年10月3日 講演)

炭素-炭素結合によりフルオロアルキル基が導入されたフルオロアルキル基含有オリゴマーに関する研究

養島義浩, 松本竹男 (日本油脂), 沢田英夫

第17回フッ素化学討論会

(平成4年10月26日 講演)

Perfluoroalkanoyl peroxide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 (日本油脂)

繊維学会年次大会

(平成5年6月24日 講演)

これからの若い技術者に求められる基礎教育

沢田英夫

関西工業教育協会高専部会, 第17回夏期研修会

(平成5年8月27日 講演)

フルオロアルキル基含有オリゴマーの合成とその性質

沢田英夫, 大植正敏, 養島義浩, 三谷元宏, 河本恵司

(日本油脂)

日本化学会第66秋季年会

(平成5年9月30日 講演)

新規フルオロシリコーンの機能特性(2)

阿部正彦, 松田賢治, 荻野圭三 (東京理科大), 沢田英夫, 西山勝広 (東京理科大)

1993年度色材研究発表会

(平成5年9月21日 講演)

Efficient Separation of Lysozyme from Protein Mixture Using Reverse Micelles

K. Naoe, M. Imai and M. Shimizu (Tokyo Univ. Agri. & Technol.)

"PROGRESS IN BIOSEPARATION ENGINEERING 1992" (Ed. by Special Study Group for Bioseparation Engineering of SCEJ), pp. 24~28 (March 1993)

Selective Extraction of Proteins from Complex Solutions by Reverse Micelles

K. Naoe, M. Imai and M. Shimizu (Tokyo Univ. Agri. & Technol.)

6th International Conference on Engineering and Food, Chiba, Japan

(May 1993 講演)

Hydrophilic Surroundings in Reverse Micellar Organic Phase Relate to Hydrophobicity of Proteins

T. Natsume, K. Naoe, S. Ichikawa (Univ. Tokyo), M. Imai, and M. Shimizu (Tokyo Univ. Agri. & Technol.)

Asian Pacific Conference of Chemical Engineers '93, Melbourne, Australia

(September 1993 講演)

Practical Conditions of Enzyme Separation Processes Using Reverse Micel-

lar Extraction

K. Naoe, M. Imai, and M. Shimizu (Tokyo Univ. Agri. & Technol.)

Asian Pacific Conference of Chemical Engineers '93, Melbourne, Australia

(September 1993 講演)

Enzyme-catalysed electrochemical oxidation of D-gluconate at electrodes coated with D-gluconate dehydrogenase, a membrane-bound flavo-hemoprotein

T. Ikeda (Kyoto Univ.), S. Miyaoka (Kyoto Univ.), K. Miki

J. Electroanal. Chem., Vol.352, pp.267~278 (1993)

Amperometric biosensors based on flavoenzymes and quinoenzymes from bacterial membranes

K. Miki, F. Matsushita (Kyoto Univ.), D. Kobayashi (Kyoto Univ.), T. Ikeda (Kyoto Univ.)

Sensors and Actuators B, Vol.13-14, pp.661~662 (1993)

(一般教科)

MS-algebraに双対な代数系について

荒金憲一

第11回東論談話会

(1992年10月19日 講演)

On a weak form of semilattices

荒金憲一

第16回「半群, 言語とその周辺」研究集会

(1992年11月14日 講演)

弱半束について

荒金憲一

数理論理学研究集会
(1992年12月5日 講演)

t-ノルム代数のシーケンによる形式化

荒金憲一, 竹村 康 (大阪産業大学)
大阪産業大学論集 自然科学編 第92号, pp.19~22
(1993)

t-ノルム代数の決定問題

荒金憲一, 竹村 康 (大阪産業大学)
大阪産業大学論集 自然科学編 第92号, pp.23~26
(1993)

小集落地名をめぐって— 大和国における「カイト」地名 —

大矢良哲
第12回 全国地名研究者大会
(平成5年4月17日 講演)

『ねじの回転』試論

片山悦男
『ALBION』復刊第38号 (京大英文学会) pp.93~110
(平成4年10月25日 発行)

「A計画」の可能性

— 92年演劇界をふり返って
神澤和明
『テアトロ』第601号

印象的な, と言うならば

— 93年上半期の演劇界
神澤和明
『テアトロ』第607号

社会主義の崩壊と新しい可能性の探究

— 唯物論研究協会編『社会主義を哲学する— 崩壊から見えてきたもの』書評
木村倫幸
季報・唯物論研究 第45号
(1993年4月)

真理・弁証法・レトリック

— 島崎 隆『増補新版 対話の哲学— 議論・レトリック・弁証法』書評
木村倫幸
季報・唯物論研究 第46/47号
(1993年11月)

指導法 (読むこと・書くことの指導)

國方太司
『早期英語教育』
(ニチブン) pp.100~105 (平成5年3月)

学習開始年齢が言語習得に及ぼす影響 — 第IV報

樋口忠彦 (近畿大学), 國方太司, 三浦一朗 (京都教育大学), 北村豊太郎 (梅田学園), 中本幹子 (Aim English Studio), 守屋雅博
日本児童英語教育学会研究紀要 第12号, pp.27~37
(平成5年3月)

英語学習は何歳から始めるのがよいのか

— 言語習得に関する調査結果が示すもの —
樋口忠彦 (近畿大学), 國方太司, 三浦一朗 (京都教育大学), 北村豊太郎 (梅田学園), 中本幹子 (Aim English Studio), 守屋雅博
日本児童英語教育学会全国大会
(平成5年6月20日 講演)

不定詞の導入と指導

國方太司
兵庫県赤穂郡上郡町立上郡中学校英語科自主研究発表会
(平成5年7月1日 研究授業)

研究会を覗いてみれば

國方太司
『現代英語教育』(研究社, 平成5年8月) pp.26

子供を生き生きと活動させるためのアイデア

國方太司

児童英語教師のための第7回研修セミナー
(平成5年8月24日 講演)

連歌の新研究 索引編 (七賢の部)

勢田勝郭

桜楓社

(平成5年2月25日 単著)

和歌・連歌・俳諧 用例検索システム “Keiko”について

勢田勝郭

「人文学と情報処理」第2号

(平成5年9月25日)

「変化」について

— 夏目漱石『それから』試論 —

武田充啓

国文学年次別論文集 近代(二) 平成3年(1991)版
(平成5年8月)

夏目漱石『門』の冒険者

武田充啓

国文学年次別論文集 近代(二) 平成3年(1991)版
(平成5年8月)

ダンスのエロティシズムと近代社会

— イギリスの民衆娯楽を手掛かりにして —

松井良明

日本体育学会第43回大会(大妻女子大学)・スポーツ人類学専門分科会シンポジウム(2)『エロティシズムとダンス』

(1992年12月22日 講演)

ランニング・フットマンとアスリート

松井良明

講談社『本』第18巻第1号, 48~51頁
(1993年1月1日)

五月祭の「陽気な英国」

松井良明

財団法人余暇開発センター『月刊ロアジール』2月号
(第17巻第10号), 26~31頁
(1993年1月20日)

ニュースポーツとは何か

— モダニズムを手掛かりとする一試論 —

松井良明

スポーツ史学会会報『ひすぽ』No. 23, 3~4頁
(1993年3月20日)

戸外の楽しみ

— ピクニックの流行を支えたもの —

松井良明

『月刊ロアジール』6月号(第18巻第2号), 34~39頁
(1993年5月20日)

ロバート・W・マーカムソン著『英国社会の民衆娯楽』

松井良明(共訳)

平凡社

(1993年6月18日)

指昭博編『祝祭がレジャーに変わるとき

— 英国余暇生活史 —

松井良明(共著)

創知社

(1993年7月15日)

イギリスにおける帝国主義時代の学校体育

松井良明

第10回「教育と社会」研究会
(1993年7月17日 講演)

スポーツの近代化をめぐる諸問題

— イギリスにおける刑法を手掛かりにして —

松井良明

奈良体育学会1993年度宿泊研究会（いこいの村大和
高原）

（1993年9月5日 講演）

日本人学習者による英語の再帰代名詞習得 に関する一考察

松林城弘

同志社大学英文学会『主流』第54号 pp.83～95

（平成5年3月）

On the Interpretation of English Reflexives by Japanese Learners

Kunihiro Matsubayashi

Studies in English Language Teaching. No. 16,
pp.55～60 (April, 1993)

ジュニア エブリデイ英和辞典

守屋雅博 分担執筆

中教出版

（平成5年3月1日）

Ribbon knots with two ribbon types

Tomoyuki Yasuda

Journal of Knot Theory and Its Ramifications,
Vol.1, No.4, pp.477～482 (1992)

（1992年12月）

奈良工業高等専門学校 研究紀要第29号

平成6年3月15日

編集兼
発行者

奈良工業高等専門学校
大和郡山市矢田町22

印刷所

株式会社 春日
奈良市三条栄町9-18

RESEARCH REPORTS

of NARA NATIONAL COLLEGE of TECHNOLOGY

NO. 29, 1993

CONTENTS

Numerical Analysis of Elongational Viscosity in Spinline Rheometer	Takashi KOSHIBA	1
Simulation of A Control Circuit of A Current Type Active Filter	Shigeji IMURA	7
Controlling Chaotic Dynamics by Switching One Parameter	Keiji KONISHI and Iichi KIMURA	13
Study on 1/f - Fluctuations for Illumination	Shigeki DOI and Haruo TAKAHASHI	23
Automatic Writer Verification Using Parameters Derived from Calligraphic Skills	Yoshikazu NAKAMURA	27
Development of the Intelligent PC Communication System	Hirokazu NARITA and Toshihiro HAMADA	33
10.6 μ m Band Frequency Translator using a F - P Type SSB Light Modulator	Tomoshi MATSUSHIMA	37
Computer Simulation of Step Response in a Control System of High Order	Takashi KURIMOTO	45
Simulating Flow by Using Cellular Automaton	Masahiko SAKAMOTO and Takanobu YAMADA	51
An Improved "sendnews" for Sending NetNews	Fumio ASAI, Naoto FUJII and Keiji FUKUMOTO	55
Guide Mechanism of CAI System for Software Design Education	Hideo KUDO	61
A Study of Japanese Word Recognition	Michiko SHIMOMURA	65
Analysis of Rollbacks in Parallel Logic Simulation Based on Virtual Time	Tadashi SEKO, Fang WANG and Tohru KIKUNO	71
On a Method of State Assignment of Sequential Circuit Targeting Multilevel Implementations	Tadashi SEKO and Shigeyuki NISHINO	79
Design and Implementation of High Quality Remote Print-out Facility on UNIX	Nariyoshi YAMAI, Noriko AOI and Kayo ITO	83
The Product-Separable Photochemical Diode as an Electrochemical Photovoltaic Cell	Yasuyuki OHNISHI, Ikuichiro IZUMI, Hironobu HAYASHI, Naoji AWATANI and Toshikazu OKADA	87
A Novel Measurement Method of Gel Particle Distribution in a Bubble Column Based on Electromagnetic Induction	Mikio KAWAGOE	91
An Extension of Newton - Raphson Method	Katsuhiko FUKUSHIMA and Seinosuke KITAGAWA	95
A Study on <i>The Turn of the Screw</i>	Etsuo KATAYAMA	101
The Influence of Japanese on the Interpretation of English Reflexives	Kunihiro MATSUBAYASHI	109
Social Process and Consciousness — A Study of "Mind" on G.H.Mead —	Tsuneyuki KIMURA	120
'Tōbōsha' (A Fugitive) in Natsume Sōseki's <i>Kōfu</i>	Mitsuhiro TAKEDA	132
Abstracts		133
Research Activities in 1992~1993		143