

ISSN 0387-1150

研 究 紀 要

第 3 0 号

平 成 6 年 度

奈 良 工 業 高 等 専 門 学 校

目 次

ジャーナルすべり軸受の混合潤滑摩擦特性に関する計算	野々垣 稔・岩田 裕宏	1
チップブレーカに関する研究（第1報） — ブレーカ壁の形状 —	和田 任 弘	5
チップブレーカに関する研究（第2報） — ブレーカ壁の寸法 —	和田 任 弘	11
電流形 PWM コンバータの復調	井 村 榮 仁	17
Stabilizing Chaotic Motions in Chua's Circuit	Keiji KONISHI	23
アモルファス太陽電池モジュールの高効率化発電法の実験的検討	上田 泰弘・山脇 竹治・高橋 晴雄	27
超音波センサを用いた形状認識	土 井 滋 貴	33
2 光束コンピュータ生成ホログラムに関する研究	成田 絃一・前田 行輝	37
多重反射形フェイズドアレイによる CO ₂ レーザ光の偏向	松島 朋史・中村 好二・末田 正	41
CV 刺激による聴覚皮質の信号源推定	沖田 善光・平田 恵啓・小林 哲生・栗城 真也	47
振動緩和を伴う衝撃波の収束（その2）	岸下 晴亮・堀内 泰男	55
非線形制御系の位相面軌跡とステップ応答のシミュレーション	栗 本 尚	63
離散渦法による流れの数値計算	坂本 雅彦・上田 隆宏	69
微小径円すいノズルから噴射される液体金属ジェット速度の測定	島 岡 三 義	73
緩和過程における残留エネルギーの漸近特性	浅井 文男・東 司人	79
オブジェクト指向によるソフトウェア設計教育の支援システムの実現と問題点	工藤 英男・城間 順一・長橋 雅明	83
高専生におけるコンピュータ不安に関する調査研究	下 村 満 子	89
Experimental Evaluation of Processor Scheduling Algorithm for Parallel Logic Simulation Using Benchmark Circuits	Tadashi SEKO, Takeshi KUGO and Tohru KIKUNO	93
パラメトリックグラフにおける最大クリーク重みの折れ点数	多喜 正城・法林 浩之・柏原 敏伸・荒木 俊郎	101
テーパー付角形気泡塔の流動特性	河越 幹男・藤井 優子	109
ファジイ代数の決定問題	荒 金 憲 一	115
リボン結び目の代数的リボン数	安 田 智 之	125
『十二夜』における「癒し」の主題	神 沢 和 明	129
The Use of Critical Thought and Expression in English Conversation (Discussion and Group Work approach)	John SINCLAIR and Takashi KUNIKATA	137
第二言語習得における統語的制約と意味機能的制約	松 林 城 弘	145
社会過程における自我の発生 — G・H・ミードにおける“自我”についての考察	木 村 倫 幸	158
論文抄録		159
教官研究活動一覧表		163
教官研究紹介〈研究紀要第30号記念〉		183

ジャーナルすべり軸受の混合潤滑摩擦特性に関する計算

野々垣 稔・岩田 裕宏*

Calculation of Frictional Characteristics in Mixed Lubrication of a Journal Sliding Bearing

Minoru NONOGAKI and Yasuhiro IWATA

In order to understand frictional characteristics in mixed lubrication of a surface contact - type journal sliding bearing, the numerical method by solving the Reynolds equation with the contact theory by Greenwood and Tripp was proposed. The calculated results coincided qualitatively with experimental results conducted by McKee, and it was clarified that this numerical method for the coefficient of mixed friction was shown to effective. Furthermore, this numerical was able to exhibit the influence of a rotation velocity, viscosity, the coefficient of boundary lubrication, and surface roughness on the friction characteristics under mixed lubrication.

1. はじめに

部分的な固体接触と数 μm 程度のすきまの流体膜により負荷が支持される混合潤滑領域では、焼付きや摩耗損傷など多くの問題が発生する。したがって、機械の設計段階において混合潤滑摩擦特性をよく理解しておくことは非常に重要となる。

混合潤滑に関する研究として、Vogelpohl¹⁾や曾田²⁾は簡便な混合摩擦係数式を導き、混合潤滑摩擦特性を定性的に説明した。また、著者^{3), 4)}は曾田の理論の流体潤滑に関する式に改良を加えた混合摩擦係数式を提案し、それがなじみ特性をよく表示できることを示した。さらに近年、数値計算により混合潤滑摩擦特性を求める試みがRohde⁵⁾によりピストリングについて計算されて以来、カム、静圧軸受などについても行われている。本稿では解析例があまり見あたらない面接触タイプのジャーナルすべり軸受の混合潤滑摩擦特性の計算手法を確立することを目的に、流体潤滑理論と接触理論を組み合わせた計算手法を作成

し、回転数、粘度、境界摩擦係数、表面あらさが混合潤滑摩擦特性におよぼす影響について調べた。

2. 混合潤滑摩擦特性の計算方法

混合潤滑状態で支持される荷重は、流体膜による分担荷重と、真実接触面積の部分での分担荷重の和で表されると考えられる。したがって、混合潤滑摩擦特性を計算するためには、流体膜圧力による分担荷重と油膜厚さを決定する流体潤滑理論式と、真実接触面積および固体接触荷重を決定する接触理論式に、流体膜分担荷重と固体接触部分分担荷重の合計が負荷に等しいという力のつりあいの式を連立させて解くことになる。本研究では混合潤滑摩擦特性の数値計算の第1段階として、流体潤滑理論式として表面あらさを考慮しない従来のレイノルズ方程式を用い、接触理論式としてはGreenwood - Trippの弾性接触モデル⁶⁾を用いた。

レイノルズ方程式を図1に示すような静荷重 W が作用するジャーナルすべり軸受の潤滑に適用すると次式が得られる。

$$\frac{\partial}{\partial \theta} \left(h^3 \frac{\partial p}{\partial \theta} \right) + R^2 \frac{\partial}{\partial z} \left(h^3 \frac{\partial p}{\partial z} \right) = 6UR\eta \frac{\partial h}{\partial \theta} \quad (1)$$

* 本校専攻科

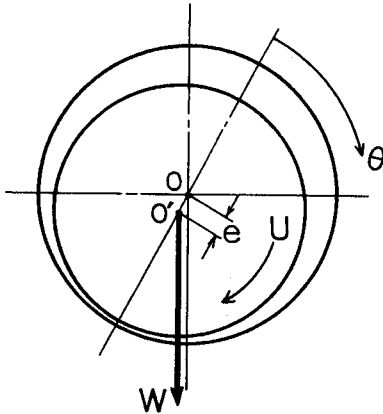


図1 ジャーナルすべり軸受

ここで、 p は油膜圧力、 R は軸受半径、 U は軸の周速度、 η は粘性係数、 z は軸方向座標、そして h は油膜厚さであり、軸の傾きや軸と軸受の幾何形状誤差がないものとする、すきま h は θ のみ関数となり軸方向には変化せず $h=c(1+\varepsilon\cos\theta)$ で表される。 ε は偏心率($\varepsilon=e/c$, e :偏心量, c :半径すきま)である。式(1)を差分法し、SOR法(逐次緩和法)で数値的に解くことによって油膜の圧力分布を求めた。なお、境界条件はレイノルズの境界条件を用いた。圧力分布が求まると、それを積分することにより流体分担荷重 W_f を求め、さらに流体のせん断応力から流体摩擦力 F_f を計算した。

次に固体接触部分についてであるが、接触機構はあらさの統計的性質と突起形状などから求められる。ここでは突起分布が正規分布であるものとしてGreenwood-Trippの弾性接触モデル⁶⁾を用いるが、接触圧力 p_c は次式で与えられる。

$$p_c = \frac{8\sqrt{2}}{15} \pi (\rho\beta\sigma)^2 \sqrt{\frac{\sigma}{\beta}} E' F_{2.5} \left(\frac{h}{\sigma} \right) \quad (2)$$

ここで、 ρ は突起の面密度、 β は突起の等価半径、 σ は合成あらさの標準偏差(各面の標準偏差を σ_1 、 σ_2 とすると $\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}$)、 E' は等価弾性係数、 $F_{2.5}(h/\sigma)$ は突起分布の2.5次モーメントであり、本稿の計算には $h/\sigma = 4$ において接触が始まるものとしたDowsonら⁷⁾の近似多項式を用いた。また、 $\rho\beta\sigma$ の値は一定をとることが確かめられており、ここで $\rho\beta\sigma = 0.05$ とした。固体接触分担荷重 W_c は、式(2)から求める接触圧力 p_c を積分することによって求まり、さらに、境界摩擦係数 μ_b' を一定として接触圧力 p_c を用いて固体接触部の摩擦力 F_c を求めた。全荷重 W は W_f と W_c

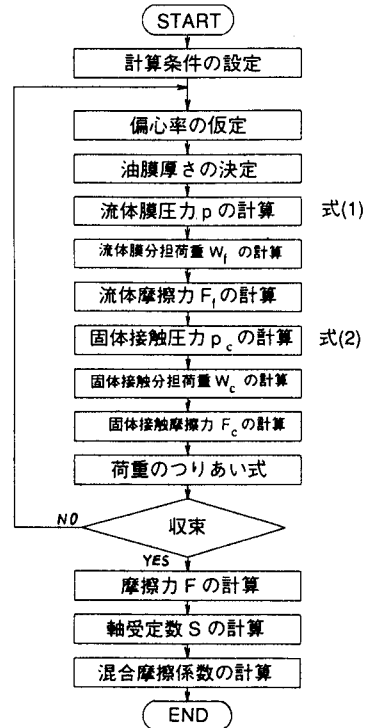


図2 計算のフローチャート

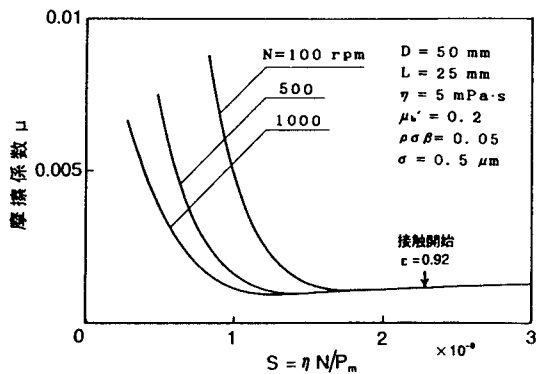


図3 回転数の影響

の合力になり、摩擦力は F は F_f と F_c の合力として求められ、混合摩擦係数が $\mu = F/W$ として求まる。図2に本計算のフローチャートを示す。

図3は内径50mm、軸受25mmのりん青銅軸受について、本稿の計算手法により回転数 N を一定として計算して得られたストライベック線図である。ここで、横軸は軸受定数 $S = \eta N/P_m$ であり運転条件によって定まる無次元数である。固体接触が始まるのは $S = 2.27 \times 10^{-8}$ ($\varepsilon = 0.92$)であり、 S がそれより大きい領域は流体潤滑域である。流体潤滑域で運転条件すなわち回転数 N 、面圧 P_m 、

粘度 η が変化しても摩擦係数曲線は一本の線となるが、接触が軽微な混合潤滑域でも摩擦係数 μ の立ち上がりは見られず、固体接触が介在しても摩擦係数 μ は低下している。 S が小さくなり接触率が大きくなると摩擦係数 μ は立ち上がり、回転数 N 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 の値も回転数 N が大きいほど小さくなる。

図4は、図3の計算における固体接触分担荷重 W_c の全荷重 W に対する割合を示したものである。摩擦係数が上昇しても、荷重を支えているのは大半が流体膜であることがわかる。 W_c/W の立ち上がる S の値は回転数100rpmが最も大きく、一方、1000rpmの場合 $S = 1.19 \times 10^{-8}$ ($\epsilon = 0.95$)でも W_c/W は0.1%以下であり立ち上がる S の値が最も小さい。同じ接触率すなわち同じ流体すきまであっても、回転数が高いほど流体による負荷能力が大きいので W_c/W の立ち上がる S の値は回転数が高いほど小さくなる。

図5はMcKeeの実験データ⁸⁾の一つで、内径、軸受幅とも31.75mmのホワイトメタル軸受を用いて、回転数を一定にして荷重を変化させたときのストライベック線図である。回転数が大きいほど μ は低く現れ、 μ の立ち上がる S は回転数が大きいほど小さくなっている。この傾向は明らかに図3に示す計算結果と一致している。また、ジャーナルすべり軸受の混合潤滑の初期領域における摩擦特性を明らかにした竹内らの研究⁹⁾の実験結果の傾向とも一致している。したがって、本稿の計算方法により混合潤滑摩擦特性を表示できることがわかる。

図6～図8に粘度、境界摩擦係数、表面あらさの摩擦係数曲線におよぼす影響を示す。ここでも内径50mm、軸受幅25mmのりん青銅軸受について計算したものである。図6は粘度 η を1, 5, 10 mPa $\cdot$ sと変化させた場合である。混合潤滑域では粘度 η が高いほど摩擦係数 μ は低く現れ、 μ の極小値も低く、その点の軸受定数 S の値も粘度 η が高いほど小さくなる。すなわち粘度 η は回転数 N と同じ効果があることがわかる。

図7は、境界摩擦係数 μ_b' を0.1, 0.2, 0.3と変化した場合であるが、 μ_b' が大きくなると、 S の減少に対して摩擦係数の立ち上がりが早くなり立ち上がってからの増加率も大きくなる。

図8は表面あらさの大きさに対応する σ の値について変化した場合である。 σ が小さくなるほど、摩擦係数の立ち上がる S の値は小さくなり、

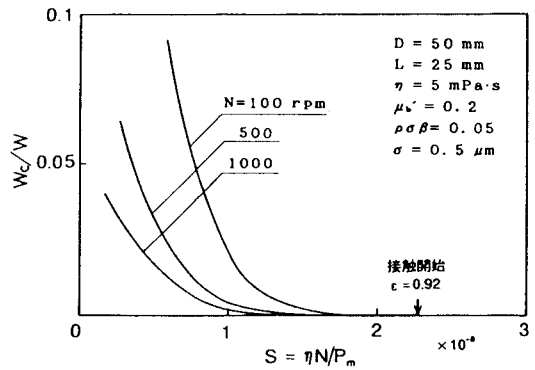


図4 固体接触分担荷重 W_c の全荷重 W に対する割合

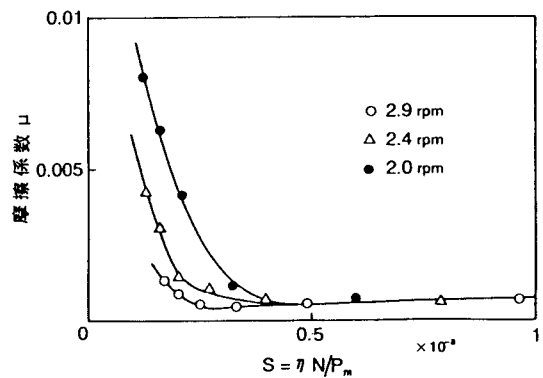


図5 回転数の影響

(S. A. McKee & T. R. McKee, 1932)⁸⁾

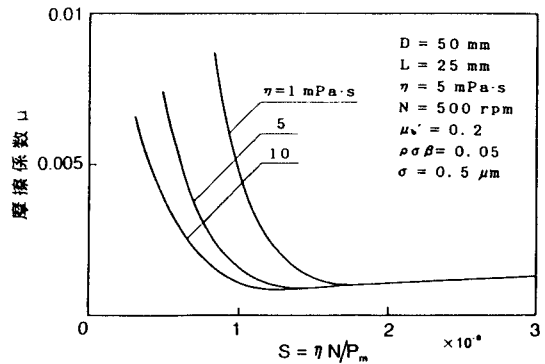


図6 粘度の影響

立ち上がりの勾配が増加している。 σ の減少はなじみが進行してあらさの突起先端が磨耗し、表面あらさが小さくなることを意味するが、ここで、なじみ課程の実験結果の一例⁸⁾を図9に示す。なじみ運転時間が増すと摩擦係数曲線が立ち上がる S の値は小さくなり、さらに、立ち上がってからの摩擦係数曲線の勾配は増大しており図8の傾向とよく一致している。なじみ進行過程ではあらさ

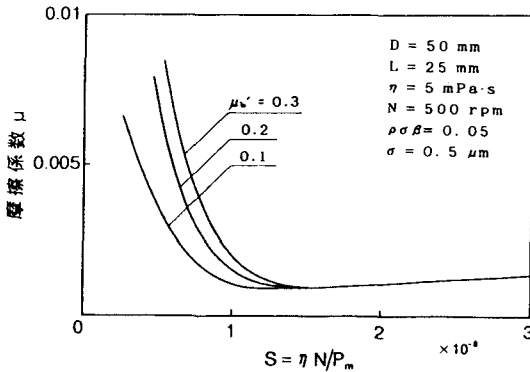


図7 境界摩擦係数の影響

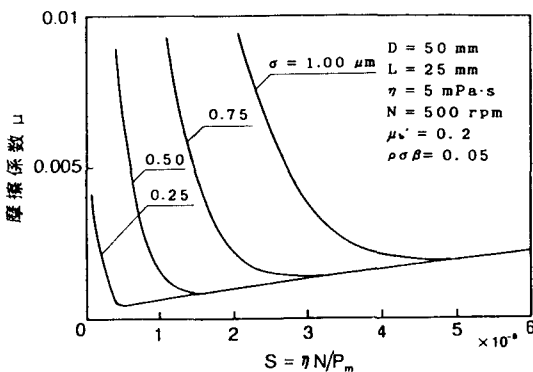


図8 表面あらしの影響

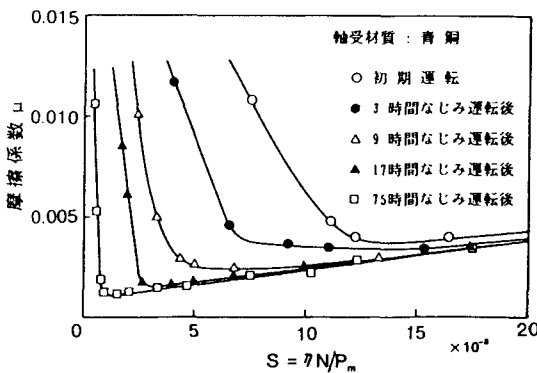


図9 なじみの影響

(S. A. McKEE & T. R. McKEE, 1932)⁸⁾

の変化の他にあたりが拡大する⁴⁾。本稿ではあらしの変化についてのみ計算したが、あたりの変化を表示し得るうねりや円筒度、真円度といった幾何形状誤差の影響についても本稿の計算方法で、油膜形状の与え方においてそれらを考慮することによって計算できるものとする。

以上のようにあらしの突起分布を正規分布として、接触を弾性接触とした本稿の計算方法で、

ジャーナルすべり軸受の混合潤滑摩擦特性を表示することがわかったが、さらに精度よく混合潤滑摩擦特性を計算するためには、突起分布が正規分布からはずれた場合への適用や、塑性接触を考慮した接触理論を用いること、また、流体摩擦成分に対して表面あらしを考慮した修正レイノルズ方程式を用いることなどが考えられる。

4. まとめ

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の計算手法を確立することを目的に、レイノルズ方程式とGreenwood-Trippの弾性接触モデルを連立させて混合潤滑摩擦特性を計算した。その結果、計算で得られた傾向はMcKeeの実験結果などの傾向と一致しており、この計算手法で運転条件、表面形状などの因子が混合潤滑摩擦特性におよぼす影響を表示することがわかった。そして、回転数、粘度、境界摩擦係数、表面あらしの混合潤滑摩擦特性におよぼす影響を鮮明にすることができた。

最後に、本研究にあたりご指導いただいた東京工業大学 中原綱光教授に謝意を表します。

参考文献

- 1) G. Vogelphol : VDI, 96(1954)261.
- 2) 曾田範宗 : 潤滑, 31, 9(1986)637.
- 3) 野々垣稔・中原綱光 : トライボロジスト, 38, 4(1993)337.
- 4) 野々垣稔・中原綱光 : トライボロジスト, 38, 4(1993)345.
- 5) S.M.Rohde & H.S.Cheng (Ed.) : Surface Roughness Effects in Hydrodynamic and Mixed Lubrication, ASME Band Volume No.80-69179(1980)19.
- 6) J.A.Greenwood & J.H.Tripp : Proc. IME, Vol.185(1971)625.
- 7) D.Dwson, C.M.Taylor, G.Zhu : Fluid Film Lubrication - Osborne Reynolds Centenary (Proc. 13th Lees-Lyon Symp.), Elsevier(1987)599.
- 8) S.A.McKee & T.R.McKee : Trans. SAE, 31(1932)374.
- 9) 竹内彰敏・佐藤光正・青木 弘 : 潤滑, 33, 1(1988)62.

チップブレーカに関する研究 (第1報)

—— ブレーカ壁の形状 ——

和田 任 弘

Study on Chip Breaker (1st Report)
—— Shape of New Chip Breaker ——

Tadahiro WADA

It is well known that continuous chips cause various troubles in turning of the steel. To break chips into short segments, the chip breaker is generally applied very well. However, the commercial chip breakers are difficult to break the continuous chips under the wide cutting conditions. So, a new chip breaker was investigated experimentally in order to find out a more effective chip breaker than the commercial chip breakers. However, the plastic deformation of the nose corner on the insert occurred under the cutting condition of large depth of cut and high feed rate, especially for SCM440. This seems to be caused by the cutting tool without corner roundness. In this study, a new chip breaker shape is investigated experimentally in the case of the cutting tool with the corner roundness. Then, a circular cylinder of SS41 was turned with three commercial chip breakers, the situations of the chip flow and the chip breaking were taken photos with a camera, and it was found that part of three chip breakers has an effects on chip breaking. On base of above results, a new chip breaker shape is shown here.

1. 緒 言

鋼材を高速旋削すると、連続した切りくずが生じやすく、これを折断するためにチップブレーカがよく用いられる。市販品のチップブレーカでは、切りくず折断可能な切込みと送りの範囲が十分でなく、切込みや送りの大きさによってチップブレーカを選択する必要がある。今までに、SS41材の乾式切削を対象として、広範囲の切込みと送りで切りくず折断可能なチップブレーカ形状を見いだし⁽¹⁾、さらに、この広域型チップブレーカ付きバイトで数種の鋼の乾式切削を行い、切削性能を調べた⁽²⁾。その結果、このチップブレーカは、被削材SCM440、S55C、SUS304、SK5材の切りくず折断にも有効に作用することがわかった。しかし、被削材SCM440を切込み、送りが比

較的大きな切削条件で乾式切削すると、コーナ部が塑性変形により沈下する。これは、このバイトのコーナ半径が0mmと小さいことが影響していると思われる。この欠点を克服するには、このバイトのコーナ半径を大きくすることが必要と思われる。

切りくず折断可能な範囲を広くしたという、すくい面に複雑な凹凸を有するスローアウェイチップが、国内外の工具メーカーから種々市販されている。

そこで、本研究では、広域型チップブレーカのブレーカ壁形状を改良するのに有用な資料を得るために、切りくず折断に有効といわれているすくい面に複雑な凹凸を有する市販のチップブレーカ付きバイトでSS41材の乾式切削を行い、すくい面のどの部分が切りくず折断に有効に作用しているかを調べ、さらに、これらの実験結果をもとに、広域型チップブレーカのブレーカ壁形状に考察を加えた。

表1 切削条件

Cutting speed	Vm/s	3.0
Feed rate	S mm/rev	0.049~0.48
Depth of cut	a mm	0.1~3.0
Work material		SS41
Cutting method		Dry

2. 実験方法

使用した工作機械は、三菱重工業社製高速旋盤 (HL300-G型, 3.7kW, 70~3200rpm) である。

広域型チップブレーカのブレーカ壁形状の改良を行うために、市販チップのチップブレーカのどの部分が切りくず折断に有効に作用しているかを調べた。すなわち、広域型チップブレーカのブレーカ壁の主要部はポジリード部とネガリード部であり、このブレーカ壁の形状によく似た市販チップを選択した。切削実験に使用した市販チップの形状・寸法を、図1に示す。市販チップには、切りくず折断可能な切込み-送りの組合せがあるので切削条件によって適した形状のチップブレーカを使用する必要がある。そこで、仕上げ用としては図(a)に示す形状のバイトⅠ（工具材種：サーメット）、軽切削用としては図(b)に示す形状のバイトⅡ（工具材種：コーテッド超硬合金）、中切削用としては図(c)に示す形状のバイトⅢ（工具材種：コーテッド超硬合金）を用いた。なお、図1(d)に示す平行溝形のチップブレーカ付きバイトⅣ（工具材種：超硬合金P10種）は、一般によく用いられるので比較のために使用した。使用したホルダは、ETANR-1616H33型である。

使用した切削条件を表1に示す。

表1に示す切削条件で、被削材SS41の外丸削りを行い、切りくず形状、切りくずの流出状態および切削抵抗を調べた。切削抵抗の測定には、共和電業社製TD-500KA型工具動力計を用い、動ひずみ測定器を介してペン書きオシログラフに記録させた。

3. 実験結果および考察

3.1 市販チップの切りくず折断に有効な部分

まず、図1に示すすくい面に複雑な凹凸に有するバイトⅠ、バイトⅡ、バイトⅢが、平行溝形チップブレーカ付きのバイトⅣに比べ、切りくず折断

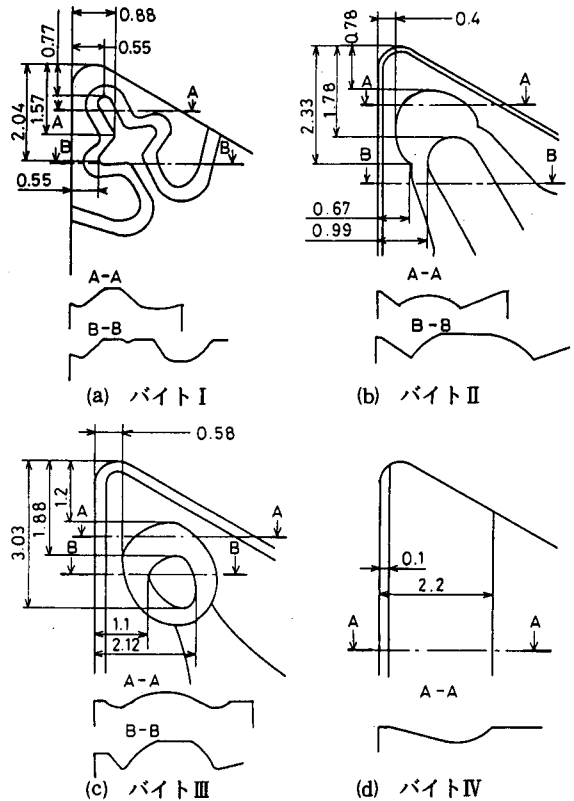


図1 使用バイト

範囲が広がる理由を明らかにするために、SS41材の外丸削りを乾式で行い、切削状態をモータドライブ付きカメラにより連続写真撮影し、その時の切りくずの流出状態ならびに切りくず形状を詳細に観察、検討した。その結果を図2に示す。図2(a), (b), (c)は、それぞれバイトⅠ, Ⅱ, Ⅲで切削した場合に得られた切りくず形状を、切込み-送り平面上に記号によって示したものである。図中の実験点の記号は、精機学会切削性専門委員会の切りくず形状の分類記号⁽³⁾で、また、実線あるいは破線で囲まれた領域内に表示してある数字は、切りくず折断のタイプ⁽⁴⁾を表している。それぞれのバイトには、適用可能な切込みと送りの組合せがあるが、いずれのバイトにおいても、その適用範囲で切りくずは折断されている。

切込み、送りが大きくなるとチップブレーカを付与しなくとも切りくずが折断されるので、傾斜形や平行溝形では切りくずが折断されにくい、切込み、あるいは送りの小さいところについて述べる。

まず、切込みが0.5mm以下の場合について述べる。バイトⅠで切削すると、切込み0.1, 0.2mmで

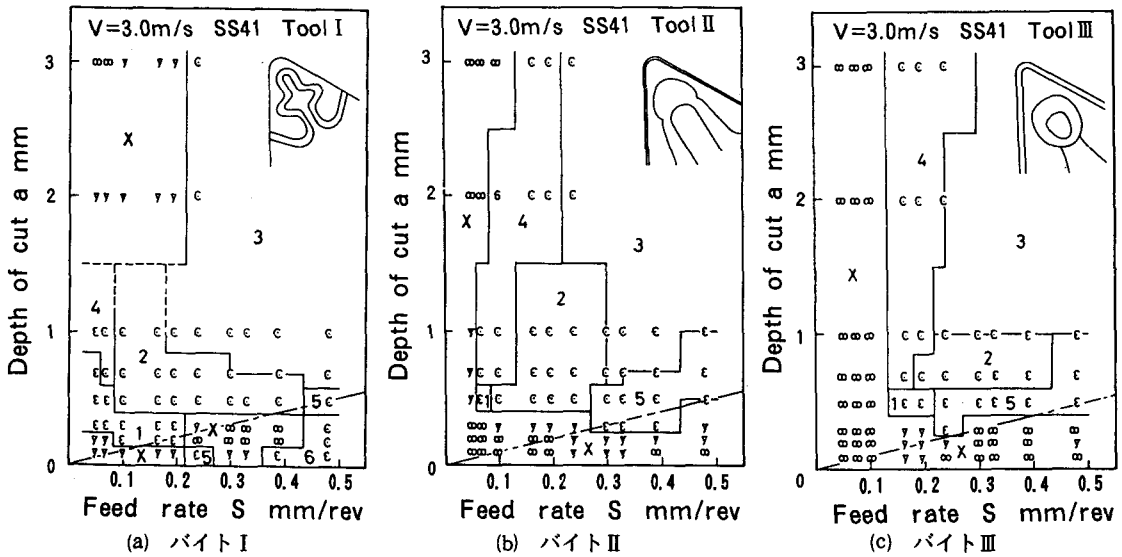


図2 切りくず形状ならびに切りくず折断タイプ

切削速度; 3.0m/s, 切削方式; 乾式, 被削材; SS41

送りの小さいところでは, 規則的形状の連続した切りくずとなっているが, 切込みと送りが等しいところを除くと, 切りくずが折断される領域は広い。バイトIIでは, バイトIに比べ切込み, 送りの小さいところで切りくずは折断されないが, バイトIIIと比較すると切込み, 送りの小さいところでも切りくずは折断される。バイトIIIの場合, 切りくずが折断される範囲は狭いが, バイトIVと比較すると, 広がっていた。上述のように, バイトIでは, 切込みと送りがほぼ等しくなるような切削条件で切りくずは折断されにくい。その理由を考えるために, バイトIで, 切込み0.1~0.5mm, 送り0.24~0.48mm/revで切削を行い, 切削状態を連続写真撮影し, 切りくずの流出状態を詳細に調べた。その結果を切りくずの分類記号⁽³⁾とともに表2に示す。切りくずの流出状態は, 図3に示すように3つのタイプに分類される。図(a)に示す記号○は, 切りくずが送りの方向に流出し, コー

ナ付近の突起物で曲げられ右巻のらせん状の切りくずとなる場合である。図(c)に示す記号△は, 切りくずが送りと逆の方向に流出し, 左巻のらせん状の切りくずとなる場合である。図(b)に示す記号×は, ほぼ直線状の切りくずが流出する場合である。表2に示すように切りくずの流出する方向は切込みと送りの組合わせによって変化し, 切込みと送りがほぼ等しくなるところでは, 切りくずは突起物による曲げ作用を受けにくくなり, 不規則な形状の連続した切りくずとなりやすい。

次に, 切りくず折断のタイプについて述べる。切込みが1mmより小さいところでは, 使用バイト

表2 切りくずの流出状態と切りくず形状

		Feed rate S mm/rev				
		0.24	0.30	0.33	0.39	0.48
Depth of cut a mm	0.1	X	△	△	△	△
		ε	γ	γ	ε	ε
	0.2	X	X	X	X	△
		∞	∞	∞	∞	C
	0.3	○	X	X	X	△
		γ	∞	∞	∞	C
	0.5	○	○	○	○	X
		C	C	C	C	C

切削速度; 3.0m/s, 切削方式; 乾式

被削材; SS41, 切削工具; バイト I

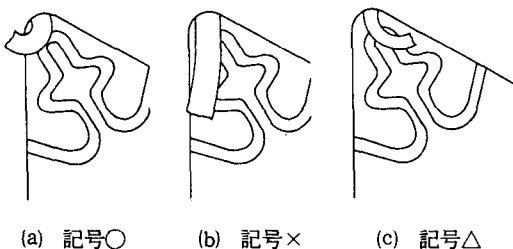


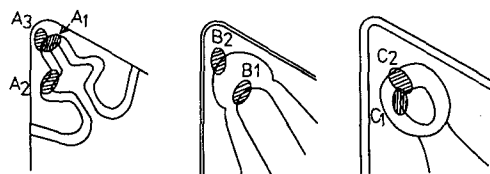
図3 切りくずの流出状態

にもよるが、送りの小さい場合には、横向きカールした切りくずが、すくい面上の突起物で曲げられカール半径が小さくなり、切りくずが被削材に当たりさらに主逃げ面に当たって折れるタイプ2が多く発生している。切込みと送りがほぼ等しくなる場合には、流出した切りくずのカール半径がすくい面の突起物で小さくなり、らせん状の切りくずが振り回されて折れるタイプ5が発生している。また、バイトⅠの場合、切込み、送りがかなり小さいところでは、らせん状の切りくずが激しく横振動を起こし折れるタイプ1が発生している。

上述のように切込みが1.0mmより小さい場合に対し、切込みが1.0mm以上で送りが小さい場合には、上向きカールの切りくずが、すくい面上の突起物で曲げられ、カール半径の小さな切りくずが、バイトの主逃げ面に当たり折れるタイプ4が多く発生している。このように、切込み1.0mmを境界として、切りくずの折れ方に変化がみられる。すなわち、切込みが1.0mmより小さい場合には、横向きカールの切りくずとなりやすいため、横向きカールのカール半径を小さくするように突起物の形状を考慮しなければならない。これに対し、切込み1.0mm以上の場合には、切りくずは上向きカールしやすいため、上向きカールのカール半径を小さくするような突起物の形状を考慮してブレード壁形状を考案しなければならない。

3.1.1 切込みが小さい場合に有効なブレード壁形状

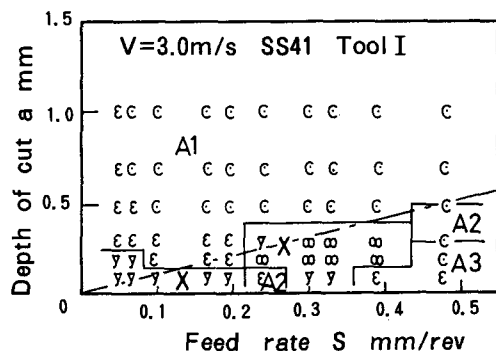
バイトⅠ、Ⅱ、Ⅲで、切込み0.1～1.0mm、送り0.049～0.48mm/revの組合せでSS41の外丸削りを行い、すくい面上のどの部分が切りくず折断に有効に作用しているかを調べた。その結果、図4に示す各バイトの楕円の部分が切りくず折断に有効に作用していることがわかった。図5に、その発生領域を切込み-送り平面上に示す。なお、実験点に記入された記号は、切りくず形状の分類記号⁽³⁾



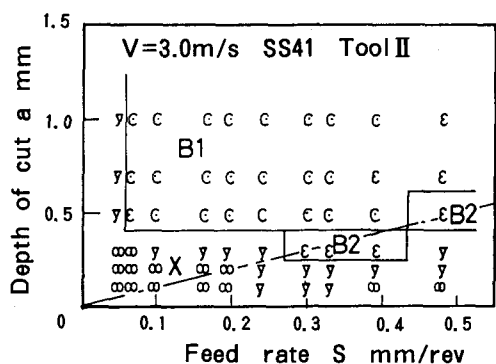
(a) バイトⅠ (b) バイトⅡ (c) バイトⅢ

図4 切りくず折断に有効な部分

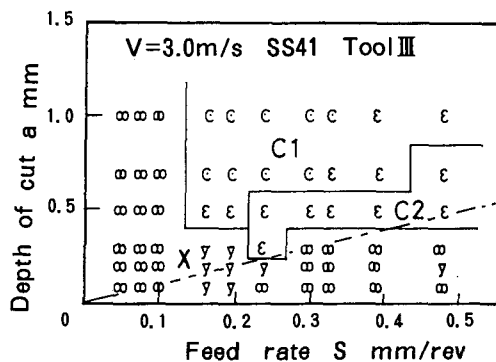
である。バイトⅠの場合、図5(a)に示すように、切込み0.2, 0.3mmで送りの小さい場合や、切込み0.5mm以上の場合にはA₁の部分、切込み0.1mmで送り0.24mm/revの場合や、切込み0.3, 0.5mmで送りが大きい場合にはA₂の部分、切込み0.1mmで送りが大きい場合、あるいは切込み0.2mmで送り0.48



(a) バイトⅠ



(b) バイトⅡ



(c) バイトⅢ

図5 切りくず折断に有効な部分の発生領域と切りくず形状

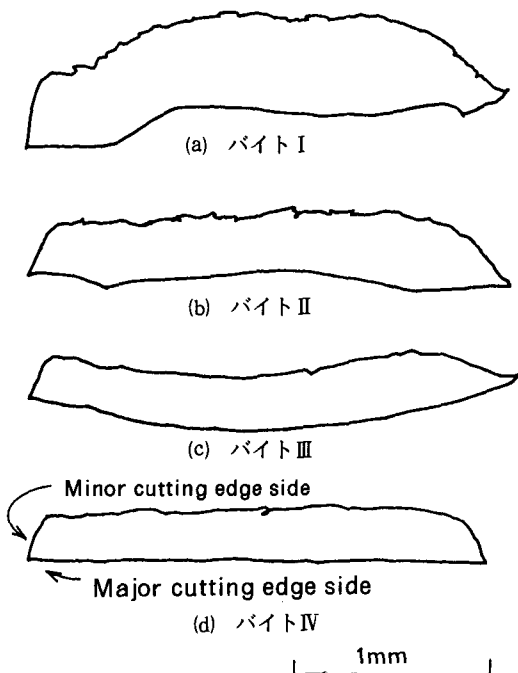
切削速度; 3.0m/s, 切削方式; 乾式, 被削材; SS41

mm/revの場合には A_3 の部分が有効に切りくずを曲げていることがわかる。図5(b)に示すように、バイトⅡの場合、切込み0.5mmで送り0.39mm/rev以下や、切込み0.7mm以上の場合には B_1 の部分、切込み0.3mmで送りがやや大きい場合や、切込み0.5mmで送り0.48mm/revの場合には B_2 の部分が有効である。図5(c)に示すように、バイトⅢの場合、切込み0.5mmで送り0.165, 0.21mm/revの場合や、切込み0.7mm以上の場合には C_1 の部分、切込み0.3mmで送り0.24mm/rev, あるいは切込み0.5mmで送り0.24~0.48mm/revの場合や、切込みが0.7mmで送り0.48mm/revの場合には C_2 の部分が有効である。

以上のことから、切込みが1.0mm以下の場合には、各チップの切りくず折断に有効な部分(図4に示す斜線の領域)を通る曲線をもとに広域型チップブレイカを改良するのが望ましいと考えられる。

3.1.2 切込みが大きい場合に有効なブレイカ壁形状

次に、前述の切込み1.0mm以下で有効な広域型チップブレイカを、さらに切込みが大きい場合でも使用することが可能な形状について述べる。



SS41, $V=3.0\text{m/s}$, $a=2.0\text{mm}$, $S=0.098\text{mm/rev}$, Dry.

図6 切りくず断面形状

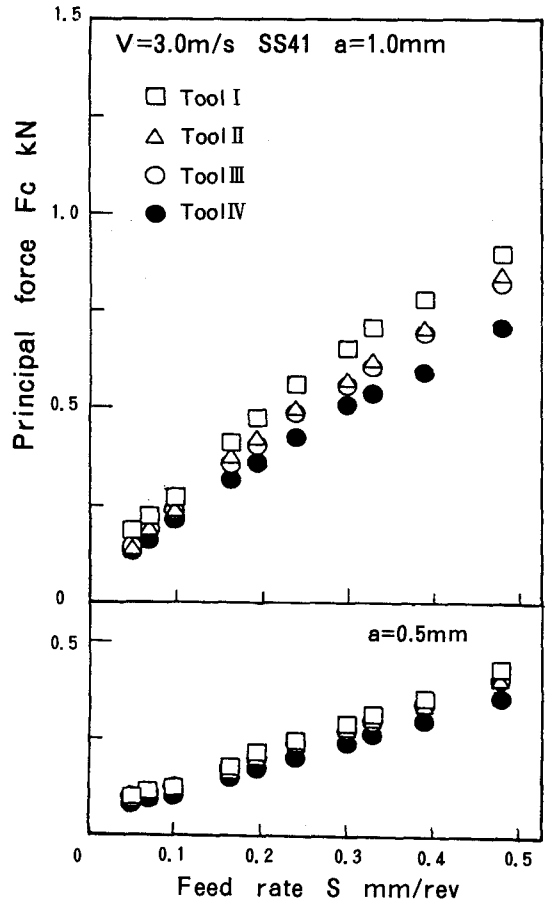


図7 切削抵抗(主分力)

切削速度; 3.0m/s. 切削方式; 乾式. 被削材; SS41

図2に示すように、バイトⅠで切削した場合、切込み0.7, 1.0mmでは、他のバイトに比べ送りの小さいところでも切りくずは折断される。しかし、切込みが2.0, 3.0mmと大きくなると、送りが0.195mm/rev以下では切りくずが折断されなくなり、切りくずを折断するためには、バイトⅡ、バイトⅢよりも送りを大きくしなければならない。そこで、切込みが2.0mmにおける切りくずの断面形状を調べた。その結果を図6に示す。図6(a)に示すように、バイトⅠで切削した場合、図(d)に示す平行溝形チップブレイカ付きのバイトⅣで切削した場合に比べ、切りくずは厚く、また切りくず断面積も大きくなっている。これは、突起物が切削部に近づきすぎているため、切りくずの流出がつまり気味となり、切りくずの断面積が大きくなったものと思われる。このため、切りくずの温度がかなり上昇し切りくずが折れにくくなったものと思われる。切りくず温度の上昇については、切りくずの

色からも推測された。また、図(a)に示すバイトⅠでは、切りくずとすくい面との摩擦面側が、突起物により大きな変形を受けている。このことから、切りくずが突起物による曲げ作用を受けにくく、カール半径の大きな切りくずが流出したことがわかる。このことも切りくずを折れにくくしている。これに対し、図(b), (c)に示すバイトⅡ, Ⅲで切削した場合の切りくず厚さは、図(d)に示すバイトⅣで切削した場合とほぼ等しくなっている。

図7に、切込み0.5mm, 1.0mmで切削した場合、送りが切削抵抗主分力に及ぼす影響を示す。切込みが0.5mmの場合には、バイトによらず切削抵抗の差は小さい。これに対し、切込み1.0mmで切削した場合には、送りを大きくすると、バイトⅠ, Ⅱ, Ⅲの主分力は、バイトⅣに比べ大きくなり、とくにバイトⅠの主分力はかなり大きくなる。これは、バイトⅠで切削した場合、切込みが大きくなると切りくずがつまり気味となり、切削抵抗主分力が大きくなったものと考えられる。なお、背分力、送り分力も同様な傾向が見られた。

3.2 コーナ半径を大きくした場合の広域型チップブレーカ壁形状

以上のことから、コーナ半径を大きくした場合の広域型チップブレーカのブレーカ壁を改良するためには、以下のような考え方が最適と思われる。

切込みが小さい場合の切りくず折断性能を向上

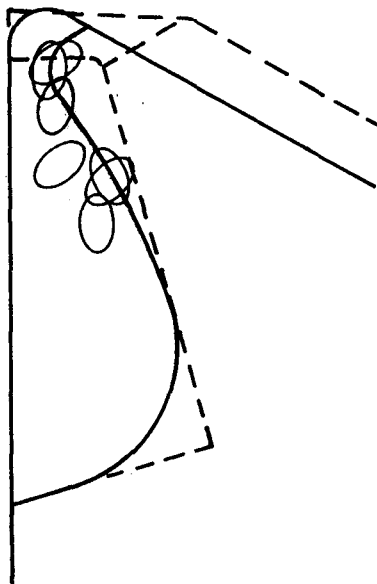


図8 広域型チップブレーカのブレーカ壁形状

させるためには、図4で示したバイトⅠ, Ⅱ, Ⅲの切りくず折断に有効な部分(図8中に示す楕円の部分)を組合わせる。さらに、切込みが大きくなる場合には、前述のように突起物が主切れ刃に近づき過ぎるのは良くないので、切込みが大きくなるにつれ、主切れ刃からブレーカ壁までの距離を大きくする。こうすることにより、切りくずを手前に湾曲させる効果も生じる⁽¹⁾。

以上のことから、図8の破線で示すコーナ半径0mmの広域型チップブレーカのコーナ半径を大きくする場合、図8の実線で示すようにブレーカ壁形状を変更するのが良いと考えられる。

4. 結 言

コーナ半径0mmの広域型チップブレーカ付きバイトでは、切込み、送りが大きい場合、コーナ部の塑性変形による沈下が生じやすい。これは、コーナ半径が小さいことが主な理由と考えられる。そこで、このバイトのコーナ半径を大きくした場合、それにつれてブレーカ壁の形状を改良する必要がある。本研究では、コーナ半径を大きくした場合のブレーカ壁形状の改良を目指して実験を行った。そのために、切りくず折断に有効といわれているすくい面に複雑な凹凸を有する3種類の市販バイトでSS41の乾式切削を行い、切りくず折断に有効に作用している部分を詳細に調べた。次に、これらの部分を組合わせた形状のブレーカ壁をもとに、コーナ半径が大きい広域型チップブレーカのブレーカ壁形状を見いだした。なお、このブレーカ壁の最適寸法の選定ならびに切りくず折断性能および工具摩耗については引続き報告する。

参考文献

- (1)長谷川嘉雄, 花崎伸作, 藤原順介, 和田任弘: チップブレーカに関する研究, 精密工学会誌, 52, 7 (1986) 1211.
- (2)長谷川嘉雄, 花崎伸作, 藤原順介, 和田任弘: チップブレーカに関する研究, 精密工学会誌, 54, 10 (1988) 1975.
- (3)中山一雄: 切削加工論, コロナ社, 東京, (1978) 210.
- (4)長谷川嘉雄, 花崎伸作, 藤原順介, 和田任弘: チップブレーカに関する研究, 精密工学会誌, 52, 5 (1986) 858.

チップブレーカに関する研究 (第2報)

—— ブレーカ壁の寸法 ——

和田 任 弘

Study on Chip Breaker (2nd Report)
—— Development of New Chip Breaker ——

Tadahiro WADA

A new chip breaker was investigated experimentally in order to find out a more effective chip breaker than the commercial chip breakers. However, the plastic deformation of the nose corner on the insert occurred under the cutting condition of large depth of cut and high feed rate, especially for SCM440. This seems to be caused by the cutting tool without the corner roundness. In the first report, a new chip breaker shape was investigated in case of the cutting tool with the corner roundness. In this study, a new chip breaker has been developed experimentally.

1. 緒 言

鋼材を高速旋削すると流れ形切りくずが生じやすく、これが適当な長さに折断されない場合、旋削作業に悪影響を及ぼすことは周知の通りである。このような連続した切りくずを折断するためにチップブレーカが利用されるが、広範囲の切削条件に対し、適用できるブレーカはなく、切削条件によって適したブレーカを選択しているのが現状である。今までの研究により、SS41材の乾式切削を対象として、広範囲の切込みと送りで切りくず折断可能なチップブレーカ形状を見いだした⁽¹⁾。しかし、被削材SCM440を切込み、送りが比較的大きな切削条件で乾式切削すると、コーナ部が塑性変形により沈下する⁽²⁾。これは、このバイトのコーナ半径が0mmと小さいことが主な理由と思われるが、この広域型チップブレーカ付きバイトのコーナ半径を大きくすると、切りくずが折断されない範囲が増えるので、それにつれブレーカ壁形状も多少変更する必要が生じる。前報⁽³⁾では、ブレーカ壁形状を変更するのに有用な資料を得るために、すくい面に複雑な凹凸を有

する市販のチップブレーカ付きバイトで、SS41材の乾式切削を行い、すくい面のどの部分が切りくず折断に有効に作用しているかを調べ、さらに、これらの実験結果をもとに、コーナ半径が大きいチップに対し適用可能な広域型チップブレーカのブレーカ壁形状を示した。

本研究では、コーナ半径の大きい広域型チップブレーカ付きバイトを実際に試作し、ブレーカ壁の最適寸法を見いだすことを目的とする。このために、コーナ半径0.1, 0.2, 0.4mmの広域型チップブレーカ付きバイトを試作し、SCM440材を乾式切削した場合の切りくず形状を調べた。さらに、工具摩耗も調べた。

2. 実験方法

使用した工作機械は、三菱重工業社製高速旋盤(HL300-G型, 3.7kW, 70~3200rpm)である。

バイトは、市販の超硬合金P10種TNGA160304型チップをETANR-1616H32型ホルダに取付けたものである。このバイトのコーナ部ならびに前切れ刃をダイヤモンド砥石で成形したのち、チップブレーカを付与した。チップブレーカは、高速

表1 切削条件

Cutting speed Vm/s	2.2, 2.5
Feed rate S mm/rev	0.049~0.48
Depth of cut a mm	0.1~3.0
Work material	SCM440
Cutting method	Dry

治具グライндаにダイヤモンド軸付き砥石 (W 11030型, #120) を取付け, 研削加工で付与した。高速治具グライндаは, 高速立型マシニングセンタの主軸に取付けて使用した。

表1に, 本研究で使用した切削条件を示す。

試作チップブレーカ付きバイトによって, SCM440材の外丸削りを行い, 切りくず形状, 切りくず流出状態などを調べ, この結果をもとにブレーカ壁の寸法に改良を加え, 最適寸法を求めた。切削方式は, 切削部を観察するために乾式で行った。

最適寸法のブレーカ壁については, 工具摩耗も調べた。

3. 実験結果および考察

3.1 試作チップブレーカの最適寸法

図1に示すブレーカ形状⁽³⁾をもとに, 図2に示すコーナ半径の大きい広域型チップブレーカ付きバイトのブレーカ壁を考案した。ここで, 横すくい角, バックレーキはともに 0° とした。また, ブレーカ壁の高さについては, 小さすぎると切り

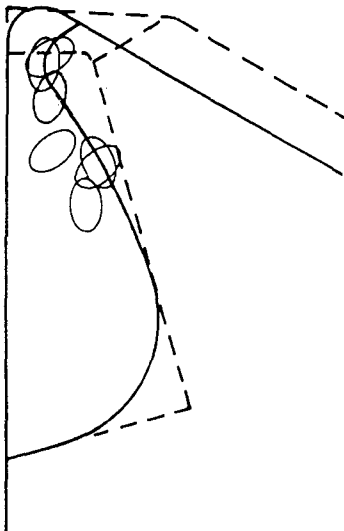


図1 広域型チップブレーカ形状

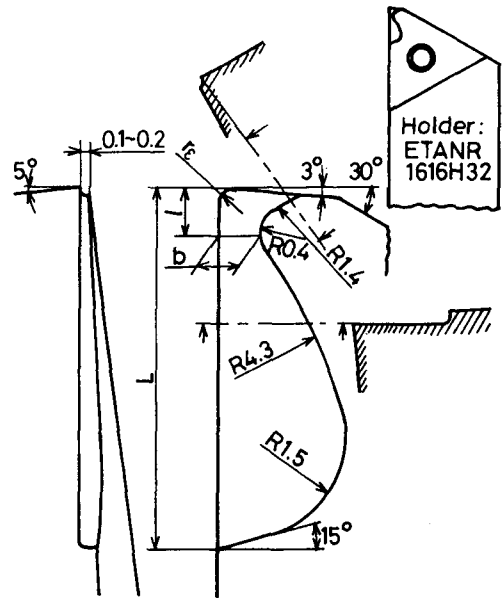


図2 広域型チップブレーカの形状・寸法

くずがブレーカ壁を乗り越え折断されないが, 大きすぎると切りくずの流出が妨げられ, 切りくずが折断されないばかりか, 仕上げ面にも悪影響を及ぼす。本研究では, 既報の研究成果⁽¹⁾をもとに, $0.1 \sim 0.2 \text{ mm}$ とした。Lはある程度大きい方がよい。実験に使用した超硬チップの大きさから, あまり大きすぎると超硬チップの強度上問題があるので $5.5 \sim 6.0 \text{ mm}$ とした。なお, 図2に示すコーナ半径 r_c , l ならびに b については, 切りくず折断性能に大きな影響を及ぼすので最適な値を調べる必要がある。たとえば, 中山ら⁽⁴⁾は, 限界切込み(切りくずが折れる領域の下の限界の切込み)は, バイトのコーナ半径にほぼ等しいとしている。本研究では, コーナ半径 r_c が, $0.1, 0.2, 0.4 \text{ mm}$ の場合について, 図2に示す l ならびに b を種々変化させて, 数種類のブレーカ壁を試作し, 試作チップブレーカ付きバイトでSCM440材を乾式切削し, 切りくず形状を調べた。その結果, コーナ半径 $0.1, 0.2, 0.4 \text{ mm}$ の場合, $b = (0.6 \pm 0.05) \text{ mm}$, $l = (0.7 \pm 0.05) \text{ mm}$ が, 切りくず折断性能の点で最適寸法であった。それぞれの場合に得られた切りくず形状を, 精機学会切削性専門委員会の切りくず形状の分類記号⁽⁵⁾によって図3に示す。図(a)に, コーナ半径 0 mm の広域型チップブレーカ付きバイトで切削した場合⁽²⁾を示す。図中の曲線は, 図4に示す市販バイトで切削した場合の切りくず折断限界で, これらの曲線で囲まれた領域の

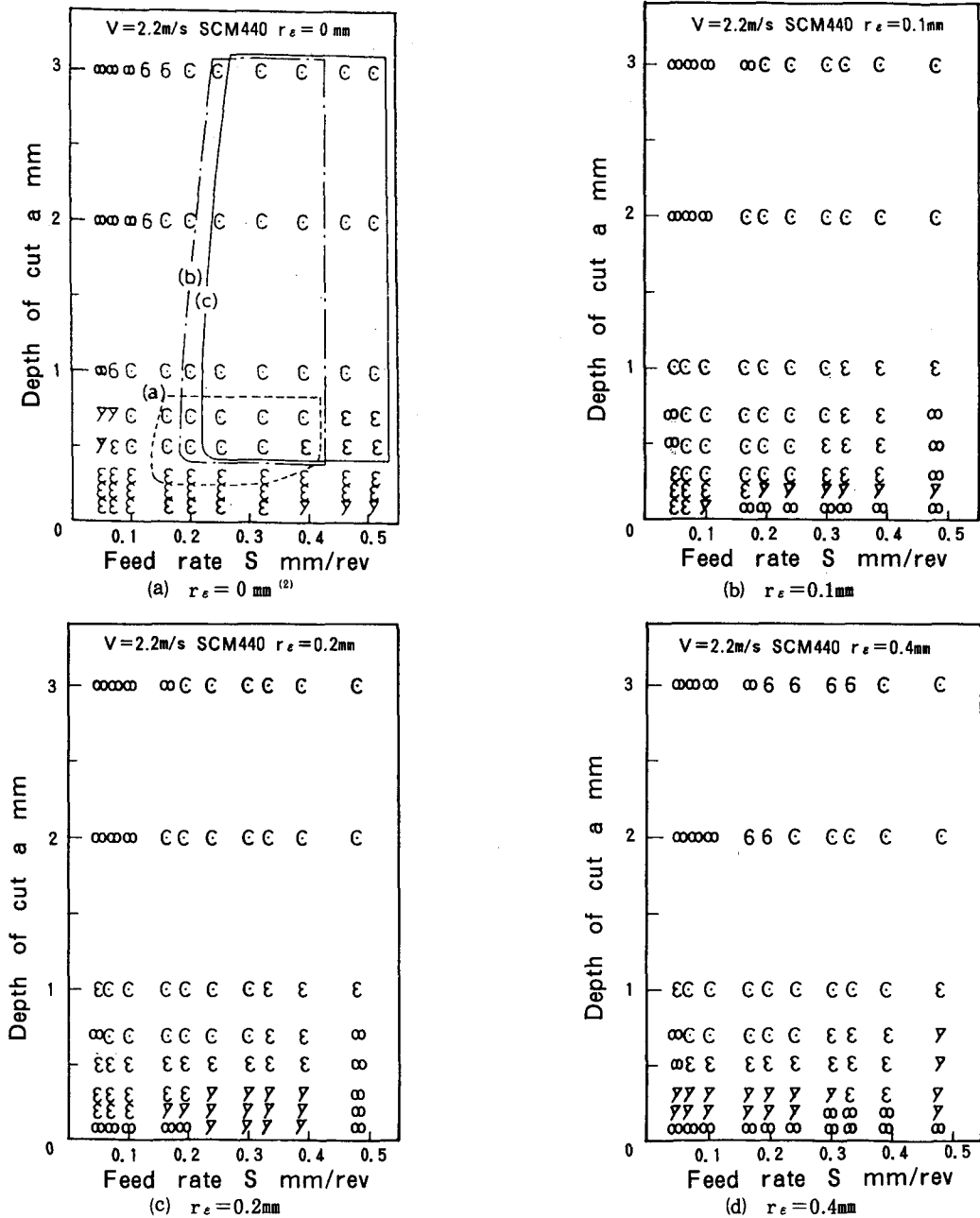
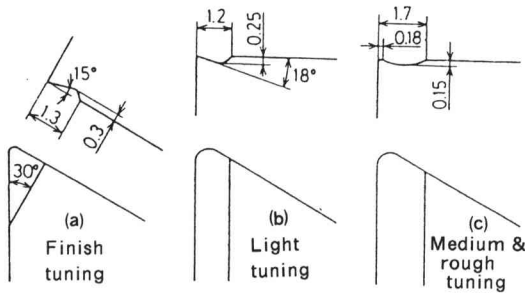


図3 切りくず形状

切削速度; 2.2m/s, 切削方式; 乾式, 被削材; SCM440

外側では切りくずは折断されない。図(b)に示すコーナ半径0.1mmの場合には、切込みが0.1mmで送りが小さい場合であっても、切りくずは折断される。図(c)に示すコーナ半径0.2mmの場合、切込みが0.1mmでは切りくずは折断されない。しかし、図(a)に示す市販のチップブレイカ付きバイトに比べ切りくず折断範囲は、かなり広がっている。

図(c)に示すコーナ半径が0.4mmの場合には、切込みが0.3mm以下では切りくずが折断されにくく、広範囲の切削条件で切りくず折断可能なチップブレイカとはいいいにくい。したがって、コーナ半径0.1mm, 0.2mmの広域型チップブレイカの場合には、コーナ半径0mmの広域型チップブレイカの場合に比べ、切込み、送りが小さいところで切りくずは

図4 汎用型チップブレイカの形状・寸法⁽²⁾

折れにくくなっているが、前述のように、図3(a)中の曲線で示す市販のチップブレイカと比較すると切りくず折断範囲は広がっている。

以上のことから、コーナ半径0mmの広域型チップブレイカ付きバイトのコーナ半径を大きくする場合、切りくず折断性能の点でコーナ半径は、0.1mm, 0.2mmが最適であると考えられる。

3.2 工具摩耗

コーナ半径0mmの広域型チップブレイカでは、SCM440を乾式切削した場合、コーナ部の塑性変形が生じたので、コーナ半径0.1mm, 0.2mmの試作バイトに付いて工具摩耗を調べた。

図5は、切削速度2.5m/s、切込み1.0mm、送り0.098mm/revでSCM440を切削距離3.0km切削した後の工具摩耗状態を示す。図(a)は、コーナ半径

0.1mmの広域型チップブレイカ付きバイトの場合である。コーナ部には塑性変形による沈下が生じている。また、主切れ刃に平行に、クレタ摩耗が発生しており、クレタ摩耗により、副切れ刃が大きく摩耗している。さらに、ブレイカ壁の先端にも大きな損傷が見られる。これらのことから、コーナ半径0.1mmのバイトでは、コーナ部の塑性変形による沈下は防止できない。これに対し、図(b)に示すコーナ半径0.2mmの場合、すくい面にクレタ摩耗が発生しているが、コーナ部には塑性変形による沈下は生じない。

次に、切削距離の増加につれ、主逃げ面摩耗幅がどのように変化するかを調べた。図6に、その結果を示す。切削距離が増加すると主逃げ面摩耗幅は大きくなる。コーナ半径0.1mmと0.2mmのバイトを比較すると、コーナ半径0.2mmのバイトの方が主逃げ面摩耗幅が小さい。

以上のことから、コーナ半径0.2mmの広域型チップブレイカ付きバイトでは、コーナ部の塑性変形による沈下は生じておらず、コーナ半径0mmの広域型チップブレイカを改良すると、コーナ半径0.2mmが最適であると考えられる。なお、コーナ半径0.4mmの場合、コーナ部の塑性変形による沈下は生じないが、前述のように切りくず折断性能がかなり低下する。

最後に、コーナ半径0.2mmの広域型チップブレイカ付きバイトで送りと切込みの組合せを数種類変

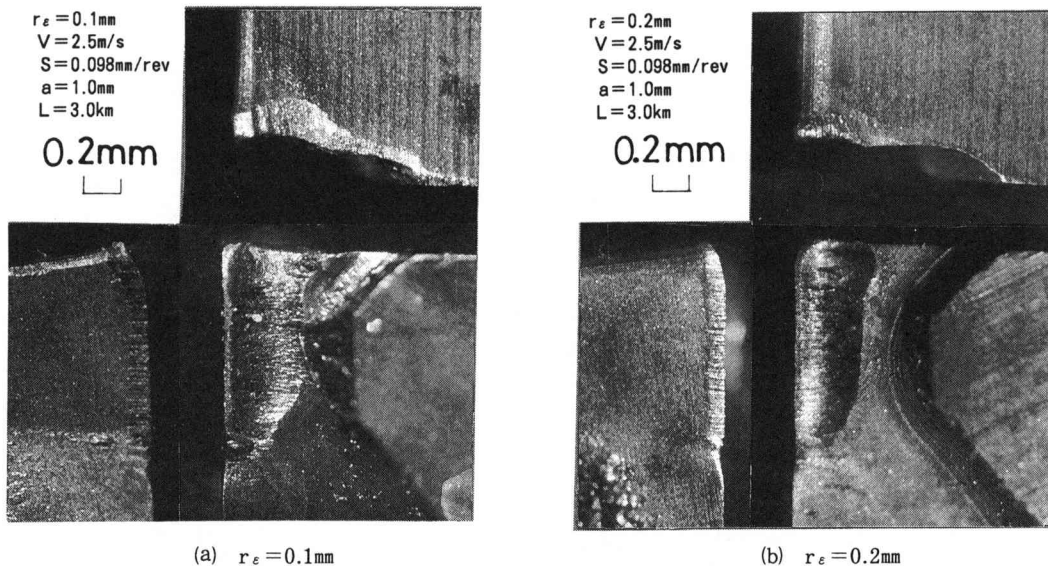


図5 工具摩耗（切削距離；3.0km）

切削速度；2.5m/s、送り；0.098mm/rev、切込み；1.0mm、切削方式；乾式、被削材；SCM440

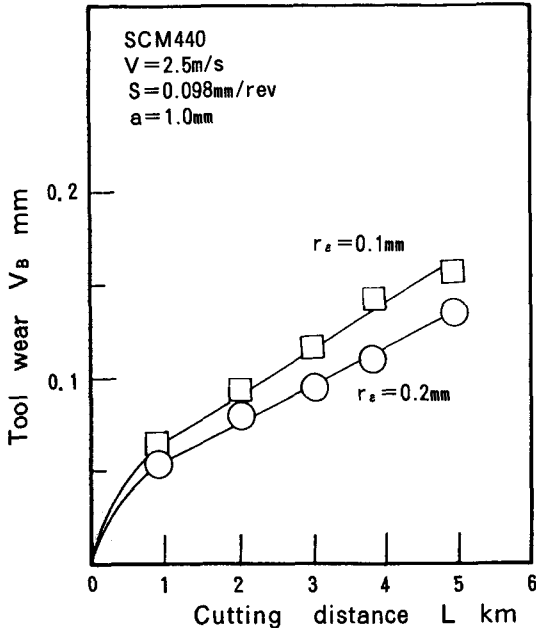


図6 切削距離と主逃げ面摩耗幅との関係

切削速度; 2.5m/s, 送り; 0.098mm/rev, 切込み; 1.0mm,

切削方式; 乾式, 被削材; SCM440

化させ, 工具が摩耗した場合の切りくず折断性能について調べた。その結果, 主逃げ面摩耗幅が0.2mm程度までであれば, 切削開始から切削終了まで切りくず形状に大きな変化は見られなかった。

4. 結 言

本研究では, コーナ半径0mmの広域型チップブレード付きバイトのコーナ半径を大きくするために, コーナ半径0.1, 0.2, 0.4mmの広域型チップブレード付きバイトを試作し, 被削材SCM440を切削速度2.2m/sで乾式切削し, ブレード壁の最適寸法を求めた。さらに, 工具摩耗も調べた。

得られた主な結果は次の通りである。

- (1) コーナ半径0.1, 0.2mmのバイトでは, コーナ半径0mmの広域型チップブレードに比べ, 切りくず折断可能な範囲は狭くなるが, 市販のバイトと比較するとかなり広がる。しかし, コーナ半径0.4mmのバイトでは, コーナ半径0mmのバイトに比べ切りくず折断可能な範囲はかなり狭くなる。
- (2) コーナ半径0.1mmのバイトでは, コーナ部の塑性変形による沈下は改善されない。しかし, コーナ半径0.2, 0.4mmのバイトでは, 塑性変形による沈下は生じない。また, コーナ半径0.2mmのバイトの主逃げ面の摩耗幅は, コーナ半径0.1mmの場合に比べ小さい。
- (3) コーナ半径0.2mmの広域型チップブレード付きバイトで, 送りと切込みの組合せを数種類変化させ, 工具が摩耗した場合の切りくず折断性能について調べた。その結果, 主逃げ面摩耗幅が0.2mm程度までであれば, 切りくず形状に大きな変化は生じない。

参考文献

- (1)長谷川嘉雄, 花崎伸作, 藤原順介, 和田任弘: チップブレードに関する研究, 精密工学会誌, 52, 7 (1986) 1211.
- (2)長谷川嘉雄, 花崎伸作, 藤原順介, 和田任弘: チップブレードに関する研究, 精密工学会誌, 54, 10 (1988) 1975.
- (3)長谷川嘉雄, 花崎伸作, 藤原順介, 和田任弘: チップブレードに関する研究, 日本機械学会第67期全国大会講演論文集, (1989) No. 1226.
- (4)中山一雄, 李振加, 新井実: チップブレードの切りくず折断性能(第1報), 精密工学会誌, 52, 12 (1986) 2120.
- (5)中山一雄: 切削加工論, コロナ社, 東京, (1978) 210.

電流形PWMコンバータの復調

井 村 榮 仁

Demodulation of A Current Type PWM Converter

Shigeji IMURA

In this paper, a method of demodulation for a current type PWM converter is discussed. Any current type PWM converter has many advantages, for example quick response and accurate output proportional to input signal. But on the other hand, undesirable side-band components are also generated and these magnitude is large enough not to be neglected.

Customarily the HPF (High Pass Filter) is used to absorb these harmonics with comparatively large buffer reactor. Here, we propose that it is very effective to use ac input current of converter as a feedback signal for decreasing magnitude of side band.

Just as same good effect in the case of using HPF is obtained by computer simulation.

1. まえがき

電流形PWMコンバータは、応答性が優れている反面、キャリア周波数と信号成分のそれとで決まる周波数の、振幅の大きい側波帯（側帯波）が発生する。従来、これを抑制するためにキャリア周波数を高くし、高周波フィルタ（以下HPFと略記）を併用している。コンバータ部の制御スイッチング素子としてGTOを使用した場合、キャリア周波数が2 (kHz)程度であるため、低次の側波帯成分が発生するので、信号成分に影響を与えずにこれらを低減するHPFを設計することは困難である。そこで、今回はMOSFETやIGBTを想定して、キャリア周波数を10(kHz)程度としたときの電流形PWMコンバータを取り上げ、その復調についてシミュレーションにより考察した。

コンバータ部より交流側を見た高次高調波に対するインピーダンスが小さい場合、一般にはキャリア周波数を高くしただけでは有効なHPF動作を得ることはできない。そのため、通常交流側に直列に大きなリアクトルを挿入してHPFの効果

を上げている。しかし、一方でスイッチング時に発生する、大きなスパイク電圧が問題となる。

本論文では、この問題を解決するため単相PWMコンバータを例にとり、交流側電流をコンバータ制御部にフィードバックすることを試みた⁽¹⁾。

その結果、入力側に大きなリアクトルを挿入することなく、同時にHPFを併用したのと同様の効果を有する、良好なコンバータ動作がシミュレーションにより確認できた。なお、この時交流側に用いる直列リアクトルは小さい値のものでよく、そのためスパイク電圧の振幅も低下する。

2. 回路構成とPWM動作

図1に電流形3相PWMコンバータの回路を示す。図において e_u , e_v および e_w は、変圧器2次側に換算した3相交流電源を表し、同じく R_i , L_i は2次側に換算した変圧器巻線の抵抗およびインダクタンスである。また、交流電源端子間に、スイッチング時におけるスパイク電圧の吸収と広域フィルタ効果を考慮して R_d-C_d 直列回路を接続してある。 v_a は半導体素子のオン電圧降下を、 L は電

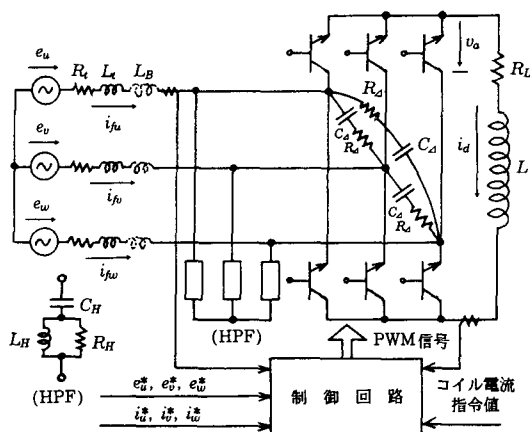


図1 電流形3相PWMコンバータ

流源として用いたリアクトルのインダクタンスを表す。素子としては、GTO（キャリア周波数2kHz程度）、またはMOSFET、IGBT（同周波数20kHz程度）を用いる。

i_{fu} , i_{fv} および i_{fw} は、コンバータ交流側の電流である。 L_B は、バッファリアクトルを表し、HPFと併用する場合はかなり大きい値となるが、交流側電流をフィードバックするときには小さな値のものでよい。

制御回路は、発生したい電流波形の信号を、キャリア三角波との比較によりPWM信号に変え、各素子 S_i ($i=1\sim6$) に送っている。入力信号としては、電流源の L に蓄える電流を制御するための電源相電圧信号 e_u^* , e_v^* および e_w^* と基本波成分以外のいくつかの周波数成分からなる複合高調波電流（含む整流波形）信号 i_u^* , i_v^* および i_w^* , さらに L の電流を指定する指令値などである。

今回、既述のように図1の1相分を取り出した単相PWMコンバータについて考察する（図2）。

図2で $R=R_\Delta/3$, $C=3C_\Delta$ であることを除けば、残りの回路定数は3相のそれと同じである。さて、図3を参照して、与えられた信号をどのようにPWM信号に変換しているかについて説明する。ここでは、便宜上素子はGTOとしておく。図3(a)においてGTO1, 4の接続点に流れ込む電流を i とし、GTO1, 2がオンしたとき流れる電流を i^+ 、逆にGTO3, 4が点弧したときのそれを i^- とする。

4個の半導体素子のゲート制御信号 $G_1\sim G_4$ は、次ぎのように与えられる。今、角周波数 ω_h （周波数 f_h ）の信号

$$i_h = I_{sm} \sin(\omega_h t + \theta) \quad \dots\dots\dots(1)$$

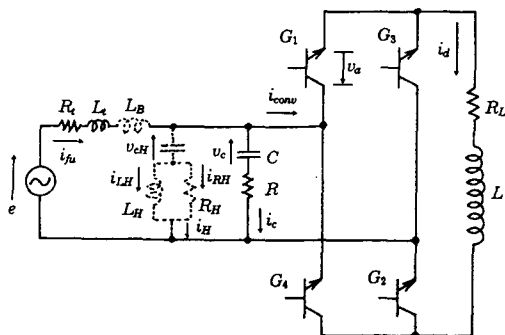
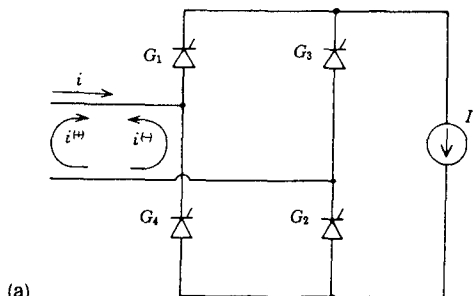
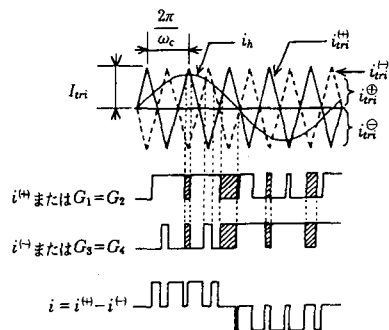


図2 1相分の等価回路



(a)



(b)

図3 単相PWMの原理

に比例した電流 i を発生させるには、同図(b)に示すように、角周波数 ω_c （周波数 f_c ）の2つの三角波 $i_{tri}^{(+)}$ （実線）、および $i_{tri}^{(-)}$ （破線）と信号 $i_h^{(+)}$ とを比較した結果えられる、 $G_1\sim G_4$ の波形のスイッチング動作を行わせる。ここで、 $i_{tri}^{(-)}$ は、丁度 $i_{tri}^{(+)}$ を反転したものである（ $i_{tri}^{(-)} = -i_{tri}^{(+)}$ ）。

すなわち、ハッチング部分を考慮しない場合の $G_1 (=G_2)$ および $G_3 (=G_4)$ のトリガ信号は

- $G_1 (=G_2)$: i_h と $i_{tri}^{(+)}$ とを比較して、
 $i_h > i_{tri}^{(+)}$ のとき点弧する。
 $G_3 (=G_4)$: i_h と $i_{tri}^{(-)}$ とを比較して、
 $i_h < i_{tri}^{(-)}$ のとき点弧する。

として得ている。かくして、上述のパルス電流 i^+

の波形は、 $G_1 (=G_2)$ のそれと同一になり、同様に i^- のそれは $G_3 (=G_4)$ のそれと等しくなる。よって、

$$i = i^+ - i^- \dots\dots\dots(2)$$

は、同図(b)の最下段のようになる。

ところが、電流源の開放は絶対にしてはいけないこと、および交流電流 i のながれている経路にインダクタンス分が存在することから、実際のトリガ信号にはハッチングで示される部分が追加されなければならない。また各素子にはそれぞれ並列にスナバ回路が付設される。ただし、ここではスナバ回路は省略して描いてある。ハッチング部分は、同一アームの上下のGTOを同時にオンすることにより、電流源を短絡しているだけなので、式(2)で与えられる i は、少しも影響を受けない。PWMの理論によれば、式(2)は次のように書かれる：

$$i = MI \sin(\omega_h t + \theta) + \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{l=1}^{\infty} I_{(k,l)} \sin\{\omega_c t + (2l+1)(\omega_h t + \theta)\} \dots\dots\dots(3)$$

ここに、 I は電流源の電流値で $M = I_{sm}/I_{tri}$ 、またベッセル関数 $I_{(k,l)}$ は $I_{(k,l)} = (-1)^k \cdot 2I \cdot J_{|2l+1|}(\pi M k) / \pi k$ である。ところで、図3(b)をよく見ると明かなように i の正の部分は、 $0 \sim I_{tri}$ の範囲にある角周波数 $2\omega_c$ の三角波—これを $i_{tri}^{\oplus}$ とする—と信号 i_h の正の部分との比較により、同様に i の負の部分は、 $0 \sim -I_{tri}$ の範囲で変化する、やはり角周波数 $2\omega_c$ の三角波—これを $i_{tri}^{\ominus}$ とする—と i_h の負の部分との比較によっても生成できる。また、ハッチングに対応する部分は、各瞬時において i_h の絶対値が、今定義した正負2つの三角波の絶対値より小さいときに出力すればよい。ただし、この方法を採用すると、スイッチング周波数が2倍になるという欠点はあるが、3相化する場合には好都合であるため、以後のPWM信号は、この考えにもとずいて作成する。したがって、以下に述べるシミュレーションなどで三角波の周波数 f_{tri} というのは、 $f_{tri} = 2f_c$ であることを意味する。

3. シミュレーションの考え方および結果

3.1 回路方程式

ここでは、以下に述べる2つの回路A、Bに対して、それぞれのモードごとの回路方程式を示す。2つの回路とは図2を参照して、

回路A：図中の波線で描かれているHPF無しの場合で、 L_B は L_L に直列に入っている。スパイク電圧吸収のための $R-C$ は挿入する。

回路B：HPFを挿入するが、反対に $R-C$ 回路は除去する。ここでも、 L_B は L_L に直列に入っている。

とする。

前節2.のPWM動作で説明したように回路AおよびBは、どちらも3つのモードに分かれる。

モード1は、 G_1 、 G_2 が導通している状態の回路であり、モード2は G_3 、 G_4 が導通している場合のそれである。残りのモード3は、同一アームの上下のGTOが同時に導通している状態となる。モード2において、直流側コイル L の電流以外の、残りすべての状態変数の符号を変えた動作量を、改めて状態変数に選べれば、このときの状態方程式はモード1のそれに一致することがわかる。

このことから、シミュレーションを実行するためには、モード1およびモード3の方程式を示せば十分である。

〔回路Aの状態方程式〕

状態変数として L_L を流れる電流 i_{fu} 、直流側リアクトル L の電流 i_d および $R-C$ 枝路のコンデンサ C の電圧 v_c をとる。電源電圧を $e = E_m \cdot \sin \omega t$ と置く。

〈モード1〉

$$\begin{aligned} e &= L_L'(di_{fu}/dt) + R_L i_{fu} + 2v_a \\ &\quad + L(di_d/dt) + R_L i_d \\ v_c + i_c R &= L(di_d/dt) + R_L i_d + 2v_a \\ i_c &= C(dv_c/dt) \\ i_{fu} &= i_c + i_d \end{aligned}$$

……………(4)

ただし, $L'_t = L_t + L_B$, v_a はスイッチング素子の順方向電圧降下を表す。

今, $i_{fu} = X_1$, $i_d = X_2$ および $v_c = X_3$ とおいて, 上式を X_1 , X_2 および X_3 (ここに, $\dot{X}_1 = dX_1/dt$ などである) に関して解くと, 次式を得る:

$$\begin{aligned}\dot{X}_1 &= \{e - R_t X_1 - X_3 - (X_1 - X_2)R\}/L'_t \\ \dot{X}_2 &= \{X_3 + (X_1 - X_2)R - 2v_a - R_L X_2\}/L \\ \dot{X}_3 &= (X_1 - X_2)/C\end{aligned}\quad \dots\dots\dots(5)$$

<モード3>

$$e = L'_t(di_{fu}/dt) + R_t i_{fu} + v_c + i_c R$$

$$L(di_d/dt) + R_L i_d + 2v_a = 0$$

$$i_c = C(dv_c/dt)$$

$$i_{fu} = i_c \quad \dots\dots\dots(6)$$

これを整理して,

$$\begin{aligned}\dot{X}_1 &= \{e - (R_t + R)X_1 - X_3\}/L'_t \\ \dot{X}_2 &= (-R_L X_2 - 2v_a)/L \\ \dot{X}_3 &= X_1/C\end{aligned}\quad \dots\dots\dots(7)$$

[回路Bの状態方程式]

状態変数として L_t を流れる電流 i_{fu} , 直流側リアクトル L の電流 i_d , HPF枝路のコンデンサ C_H の電圧 v_{cH} およびコイル L_H の電流 i_{LH} を用いる。

<モード1>

$$\begin{aligned}e &= L'_t(di_{fu}/dt) + R'_t i_{fu} + 2v_a \\ &\quad + L(di_d/dt) + R_L i_d \\ v_{cH} + R_H i_{RH} &= L(di_d/dt) + R_L i_d + 2v_a\end{aligned}$$

$$i_H = C_H(dv_{cH}/dt)$$

$$L_H(di_{LH}/dt) = R_H i_{RH}$$

$$i_{fu} = i_H + i_d$$

$$i_H = i_{RH} + i_{LH} \quad \dots\dots\dots(8)$$

回路Aと同様, $i_{fu} = X_1$, $i_d = X_2$ および $v_{cH} = X_3$ および $i_{LH} = X_4$ として, 状態方程式を立てると,

$$\begin{aligned}\dot{X}_1 &= \{e - R'_t X_1 - X_3 - (X_1 - X_2 - X_4)R_H\}/L'_t \\ \dot{X}_2 &= \{X_3 + R_H(X_1 - X_2 - X_4) - R_L X_2 - 2v_a\}/L \\ \dot{X}_3 &= (X_1 - X_2)/C_H \\ \dot{X}_4 &= (R_H/L_H)(X_1 - X_2 - X_4)\end{aligned}\quad \dots\dots\dots(9)$$

<モード3>

$$e = L'_t(di_{fu}/dt) + R'_t i_{fu} + v_{cH} + R_H i_{RH}$$

$$L_H(di_{LH}/dt) = R_H i_{RH}$$

$$i_H = C_H(dv_{cH}/dt)$$

$$L(di_d/dt) + R_L i_d + 2v_a = 0$$

$$i_{fu} = i_H$$

$$i_H = i_{RH} + i_{LH}$$

$\dots\dots\dots(10)$

状態方程式に直して,

$$\begin{aligned}\dot{X}_1 &= \{e - R'_t X_1 - X_3 - (X_1 - X_4)R_H\}/L'_t \\ \dot{X}_2 &= (-R_L X_2 - 2v_a)/L \\ \dot{X}_3 &= X_1/C\end{aligned}$$

$$\dot{X}_4 = (R_H/L_H)(X_1 - X_4) \quad \dots\dots\dots(11)$$

となる。ただし、 R'_L は表1のHPFの効果をも有効にするためにもととの $R_L=0.00113(\Omega)$ を $0.2(\Omega)$ として用いた値を表わす。

3.2 HPFの計算

ここでは、回路BのHPFが効果的であるように L_B との関係でフィルタ定数の計算例を示す。

回路Bにおいて、コンバータ電流を i_{conv} とすれば、 i_{fu} および i_{conv} の任意の角周波数 ω の成分について、それらのベクトル電流 $\dot{I}_{fu}$ と $\dot{I}_{conv}$ との間には、次式の関係がある。

$$\begin{aligned} \dot{I}_{fu} &= \{\dot{Z}_H/(\dot{Z}'_L + \dot{Z}_H)\} \cdot \dot{I}_{conv} \\ &= G(j\omega) \cdot \dot{I}_{conv} \quad \dots\dots\dots(12) \end{aligned}$$

ただし、 $\dot{Z}'_L = R'_L + j\omega(L_L + L_B)$ であり、また $\dot{Z}_H = 1/j\omega C_H + j\omega L_H R_H / (R_H + j\omega L_H)$ である。

好ましいコンバータ動作を得るために、上式に要求される条件は、低周波領域においては

$$|G(j\omega)| = 1 \quad \text{および} \quad \angle G(j\omega) = 0$$

であり、キャリア周波数付近ならびにそれより高い周波数成分に対して

$$|G(j\omega)| = 0 \quad (\angle G(j\omega) \text{ は任意})$$

となることである。本来のシステム定数のままでは、これらの条件を満足させることが困難であるので、通常 $\dot{Z}'_L$ で示されるようにバッファリアクトル L_B を挿入する⁽²⁾。今、 $f_{tri}=10(\text{kHz})$ と仮定し、システム定数 $R_L=0.00113(\Omega)$ を $0.2(\Omega)$ に変更し、 $L_L=5(\mu\text{H})$ を用いて、カットアンドトライより求めたHPF定数の一例を表1に、またこの数値を使用して $|G(j\omega)|$ および $\angle G(j\omega)$ を計算したグラフを図4に掲げる。

3.3 フィードバック信号による側波帯の抑制

PWM制御では、若干の誤差はあるものの、信号成分に関しては、ほぼ正確な出力を得ることができる。一方、キャリア周波数と信号のそれとで決まる周波数の側波帯が発生し、この中にはかなり振幅の大きい成分も含まれる。コンバータ入力電流(交流側電流)を信号に比例させるためには、この側波帯成分を減少させる必要がある。

本コンバータでは、制御回路への入力単位電圧

表1 HPFの定数(例)

システム定数 $R'_L=0.2(\Omega)$, $L_L=5(\mu\text{H})$			
$L_B(\mu\text{H})$	$C_H(\mu\text{F})$	$L_H(\mu\text{H})$	$R_H(\mu\Omega)$
145	10	100	0.7

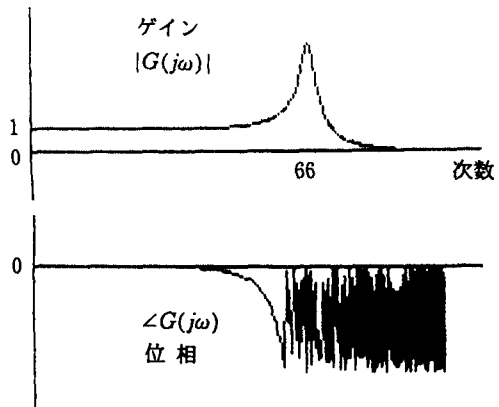


図4 HPFの特性

が波高値 $C(\text{A})$ のコンバータ入力電流 i_{fu} に対応する。いま、入力信号 i_s^* と交流入力電流 i_{fu} との差を、適当なゲイン定数倍(k 倍)して、再び制御回路へフィードバックすることを考える。

まず、式(13)が成り立つ。

$$i_{fu} = C \cdot i_s^* + i_{sd} \quad \dots\dots\dots(13)$$

ここに、 i_{sd} は i_{fu} に含まれている側波帯を表す。

次に、 $-i_{sd}$ に相当する信号 $(i_s^* - i_{fu}/C)$ を k 倍して、制御回路にフィードバックすれば、

$$i_{fu} = C\{i_s^* + k(i_s^* - i_{fu}/C)\} + i_{sdf} \quad \dots\dots\dots(14)$$

となる。これを i_{fu} について解くと、

$$i_{fu} = C \cdot i_s^* + \frac{1}{1+k} \cdot i_{sdf} \quad \dots\dots\dots(15)$$

を得る。一般に、PWM制御したとき側波帯成分の大きさは、信号成分のそれを越えない。(14)、(15)両式から明らかなように、側波帯の振幅だけが結果的に $1/(1+k)$ 倍になる。

3.4 シミュレーション結果

シミュレーションの対象として以下に挙げる 3 つの場合を取り上げる。

[a]回路 A について、PWM制御のみ実行する

$$R_t = 0.00113 \text{ (}\Omega\text{)}, L_t = 5 \text{ (}\mu\text{H)}$$

$$R = 0.7 \text{ (}\Omega\text{)}, C = 10 \text{ (}\mu\text{F)}$$

[b]回路 B について、PWM制御のみ実行する

$$L_B = 145 \text{ (}\mu\text{H)}, L_t = 5 \text{ (}\mu\text{H)}$$

$$R_t = 0.2 \text{ (}\Omega\text{)}, L_H = 100 \text{ (}\mu\text{H)}$$

$$R_H = 0.7 \text{ (}\Omega\text{)}, C_H = 10 \text{ (}\mu\text{F)}$$

[c]回路 A について、コンバータ入力電流を制御回路へフィードバックして、PWM制御する。

$$L_B = 15 \text{ (}\mu\text{H)}, R_t = 0.00113 \text{ (}\Omega\text{)}$$

$$L_t = 5 \text{ (}\mu\text{H)}, R = 0.7 \text{ (}\Omega\text{)}, C = 10 \text{ (}\mu\text{F)}$$

図 5 に、これら各場合における、信号 i_s^* に対するコンバータ入力電流 i_{fu} の波形例を与える。

[1]～[3]は、それぞれ[a]～[c]に対応し、いずれもキャリア周波数を10kHzとして計算したものである。なお、[3]は $k=10$ の場合を示す。式[15]のとおり、良好なコンバータ動作が期待できる。[4]は特に[a]のもともとのシステムに対して、信号をフィードバックした結果で、交流側インピーダンスが小さいため推奨できない。[5]は、 $f_{tri} = 20\text{kHz}$ で[b]を実行した場合を、また[6]は、参考のために $k=5$ とにおいて[c]を実行したものである。また、表 2 には信号とコンバータ入力電流との振幅・位相について、[b]と[c]の結果を比較してある（キャリア周波数10kHzの場合）。

4. あとがき

以上見たように、PWMコンバータの制御回路に交流電流を適当なゲインを乗じてフィードバックすれば、小さなバッファリアクトルを使用するだけで、丁度HPFを付加したのと同様の効果が期待できる。しかも、今回は定量的に把握できなかったが、スパイク電圧の大きさもかなり小さくなることがわかった。一方、問題点としては、スイッチング周波数がどの程度になるのか、キャリア周波数・システム定数を与えた場合、最適なゲイン k の値は求められるか、など解決しなければならない課題が残っている。また、実験による検証も必要である。

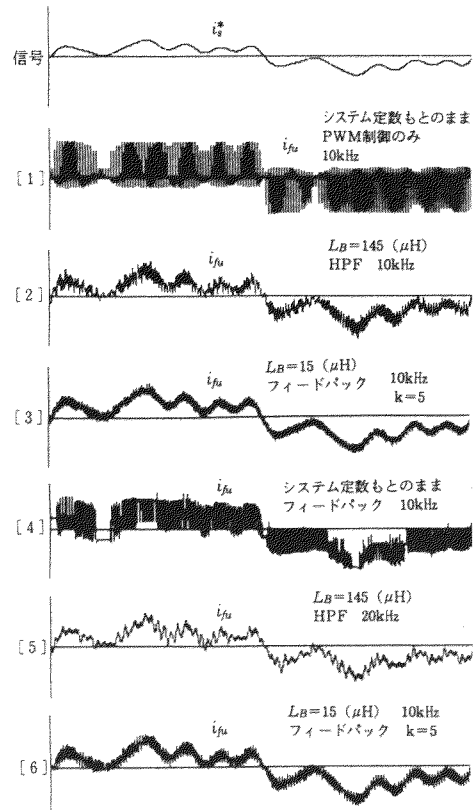


図 5 シミュレーション結果 (例)

表 2

		信 号	[b]の i_{fu}	[c]の i_{fu}
5 次	振 幅 (A)	2	2.05	1.96
	位 相 (度)	- 1 5	-15.5	-18.5
7 次	振 幅	1. 6	1.84	1.58
	位 相	4 0	40.6	42.5
11次	振 幅	1. 0	1.06	1.01
	位 相	6 0	61.6	63.2
13次	振 幅	0. 8	0.83	0.78
	位 相	- 2 0	-18.0	-23.0

参考文献

- (1)井村：「電流形PWMコンバータの復調」平成 5 年電気関係学会関西支部連合大会，G 3 - 34
- (2)池本他：「配電系統高調波対策用 B R 付交流フィルタの開発」，SA - 82 - 31

Stabilizing Chaotic Motions in Chua's Circuit[†]

Keiji KONISHI

In this paper our computer simulations show that a chaotic motion in Chua's circuit can be stabilized on unstable periodic orbits. Paralleled three resistors (G_-, G_0, G_+) are connected to the circuit in place of the resistor G . The resistor G is switched from G_0 to a suitable resistor (G_- , or G_+), and held for a suitable time interval. The suitable resistor and time interval are determined by a function $H(\cdot)$ that is obtained by both using the Poincaré section and examining the dynamics on the section for various time intervals.

1. Introduction

Chaotic motions in physical systems may be detrimental to the operation as it can not be predicted. Ott, Grebogi, and Yorke (OGY) proposed a new control method that takes advantages of a feature of chaotic motions [1-4]. In their method (OGY method), one can convert a chaotic motion to any one of unstable periodic orbits (UPO's) embedded within the chaotic attractor by making small perturbations of an available system parameter. For low-dimensional chaotic motions that can be described by 1-D maps, the occasional proportional feedback (OPF) method is effective for controlling the chaotic motions [5,6]. Many chaotic physical sys-

tems (e.g., mechanical systems [7], laser systems [8,9], electronic circuits [10]) have been controlled experimentally with use of the OGY or OPF methods.

The applications of the OPF method to stabilize periodic orbits in a chaotic electronic circuit have been demonstrated by Hunt [10]. Since his circuit is a driven diode resonator, it is easy to modulate the driven voltage. In other words, his system has an accessible system parameter for making small perturbations. Chua's circuit, a typical autonomous chaotic electronic circuit, however, does not have such parameter. Chaotic motions in Chua's circuit, therefore, can not be controlled with use of these methods (Of course, it will be possible with special resistor, capacitor, or inductor). In this paper, we indicate by computer simulations that it is possible a chaotic motion in Chua's circuit can be controlled both by switching to a suitable resistor, and by holding it for a suitable time interval.

[†] This is the revised version of the paper presented at the *International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications* held in Hawaii, USA, 5-10 December 1993.

2. Chua's circuit to be stabilized

Chua's circuit is a well-known autonomous electronic circuit generator of chaotic motions [11]. The equations of this circuit can be written in the following dimensionless form.

$$\begin{cases} dx/dt = G \cdot (y-x)/C_1 - g(x)/C_1, \\ dy/dt = G \cdot (x-y)/C_2 + z/C_2, \\ dz/dt = -y/L, \\ g(u) = m_0 u + \frac{1}{2}(m_1 - m_0) [|u + B_P| - |u - B_P|]. \end{cases} \quad (1)$$

The dynamical behavior of the circuit is governed by the seven parameters ($C_1, C_2, G, L, m_0, m_1, B_P$). The parameter G corresponding to the resistor in the circuit is used as the switched parameter. Other parameters are fixed on $(C_1, C_2, G, L, m_0, m_1, B_P) = (1/9, 1, 1/7, -0.5, -0.8, 1)$ to generate the double scroll attractor.

Paralleled three resistors G_- , G_0 , G_+ are connected to the circuit in place of the resistor G as shown in Fig.1. The chaotic attractor for ($G=G_0$) on the surface of the Poincaré section $\Sigma = \{x, y, z | y > 0, z = -1.05\}$ is considered as a line (Fig.2). Other attractors for ($G=G_-$, G_+) on the surface are almost identical to it. The unstable fixed point $\xi_{F0} = {}^t(x_{F0}, y_{F0})$ is obtained either by finding the intersection

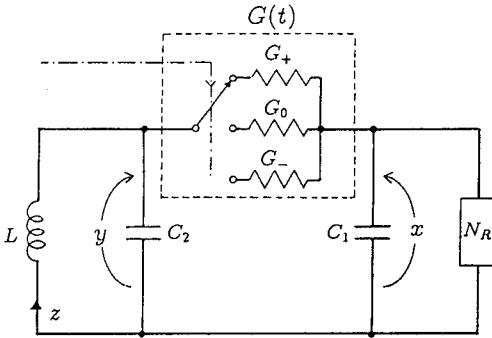


Figure 1. Chua's circuit connected with paralleled three resistors (G_- , G_0 , G_+). x, y, z correspond to the voltages across the capacitors C_1, C_2 , the current through the inductor L , respectively.

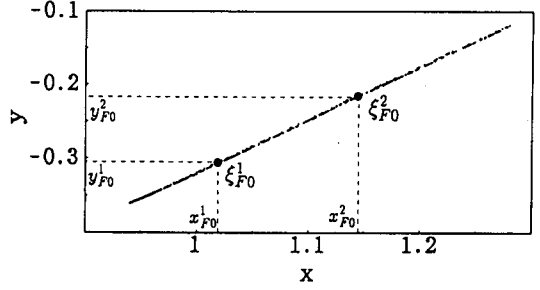


Figure 2. The chaotic attractor (double scroll attractor) on the surface of the section Σ . $\xi_{F0}^1 = {}^t(x_{F0}^1, y_{F0}^1)$, $\xi_{F0}^2 = {}^t(x_{F0}^2, y_{F0}^2)$ are unstable fixed points for unstable period -1, -2 orbits, respectively.

of its 1-D map and the diagonal line, or by the method in Ref. [12-14].

When the resistor G is a function of time t , Eqs.(1) are written as

$$dX/dt = F(X, G(t)). \quad X = {}^t(x, y, z). \quad (2)$$

The chaotic orbit strikes the section Σ at a discrete time $t_i (i=1, 2, \dots)$. The resistor $G(t)$ is selected as follows,

$$G(t) = \begin{cases} G_- = G_0 - \delta G. & (t_i < t < t_i + |\tau_i|, \tau_i < 0) \\ G_0 & (t_i + |\tau_i| < t < t_i + T) \\ G_+ = G_0 + \delta G. & (t_i < t < t_i + |\tau_i|, \tau_i > 0), \end{cases} \quad (3)$$

where T is the period of the UPO to be stabilized. In this paper ($G_0, \delta G_*$) are fixed on (0.71, 0.02). Equation (2) is described as

$$\xi_{i+1} = S(\xi_i, \tau_i), \quad \xi_i = {}^t(x_i, y_i) = {}^t(x(t_i), y(t_i)). \quad (4)$$

Above equation can be approximately rewritten as

$$y_{i+1} = S_y(y_i, \tau_i), \quad (5)$$

since the attractor on Σ is regarded as a line. SW in Fig.1 holds the resistor $G(t)$ on G_- or G_+ for the time $|\tau_i|$ (Fig.3). The time interval τ_i is calculated at $t = t_i$. If $\tau_i > 0$, then the resistor $G(t)$ is switched to G_+ and held for $|\tau_i|$. The suitable time interval τ_i is deter-

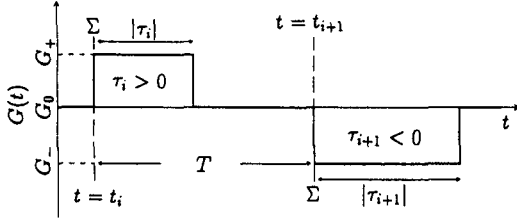


Figure 3. Fluctuations of the resistor $G(t)$ with time t .

mined by the following function $H(\cdot)$.

$$\tau_i = H(y_i - y_{F0}). \quad (6)$$

However, it is difficult to determine the function $H(\cdot)$ theoretically. If we want to stabilize the chaotic motion near the unstable fixed point ξ_{F0} , it is needed to satisfy the following condition.

$$|y_{i+1} - y_{F0}| \leq |y_i - y_{F0}|. \quad (7)$$

The set A which satisfies the above condition is examined with various τ_i .

$$A = \{(y_i - y_{F0}), \tau_i | \delta y_{min} < (y_i - y_{F0}) < \delta y_{max}, -T < \tau_i < T, |y_{i+1} - y_{F0}| \leq |y_i - y_{F0}|\} \quad (8)$$

It is clear that the chaotic motion in the circuit can be stabilized near the unstable fixed point ξ_{F0} with use of the function $H(\cdot)$ included in the set A .

3. Numerical Simulations

Chua's circuit has the chaotic attractor called "souble scroll attrator" (Fig.4(a)). UPO's embedded in the attractor are shown in Figs.4(b)(c). Our numerical simulations show that the chaotic orbit in the attractor can be stabilized on these UPO's by the above procedure.

Figures 5(a)(b) show the set A and the function $H(\cdot)$ for each UPO. If the function is included in the set A , it can be arbitrarily determined. We use a piecewise linear function expressed by a solid line as the function $H(\cdot)$. To simplify the function for the unstable period - 2 orbit, it isn't included in the set

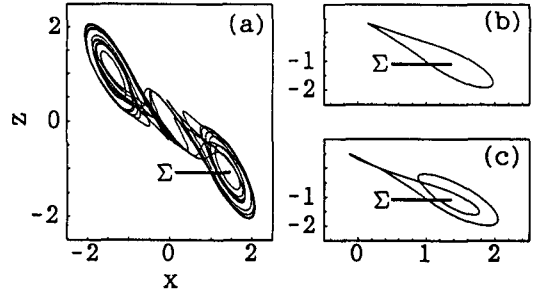


Figure 4. (a) The chaotic attractor (double scroll attractor) in the $x - z$ phase space. (b), (c) The unstable period - 1, - 2 orbits embedded within the attractor.

in the neighborhood of $(y_i - y_{F0}^2) \approx 0$. However, the chaotic motion can be stabilized on the UPO with this function.

Let the circuit run without the switching (i.e., $G(t) = G_0$), and then the switching is started when the orbit comes close to the UPO we want to stabilized. The switching is achieved based on Eq.(3). The results are represented in Fig.6.

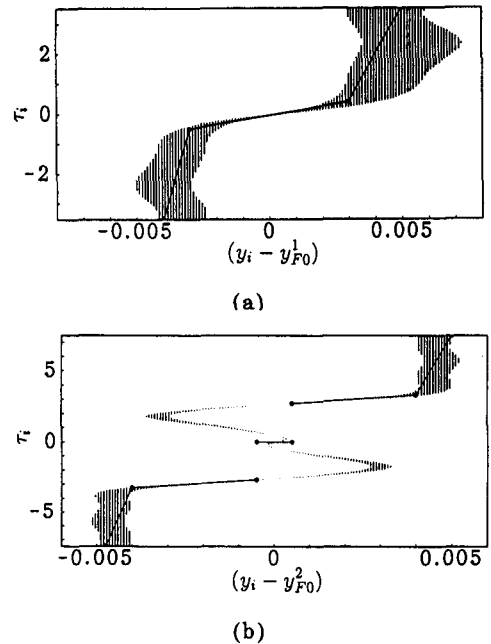


Figure 5. Shaded portion shows the set A . Solid line is the function $H(y_i - y_{F0})$. (a) For the unstable period - 1 orbit in Fig.4(b). (b) For the unstable period - 2 orbit in Fig.4(c).

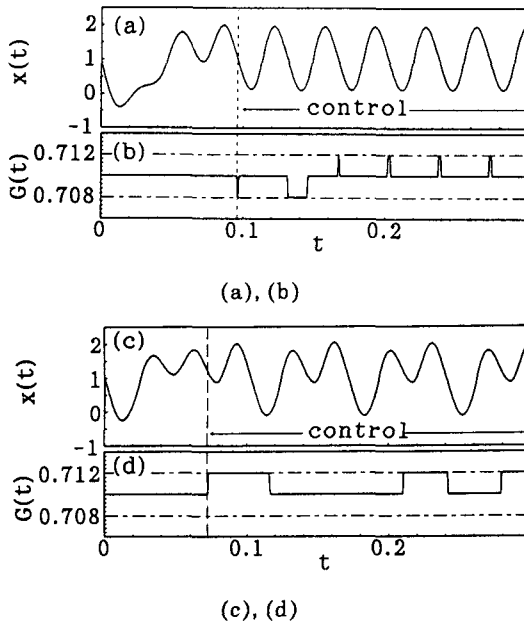


Figure 6. Control scheme with the variable $x(t)$ and the resistor $G(t)$. (a) The variable $x(t)$ to be stabilized, (b) the resistor $G(t)$ for the unstable period -1 orbit. (c) The variable $x(t)$ to be stabilized, (d) the resistor $G(t)$ for unstable period -2 orbit.

4. Conclusions

In this paper the stabilization of the chaotic motion in Chua's Circuit has been examined on computer simulations. Compared to the OGY and OPF methods that need fluctuation in an amplitude of a parameter, in this method the time interval τ_i is fluctuated to control the chaotic motion.

We think that there are many chaotic physical systems that cannot be applied to these methods, as the systems do not have the parameter one can fluctuate carefully. For these systems this method will be useful.

Our numerical simulations have indicated the stabilization of low-periodic unstable orbits. It is difficult to stabilize high-periodic unstable orbits, since the structures of the sets A are too complicated to determine the function $H(\cdot)$. However, we think that the stabilization of high-periodic unstable

orbits can be achieved by making several fluctuations of the time interval τ_i in the long period [10]. Furthermore we will intend to apply a neural network [15] for the determination of the function $H(\cdot)$.

References

- [1] E.Ott, C.Grebogi, and J.A.Yorke, Phys. Rev.Lett. **64**, (1990) 1196
- [2] E.Ott, C.Grebogi, and J.A.Yorke, in *CHAOS/XAOC*, edited by D.K.Campbell (AIP, 1990), pp. 153.
- [3] T.Shinbrot, C.Grebogi, E.Ott, and J.A. Yorke, Nature **363**, (1993) 411.
- [4] F.J.Romeiras, C.Grebogi, E.Ott, and W.P.Dayawansa, Physica D **58**, (1992) 165.
- [5] B.Peng, V.Petrov, and K.Showalter, J. Phys. Chem. **95**, (1991) 4957.
- [6] V.Petrov, B.Peng, and JK.Showalter, J. Chem. Phys., **96**, (1991) 7506.
- [7] W. L. Ditto, S. N. Rauseo, and M. L. Spano, Phys. Rev. Lett. **65**, (1990) 3211.
- [8] R.Roy, T.W.Muraphy, Jr.T.D.Maier, and Z.Gills, Phys. Rev. Lett.**68**, (1992) 1259.
- [9] Z.Gills, C.Iwata, R.Roy, I.B.Schwartz, and I.Triandaf, Phys. Rev. Lett. **69**, (1992) 3169.
- [10] E.R.Hunt, Phys. Rev. Lett.**67**, (1991) 1953.
- [11] T.Matsumoto, L.O.Chua, and M.Komuro, IEEE Trans. CAS- **32**, (1985) 789.
- [12] D.Auerbach, P.Cvitanović, J.-P.Eckmann, G.Gunaratne, and I.Procaccia, Phys. Rev. Lett. **58**, 2387 (1987).
- [13] D.P.Lathrop and E.J.Kostelich, Phys. Rev. A **40**, 4028 (1989).
- [14] M.Sano and Y.Sawada, Phys. Rev. Lett. **55**, 1082 (1985).
- [15] D.Psaltis, A.Sideris, and A.A.Yamamura, IEEE CSM, April, (1988) 17.

アモルファス太陽電池モジュールの 高効率化発電法の実験的検討

上田 泰弘・山脇 竹治*・高橋 晴雄

Experimental Investigation for High-Efficiency
Power Generation on Amorphous Solar Module

Yasuhiro UEDA, Takeharu YAMAWAKI and Haruo TAKAHASHI

本研究は、アモルファス太陽電池モジュールの設置傾斜角度及び方位角に対する、年間を通しての発電能力変化と、温度効果の経時変化を実験的に検討することを目的としたものである。93年8月から94年7月までの1年間における発電能力変化と温度効果についての実験結果から、南向き35度の断熱モジュールにおける発電能力が最大になることが明らかになった。

1 まえがき

本研究は、アモルファス太陽電池モジュールの実際使用における発電効率の向上を図るために、モジュールの設置傾斜角度及び方位角の最適設置角度を導出することを目的としている。各設置角度に対して年間を通じて計測を行い、年間総発電電力を算出し、各設置状態における発電能力を比較する。また、モジュールの光劣化(ステブラー・ロンスキー効果)の温度依存特性についても考察を行う。本実験結果では、設置傾斜角度35度で方位角が東向き10度が最適であることが判明した。

2 実験システム

2.1 自動計測システム

図1は本計測システムのブロック図を示したものである。

本計測システムは、計測開始時間、計測終了時間、計測サンプル数、計測時間間隔を事前に設定しておくことにより、年間を通じて自動計測ができる。

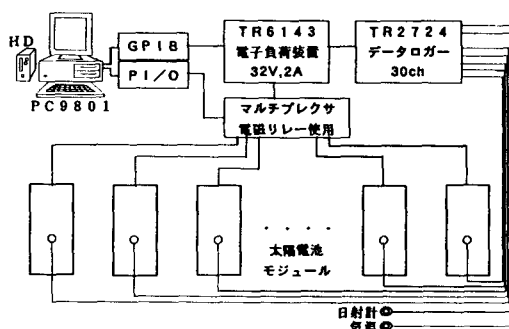


図1 本計測システムのブロック図

各測定装置は、PC9801パーソナルコンピュータのGPIBインタフェースとパラレルI/Oボードに接続されている。電子負荷装置TR6143は、マルチプレクサによって順次切り替えながらモジュール電圧を変化させ、そのときのシンク電流を自動計測する。同時に、データロガーTR2724が全天日射計によって計測された水平面日射エネルギーと、各モジュール温度も自動計測する。

2.2 測定条件

本計測では、20枚の太陽電池モジュールについて計測時間間隔10分でAM6:00~PM6:00まで行う。ここで、1サンプル当たりの計測所要時間は

約5秒であり、全サンプルを計測するには約2分の時間がかかる。

この計測により、1サンプル当たり1日に72個の測定結果が得られ、1年間では約26,000個の測定結果が得られる。20サンプルでは約530,000個の計測結果が得られることになる。このため、膨大な結果を記録する記憶媒体としてハード・ディスクを使用する。本計測には、以下に示す太陽電池モジュールを使用する。

- ① a-Siモジュール
- ② a-Si断熱モジュール
- ③ a-Siタンデムモジュール
- ④ p-Siモジュール

ここで、a-Siはアモルファスシリコンをp-Siは多結晶シリコンを表している。

上記のモジュールを、設置傾斜角度20度、35度、45度、90度で、地上約20mの屋上に設置している。同様に、南方向（設置傾斜角度35度）に対して、東西に5度、10度ずれた状態でモジュールを設置している。表1はそれぞれの角度と各サンプルとの対応を表したものである。この表に示されているSE、SWは、それぞれ東方向の方位角、西方向の方位角を表しており、例えば、SE10は、南方向に対して東方向に10度ずれて設置されている状態を示している。

角度	方位	a-Siシングル	a-Siタンデム	a-Si断熱	多結晶
20	S	○			○
35	S	○	○	○	○
45	S	○			○
90	S	○			○
35	SE 5	○			○
35	SE 10	○			○
35	SW 5	○			○
35	SW 10	○			○

S：南方向

SE、SW：南に対する東西の方位角に対応

表1 設置傾斜角度とサンプルモジュールとの対応

本計測で使用する太陽電池の特性パラメータは次に示すものを用いている。

- ① 水平日射エネルギー [kW/m²]
- ② モジュールの素子温度 [°C]
- ③ 気温 [°C]
- ④ 開放電圧Voc [V]
- ⑤ 短絡電流Isc [A]
- ⑥ 最大電力Pmax [W]
- ⑦ 最適電圧Vpmax [V]
- ⑧ 最適電流Ipmax [A]
- ⑨ 曲線因子F.F. [%]
- ⑩ 変換効率Eff. [%]

⑥～⑩のパラメータは、計測時の水平面日射エ

ネルギー及び電流・電圧の関係から算出し、各計測サンプル毎に記録する。

計測結果を解析・検討することにより各モジュールの最適設置傾斜角度を導出する。

3 実験結果

3.1 基礎実験結果

図2は、本計測システムの計測結果の一例を示したものである。

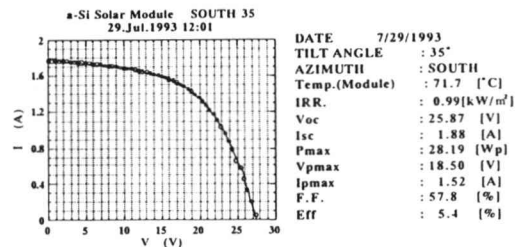


図2 計算結果の一例

本計測システムは、電子負荷装置によりモジュール電圧を0.5Vずつ変化させながら、シンク電流を計測しているため、最大電力及び最大電力点は、計測中の電圧と電流の積の最大値より容易に求められる。また、電圧が0Vの時から短絡電流Iscが得られ、電流が0Aの時から開放電圧Vocが得られる。このような計測結果は、測定結果表示用プログラムを用いることで任意の日付の結果を容易に表示させることができる。

3.2 規格化

測定に使用している太陽電池モジュールは、標

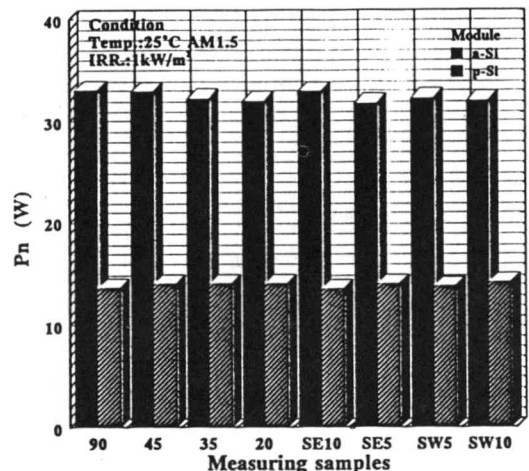


図3 ソーラーシミュレータによる標準電力

準測定時（25℃、1 kW/m²）における発電電力 P_{max}つまり最大電力の数値がそれぞれ異なるため、各設置状態の比較を行うためには、測定データの規格化を行う必要がある。図3は、本計測を開始する前にソーラーシミュレータを用いて測定した、各サンプルモジュールにおける標準時の発電電力を示したものである。

計測結果は、計測装置のエラー等により各月によって結果依存日数が異なるため正確な比較を行うことが困難になる。この誤差を小さくするために、各月の結果に対して日数換算を行う。

3.3 発電能力の比較

得られた計測結果を比較する方法は種々存在するが、今回は実際に得られた発電電力つまり実効電力を各サンプルの初期値で除すことにより比較を行う。本研究は、アモルファス太陽電池モジュールの各設置状態について検討を行うことであるが、比較対象として多結晶太陽電池モジュールの計測結果を利用している。

3.3.1 設置傾斜角度

アモルファス太陽電池モジュールについて各設置傾斜角度における発電能力の比較を行う。

図4は、アモルファス太陽電池モジュールの各設置傾斜角度（90、45、35、20度）の計測サンプルについて、93年8月から94年7月の1年間の発電能力を、1ヵ月毎に折れ線グラフで比較を行ったものである。この図において、横軸は月を示しており、縦軸は設置角度35度を基準とした場合の相対値を表している。

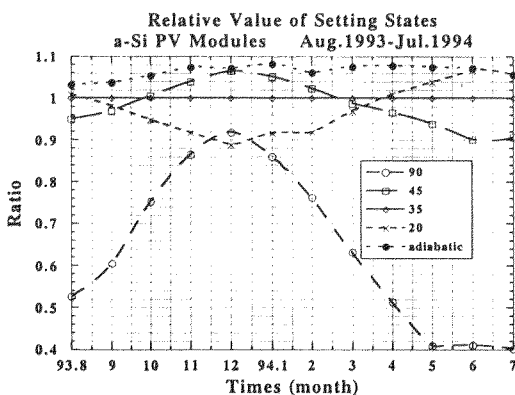


図4 各設置傾斜角度における1ヵ月毎の発電能力
(アモルファス)

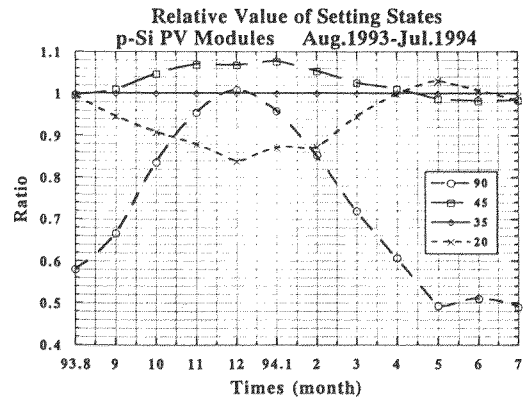


図5 各設置傾斜角度における1ヵ月毎の発電能力
(多結晶)

図4の考察を行うために、多結晶太陽電池モジュールについて同様な解析を行ったものと比較する。図5は、多結晶太陽電池モジュールの計測サンプルについて、93年8月から94年7月の1年間の発電能力を、1ヵ月毎に折れ線グラフで比較を行ったものである。

図4と図5の比較から、全体の変化はほとんど同じものであるが、35度のモジュールとの発電能力の格差を各月毎に比較すると、多結晶太陽電池の方が各月における太陽高度の影響を大きく受けているのに対して、アモルファス太陽電池についてはその影響が少ない結果が得られている。このことは、多結晶とアモルファスの波長感度領域の違いが影響している。多結晶が赤外領域に波長感度のピークを持つのに対し、アモルファスは可視

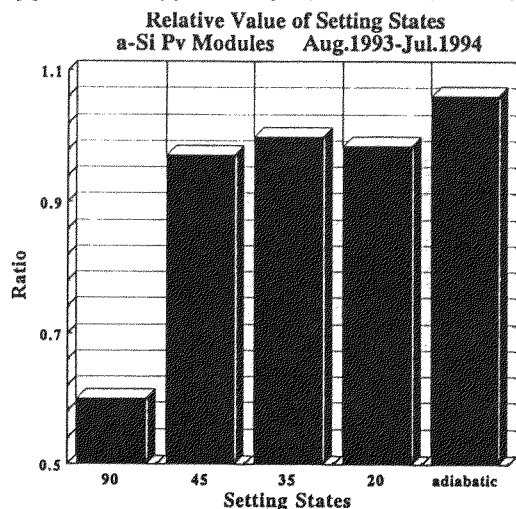


図6 各設置傾斜角度におけるの発電能力
(アモルファス)

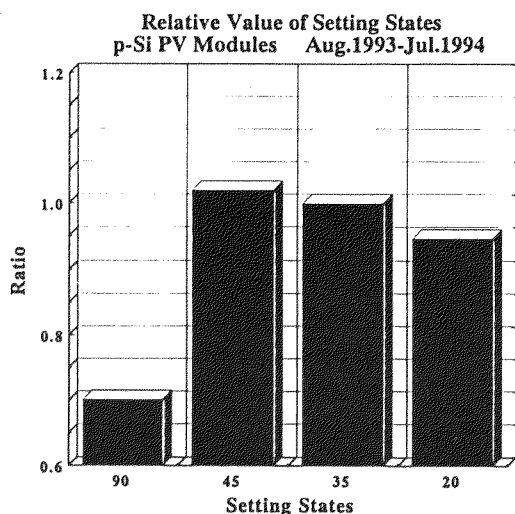


図7 各設置傾斜角度における発電能力(多結晶)

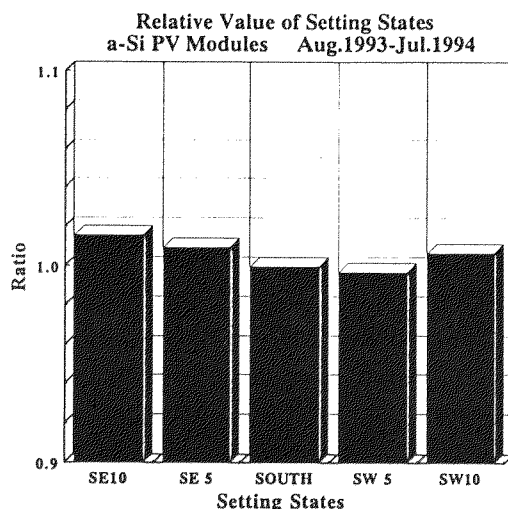


図8 各方位角における発電能力(アモルファス)

光領域にピークを持っているために、発電能力の違いが発生したものと考えられる。

次に、年間を通した発電能力の比較を行う。

図6は、各設置傾斜角度の計測サンプルについて、93年8月から94年7月の1年間全体の発電能力を棒グラフで比較を行ったものである。

図6の考慮を行うために、多結晶太陽電池モジュールについて同様な解析を行ったものと比較を行う。図7は、多結晶太陽電池モジュールに対して、93年8月から94年7月1年間全体の発電能力を棒グラフで比較したものである。

図6と図7を比較して、多結晶太陽電池モジュールにおいて45度のモジュールの発電能力が最大であるが、アモルファス太陽電池モジュールにおいては、35度のモジュールが最大となっていることが確認される。図6について更に検討を進めると、35度のモジュールの発電能力と20度のものとの差があまりないことから、最適な設置状態が35度より低い角度である可能性がある。

図4、図6において、断熱モジュールの発電能力が全モジュール中最大であることが明らかであるが、このことについては3.3.3で述べる。

3.3.2 方位角

方位角について前項と同様に発電能力の比較を行う。

図8は、アモルファス太陽電池モジュールについて、93年8月から94年7月の1年間で各方位角(SE10、SE5、SW5、SW10)の発電能力の比較

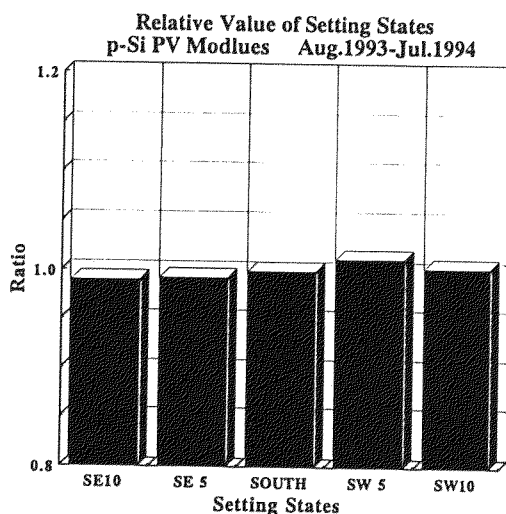


図9 各方位角における発電能力(多結晶)

を行ったものである。ここで、SOUTHは設置傾斜角度35度南向きのモジュールを示している。

図9は、多結晶太陽電池モジュールについて、図8と同様な解析を行った場合のものを示しており、この図と図8を比較・検討する。

図8、図9の比較から、多結晶太陽電池においてSW5の発電能力が最大であるのに対して、アモルファス太陽電池においては、SW5の能力が最低であることが確認できる。このことから、アモルファスと多結晶の方位角に対する特性は、正反対の傾向にあることがわかる。また、アモルファス太陽電池においては、方位角をもつ設置状態が

有効であるといえる。

3.3.3 温度回復効果

アモルファス太陽電池には、ステブラー・ロンスキー (Staebler - Wronski) とよばれる光劣化現象が存在するため、長時間連続して照度の高い光を照射することで特性が低下し、その後飽和していく。これは、アモルファス太陽電池を取り扱っていくために重要な課題の一つである。しかし、この光劣化現象の興味深い特徴に可塑性があり、光劣化をおこしたアモルファスシリコンを150℃程度の温度で数時間アニールすることで初期の状態に戻ることが確認されている。^{[1] [2]}

そこで、本研究では、アモルファス太陽電池モジュールの裏面に断熱材を接着し、保温効果を高めることで太陽電池の特性がどのように変化するかの計測を行った。

3.3.1の図6、図7から、断熱したモジュールの発電能力は計測開始時から常に他のモジュールのものを上回っており、モジュールの温度上昇による太陽電池特性の回復現象が起きていることがわかる。その一例として発電効率について次のような解析結果が得られた。

図10は、断熱モジュールと設置角度35度南向きのモジュールの、93年8月から94年7月の1年間の発電効率の変化を示したものである。

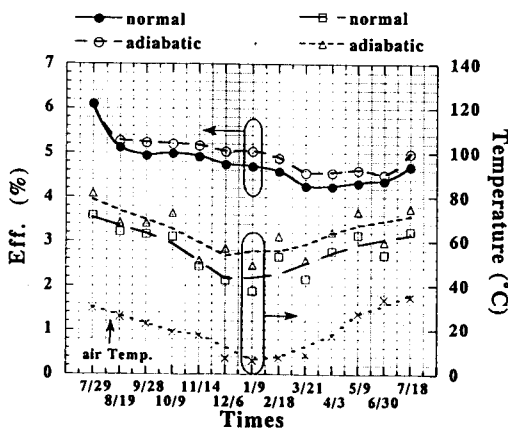


図10 各月における発電効率の変化

この図から、計測当初から断熱したモジュールの発電効率が常に断熱していないモジュールの発電効率を上回っていることが確認される。断熱モジュールの効率も徐々に減少しているが、断熱していない場合と比較してその割合が小さい。

どちらのモジュールもステブラー・ロンスキー効果による効率回復現象が確認されるが、長期の使用を考慮した場合、断熱モジュールの方が発電効率の減少が小さく長期間使用できるものと考えられる。

4 むすび

これまでの計測結果から、アモルファス太陽電池モジュールにおける年間を通した最適設置状態は、設置傾斜角度35度で、方位角東向き10度であることが確認された。また、方位角に関して多結晶とアモルファスの特性が、全く反対になることが明らかとなった。

断熱モジュールに関しては、ステブラー・ロンスキー効果の温度上昇による発電効率回復現象が、今後、アモルファス太陽電池モジュールを使用していく上で、重要となる。

本研究から、アモルファス太陽電池における最適設置状態が導出されたが、設置角度に対するサンプル数が4点であったため、今後新しい角度を加え、更に正確な最適状態を導出する予定である。

参考文献

- [1] 浜川圭弘、桑野幸徳：「太陽エネルギー工学」(1994)、〔培風館〕
- [2] 逸見次郎：「アモルファス太陽電池の長期劣化抑制法に関する考察」『太陽エネルギー』Vol. 20、No.1、日本太陽エネルギー学会
- [3] 上田泰弘、山脇竹治、土井滋貴、京兼 純、高橋晴雄：「太陽電池モジュールの高効率化発電に関する基礎実験」平成5年関西支部電気連大G2-24
- [4] 上田泰弘、山脇竹治、土井滋貴、京兼 純、高橋晴雄：「太陽電池モジュールの高効率化設置角度の実験的検討」平成6年電気全大515
- [5] 上田泰弘、山脇竹治、高橋晴雄：「アモルファス太陽電池の設置角度に対する発電能力変化と温度効果についての実験的検討」平成6年関西支部電気連大G2-12
- [6] 上田泰弘、山脇竹治、高橋晴雄：「アモルファス太陽電池の温度効果についての実験的検討」日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー協会合同研究発表会論文集Ⅱ-6 (平成6年12月)

超音波センサを用いた形状認識

土 井 滋 貴

Shape Recognition using Ultrasonic Sensor

Shigeki DOI

物体の形状を認識する場合、ある大きさを持つ面を組み合わせることで全体の形状を構成することができる。この場合の面の決定方法として超音波センサとスケール・スペース・フィルタリングを組み合わせる方法を提案する。面を決定するための基礎実験として、対象物からの距離測定を行い、距離導出のためのスケールスペースフィルタリングの利用法を検討する。基礎実験結果から、従来からの処理方法と比べて距離測定の精度において優位性が認められた。

1. はじめに

ロボット等の手先に取り付け作業対象や作業状態を認識するセンサ系を考える。この場合、対象物体の形状を認識する方法として、ある大きさを持つ面を対象物体の一部として決定し、その面を組み合わせることで全体の形状を構成することができる。

本稿では、この場合の面の決定方法として超音波センサとスケール・スペース・フィルタリング（以下SSF）を組み合わせる方法を提案する。

2. 測定方法

図1、図2に示すように、超音波振動子の送信センサ1個に受信センサ4個を組み合わせ、送信センサから発せられた音響信号が受信センサに到達する時間及び時間差から面の距離と傾きを求める。図1では各受信信号の到達時間に差がないので、各受信センサに到る伝送経路の距離が等しく、従って面は送受信合わせたセンサ系と平行であることが推定される。図2では水平方向の対の受信

センサに対し差が生じているので、面は図2に示すように傾いていることが推定される。

推定される面の距離と傾きの精度は受信信号の到達時間の測定精度に依存する。一般的に到達時間の測定方法は、それほど精度が要求されない場合は単純なしきい値処理が、ある程度の精度が要求される場合には相関処理が用いられる。今回はより精度を向上させるためにSSF処理の導入を試みる。

SSFはガウシアン・スムージングを用いて信号をマルチ・スケールに拡張し、拡張された信号のゼロクロス点を求める信号処理法で、その求められたゼロクロス点の集合をフィンガープリントと呼ぶ。フィンガープリントの定義を式1に示す。フィンガープリントの形状は信号の特徴をよく表現していると言われている。今回のように到達時間の測定に利用するには、受信信号のフィンガープリントをもとめ、その形状の変化する点を見つけ出す処理を行う。

判別しやすいフィンガープリントの形状を得るために、送信信号として40kHzと200kHzを組み合わせる信号を使用する。受信信号をSSF処理して得られたフィンガープリントを受信信号及び、200

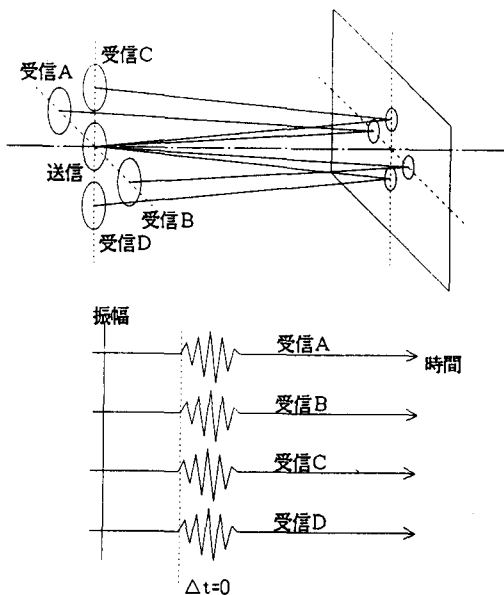


図1 面の距離と傾きの決定（平行な場合）

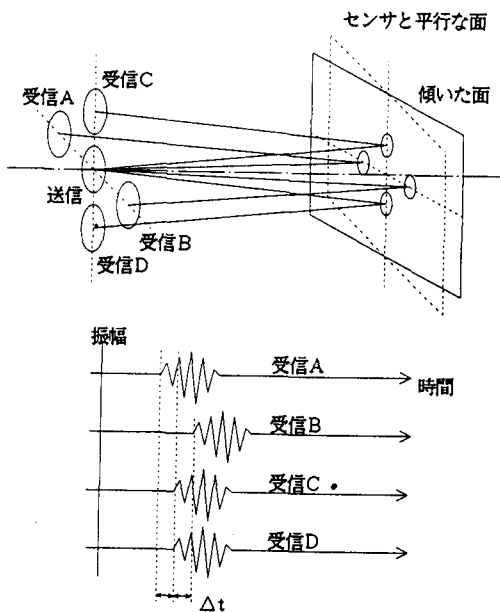


図2 面の距離と傾きの決定（傾きのある場合）

kHz仮想受信信号との相互相関とを併せて図3、図4に示す。使用した実験系は後述する。

相互相関信号の最初に値が最高値になる点、フィンガープリントが40kHz+200kHzを表す規則的なパターンに変化する点が受信信号の最初の到達点である。送信音の発生から、最初の到達点までの時間が到達時間となる。

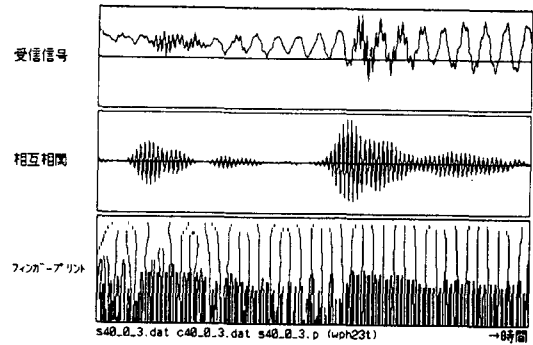


図3 受信信号と相互相関およびフィンガープリント（距離4.0cm）

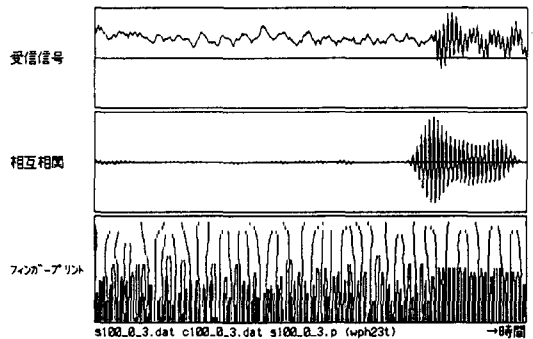


図4 受信信号と相互相関およびフィンガープリント（距離10.0cm）

FP：フィンガープリント

$$\triangle \{(t, \sigma) \mid (t, \sigma) \in S, h(t, \sigma) = 0\} \quad \text{式1}$$

S：スケール空間

$$= \{(t, \sigma) \mid 0 \leq t < \infty, 0 \leq \sigma < \infty\}$$

$$h(t, \sigma) = d^2 / dt^2 (f(t) * g(t, \sigma))$$

f(t)：時系列信号

g(t, σ)：1次元ガウス関数

*：コンボリューション積分

3. フィンガープリントのデコード

SSFの利用にあたっては、フィンガープリントからいかに情報を取り出すかが重要になる。今回は、フィンガープリントから40kHz+200kHzのパターンを取り出す方法にいくつかのルールをもちいたルール・ベース的な手法を用いる。

用いるルール・ベースは以下のような

- 1) 特定スケール、特定区間でのゼロクロス点の数

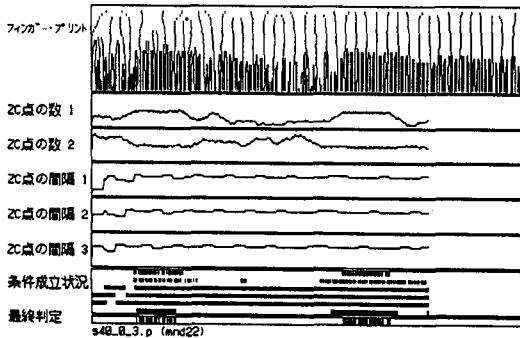


図5 フィンガープリントのデコード
(距離4.0cm)

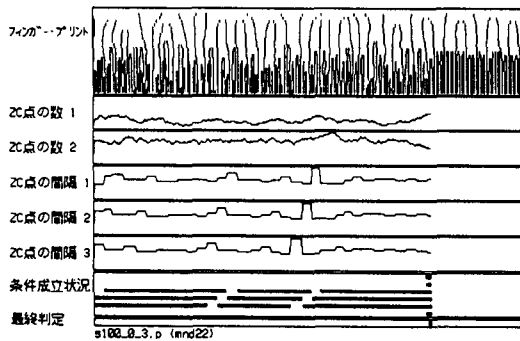


図6 フィンガープリントのデコード
(距離10.0cm)

2) 特定スケール、特定区間でのゼロクロス間隔

の2種類の量に注目し、合計6つのルールより成る。図5、図6にその注目量の変化およびルール成立の様子を示す。

図5、図6の2段目のグラフはフィンガープリントの中間部の一定区間内のゼロクロス点の数を表し、同じく3段目は基底部の数を表す。この数に対し40kHz+200kHzの信号が存在するルールとして、“25 μ sec.間にゼロクロス点10個”を設定する。7段目のグラフの1、2段目がこのルールの成立状況を示す。

図5、図6の3、4、5段目のグラフはフィンガープリントの上部の一定区間での隣り合うゼロクロス点の間隔を表す。この数に対し40kHzの信号が存在するルールとして、“間隔10~15 μ sec.”を設定する。7段目のグラフの3、4、5段目がこのルールの成立状況を示す。

もう一つ40kHz+200kHzの信号の存在を補助す

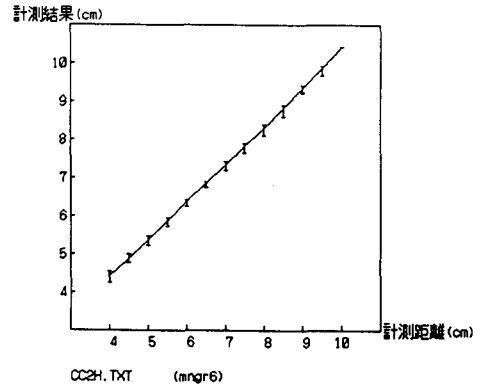


図7 相関処理による距離の測定

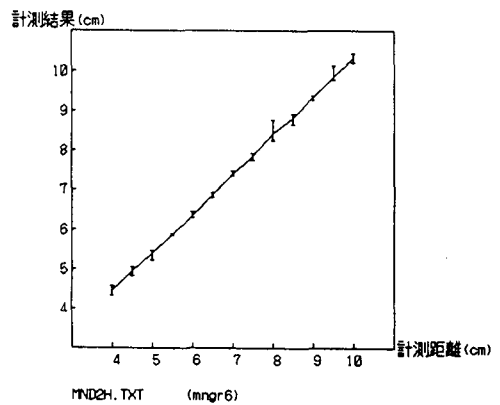


図8 SSF処理による距離の測定

るルールとして、“一定区間中1 μ sec.間隔で隣り合うゼロクロス点がない”を設定する。7段目のグラフの6段目がこのルールの成立状況を示す。

これらの6つのルールがすべて成立する場合、40kHz+200kHzの受信信号が存在するとする。8段目のグラフがすべてのルールの成立を示す。

4. 基礎実験結果

基礎実験として平行面の距離を計測する。比較実験として図3、図4で示した200kHzの仮想受信信号との相互相関処理による距離の測定も併せて行う。使用する実験系は40kHz、200kHzの超音波センサを組み合わせる。送信側は100Hz、10Vの矩形波でドライブし、振動子自身の共振で40kHz、200kHzのパルス状の超音波を発生させる。受信側は60dB程度の増幅を行ったあと12ビット、1MHzサンプリングで計算機に取り込む。取り込まれたデータは512点ごとにSSF処理する。実験

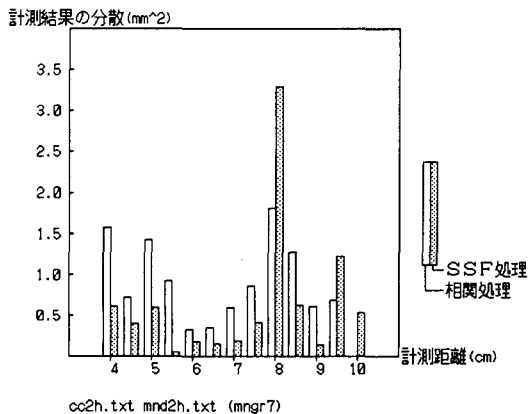


図9 計測結果の分散

はセンサー物体間距離を4 cmから10 cmまで0.5 cm刻みに9回計測を行う。

図7に相関処理を用いた距離の測定結果、図8にSSF処理を用いた距離の測定結果を示す。グラフは共に平均値、最大値、最小値を示す。図9に測定結果の分散を示す。

実験結果を見ると、相関処理ではどの距離においても一定量の誤差が発生している。相関処理の場合は受信信号の先端を見つけだすよりも信号の包絡線の中心を見つけることになる。従って、包絡の最大値をとる時刻が変化すると、それがそのまま誤差となって現れる。

それに比べ、SSF処理の場合のいくつかの距離において誤差の少ない計測が行われる。問題となるのはデコードのためのルールの設定方法である。現在のところは、フィンガープリントの状態を見ながら経験的に設定しているが、設定方法如何で誤差は大きく変化する。

5. まとめ

形状認識のための面の測定方法として複数個の受信センサとSSFを組み合わせた方法を提案した。面を決定するための基礎実験としてSSFを利用した距離の導出方法を検討し、基礎実験結果から、従来の距離導出方法よりも優位性のあることが明らかとなった。

参考文献

- 1) 土井, 松田: “超音波センサとスケール・スペース・フィルタリング”を用いた物体の形状認識

方法”, 平成6年電気関係学会関西支部連合大会, G2-25

- 2) 廣島, 松田: “3次元形状入力システムにおけるスキャンアルゴリズムの効率化”, 平成4年電気関係学会関西支部連合大会, G2-44

- 3) 土井, 他: “水中情報伝送におけるスケール・スペース・フィルタリングに関する一考察”, 海洋音響研究会誌, vol.15no.1, 1987

- 4) 土井: “マルチスケール表現を用いた信号処理の研究”, 奈良高専研究紀要第24号, 1988

- 5) 土井: “マルチスケール記述を用いた信号処理の研究その2”, 奈良高専研究紀要第25号, 1989

2 光束コンピュータ生成ホログラムに関する研究

成田 紘一・前田 行輝*

Study of Computer Generated Hologram for Leith's Type

Hirokazu NARITA and Yukiteru MAEDA*

Recently, various study to make the imaginary and the three dimensional object visible by the technique of holography are done in the filed of the computer graphics. However, the practical technique has not be produced yet.

In this study, the Leith's type hologram with the hight reconstruction of object is generated by the workstation with hight speed operational time. In this case, the new alogorism without Fresnel approximation is developed and used. This algorism is that the computing time is reduced by use the idea that the scattering pattern from different point in the object plane has same shape when the distance from the object plane to the hologram plane is equation.

1. まえがき

最近、画像の立体視に関する研究が盛んに行われるようになってきている^[1]。この目的の1つは、立体テレビの実現であるが、いまだ良い方法が見つかっていない。もう1つの応用として、CADやバーチャルリアリティーの分野で、仮想物体を立体的に可視化することが考えられている。この分野に、ホログラムを応用することが考えられているが、未だ実用性の高い方法が見いだされていない^[2]。特に、コンピュータ生成ホログラム(CGHs)は、コンピュータにより生成された仮想物体を可視化する上で有意義な方法だと考えられるが、これまでのコンピュータ生成ホログラムで成功したものはフーリエ変換ホログラムだけであり、この方法では、CAD等における、近接物体の3次元可視化はできない。そこで、本研究では、再生像の認識が容易であるといわれている2光束型ホログラム(Leith型ホログラム)^[3]

を、このコンピュータホログラムの分野に取り入れ、仮想物体からの散乱波をフレネル近似を用いなくシュミレーションし、CGHsを作成することを試みた。

通常のパソコンを使用した場合、この計算には膨大な時間を必要とするが、最近、特に演算スピードが高速になってきているRISC型のマイクロプロセッサを持ったワークステーション(WS)を用い、さらに、著者らが考え出したWSの広いメモリ空間を利用した計算量を削減するアルゴリズム^[4]を採用して、比較的短時間にCGHsを作成するのに成功した。

これまでのCGHsの多くは2値化ホログラムであった。しかしながら、2階調で描画したCGHsからの再生像には高次回折波のゴースト像が現れる。また、この方法ではフーリエ変換ホログラムの作成しかできなかった。そこで、本研究では、ホログラムの作成に、多色表示が可能な高解像度CRTディスプレイ(横1,280×縦1,024ドット)を使用し、256階調の濃淡を持ったホログラムを作成した。

CGHsは仮想2次元物体(カナ文字)について

*元本校専攻科生、現徳大氣社

作成され、そして、再生像は人間の目で認識できる程度であった。

2. 2光束型ホログラフィ

Gaborによって1948年に提案されたホログラムは、その後レーザの発明により急激な発展をなしたが、この方法には種々の欠点があった。その最大のものは、再生される実像と虚像が同じ点に生じ、また虚像と参照光も重なり、像の認識を困難にすることであった。これらの欠点を解決するためLeithとUpatnieksは2光束法を考案した。この方法では、参照光はホログラム面に対してある角度を持って照射され、それによって、そのホログラムから再生される像は、再生光に影響されず、また、実像と虚像も完全に分離できることであった。

一方、1960年代に高速な汎用コンピュータが出現するようになり、このコンピュータを使って、仮想物体をホログラムの手法でもって可視化するための技術が研究されてきたが、当時のコンピュータでは、再生像が無限遠に形づくられるフレネル近似を使用したフーリエ変換ホログラムしか作成することができなかった。しかしながら、最近、RISC型マイクロプロセッサを持った超高速ワークステーションが出現するようになり、ホログラム近傍へ像を再生することができるコンピュータ生成ホログラムを作成できる可能性が生じてきた。そこで、筆者らは、この可能性を調べるために2光束コンピュータ生成ホログラムを作成してみた。

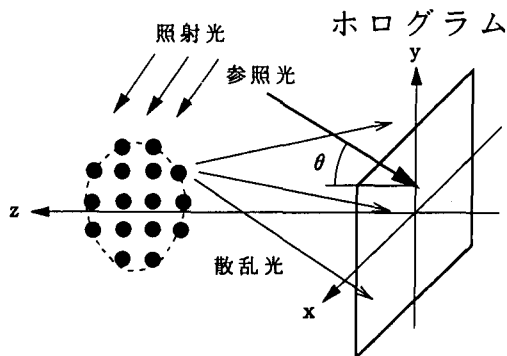


図1 点物体の集合による散乱

点物体からの散乱波は、光領域では

$$I(x, y, z) = \frac{C}{R} e^{-jk_0 R} \quad (1)$$

で与えられることが知られている。ここで、 C は散乱波の振幅、 R は散乱物体からホログラム面までの距離、 k_0 は真空中の位相定数である。

したがって、図1のように仮想物体を点物体の集合と見なし、それらの点から散乱される光を、ホイヘンスの原理にしたがって、ホログラム面全体にわたって求めればコンピュータ生成ホログラムが作成できることになる。

3. アルゴリズム

コンピュータ生成ホログラムを得るには、前節で述べた計算を行えばよいことになるが、計算結果では、仮想物体を数10点の点物体から構成されているものと考えたときであっても、1枚のホログラムを作成するのに数時間要することが分かった。そこで、筆者らは以下のようなアルゴリズムを考えた。

点物体からの散乱波は式(1)で与えられるが、この散乱波のホログラム面での界分布は、図2に示すような、ニュートンリングと呼ばれる同心円状の分布となる。したがって、散乱物体点が同一平

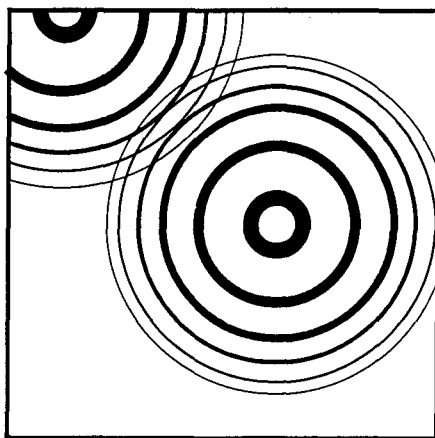


図2 ニュートンリングの合成

面上にあれば、散乱波の分布はリングの形状で、変化しなく、単にその中心が移動するだけになる。そこで、このリング状の界分布を予めコンピュータで計算しておき、そのデータをコンピュータの広いメモリ空間上に配置し、ホログラム生成過程

では、単にその中心だけを移動してメモリ上でそれらのデータを散乱波の実数部と虚数部について加算する方法を採用した。この方法により、数学的手法を用いて数時間必要であったホログラム生成時間が、数分で作成できるようになった。

4. ホログラムの生成と実験

今回の実験は、基礎的資料を得るための基礎実験であったので、仮想物体は図3のような2次元形状を持った「ア」という文字を使った。この仮想物体が図4のような座標系におかれ、照射光及び参照光としてHe-Neレーザを使ったとして、仮想ホログラム面での界強度分布がコンピュータによって計算された。使用されたワークステーションは約100Mipsの演算スピードを持っているSONY社のNWS-5000である。

計算された界強度は、このワークステーション

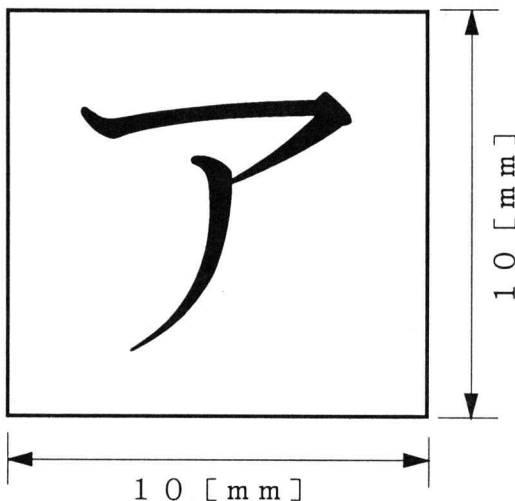


図3 仮想物体「ア」の文字

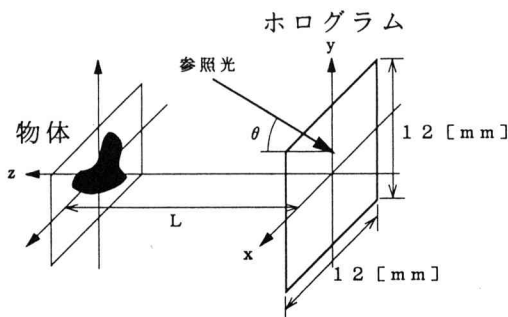


図4 計算に使用された座標系

に使用されている1280×1024ドットの分解能を持っているCRTに256階調で表示された。この表示されたCRTの画像をカメラで撮影することによりホログラムを作成した。作成されたホログラムの一例を図5に示す。ここで、通常、CRTで濃淡表示した場合、CRT表面の発光物体の特性により、画像データの強度データと発光強度とが比例関係にならない。そこで、あらかじめ、光パワーメータで、CRTの発光特性を測定しておき、実際に表示される濃淡画像が、界強度データと比例関係になるようなフィルタープログラムを作成した。これにより、CRTに表示された画像の光強度を線形にすることが可能になった。また、このCRT画面をカメラで取り、ホログラムを作成したのであるが、CRTと同様にフィルムにも特性があり、実際の光強度とフィルム面に記憶された強度とは比例関係にならないが、今回は、フィルムの特性は考えなく、理想的なものとして取り扱った。

作成されたホログラムの一例を図5に示す。この例は、物体からホログラム面までの距離L及び参照光の入射角 θ が以下のときのものである。

$$L = 1.5 \text{ [m]}$$

$$\theta = 2 \times 10^{-3} \pi \text{ [rad]}$$

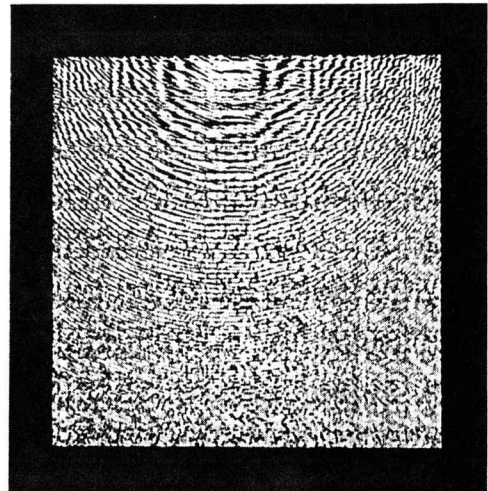


図5 作成されたホログラムの例

5. 再生実験と検討

作成されたホログラムからの像再生は、ホログラム作成のときと同様に、He-Neレーザが使用

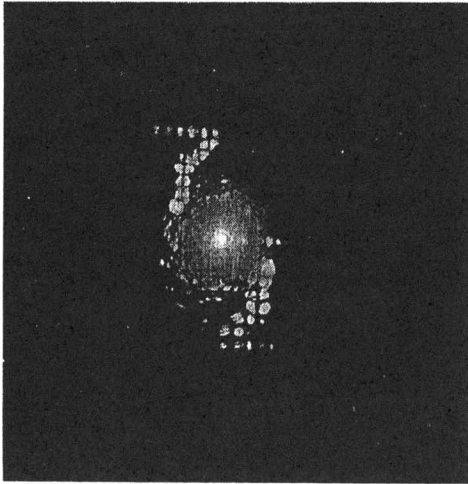


図6 再生像の一例

された。再生された像の一例を図6に示す。

今回の実験において作成された2次元コンピュータホログラムからは、比較的良好な再生像を得ることができた。しかし、奥行き分解能が低く、 z 軸方向に鮮明な像を結ばなかった。これは、作成されたホログラムの分解能が低く、かつ、ホログラム乾板の面積が小さかったためと思われる。また、入射角はホログラムのサンプリング間隔との関係から、あまり大きな角度を取れないため参照光と再生像が接近して再生されてしまった。これらの問題点はホログラムの分解能、すなわち、CRTの分解能を上げることによって解決できるが、現状では、今回の実験で使用したCRT以上の分解能を持ったCRTを得ることは難しい。ホログラムの分解能を更に上げるためには、他の表示機器を採用する必要があるだろう。

6. おわりに

本研究において、フレネル近似を使用しないコンピュータ生成ホログラムが作成された。このホログラムの作成には、計算時間を削減するため、新しいアルゴリズムが考え出され、それによって、従来の方法と比較して約5倍以上の計算時間の短縮をはかることができた。生成されたホログラムはHe-Neレーザを用いて再生されたが、参照光の角度が小さいため、参照光と再生像が接近してしまい、物体の認識が困難になるなどの問題が生じた。これらの問題は、ホログラムの分解能を上げることによって解決できるので、今後は、ホログラム乾板作成用の機器について研究を行う予定である。

参考文献

- [1]大越孝敬：“三次元画像工学”、朝倉書店(1991)
- [2]Kenneth Haines：“Computer Graphics Holography”，IEEE Computer Graphics and Applications, Vol.6(1992)
- [3]E.N.Leith and J.Upatnieks：“Reconstructed Wavefronts and Communication Theory”，J.Opt. Soc. Amer., Vol.52, p1123 (1962)
- [4]前田、成田：“2光束コンピュータホログラムに関する基礎研究”，平成5年電気関係学会関西支部連合大会予稿集(1993)

多重反射形フェイズドアレイによるCO₂レーザ光の偏向

松島 朋史・中村 好二*・末田 正**

Deflection of CO₂ Laser Beam using Multireflection - type Phased Array

Tomoshi MATSUSHIMA, Kouji NAKAMURA and Tadashi SUETA

A deflection method of CO₂ laser beam by combining a multireflection - type phased array deflector with a channel waveguide CO₂ laser is proposed.

To confirm the workability of the proposed scheme, a trial deflector and channel waveguide CO₂ laser were constructed and tested.

This paper describes the principle of the proposed method and the experimental results.

1. まえがき

CO₂レーザは高効率、高出力であり、しかも、その出力光は大気中での伝搬特性が良好であるため、計測、通信、レーザレーダ等への応用が考えられる。これらの応用に際して、CO₂レーザ光を偏向することがしばしば要求される。

偏向方法の一つとして多重反射形フェイズドアレイを用いるものがある。この形式の偏向器は、全反射鏡と部分透過鏡を平行に置き、これにレーザ光を斜めに入射させて構成する。入射光ビームは、2枚の反射鏡間で多重反射され、部分透過鏡の各反射点で部分透過した光ビームが一種のアンテナアレイを構成する。なんらかの方法によって透過光間の位相を変えると、レーザ光を偏向することができる。透過光間の位相を変えるには、反射鏡間隔を変える方法と電気光学効果を利用した位相器を反射鏡間に挿入する方法がある。前者は反射鏡を移動することにより、透過光間の位相を容易に変えることが出来るが、高速偏向には難点

がある。これに対し、後者は、原理的には高速偏向が可能であるが、一般にCO₂レーザ光のような長波長光では、電気光学効果は波長に反比例するため、大きな位相変化を得ることは容易でない。しかし、アレー形式の場合は、透過光間の必要位相差が 2π でよいから、CO₂レーザ光を偏向する場合には、他の電気光学効果を利用した偏向器に比べて有利であると言える。しかし、多重反射偏向器は、複数の回折ビームを含む指向特性を持ったため、同じ偏向角に対してそれぞれの回折光ビームが偏向される。このため、偏向範囲は回折光ビーム間隔に制限される。またレーザレーダ等のように、レーザ光を目標物に照射して、その角度を測定するような場合には、角度決定に曖昧さが生じる。また、この偏向器は2枚のミラー間の多重反射を利用しているため、ミラーの反射面によるビームの乱れが生じ易い。

そこで、これらの問題を取り除く方法を提案してきたが、本論文ではCO₂ガスレーザ光の10.6 μm 帯と9.6 μm 帯の多重反射フェーズドアレイ偏向器およびチャンネル導波管CO₂レーザの試作し、それぞれについて基礎動作実験を行った結果について報告する。

*奈良工業高等専門学校 専攻科 電子情報工学専攻

**摂南大学 工学部

2. 多重反射形フェイズドアレイ偏向器

多重反射形フェイズドアレイ偏向器の原理を簡単に述べる。図1はその偏向器のモデルを示す。偏向器は全反射鏡と部分透過鏡を間隔 L で平行に置き構成する。今、半径 b のレーザ光ビームが Z 方向、角度 β で偏向器に入射する場合を考える。入射したレーザ光は、部分透過鏡面の c 点で2つに分割され、一部は CB 方向に反射され、残りは Z 方向に向かう透過光となる。 CB 方向に向かう反射光は全反射鏡の B 点で反射され、再び部分透過鏡面で2つに分割される。このような過程により、平面板内部のレーザ光は次々と分割され、部分透過鏡から放射される。これらの透過光は一種のアンテナアレイを構成することになる。このアンテナアレイから放射される回折光ビームの方向は、 Z 方向の入射光に対して θ となる。

さて、 d を透過光のビーム間隔とすると β と d と L との間には次の関係式が成立する。

$$d = 2L \sin \beta \quad (1)$$

また反射鏡1往復による光路差を δL とすると

$$\begin{aligned} \delta L = AB + BC &= L[(\cos 2\beta / \cos \beta) \\ &+ 1 / \cos \beta] = 2L \cos \beta \end{aligned} \quad (2)$$

となり、反射鏡間1往復による位相差 δ は、光の波長を λ とすると

$$\delta = 4\pi L \cos \beta / \lambda \quad (3)$$

となる。このような関係が成立するとき、多重反射形フェイズドアレイのフランフォーアレイ領域における回折光ビームの正規化強度分布 $I(\theta)$ は

$$\begin{aligned} I(\theta) &= \frac{1 + [4r^N / (1 - r^N)^2] \sin^2[(N/2) \\ &\quad (\delta - (2\pi d \theta / \lambda))]}{1 + [4r / (1 - r)^2] \sin^2[(1/2) \\ &\quad (\delta - (2\pi d \theta / \lambda))]} A|\theta|^2 \end{aligned} \quad (4)$$

となる。ここで、 r は部分透過鏡の反射係数、 N はビームの本数、 $A(\theta)$ は素子因子である。但し、多重反射間のビームの広がりはないものとする。そこで(4)式の正規化強度分布の極大値の方向は

$$\sin^2[(1/2)(\delta - 2\pi d \theta / \lambda)] = 0 \quad (5)$$

すなわち

$$\delta - (2\pi / \lambda) d \theta = 2\pi k \quad (6)$$

(k : 整数)

より

$$\theta = \frac{\lambda}{d} [(\delta / 2\pi) - k] \quad (7)$$

を満足する方向である。ここで k は回折光ビームの次数を表す。故に何らかの方法を用いて δ を変化させれば極大値の位置が変化し、レーザ光ビームを偏向させることができる。

透過光間の位相を変えるには、反射鏡間隔を変える方法と電気光学効果を利用した位相器を反射鏡間に挿入する方法がある。図2(a)(b)は多重反射形フェイズドアレイ偏向器の構成を示す。図2(a)は完全反射鏡側に圧電素子を取付反射鏡間隔を変える方法、図2(b)は反射鏡間に、電気光学位相変調素子を挿入して反射鏡間の光学長を変える方法を示す。

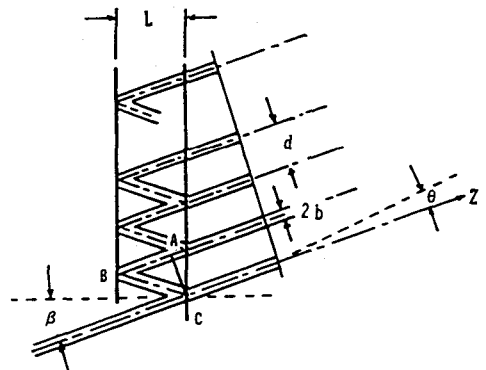


図1 多重反射形フェイズドアレイのモデル

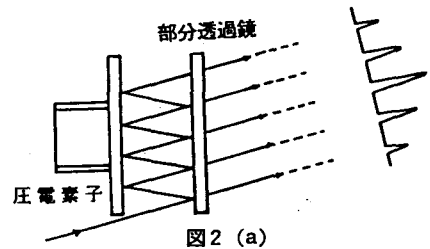


図2(a)

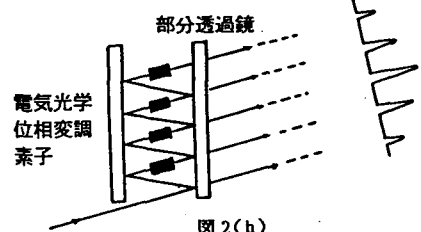


図2(b)

図2(a) 反射鏡間隔を変える方法

図2(b) 電気光学位相変調素子を用いる方法

ここでは、反射鏡間隔を変えて偏向を行う場合について考える。今、反射鏡間隔が L_0 、入射角が β のとき k 次の極大値となる方向を θ_{k0} とすると、(3) (7)式より

$$\theta_{k0} = (2L_0 \cos \beta - k\lambda)/d \quad (8)$$

となる。

次に、反射鏡間隔 L を L_0 から ΔL だけ変えて、 $L = L_0 + \Delta L$ とすると、 k 次の回折光ビームの方向 θ'_{k0} は(8)式より

$$\theta'_{k0} = [2(L_0 + \Delta L) \cos \beta - k\lambda]/d$$

となる。(8)式(9)式より、 k 次の回折光ビームの方向が

$$\Delta\theta = \theta_{k0} - \theta'_{k0} = (2\Delta L \cos \beta)/d$$

だけ変わる。すなわち、反射鏡間隔を ΔL 変えると回折光ビームを $(2\Delta L \cos \beta)/d$ だけ偏向できることになる。

また、電気光学効果を用いた位相器を挿入する場合でも、結局、位相器で電氣的に光学長を変えることであり、等価的には反射鏡間隔を変える場合と同等と見なすことができる。

3. 2波長動作による走査範囲の拡大

一般にフェイズドアレイを用いて偏向を行う場合、各光ビーム間の位相差をただか 2π だけ変化させればよい。これは、電気光学位相器を用いる場合とくに有利な点となる。

しかし、フェイズドアレイをレーザレーダ等を利用した場合、図3に示すような複数の回折光ビームを生じるため、同じ偏向角に対して、それぞれの回折光ビームが偏向される。その結果、図3から明らかなように、目標物A、Bに対して同一の偏向角 $\Delta\theta$ が対応し、両者は識別できなくなる。そのため、走査範囲は隣の回折光ビームまでに制限される。そこで、我々は、これらの制限を取り除く方法として、2波長の回折光ビームをくみあわせることによって、角度決定の曖昧さをなくし、実効的に回折光ビーム間隔以上に走査範囲を拡大し、また分解能を上げる方法を提案する。

今、多重反射形偏向器に波長 λ_1 と波長 λ_2 のレーザ光を、それぞれ入射角 β_1 、 β_2 で入射するものとする。入射角を適当に選ぶことにより、波長 λ_1 と波長 λ_2 の回折光ビームを一致させる。両波長

の0次回折光ビームを一致させる場合は $\beta_1 = \beta_2$ となる。ここで、目標物A、Bは図4に示す位置にあるとする。この場合、回折光ビームを偏向すると、目標物Aは波長 λ_1 に対しては偏向角 $\Delta\theta_1$ 、波長 λ_2 に対しては $\Delta\phi_1 (= \Delta\theta_1)$ 、目標物Bは $\Delta\theta_1$ と $\Delta\phi_2$ のとき照射される。このことから、両者を識別することができる。このときの走査範囲は波長 λ_1 と波長 λ_2 の回折光ビームが一致する間隔までとなる。図4の場合、走査範囲図は波長 λ_1 の3次の回折光ビームまでとなる。したがって、2波長動作を行うと、単一波長動作と同じ走査時間身掛け上走査範囲を拡大し分解能を上げることができる。

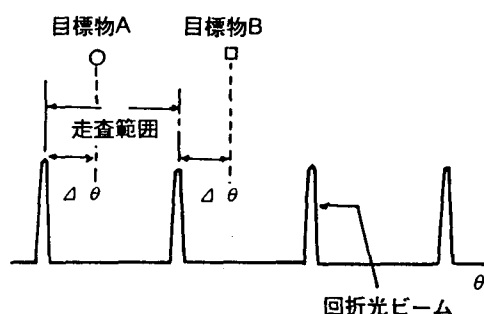


図3 多重反射偏向器の回折光ビーム

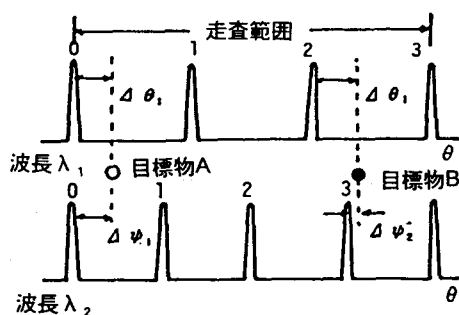


図4 2波長動作による走査範囲の拡大

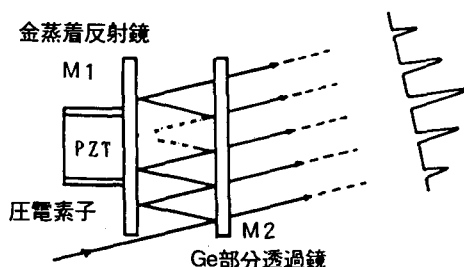


図5 実験に用いた多重反射形フェイズドアレイ偏向器

4. 実験結果

多重反射形フェイズドアレイの2波長動作を行うために基礎実験として、波長 $10.6\mu\text{m}$ と $9.6\mu\text{m}$ の CO_2 レーザ光の偏向実験を行った。図5はこの実験装置に用いた多重反射フェイズドアレイを示す。偏向器は金蒸着した全反射鏡 M_1 とGeの部分透過鏡（反射率97%、 $50\text{mm}\phi$ ） M_2 で構成した。また全反射鏡 M_1 に圧電素子（PZT）を取付け、この圧電素子に直流電圧を印加することによって、反射鏡間隔を変えた。入射光には、波長 $10.6\mu\text{m}$ と $9.6\mu\text{m}$ の CO_2 レーザ光を用い、円形スリットを通して偏向器に入射させた。偏向された回折光ビームの検出は、リニアヘッドモータによって動かすことができる移動台に取り付けたAuGe検波器で行った。図6は実験装置の構成を示す。

4.1 波長 $10.6\mu\text{m}$ の場合（円形開口）

円形開口スリットから波長 $10.6\mu\text{m}$ のレーザ光ビームを偏向器に入射し、全反射鏡に取り付けた圧電素子に直流電圧を印加した場合について、偏向器からの回折光ビームの方向と光強度の関係を図7(a)(b)に示す。図7の実線は実験値、点線は理論値を示す。この実験に用いたパラメータは、スリットの半径 $b=2.79\text{mm}$ 、反射鏡間隔 $L=17\text{mm}$ 、入射角 $\beta=0.082\text{rad}$ 、ビーム本数 $N=8$ である。図8はそれぞれの回折光ビームの偏向角と圧電素子に印加した直流電圧との関係を示す。

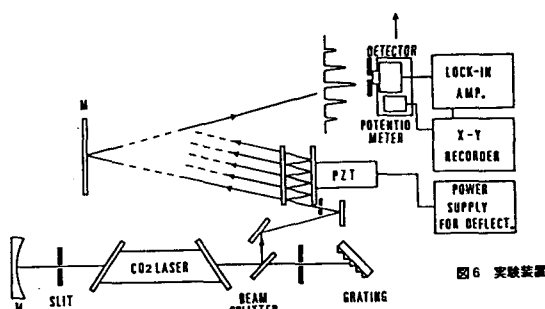


図6 実験装置

4.2 波長 $9.6\mu\text{m}$ の場合（円形開口）

波長 $9.6\mu\text{m}$ のレーザ光ビームを用いた場合も同様に行い、その結果を図9(a)(b)、図10に示す。これより、 $10.6\mu\text{m}$ の場合と同様に回折光ビームが印加電圧に対応して偏向されていることがわかる。この実験に用いたパラメータは、スリットの

半径 $b=0.52\text{mm}$ 、ビーム間隔 $d=2.96\text{mm}$ 、反射鏡間隔 $L=17\text{mm}$ 、入射角 $\beta=0.087\text{rad}$ 、ビーム本数 $N=9$ である。

5. 検 討

波長 $10.6\mu\text{m}$ のレーザ光を用いた偏向実験では、図7に示すような理論値に比べて回折光ビームのサイドローブが大きく、また最小値までさがっていないことがわかる。波長 $9.6\mu\text{m}$ の場合にも同様なことが言える。これらの原因について、多重反射形フェイズドアレイを構成する反射鏡間隔の平行度および反射鏡端面のダレなどが考えられる。

以上の実験結果より、波長 $10.6\mu\text{m}$ と波長 $9.6\mu\text{m}$ のレーザ光を組み合わせることにより、身掛け上走査範囲の拡大および分解能を上げることができる。

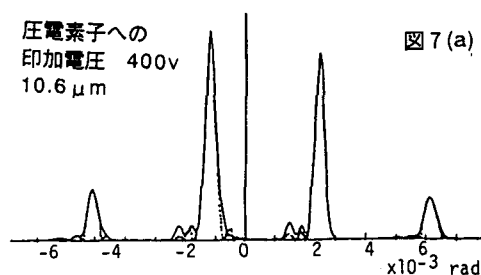


図7(a)

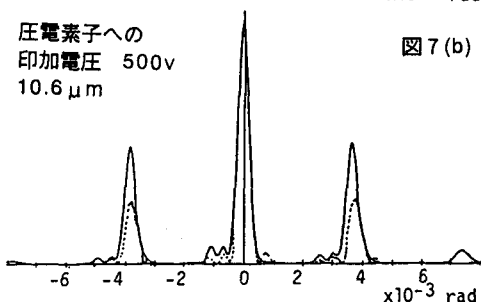


図7(b)

図7(a)(b) 圧電素子に電圧を印加した場合の回折光ビームの方向と光強度の関係

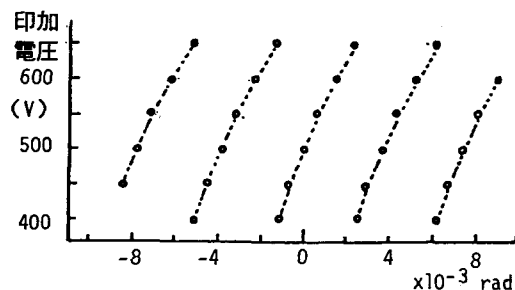


図8 回折光ビームの方向と圧電素子の印加電圧との関係

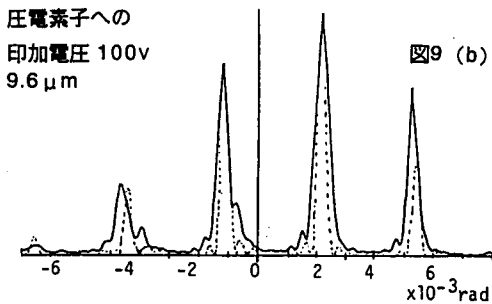
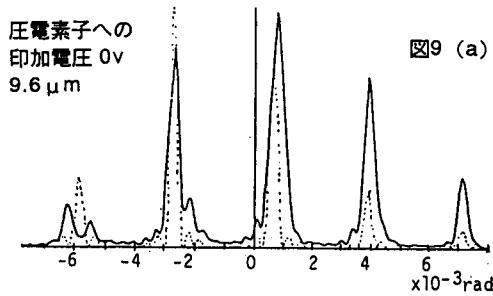
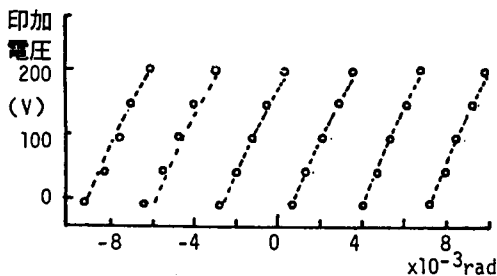


図9 (a)(b) 圧電素子に電圧を印加した場合の回折光ビームの方向と光強度の関係



多重反射形フェイズドアレイ偏向器のもう一つの問題点としては、入射光が反射鏡間を多重反射した後、最後の反射光はフェイズドアレイに寄与しないので、偏向器の外部に放射されるため、入射光に対する出力光の割合が低下することである。このため、レーザレーダ等に応用する際には、大きな出力の回折光ビームを得ることは難しい。そこで、この問題を解決する一つの方法として、多重反射フェイズドアレイとチャンネル導波形CO₂レーザを組み合わせることが考えられる。図11はその構成図を示す。ここで用いる多重反射フェイズドアレイは図2 (b)に示すように反射鏡間に電気光学効果を用いた位相器を挿入したものである。動作としては多重反射形フェイズドアレイからの出力光をチャンネル導波形CO₂レーザに入射し、フェーズロックを行う。これにより、チャンネル

導波形CO₂レーザの出力光は、多重反射形フェイズドアレイの出力光と同等の位相関係が成り立つ。このような構成法においては、光ビームのパワーはチャンネル導波形CO₂レーザによって供給し、光ビームの走査はレーザアレイの同期入力段階、すなわち小出力の段階で行うことができる。したがって、偏向器の出力光とは関係なく、レーザの出力光そのものが偏向されることにより、大きな出力の回折光ビームを得ることが期待できる。

ここで用いるチャンネル形導波形CO₂レーザは、図12に示すようにアルミナを用いたブロック構造からなっている。このような構成に於いては、アレイ素子間の相対位置が安定することにより、各素子からの放射光の干渉を利用する本デバイスとしては安定な動作が得られる。図13はチャンネル形導波形CO₂レーザ発振出力の近視野像を示したものである。

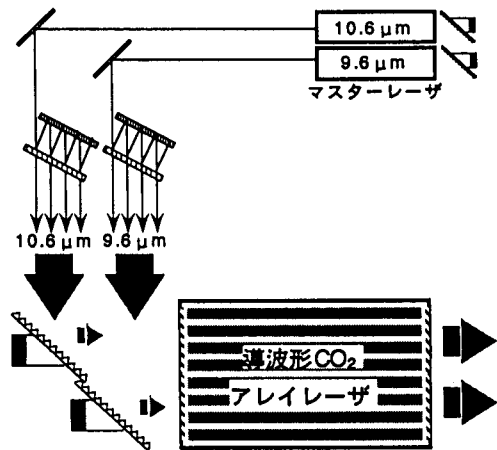


図11 多重反射形フェイズドアレイとチャンネル導波形CO₂レーザを組み合わせた構成

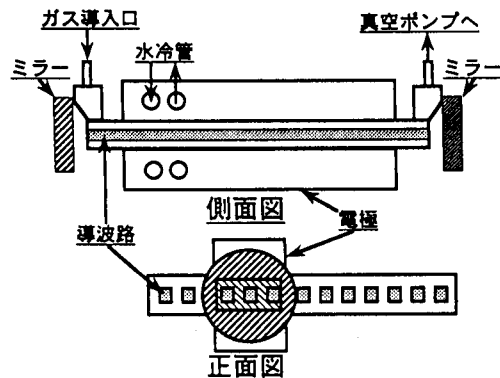


図12 チャンネル導波形CO₂レーザの構造



図13 チャンネル導波形CO₂レーザ発振出力の近視野像

6. む す び

多重反射形フェイズドアレイを用いた2波長動作による走査範囲の拡大方法について提案するとともに、試作したアレイを用いて波長10.6 μm 、および9.6 μm 光の偏向実験を行い、理論値と比較的によく一致した結果が得られた。さらにチャンネル導波形CO₂レーザを試作し5本の光ビームアレイを発生させるのに成功した。今後の課題としては、試作したアレイ形偏向器とチャンネル導波形CO₂レーザと組み合わせて2波長動作を行い、高出力で分解能の高い、しかも高速偏向が可能なレーザレーダを完成させることである。

参考文献

- 1) A. Korpel "Phased Array Type Scanning of a Laser Beam"
Proc. IEEE, Oct. pp 1666 - 1667 (1965)
- 2) 松島、田村、末田 "多重反射形フェイズドアレイによるCO₂レーザ光の偏向" 第7回レーザレーダシンポジウム予稿集 (1981)
- 3) 中村、松島、末田 "多重反射形偏向器と導波形CO₂アレイレーザを組み合わせた10.6 μm 帯光の偏向" 輻射科学研究会資料, RS94-3 (1994)

CV刺激による聴覚皮質の信号源推定

沖田 善光・平田 恵啓*・小林 哲生*・栗城 真也*.*

Localization of Auditory Cortical Sources from Neuromagnetic Fields
Evoked by CV Speech Sounds

Yoshimitsu OKITA, Yoshihiro HIRATA, Tetsuo KOBAYASHI
and Shinya KURIKI

In this study, the characteristic of neural activities in auditory cortex and sound information processing were investigated. We measured auditory evoked fields elicited by Consonant - Vowel sounds (/a/, /ka/, /ha/, /na/) and examined dynamic characteristics of neural sources estimated from the evoked fields. Statistical analysis, using ANOVA, indicate shifts of dipole sources of M100m responses. The sources for the responses to /a/ and /na/ shift significantly toward anterior and inferior portions, whereas sources for the response to /ka/ only shifts significantly toward anterior position. It was found that shifts of dipole sources depend on acoustic features of speech sounds.

1. はじめに

脳磁界計測は聴覚系の基礎特性を調べる上で有効な手段の一つである^[1, 2]。また、音声刺激による誘発脳磁界応答を測定し、音に対する大脳皮質の神経群活動を磁界信号源として解析することで、活動位置の空間的な違いを皮質の音声処理と関連づけて調べることが行われている。

聴覚誘発脳磁界の信号源は側頭葉のHeschl横回あるいはその近傍に推定されており^[3~6]、脳磁界では大脳の聴覚皮質における神経活動を調べることになる。また、近年の科学技術の発展によりMRI断層像と誘発脳磁界との対応が詳しく検討され、1次聴覚野にあたる部位ないしその近傍が活動源の位置としてよく推定されている^[7]。

この他にも、刺激音による活動源位置の周波数^[8~10]による部位 (tonotopy) や強度との関係^[11]などが調べられている。また刺激音として

FM音を用いた測定例などがあるが^[12, 13]、刺激音に特異的な応答や活動を示唆するような報告例はいまのところない。

単音節刺激において、母音の立ち上がりに対して聴覚誘発脳磁界M100m(刺激開始後約100msec付近にピークとして現れる)成分が顕著に観測されているという報告がある^[11, 14~17]。

本研究では、聴覚野の神経活動の特性や音声情報処理を調べることが目的として、子音-母音からなる単音節音声を刺激音とした誘発脳磁界応答を計測し、被験者毎の脳磁界信号源の動的な位置変化について調べ、さらに統計的な検討を行ったので報告する。

2. 実験及び解析方法

被験者は聴覚が正常な男性5名。左側頭部を中心にほぼ同じ位置で37チャンネルSQUID磁束計(BTi社製、岡崎・生理学研究所)を使用して繰り返し5回測定を行った。この37チャンネルSQUID磁束計は、37個の一次微分グラジオメータ(コイル径20mm、ベースライン50mm)を半径122

*北海道大学・電子科学研究所

* * 国立共同研究機構・生理学研究所

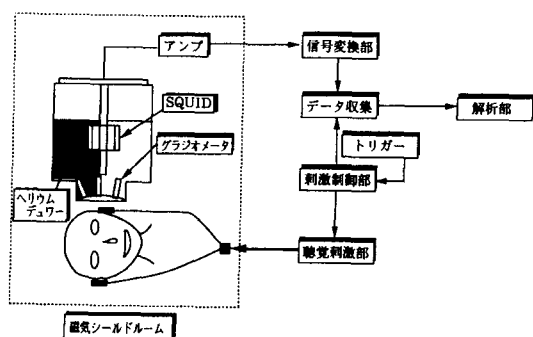


図1 37チャンネルSQUID磁束計を中心とした測定システムのブロック図

mmの球面状に配置し、直径144mmの円形範囲をカバーできる。その範囲内で、磁界の湧き出しと吸い込みを記録できるようにSQUIDデューワーを操作した。

図1は、測定システムのブロック図である。SQUID磁束計は磁気シールドルーム内に設置されているため、フィルタリングおよび加算平均後の脳磁界応答に含まれる、センサや環境からのノイズは脳磁界信号に比べ無視できるほどに小さくなる。したがって、誘発の脳磁界信号に重畳するノイズは生体由来のノイズ、すなわち、自発脳磁界 (Brain noise) と考えられる。

脳磁界測定前に、交流磁界を利用した位置センサを用いて被験者の頭部形状を計測した。

脳磁界データはアナログ的に増幅、フィルタリング処理された後、Magnesソフトウェアが管理するデータベースに蓄えられる。Magnes上でデジタル的に加算平均、フィルタリングおよびオフセット処理を行った後、この後の節で述べる信号源推定などの解析を行った。

本実験では単音節音声/a/, /ka/, /ha/, /na/を刺激音として用いた。単音節音声/a/, /ka/, /ha/, /na/ (長さ155~245msec、サンプリング周波数20kHz、5kHzローパスフィルタ処理) を刺激として被験者に1280msecの間隔でランダム (前音との繰り返しなし) な順序で与えた。これらの刺激音は、放送局の男性アナウンサーがスタジオ内で発声した音声のデジタルデータ (サンプリング周波数20kHz、アンチエイリアシングフィルタ5kHz) を再生したものである。刺激音は、被験者の両耳に、電気-音響変換器からソフトチューブ、イヤピース (高域遮断周波数4kHz) を介して与えた。刺激強度は、79~87dB SPLで、

刺激間隔は1.28secである。また、同じアナウンサーがわずかに遅い速度で発声し、通常の刺激音声より約50~120msec長い持続時間の音を約3%の割合で呈示し標的音とした。被験者には、低周波で出現するこれらの標的音を数えるように指示し、刺激音声に注意を集中させた。

本実験で測定した脳磁界信号は、周波数860Hzあるいは1067Hzでサンプリングし、刺激呈示前300msecから刺激呈示後500msec間のデータである。測定終了後、オフラインで刺激音別に選択し、加算平均を128回行った後に、デジタルフィルタにより1~40Hzに帯域制限した。基線は刺激呈示前の300msec間の磁界の平均値とした。ここで標的音に対する応答は加算平均から除外されている。得られた脳磁界データから磁界信号源位置の推定計算を行うために、頭蓋を球として、M100mの磁界信号源を単一双極子として仮定し、Os-hiroらによるパラメータ探索法^[18]を用いて推定した。

ここで、推定計算においては、Sarvasの式^[19]を使い、頭部導体球に対して接線方向の磁界成分を考慮した。ただし、算出される磁界は空間におけるある一点の磁界であるが、ここで必要とされるのは検出コイル面を鎖交する磁界である。そこで、コイル面内の9点で算出した磁界の平均値をそのコイルの計算磁界とした^[20]。

なお、推定結果の座標の決定は、被験者の原点については、左右両耳の中点であり、そこからNasionを通り前方へ向う軸を+X軸、左耳へ向う軸を+Y軸、原点を通りX-Y平面に対して垂直上向きな軸を+Z軸としている。

3. 実験結果

3.1 異なる被験者の信号源の解析

以下では、各被験者毎に脳磁界信号源の動的な変化について報告する。

図2-1、図2-2は、各被験者の脳磁界信号源の動的な変化を示している。以下に各被験者毎について詳しく説明した。

[被験者TK]

図2-1(a)に、被験者TKのM100m成分の潜時における信号源位置を示す。刺激音/a/, /ka/, /ha/, /na/に対する信号源位置は、/ha/の刺激音の結果を除くとおおよそ13mmの立方体のなかに

おさまる。刺激音声/a/と/na/に対する信号源位置は、両方とも前方(約4~15mm/30msec)、内側(約5mm/30msec)、下方(7mm/30msec)に移動しており、特に/na/の刺激音においては、/a/の刺激音より、かなり前方に移動していることが図から分かる。刺激音/ka/に対する信号源位置は、後方(2mm/30msec)、外側(2mm/30msec)、下方(10mm/30msec)で、かなり下の方に移動している。さらに、刺激音/ha/に対する信号源位置は、前方(4mm/30msec)、外側(19mm/30msec)、上方(2mm/30msec)で、かなり外側の方に移動している。

[被験者RM]

図2-1(b)に、被験者RMのM100m成分の潜時における信号源位置を示す。刺激音/a/, /ka/, /ha/, /na/に対する信号源位置は、おおよそ9mmの立方体の範囲内にある。刺激音声/a/, /ha/, /na/に対する信号源位置は、すべて前方(3~8mm/30msec)、外側(5mm/30msec)、下方(4~9mm/30msec)で、特に刺激音/na/に対して前方に動き、かつ、刺激音/a/に対して下方に移動していた。刺激音/ka/に対する信号源位置は、前方(11mm/30msec)、内側(4mm/30msec)、上方(3mm/30msec)で、かなり前方の方に移動している。

[被験者JM]

図2-1(c)に、被験者JMのM100m成分の潜時における信号源位置を示す。刺激音/a/, /ha/, /na/に対する信号源位置は、おおよそ10mmの立方体の範囲内にある。刺激音声/a/に対する信号源位置は、大きく前方(11mm/30msec)内側(11mm/30msec)、下方(7mm/30msec)に移動していた。刺激音/ha/に対する信号源位置は、下方(6mm/30msec)に移動していた。刺激音声/na/に対する信号源位置は、前方(4mm/30msec)、外側(4mm/30msec)、下方(6mm/30msec)に移動していた。

[被験者FT]

図2-2(a)に、被験者FTのM100m成分の潜時における信号源位置を示す。刺激音/a/, /ka/, /na/に対する信号源位置は、おおよそ20mmの立方体の範囲内にある。刺激音声/a/と/na/に対する信号源位置は、両方とも前方(約1mm/30msec)、内側(約2~9mm/30msec)、下方(6~11mm/30msec)で、特に、刺激音/a/よりも刺激音/na/の方に内

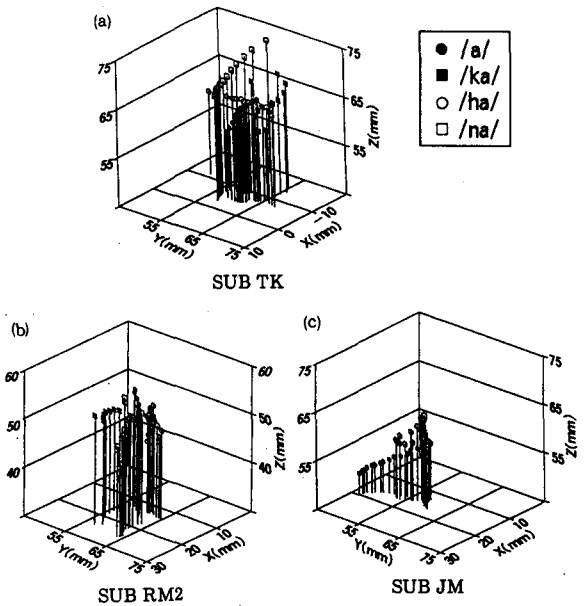


図2-1 各被験者毎におけるM100m潜時の脳磁界信号源位置の動的変化

黒丸が/a/, 黒の四角が/ka/, 白丸が/ha/, 白の四角が/na/を刺激音とした場合の脳磁界信号源の推定位置である。脳磁界信号源はM100mピーク潜時を中心とした±15msec間(推定間隔2msec)で行っている。

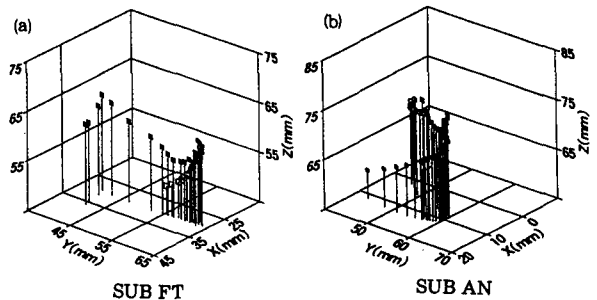


図2-2 各被験者毎におけるM100m潜時の脳磁界信号源位置の動的変化

黒丸が/a/, 黒の四角が/ka/, 白丸が/ha/, 白の四角が/na/を刺激音とした場合の脳磁界信号源の推定位置である。脳磁界信号源はM100mピーク潜時を中心とした±15msec間(推定間隔2msec)で行っている。

側、下方の顕著な移動があった。刺激音/ka/に対する信号源位置は、後方(6mm/30msec)、外側(21mm/30msec)、下方(2mm/30msec)で、かなり外側の方に移動していた。

[被験者AN]

図2-2(b)に、被験者ANのM100m成分の潜時における信号源位置を示す。刺激音/a/, /ka/, /ha/, /na/に対する信号源位置は、おおよそ10mmの立方体の範囲内にある。刺激音/a/, /ka/に対する信号源位置は、どちらも前方(約11mm/30msec)、外側(約4~12mm/30msec)、上方(5~8mm/30msec)に移動しており、特に、刺激音/ka/に対する信号源は、刺激音/ha/より上方、内側の位置にあった。刺激音/a/に対する信号源位置は、前方(3mm/30msec)、外側(16mm/30msec)、下方(10mm/30msec)で、かなり内側の方に移動の傾向が見られた。さらに、刺激音/na/に対する信号源位置は、前方(8mm/30msec)、外側(4mm/30msec)、上方(6mm/30msec)に移動していた。

3.2 信号源推定の統計的検討

前節では、個々の被験者に対する信号源位置の結果を報告したが、全ての被験者に対して共通した結果を得ることが出来なかった。そこで本節では、全ての被験者の推定結果を統計的に検討する。

表1は、被験者毎に各刺激音について数回試行して得られたM100mピーク潜時の平均と標準偏差である。各刺激音についてみると、刺激音の違いによってM100mピーク潜時にかんがりのばらつきがあることがわかる。刺激音/a/のM100mピーク潜時は、おおよそ90~110msecであった。刺激音/ka/のM100mピーク潜時は、被験者JMのピーク潜時を除くとおおよそ90~94msecであった。刺激音/ha/のM100mピーク潜時では、被験者FTのピーク潜時を除くとおおよそ82~114msecであった。同様に刺激音/na/においては、JMのピーク潜時を除くとおおよそ99~119msecであった。このように、刺激音によって誘発されたM100mピークが異なることは、刺激音の物理的(音響的)性質の違いを反映していると考えられる。

表1 被験者毎に各刺激音について数回試行して得られたM100mピーク潜時の平均と標準偏差を示す

	AN	FT	JM	RM	TK
/a/	90.96±4.45msec	94.16±4.28msec	110.43±3.8msec	96.53±4.96msec	105.55±2.99msec
/na/	99.61±4.97msec	119.03±6.09msec	125.94±2.68msec	104.99±4.42msec	113.05±1.46msec
/ka/	89.37±2.85msec	91.68±5.81msec	*****	94.36±2.39msec	92.44±1.06msec
/ha/	82.52±4.13msec	*****	114.67±7.77msec	92.31±6.63msec	98.26±0.53msec

(*****: N1mピークがよく分離していなかったため推定に用いなかった)

図3の(a)、(b)、(c)は、M100mピーク潜時を中

心とした±15msecの区間における、各刺激音に対する被験者平均の信号源位置推定結果である。

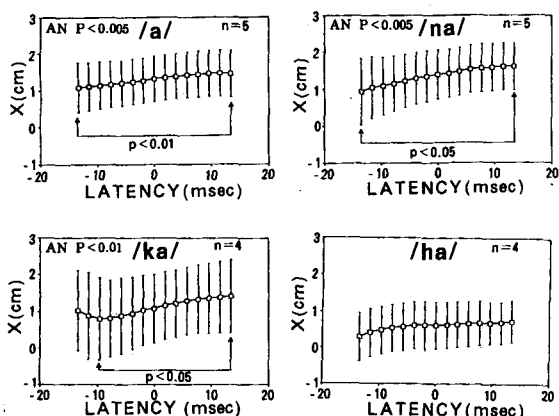


図3(a) M100mピーク潜時を中心とした±15msecの区間における、各刺激音に対する被験者平均の信号源位置推定結果と標準偏差を示す

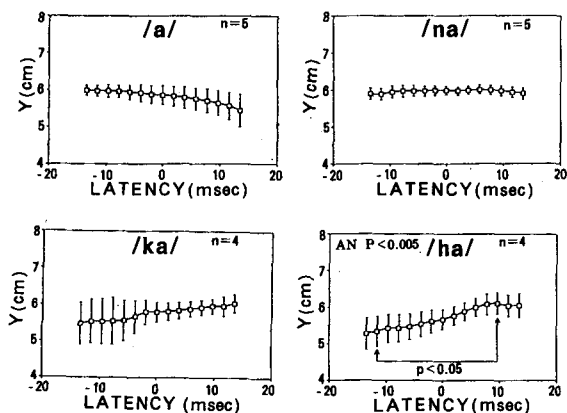


図3(b) M100mピーク潜時を中心とした±15msecの区間における、各刺激音に対する被験者平均の信号源位置推定結果と標準偏差を示す

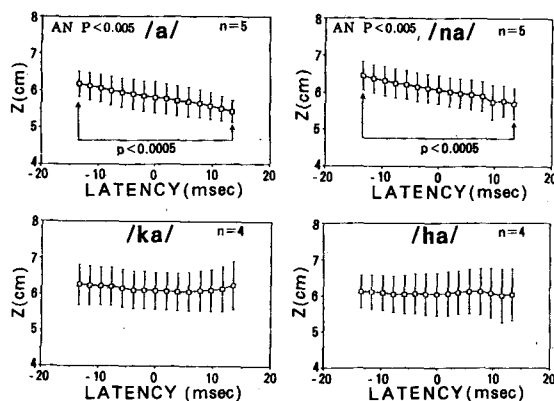


図3(c) M100mピーク潜時を中心とした±15msecの区間における、各刺激音に対する被験者平均の信号源位置推定結果と標準偏差を示す

この図においては、横軸が潜時を表し（M100mピーク潜時を中心とした $\pm 15\text{msec}$ ）、縦軸が座標を表し（(a)が座標X、(b)が座標Y、(c)座標Z）、nは被験者数を表す。

AN(analysis of variance)が2次元の分散分析の結果を表し、pが両端の潜時間でのpaired-t検定の有意差を表している。図3(a)の結果から、刺激音/a/, /ka/, /ha/の信号源位置は、全て前方と後方において有意（/a/ : $p < 0.01$, /ka/ : $p < 0.05$, /na/ : $p < 0.05$ ）であった。しかし、刺激音/ha/の信号源位置は、この限りではなかった。被験者間の各潜時における標準偏差は、/ka/の刺激を除けば、一様なばらつきであった。図3(b)の結果から、刺激音/ha/の信号源位置は、内側と外側において有意（ $p < 0.05$ ）であった。また、他の刺激音では、移動は認められない。また、被験者間の各潜時における標準偏差は、他の座標結果に比べて非常にばらつきが小さかった。図3(c)の結果から、刺激音/a/, /na/の信号源位置は、上方と下方において有意（/a/ : $p < 0.0005$, /na/ : $p < 0.0005$ ）であった。刺激音/ka/, /ha/については、移動は認められない。また、被験者間の各潜時における標準偏差は、全ての刺激音において一様なばらつきを示した。

図4は、図3を3次元的に表したものである。刺激音/a/, /ka/, /ha/, /na/に対する信号源位置は、おおよそ10mmの立方体のなかにおさまっている。刺激音声/a/に対する信号源位置は、前方（約4mm/30msec）、内側（約6mm/30msec）、下方（8mm/30msec）に移動している。そして、刺激音/ka/に対する信号源位置は、前方（2mm/30msec）、外側（5mm/30msec）に移動している。刺激音/ha/に対する信号源位置は、前方（5mm/30msec）、外側（8mm/30msec）で、かなり外側の方に移動している。刺激音/na/に対する信号源位置は、前方（5mm/30msec）下方（8mm/30msec）で、かなり前方、外側の方に移動している。

表2は、M100m潜時における信号源の移動に関する検定結果を示した。刺激音/a/, /na/の信号源位置に関する検定の結果（傾きの検定、2次元の分散分析、t検定）は、いずれの場合も前方、下方に有意に移動していることを示した。一方、刺激音/ka/, /ha/の信号源位置は、傾きの検定、2次元の分散分析、t検定のいずれの検定においても共に前方、外側に有意に移動しているという結果であった。

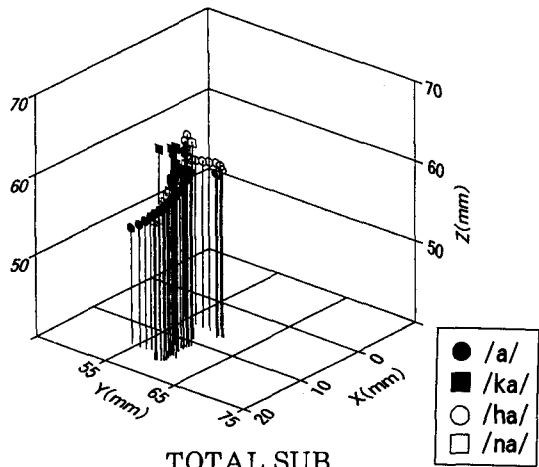


図4 全被験者の平均における100m潜時の脳磁界信号源位置の動的変化

黒丸が/a/, 黒の四角が/ka/, 白丸が/ha/, 白の四角が/na/を刺激音とした場合の脳磁界信号源の推定位置である。脳磁界信号源はM100mピーク潜時を中心とした $\pm 15\text{msec}$ 間（推定間隔2msec）で行っている

表2 M100m潜時における信号源の移動に関する検定結果

	X	Y	Z
/あ/	AN $P < 0.005$ SL $P < 0.0001$ →	AN ——— SL $P < 0.0001$ ↘	AN $P < 0.005$ SL $P < 0.0001$ ↘
/な/	AN $P < 0.005$ SL $P < 0.0001$ →	AN ——— SL ———	AN $P < 0.005$ SL $P < 0.0001$ ↘
/か/	AN $P < 0.01$ SL $P < 0.0001$ →	AN ——— SL $P < 0.0001$ ↗	AN ——— SL ———
/は/	AN ——— SL $P < 0.0001$ →	AN $P < 0.005$ SL $P < 0.0001$ ↗	AN ——— SL ———

4. 考 察

各刺激音の推定結果は、全ての被験者において刺激音/a/, /ka/, /ha/, /na/に対するM100m成分のピーク潜時における信号源位置は、おおよそ10mmの立方体内に動的な変化していることが分かった。しかし、中には、動的な変化を示さない場合もあった。このような動的な変化を示さない信号源は、神経活動が空間的すなわち解剖学的に

一定の場所で発現し減衰すると考えられる。

以前の3人の被験者を対象とした実験の報告では刺激音/a/と/na/に対する信号源の位置変化は、前方、内側、下方という傾向が示されていたが^[21]、本研究での検定結果からは、/a/については同様な結果を示したが、/na/については、前方、下方の動きは有意であったが内側に関しては有意でなかった。

音響的な構造についてみると、単音節母音/a/と有声母音に近い/na/（鼻音）においては、音響的に特性が似ていることもあって信号源の動的な変化も似ていた。しかし、完全に音響的な特性の違う無声破裂音/ka/と摩擦音/ha/については、信号源の動的な変化は異なっていた。

刺激音声/ka/と/ha/によって誘発されたM100mは、複雑な波形特性を有しており複数の信号源を仮定して推定する必要があるのかもしれない。

以上のことより、応答する神経群の活動は、単音節音声刺激の音響的な特性に依存していることが分かる。

参考文献

- [1] G. L. Romani, S. J. Williamson, L. Kaufman : "Tonotopic Organization of the Human Auditory Cortex", *Science*, 216 : 1339-1340, 1982.
- [2] R. Hari, M. Pelizzzone, J. P. Makela, J. Hallstrom, L. Leinonen, O. V. Lounasmaa : "Neuromagnetic Responses of the Human Auditory Cortex to On and Off-sets of Noise Bursts", *Audiology*, 26 : 31-43, 1987.
- [3] C. Pantev, M. Hoke, K. Lehenertz, B. Lutkehoner, G. Fahrendorf and U. Sorber : "Identification of sources of brain neuronal activity with high spatiotemporal resolution through combination of neuromagnetic source localization and magnetic resonance imaging", *Electroenceph. clin. Neurophysiol.*, 75 : 173-184, 1990
- [4] 向井, 竹内, 栗城 : "頭蓋ファントムを用いた電流双極子の測定・計算と聴覚誘発脳磁界発生源の頭蓋内推定", *医用電子と生体工学*, 29 : 17-23, 1991.
- [5] M. Reite, J. Edrich, J. T. Zimmerman and J. E. Zimmerman : "Human magnetic auditory evoked fields", *Electroenceph. clin. Neurophysiol.*, 45 : 114-117, 1978.
- [6] C. Elberling, C. Bak, B. Kofoed, J. Lebech and K. Saermark : "Auditory magnetic fields from the human cortex" : *Scand. Audiology*. 10 : 203-207, 1981.
- [7] A. C. Papanicolaou, R. L. Rogers, S. Baumann, C. Saydiari and H. M. Eisenberg : "Source localization of two evoked magnetic field components using two alternative procedures", *Electroenceph. clin. Neurophysiol.* : 80, 41-48, 1990.
- [8] C. Pantev, M. Hoke, K. Lehnertz, B. Lutkenhoner, G. Anogianakis and W. Wittkowski : "Tonotopic organization of the human auditory cortex revealed by transient auditory evoked magnetic fields" *Electroenceph. clin. Neurophysiol.*, 69 : 60-170, 1988.
- [9] C. Pantev, M. Hoke, K. Lehnertz, B. Lutkenhoner : "Neuromagnetic evidence of an amplitopic organization of the human auditory cortex", *Electroenceph. clin. Neurophysiol.*, 72 : 225-231, 1989.
- [10] E. Kaukoranta, R. Hari and O. V. Lounasmaa : "Responses of the human auditory cortex to vowel onset after fricative consonants", *Exp. Brain Res.*, 69 : 19-23, 1987.
- [11] 林 実 : "音節のスペクトル変化に対する聴性誘発磁界の検討", *日本生体磁気学会誌*, Vol 3 : 68-73, 1991.
- [12] S. Arlinger, C. Elberling, C. Bak, B. Kofoed, J. Lebech and K. Saermark : "Cortical Magnetic Fields Evoked by Frequency Glides of a Continuous Tons", *ibid*, 54 : 642-653, 1982.
- [13] R. Hari and J. P. Makla : "Neuromagnetic Responses to Frequency Modulation of a Continuous Tone, *Acta Otolaryng.*", suppl. 432 : 26-32, 1986.
- [14] 林 : "単語音声に対する聴性誘発磁界の検

- 討”, 音学講論, 1-7-13, 1990.
- [15] Hayashi, M. : "Auditory Evoked Magnetic Fields by CV Transitions of speech Words : " Medical & Biomedical Engineering & Computing", Vol. 29, Suppl. : 919, 1991.
- [16] 村瀬, 竹内, 栗城 : “純音と音声刺激に誘発される脳磁界発生源に関する検討”, 医用電子と生体工学, 26 : 218-226, 1988.
- [17] S. Kuriki and M. Murase : "Neuromagnetic Study of the Auditory Responses in Right and Left Hemispheres of the Human Brain Evoked by pure Tones and Speech Sounds", Exp. Brain Res., 77 : 127-134, 1989.
- [18] O. Oshiro et al. : "Analysis of errors in neuromagnetic localization of multiple current dipole sources", phys. Med. Biol. 37 : 845-852, 1992.
- [19] Sarvas. J : "Basic mathematical and electromagnetic concepts of the bi-magnetic inverse problem", Phys. Med. Biol. 32 : 11-22, 1987.
- [20] 向井 学, 竹内文也, 栗城真也 : “脳磁界発生源位置の頭蓋内推定(Ⅲ) - 分布電流の影響 -”, 日本生体磁気学会誌, 4 : 83-85, 1991.
- [21] 竹内文也, 栗城真也 : “37チャンネルSQUIDによるCV刺激誘発脳磁界の動的特性”, 第7回生理生体工学シンポジウム論文集 : 423-428, 1992.

振動緩和を伴う衝撃波の収束（その2）

岸下 晴亮・堀内 泰男

Focusing of Shock Waves with Vibrational Relaxation Effect (Part II)

Haruaki KISHIGE and Yasuo HORIUCHI

Shock wave focusing process from an axisymmetrical parabolic wall in nitrogen and iodine gases was numerically investigated taking account of molecular vibrational energy relaxation. Values of amplification of physical quantities at the gasdynamic focus were calculated as a function of incident shock Mach numbers for different gases. The results showed that the pressure amplification and the values of temperature at the gasdynamic focus become smaller than the vibrationally frozen case with increasing the incident shock Mach number. The sharp peak of pressure at the gasdynamic focus which was observed for the vibrationally frozen case, become gentle with increasing incident shock strength.

1. まえがき

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、体内の結石破碎等に利用されている¹⁾。湾曲した衝撃波が収束するとき、その収束位置（気体力学的焦点と呼ばれる）や、そこで達成される圧力・温度等の物理量は、入射衝撃波マッハ数と反射板形状に支配されることが報告されている²⁻⁵⁾。また、この気体力学的焦点における物理量の増幅率が、二次元では線状に高圧部が形成される（線収束）のに比して、軸対称では点となるため（点収束）非常に大きくなることが明らかになっている。試料気体を単原子分子とし、点収束の結果を示した文献5では、入射衝撃波のマッハ数を4、Fig.1に示す座標系で $x=0.325r^2$ の反射板を用いたとき、気体力学的焦点で達成される圧力は、初期圧力の540倍になる。また、そこでの到達温度は、初期温度を300Kとした時、その36倍の約11,000Kとなる。こうした高温、高圧に加熱圧縮される試料気体では、分子の内部エ

ネルギモードが励起される。特に、二原子および多原子分子の場合、常温では凍結状態にあると仮定できた振動エネルギーモードは、並進、回転のエネルギーモードからのエネルギー移動により励起される。しかし、振動緩和速度は、場の局所的な圧力、温度等に依存し、その値が有限であるため、各エネルギーモードは互いに非平衡となる。衝撃波収束のような局所的に内部エネルギーが集中する流れ場においては、局所的な緩和速度が大きく変動し、収束衝撃波の挙動や気体力学的焦点での到達物理量に影響することが予想される。そのため、実在気体効果として分子振動エネルギー励起を含み、この振動エネルギーモードと並進、回転のエネルギーモードとの非平衡を考慮した現象の解明が必要となる。

そこで、試料気体として窒素を考え、入射衝撃波強さや反射板形状を変化させたとき、分子振動緩和が衝撃波の収束過程や気体力学的焦点での圧力増幅率、到達並進温度や振動温度に与える効果を調べた結果を報告した^{6, 7)}が、さらに分子振動緩和速度を増加させたときや試料気体を振動特性温度の低い酸素としたときの気体力学的焦点での

到達圧力や温度が受ける効果を調べたので報告する。

2. 振動緩和を伴う収束衝撃波と流れのモデル

二原子分子を含む円筒ダクト内を平面衝撃波が進行し、円筒端に設けた凹状軸対称放物面反射板で反射、収束する過程を、分子振動緩和を含むエネルギー保存則を用いて数値解析を行う。流れは軸対称とし、側壁に生じる境界層は、非常に薄く非粘性を仮定できるとした。また、解析する流れ場では、振動エネルギーモードは励起されるが、電子エネルギーモードは励起されておらず、解離や電離等の化学反応が起こるほど高い温度ではないとした。

また、励起した振動エネルギーモードと並進・回転のエネルギーモードは緩和の途上にあり非平衡であるとするモデルを用いた。

3 数値解析

Fig.1に計算に使用した座標系と軸対称凹状放物面反射板の形状を示す。振動エネルギーの励起を伴う非定常軸対称オイラー方程式はこの座標系を用いて、(1)式のように書くことができる。

$$\frac{\partial \mathbf{U}}{\partial t} + \frac{\partial \mathbf{F}}{\partial x} + \frac{\partial \mathbf{G}}{\partial r} = \mathbf{I} \quad (1)$$

ここに、

$$\mathbf{U} = \begin{pmatrix} \rho \\ \rho u \\ \rho v \\ \rho e \\ \rho \epsilon_v \end{pmatrix}, \quad \mathbf{F} = \begin{pmatrix} \rho u \\ \rho u^2 + p \\ \rho uv \\ \rho u(e + p/\rho) \\ \rho u \epsilon_v \end{pmatrix},$$

$$\mathbf{G} = \begin{pmatrix} \rho v \\ \rho uv \\ \rho v^2 + p \\ \rho v(e + p/\rho) \\ \rho v \epsilon_v \end{pmatrix},$$

$$\mathbf{I} = -\frac{1}{r} \begin{pmatrix} \rho v \\ \rho uv \\ \rho v^2 \\ \rho v(e + p/\rho) \\ \rho v \epsilon_v \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \rho \dot{\epsilon}_v \end{pmatrix},$$

である。ただし、 ρ は密度、 u, v はそれぞれ x, r 方向の速度、 p は圧力を表す。また、 e は(2)式に

示すように単位質量当りの全エネルギーを表す。

$$e = \epsilon + \frac{1}{2}(u^2 + v^2) + \epsilon_v \quad (2)$$

ここに、 ϵ は振動エネルギー以外の単位質量当りの内部エネルギー、 ϵ_v は単位質量当りの振動エネルギーを表す。(1)式は、それぞれ質量、 x 方向と r 方向の運動量、全エネルギー、振動エネルギーの保存則を表す。また、振動エネルギー緩和速度 $\dot{\epsilon}_v$ は、振動緩和方程式

$$\dot{\epsilon}_v = \frac{\epsilon_{v0} - \epsilon_v}{\tau_v} \quad (3)$$

により求めることができる。ここに、 ϵ_{v0} は平衡振動エネルギーを示し、調和振動子を仮定すると(4)式で表される。また、 τ_v は振動エネルギーの緩和時間を示し、(5)式で表される⁸⁾。

$$\epsilon_{v0} = \frac{\Theta/T}{\exp(\Theta/T) - 1} \cdot \frac{p}{\rho} \quad (4)$$

$$\tau_v = \left(\frac{1}{P}\right) \exp[-18.42 + 1.16 \times 10^{-3} m^{1/2} \Theta^{4/3} (T^{-1/3} - 0.0015 m^{1/4})](\text{sec}) \quad (5)$$

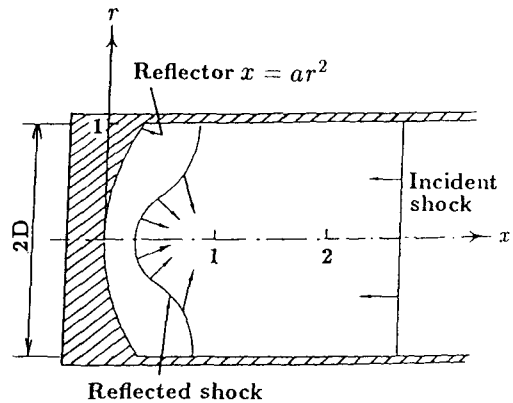


Fig.1 Sketch of shock focusing

ここに、 Θ は振動特性温度(K)、 m は1mol当りの衝突分子の換算質量(gr)、 T は温度(K)、 T_{vib} は振動温度(K)、 P は圧力(atm)をそれぞれ表している。

数値解析は、(1)式の上の4つの式を、時間分割法とPiecewise-Linear-Method(PLM)⁹⁾を組み合わせて解く。このとき振動エネルギーの生成項は、軸対称流における非同次項と同様に扱うこと

が出来る。この振動エネルギー生成項は、(3)式の振動緩和方程式より求める。また振動エネルギーは、振動エネルギー保存則を直接差分化して、PLMと交互に解くことにより求める。流れ場の代表的な時間に比して振動緩和時間が遅い場合は、PLMにおけるクーランの安定条件により時間ステップを決めることができるが、振動緩和時間が速くなるとこの方法による時間刻みでは、正確な振動緩和現象を記述できなくなる。こうした場合は、流れ場の時間刻みを十分小さく取るよう設定した。計算領域は、Fig.1に示した領域の上半分とし、これを 260×130 の正方形格子に分割した。反射板は半径方向に130に分割し、 $x = ar^2$ ($a > 0$) に最も近い格子点を結んだステップ状の境界とした。ここに、 x, r は反射板半径 D で、 a は $1/D$ で無次元化してある。境界条件は、ダクト上流側(右方)で流入・流出条件、管壁(上方)および反射板上(左方)で反射条件、ダクト中心線上で対称条件を用いた。初期条件は、入射衝撃波の左側の状態を静止気体とし、入射衝撃波前後の物理量をランキン・ウゴニオの関係より与えた。振動エネルギーの初期条件は、計算領域全体で入射衝撃波前方の並進温度に平衡であるものとした。

4. 数値計算結果

室温の窒素で圧力1,333Paの気体中を、入射衝撃波マッハ数が7.5の平面衝撃波が進行し、 $a = 0.325$ の放物面反射板から反射する場合の、衝撃波収束付近における圧力鳥瞰図の時間的な変化について、振動緩和を伴う場合をFig.2 (a), (b), (c)に示す。また、振動エネルギーを常温のまま凍結させた場合についての同様の結果をFig.3 (a), (b), (c)に示す。(a)が最高圧力達成前、(b)が最高圧力到達時、(c)がその後を示している。両図中の時間は、入射衝撃波が反射板端に到着したときを基準としたもので、基準時間 $D\gamma^{1/2}/c$ で無次元化した値である。ここに、 c は入射衝撃波前方の領域における気体の音速、 γ は振動エネルギーを常温で凍結させたときの比熱比である。

Fig.2,3とも、図の左方に反射板があり、入射衝撃波は、左方に進行した後、左端で反射板により反射する。Fig.2の振動エネルギー緩和を考慮した場合は、入射衝撃波が反射板で反射した後、振動モードへのエネルギー移動が活発になり圧力の低下が顕著になる。Fig.3の振動凍結流の場合は、

すでに明らかにしたように⁷⁾ 反射衝撃波とこれから反射板方向に伸びる圧縮波との三重点が中心軸上で衝突することにより、反射衝撃波先端部に鋭い峰が形成され (Fig.3 (b))、衝撃波の収束が達成される。振動エネルギー緩和を考慮した場合は、反射衝撃波先端の鋭い圧力のピークは形成されない (Fig.2(b))。

振動エネルギーモードへのエネルギー緩和の効果は、気体力学的焦点での到達圧力や温度にも現れてくる。Fig.2,3の条件において、振動緩和を考慮した場合、振動凍結流で圧力の峰が形成された位置での圧力値は、振動凍結流の60%程度となる。また、並進温度についての同様の比較は、振動緩和を考慮した場合は、振動凍結流の35%程度となり、反射衝撃波の進行速度も遅くなる。

そこで、気体力学的焦点での圧力増幅率と入射衝撃波マッハ数との関係を、 $a = 0.575$ と $a = 0.325$ の反射板についてFig.4に示す。この図には振動凍結流における気体力学的焦点での圧力増幅率もあわせて示してある。ここに、圧力増幅率は、 $(p_{\max} - p_1)/(p_5 - p_1)$ で定義しており、添字maxは気体力学的焦点を表わし、1は入射衝撃波前方を、5は平板で反射したときの反射衝撃波背後での値を示す。振動エネルギー緩和を考慮した場合、入射衝撃波が強くなると、Fig.2(b)のように明確な気体力学的焦点は定義できなくなる。こうした場合には、振動凍結流の気体力学的焦点と同じ位置での圧力増幅率を示してある。

振動凍結流の圧力増幅率は、入射衝撃波マッハ数が1に近いとき非常に大きな値をとる。反射板が深い場合 ($a = 0.575$)、この圧力増幅率は、入射衝撃波マッハ数の上昇にしたがい急激に減少し $M_s = 1.3$ 程度に極小値を持つ。さらに、マッハ数の増大とともに上昇し、その値が3程度で一旦極大値を持つことになるが、それ以後緩やかに減少し、一定値に近づく。振動エネルギーモードへのエネルギー移動を考慮した圧力増幅率は、反射板が深い場合 ($a = 0.575$)、 $M_s = 5$ 程度になると振動凍結流に比して明確な減少が現れ、以後マッハ数の増大にしたがって、ほぼ同じ傾きで圧力増幅率が減少する。反射板が浅い場合 ($a = 0.325$)では、入射衝撃波マッハ数が4程度より大きなマッハ数では、深い場合と同様、ほぼ同じ傾きで圧力増幅率が減少してゆく。この圧力増幅率が、振動凍結流と異なる値を示す入射衝撃波強さ付近で、明確な気体力学的焦点が形成されなくなる。

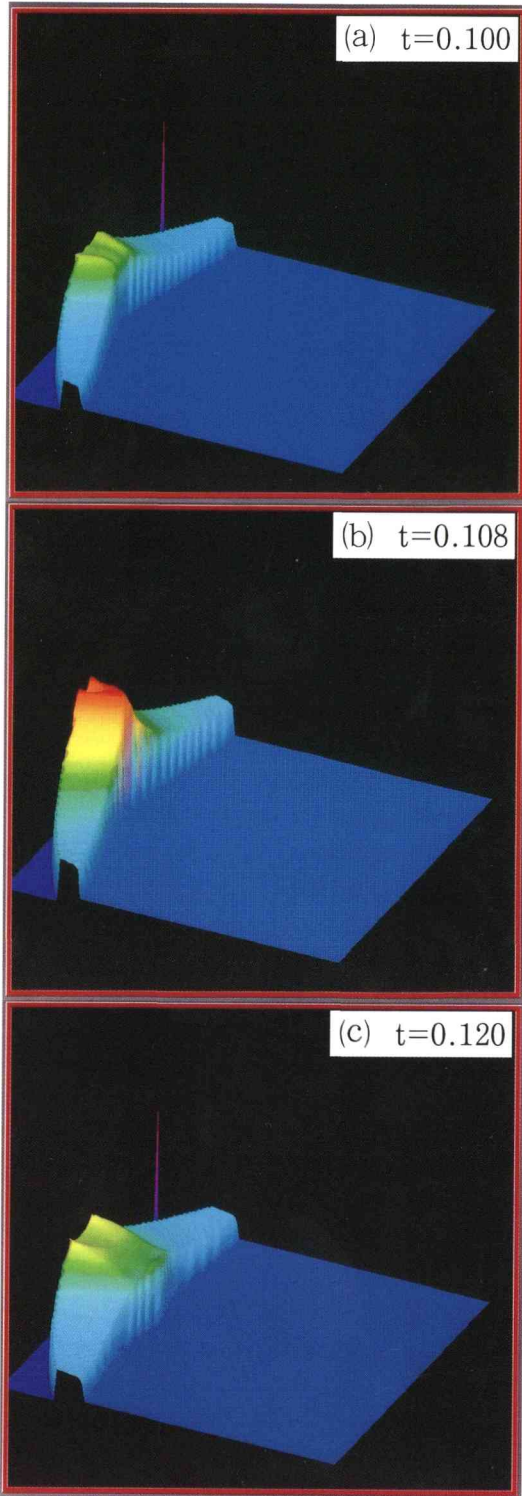


Fig.2 Bird's-eye view of the pressure distributions for vibrationally relaxed case with $M_s = 7.5$, $\alpha = 0.325$. (nitrogen gas)

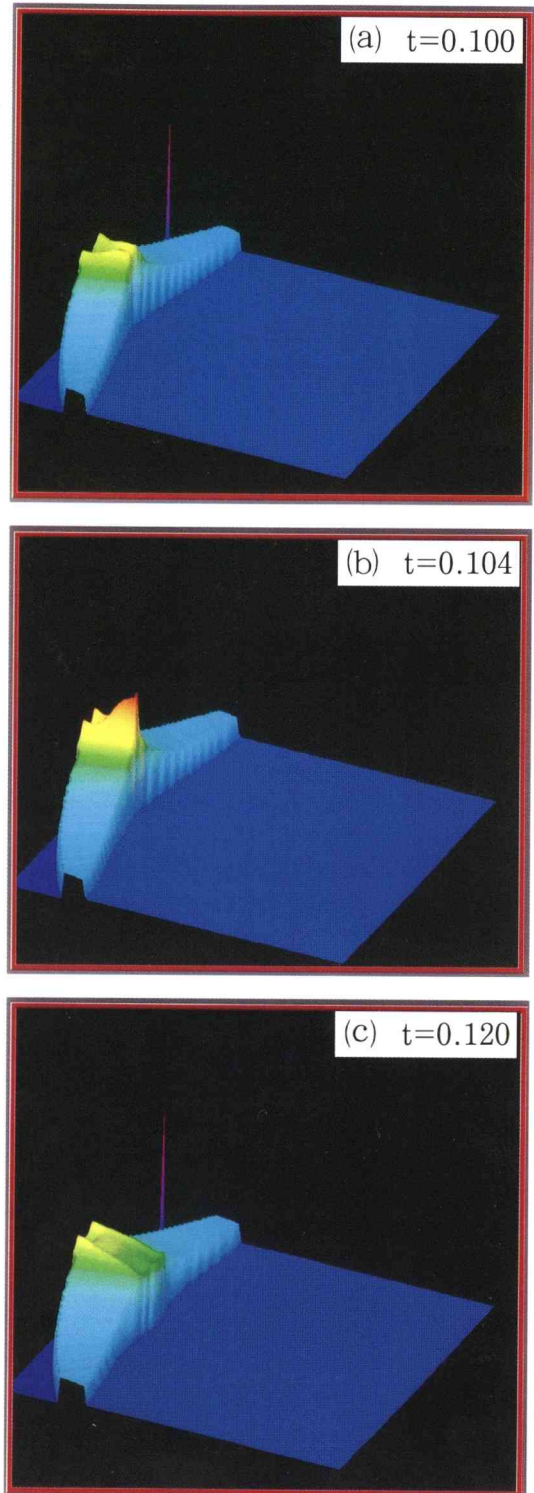


Fig.3 Bird's-eye view of the pressure distributions for vibrationally frozen case with $M_s = 7.5$, $\alpha = 0.325$ and $\gamma = 7/5$. (nitrogen gas)

振動エネルギーモードへのエネルギー移動を考察するため、気体力学的焦点における並進回転温度と振動温度の入射衝撃波マッハ数に対する変化を、浅い反射板($\alpha=0.325$)についてFig.5, 深い反射板($\alpha=0.575$)についてFig.6に示す。なお、それぞれの図には、振動凍結流における気体力学的焦点での到達温度もあわせて示してある。初期条件は、Fig.4と同じである。並進回転温度は、入射衝撃波マッハ数が大きくなると振動凍結流での値に比べ減少する。Fig.5に示すように、 $\alpha=0.325$ の反射板では、入射衝撃波マッハ数が5程度で減少傾向を示し始め、マッハ数が6程度になると到達温度の値そのものが低下していく。これに対応して、振動温度は徐々に増加し、 $M_s=7.5$ で並進回転温度とほぼ同じになる。Fig.6は深い反射板($\alpha=0.575$)の結果であり、並進回転温度は入射衝撃波マッハ数が4程度より振動凍結流の到達温度から減少傾向が始まるが、その値は $M_s=7.5$ 程度まで上昇傾向を維持する。この並進回転温度の減少に対応して、振動モードが励起される。その結果、振動温度は急激に上昇し、浅い反射板と同様に、 $M_s=7.5$ で並進回転温度とほぼ同じになる。

初期状態の圧力を1,333Pa、温度を300Kとした窒素気体における振動緩和速度を基準とし、振動緩和速度の変化による圧力、温度への効果を調べるために、緩和時間を変化させた数値解析を行った。すなわち、入射衝撃波マッハ数を3、基準振動緩和時間を $(\tau_v)_r$ とし、 τ_v をその 10^{-1} 、 10^{-2} …と変化させたときの、気体力学的焦点における

圧力増幅率、並進・回転温度および振動温度をFig.7に示す。この図で $\tau_v/(\tau_v)_r=\infty$ は振動凍結流れを表している。振動緩和時間が基準振動緩和時間の 10^{-2} 程度に速くなると、振動エネルギーモードへのエネルギー移動が顕著となる。さらに、緩和時間の減少にともなって、並進・回転温度と振動温度が近づいて来る様子が分かる。並進・回転と振動のエネルギーモードが平衡な流れは、この緩和時間をゼロとしたものである。

次に、分子の振動特性温度が振動緩和過程におよぼす効果を調べるために、気体の種類を変えて数値計算を行なった。すなわち、振動特性温度が317.5Kと窒素(3356K)に比較してはるかに低い沃素気体について、窒素気体と同じ初期条件での数値解析結果をFig.8に示す。この図には、入射衝撃波マッハ数を変化させた時の気体力学的焦点における圧力増幅率を浅い反射板($\alpha=0.325$)について示してあり、振動凍結流と窒素気体の圧力増幅率は、Fig.5で示したものと同じである。沃素気体での圧力増幅率の入射衝撃波マッハ数に対する変化は、マッハ数の小さいところで振動凍結流から離れ、減少している。しかし、そのマッハ数への依存性は、窒素気体と類似しており、窒素気体における圧力増幅率を75%程度に減少させたものとなる。

また、気体力学的焦点における沃素気体の並進回転温度および振動温度と入射衝撃波マッハ数の関係をFig.9に示す。この図は浅い反射板($\alpha=0.325$)に関する結果であり、Fig.5に示した二原

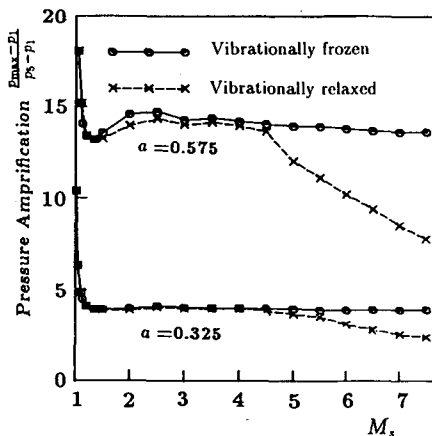


Fig.4 Variation of pressure amplification at the gas dynamic focus for incident shock Mach numbers.(nitrogen gas)

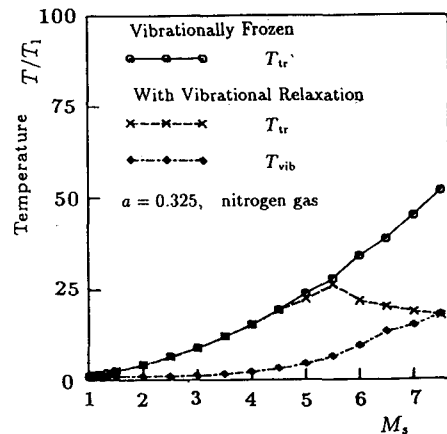


Fig.5 Variation of translational and vibrational temperature at the gas dynamic focus for incident shock Mach numbers with $\alpha=0.325$.(nitrogen gas)

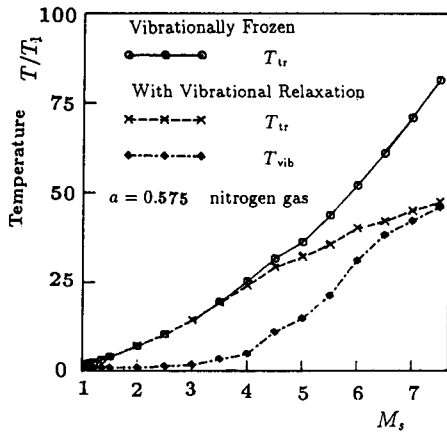


Fig.6 Variation of translational and vibrational temperature at the gas dynamic focus for incident shock Mach numbers with $a = 0.575$. (nitrogen gas)

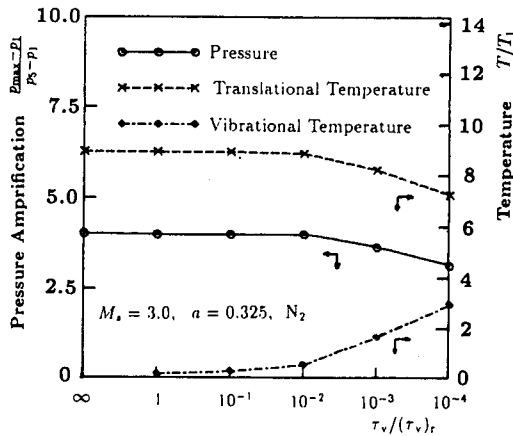


Fig.7 Variation of pressure amplification and temperature at the gas dynamic focus for vibrational relaxation time with $a = 0.325$. (nitrogen gas)

分子の振動凍結流での到達温度についてもあわせて示してある。

並進回転温度と振動温度は、入射衝撃波マッハ数が2程度で平衡に達しており、分子の振動特性温度の効果が非常に大きいことが分かる。

5 結 論

軸対称放物面反射板を用いて、振動緩和を考慮した収束衝撃波の挙動や気体力学的焦点近傍での

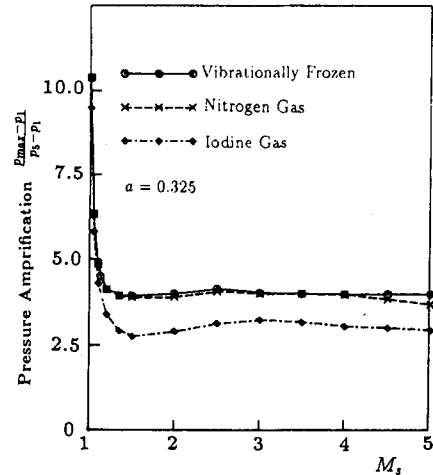


Fig.8 Variation of pressure amplification at the gas dynamic focus for incident shock Mach numbers with $a = 0.325$. (iodine gas)

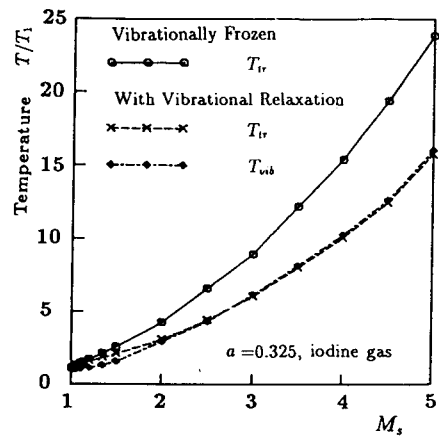


Fig.9 Variation of translational and vibrational temperature at the gas dynamic focus for incident shock Mach numbers with $a = 0.325$. (iodine gas)

到達物理量を、マッハ数、反射板深さ、振動緩和時間等を変化させた数値計算により解明した。その結果をまとめると

1. 入射衝撃波マッハ数を増加させるか、反射板を深くすると気体力学的焦点での到達圧力、温度が増加するのは振動凍結流と同じである。圧力、温度が増加すると振動緩和速度が速くなり、分子振動モードへのエネルギー移動が局所的に加速される。すなわち、局所的な圧力ピーク（最大圧力）は低くなり、ついには圧力ピークを形

成しなくなる。窒素を用いた計算例では、圧力ピークを形成しなくなる入射衝撃波マッハ数は4から5程度であった。また、反射板から反射し収束する衝撃波の進行速度は、振動凍結モデルに比して遅くなる。

2. 圧力の峰を形成しなくなる入射衝撃波マッハ数から、並進・回転温度と振動温度の非平衡が顕著となるが、さらに入射衝撃波マッハ数を増加させると、両者は平衡に近づく。
3. 振動緩和速度や振動特性温度は、衝撃波の収束過程や到達物理量に大きく影響を与えることが確認できた。

参考文献

- (1) Schmidt E. and Bauer H.W., Berührungsfreie Nierensteinzertrümmerung durch extrakorporal erzeugte fokussierte Stoßwellen, S.Karger AG., (1980).
- (2) 西田, 岸下, 収束衝撃波の可視化, 流れの可視化, 7-27(1987)431.
- (3) Nishida M. and Kishige H., Numerical Simulation of Focusing Process of Reflected Shock Waves, Shock Waves and Shock Tubes, (Grönig H.ed.), VCH Verlag(1988)551.
- (4) Nishida M. and Kishige H., Numerical and Experimental Studies of Shock Focusing Flow Field, Proc. 2nd KSME-JSME Fluids Engineering Conf., Seoul, 1(1990) 253.
- (5) 岸下, 手島, 西田, 軸対称放物面から反射する衝撃波の数値解析, 日本機械学会論文集B編, 58-553(1992)2707.
- (6) Kishige H., Teshima K. and Nishida M., Focusing of shock waves reflected from an axisymmetrical parabolic wall, Shock Waves, (Takayama K.ed.), Springer Verlag, 1(1993)341.
- (7) 岸下, 手島, 西田, 振動緩和を伴う衝撃波収束, 九州大学工学部集報, 66-2(1993)89.
- (8) Millikan R.C. and White D.R., Systematics of vibrational relaxation, J. Chem. Phys., 39(1963)3209.
- (9) Collela P. and Glaz H.M., Efficient Solution Algorithm for the Riemann Problem for Real Gases, Lawrence Lab. Univ. Calif. LBL-15776, (1983).

非線形制御系の位相面軌跡と ステップ応答のシミュレーション

栗 本 尚

Computer Simulation of Phase Plane Trajectory and Step Response in a Nonlinear Control System

Takashi KURIMOTO

In design and analysis of a nonlinear control system containing an on-off element etc., the phase plane trajectory and the step response are used. Such characteristics can be drawn by the personal computer. In this paper the method to draw them briefly by N88-BASIC is described. As the nonlinear control system, three on-off control systems without or with dead band and with a differential element are taken up.

1 まえがき

コンピュータにより自動制御系の設計・解析をする場合に、市販の制御系設計・解析用ソフトの活用と並行して、必要最小限の非常に短いプログラムを自作し、活用することが有効である場合もあり、筆者なりに、その成果についてまとめてきた。^{1) 2)}ここでは、リレーや電子スイッチのようなオンオフ要素を含む非線形制御系の設計・解析のために、パソコンのBASIC言語により位相面軌跡とステップ応答を求める方法について示す。非線形制御系として、オンオフ要素を含む制御系から、不感帯のあるオンオフ制御系、さらにオンオフ制御系の制御性能向上をはかり得る、微分要素を含むオンオフ制御系について示す。なお、このような非線形制御系の設計・解析用ソフトは、一応市販されているが、そんなに多くない。

2 非線形制御系の位相面軌跡とステップ応答

2.1 非線形制御系

非線形制御系は、制御対象やコントローラのな

かに、線形化し得ない非線形要素を含んでいる制御系である。一方、非線形要素を制御系に積極的に導入して、制御性能の向上をはかる非線形制御系もある。非線形要素としては、オンオフ要素、不感帯や動作すきまのあるオンオフ要素、不感帯や飽和のある比例要素、バックラッシュや非線形関数などがある。非線形制御系の設計・解析方法としては、線形近似して線形制御系解析法を適用する記述関数法、非線形系のままで取り扱う位相面解析法などがよく用いられている。記述関数法は、制御系の周波数応答による安定性解析などに、また位相面解析法は、制御系の過渡応答解析などに活用されている。なお、位相面解析法は、変数 $x(t)$ と、その微分値 $\dot{x}(t)$ を座標とする位相面上において、その解軌跡を求めていく解析法である。

2.2 位相面軌跡とステップ応答の求め方

古典制御理論を適用できる連続制御系については、ステップ入力 $u(t)$ に対する制御系出力のステップ応答 $x(t)$ は、一般に n 階常微分方程式で表すことができる。この n 階常微分方程式を1階 n 元連立常微分方程式に変換し、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、ステップ応答 $x(t)$ を求めることは可能である。ところで、このルンゲ・クッタ法を適用するにあたって、 $x(t)$ の微分値 $\dot{x}(t)$ を $y(t)$ として求めているため、位相面軌跡 $\dot{x}(t)-x(t)$ 特性を容易にえがくこともできる。

ここでは、この連続制御系に対する、ルンゲ・クッタ法によるステップ応答と位相面軌跡の求め方¹⁾²⁾をベースとして、オンオフ要素を含む非線形制御系の位相面軌跡 $\dot{x}(t)-x(t)$ 特性とステップ応答 $x(t)-t$ 特性を求める。位相面軌跡においては、時間 t は明確には表れてこないが、オンオフ要素の切換線が表れるため、この観点から制御系の制御状況が明確になる。一方、ステップ応答においては、制御系出力の時間経過が明確になる。したがって、オンオフ要素を含む非線形制御系については、この位相面軌跡とステップ応答の両方をえがくことにより、制御系としての設計・解析に有効に活用することができる。

3 非線形制御系の作動シミュレーション

3.1 オンオフ制御系

3.1.1 制御系の構成

最初に、次式のような2次系の制御対象 $G_t(s)$ を、コントローラとしてのオンオフ要素 $G_c(s)$ により制御する、図1に示すようなオンオフ制御系について示す。

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

図1において、ラプラス変換された s 領域では、次式が得られる。

$$E(s) = R(s) - X(s) \quad (2)$$

$$X(s) = \frac{K}{s(T_1s+1)} A \operatorname{sign}[E(s)] \quad (3)$$

$$\operatorname{sign}[L^{-1}\{E(s)\}] = \begin{cases} 1 & L^{-1}\{E(s)\} > 0 \\ 0 & = e(t) \\ -1 & < 0 \end{cases} = \operatorname{sign}[e(t)] \quad (4)$$

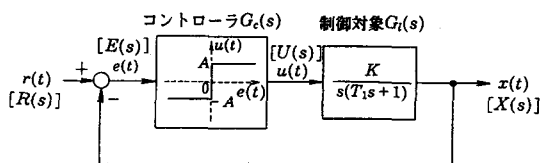


図1 オンオフ制御系

(3)式の $X(s)$ を(2)式に代入すると、次式のようになる。

$$T_1s^2E(s) + sE(s) = T_1s^2R(s) + sR(s) - KA \operatorname{sign}[E(s)] \quad (5)$$

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

$$R(s) = \frac{1}{s} \rightarrow r(t) = 1, \dot{r}(t) = 0, \ddot{r}(t) = 0 \quad (6)$$

$$T_1\ddot{e}(t) + \dot{e}(t) = -KA \operatorname{sign}[e(t)] \quad (7)$$

3.1.2 1階2元連立常微分方程式への変換

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

$$\begin{cases} \dot{e}(t) = c(t) \\ \dot{c}(t) = -\frac{1}{T_1}c(t) - \frac{K}{T_1}A \operatorname{sign}[e(t)] \end{cases} \quad (8)$$

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

この(8)式について、ルンゲ・クッタ法による解法式を用いて、 $e(t)$ に関する位相面軌跡 $\dot{e}(t)[c(t)]-e(t)$ 特性、時間応答 $e(t)-t$ 特性を求めることができる。

一方、(2)式を t 領域に変換すると、次式が得られる。

$$e(t) = r(t) - x(t) \quad (9)$$

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

$$x(t) = 1 - e(t) \quad (10)$$

$$\dot{x}(t) = -\dot{e}(t) \quad (11)$$

3.1.3 位相面軌跡とステップ応答³⁾

(8)式とルンゲ・クッタ法の解法式[参考文献1)の2.4.4(a)項の式(2.136)~(2.140)参照、ただし $x(t) \rightarrow e(t), y(t) \rightarrow c(t)$]より、このオンオフ制御系の位相面軌跡 $\dot{x}(t)-x(t)$ 特性を求めるためのプログラムを図2に示す。なお、ステップ応答 $x(t)-t$ 特性を求めるためのプログラムについては、図2において、 t に対する $x(t)$ が計算されているため、図2の一部修正により容易に作成できるので、ここには示していない。

```

10 REM PROG1
20 TE=20 : DT=.01 : K=1 : T1=1 : A=1 : E=1 : C=0
30 'TE=20 : DT=.01 : K=1 : T1=1 : H=.02 : A=1 : E=1 : C=0
40 'TE=20 : DT=.01 : K=1 : T1=1 : A=1 : TD=.15 : E=1 : C=0
50 X=1-E : Y=-C
60 DEF FNF(T,E,C)=-1/T1*C-K/T1*A*SG
70 'DEF FNY0=-1/TD*(X0-1)
80 SCREEN 2,0 : CONSOLE ,,0,0
90 WINDOW (-.2,-1)-(1.4,.6)
100 VIEW (240,0)-(639,399)
110 LINE (-.2,0)-(1.4,0)
120 LINE (0,-1)-(0,.6)
130 FOR J=-1 TO .6 STEP .2
140 LINE (-.2,J)-(1.4,J),,,&H1111 : NEXT J
150 FOR J=-.2 TO 1.41 STEP .2
160 LINE (J,-1)-(J,.6),,,&H1111 : NEXT J
170 LINE (1,-1)-(1,.6),,,&HF0F0
180 'LINE (1+H,-1)-(1+H,.6),,,&HF0F0 : LINE (1-H,-1)-(1-H,.6),,,&HF0F0
190 'FOR X0=-.2 TO 1.4 STEP .002 : PSET (X0,-FNY0) : NEXT X0
200 FOR T=0 TO TE STEP DT
210 SG=SGN(E)
220 'IF E>H THEN SG=1
230 'IF ABS(E)<=H THEN SG=0
240 'IF E<=-H THEN SG=-1
250 'SG=SGN(E+TD*C)
260 K1=DT*C : L1=DT*FNF(T,E,C)
270 K2=DT*(C+1/2*L1) : L2=DT*FNF(T+1/2*DT,E+1/2*K1,C+1/2*L1)
280 K3=DT*(C+1/2*L2) : L3=DT*FNF(T+1/2*DT,E+1/2*K2,C+1/2*L2)
290 K4=DT*(C+L3) : L4=DT*FNF(T+DT,E+K3,C+L3)
300 E1=E+1/6*(K1+2*K2+2*K3+K4) : C1=C+1/6*(L1+2*L2+2*L3+L4)
310 X1=1-E1 : Y1=-C1
320 LINE (X,-Y)-(X1,-Y1)
330 E=E1 : C=C1 : X=X1 : Y=Y1 : NEXT T
340 END

```

図2 オンオフ制御系の位相面軌跡 $\dot{x}(t)-x(t)$ 特性を求めるためのプログラム

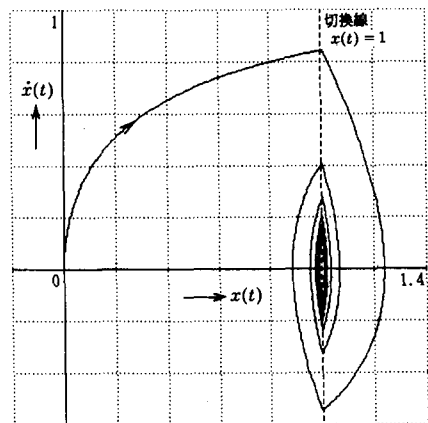
このプログラムは、パソコン PC-9800のN-88 BASICによる。プログラムをできるかぎり短くするために、グラフの座標軸、目盛線、計算特性のみをパソコンによりえがかせ、変数名、目盛数字、パラメータ表示、タイトルなどは、手書きまたは貼りつけによる。なお、図2のプログラムは、次の3.2項および3.3項の制御系の場合にも、一部修正により使用できるように作成してある。したがって、この3.1項の制御系において、実際に必要となる図2のプログラム行数は、25行となる。

1例として、 $G_i(s)$ の $K=1$, $T_1=1$, $G_c(s)$ の $A=1$ の場合について、このオンオフ制御系の位相面軌跡 $\dot{x}(t)-x(t)$ 特性、ステップ応答 $x(t)-t$ 特性を図3および図4に示す。その応答は、振動状応答となり、リミットサイクルが生ずる。なお、 $G_c(s)$ のオンオフ要素の切換線は、図3では $x(t)=1$ の直線(点線で表示)となる。

ここで、図2について、そのプログラム作成の概要を次に示す。

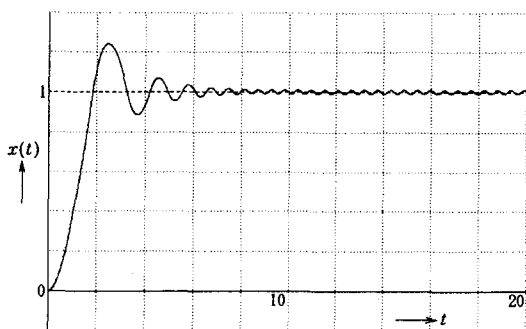
- ①20: 定数、パラメータ設定値、初期値などを指定する。
- ②50~60: 計算式を指定する。【(10)式の $x(t)$, (11)式の $\dot{x}(t)=[y(t)]$, (8)式の $f[t,e(t),c(t)]$ 】

- ③90: ディスプレイの x, y 軸の変化範囲を指定する。[x 軸: $x(t) -0.2 \sim 1.4$, y 軸: $\dot{x}(t) -0.6 \sim 1$]
- ④100: ディスプレイ 640×400 のうちの使用範囲を指定する。
- ⑤110~120: x, y 座標軸を実線で引く。



$G_i(s)$: $K=1$, $T_1=1$, $G_c(s)$: $A=1$
プログラム: 図2

図3 オンオフ制御系の
位相面軌跡 $\dot{x}(t)-x(t)$ 特性



$$G_I(s) : K=1, T_1=1, G_c(s) : A=1$$

図4 オンオフ制御系の
ステップ応答 $x(t)-t$ 特性

- ⑥130~160 : x, y 軸に関する目盛線を点線で引く。
 ⑦170 : $x(t)$ の目標値を点線で引く。
 ⑧200~210, 260~330 : ルンゲ・クッタ法により、 t を変化させていったときの $e(t), c(t)$ を順次計算し、それをもとに $x(t), \dot{x}(t)$ を求め、プロットして、位相面軌跡をえがく。なお、オンオフ要素は、210, 60 によっている。

3.2 不感帯のあるオンオフ制御系

3.2.1 不感帯のあるオンオフ要素特性

図1のオンオフ制御系において、 $G_c(s)$ のオンオフ要素特性を、図5に示すように、不感帯のあるオンオフ要素にすることにより、制御精度は悪くなるが、リミットサイクルを生じないようにして、制御系の安定化をはかることができる。不感帯のあるオンオフ制御系では、3.1.1項の(4)式を次式のように変更すればよい。

$$\text{sign}[e(t)] = \begin{cases} 1 & e(t) > h \\ 0 & |e(t)| \leq h \\ -1 & e(t) < -h \end{cases} \quad (12)$$

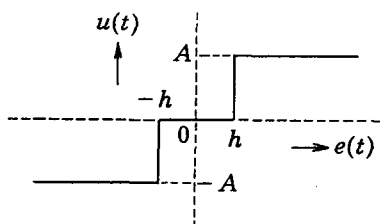
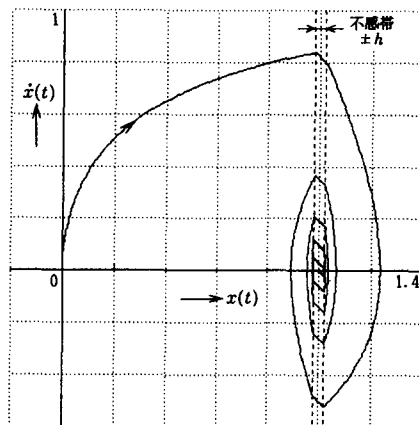


図5 不感帯のあるオンオフ要素特性

3.2.2 位相面軌跡とステップ応答

不感帯のあるオンオフ制御系については、(8)(12)

式と(10)(11)式より、ルンゲ・クッタ法を用いて、位相面軌跡 $\dot{x}(t)-x(t)$ 特性、ステップ応答 $x(t)-t$ 特性を求めることができる。位相面軌跡のプログラムは、図2の一部修正により得られる。1例として、 $h=0.02$ とし、その他は図3、図4と同じ条件のときの位相面軌跡とステップ応答を図6、図7に示す。適当な不感帯があると、リミットサイクルが生じないことがわかる。なお、不感帯のあるオンオフ要素は、図2の220~240によっている。

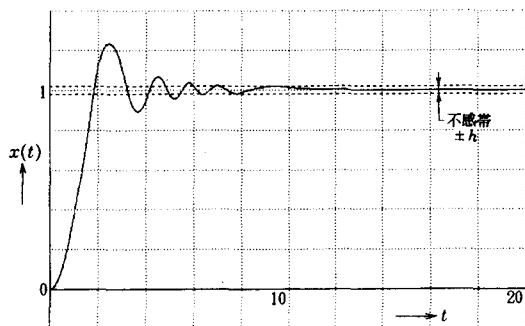


$$G_I(s) : K=1, T_1=1, G_c(s) : A=1, h=0.02$$

プログラム : 図2

ただし 20→30, 170→180, 210→220~240

図6 不感帯のあるオンオフ制御系の
位相面軌跡 $\dot{x}(t)-x(t)$ 特性



$$G_I(s) : K=1, T_1=1, G_c(s) : A=1, h=0.02$$

図7 不感帯のあるオンオフ制御系の
ステップ応答 $x(t)-t$ 特性

3.3 微分要素を含むオンオフ制御系

3.3.1 オンオフ要素入力 $e_d(t)$

図1のオンオフ制御系に対し、図8に示すように、微分要素 T_{ds} を含ませる。図8においては、

オンオフ要素への入力は $e_d(t)$ となり、次式が得られる。

$$E_d(s) = (1 + T_d s)E(s) \quad (13)$$

$$e_d(t) = e(t) + T_d \dot{e}(t) \quad (14)$$

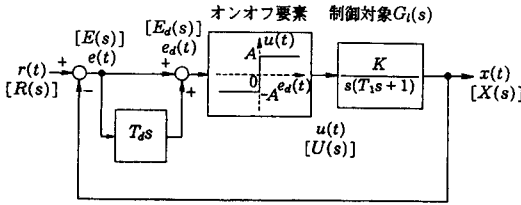


図8 微分要素を含むオンオフ制御系

したがって、3.1項における(3)~(5)(7)(8)式は、それぞれ次式ようになる。なお、その他の(2)(6)(9)~(11)式はそのままである。

$$X(s) = \frac{K}{s(T_1 s + 1)} A \text{sign}[E_d(s)] \quad (15)$$

$$\text{sign}[L^{-1}\{E_d(s)\}] = \text{sign}[e_d(t)] = \begin{cases} 1 & L^{-1}\{E_d(s)\} > 0 \\ 0 & = e_d(t) = 0 \\ -1 & < 0 \end{cases} \quad (16)$$

$$T_1 s^2 E(s) + s E(s) = T_1 s^2 R(s) + s R(s) - K A \text{sign}[E_d(s)] \quad (17)$$

$$T_1 \ddot{e}(t) + \dot{e}(t) = -K A \text{sign}[e(t) + T_d \dot{e}(t)] \quad (18)$$

$$\begin{cases} \dot{e}(t) = c(t) \\ \dot{c}(t) = -\frac{1}{T_1} c(t) - \frac{K}{T_1} A \text{sign}[e(t) + T_d \dot{e}(t)] \end{cases} = f[t, e(t), c(t)] \quad (19)$$

この(19)(16)式について、ルンゲ・クッタ法による解法式を用いて $e(t), \dot{e}(t)$ を求めた後、(10)(11)式により、ステップ入力に対する位相面軌跡 $\dot{x}(t) - x(t)$ 特性、ステップ応答 $x(t) - t$ 特性を求めることができる。

3.3.2 オンオフ要素の切換線

この場合のオンオフ要素の切換線は、次式のようになる。

$$\begin{aligned} e_d(t) = e(t) + T_d \dot{e}(t) &= 0 \\ \longrightarrow \dot{e}(t) &= -\frac{1}{T_d} e(t) \end{aligned} \quad (20)$$

したがって、(20)式に(10)(11)式を代入すると、位相面軌跡 $\dot{x}(t) - x(t)$ 特性上の切換線として、次式が得られる。

$$\dot{x}(t) = -\frac{1}{T_d} \{x(t) - 1\} \quad (21)$$

この切換線を図示すると、図9のようになる。なお、 θ_d は次式で求められる。

$$\begin{aligned} \tan\left(\theta_d + \frac{1}{2}\pi\right) &= -\frac{1}{\tan \theta_d} = -\frac{1}{T_d} \\ \longrightarrow \theta_d &= \tan^{-1} T_d \end{aligned} \quad (22)$$

$T_d = 0$ 即ち図1の場合の切換線は $x(t) = 1$ であるが、 T_d が大きくなるにしたがって、切換線は点(1, 0)を中心として、CCW方向に θ_d だけ回転していくことになる。

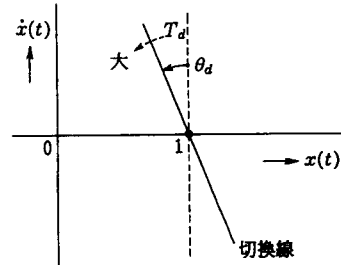
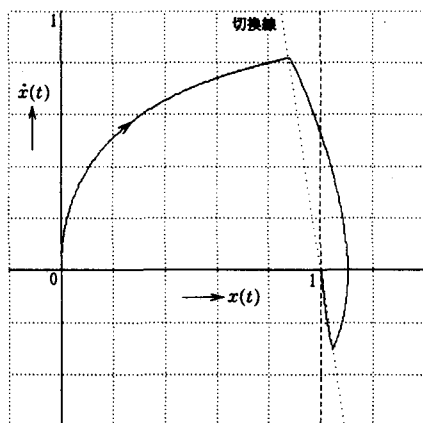


図9 微分要素を含むオンオフ制御系の切換線

3.3.3 位相面軌跡とステップ応答

微分要素を含むオンオフ制御系については、(19)(16)式と(10)(11)式より、ルンゲ・クッタ法を用いて、位相面軌跡 $\dot{x}(t) - x(t)$ 特性、ステップ応答 $x(t) - t$ 特性を求めることができる。1例として、① $T_d = 0.15$ ② $T_d = 0.3$ とし、その他のパラメータは、図3、図4と同じときの位相面軌跡とステップ応答を図10(a), (b)および図11に示す。図3、図4、図10、図11より、微分要素の T_d が大きくなるにしたがって、 $x(t)$ のオーバシュートも小さくなり、リミットサイクルも生じなくなることがわかる。このような制御性能は、オンオフ制御系よりも高度なPID制御系に十分対抗し得るものである。

なお、図12に示すような速度フィードバックのあるオンオフ制御系についても、その位相面軌跡とステップ応答を同じように求められるが、図8の場合と全く同じとなる。これは、図12のブロック線図を等価変換していくと、図8のブロック線図となることからわかる。

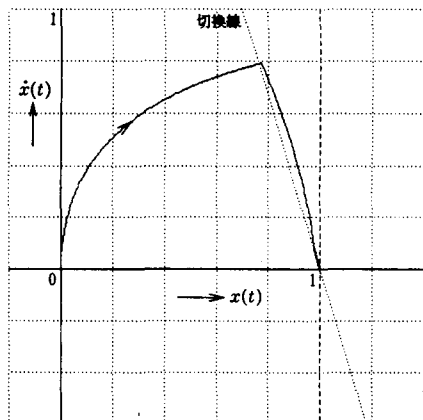


プログラム：図2 ただし 20→40, 210→250

70 'DEF ... → 70 DEF ...

190 'FOR ... → 190 FOR ...

(a) $T_d=0.15$



プログラム：(a)のプログラム

ただし 40 ... TD=.3 ...

(b) $T_d=0.3$

$G_I(s) : K=1, T_1=1, G_c(s) : A=1$

図10 微分要素を含むオンオフ制御系の
位相面軌跡 $\dot{x}(t)-x(t)$ 特性

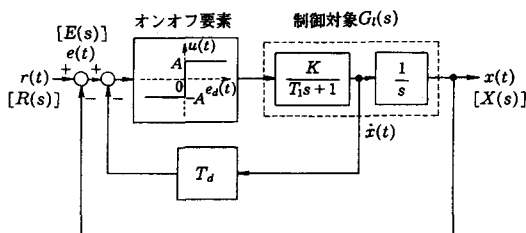
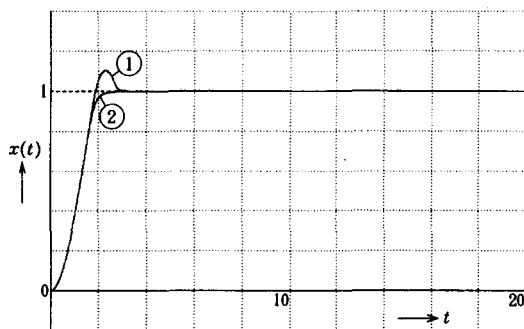


図12 速度フィードバックのあるオンオフ制御系



$G_I(s) : K=1, T_1=1, G_c(s) : A=1$

$T_d : \textcircled{1} 0.15 \textcircled{2} 0.3$

図11 微分要素を含むオンオフ制御系の
ステップ応答 $x(t)-t$ 特性

4 まとめ

ここでは、オンオフ要素を含む非線形制御系について、位相面軌跡とステップ応答を求める方法を示し、このような制御系の設計・解析に活用し得ることを示した。これらをベースとして、さらに、動作すきまのあるオンオフ制御系、むだ時間のあるオンオフ制御系、そのような制御系に微分要素を含ませたときの制御性能向上などについても、パソコンによりシミュレーションすることは可能である。ところで、筆者はかねてから、パソコンを活用して、各種の制御系の可視化やシミュレーションにとりくんでおり、その成果の一部については、参考文献1), 2)に示す。参考文献1)では、パソコンを活用した、古典制御理論による連続制御系の設計・解析とデジタル制御系の設計・解析についてまとめている。

参考文献

- 1) 栗本：“グラフィック制御工学入門” コロナ社 (1994.9)
- 2) 栗本：“高次制御系のステップ応答のシミュレーション” 奈良工業高等専門学校 研究紀要 第29号 p45～50 (1994.3)
- 3) 戸川，下関：“グラフィック振動論” サイエンス社 (1984.8)

離散渦法による流れの数値計算

坂本 雅彦・上田 隆宏

Flow Calculation by Using the Descretized Vortex Method

Masahiko SAKAMOTO and Takahiro UEDA

The purpose of this paper is to investigate a characteristics of the flow in the nozzle, which generates a high-speed two-phase water jet, as a propulsion device for a ship. In order to examine the flow characteristics of the interface between a water flow and a bubbly flow, the discretized vortex method is applied to the flow systems for a two-dimensional nozzle. Analytical results of this methods qualitatively agree with those obtained by experimental results.

1. 緒 言

渦糸近似法⁽¹⁾は流体工学における流れの数値シミュレーション法の一つで、比較的高いレイノルズ数の剥離流れや噴流等の流れ場に適用されている。この渦糸近似法の中でも離散渦法は、粘性や密度差により発生する渦度の連続的な分布を、自由渦の離散的な分布に置き換える数値計算方法であり、(1)アルゴリズムが容易で流れ場をポテンシャル的に考えることができる、(2)格子形成を必要としない、(3)数値拡散の原因となるパラメータを持っていない等の特長を有する一方、(4)正しく流れ場を表現できているか、(2)計算に用いるパラメータならびに渦の生成モデルの設定による流れ場への影響、(3)粘性効果のモデルへの導入方法等に関しての問題が指摘されている⁽¹⁾。

著者等はこれまでに、新しい船舶用の推進装置として、ノズル内を一定の流速で水流が通過する際、ノズルスロート部より高压空気を注入して得られる二相流ウォータージェットの反動を推力として利用する推進装置を提案している⁽²⁾。ノズル内の流れは図1に示すように、ノズル内の水流に

注入された高压気泡が極めて短い時間で膨張を終え気泡と水流が混在する極めて複雑な流れ場となるが、ノズル後部の気泡流と水流との間に発生する界面がノズル底部を流動する水流を巻き込みながら、これを二相流ジェットとしてノズル後方に噴出しており、これが本推進装置の性能向上に多いに影響している事をノズル内側壁から観察した流動パターンの結果から明らかにした。

今回、離散渦法による適用する流れ場として、上記のノズル内流れ場に発生する気泡流と水流との間の界面に本計算手法を適用し、数値計算を行い実験結果と比較する事により、本手法の特性ならびに適用の可能性について検討した。以下に、これらの結果について報告する。

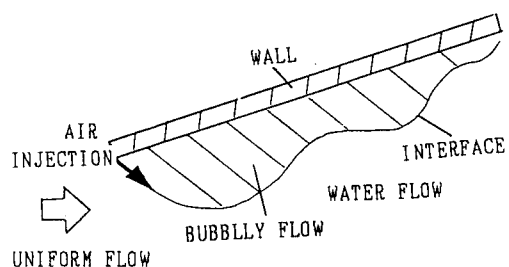


図1. 提案した推進装置内の流れ

2. 数値計算

2.1 計算モデル

連続的な渦度の分布によるポテンシャル流れ場を離散渦によるポテンシャル場の線形和として近似する手法が渦糸近似法による数値計算方法である。すなわち、離散渦法では各渦糸間の相互作用に基づき、離散化した各渦点の動きをラグランジュ的に追跡していく手法である。以下に、この渦糸近似法をノズル内気泡流と水流との間に発生する界面に適用した計算モデルについて述べる。

適用するノズル内流動モデルとして、その流れ場は二次元かつ非定常なポテンシャルの流れ場とする。ノズル内の流れ場に発生する界面は離散渦の分布で置き換え、その流れ場にはノズルスロート部から流れ場に各渦点が入力されるものとし、計算中はその渦点の強度を一定とした。また、図2に示すようにポテンシャル流れ場である複素平面上 ($z = x + iy$) には、鏡像の原理を適用してノズル内壁を表現した。

以上の計算モデルに基づき、ノズル内の流れ場として複素ポテンシャル W は次式で与えられる。

$$W = \frac{-i \cdot \Gamma}{2\pi} \cdot \log(z - z_0) \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、導入される渦の循環 Γ は反時計回りを正とする。また、 z_0 は渦点の位置 ($x_0 + iy_0$) を表す。一方、流れ場に N 個の渦点が存在する場合、導入されたこれらの渦点によりその複素ポテンシャルは次式で与えられる。

$$W = W_0 + \frac{i \cdot \Gamma}{2\pi} \cdot \Sigma [1 - \log(z - z_i)] \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 W_0 はノズル前方から流入する一様流により表される複素ポテンシャル ($U_0 \cdot Z$) で、 U_0 は一様流の速度を表す。したがって、流れ場に導入された渦点により生ずるポテンシャル流れ場の各点に誘起される速度は、

$$\frac{dW}{dz} = u - iv \quad \dots\dots\dots (3)$$

で与えられる。ここで、 u および v は流れ場の x および y 方向の速度である。なお、(3) 式で与えられる誘起速度は、導入された渦点には影響しないものとする。以上の結果より、各時間ステップにおいて導入された各渦点の位置ならびに、流れ場の

速度分布が得られる。すなわち、 Δt 経過後の各渦点の位置 $x_j(t + \Delta t)$, $y_j(t + \Delta t)$ は、

$$\begin{aligned} x_j(t + \Delta t) &= x_j(t) + u_j \cdot \Delta t \\ y_j(t + \Delta t) &= y_j(t) + v_j \cdot \Delta t \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (4)$$

で与えられる。

計算は、(2) 式で表される流れ場に、各時間ステップで強度が Γ の渦点を導入し、(3) 式の複素速度から各点の速度を求めるとともに、各渦点の位置を (4) 式から計算し、これを繰り返すことにより流れ場は時間発展する。本計算で作成したプログラムのフローチャートを図3に示す。計算では渦点の

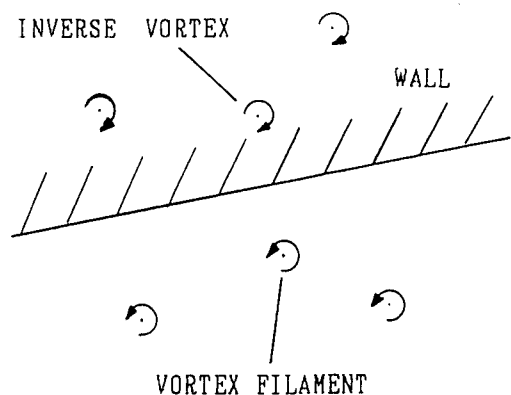


図2. 適用した計算モデル

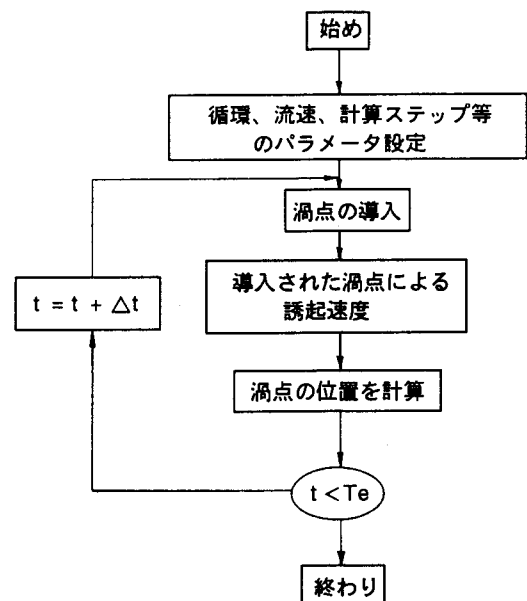


図3. 計算のフローチャート

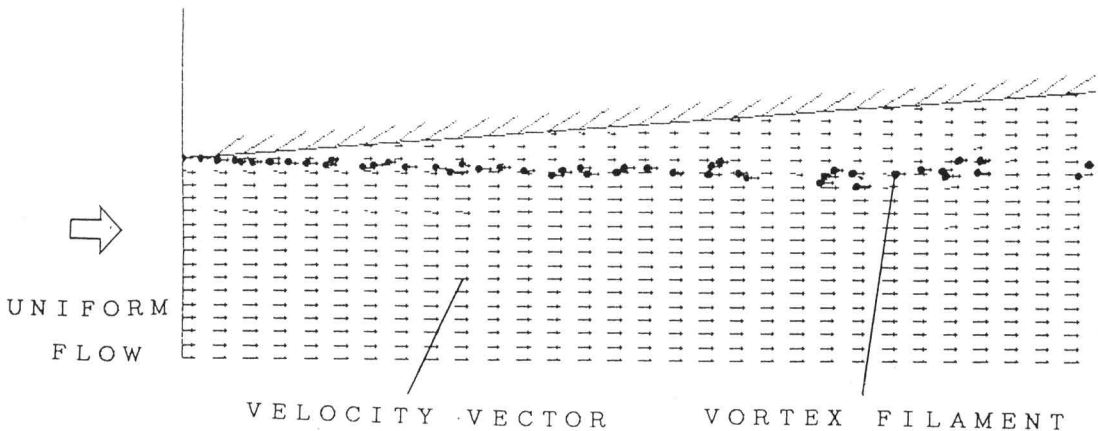


図4. 数値計算結果

導入周期ならびに計算の時間ステップによる結果の差異がなくなるよう、これを計算結果から把握した。

2.2 計算結果

ノズル内の流れとして渦糸近似法を適用して計算した結果を図4に示す。図中の黒点が界面として表現した渦点の位置を、矢印が各点の速度の大きさと方向を表す。なお今回の計算は、主に本計算手法の理解とその適用可否について検討するものであり、ノズル前方の水流の速度は0.5m/sec、渦点の循環は0.5とし計算した。また、計算の時間ステップは0.01sec、流れ場に導入する渦点の周期は0.03secとした。

ノズル内に発生する気泡流と水流との界面として表現した渦点は、ノズル前方の水流の流れ方向にほぼ平行に分布し、ノズル後方で不規則に分布していることがわかる。前者は、流れ場に導入する渦点をノズル内に注入する空気と水流の間に生ずる速度せん断層として本計算で表現されており、水流の剥離する方向に渦点が流出されているためであると考えられる。後者は、後方に移動した渦点の速度が新たに導入される渦点の速度の影響を受けるため、結果としてその位置が不規則に分布していると考えられる。なお、本計算結果では定性的には、流れ場に導入する渦点の循環が大きい時、その渦点による誘起速度の影響は大きく渦点の不規則に分布した。一方、導入する渦点の導入周期が小さくなるにともない、渦点の速度は小さく渦点の分布はほぼ流れに平行に分布した。さらに、計算の時間ステップが短くなるにともない渦点は流れ方向にほぼ平行に分布した。渦

糸近似法を適用する際、上で述べたように計算時に設定するパラメータの数は極めて多く、計算結果にもこれらの影響はかなり発生している事がわかる。また、これらのパラメータを実験的に特定する事は困難であり、試行錯誤的に決定する事を必要とする。今回の計算では、渦点分布に関する影響を上で述べたパラメータについて調べることを主眼としており、その目的はほぼ達成されたと考えている。さらに、詳細な本モデルの妥当性については続く論文にて検討する予定である。

3. 実験結果との比較

図5に、著者らがこれまでに行った推進装置であるノズル内流れ場を観察した結果を示す。図4に示した計算結果に比べ、気泡流と水流との間に発生する界面は、波となっておりその振幅は計算結果に比べ大きい事がわかる。この差異は今回

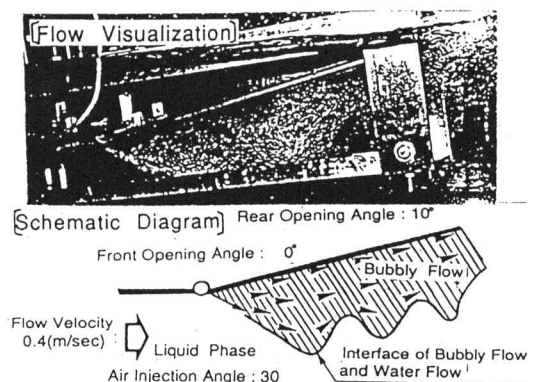


図5. 推進装置内の流動パターン

行った計算で、実験で観察できる高圧空気と水の密度差、さらに気泡流と水流の界面上に発生する表面張力⁽⁸⁾を考慮していないこと、また導入する渦点の循環を計算中には一定としたこと、等が原因していると考えられる。なお、計算では流れ場に導入する渦点の注入角度は前方の水流の流れに平行に導入した。実験では、空気の注入角度は前方の水の流れに有限の角度をつけており、この注入角度がその流動パターンに影響する事はすでに観察されている。したがって、計算時には上で述べたパラメータを考慮する事は、本流れをシミュレーションする上で不可欠な要素であることが、実験結果と比較することにより明かである。

渦糸近似法は他の計算手法に比べ計算時間が短く、プログラムが容易に作成できる等、複雑な非定常流れ場にも十分に適用可能であろうことが今回行った計算により分かった。今回適用した推進装置内の流れ場にも十分適用可能であると考えている。今後、本計算手法において必要とされる計算パラメータを実験により特定するとともに、表面張力やランダムウォーク等を本計算にて導入し、実験結果とより定量的に比較しかつ検討する予定である。

4. 結 言

流れの計算手法として渦糸近似法に注目し、本手法を著者らがこれまでに行ったノズル内の流れ場に適用した。得られた結論は以下の通りである。

- (1)導入する渦点の周期が長い時あるいは循環が大きい時、流れ場の渦点是不規則に分布する。
- (2)適用した計算手法は、著者らが提案している推進装置内の流れ場にも十分適用可能できることがわかった。

文 献

- (1)木田輝彦,渦法による流れ解析の現状,機械の研究, No.44, vol.1, (1992)
- (2)薦原・坂本・木村・橋本・美濃,高圧空気により駆動される船舶用推進装置,機論, 59-565, B (1993), 268-274.
- (3)Robert G.Zalosh, Discretized Simulation of Vortex sheet Evolution with Buoyancy and Surface Tension Effects, AIAA Jour., vol.14, No.11, 1976.

微小径円すいノズルから噴射される 液体金属ジェット速度の測定

島 岡 三 義

Measurement of Liquid Metal Jet Velocity Ejected
from a Small - Diameter Conical Nozzle

Mitsuyoshi SHIMAOKA

Mercury jet is ejected vertically into atmosphere from conical nozzle and the jet velocity is measured with a laser - doppler - velocimeter. The adequateness of analytical and experimental method for the estimation jet velocity is discussed. Under the present conditions, jet velocities calculated from the values of the mass flow rate and of the nozzle diameter are 30 to 40% less than measured ones. The friction loss of nozzle is neglected because of low kinematic viscosity of mercury. the present experimental dates are equally well represented by

$$V_j = \sqrt{2Pn/\rho}.$$

1. はじめに

回転水中紡糸法⁽¹⁾によって直径200 μ m前後の合金細線が製造されている。本法は遠心力によって形成された回転水層中に、熔融合金ジェットを噴射し、急冷固化させて液相から直接製品である細線を得るものである。連続細線を得るためには回転液層速度とジェット速度のマッチングが必要である。回転液層は遠心力によってドラムに押しつけられるため、マクロ的にはドラムと同期して回転すると考えられることから、その速度制御は比較的容易に行える。一方、熔融合金は高压不活性ガスによって加圧され、ノズルよりジェットとして噴射される。そのジェット速度は加圧圧力、ノズル形状（ノズル径も含む）および溶湯物性に依存するが、ジェット速度を測定すること自体が困難（高速度ビデオ・カメラを用いれば噴出直後、噴出終了間際での速度測定は可能であるが、連続的に噴出している状況での速度測定は難しい）であることから、ジェット速度を精度良く制御できる状況にはなっていない。したがって、連続細線を得るための実際上の方法としては、噴射中にドラ

ム回転速度を調整するか、加圧力を調整する、あるいは、ノズルとの反応を伴わない水を用いて噴射特性を調べ、合金を噴射する場合にはそのデータをもとに加圧力の見当をつける、更には、実際の合金で試験的に噴射し、最適条件を探るということになり、試行錯誤的に行っているのが現状である。

ジェット速度の予測にはAbeら⁽²⁾の研究があるが、予測の域を出ていない。そこで本研究では、ジェット速度の実測を行い、その予測法の妥当性を検証することを試みた。

2. ジェット速度の予測式

回転水中紡糸法で用いるノズルは、耐熱性、成形性の点から石英ガラス管が多く用いられ、図1に示すように加熱成形してノズル部を形成する。ノズル部はなめらかに収縮しており、その幾何学的形状（収縮部の管路長や円すい角）の定式化は必ずしも容易ではない。しかしながら、加熱加減で収縮の加減や、先端の研磨次第によってノズル径をある程度自由に加工することができるという利点がある。

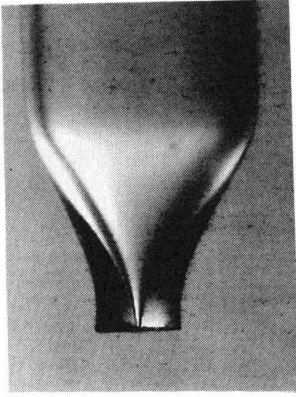


図1 石英ガラス製噴射ノズル

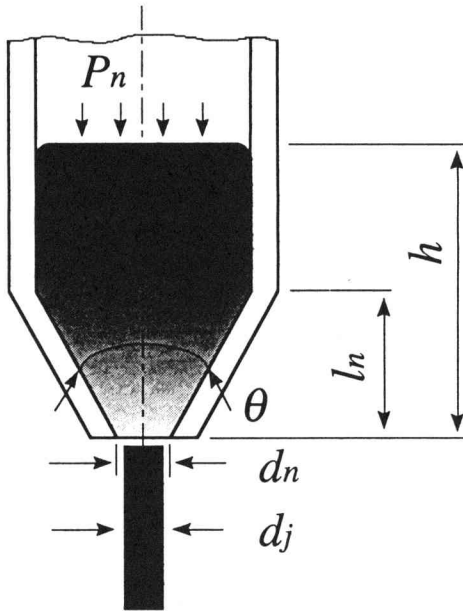


図2 解析に用いたノズル形状

Abeらは図2に示すような円すい型ノズルを実際のノズルの近似モデルとして解析を行っている。その解析手順は以下のようなものである。

ノズルのエネルギー収支式は非圧縮性流体とすれば、式(1)のように表される。

$$Q = C_f \left(\frac{\pi d_n^2}{4} \right) \sqrt{\frac{2}{\rho} \left(P_n + \rho g h - \frac{2\sigma}{d_n} \right)} \quad (1)$$

ここで、 Q ：体積流量、 d_n ：ノズル径、 P_n ：噴射圧力、 g ：重力加速度、 h ：液体のヘッド、 C_f ：流量係数、 σ ：液体の表面張力、 ρ ：液体の密度であり、流量係数は式(2)で表される。

$$C_f = \frac{1}{\sqrt{1 + K + \lambda \frac{l_n}{d_n}}} \quad (2)$$

ここで、 λ ：管摩擦係数、 K ：流路縮小による損失係数、 l_n 管路長である。ここで問題となるのは、式(1)においてノズル径 d_n を用いるのではなく、ノズル出口でのジェット径 d_j を用いるべきであるということである。鉛直噴射した場合、重力加速度の影響を受けて、ノズルから遠ざかるにつれてジェット径は細り⁽³⁾、空気との摩擦により円柱状に噴射されたジェットは団子状に変形し、ついには滴状になって分断される⁽⁴⁾。したがって、ジェット径は測定場所によって大きく変わり、式(1)において d_j を用いるべきであるとしても、実測の困難さもあり、実際の適用は必ずしも容易ではない。そこでAbeらは、噴射液体に水を用いて噴射実験を行った結果、 $d_n = 86 \sim 272 \mu\text{m}$ 、 $P_n = 0.1 \sim 0.5 \text{ MPa}$ の範囲においては $Q^2 - P_n$ の関係が直線的であったことから、 $Q^2 - P_n$ のこう配 G を

$$G = \left(\frac{\pi d_n^2}{2} \right)^2 \frac{2}{\rho} \frac{1}{1 + K + \lambda \frac{l_n}{d_n}} \quad (3)$$

と置き（式(1)において位置エネルギー項 $\rho g h$ および表面張力項 $2\sigma/d_n$ を無視しない限り、式(3)は得られないが、 h が100mm以下の小さな値であれば、これら2項は圧力項 P_n に比べ十分小さい値となる。）、逐次代入法によって式(3)を満足する d_n をもとめる方法を採用しており、それを有効ノズル径 d_{cal} と称している。流路内での液体の流れが層流であるか乱流であるかによって管摩擦係数が異なるが、得られた d_{cal} の差は非常に小さかったことから、Hagen - Poiseuilleの層流モデル

$$\lambda = \frac{64}{Re} \alpha \quad (4)$$

$$Re = \frac{V_j d_n}{\nu} \quad (5)$$

$$\alpha = \frac{d_n}{l_n} \frac{1}{3 \tan\left(\frac{\theta}{2}\right)} \left[1 - \frac{1}{\left\{ 1 + \frac{l_n}{d_n} \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \right\}^3} \right] \quad (6)$$

を採用している。また、石英ノズル内面は十分なめらかであるとして、流路縮小による損失係数 K を近似的に0としている。以上のことから、

$$V_{jcal1} = C_f \sqrt{\frac{2}{\rho} \left(P_n + \rho g h - \frac{2\sigma}{d_{cal}} \right)} \quad (7)$$

によって噴射圧力、ノズル径の関数としてジェット速度 V_{jcal1} を計算によって予測することが出来る。

一方、噴出質量 w と噴出時間 Δt を測定することで、次式からジェット速度を求めることが可能であるが、ジェット径とノズル径の関係が明確でない限り、次式から計算される値ははなはだ信頼性を欠くものとなる。

$$V_{jcal2} = \frac{4w}{\Delta t \rho \pi d_n^2} \quad (8)$$

また、噴射後ジェットが固化して線材が得られるならば、線材の平均直径 d_m を測定すれば、

$$V_{jcal3} = \frac{4w}{\Delta t \rho \pi d_m^2} \quad (9)$$

によってジェット速度を予測することができる。しかし、線径むらがあったり、断面形状が真円でない場合には、 d_m を求めることが非常に困難な作業となり、実際の予測法とはあまり言えないであろう。

本研究ではジェット速度を実測して、式(7)および式(8)によって計算される値と比較して、予測式の妥当性を検証する。

3. 実験装置および実験方法

ジェット速度の測定装置の概略を図3に示す。ジェットは鉛直に噴射した。ノズルは図2に近い形状とし、その詳細を図4に示す。ノズル形状の影響を調べるために、ノズル径、円錐角の異なる3種類を用いた。ノズル径 d_n は走査型電子顕微鏡により拡大写真を撮り、異なる方向の直径を数カ所測定し平均したものである。試料挿填の円筒部の内径は8mmであり、最大挿填体積は約9ccで、ヘッドとしては約180mmの設定が可能である。ノズル、円筒部ともにSUS304製である。ジェット速度はノズル出口直下において、レーザドップラ

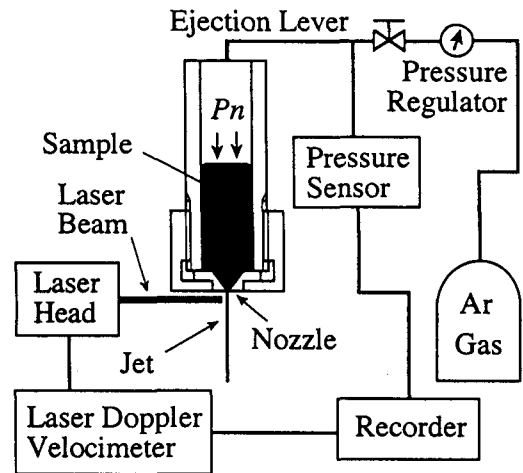
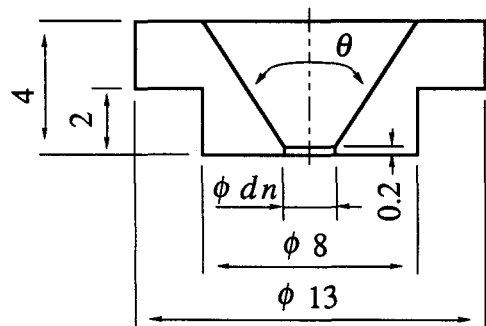


図3 実験装置の概略図



Nozzle type	$\phi d_n (\mu\text{m})$	θ (rad)
A	228	1.047
B	226	1.571
C	108	1.047

図4 実験に使用したノズル

速度計で測定した。レーザビームスポットは幅1mm、縦5mmの矩形型であり、ノズル下5～6mmの区間におけるジェット表面の平均速度が測定されることになる。試料として水銀を用い、アルゴンガスによって加圧噴射し、ビーカーに受け噴出質量を電子天秤で測定した。水銀挿填料は約8ccとした。噴出圧力は0.4MPa以下とし、ダイヤフラム式圧力センサによって測定し、レーザドップラ速度計の出力信号とともにペンレコーダーに記録した。噴出時間はペンレコーダーのチャートス

ピードから求められるが、ストップウォッチも併用した。水銀の温度が293～303Kの範囲で実験を行ったが、この間の水銀の輸送的性質の温度依存性は小さいとして、300Kにおける物性値⁽⁶⁾を解析に用いた。

4. 実験結果と考察

4.1 ジェット速度と噴射圧力の出力波形

図5に噴射圧力 P_n とジェット速度 V_j の経時変化の一例を示す。噴射圧力はArガスの圧縮性により、定常圧力に至るまでの時間遅れ（定常圧力の98%の圧力に到達する時間）があり、ノズル径が大きいほど、また設定圧力が大きいほどこの時間遅れが大きく、ノズル収縮部の円すい角には特に依存しなかった。また、空噴射（ノズル内にはArガスのみが充填）やメタノールを用いた噴射圧力の時間応答と比較すると、ノズル内挿填液体の密度が大きいほど時間遅れが大きかった。液体密度が大きいほど位置エネルギーが大きくなり、加圧せずともノズルから自然落下することも一因となっている。ジェット速度は噴射圧力に追従して変化し、圧力が安定した状態では若干のふらつきはあるものの、安定した速度が得られた。全実験を通して、噴射圧力が安定した状態におけるジェット速度のふらつきは、最大値の10%程度以下であったので、最大速度と最低速度の算術平均値をジェット速度とした。なお、噴射圧力の立ち上がりの時間遅れ（水銀の場合で最大約4 s）の影響を少なくするため、噴射は30s以上の長時間行った。

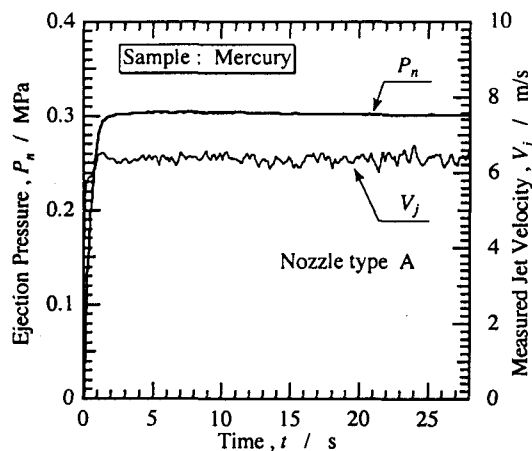


図5 噴射圧力とジェット速度出力信号波形

4.2 噴出質量と噴出時間から予測されるジェット速度

実測された水銀ジェット速度と噴出質量と噴出時間から計算によって求めたジェット速度の関係を図6に示す。いずれのノズルを用いた場合でも

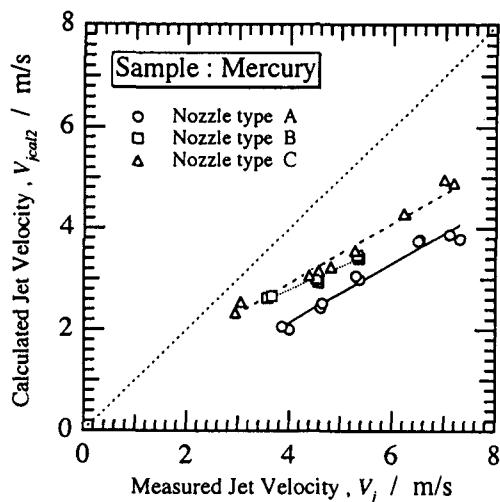
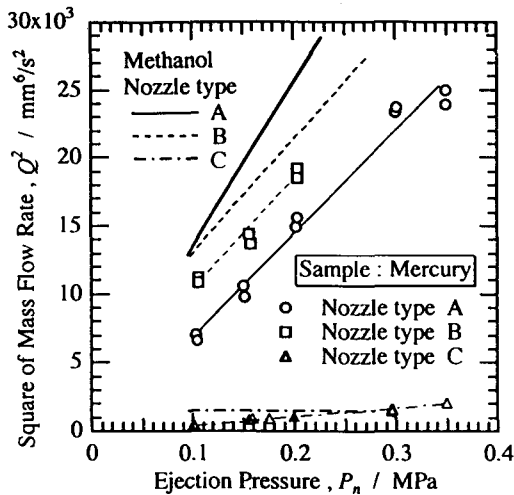


図6 V_j と V_{jcal2} の関係

計算値は実測値より30～40%程度小さくなっている。計算ではジェット径の代わりにノズル径を用いているが、ジェット径がノズル径より20%程度小さくなっているであろうとすることができる。このような予測方法では、仮にノズル径、噴出質量、噴出時間を正確に測定できたとしても、ジェット速度のオーダーの予測しかできない。しかし、 V_j と V_{jcal2} には良好な直線関係があることから、ノズル径とジェット径の関係を明らかにすれば、簡単な補正をするだけで、より正確な予測が可能になるかも知れない。

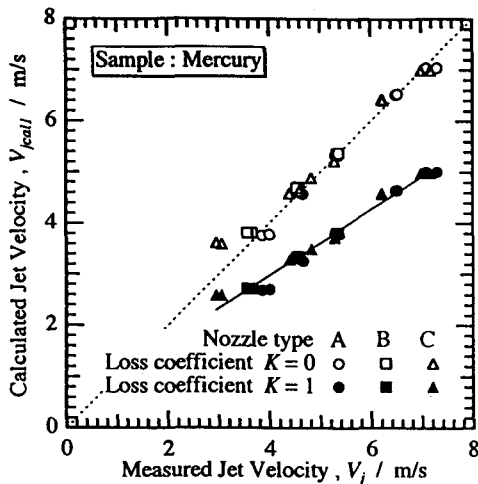
4.3 Abeらの解析手法によって予測されるジェット速度

ノズルのエネルギー収支式では、ジェット径を用いる必要があり、有効ノズル径 d_{cal} をもってこれに替える方法を採用している。その前提にあるのが、噴出体積流量の2乗と噴射圧力が直線関係になればならないということである。水銀の $Q^2 - P_n$ の関係を図7に示す。いずれのノズルも良好な直線関係が得られており、この解析手法を進めていくことができる。 $Q^2 - P_n$ のこう配 G は式(3)で与えられるが、ノズルA、Bについては d_n 、 l_n/d_n はほとんど同じであり、こう配 G はほぼ同じ値が得

図7 Q^2 と P_n の関係

られる。図7の実験結果からもそのことが確かめられた。

実験的に得られたこう配 G をもとに逐次代入法によって有効ノズル径を求め、式(7)によって計算されたジェット径 V_{jcalc} と実測値 V_j の関係を図8に示す。ノズル収縮による損失係数 K を0と仮定した場合には、いずれのノズル径においても予測値は実測値ときわめて良く一致している。 $K=1$ という大きな損失係数で計算した結果は、実測値との差が大きく、本実験で用いたノズルにおいても、ノズル収縮部の損失はほとんどないものと考えられる。Abeらが提案しているジェット速度の予測法は、実際のジェット速度をきわめて精度良く予測し得ることが明らかとなった。

図8 V_{jcalc} と V_j の関係

しかしながら、 $Q^2 - P_n$ の関係を実験的に調べなければならないため、同じノズルが使えない場合（高融点合金の場合、熔融状態では一般的には石英と反応し、一度噴射を行うと再使用は不可能である。）、この関係を調べることは容易ではない。また、メタノールを用いて噴射実験を行い、水銀の密度に換算して $Q^2 - P_n$ の関係を求めた結果を図7に太線で示した。ノズルBについては水銀の実験結果と同様のこう配になっているが、他のノズルについてはこう配は大きく異なっている。このことから、ノズル形状が全く同じであっても、ある液体について求めたこう配 G を他の液体に適用して、ジェット速度を予測することはできないことがわかる。さらに、多元合金はもとより、2元合金でも熔融状態における輸送的性質のデータは少なく、このような予測法は方法論として妥当であっても、溶融合金の噴射に適用することはきわめて難しいと考えられる。

4.4 より簡便なジェット速度の予測法

実験で用いたノズルについて、実測によって得られたジェット速度を用いて管摩擦係数を計算すると、 $\lambda(l_n/d_n) \approx 2.8 \times 10^{-3}$ となり、流量係数 C_f における管摩擦係数の影響はほとんど無視できるものである。流路縮小による損失係数 K も0と置けることから、流量係数 C_f は1となる。図1に示したノズルについては、 l_n/d_n が図2の形状のノズルよりも大きくなるが、オーダーとしては変わらない（図1の管外径は11mm、内径は8mmである。）。したがって、式(1)のエネルギー収支式をジェット速度を用いて書き改めれば、

$$V_j = \sqrt{\frac{2}{\rho} \left(P_n + \rho gh - \frac{2\sigma}{d_n} \right)} \quad (10)$$

となる。もし式(10)の位置ヘッド項 ρgh と表面張力項 $2\sigma/d_n$ が噴射圧力項 P_n に比べて十分小さければ、密度と噴射圧力のみ、きわめて簡単な関数として式(11)のように表せる。

$$V_j = \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot \sqrt{P_n} \quad (11)$$

実際、水銀の場合、 $h=180\text{mm}$ 、 $d_n=0.1\text{mm}$ 、 $\sigma=0.47\text{N/m}$ の時でも $\rho gh - 2\sigma/d_n = 14.5\text{kPa}$ であり、 P_n が100kPa以上のオーダーであることを考

えれば、また、位置ヘッド h は噴射によって漸次減少するものであり、式(11)は十分妥当なものと考えられる。

式(11)で計算されるジェット速度と実測値の比較を図9に示す。低噴射圧力においては $\rho gh - 2\sigma/d_n$ の影響により計算値と実測値の差がやや大き

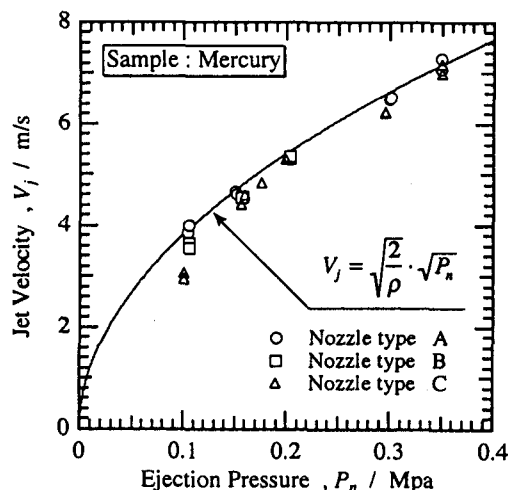


図9 噴射圧力とジェット速度の実測値の関係

いものの、0.2MPa以上の噴射圧力においては、きわめてよい一致が見られる。本実験で用いたノズルのように、ノズル円筒部に対してノズル径がきわめて小さい場合、噴射されるジェットの速度は式(11)によって精度良く予測できることがわかった。

5. おわりに

収縮の大きなノズルから噴射される液体のジェット速度を実測し、従来の予測式の妥当性を調べた。液体に水銀を用いた結果以下のことがわかった。

- (1) レーザドップラ速度計によって水銀ジェット速度が実測できた。

- (2) ジェット径がノズル径と同一であるとして、噴出質量と噴出時間から予測されるジェット速度は、実測値との差が30~40%と大きく、ジェット速度のオーダーの予測にしか適用できない。
- (3) Abeらのジェット速度の予測手法は、実測値との比較からきわめて妥当なものであった。しかし、ノズルとの反応を伴う高融点熔融合金ジェットにこの手法を適用するには、解決しなければならない問題を指摘した。
- (4) 本実験範囲においては、ジェット速度は液体の密度と噴射圧力のみ関数として、式(11)できわめて精度良く予測できることがわかった。いろいろなノズル径、液体について調べ、式(11)の適用限界を明らかにすることを今後の検討課題としたい。

最後に本研究を進めるにあたり、有益なご助言を頂いた大阪大学工学部大中逸雄教授に深謝申し上げます。また、本研究は平成5年度文部省科学研究費補助金、重点領域研究「新素材の製造・加工にかかわるミクロ伝熱工学の展開」(課題番号05239211)の援助を受けたものである。記して謝意を表する。

参考文献

- (1) 大中逸雄、福迫達一、大道徹太郎：日本金属学会誌、45 (1981)、p.751.
- (2) Y.Abe, K.Miyazawa, M.Nakamura and T.Ohashi : Trans. ISIJ, 27(1987), p.929.
- (3) 大中逸雄、福迫達一：日本金属学会誌、42 (1978)、p.415.
- (4) B.Heyder and G.Frommeyer : Mater. Sci. Engng., A133(1991), p.667.
- (5) 日本機械学会：伝熱工学資料(改訂第4版)、丸善、(1986)、p.323.

緩和過程における残留エネルギーの漸近特性

浅井 文男・東 司人*

Asymptotic Dependence of the Residual Energy in Relaxation Process

Fumio ASAI and Hitoshi AZUMA

シミュレーテド・アニーリング法を用いて組み合わせ最適化問題を解くとき、残留エネルギーが単純な漸近的振る舞いを示せば最適解のコストを推量することができる。篠本達は多数の局所的最小値をもつポテンシャル内を確率的に遷移する粒子の緩和過程を理論的に考察し、冷却時間 τ と残留エネルギー E_r との間にスケーリング則： $E_r \sim 1/\ln \tau$ が成り立つことを示した。我々は粒子の遷移を記述するマスター方程式を数値的に解くことにより、篠本達が導入した温度とポテンシャルに対する条件が満たされない場合でも同様のスケーリング則が成立することを見出だした。しかし、スケーリング則の普遍的な妥当性と実用性を主張するためには、さらに低い温度領域（ $T < 0.1$ ）まで数値計算を継続する必要がある。

1. はじめに

シミュレーテド・アニーリング法¹⁾を用いて組み合わせ最適化問題の近似解を得るとき、残留エネルギーが近似のよさの指標となる。残留エネルギーとは近似解のコストと最適解（基底状態）のコスト（エネルギー）の差であり、一般にゆるやかに冷却するほど残留エネルギー E_r は小さくなる。Geman兄弟によれば

$$T(t) > 1/\ln t \quad (1a)$$

$$T(t) \rightarrow 0, \quad (0 \rightarrow \infty) \quad (1b)$$

の冷却スケジュールを採用すれば $E_r \rightarrow 0$ となる²⁾。現実には無限に長く計算を続けることはできない。しかし、冷却の最終段階（ $T \sim 0$ ）において残留エネルギーが単純な漸近特性を示せば、実用範囲内の計算時間で得られた結果を外挿することによって、最適解のコストを推量することができる。

篠本達は図1に示すような多数の局所的最小値をもつポテンシャル内を確率的に遷移する粒子の

緩和過程を理論的に考察し、粒子のエネルギー E と冷却時間 τ の間にスケーリング則

$$E \sim \frac{1}{\ln \tau} \quad (2)$$

が成立することを示した^{3), 4)}。この結論はポテンシャルの形や次元の詳細には依存しないので、より複雑な問題に対しても適用できると考えられる。実際、Grest達はNP完全問題の数値シミュレーションから同様のスケーリング則を得ている⁵⁾。

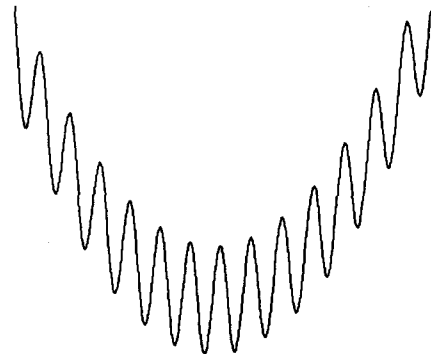


図1 ポテンシャルの概形

篠本達は次の条件を仮定し、粒子の遷移を記述するマスター方程式を粗視化することで解析的にスケーリング則を導いた。

*本校卒業生 現在、豊橋技術科学大学

$$a \ll 1 \quad (3a)$$

$$\beta a f'(x) \ll 1 \quad (3b)$$

$$1 < \alpha \quad (3c)$$

ここで、 a は局所的最小間の距離、 $\beta = 1/T$ (T は温度)であり、 $f(x)$ と α はポテンシャルの大域的な形を与える。

$$f(x) = \frac{x^\alpha}{\alpha} \quad (4)$$

先に述べたように、スケーリング則が冷却の最終段階において成立するかどうかは実用性の観点から興味深い問題である。しかし $T \sim 0$ では、一般に条件(3b)が成立しない。そこで我々はマスター方程式を数値的に解くことにより、冷却の最終段階における残留エネルギーの漸近特性を調べた。

2. 定式化

緩和過程のモデルの定式化は篠本達に従う³⁾。

図1に示すポテンシャル内を確率的に遷移する粒子系の統計力学的母集団を考える。図2に示すように、ポテンシャルの局所的な最小は一定の間隔 a をおいて配置され、高さ B の障壁で隔てられている。 i 番目の局所的最小の位置を x_i 、隣り合う局所的最小間のエネルギー差を Δ_i とすると

$$x_i = ai \quad (i = 1, 2, \dots, M) \quad (5)$$

$$\Delta_i = f(x_{i+1}) - f(x_i) \quad (6)$$

ここで M は局所的最小の個数、 $E = f(x)$ はポテンシャルの大域的な形を表す。遷移確率がボルツマン因子 $e^{-\beta \Delta E}$ ($\beta = 1/T$)で与えられるとき、粒子が i 番目の局所的最小に存在する確率 P_i の時間的変化を記述するマスター方程式は次式で与えられる。

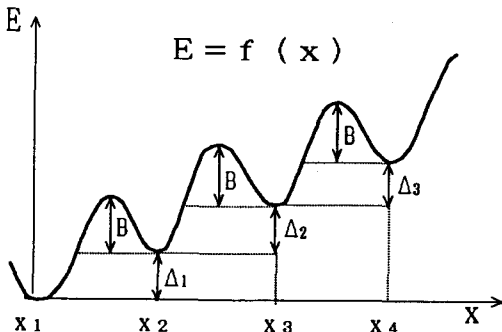


図2 ポテンシャルの詳細

$$\begin{aligned} \frac{dP_i}{dt} &= e^{-\beta B} P_{i+1} + e^{-\beta(B+\Delta_{i-1})} P_{i-1} \\ &\quad - (e^{-\beta B} + e^{-\beta(B+\Delta_i)}) P_i \\ &= e^{-\beta B} \{P_{i+1} - (1 + e^{-\beta \Delta_i}) P_i \\ &\quad + e^{-\beta \Delta_{i-1}} P_{i-1}\} \end{aligned} \quad (7)$$

粒子の平均エネルギー $\langle E \rangle$ は

$$\begin{aligned} \langle E \rangle &= \sum_{i=1}^M E_i P_i \\ &= \sum_{i=1}^M \{f(x_i) - f(x_1)\} P_i \end{aligned} \quad (8)$$

で定義される。(7)と(8)より、平均エネルギーの時間変化率 $d\langle E \rangle/dt$ は

$$\begin{aligned} \frac{d\langle E \rangle}{dt} &= e^{-\beta B} \sum_{i=1}^M \{f(x_{i+1}) - f(x_i)\} P_{i+1} \\ &\quad - (1 + e^{-\beta \Delta_i}) P_i + e^{-\beta \Delta_{i-1}} P_{i-1} \} \end{aligned} \quad (9)$$

で与えられる。

3. 数値計算

温度を下げるとき、 $d\langle E \rangle/dt$ が最小値(負の最大値)をとるように温度 $T_{opt}(t)$ を選べば、最も速く平均エネルギーを減少させることができる。 $T_{opt}(t)$ を最適冷却スケジュールと呼ぶ。最適冷却スケジュールに従って温度を下げながらマスター方程式を4次のルンゲ・クッタ法で解いて P_i を求め、平均エネルギー $\langle E \rangle$ と冷却時間 τ の関係を調べる。

ポテンシャルの大域的な形を $f(x) = Cx^\alpha$ とすると、基底状態のエネルギーは0なので、平均エネルギーと残留エネルギーは等価になる。局所的最小間の距離を $a = 1$ としたとき、初期状態 $P_1(0) = 1/M$ において $\langle E \rangle \sim O(1)$ となるように比例定数 C を決めると、 $C = 1/M^\alpha$ となる。

$$\therefore f(x) = \left(\frac{x}{M}\right)^\alpha \quad (10)$$

a とポテンシャルの形をこのように設定すると、条件(3b)は

$$\frac{\alpha \beta}{M} \ll 1 \quad (3b)'$$

になる。例えば $\alpha = 2$, $M=10$ のとき, (3b)' は $0.2 < T$ となる。よって (3b) が成立しない場合を調べるために, 冷却の最終温度 T_f を, $T_f < 0.2$ に設定する。また, 温度の初期値は $T_0 = B$ とする。計算のきざみ幅は $h=0.1$ とし, 冷却時間は計算ステップ数を j として $\tau_j = jh$ で定義する。最適冷却スケジュールに従う計算手順は以下のとおりである。

○計算手順

- ① $j \leftarrow 0$, $P_i(\tau_0) \leftarrow P_i(0)$
- ② $j \leftarrow j+1$
- ③ $T_f < T < T_0$ の範囲で T を掃引し, (9) より $\langle dE(\tau_j)/dt \rangle$ を最小にする $T_{opt}(\tau_{j-1})$ を求める。
- ④ $T_{opt}(\tau_{j-1}) < T_f$ なら計算終了。
- ⑤ ルンゲ・クッタ法を (7) に適用して $P_i(\tau_j)$ を求める。
- ⑥ (8) より $\langle E(\tau_j) \rangle$ を計算して②へ戻る。

4. 計算結果

4.1 最適冷却スケジュール

図3と図4に T_{opt} の計算結果を示す。初期条件は一様分布: $P_i(0) = 1/M$ である。図に示す直線と1次式: $Y = A + BX$ は $1/\ln \tau \sim 0.1$ 近傍のデータを最小2乗近似した回帰直線である。回帰直線は α の値や初期条件には依存しない⁶⁾。これらの結果から, $1/\ln \tau \sim 0.1$ 近傍における T_{opt} の漸近特性は

$$T_{opt} \sim \frac{1}{\ln \tau} \quad (11)$$

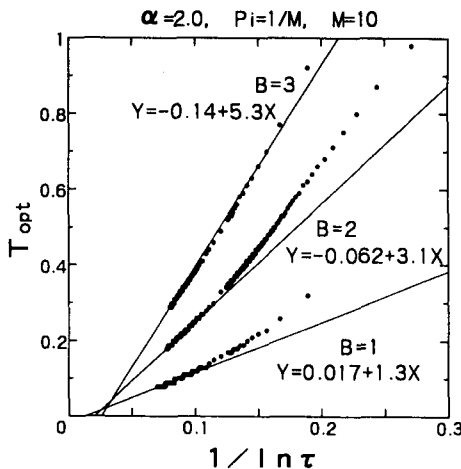


図3 T_{opt} の漸近特性 1

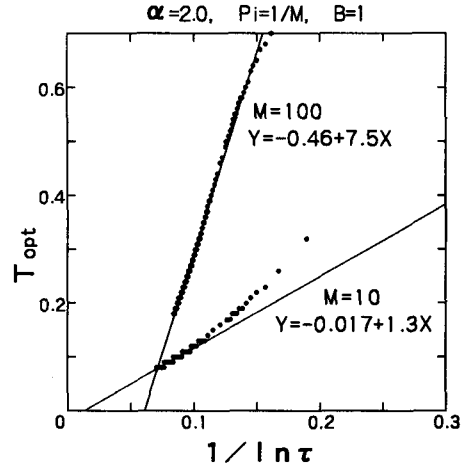


図4 T_{opt} の漸近特性 2

と表せることがわかる。この漸近特性は篠本達³⁾が得た T_{opt} に対するスケーリング則³⁾

$$T_{opt} \sim \frac{B}{\ln \tau} \quad (12)$$

と基本的に一致する。

4.2 残留エネルギー

図5～図8に $\langle E \rangle$ の計算結果を示す。初期条件は一様分布: $P_i(0) = 1/M$ であるが, 図に示す回帰直線は初期条件には依存しない⁶⁾。これらの結果から, $1/\ln \tau \sim 0.1$ 近傍における $\langle E \rangle$ の漸近特性は T_{opt} と同様, (13) で表せることがわかる。この漸近特性は篠本達³⁾が得たスケーリング則(2)と一致する。

$$E \sim \frac{1}{\ln \tau} \quad (13)$$

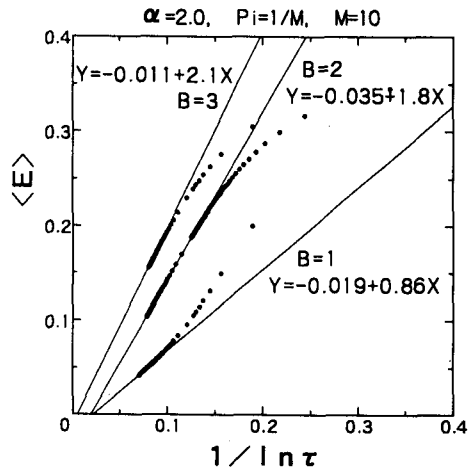


図5 $\langle E \rangle$ の漸近特性 1

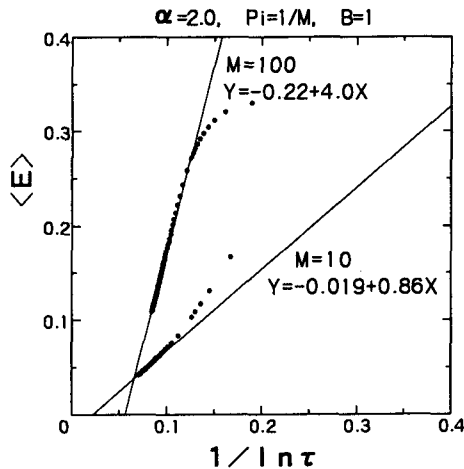


図6 <E>の漸近特性2

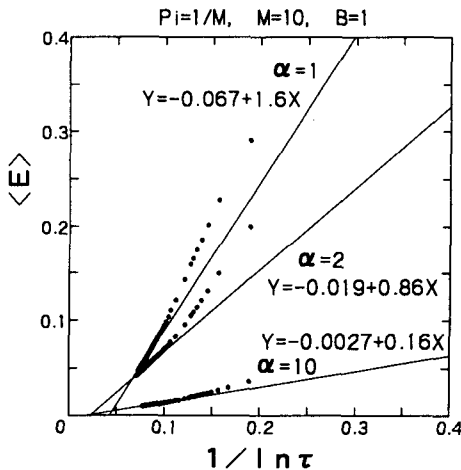


図7 <E>の漸近特性3

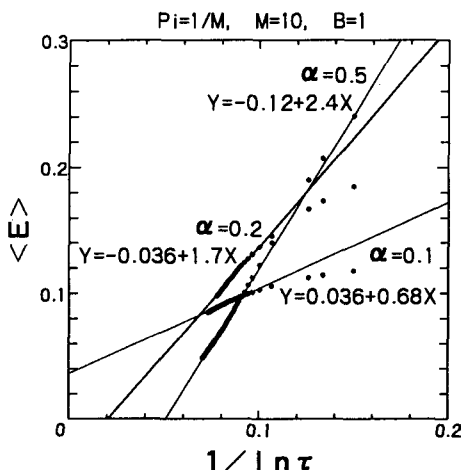


図8 <E>の漸近特性4

5. まとめ

$1/\ln\tau \sim 0.1$ の近傍では $T_{\text{opt}}=0.1 \sim 0.3$ になる。この温度領域では数値計算上のパラメーターや初期条件にかかわらず、スケーリング則(2)が成立することが確かめられた。しかし以下の理由から、このスケーリング則の普遍的な妥当性と実用性を主張することはできない。

- ① $T=0.1 \sim 0.3$ では冷却の最終段階とは言えない。
- ② 条件(3b)が成り立つ温度領域($0.2 < T$)も含めるとスケーリング則が成立しなくなる。
- ③ 回帰直線がポテンシャルの詳細に依存する。
- ④ 回帰直線が原点を通らない。

特に②と④は篠本達の解析的な結果と矛盾するので、その原因を究明することが今後の課題である。

参考文献

- 1) Kirkpatrick, S., Gellat, C.D. and Vecchi, M.P. : *Optimization by simulated annealing*, Science, 220 (1983) 671 - 680.
- 2) Geman, S. and Geman, D. : *Stochastic relaxation, Gibbs distributions, and the Bayesian restoration of images*, IEEE Trans. PAMI 6 (1984) 721 - 741.
- 3) Shinomoto, S. and Kabashima, Y. : *Finite time scaling of energy in simulated annealing*, J. Phys., A24 (1991) L141 - L144
- 4) Kabashima, Y. and Shinomoto, S. : *Asymptotic dependence of the residual energy on annealing time*, J. Phys. Soc. Japan, 60 (1991) 3993 - 3996
- 5) Grest, G.S., Soukoulis, C.M. and Levin, K. : *Cooling - rate dependence for spin-glass ground state energy : implications for optimization by simulated annealing*, Phys. Rev. Lett., 56 (1986) 1148 - 1151
- 6) 東 司人 : “緩和過程における残留エネルギーの漸近的振舞い”, 奈良工業高等専門学校情報工学科 卒業研究報告書 (1994)

オブジェクト指向によるソフトウェア設計教育の 支援システムの実現と問題点

工藤 英男・城間 順一*・長橋 雅明**

Implementation of Supporting System
for Object - Oriented Software Engineering Education
and its Problems

Hideo KUDO, Jyunichi SHIROMA and Masaaki NAGAHASHI

実践的なソフトウェア技術者としては、単なるプログラミングのみならず、情報システムを開発するための要求分析や設計の手法を習得していることが望まれる。その中でも、オブジェクト指向による開発法を使える技術者の需要が高い。その養成においては、ソフトウェア開発における分析や設計に関する知識の習得のみならず、それらの実習も必要であると考ええる。そこで、学習者が自由な学習や簡単な演習ができる仕組みを取り入れ、初心者がOMT法の学習を支援するツールをMacintosh上のHyperCardを用いて試作した。本稿では、ツールの実現における機能と試用での問題点について考察し報告する。

1. はじめに

近年、オブジェクト指向によるソフトウェア開発法はソフトウェア危機を打開する強力な方法の一つと考えられるが、十分には普及していない。つまり、その開発法を使える技術者が少ない。そこで、教育機関などにおいて、オブジェクト指向によるソフトウェア開発法が使える技術者の養成が必要である。そのためには、ソフトウェア開発における分析や設計に関する知識の習得のみならず、それらの実習も必要であると考えている。

しかしながら、教育現場で容易に利用できる開発法に関する学習を支援する教育用ツールで、次の点を配慮したツールは少ない。

- (1) 容易な操作性
- (2) 自主的な学習を支援
- (3) 学習過程のデータ収集

そこで、学習者が自由に学習できる仕組みと学習履歴データから思考過程を把握すべく、学習デー

タを収集できる機能を具備したツールを作成し、オブジェクト指向による開発法が使える技術者の養成に役立てることを目指している。ただし、このツールは、自発的に学習するためのきっかけを提供するものであり、ある開発法を完全に習得を目指すものではない。なお、開発法としては、Shlaer & Mellor法^[1]、Coad & Yourdon法^[2]、OMT法^[3]、Booch法^[4]などがあるが、4手法の中で唯一、分析・設計・プログラミングまで一貫した手法であるOMT法を採用した。本論文では、ツールの実現の機能と試用での問題点について考察し報告する。

2. 現状と問題点

2.1 ソフトウェア開発法の学習の必要性

実践的なソフトウェア技術者としては、単なるプログラミングのみならず、情報システムを開発するための要求分析や設計の手法を習得していることが望まれる。その中でも、オブジェクト指向による開発法を使える技術者の需要が高い。

* 奈良工業高等専門学校専攻科電子情報工学専攻

** 徳島大学工学部知能情報工学科

2.2 演習の必要性

ソフトウェア開発における分析や設計の習得においては、手法に関する知識のみならず、それらの実習ができる環境も必要である。現在、開発現場で利用されているCASEを適用することも考えられるが、教育現場では高価であり、機能が豊富すぎて教育的でないため、簡便な演習の環境が望まれる。

2.3 学習の評価

学習者が演習などで作成するプロダクトを客観的に評価するためには、単なる最終プロダクトだけではなく、作成過程の学習履歴データが必要となる。そこで、学習者が設計手法の学習や演習をする過程でのデータを抽出し、後で教師が学習や演習の過程における助言や評価ができる機構が望まれる。

3. 基本的なアプローチ

本論文での主張は、学習意欲の少ない学生を対象に、学習の仕方を規定しないで、興味のあるところから自由に学習させるコンピュータ学習の方法について提案するものである。前節での問題を解決するために、次の機能を備えた初心者向けのソフトウェア設計教育の支援ツール（以下、支援ツールと略す）を設計し構築した。このツールは学習部と演習部およびデータ収集部の3つから成り、その概要を図1に示し、以下に説明する。

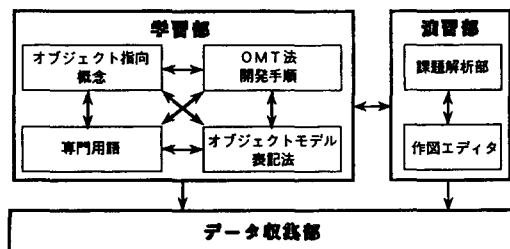


図1 ツールの概要

3.1 学生が探索的に開発法の学習ができる機能

コンピュータ学習において、学習者が説明文を見て学習するという受動的な環境では、学習者はこれらの項目の知識は得られるが、実際に使えるようにはならない。そのために、学習部では、学習者が参考書を読むように学習を進める以外に、

学習者の学習意欲を低下させないように、学習者にある程度の自由度で探索的に学習できる仕組みを用意する。

3.2 簡単な演習機能

演習部では、学習者が練習問題を用いて、実際に画面上で作図の部品を用いて、オブジェクトを貼り付けながらソフトウェア設計のモデル図を作成できる機能を用意する。なお、OMT法においては、オブジェクトモデル、動的モデル、機能モデルの3種類があるが、今回はオブジェクトモデルを対象とした。

3.3 学習過程の記録

ツールには学習者の学習過程をデータとして蓄積するデータ収集部を用意する。これは、教師による学習者への助言やツールの改善のためである。学習部でのデータは学習者が開発法を学んでいく過程の情報が学習履歴データであり、演習部でのデータは学習者が設計のモデル図を作成していく過程の情報が演習履歴データである。

4. 具体的な実現例

4.1 学習部

学習部の内容は、オブジェクト指向の概念、オブジェクトモデルの表記法、開発手順と専門用語の4つのスタックから成る。

- (1)オブジェクト指向概念の説明スタック：オブジェクト指向の考え方についての重要な概念を例を用いて説明する。
- (2)オブジェクトモデルの表記法の説明スタック：OMT法におけるオブジェクト図の基本になるいくつかの概念と表記法を例とともに説明する。
- (3)OMT法の開発手順の説明スタック：OMT法における分析、システム設計、オブジェクト設計、プログラミングの4つのフェーズからなる開発手順を逐次説明する。
- (4)専門用語の説明スタック：説明文に出てくる専門用語を説明する。

カード設計では、図2に示すように、説明文の文章や図の他に次の3つの部品を配置する。

- (1)カード移動用ボタン：学習順序に従って前後移動するボタン、目次に戻るボタン、他スタックに移動するボタン、学習を終了するボタンがある。

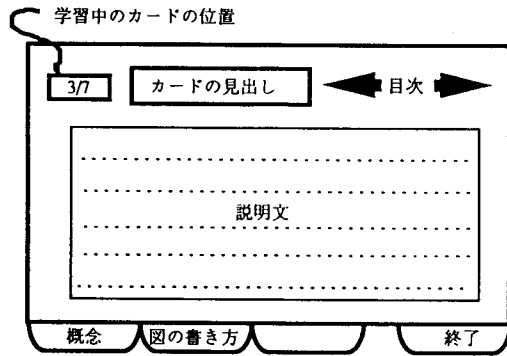


図2 学習部のカード

- (2)カードの見出し：学習の対象を明確にするために、何を学習しているかを表示する。
- (3)学習中のカードの位置：学習意欲を向上させるために、後何枚で項目が終わるという目標を示す。また、文章中の用語が他のカードで説明されている場合、その用語をクリックすることによりそれを説明しているカードに移動することができる。
- これらのスタックは図3に示すようなリンクが張られている。そのために、“オブジェクト指向概念”，オブジェクトモデルの表記法である“図の書き方”，OMT法の開発手順である“OMT手法”，“専門用語”のどのところからでも始めることができる。例えば，“図の書き方”を選択すると、そこでの目次が表示され，“概要”，“オ

ブジェクトモデル”，“動的モデル”，“機能モデル”が選択できる。

次に，“オブジェクトモデル”を選択すると，“オブジェクト図”，“クラス図”，“インスタンス図”，“例題”の順で説明のカードが現れる。また，学習者の意志で自主的に学習ができるようになっている。

4.2 演習部

演習部の内容は，学習者がOMT法に従って課題を解析する課題解析部と，エディタを用いて解析結果をオブジェクトモデルにモデル化する作図エディタから成る。

- (a)課題解析部：課題を示し，学習者がOMT法の開発手順に従って，文章中のオブジェクトやオブジェクト間の関係を抽出できるように誘導していく。
- (b)作図エディタ：オブジェクトモデル化のためのエディタである。課題解析部での結果により課題をオブジェクトモデルにモデル化する。また，学習部のスタックとリンクしているので，それぞれを参照しながら演習を行うことができる。
- 作図エディタにおける設計では，図4に示すように，次の3つの部品を配置する。

- (1)作図領域：表記部品のボタンを用いてオブジェクトモデルを書く領域。

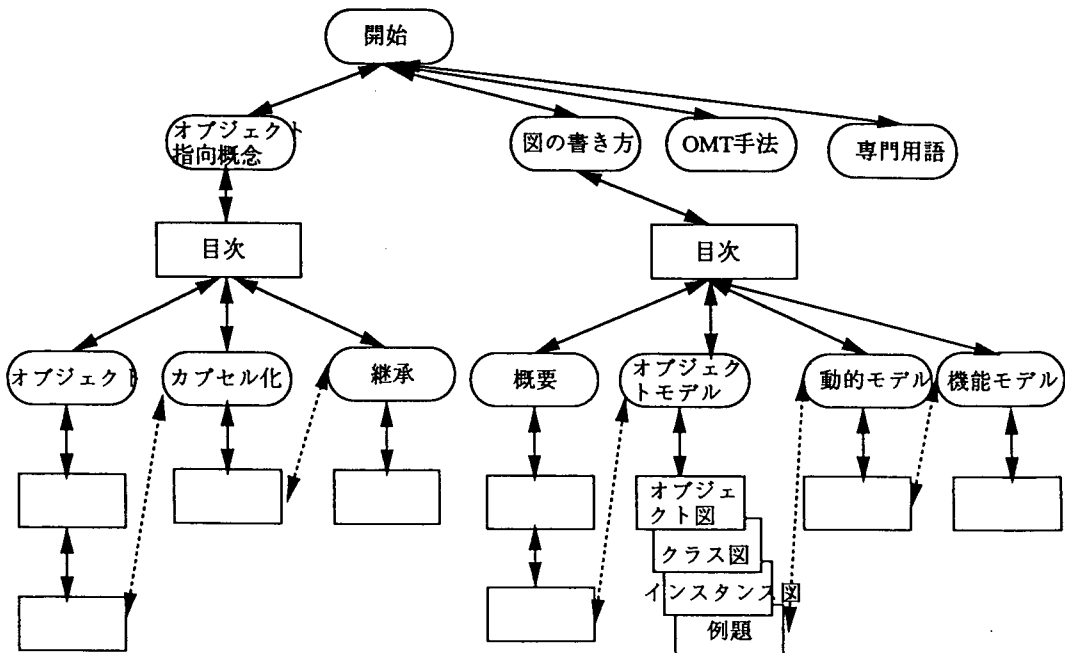


図3 学習部のリンク構成

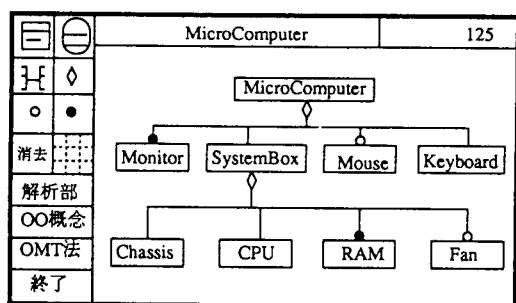


図4 作図エディタによる作成例

(2)ボタン群：画面の左側にはオブジェクトモデル化での基本的な表記部品のボタン，他に“解析部”，“オブジェクト指向の概念”，“OMT法の開発手順”のスタックを参照するためのボタン，演習を終了するボタンがある。

(3)フィールド：上側に例題のタイトルを示すフィールド，総利用時間を示すフィールドがある。

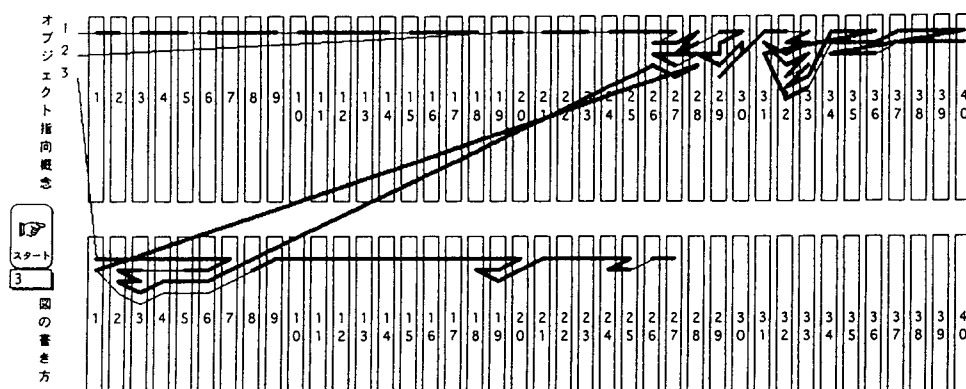


図5 移動順序表示の例

4.3 データ収集と解析

(a)学習部における記録

学習過程の把握のための情報として，一つのカードに留まる時間とカード間の移動順序のデータの対象とした。

このデータから次の3つのデータ解析を試みた。

(1)学習頻度表示：一つの学習カードに留まる時間とカードを利用した回数を表す。

(2)移動順序表示：学習カード間の移動順序を視覚的に表示する機構（図5）

各数字が一つの学習カードを表わし，利用した順に線が描かれていく。また，太線はそのカードに5秒以上留まったことを示し，細線は5秒未満

で移動したことを示す。この機構を用いて，カードの移動順序を観察し，学習過程の把握ができる。この例では，“オブジェクト指向の概念”のスタックでの学習では，カード番号26から33にかけて混乱している様子が伺える。また，“図の書き方”のスタックでの学習では，カード番号2，3を交互に見ながら，6では“オブジェクト指向の概念”の26，27，28のカードを参照している様子が伺える。

(3)学習過程の再生：学習者が学習を進めてきた過程を再生する。再生機構では，グラフ表示機構や学習順序表示機構で不審な点を見つけた場合に，詳細に調べるための機構である。

(b)演習部における記録

演習過程の把握のために，マクロ的な観点ではオブジェクト（事象の表現）や関係線（事象の関連）の数，そしてミクロ的な観点では作図工程の情報をデータの対象とした。これから，次の2つのデータ解析を試みた。

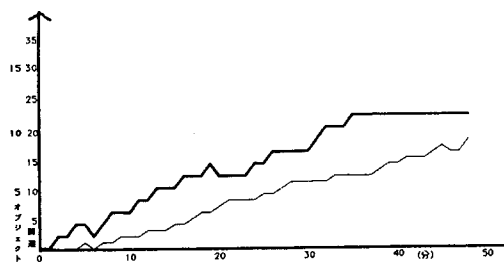


図6 作図状況表示の例

(1)作図状況表示：オブジェクトや関係線の発生，消滅をグラフで表示する。太線がオブジェクトの数を表わし，細線が関係線の数を表わす。時間軸のきざみ幅は60秒である。このグラフ表示機構を用いて，全体的にオブジェク

トや関係線の増減を観察すれば学習者が指向錯誤する様子がマクロ的な観点から把握できる(図6)。

- (2)演習過程の再生: 学習者がモデル図を作成していく過程を, 白紙の状態から完成まで1工程ずつ再生できる。つまり1工程ずつ再生していき, 何故そうしたかを推測すれば, かなり深いレベルまで学習者の思考の過程がミクロ的な観点から把握できる。

5. おわりに

本報告では, OMT法における支援ツールを学習部, 演習部, データ収集部の3部構成でHyperCardを用いて作成した。学習部は4つのスタックからなり, 約100枚のカードでオブジェクト指向概念, オブジェクトモデル表記法, OMT法開発手順, 専門用語について学習できる環境を実現した。演習部は2つのスタックでOMT法の演習を行なえる環境を実現した。データ収集部は, 学習過程データを抽出する機構を各スタックに付加し, そのデータを蓄積するスタックを作ることにより実現した。

今後の課題として, 演習部におけるエディタの作成にはHyperTalkを用いたが, これはインタプリタのため実行速度が遅い, 基本的な表記法を使うだけでもかなり遅くなり, もし全ての表記法を使えるようにすると更に遅くなり実用的でなくなる。これを解決するために, PascalやCなどのコンパイラを用いてエディタを作成することが望ましい。また, 簡単な実験により, 学習履歴データの結果から次の事柄が分かった。

- 学習者の学習過程データより, 支援ツールそのものを改善する指標が得られる。
- 演習過程の再生が, 学習者の思考過程の把握において大変有用である。

さらに, 検討と試行を繰り返し, オブジェクト指向による開発法が使える技術者の養成に役立てるために, ツールの改善を考えている。例えば, ハイパーテキストの効率的な利用^[5]を考慮していきたい。なお, この研究に関連した内容については文献^[8-11]を参照されたい。

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。また本研究を進めるにあたり, ご助言を頂いた奈良先端科学技術大学院大学の鳥居宏次教授および松本健一助教授に感謝します。さらに開発に協力を頂いた平成6年度卒業研究生の金田晋治, 松村義明, 杉山絵美の諸氏に感謝します。

参考文献

- [1] Sally Shlaer and Stephen J. Mellor: OBJECT-ORIENTED SYSTEM ANALYSIS - Modeling the World in Data -, Prentice-Hall, Inc. (1988).
- [2] Peter Coad, Edward Yourdon: Object-Oriented Analysis, 2nd ed., Yourdon Press (1991).
- [3] James Rumbaugh et al.: Object-Oriented Modeling and Design, Prentice-Hall, Inc. (1991).
- [4] G. Booch: Object-Oriented Design with Applications, The Benjamin/Cummings Pub. (1991).
- [5] Robert E. Horn著: 松原光治訳: 「ハイパーテキスト情報整理学」, 日経BP社 (1991).
- [6] 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).
- [7] 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” CAI学会第44回研究会研究報告, Vol.93, No.4, pp.11-14 (1993).
- [8] 工藤: “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”, 奈良工業高等専門学校研究紀要, pp.61-64 (1994).
- [9] 工藤, 多喜, 吉川: “ソフトウェア設計教育の支援システムにおける教材の構成” 情報処理学会全国大会講演論文集(1), pp. 71-72 (1994).
- [10] 工藤, 多喜, 的場: “ソフトウェア設計教育の支援システム試作”, 文部省情報処理教育研究会講演論文集, pp.539-542 (1994).
- [11] H. Kudo, K. Matsumoto and K. Torii: “An integrated supporting system for learning different kinds of software design methods”, Proc. of SRIG-ET'94 Conference (To appear).

高専生におけるコンピュータ不安に関する調査研究

下 村 満 子

A Research for Computer Anxiety on Students Studying Computer Engineering

Michiko SHIMOMURA

情報工学を専攻する高専学生のコンピュータ不安について調査を行った。1, 3, 5年生についてコンピュータ不安尺度(CAS: Computer Anxiety Scale)と、職業への興味、コンピュータに関する技能修得への熱意、性格などに関する質問項目からなる質問紙調査を行った。その結果、CASについては「嫌悪-回避」、「恐怖」、「(非)効力感」、「不安-緊張」の4因子が抽出された。また、不安の程度と職業興味との間に関連性があること、平均値は学年が進むほど高くなる傾向が見られることが明らかになった。これは1年生は全体に不安が低いのに比べて、5年生ではかなり不安が高いグループと低いグループに分かれることに起因すると考えられる。

1. はじめに

「高度情報化社会」という言葉が使われるようになって久しい。実際、日本においてもパソコンの普及はもはや目新しいことではなく、インターネットを通じて日常的に誰もが様々なサービスが受けられる本格的な情報化社会も実現しつつある。このような社会においては、コンピュータは情報を取り扱う道具として非常に重要である。しかしこの場合には、コンピュータ利用はあくまで道具としてであり、一般人はハードウェアの知識やプログラミング能力は基本的には要求されない。言い換えると、コンピュータそのものについての知識がまったくない人でも、簡単な端末の操作などによって情報を引き出し、それを利用できる社会が高度情報化社会と言えよう。しかし、そのような社会において、もしその道具がまったく使えなければ、利便さ・快適さなどを逃してしまうだけでなく、誰でも当然享受できるはずの利益や権利をも侵害されることになりかねない。このことは今日において、読み書きの能力の欠如がもたらす不利益に相当するであろう。

読み書きの基礎的な能力を識字またはリテラシーという。現在日本においては読み書きに関するリテラシー教育は幼児期から実施され、高い識字率を達成している。しかしながら、種々の理由によりリテラシー教育の機会を奪われた人たちは非常な不利益を被っており、社会全体で考えていかなければならない問題となっている。近い将来実現するであろう本格的な情報化社会において、コンピュータを利用して情報を引き出すことが出来なければ、同様の不利益を被ることにもなるだろう。そして、そのような人がたとえ少数であったとしても、放置することは出来ない問題となる。そこで義務教育の早い時期から、コンピュータを利用するための基礎的な知識や能力を養う教育が行われるようになってきた。コンピュータに関する基礎的な技能をコンピュータリテラシーといい、基礎的教育をコンピュータリテラシー教育という。以下本論では特に断らない限り、リテラシー教育といった場合には、コンピュータリテラシー教育を指す。

2. コンピュータ不安

中学校においてはリテラシー教育は技術・家庭科に含まれる「情報基礎」で行われることが多く、学校による方法や程度の違いはあるにせよ、早い時期からリテラシー教育が導入されているわけである。実際には、お絵かきソフトや表計算ソフトを使ってみたり、BASICなどを用いた簡単なプログラミング実習などが行われていて、早い時期からコンピュータに親しむという点では一定の成果をあげていると考えてよいであろう。

しかしその反面、どうしてもコンピュータに親しめない、好きになれない、使えないという人も存在する。特に義務教育で幅広くコンピュータを利用している学校では、コンピュータが苦手な生徒がそれが原因で落ちこぼれてしまうということもあり、そのような生徒への配慮の必要性も提言されている[1]。コンピュータに対する消極的な態度を総称して「コンピュータ不安」といい、リテラシー教育の情緒的側面とでもいうべきものである[2]。この言葉は、コンピュータ利用への否定的な意見、利用するときを感じる緊張感や恐怖感などを包括的に表現している。コンピュータ不安という概念自体はさして新しいものではなく、アメリカでは10年以上前から研究が行われている。日本では、1990年前後から相次いで研究が行われるようになった。中でも小川らの研究グループでは、コンピュータ不安を測定する尺度CAS (Computer Anxiety Scale) の開発・標準化を進めている。小川らは一連の調査研究の結果、現在20項目からなるCASを提案しており、中学生から大学生までほぼ一貫した結果が得られるまでになっている。

小川らの調査結果から、CASについて、大学生では3因子、中学生では4因子の因子構造が報告されている。大学生の場合には、第1因子は「不安・緊張」、第2因子は「嫌悪・回避」、第3因子は「(非)効力感」で、中学生の場合には、第1因子は「嫌悪・回避」、第2因子は「不安・緊張」、第3因子は「(非)効力感」、第4因子は「精神的不安」である。換言すると、「コンピュータ不安」という概念は、これら3次元ないしは4次元の軸から成っていると理解できる。ここで効力感とは、コンピュータをコントロールできていると感じることである。大学生と中学生の因子構造の差は、中学生にとっては緊張とリラックスが拮抗する状

態とはみなされていないことから生じた余分な変動によると解釈されている[2]。

さて先に述べたように、コンピュータ不安は主としてリテラシーの情緒的側面、あるいは情報処理教育の比較的初期段階の問題として捉えられてきている。しかしながらリテラシー教育の段階が終了し、かなり長期にわたってコンピュータを専門に学んでいる高専学生にも、コンピュータに対する不安や嫌悪が見られることがある。そこで、小川らの開発したコンピュータ不安尺度CASを用いて情報工学科学生のコンピュータ不安を測定し、不安を生じる要因について考察した。

3. 調 査

3.1 方 法

【被験者】奈良工業高等専門学校情報工学科の1年生40名、3年生33名、5年生25名を対象とした。調査は10月に行われたので、1年生は約半年の情報処理教育を受けている。

【調査項目】小川らによるコンピュータ不安尺度(CAS) 20項目と、コンピュータ関係の職業への関心、コンピュータに習熟することへの熱意、自分の性格などを尋ねる項目からなる質問紙による調査を行った。CASは、「コンピュータの操作は楽しくない」、「操作を失敗するのではないかといつも心配になる」などの質問項目からなり、学生は各項目について「まったく当てはまる」から「まったく当てはまらない」までの4段階の中で自分に最も当てはまるものにマークをつけることを求められる。コンピュータ関係の職業への関心、コンピュータに習熟することへの熱意は、「はい」か「いいえ」の2択で評定した。性格については、SG式向性検査の結果得られる5つの因子(社交-非社交、淡泊-固着、即行-慎重、活動-非活動、現実-非現実)を質問項目として用い、自分の性格がどちらにあてはまるかを「どちらとも言えない」を含む三段階に自己評定してもらい、自分を内向的と判断した場合に得点が高くなるよう換算した。

調査は、1年生と3年生はプログラミングの授業時間に、5年生は卒業研究の時間に行なった。

3.2 結 果

まず学年別にCAS得点を算出した。CAS得点は、コンピュータ不安を示す項目に非常に当ては

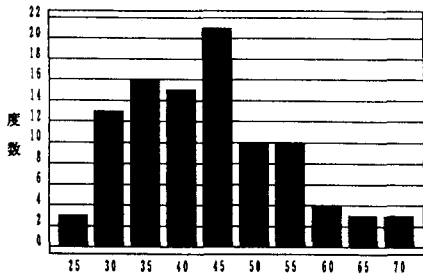


図1 CAS得点の分布(全体)

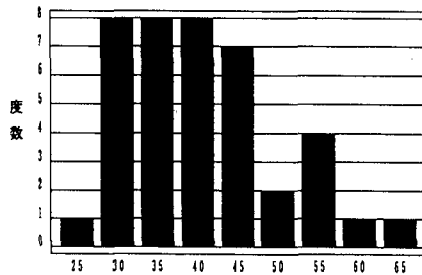


図2 CAS得点の分布(1年)

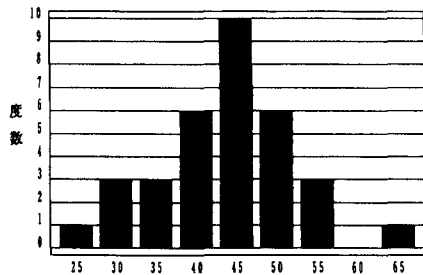


図3 CAS得点の分布(3年)

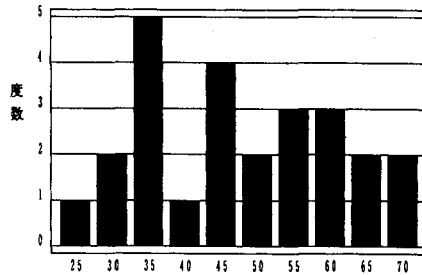


図4 CAS得点の分布(5年)

まると回答した場合を4点、まったく当てはまらなと回答した場合を1点とし、コンピュータに対して肯定的な内容の質問項目の評定は反転して集計した。従って、得点はもっとも不安が低い20点からもっとも不安が高い80点までの間に分布する。1年から5年までをあわせた全体のCAS得点の分布を図1に示す。ピークが中央あたりにある山型の分布で、極端な偏りは見られない。次に1年生の分布を図2に、3年生の分布を図3に、5年生の分布を図4に示す。分布図から、1年生においては不安得点の低い方の度数が多い特徴が

方がCAS得点が高く、コンピュータに対する不安が高いことがわかった。

また将来コンピュータ関係の職業に就きたいと考えているかどうかと言う問いに対して、就きたいと思うと答えた学生のCAS得点は38.1 ($n=69$), 思わないと答えた学生の得点は47.4 ($n=29$)であり、差は有意であった ($t=17.9, p<.01$)。しかし、コンピュータに習熟することへの熱意があると答えた学生の平均CAS得点(40.8, $n=92$)と、ないと答えた学生の得点(40.7, $n=6$)には差は見られなかった。また、性格が外向的か内向的かについての自己評定値とCAS得点との間には関係は見られなかった。

さらには、CASの評定値について因子分析を行った。表1に示すように4因子が抽出され、第1因子「嫌悪-回避」、第2因子「恐怖」、第3因子「(非)効力感」、第4因子「不安-緊張」と命名した。これは小川らによる中学生、大学生を対象とした調査の結果とおおむね一致しているが、第2因子として「怖い」という表現を含む項目に

表1 CASの因子分析結果

項目	因子負荷量				共通性
	1	2	3	4	
CAS12	.770650	-.205426	.006422	.110352	.0637255
CAS13	.756804	-.284129	.211375	-.134813	.0714769
CAS01	.724127	-.138046	.299354	-.159777	.0653797
CAS07	.685422	-.027349	.282390	-.049281	.0546496
CAS04	.684050	.234029	.235755	-.343145	.0479069
CAS18	.673629	-.149265	.457010	.074422	.0677140
CAS03	.630529	-.201993	.371051	-.185678	.0610347
CAS16	.017486	-.796093	.060063	-.165292	.0416038
CAS14	.367157	-.625218	.019302	-.280633	.0547850
CAS19	.145780	-.677201	.052850	-.509462	.0712402
CAS09	.348157	-.527264	.148079	-.575429	.0752267
CAS11	.222847	-.520536	.252531	-.487749	.0615350
CAS15	.200542	.007732	.824757	-.065159	.0723730
CAS17	.344644	-.143369	.718271	-.079323	.0651547
CAS08	.052013	-.249634	.753873	.179622	.0511584
CAS10	.333425	-.017620	.688245	-.201861	.0620481
CAS02	.279815	.122416	.627164	-.235743	.0502220
CAS20	-.043804	-.128298	.195659	-.791149	.0547071
CAS06	-.034692	-.268370	.054237	-.762197	.0586890
CAS05	.280293	-.242759	-.170551	-.583699	.0444463

反応が好き
嫌い
楽しくない
楽しみ
親しみを感ずる
気分がよい
操作を避ける
怖くない
使うのが怖い
怖い感じ
不安になる
リラックス
操作ができる
操作に自信
反応がわかる
説明書がわかる
手順がわかる
体が硬くなる
失敗が心配
緊張しない

表2 因子得点

	1年生	3年生	5年生
嫌悪-回避	-.43	.15	.50
恐怖	-.06	.18	-.14
(非)効力感	.10	-.03	-.14
不安-緊張	.19	-.04	-.26

関連する因子が得られたので、ここでは「恐怖」の因子と命名した。因子得点を表2に示す。分散分析の結果第1因子「嫌悪-回避」にのみ有意差が見られ($F=8.27$, $p<.001$), 学年進行につれて平均値が高くなっていることがわかった。

4. 考 察

今回の調査の結果、コンピュータ不安に関する因子構造は先行研究と一貫するものであったが、CAS得点の学年による変化は、学年進行に伴って平均値が高くなるという特徴的なパターンを示した。

小川らの研究の目的は、いかにしてコンピュータ不安を低減するかという点にあり、その助けとするために検査尺度を開発しようとしているわけであるが、そこには、学習や演習が進み、知識や技能を身につけると不安は低減していくものという前提があるように思われる。事実、中学生を対象とした調査でもCAIを中心とした利用をしている中学では不安が低減することなどが報告されている。しかしながら、今回本校情報工科学科学生についてコンピュータ不安の測定を行ったところ、学年が進むにつれて不安が高まるケースが見られた。もちろんすべての5年生に高い不安が見られるわけではなく不安が低い学生も多数いるが、不安が顕著に高いグループの存在が平均値を高めている。これに対して、1年生は全体的に不安が低いことが分かった。

また将来コンピュータ関係の職業に就きたいと思っているかどうかということが、不安の程度と関係していることがわかった。コンピュータに習熟したいとは思わないと答えた学生はさすがに少なく、得点にも影響がなかった。しかしこのことは言い換えると、コンピュータに習熟したいという熱意はあっても、同時に不安や嫌悪を抱いている学生が多いということの意味すると考えられる。

本調査では、コンピュータ不安は必ずしもコンピュータに関する学習が進めば軽減するというものではなく、場合によってはむしろ増強されていくこともあるということを示している。1年生は中学や高専初期におけるリテラシー教育が終わった段階にあり、一般の中学生や文科系大学生が、ある程度リテラシー教育を受けた後ではコンピュータ不安が低減するのと同様に、不安が低い段階にあるのかもしれない。しかし5年生に見られる不

安は、一般に問題とされているようなリテラシー段階初期の不安とは少し性質を異にするように思う。情報工学科の学生は、コンピュータを単に便利な道具として利用するにとどまらず、ハード、ソフト両面にわたって様々な専門的な知識、技術を要求される。また卒業後は専門を生かした職業に就くことを半ば当然視されている。そのような状況を理解し、かつ自分の熱意や要求水準と実力とのギャップを感じる時、不安や嫌悪感が生み出されるのではないだろうか。

このように考えると、コンピュータ不安という一つの言葉でくくってしまっている概念の中に、異質のものが含まれているのではないかという疑問が生じる。未知のものへの不安、高価そうな機器を使うときに不安は、確かにリテラシー教育によって軽減されるであろう。しかし、学習が進み、熱意もそれなりにあるが、実力が伴わないことから生じる不安があるとすれば、それはリテラシー教育では解決できないものである。今後は今回の調査で見られた学年進行に伴う不安の増加が、一般的に言えるものなのかどうかを確かめるために、1年生、3年生の追跡調査を行なう予定である。また、今回は性格その他学生の内的な要因と不安との関係を明らかにすることはできなかったが、さらに動機づけや職業興味、性格特性など要因と不安との関係を検討し、学習の早い段階で不安が生じる可能性を発見する方法を考えていきたい。

謝 辞

本研究は、多喜正城との連名で教育工学関連学協会連合第4回全国大会で発表された。尚、調査は筆者の指導の下で、平成5年度奈良高専情報工学科卒業生林孝之君の卒業研究の一部として行われた。記して感謝します。また授業時間内の調査にご協力いただいた工藤、松尾両教官に厚くお礼申し上げます。

参考文献

- [1] 今栄国晴：教育の情報化と認知科学－教育の方法と技術の革新（1992），「福村出版」
- [2] 小川 亮：コンピュータ不安検査と情緒的リテラシー形成のための教材の開発研究（1993），平成4年度文部省科学研究補助金重点領域研究「情報化社会と人間」研究成果報告書

Experimental Evaluation of Processor Scheduling Algorithm for Parallel Logic Simulation Using Benchmark Circuits*

Tadashi SEKO, Takeshi KUGO[†] and Tohru KIKUNO[‡]

We discuss a processor scheduling problem for parallel logic simulation of combinational circuits. In the processor scheduling problem, the time needed for each gate is not given beforehand, and is not constant. This feature distinguishes the processor scheduling problem from typical task scheduling problems. After analysing this specific feature, we devise Algorithm MET to solve the processor scheduling problem. The key idea of Algorithm MET is to determine processor scheduling incrementally and dynamically. Then, experimental evaluations using well-known eighteen benchmark combinational circuits show the usefulness of Algorithm MET. We believe that this is a first step to implement parallel logic simulation of combinational circuits.

1 Introduction

A logic simulation of combinational circuits is one of the most effective design steps for LSI circuits. Especially, it is extensively executed for proving logical correctness and timing correctness of LSI circuits. However, generally speaking the logic simulation of LSI circuits needs a lot of computing time. Thus, as the size of LSI circuits to be developed increases, introduction of parallel processing techniques into logic simulation is an inevitable conclusion. Actually, special purpose simulation machines have already been developed using several parallel processors

[1][2]. On the other hand, on general purpose computers with parallel processing capabilities software simulators have also been implemented[3][4].

The computations in the logic simulation fundamentally consist of the repetition of evaluations of gate in the LSI circuit. The evaluation of gate is partitioned into two methods: clock-based and event-based methods. The clock-based method calculates an output signal of a gate using input signals at each clock. On the contrary, the event-based method generates an event when signal values change, and calculates an output signal of a gate at the time when event is generated at input signals of the gates. It is clear that the event-based method can reduce the number of gate evaluations compared with the clock-based method if signal values don't change so often.

In the implementation of the event-based

*This work was presented at JTC - CISC'93.

[†] Nihonshingo corporation

[‡] Faculty of Engineering Science, Osaka University.

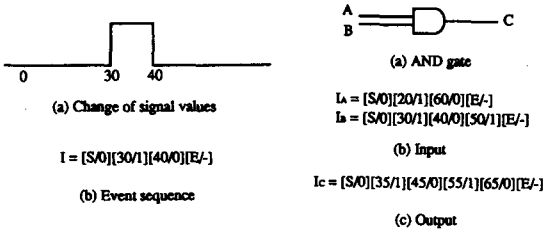


Figure 1 Representation of signal changes

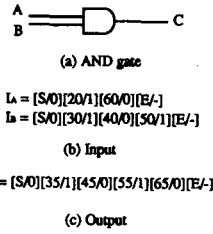


Figure 2 Evaluation of gate

method, there exist two typical processings: time-based and gate-based processings. The time-based processing maintains the time when event is generated, and processes all events with the same time simultaneously [1][5]. The gate-based processing maintains, for each gate, all events which are generated at a gate, and evaluates only one gate at one time[6].

In this paper, we discuss how to implement gate-based processing on distributed computing environments. In distributed computing, processor scheduling or task scheduling is one of the most important problems. However, it is well known that such scheduling problems are generally NP-hard, and are very difficult to solve efficiently. Thus, we will introduce a very simple formulation for processor scheduling problem, and try to analyse the possibilities of getting higher performances in logic simulations compared with conventional approaches. The key idea for improving performance is to introduce a dynamic decision based on up-to-date information into processor scheduling.

The organization of the paper is as follows: Section 2 gives some notation and assumptions. Section 3 explains problem formulation to be discussed and summarizes unique feature of processor scheduling problem. Section 4 describes two scheduling algorithms: Algorithm STATIC[7] and Algorithm MET. Section 5 explains experimental evaluation of two scheduling algorithms using well-known eighteen benchmark circuits. Finally Section 6 gives some concluding remarks.

2 Preliminaries

We assume that an input signal is represented by an input signal sequence: $[S/t][x_1/\bar{t}][x_2/t][x_3/\bar{t}]...[x_k/t][E/-]$ or $[S/t][x_1/\bar{t}][x_2/t][x_3/\bar{t}]...[x_k/\bar{t}][E/-]$ where $t=0$ or 1 , $t=1-\bar{t}$, and x_i 's are integers with $0 < x_1 < x_2 < x_3 < ... < x_k$. Clearly, each $[x_i/t]$ (or $[x_i/\bar{t}]$) implies that input signal value changes from $\bar{t}$ to t (from t to $\bar{t}$) at time x_i . $[S/t]$ and $[E/-]$ represent initial value and final value, respectively. For example, an input signal shown in Figure 1(a) is represented by an input signal sequence shown in Figure 1(b).

In this paper, we assume that each gate g has two input terminals and one output terminal. Additionally, for each gate g a delay time d_g is given. When two input signal sequence $I_A = [S/t_1][x_1/\bar{t}_1][x_2/t_1]...[x_p/t_1][E/-]$ and $I_B = [S/t_2][y_1/\bar{t}_2]...[y_q/t_2][E/-]$ are given to two input terminals of a gate g , then g is said to be evaluable, and an output signal sequence I_C is calculated according to the logic (that is, AND, OR, NAND, NOR, EOR) of the gate. We assume that the evaluation of the gate g needs $(p+q)\tau$ time, and we define $(p+q)\tau$ as the evaluation time of the gate g . Thus, the evaluation times are obtained for evaluable gates only. Consider AND gate and two input signal sequences I_A and I_B shown in Figure 2(a) and 2(b). We assume that a delay time of AND gate is 5. Then, an output signal sequence I_C shown in Figure 2(c) is calculated according to AND logic and the delay time. The evaluation time is $(2+3)\tau = 5\tau$.

We consider a parallel logic simulation of a combinational circuit C . Each gate in C whose input terminals are not output terminals of any other gates are called an input gate of C . We call any input terminal of the input gate of C as primary input terminal of C . Figure 3 shows an example of a typical combinational circuit. In Figure 3, input terminals I_1 - I_{16} are primary input terminals of the circuit.

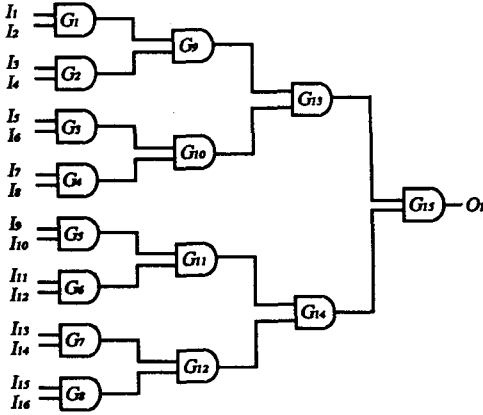


Figure 3 Combinational Circuit

Generally speaking, a parallel logic simulation is executed on a logic simulation system on large-scale MIMD multiprocessors. The simulation system consists of one control processor and n ($n \geq 2$) computing processors. Control processor includes two kernel functions for parallel simulations: processor scheduling for load distribution and message scheduling for synchronization. Among them, we discuss only processor scheduling. Each computation processor evaluates gates, which are assigned to it. Figure 4 gives a conceptual illustration of a logic simulation system. For example, a set of gates $\{G_1, G_2, G_7, G_8, G_9, G_{12}\}$ is assigned to computing processor P_1 . During the evaluation of these gates, computing processor P_1 must communicate with other computing processors in order to receive input signal sequences or send output signal sequences. For this communication, the logic simulation system needs communication overheads. However, in this paper, we neglect these

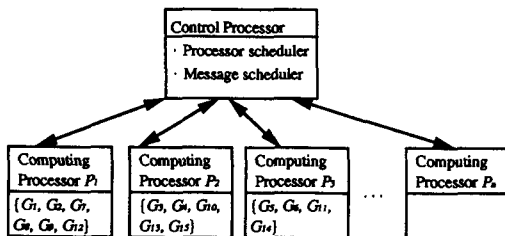


Figure 4 Parallel logic simulation

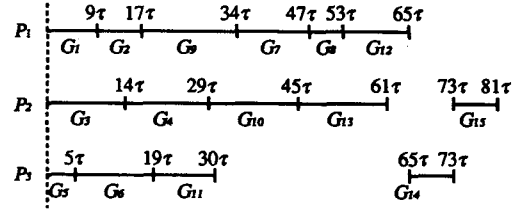


Figure 5 Scheduling table

communication overheads and consider only evaluation times of gates on computing processors.

In order to represent a processor scheduling, a so-called gant chart is usually used. In this paper, we also use this chart and call it a scheduling table. Figure 5 shows an example of a scheduling table. From this figure we know that computing processor P_1 evaluates gate G_1 from time 0 to time 9τ , then P_1 evaluates gate G_2 from time 9τ to time 17τ , and so on. Similarly, computing processor P_2 evaluates several gates. However, P_2 doesn't evaluate any gate from time 61τ to time 73τ . This implies that gate G_{15} doesn't become evaluable until time 73τ , when an input signal sequence for one of input terminal of gate G_{15} is sent from P_3 . That is to say, P_2 waits for the completion of the evaluation of gate G_{14} by P_3 . Clearly, we can get that the similar waiting happens between P_3 and P_1 . In this case, the evaluation of all gates is over at time 81τ . We call this time 81τ the total simulation time.

3 Problem Formulation

In this paper, we define a new scheduling problem for a parallel logic simulation.

Definition 1 The following (1) - (3) are given as input of the processor scheduling problem:

- (1) Combinational circuit C and delay times of gates in C .
- (2) Input signal sequences for input terminals of C .
- (3) Number of computing processor n .

Then, the processor scheduling problem must find a processor scheduling that minimizes the total simulation time. We call such a processor scheduling an optimum solution of the processor scheduling problem.

Generally, it is very hard to find an optimum solution of the processor scheduling problem. The following (1) and (2) summarize the unique features that are quite different from ordinary scheduling problems.

- (1) If an output terminal of a gate g is connected to an input terminal of a gate g' , then an input signal sequence given to the input terminal of g' is not determined until the evaluation of g is over.
- (2) The evaluation time of a gate is not constant, but depends on input signal sequences, which are given to input terminals of the gate.

We note that the feature (1) brings about waitings among computing processors (as shown in Figure 5). Concerning the feature (2), the evaluation time of a gate is gotten when the gate becomes evaluable.

For convenience, we define a feasible solution of the processor scheduling problem as a processor scheduling which can evaluate all gates in C , but can not realize minimization of the total simulation time.

Input signal sequence	Input terminal
[S/1][20/0][40/1][60/0][80/1][100/0][E/-]	I_6, I_8, I_{16}
[S/0][5/1][20/0][35/1][50/0][65/1][80/0][95/1][110/0][E/-]	I_5, I_{12}, I_{13}
[S/0][10/1][30/0][50/1][70/0][90/1][110/0][E/-]	I_7, I_{11}, I_{15}
[S/0][10/1][15/0][20/1][25/0][30/1][60/0][65/1][70/0][75/1][E/-]	I_4, I_5, I_8
[S/1][E/-]	I_1, I_4, I_{10}, I_{16}

Figure 6 Input signal sequences

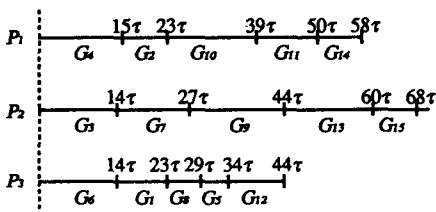


Figure 7 Scheduling table

Now, we explain solutions of the processor scheduling problem. Consider a combinational circuit shown in Figure 3 again, and assume that delay time of each gate in the circuit is one. Next, we assume that five kinds of input signal sequences shown in Figure 6 are given to primary input terminals I_1 - I_{16} of the circuit. Then, take $n=3$, that is three computing processors P_1 , P_2 , and P_3 . For this processor scheduling problem, the scheduling shown in Figure 5 gives a feasible solution. On the other hand, scheduling table shown in Figure 7 gives an optimum solution.

4 Scheduling Algorithms

In this paper, we discuss the following two scheduling algorithms:

- (1) Algorithm STATIC...A set of gates to be evaluated is assigned to each computing processor at the beginning of the simulation. This assignment is based on a partitioning strategy called "Cascade-oriented partitioning (of a given circuit C)" [7].
- (2) Algorithm MET...A gate with the maximum evaluation time is selected dynamically and assigned to any computing processor which is idle at that time.

4.1 Algorithm STATIC

Phase 1:(Clustering of gates) ... Construct several clusters by grouping gates that are connected to each other into a cascade-form. By starting from the primary input of the circuit C , the path of the gate connection is traced straightforwardly and subsequent gates are included in a cluster. In order to assure load balancing, too small clusters are merged and conversely extremely large clusters are cut into several smaller clusters.

Phase 2:(Assignment of gates to processors) ... Clusters of gates constructed at Phase 1 are assigned to n computing processors

at random. However, each processor should contain a roughly equal number of gates.

Phase 3: (Gate evaluation) ... Each processor takes any gate which becomes evaluable and actually evaluate it. If necessary, the processor send an output signal sequence just obtained to another computing processor.

As an example, consider a combinational circuit shown in Figure 3 and take $n=3$. Then, Phase 1 gives five clusters $C_1=\{G_1, G_2, G_9\}$, $C_2=\{G_{13}, G_{15}\}$, $C_3=\{G_3, G_4, G_{10}\}$, $C_4=\{G_5, G_6, G_{11}, G_{14}\}$, $C_5=\{G_7, G_8, G_{12}\}$. Phase 2 assigns C_1 and C_5 to P_1 , C_2 and C_3 to P_2 , and C_4 to P_3 . Phase 3 generates scheduling table shown in Figure 5.

We should note that Phase 1 and Phase 2 of Algorithm STATIC are executed without considering evaluation times of gates. Thus, it is generally very difficult to get an optimum solution by Algorithm STATIC for a given processor scheduling problem.

4.2 Algorithm MET

Let EX represents a set of evaluable gates. As explained before, for any executable gate g (in EX) the evaluation time of gate g is easily calculated based on the signal sequence given to gate g .

The outline of Algorithm MET is as follows:

- Step1 Initialize a set EX
- Step2 Select a gate g with the maximum evaluation time from the set EX .
- Step3 Assign the gate g to any idle computing processor, and calculate an output signal sequence of the gate g .
- Step4 Put gates that become evaluable into the set EX , and if necessary send the output signal sequence to other computing processors.
- Step5 If $EX=\emptyset$, then stop. Otherwise goto Step2.

Consider a combinational circuit shown in Figure 3 and take $n=3$ again. At Step1, EX

$= \{G_1, G_2, G_3, G_4, G_5, G_6, G_7, G_8\}$ is obtained. Then, since the evaluation time of G_4 is 15τ and its maximum, G_4 is evaluated by P_1 at Step3. Next, G_3 (with evaluation time 14τ) is evaluated by P_2 at Step3 and G_{10} is put into EX . Then, $G_6, G_2, G_7, G_1, G_{10}, G_8, G_9, G_5, G_{12}, G_{11}, G_{13}, G_{14}, G_{15}$ are selected and evaluated successively. These evaluations of gates generate scheduling table shown in Figure 7.

We should note that Step 3 should select very carefully an idle computing processor if we take into consideration communication overheads for sending output signal sequences among computing processors. That is, if two gates g and g' such that an output terminal of g is connected to an input terminal of g' , and both g and g' are evaluated by the same computing processor, then no communication overhead is needed. However, if g and g' are evaluated by different computing processors, then the communication overhead is no longer negligible.

5 Experimental Evaluation

In order to evaluate Algorithm STATIC and Algorithm MET, we took eighteen benchmark circuits from [8] and [9], and measured the total simulation time of circuits.

In the simulation, we generate randomly a sequence over 0 and 1 with the length 1000τ , and get an input signal sequence for each input terminal of the circuit. Additionally we assume that the delay time of any gate in the circuit is 1τ .

Table 1 summarizes simulation results. For example, take a combinational circuit called z4ml. The total simulation time of a processor scheduling (strictly speaking, a feasible solution) obtained by Algorithm STATIC is 3114τ . On the other hand, the total simulation time by Algorithm MET is 1299τ . Thus, the ratio between these resultant times is 0.42.

Figure 8 shows the details of circuit z4ml, which includes seventy NOR gates and seven

Table 1 Simulation result

Circuit Name	STATIC (a)	MET (b)	(b)/(a)
Z4ml	3114	1299	0.42
9symml	5351	3344	0.62
f51ml	4257	2222	0.52
b9	3545	1787	0.50
C432	6771	3460	0.56
apex7	7460	3690	0.49
C499	20913	8096	0.39
C880	14189	5835	0.41
apex6	20515	10345	0.50
C1355	23504	8409	0.36
rot	20839	10170	0.49
C1908	26526	10640	0.40
C2670	36155	16856	0.47
C3540	42910	18066	0.42
C5315	83585	34487	0.41
C6288	124834	44424	0.36
C7552	122130	50217	0.41
des	167050	75362	0.45

primary input terminals of the circuit. Then, Figure 9 shows outlines of seven input signal sequences that are generated randomly. Finally, Figure 10 and 11 show snapshots of simulations of Algorithm STATIC and Algorithm MET, respectively. In these Figures, $\text{PROC} = i : \text{GATE} = j : \text{TIME} = k$ implies that computing processor P_i finishes the evaluation of gate G_j at time $k \cdot \tau$. We note that gate G_{70} is the last gate evaluated by Algorithm STATIC and gate G_{24} is the last gate evaluated by Algorithm MET.

From Table 1, we can conclude that Algorithm MET attains a fairly good improvement result compared with Algorithm STATIC.

6 Conclusion

We have discussed processor scheduling algorithms for parallel logic simulations of combinational circuits. After pointing out several unique features which distinguish processor scheduling in this paper from ordinary processor scheduling, we have proposed a new algorithm which finds processor scheduling dynamically. We also presented experimental evaluations of the proposed algorithm using several benchmark circuits.

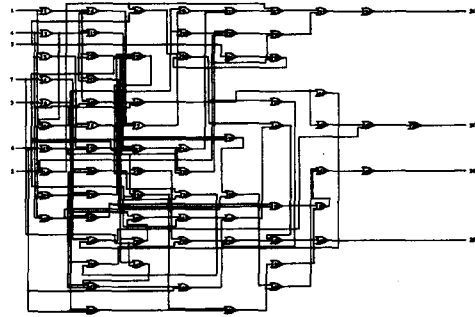


Figure 8 Circuit Z4ml

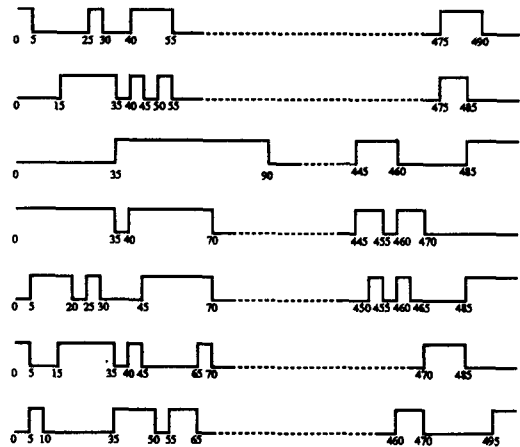


Figure 9 Randomly generated signal

As we have already mentioned in Section 2 and 3, the formulation in this paper is very simple, and not be useful from the practical point of views. Thus, as future research work towards practical applications, we should try evaluate the total simulation time correctly. Putting the question in the more concrete form, we must take into consideration communication overheads as well as time for execution of Algorithm MET.

References

- [1] T. Blank: "A survey of hardware accelerators used in computer-aided design", IEEE Design and Test of Computers, pp.21 - 39(1984).
- [2] F. Hirose, M. Ishii, J. Niitsuma, T. Shinodo, N. Kawato, H. Hamamura, K. Uchida and H. Yamada: "Simulation Pro

cessor "SP", Proceedings of IEEE International Conference on Computer Aided Design, pp.484 - 487(1987).

- [3] L. Soule' and T. Blank: "Parallell logic simulation on a distributed memory machine", Proceedings of 25th ACM/IEEE Design Automation Conference, pp.166 - 171(1988).
- [4] Itthihai A., T. Okamoto, I. Shirakawa and T.Seko: "An extended pipelined logic simulation", Proceedings of 1989 Joint Technical Conference on Circuits/Sys-tems, Computers and Communications, pp.459 - 463(1989).
- [5] M. A. Breuer and A. D. Friedman : *Diagnosis and Reliable Design of Digital Systems*, Computer Science Press(1976).
- [6] N. Ishiura, H. Yasuura and S. Yajima: "Time first evaluation algorithm for high-speed logic simulation", Proceedings of IEEE International Conference on Computer - Aided Design, pp.197 - 199 (1984).
- [7] Y. Matsumoto and K.Taki: "Parallel logic simulation on a distributed memory machine", Proc. 1992 European Conf. on Design Automation, pp. 76 - 80(1992).
- [8] F. Braglez and H. Fujiwara: "A neutral netlist of 10 combinational benchmark circuits and a target translator in FORTRAN", Proceedings of IEEE International Symposium on Circuits and Systems, special session on ATPG and fault simulation(1985).
- [9] R. Lisanke: "Logic synthesis and optimization benchmarks user guide version 2.0", Technical report, Microelectronics Center of North Carolina(1988).
- [10] T. Seko, Itthichai A. and I. Shirakawa: "New scheduling problem for parallel logic simulation of combinational circuit", Trans. on IEICE Vol. J76 - A, No. 6, pp.916 - 918.

```

STATIC
name z4ml
filename = event.z4m
qu filename = z4m.c14
START
PROC = 0 : GATE = 1 : TIME = 36
PROC = 2 : GATE = 2 : TIME = 36
PROC = 3 : GATE = 4 : TIME = 36
PROC = 0 : GATE = 3 : TIME = 108
PROC = 1 : GATE = 11 : TIME = 108
PROC = 2 : GATE = 8 : TIME = 72
PROC = 3 : GATE = 13 : TIME = 73
PROC = 0 : GATE = 5 : TIME = 178
      :
PROC = 0 : GATE = 61 : TIME = 2806
PROC = 2 : GATE = 66 : TIME = 2822
PROC = 1 : GATE = 62 : TIME = 2849
PROC = 3 : GATE = 67 : TIME = 2906
PROC = 3 : GATE = 68 : TIME = 2990
PROC = 3 : GATE = 69 : TIME = 3060
PROC = 3 : GATE = 70 : TIME = 3114
END
simulation time = 3114

```

Figure 10 Simulation of Algorithm STATIC

```

MET
name z4ml
filename = event.z4m
START
PROC = 0 : GATE = 3 : TIME = 72
PROC = 1 : GATE = 25 : TIME = 72
PROC = 2 : GATE = 49 : TIME = 72
PROC = 3 : GATE = 16 : TIME = 39
PROC = 3 : GATE = 34 : TIME = 112
PROC = 0 : GATE = 13 : TIME = 109
PROC = 1 : GATE = 2 : TIME = 108
PROC = 2 : GATE = 8 : TIME = 108
      :
PROC = 1 : GATE = 38 : TIME = 1151
PROC = 0 : GATE = 17 : TIME = 1146
PROC = 3 : GATE = 22 : TIME = 1193
PROC = 1 : GATE = 47 : TIME = 1215
PROC = 3 : GATE = 23 : TIME = 1262
PROC = 1 : GATE = 48 : TIME = 1259
PROC = 3 : GATE = 24 : TIME = 1299
END
simulation time = 1299

```

Figure 11 Simulation of Algorithm MET

パラメトリックグラフにおける最大クリーク重みの折れ点数

多喜 正城・法林 浩之*・柏原 敏伸*・荒木 俊郎*

The Number of Breakpoints of Weighed Maximum Clique in Parametric Graph

Masakuni TAKI, Hiroyuki HORIN,
Toshinobu KASHIWARA and Toshiro ARAKI

数理計画問題において、各コストなどの係数がパラメータ λ の関数で表わされるような問題をパラメトリック問題と呼ぶ。与えられたパラメトリック問題に対する最適解を表す関数 $P(\lambda)$ とすると、 $P(\lambda)$ の形状を多項式で決定できるかどうかは、 $P(\lambda)$ の傾きが変化する点(折点)の総数 $\beta(P)$ が問題のサイズの多項式オーダーかどうかによって強く依存する。むしろは頂点の重みを実変数 λ の関数で表されるようなグラフをパラメトリックグラフと呼ぶ。

本研究では、各頂点の重みが λ の1次関数であるようなパラメトリックグラフ $G=(V, E)$ (頂点数 n 個)における重み最大クリークを求める問題について考察を行い、 $\beta(P)=\Omega(2^{\sqrt{n}})$ となるグラフの存在を示す。

1. まえがき

数理計画問題において、各コストなどの係数が定数でなく、あるパラメータ λ の関数で表されるような問題をパラメトリック問題と呼ぶ。パラメトリック問題においては、最適解は一般に λ の関数として表されるが、この関数の数学的性質を個々の具体的な問題について評価することが重要なテーマとなる。最近、さまざまな問題がパラメトリック問題に帰着できることが分かっており最適解を表す関数の性質や、最適解を表す関数を求める方法及びその計算量が研究されている。

頂点集合が V 、辺の集合が E であるようなグラフを、 $G=(V, E)$ とする。従来のグラフは、むしろは頂点に重みを持たせる場合、それらの重みは変化しないものとしてきた。これに対し、重みを実変数 λ をパラメータとする関数で表されるようなグラフをパラメトリックグラフと呼ぶ。パラメトリックグラフの例を図1に示す。

本研究を通じて、重みは λ の1次関数であるも

のとする。この時、与えられた問題に対する最適解を表す関数を $P(\lambda)$ とすると、 $P(\lambda)$ は区分的線形な凸関数となることが知られている。例えば、図1のグラフの対する最短経路を求める問題の最適解は図2で表されるような形のものになる。ここで、 $P(\lambda)$ の傾きが変化する点を折点と呼ぶことにする。 $P(\lambda)$ の形状を決定するにはすべての折点を求めることが必要となるが、Gusfield⁽⁴⁾は非パラメトリックな同じ問題のアルゴリズムを折

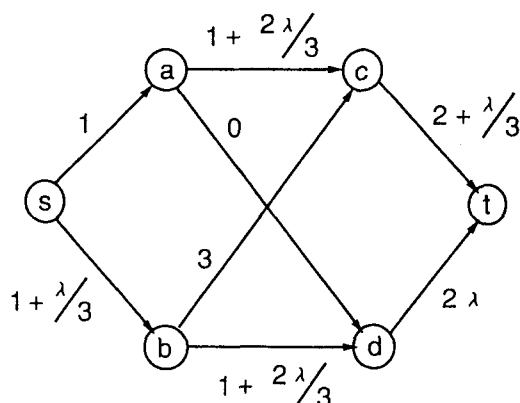


図1 パラメトリックグラフ

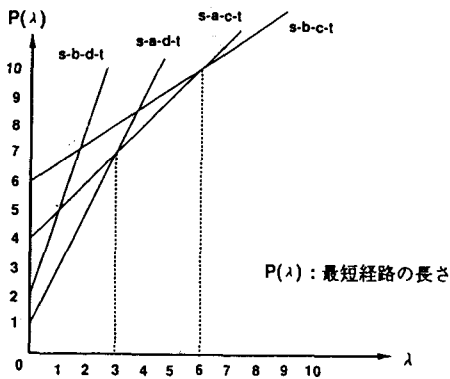


図2 前述のグラフに対する最短路問題の最適解関数

点当たりほぼ1回実行することによって、全ての折点を求め得ることを示している。従って、非パラメトリック問題のアルゴリズム、ならびに折点の総数 $\beta(P)$ がいずれも問題のサイズの多項式オーダーであれば、 $P(\lambda)$ を多項式時間で決定することができる。このような折点数 $\beta(P)$ は問題の複雑度を表す一つの重要な尺度であると考えられ、そのためパラメトリックグラフに関するさまざまな問題について、その最適解を表す関数の折点数を評価する研究が行われている。

本研究では、頂点にパラメトリックな重みを持たせたグラフにおける重み最大クリークの重み関数について考察する。クリークに関するパラメトリック問題の研究はこれまでほとんど報告されていない。クリークと関数の深いグラフ構造としては独立頂点集合があげられるが、独立頂点集合に関する問題も、与えられたグラフが外平面グラフである場合に、その重み最大の独立頂点集合の重みを表す関数の折点数が $O(n^{2.87})$ であるということがZhu⁽⁵⁾によって示されているのがほぼ唯一の結果であるが、多喜等⁽¹¹⁾が、 $\beta(P) = \Omega(n^{\log n})$ となるようなcomparability graphの存在を示し、 $\beta(P) = O(n^{\log n})$ となる任意のcomparability graphの存在を示した。本研究においては、一般に $\beta(P) = \Omega(2^{\sqrt{n}})$ のグラフの存在を示す。

以下、2章では、本論文に用いる用語および問題の定義を行う。3章で一般のグラフにおける最大クリーク重みの折点数を論じ、4章で今後の問題点等を論じる。

2. 用語および問題の定義

頂点集合が V 、辺集合が E であるようなグラフ

を $G = (V, E)$ とする。各頂点が $v \in V$ の重みが変数 λ をパラメータとする関数 $C_v(\lambda)$ で与えられて居るようなグラフをパラメトリックグラフと呼ぶ。ここで本論文における重み関数は全て λ の1次関数であるものとする。従って重み関数 $C_v(\lambda)$ は、それぞれ定数の傾き a_v と切片 b_v を用いて次のように表される。

$$C_v(\lambda) = a_v \lambda + b_v$$

パラメトリックグラフ G 、パラメータ λ の変域 $(\lambda_{\min}, \lambda_{\max})$ 、さらにそのグラフに対するある問題が与えられているものとする。このとき、その問題に対する最適解を求めるのがパラメトリックグラフ問題である。

パラメトリックグラフ問題に対する最適解は、変域 $(\lambda_{\min}, \lambda_{\max})$ における λ の各値に対する最適な解の集合ということになるが、この種の問題に対する最適解は一般に図3に描かれるような λ の関数となる。ここで、最適解を表す関数を $P(\lambda)$ と表すことにする。 $P(\lambda)$ の傾きが変化する λ の値を折点と呼ぶ。また、 $P(\lambda)$ に存在する折点の数を $P(\lambda)$ の折点数と呼び、 $\beta(P)$ と表す。

$\beta(P) = N$ すなわち、 $P(\lambda)$ に N 個の折点が存在するとき、それらを、

$\lambda_{(1)} < \lambda_{(2)} < \dots < \lambda_{(N)}$ と表すことにする。なお、 $\lambda_{\min} = \lambda_{(0)}$ 、 $\lambda_{\max} = \lambda_{(N+1)}$ であるものとする。

このとき、 $P(\lambda)$ の重要な性質として、以下の2つが挙げられる。

(区分線形) 連続した2つの折点を両端に持つ閉区間 $[\lambda_{(i)}, \lambda_{(i+1)}]$ ($i=0, 1, 2, \dots, N$) においてその区分内での最適解は線形関数となる。これを区分線形と呼ぶ。

(凹関数) 各区間における線形関数の傾きは単

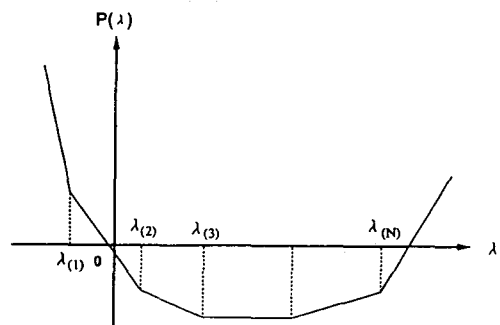


図3 最適解の形状

調に増加、もしくは減少する。従って、最適解を表す関数は図3のような凹型になる。このような関数を凹関数と呼ぶ。

グラフ $G=(V, E)$ の任意の部分頂点集合を A ($\subseteq V$)、 A の頂点数は γ とする。このとき、 A の任意の相異なる2点に対し、それらを両端点とする辺がちょうど一つ存在する時、 A を γ -クリーク、あるいは単にクリーク、もしくは完全部分グラフという。 γ -クリークは K_γ と表記される。1つの頂点はそれ自体で K_1 である。また、 K_0 は頂点集合が空のグラフを指すことにする。図4は頂点数5個のクリークである。

$A=(V_A, E_A)$ をグラフ G 内のクリークとする。 A を部分集合として含むようなクリークが G に存在しない時、 A を極大クリークと呼ぶ。また、 V_A に含まれる頂点の重みの和をクリークの重みと呼ぶ。 G の任意のクリークの中で重みが最も大きいものを重み最大クリークという。

与えられたグラフ G がパラメトリックグラフであれば、各頂点の重み関数 $C_v(\lambda)$ はすべて λ の1次関数である。従って、クリーク A の重みを $W_A(\lambda)$ と表すことにすれば

$$W_A(\lambda) = \sum_{v \in V} C_v(\lambda)$$

であり、 $W_A(\lambda)$ も λ の1次関数となる。また、 G 内に存在するクリークの数 $C_L(G)$ と表し、 G に存在するクリークの集合を $A_G = \{A_1, A_2, \dots, A_{C_L(G)}\}$ とする。各クリーク A_i の重み関数は $W_{A_i}(\lambda)$ ($1 \leq i \leq C_L(G)$) で表されるが、それらの最大値を表す関数、すなわち、

$$P_{A_G}(\lambda) = \max\{W_{A_i}(\lambda) | 1 \leq i \leq C_L(G)\}$$

が G の重み最大クリークの重み関数となる。明らかに、 $P_G(\lambda)$ は区分線形な凹関数となるが、これ

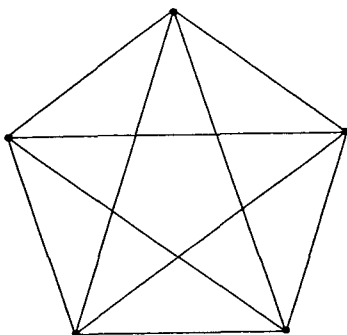


図4 頂点数5個のクリーク

は G の重み最大クリークがある特定のクリークではなく、 λ の値によって変化するものであることを示している。ここで $P_G(\lambda)$ の折点数を N とすると、連続した2つの折点を両端に持つ閉区間 $[\lambda_{(k)}, \lambda_{(k+1)}]$ ($k=0, 1, 2, \dots, N$) において、 $P_G(\lambda) = W_{A_i}(\lambda)$ を満たすような A_i がその区間における G の重み最大クリークとなる。

以上の用語を用いて、本研究で考察する問題は次のように定義される。

【問題】 あるパラメトリックグラフ $G=(V, E)$ が与えられたとき、 G に存在するクリークの集合を $A_G = \{A_1, A_2, \dots, A_{C_L(G)}\}$ とする。このとき、 G の重み最大クリークの重み関数 $P_{A_G}(\lambda)$ の折点数 $\beta(P_{A_G})$ を求めよ。

3. 一般のグラフにおける最大クリーク重みの折点数

本節では、一般のパラメトリックグラフに対する重み最大クリークを求める問題について、最適解を表す関数の折点数が $\Omega(2^{\sqrt{n}})$ 個となるようなグラフを提示する。

本節で提示するグラフは、文献(1)で提示されているグラフ $G_{\min}=(V_{\min}, E_{\min})$ を変形したものである。図5に $G_{\min}=(V_{\min}, E_{\min})$ を示す。 $V_{\min} = \{s, t, 1, 2, \dots, n\}$ とし、相異なる2頂点 $i, j \in V_{\min}$ 間の辺の重み $C_{ij}(\lambda)$ を以下のように定める。

$$C_{ij}(\lambda) = \begin{cases} 0 & \text{if } j=t \\ 2^{j-1}\lambda & \text{if } i=s \\ -2^{i+j-3} & \text{その他} \end{cases}$$

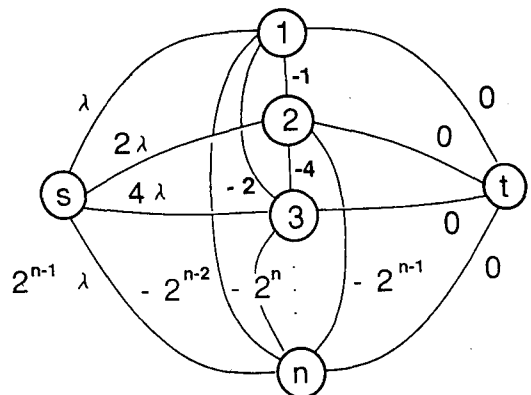


図5 Carstensenのグラフ

Carstensenは、このグラフに対するst重み最小カットを求める問題に関して、以下の補題を証明している。

(以下、stカットを単にカットと呼ぶことにする)

〔補題1〕 $G_{\min}$ に対する最小重みカットの重み関数 $f_{G_{\min}}(\lambda)$ は $2^n - 1$ 個の折点を持つ。

ここで、 $G_{\min}$ の各辺の重み $C_{ij}(\lambda)$ を以下のように変更したグラフを $G_{\max} = (V_{\max}, E_{\max})$ とする。(図6参照)

$$C_{ij}(\lambda) = \begin{cases} 0 & \text{if } j = t \\ -2^{j-1}\lambda & \text{if } i = s \\ 2^{i+j-3} & \text{その他} \end{cases}$$

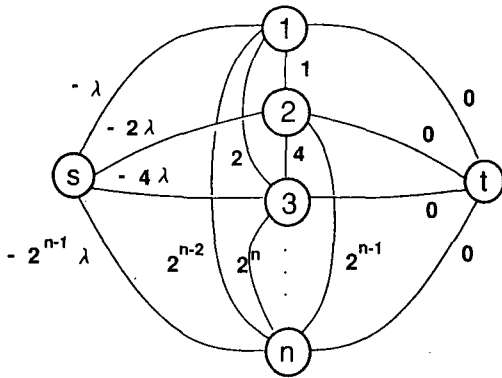


図6 最大カットのグラフ

この $G_{\max}$ に対する最大重みカットを求める問題を考える。

$$S \in s, T \in t, S \cap T = \phi, S \cup T = V_{\max}$$

なるカットを (S, T) と表記する。カットは明らかに 2^n 個存在する。ここで、次の補題が成立する。

〔補題2〕 $G_{\max}$ が与えられた時、総数 2^n 個存在するカットに $m = 0, 1, 2, \dots, 2^n - 1$ なる番号を1対1に与え、 m 番目のカットの重み関数 $C(S_m; T_m)(\lambda)$ が

$$C(S_m; T_m)(\lambda) = -m\lambda + \frac{1}{2}m(2^n - m - 1)$$

となるようにできる。

(証明) 文献(1)と同様の方法により、 $G_{\max}$ の任意のカット $(S; T)$ を考える。この重み関数は $T' = T - \{t\}, S' = S - \{s\}$ とおくと

$$C(S; T)(\lambda) = \sum_{i \in S, j \in T} C_{ij}(\lambda)$$

$$= \sum_{i \in T'} C_{si} + \sum_{i \in S'} C_{it} + \sum_{i \in S', j \in T'} C_{ij}$$

$$= \left\{ \sum_{i \in T'} (-2^{i-1}) \right\} \lambda + 0 + \sum_{i \in S', j \in T'} 2^{i+j-3}$$

$$= - \left(\sum_{j \in T'} 2^{j-1} \right) \lambda + \frac{1}{2} \left\{ \sum_{i \in S'} 2^{i-1} \left(\sum_{j \in T'} 2^{j-1} \right) \right\}$$

$$= - \left(\sum_{j \in T'} 2^{j-1} \right) \lambda + \frac{1}{2} \left(\sum_{i \in S'} 2^{i-1} \right) \left(\sum_{j \in T'} 2^{j-1} \right)$$

ここで

$$x(j) = \begin{cases} 1 & \text{if } j \in T \\ 0 & \text{if } j \in S \end{cases}$$

により $x(1), x(2), \dots, x(n)$ を定め、

$$m = \sum_{j=1}^n x(j) 2^{j-1} \text{ とおき、} (S; T) \text{ を } m \text{ 番目のものとする。}$$

さらに、 $(S; T) = (S_m; T_m)$ とおく。すると $-m = - \left(\sum_{j \in T'} 2^{j-1} \right)$ であるから $C(S_m; T_m)(\lambda)$ の傾きは $-m$ となる。さらに

$$\begin{aligned} 2^n - 1 &= \sum_{i=1}^n 2^{i-1} \\ &= \sum_{i \in S'} 2^{i-1} + \sum_{i \in T'} 2^{i-1} \\ &= \sum_{i \in S'} 2^{i-1} + m \end{aligned}$$

よって

$$\sum_{i \in S'} 2^{i-1} = 2^n - m - 1$$

従って

$$C(S_m; T_m)(\lambda) = C(S; T)(\lambda)$$

$$\begin{aligned} &= - \left(\sum_{j \in T'} 2^{j-1} \right) \lambda + \frac{1}{2} \left(\sum_{i \in S'} 2^{i-1} \right) \left(\sum_{j \in T'} 2^{j-1} \right) \\ &= -m\lambda + \frac{1}{2}m(2^n - m - 1) \end{aligned}$$

よって補題2が成立する。

この補題を用いて、重み最大カット問題の折点数に関する次の補題を証明する。

〔補題3〕 $G_{\max}$ に対する最大重みカットの重み関数 $f_{G_{\max}}(\lambda)$ は $2^n - 1$ 個の折点を持つ。

(証明) 明らかに $f_{G_{\max}}(\lambda) = \max \{C(S_m; T_m) \mid m=0, 1, 2, \dots, 2^n-1\}$ である。すべての $m=0, 1, 2, \dots, 2^n-1$ について、カット $(S_m; T_m)$ が最適になるような λ の区間を決定するには、 $m \neq m'$ なる任意の m' に対して

$$C(S_m; T_m) > (S_{m'}; T_{m'}) \quad (1)$$

となるような λ の範囲を求めればよい。

補題2より、式(1)が成立する条件は

$$-m\lambda + \frac{1}{2}m(2^n - m - 1) > -m'\lambda + \frac{1}{2}m'(2^n - m' - 1)$$

$$(m' - m)\lambda > \frac{1}{2}\{(m' - m)(2^n - 1) - (m' + m)(m' - m)\}$$

• $m' < m$ のとき

$$\lambda < \frac{1}{2}\{2^n - 1 - (m' + m)\}$$

上の式の右辺は $m' = m - 1$ の時に最小値を取り、その値は

$$\frac{1}{2}\{2^n - 1 - 2m + 1\} = 2^{n-1} - m$$

よって、 $\lambda < 2^{n-1} - m$ のとき、すべての $m' < m$ について式(1)が成り立つ。

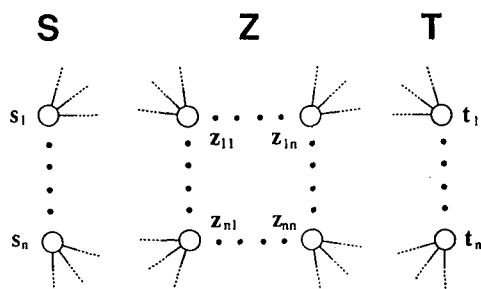
• $m' > m$ のとき

$m' < m$ のときと同様の計算により、 $\lambda > 2^{n-1} - m - 1$ のとき、すべての $m' > m$ について式(1)が成り立つ。

故に、すべてのカット $(S_m; T_m)$ はそれぞれ

$$2^{n-1} - m - 1 < \lambda < 2^{n-1} - m$$

で最適解となる。 $m=0, 1, 2, \dots, 2^n-1$ であるか



S, T, Z はそれぞれ完全グラフ
 $(s_i, t_j) : i \neq j$ なら辺を引く
 $(s_i, z_{jk}) : i \neq j$ なら辺を引く
 $(t_i, z_{jk}) : i \neq j$ なら辺を引く

図7 グラフ G_{CL}

ら、 2^n 個のカットがそれぞれ最大重み関数の 1 つの区間線分に対応する。よって $f_{G_{\max}}(\lambda)$ は $2^n - 1$ 個の折点を持つ。

ここで、グラフ $G_{CL} = (V_{CL}, E_{CL})$ を以下のように定義する。(図7参照)

$$V_{CL} = S \cup T \cup Z$$

$$S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$$

$$T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$$

$$Z = \{z_{ij} \mid 1 \leq i, j \leq n\}$$

$$C_v(\lambda) = \begin{cases} 0 & \text{if } v \in T \\ -2^{i-1}\lambda & \text{if } v = s_i \\ 2^{i+j-3} & \text{if } v = z_{ij}, i \neq j \\ 0 & \text{if } v = z_{ij}, i = j \end{cases}$$

$$E_{CL} = \{(u, v) \mid u, v \in S, u \neq v\}$$

$$\cup \{(u, v) \mid u, v \in T, u \neq v\}$$

$$\cup \{(u, v) \mid u, v \in Z, u \neq v\}$$

$$\cup \{(u, v) \mid u = s_i, v = t_i, i \neq j\}$$

$$\cup \{(u, v) \mid u = s_i, v = z_{jk}, i \neq k\}$$

$$\cup \{(u, v) \mid u = t_i, v = z_{jk}, i \neq j\}$$

このとき、 G_{CL} について以下の補題が成立する。

[補題4] $m=0, 1, 2, \dots, 2^n-1$ について、重みが $C(S_m; T_m)(\lambda)$ に等しくなるようなクリーク A_m が G_{CL} に存在する。

(証明) $m = \sum_{j=1}^n x(j)2^{j-1}$, $j=1, 2, \dots, n$ かつ

$x(j)=0$ 又は 1 により、 $x(j)$ を定める。ここで、

$$\hat{S} = \{i \mid \text{if } x(j) = 1\}, \hat{T} = \{i \mid \text{if } x(j) = 0\}$$

によって $\hat{S}, \hat{T}$ を定め、

$$S_{Am} = \{s_i \mid i \in \hat{S}\}, T_{Am} = \{t_j \mid j \in \hat{T}\}$$

とする。さらに

$$Z_{Am} = \{z_{ij} \mid i \notin \hat{S}, j \notin \hat{T}\}$$

とし、 $V_{Am} = S_{Am} \cup T_{Am} \cup Z_{Am}$ とする。 V_{Am} から誘導されるグラフ A_m はクリークとなる。

A_m の重み関数 $W_{Am}(\lambda)$ は以下の式で計算される。

$$W_{Am}(\lambda) = \sum_{i \in \hat{S}} C_{s_i}(\lambda) + \sum_{j \in \hat{T}} C_{t_j}(\lambda) + \sum_{i \notin \hat{S}, j \notin \hat{T}} C_{z_{ij}}$$

$$= - \left(\sum_{i \in \hat{S}} 2^{i-1} \right) \lambda + \sum_{j \in \hat{T}} 0 + \sum_{i \notin \hat{S}, j \notin \hat{T}} 2^{i+j-3}$$

ここで $\tilde{S} = \hat{T}$, $\tilde{T} = \hat{S}$ であることを用いて、

$$\begin{aligned} W_{Am}(\lambda) &= - \left(\sum_{i \in \hat{S}} 2^{i-1} \right) \lambda + \frac{1}{2} \left\{ \sum_{j \in \hat{T}} 2^{i-1} \left(\sum_{i \notin \hat{S}} 2^{j-1} \right) \right\} \\ &= - \left(\sum_{i \in \hat{S}} 2^{i-1} \right) \lambda + \frac{1}{2} \left(\sum_{j \in \hat{T}} 2^{i-1} \right) \left(\sum_{i \notin \hat{S}} 2^{j-1} \right) \end{aligned}$$

ここで $-m = - \left(\sum_{i \in \hat{S}} 2^{i-1} \right)$ であるから $W_{Am}(\lambda)$ の傾きは $-m$ となる。さらに、

$$2^n - 1 = \sum_{i=1}^n 2^{i-1} = \sum_{i \in \hat{S}} 2^{i-1} + \sum_{j \in \hat{T}} 2^{j-1} = m + \sum_{i \in \hat{T}} 2^{i-1}$$

よって

$$\sum_{i \in \hat{T}} 2^{i-1} = 2^n - m - 1$$

従って

$$\begin{aligned} W_{Am}(\lambda) &= - \left(\sum_{i \in \hat{S}} 2^{i-1} \right) \lambda + \frac{1}{2} \left(\sum_{i \in \hat{T}} 2^{i-1} \right) \left(\sum_{j \in \hat{S}} 2^{j-1} \right) \\ &= -m\lambda + \frac{1}{2} m(2^n - m - 1) \end{aligned}$$

よって、補題 2 より、

$$W_{Am}(\lambda) = C(S_m; T_m)(\lambda)$$

故に、補題 4 が成立する。

[補題 5] G_{CL} の各頂点の重みを、

$$C_v(\lambda) = \begin{cases} W_{Az} + M & \text{if } v \in T \\ -2^{i-1} + W_{Az} + M & \text{if } v = s_i \\ 2^{i+j-3} & \text{if } v = z_{ij}, i \neq j \\ 0 & \text{if } v = z_{ij}, i = j \end{cases}$$

のように変更したグラフ G_{CL} とすると、 G_{CL} における重み最大クリークは常に $\{A_m\}$ のどれか 1 つのクリークに該当する。

(証明) Z のすべての頂点を頂点集合とするクリーク A_z の重み W_{Az} する。 S および T に属する各頂点の重みに W_{Az} を加えてあるので、任意の A_m について常に $W_{Am}(\lambda) > W_{Az}$ が成立する。また、 $f_{Gmax}(\lambda)$ が折点を持つ区間 $[\lambda_{(1)}, \lambda_{(N)}]$ において常に $C_v(\lambda) > 0$ が成立に十分な正の定数 M を S および T のすべての頂点の重みに加え

てあるので、 A_m の部分グラフが最大重みクリークになることはない。従って、各頂点の重みを補題に示されたように変更すれば、そのグラフにおける重み最大クリークは常に $\{A_m\}$ のどれか 1 つのクリークに該当する。よって補題 5 が成立。

補題 4 と補題 5 より、 G_{CL} に対する重み最大クリークの重み関数は少なくとも $2^n - 1$ 個の折点を持つことがわかる。以上の議論をまとめると、次の定理が成立することになる。

[定理 1] G_{CL} の重み最大クリークの重み関数を $PG_{CL}^*(\lambda)$ と表すと、 $\beta(PG_{CL}^*) = 2^n - 1$ である。ここで G_{CL} の頂点数は $n^2 + 2n$ 個である。

[系] G を頂点数 n 個の一般グラフとする。 G の重み最大クリークの重み関数を $PG(\lambda)$ とすると、 $\beta(PG) = \Omega(2^{\sqrt{n}})$ であるようなグラフが存在する。

(証明) 定理 1 より、折点数が $\Omega(2^{\sqrt{n}})$ であるような頂点数 $(n^2 + 2n)$ 個のグラフが存在する。従って、頂点数が n 個分の場合には、折点数が $\Omega(2^{\sqrt{n}})$ 個となるようなグラフが存在する。

4. あとがき

本研究では、頂点の重みがパラメータ λ の 1 次関数で表されるようなパラメトリックグラフに対して、その重み最大クリークの重みを表す関数の折点数について考察を行った。本研究で得られた結果を図 8 に示す。一般には、折点数が $\Omega(2^{\sqrt{n}})$ となるグラフが存在することを証明した。今後、

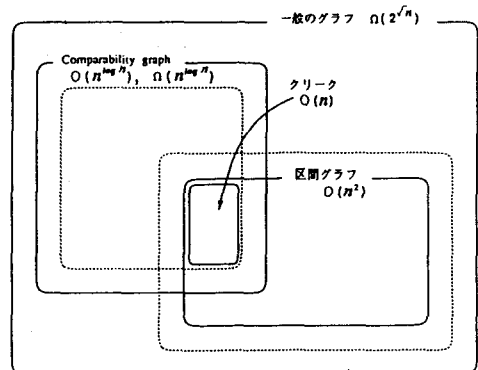


図 8 グラフ階層図

ある種のグラフに対して、折点数を多項式オーダーで抑えられることを証明するか、区間グラフを真に含むようなあるクラスのグラフについて、折点数が多項式で抑えられないことを示せば、重み最大クリーク問題における折点数によるグラフのクラス分けができると考えられる。

参考文献

(1)多喜正城, ある種のグラフにおける最大クリーク、重みの折点数について, 奈良工業高等専門学校研究紀要第28号, P61 - 69, 平成4年度
文献(1)~(10)は紙面の都合上、上記文献(1)のP69を参照の事。

テーパー付角形気泡塔の流動特性

河越 幹男・藤井 優子

Flow Characteristics of Tapered Bubble Column with Square Crosssection

Mikio KAWAGOE and Yuhko FUJII

Gas holdups for tapered bubble columns were measured, and critical gas and liquid flow rate for stable operational regime was determined. The gas holdups were analyzed based on a simple flow model proposed in the present study. As a result, flow pattern in the tapered bubble column was found to be non-distributed flow for air-water system and fully distributed flow for sponge fragment-suspended system. The stable operation region was broader in the tapered bubble column than in the bubble column without taper.

緒 言

気泡塔は好気性菌体の培養装置としてよく用いられている。菌体の中には、担子菌や子囊菌のように液体培養すると球形ペレットを形成するものがある⁴⁾が、菌体へ酸素の供給を十分に行うためには菌体を浮遊状態に保つ必要がある。菌体ペレットは培養の進行と共に成長して大きくなるため、塔断面積が均一な標準型気泡塔では安定浮遊領域が狭く、培養途中で菌体ペレットが塔底に沈降する^{2, 3)}ことがある。このため、標準気泡塔は、このような菌体ペレットを形成する培養には、必ずしも適してはいない。

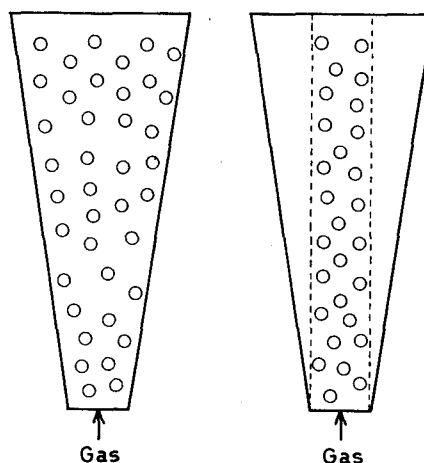
本研究では、固体粒子の安定操作範囲を広くするため、テーパー付気泡塔を試作し、その流動特性について実験的に検討した。

1. 流動モデル

塔底から塔頂に向かって断面積が拡大するテ-

ーパー付気泡塔内の気泡分散状態には、Fig. 1 に示したような理想的な2つの流動様式が考えられる。(a)は気泡が塔断面全体にわたって均一に分布する様式(完全分散モデル)、(b)は気泡の流路断面は塔底と変わらず、塔断面全体には分散しない様式(不完全分散モデル)である。

塔内の全ガス滞留量 V_G は各断面におけるガス



(a) dispersion flow (b) non-dispersion flow

Fig.1 Schematic picture of flow model

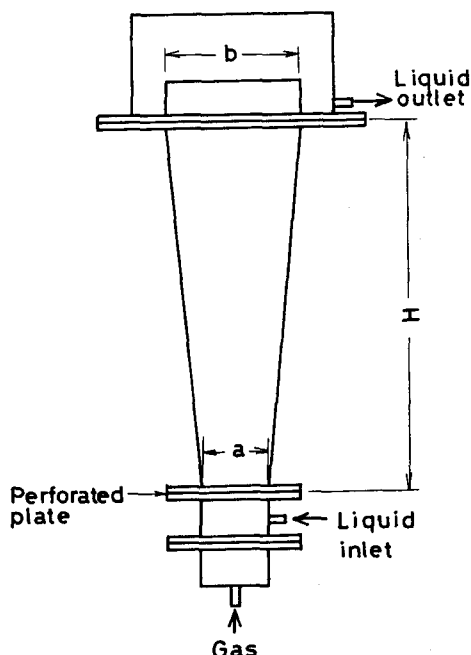


Fig.2 Tapered bubble column used

体積 $\varepsilon \cdot A \cdot dZ$ を塔全体にわたって積分すれば求められる：ここで、 ε 及び A は、高さ Z における局所ガスホールドアップ、及び塔断面積である。 ε は、局所空塔ガス流速を u_G 、気泡上昇速度を u_B とすると、 $\varepsilon = u_G / u_B$ で表され、かつ、 $A \cdot u_G =$ ガス流量 $= G =$ 一定であるので、次式が得られる。

$$V_G = G \int_0^H \frac{dZ}{u_B} \quad (1)$$

ここで、 H は塔高である。従って、気泡上昇速度 u_B が分かれば、(1)式によってガス滞留量 V_G が計算できる。一般に、気泡上昇速度はガス流速と塔径の関数であり、加藤ら¹⁾の実験式に倣うと次式で表される。

$$u_B = u_{B0} + \alpha u_G^{0.2} \{1 - \exp(-\beta u_G^{1.8})\} \quad (2)$$

ここで、 u_{B0} 、 α 、 β は実験定数である。

テーパ付気泡塔の場合、局所空塔ガス流速はガス流量を局所塔断面積で割った値である。このときの断面積を実際に気泡が上昇している流路の断面積と考え、(a)の完全分散モデルの場合は断面積は塔の幾何学的断面積に一致し、高さと共に変化する。(b)の不完全分散モデルのときは高さに無関係に塔底の断面積 A_0 に等しくなる。したがって、(b)の場合には $u_G = G / A_0 =$ 一定となり、(a)のときは u_G は高さと共に変化する。

2. 実験装置及び方法

気泡塔はFig.2に示すような正方形断面を有する高さ1mの透明アクリル樹脂製の塔である。塔は、table 1に示したテーパ度の異なる4種類の塔を用いた。塔底の辺長 a は全ての塔で共通で70mmであるが、塔頂の辺長 b は、Table 1に示すように、塔によって異なる。塔No.1は、塔頂と塔底の断面積が等しく、テーパのない従来の標準気泡塔と同じである。

Table 1 Dimensions of columns used

Column No.	a (mm)	b (mm)	Ratio of areas $(b/a)^2$ [-]
1	70	70	1.0
2	70	99	2.0
3	70	121	3.0
4	70	210	9.0

全塔高： $H=1000\text{mm}$

ガス分散板は直径2mm、孔数16個の孔を正方形配列した多孔板であり、塔底に設置した。液は、多孔板面上に正方形配列した9本のパイプ（内径7mm）により供給した。懸濁粒子が液供給孔に落下しないように、多孔板面の直上に目開き2mmのステンレス製金網を設置した。塔壁には、静圧分布を測定するため、100mm間隔で10個のタップを取り付けた。最下位のタップは多孔板面上50mmの高さにある。各々のタップはマンメータに連結されている。実験系は空気-水系、ポリメチルメタアクリレート（PMMA）のペレット懸濁系、及びスポンジを立方体に切った粒子を懸濁させたスポンジ懸濁系の3種類である。PMMAペレットは円筒形をしており、その球相当径は3.25mm、密度は1165kg/m³、平均終末速度は10.4cm/sであった。スポンジ粒子は、市販のスポンジを一辺が25mm、及び12.5mmの立方体に切り出して作製したものをを用いた。含水状態での密度は水より僅かに大きい程度である。平均終末速度は、25mm角の場合で1.4cm/s、12.5mm角の場合で2.65cm/sであった。これは、気泡塔の培養実験で得られた菌体ペレットの終末速度と類似している⁴⁾。

実験条件は次の通りである。ガス流量は5～50 dm³/min、液流量は0～10 dm³/minの範囲で行った。PMMA粒子の仕込量は0.5kg、1.0kg、2.0kg

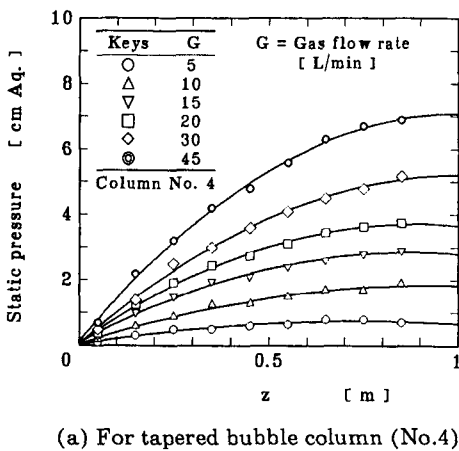
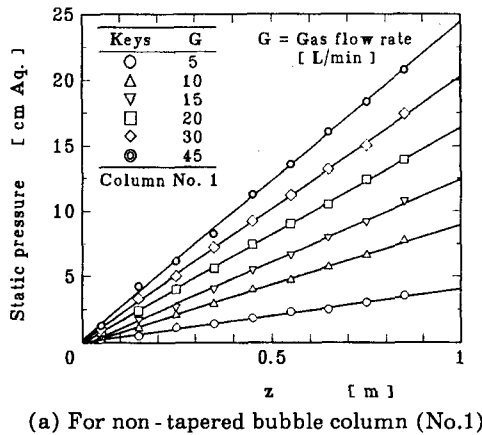


Fig.3 Longitudinal distribution of static pressure

と3種類変化させた。スポンジの仕込量は506cm³(乾燥状態)である。

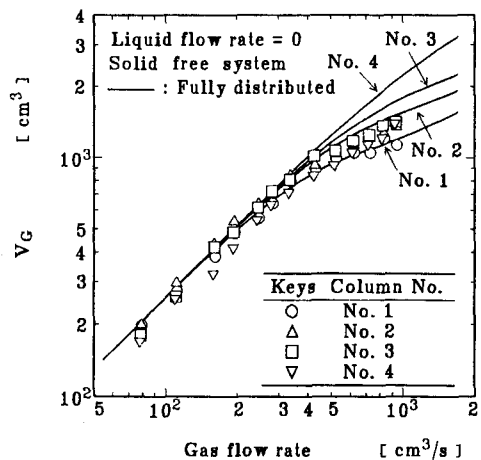
3. 実験結果及び検討

(1)塔軸方向の静圧分布 圧力の釣合から静圧分布とガスホールドアップの関係は次式で与えられる。

$$-\frac{dP}{dZ} = \varepsilon \rho_L g \quad (3)$$

従って、静圧勾配を測定すれば、(3)式から局所ガスホールドアップ ε が算出できる。

Fig.3には静圧分布を示してある。テーパのない塔No.1の場合には、静圧と高さは直線関係にあり、ガスホールドアップは高さ方向に変化しないことを示している。しかし、テーパが最大の塔No.4の場合には、静圧対高さの関係は上に凸の


 Fig. 4 Gas holdup V_G in the tapered bubble column for air-water system

曲線となり、ガスホールドアップが高さと共に減少していることを示している。塔No.2及びNo.3の場合にも同様の傾向が現れ、テーパの度合いが大きい程その傾向は顕著であった。

(2)水-空気系のガス滞留量 本実験の場合、断面積が一定の塔No.1から求めた平均気泡上昇速度の結果から、(2)式中の実験定数は次のように求められた：

$$u_{B0} = 0.38 \text{ m/s} : \alpha = 1.7 : \beta = 50$$

Fig.4には水-空気系のガス滞留量とガス流量の関係を示した。図中に示した実線は上述の値を用いて(1)式と(2)式から求めた計算値である。不完全分散モデルの計算値は塔No.1の値と同一である。このプロットから分かるように、実測値は不完全分散モデルの計算値に近く、気泡の運動は塔断面積の拡大に追従して分散されないで、ほぼ垂直に上昇することを示唆している。

(3)粒子懸濁系のガス滞留量 Fig.5に粒子懸濁系のガス滞留量対ガス流量の関係を示した。

PMMA粒子の場合、空気-水系の場合に比べ、ガス滞留量が減少している。この結果は従来の懸濁気泡塔の結果と一致しており、粒子の存在によって気泡の合体が促進され、大気泡が生成するためと考えられる。スポンジ懸濁系の場合、ガス滞留量は空気-水系、PMMA懸濁系のいずれの場合よりも大きくなり、完全分散モデルの計算値とほぼ一致した。

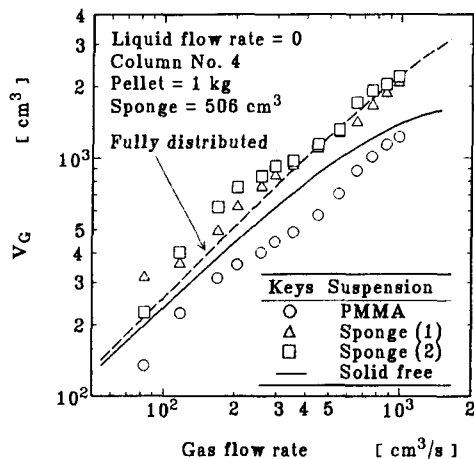


Fig.5 Gas holdup V_G in the tapered bubble column for solid particle suspension system

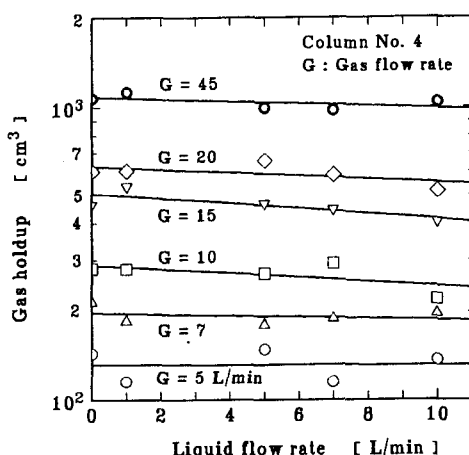


Fig.6 Effect of liquid flow rate on gas holdup

PMMA系とスポンジ系のこの違いは次のように考えられる。粒子と粒子が衝突した場合、運動量の小さい方の粒子の運動の変化が激しい。従って、気泡とPMMA粒子の場合、PMMA粒子の方が分散されてしまうが、運動量の大きいスポンジ粒子と衝突した場合には、逆に気泡の方が分散される。完全分散モデルに近づいたのはこのためと考えられる。

(4)ガス滞留量に及ぼす液流量の影響 Fig.6にガス滞留量に及ぼす液流量の影響を示した。この図から分かるように、ガス滞留量は液流量の影響をほとんど受けない。

(5)粒子の安定浮遊領域 気泡塔を気液並流で操

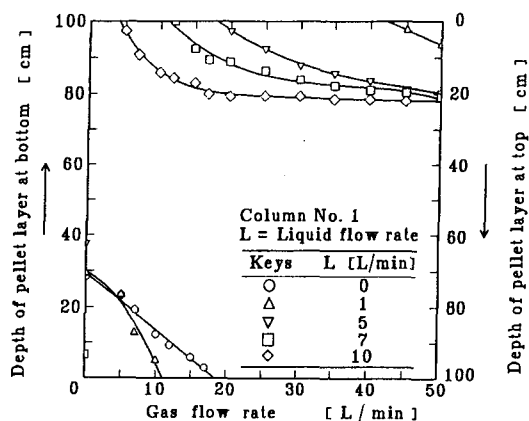


Fig.7 Thickness of pellet layers held up at bottom and top of the bubble column

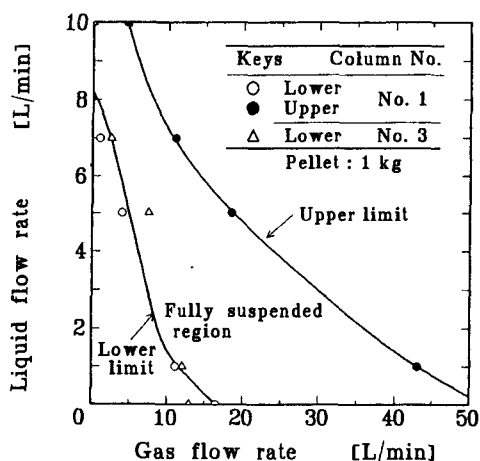


Fig.8 Flow regime diagram for pellet suspension system

作する場合、ガス流速と液流速によって粒子の浮遊状態が決まる。液流速を一定にしてガス流速を増していくと、粒子はあるガス流速で浮遊し始める。ガス流速を一定にして、液流速を増していく場合にも、粒子が浮遊し始める臨界液流速が存在する。さらに液流速を増加させると、粒子は液の流れに伴って塔頂から排出されてしまう。本実験では塔頂に粒子流出防止用のステンレス製金網を設置した。

Fig.7に塔頂及び塔底に滞積した粒子層高とガス流速の関係を示した。塔底の粒子層高が0になるガス流速が浮遊条件の下限値であり、このガス流速を下限限界ガス流速 G_{Cl} とする。一方、塔頂

に粒子が滞積し始めるガス流速が浮遊の上限値であり、これを上限限界ガス流速 G_{C2} とする。 G_{C1} と G_{C2} の間が安定浮遊領域である。

各液流量における G_{C1} と G_{C2} をプロットして、これをFig.8に示した。この図は安定操作範囲を示す操作領域図である。下限限界ガス流速の場合、塔No.1とNo.2では、塔による差異はほとんど認められない。一方、上限限界ガス流速は、塔No.1の場合には実測できたが、No.2の場合には、本実験範囲では認められなかった。換言すると、このことは、本実験範囲ではテーパー度の小さい塔No.2においてさえも上限ガス流速は存在せず、操作範囲が広がったことを示している。

スポンジ系では、限界ガス流量の上限値と下限値は共にほとんど0である。また、終末速度が小さいので、このような系では、液回分操作のみが可能であり、液流通操作は不可能であると考えられる。

結 言

テーパー付気泡塔を試作し、その流動特性を測定した。その結果、気泡の流れは断面積の拡大に十分追随せず、不完全分散流れになることが分かった。しかし、スポンジ粒子のような大粒子を懸濁させると、気泡は断面全体に分散される完全分散モデルに近づくことが分かった。安定浮遊領域はテーパー付気泡塔の方が広がった。

使用記号

a	=length at bottom of the column	[m]
b	=length at top of the column	[m]
G	=gas flow rate	[m ³ /s]
g	=gravitational acceleration	[m/s ²]
u_G	=local superficial gas velocity	[m/s]
V_G	=volumetric gas holdup	[m ³]
Z	=distance from bottom of column	[m]
u_B	=rising velocity of bubbles	[m/s]
u_{B0}	=rising velocity of single bubbles	[m/s]
α	=empirical constant in Eq.(2)	[(m/s) ^{0.8}]
β	=empirical constant in Eq.(2)	[(s/m) ^{1.8}]
ϵ	=local fractional gas holdup	[-]
ρ_L	=density of liquid	[kg/m ³]

文 献

- 1)加藤康夫、西脇昭雄：化学工学、35巻、912(1971)
- 2)河越幹男・末 信一郎：奈良高専研究紀要第27号、109～112
- 3)河越幹男・末 信一郎：化学工学会姫路大会、A10 (1992)
- 4)Kawagoe, M., K. Hyakumura and K. Miki : 3rd German/Japanese Symposium "Bubble Columns", Schwerte(Germany), p.111～120 (1994)

ファジイ代数の決定問題

荒 金 憲 一

The Decision Problem for Fuzzy Algebras

Kenichi ARAGANE

L. A. Zadeh により導入されたファジイ集合([4])における集合算を抽象化した代数系がファジイ代数([1],[3])である。これと演繹的に同値な、式（シーケント）による形式的体系 GFA を考える。本論文では[2]の第1章で紹介されているワンのアルゴリズム（Wang's algorithm）による手法を用いて、 GFA の cut 除去定理の証明とファジイ代数に対する決定問題の肯定的解決を与える。

1. ファジイ代数

[定義 1] (ワードの定義)

- (1) 定数 $0, 1$ はワードである。
- (2) 変数 $p_1, p_2, \dots, p_n, \dots$ はワードである。
- (3) x と y がワードのとき $x \wedge y, x \vee y, \neg x$ はワードである。
- (4) 以上の(1), (2), (3)によって構成された記号列のみがワードである。

ワード全体の集合を A とし、代数系 $\mathfrak{A} = (A; \wedge, \vee, \neg, 0, 1)$ を考える。

[定義 2] (ファジイ代数の定義)

A の任意の元 x, y, z に対して、次の $F1 \sim F10^\circ$ が成り立つとき、代数系 $\mathfrak{A}$ をファジイ代数(FA)とよぶ。

$$F1 \quad x \wedge 0 = 0$$

$$F2 \quad x \wedge 1 = x$$

$$F3 \quad x \wedge x = x$$

$$F4 \quad x \wedge y = y \wedge x$$

$$F5 \quad (x \wedge y) \wedge z = x \wedge (y \wedge z)$$

$$F6 \quad x \wedge (x \vee y) = x$$

$$F7 \quad x \wedge (y \vee z) = (x \wedge y) \vee (x \wedge z)$$

$$F8 \quad \neg \neg x = x$$

$$F9 \quad \neg(x \wedge y) = \neg x \vee \neg y$$

$$F10 \quad (x \wedge \neg x) \wedge (y \vee \neg y) = x \wedge \neg x$$

$$F1^\circ \quad x \vee 1 = 1$$

$$F2^\circ \quad x \vee 0 = x$$

$$F3^\circ \quad x \vee x = x$$

$$F4^\circ \quad x \vee y = y \vee x$$

$$F5^\circ \quad (x \vee y) \vee z = x \vee (y \vee z)$$

$$F6^\circ \quad x \vee (x \wedge y) = x$$

$$F7^\circ \quad x \vee (y \wedge z) = (x \vee y) \wedge (x \vee z)$$

$$F9^\circ \quad \neg(x \vee y) = \neg x \wedge \neg y$$

$$F10^\circ \quad (x \vee \neg x) \vee (y \wedge \neg y) = x \vee \neg x$$

[定義 3] (不等式の定義)

x, y を A の任意の元とする. $x \wedge y = x$ を $x \leq y$ と書く.

[1], [3] と同様にして, 次の定理が成り立つ.

[定理 1] 代数系 $\mathfrak{A}$ が FA であり, 定義 3 により $x \leq y$ が定義される $\iff A$ の任意の元 x, y, z に対して $\mathfrak{A}$ で次の $T1 \sim T11$ が成り立つ.

$$T1 \quad x \leq x$$

$$T2 \quad x \leq y, y \leq x \implies x = y$$

$$T3 \quad x \leq y, y \leq z \implies x \leq z$$

$$T4 \quad x \leq y \iff x \vee y = y$$

$$T5 \quad 0 \leq x$$

$$T6 \quad x \wedge y \leq x, x \wedge y \leq y$$

$$T7 \quad z \leq x, z \leq y \implies z \leq x \wedge y$$

$$T8 \quad x \wedge (y \vee z) \leq (x \wedge y) \vee (x \wedge z)$$

$$T9 \quad x \leq y \iff \neg y \leq \neg x$$

$$T10 \quad x \leq \neg \neg x$$

$$T11 \quad x \wedge \neg x \leq y \vee \neg y$$

$$T5^\circ \quad x \leq 1$$

$$T6^\circ \quad x \leq x \vee y, y \leq x \vee y$$

$$T7^\circ \quad x \leq z, y \leq z \implies x \vee y \leq z$$

$$T8^\circ \quad (x \vee y) \wedge (x \vee z) \leq x \vee (y \wedge z)$$

2. ファジイ代数の式による形式的体系 GFA

[定義 4] (式の定義)

ワードの有限列をギリシア大文字 Γ, Δ などと表す. ワードの有限列 $a_1, \dots, a_m$ を Γ とし, $b_1, \dots, b_n$ を Δ とするとき, FA での不等式 $a_1 \wedge \dots \wedge a_m \leq b_1 \vee \dots \vee b_n$ を式 (シーケント) $\Gamma \rightarrow \Delta$ で表す. ただし, Γ が空のとき ($\Gamma = \emptyset$ と書く) $1 \leq b_1 \vee \dots \vee b_n$ とし, $\Delta = \emptyset$ のときは $a_1 \wedge \dots \wedge a_m \leq 0$ とする.

このとき, ファジイ代数 (FA) の式による形式的体系 GFA を次のように定義する.

[定義 5] (GFA の定義)

[1] 始式

$$(B1) \quad a \rightarrow a \quad (B2) \quad 0 \rightarrow \quad (B3) \quad \rightarrow 1 \quad (B4) \quad a, \neg a \rightarrow b, \neg b$$

[2] 推論規則

(1) 構造に関する推論規則:

$$\begin{array}{ccc} \frac{\Gamma \rightarrow \Delta}{a, \Gamma \rightarrow \Delta} (w \rightarrow) & \frac{\Gamma \rightarrow \Delta}{\Gamma \rightarrow \Delta, a} (\rightarrow w) \\ \frac{a, a, \Gamma \rightarrow \Delta}{a, \Gamma \rightarrow \Delta} (c \rightarrow) & \frac{\Gamma \rightarrow \Delta, a, a}{\Gamma \rightarrow \Delta, a} (\rightarrow c) \\ \frac{\Gamma_1, a, b, \Gamma_2 \rightarrow \Delta}{\Gamma_1, b, a, \Gamma_2 \rightarrow \Delta} (e \rightarrow) & \frac{\Gamma \rightarrow \Delta_1, a, b, \Delta_2}{\Gamma \rightarrow \Delta_1, b, a, \Delta_2} (\rightarrow e) \\ & \frac{\Gamma_1 \rightarrow \Delta_1, a \quad a, \Gamma_2 \rightarrow \Delta_2}{\Gamma_1, \Gamma_2 \rightarrow \Delta_1, \Delta_2} (cut) \end{array}$$

(2) 論理結合子に関する推論規則:

$$\frac{a, \Gamma \rightarrow \Delta}{a \wedge b, \Gamma \rightarrow \Delta} (\wedge_1 \rightarrow) \quad \frac{b, \Gamma \rightarrow \Delta}{a \wedge b, \Gamma \rightarrow \Delta} (\wedge_2 \rightarrow)$$

$$\begin{array}{c}
 \frac{\Gamma \rightarrow \Delta, a}{\Gamma \rightarrow \Delta, a \vee b} (\rightarrow \vee_1) \quad \frac{\Gamma \rightarrow \Delta, b}{\Gamma \rightarrow \Delta, a \vee b} (\rightarrow \vee_2) \\
 \frac{a, \Gamma \rightarrow \Delta \quad b, \Gamma \rightarrow \Delta}{a \vee b, \Gamma \rightarrow \Delta} (\vee \rightarrow) \quad \frac{\Gamma \rightarrow \Delta, a \quad \Gamma \rightarrow \Delta, b}{\Gamma \rightarrow \Delta, a \wedge b} (\rightarrow \wedge) \\
 \frac{\Gamma \rightarrow \Delta}{\neg \Delta \rightarrow \neg \Gamma} (\neg \rightarrow \neg)
 \end{array}$$

ただし、 Γ が $a_1, \dots, a_m$ のとき $\neg \Gamma$ は $\neg a_m, \dots, \neg a_1$ を表し、 $\Gamma = \emptyset$ のときは $\neg \Gamma = \emptyset$ とする。

$$\begin{array}{c}
 \frac{a, \Gamma \rightarrow \Delta}{\neg \neg a, \Gamma \rightarrow \Delta} (\neg \neg \rightarrow) \quad \frac{\Gamma \rightarrow \Delta, a}{\Gamma \rightarrow \Delta, \neg \neg a} (\rightarrow \neg \neg) \\
 \frac{\neg a, \Gamma \rightarrow \Delta}{\neg(a \vee b), \Gamma \rightarrow \Delta} (\neg \vee_1 \rightarrow) \quad \frac{\neg b, \Gamma \rightarrow \Delta}{\neg(a \vee b), \Gamma \rightarrow \Delta} (\neg \vee_2 \rightarrow) \\
 \frac{\Gamma \rightarrow \Delta, \neg a}{\Gamma \rightarrow \Delta, \neg(a \wedge b)} (\rightarrow \neg \wedge_1) \quad \frac{\Gamma \rightarrow \Delta, \neg b}{\Gamma \rightarrow \Delta, \neg(a \wedge b)} (\rightarrow \neg \wedge_2) \\
 \frac{\neg a, \Gamma \rightarrow \Delta \quad \neg b, \Gamma \rightarrow \Delta}{\neg(a \wedge b), \Gamma \rightarrow \Delta} (\neg \wedge \rightarrow) \quad \frac{\Gamma \rightarrow \Delta, \neg a \quad \Gamma \rightarrow \Delta, \neg b}{\Gamma \rightarrow \Delta, \neg(a \vee b)} (\rightarrow \neg \vee)
 \end{array}$$

[定義 6] (トの定義)

式 $\Gamma \rightarrow \Delta$ が GFA で証明可能であるとき、 $\vdash \Gamma \rightarrow \Delta$ と書く。

$\vdash a \rightarrow b$ かつ $\vdash b \rightarrow a$ のとき $a \equiv b$ とすれば、 $\equiv$ は同値関係である。そこで $A/\equiv$ をあらためて A とし、 $\equiv$ を $=$ とみなしたものを FA での等号とする。

このとき、[3]と同様にして、 FA と GFA が演繹的に同値であることが成り立つ。

[定理 2] $a, a_1, \dots, a_m, b, b_1, \dots, b_n$ をワードとすると、次のことが成り立つ。

- (1) $a \leq b$ が FA で成り立つならば $\vdash a \rightarrow b$.
- (2) $\vdash a_1, \dots, a_m \rightarrow b_1, \dots, b_n$ ならば $a_1 \wedge \dots \wedge a_m \leq b_1 \vee \dots \vee b_n$ が FA で成り立つ。

[注意]

(1) [3]では、始式 (B4) のかわりにそれと同値な次の $(\neg \rightarrow)$ と $(\rightarrow \neg)$ を論理結合子に関する推論規則として採用している。

$$\frac{\Gamma \rightarrow \Delta, a}{\neg a, \Gamma \rightarrow \Delta, b, \neg b} (\neg \rightarrow) \quad \frac{a, \Gamma \rightarrow \Delta}{b, \neg b, \Gamma \rightarrow \Delta, \neg a} (\rightarrow \neg)$$

(2) GFA から 6 つの推論規則 $(\neg \vee_i \rightarrow)$, $(\rightarrow \neg \wedge_i)$, $(\neg \wedge \rightarrow)$, $(\rightarrow \neg \vee)$ を取り除いた体系と GFA は同値である。従って [3]での GFS と本論文の GFA は同値である。

[証明]

$$(1) : (B4) \Rightarrow (\neg \rightarrow) : \frac{\Gamma \rightarrow \Delta, a \quad a, \neg a \rightarrow b, \neg b}{\Gamma, \neg a \rightarrow \Delta, b, \neg b} \quad (B4) \Leftarrow (\neg \rightarrow) : \frac{a \rightarrow a}{\neg a, a \rightarrow b, \neg b}$$

$$\frac{\Gamma, \neg a \rightarrow \Delta, b, \neg b}{\neg a, \Gamma \rightarrow \Delta, b, \neg b} \quad \frac{\neg a, a \rightarrow b, \neg b}{a, \neg a \rightarrow b, \neg b}$$

$$(2) : (\neg \vee_1 \rightarrow) : \frac{\frac{a \rightarrow a}{a \rightarrow a \vee b}}{\neg(a \vee b) \rightarrow \neg a} \quad \frac{\neg(a \vee b) \rightarrow \neg a \quad \neg a, \Gamma \rightarrow \Delta}{\neg(a \vee b), \Gamma \rightarrow \Delta}$$

$$(\neg \wedge \rightarrow) : \frac{\frac{\frac{a \rightarrow a \quad b \rightarrow b}{b, a \rightarrow a} \quad b, a \rightarrow b}{b, a \rightarrow a \wedge b}}{\frac{\neg(a \wedge b) \rightarrow \neg a, \neg b \quad \neg a, \Gamma \rightarrow \Delta \quad \neg b, \Gamma \rightarrow \Delta}{\neg(a \wedge b) \rightarrow \neg a \vee \neg b} \quad \frac{\neg(a \wedge b) \rightarrow \neg a \vee \neg b \quad \neg a \vee \neg b, \Gamma \rightarrow \Delta}{\neg(a \wedge b), \Gamma \rightarrow \Delta}}$$

(証明終)

3. GFA の完全性と cut 除去定理と決定可能性

[定義 7] (付値の定義)

変数全体の集合から $\{0, \frac{1}{2}, 1\}$ への任意の写像 v を次のようにして、ワード全体の集合から $\{0, \frac{1}{2}, 1\}$ への写像に一意的に拡張することができる。この拡張された写像 v を付値とよぶ。

$$\begin{cases} v(0) = 0, \quad v(1) = 1 \\ v(a \wedge b) = \min\{v(a), v(b)\} \\ v(a \vee b) = \max\{v(a), v(b)\} \\ v(\neg a) = 1 - v(a) \end{cases}$$

[定義 8] (恒真の定義)

任意の付値 v に対して $v(a_1 \wedge \cdots \wedge a_m) \leq v(b_1 \vee \cdots \vee b_n)$ が成り立つとき、式 $a_1, \dots, a_m \rightarrow b_1, \dots, b_n$ は恒真 (またはトートロジー) であるといい、 $\models a_1, \dots, a_m \rightarrow b_1, \dots, b_n$ と書く。ただし $\leq$ は実数の大小関係とする。また、定義 4 から、 $a_1, \dots, a_m \rightarrow$ は $a_1, \dots, a_m \rightarrow 0$ とし、 $\rightarrow b_1, \dots, b_n$ は $1 \rightarrow b_1, \dots, b_n$ とする。

[定理 3] (GFA の健全性)

任意の式 $\Gamma \rightarrow \Delta$ に対して次のことが成り立つ。

$$\vdash \Gamma \rightarrow \Delta \quad \text{ならば} \quad \models \Gamma \rightarrow \Delta$$

[証明]

(B1), (B2), (B3) : これらが恒真であることは明らかである。

(B4) : v を任意の付値とすると、 $v(a \wedge \neg a) \leq v(b \vee \neg b)$ を示す。 $v(a) < \frac{1}{2}$ のとき、 $v(\neg a) > \frac{1}{2}$ より $v(a \wedge \neg a) < \frac{1}{2}$ である。また、つねに $v(b \vee \neg b) \geq \frac{1}{2}$ であるから上の式が成り立つ。他の場合も同様に成り立つ。

次に、各推論規則 $\frac{S_1 \quad (S_2)}{S}$ において $\models S_1 (\models S_2)$ ならば $\models S$ が成り立つことを示す。

v を任意の付値とする。 Γ が $a_1, \dots, a_m$ のとき、 $v(a_1 \wedge \cdots \wedge a_m)$ を $v(\wedge \Gamma)$ と書き、 $v(a \wedge a_1 \wedge \cdots \wedge a_m)$ を $v(a \wedge \wedge \Gamma)$ と書く。また、 Δ が $b_1, \dots, b_n$ のとき、 $v(b_1 \vee \cdots \vee b_n)$ を $v(\vee \Delta)$ と書き、 $v(b_1 \vee \cdots \vee b_n \vee a)$ を $v(\vee \Delta \vee a)$ と書く。

$(w \rightarrow) : (i) \Gamma \neq \emptyset$ かつ $\Delta \neq \emptyset$ のとき. $v(\wedge \Gamma) \leq v(\vee \Delta)$ と仮定すると,

$v(a \wedge \wedge \Gamma) = \min\{v(a), v(a_1), \dots, v(a_m)\} \leq \min\{v(a_1), \dots, v(a_m)\} = v(\wedge \Gamma)$ より
 $v(a \wedge \wedge \Gamma) \leq v(\vee \Delta)$ が成り立つ.

(ii) $\Gamma = \emptyset$ のとき. 仮定 $1 \leq v(\vee \Delta)$ より成り立つ.

(iii) $\Delta = \emptyset$ のとき. 仮定 $v(\wedge \Gamma) \leq 0$ より成り立つ.

$(\rightarrow w) : \text{上と双対にできる.}$

$(c \rightarrow), (\rightarrow c), (e \rightarrow), (\rightarrow e)$ は明らかである.

$(cut) : \Gamma_1 \neq \emptyset, \Delta_1 \neq \emptyset, \Gamma_2 \neq \emptyset, \Delta_2 \neq \emptyset$ のとき. もし $v(\wedge \Gamma_1 \wedge \wedge \Gamma_2) > v(\vee \Delta_1 \vee \vee \Delta_2)$ である
 とすると $v(\wedge \Gamma_1), v(\wedge \Gamma_2) > v(\vee \Delta_1), v(\vee \Delta_2)$ が成り立つ. ここで, $v(a) \leq v(\vee \Delta_1)$ なら,
 $v(\vee \Delta_1 \vee a) = v(\vee \Delta_1)$ であり, 仮定 $v(\wedge \Gamma_1) \leq v(\vee \Delta_1 \vee a)$ より $v(\wedge \Gamma_1) \leq v(\vee \Delta_1)$ となり矛盾する
 から $v(a) > v(\vee \Delta_1)$ である. すると, $v(\vee \Delta_1 \vee a) = v(a)$ であり, 仮定 $v(\wedge \Gamma_1) \leq v(\vee \Delta_1 \vee a)$ から
 $v(\wedge \Gamma_1) \leq v(a)$. 同様にして, $v(a) \geq v(\wedge \Gamma_2)$ なら $v(a \wedge \wedge \Gamma_2) = v(\wedge \Gamma_2)$ であり, 仮定 $v(a \wedge \wedge \Gamma_2)$
 $\leq v(\vee \Delta_2)$ より $v(\wedge \Gamma_2) \leq v(\vee \Delta_2)$ となり矛盾するから $v(a) < v(\wedge \Gamma_2)$ である.
 このとき, $v(a \wedge \wedge \Gamma_2) = v(a)$ となり, 仮定 $v(a \wedge \wedge \Gamma_2) \leq v(\vee \Delta_2)$ から $v(a) \leq v(\vee \Delta_2)$.
 これと $v(\wedge \Gamma_1) \leq v(a)$ から $v(\wedge \Gamma_1) \leq v(\vee \Delta_2)$ となり矛盾する.
 従って $v(\wedge \Gamma_1 \wedge \wedge \Gamma_2) \leq v(\vee \Delta_1 \vee \vee \Delta_2)$ が成り立つ. 他の場合も同様にして成り立つ.

$(\wedge_1 \rightarrow) : v((a \wedge b) \wedge \Gamma) \leq v(a \wedge \wedge \Gamma)$ から成り立つ.

$(\rightarrow \wedge) : \Gamma \neq \emptyset, \Delta \neq \emptyset$ のとき. $v(\vee \Delta) \leq v(a \wedge b)$ の場合は, $v(a \wedge b) \leq v(a), v(b)$ より
 $v(\vee \Delta) \leq v(a), v(b)$ であり, $v(\vee \Delta \vee a) = v(a), v(\vee \Delta \vee b) = v(b)$.
 すると, 仮定 $v(\wedge \Gamma) \leq v(\vee \Delta \vee a), v(\vee \Delta \vee b)$ から $v(\wedge \Gamma) \leq v(a), v(b)$ となり,
 $v(\wedge \Gamma) \leq v(a \wedge b) = v(\vee \Delta \vee (a \wedge b))$ が成り立つ.
 また, $v(a \wedge b) < v(\vee \Delta)$ の場合は, $v(a) < v(\vee \Delta)$ または $v(b) < v(\vee \Delta)$ が成り立つ.
 $v(a) < v(\vee \Delta)$ とすると, 仮定 $v(\wedge \Gamma) \leq v(\vee \Delta \vee a)$ から $v(\wedge \Gamma) \leq v(\vee \Delta) = v(\vee \Delta \vee (a \wedge b))$ が成
 り立つ. $v(b) < v(\vee \Delta)$ としても同様である. 他の場合も同様にして成り立つ.

$(\rightarrow \vee_1) : (\wedge_1 \rightarrow)$ と双対にできる.

$(\vee \rightarrow) : (\rightarrow \wedge)$ と双対にできる.

$(\neg \rightarrow \neg) : (i) \Gamma = \emptyset$ のとき, 仮定 $1 \leq v(\vee \Delta)$ より $v(b_i) = 1$ である Δ の中の b_i が存在する.
 $v(\neg b_i) = 0$ から $v(\wedge \neg \Delta) \leq 0$ が成り立つ.
 (ii) $\Delta = \emptyset$ のとき. (i) と双対にできる.
 (iii) $\Gamma \neq \emptyset, \Delta \neq \emptyset$ のとき. 仮定 $v(\wedge \Gamma) \leq v(\vee \Delta)$ より, Γ の中の a_i と Δ の中の b_k が存在して
 $v(a_i) \leq v(b_k), v(a_i) = v(\wedge \Gamma), v(b_k) = v(\vee \Delta)$ が成り立つ.
 このとき, $v(\neg a_i) \geq v(\neg b_k), v(\neg a_i) = v(\vee \neg \Gamma), v(\neg b_k) = v(\wedge \neg \Delta)$ より $v(\wedge \neg \Delta) \leq v(\vee \neg \Gamma)$ が成
 り立つ.

$(\neg \neg \rightarrow), (\rightarrow \neg \neg) : v(\neg \neg a) = v(a)$ から成り立つ.

$(\neg \vee_i \rightarrow), (\rightarrow \neg \vee) : v(\neg(a \vee b)) = v(\neg a \wedge \neg b) \leq v(\neg a), v(\neg b)$ から成り立つ.

$(\rightarrow \neg \wedge_i), (\neg \wedge \rightarrow) : v(\neg(a \wedge b)) = v(\neg a \vee \neg b) \geq v(\neg a), v(\neg b)$ から成り立つ.

(証明終)

[定義 9] (式の分解の定義)

次のように定義される $S \Rightarrow S_1$ (または $S \Rightarrow S_1; S_2$) において, S_1 (または $S_1; S_2$) を式 S の分解という.

- $$\begin{aligned}
 (D1.1) \quad & \Gamma_1, a \wedge b, \Gamma_1 \rightarrow \Delta \Rightarrow \Gamma_1, a, b, \Gamma_2 \rightarrow \Delta \\
 (D1.2) \quad & \Gamma \rightarrow \Delta_1, a \wedge b, \Delta_2 \Rightarrow \Gamma \rightarrow \Delta_1, a, \Delta_2; \Gamma \rightarrow \Delta_1, b, \Delta_2 \\
 (D2.1) \quad & \Gamma_1, a \vee b, \Gamma_2 \rightarrow \Delta \Rightarrow \Gamma_1, a, \Gamma_2 \rightarrow \Delta; \Gamma_1, b, \Gamma_2 \rightarrow \Delta \\
 (D2.2) \quad & \Gamma \rightarrow \Delta_1, a \vee b, \Delta_2 \Rightarrow \Gamma \rightarrow \Delta_1, a, b, \Delta_2 \\
 (D3) \quad & \neg \Gamma \rightarrow \neg \Delta \Rightarrow \Delta \rightarrow \Gamma \\
 (D4.1) \quad & \Gamma_1, \neg \neg a, \Gamma_2 \rightarrow \Delta \Rightarrow \Gamma_1, a, \Gamma_2 \rightarrow \Delta \\
 (D4.2) \quad & \Gamma \rightarrow \Delta_1, \neg \neg a, \Delta_2 \Rightarrow \Gamma \rightarrow \Delta_1, a, \Delta_2 \\
 (D5.1) \quad & \Gamma_1, \neg(a \vee b), \Gamma_2 \rightarrow \Delta \Rightarrow \Gamma_1, \neg a, \neg b, \Gamma_2 \rightarrow \Delta \\
 (D5.2) \quad & \Gamma \rightarrow \Delta_1, \neg(a \vee b), \Delta_2 \Rightarrow \Gamma \rightarrow \Delta_1, \neg a, \Delta_2; \Gamma \rightarrow \Delta_1, \neg b, \Delta_2 \\
 (D6.1) \quad & \Gamma_1, \neg(a \wedge b), \Gamma_2 \rightarrow \Delta \Rightarrow \Gamma_1, \neg a, \Gamma_2 \rightarrow \Delta; \Gamma_1, \neg b, \Gamma_2 \rightarrow \Delta \\
 (D6.2) \quad & \Gamma \rightarrow \Delta_1, \neg(a \wedge b), \Delta_2 \Rightarrow \Gamma \rightarrow \Delta_1, \neg a, \neg b, \Delta_2
 \end{aligned}$$

[定義 10] (ワードと式の次数の定義)

ワード a の次数 $d(a)$ を次のように帰納的に定義する.

- (1) a が変数または定数のとき $d(a) = 0$
- (2) $d(\neg a) = d(a) + 1$
- (3) $d(a \wedge b) = d(a) + d(b) + 2$
- (4) $d(a \vee b) = d(a) + d(b) + 2$

さらに, 式 S が $a_1, \dots, a_m \rightarrow b_1, \dots, b_n$ のとき, S の次数 $d(S)$ を $d(S) = \sum_{i=1}^m d(a_i) + \sum_{j=1}^n d(b_j)$ と定義する.

このとき, 次のことが成り立つ.

[補助定理 4] 式 S の分解が S_1 (または $S_1; S_2$) であるとき, 次のことが成り立つ.

- (1) $d(S) > d(S_1)$ (または $(d(S) > d(S_1) \text{ かつ } d(S) > d(S_2))$).
- (2) $\models S$ ならば $\models S_1$ (または $\models S$ ならば $(\models S_1 \text{ かつ } \models S_2)$).

[証明]

(1) : 定義より明らかである.

(2) : (D1.1), (D2.2) : 明らかである.

(D1.2) : $v(\wedge \Gamma) \leq v(\vee \Delta_1 \vee (a \wedge b) \vee \vee \Delta_2)$ と仮定する. $v(a \wedge b) \leq v(a), v(b)$ より $v(\vee \Delta_1 \vee (a \wedge b) \vee \vee \Delta_2) \leq v(\vee \Delta_1 \vee a \vee \vee \Delta_2), v(\vee \Delta_1 \vee b \vee \vee \Delta_2)$ であるから $v(\wedge \Gamma) \leq v(\vee \Delta_1 \vee a \vee \vee \Delta_2), v(\vee \Delta_1 \vee b \vee \vee \Delta_2)$ が成り立つ.

(D2.1) : (D1.2) と双対にできる.

(D3) ~ (D6.2) : 定理 3 の証明と同様な方法でできる.

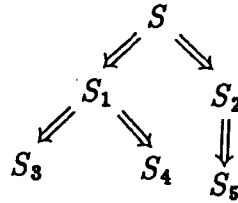
(証明終)

[定義 11] (文字, 相補的の定義)

- (1) 定数 0, 1 と変数 p_i およびそれらの否定 $\neg 0, \neg 1, \neg p_i$ ($i = 1, 2, \dots$) を文字 (*literal*) という.
- (2) x をある変数または定数とする. 文字の有限列 $x_1, \dots, x_m$ の中に x と $\neg x$ が同時に現れるとき $x_1, \dots, x_m$ は相補的であるという.

[定義 12] (式の分解木と完全分解木の定義)

与えられた式 S の分解の 1 つを S_1 (または $S_1; S_2$) とし、次に S_1 (および S_2) を分解する。この分解の操作を繰り返す行い過程を次のように図示したものを分解木という。



このような分解を続けていくと、最後の式は論理結合子 $\wedge, \vee$ を全く含まず、文字だけからなる式となる。そして、補助定理 4 の (1) から分解は有限回で終わる。 S の分解木の終端の式がどれも上のような式である分解木を S の完全分解木という。

このとき、補助定理 4 の (2) から、次のことが成り立つ。

[補助定理 5] 式 S が恒真ならば S の分解木に現れるすべての式は恒真である。

さらに、次のことが成り立つ。

[補助定理 6] $x_1, \dots, x_m, y_1, \dots, y_n$ をすべて文字とすると、式 $x_1, \dots, x_m \rightarrow y_1, \dots, y_n$ が恒真であるための必要十分条件は、次の (1), (2), (3), (4) のいずれかが成り立つことである。

- (1) ある $x_i (1 \leq i \leq m)$ とある $y_j (1 \leq j \leq n)$ が同じ文字である。
- (2) ある x_i が 0 または $\neg 1$ である。
- (3) ある y_j が 1 または $\neg 0$ である。
- (4) $x_1, \dots, x_m$ は相補的であり、かつ $y_1, \dots, y_n$ も相補的である。

[証明]

$\Leftarrow$: 定理 3 より明らかである。

$\Rightarrow$: 対偶を示す。上の (1), (2), (3), (4) のいずれもが成り立たないとする。(1), (2), (3) が成り立たないから $\{x_1, \dots, x_m\}$ と $\{y_1, \dots, y_n\}$ に共通に含まれる文字はない。また、 $x_1, \dots, x_m$ の中には 0 と $\neg 1$ がなく、 $y_1, \dots, y_n$ の中には 1 と $\neg 0$ がない。そして、(4) が成り立たないから、次の 3 つの場合にわけて考えればよい。

(i) $x_1, \dots, x_m$ が相補的でなく、かつ $y_1, \dots, y_n$ も相補的でない場合。

$v(x_1) = \dots = v(x_m) = 1, v(y_1) = \dots = v(y_n) = 0$ である付値 v が存在する。このとき $v(x_1 \wedge \dots \wedge x_m) > v(y_1 \vee \dots \vee y_n)$ となる。

(ii) $x_1, \dots, x_m$ は相補的ではないが $y_1, \dots, y_n$ が相補的である場合。

$v(x_1) = \dots = v(x_m) = 1, v(y_1) = \dots = v(y_n) = \frac{1}{2}$ である付値 v が存在する。

(iii) $x_1, \dots, x_m$ が相補的であるが $y_1, \dots, y_n$ が相補的でない場合。

$v(x_1) = \dots = v(x_m) = \frac{1}{2}, v(y_1) = \dots = v(y_n) = 0$ である付値 v が存在する。

いずれの場合も式 $x_1, \dots, x_m \rightarrow y_1, \dots, y_n$ は恒真でない。

(証明終)

また、次のことが明らかに成り立つ。

[補助定理 7] 次の形の式は GFA において cut を用いずに証明可能である。

- (1) $\Gamma_1, a, \Gamma_2 \rightarrow \Delta_1, a, \Delta_2$
- (2.1) $\Gamma_1, 0, \Gamma_2 \rightarrow \Delta$
- (2.2) $\Gamma_1, \neg 1, \Gamma_2 \rightarrow \Delta$
- (3.1) $\Gamma \rightarrow \Delta_1, 1, \Delta_2$

- (3.2) $\Gamma \rightarrow \Delta_1, \neg 0, \Delta_2$
 (4.1) $\Gamma_1, a, \Gamma_2, \neg a, \Gamma_3 \rightarrow \Delta_1, b, \Delta_2, \neg b, \Delta_3$
 (4.2) $\Gamma_1, a, \Gamma_2, \neg a, \Gamma_3 \rightarrow \Delta_1, \neg b, \Delta_2, b, \Delta_3$
 (4.3) $\Gamma_1, \neg a, \Gamma_2, a, \Gamma_3 \rightarrow \Delta_1, b, \Delta_2, \neg b, \Delta_3$
 (4.4) $\Gamma_1, \neg a, \Gamma_2, a, \Gamma_3 \rightarrow \Delta_1, \neg b, \Delta_2, b, \Delta_3$

さらに、次のことが成り立つ。

[補助定理 8] 式 S の分解の 1 つが S_1 (または $S_1; S_2$) であるとする。このとき、 S_1 (および S_2) が GFA で cut を用いずに証明可能であるならば、 S も GFA で cut を用いずに証明可能である。

[証明]

定義 9 の各場合について、 S_1 (および S_2) から、ある論理結合子に関する推論規則と構造に関する推論規則の $exchange$ と $contraction$ を用いるだけで、 S は GFA で証明可能である。

(証明終)

以上により、次のことが成り立つ。

[定理 9] 任意の式 $\Gamma \rightarrow \Delta$ について、 $\Gamma \rightarrow \Delta$ が恒真ならば $\Gamma \rightarrow \Delta$ は GFA で cut を用いずに証明可能である。

[証明] 式 S が恒真であるとする。補助定理 5 より S の完全分解木の終端の式はどれも恒真である。すると、補助定理 6 と補助定理 7 から、それらはすべて GFA では cut を用いずに証明可能である。そこで S の完全分解木を逆にたどり、補助定理 8 を繰り返し用いれば、 S は GFA で cut なしで証明可能である。

(証明終)

定理 3 と定理 9 から、次の 2 つの定理を得る。

[定理 10] (GFA の完全性)

$\Gamma \rightarrow \Delta$ を任意の式とすると、次のことが成り立つ。

$$\models \Gamma \rightarrow \Delta \iff \vdash \Gamma \rightarrow \Delta$$

[定理 11] (cut 除去定理)

任意の式 $\Gamma \rightarrow \Delta$ について、 $\vdash \Gamma \rightarrow \Delta$ ならば GFA で cut を用いずに $\Gamma \rightarrow \Delta$ は証明可能である。

最後に、 GFA と FA が決定可能であることを示す。

[定理 12] (GFA の決定可能性)

与えられた式 $\Gamma \rightarrow \Delta$ が GFA で証明可能かどうかを判定し、証明可能であるときは cut なしの証明図を構成するような有限の手続きが存在する。

[証明]

S を任意の式とする。 S のある完全分解木を有限の手続きにより作ることができ、そこに現れる式は有限個である。この完全分解木の終端の式も有限個であり、それらが恒真であるかどうかは補助定理 6 から有限の手続きにより判定される。これら終端の式がすべて恒真なら、補助定理 6 と補助定理 7 と補助定理 8 により S の cut なしの証明図を作ることができる。この場合、 S は GFA で証明可能である。また S の完全分解木の終端の式の中に 1 つでも恒真でないものがある場合は、補助定理 5 より S は恒真でなく、定理 3 より S は GFA で証明可能ではない。

(証明終)

定理 2 と定理 12 から、次の定理を得る。

[定理 13] (FA の決定可能性)

与えられたワード a, b について、 $a = b$ が FA で成立するかどうかを判定するための有限的手続きが存在する。

REFERENCES

1. 荒金 憲一・竹村 康, ファジイ代数の完全性について, 大阪産業大学論集 自然科学編 第 89 号 (1992), 9 - 11.
2. 小野 寛晰, 情報科学における論理, 日本評論社, 1994.
3. 竹村 康, ファジー集合算のシーケントによる形式化, 大阪産業大学論集 自然科学編 第 89 号 (1992), 13 - 15.
4. L. A. Zadeh, *Fuzzy sets*, Information and Control, 8 (1965), 338 - 353.

リボン結び目の代数的リボン数

安 田 智 之

The Algebraic Ribbon Number for Ribbon N - knots

Tomoyuki YASUDA

n 次元リボン結び目 K^n のリボン数を評価する有力な方法はまだ発見されていない。また、与えられたリボン表現に対して、バンド数を下げてリボン表現し直す幾何的な方法もまだ発見されていない。ただ特別な方法として K^1 と K^1 の鏡像とを連結和して得られるリボン結び目が、バンド数を1だけ下げようリボン表現し直せることが知られている。しかし n が2以上の場合についてはそのような特別な例すら発見されていないのが現状である。ここでは n が2以上の場合について、代数的リボン数という概念を導入し、「 n 次元結び目の代数的リボン数は、連結和という演算に対して加法的か」という問題に対して否定的解答を得た。従って代数的リボン数の定義の仕方により、この問題において「代数的」ということばを除いただけの、従来からよく知られた問題に対しても否定的解答が得られる可能性が高くなったこともわかる。

0. 緒 論

n 次元リボン結び目のリボン表現に関する研究において、基本的な問題としてあげられるのが、与えられた n 次元リボン結び目に対しリボン型が唯一かどうかという問題である。これに関して知られている結果は次の通りである。まず、 n 次元平凡結び目に対する、バンド数1のリボン表現としてのリボン型は唯一である。このことは n が1の場合はSharlemann[1]によって、 n が2以上の場合はMarumoto[2]によって示された。一方、一般の n 次元リボン結び目に対しては、たとえバンド数1のリボン表現であってさえもリボン型は唯一とは限らない。このことは、 n が1の場合はNakanishi-Nakagawa[3]によって、 n が2以上の場合はYasuda[4]によって示された。どちらの論文においても、バンド数1のリボン型を2つもつリボン結び目が存在することを示している。

また以上のことと関連してNakanishi[5]と

Marumoto[6]が n 次元リボン結び目 ($n \geq 1$) に対し、「リボン表現の安定同値」という概念を導入した。従来の「リボン表現の同値」の概念では、リボン表現におけるバンドを保つという条件のもとで、リボン表現の同値関係を考えていたのに対し、「リボン表現の安定同値」の概念では、その条件をはずした形でのリボン表現の同値関係を考えている。更にMarumoto[6]はYasuda[4]が構成した「1つの結び目に対する2つの異なるリボン表現の対」が安定同値であることを指摘した。その上で、互いに安定同値でないような2つ以上のリボン型をもつ n 次元リボン結び目が存在するか、という問題を提出している。この問題はまだ未解決であるが、 n が1の時の肯定的解答となりそうな例が知られている (Nakanishi[5])。これはバンド数1のリボン表現をもつ1次元リボン結び目 K^1 と、その鏡像であって更に向きづけを逆にした結び目 $-mK^1$ との連結和として構成されるリボン結び目である。実はこの例は次の問題の n が1の時の否定的解答としてよく知られている。

(*1) n 次元リボン結び目のリボン数は、連結和という操作に対して加法的か。

この論文では上の問題(*1)の、まだ未解決である、 n が2以上の場合を扱う。 n が2以上の場合の n 次元リボン結び目 K^n リボン数 $r(K^n)$ は K^n のアレキサンダー行列の大きさで評価されることが知られている(Yasuda[7])。即ち、アレキサンダー行列の大きさが $\ell \times \ell$ であることは、リボン数が ℓ である為の必要条件になっている。そこで本論文ではアレキサンダー行列の大きさを利用して n 次元リボン結び目 K^n の代数的リボン数 $r^*(K^n)$ を定義した。そうして上の問題(*1)の否定を支持する命題を得た。今、 K^n の鏡像を mK^n とかく。また、 K^n と mK^n の連結和を $K^n \# mK^n$ とかく。この時次の定理が成立する。

定理 ある適当な K^n に対して次式が成立する。

$$r^*(K^n) + r(K^n \# mK^n) > r^*(K^n \# mK^n) \\ \text{ただし } n \geq 2.$$

1. 準備

1.1 定義

μ 個の成分をもつ n 次元結び目とは、向きづけられた $(n+2)$ 次元ユークリッド空間への、 μ 個の成分をもち互いに交わらない向きづけられた n 次元球面の、局所平坦な埋め込み $e: \bigcup_{j=1}^{\mu} S_j^n \rightarrow R^{n+2}$ の像のことをいう。特に1個の成分のみをもつものを n 次元結び目という。また、 μ 個の成分をもつ n 次元絡み目が平凡である、とは次の条件を満たす絡み目のときをいう。 n 次元絡み目を $e: \bigcup_{j=1}^{\mu} S_j^n \rightarrow R^{n+2}$ の像とすると、ある局所平坦な埋め込み $e^*: \bigcup_{j=1}^{\mu} D_j^{n+1} \rightarrow R^{n+2}$ があって $e^*(\partial D_j^{n+1}) = e(S_j^n)$ ($j=1, 2, \dots, \mu$)となっている。ただし D_j^{n+1} は $(n+1)$ 次元球体、 ∂D_j^{n+1} は、 D_j^{n+1} の境界とする。

1.2 定義

n 次元結び目 K^n が m フュージョンの n 次元リボン結び目であるとは、 K^n が次の条件 $C_{n,m}$ の(1), (2), および(3)を満たす時をいう。
 $C_{n,m}$; (1) 平凡な n 次元絡み目 $S_0^n \cup S_1^n \cup \dots \cup S_m^n$ が R^{n+2} 内に存在する。

(2) n 次元球体 D^n と単位区間 $I = [0, 1]$ との直積の、ある埋め込み $f_i: D^n \times I \rightarrow R^{n+2}$ が各 i ($i=1, 2, \dots, m$) について存在して次の条件を満たしている。

$$(a) \quad f_i(D^n \times I) \cap S_j^n = \begin{cases} f_i(D^n \times \{0\}) & (j=0) \\ f_i(D^n \times \{1\}) & (j=i) \\ \phi & (\text{その他}) \end{cases}$$

$$(b) f_i(D^n \times I) \cap f_i(D^n \times I) = \phi \quad (i \neq j)$$

$$(3) K^n = S_0^n \cup S_1^n \cup \dots \cup S_m^n \cup T^n - \circ T \quad \text{ただし,} \\ T^n = \bigcup_{j=1}^m f_j(\partial D^n \times I) \text{ であり, } \circ T \text{ は,} \\ T = \bigcup_{j=1}^m f_j(\partial D^n \times I) \text{ の内部のことである.}$$

$f_i(D^n \times I)$ ($= b_i$ とかく) のことを K^n の i 番目のバンドという。 m フュージョンの n 次元リボン結び目のことを単に n 次元リボン結び目と呼ぶこともある。 $(K^n, \{b_i\}_{i=1}^m)$ を K^n のバンド数 m のリボン表現という。 K^n の2つのバンド数 m のリボン表現を $(K^n, \{b_i\}_{i=1}^m)$ と $(K^n, \{b'_i\}_{i=1}^m)$ とする。これらは次の条件を満たすとき、同値である(または、同じリボン型をもつ)という。 R^{n+2} から R^{n+2} の上への向きづけを保つ同相写像があって、それによって K^n は K^n へ、 $\{b_i\}_{i=1}^m$ は $\{b'_i\}_{i=1}^m$ へうつる。

また K^n のすべてのリボン表現のバンド数を調べるとき、その最小値のことを K^n のリボン数といい、 $r(K^n)$ とかく。以下、結び目 K の鏡像を mK 、 K の向きづけを逆にしてできた結び目を $-K$ とかく。また、 $K_1 \# K_2$ によって、結び目 K_1 と K_2 の連結和をあらわす。また結び目 K のアレキサンダー多項式を $\Delta_K(t)$ とかくことにする。

さて、以下 $n \geq 2$ とする。任意の m フュージョンの n 次元リボン結び目を K^n とする。 K^n のバンド数 m のリボン表現から K^n の結び目群の群表示を構成することができるので、そのことについて述べる。今、 K^n の、バンド数 m のリボン表現の1つを $(K^n, \{f_i(D^n \times I)\}_{i=1}^m)$ とする。また $\ell_i = f_i(\{0\} \times I)$ ($i=1, 2, \dots, m$) とおく。ここで、 $\{0\}$ は D^n の中心点である。定義から ℓ_i は、 S_0^n に始点 $f_i(\{0\} \times \{0\})$ をもち、 S_1^n にその終点をもつ。また定義(1, 2)における S_j^n に対し $\partial D_j^{n+1} = S_j^n$ であるような互いに交わらない $(n+1)$ 次元球体 D_j^{n+1} が存在する ($j=1, 2, \dots, m$)。一方 ℓ_i と $\bigcup_{j=0}^m D_j^{n+1}$ は一般の位置にあって、かつ有限個の点で交わると仮定してよい。それらの点が ℓ_i に与えられた方向に従って $a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{i s_i}$ であるとする、次の様にして ℓ_i から、 s_i 個の文字からなる語 w_i が得られる。もし ℓ_i が D_j^{n+1} と点 a_{ik} において正方向から

交われば, w_i の k 番目の文字を x_j とする。同様、負方向から交われば x_j^{-1} とする。ここで x_j は K^n の結び目群における、球面 S_j^2 に対応する生成元であり、 $x_0 w_i x_i^{-1} w_i^{-1}$ は関係子であることに注意しなければならない ($i=1, 2, \dots, m$)。以上の様にして $(m+1)$ 個の生成元と m 個の関係子をもつ次の様な群表示を得る。

$$(*2) [x_j; j=0, 1, \dots, m | x_0 w_i x_i^{-1} w_i^{-1}; i=1, 2, \dots, m]$$

1.3 定義

リボン表現 $(K^n, \{b_i\}_{i=1}^m)$ から上の構成法によって得られる群表示を、リボン表現 $(K^n, \{b_i\}_{i=1}^m)$ に関連した群表示といい、 $G(K^n, \{b_i\}_{i=1}^m)$ とかく。一方、逆の手順によって群表示 $G(K^n, \{b_i\}_{i=1}^m)$ から、リボン表現 $G(K^n, \{b_i\}_{i=1}^m)$ を構成することができる。このリボン表現 $G(K^n, \{b_i\}_{i=1}^m)$ を、群表示 $G(K^n, \{b_i\}_{i=1}^m)$ に関連したリボン表現という。

1.4 注意

1つのリボン表現 $(K^n, \{b_i\}_{i=1}^m)$ に対して群表示は一意には定まらない。上述の構成法における $(n+1)$ 次元球体 D_j^{n+1} ($j=0, 1, \dots, m$) の選び方に依存して群表示がきまる。しかしながら、異なる選び方に依存して得られた2つの群表示に対して、それらに関連したリボン表現は、同じリボン型になっている。

2. 1次元リボン結び目の場合

1次元リボン結び目に対して、その連結和に関する以下の事実はよく知られている。

2.1 命題

ある適当な1次元リボン結び目 K^1 に対し、 $r(K^1) + r(-mK^1) > r(K^1 \# (-mK^1))$ 。

2.2 例

Rolfsen [8] の結び目表の6₁結び目は命題(2.1)を満たす。なぜなら $r(6_1)=1$, $r(-m6_1)=1$, $r(6_1 \# (-m6_1))=1$ である。

一方、任意の1次元結び目 K^1 のアレキサンダー多項式に対して、 $\Delta_{K^1}(t) = \Delta_{mK^1}(t) = \Delta_{-mK^1}(t)$ が成立するから、 $\Delta_{K^1}(t) = \Delta(t)$ とおくと次の命題およびその系を得る。

2.3 命題

アレキサンダー多項式が1でないような任意の1次元結び目 K^1 に対して、 $K^1 \# mK^1$ と $K^1 \# (-mK^1)$ のアレキサンダー行列はCrowell-Fox [9] の行列基本変形によって次式にうつる。

$$\begin{bmatrix} \Delta(t) & 0 \\ 0 & \Delta(t) \end{bmatrix}$$

2.4 系

アレキサンダー多項式が1でないような、任意の1次元結び目 K^1 に対して $K^1 \# mK^1$ のアレキサンダー行列は、命題(2.3)の行列基本変形によって 1×1 行列にうつらない。

3. n次元リボン結び目の場合

以下 $n \geq 2$ とする。またCrowell-Fox [9] の行列基本変形のことを、単に基本変形と呼ぶことにする。次の補題はよく知られている。

3.1 補題([2])

群表示 $[x_0, x_1 | x_0 w_1 x_1^{-1} w_1^{-1}]$ に関連した n 次元リボン結び目が、平凡な結び目である為には $w_1 = 1$ であることが必要十分である。

3.2 補題([4])

n 次元リボン結び目がバンド数 m のリボン表現をもつならば、そのアレキサンダー行列は基本変形で、 $m \times m$ 行列にうつる。

この性質を利用してリボン結び目の不変量を定義する。

3.3 定義

n 次元リボン結び目 K^n に対して、そのアレキサンダー行列が基本変形でうつり得る行列すべてを考える。それらにおいて、最小の大きさが $m^* \times m^*$ とするとき、 m^* のことを K^n の代数的リボン数といい、 $r^*(K^n)$ とかく。

3.4 定理の証明

次の群表示 G_1 に関連した n 次元リボン結び目を K^n とする。

$$G_1 = [x_0, x_1 | x_0 x_1 x_1 x_0 x_1^{-1} x_0^{-1} x_1^{-1} x_1^{-1}]$$

また, 次の群表示 G_2G_3 に関連した n 次元リボン結び目は, それぞれ mK^n , $K^n \# mK^n$ と同じリボン型をもつ。

$$G_2 = [x_0, x_1 | x_0 x_1 x_0 x_0 x_1^{-1} x_0^{-1} x_1^{-1} x_1^{-1}]$$

$$G_3 = \left[\begin{array}{c|c} x_0, x_1, x_2 & \begin{array}{l} x_0 x_1 x_1 x_0 x_1^{-1} x_0^{-1} x_1^{-1} x_1^{-1} \\ x_0 x_2 x_0 x_0 x_2^{-1} x_0^{-1} x_0^{-1} x_2^{-1} \end{array} \end{array} \right]$$

更に K^n と mK^n の代数的リボン数は補題(3.1)と群表示 G_1, G_2 から直ちに得られて

$$(*3) \quad r^*(K^n) = r^*(mK^n) = 1$$

一方, 群表示 G_3 に基づく $K^n \# mK^n$ のアレキサンダー行列は Yasuda[10] による, n 次元リボン結び目の (± 1) 分布表現によって直ちに計算できて次のようになる。

$$\begin{bmatrix} -1+t^2-t^3 & 0 \\ 0 & -1+t-t^3 \end{bmatrix}$$

これは基本変形によって次の行列にうつる。

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ (-1+t^2-t^3)(-1+t-t^3) & 0 \end{bmatrix}$$

よって次式を得る。

$$(*4) \quad r^*(K^n \# mK^n) = 1$$

以上 (*3) と (*4) により定理は証明された。

上の定理の証明(3.4)から, 次の結果が直ちに得られる。これは, 必ずしもリボン結び目に限らない一般の 1 次元結び目での結果である系(2.4)の主張と好対照をなすことに注意しなければならない。

3.5 系

$n \geq 2$ となる任意の n について, ある適当な, アレキサンダー多項式が 1 でないような n 次元結び目 K^n があって, $K^n \# mK^n$ のアレキサンダー行列が命題(2.3)の行列基本変形で 1×1 行列にうつる。

参考文献

- [1] Scharlemann, M., *Smooth spheres in R^4 with four critical points are standard*, Invent. Math. 79(1985), 125-141.
- [2] Marumoto, Y., *On ribbon 2-knots of 1-fusion*, Math. Sem. Notes Kobe Univ. 5 (1977), 59-68.
- [3] Nakanishi, Y., Nakagawa, Y., *On ribbon knots*, Math. Sem. Notes, Kobe Univ. 10(1982), 423-430.
- [4] Yasuda, T., *Ribbon knots with two ribbon types*, J. Knot Theory and Its Ramifications 1(1992), 477-482.
- [5] Nakanishi, Y., *On ribbon knots, II*, Kobe J. Math. 7(1990), 199-211.
- [6] Marumoto, Y., *Stable equivalence of ribbon Presentations*, J. Knot Theory and Its Ramifications 1(1992), 241-251.
- [7] Yasuda, T., *On ribbon Presentations of ribbon knots*, J. Knot Theory and Its Ramifications 3(1994), 223-231.
- [8] Rolfsen, D., *Knots and Links*, Math. Lecture Series 7, Publish or Perish Inc., Berkley, 1976.
- [9] Crowell, R., Fox, R., *Introduction to knot theory*, Grad. Texts Math. 57, Springer-Verlag.
- [10] Yasuda, T., *A Presentation and the genus for ribbon n -knots*, Kobe J. Math. 6(1989), 71-88.

『十二夜』における「癒し」の主題

神 沢 和 明

How “melancholy” is healed in “Twelfth Night”?

Kazuaki KAMIZAWA

The leading characters in Shakespeare's excellent comedy, “Twelfth Night”, are deeply suffering from the disease of melancholy. In the action of the play their queer behaviours are much influenced by this troublesome atmosphere. They are in false love, which they misregard as the true one, because they are not aware of their lack of ability to see the essence of life. The problems they have are eventually solved when they come to be ‘mature.’

(1)

717 彼がやって参ります、お嬢様。でも、とっても奇妙な様子。間違いない、あの人は何かにとりつかれてますわ。(3幕4場)

シェイクスピアの喜劇として傑作の部類にはいる『十二夜』は、観客をいつも楽しませてくれるすてきな芝居である。この作品には、愉快的気分、手触りの良いメランコリー、耳に快い歌と音楽、下品にならない冗談、個性的な登場人物、そして男装した少女と、耳と目と頭と心を楽しませる要素がたっぷりつまっている。そのままなら、ただ楽しいだけの芝居になってしまいそうだが、今あげた「メランコリー」が、この作品世界をずっと深みのあるものになっている。その気分は、主な登場人物たちの心に染み込んで、彼らの言葉や行動を色付けている。冒頭に引いたセリフは、登場人物のひとり、マルヴォーリオウが悪戯にひっかけて、おかしい装いをして登場してくるところを描写したものだが、実はこの言葉があてはまるのは、彼だけではない。主な登場人物はみな、メ

ランコリーの病にとりつかれている。

この作品の主人公、オーシーノオ公爵の最初のセリフ、同時にこの芝居の幕開きのセリフでもあるが、それはこのようなものだ。

公爵 もし音楽が恋に糧を与えるのなら、奏でてくれ、私はその余りをもらおう、腹いっぱいになって、食欲も衰え、もうたくさんと言うまで。

この行句に、なにとなく物憂げな調子を感じとらない者はいない。

あるいは彼の恋の対象である、オリヴィア姫はどうか。同じ場面で、彼女のもとから戻って来た、オーシーノオの使いは、こう述べる。

ヴァレンタイン 大空も、これから7年の間は、あの方のお顔をまともには見られないということです。尼僧のように、ヴェールをかぶってお歩きになり、1日に1度は、腫からあふれる塩水で、寝室を水浸しになさるとか。それもすべては、亡くなられた兄上への愛情ゆえ。いつまでもその思い出を、忘れずに悲しんでいたいからと。

そしてもう一人の女主人公、ヴァイオラにも死の影はつきまといっている。

ヴァイラ このイリリアで、私はどうしたらいいのかしら？ お兄様は天国にいらっしゃるというのに。いえ、万が一、溺れなかったかもしれない。どうかしら？

船長 あなたが溺れなかっただけで、その一つはおしまいでしょ。

ヴァイラ ああ、かわいそうなお兄様！（1幕2場）

このように、主な人物たちはその登場の始めから、彼らが憂鬱になっていることを、観客に知らしめている。彼らの持前の性格が、あるいは彼らに与えられた状況が、彼らのメランコリーを作りだしている。しかしこの作品は喜劇であり、大団円において、彼らの憂鬱は解消されることになる。そこで、主な登場人物それぞれの症状と、いかにそれが癒されるかを、見てみようと思う。

(2)

登場人物たちを論ずる前に、『十二夜』という作品の全体の傾向をみてみよう。明らかにしなければならぬことがいくつかある。

その第一、『十二夜（12番目の夜）』とは何を、意味しているのか。またこの題名には、『または、お望みのもの or What You Will』という副題もついている。それが意味するのは何であろう。

12番目の夜とは、クリスマスから数えて12日目の夜を意味する。聖書によれば、この日（1月6日にあたる）キリストの誕生を祝福するために、東方の三博士がはるばる訪れたという。キリスト教国では、顕現日と呼んで大切にしているが、この前夜に、祝宴をはって馬鹿騒ぎをする習慣があった。その祝宴の夜が、12番目の夜になる。したがって『十二夜』という題名が観客に与える印象は、なにに楽しいもの、浮かれ騒ぎ、といったものであろう。1月6日には、エリザベス女王の宮廷でも宴が開かれたものとみえて、何年か続けて、シェイクスピアが属していた「内大臣一座」が御前上演をしていた記録がある。

紙数の都合で結論だけ述べると、1600年の冬から翌年の正月にかけて、イタリアの貴族、オーシーノオ公爵という人物がイギリスの宮廷を訪れ、十二夜の宴に、遠来の客として招かれているのであ

る。ホットスン博士の『十二夜の初夜』によると、1601年1月6日の夜、エリザベス女王はホワイトホールにおいて、盛大な宴を催した。その日の主賓は、若きイタリア貴族、オーシーノオ公爵であり、その宴の余興として内大臣一座が上演した作品こそ、『十二夜』である。彼はたまたま、いとこがフランス王と結婚するため、その護衛として彼女をリヨンまで送り届け、その帰路にイギリスに立ち寄った。その情報を聞いた女王は、オーシーノオ公爵を招待することを前提に、シェイクスピアに命じて喜劇を作らせたというわけだ。

女王の意向をうけてシェイクスピアが書いたという伝説をもつ作品には、他に『ウィンザーの陽気な女房たち』がある。「恋するフォルスタッフを見たい」との女王の希望で、2週間で書かれたという。ところが『十二夜』は、もしホットスンの説に従うなら、わずか12日で完成されたことになる。これはちょっと信じがたい。ただ、既にある程度まで出来上がっていた作品に、人物名を取り換えて手をいれたのだとすれば、納得できなくもない。実際、戯曲の中では、しばしばオーシーノオが「伯爵」として言及されており、元々は別の名をもつ伯爵が主人公として書かれたのではないかと思われる。いずれにしても、この仮説は魅力的である。オーシーノオ公爵という名前の符合は、偶然とは思えないし、そのような注文に答えたものであるなら、『お望みのもの』という副題も、しっくりくる。そうであるなら、この戯曲はやはり宴のための楽しい作品、そして芸術文化が最も進んだ国からの客を迎える、上質の喜劇として意識されたものと考えべきだろう。

ところで、シェイクスピアの戯曲としては例外的につけられている、この『お望みのもの』という副題（これがもともとの題ではないかと思うが）を目にすれば、我々は自然に彼の別の傑作喜劇、『お気に召すまま As You Like It』を連想するであろう。事実、この二つの戯曲は、二卵性双生児のように似ている。『お気に召すまま』の制作年代は1600年頃と推測されるので、少し早い作品だろう。どちらにも、複雑な筋は存在しない。気分で流れて行く喜劇である。ヒロインは多くの場面男装している。彼女が愛しているヒーローは、そのことに気づかない。ヒロインはその変装のために、他の女性に愛されてしまう。賢い道化が登場する（どちらも、新しくシェイクスピアの劇団に加わった道化役者、ロバート・アーミンが演じ

たのではないかと考えられる)。他の登場人物たちから煙たがられている、皮肉屋、もしくはうるさ型も登場する。そして歌や音楽がしばしば使われ、最後は主人公たち二組の結婚式という（別にもう一組の結婚もある）祝福されたハッピーエンドに終わる。それほど共通点の多い作品でありながら、『十二夜』を見れば（読めば）、けして『お気に召すまま』と取り違えることはないだろう。それは作品世界の匂い、醸し出す雰囲気、別物だからだ。言い切ってしまうなら、『お気に召すまま』には少年の楽しさがあり、『十二夜』にはもう少し成熟した者の楽しさがある。主人公たちはどちらも、愛をゲームのように遊んでいるきらいがあるが、『十二夜』には、「死」というものを身近にした物憂さを感じられ、それが作品全体の気分を作り上げているからである。

(3)

『十二夜』の主人公、オーシーノオ公爵は、登場人物表には「イリリアの公爵」としか書いていない。独身で、オリヴィア姫に求婚中であるから、まだ若い人物とみなしてよかろう。

引用したように、彼は登場の最初から、物憂げな調子にとりつかれている。このように、鬱の気分を身につけて登場する喜劇の主人公として、我々は他に『ヴェニスの商人』のアントニーオウを知っている。彼の場合、その憂鬱の原因は、彼自身にもまわりの者にもわからなかった。冒険的な商売取引の不安、思いどおりにゆかない恋愛沙汰、そうした他の者なら認めるであろう理由を、彼は強く否定した。私は、それは生きることの疲れ、死というものを漠然と意識することによる恐れではないかと考えた。

オーシーノオの場合は、その憂鬱の理由ははっきりしている。恋、である。求愛しているが、それが受け入れられないゆえの、鬱屈なのだ。恋の相手はオリヴィア姫。一目惚れであった。

公爵 おお、この両目がオリヴィアを初めて見た途端、あたかも彼女が、激んだ空気を追い払ったように思えた。その瞬間に、私は牡鹿に姿を変えられ、欲望が、血に飢えた猟犬のように、ずっと私を狩り立てているのだ。（1幕1場）

彼は彼女のもとに何度も使いの者を送って、自

分の気持ちを伝えている。それに対して、彼女ははっきり断っている。

オリヴィア 貴方のご主人は、私の心をご存知のはずよ。あの方を愛することはできないの。立派な方だと思うし、身分も高く、若々しく、欠点とって見付からない。お声をきけば、男らしく、教養もあり、物事にこだわらない、すてきな方だとわかるわ。お姿も堂々となさってる。それでも、愛することができないの。もうとくに、返事をさしあげているというのに。（1幕5場）

オリヴィアがうんざりするの、無理はない。オーシーノオは、自分が愛されないはずはない、と信じている。自分の気持ちをしつこいくらいに伝えていれば、オリヴィアも必ず自分になびくはずだ、そうならないのは、使いの者が、自分の気持ちをちゃんと伝えていないからだと考える。他人が自分と違う価値観と情緒をもつことが理解できず、自分が愛しているからといって、相手が自分を愛さないこともあるという「事実」を受け入れられない限り、彼はあきらめない。その点において彼はまだ未熟だ。

公爵 でも、もし愛せないとおっしゃったら？
公爵 そんな返事を聞く耳はもたない。（2幕4場）

オーシーノオが自分で足を運ばないのは、身分がらということもあるが、それ以上に、現実のオリヴィアと顔をあわせるのを好まないからであろう。彼が恋するオリヴィアは、彼の心にいる。彼が劇中で初めてオリヴィアに会うのは大詰めの第5幕であり、そのとき彼は彼女に決別の言葉言うことになる。彼にとってオリヴィアは、彼の頭の中で理想化した彼女である。

公爵 おお、死んだ兄に対してさえ、これほどの愛で報いようとは、なんとすばらしい心をもっていることか。もし黄金の矢が、彼女の中に住む、他のすべての感情を殺してしまったなら、どれほど愛は深くなるのか。肝臓も頭脳も心臓も、すべての地位がただ一人の王によって占められてしまうとしたら。（1幕1場）

しかし、恋に浮かされていない他の者の目には、彼女は少し違って見える。

サー・トビー 兄貴が死んだからって、姪の奴まで病気になったわけじゃあるまいに。くさくさしていると、体まで腐っちまうぞ。(1幕3場)

ヴァイオラ あなたという方が解りました。高慢が過ぎます。(1幕5場)

結局、オーシー・ノオには自分が恋している相手を、正しく見る事ができていない。相手にとって自分がどんな存在であるかも、解っていない。彼の恋は、彼の世界の中だけにある。そのくせ彼は、他の登場人物に向かって、恋について一席ぶつほどの恋の達人と、自分を錯覚している。

公爵 ここへ来るがよい。もしお前が人を愛する時があれば、その甘酸っぱい苦しみの中で、私を思い出すがよい。本物の恋をすれば、だれでも私になるだろう。心が休まることもなく、気がそぞろになって、恋する者の面影をいつも想い浮かべるよりほかには、なにもできなくなるだろうさ。(2幕4場)

あるいはまた、自分だけが恋に悩んでいるような気になってしまったりする。

公爵 私の愛は海のように飢え、それにふさわしい愛を消化することができる。女が私に抱くほどの心と、私がオリヴィアに捧げている愛情とを比べるなどとは、もっての外だ。(2幕4場)

つまるところ、彼は恋をしているという気分を楽しんでいるのであり、いわゆる、恋に恋している人物の一人ということになる。やはり同じように、偽りの恋にとりつかれたヒーローを、我々は他に知っている。『ロミオとジュリエット』の、若きロミオである。彼は芝居の当初、不実なロザリンドに、まさに若気の至りと言うべき恋心を抱いている。そして彼女が来ると期待して、敵であるキャピュレット家の舞踏会に忍びこみ、そこで本物の恋におちてしまうのである。第1幕で本当の恋を発見したロミオは悲劇の道をたどり、第5幕まで偽りの恋にとらわれていたオーシー・ノオは、ハッピーエンドを迎えるというのも、皮肉で

ある。そして、うわべの裏にあった真実に気付くほどに「成熟」したとき、まさに「青い鳥」のように自分の身近にいた、相思相愛の本物の恋人を得ることができ、彼につきまとっていたメランコリーは、癒され消えてしまうのだ。

(4)

ところで彼のメランコリーを大団円までひっぱっていく、その助けとなるものが、音楽である。実際、オーシー・ノオが登場する場面で、彼はしきりと音楽を所望している。

公爵 もし音楽が恋に糧を与えるのなら、奏でてくれ。(1幕1場)

公爵 何か音楽を聴かせてくれ。ゆうべ聞いた、古めかしい昔の歌がいい。あの歌は、目まぐるしい早い調子の曲や、軽々しい歌よりも、ずっと私の心を慰めてくれるのだから。(2幕4場)

『十二夜』という芝居は劇全体に音楽が浸透しているが、その使われ方がまことに自然で、無理なく使用されているため、本筋からそらされてしまうことがない。むしろ劇の二つの筋(オーシー・ノオたちの恋愛のそれとサー・トビーたちの悪ふざけのそれ)の気分を支え、強め、そして互いのコントラストを示し、結び付けさえしている。言い換えると、劇中の音楽は二つのグループに分けられる。公爵にかかわる、甘くせつない音楽と、サー・トビーたちにかかわる、陽気な歌である。

オーシー・ノオ公爵の登場する場面で聞かれる音楽は、彼の性格から発しており、それが更にヒロインたち、特にヴァイオラ、にも影響を与え、彼女のメランコリーを助長している。おそらくはこの芝居のために作られたオリジナル曲だろう。

一方、サー・トビーにかかわる音楽は、酔っ払い機嫌での、輪唱や尻取り歌といった、遊びがましい歌が使われ、彼らが登場する場面の喜劇的状況を更に強めている。こちらは、既に一般に歌われていた歌が使われていると考えられる。もっとも、サー・トビーたちの場面に、ひとつオーシー・ノオ的な歌が導入されている。『我が恋人』。女性を恋に誘おうという甘ったるい歌である。2幕3場、夜更けに酔っ払って騒いでいるサー・トビーとサー・アンドルーの、恋の歌というリクエ

ストに答えて、道化のフェステが歌うものだ。こうした優しい愛の歌を聞けば、オーシーノオであればその気分にひたりきって、愛についての長口舌を披露するだろう。しかしサー・トビーたちの耳は、その感傷をさっと聞き流してしまっ、今度はその気分を打ち消すように、馬鹿げた歌の歌いこに入ってしまう。このところで、きわめてはっきりと、シェイクスピアは二つのグループが相入れないものであることを、示している。

この芝居の冒頭に演奏されている音楽、オーシーノオが、続けてくれ、と命じる曲が、具体的にどんな曲であるか、指定されていない。しかし、この芝居の気分、オーシーノオの心情を紹介するものであるのに違いない以上、どのような曲であるかの見当をつけることは、難しくはない。

Duke. If music be the food of love, play on,

この最初の行で、music, foodの二つの [u:] にアクセントがきて、後はlove [ʌ] とon [ɑ] の、すこし長めの母音がアクセントをもつ。その結果、ひきずるようなリズムパターンが耳に響く。それは冒頭の音楽が、物憂げでゆるやかなものであろうことを示唆している。

ステイジ・ディレクション(ト書)には、オーシーノオとその取り巻きの登場が指定されているだけで、演奏者の登場について、述べられていない。舞台の上の方にしつらえてある楽士席から前奏曲が演奏されている、そこにオーシーノオたちが登場して芝居が始まるという形であったのだろう。2幕4場の、『死よ、来たれ』の場合は、「公爵、ヴァイオラ、他の者たち、登場」とされているので、この「他の者たち」のうちに、演奏者たちが含まれているのだろう。別に同じく姿の見えない演奏者でも構わないのだが、歌とあわせる都合、また場面の雰囲気から、演奏者が舞台にいた方がよいと思われる。楽器編成は、当時の習慣から推測して、撥弦楽器(リュート)と木管楽器(パンフルート)、あまり目立たせず打楽器(ティンパニ)が使われたろう。オーシーノオにかかわる音楽は必ず楽器演奏がつく。対してサー・トビーにかかわる場合は、演奏がつかない(せいぜい歌い手自身の弾き語りかタンバリン)というのも、互いを際立たせる手法になっている。

オーシーノオにかかわる更に重要な音楽は、既に述べたように2幕4場の『死よ、来たれ』である。道化のフェステによって歌われるせつない歌

だが、歌手について疑問がある。一言で言えば、『十二夜』は一度以上改訂されており、初演ではこの歌はヴァイオラを演じた少年俳優が歌ったのだが、何らかの理由(その少年が退団したか、声変わりした)によって、改訂の際に、道化が歌うことに変更されたのではないかということである。テキストをちゃんと読めば、誰でも抱く疑問であろう。もしそうした変更があったとするなら、テキストにおける次の奇妙な点は解決される。

- (1)ヴァイオラはオーシーノオの小姓に自分を推薦する理由として、歌が歌えることをあげているが、劇中で一度も歌わない。
 - (2)フェステはオリヴィア家に雇われた道化であるのに、自由にオーシーノオのもとに出入りして、その機嫌をうかがっているのはおかしい。
 - (3)マルヴォーリオにとっちめられて、その仕返しをしようと相談したのは、サー・トビー、サー・アンドルー、フェステ、マリナであるのに、実際にいたずらを仕掛ける場面では、フェステが登場せず、いきなりフェビアンという、あまりはっきりしない性格の人物が登場している。
- さらに、もしこの歌をヴァイオラが歌うなら、メランコリックな音楽がかかわるグループと、陽気で卑俗な歌がかかわるグループとが、はっきりわけられて、その意図は更に明確になるだろう。
- とはいえ、やはり先に述べたように、フェステが歌うことによって、2つのグループをむすびつけるという効果はでてくるし、その歌を種に、オーシーノオがヴァイオラに恋についての説教をするという状況も作り出せたのだから、うかつに言い切ってしまうことも危険ではある。

Come away, come away death
And in sad cypress let me be laid.
Fie away, fie away breath,
I am slain by a fair cruel maid:
My shroud of white, stuck all with yew,
O prepare it.
My part of death no one so true
Did share it.

来たれ、死よ、来たれ。
しかつめらしい杉の間に、我を横たえよ。
消してしまえ、消してしまえ、息よ。
我は、美しくもむごい乙女に、殺された。
いちいの枝に貫かれた白いかたびらを、
我に着せかけよ。

死の前に、かほどに真実を見せし者は
我の他にひとりもなし。

1行目のdeathと3行目のbreath、2行目のlaidと4行目maid、5行目yewと7行目true、6行目と8行目のitがそれぞれに韻を踏む、[abab cdcd]型の単純な韻律と、平易で素朴な言葉づかいは、オーシーノオの心の悩みの単純さを表しているようだ。「恋のために死ぬ」。それはロマンティックな若者の憧れであったろう。現実的でないからこそ、憧れる。それを考えると、この歌は、オーシーノオが大袈裟に言えば言うほど、彼の恋が空想的なものと、伝えているかのようだ。しかしそれは観客の側のこと。オーシーノオ自身は、この歌を自分のメランコリーに力を与える食物として、喜んでうけいれているのである。

オーシーノオがメランコリーから解放された後、その気分は道化に引き継がれ、彼は一人残されて、エピローグ代わりに歌う。

おいらが、ほんの、餓鬼のころ、
ララ、ヘイ、ホー、風と雨、
おどけた遊びで日を暮らし
来る日も来る日も、雨ばかり。
でも、おいらが大人になったとき、
ララ、ヘイ、ホー、風と雨、
悪さをする奴は、閉め出され、
来る日も来る日も、雨ばかり。

どうやら、道化の憂鬱は、公爵のそれより、もっと人生の深みに触れているようである。

(5)

ヒロインたちが、「兄の死」という悲劇を共有していることは、既に述べた。もっとも、オリヴィアの兄の死は現実であるのに対して、ヴァイオラの方は、推測されたものにすぎない。そしてその兄の登場によって、この喜劇は幸福な結末を迎えるわけである。

オリヴィアが兄の死を嘆くことは当然であるし、短い間に父と兄を無くして、たよるべき身寄りをもたない身となっては（頼りにならない叔父はいるが）、憂鬱に沈むことも不思議ではない。しかし、七年もの間、兄の喪に服し、男性と交際

はおろか、顔を合わすことまでしないと誓うのは、サー・トビーの言うように、常軌を逸している。彼女のそのメランコリーには、「装われたもの」の匂いがブンブンする。幾分は、オーシーノオのように彼女に言い寄ってくる男から、身を遠ざけておく意味あいもあるのだろうが、それ以上に、兄の喪に服しているけなげな妹、を演じることに満足しているらしいふしが、見え隠れする。たとえば何気なくもらすこうしたセリフ、

オリヴィア マルヴォーリオはどこ？あの人はいまじめくさって礼儀正しいから、私のような立場の者にふさわしい召使いだわ。（3幕4場）

これには、自分が他の者の目からどう見られるかを意識している、彼女の姿がうかがえる。

そして彼女が決して、本心から男を避けようとしていないことは、オーシーノオの使いとして現れたセザリーオ、つまり男装したヴァイオラに、一目惚れしてしまうことから、知れよう。

しかし彼女のセザリーオへの愛は、オーシーノオの恋に似て、実体のあるものではない。でなければ、セザリーオが実は女だからといって、そしていくらそっくりだからといって、易々と自分の相手をセバスチャンに変えてしまうことができるものではない。彼女が愛したのは、セザリーオのような、若くて美しい男性、彼女のまわりにはいないタイプの男であったただけだ。そうしたことを、しかし彼女は認めようとしな。クイラ＝クーチは、それを評して「自己欺瞞」と述べているが、確かにこの芝居の主人公たちは、それぞれ「自己欺瞞」に陥っているようだ。自分が作り出した、喪に服するため男性を避けるという建前と、自分の愛をどうしても受け止めてもらえないという焦立ちの中で育まれるオリヴィアの憂鬱は、別の世界から飛び込んで来た若者によって、追い払われる。それは箱入り娘として、狭い温室の中で高慢になっていた彼女が、他の人間から軽んじられ、また自分の理解の及ばないところで運命の手に振り回されたことを感じたとき、彼女に「成熟」がおとずれ、自分をすら偽っていた彼女は、ようやく見せかけの裏にある真実をみようとする。そのとき彼女は癒されるのである。

他の二人の主人公に比べて、オリヴィアは、現実的である。現在の自分のおかれた状況を把握して、その中で自分のとる行動を選ぼうとする。彼

女はまず、自分と共通した立場にあるオリヴィアの事を聞いて、彼女のもとに身を寄せようと考え。しかし、自分を救ってくれた船長から、オリヴィアが自分を受け入れてくれないだろうと聞かされると、今度は自分の音楽の才能を言い立てにして、オーシーノオに仕えようと決意する。自分からまわりの状況に対応してゆこうとする、彼女のその積極性は、男になろうという奇妙な行為を、観客に納得させる力となる。

ヴァイオラ お願い、お礼はたくさんしますわ。私が何者なのか秘密にして、私の企みにかなう姿に変装するのを手助けしてくださいな。この公爵にお仕えしようと思うの。私を側仕えとして推挙してください。お骨折りは無駄にはなりませんわ。私は歌が得意だし、音楽について彼と色々な話だってできますから。それから先は、時の流れに任せましょう。（1幕2場）

そのあと起こったことは、彼女が想っていないことだった。彼女は、間近く仕えているオーシーノオを愛してしまったのだ。しかし、男のセザリオとして自分を規定してしまった以上、女として愛を打ち明けることはできない。愛する男に、女として自分を見てもらうことすら許されない。セザリオとしてオーシーノオに寵愛されればされるほど、オリヴィアには戻れないのだ。彼女は自分の作り出した迷路に、自ら迷いこんでしまった。そして人をそらさない、良く気のまわる彼女の人となりは、自分が愛する男と、その男が愛する女との橋渡し役を、引き受けさせてしまう。この矛盾だらけの立場の中で、それが自分自身で作り出した状況だけに、彼女の憂鬱は誰にうちあけることもできず、ひたすら膨らんで行く。そしてなんとオリヴィアが、自分を男として愛していることに気づいたとき、彼女が自分と同じように、絶望的な愛にとらわれていることに同情して、彼女はまったく混乱してしまう。

ヴァイオラ 彼女は誰かに、私を愛している。（略）
私は男。もし本当にそうだったら。気の毒な方。まだ、夢でも愛している方がましなのに。一体どうなるのかしら。私は男だから、ご主人を愛している私の立場は絶望的。そして私は女だから、ああ、なんて事、可愛想にオリヴィアは、なんの報いも得られない事のために、ため息を

ついているのだわ。おお、時よ、お前がこの決着をつけてくれないとだめだわ。こんなにこんがらがった結び目は、私にはとても解けやしない。（2幕2場）

彼女は今は男として、オーシーノオやオリヴィアの前にいる。見かけの通りなら、彼女はオーシーノオでなくオリヴィアを愛せばよい。三角関係は解消する。しかし彼女は女である、これもどうしようもない事実。見かけと事実の間で、彼女は混乱している自分を見いだす。3人が作る三角関係は、一方通行で循環し続けざるをえない。

彼女がこの憂鬱から解放されるには、自分の男の部分であるセザリオを抹消するしかない、たとえそれが、同時にヴァイオラの死を意味することになろうと。彼女の愛はオーシーノオやオリヴィアのものとは違う。だから愛する者に殺される事を、彼女は決して恐れない。彼女が恐れるのは、愛する者に嫌われる事なのだから。

公爵 私は愛する子羊をいけにえに捧げよう。鳩の姿に潜む大鴉の心を責めさいなむためにな。
ヴァイオラ そして貴方の心を安らげるためなら、千度でも、私は心の底から喜んで、死にますとも。（5幕1場）

しかし彼女は一度も死ななくてすむ。兄のセバスチャンが登場し、彼女の男の部分を引き受けてくれたから、セザリオは自然に退場できるのだ。外見を偽ることで物事に処してゆけると考えていた彼女は、押し込められた本質が自分に仕返ししたのを感じたろう。そこで彼女にも「成熟」がおとずれたわけだ。

主人公たちに共通するのは、本質を見抜けない未熟さ、あるいは偽りが真実を覆い隠せると軽々しく信じる、未熟さである。そこから彼らのメランコリーは生まれて来た。彼らが成熟し、本質を見れるようになったとき、あるいは本質を大切に思うとき、その憂鬱は癒されるのである。

（6）

むなしい恋に悩む主人公たちに比べて、こっけいな脇筋を受け持つサー・トビーたちはメランコリーとは無縁だと、見えるかもしれない。しかし、そう言い切ってよいだろうか。

酔っ払って、馬鹿騒ぎを繰り返しているサー・トビー。彼は成程、無頼漢ではある。だが、居候とはいえ、叔父でありながら、オリヴィアに愚か者扱いされている事に、鬱屈がないわけではない。

リダ 誰がその人のお相手をしているの。

リダ 叔父上の、サー・トビー様です。

リダ すぐに彼をひっこめて。あの人ったら、訳の分からない事しか、言えないんだから。うんざりするわ。(1幕5場)

そして、マルヴェーリオの口を通してではあるが、このように言われてしまっている。

マルヴェーリオ サー・トビー、申し上げる事があります。お嬢様からお伝えするように言われた事です。叔父上ですから、貴方様にお宿を提供しておりますが、貴方の不行績には、つくづくお腹立ちでいらっしゃいます。もし貴方が馬鹿げた騒ぎ事から身をお引きになられるなら、この邸に歓迎いたしましょう。もしそうでなく、お嬢様のもとを引き下がるとおっしゃるなら、喜んでお暇をさしあげるおつもりでいらっしゃいます。(2幕5場)

オリヴィアに口うるさく言われるのはともかく、マルヴェーリオにまで、まるで目下の如く扱われるのは、とてもがまんならない。彼の憂鬱はそこにある。それをまぎらすために、馬鹿騒ぎは一層激しくなる。そして彼らがマルヴェーリオにいっぱい食わせ、その気取った様子を、すっかり裏返して、彼らに嘲られる存在にしたときに、憂鬱は癒されることになる。

マルヴェーリオには、メランコリーはなかっただろう。オリヴィアが買っている彼の真面目くさった顔つきは、そのような威厳ある人物を演じている彼の、一種の仮面だ。そして彼自身、自分がそのように厳肅で超然たる人物であると、信じている。彼が自惚れの中に安穩としている限り、彼にメランコリーはとりつかない。

むしろ、悪ふざけの犠牲者となり、装いがひきはがされ、自分とまわりとの認識がまったく違っていたことを思い知らされ、自惚れを粉碎されてしまったこれからの彼に、メランコリーはつきまってくるだろう。オリヴィアの場合は成熟に結び付いた自己発見が、彼の場合は、周囲の悪意を

経由したため、歪んだものになってしまった。彼の退場のセリフは、悪ふざけをした者だけでなく、まわりのすべての者たちを呪うような調子がある。

マルヴェーリオ どいつもこいつも、思いしらせてやる。

[退場] (5幕1場)

道化のフェステ、他人の憂鬱を払うのが仕事である彼は、そうした憂鬱の塊の中において、憂鬱とのかかわり方を会得している。

リダ この人は頭が良いからこそ、道化てみせるのね。それをうまくやってのけるには、ちょっとした才覚がいるもの。冗談を言う相手の気分や性格を見抜き、いうべき時を見計らい、鷹のように、目前の獲物の羽をのこらずチェックしなければならないもの。これは賢者の技術に劣らない、骨の折れる仕事だわ。(3幕1場)

彼の頭の良さこそ、彼自身の憂鬱の種なのではないだろうか。多くの者が、その目の前で起こる厄介事に悩まされているのに対して、賢い道化は、人が見過ごしたり、そういうものだと言って見逃しにしてしまう理不尽に、ひっかかり、悩んでしまう。そのメランコリーは、おそらくいつまでも癒されることがないと知りながら。彼は道化という存在を選んだとき、「成熟」を拒んだのである。

[主な参考文献]

テキストはArden版の“Twelfth Night”を使用。
(J.M.Loithian & T.W.Craik編)
日本語訳は筆者による。
他にThe New Shakespeare, The New Penguinなどの版も参照。
“The first night of Twelfth Night”
by Leslie Hotson (1954)

The Use of Critical Thought and Expression in English Conversation

(Discussion and Group Work approach)

John SINCLAIR and Takashi KUNIKATA

In this article the use of critical thought and expression is looked, as a means of stimulating the students fluency in English Conversation. The aims of the class are explored in regards to the method, class activities and evaluation. Evaluation plays an important part, for it provides the students with feedback on what was good and what was wrong with their group work.

I Introduction

Nara National College of Technology having a 5 year course in many different fields of engineering posed a series of problems when it came to teaching English Conversation.

While in the 1st and 2nd grade it was easy to teach the basics of conversation, having set patterns and formulas to work from. When it comes to the 4th grade; age (maturity), word power and students' interest created a situation where mere patterns and formulas of speech were not enough to teach English as a dynamic language. What I wanted was for the 4th grade students to come away from class with the ability to express and assert themselves in a variety of topics. There were two reasons for this, one, in speaking to Japanese it was found, that a great many (for all their study of English, from Junior High School to High School) have a poor ability to express and assert

themselves in English. Secondly, most of the students are interested in going overseas at some stage in their life. When they go, people that they meet will be interested in what they think about various issues. For example, whaling. Some people may ask them why Japanese still hunt whales. A reply like, "Because it's a Japanese tradition." may not satisfy the curious foreigner. This is what one might call a 'non-answer'. For it is a statement containing very little information. Another typically bland answer that one may come across is this: "Because I'm Japanese." The person who asked the question already KNOWS that he or she is from Japan. The reason that these answers are given, maybe due to the lack of further knowledge in English of various topics, and may be, a lack of confidence in people's ability to express themselves. Thus it was decided to try and encourage the 4th grade students, through discussions and group work. (seminar type presentations)

II Aims

Ideally the main aim for the students at this level is to be able to ① hold discussions on a wide range of topics. The criteria for choosing the topics was based on; (A) the students interests such as fashion and lifestyle, (B) related to the students lives, for example English and its use in the world today, (C) related to the students global perspective using such issues as environmental problems, energy and international relations in respect to the Pacific region. ② to reinforce and extend the range of their vocabulary through practical exercises. For if the students word power is limited they are immediately handicapped in their ability to convey an idea or concept to others. ③ to allow the students the opportunity to use material from their other classes when preparing their topics. Through this the students will recognise that learning English is not just the storing up of knowledge, but also a means by which they can communicate their thoughts and feelings to others in the class. ④ to promote some degree of fluency of speech as well as thought.

III Method

It was decided to try a group talk method, in the hope that it would elicit the students thoughts and opinions. With group work each student has to work together in his or her group as a team, thus promoting communication skills between students (not necessarily in English). To obtain an evaluation score each student must take an active part in the groups presentation. In doing so it forces the students to share their thoughts and opinions, which is important in communication. It also allows the students to have an opportunity and an experience of communicating in English.

Although there are other methods that can be used to stimulate discussions, such as, question and answers (either lead by the

teacher, or by a student) with this there were a number of problems. ① The size of the class and the time frame available tend to limit the effectiveness of this method. ② This method maybe dominated by the teacher reduces the students participation in class. ③ With this method not all of the students will have a chance, or are willing to take part during the question/answer session. ④ There is a problem with evaluating the students. With the question/answer method one would ideally want to orally interview each student at the end of each semester, to gain an insight into the student's ability to understand and to communicate ideas. However with up to 200 students the time period available to do this makes it an impossibility. This brings us back to group talks again.

In group work; ① the students play a more active role in the class while the teacher's role changes from instructor to facilitator, encouraging, guiding and advising each group. To do this the teacher, after a presentation has been given, can ask questions to the other students to stimulate discussion amongst them. For example, after a presentation on media communication, the teacher asked the other students their thoughts on the role of television in society, and to what extent TV manipulates people's thoughts and action. This helped the students to focus on the groups talk. The teacher can also ask questions about what the group presented to make sure that the other students have listened to what has been said. ② Group work also allows the teacher to easily evaluate each student a number of times during the year. (This will be dealt with in detail later.)

IV Group Making and Themes

Since there are 5 classes in the 4th grade the teacher decided that rather than each class studying the same theme at the same time, each class would study a different theme on a rotation basis. (see appendix 1.)

This allows the teacher a greater variety of conversation topics during the day, and restricts the chances of repetition in each class.

The class members are divided into 7 or 8 groups comprising of at the most 6 students. (Six being the most workable number.) Each group in the class chooses a different topic to research from within the main theme. The students in one year will look at 6 themes, these being taken from the Macmillan Dossier series. The themes are as follows; The Green World, Youth Culture, The Pacific World, Cinema, The Future and International English. Within these themes there are many topics that can be discussed. For example, in The Green World there are topics such as, the rainforest destruction, nuclear power and the green-house effect. The reason why each group chooses a different topic is ① it allows for much of the dossier to be looked at within a limited time frame, and ② groups cannot copy each other directly.

V Lesson Outlines

Each theme is divided into 6 periods each consisting of a 45 minute time slot. (See appendix 2.)

Week.1. period.1. The first period is allocated into two parts, ① introducing the theme, and ② dividing the students into their respective groups.

(1)Introduction: This is a teacher guided discussion in which the students are encouraged to think about (A) what the title of the book means. For example, in The Green World the teacher can focus on the word green; what kinds of image do the students have of this word? The teacher then writes the students' ideas on the board. Words such as forests, rainforests, environment, nature and animals will be suggested by the students, and each word in itself can be expanded upon. To get further ideas the front cover of the dossier usually has an interesting pho-

tograph. The Green world, for example, has a photo of an indigenous South American Indian. This can be used to stimulate students to think about other cultures that rely on a natural environment for survival. (B) The introduction of essential words that help students to grasp the essence of the theme.

(2) Group: Once the teacher has finished the introduction of the theme, the students can then be divided up into groups. The quickest way to do this is to write from 1 to 8 on the board. The students then write their names in the group that they want to be in. The teacher records the name of the students in the group.

The students then get together in their groups to choose what kind of topic they want to talk about. They can get their headings for the topics from the first page of the dossier. While the students are doing this, the teacher can write on the board various ideas on how to present their topic. Ideas such as drama, the use of video, music or charts and posters can be used to illustrate their seminars. Over the last three years students that have used such ideas as charts and posters have been able to communicate in a much freer style than those that have relied only on written notes. In each dossier there is an activity page with useful ideas and addresses from which the students can obtain more information if they want. Some of the ideas suggested in the T,G,W (The Green World) are as follows; (1) making a newsletter, (2) making a statement on a T-shirt, e.g 'Save the World!', (3) making a scrapbook for other students to look at, (4) making a record of their families lifestyle. The teacher can also suggest that the students do their own local research. For example, near the school is a river, from which the students could gather raw data. The students could test the waters pH level, note what kind of rubbish has been left there by people, what kind of pollutants are in the water and in what ways has the river been mod-

ified by man (Human impact). Once the students have chosen their topics they have two weeks in which to research the topic for presentation. The research is done in the students own time.

Week.2.period.2. This was to be used as a time for students to research their topics. However most of the students rather than re-searching, sat down to finish off reports for other classes, to read comics or to just talk. So once again this time has become a teacher lead discussion, talking about the theme in general. For example in The Green World the environment is discussed in detail. During the discussion the teacher can write on the board words that maybe difficult to understand. Along side these words the teacher can write in English a simple definition. This I believe enables the students to gain an image of the word in English, rather than translating it back into Japanese. For example; Pollutants: chemicals or gases such as oil and CFCs (Chloro Fluoro carbons) that make the water, air or ground dirty.

Period.2. is also a chance for students to ask for advice on their own assignments.

Week.3.period.3. This is the start of each group's presentation. During this time each person in the group will present his or her research in about 3-4 minutes. It has been found that within a 45 minute time period only about 3 groups can give their presentation.

Week.4.period.4. Presentation continue.

Week.5.period.5. Usually the presentations are completed within this period, with some time for feedback from the students about what they have done in class. The teacher can then ask, what was discussed by each group, and what the students learnt from listening to the talks given.

Week.6.period.6. This is the final phase of the theme. The teacher can hand back each groups individual comments, and a summary of the good points and the bad points can be discussed. The comments do not have to be pointed out at an individual level, but can

be said to the class in general, so that all students can benefit from each other. Basic things such as; format, structure, sentence structure, speaking style (too soft, too fast, emotion, intonation) can be talked about. The students themselves can be polled to see how they feel about each of the presentations. Once this has been done, next weeks theme can be introduced so that the students can do some reading preparation.

VI Evaluation

As each group gives its presentation, the teacher evaluates the group in the following way.

CLASS TOPIC	GROUP ASSESSEMENT				GROUP No
	NAME	ORIGIN ALITY	PREPAR ATION	COMMUN ICATION	LOGIC

(See appendix 3 for students presentation and teacher's feedback comments.)

For each of the above categories a score of 1-10 is given. 1 being the lowest score while 10 is the maximum score. Each student is scored individually out of a total initial score of 50. In reality the maximum score that a student can actually attain is 30. Therefore the score is halved to 25 and 5 points are added from in class work, such as newspaper assignments or other written work.

VII The Basis for each Category Evaluation

Originality: This is an incentive to stimulate the students creative ability, guiding them away from a very basic format of just reading the notes that they have made. In fact this year's emphasis has been on originality for exactly this reason. The students tend to try and use the easiest and lest time consuming activities, which tends to make

their talks dull and uninteresting. Where as the planning and writing of a drama, may take more time to plan and create as well as practise. Those students that have used drama tend to obtain a lot more out of the exercise than those students who simply read out their notes.

Thus a short drama would receive a maximum score of 10, while a simple reading out of the dossier with no creative stimulus would receive a 1.

Preparation: This is usually combined with originality and content. This is based on the students preparedness. Have they prepared charts or posters to explain to those listening. Have they planned their speaking order. Have they done additional and original research on their topic, and have they included other sources of information. For example, from magazines, music or from their own interviews.

Communication: How well do the students communicate to the class? This usually depends on how well they have prepared. It includes pronunciation and style. For example, do they just read out the material, or are they able to speak freely, only now and again referring to their notes? The students by watching each other can pick up new ideas and methods on how to communicate. Overseas students and those students that have studied overseas tend to excel in this category. For they tend to have the most experience.

Logic: Most students tend to confuse this with computing and maths. However it is an integral part of speaking. Arranging one's thoughts and facts so that they are presented in a logical fashion is an important step to sensible conversation. For example, the students must start with an introduction, introducing their topic and main ideas, followed by an expansion and detailed explanation of

these points, leading to a conclusion that sums up their argument. The points must be related to each other, and not presented in a disjointed way that confuses the listeners. It has often been found that at the beginning of the year, most students do not have a sense of order within their presentation, their thoughts tend to range over a wide variety of ideas which most of time have no relationship to each other. A little like brain storming.

Content: This is a measure of the students ability to research in detail a chosen topic. It measures how well they understand their topic and to what level of complexity they have researched their topic. Complexity is not always desirable though, because ① other students cannot follow what is being said, and ② it can hinder the students ability to speak well if their notes are full of unreadable words. However a well researched topic that students have spent time preparing, and familiarising themselves with, can be very rewarding to listen to. The content of their research should not only come from their dossiers, but also from such sources as easy to read magazines, newspapers, books, video documentaries and music. In one case some students included poetry in their talk.

VIII Advantages and Problems

One must accept that there is no one perfect way to teach communicative English. There are many methods that a teacher can resort to. With this method I think the benefits to the students far outweigh the problems encountered. For one the students are totally responsible for the amount of research and effort that they put into a topic. Secondly the students learn valuable speaking skills from (1) their experience in giving and researching their chosen topic. (2) From the teacher's guidance and comments given at the end of their presentations. (3) With the wide range

of themes and topics available the students are able to find something that interests them. (4) For the students it is a chance to exercise and expand their skills in English communication in an informal setting. (5) The students learn how to structure their material in a logical manner so that their thoughts are laid out concisely. (6) The students gain confidence in speaking in front of other people in a foreign language. (7) The themes allow the students to see what other young people around the world are interested in, and what opinions they have. (The dossiers have an opinions page at the end of each theme.) (8) The students learn through experience rather than method, extensive grammar use. (9) It reinforces their vocabulary and grammar through actual use. (10) The teacher is no longer the mainspeaker, which used to be a big problem in previous classes. (11) The students become responsible for the learning process. The more active they are, the more they will learn from the class.

Problems: A major problem that I am challenged with at the moment is the students' inability or unwillingness to listen to one another. When one group is giving their presentation, other students tend to be disinterested to what is happening at the front. There may be several reasons for this (1) being a technical school the students primary interest lies in their field of study. In this area their work load appears to be enormous. Allowing them very little time to actually concentrate on English, or for them to regard English as a serious subject. Their interest may only be controlled by how many points they can attain in English Conversation rather than looking at English as a serious tool for communicating. (2) This is usually the first time that they are in control in the classroom. The teacher is no longer the sole authority divulging information at the front of the classroom, while the students

play a passive role. The student's role may have changed from obtaining information by listening in order to receive the maximum number of points, i.e., simply recycling what they heard in class for a test. To one where how the information is given determines how many points are received. Thus listening in this respect may have become a secondary objective for the students.

Other problems are relatively minor, and can be overcome with a little guidance. A problem at the beginning of the year is usually stimulating the students creativity. To overcome this, the previous years class work can be displayed to give the students some ideas on what can be done. The next problem is time. Since E.C (English conversation) is only once a week and each class is only 45 minutes, in-depth study and discussion is rarely possible. An in-depth plan of 'The Green World' dossier looked good on paper but was unworkable due to the time frame within which it was set. (See appendix 4)

IX Conclusion

In conclusion, group presentations and the use of discussions is one method in which communicative English can be taught with some success in situations where large classes and a limited time period are a dominating factor. It is felt that this method helps to stimulate the students thinking ability in a foreign language, as well as allowing the student to express his or her creativity in class. The method also allows for each student to be evaluated outside an exam environment where the communication situation tends to be one way. It is also hoped that this method helps to stimulate the student in thinking about issues that may directly affect them, as well as issues of a more broader and international scale.

NOTES

Stephen Rabley (1989) *Macmillan Dossier series* Macmillan.

Appendix 1. Classes rotation schedule.

4TH YEAR YEARLY PLAN.				
MONTHS	CLASS TOPICS			
C	E	I	M	S
THE GREEN WORLD	CINEMA	PACIFIC WORLD	THE FUTURE	ENGLISH THE INTERNAT LANGUAGE
CINEMA	THE GREEN WORLD	THE FUTURE	ENGLISH THE INTERNAT' LANGUAGE	YOUTH & CULTURE
PACIFIC WORLD	THE FUTURE	ENGLISH THE INTERNAT' LANGUAGE	YOUTH & CULTURE	THE GREEN WORLD
THE FUTURE	ENGLISH THE INTERNAT' LANGUAGE	YOUTH & CULTURE	CINEMA	THE PACIFIC WORLD
ENGLISH THE INTERNATION'	YOUTH & CULTURE	THE GREEN WORLD	PACIFIC WORLD	CINEMA
YOUTH & CULTURE	PACIFIC WORLD	CINEMA	THE GREEN WORLD	THE FUTURE

Appendix 2. Theme schedule and time allotment.

DAYS	THE GREEN WORLD		
1. INTRODUCTION ASSIGNMENT PROJECT USING VIDEO, VISUAL AIDS RESEARCH OR REPORTS.	THE WORLD ABOUT US. LOOK AT PG 30-31	INTRODUCTION TALK - What does the title of the book mean? - What's your image. GROUP MAKING - Students choose their groups. - Groups choose their topics. - Group order of presentation.	Ideas for projects
2. CLASS DISCUSSION	THE ENVIRONMENT	TEACHER LEAD ANSWER AND QUESTION - What are some environmental problems? - What are the causes of E.P? - Can the problems be solved?	Speed reading practise (NEWSPAPER)
3. PRESENTATION I	GROUP BEGIN PRESENTATIONS.		
4. PRESENTATION I	GROUPS CONTINUE		
5. PRESENTATION II	GROUP PRESENTATIONS FINISH.	FEEDBACK - What did each group talk about? - Summary	
6. CONCLUSION	PRESENTATION CRITIC - Good points - Bad points - Advice	NEXT WEEKS THEME	

Appendix 3. Group evaluation and feedback comments.

CLASS M
THEME Russian Youth

GROUP ASSESSMENT

GROUP No 6
DATE 03/10/20

NAME	PRESENTATION ORIGINALITY	PREPARATION	COMMUNICATION ABILITY	CLARITY LOGICAL	CONTENT
Student A	3	5	4	10	3
B	3	5	4	10	3
C	3	5	5	10	3
D	5	5	5	10	3
E	2	3	2	5	1.5

COMMENTS:

Very clearly disorganised, you have done very little preparation.

Your talk was very unoriginal and unimaginative. You clearly need to sit down and talk about some ways in which you can present your talk. Some ideas; maybe you could have collected some Russian rock music and some other cultural items.

You could have written to the Russian Embassy for more information.

I want you to have your own opinion, not just relying on the book. You could form your opinion from newspapers and what is presented on t.v. Reading straight from the book is not original research.

CLASS C
THEME Korea

GROUP ASSESSMENT

GROUP No 6
DATE 03/10/19

NAME	PRESENTATION ORIGINALITY	PREPARATION	COMMUNICATION ABILITY	CLARITY LOGICAL	CONTENT
Student A	10	10	7	10	7
B	10	10	6	10	6
C	10	10	6	10	6
D	10	10	7	10	6
E	10	10	6	10	6
F	10	10	6	10	6
G	10	10	4	10	5

COMMENTS:

Excellent preparation and posters.

Student E don't hold the poster in front of your face. It makes it difficult to hear you clearly.

All of you need to go over your notes before you give your presentation. This will help you to become familiar with the information. On the whole a very detailed talk.

Appendix 4. In depth scheule plan. (Not used)

DAYS	THE GREEN WORLD			
1. INTRODUCTION ASSIGNMENT PROJECTS USING VIDEO, VISUAL AIDS, RESEARCH OR REPORTS.	THE WORLD ABOUT US. LOOK AT PG 80-91	Some Functions - How does it work. Environmental Problems - What are some problems. - What causes E.P. - Can we solve E.P? - What can we do. - What can we do.		Ideas for projects
2. ANIMALS IN DANGER LIFE IN THE SEA	TERRESTRIAL / MARINE. H.W READ PGS 10-13	Problems - What are some problems - What are the results. - Economy versus protection		Solutions - What are some solutions Material. Text, video, discussion Final day choosing assignment
3. ACID RAIN WASTE	ATMOSPHERE / EARTH. H.W READ PGS 14-17	What is Acid Rain - What are the effects?		Waste - What are some problems? - What are some answers? - What can we do? Material. Text, photo's, slides.
4. FOOD - MEDICINE	LIFESTYLES IN CHANGE. H.W READ PGS 8-9, 14-21	Food for the World - Look at methods of farming - Problems of economics - North / South problem		Changing lifestyles - Changing diet. - How is our diet changing - What are the effects on our health - Identify poor countries on a map. Material. Text, Newspaper, W.Vision mag
5. ENERGY THE GREENHOUSE EFFECT	ENERGY- TODAY / TOMORROW. H.W READ PGS 22-27	Fossil fuels - Our dependance - Environmental problems - Video -Silkwood	Nuclear power - Case study Chernobyl-S.U. accidents	Future fuels Material. Text, newspaper
6. RAINFORESTS - DESERTS	VITAL ECOSYSTEMS. H.W READ PGS 28-33	Rainforests - People who live there. - Problems of economics. - The consequences - Identify rainforest/desert regions on a map		Deserts - People who live there - Cycles of drought - Hope for the future Material. Text, W.V. mag
7. WHAT CAN WE DO ASSIGNMENT PRESENTATION	THE WORLDS IN YOUR HANDS.	How can you shape the future of the World.		Material. Text, students ideas
8. ASSIGNMENT PRESENTATION	SUMMARY			

第二言語習得における統語的制約と意味機能的制約

松 林 城 弘

Syntactic and Semantic/Functional Constraints in Second Language Acquisition

Kunihiro MATSUBAYASHI

This paper reports on an experimental study which was conducted to examine how Japanese learners acquire English pronouns and passives. In particular, the effects of semantic/functional constraints were studied in contrast with those of syntactic constraints of Universal Grammar (UG). Results in an experiment suggest that Japanese learners' acquisition of English pronouns and passives cannot be explained only in terms of syntactic constraints; it can be better accounted for from the view-point of semantic/functional constraints.

I 序 論

最近の普遍文法 (Universal Grammar:UG) 理論に基づく言語習得研究では、原理 (言語習得の基礎となる一連の普遍的原理) と幾つかの原理に付随するパラメーター (個別言語の特性に対処する媒介変数) を想定し、それら原理とパラメーターの作用により言語の習得が可能となると説明している。ここで想定された原理とパラメーターは、言語の意味的／機能的な要素から切り離された自律的な統語的制約として規定されている。

一方、このような統語的な制約の問題点や不備を、意味機能的な側面から指摘し、代案を提示しようとする研究も盛んに行われている (cf. Kuno 1987, Kuno and Takami 1993)。本稿では特に、日本人学習者による英語の代名詞及び受動文の習得に意味機能的な側面から焦点をあて、第二言語習得において統語的な制約のみならず意味機能的な制約がどのように関与してくるかということについて考えてみたい。

II 英語代名詞の先行詞決定に関わる統語的制約と意味機能的制約

最近の普遍文法理論では、代名詞の先行詞決定に関わる文法として、(1)が示すような事実を提示している。

- (1) John_i knows that Paul_j blames him_i/*_j.

Johnは代名詞himの先行詞になり得るが、Paulはなり得ない。この制約は、束縛理論 (Binding Theory) の原理B (Chomsky 1981) によって(2)のように説明されている。

- (2) 代名詞表現 (pronominal) はその統率範疇 (governing category) 内で自由 (free) でなくてはならない。

自由であるというのは、束縛され (bound) てはいけないということである。例文(1)では、代名詞を含む最小の節が統率範疇であり、(1)のhimは統率範疇内で自由でなくてはならないためPaulに束縛され得ず、統率範疇外のJohnがhimの先行詞として機能することになる。

本節では、こうした代名詞の先行詞決定に関わる統語的な制約に加えて、意味機能的な制約が第二言語学習者の代名詞習得にどのように関与してくるかという点について以下で実験的に探してみる。その手立てとして、第二言語学習者は(3)に示すタイプA・B文の中に現れるhimの先行詞を何に決定するかという点を調査する。

- (3) a.タイプA: John talked to Paul about him.

タイプB: After the medical examination, Dr. John talked to Paul about him.

- b.タイプA: John asked Paul about him.

タイプB: Before the medical examination, Dr. John asked Paul about him.

束縛理論の原理Bに従うならば、(3)の文中の代名詞himはいずれも統率範疇内、つまり文全体の中で自由でなくてはならない為、himの先行詞は文中には存在せず、JohnまたはPaul以外の誰か他の人が先行詞として機能することになる。ところが、タイプA文に比べて、意味機能的な要素を付け加えたタイプB文の場合、himの先行詞はPaulになる可能性が強くなる。換言すれば、意味機能的な要因の影響により統語的な制約に反する結果が生じる可能性がありうる。仮に第二言語学習者が、タイプA文のhimの先行詞としてJohnまたはPaul以外の誰か他の人を選択し、タイプB文のhimの先行詞としてPaulを選択するようなことがあれば、彼等は基本的には統語的制約に従って代名詞の先行詞を決定する反面、意味機能的な制約にも敏感であるということが言える。

実験での被験者は、京都市立高等学校 (普通科) の1年生39名、3年生37名の合計76名と英語を母語とする成人の英米人5名である。各被験者は、(3)の各文の後に示された4つの選択肢(a. John / b. Paul / c. either John or Paul / d. someone else)の中から、himの先行詞として適切だと思うものを選ぶように指示された。表(4a,b)は、各実験文と各被験者の反応結果である。

- (4) a.タイプA: John talked to Paul about him.

タイプB: After the medical examination, Dr. John talked to Paul about him.

		英米人(n=5)	英語学習者(n=76)		英米人(n=5)	英語学習者(n=76)
[タイプA]	John	0	7(9.2%)	[タイプB]	0	2(2.6%)
	Paul	0	15(19.7%)		0	37(48.3%)
	John or Paul	0	7(9.2%)		0	5(6.6%)
	someone else	5(100%)	47(61.8%)		5(100%)	32(42.1%)

- b.タイプA: John asked Paul about him.

タイプB: Before the medical examination, Dr. John asked Paul about him.

		英米人(n=5)	英語学習者(n=76)		英米人(n=5)	英語学習者(n=76)
[タイプA]	John	0	6(7.9%)	[タイプB]	0	1(1.3%)
	Paul	0	19(25.0%)		0	34(44.7%)
	John or Paul	0	3(3.9%)		0	5(6.6%)
	someone else	5(100%)	48(63.2%)		5(100%)	36(47.4%)

まず英米人の反応に注目してみると、(4a,b)の全てのタイプにおいて、代名詞himの先行詞としてJohnまたはPaul以外の誰か他の人が100%の確率で選択されている。この結果は、英語母語話者の場合、意味機能的な要因に影響されることなく統語的制約に従って代名詞の先行詞を決定することを示している。一方、英語学習者の場合、(4a)のタイプA文では、Paulは19.7%の確率で選択され、JohnまたはPaul以外の誰か他の人は61.8%の確率で選択されている。ところが、タイプB文での反応をみると、Paulの選択はタイプA文の19.7%に比べ48.3%に増加している反面、JohnまたはPaul以外の誰か他の人の選択はタイプA文の61.8%に比べ42.1%に減少している。タイプA・B間にみられる意味機能的要素があるかないかということとPaulを選択するかJohnまたはPaul以外の誰か他の人を選択するかということが連関しているかどうかを調べてみると、 $\chi^2 = 11.80 > \chi^2_{0.01}(6.63)$ で連関があるという結果になった。この結果は、英語学習者の場合、基本的には統語的制約に従って代名詞の先行詞を決定するものの、意味機能的な要素が付け加われば、その要素の影響を受けて代名詞の先行詞を決定する傾向があることを示している。次に英語学習者の(4b)のタイプA・B文の反応について、意味機能的要素があるかないかということとPaulを選択するかJohnまたはPaul以外の誰か他の人を選択するかということが連関しているかどうかを調べてみると、 $\chi^2 = 5.89 > \chi^2_{0.025}(5.02)$ で連関しているという結果になり、(4a)の場合と同様に英語学習者は意味機能的な要素の影響を受けやすいということが伺われる。

以上の結果から、英語母語話者による代名詞の先行詞決定に関わる文法は、束縛理論の原理Bの適用により説明可能であると言えるが、英語学習者による代名詞の先行詞決定に関わる文法は、原理Bという統語的な制約に加えて意味機能的な側面をも視野に入れた説明が必要であると言える。

Ⅲ 英語受動文習得における統語的制約と意味機能的制約

第Ⅱ節では、英語学習者による代名詞の習得に意味機能的側面から焦点をあて、第二言語習得において統語的制約のみならず意味機能的制約がどのように関与してくるかという点を考察した。本節では、英語学習者による受動文の習得に関して、意味機能的な制約がどのように関与してくるかという点について考えてみたい。

普遍文法理論では、勿論、受動文の生成に関しても普遍文法に含まれる諸原理の相互作用により、その文法的特徴を説明しようとする。以下で(5)の受動文を例にとり、受動文生成に関する統語的制約を概観する。

(5) The city was destroyed by the enemy.

(5)のD構造は、(6)となる。

(6) [_{IP} e [_I I [_{VP} be [_{VP} destroyed the city [_{PP} by the enemy]]]]]

(6)の構造において、受動過去分詞destroyedは、the enemyに動作主(agent)という θ 役割を、the cityに被動者(patient)という θ 役割をそれぞれ付与するが、主語位置に付与する θ 役割がもう残っていないため外的 θ 役割は付与せず、主語の位置は非 θ 位置(non- θ position)となり、D構造では空(empty)となる。また、受動過去分詞は、目的語に格を付与しないため、the cityに格が付与されず、格フィルター(Case filter)に違反する。この格フィルターの違反を避けるためには、 θ 基準(θ -criterion)に従って目的語the cityは格が付与される位置、つまり、非 θ 位置に移動しなければならない。格が付与され、かつ非 θ 位置は、空の主語の位置である。これにより、the cityは主語の位置へ移動され、(7)のS構造が得られる。

(7) [_{IP} the city_i [_I I [_{VP} be [_{VP} destroyed t_i [_{PP} by the enemy]]]]]

the cityは、I(INFL)から格を付与され、格フィルターを満たし、さらに、the cityの移動は、 θ 位置である目的語の位置から非 θ 位置である主語の位置への移動であるため、 θ 基準も満たしている。この結果、(5)の受動文は、統語的制約を満たした適格文であると判断される。

このように、普遍文法理論の枠組では、受動文の生成や適格性は、表面的な観察を通じて規定されるのではなく、その根底で作用する原理や原則によって規定される。しかしながら、受動文の生成や適格性は、このような統語的な制約のみを受ける訳ではない。例えば、次の(8)(9)の受動文は、統語的な制約は守っているにもかかわらず、意味機能的な側面から判断した場合、(8b)(9b)は不適格文になる。

- (8) a. The store was entered by the two thieves.
 b. *The store was entered by the two customers.
 (9) a. The city was left by all the male inhabitants.
 b. *The city was left by George. (Bolinger 1975: 72,74)

Bolinger(1975,67)は、(8)と(9)のような受動文の意味的適格性に関して、次のような提案をしている。

- (10) the subject in a passive construction is conceived to be a true patient, i.e., to be genuinely affected by the action of the verb.

受動文の主語が動詞の表す行為によって影響を受けている場合は、その受動文は適格であるが、影響を受けていない場合は、不適格となる。例えば、(8a)の場合、泥棒が店に入ることによって、店は影響を受けると解釈できるが、(8b)の場合、店に客が入っても、その店が何ら影響を受けることはない。よって(8a)は適格となり、(8b)は不適格となる。(9a)の場合も、男性の住民がその町から去っていくと、町は多大な影響を受けるであろうが、(9b)のように、ジョージが町を去ったとしても、町は何ら影響を受けることはない。よって(9a)は適格となり、(9b)は不適格となる。このように、受動文の主語が動詞の表す行為の影響を受けているかどうか、つまり、受動文の主語が動詞の表す行為の被動者であるかどうかによって、受動文の適格性に差が生じるのである。

また、久野(1990)及びKuno(1990)では、無生物主語の受動文は、主題文、つまり、性格付け文であるとし、主語の性格付けがなされている受動文は容認可能性が高くなるが、性格付けがなされていない受動文は容認可能性が低くなるとしている。もう少し詳しく言うと、Kuno and Kaburaki(1977)及びKuno(1987)において提案された感情移入(empathy,E)の三種の階層を基本とし、それに性格付けという概念を加味しながら無生物主語受動文の適格性が判断されている。次の(11)は、感情移入の三種の階層である(Kuno 1990: 45)。

- (11) a. Topic Empathy Hierarchy: $E(\text{topic}) > E(\text{nontopic})$
 b. Humanness Empathy Hierarchy: $E(\text{human}) > E(\text{nonhuman animate}) > E(\text{inanimate})$
 c. Surface Structure Empathy Hierarchy: $E(\text{subject}) > E(\text{other NPs})$

この三種の感情移入という視点から、例えばShogun was read by John.という文を見た場合、(12)が示すように感情移入の関係に混乱が生じる。よって、この文の容認可能性は極めて低くなる。

- (12) Topic Empathy Hierarchy: $E(\text{Shogun}) = E(\text{John})$
 Humanness Empathy Hierarchy: $E(\text{Shogun}) < E(\text{John})$
 Surface Structure Empathy Hierarchy: $E(\text{Shogun}) > E(\text{John})$
 Transitivity: $*E(\text{Shogun}) < E(\text{John}) < E(\text{Shogun})$ (Kuno 1990: 50)

しかし(13)の三文を比較した場合、(13a)に比べて(13b,c)は容認可能である。

- (13) a. ??Shogun was watched by John.
 b. Shogun was watched even by John.
 c. Shogun was watched by millions of people all over the world. (久野 1990: 41)

三文とも感情移入の関係に混乱が生じているにも係わらず、(13b,c)が容認可能な理由として、Kuno(1990)は、(14)に示す性格付けの条件が満たされているからであると説明している。

- (14) Characterizational Property of Passive Sentences with Inanimate Subjects: Passive sentences with inanimate subjects and human by-agentives are acceptable to the extent that they can be interpreted as sentences that define or characterize the subjects.

(Kuno 1990: 50)

(13a)の場合、ジョンという一人の人間が『将軍』というテレビドラマを見たということは、そのテレビドラマの性格付けにはなっていない。一方、(13b,c)の場合、(普段テレビを見ない)ジョンでさえも『将軍』というテレビドラマを見たということと、世界中の百万人もの人が『将軍』というテレビドラマを見たということは、共に『将軍』というテレビドラマがそれだけ話題になっているテレビ番組であるという性格付けとなっている。このように、無生物主語受動文は性格付けの条件が満たされているかどうかによって、その容認可能性に差が生じるという訳である。

この性格付けの条件は、(8-9)の例文の相違をも適切に説明でき、Bolingerの提案する影響という概念を包摂する条件であると言えるかもしれない。

以上本節の前半では、英語受動文の適格性判断に関して、統語的制約のみでは水漏れしてしまう事象も意味機能的な側面から見た場合には、その事象の適格性を首尾よく説明できるという点を概観した。統語的制約に基づく説明は、原理や原則の適用によって文法事象を深層構造で規定しようとする。一方、意味機能的制約は、統語的制約によって捨象された後に残る事象も含めて、問題となっている文法事象をより包括的に説明しようとする。言語の習得という複雑な過程を説明する場合、統語的な制約のみならず意味機能的な側面も視野に入れたより広い視点をもつ必要があると思われる。本節の後半では、特にKunoによって提案された性格付けの条件に焦点を当て、その意味機能的な要因が英語学習者の受動文解釈にどの程度作用するかという点について考えてみたい。

実験で使用した受動文は、下の(15a-d)の8文である。各文はどれも統語的制約を満たしている文であるが、性格付けの条件から判断すると、タイプA文は容認できないがタイプB文は容認可能な文である。また、被験者に実験の意図を悟られないようにするために、それら8文の中に5文の攪乱文をおり混ぜた。

- (15) a. タイプA: English and French are spoken by Susan.
 タイプB: English and French are spoken by people all over Canada.
 b. タイプA: The store was entered by customers.
 タイプB: The store was entered by thieves.
 c. タイプA: Kyoto is visited by me every year.
 タイプB: Kyoto is visited by many tourists every year.
 d. タイプA: Hamlet was read by George.
 タイプB: Hamlet was read by people all over the world.

被験者は、京都市立高等学校(普通科)の1年39名と3年37名の合計76名である。各被験者は、不自然であると思われる文を選ぶように指示された。(16)は、各被験者の反応結果である。文頭の()内の数字は被験者が不自然であると答えた%(小数点第一位で四捨五入してある)である。

- (16) a. タイプA: (68%) English and French are spoken by Susan.
 タイプB: (13%) English and French are spoken by people all over Canada.
 b. タイプA: (85%) The store was entered by customers.
 タイプB: (3%) The store was entered by thieves.
 c. タイプA: (62%) Kyoto is visited by me every year.
 タイプB: (14%) Kyoto is visited by many tourists every year.
 d. タイプA: (31%) Hamlet was read by George.
 タイプB: (9%) Hamlet was read by people all over the world.

各タイプA文とB文の間にはかなりの差があるが、概ねタイプB文に比べてタイプA文の方が不自然であるという結果になっている。この結果から、英語学習者は、主語の性格付けがなされていない受動文を不自然だと判断し、性格付けがなされている文を容認可能だと判断したと解釈できる。つまり、英語学習者は、意味機能的な制約を手がかりにして受動文の適格性を判断しており、必ずしも統語的な制約のみに左右される訳ではないということが言える。

IV 今後の課題と展望

第Ⅱ節では、英語代名詞の先行詞決定に関して、英語学習者は統語的な制約のみに従うのではなく、意味機能的な特性を手がかりに代名詞の先行詞を決定する傾向があるという点が確認された。但し、現段階では、何故英語学習者が代名詞の先行詞を決定する際に意味機能的な特性を手がかりにするのかという点は明確ではない。英語母語話者に比べ単に英語の熟達程度が低い為なのか、それとも日本語からの何らかの影響が生じる為なのか、この点については今後の課題としなければならない。第Ⅲ節では、英語学習者による受動文の適格性判断に関して、統語的な制約のみならず、意味機能的な要因がかなり関与してくるということを確認した。しかしながら今回の受動文に関する実験は多分にパイロット的であり、今後、英語母語話者を被験者とした実験、また今回の被験者よりも英語の熟達程度の高い英語学習者を対象とした実験などを行い、より広い枠組の中に今回のパイロット的な実験を位置付けることが必要であろう。

本稿で取り上げた統語的な制約は、言語の深層構造を規定する有望な制約であると考えられるが、言語の表層構造の部分で作用する意味機能的な制約に関しても言語の習得という過程を解明するのに重要な役割を果たすものと考えられる。特に、母語を習得した後に行われる第二言語の習得という複雑な問題を説明する場合には、自律的な統語的制約のみを考えるのではなく、言語の意味的機能的な側面にも十分配慮したより広い視点に立って考えることが不可欠であると思われる。

参 考 文 献

- Bolinger, D. 1975. "On the Passive in English," *LACUS*, 1: pp.57-80.
 Chomsky, N. 1981. *Lectures on Government and Binding*. Dordrecht: Foris.
 Kuno, S. and E. Kaburaki. 1977. "Empathy and Syntax," *Linguistic Inquiry*, 8:4, pp.627-672.
 Kuno, S. 1987. *Functional Syntax: Anaphora, Discourse and Empathy*. Chicago: The University of Chicago Press.
 久野 暉 1990. 「機能的構文分析のすすめ」『言語』19, No. 4: pp.32-43.
 Kuno, S. 1990. "Passivization and Thematization," in Jacobson, W. and O. Kamada(eds.), *On Japanese and How to Teach It: In Honor of Seiichi Makino*. Tokyo: Japan Times, pp.43-66.
 Kuno, S. and K. Takami. 1993. *Grammar and Discourse Principles: Functional Syntax and GB Theory*. Chicago: The University of Chicago Press.

社会過程における自我の発生

— G・H・ミードにおける

自我“自我”についての考察

木村 倫 幸

The Genesis of the Self in the Social Process

— A Study of “Self” on G.H.Mead —

Tsuneyuki KIMURA

「われわれの論点は次の通りである。すなわち、精神は、社会環境との関連を除いては決して表われることができないし、全く生じることでもないということ、そして社会関係や相互作用の（中略）組織化されたセットあるいはパターンは、精神によって前提条件にされているし、またその本性中に含まれていることである」（223）。①

G・H・ミード（Mead, George Herbert, 1863-1931）は、このように指摘することで、個人の精神、自我の形成に際して明確な社会説を打ち出す。この立場は、従来有力であった精神についての本質論的、實在論的見解に対して、機能論的見解を堅持し、右の引用に見られるように個人の精神、自我は、彼がそれに属している社会集団、共同体を前提としており、その社会過程においてこそ形成されると主張する。すなわち個人は、日々直面する社会的経験の中で自分の周囲の他の諸個人の態度を採用していくことで自分自身を自分の対象とし、自我を獲得するのであり、自我はかかる過程を抜きにしては存在できない社会的なものであるとされる。

しかしながらミードによれば、このような自我は、同時に社会集団への反作用を行うことで、その社会集団の変革に寄与することができる自我でもある。つまり自我が自分自身を対象とし反応していくことそれ自体が、実は自我自体の置かれている状況そのものを変え、自我と社会集団との新たな関係を生み出しているのである。かかる相互作用がミード自我論の大きな特徴をなしており、自我の二側面という重要なダイナミックな主張を提出する。

小論は、ミードの主張する自我の形成過程の検討を通じて、その構造と展開を説明しようとするものである。そして自我の本来の発現力を示す側面の意義を究めることを目指している。ただし現代社会において様々に取り沙汰されている個人の本質の問題に、社会過程の側面からアプローチする視点の意義と重要性をこの理論が示してくれるからである。

ミードは、ある生物体が他の生物体に対して行う身振りが引き起こす反応についての検討で、人間にとっては、その身振りが引き起こしたのと同じ反応が自分自身にも起こされるとき、その身振りは意味を持つとした。彼の言い方を借りれば、「身振りは次のようなときに有意味シンボルとなる。すなわち、身振りをなしつつある個人の中に、他の諸個人——その身振りが向けられている諸個人——に明確に引き起こした、あるいは引き起こすと推測されたのと同じの反応を暗黙のうちに引き起こしたときである」(41)。とりわけ有身身振り(vocal gesture)は、人間にとって彼が自分の言うことを自分で聞くことができ、そのことで他人が反応するのと同様に自分で反応するというところで有意味シンボルとなり、他の人々の諸態度を自分自身の行為の中に採用する契機となる。このことが実は小論での中心課題である自我を準備する。

というのも、自我の検討に際しては、「いかにして個人は、自身自身に対する対象となるほどのやり方で、自分自身の外に(経験上で)出ていけるのか?」(38)ということが本質的な問題であって、理性が客観的、非感情的な(non-affective)態度を採用することと、人間が自分自身に対して客観的な態度を採用すること、すなわち人間自身にとって自我が対象となる必要があるからである。

「何故なら、彼は、直接的にでも無媒介的にでもなく、ちょうど他の諸個人が彼にとって、もしくは彼の経験の中で対象であるのと同じに、まず彼自身の対象となったときにのみ、自我もしくは個人として自分の経験に入り込んでいくからである」(同)。

つまり人間にとって自我を問題にするには、まず自分自身が自分の対象とならねばならない状況が想定される必要がある。そしてこのようなことは、次の状況以外にはあり得ない。

「そして、彼や他の諸個人が含まれている社会環境、あるいは経験や行動の文脈(context)の内部で、彼自身に対する他の諸個人の態度を採用することによってのみ、彼は、彼自身にとっての対象となる」(同)。

その個人が含まれている「社会環境」あるいは「経験や行動の文脈」の「内部で」とは、まさしく自我の発現が、社会構造の枠内で、それに全面的に負っており、個人の社会的経験を通じてしかあり得ないことを意味する。換言すれば、自我の様々な側面は、その個人が社会構造の枠内で経験してきた過程を反映しているのであり、そのそれぞれの過程において先程の自分自身が自分の対象となること、そのためには他の個人が反応するのと同様に自分自身に反応することを通じて他の諸個人の態度を採用してきているということが重要なのである。そしてこのときにコミュニケーション活動の決定的な重要性が指摘されねばならない。

すなわち自我は、社会過程の産物としてのみ考えられるべきものであり、その個人が内に含まれている社会集団との対応によって反映され形成されるという前提が確認されなければならない。「全自我の統合と構造は、全体としての社会過程の統合と構造を反映している」(144)、そして「換言すれば、ある全自我を構成している、あるいはその中に組織化されている様々な要素的な自我(selves)は、全体としての社会過程の構造の様々な側面に合致しているその全自我の構造の様々な側面である」(同)ということがミードの自我形成に関する基本的視点なのである。

二

ではそのような自我はいかにして社会過程、社会的経験において発生するのか。先にも述べたように、「しかし、諸個人が自分自身

にとって対象となる行動をするのは、ある人が他人に向けて言うことに自分で反応する場合、そして彼自身のその反応が自分の行為の一部になる場合、彼が自分自身を聞くのみならず、自分自身に反応し、他人が彼に答えるのと全く同様に自分自身に話し答える場合である」(136)。つまり個人のコミュニケーション活動は有意意味なシンボルを使用するものでなければならない。そしてかかる有意意味なシンボルを獲得する過程は、ミードによれば、子供たちの活動を検討することで、発達心理学的に次の三段階を経るものとして考えられている。

その第一段階は、遊戯(play)の段階である。それは子供たちに一般的に見られる現象で、彼らが、あるときには母親の、あるいは他のときには先生の役割をと、他の子供たちとの関係においてもあるいは自分自身のみとの関係においても、それぞれの役割を演じる段階である。このことによって子供たちは、何らかの振りをし、その役割になりきって遊ぶ。そして「こういうやり方で、子供たちは、彼らが他の人々に引き出す反応を組み立て、また自分自身の内部にも引き出す」(136)。つまり子供は、自分が引き受けて演じている役割の人間について、その人間の行為が自分自身を含む他の個人に引き起こすであろう反応が、同時に自分自身の内部においても引き起こされるのを感じるのである。つまり「ある子供がある役割の振りをするとき、その子供は、その特殊な反応もしくは反応群を引き出す刺激を自分自身の中に持っている」(同)。そして「遊戯期においては子供は、これらの刺激に対する彼自身の反応を利用し、自我の形成に役立たせるのである」(同)。かくして子供は、他の個人の役割取得を通じて、自分以外の個人の行為とそこから生じる反応を自分の内部で理解することが可能となり、遊戯における様々な反応と同様の反応を自分にも引き起こすことができるようになる。この段階では、子供は、いわば一人二役を演じており、最初の

自分の発言に対して、もう一人の自分が反応し、この反応がまた最初の自分への刺激となっていく。このようにして自分の内部において反応を統合、組織化していく傾向が生じ、自分の反応が構造として形成されていく。

しかしながらこの段階では、他の個人に対する反応が、自分自身の中に呼び起こされるといっても、それはまだ子供と直接的な関係を結ぶことのできる範囲内での対応に限定されていると言わねばならない。ミードはこの段階を、「組織化されたゲーム(organized games)」に先行する段階「(同)」と名づける。

次に第二段階へと移る。この段階は、「ゲーム」の段階と呼ばれる。そして「ゲームは、遊戯において他人の役割を採用するということから、用語の十分な意味での自我意識(self-consciousness)にとって不可欠な組織化された役(role)を採用するということ」と、という子供の生活における推移を示している」(152)。この段階と先程の遊戯の段階との差異は次の点にある。「あるゲームをしている子供は、そのゲームに含まれている他の全ての者の態度を遂行する準備ができていなければならない」、「そしてこれらの異なる役割は、相互に明確な関係を持たなければならない」(151)ということである。つまりゲームに参加する個人は、そこにおける全個人の役割、位置を理解すると同時に、彼らの組織化された態度に直面することになる。そしてこの組織化された態度が、個人の反応を導くのである。

われわれはここに、諸個人の態度とその反応を越えて人々の態度が組織化される過程を見出すことができる。すなわちゲームの段階において個人は、そこに参加するにあたって組織化された「他人」を相手にするのであり、単なる役割取得による反応より、範囲もレベルも異なる領域へと入り込むのである。このことはまた、逆に個人の内部においても他人の行為に反応する組織化された態度を形造

ることになる。しかもこの組織化された態度を形造るにあたってゲームのもたらす効用は、論理と目標が存在するということである。遊戯段階での次々に変化していく役割取得の気まぐれさとは異なり、ゲームを指導しているのは明確な目標であり、これに関連して参加している個人が採用するべき態度、行為である。すなわち我々は、ゲームに他の諸個人と共に参加していく中で、他の参加者全員の状態を「ひとつの『他者』」(154)として感じることによって、われわれ自身の態度にそれを反映させ、受け入れていく。そしてわれわれはゲームにおいてそこに共通している目標との関連を認識して自己の態度、行為を決定していくことで、そのゲームの参加者として所屬を認められることになるのである。そして自我の形成に関して述べるならば、「統一を与え、子供自身の自我を築き上げるのは、特殊な反応を支配する、彼自身の性質中にある組織化された活動である」(160)。

遊戯——単なる役割取得の段階から、ゲーム——態度の組織化の段階を経て展開されてきた自我の発現は、続いて第三の段階——「一般化された他者(the generalized other)」の段階へと移るのであるが、この段階は、前段階での態度の組織化とつながりつつも、その規模とレベルにおいて大きく異なっている。すなわち個人は、他の諸個人と共に参加している社会的動作での相互の特殊な態度を組織化していくことで自我を形成する以上に、組織化された社会もしくは社会集団のメンバーとして「その組織化された社会もしくは社会集団自身の個人的な態度を全体として一般化すること」(159)、換言すれば、そのような組織化された社会もしくは社会集団の広範かつ多様な諸活動を全体としてそこに含まれている諸個人の経験の領域に移し、彼らの態度を更に組織化し、一般化することが要請される。こうして個人的態度は、社会的態度、集団的態度となることで自我の発現を促すのである。そしてミードは、「ある個人

に彼の自我の統一を与える組織化された共同体(communitiy)もしくは社会集団が、『一般化された他者』と呼ばれてもよいだろう」、「一般化された他者の態度は、全共同体の態度である」(154)と述べることで、「一般化された他者」が組織化された自我の前提であり結果であると指摘する。

かくして個人は、「個人や他者が全て含まれている社会的行動もしくは集団の行動の一般的体系的なパターンを個人として反映すること」(158)で自我を確立する訳であるが、結局のところそのような自我を形成するものは、その社会なり集団なりにおいて組織化された態度に他ならない。具体的に言えば、ミードも指摘しているように、「社会を可能にしているのは、われわれが財産、宗教の祭儀、教育過程、そして家族関係と呼んでいるものに関してのこのような共通の反応、組織化された態度である」(161)。従って「習慣の集合とは異なる自我を造り上げていくのは態度の構造である」(163)であり、この態度の構造をわれわれ自身の内部で自覚するとき、われわれは自我意識を持つことになる。この意味で、われわれの自我を形造るものは他の諸個人との関係であり、また同時にこれらの自我の基底に存在する「態度の共同体(a community of attitudes)」(163)である。すなわちわれわれの自我は、他者の自我と不可分の関係に置かれるのであって、「自分自身の自我と他の自我との間にはいかなる厳格な境界線も引かれ得ない」、「というのは、他の自我が存在してわれわれの経験に入り込んでくるときに限ってのみ、われわれの自我は存在し、われわれの経験に入り込んでくるからである」(162)というのがミードの自我形成の結論となる。

かくして自我は、その個人の含まれている組織化された社会または社会集団によって形成され、その社会または社会集団の一般的態度、行為を反映する構造を持つものと説明されるのであるが、ミードのこの主張が、自我と社会との関係解明に決定的な重要性を持つ

ものであることは疑えないところである。しかも彼の主張の更に重要な点は、かかる自我の構造に、発展と創発的進化(emergence)の契機を与えたところにある。続いてこの点が検討されなければならない。

三

さて以上のように形成された自我は、ミードの述べているように「集団内での諸個人の相互作用」、「集団の先在(pre-existence)」(164)をふくむ社会過程である。従って「自我に到達するとは、ある種の行為に到達すること、つまり様々な諸個人の相互作用を含み、なおかつある種の協同活動に従事している諸個人を含んでいる社会過程のあるタイプに到達することである」(165)とされる。個人は、これまで述べてきたように、自分自身の反応に「一般化された他者」としての態度を採用し、その社会集団の目標との関連で自己の行為を決定することによって、その社会のメンバーとなっていく。それ故自我は、その構成的要素が社会のそれぞれの側面を反映しているように、社会全体の構造を反映しているとされるのである。この自我の形成に関するミードの主張は、典型的な社会説であり、その論理展開は、まことに明解、説得的なものと言えよう。

ところがここでミードは、彼がその形成をあくまでも社会に負わせてきた自我に、もうひとつの側面があることを指摘する。

「もしわれわれが自分自身の反応に抗って、共同体の態度を採用するとしよう。それは正しい主張である。しかし、共同体に対して応戦し、共同体の身振りを変化させることを強調するという、もうひとつの能力を忘れてはならない」(166)。

ここで、組織化された社会あるいは社会集団によって形成された自我に対して、その自我の異なる側面としてのもうひとつの自我が

顔を出すことになる。というのも自我意識が発生するには、他者の態度の採用が不可欠であるが、この場合それは、個人が経験する単なる器官による感覚ではなく、「自我の本性を考えるときには、思考の中心的位置が強調されるべきである」(166)からである。すなわち個人は、社会的行為において影響を与えた他者の態度の採用に対する自分の反応(反作用)という社会過程の繰り返しによって自我意識を獲得していくのであるが、この自分の反応(反作用)が思考活動であり、これによって個人は、形成された自我を前提にしなげらも、それを乗り越え、変化発展させる可能性を持つとされるのである。②そして自我は、社会的態度の単なる組織化ではなく、社会に対しても働きかける自発的な能力を持つとすることから、ミード自我論の最も有名な概念である「I」と「me」の理論が現れる。

ミードによれば、「I」とは、他者の態度に対する生物体の反応であり、「me」とは、個人自身が思っている他者の態度の組織化されたセットである。「他者の態度が組織化された『me』を構成し、個人はその『me』に対して『I』として反作用する」(165)とされるが、これまで社会的行動において、他者の組織化された態度を採用することで形成されてきた自我を構成するのが「me」であり、これに対して反応していく自我のもうひとつの側面が「I」と言えよう。そしてここでわれわれが留意するべきであるのは、「I」の持つ性格である。すなわち「I」に関しては、自我の働きに即して言えば、「I」とは、ある個人が他の諸個人への態度を想定したときに、彼らが彼に対して採用する態度に対して、その個人が行う回答である(167)ということであり、ここからすれば、「I」は自我の不可欠の構成要素であり、「me」を形造るものである。しかし同時に注目すべきであるのは次の諸指摘である。

「われわれが自分自身を知るのは、われわれが行為しているときである。『I』が常に経験の中に現存するのは記憶の中においてで

ある」(174)。

「me」の「I」であるのは、一秒前に諸君であつたものである。その役割を採用しなければならぬのは、もうひとつの「me」である。諸君は過程の中で「I」の直接的な反応を得ることはできない。「I」とは、ある意味ではわれわれがわれわれ自身と同一視しているものである」(同)。

これによれば、現に存在しているのは「me」であり、「me」が状況の中で反応し行動する際に「I」が立ち現れてくる。しかし実際にその「I」がいかなるものであるか、「me」の反応がどのようなものであるかは、その反応が終了してしまつた後でなければ(すなわち新たな「me」として確立した後でなければ)明らかにならない、ということである。

ミードは、「だから「I」は現実には、経験的に「me」の一部として現れる」、「この経験に基づいて、我々は、何かを行っている個人と、彼に問題を提出する「me」とを区別する」(176)と述べるが、しかし「I」そのものについては「me」として確定したものとではなければ語ることができないとする。われわれは、「I」について述べられる「不確定(uncertain)」(176)、「決して完全には計算できないもの(never entirely calculable)」(178)という言葉から、「I」が、過去より確定された「me」に対して、未来へと向けられた自我の側面であることを理解するが、しかし同時にその未来に関して、例えばミードはこう述べる。「予期された歩みをまさに往くことが、予期されたことからほんの少し異なる状況を異なる様相(aspect)を持つある状況、ある意味では新しい状況に彼を置く」(177)。ここではある状況に関することと自我が新しい状況となり、それに応じた対応、行為を生み出すとされる。このことは一面では、絶えざる状況の変化に参入する自我自体が新たな状況変化の要因となるというダイナミックな可能性が指摘されている。しかし

他面では、その変化の方向が不確定で、計算し尽くされない非合理的なものであり、しかもその未来とは、われわれにとつての新たな状況でしかないこと——「予期された歩み」に象徴されるような日常的世界であること——が留意されなければならない。「未来への運動は、言わばエゴの、「I」の歩みでもある」(同)ということとは、まさしくわれわれの生活世界における歩みなのである。「I」と「me」とによる自我の成立も、この視点を基盤にしているのであり、この後ミードが語る社会の発展、変革の展望も、この点を踏まえて考察することが必要であらう。

四

しかしこれまで考察してきたように「I」と「me」との自我の二側面という主張は、「I」の範囲についての問題点を残すとはいえず、社会的過程からの自我の成立という視点からの説明としては卓抜な理論であり、人間行動の研究に大きな示唆を与えるものであった。それ故既成の「me」に対して「I」が有する可能性についてまずもって積極的な評価がなされるべきであると考え。ただし、「I」の反応においてこそ、社会の変革、発展の可能性が見出されると考えられるからである。

「I」に関してミードが述べている内容は、次のようなものである。

「I」は自由、自発性(initiative)の観念をもたらす」(177)。

「ときとして、最高に重要な感情を人にもたらすのは、ある状況へのエゴまたは「I」の反応、つまり人が自己自身を表現する反応である。彼は今や、ある状況に対して自己自身を主張する。そしてその強調点は反応である。その要求は、社会通念からの、所与の法律からの、自由である」(199)。

「I」の反応は、前節で見たような足の運び云々の卑俗な側面を含め、基本的には自我の変革——それはミードによれば社会の変革につながるとされる——の側面を担っている。「I」は、社会的態度の組織化されたセットとしての「me」に対して現に反作用していくことで、そこに何かを加えていくものである。つまり「me」が確立されるに従って個人は、社会集団のメンバーとして他者の持っている態度や反応を採用しながらも、同時にその態度や反応——「me」——に対して反作用を行っていくことを意味している。すなわち社会のメンバーでありながら、「しかしある個人は、自己自身を表現するという方法で組織化された共同体に絶えず反作用している」、「必ずしも攻撃的な意味で自己を主張しているのではないが、いかなる共同体にもその一部をなしている協同的な過程の中で自己を表現し、自分自身であり続ける」(197-8)とされる。⑧これが「I」であり、未来に関して「me」によって敷かれたルールから絶えず予定外の行動を生み出すものになる。そしてこちらの自我の側面は、われわれの経験においては記憶としてのみ現れ、われわれ自身はその行為が起こってしまった後にそれを位置づける。この「I」は、「me」によって与えられた状況に反作用することで「me」の置かれている状況そのものに新しい何かをもたらす。そして「われわれが絶えず持ち込み、付加していくこの何かは、われわれがその行動の終了後においてのみわれわれの経験のレベルに出現する自我と同一視しているものである」(203)。

ところでこの「I」の活動とは、「自己を表現する」活動である。と右で述べられたが、しかし他方「われわれが実現しよう、現実の行為をそれ自体を通して実現しよう」と絶えず努めているものこそ、この「I」である(同)という指摘が注目されなければならない。「I」によって新しいものが生じ、そこに重要な価値、われわれが追求し続けるべき価値があるという主張は、「社会の再構築」(re-

construction)を含んでいて、従ってその社会に属している「me」の再構築をも含んでいる」(214)という主張につながっていくのである。

個人が、彼の属している共同体に対して自分自身を適応させていく限り、その適応そのものが、今度は共同体に対して影響を与え、結果として社会は異なるものになっていくという意味で、「I」は社会の変化を志向し、われわれにおいては小さなものであるにしても、この関係は決して軽視されるべきではない。ましてや「偉大な精神と偉大な性格の人々は、彼らが反応してきた共同体を著しく変化させた」(216)のではあるけれども、それは我々と同様の個人が引き起こしている変化の「n乗(the nth power)」(同)に過ぎないのである。ただ社会の指導者と呼ばれてきた人々は、「より大きな社会についての生活態度」(217)を採用したのであって、この原理を彼らは最も深い意味で理解し行動したのである。従って「I」は、「me」によって代表される社会的拘束からの自由を意味し、社会を再構築していく契機ともなる。個人は、社会的過程において自我——さしあたっては「me」の形成を認識していく中で、自我の反応そのものが実は新しい変化を生み出していくことを自覚する。そしてまたこの自覚が自我の変化であり反応の変化であり、ひいては社会の変化につながっていることを自覚するのである。かくしてわれわれが自我を主張し、表現することそれ自体が「I」としての価値であり、われわれの目指すべき方向であるということになる。前節において指摘した、生活世界という枠はもちろん忘れられるべきではないけれども。

五

以上われわれは、ミードの自我理論について、その社会的経験に

おける形成過程および自我の不可分の二側面としての「I」と「me」を検討し、自我において「I」の有する積極的視点、その意義を考察した。そしてこの結果、「最も近代的で高度に発達した人類文明の形(form)においてさえ、個人は、常に必然的にその思考や活動においていかに独創的で創造的であったとしても、彼が含まれている社会的な生活過程を表しかつ特徴付けている経験と行為の一般的に組織化されたパターンとの明確な関係を有しているし、また彼の自我と人格の構造のなかにそれを反映させている(後略)」(222)という指摘の通り、ミードの自我社会説の持つ重要性が改めて確認されたと言えよう。とりわけ自我が、彼の含まれている社会集団の組織化された態度を採用しつつ、逆に社会集団に影響していくという「I」と「me」の弁証法的関係については、自我と社会双方の変革の仕組みを説明するに際して示唆を与える。この自我(「I」と「me」)が、社会の諸課題——経済、宗教、コミュニケーション、民主主義等——とどのように関わっていくかの検討は後日を期したいが、ただ自我が社会過程と密接に結びついているとされる以上、現実の社会構造を踏まえた論議がなされるべきであろう。更にミードの思想全体との関連で言えば、自我と社会の相互作用の基礎をなしていると考えられる個体と環境との相互作用についてもこの問題に続いて検討される必要がある。

註

- ① G.H.Mead: *Mind, Self and Society from the Standpoint of a Social Behaviorist*, 1934. The University of Chicago Press.

以上本書からの引用は頁数のみを示す。

なお引用にあたっては『精神・自我・社会』(稲葉三千男他訳、青木書店、一九七三年)を参照したが、訳文は必ずしも同一では

ない。

- ② これに関連してミードは、精神の成立の考察において、人間の思考作用の特徴を次のように述べている。

「思考を暗示し、その中で反省作用が起こる行動の一時的抑制というタイプの中に、われわれは次のことを示した。すなわち個人の経験の内部に、試験的に前もって、選択という形で、未来の行動の様々な可能性あるいは択一性が、与えられた社会的状況下で、個人に対して開かれているということである」(90)。

「そして、知能を働かせる過程は、与えられた環境状況の刺激に対する反応あるいは反作用を遅延、組織化、そして選択する過程である」(100)。

これらの記述の内に自我のもうひとつの側面が、択一性、選択性として準備されていることが理解されるであろう。

- ③ この指摘は同時に各個人の個性についても示唆を与える。各個人はそれぞれのやり方で自我を実現する訳であるが、その根拠は各人の「独特の立脚点」によるとされる。

「換言すれば、経験と行動という人間的な社会過程内の全ての個人的な自我の組織化された構造は、全体としてその過程の組織化された相互関係のパターンを反映し、それによって構成されている。しかしそれぞれの個人の自我構造は、この相互関係のパターンの様々な局面や展望を反映し、それによって構成されている。何故なら、それぞれは、この相互関係のパターンをそれ自身の独特の立脚点から反映するからである」(201)。

角柱を挿入したチャネル乱流の可視化と熱伝達

矢尾 匡永・中谷 洵・妹尾 年浩*・鈴木 健二郎**

Flow Visualization and Heat Transfer Experiments between Two Parallel Plates with an Insertion of a Square Rod

Masanori YAO, Makoto NAKATANI, Toshihiro SENOO and Kenjiro SUZUKI

日本機械学会論文集 (B編), 60巻576号 (1994-8), p. 2819-2825

本報告では、チャネル乱流中に角柱を挿入した系の伝熱機構解明の一助として可視化実験結果と伝熱実験結果との対比を行う。その際、カルマン渦の挙動をより詳細に観察するために、色素を断続的に注入する可視化法の開発を行った。

角柱の挿入の高さの記述には、角柱と壁とのすき間 c を無次元化したすき間比 y' を用いる。図1に色素断続注入法による流れの可視化写真例を示す。図中下側より放出されるカルマン渦の y 方向位置は、 $y'=1.0$ の場合には $x/H=0.9$ より下流で、また、 $y'=0.7$ の場合にはより上流で、角柱中心を含む水平面より上方の位置に変化し、カルマン渦の交差運動の発生が確認できる。水素気泡法を用いた壁近傍の観察(図省略)では、カルマン渦の交差運動が観察される断面の壁近傍に、カルマン渦の放出に同期してせん断層のはく離とそれに

伴う逆流が発生することが観察された。

図2に、角柱の挿入位置を変えた場合の局所ヌセルト数の流れ方向分布を示す。角柱下流域に現れる局所ヌセルト数の第2ピークは、角柱を壁に向かって近づけて行くにしたがって、次第に上流側へ移動する傾向を示す。このことは、可視化実験において観察された渦の交差運動が速やかに行われる事実と対応している。すなわち、第2のピークヌセルト数の発生は、壁近傍のはく離先端部から生じる孤立渦による洗濯効果等の構造的な現象より生じるものと推測される。 $y'=0.4$ の場合には、第2ピークの下流に第3のピークが現れ、 y' の減少に伴い第3のピークは上流側へ移動し、それは $y'=0.0$ では、最大値となる。 $y'=0.4$ の場合にその位置が角柱上側より放出されるカルマン渦の下壁側への到達位置($x/H=4.0$)とほぼ一致することから、第3のピークの発生機構は、はく離せん断層の下壁への接近等によってもたらされ则认为られる。

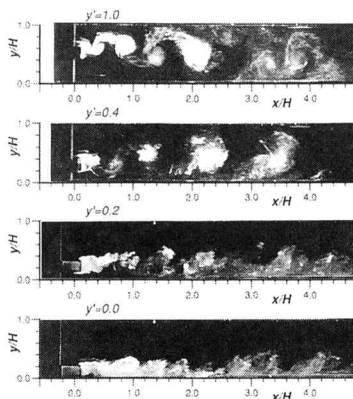


図1 可視化写真

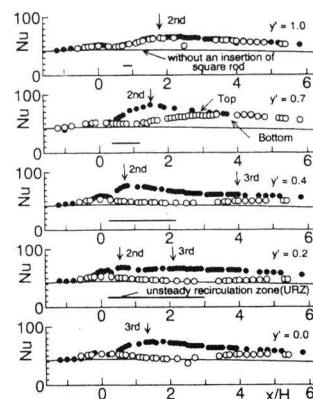


図2 局所ヌセルト数の y' 依存性

* 鳥取大学大学院工学研究科機械工学専攻

** 京都大学工学部

書写技能に基づく筆跡に現れる個人性の抽出

中村 善一・豊田 順一*

An Extraction of Individual Handwriting Characteristics
Based on Calligraphic Skills

Yoshikazu NAKAMURA and Jun'ichi TOYODA

電子情報通信学会論文誌D-II, Vol.J77-D-II, No.3, pp.510-518(1994年3月)

筆跡のどのような特性に個人性が現れるかを検討し、コンピュータにより機械的、客観的に個人性を抽出することは、筆者認識をコンピュータで自動的に行うための基礎的な研究課題である。

本論文では、オンラインで入力された筆跡に現れる個人性を、書写技能に基づく特性により抽出することを提案する。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性があるためと考え、書写技能に基づいて機械的に抽出可能な特性値を定義した。定義した特性値は、造形法に関するもの（天地左右のあき、字間、点画の始点位置・方向・長さなど）8種類と用筆法に関するもの（点画、空画、始・送・終筆部の速度と方向など）16種類である。図1に定義した特性値の一部を示す。また、図2に点画の始筆部、送筆部、終筆部への分解の様子を示す。

定義した特性値が個人性を表すかどうかを評価するために、4人の筆者が「チキュウ」という文字をタブレット上の一定枠内に筆記したサンプル各々50個に対して特性値を抽出し、各特性値ごとに筆者4水準の一元配置分散分析を行った。その結果、230個の特性値の内223個が有意水準5%で有意となり、個人性を表すことが確認できた。更に、特性値の個人内でのばらつき、特性値間の相関関係を変異係数（標準偏差/平均）と相関係数を求めることにより検討した。その結果、個人内でのばらつきが特性によって差があること、ばらつきが個人間で差があること、筆者に依存せず相関が強い特性値の組合わせと筆者に依存して相関の強い組合わせがあることが明らかになった。

また、これら特性値を用いた筆者認識の可能性を検討するために、同じサンプル（奇数番目を学習サンプル、偶数番目をテストサンプルとした）について識別実験と照合実験を行った。全特性値を用いた場合、識別実験において識別率は100%となり、照合実験においても誤棄却率、誤照合率ともに0%であった。以上の結果から、書写技能に基づく特性値は筆者認識に有効であることが確認された。

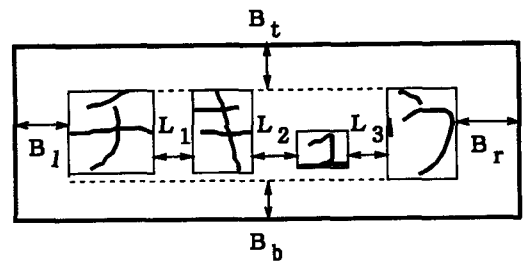


図1 定義した特性値の一部

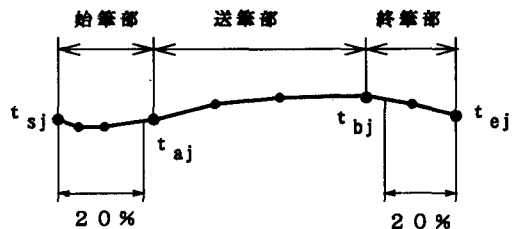


図2 点画の分解

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

Drying Behavior and Dimensional Change of Waterlogged Wood
Impregnated with PEG

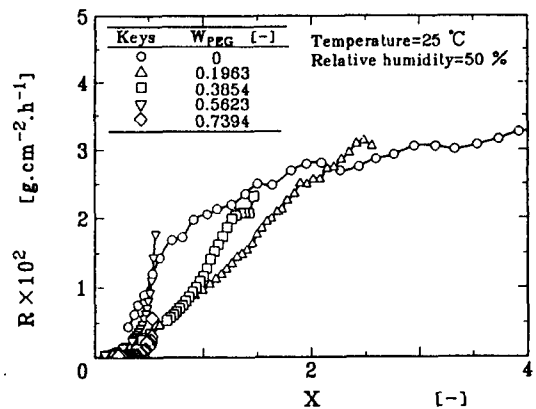
Mikio KAWAGOE, Keiichi HYAKUMURA and Akira ISHIGAKI

日本文化財科学会誌「考古学と自然科学」、第27号（1994）、69～78頁

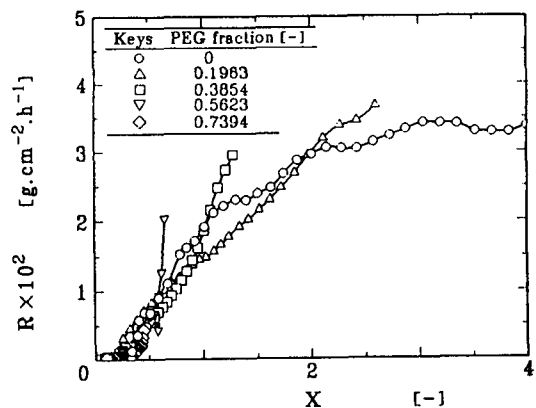
Archaeology and Natural Science, Vol. 27 (1994), pp.69 - 78

PEG含浸法は、遺跡出土木材の保存方法として広く用いられているが、PEG含浸処理を施した木製品でも、周囲の環境（温度、湿度）の変化によって膨張、収縮することが知られている。著者らはPEG含浸処理を拡散モデルに準拠して解析し、処理時間の推算法、有効拡散係数に及ぼす、樹種、PEG濃度、温度、木目、及び含浸物質の分子量の影響などについて検討した。さらに、出土製品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について調べた。

本研究では、PEG含浸処理を施した出土木製品の長期保存に関する基礎的知見を得るため、PEG含浸処理を施した遺跡出土木材の乾燥速度と収縮を測定し、PEG含浸法について検討を加えた。まず、純PEGの乾燥速度と平衡含水率を測定し、次に各PEG濃度における乾燥速度、及び収縮率を求めた。その結果、PEG含浸処理を施した出土木材の乾燥速度曲線は、PEG濃度の変化と共に無処理出土木材の乾燥速度曲線から固体PEGのそれへと変化することが分かった。収縮率はほぼ含水率のみの関数となることを見出した。収縮率は、接線方向が最も大きく、次いで半径方向、軸方向の順に小さくなった。含浸溶液のPEG重量分率が0.74以上であれば、樹種の収縮に及ぼす影響はほとんど認められないことが分かった。このときの収縮率は、最大の接線方向でも5%以下であった。



(a) 広葉樹



(b) 針葉樹

図1 PEG含浸処理を施した遺跡出土木材の乾燥速度曲線

教官研究活動一覧

(機械工学科)

円柱列を通る粘弾性流体の流れ

松村賢治(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6年3月19日 講演)

スピンラインレオメータを用いた広範囲濃度にわたる高分子溶液の伸長粘度測定

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47回年次大会
(平成6年6月9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22報)

北脇岳夫(東洋特殊鋼業), 武田 眞(東洋特殊鋼業), 関口秀夫, 小島耕二, 大矢一幸(奈良高専・専攻科)

平成6年度塑性加工春季講演会
(平成6年5月26日 講演)

ビーディング加工機の開発について

小島耕二

日本塑性加工学会チューブフォーミング分科会
(平成6年6月21日 講演)

A New Process to Manufacture High Quality Square Pipes

H. Sekiguchi, S. Kimura* and K. Kitawaki*
(Toyo Special Steel Products Co.)
Proc. Intr. Tube/Pipe Confr. (Hong Kong),
(Nov., 1993), p1610 - 1615.

日本の教育制度ならびに研究開発の状況

関口秀夫

ブタベスト工科大学における特別講義
(平成6年9月27日 講演)

新しい素形材加工の開発

関口秀夫

ミシュコルク大学における特別講義
(平成6年9月28日 講演)

高専における新しい設計製図教育の取り組み

野々垣稔, 小島耕二

日本機械学会関西支部第69期定時総会講演会
フォーラム「どうすべきか設計製図教育」
(平成6年3月21日 講演)

すべり軸受の混合潤滑摩擦特性に関する研究

末松康成, 小林 覚, 吉田 敦, 野々垣稔

日本機械学会関西学生会卒業研究発表講演会
(平成6年3月19日 講演)

金属容器ベルセロ法における負圧発生技術の確立

吉田友則, 坂本 仁, 玉置 愛, 矢嶋洋智, 廣 和樹

日本機械学会関西学生会卒業研究発表講演会
(平成6年3月19日 講演)

角柱を挿入したチャネル乱流の速度場と温度場の同時測定

矢尾匡永・中谷 洵・奥田雅海(中外炉工業)
・鈴木健二郎(京大・工)

第26回乱流シンポジウム
(平成6年7月23日 講演)

FLOW VISUALIZATION AND HEAT TRANSFER IN A TURBULENT CHANNEL FLOW OBSTRUCTED WITH AN INSERTED SQUARE ROD

M. Yao, M. Nakatani and K. Suzuki*

(* Kyoto Univ.)

Proc. of International Symposium on
Turbulence, Heat and Mass Transfer,

(Lisbon) 1994.

(平成6年8月9日 講演)

角柱を挿入したチャネル乱流の可視化と熱伝達

矢尾匡永・中谷 洵・妹尾年浩(鳥取大・院)
・鈴木健二郎(京大・工)

日本機械学会論文集(B編), 第60巻, 第576号,
2819-2825 (1994)

ADIの切削における工具摩耗

花崎伸作(大阪大学), 藤原順介(大阪大学),
和田任弘

日本機械学会 関西支部第69期定時総会講演会
(平成6年3月21日 講演)

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)

日本機械学会論文集C編, 第60巻, 第573号,
pp. 1829~1834 (1994)

Vibratory Creep Feed Grinding

S.Hanasaki (Osaka Univ.), J.Fujiwara
(Osaka Univ.) and T.Wada

Progress of Cutting and Grinding with
some Problems in CAD/CAM, FMS and
Mechatronics, ICPCG'94(Proc. of 1st Asia
- Pacific and 2nd Japan - China Int. Conf.
on Progress of Cutting and Grinding)
(Shanghai), pp. 465~470 (9.1994)

(電気工学科)

電流形PWMコンバータの復調

井村榮仁

電気学会関西支部連合大会

(平成5年11月21日 講演)

3相電流形PWMコンバータの復調

井村榮仁

電気学会全国大会

(平成6年3月29日 講演)

イオン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Ⅱ

京兼 純, 藤田大作, 富川修二, 吉野勝美(大阪大学)

電気化学協会 93年秋季大会

(平成5年10月14日 講演)

イオンアシスト法による有機蒸着薄膜を固体電解質とする有機薄膜コンデンサへの応用Ⅲ

富川修二, 京兼 純, 吉野勝美(大阪大学)

電気関係学会関西支部連合大会

(平成5年11月21日 講演)

導電性LB膜に関する基礎研究

藤田大作, 京兼 純, 吉野勝美(大阪大学)

電気関係学会関西支部連合大会

(平成5年11月21日 講演)

Characteristics of Solid Electrolytic
Capacitor with Evaporated Organic
Conductors with Ion-Assisted Method
J. Kyokane and K. Yoshino (Osaka
University)

Synthetic Metals, Vol.57, pp.3774~3779
(1993)

イオンアシスト蒸着法を用いた有機薄膜発光素子の開発研究

谷口 功, 京兼 純

電気学会関西支部 第1回高専卒業研究発表会

(平成6年3月4日 講演)

有機蒸着薄膜を固体電解質とする電解コンデンサへの応用研究Ⅳ

京兼 純, 富川修二, 吉野勝美 (大阪大学)
平成6年度電気学会全国大会
(平成6年3月29日 講演)

導電性LB膜に関する基礎研究Ⅱ

京兼 純, 藤田大作, 吉野勝美 (大阪大学)
平成6年度電気学会全国大会
(平成6年3月31日 講演)

反強誘電性液晶における反強誘電-強誘電スイッチングと光散乱

中山敬三, 京兼 純, 森武 洋 (大阪大学),
尾崎雅則 (大阪大学), 吉野勝美 (大阪大学)
平成6年度電気学会全国大会
(平成6年3月31日 講演)

導電性有機蒸着薄膜を固体電解質とするコンデンサの開発

京兼 純
第75回 電気材料技術懇談会
(平成6年6月27日 講演)

Conducting Organic Thin Films by Ion-Assisted Evaporation and Their Application to Electronic Devices and Components

J. Kyokane, I. Taniguchi and K. Yoshino
(Osaka University)
International Conference on Science and Technology of Synthetic Metals(ICS'M'94),
Seoul, KOREA
(July 28, 1994, Poster Presentation)

Effects of Ion Beam Irradiation on Electrical Properties of Langmuir-Blodgett (LB) Films

J. Kyokane, M. Yoshimizu and K. Yoshino
(Osaka University)
International Conference on Science and Technology of Synthetic Metals(ICS'M'94),
Seoul, KOREA
(July 28, 1994, Poster Presentation)

イオンアシスト蒸着法による有機薄膜を用いた発光素子の研究

京兼 純, 谷口 功, 吉野勝美 (大阪大学)
電気化学協会 94年秋季大会
(平成6年9月20日 講演)

イオンアシスト法による導電性有機蒸着薄膜を固体電解質とするコンデンサ

京兼 純, 泉 生一郎, 吉水道朗, 吉野勝美
(大阪大学)
電気化学協会 94年秋季大会
(平成6年9月20日 講演)

反強誘電性液晶の電界誘起相転移と層の運動

森武 洋 (大阪大学), 明神功記 (大阪大学),
中山敬三, 京兼 純, 尾崎雅則 (大阪大学),
吉野勝美 (大阪大学)
第56回応用物理学会学術講演会
(平成6年9月21日 講演)

パラメータのスイッチングによるカオスの安定化

小西啓治, 白尾嘉章, 川畑洋昭, 稲垣嘉雄, 武田洋次 (大阪府立大学)
平成5年電気関係学会 関西支部連合大会 GI-25
(1993年11月 講演)

Fractal Dimensions of Weak Coupled Chaotic Systems.

K. Konishi, Y. Shirao, H. Kawabata, Y. Inagaki, Y. Takeda (Univ. of Osaka Pref.).
Bulletin of the University of Osaka Prefecture, Series A, Vol.42, No.1, pp.27-35
(1993).

Stabilizing Chaotic Motions in Chua's Circuit.

K. Konishi, Y. Shirao, H. Kawabata, Y. Inagaki, Y. Takeda (Univ. of Osaka Pref.).
Proceedings of the 1993 International

Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications(Hawaii, USA), pp. 815-818 (1993). (Dec. 7, 1993, Oral Presentation).

セルラーニューラルネットによる連想記憶について

川崎浩嗣, 川畑洋昭, 武田洋次(大阪府立大学),
小西啓治
電子情報通信学会ニューラルネット研究会技術
報告書, NC93-71, pp.25-32(1993).
(1994年2月 講演)

ニューラルネットワークを用いたカオス制御

岡田隆司, 小西啓治, 木村伊一
1994年 電子情報通信学会春季大会 A-90.
(1994年3月 講演)

パラメータのスイッチングによるカオスの高周期解への安定化

小西啓治, 川畑洋昭, 武田洋次(大阪府立大学)
1994年 電子情報通信学会春季大会 A-91.
(1994年3月 講演)

カップリングされたカオスシステムにおけるフラクタル次元

山口洋司, 小西啓治, 木村伊一
1994年 電子情報通信学会春季大会 A-112.
(1994年3月 講演)

3 値入力によるカオス制御

小西啓治, 川畑洋昭, 武田洋次(大阪府立大学)
電子情報通信学会 第7回 回路とシステム軽
井沢ワークショップ論文集 pp. 387-392
(1994)
(1994年4月 講演)

入力値の切り替えによるカオスの制御

小西啓治, 川畑洋昭, 武田洋次(大阪府立大学)
電子情報通信学会非線形問題研究会技術報告

書, NLP94-5, pp. 29-35 (1994).
(1994年5月 講演)

安定多様体を利用しないカオスの制御

小西啓治, 川畑洋昭, 武田洋次(大阪府立大学)
電子情報通信学会非線形問題研究会技術報告
書, NLP94-9, (1994).
(1994年9月 講演)

1/f 揺らぎ照明のための解析実験

芦口正史(奈良高専専攻科学生), 土井滋貴,
高橋晴雄
平成5年電気関係学会関西支部連合大会G13-5
(平成5年11月20日 講演発表)

太陽電池モジュールの高効率化発電に関する基礎実験

上田泰弘(奈良高専専攻科学生), 山脇竹治(鐘
淵化学工業), 土井滋貴, 京兼 純, 高橋晴雄
平成5年電気関係学会関西支部連合大会G2-24
(平成5年11月21日 講演発表)

睡眠状態の周期性を考慮した人の動き情報からの睡眠状態判定

溝上 潤(奈良高専専攻科学生), 土井滋貴,
佐久間崇(松下電工), 長井一郎(松下電工),
高橋晴雄
平成5年電気関係学会関西支部連合大会G2-88
(平成5年11月21日 講演発表)

工業英語 Technical Terms 7000

高橋晴雄
日本工業英語協会
(平成6年3月20日 出版)

工業英検3級クリア

高橋晴雄
日本工業英語協会
(平成6年3月20日 出版)

工業技術英語の基礎

高橋晴雄

森北出版

(平成6年3月30日 出版)

太陽電池モジュールの高効率化設置角度の実験的検討

上田泰弘(奈良高専専攻科学生), 山脇竹治(鐘淵化学工業), 土井滋貴, 京兼 純, 高橋晴雄

平成6年電気学会全国大会 515

(平成6年3月29日 講演発表)

工学系学校における安全技術教育導入のための基礎調査研究

高橋晴雄

セコム科学技術振興財団研究報告集 No.13,
pp. 28~32

(平成6年5月 発行)

工業英語の基礎学習用の教材開発

高橋晴雄

工業教育協会

平成6年度 工学・工業教育講演会 講演論文
集pp. 89~92

(平成6年8月2日 講演発表)

科学技術英語(工業英語)の指導について

高橋晴雄

平成6年度文部省主催高等専門学校教員研究集
会(長岡技科大)

(平成6年8月29日 特別講演)

初心者のためのCプログラムの作り方

土井滋貴

雑誌トラ技コンピュータ1993年11月号, 特集,
pp. 19-60 CQ出版

(1993年10月 掲載)

1/f 揺らぎ照明のための解析実験

芦口正史, 土井滋貴, 高橋晴雄

平成5年電気関係学会関西支部連合大会, G13-5
(1993年11月20日 講演)

睡眠状態の周期性を考慮し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, 長井一郎(松下電工), 佐久間崇(松下電工)

平成5年電気関係学会関西支部連合大会, G2-88
(1993年11月21日 講演)

日本の楽曲の音高に関する基本的特徴

森 和義(舞鶴高専), 土井滋貴, 秋山好一(大阪電通大), 松田 稔(大阪電通大)

日本音響学会平成6年度春季研究発表会
(1994年3月24日 講演)

日本の楽曲における音高及び音価についての基本的特徴

土井滋貴, 森 和義(舞鶴高専), 秋山好一(大阪電通大), 松田 稔(大阪電通大)

日本音響学会平成6年度春季研究発表会
(1994年3月24日 講演)

計測・制御とPCインターフェース

土井滋貴

雑誌インターフェース1994年5月号, pp. 67-161 CQ出版

(1994年4月 掲載)

プログラミングよもやまばなし

土井滋貴

雑誌インターフェース1994年9月号, pp.108 CQ出版

(1994年8月 掲載)

楽器演奏時の1/f ゆらぎに関する考察

土井滋貴, 秋山好一(大阪電通大), 松田 稔(大阪電通大)

日本音響学会音楽音響研究会, 資料MA94-17
(1994年9月10日 講演)

書写技能に基づく筆跡に現れる個人性の抽出

中村善一, 豊田順一 (阪大産研)

電子情報通信学会論文誌D-II, Vol. J77-D-II, No. 3, pp. 510-518 (1994年3月)

2 光束コンピュータホログラムに関する基礎研究

前田行輝, 成田紘一

電気関係学会関西支部連合大会
(平成5年11月21日 講演)

多重反射形偏向器と導波形CO₂アレイレーザを組み合わせた10.6μm帯光の偏向[I]

中村好二, 松島朋史, 末田 正 (摂南大学)

平成5年電気関係学会関西支部連合大会
(平成5年11月)

フェイズドアレイZnSe/AIN面発光導波形炭酸ガスレーザ

松島朋史, 末田 正 (摂南大学)

平成5年電気関係学会関西支部連合大会
(平成5年11月 講演)

フェイズドアレイZnSe/AIN面発光導波形炭酸ガスレーザ

松島朋史, 末田 正 (摂南大学)

第40回応用物理学関係連合講演会
(平成6年3月31日 講演)

多重反射形偏向器と導波形CO₂アレイレーザを組み合わせた10.6μm帯光の偏向

中村好二, 松島朋史, 末田 正 (摂南大学)

輻射科学研究会
(平成6年5月13日)

多重反射形偏向器と導波形CO₂アレイレーザを組み合わせたCO₂レーザ光の偏向

中村好二, 松島朋史, 末田 正 (摂南大学)

第55回応用物理学学会学術講演会
(平成6年9月19日)

(電子制御工学科)

Brain Noiseを考慮したCV刺激誘発脳磁界信号源の動的推定

沖田善光, 平田恵啓 (北大・電子科学研究所),
小林哲生 (北大・電子科学研究所), 栗城真也
(北大・電子科学研究所, 国立共同研究機構・
生理学研究所併任)

ME学会北海道支部大会
(平成5年10月)

脳波テレメーターを用いた自発脳波の特徴について

沖田善光, 城谷ゆかり (北大・教育学部)

北海道心理学会第41回大会
(平成6年9月)

グラフィック制御工学入門

栗本 尚

コロナ社

(1994年9月 出版)

差動型干渉計によるレーザ・フォトサーマル効果を用いたガス流速と温度の計測

中谷 登 (芦屋大), 小塩高文 (芦屋大), 阪部俊也

第41回応用物理学関係連合講演会
(平成6年3月30日 講演)

水流への空気混入による船体抵抗低減に関する研究

坂本雅彦, 蔦原道久 (神大工)

日本機械学会第71期全国大会講演会
(1993年10月3日 講演)

高圧空気を駆動源とする船舶用推進装置

(非線形格子モデルと実験結果との比較)

坂本雅彦, 蔦原道久, 木村雄吉 (以上神大工),
橋本 潔 (航空大)

日本機械学会第71期通常総会講演会
(1994年3月31日 講演)

高圧空気をを用いた船舶用推進装置の計算モデル（一次元非線形格子モデルの特性と実験結果との比較）

薦原道久（神大工），坂本雅彦，木村雄吉（神大工），橋本 潔（航空大）

日本機械学会論文B編、vol.60, No. 578(1994)

A Study of Ship Propulsion Equipment Driven by High - Pressure Gas

Michihisa TSUTAHARA, Masahiko SAKAMOTO, Takeyoshi KIMURA and Kiyoshi HASHIMOTO

THE THIRD JSME - KSME FLUIDS ENGINEERING CONFERENCE (1994)

高圧空気を駆動源とする船舶用推進装置（二次元ノズルと軸対称ノズルの推力増加に関する検討）

坂本雅彦，薦原道久，木村雄吉（神大工），橋本 潔（航空大）

日本機械学会第72期全国大会講演会

（1994年 8月17日）

磁場による溶融合金ジェット凝固過程の高速化と制御

島岡三義

文部省科学研究費補助金重点領域研究「新素材の製造・加工技術にかかわるミクロ伝熱工学の展開」，平成 5 年度研究成果報告会

（平成 6 年 1 月26日 講演）

ぬれにくい平板上の単一液滴

中田敏夫，細川 力（姫工大），藤原良樹（姫工大），大上芳文（姫工大）

日本機械学会関西支部 第69期定時総会講演会

（1994年 3月21日 講演）

位相シフト粗面干渉法を用いたセラミックスのポアソン比測定システム

西田茂生，押田至啓，難波慎吾（大阪府立大学総合科学部），岩田耕一（大阪府立大学工学部）

精密工学会 1993年度精密工学会秋季大会講演論文集 No.1 p. 237-238

（1993年10月 9日 講演）

A Pneumatic Bellows Manipulator with Force Sensing Ability

Y.Hayakawa, S.Kawamura (Ritsumeikan Univ.),

IEEE International Workshop on Robot and Human Communication, 205/210.

（1993年11月 4日 講演）

空気圧ベローズマニピュレータの試作と制御

早川恭弘，永井克明，石本拓也，川村貞夫（以下立命館大学），後藤健夫，清水高章，小山 浩

第11回日本ロボット学会学術講演会

（1993年11月14日 講演）

A New Type of Pneumatic Robot using Bellows Actuators with Force Sensing Ability

Y.Hayakawa, S.Kawamura (Ritsumeikan Univ.),

IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2451/2456.

（1994年 5月12日 講演）

拮抗型空気圧ベローズアクチュエータの基本性能と力センサへの応用

早川恭弘，藤田朋宏，青山京司，竹田貴博，川村貞夫（立命館大学）

第38回システム制御情報学会研究発表講演会

（1994年 5月25日 講演）

空気圧ベローズマニピュレータの外力推定

早川恭弘，川村貞夫（以下立命館大学），後藤健夫，小山 浩，清水高章

日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会

（1994年 7月 1日 講演）

Basic Performance of an Antagonized Bellows Actuator and Its Application to Force Control and Compliance Control of Pneumatic Drive System

Y. Hayakawa, S. Kawamura (Ritsumeikan Univ.),
ISCIE 1994 Japan - U.S.A. Symposium on Flexible Automation, 675/679
(1994年7月12日 講演)

External Force Estimation by using an Antagonized Bellows Actuator

Y. Hayakawa, S. Kawamura (Ritsumeikan Univ.), SICE '94, 593/594
(1994年7月28日 講演)

拮抗型空気圧ベローズアクチュエータの基本性能と微動メカニズムへの応用

早川恭弘, 藤田朋宏, 竹田貴博, 川村貞夫 (立命館大学)
日本機械学会 第72期全国大会講演会
(1994年8月18日 講演)

(情報工学科)

CFDPのファイル転送への応用と実用的応用分野

豊川潤二, 浅井文男
電気関係学会関西支部連合大会
(1993年11月20日 講演)

高専における応用物理と情報処理の総合化

浅井文男
日本物理学会1994年年会
(1994年3月29日 講演)

緩和過程における残留エネルギーの漸近的振舞い

浅井文男, 東 司人 (豊橋技科大)
日本物理学会1994年秋の分科会
(1994年9月2日 講演)

Automatic Seal Imprint Verification System with Imprint Quality Assessment Function and Its Performance Evaluation

K. Ueda
IEICE Trans. on Information and Systems, Vol. E77-D, No. 8, pp.885-894
(平成6年8月)

ソフトウェア設計教育の支援システムの構想

工藤英男, 多喜正城
情報処理学会 全国大会
(1993年10月8日 講演)

プログラム理解を助けるC言語のプログラミングスタイル

松村崇史, 工藤英男
情報処理学会 全国大会
(1993年10月8日 講演)

ソフトウェア設計教育の支援システムの基本設計

工藤英男, 多喜正城, 吉川博史 (大阪短期大学)
CAI学会 第44研究会
(1993年10月30日 講演)

組み込み型ソフトウェアの生産性データに関する一考察

工藤英男, 和田喜久男*, 松本健一*, 鳥居宏次*
(*奈良先端科学技術大学院大学)
第14回ソフトウェア信頼性シンポジウム
(1993年11月26日 講演)

ソフトウェア設計教育のためのCAIシステム

工藤英男, 多喜正城, 富島磨由美 (㈱ヴィヴィット), 的場裕司 (甲南大学)
文部省平成5年度情報処理教育研究集会
(1993年12月9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開発

山井成良, 工藤英男, 鈴木忠二, 中西義郎, 下條真司 (大阪大学)

文部省平成5年度情報処理教育研究集会
(1993年12月9日 講演)

ソフトウェア設計教育の支援システムにおけるデータ収集機構

城間順一, 工藤英男

CAI学会関西支部コンピュータ利用研究発表会
(1994年3月5日 講演)

ソフトウェア設計教育の支援システムにおける教材の構成

工藤英男, 多喜正城, 吉川博史 (大阪短期大学)
情報処理学会 全国大会
(1994年9月30日 講演)

線画の視覚的複雑性がRSVPタスクにおける誤答パターンに与える効果

下村満子

日本基礎心理学会第13回大会
(1994年4月 講演)

アニメーションを用いたユーザーインターフェースに関する研究

森岡 康, 鈴木忠二

電気学会関西支部 第1回高専卒業研究発表会
(平成6年3月4日 講演)

1994 SID国際シンポジウム報告

—— 概要 ——

鈴木忠二

TV学会 技術報告 Vol.18-42 JDY 94-97

並列論理シミュレーションにおけるロールバックについて

世古 忠, 菊野 亨 (大阪大学)

電子情報通信学会技術研究報告 VLD 93-79

pp. 39-46

(1993年12月15日 講演)

通信時間を考慮した並列論理シミュレーションの動的スケジューリングの評価

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
(1994年3月28日 講演)

樹状回路の並列論理シミュレーションにおけるロールバックと通信時間の関係

世古 忠, 西野繁之, 菊野 亨 (大阪大学)

電子情報通信学会春季大会講演論文集
(1994年3月28日 講演)

機能記述言語による連想記憶プロセッサの設計と故障シミュレーションへの応用

加納健司, 世古 忠

第1回電気学会関西支部高専卒業研究発表会
(1994年3月)

機能記述言語を用いた連想記憶プロセッサの設計と実現

世古 忠, 菊野 亨 (大阪大学)

パルテノン研究会報告集
(1994年4月5日 講演)

Experimental Evaluation of Rollbacks in Parallel Logic Simulation for Tree-Connected Circuit

Tadashi SEKO, Shigeyuki NISHINO and Tohru KIKUNO (Osaka Univ.)

Proceedings of 1994 Joint Technical Conference on Circuit/Systems, Computers and Communications, pp.877-882 (Kongju, Korea 1994)

(1994年7月12日 講演)

知的情報処理のための情報数学 多喜正城

晃洋書房

(1993年5月10日 出版)

カラー情景画像からの文字列情報抽出

松尾賢一, 上田勝彦, 梅田三千雄 (大阪電気通信大学)

情報処理学会第9回 (平成6年度前期) 大会
(1994年3月24日 講演)

複雑度を用いた情景画像からの文字列抽出の検討

松尾賢一, 上田勝彦, 梅田三千雄 (大阪電気通信大学)

情報処理学会第49回 (平成6年度後期) 大会
(1994年9月28日 講演)

(化学工学科)

Resonance Raman Characterization of Unusual Metalloporphyrins

H. Ishimaru and/or J. Teraoka (Osaka City Univ.)

The 30th International Conference on Coordination Chemistry, Kyoto, Japan
(July 1994 講演)

生成物分離型光化学ダイオードによる廃液からの各種金属の回収

林 裕信, 大西康幸, 泉 生一郎

日本化学会第66秋季年会

(平成6年9月28日 講演)

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, 阪本善史, 浅井洋志 (片山化学工業研究所), 岩下哲雄 (大阪工業技術研究所), 稲垣道夫 (北大・工)

'93電気化学秋季大会

(平成6年10月14日 講演)

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, 阪本善史, 浅井洋志 (片山化学工業研究所), 岩下哲雄 (大阪工業技術研究所), 稲垣道夫 (北大・工)

電気化学協会 技術・教育研究論文誌 Vol. 2, No. 2 pp. 149~154 (1993)

水溶液中からの各種金属の回収に対する光化学ダイオードの応用

大西康幸, 泉 生一郎, 林 裕信

水処理技術 Vol.35, No.4, pp.173~179 (1994)

Neutral Carrier-Type Silver Ion Selective Electrodes based on Lipophilic Thiacycrown Ethers

Masatoshi Oue, Hideo Sawada and Keiichi Kimura (大阪大学)

The 2nd International Symposium on Macrocyclic Ligands for the Design of New Materials (Buenos Aires)

(Oral Presentation, August 31, 1994)

Electrotransportation of Aniline Through a Perfluorosulfonate Ion-Exchange Membrane

K. Katakura, M. Inaba, Z. Ogumi, and Z. Takehara (Kyoto Univ.)

J. Electrochem. Soc., Vol. 141, No.7, pp.1827~1831 (1994)

微小電極を用いたPEMFC負極の物質輸送シミュレーション

片倉勝己, 稲葉 稔*, 小久見善八*, 竹原善一郎* (*京大工)

電気化学協会第61回大会

(平成6年4月3日 講演)

メニスカス電極における物質移動に及ぼすナフィオン膜の影響

稲葉 稔*, 小久見善八* (*京大工), 田淵

徹[†], 宇野雅正[†], 田坂明政[†] (†同志社大工),
片倉勝己
94年電気化学秋季大会
(平成6年9月20日)

M. Kawagoe, K. Hyakumura and K. Miki
3rd German/Japanese Symposium "Bubble Columns", Schwerte (Germany)
(1994年6月15日 講演)

エアーリフト型気泡塔を用いたスエヒロ
タケによるリンゴ酸生産
河越幹男, 百村敬一, 三木功次郎, 直江一光
化学工学会第26回秋季大会
(1993年10月1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
日本文化財科学会誌「考古学と自然科学」, 第27号, 69~78頁
(1994年9月)

Liquid-phase Mixing in Airlift Bubble Columns
Mikio Kawagoe
The Third Korea-Japan Symposium on Separation Technology, Seoul (Korea)
(1993年10月25日 講演)

Reactions of acrylic acid with fluoroalkanoyle peroxides - the formation of acrylic acid oligomers containing two fluoroalkylated end-groups
H. Sawada, Y. Minoshima, and H. Nakajima (日本油脂), J. Fluorine Chem., **65**, 169 (1993).

エアーリフト型気泡塔を用いたスエヒロ
タケによるリンゴ酸生産
河越幹男
ケミカルエンジニアリング, 39巻, 2号, 54~58頁
(1994年2月 講演)

Photopolymerization of vinyl ether by hydroxy- and methylthioalkyl-phosphonium salts as novel photocationic initiators
K. Komoto, M. Ishidoya, H. Ogawa (日本油脂), H. Sawada, K. Okuma, and H. Ohta (福岡大)
Polymer, **35**, 217 (1994).

遺跡出土木材へのポリエチレングリコールの含浸速度
河越幹男, 石垣 昭
化学工学会第59年会
(1994年3月28日)

炭素-炭素結合によりフルオロアルキル基が導入されたオリゴマーの表面特性
沢田英夫, 河本恵司, 佐野正宏, 石戸谷昌洋, 小川久男 (日本油脂)
高分子論文集, **50**, 983 (1993).

超臨界乾燥法による遺跡出土木材の保存処理
河越幹男, 谷尻陽子
日本文化財科学会第11回大会
(1994年6月11日 講演)

新規含フッ素過酸エステルの合成と重合開始能
沢田英夫, 須山修治 (日本油脂)
高分子論文集, **51**, 73 (1994).

Production of L-Malic Acid by *Schizophyllum Commune* in Bubble Column Fermentors

Direct Heptafluoropropylation of Purines with Bis(heptafluorobutyl) Peroxide

M. Nishida, S. Fujii, H. Kimoto, Y. Hayakawa (名工研), H. Sawada, and L. A. Cohen (NIH, USA), *J. Fluorine Chem.*, **65**, 175 (1993).

Reduction of Friction Coefficient of Liquid Paraffin by Novel Fluorosilicones

M. Abe, K. Matsuda, K. Ogino (東京理科大), H. Sawada, and K. Nishiyama (東京理科大), *Langmuir*, **9**, 2755 (1993).

Novel Fluoroalkylation of Polyester Surface: Grafting with Perfluoroalkanoyl Peroxides

T. Kawase, T. Fujii, M. Minagawa (大阪市立大), H. Sawada, and M. Nakayama (日本油脂)
Text. Res. J., **64**, 375 (1994).

Selective Inhibition of Human Immunodeficiency Virus Type 1, Replication by Novel Fluoroalkylated Oligomers in Vitro

M. Baba, T. Kira, S. Shigeta (福島県立医大), T. Matsumoto (日本油脂), and H. Sawada
J. Acquir. Immune Defic. Syndr., **7**, 24 (1994).

Synthesis and Surface Properties of Novel Amphiphilic Fluorosilicon Oligomers

H. Sawada, M. Mitani, M. Nishida (日本油脂), Y. - F. Gong, M. Kosugi, T. Migita (群馬大), and T. Kawase (大阪市立大)
J. Jpn. Oil Chem. Soc., **43**, 65 (1994).

Synthesis of Novel Polymeric Perfluoro-oxa-alkane Diacyl Peroxide. A Convenient Tool for the Introduction of the Perfluoro-oxa-alkylene Unit

H. Sawada, E. Sumino, M. Oue, M. Mitani, H. Nakajima, M. Nishida, and Y. Moriya (日本油脂)
J. Chem. Soc., Chem. Commun., 143 (1994).

Synthesis and Surfactant Properties of Novel Amphiphilic Fluorosilicon Oligomers Containing Carboxy Groups

H. Sawada, N. Itoh, T. Kawase (大阪市立大), M. Mitani, H. Nakajima, M. Nishida, and Y. Moriya (日本油脂)
Langmuir, **10**, 994 (1994).

ペルフルオロプロピル基含有ポリアミク酸の合成

沢田英夫, 三谷元宏, 中山雅陽 (日本油脂)
高分子論文集, **51**, 561 (1994).

Synthesis and properties of fluoroalkylated vinyl alcohol oligomers

H. Sawada, K. Yamaguchi, M. Mitani, H. Nakajima, M. Nishida, and Y. Moriya (日本油脂)
Polymer, **35**, 444 (1994).

過酸化ペルフルオロブチリルを用いたペルフルオロプロピル基含有フェノール及びアニリン誘導体の合成

沢田英夫, 三谷元宏, 養島義浩, 中山雅陽 (日本油脂)
材料技術, **12**, 185 (1994).

新規フルオロシリコンオリゴマーの合成とその泡切れ効果

阿部正彦, 松田賢治, 荻野圭三, 好野則夫 (東

京理科大), 沢田英夫
色材協会誌, **67**, 138 (1994).

Antifoaming Effects in a Nonaqueous Solvent by Novel Fluorosilicone Oligomers

K. Matsuda, M. Abe, K. Ogino, N. Yoshino (東京理科大), and H. Sawada
J. Jpn. Soc. Colour Mater., **67**, 88 (1994).

Chemiluminescence of Cypridina Luciferin Analogues. Part 1. Effect of pH on Rates of Spontaneous Autooxidation of CLA in Aqueous Buffer Solutions

K. Fujimori, H. Nakajima, K. Akutsu (筑波大), M. Mitani (日本油脂), H. Sawada, and M. Nakayama (日本油脂)
J. Chem. Soc. Perkin Trans. 2, 2405 (1993).

Gas and Vapor Permeability of Perfluoroalkylated Polymers

Y. Hayakawa, M. Nishida, H. Kimoto, S. Fujii (名工研), and H. Sawada
Polym. Bull., **32**, 661 (1994).

Novel Fluoroalkylated Oilgomers Selectively Inhibit Human Immunodeficiency Virus Type 1 Replication In Vitro

M. Baba, T. Kira, S. Shigeta (福島県立医大), T. Matsumoto (日本油脂), and H. Sawada
AIDS Research Newsletter, p140, Japanese Society for AIDS Research, Tokyo, 1993.

炭素-炭素結合によりフルオロアルキル基が導入されたオリゴマーの表面特性

沢田英夫, 大植正敏, 河本恵司, 佐野正宏 (日本油脂)
第18回フッ素化学討論会
(平成5年度, 10月31日ポスター講演)

フルオロアルキル基含有アクリル酸オリゴマーの合成と抗エイズ活性

沢田英夫, 大植正敏, 馬場昌範, 茂田士郎 (福島県立医大), 松本竹男 (日本油脂)
第18回フッ素化学討論会
(平成5年11月1日 講演)

両端にフルオロアルキル基を有する新規アクリレートオリゴマーによるポリエステル

川瀬徳三, 河本久美, 藤井富美子, 皆川 基 (大阪市立大), 沢田英夫, 森屋泰夫 (日本油脂)
第25回洗浄に関するシンポジウム (日本油化学協会)
(1993年10月21日 講演)

フルオロアルキル基が炭素-炭素結合で導入されたオリゴマー類の合成とその応用

沢田英夫
第41回高分子若手研究会 [関西] (生体と高分子のかかわり) (大阪府立大学)
(1993年12月4日 講演)

フルオロアルキルオリゴマーの選択的な抗HIV-1作用

馬場昌範, 吉良俊彦, 茂田士郎 (福島県立医大), 松本竹男 (日本油脂), 沢田英夫
第7回日本エイズ学会総会
(平成5年11月29日 講演)

フルオロアルキル基含有オリゴマー(1)フルオロアルキル基含有アクリル酸コオリゴマーの合成と性質

沢田英夫, 丹葉敬一, 川瀬徳三 (大阪市立大), 三谷元宏, 中島弘充, 西田真佐美, 森屋泰夫 (日本油脂)
日本化学会第67春季年会 (青山学院大学)
(平成6年3月29日 講演)

フルオロアルキル基含有オリゴマー(2)フルオロアルキル基含有アクリル酸

ーシリコンコオリゴマーの合成と性質

沢田英夫, 伊藤奈穂子, 川瀬徳三 (大阪市立大),
三谷元宏, 中島弘充, 西田真佐美, 森屋泰夫 (日本油脂)

日本化学会第67春季年会

フルオロアルキル基含有オリゴマー(3)

過酸化フルオロアルカノイルとアリルアルコール類との反応

沢田英夫, 丹葉敬一, 川瀬徳三 (大阪市立大),
三谷元宏, 蓑島義浩, 中島弘充, 西田真佐美,
森屋泰夫 (日本油脂)

日本化学会第67春季年会 (青山学院大学)

(平成6年3月29日 講演)

フルオロアルキル基含有オリゴマー(4)

表面張力からみた界面化学的性質

川瀬徳三 (大阪市立大), 沢田英夫, 丹葉敬一,
伊藤奈穂子, 森屋泰夫 (日本油脂)

日本化学会第67春季年会 (青山学院大学)

(平成6年3月29日 講演)

フルオロアルキル基含有オリゴマー(5)

フルオロアルキル基含有ポリアル類の合成と性質

沢田英夫, 山口佳織, 三谷元宏, 中島弘充, 西田真佐美, 森屋泰夫 (日本油脂)

日本化学会第67春季年会 (青山学院大学)

(平成6年3月29日 講演)

フルオロアルキル基含有オリゴマー(6)

ポリシロキサンユニット含有含フッ素アクリル酸コオリゴマーの合成とその性質

沢田英夫, 大橋朝妃, 阿部正彦 (東京理科大),
三谷元宏, 中島弘充, 西田真佐美, 森屋泰夫 (日本油脂)

日本化学会第67春季年会 (青山学院大学)

(平成6年3月29日 講演)

フルオロアルキル基含有オリゴマー(7)

含フッ素ポリメリックペルオキシドを用

いたペルフルオローオキサーアルキレンユニットの導入化反応

沢田英夫, 角野栄作, 大植正敏, 三谷元宏, 中島弘充, 西田真佐美, 森屋泰夫 (日本油脂)

日本化学会第67春季年会 (青山学院大学)

(平成6年3月29日 講演)

含フッ素ナフタロシアニン類の合成と性質

沢田英夫, 三谷元宏, 中山雅陽 (日本油脂),
森下芳伊, 片寄光雄 (日立化成)

日本化学会第67春季年会 (青山学院大学)

(平成6年3月29日 講演)

フルオロアルキル基が炭素-炭素結合により導入されたカルボキシル基含有オリゴマー類の合成と抗エイズウイルス活性

沢田英夫, 伊藤奈穂子, 大橋朝妃, 大植正敏,
馬場昌範 (鹿児島大), 茂田士郎 (福島県立医大),
三谷元宏, 中島弘充, 西田真佐美, 森屋泰夫 (日本油脂)

第43回高分子学会年次大会 (愛知県産業貿易館)

(平成6年5月27日 講演)

ペルフルオローオキサーアルキレンユニット含有アクリル酸オリゴマー類の合成と性質

沢田英夫, 角野栄作, 大植正敏, 三谷元宏, 中島弘充, 西田真佐美, 森屋泰夫 (日本油脂)

第43回高分子学会年次大会 (愛知県産業貿易館)

(平成6年5月26日ポスター発表)

Synthesis and Properties of Acrylic Acid Oligomers Containing Perfluoro-oxa-alkylene Unit

H. Sawada, E. Sumino, M. Oue, M. Mitani, H. Nakajima, M. Nishida, and Y. Moriya (日本油脂), The 14th International Symposium on Fluorine Chemistry

(Yokohama) (Oral Presentation; August, 1, 1994)

Synthesis of Fluoroalkylated Oligomers Containing Carboxy Groups and Selective Inhibition of Human Immunodeficiency Virus Type 1 Replication by These Oligomers

H. Sawada, N. Itoh, A. Ohashi, M. Oue, M. Baba (鹿児島大), T. Kira, S. Shigeta (福島県立医大), M. Mitani, H. Nakajima, M. Nishida, and Y. Moriya (日本油脂), The 14th International Symposium on Fluorine Chemistry (Yokohama)

(Poster presentation; August, 2, 1994)

Synthesis and Surfactant Properties of Novel Amphiphilic Fluorinated Silicon Oligomers Containing Carboxy Groups

H. Sawada, N. Itoh, K. Tanba, M. Oue, T. Kawase (大阪市立大), M. Mitani, H. Nakajima, M. Nishida, and Y. Moriya (日本油脂), The 14th International Symposium on Fluorine Chemistry (Yokohama)

(Oral Presentation; August, 2, 1994)

含フッ素シランカップリング剤によるポリエステルの表面改質

川瀬徳三, 山根 都, 藤井富美子, 皆川 基 (大阪市立大), 沢田英夫, 森屋泰夫 (日本油脂) 繊維学会年次大会

(1994年7月6日 講演)

ペルフルオロオキサアルキレンユニット含有オリゴマー類の合成と性質

沢田英夫, 角野栄作, 大植正敏, 三谷元宏, 中島弘充, 西田真佐美, 森屋泰夫 (日本油脂)

第33回油化学討論会・研究発表会, 工学院大学 新宿キャンパス

(1994年9月28日 講演)

フルオロアルキル基含有アクリル酸コオリゴマー類の合成と性質

沢田英夫, 伊藤奈穂子, 丹葉敬一, 大植正敏,

川瀬徳三 (大阪市立大), 三谷元宏, 中島弘充, 西田真佐美, 森屋泰夫 (日本油脂)

第33回油化学討論会・研究発表会, 工学院大学 新宿キャンパス

(1994年9月28日 講演)

ポリシロキサンセグメントを有する含フッ素アクリル酸コオリゴマー類の合成と性質

沢田英夫, 大橋朝妃, 大植正敏, 阿部正彦 (東京理科大), 三谷元宏, 中島弘充, 西田真佐美, 森屋泰夫 (日本油脂)

第33回油化学討論会・研究発表会, 工学院大学 新宿キャンパス

(1994年9月28日 講演)

フルオロアルキル基含有アリル系オリゴマー類の合成

沢田英夫, 丹葉敬一, 大植正敏, 川瀬徳三 (大阪市立大), 早川由夫 (名工研), 三谷元宏, 養島義浩, 中島弘充, 西田真佐美, 森屋泰夫 (日本油脂)

第33回油化学討論会・研究発表会, 工学院大学 新宿キャンパス

(1994年9月28日 講演)

フルオロアルキル基及びフルオロアルキレン基を有するオリゴマー類の抗エイズウイルス活性

沢田英夫, 角野栄作, 大橋朝妃, 丹葉敬一, 伊藤奈穂子, 大植正敏, 馬場昌範 (鹿児島大), 三谷元宏, 中島弘充, 西田真佐美, 森屋泰夫 (日本油脂)

第33回油化学討論会・研究発表会, 工学院大学 新宿キャンパス

(1994年9月27日 講演)

カルボキシル基含有フルオロシリコンオリゴマー溶液の分光学的性質

阿部正彦, 中川順平 (東京理科大), 加茂川恵司 (文部省初中局), 川瀬徳三 (大阪市立大), 沢田英夫

第33回油化学討論会・研究発表会，工学院大学
新宿キャンパス

(1994年9月27日 講演)

両端にフルオロアルキル基を含有したア
リル系オリゴマー類の界面化学的性質

川瀬徳三 (大阪市立大)，沢田英夫，丹葉敬一，
大植正敏，早川由夫 (名工研)，森谷泰夫 (日
本油脂)

第33回油化学討論会・研究発表会，工学院大学
新宿キャンパス

(1994年9月27日 講演)

新発見のフッ素化合物ー抗エイズ活性確認

沢田英夫，馬場昌範 (鹿児島医大)，

日本油脂，日本経済新聞，

(平成6年5月28日)

低毒性の抗エイズ剤ーフッ素化合物を合成

沢田英夫，馬場昌範 (鹿児島医大)

日本油脂，日刊工業新聞

(平成6年5月31日)

抗エイズ活性を持つ新物質，ふっ素含む
オリゴマー

馬場昌範 (鹿児島医大)，沢田英夫，

日本油脂，日本工業新聞

(平成6年5月31日)

抗エイズ活性を持つフッ素含有オリゴ
マー

馬場昌範 (鹿児島医大)，沢田英夫，

日本油脂，化学と工業

47, 982 (1994).

含フッ素ポリメリックペルオキシド，そ
の製造方法およびそれを用いたフルオロ
アルキル基含有重合体」

沢田英夫，石垣秀世，須山修治 (日本油脂)

特願 平5-291027号 (平成5年11月19日出願)

フルオロアルキル基含有化合物

沢田英夫，安河内徹，嶋田昌彦，石崎孝治 (日
本油脂)

特願 平6-013079 (平成6年1月12日 出願)

Minimal AOT Concentration for Bi-
nary Protein System in Reverse Mi-
cellar Extraction.

K. NAOE, M. TAMAI, M. KAWAGOE,
M. IMAI (Tokyo Univ. Agri. & Technol.),
and M. SHIMIZU (Tokyo Univ. Agri. &
Technol.)

"ADVANCES IN BIOSEPARATION
ENGINEERING 1993", (Ed. by The Spe-
cial Study Group for Bioseparation Engi-
neering of SCEJ), pp. 35-39 (1994)

複数成分系のminimal AOT濃度条件お
よび基礎物性の変化からみた逆ミセル中
のタンパク質の可溶化状態

玉井 誠，直江一光，河越幹男，今井正直*，

清水 賢* (*東京農工大)

化学工学会第59年会

(1994年3月30日 講演)

逆ミセル有機相によるタンパク質の可溶
化にともなう親水的環境の形成とタンパ
ク質の極性

今井正直*，夏目智之* (*東京農工大)，直江
一光，市川創作 (東京大)，清水 賢 (東京農
工大)

化学工学会第59年会

(1994年3月30日 講演)

抗体被覆磁性ビーズを用いた血液細胞の
新しい分離手法

直江一光

化学と工業「トピックス」，Vol. 47, No.7, pp.
913-914 (1994)

微生物細胞は油の中で生きられるか？

一両親媒性分子による微生物細胞の有機溶媒中への可溶化ー

直江一光

生物工学会誌「トピックス」, Vol.72, No.2, pp.124 (1994)

Selective Extraction of Proteins from Complex Solutions by Reverse Micelles

K. Naoe, M. Imai, and M. Shimizu (Tokyo Univ. Agri. & Technol.)

"DEVELOPMENTS IN FOOD ENGINEERING", (Ed. by T. Yano, R. Matsuno, and K. Nakamura) Part 1, pp.633-635, Blackie Academic & Professional (1994)

Reverse Micellar Extraction of Lysozyme from Chicken Egg White with Guanidine Hydrochloride Addition.

K. Naoe, Y. Shintaku, Y. Mawatari, M. Kawagoe, and M. Imai (Tokyo Univ. Agri. & Technol.) Recovery of Biological Products VII, San Diego, USA (September 1994 講演)

固定化酵母細胞ー電極間におけるメディアータを用いた電子伝達共役

三木功次郎, 槌田篤志, 河越幹男, 池田篤治 (京都大学)
日本化学会第67年春季年会
(1994年3月30日 講演)

ジアホラーゼ触媒反応におけるキノン化合物の電子受容能

荻野恭治 (京都大学), 三木功次郎, 池田篤治 (京都大学)
1994年度日本農芸化学会大会
(1994年4月4日 講演)

ピルビン酸デヒドロゲナーゼ固定化電極

のピルビン酸センサおよびリン酸センサへの応用

三木功次郎, 木下英明 (活水女子大), 池田篤治 (京都大学)
第55回分析化学討論会
(1994年6月11日 講演)

(一般教科)

奈良高専における情報処理教育の概略について

市原 亮, 榊原和彦, 世古 忠
情報処理教育研究発表会論文集, 第14号 p.61~63 (1994)
高等専門学校情報処理教育研究委員会

奈良高専における情報処理教育の概略について

市原 亮, 榊原和彦, 世古 忠
第14回高等専門学校情報処理教育研究委員会
(1994年8月 講演)

目で見える橿原・高市の100年 (共著)

大矢良哲
郷土出版社
(平成5年10月29日)

大和におけるカイト地名

大矢良哲
自然と文化41号
日本ナショナルトラスト
(平成5年12月)

(仮称) 日本地名博物館の常設展示企画に関する中間報告書 (共著)

大矢良哲
金石文と地名, 木簡と地名, 条里制と地名 (担当)
(仮称) 日本地名博物館企画運営・展示計画委員会

(平成6年3月)
 藤原京時代の文化について
 大矢良哲
 関西工業教育協会高専部会
 (平成6年8月19日 講演)

渡来地名概説・事典 pp.136~145
 カイトについて pp.262~263
 大矢良哲
 日本「歴史地名」総覧
 新人物往来社

人物造形におけるエフォート理論の活用
 神澤和明
 日本演劇学会秋期大会(帝塚山大学)発表
 (平成5年10月30日)

鈴江俊郎の深まりに期待して
 神澤和明
 『テアトロ』第614号
 (平成6年3月1日 発行)

"Theatrical Presentation" by B. Beckerman Chapter 12
 神澤和明
 日本演劇学会関西支部理論部会 発表
 (平成6年6月4日)

論争の視点と民主主義
 -谷口孝男『論争のデモクラットー生きる
 ことの意味論』書評
 木村倫幸
 季報・唯物論研究 第48号
 (1994年4月)

乱歩の闇は何処に
 -江戸川乱歩生誕百年に寄せて
 木村倫幸
 季報・唯物論研究 第49/50号
 (1994年8月)

高専における外国語教育(ドイツ語)
 桐川 修
 関西工業教育協会 高専部会 秋季セミナー
 (1993年11月8日 講演)

ドイツ語の複合前置詞について
 桐川 修
 日本独文学会京都支部1993年度秋季研究発表
 会)
 (1993年12月4日 口頭発表)

ドイツ語の複合前置詞について
 桐川 修
 京都ドイツ文学会会報 Nr.20
 (1994年6月20日 日本独文学会京都支部 発行)

コンピュータ支援視聴覚教育システム
 桐川 修
 学情DDJ通信 第5号
 (1994年4月 学術情報センター外国語関連
 フォーラム 発行)

個性・創造性を引き出す授業: Self-TalkによるStory-Telling
 樋口忠彦(近畿大学), 北村豊太郎(梅田学園),
 国方太司
 「現代英語教育」(研究社)第30巻, 第8号
 pp.41-43
 (平成5年11月1日)

早期英語学習が学習者の英語および外国
 語学習における態度と動機に及ぼす影響
 樋口忠彦(近畿大学), 国方太司, 三浦一郎(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13号, pp.
 35-48.
 (平成6年3月31日)

導入からコミュニケーション活動まで：
過去時制との対比を重視した現在完了の
指導

樋口忠彦（近畿大学），山本文雄（姫路独協大
学），国方太司

「現代英語教育」（研究社），第31巻，第3号，
pp.47-49

（平成6年6月1日）

2次元ハイゼンベルグ模型のボゾンおよ
びフェルミオン平均場理論

榊原和彦（金沢大），高野浩志（東大），松居哲
生（近畿大）

日本物理学会

（1993年10月 講演）

2-dimensional Heisenberg model v.s.
Fermion in Magnetic field

榊原和彦（金沢大）

素粒子論研究（kyoto）88-5（E54）

（1994年2月）

Monte Carlo Simulation of Anisotrop-
ic XY model; t-J model, gauge field
theory, Charge-Spin Separation

榊原和彦（金沢大），松居哲生（近畿大）

日本物理学会

（1994年3月 講演）

ベクトル型計算機による有効な計算方法

榊原和彦（金沢大）

東京大学大型計算機センターCenter News
Vol.26 No.2 p86

（1994年3月）

連歌の新研究 索引編（宗祇の部）

勢田勝郭

平成6年2月25日（単著）（株）おうふう

於清水寺名所百韻（月にふる）の再検討

勢田勝郭

岡大國文論稿 第22号

平成6年3月31日

連歌の発想

勢田勝郭，梅原 猛（国際日本文化研究セン
ター），河合隼雄（心理療法家），中路正恒（京
都造形芸術大学），光田和伸（武庫川女子大学），
山折哲雄（国際日本文化研究センター）

『創造の世界』第90号，p.54～68

（平成6年5月1日）

「大人」と「小供」

—夏目漱石『虞美人草』試論—

武田充啓

日本文学協会第14回研究発表大会

（1994年7月3日 講演）

夏目漱石『それから』の「自然」

武田充啓

国文学年次別論文集 近代（二）平成4年（1992）
版

（平成6年8月）

鎖状1,4-ラジカルカチオンの二面的反応性

藤乗幸子（阪大産研），石田昭人（阪大産研），

土岐 進，高椋節夫（阪大産研）

日本化学会第67回春季年会

（平成6年3月31日 講演）

新編 高専の化学

笹本 忠，中村茂昭編 森北出版

土岐 進 分担執筆：第6章 有機化合物
204～237頁

（平成6年1月20日）

遠藤周作『イエス・キリスト』について

細井誠司

国文学年次別論文集 近代（一）平成4年（1992）
版

(平成 6 年 8 月)
CH₃OH, ν_8 バンド・スペクトル線の圧力
広がり

堀内泰男, 岡部浩史, 曾我部 伸 (以上大阪市
大)

第41回応用物理学会連合講演会
(平成 6 年 3 月29日 講演)

(1994年 3 月)
身体史が語るもの
ー B・ドゥーデンと D・ウートラムの著作を
通してー

松井良明

スポーツ史学会会報『ひすば』No.27, 7 頁
(1994年 5 月31日)

紅茶とポニーと柳のボール
ー近代ポロ競技の源流とその伝播をめぐってー
松井良明
財団法人余暇開発センター『月刊ロアジュール』
11月号 (第18巻第 7 号) 26~31頁
(1993年10月20日)

ウィンブルドンの「伝統」
ーテニス用具の色と素材からー
松井良明
大修館書店『体育科教育』6 月号 (第42巻第 7
号) 74~75頁
(1994年 6 月 1 日)

ジェントルマン・アマチュアとボクサー
たち
ースポーツクラブ論再考ー
松井良明
イギリス都市生活史研究会(京都学生研修会館)
(1993年11月21日 講演)

ファイティングとボクシング
ーイギリスにおけるプロ・ボクシングの合
法化をめぐってー
松井良明
日本体育学会編『体育の科学』8 月号 (第44巻
第 8 号) 676~681頁
(1994年 8 月 1 日)

イギリス帝国主義時代の体育
ー<身体社会史>に向けてー
松井良明
近代社会史研究会 (京都大学)
(1994年 1 月29日 講演)

第 2 言語習得における統語論的制約と意
味論的制約
松林城弘
同志社大学言語学会シンポジウム
(1994年 2 月13日 講演)

ウィンブルドン選手権
ー伝統としての「白へのこだわり」ー
松井良明
『月刊ロアジュール』4 月号 (第18巻第12号) 32
~38頁
(1994年 3 月20日)

On Ribbon Presentations of Ribbon
Knots
Tomoyuki Yasuda
Journal of Knot Theory and Its Ramifica-
tions, Vol. 3 No.2 (1994), 223~231
(August 1994)

国家・教育・身体
ーイギリスにおける体操文化に関する覚書ー
松井良明
平成 5 年度(財)水野スポーツ振興会助成金研究成
果報告書『国民国家と体操運動ーそのスポーツ
史的背景ー』(松尾順一編) 61~69頁

研 究 紹 介

研 究 紀 要 第 30 号 記 念

音弾性とその周辺

校長 福岡 秀 和 (材料非破壊評価)

音弾性と言う言葉はまだそれほど一般に知られていないが、明らかに光弾性のアナロジーとして名付けられたものである。光弾性と類似の現象として、光のかわりに同じく横波である弾性せん断波を平面応力状態にある試料に入射すると、応力により力学的に異方性となった材料がせん断波に対して複屈折現象を示すことが見出され、音弾性と名付けられた。すなわち、主応力方向に偏向した二つの弾性せん断波の伝播速度差が主応力差に比例する。音弾性の場合には光弾性で用いる透明なモデル試験片は不要で、金属のような光に対して不透明な材料に対しても実物その物の応力測定が出来る。特に残留応力の非破壊測定には理想的な方法である。この方法では弾性波の伝播距離にわたって平均した応力が得られる。音弾性測定に要求される精度は非常に高く、たとえば、軟鋼に対しては、単位応力あたりの相対速度差は 7×10^{-6} で、厚さ15mmの試験片について反射法を用いるときには、10MPaの分解能で応力を測定するにはおよそ1nsの精度で伝播時間差を測定しなければならない。このような高精度の測定のもとでは、通常材料試験の感覚で等方性とみなされるような多結晶金属材料においてもそのわずかな異方性が計測され、応力による異方性と同じ効果を持つ。これは、材料の製造工程における加工や熱処理により生じる集合組織に起因するもので、応力を評価するためにはこの組織異方性を分離して差し引かなければならない。負荷荷重による応力の測定に当たっては、まず無負荷状態における測定より組織異方性の値を求めておき、負荷時における測定値からそれを差し引くことにより応力効果を分離すればよい。しかし、残留応力の非破壊的な測定においては、無応力状態における測定を行うことなしに応力効果を組織効果から分離しなければならない。問題に適したいろいろの方法が試みられているが未だ完全に解決してはいない。この分離問題が、音弾性による残留応力の非破壊測定の成否の鍵を握っている。なお、弾性体においては、せん断波のほかに縦波があり、さらに適当な境界条件を付加することにより表面波や板波等が存在するため、音弾性には複屈折現象以外に種々の応力効果の利用が可能である。これらを一般化すると、音弾性は応力の存在により生ずる弾性波の伝播速度の変化を利用して非破壊的に応力を測定する方法ということができる。ところで線形弾性論によれば伝播速度は応力には依存しないから、音弾性効果の説明は非線形弾性論によらなければならない。第一は幾何学的非線形性、すなわち、有限変形を考えたひずみ及び応力の厳密な定義である。第二に材料非線形性で、微小ひずみの範囲といえども厳密には非線形と考えるなければならない。この様に厳密な取り扱いをしなければならないのは、すでに述べたように、音弾性では、伝播時間の変化を十万分の一と言った高精度で測定しなければならないからである。測定を実施するに当たっては、高精度の伝播時間間隔の測定が要求されることから、横波を用いる場合には特にであるが、振動子と試料表面の確実な音響結合が必要である。野外の現場での測定ではこのための表面処理に多大の労力を要する。これをさけるには電磁超音波探触子を用いて非接触で測定すればよい。ただ、これは圧電型の探触子に比べると変換効率が非常に悪い。その弱点を補うために共鳴法が用いられている。残留応力の測定例としては、圧延H型鋼、鉄道車輪のリム部、発電所の循環水管、鉄道のレール、ボルトなどがある。これらの測定結果は、破壊法など慣用の測定法による結果と比較され、十分によい一致を見ている。さて、組織異方性は応力を求めるためには測定値から取り除くべきものであるが、応力を求めることから視点を変えると、集合組織に起因する現象を超音波で調べようと試みるのも自然の流れである。表面層の測定、超音波極点図、塑性加工性の指標であるランクフォードの r 値の測定等の材料の性質の評価はその例である。電磁超音波探触子を用いて冷間圧延鋼板の r 値をオンライン計測する装置も開発されている。さて、超音波による欠陥の探傷は標準的な非破壊検査法の一つである。最近破壊力学の要請から、欠陥の大きさや方位といった定量的な情報が求められており、その意味から、もはや単に非破壊検査ではなく定量的非破壊評価ということでもとらえられている。しかし、最終の目的である材料の寿命の推定には欠陥の情報だけでは不十分で、ここで述べた材料自身の性質と欠陥をとりまく応力場の情報が必要である。その意味で音弾性は定量的非破壊評価の重要な手法の一つであるといえる。

高強度鋼の遅れ破壊

岩井 保善 (材料強度学)

近年、鋼構造物の軽量化という要求に対して、各種の強力鋼、超強力鋼が開発され、一般的用途にも使用される傾向にある。しかしこれらの鋼種の使用に際し、従来の低強度鋼ではほとんど留意する必要のなかったいくつかの問題が提起された。その一つに遅れ破壊の問題があり、強力な鋼材料の適用に対する障害の一因となっている。

遅れ破壊とは、巨視的にみて部材に静的荷重が加えられているとき、それが見かけ上、降伏点よりずっと低い応力であっても、ある時間経過の後、外見上ほとんど塑性変形を伴わず脆性的に破壊する現象である。材料の破壊にはいくつかの形式があり、引張試験などで一般にみられる延性破壊、低温等で鋼材が脆くこわれる脆性破壊、繰り返しの力が動的に加わるによりこわれる疲労破壊および高温において長時間の負荷の間に伸び変形をおこして、ついには破断するクリープ破壊などがあげられる。しかしこの遅れ破壊はこれらのどの形式にもあてはめにくい現象であり、見かけ上は突然破壊したように見えるが、実際は切欠き、疲労亀裂、腐食ピットなどの応力集中部から荷重中に新しくクラックが発生し、時間とともに徐々に進行して最後に機械的に急速破壊するものである。

遅れ破壊現象にはいくつかのタイプがあるが、腐食環境にない場合は水素が原因であり、腐食環境においては応力腐食が主な原因と考えられている。

水素脆化に基づく遅れ破壊例としてはロケットチャンバーの損傷事故および摩擦接合用高力ボルトの破損などがあり、これらはいずれも外部環境から侵入した水素が割れ発生に関与したものである。また内蔵水素が原因したものには、Cdメッキした強力鋼製航空機脚の使用における破壊、大型鍛鋼品の置き割れ等があげられる。

当研究室では、これまで主として水素に起因する遅れ破壊挙動について材料強度学的観点より詳細に調査し、特に鋼の静的強度が破壊特性に及ぼす影響を微視的観察結果から明らかにしてきた。今後は、より信頼性の高い破壊防止策および耐遅れ破壊性の高い材料の開発をめざして一連の実験的検討を進めたい。

レオロジー

小柴 孝 (高分子流体工学)

“レオロジー”その聞き慣れない言葉は、古代ギリシャの哲学者Heraclitus (B.C.535 - 475) の有名な言葉“万物は流転する”にちなんで付けられた言葉で、一般に“物質の変形と流動に関する科学”として定義される。従ってその取り扱う範囲は、Hooke弾性変形からNewton粘性流動にわたるあらゆる変形や流動を含んだものであるが、一般にはHooke弾性やNewton粘性だけでは説明できない異常な力学的挙動を対象として、それを解明することがレオロジーとして考えられている。またレオロジーはその定義より力学と物質学との境界領域に属することから研究内容は多岐にわたり非常に錯綜したものであるが、主として連続体(巨視的スケール) および分子論的(微視的スケール)な2つの手法によりその挙動の解明が行われている。

当研究室では、レオロジーの中でも粘弾性流体の流れを対象として連続体力学を用いて研究を行ってきた。粘弾性流体とは流体であるにも関わらず弾性と粘性の両方の物性を有する流体で一般に高分子溶液、高分子融液が、その流体の代表的なものである。これらの流体はニュートン流体と異なり、非線形性が強いことから水や油を対象とした従来の流体力学だけではその詳細な部分を解明することができない。また高分子融液、溶液は工業的にプラスチック成形品の原材料であることから、このような液体の流れを解明することは学問的およびその応用的見地から非常に重要なことである。これまで当研究室では(1)内部が複雑な幾何学的形状を有する流路内における高分子溶液の流れに関する実験、(2)高分子溶液の物性の一つとして最近注目を浴びている伸長流れについて実験および計算を行った。その結果、高分子溶液の伸長特性については伸長変形に対し抵抗を示す特性があることを明確にすることができた。しかしこの特性は流量などの実験条件に依存したものであり、それを明確にするには溶液の特徴を十分表現できる適切な構成式(レオロジー式)の選定および詳細な数値計算により行う必要がある。また複雑な形状を有する流路では溶液の伸長特性が圧力損失に大きく影響を与えることなどが明らかになった。

今後は、高分子溶液の物性と流れ抵抗についてさらに詳細な解析を行うつもりである。

新しい塑性加工法の開発

小畠 耕二 (塑性工学)

(1)ダイレスフォーミングの開発

(a)ダイレス引抜き加工…棒・管材の一部を高周波加熱し、一定速度で引張ることにより材料を絞ることができる。ダイレス引抜きの利点は、一回の引抜きで大きな加工度 (Ti合金の場合93%の減面率) を与え得ることである。また、加工中に加熱域の移動速度と引張り速度の比を変化させれば減面率が変化するので、テーパ棒などの製造が可能である。最近、角管や六角管などの異形鋼管のテーパ加工に成功している。現在、ダイレス引抜きは国内数社の企業で実用化されている。

(b)ダイレス曲げ加工…以上のような原理を利用すれば工具を用いずに曲げ加工が行える。ダイレス曲げでは、加熱コイルを固定し、材料の一端を回転が自由なアームに取り付け、材料を移動させる。このとき、曲げモーメントが作用して加熱部で変形が生じる。この方法は管材の曲げ加工法として開発したもので、通常の方法では曲げ加工が困難な異形鋼管の曲げ加工法として注目をあびている。

(c)ダイレスアップセット加工…建築用角鋼管の部分的な増肉加工を目的としたダイレスアップセット加工法を開発中である。角鋼管を局部加熱しながら軸方向に圧縮力を加え増肉を行う。管の増肉部分は溶接継ぎ手部となるところで、この方法が実用化されれば高層ビルの建築コストの低減や工期の短縮が図れる。

(d)ダイレス振り加工…異形管のねじり加工

(2)加工熱処理の研究

成形を行うと同時に、加工中の熱 (温度) と変形をうまく制御することによって材質改善を図ることができる。最近、当研究室で『焼もどし温間加工法』という新しい加工熱処理法を開発した。この方法によると、特殊な合金鋼でなくても強度・じん性を大幅に向上させることができるし、通常の冷間加工の欠点 (加工力大・加工限界小) も解消することができる。すでに高張力鋼ボルトの量産テストが行われたり、種々の工業的利用が進められている。

(3)その他

(a)ビーディング加工装置の開発

(b)伸線用無機潤滑ブレコート剤の開発

(c)熱間エクスト・ロールフォーミング法の開発

(d)温間深絞り法の開発

材料の加工と材質改善

関口 秀夫 (塑性工学)

(1)延性破壊の研究

材料によっては強すぎて加工困難となる場合や、延性不足で加工中に破壊が生じて加工不能となる場合がある。従来、加工限界は試行錯誤的に求められてきたが、延性破壊のメカニズムや破壊条件を明らかにすることによって加工限界の予測を可能にした。この研究成果は、加工性の改善、新加工法の開発、高強度・高じん性材料の製造などで役立てられている。

(2)ダイレスフォーミングの開発

(a)ダイレス引抜き加工…棒・管材の一端を固定し、その一部を高周波加熱コイルによって加熱する。そして他端を一定速度で引張り、同時に加熱コイルを移動させる。加熱部は軟化しているので、この部分にのみくびれが生じる。しかし、加熱コイルを一定速度で移動させ変形した部分を冷却することによってくびれは連続的に拡がり、結果として一様な直径の管や棒材が得られる。ダイレス引抜きの利点は、一回の引抜きで大きな加工度 (Ti合金の場合93%の減面率) を与え得ることである。また、加工中にコイル移動速度と引張り速度の比を変化させれば減面率が変化するので、テーパ棒などの製造が可能である。最近、角管や六角管などの異形鋼管のテーパ加工に成功している。現在、ダイレス引抜きは国内数社の企業で実用化されている。

(b)ダイレス曲げ加工…以上のような原理を利用すれば工具を用いずに曲げ加工が行える。ダイレス曲げでは、加熱コイルを固定し、材料の一端を回転が自由なアームに取り付け、材料を移動させる。このとき、曲げモーメントが作用して加熱部で変形が生じる。この方法は管材の曲げ加工法として開発したもので、通常の方法では曲げ加工が困難な異形鋼管の曲げ加工法として注目をあびている。

(3)加工熱処理の研究

成形を行うと同時に、加工中の熱 (温度) と変形をうまく制御することによって材質改善を図ることができる。最近、当研究室で『焼もどし温間加工法』という新しい加工熱処理法を開発した。この方法によると、特殊な合金鋼でなくても強度・じん性を大幅に向上させることができるし、通常の冷間加工の欠点 (加工力大・加工限界小) も解消することができる。

高性能熱交換器を目指して

中谷 洵 (熱工学)

最近特に地球の温暖化、環境の悪化が進んでいる。その原因の一つに熱エネルギーの大量消費があげられる。しかし、世界的な生活環境の高度化に伴い、エネルギー消費は現在も増加の一途をたどっている。そこで近年コージェネレーションが話題となり、有効エネルギーの最大限の活用が注目されている。このコージェネレーション技術を達成するためにはどうしても必要なのが、高性能熱交換器である。著者は大学・高専での研究生活を通して、熱交換器の性能改善に絞って研究を続けてきた。

(1) 新しい形式の高性能伝熱管の開発

管外流体の流動抵抗が円管に比べて小さく、しかも同一直径の円管に比べて、単位面積当たりの交換熱量の大きな伝熱管の開発を行ない大きな成果を収めた。この新しい伝熱管は、流れの再付着現象を利用し、円管後方にできる渦領域を小さくし、管前後の圧力差を小さくし、抗力を減ずることにより流動抵抗を減少させるものである。

(2) 再付着流および噴流衝突面の熱伝達

コアンダ効果等による噴流再付着面での熱伝達は局所的に非常に大きくなる。また、噴流が壁面に衝突する場合も局所的に非常に大きな伝熱効果が得られる。これらの現象について流れの機構と伝熱現象の関係について実験的な研究を行ない大きな成果を収めた。さらに、複噴流についても研究を行ない、噴流が合流する場合、および合流しない場合の条件や、流動特性と熱移動の関係を明らかにした。とくに、平板に流れに垂直に設置されたフェンスによる熱伝達の向上についての研究は、その後の乱流プロモータによる伝熱促進に関する研究へと発展していった。

(3) 乱流プロモータによる伝熱促進

熱伝達率は動作流体が高速であるほど高い値を示すが、駆動動力の増大を伴い経済効果は期待できない。そこで、流速を低く抑さえ、高速時と同じ乱流効果を発揮するような乱流プロモータを挿入した系について熱伝達に関し実験的な研究を行った。さらに、伝熱の機構を明らかにするため、これらの系について流れの可視化実験を行ない、壁面近傍の流れを詳細に検討し、壁面渦と熱伝達との関係を明らかにした。また、可視化データはコンピュータ処理を施し視覚的に流れと熱移動の関係を明らかにした。

トライボロジー

野々垣 稔 (設計工学)

トライボロジーとは1966年に英国で発表された「Jost報告」と一般に呼ばれる報告に登場してきた新造語であり、その語源は「こする」を意味するギリシャ語にある。その定義は「相對運動をし互いに作用しあう表面に関する科学と技術並びにそれに関連した諸問題と実地応用に関する科学と技術」であり、摩擦、摩耗、潤滑を総合的にとらえ、省資源、省エネルギー、地球環境保護を推進しようとするものである。トライボロジーという新しい言葉は、機械技術者をはじめエンジニア全般に摩擦、摩耗、潤滑への関心度をよりいっそう深めることになった。欧米の工学教育機関においては、重要教科としてトライボロジーがカリキュラムに組み込まれているところが多いが、わが国においては重要教科としての認識はまだまだ低いのが実状である。そのような背景の中、本研究室ではトライボロジー教育の普及を念願しつつトライボロジー研究に取り組んでいる。研究内容は、次のとおりである。

(1) 焼付き機構の解明

焼付き損傷対策は機械設計にとって重要であるが、現状ではこれといった普遍性のある焼付き理論がなく、機械設計においては経験に頼らざるを得ないのが実状である。本研究室では、潤滑下の焼付き機構の現象解明を目的として、焼付き理論の構築を数値計算と実験により実施している。

(2) 混合潤滑理論の構築

潤滑下の焼付きは表面あらさ程度のすきまの流体膜と部分的な固体接触により負荷が支持される混合潤滑と呼ばれる潤滑領域で発生するので、焼付き機構を論じるには混合潤滑をよく理解しておく必要がある。そこで、混合潤滑摩擦特性の理解の助けとなる実用的な混合潤滑理論の構築をジャーナルすべり軸受を対象に実施しており、部分ジャーナル軸受試験機を用いてその理論の検証実験を行っている。これまでにジャーナルすべり軸受の混合潤滑の近似解析を提案し、それが混合潤滑摩擦特性をよく表示できることを示した。また、機械の性能や寿命を大きく左右するなじみ現象は、混合潤滑状態で進行し焼付きと表裏の関係にあるが、なじみ過程の定量的評価方法や適切ななじみ運転指針についての検討も行っている。

負の圧力測定に関する研究

廣 和樹 (計測工学)

引張応力下の液体の圧力は、飽和蒸気圧以下で負となっている。この負の圧力(負圧)状態は熱力学的には準安定であるため、簡単にキャビテーションが生じ正圧状態に移行する。それゆえ負圧下の液体物性に関する研究はもちろん、その発生技術に関するものさへほとんど行われていない。このようなことから本研究は負圧下の液体物性を測定するための基礎となる、高負圧発生法の確立を目的としている。

この研究は、もともとポリエチレンなどの高分子材料のESCと呼ばれる、破壊のメカニズムに負圧が関与しているのではないかとということが動機となっているが、最近では水の異常な圧力依存性(最大密度点の存在、過冷却での比熱の発散)に最大負圧(限界張力)の温度依存性が影響しているのではないかとわれている。また、まず純粋な液体で実際にどれぐらいの張力に耐え、どのようにすれば負圧を大きくできるか調べることは、キャビテーションのメカニズムを解明するうえでも重要であると考えている。

負の静圧の最大値は、水の場合、理論的には-2000気圧程度であると予測されているが、実験では1986年にHendersonとSpeedyによって行われたガラス製のベルセルロ法による-226気圧となっている。この方法は固体容器に液体を密封し容器の温度を下げることで容器と液体の熱膨張率の違いを利用することで負圧を長時間発生、保持するものである。彼らは、高負圧発生に、容器表面の凹凸をできるだけなくすこと、試料体積を小さくすることを強調している。

本研究でも、液体物性測定に適したこの方法を採用している。容器には金属を用いているのであるが、表面の凹凸をすくなくするほかに、内部に含まれているガスの少ない材料を用いることにより、試料体積を小さくしなくても有機物では限界張力の1/2程度の負圧(-200気圧:これまでの静的負圧の最大値)が得られるようになった。水では-130気圧以上の負圧を発生できたが、最近、水と腐食し易い金属を用いるほど、極端に負圧が抑制されていることがわかり、今後はこの点にも注意し、液体物性測定の実現むけて研究を行いたい。

水の流れに関する研究

松岡 一起 (流体工学)

奈良高専に転任以来、20年間は「実在気体効果を伴う流れ」を研究テーマとして取り組んで来たが、一応の区切りがついたので対象の流体として気体から水に方向転換を行った。卒業研究や企業からの依頼等の関係で主として次のテーマを中心に研究を行っている。以下研究の概要を紹介することにする。

①浅底水流に関する研究

底の浅い水路に水を流す場合、流れの途中に堰や障害物があると前面に跳水現象が起こることがよく知られている。この現象は、気体の流れの場合には衝撃波の発生と類似している。衝撃波の発生装置は極めて高価で、しかも形状を観察するには、シュリーレン装置を用いて写真撮影しなければならない。したがって、このような浅底水流装置で実験することにより、衝撃波の形状を推測したり、堰の設計資料を得ることができる。

ただ、この装置で得られる跳水現象の様子が衝撃波と完全に一致する気体は比熱比の関係から実在しないのがいささか気になる点である。

②玉型弁に関する研究

バルブの主要な目的は管路を流れる流体の流量を制御するために必要な器具であるが、これを設けることにより莫大なエネルギー損失が起こる。また、材料コストの低減を図ることからバルブ本体をできるだけ小さくすることも要求される。この要求はエネルギー損失にますます拍車をかける結果となる。バルブをできるだけ軽量化し、しかもエネルギー損失を押さえるための構造についてバルブメーカーより依頼を受けて研究を行っている。現在、バルブ前後の管の形状については一応の結論が出た状況である。

③浴槽用水中ポンプに関する研究

入浴後の浴槽の水の再利用として洗濯に用いるために、小型の水中ポンプが盛んに用いられている。各メーカーから各種のポンプが市販されているが、軽いために安定性が悪く横倒しになったり、水面に浮き上がってポンプの働きができなくなる欠点がある。このような現象が起こるたびにポンプを水中に沈める動作を繰り返す必要に迫られる。

これらの欠点を補いながら、効率のよい水中ポンプを試作し性能試験を行うことを目的としている。

物体挿入によるチャネル乱流の伝熱促進

矢尾 匡永 (伝熱工学)

表記テーマの特徴は、物体挿入により発生するカルマン渦等の低周波変動成分に、乱流の高周波変動成分が重畳した変動様式を流れ場が示すことである。そこで、低周波変動成分と高周波変動成分とを分離する方法を工夫し、この変動様式が乱流および熱伝達に及ぼす影響を及ぼすかに注目して、以下に示すいくつかの面から検討している。

1) 可視化実験と画像処理 可視化実験は流れ場の全体像を直観的に把握するのに有用な方法である。また、可視化画像の画像処理により流れ場の直観的な把握を定量的な把握に高める方法が確立されつつある。筆者は、挿入物体より発生するカルマン渦の可視化法に、色素を渦放出にあわせて断続的に注入する方法を開発し、さらにこれを画像処理することで、カルマン渦の放出周波数、渦の移動速度等を定量化した。また、粒子追跡法による可視化動画の画像処理を試み、一定の時間間隔だけカメラのシャッターを開放し流れ場に対する高周波変動成分の寄与を減じ、低周波変動成分の構造を定量化する試みを行っている。

2) 熱流体実験と信号解析 通常の系では、壁面剪断応力と熱伝達率の比である相似性パラメータは一定の値を示すことが知られているが、幾何学的に単純な物体を挿入した場合においてさえ、流れ場の非定常性のために相似性パラメータは一定とはならず、壁面剪断応力が減少する場合にも伝熱が促進されるという非相似な系が多く存在することを明らかにした。この原因を調べるために、熱流体の速度と温度の同時測定を行い、得られた時系列データにウェーブレット解析を応用したパターン抽出法を適用し、非相似性が速度変動と温度変動の位相のずれによって生じ、低周波変動成分が場の構造を支配していることを示した。

3) 数値解析と乱流モデル 一般に、乱流場における熱輸送問題の数値解析では、変動相関量のために支配方程式は閉じることができず、乱流モデルの導入が必要である。通常の乱流モデルは、流れ場が定常二次元であると仮定したものが多い。しかし、上記のように流れ場の非定常性に起因する低周波成分が熱輸送に寄与し非相似性を引き起こす事実、通常の乱流モデルの予測性能向の限界を示唆すると共に、時間依存型乱流モデルの開発の必要性を示すものであると考えている。

切削・研削加工の高能率化を目指して

和田 任弘 (切削・研削加工研究室)

切削加工とは、素材の不要部を、素材より硬い材料でできた刃物(切削工具)で削り取って所要の形状・寸法および適当な仕上げ面に加工することである。研削加工では、刃物の代わりに砥石車を高速回転させて加工するが、微視的には砥粒の「削り取る」作用によって不要部を切りくずとして分離し除去している。このように、切削・研削加工では、削り取った不要部は切りくずになってしまうので、素材の一部がむだになったり、比較的加工時間がかかるなどの欠点もあるが、かなり高精度の機械部品を製作することができる。たとえば、コンピュータの磁気ディスク記憶装置に使用されるアルミ基板の加工などは、ダイヤモンド工具と高精度工作機械を用いた切削加工によって行われている。

本研究室では、切削・研削加工の高能率化を目指して研究を行っている。すなわち、

切削加工に関しては、新素材を切削した場合の工具摩耗特性を明らかにする研究や切削中の雰囲気(切削油)が工具摩耗に及ぼす影響についての研究を行っている。主なテーマは、以下の通りである。

- (1) オーステンパ処理球状黒鉛鋳鉄(ADI)の切削に関する研究
- (2) 鉄系焼結合金の切削に関する研究
- (3) 切削中の雰囲気が工具摩耗に及ぼす影響について

研削加工に関しては、高能率研削を行うために、工作物に、テーブル送り方向に微小振動を加えながら研削を行う方法を試みている。主な研究テーマは、以下の通りである。

- (1) 振動クリープフィード研削に関する研究
- (2) 振動切断に関する研究

現在、多くの機械工場で、搬送ロボット、CNC工作機械、工作物脱着ロボットを組合わせた加工システムによる無人運転を促進する傾向にある。機械工場の無人化を進めるためには、電子、制御、情報処理技術を援用した高性能工作機械の開発などハードの要素以外に、切削・研削加工技術の高度化というソフトの要素の研究も必要である。本研究室では、主として切削・研削加工技術の向上を目指して研究を行っている。

パワーエレクトロニクス研究室

井村 榮仁（電力変換・制御工学）

周知のこととは思いますが、まず最初にパワーエレクトロニクスとはどんな研究をするのか？

現今、一般的定義として電力（Power）・制御（Control）・エレクトロニクス（Device, Circuit）の3つの基本技術の上に立つ学際的な新しい技術の分野です。

パワーエレクトロニクスという研究分野が、広く受け入れられるようになった原因の1つは、1958年GE社によるサイリスタの開発だと言えます。当時のデバイスは、400(V), 5(A)程度で、電圧・電流定格の小さなものでした。現在では、種類も豊富で、容量が大きくなった（数千V, 数千A）だけでなく、スイッチング速度がきわめて速い素子、いわゆる高周波用の便利なデバイスを容易に手に入れることができます。さらに、省力化・小型化・低コスト化などの要求から、モジュール化もすすんでいます。

当研究室では、このような電力用半導体デバイスを用いた電力変換制御機器の開発、これらの制御技術などの基礎的研究を行っています。

具体的には、制御用マイコンによるGTOチョップの通流率制御、PWMインバータの応用および電流形アクティブフィルタの開発と制御法の研究です。研究の目標は、近年声高に叫ばれている、省エネルギー化・省力化・高性能化あるいは低公害化などの社会的要求を満たすことです。特に、半導体電力変換装置は、原理上高調波の発生源であり、エアコンその他の普及に伴い、現在大きな問題となっています。

最近、究極のパワーエレクトロニクスとは、小信号動作におけるオベICやトランジスタのようなほぼ完全な線形増幅が、しかも100%近い効率で実現できること、また負荷が非線形であってもその入力電流は、基本波成分以外の電流を含まないようにできること、の2点につきますのではないかと考えています。かつては無線領域で使用されていた周波数領域まで、高周波スイッチング動作が要求されるようになった今日、まだまだ基礎研究が不足しており、多くの皆さん方がこの分野での研究活動に参加されるよう希望します。ちなみに、電気学会の他に関西地区を中心にパワーエレクトロニクス研究会が設立されています。

多変数制御系について

木村 伊一（制御工学）

制御系においては、一般に数多くの操作量と制御量が多少とも互いに干渉し合っているのが普通である。この場合重要な制御量が、ただ一つにして相互干渉が緩かな場合は一変数系として取り扱われているが、これに反して二つ以上の制御量がいずれも重要で相互干渉が強い場合は一変数制御系ではなく多変数制御系として取り扱わねばならない。これらの多変数制御系は多くの閉ループをもち、なお制御量間の互いに干渉をもっているので、一変数の制御系の場合より一層広範囲に亘るいろいろな考慮が必要である。

非干渉制御系の設計は、現代制御理論ではやはり制御対象の状態方程式にもとづき、状態フィードバックと前置補償器を用いる方法が主流である。制御量が多くなるにしたがって前置補償器の設計が困難となるが、制御対象の伝達関数の極・零点と補償器の極・零点との関係について研究することは補償器の設計上重要である。

Walter Gree氏は不安定な閉ループ系を避けるための方法、安定な補償器の合成法についていくつかの提案をしている。しかし、制御対象によってはこの方法によって安定判別できない実例も多く存在し、また補償器の伝達関数を求めることができて、回路的にも合成できない例もある。こうした特別な制御系について部分的なフィードバック補償によって系の特性の改善を試みてきた。

また、線形な制御対象に非線形な補償要素・制御装置を用いて特性を改善するようなことも考えられる。逆に非線形な制御対象に非線形な補償要素・制御装置を用いて、線形制御になるように補償することも考えられる。これらの非線形要素が関与する制御系の解析手法について研究を行っています。

これまで対称な非線形要素を含む2変数制御系について、自励振動と異状振動に関する解析および図式解法による周波数特性の解析を行った。

分子エレクトロニクスと 機能材料・素子の開発

京兼 純 (電気・電子材料工学)

電気系分野での機能素子といえばシリコン(Si)を中心とする無機材質が主役を占めている。有機材料、特にプラスチックと総称される高分子材料は、従来電氣的に絶縁体という固定概念があり、これまで各種の電力機器や電気・電子素子等の絶縁素材あるいは構造材・被覆・保護材料として広く多岐にわたって使用されているが、これらの大部分は受動的な用途として研究されてきた。

しかしながら、ポリチアジルの金属性と超伝導性、ポリアセチレンのフィルム化の成功とドーピングによる絶縁性-金属転移の発見に端を発し、プラスチックもある条件を整えてやると電気が流れ、しかも光学的・磁氣的に種々の新しい機能を発現することが見出され、受動的な用途だけではなく機能素子として本格的な研究が始まり、有機材料にとっては新しい展開となりつつある。

さらにSiを基盤とした素子と、それらを構築したコンピュータにはそろそろ限界が見え始め、これらを相互補完するための新しい動きが出てきている。こうした背景から通産省では、次世代産業基盤技術研究開発制度プロジェクトの一つとして『バイオ素子の研究開発』を発足させ、その目的として「学習記憶等生物の有する情報処理機能を工学的に解明し、新しい機能素子を実現することを目指す。このため生体分子が有する可塑性、分子認識、自己組織化等の機能を持つ分子組織化技術を併せて開発する」としている。具体的な研究と開発目標は、光・論理・感覚情報処理素子や神経疑似素子、さらに視覚情報処理や運動学習モデル等の創成が挙げられている。

このように電気系分野においては、有機物質を対象とした新機能を発現させる材料や素子等の開発、また生物の持っている特徴的な機能や機構・構造を示すデバイスあるいはシステムの実現に向けた研究が積極的に行われるようになり、分子電子工学あるいはバイオ電子工学と呼ばれる新しい学問体系を形成しつつある。当研究室は上記した観点で、有機物質を対象とした電気・電子素子やデバイスの開発とその基礎研究を行っている。

カオスの制御

小西 啓治 (非線形力学)

自然界には複雑で予測不可能な現象で満ちあふれている。雲の動き、ヒラヒラと舞い落ちる木の葉、コーヒーの中に垂らしたミルク、蛇口から滴り落ちる水滴、株価の変動、脳波や心拍数などがその例である。10数年前までの科学者は、これらの複雑な現象の「からくり」もまた非常に複雑であると認識し、研究対象にはしなかった。しかし、1970年代後半、このような現象は非常に単純な「からくり」からも発生することが、Lorenzや上田(京大)によって発表された。この単純な「からくり」から発生する複雑な現象をカオス(Chaos)と呼ぶ。

1980年代では、カオスはなぜ発生するのか?どのような特徴を持っているのか?などが物理学者を中心とする様々な分野の学者たちの研究対象であった。この約10年間でカオスについて多くのことが理解できるようになったが、カオスの応用については全く論議されなかった。

1990年、Ott, Grebogi, Yorkeらが論文誌「Phys. Rev. Lett」に発表した「Controlling Chaos」は世界中の学者に非常に大きな衝撃を与えた。かれらの論文では、カオスはパラメータの微小な摂動により、カオスに埋め込まれている様々な動作を行うことができるというものであった。これは、カオスを用いることで、従来の制御系では実現不可能であった柔軟な制御系を構築できることを示唆している。

本研究室では、この「Controlling Chaos」をさらに発展させ、古典的な制御理論との融合を目指している。さらに融合した制御理論から古典的な理論とは全く異なる新しい「カオス制御理論」なるものを作り出したいと考えている。現在の研究成果は、「レーザーカオスの制御」、「スイッチングによるカオス制御」、「カオスの最適制御」、「ニューラルネットによるカオス制御」、「カオスのPWM制御」等がある。また、本研究室ではカオスの基礎研究も同時に進めている。「カオスのマルチフラクタル理論による解析」、「カオスの同期現象」などは、将来工学的応用に結びつく可能性を含んでいる。

光と電気のかかわり

高橋 晴雄（光電子工学）

昭和42年に奈良高専へ奉職して以来、光と電気に関係する研究を続けている。

電子回路の中に光信号の導入を試み、従来の純電子回路では得られない新しい特性を持つ光結合負性抵抗回路を実現し、その応用回路の研究をした。昭和40年代は、発光デバイスおよび受光光デバイスの変換効率が悪く応答速度も半導体純電子デバイスに比べて極めて低かったが、新しい回路特性が得られたので国内の学会誌に投稿したが、応答速度が低いのにわざわざ光を利用する必要はないとの判断で不採択になった。壁に突き当たったが開き直りをして、英文に直し米国学会誌に投稿した。アイディアはユニークで採択したいが、英文はまずいので書き直すように指摘を受けた。英語の弱さを痛感したが、米国の論文誌に掲載された感動が原動力となって精力的に光結合回路の研究を進めた。それ以後は、国内国外の論文誌に採択されるようになったが、新しいことが認知されるまでの不安とつらさを実感した。幸いにも光結合回路の成果により工学博士を大阪大学より拝受することができた。

以後は、太陽エネルギーの有効利用に興味を持ち、太陽電池の高効率化発電法の研究に取り組んでいる。また、生活の快適化にも感心を持ち、赤外線による人間の感性計測、生活シーンにあわせた照明制御法の開発などの研究をしている。具体的には、アモルファス太陽電池モジュールの設置角度に対する発電量の比較、温度ならびに経時による発電効率の変化などを年間計測システムを構築して比較実験をしている。また、生活関連では、赤外線による入眠検知システムの開発、照明のゆらぎ制御法の導入などの研究をしている。このように、光電子回路に始まり、太陽電池、赤外線センサ、照明など研究の対象は変化しているが、一貫して光との関わりは未だに続いている。

年号が平成に変わったことを契機に、光以外の新しいことへの挑戦を決心し、全く分野の異なる工業英語教育法の研究を始めた。悪戦苦闘しながら工業英語用の基礎学習教材開発や語彙集の編纂を行っている。

森羅万象此れ研究なり

土井 滋貴（信号処理）

数量化できる現象を捕らえる場合、その強度、間隔といった尺度がまず考えられます。さらに進めると、周期性や統計的な量が現れてきます。それをまとめて“かたち”や、パタンが見つけたされます。ここまでクラス分けされてくると最初の尺度に依存しないクラスが現れてきます。そのクラスが人に与える印象や効果といった視点も生まれてきます。

例えばグランドキャニオンを空撮した映像があって、その一部を切り出して見せられたとき、はたしてそれを雄大と感じるでしょうか。

誰でも“あっ、これは誰々の曲、のよう”といった経験があるように、クラシック音楽でも、歌謡曲でもその主旋律という極めてそぎ落とされた情報のなかにも作曲者の個性が織り込まれています。

劇場映画では可能だけれどもテレビドラマでは難しい場面設定に、“急に動き出した台所の冷蔵庫の音が印象的な、静かな夜の室内”といった状況があるそうです。

これらは個人の主観だからといってかたづけられてきた視点や分野ですが、現象のクラスとしていわゆる数量的に定式化することが決して不可能ではないはずです。

それは森羅万象の真理に近づくことでもあり、恐れ多いわけですが、やはり魅力的な目的であり研究であると考えます。

個人の自動識別

中村 善一（情報工学）

近年、金融機関における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。そこで、我々の研究室では、人間が自然に行っている顔による個人識別や署名照合に代表される筆跡による本人確認を、コンピュータにより自動的に行うシステムの開発をめざして研究を行っている。筆跡を用いた個人識別（筆者識別）については、オンライン署名照合の研究が欧米を中心に行われているが、日本では社会的習慣の違い（印鑑による本人確認が主）からあまり研究が進んでいないのが現状である。我々は、筆者識別をコンピュータにより自動的に行うための基礎的な研究として、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により機械的、客観的に個人性を抽出することを提案した。定義した特性値が個人性を表すことを、タブレットより入力した筆跡データに対して実験的に明らかにした。また、同じデータに対して筆者識別実験を行ったところ、定義した特性値は筆者識別に有効であることが確認できた。現在は、筆者識別を考える上で重要な問題となる偽筆について検討を行っている。すなわち、人間がどの程度、筆跡（形や速記速度を）を真似られるのか、また、偽筆をどうやって排除し偽筆に対してロバストな筆者照合システムを構築するのかを研究課題として取り組んでいる。また、ペンの握り方に個人性が現れるのではないかという推測のもとに、ビデオカメラによりペンの握り画像を入力し個人を識別するシステムも検討している。

顔を用いた個人の自動識別の試みは、近年コンピュータのハードウェアの進歩により画像処理が容易に行えるようになって活発化してきた。現在までに提案されている方法は平常顔を用いている。しかし、その人をよく表す表情は平常顔だけとは限らない。そこで、我々はいかなる様な表情に個人性が現れやすいのか、また、表情の変化に個人性が現れるのではないのかという立場から、顔画像を用いた個人識別の研究を進めている。

仮想物体の立体視化と匂いのセンシング

成田 紘一（コンピュータ応用工学）

本研究室では、主として以下の2つのテーマについて研究している。

仮想物体の立体視化：物体を3次元で立体視する試みは立体テレビの実現へ向けて盛んに研究されてきている。コンピュータ応用工学では、コンピュータグラフィックスや3次元CADの分野で、仮想物体に陰影を付けることにより、その画像をCRT画面等に表示し、人間の目でそれが3次元物体であるように認識させている。我々は、これらの手法とは異なり、物体を空間に浮かして表示することが可能なホログラムの技術をコンピュータに取り入れ、コンピュータで作成した仮想物体を空間に立体的に表示することを研究している。

通常の写真は、3次元物体を2次元平面に記憶する装置であるが、ホログラムは物体から反射した光の波面を記憶したフィルムで、このフィルムにレーザ光線を当てると、基の位置にもとの像がそのまま再現されるものである。我々は、物体からの光の散乱過程をコンピュータでシミュレーションすることにより、ホログラムを作成し、これにレーザ光線を照射して仮想物体の立体視化を試みている。この研究は究極な3次元CADシステムの構築に是非とも必要なものである。

匂いのセンシング：人間の五感をロボットに組み込むことが考えられているが、その五感の中で視覚、聴覚、触覚については、既にロボットに組み込まれ活用されている。しかしながら、残りの臭覚、味覚についての研究はあまりなされていなかった。しかしながら、最近、人間の臭覚細胞に近いセンサーが出現するようになり、ようやくこの分野の研究が行われるようになってきた。もちろん、匂いの元となるガスは、それを化学的に分析すれば、それがどのような分子からできていることが分かるが、この分析を短時間で行うには現在では難しい。たとえば、日本酒の成分は200種類以上といわれており、これだけの成分を数日で化学分析することは困難である。われわれは、数種類のガスセンサを用い、それらの応答電圧波形をコンピュータを使って解析することにより、ウイスキー、日本酒、焼酎、ジュース等を数分でかきわけけるシステムの構築に成功した。将来的には、匂いをかきわけける犬ロボット等への応用を考えている。

導波形炭酸ガスレーザとその応用

松島 朋史 (光エレクトロニクス)

1960年にレーザ発振が成功して以来、レーザから得られるコヒーレント光を利用した光通信、光計測等への数々の応用が考えられ実用化されてきた。特に可視・近赤外光領域においては目ざましいものがある。しかし、可視・近赤外光とマイクロ波・ミリ波領域に挟まれた赤外光領域は、特定の分野以外では、レーザ光の応用に関してもまだに未開発の原野であり、貴重な資源が残されているとも言える。

特に赤外光領域の中でも $10.6\mu\text{m}$ 帯は、高効率で高出力な炭酸ガスレーザがあるにもかかわらず、レーザ加工等を除くと、本来コヒーレント性の特徴を生かしたレーザ光の応用に関して、可視・近赤外領域に存在する各波長帯に比べ見劣りしていると言わざるを得ない。

これらの原因の一つとしては、小型で所望の波長の光源を容易に得ることが困難であることが挙げられる。そこで、この赤外光領域を発展させるには小型高出力、高効率で広い範囲にわたって波長(周波数)を変化できる光源を開発することが必要であると考えられる。

私は、炭酸ガスレーザの中でも、小型化が可能な導波形炭酸ガスレーザに着目し、いくつかの新しいレーザ構成法を提案し、動作解析および実験を行い、小型高出力、高効率レーザが実現できる可能性を明らかにしてきた。さらに電気光学変調器を利用することにより、高精度、高効率で広い範囲にわたって周波数を変化できる周波数可変レーザの構成法を提案し、動作解析および実験を行い、広帯域周波数可変レーザが実現できる可能性を明らかにしてきた。

現在、これらのレーザを用いた高性能レーザレーダ、並列光情報処理等に有効に利用できる面発光導波形炭酸ガスレーザの開発を行っている。さらに、半導体レーザを用いて可視光領域での光情報処理に関する研究にも意欲を燃やしている。

ホログラフィ

宮田 正幸 (光情報処理)

当研究室では可干渉性の優れたHe-Ne (50 mW) 及びAr (500 mW) のガスレーザを使用し、ホログラフィを応用した計測及びディスプレイに関する基礎研究を行って来た。

ホログラフィ応用計測の中心であるホログラフィ干渉法は測定対象の物体を非接触でその歪を干渉パターンとして計測できる、ポアッソン比、振動パターン等当時研究されていた事を一通り追試する事ができました。

これと平行してディスプレイ用のホログラム(フルネル、ポリウム、レインボウ、エンボレス)の研究が盛んに行われていました。当初国内では商品化されておらず外国のホログラムを見てその素晴らしさに感嘆し、文献をあさり製作を試みた。しかしその製作ノウハウを得るまでかなりの時間がかかった。最近国内ではエンボスホログラムが印刷技術を応用して大量に製作されカード等の複製防止、雑誌のシールに使用されている。

エンボスホログラムは研究室においては製作が困難である。しかし他のホログラムは立体表示としては非常に優れているが、製作が煩わしく大量にできない。これからはホログラフィックアートとしての作品作りとマメチメディアへの応用を考えているところである。

空間フィルタ法による速度計測

山内 雅好 (計測工学)

空間フィルタの概念は、1952年P.Elias等によって提案され、赤外線探知器や追跡装置の開発とともに進展してきました。

空間フィルタを用いた速度計測の原理は、1次元狭帯域通過特性をもった空間フィルタ（透明、不透明のスリット列：柵状レティクル）面上に、被測定移動物体の像を照射すると、空間フィルタを通過した光の強度は、被測定物体の光学的むらのうち、スリットピッチと同じ成分が移動することになり、速度に応じて変調を受けることとなります。したがって、光センサで電気信号に変換し、その時間周波数を測定することにより速度を知ることができます。

空間フィルタ速度計測法は、光学系の構成が簡単であり、インコヒーレント光が利用できる利点がありますが、空間フィルタ出力信号は、単一周波数信号ではなく、被測定物体のむらを利用しているため狭帯域不規則信号となり、その周波数の測定に問題があります。

本研究室では、マイクロコンピュータを利用して空間フィルタ出力信号の信号処理やデータ処理を行ない、より正確な周波数を測定するアルゴリズムを検討しています。

また、ファクシミリやCCDカメラに用いられているイメージ・センサを利用して、イメージ・データを連続してコンピュータに取り込み、ソフトウェア的に空間フィルタ出力信号を計算方法も行なっています。画像データより空間フィルタ信号を得る方法は、プログラムで様々な空間フィルタを想定することができ、また並進柵状レティクル（空間フィルタを一定速度で移動させる、現実的には光センサ前面にスリット列をベルトコンベアのように回転させる。）の構成も容易で、被測定物体の移動方向も知ることができます。現在は、処理速度の問題がありますが、幅広い柔軟性と測定の高精度化の可能性もっています。

これらの信号・データ処理は、リアルタイム性が要求されるため、プログラム言語はCPU、DSP（デジタル・シグナル・プロセッサ）のアセンブリ言語が主となります。近年、卒研生にアセンブラや良いプログラムを作成することを教えることに、日々苦勞しています。

不均質材料の強度に関するX線的研究

電子制御工学科 有間 淳一 (材料学)

複合材料は二種以上の異なる材料を組み合わせでそれぞれの長所を生かし、単一材料では得られない優れた特性を持たせるように設計できる材料であって、マトリックスに、樹脂、金属、セラミックスなどを用い、強化材にガラス、カーボン、アルミナなどを含有させたものが実用されている。金属では片状黒鉛鑄鉄や球状黒鉛鑄鉄などの鑄鉄も一種の複合材料であって、マトリックスのパーライト相に黒鉛が片状または球状で分散している。これらの本質的に不均質な複合材料の力学的性質を考える場合の考え方として弾性率や強度の複合則がある。特に弾性率の複合則を考える場合には外力に対するマトリックスおよび分散材のひずみを求める必要があるが、この手法の一つにX線回折法がある。筆者はこれまで各種金属材料の強度に関するX線的研究に従事してきたが、複合材料の一種である鑄鉄の力学的挙動をX線的に検討する準備をすすめてきた。すなわち、特定波長の特性X線を試料に入射すると、マトリックスからの回折線がゴニオメーターの高角側（ 2θ で 140° 以上）、黒鉛からの回折線が低角側（ 2θ で 100° 以下）でそれぞれ検出される。一定荷重の下で、二種類の相からの回折角が同時に得られるのでこの方法が有効である。またこの方法では、高角度側および低角度側からの回折角を同時に得るために従来の標準的なひずみ測定法は適用できないため、側傾法を採用することになっている。側傾法とは入射X線と回折X線を含む面内で、検出器走査面と測定方向面が直交するように走査させる方法である。この方法を用いると低角度側に反射線が得られるような場合でも通常の方法でひずみ測定が可能である。

本研究に使用する装置は通常のデフラクトメータである。使用X線はCrK α 線で30kV、10mAで所定波長の特性X線が得られる。本実験では、X線の発生、検出器走査範囲の設定等実験条件の設定までは手動であるが、測定を開始すると測定中のデータ処理はすべてコンピュータ(PC9801BXZ)で行ない、回折強度分布曲線、ピーク強度、SN比、ひずみ、応力、回折角-X線入射角線図、測定条件などをディスプレイ画面に表示すると共にプリンターへ打出することができる。本実験では片状黒鉛および球状黒鉛の量的割合が異なる七種類の試料について実験的検討を行なうことにしている。

脳波と脳磁図

沖田 善光 (生体工学)

初めて非侵襲的に人の脳の活動を記録できるようになったのは、1924年頃にドイツの精神科医H. Bergerが頭皮から脳の律動的な電位変化、つまり脳波を測定して以降のことである。

Bergerは、脳から発生する生物電気が、興奮したり、眠ったりすることにより変化し、また、癲癇患者では極めて特徴的な電気を出すことを観察した。さらに、Bergerは、脳波によつてヒトの精神機能の基盤まで解明しようと目指していた。しかしながら、脳波は、いくつかの問題点を含んでいる。例えば、頭皮上の電位では、電氣的に活動している部位から離れた場所でも電位が記録できるため、活動部位を推定するのが困難である。脳波は脳の活動状況を知るための客観的な指標としては有用であるが、精神的活動の機序の解明には役立っていないという意見がある。

脳波は、頭蓋表面にあてた電極からの記録方法で、頭蓋骨などの影響下で記録されたものにほかならない。その頭蓋骨の影響なしに測定できる方法として、脳磁図(MEG)がある。これは、脳の神経細胞の電氣的な活動により誘起される磁界を頭皮上や頭部周囲で測定するものである。脳内の電流により発生する磁界はきわめて微弱であり、1967年米国マサチューセッツ工科大学のCohenによる、超伝導現象の一つであるジョセフソン効果を応用した超伝導量子干渉素子(SQUID)を用いた測定により初めて可能となった。

超伝導エレクトロニクスの近年の発展に伴い、1チャンネルSQUID磁束計から多チャンネルSQUID磁束計へと開発が進んでいる。

多チャンネルSQUID磁束計は、これまでの1チャンネルSQUID磁束計による測定では問題とならなかった自発性の信号が、Brain noiseと呼ばれる誘発信号に重畳し、これが脳磁界信号源を推定する精度に大きな影響を与えることが推察される。

今後の研究は、このBrain noiseが誘発信号に及ぼす影響を検討し、さらにこのBrain noiseを考慮した信号源の推定を行うことを目的にしている。

スペックル干渉法によるひずみ測定

押田 至啓 (計測工学)

物体を変形させたときに生じるひずみやたわみ勾配の空間的な分布を測定するには、変位やたわみの空間的な分布を求め、これを空間的に微分すればよい。粗面物体の変位分布を高精度で求める方法としては、ホログラフィ干渉法やTVカメラを用いた電子式スペックル干渉法(ESPI)などが用いられている。これらの方法に位相シフト法を適用し、計算機に取り込んだ画像データを演算処理することにより、1/100波長程度の精度の変位計測が可能である。このようにして得られた変位情報を微分演算することによりひずみやたわみ勾配分布を求めることができる。しかし、これらの方法は光源としてレーザーを用いるため、スペックルの影響を避けることができない。すなわち、連続的な変位分布を得ることができないため、空間的な微分を行う際にこの不連続性が強調され、ノイズの多い結果となる。この影響を取り除くためには、微分演算を計算機で行うのではなく、計算機に取り込む前の画像データの段階で行えばよい。

空間的な微分を光学的に行う方法として、物体像を横ずらしし、元の物体像と干渉させるシアリング干渉法がある。像の横ずらしを行う方法としては、くさび形プリズムを用いた方法やマイケルソン型の干渉計を用いる方法などがあるが、結像系や防振の問題がある。

そこで、TVカメラを用いた電子式スペックル干渉法において横ずらしを与える方法として回折格子を用いた方法を考案した。この方法によれば、干渉光同士を共通光路にすることができるため、振動の影響を取り除くことができる。また、回折格子の性質より、1次回折光の位相は回折格子の位置により変化するため、回折格子の位置を格子間隔の1/4ずつ格子と垂直方向に移動することにより、位相シフト法を導入することができる。すなわち、回折格子の利用により、物体像のシアと位相シフトを同時に行うことができる共通光路型の干渉計を構成している。この方法では各点での光の位相差を測定すればよく、空間微分による隣接点の影響は受けず高精度な測定が可能である。さらに、計算機への画像取り込みにおける量子化誤差を低減することにより、より高精度なひずみ分布の測定が期待できる。

凹面板から反射する衝撃波の収束

岸下 晴亮 (流体力学)

衝撃波とは、音の速さを超えて伝わる圧力の波である。大きなエネルギーが急に解放されるとき衝撃波が発生する。衝撃波を利用する技術は、高速流体力学のみでなく、宇宙開発を目指す宇宙工学、星雲や天体の生成消滅を探る天文学や地球物理、金属中の衝撃波による超高压を利用した材料科学、生命の誕生を解明しようとする生命科学、結石破碎による治療を目的とする医療等に応用されている。特に、水中衝撃波の収束を利用して人体内の結石を手術なしに破碎除去する体外衝撃波碎石術が、画期的な成功を納めたことにより、衝撃波に関する研究は、ますますその学際性を強めている。

ここで衝撃波の収束とは、伝播方向に凹状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を指している。この現象は、平面衝撃波や円筒状あるいは球状の衝撃波が、凹面板から反射した場合や、超音速機が旋回するとき機体前頭部に生じた衝撃波が、旋回の内側の一点に収束する場合等に観測される。

こうした現象の理解のためには、最高圧力を生じる位置（気体力学的焦点）で局所的、瞬間的に達成される圧力や温度を明らかにし、収束のメカニズムを解明する必要がある。衝撃波は、その非線形成のために、進行する衝撃波の強さ、衝撃波が伝播する媒質、衝撃波の湾曲の曲率や形状等に依存する挙動を示す。

そこで衝撃波管を用いた可視化実験や物理量測定実験および適当なモデルについての数値シミュレーションを行っている。数値シミュレーションは、実験との対応が確認でき、その妥当性が確認されるならば、系統的な整理が可能であり、有効な方法である。しかし、現象が非定常であるため、数値解析結果は膨大なデータとなる。この計算結果を、可視化実験と比較したり、挙動を観察するためのコンピュータを用いた可視化画像の作成法と、その動画化手法を開発した。

衝撃波収束がなんらかの役割を果たしたと思われる現象としては、日航機墜落事故での隔壁破壊による衝撃波が、尾翼を破壊するメカニズムを推論することが出来る。尾翼に進入してきた衝撃波が、その断面積縮小部で圧力を上昇させ、尾翼端部の凹状部分で反射した後収束し、非常に高压が生じ、尾翼を破壊した可能性がある。

パソコンによる各種制御系の設計・解析

栗本 尚 (制御工学)

制御工学に関しては、長い間、理論面の進歩が先行していたが、マイクロコンピュータの出現と普及により、その理論面と実用面との大きなギャップが、最近では少しは狭められる方向に動きだしつつある。ところで、制御系は、一般的に数式で記述される場合が多いため、コンピュータで制御系の各種特性を作成したり、制御状況をシミュレーションすることにより、制御系の設計・解析に役立たせることができる。現状では、そのような制御系設計・解析用の各種ソフトも市販されつつある。しかし、このような市販ソフトの活用と並行して、非常に簡潔なパソコンのプログラムを自作し、各種特性作成やシミュレーションを任意に行わせることができるようになれば、非常に有効な場合も多い。

このような観点から、各種制御系の設計・解析に関して、次のような研究にとりくんでいる。

①古典制御理論による連続制御系について、周波数特性としてのボード線図、ナイキスト線図、根軌跡など、また時間特性としてのステップ応答、位相面軌跡などを、パソコンPC-9800のN88-BASIC言語による数10行程度の短いプログラムにより、任意に作成できるようにしてきた。

②ディジタル制御系について、その制御系としての特長と基本要素特性を、パソコンでできるかぎり可視化することにより、連続制御系との比較において把握しようとしてきた。さらに、ディジタル制御系としての設計・解析についても研究をすすめている。

③現代制御理論による多変数制御系、およびファジィ制御系の設計・解析についての研究をすすめている。必要に応じて、倒立振り子実験装置による実証実験も行いつつある。

④今後、新しい制御理論としてのロバスト制御系、H無限大制御系、ニューロ制御系などの設計・解析についても、順次アプローチしていく。

なお、上記の①②の成果については、最近、次の文献にまとめて発表した。

- 1) 栗本：“グラフィック制御工学入門” コロナ社 (1994.9)
- 2) 栗本：“高次制御系のステップ応答のシミュレーション” 奈良工業高等専門学校研究紀要 第29号 p45～50 (1994.3)

光を使っでの計測

阪部 俊也 (センサー工学)

精密に物を測ると云えば、光を利用した測定がイメージされるのではないと思われる。古くから光の性質を利用した測定が行われ、光の研究は科学技術の発展に寄与してきました。そして、1960年12月、この世で初めてのレーザ光が発せられ、また新たな光計測法が発展することになりました。レーザ光の特徴は単色性、指向性に優れ、コヒーレンスな光であることからそれを利用した各種の計測法が新たに開発されることになり、私もレーザ光を用いた計測法の開発、研究を行ってきました。一つは流れの計測であり、レーザ・ドップラ流速計に関する研究です。それは救急自動車のサイレンの音が、車が近付いて来る時と遠去かる時で、高い音に聞こえたり、低い音に聞こえたりすることで良く知られているドップラ効果を光の周波数で行うものであります。すなわち、動いている粒子にレーザ光を照射すると、この粒子の散乱光の周波数はドップラ効果によりシフトすることになります。この周波数のシフト量を測定する事により、粒子の速度、即ち一緒に動いている流体の速度を測定しようと云うものです。しかしながら、光の周波数は 10^{14} Hz程度と非常に高いために測定には工夫が必要となります。そこで、光音響光学素子を2個用いることにより、基のレーザ光の周波数をシフトしておくことでドップラシフト量を容易に測定するとともにシフトの方向、すなわち流速方向も判別できる流速計を開発しました。さらに、1970年代から発達してきた光ファイバは高性能で、計測にも利用されるようになり、光ファイバを用いたレーザ・ドップラ速度計の研究を行いました。光ファイバを用いた計測法の研究としては、ナノメータ計測光ファイバプローブの開発を行い、光ファイバ使用で問題になる温度などの外乱の影響を除去できる事を見いだしました。また、機能型ファイバセンサとしては光ファイバ温度センサを開発し、これはレーザ光を直交した二周波数の光とし、複屈折光ファイバの光学軸に合わせて通過させることにより、温度変化が100万分の1kの高感度なセンサを構成することができました。現在は、光と物質との相互作用（光熱効果など）を光計測する方法の研究を進めています。

高圧空気を駆動源とする船舶用推進装置

坂本 雅彦 (流体工学)

奈良高専に着任以来“高圧空気を駆動源とする船舶用推進装置”を主な研究テーマとして取り組んでいる。これは高圧空気により駆動された二相流ウォータジェットをノズルから噴出し、その反動を推力として利用するものである。したがって、ノズル内の水流は注入された高圧気泡の局所的かつ瞬間的な圧力勾配により加速されるものであり、噴出する二相流ウォータジェットの運動量はノズルに流入する水流の運動量に比べ大幅に増加する。さらに、本推進装置ではあらかじめノズルに流入する水流をポンプ等により加圧・加速する必要がなく極めて単純な構造をしており、この装置単体で推進装置として機能する。海上交通の超高速輸送手段として最近注目を集めているジェットフォイル等の推進装置は、いずれも海水を吸い上げポンプ等によりこれを加圧、加速し後方にジェットとして噴出するものであり、水流の加速原理は本研究で提案する原理と本質的に異なっている。

これまでに、提案した推進装置の推力基礎特性を明らかにするとともに、本装置を試作した模型船に設置し実際に推進装置として機能する事を確認した。一方、ノズル内の流れは、ノズルに注入された高圧気泡が極めて短い時間で膨張を終え合体、分裂を生ずる結果極めて複雑な流れとなっており、これを理論的に解明する事は困難な状況である。現在、上述のノズル内の流れの特性を調べるため簡略化した流動モデルを適用し、ノズル内の流れの特性について調べた。実験的には、ノズル内の流れをレーザー誘起蛍光法を画像処理を用いて可視化し、ノズル内の流れの速度分布を明らかにする予定である。

二相流ウォータジェットの流れは上述したように極めて複雑であり、詳細にこれを理論的に解明する事は困難であると考えられるが、実験的には画像処理法を適用する事により、ある程度の現象を解明する事が可能であると考えている。数値計算法においても最近気体分子運動論を用いて、統計力学的手法を適用したシミュレーションが行われており、非常に興味をもっている。

当研究室では、これまで一貫して上記の研究を中心に取り組んできた。ウォータジェットの流れは、既存の多くの分野に係わりをもつ先端技術の一つであり、本研究をコアに今後も発展させていきたい。

回転液中紡糸プロセスの解析

島岡 三義 (熱工学)

凝固プロセスを巧みに制御することで、従来にはない優れた性質を示す材料が製造されている。アモルファス合金（急速凝固あるいは大過冷却凝固によって得られる）が広く知られた材料であろう。回転液中紡糸法は、回転ドラム内に遠心力によって液層を形成し、熔融合金ジェットを噴射し、急速凝固させて直径 $200\mu\text{m}$ 程度以下の連続細線を得る方法である。ジェットの伝熱、凝固過程のシミュレーション、得られた細線の凝固組織と冷却速度の関係などから、本紡糸法で $10^4\sim 10^5\text{K/s}$ の冷却速度が実現されているであろうことを明らかにしている。したがって、アモルファス化に必要な臨界冷却速度が 10^4K/s 程度以下の材料であれば、アモルファス細線が得られることになり、Si、Bを添加したFe-Co系アモルファス合金細線などが実際に製造されている。

熔融ジェットは液層突入時に液層の動圧によって断面が扁平化されるが、熔融状態での表面張力の大きな合金（一般に融点が高い）ほど円形断面を有する細線が得られやすい。低融点合金でも溶湯加熱度を上げれば、液層の動圧による影響が相対的に小さくなる位置で固化するため、円形断面を有する細線を得ることが可能であるが、液層中での熔融状態の区間が長くなるため、ジェットの連続性を維持することが困難になってくる。また、ジェットは固化後液層中を遊泳するが、その軌跡は安定ではなく、このため、得られた細線の真直性は必ずしも良くはない。ドラムの回転を速めれば、マクロ的には液層が安定するが、高温のジェットが噴射されることで、液層内に温度分布が生じ、それに伴う密度差によって液層の流れはかなり乱れたものになる。このことも細線の真直性を悪くしている原因の一つである。真直性を高めるにはジェットの運動を強制的に拘束してやるのが効果的であると考え、電磁気力によってジェットをより早くドラム底へ接地させ、ふらつきを抑えることで真直性の向上を実現している。

純銅や固液共存域の広いCo-Cu合金などでは線材が得られにくい、Beなどを不純物元素として微量添加するだけで容易に線材化するなど、面白い現象に遭遇することが多々ある。本紡糸プロセスの解明が進むにつれ新たな現象がでてくるが、やりがいのある研究テーマである。

滴状凝縮熱伝達に関する研究

中田 敏夫 (熱工学)

滴状凝縮は熱伝導・核沸騰・膜状凝縮・自由対流など、いろいろな伝熱研究の分野とは異なり、現在まだ十分でなく、多くの問題の解決を図らなければならない。凝縮とは、蒸気が飽和蒸気温度以下に冷却され、液体あるいは固体に変わる現象で、均質凝固と不均質凝固とに分けられる。均質凝固は異物質の全く存在しない空間内での凝縮過程である。不均質凝縮は容積凝縮と面積凝縮とに分けられる。容積凝縮は空中に浮遊する固体や液体の微粒子を中核として生ずる凝縮過程で、工業的な応用面で重要な問題となることはない。面積凝縮をさらに細分すれば、液面上への凝縮と固体面上への凝縮とになる。前者は液滴液体噴流落下液膜などの上への凝縮、またサブクール沸騰における気泡の消滅過程などを含み、実際の応用面もかなり広範囲にわたっている。後者は、低温固体壁面上への凝縮であり、固体壁面上には凝縮液層が形成されるから、蒸気と壁面とがつねに直接接触しているわけではない。しかし、固体壁面が熱の移動に重要な役割を演ずる点で前者とは性質を異にしている。凝縮現象を工業的に利用する場合にもっともひんばんに現れる形態は、固体表面上への凝縮である。蒸気関係の復水器などにみられるような、冷却水の通っている円管外面への水蒸気の凝縮はその典型的なものである。このような固体表面上への凝縮には膜状凝縮と液状凝縮の二つの形態がある。凝縮液が固体壁面をぬらすかぬらさないかでどちらの形態になるのかが定まる。すなわち、冷却壁面が凝縮液でぬらされる場合には、凝縮液は面上に拡がり、薄膜を形成し、重力その他の外力の作用によって流れ落ちる。一方、冷却面が凝縮液でぬらされない場合には、凝縮液は拡がることができず、表面張力の働きによって切り欠き球形の液滴となって面上に付着する。引き続き凝縮や、隣接する液滴との合体によって液滴はしだいに大きくなってゆき、ある大きさになったところで外力の作用が付着力に打ちかって、面上を転がり落ちることになる。同一条件下で両者の熱伝達率を比べると、滴状凝縮の方が膜状凝縮のものよりも数10倍高い値を示すと言われている。このため、平板上での成長する液滴の形状およびその挙動と熱伝達率との関係を明らかにしようと思っている。

セラミックスの弾性係数測定システムの開発

西田 茂生 (計測工学)

セラミックス材料を構造材料または、機能性材料として使用する場合、その弾性係数が重要な要素となる。しかし、セラミックスの弾性係数の一部に関する測定方法が最近やっとJISで規定されたばかりであり、しかも測定値にばらつきが多い材料としては不完全なものと考えられる。

そこで本研究では、試験中の材料の負荷状態を監視しながら、複数の弾性係数を同時に測定する測定システムの開発を行っている。現状では、測定する弾性係数として、ポアソン比および、ヤング率を扱っている。これらの弾性係数は、板状試験片に単純曲げを行ったとき、その応力状態での試験片表面の変位分布を測定することによって求めることができる。

試験片に単純曲げを与える装置としては、四点曲げ試験機をベースに、微少な応力状態の補正が行えるように圧電素子を用いた負荷調節機構を付加したものを開発している。

この負荷調節装置により、測定に必要な単純曲げの応力状態を実現することが可能となった。一方、変位分布の測定には電子式スペックル干渉法(ESPI)を応用し、位相シフト法を導入することによって測定精度の向上および、計測の自動化を図っている。この方法の特徴を以下に述べる。

①従来のESPIでの干渉縞単位の測定精度(測定に使用するレーザ光の波長オーダ)から、波長の百分の一の測定精度まで性能をアップすることが理論上可能であること。②試験片の各点での変位量を直接測定することが可能であるため、データをすべて計算機上で処理することにより、計測の自動化が実現できること。③試験片の変位状態を試験中に画像で観察することができるため、所用の応力状態が試験片に与えられているかどうかをチェックしながら測定を行うことができる。

現状では、ポアソン比の測定が可能となっているが、データ処理が半自動であり測定精度にも問題がある。現在これらを解消するためにデータ処理の完全自動化を行うためのソフトウェアの開発とハードウェアの改良を行っている。また、測定精度向上のためにスペックル干渉法自体が持つノイズ処理の問題(変形前に暗点である場所では、位相計算の結果が不定となり、これが干渉画像のノイズとなる。)を解消するためのアルゴリズムの開発を行っている。

力センサ機能を有する空気圧ベローズアクチュエータの応用

早川 恭弘 (ロボット工学)

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、空気圧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。また、油圧駆動に見られる油漏れなどの問題がなくメンテナンスが容易である。しかしながら、空気圧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決め精度を低下させるという問題がある。空気圧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提案されている。しかし、摺動部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、摺動部分のないベローズを利用し、従来空気圧シリンダでは難しいと考えられていた高精度アクチュエータ及び力センサとしての利用可能性を検討し、有効性を示した。力センサ機能については、アクチュエータ本体に摺動部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る。また、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利用いわゆるセンシングアクチュエータとしての有効性も明らかにした。このベローズアクチュエータを用いて以下の内容について研究している。

まず、空気圧ベローズアクチュエータを拮抗させることによりロボットマニピュレータに応用し、その基礎特性を明らかにしている。空気圧はその圧縮性によるコンプライアンスが利用できることから、人間に対して柔軟な動作を行うことができる。そこで、ロボットと人間の協調作業や高齢者の介護及びリハビリテーション等の福祉分野におけるロボットを開発することを目的とする。

次に、ベローズアクチュエータのセンシング機能を用いることにより仮想の障害物に接触したときの反力を人間にフィードバックする6自由度仮想現実装置の開発を行っている。

また、コンプライアンス制御による組立挿入ロボットハンドの研究を行っている。

デジタル移動衛星通信

浅井 文男 (情報通信)

計算機資源の共有および電子メールや電子ニュースによる情報交換を主な目的として、計算機ネットワークを公衆電話回線やパケット交換網で接続した広域ネットワークの構築と整備が世界的規模で進められている。一方、自動車などの移動体に搭載された情報通信機器を対象としたパケット無線方式による信頼性の高いデータ通信技術が実用化され、無線方式の利点を生かした商用システムの運用が始まっている。有線系の計算機ネットワークの資源と無線方式によるデータ通信技術を有機的に結合させることにより、広範囲で柔軟性に富む情報ネットワークの形成が可能になるものと期待されている。

我々の研究室ではCoherent File Distribution Protocol(CFDP)をデジタル移動衛星通信に利用するための基礎研究を行っている。CFDPは放送能力を持つ情報伝送媒体上において、効率よく一対多のファイル転送を行うために考案されたプロトコルである。しかし、RFC1235でその仕様が提案されているだけで具体的な応用例はまだ報告されていない。

低軌道を周回する実験用デジタル通信衛星に蓄積されたデータを複数の地球局へ伝送する場合、衛星の可視時間を有効に利用するためには、衛星と各地球局が回線接続する必要がない放送方式による伝送が不可欠である。この要求を満たす通信プロトコルとしてSatellite Broadcast Protocol(SBP)が開発され、これを利用したデータ通信サービスがPACSAT衛星上で試験的に運用されている。SBPでは地球局がデータの受信に失敗してもそれを衛星に伝えることができないので、衛星は同じデータを複数回送信する必要がある。それに対してCFDPではクライアントがデータの一部の受信に失敗しても、その部分の再送信をサーバーに要求できる。よってCFDPをデジタル移動衛星通信に利用すれば、通信回線の利用効率をさらに向上させることができるものと考えられる。

これまでにワークステーション上で実施しているSBPとCFDPの性能を比較するシミュレーション実験の結果から、受信局が比較的少数の場合はCFDPが優位になるが、個々の受信局によってデータの受信を完了するのに必要な時間にならな

新しい集積回路の実現

五十嵐 良 (集積回路)

企業の研究所に入社して以来、33年間、コンピュータ関連の仕事に従事してきた。入社当時、ハードウェアの研究は、トランジスタやトンネル・ダイオードを用いた論理回路、磁気コアや磁性薄膜を用いたメモリが主なものであった。

私が最初に取り組んだトンネル・ダイオードを用いた論理回路の研究は、トランジスタを用いた論理回路の優位性には勝てず、断念せざるをえなかったが、半導体技術の進展に伴って、多くのエンジニアがバイポーラ・トランジスタ型の集積回路の研究を行う中で、MOSトランジスタの低消費電力性に着目してメモリに応用するための研究をスタートさせた。当初プロセスでの汚染が原因でMOSトランジスタの実用化が危ぶまれたが、集積回路の試作を行い、実用化の見通しを得た。

次に、メモリの高性能化の一環として記憶機能に比較機能を付加した連想メモリをMOSトランジスタで実現するための研究に着手した。集積化を進めて、チップ当たり4ビットの集積回路を試作すると共に情報探索に伴う比較結果の処理方式を中心にシステム構成の研究を行って、128語48ビットの連想メモリを試作した結果、サイクルタイム100nsの動作が確認された。

メモリの低電力化の有力な方法は記憶状態での電力を零にすることである。そこで、不揮発性メモリについて調査したところ、既にMNOS(金属-窒化膜-酸化膜-半導体)を用いる不揮発性メモリが提案されていることが分かった。一方、MAS(金属-アルミナ-半導体)構造においても絶縁膜中に電子が捕獲される現象のあることが分かったので、MASを用いたROM(リードオンリメモリ)の開発に着手した。

ROMの開発と並行して、高集積化・低電力化を目的としたショットキー・バリア集積回路の開発を行った。ショットキー・バリア・ダイオードの空乏層を利用してソースとドレイン間の電流を制御するものである。試作デバイスの性能を評価した結果、低電力での動作が確認された。

平成5年7月からは奈良工業高等専門学校・情報工学科に着任し、集積回路の高機能化・低電力化を目的としたシステムおよび回路方式の研究とEEPROMのような不揮発性の記憶性能を評価するための研究に取り組んでいる。

文書検査と個人識別の自動化

上田 勝彦 (パターン情報処理)

筆者が行っている研究は、文書検査（具体的には、銀行小切手や手形などの認証）と個人識別の自動化が中心課題である。前者は、小切手などに記名・押印された署名と印影を登録署名・印影と照合することにより、その文書の正当性を確認する処理である。これは現在すべて人手により行われており、機械化の進展が著しい銀行業務の中で唯一機械化の進んでいない部分である。また後者は、銀行での現金自動払い出しや特定場所への入室など、正当な権利を有する人間か否かを機械的に判断する問題である。これは現在IDカードと暗唱番号による方法が普及している。しかしその安全性と汎用性の向上を目指して人の固有の特徴（指紋、顔、音声など）を利用する方法が研究されている。このような状況を踏まえ、筆者は現在以下の具体的な課題について研究を行っている。

(1)自動印鑑照合方式の研究

既に熟練者の照合方法に基づく高精度な照合方式を開発すると共に、印影のかすれ・にじみなどを判別する方法並びにそれらを統合した照合システムを開発し、本方式は熟練者に匹敵する照合性能を有することを確認した。従って本研究は、性能評価法の精密化など若干の課題が残るが、研究段階での問題はほぼ解決でき、最終段階にある。

(2)文書中の署名と印影の分離抽出並びにその文書検査への応用に関する研究

従来の署名照合・印鑑照合の研究は、署名あるいは印影が単独で存在する場合を扱っている。しかし銀行小切手など実際の文書は、複雑な背景図柄の上に署名と印影が重複しているのが普通である。従って、従来の署名照合並びに印鑑照合のアルゴリズムを適用するためには、まず対象となる署名と印影をそれぞれ分離して抽出する必要がある。本研究は、この目的のために各領域の色彩が異なることを利用して、カラー文書画像の中からそれぞれを忠実に抽出することを検討している。

今後この方法と従来の署名・印鑑照合方式を組み合わせることで、実際の文書検査システムの実現に向けて研究を進める予定である。

(3)顔画像認識の研究

顔画像認識による個人識別の実現を目指して、ニューラルネットワークによる方法を検討している。今後の研究課題として取り組みたい。

ソフトウェアの開発手法と計量

工藤 英男 (ソフトウェア工学)

ソフトウェア工学(Software Engineering)とは、コンピュータソフトウェアの開発と運用に関連した概念を科学的に体系化し、正しいソフトウェアを計画的にかつ効率的に開発・運用するための理論と実践的技術を扱う学問領域である。

当研究室では、その一領域であるソフトウェア開発手法における生産性の評価と教育工学に関連した研究を行っている。研究の特色としては、従来の経験と勘によるソフトウェア開発を脱却すべく、ソフトウェア開発工程に種々の計量評価尺度を採用し、さらに近年脚光を浴びているオブジェクト指向の概念を導入して新たなソフトウェア開発環境の試作と計量評価システム構築の試みを目指している。そのテーマの概要を以下に示す。

〈ソフトウェア開発環境〉

ウォーターフォールライフサイクルモデルにおける要求分析や設計手法によるソフトウェア開発環境の試作やオブジェクト指向の概念を取り入れたプログラム設計の教育支援ツールの開発を行っている。さらに、プロトタイピングによるソフトウェア開発環境を実現のためのユーザインタフェースに関する研究を検討している。

〈ソフトウェアメトリクス(software metrics)〉

ソフトウェア開発の手法や道具がいろいろと提案されても、ソフトウェアの品質やソフトウェア開発の生産性を計量し評価する尺度が重要である。そこで、ソフトウェア工学の大きな問題点の一つである評価尺度に関する研究を行っている。

〈プログラム理解〉

開発済みのソフトウェアを活用して、ソフトウェアの部品化を図るための1つのツールとして、プログラム内容の理解を助ける仕掛けやプログラムの視覚化に関する研究を検討している。

なお、共同研究として、これらの研究の一部は、奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科鳥居研究室(ソフトウェア計画構成学)と連携を保ち、その協力を得ている。また、計算機設備としては、ワークステーション関連(NeXT×2, XMin)、パソコン(Macintosh×4, PC9801RAなど)がある。

特徴の時間的統合過程

下村 満子 (認知心理学)

刺激が連続して次々に目の中に飛び込んでくるとき人間は特徴をどのように抽出し、対象を認識してるのだろうか。このような時間的な特徴統合過程を調べるためには、RSVPタスク（高速継時提示法）と呼ばれる課題を用いる。これは、'アルファベットなどの刺激を、ディスプレイ上の同一位置に連続して高速に提示し、ある特徴で定義されたターゲットを報告するというものである。たとえば、被験者は黒色のアルファベットの中に挿入されている白色のアルファベットが何であるかを報告するよう求められる。指標は反応率やエラー率である。

このRSVPタスクに見られる興味深い点は、エラー反応の発生が体系的なパターンを持っていることである。例えば色で定義されたアルファベット文字を報告する課題では、ターゲットとしてターゲット直後の刺激を報告する誤答が多く見られている。つまり、ターゲットの色とターゲット直後の文字とを誤って結合する一種の結合錯誤が生じている。これは、アルファベットを刺激としたRSVPタスクの典型的な結果でありポストパターンと呼ばれる。

しかし、課題や刺激を変えるとエラーのパターンが変化することも報告されている。我々の研究室では、アルファベット以外にひらがな、漢字、線画を刺激として実験を行ってきた。その結果、ひらがなを刺激とした場合にはターゲットの直前直後の刺激を答える率が同程度であるシンメトリパターンが、漢字ではターゲット直前の刺激を答えることが多いプレパターンが得られた。また線画の複雑さを操作した実験では、単純な線画の場合にはポストパターンが、複雑な線画の場合にはプレパターンが見られ、エラーパターンが刺激の視覚的複雑性に依存していることがわかってきた。これは、各特徴の視覚的符号化の速度の違いが結合錯誤パターンの違いを生じていることを示している。アルファベットの代わりにひらがなや漢字を使うというのは単純な発想のようであるが、アルファベットしか念頭にない欧米ではできない実験が可能である。現在これまでの実験結果に基づいて、いくつかの特徴が並列に処理されると考えるモデルを構築するとともに、特徴統合と注意の関係を検討する実験を進めている。

電子ディスプレイ

鈴木 忠二 (電子工学)

33年間、企業の研究所で画像情報処理、オプトエレクトロニクス関連の研究開発に携わってきた。現在、学校における研究は研究設備の関係もあって、カラー画像情報処理に関する初歩的な研究と電子ディスプレイの多機能化に関するシミュレーションや簡単な実験を学生相手に5年余り行っている。その中、特に電子ディスプレイの多機能化の研究は約20年程続けてきている。

電子ディスプレイは今までCRT (Cathode Ray Tube) を中心に利用されてきた。しかし、最近では液晶ディスプレイのような平面形パネル・ディスプレイが利用されるようになってきた。軽量・小スペース、小電力化のニーズに適したためである。この平面形ディスプレイに記憶機能を付加すると、駆動回路が簡単になる。また、ランダムアクセスも可能になる。さらに、ペンを用いた入力機能は携帯端末機器やワープロなどには都合がよい。その上、最近ではカラー化が常時要求される。なお、その上にハードコピー機能が付加されれば機能選択の余地が増し、利用者からすれば夢のデバイスとなる。電子ディスプレイを構成する材料や構造の選択と工夫でその可能性がないとは限らない。平面形パネルで前述の液晶やプラズマ・パネル、EL(Electroluminescence)パネル、LED(Light Emitting Diode)などについて、その可能性を追究する試みを続けている。ELでは駆動方法の工夫で解決した。液晶パネルはペン入力ができるようになってきた。材料の選択で記憶機能も実現されている。今、LEDとフォト・トランジスタの組合わせで多機能化の実現を狙っている。インテリジェント材料とインテリジェント駆動方式の組合わせにより、インテリジェント電子ディスプレイが出来上がる。利用者は用途に応じて必要な機能を使えばよい。また、使ってもらうためにはリーズナブルなコストが必須条件である。安く製造できる製法を考慮に入れ、研究することを学生にも教え、自分にもいいきかせている。

VLSI設計技術

世古 忠 (計算機工学)

集積回路の製造技術の進歩により 1 cm^2 のシリコンチップ上に数百万素子のVLSI回路が実現できるようになった。数万ゲート規模の回路の設計はもはや人手で設計できる複雑さの限界を越えており計算機援用設計(CAD: Computer Aided Design for VLSI)が不可欠である。筆者は、VLSI CADの分野の研究を、次の具体的なテーマを設定して行っている。

(1) デジタル回路の論理検証の高速化に関する研究

設計されたデジタル回路が正しく動作するかどうかを検証するために、論理シミュレーションを行う。回路が大規模になると、この処理のために非常に処理時間がかかるため、処理の高速化が求められている。筆者は、並列計算機を用いて、処理の高速化をはかる方法について研究を行っている。これまで、並列論理シミュレーションにおける動的スケジューリング法の提案を行ってきた。また、更に楽観的方法を並列論理シミュレーションに適用する場合に発生するロールバックの解析を行い、その削減法についても研究してきた。

(2) 連想記憶型並列プロセッサアーキテクチャとその応用に関する研究

連想記憶(CAM: Content Addressable Memory)は、メモリに簡単な演算機能を付加した素子であり、高並列のSIMD型並列プロセッサであると見なすことができる。このような、連想記憶型並列プロセッサのアーキテクチャに関する研究を行っている。また、CAMを用いた並列アルゴリズム応用の一つとして現在、故障シミュレーションに関する研究を行っている。

(3) 高位論理合成に関する研究

高位論理合成系、具体的にはNTT社で開発されたパルテノンを用いて、各種プロセッサの合成法に関する研究を行っている。FPGAを用いてチップの試作まで行うことを目標としている。

また、CPUの制御モジュールを対象として、テスト容易性を考慮した高位論理合成に関する研究もスタートさせている。

知識情報処理

多喜 正城 (応用情報処理)

知識情報処理は解決の処方完全にプログラミングすることは困難であり、問題解決に関する十分な知識を計算機に持たせることも不可能である。したがって、人間と計算機とが互いに補い合い、対話を繰り返すことにより問題解決に当たると言う新しい試み、いわゆる、エキスパートシステムや人工知能、知的インターフェイスの開発等を行う必要がある。

ここでは、知識情報処理方法として、知的CAIの研究を行う。これは、計算機に専門知識を持たせるための知識ベースを作り、学習者に対し、質問や解答を行う学習者モデルの作成、学習者に適した教授方法を提供する教授システム、学習履歴や教授過程等の分析を行うマネジメントシステム等から成る。各システム間の情報解析にはネットワーク手法が用いられ、システムの変化に対応したネットワークを評価するのにパラメトリックグラフを用いる方法や、並列学習機構の解析には、ペトリネットを応用し、また、学習者レベルの同定や予測に関し、ニューラルネットワークやフィルタを応用することが考えられる。

また、現在行われているプログラム入力指向ではプログラム言語そのものの文法体系やプログラム解析等の教育や指導に陥り易くまた、本題からはずれた作業が多くなりがちである。したがって、各システム作成には、知的インターフェイスの開発として、オブジェクト指向入力の開発を行う。これは、現在あるコンピュータ環境として、キーボードからは最小量の情報を入力し、コマンド入力には、画面からのプルダウンメニューやアイコン情報をマウスにより行い、コンピュータと学習者のインターフェイスには、ディスプレイ画面と音声出力を用いることを目標とし、同時に、オブジェクト指向法の研究も行っている。

以上のことを背景に、知的CAIとしてコンピュータによるスポーツコーチングシステムの設計開発とその評価方法の研究を行っている。また同時に、コーチングシステム支援のソフトウェア開発設計に関する研究やコーチングシステム構築によるデータベースをネットワークとした時のパラメトリックグラフの研究も行っている。

周波数選択素子

永田 隆（圧電素子）

電波を用いる通信手段の歴史は古いが、最近では自動車電話、携帯電話など移動体通信が急速に展開されている。これらの電子機器の発展に欠かすことの出来ない電子部品の一つとして周波数選択素子がある。LC共振回路、メカニカルフィルタ、圧電フィルタ、水晶発振子など、多くの素子がそれぞれの時代の必要性に迫られて開発されてきた。

圧電セラミクスとその応用の研究テーマに接す機会を得て以来、私はこの分野の研究に興味を持ち研究を続けてきた。

圧電セラミックフィルタは電子回路の固体化、無調整化を目的に、AM放送の中間周波数、FM放送の中間周波数あるいはテレビの中間周波数とより高い周波数への展開を期待された。周波数に応じて輪郭振動モード、厚み縦振動、厚みすべり振動などが利用された。それぞれの固有振動とその結合の問題をどう解決するかが鍵となった。

厚みすべり振動をする圧電セラミック円板振動子の周波数スペクトラムがミンドリンの屈曲振動との結合を考慮した等方弾性円板のスペクトラムの理論値と一致することを見出したとき、圧電セラミック材料の均一性がここまで到達したのかと感激したものであった。

厚み振動の応用については、ショックレイによるエネルギー閉じ込め理論、尾上によるエネルギー閉じ込めの多重モードフィルタが提案されて飛躍的な発展をし、FMの中間周波数など10MHz帯のフィルタはほとんど圧電セラミックで置換された。

最近になって、自動車電話、携帯電話が世界的に普及するようになり、800MHz～1.5GHzの超高周波数で用いるフィルタ、アンテナ共用器などの周波数選択素子が必要になった。このような周波数では、セラミック共振子や従来のSAWフィルタは使用不可となり、誘電体共振器や新しいSAWフィルタの開発が必要になってきた。また、これらの機器に必要な安定な発振器には依然として水晶が必要で、主振動特性を失うことなく小形化することが大きな課題となっている。周波数選択素子のかかえる上記の課題を一つでも解決べくこつこつと取り組んでいるのが現状であります。

情景中の文字抽出と理解

松尾 賢一（画像処理・パターン認識）

ロボットビジョンの研究などで、廊下をまっすぐに進み角を曲がり、障害物があれば避けて通るような視覚ロボットの実現が現実のものとなっている。このロボットに「まっすぐに進み右の角を曲がって3番目のドアを開けて入らせる」という事は可能であろう。しかし、建物内においてどこに存在するか分からない部屋「〇〇室」を探し出す場合はどうであろうか。もし、ある部屋「〇〇室」や「会計△×課」を認識できれば、効率の良い移動用ロボットを開発できるのではないだろうか。我々が、どこか見知らぬ場所を訪ねるとき、まず地図で場所を確認し、移動し、案内板などを見ながら、行動に修正を加えつつ、目的の場所を目指していく。さらに、目的地に近づくと、看板などによって建物を確認し、さらに入り口の表示を見て確認する事により、どのような場所でも行き着いてしまう。つまり、網膜に映る情報の中から、必要な文字情報を的確に抽出し、正しく認識する事によって、確実に、かつ合理的に行動する事ができる。この情景中に存在する文字情報を全て正しく抽出し、理解する過程を実現するシステム開発の研究を行っている。現在、文字の対象を情景画像中の銀行看板に限定し、文字の抽出実験を行っている。情景中の文字領域の抽出は、文字画像と違い文字領域の明るさのばらつきや雑音成分が多く、多種多様な文字が存在するため、きわめて困難である。ここで、文字領域を抽出するには、まず文字領域と背景領域の分離を行う必要がある。これには、明るさの均一さによる分離、もしくは、文字と背景の明度差などを利用する事が考えられる。そして、文字領域と背景領域が分離され、文字の幾何学的な特徴（たとえば、文字を囲みうる矩形は正方形上である）などを用いて、文字領域の候補を抽出する。さらに、文字単独で存在する事は希で、文字がいくつかの列（文字列）を形成する事により、初めて意味をもつようになる。したがって、文字候補として得られた領域が列をなしているかを調べることで、文字列領域が抽出でき、文字列を形成している文字候補領域が文字領域として抽出される。現段階では、文字認識の過程なしで、幾何学的特徴による情景中の銀行看板からの文字抽出率は90%程度となっている。

プラスチックの実用のために

井口 高行 (有機材料工学)

研究活動をはじめてほぼ三十年、この間いくつかの研究テーマの中で、ずっと続けているのはプラスチック類を工業的に、あるいは汎用品として実用するにあたっての研究である。三十年の間には同じようなテーマでも、科学と工業の進歩は著しく、内容的には全く変わっている。高分子材料の種類もポリエチレンや塩ビに代表されるような汎用樹脂から、高価な樹脂を少量扱う方向が目標とされるようになってきた。エンジニアリングプラスチック（エンプラ）やスーパーエンプラが流通し、さらに機能をもった高分子が次々と開発されている。しかし樹脂は新しくなっても、実用上の問題点の多くは古くて新しい感じがする。

その一つにプラスチックの「割れ」の問題がある。材料は新しくなっても、ある程度の強度があって割れるのを心配しなくてよい樹脂は無いので、割れの心配は常につきまとい続けている。割れの研究には世界的に研究の開始されたほとんど同時期から携わってきたし、割れの原因については、初期の頃に今でも正しいと信じている論文を発表している。新しいエンプラについても割れの問題の相談を受けるので、現在も研究を続けて、常に新しいデータと経験を手に蓄積していることを目標にしている。

プラスチックのもう一つの特徴は金属材料とちがって腐食しないことで、これを生かした用途も多い。しかし、強度が低いので、強度の高い金属材料と複合して使用する場合も多い。このコーティングやライニングの技術は工業界では大量に使用され、その耐久性は、安全性の面から関心ははられることもあって、企業からは共同研究も希望される。この分野でも各国の技術向上の希望は強く、今年の中一日耐食プラスチック会議が上海で計画され、意見交換に参加する予定になっている。

この二つの分野は実用上確立されなければならない技術ではあるが、試験研究に時間と、手間を必要とする割には地味で、目立った、華々しい分野ではないので、大学や企業のように、直ちに成果の必要な研究には適さないこともあって、専門の研究者が極めて少ないのが実状である。高専では研究に集中して時間が自由に取れないので、少しずつ継続的に進めるのに、むしろ適した分野と考えて、ねらいを定めて継続している。

分光学的手法によるハイパーポルフィリンの電子状態の解明 石丸 裕士 (生物無機物理化学)

生体内には、活性中心のヘム部分とそれを取り巻く形で存在している蛋白質部分とからなる「ヘム蛋白質」という重要な複合型の蛋白質群がある。例えば、ヘモグロビン(Hb)やミオグロビン(Mb)は酸素と可逆的に結合することによってそれを運搬したり貯えたりしており、チトクロムP-450は分子状の酸素から酸素ラジカルを生成することによって基質を水酸化している。このように、ヘム蛋白質は複雑かつ多様な機能を果たしているが、実際に酸素と結合するヘム(鉄プロトポルフィリンIX)の部分は同じ構造をしている。これらより、上に示した機能の違いは異なる蛋白質と軸配位子が金属ポルフィリンに与える影響の違いによって引き起こされているであろうと推測される。

一方、その一酸化炭素型の400nm付近の電子吸収スペクトルには顕著な違いが見られる。通常この領域には金属ポルフィリン由来の強い吸収帯が1本見られる。HbCOの場合この領域に強い吸収帯が通常通り1本だけ観測されるのに対し、P-450COは2本観測され、特徴的である。そこで私は、この吸収スペクトルの違いと機能の違いとに何等かの相関関係があるのではないかと考え、この領域に2本の強い吸収帯を示す金属ポルフィリン(ハイパーポルフィリン:HP)を合成し、2本の吸収帯の由来及び電子状態を実験的に知ろうとした。

ところで、共鳴ラマン分光法は、ラマン過程においてリアルな電子励起状態を中間状態として通過するのでその電子遷移モーメントと深く関りのある振動モードのみが大きな強度を持ち、中間状態にある電子励起状態の分子構造に関する情報をもたらす。私は、吸収帯の由来を知るのに有用なこの分光法を主に使うことによって、HPの電子状態に関する詳細な知見を得ることにした。

HPのモデル化合物としてSb(Ⅲ)オクタエチルポルフィリン、m-テトラアルキルポルフィリンを合成したり、3電子還元したFe(Ⅲ)オクタエチルポルフィリンをナトリウムミラー法で調整したりいろいろな励起波長での共鳴ラマンスペクトルを測定することに初めて成功した。これから、HPとひとまとめにされていたものが分光学的にはいくつかの種類に分かれているらしいことまでは解った。今後は、この差異の生じる理由を明解に説明していきたい。

エネルギー・環境・材料の電子応用化学

泉 生一郎 (工業物理化学)

高専での研究活動には、教育や校務を念頭において継続性が何よりも重要なことと考え、そうした観点から研究テーマを設定している。とりあげる研究テーマは基礎から応用、そして工業教育的な研究まで、時に応じて異なるものの、それらに共通の学問基盤は電荷移動を伴う化学反応に関する電子応用化学である。換言すれば、化学的エネルギー変換がキーワードとなっている。

これまで、エネルギー・環境・材料を意識下におき、電子応用化学からそれらへのアプローチを試みてきたが、時代はそれらを今日的に重要かつ緊急な課題としてきているので、さらに継続的に研究を進めていきたい。以下は、現在取り組んでいる研究の概要である。

(1)有機化合物の電極反応に関する研究

電場下、電極表面上で起こる反応は、三次元場での拡散と二次元場での吸着に電荷移動が加わり複雑な不均一表面化学反応であることが多い。歴史的にこの分野では、無機化合物が研究対象の中心であったが、有機化合物が反応種になると、さらに複雑さが増す。これまでは、後者の、いわゆる有機電気化学について、燃料電池や電解合成への応用を意図した研究であったが、現在は電極材料に着目し、機能性を付与した修飾電極の開発に取り組んでいる。

(2)太陽光の化学的エネルギー変換システムの開発

電荷移動による化学反応に先立って半導体による光電変換過程を加えれば、太陽光の化学的エネルギー変換を行わせることができる。光電気化学と呼ばれるこの研究分野において、酸化物半導体の微粒子による光触媒反応を利用し、難分解性物質の分解処理や光コルベ反応の研究を進める一方、酸化還元による生成物を完全に分離できる光化学ダイオードを開発し、これを用いた水素製造、水溶液からの各種含有金属の回収、CO₂固定などへの応用を試みている。

(3)黒鉛層間化合物の基礎と応用

黒鉛は条件さえ整えば、様々な化学種をC軸層間に取り込んで層間化合物(GIC)を形成する。このGIC合成を新規の機能性材料開発の糸口として考えている。すでに、水溶液中での黒鉛電極の電解改質に関する研究を通じて、ある種の反応に対する触媒機能の発現をみている。

水処理技術

梅原 忠 (吸着工学)

夏季になると水道水に異臭味を呈することがある。この頃は公共団体の水道局では、その対応に苦慮される。一般的な処理方法は、活性炭に代表される吸着剤の投与である。何トンもの活性炭が、水処理工程の最終段階で使用され、異臭味を呈する物質(主に有機物)を除去している。この処理に用いられる活性炭は、ほとんど焼却される場合が多い。高品位活性炭となると、その処理に使用される費用も高く、水道水の単価上昇の一因となる。筆者は、汚水処理等に使用された活性炭の再生方法を確立することを目的として、実験を行っている。水処理に使用された活性炭の再生工程は、通常378K位の温度で水分の乾燥を行い、その後1073k程度まで不活性ガス雰囲気下で加熱再生を行い、さらに残渣炭素については、水蒸気等の酸化性ガスを用いて賦活する方法がとられる。これらの工程には、熱エネルギーの使用が多いため、いかに経済的に再生を行うかが重要であり、また再生後の活性炭の吸着能力、比表面積、機械的強度等を総合的に判断し、最適再生条件を見出すことが必要である。

また、水問題に関連して、砂漠地帯の緑化計画にも考えられている高吸水性高分子材料(綿布、ウレタンスポンジのような外圧で簡単に水を押し出すことのできるものではなく、また自重の数百倍以上の多量の水を吸収できる材料である)の吸水・放水特性を調べ、地下の水分のコントロール方法に役立てるべく実験を行っている。

機能性化合物の合成とその分析化学的应用

大植 正敏 (合成・分析化学)

機能性化合物とは「人類に役に立つ反応、あるいは化学にとって多くの類例的な反応」を可能にする物質である。人類に利用貢献できる物質は機能性が高いと評価される。当研究室の機能性化合物は大環状化合物である。環状化合物のクラウンエーテル（もしくはクラウン）は環状分子の中にバランスよく配置されたドナー原子の酸素によりナトリウムイオンなどのアルカリ金属イオンを捕捉し錯体を形成する。このことによりクラウンエーテルは溶媒抽出試薬、イオン選択性電極のニュートラルキャリアなどとして広く活用されている。

銀イオン濃度測定のための銀イオン選択性電極は硫化銀固体膜電極が一般的に用いられる方法であるが、銀イオン測定の際に水銀イオン、重金属イオンに対して妨害を受ける。これでは純粋系の銀イオン濃度測定以外はイオン選択性電極を用いることができないので、より汎用的な銀イオン選択性電極を開発するために液膜型—銀イオン選択性電極を検討している。液膜型電極には膜組成に金属イオンを認識するニュートラルキャリアが必要である。ニュートラルキャリアとしては配位子が主なものであり、大環状化合物類（チアクラウンエーテルなど）もそれに属する。現在までの液膜型—銀イオン選択性電極の研究ではドデシル基を有する脂溶性—モノ—16—チアクラウンエーテル—5は検量線、応答時間(30秒以内)、あるいは選択性などの点で銀イオン選択性電極の優れたニュートラルキャリアであることがわかりつつある。脂溶性の効果、および立体的な構造が銀イオン選択性に及ぼす影響を実用面のみならず、理論的にも考慮することが重要である。したがって、理想的な構造の化合物をデザインして新規化合物を合成する事を行っている。これは、フラスコで実験により目的物を得なければならぬかなり難しい仕事である。

ところで、当研究室では分子認識化合物の合成、光ファイバーによる尿素センサの開発などの研究テーマもある。前者は天然アミノ酸の分離認識のためのピリジン環を有する大環状アザクラウンエーテルの合成が課題である。後者は低濃度分析を可能にする蛍光光度分析を用いた尿素の定量であり、酒造の醸造過程の品質管理、あるいは血液成分測定による人体の病気への予防、健康管理を促すものである。

固体高分子電解質を用いたエネルギー変換

片倉 勝己 (工業電気化学)

イオン交換膜は高分子鎖中にイオン交換基を有する高分子膜で、Donnan排除によってカチオン、またはアニオンのみを選択的に透過させることができる。特に主鎖にテフロン骨格を有するパーフルオロ系のカチオン交換膜は、熱的・化学的に安定で、腐食性の高い条件下でも優れたイオン交換能力を示すことから、食塩電解をはじめとする種々の電解槽の隔膜として利用されている。

一方、イオン交換膜の両面、または片面に電極触媒を析出させると、イオン交換膜の表面に電気化学的に活性な反応場を形成することができ、イオン交換膜は隔膜としてより、むしろイオン導電性を有する媒体（電解質）すなわち固体高分子電解質膜として機能する。例えば、高分子電解質膜の両面に電極触媒を析出させた場合、電解質溶液を全く必要としない全固体型の電気化学反応系を構築することも可能である。この膜の両面に電解質を含まない溶液（有機溶媒等）や、気体を接触させて両電極間に適当な電圧を印加すると、高分子電解質膜をイオン導電体として電気分解反応が進行する。このような固体高分子電解質膜に析出させた電極（SPE®複合電極）の様々な電気化学反応、特にエネルギー変換反応への応用について研究を進めてきた。これまでにやってきた主な項目について、その概要を以下に述べる。

1 センサへの応用

高分子電解質膜複合電極上で酸素などを電気化学的に還元（または酸化）し、その反応電流によって被検試料中の目的成分の濃度を検出する新しいタイプのセンサの開発。

2 水素—酸素燃料電池への応用

両面に電極触媒を析出させた高分子膜電解質の両側に水素と空気を供給することで常温で作動可能な燃料電池を構成することができる。この燃料電池の電極では、3相界面が高分子電解質中に形成されると考えられるが、この三相界面部分の解明。

パーフルオロ系のカチオン交換膜は、通常のイオン交換膜とは異なり、架橋構造をとっておらず、親水性イオンクラスタ領域と疎水性高分子骨格領域とにミクロに相分離した構造をしている。現在、このような膜の構造と物質の輸送状態、電気化学反応との関係についてさらに研究を進めている。

気泡塔の特性

河越 幹男 (反応工学・保存科学)

表記の気泡塔の他に、遺跡から出土する考古学的価値を持った文化遺産の保存に関して、化学工学的手法を用いた研究も行っている。以下では最近10年間にを行った研究について概説する。

気泡塔は、ガスを液中に気泡として吹き込み気相成分を液相中に溶解させて反応させる装置であり、最近では好気性菌の培養装置として注目されている。種々の形式があり、その一つに外部液循環型エアリフト気泡塔がある。この塔は、塔底からガスを吹き込む塔（上昇管）と液を塔底に循環させるための塔（下降管）から成り、密度差により、液は高速で循環される。この種の塔はバイオリクターとして優れた特性を有している。この形式の気泡塔の流動、混合、物質移動に関する研究を行っている。また、その応用例として、この塔を用いて担子菌を培養し有用物質を生産させる研究も行っている。

まず、最も簡単な構造を持つ標準気泡塔のガス側混合特性について検討を行い、Fourier解析の手法を用いて解析した。その結果、気泡は大気泡群と小気泡群からなり、大気泡が全気泡の約8割を占めることを明らかにした。次に、混合距離理論に基づいたエアリフト塔の流動モデルを提案し、数値解析により速度分布と混合拡散係数を求め、実験値と比較検討した。さらに、標準気泡塔とエアリフト塔を用い、キノコの一つであるスエヒロタケを培養してリング酸を生産させ、最適培養条件の探索を行った。その結果、本培養系には標準気泡塔よりもエアリフト塔の方が適していること、ガス流速、培養温度、培養液組成には最適値が存在することを見出した。

次に、保存科学に関する研究について述べる。まず、遺跡出土木材へのポリエチレングリコール（PEG）含浸法を拡散理論に基づいて解析して処理時間の推算法を提案した。次いで、有効拡散係数に及ぼす樹種、温度、PEG濃度、木目などの影響を明らかにした。また、遺跡出土木材の乾燥速度と収縮率を解析し、乾燥処理法の適用範囲と長期保存に関する基礎資料を得た。さらに、新しい保存法として、ほとんど変形を起こさない超臨界乾燥法を用いた保存処理についても研究中である。また、出土木製品のみでなく、遺跡出土鉄製品の脱塩処理に関する研究にも着手している。

フッ素系機能性材料

沢田 英夫 (有機フッ素化学)

一般に、フッ素原子が導入されたフッ素化合物は歯磨き粉（モノフルオロリン酸ナトリウム、 $\text{Na}_2\text{PO}_3\text{F}$ ）、制ガン剤（例えば、5-フッ化ウラシル）、人工血液（例えば、ペルフルオロデカリン）から原子力（六フッ化ウラン、 $^{235}\text{UF}_6$ ）に至るまで我々の生活のありとあらゆる分野において幅広く使用されている。これらフッ素化合物は、通常のフッ素を含まない化合物では見られないユニークな性質、すなわち、油溶性の増加、ミミック効果、ブロック効果、熱安定性、化学的安定性さらには低表面特性を示す。従って、これほどの有用な性質を示す化合物はフッ素化合物以外では見られないといっても過言ではない。一方、フッ素原子ではなく、長鎖のフルオロアルキル基が導入された化合物は、主に撥水撥油剤関係に注目されており、さらにはフッ素が含有されることによる分極率の低下は低屈折性につながり、種々の興味ある光学材料分野への幅広い展開がなされている。

このように魅力あふれるこれらフッ素化合物は、生理活性物質であるモノフルオロ酢酸（ $\text{FCH}_2\text{CO}_2\text{H}$ ）を除いては天然にほとんど存在しないため、すべて人工的に化学合成する必要がある。しかしながら通常の炭化水素系化合物へフッ素、特にフルオロアルキル基を導入させる合成方法は、有機化学の分野において体系化された古典的な合成手法をそのまま適用させることはフッ素の強い電子吸引性のため不可能であるのが実状である。従って、それ独自の新しい合成手法を開発させる必要がある。

そこでフルオロアルキル基導入剤として含フッ素有機過酸化物に着目し、これら一連の新規含フッ素有機過酸化物の開発さらにはその物理化学的性質の解明を積極的に展開させてきた。特にこれら過酸化物の特徴を効率よく活かすことにより、過酸化物に起因した種々のフルオロアルキル基が直接炭素-炭素結合により炭化水素系化合物へ導入された新規なフッ素化合物の開発を次々と成功させてきた。最近においては、従来のフッ素化合物においては見られなかった特徴、すなわち超低表面活性等の優れた性質を有するフッ素化合物の創製に成功し、さらには親水性能等の種々のユニークな機能が新たに付与されたフッ素系機能

性材料の開発をも成功させた。これら一連のフッ素化合物においては、従来のフッ素化学の常識では考えられなかった知見、すなわち長鎖のフルオロアルキル基を有する化合物において生理活性能（抗ガン活性、抗エイズ活性）を有することが初めて見出されたことから、これら化合物およびその誘導体は新しいフッ素化学の展開の糸口ともなりうるものである。

今後においては、従来のフッ素化学において見られなかった新しい機能を有するフッ素系材料の開発を有機合成化学の面からより幅広く積極的に展開させていきたい。

生理活性物質の分離精製

直江 一光（生物分離工学）

今日、極めて多くのバイオプロダクトが遺伝子工学によって生み出されている。しかしながらこれらのバイオプロダクトは、分離精製の過程を経ずに多種多様な最終製品には成りえない。また一般に分離・精製操作は難しく、しばしば分離精製のコストが製品コストの半分以上を占める。このようにバイオテクノロジーにおいて分離操作はたいへん重要かつ不可欠なものであるが、分離対象である酵素・タンパク質や抗生物質等の各種生理活性物質は、一般に構造的に非常に不安定で、熱、有機溶媒、酸、アルカリ、界面活性物質、せん断力等の原因によって、容易に変性・失活してしまう。したがって、生理活性を失うことのない穏和な分離方法が求められている。

液-液抽出法は、相変化を伴わず二相間の溶解度の差を利用するため、穏和な条件での抽出が可能であり、また連続操作への展開が容易であるため、工業規模での分離操作としての発展が期待できる。特に溶媒抽出法（有機溶媒-水相系）は、精密化学品・医薬品分離精製の有力な手法の一つとして広く用いられている。しかし、上述したように酵素・タンパク質などの場合、有機溶媒により変性・失活してしまう。ところが、親水性ポリマーの水溶液が相分離することを利用する水性二相分配法（水相-水相系）、および界面活性剤の有機相内自己会合コロイド（逆ミセル）への可溶化を利用する逆ミセル抽出法がこれらの問題を解決する。

水性二相分配系は何種類かの親水性ポリマーを含む水溶液で、水性であり、液-液界面張力が小さく、細胞、細胞内顆粒、タンパク質の分離に適している。また生体適合性があり、無毒である。一方、逆ミセルは界面活性剤を非極性有機溶媒に添加した時に自発的に凝集して生ずるナノメーターサイズの会合コロイドであり、その内側の微水相にアミノ酸や低分子量のタンパク質を、その活性を保持したまま可溶化できる。

本研究室では、今まで得られている基礎的なデータを基に、逆ミセルによる実際の微生物培養液からの有用タンパク質の最適な分離条件を探している。一方、水性二相分配法に関しては、より高い選択性の向上を目指した免疫アフィニティの導入に際し、従来の抗体リガンドとは異なる全く新しいオリゴペプチドリガンドの導入を検討している。

晶析操作における粒径分布制御

中谷 武志 (プロセス・システム工学)

晶析操作はファインケミカルにおいて重要な操作の一つであり、粒径を揃えることや、一定の粒径分布を持つことが要求される。そのための粒径分布制御は結晶核発生速度と結晶成長速度制御が基本となるので、核発生機構・結晶成長機構についての解析とそれらに基づく核発生速度と結晶成長速度の数式モデル化及びその数式モデルにより晶析現象をどの程度シミュレーションできているかが研究課題となる。

核発生機構は一次核発生機構、二次核発生機構、三次核発生機構の3つの機構に分類される。過飽和溶液から溶質分子の集合体であるクラスターが発生し、熱力学的に安定となり結晶核となる場合を一次核発生機構、結晶表面のキンクやステップに吸着集合した溶質分子が安定なクラスターとなり、結晶の溶液間に働く剪断力により脱離して結晶核となる場合を二次核発生機構、結晶間の衝突により脱離した微細結晶が結晶核となる場合を三次核発生機構という。一次核発生速度は過飽和度のみに依存し、二次核及び三次核発生速度は装置内の結晶の総表面積や体積及び攪拌速度の影響が考えられる。

本研究では、回分式晶析装置において種々の攪拌速度で実験を行い攪拌速度の影響について調べた。また、それぞれの機構の特性から推定される核発生速度と成長速度を表す数式モデルを使って、溶液濃度変化および平均粒径の経時変化をシミュレーションし実験結果と比較した。その結果よく実験結果をよく表現している事が分かり、核発生速度と攪拌速度の相関がより明確に推定できるようになった。また、連続式晶析操作において問題となっている不安定なサイクリック現象は、一次核発生機構が支配的となる操作条件において起きることがシミュレーションの結果明白に示すことができた。現在、このモデルを用いて晶析のライプニング現象や結晶の成長と溶解との不斉性を応用した結晶粒径分布制御について検討している。

バイオエレクトロケミストリー

三木 功次郎 (生物化学)

生体内では各種の酸化還元反応が行われており、触媒としての酸化還元酵素によりその反応は制御されている。この酵素機能（または酵素を含むオルガネラ・細胞等の機能）を電極反応（電子のやり取り）と共役させることにより、その機能を電気化学的に制御する事が可能となる。このような電極による生体機能の制御はバイオセンサ・バイオリアクタとしての応用や分子デバイスとしての可能性を持っており、特にセンサとしては医療用のグルコースセンサが既に実用化されている。

酵素-電極間の電子移動については用いる酵素の種類により直接電子移動の可能な場合もあれば分子量の小さな酸化還元物質（電子伝達メディエータ）を用いた間接的な電子移動による場合もある。これらの電極の特性は酵素反応速度、物質の拡散速度、電極反応速度等を用いて定量的な評価を行うことができ、この評価に基づいてセンサ等の構築が可能となる。現在の研究テーマではピルビン酸デヒドロゲナーゼ（ピルビン酸とリン酸よりアセチルリン酸を生成する酵素）を用い、この酵素を固定化した電極を作製し、電子伝達メディエータを用いて酵素-電極間の電子移動を実現させ、ピルビン酸センサならびにリン酸センサとしての応用を試みている。特にリン酸は水質汚染の指標として高感度の測定が必要であり、簡便な測定法としてのセンサが望まれている。

また先に述べたように酵素以外に微生物または細胞自身と電極のコミュニケーション（電子移動）が可能であることがわかってきている。例えば真核細胞である酵母菌を表面に固定化した電極を測定液に入れ、電極に一定電位を印加した状態で電子伝達メディエータを添加すると、酵母細胞に内在するNADH（各種デヒドロゲナーゼの補酵素。還元型であり、電子伝達メディエータにより酸化される）に起因すると考えられる酸化電流（電子伝達メディエータの酸化に対応）が測定される。さらに酵母の栄養源であるグルコース等を測定液に添加するとこの酸化電流は増大した。このことは細胞がインタクトな状態でその内部の代謝系をモニタする事が可能であることを示しており、細胞の代謝系の研究、生細胞数の測定法、細胞毒性物質の検出方法等に利用可能であると考えている。現在、これらについて詳細な検討を行っている。

計算機科学と数理論理学

荒金 憲一 (数学基礎論)

数学基礎論は集合論に発生したパラドックスの克服をきっかけとして今世紀の初めに生まれた新しい数学の1部門であり、大きく分けて4つの分野(公理的集合論、数理論理学、モデルの理論、帰納的関数論)からなる。

一般に数学の理論は、対象とする物の集まり(集合)を考え、それらの間の関係(述語)とそこで定義される関数を用いてできる命題を作り、それらに見られる性質や構造を調べて一般的な原理や法則を明らかにしていく抽象的理論である。そこでは、いくつかの命題を公理とする公理系から論理的思考により証明される定理を導く。その際、無限集合や演繹を無制限に使うとパラドックスが生じるため、基礎的な概念を再吟味する必要がある、そこで、安全で信頼性のある数学的理論を与えてくれるものが数学基礎論である。

集合概念に一定の制限を加えてパラドックスを排除するというのが公理的集合論であり、全ての数学はこれをもとにして形式的に再構築することができる。さらに、集合を記述する言語にも制限を加える必要があり、論理的思考を形式化し、記号の体系としてとらえ、数学における証明の論理構造を研究する分野が数理論理学である。次に、このように形式化された世界で得られる定理が実際の数学的構造の中でどのような意味をもつかを考える必要が生じてくる。形式的体系に解釈を与えて数学的構造の一般論を研究する分野がモデルの理論である。これまでの私の研究では代数的構造をこのモデルの理論の立場から考察し、amalgamation propertyなどに関するいくつかの成果を得た。

さらに、数学における証明や構成方法では計算と有限的な手続きが必要となり、それがどの程度実際にできるかを研究する分野が帰納的関数論である。これは計算機科学と密接な関係をもつ。つまり、数学の証明は一定のルールに従って1つずつ証明していくものであり、計算機は一定のプログラムに従って1つずつ計算していくという意味で外観上の類似だけでなく、本質的な関係があることが最近判明している。現在の私の研究課題は、関数の計算を一般的・抽象的に扱うラムダ計算の理論と古典論理の構造規則を制限した線形論理という2つの理論についての研究である。

位相空間の開被覆によるある特徴付け

池永 彰吾 (位相空間論)

距離空間の一般化された空間の一つが位相空間である。開集合によって空間が覆われているとき、この被覆を開被覆という。位相空間とその開被覆の性質について色々研究されている。私の研究してきた内容について概略を記す。位相空間 X の任意の開被覆 $\mathcal{U}$ に対し、 $\text{St}(\mathcal{F}, \mathcal{U})=X$ が成り立つ X の有限集合 $\mathcal{F}$ が存在するとき、この空間 X をスターコンパクト空間という。ただし、 $\text{St}(\mathcal{F}, \mathcal{U})=\bigcup\{U: U\in\mathcal{U}, U\cap\mathcal{F}\neq\emptyset\}$ である。 T_2 空間においてはスターコンパクト空間は可算コンパクト空間と一致する。位相空間 X の任意の開被覆 $\mathcal{U}$ に対し、 $\text{St}(\mathcal{K}, \mathcal{U})=X$ を満たす X のコンパクト集合 $\mathcal{K}$ が存在するとき、空間 X を k -スターコンパクト空間と言う。可算コンパクト空間は k -スターコンパクト空間であり、 k -スターコンパクト空間は擬コンパクト空間である。この逆は成立しない。 n を自然数とする。空間 X の任意の開被覆 $\mathcal{U}$ に対し、 $\text{St}^n(\mathcal{F}, \mathcal{U})=X$ が成り立つ X の有限集合 $\mathcal{F}$ が存在するとき、この空間 X を n -スターコンパクト空間という。ただし、 $\text{St}^1(\mathcal{F}, \mathcal{U})=\text{St}(\mathcal{F}, \mathcal{U})$ 、全ての n に対し、 $\text{St}^{n+1}(\mathcal{F}, \mathcal{U})=\text{St}(\text{St}^n(\mathcal{F}, \mathcal{U}), \mathcal{U})$ である。 n -スターコンパクト空間は $(n+1)$ -スターコンパクト空間であり、擬コンパクト空間にもなる。この逆は T_2 空間であっても成り立たない。正則空間においては $n\geq 3$ に対し、 n -スターコンパクト空間は3-スターコンパクト空間である。正規空間においてはこれらは全て一致し、可算コンパクト空間になる。最近になって、正則空間において、スターコンパクト空間、2-スターコンパクト空間、3-スターコンパクト空間には違いが有ることが多くの研究者により分かってきた。空間 X の任意の開被覆 $\mathcal{U}$ に対し $\text{St}^n(\mathcal{W}, \mathcal{U})=X$ が成り立つ X の可算集合 $\mathcal{W}$ が存在するとき、この空間 X を n -スター・リンデレーフ空間という。デベロッパブル空間 X においては X が可分である為の必要充分条件は X が1-スター・リンデレーフ空間であることである。 n -スター・リンデレーフ空間は n -スターコンパクト空間と似た性質を持つ。正則空間 X において X が3-スター・リンデレーフ空間である為の必要充分条件は X の任意の局所有限開被覆が可算部分開被覆を持つことである。これからはこれらの空間と既存の空間との関係を調べていく予定である。

作用素環の不変量と指標定理

市原 亮 (関数解析学)

作用素環の種別として、連続関数環的な C^* 環と可測関数環的な W^* 環があげられる。数理物理学でよく使われる観測量をあらわすものが構成元で、可換環を非可換環化したものであるが、これら2種類の環について下記の様な研究を行っている。

(1)作用素環におけるK理論と拡大

量子力学における不確定性原理を説明すると数学的な記述対象として、無限次元ヒルベルト空間上の作用素があるが、これらの作用素がなす作用素環の構造研究が発展してきた。作用素環の解析では、その構造を明らかにすることが主目標となっている。構造定理には様々なものがあるが、近年において発達した作用素環のK理論や拡大理論は、その環構造の指標としての不変量を可換群によってあたえるものである。幾何学における位相的なK理論と代数学の代数的K理論とが結びつき位相的な環である作用素環のK群や拡大群が研究されるようになった。これらの可換群を計算すれば、その環の構造を知ることができ、K群や拡大群による環の構造解析の立場から見ることを中心とする研究をしている。量子力学や微分幾何などの多くの関連分野を持ち共に影響を及ぼし合い発展する立場にある興味をそそられる分野である。

(2)作用素環の指標

最近、フォンノイマン環の指標定理が着目をあび、その応用として低次元幾何の結び目理論に一石を投じたジョーンズ多項式がある。指標定理の記述として有益な作用素値の荷重がある。スカラー値荷重の拡張となっている作用素値荷重の性質を調べている。今までの成果では、2つの荷重の可換性の拡張定理と荷重系の可測性の定義と中心環による積分展開の存在と一意性である。指標定理の拡張および精密化をおこない指標の性質の研究をすすめている。

古代寺院を中心にした日本歴史の研究

大矢 良哲 (日本文化史)

大和は、古墳・飛鳥・奈良時代は言うに及ばず、平安時代からの中世社会においても、日本の歴史・文化の核的な存在でありつづけた。そういう意味では、近世初頭までの大和の歴史は、中央の歴史であり、日本史そのものであったといえよう。私の研究分野は、古代・中世寺院についての歴史的研究と、地名の実証的利用による日本史研究であり、主に奈良県を中心にした文化史研究をおこなっている。文献史学のみならず、考古・建築・美術・金石文・地名など関連諸科学の成果を、古代・中世復原の手がかりとして、総合的に実像に接近しようとするのが私の立場である。

「歴史は、机上で学ぶものではなく、足で歩いて実地に見聞すべき学問」という原点から、現地調査は欠かすことができないものとなっている。日本仏教の始源にあたる飛鳥仏教と個別氏族について論じた、「道場法師伝説の再検討」(奈良高専紀要、22号)や「古代の新庄」(改訂新庄町史)は、こうした視点からの古代史復原の試みである。

奈良県内の市町村史の編纂事業においては、その約半数のものに委員として総合調査に参加。寺院・文化財関係の報告を載せ、未開拓分野である平安時代寺院の発掘に努めている。大和の寺院址研究の成果は、『日本歴史地名大系・奈良県の地名』(寺院担当・平凡社、1981)と『奈良県史・寺院』(岩城・大矢共著・名著出版、1991)にまとめた。また、大塔村・當麻町の文化財調査では、仏像についての悉皆調査を担当し、それぞれ『大塔村無形文化財並古文化財調査報告書』・『當麻町の文化財―第1集』を出版している。近年においては調査地を関西文化圏にも広げ、同時にアジア各方面の仏教美術の名蹟との比較研究もおこなっている。

地名の調査方法については、『民間信仰―調査・整理―ハンドブック〈下・実際編〉』(雄山閣出版)において、「地名と地図」調査上の心構えと手順を示した。「(仮称)日本地名博物館の常設展示企画に関する中間報告書」(共著・1994)では、金石文・木簡・条里制にかかわる地名の展示構成シナリオの原案を作成している。

地名研究では、村落史関係の地名語彙についての実証的研究をおこなっている。

ヘンリー・ジェイムズ研究

片山 悦男 (アメリカ文学)

奈良高専に転任して以来私はアメリカ文学のヘンリー・ジェイムズという作家の作品を研究しています。ジェイムズは1843年4月15日にニューヨークに生まれ、1915年にイギリスに帰化し、1916年2月28日にイギリスのチェルシーで亡くなった作家です。一才年上の兄ウィリアム・ジェイムズはプラグマチズムで有名な哲学者です。

ジェイムズは幼い頃より両親の独特な教育方針によりパリ、ロンドン、ジュネーブなどを転々とし、各地の学校や家庭教師により教育を受けました。その影響もあってか、ジェイムズは作家として世に出ようとした時、ヨーロッパへ永住する覚悟でパリへ向かいます。パリでジェイムズはフロベールやゾラやドーズ、そしてロシアからの亡命者ツルゲーネフと親交を結び、その影響を受けています。この頃のジェイムズの作品は、無垢で道徳的なアメリカ人が因襲的で邪悪なヨーロッパ社会にどのように対応し成長するのかを扱った、いわゆる国際状況を主題とする作品で、その中には『ロデリック・ハドソン』や『アメリカ人』や『ある婦人の肖像』などがあります。この中で最も難解な『ある婦人の肖像』について私は主人公イザベル・アーチャーの認識の進展という新しい観点からの解釈を「イザベルの認識の進展—『ある婦人の肖像』の認識論的解題」（京大英文学会「アルビオン」復刊第35号）の中で提示した。

この後ジェイムズは『ボストン人』などの社会小説でリアリズムに接近し、劇作にも手を出して失敗します。その後問題作を次々発表するジェイムズの実験小説期が来ます。この時期の最高傑作『ねじの回転』について従来の幽霊実在説や幻影説を排し、主人公の家庭教師のegotismと視点の技法から考察した新しい解釈を私は『『ねじの回転』試論』（京大英文学会「アルビオン」復刊第38号）の中で提示した。現在は劇作失敗後のジェイムズの最初の注目作『ポイントン邸の蒐集品』についてジェイムズの劇的手法(scenic method)と視点の技法との関連で研究中です。

シェイクスピアの演劇(テキストと舞台)

神澤 和明 (英米演劇学)

W.シェイクスピアが残した数多くの優れた演劇作品を、英文学及び演劇学の立場から研究する。時代と場所を超えて人を引き付けるその魅力进行分析し、最もふさわしい演出を考える。そして、彼の作品に迫る新しい劇作を生み出す努力をしてゆく。私の研究の目標は、こうしたことだ。

シェイクスピアの作品に登場する人物たちは、個性的で魅力に満ちている。彼らには作られた像以上の、生命感と真実性がある。そして彼らが直面する事件には、大なり小なり、人間ゆえの悩み、悲しみ、喜びが見られる。先人が述べたように、「シェイクスピアにはすべてがある」のだ。彼の作品を研究することは、人間を、人生を研究することに他ならない。

英文学の立場から、彼の残したテキスト（幾つもの版がある）を丹念に読み、その構造や人物造形を解析し、彼の作品の原本となった作品との比較も行なって、彼の意図した、本来の作品の姿を探究する。用語や韻にも出来る限り気を配り、彼の得意な洒落、地口を理解する。彼の時代のイギリスの社会情勢を調べ、作品の中にどのようにそれが反映されているかを見る。神話、伝説、歴史、キリスト教観がどのように取り込まれているか、考える。

演劇学の立場から、彼の時代の劇場の様式、演技の方法、興業形態、観客の質まで調べて、彼の作品が実際どのように演じられていたかを推測する。現代に至るまでの4百年ほどの間に、どのように彼の作品が舞台にかけられて来たかを検討する。比較文化の分野に入ってくるが、彼と近い時代の日本演劇（能、狂言、歌舞伎、文楽）との比較を行う。音楽美学と重なるが、彼が作品で効果的に使用する音楽（歌、器楽曲）がどのようなものであるか調べ、作品の中での意味を考える。「シェイクスピアのセリフ術」というものが、いまだに英米の演技の基礎になっている現実を踏まえ、それが生まれ育った理由と、その実態を考える。こうしたことを、文献研究だけでなく、実際に自分の体を通して実践することによって、多角的に彼の作品にアプローチしてゆく。さいわい、大学で英文学を研究してきただけでなく、演出、狂言、声楽、舞踊を実践していることが、広い視点から研究を進める事を、助けてくれている。

作用素環

北川 誠之助 (関数解析学)

作用素環の研究は1936年のMurray - Von Neumannの論文で始まった。その中でヒルベルト空間上の有界作用素のなす $*$ -代数(Factor)を当時出来たばかりの作用素のスペクトル分解を使って、行列のなす代数との比較をした、両者を分ける決定的な違いはトレースである、行列環の場合、射影行列に対しては、その射影行列の値域の次元がトレースの値であるから値は当然自然数になる、Factorの場合は、行列型のⅠ型、連続型のⅡ型、全然存在しないⅢ型があることを示した。当時発表者が天才Von Neumannであったこと、使われている手法が、測度空間とそれに作用する変換群、線形位相空間論等々今では常識になっているが当時としては画期的なものであったので多くの数学者の関心を引いた。しかし、Neumannの域を越えられずいつしか数学の中でも孤立した存在になった。

1967年富田はモジュラー関数と群環の関係から富田-竹崎理論を作り上げた。 M : factor、 Ω : M の働くヒルベルト空間の元で M にとって分離的とする、 x を M の元、 S ; $\chi \Omega \rightarrow \chi^* \Omega$ で定義されるantilinear - closeな作用素 S を $S = \Delta^{1/2} J$ と極分解する、 $\sigma_t(x) = \Delta^{it} x \Delta^{-it}$ が M の一口径自己同型群をなす事が理論の中心定理である。はじめにモジュラー作用素 Δ のスペクトラムの研究を行った、 M を固定して、 Ω を変化させたときのスペクトラムの変化を調べた。スペクトラムの研究を通じてⅡ型とⅢ型の関係が具体的に明らかにされ、Neumannの提出した多くの問題が解決された。

群が測度空間に作用すると、自動的に L^∞ 空間にも作用する、 L^∞ 空間が可環であるのに対して、 M は非可環だから非可環力学系と呼ばれる分野が重要な意味を持つようになる。富田-竹崎理論以後非可環力学系の研究が、数学の他分野との交流を進めるきっかけを作り、作用素環を現代数学の一大部門に押し上げることになった。

なお最近福嶋教官と方程式の近似解のニュートン・ラフソンの方法の拡張を考察した。

プラグマティズム研究

木村 倫幸 (倫理学)

19世紀後半から20世紀初頭にかけて、アメリカ資本主義の急速な発展を背景に出現したプラグマティズムは、ジェームズ (James, W. 1842 - 1910)、パース (Peirce, C.S. 1839 - 1914)、ミード (Mead, G.H. 1863 - 1931)、デューイ (Dewey, J. 1859 - 1952) といった哲学者によって代表され、それぞれ特徴ある思想が展開されている。

これらのうちでパースは、概念の意味の探求から、現在の記号論につながる数学的、論理学的方法を提唱したのに対して、ジェームズは、心理学的観点から、有用性の原理を宗教的、倫理的な日常生活の場面に適用することを主張した。さらにミードは、社会心理学の立場を導入することによって、自我の形成理論を確立し、デューイは、観念や思想はわれわれの問題解決のための手段＝道具であるとする立場から、教育の領域に多大の貢献をなした。

このようにプラグマティズムの思想は多岐多彩にわたっているが、とりわけ現在の時点において再評価されるべきであると考えるのは、ミードの自我形成と社会的経験および社会集団との関係である。ミードは、社会的過程の存在が自我の出現する前提であるとする立場から、自我を、身振り、遊戯、ゲーム、「一般的他者」という諸段階を経て形成されるものとし、その結果として「全自我の統合と構造は、全体としての社会過程の統合と構造を反映している」とする。しかしまたこの自我は、同時に社会集団に自発的に働きかける自我でもあるとされる。彼はこれを「I」と「me」の理論として提出し、両者の弁証法的関係による自我理論を主張する。すなわち「他者の態度が組織化された『me』を構成し、個人はその『me』に対して『I』として反作用する」というように、自我は「I」と「me」との二側面に区別され、一般化された他者の態度を採用することで自覚的な自我を形成していく「me」に対して、これを絶えず乗り越えようとする「I」がする行為こそ、自我自身の変革から社会の変革へと通じる働きをするものとされるのである。この理論についての検討と評価は現在にいたるまでさまざまになされてはいるが、社会的過程からの自我の形成という視点は、積極的に評価されるべきであり、現代社会の分析に重要な示唆を与えるものである。

ドイツ語の複合前置詞について

桐川 修 (ドイツ語学)

ドイツ語にはいくつかの語が結びついてひとつの前置詞のような働きをしているものがある。例えば、

1) im Gegensatz zu ihm ist sie sehr großzügig

彼とは反対に彼女はとても心が広い

2) im Vergleich zu/(auch:)mit seinem Bruder ist er unbegabt

兄と比べて彼は才能に恵まれていない

3) er öffnete die Tür mit Hilfe eines Dietrichs/mit Hilfe von einem Dietrich

彼は合鍵を使って扉を開けた

[文例はいずれも Duden Bd.2]

1)では im Gegensatz zu は entgegen で言い換えて

1') entgegen ihm ist sie sehr großzügig

としても意味的には変わらないであろう。同様に 2)では gegen、3)では mit によって書き換えることができる。このように全体で一つの前置詞のような働きをしている語群をここで『複合前置詞 (Komplexe Präpositionen)』と呼ぶ。その一般的な構造は次のようになっている。

前置詞	+	名詞	+	前置詞
-----	---	----	---	-----

これまでのこのような語群はいわゆる『熟語』として取り扱われ、十分な研究がなされてこなかった。ドイツ語にどのような『複合前置詞』あるのか、そしてそれらがドイツ語の構造にとってどのような役割をはたしているのかを引き続き研究していきたい。

早期英語教育

国方 太司 (英語教育)

日本児童英語教育学会プロジェクトチームの一員として、以下の調査研究に取り組んだ。

(1) 小学校で教科として英語学習経験を有する学習者と中学校入学後に英語学習を開始した学習者を対象に、英語の熟達度を長期的な視点から横断的に調査した。その結果、音素の識別および発音について早期英語学習経験者が優れていること、さらに早期英語学習経験者は4技能におけるそれらの運用力において優れていることを明らかにした。

(2) 英語学習の開始年齢が異なる学習者を対象に、学習開始年齢が言語習得に及ぼす影響を横断的に調査した。その結果、学習時間が短時間の段階では小学校高学年で英語学習を開始したグループが優れているが、学習時間が長くなると小学校低学年で英語学習を開始したグループが追いつき、追い越す傾向がある。これは、小学校高学年で学習を開始した児童は、文法能力を駆使し、意識的に学習するために、学習の速度は早い、次第に伸びがゆるやかになる。一方、小学校低学年で学習を開始した児童は習得の速度は遅々としているが、英語に十分触れ、規則を内在化すれば、伸びが著しいことを示している。以上より、小学校低学年で英語学習を開始するのが効果的であることを明らかにした。

(3) 小学校で教科として英語学習経験を有する学習者と中学校入学後に英語学習を開始した学習者を対象に、英語や英語以外の外国語学習に対する態度や動機等に及ぼす影響を調査した。その結果、早期英語学習経験者は、現在の学習だけでなく、将来の英語および英語以外の外国語教育に対してより積極的な態度を示し、諸外国の人々とのコミュニケーションに対して積極的な態度を示す傾向があることを明らかにした。

早期英語学習の効果に関する一連の調査研究により、早期英語学習が学習者のコミュニケーション能力育成に効果があること。また、言語を含む諸外国の文化および諸外国の人々の価値観を理解し、学ぼうとする積極的な態度等を育む素地を与える効果があることを明らかにした。

場の量子論による各種相転移の研究

榊原 和彦 (理論物理)

- 酸化物超伝導体の理論的研究
 - 1) ゲージ場による発現機構の解明
 - 2) 平均場理論による物理量の計算
 - 3) 強磁場効果の計算
 - 4) charge-spin separation機構
 - 5) 計算機シミュレーション
 - 相転移ダイナミックスの解析
 - 1) スピングラス相転移のランジュバン シミュレーション
 - 2) 超伝導体のフラックスラティスの相転移
 - 3) 超伝導相転移のダイナミックス
 - 4) 量子一次転移のダイナミックス
 - 場の量子論の非摂動的計算法
 - 1) 非摂動的繰り込み群によるスカラー4体模型の計算
 - 2) 非摂動的繰り込み群によるフェルミオン模型の計算
 - 3) 同ゲージ結合理論の計算
 - 4) 同フェルミ面を持つ理論への拡張
 - 宇宙初期の相転移による大規模構造の形成
 - 1) CP対称性の破れの相転移の研究
 - 2) 上記相転移による大規模構造の形成の研究
 - 3) 閉じ込め相転移もしくはカイラル対称性の破れによる大規模構造の研究
 - ベクトル型計算機および並列計算機による多数の行列計算法
 - 1) 固有値および固有ベクトルの計算
 - 2) 逆行列の計算
 - 3) これらの物理計算への利用
 - 多変数最適化問題
 - 1) シミュレーテッドアニーリングおよび進化論的アルゴリズムのハイブリット化
 - 2) これらの物理計算への応用
- 上記の研究テーマはお互いに密接な関係があり、相補的にブレークスルーの可能性を秘めている。

連歌

勢田 勝郭 (中世国文学)

連歌は、和歌一首の上句と下句を別人が詠むことから始まったもので、現存最古の作は万葉集に見える。平安時代には五七五と七七の句を交互に繰り返す「鎖連歌」が作られるようになり、鎌倉期には形式・規則も整えられ、室町時代に至って「菟玖波集」「新撰菟玖波集」の両集が勅撰に準じられるなど和歌と対等以上の地位を獲得したが、江戸時代以降、俳諧にその位置を奪われ、やがてその歴史を閉じることとなった文芸である。

勢田は、学部卒業以来一貫して連歌風体の変遷を帰納的・実証的な手法によって跡づけることを自らの研究の第一のテーマとしてきた。またコンピュータを利用した和歌・連歌・俳諧資料の整理を副次的な研究テーマとしている。その間、公刊した著作は以下の7冊である(含準備中)。

- ①「無言抄」(岡山大学国文学資料叢書六―一)
- ②「匠材集」(岡山大学国文学資料叢書六―二)

共に、日本古典全集本を底本とし、異本との校異を示した上、簡単な注解を施したもの。昭和59年7月、福武書店。

- ③「竹林抄」他出文献一覧

津山工業高等専門学校「研究紀要」第28号に発表した調査結果を簡略化したものが新日本古典文学大系「竹林抄」の付録として収載されたもの。平成3年11月、岩波書店。

- ④「連歌の新研究 論考編」

「菟玖波集」以前から紹巴に至る時代の連歌を五期に区分し、その間の風体の変遷を具体的な作品に即して明らかにしようとしたもの。平成3年度文部省科学研究補助金「研究成果公開促進費」311万円の交付を受け、平成4年2月、桜楓社より刊行。勢田の主著と言うべきものである。

- ⑤「連歌の新研究 索引編(七賢の部)」
- ⑥「連歌の新研究 索引編(宗祇の部)」
- ⑦「連歌の新研究 索引編(肖柏・宗長の部)」

各々「連歌七賢」「宗祇」「肖柏・宗長」の関係全資料を集め、そこに見える全句を国歌大観に倣って5字7字分けした総句を五十音順に並べた索引。平成4～6年度文部省科学研究補助金「研究成果公開促進費」計2,059万円の交付を受けて平成5年2月～7年2月、(株)おうふうより刊行。

夏目漱石研究

武田 充啓 (近代日本文学)

これまで、私はもっぱら夏目漱石を研究してきた。そしてこれからも、漱石研究は続けるつもりである。昨今は、漱石論ブームと呼んでよい状況にあり、ある研究者によれば、「毎年、二、三十冊の本が出版され、二、三百篇の論文が発表されている漱石研究」である。距離をおきたい気持ちもある。しかし今のところ私は、漱石以上に魅力ある作家や作品を見出しえないのである。

『明暗』を除き、私は漱石の作品をそれらが書かれた年代とは逆に、つまり出発点に遡るようなかたちで研究してきた。漱石の作品を、「成長」や「発展」といった、それ自体「物語」的な視点からは読みたくなかったからである。しかし、いよいよ『虞美人草』論を書き上げ、さらに『野分』論を書き進めるなかで、作品を遡っていく私の読み方も、また一種の「物語」にすぎない、ということが実感されてきた。作家論への階梯として、とりえず作品論を積み上げていこうとしていた私は、自らの方法を見直さねばならなくなったのである。

『虞美人草』以後の漱石は、小説らしい小説(いわゆる近代小説)を書こうとし、その枠組みの中で、宗教、狂気、自殺といった問題を通じて深められていく、しかし基本的には同じ問題(倫理的な問題)を何度もくり返し問うているのである(そしてむしろそれゆえに、そこにおさまりきらない存在論的な問題が、ズレとして見えてくるのである)。それに対し、『虞美人草』以前の漱石は、諸ジャンルにわたる形式の作品を、ほとんど一稿ごとに異なる文体で描き、まさに多種多様なテキストとして残している。

『虞美人草』以後が、いわば「時間」的だとすれば、それ以前は、いわば「空間」的なのである。言い換えれば、漱石の後期の作品系列は、「物語」的に(したがって反「物語」的にも)読もうとすれば読めるが、しかし初期の作品群(こそ)は、読む側の姿勢、あるいは方法として、むしろ「小説」的に読む必要がある、ということである。そしておそらく、漱石の作品に関しては常識に属するだろうこの事実の再発見が、しかし漱石研究をこれからも続け、やがては漱石論を仕上げようともくろむ私に、根本的な態度の変更を強いることになったのである。

モデルの理論

田端 敬昌 (数学基礎論)

モデルの理論(Model Theory)は数学基礎論の中の一分野であり、一口で言えば、それはModelとformal languageとの関連を研究するものである。1950年以前にも幾つかの重要な研究結果はあるものの、モデルの理論の研究が盛んになったのは1950年以後のことであり、筆者がこれについて研究を始めたのは三十数年前のことであるが、当時日本ではモデルの理論をやっている人は我々のグループ以外には殆どいなかった。以下に、筆者のこれまでの研究成果のうち2つだけ述べることにする。

一般代数系の理論の中で最も重要な概念の1つである自由代数系及び自由積については、過去にG. Birkhoff, A.I. Mal'cev, R. Sikorski その他多くの数学者によって研究されたが、筆者は、モデルの理論的方法により自由代数系の存在条件を研究し、その成果として2篇の論文をかって専門誌に発表した。これらの論文は代数系の専門書にも引用されている。(G. Grätzer, Universal Algebra Springer, 1978)

ところで近年、G.F. McNultyが論文の中で、上に述べた筆者の論文に関連したopen problemを提起したのを知り、これについて荒金教官と共同研究し1つの解答を得てその成果を、専門誌に発表した。

短寿命活性種の化学反応性に関する研究

土岐 進 (光化学・放射線化学)

光を照射すると、熱反応や触媒などを用いた通常の有機反応では合成できない化合物が、一段階で効率よく生成する場合がある。これは、光反応は物質の基底状態とは違った電子状態を経る反応であるからである。光反応系や放射線化学反応系を適当に調整すると、有機合成化学において重要な数多くの短寿命活性種—エキシマー、エキシプレックス、ラジカルカチオン、ラジカルアニオン、フリーラジカル、励起三重項—を選択的に生成させることが出来る。これを適用して、ラジカルアニオンと二酸化炭素との反応によるカルボン酸の合成を行った。また、これらの活性種の物理化学の基礎データを得ることは、有機合成の観点からも重要であることから、これら活性種の化学反応性を放射線照射による有機化学物質の分析や、フラッシュホトリシスやパルスラジオリシスなど、短パルス法を用いて種々検討してきた。

最近、スチレンおよびスチルベン誘導体について、パルスラジオリシス法によりラジカルカチオンの直接観測を行い、その反応性におよぼす置換基の効果を明かにする目的で4-メトキシスチルベン、4-メトキシスチルベンのラジカルカチオンを経る異性化および酸化反応について検討している。異性化は、極限G値が約1000と非常に効率よくシス体からトランス体に異性化する、さらに、酸素により効率よく抑制された。メトキシ基の導入により電荷が局在化され、スチルベンの二重結合は一重結合性を帯び、回転が容易となり、より安定なトランス体へ異性化するものと思われる。酸素により抑制されるのは、ラジカルカチオン上の不対電子とは速やかに反応するものと考えられる。4-メトキシスチレンとの反応で効率よく、1,4-ダイマーラジカルカチオンが生成した。このダイマーカチオンはモノマー濃度と失活速度との間に直線関係が得られ、トリメリゼーションが起きていること、メタノールとの反応がかなり速くカチオン部位で進行するが、酸素との反応は非常に遅いことが明かにされた。このように、1,2-ラジカルカチオンと1,4-ラジカルカチオンとの反応性の違いは、活性種同志との相互作用、置換基の寄与、構造との観点からも興味ある結果であり、今後の課題である。

柔道選手の「苦手意識」について

中西 茂巳 (体育方法)

いずれのスポーツにおいても、そのチーム、その選手に得意もあれば不得意もかならずあると考えられる。

柔道競技においても、経験上立ち技は得意であるが寝技は全くできない選手がいたり、相手が右組みの場合は得意でも左組みの相手は苦手であったり、また、相手の体格によって得意であったり、不得意であったりする選手が見受けられる。

理想を言えば、各人が相手のいかなる変化に対しても対処できるあらゆる技を修得し、どのような条件の相手でも制す事ができるのが望ましい。

しかし、それぞれの技の持つ性質、それぞれの体格、体力、また指導者などの要因により不可能であろう。

柔道における得意技の研究に関しては多くの方々の研究が上げられるが、正反対の苦手意識についての研究は、あまりなされていないようである。

柔道の選手の九割以上の者は何らかの苦手意識を持っていると言える。その具体的内容を大学柔道選手を対象に調査して行くと次のような結果がえられた。苦手意識の中には対戦相手の身体的要素からと、対戦相手の技術的要素からがある。まず、身体的な面では、自分より身長、体重が優れている場合、特に体重差の方が苦手意識が強く、技術的な面では、組み手において苦手意識が高い。

組み手については、右組みの者も、左組みの者も対戦相手が左組みの者を苦手としている。これは、柔道選手全体を見てみると、右組みの割合が高いため左組みの者との練習量が少ないためであろう。この結果から、左組みが有利であると思われる。これは、試合結果の分析の研究からも同じ報告が出ている。このようなことから、小さい選手ほど相手の体格や組み手に苦手意識を持つものが多く、これを克服するための体力養成、技術の修得が望まれる。

特に、筋力トレーニングや、瞬発力を高めるトレーニングを重点的に行う必要が有ると思われる。これは、柔道競技だけに言える訳ではなく、他のスポーツ全般に考えられると思う。

クーデンホーフ・カレルギーの体育観について

中和田 武(体育原理)

世界の歴史は、自由と平等を求める闘争の歴史である。なかでも1989年にはじまった東西ドイツの統一、東欧の民主化等は、東西冷戦の氷解と緊張緩和につながる大変革である。一方、ヨーロッパでは、第二次大戦後にはじまったEC構想は着実に進展しており、さまざまな理念や規範を共存したEC諸国は、21世紀に期待をかけて超国家的思考をもってこれを完遂し、ヨーロッパに恒久的平和をうちたてようとしている。

このような世界情勢の中において人類は、今後どのような政治形体のもとで、どの方向に展開し、希望と愛に満ちた21世紀を迎えるかが最大課題となっている。そこでわれわれは、その答えを求めべくECの思想的母胎であるパンヨーロッパ運動の創始者であり、全生涯を世界平和とヨーロッパ統合の実現にささげたクーデンホーフ・カレルギーについて、その一端を紹介したい。

クーデンホーフ・カレルギーの哲学思想は、新貴族主義である。これはプラトンとニーチェの哲学的思索を根源とし、新しい英雄的倫理、新しい理想的世界観を基礎とする実践的理想主義である。自由と平等、闘争という新貴族主義的要素を、すぐれた人間の成長発展する基盤とし、価値からみた貴族的人間を生むことが、新貴族主義に課せられた最高の使命であるとし、その要求する人間像として、質と三次元の完全化を基礎とする個性ある人間を掲げ、これを人類永遠の人間理想としているところに特色がみられる。

このような新貴族的人間の創造は、人間養成の自然な順序として体育を第一優先とする、超倫理的教育法によって行われるべきであるとし、今日の教育は自然を冒瀆する結果として、必然的に人類の退化を指摘している点に共感を覚える。このことはルソーの教育論に相通ずるものであり、古代ギリシア人の教養面における理想であったカロカガティアの再現を思わせる教育論といえる。

この実践的理想主義こそ、新しい教育上のイデオロギーとなり、人生全体にわたる哲学思想となることを確信する。そして実践的理想主義を思想的背景とする新しい体育、新しいスポーツが創造され、このスポーツを通して、未来の青少年が育成されることに期待すると共に、さらにクーデンホーフ・カレルギーの人間性の核心にふれるよう努力したい。

方程式の近似解

福嶋 克彦(位相幾何学)

方程式を解く(関数の零点を求める)ということとはxy平面でその関数のグラフとx軸の交点のx座標を求めることになります。ほとんどの関数がそうなんですが、その関数のグラフはつながっていて角がなく滑らかとします。するとグラフ上の任意の点でそのグラフには接線を引くことができます。今そのグラフがx軸を横切っていることが何らかの情報(たとえば0での関数の値が負、1での値を正としますとx軸の0と1の間でグラフはx軸を横切る)で分かっていたとします。つまりその関数の零点の存在が確認されていたとします(グラフが下に凸な放物線でその頂点がx軸より上にある場合はx軸と交わらない)。だけどその零点が分からない、そこでその近くのaに対応するグラフ上の点で接線を引く、その接線とx軸の交点の座標をbとしますと、このbはaよりその関数の零点に近いことが図より分かります。これがニュートン・ラフソンの方法です。

一方関数を多項式で近似するテイラー展開の理論があります。

逆関数のテイラー展開の観点よりニュートン・ラフソンの公式を眺めると、より高次の近似公式が得られます。以上が最近の北川教官との共同研究です。

ところで、地球の表面は局所的には地図に描けるように平面と同じようなものです、しかし全体として表面積が有限であったりして、無限の広がりをもつ(ユークリッド)平面とは違います。そのように、局所的には地図を描けるような2次元的な広がりを2次元多様体といいます。同様に考えてn次元多様体というもの考えられます。その上での距離、関数の微分、あるいは積分はどうするか等、多様体上の解析学が生まれます。これが大域解析学といわれるものです。多様体の運動つまり変換に対して動かない点が生じる場合があります。たとえば地球の自転を考えると、南北の両極点は自転運動に関して不動点です。

多様体がある構造を持つとき、そういう変換による構造への影響が考えられるわけで、まず全体的な影響を特徴づける指数が得られます。それから不動点の周りの局所的影響についても指数が得られます。2種類の指数の関係について調べる研究分野があります。後半は以前の研究分野です。

近代文学とキリスト教

細井 誠司（日本近代文学）

島崎藤村・国木田独步・正宗白鳥・志賀直哉・武者小路実篤・有島武郎ら、明治大正期の文学者たちの中には、その青春時代にキリスト教（プロテスタント）に入信したり積極的な関心を示したりしながら、文学者としての自覚が深まるにつれて、離教もしくは棄教していった例が多い。

信仰的に見れば彼らの信仰は、キリスト論を欠いたロマンチズムや理想主義に過ぎなかったと評せようが、文学の観点からすれば、彼らは、信仰の中に束縛と抑圧とを見て、自我の解放と自由な発現とを求めたのだと言えよう。宗教と文学は二律背反、相容れざるものだったのである。

大正末・昭和初期の芥川龍之介・太宰 治に至って初めて、キリスト教は、近代文学と本質的に関わりを持ち始める。

ところが、戦後の現代文学の世界には優れたキリスト教作家たちが輩出した。プロテスタントでは椎名麟三・福永武彦・阪田寛夫・三浦綾子・阿部光子・森禮子ら、カトリック側では遠藤周作・曾野綾子・大原富枝・田中澄江・三浦朱門・島尾敏雄・小川国夫・矢代静一・有吉佐和子・井上ひさし・森内俊雄・高橋たか子・加賀乙彦・木崎さと子・津島佑子・安岡章太郎らで、枚挙にいとまがない程だ。「日本キリスト教芸術センター」の正会員は、広く芸術家を含めて80名にもものぼるといふ。

特にカトリックの側で盛んなこうした現象は、明治・大正期の文学者の多くがプロテスタントの作家であったことと対照をなす。そこで、私は次のような問題を考える。

彼らカトリックの作家にあっては、信仰と文学はどのように両立しているのか。明治期プロテスタント作家たちの離教の要因となった信仰のリゴリズムの問題は、どう考えられているのか。椎名麟三が説いた信仰・文学の二律背反の問題は、どう解決されているのか。遠藤周作は、「カトリックには、小説を書くことを神への裏切りと感じさせないところがある」と語るが、彼の代表作『沈黙』は、神父の転びを描いてカトリック界で物議をかました。そうした問題はどうか等々……。

近代作家たちの、信仰と文学の、二律相関するところの問題を、個々の具体的な作家・作品を通して追究している。

光励起遠赤外レーザー

堀内 泰男（量子エレクトロニクス）

原子や分子による光の誘導放出とその増幅を原理とするレーザーが誕生したのは本校創立の4年前であった。以来、気体、液体、固体などの物質から、X線からマイクロ波にわたる広い波長域において種々のレーザーが開発されている。レーザーは、その光が有する優れた特性（単色性、指向性、高いエネルギー密度、極短パルスの発生など）のゆえに、光技術や分光学に革新をもたらし、科学と技術の広範な分野に大きな波及効果を与えている。すでに工業、医療、通信、気象、家電製品にいたるまでその応用が普及してきた。

この中で、私は主に気体分子を用いた遠赤外レーザーの発生や動作に関する基礎研究に関わってきた。特に炭酸ガス(CO_2)レーザーは波長 $10\mu\text{m}$ 付近で80本に及ぶ高効率のレーザー線を発生するが、メタノール(CH_3OH)などの分子は波長 $10\mu\text{m}$ 付近に豊富な振動回転吸収帯をもっており、この振動回転単位を炭酸ガスレーザーで励起することで遠赤外レーザーが発振する。こうして実現する光励起遠赤外レーザーは、多数の発振線をつくりマイクロ波と赤外の間の波長領域を埋める単色光源として注目されている。私たちはこの方法でホルムアルデヒド d_2 (D_2CO) から100を超える新しいレーザー線を発振させ、これに関与する吸収線と発振線の遷移の帰属を明らかにすると共にこのレーザー過程を分子の3準位と電磁波との相互作用を考慮にいたれた検討を行っている。

一方、光励起レーザーの動的振る舞いや利得の理論解析を行う上で、分子のエネルギー準位の大きさや緩和過程に関する正確な知見がなお不十分である。一般に低圧力での気体分子は熱運動によるドップラー効果のためにそのスペクトル線は不均一に広がっており、その形状は均一幅をもつローレンツ曲線と不均一幅のガウス曲線のたたみこみ積分であるフォークト曲線を示す。従って分子の緩和過程によって生じる均一幅を測定するためにはドップラー効果による不均一幅を除去することが必要となる。現在取り組んでいるレーザーを用いた「相互変調法による飽和分光」は、レーザー過程に関与する分子の緩和定数を高精度で測定し併せて吸収線の周波数の正確な決定を行うためのものである。以上のような研究を行っている。

不法な遊戯

松井 良明 (英国スポーツ史)

これまで筆者は、英国における近代スポーツの成立過程に焦点をあて、闘鶏や拳闘などに代表されるBloody Sportsを中心に考察を行ってきた。その結果あきらかとなったのは、闘鶏の禁圧や拳闘の合理化などに関しては、英国の近代刑法がその内容を規定するうえで重要な役割を果たしたということである。スポーツ史の文脈でいえば、民衆の娯楽・スポーツはつねに何らかの規制や禁令の対象となってきた経緯がある。たとえばヨーロッパ中世では、市民の軍勢力と労働力の保全のために弓術が奨励される一方で、テニスやボーリングといった賭けをともなう民衆娯楽は禁じられた。英国の場合、中世から近世にかけて民衆の娯楽・スポーツを規制したと考えられる法律は、救貧法・安息日遵守法・狩猟法・賭博法などである。他方、近代の英国社会におけるスポーツ文化の変容は著しく、そのさいにスポーツ史上の大きな断絶が認められることもすでに多くの研究者によって指摘されていることである。拳闘を中心とする筆者の研究では、近代刑法とりわけコモン・ローを中心とする判例法がその合理化において重要な役割を果たしたことがあきらかとなっているが、それは他のスポーツについても無関係ではありえない。また、スポーツが社会的存在である以上、刑法がスポーツの社会的枠組み全体を規定したとしても不思議ではないのである。

本研究は、このような観点から、英国におけるスポーツの近代化過程に関する社会史的研究の一環として、英国の近代刑法がいかなるスポーツを違法とみなし、いかなるスポーツを合法とみなしたのか、という点をあきらかにしようとするものである。分析対象は、18世紀から19世紀にかけての議会制定法、判例法、そして同時代の刑法学者らによって書かれた権威書などの文献資料である。

なお、本研究に関しては、平成6年度科学研究費補助金奨励研究Aの交付を受けた。また、本研究にいたる研究歴は以下のとおりである。

- ①平成5年度奨励研究A「英国におけるボクシングの近代化と刑法に関する社会史的研究」
- ②平成2年～4年「19世紀英国におけるボクシングの判例史研究」
- ③昭和63年～平成元年「英国におけるボクシングの近代化に関する社会史的研究」

言語習得研究について

松林 城弘 (言語習得論)

1960年以降、Chomskyによって提唱されてきた生成文法(普遍文法)理論の整備、発展に伴い、第一言語(主に母語)の習得は、この理論に含まれる諸原理の統語的制約を受けて可能になるという説明がかなりの位置をしめてきた。1970年代になって、第二言語習得研究の分野でも、第一言語習得に作用するとされる統語的諸制約が、第二言語習得にも作用するのかどうかということを検証しようとする研究が増えてきた。特に1980年代になって、生成文法理論が、統率・束縛理論あるいは原理とパラメタ理論として整備されるに伴い、これら理論に依拠した第二言語習得研究が盛んになってきた。

一方、生成文法の発展に並行するかのようになり、1970年代以降、この理論が提案する統語的な制約の不備を言語の意味機能的側面から指摘し、その代案を提示しようとする言語研究も盛んにおこなわれてきた。最近になって、第二言語習得研究の分野でも、第二言語の習得を説明するには、統語的な制約のみでは不十分であり、言語の意味機能的側面に配慮した考察が必要であるとする研究が散見されるようになってきた。このように、言語学及び言語習得の分野において、言語の生成や習得を規定する制約について議論されている訳であるが、第一言語であれ、第二言語であれ、言語の習得という複雑な問題を考える場合には、どれか一つの制約のみに依拠するのではなく、かなり幅広い視点を持って取り組んでいくことが不可欠であると思われる。その意味において、今後ますます統語的制約や意味機能的制約についての整備、発展が望まれると同時に、それら制約を視野に入れた幅広い言語習得研究が盛んになることが期待される。

筆者においても、このような言語習得研究の動向に敏感であり、且つ、出来るだけ広い視点を持って言語習得研究に取り組みたいと思っている。併せて、最近注目を集めている心理言語学、社会言語学といった学際的な分野からの知見をも取り込みながら言語の習得という複雑な問題に取り組んでいきたいと思っている。

ポアンカレゲージ場

宮本 止戈雄(素粒子物理学)

素粒子の運動は主として場の量子論によって論じられる。例えば、電子の場合は電子場で表され、その運動方程式は作用積分と呼ばれるものから変分原理によって導かれる微分方程式である。このような理論がある変換をしても運動方程式が同じ形に保たれているものとする。この場合、この変換の不変性に対応して保存量が存在することが知られている。具体的には、4次元時空座標の平行移動の変換に対してはエネルギー・運動量保存則、位相変換に対しては電荷の保存則などがある。この変換性を拡張して変換のパラメータを時空座標の関数として拡張してもなお理論が不変性を保っていることを要請する。変換のパラメータが座標の関数であるということは、例えば、座標の平行移動で移動量を宇宙の果てから果てまで同じではなく場所によって変化を持たせることである。この場合は、一般座標変換になるが、これに対しても理論の不変性を保つために場の量の通常の微分を共変微分と呼ばれているものに置き換えなければならない。この共変微分を作るためにゲージ場(gauge field)と呼ばれる新しい場が導入される。このゲージ場自身の運動方程式は、考えている変換に対する不変性から決定され、この変換性に基づく保存量を源として生じたり消滅したりすることが一般論として知られている。具体的には、一般座標変換の場合に相当するゲージ場は重力場と呼ばれ、エネルギー・運動量を源としている。これは、一般相対性理論としてよく知られている。また、位相変換に対応するゲージ場もよく知られた電磁場で電荷を源としている。

自然界には、もう一つよく知られた保存量としてスピン・軌道角運動量がある。スピンとは素粒子の自転による角運動量である。この保存量を源とする場、つまり、スピンを定義している空間の回転による変換の不変性から導入されたゲージ場の諸性質を調べるのが研究テーマである。この場は重力場や電磁場と異なり、まだ発見されず実在するかどうかはわかっていない。これまでに、このゲージ場が自然界に存在するとすれば、スピンとスピンの間に作用する力、電子の異常磁気モーメントや水素原子のエネルギー準位などにどのような影響が現れるか等について研究してきた。

英語教育

守屋 雅博(英語教育学)

英語教育学が唱えられて30数年になると思うが、英語学、英米文学などと比べるとまだまだ新しい学問ではある。英語教育学は、英語に関する基礎科学(英語学・英米文学)を踏まえて、英語科教育の本質と学習課程の分析・総合に必要な理論や技能を研究する科学である。英語教育学の研究分野は、英語教育史、英語教育目的論、英語教育教材論、英語教育方法論、英語学習論、英語教育評価論という六つの基本分野があると考えられる。これらのいずれの分野も私の専門分野だともいえるが、特に英語教育方法論、英語学習論を専門分野としていると言える。

科学技術の進歩は本当に速い。衛星放送を利用すれば、世界中の放送をその国の言語で直接聞き、見ることができる。また、パソコンネットワークを利用すれば、授業を交換したり、同時進行で両方の授業を進めることもできる。科学技術の進歩を利用すれば当然英語の授業形態もそれにつれて変化してくるものである。視聴覚機器、コンピューターを用いた効果的な授業形態のあり方も検討しなければならない。

従来、英語の授業は「教える側の論理」で行われていた。しかし、授業の主体は学ぶ側の生徒である。学習者の様々な学習困難な要因を分析することによって新たな方向付けがおこなわれる。奈良高専紀要に掲載されている「Colloquial Englishの聴取についての一考察—誤聴分析に基づいて」(第20号)「Colloquial Englishの聴取についての試み」(第21号)はERROR ANALYSISの観点から書かれたものである。

日本では、学校教育としての英語は中1から学習されるが、早期に外国語学習を始める方が効果的であるとも考えられる。早期英語学習者と中1から英語を学習した者とはどのような相違点があるかを調査したのが「早期英語学習経験者の追跡調査」(第1報～第4報)(1986年～1989年)、「学習開始年齢が言語習得に及ぼす影響」(第1報～第4報)(1990年～1993年)で、LANGUAGE ACQUISITIONの観点から研究・調査したものである。

英語学習の諸相において、英語学習者に焦点を当てた調査・研究を今後も継続していきたい。

リボン結び目

安田 智之 (位相幾何学)

輪ゴムに注目してみよう。輪ゴムは単純な形をしているので「単純な輪」と呼ぶことにしよう。

次に、輪ゴムを①1カ所で切って②結び目をつくって③再び両端をくっつけてみる。できたものを「結ばれた輪」と呼ぶことにしよう。「結ばれた輪」はうまくほどけば元通り「単純な輪」になることもある。しかし普通はどんなに旨くほどのきの操作をしても「単純な輪」に戻らないであろう。その時、こいつは「単純な輪」とは異なる輪なのだと思ふ。そこでどんなにほどのきの操作をしても「単純な輪」に戻らない輪のことを「本当に結ばれた輪」と呼ぶことにしよう。

今度は「本当に結ばれた輪」を二つもってきてそれらに注目する。一方を甲、他方を乙と名付けよう。甲と乙がつくられるとき、上述の②の段階で二つは異なる操作が行われているとする。この時、甲をほどいたり絡めたり、所謂あやとりをするやり方でどんなに操作してみても乙と同じ形に見える形にできないのが普通であろう。しかしたまにはそれができることもある。この時、甲と乙は見た目は違っていたが実は同じ輪だったのだと思ふ。

実は上述の「結ばれた輪」のことを、即ち「空間の中であって自身と交わりを持たない閉じた曲線」のことを数学では「結び目」と呼ぶ。「結び目」を主たる研究対象とする研究分野が結び目理論である。位相幾何学の一分野とされている。結び目理論では二つの「結び目」が同じであるとは、一方を空間の中で、自身を交わらさないという条件のもとで変形して他方の形に一致させられる時をいう。結び目理論の目的は異なる「結び目」がどれくらい存在するかを数学の立場から調べることである。従って二つの「結び目」が同じであるか、異なるとかいったことが、例えばこいつは断じて「単純な輪」ではないのだとかいったことが数学的に説明されるのである。結び目理論は数学の他分野のみならず、物理学や生物学や化学の研究に応用されているときく。例えば高分子化学においては分子の合成や同定に応用されるらしい。

私自身は特に「リボン結び目」を見つめている。よろしければ、本紀要の拙著論文を御覧下さい。

奈良工業高等専門学校 研究紀要第30号

平成7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. 30, 1994

CONTENTS

Calculation of Frictional Characteristics in Mixed Lubrication of a Journal Sliding Bearing Minoru NONOGAKI and Yasuhiro IWATA	1
Study on Chip Breaker (1st Report) – Shape of New Chip Breaker – Tadahiro WADA	5
Study on Chip Breaker (2nd Report) – Development of New Chip Breaker – Tadahiro WADA	11
Demodulation of A Current Type PWM Converter..... Shigeji IMURA	17
Stabilizing Chaotic Motions in Chua's Circuit..... Keiji KONISHI	23
Experimental Investigation for High – Efficiency Power Generation on Amorphous Solar Module Yasuhiro UEDA, Takeharu YAMAWAKI and Haruo TAKAHASHI	27
Shape Recognition using Ultrasonic Sensor..... Shigeki DOI	33
Study of Computer Generated Hologram for Leith's Type Hirokazu NARITA and Yukiteru MAEDA	37
Deflection of CO ₂ Laser Beam using Multireflection - type Phased Array Tomoshi MATSUSHIMA, Kouji NAKAMURA and Tadashi SUETA	41
Localization of Auditory Cortical Sources from Neuromagnetic Fields Evoked by CV Speech Sounds Yoshimitsu OKITA, Yoshihiro HIRATA, Tetsuo KOBAYASHI and Shinya KURIKI	47
Focusing of Shock Waves with Vibrational Relaxation Effect (Part II) Haruaki KISHIGE and Yasuo HORIUCHI	55
Computer Simulation of Phase Plane Trajectory and Step Response in a Nonlinear Control System Takashi KURIMOTO	63
Flow Calculation by Using the Descretized Vortex Method Masahiko SAKAMOTO and Takahiro UEDA	69
Measurement of Liquid Metal Jet Velocity Ejected from a Small - Diameter Conical Nozzle Mitsuyoshi SHIMAOKA	73
Asymptotic Dependence of the Residual Energy in Relaxation Process Fumio ASAI and Hitoshi AZUMA	79
Implementation of Supporting System for Object - Oriented Software Engineering Education and its Problems Hideo KUDO, Jyunichi SHIROMA and Masaaki NAGAHASHI	83
A Research for Computer Anxiety on Students Studying Computer Engineering Michiko SHIMOMURA	89
Experimental Evaluation of Processor Scheduling Algorithm for Parallel Logic Simulation Using Benchmark Circuits Tadashi SEKO, Takeshi KUGO and Tohru KIKUNO	93
The Number of Breakpoints of Weighed Maximum Clique in Prametric Graph Masakuni TAKI, Hiroyuki HORIN, Toshinobu KASHIWARA and Toshiro ARAKI	101
Flow Characteristics of Tapered Bubble Column with Square Crosssection Mikio KAWAGOE and Yuhko FUJII	109
The Decision Problem for Fuzzy Algebras Kenichi ARAGANE	115
The Algebraic Ribbon Number for Ribbon N - knots Tomoyuki YASUDA	125
How "melancholy" is healed in "Twelfth Night"? Kazuaki KAMIZAWA	129
The Use of Critical Thought and Expression in English Conversation (Discussion and Group Work approach)..... John SINCLAIR and Takashi KUNIKATA	137
Syntactic and Semantic/Functional Constranints in Second Language Acquisition Kunihiro MATSUBAYASHI	145
The Genesis of the Self in the Social Process – A Study of "Self" on G.H.Mead – Tsuneyuki KIMURA	158
Abstracts	159
Research Activities in 1993~1994	163
The 30th Anniversary Review	183