

研 究 紀 要

第 35 号

平成 11 年度

奈良工業高等専門学校

目 次

種々の接触理論による接触近似式表面形状パラメータの考察	野々垣 稔	1
Web検索語による意識推定の試み (検索語解析ツールの構築と評価)	平 俊男・武藤 武士	5
焼結鋼切削における工具摩耗	和田 任弘	11
手話画像データベース検索のための動画像認識	桐島 俊之・佐藤 宏介・千原 國宏	15
風景の識別と空間周波数に関する考察	土井 滋貴	21
ストロークに現れる個人性の分析	中村 善一・菊山 善伸	25
インターネット上でのデータベースの構築	成田 紘一	31
教育支援用ソフトウェアの開発	宮田 正幸・文字 孝臣	35
学習により得られる入力を利用したロボットアームの目標空間軌道の形成方法	櫛 弘明・深尾 典久・川村 貞夫	39
高次制御系のステップ応答のシミュレーション (その2)	栗本 尚	45
実験支援のための過渡応答特性とリサージュ図形の作動シミュレーション	栗本 尚	53
レーザ誘起蛍光法を用いた流れの可視化	阪部 俊也・西口 宣志・鶴野 義雄・清本 昌宏	59
自律型マイクロ・ロボットを通じての創造教育(II) (インターフェース回路と制御プログラム開発)	道下 貴広・櫛 弘明・岸下 晴亮・阪部 俊也	63
X線回折を用いたセラミックス材料の弾性定数測定法	西田 茂生	67
UoSAT-2のホールオービットデータ取得と解析	浅井 文男	71
保守工程におけるデバッグ作業者のバグ特定プロセス分析	工藤 英男・内田 眞司・門田 暁人・松本 健一	75
DFTを用いたプロセスデータ解析に関する考察	近藤 勝也	81
コーン分割による組合せ回路の最大同時変化ゲート数の並列計算法	世古 忠・東野 武史	87
二液分離型光化学ダイオードを用いたCO ₂ 固定化反応	大西 康幸・泉 生一郎・森元 弘次	91
含塩鉄器の脱塩処理に及ぼす含フッ素オリゴマーの添加効果とその速度論的研究	吉原 忍・河越 幹男・澤田 英夫・川本 耕三	97
半束の弱い形について	荒金 憲一	105
Computer Assisted Instruction and Second Language Acquisition	Naoshi KANAZAWA	111
鶴見俊輔の家族論について	木村 倫幸	124
夏目漱石『吾輩は猫である』論	武田 充啓	136
論文抄録		137
学校5日制と高専生の意識(II)	木村 倫幸・中村 善一	141
教官研究活動一覧(平成10年度～平成11年度)		149

種々の接触理論による接触近似式表面形状パラメータの考察

野々垣 稔

A Study on Surface Texture Parameters for an Approximate Contact Formula by the Various Contact Mechanism Theories

Minoru NONOGAKI

混合潤滑理論における固体接触部の取り扱いには、押し込み距離と接触面積や接触荷重の関係式などが提示される接触理論が用いられる。著者らはジャーナル滑り軸受の混合潤滑理論に接触圧力近似式を用いたが、本研究ではその接触圧力近似式について、統計理論を用いた接触理論から求まる接触圧力と比較することにより、接触圧力近似式の表面形状パラメータについて考察した。その結果、接触理論の違いや等方性粗さと方向性粗さの違いにより接触圧力の立ち上がり方に差があっても表面形状パラメータの値を決定でき、粗さの大きさやなじみの進行による表面形状パラメータの変化の傾向は同様であった。接触圧力近似式によって接触圧力が有効に表されることが確認できた。

1. はじめに

固体接触と流体潤滑が混在する混合潤滑の理論解析においては、すきまと表面形状と材料力学的特性から真実接触面積および接触荷重を決める接触理論が用いられる。著者らは以前にジャーナルすべり軸受の混合潤滑摩擦係数の近似式を提案し¹⁾、そこでは接触理論として Kragelsky と Demkin²⁾ が提示したすきまと接触面積の関係式から導かれる接触圧力近似式が用いられた。本報では、その接触圧力近似式について、統計理論を用いた接触理論から求まる接触圧力と比較することにより接触圧力近似式の表面形状パラメータについて考察した。

近率を χ とすると、

$$y'_b = \frac{A_r}{A_c} = b \chi^n \quad (1)$$

ここで、図1に示すような真平面と粗面の接触を考えると、すきまを h 、粗さの最大高さを h_m とすると、接近量は $h_m - h$ 、接近率は $\chi = 1 - h/h_m$ で表せる。 b と n は、粗さの形状を表す表面形状パラメータである。なお、粗面どうしの接触においては両面の合成粗さと真平面の接触を考え、 h_m は合成粗さの最大高さと考えればよい。接触する2面の軟らかい方の硬さを H とすると、真実接触面積 A_r と荷重 W の関係は $A_r = W/H$ 、そして、固体接触圧力 p_c は次のように表される。

2. 接触圧力式

$$p_c = H b \chi^n = H b \left(1 - \frac{h}{h_m}\right)^n \quad (2)$$

2.1 接触圧力近似式

接触理論においては、2面の接触における押し込み距離と接触面積や接触荷重の関係式などが提示されるが、著者らは、ジャーナル滑り軸受の混合潤滑摩擦係数の近似式を導く上で、すきまと接触面積や接触圧力の関係を以下に示す近似式を用いて表した。

押し込み距離と接触面積の関係に関する実験式として、Kragelsky²⁾ は次式を提示した。粗さ突起の点在する領域 A_c に対する真実接触面積 A_r の割合 y'_b は、接触開始後の接

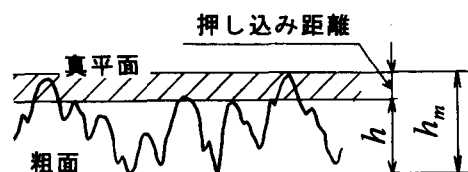


図1 粗面と真平面の接触模型

2.2 統計的解析による接触理論の接触圧力式

式(2)における表面形状パラメータ b , n を考察するために、種々の統計的解析による接触理論によって求められる接触圧力と式(2)で表される接触圧力を比較することを考える。

接触理論においては、ランダムな表面粗さをモデル化する必要があるが、突起の形状を球や円錐などの集まりにモデル化する決定論的手法と、凹凸を何らかの分布によって表し統計的解析を行う確率論的手法があり、さらに粗さ曲線や曲面のデータを直接用いる直接シミュレーションがある。しかし、機械要素の摩擦面の設計で必要であるような接触の平均的な挙動を論じる上では、統計的解析による確率論的手法の接触理論が実用的である。したがって、本報では統計的解析による接触理論として、等方性粗さを扱った Greenwood-Tripp の理論³⁾を拡張した山田の式⁴⁾(以下GTモデルという)、等方性粗さを扱った久門の理論⁵⁾、そして、実際の摩擦面では方向性の強い粗さの場合が多いので、等方性の粗さと方向性をもった粗さの違いを考察するために、これらを計算できる築添の理論⁶⁾についてとりあげた。

GTモデルにおいて、突起がすべて弾性接触とした場合、固体接触圧力 p_c は、

$$p_c(h) = \frac{16}{15} \pi E' \rho_1 \rho_2 (\beta_1 \beta_2 (\beta_1 + \beta_2))^{\frac{1}{2}} \int_h^{z_{\max}} (z-h)^{\frac{3}{2}} \phi(z) dz \quad (3)$$

塑性接触の場合は、

$$p_c(h) = 2\pi^2 \rho_1 \rho_2 \beta_1 \beta_2 H \int_h^{z_{\max}} (z-h)^2 \phi(z) dz \quad (4)$$

そして、臨界食い込み量 z_p 以下の突起は弾性接触し z_p 以上の場合は塑性接触とした混合接触では、

$$p_c(h) = \frac{16}{15} \pi E' \rho_1 \rho_2 (\beta_1 \beta_2 (\beta_1 + \beta_2))^{\frac{1}{2}} \int_h^{h+z_p} ((z-h)^{\frac{3}{2}} + z_p^{\frac{3}{2}}) \phi(z) dz + 2\pi^2 \rho_1 \rho_2 \beta_1 \beta_2 H \int_{h+z_p}^{z_{\max}} ((z-h)^2 - z_p^2) \phi(z) dz \quad (5)$$

ここで、 ρ は単位面積あたりの突起の数、 β は突起半径であり、 $\phi(z)$ は接触する2面の突起頂点高さの分布の合

成分分布である。また、 $z_p = \beta (H/E')^2$ であり、 β は等価突起半径、 E' は等価弾性係数である。

次に、等方性あらさを扱った久門の理論による式は、混合接触として、

$$p_c(h) = -\frac{2}{3\pi} \frac{E'}{\beta^*} \int_h^{h+z_p} (z-h)^{\frac{3}{2}} g'(z) dz - H \int_{h+z_p}^{z_{\max}} (z-h) g'(z) dz \quad (6)$$

ここで $g(z)$ は、合成粗さの高さの確率密度関数である。

築添の理論は、方向性粗さの場合、

$$p_c(h) = \frac{H}{4} (z_{\max} - h) (g(h) - g(z_{\max})) \quad (7)$$

等方性粗さの場合は、

$$p_c(h) = \frac{\pi}{48} H (z_{\max} - h)^2 (g^2(h) - g^2(z_{\max})) \quad (8)$$

以上のように統計的解析による接触圧力式には表面粗さの突起頂点高さ分布(確率密度関数)および粗さの高さ分布が必要である。研削面をはじめとする工学上の多くの表面では、粗さの高さの確率密度関数は正規分布を示す。しかし、摩擦面においては、摩擦の進行によって表面粗さの突起先端がトランケートされるため非正規分布となる。本研究では実際の摩擦面で見られるようなトランケートされた粗さの確率密度関数についても考えることとして、トランケートされた粗さの確率密度関数を粗さの生成機構⁷⁾を用いたなじみモデルにて作成した。このモデルは、例えば粗さの高さ分布が最初、正規分布である軸と軸受において、両者の分布の重なりが軸受最大高さの $c\%$ の距離をもって軸受側のみが削られてトランケートされた軸受面が生成されるとするモデルである。

図2に粗さの生成機構によるなじみモデルを用いて作成した確率密度関数を示す。この図より、トランケートが進行するにしたがい、確率密度関数が変化することがわかる。

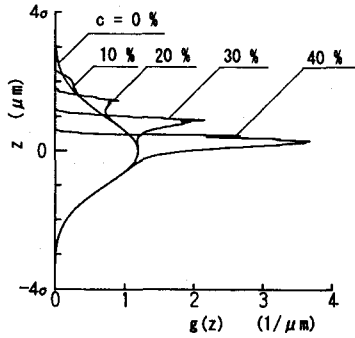


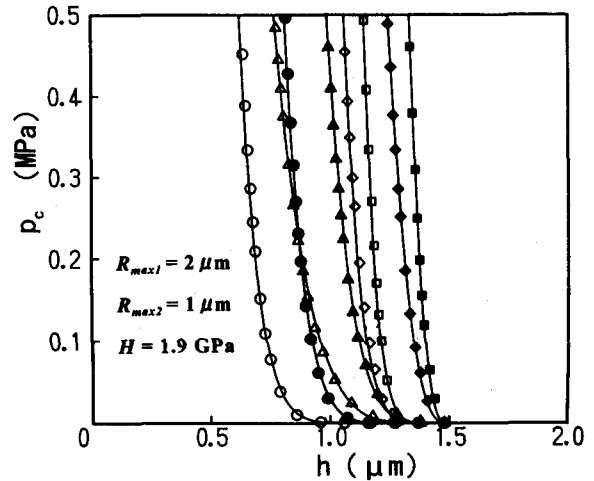
図2 なじみ面の粗さの確率密度関数

3. 接触圧力式の比較

図3は、種々の接触理論によって求めた接触圧力とそれに合うように b , n を決定してカーブフィットさせた接触圧力近似式(2) (実線で示す)である。GTモデルにおいては粗さの分布は突起頂点高さの分布を用いるべきであるが、従来の混合潤滑解析においては粗さの高さ分布を用いている例が多いので高さ分布による計算も行った。さらに、粗さの高さ分布を用いる久門の理論と築添の理論では、突起の不整合を考慮して Johnsonら⁸⁾が用いたように等価すきまを $h_e = h + 0.5\sigma$ として実際のすきま h より大きくとった計算も行った。

図3においては、種々の接触理論に用いた粗さの高さ分布は正規分布とした。また、実際の滑り軸受の混合潤滑面を考慮して、鋼軸とりん青銅軸受 (硬さ $H=1.9\text{GPa}$) の接触を考慮しており、軸側を $R_{max2}=1\mu\text{m}$ 突起半径 $50\mu\text{m}$ 、軸受側を $R_{max1}=2\mu\text{m}$ 、突起半径 $30\mu\text{m}$ とした。等方性粗さとして、分布を突起頂点高さの分布としたGTモデルにおいては、 $\rho\beta\sigma=0.05$ とした。なお、GTモデルおよび久門の理論は弾性接触と塑性接触が混在する混合接触であるが、りん青銅という硬さの低い材料を扱っているので混合接触でも塑性接触単独での解析とほとんど差はない。また、築添の理論は塑性接触としての解析である。図3より接触理論が異なると接触開始点が同じであっても接触圧力の立ち上がり方に差があることがわかる。そして、突起頂点高さの分布によるGTモデルと突起の不整合を考慮して $h_e = h + 0.5\sigma$ とした久門の接触圧力式が近い値を示していることがわかる。

また、築添の理論による等方性あらさと方向性のあるあらさを比較すると、同じ分布(確率密度関数)を用いても接触圧力の立ち上がり方に差があることがわかる。いずれの接触理論においても接触圧力近似式(2)をカーブフィットすることができ、表面形状パラメータ b と n を決定できる。



- 接触圧力近似式(2)
- 築添の理論 (等方性, $h_e = h + 0.5\sigma$)
- 築添の理論 (等方性)
- △ GTモデル (等方性, 高さ分布)
- ▲ GTモデル (等方性, 突起頂点高さ分布)
- 築添の理論 (方向性, $h_e = h + 0.5\sigma$)
- 築添の理論 (方向性)
- ◇ 久門の理論 (等方性, $h_e = h + 0.5\sigma$)
- ◆ 久門の理論 (等方性)

図3 接触理論式による接触圧力

4. 接触近似式表面形状パラメータの変化

表1は、種々の接触理論において正規分布の粗さの分布をもつ粗さについて R_{max} を変化させて求めた接触圧力に、式(2)をカーブフィットさせて求めた表面形状パラメータ b, n の変化を示す。接触理論が違っても、さらに、等方性粗さと方向性粗さのどちらも、最大高さ R_{max} が増加すると b は一定で n が若干減少していることがわかる。

表1 R_{max} 変化における表面形状パラメータ b, n の変化

接触理論	R_{max} (μm)	1.0	2.0	4.0	6.0	8.0
		GTモデル	b	3.00	3.00	3.00
突起頂点高さ	n	5.40	5.20	4.95	4.75	4.65
久門の理論	b	85	85	85	85	85
$h_e = h + 0.5\sigma$	n	6.55	6.50	6.47	6.46	6.45
築添の理論	b	150	150	150	150	150
等方性	n	8.05	8.95	8.95	8.95	8.95
築添の理論	b	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
方向性	n	2.90	2.85	2.85	2.85	2.85

次になじみの進行過程における b , n の変化について考える。図4はGTモデルにおいて、図2の分布（確率密度関数）を用いて求めた接触圧力に式(2)をカーブフィットさせた図である。 c の値が増加して、すなわちなじみが進行した分布においても接触圧力近似式(2)はカーブフィットできることがわかる。表2はその b と n の値の変化を久門の理論とあわせて示した。接触理論によって b と n の値は異なり接触理論間で比較はできないが、各接触理論ともなじみが進行するにつれて b が変化し、特に初期摩擦で大きく増大するが、 n の値はあまり変化しないことがわかる。

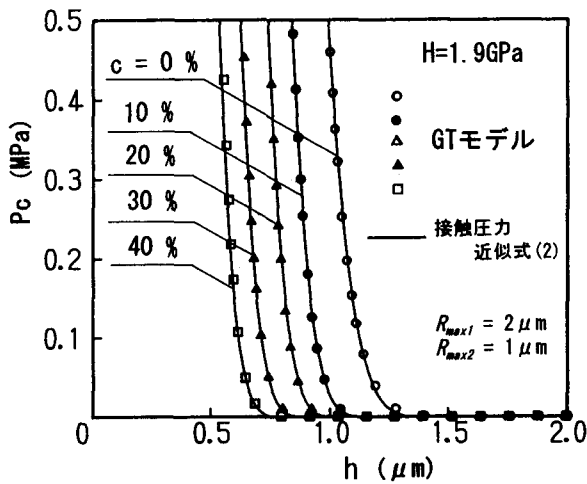


図4 なじみ過程における接触圧力 (GTモデル,等方性粗さ)

表2 なじみ過程における表面形状パラメータ b , n の変化

接触理論	c %	0	10	20	30	40
		R_{max} (μm)	2.00	1.74	1.57	1.38	1.19
GTモデル 突起頂点高さ	b	3.0	8.0	9.5	10	10
	n	5.20	5.20	5.20	5.25	5.30
久門の理論 $h_e = h + 0.5\sigma$	b	85	200	220	240	260
	n	6.50	6.50	6.50	6.52	6.54

5. おわりに

接触圧力近似式と種々の接触理論によって求まる接触圧力を比較することにより接触圧力近似式の表面形状パラメータの決定を試みた結果、接触理論の違いや、等方性粗さと方向性粗さの違いにより接触圧力の立ち上がり方に差があっても表面形状パラメータの値を決定できた。また、接触理論の違いや、等方性粗さと方向性粗さの違いがあっても、粗さの大きさやなじみの進行による表面形状パラメータの変化の傾向は同様であった。接触圧力近似式(2)によって接触圧力が有効に表されることが確認でき、接触圧力近似式(2)は実験式として優れたものであることがわかった。

最後に、本研究を行うにあたって種々懇切なご指導を賜った東京工業大学工学部中原綱光教授に深甚の謝意を表するとともに、本研究の数値計算に協力された当時の本学専攻科機械制御工学専攻学生 八木和行 君 (現 東京工業大学博士課程) に対し厚くお礼申し上げます。

参考文献

- (1) 野々垣稔・中原綱光, トライボロジスト, 38,4 (1993) 337.
- (2) I. V. Kragelsky & N. B. Demkin, Wear, 3 (1960) 170.
- (3) J. A. Greenwood & J. H. Tripp, Proc. Inst. Mech. Engrs., 185, (1971) 625.
- (4) 山田国男, 鏡重次郎, 潤滑, 25,8 (1980) 539.
- (5) 久門輝正, 日本機械学会論文, 38,314 (1972) 2657.
- (6) 築添正, 日本機械学会誌, 62,491 (1959) 1753.
- (7) 築添正ほか, 日本機械学会論文集, 38, 307 (1972) 633.
- (8) K. L. Johnson, J. A. Greenwood & S. Y. Poon, Wear, 19 (1972) 91.

Web検索語による意識推定の試み (検索語解析ツールの構築と評価)

平 俊男・武藤 武士

A preliminary inference of intentions on the web with searched words
— Case studies by an analyzer for web-searched words —

Toshio HIRA and Takeshi MUTOH

WWWによる情報発信へのフィードバックとしてアンケート等が考えられるが、その回答は設問の枠を超えにくく、発信者にとって必ずしも有効な情報とは限らない。本報では、web検索に用いられる検索語に注目することで、WWW利用者の意識を推定する手法を提案し、検索語解析ツールの構築を行った。また、ケーススタディにより本校機械工学科webページへのアクセスにみられる検索語を示し、ツールの有効性の評価を行い、さらにツールの応用可能性について議論を行った。

1. はじめに

World-Wide-Web (WWW)に限らず、情報の発信にあたっては何が要求されているかを把握することが必要不可欠である。一般にwwwにおいては、アクセスカウンタによる閲覧件数の集計や、アンケートによるフィードバックなどが行われているが、ニーズの十分な把握は行っていないのが現状である。これに対して著者らは、wwwの利用形態が、当初のリンク主体のネットサーフィンからサーチ主体の情報検索へと変貌しつつあることに注目し、サーチエンジンの利用における検索語（以下、web検索語）を把握することで、アンケートのような設問の枠内に限られがちな回答だけでなく、www利用者の実際的な関心を探る可能性を示した¹⁾。

本報では、web検索語の解析によるwww利用者の意識推定と解析ツールの構築について考察を行い、ケーススタディによって解析ツールの評価を試みる。また、機械工学科設置のwwwサーバ上に構築したツールによる集計・推定結果からツールの他の応用可能性について議論する。

2. Web検索にもとづくアクセス

Webページに含まれる情報へのアクセスには、ブラウザ上に表示されているwebページ上のリンクをたどっていく場合と、探したい情報を記述する検索語をサーチエンジンに入力し提示されたリンクをたどる場合とに大別され、ここではそれぞれ誘導型、検索型と名付ける。一般にwebページの多くは前者を想定しており、この場合、

情報の分類やリンクの名称付けの成否がアクセスを誘導するための重要な因子となる。また、他のwebページからのリンクの存在が、アクセス数を左右することになる。たとえば典型的な学校紹介のwebページでは学科構成、スタッフ紹介等、階層的にカテゴリ化された情報が掲載されている。www利用者は、学校一覧が掲載されたwebページなどからリンクをたどってその学校のwebページにアクセスすることになる。

一方、goo (<http://www.goo.ne.jp>)等の全文検索型サーチエンジンでは、webページに含まれている情報は単語等をキーに再組織化されており、階層的なカテゴリに意味は存在しない。このような状況においては、webページ作成者の意図とは無関係に、検索時に定められる評価値によってページの価値が定められることになる。

機械工学科で公開しているwebページに対するアクセス(99年1月18日～9月2日の227日間)のうちHTMLで記述された文字情報のみについて見ると、総アクセス約50300件のうち、本校他学科のwebページの学科紹介リンクを経由したものが約700件、本校トップページのリンクを経由したものが約1800件であるのに対して、サーチエンジンによる検索結果をもとにした外部からのアクセスは約25400件であった。なお機械工学科webページ内のリンクを参照するアクセスは約20500件である。すなわち、ほぼ半数のアクセスが情報検索型のwww利用に基づくものであり、これらのアクセスを無視できない状況であることがわかる¹⁾。

¹⁾ ここではアクセスの件数のみを比較しているが、もちろん性質の把握が必要である。一般に誘導型では当該webページから関連する他のwebページへとアクセスが広がることが多いのに対して、検索型では当該webページのみが読まれる傾向が強い。

3. Web検索語解析ツール

3.1 Web検索語 http (Hyper Text Transfer Protocol) を処理するwwwサーバは、一般に自サイトで保持するwebページへのアクセスについて参照元リンクを記録する。たとえば、NCSA HTTPd NCSA/1.5.1の場合では、`referer_log`と名付けられたファイルに、ローカルページtoへのアクセスがページfrom内のリンクをたどることにより行われたことをfrom->toの形式で記録する(図1)。図1(a)の例では、“/memo/ob.html”へのアクセスが、“http://www.mech.nara-k.ac.jp/”で表わされるページ中のリンクを参照して行われたことを示している。多くのサーチエンジンでは、参照元リンクfromのURL (Uniform Resource Locator) に検索語を含めるので、www利用者がサーチエンジンを経た場合には、図1(b)(c)に示す形式となる。ここに示したサーチエンジンの場合、文字列“MT=”と“&”との間にみられる“Nara+National+College+of+Technology+Mechanical+Engineering”が検索文字列を表し、“->”以降の“/”がアクセスされたページを表している。

検索が漢字等の2バイト文字を含む検索語によって行われた場合、fromはRFC1738²⁾で規定されたエンコーディングに則り記述される。たとえば“奈”はEUCの文字コードセットでE0C6hと表現されるが、URL中では“%C6%E0”と記述されることになる。したがって図1(c)に含まれる文字列“%C6%E0%CE%C9”をデコードすると、検索語は“奈良”であったことが分かる。

3.2 Web検索語解析ツール 記録されている参照元リンクのURLに含まれている様々な検索語に対して、ここでは、a)頻度、b)文脈、c)アクセスページについて注目し、解析ツールの仕様を検討する。もちろん、検索の性

質上用意されているwebページに含まれていないキーワードは拾い得ないので、不特定多数のwww利用者総体の検索傾向を知ることはできない。ここに示す手法による解析結果には、ページ作成者の意識とページ検索者の意識との積集合が現われることになる²⁾。

a) 頻度情報 記録されている検索語の頻度は、その検索語が示す概念へのwww利用者の関心の強さを指す直接の指標となる。本ツールでは、web利用者が指定した検索文字列から、まず、空白文字(‘ ’)、記号(‘&’, ‘+’)等をキーに文字列を分解し、それぞれを検索単語と呼び、これらの頻度を数える。

たとえば、「燃費」、「燃費 車」、「車&低燃費」、「燃費のよい車」の検索文字列があった場合には、「燃費」×2、「車」×2、「低燃費」×1、「燃費のよい車」×1が検索単語および頻度となる。

b) 文脈情報 単語単位で頻度を数える場合、様々な文脈で使われうる一般的な単語(前項の場合「車」)が多くなるなど、本来の検索意図が不明瞭となる。また、一般に日本語の文章は欧米語とは異なり、単語単位への分解は意味解析なしでは困難となる。ここでは、前項で抽出した単語をキーに文字列を照合し、その単語が含まれている検索文字列を全てとりあげ検索文脈と呼ぶ。この時、文字列中の単語位置も考慮し、単語が文字列中の先頭に位置する頻度も数えることで、意図推定の補助とする。

前項の例では、検索単語「燃費」に注目した場合には、「燃費」、「燃費 車」、「車&低燃費」、「燃費のよい車」の4つの検索文字列全てが「燃費」に関連する文脈であるのに対して、「車」に関連する文脈は3つである。さらに、位置情報を考慮した場合には、「燃費」が先頭に位置している文字列が3つなのに対して、「車」が先頭にあるのは1つのみである。したがって、これらの検索文字列からは、www利用者の関心度が「燃費」>「車」であり、検索時には「燃費」に重きをおいていたことが推定できる。

もちろん、自然言語処理の観点からいえば、本来「燃費のよい」と「低燃費」は同じ意味を指さねばならない。しかしながら、ここでは意味解析を全く行わず簡便に意識推定を行うための一つの近似として、文字列のマッチングのみに基づく文脈情報を用いるものとする。

c) アクセスページ 検索型のアクセスでは、www利用者とページ作成者の意図に相違が生じることがある。したがって、検索時に用いられた検索語をページ毎に把握

```
http://www.mech.nara-k.ac.jp/ -> /mech/ob.html
```

(a) 通常のリンク参照の例

```
http://www.goo.ne.jp/default.asp?MT=Nara+Natio
nal+College+of+Technology+Mechanical+Engineeri
ng&SM=MC&WTS=ntt&DE=2&DC=10&_v=2&act.search.x=
41&act.search.y=9 -> /
```

(b) サーチエンジン経由(1バイト文字による検索語)

```
http://www.goo.ne.jp/default.asp?MT=%C6%E0%CE%
C9%B9%E2%C0%EC%B5%A1%B3%A3&SM=MC&WTS=ntt&DE=2
&DC=10&_v=2&act.search.x=26&act.search.y=8 ->
/mech/ob.html
```

(c) サーチエンジン経由(2バイト文字による検索語)

図1 記録される参照元リンク

²⁾ あるサイトで公開されている情報が、あらゆる分野を一樣に網羅している場合、web検索語の解析によりwww利用者総体の意識が、www利用者による検索語があらゆる分野に関して一樣に分布している場合、そのサイトで公開されている情報の傾向が分かることになる。しかしながら、このような状況は現実的ではなく、積集合としての傾向のみをここでは取扱う。

することは作成者にとって重要なものとなる。ここでは指定したwebページに対して用いられた検索語、指定した検索語をもとにアクセスされたwebページを表示する機能を解析ツールに持たせることとする。

3.3 解析ツールの実装 あるホストに対するwebアクセスに関する参照元リンクの記録(referer_log)を対象に、前節に述べた検索語解析機能は、文字列処理との親和性のよいPerlにより記述したスクリプトにより実現する。ただし、単語情報、文脈情報についてはデータベース化を行い、定期的にreferer_logを参照し自動的に更新しておくことで処理の高速化を図る。また、これらの情報を人間可読形式としたHTMLファイルと同じホストに生成することとする。特定のwebページ、検索語についての対話的なreferer_logの解析はcgi(Common Gateway Interface)により実現し、web閲覧とのシームレス化を図るが、wwwサーバとなるホストの負荷を軽減するために処理を分散化し、cgi処理専用のホストを用意する。このホストへは、更新されたreferer_logおよびデータベースが定期的に転送される。

4. 機械工学科設置の解析ツールによるケーススタディ

4.1 構築したweb検索語解析ツールの概要 ここでは、機械工学科(<http://www.mech.nara-k.ac.jp/>)以下で公開されているwebページへのアクセスを対象とする。wwwサーバとするホストはSun MicroSPARC II(SunOS 4.1.4-JL)であり、httpdにはApache-1.2.6を用いている。参照元リンクは、referer_log_moduleを用い、NCSA互換形式でreferer_logファイルに記録している。検索語解析ツールはPerl(5.003)スクリプトにより記述した。また、cgi処理を行うホストはDell Dimension XPS(Linux 2.0.36)であり、cgiはPerl(5.004_04)スクリプトにより記述している。検索語は一日に一度データベース化され、wwwホストからcgiホストへ転送される。

検索単語および文脈の頻度は、検索語のデータベース化と同時に更新される

<http://www.mech.nara-k.ac.jp/~hira/search.html>

によりwww上で確認できるようにしている。このページには、新出検索文字列および累積検索単語の頻度ランキング、検索単語毎の文脈情報等が示される。また、ページ毎に検索語を確認するためのフロントエンドページとして

<http://www.mech.nara-k.ac.jp/~hira/keycheck.html>

を、検索単語毎に文脈およびアクセスされたページを確認するためのフロントエンドページとして

<http://www.mech.nara-k.ac.jp/~hira/keyword.html>

を用意している。これらのフロントエンドページから発行されるcgiリクエストには、cgiホストが応答する。

4.2 公開されているwebページの概要 機械工学科wwwホスト(<http://www.mech.nara-k.ac.jp/>)が保持しているページは、学科概要、関連行事等の新着情報、教育課程(シラバス)、スタッフ紹介(教官・技官・研究室)、他学科等へのリンク、アンケート、専攻科概要等からなる。さらに、授業の課題として学生が作成した一般的话题を含むページを準備している。これらの総ページ数は260であり、そのうち、学生が作成したものが約130、教育課程関係が約30、研究室紹介のページは12である。

4.3 ケーススタディ 構築した解析ツールによるケーススタディの期間は、1999年1月18日から8月18日までの7ヶ月間である。この間にみられた検索文字列は23520件であり、平均110件/日の検索型アクセスがあったことがわかる³。検索文字列を単語単位に分解した場合、31145の検索単語が見られ、ひとつの文字列には平均1.3単語が含まれている。

a) 検索語頻度による解析 表1に単語単位の累積頻度が上位10位までの検索単語および頻度を示す。頻度には累積値、1日間の頻度、2週間おきの順位変動を含んでいる。なお、ここではHTMLファイルを示さないが、以降に示す結果は、全て8月18日に生成された

<http://www.mech.nara-k.ac.jp/~hira/search.html>

および派生するページ上で閲覧可能なもののみによっており、2次的加工は行っていない。ただし、本報では企業等の営利団体名および商品名、タレント等の個人名は省略し、記号<>で囲み記している。

表1 検索単語および頻度(99年8月18日)

検索単語	頻度 (1日間 / 順位増減)
1 <自動車商品名>	1038 (+2 / -)
2 心理テスト	782 (+10 / -)
3 ロボット	653 (+1 / -)
4 <タレント個人名>	645 (+4 / +1)
5 <工作機械企業名>	639 (+3 / -1)
6 新幹線	603 (+1 / -)
7 バイク	570 (+3 / -)
8 鉄道総合研究所	558 (+3 / -)
9 <自動車企業名>	535 (+1 / -)
10 <自動車企業名>	493 (+0 / -)

³ 実際のアクセスには、検索文字列が不明なものや、キャッシュによるもの等が含まれるため、ここで述べる件数は正確ではない。本報では相対頻度のみが重要となるので、これらの不確定要素については考慮しない。

単語頻度だけではなく、単語が文字列に含まれる文脈を考慮した場合には、〈自動車商品名〉:1062, 心理テスト:852, ロボット:1085, 〈タレント個人名〉:646となる。検索文字列に含まれる頻度の最も高かった「ロボット」に注目した場合、表2 (上位10のみを示す) に示す文脈が得られた。表中、見出し語と一致する部分は記号 - で略記している。これによればwww利用者の関心は、「ロボット」そのものにあるのではなく、「人間型」、「サッカー」、「歩行」などと関連付けられた「ロボット」にあったことが推定できる。

表2 文脈に注目した頻度

「ロボット」を含む検索文字列	頻度
1 —	128
2 人間型—	83
3 <企業名カタカナ>+—	51
4 —サッカー	40
5 <企業名漢字>+—	38
6 →歩行	31
7 サッカー—	29
8 →サッカー	28
9 二足歩行—	26
10 歩行—	24
以下 255 種の検索文字列	

先頭または単独で「ロボット」が含まれる: 444 語
「ロボット」を含む文字列: 1085

b) 対話的解析 前項では、本サイトで公開されている情報全てに関する検索語をもとに解析を行った。さらに本ツールでは、特定の検索語、ページについて対話的に解析を行うことが可能であり、検索語については、

<http://www.mech.nara-k.ac.jp/~hira/keyword.html>

およびページについては

<http://www.mech.nara-k.ac.jp/~hira/keycheck.html>

が準備されている。表3は「奈良高専」および「機械工学」を検索文脈に含んでいた文字列を示す。この結果からは、「奈良高専」と専攻科を関連付けた検索 (約1割) や、「機械工学」に対しては「電気自動車」や「地球環境」、「リサイクル」などの環境問題を関連付けている検索が多くみられ、www利用者の意図が推定可能であると考えられる。誘導型のwebアクセスにおいて要となる機械工学科トップページおよび専攻科トップページについての検索語を表4に示す。これらのページに対する検索型のアクセス数は少ないものの、www利用者の、「機械工学科」、「専攻科」に限らないwww情報への様々な関心がうかがえる。

表3 特定の単語を含む検索文字列

「奈良高専」を含む検索文字列	検索型アクセス数: 83
—: 64, →専攻科: 3, —専攻科: 3, →化学: 2, —同窓会: 2, —機械: 2, —専攻科+編入+進学する: 2, →工学科+学科+機械工, →機械工学, 研究紀要+, —専攻科+進学する	先頭に含まれる文字列: 82
「機械工学」を含む検索文字列	29
→電気自動車: 5, —会: 3, →教育+中学: 2, 地球環境+—: 2, —科: 2, →リサイクル: 2, —実験: 2, →自動車+電気自動車: 2, →ドリル, →研究とは, →バイク, —, →エンジン, —と自動車, 奈良高専+, 福井大学+テスト+, 舞鶴高専+—科	先頭に含まれる文字列: 24

表4 特定のページに対する検索文字列

機械工学科(/index.html)	検索型アクセス数: 30
奈良高専: 8, 高専: 2, 奈良高専機械: 2, nara-k: 2, icem: 2, 技官+求人, <技官名(姓)>, 機械工学科, icem+cfid, 機械工学, 機械技術者, ロボット工学+専門学校	
専攻科(/~ac-wada/index.html)	33
高専: 6, 学位授与機構: 3, 奈良高専専攻科: 3, 奈良高専: 2, 機械工学+教育+中学: 2, 奈良高専+化学: 2, 資格救急救命士養成学校+養成する+本校, 高専+専攻科+教育課程, 化学技術者, 高専+専攻科, (高専+or+高等専門学校)+and+専攻科+and+学位授与板橋高等職業技術専門学校, 高専教育+あり方, 高専+専攻科, 工学技術者倫理批評, 新居浜高専, 新居浜高専+専攻科, "高専", 専攻科, 高専専攻科, 技術	

c) 機械工学関連分野への関心 機械工学科webページでは、教育課程に関する情報としてシラバス³⁾、研究テーマに関する情報として研究室紹介⁴⁾を掲載している。教育・研究の場としての学校学科の情報公開の手段としてwwwを位置付けるにあたっては、これらのページへの関心および検索時にどのように見えているのか、等の把握が重要である。ここでは、ページ毎の検索語を示すことで、学科目、研究テーマ等機械工学関連分野への関心を調べる。表5、6はシラバスを記載したページへの検索語、表7は研究室紹介のページへの検索語である。ただし表7の対象としたページは、1999年4月初旬に作成したものであり、累積アクセス数は、表5、6のシラバスと単純には比較できない。

表5 シラバスwebページへの検索型アクセス(1)

機械設計製図(/syllabus/1220.html)	頻度: 150
機械設計: 53, 機械製図: 42, 製図: 8, 製図+書き方: 5, 設計製図: 3, 設計+製図: 3, 機械要素: 3, 機械+設計: 2, 一: 2, 設計書の書き方: 2, 製図の基礎: 2, 製図書き方, 機械設備+製図+設計+技術者, 大阪製図, 製図+機械+書き方, 歯車減速機+図, 機械+設計+図面, 歯車技術計算, 設計書, 機械要素+歯車, 機械要素設計, 簡単構造+設計, <教官氏名>, 設計書+書き方, 機械製図基礎, 製図+基本, 機械基礎構造, トレース+図面+製図+cad+trace+図+部品+設計+習得する, 空間認識能力, 機械設計製図+試験, 機械設計+北海道, 設計+図形+製図+機械+部品+図面+図, 機械製図+書き方, 設計製図+機械+フリーソフト, 機械設計計算+ベルト長さ, 配管フロー図の書き方+設計+製図	
振動解析(/syllabus/1213.html)	70
一: 62, 振動+解析: 2, 振動: 2, 造船機械振動, <教官氏名>, 解析手法, 振動+解析	
材料力学(/syllabus/1207.html)	57
一: 26, 断面二次モーメント10, 曲げ応力: 3, 不静定問題: 2, 断面2次モーメント, (一), 一+and+機械, モーメントの計算, モーメント計算, 一+解析, 計算方法, モーメント+一+解析法+公式+金属+応力+耐久+疲労+強度+荷重+破壊+変形+弾性, 一+計算方法, モーメント計算, 基礎一, モール円+解説, 一+たわみ, 断面二次, ボルト+曲げ強度+応力, 断面2次モーメント+意味	
工業外国語(/syllabus/1216.html)	46
工業英検: 26, 工業英語: 17, 工業英語+, 工業英検2級, 英語+技術者にとって	
機械工作法(/syllabus/1205.html)	40
一: 15, 工作機械: 5, プレス加工: 4, 研削理論: 2, 鍛造+プレス: 2, 工作: 2, 一+切削, 工作法, 板金+加工条件, (機械加工+or+かしめ+or+ハイスピン)+not+(検索結果+or+lsi)+not+(ゴルフ+or+電子), 鍛造法, 板金+理論, 板金加工, 機械掘削, 機械加工+プローチ, 機械工	
機械設計法(/syllabus/1217.html)	20
一: 8, 機構学: 4, 機械設計: 3, <教官氏名>, 機構学について, 動的問題, 機械+and+設計, 機械設計の基礎	
計測工学(/syllabus/1212.html)	20
一: 13, <教官氏名(非常勤)>: 4, <教官氏名(非常勤)>, <教官名(姓, 非常勤)>, 状態量	
応用設計製図(/syllabus/1221.html)	19
機械設計: 3, <教官氏名(非常勤)>: 3, 設計管理: 2, <教官氏名>: 2, 機械部品+製図, 製図の基礎知識, 設計+製図, 機械製図, トレースペラング設計+商品値段表, jis 機械製図+面の指示記号, cad+製図+cam, 応用設計, コスト意識+設計, 機械設計+製図	
熱工学(/syllabus/1208.html)	19
一: 8, 理論熱効率: 2, <教官氏名>, 熱の性質, 熱機関工学, <教官名(姓)>, 熱機関, 基礎, 蒸気性質, 蒸気の性質, <教官氏名>	
生産システム工学(/syllabus/1214.html)	17
一: 3, 生産管理について: 3, <教官氏名(非常勤)>: 2, 生産計画+設計+策定する, 経営工学+製造工程管理技法, 生産管理+基礎知識, 生産管理手法, システム工学, 生産システム+レイアウト設計, 生産管理+管理手法, 生産管理システム+製造, <教官氏名(非常勤)>+助教授	

機械工学科開講科目に対しては、設計・製図、振動解析、材料力学、工業英語、加工に関する情報が多く検索されている。振動解析および工業英語をのぞけば低学年配当の基礎的科目であり、これらに関する情報への関心

表6 シラバスwebページへの検索型アクセス(2)

流体工学(/syllabus/1209.html)	16
一: 8, 流体: 6, <教官氏名>, (流体)	
設計製作(/syllabus/1231.html)	15
??設計: 3, 設計資料, 工作実習+図面, 機械設計, 創造設計, 機械設計+製作, 設計+製作, 設計方針とは, ??設計, 機械製図, 機械設計+製図, 設計能力, iso 事例集+設計+製図+図面	
材料力学特論(/syllabus/1252.html)	14
ひずみエネルギー: 3, 一: 2, 座屈, 材料力学, 材料力学+エネルギー法, 材料力学+公式, 公式+材料力学, 設計公式, エネルギー法, 一I, 弾性ひずみ	
新素材論(/syllabus/1204.html)	14
新素材: 8, 新素材について: 3, 動向: 2, 非鉄金属材料	
機械工作実習(/syllabus/1230.html)	13
一: 3, 工作機械: 2, 機械工作: 2, 工作: 2, 工作実習, 機械加工+機械工作, <教官氏名>, 工作機械+クラブ	
電子工学(/syllabus/1211.html)	10
一: 3, 動物と機械: 2, <教官氏名(非常勤)>, 感覚器官, 電子回路+実例, 人間工学, アナログ+デジタル+優位性	
情報処理(/syllabus/1201.html)	8
<教官氏名>: 3, c言語処理プログラミング, <教官氏名>, 一階微分方程式+数値+解法, c言語+文法+プログラミング, c言語+習得+プログラミング+習得する,	
塑性工学(/syllabus/1253.html)	8
一: 6, 塑性, 一+力学	
機械基礎力学(/syllabus/1206.html)	7
基礎力学: 4, 機械基礎: 2, 機械力学つりあい	
材料強度学(/syllabus/1203.html)	7
材料強度: 3, 一: 3, 材料強度+	
機械工学実験(/syllabus/1232.html)	6
一: 2, 実験, <教官名(姓)>, <教官氏名>, 工学関係のレポート	
エネルギー変換工学(/syllabus/1256.html)	6
一: 2, 化石燃料+エネルギー変換, エネルギー供給, エネルギー変換, エネルギー	
熱移動論(/syllabus/1255.html)	6
熱物質移動論: 3, 熱移動: 2, 熱+物質移動論	
制御工学(/syllabus/1215.html)	2
一: 2	
電気工学(/syllabus/1210.html)	2
一, 電気の基礎	
基礎材料学(/syllabus/1202.html)	1
一	

が高い傾向は既報¹⁾と同様である。振動解析、工業英語については高学年配当科目ではあるが、内容的には設計・製造における機械技術の基礎的分野を占めるものである。また、用いられている検索語についても基礎的事柄が多く、www利用者の関心は、基礎的分野に重きをおいていると推定される。

表7にみられた頻出検索語「トライボロジー」は、本科開講科目ではとりあげられていないために、シラバスへのアクセス(表5, 6)では現われていない。しかしながら、トライボロジーで取扱う潤滑問題は、機械設計分野において最も重要な問題のひとつであり、実際、web検索においても関心が持たれているテーマであることがわかる。また、他の検索語からも、材料力学、加工等につ

表7 研究室紹介webページへの検索型アクセス

検索文字列: 頻度
トライボロジー: 13, 流体潤滑: 8, 混合潤滑: 4, 滑り軸受: 3, 流体潤滑+トライボロジー: 2, トライボロジー+流体潤滑, 焼付き, 摩耗+なじみ, <教官名(姓)>, 潤滑+焼付き, 潤滑, 接触理論, 機械の寿命
遅れ破壊: 7, アクリル板+強度: 6, アクリル+強度: 3, 遅れ破壊試験, アモルファス金属
研削加工: 2, 鋳鉄切削, 切削加工, 工具+摩耗, 研削+黒鉛, 球状黒鉛鋳鉄, 切削加工+研究, クリープ+フィード+研削
冷間鍛造+管, 曲げ加工機, 微細穴, 鍛造+工法, ビーディング+ビード加工, ビード加工, <教官氏名>, 介護用ロボット
粗さの影響, 微細穴, 高温割れ, <教官氏名>
伸長粘度: 2, 伸長
制御工学+動特性, ヘッドスライダ
概念設計+支援, 概念設計

いて、シラバスに対するweb検索と同傾向の関心が現われていると考えられる。ここで示したweb検索語の解析による機械工学分野の教育・研究内容への関心の傾向は、企業へのアンケート結果から、設計においてよく使われる材料力学系の項目に対する要望が強いとの分析⁵⁾と対応するものであり、本手法による意識推定の妥当性を示していると考えられる。

5. 構築したツールの応用可能性

5.1 概念形成 ある概念とそれに関する語彙からなる体系をオントロジーと呼び、構造化された知識ベース構築の観点から盛んに研究されている。たとえば、表2に示したような「ロボット」に関する検索文字列および頻度情報をもとに意味処理を含む適切な言語処理を行うことで、「ロボットとは」といった概念の自動形成が可能となると考えられる。

5.2 予断を与えないアンケート 一般にアンケートによるニーズの把握には、設問者の恣意性の問題が生じる。これに対して本ツールによる意識推定は、被験者に予断を与えることなく得られたものであり、その結果には設問者の意図が入り込む余地がなく、予断を与えないアンケート手法としての利用が可能であると考えられる。

5.3 アイデアプロセッサ 本報では、検索語のうち主に多数を占めたものを対象として議論を進めてきた。少数の検索語については、一般に組合せて用いられない単語等が見られる。また、サーチエンジンの特性に依存するが、ページの内容と完全には一致しない検索語を使った場合にもアクセスが可能なることから、ページ作成者の

意図を超える語彙が得られている。たとえば「ロボット」に関する文字列には、「非ノイマン型コンピューターロボット」、「天然ロボット」などが見られたが、現段階では著者にとって想像のつかない概念である。このような意外性を持つ語彙の提示が可能な本ツールは、不確かなものも含む多様な情報提示による創造支援ツール⁶⁾としての利用可能性を示していると考えられる。

6. おわりに

本報では、web検索語に注目した解析ツールを構築し、www利用者の意識推定をケーススタディにより試みた。なお、ここに示したツールは、

<http://www.mech.nara-k.ac.jp/~hira/search-tool/>

において公開している。

参考文献

- 1) 平 俊男, 武藤武士, Webアクセスに見る奈良高専像-機械工学科・情報工学科の場合-, 高専情報処理教育研究発表会予稿集, (1998), pp.144-147.
- 2) Berners-Lee, T., Masinter, L., and McCahill, M., "Uniform Resource Locators," Sec.2.2, <ftp://ds.internic.net/rfc/rfc1738.txt>, (1994) .
- 3) 奈良高専, 平成8年度シラバス (機械工学科), (1996).
- 4) 日本機械学会関西支部, Mechavocation 1999, (1999).
- 5) 奈良高専, 多面的評価を取り入れた教育内容・方法の改善 (国専協 教育方法改善共同プロジェクト) 最終報告書, (1998), p.123.
- 6) Chakrabarti, A. and Thomas, P.B., "An Approach to Functional Synthesis of Mechanical Design Concepts: Theory, Applications, and Emerging Research Issues," *AI EDAM*, Vol.10, No.4, (1996), pp.313-331.

焼結鋼切削における工具摩耗

和田 任弘

Tool Wear in Turning of Sintered Steel

Tadahiro WADA

The tool life in the turning of the sintered steels becomes shorter than that in the turning of the melted steels such as carbon steels. The progress of the tool wear increases rapidly with the increase of the cutting speed. In this study, in order to find out the effective tool materials for the high speed cutting of the sintered steel, the tool wear in the turning of a conventional sintered steel is experimentally investigated.

The main results obtained are as follows:

- (1) In the turning of the sintered steel, the wear progress of the both two kinds of the ceramics tools, namely the Al_2O_3 based ceramics tool and the Si_3N_4 based ceramics tool, increase rapidly.
- (2) In the cutting speed 1.67m/s, 3.33 m/s, the wear progress of the cemented carbide tool (K10) becomes slowest. However, in the high speed cutting at the cutting speed 5.0m/s, the wear progress of the cemented carbide tool (K10) increases rapidly.
- (3) In the high speed cutting, the wear progress of the both two kinds of CBN tools, namely the TiC binder CBN tool and the TiN binder CBN tool, become slowest.

1. 緒言

焼結鋼は、焼結後に切削などの機械加工が必要とされる場合が多い⁽¹⁾。ところが、焼結鋼切削における工具摩耗は、通常の鋼材（溶成材）切削に比べ大きくなる。これは、焼結鋼には多くの気孔が存在し⁽²⁾、この気孔が、熱伝導率を低下させ切削温度を上昇させること、および切削を不連続にすることが主な理由と考えられる。最近では、生産性向上のために、高速度で切削される。しかしながら、高速度切削では、切削速度の上昇につれ切削温度も上昇し、工具摩耗が急増する。

そこで本研究では、焼結鋼の高速度切削に適した工具材を明らかにするために、各種市販工具材で焼結鋼の高速度旋削を行い工具摩耗を調べた結果について述べる。

2. 実験方法

被削材として使用した焼結鋼の化学成分および機械的

性質を表1に示す。引張り強さは340MPa、硬さはHB130である。

工具材種は、超硬合金P20種、K10種、表2に示すコーテッド超硬合金、サーメット、セラミックスおよびCBNである。なお、サーメット(a)とサーメット(b)の違いは硬さで、サーメット(a)の硬さ $H_R A91.5$ に対し、サーメット(b)の硬さは $H_R A92.5$ で、サーメット(b)の方がやや硬い。使用バイトホルダは、MTGNR2525M16で、これにTNMA160408型チップ、あるいはTNGN160408型チップを取付け使用した。この場合の工具形状は、 $(-6^\circ, -6^\circ, 6^\circ, 6^\circ, 30^\circ, 0^\circ, 0.8mm)$ となる。なお、いずれの市販セラミックスおよびCBNの工具切れ刃には、 $(0.15mm \times 25^\circ)$ のチャンファホーニングが施されている。

使用旋盤は、無段変速装置付き昌運工作所製ST5×1000型高速精密旋盤(7.5/11kW, 8~2500rpm)である。

表3に示す切削条件で焼結鋼の外周旋削を行い、工具の摩耗状態をデジタルマイクロスコープで観察した。

Table 1 Chemical compositions (mass %) and mechanical properties

C	Ni	Cu	Mo	Others	Fe
0.3	0.8 ~ 1.3	0.2 ~ 0.5	0.2 ~ 0.4	< 0.1	Bal.
Mechanical properties		Tensile strength		Brinell hardness	
		340MPa		HB130	

Table 2 Tool materials

Tool	Substrate	Coating layer
Coated(a)	K10	TiC-TiCN-Al ₂ O ₃ -TiN*
Coated(b)	K10	TiN**
Cermet(a)	TiC-TiN-TaC-WC	-
Cermet(b)	TiC-TiN-TaC-WC	-
Al ₂ O ₃ ceramics	Al ₂ O ₃ -Ti (CN)	TiN**
Si ₃ N ₄ ceramics	Si ₃ N ₄	TiN-Al ₂ O ₃ -TiN*
CBN(a)	cBN-TiC binder	-
CBN(b)	cBN-TiN binder	-

*:CVD process **:PVD process other:Non-coated

Table 3 Cutting conditions

Cutting speed	V=1.67 ~ 5m/s
Feed rate	S=0.01mm/rev
Depth of cut	a=0.1mm
Cutting method	Dry

3. 実験結果および考察

焼結鋼を各種工具で切削を行い、工具の摩耗状態を調べた。図1に、切削速度1.67m/s、送り0.01mm/rev、切込み0.1mmの場合を示す。図1(a)に示す超硬合金P20種工具の場合、コーナ部の逃げ面は切れ刃にほぼ平行に摩耗しており、境界摩耗など特徴のある摩耗は見られない。図1(b)に示す超硬合金K10種工具の場合も、超硬合金P20種工具の場合と同様な摩耗状態であるが、切れ刃に付着物が見られる。これに対し、図1(d)に示すSi₃N₄セラミ

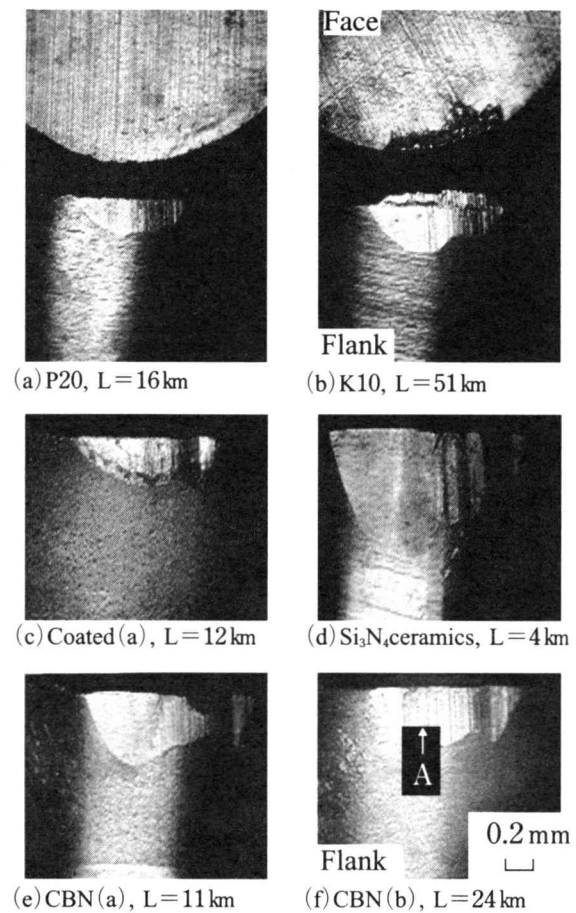


Fig. 1 Tool wear

(V=1.67m/s, S=0.01mm/rev, a=0.1mm, dry)

ックス工具の場合、切込み部に溝状の摩耗が見られる。また、図1(c)に示すコーテッド工具(a)、図1(e)に示すCBN工具(a)、図1(f)に示すCBN工具(b)の場合、切込み部の逃げ面にやや大きな境界摩耗が見られる。なお、ここでは示していないが、超硬合金工具以外の工具についてすくい面の摩耗状態を観察した結果、いずれの工具もすくい面にはクレータなど特徴のある摩耗は見られなかった。

以上のことから、使用工具によって逃げ面の摩耗状態が変化するが、いずれの工具も逃げ面摩耗が主な工具損傷である。そこで、逃げ面摩耗幅の最大値を測定した。

図2に、切削距離Lと逃げ面摩耗幅の最大値VB_{max}の関係を示す。切削速度は、1.67m/sの場合である。超硬合金K10種工具の摩耗進行が最も遅い。2種類のコーテッド工具(a)、(b)の摩耗進行は、母材である超硬合金K10種工具に比べるとかなり速い。これは、送りが0.01mm/revと小さいため、コーティング層が耐摩耗性に有効に作用せず、摩耗が大きくなったものと考えられる。2種類のセラミックス工具の摩耗進行は、急速である。さらに、2

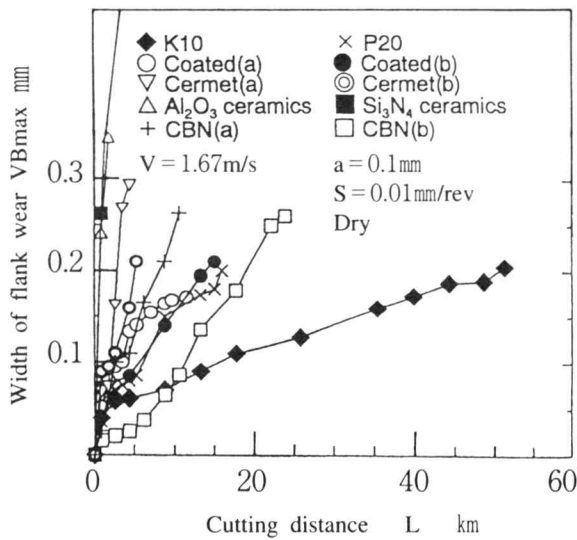


Fig. 2 Relation between L and VB_{max}
($V=1.67\text{m/s}$, $S=0.01\text{mm/rev}$, $a=0.1\text{mm}$, dry)

種類のCBN具(a), (b)の摩耗進行を比較すると, CBN工具(b)の摩耗進行がやや遅い. これは, 次の理由によると考えられる. すなわち, CBN工具(b)の結合材であるTiNの硬さは, CBN工具(a)の結合材であるTiCに比べ低い. しかし, CBN工具(b)のCBN含有量は, CBN工具(a)に比べ多い. このため, CBN工具(b)の硬さHK3300は, CBN工具(a)の硬さHK3200に比べ高いため, CBN工具(b)の摩耗進行がやや遅くなった.

次に, 切削速度を5.0m/sに大きくして, 焼結鋼の切削を行った. 図3に, 超硬合金K10種工具とCBN工具の摩耗状態を示す. 図3(a)に示す超硬合金K10種工具の場合, 逃げ面に深い溝状の摩耗が見られる. これに対し, 図3(b), (c)にそれぞれ示すCBN工具(a), (b)の場合, 切削速度1.67m/sの場合に見られた切込み部の境界摩耗は見られず, 刃先先端部の逃げ面がやや大きく摩耗している.

図4に, 切削距離Lと逃げ面摩耗幅の最大値 VB_{max} の関係を示す. 切削速度は, 5.0m/sの場合である. CBN工具以外のいずれの工具も, 摩耗進行は急速である. これに対し, 2種類のCBN工具の摩耗進行は遅い. 2種類のCBN具(a), (b)の摩耗進行を比較すると, 切削速度1.67m/sの場合と同様, CBN工具(b)の摩耗進行がやや遅い. さらに, 切削速度1.67m/sの場合と比較すると, 切削速度が大きい方が, 摩耗進行は遅い. そこで, 工具摩耗に及ぼす切削速度の影響を調べるために, 2種類のCBN工具について逃げ面の観察を行った. 図5に, CBN工具(b)における逃げ面の観察結果を示す. なお, 観察した場所は, 図1(f)および図3(c)にそれぞれ示すA, Bである. 図5(a)

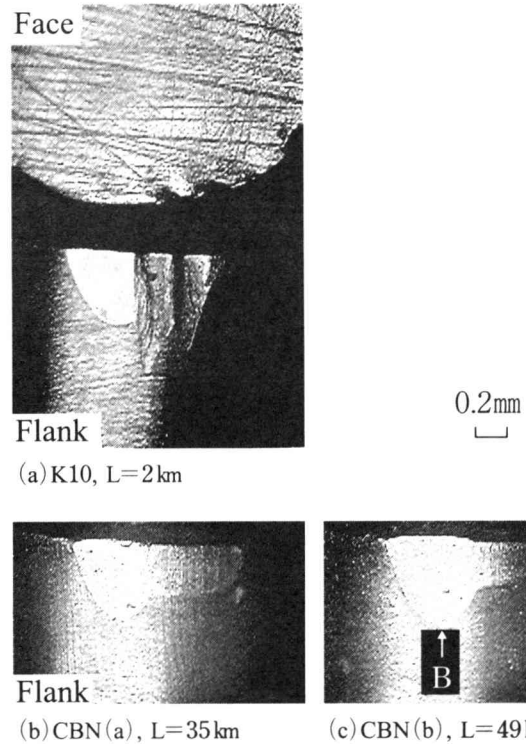


Fig. 3 Tool wear
($V=5.0\text{m/s}$, $S=0.01\text{mm/rev}$, $a=0.1\text{mm}$, dry)

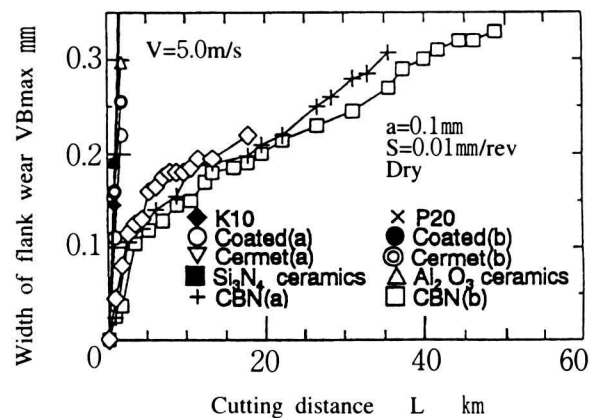


Fig. 4 Relation between L and VB_{max}
($V=5.0\text{m/s}$, $S=0.01\text{mm/rev}$, $a=0.1\text{mm}$, dry)

に示す切削速度1.67m/sの場合, ピッチが送り0.01mm程度の大きい筋が見られる. これに対し, 図5(b)に示す切削速度5.0m/sの場合, 非常に微細な引っかき痕が無数に見られる. このことから, 切削速度が小さい場合, 結合材の脱落が大きくなり, 工具摩耗が大きくなったと考えられる.

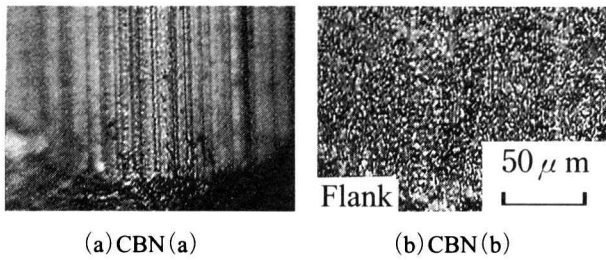


Fig. 5 Tool wear

(V=5.0m/s, S=0.01mm/rev, a=0.1mm, dry)

図6に、V-T線図を示す。工具寿命の判定基準は、 $VB_{max}=0.2mm$ とした。切削速度3.33m/s以下では、超硬合金K10種工具が、切削速度5.0m/sではCBN工具が焼結鋼の切削に有効な工具材である。とくに、CBN工具のV-T線

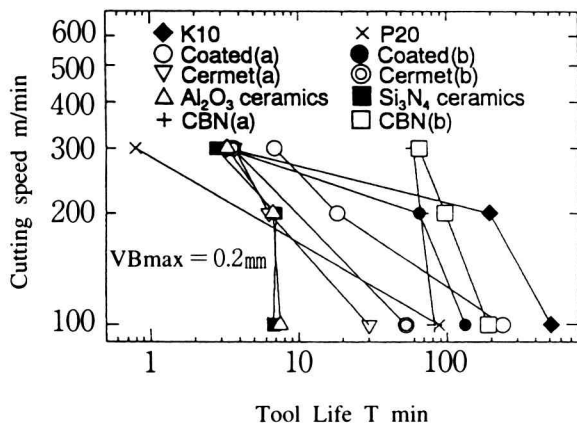


Fig. 6 V-T diagram

(S=0.01mm/rev, a=0.1mm, dry)

図の傾きが急なため、さらに高速度で切削が可能であると考えられる。

4. おわりに

本研究では、焼結鋼を各種工具で高速度切削し、主として工具摩耗を調べた。

得られた主な結果は、次の通りである。

- (1) 切削速度3.3m/s以下では、超硬合金K10種工具の摩耗進行が最も遅い。
- (2) セラミックス工具の摩耗進行は急速になる。
- (3) 切削速度5.0m/sではCBN工具の摩耗進行が最も遅い。このため、CBNは、焼結鋼の高速度切削に有効な工具材である。
- (4) TiN結合材のCBN工具の摩耗進行は、TiC結合材のCBN工具に比べ遅い。

最後に、被削材焼結鋼を提供していただきました三菱マテリアル株式会社、ならびに切削工具を提供していただきました東芝タンガロイ株式会社に、深く謝意を表します。

参考文献

- (1) 鳴瀧ら：高強度焼結鋼の被削性とその改善，精密工学会誌，61，2 (1995) 238.
- (2) 和田：焼結鋼切削時における雰囲気ガスが工具摩耗に及ぼす影響，奈良工業高等専門学校研究紀要，32，(1996) 11.

手話画像データベース検索のための動画認識

桐島 俊之 佐藤 宏介* 千原 國宏**

Motion Image Recognition for Intuitive Retrieval of Sign Language Image Database

Toshiyuki KIRISHIMA, Kosuke SATO* and Kunihiro CHIHARA**

In recent years, the importance of nonverbal communication has widely been recognized, and this has led to the increasing number of sign language learners among people in general. Many introductory books, videos, CD-ROMs, etc. are provided so as to facilitate better environment for the learning of sign language. Although it is extremely important to assure better access to the sign language vocabulary, or database, conventional approaches offer only the simple scheme of keyword-based retrieval of the database. In order to improve the interactivity and effectiveness of the searching scheme, a method which establishes more intuitive means of retrieval is proposed in this paper. Experimental results demonstrate that the proposed method realizes the motion-based retrieval of the sign language image database in realtime.

1. まえがき

近年、身体言語としての手話が広く認知されるようになり、特に、そのコミュニケーション手段としての有用性が指摘されるようになってきている。このため、市役所、銀行の窓口、さらには主要な鉄道の駅などにも手話通訳者を待機させ、耳が不自由な利用者にとって不可欠なサービスを提供する企業や官公庁の数は増加する傾向にある。このような背景から、手話学習者の数は増加の一途にあり、手話学習を支援するためのテレビ番組、書籍やビデオ、さらにはCD-ROMなどの多くのメディア教材が開発されるに至っている。CD-ROMなどの電子媒体を利用した手話学習では、手話画像データベースも構築されつつあり、初心学習者にとって手軽にアクセスできる環境が整ってきている。特に、コンピュータを利用した手話画像データベースシステムでは、従来の書籍やテレビ、ビデオを利用したシステムよりも、ランダムアクセス性、インタラクティブ性を高めることが可能であるといった特徴がある。

しかしながら、従来の手話画像データベースシステムでは、キーワードによる検索方法しか提供していないものがほとんどである。キーワードを利用する方式では、

事前にデータベースに対して人為的に付与した属性に基づく検索に限定されてしまう問題点がある。コンピュータを利用した手話画像データベースシステムの長所を最大限に発揮させるには、従来のキーワードに基づく検索方法に加えて、直接の手話動作に基づいてデータベースを検索するような手法が不可欠である。

近年、画像内容に基づく検索(Content-based Retrieval)の研究が盛んになっているが、手話画像については同一人物の多様な動作の検索を対象とするため、色情報等よりも動き情報が重要となり、従来手法では対応できない。そこで、本論文では、従来のキーワードによる検索システムとは視点を変えて、手話画像データベースシステムのより直観的な検索を可能とするための、手話動作を手がかりとした画像データベース検索手法を提案する。

2. 手話画像データベース検索

現在開発されている手話画像データベースには、主に、手話学習用のデータベースとコンピュータによる手話認識研究用のデータベースの二種類がある。前者においては、手話辞書/辞典のように膨大な語彙を収録し、その上で、手話学習者にとって利用しやすいインターフェースを備えた検索アプリケーションが附属している。一方、後者においては、手話動作をさまざまな条件下で撮影(別角度からの撮影、多眼カメラでの撮影、異なる背景や

* 大阪大学大学院 基礎工学研究科

** 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

照明下での撮影)した画像を収録し、特に検索アプリケーションは附属していないという違いがある。

従来、キーワードを用いた手話画像データベースの構築や検索についての研究はなされているが、逆に手話動作からデータベースを検索し、その動作に対応するキーワードを求めるような(電子辞書における逆引き機能に相当する)システムについてはほとんど研究されていない⁽²⁾。この理由としては、まず第一に、手話動作から検索の際に重要となる特徴を見出す手法が提案されてこなかったこと、第二に、比較的解像度が高く、かつ、即興で入力される手話画像を実時間で処理できるような手法が提案されてこなかったことが挙げられる。

一方、実際には、動画像を検索する際の手がかりは多数存在しているが、これらの手がかりは手話動作によって独立している場合もあれば、重複している場合もあるため、事前に全てを予測することはできない。もしも、このような検索の手がかり自体に内在する「曖昧な性質」を活用した検索が可能となれば、キーワードのみの検索方式をさらに補完し拡張することが期待できる。また、実世界の手話動作を手がかりとして直接手話画像データベースを検索することができれば、キーワードによる検索方式では不可能であった「直観に基づく検索」が実現可能となる。

上述の目的を達成するためには、手話画像における人物動作の分節性に対応可能な、選択的注視の枠組みが不可欠であるが、筆者らは、これまでに身振り画像認識のための基本的枠組みである多注視点身振り認識法(QVIPS)を提案し、プロトコル学習が身振り認識には有効であることを主張してきた⁽³⁾。プロトコル学習とは、身振りプロトコル(身振り認識の際に重要な役割を果たす特徴集合)に基づく認識において不可欠な学習過程であり、入力画像列からより重要な空間的特徴量のみを選択的に抽出し認識することを可能とするため、実時間での身振り認識処理に適している。本論文では、手話画像データベースの直観的検索を実現するために、多注視点身振り認識法による手話画像データベース検索手法を提案する。

3. システムの概要

提案システムは図1に示すように、パーソナルコンピュータ、画像キャプチャーカード、CCDカメラにより構成される。評価実験で使用する手話画像データベースは、あらかじめデジタルビデオカメラにより撮影し、パーソナルコンピュータ上に画像ファイル(RGB形式)として

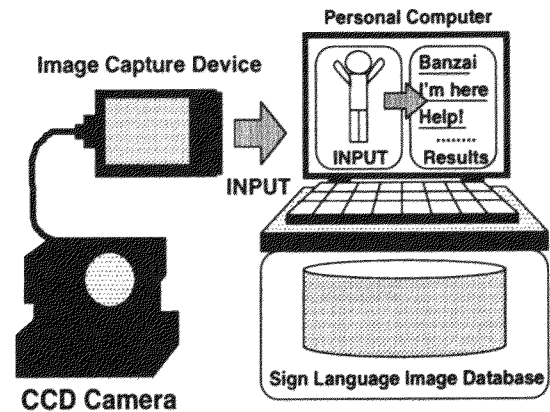


図1：システム構成

保存しておく。画像サイズは横320ドット縦240ドットで、15フレーム/秒(以降はfpsで表記)でサンプリングされる。提案システムは(1)事前に作成しておいた画像ファイルを検索用画像サンプルとして使用するモード、(2)CCDカメラの入力画像を直接検索用画像サンプルとして使用する(コンピュータの前で利用者が手話動作をする)モード、以上の二通りのモードに対応している。いずれのモードにおいても、手話画像サンプルを提案手法により学習し、手話画像データベースから検索結果のキーワードの候補を導く。

このような検索は、電子辞書などにおける逆引き検索機能に対応するため、曖昧な手話動作に対応するキーワードの検出が可能となる。具体的には、「バイバイ」というキーワードにより「手を振る動作」が出力されるのが通常の検索方式であるが、逆引き検索方式では「手を振る動作」から、キーワード「バイバイ」に加えてキーワードXXX, YYY, ZZZ, …が導かれる。

4. 手話画像の認識手法

4.1 手話画像のセグメンテーション

手話画像の認識には第2章で述べたように、動作の分節性に対応する必要があるが、本論文では図2に示すような差分画像とシルエット画像、さらにエッジ画像を利用した画像セグメンテーション手法により、人物の位置・姿勢(形状)・動作(差分領域)に関する特徴量をフレーム毎に抽出し、この問題に対処する。差分画像からは、(動的注視領域1:動作部位の形状とその重心位置)、(動的注視領域2:人物中心座標系から見た動作部位の相対的な位置とその形状)、さらに(動的注視領域5:画面内の動作部位の位置とその形状)についての特

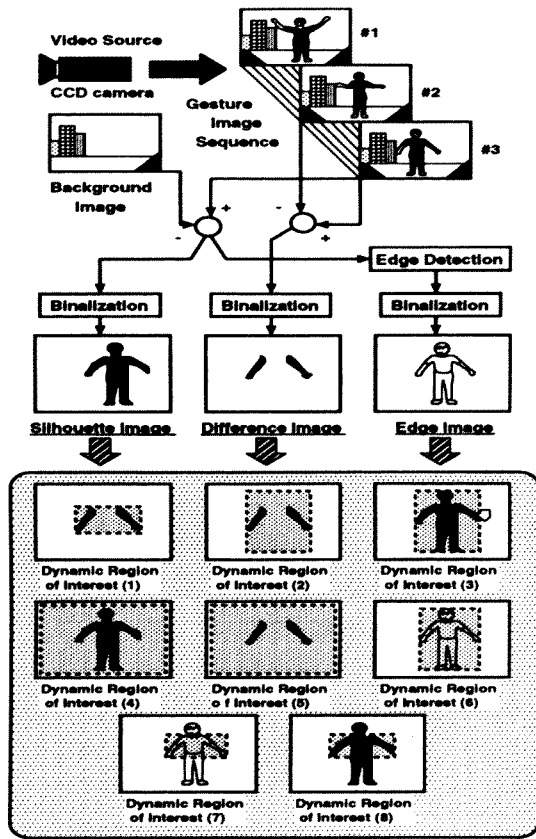


図2：手話画像のセグメンテーション手法

微量を抽出する。シルエット画像からは、(動的注視領域4：人物位置とその形状)や(動的注視領域3：人物シルエットの形状)、さらに(動的注視領域8：動作領域内のシルエット形状)についての特徴量を抽出する。エッジ画像からは、(動的注視領域6：人物輪郭の形状)、さらに(動的注視領域7：動作領域内のエッジ形状)などに関する特徴量を抽出する。以上に設定した8種類の動的注視領域はそれぞれ独立しているのではなく、通常の動作においてはむしろ重複することが多い。

4.2 任意形状特徴の表現

人物動作の特徴として「微視的な特徴から巨視的な特徴まで存在する」ことが挙げられるが、これらの特徴をテンプレート表現する場合、あらかじめテンプレートのサイズが決定できないために、照合処理が煩雑になるという問題が生じる。そこで提案手法では、微視的な特徴から巨視的な特徴までを統一的に表現するための形状特徴表現を用いる。

動的注視領域における手話画像を $f_\tau(x, y)$ ($\tau = 1, 2, \dots, N$) とする。閾値 t により手話画像 $f_\tau(x, y)$

を二値化し、得られる二値画像を $g_\tau(x, y)$ とする。 $g_\tau(x, y)$ に対する原点廻りのモーメントを $m_{p, q}$ とし、 $m_{p, q}$ により求められる重心 (a_τ, b_τ) を動的注視点とする。ここで $g_\tau(x, y)$ を (a_τ, b_τ) が原点である極座標系 $P_\tau(r, \theta)$ で表現する。角度 θ における半径 (= R) 方向のパターン分布を Ω 分割する。ここで、個々の分割領域をカーネルと呼び、その角度 θ における形状特徴量 (ガウス密度特徴) $s_\epsilon(\theta)$ ($\epsilon = 1, 2, \dots, \Omega$) を式(1)により定義する。

$$s_\epsilon(\theta) = \frac{R}{\Omega} \frac{\sum_r P_\tau(r, \theta) \exp\{-a(r-\phi)^2\}}{\sum_r P_\tau(r, \theta)} \quad (1)$$

ただし、 a は形状特徴量のユニークさに関する勾配係数であり、 ϕ は位相項である。式(1)を任意の解像度で二値画像の全周方向に適用することによりカーネル ϵ における形状特徴パターン $s_\epsilon(\theta)$ を得る。以上で定義したガウス密度特徴を用いて(1)回転に依存するが大きさには依存しない形状特徴(2)回転と大きさに依存する形状特徴(3)回転と大きさに依存しない形状特徴(4)回転には依存しないが大きさには依存する形状特徴、以上の4通りの形状特徴を求める。これらの特徴量を各動的注視領域について求めることにより、32通りの注視点に対応した形状特徴パターンを抽出する。

4.3 手話画像の学習と認識

各手話画像から抽出される32通りの注視点に対応した形状特徴パターンと手話画像のフレーム番号 (位相値) を標準パターンとして登録する。標準パターン (パターン番号 g , 注視点番号 l) に登録されている形状特徴パターンを $K_l^{(g)} = (K_{1l}, K_{2l}, \dots, K_{\epsilon l}, \dots, K_{\Omega l})^t$ と表す。ここで、 $K_{\epsilon l} = (s_{1l}(\theta), s_{2l}(\theta), \dots, s_{\Omega l}(\theta))^t$, $\theta = \frac{2\pi \epsilon}{\Omega}$ である。標準パターンの一貫性を保証するために、各手話クラスにつき一動作分の手話標準パターンを登録する。

さて、現在入力されている手話画像の注視点 l における形状特徴パターンを $T_l = (T_{1l}, T_{2l}, \dots, T_{\epsilon l}, \dots, T_{\Omega l})^t$ とし、対応する認識ユニット (認識ユニット数は注視点数と等しい) に入力した際の T_l と標準パターン $K_l^{(g)}$ との距離 $d_l^{(g)}$ を式に(2)により定義する。

$$d_l^{(g)} = \sum_{\xi=1}^{\Omega} \|T_\xi - K_\xi\| \quad (2)$$

ここで Θ は解像度、 g は任意の標準パターン番号である。手話クラス i の標準パターンにおいて $d_l^{(g)}$ を最小とする

標準パターンの番号を k_i とすると、注視点 l 、手話クラス i における入力手話画像 (フレーム番号 f) に対する類似度 $S_{lf}^{(i)}$ は式(3)により定義することができる。

$$S_{lf}^{(i)} = 1 - \frac{d_l^{(k_i)}}{\text{Max}(d_l^{(g)})} \quad (3)$$

この段階で得られる類似度の多次元時系列パターン $X_l^{(i)} = (S_{11}^{(i)}, S_{12}^{(i)}, \dots, S_{k_i}^{(i)})'$ を活性化マップ (Activation Map) と呼ぶことにする。つぎに、プロトコルベースの学習/認識処理について述べる。手話クラス i 、注視点 l における活性化マップが、 $X_l^{(i)} = (S_{11}^{(i)}, S_{12}^{(i)}, \dots, S_{k_i}^{(i)})'$ により与えられる際、 $X_l^{(i)}$ の平均 $\mu_l^{(i)}$ 、分散 $\sigma_l^{(i)}$ を求め、注視点重み $\omega_l^{(i)}$ を式(4)により定義する。

$$\omega_l^{(i)} = \frac{\mu_l^{(i)}}{\sigma_l^{(i)} + \alpha} \quad (4)$$

ここで α を注視点強調係数とし、 α が小さい程分散 $\sigma_l^{(i)}$ が $\omega_l^{(i)}$ に大きな影響を与えるようにする。また、類似度が安定している程 $\sigma_l^{(i)}$ は小さくなり、 $\omega_l^{(i)}$ は大きく設定される。プロトコル学習には、活性化マップ $X_l^{(i)}$ をプロトコルデータ $M_l^{(i)} = (M_{11}^{(i)}, M_{12}^{(i)}, \dots, M_{im}^{(i)})'$ として登録するのみでなく、各注視点における注視点重み $\omega_l^{(i)}$ を産出し登録しておく。一方、プロトコルベースの認識処理では、プロトコルデータ $M_l^{(i)}$ の各要素の分布型がガウス分布に従うものと仮定し、手話画像 (フレーム番号 f 、活性化マップ $X_l^{(i)}$) が入力された場合の評価値 $E_f^{(i)}$ を、

$$E_f^{(i)} = \sum_{l=1}^L \sum_{m=1}^M \exp \left\{ -\beta (S_{lf}^{(i)} - M_{lm}^{(i)})^2 \right\} \quad (5)$$

により定義する。 β は分離係数であり、 β が大きい程類似度要素間の影響が小さくなる。さて、 N フレームの手話画像系列が入力された際の平均化累積評価値 $E^{(i)}$ を、

$$E^{(i)} = \frac{W_i \sum_{n=1}^N E_n^{(i)}}{N} \quad (6)$$

により定義する。ここで W_i は各手話クラスに与える重みであり、全注視点数を L とした場合、

$$W_i = \frac{L}{\sum_{l=1}^L \omega_l^{(i)}} \quad (7)$$

により定義する。式(7)により、プロトコル学習の結果、注目すべき注視点が決まっている程、クラス重み W_i は大きく設定される。なお、平均化累積評価値 $E^{(i)}$ が最大になる手話クラス C に、入力された手話画像は属するものと判定する。

5. 評価実験

提案手法をC言語を用いてPC-UNIX上に実装した後、評価実験を行った。本実験では検索対象の手話画像サンプルを手話画像データベースから呼び出すため、CCDカメラからの検索性画像入力モードは利用せずに行う。手話画像データベースとしては、文献(1)を参考にして64種類の手話動作を撮影し記録したオリジナル版を使用し、勾配係数 $a = 5.0$ 、カーネル数 $\Omega = 1$ 、注視点強調係数 $\alpha = 0.1$ 、分離係数 $\beta = 500$ と設定して評価を行う。処理対象の手話画像サンプルは横80ドット縦60ドットの解像度に変換された後、オンラインで処理される。手話画像データベースに登録されている画像の総枚数は867枚であり、1手話動作は平均14枚の濃淡画像により構成されている。なお、参考のために本実験で利用した主な手話単語のイラストを図3に示す。

5.1 単一手話動作の逆引き検索

本節では、手話画像データベースの中から任意の手話画像サンプルを選び、提案手法によりプロトコル学習させた後、データベース全体の検索を実行した際に得られた結果とその考察を示す。本実験では、具体的手話画像サンプルとして「バイバイ」「情報」の二種類を用いた。検索の結果得られた候補 (上位5番までと下位5番以降) とその評価値を表1に示す。また、各手話画像サンプルの画像枚数と検索所要時間、平均検索速度を表2に示す。表1の「バイバイ」の結果を見ると、「バイバイ」と同じく片手を振る動作である候補 (図3のイラスト

表1：単一手話動作の逆引き検索結果

「バイバイ」					
No	単語名	評価値	No	単語名	評価値
1	バイバイ	36.00	60	晴れ	2.35E-2
2	任す	3.98	61	驚く	2.22E-2
3	上手	3.16	62	手を引く	2.15E-2
4	OK	3.02	63	青年	2.11E-2
5	姉	2.74	64	騙される	0.31E-2
「情報」					
No	単語名	評価値	No	単語名	評価値
1	情報	35.55	60	祝福	2.89E-5
2	一生懸命	0.035	61	晴れ	1.93E-5
3	頭に来る	0.034	62	浮気	1.26E-5
4	結婚	0.030	63	楽しい	0.31E-5
5	学校	0.024	64	わがまま	0.02E-5



図3：手話画像データベースへの収録対象とした手話単語例（イラストは全て文献(1)より引用）

表2：各単一手話動作における検索性能

単語名	画像枚数	所要時間 (s)	検索速度 (fps)
バイバイ	10	15.16	57.16
情報	11	15.80	54.86

トを参照)が検索されている(「OK」と「姉」も片手を振る動作である)。「情報」についても動作が類似している手話単語のキーワードが検索されていることが分かる。また、表2に示すように、両実験共に平均検索速度が50 (fps) を超えており、ビデオレート (30 (fps)) を大きく上回る速度で画像データベースを検索することが可能であることが分かった。

5.2 複数手話動作のプロトコル学習による逆引き検索

本節では、複数の手話動作を同一の手話クラスとしてプロトコル学習をさせた際の検索結果とその考察を示す。手話動作「バイバイ」と「ダメ」を提案手法によりプロトコル学習させた後、手話画像データベース全体の検索を行った。なお、手話標準パターンには「バイバイ」の手話画像サンプルを使用した。検索の結果得られた候補(上位5番までと下位5番以降)とその評価値を表3に示

表3：複数手話動作の逆引き検索結果(プロトコル学習)

「バイバイ」+「ダメ」					
No	単語名	評価値	No	単語名	評価値
1	バイバイ	58.8	60	集まる	22.9
2	ダメ	40.1	61	ご無沙汰	22.4
3	上手	33.0	62	強い	21.3
4	空	31.7	63	飲む	20.3
5	台風	30.9	64	平等	20.2

す。本実験での検索所要時間は15.35 (s)、平均検索速度は56.49 (fps) であった。「バイバイ」は右手を振る動作、「ダメ」は左手を振る動作として登録されているが、これらを同一の手話クラスとしてプロトコル学習をさせた結果、表3に示すように片手を振る動作である「上手」と「空」が上位にランク付けされている。この結果は、提案手法による「この場合は片手を振る動作が重要である」という推論の後に検索が実行されたことを示している。また、この実験により、提案手法は1手話動作の標準パターンのみで複数手話動作の逆引き検索を可能とし、その際の検索時間は一定であることが示された。

表4：有効注視点数を変えた場合の逆引き検索結果

有効注視点数=24			有効注視点数=16		
No	単語名	評価値	No	単語名	評価値
1	バイバイ	27.00	1	バイバイ	18.00
2	任す	3.98	2	任す	2.55
3	上手	3.16	3	OK	2.40
4	OK	3.02	4	上手	2.14
5	姉	2.74	5	姉	2.07

有効注視点数=8			有効注視点数=1		
No	単語名	評価値	No	単語名	評価値
1	バイバイ	9.00	1	バイバイ	1.125
2	任す	2.55	2	飲む	4.83E-2
3	OK	2.40	3	強い	4.04E-3
4	上手	2.14	4	集まる	4.04E-3
5	姉	2.07	5	つまり	0.59E-3

5.3 有効注視点数を変えた場合の逆引き検索

本節では、有効注視点数を変化させた（これまでの実験では有効注視点数を32に固定）際に生じる検索結果の変化について報告する。手話動作「バイバイ」の画像サンプルを提案手法によりプロトコル学習させた後、有効注視点数を {24, 16, 8, 1} の4通りの場合で手話画像データベース全体の検索を行った。なお、有効注視点数が32の場合は、表1と表2における「バイバイ」の結果と同一であるため、その結果を参照する。各有効注視点数における検索結果（上位5番までの候補と評価値）を表4に、検索所要時間と平均検索速度については表5に示す。表4に示すように有効注視点数が {24, 16, 8} においては順位が変化しても同じ候補で占められているが、有効注視点数が1となると候補の内容は大きく変化している。前者の場合は複数の注視点を考えている一方で、後者の場合では差分領域の形状に関する注視点しか考慮されていないことが、この変化の原因であると考えられる。また、この結果は、手話動作「バイバイ」の逆引き検索では有効注視点数が8程度で十分であることを示している。さらに、有効注視点数が1の場合においても妥当な検索結果が得られており、その場合の検索速度は有効注視点数が32の場合の3.6倍にも達する（この場合、1分間当たり約1万2千枚の手話画像（約7分相当のビデオレート動画像）を処理可能）利点もある。以上の結果は、検索の際に使用する有効注視点は多い程良いという

表5：有効注視点数を変化させた場合の検索性能

有効注視点数	所要時間 (s)	検索速度 (fps)
32	15.16	57.16
24	12.94	67.00
16	9.49	91.37
8	6.06	143.00
1	4.23	205.02

ことではなく、組み合わせ次第では検索結果は変化し、さらに、検索結果の妥当性には利用者の判断の余地が存在することを示している。

6. まとめ

本論文では、手話動作からプロトコル情報を抽出し、これに基づいて画像データベースを検索する手法を提案した。提案手法は、単語キーワードが不要であるため、手話画像データベースの検索を直観的に行うことが可能である。評価実験の結果からも明らかであるように、提案手法は画像の検索を柔軟かつ高速に行うことが可能であり、手話画像データベースの検索に有効である。しかしながら、現状ではプロトコル学習による検索結果が利用者にとって直観的に納得できるものとなっているのかを評価し判定する方法が明らかでない問題点がある。また、提案手法では従来のデータベース検索/構築技術を十分に活用しているとは言い難く、これらの技術と提案手法との融合により、今後は一層効果的な検索システムを追求して行く必要がある。

参考文献

- (1)伊藤政雄, 竹村茂: “手話入門—ふれあいの言葉—” 1995, 廣済堂
- (2)全日本聾唖連盟日本手話研究所編: “日本語—手話辞典” 1997, 財団法人全日本聾唖連盟出版局
- (3)桐島俊之, 佐藤宏介, 千原國宏: “プロトコル学習による身振りの実時間画像認識” 電子情報通信学会論文誌D-II, Vol.J81-D-II, No.5, May, 1998, pp.785-794

風景の識別と空間周波数に関する考察

土井 滋貴

Discrimination of Landscape Image based on spatial frequency

Shigeki Doi

一般的に風景や景観を考えると、人は空や森、木や花といった自然なカテゴリと都市や工場、ビルや機械といった人工物のカテゴリを容易に見分けることができる。しかしその視覚的な物理量は何かと問われると明快に答えることが難しい。本稿ではこの2つのカテゴリを「自然風景」と「人工風景」と名付けてその物理的特徴の違いを考察する。

いくつかの解析の結果、画像の方向性に最も違いが現れることが分かった。

1. はじめに

人にとっての快適性を様々な角度からとらえる「快適科学」あるいは「環境科学」は、きんねん盛んに研究されており、そのアプローチも工学だけでなく心理学、認知科学、生理学など多種多様にわたる(1)(2)。

生活環境における快適性を考えてみると、たとえば殺風景なオフィスに観葉植物や花などを置くことによって、そのオフィスの雰囲気心が心地よくなることを誰もが経験的に知っている。この現象は観葉植物や花が絵に描かれたものや写真でも同様の効果があり、視覚的な要素が大きく作用していることが推測される。

そこで、環境における快適性を考える1つの方針として、これらの環境要素を目から入る画像と考え、その画像の特徴量と快適性の関係を分析する手法が有用である。本稿ではその第一ステップとして「自然風景」と「人工風景」について考察する。

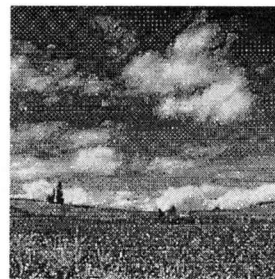
2. 自然風景と人工風景

本稿では風景画像を図1(a)のような雲や樹木、花、山など自然物の風景画像を「自然風景」と定義し、図1(b)のようなビルや道路など人工的な建造物の風景画像を「人工風景」と定義する。

これらの風景を図2の様に単純化して考えると、自然風景と人工風景の間には画像の規則性の違い、画像の方

向性の違い、画像が含む直線成分の多さの違いがあると推測できる。

そこで、これらの推測に基づいて風景画像の特徴量の抽出を行い、自然風景と人工風景の間において、抽出した特徴量の差が見られるかを評価する。

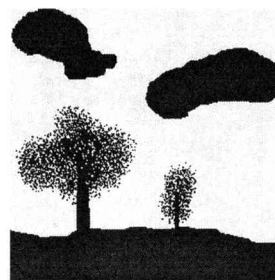


(a)自然風景

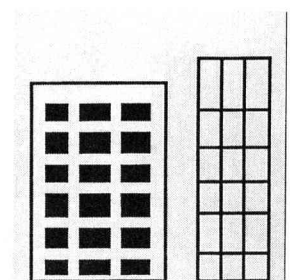


(b)人工風景

図1 自然風景と人工風景



(a)自然風景



(b)人工風景

図2 単純化した自然風景と人工風景

3. 風景画像が持つ特徴

画像の特徴の抽出法には様々なものがあるが、その中でも画像濃度の平均や分散は、簡単に計算できる。最初に、風景画像と1次微分画像の濃度に関する特徴量を計算し、自然風景と人工風景の間に差が生じるかを調べる。

サンプルデータとして図3に示すような、自然風景5種類、人工風景5種類を用いた。結果のグラフを図4～6に示す。結果から分かるように原画像そのものの濃度については、平均・分散共に自然風景・人工風景間で差は見られない。1次微分画像の濃度の平均値は、若干の差が見られる。また、分散を見てみると「ユングフラウ」の様に自然風景にも関わらず、人工風景に近い特徴が得られている。

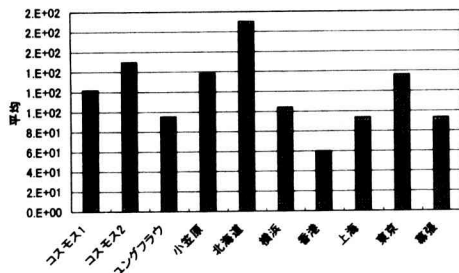


図4 原画像平均

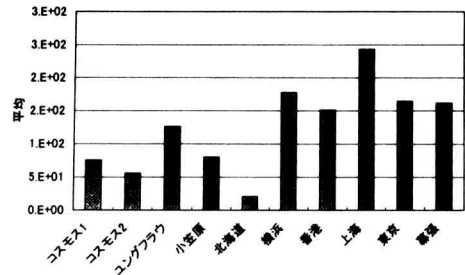


図6 1次微分平均

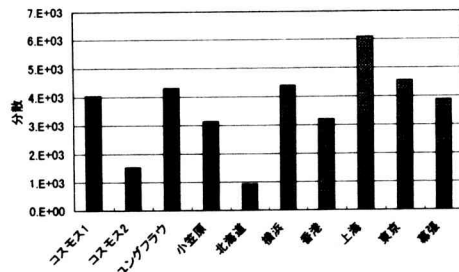


図5 原画像分散

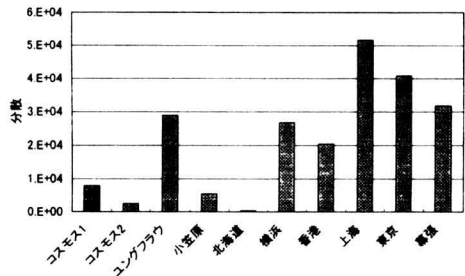
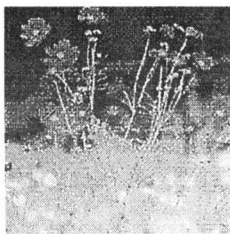
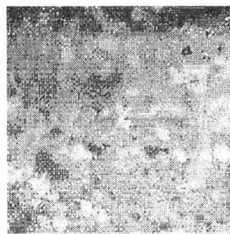


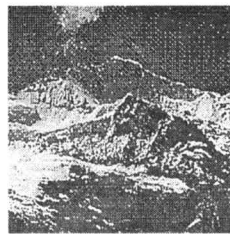
図7 1次微分散



コスモス 1



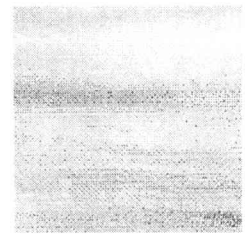
コスモス 2



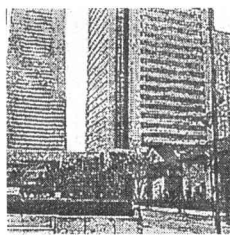
ユングフラウ



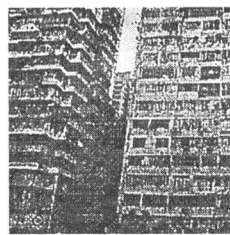
小笠原



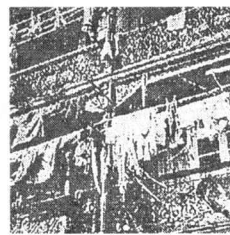
北海道



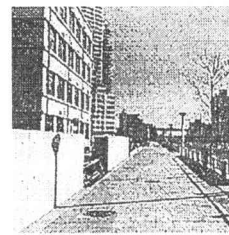
横浜



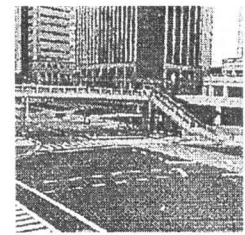
香港



上海



東京



幕張

図3 自然・人工風景画像

(256×256ピクセル、256階調グレースケール) 上段：自然風景 下段：人工風景

4. 空間周波数の特徴

図3に示したサンプルデータに対して2次元フーリエ変換を行い、得られた結果（パワースペクトル）の特徴を検討する。得られた各周波数成分の値を、対応する画素の濃度と考えることによって、画像としての側面からの特徴抽出を行う。図8にサンプルデータのパワースペクトルを示す。図8のパワースペクトル画像について、3章と同様に濃度平均と分散を計算する。

パワースペクトル画像の濃度平均が大きいたうことは、原画像に含まれる周波数成分が低周波から高周波に渡って多く存在しているような、はっきりとした画像であることが考えられる。また、パワースペクトル画像の濃度分散は空間周波数の振幅値のばらつきを示しており、これが大きいと、その原画像はある決まった周期を持つ画像であると考えられる。逆にこれが小さいと、どの周波数成分も同じように存在していることになる。

パワースペクトル画像の濃度平均と分散を計算した結果を図9、図10に示す。結果より、人工風景の方が濃度平均、分散ともに大きな値を示す傾向があることがわかる。

5. 方向特徴

図8をよく見ると人工風景には中心から放射状の線が観測される。この線は画像がある方向に対して強い振幅、つまり模様を持つことを表している。自然風景にはそのようなものは見つけられない。つまり人工風景には方向

性があることが推測される。

そこでこの方向性の強さを抽出するために、図11に示す扇型のフィルタを考えそのフィルタで制限されるスペクトルのパワーの分散について計算を行う。

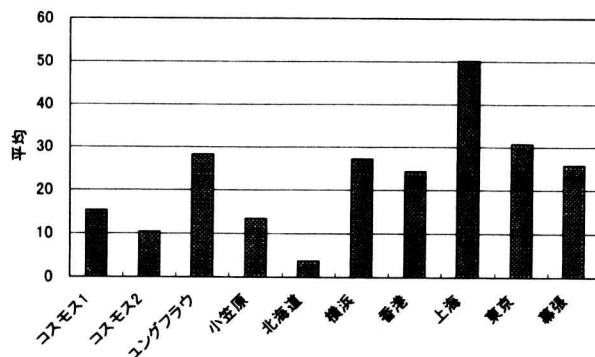


図9 パワースペクトルの平均

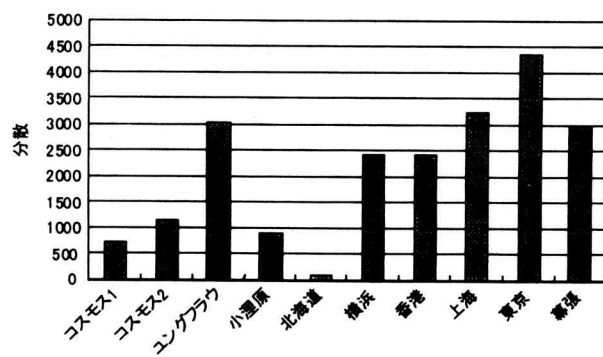


図10 パワースペクトルの分散

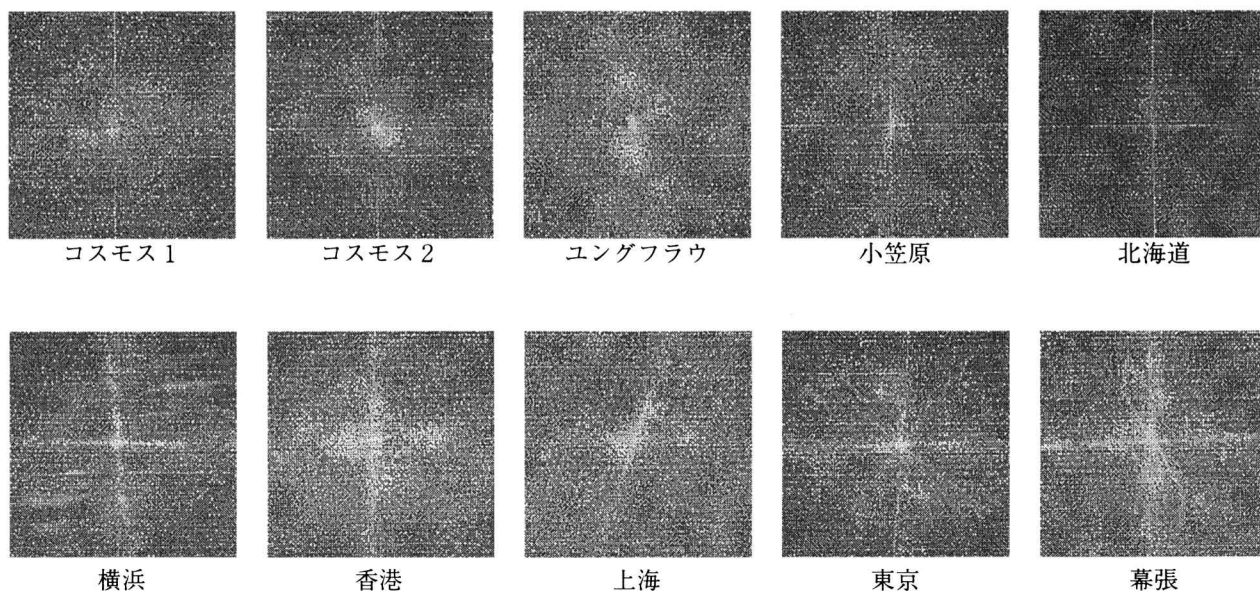


図8 サンプル画像のパワースペクトル

その結果を図12に示す。図12を見るとこれまでの特徴量よりもはっきりと自然風景と人工風景との間に違いがあることが分かる。

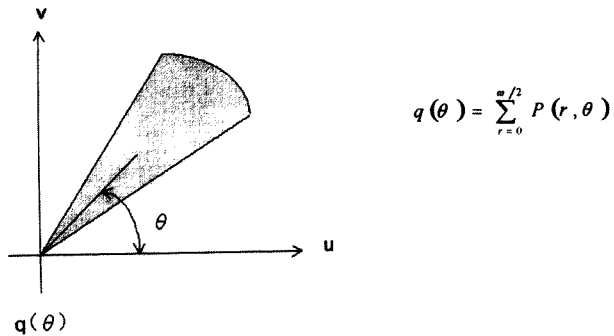


図11 扇形フィルタ

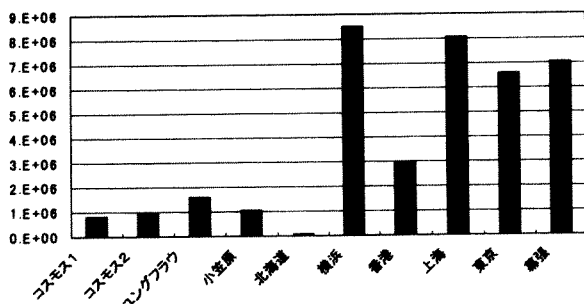


図12 フーリエ特徴 $q(\theta)$ の分散

6. おわりに

「自然風景」と「人工風景」についていくつかの特徴量を調べた。その結果「自然風景」と「人工風景」ではその画像の方向性に最も違いが現れることがわかった。

謝辞：本研究の一部は奈良工業高等専門学校、川端克昌君、同専攻科上田悦子君の平成10年度卒業研究および特別研究として行われた。両君に感謝いたします。

参考文献

- (1) 長尾三生：“快適科学”、海文堂
- (2) 大野秀雄・他：“快適環境の科学”、朝倉書店
- (3) 上田悦子、土井俊介、土井滋貴：“モルフォロジーフィルタを用いた風景画像の解析”、信学技報 PRMU98-210 (1999-01), PP.135-142

ストロークに現れる個人性の分析

中村 善一・菊山 善伸*

An Analysis of Individual Characteristics Appeared in Strokes
While Writing Japanese Characters

Yoshikazu NAKAMURA and Yoshinobu KIKUYAMA

オンライン筆者照合の基礎的な研究として、日本語手書き文字のどのようなストロークに個人性が現れ易いのかを分析、検討した。まず、ストロークの個人性を表す特徴として、ストロークの形状と運筆（ペンの速さと方向）を反映する速度ベクトル図を提案する。次にストローク毎に平均速度ベクトル図を求め、これと個々の速度ベクトル図の差を個人性評価のための特徴量として、一元配置分散分析と多重比較を行う。被験者20人から収集したひらがな、カタカナデータ（92文字×10個×20人）について分析を行った結果、全てのストロークに個人間で有意な差があった。特に「メ・1画」などの左下方向ストロークに個人性が現れ易く、逆に、「コ・2画」などの横ストロークに個人性が現れ難いことが明らかになった。また、カタカナのストロークの方がひらがなのストロークよりも個人性が現れ易い、ストロークの長短により個人性が左右されることはない、という結果が得られた。

1. まえがき

近年、社会の情報化が急速に進み、自動化された迅速かつ正確な個人識別技術へのニーズが拡がりを見せている。しかし、現在よく使われている方法は、暗証番号、パスワード、IDカードなどであり、これらの方法は盗難や紛失、また忘れるなどの問題点を抱えている。そこで、本人固有の身体特徴や動作の特徴といった生体情報（バイオメトリックス）を利用した個人識別技術の確立が期待されている [1] [2]。バイオメトリック個人識別の一つとして筆跡に個人性が現れることを利用した筆者照合があり、署名照合を中心に数多く研究されている [3] [4] [5]。

筆者照合の研究は、照合方法の確立、照合率の向上が主な目的で行われてきた。しかし、手書き文字のどのような部分に個人性が現れるのかという立場からの基礎的な研究はほとんどなされていないのが現状である。

そこで、本研究ではオンライン筆者照合の基礎的な研

究として、タブレットより入力した日本語手書き文字のどのようなストロークに個人性が現れ易いのかを分析する。特にストロークに注目した理由は、欧米では署名や単語などが続け字で書かれることが多いのに対して、日本語では1画1画丁寧に楷書体で書かれることがあげられる。すなわち、手書きされた日本語文字はストロークに分解可能であり、従って、ストロークを分析することで、個人性の現れ易い、あるいは現れ難いストロークを明らかにできれば、それを利用することで個人性の現れ易い文字の推定や、ストロークの重み付けによる照合率の向上などが期待できる。

分析を行うのは、ひらがなとカタカナである。ここで、漢字を対象としないのは、その数の多さによる分析の困難さと、漢字のストロークとカタカナのストロークはよく似ており、カタカナの分析結果を漢字に反映できると考えるからである。分析の方法は、個人間に有意な差があるかどうかを検討するため、一元配置分散分析と多重比較を用いる。また、分析の対象となるストロークの個人性を表す特徴として、ストロークの形状と運筆（ペン

*日本電気システム建設（平成11年度電子情報工学専攻修了生）

の速さと方向)を表す速度ベクトル図を提案する。

以下、分析に用いるデータ、速度ベクトル図の定義、分析の方法、分析結果と検討について述べる。

2. 分析に用いるデータ

日本語文字には、ひらがな、カタカナ、漢字の3種類がある。しかし、この3種類の中で桁違いに数が多い漢字を分析するのは非常に困難である。そこで、日本特有の文字であり数が少ないひらがな、カタカナを分析することにする。また、カタカナは漢字とよく似たストロークを含んでおり、分析結果が漢字にも適用できるものと考えられる。

分析に用いるデータは、被験者20人(本校学生)から収集した。被験者には、ひらがな、またはカタカナで構成された単語を筆記してもらう。単語を用いた理由は、同じ文字を連続して並べて書くことによる被験者の負担を軽減し、より自然な筆跡を得るためである。収集は8回に分けて行い、1回に約50単語を筆記してもらう。これにより、1人当たり、ひらがな、カタカナ各46文字について10個以上(分析には、この内の10個を用いる)のデータを得ることができる。

データ収集は、タブレット上にA4サイズのデータシートを固定し、15mm×15mmの枠の中に一文字ずつシャープペンシル芯の電子ペンで筆記してもらうことで行った。データシートへの筆記例を図1に示す。

タブレットからは、サンプリング速度6ms/point、分解能0.1mm/pointでペンの座標位置とペンのアップ・ダウン情報が得られる。

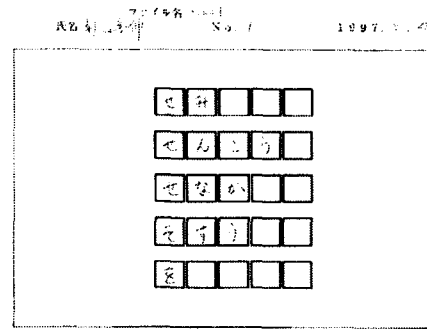


図1 収集データの例

3. ストロークの速度ベクトル図

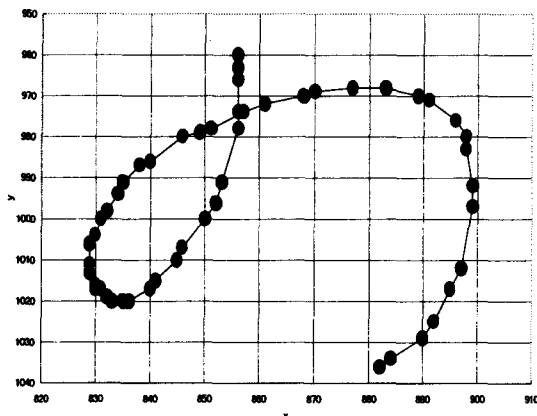
ストロークの個人性を表す特徴として、運筆とストロークの形状が考えられる。そこで、この2つを同時に表す特徴として速度ベクトル図を定義する。以下に速度ベクトル図の作成手順を示す。

(1) サンプリング点数の正規化

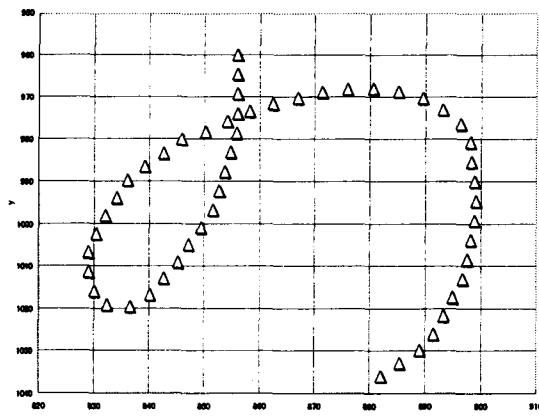
ペンのアップ・ダウン情報に基づいてストロークに分解した後、ストロークを等長に再サンプリングする。このとき、サンプリング点数を同一ストロークの全データの平均値に正規化する。図2に正規化前と後のストロークの例を示す。

(2) 速度ベクトルの抽出

速度ベクトルとは、サンプリング点毎のペンの速さと方向を示すもので次のように求める。



正規化前 サンプリング点数 51



正規化後 サンプリング点数 52

図2 サンプリング点数の正規化例 (あ・3画)

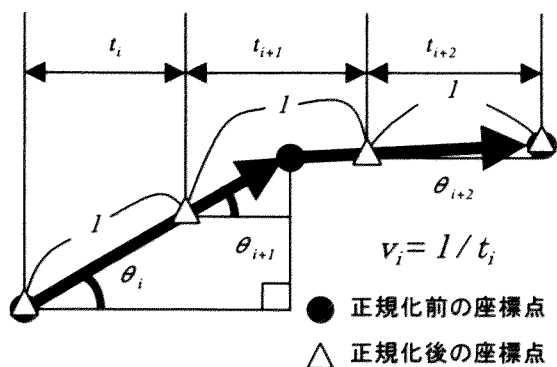


図3 速度ベクトル抽出の概略

サンプリング点数の正規化処理によりサンプリング点間の距離 l は一定である。そして、 i 番目と $i+1$ 番目のサンプリング点間のサンプリング時間 t_i は、サンプリング点間のペンの動きは等速であると仮定して、正規化前のサンプリング時間と座標位置、正規化後の座標位置から計算する。よって、速度ベクトルの速さ成分 v_i は(1)式により定義される。

$$v_i = l/t_i \tag{1}$$

また、速度ベクトルの方向成分 θ_i は i 番目のサンプリング点での正規化前の方向を採用する。図3に速度ベクトル抽出の概略を示す。

(3)速度ベクトル図の作成

抽出した速度ベクトルの始点と終点を順につなぎ合わせていきストロークを再構築する。これを速度ベクトル図と定義する。実際に速度ベクトル図を作成した例を図4に示す。

速度ベクトル図は、ストロークの形を速度で重み付けしたパターンと考えることができる。

4. 分析方法

ストローク単位の個性の現れ方を評価するため一元配置分散分析と多重比較を行う [6]。なお、ここで使用した多重比較はTUKEY法である [6]。

分散分析は水準間 (ここでは個人間) に差があるかどうかを検定するものである。その検定統計量 F は水準間と水準内の不偏分散の比であり、 F の値の大小により個人間の差を評価する。また、多重比較は2つの水準の差を同時に検定するものであり、ここでは被験者20人の内どの被験者間で有意な差があるかを評価する。

速度ベクトル図そのものを分散分析と多重比較の対象とはできないので、速度ベクトル図を基にストロークの

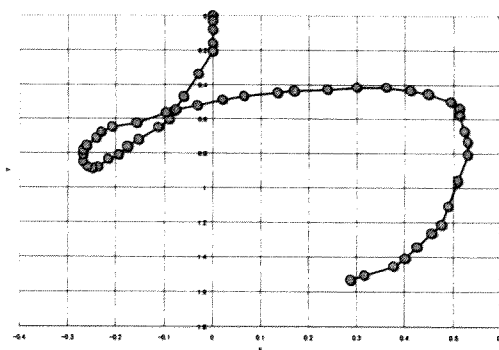


図4 速度ベクトル図の例 (あ・3画)

個性を表すと考えられる特徴量を次のように求める。まず、平均速度ベクトル図を作成する。平均速度ベクトル図は、各ストローク毎に被験者20人分の全データについて速度ベクトルの平均値を計算し速度ベクトル図を求めたものである。この平均速度ベクトル図と個々の速度ベクトル図との差を分散分析と多重比較の対象とし、その値 T を(2)式で求める。

$$T = \sum_{i=1}^s |d_i| \tag{2}$$

ここで、 d_i は図5に示すように平均速度ベクトル図と個々の速度ベクトル図の始点を合わせたときの対応する各速度ベクトルの差であり、 s はストロークのサンプリング点数である。

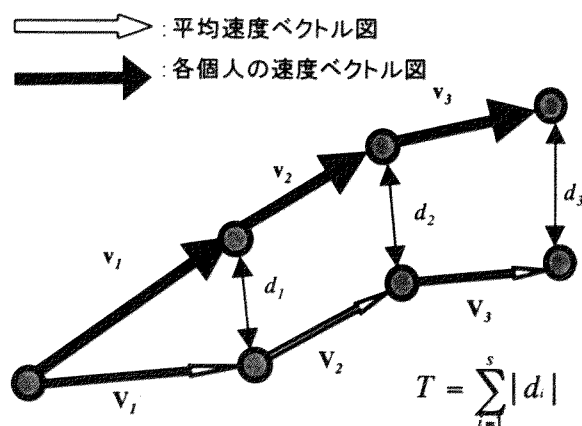


図5 分散分析に用いる値 T

5. 分析結果と検討

5.1 分析結果

分散分析の結果、ひらがな、カタカナ共に全てのストロークにおいて F の値が有意水準 1% に対応する値 2.008

より大きくなり個人間に有意な差が見られた。表1、表2にFの値の上位と下位10位までを示す。

また、多重比較の結果、1被験者当たり他の被験者19人中何人と有意な差(有意水準1%)があったかの平均値の上位と下位10位までを表3、表4に示す。

5.2 分析結果の検討

まず、ストロークの形状による個人性の現れ方について検討する。

「メ・1画」「サ・3画」「チ・1画」「チ・3画」「ソ・2画」「ル・1画」「ア・2画」などのカタカナの右斜め上から左下へ向かうストローク(以後、左下方向ストロークと記述)が分散分析、多重比較とも上位10位の半数以上を占めている。これは、左下方向ストロークに個人性が現れ易いことを示していると考えられる。

また、カタカナ「コ・2画」「ニ・1画」「ニ・2画」「モ・1画」「ユ・2画」「キ・1画」「エ・1画」「ヨ・2画」「ロ・3画」などと、ひらがな「き・1画」「き・2

画」「け・2画」「あ・1画」「は・2画」「こ・1画」「さ・1画」「た・1画」などの横ストロークが、分散分析、多重比較とも下位10位のほとんどを占めている。これは、横ストロークに個人性が現れ難いことを示しているといえる。

さらに、字種やストロークの長短による個人性の現れ方について検討する。

表1、2より、カタカナはひらがなよりも全体的にFの値が高く、また、表3、4より、被験者同士に有意な差が現れ易いといえる。このことより、カタカナのストロークの方がひらがなのストロークより個人性が現れ易いと考えられる。

ストロークの長短については、「よ・1画」「や・2画」「な・3画」などの短いストロークが上位10位以内に入っており、ストロークの長さにより個人性の現れ方が左右されるということではなかった。その中でも「よ・1画」のFの値が特に大きいのは、通常左から右へ書くストロークを右から左へ書く被験者がいたからである。

表1 分散分析結果(ひらがな)

順位	ストローク(画)	Fの値	順位	ストローク(画)	Fの値
1	よ・1	77.165	94	て・1	2.767
2	や・2	41.034	95	き・1	2.676
3	へ・1	26.326	96	き・1	2.424
4	な・3	19.875	97	こ・1	2.289
5	み・1	18.913	98	は・2	2.219
6	に・3	18.033	99	あ・1	2.202
7	や・3	16.569	100	け・2	2.185
8	こ・2	16.560	101	ね・1	2.183
9	ゆ・1	16.124	102	き・2	2.063
10	る・1	16.002	103	く・1	2.039

表2 分散分析結果(カタカナ)

順位	ストローク(画)	Fの値	順位	ストローク(画)	Fの値
1	メ・1	51.654	98	ロ・3	5.795
2	サ・3	48.438	99	ヨ・2	5.691
3	サ・2	36.990	100	ニ・2	5.635
4	チ・1	34.027	101	エ・1	5.511
5	へ・1	32.941	102	キ・1	5.278
6	ソ・2	26.104	103	ユ・2	5.244
7	ヒ・2	25.137	104	タ・3	5.134
8	ル・2	23.075	105	モ・1	5.069
9	ル・1	22.536	106	ニ・1	5.036
10	ワ・2	22.469	107	コ・2	4.527

表3 多重比較結果 (ひらがな)

順位	ストローク(画)	差(人)	順位	ストローク(画)	差(人)
1	や・2	8.2	94	た・1	0
2	に・3	6.2	94	き・1	0
3	る・1	5.9	94	さ・1	0
4	い・1	5.8	94	こ・1	0
5	よ・1	5.5	94	は・2	0
5	ゆ・1	5.5	94	あ・1	0
7	こ・2	5.3	94	け・2	0
8	な・3	5.1	94	ね・1	0
9	な・2	5.0	94	き・2	0
9	わ・2	5.0	94	く・1	0

表4 多重比較結果 (カタカナ)

順位	ストローク(画)	差(人)	順位	ストローク(画)	差(人)
1	メ・1	10.1	97	ロ・3	1.8
2	へ・1	9.3	99	ニ・2	1.6
3	ヒ・2	8.7	100	ヨ・2	1.5
4	ソ・2	8.4	100	キ・1	1.5
5	サ・3	8.0	100	ユ・2	1.5
6	サ・2	7.9	103	タ・3	1.3
6	ア・2	7.9	103	モ・1	1.3
8	ル・1	7.7	103	ニ・1	1.3
8	ワ・2	7.7	106	エ・1	1.2
8	チ・3	7.7	107	コ・2	0.8

このように、分散分析のFの値は1つの水準が他の水準より極端に差がある場合その値が大きくなる。しかし、多重比較は2つの水準間の差を同時に検定するもので、1つの水準当たりいくつの水準間で有意な差があるのかを示す表3では、「よ・1画」は順位が5位となっている。このように、多重比較の結果の方が特異な水準の存在に影響されることが少なく、個人間に差が現れ易いかどうかを検討するにはより有効であると考えられる。

そこで、左下方向ストロークに個人性が現れ易く、横ストロークに個人性が現れ難いという結果を、カタカナの多重比較の結果からさらに検証する。

カタカナは全部で107ストロークあり、この内23が横ストローク、22が左下方向ストロークである。全107ストロークを上位(35ストローク)、中位(37ストローク)、下位(35ストローク)に分けたとき、左下方向ストロークの68%(15ストローク)が上位にあり、わずか9%(2ストローク)が下位に含まれるだけであった。また、横ストロークの74%(17ストローク)が下位にあり、わずか4%(1ストローク)が上位に含まれるだけであっ

た。このことから、左下方向ストロークに個人性が現れ易く、横ストロークに個人性が現れにくいことが裏付けられる。

以上の結果、特にカタカナの結果は、ストロークの形状が漢字に近いことから、個人性の現れ易い漢字の推定、ストロークに重み付けをした照合など、オンライン筆者照合に利用できると思われる。

6. むすび

本論文では、オンライン筆者照合の基礎的な研究として、日本語手書き文字(ひらがな、カタカナ)のどのようなストロークに個人性が現れ易いのかを分析、検討してきた。

まず、ストロークの個人性を表す特徴として、ストロークの形状と運筆を反映する速度ベクトル図を提案した。次にストローク毎に平均速度ベクトル図を求め、これと個々の速度ベクトル図の差を個人性評価のための特徴量

として、一元配置分散分析と多重比較を行った。

その結果、個人性の現れ方はストロークによって差があり、確かに個人性が現れやすいストロークが存在することが確認できた。特に、「メ・1画」などの左下方向ストロークに個人性が現れ易く、逆に、「コ・2画」などの横ストロークに個人性が現れ難いことが明らかになった。また、カタカナのストロークの方がひらがなのストロークよりも個人性が現れ易い、さらにストロークの長短により個人性が左右されることはない、という結果が得られた。

今後は、以上の結果をどのようにして筆者照合に応用し照合率向上へつなげていくかが課題である。

文 献

- [1]佐藤宏介,土居元紀,“自分がパスワードバイOMETリック本人確認”,電子情報通信学会誌,Vol.82, No.4,pp.340-345,1999.
- [2]坂野鋭,“バイOMETリック個人認証技術の動向と課題”,電子情報通信学会技術研究報告,PRMU99-29,1999.
- [3]R. Plamondon and G. Lorette,“Automatic signature verification and writer identification - The state of the art”,*Pattern Recognition*, Vol.22, No.2, pp. 107-131, 1989.
- [4]F. Leclerc and R. Plamondon,“Automatic signature verification: The state of the art - 1989-1993”,*International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, Vol.8, No.3, pp.643-660,1994.
- [5]吉村ミツ,吉村功,“筆者認識研究の現段階と今後の動向”,電子情報通信学会技術研究報告,PRMU96-48,1996.
- [6]石村貞夫,“分散分析のはなし”,東京図書株式会社,1992.

インターネット上でのデータベースの構築

成田 紘一

Construction of DataBase on the Internet

Hirokazu NARITA

この論文では、インターネットで利用することができるデータベースサーバの開発について述べられている。このデータベースサーバはMicrosoft社のOSであるWindows95、98、NT4のパソコン上で構築することができる。データベースのファイル構造はMicrosoft社のデータベース、Accessの構造と同じであり、汎用性が非常に高い。このサーバの開発目的は安価で、構築や管理がし易いサーチエンジンの開発であり、WWWサーバとCGIにより、このサーバにアクセスすることができる。現在、このサーバはWWW上での奈良市のイベント情報の収集と提供に使用されており、好評を得ている。

1. まえがき

インターネットの利用が盛んになってきている。軍事目的で開発されたインターネットも今では平和利用され、21世紀に入れば世界の殆どの人々が利用することになるであろう。ところで、当初はメールの利用が殆どであったが、その後、World Wide Web (WWW) の開発により、爆発的に利用が進んだ。特に、フリーのWWWサーバとクライアントソフトであるブラウザが提供され、誰でもが簡単にこのシステムを構築できるようになったからだと思う。また、このシステムはマルチメディアに対応しており、今まで、味気なかったパソコンの画面もカラフルになり、キーボードに慣れなかった人々でもマウスだけで簡単に利用できるようになったことが発展の大きな要因である。

WWWサーバはCGI (Common Gateway Interface) と呼ばれる機能を持っている。CGIでは、クライアント側からデータ入力を与えられ、そのデータにしたがって処理を行う対話型が多い。そのため、ブラウザにはインサイドタグやフォームタグ等の記入フォーム (Fill Out Form) が用意されている。したがって、この機能を使えば、クライアント側から送られてきたデータをデータベース化することは可能である。

上で述べた手法により、クライアント側から、URLの各種情報を受け取り、そのデータをインターネット上で提供しているサーバがある。この機構を検索エンジンと

呼んでいるが、yahoo(1)やGoo(2)、Infoseek(3)、等が良く知られている。ここでは、これらと同等な機能を持ったデータベースサーバをパソコン上で構築しようというものである。

2. データベースの構造

最近のデータベースは全てといってもいいほどリレーショナルデータベースである。Microsoft社のOSであるWindowsで使用できるものとしてDbase、FoxPro、Lotus、Access、Oracle等のリレーショナルデータベースがある。これらのシステムはいずれもSQL (Structured Query Language) を使って、データベースの構造を定義したり、変更したり、データの登録や検索ができる。ここでは、汎用性を考え、Accessのデータベース構造を使った。したがって、データベースの管理者は、MicrosoftのOfficeにあるAccessを使うこともできる。ただし、ここでは、インターネットを通してデータベースを管理することを考えているので、管理用のプログラムは新しく開発した。

Microsoft社には、データベースサーバとしてSQL Serverがあるが、このサーバは非常にシステムが大きいことと、管理がし難い、暴走し易いなどの欠点があり、ここでの目的には合わない。この研究では、データベースへのアクセスをできるだけ簡単な命令でもっておこなえるように工夫をした。

3. システムの構造

このシステムは、主に、「データベース管理システム」、「CGIとのインターフェイス」、「WWWサーバとCGI」の3つから構成されている。その構成を図1に示す。

3.1 データベース管理システム

このプログラムは、データベースサーバ内のデータベースを管理するプログラム群である。もちろん認証機能を持っており、誰でもデータベースにアクセスできないようになっている。この管理プログラムはデータベース内のテーブルにもクエリーにもアクセスできるようになっており、ソート状況等も知ることができる。インターネットとの接続プログラムはMicrosoft社のWindowSocket (Winsock) を使用している。このAPIソケット群は、データベースサーバのCGIインターフェイスでも使用されている。

3.2 CGIとのインターフェイス

CGIにより直接データベースをアクセスすることは可能であるが、データ量が膨大になると、検索に時間がかかり、その間、CGIすなわちWWWサーバが停止してしまい、クライアント側では何もできなくなってしまう。

このようなCGIの欠点を克服するために、ここでは、データベースサーバとCGIとのデータの受渡しは、SQLを単純化した一連のコマンド群で行っている。このコマンド群を処理するのがこのインターフェイスである。もちろん、ここでのプログラムは管理システムから送られてくるコマンド群も処理し、結果を管理システムに送る。作成されたコマンド群を以下に示す。

- サーバとの接続
- テーブルとの接続
- テーブル名の取得
- データベースファイル名の取得
- 項目名の取得
- 先頭から検索
- 次検索
- データの追加
- データの編集
- データの削除
- 先頭レコードへ移動
- 次レコードへ移動
- 終端レコードへ移動
- 前レコードへ移動
- ポインター位置取得
- ポインター位置設定
- 現ポインタのデータ取得
- 全レコード数
- データのソート

上記の19のコマンド群で本システムは処理されている。この19のコマンドでデータベースをアクセスするのに必要な機能をほとんどもうらしていると思われる。

3.3 WWWサーバとCGI

WWWサーバは、フリーウエアでNCSAやCERN、Apacheグループのものなど、最近では多種多様なプログラムが出回っているが、上記3種類のCGIに開発したシステムは対応している。今回、開発用に使用したWWWサーバはWindows95 (DOSのWIN32) 用のApacheでUNIX用とコンパチビリティが保たれている。そのため、開発用にはVisualBasicを使ってCGIを作成した。

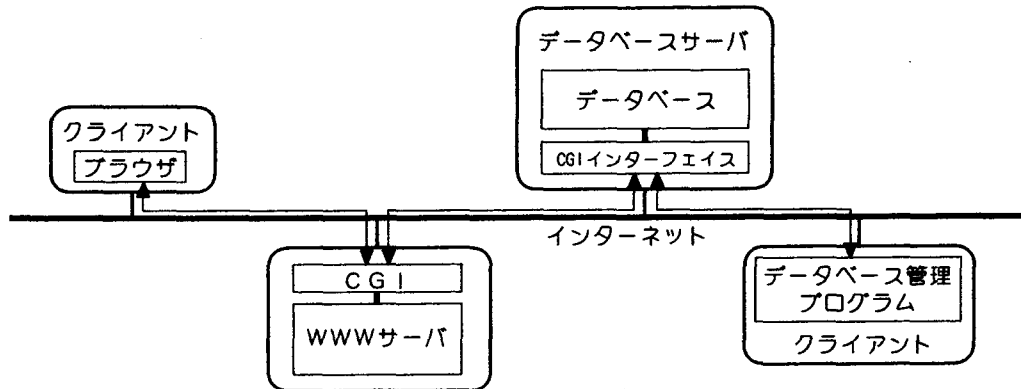


図1 システムの構成図

4. データの処理形態

ここでは、データの流れについて述べる。WWWサーバにあるフォームタグ等を含むHTML形式のファイルはクライアントのブラウザに読み出され、ブラウザ上に表示する。ここで、ユーザがブラウザにデータを打ち込むと、WWWサーバのCGIを通してデータベースサーバにデータが送られ、データベースに格納される。データベースサーバでエラーが生じた場合、逆にデータベースサーバからWWWサーバのCGIにエラーコードが送られ、CGIはこのエラーキャラクタをHTML形式に変換してクライアントのブラウザに送る仕組みになっている。現在、データベースサーバへの同時アクセスは50台で、それに対応したソケットをデータベースサーバは用意している。WWWサーバのCGIとデータベースサーバ間は本システム独自の暗号化が使用され、データベースのセキュリティを高めている。

クライアントの管理用プログラムは、ブラウザを利用しなく、インターネットを通じて直接データベースにアクセスするようになっている。もちろん、ここでも、クライアントとデータベースサーバ間は暗号化されて処理されている。

5. 開発結果

このシステムは既に奈良市のボランティア団体によって運営されている、奈良市のイベント情報の収集とその情報

コード	イベント名	種別	開始年月日	終了年月日	開始時刻	終了時刻	開催場所	住所	種別
16	除夜の鐘	お寺行事	99/12/31	99/12/31			奈良市内	奈良市金七	百ノ
20	鹿寄せ	年行事	99/12/15	99/12/27	10:00:00		奈良公園	奈良公園	鹿
21	御火焚祭	神社行事	99/12/31	00/01/03			奈良公園	奈良市古正	正ノ
22	大経式	お寺行事	99/12/31	99/12/31	15:00:00		奈良公園	奈良市古正	除ノ
23	お身拭い	お寺行事	99/12/29	99/12/29	13:00:00		薬師寺	奈良市西ノ	薬
24	中風討じ	お寺行事	99/12/22	99/12/22			正暦寺	奈良市番	冬
25	春日若草	神社行事	99/12/15	99/12/18			春日大社	奈良市春	春
26	お身拭い	お寺行事	99/12/15	99/12/15	9:00:00		唐路寺	奈良市五	唐
27	仏名会	お寺行事	99/12/14	99/12/14	9:00:00		東大寺二	奈良市福	福
28	成道信心	お寺行事	99/12/01	99/12/08			三松寺	奈良市七	七
29	廣甲まつり	お寺行事	99/11/23	99/11/23			庚申堂	奈良市西	西
30	写経会	お寺行事	99/11/17	99/11/17	8:00:00		唐招提寺	奈良市五	五
31	七・五・三	神社行事	99/11/15	99/11/15			市内各神	奈良市全	全
32	慈恵会	お寺行事	99/11/13	99/11/13	18:00:00		興福寺	奈良市豊	法
33	慈恵会	お寺行事	99/11/13	99/11/13	18:00:00		薬師寺	奈良市西	西
34	管絃楽	演奏会	99/11/03	99/11/03	13:00:00		春日大社	奈良市春	春
35	正倉院展	展示会	99/10/01	99/10/01			奈良国立	奈良市堂	年
36	大般若会	お寺行事	99/10/17	99/10/17	13:00:00		興福寺	奈良市堂	南
37	大祭	神社行事	99/10/16	99/10/17			戸隠神社	奈良市須	16

図2 データベースサーバの画面

の提供（検索機能付き）に利用されており、現在までのところバグもなく順調に稼働している。以下にそのシステムで使用されているプログラム群の各種画面を示す。

図2にはデータベースサーバの画面を示す。データベ

ースサーバには「瓦版」という名前が付けられている。図3にデータベース管理プログラムの1画面を示す。このプログラムには「飛脚」という名前が付けられている。

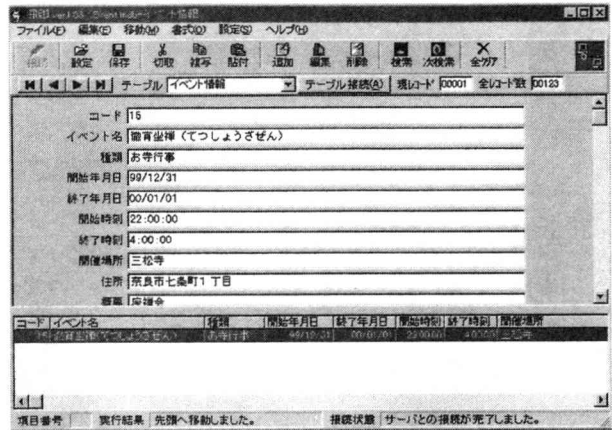


図3 データベース管理プログラム

以下では、実際に運営されているWWWサーバから読み出したブラウザ上での各種の画面を示す。

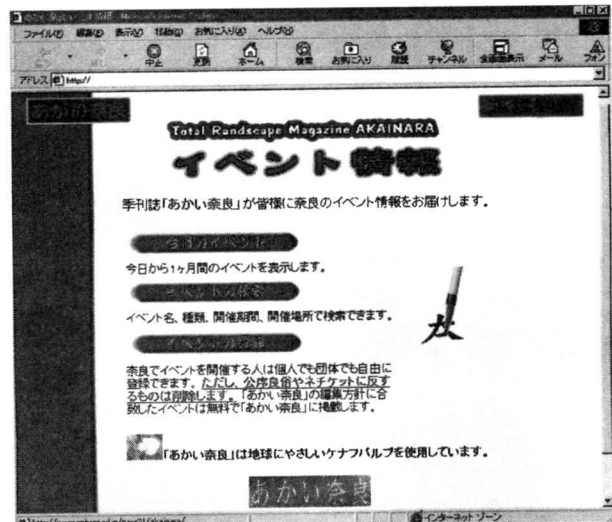


図4 奈良市のイベント情報を提供しているホームページ

このシステムでは、インターネットを利用して一般の方々からイベント情報を提供して頂き、それを自動的にデータベースファイルに蓄積する。また、蓄積されたイベント情報は検索やソートを行い、インターネットユーザのブラウザ上に表示するようになる。ホームページの項目としては、

- (1) 今月のイベント情報
 - (2) 各種項目によるイベント検索
 - (3) イベント情報の登録
- の3つの機能がある。

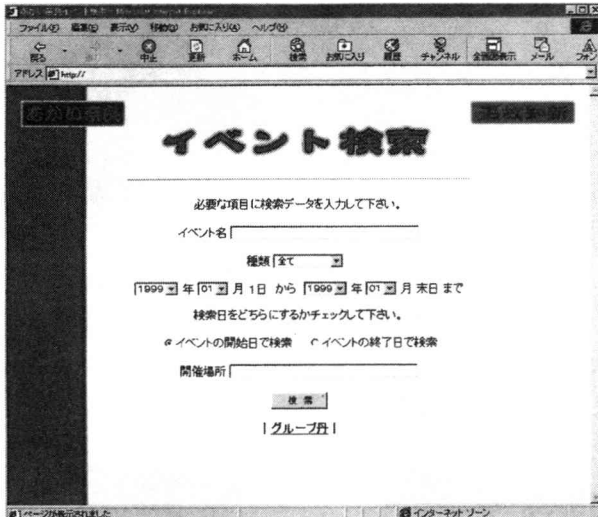


図5 イベント検索画面

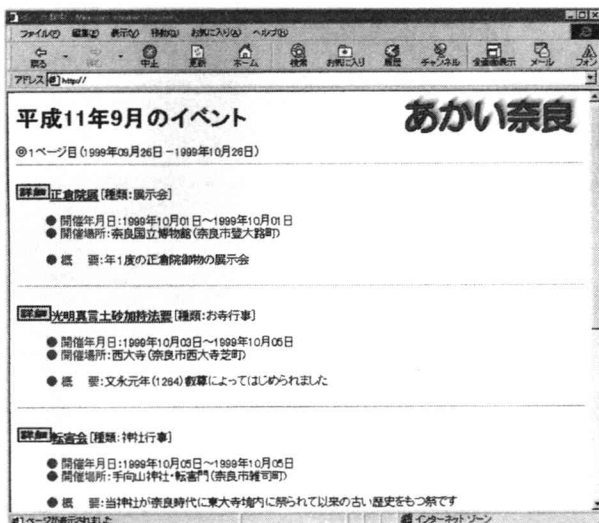


図6 検索結果の画面

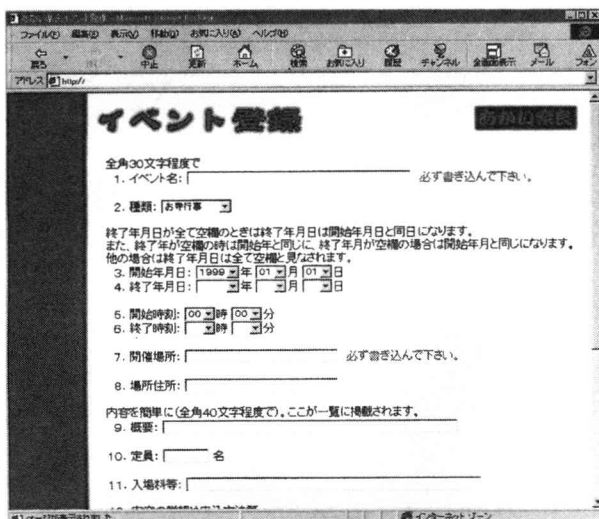


図7 イベント登録画面

6. おわりに

本論文で、新しく開発されたWindows95、98、NT4のOSを使うパソコンで稼働できるデータベースサーバシステムについて述べた。既に、このシステムは奈良市のイベント情報の収集と提供に用いられている。いまのところ、トラブルもなく稼働してはいるが、現在までのところ蓄積されているデータは300件程度であり、検索時間も早い、しかしながら、今後、データ量が多くなった場合、どのような状況になるかが問題である。

このシステムはWindowsを対象にして開発したが、現在、UNIX上で動く新しいデータベースサーバも開発中であり、データ量が多くなった場合、ワークステーション等の利用も考えられる。

筆者らは、世界遺産に登録された奈良市の歴史遺産のデータベース化を行っており、それらのデータを世界の人々に提供するための各種のデータベースサーバを開発する予定にしている。

謝辞 平素からお世話になっているパソコン通信「シルクン」の皆様には厚くお礼申し上げます。

参考文献

- (1) www.yahoo.co.jp
- (2) www.goo.ne.jp
- (3) www.infoseek.co.jp
- (4) “オープンデザイン”、Vo14 (1996)

教育支援用ソフトウェアの開発

宮田 正幸 文字 孝臣*

Development of software program for supporting education

Masayuki MIYATA and Takaomi MONJI

現在マルチメディアを活用した教育支援環境などの質の高い教育の展開がネットワーク等を利用して有効になされている。これらのシステムはいずれも大規模で全ての教官が実践的に利用できる物ではない。本研究では個々の教官が利用できる物としてモバイル用ノートコンピュータを利用し、OSとしてWindows98またはCEを使用し、学生の出席管理及び学生個人のデータを利用できる教育用ソフトウェアの開発を行った。

1. はじめに

教育分野における情報化の推進はインターネットを介してマルチメディアを活用した教育支援環境が構築され小学校から大学まで、高専を含めて大々的に行われている。一方教育現場においては実践教育とか創造教育が叫ばれている状況の中で教官の教材作成の負担も大きくなっている。これらをマルチメディア教育支援環境で行うには多大な費用が必要で、教官全てが常時これに参加する事は困難である。

この研究では教官個人が持ちうる環境、つまりモバイル端末としてのPC、これは具体的にはノートパソコンとOSとしてWindows98またはウィンドウズとファイル互換があるWindowsCEなどを利用し、教育的効果はかれるソフトウェアの開発を目的としている。

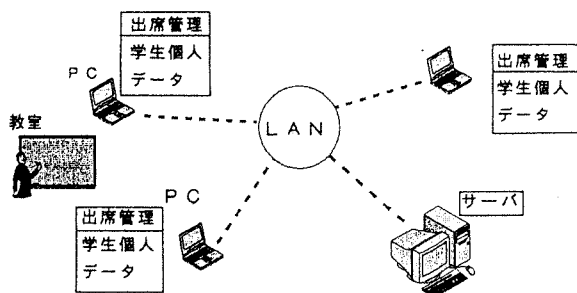


図1 システム構成図

これらのソフトウェア開発支援のためのシステム構成を図1に示す。

ここでPCはノートパソコンで各教官が教室に持っていき授業に活用する。これらのPCは各研究室でLANに接続しファイルサーバとの間でファイルのやり取りをする。ノートPCには学生の出席管理と学生個人のデータベースが入っている。サーバには教官からのデータが入力される。また学生のデータベースを引き出すのに利用される。

出席管理については現在まで学校全体としていろいろ検討されてきた。これは学生の皆勤賞として表彰規定が制定された事により厳密化が求められてきた。一方ではなかなか旧態然とした方法が採られあまり改善された気配がない。現在の記入方法では誤記入が多く学生とのトラブルも起こっている。これを解消するためには入り口の部分でコンピュータ化し、この部分を教室で行えば後の処理もかなり正確に行える。これだけであれば市販のデータベースだけでも可能であるが、一般に市販のソフトは汎用性はあるが、特定の目的を一連にやらすには使いにくい。将来音声を取り入れたシステムを開発することを想定して、ここでは音声合成技術を取り入れた出席管理及び個人のデータをリンクさせたプログラムの開発を行った。

2. 開発環境

本システムの開発環境はOSとしてマイクロソフト社のWindows98上で同社のVisual Basic Ver 6を用いて行った。VBはWindows API関数を用いてオブジェクト化したもの

* 平成10年度電気工学科卒業生

でオブジェクト指向のプログラム言語といわれている。

Active Xコントロールはインターネット上でも使えるようにしたOLEコントロール (OCX) であり、テキスト音声合成変換エンジン部分はOKI電気の音声合成ツール Smart Talkとして提供されているOCXである。このOCXを Visual Basic上から使用できるようにしたものである。これは波形編成方式 (波形重畳法) を用いたソフトウェアエンジンである。このエンジンがテキストを受け取るとそれを解析し音声波形に変換してサウンドボードに出力したり、Waveファイルに出力する。このファイル構成は図2のような三つのDLLで行っている。

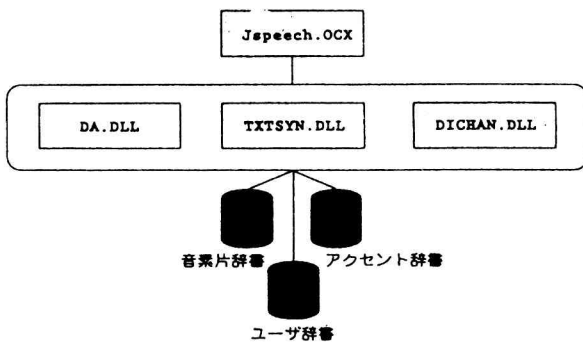


図2 ファイル構成

プログラムインタフェースとしてVBを利用しているので、VBのフォーム上に Smart Talkの Active Xコントロールである Jspeech.OCX を貼り付けて使用する。このプロパティを図3に示す。

Accent	抑揚の強さの指定 (0~2)
RuleForNumeral	数字の桁読みの指定 (0~2)
Speed	発声の速さの指定 (0~9)
TermComma	文終端記号の指定 (True/False)
TermCR	文終端記号の指定 (True/False)
TermPeriod	文終端記号の指定 (True/False)
TermPunctuation	文終端記号の指定 (True/False)
ToneForMan	男声音の高さの指定 (0~7)
ToneForWoman	女声音の高さの指定 (0~7)
UnvoicedVowel	母音の無声化規則の指定 (0~1)
VoiceType	声質の指定 (男声/女声)
Volume	発声の大きさの指定 (0~7)

図3 Jspeech.Ocxのプロパティ

多くのコマンドインタフェースを持つ Smart Talkであるが、音声を出力する処理のコマンドは限られたものである。この処理は「初期化」「テキストセット」「解析・波形生成」「音声出力」「終了処理」の五つのフェーズに分かれる。

3. 出席管理プログラム

VBの画面構成を図4に示す。ここでツールボックスに Jspeech.OCX を組み込む。フォームはコントロールを配置する画面である。プロパティウィンドウはフォーム上に配置されているコントロールの属性を示す項目である。プロジェクトウィンドウはフォームモジュール、標準モジュール (ユーザー定義型、定数、変数、プロシージャ) から構成され、それらのモジュールの一覧がプロジェクトファイルに記述され、プロジェクトウィンドウに表示される。

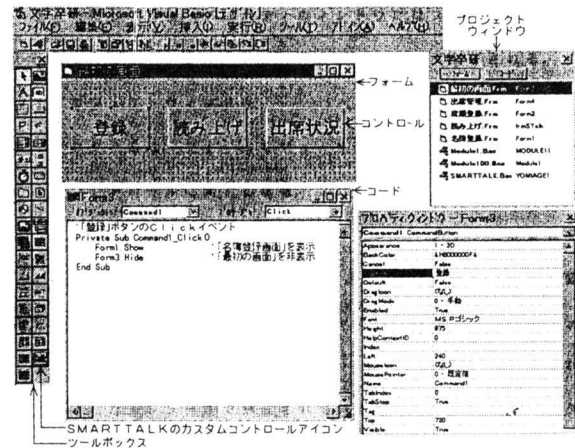


図4 画面構成

出席管理プログラムとして「学生の登録」「名前を読み上げて出欠をとる」「クラスの出席状況を表示する」の3つのパートに分けてプログラムの開発を行った。プログラム開発の流れを図5に示す。

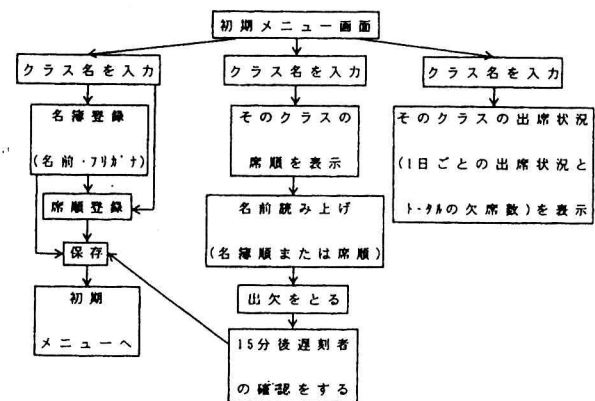


図5 出席管理の流れ

4. 実行結果

開発したプログラムを実行すると図6の初期メニュー画面がでる。それぞれのボタンをクリックすることによって各モードへ進むことができる。

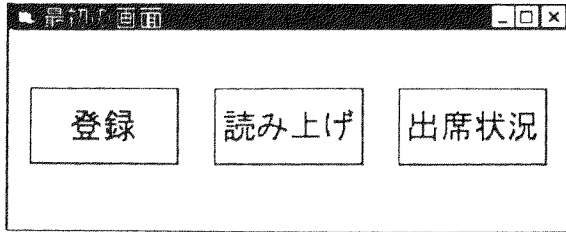


図6 初期メニュー画面

名前登録画面において、登録を選択した場合クラス名を入力し名前とフリガナを登録名簿登録画面を図7に示す。

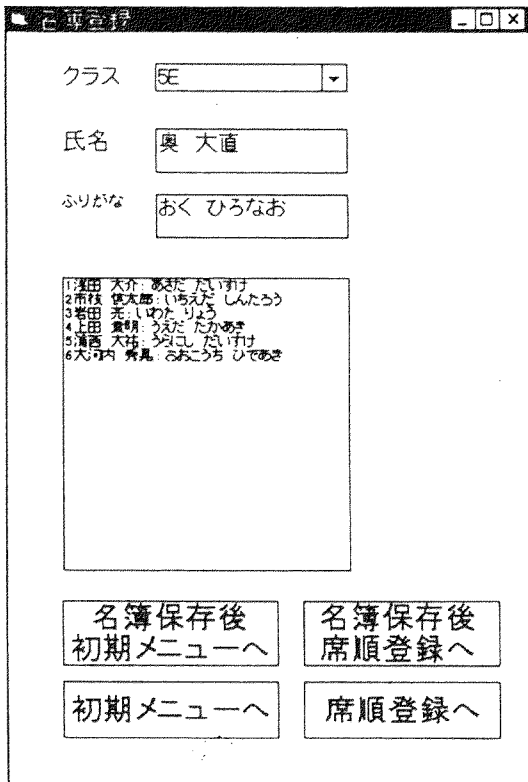


図7 名簿登録画面

登録した名簿を元にクラス内のどの席にどの学生が座っているかを登録出来るようにした。このときの席順登録画面と初期メニューで画面で「読み上げ」を選択すると、入力したクラスの学生の名前を読み上げ、出欠を取る読み上げ画面が図8のように表示される。さらに「出席状況」を選択すると、入力したクラスの全学生の名前

と1日毎の出席状況を図9のように表示する。

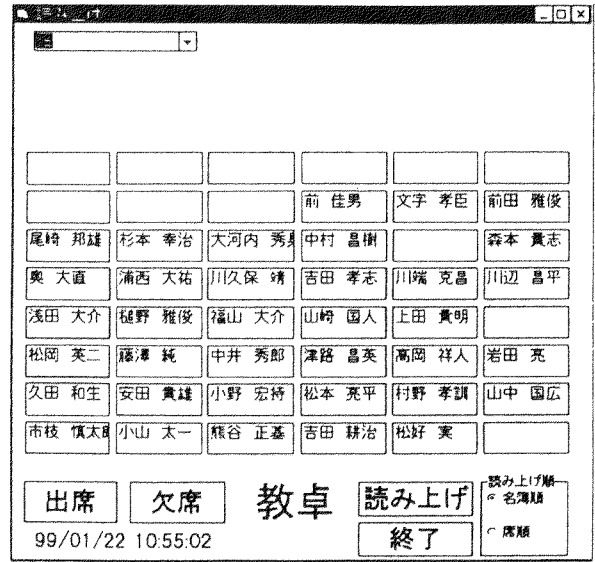


図8 読み上げ画面

名前	12月11日	12月14日	1月6日	1月11日	1月22日	欠席
1 浅田 大介	出席	出席	出席	出席	欠席	1
2 市枝 慎太郎	出席	出席	出席	出席	欠席	1
3 岩田 亮	出席	出席	出席	出席	欠席	1
4 上田 貴明	出席	出席	出席	出席	欠席	1
5 浦西 大祐	出席	出席	出席	出席	欠席	1
6 大河内 秀晃	出席	出席	遅刻	出席	欠席	1, 33
7 奥 大直	出席	出席	出席	出席	欠席	1
8 尾崎 邦雄	出席	出席	出席	出席	欠席	1
9 小野 宏持	出席	出席	出席	出席	欠席	1
10 川久保 靖	出席	出席	出席	出席	欠席	1
11 川端 克昌	出席	出席	出席	出席	欠席	1
12 川辺 昌平	出席	出席	出席	出席	欠席	1
13 熊谷 正基	欠席	欠席	出席	欠席	欠席	4
14 小山 太一	欠席	欠席	出席	欠席	欠席	4
15 杉本 幸治	出席	出席	出席	出席	欠席	1
16 高岡 祥人	出席	出席	出席	出席	欠席	1
17 津路 昌英	出席	出席	出席	出席	欠席	1
18 榎野 雅俊	欠席	出席	出席	出席	欠席	4
19 中井 秀郎	遅刻	出席	出席	出席	欠席	1, 33
20 中村 昌樹	出席	出席	出席	出席	欠席	1
21 久田 和生	出席	出席	出席	出席	欠席	1
22 福山 大介	出席	出席	出席	出席	欠席	1
23 藤澤 純	出席	出席	出席	出席	欠席	1
24 前 佳男	出席	出席	出席	出席	欠席	1
25 前田 雅俊	出席	出席	出席	出席	欠席	1

図9 出席状況表示画面

5. おわりに

さらに使いやすくするためには細かい点の改良が必要である。読み上げ画面上で学生の名前をクリックすると学生個人のデータとか学生自身の写真データが表示できるようにしたらより効果的である。その他改良点として名前の読み上げの時、テキストとしてひらがなを音声合成エンジンに渡すため発声が少し不自然になっている。

これはデータ作成の時Jspeech.OCXに渡すプロパティデータをもう少し多く作成する必要がある。このプログラムでは早退についての対処がなされていないのでこの点についても改良する必要がある。これまで全てVBのプログラムとして開発して来たがこれからはデータベースを重視する必要があるから他の市販のデータベースソフトを利用出来る方が汎用性があり、しかもこれらのソフトはデータの作成、デバック、クエリー等の機能が充実しているため、将来この方面を考慮していかなばならない。幸いVBは他のデータベースにアクセス出来る機能をプログラムで可能であるのでその方面も強化していくつもりである。さらに音声合成技術及び音声認識を取り入れたより効果的な教育支援用のプログラムを開発していくことも可能である。システム構成図のところにあるLANとしては今研究室にあるPC 4台を接続している。さらにファイルサーバとして安価で、しかも安定性があるRed Hat Linuxをもちいてサーバを構築してシミュレーションしている所である。

参考文献

- (1) OKI電気 SMARTTALK for Windows98 マニュアル
- (2) インプレス Linux サーバ構築編

学習により得られる入力を利用したロボットアームの 目標空間軌道の形成方法

櫛 弘明*・深尾 典久**・川村 貞夫***

Formation method of desired motion using input torque patterns
obtained through learning control of robot arm.

Hiroaki ICHII, Norihisa FUKAO and Sadao KAWAMURA

ロボットマニピュレータを高速・高精度制御するためには、フィードフォワード入力が有用である。その形成方法として繰り返し型の学習制御法があるが、実環境でロボットマニピュレータが行う作業は多種多様であり、作業の数だけ目標運動を学習する必要がある。そこで本稿では、学習した運動に対して分割・結合を行うことで目標軌道を生成する方法について考察し、特に軌道の分割時に問題となる事項について述べる。

1 はじめに

ロボットマニピュレータを高速・高精度で運動させるためには、一般にその制御系にフィードフォワード入力を加えることは有用な方法の1つである。このフィードフォワード入力を形成する方法の1つとして、計算トルク法と言われる方法がある。これは、ロボットマニピュレータのダイナミクスモデルに従い、その物理パラメータを正確に求めることにより適切なフィードフォワード入力を形成しようとするものである。しかし、一般に、ロボットマニピュレータの物理パラメータを正確に求めることは難しい。

一方、繰り返し型学習制御は、目標運動を実現するフィードフォワード入力を前回の駆動トルク、位置、速度、加速度といった動作誤差を用いて繰り返し学習していくものである。この方法は、ロボットマニピュレータの物理パラメータを正確に推定することなく、目標運動を実現することができる。しかし、ロボットマニピュレータが行う作業は多種多様であり、学習制御法ではその都度目標運動を実現するフィードフォワード入力を得るために繰り返し学習しなければならない、多くの時間を必要とする。この問題に対し、深尾らは繰り返し型学習制御法で得られた時系列のフィードフォワード入力の時間軸パ

ターンを変換することで、同じ空間軌道上で任意の運動を実現することができることを述べている。(4)また、異なる空間軌道に対しては、すでに学習した運動パターンを線形補間することで、目標運動パターンを実現するフィードフォワード入力を近似的に得ることができることを述べている。

本論文では時間軸の変換を応用し、学習した運動を軌道上で停止、再スタートすることを考え、学習した運動を2つの運動に分割することを考える。このためには、運動を停止する適切な時間軸変換関数が必要となるが、従来より扱ってきた運動に比べ停止する直前の運動は非常に小さな速度を扱うため摩擦項の影響が問題となる。ここでは、特にこの問題について考える。

2 問題の設定

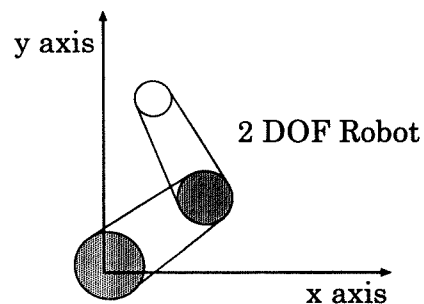


Fig. 1 : 2 自由度ロボットマニピュレータ

ここでは、Fig.1のようなx-y座標系に回転関節で構成される2自由度のロボットマニピュレータを想定する。

*奈良工業高等専門学校

**滋賀県総合技術センター

***立命館大学

ロボットマニピュレータの第1関節は作業座標系の原点上にあるものとする。このとき、ロボットマニピュレータの運動方程式は式(1)で表現することができる。

$$R(q(t)) \frac{d^2 q(t)}{dt^2} + \frac{dq(t)}{dt}^T S(q(t)) \frac{dq(t)}{dt} + D \frac{dq(t)}{dt} + g(q(t)) + h \operatorname{sgn} \left(\frac{dq(t)}{dt} \right) = \tau(t) \quad (1)$$

ただし、

$q(t) \in R^{2 \times 1}$: 関節角ベクトル

$R(q(t)) \in R^{2 \times 2}$: ロボットマニピュレータの慣性行列

$S(q(t)) \in R^{2 \times 2 \times 2}$: コリオリ・遠心力を規定するテンソル

$D \in R^{2 \times 2}$: 粘性摩擦係数行列

$g(q) \in R^{2 \times 1}$: 重力頂ベクトル

$h \operatorname{sgn} \left(\frac{dq(t)}{dt} \right) \in R^{2 \times 1}$: クーロン摩擦頂ベクトル
ここで $\operatorname{sgn} \cdot (a)$ は a の符号

$\tau(t) \in R^{2 \times 1}$: 入力トルクベクトル

である。この目的は、この空間でロボットマニピュレータに対して、あらかじめ数種類の運動を学習しておく、その学習結果を利用し異なる空間軌道を運動するパターンを求めることにある。ここで、あらかじめ学習しておく運動は、目標運動の基本となるモーションであるから、空間上の基本的な運動を学習する。また、空間上の1つの基本的な軌道に対して、4つの運動パターンをあらかじめ学習しておく。これは、1つの軌道に対して、その軌道上で任意の速度動パターンを形成するために必要となる。

さらに、このような基本的な空間軌道を幾つかあらかじめ学習しておく。これは、空間的に異なる任意の軌道があたえられたときに、すでに学習してある軌道を何らかの形で選択・組み合わせることで目的とする空間軌道上の運動を実現しようとするものである。

ただし、必ずしも新しい空間的軌道がすでに学習した軌道と一致しているとは限らない。ここでは、このような一致しない場合については論じないが、目標運動についての知識が全くない場合に比べ、類似した軌道を選択・組み合わせることで、追従制度は改善されると思われる。ここでは、一致している場合について、学習した軌道の分割についての考察をおこなうこととする。

3 学習制御により得られた入力の利用

学習制御法は同じ運動パターンを繰り返し練習することにより、目標とする運動パターンを獲得する方法である。この方法は、同じ運動を繰り返しおこなうことで、徐々にその運動を実現するフィードフォワード入力を形成していくもので、ロボットマニピュレータの正確な物理パラメータを求めることなく目標運動を実現することが可能である。

しかし、学習制御法は空間的に同じ軌道上を運動する場合は速度パターンが異なっても学習したフィードフォワード入力を適切な変換により形成できるが、空間的に異なる運動に対しては、その運動を学習し直す必要がある。この問題に対して、深尾らは近似的に空間軌道の線形補間をおこなっている。(3)ここでは、学習した軌道を補間するのではなく、学習した運動を分割、結合することで、すでに学習した幾つかの運動を組み合わせ、目的とする運動を形成することを考える。ただし、この場合目標運動を形成するために必要な基本的な運動はすでに学習済みであるとし、これを用いて新しい目標空間軌道を形成することとする。学習方法は、式(2)に示すP型学習制御法を用いる。

$$y_{k+1}(t) = y_k(t) + \Phi e_k(t) \quad (2)$$

ここで、

$y_k(t)$: k 回目の試行運動におけるマニピュレータの角速度
 $e_k(t) = y_k(t) - y_d(t)$: 角速度の誤差
 $y_d(t)$: 目標角速度
 Φ : 学習ゲイン

とする。

4 時間軸の変換

ここでは、目標運動の分割、結合の基本となる時間軸変換について簡単に説明する。(4)今、繰り返し型の学習制御法によって、作業座標系上の運動 S_1 を実現する駆動トルクを時系列データとして学習したときのフィードフォワード入力は、

$$R(q_1(t)) \frac{d^2 q_1(t)}{dt^2} + \frac{dq_1(t)}{dt}^T S(q_1(t)) \frac{dq_1(t)}{dt} + D \frac{dq_1(t)}{dt} + g(q_1(t)) + H \operatorname{sgn} \left(\frac{dq_1(t)}{dt} \right) = \tau_1(t) \quad (3)$$

として学習される．ここで $\tau_1(t), q_1(t)$ は時系列データとして学習獲得されたフィードフォワード入力と関節角で

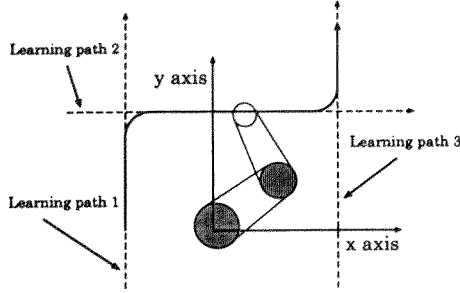


Fig. 2 : 運動の分割・結合の概念

ある．同様に，運動 S_1 と同一空間軌道上を運動し，その速度パターンが異なる運動 S_2 を学習すると，

$$R(q_1(t)) \frac{d^2 q_1(t)}{dt^2} + \frac{dq_1(t)}{dt} S(q_1(t)) \frac{dq_1(t)}{dt} + D \frac{dq_1(t)}{dt} + g(q_1(t)) + H \operatorname{sgn} \left(\frac{dq_1(t)}{dt} \right) = \tau_1(t) \quad (4)$$

を得る．運動 S_1 と運動 S_2 は同一空間を運動するものであるから，両者の違いはその時間的な関係，つまり時間軸が異なっているだけである．今運動 S_1 の時間軸を $r_1(t)$ ，運動 S_2 の時間軸を $r_2(t)$ とする．ここで，時間軸関数に関しては以下の条件が必要である．

$$\begin{aligned} r_i(0) &= 0, r_i(T_e) = T_{ie} \\ r_i(t) &\in \mathcal{C}^2 \\ 0 < dr_i/dt < \infty \end{aligned}$$

ここで，運動 S_1 は基本時間軸上の運動とする．今，基本時間軸上の運動 S_1 の時刻 t での関節角と，運動 S_2 の時刻 $r_2(t)$ の関節角は等しいので，

$$q_1(t) = q_2(r_2(t)) \quad (5)$$

と表すことができる．式(5)を $r_2(t)$ で微分し運動 S_1 と運動 S_2 の間の角速度，角加速度の関係を次式のように得ることができる．

$$\begin{aligned} \frac{dq_2(r_2(t))}{dr_2(t)} &= \frac{dt}{dr_2(t)} \frac{dq_1(t)}{dt} \quad (6) \\ \frac{d^2 q_2(r_2(t))}{dr_2^2(t)} &= \left(\frac{dt}{dr_2(t)} \right)^2 \frac{d^2 q_1(t)}{dt^2} \\ &\quad - \left(\frac{dt}{dr_2(t)} \right)^3 \left(\frac{d^2 r_2(t)}{dt^2} \right) \frac{dq_1(t)}{dt} \quad (7) \end{aligned}$$

ここで，

$$a_2 \equiv \frac{dt}{dr_2(t)} \quad (8)$$

$$b_2 \equiv \frac{d^2 r_2(t)}{dt^2} \quad (9)$$

と定義すると，式(6)，式(7)は次のように簡潔に表すことができる．

$$\frac{dq_2(r_2(t))}{dr_2(t)} = a_2 \frac{dq_1(t)}{dt} \quad (10)$$

$$\frac{d^2 q_2(r_2(t))}{dr_2^2(t)} = a_2^2 \frac{d^2 q_1(t)}{dt^2} - a_2^3 b_2 \frac{dq_1(t)}{dt} \quad (11)$$

ゆえに，運動 S_2 のダイナミクスは次式のように表すことができる．

$$\tau_2(t) = a_2^2 f_{11} + a_2 f_{12} + f_{13} - a_2^3 b_2 f_{14} \quad (12)$$

$$f_{11} = R(q_1(t)) \frac{d^2 q_1(t)}{dt^2} + \frac{dq_1(t)}{dt} S(q_1(t)) \frac{dq_1(t)}{dt}$$

$$f_{12} = D \frac{dq_1(t)}{dt}$$

$$f_{13} = g(q_1(t)) + H \operatorname{sgn} \left(\frac{dq_1(t)}{dt} \right)$$

$$f_{14} = R(q_1(t)) \frac{dq_1(t)}{dt}$$

以上のように，運動 S_2 は，運動 S_1 のダイナミクスとその時間軸間の用いて表すことができる．

同様に，空間軌道が同じでその速度パターンが異なる運動をそれぞれ S_3, S_4 とすると，同じように表すことができる．

これら，4つの速度パターンをまとめると

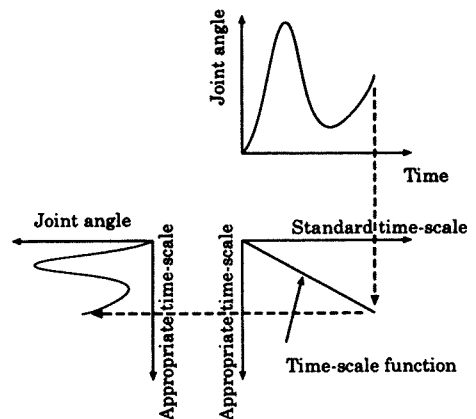


Fig. 3 : 時間軸変換

$$\tau = Af \quad (13)$$

ただし,

$$\tau = \begin{bmatrix} \tau_1(t) \\ \tau_2(r_2(t)) \\ \tau_3(r_3(t)) \\ \tau_4(r_4(t)) \end{bmatrix} \quad (14)$$

$$f = \begin{bmatrix} f_{11}(t) \\ f_{12}(t) \\ f_{13}(t) \\ f_{14}(t) \end{bmatrix} \quad (15)$$

$$A = \begin{bmatrix} I & I & I & I \\ a_2^2 I & a_2 I & I & I \\ a_3^2 I & a_3 I & I & I \\ a_4^2 I & a_4 I & I & -a_4^3 b_4 I \end{bmatrix} \quad (16)$$

を得る. $r_2(t)$, $r_3(t)$ は, 基本軸関数 t に対して線形な関係に, また $r_4(t)$ は非線型な関係にあるとすると, 式 (13) は Vandermonde の行列式を含むので, 行列式 A は必ず逆行列を持つ. ここで, 運動 S_1 のダイナミクス要素以外の f_{14} は次式で求めることができる.

$$f_{14} = [0 \ 0 \ 0 \ I] f \quad (17)$$

$$f_{14} = [0 \ 0 \ 0 \ I] A^{-1} \tau \quad (18)$$

5 目標運動を実現する入力トルクの形成

目標運動 S_0 を実現する時間軸関数を r_0 とする. ここで目標運動 S_0 は, すでに学習した運動と同一空間軌道上を運動し速度が異なるものとする. いま, この目標運動 S_0 をすでに学習した運動 S_1 , S_2 , S_3 , および前章で求めた f_{14} から形成する. いま, 運動 S_1 , S_2 , S_3 と目標運動 S_0 の間の時間軸間の関係より次式を得る.

$$\frac{dq_i(r_i)}{dr_i} = \alpha_i \frac{dq_0(r_0)}{dr_0} \quad (19)$$

$$\frac{d^2 q_i(r_i(t))}{dr_i^2} = \alpha_i^2 \frac{d^2 q_0(r_0)}{dr_0^2} - \alpha_i^3 \beta_i \frac{dq_0(r_0)}{dr_0} \quad (20)$$

ここで,

$$\alpha_i \equiv \frac{dr_0}{dr_i} \quad (21)$$

$$\beta_i \equiv \frac{d^2 r_i}{dr_0^2} \quad (22)$$

($i = 1, 2, 3$) と定義する. 以上を, 各運動のダイナミクスの式に代入すると,

$$\tau_i(r_i) + \alpha_i^3 \beta_i f_{04}(r_0) = \alpha_i^2 f_{01}(r_0) + \alpha_i f_{02}(r_0) + f_{03}(r_0) \quad (23)$$

を得る. ここで,

$$f_{01} = R(q_0(r_0)) \frac{d^2 q_0(r_0)}{dr_0^2} + \frac{dq_0(r_0)}{dt} S(q_0(r_0)) \frac{dq_0(r_0)}{dr_0}$$

$$f_{02} = D \frac{dq_0(r_0)}{dr_0}$$

$$f_{03} = g(q_0(r_0)) + h \operatorname{sgn} \left(\frac{dq_0(r_0)}{dr_0} \right)$$

$$f_{04} = R(q_0(r_0)) \frac{dq_0(r_0)}{dr_0}$$

である.

いま,

$$\alpha_2 = dr_0/d(k_2 t) = \alpha_1/k_2,$$

$$\alpha_3 = dr_0/d(k_3 t) = \alpha_1/k_3,$$

$$\beta_2 = d^2(k_2 t)/dr_0^2 = k_2/\beta_1,$$

$$\beta_3 = d^2(k_3 t)/dr_0^2 = k_3/\beta_1,$$

$$f_{04}(r_0) = \frac{f_{14}(t)}{\alpha_1}$$

を用いると, 次式を得る.

$$A^* f^* = u^* \quad (24)$$

ただし,

$$A^* \equiv \begin{bmatrix} \alpha_1^2 I & a_1 I & I \\ (\alpha_1/k_2)^2 I & (\alpha_1/k_2) I & I \\ (\alpha_1/k_3)^2 I & (\alpha_1/k_3) I & I \end{bmatrix} \quad (25)$$

$$f^* \equiv \begin{bmatrix} f_{01}(r_0) \\ f_{02}(r_0) \\ f_{03}(r_0) \end{bmatrix} \quad (26)$$

$$\tau^* \equiv \begin{bmatrix} \tau_1(t) + \alpha_1^2 \beta_1 f_{14}(t) \\ \tau_2(r_2) + (\alpha_1^2 \beta_1 / k_2^2) f_{14}(t) \\ \tau_3(r_3) + (\alpha_1^2 \beta_1 / k_3^2) f_{14}(t) \end{bmatrix} \quad (27)$$

である。行列 A^* は、Vandermondeの行列式の形をしているので常に正則である。よって、式(28)により、目標運動を実現する入力トルク τ_0 を得る。

$$\begin{aligned} \tau_0(r_0) &= f_{01}(r_0) + f_{02}(r_0) + f_{03}(r_0) \\ &= [I \ I \ I] A^{*-1} u^* \end{aligned} \quad (28)$$

6 運動の停止と再スタート

5章で、適当な時間軸関数を設定すれば目標運動を実現することができることを説明した。そこで、すでに学習したフィードフォワード入力を用いて、運動の途中で停止する時間軸関数 r_s を考える。このとき、運動が停止している時間では目標とする運動の速度が0でなければならない。さらに、停止状態がある程度連続した時間の場合、さらにその加速度も0である必要がある。つまり、停止時の条件として次式が必要となる。

$$\frac{dq_0}{dr_s} = 0 \quad (29)$$

$$\frac{d^2q_0}{dr_s^2} = 0 \quad (30)$$

この条件を満たす時間軸関数は式(29)、式(30)を変形することで次式を得る。

$$\frac{dt}{dr_s} = 0 \quad (31)$$

$$-\infty \leq \frac{d^2r_s}{dt^2} \leq +\infty \quad (32)$$

しかし、この条件は時間軸関数の条件式に反する。そこで、上の条件を満たしなおかつ運動を停止するために非常に速度の遅い運動を考える。

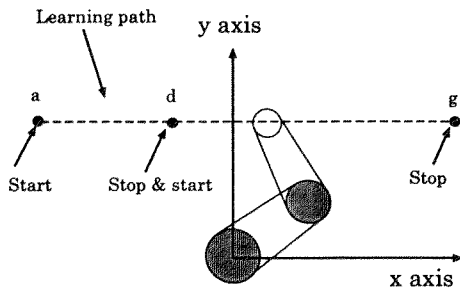


Fig. 4 : 運動の停止と再スタート

今、説明を簡単にするために、点 a を始点、点 g を終点とする直線軌道を学習制御によって学習し、この直線軌

道を再現するフィードフォワード入力を得たとする。ただし、ここでは重力補償項は考えないものとする。学習した直線軌道は、始点 a 、終点 g の速度は0であるが、軌道上の任意点 d の速度は、点 a から点 g へ向かう正の速度を持っているとする。ここで、すでに記述したように得られた入力トルクに対して時間軸変換を用いることで、同一空間上で速度パターンが異なる任意の運動を実現するフィードフォワード入力を形成することができる。ここでは、任意点 d での速度が非常に小さい場合を考える。このときロボットマニピュレータの運動方程式より、時間軸変換後に得られる入力トルクは次式のようになる。

$$\begin{aligned} R(q(t)) \frac{d^2q(t)}{dt^2} + \frac{dq(t)}{dt}^T S(q(t)) \frac{dq(t)}{dt} + D \frac{dq(t)}{dt} \\ + h \operatorname{sgn} \left(\frac{dq(t)}{dt} \right) = \tau \end{aligned} \quad (33)$$

任意点 d で速度が非常に小さい場合を考えているので、慣性項、コリオリ・遠心力項、粘性項は、式(33)より非常に小さな値になる。しかし、クーロン摩擦項に関しては、停止しない限りその値は、運動している場合と同じ値になる。ここで、摩擦について考えてみると、

$$\text{動摩擦} < \text{静止摩擦} < \text{最大静止摩擦} \quad (34)$$

となっている。運動方程式(33)の速度、加速度が非常に小さくなると、形成したフィードフォワード入力はクーロン摩擦項の値に近づく。つまり、フィードフォワード入力が動摩擦と静止摩擦の間にあることになり、この場合、ある程度フィードフォワード入力を与えても、静止摩擦よりも小さいため運動が停止してしまう。つまり、時間軸条件に反することなく、運動を停止することが可能となる。

運動が再スタートする場合は、加速度、速度が0から徐々に大きくなり、フィードフォワード入力の値のなかでクーロン摩擦項以外の値が大きくなる。その結果、入力が最大静止摩擦より大きくなったときに、その位置から運動が再スタートする。

以上のように、任意点 d で停止する場合には、その時刻のフィードフォワード入力が0でなくとも、入力トルクが小さければ停止可能なので、必ずしも速度、加速度が0となるような時間軸関数を用いなくともよい。ただし、動摩擦、静止摩擦、最大静止摩擦が大きく違う場合は、目標停止点 d に達する前に、Fig.5で示すように、入力が静止摩擦より小さな値になるため、目標停止点 d の前で運動が停止する。また、運動再スタート時は、停止位置から最大静止摩擦力が入力が達するまでに、時間的なずれが生じるので、再スタート時刻から少し遅れた

て運動が再スタートされることになる。しかし、ここでは問題を簡単にするため、この摩擦力の差はロボットマニピュレータの運動方程式の中では非常に小さいものとして考えている。

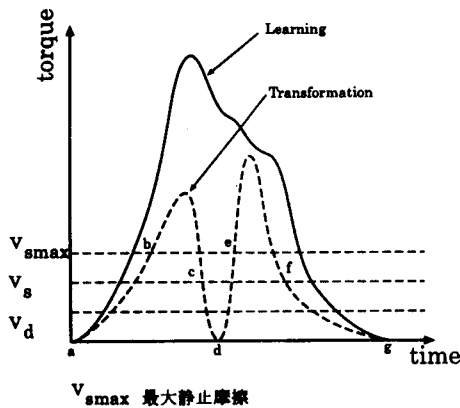


Fig.5: 入力トルクと摩擦の関係

以上の議論により、すでに学習した入力トルクを用いて任意点 d で運動を停止することが、またその位置から再スタート可能であることがわかる。このとき、このフィードフォワード入力を、目標停止点 d で分割することで1つの学習軌道から、2つの軌道を分割形成することが可能となる。

7 おわりに

学習制御は時間軸変換を用いることで、学習した同一空間上の運動に対してその速度を任意に設定することができるが、空間的に異なる軌道については、はじめから運動を学習しなおす必要があった。本稿では、このような異なる空間軌道上の目標運動を実現する方法として、あらかじめ学習制御により得られた軌道の異なる運動を分割・結合する方法を提案し、その前段階として学習で得られた軌道の分割方法について述べ、特にそのとき問題となる摩擦の問題について考察を行った。今後は、実機を使って検証していく予定である。

参考文献

(1) S.Arimoto, S.Kawamura and F.Miyazaki, "Bettering operation of robots by learning," *J. of Robotic Systems*, Vol.1, pp.123--140, 1984.

(2) S.Kawamura, F.Miyazaki and S.Arimoto, "Realization of robot motion based on a learning method," *IEEE Trans. on System, Man and Cybernetics*, Vol.SMC-18, pp.126--134, 1988.

(3) 深尾 典久, 川村 貞夫, "学習制御により得られた入力パターンの補間法とベルトコンベアシステムへの適用," *日本ロボット学会誌*, Vol.14, pp.1168--1177, 1996.

(4) 深尾 典久, 川村 貞夫, "学習制御で得られたロボットの入力トルクパターンの非線形時間軸変換," *計測自動制御学会誌*, Vol.32, pp.1107--1112, 1996.

(5) 樺 弘明, 深尾 典久, 川村 貞夫, "学習制御によって得られた入力トルクの利用法," 第15回日本ロボット学会学術講演会, pp.497--498, 1997.

(6) 川村 貞夫, 深尾 典久, 樺 弘明, "ロボットの教示と学習," *日本ロボット学会誌*, Vol.17, pp.162--165, 1999.

高次制御系のステップ応答のシミュレーション (その2)

栗本 尚

Computer Simulation of Step Response in Control System of High Order (No.2)

Takashi KURIMOTO

In design and analysis of an automatic control system, it is very useful to simulate the step response by very short program of personal computer using Runge-Kutta method. The author reported about such simulation of step response in the reference 1) and 2). Continued from the reference 1) and 2), in this paper the method to draw step response in the control system of order 2,4 and 5 with some zeros in closed-loop transfer function $W(s)$ and some examples of step response by very short program of N88-BASIC are described.

1 まえがき

参考文献1)の2.4項において、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、2次制御系と3次制御系のステップ応答を求めることのできる解法について示し、そのステップ応答を求めるための非常に短いプログラムをBASIC言語により作成し、そのプログラムによるステップ応答例を示した。ところで、これらの制御系では、その閉ループ伝達関数 $W(s)$ に零点を含まない場合について示した。

この成果をベースとして、参考文献2)では、4次制御系のステップ応答を求めるための解法とステップ応答例を示した。ここで、ルンゲクッタ法による4次制御系のステップ応答を求めるための解法については、特に問題はない。しかし、この4次制御系の1例として、閉ループ伝達関数 $W(s)$ に零点1個を含む4次制御系のステップ応答例を示したが、ステップ入力に対する微分項の処理に、少しばかり配慮が不足していることが確認された。

以上のような経過から、ここでは、まず2次制御系において、その閉ループ伝達関数 $W(s)$ に零点1個を含む2次制御系の1例について、ステップ応答を求めるときに配慮すべき点を示して、ルンゲクッタ法によるステップ応

答の求め方を示し、逆ラプラス変換による計算式より求めたステップ応答にほぼ一致することを示す。次に、参考文献2)でとりあげた4次制御系について再検討し、参考文献2)の3.2.2項および3.2.3項について一部修正した本文と図を再度示す。最後に、さらに高次の5次制御系について、ルンゲクッタ法によりステップ応答を求めるための解法とそのステップ応答例を示す。

2 $W(s)$ に零点1個を含む2次制御系のステップ応答2.1 $W(s)$ と $X(s)$

図1に示すフィードバック制御系において、次式のような零点1個を含む閉ループ伝達関数 $W(s)$ をもつ2次制御系について考える。

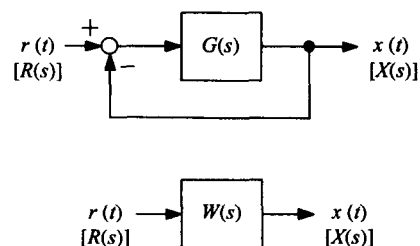


図1 フィードバック制御系

$$W(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \frac{s+a}{a} \quad (1)$$

この場合の開ループ伝達関数 $G(s)$ は次式で表される。

$$G(s) = \frac{W(s)}{1-W(s)} = \frac{\frac{\omega_n^2}{a}(s+a)}{s(s+2\zeta\omega_n - \frac{\omega_n^2}{a})} \quad (2)$$

この $W(s)$ に対し、ステップ入力 $r(t)$ を加えたときの出力 $X(s)$ は次式ようになる。

$$X(s) = W(s)R(s) = \frac{\omega_n^2(s+a)}{a(s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2)} R(s) \quad (3)$$

この(3)式は、2階常微分方程式に対応しており、ルンゲクッタ法により出力 $x(t)$ を求める。なお、次の2.2項については、参考文献1)の2.4.4項 (p79~84) をベースとして示す。

2.2 ルンゲクッタ法によるステップ応答³⁾

2.2.1 常微分方程式への変換

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

$$s^2 X(s) + 2\zeta\omega_n s X(s) + \omega_n^2 X(s) = \frac{\omega_n^2}{a} s R(s) + \omega_n^2 R(s) \\ \longrightarrow \ddot{x} + 2\zeta\omega_n \dot{x} + \omega_n^2 x = \frac{\omega_n^2}{a} \dot{r} + \omega_n^2 r \quad (4)$$

$$\left[\ddot{x} = \frac{d^2 x(t)}{dt^2}, \dot{x} = \frac{dx(t)}{dt}, x = x(t), \dot{r} = \frac{dr(t)}{dt}, r = r(t) \right]$$

この(4)式において、 $W(s)$ に零点1個を含むことは、右辺の $\frac{\omega_n^2}{a} \dot{r}$ [$r(t)$ の微分項] として出てくる。 $W(s)$ に零点を含まないときには、この $r(t)$ の微分項は出てこない。

2.2.2 $x_0(t)$ - t 特性

まず、(4)式の右辺の $r(t)$ の微分項を含まない場合を考え、そのときの x [$=x(t)$] を x_0 [$=x_0(t)$] とすると、次式が得られる。

$$\ddot{x}_0 + 2\zeta\omega_n \dot{x}_0 + \omega_n^2 x_0 = \omega_n^2 r \quad (5)$$

$$\left[\ddot{x}_0 = \frac{d^2 x_0(t)}{dt^2}, \dot{x}_0 = \frac{dx_0(t)}{dt} \right]$$

ここで

$$R(s) = \frac{1}{s} \longrightarrow r(t) = 1 \quad (6)$$

であり、参考文献1)の式(2.133)に対し

$$\ddot{x}_0 = -\omega_n^2 x_0 - 2\zeta\omega_n \dot{x}_0 + \omega_n^2 \quad (7)$$

が得られる。この(7)式を、参考文献1)の式(2.135)に対応する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。

$$\begin{cases} \dot{x}_0 = y_0 \\ \dot{y}_0 = -\omega_n^2 x_0 - 2\zeta\omega_n y_0 + \omega_n^2 = f(t, x_0, y_0) \end{cases} \quad (8)$$

$$\left[\dot{y}_0 = \frac{dy_0(t)}{dt}, y_0 = y_0(t) \right]$$

この(8)式について、参考文献1)の式(2.136)~(2.140)のルンゲクッタ法による解法式を用いて、ステップ応答 $x_0(t)$ - t 特性を求めることができる。

2.2.3 $x(t)$ - t 特性の解法

(8)式より求められる $x_0(t)$ のラプラス変換 $X_0(s)$ は、(3)式に対応させると次式で表される。

$$L[x_0(t)] = X_0(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} R(s) \quad (9)$$

したがって、 $\dot{x}_0(t)$ のラプラス変換 $sX_0(s)$ は、(9)式より次式で示される。

$$L[\dot{x}_0(t)] = sX_0(s) = \frac{\omega_n^2 s}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} R(s) \quad (10)$$

(3)(9)(10)式より、 $X(s)$ は次式のようになる。

$$X(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} R(s) + \frac{\omega_n^2 s}{a(s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2)} R(s) \\ = X_0(s) + \frac{1}{a} sX_0(s) \quad (11)$$

この(11)式を t 領域に変換し、(8)式の第1式を代入すると次式が得られる。

$$x(t) = x_0(t) + \frac{1}{a} \dot{x}_0(t) = x_0(t) + \frac{1}{a} y_0(t) \quad (12)$$

したがって、(8)式により $x_0(t)$ - t 特性を求めるときに、この(12)式を考慮することにより、 $W(s)$ に零点1個を含む2次制御系のステップ応答 $x(t)$ - t 特性を求めることができる。

2.2.4 ステップ応答

(8)(12)式と参考文献1)の式(2.136)~(2.140)より、 $W(s)$ に零点1個を含む2次制御系のステップ応答 $x(t)$ - t 特性を求めるためのプログラムを図2に示す。1例として、 $\omega_n = 1$, $\zeta = 0.5$ のとき、 a をパラメータとする、この2次制御系のステップ応答 $x(t)$ - t 特性を図3に示す。 $a \rightarrow \infty$ (④) のときには、零点を含まない標準の2次制御系のステップ応答になる。 $a \rightarrow$ 小となって零点が原点に近づくにしたがって、ステップ応答の初期変動が大きくなっていく。

2.3 計算式によるステップ応答

(3)式において、ステップ入力 $R(s) = \frac{1}{s}$ とし、 $X(s)$ を部分分数に展開して逆ラプラス変換することにより、 s

```

10 REM R13-PROG1
20 TE=12 : DT=.01 : WN=1 : ZE=.5
30 DEF FNF(T,X0,Y0)=-WN^2*X0-2*ZE*WN*Y0+WN^2
40 SCREEN 2,0 : CONSOLE ,0,0
50 WINDOW (0,-1.8)-(TE,.8) : VIEW (40,0)-(639,399)
60 LINE (0,0)-(TE,0) : LINE (0,-1.8)-(0,.8)
70 FOR J=-1.8 TO .801 STEP .2 : LINE (0,J)-(TE,J),, &H1111 : NEXT J
80 FOR J=0 TO TE STEP TE/12 : LINE (J,-1.8)-(J,.8),, &H1111 : NEXT J
90 LINE (0,-1)-(TE,-1),, &HF0F0
100 FOR I=1 TO 7 : READ A : DATA .5,1,2,1000,-2,-1,-.5
110 X0=0 : Y0=0 : X=0
120 FOR T=0 TO TE STEP DT
130 K1=DT*Y0 : L1=DT*FNF(T,X0,Y0)
140 K2=DT*(Y0+1/2*L1) : L2=DT*FNF(T+1/2*DT,X0+1/2*K1,Y0+1/2*L1)
150 K3=DT*(Y0+1/2*L2) : L3=DT*FNF(T+1/2*DT,X0+1/2*K2,Y0+1/2*L2)
160 K4=DT*(Y0+L3) : L4=DT*FNF(T+DT,X0+K3,Y0+L3)
170 X01=X0+1/6*(K1+2*K2+2*K3+K4) : Y01=Y0+1/6*(L1+2*L2+2*L3+L4)
180 X1=X01+1/A*Y01
190 LINE (T,-X)-(T+DT,-X1)
200 X0=X01 : Y0=Y01 : X=X1 : NEXT T
210 NEXT I
220 END
    
```

図2 2次制御系のステップ応答
 $x(t) - t$ 特性を求めるためのプログラム

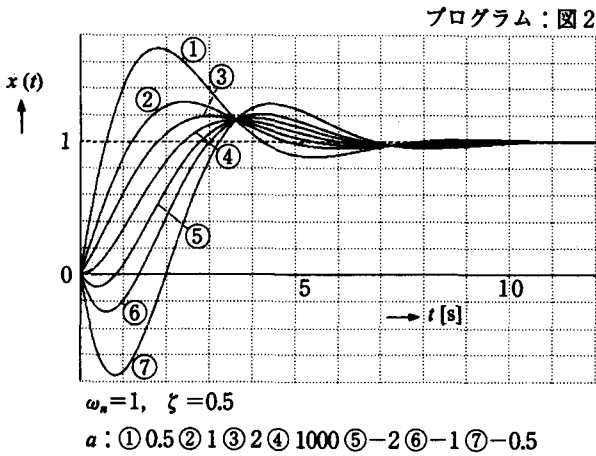


図3 2次制御系のステップ応答 (ルンゲクッタ法)

ステップ応答 $x(t)$ の計算式を求めると、次式のようになる。

$$\begin{aligned}
 X(s) &= \frac{\omega_n^2(s+a)}{a(s^2+2\zeta\omega_n s+\omega_n^2)} \frac{1}{s} \\
 &= \frac{1}{s} - \frac{s+\zeta\omega_n}{(s+\zeta\omega_n)^2 + (\omega_n\sqrt{1-\zeta^2})^2}
 \end{aligned}$$

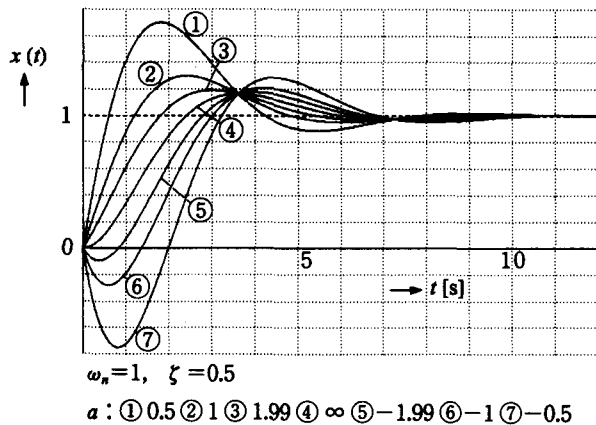


図4 2次制御系のステップ応答 (計算式)

$$\frac{\zeta - \frac{\omega_n}{a}}{\sqrt{1-\zeta^2}} \frac{\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}}{(s+\zeta\omega_n)^2 + (\omega_n\sqrt{1-\zeta^2})^2} \quad (13)$$

$$\begin{aligned}
 x(t) &= L^{-1}[X(s)] \\
 &= 1 - \frac{\sqrt{a^2+\omega_n^2-2a\zeta\omega_n}}{a\sqrt{1-\zeta^2}} e^{-\zeta\omega_n t} \times \\
 &\quad \sin\left(\sqrt{1-\zeta^2}\omega_n t + \tan^{-1} \frac{a\sqrt{1-\zeta^2}}{a\zeta-\omega_n}\right) \quad (14)
 \end{aligned}$$

なお、 $a \rightarrow \infty$ のときの $W(s)$ と $x(t)$ は、(1)(14)式より次式のように求められる。

$$W(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad (15)$$

$$\begin{aligned}
 \lim_{a \rightarrow \infty} x(t) &= 1 - \frac{1}{\sqrt{1-\zeta^2}} e^{-\zeta\omega_n t} \times \\
 &\quad \sin\left(\sqrt{1-\zeta^2}\omega_n t + \tan^{-1} \frac{\sqrt{1-\zeta^2}}{\zeta}\right) \quad (16)
 \end{aligned}$$

この場合は、零点を含まない標準の2次制御系となる。

この(14)式より、 $\omega_n=1, \zeta=0.5$ のとき、 a をパラメータとする、 $W(s)$ に零点1個を含む2次制御系のステップ応答 $x(t) - t$ 特性を、パソコンにより直接えがかせると図4のようになる。図3と図4を比較すると、ほぼ同じステップ応答が得られていることから、2.2項のルンゲクッタ法によるステップ応答のシミュレーションが妥当であることが確認できる。

3 4次制御系のステップ応答

3.1 3項に関する説明

2項の結果をベースとして、参考文献2) (以下3項においては“参2”)として表す) の3.2.2項と3.2.3項について再検討を行い、その一部修正したものを次の3.2および3.3項に示す。また、参2)の4項に関するコメントを次の

3.4項に示す。

3.2 [参2)の“3.2.2 1階4元連立常微分方程式 への変換”]の一部修正版

[参2)の(28式)の $X(s)$ よりステップ応答 $x(t)$ を求めるため、初期条件 $x(0)=0, \dot{x}(0)=0, \ddot{x}(0)=0, \dddot{x}(0)=0$ として、 $R(s), X(s)$ を t 領域に変換すると、次式の微分方程式が得られる。

$$\begin{aligned}
 & s^4 X(s) + \left(2\zeta\omega_n + \frac{1}{T_1}\right)s^3 X(s) + \omega_n\left(\omega_n + \frac{2\zeta}{T_1}\right)s^2 X(s) \\
 & + \frac{\omega_n^2(1 + K_0KT_2)}{T_1} sX(s) + \frac{K_0K\omega_n^2}{T_1} X(s) \\
 & = \frac{K_0K\omega_n^2 T_2}{T_1} sR(s) + \frac{K_0K\omega_n^2}{T_1} R(s) \\
 \longrightarrow & \dddot{x} + \left(2\zeta\omega_n + \frac{1}{T_1}\right)\ddot{x} + \omega_n\left(\omega_n + \frac{2\zeta}{T_1}\right)\dot{x} \\
 & + \frac{\omega_n^2(1 + K_0KT_2)}{T_1} \dot{x} + \frac{K_0K\omega_n^2}{T_1} x \\
 & = \frac{K_0K\omega_n^2 T_2}{T_1} \dot{r} + \frac{K_0K\omega_n^2}{T_1} r \tag{17}
 \end{aligned}$$

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

ここで、(17式の右辺の $\dot{r}(t)$ の項を含まないときの $x [= x(t)]$ を $x_0 [= x_0(t)]$ とし、

$$R(s) = \frac{1}{s} \rightarrow r(t) = 1 \tag{18}$$

とすると、[参2)の(18式)に対応する次式が得られる。

$$\begin{aligned}
 \dddot{x}_0 = & -\frac{K_0K\omega_n^2}{T_1} x_0 - \frac{\omega_n^2(1 + K_0KT_2)}{T_1} \dot{x}_0 - \omega_n\left(\omega_n + \frac{2\zeta}{T_1}\right)\ddot{x}_0 \\
 & - \left(2\zeta\omega_n + \frac{1}{T_1}\right)\ddot{x}_0 + \frac{K_0K\omega_n^2}{T_1} \dot{x}_0 \tag{19}
 \end{aligned}$$

この(19式を [参2)の(20式) に対応する1階4元連立常微分方程式に変換すると、次式のようになる。

$$\begin{cases} \dot{x}_0 = y_0, \dot{y}_0 = z_0, \dot{z}_0 = v_0 & (20) \\ \dot{v}_0 = -\frac{K_0K\omega_n^2}{T_1} x_0 - \frac{\omega_n^2(1 + K_0KT_2)}{T_1} y_0 - \omega_n\left(\omega_n + \frac{2\zeta}{T_1}\right)z_0 \\ \quad - \left(2\zeta\omega_n + \frac{1}{T_1}\right)v_0 + \frac{K_0K\omega_n^2}{T_1} \end{cases} \\
 = f(t, x_0, y_0, z_0, v_0)$$

$$\left[\dot{y}_0 = \frac{dy_0(t)}{dt}, y_0 = y_0(t) \dots \dot{v}_0 = \frac{dv_0(t)}{dt}, v_0 = v_0(t) \right]$$

この(20式)について、[参2)の(21)~(25式)のルンゲクッタ法による解法式を用いて、ステップ応答 $x_0(t)-t$ 特性を求めることができる。

ところで、(20式)より求められる $x_0(t)$ のラプラス変換 $X_0(s)$ は、[参2)の(28式) に対応させると次式で表される。

$$\begin{aligned}
 L[x_0(t)] = X_0(s) = & \frac{K_0K\omega_n^2}{T_1 s^4 + (2\zeta\omega_n T_1 + 1)s^3 +} \\
 & \omega_n(\omega_n T_1 + 2\zeta)s^2 + \omega_n^2(1 + K_0KT_2)s + K_0K\omega_n^2} R(s) \tag{21}
 \end{aligned}$$

したがって、 $\dot{x}_0(t)$ のラプラス変換 $sX_0(s)$ は、(21式)より次式で示される。

$$\begin{aligned}
 L[\dot{x}_0(t)] = sX_0(s) = & \frac{K_0K\omega_n^2 s}{T_1 s^4 + (2\zeta\omega_n T_1 + 1)s^3 +} \\
 & \omega_n(\omega_n T_1 + 2\zeta)s^2 + \omega_n^2(1 + K_0KT_2)s + K_0K\omega_n^2} R(s) \tag{22}
 \end{aligned}$$

ここで、[参2)の(28式) による $X(s)$ は、(21)(22式)を用いると次式で表される。

$$X(s) = X_0(s) + T_2 s X_0(s) \tag{23}$$

この(23式)を t 領域に変換し、(20式)の第1式を代入すると次式が得られる。

$$x(t) = x_0(t) + T_2 \dot{x}_0(t) = x_0(t) + T_2 y_0(t) \tag{24}$$

したがって、(20式)により $x_0(t)-t$ 特性を求めるときに、この(24式)を考慮することにより、 $W(s)$ に零点1個を含む4次制御系のステップ応答 $x(t)-t$ 特性を求めることができる。

3.3 [参2)の“3.2.3 ステップ応答”]の一部修正版

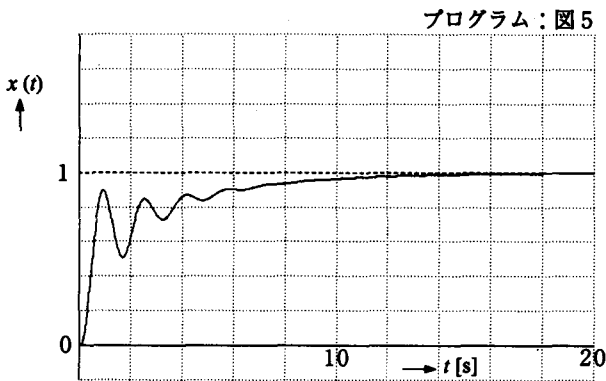
(20)(24式)と [参2)の(21)~(25式) により、この4次制御系のステップ応答 $x(t)-t$ 特性を求めるためのプログラムを図5 [参2)の図3の一部修正図] に示す。このプログラムは、パソコンPC-9800シリーズのN88-BASICによっている。プログラムをできるかぎり短くするために、グラフの座標軸、目盛線、計算特性のみをパソコンによりえがかせ、変数名、目盛数字、パラメータ表示、タイトルなどについては、手書き、テンプレートまたは貼り付けによっている。なお、BASICもその種類により多少の差があるため、このN88-BASICとちがう場合には、適宜修正する必要がある。

1例として、 $G_c(s)$ の $K=5, \zeta=0.4, \omega_n=3$ のとき、 $G_c(s)$ として、① $K_0=0.1, T_1=0.1, T_2=2$ ② $K_0=0.2, T_1=0.2, T_2=1$ の各場合について、この4次制御系のステップ応答 $x(t)-t$ 特性を図6(a)(b) [参2)の図4の一部修正図] に示す。なお、この4次制御系の開ループ伝達関数 $G(s)$ のボード線図とその結果については、参考文献1)の2.1.5項の図2.23(a)(b)と表2.4に示されている。ゲイン余有 g_m 、位相余有 ϕ_m は、① $g_m=9.0\text{db}, \phi_m=45^\circ$ ② $g_m=4.2\text{db}, \phi_m=26^\circ$ となり、

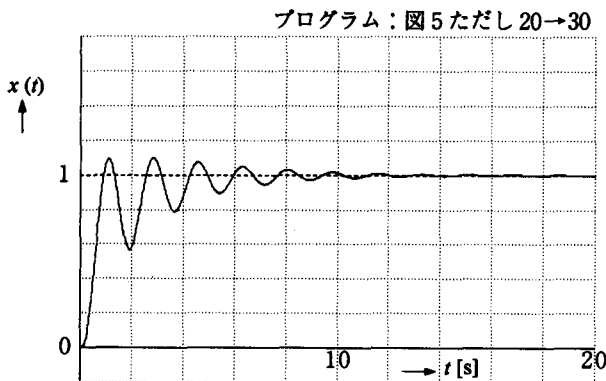
```

10 REM R13-PROG2
20 K=5 : ZE=.4 : WN=3 : K0=.1 : T1=.1 : T2=2 : X0=0 : Y0=0 : Z0=0 : V0=0 : X=0
30 'K=5 : ZE=.4 : WN=3 : K0=.2 : T1=.2 : T2=1 : X0=0 : Y0=0 : Z0=0 : V0=0 : X=0
40 TE=20 : DT=.02
50 DEF FNF(T,X0,Y0,Z0,V0)=-K0*K*WN^2/T1*X0-WN^2*(1+K0*K*T2)/T1*Y0-WN*(WN+2*ZE/T1
)*Z0-(2*ZE*WN+1/T1)*V0+K0*K*WN^2/T1
60 SCREEN 2,0 : CONSOLE , ,0,0
70 WINDOW (0,-1.8)-(TE,.2) : VIEW (40,0)-(639,399)
80 LINE (0,0)-(TE,0) : LINE (0,-1.8)-(0,.2)
90 FOR J=-1.8 TO .21 STEP .2 : LINE (0,J)-(TE,J),,,&H1111 : NEXT J
100 FOR J=0 TO TE STEP TE/10 : LINE (J,-1.8)-(J,.2),,,&H1111 : NEXT J
110 LINE (0,-1)-(TE,-1),,,&HF0F0
120 FOR T=0 TO TE STEP DT
130 K1=DT*Y0 : L1=DT*Z0 : M1=DT*V0 : P1=DT*FNF(T,X0,Y0,Z0,V0)
140 K2=DT*(Y0+1/2*L1) : L2=DT*(Z0+1/2*M1) : M2=DT*(V0+1/2*P1) : P2=DT*FNF(T+1/2*
DT,X0+1/2*K1,Y0+1/2*L1,Z0+1/2*M1,V0+1/2*P1)
150 K3=DT*(Y0+1/2*L2) : L3=DT*(Z0+1/2*M2) : M3=DT*(V0+1/2*P2) : P3=DT*FNF(T+1/2*
DT,X0+1/2*K2,Y0+1/2*L2,Z0+1/2*M2,V0+1/2*P2)
160 K4=DT*(Y0+L3) : L4=DT*(Z0+M3) : M4=DT*(V0+P3) : P4=DT*FNF(T+DT,X0+K3,Y0+L3,
Z0+M3,V0+P3)
170 X01=X0+1/6*(K1+2*K2+2*K3+K4)
180 Y01=Y0+1/6*(L1+2*L2+2*L3+L4)
190 Z01=Z0+1/6*(M1+2*M2+2*M3+M4)
200 V01=V0+1/6*(P1+2*P2+2*P3+P4)
210 X1=X01+T2*Y01
220 LINE (T,-X)-(T+DT,-X1)
230 X0=X01 : Y0=Y01 : Z0=Z01 : V0=V01 : X=X1 : NEXT T
240 END
    
```

図5 4次制御系のステップ応答 $x(t)-t$ 特性を求めるためのプログラム



(a) $G_c(s) : K_0=0.1, T_1=0.1, T_2=2$



(b) $G_c(s) : K_0=0.2, T_1=0.2, T_2=1$

図6 4次制御系のステップ応答 ($G_c(s) : K=5, \zeta=0.4, \omega_n=3$)

いずれの場合も安定である。

ここで、図5について、プログラム作成の概要を示す。

- ① 20~40: 定数、パラメータ設定値などを指定する。
- ② 50: 計算式を指定する。(20式 $f(t, x_0, y_0, z_0, v_0)$)
- ③ 70(WINDOW): ディスプレイの x, y 軸の変化範囲を指定する。(x軸: t 0~20, y軸: $x(t)$ -0.2~1.8)
- ④ 70(VIEW): ディスプレイ640×400のうちの使用範囲を指定する。
- ⑤ 80: x, y 座標軸を実線で引く。
- ⑥ 90~100: x, y 軸に関する目盛線を点線で引く。
- ⑦ 110: $x(t)$ の目標値を点線で引く。
- ⑧ 120~230: [参2)の(21)~(25)式] のルンゲクッタ法により、(20)式について、 t を変化させていったときの $x_0(t), y_0(t)$ を順次計算し、(24)式より $x(t)$ を求め、プロットして、ステップ応答をえがく。

なお、図5は、[参2)の図3] のプログラムに、(24)式に対応する210の1行の追加とその関連の変更をしたプログラムとなっている。ただし、一部の行については同じ行にまとめ、全体の行数は少なくしてある。

3.4 [参2)の4項] に関するコメント

4次制御系のステップ応答を求めるためのプログラムにより、近似3次制御系のステップ応答を求めるときに、 $G_c(s)$ の $T_2=0$ として、その閉ループ伝達関数 $W(s)$ に零点を含まない4次制御系について検討を行っているため、この項に関しては特に問題はない。

4 ルンゲクッタ法による5次制御系のステップ応答

4.1 5階常微分方程式の解法

ルンゲクッタ法による3次制御系のステップ応答に関する参考文献1)の2.4.5項の式(2.145)~(2.152)、4次制御系のステップ応答に関する参考文献2)の3.1項の(18)~(25)式に対し、5次制御系の場合には、それぞれ次式のようになる。

$$\frac{d^5x(t)}{dt^5} = f \left[t, x(t), \frac{dx(t)}{dt}, \frac{d^2x(t)}{dt^2}, \frac{d^3x(t)}{dt^3}, \frac{d^4x(t)}{dt^4} \right] \quad (25)$$

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dx(t)}{dt} &= y(t) \\ \frac{d^2x(t)}{dt^2} &= \frac{d}{dt} \left[\frac{dx(t)}{dt} \right] = \frac{dy(t)}{dt} = z(t) \\ \frac{d^3x(t)}{dt^3} &= \frac{d}{dt} \left[\frac{d^2x(t)}{dt^2} \right] = \frac{dz(t)}{dt} = v(t) \\ \frac{d^4x(t)}{dt^4} &= \frac{d}{dt} \left[\frac{d^3x(t)}{dt^3} \right] = \frac{dv(t)}{dt} = w(t) \\ \frac{d^5x(t)}{dt^5} &= \frac{d}{dt} \left[\frac{d^4x(t)}{dt^4} \right] = \frac{dw(t)}{dt} \\ &= f[t, x(t), y(t), z(t), v(t), w(t)] \end{aligned} \right. \quad (26)$$

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dx(t)}{dt} &= y(t), \quad \frac{dy(t)}{dt} = z(t), \\ \frac{dz(t)}{dt} &= v(t), \quad \frac{dv(t)}{dt} = w(t), \\ \frac{dw(t)}{dt} &= f[t, x(t), y(t), z(t), v(t), w(t)] \end{aligned} \right. \quad (27)$$

$$\left\{ \begin{aligned} k_1 &= \Delta t y_i \\ l_1 &= \Delta t z_i \\ m_1 &= \Delta t v_i \\ p_1 &= \Delta t w_i \\ q_1 &= \Delta t f(t_i, x_i, y_i, z_i, v_i, w_i) \end{aligned} \right. \quad (28)$$

$$\left\{ \begin{aligned} k_2 &= \Delta t \left(y_i + \frac{1}{2} l_1 \right) \\ l_2 &= \Delta t \left(z_i + \frac{1}{2} m_1 \right) \\ m_2 &= \Delta t \left(v_i + \frac{1}{2} p_1 \right) \\ p_2 &= \Delta t \left(w_i + \frac{1}{2} q_1 \right) \\ q_2 &= \Delta t f \left(t_i + \frac{1}{2} \Delta t, x_i + \frac{1}{2} k_1, y_i + \frac{1}{2} l_1, z_i + \frac{1}{2} m_1, v_i + \frac{1}{2} p_1, w_i + \frac{1}{2} q_1 \right) \end{aligned} \right. \quad (29)$$

$$\left\{ \begin{aligned} k_3 &= \Delta t \left(y_i + \frac{1}{2} l_2 \right) \\ l_3 &= \Delta t \left(z_i + \frac{1}{2} m_2 \right) \\ m_3 &= \Delta t \left(v_i + \frac{1}{2} p_2 \right) \end{aligned} \right. \quad (30)$$

$$\left\{ \begin{aligned} p_3 &= \Delta t \left(w_i + \frac{1}{2} q_2 \right) \\ q_3 &= \Delta t f \left(t_i + \frac{1}{2} \Delta t, x_i + \frac{1}{2} k_2, y_i + \frac{1}{2} l_2, z_i + \frac{1}{2} m_2, v_i + \frac{1}{2} p_2, w_i + \frac{1}{2} q_2 \right) \\ k_4 &= \Delta t (y_i + l_3) \\ l_4 &= \Delta t (z_i + m_3) \\ m_4 &= \Delta t (v_i + p_3) \\ p_4 &= \Delta t (w_i + q_3) \\ q_4 &= \Delta t f(t_i + \Delta t, x_i + k_3, y_i + l_3, z_i + m_3, v_i + p_3, w_i + q_3) \end{aligned} \right. \quad (31)$$

$$\left\{ \begin{aligned} x_{i+1} &= x_i + \Delta x_i = x_i + \frac{1}{6} (k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) \\ y_{i+1} &= y_i + \Delta y_i = y_i + \frac{1}{6} (l_1 + 2l_2 + 2l_3 + l_4) \\ z_{i+1} &= z_i + \Delta z_i = z_i + \frac{1}{6} (m_1 + 2m_2 + 2m_3 + m_4) \\ v_{i+1} &= v_i + \Delta v_i = v_i + \frac{1}{6} (p_1 + 2p_2 + 2p_3 + p_4) \\ w_{i+1} &= w_i + \Delta w_i = w_i + \frac{1}{6} (q_1 + 2q_2 + 2q_3 + q_4) \end{aligned} \right. \quad (32)$$

4.2 5次制御系のステップ応答

4.2.1 5次制御系の構成

ここでは、1例として、3次系の制御対象 $G_c(s)$ を位相進み遅れ要素からなるコントローラ $G_c(s)$ により制御する、図7に示すような5次制御系 (参考文献4) の Fig.10.4, Fig.10.12参照) について示す。

この5次制御系において、開ループ伝達関数 $G(s)$ 、閉ループ伝達関数 $W(s)$ は、次式のようになる。

$$G(s) = G_c(s) G_i(s) = \frac{340(s+5)(s+50)}{(s+0.2)(s+500)} \frac{90100}{s(s+140)(s+180)} \quad (33)$$

$$W(s) = \frac{G(s)}{1+G(s)} = \frac{340 \times 90100 (s+5)(s+50)}{(s+628.0)(s+40.43)(s+5.223)(s^2+147s+57754)} \quad (34)$$

(34)式より、この5次制御系の $W(s)$ としては、極5個と零点2個をもつことになる。

4.2.2 常微分方程式への変換

ステップ入力 $r(t)$ に対する出力 $X(s)$ は次式のように求められる。

$$X(s) = W(s) R(s) = \frac{3.063 \times 10^7 s^2 + 1.685 \times 10^9 s + 5^5 + 8.202 \times 10^2 s^4 + 1.854 \times 10^5 s^3 + 4.327 \times 10^7 s^2 + 7.659 \times 10^9}{1.687 \times 10^9 s + 7.659 \times 10^9} R(s) \quad (35)$$

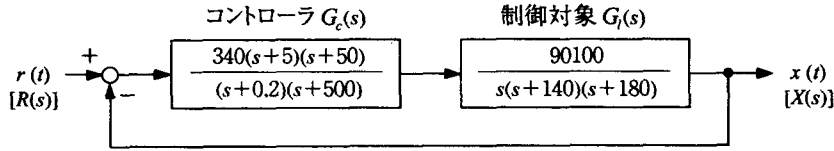


図7 5次制御系

この(35)式の $X(s)$ よりステップ応答 $x(t)$ を求めるため、初期条件 $x(0)=0, \dot{x}(0) \sim \ddot{x}(0)=0$ として、 $R(s), X(s)$ を t 領域に変換すると、次式の微分方程式が得られる。

$$\begin{aligned} \ddot{\ddot{x}} + 8.202 \times 10^2 \ddot{\ddot{x}} + 1.854 \times 10^5 \ddot{\ddot{x}} + 4.327 \times 10^7 \ddot{\ddot{x}} + \\ 1.687 \times 10^9 \dot{x} + 7.659 \times 10^9 x = 3.063 \times 10^7 \dot{r} + \\ 1.685 \times 10^9 \dot{r} + 7.659 \times 10^9 \end{aligned} \quad (36)$$

4.2.3 $x_0(t)-t$ 特性

(36)式の右辺の $\dot{r}(t), \ddot{r}(t)$ の項を含まないときの $x [=x(t)]$ を $x_0 [=x_0(t)]$ とし、 $R(s)=\frac{1}{s} \rightarrow r(t)=1$ とすると、(25)式に対応する次式が得られる。

$$\begin{aligned} \ddot{\ddot{x}}_0 = -7.659 \times 10^9 x_0 - 1.687 \times 10^9 \dot{x}_0 - 4.327 \times 10^7 \ddot{x}_0 - \\ 1.854 \times 10^5 \ddot{\ddot{x}}_0 - 8.202 \times 10^2 \ddot{\ddot{\ddot{x}}}_0 + 7.659 \times 10^9 \end{aligned} \quad (37)$$

この(37)式を(27)式に対応する1階5元連立常微分方程式に変換すると、次式ようになる。

$$\begin{cases} \dot{x}_0 = y_0, \dot{y}_0 = z_0, \dot{z}_0 = v_0, \dot{v}_0 = w_0 \\ \dot{w}_0 = -7.659 \times 10^9 x_0 - 1.687 \times 10^9 y_0 - 4.327 \times 10^7 z_0 - \\ 1.854 \times 10^5 v_0 - 8.202 \times 10^2 w_0 + 7.659 \times 10^9 \end{cases} \quad (38)$$

$$\begin{aligned} = f(t, x_0, y_0, z_0, v_0, w_0) \end{aligned}$$

この(38)式について、(28)~(32)式のルンゲクッタ法による解法式を用いて、ステップ応答 $x_0(t)-t$ 特性を求めることができる。

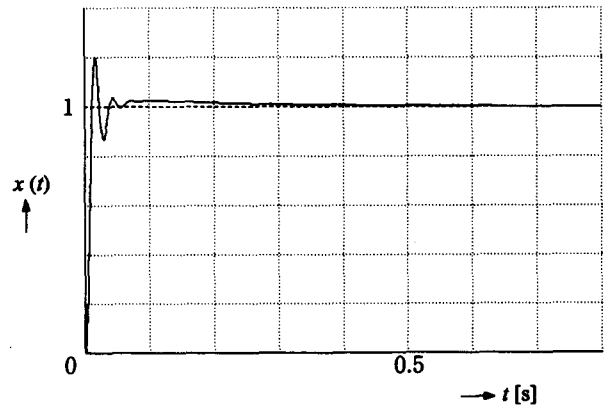
4.2.4 $x(t)-t$ 特性の解法

ここで、 $\dot{r}(t), \ddot{r}(t)$ の項について、2.2.3項の2次制御系または3.2項の4次制御系の場合と同様に考慮すると、 $x(t)$ として次式が得られる。

$$x(t) = x_0(t) + \frac{1.685 \times 10^9}{7.659 \times 10^9} \dot{x}_0(t) + \frac{3.063 \times 10^7}{7.659 \times 10^9} \ddot{x}_0(t)$$

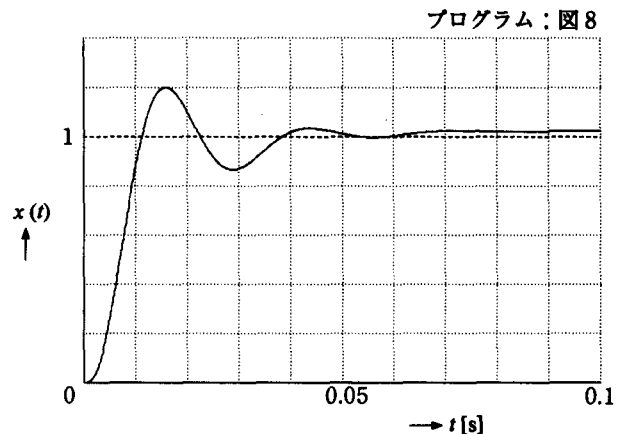
$$= x_0(t) + 2.200 \times 10^{-1} y_0(t) + 3.999 \times 10^{-3} z_0(t) \quad (39)$$

したがって、(38)式により $x_0(t)-t$ 特性を求めるときに、この(39)式を考慮することにより、 $W(s)$ に零点2個を含む5次制御系のステップ応答 $x(t)-t$ 特性を求めることができる。



プログラム：図8ただし
20 TE=.8 : DT=.0008
80 STEP TE/8

(a) 整定時までのステップ応答



(b) 時間t軸拡大図

図9 5次制御系のステップ応答

```

10 REM R13-PROG3
20 TE=.1 : DT=.0001 : X0=0 : Y0=0 : Z0=0 : V0=0 : W0=0 : X=0
30 DEF FNF(T,X0,Y0,Z0,V0,W0)=-7.659E+09*X0-1.687E+09*Y0-4.327E+07*Z0-185400!*V0-
820.2*W0+7.659E+09
40 SCREEN 2,0 : CONSOLE ,,0,0
50 WINDOW (0,-1.4)-(TE,0) : VIEW (40,0)-(639,399)
60 LINE (0,0)-(TE,0) : LINE (0,-1.4)-(0,0)
70 FOR J=-1.4 TO 0 STEP .2 : LINE (0,J)-(TE,J),,,&H1111 : NEXT J
80 FOR J=0 TO TE*1.01 STEP TE/10 : LINE (J,-1.4)-(J,0),,,&H1111 : NEXT J
90 LINE (0,-1)-(TE,-1),,,&HF0F0
100 FOR T=0 TO TE STEP DT
110 K1=DT*Y0 : L1=DT*Z0 : M1=DT*V0 : P1=DT*W0 : Q1=DT*FNF(T,X0,Y0,Z0,V0,W0)
120 K2=DT*(Y0+1/2*L1) : L2=DT*(Z0+1/2*M1) : M2=DT*(V0+1/2*P1) : P2=DT*(W0+1/2*Q1)
) : Q2=DT*FNF(T+1/2*DT,X0+1/2*K1,Y0+1/2*L1,Z0+1/2*M1,V0+1/2*P1,W0+1/2*Q1)
130 K3=DT*(Y0+1/2*L2) : L3=DT*(Z0+1/2*M2) : M3=DT*(V0+1/2*P2) : P3=DT*(W0+1/2*Q2)
) : Q3=DT*FNF(T+1/2*DT,X0+1/2*K2,Y0+1/2*L2,Z0+1/2*M2,V0+1/2*P2,W0+1/2*Q2)
140 K4=DT*(Y0+L3) : L4=DT*(Z0+M3) : M4=DT*(V0+P3) : P4=DT*(W0+Q3) : Q4=DT*FNF(T+
DT,X0+K3,Y0+L3,Z0+M3,V0+P3,W0+Q3)
150 X01=X0+1/6*(K1+2*K2+2*K3+K4)
160 Y01=Y0+1/6*(L1+2*L2+2*L3+L4)
170 Z01=Z0+1/6*(M1+2*M2+2*M3+M4)
180 V01=V0+1/6*(P1+2*P2+2*P3+P4)
190 W01=W0+1/6*(Q1+2*Q2+2*Q3+Q4)
200 X1=X01+.22*Y01+.003999*Z01
210 LINE (T,-X1)-(T+DT,-X1)
220 X0=X01 : Y0=Y01 : Z0=Z01 : V0=V01 : W0=W01 : X=X1 : NEXT T
230 END

```

図8 5次制御系のステップ応答
 $x(t)-t$ 特性を求めるための
プログラム

4.2.5 ステップ応答

(38)(39)式と(28)~(32)式より、 $W(s)$ に零点2個を含む5次制御系のステップ応答 $x(t)-t$ 特性を求めるためのプログラムを図8に示す。そのステップ応答 $x(t)-t$ 特性を図9(a)(b)に示す。図9(b)は図9(a)の時間 t 軸を拡大した図である。オフセットがかなり小さくなってから0になるまでに少し時間を必要とすることがわかる。なお、この図9(b)については、参考文献4)のFig.10.12とほぼ同じ結果が得られている。

5 まとめ

参考文献1)2)にひきつづき、参考文献2)の一部修正を含めて、閉ループ伝達関数 $W(s)$ に1個または2個の零点を含む2次,4次および5次制御系について、ルンゲクッタ法を用いたパソコンの短いプログラムにより、ステップ応答を求める方法を示した。ステップ応答は、制御系の制御状況を直感的に評価できるため、ステップ応答を正確にかつ任意にシミュレーションできると、制御系の設計・解析に有効に活用することができる。この考え方により、任意の個数の零点を含む6次以上の高次制御系に対しても、必要に応じて機械的に拡張していくことは十分に可能である。

筆者は、かねてから各種制御系の設計・解析のために、市販ソフトの活用と並行して、各種システム特性や要素特性をパソコンの簡潔なプログラムにより、任意に可視化したり、シミュレーションすることにとりくんでいる。^{1)2)5)~9)}今後とも、さらに2自由度制御系、多変数制御系、デジタル制御系、ロバスタ制御系などの各種

制御系に対しても応用展開をはかっていきたい。

参考文献

- 1) 栗本：“グラフィック制御工学入門” コロナ社 (1994)
- 2) 栗本：“高次制御系のステップ応答のシミュレーション” 奈良工業高等専門学校研究紀要 第29号 p45~50 (1994.3)
- 3) 黒川：“改訂 自動制御論” コロナ社 (1997)
- 4) Clark：“Control System Dynamics” Cambridge University Press (1996)
- 5) 栗本：“非線形制御系の位相面軌跡とステップ応答のシミュレーション” 奈良工業高等専門学校研究紀要 第30号 p63~68 (1995.3)
- 6) 栗本：“非線形制御系の位相面軌跡とステップ応答のシミュレーション (その2)” 奈良工業高等専門学校研究紀要 第31号 p35~40 (1996.3)
- 7) 栗本：“多変数制御系のレギュレータ特性のシミュレーション” 奈良工業高等専門学校研究紀要 第32号 p35~41 (1997.3)
- 8) 栗本：“デジタル制御系のボード線図と根軌跡のシミュレーション” 奈良工業高等専門学校研究紀要 第33号 p45~52 (1998.3)
- 9) 栗本：“連続制御系の等 M 等 ϕ 線図とニコルス線図のシミュレーション” 奈良工業高等専門学校研究紀要 第34号 p43~50 (1999.3)

実験支援のための過渡応答特性と リサージュ図形の作動シミュレーション

栗本 尚

Computer Simulation of Transient Response and Lissajous Chart for Support of Experiment

Takashi KURIMOTO

In learning the transient phenomena and lissajous chart in electrical engineering, usually students can understand them by circuit calculation and circuit experiment. Such transient response and lissajous chart can be drawn easily by the personal computer. When the results of this computer simulation are used, the effect of education is increased. In this paper the methods to draw transient response and lissajous chart briefly by N88-BASIC are described. As transient response there are considered RC and LC circuit with a DC power and a switch. And as lissajous chart there are considered the sine wave voltage and the trapezoid wave voltage.

1 まえがき

電気工学における過渡現象は、基礎的な項目の一つであり、理論式による計算をとおして習得させ、必要に応じて回路実験により、オシロスコープで過渡応答特性を観測させている場合が多い。また、交流回路におけるリサージュ図形は、理論的作図によりえがかせることもできるが、かなり面倒であり、むしろ回路実験により、オシロスコープでえがかせて習得させている場合が多い。ところで、このような回路実験による前に、計算式より、過渡応答特性やリサージュ図形をパソコンで手軽にかつ任意に作成させ、このシミュレーション特性と回路実験による特性を直接比較検討できるようにすれば、過渡現象やリサージュ図形を正確に理解させるのに非常に有効である。

現状では、このような電気回路用ソフトも市販されている。しかし、市販ソフトは、インタフェース性はある程度よいものの、コストもかかり、使用上の制約も案外多い。そこで、もっとコンピュータ利用の原点にもどって、これらの各特性を、必要最小限の非常に短いプログラムにより、任意のスケールで正確に作成できるようにすれば、教育効果も大きい。

このような観点から、ここでは、過渡現象に関しては、RC直流回路やLC直流回路にてスイッチをオンまたはオフしたときの過渡応答特性を、またリサージュ図形に関しては、任意の正弦波交流電圧や台形波交流電圧によるリサージュ図形を、BASIC言語による20行程度の非常に短いプログラムにより求める方法について示す。なお、この考え方により、他の任意の過渡応答特性やリサージュ図形を、手軽にかつ正確に求める方法に容易に拡張していくことができる。

2 過渡応答特性¹⁾

2.1 RC直流回路

2.1.1 回路構成

図1に示すようなRC直流回路 (R: 抵抗、C: キャパ)

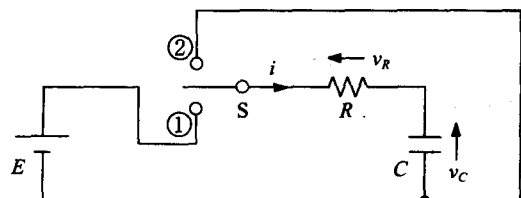


図1 RC直流回路

シタ)において、スイッチSをまず①側にオンし、直流電圧EをRC回路に印加して電流*i*を流す。定常状態になった後、Sを②側に切りかえてEを除去し、RC回路をショートして電流*i*を流す場合について示す。

2.1.2 E印加時の過渡応答特性

スイッチSを①側にオンした、E印加時の回路式は次式のようになる。

$$Ri + \frac{1}{C} \int idt = E \quad (1)$$

ここで、Cの電荷を*q*とすると

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (2)$$

となり、この(1)(2)式より次式が得られる。

$$R \frac{dq}{dt} + \frac{1}{C} q = E \quad (3)$$

この(3)式の微分方程式を解くと

$$\frac{dq}{q-CE} = -\frac{1}{RC} dt \quad (4)$$

$$\ln(q-CE) = -\frac{1}{RC} t + A \quad (A: \text{定数}) \quad (5)$$

$$q = CE + Be^{-\frac{1}{RC}t} \quad (B=e^A) \quad (6)$$

となる。ここで、初期条件として*t*=0のとき*q*=0とすると、(6)式より*B*=-*CE*となり、*q*として次式が得られる。

$$q = CE(1 - e^{-\frac{1}{RC}t}) \quad (7)$$

したがって、*i*およびCとRの各電圧*v_C*、*v_R*は次式のようになる。

$$i = \frac{dq}{dt} = \frac{E}{R} e^{-\frac{1}{RC}t} \quad (8)$$

$$v_C = \frac{1}{C} q = E(1 - e^{-\frac{1}{RC}t}) \quad (9)$$

$$v_R = Ri = Ee^{-\frac{1}{RC}t} \quad (10)$$

なお、(9)式において*t*=*RC*のときには、*v_C*=0.632*E*となり、この*t*=*T*=*RC*[s]を時定数という。この*T*が大きいほど、過渡現象は長く続く。また、*t*=0における*v_C*の接線の勾配*m*は

$$m = \left. \frac{dv_C}{dt} \right|_{t=0} = \frac{E}{RC} e^{-\frac{1}{RC}t} \Big|_{t=0} = \frac{E}{RC} \quad (11)$$

となるため、その接線*v_{C0}*は次式で表される。

$$v_{C0} = mt = \frac{E}{RC} t \quad (12)$$

したがって、*t*=*T*=*RC*のときには、*v_{C0}*=*E*となる。

2.1.3 E除去時の過渡応答特性

スイッチSを、①側から②側にオンした、E除去時の回路式は次式のようになる。

$$Ri + \frac{1}{C} \int idt = 0 \quad (13)$$

(2)(13)式より次式が得られる。

$$R \frac{dq}{dt} + \frac{1}{C} q = 0 \quad (14)$$

この(14)式の微分方程式を解くと

$$q = Be^{-\frac{1}{RC}t} \quad (B: \text{定数}) \quad (15)$$

となる。ここで、初期条件として*t*=0のとき*q*=*Q*=*CE*となっているため、(15)式より*B*=*CE*となり、*q*として次式が得られる。

$$q = CEe^{-\frac{1}{RC}t} \quad (16)$$

したがって、*i*、*v_C*、*v_R*は次式のようになる。

$$i = \frac{dq}{dt} = -\frac{E}{R} e^{-\frac{1}{RC}t} \quad (17)$$

$$v_C = \frac{1}{C} q = Ee^{-\frac{1}{RC}t} \quad (18)$$

$$v_R = Ri = -Ee^{-\frac{1}{RC}t} \quad (19)$$

2.1.4 過渡応答のシミュレーション

E印加時の過渡応答として、(8)(9)式より、*i*、*v_C*-*t*特性を求めるためのプログラムを図2に示す。このプログラムは、パソコンPC-9800シリーズのN88-BASICによっている。プログラムをできるかぎり短くするために、グラフの座標軸、目盛線、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、タイトルなどについては、手書き、テンプレートまたは貼りつけに

```

10 REM R12-PROG1
20 TE=.01 : DT=.00001 : E=5 : R=1000 : C=.0000015 : H=1000
30 DEF FNI(T)=E/R*EXP(-1/(R*C)*T)
40 DEF FNVC(T)=E*(1-EXP(-1/(R*C)*T))
50 DEF FNVC0(T)=E/(R*C)*T
60 SCREEN 2,0 : CONSOLE ,,0,0
70 WINDOW (0,-6)-(TE,1)
80 VIEW (40,0)-(639,399)
90 LINE (0,0)-(TE,0)
100 LINE (0,-6)-(0,1)
110 FOR J=-6 TO 1 STEP 1
120 LINE (0,J)-(TE,J),,,&H1111 : NEXT J
130 FOR J=0 TO TE*1.01 STEP TE/10
140 LINE (J,-6)-(J,1),,,&H1111 : NEXT J
150 FOR T=0 TO TE STEP DT
160 LINE (T,-FNI(T)*H)-(T+DT,-FNI(T+DT)*H)
170 LINE (T,-FNVC(T))-(T+DT,-FNVC(T+DT)) : NEXT T
180 FOR T=0 TO TE STEP DT*3 : PSET (T,-FNVC0(T)) : NEXT T
190 END

```

図2 E印加時の*i*、*v_C*-*t*特性
を求めるためのプログラム

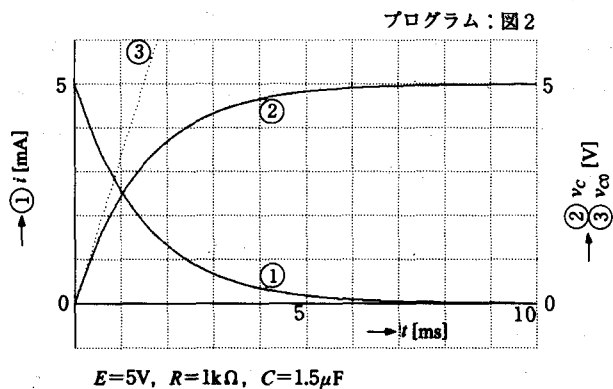


図3 E印加時の i, v_c-t 特性

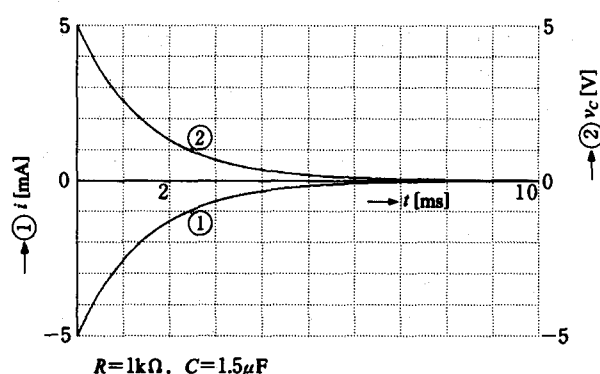


図4 E除去時の i, v_c-t 特性

よっている。なお、BASICもその種類により多少の差があるため、このN88-BASICとちがう場合には、適宜修正する必要がある。1例として、 $E=5V, R=1k\Omega, C=1.5\mu F$ のときの i, v_c-t 特性を図3に示す。なお、 i のスケールは、図2の20と160のHにより設定してある。また(12)式より、 $t=0$ における v_c の接続 $v_{c0}-t$ 特性も点線で示す。 $t=T=RC=1.5ms$ のとき、 $v_{c0}=E=5V$ となっていることがわかる。

次に、E除去時の過渡応答として、(17)(18)式より、 i, v_c-t 特性をパソコンによりえがかせた1例を図4に示す。図4については、図2のプログラムを一部修正することにより容易に作成できる。図4において、 $i < 0$ となるのは、E印加時の i に対し逆方向に流れることを示している。

なお、(7)(9)式および(16)(18)式より、E印加時およびE除去時の $q-t$ 特性は、それぞれの v_c-t 特性と同じパターンとなる。また、(8)(10)式および(17)(19)式より、E印加時およびE除去時の v_R-t 特性は、それぞれの $i-t$ 特性と同じパターンとなる。

2.2 LC直流回路

2.2.1 回路構成

図5に示すようなLC直流回路 (L : インダクタ、 C : キャ

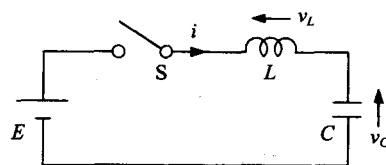


図5 LC直流回路

パシタ) において、スイッチSをオンし、直流電圧EをLC回路に印加して電流*i*を流す場合について示す。

2.2.2 E印加時の過渡応答特性式

E印加時の回路式は次式のようになる。

$$L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int i dt = E \quad (20)$$

i とCの電荷 q とは(2)式で表されるため、(20)(2)式より

$$L \frac{d^2q}{dt^2} + \frac{1}{C} q = E \quad (21)$$

となり、 q に関する2階線形微分方程式が得られる。この微分方程式の解としては、過渡解 q_t 、特殊解 q_s とすると、

$$q = q_t + q_s \quad (22)$$

となる。

ここで、 q_s は(21)式の右辺を0とおいて

$$L \frac{d^2q}{dt^2} + \frac{1}{C} q = 0 \quad (23)$$

の解として求められる。その解を

$$q_t = Ae^{pt} \quad (24)$$

とすると

$$Lp^2q_t + \frac{1}{C} q_t = 0 \longrightarrow p = \pm j \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (25)$$

となり、 q_t は次式のように求められる。

$$q_t = A_1 e^{j \frac{1}{\sqrt{LC}} t} + A_2 e^{-j \frac{1}{\sqrt{LC}} t} \quad (26)$$

ここで、オイラーの公式より、

$$e^{\pm j \frac{1}{\sqrt{LC}} t} = \cos \frac{1}{\sqrt{LC}} t \pm j \sin \frac{1}{\sqrt{LC}} t \quad (27)$$

を用いると、 q_t は次式で表すこともできる。

$$q_t = K_1 \cos \frac{1}{\sqrt{LC}} t + K_2 \sin \frac{1}{\sqrt{LC}} t \quad (28)$$

ただし、 $K_1 = A_1 + A_2, K_2 = j(A_1 - A_2)$ である。

また、 q_s は

$$q_s = CE \quad (29)$$

となるため、一般解 q は(22)(28)(29)式より、また i は(2)式より、それぞれ次式のように求められる。

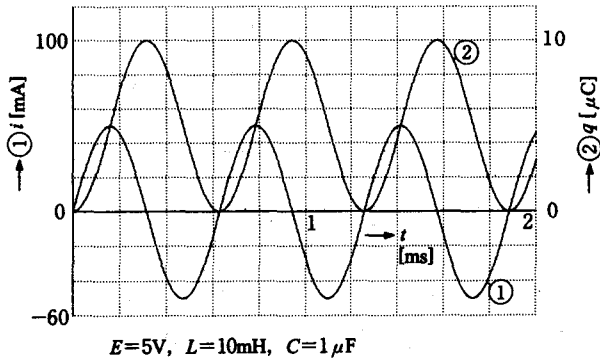


図6 E印加時の*q, i*-*t*特性

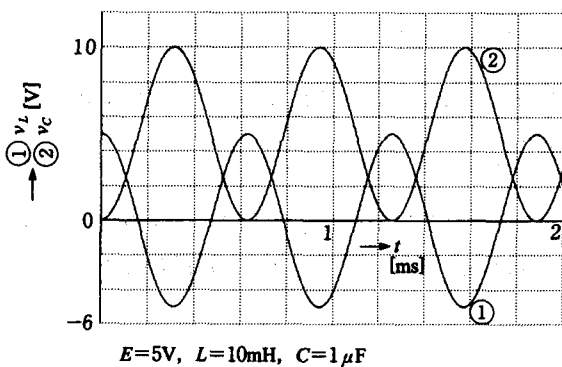


図7 E印加時の*v_L, v_C*-*t*特性

$$q = K_1 \cos \frac{1}{\sqrt{LC}} t + K_2 \sin \frac{1}{\sqrt{LC}} t + CE \quad (30)$$

$$i = \frac{1}{\sqrt{LC}} (K_2 \cos \frac{1}{\sqrt{LC}} t - K_1 \sin \frac{1}{\sqrt{LC}} t) \quad (31)$$

ここで、初期条件として、 $t=0$ のとき $q=0, i=0$ とすると、 $K_1 = -CE, K_2 = 0$ となり、 q, i は最終的に次式ようになる。

$$q = CE \left(1 - \cos \frac{1}{\sqrt{LC}} t \right) \quad (32)$$

$$i = \frac{E}{\sqrt{LC}} \sin \frac{1}{\sqrt{LC}} t \quad (33)$$

また、 L と C の各電圧 v_L と v_C は次式のように求められる。

$$v_L = L \frac{di}{dt} = E \cos \frac{1}{\sqrt{LC}} t \quad (34)$$

$$v_C = \frac{1}{C} q = E \left(1 - \cos \frac{1}{\sqrt{LC}} t \right) \quad (35)$$

2.2.3 過渡応答のシミュレーション

E印加時の過渡応答として、(32)(33)式より求めた、 $E=5V, L=10mH, C=1\mu F$ のときの $q, i-t$ 特性を図6に示す。また、(34)(35)式より求めた v_L, v_C-t 特性を図7に示す。 L は電磁エネルギー、 C は静電エネルギーを蓄積あるいは放出する素子である。図7より、 v_L と v_C は、常に $v_L + v_C = E$ の関

係を保ちながら、互いに逆位相で振動し続けることがわかる。これは、 L と C の間にエネルギーのやりとりがあり、 L 内部の磁束の変化と C の充放電の繰り返しにより、エネルギーを消費しないで振動することによる。なお、図6と図7は、図2の一部修正により容易に得られる。

3 リサージュ図形

3.1 リサージュ図形

オシロスコープの y 軸 (垂直軸) と x 軸 (水平軸) に、それぞれ任意の周波数、振幅および位相差をもつ交流電圧を加えることにより、リサージュ図形が得られる。このようなリサージュ図形を習得させるにあたっては、比較的単純な交流電圧の組合せについて実際に作図させた後、任意の交流電圧の組合せについては、パソコンにより手軽にえがかせるようにすると、正確に理解させることができる。実際の回路で実測されたリサージュ図形についての検討も十分にでき、非常に有効である。

リサージュ図形の活用としては、各種の応用例がある。1例として、磁気軸受を含む高速回転体²⁾においては、ジャイロ効果と不釣り合いによるロータ系のふれ回りが生ずる。このようなふれ回りに対し、ロータ系の y 軸と x 軸の位置センサ信号によるリサージュ図形を求めると、ロータ系の作動に関する情報を得ることができる。一方、ロータ系の y 軸または x 軸の位置センサ信号によるFFT (Fast Fourier Transform: 高速フーリエ変換) データも、ロータ系の作動状況の把握に役立っている。このようなFFTデータとリサージュ図形の間には密接な関係があり、これらの両データを適宜有効に活用することにより、ロータ系の正確な作動状況の把握と必要な場合の対策検討などに役立つ。また、自動制御系において、アクチュエータ駆動用2相サーボモータの固定相と制御相の交流電圧によるリサージュ図形は、サーボ系の設計・解析などに活用できる。

3.2 リサージュ図形のシミュレーション

3.2.1 正弦波交流電圧によるリサージュ図形³⁾

次式の正弦波交流電圧 $y(t)$ と $x(t)$ によるリサージュ図形を求める。

$$y(t) = V_1 \sin \omega_1 t \quad (36)$$

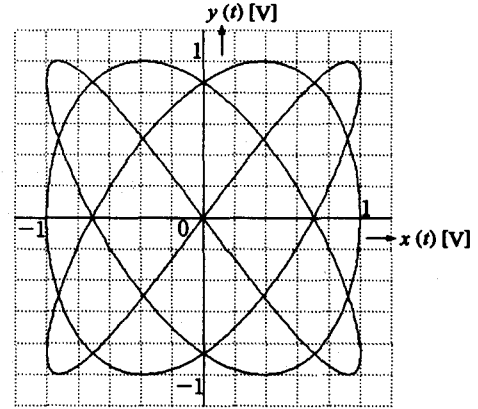
$$x(t) = V_2 \sin (\omega_2 t - \theta) \quad (37)$$

(36)(37)式より、 θ をパラメータとするリサージュ図形 $y(t)-x(t)$ 特性を求めるためのプログラムを図8に示す。 $V_1 = V_2 = 1V, \omega_1 = \omega_2 = 1 \text{ rad/s}$ とし、 θ [rad] をパラメータ

```

10 REM R12-PROG2
20 PI=3.1416 : V1=1 : W1=1 : V2=1 : W2=1
30 TE=2*PI : DT=TE/1000
40 DEF FNY(T)=V1*SIN(W1*T)
50 DEF FNX(T)=V2*SIN(W2*T-TH)
60 SCREEN 2,0 : CONSOLE ,,0,0
70 WINDOW (-1.2,-1.2)-(1.2,1.2)
80 VIEW (240,0)-(639,399)
90 LINE (-1.2,0)-(1.2,0)
100 LINE (0,-1.2)-(0,1.2)
110 FOR J=-1.2 TO 1.2 STEP .2
120 LINE (-1.2,J)-(1.2,J),,,&H1111 : NEXT J
130 FOR J=-1.2 TO 1.2 STEP .2
140 LINE (J,-1.2)-(J,1.2),,,&H1111 : NEXT J
150 FOR I=1 TO 5
160 READ TH : DATA 0,.7854,1.5708,2.3562,3.1416
170 FOR T=0 TO TE STEP DT
180 LINE (FNX(T),-FNY(T))-(FNX(T+DT),-FNY(T+DT)) : NEXT T
190 NEXT I
200 END
    
```

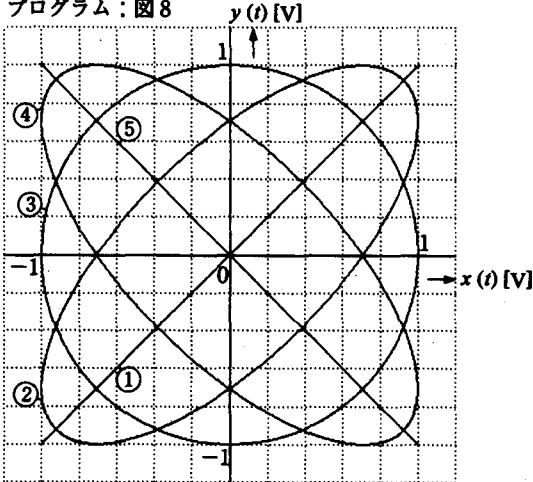
図8 正弦波交流電圧によるリサージュ図形 $y(t)-x(t)$ 特性を求めめるためのプログラム



$V_1=V_2=1V, \omega_1=4\text{rad/s}, \omega_2=3\text{rad/s}, \theta = \frac{1}{2}\pi$ [rad]

図10 正弦波交流電圧によるリサージュ図形 $y(t)-x(t)$ 特性

プログラム：図8



$V_1=V_2=1V, \omega_1=\omega_2=1\text{rad/s}$
 θ [rad] : ①0 ② $\frac{1}{4}\pi$ ③ $\frac{1}{2}\pi$ ④ $\frac{3}{4}\pi$ ⑤ π

図9 正弦波交流電圧によるリサージュ図形 $y(t)-x(t)$ 特性 (パラメータ： θ)

としたときのリサージュ図形を図9に示す。また、 $V_1=V_2=1V, \omega_1=4\text{rad/s}, \omega_2=3\text{rad/s}, \theta = \frac{1}{2}\pi$ [rad] のときのリサージュ図形を図10に示す。

3.2.2 台形波交流電圧によるリサージュ図形

図11に示すような台形波交流電圧 $y(t)$ と $x(t)$ によるリサージュ図形を求め。ここで、台形波交流電圧 $y(t), x(t)$ としては、次式のフーリエ級数展開式 [参考文献6) の3.3項(26)式参照] を用いる。

$$y(t) = \frac{4A}{\pi\omega\tau} \sum_{n=1(\text{奇数})}^{21} \frac{\sin n\omega\tau}{n^2} \sin n\omega t \quad (38)$$

$$x(t) = \frac{4A}{\pi\omega\tau} \sum_{n=1(\text{奇数})}^{21} \frac{\sin n\omega\tau}{n^2} \sin \left\{ n\left(\omega t - \frac{1}{2}\pi\right) \right\} \quad (39)$$

(38)(39)式より、 $\omega\tau$ をパラメータとする台形波交流電圧

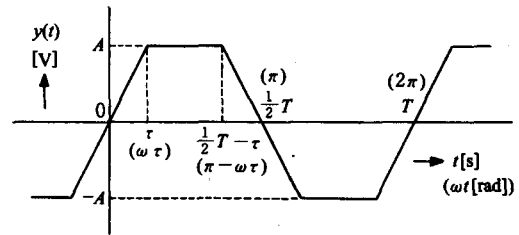


図11 台形波交流電圧

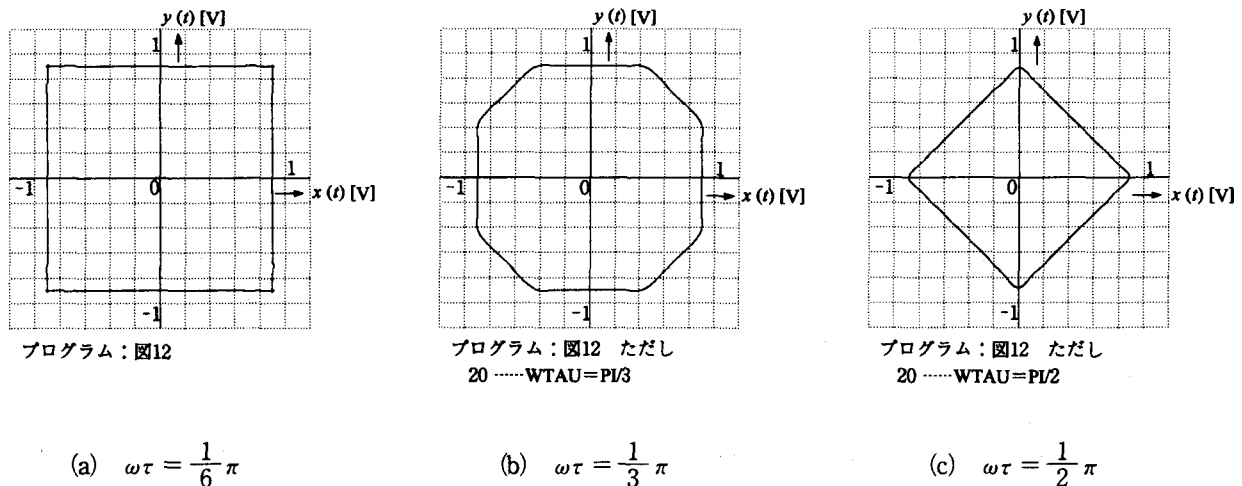
のリサージュ図形 $y(t)-x(t)$ 特性を求めめるためのプログラムを図12に示す。 $A=0.9V$ とし、 $\omega\tau$ [rad] をパラメータとしたときのリサージュ図形の1例を図13(a)~(c)に示す。

ところで、磁気軸受を含む高速回転体のロータ系のリサージュ図形を観測すると、通常は正弦波によるリサージュ図形としての円または楕円に近い形になることが多い。しかし、時にはそのリサージュ図形が四角形に近い

```

10 REM R12-PROG3
20 PI=3.1416 : WTE=2*PI : DWT=WTE/2000 : A=.9 : WTAU=PI/6
30 SCREEN 2,0 : CONSOLE ,,0,0
40 WINDOW (-1.2,-1.2)-(1.2,1.2)
50 VIEW (240,0)-(639,399)
60 LINE (-1.2,0)-(1.2,0) : LINE (0,-1.2)-(0,1.2)
70 FOR J=-1.2 TO 1.2 STEP .2
80 LINE (-1.2,J)-(1.2,J),,,&H1111 : NEXT J
90 FOR J=-1.2 TO 1.2 STEP .2
100 LINE (J,-1.2)-(J,1.2),,,&H1111 : NEXT J
110 FOR WT=DWT TO WTE STEP DWT
120 Y(WT)=0 : FOR N=1 TO 21 STEP 2
130 Y(WT)=Y(WT)+4*A*SIN(N*WTAU)/(PI*WTAU*N^2)*SIN(N*WT)
140 NEXT N
150 X(WT)=0 : FOR N=1 TO 21 STEP 2
160 X(WT)=X(WT)+4*A*SIN(N*WTAU)/(PI*WTAU*N^2)*SIN(N*(WT-PI/2))
170 NEXT N
180 LINE (X(WT-DWT),-Y(WT-DWT))-(X(WT),-Y(WT)) : NEXT WT
190 END
    
```

図12 台形波交流電圧によるリサージュ図形 $y(t)-x(t)$ 特性を求めめるためのプログラム

図13 台形波交流電圧によるリサージュ図形 $y(t)-x(t)$ 特性 ($A=0.9V$)

形になることもある。このような四角形に近いリサージュ図形は、 $y(t), x(t)$ が台形波になっているときに得られることがわかる。

4 まとめ

RC直列回路およびLC直列回路にて、スイッチをオンまたはオフしたときの過渡応答特性、また正弦波交流電圧や台形波交流電圧によるリサージュ図形を、パソコンにより手軽にかつ正確にえがかせることにより、それらの理論や計算を正確に理解させ、かつ回路実験を有効に支援させ得ることを示した。

最近、カリキュレータやパソコンの応用ソフトも広く普及しており、勉学中の学生はそれらにある程度活用しているようにはみえる。しかし、とすれば基本的なことが、あまりにもブラックボックス化されているため、例えば、カリキュレータが手元にないとき、紙の上での基本的な筆算をしない学生も時には見うけられる。やはり、基礎勉強の段階では、例えばパソコンをグラフ用紙と定木やコンパスのかわりに用いるようにして勉強させることも大切ではないかと思われる。

筆者は、かねてから自動制御系の設計・解析のために、市販ソフトの活用と並行して、各種システム特性や要素特性を、パソコンの簡潔な自作プログラムにより、任意に可視化したり、シミュレーションすることにとりこんできている。^{4)8)~10)}この過程を通して、筆者自身が制御工学の内容を、非常に明確に理解できるようになったといえる。さらに、このような考え方を、電気工学の共振回路の分野⁵⁾やフーリエ級数によるひずみ波交流の分野⁶⁾⁷⁾にも適用し、理論と実験を強力にバックアップして、それらの理解度を高めるのに非常に有用であることを示して

きた。ここでは、このような考え方を過渡現象やリサージュ図形の分野にも適用してまとめた。

参考文献

- 1) 平山：“電気回路論 (改訂版)” 電気学会 (1970)
- 2) 栗本：“磁気軸受を含む高速回転体の作動シミュレーション” 奈良工業高等専門学校研究紀要 第28号 p23~28 (1993.3)
- 3) 戸川・下関：“グラフィック振動論” サイエンス社 (1984)
- 4) 栗本：“グラフィック制御工学入門” コロナ社 (1994)
- 5) 栗本：“実験支援のための共振回路の作動シミュレーション” 奈良工業高等専門学校研究紀要 第32号 p29~34 (1997.3)
- 6) 栗本：“フーリエ級数によるひずみ波交流のシミュレーション” 奈良工業高等専門学校研究紀要 第33号 p53~58 (1998.3)
- 7) 栗本：“フーリエ級数によるひずみ波交流の3次元シミュレーション” 奈良工業高等専門学校研究紀要 第34号 p51~58 (1999.3)
- 8) 栗本：“多変数制御系のレギュレータ特性のシミュレーション” 奈良工業高等専門学校研究紀要 第32号 p35~41 (1997.3)
- 9) 栗本：“デジタル制御系のボード線図と根軌跡のシミュレーション” 奈良工業高等専門学校研究紀要 第33号 p45~52 (1998.3)
- 10) 栗本：“連続制御系の等M等 ϕ 線図とニコルス線図のシミュレーション” 奈良工業高等専門学校研究紀要 第34号 p43~50 (1999.3)

レーザー誘起蛍光法を用いた流れの可視化

阪部 俊也, 西口 宣志*, 鶴野 義雄**, 清本 昌宏***

Flow Visualization by Laser Induced Fluorescence Method

Toshiya SAKABE, Nobuyuki NISHIGUCHI*, Yoshio UNO**, Masahiro KIYOMOTO***

This paper presents the results of visualization and quantitative measurements of the velocity field in a laminar water flow through a square cross section, which was made using a laser-induced fluorescence method. A nitrogen pulse laser was used for exciting the fluorescence particle. For the fluorescence particles, a zinc sulfide particle of about 10 μ m in mean diameter was used, which is available in commercial market. But, we can't recognize fluorescence because of a fluorescence light intensity of the ZnS is very feek. Then, we were used ZnS-Cu (in Cu 5% include) particles for fluorescence particles, could visualized a laminar water flow through a square cross section.

1. はじめに

流れの可視化は流体現象を把握するうえで重要な役割を果たしてきた。この事から流れの可視化法は古くから各種の方法が開発されている¹⁾が、レーザー光の実用化が進む中でレーザー光の特徴を利用した流れの計測、可視化法も盛んに研究されている。流速測定としては、レーザードップラ流速計が多く研究され²⁾³⁾、現在では一般的に使用されるようになってきた。可視化技術へのレーザー光の適用としてレーザー誘起蛍光法が研究され、適用例も報告されるようになってきた⁴⁾⁵⁾。この方法は分子がある波長の光を吸収して、その波長より長い波長の光を放出する性質を持ち、その光は蛍光と呼ばれている光を利用使用とするものである。レーザー光の波長特性、集光性の良さを生かそうとするもので、レーザー誘起蛍光法 (Laser Induced Fluorescence; LIF) と呼ばれている。この方法の利点は非接触であるため、流れを乱さないこと、また同じくレーザーを用いた干渉法が光路の積分値であるのに対し、その点の情報を与えてくれる事である。特に複雑な流れに対して有効と考えられているが、その割りには余り普

及していないのが現状である。これはレーザー光源として高出力のレーザーが必要な事と、何よりも蛍光強度が弱く測定が困難である事が原因と考えられる。そこで適当な蛍光粒子を流れに混入して可視化が行われている。蛍光粒子としては、流れに追従性が良い事が必要であるが、使用レーザー光源 (励起光) の波長に対して吸収線の吸収係数が大きい事が重要となる。励起光源としてAr⁺レーザーを用いた場合、手島は蛍光粒子として沃素を用い希薄気体の自由噴流の可視化に成功している⁴⁾が、沃素による流官の汚れなどが問題となる。また、N₂レーザーを励起光源とした場合、大場らはZnS粒子を蛍光粒子とし、水流の可視化に成功している⁵⁾。しかしながら蛍光強度が弱く、光増幅をおこなうなどかなり大変である。

そこで、本研究では励起光源としてN₂レーザーを用い、蛍光粒子の検討、ならび水流の可視化を試みたので報告する。

2. 流れの可視化原理

レーザー誘起蛍光法による流れの可視化の原理を図1に示す。蛍光粒子を混入した流体に良く絞られたパルスレーザーを照射するとビーム軸上の蛍光粒子は瞬間的に励起

* 金沢大学工学部 (奈良高専卒)、** 大阪府立大学 (奈良高専卒)、*** 奈良高専専攻科卒

3. 実験装置の概要

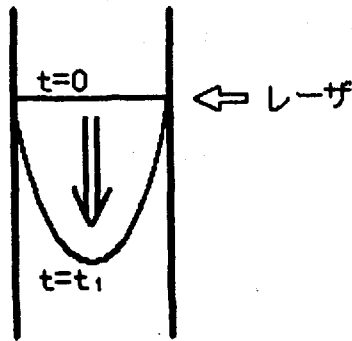
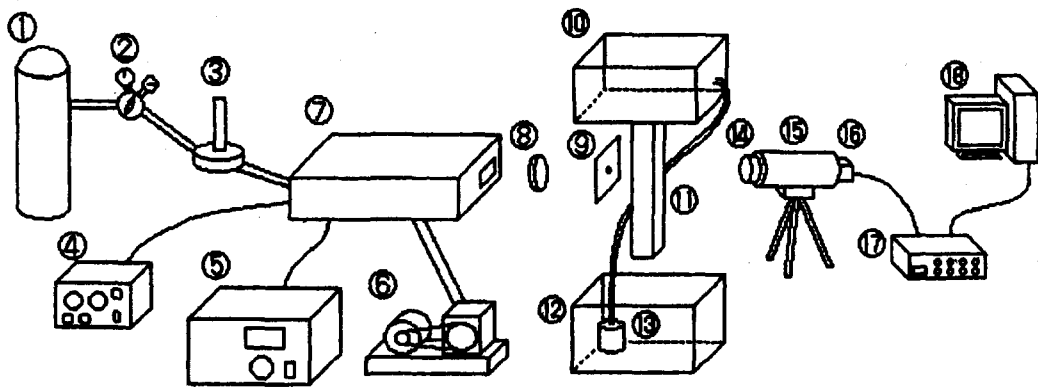


図1 流速分布可視化の原理

され、蛍光を発する。それらの粒子は蛍光を発しながら流管内の流れとともに移動する事になり、粒子の蛍光は流速分布に対応したタイムラインを描く事に成る。これを何らかの方法で記録すれば、流れの状態を知ることができる。

本研究に用いた実験装置の概要を図2に示す。励起光としてN₂レーザー (NDC制、JS-1200,ピークパワー1.2MW,TEA) を用いた。N₂レーザー光を焦点距離250mmの石英レンズで絞り、直径2mmのアパーチャを通すことで直線ビームとした。流れは水流としポンプにより循環する装置を製作した。流管としては15mm×15mmの矩形管でアクリル樹脂により製作した。

レーザー照射方向に対して垂直な方向にCCDカメラを設置し、パソコンに画像データを取り込む構成とした。しかしながら、蛍光強度が弱く観察は不可能であった。そこで、CCDカメラの前にイメージインテンシファイア (I.I.F) として、HAMAMATU制C3100を取り付け、蛍光を光増幅した。CCDカメラからの画像は、画像処理ボード (Power Capture PCI) を装着したパソコンに取り込み、可視化を試みた。



- | | | | |
|----------|----------|----------------|--------------|
| ①窒素ガスポンプ | ⑥真空ポンプ | ⑪流管 | ⑯CCDカメラ |
| ②レギュレーター | ⑦レーザー発振器 | ⑫下水槽 | ⑰カメラモジュール |
| ③流量計 | ⑧石英レンズ | ⑬ポンプ | ⑱パーソナルコンピュータ |
| ④パルス発生器 | ⑨アパーチャー | ⑭接眼レンズ | |
| ⑤直流電源 | ⑩上水槽 | ⑮イメージインテンシファイア | |

図2 実験装置の概要

4. 実験結果

N₂レーザーの実験条件としては、窒素ガスの流量を3l/minとし、真空ポンプでレーザー共振器内圧力を20mmAqとした。まず、水流の循環装置の検定を行った結果、矩形管内の平均流速範囲は管路出口の絞りを調節する事と水位を一定にするオーバーフローの関係より、1.5cm/s~50cm/s程度が得られた。蛍光粒子は下水槽に入れ、良く攪拌後使用した。蛍光粒子として、市販のZnS（平均粒子径：10μm、純度：97.46%）を水に混入し、蛍光を調べたが、観測する事が出来なかった。つぎに、ZnS（純度：99.999%）を用い観測したがやはり、蛍光強度は弱く観測できなかった。そこで、とにかく、蛍光強度の強く、しかも残光時間の長い試料を捜したところ、ZnSにわずかにCuが混じった物が良い事が判った⁶⁾。ZnS（97%）-Cu（3%）の日亜化学工業kk制、NP-2800を用いて実験を行った。まず、蛍光分析を行った。励起光をN₂レーザーの波長337nmに設定し、ZnS-Cuを5%程度とした試料水を攪拌後、測定した結果を図3に示す。

波長525nm附近に強い蛍光が現れている事が判る。337nmに現れているピークは励起光の光である。この粒

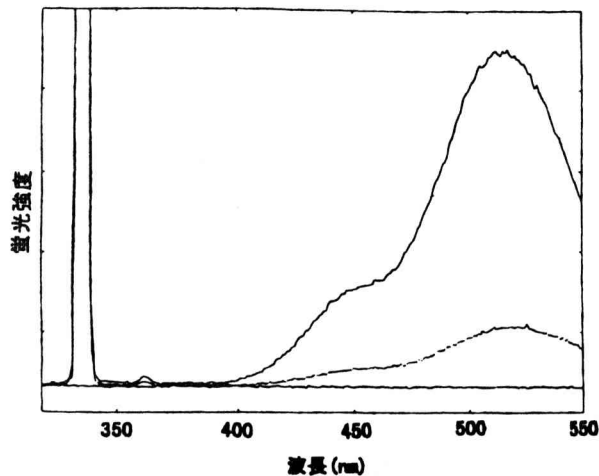
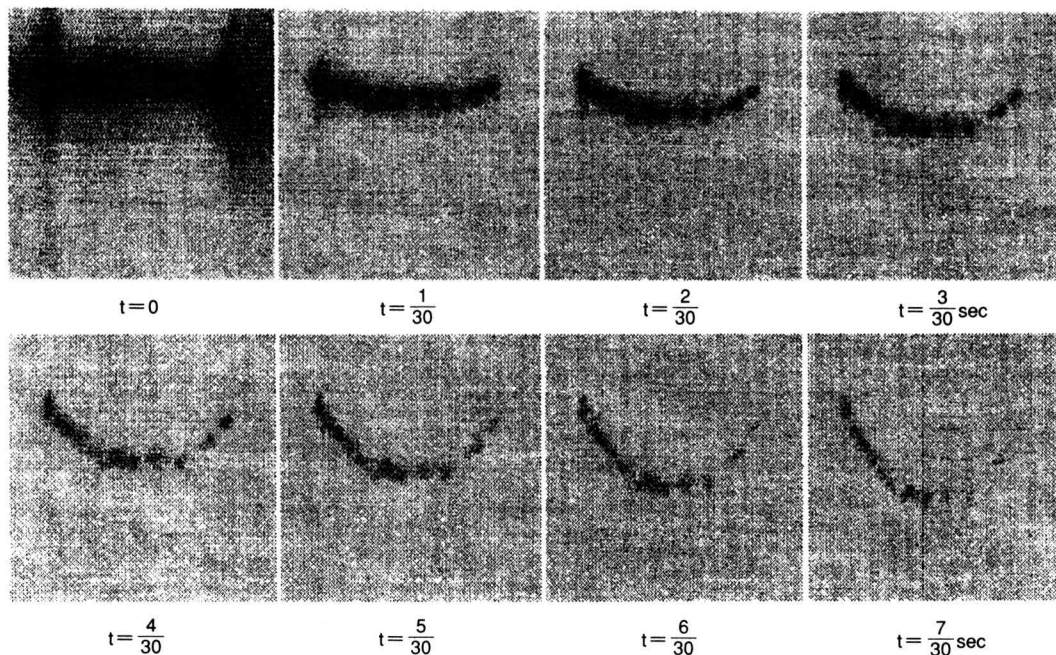


図3 ZnS-Cuの蛍光分析結果

子を用いて、流れの可視化を試みた結果の一例を図4に示す。図はRe数が350程度のゆっくりした層流流れであり、1/30秒間隔でのタイムラインを表しており、かなり明瞭に可視化が出来ている事が判る。なお明暗は反転させる処理をしている。

流れもきれいな層流状態が実現出来ている事が判る。そこで、流量から算出した平均流速と、画像より読み取っ



最大流速：48.8 [mm/sec] レイノズル数：356.3

図4 流れの可視化の一例

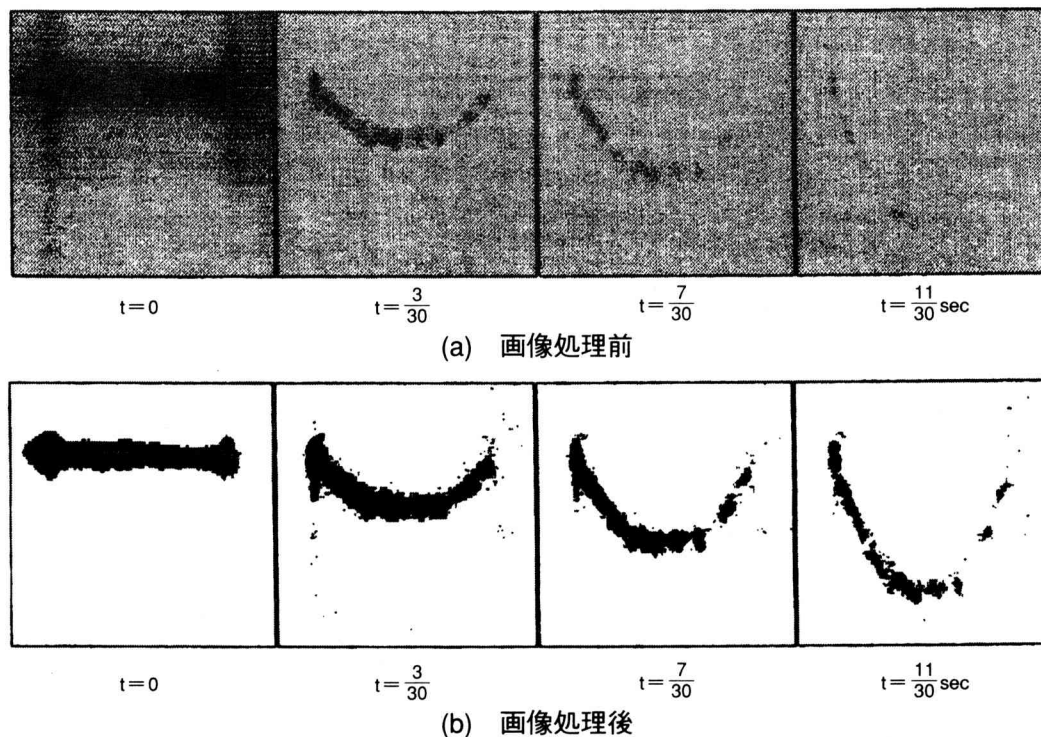


図5 可視化画像の二値化処理

た最大流速を比較すると、図4では平均流速が24mm/s、最大流速が50mm/sとなり、層流における最大流速が平均収束の二倍である事と良い一致を示し、かなり正確に流れの可視化が行なえている事が判る。流速を上げるにつれて、この誤差は大きくなる傾向がみられたが、これは粒子径が $20\mu\text{m}$ とやや大きいことによる追従性に問題があると考えられる。しかしながら、流れの状態を調べる上では、かなり有効な手段と成り得る事が判る。

次に画像として取り込めば、コンピュータ上での処理が可能となり、例えば、しきい値レベルを変える事で、流線の鮮明化も容易になる。しきい値を最も明るいレベルの5%程度下げ、明暗を強調した結果を図5に示す。この図より、多少不鮮明な画像でも、より見易くすることが可能である。

5. おわりに

本研究では、励起光を N_2 パルスレーザを用いた、レーザ誘起蛍光法による流れの可視化を試みた結果、蛍光粒子として純度の高い ZnS よりも、少し Cu が混じった ZnS-Cu (3%程度 Cu が混入)が蛍光が強く、蛍光時間も長い事から、高価な光増幅器(I.I.F)を使用しなくとも可

視化ができる事が判った。 Cu の混入程度についてはさらに検討が必要である。

参考文献

- (1) 日本流体力学学会編：流れの可視化、朝倉書店、1996
- (2) N. Nakatani, T.Sakabe, et al : Measurement of Non-stationary Flow in Fluidic Elements by the Laser Doppler Velcimeter with Variable Optical Frequency Shift. Proc. of 5th Biennial Symposium on Turbulence, 1977
- (3) N.Nakatani, T.Sakabe, T.Oshio: A laser three-focus velocimeter using an array of laser diodes for simultaneous measurement of particle size and velocity. Rev. Sci. Instrum. 1993, 331-337
- (4) 手島：レーザ誘起蛍光法による高速流の計測と可視化、日本機械学会第165回講習会 教材、1989, 23~32
- (5) 大場：レーザ誘起蛍光法による流れの可視化、流れの可視化、Vol.7, No.25, 1987, 7~13
- (6) 筒井他 編：応用光学概論、金原出版、1963, 328

自律型マイクロ・ロボットを通じての創造教育 (Ⅱ) (インターフェース回路と制御プログラム開発)

道下 貴広・櫛 弘明・岸下 晴亮・阪部 俊也

Engineering Education to Cultivate the Creativity by Design and Production of Autonomous Robot (Ⅱ)
- Development of Interface Circuits and Control Programmings -

Takahiro MICHISHITA, Hiroaki ICHII, Haruaki KISHIGE and Toshiya SAKABE

奈良高専電子制御工学科はメカニクス、エレクトロニクス及びコンピュータによる制御からなる総合的なシステム技術者の育成を目標とした。4年生に対してマイクロロボットを設計、製作をすることにより、総合力を養うための総合科目を実施している。昨年度はマイクロロボット製作の内容紹介や実施方法を報告したが、今回はマイクロロボット製作のなかでも、インターフェース回路の設計およびプログラム開発についての指導、実施例について紹介する。

1. はじめに

奈良高専電子制御工学科は、メカニクス、エレクトロニクスおよびコンピュータによる制御からなる総合的なシステム技術者の育成を目標として、平成二年に機械工学科から分離改組された学科である。カリキュラムとしては(1)機械系、(2)電気、電子系、(3)計測、制御系、(4)情報系など非常に広い分野をカバーしなければならない。大学においても、機械系、電気系にかかわらず、複合化システムを避ける事は出来ないことから、各種の教育法が検討、実施されている⁽¹⁾。高専では、ロボットの製作を行う学校が増え、報告がされている⁽²⁾⁽³⁾が、成績評価も含めた教科指導の面での報告はない。本学科では一年生に対して、電子制御工学概論の教科を設けることにより、学科の全体像と目標を理解してもらう努力をしている⁽⁴⁾。さらに、4年生に対してマイクロロボットの設計・製作することにより、総合力を養うための総合科目を実施している。実施形態としては、全員を6班に分け、班毎に本体、アクチュエータ、インターフェース回路及びプログラム開発の担当に分かれ、それぞれの担当に対して指導教官がつく。また、チーム内の討論と各担当間の意見の統一を行う班長を班毎におく。指導教官の決めたスケジュールに沿ってテーマの決定、マイクロロボットのアイデアの集約、ロボット製作と分担毎のドキュメントの作成を行い、製作したマイクロロボットのコンテストおよび、発表会を行っている⁽⁵⁾。今回の報告では、マイコ

ンとセンサを接続するインターフェース回路および、マイクロロボット全体を制御する制御プログラム開発に焦点をあて、その設計手順と指導について紹介する。

2. インターフェースの設計

はじめに、製作するロボットシステムの概要を図1に示す。このうち、機構および構造部はそれぞれ駆動部担当および本体担当が設計・製作する。

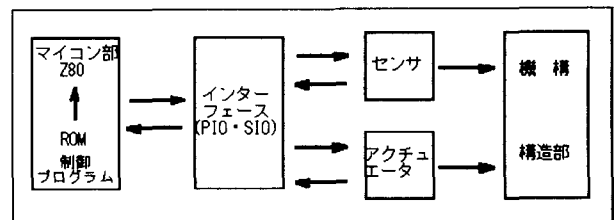


図1 マイクロロボットのシステム構造

インターフェース設計担当は、マイクロロボットのシステムの以下の部分、すなわち図2に示すセンサ本体の設計・製作、センサからPIO・SIOへの入出力回路、及びPIO・SIOからアクチュエータへの入出力回路を設計する。

センサは非接触型と接触型の2種類があり、教官から使用するセンサを指定する。非接触型の光センサは赤外線LED(浜松ホトニクス S1915-01)とフォトIC(浜

松ホトニクス S6986) を使用し、接触型のセンサについてはマイクロスイッチを使用する。これらのセンサ出力をCPUへ接続するが、CPUへの入出力信号としてTTLレベルの信号が要求される。赤外線LEDとフォトICはTTLレベルが入出力されるものを指定しているので直接接続しても問題ない。

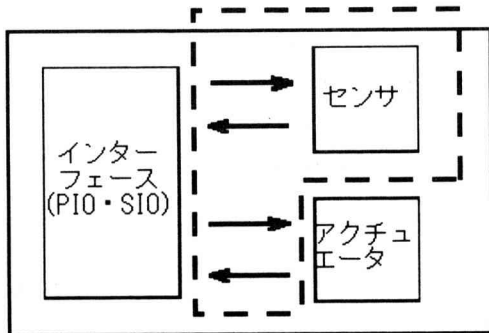


図2 インターフェース担当の設計範囲

マイクロスイッチについてはスイッチのON-OFFでTTLのHレベルとLレベルが入力されるように回路及びセンサ電源の設計について指導を行う必要がある。そして、各自のロボットの動作に合ったセンサを必要数製作させる。学生が製作したセンサの例を図3に示す。この自作センサの場合、LEDとフォトICの角度調整が微妙であり、反射物体により、かなり苦勞が見られた。また、フォトICのピン配列を誤って接続してしまい、フォトICを壊してしまう学生が見受けられ、今後注意していかなければならない。

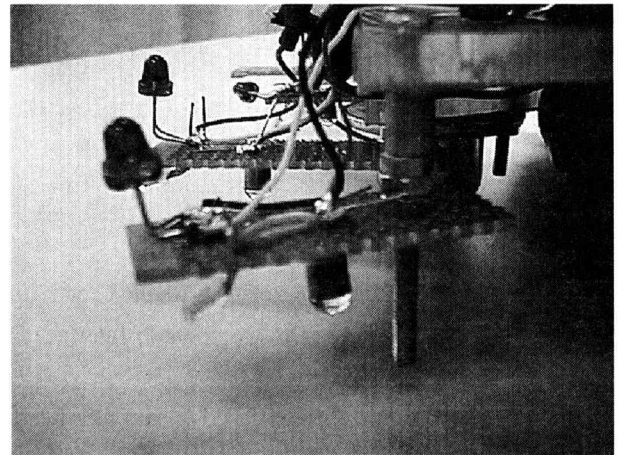
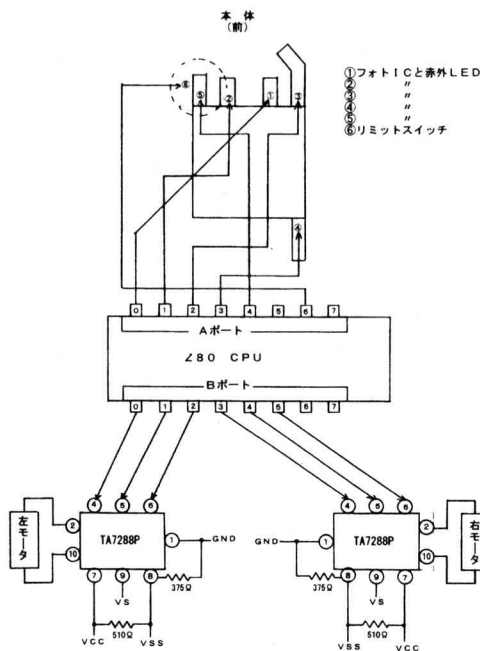
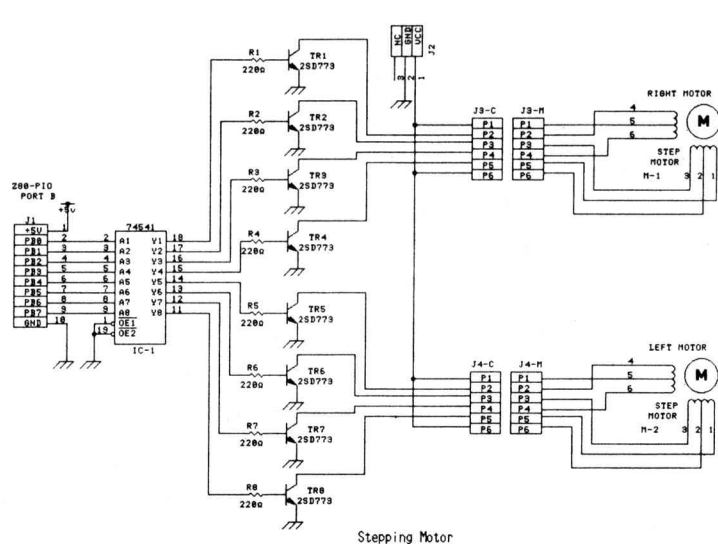


図3 学生が自作した非接触型光センサ

次にアクチュエータの制御回路についてはDCモータ制御IC (東芝 TA7288P) を指定している。これは、CPUのPIOから直接TTLレベルで制御可能なもので、使用法が簡便であるので使用させている。図4(a)に示す図が実際に学生が設計した回路図である。そのため、回路が簡潔になっている。また、DCモータ以外のアクチュエータを使用する場合は、担当者の判断に任せて制御回路を設計させている。その例として図4(b)に学生が設計した回路図を示す。これは、ステッピングモータのドライバ回路である。PIOの出力で励磁方式を制御し、トランジスタをスイッチングさせ、ステッピングモータを駆動させるものである。



(a)



(b)

図4 学生が設計した回路図

各種センサやアクチュエータからの制御信号をPIO・SIOに結線する際には、プログラム開発担当と相談の上、接続する入出力ポートを決定する必要がある。この際、線を接続するだけではCPUが破壊される恐れがあり、バッファなどを中継してCPUに接続するよう同時に指導しているが、図4(a)の様に直接CPUに接続するような設計をする学生が多く見られ、注意する必要がある。

3. プログラムの開発

プログラム開発担当者は、マイクロロボットのシステムの以下の部分、すなわち図5に示すようにZ80CPUから各種インターフェースを制御するためのプログラムを設計し、開発したプログラムをEP-ROMに書き込む。

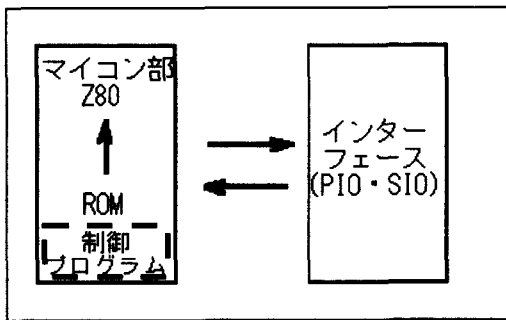


図5 プログラム開発担当

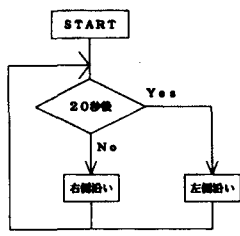
プログラム開発の前に、インターフェース設計担当者とPIO・SIOの入出力仕様を決定させる。入出力仕様が決めた後、プログラムのフローチャートを作成させる。学生が作成したフローチャートを図6に示す。図6(b)はロボットに配置されているセンサの箇所を示し、フローチャート中のセンサ①～⑥に対応している。(a)及び(c)～(e)にプログラムのフローチャートが書かれている。

フローチャートをチェックし、その後、それをもとにプログラムのコーディングを行わせる。コーディングの際には、プログラム開発言語として、Z80アセンブラを指定している。Z80アセンブラについての指導はインターフェース担当者がセンサ本体を製作している間に行い、両担当間に無駄な時間ができないよう、配慮している。

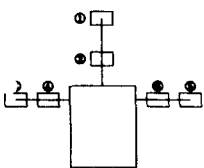
プログラム開発が終了すると、デバッグ作業に移行していくように指導を行う。このデバッグ作業にはZ80エミュレータを使用し、プログラム自体のミスを発見させる方法と、EP-ROMにプログラムを書き込み、実機上で動作させ、PIO・SIOの入出力のミスを発見するという2種類の方法をとっている。これらの方法を用いてプログラムの完成度を上げていくのであるが、EP-ROMの消費が激しくコストがかかるのとEP-ROMの消去のために、デバッグに時間がかかるの上、マイクロロボット本体が完成していなければこの方法は使えないという事が問題点としてあげられる。

③フローチャート1

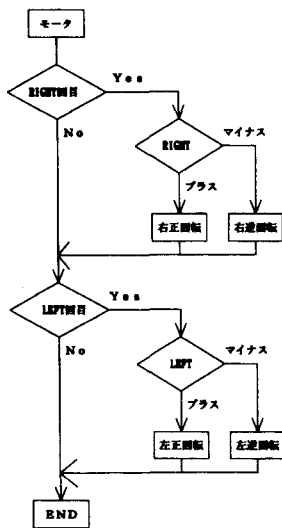
4班



(a)



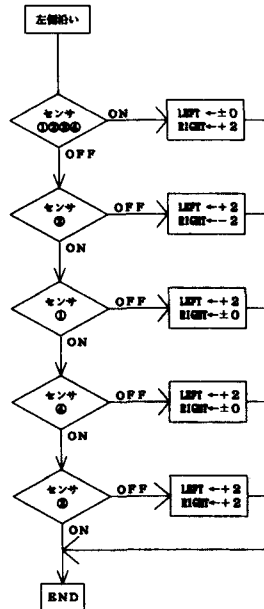
(b)



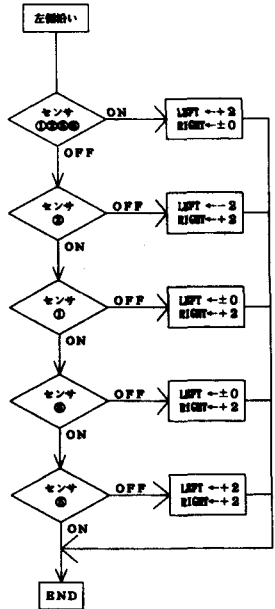
(c)

④フローチャート2

4班



(d)



(e)

図6 学生が設計したフローチャート

しかし、中には教官側が想定しないようなアルゴリズムを開発し、的確にプログラミングをする班もみられ、教官側を驚かせるようなこともあった。図6に示しているフローチャートはその好例の1つである。

これは第2回の一本橋渡り競争の時のものだが、教官側が仕掛けた「壁つたい方式」では絶対にゴールにたどり着けないという罫をプログラミングで回避したものである。デバッグが終了しプログラムが完成すると、EPROMにプログラムを書き込み、Z80CPUボードにセットし、マイクロロボットに組み込む。図7にマイクロロボットに組み込まれたZ80CPUボードの写真を示す。

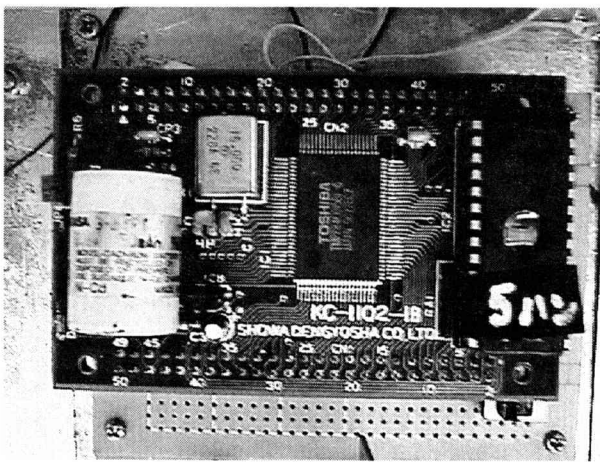


図7 Z80CPUボードとEP-ROM

本体加工担当及び、駆動部担当が製作したマイクロロボット本体に各種センサ、制御回路、CPU及び制御プログラムを書き込んだEPROMを取り付け、マイクロロボットが完成する。図8に完成したマイクロロボットを示す。

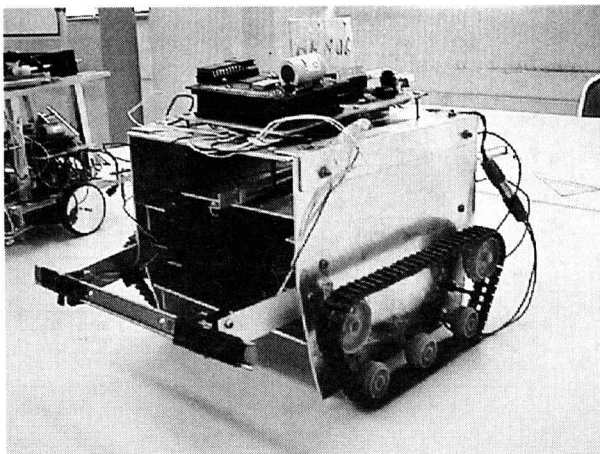


図8 完成したロボット

マイクロロボットが完成しても、コンテストにまで時間がある場合、動作をチェックしより完全に仕上げている。これは、こちらから指導を行わなくとも学生は自主的に行ってくれる場合が殆どである。

4. 最後に

以上のようなことをそれぞれの担当者に対して教官が指導していくのだが、インターフェース回路の設計については、教官が示した例をそのまま使用している場合が多く、独創性に欠けるものとなってしまう場合が多い。これは教官から使用する部品を指定しているのが大きな原因であるが、コストや指導の難しさなどを考えると納得せざるを得ない。

プログラム開発もPIO・SIOの入出力の決定の部分で似たような傾向があるが、プログラム本体に関しては、各班ユニークなものが出てくる傾向がある。しかし、デバッグに時間がかかりすぎるのが今後の課題となっている。この点に関しては、今年度からパソコンからRS-232Cを用いてZ80のRAMにプログラムを転送するように変更したのである程度は解消されると思われる。また、例年1~2台のロボットが完全には動作しないのであるが、大半のロボットは勝敗は別として、一応の動作は出来、ほとんどの学生は満足しているように思われる。

参考文献

- (1) 小杉彬：ロボットコンテスト「物作りによる創造性教育を考える」、日本工学教育協会誌第38巻6号、1990
- (2) 川上誠他：沼津高専の自律知能ロボット開発、日本機械学会 '95ロボメカ講演会論文集、1995.
- (3) 金田忠裕：ロボット設計製作教育と創造性育成カリキュラム、電子情報通信学会講演論文集、1998.
- (4) 早川泰弘、阪部俊也、櫛宏明、中島レイ：奈良高専におけるメカトロ教育について、日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会論文集、1998.
- (5) 道下貴広、櫛宏明、中島レイ、島岡三義、岸下晴亮、阪部俊也：自律型マイクロ・ロボットを通じての創造教育、奈良工業高等専門学校研究紀要第34号、1998.

X線回折を用いたセラミックス材料の弾性定数測定法

西田 茂生

Measuring method of an elastic coefficient of ceramics using X ray diffraction
Dept. of Control Engineering

Shigeki NISHIDA

セラミックスの機械的特性としてのヤング率は、構造物の設計上非常に重要な特性ではあるが、その測定方法としてはJISに共振法による動的測定法しか規定されていない。本研究では、セラミックスの静的ヤング率の測定方法を確立するために、機械的ヤング率とX線のヤング率との関連付けを試みた。その結果、X線による静的ヤング率測定の可能性を確認した。

1. 緒言

セラミックスを構造材として利用する場合、機械的特性としての弾性係数、特にヤング率は重要な因子となる。しかし、その測定法はJIS規格において、曲げ共振法による動的ヤング率の測定しかないのが現状である。¹⁾

一般に設計に用いられるヤング率は静的ヤング率であり、動的ヤング率とは一致しないのが普通である。また、共振法による測定では、ヤング率を求めるためには正確な密度の測定が不可欠となっている。セラミックスは、気孔率が大きくその密度の正確な測定は困難である。

したがって、静的ヤング率を正確に効率よく測定する方法が必要となっている。

本研究では、一般に金属材料の弾性係数を測定するために用いられているX線回折に着目し、これをセラミックスの静的ヤング率測定に応用することを試みた。

まず、同一のセラミックス材料について、ひずみゲージを用いた4点曲げによる静的ヤング率を測定し、次にX線の弾性係数を測定する。その後、両者の値に関連付けを行うことによりX線の弾性係数から静的ヤング率を評価する。

本論文では、セラミックス材料のX線の弾性係数の測定方法を述べ、その測定値より静的ヤング率の評価が可能であることを論ずる。

2. X線の弾性定数の測定原理

2.1 Bragg角の測定

金属材料は一般に方位を異にする無数の結晶の集合体であり、通常のX線応力測定法はこのような多結晶体表面近傍における巨視的な応力成分を求める方法である。個々の結晶がそれぞれ異方性を有していても金属材料のように十分小さい結晶からなり、かつそれらの方向が無秩序に分布している場合には多結晶体として等法的な性質を持つことになり、金属固有のX線回折が起こる。

結晶によるX線の回折についての基本的な原理を図1に示す。

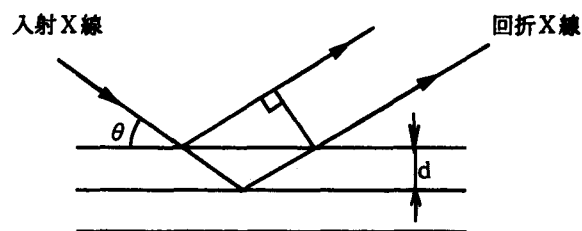


図1 X線の回折原理

結晶格子の連続によってできる任意の角度の原子面を考えると、X線は各原子によって散乱されて球面波となる

ので、もしこの原子面の間隔が入射X線の波長に対して整数倍の距離であれば、互いに強め合う。この回折の条件はX線の波長 λ と入射角 θ がBraggの条件、すなわち

$$2 d \sin \theta = n \lambda \tag{1}$$

を満たす場合である。(1)式を満たす θ をBragg角というが、これをゴニオメータとシンチレーションカウンタで測定する。すなわち、X線の入射角をゴニオメータで変化させ、その各々の角度における散乱X線の強度をシンチレーションカウンタにより測定し、強度のピーク位置を求めることにより θ が求まる。

2.2 X線による応力測定の実理

結晶に何らかの力が作用して格子面間隔 d にわずかの変位 Δd が生じると、回折角 θ が変化し、ひずみ($\epsilon = \Delta d / d$)は次式のように求められる。

$$\epsilon = -\cot \theta \cdot \Delta \theta \tag{2}$$

いま無ひずみ状態の材料の格子面間隔を d_0 、その回折角を θ_0 とすると、回折格子面法線が試料表面に対して ψ だけ傾いているとき測定される回折面法線方向のひずみ ϵ_{ψ} は(2)式より近似的に

$$\epsilon_{\psi} = -\cot \theta_0 \cdot (\theta_{\psi} - \theta_0) \tag{3}$$

のように求まる。このひずみを応力とひずみの関係を用いることによって応力値に換算することができる。

X線の回折は数十ミクロン程度の表面層のみでおこるので、表面法線方向の応力成分は零と考えられる。図2に示すように他の主応力 σ_1 、 σ_2 を試料表面に平行にとると、応力とひずみの関係をひずみの方向変換の式に代入することにより(3)式は次のように変形できる。

$$\epsilon_{\psi} = (1 + \nu / E) \sigma_x \sin^2 \psi - \nu / E (\sigma_1 + \sigma_2) \tag{4}$$

(4)式がX線応力測定法の基礎式であり、求めようとする応力の方向と試料面法線を含む面内で考えると ϵ_{ψ} が $\sin^2 \psi$ に対して直線となることを示す。(4)式を $\sin^2 \psi$ に関して偏微分すると

$$\sigma_x = EM / (1 + \nu) \tag{5}$$

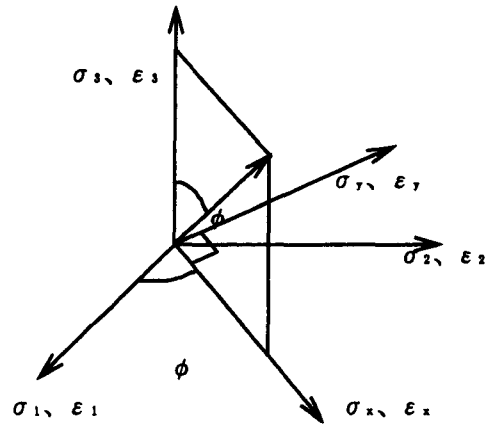


図2 応力とひずみの成分

ここでMは $\epsilon_{\psi} - \sin^2 \psi$ 線図における直線の傾きであり、

$$M = \partial \epsilon_{\psi} / \partial \sin^2 \psi \tag{6}$$

である。したがって、種々の ψ 方向のひずみ ϵ_{ψ} を測定してこの線図を作成し、それにより求まる直線の傾きMと弾性定数 $E / (1 + \nu)$ の積を求めることにより σ_x を得ることができる。

一方、ゴニオメータで得られるデータは 2θ で表示されるピーク位置であり、 σ_x は(3)、(5)式より

$$\sigma_x = -0.5 \cot \theta_0 \cdot (E / (1 + \nu)) \cdot (\partial 2\theta_{\psi} / \partial \sin^2 \psi) \tag{7}$$

の関係が得られ $2\theta_{\psi}$ と $\sin^2 \psi$ 線図の直線の傾きから応力が求まる。²⁾

2.3 X線的弾性係数の測定原理

X線応力測定法は、ひずみと結晶格子面間隔の変化を測定し、これより応力値を求める方法である。したがって、負荷されている応力が既知であれば、それをX線法により測定されるひずみと関連付けて弾性定数を求めることができる。

曲げ応力状態では、平面応力状態とみなせるので、(4)式において $\sigma_x = \sigma_1$ 、 $\sigma_2 = 0$ となりひずみは σ_1 と ψ だけの関数となるので ϵ_{ψ} は、

$$\epsilon_{\psi} = (1 + \nu / E) \sigma_1 \sin^2 \psi - \nu / E (\sigma_1) \tag{8}$$

となる。次に(7)式をまず $\sin^2 \psi$ について、さらに σ_1 について偏微分すると、

$$0.5S_2 \equiv (1 + \nu/E) = \partial (\partial \epsilon_{\psi} / \partial \sin^2 \psi) / \partial \sigma_1 = \partial M / \partial \sigma_1 \quad (9)$$

となる。 $E/(1 + \nu)$ は材料の弾性的性質、結晶系および回折面に依りしX線の弾性係数と呼ぶ。また、(8)式において、 $\psi = 0$ とおき σ_1 について偏微分すると、

$$S_1 \equiv -\nu/E = \partial \epsilon_{\psi=0} / \partial \sigma_1 \quad (10)$$

となる。実際の測定では、ゴニオメータを使用するので、(9)(10)式は次のようになる。

$$S_2 = 0.5 (\partial M / \partial \sigma_1) \cot \theta_0 \quad (11)$$

$$M = \partial 2\theta_{\psi} / \partial \sin^2 \psi \quad (12)$$

$$S_1 \equiv -\nu/E = -0.5 \cot \theta_0 (\partial 2\theta_{\psi=0} / \partial \sigma_1) \quad (13)$$

3. X線の弾性係数の測定方法

3.1 測定装置

表1にX線管とゴニオメータについての測定環境、図3に測定治具である4点曲げ試験機の模式図を示す。

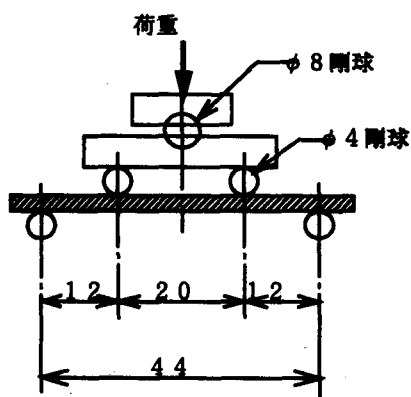


図3 治具の模式図

また、試験片は10.0×50.0×5.1 (mm) の板状アルミナを用いた。

表1 測定環境

特性X線	Cu($\lambda : 1.54\text{\AA}$)
フィルタ	Ni
管電圧	30 kV
管電流	10 mA
走査速度(2θ)	1 deg/min
時定数	0.5

3.2 測定方法

X線の弾性定数を求めるには、 S_1 と S_2 を求める必要がある。そのためには、まず種々の既知の応力下で ψ を変化させてピーク値 $2\theta_{\psi}$ を測定し、 $2\theta - \sin^2 \psi$ 線図を描く。つぎに負荷荷重を変化させ、各応力段階ごとにMを求め、 $M_{\psi} - \sigma_1$ 線図を描くとその直線の傾きが $S_2/2$ である。

同様に $\epsilon_{\psi} - \sin^2 \psi$ 線図で $\psi = 0$ におけるひずみ $\epsilon_{\psi=0}$ を σ_1 に対してまとめ、その直線の傾きが S_1 となる。

実際の実験においては ψ を0, 10, 20, 30度とした。

また、機械的ヤング率の測定には、同一試験片と同一治具を使用し、ひずみゲージによるひずみ測定と、そのときの負荷応力を求める方法を用いた。

4. X線の弾性係数の測定結果

アルミナ試験片における測定結果の一例を示す。

$\sigma = 0$ 時の $2\theta - \sin^2 \psi$ 線図を図4に、 $M - \sigma$ 線図を図5に、 $2\theta - \sigma$ 線図を図6に示す。

図5からわかるように、 $M - \sigma$ 線図のばらつきが大きい。これは、 ψ を大きくすると回折X線のピークが小さい。

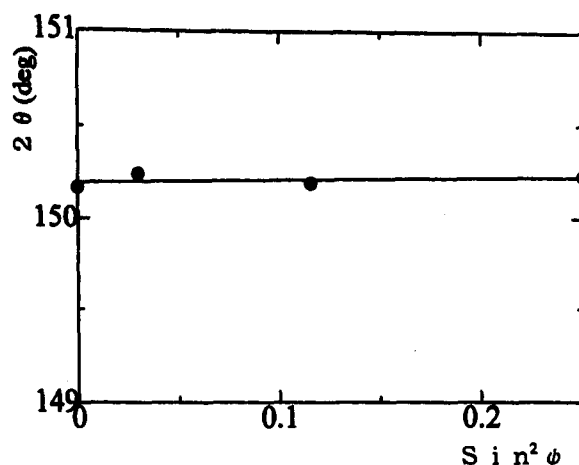


図4 アルミナの $2\theta - \sin^2 \psi$ 線図

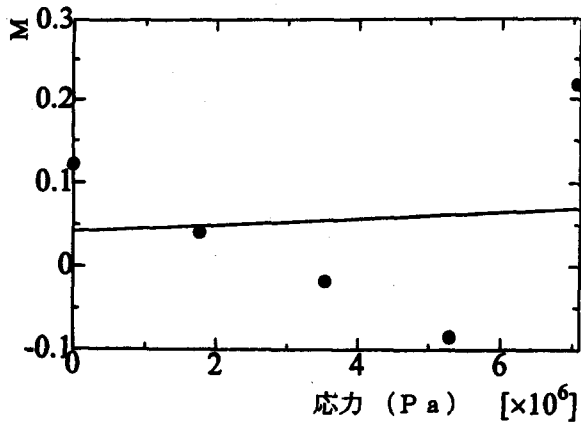


図5 アルミナのM-σ線図

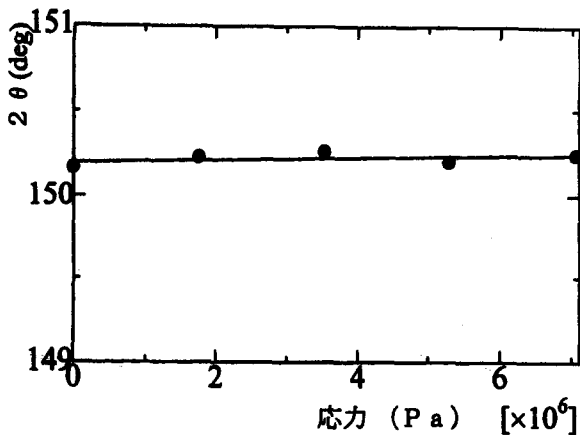


図6 アルミナの2θ-σ線図

くなり、バックグラウンドに埋もれてピークに分散が生じるからである。この原因としては、セラミックスの結晶粒子の大きさにあると考えられる。

X線の弾性係数は、 $2\theta - \sin^2\psi$ 線図をもとにM-σ線図および $2\theta - \sigma$ 線図を求め、後者2つから得られる直線の傾きの比によって求まる。したがって、元となる $2\theta - \sin^2\psi$ 線図の傾きが非常に小さいため、そこから生じた偏差が積み重なってM-σ線図の偏差となったものと考えられる。

次に図5、6を用いてX線の弾性係数を求めると 3.40×10^8 (Pa/deg)であった。同一試験片において繰り返し実験を行ったが、今回はばらつきが大きく再現性を確認することはできなかった。この原因としては、先ほども述べたように、 $2\theta - \sin^2\psi$ 線図の傾きの影響であると考えられる。これは試験片表面の結晶粒の大きさに関係するため、金属顕微鏡で試験片の結晶粒の径を測定した。その結果、アルミナの結晶粒の平均粒径は $15\mu\text{m}$ であり、金属試験片の2倍以上の大きさであった。これ

がばらつきの影響であると考えられる。

次に、機械的弾性係数すなわち、ヤング率を測定した。その結果9.2%のばらつきで34.5GPaであった。この値は、一般に公表されているアルミナのカタログ値にほぼ等しい。

5. 機械的ヤング率とX線の弾性係数

前節で述べたように、X線の弾性係数の測定値は、はなはだばらつきが大きく、機械的ヤング率と2桁異なる結果となった。この原因のひとつは先ほど述べたように粒径の大きさによるものであるが、もうひとつの原因は、両者の本質的な違いである。すなわち、機械的ヤング率は各粒子の平均値としての値でありいわば巨視的ヤング率といえる。一方、X線の弾性係数は、X線を照射した部位における弾性係数であり、いわば微視的もしくは局所的ヤング率といえる。

今回使用した、X線回折装置ではX線の照射面積は、 50mm^2 程度であり、セラミックス粒子の配向性から考えるとある部分の性質を測定しているに過ぎないと考えられる。X線照射の面積を大きくすることにより、試験片の平均としてのヤング率を求めることが可能である。

また、本方法は逆に材料の各部位におけるヤング率の評価としての可能性も持つ。

6. 結論

本論文では、従来金属材料の応力測定に用いられてきたX線回折を、セラミックスのX線の弾性係数測定に適用した。

その結果、セラミックスの結晶構造に関する問題すなわち、結晶粒の大きさによる測定値のばらつき、およびX線回折装置に関する問題、すなわちX線の照射面積により材料の微小部分の性質のみしか評価できないことが明らかとなった。後者は装置の改良により克服可能である。

これらの条件を克服することにより従来評価することの困難であったセラミックスの静的ヤング率が非破壊的に求まる可能性が見出された。

参考文献

- 1) JISハンドブック 36 227 (1994)
- 2) X線応力測定法標準 日本材料学会 (1982)

UoSAT-2のホールオービットデータ取得と解析

浅井 文男

Receiving and Analyzing UoSAT-2 Whole Orbit Data

Fumio ASAI

イギリスのサレー大学・衛星工学研究所は小型の人工衛星UoSATシリーズを設計・開発し、学生の教育と研究に利用している。その中で現在も稼働している最も初期の衛星がUoSAT-2である。テレメトリやホールオービットデータは1200bps・AFSK方式で変調され、145MHz帯・FMの標識電波で送信されている。

UoSAT-2のASCIIデータを取得するためBell202規格のモデムICを使用してデモジュレータを試作した。試作したデモジュレータと市販のワイドバンドレシーバを組み合わせることでUoSAT-2の標識電波を受信し、ASCIIデータを取得できることが確かめられた。また、取得したホールオービットデータを解析して太陽電池の出力電流や地球磁場の時間変化から衛星の自転周期や地球食などが観測できることが判明した。

1. はじめに

地球環境に対する広範な関心の高まりに呼応して、さまざまな地球観測衛星や資源探査衛星が打ち上げられ、これらの人工衛星が取得した画像データや観測データは多方面で利用されている。このような状況に対応して、人工衛星によるリモートセンシングや衛星データに関する知識と技術を習得した人材を育成する教育の必要性が高まりつつある。取得された衛星画像データについてはデータベースが構築され、各種のメディアにより容易に入手できるので、大学・高専においても教育や研究に活用されている。しかし、気象観測衛星が送信する低解像度の雲画像を除き、一般に地球観測衛星や資源探査衛星の衛星データを直接受信するには大規模な地上局設備が必要であり、また、衛星データを許可なく受信することは認められていない。配布されている衛星データを使用すれば生データに対する補正処理技術や処理済データをブラックボックス的に利用する教育は可能であるが、人工衛星の追尾や衛星データの受信などに関する知識と技術を習得する実践的な教育を展開することは高専のような比較的小規模な教育機関においては困難である。

1980年代よりアメリカやイギリスおよび開発途上国の高等教育機関などが学生の教育や研究を目的として設

計・製作した小型の人工衛星が数多く打ち上げられるようになった。これらの人工衛星は制御コマンドや実験・観測データなどの伝送を行うためにアマチュア無線業務に割り当てられた周波数帯の電波を使用するのでアマチュア衛星と呼ばれている¹⁾。アマチュア衛星は管理局が衛星に搭載された機器の動作状況を監視するためテレメトリを標識電波に乗せて送信している。テレメトリには太陽電池パネルの温度や出力電流、磁束計やダストセンサーの出力電圧など、衛星機器の動作状態や動作環境を知ることができる情報が含まれている。標識電波は衛星が軌道を一周する間に収集・蓄積したテレメトリのホールオービットデータや実験・観測データなどを送信するためにも使用される。標識電波にはおもにVHF帯またはUHF帯のアマチュア無線業務用の周波数と比較的単純なデータ変調方式および電波形式が用いられる。アマチュア衛星の軌道情報は公開されているので、だれでも簡便な装置と方法で標識電波を受信し、テレメトリやホールオービットデータを取得できる。本研究ではUoSAT-2と呼ばれるアマチュア衛星が送信するASCIIデータを復調するためのデモジュレータを試作し、ホールオービットデータの取得と時系列解析を試みる。

2. 受信装置とデモジュレータ

2.1 UoSAT-2

イギリスのサレー大学・衛星工学研究所が設計・開発してきたUoSATと呼ばれる小型の人工衛星の中で、現在も稼働している最も初期の衛星がUoSAT-2(UOSAT-OSCAR11)である。打ち上げ当初のUoSAT-2ではマイコン、CCDカメラ、ボイスシンセサイザー、ダストセンサーなどを使用したさまざまな実験が行われたが、現在では標識電波を使用してテレメトリ、ホールオービットデータ、ニュースなどのASCIIデータを常時送信している。UoSAT-2は高度約700kmの極軌道を周回する太陽同期衛星で、1日に5~6回、毎日ほぼ同じ時刻(日本標準時で02~04時と14~16時ごろ)に飛来する。表1にUoSAT-2の軌道データを示す。

表1 UoSAT-2の軌道データ

公転周期: 98.0分	遠地点高度: 678km
近地点高度: 662km	離心率: 0.0011
軌道傾斜角: 97.8°	

2.2 受信装置

UoSAT-2のVHF帯の標識電波は周波数が145.826MHzのFM電波なので、受信機にはアマチュア無線用通信機やワイドバンドレシーバが使用できる。アンテナには簡便な無指向性アンテナでも使用できるが、衛星の軌道運動や追尾を理解させるには指向性アンテナを使用することが望ましい。本研究では

・受信機: ワイドバンドレシーバ(AR7000)

+プリアンプ(GAM-2020)

・アンテナ: 10エレ八木アンテナ(A144S10)

を使用する。UoSAT-2が受信局の上空を通過するパスの約2/3は最大仰角が30°以下なので、図1に示すようにアンテナの仰角は約20°に固定し、アンテナの方位角だけローテーターで回転させて衛星を追尾する。

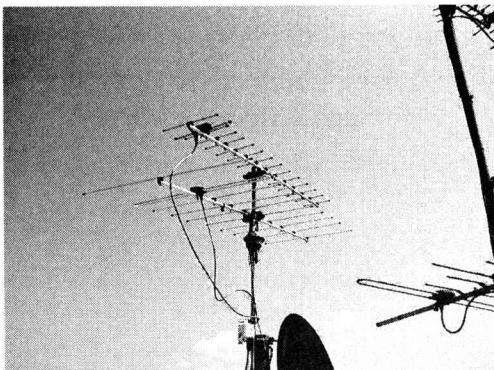


図1 UoSAT-2の受信アンテナ

2.3 デモジュレータ

UoSAT-2は1200ボアのAFSK(1800±600Hz)のデータ変調方式を採用している。よって、Bell202規格のモデム用ICを使用すれば復調できる。ただし、UoSAT-2の変調方式とBell202規格では0と1のロジックが逆なので、モデム用ICの出力をインバータで反転する必要がある。本研究ではTCM3105と74HC04を使用して図2に示すデモジュレータを製作した。TCM3105はすでに製造中止になっており入手が困難である。TCM3105の代用品としてはITU-V.23規格のモデム用ICであるMSM7512Bなどが使用できるものと考えられる。

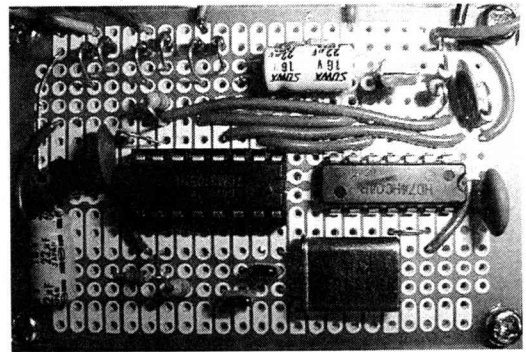


図2 UoSAT-2のデモジュレータ

本研究で使用する受信装置のブロックダイアグラムとそれを用いた実験の様子を図3と図4にそれぞれ示す。

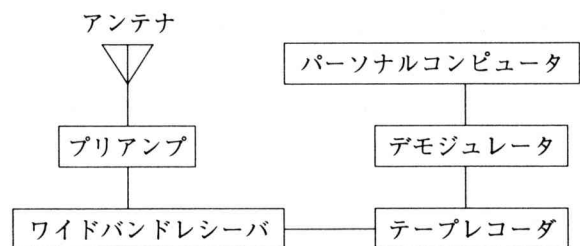


図3 受信装置のブロックダイアグラム

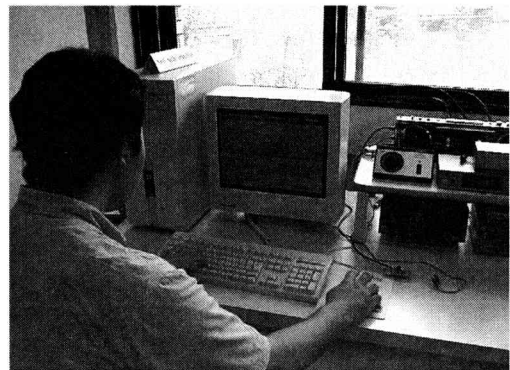


図4 UoSAT-2の受信装置

ワイドバンドレシーバから出力されるUoSAT-2のオーディオ信号はテープレコーダに録音し、これを再生してデモジュレータで復調する。デモジュレータの出力はRS-232C経由でパーソナルコンピュータに入力する。ASCIIデータはCtermと呼ばれる通信端末ソフトで取得・保存する。UoSAT-2の可視時間帯の予測にはWintrack Proと呼ばれる軌道計算ソフトを使用する。

3. テレメトリとホールオービットデータ

3.1 テレメトリ

UoSAT-2は表2に示すタイムスケジュールに従って各種のデータを送信している²⁾。

表2 タイムスケジュール

ASCII status	(210 sec)
ASCII bulletin	(60 sec)
Binary SEU	(30 sec)
ASCII TLM	(90 sec)
ASCII WOD	(120 sec)
ASCII bulletin	(60 sec)
Binary ENG	(30 sec)

UoSAT-2のテレメトリ(TLM)は60項目(Channel番号00~59)のアナログデータと96項目(Channel番号60~69)のデジタルステータスデータで構成されている。表5に示すテレメトリの受信例のように、衛星の識別符号と測定年月日・時刻を表す文字列1行を前置して、Channel番号とデータを表す5桁の文字列を1行あたり10個、合計7行からなるブロック形式でテレメトリは送信される。アナログデータの場合、5桁の文字列の前2桁がChannel番号、後ろ3桁がデータの数値Nを表す。この数値を換算式に代入すると測定値が得られる。例として太陽電池パネルの出力電流と磁束計に関するChannel番号、項目換算式、表5のテレメトリの最初のブロックを解読して得た測定値を表3に示す。

表3 アナログテレメトリの例

Ch.	Parameter	Equation	Value
00	Solar array cur -Y	1.9(516-N)	522.5mA
01	Nav. mag. X axis	0.1485N-68	8.2 μ T
02	Nav. mag. Z axis	0.1523N-69	-31.4 μ T
03	Nav. mag. Y axis	0.1507N-69	-8.6 μ T
10	Solar array cur +Y	1.9(516-N)	13.3mA
20	Solar array cur -X	1.9(516-N)	9.5mA
30	Solar array cur +X	1.9(516-N)	3.8mA

3.2 ホールオービットデータ

通常、UoSAT-2は4.84秒ごとに測定したテレメトリデータのうち4つの項目をホールオービットデータ(WOD)として蓄積している。蓄積されたWODは表4に示すように1行18桁の文字列で送信される。たとえば表4のWODはChannel 01, 02, 03, 61のデータを含み、最初の1行目は次のような内容を表している。

```
Line number : 003B   Channel 01 : 349
Channel 02 : 636     Channel 03 : 500
Channel 61 : 5FC     Check sum : F2
```

ここで、Line number, Channel 61, Check sumは16進数、Channel 01, 02, 03は10進数である。表4のWODは地磁気のデータであるが、これ以外にもUoSAT-2は太陽電池の出力電流、太陽電池パネルの温度、バッテリー電圧などのWODを送信している。WODの蓄積開始年月日時刻、Channel番号などはメッセージに表記される。

表4 ホールオービットデータの受信例

```
** UoSAT-OSCAR-11 OBC **
Diary Operating System V3.6
Date: 21 /2 /99 (Sunday)
Time: 16 :53 :11 UTC
Auto Mode is selected
Spin Period: - 324
Z Mag firings: 36
+ SPIN firings: 0
-SPIN firings: 26
SEU count -20581
RAM WASH pointer at 8AB4
WOD commenced 18 /2 /99 at 0 :0 :6
with channels 1 ,2 ,3 ,61 ,
Last Command: 109 to 0 , 0
Attitude control initiated, mode 3
003B3496365005FCF2
00433816384065FCAB
004B4616233495FC95
00535576163805FC6C
005B6085994485FC67
00635885975415FCE8
006B5175975935FCFF
00734316005845FC83
007B3776065225FC92
00833826104405FC58
. . . . .
```

4. ホールオービットデータの解析

UoSAT-2のホールオービットデータを取得し、解析する手順は以下の通りである³⁾。

- ・軌道計算ソフトでUoSAT-2の可視時間帯を予測する。
- ・UoSAT-2をアンテナで追尾しながら標識電波を受信しオーディオ信号をテープレコーダに録音する。これを複数回のオービットに対して繰り返す。
- ・テープレコーダを再生し、Ctermでデータを保存する。
- ・U2awodとSortと呼ばれるWOD処理ソフトを使用して各Channelごとの時系列データを生成する。
- ・表計算ソフトを用いてデータを換算・グラフ表示する。

図5と図6はWODを解析して得られた地磁気と太陽電池出力電流の時間変化を表すグラフの一例である。これらのグラフよりUoSAT-2は約5分の周期で自転してることが容易にわかる。

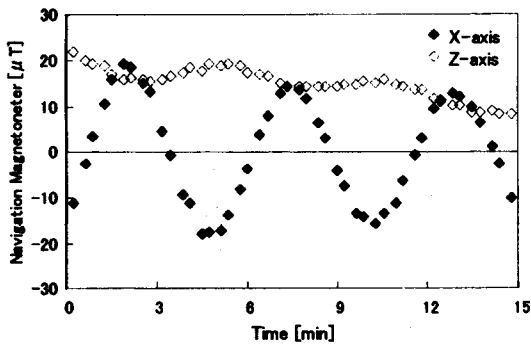


図5 地磁気 (X軸とZ軸方向)

今後はWODを利用して衛星の軌道運動や動作環境を考察する教材を作成し、教育効果を実践的に評価したい。

参考文献

- 1)UoSAT-2を含むアマチュア衛星に関しては、たとえば以下の文献を参照：
Martin Davidoff; The Radio Amateur's Satellite Handbook, The American Radio Relay League.
- 2)UoSAT-2のテレメトリ、ホールオービットデータ、デモジュレータ、データ処理ソフトなどに関しては以下のWebサイトを参照：
<http://www.users.zetnet.co.uk/clivew/oscar11.htm>.
- 3)浅井 文男：人工衛星のデータ取得と解析を取り入れた工学実験，工学・工業教育研究講演会講演論文集 pp.229-232 (1999).

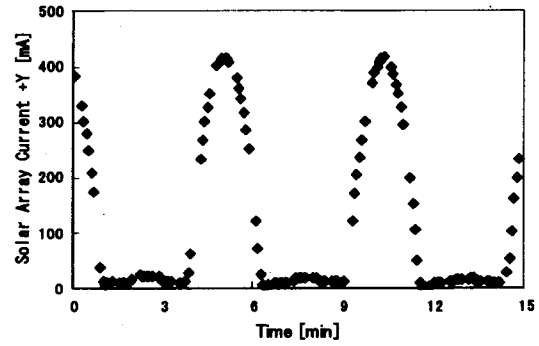


図6 太陽電池の出力電流 (+Y面)

表5 テレメトリの受信例

UOSAT-2	9902190073708
00241701558902235603422704036105025206014307035108031A090283	
10509D11256112000313053414002715010516003417397B183813194396	
20511721230222665523000124000625000726084827386828392229371E	
30514331035432286D33590C34006135194A362601373153383549393933	
407993411127426572430610441634450001460002473642483924493583	
50547351118C52662553668E54710755607156202357377158307959377F	
60A307615FC1625F4A633350644402651E0C661B6C67F00E68000E69000F	
UOSAT-2	9902190073713
00241701572102239A03438C04036105025206014307035108031A090283	
10509D112561120003130534140027150105160034173995183831194396	
20511721231322665523000124000625000726084827386828392229371E	
30514331035432286D33594834006135194A362601373153383549393933	
40798241112742658D430623441634450001460002473642483924493583	
50547351118C52662553668E54710755607156202357377158307959377F	
60A32D615FC1625F4A633350644402651E0C66182B67F00E68000E69000F	
.....	

保守工程におけるデバッグ作業者のバグ特定プロセス分析

工藤 英男 内田 眞司* 門田 暁人* 松本 健一*

Analysis of Debugger's Fault Localization Process in Software Maintenance

Hideo KUDO, Shinji UCHIDA*, Akito MONDEN* and Ken-ichi MATSUMOTO*

本稿では、我々が提案しているデバッグ作業者のバグ特定プロセスのモデルに基づき、異なるプログラムで実験した分析結果を示す。このモデルは、デバッグ対象プログラムを構成するモジュールを、その中にバグが存在するとデバッグ作業者が仮定するか否かで3つの集合に分類し、それらの集合間でのモジュールの移動によってバグ特定プロセスを表現できる。本実験では、三目並べのプログラムを用い、7名の被験者により、このモデルに基づくデバッグ能力とデバッグ戦略の分析を行った。その結果、バグ特定プロセスの共通点や作業者によるデバッグ戦略の違いをモデル上で確認することができた。

1. はじめに

ソフトウェアの開発から運用に要する費用の中では、保守に要する費用が大きい割合を占めると言われている。また、ソフトウェア技術者は、50%以上の時間を何らかのデバッグに費やしており、この比率は過去20年間大きな変化がないと報告されている⁽¹⁾。しかしながら、デバッグ作業を効率よく行うための方法論は確立されていない。

特に、保守工程におけるデバッグでは、開発時とは異なり、対象となるソフトウェアの設計者やコード作成者自身が作業を行えるとは限らない。しかも、ソフトウェアの稼働を停止しなければならないほどの重大な故障を引き起こしたバグは、迅速に除去しなければならない。プログラムコードからデータの流れや制御の流れを抽出するツール、開発時に利用されるいわゆるデバッグ等が用いられる場合もあるが、デバッグ作業の効率化は作業者の知識や経験に大きく依存しているのが現状である。

そこで、デバッグ作業の様子を観察、分析し、デバッグ作業の効率化に役立てようとする研究が盛んに行われている^(2,3)。筆者らも、デバッグ作業中に作業者に対して定期的にインタビューを行うことでデバッグプロセスを

明らかにしようと試みてきている^(4,5,6,7,8)。

これまでの実験では、大半のデバッグ作業者が、デバッグ対象となるプログラム全体ではなく、その一部である特定のモジュールに注目してプログラムコードを読み進めていることが分っている⁽⁹⁾。仮説に基づきモデル化を試みた⁽¹⁰⁾。即ち、デバッグ作業者はバグが存在すると思われるモジュールを何らの方法で選び出し、それらのモジュールを重点的に読み、理解することで、バグの位置である修正すべき命令文を短時間で特定し、デバッグ作業を効率化しようとしている。

本稿では、デバッグ対象プログラムを構成するモジュールである関数や手続きを、その中にバグが存在するとデバッグ作業者が仮定するか否かで3つの集合に分類し、それらの集合間でのモジュールの移動（集合の時間変化）によってバグ特定プロセスを表現している。具体的には、「バグの存在が疑われるモジュール（バグ有り可能モジュール）」、「バグが存在しないと思われるモジュール（バグ無し可能モジュール）」及び「それ以外のモジュール（未判定モジュール）」の3つにモジュールを分類する。

未判定モジュールの存在を認めることで、デバッグ対象プログラムの一部のモジュールのみに注目したデバッグ作業やプログラム理解が十分ではない状況でのデバッグ作業の表現が可能となっている。また、本稿では、三目並べのプログラムを用い、7名の被験者を対象に収集した実験データを用いて、被験者のデバッグ能力とデバッグ戦略の分析を提案モデルに基づき行う。

*奈良先端科学技術大学院大学

Nara Institute of Science and Technology

2. 定期的インタビューの採用

作業中に、頭で考えている事を発話してもらう「プロトコル分析⁽¹¹⁾」があるが、バグの位置を絞り込んでいく様子が必ずしも明らかにできない。その理由として、バグがどこに潜伏しているかについて、明確な発話を得られるとは限らない。また、作業に熱中すると黙ってしまう事が考えられる。

そこで、作業中において定期的に、バグが存在している位置について尋ねる。具体的には、5分間隔で、バグがどこに潜伏しているかについての度合いを、用意したインタビュー用紙に記入してもらう。

3. バグ特定プロセスとそのモデル

本稿では、複数のモジュールで構成されるプログラムを対象としたデバッグ作業において、バグが存在するモジュールを特定する過程を「バグ特定プロセス」と呼ぶことにする。

対象プログラムの設計者やコード作成者にとっては、プログラムの全体像はもちろんであるが、個々のモジュールで用いられているデータ構造やアルゴリズムも（記憶を呼び戻す必要はあるかもしれないが）既知である。従って、故障の症状が与えられると、プログラムを構成するモジュールを「バグの存在が疑われるモジュール（バグ有り可能モジュール）」と「バグが存在しないと思われるモジュール（バグ無し可能モジュール）」に比較的容易に分類することができる。

一方、保守工程において多く見られるように、対象プログラムの設計者やコード作成者ではない作業者がデバッグを行う場合、デバッグ作業者は、まず、設計書やプログラムコードを読むことによって、個々のモジュールで用いられているデータ構造やアルゴリズムを理解して、プログラム全体を理解する必要がある。但し、対象プログラムの規模が大きくなり、含まれるモジュール数が増えると、全てのモジュールのデータ構造やアルゴリズムを限られた期間内で理解することは困難となる。

実際、筆者らがこれまでにに行った観察実験においても、デバッグ作業者はバグ有り可能モジュールを何らの方法で選び出し、それらモジュールを重点的に読み、理解しようとしていた。また、理解の対象とならなかったモジュール、あるいは、理解を試みたが、そのモジュールが「バグ有り可能モジュール」か「バグ無し可能モジュール」か判定できるほどには理解できなかったモジュール

（未判定モジュール）が存在していた。

そこで、デバッグ対象プログラムを構成するモジュールを次の3つの集合 B_+ 、 B_0 及び B_- に分類し、集合間でのモジュールの移動（集合の時間変化）によってバグ特定プロセスを表現する。

$$B_+ = \{\text{バグ有り可能モジュール}\}$$

$$B_0 = \{\text{未判定モジュール}\}$$

$$B_- = \{\text{バグ無し可能モジュール}\}$$

$$(\text{但し, } B_+ \cap B_0 = B_0 \cap B_- = B_- \cap B_+ = \phi)$$

バグ特定プロセスの開始時点で、作業者が理解しているモジュールはないとすると、各集合の初期状態は、

$$B_+ = \phi$$

$$B_0 = \{m_1, m_2, \dots, m_n\}$$

$$B_- = \phi$$

となる。但し、 $m_i (i=1, 2, \dots, n)$ はデバッグ対象プログラムを構成するモジュールを表す。なお、ここでは便宜的に、 m_1 をバグ存在モジュールとする。プログラムの理解が進むにつれて、 B_0 に属するモジュールは B_+ 、あるいは、 B_- へと移動していく。

バグ特定プロセスの終了時点では、

$$B_+ = \{m_1\}$$

$$B_0 = \phi$$

$$B_- = \{m_2, \dots, m_n\}$$

となる。但し、終了状態に至る過程はデバッグ作業者の能力と用いる戦略により大きく異なる。例えば、デバッグ作業の初心者の場合、バグの特定が困難なため、数多くのモジュールが B_0 から B_+ に移動したり、逆に、 B_0 から B_+ にも B_- にもモジュールがなかなか移動しなかったりするかもしれない。プログラムに対する誤った理解や勘違いにより、不必要なモジュール移動が多発することも考えられる。また、いわゆる消去法でバグ有り可能モジュールを特定しようとする作業者の場合、主に B_0 から B_- にモジュールが移動し、 B_0 に1つ残ったモジュールがバグ有り可能モジュールとして、最後に B_+ へと移動する過程を経るかもしれない。

4. モデルの適用実験

前章で定義したモデルを用いたバグ特定プロセスの分析に必要なデータを収集する実験を行った。実験の概要は次の通りである。

・被験者は大学院大学情報科学研究科の博士前期課程学生1名と奈良高専の電子情報工学専攻科学生2名と情報工学科の学生4名の計7名である。なお、ここでの被験者の記号は、デバッグ作業時間の短い順にAからGとし

た。従って我々の他の文献^(6-8,10)との対応はしていない。
 ・デバッグ対象プログラムは三目並べプログラムを用いた。C言語で記述されており、行数は約250行15個のモジュール数で構成され、バグ存在モジュール（以下では、 m_1 と呼ぶ。）は1つのみである。

・被験者には、デバッグ対象プログラムの仕様書、プログラムコード、及び故障の症状を提供し、それらに基づいてバグの位置を特定し、必要なプログラム修正を行うよう指示した。

・被験者に対して定期的（約5分間隔）にインタビューを実施し、その時点での B_+ 、 B_0 及び B_- に属するモジュールを5段階（+2～-2）の数値で回答してもらった。

・7名の被験者の内6人が60分以内にバグを特定し、必要なプログラム修正を行うことができた。なお、1人は60分の制限時間内にプログラム修正が終了しなかったため、実験を中断した。

実験により収集した作業時間、バグ有り可能モジュール数、バグ無し可能モジュール数やモジュール移動に関するデータを表1にまとめる。バグのモジュール m_1 をバグ有り可能モジュールと判定したことを $B_+ \ni m_1$ で表す。

また、 B_+ 、 B_0 及び B_- に属するモジュール数の変化を被験者ごとに図1に示す。なお、図1の横軸はインタビュー回数であるが、インタビューはほぼ5分おきに実施されており、作業時間とみなすこともできる。なお、デバッグ作業時間には、インタビューにかかった時間も含まれているため、被験者CとDのように、インタビュー回

数が多いのにデバッグ作業時間が短い事も有り得る。

5. 分析と考察

まず、表1および図1(a)～図1(g)から得られる全体的な特徴について述べ、次に7名の被験者ごとの特徴について分析し考察する

表1におけるデバッグ作業時間Tで比較すると、被験者AとBが27分と28分と短く、Gを除く他の被験者は40分台でバグを特定し、プログラムを修正していることが分かる。ただし、 $B_+ \ni m_1$ となったインタビューの回 N_b は、被験者Aが3と小さく他は5、6とほぼ同じである。即ち、デバッグ作業時間の差は、 m_1 をバグ有り可能モジュールと判定してからバグのモジュールと特定するまでに要した時間の差である。特に、デバッグ作業時間が最も長かった被験者Gの場合は、 $B_+ \ni m_1$ となったインタビューにおいて B_+ のモジュール数が1に増加していることが図1(g)から分る。つまり、 m_1 をバグのモジュールと強く確信するまでに多くの時間を費やしたと考えることができる。

被験者B、D、Fは、 $N_b = N$ となっており、 m_1 をバグ有り可能モジュールと判定した直後にバグを特定しプログラム修正を行っていることになる。

また、被験者A、B、E、F、Gは、「 B_+ の最大モジュール数 $\max|B_+|$ 」と「 B_- の最大モジュール数 $\max|B_-|$ 」の合

表1. 実験データ

		被験者							
		A	B	C	D	E	F	G	
作業時間関連	デバッグ作業時間 (T単位：分)	27	28	40	41	42	45	60	
	インタビュー総数 (N)	4	5	7	6	6	6	10	
	$B_+ \ni m_1$ となったインタビューの回 (N_b)	3	5	6	6	5	6	9	
バグ有り可能モジュール	B_+ の最大モジュール数 ($\max|B_+|$)	2	1	1	5	5	1	1	
	B_+ の平均モジュール数 ($\text{avg}|B_+|$)	1.3	0.2	0.3	2.8	1.3	0.2	0.2	
	N回目のインタビューにおける B_+ のモジュール数 ($|B_+|N$)	2	1	1	5	2	1	1	
バグ無し可能モジュール	B_- の最大モジュール数 ($\max|B_-|$)	13	14	10	6	10	14	14	
	B_- の平均モジュール数 ($\text{avg}|B_-|$)	9.5	7.4	7.3	5.7	6.3	9.3	8.7	
	N回目のインタビューにおける B_- のモジュール数 ($|B_-|N$)	13	14	10	6	10	14	14	
モジュール移動	B_+ から B_- への移動モジュール数 ($m_{+,-}$)	1	0	0	1	5	0	0	
	B_+ から B_- への移動モジュールが B_+ に属していた平均インタビュー回数 ($\text{avg}(N_{+,-})$)	3.0	0	0	3.2	2.0	0	0	
	B_- から B_+ への移動モジュール数 ($m_{-,+}$)	0	0	0	0	0	0	0	

計が総モジュール数15と一致することから、プログラム全体を理解した上でバグを特定したと考えられる。しかし、残りの被験者C, Dはその数が11なのでプログラム全体を理解した上でバグを特定したとは言い難い。

なお、 N_0 が被験者Gを除く6名が、3~6とほぼ同じ値となっていることからすると、被験者が m_1 に注目するまでの時間は、各被験者の特性（デバッグ能力やバグ特定戦略）ではなく、デバッグ対象プログラムの特性（プログラム構造やモジュールの実行順序等）に大きく依存していた可能性がある。

以下では、各被験者のバグ特定プロセスの特徴を述べる。

被験者A…バグ有り可能モジュールにおける「 B_+ の最大モジュール ($\max|B_+|$)」と「 B_+ の平均モジュール数 ($\text{avg}|B_+|$)」が被験者D, E程大きくはないが、バグが存在するモジュールを効率よく見つけていると考えられる。また、モジュール移動における「 B_+ から B_- への移動モジュールが B_+ に属していた平均インタビュー回数 ($\text{avg}(N_{+,-})$)」の値が3.0と大きい。

バグ無し可能モジュール数における「 B_- の最大モジュール数 ($\max|B_-|$)」と「 B_- の平均モジュール数 ($\text{avg}|B_-|$)」が被験者B, F, G同様に大きく、バグが存在しないモジュールを効率よく見つけていると考えられる。図1(a)に示すように、1回目で5個、2回目で8個、3回目で12個とバグ無し可能モジュール数を増やしている意味で高いデバッグ能力を持ち、効率よくデバッグを行った被験者と見ることができる。

被験者B…被験者Aとよく似た傾向であるが、 $N_0=N$ となっており、 m_1 をバグ有り可能モジュールと判定したモジュール直後にバグを特定しプログラム修正を行っていることになる。その意味で高いデバッグ能力を持ち、効率よくデバッグを行った被験者と見ることができる。図1(b)より、その様子が伺われる。

被験者Aと大きく異なるのは「 B_+ の最大モジュール数 $\max|B_+|$ 」が1で、「 B_+ の平均モジュール数 $\text{avg}|B_+|$ 」が0.2及び「 B_+ から B_- への移動モジュールが B_+ に属していた平均インタビュー回数 $\text{avg}(N_{+,-})$ 」が0と小さい。

被験者C…インタビュー回数が被験者D, E, Fより1回多いがデバッグ作業時間が僅かに少ない。多分、インタビュー時の回答の記述にかかる時間が他の被験者より短いと考えられる。

また、図1(c)に示すように、「 B_+ の最大モジュール数 $\max|B_+|$ 」と「 B_- の最大モジュール数 $\max|B_-|$ 」の合計

が11と総モジュール数15より少ない。つまり、プログラム全体を理解した上でバグを特定したのではなく、バグに関連しそうなところを理解していると思われる。

被験者D…バグ有り可能モジュール数における「 B_+ の最大モジュール数 $\max|B_+|$ 」が5、「 B_+ の平均モジュール数 $\text{avg}|B_+|$ 」が2.8及び「N回目のインタビューにおける B_+ のモジュール数 $|B_+|N$ 」が5とモジュール移動にお

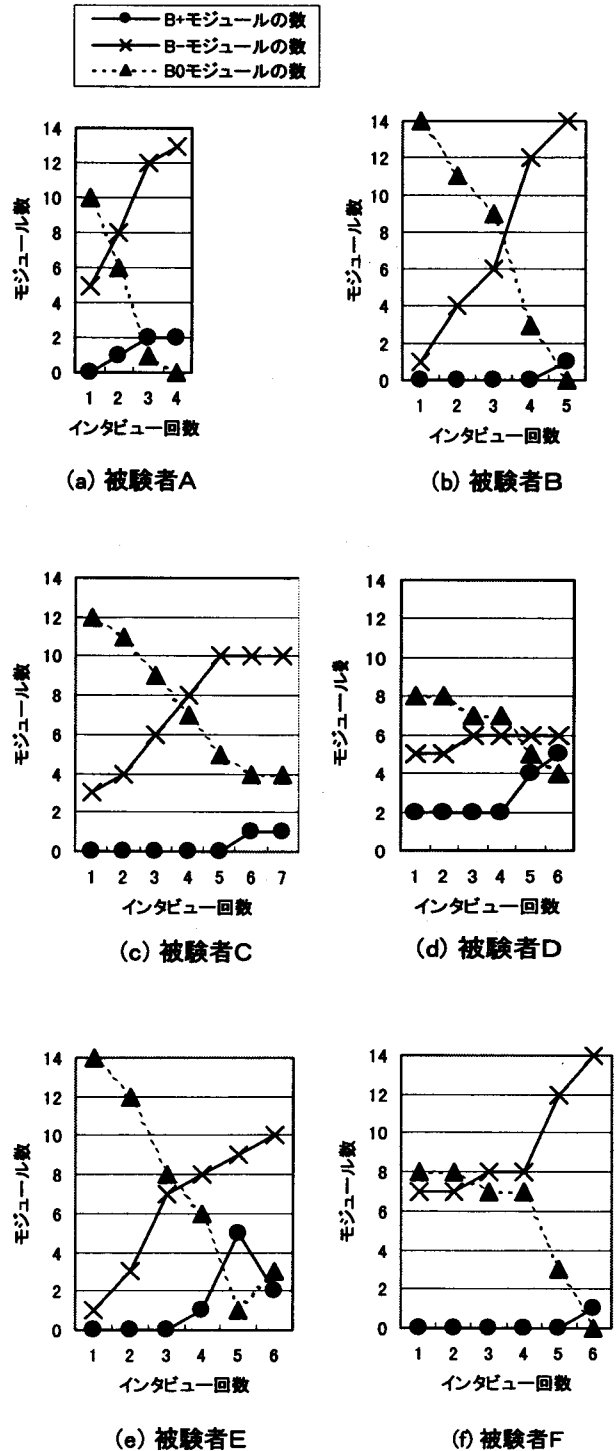


図1. 各被験者におけるモジュール数の変化

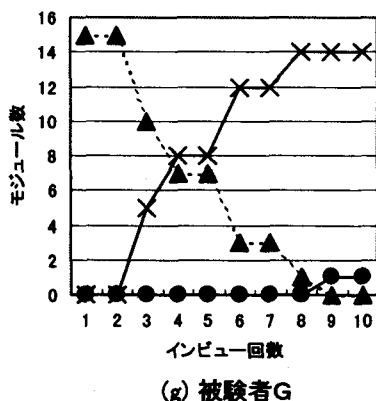


図1. 各被験者におけるモジュール数の変化 (つづき)

る B_+ から B_- への移動モジュールが B_+ に属していた平均インタビュー回数 $avg(N_{+,-})$ 」の値が3.2と最も大きいのが特徴である。

また、バグ無し可能モジュールにおける「 B_- の最大モジュール数 $max|B_-|$ 」と「 B_- の平均モジュール数 $avg|B_-|$ 」が小さいのが特徴である。

図1(d)を見ると、1回目のインタビューの時点で5個のモジュールをバグ無し可能モジュール数(B_- に属するモジュール数)としている。即ち、残りの10個程度のモジュールをデバッグ対象とし、その中からバグ無し可能モジュールを除外することでバグを特定しようとしたが、バグ無し可能モジュールの特定に手間取り、被験者AやBよりも多くのデバッグ時間を要したと考えられる。

被験者E…被験者D同様に、「 B_+ の最大モジュール数 $max|B_+|$ 」が5、「 B_+ の平均モジュール数 $avg|B_+|$ 」が1.3、 N 回目のインタビューにおける B_+ のモジュール数 $|B_+|N$ 」が2、及び「 B_+ から B_- への移動モジュールが B_+ に属していた平均インタビュー回数 $avg(N_{+,-})$ 」の2.0が大きい値である。しかし、「 B_- の最大モジュール数 $max|B_-|$ 」が10と「 B_- の平均モジュール数 $avg|B_-|$ 」が6.3と小さいのが特徴である。

図1(e)を見ると、4回目から5回目のインタビューの時点で1個から5個のモジュールをバグ有り可能モジュール(B_+ に属するモジュール)としているが、次の回には2個に減っている。

被験者F…「 B_- の最大モジュール数 $max|B_-|$ 」が14と「 B_- の平均モジュール数($avg|B_-|$)」が9.3と大きいのが特徴である。

図1(f)を見ると、バグ無し可能モジュール数(B_- に属するモジュール数)が1回目のインタビュー時点で7となった後、5回目のインタビュー時点で12まで大きく増

加していることが分る。

被験者G…「 B_- の最大モジュール数 $max|B_-|$ 」が14と「 B_- の平均モジュール数($avg|B_-|$)」が8.7と大きいのが特徴である。

図1(g)を見ると、バグ無し可能モジュール数(B_- に属するモジュール数)が3回目のインタビュー時点で増加して5となった後、6回目のインタビュー時点で12まで増加していることが分る。消去法でバグのモジュールを特定しようとしたが、デバッグ作業の初期にバグ無し可能モジュールの特定に失敗し、結果として作業時間が大きくなったと考えられる。

6. おわりに

本稿では、デバッグ対象プログラムを構成するモジュールを、その中にバグが存在するとデバッグ作業者が仮定するか否かで3つの集合に分類し、それら集合間でのモジュールの移動(集合の時間変化)によってバグ特定プロセスをモデル化した。提案モデルでは、バグが存在するか否かの判定を保留したモジュールの存在を認めることで、デバッグ対象プログラムの一部のみに注目したデバッグ作業やプログラム理解が十分ではない状況でのデバッグ作業の表現が可能となっている。

また、前章で述べたとおり、デバッグ作業者の能力や戦略の分析を提案モデルで行う実験も行った。ただし、現状では、次の実験データは収集したが分析に利用していない。

- 個々のモジュールの集合間での移動履歴
- バグが存在する、あるいは、存在しないと仮定する度合い(作業者の確信度)
- モジュールの理解やバグの存在判定のために、インタビュー間で作業者が行ったより具体的な作業内容(プログラムの編集や実行、テストデータの作成等)
- 作業によるモジュールの参照履歴

これらを利用しモデルを改良することで、デバッグ作業のより詳細で定量的な評価や支援が可能になると考えられる。

また、今後は、奈良先端科学技術大学院大学で、進行中のEmpirical Software Engineeringにおける研究⁽¹²⁾と連動して、更に研究を進めていきたい。

謝辞 日頃、ご指導を賜っている奈良先端科学技術大学院大学の鳥居宏次副学長、及び井上克郎教授に感謝いたします。また、被験者として、実験に協力を頂いた学生

諸氏にお礼を申し上げます。

参考文献

- (1) B.W. Boehm : The High Cost of Software, Proc. of COMP-SAC (1977).
- (2) Vessey, I. : Expertise in debugging computer programs: A process analysis, International Journal of Man-Machine Studies, Vol.23, pp.459-494 (1985).
- (3) Mayrhauser, A.V. and Vans, A.M. : Comprehension process during large scale maintenance, Proc. of 16th International Conference on Software Engineering, pp.39-48 (1994).
- (4) 本杉匡史 : プログラム保守におけるデバッグ行動の分析, 奈良先端科学技術大学院大学修士論文, Naist-is-MT9451113 (1995).
- (5) 門田, 高田, 鳥居 : 視線追跡装置を用いたデバッグプロセスの観察実験, 電子情報通信学会技術報告, SS96-5 (1996).
- (6) 内田, 工藤, 門田 : デバッグ作業者の思考を定期的なインタビューと視点の移動により追跡する実験, 情報処理学会, 第56回全国大会講演論文集(1), pp.203-204 (1998).
- (7) 内田, 工藤, 門田 : 定期的なインタビューを取り入れたデバッグプロセスの実験と分析, ソフトウェア技術者協会ソフトウェアシンポジウム'98論文集, pp.53-58 (1998).
- (8) 内田, 工藤, 門田 : 定期的なインタビューを取り入れたデバッグプロセスの実験と考察, 電子情報通信学会技術報告, KBSE98-29 (1998).
- (9) Araki, K., Furukawa, Z., and Cheng, J: A General Framework for Debugging, IEEE Software, Vol.8, No.3, pp. 14-20(1991).
- (10) 内田, 工藤, 門田, 松本, 井上 : “保守工程におけるバグ特定プロセスの分析”, 日本ソフトウェア科学会第16回大会論文集, pp.185-188 (1999).
- (11) 海保, 原田 : プロトコル分析入門, 新曜社 (1993).
- (12) K. Torii, K. Matsumoto, K. Nakakoji, Y. Takada, S. Takada, and K. Shima : “Ginger 2 : An Environment for Computer-Aided Empirical Software Engineering”, IEEE Transaction on Software Engineering, Vol. 25, No. 4, pp. 474-492 (1999).

DFTを用いたプロセスデータ解析に関する考察

近藤 勝也

A study for analyzing process data

Katsuya KONDO

It is effective for study or improvement of manufacturing process to analyze the data measured from the process. This paper investigates analysis of data measured from steel rolling mills. Most useful signal processing method is frequency analysis, which is calculated by Fourier transform. This Fourier transform is discrete Fourier transform (DFT) because the data is converted from continuous wave signal to digital signal by sampling. The characteristic of DFT is not same as continuous Fourier transform. This paper is studying application of DFT to analyzing process data.

1. はじめに

産業界の製造プロセスや研究室の実験プロセスにおいて、計測されたデータを解析することが、それらのプロセスを理解したり改善するために大変重要である。計測されるデータは大半が波形データで、最近ではデジタル信号に変換して解析が行われる。これらの技術は波形データ処理やデジタル信号処理と呼ばれ、数多くの参考書が出版^{1), 2)}されている。

本論文では製造プロセスの中の鉄鋼圧延機を取り上げ、圧延というプロセスを理解したり、圧延機の制御方法を設計あるいは改善する場合に必要なデータ解析について検討する。データ解析で一番よく使われる信号処理方法は周波数分析(解析)で、このためにフーリエ変換を行うのが一般的である。デジタル信号は、時間的に連続的な波形をある時間間隔ごとにサンプリングして得られた離散数値系列なので、そのフーリエ変換は離散フーリエ変換(DFT)である。離散フーリエ変換は連続的なフーリエ変換に比べて特別な性質を持つため、その取り扱いには注意が必要である。

本論文では現在までに知られている離散フーリエ変換の特別な性質がプロセスデータの解析にどのような影響を及ぼすのかについて考察した。

2. プロセスデータ解析

2.1 鉄鋼圧延機と計測データ

鉄鋼圧延機は鋼板などの厚みを薄く延ばす設備で、鋼板の温度や厚みの条件などに応じてそれぞれ専用の圧延機が用いられる。ここで取り上げたのは冷間可逆圧延機でコールドレバースミル(略してレバースミル)と呼ばれる圧延機である。レバースミルは1台の圧延機でコイル状の材料を複数回往復圧延し、往復の回数(パス回数)を変えることにより、材料の硬さ、板厚の圧下率、仕上げ板厚などの多様な条件に対応できるので、多品種少量生産の分野で広く用いられる³⁾。

レバースミルは図1のように1台の圧延機とリール系とで構成される。リールは材料に張力をかけながらコイルの巻き取りや巻き戻しを行う。圧延機は材料に直接接して厚みを薄くする上下のワークロール(略してWR)とワークロールを支持するバックアップロール(略してBUR)と、それらのロールに圧下力を加える圧下スクリュウとから構成されている。圧下スクリュウは圧下モータで回転されて圧下位置が変えられる。また、BURは圧延モータで駆動されるようになっており、材料を送り出す役目もする。圧延中はロールに大きな力(圧下力)がかかり、この力は荷重計で計測される。圧延機の両側には厚み計が設置されて、圧延機に入ってくる材料の板厚と圧延されて出て行く材料の板厚(共に目標値からの偏差)が計測される。

今回実際に計測データを採取したレバースミルの概略

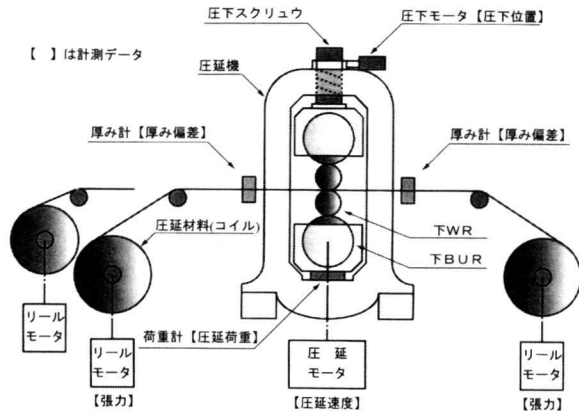


図1 レバースミルの構成

表1 鉄鋼レバースミル仕様例

板厚	0.03~3.0mm
板幅	600~1100mm
コイル径	内径508φ, 外径最大1950φ
コイル重量	最大17.2ton
圧延速度	最大1400m/min
圧延荷重	最大19.6MN (2000tonf)
モータ容量	約4000kW (合計)

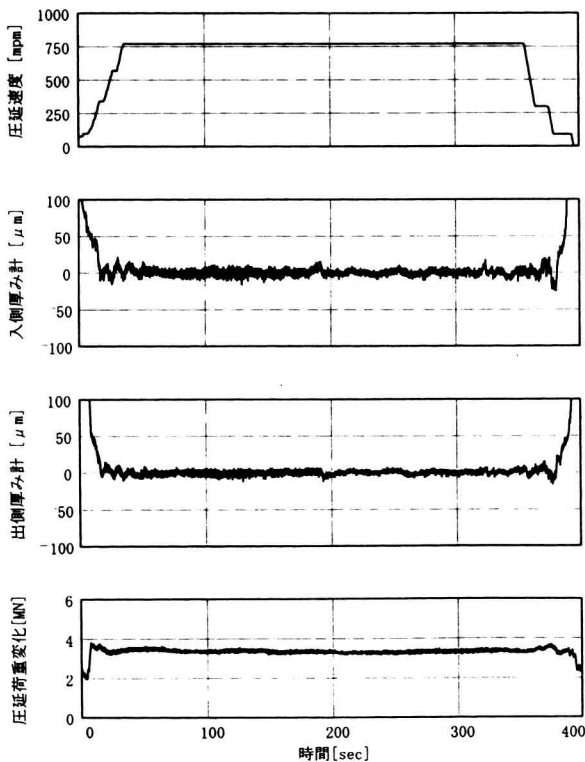


図2 レバースミルの計測データの一例
(材料寸法; 入側板厚: 0.630mm,
出側板厚: 0.430mm, 板幅: 1078mm)

仕様を表1に示す。計測されたデータの一例を図2に示す。図のグラフは圧延中の各計測信号を0.01秒ごとにサンプリングしてデジタル信号に変換し、その結果をパソコンに取り込んで作図した。アナログ信号からデジタル信号へのサンプリング装置の変換分解能は12bit (符号を含む)である。計測信号の名称(縦軸)は図中に示した。

2.2 データ解析の必要性

レバースミルの圧延で一番大切なことは材料の板厚精度である。すなわち1つのコイルの先端から後端までの全長にわたって目標の板厚寸法に仕上げることが要求される。このため、前記厚み計で計測される板厚偏差信号を用いた板厚制御がいろいろ開発されている³⁾。この板厚精度に限ってみても、データ解析が必要な課題がいろいろある。

まず、板厚精度を悪くする要因を分析し、その要因のうち可能なものを始めから取り除いておけば、後で不要な板厚制御をしなくてすむ。特にバックアップロールの偏心(真円でないこと)に起因した板厚変動は、板厚制御の応答に比べて変化が速い(周波数成分が高い)ので、機械的にロールの偏心が起らないように対策を施すことが必要である。このため板厚変動の中にロール偏心による変動がどの程度含まれるかを定量的に分析することが大切である。しかし、ロール偏心による板厚変動の大きさは材料の硬さなどによって決まるので、圧延の各パスごとに変動の大きさが違うのが実状である。また前のパスの板厚変動は圧延によって引き延ばされるので、次のパスの板厚変動とは周波数成分が異なることになる。すなわち、最終的に仕上がった材料の板厚変動は、各パスごとの異なる周波数と振幅の変動が含まれている。したがって、厚み計で計測された板厚変動信号の周波数成分と振幅を分析することが必要であり、製品の品質を考えると周波数の値よりも振幅の大きさのほうがより重要であるといえる。

つぎに板厚制御について考える。板厚制御の操作要素は压下位置(上下ワークロールの間隙)か、材料の張力(ワークロール間の材料を前後方向に引っ張る力)である。しかし、その操作による板厚変化は圧延条件によって異なる。压下位置の操作を例にとると、同じ値だけ压下位置を動かしても、材料が硬いときは板厚変化が小さく、材料が軟らかいときは板厚変化が大きい。このような特性を表す数値を圧延パラメータ(または影響係数)というが、最適な板厚制御が常に行われるようにするためには、この圧延パラメータの値に応じて板厚制御のゲインを変更する必要がある。このため各パスの圧延デー

タを分析して圧延パラメータを求めることができれば、厚板制御のために大役に立つ。今までの研究により、圧延現象を理論式で表現し、その数値計算によって圧延パラメータを推定する方法がいろいろ報告⁴⁾されている。しかし当然、理論計算に必要な全ての係数(定数)を実際の圧延条件に合わせて決める必要があり、実用面ではこの係数決定に課題が多いのが現状である。実際の圧延データを用いて圧延パラメータを推定する方法は特許公報⁵⁾などに報告されているが、大量の圧延データをそのまま数値計算する方法が中心である。この場合は理論計算と違って、計測データに含まれる外乱などの影響を受けやすいと思われる。このような問題はフーリエ変換を応用すると改善されるように思われるが、そのような報告はみられないようであったし、DFTをそのまま適用するには課題があることも分かっている。なお、このパラメータ推定の場合にも分析された周波数より振幅の大きさのほうがより大切である。

本論文では上に述べたような圧延データの解析にDFTを適用するときの課題について、簡単な数値計算を行って考察している。

3. DFTに関する考察

3.1 デジタル信号とDFT

プロセスの計測信号は時間的な連続波形であるが、デジタル信号処理のために、ある時間間隔 τ (サンプリング周期または間隔)で波形をサンプルし有限個の離散データ(サンプル値系列)に変換される。このサンプリングの注意点として次のことがあげられる⁶⁾。サンプル周波数 f_0 (サンプリング周期の逆数)は、サンプリング定理もしくはナイキストの標本化定理にしたがって、波形に含まれる最大周波数の2倍以上でなければならない。もし、 f_0 が小さすぎて原波形に $f_0/2$ よりも高い周波数成分が含まれていると、原波形に存在しないはずの低い周波数成分がサンプリング値系列に現れる(エイリアシングという)。これを防ぐため、サンプリングする前にカットオフ周波数が $f_0/2$ 程度のローパスフィルターをかける必要がある。

信号処理についていうと、フーリエ変換は時間連続の波形に対する変換であり、サンプル値系列に対する変換は離散フーリエ変換(DFT)である。一方、プロセスデータ解析で周波数分析を行う場合に知りたいのは連続波形に含まれる周波数成分とその大きさである。しかし、デジタル信号処理はサンプル値系列のDFTを計算するので、その結果はもとの連続波形のフーリエ変換とは

必ずしも一致しない。そこで、フーリエ変換とDFTの違いを明らかにし、DFTで分析された周波数成分と大きさが元の連続波形のフーリエ変換に可能な限り一致するようにすることが求められる。

いま、時間関数の連続波形を $x(t)$ 、そのフーリエ変換のスペクトルを $X(f)$ 、 $x(t)$ をサンプルした離散的な数値列を x_n 、そのDFTのスペクトルを X_k とする。ただし、 n はサンプル値の番号、 k はDFTで得られる分析周波数の番号である。なお、これらの関数間の理論的な関係は専門書²⁾に詳しく書かれているので参照されたい。さらに、サンプリングされたデータ x_n の中から時間 L の区間分のデータを切取ってデジタル信号処理を行うが、この切取り区間長 $L[s]$ がDFTによる分析の精度に大きく関係する。

まず、原波形に含まれる周波数の分析について説明する。DFTによる最小分解周波数を $\Delta f [Hz]$ とすると、DFTによる分析周波数 $f_k [Hz]$ は Δf ごとの離散値であり次式で与えられる。

$$f_k = k \Delta f \quad (1)$$

$$\Delta f = 1/L \quad (2)$$

したがって、 Δf より小さい周波数の値を知るためには、切取り区間長 L を大きくするのが一つの解決方法であるが、データ個数が多くなってしまふ。そこで、切取り区間長はそのまま周波数の分析精度を高くする研究が行われ、減衰正弦波信号のDFTスペクトルから隣り合う点の複素振幅比を用いる方法⁷⁾などが報告されている。

つぎに、データ解析で重要な振幅(スペクトルの大きさ)の解析については、切取り区間長が原波形の周期の整数倍でないときは、DFTの線スペクトルが周波数方向に分散すると同時に、大きさが小さくなることはよく知られている。これを改善するために各種の時間窓が提案²⁾され、その効果が理論的に説明されている。しかし、先に述べたプロセスデータの解析の場合にどう適用すればよいかは必ずしも明確に説明されていない。

そのためここでは、具体的な数値計算をおこなって、各種の時間窓によって線スペクトルの大きさがどうなるかを考察していく。

3.2 DFTの特性

切取り区間長 L がDFT結果に与える影響を以下の条件で計算する。

いま連続波形 $x(t)$ を(3)式のように振幅1、周波数 $f [Hz]$ の正弦波とする。この波形をサンプリング周期

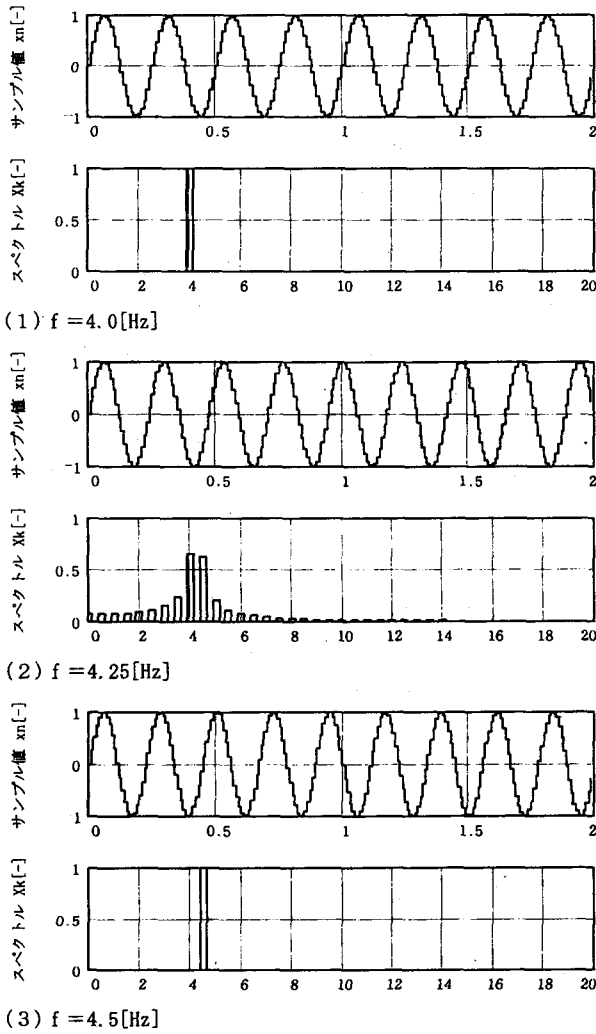


図3 データ切り取り区間のDFTへの影響

(横軸は各図上段; 時間 $n\tau$ [s], 下段; 周波数 k/L [Hz])

$$x(t) = \sin(2\pi ft) \quad (3)$$

$\tau = 0.01$ [s] ($f_0 = 100$ [Hz]) でサンプリングした離散値系列 x_n から、 2 [s] の区間を切り取って ($L = 2$ [s]) DFTをおこなった。ここで周波数 f を 4.0 [Hz], 4.25 [Hz], 4.5 [Hz], の3通りに変えてそれらの結果を比較した。なお、 4.0 [Hz] と 4.5 [Hz] は切り取り区間長が正弦波周期の整数倍になり、 4.25 [Hz] は整数倍にならない値である。原波形のサンプリング波形とそのDFT結果を図3に示す。なお、図のDFTスペクトルは 50 [Hz] までの計算値のうち 20 [Hz] までをグラフに表している。

図3をみると(1) $f = 4.0$ [Hz] と(3) $f = 4.5$ [Hz] のDFT結果はそれぞれの周波数のみのスペクトルが 1.0 となっているのに対し、(2) $f = 4.25$ [Hz] ではスペクトルが広い分析周波数にわたって分散し、その最大値は 4.0 [Hz] の 0.655 であった。すなわち、切り取り区間長が正弦波周期の整数倍でないときは、DFTのスペクトルは原波形の

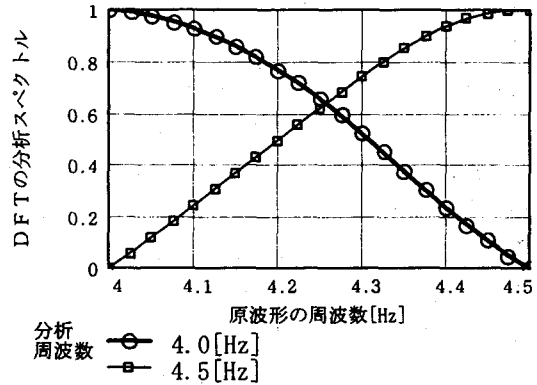


図4 原波形の周波数とDFT

振幅にくらべ、その差が無視できないほど小さくなる。また、分析周波数 4.5 [Hz] に対するスペクトルも 0.619 と大きく出ており、原波形に複数の周波数が存在するばあいは区別できなくなる恐れがある。

なお、このような不都合が生じる原因は、DFTは切り取り区間を一周期として無限に繰り返される周期関数の分析をするためである。そのため一周期の始めと終わりが、上記(1), (3)は連続した波形になって単一スペクトルになるが、(2)は不連続な波形になってスペクトルが分散する。

つぎに原波形の周波数 f を $4.0 \sim 4.5$ [Hz] 迄いろいろ変えてDFTスペクトルを計算した結果を図4に示す。図はDFT結果が大きなスペクトル値を持つ分析周波数 4.0 [Hz] と 4.5 [Hz] に注目し、それらのスペクトルの大きさを縦軸に、原波形の周波数 f を横軸に取ったグラフである。原波形周波数 f が分析周波数から少しずれただけではスペクトル値はわずかに小さくなるだけであるが、 f が隣り合った2つの分析周波数の中央に来るとスペクトル値は約 $2/3$ 程度に小さくなる。

以上、具体的な周波数についてDFT結果を説明したが、切り取り区間長が正弦波周期の整数倍にならないときは、サンプリング周波数や切り取り区間長の値に関係なくこのような不都合が生じる。

3.3 時間窓の効果

前節で述べた切り取り区間長によるDFTスペクトルの不都合を改善するため、時間を変数とする時間窓という重み関数がいろいろ提案²⁾されている。これは切り取り区間 L の始めと終わりのサンプリング値を徐々に小さくすることによって、周期的繰り返し時の不連続性を小さくしようという考え方である。代表的な時間窓4種類の式を次に示すが、これらの重み関数をサンプリング値に掛けてからDFTする。全ての式は $0 \leq t \leq L$ で定義され、

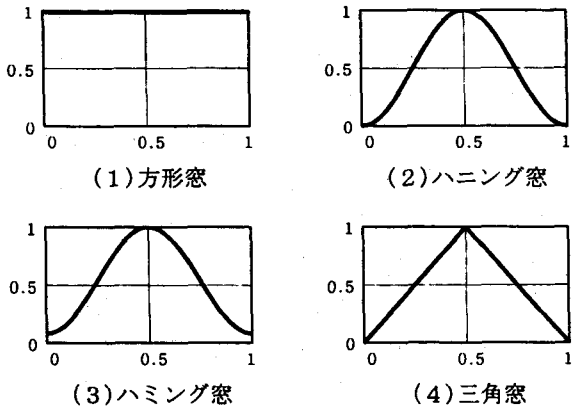


図5 時間窓の関数 (横軸は周期L=1として表示)

それ以外では0である。

(1) 方形窓

$$W_r(t) = 1 \quad (4)$$

(2) ハニング窓

$$W_n(t) = 0.5 - 0.5\cos(2\pi t / L) \quad (5)$$

(3) ハミング窓

$$W_m(t) = 0.54 - 0.46\cos(2\pi t / L) \quad (6)$$

(4) 三角窓

$$W_t(t) = 1 - (2/L) |t - (L/2)| \quad (7)$$

各窓関数の波形を図5に示した。3.2節で述べたサンプリング値をそのまま計算することは方形窓を使用したと等価である。

つぎに図3のサンプリング値にハニング窓を適用して計算した結果を、 $f = 4.0$ [Hz] と 4.25 [Hz] について図6に示す。(1) 4.0 [Hz] の結果をみると、図3の方形窓では単一であったDFTスペクトルが、3つの分析周波数に分散すると共にその大きさが小さくなっている。スペクトルの最大値はハニング窓の式から予想されるとおり 0.5 であり、原波形の振幅を推定するためにはスペクトル値を 0.5 で割る必要がある。(2) 4.25 [Hz] の結果をみると、時間窓の目的通りにDFTスペクトルの分散が小さくなっている。スペクトルの最大値は分析周波数 4.0 [Hz] と 4.5 [Hz] で共に 0.424 であった。 4.0 [Hz] の場合の最大スペクトル値に比した大きさは 0.848 倍であり、方形窓に比べて最大値の減衰がかなり改善されている。

以上まとめると、ハニング窓をかけることにより、切り取り区間長が正弦波周期の整数倍でない波形に対してはDFTスペクトルがかなり改善されるが、正弦波周期の整数倍の波形に対してはDFTスペクトルが少し分散してしまうといえる。

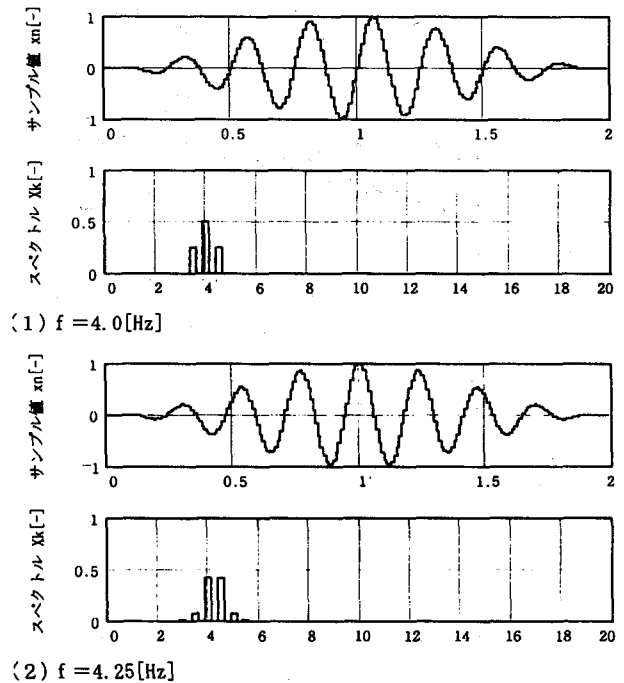


図6 ハニング窓を用いたDFT

(ハニング窓以外の条件は図3と同じ)

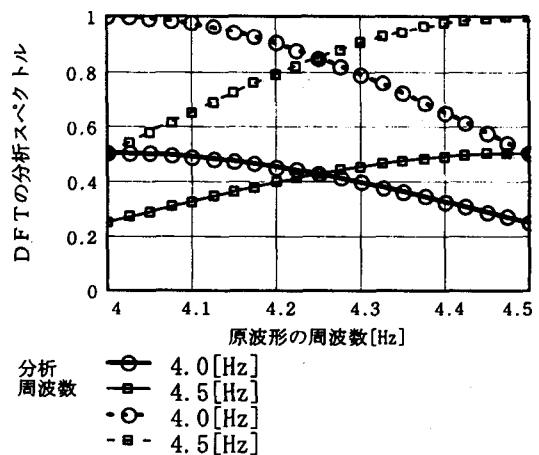


図7 ハニング窓を用いたDFTスペクトル

(ハニング窓以外の条件は図4と同じ。点線は正規化後)

さらに、ハニング窓を用いたときの原波形の周波数とDFTスペクトルとの関係を図4と同様に計算した結果を図7に示す。図7の実線は直接の計算値であり、それを最大値 0.5 で割って正規化した値を破線で示す。先に説明したハニング窓の特性が一段とよく分かる。

つづいてハミング窓および三角窓について図7と同様に計算した結果を図8および図9に示す。両図ともほとんど同じ特性であり、ハニング窓の特性ともよく似ている。なおもっと細かくみれば、ハニング窓にくらべ、ハミング窓と三角窓は中間点である 4.25 [Hz] における正規

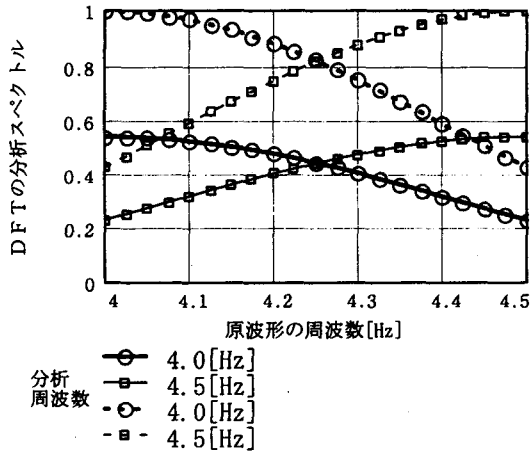


図8 ハミング窓を用いたDFTスペクトル
(ハミング窓以外の条件は図7と同じ)

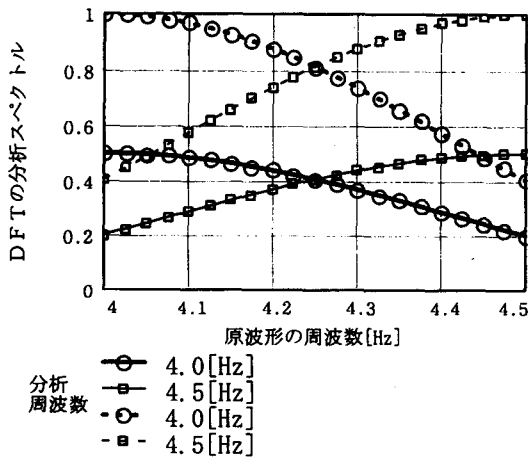


図9 三角窓を用いたDFTスペクトル
(三角窓以外の条件は図7と同じ)

化後のスペクトル値がやや小さくなり、その代わりに4.0 [Hz]および4.5 [Hz]におけるスペクトル値が小さくなっているようである。

4. おわりに

DFTは波形データの周波数成分とその大きさを分析するための基本的ツールであるが、プロセスデータの解析では波形の大きさ(振幅)の分析がより重要であることを示した。一方DFTで分析したスペクトルの大きさは波形データの切り取り区間長によって大きな影響を受けることが知られ、その改善のための時間窓がいろいろ提案されている。この時間窓について、簡単な計算を行ってDFTスペクトルがどうなるかを考察した。

代表的な時間窓であるハミング窓、ハミング窓、三角

窓について計算した結果、すべてほぼ同じ特性であった。いずれも窓なしと等価である方形窓にくらべ、切り取り区間長が原波形周期の整数倍でないときに分析スペクトルの減衰を改善する効果がある。しかし、切り取り区間長が原波形周期の整数倍のときは分析スペクトルが逆に分散してしまう。これは原波形の周波数成分が接近している場合はかえって誤差の原因になる恐れがある。

以上のことから、現在提案されている時間窓は必ずしも万能ではなく、もう少し特性の良い窓関数を検討する必要があるといえる。またプロセスデータの解析のために、時間窓だけでなく切り取り区間長の適切な決定方法などについての検討も必要であると思われる。

最後に、本研究の一部を本校情報工学科の平成10年度卒業研究として取り組んだ、辻本和啓君、本多健君および森田和宜君に謝意を表します。

参考文献

- 1) 南茂夫：科学計測のための波形データ処理，CQ出版(1986-4)
- 2) 城戸健一：デジタル信号処理入門，丸善(1985-7)
- 3) 近藤勝也，美坂佳助：“可逆圧延機板厚制御の動特性解析と非干渉制御”，計測と制御，Vol.28，No.5，pp.445～452(1989-5)
- 4) 日本塑性加工学会：板圧延，コロナ社(1993-2)
- 5) 日本国特許公報，第2538942号，1996年7月8日登録
- 6) 酒井幸市：高専生のためのデジタル信号処理，コロナ社(1996-7)
- 7) 後藤豊：“ハミング窓に基づくDFTスペクトルの補間法”，電子情報通信学会論文誌A，Vol.J81-A，No.11，pp.1510～1517(1998-11)

コーン分割による組合せ回路の最大同時変化ゲート数の並列計算法

世古 忠・東野 武史

Parallel Computation Method for Evaluating Maximum Number of Simultaneous Switching Gates of Combinational Circuit Using Cone Partitioning

Tadashi SEKO and Takeshi HIGASHINO

This paper discusses an improvement of execution time of the previous iterative method, proposed by Shinogi et al., which computes the maximum number of simultaneous switching gates. The improvement is attained by partitioning the circuit using cone structures and computing concurrently the number of simultaneous switching gates within the partitioned circuit. The experimental evaluation using ISCAS'85 benchmark circuits shows the usefulness of the proposed improvement.

1 まえがき

近年、電池で稼働するマルチメディア携帯用情報端末の急速な進展により、LSIの消費電力の評価や低減化が、LSI設計技術の重要な課題になっている。CMOS組合せ回路において、最大同時変化ゲート数を評価することは、CMOS回路の最大消費電力を評価する上で、きわめて重要である[1]。これまで、最大スイッチングゲート数の評価に関して、いくつかの研究が行われてきた。上田と樹下は、部分的しらみつぶし法[2]、分枝限定法[3]、遺伝的アルゴリズムを用いる方法[4]などを提案してきた。これらのなかで、部分的しらみつぶし法は、簡単で効果的な方法であるが、多くの計算時間がかかる。篠木等は、その後、この方法を発展させ、逐次改善法を提案した[5]。逐次改善法は、複数個の入力ピンを選択し、その値を、最大同時変化ゲート数が増加するように逐次的に改善する方法であり、従来の方法と比較して簡単で、かつ、良好な結果を得ている。しかし、この方法を用いても膨大な計算時間を必要とする。そこで、本研究では、回路をコーン状に分割し、並列計算により計算時間を更に改善し、従来より良い解を求める方法を提案する。提案法をベンチマーク回路に適用し、シミュレーション実験を行った結果、計算時間が短縮され、更に良い解が得られることが分かったので報告する。

2 準備

2.1 最大同時変化ゲート

組合せ回路の外部入力端子 I_1, I_2, \dots, I_n に時刻 t において入力ベクトル $v_t=(v_1, v_2, \dots, v_n)$ を与え、回路が定常状態になった後の時刻 l において入力ベクトル $v_l=(v_1', v_2', \dots, v_n')$ を与える。このとき、入力ベクトル v_t と v_l の組み $V=(v_t, v_l)$ を、入力ベクトル・ペアという。回路に、ある入力ベクトル・ペアを与えたとき、出力値が変化するゲートを、同時変化ゲートという。例えば、図1において入力ベクトル・ペア $V=((0, 0, 1, 1, 1, 0), (1, 1, 1, 1, 0, 1))$ が外部入力端子 $I_1, I_2, I_3, I_4, I_5, I_6$ に与えられたとき、ゲート G_1 の出力は、0から1に変化し、ゲート G_2, G_5, G_6 の出力は、1から0に変化する。ゲート G_3, G_4, G_7 の出力は、不変である。このとき、ゲート G_1, G_2, G_5, G_6 を、入力ベクトル・ペア V に対する同時変化ゲートという。同時変化ゲート数を N で表すと、この場合、 $N=4$ である。回路にすべての入力ベクトル・ペアを与えたときの同時変化ゲート数の最大値を N_{max} で表し、回路の最大同時変化ゲート数という。図1の回路の最大同時変化ゲート数は、 $N_{max}=6$ 、である。

一般に回路規模が大きくなると、回路の外部入力端子数 n に対して、入力ベクトル・ペア数は、 $O(2^n)$ で指数的に増大するので、回路の最大同時変化ゲート数を求めるために、近似解法を用いる。

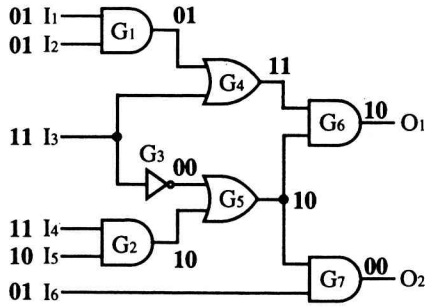


図1：同時変化ゲート

2.2 逐次改善法

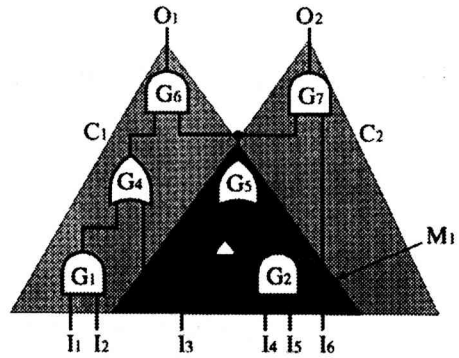
最大同時変化ゲート数を求めるための近似解法として、篠木等は逐次改善法 (Iterative Improvement Method) を提案した [5]. ここでは、この方法を I^2 法と表記する. 以下に、逐次改善法の処理手順の概要を示す.

- Step 1 : 乱数を用いて初期入力ベクトル・ペアを生成し、論理シミュレーションによって、 N を計算する.
- Step 2 : 入力ピンを選択しその値を変更する. そして、新しい初期入力ベクトル・ペアに対して、 N を計算する. このとき、それまでに得られた最適な入力ベクトル・ペアを保存する.
- Step 3 : 現在の最適の入力ベクトル・ペアに対して、Step 2を繰り返す. この繰り返しは、現在の最大同時変化ゲート数が変化しなくなるまで続行する.
- Step 4 : Step 1 から Step 3 を R_{max} 回繰り返す. ここで、 R_{max} は、あらかじめ指定された繰り返し回数の上限である.
- Step 5 : 手続きを終了し、最大同時変化ゲート数 N_{max} を得る.

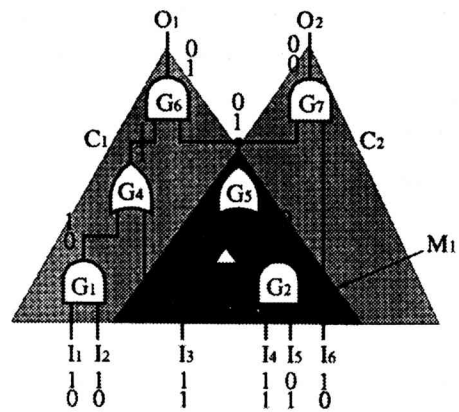
以上の手続きにおいては、入力ベクトル・ペアが変更されるごとに、回路全体にたいして、論理シミュレーションが必要であるので、回路規模が大きくなると計算時間が膨大になる.

3 並列計算法

本論文では、与えられた回路をコーン状に分割することによって、計算時間を短縮する方法を提案する. 提案法においては、各入力ベクトル・ペアに対して、分割されたコーンに並列に論理シミュレーションを適用する. 論理シミュレーションの並列実行によって、計算時間と最大同時変化ゲート数を更に改善することができる.



(a) コーン分割



(b) 並列シミュレーション

図2：並列シミュレーションの適用例

3.1 コーン分割 [7]

コーン構造とは、回路の各外部出力端子から出発して、接続されているゲートをたどり、外部入力端子に至るゲートの集合である. コーン分割は外部出力端子を出発点とする深さ優先探索によって、容易にもとめることができる. 例えば、図2(a)の外部出力端子 O_1, O_2 からたどると、2つのコーン C_1 と C_2 が得られる. コーン O_1 は、ゲート $G_1, G_2, G_3, G_4, G_5, G_6$ を含み、コーン C_2 は、ゲート G_2, G_3, G_5, G_7 を含む. ここで、 M_1 は2つのコーン C_1 と C_2 の重なり部分であり、ゲート G_2, G_3, G_5 を含む. 重複部分のコーンの数を重なり度と呼ぶ. この場合、重なり度は2である. 表1にISCAS'85ベンチマーク回路にコーン分割を適用した結果を示す. 表には各回路のゲート数、コーン数、コーンの最大ゲート数を示す. 例えば、C7552は108個のコーンを含み、最大ゲート数は1966ゲートである.

表 1 : ベンチマーク回路のコーン構造

Circuit Name	No. of gates	No. of cones	Max. no. of gates in a cone
C432	160	7	146
C499	202	32	102
C880	383	26	130
C1355	546	32	322
C1908	880	25	553
C2670	1193	140	828
C3540	1669	22	1458
C5315	2307	123	937
C6288	2416	32	2327
C7552	3512	108	1966

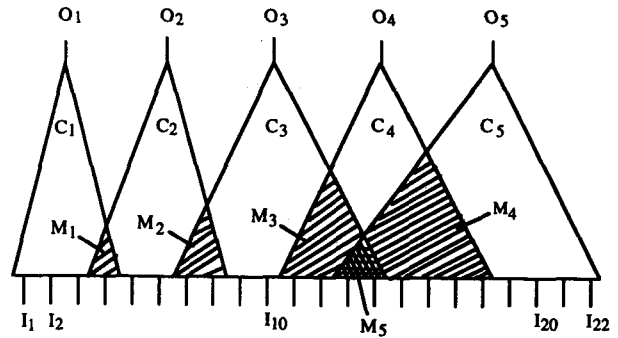


図 3 : N の計算

3.2 提案法

提案法の概要を以下に示す。ここでは、提案法を I^2C (Iterative Improvement Method Using Cone Partition) と表記する。

フェーズ 1 (コーン分割)

与えられた回路の各外部出力端子を出発点として、深さ優先探索を適用しコーンを求める。

フェーズ 2 (並列計算)

各コーンに対して並列に I^2 法を適用し各コーンの最大同時変化ゲート数をもとめる。その後、 N を次の計算式で求める。

$$N = \sum_{i=1}^n N(C_i) - \sum_{i=1}^p N(M_i) \times (\alpha_i - 1) \quad (1)$$

ここで、 $N(C_i)$ はコーン C_i の最大同時変化ゲート数を表し、 $N(M_i)$ は重複部分 M_i の同時変化ゲート数を表す。 α_i は M_i に対するコーンの重複度を表す。

例えば、図 3 の回路は 5 個のコーン C_1, C_2, \dots, C_5 を含む。ここで、重複領域 M_1, M_2, M_3, M_4 は 2 つのコーンが重なっているが、 M_5 は 3 つのコーン C_3, C_4, C_5 が重なっている。従って、回路の同時変化ゲート数は N は、式(1)より以下のように計算できる。

$$N = \sum_{i=1}^5 N(C_i) - (N(M_1) + N(M_2) + N(M_3) + N(M_4) \times 1 - N(M_5) \times 2)$$

3.3 計算量の解析

提案法の計算量を解析する。フェーズ 1 の計算量は、コーン分割に要する時間であり深さは優先探索にかかる時間である。フェーズ 2 の計算時間は、各コーンに対する並列論理シミュレーションの実行時間と重複領域の調整に要する時間とから成る。よって、提案法の計算量は次式で与えられる。

$$\tau_0 \cdot m + R_{max} \cdot (\tau_1 \cdot \max\{n_i\} + \tau_2 + \tau_3) \quad (2)$$

ただし、

- m : 回路のゲート数
- n_i : コーン C_i の同時変化ゲート数の計算時間
- R_{max} : 最大繰り返し回数 (I^2 法の Step 2 ~ Step 3)
- τ_0 : 深さ優先探索に要する時間
- τ_1 : 各ゲートの論理シミュレーション時間
- τ_2 : N の計算時間
- τ_3 : ベクトル値の変更時間

である。ここで、 τ_1 は τ_0, τ_2, τ_3 より大きいことは明らかである。したがって、提案法の計算時間は近似的に次式で表される。

$$\tau_1 \cdot \max\{n_i\} \cdot R_{max} \quad (3)$$

他方、従来法の計算時間は、

$$\tau_1 \cdot m \cdot R_{max} \quad (4)$$

である。よって、 $\max\{n_i\}$ が m より小さい場合は、提案法の計算時間が少なくなる。表 1 より、ベンチマーク回路に対して、この条件が満足されていることは明らかである。

4 実験結果

Sun Ultra Sparc Workstation (140MHz) 上の C 言語で提案法のプログラムを作成し、ISCAS'85 ベンチマーク回路 [8] に対して実験を行った。実験では、まず繰り返し回数 R_{max} を 10 とし、従来法 (I^2) と提案法 (I^2C) の CPU 時間を比較した。表 2 に実験結果を示す。表 2 より、提案法は CPU 時間が削減されていることが分かる。次に、CPU 時間を一定にし、従来法と提案法で得られる最大同時変化ゲート数を調べた。表 3 にこの結果を示す。表 3 より、

提案法は N_{max} の値を改善していることが分かる。

表 2 : 実験結果 (1)

Circuit Name	Nmax	CPU time (sec)	
		the I^2 method	the I^2C method
C432	144	0.73	0.56
C499	111	0.61	0.34
C880	314	4.59	2.10
C1355	274	4.19	1.91
C1908	577	9.20	5.62
C2670	785	84.43	49.81
C3540	920	35.71	24.85
C5315	1449	197.04	128.71
C6288	1540	96.50	65.01
C7552	2126	276.64	133.51

表 3 : 実験結果 (2)

Circuit Name	CPU time (sec)	Nmax	
		the I^2 method	the I^2C method
C432	90	143	145
C499	67	115	118
C880	27	312	317
C1355	553	277	289
C1908	3877	593	597
C2670	40161	801	803
C3540	646	917	920
C5315	72491	1466	1474
C6288	33543	1562	1564
C7552	25056	2126	2150

5 まとめ

本論文では、組み合わせ回路に対して、最大同時変化ゲート数を求める並列化法を提案し、ベンチマーク回路に対してシミュレーション実験を行った。その結果、提案法の有効性が分かった。今後の課題として、本手法を実際の並列計算機で実行すること等が挙げられる。

参考文献

- [1] S. Devadas, K. Keutzer and J. White, "Estimation of Power Dissipation in CMOS Combinational Circuits Using Boolean Function Manipulation," IEEE Trans. Comput. Aided Des., 11, 3, pp. 373-383 (1992).
- [2] 上田祐彰, 樹下行三, "CMOS回路における最大同時変化ゲート数の評価手法について", 信学技法, FTS93-45 (1993).
- [3] 上田祐彰, 樹下行三, "CMOS回路における最大変化ゲート数の評価手法について", 信学論, vol.J78-D- I, no.3, pp. 367-375 (1995).
- [4] 上田, 木山, 樹下, "遺伝的アルゴリズムによる CMOS 論理回路の最大変化ゲート数の評価", 第33回 FTC 研究会資料(1995).
- [5] 篠木, 張, 林, 北, "逐次改善法による組み合わせ回路における最大同時スイッチングゲート数の評価," 信学論, vol.J80-A, no.1, pp. 156-169 (1997).
- [6] K. Zhang, H. Takase, T. Hayashi and H. Kita: "An Enhanced Iterative Improvement Method for Evaluating the Maximum Number of Simultaneous Switching Gates for Combinational Circuits," Proc. of Asia and South Pacific Design Automation Conference 1997, pp. 107-112 (1997).
- [7] G.Saucier, D. Brasen and J. P. Hiol, "Using Cone Structure for Circuit Partitioning into FPGA Packages," Proc. of the Synthesis and Simulation Meeting and International Interchange, pp.120-129 (1993).
- [8] F.Brglez and H.Fujiwara, "A Neutral Netlist of 10 Combinational Benchmark Circuits and a Target Translator in Fortran," ISCAS'85:Special Session on ATPG and Fault Simulation (1985).

二液分離型光化学ダイオードを用いたCO₂固定化反応

大西 康幸・泉 生一郎・森元 弘次

Reduction of CO₂ using a Photochemical Diode with Dual Electrolyte

Yasuyuki OHNISHI, Ikuichiro IZUMI, and Kohji MORIMOTO

Photochemical reduction of CO₂ has been investigated for cleaning earth and converting a chemical energy. In the present paper we report an attempt to synthesize hydrocarbons from CO₂ using a Schottky-type photochemical diode fabricated by thermal oxidation of Ti foils. The photochemical production of hydrocarbons such as methane and ethane was found to be catalyzed by Cu electrodeposited on Ti surface.

1 緒言

人間をはじめ地球上のあらゆる生命活動は、太陽エネルギーによって直接あるいは間接的に支えられている。この地球に降り注ぐ年間 3×10^{24} J の膨大なエネルギーは、クリーンで半永久的なエネルギー資源であることから、人類にとって大きな魅力を有している。そこで、この太陽エネルギーの有効利用に関する研究が、多くの研究者により精力的に取り組まれてきている。

また一方では、地球規模で温室効果ガスによる温暖化が問題となっている。温暖化原因ガスとしてCO₂ (二酸化炭素)、亜酸化窒素、メタン、フロンなどがあげられるが、なかでもCO₂は温暖化に寄与するガスのなかで約50%を占めており¹⁾、その低減あるいは有効利用に向けた対策が急がれている。

これらのことから、筆者らは無尽蔵でクリーンな太陽エネルギーの有効利用と、地球温暖化の主原因物質であるCO₂の還元による炭化水素等への化学エネルギー変換を目的として、二液分離型光化学ダイオードを用いたCO₂の還元固定化に関する研究を行った。

この二液分離型光化学ダイオードは、粉末光触媒と異なり、酸化と還元の一反応からの生成物を分離することにより逆反応を抑えることができ²⁾、これまでにCu、Ag、Au、Ptなどの金属析出^{3) 4)}、水からの水素生成^{5) 6)}、マレイン酸からコハク酸への還元反応⁷⁾、さらにはCO₂還元^{8) 9)}などに適用されてきた。なかでも水分解からの水素生成やCO₂の還元固定化は、 ΔG が正の値の反応で、太陽エネルギーの化学的変換・貯蔵のなかで最も望ましいエネル

ギー貯蔵型の反応である。すなわち、この場合の光合成の生成物は燃料として有用であり、燃料として使用後は水やCO₂に戻るため、燃料の光循環システムが構成できる。

本研究では、n-TiO₂/Ti型の光化学ダイオードを用いてCO₂還元を行った結果、Ti面にCuを析出させることにより炭化水素生成が効率良く起こることを見出したので、ここに報告する。

2 実験

厚さ0.05mmのTi板 (3.5×3.5cm²) をエタノールと6M (= mol/dm³) 硝酸に浸して脱脂、洗浄したのち、片面を電気炉により600℃で5時間焼成して多結晶酸化チタン半導体薄膜を形成させ、その裏面を研磨して光沢のあるチタン金属面を露出させることにより、n-TiO₂/Ti板を作製した。このn-TiO₂/Ti板のTi面を、50mM硫酸銅水溶液中で平滑Pt板電極 (10×10mm²) を対極として、極間電圧3.0Vで30分間電解を施すことにより、n-TiO₂/Ti-Cuとした。

こうして作製したn-TiO₂/Ti板あるいはn-TiO₂/Ti-Cu板を、Fig.1のようにパイレックス製反応容器で挟み込み、照射部であるn-TiO₂側に0.25M硫酸カリウム水溶液、裏側暗部のTi側に炭酸水素カリウムを含む反応溶液をそれぞれ入れ、飽和硫酸カリウム水溶液の入ったガラスフィルター付きガラス管で二液間を連絡することにより二液分離型光化学ダイオードを構成した。なお、光源には1kW Xeランプを用いた。

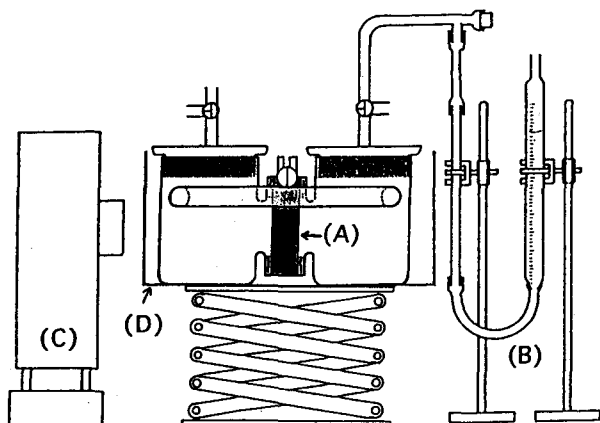


Fig.1 Experimental set-up for a synthesis using a photochemical diode

- (A) : n-TiO₂/Ti or n-TiO₂/Ti-Cu
 (B) : gas burette, (C) : 1kW Xe lamp
 (D) : water bath

また、裏面金属Ti側から発生する気体生成物はガスクロマトグラフ分析により定性と定量を行った。

光合成の基礎となる電気化学的挙動はサイクリックボルタンメトリー（以下、CVと略す）により調べた。CV測定はTi線電極（1mmφ、4mm）あるいはn-TiO₂線電極（1mmφ、5mm）を作用電極、平滑Pt板電極（10×10mm²）を対極とし、基礎液に0.25M硫酸カリウム水溶液を用いて行った。なお、参照電極はAg/AgCl, sat.KCl電極とした。測定には、北斗電工製ポテンシostat HA-501型と同社製ファンクションジェネレーターHB-105型を用い、電位走査速度100mV・s⁻¹で行った。照射下でのCVには、光源として500WXeランプを使用した。なお、試料溶液は市販特級試薬を用い再蒸留水で希釈して調製した。

3 結果と考察

3.1 Ti線電極およびn-TiO₂線電極での電気化学的挙動

Cu²⁺イオンを含む炭酸水素塩水溶液からのCO₂還元条件をCVで調べるため、まず測定に使用するTi線電極の前処理条件を検討した。この場合、基礎液中に50mM硫酸銅を含む水溶液についてCV測定を行い、定常曲線が得られるまで電位走査を繰り返した後、作用極に使用したTi線電極を前処理液の6M硝酸溶液に一定時間浸し、基礎液中で再度CV測定を行って、5サイクル目のボルタモグラムを前処理の目安とした。

Fig.2には、横軸に6M硝酸溶液への浸漬時間、縦軸に0Vにおけるカソード還元電流をプロットした。

分単位での比較的長い時間での前処理から実験を始め

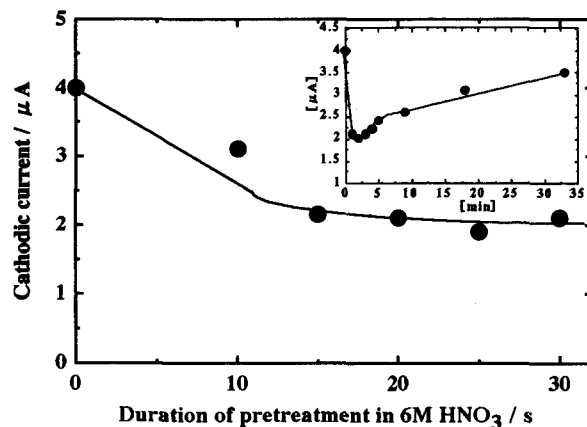


Fig.2 Effect of a pretreatment of Ti electrode on cathodic current at 0 V

たが、わずか20数秒で極小値を示し、それ以降は電極が硝酸に侵され表面積が増して、電流値が増加する傾向を示した。そこで、30秒までの処理時間で同様の実験を行い、前処理に好都合な時間は20数秒であることを確認した。なお、ここでの前処理反応は、Ti線電極上に析出した金属銅が硝酸に溶け出し電極面積が減少することによるものである。

以上のようなTi線電極の前処理により、基礎液中に各種濃度の硫酸銅を含む水溶液についてCV測定を行い、0Vにおけるカソード還元電流を基礎液中での電流値に対する比として表わし、硫酸銅濃度に対してFig.3にプロットした。

この還元電流は硫酸銅溶液からのCuの電析に起因するもので、溶液濃度が高くなると不均一電極反応に特徴的な頭打ちの曲線となった。

次に、CO₂還元における電気化学的挙動を検討するため、まず、基礎液中に0.5M炭酸水素カリウムを含む水溶

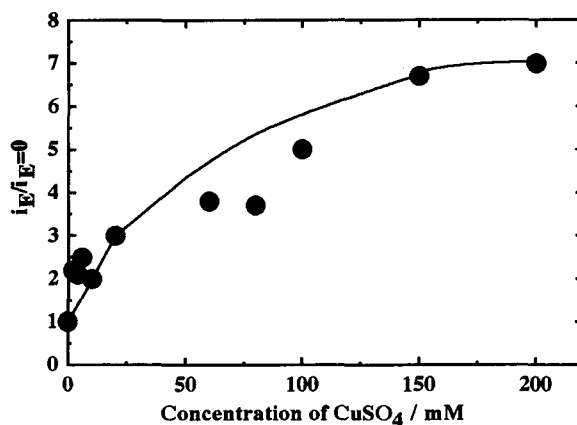


Fig.3 Concentration dependence of cathodic reduction current in aqueous CuSO₄ solution

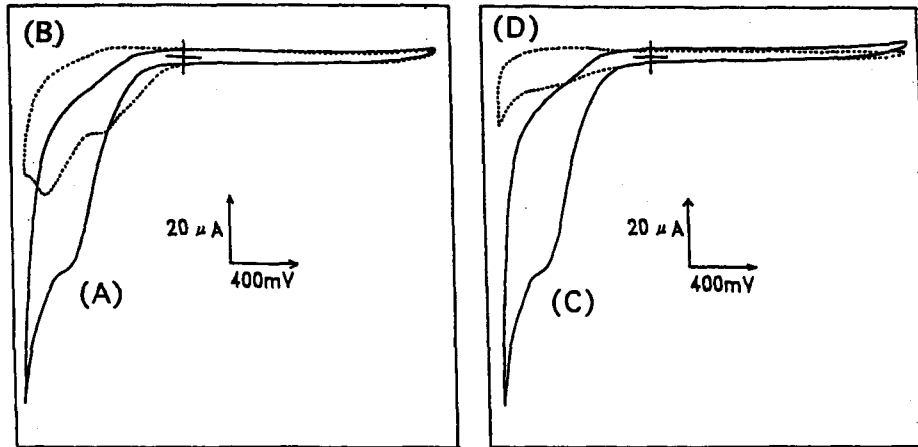


Fig.4 Cyclicvoltammograms on Ti electrode in aqueous 0.25M K₂SO₄ solution

- (A) : with 0.5M KHCO₃ and 1mM CuSO₄
- (B) : with 1mM CuSO₄
- (C) : with 0.5M KHCO₃ and 1mM CuSO₄
- (D) : with 0.5M KHCO₃

液について、Ti線電極でのCV測定を行った。得られたボルタモグラムから、炭酸水素カリウム水溶液では基礎液に比べ、 -0.64V 付近において還元電流が増加し、炭酸水素塩から解離したCO₂のカソード還元が起こるものとみられた。

一方、基礎液に1mM硫酸銅を含む水溶液については、0V付近からの還元電流が二段のピークとして観察された。これは電位走査の過程で、Ti電極表面上に金属Cuが電析され、その電析Cuの上で水素発生が起こることによると推定される。このことは、初回の電位走査で第二段ピークがほとんど見られず、繰り返しの電位走査では第二段ピークが増大し、逆に第一段ピークが減少することからも支持される。

次に炭酸水素カリウムと硫酸銅が共存する溶液について、Ti電極でのCV測定を行った。この場合、炭酸水素カリウム溶液にある濃度以上の硫酸銅を加えると、緑色の塩基性炭酸銅を沈殿するので、0.5M炭酸水素カリウムに対して硫酸銅1mMを加えるに留めた。Fig.4には、基礎液中1mM硫酸銅を含む溶液に0.5M炭酸水素カリウムを添加した場合と、基礎液中0.5M炭酸水素カリウムを含む溶液に1mM硫酸銅を添加した場合についてのボルタモグラムを示した。いずれについても、それぞれ単一の溶液よりもそれらの混合により、還元電流が大幅に増加するという興味深い結果が見出された。

これらのことから、炭酸水素カリウム水溶液中Ti電極上に析出した金属Cuは、HCO₃⁻から解離生成したCO₂のカソード還元電極触媒効果を有するものと推定された。

また、Ti線の焼成で作製したTiO₂線電極について、基礎液中での光電気化学的挙動を調べ、Fig.5に示した。図で見られるように、TiO₂線電極への光照射により、n型半導体電極に特徴的なアノード光電流が -0.4V といった著しく卑な電位から立ち上がり、暗所に比べ水分解による酸素発生が容易に起こることが明らかであった。

なお、光照射の効果をはっきりさせるため、光チョッピングの際の光電流の変化も併せて示した。

3.2 光化学ダイオードによるCO₂固定化反応

基礎液の0.25M硫酸カリウム水溶液中、TiO₂線電極への光照射により、著しく卑な電位で水分解からの酸素発生が起こるというn型半導体特性と、Ti電極でのCO₂還元に対して、硫酸銅添加により電極触媒効果を発現するという、前項までに明らかとなった実験結果に基づいて、n-TiO₂半導体電極とTi電極の接合による二液分離型光化学ダイオードを作製した。この光化学ダイオードの動作機構を、半導体/溶液接合とその原理に基づいてバンドモデルで示したのがFig.6である。この光化学ダイオードが本研究において重要な反応手段となるので、以下にその概略の説明を加えておきたい。

n-TiO₂半導体面に水溶液を接触させると、半導体と水溶液が持つフェルミ準位が互いに異なるため、それらのフェルミ準位を平衡に保とうとして半導体内部に電位勾配を生じる。この半導体と水溶液が接触した状態で、半導体表面にそのバンドギャップ (n-TiO₂では3eV) 以上のエネルギーを持つ光を照射すると、半導体の価電子帯

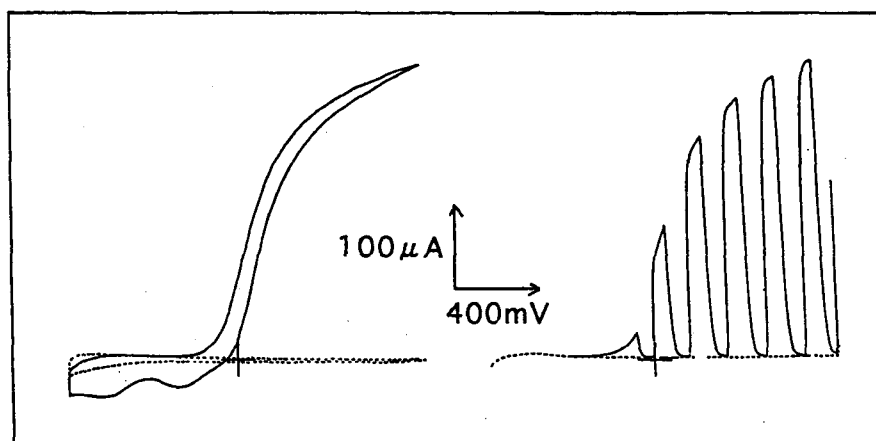


Fig.5 Cyclicvoltammograms on photoilluminated TiO_2 electrode in aqueous $0.25\text{M K}_2\text{SO}_4$ solution

..... : in the dark, — : illuminated

にある電子が伝導帯に励起され、励起された伝導帯電子は、半導体内部の空間電荷層の電位勾配に沿って半導体内部へと移動する。

$\text{n-TiO}_2/\text{Ti}$ 接合部は半導体/溶液接合ほどの電位勾配を有するバンドの曲がりがないため、半導体内部の電子は容易に裏面のTi面に移動することができる。水分子やプロトンがこの電子を受け取り水素発生、あるいはTi面に金属Cuをあらかじめ析出させておけば CO_2 還元が進行する。

一方、半導体の価電子帯から光励起で伝導帯に電子が移ると、価電子帯にはその電子の抜け殻に相当する正孔が生じ、水分子や水酸化物イオンが正孔捕獲剤となり酸素を発生する。

以上のように、二液分離型光化学ダイオードでは、 n-TiO_2 面への光照射によって水分解による酸素発生と、暗

部Ti面での水素発生あるいは CO_2 還元が、同時に、そして別の場所で起こるものと考えられる。

実際に、Fig.1の n-TiO_2 半導体側に 0.25M 硫酸カリウム、Ti金属側に 0.5M 炭酸水素カリウムを入れて光照射を行ったところ、半導体側から酸素が発生し、金属側からはFig.7のように光照射時間に一次に依存して水素が発生した。この場合、ごく微量のメタン生成が認められたが無視できるほどの量であった。ところが、Ti金属側の反応溶液に 1mM 硫酸銅を添加したところ、メタンを主とする水素、エタン等の気体生成物が得られた。Fig.8にそれら気体生成物の光照射時間依存性を示した。この反応は光電気化学反応と考えられるので、当然のことながら、光照射時間とともにメタン、水素、エタンの生成量が増加した。また、反応に誘導期間が見られるが、光照射の初期の段階におけるこの現象は、 CO_2 還元の触媒となる金

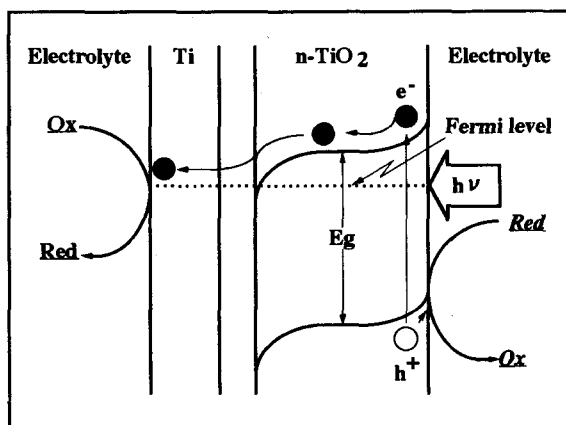


Fig.6 Energy-level diagram for Schottky-type photochemical diode in a dual electrolyte

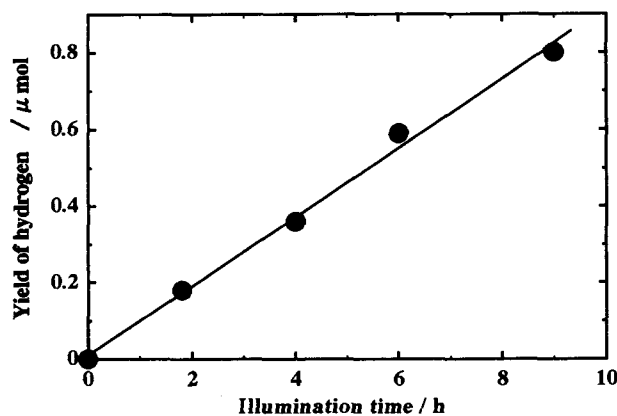


Fig.7 Production of hydrogen using a Schottky-type photochemical diode with dual electrolyte

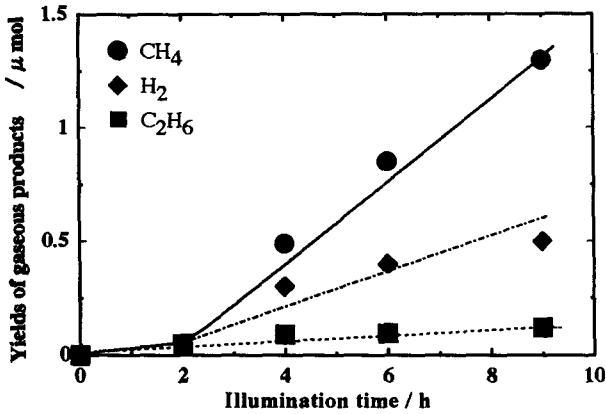


Fig.8 Production of hydrocarbons and hydrogen using a Schottky-type photochemical diode with dual electrolyte
(0.25M K₂SO₄/n-TiO₂/Ti / 1mM CuSO₄, 0.5M KHCO₃)

属Cuの光析出がTi金属上で先行して起こり、そのうえでCO₂還元が円滑に進むことを示しているものといえる。

次に、Ti金属側にあらかじめ金属Cuを電析させてから光照射を行ったところ、先の結果と同様にメタンを主生成物として、水素、エタンが生成した。結果をFig.9に示したが、Fig.8に比べ、炭化水素の生成速度がおよそ10倍にまで上昇し、やはりCO₂還元には金属Cuが触媒的な役割を果たしていることが裏付けられた。

このような光化学ダイオードによるCO₂還元固定化のメカニズムは、以下のように考えられる。

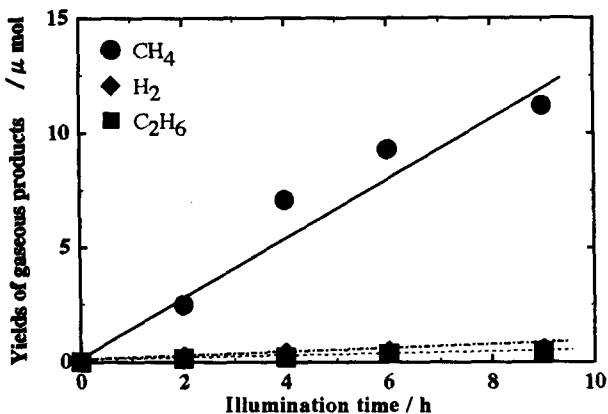
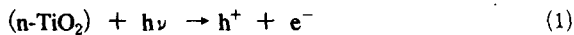
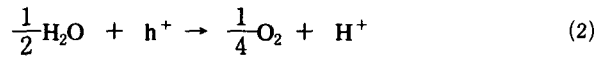
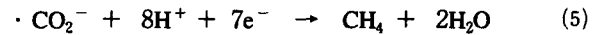
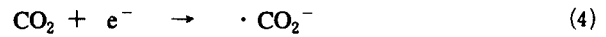
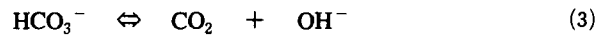


Fig.9 Production of hydrocarbons and hydrogen using a Schottky-type photochemical diode with dual electrolyte
(0.25M K₂SO₄/n-TiO₂/Ti - Cu / 0.5M KHCO₃)

光照射TiO₂側では正孔捕獲の酸素発生、他方、暗部金



属Ti-Cu側では、励起電子によるCO₂還元と水素発生が進行する。



励起電子による還元反応において、Ti金属素地では主に水素を生成し、金属Cuを電析させてTi-Cu金属とすれば炭化水素生成に有利となる。これらの結果を発展させれば、Cuとは異なる他の触媒金属を電析させることによって、CO₂還元から期待する生成物を選択的に得ることのできる可能性が見出せる。

4 結 言

太陽エネルギーの化学的エネルギー変換利用と地球環境クリーニングを意図して、光化学ダイオードによるCO₂の還元固定化に関する研究を行った。

本研究では、Ti電極およびTiO₂電極についての電気化学的挙動から、光化学ダイオードとしての構成と基本的な動作原理を念頭において、0.25MK₂SO₄/n-TiO₂/Ti/0.5MKHCO₃からなる二液分離型光化学ダイオードを作製した。この光化学ダイオードのn-TiO₂面へのXe光照射により、暗部Ti金属側から光照射時間に比例して水素が発生し、Ti側溶液に1mM硫酸銅を添加すると、誘導期間の後、メタンを主生成物として水素、エタンが生成した。これは、金属Cuの光析出が先行してCO₂還元を引き起こすからで、Ti面にあらかじめ金属Cuを電析させて光照射を行えば、炭化水素生成が10倍の速度で進行し、金属CuがCO₂還元の触媒として有効であることが明らかであった。

参考文献

- 1) “地球温暖化問題ハンドブック”、小宮山 宏監修、アイピーシー (1990)。
- 2) 泉 生一郎、化学工業、39、212 (1988)。

- 3) 大西康幸、泉 生一郎、西川康生、西尾 拓、土肥 徹、電気化学協会 技術・教育研究論文誌、1、25 (1992).
- 4) 大西康幸、泉 生一郎、林 裕信、水処理技術、35、173 (1994).
- 5) 大西康幸、泉 生一郎、渡辺庄一郎、小山 洋、Chemistry Express、5、817 (1990).
- 6) 深町純子、大西康幸、宮本知佐、泉 生一郎、電気化学会 技術・教育研究論文誌、5、113 (1996).
- 7) 大西康幸、泉 生一郎、土肥 徹、坂本美智乃、飯田康博、電気化学協会 技術・教育研究論文誌、1、25 (1993).
- 8) Y.Ohnishi, I.Izumi, T.Dohi, and D.Watanabe, *Denki Kagaku*, **61**, 880 (1993).
- 9) Y.Ohnishi, I.Izumi, and K.Morimoto, *Denki Kagaku*, **66**, 590 (1998).

含塩鉄器の脱塩処理に及ぼす含フッ素オリゴマーの 添加効果とその速度論的研究

吉原 忍・河越 幹男・澤田 英夫・川本 耕三*

Kinetic Study on Removal of Salt from Plates Pressed Artificially and the Effect of Addition of Fluorinated Oligomers

Shinobu YOSHIHARA, Mikio KAWAGOE, Hideo SAWADA and Kozo KAWAMOTO*

Removal of salt from disk-like plates, which were made by pressing iron-salt powder mixture, by alkaline solutions was studied. Four different kinds of alkaline solutions, LiOH, NaOH, KOH and sesquicarbonate solutions, were used. Change in weight of immersed specimens in the solutions with time was measured. From the weight change of specimen owing to the penetration of an alkaline solution into specimens, the void in the specimens was found to be about 40% and it consisted of about 16% of small pore and about 84% of large pore. The amount of liquid penetrated into the specimen was increased by the addition of fluorinated oligomers.

Based on the diffusion model, effective diffusion coefficients were evaluated from the observed removal curve of salt. To investigate the effects of rusting, two types of specimens, non-rusted and rusted, were used. For non-rusted specimens, no appreciable differences were found among the effective diffusion coefficients obtained for the four kinds of alkaline solutions. For rusted specimens, effective diffusion coefficients were changed with time. The removal curves calculated from the model which took the variation of effective diffusion coefficient with time into account were agreed well with the ones observed. The salt in the pore blocked by rust were able to removed by the solution containing a fluorinated oligomer. The potassium hydroxide solution containing the fluorinated oligomer removed the salt from the rusted specimen more quickly than the sesquicarbonate solution.

緒 言

出土鉄器は、土中埋没中に酸化や水和などの化学的な影響や鉄酸化細菌などによる生物学的な影響を受けており、発掘されて大気に露出されると、急激に劣化が進行する。このような出土鉄器の保存処理においては、合成樹脂を含浸させて補強し、同時に出土鉄器の表面に高分子樹脂を塗膜して外気中の水分や酸素を遮断し、錆の進行を抑制する方法が採られている。しかし、この方法では外的腐食因子を除くのみにとどまり、出土鉄器に内在して腐食原因となっている無機イオンを除去していないため、保存処理を施した出土鉄器であっても一部には、処理後になお新たな錆が発生したり、亀裂が起こったりする場合がある^{1, 2)}。出土鉄器内部の主な腐食因子は塩化物イオンである。従って、保存効果をさらに高めるためには、内部の塩化物イオンを除去する必要がある。

脱塩処理法の一つとして、出土鉄器をアルカリ水溶液に浸漬して、塩化物イオンをアルカリ水溶液に溶出させる脱塩処理法があり、これに関しては多くの研究がなされている^{3, 4)}。我々は、この脱塩処理法を拡散モデルに基づいて解析し、処理時間の推定を可能にした⁵⁾。

本研究では、液の浸透速度も脱塩速度に影響を与えることを考慮して脱塩処理の効率化について検討した。すなわち、界面活性剤と同様の表面張力の低下をもたらす含フッ素オリゴマーを脱塩溶液に加え、脱塩速度と脱塩率の向上を試みた。このオリゴマーは、優れたコーティング効果があるので、処理後の発錆を押さえるという効果も期待できる。

1. 実 験

出土鉄器は貴重であるため、試料は鉄粉とNaClの混合物を100MPaで圧縮成形した直径20mm、厚さ10mmの円盤状成型品(含塩率0.32wt.%,空隙率40%)を用いた。用い

*元興寺文化財研究所

た試料の寸法、重量などをTable 1に示した。

試料内への溶液の浸透速度を測定するため、溶液浸漬中の試料重量の経時変化を電子天秤で測定した。未錆試料を液に含浸して、その重量変化を測定したところ、最初の一分程度で重量が急激に増加し、その後、徐々に増大した。このことから、試料内には溶液が浸透し易い大きな空隙 (large pore) と、浸透し難い小さな空隙 (small pore) が存在していることが分かった。急激な重量増加は約1.06gであった。全体の空隙率 ϵ は0.4であるから、試料全体の空隙体積は1.26cm³となる。従って、水の密度を1 g/cm³とすると、large poreは1.06/1.26=84%と推定できる。small poreは16%である。この割合は試料によらず、ほぼ一定であった。

脱塩溶液としてLiOH, NaOH, KOHの3種類の単一アルカリ水溶液と脱塩剤として実用化されている炭酸ナトリウムと炭酸水素ナトリウムの等モル混合アルカリ溶液であるセスキカーボネート水溶液を用いた。

含フッ素オリゴマーの添加効果を調べるため、含フッ

Table 1-a Details of specimens used for immersion test

No.	diameter [mm]	thickness [mm]	weight [g]	solutions ^{*1)}	oligomer
1	20.02	10.03	14.85	LiOH	without
2	20.02	10.05	14.83	NaOH	without
3	20.02	10.05	14.83	KOH	without
4	20.02	10.05	14.83	SQ	without
5	20.02	10.14	14.82	LiOH	with
6	20.02	10.01	14.81	NaOH	with
7	20.02	10.10	14.83	KOH	with
8	20.02	10.05	14.84	SQ	with
9	20.02	10.06	14.80	SQ	without
10	20.02	10.06	14.80	SQ	with
11	20.02	10.11	14.80	SQ	without

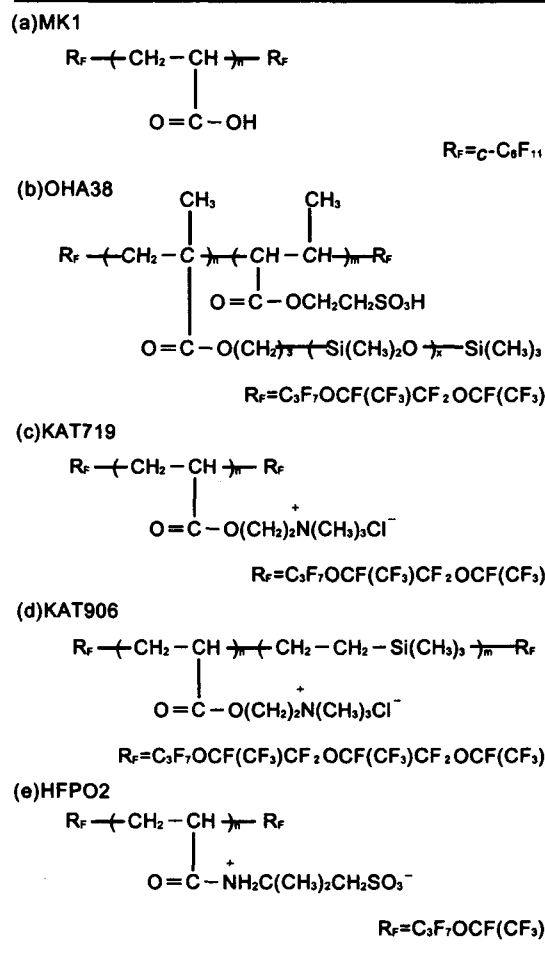
* 1) SQ = sesquicarbonate

Table 1-b Details of specimens used for removal of salt

No.	Dimensions and weight			Experimental conditions			Parameters in Eq. (2)	
	diameter [mm]	thickness [mm]	weight [g]	solutions	oligomer	rusted ^{*1)}	$\alpha \times 10^4$ [-]	$D_{A0} \times 10^2$ [cm ² /d]
12	20.03	10.25	14.85	LiOH	without	×	0	59.4
13	20.02	10.28	14.84	NaOH	without	×	0	61.9
14	20.02	10.27	14.84	KOH	without	×	0	61.9
15	20.02	10.12	14.82	SQ	without	×	0	59.4
16	20.02	10.26	14.87	LiOH	with	×	0	54.7
17	20.02	10.32	14.83	NaOH	with	×	0	49.0
18	20.02	10.06	14.83	KOH	with	×	0	56.2
19	20.02	10.16	14.83	SQ	with	×	0	51.8
20	20.02	10.16	14.83	KOH	without	○	0	1.08
21	20.02	10.22	14.83	KOH	with	○	8.0	0.367
22	20.02	10.09	14.83	SQ	with	○	9.0	0.245

* 1) ○ : rusted specimens × : non-rusted specimens

Table 2 Molecular structure of fluorinated oligomers



素オリゴマーの代表例としてベタイン型 (HFPO2), 2種類のカチオン型 (KAT719と906), カルボン酸型(MK1), スルホン酸型 (OHA38) の合計5種類 (Table 2参照) を取り上げた。Fig. 1にオリゴマーによる鉄表面の修飾状態を模式的に示した。これらオリゴマーの脱塩剤としての適否を調べるため、オリゴマー水溶液 (0.3~2.0g/L) の

中に試料を四日間浸漬し、試料の状態を観察した。MK1に浸漬した場合、酸性型であるため発錆が顕著であった。同じ酸性型でも、疎水性であるポリシロキサンセグメントを有するOHA38を用いると、発錆を多少押さえることはできたが最終的にはやはり錆びてしまった。中性であるカチオン型(KAT719と906)の場合、KAT719ではほとんど発錆しなかったが、KAT906の場合にはトリメチルシリルセグメントが立体障害になり、鉄表面のコーティングが密でなかったため、多少発錆した。一方、分子内にカチオンとアニオンが共存するHFPO2を用いたところ、ほとんど発錆しなかった。これは、このオリゴマーが表面を密にコーティングするためと考えられる。そこで本研究では、最も発錆が小さく、かつ添加量も少なく

てすむHFPO2を用いた。

未錆化試料の脱塩特性は、LiOH, NaOH, KOHの0.01N水溶液と0.5wt.%セスキカーボネート水溶液、及びそれぞれにオリゴマーを添加した水溶液系について調べた。溶出した塩濃度の時間変化は塩分分析計(東亜電波工業:SAT-210)を用いて測定した。錆化試料の脱塩では、未錆化試料の結果から有望と考えられたKOH水溶液とセスキカーボネート水溶液を脱塩溶液として用いた。それぞれの水溶液にオリゴマーを添加した場合についても調べた。

2. 脱塩モデル

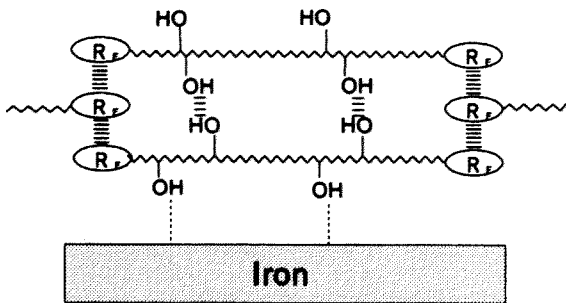
試料の形状は円盤であるので、濃度分布を表す拡散方程式は円筒座標 (r, z) 系を用いて次式で表される。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r D_A \frac{\partial C}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_A \frac{\partial C}{\partial z} \right) \quad (1)$$

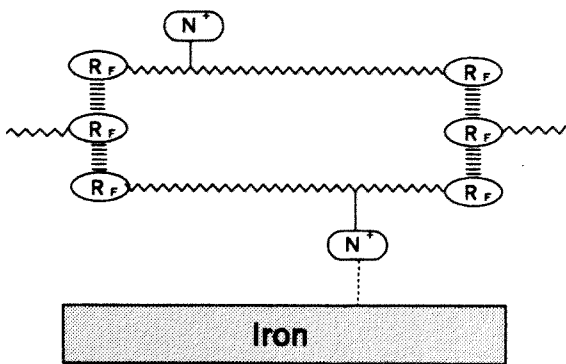
原点は円盤表面上の中心にとり、 z 軸は円盤面に垂直にとった。 C は時間 t における点 (r, z) での塩濃度、 D_A は塩の試料内における有効拡散係数である。

錆化試料の場合、浸漬時間の経過と共に、錆で閉塞していた細孔内に液が浸入したり、錆が溶解したりして脱

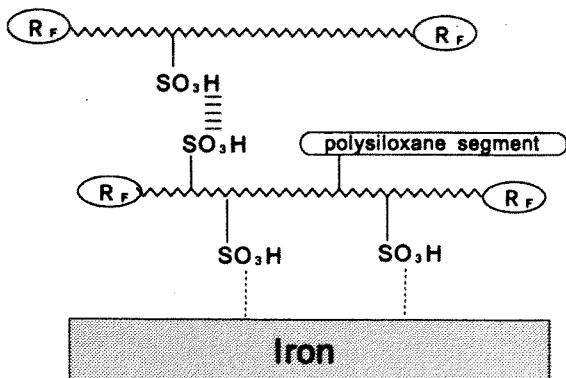
(a) MK1 oligomer containing hydroxy segments



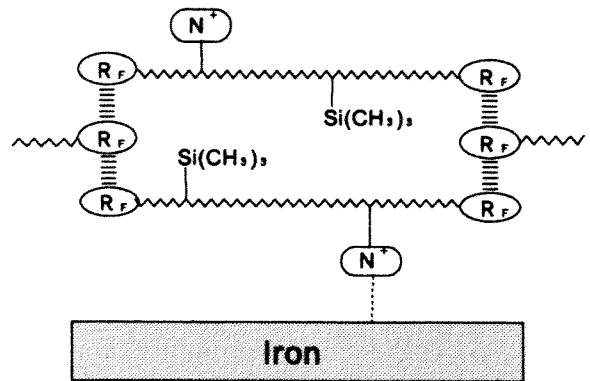
(c) KAT719 oligomer containing ammonium segments



(b) OHA38 oligomer containing both sulfo and polysiloxane segments



(d) KAT906 oligomer containing both ammonium and trimethylsilyl segments



(e) HFPO2 oligomer containing betaine segments

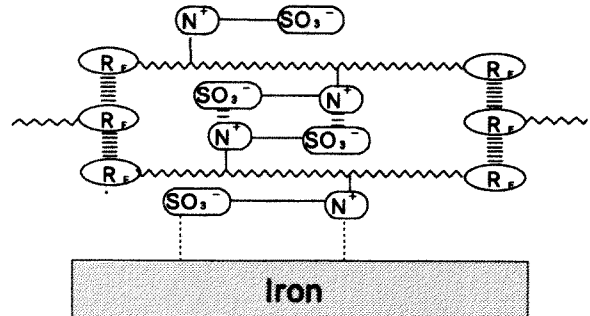


Fig. 1 Schematic view of surface modification of iron with fluorinated oligomers

塩に有効に働く細孔数が増加し、 D_A は脱塩の進行と共に増加することが予想される。局所における液の浸透状態と局所脱塩率 Ψ には密接な関係があると考えられる。ここでは、簡単化のため、 D_A を次式で近似した。

$$\frac{D_A - D_{A0}}{D_{A\infty} - D_{A0}} = \left\{ 1 - \exp\left(-\alpha \frac{\Psi}{1 - \Psi}\right) \right\} \quad (2)$$

ここで D_{A0} は初期有効拡散係数であり、 $D_{A\infty}$ は浸漬末期の終末有効拡散係数である。 $D_{A\infty}$ は、細孔内の拡散は分子拡散と考えて、分子拡散係数 $D_{AM} = 1.38 \text{ cm}^2/\text{d}$ とした。 α は実験的に決められる定数である。

D_A が定数でないので拡散方程式(1)式を解析的に解くことはできない。そこで有限差分法を用いて数値解を求めた。最初、試料内部の塩濃度は均一で $C = C_0$ とする(初期条件)。脱塩液量は十分多量にあるとすると、液中塩濃度は零と見なせるので、試料表面では塩濃度 $C = 0$ と見なす(境界条件)。数値解法によって得られた試料内の塩濃度分布から平均濃度 \bar{C} を求めて平均脱塩率 $\bar{\Psi} = (C_0 - \bar{C})/C_0$ を計算した。 D_{A0} と α は $\bar{\Psi}$ の計算値と実測値の偏差が最小になるように決定する。

3. 液含浸速度

代表例として、セスキカーボネート水溶液と、その溶液に含フッ素オリゴマーを添加した溶液に未錆化試料を浸漬して、重量変化を測定した。large poreへの浸透はほぼ1分以内に終了するので、以下ではsmall poreへの含浸のみを検討する。結果をFig. 2に示した。Fig. 2中の初期値はlarge pore含浸後の重量である。試料重量は約45時間で極大値を示し、その後減少し、極小値を示した後に再

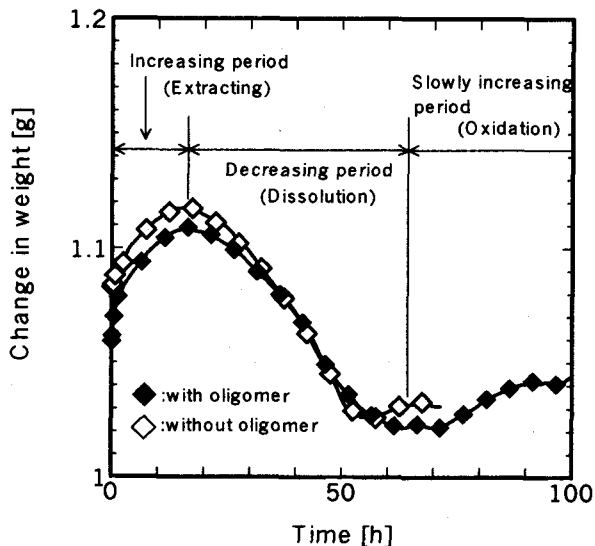


Fig. 2 Change in weight of specimens with time in 0.5wt.% sesquicarbonate aqueous solution

び徐々に増加する。最初の重量増加は液含浸によるものであり、15時間以降における重量減少は鉄の溶解による⁶⁾と考えられる。極小値を示した後の増大は、表面に黒錆の発生が観察されたので、酸化によるものと考えられる。ここでは、液含浸速度を検討しているのので、最初の重量増加領域のみを検討の対象とした。

3種類の単一アルカリ水溶液(LiOH, NaOH, KOH)とセスキカーボネート水溶液についての未錆化試料の重量変化曲線をFig. 3に示した。単一アルカリの中ではKOHの含浸速度が一番高かった。これは、 K^+ イオンが Li^+ イオンや Na^+ イオンに比べてイオン半径が大きく、周囲の水分子との相互作用が比較的弱いため、水分子が動きやすい状態にあるためと考えられる⁷⁾。また、複合アルカリであるセスキカーボネート水溶液は含浸速度は速いが、重量増加すなわち含浸液量は他のアルカリに比べ低い。

含浸速度に及ぼすオリゴマー添加の影響をFig. 4に示

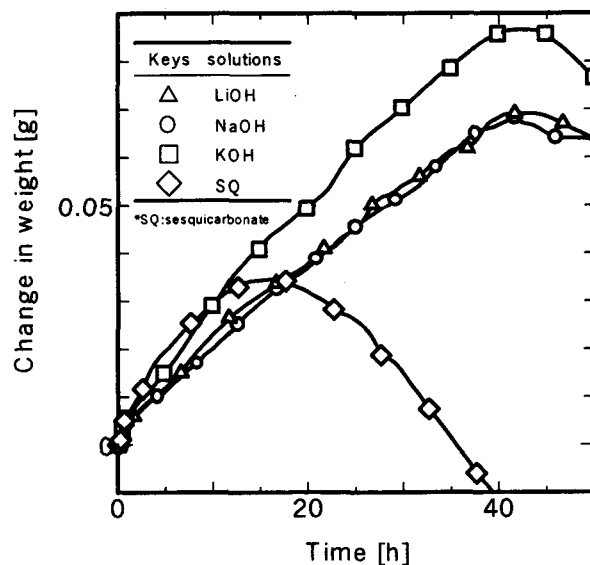
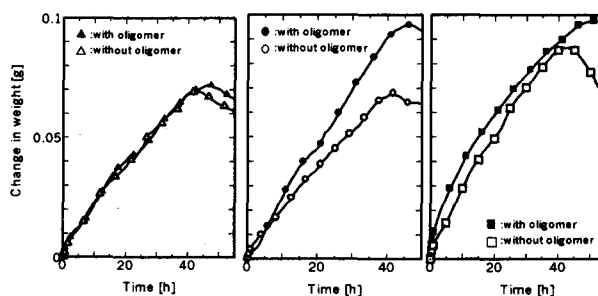


Fig. 3 Change in weight of specimens with time in four kind of alkali aqueous solutions



(a) 0.01N LiOH aq soln. (b) 0.01N NaOH aq soln. (c) 0.01N KOH aq soln.

Fig. 4 Change in weight of specimens with time in the alkaline solutions with and without oligomer

した。オリゴマーの添加によってKOH水溶液系やNaOH水溶液系では含浸速度及び含浸液量両者とも増加した。KOHがNaOHよりオリゴマーの添加効果が小さかったのは、KOHの含浸液量が飽和に近いためと考えられる。一方、LiOH水溶液系の場合、周囲の水分子との相互作用が強く、オリゴマーによる増大効果がうち消されるため、オリゴマーの添加効果はほとんど認められなかった。

上の単一アルカリ水溶液系では、全ての試料内が塩を含有している。そこで塩の存在の有無の影響を調べるため、セスキカーボネート水溶液系を用いて、塩を(i)試料にのみ含有させた場合、(ii)液中にのみ添加した場合、(iii)全く添加しなかった場合、の三つの場合について液の含浸挙動を調べた。この結果をFig. 5に示した。

試料に塩が含まれていると、オリゴマー添加によって含浸速度が増加した(◇◆を参照)。また、試料に塩が含まれていない場合には、含浸速度に及ぼすオリゴマーの影響はほとんど認められなかった(▽▼を参照)。次に、セスキカーボネート水溶液中に塩を溶かし、試料中には塩を含有しない場合(◎を参照)について調べた。液中にも試料中にも塩を含まない場合(▼を参照)と比べて、ほとんど違いはなかった。以上のことより、試料中に塩がある場合にのみ、オリゴマーによる含浸速度及び含浸液量の増大効果が発現することが分かった。

4. 脱塩曲線

4種類のアリカリ水溶液を用いて、オリゴマー添加と無添加の場合の合計8つの脱塩溶液系について、未錆化試料の脱塩率 Ψ と時間tの関係(脱塩曲線)を測定し、

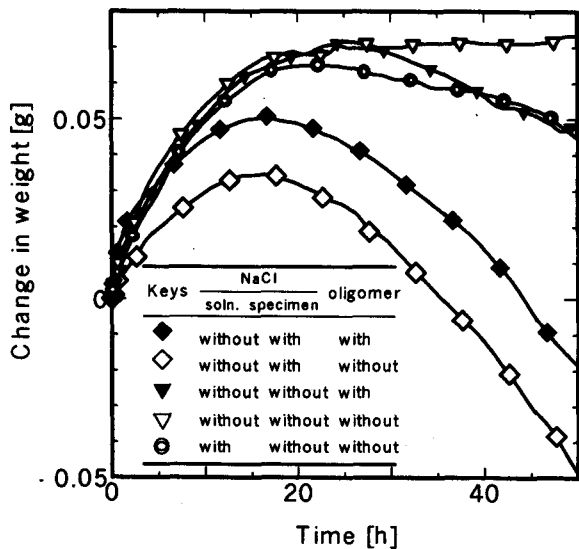


Fig. 5 Change in weight of specimens with time in 0.5wt.% sesquicarbonate aqueous solution

これをFig. 6に示した。ここで脱塩率 Ψ は次式から算出した： $\Psi = ((W - W_0)/(W_\infty - W_0))$ ここで、Wは時間tまでの脱塩量、 W_∞ は最終脱塩量である。 W_0 は表面付着量で、浸漬1分後の脱塩量とした。

オリゴマー無添加の場合、溶液の違いによる脱塩曲線の差は殆ど認められない。(2)式中の α は0と見なせ、 D_A はほとんど一定($D_A \approx D_{A0}$)であった。そこで、 $\alpha = 0$ として実測値と計算値が最も良く一致するように求めた有効拡散係数 $D_A = D_{A0}$ をTable 1-bにまとめて示した。有効拡散係数 D_{A0} は約0.605cm²/dであり、分子拡散係数 $D_{AM} = 1.38$ cm²/dの約40%である。有効拡散係数 D_A は、細孔内拡散係数 D_A^* と試料表面積に占める細孔面積の割合fの積

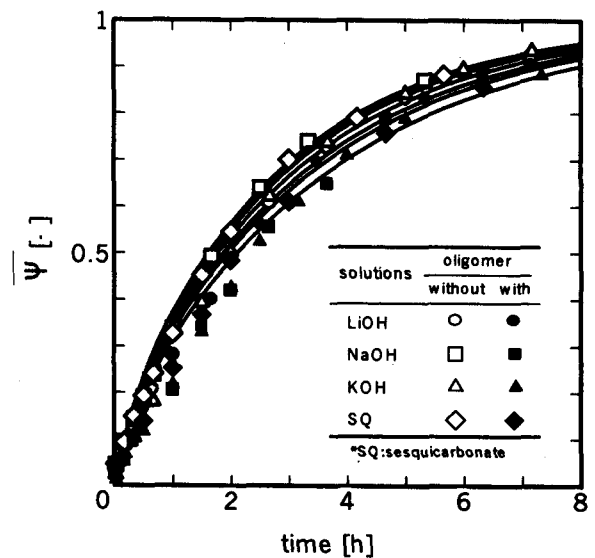


Fig. 6 Removal curves of salt for non-rusted specimens

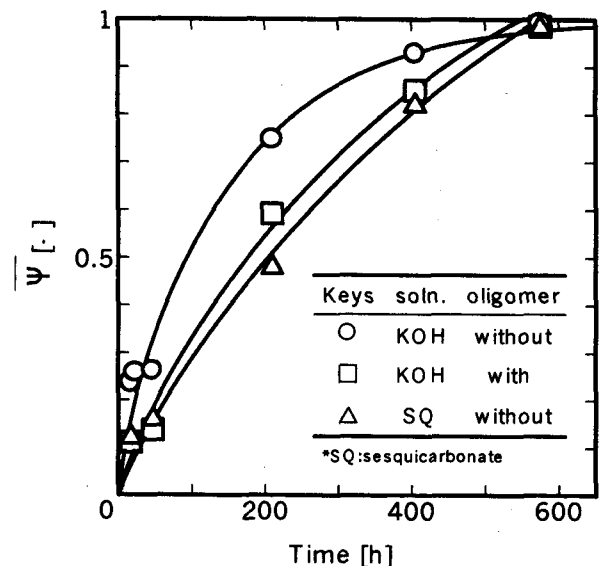


Fig. 7 Removal curves of salt for rusted specimens

である ($D_A = fD_A^*$)。試料は均質であるとする f は空隙率 ϵ に等しいと見なせるので、 $f = \epsilon = 0.4$ となる。従って、 D_A が分子拡散係数の約40%であるということは、細孔内の拡散はほぼ分子拡散であることを示唆している。オリゴマー添加の場合は、粘度が高くなるため、 D_{A0} は $0.490 \sim 0.562 \text{ cm}^2/\text{d}$ となり、約10~20%の減少が認められた。 錆化試料の脱塩特性の測定は1ヶ月以上にも及び、長時間の測定が必要となる。そこで、時間を節約するため、

錆化試料の脱塩特性は、上述の結果から単一アルカリ溶液系では最も有望であることがわかったKOH系及び現在実用化されているセスキカーボネート水溶液系の2種類の溶液系について調べた。さらに、それぞれの溶液にオリゴマーを添加した場合についても調べた。この合計4つの脱塩溶液系について脱塩曲線を測定した結果、セスキカーボネート水溶液にオリゴマーを添加した系ではほとんど脱塩されないことが分かった。そこで、この系を除く3つの系について、脱塩曲線をFig. 7に示した。

KOH水溶液系の脱塩速度は他の溶液系よりも大きいですが、錆が発生していた。このことは、液中に溶出した鉄錆のため溶液が黄濁していることから分かった。KOH水溶液にオリゴマーを加えると、錆の発生はなくなり、かつセスキカーボネートよりも脱塩速度は大きくなった。オリゴマー無添加の場合、 $\alpha = 0$ となり有効拡散係数は一定と見なせた。一方、オリゴマー添加の場合には、有効拡散係数の変化が顕著であり、 $\alpha = 0$ と見なすことはできなかった。そこで、 D_{A0} は未錆化試料の有効拡散係数の平均値 ($0.605 \text{ m}^2/\text{d}$) として α と D_{A0} を変化させ、実測値と計算値の偏差 Δ が最小となる α と D_{A0} の組み合わせを探索した。偏差 Δ は次式から求めた。

$$\Delta = \left\{ \frac{\sum (\bar{\Psi}_{\text{obs}} - \bar{\Psi}_{\text{cal}})^2}{n} \right\}^{1/2} \times 100 [\%] \quad (3)$$

Fig. 8は偏差 Δ の等高線図である。+印の点で偏差が最小となる。このようにして求めた α と D_{A0} の値をTable 1-bに示した。これらの値を用いて求めた $\bar{\Psi}$ の計算値をFig. 7に実線で示した。計算値と実測値はほぼ一致している。Fig. 7から、 D_A は脱塩の進行と共に増加していることが分かる。この事は、脱塩の進行と共に錆による細孔の閉塞が解除されていることを示唆している。

0.5%セスキカーボネート水溶液の場合、 Na_2CO_3 と NaHCO_3 の所要量は1L当たり合計で5g程度であるのに対し、KOH水溶液系の場合、0.9g程度ですむ。従って、脱塩速度、薬品所要量のいずれの面からも含フッ素オリゴマー添加KOH水溶液の方がセスキカーボネート水溶液よりも実用的であると考えられる。

結 言

液の含浸挙動から、圧縮成型円盤試料の空隙はsmall poreは約16%、large poreは約84%と推定できた。含フッ素オリゴマーの添加は、錆化試料の場合には液含浸量の増加をもたらすことを明らかにした。次に、有効拡散係数の変化を考慮したモデルを提出した。計算値と実測値は良く一致した。含フッ素オリゴマー添加KOH水溶液系は、脱塩効率、所要薬品量の点から見ると現在実用化さ

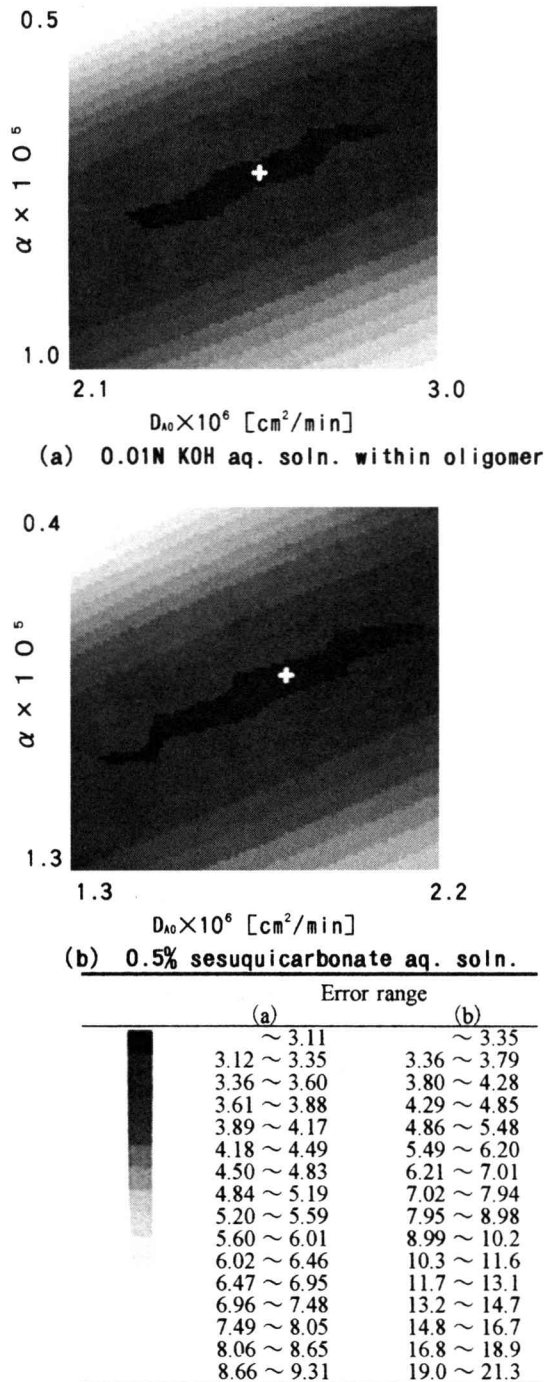


Fig. 8 Deviation map to determine the parameters of α and D_{A0} in Eq.(2)

れているセスキカーボネート水溶液よりも有望であることが分かった。

参考文献

- 1) 山田哲也 (1991)、奈良大学文学部文化財学科卒業論文
- 2) 沢田正昭、秋山隆保、江本義理、古文化財編集委員会編「古文化財の自然科学的研究」(1984)、p.164-170 (同朋社)
- 3) 姜大一・文煥哲・金炳董、韓国保存科学研究 (1991)、p.17-31
- 4) 尾崎誠、元興寺文化財研究所創立三十周年記念誌 (1997)、p.47-53
- 5) 河越幹男・吉原忍・安木竜也・川本耕三、日本文化財科学会誌「考古学と自然科学」、第36号 (1998)、p.29-41
- 6) H.H.Uhlig・R.W.Revie (松田剛・松島巖 共著)、腐食反応とその制御 (1989)、p.98-104 (産業図書)
- 7) 上平恒・逢坂昭、生体系の水 (1989)、p.34-37 (講談社)

半束の弱い形について

荒金 憲一

On a weak form of semilattices

Kenichi ARAGANE

1つの2項演算 \wedge をもつ代数系で結合律と交換律と巾等律が成り立つものが半束 (*semilattice*) である ([2]).
ここでは、巾等律 ($x \wedge x = x$) をそれよりも弱い条件 ($x \wedge x \wedge y = x \wedge y$) で置き換えた代数系を考え、弱半束 (*WSL*) とよぶことにする。本論文では、*WSL* において順序関係を定義し、*WSL* と同値な順序に関する条件を与える。また、*WSL* におけるいくつかの性質を調べる。

§ 1 ワード

[定義 1] ワードの定義

- (1) 変数 $p_1, p_2, \dots, p_n, \dots$ はワードである。
- (2) x と y がワードのとき、 $x \wedge y$ はワードである。
- (3) 以上の(1), (2)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 W とし、代数系 $A = (W; \wedge)$ を考える。 A では任意の $x, y, z \in W$ に対して、次の等号に関する規則が使えるものとする。

$$\begin{aligned} E1 & \quad x = x \\ E2 & \quad x = y \implies y = x \\ E3 & \quad x = y, y = z \implies x = z \\ E4 & \quad x = y \implies x \wedge z = y \wedge z \end{aligned}$$

§ 2 *WSL* の定義

[定義 2] 任意の $x, y, z \in W$ に対して、次の $F1, F2, F3$ が成り立つとき、代数系 A を弱半束 (*WSL, weak semilattice*) とよぶ。

$$\begin{aligned} F1 & \quad (x \wedge y) \wedge z = x \wedge (y \wedge z) \\ F2 & \quad x \wedge y = y \wedge x \\ F3 & \quad (x \wedge x) \wedge y = x \wedge y \end{aligned}$$

[注意 1] *WSL* において、次のことが成り立つ。

- (1) $x \wedge x \wedge x = x \wedge x$
- (2) $(x \wedge y) \wedge (x \wedge y) = x \wedge y$ (変数以外に関しては、巾等律が成り立つ。)

[注意 2] A が $F1$ を満たすとき, 次のことが成り立つ.

$$x \wedge x = x \quad \text{for } \forall x \in W \iff \begin{cases} (x \wedge x) \wedge y = x \wedge y & \text{for } \forall x, y \in W \\ x \wedge x \wedge x = x & \text{for } \forall x \in W \end{cases}$$

[定義 3] W 上の 2 項関係 \leq を「 $x \leq y \stackrel{\text{def}}{\iff} x \wedge y = x$ or $x = y$ 」と定義する.

[例] $W = \{a, b\}$ の場合. $a = a \wedge a = b \wedge b = a \wedge b = b \wedge a$ とすれば WSL である. $a = a \wedge a = a \wedge b = b \wedge a$, $b = b \wedge b$ とすれば半束である.

$W = \{a, b, c\}$ の場合. $c = a \wedge a = b \wedge b = c \wedge c = a \wedge b = b \wedge a = b \wedge c = c \wedge b = c \wedge a = a \wedge c$ とすれば WSL である. $c = c \wedge c = a \wedge b = b \wedge a = b \wedge c = c \wedge b = c \wedge a = a \wedge c$, $a = a \wedge a$, $b = b \wedge b$ とすれば半束である.

[注意 3] WSL において, 次の等号に関する規則が使える.

$$E5 \quad x = y, x \leq z \implies y \leq z$$

$$E5^\circ \quad x = y, z \leq x \implies z \leq y$$

(証明)

$E5: x = y, x \leq z$ とする. $x \wedge z = x$ のとき, $E4$ より $x \wedge z = y \wedge z$ であり, $E2, E3$ から $y \wedge z = y$ で $y \leq z$ が成り立つ. $x = z$ のとき, $E2, E3$ より $y = z$ から $y \leq z$ が成り立つ. (証明終)

§ 3 WSL の性質

WSL と同値な \leq に関する条件を [1] と同様にして, 次のように与えることができる. また, \leq が順序関係であることがわかる.

[定理]

A が WSL であり, かつ \leq が定義 3 の形で定義される \iff 任意の $u, v, x, y, z \in W$ に対して, A で次の $T1 \sim T6$ が成り立つ.

$$T1 \quad x \leq x$$

$$T2 \quad x \leq y, y \leq x \implies x = y$$

$$T3 \quad x \leq y, y \leq z \implies x \leq z$$

$$T4 \quad x \wedge y \leq x, x \wedge y \leq y$$

$$T5 \quad x \wedge y \leq u, x \wedge y \leq v \implies x \wedge y \leq u \wedge v$$

$$T6 \quad x \neq y, z \leq x, z \leq y \implies z \leq x \wedge y$$

(証明) \implies :

$T1: x = x$ から成り立つ.

$T2: x \leq y, y \leq x$ とすると $(x \wedge y = x$ または $x = y)$ かつ $(y \wedge x = y$ または $y = x)$.

(i) $x \wedge y = x$ かつ $y \wedge x = y$ のとき, $F2$ から $x = y$ が成り立つ.

(ii) $x = y$ または $y = x$ のときは, 明らかに成り立つ.

$T3: x \leq y, y \leq z$ とすると $(x \wedge y = x$ または $x = y)$ かつ $(y \wedge z = y$ または $y = z)$.

(i) $x \wedge y = x$ かつ $y \wedge z = y$ のとき, $x \wedge z = (x \wedge y) \wedge z = x \wedge (y \wedge z) = x \wedge y = x$ から $x \leq z$ が成り立つ.

(ii) $x \wedge y = x$ かつ $y = z$ のとき, $x \wedge z = x$ から $x \leq z$ が成り立つ.

(iii) $x = y$ かつ $y \wedge z = y$ のときも, (ii) と同様にして成り立つ.

(iv) $x = y$ かつ $y = z$ のとき, $x = z$ から $x \leq z$ が成り立つ.

$T4: (x \wedge y) \wedge x = x \wedge x \wedge y = x \wedge y$ から $x \wedge y \leq x$ が成り立つ. 同様に $x \wedge y \leq y$ も成り立つ.

$T5: x \wedge y \leq u, x \wedge y \leq v$ とすると, $(x \wedge y \wedge u = x \wedge y$ または $x \wedge y = u)$ かつ $(x \wedge y \wedge v = x \wedge y$ または $x \wedge y = v)$.

(i) $x \wedge y \wedge u = x \wedge y$ かつ $x \wedge y \wedge v = x \wedge y$ のとき, $(x \wedge y) \wedge (u \wedge v) = (x \wedge y \wedge u) \wedge v = x \wedge y \wedge v = x \wedge y$ から $x \wedge y \leq u \wedge v$ が成り立つ.

(ii) $x \wedge y \wedge u = x \wedge y$ かつ $x \wedge y = v$ のとき, $x \wedge y = (x \wedge y) \wedge u = v \wedge u = u \wedge v$ から成り立つ.

(iii) $x \wedge y = u$ かつ $x \wedge y \wedge v = x \wedge y$ のときも, (ii) と同様に成り立つ.

(iv) $x \wedge y = u$ かつ $x \wedge y = v$ のとき, $u \wedge v = (x \wedge y) \wedge (x \wedge y) = x \wedge y$ から成り立つ.

T6: $x \neq y, z \leq x, z \leq y$ とすると, 次の3つの場合に分けることができる.

(i) $z \wedge x = z$ かつ $z \wedge y = z$ のとき, $z \wedge (x \wedge y) = (z \wedge x) \wedge y = z \wedge y = z$ から $z \leq x \wedge y$ が成り立つ.

(ii) $z \wedge x = z$ かつ $z = y$ のとき, $z = x \wedge y$ から成り立つ.

(iii) $z = x$ かつ $z \wedge y = z$ のときも, (ii) と同様に成り立つ.

⇐ :

F1: T4 と T3 により, $(x \wedge y) \wedge z \leq x \wedge y \leq x$ から $(x \wedge y) \wedge z \leq x$ ……(1). 同様に $(x \wedge y) \wedge z \leq y$ であり, $(x \wedge y) \wedge z \leq z$ で T5 を使うと, $(x \wedge y) \wedge z \leq y \wedge z$ ……(2).

(1), (2) で T5 を使うと, $(x \wedge y) \wedge z \leq x \wedge (y \wedge z)$. 同様にして, $x \wedge (y \wedge z) \leq (x \wedge y) \wedge z$. よって, T2 から $(x \wedge y) \wedge z = x \wedge (y \wedge z)$ が成り立つ.

F2: T4 の $x \wedge y \leq y, x \wedge y \leq x$ に T5 を使うと, $x \wedge y \leq y \wedge x$. 同様にして, $y \wedge x \leq x \wedge y$. よって, T2 から $x \wedge y = y \wedge x$ が成り立つ.

F3: T4 から $x \wedge (x \wedge y) \leq x \wedge y$. また $x \wedge y \leq x, x \wedge y \leq x \wedge y$ に T5 を使うと, $x \wedge y \leq x \wedge (x \wedge y)$. よって, T2 と F1 から $(x \wedge x) \wedge y = x \wedge y$ が成り立つ.

さらに, このとき, $x \leq y \iff (x \wedge y = x \text{ または } x = y)$ が成り立つことを示す. \implies について, $x \leq y$ とする. $x \neq y$ のとき, $x \leq x, x \leq y$ において T6 を使うと, $x \leq x \wedge y$. また, T4 から $x \wedge y \leq x$ である. よって, T2 から $x \wedge y = x$ が成り立つ.

⇐ について, $x \wedge y = x$ のとき, T4 から $x \wedge y \leq y$ であり, 仮定の式を代入して $x \leq y$ が成り立つ. $x = y$ のとき, T1 の $x \leq x$ から $x \leq y$ が成り立つ. (証明終)

[注意 4] WSL において, 次の \wedge に関する単調性 (1), (2) が成り立つ. さらに, T5 は, 次の(1)または(2)と同値である.

(1) $x \leq y \implies x \wedge z \leq y \wedge z$

(2) $x \leq y, u \leq v \implies x \wedge u \leq y \wedge v$

(証明)

(1): $x \leq y$ とする. $x \wedge y = x$ のとき, $(x \wedge z) \wedge (y \wedge z) = z \wedge z \wedge x \wedge y = z \wedge x \wedge y = (x \wedge y) \wedge z = x \wedge z$ から成り立つ. $x = y$ のとき, $x \wedge z = y \wedge z$ から成り立つ.

(2): (1) \iff (2) を示す. (1) \implies (2) について, $x \leq y, u \leq v$ とする. $x \leq y$ で仮定(1)から $x \wedge u \leq y \wedge u$. 同様に $u \leq v$ で仮定(1)から $u \wedge y \leq v \wedge y$ であり, F2 から $y \wedge u \leq y \wedge v$. よって, T3 から $x \wedge u \leq y \wedge v$ が成り立つ.

(2) \implies (1) について, $x \leq y$ とする. T1 より $z \leq z$ で仮定(2)から $x \wedge z \leq y \wedge z$ が成り立つ.

T5 \implies (1): $x \leq y$ とする. $x \wedge z \leq x \leq y$ から $x \wedge z \leq y$. これと $x \wedge z \leq z$ で T5 を使って $x \wedge z \leq y \wedge z$.

(1) \implies T5: $x \wedge y \leq u, v$ とする. $x \wedge y \leq u$ で仮定(1)を使うと $(x \wedge y) \wedge (x \wedge y) \leq u \wedge (x \wedge y)$ より $x \wedge y \leq x \wedge y \wedge u$ ……(a).

同様に $x \wedge y \leq v$ より $x \wedge y \wedge u \leq u \wedge v$ ……(b). (a), (b) から $x \wedge y \leq u \wedge v$ が成り立つ. (証明終)

[注意 5] WSL で, 次のことが成り立つ.

(1) $x \neq y \implies x \wedge y = \inf\{x, y\}$

(2) $x = y = u \wedge v \implies x \wedge y = \inf\{x, y\}$

(3) T6 の仮定で $x \neq y$ の条件をなくすと (つまり $z \leq x, y \implies z \leq x \wedge y$), 巾等律が成り立つ.

(4) $x \wedge x \leq y \leq x, x \neq y \implies y = x \wedge x$

(証明)

(1): T4 と T6 から明らかである.

(2): 注意1の(2)より $x \wedge y = u \wedge v = x$. このとき, $x \wedge y \leq x$ であり, $z \leq x \implies z \leq x \wedge y$ を満たすから成り立つ.

(3): $x \leq x$ より $x \leq x \wedge x$ であり, $T4$ から $x \wedge x \leq x$ で $x \wedge x = x$ が成り立つ.

(4): $x \wedge x \leq y \leq x$, $x \neq y$ とすると $y \wedge x = y$. このとき $y \wedge (x \wedge x) = y \wedge x = y$ より $y \leq x \wedge x$ で仮定 $x \wedge x \leq y$ から $y = x \wedge x$ が成り立つ. (証明終)

[注意 6] W 上の 2 項関係 $<$ を $[x < y \stackrel{\text{def}}{\iff} x \wedge y = x]$ と定義する. A が WSL であるとき, 任意の $x, y, z \in W$ に対して, A で次のことが成り立つ.

$$\begin{aligned} T2^< & x < y, y < x \implies x = y \\ T3^< & x < y, y < z \implies x < z \\ T4^< & x \wedge y < x, x \wedge y < y \\ T6^< & z < x, z < y \implies z < x \wedge y \end{aligned}$$

[注意 7] W 上の 2 項関係 \sqsubset を $[x \sqsubset y \stackrel{\text{def}}{\iff} x \wedge y = x \wedge x]$ と定義する. A が WSL であるとき, 任意の $x, y, z \in W$ に対して, A で次のことが成り立つ.

$$\begin{aligned} T1^{\sqsubset} & x \sqsubset x \\ T3^{\sqsubset} & x \sqsubset y, y \sqsubset z \implies x \sqsubset z \\ T4^{\sqsubset} & x \wedge y \sqsubset x, x \wedge y \sqsubset y \\ T6^{\sqsubset} & z \sqsubset x, z \sqsubset y \implies z \sqsubset x \wedge y \end{aligned}$$

[注意 8] 任意の $x, y, z \in W$ に対して, $F1, F2$ と巾等律 ($x \wedge x = x$) が成り立つとき, $A = (W; \wedge)$ を半束 (SL , *semilattice*) とよぶ. W 上の 2 項関係 \leq_s を $[x \leq_s y \stackrel{\text{def}}{\iff} x \wedge y = x]$ と定義する. このとき, 次のことが成り立つ. A が SL であり, かつ上の定義により \leq_s が定義される \iff 任意の $x, y, z \in W$ に対して, A で次の $T1^{\leq_s}, T2^{\leq_s}, T3^{\leq_s}, T4^{\leq_s}, T6^{\leq_s}$ が成り立つ.

$$\begin{aligned} T1^{\leq_s} & x \leq_s x \\ T2^{\leq_s} & x \leq_s y, y \leq_s x \implies x = y \\ T3^{\leq_s} & x \leq_s y, y \leq_s z \implies x \leq_s z \\ T4^{\leq_s} & x \wedge y \leq_s x, x \wedge y \leq_s y \\ T6^{\leq_s} & z \leq_s x, z \leq_s y \implies z \leq_s x \wedge y \end{aligned}$$

[注意 9] 定義 1 (ワードの定義) の (2) を " x と y がワードのとき $x \vee y$ はワードである " に置き換えて, A と双対な代数系 $A^\circ = (W; \vee)$ を考える. 任意の $x, y, z \in W$ に対して WSL の公理と双対な次の $F1^\circ, F2^\circ, F3^\circ$ が成り立つとき, A° を WSL° とよぶ.

$$\begin{aligned} F1^\circ & (x \vee y) \vee z = x \vee (y \vee z) \\ F2^\circ & x \vee y = y \vee x \\ F3^\circ & (x \vee x) \vee y = x \vee y \end{aligned}$$

W 上の 2 項関係 \leq を $[x \leq y \stackrel{\text{def}}{\iff} x \vee y = y \text{ または } x = y]$ と定義する. このとき, 定理と双対に次のことが成り立つ. A° が WSL° であり, かつ上の定義により \leq が定義される \iff 任意の $u, v, x, y, z \in W$ に対して A° で次の $T1^\circ \sim T6^\circ$ が成り立つ.

$$\begin{aligned} T1^\circ & x \leq x \\ T2^\circ & x \leq y, y \leq x \implies x = y \\ T3^\circ & x \leq y, y \leq z \implies x \leq z \\ T4^\circ & x \leq x \vee y, y \leq x \vee y \\ T5^\circ & u \leq x \vee y, v \leq x \vee y \implies u \vee v \leq x \vee y \\ T6^\circ & x \neq y, x \leq z, y \leq z \implies x \vee y \leq z \end{aligned}$$

[注意 10] 定義 1 (ワードの定義) の (2) を " x と y がワードのとき $x \wedge y$ と $x \vee y$ はワードである " に置き換えて, 代数

系 $\mathbf{B} = (W; \wedge, \vee)$ を考える. 任意の $x, y, z \in W$ に対して, 定義 2 と注意 9 の $F1, F2, F3, F1^\circ, F2^\circ, F3^\circ$ が成り立つとき, \mathbf{B} を WL とよぶ. WL において, 定義 3 と注意 9 で定義された順序関係 \leq と \leq を導入すると任意の $x, y \in W$ に対して

$$(x \leq y \iff x \leq y) \iff (x \wedge y = x \iff x \vee y = y)$$

であるから,

$$x \wedge y = x \iff x \vee y = y \dots\dots (a)$$

という条件を考える. このとき, \mathbf{B} が WL ならば, 次のことが成り立つ.

(1) $(a) \iff$ 吸収律 $(x \wedge (x \vee y) = x \vee (x \wedge y) = x)$

(2) 吸収律 \implies 巾等律 $(x \wedge x = x \vee x = x)$

(3) 巾等律 $\iff (x \wedge (x \vee x) = x \vee (x \wedge x) = x)$

(証明)

(1): \implies について. $F1^\circ, F3^\circ$ より $x \vee (x \vee y) = x \vee y$ であるから, 仮定 (a) の \iff で y を $x \vee y$ にすると $x \wedge (x \vee y) = x$ が成り立つ. 同様にして $F1, F2, F3$ より $(x \wedge y) \wedge x = x \wedge y$ であるから, 仮定 (a) の \implies で x を $x \wedge y$ に, y を x にすれば $(x \wedge y) \vee x = x$. よって, $F2^\circ$ から $x \vee (x \wedge y) = x$ が成り立つ.

\iff について. $x \wedge y = x$ とすると, 仮定と $F2, F2^\circ$ から $y = y \vee (y \wedge x) = y \vee (x \wedge y) = y \vee x = x \vee y$. 逆も同様に行ける.

(2): $x = x \wedge (x \vee (x \wedge y)) = x \wedge x$. $x = x \vee (x \wedge (x \vee y)) = x \vee x$. 従って \mathbf{B} が (a) を満たせば \mathbf{B} は束になる.

(3): \implies は明らか. \iff について. $x \wedge x = x \wedge (x \wedge (x \vee x)) = (x \wedge x) \wedge (x \vee x) = x \wedge (x \vee x) = x$. $x \vee x = x$ も双対に行ける. (証明終)

[3] の「3.11.2 多重な半束構造」での「命題 24」, 「命題 25」は半束に対してだけでなく, 半束よりも条件の弱い WSL に対しても成り立つ.

[注意 11] W で 3 種類の 2 項演算 $*_i$ ($i = 1, 2, 3$) を考え, 各 $(W; *_i)$ は WSL とする. 次の式で定義される W 上の 3 種類の 2 項関係 \leq_i ($i = 1, 2, 3$) は順序関係である.

$$x \leq_i y \stackrel{\text{def}}{\iff} x *_i y = y$$

さらに $(W; *_1, *_2, *_3)$ が次の回吸収律を満たすとする.

$$\text{任意の } x, y \in W \text{ に対して } ((x *_i y) *_j y) *_k y = y$$

ただし, i, j, k は互いに異なり, $\{i, j, k\} = \{1, 2, 3\}$ とする.

このとき, 次のことが成り立つ.

(1) 任意の $x, y \in W$ に対して, $x \leq_i u \leq_j v \leq_k y$ を満たす $u, v \in W$ が存在する.

(2) $x \leq_i y$ である任意の $x, y \in W$ に対して, $y \leq_j u \leq_k x$ を満たす $u \in W$ が存在する.

[注意 12] 定義 1 (ワードの定義) に“定数 1 はワードである”を付け加えて, 代数系 $\mathbf{C} = (W; \wedge, 1)$ を考える. 任意の $x, y, z \in W$ に対して, $F1, F3$ と次の $F4$ が \mathbf{C} で成り立つとき, 巾等律が成り立つ.

$$F4 \quad x \wedge 1 = x$$

(証明)

$$x \wedge x = x \wedge (x \wedge 1) = (x \wedge x) \wedge 1 = x \wedge 1 = x.$$

(証明終)

[4] と同様に WSL での 2 項演算 \supset を考えると, 次のことが成り立つ.

[注意 13] 定義 1 (ワードの定義) の (2) を“ x と y がワードのとき $x \wedge y$ と $x \supset y$ はワードである”に置き換えて, 代数系 $\mathbf{D} = (W; \wedge, \supset)$ を考える. 任意の $x, y, z \in W$ に対して $F1, F2, F3$ が成り立つとし, 定義 3 と同様に $x \leq y$ を定義する. さらに, 任意の $x, y, z \in W$ に対して, 次の $F5$ が成り立つとき, \mathbf{D} を $IWSL$ (implicative weak semilattice) とよぶ.

$$F5 \quad z \wedge x \leq y \iff z \leq (x \supset y)$$

このとき, $IWSL$ で次のことが成り立つ.

(1) \mathbf{D} では最大元 1 が存在する.

(2) \mathbf{D} では $x \neq 1$ である任意の $x \in W$ に対して, 巾等律が成り立つ.

(3) $x \wedge (x \supset y) \leq y \iff (z \leq (x \supset y)) \implies z \wedge x \leq y$

(4) $x \wedge (x \supset y) = x \wedge y$

(5) $x \leq y \implies (z \supset x) \leq (z \supset y)$

(6) $x \leq y \implies (y \supset z) \leq (x \supset z)$

(証明)

(1): まず, $(x \supset x) = (y \supset y)$ であることを示す. z を任意のワードとする. $z \wedge x \leq x$ であるから $F5$ より, $z \leq (x \supset x)$. 同様に $z \leq (y \supset y)$ である. $(x \supset x) \leq (y \supset y) \leq (x \supset x)$ より $(x \supset x) = (y \supset y)$ が成り立つ. そこで $(x \supset x) = 1$ と定義すると1が最大元である. なぜなら, 上のことから任意のワード z に対して, $z \leq 1$ が成り立つから.

(2): $x \neq 1$ とする. $x \leq x, x \leq 1$ で $T6$ を使うと $x \leq x \wedge 1$. また, $T4$ より $x \wedge 1 \leq x$ であるから, $T2$ により $x = x \wedge 1$ が成り立つ. よって, 注意12から巾等律が成り立つ.

(3): \implies について. $z \leq (x \supset y)$ とすると $x \wedge z \leq x \wedge (x \supset y) \leq y$ から $z \wedge x \leq y$ が成り立つ. \longleftarrow について. 仮定の式で z を $x \supset y$ とすれば $(x \supset y) \leq (x \supset y)$ より成り立つ.

(4): $F5$ と(3)より $x \wedge (x \supset y) \leq y$ から $x \wedge x \wedge (x \supset y) \leq x \wedge y$ により $x \wedge (x \supset y) \leq x \wedge y$. また, $y \wedge x \leq y$ より $F5$ から $y \leq (x \supset y)$ で $x \wedge y \leq x \wedge (x \supset y)$. よって成り立つ.

(5): $x \leq y$ とする. $z \wedge (z \supset x) \leq x \leq y$ から $(z \supset x) \wedge z \leq y$ であり, $F5$ により成り立つ.

(6): $x \leq y$ とする. $x \wedge (y \supset z) \leq y \wedge (y \supset z) \leq z$ から $(y \supset z) \wedge x \leq z$ であり, $F5$ により成り立つ. (証明終)

参 考 文 献

- [1] 荒金 憲一, ファジイ代数の決定問題, 奈良高専研究紀要 30 (1995), 115-123.
- [2] G. Birkhoff, *Lattice Theory*, Amer. Math. Soc. Colloq., 3rd ed., 1967.
- [3] 堀内清光, ファジイ数学, 大阪教育図書, 1998.
- [4] W. C. Nemitz, *Implicative semilattices*, Trans. Amer. Math. Soc., 117 (1965), 128-142.

Computer Assisted Instruction and Second Language Acquisition

Naoshi KANAZAWA

Learners are very interested in audio-visual media these days. This paper is talking about how to teach communicative and authentic English by introducing computer into classrooms and utilizing multi-media as computer presentation. It also shows how effective Computer Assisted Instruction (CAI) works to make their motivation higher and maximize their opportunity to feel English. Let learners recognize their treasure and pleasure to learn English in CAI classrooms.

Introduction

Generally speaking, it is very important for Japanese to get the latest information in any field. How late information you have is a sort of the intellectual scale in Japan. How helpful and useful information you have shows how intelligent you are. Each Japanese is afraid that information he/she has becomes out of date so that he/she always tries to get the latest information. For example, you can see most people read books or newspaper everywhere in Japan. Therefore it is very natural to be very interested in the latest high technology that could be the symbol of the latest information and the intelligentsia. Most Japanese have a yearning for the high technology such as computer.

In November 1995, Windows 95 was released as a computer system software in Japan, and was very attractive for Japanese who were afraid to be left behind the trend. It has a big impact on Japanese society. Literally they jumped into the shop and got a computer with Windows 95, but they did not realize they had never used computer before. As a matter of fact, some of them are sleeping in their closets. Hence Japanese latently want to use computer, though they need to psychologically and physically overcome some major problems to use a computer.

Impact of Multi-media CAI on Second Language Acquisition

It is not too much to say that our life is surrounded by

computer chips or computers. It is so called that we are in the computer age. Manipulating multi-media with computers is no longer for professionals, and becomes very common. Films and televisions are the primary "literary" forms in the twentieth century. Arts and popular culture made with audio-visual media tremendously affect people and society. It is natural to introduce computers into the pedagogic field such as Computer Assisted Instruction (CAI). Although there are various instructional resources that encourage a stimulating learning environment, computer is a medium that cannot, and often should not, be ignored not only in a classroom, but also our daily life, whether one likes or not. It is easy for instructors to impart new information, and for students to concretely understand what the instructors try to convey, using multi-media.

Especially Multi-media computer is most required and suitable for people studying other languages. Activity-based learning, technology enhancements, and body languages are examples of instructional methodologies that have proven successful (Kenning, 1983). Language and activity-rich instructional environments are necessary for student transition into full second language instruction (Shimazu, 1992). If learners are to be critical viewers, they must have practice, in exchanging ideas, challenging assumptions, and relating the video experience to their own personal experiences interactively.

There are a few multi-sensory characteristics to believe that multi-media CAI might especially benefit second language (L2) learners. First, combination of pictures and sounds might help less proficiency L2 learners establish relationships between (verbal or non-verbal) words and meanings. Second, the entertaining qualities of CAI make it a

somewhat easier medium to access than textbooks, keeping learners' motivation higher with interaction between learners and CAI. Moreover the entertaining quality of CAI makes the informal atmosphere that might help in minimizing fear of failure in L2 learning. Finally, listening, viewing, reading, and interacting on CAI can be a cognitively active experience, when appropriate content is used. CAI can engage less proficiency L2 learners in making meaningful predictions of new vocabulary and content as they watch as an entertainment. Soon these new audiences would become subjects for educational research in determining the benefits of merging spoken and printed text in one medium.

The multi-sensory characteristics of multi-media CAI seem to allow L2 learners to view words in meaningful and stimulating contexts and examine whether this input can work for them or not. Second language (L2) learners need to focus on the meaning of the message, not on the form or grammar of the message. They can acquire the second language with understanding messages or receiving "comprehensible input" (Krashen, 1985). If an L2 learner's first language (L1) is limited, it may be very difficult for him/her to assimilate decontextualized language.

The best environment of language acquisition has been through subconscious process in the context of meaningful language use in the "authentic" situation that CAI could make. The term "authentic" refers to materials that are originally spoken in the target language. Movies, documentaries, news broadcasts, and commercial advertisements can be authentic sources. Various linguistic and para-linguistic criteria were also considered in software selections (Kincaid, 1992).

(1) Situation appropriateness: whether the language was appropriate and unmarked for the situation portrayed in a part of a video.

(2) Grammatical and lexical complexity: whether the major part of the language in a part of a video was appropriate for the level of the student.

(3) Inherent interest value to university-level students: whether the subject matter in a part of a video was relevant and of interest to the average student in each age group.

(4) Variety of salient speech functions: whether the language in a part of a video illustrated diverse functional usage. Parts of a video (segments) were sought that demonstrated a highly visual/audible correlation.

Moreover five diverse genres should be considered in five distinct functional speech act situations to make authentic

software.

(1) Dialog situation with nonverbal and para-verbal expressions such as a dramatic feature film

(2) Dialog situation with emphasis on situation humor and irony such as a light comedy feature film

(3) Mono-logic speech with narrative details and events such as News/documentary feature

(4) As same as light comedy, but added comprehension layer of voice characterizations and children's register such as an animated feature

(5) Lyric speech with repeating, rhyme and rhythm such as a music video

If these criteria and conditions were basically provided all around on CAI software, the CAI software could be very effective and helpful to acquire a second language in classroom and even at home.

CAI for second language acquisition can be personalized by providing L2 learner's placement tests, and examining L2 learners' comprehension of language content of each segment, using multiple-choice questions. They were designed to obtain an indication of the level of the students' comprehension of the essential language of each segment. Using this test for the research, educators can collect the results. All indicate that captions or scripts may enhance the learning of a foreign language by (Kitao, 1994)

(1) Allowing the student to use his/her already developed skills in reading comprehension to help strengthen and develop aural comprehension

(2) Increasing the accessibility of the salient language of video software, giving students the opportunity to understand and enjoy the authentic linguistic input

(3) Allowing the student to use multiple language processing strategies to accommodate the multiple modalities of input on captioned TV

(4) Increasing the memorability of the essential language

(5) Promoting the use of new lexicon and phrases in an appropriate context.

Above all, captioning may help teachers and students of a foreign language bridge the sizable gap between the development of skills in reading comprehension and listening comprehension.

Problems of CAI on Second Language Acquisition for Japanese

The best language programs should be highly motivating, challengeable, and designed to involve L2 learners in ways that cause them temporarily to forget what they are hearing, reading, and interacting in another language. When an L2 learner is nervous, an "affective filter" (Long and Richards, 1987) becomes high, and it makes him or her close his or her mind, and it is easy for them to lose their motivation to learn L2.

There are some major psychological and physical problems to make L2 learners to keep distance from CAI, even though they latently want to use CAI. Actually some people are still computer-phobic, and it is natural for those computer-phobic people to believe that computers are almighty and can do anything quickly and accurately, and become techno-centric such as ego-centric by Piaget. Some older computer-phobic people do not believe computers are useful and the work of people is much better than the work of computers.

Limitation for Computers

At first, they certainly do not work without electricity. On another occasion, computers break down with technical problems. Hence computers have limitations on their memory, speed, methods of input and output, etc. The more powerful computers have fewer limitations, though they are much more expensive. Computers are able to do what they are programmed so that it is necessary to have proper software for a given task. If you made multi-media software for 2 hours, it would be required about 500 GB with more than 100MB of RAM. Nobody can afford the super computer personally. Actually computer has become less and less, though they are still not as cheap as typewriters and calculators. Computers are improving so fast that we cannot follow their development. Improvements and new equipment show up every month.

Limitation for Learners

CAI requires computers and software as well as other equipment, all of which are very expensive. It costs recently

at least \$4,000. It is also necessary for educational institutes to facilitate a special classroom and laboratories, and technicians to keep the computers working properly. Since learners often have trouble, we need assistants to help them with a computer.

No matter how simple computers and software are, students need to learn a great deal to use them. Just learning to use basic computer and software operations often require a lot of time and energy before learners can even begin to use them to study a subject (Kitao, 1994). A user has to know how to use it, that is, to know what commands to give the computer and how to respond to the computer. For that sake, although it sounds very contradictory, English language is necessary to work with computers as input or output of the data. Input is usually from a keyboard, so learners need to learn how to type in English fairly well before they can use computers effectively. If the user does not know these, the computer will not function.

Speaking of a person who can use a computer, it doesn't mean the person who can write software, but it means the person who can use computer software. One of my friends who works for NEC told me that the time when an amateur could make a computer software had ended. Although an English professor known as a computer specialist at a university as well, tried to make new CAI software for English language acquisition, he got a stomach ulcer because of making his software, and he almost lost his life for it.

In fact educators often express interest in writing their own CAI software like him. Software to help users write their own programs is called "authoring software" (Maddux, 1992). However an amateur computer programmer of educators could make a just simple software that is not so useful and not so effective for other educators and students. A CAI software for English language acquisition would be more complicated and it would take the longer time to make a useful and authentic one. When educators write a computer software, it is obvious to waste their efforts and time.

In addition, CAI is not most effectively used for traditional classes. To use computers most effectively, it is necessary to develop new methods and materials that are specifically for computers. It may also be necessary to change the way of evaluation for learners.

It is also necessary to train teachers. They need to understand the theory behind CAI as well as how to use computers. They have to learn the best methods for teaching classes with computers. Teachers would have better take

courses on CAI, attend conferences and orientations, and share ideas with other teachers. To save time and trouble, ready-made software should be recommended. Educators should apply the software to students in their classrooms, and give their feedback to the computer software companies. Software companies, teachers, and learners need to make more advanced and effective CAI software together.

From learners' aspect, they have a variety of motivation and interests, and levels of L2 proficiency (Kitao, 1995). Their learning speeds, learning styles, and learning strategies are different from each other. Nobody doubts individualized instruction is philosophy of education that emphasizes giving adequate instruction in adequate speed to each learner. Learners should be in the center of learning, and instructors help them comfortably learn. Learners have to take more responsibility for their learning. They have to learn meta-cognitive methods of learning. They should be evaluated on whatever they have learned and achieved. It is necessary to consider methods, techniques, and materials for individualized instruction and to train instructors in doing so.

CAI has the potential to enhance individualized instruction without requiring an increase in the number of instructors. Computers can help students learn, because they are able to present authentic and active materials better than textbooks do, and they keep records as their own portfolio. In order to provide better individualized instruction, proper facilities, machines, equipment for them, materials, and people to help learners. On the other hand, individualized instruction costs a lot, and imposes a burden such as special training on instructors. It requires instructors' motivation to lead learners.

Although it is very difficult to individualize a whole program of instruction now, it is possible to partially individualize instruction by allowing learners to work at their own speed or to choose the content of materials they want to study, the learning style, strategy and their levels as they want.

Using a computer, learners must study actively with their higher motivation. They cannot just passively listen to their instructor, as they do in a main stream classroom. They think and learn with assistance of a computer. Learners and instructors can see how well they are learning and what their problems are. Instructors can adjust the class for learners to effectively learn, and maximize opportunities to individually learn, according to each learner's ability and speed, and to choose their own topics on their own learning styles. Learning with CAI is inherently more interesting, and stu-

dents do not get bored. They can process more authentic materials with a computer than a textbook in the same amount of time.

Conclusion and Further Study

For the second language acquisition, it is not good for educators to force their students to learn the language, so that it is effective (or necessary?) for learners in Nintendo age to acquire the language with joy. It is hard to make full individualized CAI software for the second language acquisition, because of a lot of varieties of learners' abilities, motivation, learning styles, and learning strategies.

However once it will be possible to individualize full CAI software, instructors can make optimum circumstances for the second language learners. In the computer program, the learners need to be center as a main character of the game. They need to take their own risk of their mistakes. Each goal for them would be achieved by answering each question on a CAI program, and their affective filter can be low, because they play and response the game by themselves and nobody knows their mistakes. Especially students can have fun!!

It is easy to maximize opportunities to develop learners' language four skills (reading, writing, listening, and speaking) on using CAI. When you face unknown words on the computer screen, you can look for the words on the same computer screen, using American Heritage Electric Dictionary or English-Japanese dictionary in their computers. Every student can write their own answers on the monitor screen, responding computer's questions. When students use a Japanese-English dictionary, a spell checker, and a grammar checker, they can write a correct sentence that they want to express.

The computer can speak out questions on the programs, and it is very good for learners' listening ability. Of course the learners can adjust the speed of the computer's speaking. It is easy for the computer to distinguish and understand what learners say (Kincaid, 1992), when they response the questions by speaking to computers. At that time, the computer can correct their pronunciation even one thousand times. As I mentioned above, the computer gives immediate feedback to students. When educators want to concentrate on a student specific language skill, they can just set the mode to do so.

On the evaluation, teachers can check their mistakes from a personal record of student's mistakes on computers.

The speed of CAI in lessons can be very flexible, depending on the rate (speed) of students' language acquisition. Educators should take care of their rate of language acquisition mainly as facilitator.

As an instructor, I cannot wait for it, so that it is possible to partially use multi-media CAI to introduce authentic materials for L2 language acquisition. For example, when an instructor introduces new vocabularies with visual and audio aids on the computer screen, each student can control their own speed with using a presentation software. When instructors use a role playing game, each student can be a main character of the game who need to response the game using the target language. Educators can choose software depending on student' s ability. When students cannot response complicated questions and cannot use long answers, educators can choose other software with short questions and short answers. CAI for the second language acquisition can be very flexible up to learners' abilities.

Bibliography

- Bork, Alfred. 1981. *with Computers*. MA: Digital Equipment Corporation. {Cognitive theory for learners and CAI, Teacher's role with CAI}
- Helsel, Sandra. 1992. "Virtual reality and education," *Educational Technology*, May: 38-42. {Explanation of Virtual reality, Application of Virtual reality for CAI}
- Sawyer, W.D.M. 1992. "The virtual computer: A new paradigm for educational computing," *Educational Technology*, January: 7-14. {Virtual reality and CAI}
- Shimazu, Yasutaka. 1992. "Computer use in Japan's Schools," *Educational Technology*, March: 30-33. {Situation of CAI in Japan, difficulties for Japanese learners with CAI}
- Maddux, Cleborne D. 1992. "User-developed-computer-assisted instruction: Alternatives in authoring software," *Educational Technology*, April: 7-14. {Authoring software, Difficulties of Authoring software}
- Park, Ok-choon and Stuart S. Gittelman. 1992. "Selective use of animation and feedback in computer-based instruction," *Educational Technology Research and Development*, 40: 27-38. {Pedagogical methods of CAI}
- Hooper, Simon. 1992. "Cooperative Learning and Computer-based instruction," *Educational Technology Research and Development*, 40: 21-38. {Use of CAI in classroom settings}
- Kincaid, Peter J. Daniel Mullally and John F. Kincaid. 1992. "Language training using computers with voice interface," *Educational Technology*, January: 24-32. {Voice Recognition by CAI, CAI for language training}
- _____. 1992. "Open software design: A case study," *Educational Technology*, February: 43-51. {Application and experimental results for open questions with CAI}
- Kenning, M. J., and M. M. Kenning. 1983. *An Introduction to Computer Assisted Language Teaching*. Oxford University Press, Oxford, U.K. {Advantage and Disadvantage of CAI}
- Spring, M. 1991. *Informing with Virtual Reality. Virtual Reality: Theory, Practice, and Promise*, Westport, CT. {Theory and Application for using Virtual reality}
- Long, H. Michael, and J C. Richard 1987. *Methodology in TESOL*. Heinle & Heinle Publishers, Boston, MA. {One of the best book for TESOL for cognitive theory and techniques for teaching}
- Kitao, Kenji. 1995. *Effects of English CBI at Doshisha University*. ERIC, An accession Number: ED 381011. {CBI and Reading instruction, English as a Second Language}
- Kitao, Kenji. 1995. *Evaluation of CAI English Classes*. ERIC, An accession Number: ED 381007. {CAI and English as a Second Language, Students' Attitudes}
- Kitao, Kenji. 1994. *Starting CAI English Classes*. ERIC, An accession Number: ED 379943. {CAI and Reading instruction, English as a Second Language, Computer Software, Individualized instruction}
- Krashen, S D. and T C. Terrell, 1983. *The Natural Approach*. Alemany Press, Hayward, CA. {One of the best book for TESOL for cognitive theory and techniques for teaching}

A Study of Shunsuke TURUMI's Theory about the Family

Tsuneyuki KIMURA

木村倫幸

現代社会のあり方に対して、一貫して民主主義的な観点から発言を続けている思想家鶴見俊輔の最終的な基盤が、「私的な根」(個人の眼)にあることはよく知られている。鶴見はこの姿勢から、きわめて高度な政治的諸問題から身近な日常生活の煩事と見える事柄(実際にはそこにも近代社会の原理のあらわれと変化が指摘されるのであるが)にいたるまで、精神的に論議を展開してきた。われわれは、鶴見の論議の中に戦後民主主義社会/運動が見落としてきた様々な問題を見い出すことができるし、今日においてもなおその重要性は価値を減じてはいないと言えるであろう。そしてその本質的な環が、「私的な根」(個人の眼)に立脚したものであったことは、逆に言えば、そのような要素が戦後日本の民主主義社会/運動に欠落していたことを意味している。この問題は今後なお検討・構築されていかねばならず、また社会変革を旨とする運動論・組織論としても拡大深化される必要がある。

その際にここで問題にされるべきは、この「私的な根」(個人の眼)から運動・組織にいたる最初の一步の段階、すなわち鶴見の視点での「家」、「家族」の検討である。「私的な根」(個人の眼)が確立されることが重要であり環であるとはいえ、これは孤立して存在するものではなく、必ずある家族もしくは家族的状況の中において存在する。それ故「私的な根」(個人の眼)にとつて最も身近な対象は、家・家族であり、むしろこちらの方が決定的に重要な影響を与える場合があり得るであろう。この意味で、家・家族とは「私的な根」(個人の眼)の背景であり、鶴見が国家権力による介入への抵抗を説く場合の助けともなるものである。それは鶴見の思想を支える大きな要素である。そして鶴見の家・家族についての思想を検討することは、個人・地域との関係を、さらにはあるべき共同体形成へのつながりを探究していくことに通じるものであると考えられる。その現代的意味を明らかにすることは、近代社会の原理への批判となる可能性を含んでいることは言うまでもない。小論はこのための一つの試みである。

二

鶴見は、家について語る場合に「家の神」^①という象徴を持ち出す。例えば次のようにである。

「家とは何か。その中心にあるのは、生命の連続だろう。ひとりの肉体と精神をもつ個人から、もうひとりの肉体と精神をもつ個人への生命のつながり、別の言葉で言えば婚姻と育児、それが、家の中心にあるものだ。生命の連続性を守る様々な象徴が、家の神である。家の神は、生命の連続性の保護者であると言ってよい」(二〇一―四六―四七七)。

ここで述べられているのは、家・家族の基礎をなす感覚であり、その中の構成員、とりわけ「私」に共通して流れていると感じられる心情である。すなわちこれによって、家・家族は成立し続けることができるのである。このことを鶴見は、別のところでも述べている。

「無条件のあたたかさ(物質的環境、地理の条件)、無力な自分が生きるのを助けてくれる他者(人間でなくともいい)の感覚、自分が生きてゆくことをよしとして助けてくれる生命の連続性の象徴が、家の観念の中心にあるもので、家の神だということができよう」(二〇一―三四)。

この「家の神」は、それ故「体力差のあるもの、知力差のあるもの、関心の差のあるもの、かせぐ力の差のあるものが、たがいに助け合って、共同のくらしをたてている」(二〇一―二〇)場、「おたがいをそだてる場」(同)、「能力にちがいのある相手を助けようという気組み」(二〇一―二五)の生じる場としての家そのものである。

鶴見は、このような気組みの生じるとき、そこに「家らしい間柄」(同)が生じるとし、「その気組みなくして、家はうまれななし、守れない。血のつながりとか生殖という事実は、はじめの動力になるとしても、家をつくり保つための十分な条件にはならない」(同)と指摘する。そしてここで家の構成員に對して、あるいは構成員になろうとする者に対して、その場を成りたため、互いに対して働く力として「親和力」(二〇一―二〇)をあげる。それは次のような力である。

「親和力は、家のメンバーを、生物としての競争とはちがう間柄でむすびつ

ける。親子、兄弟などの間で、さまざまの仕方、それがはたらく。親子の間で、親のほうが子を助けるとはかぎらない。親が老いてから、子が親を助けるという場合にかぎらず、子どもが小さい時にも親は子に助けられているという関係がある」(同)。

この、「家」という関係の中心にある、血のつながりとか生殖とか性のつながりをもつつみこんで、それらをなりたたせるものと力としての親和力、あるいはそだてあいの関係」(二〇一―二二)が、結局は家の原理とされることが、鶴見の視点である。そしてこの「親和力」がどのようなかたちでわれわれの間に生じるのかということについて、鶴見は繰り返し井伏鱒二の小説『黒い雨』(一九六五年)の場面を引用する。しかしその全文の引用は長くなるので、ここではその場面について鶴見のまとめたものを掲載する。

「井伏鱒二が実録をもとに書いた『黒い雨』という小説に、広島で原爆に打たれた人々が、市外にのがれていく様子が描かれている。初老の主人公は、途中で、ひとりぼっちでとぼと歩く小学校一年生くらいの子どもに会う。

「じゃ、鉄橋を渡るまで、小父さんが道づれになつてあげようか。」
その子に情が移ると困ると思つて、名前を聞かないことにした。やがて、空のあなたに大きなキノコグモが見えた。

「おい坊や、あの雲。」

ふたりは並んで空をあおいだ。

やがて、子どももづれではとても鉄橋を渡れないことがわかり、主人公は、別の小母さんに子どもを預ける。

「それでな、坊や。坊やと小父さんは、ここで別れような。」

子どもはこっくりして、小母さんと一緒にまた道を戻っていく」(二〇一―三八)。

この情景、情感が家の原型であることを鶴見は指摘する。

「原爆にうたれて散らばる人びとの中で、おとなと子どもとが出会う時、自然にそこに道づれの間柄が生じる。しばらくの道を歩く時の、おたがいに對する痛みの共感。情が移ってしまったために、無理しても、名前をきくまいとする抑制。つかの間のこの切実な助け合いが、家のつながりの原型であると思う。原爆が、その原型を、くつきりと照らしたとも言える」(二〇一―二三)。

原爆に限らず、大災害や社会的混乱の時期に見られる、こうした不釣り合いの力を持つ人びとの互いの助け合い、「親和力」こそ、「血縁による家族」や「私有財産の共有による家族」を超えた、より基本的な家族の原型とされる。そして鶴見は、このような助け合いのさまざまな形が、これからの時代には必要とされていることを強調する。

三

しかし右のような視点から家というものが形成される関係は、現代の法律用語に従えば、「その他の関係」と呼ばれるものとなる。例えば、老人が、法律上のつながりのある身寄り以外の他人に助けられて生活しており、その助けられる他人との関係が、身寄りの人間との関係以上にうまく行っている場合などがこれにあたる。すなわち「血縁」や「私有財産」などのつながりによる「家族」よりも、もつと家族らしい関係が存在している場合である。そして現在では、平均寿命の高齢化に伴い、このような関係が増加しているのも事実である。鶴見はこれについて、「たしかに『その他の関係』が家族のなかに入り込んでいて、それが家族のもつともいきいきとした部分を既に構成している。だけど、最終段階になると、それを法律、制度によって切り捨てて平気なように、法律上のつながりのある家族は思ってしまった。そのズレがいまの問題なんだでしょうね」^②と指摘する。

われわれはここに、家族についての重要な問題に直面することになる。つまり「その他の関係」に示される家族の実質的側面と、法律・制度として定められている家族の形式的側面との分裂である。実質上は家族の最も家族らしい側面が、「その他の関係」によってあらわされて目の前に提示されているにもかかわらず、法律・制度において規定されている家族が、「本来の家族」として思い込まれていること、後者、すなわち法律・制度における家族こそが家族であると、社会的にも圧倒的に確信されていることが問題なのである。こうした食い違いから生じる悲劇的状况は、数え上げれば切りがないであろう。^③

そして鶴見は、法律・制度の家族像が支配的な規範となっている意味について、その反対の状況と見なされる、「欠損家庭」という法律用語を取り上げて、

次のように述べる。

「夫婦に子どもという家庭の単位が一つの家に住むことが正常な家族で、それ以外の家族のありかたは異常だとする規範のたてかたは、(家族についての事実を統計的に分類する図式としてはそれでも通るだろうが、それを倫理上の規範とすることは)人間的でない。それは統計的に人間性を把握する方法であって、個々の人間を大切にすることにはならず、人間性に反している」(一〇一—二二一)。^④

四

この「正常な」家族についての見方には、思想的に、純粹・真田な思想のみを思想と見なし、日常的現実の雑多なもの、曖昧なものは切り捨てて顧みない日本の知識人の傾向が端的にあらわされており、鶴見はこれに対する批判をなすとともに、その知識人を支えてきたヨーロッパ近代の合理主義思想に対する批判にまで進む。

「日本の例としてもあげられないことはないが、ともかく、男と男のつくる家、女と女のつくる家が数十年にわたってやすらかな暮らしの場となり得た実例はある。そうしたさまざまな可能性にたいして、お役所の統計を価値判断にすりかえて『欠損家庭』などという言葉を使って、いかにも科学のよそおいをもたしたような仕方では批判しないほうがよい。キリスト教文明の不寛容にたいして、日本の文明がいくらかでも別のものをもって対する道があるとすれば、それはおそらく寛容の精神をもってであろう」(一〇一—二二四)。

近代日本では国家の建設にあたってヨーロッパの合理主義思想が受容されてきたことは周知の事柄である。しかもその普遍主義的側面、能率・手続き・技術の側面のみが強調されて、社会的諸制度(政府、教育等)が形成されてきたのである。その結果として日本の国民国家は、いわば近代都市が均質なコンクリートによって形成されるように、「国民という均質性への固執」^⑤によって、「国民というのつべらぼうのアイデンティティ」^⑥として形作られた、と鶴見は語る。

それ故、家の観念も、完全無欠なものが正常な家として考えられ、そこから

外れた家が「欠損家庭」として位置づけられてしまったのである。しかしこれに対して鶴見は、小論の始めで述べたように、「無条件のあたたかさ、無力な自分が生きるのを助けてくれる他者の感覚、自分が生きてゆくことをよしとして助けてくれる生命の連続性」こそが家を形成するものであり、この意味で、ヨーロッパの近代合理主義の不寛容に対して、寛容の精神（これは鶴見の視点から言えば、日常生活における曖昧さの確認につながるものである）が主張されるのである。

「家の神への信頼は、権力の原理、弱肉強食の原理、理想社会についての普遍的原理のあらゆる酷薄な側面に対抗する力として、われわれの中におかれているものと理解できるのではないか」（二〇―二四）と鶴見が述べる時それは、コンクリートの国民色に塗られた状況に対して、「個人の想像力と個人の（できているかぎりでの）しきたり、それぞれの家と土地でのしきたり」^①に立脚した家族の関係が指摘されているのであり、われわれの持つ家の像への重要な反省的示唆を与える。

とりわけ時代が急速に高齢化社会への道を歩んでいる時には、法律・制度的な家族の関係が弱化する一方であるという現実を踏まえて、「流動性をもたせて家を考えていくこと」（二〇―三七）が不可欠とされよう。また現存の家族の枠で考えていくにせよ、「夫婦は、今では五十年のつきあいを覚悟しなくてはならない。親子は、やはり五十年のつきあいを覚悟しなくてはならない。その間のおたがいの変貌に絶え得る感性と知性を、養う必要がある」（同）ということになる。家族の関係、役割分担は、その時その時の助け合いの形もって変わっていかざるを得ないのである。

そしてこのような家の形は、そのすぐ外側に、明治以前の農業を基本とする社会において存在していた「おたがいになじむことを重んじる文化の形態、おたがいの仲間意識をよりどころにして」（二〇―三四）集まる、サークル活動につながるようになる。これは、明治以後の工業化社会においては軽視されてきた運動形態であるが、鶴見の述べる家と共通のものを有していると言える。サークル活動の特徴は、規律ある組織とは異なり、そのルーズさ、曖昧さにある。目的、メンバー、活動形態のいずれをとってみても、隔々まで厳密に定められた規則に従うというのではなく、時と場合によってメンバーの位置、役割などが変動する。しかし長い間にわたって活動してきたサークルには、メン

バー相互の「なじみあい」が存在し、「ここには、いま話を聞いたその場で相手を何かの理論によってたたきふせるというのとはちがう仲間意識によって支えられた理論性があるし、その底には、仲間だけでなく、自分自身をそだててゆこうという、自分のとらえかたがある」（二〇―三一）。

これは、今まで鶴見が述べてきた家・家族とよく似た形の関係である。また近代工業化社会の進展とともに消滅していく運命に置かれた地域共同体、地域社会も同様の性格を持つものである。そしてまた逆に、現代において共同体社会を構想・実践している集団において、上述のような家・家族の關係に似た形態が採用されていることは、近代社会に対しての批判であるとともに、家の原型としての人間關係のあり方の一面を照らしていると言える。

五

しかし同時に、右のように述べられてきた家、「家の神」については、その可能性にもかかわらず、通用する範囲が限られていることについての自覚もまた必要とされる。

「家の神は、自分が偶然あるところうまれてしたしくつきあうことになった人びとに対する一つの作法の原則にすぎない。それが人間一般にとつていくらかの意味をもつとしても、人間には人間一般のことはなかなか自分の問題として考えにくいものだという消極的な現実主義をとまなっている」（二〇―二四）。

また別の場所で、鶴見はこうも述べる。

「家は、人間の生命の連続を保証する場所と言える。自分の生命がそだてられ、その生命をさらに別の生命につづけてゆく場所である。そのうけつぎが、特定の人から人へとなされてゆくので、その特定の人たち以外のものをのけものにするという性格をもちやすい」（二〇―三三）。

すなわちここに、家の持つ「無条件のあたたかさ」「助け合いの感覚」「生命の連続性」等の特徴が、逆に、「家の中のものにはかぎりなくゆるし、家の外のものにはたいしては、家の中では考えられないような冷酷さをもつてた」といふ二重の態度（同）を生じさせることが指摘される。

このことは、近代日本国家の建設にあたって「国民というのつべらぼうのアイデンティティ」を中心に均質的なものとしての国民国家が形成される一方で、この国家がまた天皇制国家制度として形成されてきたことと関連している。すなわち明治以降の天皇制は、天皇と国民とを父親と子の関係と見立てて、家族の関係が国民全体に行き渡るような家族国家を構築してきたのである。しかも家族国家は、家族の内部において個々のメンバーが内面的道徳的に規制され干渉されるように、家族国家のメンバーを内面的道徳的に規制し干渉した。この結果、個人的レベルでの家族の関係、心情が、国民的レベルでの家族国家の関係、心情として意識され行動にあらわれることになった。

「家の中のものにはかぎりなくゆるし、家の外のものにはかたしては、家の中では考えられないような冷酷さをもってたいする」という二重の態度は、それ故国家的レベルでは、「家を大切にすることはそのことをとおして家族国家を大切に、その家族国家が、家族外のものとして圧迫をくわえる朝鮮人、中国人にたいして、軽蔑と虐待をあたりまえのことのようにつづけていた」(一〇―二三〇)という結果を生み出したのである。この、「家の神の無条件の美化が、昭和の十五年戦争の時代には、朝鮮への植民地支配、中国への侵略戦争と日本国民をさそっていった」(二〇―二三二)歴史は、家を考えていく視点にとつての自戒として考えられるべきであろう。そしてこのような過程はまた、サークル活動においては、サークルの閉鎖的傾向と、そこから生じるサークル内の権力構造の固定化に対する警告ともなるであろう。

六

さて家についての右のような鶴見の視点は、現在のわれわれの認識の再検討を促すとともに、将来的な諸問題を提起している。それらは大きく区分して、(一)親子の関係、(二)夫婦の関係、(三)老人と「老い」の問題である。これらについては、それぞれ独自に考察されるべき課題であり、その詳細な検討は別稿に譲らざるを得ないが、ここではこれらの問題提起の概要をしてみることにする。

(一) 親子の関係

鶴見は、親子の関係では、親の側からの子どもを見る視点の陥穽を述べる。「人間が二人いるんですからとうぜん別の人間ですし、よくわかってるなんてありえないでしょう。相手は一個の神秘なんですよね。そんなふうに考えれば、毎日新しい人に出会う。それは、実はそのものなんです」^⑧。

「観念でね、この人間はよく知ってるって観念をつくっちゃうから、同じ人間に会うんです。夫婦の場合はだんだんにわかってきちゃうと思うんだけど、もつとおそろしいのは子どもと親の関係ですね。子どものことはわかってる」と親が思う、その落とし穴からどうしたら逃れられるか(K―一八)。

そして親が、子どもについて何でもわかってるという思い込み(親の死角)〔同〕の自覚と親の側からの抑制(親の子離れ)を指摘する。

「親はたえず理想としてそれを考えてないと思えますね。わたしの場合はけしからん戦争のおかげで、早いうちに金銭的に完全に親はなれができた。(略)いまは何々家と何々家の結婚で、親が金出してやって、ホテルで結婚式やっているでしょう。あれでは五十、六十の高齢者になったとき、きわめて寄りかかるタイプの人間になるのではないかとおそろしい気がします」(K―一九六)。

この親子の関係についての問題提起は、少子化かつ高齢化時代の到来という中で重みを持つている。

(二) 夫婦の関係

夫婦の関係について鶴見は、互いの愛情と理解の価値を認めつつも、そこに互いの自由を圧殺する危険を指摘し、それを逆説的に夫婦の間の「すきま風」と名づけて、次のように述べる。

「男と女が肉體関係になっても、セックスは自由へのきっかけになる。しかし、お互いに相手の想像力を規制しようとする、性は自由の場でもなんでもなくなつて、結婚が自由の虐殺の場になつてしまう。家庭は、すきま風がつねに吹いていて、そのすきま風がみごとにフワッと舞いあがる愉快な場じゃなければねえ。／お互いに想像力にまで入って拘束するというのは陰惨だね。そんな家族がコンクリートの建物のなかにいくつもあつて、十何階建てなんかになつていたら、これは収容所列島です。すきま風が一つの条件。もちろん、助け合いがなければ自治は成り立たないんだけど、すきまなしの助け合いなん

ておそろしい」(K-二四一三五)。

ここには、男女の関係、結婚生活について、一つの型にはめられて育ち、束縛されてしまった考え方に対する批判が存在する。鶴見は、日本の社会を含めた近代社会に行き渡っている思想(男性原理、パーフェクティブリティ(完全性))に対して、女性原理、コンプリートネス(補全性)を対置する。

(三) 老人と「老い」の問題について

この問題について鶴見は、かつて日野原重明(聖路加国際病院長)が、病氣についてディジーズ(疾病)——医者が見て判断する病氣」とイルネス(病氣)——患者が自分で苦しみ、感じるものとしてある病氣)を区別したことを受けて、その区別が「老い」においてもあると考える。

「老人問題という場合には、ディジーズに対応するものとして見ている。イルネスにあたるのは老いのなかの老いでしょう。そういう、老人にとつての老人は最後までとらえられることはなかった。ところが人口が大きくなってきて、ことに一九五五年からの高度成長で、老人の暮らしが豊かになってきて、結核と伝染病が押えられる。同時に長寿になって、大きな老人人口が出てくると、マスとしての力が働いてきて、ようやく老いのなかの老いが広く感じられるようになった」(K-三四三—三四四)。

そしてこの「老いのなかの老い」に対するアプローチの必要が、次のように説かれる。

「老いのなかの老いというか、老いのなかに自己投入するというやりかたでの老いの扱われかたが必要だ。(略) いままでは中年の固定したカメラから老人をとらえてきた。医者のえらい人は中年でしょう。医者の老人観には医者のイデオロギー問題がひそんでいる。(略) その固定したカメラを少しずらして、老人のほうから中年を見たらどうなるか。老いにとつての老いへの踏み込みがいま必要だと思うんですね」(K-三四四—三四五)。

ここに見られる老人の主体性の問題の提起は、従来対策の客体としてしか見なされて来なかった老人観の変革を唱えるものであり、注目に値する。

以上のような家族の様々な問題についての鶴見の提起は、今後なお論議されなければならないが、これらの諸問題の背後には、小論の最初で指摘した「私的な根」と、そこからの「つながり」への試みが存在している。このことを鶴見はこう語る。

「一人でもちゃんと暮らせるといのが人間の教養だと思うんですよ。わたし個人の覚悟としては、年老いたら一人で死ぬのが理想なんです。一人で死ぬ訓練をしなければならぬと思うんですね。いくらキルケゴールを読もうが、スピノザに感動しようが、道で一人でドブにはまって死ぬぐらいの覚悟がなければ、教養なんて無意味じゃないですか。キルケゴールもスピノザも一人で死んだ偉大な人だったんですよ」(K-三〇六)。

親、子ども、夫、妻、老人という家族のさまざまな位置と関係は、この「一人」の視点を前提にして初めて本質的に語られ得ることになるのである。

七

以上われわれは、鶴見の家・家族論についての主張を、「私的な根」から「親和力」、「その他の関係」を経て家が形作られる過程、「家の神」を象徴とするそのあり方、家によって形成された二重の態度と国民家族国家との関係等を基軸に考察してきた。そしてその中で、鶴見の提出してきた問題が、現代社会の家族のあり方と変化の兆しをきわめて鋭く突いていることを確認できたと言えよう。鶴見の指摘は多方面に渡っているが故に、その論点は必ずしも整合的ではなく、また現実の変化の方にもむしろ急激な側面が存在するが故に、少々時期外れと思える箇所も見受けられるが、しかしその姿勢においては学ぶべき点は多い。

「脱『家』、脱『国家』ということ、どこからか理想を、抽象的なものをもってきて揺すぶっても、結局、根なし草の思想で、何年間かたてば風化してしまふ。やっぱり、家の重さと国の重さを受け止めて、じりじりとその向きを変えたいというやりかたをとらないと、つよい社会思想も、つよい個人も育たない気がしますね」(K-五〇)。

ここには鶴見の依って立つ日常生活の思想からの運動の方向が指し示されており、この視点から運動を始めて、国家権力からの抑圧に抵抗していくという姿勢は、従来の社会変革の運動にありがちの空中戦的な議論に対する実践的批判であり、今後の運動を粘り強いものにしていく貴重な助言と言えよう。

しかしこの強みはまた、そのまま運動の限界点を示しているのではないかと

いう疑問は残る。すなわち鶴見自身が述べているように、「家の神」の適用される範囲が狭いこと（これはサークル活動の場合にも同様である）、従ってその内部に属する人びとと外部の人びととの間のズレが存在する可能性があることである。これは、運動が拡大していく局面ではとりわけ大きな問題になるであろう。しかし鶴見の視点からはこの解答は出てこないように思われる。この視点に運動の組織論が十分ではないことが惜しまれる。

さらに、個人レベルでの運動について言うならば、日常生活の水面下では変革への志向が強いものであると語られているとしても、その同じ日常生活において、同程度に、あるいはそれ以上に強い保守的傾向（例えば、女性問題研究家の樋口恵子はこの傾向を持つ中年男性を「草の根封建オヤジ」^④と名づけている）との対決、克服をどう行なっていくかは困難な課題である。鶴見の姿勢からする「草の根革新」の意義が問われるところである。

以上のように鶴見の視点には、それ自身に様々な問題が内含されている。しかしかかる諸問題が、またわれわれ自身に跳ね返ってくるというのも、これらの問題の特徴である。それ故その解決もまたわれわれ自身に委ねられている側面を持つ。

註

① 『日常生活の思想』鶴見俊輔集、第一〇巻（筑摩書房、一九九二年）、一四七ページ。

以下本書からの引用は、（一〇一―一四七）等と表記する。

② 鶴見俊輔・浜田晋・春日キスヨ・徳永進『いま家族とは』（岩波書店、一九九九年）、一五ページ。

③ このことを前掲書『いま家族とは』所収の論文（春日『「家族」という関係の困難と希望』）から引用しよう。著者は、「家族という関係こそが、互いの悲しみを分かち合い汲みあえるし、汲みあうべきと強力に信じ込まされている」（同書二一八ページ）状況において、介護を必要とされる者が出たときの家族相互の感情を次のように述べる。

「生活を共にする間柄であるから、言葉にしないでも、暮らしそのもの

中から、事実、互いの気持を推しはかることが出来る面もある。そうしたとき、介護される側が自分の苦境を強く訴え続けることは『解ってる』ものとして処理されてしまい、共感や受容どころか、むしろ関係を悪化させていく面を持っている。したがって、家族という関係は気持ちをつら合うものだという思いが強ければ強いほど、それぞれがそれぞれの立場で感じてしまつたらさや悲しみを相手に訴えれば訴えるほど、世話を与える側は、それを相手の『わがまま』『甘え』と見なし、世話される側は一方の『つれなさ』『冷たさ』と受け止めて、ただでさえつらいのに家族という関係の中で、さらに不幸が増幅されていくことも多いのである」（同）

④ なおこれに続けて鶴見は、統計的規範的家族観に対して痛烈な批判を浴びせる。

「統計として考えてみても、あらゆる家がそれぞれ、行きつく果てには、夫婦のどちらかが死んで欠損家庭になるのだ。欠損家庭を守る道筋ができては、統計上の多数派にとつても家を大切にすることにほならない」（一〇二―一〇三）。

⑤ 鶴見俊輔「憲法改定をどう考えるか」、『中央公論』、一九九九年五月号、三八ページ。

⑥ 同、三七ページ。

⑦ 『方法としてのアナキズム』鶴見俊輔集第九巻（筑摩書房、一九九二年）、四〇七ページ。

⑧ 鶴見俊輔座談『家族とは何だろうか』（晶文社、一九九六年）、一七―一八ページ。

以下本書からの引用は、（K―一七―一八）等と表記する。

⑨ 樋口恵子編『対談・家族探究』（中央法規、一九九九年）、一五ページ。なお同書には、この語について次のような説明がある。

「封建的価値観を持って、広く強く社会に根のように張っているオヤジたちのつながりの総称・またはその当人のこと。ほとんど政財官の癒着でなる『鉄の三角同盟』と重なり合う。」

夏目漱石『吾輩は猫である』論

A Consideration on Natsume Soseki's *Wagahai wa neko de aru*
(*I am a cat*)

Mitsuhiro TAKEDA

武田 充啓

はじめに

『吾輩は猫である』(以下、『猫』と略記する)は明治三十八年一月の『ホトトギス』に第一回が発表されたのち断続的に書き継がれ同三十九年八月第十一回をもって完結する。この間『猫』を書き継ぎながら漱石は何と向き合っていたのだろうか。

漱石は早くにスターンの小説『トリストラム、シャンデー』伝及び其意見をとり上げ、『シャンデー』は如何、単に主人公なきのみにあらず、又結構なし、無始無終なり、尾か頭か心元なき事海鼠の如し」と書いていた^①。

「吾輩は猫である」は雑誌ホト、ギスに連載した続き物である。固より纏った話の筋を読ませる普通の小説ではないから、どこで切つて一冊としよう少し書いた上だと思つて居たが、書肆が頻りに催促をするのと、多忙で意の如く稿を續ぐ暇がないので、差し当たり是丈を出版する事にした。(中略)此書は趣向もなく、構造もなく、尾頭の心元なき海鼠の様な文章であるから、たとひ此一巻で消えてなくなつた所で一向差し支へはない。又実際消えてなくなるかも知れん。然し将来忙中に閑を偷んで硯の塵を吹く機会があれば再び稿を續ぐ積である。猫が生きて居る間は——猫が丈夫で居る間は——猫が気が向くときは——余も亦筆を執らねばならぬ。(『吾輩は猫である』上篇(一)五をおさめる——引用者註) 自序^②

すでに数回分を書き継いだ時点で漱石は『猫』が「続き物」であり、しかし「筋を読ませる普通の小説ではないから、どこで切つて一冊としても」よい作品であると書いている。「海鼠」のような文章だから「消えてなくなつた所で一向差し支へはない」などの言葉からは自作に対する淡泊な姿勢がうかがえるが、注意したいのはそうした余裕や諦念ではなく「再び稿を續ぐ積」「亦筆を執らねばならぬ」という漱石の意欲や衝動のほうである。そのとき漱石の頭には、やはり断続的に書き継がれながら未完のままに終わった『シャンデー』があつたことは疑いがない。

彼自ら公言すらく、われ何の為に之を書するか、須らく之を吾等に問へ、われ筆を使ふにあらず、筆われを使ふなりと、瑣談小話筆に任せて描出し来れども、屢々相依り前後相属するの外、一毫の伏線なく照応なし、篇中二三主眼の人物に至つては、固より指摘したがらず、(中略)些の統一なき事、恰も越人と秦人が隣り合せて世帯を持ちたるが如く、風する牛馬も相及ばざるの勢なり、嘗て聞く往時西洋にて道化を職業として、大名豪族の御伽に出るものは、色々の小片を継ぎ合せたる衣裳を着けたるが例なりとか、「シヤンデー」は此道化者の服装にして、道化者自身は「スターン」なるべし(「トリストラム、シヤンデー」^③)

これはほとんど「猫」の評である。「猫」は「シヤンデー」に似て「纏つた話の筋」「趣向」「構造」をもたない「海鼠」のような作品である。「猫が生きて居る間は」「猫が気が向くときは」という書き方は「われ筆を使ふにあらず、筆われを使ふなり」という書き方と同様書く主体というものが希薄なままの書きぶりであり、しかも「尾か頭か心元なき」形で断続的に作品を書き継ぎながら、それでもしっかりとあり続けた漱石の書くことへの衝動というものは、ではいったい何に向き合つていたのであろうか。

第十一回の完結まで「結構なし」で書き継がれた「猫」の各篇に共通する主題を見つけるのは難しいし中心となる登場人物も誰彼と入れ替わつてはいるものの、饒舌そのものを楽しむ言葉の戯れについては全篇を通じて明らかである。そのような「猫」のありさまを、右に引いた漱石自身の言葉をもじつていえば「道化は色々な小片をつなぎ合わせた衣裳を身に着けている。猫をはじめとする主人公たちはその道化の服装であり、道化者自身は漱石である」ということになるだろう。そしてその道化者は道化ながらひたすら「無意味」と向き合つていたのではなかったか。

漱石はほとんど「無意味」と思える世界に対してそれ以上に確実に「無意味」な言葉で戯れてみせることによつて、かろうじて世界の「無意味」さに耐ええたいように思われる。もちろんそのような戯れがほとんど「狂気」と隣り合わせのものであったことは従来からも多く指摘されてきた。しかし私が「猫」に見たいのは「笑い」に執着することで世界の「無意味」さから逃れようとする作

者の姿ではなく、「狂気」に近づき「孤立」に踏みとどまることで浮かび上がつてくる様々な問題を問い直しつつ、そうした問題を身をもって生きようとする漱石の姿である。のちにくわしく見るように漱石はそこでは死者に向けて語るざるを得ないところまで追い込まれているのである。

もちろん「シヤンデー」の大きな違いである「名前」の問題もある。「猫」では猫の「無名性」ばかりではなく、登場人物たちによる「命名」の振る舞いもまた重要な問題と絡み合っている。猫は自身の予告どおり「名前」のないままに死んでいる。「名前はまだつけてくれない」という当初の不平は次第に調子を弱めていったようにも見えるが、名無しの猫に不満がなかったわけではなからう。少なくとも作者はその不満を知っている。しかし作者は猫の欲望を煽るようなことはしなかったし、最後まであえて猫に名前を与えなかったのである。それはなぜか。おそらく、この猫には名前がないことがふさわしいと見なされたからである。その理由についても考えてみなければならぬが、少し回り道をする。

以下、小論では「名前」の問題を「狂気」や「死」の問題と絡めながら、「猫」が問い直そうとしている「自由」と「倫理」の問題について考えてみたい。

一 余儀なくされた「冷淡」あるいは「社会」への一歩

越智治雄は「社会に帰属しない。自由」こそが猫の無名性の意味するところだと書いていた。「社会的存在であるかぎり、人は世間、すなわち外的な、他者に見られる自己と、暗室、すなわち内部の自己との分裂を避けられぬことは明瞭だろう。これに反して猫は文字どおり自然なので」^④。

「然しながら猫といへども社会的動物である」。或る程度までは社会と調和して行かねばならぬ(五)。もちろん越智氏はこの猫に生活者漱石の実感が紛れ込み、その「自由」や「自然」に制限が加わることも指摘し忘れてはいない。「頭を以て活動すべき天命を受けてこの娑婆に出現した程の古今来の猫」(五)であっても「猫鍋」にされたくなければ捕ったこともない鼠でも捕つて見せねばならない。そういう現実がある。

猫の「自由」や「自然」がおかれた現実とは、たとえば次のような場面に明らか

かである。

鳴かせる為めなら、為めと早く云へば二返も三返も余計な手数はしなくても済むし、吾輩も一度で放免になる事を二度も三度も繰り返へされる必要はないのだ。只打つてみると云ふ命令は、打つ事それ自身を目的とする場合の外に用ふべきものでない。打つのは向ふの事、鳴くのは此方の事だ。鳴く事を始めから予期して懸つて、只打つと云ふ命令のうちに、此方の随意たるべき鳴く事さへ含まつて居る様子を考へるのは失敬千万だ。他人の人格を重んぜんと云ふものだ。猫を馬鹿にして居る。(中略)打てば必ずさなければならんと云ふものと吾輩は迷惑である。目白の時の鐘と同一に見做されては猫と生れた甲斐がない。先づ腹の中でこれだけ主人を凹まして置いて、しかる後にやーと注文通り鳴いてやつた。(七)

「鳴いてやつた」と心の内で叫んで見せても外からは鳴かされておるとしか見えない。猫はここで「外的な、他者に見られる自己と、暗室、すなわち内部の自己との分裂」を演じているのであって、彼は「腹の中で」不平を言うしかない。「三毛子は死ぬ、黒は相手にならず」という状況の中で「どこまでも人間になり済まして居る」(三)猫は次第に心の内だけで話すようになり、その「言葉」を外に出すことがなくなっていく。猫の心がどれほど自由であり、その振る舞いがどれほど自然であつたとしても、彼の「自由」や「自然」はその分裂した世界のどちらかの片側にしかないのである。

猫は人間同様の「分裂」を抱えながら、それを他の猫にも人間にも伝えることができないでいる(三)。その意味で猫は「社会に帰属」できない「不自由」な存在である。「権力の目を掠めて我理を貫く」(四)の「力」がやつとであり「力づくでは到底人間には叶はない」(四)存在なのである。「力」を前にしてその「自由」や「自然」が制約され「孤立」を余儀なくされている猫の現実、人間たちが生きる現実をそのまま映し出しているのである。

では人間は「力」に対してどう振る舞うのだろうか。たとえば苦沙弥は「頑固」や「喧嘩」で立ち向かおうとしていた。

それに対して実業家鈴木藤十郎は「どうしても金のあるものに、たてを突いちや損だ」「多勢に無勢どうせ、叶はない」「頑固もい、が」「と」のつまりが

骨折り損の草臥儲けだ」と説き(八)、哲学者八木独仙は「もし積極的に出るとすれば金の問題になる。多勢に無勢の問題になる」「君の様な貧乏人でしかもたつた一人で積極的に喧嘩をしゃうと云ふのが抑も君の不平の種さ」と諭す(八)。

鈴木は「損」をしないことに重点を置き、独仙は「安心」を得ることを主眼としているが、それらがいずれも消極的な立場であることには違いない。「無事に切り抜ける」ために「自覚心」(十二)を鋭くしたり、「安心」のために努力して「自己」を離れる修養をするなどというやり方は猫に理解されるはずがない。

人間の心理程解し難いものはない。此主人の今の心は怒つて居るのか、浮かれて居るのか、又は哲人の遺書に一道の慰安を求めつ、あるのか、ちつとも分らない。世の中を冷笑して居るのか、世の中へ交りたいのか、くだらぬ事に肝癪を起して居るのか、物外に超然として居るのかか薩張り見当が付かぬ。(二)

人間が自己を「分裂」させていることを見抜けるのは、猫もまた自ら「分裂」を知るからである。しかし今は「慰安」「冷笑」「癩癩」といった内面の問題はしばらく措いて、「世の中へ交りたい」というときの外への方向に「力」への対抗の可能性が見えない点について問題にしたい。

鈴木と独仙に共通しているのは、「世間」や「力」に向かい合うのは、いつでも「たつた一人」でしかないという前提である。だから二人とも口をそろえて「多勢に無勢」というのである。もちろんこの条件を共有しているのは二人だけではない。「気の毒だの、可哀相だのと云ふ私情は」「口にすべき所ではない」(四)と自戒していた下宿時代の若い迷亭の「不人情」は今も変わらない。むしろ「非人情」とでもいふべきその「冷淡」は「猫」の誰もが共有している姿勢なのである。

自分が監督するクラスの生徒を相手に「人間の本来の性質」である「冷淡」を隠さない苦沙弥を「善人」で「正直」だと猫は評価しているのだが(十)、それをアイロニーや作者の自嘲として受け取るべきだろうか。自分の「自由」を生き延びさせるためには、したがって他者の「自由」を尊重するためにはど

うしても「冷淡」でいるしかない。そうした「冷淡」をこそ近代を生きる人間の「自然」と認め「社会」はそこから始める以外にないという認識が示されているのだと考えたい。

「猫」の登場人物たちはそれぞれ見事に「冷淡」である。彼らは当たり前のようにその一人ひとりが「孤立」している。それは近代を生きるうえでほとんど余儀なくされたいわば方法としての「冷淡」である。しかしそのときに世界を生きる人間たちに「冷淡」から互いの方へと歩み寄る一步を踏み出させるものが、共有できる何ものかがない。これが「猫」の「世間」が変わらない理由であり、「社会」へと変えられない原因である。

銀行家杯は毎日本人の金をあつかひつけて居るうちに人の金が、自分の金の様に見えてくるさうだ。役人は人民の召使である。用事を弁じさせる為めに、ある権限を委託した代理人の様なものだ。ところが委任された権力を笠に着て毎日事務を処理して居ると、これは自分が所有している権力で、人民杯は之に就て何等の喙を容る、理由がないものだ杯と狂つてくる。

(十)

作者は人間一人ひとりの「泥棒根性」(十)を叩き直せといいたいのではない。外に向けて、社会に向けて「力」の問題を解決する出口を求めようとして藻掻いているのである。それは文明に対するたんなる呪詛にとどまるものではない。

「世間」は自ずと変わるものではあつても、意図して変えることは難しいものであるのかもしれない。しかしそれでもここには、「世間」にある「力」(の使い方や「力」と「力」のぶつかり合い)の問題を「泥棒根性」といった個々の「心」の内面の問題としてではなく、「社会」の問題としてとらえようとする認識の萌芽がある。そのことをひとまずは強調しておきたい^⑤。

しかし実際には「猫」は「社会」を変えていくことで自己の「分裂」を回避しようとするような「外」の方向への可能性を追求することはなかった。では「内/心」の方向に「力」に立ち向かうような可能性が探られたのだろうか。

二 可能性としての馬鹿竹あるいは狂気への誘い

「どうかしてイワンの様な大馬鹿に逢つてみたいと存候。／出来るならば一日でもなつてみたいと存候。(中略) イワンの教訓は西洋的にあらず寧ろ東洋的と存候」。この内田魯庵宛て漱石書簡(明治三十九年一月五日)を引いたうえで、小宮豊隆は(この「馬鹿竹の話」は、恐らくトルストイの「イワンの馬鹿」から来たものに相違ない)と述べている^⑥。

「馬鹿竹の話」は、辻の真ん中にある石地蔵を動かそうとして人々が「策」を弄し様々な「力」に頼つて何度も試みるが地蔵は動かず、馬鹿竹が「動いてやんなさい」と頼むと「そんなら早くさう云へばい、のに」と動き出したというものである(十)。独仙が講演の中で紹介したとされるこの挿話は作者の理想の一方を指し示している。

「食ひたければ食ひ、寐たければ寐る、怒るときは一生懸命に怒り、泣くときは絶体絶命に泣く」(二)。これができれば馬鹿竹になれる。しかしこれは猫にさえ実行困難な理想であった。猫にも自己分裂と自由の制約があつたことは先に見たとおりである。馬鹿竹には思いと行いにずれがなかつた。「内」なる欲望(食い、寝る)を遠慮なしに肯定し、それがそのまま「外」に向けた表現や行動(怒り、泣く)につながっている。他者との連帯までが確実に保証されるわけではないが、少なくとも自己分裂は回避できる。この理想猫的「自由」、馬鹿竹的「自然」に近づけば近づくほど人間にも分裂回避の可能性が出てくると考えられているのである。

その点で苦沙弥はもつとも馬鹿竹に近い人物である。猫がいうように「主人は野暮の極、間抜けの骨頂」(七)であり、「赤裸々を以て誇る主人」(六)は「正直」の人なのである。そしてその性質は「名前」に対する態度にも現れていた。苦沙弥は「名前」に頓着しない人なのである。

名無しの猫が「名前」にこだわりをもつのは当然だが、その猫が「贅沢もこの位出来れば」とうらやましがるのは「小説中の人間の名前をつけるに一日巴理を探険」するバルザックの話である(二二)。しかしその話を自分には一向名前をつけてくれない主人の苦沙弥から聞くというところが皮肉であるが、迷亭が「何か大著述でもして家名を揚げなくては」「明治の文壇に迷亭先生あるを

知らしめたい」というのは冗談としても、母親からの手紙の中に「小学校時代の朋友で今度の戦争に出て死んだり負傷したもの、名前が列挙してある」「その名前を一々読んだ時には何だか世の中が味気なくなつて人間もつまらないと云ふ気が起つた」というのはあながち誇張でもあるまい(二)。川底から自分の「名前」を呼ぶ声を聞く体験をした水島寒月(二)も「自分の名前の講釈」をし「姓名が韻を踏んでいると云ふのが得意」な越智東風(二)も「名目読み」を持ち出して「他人の姓名を取り違えるのは失礼だ」と叱る迷亭の伯父(九)も「金田の妻ですと名乗つて、急に取扱いの変らない場合はない」と信じている金田夫人(三)も「金田の奥さんが迷亭さんに叮嚀になつたのは、伯父さんの名前を聞いてからですよ」と指摘する苦沙弥の妻(三)も皆誰も彼もが「名前」を意識し「名前」に決して鈍感ではないのである。

その中であつて苦沙弥はひとり異質な存在である。彼は「近所で後架先生と渾名をつけられて」も「一向平気」(一)で、「標札はあるときと、ないとき」があり、それも「名刺を御饌粒で門へ貼り付ける」程度のものであり(三)、名刺を持つて訪ねてきた「鈴木藤十郎君の名前は臭い所へ無期徒刑に処せられ」ている(四)。苦沙弥は自分の名前も人の名前も実物以上にありがたがることのない人物なのである。それを猫は「猪口才でないところが上等」だといつて評価し、「世間」では「偏屈」「頑固」「変人」と呼ぶのである。

別の一面もある。苦沙弥は「大和魂」を「名前の示す如く魂である。魂であるから常にふらふらして居る」「誰も聞いた事はあるが、誰も遇つた者がない。大和魂はそれ天狗の類か」と茶化してしまえる人間でもある(五六)。見落とせないのは「不思議な事に迷亭はこの名文に対して、いつもの様にあまり駄弁を振はなかつた」とされていることである。ここでの苦沙弥はその「真面目」を徹底することで「滑稽」にまで到達しており、「出鱈目」迷亭のお株を奪つてその「自在」を体現しているのである。

しかしそれでも苦沙弥は本物の馬鹿竹ではない。「娑婆気もあり欲気もある」「俗骨」(二)である。この中途半端な馬鹿竹的「自然」に対して「世間」や「力」はどう振る舞うか。いじめてからかうのである。

苦沙弥に対して「自分の勢力が示」せない金田は自分の「金力」が「力」であることを信じたがために「車夫、馬丁、無頼漢、ごろつき書生、日雇婆、産婆、妖婆、按摩、頓馬に至るまでを使用して」「うちの旦那の名を知らない」

教師、「力」のない苦沙弥をからかう。苦沙弥は「名前」に執着せず「小刀細工」をしないということによって「働きのない」者とされ、「名前」に頓着せず「魂胆」をもたないということによっていじめられるのである。

吾輩の考では奥山の猿と、学校の教師がからかふには一番手頃である。学校の教師を以て、奥山の猿に比較しては勿体ない。——猿に対して勿体ないのではない、教師に対して勿体ないのである。然しよく似て居るから仕方がない、御承知の通り奥山の猿は鎖で繋がれて居る。いくら歯をむき出して居ても、きやつ／＼騒いでも引き搔かれる気遣はない。教師は鎖で繋がれて居らない代りに月給で縛られて居る。いくらからかつたつて大丈夫、辞職して生徒をぶんなぐる事はない。辞職をする勇氣のある様なものなら最初から教師杯をして生徒の御守りは勤めない筈である。主人は教師である。(八)

猫はあまりに作者に近づきすぎていて、ここでは幾分自嘲気味の生活者漱石が顔をのぞかせている。

「名前」には「淡泊」な苦沙弥だが、「力」による「自由」の制限に対しては律儀に「大戦争」をし「逆上」と「癩癩」を繰り返す(八)。そうして少しずつ彼は「狂気」へと追いやられていく。作者は苦沙弥の人間の弱点をも描いてはいるが、明らかに彼が「外」からの力によつて精神を不安定にさせられ自己分裂を強いられていくさまを強調している。苦沙弥が馬鹿竹になれないのは彼自身の内面的な弱点のせいもあるが、やはり「世間」や「力」によるところが大きいといいたいのである。

吾の人を人と思うとき、他の吾を吾と思わぬ時、不平家は発作的に天降る。この発作的活動を名づけて革命という。革命は不平家の所為にあらず。権貴栄達の士が好んで産する所なり。(九)

この天道公平の書面にある言葉は、苦沙弥自身のものであろう。しかし「外」と「社会」へと繋がっていくみちすが見えないう以上「革命」とは彼自身の発狂以外のものではありえないのである。

三 動きかけた石地蔵あるいは狂気から苦沙弥を救うもの

〔馬鹿竹だけが「正直」で論理による関係を成立させようという寓話は金田の娘富子を激昂させたように「小刀細工」を捨てることのできぬ人間へのみことな鏡になっていることは確かだが、「馬鹿竹になつて下さい」という言葉に反して、苦沙弥も雪江もついに馬鹿竹にはなりえないだろう。時代が「Self-conscious」を必死としているからである〕^⑦。越智治雄がいうように苦沙弥は馬鹿竹ではありえない。では彼は石地蔵ではありえただろうか。前田愛は書いている。

〔町の人々と石地蔵の構図は、直接には寒月の結婚問題をめぐってこじれたした金田家対苦沙弥家の確執にうつしてみることが出来る。金力を動員したあの手の手の迫害に屈しない苦沙弥の頑固さには、たしかに石の地蔵のおもむきがある〕^⑧。

しかし私がここで「苦沙弥〓石地蔵」を問題にしたいのは金田に対して苦沙弥の「頑固」が貫かれたかどうかではない。苦沙弥が一人の馬鹿竹を得てその「牡蠣の生涯」(二)を自ら破ることができたかどうかという点である。

〔猫〕に苦沙弥を動かしようとする人間は見あたりそうにないが、天道公平はいちばん馬鹿竹に近いところにいたのではなかったか。猫が「日記」をつけないように馬鹿竹は「馬鹿竹の話」をしない。「馬鹿竹の話」をする独仙は馬鹿竹ではない。独仙の「話」は雪江をはじめとする他の人々の「話」を生み出すだろうがそれだけである。その点で天道公平は師の八木独仙を超えている。独仙には「婦人」を啓蒙しようという「魂胆」があつたが公平にそんなものはない。「小刀細工」を離れた彼の実践は馬鹿竹の行為に匹敵する。

地蔵に直接声をかけてみると動いたということは、その「魂胆」のない直接性が、あり得ないコミュニケーションを偶然成り立たせる可能性があるということを意味しており、それは天道公平の手紙を読んだ／誤読した苦沙弥との間に確かに起こったことなのである。その意味では地蔵は実際に動きかけたのである。それは「狂気」であつたかも知れないが、また別のかたちで苦沙弥の「牡蠣的」人生を一変させる「革命」であつたかも知れないのである。

しかしその「革命」を阻止しようとする力が「世間」の側にも苦沙弥自身の

中にも存在するのである。牡蠣はいったん口を開けそうになつたのにまた口を閉じた。苦沙弥にも「娑婆氣」があり自己保身がある。そしてその「欲気」につけ入って日常に引き戻しているのが他ならぬ迷亭その人であるのは皮肉なことである。迷亭は天道公平が立町老梅であり、老梅が「狂人」であることを苦沙弥に教える。苦沙弥は「狂人の作にこれ程感服する以上は自分も多少神経に異状がありはせぬかとの疑念」(九)に苦しむことになる。迷亭はそのことで苦沙弥を「狂気」から救つたことになるのであろうか。むしろ苦沙弥を自覚心の迷路へ「Self-conscious」の無間地獄へと誘つてしまつたのではなかったか。迷亭はたしかに相対化の達人である。しかしこの場合には彼の振る舞いは「世間」の人のそれと変わらないものとなっている。それにそもそも迷亭は自らいうように「僕と老梅とはそんなに差異はない」(六)のかもしれないのである。苦沙弥は自分が「気狂」になる恐怖におびえるのではなく「気狂」である心配をしなければならぬのである。

では苦沙弥を「狂気」から救っているものは何であろうか。苦沙弥は細君に猫を撲たせて「今鳴いた、にやあと云ふ声は感投詞か、副詞か何だか知つてるか」と唐突に聞いている。そして夫婦のかみ合わない会話は次のような会話へと続いていく。

「道楽もい、さ。桂月が勧めなくつても金さへあればやるかも知れない」
「なくつて仕合せだわ。今から道楽なんぞ始められちやあ大変ですよ」
「大変だと云ふならよしてやるから、其の代りもう少し夫を大事にして、さうして晩に、もつと御馳走を食はせる」(七)

要するに苦沙弥は、たとえ「金」がなくてもいまま少しの「御馳走」は可能であろう、といたいのである。「猫」においては狂気は食べ物と大いに関係している。それは天道公平すなわち立町老梅の手紙や彼の「瘋癲院」収容の経緯からもわかる。

「僕のうち杯へ来て君あの松の木へカツレッツが飛んできやしませんかの、僕の国では蒲鉾が板へ乗つて泳いで居ますのつて、頻りに警句を吐いたものさ。只吐いて居るうちはよかつたが君表のどぶへ金とんを堀りに行きま

せうと促がすに至つては僕も降参したね。それから二三日すると遂に豚仙になつて巢鴨へ収容されて仕舞つた。」(九)

迷亭が「氣狂」にならずにすんでいるのは彼が「食ひ意地」を張らずにすむ程度には「御馳走」を食べているからかもしれない。そのことは彼が金銭的な不自由がないということの意味するが、食べ物「金」以上に大きな「意味」をもつこともある。私たちはここでやはり「食ひ意地」の張つた若者を主人公にした「坊ちゃん」を思い起してもよい。彼が食べ物からかわれてどれだけ腹を立てていたか。赤シャツたちに生卵を投げつけて「坊ちゃん」は「教師」をやめるのだが、その生卵が松山下宿生活する「坊ちゃん」にとつてどれほど「御馳走」であつたことか^⑨。

「食ひたければ食ひ、寐たければ寐る」。この内なる欲望と外なる行動は「分裂」しているのが「世間」の「普通」である。老梅の例が示しているのは、これを無理やり一致させようとすることが「狂氣」と結びつくということである。迷亭は自分のために注文したそばを苦沙弥の家に前送させて食べる男である。これが無理なくできていたために迷亭は「狂人」の手前にとどまっている。経済的にも健康的にも迷亭ほど「御馳走」には縁のない苦沙弥だが、彼もまたなんとか「寝たいときに寝る」ことだけはできているのであろう。猫は「よく昼寝をして」「こんなに寝て居て」といい(一)、迷亭は「午睡も支那人の詩に出てくると風流だが、苦沙弥君の様に日課としてやるのは少々俗氣がありますね」と揶揄して見せる。しかしどんなに笑われようが苦沙弥は眠ることで、すなわち「毎日少しずつ死ぬ」(六)ことができるおかげで何とか「狂氣」から遠ざかつていられるのである。

四 自覚心とユーモアあるいは死者との語り

近代を生きる人間は馬鹿竹にもなれないし石地蔵でもいられない。それは「世間」や「力」のせいであり、また「個人の自覚心の強過ぎるのが原因」である。

自覚心と云ふのは自己と他人の間に截然たる利害の鴻溝があると云ふ事

を知り過ぎて居ると云ふ事だ。さうしてこの自覚心なるものは文明が進むに従つて一日一日と鋭敏になつて行くから、仕舞には一挙手一投足も自然天然とは出来ない様になる。(十一)

「凡て人間の研究と云ふものは自己を研究するのである」(九)。では鏡を覗き込んで「自己」を研究すれば「自覚心」から自由になれるのだろうか。

其中で多少理窟がわかつて、分別のある奴は却つて邪魔になるから、瘋癲院といふものを作つて、こゝへ押し込めて出られない様にするのではなにかしらん。すると瘋癲院に幽閉されて居るものは普通の人で、院外にあれば居るものは却つて氣狂である。氣狂も孤立して居る間はどこ迄も氣狂にされて仕舞ふが、団体となつて勢力が出ると、健全の人間になつて仕舞ふのかも知れない。(九)

苦沙弥が鏡を覗きながら考えているのは「名前」と「所有」の問題である。彼は「命名」と「支配」について考えざるを得ない。自分で自分に命名すること。この自分を自分だけで所有しようとする行為はそのまま「狂氣」と結びついていた。立町老梅は自分で自分の名前に飽きて天道公平と号していたのである。他者という契機をもたなければ、自己言及的「自覚心」のために人はいずれ「狂氣」に陥つてしまう。しかし「勢力」のある他者に名指されたなら自分は自分を命名した他者に支配され、世界は世界を命名した「勢力」の所有となつてしまふのではないか。

ではどうするか。「金力」や「威力」といった力によつて名指されたものを無理やり押しつけられ共有させられる形ではなく、「分別」理」による「公平」な「名前」言葉」の共有の可能性を探れないだろうか。他者との連帯の可能性が出てくるような「名前」言葉」はどこにあるのか。それによつてはじめて社会は「私たち」の社会となり、私たち自身の手で変えていくことのできる「社会」となる、そのような「名前」言葉」を生み出すことはできないか。あるいはコミュニケーションの断絶のなかで一人ひとりが自らを名指して狂氣においやられるか、続くかぎりの饒舌で自らを浮遊させながら死を引き延ばす以外にない日常を絶望の淵の一步手前で踏みとどまり醜くて美しい「世の中」や卑し

くて尊い「人間」どもを高らかに笑いとばす一瞬の夢を見ようとするか。しかし「猫」はそのどちらにも成功していない。

苦沙弥は若くして死んだ友人曾呂崎に天然居士という名をつけて自慢していた(三)。彼が「命名」を許されるのは死者に対してだけである。しかもその名は迷亭とさえ共有できないくらいに流通性をもたない名前である。しかも迷亭はいう。「実を云うと苦沙弥の方が汁粉の数を余計食つてから曾呂崎より先へ死んで宜い訳なんだ」(四)。迷亭は曾呂崎と苦沙弥が別の命を生きる一人ひとりの人間としてではなく、取り替え可能な「名前」にすぎないものとして扱うのである。

「義理をかく、人情をかく、恥をかく」の「三角主義」(五)を標榜し「一個の活動紙幣」(四)として生きる金田のようなものが名付け使用する「名前」言葉だけが「団体」に通用する。「引力と云ふ名を持つて居る巨人」や「鼻子」は決して流通しない「名前」言葉なのである。金田が通用させるのは前田愛がいうように「人間関係のさまざまな局面を金銭がつくりだす抽象的な関係に置換」することによって流通性を獲得した「名前」言葉^⑩である。苦沙弥たちが臥龍窟で繰り返しているのは表層をひたすら滑り飛び移っていくことによつて意味から逃れていく言葉であり、それは意味から逃げられはしてもそのものが確かな意味を持つこともまたないような「名前」言葉でしかない。つまりほとんど「無意味」なのである。そして「吾輩は猫である」の笑いはついに、余儀なくされた「多勢に無勢」さえ共に呪うこともできない、その「無意味」を共有するほかに何らつながるものを持たない孤立した面々の孤立した笑いでしかなかった。

それならば誰にも共通であり必然である「死」が苦沙弥の頭に浮かんできたとしても不思議ではない。

「死ぬ事は苦しい。然し死ぬ事が出来なければ猶苦しい。神経衰弱の国民には生きて居る事が死よりも甚だしき苦痛である。従つて死を苦にする。死ぬのが厭だから苦にするのではない。どうして死ぬのが一番よからうと心配するのである。只大抵のものは智慧が足りないから自然のままに放棄して置くうちに、世間がいじめ殺されて満足するものではない。必ずや死に方に付

いて種々考究の結果、斬新な名案を呈出するに違ない。だからして世界向後の趨勢は自殺者が増加して、その自殺者が皆独創的な方法を以てこの世を去るに違ない」(十一)

これを承けた迷亭は苦沙弥を「一刻も早く殺して進めるのが諸君の義務」とまで茶化するのであるが、ここにあるのはおそらく自殺願望ではなく、むしろ死のほうに向かうからやつて来てくれる偶然を期待している作者の心である。しかし苦沙弥は死ぬわけにはいかない。「どうして死ぬのが一番よからう」という問題につかまつているからである。彼の「生きてるのはいやだ」と「死ぬのは猶いやだ」という言葉の間には、生き続けてしまう生物としての人間の弱さを認めたくないという気持ちと同時に何かに対する強い意地のようなものを感じる。

漱石は「実ハ僕ハ生キテキルノガ苦シイノダ」と書いた生前の子規の手紙を引いて次のように書いている。

余は此手紙を見る度に何だか故人に対して済まぬ事をしたやうな気がする。書きたいことは多いが苦しいから許してくれ玉へとある文句は露伴りのない所だが、書きたい事は書きたいが、忙しいから許してくれ玉へと云ふ余の返事には少々の遁辞が這入つて居る。憐れなる子規は余が通信を待ち暮らしたつ、待ち暮らした甲斐もなく呼吸を引き取つたのである。／＼子規はにくい男である。嘗て墨汁一滴か何かの中に、独乙では姉崎や、藤代が独乙語で演説をして大喝采を博してゐるのに漱石は倫敦の片田舎の下宿に燻つて、婆さんからいぢめられてゐると云ふ様な事を書いた。こんな事を書くときは、にくい男だが、書きたいことは多いが、苦しいから許してくれ玉へ杯と云はれると気の毒で堪らない。余は子規に対して此気の毒を晴らさないうちに、とう／＼彼を殺して仕舞つた。(中略) 子規は死ぬ時に糸瓜の句を詠んで死んだ男である。だから世人は子規の忌日を糸瓜忌と称へ、子規自身のことを糸瓜仏となづけて居る。余が十余年前子規と共に俳句を作つた時に／＼長けれど何の糸瓜とさがりけり／＼と云ふ句をふらふらと得た事がある。糸瓜に縁があるから「猫」と共に併せて地下に捧げる。／＼どつしりと尻を据えたる南瓜かな／＼と云ふ句も其頃作つたやうだ。同じく瓜と

云ふ字のつく所を以て見ると南瓜も糸瓜も親類の間柄だらう。親類付合のある南瓜の句を糸瓜に奉納するのに別段の不思議もない筈だ。そこで序ながら此句も霊前に献上する事にした。子規は今どこにどうして居るか知らない。恐らくは据ゑるべき尻がないので落付をとる機械に窮してゐるだらう。余は未だに尻を持つて居る。どうせ持つてゐるものだから、先づどつしりと、おろして、さう人の思はく通り急には動かない積りである。然し子規は又例の如く尻持たぬわが身につまされて、遠くから余の事を心配するといけないから、亡友に安心をさせる為一言断つて置く。(『吾輩は猫である』中篇自序)^⑩

死というものが怖いのではないと苦沙弥はいう。だが「生きてるのはいや」「死ぬのは猶いや」という「死」に対する微妙な距離を伸ばすことも縮めることもできずに彼らは長々とした無意味なお喋りに興じる以外にない。苦沙弥は一編の『猫』を書き上げていない。作者は『猫』を書き得た。しかし『猫』が好評を博し作者の「言葉」が流通したからといって、それは漱石がひとり抱える「名前」言葉が誰かに共有され通用したということにはならないだらう。それがこの自序に現れているように私は思う。作者は仲間に向けて書いたのかも知れない^⑪が、漱石は死者たちに向かつて書いたのである。

『猫』を子規の霊前に献上し「往日の気の毒を五年後の今日に晴さうと」する漱石に「死」を厭う気持ちはない。それまで無為に生きてきたことに対する後ろめたさは『猫』を書くことで幾分か和らいだかもしれない。しかし自分が生き残っていることの言い訳ができたから子規の手紙までを引用したというのではないだらう。むしろ生き続けてしまう自分の弱さを素直に認めることができたからこそこれを書きえたのだと思う。第二回目で降死を引き延ばされてきた猫も決して自殺はしなかった。猫は偶然に助けられて死ぬ、すなわち「太平を得る」のである。この頼れない偶然に頼らざるをえないところが人間の弱さであろう。しかしその弱さに気づきその弱さを認めていくところからしか本当の笑い、ユーモアは生まれてこないのではないか。

おわりに

前田愛は「猫は「私は誰か?」という問いかけを自らに投げかけようとしな。また投げかけることを阻まれている純粹で抽象的な語り手」であると、(『猫自身は、甕のなかで溺れ死ぬ瞬間まで自己を知る機会を持つとはしないだらう』と書いていた。前田氏はM・ブーバーを引きながら、「たんなるそれではない猫」は、「観察・経験・認識を使命とする語り手としてどまるかぎり、われ―その関係を越えることができない」と述べ猫の役割としての限界を指摘するのである^⑫。しかし私の考えでは作者はむしろ猫が「われ」を知ろうとして自己を検討し始めないように、「われ」にとらわれることのないように猫を語り手という役割につねに限定しようとしていたのである。その限定が破られそうなほど猫が苦沙弥の心の奥にまで入り込みやがては自分自身に言及しないではすまない程度にまで役割をはみ出してきそうになったので作者は猫を死によつて救つたのである。

猫が役割をはみ出すということは猫に名前がないことが不自然になり、ついに猫に名前が与えられないではいられなくなるということである。名前を自分でつければそれは「狂気」につながる。しかし他者から押しつけられた名前を抱えてしまえばそれは「自覚心」にとらわれることにつながる。だから作者は猫に名前を与えることなく死に至らしめたのである。それはただ「自覚心」にとらわれて「われ―なんじの關係」を失ってしまった近代人の病に猫までも引き込むのは忍びなかつたからというだけではない。猫の報告が、したがってこの作品自体がたとえば天道公平の手紙と「違う」ということを保証するものがなくなってしまうからである。

『猫』に「われ―なんじの關係」を描き出すことが作者の目的ではなかった。漱石は『猫』を書くことで「われ」をささえるのがやつとだつたに違いない。『坊ちゃん』の「坊ちゃん」がやはり世間の「汚れ」にまみれざる前に、したがって自らの「自覚心」にとらわれてしまう前に、松山から脱出させられたように、猫は狂気に陥る前に、自己を反省する前に、この世から脱出させられたのである。猫にだけは「狂気」や「自覚心」から自由なままで終わらせる。その作者の手つきだけがこの「趣向もなく、構造もなく、尾頭の心元なき海鼠の様な」

ほとんど無意味な饒舌の印象を与える作品の非狂気性を、「健康」を保証しているのである。

最終的に猫を殺すことで「自覚心」や「相対化」の翼を抜け出した作者は自分自身を「狂気」から救ったともいえる。しかしもちろんそれで十分だったわけではない。仮に世界というものがすべてを相対化してしまう世界であるのだとして、ならばその世界にありながらその相対化そのものを完全に観察し報告することがどのようにすれば可能であるのか。その世界の中のどこに絶対的な「視点」や「場」がありうるのか。これが問い残された問題である。それはもちろん「吾輩は猫である」によって救われた「作者」という存在ではなかった。のちに漱石は書いている。

「猫」の薨へ落ちる時分は、漱石先生は、巻中の主人公苦沙弥先生と同じく教師であった。薨へ落ちてから何ヶ月経ったか大往生を遂げた猫は固より知る筈がない。然し此序をかく今日の漱石先生は既に教師ではなくなつた。主人公苦沙弥先生も今頃は休職か、免職になつたかも知れぬ。世の中は猫の目玉の様にぐるぐ廻転してゐる。僅か数ヶ月のうちに往生するのにも出来る。月給を棒に振るものも出来る。暮れも過ぎ正月も過ぎ、花も散つて、また若葉の時節となつた。是からどの位廻転するかわからない、只長へに変わぬものは薨の中の猫の中の目玉の中の瞳だけである。(「吾輩は猫である」下篇自序^⑭)

朝日新聞社への「入社の際」と同月に書かれたこの文章に私は一種の余裕とさわやかさを感じる。それは漱石が教師をやめて「生徒の御守」を勤める必要がなくなったことと大いに関係があることだろう。しかし手に入れた自由と引き換えにあらたな制約が生まれなかつたはずはないのである。もはや「猫」を書き継いだときのように「たゞ書きたいから書き、作りたいから作つた」^⑮とはいえなくなるであろう。

ここでいわれている「猫の中の目玉の中の瞳」とは、時空を超えて人間世界を照らし続ける死者の眼差しであり、漱石その人の生を見つめている「倫理」の眼でもある。このときにも漱石はむしろそのような「外」の眼を己の心(「内」)の支えに必要としていたのである。この文章が書かれた時期から見て、おそら

くその猫の「瞳」は「虞美人草」の甲野さんの父親の肖像画の中に引き継がれ問い直されていくものなのであろう。

註

- ① 漱石「トリストラム、シヤンデー」(一八九七〔明治三〇〕年三月『江湖文学』)
- ② 漱石「吾輩は猫である」上篇自序(一九〇五〔明治三八〕年十月)
- ③ 前掲①に同じ。
- ④ 越智治雄「猫の笑い、猫の狂気」(『解釈と鑑賞』一九七〇年九月、のち「漱石私論」一九七一年六月、角川書店)
- ⑤ 漱石は後に「野分」や「それから」のような作品を書いたが、ここではこの作者の声にならない叫びを十分に形にしたとはいえない。「明暗」はこの問題を一層意識的に扱おうとしているが、この点についてはいずれ「明暗」論で考えてみたい。
- ⑥ 小宮豊隆「岩波新書版漱石全集『吾輩は猫である』下解説」(一九五六年八月)
- ⑦ 前掲④に同じ。
- ⑧ 前田愛「猫の言葉、猫の論理」(『作品論夏目漱石』一九七六年九月、双文社、のち『近代日本の文学空間』一九八三年六月、新曜社)
- ⑨ 拙稿「夏目漱石『坊ちゃん』の「乱暴者」」(奈良工業高等専門学校研究紀要第三十四号、一九九九年三月)
- ⑩ 前掲⑧に同じ。
- ⑪ 漱石「吾輩は猫である」中篇自序(一九〇六〔明治三九〕年一月)
- ⑫ 猪野謙二「吾輩は猫である」を中心に(『近代文学 作家とその世界』一九七五年五月、朝日新聞社)に「すくなくともはじめのうちは、この『猫』という作品はある意味で一定の読者との一種の馴れあいの上に立って書き始められた、ということさえできる」とある。
- ⑬ 前掲⑧に同じ。
- ⑭ 漱石「吾輩は猫である」下篇自序(一九〇七〔明治四〇〕年五月)

⑮ 漱石談話筆記『処女作追懐談』（一九〇八〔明治四二〕年九月）

SCr420の高速旋削時における工具摩耗

和田 任弘, 藤原 順介*, 花崎 伸作*

Tool Wear in High Speed Turning of SCr420

Tadahiro WADA, Junsuke FUJIWARA* and Shinsaku HANASAKI*

粉体および粉末冶金 46巻, 9号, (1999), 935-941.

鋼材は工業材料として多用されているため、鋼材を高速切削することは生産コスト低減にかなり有効である。鋼材の高速旋削時における工具摩耗を調べた研究は古くから行われている¹⁻⁴⁾。しかし、最近の工具材の進歩は著しく、上述の研究で使用された工具材以外にも、高温において耐摩耗性、耐欠損性に優れた工具材が多数市販されており、従来から報告されている工具材の切削性能がそのまま当てはまるとは言いにくくなっている。たとえば、旋削用工具材として最近よく使用されるコーテッド超硬工具においては、コーティング層の強靱化、さらに超硬合金母材の強度低下を少なくする⁵⁾などの改良がはかられている。また、cBN 工具においても、c-BN 粒度、含有量、結合材組成の組合せを変えることにより、各種の cBN 工具が市販されている⁶⁾。

そこで本研究では、シャフト類、ギヤ類、およびスリーブ類などに使用されているクロム鋼 SCr420 を各種工具材で仕上げ旋削を行い、工具摩耗を調べた。さらに、SCr420 材の高速旋削に有効な工具材については、工具寿命の延長をはかるために、切れ刃のチャンファホーニングの角度および幅が工具摩耗に及ぼす影響についても調べた。

得られた主な結果は、次の通りである。

1) 切削速度 15 m/s 以下では、Ti (CN)-Al₂O₃-TiN コーテッド超硬工具および TiN-TiCN-Al₂O₃-TiN コーテッド超硬工具の摩耗進行が最も遅い。

2) 切削速度 20 m/s の高速旋削では、アルミナセラミックス工具の摩耗進行が最も遅い。

3) アルミナセラミックス工具による高速旋削では、小さな送り、切込みにおいて、チャンファホーニング幅が小さい方が、切りくず厚さ、切削抵抗が小さく、また工具摩耗も少ない。これに対し、大きな送り、切込みにおいて、チャンファホーニング幅を小さくすると、工具が破損しやすい。しかし、チャンファホーニングの角度が工具摩耗に及ぼす影響は少ない。

(参考文献)

- 1) 高橋俊行, 勝村裕次, 木曾弘隆, 鈴木寿: "Al₂O₃-TiC セラミックス工具による鋳鉄, 鋼の高速切削", 粉体および粉末冶金, 39(1992)1028-1032.
- 2) 鳴瀧則彦: "高速切削におけるセラミックス系工具の損傷", 日本機械学会論文集 (C 編), 58-543(1992) 675-683.
- 3) 有本浩, 飛岡正明: "高速切削における工具とその問題点", 機械の研究, 38(1986)675-681.
- 4) 田中博, 住田克彦: "高速切削と切削工具", 自動車技術, 41(1987)581-586.
- 5) 狩野勝吉, 長田晃, 吉村寛範: "コーテッド工具 - スローアウェイチップ", 精密工学会誌, 61(1995) 773-777.
- 6) 鴻野雄一郎: "超高压焼結体工具", 精密工学会誌, 61(1995)754-758.

チップブレイカに関する研究 — 湿式旋削時における広域型チップブレイカの切削性能 —

花崎 伸作*, 藤原 順介*, 和田 任弘

Study on Chip Breaker — Performance of A New Chip Breaker in Wet Turning —

Shinsaku HANASAKI*, Junsuke FUJIWARA* and Tadahiro WADA

粉体および粉末冶金 46巻, 5号, (1999), 465-471.

今までに、被削材 SS400の乾式切削を対象として、広範囲の切込みと送りに対して切りくず折断可能なチップブレイカを開発し¹⁾、このチップブレイカ付きバイトで各種の鋼を乾式切削した場合の切削性能について調べた²⁾。その結果、このチップブレイカは、被削材 SCM440, S55C, SUS304, SK5の乾式切削に対しても切込み0.1~3.0mm, 送り0.05~0.51mm/revの範囲において有効に作用することがわかった。しかし、切込みが大きく、送りが小さい場合には、切りくずが折断されず、このような切削条件でも切りくずが折断されれば、本チップブレイカの実用性はさらに向上することになる。また、工具寿命の点からいえば、本チップブレイカのコーナ半径が小さいため、ゼロRバイト³⁾と同様に、切込みと送りが大きい場合においては、コーナ部の塑性変形が生じやすい。これは切削温度が高くなることが主な原因と考えられ、これには湿式切削が有効と思われる。一般に切削加工においては、湿式で切削されることも多く、切削油剤の使用により、工具寿命の延長や仕上面品位の向上を図ることできる。また、切りくずの排除あるいは加工物や工作機械のさび止めなどの二次的な効果も大きい⁴⁾。そこで、冷却効果の大きい水溶性切削油剤^{5, 6)}を多量に供給し、本チップブレイカ付きバイトで5種類の鋼(SS400, SCM440, S55C, SUS304, SK5)を湿式で旋削した場合の切削性能を調べた。

得られた主な結果は次の通りである。

- 1) 本チップブレイカ付きバイトで湿式切削することにより、切込みが大きく、送りが小さい切削条件において切りくず折断の領域が広がる。
 - 2) 工具摩耗が無視できる切削距離においては、湿式切削時の仕上げ面粗さは、乾式の場合とほとんど変わらない。
 - 3) 湿式切削時の切削抵抗の主分力、送り分力は切込みの大きいところで、乾式切削の場合よりも若干小さくなる。また両者の差は切込みの増加につれて大きくなる。
 - 4) SCM440においては湿式切削することにより工具摩耗が減少し、塑性変形が緩和される。
 - 5) 実験を行った数条件においては、主逃げ面の摩耗幅の最大値が0.2mm程度までは、切りくず折断性能は保持される。また、仕上げ面粗さもほとんど低下しない。
- (参考文献)
- 1) 長谷川, 花崎, 藤原, 和田, 精密工学会誌, 52(1986) 1211-1217.
 - 2) 長谷川, 花崎, 藤原, 和田, 精密工学会誌, 54(1988) 1975-1980.
 - 3) 中山, 精密機械, 40(1974)409-414.
 - 4) 中村, フライス加工ハンドブック, 切削油技術研究会 (1988)595.
 - 5) 臼井, 水原, 潤滑, 25(1980)136-144.
 - 6) 向榮裕, 潤滑, 25(1980)145-151.

Submerged Culture of *Tricholoma matsutake* Mycelium in Bubble Column Fermentors

Mikio Kawagoe, Kentaro Kawakami, Yuka Nakamura, Kazumitsu Naoe, Koujiro Miki, and Hideo Noda

Journal of Bioscience and Bioengineering, 87, 116-118 (1999)

Tricholoma matsutake has been found to produce useful substances such as anti-cancer components and some thermostable enzymes. In addition, *T. matsutake* mycelia cultivated by submerged culture have been found to have similar smell and stiffness of matsutake mushroom, which suggests the cultured mycelia may be utilized as processed foods. If large-scale cultivation of *T. matsutake* mycelium is possible, not only useful substances but also mycelia for processed foods may be produced in commercial scale. However, in most investigations, submerged culture of *T. matsutake* mycelia have been carried out by flask culture and no large-scale cultivations were attempted. Even for other species of mushroom mycelia, only a few studies on large-scale cultivation have been made.

The purpose of this study is to evaluate the potential of bubble column fermentors for submerged culture of *T. matsutake* mycelia. The bubble columns are anticipated being adequate for such aerobic cultivation because of their simple construction, feasibility of scale up due to no problems with sealing resulting from no moving parts, high oxygen transfer rates and excellent mixing properties. Hence, the submerged culture of *T. matsutake* mycelia was carried out using two bubble column fermentors, which are a standard bubble column and an external-loop airlift column. The effects of aeration rate and column type on morphology, glucose consumption, cell yield and growth rate in the submerged culture of *T. matsutake* mycelium were investigated.

As shown in Fig. 1, three types of morphologies, large spherical, small spherical and filamentous pellets were observed depending on aeration rates. On

the whole, the standard bubble column gave higher cell yield and growth rate compared to the airlift column. The maximum cell yield and growth rate attained at the superficial air velocity of 0.38 cm/s were superior to those obtained in flask culture, suggesting that bubble column fermentor has potential for submerged culture of *T. matsutake*.

It was found that the overall cell yield for large spherical pellets is largest and the one for the filamentous pellets is smallest among the three morphologies described above. The overall growth rate for small spherical pellets seems to be lowest among three morphologies mentioned above.

Consequently, we concluded that for the submerged culture of *T. matsutake* mycelia, the standard bubble column was more suitable than the airlift column, and the optimum superficial air velocity was 0.38 cm/s.

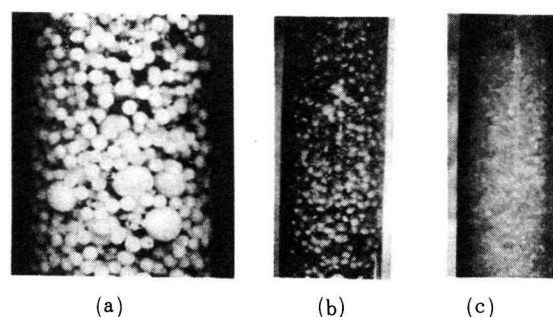


Fig. 1 Photographs of pellets in bubble column fermentors. (a) Large spherical pellets in the standard bubble column at a cultivation time of 10 d; (b) small spherical pellets in the airlift column at a cultivation time of 39 d; (c) filamentous pellets in the airlift column at a cultivation time of 9 d. The internal diameter of the standard column is 100 mm and that of the airlift column is 61 mm.

学校5日制と高専生の意識 (II)

木村倫幸・中村善一

Five-Days School System and the Consciousness of Students (II)

Tsuneyuki KIMURA and Yoshikazu NAKAMURA

はじめに

昨年に引き続き、学校5日制下における高専生の意識についてのアンケート結果を報告する。今回は、学校5日制が実施された結果、学生が生活に「ゆとり」を感じているか否か、そして「ゆとり」の時間があるとすれば、それは主にどのように使われているか、を中心に報告した(註)。その主な内容は、(1)週末(土・日曜日)には生活に「ゆとり」を感じている学生が多かったが、その反面、平日(月～金曜日)の生活に「ゆとり」がないとしている学生が多く、これらの間にはかなりのギャップが存在していること、(2)学生が「ゆとり」の時間をどのように使用しているかについては、低学年と高学年では差があり、睡眠、休息に続いて、前者ではクラブ関係に、後者ではアルバイト関係に使用する学生が特徴的であること、(3)学校5日制については、大多数の学生が肯定的な評価を与えていること等であった。

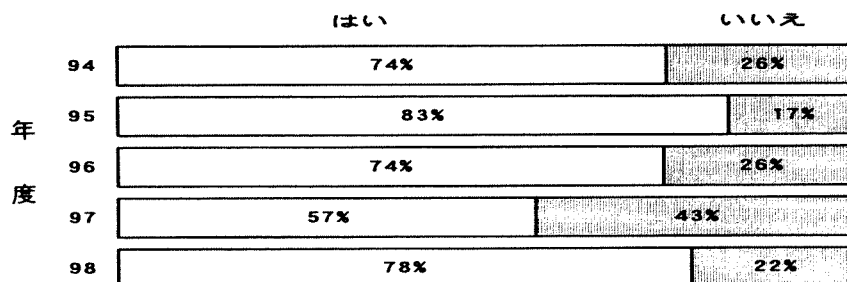
今回は、この続きとして、クラブ活動、アルバイトについてのやや詳しいアンケート結果を報告する。

1. 平日(月～金曜日)のクラブ活動について

(第1学年)

(問) 平日にクラブ活動をしていますか？

年度	94	95	96	97	98
はい	87名	100名	91名	68名	87名
いいえ	30名	21名	32名	52名	25名



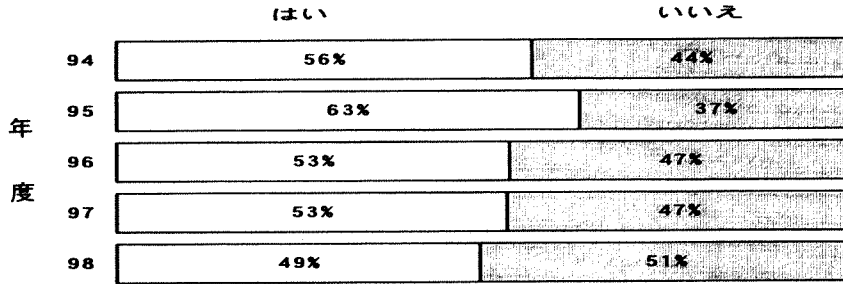
(問) どれくらい活動していますか？

年度	5日	4日	3日	2日	1日
94	45名	7名	10名	4名	3名
95	58名	12名	17名	6名	7名
96	57名	10名	10名	6名	8名
97	43名	5名	8名	3名	8名
98	44名	10名	13名	17名	2名

(第3学年)

(問) 平日にクラブ活動をしていますか？

年度	94	95	96	97	98
はい	66名	73名	80名	89名	73名
いいえ	51名	43名	70名	79名	75名



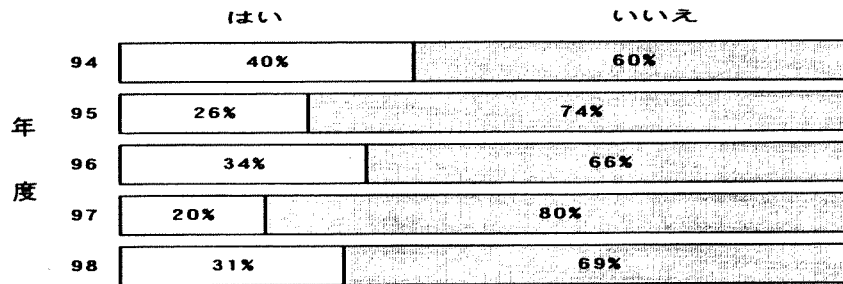
(問) どれくらい活動していますか？

年度	5日	4日	3日	2日	1日
94	36名	7名	10名	8名	4名
95	46名	7名	5名	5名	9名
96	49名	10名	14名	4名	3名
97	49名	12名	12名	11名	5名
98	45名	6名	7名	6名	9名

(第4学年)

(問) 平日にクラブ活動をしていますか？

年度	94	95	96	97	98
はい	73名	45名	40名	19名	36名
いいえ	109名	130名	79名	77名	82名



(問) どれくらい活動していますか？

年度	5日	4日	3日	2日	1日
94	44名	4名	4名	16名	5名
95	27名	3名	4名	8名	3名
96	20名	4名	6名	4名	5名
97	14名	0名	3名	1名	0名
98	21名	2名	5名	3名	5名

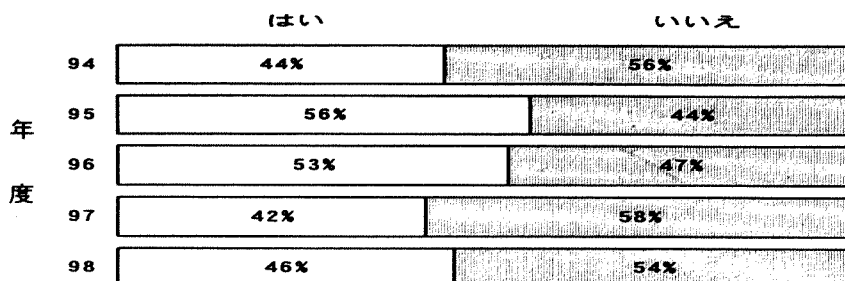
第1学年の70%程度が、平日のクラブ活動に参加しており、学年の進行とともにその参加率は低減するとはいえ、第3学年で50%、第4学年でも30%程度の学生がクラブ活動に励んでいる。しかも参加学生の50~60%程度が、週5日間(毎日)クラブ活動を行なっている。

2. 週末(土~日曜日)のクラブ活動について

(第1学年)

(問)週末にクラブ活動をしていますか？

年 度	94	95	96	97	98
はい	50名	67名	65名	50名	51名
いいえ	63名	53名	58名	70名	61名



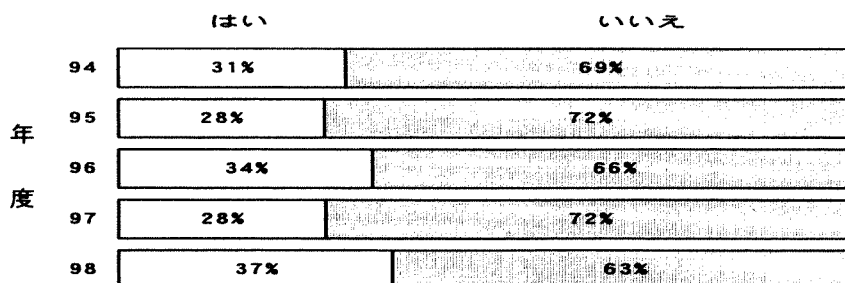
(問)その内訳は？

年 度	土曜日のみ	土・日曜日	日曜日のみ
94	44名	6名	0名
95	54名	13名	0名
96	53名	12名	0名
97	32名	15名	3名
98	43名	6名	2名

(第3学年)

(問)週末にクラブ活動をしていますか？

年 度	94	95	96	97	98
はい	36名	32名	52名	47名	55名
いいえ	81名	83名	99名	121名	93名



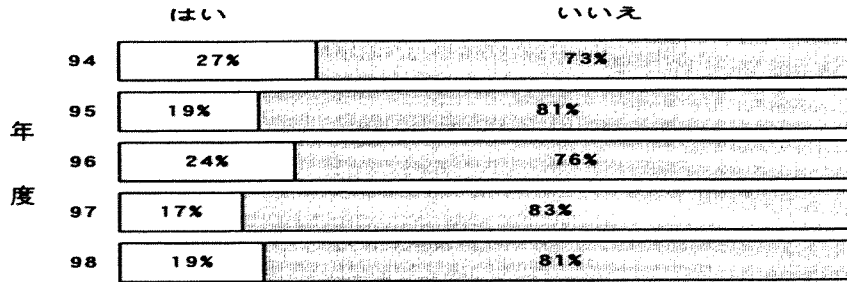
(問)その内訳は？

年 度	土曜日のみ	土・日曜日	日曜日のみ
94	29名	7名	0名
95	23名	8名	1名
96	41名	10名	1名
97	35名	11名	1名
98	37名	16名	2名

(第4学年)

(問)週末にクラブ活動をしていますか？

年 度	94	95	96	97	98
はい	47名	33名	28名	16名	23名
いいえ	129名	142名	90名	80名	95名



(問)その内訳は？

年 度	土曜日のみ	土・日曜日	日曜日のみ
94	39名	8名	0名
95	26名	7名	0名
96	21名	7名	0名
97	8名	7名	1名
98	18名	5名	0名

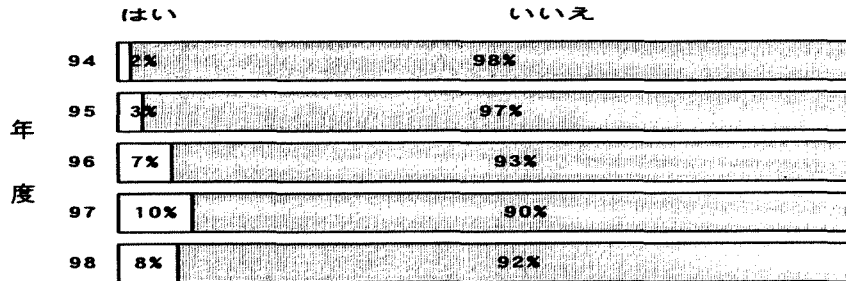
平日のクラブ活動に比較して、いずれの学年も参加者がやや少なく、第1学年で40~50%、第3学年で約30%、第4学年で約20%である。活動日としては「土曜日のみ」とする学生が多く、続いて「土・日曜日」となっている。また土曜日にクラブ活動に参加している学生の数で見ると、アンケート対象の3つの学年のみでも100名程度の学生数であることから、全校的にはこれを上回る学生が、学内外においてクラブ活動を行っていると思われる。

3. 平日(月～金曜日)のアルバイトについて

(第1学年)

(問)平日にアルバイトをしていますか?

年度	94	95	96	97	98
はい	2名	4名	9名	12名	9名
いいえ	114名	115名	114名	108名	103名



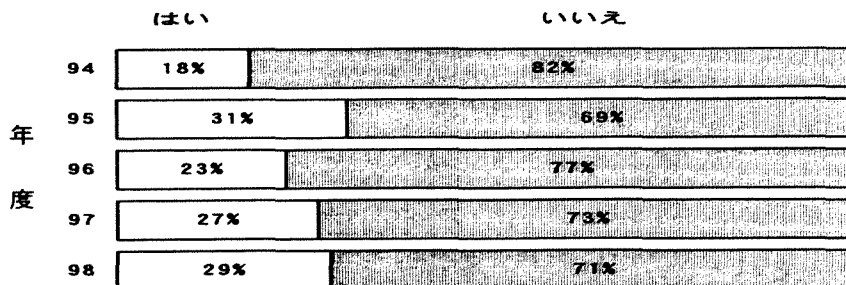
(問)どれくらいアルバイトしていますか?

年度	5日	4日	3日	2日	1日
94	0名	0名	1名	0名	1名
95	1名	0名	1名	1名	1名
96	1名	0名	3名	3名	1名
97	1名	2名	4名	2名	3名
98	2名	0名	4名	2名	1名

(第3学年)

(問)平日にアルバイトをしていますか?

年度	94	95	96	97	98
はい	21名	36名	35名	46名	43名
いいえ	96名	79名	117名	122名	105名



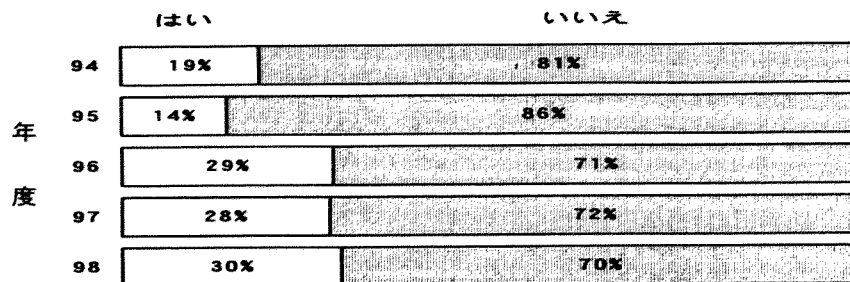
(問)どれくらいアルバイトしていますか?

年度	5日	4日	3日	2日	1日
94	4名	3名	4名	6名	4名
95	5名	5名	9名	12名	5名
96	5名	3名	12名	7名	8名
97	2名	5名	14名	18名	7名
98	7名	3名	11名	13名	7名

(第4学年)

(問) 平日にアルバイトをしていますか？

年度	94	95	96	97	98
はい	34名	25名	34名	27名	35名
いいえ	148名	150名	85名	69名	83名



(問) どれくらいアルバイトしていますか？

年度	5日	4日	3日	2日	1日
94	6名	5名	7名	10名	6名
95	2名	4名	3名	9名	7名
96	2名	6名	8名	7名	11名
97	4名	1名	9名	9名	4名
98	3名	4名	13名	11名	3名

学年の進行とともにアルバイトをする学生が増加し、第3学年では95年度以降20%以上、第4学年では96年度以降約30%となっている。また第1学年でも96年度以降10%近くがアルバイトをしている。

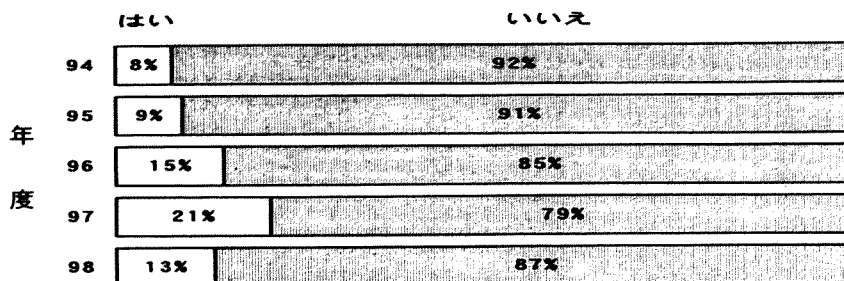
また週のうちのアルバイト日数では、2日ないし3日と回答した学生が最も多いが、4日あるいは5日(毎日)という回答が、第3学年と第4学年でそれぞれ10名程度存在している。さらに、少数ではあるが第1学年にも4日あるいは5日アルバイトをしている学生がいることにも注意を向けておく必要があるように思われる。

4. 週末（土・日曜日）のアルバイトについて

（第1学年）

（問）週末にアルバイトをしていますか？

年 度	94	95	96	97	98
はい	9名	11名	18名	25名	15名
いいえ	108名	110名	105名	95名	97名



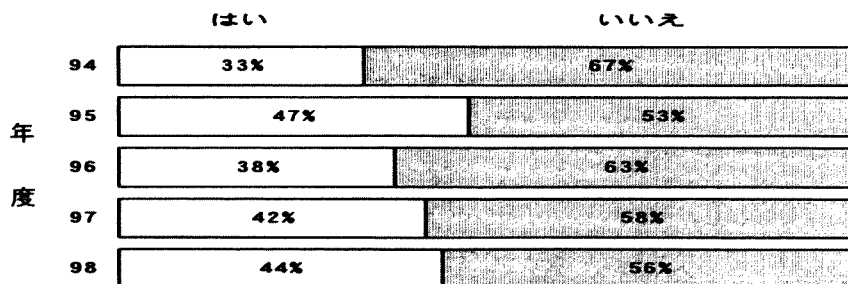
（問）その内訳は？

年 度	土曜日のみ	土・日曜日	日曜日のみ
94	3名	3名	3名
95	5名	2名	4名
96	4名	9名	5名
97	10名	13名	2名
98	3名	10名	2名

（第3学年）

（問）週末にアルバイトをしていますか？

年 度	94	95	96	97	98
はい	39名	55名	57名	70名	65名
いいえ	78名	61名	95名	98名	83名



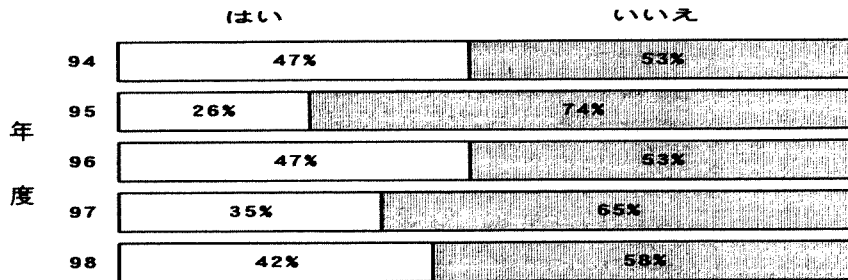
（問）その内訳は？

年 度	土曜日のみ	土・日曜日	日曜日のみ
94	15名	17名	7名
95	18名	27名	10名
96	22名	27名	8名
97	13名	46名	11名
98	19名	36名	10名

(第4学年)

(問)週末にアルバイトをしていますか？

年 度	94	95	96	97	98
はい	85名	45名	56名	34名	50名
いいえ	94名	130名	62名	62名	68名



(問)その内訳は？

年 度	土曜日のみ	土・日曜日	日曜日のみ
94	23名	42名	20名
95	13名	22名	10名
96	18名	29名	9名
97	11名	17名	6名
98	10名	36名	4名

平日に比べると、アルバイトをしている学生が多く、第1学年で10%程度、第3学年、第4学年で約40%である。曜日では、土・日曜日の両日にわたってアルバイトをしている学生が多く、次いで土曜日のみ、日曜日のみという順番になっている。平日のアルバイトの場合がそうであったように、土・日曜日の場合にも96年度以降第1学年でアルバイトをしている学生の増加傾向が見られる。数字としては少数であるが、今後も増加していくように思われる。

以上見てきたように、学校5日制実施後の学生の意識は、平日(月～金曜日)の忙しい生活と週末(土・日曜日)の「ゆとり」ある生活という2本の軸を中心に回転しており、平日の忙しさを週末の「ゆとり」で補うような形を取っている。そして週末の「ゆとり」で使用される方向は、前回でも指摘したように、睡眠・休息、学習、クラブ活動、アルバイトがその主たるものである。

今回の報告では、クラブ活動については、平日に継続的に参加している学生がかなりの数にのぼり、土曜日にも割合に盛んに活動が行なわれていることが裏付けられた。この状況に対して今後さらに支援システム等の検討が期待されている。

アルバイトに関しては、平日よりも週末に従事している学生が多いことが示されたが、これについては、職種、時間帯、賃金等さらに詳細な調査も必要かと思われる。とりわけ低学年においてアルバイトが増加していることの背景、勉強活動への影響等について検討がなされる時期になりつつあると言えるであろう。

総じてこのアンケートの調査は、本校学生が、平日(月～金曜日)の忙しさという問題点を抱えているとはいえ、学校5日制に馴染んだ生活を送っており、意識としても定着していることを裏打ちすることとなった。週末(土・日曜日)の使い方についてもさまざまな意見が存在するが、現実の高専生の平均像としては妥当なものではないかと思われる。将来的にこの制度と意識がどのように変化していくかは、社会の大きな動きに負うところが大きであるが、今後入学してくる学生にとっては学校5日制は至極当然の制度と受け止められるであろうから、「ゆとり」の時間の使い方が、現在よりも多様で各人に適合したものになることが予想されよう。

最後に、本調査の実施にあたり、惜しめない協力をしていただいた本校教員諸氏に心より感謝の意を示す次第です。

(註) 木村・中村「学校5日制と高専生の意識」(奈良工業高等専門学校研究紀要第34号、1999年3月)175～182ページ。

教育研究活動一覽

(機械工学科)

歳差運動するオープン形遠心羽根車に作用する
流体力モーメント

横山大造 (阪大院), 吉田義樹 (阪大基工), 辻本良信
(阪大基工), 大橋秀雄 (工学院大), 加納文質
日本機械学会論文集 (B編), 65巻631号, pp.940-947
(1999年3月)

The Rotordynamic Forces on an Open-Type
Centrifugal Compressor Impeller in Whirling
Motion

Y. Yoshida (Osaka Univ.), Y. Tsujimoto (Osaka
Univ.), N. Ishii (Hitachi), H. Ohasi (Kougakuin
Univ.), F. Kano (Nara National College of Tech.)
Transactions of the ASME, J. of Fluids Engineer-
ing, Vol.121, pp.259-265 (June 1999)

Environmental Issues in Forging Processes.

Hideo SEKIGUCHI and Katsushi KUBO (Setsunan
Univ.)
Proceedings of International Workshop on Environ-
mental and Economical Issues in Metal Processing.,
(Nov. 25-27, 1998, Nara, Japan), pp.49-55
(1998年11月25日 講演)

第6回日中精密鍛造シンポジウム

関口秀夫

素形材, Vol.40 No.3(1999), pp.10-14
(1999年3月)

金属加工における環境, 経済問題に関する最近
の研究動向

関口秀夫

日本塑性加工学会鍛造分科会研究班集会
(1999年2月16日 講演)

Effect of Tool Shape on Punching of Small
Hole for Cold Forged Products.

Hideo SEKIGUCHI and Koji KOBATAKE

Proceedings of 2nd International Conference on In-
dustrial Tools, (April 18-22, 1999, Slovenia),
pp.97-101

(1999年4月19日 講演)

New Methods for Manufacturing Various
Cross-Sections and Special Shapes on Steel
Pipes.

Hideo SEKIGUCHI, Koji KOBATAKE, Sadao KIMURA
(Toyo Superior Steel Tube Works Ltd.) and Tatego
KITAWAKI (ibid.)

Proceedings of 6th International Conference on Tech-
nology of Plasticity, (September 19 ~ 24, 1999,
Nuremberg, Germany), pp.2445-2458

(1999年9月22日 招待講演)

Estimation of Energy Consumption in Steel
Forging Process.

Katsushi KUBO (Setsunan Univ.) and Hideo SEKI-
GUCHI

Ibid., pp.589-594

(1999年9月22日 講演)

伝統・刃物工芸への問いかけ —たたら吹き製
鉄から加工熱処理まで—

小島 耕二

日本塑性加工学会関西支部第99回塑性加工懇談会・堺
刃物「匠の文化」

(平成10年10月16日 講演)

亜熱間鍛造におけるベベルギヤの寸法精度

小島 耕二

素形材センター研究調査報告526 (亜熱間鍛造につい
ての調査研究報告書), pp.47-52 (1999)

日英の工学系高等教育機関における教育改善の比較と高専教育に関する一考察

野々垣 稔

論文集「高専教育」, 第22号, pp.315-322 (1999)

事例ベースを用いた中間節曲線によるリンク機構の総合

田中正夫 (阪大), 嘉本敬樹 (阪大基工), 平 俊男

日本機械学会関西学生会卒業研究発表講演会

(1999年3月 講演)

Personalized Assistant for Conceptual Structural Design

Hira, T. and Tanaka, M.

JSME International Journal, Vol.42, No.2, Ser. C,

(1999-6), pp.435-444

オーステンパ処理球状黒鉛鑄鉄の切削における工具摩耗

和田任弘, 藤原順介 (大阪大学), 花崎伸作 (大阪大学), 安富雅典 (大阪電通大)

日本機械学会論文集 (c編), 64巻626号,

pp.4065-4071 (1998年10月)

TOOL WEAR IN CUTTING OF AUSTEMPERED DUCTILE IRON

Shinsaku HANASAKI (Osaka Univ.), Junsuke FUJIWARA (Osaka Univ.) and Tadahiro WADA

ICPCG-98(4th International Conference on Progress of Cutting and Grinding), Urumqi and Turpan (China), pp.95-100 (Oct.1998)

純鉄焼結材料切削におけるセラミックス工具の摩耗特性

田中聡嗣, 西本憲司, 和田任弘

日本機械学会 関西学生会卒業研究発表講演会

(1999年3月17日 講演)

焼結鍛造材切削における TiVN コーテッド工具の摩耗特性

芳本尚三, 田口大介, 和田任弘

日本機械学会 関西学生会卒業研究発表講演会

(1999年3月17日 講演)

焼入れ材の温間焼もどし切削法

和田任弘, 市川 純 (専攻科), 小島耕二, 関口秀夫

日本機械学会 関西支部第74期定時総会講演会

(1999年3月19日 講演)

チップブレーカに関する研究

花崎伸作 (大阪大学), 藤原順介 (大阪大学), 和田任弘

粉体および粉末冶金, 46巻5号, pp.465-471

(1999年5月)

SCr420の高速旋削時における工具摩耗

和田任弘, 藤原順介 (大阪大学), 花崎伸作 (大阪大学)

粉体および粉末冶金, 46巻9号

(1999年9月)

(電気工学科)

ヒステリシスコンパレータを用いた三相高力率コンバータ

田守里士 (専攻科), 井村榮仁

平成10年度電気関係学会関西支部連合大会

(1998年11月7日 講演)

フッ素系 Li イオンゲル電解質の電気的特性(Ⅲ)

李 京浩, 沢田英夫, 京兼 純

平成10年度電気関係学会関西支部連合大会

(平成10年11月7日 講演)

フラーレン導入 PUE の高電界効果とアクチュエータへの応用 (II)

石本晴彦, 祐源秀行, 平井利彦 (信州大学), 上田敦 (ニッタ株), 京兼 純
平成10年度電気関係学会関西支部連合大会
(平成10年11月7日 講演)

Application to Actuator using Electrostriction Effect of Polyurethane Elastomer (PUE)

J. Kyokane, H. Ishimoto, H. Yugen, T. Hirai (Shinshu Univ.) and T. Ueda (Nitta Co.)
International Conference on Electrical and Electronic Material Engineering (ICEME'98) Osaka, Japan
(October 30, 1998, Oral Presentation)

フッ素系 Li イオンゲル電解質の電気的特性とその応用

李 京浩, 村野孝訓, 沢田英夫, 京兼 純
平成11年度電気学会全国大会
(平成11年3月22日 講演)

フラーレン添加 PUE の電歪効果とアクチュエータへの応用 (III)

祐源秀行, 京兼 純, 平井利彦 (信州大学), 上田敦 (ニッタ株)
平成11年度電気学会全国大会
(平成11年3月22日 講演)

JICA と自治体の連携 (派遣専門家の立場から)

京兼 純
国際協力事業団 (JICA) 大阪国際センター
『平成11年度地方自治体職員等国際協力実務研修』
(平成11年7月15日 講演)

Electrical Properties of Lithium Ionic Electrolyte using Fluorinated Gels

J. Kyokane, K. Lee, T. Murano and H. Sawada
13th International Conference on Dielectric Liquids (ICDL'99) Nara, Japan
(July 22, 1999, Poster Presentation)

ELECTROSTRICTION EFFECT OF POLYURETHANE ELASTOMER (PUE) AND ITS APPLICATION TO ACTUATORS

J. Kyokane, H. Ishimoto, H. Yugen, T. Hirai (Shinshu Univ.), T. Ueda (Nitta Co.), and K. Yoshino (Osaka Univ.)
Synthetic Metals, Vol.103, pp.2366-2367 (1999)

やさしい言葉で理解する ODA

京兼 純
奈良県女性センター・NGO 虹の会
(平成11年8月27日 講演)

フラーレン添加 PUE の電歪効果とアクチュエータへの応用

京兼 純, 浦西大裕, 上田 敦 (ニッタ株)
平成11年度 電気学会基礎・材料・共通部門大会
(平成11年9月10日 講演)

フッ素系 Li イオンゲル電解質の電気的特性と二次電池への応用

京兼 純, 村野孝訓, 河合義和, 沢田英夫
電子情報通信学会・有機エレクトロニクス研究会 (OME 99-64)
(平成11年9月14日 講演)

三次元動作認識における最適視点位置の選択

大久保修司 (奈良先端大), 桐島俊之 (奈良高専), 佐藤宏介, 千原國宏 (奈良先端大)
平成10年 電気関係学会関西支部連合大会, G14-13
(平成10年11月6日 講演)

アモルファス PV モジュールの方位に対する発電量の比較 II

榊井隆至 (専攻科), 川久保靖 (本科), 山脇竹治 (鐘淵化学工業), 水上誠志郎 (鐘淵化学工業), 高橋晴雄
平成10年電気関係学会関西支部連合大会, G5-15
(平成10年11月7日 講演)

Experimental Investigation on Generated Power of Amorphous PV Module for Roof Azimuth

T. Yamawaki*, S. Mizukami*, T. Masui**,
H. Takahashi, (*Kaneka Co., **Advanced Faculty
of NNCT)

11th International Photovoltaic Science and En-
gineering Conference (PVSEC-11) P-II-82 Septem-
ber 23, 1999 (Poster session) Sapporo, Japan

Win32API で学ぶ Windows プログラミング再入 門

第9回アプリケーションを組み立てる(2)

画像処理おためしツール

土井滋貴, 上田悦子

雑誌インターフェース1998年12月号, pp.154-162

CQ 出版 (1998.10 掲載)

Win32API で学ぶ Windows プログラミング再入 門

第10回 MFC への準備-C++再入門

土井滋貴, 那須靖弘 (甲子園大学)

雑誌インターフェース1999年1月号, pp.129-137

CQ 出版 (1998.11 掲載)

Win32API で学ぶ Windows プログラミング再入 門

第11回ドキュメント-ビュー構造

土井滋貴, 那須靖弘 (甲子園大学)

雑誌インターフェース1999年2月号, pp.136-144

CQ 出版 (1998.12 掲載)

Win32API で学ぶ Windows プログラミング再入 門

第12回ネットワークプログラミング

土井滋貴, 那須靖弘 (甲子園大学)

雑誌インターフェース1999年3月号, pp.156-163

CQ 出版 (1999.1 掲載)

WindowsCE 用アプリケーションプログラム入門

土井滋貴

雑誌インターフェース1999年1月号, pp.77-89

CQ 出版 (1998.11 掲載)

モルフォロジーフィルタを用いた風景画像の識 別

上田悦子, 土井滋貴

平成10年電気関係学会関西支部連合大会, G2

(1998.11.07 講演)

モルフォロジーフィルタを用いた風景画像の解 析

上田悦子, 土井俊介, 土井滋貴

信学技報 PRMU98-210, pp.135-142

(1999.01.22 講演)

モルフォロジーフィルタを用いた風景画像の領 域分割

上田悦子, 土井滋貴

平成11年電気学会全国大会

(1999.03.22 講演)

奈良高専総合情報センター情報処理演習室の新 システムについて

川辺涼子, 土井滋貴, 本間啓道

第19回高等専門学校情報処理教育研究委員会

研究発表会 (1999.08.25 講演)

ストロークに現れる個人性の分析

菊山善伸, 中村善一

平成10年電気関係学会関西支部連合大会

(平成10年11月6日 講演)

(電子制御工学科)

PID 制御を用いたロボットアームの制振制御

飯田賢一, 中島レイ

電気関係学会関西支部連合大会

(平成10年11月 講演)

2 慣性系の制振制御における PID 制御器の設計

飯田賢一, 中島レイ

電気学会全国大会

(平成11年 3 月 講演)

PID 制御器による 2 慣性系の制振制御の設計

飯田賢一, 中島レイ

第42回システム制御情報学会研究発表講演会

(平成11年 5 月 講演)

ロボットの教示と学習

川村貞夫, 深尾典久, 襟 弘明

日本ロボット学会誌, Vol.17, No.2,

pp.162-165 (1999)

非線形インピーダンス特性を有する変形対象物
操作の運動計画と制御

襟 弘明, 深尾典久 (滋賀県工業技術総合センター),

川村貞夫 (立命館大学)

第17回日本ロボット学会学術講演会

(1999.9.11 講演)

位相シフト・スペックル・シアリング干渉法を
用いたひずみの分布測定

林 健一郎, 押田至啓, 西田茂生

精密工学会第 6 回卒業研究発表講演会

(1999年 3 月16日 講演)

Computed Shadowgraphs of The Flow Field
Induced by Shock/Vortex Ring InteractionH. Kishige, T. Minota (Ariake National College of
Technology), M. Nishida (Kyushu Univ.)Proc. of 4th KSME-JSME Fluids Engineering Confer-
ence Pusan, Korea (Oct.18, 1998), pp.433-436滴状凝縮における脈動蒸気噴流中の熱伝達特性
について

中田敏夫, 細川力 (姫工大), 島岡三義, 松村薫

日本機械学会関西支部

(1999年 3 月19日 講演)

ノイズの多い位相分布における位相接続に関す
る研究

浦上祐介, 西田茂生, 押田至啓

1999年度精密工学会春季大会

(1999年 3 月16日 講演)

Development of an Active Orthosis for Stand-
ing up Motion by using Hexahedron Rubber
Actuator

Yasuhiro Hayakawa, Masami Tamai, Nobuyuki

Kuribayashi, Kentaro Suto, Kenji Shigetoshi,

S.R.Pandian, Tadao Isaka and Sadao Kawamura

(Ritsumeikan Univ.)

Proceedings of the 4th Japan-France Congress &

2nd Asia-Europe Congress on Mechatronics

(October 6, 1998)

Development of an Automatic Transfer
Machine with Human Compatibility by Using
Pneumatic ActuatorsYasuhiro Hayakawa, Takashi Yamamoto, Noriyoshi
Iseki and Yuji Amano (Nitta Corp)Proceedings of 20th Annual International Conference
of the IEEE Engineering in Medicine and Biology
Society (October 31, 1998)

空気圧シリンダのためのオブザーバーの設計

武村史郎, S.R.Pandian (立命館大学), 早川恭弘,
川村貞夫 (立命館大学)
平成10年秋季フルイドパワーシステム講演会講演論文
集

(1998年11月5日 講演)

人間親和性を有する福祉介護用移動式移乗機の 制御

早川恭弘, 山本貴志, 井関典克, 櫛弘明, 道下貴広,
天野裕司
第13回流体制御合同シンポジウム

(1998年12月3日 講演)

空気圧アクチュエータを用いた自立型移動式移 乗機の開発

早川恭弘
日本 ME 学会関西支部研究会
(1999年3月26日 講演)

Control Performance of an Air Motor-Can Air Motors Replace Electric Motors ?-

S.R.Pandian, F.Takemura (Ritsumeikan Univ.),
Y.Hayakawa and S.Kawamura (Ritsumeikan Univ.)
Proceedings of IEEE International Conference on
Robotics and Automation 1999 (May.13,1999)

介護用自立型移動式移乗機一人間親和性を有す る福祉介護機器の開発一

早川恭弘
油空圧技術, Vol.38, No.7, pp.35-41 (1999)

フルイドパワーサーボの医療福祉分野への応用

早川恭弘
日本油空圧学会フルイドパワーシステム, 第30巻, 第
3号, pp.66-71 (1999)

会員から望む

早川恭弘
日本油空圧学会フルイドパワーシステム, 第30巻, 第
4号, pp.37-38 (1999)

空気圧モーターの性能評価

武村史郎, S.R.Pandian, 川村貞夫 (立命館大学),
早川恭弘
平成11年春季フルイドパワーシステム講演会講演論文
集
(1999年11月27日 講演)

ワイヤ張力拮抗型ペローズアクチュエータを用 いた回転駆動機構

早川恭弘
機械設計, 第43巻, 第10号, pp.112 (1999年7月別冊)

シリンダ・ペローズアクチュエータによる柔軟 駆動

早川恭弘
機械設計, 第43巻, 第10号, pp.113 (1999年7月別冊)

空気圧モーターを用いたサーボ機構

早川恭弘
機械設計, 第43巻, 第10号, pp.114 (1999年7月別冊)

福祉介護用移動機構の開発

早川恭弘
油空圧機器技術振興財団報告書 (1999年)

空気圧アクチュエータを用いた福祉介護用移動 機構の開発

早川恭弘, 山本貴志, 井関典克, 天野裕司 (ニッタ株
式会社)
第38回 SICE 学術講演会予稿集
(1999年7月30日 講演)

ペーン型空気圧モータのモデリングと制御

武村史郎, S.R.Pandian, 永瀬康旦, 水谷元 (立命館大学), 早川恭弘, 川村貞夫 (立命館大学)
第17回日本ロボット学会学術講演会
(1999年9月11日 講演)

機械的拘束付加による回転駆動用空気圧アクチュエータの開発

須藤健太郎, 久下幸子 (立命館大学), 早川恭弘, 平井慎一, 川村貞夫 (立命館大学)
第17回日本ロボット学会学術講演会
(1999年9月11日 講演)

抱き起こし動作における介護者の生体負担の分析

伊坂忠夫, 重歳憲治, 早川恭弘, 川村貞夫 (立命館大学)
人とシステム, 第4巻, 第1号, pp.8-12 (1999)

Observer Design for Control of Pneumatic Cylinder Actuators

F.Takemura, S.R.Pandian, Y.Hayakawa and S.Kawamura (Ritsumeikan Univ.)
Bath Workshop on Power Transmission & Motion Control (September 10, 1999)

Development of an Autonomous Rehabilitation Machine with a New Type of Mobile Mechanism by using Pneumatic Actuator

Yasuhiro Hayakawa, Takashi Yamamoto, Noriyosi Iseki and Yuji Amano (Nitta Corp.)
Proceedings of the 3rd International Symposium on Fluid Power Transmission and Control (September 8, 1999)

(情報工学科)

高校物理における人工衛星の教材化

浅井文男
日本物理教育学会誌, Vol.46, No.5, pp.246-250
(1998)

WWW と IRC の連動による Virtual Internet Communication Engine:VICe の研究開発

大杉直樹, 浅井文男
電子情報通信学会関西支部第4回学生会研究発表講演会
(1999年3月10日 講演)

改良型シミュレートドアニメーション法に関する研究

中道 上, 浅井文男
電子情報通信学会関西支部第4回学生会研究発表講演会
(1999年3月10日 講演)

多重化探索を取り入れた改良シミュレートドアニメーション法Ⅱ

浅井文男, 塘 朋子, 中道 上
奈良工業高等専門学校研究紀要, Vol.34, pp.71-72
(1999)

万有引力とスペースシャトル

浅井文男
第46回応用物理学関係連合講演会
(1999年3月29日 講演)

アマチュア衛星を利用した科学教育に関する研究

浅井文男
平成10年度科学研究費補助金研究成果報告書 (基盤研究 (C) 課題番号09680201)

ドップラー効果の観測による人工衛星の速さの測定

浅井文男

応用物理教育, Vol.23, No.1, pp.3-8 (1999)

人工衛星のデータ取得と解析を取り入れた工学実験

浅井文男

平成11年度工学・工業教育研究講演会
(1999年7月20日 講演)

インターネットにおける情報倫理に関する意識調査(2)ー高専生と短大生及び大学生との比較ー

工藤英男, 安留誠吾 (南大阪大学), 寺本光雄 (南大阪大学), 吉川博史 (大阪短期大学)

文部省平成10年度情報処理教育研究集会
(1998年10月24日 講演)

定期的なインタビューを取り入れたデバッグプロセス実験の考察

内田真司, 工藤英男, 門田暁人 (奈良科学技術大学院大学)

電子情報通信学会技術研究報告
(1998年11月6日 講演)

ネットワーク市民と情報倫理の課題

江澤義典 (関西大学), 安藤倬二 (オプテックス), 白井義美 (日本電子計算), 中條道雄 (関西学院大学),

赤松辰彦 (関西国際大学), 工藤英男

情報処理学会コンピュータと教育研究会
(1998年11月13日 講演)

大学・高専におけるインターネット利用と情報倫理

工藤英男

豊橋技術科学大学 情報処理センター特別講演会
(1999年2月3日 講演)

学内 LAN を用いたプログラミング学習支援システムの構築

吉川博史 (南大阪大学), 寺本光雄 (南大阪大学), 工藤英男

南大阪大学紀要, 第1号, pp.37-43 (1999)

情報倫理教育を支援する社会的環境に関する考察

中條道雄 (関西学院大学), 江澤義典 (関西大学), 安藤倬二 (オプテックス), 赤松辰彦 (関西国際大学), 工藤英男

情報処理学会コンピュータと教育研究会
(1999年7月29日 講演)

インターネットにおける情報倫理に関する意識調査(3)ー高専生と大学生における意識変化ー

工藤英男, 武村泰宏 (浪速短期大学), 吉川博史 (南大阪大学)

教育システム情報学会第24回全国大会
(1999年8月6日 講演)

学内 LAN を用いたプログラミング学習支援システムの構築とその評価

吉川博史 (南大阪大学), 寺本光雄 (南大阪大学), 安留誠吾 (南大阪大学), 工藤英男, 前川 武 (大阪国際大学)

教育システム情報学会第24回全国大会
(1999年8月6日 講演)

保守工程におけるバグ特定プロセスの分析

内田真司 (奈良科学技術大学院大学), 工藤英男, 門田暁人 (奈良科学技術大学院大学), 松本健一 (奈良科学技術大学院大学), 井上克郎 (大阪大学)

日本ソフトウェア科学会
(1999年9月21日 講演)

Measurement of Glitches Based on Variable Gate Delay Model Using VHDL Simulator

T.Seko, A.Nakamura and T.Kikuno

Proc. 1998 IEEE Asia-Pacific Conference on Circuits and Systems, pp.767-770, Nov.24-27, 1998 (Poster presentation)

VHDL シミュレータを用いた CMOS 乗算回路の信号値遷移回数の評価

中村篤史, 世古 忠

第4回電子情報通信学会関西支部学生会研究発表講演会講演論文集, pp.50

(1999年3月10日 講演)

回路分割による組合せ回路の最大同時変化ゲート数の計算の高速化

東野武史, 世古 忠

第4回電子情報通信学会関西支部学生会研究発表講演会講演論文集, pp.53

(1999年3月10日 講演)

Using Cone Partition for Computation of Maximum Number of Simultaneous Switching Gates

T.Seko, T.Higashino and T.Kikuno,

Proc. 1999 International Technical Conference on Circuits / Systems, Computers and Communications, pp.80-83, July 13,1999 (Oral presentation)

Algorithms for Generating Maximum Weight Independent Sets in Circle Graphs, Circular-Arc Overlap Graphs, and Spider Graphs

Masakuni TAKI, Hirotaka HATAKENAKA*, and Toshinobu KASHIWABARA*, (*Osaka Univ.)

IEICE TRANS. FUNDAMENTALS, Vol. E82-A, No.8 (August 1999)

雑誌表紙画像からの文字情報抽出の試み

筒井 満, 松尾賢一

平成10年電気関係学会関西支部連合大会

(平成10年11月7日 講演)

看板領域に着目した情景画像からの文字列情報抽出の検討

松尾賢一, 上田勝彦, 梅田三千雄

平成10年電気関係学会関西支部連合大会

(平成10年11月7日 講演)

雑誌表紙画像からの文字情報抽出に関する検討

筒井 満, 松尾賢一

電子情報通信学会関西支部学生会 第4回 学生会研究発表講演会, C-12

(平成11年3月10日)

雑誌表紙画像からの文字領域抽出手法に関する研究

森本大樹, 松尾賢一

電子情報通信学会関西支部学生会 第4回 学生会研究発表講演会, C-13

(平成11年3月10日)

Self-RewardedRAE : 学習の合理性と高速性とを両立させた経験強化型学習法

内田圭, 渡邊亮介, 山口智浩

1999年度人工知能学会全国大会

(1999年6月17日 講演)

(物質化学工学科, 化学工学科)

金属塩化物黒鉛層間化合物の光電気化学的挙動

浜田洋司, 泉 生一郎, 大西康幸, 岩下哲雄 (大工研)

1998年電気化学秋季大会

(平成10年10月23日 講演)

金属塩化物黒鉛層間化合物の光電気化学的挙動

浜田洋司, 泉 生一郎, 大西康幸, 岩下哲雄 (大工研)

電気化学会 技術・教育研究論文誌, Vol.7, No.2, pp.107-113 (1998年)

Photosensitization of Graphite Intercalation Compounds with Metal Chlorides

N.Iwashita (Osaka National Industrial Research Institute), I.Izumi, Y.Hamada, Y.Ohnishi
CARBON, Vol.36, No.11, pp.1700-1703 (1998)

Photoelectrochemical Characteristics of Graphite Intercalation Compounds with Copper and Iron Chlorides

N.Iwashita (Osaka National Industrial Research Institute), I.Izumi, Y.Hamada, Y.Ohnishi
CARBON '98 in Tokyo (Nov. 10, 1998 講演)

Electrochemical Behavior of Graphite Intercalation Compounds with Metal Chlorides

Y.Hamada, I.Izumi, Y.Ohnishi, N.Iwashita (Osaka National Industrial Research Institute)
DENKI KAGAKU, Vol.66 (No.12), pp.1320-1322 (1998年)

RRDE を用いた CO₂ の光電気化学的還元機構解析

Yuliono Budianto, 泉 生一郎 (指導)
日本化学会近畿支部第一回工業高等専門学校生研究発表会 (支部長賞受賞)
(平成11年3月15日 講演)

光化学ダイオードによる反応の整流効果と二酸化炭素固定化への応用

泉 生一郎 (研究代表者), 片倉勝己, 京兼 純, 石丸裕士
科学研究費補助金 (基盤研究C-2) 研究成果報告書 (平成9年度~平成10年度)

金属塩化物-黒鉛層間化合物の光感応性と光電気化学への応用

岩下哲雄 (大工研), 池内和彦, 泉 生一郎, 大西康幸
炭素材料学会夏季セミナー
(平成11年8月25日 講演)

奈良高専における専攻科設置に伴う意識変化について

泉 生一郎
和歌山工業高等専門学校教職員対象講演会
(平成11年8月26日 講演)

チオレート配位ハイパーポルフィリンの共鳴ラマンスペクトル

石丸裕士, 城森敏夫, 辻内伸二, 寺岡淳二*, (*阪市立大院・理)
日本化学会 第76春季年会講演予稿集II, p.1361
(1999年3月29日 講演)

酸化型鉄ポルフィリンイミダゾール錯の光解離

中元政一*, 松本千恵美**, 石丸裕士, 寺岡淳二*, (*阪市立大院, **阪市立大・理)
日本化学会 第76春季年会講演予稿集II, p.1190
(1999年3月29日 講演)

ポリブタジエンの π -配位性を利用する銀イオンセンサーの設計

大植正敏, 沢田小牧, 宇田亮子, 木村恵一 (和歌山大システム工)
日本分析化学会第48年会 (甲南大学)
(1999年9月10日 講演)

A FLUOROMETRIC DETERMINATION OF UREA WITH UREASE

Shin-ichiro Suye (Fukui Univ.), Jun'ichiro Miura (Fukui Univ.), and Masatoshi Ohue
Analytical Letters, 32 (8), pp.1543-1551 (1999)

アルカリ水溶液による圧縮成型含塩鉄器からの脱塩に関する速度論的研究

河越幹男, 吉原 忍, 安木竜也, 川本耕三 (元興寺文化財研究所)
日本文化財科学会誌「考古学と自然科学」, 36, pp.29-41 (1998)

圧縮成型含塩鉄器からの脱塩に関する速度論的研究

吉原 忍, 河越幹男
第4回高専シンポジウム
(1999年1月24日 講演)

出土木材の保存処理における含フッ素オリゴマーの添加効果

北代慶子, 河越幹男, 澤田英夫
日本文化財科学会第16回大会
(1999年6月26日 講演)

含塩鉄器の脱塩処理に及ぼす含フッ素オリゴマー添加の影響とその速度論的研究

吉原 忍, 河越幹男, 澤田英夫, 川本耕三 (元興寺文化財研究所)
日本文化財科学会第16回大会
(1999年6月26日 講演)

Submerged Culture of *Tricholoma matsutake* Mycelium in Bubble Column Fermentors

M. Kawagoe, K. Kawakami, Y. Nakamura, K. Naoe, K. Miki, and H. Noda (Kansai Chemical Engineering Co., Ltd.)
J. Biosci. Bioeng., **87**, pp.116-118 (1999)

テーパ付エアリフト塔によるシイタケ菌糸の液体培養

河越幹男, 上野俊輔, 徳田和也
化学工学会第32回秋季大会
(1999年9月26日 講演)

Synthesis and Properties of Novel Perfluorocyclohexylated Compounds with Bis (perfluorocyclohexane carbonyl) Peroxide

H. Sawada, M. Kurachi, T. Maekawa, T. Kawase (阪市大生科), Y. Hayakawa (名工研), K. Takishita, and T. Tanedani (石原薬品),
J. Appl. Polym. Sci., **72**, 1101 (1999)

Synthesis and Properties of Fluoroalkylated End-capped Betaine Polymers

H. Sawada, M. Umedo, T. Kawase (阪市大生科) T. Tomita (東北大農), and M. Baba (鹿児島大医)
Eur. Polym. J., **35**, 1611 (1999)

総合論文：フッ素の凝集効果が発現された新しい分子集合体の構築と応用

沢田英夫, 川瀬徳三 (阪市大生科)
有機合成化学協会誌, **57**, 291 (1999)

フルオロアルキル基が末端に導入された N-ビニルアセトアミドコオリゴマー類の合成と性質

沢田英夫, 吉野美子, 乾 泰子, 川瀬徳三 (阪市大生科)
材料技術, **17**, 216 (1999)

フルオロアルキル基が末端に導入されたヒドロキシおよびジヒドロキシセグメント含有オリゴマー類の合成と性質

沢田英夫, 吉野美子, 池末由香, 川瀬徳三 (阪市大生科)
日本油化学会誌, **48**, 601 (1999)

Synthesis and Properties of Fluoroalkylated End-Capped Acrylamide Oligomers

H. Sawada, Y. Yoshino, Y. Ikematsu, and T. Kawase (阪市大生科)
Eur. Polym. J., **36**, 231 (2000)

Recognition of Hydrophilic Amino and N, N-Dimethylamino Compounds by the Self-Assembled Aggregates of Fluoroalkylated End-Capped N-(1,1-dimethyl-3-oxobutyl) acrylamide Oligomer

H. Sawada, Y. Yoshino, M. Kurachi, T. Kawase (阪市大生科), K. Takishita, and T. Tanedani (石原薬品)
Polymer, **41**, 397 (2000)

Luminol Chemiluminescence Selectively Stimulated by Self-Assembled Molecular Aggregates of Fluoroalkylated End-Capped N-(1,1-dimethyl-3-oxobutyl) acrylamide Oligomer

H. Sawada, Y. Yoshino, T. Kawase (阪市大生科), and K. Fujimori (筑波大化)

Eur. Polym. J., in Press

Account: Architecture and Applications of Novel Self-Assembled Aggregates of Fluoroalkyl-End-Capped Oligomers

H. Sawada

J. Fluorine Chem., 101, 315 (2000)

フルオロアルキル基含有オリゴマー型シラン剤によるセルロースの撥水・撥油改質

川瀬徳三, 丹葉敬一, 藤井富美子 (阪市大生科), 沢田英夫

繊維学会誌, 55, 416 (1999)

フッ素の凝集効果が活かされた新しい含フッ素高分子ゲルの合成と応用

沢田英夫

高分子加工, 48, 257 (1999)

フルオロアルキル基が末端に導入されたアクリルアミドオリゴマー類の合成と性質

沢田英夫, 吉野美子, 川瀬徳三 (阪市大生科)

第22回, フッ素化学討論会 (大阪大学, 1998年11月)

フルオロアルキル基が末端に導入されたビニルホスホン酸およびビニルホスホネートオリゴマー類の合成と界面物性

沢田英夫, 玉田大介, 川瀬徳三 (阪市大生科)

第22回フッ素化学討論会 (大阪大学, 1998年11月)

新しいフッ素系高分子界面活性剤の合成とその特性

沢田英夫

第30回洗浄に関するシンポジウム (発明会館ホール, 1998年11月 依頼講演)

フルオロアルキル基が末端に導入されたスルホプロピルベタインオリゴマー類の合成とゲル化

沢田英夫, 梅戸美知憲, 川瀬徳三 (阪市大生科)

日本化学会第76春季年会 (神奈川大学, 1999年3月)

フルオロアルキル基が末端に導入されたホスフィン酸オリゴマー類の合成と性質

沢田英夫, 河井義和, 杉矢正 (日本化学工業), 川瀬徳三

日本化学会第76春季年会 (神奈川大学, 1999年3月)

含フッ素イソシアナトエチルメタクリレート2-ブタノンオキシム付加物オリゴマー類の合成と応用

沢田英夫, 池野宏司, 川瀬徳三 (阪市大生科)

日本化学会第76春季年会 (神奈川大学, 1999年3月)

フルオロアルキル基が末端に導入されたオリゴマー類によるメチレンブルーの抽出

沢田英夫, 吉野美子, 川瀬徳三 (阪市大生科), 滝下勝久, 種谷利幸 (石原薬品)

日本化学会第76春季年会 (神奈川大学, 1999年3月)

含フッ素アクリルアミドオリゴマーが形成する分子集合体による種々の親水性化合物の抽出

沢田英夫, 蔵地皆佳, 川瀬徳三 (阪市大生科)

日本化学会第76春季年会 (神奈川大学, 1999年3月)

フルオロアルキル基が末端に導入されたオリゴマー存在下におけるルミノールの化学発光

沢田英夫, 吉野美子, 川瀬徳三 (阪市大生科), 藤森憲 (筑波大化学)

日本化学会第76春季年会 (神奈川大学, 1999年3月)

キノリニルセグメントを有する含フッ素オリゴマー類の合成と性質

沢田英夫, 川崎庸仁, 川瀬徳三 (阪市大生科)
日本化学会第76春季年会 (神奈川大学, 1999年3月)

ベンゾイルベンジルセグメントを有する含フッ素オリゴマー類の合成と応用

沢田英夫, 乾 泰子, 川瀬徳三 (阪市大生科)
日本化学会第76春季年会 (神奈川大学, 1999年3月)

ポリ(オキシエチレン)鎖を有するフルオロシランカップリング剤によるガラスの表面改質(II)

和氣厚仁, 川瀬徳三, 藤井富美子 (阪市大生科), 沢田英夫

日本化学会第76春季年会 (神奈川大学, 1999年3月)

新規表面フルオロアルキル化剤—フルオロアルキル基含有ブロックイソシアネートオリゴマーによるガラスの表面改質—

川瀬徳三 (阪市大生科), 池野宏司, 沢田英夫
日本化学会第76春季年会 (神奈川大学, 1999年3月)

フルオロアルキル基が末端に導入されたアクリルアミドオリゴマー類の合成と性質

吉野美子, 河越幹男, 大植正敏, 沢田英夫
第1回化学工学会学生発表会 (東北大学青葉記念会館, 1999年3月6日)

ペルフルオロシクロヘキシル基導入化剤の開発とその応用

蔵地皆佳, 河越幹男, 大植正敏, 沢田英夫
第1回化学工学会学生発表会 (東北大学青葉記念会館, 1999年3月6日)

フルオロアルキル基の凝集作用が活かされた分子集合体による親水性化合物の抽出

沢田英夫, 蔵地皆佳, 吉野美子, 川瀬徳三 (阪市大生科)
第15回機能性ホスト・ゲスト化学研究会 (理研, 1999年3月)

フルオロアルキル基が末端に導入されたイソシアネートエチルメタクリレート2-ブタノンオキシム付加物オリゴマー類の合成と応用

沢田英夫, 池野宏司, 川瀬徳三 (阪市大生科)
第48回高分子学会年次大会 (国立京都国際会館, 1999年5月)

フルオロアルキル基が末端に導入されたオリゴマーが形成する分子集合体による種々の親水性化合物の抽出

沢田英夫, 蔵地皆佳, 吉野美子, 滝下勝久, 種谷利幸 (石原薬品), 川瀬徳三 (阪市大生科)
第48回高分子学会年次大会 (国立京都国際会館, 1999年5月)

フッ素含有ジスルホン酸染料と水溶性高分子化合物との相互作用

濱田州博, 新井智祥 (信州大繊維), 川瀬徳三 (阪市大生科), 沢田英夫
第48回高分子学会年次大会 (国立京都国際会館, 1999年5月)

Recognition of Hydrophilic Compounds by the Aggregates of Fluoroalkylated End-Capped N-(1,1-Dimethyl-3-oxobutyl) acrylamide Oligomers

H. Sawada, M. Kurachi, Y. Yoshino, K. Takishita, T. Tanedani (石原薬品), and T. Kawase (阪市大生科)

The International Conference on Fluorine Chemistry '99 Tokyo, May 9-11, 1999 (Yokohama)

Synthesis and Properties of Fluoroalkylated End-Capped Oligomers Containing Phosphorus Segments

H. Sawada, Y. Kawai, N. Kawasaki, M. Sugiya (日本化学工業), and, T. Kawase (阪市大生科)
The International Conference on Fluorine Chemistry '99 Tokyo, May 9~11, 1999 (Yokohama)

Synthesis and Interactions of Novel Fluoroalkylated End-Capped Oligomers-Bound Antitumor Agents with DNA

H. Sawada, K. Ikeno, M. Oue, and T. Kawase (阪市大生科)
The International Conference on Fluorine Chemistry '99 Tokyo, May 9~11, 1999 (Yokohama)

Synthesis and Gelation of Fluoroalkylated End-Capped Sulfopropylbetaine Oligomers

H. Sawada, M. Umedo, M. Oue, and T. Kawase (阪市大生科)
The International Conference on Fluorine Chemistry '99, Tokyo, May 9~11, 1999 (Yokohama)

Invited Lecture: Architecture and Applications of Novel Self-Assembled Aggregates of Fluoroalkylated End-Capped Oligomers

H. Sawada
The International Conference on Fluorine Chemistry '99 Tokyo, May 9~11, 1999 (Yokohama)

フルオロアルキル基が末端に導入されたペイン型オリゴマーの合成とゲル化および生理活性

沢田英夫, 梅戸美知憲, 川瀬徳三 (阪市大生科)
第45回高分子研究発表会 (神戸, 1999年7月)

フルオロアルキル基が末端に導入されたキノリニルセグメント含有オリゴマー類の合成と応用

沢田英夫, 川崎庸仁, 川瀬徳三 (阪市大生科)
第45回高分子研究発表会 (神戸, 1999年7月)

Synthesis and Properties of Fluoroalkylated End-Capped Oligomers Containing Quinolinyl Segments

H. Sawada, N. Kawasaki, M. Oue, and T. Kawase (阪市大生科)
ACS 218th National Meeting (New Orleans, LA, USA), August 22~26, 1999

Synthesis of a Novel Fluoroalkylated End-Capped Oligomer-Bound Antitumor Segments and Interaction of This Oligomer with DNA

H. Sawada, K. Ikeno, M. Oue, and T. Kawase (阪市大生科)
ACS 218th National Meeting (New Orleans, LA, USA), August 22~26, 1999

Recognition of Hydrophilic Amino and N,N-Dimethylamino Compounds by the Self-Assembled Aggregates of Fluoroalkylated End-Capped N-(1,1-Dimethyl-3-oxobutyl) acrylamide Oligomer

H. Sawada, M. Kurachi, Y. Yoshino, M. Oue, and T. Kawase (阪市大生科)
ACS 218th National Meeting (New Orleans, LA, USA), August 22~26, 1999

Novel Fluoroalkylating Agent: Blocked-Isocyanate Oligomers End-Capped with Fluoroalkyls

T. Kawase (阪市大生科), K. Ikeno, and H. Sawada
ACS 218th National Meeting (New Orleans, LA, USA), August 22~26, 1999

Organic Seminar: Fluorinated Organic Peroxide: It's Decomposition Behavior and Application of Fluorinated Functional Materials

H. Sawada
Department of Chemistry, University of Florida, Gainesville, FL, USA, August 20, 1999

多機能の各種含フッ素オリゴマーを開発

沢田英夫

化学工業時報

(1999年4月15, 25日)

フッ素の凝集効果が活かされた新しいフッ素系機能性材料の合成—フッ素系分子集合体の構築と生理活性物質への展開

沢田英夫

筑波ケミカルサイエンスクラブ(TCSC)ワークショップ：フッ素化学研究の最前線(筑波和光ホール, 1999年7月)

含フッ素オリゴマー型界面活性剤の開発—合成から生理活性まで—

川瀬徳三(阪市大生科), 沢田英夫

第19回高分子と水に関する研究会講座講演(東京工業大学)要旨集, pp.38-41 (1999)

フルオロ飽和炭化水素基含有有機機能性材料

沢田英夫, 種谷利幸, 滝下勝久(石原薬品)

特願 平11-065660号(1999年3月11日)

フルオロ飽和炭化水素基含有化合物, その製造方法, 及び表面処理剤及び塗料添加剤

沢田英夫, 種谷利幸, 滝下勝久(石原薬品)

特願 平11-065659号(1999年3月11日)

フルオロアルキル基含有ホスフィン酸オリゴマー類及びその製造方法並びにこれを含有する界面活性剤及び樹脂組成物

沢田英夫, 龍谷栄一, 原 義房, 杉矢正, 稲葉佳子(日本化学工業)

特願 平11-45915号(1999年2月24日)

フルオロアルキル基含有ホスフィン酸オリゴマー類及びその製造方法並びにこれを含有する界面活性剤及び樹脂組成物

沢田英夫, 龍谷栄一, 原 義房, 杉矢 正, 稲葉佳子(日本化学工業)

特願 平11-45901号(1999年2月24日)

Protein extraction using nonionic reverse micelles of Span 60

Naoe, K., Ura, O., Hattori, M., Kawagoe, M., and Imai, M. (Nihon Univ.)

Biochem. Eng. J., 2 (2), pp.113-119 (1998)

Solubilization behavior of flexibly structured protein into amphiphile-assemblies

Naoe, K., Kai, T., Kawagoe, M., and Imai, M. (Nihon Univ.)

4th Workshop "Principles of Protein Architecture" (Waseda Univ., Tokyo), p.234

(1998年12月9日 講演)

Triton-X-114による水性二相系を用いたタンパク質の分配挙動

田中公廣, 直江一光, 河越幹男, 今井正直(日本大学)

化学工学会第64年会(名古屋工業大学)

(1999年3月27日 講演)

シュガーエステル逆ミセルによるタンパク質の抽出条件

太佐友美, 直江一光, 河越幹男, 今井正直(日本大学)

化学工学会第64年会(名古屋工業大学)

(1999年3月27日 講演)

Extraction of flexibly structured protein in AOT reverse micelles: the flexible structure of protein is the dominant factor for its incorporation into reverse micelles

Naoe, K., Kai, T., Kawagoe, M., and Imai, M. (Nihon Univ.)

Biochem. Eng. J., 3, pp.79-85 (1999)

Protein extraction using sugar ester reverse micelles

Naoe, K., Nishino, M., Ohsa, T., Kawagoe, M., and Imai, M. (Nihon Univ.)

J. Chem. Technol. Biotechnol., **74**, pp.221-226 (1999)

食品成分の分離精製に向けた逆ミセル抽出法の応用

直江一光, 河越幹男, 今井正直 (日本大学)

食品工業, **42**(8), pp.35-43 (1999)

逆ミセル有機相のパーコレーションとタンパク質の可溶化

直江一光, 松本千春, 森井清二, 河越幹男, 今井正直 (日本大学)

日本膜学会第21年会 (日本薬学会会長井記念館, 渋谷) (1999年5月13日 講演)

Partitioning of hydrophilic proteins in Triton X-114-based aqueous two-phase system

Tanaka, K., Naoe, K., Kawagoe, M., and Imai, M. (Nihon Univ.)

The 8th Congress of Asian Pacific Confederation of Chemical Engineers (Seoul, Korea) (1999年8月19日 講演)

Extraction conditions for protein in sugar ester reverse micellar system

Ohsa, T., Naoe, K., Kawagoe, M., and Imai, M. (Nihon Univ.)

The 8th Congress of Asian Pacific Confederation of Chemical Engineers (Seoul, Korea) (1999年8月18日 講演)

Significant role of protein hydration in reverse micellar protein extraction

Naoe, K., Nakae, M., Yamamoto, M., Kita, Y., Kawagoe, M., and Imai, M. (Nihon Univ.)

The 8th Congress of Asian Pacific Confederation of Chemical Engineers (Seoul, Korea) (1999年8月18日 講演)

Effects of salts and sugars on phase separation for protein partitioning using nonionic detergent

Tanaka, K., Naoe, K., Kawagoe, M., and Imai, M. (Nihon Univ.)

The 5th International Symposium on Separation Technology between Korea and Japan (Yonsei Univ., Seoul, Korea) (1999年8月20日 講演)

Protein solubilization and enzyme activity in reverse micelles of sucrose fatty acid ester

Ohsa, T., Naoe, K., Kawagoe, M., and Imai, M. (Nihon Univ.)

The 5th International Symposium on Separation Technology between Korea and Japan (Yonsei Univ., Seoul, Korea) (1999年8月20日 講演)

逆ミセル有機溶媒の電気伝導度特性からみた逆ミセル間相互作用

森井清二, 松本千春, 直江一光, 河越幹男, 今井正直 (日本大学)

化学工学会第32回秋季大会 (金沢大学) (1999年9月28日 講演)

微生物細胞を用いたバイオエレクトロカタリシス

三木功次郎

Review of Polarography, **44**, pp.61-68(1998)

Aspergillus niger 固定化電極の電気化学的特性

三木功次郎, 俵元友子, 加納健司 (京大大学院), 池田篤治 (京大大学院)

第44回ポーラログラフイーおよび電気分析化学討論会 (平成10年12月1日 講演)

(一般教科)

『外からの眼』と民主主義－鶴見俊輔論への試み(その2)

木村倫幸

「季報・唯物論研究」, 第66号, pp.122-133
(1998年10月)

書評: 平澤是曠『哲学者 菅季治』(すずさわ書店)

木村倫幸

「季報・唯物論研究」, 第68号, pp.166-169
(1999年5月)

書評: 「21世紀へのアソシエーション論的転回を一新たなオルタナティヴを目指す試み」－捧・宇仁・高橋・田畑『二一世紀入門』(青木書店)

木村倫幸

「図書新聞」, 第2440号
(1999年6月5日)

『まともさの感覚』の民主主義について－鶴見俊輔論

木村倫幸

「季報・唯物論研究」, 第69号, pp.81-92
(1999年8月)

エンカルタ百科事典 99

大矢良哲

太秦・明日香村など歴史地名関係 12項目
マイクロソフト社(1999年)

ワレとワガの交錯－和歌の用例に関する覚書－

鍵本有理

「城南国文」, 第19号, pp.9-21
(平成11年2月20日)

万葉集における連体修飾－現代語との比較を通して－

鍵本有理

「国文学」(関西大学), 第78号, pp.373-388
(平成11年3月14日)

変化結果の助詞「に」と「と」の使い分け

－古代語「なる」に上接する場合を中心に－

鍵本有理

「国語語彙史の研究 十八」, pp.25-52
(平成11年3月25日)

ハンディは人を大きくするか(劇評)

神澤和明

「演劇会議」, 第98号, pp.94-97
(平成10年11月7日発行)

「遥かなる甲子園」と「うちやまつり」

神澤和明

「テアトロ」, 第679号, pp.36-37
(平成10年3月1日発行)

忍耐の先に在るもの(劇評)

神澤和明

「演劇会議」, 第99号, pp.99-103
(平成11年4月17日発行)

関西劇信「夢・大阪新劇団協議会の」

神澤和明

「悲劇喜劇」(早川書店), 第52巻第6号, pp.48-51
(平成11年6月1日発行)

国民はそっと裏切られる(劇評)

神澤和明

「演劇会議」, 第100号, pp.78-81
(平成11年7月10日発行)

関西劇信「半世紀を超える大阪労演」

神澤和明

「悲劇喜劇」, 第52巻第9号, pp.59-62

(平成11年9月1日発行)

『虞美人草』の「小供」たち

武田充啓

国文学年次別論文集平成九年版近代分冊

(平成11年9月)

Compiling intuitionistic linear logic programming languages

Mutsunori Banbara, Kyoung-sun Kang (Kobe University), and Naoyuki Tamura (Kobe University)

In Workshop on Linear Logic and Applications with the Special Intensive Lecture Series by J-Y.

Girard, (Keio Univ., Japan), (presentation, Feb., 1999)

線形論理型言語のJava言語による処理系の設計と実装

番原睦則, 姜 京順 (神戸大学), 田村直之 (神戸大学)

情報処理学会プログラミング研究会特集「プログラミング言語の設計と実装」

(平成11年6月17日講演)

1997年スポーツ史関連文献書誌

中房敏朗 (仙台大学), 松井良明, 鈴木純子 (東京YMCA 社会体育専門学校)

スポーツ史学会編『スポーツ史研究』, 12, pp.67-84 (1999年3月1日)

学生による自主実験の支援—学生のアイデアを活かして科学の芽を育てる—

宮本止戈雄

高等専門学校の教育と研究, 別冊第1号, (創造教育実践事例集), pp.8-12 (1999)

奈良工業高等専門学校 研究紀要第35号

平成12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. 35, 1999
CONTENTS

A Study on Surface Texture Parameters for an Approximate Contact Formula by the Various Contact Mechanism Theories	Minoru NONOGAKI	1
A preliminary inference of intentions on the web with searched words		
— Case studies by an analyzer for web-searched words —	Toshio HIRA and Takeshi MUTOH	5
Tool Wear in Turning of Sintered Steel	Tadahiro WADA	11
Motion Image Recognition for Intuitive Retrieval of Sign Language Image Database		
..... Toshiyuki KIRISHIMA, Kosuke SATO and Kunihiro CHIHARA .....	.....	15
Discrimination of Landscape Image based on spatial frequency	Shigeki Doi	21
An Analysis of Individual Characteristics Appeared in Strokes While Writing Japanese Characters		
..... Yoshikazu NAKAMURA and Yoshinobu KIKUYAMA .....	.....	25
Construction of DataBase on the Internet	Hirokazu NARITA	31
Development of software program for supporting education	Masayuki MIYATA and Takaomi MONJI	35
Formation method of desired motion using input torque patterns obtained through learning control of robot arm.		
..... Hiroaki ICHII, Norihisa FUKAO and Sadao KAWAMURA .....	.....	39
Computer Simulation of Step Response in Control System of High Order (No.2)	Takashi KURIMOTO	45
Computer Simulation of Transient Response and Lissajous Chart for Support of Experiment	Takashi KURIMOTO	53
Flow Visualization by Laser Induced Fluorescence Method		
..... Toshiya SAKABE, Nobuyuki NISHIGUCHI, Yoshio UNO and Masahiro KIYOMOTO .....	.....	59
Engineering Education to Cultivate the Creativity by Design and Production of Autonomous Robot (II)		
- Development of Interface Circuits and Control Programmings -		
..... Takahiro MICHISHITA, Hiroaki ICHII, Haruaki KISHIGE and Toshiya SAKABE .....	.....	63
Measuring method of an elastic coefficient of ceramics using X ray diffraction Dept. of Control Engineering		
..... Shigeki NISHIDA .....	.....	67
Receiving and Analyzing UoSAT-2 Whole Orbit Data	Fumio ASAI	71
Analysis of Debugger's Fault Localization Process in Software Maintenance		
..... Hideo KUDO, Shinji UCHIDA, Akito MONDEN and Ken-ichi MATSUMOTO .....	.....	75
A study for analyzing process data	Katsuya KONDO	81
Parallel Computation Method for Evaluating Maximum Number of Simultaneous Switching Gates of		
Combinational Circuit Using Cone Partitioning	Tadashi SEKO and Takeshi HIGASHINO	87
Reduction of CO ₂ using a Photochemical Diode with Dual Electrolyte		
..... Yasuyuki OHNISHI, Ikuichiro IZUMI, and Kohji MORIMOTO .....	.....	91
Kinetic Study on Removal of Salt from Plates Pressed Artificially and the Effect of Addition of Fluorinated		
Oligomers	Shinobu YOSHIHARA, Mikio KAWAGOE, Hideo SAWADA and Kozo KAWAMOTO	97
On a weak form of semilattices	Kenichi ARAGANE	105
Computer Assisted Instruction and Second Language Acquisition	Naoshi KANAZAWA	111
A Study of Shunsuke TURUMI's Theory about the Family	Tsuneyuki KIMURA	124
A Consideration on Natsume Soseki's <i>Wagahai wa neko de aru (I am a cat)</i>	Mitsuhiro TAKEDA	136
Abstracts		137
Five-Days School System and the Consciousness of Students (II)		
..... Tsuneyuki KIMURA and Yoshikazu NAKAMURA .....	.....	141
Research Activities in 1998~1999		149