

研 究 紀 要

第 33 号

平成 9 年度

奈良工業高等専門学校

目 次

構造物の概念設計支援における直感的理解の考慮	平 俊男・名古 朋子	1
自動温度サイクル繰り返し装置の改良	廣 和 樹	7
外周旋削可能なみぞ入れバイトによる高送り旋削	和 田 任 弘	11
ヒステリシスコンパレータを用いた電流追従形高力率コンバータ	井村 榮仁・芝山 清忠	17
Organic Photoelectric Devices using Evaporated Thin Films by Ion-Beam-Assisted Method Jun Kyokane, Rintarou Aoyagi and Katsumi Yoshino		23
視覚的条件付けによる身振りの実時間画像認識	桐 島 俊 之	29
環境音における高域成分の基礎的調査	土井 滋貴・下村 満子	35
MESFETを用いた光波と高周波のミキシング	松島 朋史・山本 恭隆	41
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	栗 本 尚	45
フーリエ級数によるひずみ波交流のシミュレーション	栗 本 尚	53
球形燃焼容器内における火炎冷却層厚さについて	中 田 敏 夫	59
空気圧ベローズアクチュエータを用いた介護補助用移乗機の開発 ... 早川 恭弘・山本 貴志・井関 典克		65
多重化探索を取り入れた改良シミュレーテッド・アニーリング法	浅井 文男・中道 上	71
A Multi-Valued DRAM with Nondestructive Read-Out Ryo IGARASHI, Yasuyuki FUJIWARA and Kenichi YAMAGUCHI		73
プログラム開発に関する学生実験の考察	工藤 英男・吉川 博史	77
実験用圧延機の圧下位置制御のシミュレーション	近藤 勝也・栗田 智・喜田 秀夫	83
FPGA を用いた LSI チップ作成の一試み	世 古 忠	89
AN ALGORITHM FOR GENERATING MAXIMUM WEIGHT INDEPENDENT SETS IN A CIRCLE GRAPH	Masakuni TAKI and Toshinobu KASHIWAHARA	93
ASIP 設計のための演算器とレジスタ数の最適化手法	本 間 啓 道	99
塩化銅-黒鉛層間化合物のCO ₂ 還元に対する電極触媒効果 泉 生一郎・浜田 洋司・濱田 薫・大西 康幸・岩下 哲雄		105
活性炭の再生に関する研究(4)	梅 原 忠	111
テーパ付きエアリフト気泡塔の酸素移動特性に及ぼす温度の影響	河越 幹男・上田 光洋	115
MS代数とストーン代数のシーケントによる形式化	荒 金 憲 一	119
柔道選手の苦手意識について - 高校生を対象として - 中西 茂巳・平野 嘉彦・正木 嘉美・藤猪 省太・細川 伸二・安河内 春彦・大谷 崇正		129
〈和文英訳批判〉再考	加 地 朱	135
視点の技法の新展開	片 山 悦 男	143
鶴見俊輔の自立の思想について	木 村 倫 幸	158
夏目漱石『草枕』の〈非人情美学〉	武 田 充 啓	168
論文抄録		169
出張報告	世 古 忠	173
教官研究活動一覧		175

構造物の概念設計支援における直感的理解の考慮

平 俊男・名古屋子*

Consideration of Designer's Sensory Understanding at Conceptual Structural Design

Toshio HIRA and Tomoko NAGO

At the conceptual stage of design, subjective decisions by designer's sense play an important role, since they are scarcely considered in the following stages in which objective technical decisions are dominant. Decision-making is vague for the sensory design aspects, and it is hard to extract them as design knowledge through conventional interviews of human designers. Past design cases are the results of hidden reasoning processes and contain the implicit design rationale of the human designer. A case-based approach is possible way to deal with such a subjective process. In this article, we discuss a framework to identify the relations among images of structure and sensory reputation from past design cases. The framework is examined for the case of bridge structure.

1. 緒 言

技術的水準が向上している今日では、構造物の機能、強度、コスト等の技術的側面に加え、構造物の美しさなどの非技術的な感覚的側面も重要な設計要因となる⁽¹⁾⁽²⁾。従って、設計問題は知識工学などの援用が可能な客観的に支持され得る理論的側面のみでなく、設計者個人の感性や直感に基づいて行われる意思決定などの様に、主観的にしか支持され得ない感覚的側面も有することになる。特に、設計過程の初期段階に位置付けられ、設計対象物の概略案を定める概念設計では、設計者個人の主観的意図決定が重要な役割を果たしている⁽³⁾。

計算機を利用する設計支援の試みの多くは、詳細設計等を対象とした設計過程の客観的側面に注目したものである⁽⁴⁾。また、設計者のヒューリスティックスや設計公式等を設計知識としてルールの形式に表現し推論を行う知識工学的アプローチも定着されつつある⁽⁵⁾。しかしながら、設計者の主観的意図決定には設計者自身にもほとんど意識されない直感的なものも多く、この論理を獲得する事は非常に困難となるので、いわゆる知識獲得の問題が生じてくる⁽⁶⁾。一方、過去の設計事例は、設計者の持つ潜在的・顕在的知識の明示的な表現形態の一つであ

り、設計者が明確に意識することなく行った主観的意図決定の結果をも含んでいる。従って、概念設計支援のように設計者個人の属人的情報を無視できない状況においては、過去の設計事例の活用が鍵となる。

本研究では、概念設計過程における設計者の主観的意図決定の論理として、設計対象物に対する設計者の感覚的な評価を考える。この時、設計対象物の視覚的イメージに対して想起される感覚的印象を、設計者による直感的理解の結果ととらえる。ここでは、これらの間の関連の同定を、感覚的情報の定量化手段として広く用いられているニューラルネット⁽⁷⁾によって行う枠組を示し、その有用性を議論する。また、概念設計支援の対象の例として橋梁構造物を取りあげる。

2. 概念設計とその支援

概念設計は、時間的な意味において設計過程の上流部分に位置付けられ、設計要求に合う全体的な設計案を創り出す段階であり、設計の鍵を握るといえる。一般に、この段階ではあり得る解は複数存在し、これら競合候補の「良さ」の評価をもとにひとつの設計案を形成していく。しかしながら、下流側の詳細設計のように、「重量」「コスト」などの客観的尺度が存在する場合と比較して、概念設計では、感覚的にしか扱われないデザインの要素

*本校卒業生 現在、奈良女子大学理学部

なども重要な設計要因となるので、競合候補の評価は困難となる。つまり、概念設計では、論理的な意思決定というよりも、むしろ設計者の感性的、直感的な意思決定こそが重要であり⁽⁸⁾、その際に設計者が、膨大な設計候補の中からある一つの解にたどり着くためには、右脳的情報処理ともいえる漠然とした能力が必要であるといわれている⁽⁹⁾。

設計におけるデザイン性の考慮は、自動車に対する応用から始まり⁽¹⁰⁾、長町らが提唱した「感性工学」がよく知られている⁽¹¹⁾。これらは、設計対象物の一次的機能に深く関わる部分を主に扱うものではないが、機能と構造形態とが密接に関連している橋梁構造物においても、感性的な部分は重要とされている^{(12)~(15)}。構造物を対象とする概念設計の場合、デザイン性の面からの構造形態の変更は、即座に構造機能へ影響を与える。もちろん逆も同様である。従って、設計支援においては、デザイン性・構造機能を明確に分けて取扱うわけにはいなくなる。

計算機システムによる構造物の概念設計の支援では、設計者の主観的側面と構造機能性のような客観的側面とを同時に扱う際のバランスが重要となる。このためには、バッチ・ジョブ的な設計解の生成ではなく、設計者による意思決定の結果の構造機能性・デザイン性等の側面からの評価を常にフィードバックすることで設計者を補助していく対話的な支援が求められる。ここでは、対話的な支援における、設計対象物の感覚的評価の枠組について議論を行う。

3. 設計対象物に対する直感的理解の考慮

3. 1 設計者の直感的理解

一般に、設計対象物の形態と感覚的印象とを関連付ける際には、形態要素の位置等の属性値によって対象物を表現することが行われる。このアプローチでは対象物を属性集合としてモデル化する部分に関連付けの成否がかかっており、属性としてとりあげられなかった形態上の特徴は省みられない。例えば、橋梁構造物の代表的な属性の1つである橋梁形式とその感覚的印象とについて次のような整理がみられる⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾。

- (a)アーチ橋：アーチリブの曲線と直線部材の繊細さのバランスからくる「優美さ」に特徴がある。
- (b)トラス橋：斜材の繰返しによる「リズム」が特徴で、多数の骨組みによる「存在感」が強調される。
- (c)斜張橋：直線からなる幾何形状は「緊張感」と「現代的センス」がある。
- (d)つり橋：「柔らかさ」があり「繊細」な美しさがある。

(e)けた橋：単純な形態の中に、「軽快さ」、「明快さ」、「簡潔なアクセント」がある。

しかしながら、実際に我々が受けている構造物の印象はもっと複雑であり、漠然としている。時には「重厚感と軽快感を併せもつ」⁽¹⁸⁾のように一見矛盾する印象すら述べられており、構造形態のどの属性が感覚的印象に関連するかは明確には記述しがたい。従って、設計対象物のモデル化は非常に困難なものとなる。また、概念設計における意思決定では、福田が指摘するように、大域的な視点からの判断が重要なのであり、局所的な情報の役割は小さい⁽¹⁹⁾。

ここでは、設計対象物を明示的に属性化して表現せずに全体として大域的に捉ええるために、画像イメージのみを直接に感覚的印象と関連付けることをニューラルネットによって試みる。また大域的に設計対象物を見ている結果が、感覚的な判断を可能としていると考え、その論理的には記述できない根拠を、設計者の直感的理解とよぶ。

3. 2 設計事例の表現

3.2.1 事例に対する感覚的印象

橋梁構造物の美観等について論じた文献^{(12)~(14)}では、感覚的デザイン性を表す代表的な形容語として、表1に示すようなものが挙げられている。ここでは、設計事例集等より事例に対する「優美」等の印象を収集し、該当する感覚的形容語には1、しない形容語には0を与えることで事例の感覚的印象を表現する。本来、人間による感覚的印象は0または1の二値ではなく、0~1の間の実数値をとると考えられるが、文献で言及されている場合、既に程度に関する情報が落ちていることなどから、最も単純なケースとして0と1を用いた。従って、設計事例 c_n に対する感覚的印象は I 個の形容語に対する帰属の度合を用いて、

$$s_n = [s_1, s_2, \dots, s_I]^T, (s_i \in \{0, 1\}) \dots\dots\dots (1)$$

として表される。

3.2.2 事例画像の表現

ここで扱う設計事例画像は橋梁構造物の2次元スケルトン側面図であり、基本的に線画であるが、ニューラルネットの入力層ユニット数を減じるためにピクセル化処

表1 橋梁構造物を表現する代表的な感覚的印象語

・優美	・リズム感
・軽快	・シャープ
・躍動	・合理的
・近代的	・スレンダ
・象徴的	・力強い
・スマート	

理を施し、モノクロの階調表現で示した画像を用いる。また、設計事例のスケールは考慮せず、形態のプロポーションのみを扱うためにサイズを正規化し共通の画素数で表した。階調は0から1の実数値で表した。画像の水平方向のピクセル数 W 、垂直方向のピクセル数 H 、及び位置 (w, h) における階調値 g_{hw} を用いて、設計事例 c_n の事例画像は要素数 $W \times H$ のベクトル、

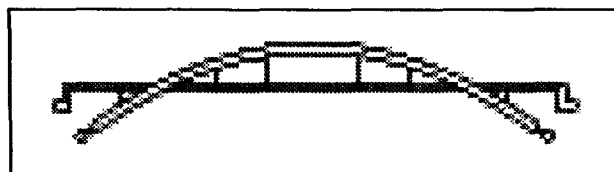
$$\mathbf{p}_n = [g_{11}, g_{12}, \dots, g_{1w}, g_{21}, \dots, g_{HW}]^T, \dots (2)$$

$$(0 \leq g_{hw} \leq 1)$$

として表される。図1に橋梁構造物2次元スケルトン側面図から学習入力データへの変換の例を示す。



(a) 橋梁構造物2次元スケルトン側面図



(b) 学習入力データ $\mathbf{p}_n$

図1 事例画像の学習入力データへの変換例

3. 3 誤差逆伝播法による関連付け

橋梁構造物の設計事例と感覚的評価の関連付けには、階層型ニューラルネットを誤差逆伝播法により学習させることを行った。設計事例 c_n について、その事例画像 $\mathbf{p}_n$ と、それに対して感覚的形容語で表されている既知の印象 $\mathbf{s}_n$ とをそれぞれ入出力 $(\mathbf{x}, \mathbf{y})$ としたものを1組の学習データとする。以下に学習の概略を示す⁽²⁰⁾。

m 層からなるネットワークにおいて、第 k 層の第 i ユニットへの入力の総和を d_i^k 、出力を o_i^k とし、第 $k-1$ 層の第 i ユニットから第 k 層の第 j ユニットへの結合の重みを w_{ij}^{k-1} とする。各ユニットの入出力関係を与える関数を f とすると、これらの関係は、

$$o_j^k = f(d_j^k),$$

$$d_j^k = \sum_i w_{ij}^{k-1} o_i^{k-1} \dots\dots\dots (1)$$

となる。学習は、入力 $\mathbf{x}$ とそれに対する既知の出力 $\mathbf{y}$ の組を、適当なパターン数与え、最終層のユニットについてニューラルネットの出力 $o_j^m(\mathbf{w}, \mathbf{x})$ と、教師信号として与えた既知の出力 y_j を比較し、その誤差に基づいて重み $\mathbf{w}$ の修正を行う。ただし $\mathbf{w}$ は、ネットワークの結合重み全てをまとめて表したものである。ここで、結合の修正量は次のように表せる。ある学習パターン $(\mathbf{x}, \mathbf{y})$ に対し、

$$r = \frac{1}{2} \sum_j (o_j^m(\mathbf{w}, \mathbf{x}) - y_j)^2 \dots\dots\dots (2)$$

で定義される誤差関数 r を最小にするためには、 r の $\mathbf{w}$ に関する勾配を用いて、重みの修正量 Δw_{ij}^{k-1} を

$$\Delta w_{ij}^{k-1} = -\varepsilon \frac{\partial r}{\partial w_{ij}^{k-1}} \dots\dots\dots (3)$$

とする。ただし ε は1回の修正量を決めるパラメータで小さな正の定数にとる。また $\partial r / \partial d_i^k = d_i^k$ とおくと、

$$\Delta w_{ij}^{k-1} = -\varepsilon d_j^k o_i^{k-1},$$

$$d_j^m = (o_j^m - y_j) f'(d_j^m),$$

$$d_j^k = (\sum_i w_{ij}^{k+1} d_i^{k+1}) f'(d_j^k) \dots\dots\dots (4)$$

となる。この修正を誤差関数 r が十分小さくなるまで反

復することで、結合重み $\mathbf{w}$ を得る。なお、ユニットの入出力関係 f をすべてのユニットについて共通のシグモイド型関数、

$$f(x) = \frac{1}{1 + \exp(-x)} \dots\dots\dots (5)$$

とすれば、 $f'(x) = f(x)(1-f(x))$ となるから、

$$f'(d_j^k) = o_j^k (1 - o_j^k) \dots\dots\dots (6)$$

と求められる。

4. 事例画像と感覚的印象の関連付け及び新規設計候補に対する感覚的評価

4. 1 誤差逆伝播法による学習の確認

3層からなる階層型ニューラルネットを用い、誤差逆伝播法による学習の入力データとして、橋梁構造物の事例画像 (120×32画素、モノクロ256階調) を用いる。従って、入力層でのユニット数は3840となる。出力には、表1に示した11の形容語への帰属の度合いを用い、出力層でのユニット数は11となる。学習は10件の設計事例 $c_1, \dots, c_{10}$ について行い、10組の事例画像 $\mathbf{p}_1, \dots, \mathbf{p}_{10}$ とそれに対する感覚的印象 $\mathbf{s}_1, \dots, \mathbf{s}_{10}$ を用いた。また、中間ユニット数を100、学習回数を4000回、重みの修正係数 ε を0.01とした。

まず最初に、ネットワークの結合重み $\mathbf{w}$ を $(-1, 1)$ の範囲でランダムに与え、誤差逆伝播法による学習を行い、重みの修正を行った。学習の程度を、学習パターン $(\mathbf{p}_n, \mathbf{s}_n)$ に対する誤差 r_n (式(2)) の平均

$$\bar{r} = \sum_{n=1}^N r_n \dots\dots\dots (7)$$

(ただし N は学習パターンの総数) で評価し、図2に学習回数に対する平均誤差の推移を示す。4000回の学習

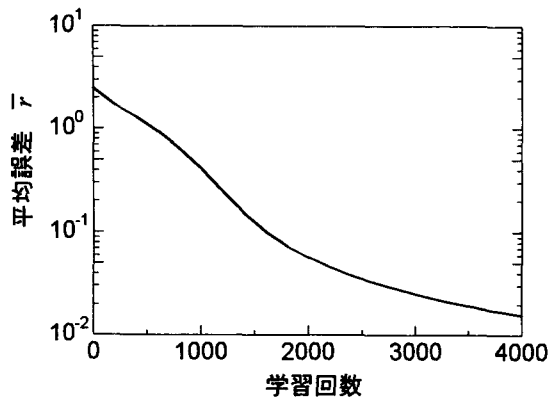


図2 学習に対する平均誤差の推移

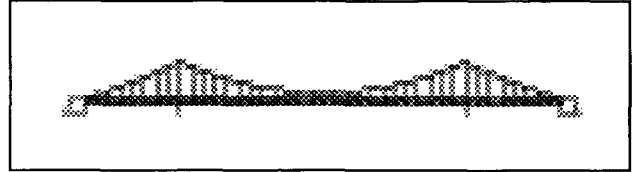
で、平均誤差が0.02以下と、ランダムに重みを与えた学習開始時点から1/100程度に減少していることが分かる。

4. 2 新規設計候補に対する感覚的評価の検討

ここでは、学習データとしては与えなかった未学習の設計候補の画像に対して、前節の学習によって得られた結合重み w を用いた場合、どのような感覚的評価がネットワーク出力として得られるかを検討する。

図4(a)に示すブレストリップを持つ上路2ヒンジアーチ c_1^* に対してピクセル化を行い、ネットワークへの入力 p_1^* とした場合に得られた計算出力 σ_1^* は、学習データとして与えた設計事例 c_6 (図3(b)上路固定アーチ) の感覚的印象とほぼ一致している。これは、両者の構造形態の差異がアーチリブの支持部分だけであるために、ほぼ同じ評価が得られたと考えられる。つまり、ニューラルネットによる感覚的評価は、形態が類似している設計事例に対する感覚的印象に類似のものとなることが分かり、前節で行った学習が未学習の設計候補に対する感覚的評価として利用可能なものであることが分かる。

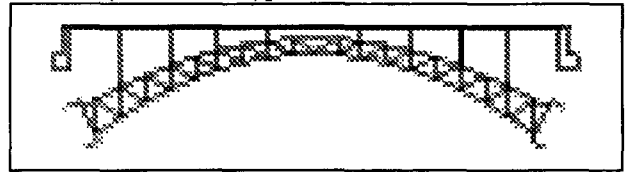
同様に、新規設計候補 c_2^* (図4(b)Büschel型斜張橋) に関する感覚的評価 σ_2^* については、基本的な構造形態が類似の設計事例 c_9 (図3(c)Harfen型斜張橋) の感覚的印象 s_9 に類似している。しかし「軽快」、「近代的」、「合理的」の形容語についてはそれぞれ0.48、0.37、0.56減少し(波線部)、「優美」、「象徴的」、「スマート」の形容語に対してはそれぞれ0.47、0.41、0.35増加している(下線部)。つまり新規設計候補 c_2^* は設計事例 c_9 に比して、「軽快」、「近代的」、「合理的」な印象は弱いものの、「優美」、「象徴的」、「スマート」な印象は強いとの評価が現れていると考えられる。学習事例中で同様の感覚的印象を持つのは、図3(a)に示すようなつり橋構造物であり、設計候補 c_2^* は、基本的に設計事例 c_9 に基づ

事例画像(120×32画素) p_3 

感覚的印象: 優美, 象徴的, スマート

($s_3 = \{1, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0\}$)

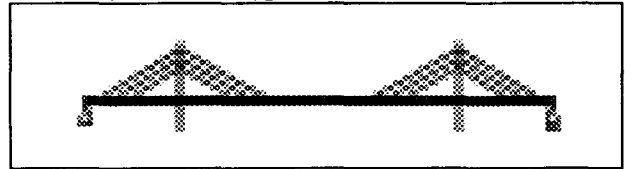
(a) 設計事例 c_3

事例画像(120×32画素) p_6 

感覚的印象: 躍動, 象徴的, 力強い

($s_6 = \{0, 0, 1, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 1\}$)

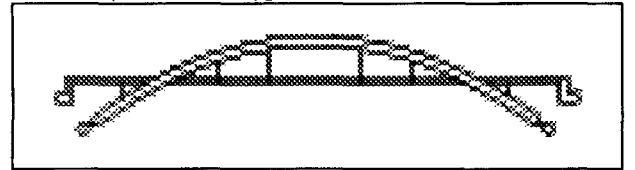
(b) 設計事例 c_6

事例画像(120×32画素) p_9 

感覚的印象: 軽快, 近代的, 合理的

($s_9 = \{0, 1, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0\}$)

(c) 設計事例 c_9

事例画像(120×32画素) p_{10} 

感覚的印象: 優美, 軽快, 近代的, スマート, スレンダー

($s_{10} = \{1, 1, 0, 1, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 0\}$)

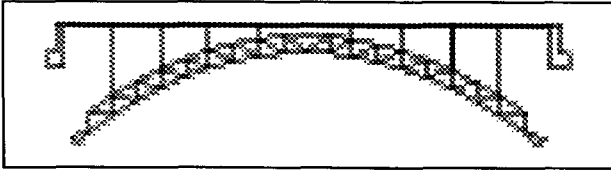
(d) 設計事例 c_{10}

図3 学習事例の入力の例

く評価を持つが、斜張ケーブルの定着パターンを変えることにより、つり橋構造物の持つ印象も与え得るとみなせる。

図4(c)に示すブレストリップを持つ中路固定アーチ橋の設計候補 c_3^* について得られた感覚的評価 σ_3^* は、学習事例中に2事例与えていたアーチ橋構造を持つもののうち、同じ中路形式のアーチ橋設計事例 c_{10} (図3(d)の感覚的印象 s_{10} に近いものとなる。入力画像のみであるので、橋梁構造物の路面位置属性が陽には含まれていないにもかかわらず、出力には、中路式のアーチが「近代的」で「軽快」な印象を与えるとされる⁽²⁾ことが現れている。また、設計事例 c_{10} に対する既知の感覚的

設計候補画像(120×32 画素) p_1^*

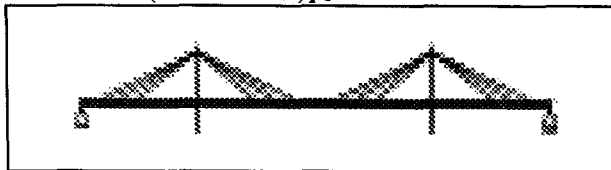


感覚的評価：

$\sigma_1^* = \{ \text{優美: 0.05, 軽快: 0.00, 躍動的: 0.89, 近代的: 0.01, 象徴的: 0.96, スマート: 0.02, リズム感: 0.01, シャープ: 0.02, 合理的: 0.02, スレンダ: 0.03, 力強い: 0.91} \}$

(a) 新規設計候補 c_1^*

設計候補画像(120×32 画素) p_2^*

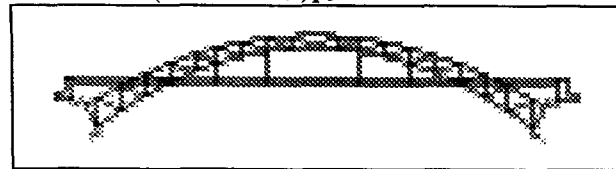


感覚的評価：

$\sigma_2^* = \{0.47, 0.52, 0.02, 0.63, 0.41, 0.35, 0.00, 0.05, 0.44, 0.06, 0.02\}$

(b) 新規設計候補 c_2^*

設計候補画像(120×32 画素) p_3^*



感覚的評価：

$\sigma_3^* = \{0.88, 0.85, 0.01, 0.71, 0.10, 0.96, 0.00, 0.03, 0.07, 0.67, 0.01\}$

(c) 新規設計候補 c_3^*

図4 新規設計候補に対する感覚的評価

印象と比べ、このトラス組みのアーチリブを持つ設計候補への評価は「近代的」、「スレンダ」な印象がやや薄れ（それぞれ0.29、0.33減少）、「象徴的」な印象がやや増加している（0.10）。これは、アーチリブにトラス構造を用いることによる印象の変化が現れているものとみなせる。

これらより、感覚的印象を設計事例画像に直接関連付けることが、新規な設計候補の感覚的評価に対しても利用可能なことが分かる。この関連付けによって、設計対象物を属性化せずに行われる感覚的な評価、すなわち設計者の直感的な理解を設計支援過程に考慮することが可能となると考えられる。

5. 結 言

構造物の概念設計において主観的にしか支持され得ない感覚的側面をも考慮するために、設計者の意思決定の要因として、設計対象物の構造形態に対する感覚的印象に着目した、このとき、構造物の形態を、構造属性等を陽には含まない画像のみによって表し、これに感覚的印象を直接関連付けることを、ニューラルネットの学習により行い、その妥当性を確認した。また、学習データとして与えた事例画像だけでなく、未学習の新規設計候補に対しても、妥当な感覚的評価が得られる事が確認された。これによって、設計者が概念設計過程で行っている直感的な理解を反映する設計候補の評価を行う事が可能となる。

実際の構造設計者の対象物に対する感覚的な印象には、ここに示した単純な視覚的印象だけではなく、潜在的な力学的理解も影響を与えていると考えられる。つまり、対象物の各分野の圧縮や引張等の力学状態とそのパターンが、「優美」や「力強い」などの感覚的印象を左右している。これらの関連付けとその考察によって、概念設計過程における設計者のカンといった部分をも考慮する支援とすることを今後の課題として考えている。

参考文献

- (1)長町、感性の評価と情緒工学、日本機械学会誌、91-838,(1988),955.
- (2)高梨、設計美学に基づく機械設計法、日本機械学会誌講演論文集、No910-62,Vol.D,(1991),173.
- (3)赤木、設計工学（上）、(1991)、60、コロナ社.
- (4)例えば Olhoff, N. and Rozvany, G.I.N. (eds.), *Structural and Multidisciplinary Optimization*, (1995), Pergamon.
- (5)赤木、設計工学（下）、(1991)、67、コロナ社.
- (6)溝口、設計問題の知識工学的考察、機械の研究、43-1,(1991)、1.
- (7)例えば、森、デザインの工学、(1991)、182、朝倉.
- (8)ファーガソン、E.S. (藤原・砂田訳)、技術屋の心眼、(1995)、14、平凡社.
- (9)山中、製品の心理的機能とコンフィギュレーション・レイアウト、日本機械学会講習会資料、No96-54,(1996)、53.
- (10)神藤、設計と感性工学（自動車開発を事例として）、日本機械学会部門・関西支部第11回講習会 設計のためのニューテクノロジー教材、(1992)、59.

- (11)長町, 感性工学－感性をデザインに活かすテクノロジー, (1989), 25, 海文堂.
- (12)日本道路協会編, 橋の美, (1977), 1, 丸善.
- (13)関西道路研究会編, 人道橋の景観設計, (1991), 63, 鹿島出版会.
- (14)土木学会構造工学委員会編, 美しい橋のデザインマニュアル, (1982), 土木学会.
- (15)藤田, 明石海峡大橋, 橋梁と基礎, 29－8, (1995), 81.
- (16)例えば、文献(12)の p.64や文献(13)の p.65.
- (17)芦原・藤沢, 新木津川大橋, 橋梁と基礎, 29－8, (1995), 91.
- (18)文献(13)の p.122.
- (19)福田 (日本機械学会編), 形態とデザイン, 1章 形態の意味, (1993), 6, 培風館.
- (20)麻生, ニューラルネットワーク情報処理, (1988), 48, 産業図書.
- (21)田中・平, 構造物の概念設計支援のための事例の感覚的評価と候補生成, 日本機械学会論文集C編, 60－570, (1994), 519.

自動温度サイクル繰り返し装置の改良

廣 和樹

The Improvement of Automatic Temperature Cycle Repeater

Kazuki Hiro

本研究は、負の圧力下の液体物性を測定するうえで基礎となる高負圧発生技術の確立を目的としている。今回はこれまでに、負圧測定に使用してきた自動温度サイクル繰り返し装置を、より多数回の温度サイクル測定が可能となるように、装置の安全性を高めるよう改良を行った。

キーワード： 負圧 (Negative pressure) 自動温度サイクル繰り返し装置 (Automatic Temperature Cycle Repeater) 金属容器ベルセロ法 (Metal Berthelot Method)

1. 緒言

液体が本来持っている体積に比べて膨らんだ状態にあるとき、液体には引張り力が作用する。そして飽和蒸気圧以下となれば負圧となる。この状態は、液体内に微少な気泡が存在すれば瞬時に気液共存状態に移行する。この相変化をキャビテーションといい、ポンプやスクリューの性能向上の妨げとなり、これが高い負圧を得ることを困難にしている。

現在のところ、高負圧を発生させるための有効な実験方法は水でさえ確立されておらず、よって負圧下の液体物性の測定を行ったという報告も正圧状態からの外挿によるものがほとんどである。

このようなことから、本研究では、液体物性測定に適した金属容器ベルセロ法を用い、負圧測定を行っている。この方法では、高温で試料水を金属容器に充填し容器全体を冷却することで負圧を発生させている。そしてこれまでに負圧測定装置には、温度の異なる2つの恒温槽中に容器を交互に沈め、これを多数回繰り返す自動温度サイクル繰り返し装置を製作し実験していた。しかし、装置の老化、安全面の欠如などにより、本来ならば無人化であるべき装置もデータを繰り返し採り続けることが困難であった。以上のようなことから今回は、装置の安全性を高め、自動化繰り返し測定できるように実験装置の改良を行った。

2. 金属容器ベルセロ法

金属容器ベルセロ法は金属容器に液体を密封し容器全体の温度を変えて、容器と液体の膨張率の違いによって高温による正圧、低温による負圧を発生させる方法である。そして負圧発生からキャビテーションによって気液共存の状態に移行すれば、容器全体を加熱することにより気体相を液体相に溶け込まして、高温正圧と低温負圧(温度サイクル)を繰り返す。この方法の利点は負圧を準静的に発生させるため負圧を保持できることと金属ひずみの測定により圧力測定が容易なことである。逆に欠点は温度の昇降を多数回繰り返さなければ大きな負圧は得られないことと密封系であるため内部の状態を直接観察できないことである。

3. 実験装置の改良

3. 1 自動温度サイクル繰り返し装置

図1に今回、改良を行った実験装置の概略図を示す。負圧の測定はこれまでと同様である。温度の異なる恒温槽に実験容器(ベルセロ容器)をモータにより交互に沈め、高温槽側でまず正圧を発生させ、つぎに低温槽側で負圧発生を行う。温度低下により負圧が増加しやがてキャビテーションが起こるとコンピュータによって発生負圧を測定し再び容器を高温側に移動させる。この一連の動作(温度サイクル)を自動的に繰り返す。

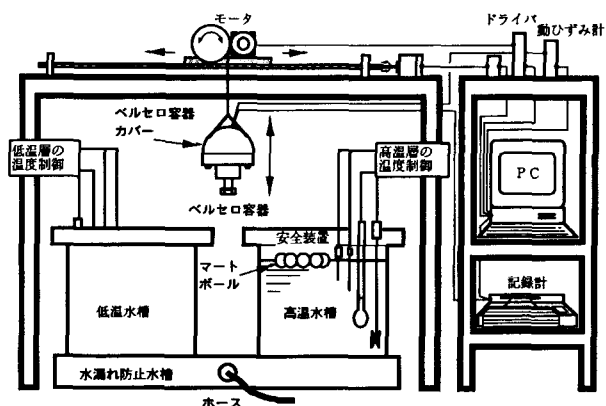


図1 実験装置

3. 2 装置の改良

これまでの実験結果より、温度サイクルを1000回（最大で3000回程度）繰り返すと負圧は -10Mpa 程度まで増加することがわかっている。1サイクルにかかる時間は平均して10分、実験準備期間などを考慮して1つのデータを得るのに10日程度かかる。よって無人化で故障せずに繰り返し測定することがどうしても必要となってきた。以下に改良を行った部分について述べる。

(1) 水位調節器

高温、低温水槽の水位は、水の蒸発により変化する。水温はどちらも $60\sim 80^\circ\text{C}$ の高温にするため、水位変化が激しい。この水位を一定に保つために、図2(a)に示すような水位調節器を使用してきた。構造は、水位が変化することによりフロートが上下する。そして、フロートがある位置まで下がると水が供給され、その位置より上にくると水が止まるという仕組みになっている。しかし、このフロートの浮力は弱く、フロートと支柱の間に水垢が付着するなどの原因で、フロートが下がったままの状態になり水が供給され続け、水漏れ事故がたびたび起こり実験中断となった。そこで、フロートの浮力を増すために図2(b)に示すようにボールをフロートの両サイドに取り付け、給水部分を短くし給水量を確認できるようにした。これにより水漏れ事故は起こりにくくなった。

(2) 水漏れ防止水槽

フロート部の改良によりかなりの確立で水漏れは防げるが万一水漏れが起きたとしても水が周囲に流出しないように図1に示された水漏れ防止水槽（ $1220\times 760\times 220$ ）を用意しこれにホースを取りつけ貯まった水を排出できるようにした。

(3) 温度制御機器の配線

温度制御機器のブロック図を図3に示す。高温水槽、低温水槽のヒータの消費電力は 1.5kW 、 1kW でともに供給電源は交流 100V である。配線に使う銅線の径はジュール熱による発熱を避けるため太いものを使用していたが、

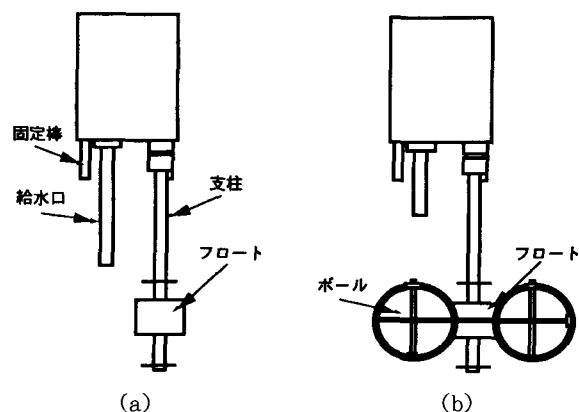


図2 水位調節器

これまで各電力機器やコンセントなどの接続部（図の×印）に圧着端子を用い銅線を圧着していた。その結果、圧着部分から銅線が劣化し始めついには断線してしまうといった故障がたびたび起こった。これは圧着することによってその断面積が小さくなって大きな抵抗値を持つようになりジュール熱による発熱が激しかったためである。そこで銅線にはより線を用いず、さらに圧着端子と銅線をはんだづけし、圧着せずに接続するようにした。これによりジュール過熱による断線は全く起こらなくなった。

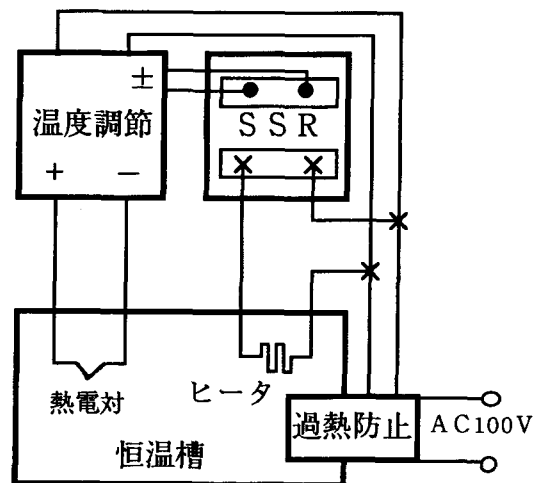


図3 温度制御のブロック図

(4) ヒータ加熱防止装置の取り付け

これまでの装置では水位調節器のフロートが上がったままの状態の水が供給されないまま水槽が空焚きになることがあり危険であった。図3に示したように槽の温度調整は槽中に挿入された熱電対により水温を測定し、温度制御器によりヒータをオンオフ制御する。もし水が供給されないまま温度計の測定位置の下まで蒸発すると室温を測定することになり空焚きしてしまい危険である。そこで図4のようなヒータ過熱防止装置を取り付け水位が熱電対の測定位置の下まで下がると強制的にヒータ電

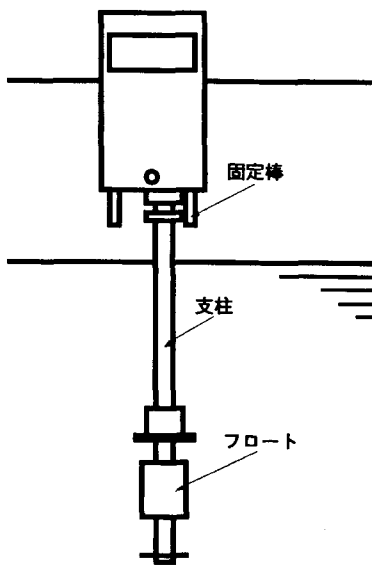


図4 ヒーター過熱防止装置

源を切るようにした。

(5)ベルセロ容器カバー

恒温層からの水の蒸発を少しでも防ぐように図1に示されたようなマートボールを浮かべている。これが容器の移動とともに移動し槽間に落下したり、どちらかの槽に片寄ったり、水位調節器のフロート部分につまるといった悪影響を及ぼしていた。そこで、ベルセロ容器に図5に示すカバーを取り付けた、これによりマートボール移動を妨げるようになった。

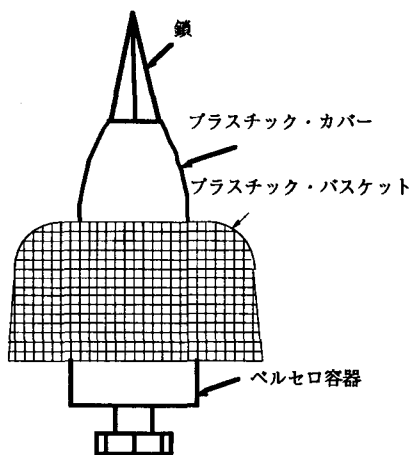


図5 ベルセロ容器カバー

(6)水槽カバーの取り外し

これまでの水槽は図6 (a) に示すようなステンレス製36l 容器に断熱材を巻きさらに保護容器で覆って使用していた。これは槽側面から熱が逃げのを抑え熱効率（ヒータの消費エネルギーに対する水温上昇に必要な熱量の割合）も良いと思っていたからである。しかし断熱材と保護容器を取り外した状態で熱効率を調べたところ取り外さなかった状態で63%、取り外した状態で61%と

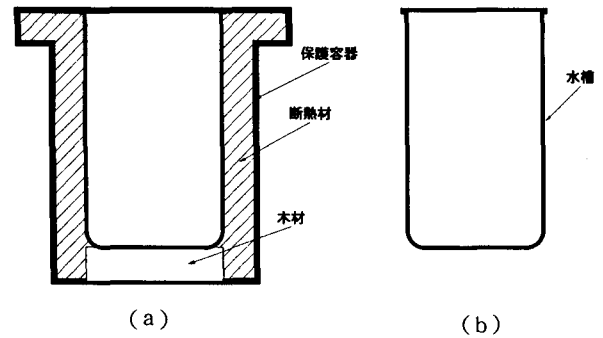


図6 水槽

あまり変わらなかった。そこで水槽カバーを取り外した状態 (b) で使用することにした。これにより無駄なスペースを取り除き槽の構造を簡単にすることができた。

4. 結言

実験装置自体の無人化を目指し安全性の向上のために実験装置の改良を行った。その結果、約1週間（1000サイクル程度）の無人化による自動温度サイクル測定が可能となった。これにより安心して自動温度サイクル繰り返しによるデータ収集が行えるようになった。

5. 謝辞

本研究を行う上で協力くれた平成8年度卒研生の木村一平君、下西隼人君、勝田直志君に深く感謝します。

6. 参考文献

- (1)電子温度調節器総合カタログ omron

外周旋削可能なみぞ入れバイトによる高送り旋削

和田 任弘

High Feed Rate Turning with a New Grooving Tool

Tadahiro WADA

A new type grooving tool was developed for both the turning and the grooving. This tool has a special holding system of an insert on a tool holder. This tool is effective from the view point of machining time, down time and the number of required tools. However, in taper turning at the high feed rate, the surface roughness increases with the increase of the approach angle. This is caused by the linear cutting edge of this tool (Insert I). Then, the rounded cutting edge (Insert II) was applied. In turning of a circular cylinder of SS400 with the insert I or II. It was found that the insert II could get the better surface roughness than the insert I. Particularly, in high feed rate turning with the insert II, there was little influence of the approach angle from -2 degree to 18 degree on the surface roughness. Moreover, the chatter vibration, the chip configuration and the true depth of cut etc. were investigated experimentally.

The main results obtained are as follows: (1) In the turning of SS400 with the insert II, the chatter vibration was prevented at the high feed rate. (2) In the turning of SS400 with the insert I, the difference between the depth of cut and the true depth of cut became large. However, in the case of the insert II, it became very small. (3) There were no remarkable differences in the direction of the chip flow, the cross section of the chip and the cross section area of the chip between the insert I and the insert II.

1. 緒 言

旋削において、外周切削あるいはみぞ削りをする場合、各用途に応じたバイトを用いるのが一般的である。現在、外周切削とみぞ削りが可能な多機能バイトが各工具メーカーから市販されている。しかし、このバイトで送りを大きくしてテーパ部の切削を行うと、テーパ部の勾配の増加につれ前切れ刃角が増加するため、表面粗さは急増する。これは、このバイトの前切れ刃が直線状であるためである。そこで、そのときの表面粗さを改善するために、前切れ刃を円弧状に改良した多機能バイトを試作した。さらに、SS400材丸棒の外周旋削を試作バイトで行い、アプローチ角や送りが表面粗さなどに及ぼす影響を調べた。その結果、試作バイトで外周旋削した場合の表面粗さは、アプローチ角が大きくなっても、市販の多機能バイトに比べかなり小さいことなどがわかった^{*)}。

次に、本研究では、本試作バイトの実用化を検討する

ために、びびりの発生状況、切りくずの流出状態などを詳細に調べ、また、市販の多機能バイトとの比較検討も行うことを目的とする。

2. 実験方法

使用旋盤は、森精機製作所製高速旋盤 (MS850型) である。

使用チップは、市販の外径みぞ入れ加工用スローアウェイチップ DGJ50CE 型 (三菱金属社製 超硬合金 JIS M 30種) を、図1に示す2種類の形状に研削加工したものである。図(a)に示すチップIは、一般に市販されているものとはほぼ同じ形状で、直線状の前切れ刃を有している。図(b)に示すチップIIは、図(a)のチップIの前切れ刃を円弧状に研削加工したものである。なお、図1に示すチップIならびにチップIIのコナ半径は、コナ部の強度を考慮してともに0.4mmとし、これらのチップを外径みぞ入れ用バイトホルダ DGHR2525M-EB5R 型に取付け切削実験を行った。以下、チップI、IIを外径みぞ入

* その結果の一例を、付録に示す。

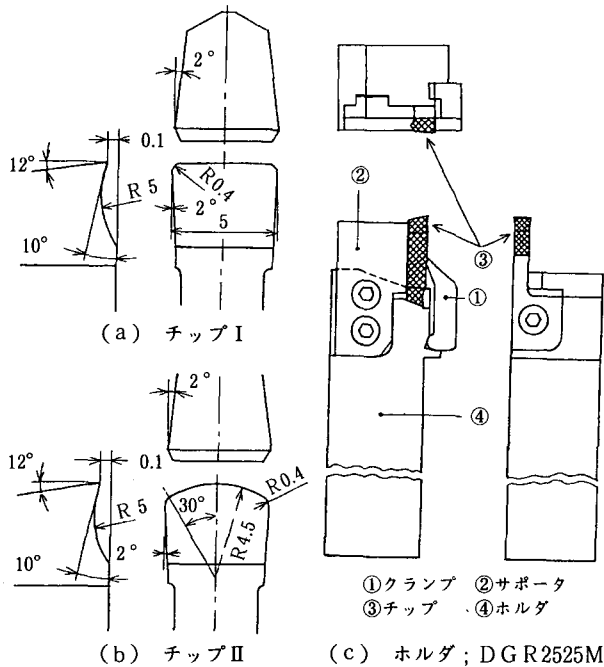


図1 スローアウェイチップおよびバイトホルダ

表1 切削条件

切削速度 V	3.0 m/s
送り S	0.098~1.004 mm/rev
切込み a	0.1~2.0mm
アプローチ角 Ψ	-2~58°
被削材	SS400
切削方式	乾式

れバイトホルダに取付けたバイトを、それぞれバイト I、II とする。また、このバイト I、II の横切れ刃は、バイトの軸に対して -2° 傾いている。このため、通常の取付け状態、すなわちバイト I において前切れ刃角 0° となるようにバイトを刃物台に取付けた場合、アプローチ角は -2° となる。

表 1 に、外周旋削時における切削条件を示す。この切削条件で、SS400 材丸棒の外周旋削をアプローチ角を変化させて行い、送りや切込みが切りくず形状、びびり振動の発生状況、切りくずの流出角、切りくずの断面形状ならびに切りくず断面積などに及ぼす影響を調べた。また、SS400 材丸棒のみぞ削りを乾式で行い、送りが、切削抵抗および切りくず厚さに及ぼす影響を調べた。なお、切削速度は、2.5m/s、みぞ幅は 5 mm とした。

3. 実験結果および考察

3. 1 びびり振動の発生の有無

既に報告されているように^①、市販の多機能バイトは、みぞ削りだけでなく外周旋削も可能であるが、このバイトが外周旋削可能なのはスローアウェイチップの保持方法によるところが大きいと考えられる。すなわち、前述のように、このバイトは前切れ刃角 0° の直線状の切れ刃を有しているが、送り方向のバイトの剛性が低いため、切削中、切削力（主として送り分力）によりチップが送りと逆方向にたわみ、小さな前切れ刃角が生じる。したがって、この多機能バイトは、通常の外周旋削用バイトに比べ剛性が低く、びびり振動が発生しやすいと考えられる。そこで、図 1 に示すバイト I、II で、SS400 材の外周旋削を行い、びびり振動の発生を調べた。その結果を図 2 に示す。図 2 において、×印は、びびり振動が加工音となってあらわれ、さらにびびりマークが仕上げ面に目視観察されたことを示す。△印は、びびりマークは目視観察されなかったが、加工音が観察された場合である。○印は、びびり振動および加工音いずれも観察されなかった場合である。まず、図(a)に示すバイト I の場合について述べる。アプローチ角 -2° の場合、切込みが 0.5mm 以下では、いずれの送りであってもびびりは発生する。これは、切込みが小さい場合、バイト I の前切れ刃が切削仕上げ面に接触し、びびり振動が発生すると考える。これに対し、切込みが大きい場合、切削力が大きくなり、バイト I に小さな前切れ刃角が生じ、前切れ刃全体が切削仕上げ面に接触せず、びびり振動は発生しないと考えられる。アプローチ角を 8° に大きくすると、びびり振動の発生はみられない。アプローチ角 18° 以上の場合、アプローチ角の増加につれびびり振動の発生範囲は、広くなる。これは、アプローチ角の増加につれ、有効切れ刃長が大となるため、びびり振動が起きやすい^②と考えられる。とくに、アプローチ角 58° の場合、切込み 0.5mm 以上では、いずれの送りであってもびびり振動は発生する。

次に、図(b)に示すバイト II の場合について述べる。アプローチ角 18° 以下では、バイト II においてびびり振動が発生しない範囲は、バイト I の場合に比べ狭い。しかし、送りが 0.502mm/rev と大きい場合には、いずれのアプローチ角であってもびびり振動は発生しない。これは、バイト II の前切れ刃が円弧状のため、有効切れ刃長が大となり、びびり振動が起きやすい状態にある。このため、送りが小さい場合、切取り厚さが大きくなり、切削が不安定となり、びびり振動が発生する。しかし、送りが

*三菱金属（現 三菱マテリアル）(株)；ダイヤテック総合カタログ (TA01D) より引用

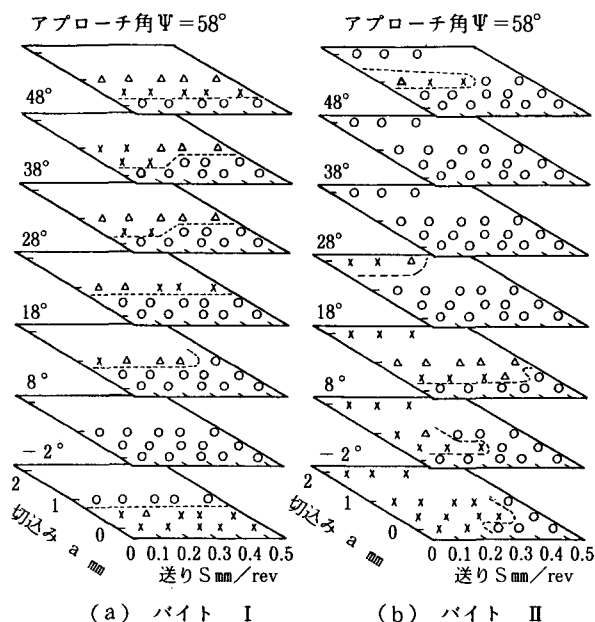


図2 びびり振動の発生の有無

大きい場合には、切取り厚さが大きくなり、切削が安定となるため、びびり振動が発生しにくいものと考えられる。アプローチ角 28° 以上では、バイトⅡにおいてびびり振動が発生しない範囲は、バイトⅠの場合に比べかなり広い。

3. 2 切りくず形状

次に、切込みや送りが切りくず形状に及ぼす影響を調べた。得られた切りくずを、精機学会（現 精密工学会）切削性専門委員会の切りくず分類記号^④によって、送り－切込み平面上に示した。その結果を、アプローチ角を変化させて図3に示す。なお、びびり振動の発生により、切りくず形状が変化すると考えられる。しかし、本実験条件の範囲内では、びびり振動が、切りくず形状に大きな影響を及ぼすことはなかった。先ず、図(a)に示すバイトⅠでSS400を外周旋削した場合について述べる。アプローチ角が -2° から 28° の場合、送りを大きくすると切りくずは折断される。これは、送りを大きくすると、切りくずが厚くなり、切りくずが折れやすくなるためである。しかし、アプローチ角を $38^\circ \sim 58^\circ$ にさらに大きくすると、切りくずが折断されない範囲はかなり広がる。これは、アプローチ角をさらに大きくすると、切削幅が増加し、切削厚が減少する。このため、切りくず幅の増大とともに切りくずが薄くなり、切りくずは折れにくくなるものと考えられる。

次に、図(b)に示す前切れ刃を円弧にしたバイトⅡの場合について述べる。アプローチ角 -2° の場合を除くと、バイトⅡの場合の方が、バイトⅠに比べ切りくずが折断される範囲が広いことがわかる。とくに、アプローチ角

が 28° の場合、バイトⅡの切りくず折断範囲はかなり広い。しかし、アプローチ角が -2° において、バイトⅡで外周旋削した場合のほうがバイトⅠの場合に比べ切りくずが折断されにくい。これは、バイトⅡの前切れ刃が円弧状であるため、切りくずがバイトⅠの場合に比べかなり薄く柔軟になるので、切りくずが折れにくくなると考えられる。

3. 3 設定切込みと真実切込み

多機能バイトで外径旋削を行う場合、バイト刃先が送りと逆方向にたわみ、バイトの設定切込み（ a mm）と、実際に切削される真実切込み（ a' mm）とに、差が生じる場合がある。そこで、切削速度 3.0m/s 、アプローチ角 -2° とし、SS400の外周旋削をバイトⅠ、Ⅱで行い、送りが、 $(a' - a)$ に及ぼす影響を調べた。その結果を、図4に示す。なお、切込みは、 2mm の場合を示す。バイトⅠで外周旋削した場合、送りの増加につれ、 $(a' - a)$ が、大きくなる。このことは、バイトの設定切込みより実際に切削される真実切込みの方が大きくなり、被削材外径における仕上がり寸法は、ねらった外径寸法に比べ小さくなることを示している。たとえば、送り 0.386mm/rev の場合、被削材外径が約 0.2mm 小さく仕上がる。このため、設定切込みをあらかじめ 0.1mm 小さくする必要がある。これに対し、バイトⅡの場合、 $(a' - a)$ は、いずれの送りであってもほぼ 0mm であり、設定切込みの補正がほとんど必要でないことがわかる。

3. 4 切りくず断面形状と切りくず流出角

節3. 2 切りくず形状のところで述べたように、い

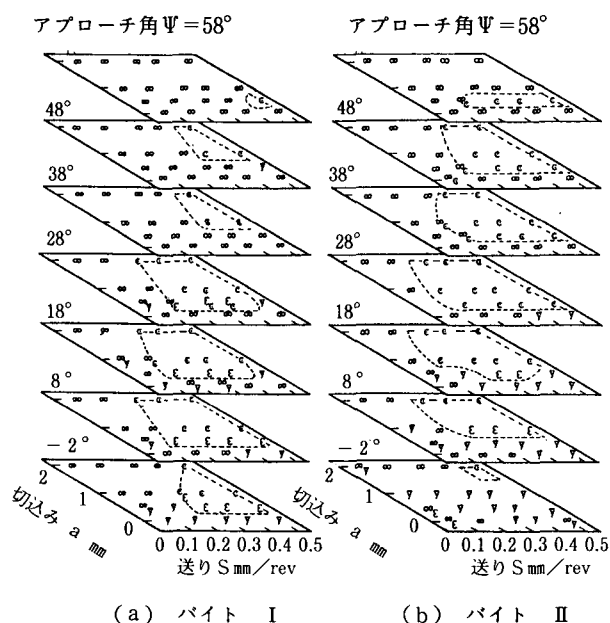


図3 切りくず形状

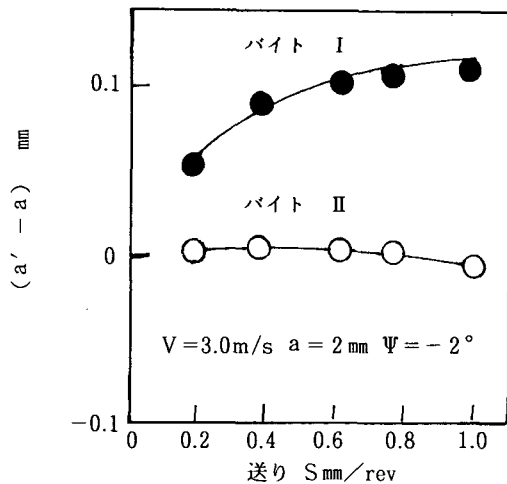


図4 設定切込みと真実切込み

ずれのバイト I、II であっても、切りくずを折断するためには、チップブレーカを付与する必要がある。市販の多機能バイトの多くは、複雑な形状の型押しブレーカが付与されている。そこで、バイト II のチップブレーカを設計する場合に必要な情報を得るために、SS400 材の外周旋削をバイト II で行い、切りくずの断面形状や切りくず流出角を調べ、バイト I の場合と比較検討した。なお、切りくず流出角の測定については、モータドライブ付きカメラで切削部をすくい面上方から連続写真撮影を行い、図 5 に示すように切りくず流出角 η を定めた。切りくず流出角は、時間とともに変化し、また、切りくずが刃物台や被削材などの障害物に当れば、切りくずが外力を受け、切りくず流出角も変化する。そこで、切りくず流出角は、切削開始初期（削り始めの過渡現象は除く）の平均値とした。図 6 に、切込み 0.5mm、アプローチ角 28° とし、送りが切りくず流出角に及ぼす影響を示す。図 6 より、この範囲の切削条件において SS400 の外周旋削を行う場合、バイト II の切りくずの流出角は、バイト I の場合とほぼ等しい。

図 7 に、図 5 の斜線図で示した切りくず断面形状をす

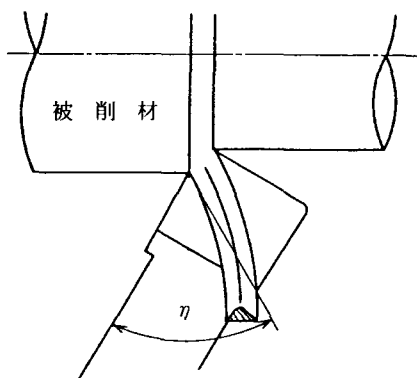
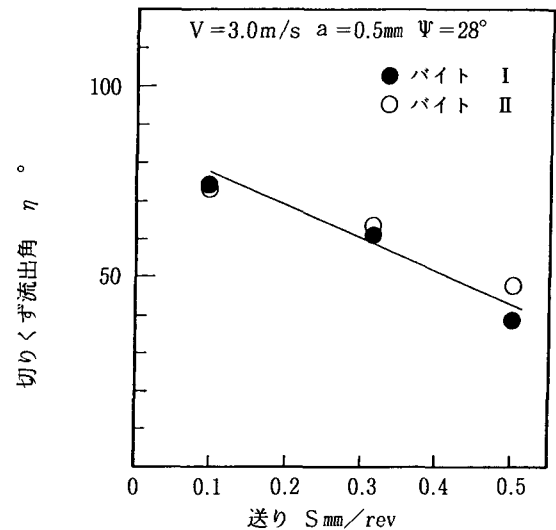
図5 切りくず流出角 (η)

図6 送りが切りくずの流出角に及ぼす影響

くい面と切りくずの摩擦面を下側にして示す。また、図 8 に、送りが切りくずの断面積に及ぼす影響を示す。図 7、8 から、バイト I とバイト II とではよく似た断面形状の切りくずが流出され、しかもいずれのバイトであっても切りくずの断面積に大差ない。

以上のことから、この切削条件の範囲内において、バイト II にチップブレーカを付与する場合、市販のバイト I の場合とほぼ同様な形状のチップブレーカが先ず考えられる。

3. 5 みぞ削り

本多機能バイトは、みぞ入れ後、外周旋削可能である。このため、2 種類のバイト I、II で SS400 材丸棒のみぞ削りを行い、みぞ入れ方向の送りが切削抵抗に及ぼす影響を調べた。さらに、そのときに得られた切りくずの厚さも調べた。次に、切削速度 2.5m/s、みぞ幅 5mm の場合を示す。

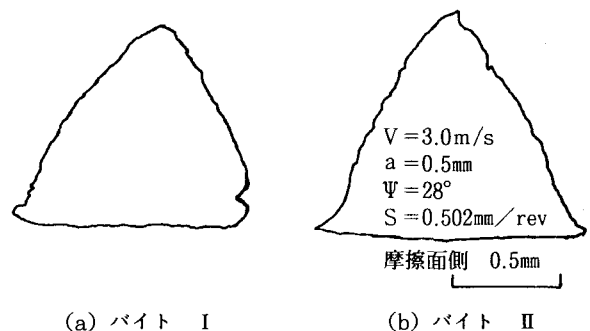


図7 切りくず断面形状

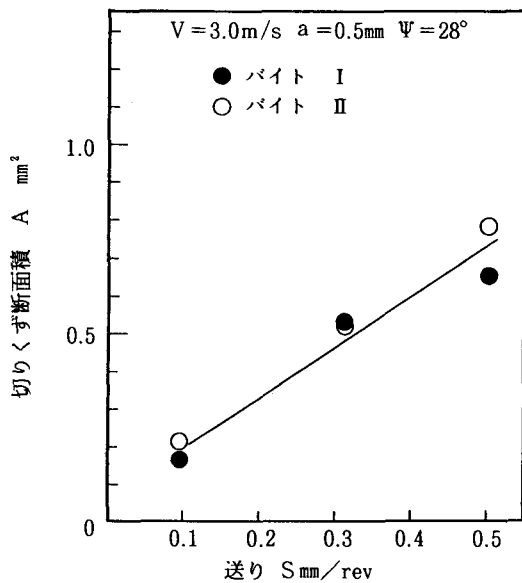


図8 送りが切りくずの断面積に及ぼす影響

図9に、切削抵抗主分力および背分力を示す。みぞ削り方向の送りの増加につれ切削抵抗は、増加している。しかし、バイト I、II による差は少ない。

図10に、切りくずの厚さを示す。切りくず厚さは、送りの増加につれほぼ直線的に増加し、バイト I、II による差は少ない。

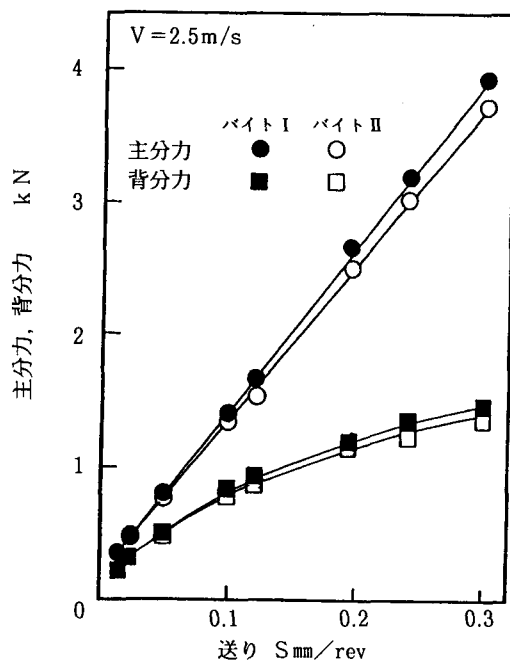


図9 切削抵抗主分力および背分力

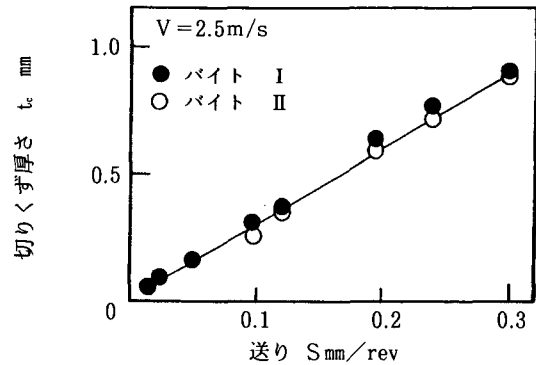


図10 切りくずの厚さ

4. 結 言

外周旋削可能なみぞ削りバイトが、各種市販されている。本研究では、前切れ刃が直線状のバイト I と前切れ刃を円弧状に改良したバイト II を使い、SS400丸棒の外周旋削を乾式で行い、切込み、送りおよびアプローチ角がびびり振動、切りくず形状、真実切込み、切りくず断面形状および切りくず流出角などに及ぼす影響を調べた。さらに、この2種類のバイト I、II でみぞ削りも行い、切削抵抗、切りくず厚さも調べた。

得られた主な結果は、次のとおりである。

- (1) バイト II で外周旋削を行う場合、送りを大きくするとびびり振動を防止できる。
- (2) バイト I で外径旋削を行う場合、バイト刃先が送りと逆方向にたわみ、バイトの設定切込みと実際に切削される真実切込みとに、大きな差が生じる。しかし、バイト II の場合には、ほとんど差は生じない。
- (3) バイト II にチップブレーカを付与する場合、バイト I、II の切りくず流出角ならびに切りくず断面形状はよく似ていることから、バイト I の場合とほぼ同様なチップブレーカ形状が先ず考えられる。
- (4) バイト I、II でみぞ削りを行う場合、使用バイトによる切削抵抗ならびに切りくず厚さの差は小さい。

参考文献

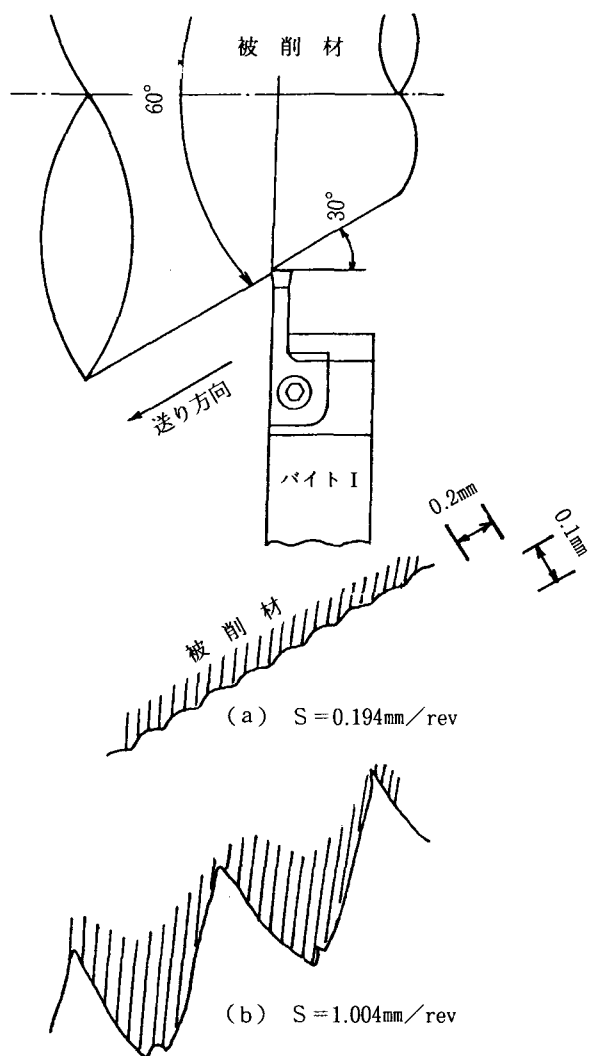
- (1) 和田 任弘：外周旋削可能なみぞ入れバイトによる高送り旋削、機械技術、38、11(1990)10、89。
- (2) R.Wertheim, J.Rotberg, A.Ber: Investigation of Turning Systems where Controlled Elasticity Improves Machining Performance, Annals of the CIRP, 38, 1(1989), 81。
- (3) 臼井 英治：切削・研削加工学 上、共立出版、東京、(1971)、181。

- (4) 中山 一雄：切削加工論、コロナ社、東京、(1978)、
210.

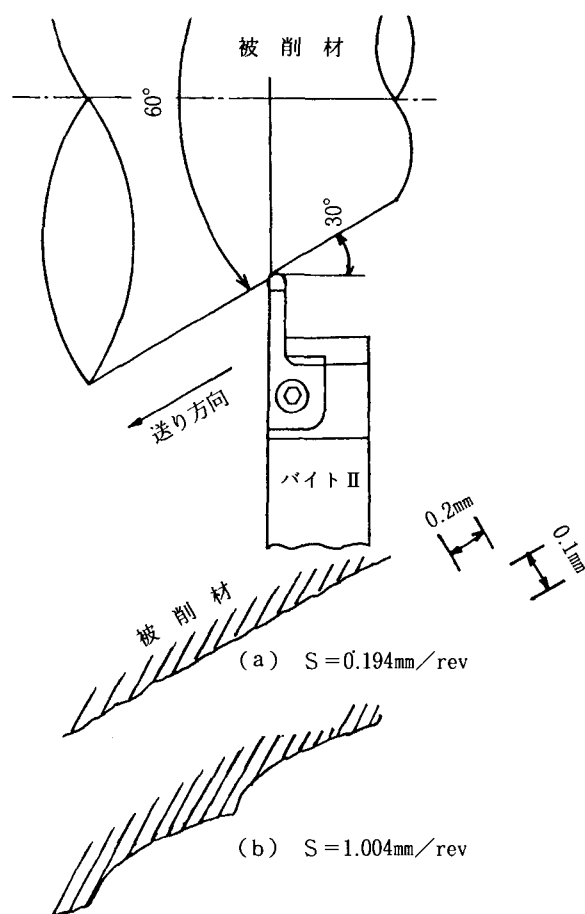
付 録

市販の多機能バイトは、図1に示したように直線状の前切れ刃を有しているため、このバイトⅠを用いテーパ削りを行う場合、送りが大きくなると表面粗さは大きく

なる。付図1に、切削速度3.0m/s、切込み1.0mmでSS400をテーパ削りしたときの、切削仕上げ面の送り方向のプロフィールを示す。なお、テーパの頂角は、 60° で、送りは、0.194および1.004mm/revの場合を示す。付図2に、前切れ刃を円弧状に改良したバイトⅡで、バイトⅠの場合と同様テーパ削りしたときの、送り方向の仕上げ面プロフィールを示す。付図1、2を比較すると、バイトⅡの表面粗さは、バイトⅠの場合に比べかなり小さいことがわかる。



付図1 バイトⅠによるテーパ削り



付図2 バイトⅡによるテーパ削り

ヒステリシスコンパレータを用いた電流追従形高力率コンバータ

井 村 榮 仁・芝 山 清 忠*

High Power Factor Converter by Follow Up Control of Current Signal Using Hysteresis Comparator

Shigeji IMURA and Kiyotada SHIBAYAMA

高性能の半導体電力変換装置の需要が急増しており、近い将来電力負荷の半分は、これら半導体変換機器が占めると考えられる。一方で省エネルギー化および発生高調波の抑制などの要求を満たす電気・電子機器の開発・研究が必須となっている。半導体変換機器の入力部には大抵コンバータが内蔵されており、その出力調整を従来位相制御により実行していたが、低出力時における低力率、多量の発生高調波電流が問題であった。最近ではPWM制御などで高力率、低ひずみのコンバータが出現している。

本研究では主回路、制御回路ともに簡単な構成のヒステリシスコンパレータを用いた追従制御によるコンバータについて検討した。その結果、出力電圧値が入力交流電圧の最大値より大きい範囲ではシミュレーションおよび実験結果ともに高力率かつ良好な制御特性を得た。

1. まえがき

近年、省エネルギー、高調波障害の低減などが重要な課題となっている。一方、機能性の高い電気電子機器として半導体電力変換装置の需要が増加しており、近い将来電力負荷の大半が整流器負荷になろう。

これらの電力変換装置は、概ね入力部等にコンバータを装着しており、従来これの出力制御を位相制御によって行っていた。しかるに位相制御では原理上低出力時に力率が悪く、同時に高調波電流の発生も無視できなくなる。そのため、最近高力率でしかも歪み率の少ないコンバータの開発、研究がなされてきた⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。

本報告では、主回路、制御回路ともに簡単な構成で、ヒステリシスコンパレータを用いた電流追従形高力率コンバータについて実験およびシミュレーション相方の検討結果を述べる。直流出力電圧を積極的に利用し、その電圧値が入力交流電圧の波高値より高い範囲では良好な制御特性が得られるとともに、高力率でかつ高調波電流のほとんど発生しないコンバータ動作となった。

2. 主回路構成、動作モードおよび制御回路

2. 1 主回路構成

図1に本論文におけるヒステリシスコンパレータを用いた高力率コンバータの主回路構成を示す。スイッチング素子にはインバータ用のIGBTを使用しており、逆並列に接続されたダイオードは内蔵されている。スイッチング周波数は約20 kHz程度である。ごく基本的な均一ブリッジ構成であるが、交流側リアクトル L_s を流れる電流を増減させるために、直流側出力電圧を積極的に利用する。

AMP1は、交流入力電圧と同相の制御信号の振幅を調節する。AMP2は、計測用抵抗 r_t とともに制御回路

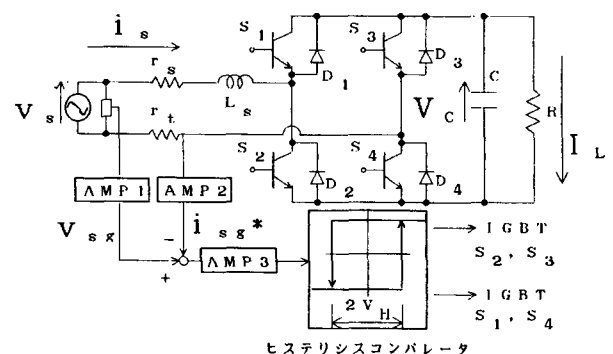


図1 主回路構成

* 奈良工業高等専門学校電子情報工学専攻

1 (V) を交流入力電流 C (A) に対応させるためのものである。

今、AMP1を通った入力電圧信号を V_{sg} (V)、 r_t と AMP2により入力電流 i_s を電圧に変換した値を i_{sg}^* (V) とする。制御回路はヒステリシス幅 V_H (V) のヒステリシスコンパレータを用い、交流入力電圧 V_s の極性と偏差 ($V_{sg} - i_{sg}^*$) によって、 $S_1 \sim S_4$ の各 IGBT にオン、オフの信号を印加する。

直流出力電圧 V_c が V_s に実際に相加するような素子が優先的にオンする。換言すれば V_s の極性が正のときには S_2, S_3 が優先的にオンし、負のときは S_1, S_4 が自動的にオンする。このように、ブリッジの対角位置にある2つの IGBT S_2 と S_3 または S_1 と S_4 がオンすると、直流出力電圧 V_c が交流入力電圧 V_s に加算されるので、交流リアクトル L_s 中の電流の絶対値を増加させる。

次にこれらの IGBT がオフすると、 L_s 中の電流は引き続き同方向に流れるため、逆対角位置のダイオードを経て負荷にエネルギーを供給する。このとき、 V_c の値が V_s の最大値より大きい場合には、 L_s 中の電流は確実に減少するので、交流入力電流 i_s を正しく V_{sg} に追従させることができる。AMP3は、偏差 ($V_{sg} - i_{sg}^*$) の大きさを加減できるので、等価的にヒステリシス幅 V_H (V) を可変にしたのと同じ効果がある。

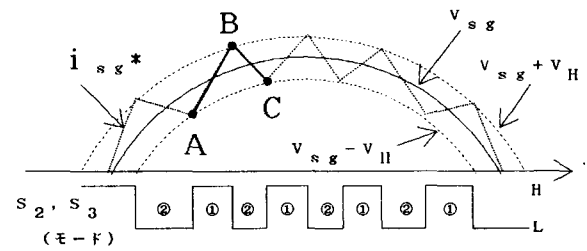
尚、 r_s は交流リアクトル L_s の抵抗値である。また、表1にコンバータ主回路の諸元掲げる。

表1 コンバータ主回路の諸元

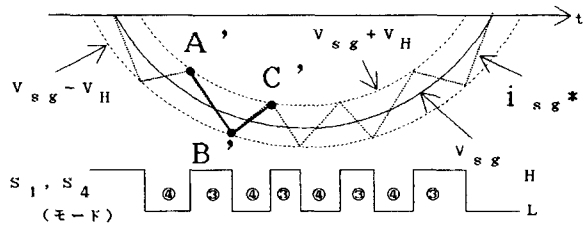
IGBT	2MB150L-060 (FUJI)					
	600V		50A		20kHz	
交流 リアクトル L _s	インダクタンス値 (mH)	2	4	6	8	10
	抵抗 (Ω)	0.030	0.039	0.050	0.058	0.067
平滑用 直流コンデンサC (μF)		100~500				
負荷抵抗 R		0 ~ 3 kw				

2.2 動作モード

図2(a)、(b)にヒステリシスコンパレータによる入力電流追従制御の原理を、図3(a)~(d)に本コンバータの4つの動作モードを示す。図2の実線の波形は、交流入力電圧と同相の制御信号 V_{sg} であって、入力電流 i_s をこれに追従させる。 $V_{sg} \pm V_H$ (V_H : ヒステリシスコンパレータのヒステリシス幅) の波形が破線で表されている。



(a) V_s が正のとき



(b) V_s が負のとき

図2 電流追従制御の原理

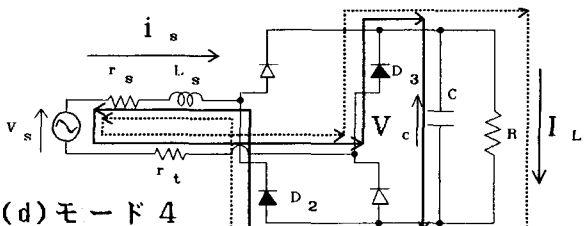
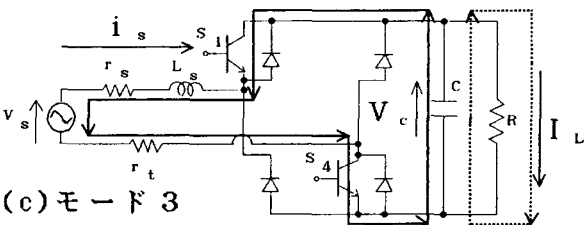
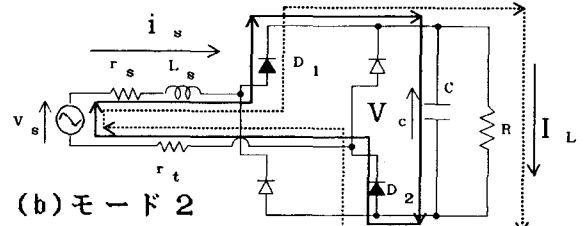
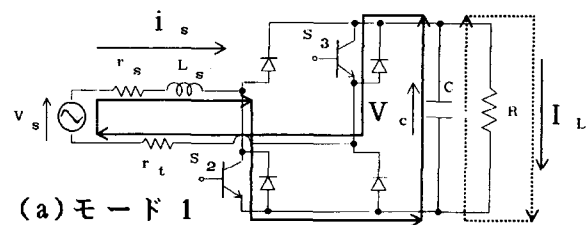


図3 動作モード

また、ほぼ三角波状に変化しつつ V_{sg} に追従しているのは実際の交流入力電流 i_s を電圧に変換した i_{sg}^* の波形である。さて、 $V_s \geq 0$ のとき、 i_{sg}^* が増加してゆくが $V_{sg} + V_H$ より小さい場合には (図 2(a) の AB 部) IGBT S_2 および S_3 にオン信号が印加されており、図 3 のモード 1 が出現している。このモードでは、リアクトル L_s に直流出力電圧 V_c と交流入力電圧 V_s との和が作用するため、 i_s したがって i_{sg}^* は増加してゆく。そこで、 $i_{sg}^* = V_{sg} + V_H$ に達すると、 S_2 および S_3 がオフするように制御回路を構成しておく。 S_2 、 S_3 がオフすると L_s 中の電流は続けて同方向に流れるため、これらの IGBT と逆対角位置にあるダイオード D_1 、 D_4 が必然的に導通し、自然にモード 2 に移項する。しかるにモード 2 では、 V_s に対し V_c が i_s を妨げる向きに働くので、もしも V_c が V_s の最大値より大きいときには関係 $V_s - V_c = L_s \cdot (di_s/dt)$ より、 i_s は減少しなければならない、このようにしてモード 2 において i_s が減少し (同図の BC 部)、 i_{sg}^* が $V_{sg} - V_H$ に等しくなれば再び S_2 、 S_3 にオン信号を与える。その結果、 i_{sg}^* 即ち i_s は概略 V_{sg} に追従することになる。

$V_s < 0$ の場合には、図 2(b) を参照して同様に説明される。IGBT S_1 、 S_4 がオンすると負の方向に電流 i_s の絶対値が増加するモード 3 (同図 A'B' 部) となる。

次にヒステリシスコンパレータ動作により S_1 、 S_4 がオフするとダイオード D_2 、 D_3 が導通するモード 4 に移る。

前述のとおり、直流出力電圧 V_c が V_s に対し逆向きに作用するので i_s の絶対値は減少する (同図 B'C')。かくして、本制御方式では V_s の極性をも考慮すると 4 つの動作モードが存在する。

ただし、ヒステリシスコンパレータ動作を期待どおり確実にを行うためには、 V_c を V_s の最大値より大きい範囲で制御しなければならない。

2・3 制御回路

図 4 に制御回路を示す。入力部は、 V_{sg} と i_{sg}^* の 2 つである。制御回路 1 (V) に主回路の入力電流 C (A) を対応させることができる。また、C (A) は V_{sg} にほぼ正確に比例する。ヒステリシスコンパレータのヒステリシス幅 V_H は R_3 によってある程度変化できるが、等価的には AMP 3 によっても変えることができる。偏差 ($V_{sg} - i_{sg}^*$) をヒステリシスコンパレータに通し、その出力を図のように IGBT S_2 、 S_3 または S_1 、 S_4 に振り分けている。図から明らかなように信号 S_2 、 S_3 と S_1 、 S_4 とは互いに否定の関係になっている。尚、ここには示していないが、実際にはこれらの信号はドライバ

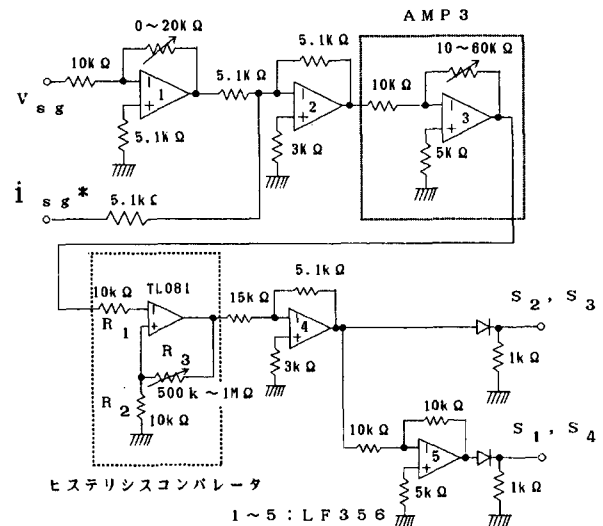


図 4 制御回路

回路 (富士電機 EXB840) を経由して各 IGBT に供給している。このように本制御回路はいくつかのオペアンプだけで構成しており、非常に簡単であるという特徴を持つ。

3. シミュレーションおよび実験

最初にこれまでにしばしば仮定してきた直流出力電圧 V_c の値が、直流入力電圧 V_s の最大値より大きくなるための条件について考える。 V_s 、 i_s を次のようにおく。

$$V_s = V_{sm} \sin \omega t = \sqrt{2} V_{sr} \sin \omega t \quad \cdots \cdots (1)$$

$$i_s = I_{sm} \sin \omega t = \sqrt{2} I_{sr} \sin (\omega t - \theta) \quad \cdots \cdots (2)$$

ただし、 θ はコンバータの入力力率角、 V_{sr} は V_s の実効値、同様に i_{sr} は i_s の実効値である。

コンバータの効率を η とすれば、次の関係が成り立つ。

$$V_{sr} \cdot I_{sr} \cos \theta \cdot \eta = V_c \cdot I_L \quad \cdots \cdots (3)$$

$$V_c > V_{sm} = \sqrt{2} V_{sr} \quad \cdots \cdots (4)$$

また、明らかに $V_c = R I_L$ であるから、条件式 (4) を書き直すと、

$$R > \frac{2V_{sr}}{I_{sr} \cdot \eta \cdot \cos \theta} \quad \cdots \cdots (5)$$

を得る。この式(5)を満たす範囲の抵抗値に対して、式(4)が成り立つのでシミュレーションおよび実験ともに良好な結果が得られると考えられる。さらに、或る値の I_{sr} について式(5)を満たす R をとれば、それより大きい値の入力電流に対しては当然式(5)が成り立つから、一般には或る値以上の範囲の I_{sr} において、制御信号と入力とは比例関係を示すことが推察できる。

3・1 シミュレーション

コンバータの動作波形、特性などを推定するためにはシミュレーションを行う必要がある。前章の4つの動作モードにおける状態方程式を以下に求める。図3から明らかなように、エネルギー蓄積素子は交流リアクトル L_s と直流出力コンデンサ C の2つであるから、状態変数としては、 L_s を流れる電流 i_s および C の端子電圧 V_c をとればよい。尚、 i_s および V_c の基準の方向は、図1のとおりとする。また、IGBTやダイオードのスイッチング損失に関しては、オン損失のみ考慮し他は無視するものとする。

〈モード1の状態方程式〉

図3(a)を参照して次式を得る。

$$\left. \begin{aligned} (r_s + r_t) i_s + L_s \frac{di_s}{dt} + 2V_a &= v_s + V_c \\ C \frac{dV_c}{dt} + i_s + I_L &= 0 \\ V_c &= RI_L \end{aligned} \right\} \dots\dots (6)$$

ただし、 V_a は IGBT または ダイオード の順電圧降下を表す。

上式を i_s および V_c について整理すると、

$$\left. \begin{aligned} \frac{di_s}{dt} &= \frac{V_c + v_s - 2V_a - (r_s + r_t) i_s}{L_s} \\ \frac{dV_c}{dt} &= -\frac{i_s + V_c/R}{C} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (7)$$

となる。

〈モード2の状態方程式〉

$$\left. \begin{aligned} \frac{di_s}{dt} &= \frac{v_s - V_c - 2V_a - (r_s + r_t) i_s}{L_s} \\ \frac{dV_c}{dt} &= \frac{i_s - V_c/R}{C} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (8)$$

〈モード3の状態方程式〉

電圧の極性が反転するので、方程式を導き易くするために、 $e = -v_s$ 、 $i = -i_s$ なる変数を用いると、図3(C)から、

$$\left. \begin{aligned} (r_s + r_t) i + L_s \frac{di}{dt} + 2V_a &= e + V_c \\ C \frac{dV_c}{dt} + i + I_L &= 0 \\ V_c &= RI_L \end{aligned} \right\} \dots\dots (9)$$

を得るので、再び $i = -i_s$ 、 $e = -v_s$ と置き直して式(9)を整理すれば、

$$\left. \begin{aligned} \frac{di_s}{dt} &= -\frac{V_c - v_s - 2V_a + (r_s + r_t) i_s}{L_s} \\ \frac{dV_c}{dt} &= \frac{i_s - V_c/R}{C} \end{aligned} \right\} \dots\dots (10)$$

となる。

〈モード4の状態方程式〉

モード3と同様の考え方で回路方程式を立てると、

$$\left. \begin{aligned} \frac{di_s}{dt} &= \frac{v_s + V_c + 2V_a - (r_s + r_t) i_s}{L_s} \\ \frac{dV_c}{dt} &= -\frac{i_s + V_c/R}{C} \end{aligned} \right\} \dots\dots (11)$$

シミュレーションでは、 i_s および V_c の初期値を零として、制御回路のスイッチング条件に応じて各モードの i_s および V_c をルンゲ・クッタ・ジル法により順次計算してゆく。こうして計算された定常状態における i_s をフーリエ級数展開し、その基本波成分 i_{s1} と入力電圧 v_s との位相差 θ を求める。また、出力は $V_c I_L$ の一周期にわたる平均値として算定し、効率 η を知ることが出来る。高調波電流成分の振幅も容易に決定できる。尚、C言語を用いてプログラムを構成した。

3・2 実験

図1の主回路においてIGBTは600V、50Aの素子である。スイッチング周波数は前述のとおり、約20kHz程度まで動作する。負荷抵抗は200V、15Aのものをを用い、コンバータ出力は約2kWとした。AMP1により V_{sg} を1V～10Vまで1(V)ごとに变化させることで、入力電流 i_s を1(A)～10(A)の範囲で可変とした。デジタルパワーメータを用い、入力・出力を測定する。また、直流増幅器を経由して v_s 、 i_s および制御信号をデジタルオシレータに記録する。

入力電圧は50V,100Vの2種類で実験し、負荷抵抗の値としては式(5)を満たす範囲の値とそうでない値について行った。尚、交流リアクトル L_s のインダクタンスは2mH~20mHまで2mHごとにタップで切り替えることが出来る、直流出力用コンデンサは100 μ Fごとに500 μ F程度まで変化させた。尚、 i_s の計測用微少抵抗は0.1(Ω)、10(W)のものを使用した。

3・3 シミュレーションおよび実験結果

シミュレーションによる各動作部の波形の一例を図5に示す。 $V_{sr}=100$ (V)、 $I_{sr}=3.0$ (A)、 $R=100$ (Ω)、 $L_s=10$ (mH)の場合の V_{sg} 、 i_{sg}^* 、偏差($V_{sg}-i_{sg}^*$)およびIGBT S_2 、 S_3 へのドライブ信号である。 $V_H=0.3$ (V)としている。図から明白なように入力電流 i_s は、ほとんど正弦波でかつ V_s と同相である。実際、このときの力率 $\cos\theta=0.9952$ となった。

また、直流出力電圧は、約170(V)となっており、 $\sqrt{2}V_{sr}=142$ (V)より確かに大きくなっている。

図6は、 $I_{sr}=3$ (A)、4(A)および5(A)という3つの場合における V_{sg} 、 i_{sg}^* 、偏差およびIGBT S_2 、 S_3 への制御信号の実測波形である。 i_s の計測方向が逆であることを除けば、上記シミュレーションにおけると同様力率の高いことが読みとれる。また、高調波の含有率も少ないことがわかる。また、 V_{sg} によって i_s が順調に制御できている。実験条件はやはり $V_{sr}=100$ (V)、 $R=100$ (Ω)、 $L_s=10$ (mH)としており、 $I_{sr}=2.5$ (A)において抵抗 R は式(5)を満足している。そのため、これより大きい I_{sr} については、良好な制御特性が得られた。 L_s や C の値を種々変化させた場合、出力電圧の大きさが若干変動するほかは、力率、効率に大きな差異は出ない。

ただし、図6(a)~(c)において i_{sg}^* の縦軸目盛りは交流入力電流 i_s に換算した場合いずれも、10A/divとなっており、横軸目盛りは5msec/divである。参考までに

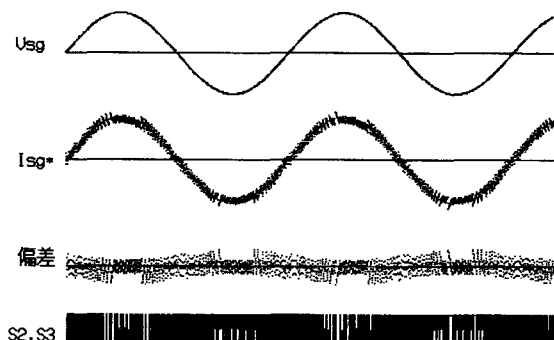
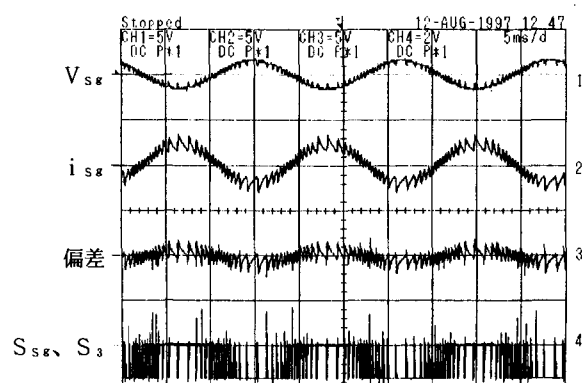
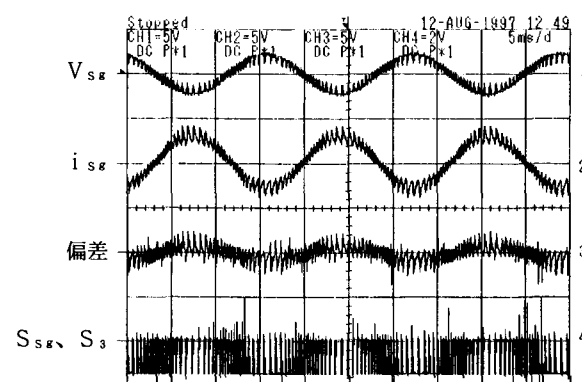


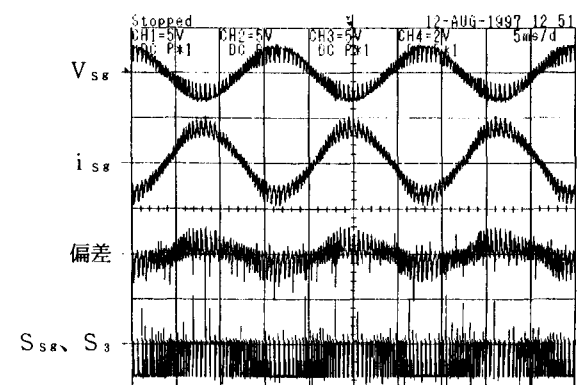
図5 各部のシミュレーション波形



(a) $I_{sr}=3$ (A)の場合



(b) $I_{sr}=4$ (A)の場合



(c) $I_{sr}=5$ (A)の場合

図6 各部の実測波形

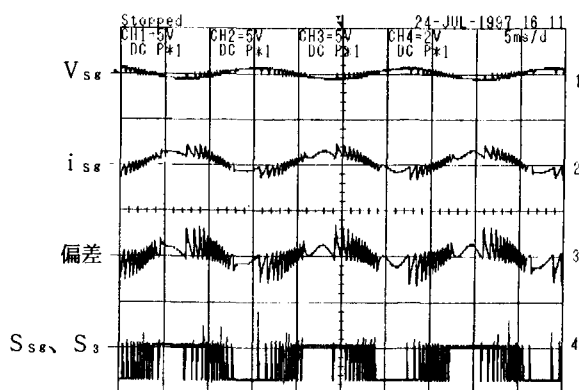


図7 悪い実測波形例

悪い一例として式(5)を満たさない場合の実測波形例を図7に掲げている。ちなみに $V_c = 123$ (V) であり、 i_s が V_{sg} にほとんど追従できていない。力率も $\cos \theta = 0.821$ となりかなり悪くなっている。

次にシミュレーションにより、 I_{sr} (A) に対する入力 P_s (W)、出力 P (W)、力率 $\cos \theta$ および効率 η を示したものが、図8である。力率が殆ど1に近くかつ $I_{sr} \geq 2.0$ (A) 以上では式(5)を満足する抵抗値であるため、 i_s は V_{sg} にほぼ追従できている。したがって、入力 P_s (W) は、 I_{sr} にだいたい比例する。また、シミュレーションでは、損失をオン損失と配線および計測用抵抗の抵抗損に限定したため、出力 P (W) も P_s に近く効率は高くなっている。これを実験で確かめたものが図9である。入力 P_s が、 I_{sr} に比例しており、かつ力率も90%以上の良好な結果を示している。しかし、スイッチング時の損失が、無視できないため、効率はシミュレーションと比較した場合若干悪くなっている。一方、全体的には、非常に簡単な構成の主回路および制御回路により、満足な動作結果が得られたといえる。

4. むすび

ヒステリシスコンパレータを用いた電流追従制御による高力率コンバータについて検討した。コンパレータ動作を確実にするために直流出力電圧を利用し、その電圧値が入力交流電圧の最大値より高い場合には、かなり良好な制御特性となることを、シミュレーションおよび実験の両面から明らかにした。回路構成がきわめて簡単であるので実用性が高いと考えられる。今後の課題として制御範囲の拡大、直流出力電圧の値が低い場合の特性改善などがある。

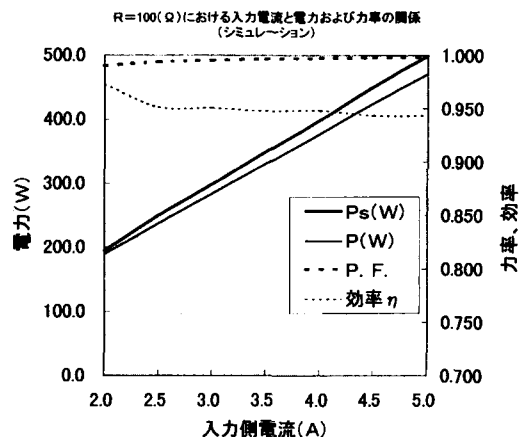


図8 シミュレーションによる制御特性

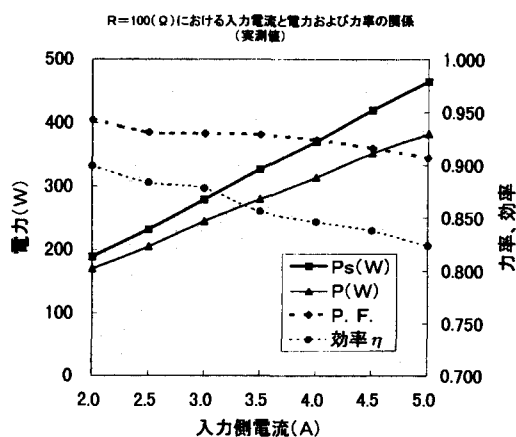


図9 実験による制御特性

参考文献

1. 茂木、他：「昇降圧形高力率整流器」、平成6年電気学会全大、No.521、(1994)
2. 赤木、他：「多重電圧形PWM変換器を用いた高調波抑制用アクティブフィルタ」、電学論誌、vol.105B、No.7、P573 (昭60)
3. 片山、他：「三相電圧形PWMコンバータにおけるチョップによる出力電圧制御」、平成9年電全大、No.830

Organic Photoelectric Devices using Evaporated Thin Films by Ion-Beam-Assisted Method

Jun Kyokane, Rintarou Aoyagi and Katsumi Yoshino*

Among various methods for preparation of organic thin films, we proposed an ion implantation technique using positive ion beams of low energy under 50 ~ 100 eV. The electroluminescent (EL) diode with double-layer structure (Mg : In/Alq₃/TPD/ITO) and the solar cell with Schottky junction or heterojunction of organic thin films were prepared by this method. The light emission intensity of EL diodes was higher than that of the conventional thermal deposition method. A half-value period of the emission intensity was 16 hours, and the life time of EL diodes was longer than thermal deposition method. Also, the conversion efficiency of the solar cells was 1.2% in the case of Schottky structure (Al/CuPc/ITO) with the phthalocyanine compounds. The open-circuit voltage (Voc) and short-circuit current density (Jsc) of the prepared cells were 0.4 V and 0.25 mA/cm², respectively.

1. Introduction

Organic thin films have been actively studied as application to electrical components and electronic devices. The most simple and convenient way for preparation of these thin films is evaporation method using vacuum technique. We proposed the ion implantation technique such as an ion-beam-assisted deposition in order to obtain the high quality thin films. For example, a technique utilizing ion beam energy has been developed for inorganic thin films. These thin films, with improved properties such as increased packing density, enhanced crystallization, controlled morphology, and minimized pin holes have been produced.

In previous study, we applied a new technique utilizing ion beam irradiation during the preparation of the solid electrolyte by evaporation. The case of Al electrolytic capacitor which was fabricated by the ion-beam-assisted method, the frequency dependence of the capacitor is greatly improved and coincides well with that of an ideal capacitor. This is originated

from an increase of the high electrical conductivity in the electrolyte with the evaporated thin film of TCNQ complex [1,2]. These dependence of frequency are also obtained with Al electrolytic capacitor using fusible TCNQ complex or conducting polymer (polypyrrol) as the solid electrolyte [3,4]. Also, an EL diode and a solar cell have attracted much attention [5-7].

In this paper, therefore, we prepared the EL diodes with double-layer structure and the solar cells with Schottky- or hetero-junction using the evaporated organic thin films by the ion implantation technique.

2. Experimental

We prepared a dual ion source of KAUFMAN-type with 5 cm in beam diameter. The ion source was set in the vacuum chamber so that an ion beam could bombard the substrate at an arbitrary angle from the normal axis as schematically shown in Fig. 1. The EL diodes and the solar cells were fabricated by the ion-beam-assisted method as shown in Fig. 1. In order to compare these devices were fabricated by a conventional thermal deposition method. The positive ion beam such as He⁺, N₂⁺, Ne⁺, or Ar⁺ of low energy

The contents of this paper were reported to the SYNTHETIC METALS, Vol. 85 (1997)

* Faculty of Engineering, Osaka University

were used for irradiation on the sample substrate. Ion beam energy and ion current density were varied from 50 eV to 100 eV and from 20 nA/cm² to 0.3 mA/cm², respectively.

The EL diodes consist of an ITO-coated glass plate, an emitting layer of dye (8-hydroxyquinoline aluminum; Alq₃), a hole transport layer of triphenyl-diamine (TPD), and a magnesium containing indium (Mg : In) electrode. A first step, the hole transport layer was prepared by evaporation of TPD on ITO-coated glass plate under irradiation of He⁺ ion beam with 100 eV. After that, the emitting layer of Alq₃ and the Mg : In electrode were prepared by the same manner. The evaporation rate was 20 nm per minutue. Thickness of the evaporated layers was 50 nm ~ 80 nm and the electrode area of the EL diodes was 2 mm.

Figures 2 (a), 2 (b) and 2 (c) show the molecular structures of the Alq₃, TPD and the Cu-phthalocyanine.

These dye materials were purified by sublimation technique based on modification of Linstead method as shown in Fig. 3.

The measurements of EL diodes were done at room temperature in air under DC bias condition. The solar cells with a Schottky barrier structure were fabricated by thin (~ 50 nm) layers of the aluminum electrode and p-type Cu-phthalocyanines) on ITO-coated glass plate. The characteristics of solar cells were measured by the standard technique.

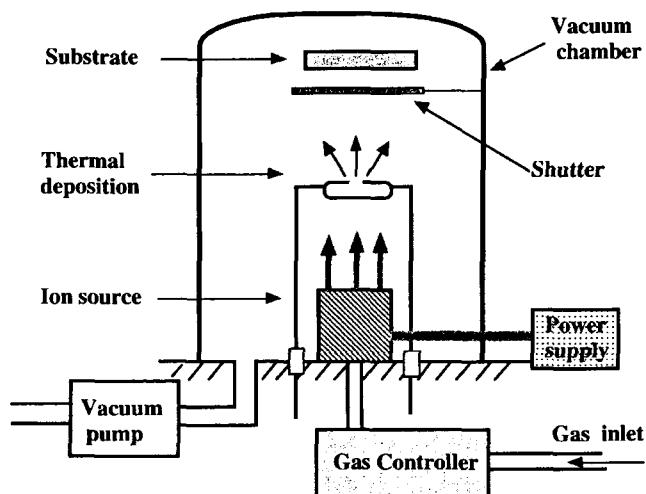
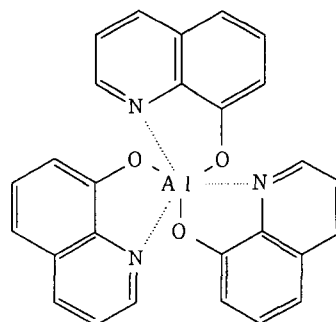
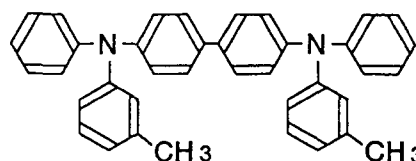


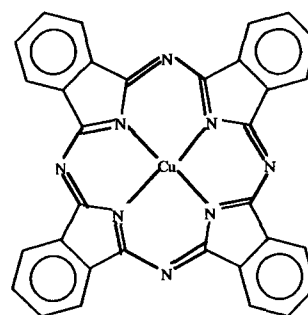
Fig. 1. Schematic experimental setup of the ion implantation technique.



(a) Alq₃



(b) TPD



(c) Cu-Phthalocyanine

Fig. 2. Molecular structures of the Alq₃ (a), TPD (b) and the Cu-phthalocyanine (c)

3. Results and discussion

3.1 Characteristics of EL diodes

Emission intensity of the EL which was produced by the ion-beam-assisted deposition method increases super linearly with increasing injected current as shown in Fig. 4. The dependence of injection current was the same comparison with the EL diodes using thermal deposition method. The super linear increase in emission intensity of these EL diode can be

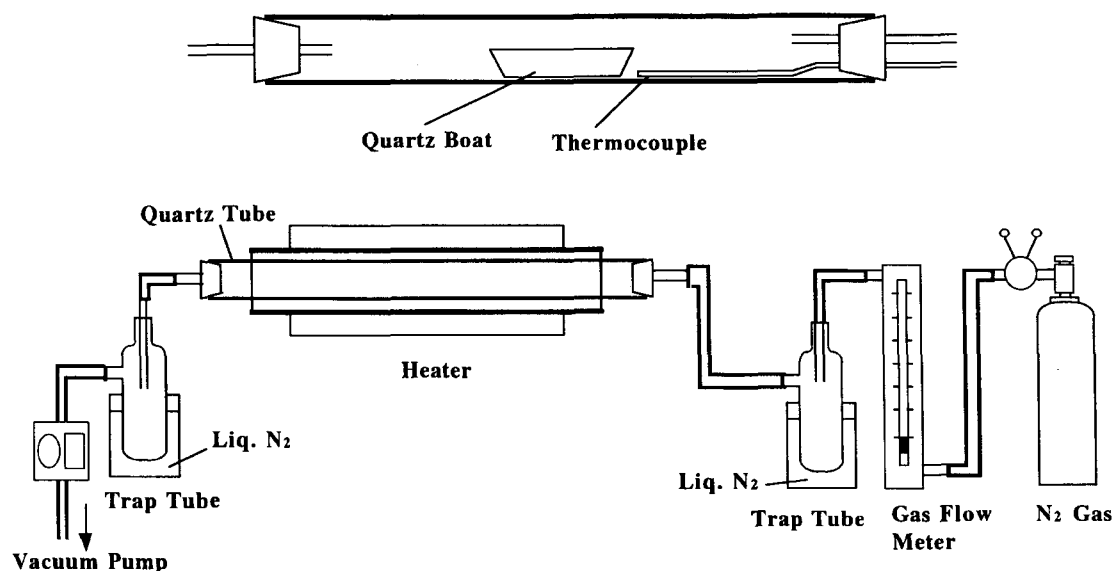


Fig. 3. Apparatus of sublimation method.

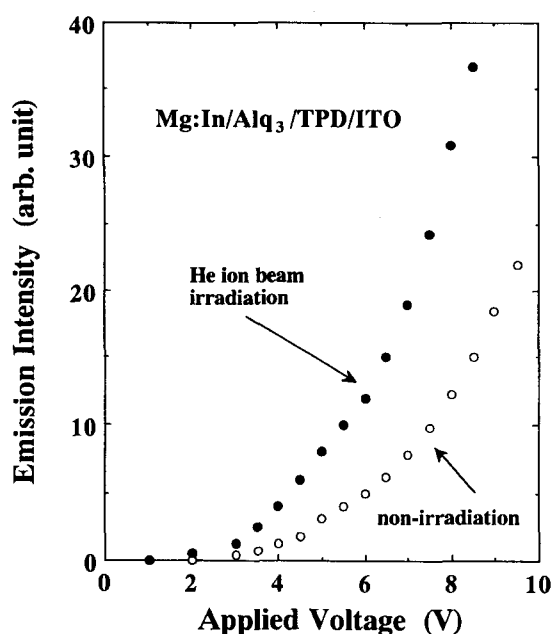


Fig. 4. Dependence of emission intensity on applied voltage of the EL diodes.

explained by the increase of recombination rate due to the increasing temperature with increasing injection current. The EL diode emits green light at room temperature.

Figure 5 shows the emission spectrum of the EL diode driven at 8 V in forward bias condition. The peak intensity of this spectrum is at 521 nm and it emits a green light. This result indicates that the

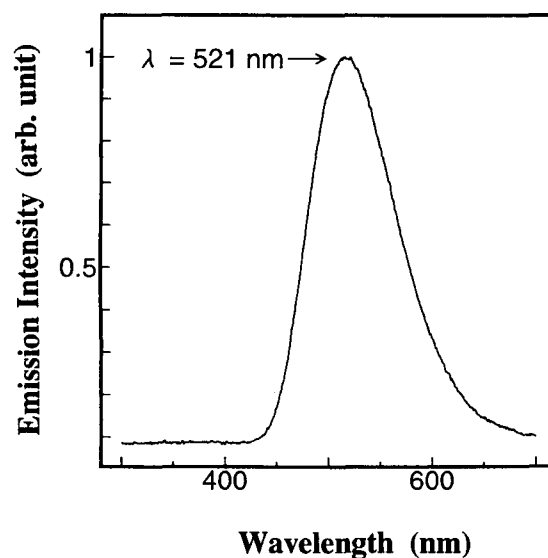


Fig. 5. Electroluminescent spectrum of the EL diodes fabricated by ion-beam-assisted deposition method.

evaporated thin films doesn't suffer damage by ion beam irradiation. Also, EL intensity was about several times larger than the intensity of EL diodes obtained with thermal deposition method. The origin of the increasing EL intensity is not clearly understood. However, since the crystallization of evaporated thin films was seen to progress [1], this enhancement effect of EL intensity may be suggested from the results that the packing density, crystallization, or morphology etc. of films have been improved

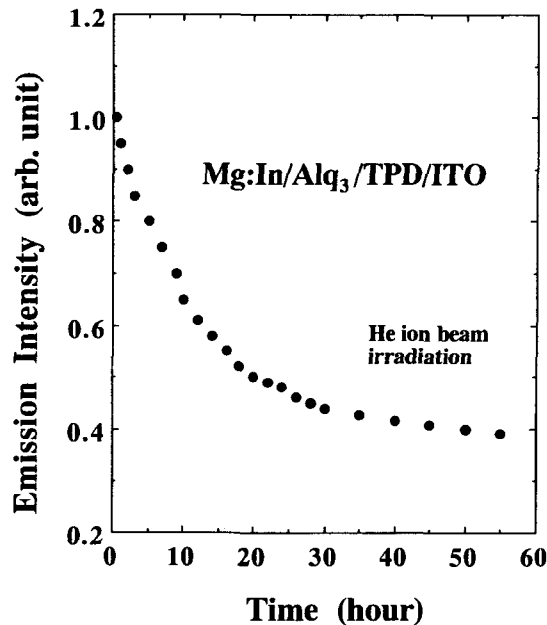


Fig.6. Life time of the emission intensity

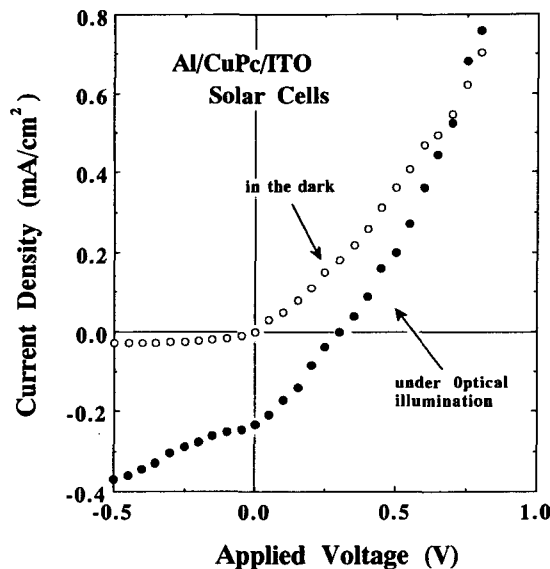


Fig.7. Dependence of current density on applied voltage in the dark and under the optical illumination.

by ion beam irradiation.

Lifetime of EL diodes is shown in Fig.6. The emission intensity is rapidly decay until 24 hours, after that EL intensity slowly go down as clearly from Fig.6. This life time is long in comparison with the EL diodes by thermal deposition method at the same injection current. The origin of rapidly decay is not understood under now.

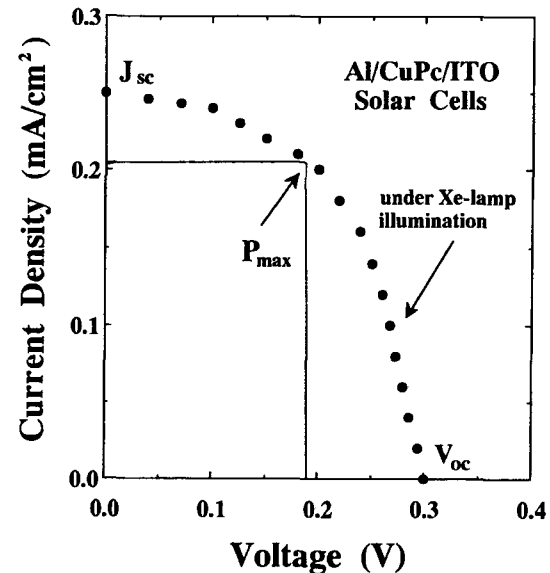


Fig.8. Voltage-current characteristics of Al/CuPc/ITO solar cells.

3.2 Characteristics of solar cells

We have already reported on electrical conductivity, photo conductivity and absorption spectra etc. for single crystals or evaporated thin films of the phthalocyanine compounds [8]. In order to fabricate the solar cells of Schottky barrier structure or hetero junction, we used the evaporated copper phthalocyanine (CuPc) films by the ion implantation technique.

Figure 7 shows the typical voltage-current ($V-I$) characteristics in the dark and under illumination (1 KW ; xenon arc lamp) for an Al/CuPc/ITO solar cell. The cell indicates rectifying characteristics. The open-circuit voltage (V_{oc}) and short-circuit current density (J_{sc}) of the prepared cell were 0.4 V and 0.25 mA/cm², respectively. The conversion efficiency was only 1.2% for these Schottky structure cells. The fill factor (FF) was 0.47 as shown in Fig.8.

Next step, to obtain the high conversion efficiency, we try to fabricate a cell structure of heterojunction with a n-type dye and the CuPc. The investigation of tandem structure also is under way.

4. Summary

The results of the present experimental study are

summarized as follows.

The quality of a organic dye film prepared by low energy ion-beam-assisted method was confirmed to be greatly improve compared with that obtained using the conventional evaporation method.

The light emission intensity of EL diodes was higher than that of the thermal deposition method. The 50% decay time of the emission intensity was 16 hours.

This enhancement effect of EL intensity may be suggested from the results that the packing density, crystallization, of morphology etc. of films have benn improved by ion beam irradiation.

The conversion efficiency of the solar cells was 1.2% in the case of Schottky structure such as (Al/CuPc/ITO). The open-circuit voltage (V_{oc}) and short-circuit current density (J_{sc}) of the prepared cells were 0.4 V and 0.25 mA/cm², respectively. Also, the fill factor (FF) was 0.47.

Ion implantation technique for organic materials can be widely applied to electronic components and devices.

Acknowledgements

This study is supported by the Kansai Research Foundation for Technology Promotion (KRF) from 1997 to 1998.

References

- [1] J.Kyokane and K.Yoshino, Jpn. J. Appl. Phys., **32** (1993) 1303.
- [2] J.Kyokane and K.Yoshino, Synth. Met., **57** (1993) 3374.
- [3] S.Niwa, Synth. Met., **18** (1987) 665.
- [4] Y.Kudoh, etal, Synth. Met., **41** (1991) 1133.
- [5] C.W.Tang and S.A.VanSlyke, Appl. Phys. Lett., **51** (1987) 913.
- [6] Y.Ohmori, M.Uchida, K.Muro and K.Yoshino, Jpn. J. Appl. Phys., **30** (1991) L1938.
- [7] P.Panayotatos and D.Parikh, Sol. Cells, **18** (1986) 71.
- [8] K.Yoshino J.Kyokane, K.Kaneto and I.Inuishi, J. Phys. Soc. Jpn. **31** (1971) 1954.

視覚的条件付けによる身振りの実時間画像認識

桐島 俊之

Realtime Gesture Recognition by Multi-layered Parallel Recognition Framework of QVIPS

Toshiyuki KIRISHIMA

The existence of the gesture protocol has long been unnoticed in the research field of gesture-related image understanding. The gesture protocol plays a vital role in easing the difficult vision task of understanding human gesture in the natural environment. The gesture protocol stipulates which part of a body to see and what kind of motion features to see and is formed through the face-to-face communication in our daily lives. In order to develop an adaptive gesture recognizing system which can selectively recognize any gestures given by a user, a gesture protocol-based interface is proposed which can be used as a VR-oriented human interface. The proposed gesture interface system is capable of understanding not only the position of the user in the real environment but also the motion of the user in realtime.

1. はじめに

近年、ユーザとコンピュータとの間の情報伝達を自然でより理解しやすいものにするための手段として、VR (Virtual Reality) 技術が注目を集めている。VR技術は、建築・設計・医療・教育・娯楽などの大変広範囲な分野への応用が期待されている。VRはCG技術なしには実現することが困難であるが、VRイコールCGではない。VRにおいてはユーザが仮想環境としてのCGを「体験」することが可能であるからである。従ってVRでは、環境としてのCGをユーザが如何に自然に体験することができるかということが極めて重要であり、CG技術のみならずユーザとコンピュータとの間のインタフェース技術が非常に重要な要素となっている^[2]。ユーザとコンピュータとの間の情報伝達を自然でより理解しやすいものにするためのインタフェースとしては、マルチモーダル・インタフェースが有望視されており、近年盛んに研究されている。マルチモーダル・インタフェースとは、音声・身振り・顔表情などを組み合わせた入力インタフェースを指し、音声認識・身振り認識・顔表情認識の各方面から取り組まれている学際的な研究領域である^[1]。本研究では、身振り認識における注意を規定する要因として「身振りプロトコル」が存在していると仮定し、身振りプロトコルを「ある身振りを認識する際に、何（着眼

点）をどの程度の広がり（視野）を以って認識するのかを誘導する経験的な取り決め」と定義した。身振りプロトコルは、身振り画像に含まれる無用な情報の影響を抑えてよりの確に身振りを認識するための極めて重要な役割を担っている。身振りプロトコルをコンピュータに学習させることが可能であれば、簡易な画像認識処理でユーザの状態（位置・姿勢・動作）に関する情報をリアルタイムでVRシステムに入力することが可能となる。提案する身振りインタフェースは、文脈情報から身振りの意味を推定するのではなく、ユーザがあらかじめ登録した身振りを身振りインタフェースが選択的に認識するものである。本稿では、まず多視点身振り認識法を提案した後、身振りインタフェースの核となる認識処理系について説明する。その後、開発したプロトタイプシステムで身振りプロトコル適応実験などを行った際の結果を報告する。

2. 多視点身振り認識法の提案

民族が異なる者同士では身振りによるコミュニケーションが取り難いことから明らかである様に、身振りプロトコルは経験的・体得的に形成されるものである。身振りを認識するために必要な情報量は、個々の対象に強く依存していると考えられるが、人間の場合、経験的・体

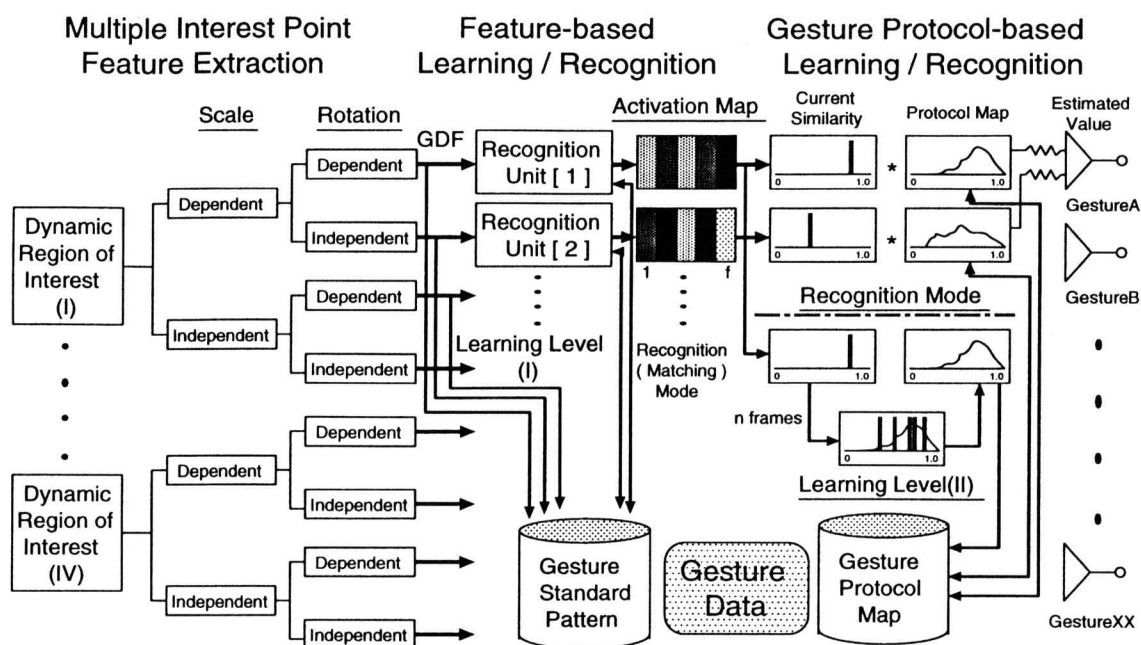


図1 多注視点身振り認識法 (QVIPS) における処理の流れ

得的に獲得している身振りプロトコルを最大限に活用して、極めて効率的かつ柔軟な身振り認識を達成している。効率的かつ柔軟な身振り認識は、人間の注視機構に支えられているものであるが、注視を生じさせるには、あらかじめ多くの視点を持つ能力を備えていなければならない。そこで、身振り認識には多注視点戦略が有効であると考え、本稿では多注視点身振り認識法を新たに提案する。多注視点身振り認識の基本的枠組みを図1に示す。図1に示すように、入力動画像を複数の身振り特徴抽出フィルタにかけることにより各注視点で必要とされる特徴量を種々の特徴画像から抽出し、この結果得られた特徴量を並列的に認識処理することにより、多注視点に基づく認識処理を行う。これらの一連の認識処理の結果として得られる活性化マップを利用して、さらに高次の認識処理を行う。多注視点身振り認識法は、低次認識核や中次認識核などから構成される階層型身振り認識機構である。

3. 認識処理の枠組み

図1に示すように各注視点における認識ユニットから得られる認識結果から活性化マップが生成される。活性化マップは、各注視点における認識結果の類似度から生成される時系列データである。活性化マップは、身振りデータに基づき出力されることから、注視点の重み付けに有効である。この性質を利用して中次特徴マップを作成する。中次特徴マップにより各注視点それぞれに適し

た重みが割り当てられることになる。換言すれば、中次特徴マップによりシステムが「焦点」を自動的に生じさせることが可能となることを意味する。このため、中次特徴マップに基づく学習・識別は、各認識ユニットで達成される低次の認識処理と密接な関連を持つことになる。身振り特徴画像に基づく認識は各認識ユニット（低次認識核）、特徴マップに基づく認識は中次認識核で処理される。

低次認識核における識別処理： 識別処理としては、活性化マップにおける類似度の総和を計算し、類似度の総和が最大となるカテゴリに入力された身振りが属するものと判定する。類似度の総和が受容閾値を超えない場合は、認識結果を棄却する。

中次認識核における学習・識別処理： 低次認識核における認識処理により得られる活性化マップの学習および識別を行う。学習・識別方法としてはベイズ識別を採用している。確率分布としては、正規分布を利用する。この際に、各視点における類似度の分散が小さければ小さい程、注視点の重みを大きく設定する。

4. 身振り特徴抽出フィルタの設計

身振り特徴抽出フィルタでは、特定の画像特徴を抽出する。このため、身振り特徴抽出フィルタは注視情報抽出機能の一端を担うことになり、その設計は極めて重要

である。注視点に関しては Iijima et al. により理論的側面からの研究が進められている^[3]が、身振りにおける注視点に関する理論的研究はまだなされていないようである。現在のところ、注視点および注視領域は経験的に定義している。定義した注視点および注視領域(視野に相当)を図2に示す。図2における注視領域1は、ユーザの姿勢情報を得るために設定し、注視領域2はユーザの位置に関する情報を得るために設定した。また注視領域3はユーザの動作部位の相対的位置に関する情報を得るために設定し、注視領域4はユーザの動作部位の形状に関する情報を得るために設定した。以上に述べた4種類の注視点および注視領域を決める際に最も重要視したのがユーザの「位置」と「姿勢」さらに動作部位の「位置」と「姿勢」に関する情報である。現在はこれらの情報を原画像から抽出するために、シルエット画像と差分画像を組み合わせ利用している。この2つの画像を選択した理由は、シルエット画像は背景画像との差分により例えば服装や髪型といった個人差に比較的影響されない画像が得られるということ、差分画像に関しては、動作部位に関する情報を容易に実時間で抽出することが可能であることに加えて身振りの動作準備・開始・終了を見極める際に有効であることが挙げられる。

5. 認識ユニットの構成

5. 1 画像ラベルによる認識系

身振りインタフェースは、ユーザの「位置」「姿勢」「動作」を認識するが、「動作」を認識するには「位置」「姿勢」を認識することが前提として可能でなければならない。このため、各注視点において独立に機能する

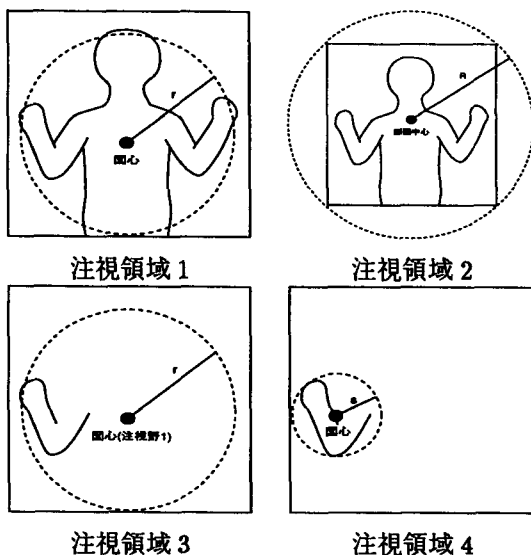


図2 定義した注視点および注視点領域

認識ユニットでは、カメラから入力される身振り動画を逐次認識できることが不可欠であると考え、画像ラベルという概念を新たに導入して認識処理を行う。画像ラベルは、身振りの名前・位相値(一連の身振りのどの段階の画像であるのかを表す)・形状特徴データなどが格納されるオブジェクトである。

身振りの学習については、画像ラベルに各種データ(身振りの名前・位相値・形状特徴データなど)を格納する。提案手法では、ユーザにより一度だけ教示される身振りをコンピュータが単純に記憶する方式を採用している。すなわち身振り学習においては、一つの身振りにつき基準となる参照データを一種類だけ記憶する。その理由としては、複数の身振り動画が標準パターンとして与えられている場合、各フレームの対応付け処理が困難であること、また、ユーザの身振りの相対的な速度などの身振り情報を求める際に、同一の身振りに関して複数の参照データが存在する場合、身振り情報を一意に求めることが困難になるということが挙げられる。身振りの識別については、識別対象である形状特徴データと各画像ラベルに格納されている形状特徴データ間のノルムを計算して最短距離法に基づく識別処理を行う。画像ラベルに格納する形状特徴データの抽出方法については次節で述べる。

5. 2 形状特徴抽出方法

従来、形状特徴を表現するために、フーリエ特徴、Zernike Moment などの多くの特徴量が提案されている。フーリエ特徴の場合、閉曲線の固有方程式をフーリエ級数展開し、その展開級数によって閉曲線の特徴を捉えるため、不安定である身振り特徴画像に適用した場合、高い識別率は望めない。また、Zernike Moment を用いてシルエット画像の形状特徴を抽出する方式が、E.Hunter et al. により提案されている^[4]が、Zernike Moment では回転不変な特徴量が抽出されるために、回転依存の特徴量が要求される場合もある身振り特徴画像の変換には適さない側面がある。そこで本稿では、不安定な画像に対しても比較的ロバストな形状特徴を獲得でき、かつ、回転不変・回転依存な特徴量が要求される場面にも対応でき、その上、計算量が少ない形状特徴抽出法を新たに提案する。

注視対象の身振り画像を $f_i(X, Y)$ ($i=1, 2, \dots, n$) とする。閾値 t により身振り画像 $f_i(X, Y)$ を二値化処理し、得られる二値画像を $g_i(X, Y)$ とする。 $g_i(X, Y)$

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

に対する原点回りモーメント $m_{p,q}$ は式(1)で定義される。

これより、注視点 (a_i, b_i) は式(2)で求めることができる。

$$(a_i, b_i) = \left(\frac{m_{1,0}}{m_{0,0}}, \frac{m_{0,1}}{m_{0,0}} \right) \quad (2)$$

ここで $g_i(X, Y)$ を (a_i, b_i) が原点にある極座標系で表し、 $P_i(r, \theta)$ で表現することにする。角度 θ における半径 ($=R$) 方向のパターン分布を L 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 $s_i(\theta)$ ($i=1, 2, \dots, L$) を式(3)により定義する。

$$s_i(\theta) = \frac{R}{L} \frac{\sum_r P_i(r, \theta) \exp\{-\alpha(r - \phi)^2\}}{\sum_r P_i(r, \theta)} \quad (3)$$

式(3)を任意の解像度で二値画像の全周方向に適用することでカーネル1における特徴パターンを得る。対象パターンとガウス分布との畳み込みを計算し、その結果に密度係数を掛け合わせるため、この特徴量をガウス密度特徴 (GDF-Gaussian Density Feature) と以降呼ぶ。ガウス密度特徴を求めた後、各カーネルにおける特徴パターンに高速フーリエ変換 (FFT) を適用する。ここで、変換対象である特徴パターンは回転角 θ に依存する関数とみなすことができる。FFT の結果得られるパワースペクトルはシフト不変の性質を持つために、ここでは回転不変の特徴パターンとして利用することができる。

表1 設定した16種類の注視点

注視点	位置	大きさ	回転	特徴情報源
1	非依存	依存	依存	背景差分画像
2	非依存	依存	非依存	背景差分画像
3	非依存	非依存	依存	背景差分画像
4	非依存	非依存	非依存	背景差分画像
5	依存	依存	依存	背景差分画像
6	依存	依存	非依存	背景差分画像
7	依存	非依存	依存	背景差分画像
8	依存	非依存	非依存	背景差分画像
9	依存	依存	依存	時間差分画像
10	依存	依存	非依存	時間差分画像
11	依存	非依存	依存	時間差分画像
12	依存	非依存	非依存	時間差分画像
13	非依存	依存	依存	時間差分画像
14	非依存	依存	非依存	時間差分画像
15	非依存	非依存	依存	時間差分画像
16	非依存	非依存	非依存	時間差分画像

る。ガウス密度特徴を正規化することにより、形状パターンの回転に依存するが大きさには依存しない特徴パターンが得られる。ガウス密度特徴を正規化しない場合、形状パターンの回転と大きさに依存する特徴パターンが得られる。同様に、パワースペクトル成分を正規化することにより、形状パターンの回転と大きさに依存しない特徴パターンが得られる。パワースペクトル成分を正規化しない場合、認識対象の回転には依存しないが大きさには依存する特徴パターンが得られる。以上の処理は、各注視領域について実行される。一つの注視領域に付き4通りの注視点 (回転依存/非依存と大きさ依存/非依存の組み合わせ) に基づく特徴パターンが出力されるので、4通りの注視領域を設定している場合は合計16通りの注視点に関する特徴パターンを得られることになる。表1に設定した16種類の注視点を示す。

5. 3 身振り標準パターンの登録

身振り動作の知覚は、位置や姿勢の状態が連続的に変化することにより生成され则认为、各特徴パターンを画像ラベルとして登録する。画像ラベルには、身振りカテゴリ番号・位相値・注視点番号・特徴パターンなどが格納される。位相値は、ユーザが登録時に身振り動作を開始した時点から終了するまでの身振り画像フレーム番号である。このように、一枚の身振り画像を複数の画像ラベルによって分解表現することにより、高次認識処理部における注視点の重み付け処理が可能となる。この際に登録される画像ラベルを身振り標準パターンとする。身振り標準パターンの一貫性を保証するために、各身振りにつき一通りの標準パターンが登録される。

6. 実験

本システムにはユーザの「位置」「姿勢」「動作」に関する情報を認識するための注視領域が備っている。本章では、ユーザの「位置」情報の認識結果を利用したアプリケーションの例としてVRホログラフィーを紹介すると共に、身振り「バイバイ」に関する認識実験の結果を紹介する。CCDカメラにより入力されるユーザの白黒の身振り画像 (解像度160x120) はWSに取り込まれ、身振りインタフェースにより認識される。認識された身振り情報 (ユーザの位置・姿勢・動作) は、ソケット通信によりVRアプリケーションに引き渡される。本実験における動画の処理レートは、並列化処理や専用ハードウェアを一切使用していない状態で約15 (frames/sec) が実現されている。

6. 1 位置情報の認識実験

実験手順は、認識対象となる移動範囲をユーザが身振りインタフェースシステムに教示することにより登録するという単純なものである。移動範囲の登録後、アプリケーションプログラムであるVRホログラフィーへの位置情報の入力実験を行った。その結果を図3に示す。

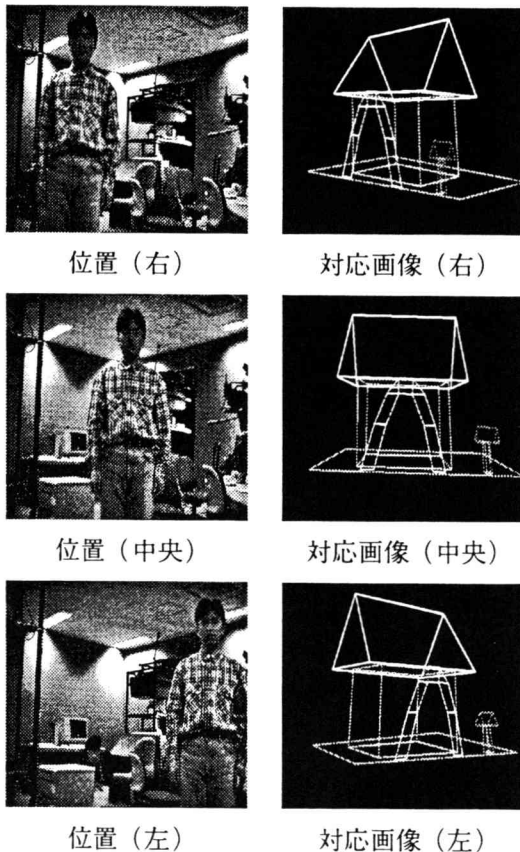


図3 位置情報入力の実験結果

6. 2 身振り「バイバイ」の認識実験

身振り「バイバイ」は右手または左手を振るだけの極めて単純な身振りであるが、身振り認識システムが身振りプロトコルに適応できるかどうかを試す際の適当な認識対象である。つまり、単純な「手を左右に振る」という動作でも、右手であるいは左手で振ることに意味がある場合（右手と左手を区別する必要がある場合）と、単に手を振ることに意味がある場合（右手と左手を区別する必要がある場合）とがあり、それらは文脈、あるいは身振りを伝え合う者同士の身振りプロトコルにより区別されている。本実験では、右手と左手を区別する必要がある場合と右手と左手を区別する必要がある場合の動作認識実験を行ったので以下に報告する。

6.2.1実験1：右手と左手を区別する必要がある場合

右手と左手を区別する必要がある場合、低次認識核と

中次認識核のための教示学習の際に一貫して右手あるいは左手を振る。図4に教示学習において一貫して右手を振った際に観測された各注視領域の重みの変化を示す。また、教示学習の後、「右手と左手を区別する必要がある」という身振りプロトコルがシステムに組み込まれたかどうかを調べるために右手と左手をそれぞれ10回振った際の認識評価得点の変化を図5に示す。

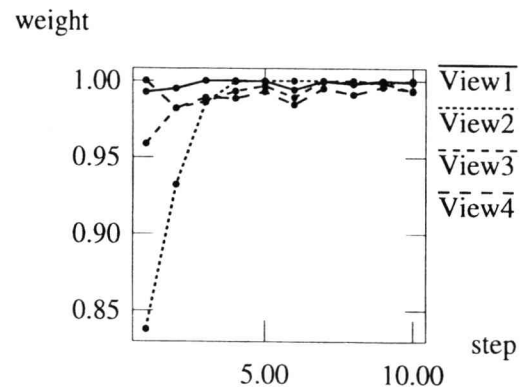


図4 各注視領域の重みの変化

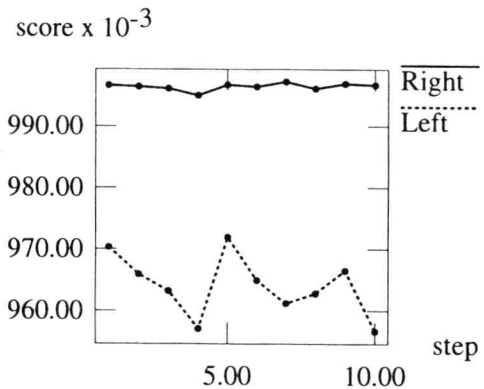


図5 認識評価得点の変化

6.2.2実験2：右手と左手を区別する必要がある場合

右手と左手を区別する必要がある場合、低次認識核と中次認識核のための教示学習の際に右手と左手を交互に振る。図6に教示学習において交互に右手と左手を振った際に観測された各注視領域の重みの変化を示す。また、教示学習の後、「右手と左手を区別する必要がある」という身振りプロトコルがシステムに組み込まれたかどうかを調べるために右手と左手をそれぞれ10回振った際の認識評価得点の変化を図7に示す。

7. 考察

図4から分かるように、教示学習において一貫して右

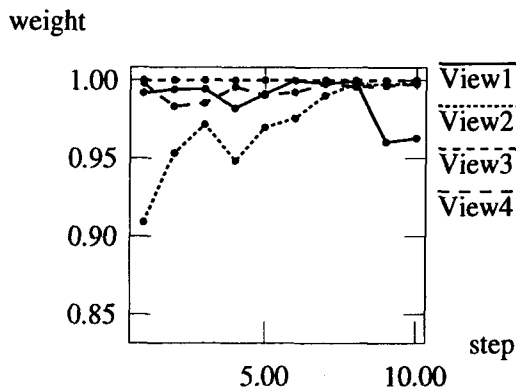


図6 各注視領域の重みの変化

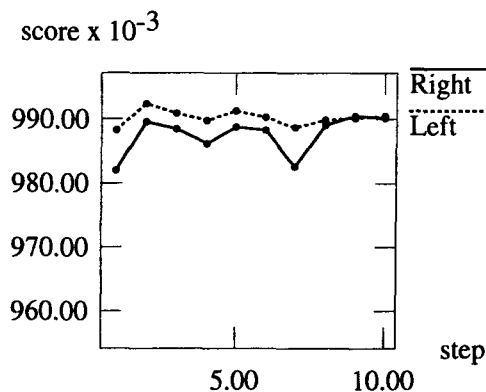


図7 認識評価得点の変化

手を振った場合、すべての注視領域への重みが1.0付近に収束している。これは、低次認識核と中次認識核それぞれの教示学習の際に、教示パターンが非常に安定していたことから、どの注視領域の重みも変更する必要性が生じなかったことが原因であると考えられる。また、図5から分かるように、右手で手を振った場合と左手で手を振った場合の認識評価得点が明確に分かれている。このことは、一貫して右手で手を振るという教示学習の結果、「右手と左手を区別する必要がある」という身振りプロトコルをシステムに組み込むことに成功したことを示している。一方、図6から分かるように、教示学習において交互に右手と左手を振った場合、重要な注視領域の重みは1.0付近に、重要でない注視領域の重みは0.96付近に低下している。また、図6より注視領域3と注視領域4が重要な注視領域として選択されている。注視領域3と注視領域4は差分画像による注視領域であり、「右手と左手を区別する必要がある」場合、確かに、シルエット画像に注目するよりも、差分画像に注目すればよいことは直感的にも納得できる結果が得られている。また、図7から分かるように、右手を振った場合と左手を振った場合の認識評価得点がほぼ重なり合っている。このことは、交互に右手と左手を振るという教示学習の結果、「右手と左手を区別する必要がある」という身振りプロトコルをシステムに組み込むことに成功したこと

を示している。

8. まとめ

本稿では、身振りインタフェースを開発する際に無視できない身振りプロトコルを提起し、身振りプロトコルに適応するための基本的枠組を提案した。また、身振りプロトコルの問題を解くための第一歩として、注視領域および注視点の重み付けを実現するための枠組を提案し、実画像を用いた実験により、提案手法が有効であることが分かった。ユーザの身振りを実環境から選択的に認識し、さらにその状態（位置・姿勢・動作）に関する情報をリアルタイムでVRシステムに入力することを可能にするために、今後は、注視領域の自動設定方法に関する課題や、動作領域のセグメンテーションに関する課題に取り組む予定である。

参考文献

- [1] 大須賀節雄：ヒューマンインタフェース、知識工学講座10、オーム社、pp.218-229,1992
- [2] 桐島俊之、佐藤宏介、千原國宏：身振りの動画像認識によるユーザインタフェース、電子情報通信学会技術研究報告、PRU95-190,pp.1-6,January, 1996
- [3] 飯島泰蔵：パターン認識、電気・電子工学体系43、コロナ社
pp.1-25,1973
- [4] E.Hunter, J.Schlenzig and R.Jain : Posture Estimation in Reduced-Model Gesture Input Systems, International Workshop on Automatic Face- and Gesture-Recognition, pp. 290 - 295, Zurich, 1995
- [5] 國吉康夫：実世界エージェントにおける注意と視点-情報の分節・統合・共有-、人工知能学会誌 Vol.10 No4, pp.507-514, July, 1995

環境音における高域成分の基礎的調査

土井 滋貴・下村 満子

Basic Research of High-frequency Components in Environmental Sound

Shigeki DOI and Michiko SHIMOMURA

筆者らは、心地よさ、快適さといった感性的な視点から、環境音における高域成分の影響について注目している。本稿ではその基礎的な調査として、人の可聴域の高域の上限についていくつかの聴取実験を行い、その結果について述べる。実験結果から、環境音のような意味のある音の聴取においては、聞こえる聞こえないといった単純な知覚が不確実になる可聴域の高域の上限付近であっても、音の差を質的表現の差として認知できるという結果がえられた。

1. まえがき

最近の科学・工学の新しい分野として、実際に見えるもの、聞こえるもの、更にその特徴といった意識的で計量的な情報を取り扱うのではなく、美しさ、心地よさ、安らぎといった、いわゆる感性を取り扱う感性情報処理、感性工学と呼ばれる分野が注目されつつある^{[1][2][3][4][5]}。

このような視点は音に関する分野でも展開されている。例えば、いわゆる可聴域を越える高域成分の心理的、生理的影響についてのCDのサンプリング周波数の問題などが折に触れて話題にされている。しかし、その正当なもしくは正式な科学的調査は聴覚における無意識の領域に関係することもありあまりみられない^[6]。

筆者らは音の感性情報処理に関して、例えば図1のような枠組みを想定し、環境音における高域成分の感性的影響について調査してきた^[6]。この報告では、その基礎的調査として、人の高域成分の認知についていくつかの実験について述べる。

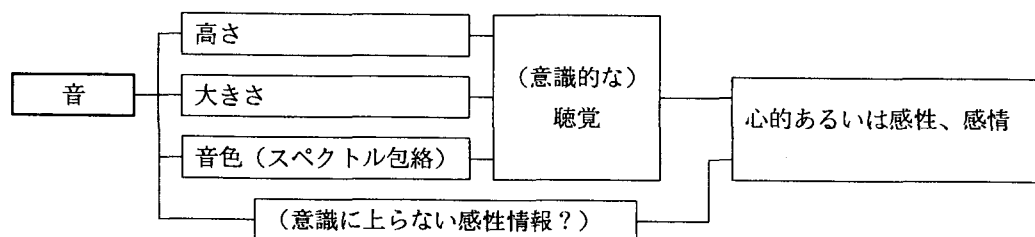
2. 音の高域成分の知覚に関する実験

人間が認知できる周波数範囲は一定の範囲をもつとされ、この範囲のことを可聴域という。正常な耳の可聴域は個人差もあるが、一般に音圧領域では4 phon～120 phonで、周波数領域では20Hz～20kHz程度であるとされている^[7]。可聴域以上の高域成分(High-frequency Components: 以下HFC)を含む周波数は聞こえない領域とされ、デジタルオーディオ(CD、DAT等)などではサンプリングされない。この聞こえないとされる音の影響についてはいくつかの分野でときおり議論されている。

ここでは、可聴域の高域の聞こえ方について音刺激として、正弦波、帯域制限された雑音、環境音とその加工音、の3つを用いて聴取実感により検証する。

2. 1 正弦波による聴取実験

初めに、人間の可聴域が実際にどの程度であるかを検



この感性情報はなにか？この情報の間接的な表現として1/fゆらぎや可聴域を越えた高域成分の影響が存在すると考えられないか

図1 音の感性情報のパラダイム

討した。実験は可聴域の測定を目的とし、極限法を用いた。

◎実験方法

〈被験者〉本校学生男女11名。

〈実験装置〉音源にはパーソナルコンピュータで駆動される16bit, 48kHz サンプリングのD/Aを用いた。スピーカは高域用に Fostex 社製 FT7RP を使用した。

〈刺激〉周波数が12.0、13.2、14.5、16.0、17.6、19.3kHzの純音を用いた。また呈示音の強さは47dBであった。一般に、静かな事務室で50dB程度なので、この音圧は可聴範囲内であると思われる。

〈手続き〉実験は本学電気工学科の無響室で行った。

被験者は楽な姿勢でスピーカとの距離が1mの椅子に座り、刺激段階ごとに容易された質問用紙に回答するよう求められた。

1試行は1つの純音刺激から構成された。1系列は刺激の周波数を先述の6段階に順に変化させる6試行からなる。呈示は、慣れの誤差や期待誤差を防ぐために、上昇系列Aと下降系列Bを3系列ずつ計6系列をA-A-B、B-B-Aの順で行った。

1試行での刺激の呈示時間は2秒間とし、刺激の呈示中であることを示す合図として、その間LEDがずっと点灯していた。被験者はLEDの点灯中に音を知覚すれば、回答用紙の所定の位置に○をマークし、知覚できなければ×と2件法で回答した。なお、各試行のブランク（無音状態）は1秒間とした。

◎結果と論議

得られた結果から、被験者別に○反応と×反応の変化点を調べた。その変化点の中央値を取り、それを上限可聴値とし、全体で上限可聴値の平均をとった。被験者全体の平均値は16.8kHzだった。被験者間でのばらつきはあまりなかった。使用実験環境からいえば、この値は妥当と思われる。

2. 2 白色雑音による聴取実験

次に白色雑音による聴取実験を行った。

◎実験方法

〈被験者〉本校学生男女17名。

〈実験装置〉音源はパーソナルコンピュータで駆動される12bit、100kHz サンプリングのD/Aを使用した。スピーカは2.1と同様の装置を使用した。

〈刺激〉刺激は以下のものを用いた。計算機で乱数プログラムを作成し、計算機に接続されたボードでD/A変換した白色雑音とした。標準刺激にはフィルターを全く通さない白色雑音を使用した。スピーカの特性により、その上限周波数は40kHz程度であった。比較刺激には先

に述べた標準刺激をデジタルフィルターでカットし、上限周波数を2.1で用いた周波数と同様に設定したものを使用した。フィルタはsinc関数との畳み込み積分によって実現した。図2に音響出力された刺激音のパワースペクトルを示す。

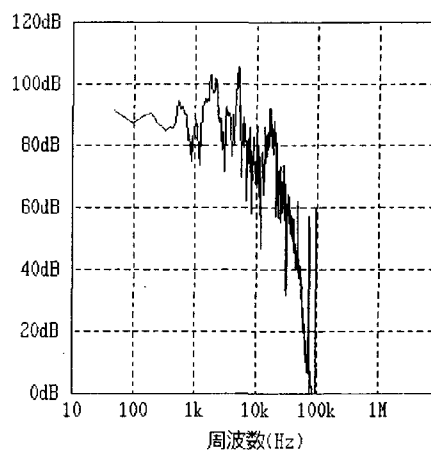
〈手続き〉実験環境は2.1と同様であった。

まず、標準刺激と比較刺激の比較のサンプルとして同じ音と明らかに違う音を聞いてもらい、被験者の評価の基準を確かめた。その次に練習として1系列の実験を行い、わからないところがあれば、ここで解決された。被験者は、標準刺激と比較刺激が同じと知覚すれば○、違うと知覚すれば×と2件法で回答した。

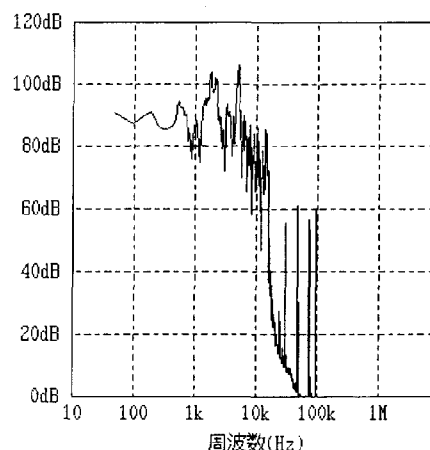
1試行は次の通りである。試行開始の合図（LEDの点灯）の後、標準刺激が2秒間呈示された。その後1秒間のブランク（無音状態）があき、続けて比較刺激が同じく2秒間呈示された。なお、各試行のブランクは5秒間とした。

◎結果と論議

比較刺激段階別に回答の正答率を算出した。標準刺激



標準刺激用白色雑音



16kHzで高域制限された雑音

図2 音刺激に用いる雑音のパワースペクトル

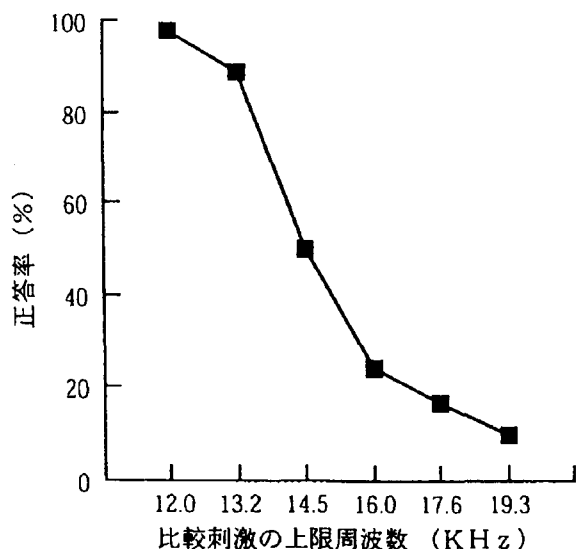


図3 比較刺激の上限周波数別正答率

と比較刺激は同じものではないので、両刺激が異なるという「×」回答を正答とした。被験者ごとの平均正答率を比較刺激の上限周波数ごとに算出した。この結果は図3に示す。比較刺激の上限周波数が14.5kHzのとき、被験者は50%の確率で正答した。この結果から2刺激の差異を弁別できる上限周波数は15kHz付近であると思われる。これ以上高い周波数だと、可聴域の上限に近づくため、弁別されにくくなる。

2. 3 環境音による聴取実験

最後に環境音によるHFCが多く含まれている刺激素材とあまり含まれていない刺激素材の、音の持つイメージの比較を行い、HFCが主観的に及ぼす影響について検討を行った。主観的指標の測定はSD法と呼ばれる手法で行った。因子を抽出するには主因子法、因子軸の回転にはバリマックス法を用いた。

◎実験方法

〈被験者〉本校学生男女21名。

〈実験装置〉刺激の収録にはSONY社製のマイクロフォンECM-23F3を使用し、SONY社製TCD-D8のDATに録音した。刺激の呈示にはSONY社製DTC-55ESのDATを用いた。スピーカは2.1、2.2と同様のものを使用した。

〈刺激〉刺激音⁹⁾は、HFCを多く含む刺激として、赤目川のせせらぎ、たき火の燃える音、スズムシの鳴き声、郡山城の玉砂利を踏みしめる音の計4種類（以下、赤目川、たき火、スズムシ、玉砂利と呼ぶことにする）を使用した。HFCを含まない刺激としては、近鉄郡山駅前の騒音、近鉄奈良駅改札周辺の雑踏の音2種（以下、駅前騒音、地下鉄）と、HFCを含む素材と含まない素材の中間的な素材として、天王寺動物園周辺の雀の鳴き声

（以下雀）に、先述のHFCを含む刺激を上限周波数14.5kHzにカットした4種の音（以下、赤目川カット、たき火カット、スズムシカット、玉砂利カット、14.5kHzのフィルタにはDATのLPモードを利用した）を加えた計11種を使用した。これらのパワースペクトル例を図4にそれぞれ示す。上限周波数の音圧値が高いほど、HFCを多く含む。ただし、HFCを含む素材の上限周波数は録音に使用したDATの特性から22kHzであった。また、平均呈示音圧は74dBとした。

〈手続き〉実験は電気工学科の無響室で行った。被験者はスピーカとの距離が1mほどの椅子に座り、刺激音別にその音に対する反応を回答用紙に記入することを求められた。なお、回答用紙は、心地よい、騒がしい、かん高いなどといった、12の質問項目からなる。

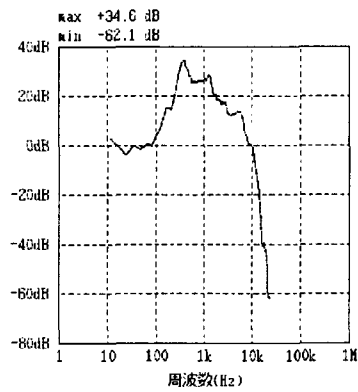
最初に練習実験として、幼稚園前の騒音を聞いてもらった。被験者の疑問点はここで解決され、時間の配分も確認された。また、1試行は次の通りであった。実験者の合図で刺激呈示が開始され、90秒間続いた。最初の30秒間は、被験者は聞くことに専念するよう求められた。その後再び実験者により合図があり、残りの60秒間で質問項目に回答した。刺激音ごとにブランクがとられ、回答の時間は十分にあった。刺激音の呈示順序は、音の順序が回答に影響を与えないように、被験者ごとにランダムに変化させた。

◎ 結果と論議

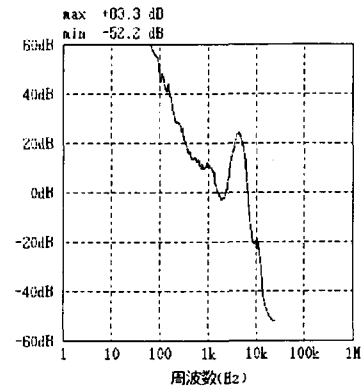
得られた評定スコアの刺激音別の平均値の結果を図5と図6に示す。それぞれHFCを含む音とHFCをカットした音のペアで示す。また、HFCをあまり含まない駅前騒音、雀、地下鉄の音もまとめて示す。全体として同じ素材でのHFCの有無による顕著な評定スコアの差は見つけれない。

次に、得られた回答から因子分析を行った。12の音に関する質問項目を変数とし、各因子に対する因子負荷量を求め、因子を抽出した。さらにそれらの因子軸をバリマックス回転した。その結果得られた3因子について述べる。

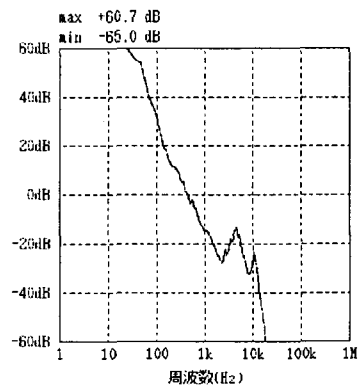
第1因子は、みずみずしい、なめらかな、心地よい、柔らかな、きれいな、好き、深みのある、といった評価語であった。これらは、被験者の音のイメージを表すような語であると考えられる。第2因子は、鋭い、開放的な、かん高いといった評価語であった。これらは、音の高低を表すような語であると考えられる。しかし、開放的なという評価語は、どの因子軸にも相関があまり強くない。やはり、評価語として適切でなかったと思われる。第3因子は、騒がしい、迫力のあるといった評価語であった。これらは、音の迫力感や、臨場感を表すような語で



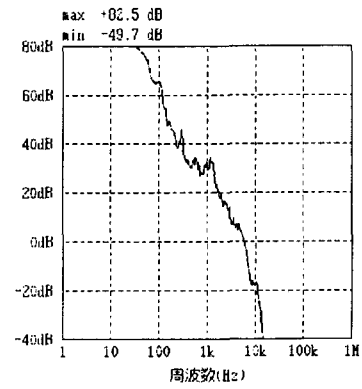
赤目川：景勝地の川の音



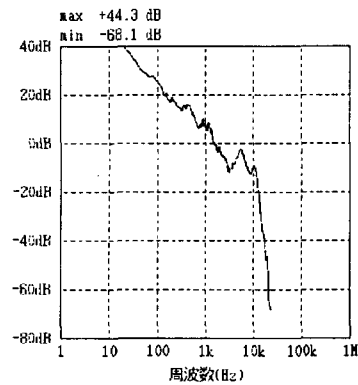
雀の鳴き声：生体が原因となる音の例



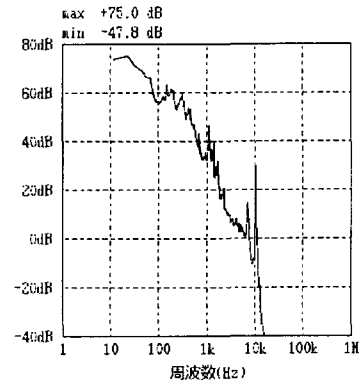
たき火：日常的に得られるパルス的な音の例



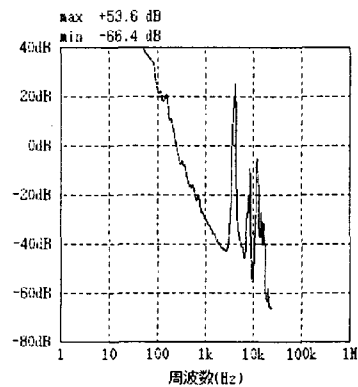
幼稚園前の道路：園児の遊ぶ声、自動車の通過音



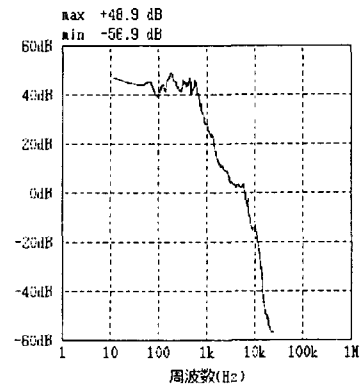
玉砂利：日常的に得られるパルス的な音の例



駅前の騒音：遮断機の警告音、列車通過音



鈴虫：生体が原因となる音の例



地下駅構内：地下駅改札付近、閉鎖空間、靴音

図4 特色のある環境音のパワースペクトル

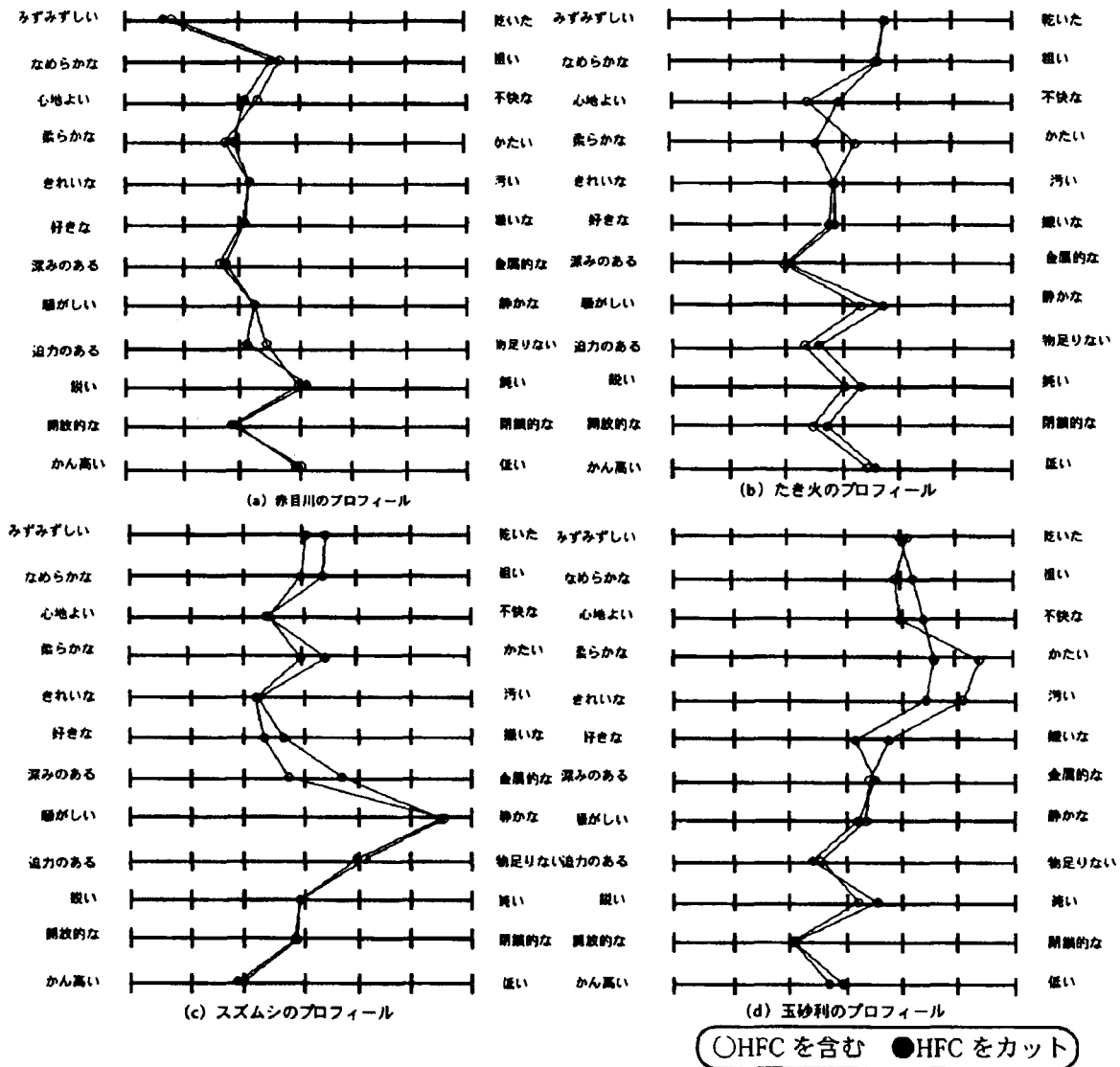


図5 評価スコアの平均値 (HFCを多く含む音素材)

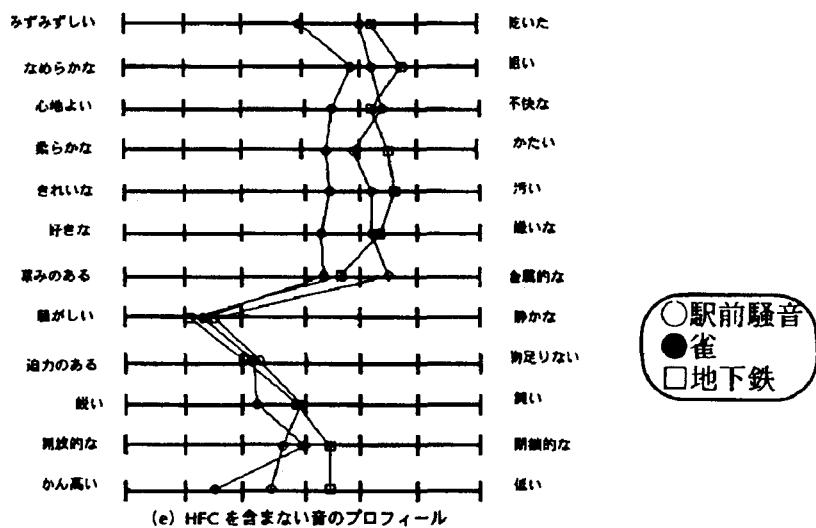
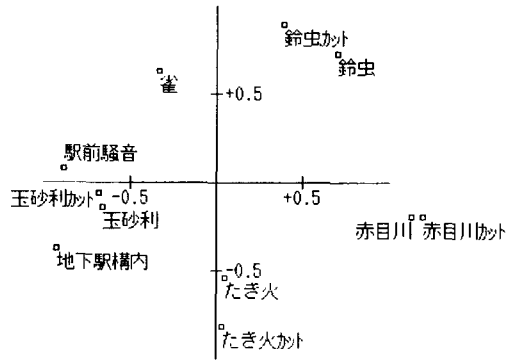
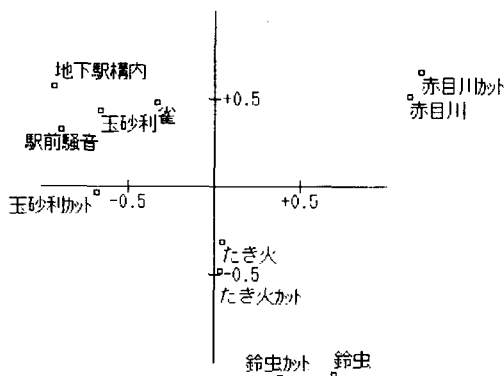


図6 評価スコアの平均値 (HFCをあまり含まない音素材)



横軸：第1因子（美的）、縦軸：第2因子（高低）

図7 第1因子－第2因子による散布図



横軸：第1因子（美的）、縦軸：第3因子（迫力）

図8 第1因子－第3因子による散布図

あると考えられる。

分類されたそれぞれの質問項目の特徴から、第1因子を「美的因子」、第2因子を「高低因子」、第3因子を「迫力因子」と命名した。音に関しては一般的にもこの3因子が得られるといわれている。さらに、それぞれの因子の因子得点を求め、各音素材に対する因子得点の検討を行った^[10]。第1因子と第2因子および、第1因子と第3因子を軸にとった各音の散布図を図7、図8に示す。ここでは、フィルタ処理によるHFCの有無による得点の違いについて述べる。

まず、美的因子について、スズムシ、たき火、玉砂利の音はHFCを含む音の方がやや心地よいという答えだったが、赤目川に関しては、わずかであるがそれとは逆の結果が出た。次に高低因子について、HFCを多く含む音の方が高く聞こえると予想されたが、スズムシと玉砂利では逆の結果となっている。最後に迫力因子について、スズムシは、HFCの有無による違いはあまりない。それとは逆に、玉砂利の迫力感はHFCの有無で大きい差がある傾向となった。

また散布図における距離の大きさをみると、HFCのカットによる距離の大きさは、異なる音素材間の距離とかわらないくらい大きくあらわれているものもある。

3. まとめ

人の可聴域における高域上限の聴覚のふるまいについていくつかの実験をおこなった。

正弦波による聴取実験からは一般にいわれている高域の可聴域の限界とほぼ一致する結果がえられた。雑音及び環境音による聴取実験からは、白色雑音のような意味をもたない音では可聴域の高域限界付近での差の判別は困難であるが、音として意味があればその質的表現の違いとして差が表現されることがわかった。

これらの結果から、一般に知られている高域の可聴領域の限界域では、聞こえるか聞こえないかといった単純な聴覚的知覚でなく、音の質の違いとしての認知のメカニズムが存在する可能性が示唆された。

謝辞

本研究の一部は奈良工業高等専門学校、茶谷友紀子、椛島由里子らの平成8年度の卒業研究として行われた。両氏に感謝いたします。

文献

- [1] 大野秀夫・他：「快適環境の科学」、朝倉書店 (1993)
- [2] 長町三生：「快適科学」、海文堂 (1992)
- [3] 「小特集－快適性向上をもとめて－」、日本音響学会誌、vol.50,no.6 (1992)
- [4] 井口征士：「感性情報処理」、オーム社 (1994)
- [5] 土井・他：「照明における1/f ゆらぎ制御法の実験的検討」、電気学会論文誌C, Vol.117,No.4, pp409-415
- [6] 土井・他：「環境音における高域成分の調査と分析」、音楽音響研究会資料、MA96-63 (1997)
- [7] E.ツヴィッカー：「心理音響学」、西村書店 (1992)
- [8] 大橋力・他：「ハイパーソニック・エフェクトについて」、音楽音響研究会資料、MA96-53 (1997)
- [9] 茶谷：「環境音における高域成分の調査と分析」、平成8年度奈良高専電気工学科卒業研究報告書
- [10] 椛島：「音の評価に高域成分が及ぼす影響に関する研究」、平成8年度奈良高専情報工学科卒業研究報告書

MESFETを用いた光波と高周波のミキシング

松島 朋史・山本 恭隆*

Lightwave radio-wave mixing using MESFET

Tomoshi MATSUSHIMA and Kiyotaka YAMAMOTO

Optical control of GaAs MESFET has attracted recent attention. In this letter, we have demonstrated optical control functions including gain control of amplifiers and optical mixing.

We measured optical gain variation of MESFET without and under illumination (He-Ne laser, 1.4mW) when the MESFET was biased at $V_{gs} = -0.25$, $V_{ds} = 0.5$ V. The gain without illumination can be higher than the gain measured under illumination.

Using optical mixing, we demonstrated the generation of IF signal. A two mode oscillation He-Ne laser beam (longitudinal mode frequency separation : 340 MHz) illuminated the gate region of the MESFET, a 600MHz signal was electrically coupled to the gate terminal, and the resulting IF signal at 200MHz was taken from the drain terminal.

In a similar set of experiments, a 100 MHz modulated semiconductor laser was used. A 300 MHz signal was electrically coupled to the gate terminal, and the resulting IF signal at 200 MHz was taken from the drain terminal.

1. はじめに

近年、高度情報社会における通信システムとして高効率・高速化が望まれ、そのシステムの一つとして光通信システムが挙げられる。光波は高速度性という特徴を持っているが、その特徴を生かそうとすると光波に高速度電気信号を載せる高速変調技術と変調された光波から信号を取り出すための通信用高速光検出技術が要求される。

現在、高速光変調技術においては20 GHz以上の帯域幅を持つ変調器、さらにミリ波帯で動作する変調器も報告されている^[1]。

一方、高速光検出技術としては受信用のOEIC (Opto-Electronic Integrated Circuit) がある。これはPIN-PD (フォトダイオード) あるいはMSM (金属-半導体-金属) PDとGaAs MESFETの集積化したものがある。通常、光通信システムにおける受信側は、このように高速フォトダイオードとプリアンプが集積化され、さらにヘテロダイン検波を行うためのミキサーによって構成されている。マイクロ波のような高い周波数で変調された光波を検出(復調)する場合、上述の受信側回路構成では個々の素子の寄生容量や素子間のインピーダンス不整合によって受信効率および周波数応答を悪化させる要因となる。

そこで、GaAs MESFETなどの3端子デバイスに

光検出器、増幅およびミキサー機能を同時に持たせることにより、検波・復調を同時に行う新しい受信方式への応用や受信機の高効率化・高速化・簡素化が計れる可能性を示されている^[2]。

ここでは同様な手法によりMESFETを用いて、光波照射時におけるゲート電圧に対するドレイン電流特性、利得特性、さらにHe-Neレーザ光および変調された半導体レーザ光と高周波のミキシング^[3]を行ったので報告する。

2. MESFETの光応答

図1にGaAs MESFET (Metal-semiconductor

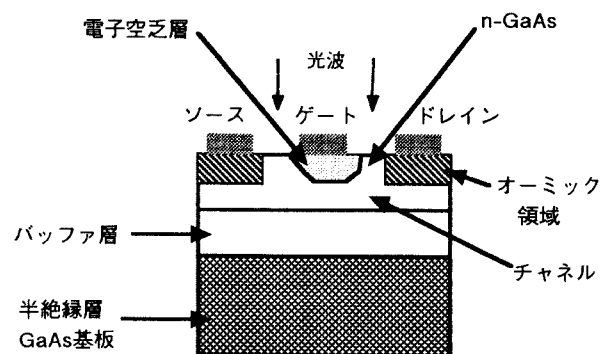


図1 MESFETの基本構造

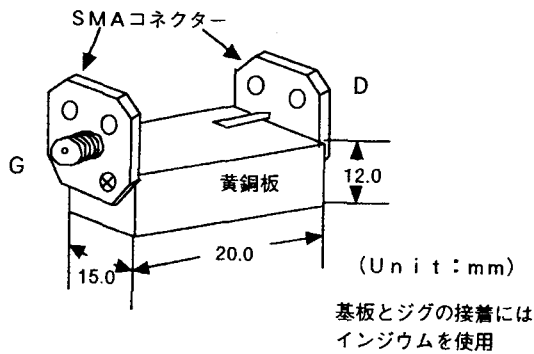


図2 MESFETの固定台

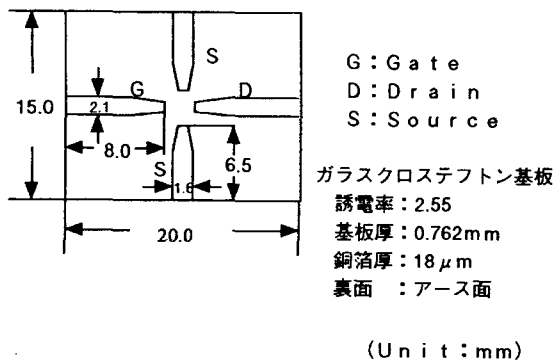


図3 MESFET測定用ストリップライン基板

FET)の基本構造を示す。MESFETでは、半絶縁層GaAs基板上に $3-5\mu\text{m}$ の高抵抗バッファ層と $0.2-0.3\mu\text{m}$ の厚みの $n\text{-GaAs}$ 層を結晶成長させ、ソース、ゲートおよびドレインを形成する。このうちゲート電極がショットキー接合を、ソース、ドレイン電極がオーム性接触をそれぞれ形成している。MESFETの動作原理はゲート電極下の空乏層の幅をゲート・ソース間の逆バイアスによって変化させ、ソース・ゲート間の電流を制御するものである。

MESFETのゲート近傍に光を照射した場合、ドレイン・ソース間の電流の増加や相互コンダクタンス、寄生容量といった素子の特性が変化することが示されている。そこで、ここではMESFETに光を照射した場合のゲート・ソース間電圧(V_{GS})に対するドレイン電流 I_D 特性および利得特性を測定した。図2はMESFETの取付け固定台を示す。図3はFET測定用ストリップライン基板を示す。

2. 1 He-Ne レーザ照射時の $V_{GS}-I_D$ および利得特性

図4に示す測定回路を用いて V_{DS} を一定としたときの $V_{GS}-I_D$ 特性を測定した。He-Ne レーザ光の入射強度を変化させ 0 mW 、 0.8 mW 、 2.2 mW の場合における結果を図5に示す。それぞれの入射光強度に対してドレイン電流が増加することを示している。図5に示すように V_{GS} が -0.7 V ～ -0.3 V 間でミキシングが可能な非線

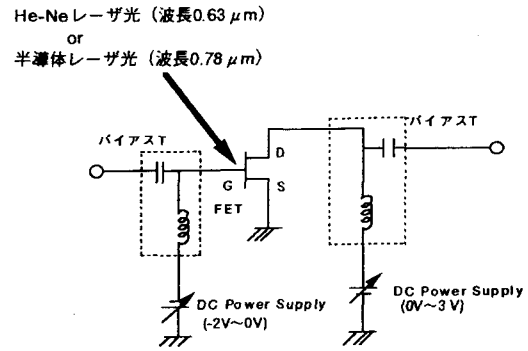


図4 レーザ光照射時におけるゲート電圧-ドレイン電流特性測定回路

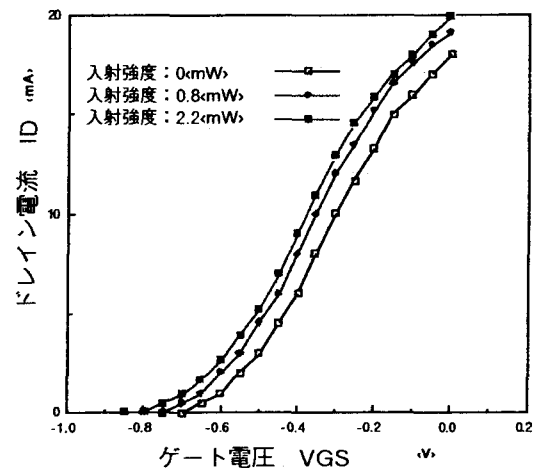


図5 He-Ne レーザ光照射時におけるゲート電圧-ドレイン電流特性

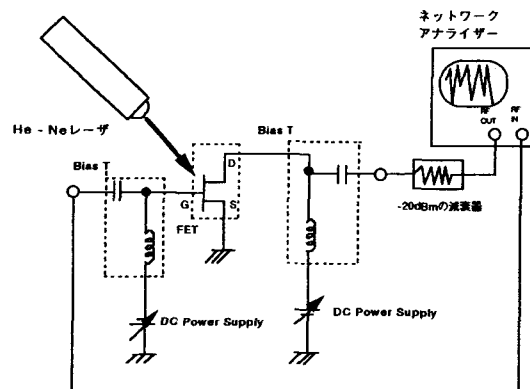


図6 He-Ne レーザ光照射時における利得特性測定回路

形領域があることがわかる。この非線形領域を利用すればFETにおけるミキシングが可能であると考えられる。次に図6に示すネットワークアナライザを用いた測定回路で光照射時における利得特性を測定した。図7 (a)は V_{DS} を 0.5 V 、 V_{GS} を -2.5 V におけるレーザ光を照射しない暗時の場合、図7 (b)は照射時 (He-Ne レーザ光、 1.4 mW) における利得特性を示す。図7 (b)より光照射時において利得の低下が観測された。

2. 2 半導体レーザ光照射時の $V_{GS}-I_D$ 特性

図8に示す測定回路で半導体レーザ (波長 $0.78\mu\text{m}$)

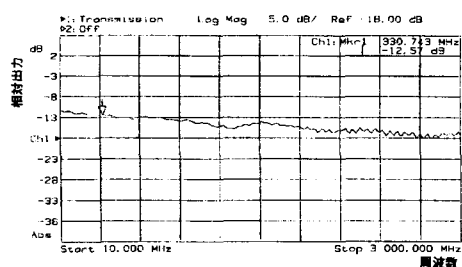
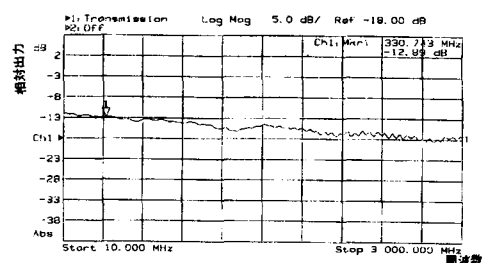
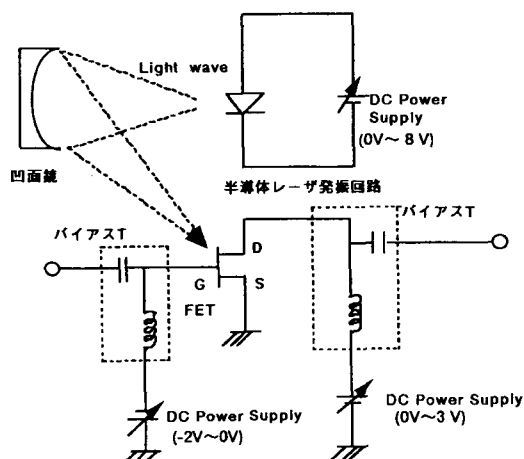
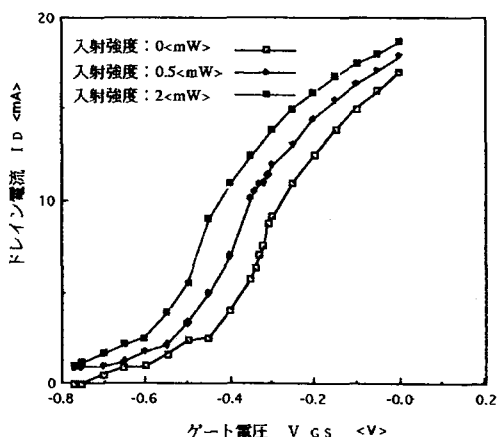


図7 (a) MES-FETにおける暗時の利得特性

図7 (b) MES-FETにおける
He-Neレーザー光照射の時の利得特性図8 半導体レーザー光照射時における
ゲート電圧-ドレイン電流特性測定回路図9 半導体レーザー光照射時における
ゲート電圧-ドレイン電流特性

を用いて He-Ne レーザを用いた同様な方法で $V_{GS} - I_D$ 特性および利得特性を測定した。図9は $V_{GS} - I_D$ 特性を示す。図9により、半導体レーザー光においても He-Ne レーザ光の場合と同様に V_{GS} が $-0.4\text{V} \sim -0.2\text{V}$ 間でミキシングが可能な非線形領域があることがわかる。

3. He-Ne レーザ光と高周波のミキシング

図10に2モード(縦モード)で発振しているレーザー光と高周波信号のミキシングを観測するための実験装置の構成を示す。MESFETのような3端子素子は相互コンダクタンスがゲート電圧に対して非線形な特性を持っている。このような素子に高周波で変調された光波をゲート近傍に照射し、ゲート端子に局部発振信号で励振することにより、変調信号と局部発振信号がミキシングを起こし、ドレインから周波数変換出力(中間周波数IF)を得ることができる。ここでは光波を変調する代わりに2モードで発振している He-Ne レーザ光を用い縦モードビート周波数とのミキシングを行った。He-Ne レーザ光(縦モード周波数間隔 340 MHz)をMESFETに照射し、ゲートを高周波信号(600 MHz: -6 dBm)で励振した。図11にドレインからの出力信号のスペクトルを観測した結果を示す。これよりレーザー光の縦モードビート周波数およびビート周波数と600 MHzの高周波信号とのミキシングによる周波数変換周波数260 MHzが検出されたことを示している。

4. 半導体レーザー光と高周波のミキシング

図12に示す変調回路を用いて半導体レーザーの直接変調を行った。変調周波数100 MHz、出力-6 dBmで変調された半導体レーザー光(9 mW)をMESFETに照射した。図13は半導体レーザーの高周波変調実験装置を示す。変調された半導体レーザー光を10倍の対物レンズで集光してMESFETに照射し、ドレインからの出力をスペクトルアナライザーで観測した結果を図14に示す。これより100 MHzのスペクトルが観測され、変調および検波が行われていることがわかる。このときの V_{DS} は0.5V、 V_{GS} は -0.34V でドレイン電流11.5 mAである。次にゲートを高周波信号(300 MHz: -10 dBm)で励振した。図15は変調された半導体レーザー光の100 MHz成分と300 MHzの高周波信号とのミキシングによる周波数変換周波数200 MHzが検出されたことを示している。

5. むすび

MESFETに He-Ne レーザ光($0.633\mu\text{m}$)および半導体レーザー光($0.78\mu\text{m}$)を照射し、入射光強度に

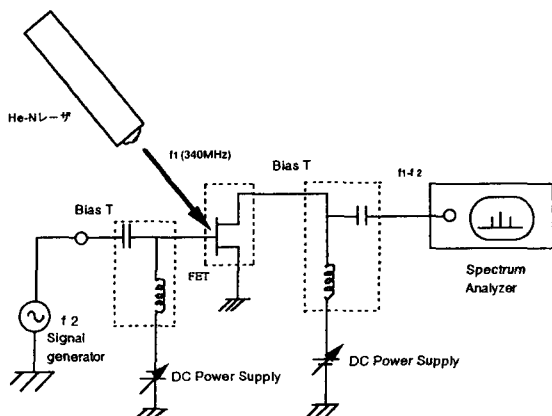


図10 2モード発振He-Neレーザー光とゲート入力信号とのミキシング回路

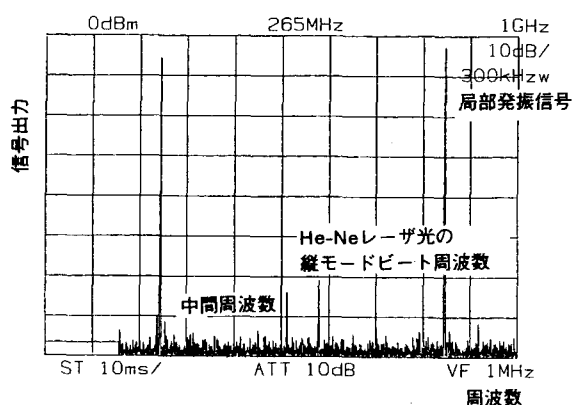


図11 He-Neレーザー光のビート周波数とゲート信号とのミキシングによる中間周波数 (1F)

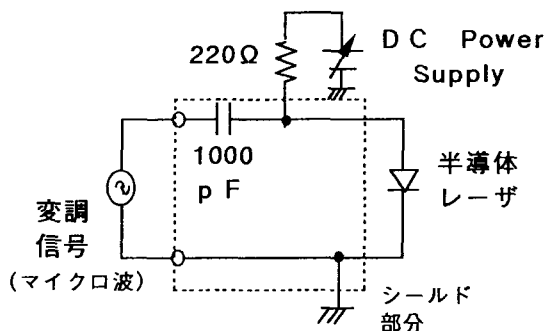


図12 半導体レーザー変調回路

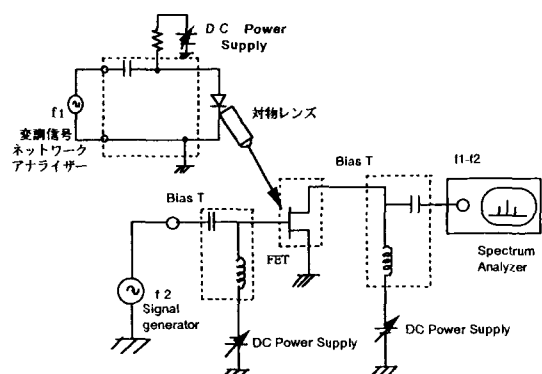


図13 変調された半導体レーザー光とゲート信号とのミキシング回路

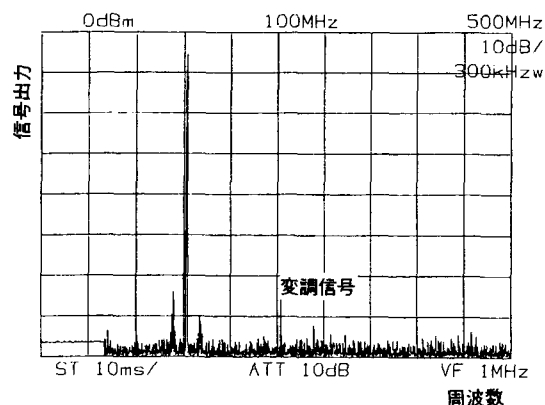


図14 半導体レーザー変調光の変調信号検出

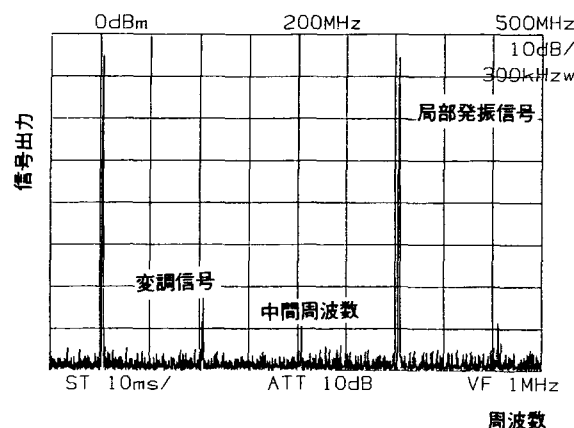


図15 半導体レーザー変調光をゲート信号とのミキシングによる中間周波数 (1F)

対する $V_{gs} - I_D$ 特性を測定した。それぞれ入射光強度に対してドレイン電流が増加することを示した。次に、変調された半導体レーザー光および2モード発振He-Neレーザー光をMESFETに照射し、ゲートに励振した高周波信号とのミキシングをそれぞれ行い、周波数変換された信号を検出した。この結果より、GaAs MESFETなどの3端子デバイスに光検出器およびミキサー機能を同時に持たせることで新しい受信方法への応用や受信機の簡素化が図れる可能性を示した。

参考文献

- [1] M.Izutsu et al., Tech.Digest CLEO'88 (1988) 485-486.
- [2] 川上高大、井筒雅之“光波とマイクロ波の直接ミキシングによる信号検出”電子情報通信学会秋季全国大会 講演番号C-158,1995
- [3] 山本恭隆 平成8年度卒業論文

* 平成8年度電気工学科卒業生

ディ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

栗 本 尚

Computer Simulation of Bode Diagram and
Root Locus in Digital Control System

Takashi KURIMOTO

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

計・解析をする方法について示す。

1 まえがき

エレクトロニクス技術の急速な発展により、マイクロプロセッサをコントローラとする制御系が多用されるようになってきている。このような制御系は、基本的にはサンプリング周期 T をもつディジタル制御系となる。ところで、制御対象の応答性が、サンプリング周期に対し十分に遅いときには、連続制御系に近似して設計・解析しても、特に問題にならない場合が多い。しかし、制御対象の応答性が速い場合や、制御機能の高性能化にともなってサンプリング周期が長くなる場合には、ディジタル制御系として設計・解析することが必要となる。

筆者は、各種制御系について、市販の制御系設計・解析用ソフトの活用と並行して、必要最小限の非常に短いプログラムを自作し、制御系の設計・解析に有効活用をはかってきた。^{1)~5)} ディジタル制御系に関しては、参考文献1)の3項において、パソコンを活用して、基本要素特性の可視化をはかり、かつナイキスト線図とステップ応答により、制御系としての設計・解析する方法について示した。ここでは、これらをベースとして、さらにディジタル制御系について、パソコンの BASIC 言語により、ボード線図と根軌跡を求め、制御系としての設

2 ディジタル制御系¹⁾

2.1 制御系の構成

2次系の制御対象 $G_l(s)$ を

$$G_l(s) = \frac{K_l}{s(T_1s+1)} \quad (1)$$

として、この $G_l(s)$ を、マイクロプロセッサからなるコントローラ $G_c(s)$ により制御する、図1 [参考文献1)の図3.78参照]に示すようなディジタルP (比例) 制御系について示す。ここで、 $G_c(s)$ は比例要素 K_c とし、ホールド回路は0次ホールド回路 $H_0(s)$ とする。したがって、 $G_c(s)$, $H_0(s)$ は次式で示される。

$$G_c(s) = K_c \quad (2)$$

$$H_0(s) = \frac{1}{s} (1 - e^{-Ts}) \quad (3)$$

2.2 $G(z)$ と $G(e^{j\omega T})$

このディジタルP制御系の開ループパルス伝達関数 $G(z)$ と開ループパルス周波数伝達関数 $G(e^{j\omega T})$ は、サンプリング周期を T とするとき、次式のようになる。

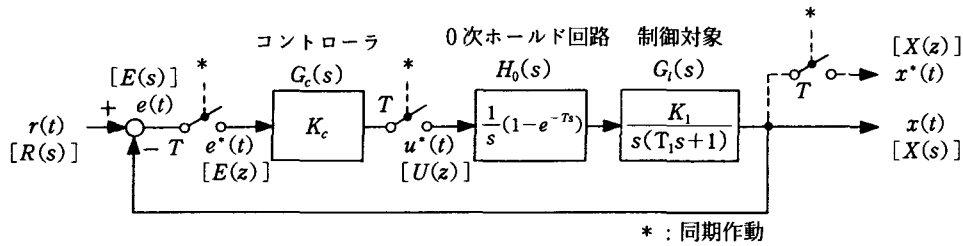


図1 デジタルP制御系

$$G(z) = G_c(z) H_0(z) G_t(z)$$

$$= K_c K_1 \frac{(T - T_1 + T_1 e^{-\frac{T}{T_1}})z + (T_1 - T_1 e^{-\frac{T}{T_1}} - T e^{-\frac{T}{T_1}})}{(z-1)(z - e^{-\frac{T}{T_1}})} \quad (4)$$

$$G(e^{j\omega T}) = \frac{P + jQ}{R + jS}$$

$$= \frac{1}{R^2 + S^2} \{ (PR + QS) + j(QR - PS) \} \quad (5)$$

$$\begin{cases} P = K_c K_1 \left[(T - T_1(1 - e^{-\frac{T}{T_1}})) \cos \omega T \right. \\ \quad \left. + (T_1(1 - e^{-\frac{T}{T_1}}) - T e^{-\frac{T}{T_1}}) \right] \\ Q = K_c K_1 (T - T_1(1 - e^{-\frac{T}{T_1}})) \sin \omega T \\ R = (\cos \omega T - 1) (\cos \omega T - e^{-\frac{T}{T_1}}) - \sin^2 \omega T \\ S = (2 \cos \omega T - 1 - e^{-\frac{T}{T_1}}) \sin \omega T \end{cases} \quad (6)$$

3 ボード線図による制御系の設計・解析

3.1 $G(z)$ のボード線図

(5)(6)式によるデジタルP制御系の開ループパルス周波数伝達関数 $G(e^{j\omega T})$ のゲイン G と位相 θ は、次式のように求められる。

$$G = 20 \log |G(e^{j\omega T})|$$

$$= 20 \log \left\{ \frac{1}{R^2 + S^2} \sqrt{(PR + QS)^2 + (QR - PS)^2} \right\} \text{ [db]} \quad (7)$$

$$\theta = \angle G(e^{j\omega T})$$

$$= \tan^{-1} \frac{QR - PS}{PR + QS} - \pi \text{ [rad]} \quad (8)$$

ここで、 P, Q, R, S は(6)式による。

(7)(8)(6)式より、このデジタルP制御系の $G(z)$ のボード線図、すなわち $G - \log \omega$ 特性、 $\theta - \log \omega$ 特性

を求めるためのプログラムを図2(a),(b)に示す。このプログラムは、パソコンPC-9800シリーズのN-88 BASICによる。プログラムをできるかぎり短くするために、グラフの座標軸、目盛り線、計算特性のみをパソコンによりえがかせ、変数名、目盛り数字、パラメータ表示、タイトルなどは、手書き、テンプレートまたは貼り付けによる。なお、ボード線図のえがき方の詳細については、参考文献1)の2.1項に示されている。

ここで、制御対象 $G_t(s)$ の $K_1 = 1$, $T_1 = 1$ s とし、コントローラ $G_c(s)$ の K_c とサンプリング周期 T [s] の各種組合せについて、 $G(z)$ のボード線図をえがかせた。 $T = 1$ s (パラメータ: K_c) の場合を図3、 $K_c = 2.4$ (パラメータ: T) の場合を図4、 $T = 0.02$ s (パラメータ: K_c) の場合を図5に示す。なお、図3～図5における ω_{max} は、サンプリング定理によりきまってくる最大角周波数で、サンプリング角周波数 ω_s に対し、次式で示される。

$$\omega_{max} = \frac{1}{2} \omega_s = \frac{\pi}{T} \quad (9)$$

これらのボード線図より、各種の K_c, T について、位相交点角周波数 ω_p [rad/s] に対するゲイン余有 g_m [db]、ゲイン交点角周波数 ω_g [rad/s] に対する位相余有 ϕ_m [deg] を求め、デジタル制御系としての安定判別をした結果を、まとめて表1に示す。

3.2 連続P制御系の $G(s)$ のボード線図

図1のデジタルP制御系において、制御対象 $G_t(s)$ の時定数 T_1 に対しサンプリング周期 T を十分小さくするときには、図6に示すような連続P制御系に近づいていく。この連続P制御系の開ループ伝達関数 $G(s)$ 、開ループ周波数伝達関数 $G(j\omega)$ は次式のようにになる。

$$G(s) = G_c(s) G_t(s) = \frac{K_c K_1}{s(T_1 s + 1)} \quad (10)$$

$$G(j\omega) = -\frac{K_c K_1}{(\omega T_1)^2 + 1} (T_1 + j\frac{1}{\omega}) \quad (11)$$

```

10 REM R8-PROG1
20 WE=1 : PI=3.1416 : K1=1 : T1=1 : T=1
30 'WE=1 : PI=3.1416 : K1=1 : T1=1 : KC=2.4
40 DEF FNG(W)=1/(FNR(W)^2+FNS(W)^2)*SQR((FNP(W)*FNR(W)+FNQ(W)*FNS(W))^2+(FNR(W)*
  FNR(W)-FNP(W)*FNS(W))^2)
50 DEF FNP(W)=KC*K1*((T-T1*(1-EXP(-T/T1)))*COS(W*T)+T1*(1-EXP(-T/T1))-T*EXP(-T/
  T1))
60 DEF FNQ(W)=KC*K1*(T-T1*(1-EXP(-T/T1)))*SIN(W*T)
70 DEF FNR(W)=(COS(W*T)-1)*(COS(W*T)-EXP(-T/T1))-SIN(W*T)^2
80 DEF FNS(W)=(2*COS(W*T)-1-EXP(-T/T1))*SIN(W*T)
90 SCREEN 2,0 : CONSOLE ,,0,0
100 WINDOW (-1/2*WE,-60)-(-1/2*WE,60)
110 VIEW (40,0)-(639,399)
120 LINE (-1/2*WE,0)-(-1/2*WE,0)
130 LINE (-1/2*WE,-60)-(-1/2*WE,60)
140 FOR J=-60 TO 60 STEP 10
150 LINE (-1/2*WE,J)-(-1/2*WE,J),,,&H1111 : NEXT J
160 A=.01 : B=.01
170 AB=LOG(A)/LOG(10) : P=AB*WE/4
180 LINE (P,-60)-(P,60),,,&H1111
190 A=A+B
200 IF A>.099 THEN B=.1
210 IF A>1 THEN B=1
220 IF A>10 THEN B=10
230 IF A>101 THEN B=250
240 GOTO 170

250 FOR I=1 TO 3 : READ KC : DATA 1,2.4,5
260 'FOR I=1 TO 3 : READ T : DATA 1,.5,.02
270 WMAX=LOG(PI/T)/LOG(10) : WM=WMAX*WE/4
280 LINE (WM,-60)-(WM,60),,,&HF0F0
290 W=.01 : DW=.0005
300 LWA=LOG(W)/LOG(10) : LW=LWA*WE/4
310 LWB=LOG(W+DW)/LOG(10) : NLW=LWB*WE/4
320 GDB=20*LOG(FNG(W))/LOG(10)
330 NGDB=20*LOG(FNG(W+DW))/LOG(10)
340 IF W>PI/T THEN GOTO 420
350 LINE (LW,-GDB)-(NLW,-NGDB)
360 W=W+DW
370 IF W>.1 THEN DW=.005
380 IF W>1 THEN DW=.05
390 IF W>10 THEN DW=1
400 IF W>100 THEN DW=250
410 GOTO 300
420 NEXT I
430 END

```

(a) $G-\log \omega$ 特性

```

10 REM R8-PROG2
20 WE=1 : PI=3.1416 : K1=1 : T1=1 : T=1 : KC=2.4
30 'WE=1 : PI=3.1416 : K1=1 : T1=1 : KC=2.4
40 DEF FNTH(W)=ATN((FNQ(W)*FNR(W)-FNP(W)*FNS(W))/(FNP(W)*FNR(W)+FNQ(W)*FNS(W)))-
  PI
50 DEF FNP(W)=KC*K1*((T-T1*(1-EXP(-T/T1)))*COS(W*T)+T1*(1-EXP(-T/T1))-T*EXP(-T/
  T1))
60 DEF FNQ(W)=KC*K1*(T-T1*(1-EXP(-T/T1)))*SIN(W*T)
70 DEF FNR(W)=(COS(W*T)-1)*(COS(W*T)-EXP(-T/T1))-SIN(W*T)^2
80 DEF FNS(W)=(2*COS(W*T)-1-EXP(-T/T1))*SIN(W*T)
90 SCREEN 2,0 : CONSOLE ,,0,0
100 WINDOW (-1/2*WE,-1/6*PI)-(-1/2*WE,3/2*PI)
110 VIEW (40,0)-(639,399)
120 LINE (-1/2*WE,0)-(-1/2*WE,0)
130 LINE (-1/2*WE,-1/6*PI)-(-1/2*WE,3/2*PI)
140 FOR J=-1/6*PI TO 3/2*PI STEP PI/6
150 LINE (-1/2*WE,J)-(-1/2*WE,J),,,&H1111 : NEXT J
160 LINE (-1/2*WE,PI)-(-1/2*WE,PI),,,&HF0F0
170 A=.01 : B=.01
180 AB=LOG(A)/LOG(10) : P=AB*WE/4
190 LINE (P,-1/6*PI)-(P,3/2*PI),,,&H1111
200 A=A+B
210 IF A>.099 THEN B=.1
220 IF A>1 THEN B=1
230 IF A>10 THEN B=10

240 IF A>101 THEN B=250
250 GOTO 180
260 'FOR I=1 TO 3 : READ T : DATA 1,.5,.02
270 WMAX=LOG(PI/T)/LOG(10) : WM=WMAX*WE/4
280 LINE (WM,-1/6*PI)-(WM,3/2*PI),,,&HF0F0
290 W=.01 : DW=.0005
300 LWA=LOG(W)/LOG(10) : LW=LWA*WE/4
310 LWB=LOG(W+DW)/LOG(10) : NLW=LWB*WE/4
320 IF W>PI/T THEN GOTO 400
330 LINE (LW,-FNTH(W))-(NLW,-FNTH(W+DW))
340 W=W+DW
350 IF W>.1 THEN DW=.005
360 IF W>1 THEN DW=.05
370 IF W>10 THEN DW=1
380 IF W>100 THEN DW=250
390 GOTO 300
400 'NEXT I
410 END

```

(b) $\theta-\log \omega$ 特性

図2 デジタルP制御系の $G(z)$ のボード線図を求めるためのプログラム

したがって、(11)式による連続P制御系の $G(j\omega)$ のゲイン G_0 と位相 θ_0 は、次式のように求められる。

$$G_0 = 20 \log |G(j\omega)|$$

$$= 20 \log \frac{K_c K_1}{\omega \sqrt{(\omega T_1)^2 + 1}} \quad [\text{db}] \quad (12)$$

$$\theta_0 = \angle G(j\omega) = \tan^{-1} \frac{1}{\omega T_1} - \pi \quad [\text{rad}] \quad (13)$$

(12)(13)式より、この連続P制御系について、 $G_i(s)$

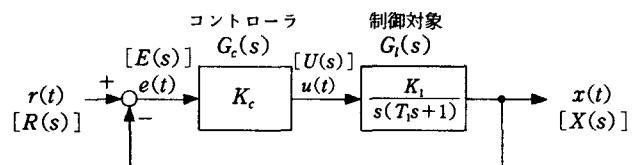


図6 連続P制御系

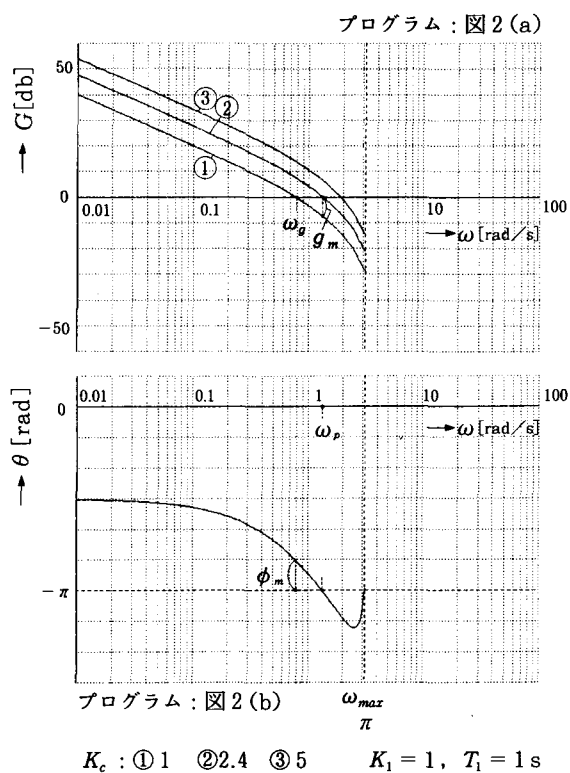


図 3 デジタル P 制御系の $G(z)$ のボード線図
[$T = 1 \text{ s}$ (パラメータ : K_c)]

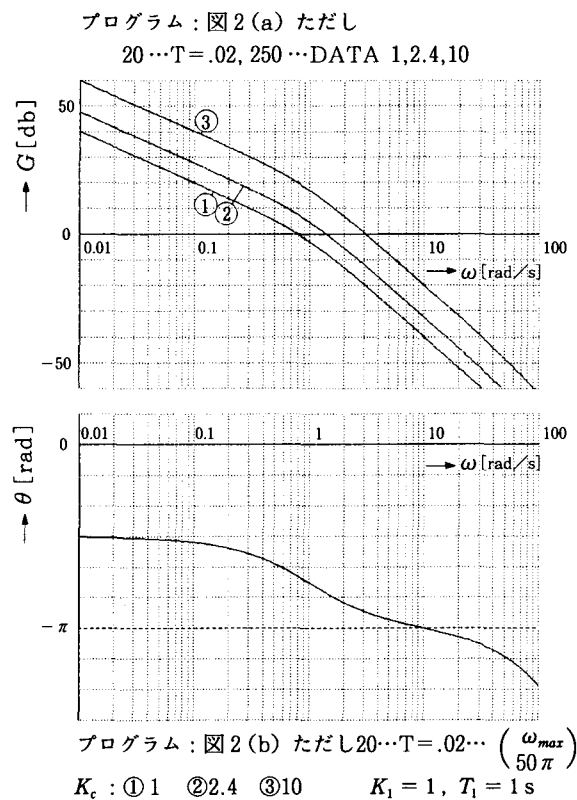


図 5 デジタル P 制御系の $G(z)$ のボード線図
[$T = 0.02 \text{ s}$ (パラメータ : K_c)]

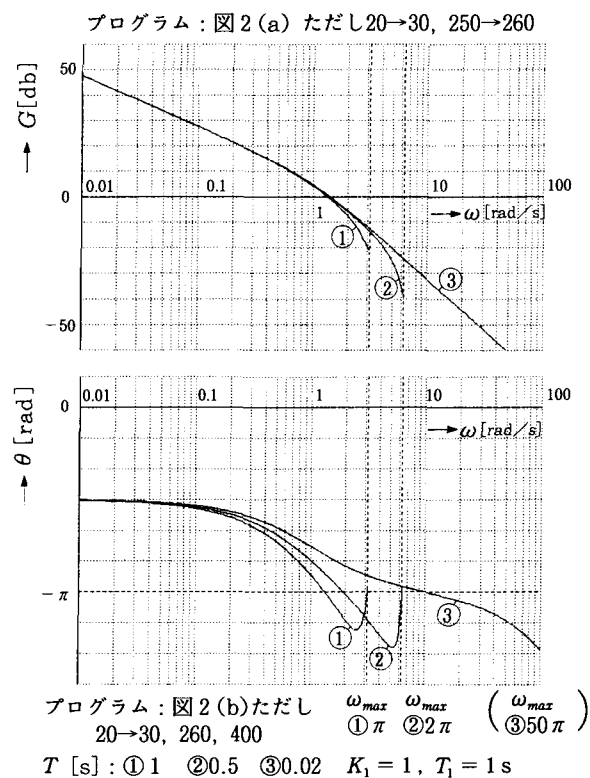


図 4 デジタル P 制御系の $G(z)$ のボード線図
[$K_c = 2.4$ (パラメータ : T)]

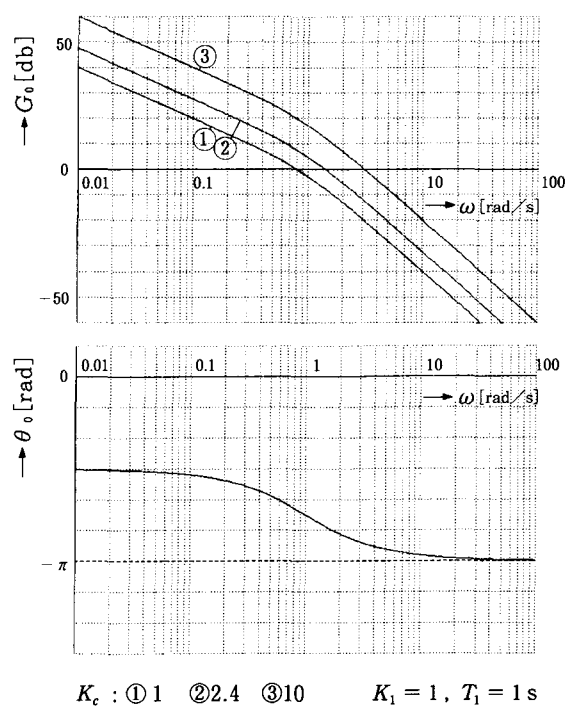


図 7 連続 P 制御系の $G(s)$ のボード線図
[パラメータ : K_c]

表1 K_c , T によるディジタルP制御系の制御状況 ($K_1 = 1$, $T_1 = 1$ s)

No.	$G(z)$ ボード線図	K_c	T [s]	ω_p [rad/s]	g_m [db]	ω_g [rad/s]	ϕ_m [deg]	安定判別	備 考
1	図3①	1	1	1.32	7.6	0.79	29	安定	
2	図3②	2.4	1	1.32	0	1.32	0	安定限界	
3	図3③	5	1	1.32	-6.5	1.92	-25	不安定	
4	図4①	2.4	1	1.31	0	1.31	0	安定限界	図3②と同じ
5	図4②	2.4	0.5	1.92	5.2	1.40	15	安定	
6	図4③	2.4	0.02	10.0	32	1.40	35	安定	
7	図5①	1	0.02	10.0	40	0.80	51	安定	
8	図5②	2.4	0.02	10.0	32	1.40	35	安定	図4③と同じ
9	図5③	10	0.02	10.0	20	3.08	16	安定	

の $K_1 = 1$, $T_1 = 1$ s に対し、 $G_c(s)$ の K_c をパラメータとする $G(s)$ のボード線図をえがくと、図7のようになる。いずれの場合も、ゲイン余有 $g_m > 0$, 位相余有 $\phi_m > 0$ となり、この連続P制御系は $0 < K_c \leq 10$ において安定であることがわかる。

3.3 デジタルP制御系と連続P制御系の比較

図1によるディジタルP制御系の $G(z)$ のボード線図を示す図3～図5とその結果をまとめた表1、および図6による連続P制御系の $G(s)$ のボード線図を示す図7を比較しながら、これらの制御系のボード線図による設計・解析についてまとめると、次のようになる。

- ① デジタルP制御系において、制御対象 $G_l(s)$ の時定数 T_1 に対するサンプリング周期 T により、 $G(z)$ のボード線図は変化する。 T_1 に対し T が小さくなるにしたがって、連続P制御系の $G(s)$ のボード線図に近づいていく。
- ② デジタルP制御系において、 $G(z)$ の T が T_1 に近づくにしたがって、 K_c が小さいときでも不安定になりやすくなる。
- ③ デジタル制御系の設計と解析にあたっては、サンプリング周期 T が制御系内の時定数に近づくにしたがって、あたかも制御対象 $G_l(s)$ が大きく変化したかのようになり、制御系としては不安定になりやすくなることから、 T の選定には十分な配慮を必要とする。

なお、これらのボード線図より得られた結果は、参考文献1)の3.2項のナイキスト線図およびステップ応答より得られた結果とそれぞれ対応することが確認できる。

4 根軌跡による制御系の設計・解析

4.1 特性方程式

図1のディジタルP制御系の特性方程式は、開ループパルス伝達関数 $G(z)$ に対し

$$1 + G(z) = 0 \quad (14)$$

となる。ここで、 $G(z)$ は(4)式による。この(14)(4)式による特性方程式は、次式のような z に関する2次代数方程式となる。

$$z^2 + \{K_c K_1 (T - T_1 + T_1 e^{-\frac{T}{T_1}}) - 1 - e^{-\frac{T}{T_1}}\} z + \{K_c K_1 (T_1 - T_1 e^{-\frac{T}{T_1}} - T e^{-\frac{T}{T_1}}) + e^{-\frac{T}{T_1}}\} = 0 \quad (15)$$

ところで、ディジタル制御系においては、その特性方程式の根が、 z 平面の単位円内にあるとき安定となる。根が単位円上にあるときには安定限界、根が単位円外にあるときには不安定となる。したがって、コントローラの K_c の任意の値に対し、(14)式、すなわち(15)式の根を求めることにより、制御系の安定判別ができる。

4.2 特性方程式の根軌跡

(15)式における K_c を $0 \rightarrow \infty$ (有限値)に変化させるとき、特性方程式(14)式の根、したがって(15)式の代数方程式の根が z 平面上にえがく軌跡が根軌跡となる。この根軌跡が単位円内にあるときは、制御系は安定であるが、単位円上になると安定限界、単位円外に出ると制御系は不安定となる。なお、根軌跡は、制御系の過渡応答とも密接に関係している。

ところで、連続制御系の特性方程式より、 s 平面上に

```

10 REM R8-PROG3
20 N=2 : M=N+2 : P=1 : Q=1 : EX=.00001 : K1=1 : T1=1 : T=1
30 SCREEN 2,0 : CONSOLE ,0,0
40 WINDOW (-1.4,-1.4)-(1.4,1.4)
50 VIEW (240,0)-(639,399)
60 LINE (-1.4,0)-(-1.4,0) : LINE (0,-1.4)-(0,1.4)
70 FOR J=-1.4 TO 1.4 STEP .2 : LINE (-1.4,J)-(-1.4,J),, &H1111 : NEXT J
80 FOR J=-1.4 TO 1.4 STEP .2 : LINE (J,-1.4)-(J,1.4),, &H1111 : NEXT J
90 CIRCLE (0,0),1
100 KC=0 : DKC=.005
110 A(2)=1
120 A(3)=KC*K1*(T-T1+T1*EXP(-T/T1))-1-EXP(-T/T1)
130 A(4)=KC*K1*(T1-T1*EXP(-T/T1)-T*EXP(-T/T1))+EXP(-T/T1)
140 GOSUB *F
150 KC=KC+DKC
160 IF KC>.5 THEN DKC=.05
170 IF KC>5 THEN GOTO 190
180 M=N+2 : GOTO 110
190 END
200 *F
210 AS="-----"
220 PRINT : PRINT : PRINT AS : PRINT " z ( KC=";KC;" ) " : PRINT AS
230 I=0
240 IF A(2)=1 THEN 280
250 J=2 : B=A(2)
260 A(J)=A(J)/B : J=J+1
270 IF J<M THEN 260
280 IF M>3 THEN 330
290 Z=-A(3)/A(2)
300 PRINT TAB(2);Z
310 CIRCLE (Z,0),.011 : GOTO 580
320 'CIRCLE (Z,0),.035 : GOTO 580
330 IF M=4 THEN P=A(3) : Q=A(4) : GOTO 430
340 K=2
350 B(K)=A(K)-B(K-1)*P-B(K-2)*Q
360 C(K)=B(K)-C(K-1)*P-C(K-2)*Q
370 K=K+1
380 IF K<M THEN 350
390 DP=(B(M-1)*C(M-2)-B(M)*C(M-3))/(C(M-2)^2-C(M-3)*C(M-1)-B(M-1))
400 DQ=(B(M)*C(M-2)-B(M-1)*C(M-1)-B(M-1))/(C(M-2)^2-C(M-3)*C(M-1)-B(M-1))
410 P=P+DP : Q=Q+DQ
420 IF ABS(DP)>EX OR ABS(DQ)>EX THEN GOTO 340
430 D=P^2-4*Q
440 IF D<0 THEN 490
450 Z1=1/2*(-P+SQR(D)) : Z2=1/2*(-P-SQR(D))
460 PRINT TAB(2);Z1 : PRINT TAB(2);Z2
470 CIRCLE (Z1,0),.011 : CIRCLE (Z2,0),.011 : GOTO 530
480 'CIRCLE (Z1,0),.035 : CIRCLE (Z2,0),.035 : GOTO 530
490 ZR=-1/2*P : ZI=1/2*SQR(-D)
500 PRINT TAB(2);ZR;"+";ZI : PRINT TAB(2);ZR;"-" ;ZI
510 CIRCLE (ZR,-ZI),.011 : CIRCLE (ZR,ZI),.011
520 'CIRCLE (ZR,-ZI),.035 : CIRCLE (ZR,ZI),.035
530 K=2
540 A(K)=B(K) : K=K+1
550 IF K<M THEN 540
560 M=M-2 : I=I+2
570 IF I<N THEN 240
580 PRINT AS
590 RETURN

```

図8 デジタルP制御系の $1+G(z)=0$ の根軌跡を求めるためのプログラム

根軌跡をえがくときには、コンピュータによる代数方程式の解法としてのベアストウ法が用いられる。この方法による根軌跡の求め方については、参考文献1)の2.3項に詳細に示されている。ここでは、その考え方をベースとして、(15)式による、デジタル制御系の特性方程式の根軌跡の求め方について示す。

ベアストウ法においては、次式で示される実係数 n 次代数方程式の根を求める。

$$f(x) = a_0 x^n + a_1 x^{n-1} + a_2 x^{n-2} + \cdots + a_{n-1} x + a_n = 0 \quad (16)$$

(15)式の場合には、(16)式において、 $x \rightarrow z$, $n=2$ とし、 $a_0 \sim a_2$ を次式のようにおく。

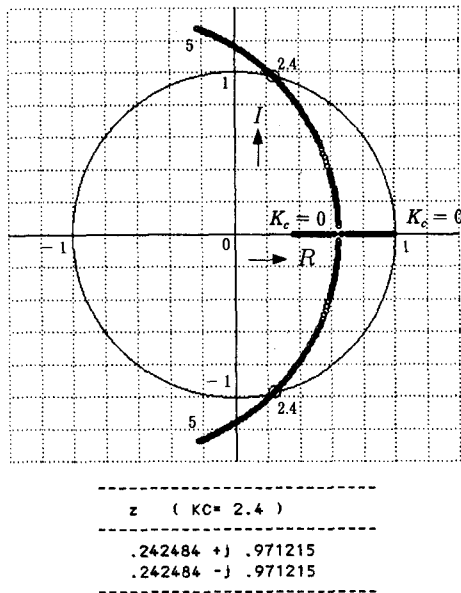
$$\begin{cases} a_0 = 1 \\ a_1 = K_c K_1 (T - T_1 + T_1 e^{-\frac{T}{T_1}}) - 1 - e^{-\frac{T}{T_1}} \\ a_2 = K_c K_1 (T_1 - T_1 e^{-\frac{T}{T_1}} - T e^{-\frac{T}{T_1}}) + e^{-\frac{T}{T_1}} \end{cases} \quad (17)$$

4.3 根軌跡の作成

ベアストウ法により根軌跡を求めるためのプログラム [参考文献1)の図2.51, 図2.48, 図2.49参照] を

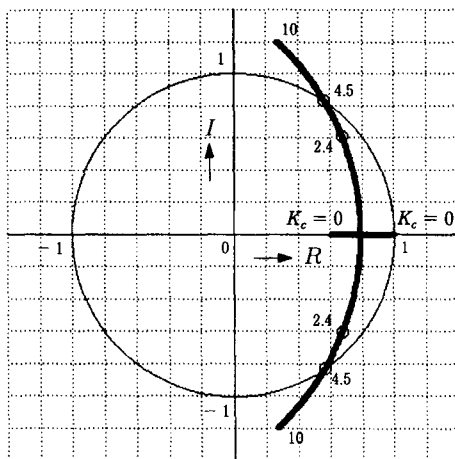
ベースとし、(16)(17)式より、 K_c をパラメータとして、デジタルP制御系の特性方程式、すなわち(15)式の代数方程式のすべての根を求め、 z 平面上にその根軌跡をえがくためのプログラムを図8に示す。なお、参考文献1)の図2.51のプログラムは、特性方程式の一般式に対し、次数と各係数を入力することにより、根軌跡をえがかせるようにしてある。一方、図8のプログラムは、(16)(17)式による特性方程式の根軌跡を直接えがくようにしてある。

ここで、制御対象 $G_1(s)$ の $K_1 = 1$, $T_1 = 1$ s とし、サンプリング周期 $T = 1, 0.5, 0.02$ s の各場合について、 K_c を $0 \rightarrow$ 有限値に変化させて z 平面上にえがいた、デジタルP制御系の特性方程式の根軌跡を図9～図11に示す。 $T = 1$ s のときの図9の根軌跡より、このデジタルP制御系は、 $0 < K_c < 2.4$: 安定、 $K_c = 2.4$: 安定限界、 $2.4 < K_c \leq 5$: 不安定となる。 $T = 0.5$ s のときの図10の根軌跡より、 $K_c = 4.5$ が安定限界となることがわかる。さらに、 $T = 0.02$ s のときの図11の根軌跡より、 $0 < K_c \leq 10$ において安定であることもわかる。これらの根軌跡より得られた結果は、3.1項の $G(z)$ のボード線図より得られた結果とそれぞれ対応することが確認で



プログラム : 図8 ただし $K_c = 2.4$ のプロット :
 100 $KC=2.4\cdots$, 170 $\cdots KC>2.4\cdots$,
 310 $\rightarrow$ 320, 470 $\rightarrow$ 480, 510 $\rightarrow$ 520
 $K_1 = 1, T_1 = 1$ s

図9 ディジタルP制御系の $1+G(z) = 0$ の根軌跡
 $[T = 1$ s]



プログラム : 図8 ただし $20 \cdots T=.5$, $170 \cdots KC>10\cdots$
 $K_c = 2.4$ のプロット : 図9 と同じ
 $K_c = 4.5$ のプロット : 100 $KC=4.5\cdots$, $170 \cdots KC>4.5\cdots$,
 310 $\rightarrow$ 320, 470 $\rightarrow$ 480, 510 $\rightarrow$ 520
 $K_1 = 1, T_1 = 1$ s

図10 ディジタルP制御系の $1+G(z) = 0$ の根軌跡
 $[T = 0.5$ s]

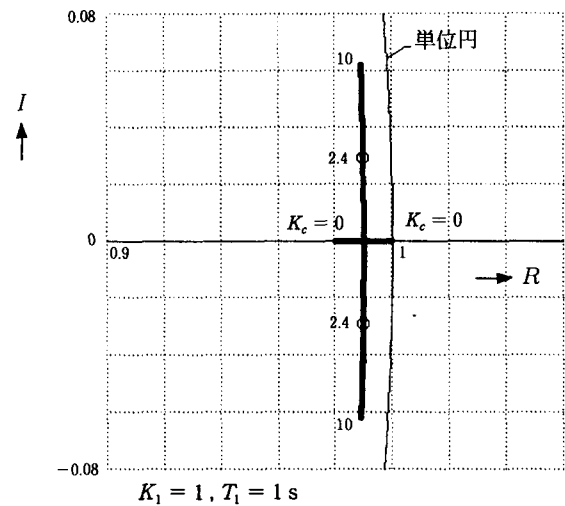


図11 ディジタルP制御系の $1+G(z) = 0$ の根軌跡
 $[T = 0.02$ s]

きる。

なお、図9において、 $K_c = 2.4$ における根軌跡と単位円との交点のプロットは、プログラムを少しでも短くするために、根軌跡をえがいた後、図示のように一部プログラムを修正して、重ね書きにより追加してえがいている。また、 $K_c = 2.4$ に対する z の値は、グラフィック画面の根軌跡に $K_c = 2.4$ のプロットをするときに、テキスト画面にプリントするようにしてある。図10における $K_c = 2.4, 4.5$ のプロットも重ね書きによる。図11については、図8のプログラムの一部修正により容易に作成できるので、ここには示していない。

4.4 連続P制御系の特性方程式の根軌跡

図1のディジタルP制御系において、3項のボード線図の場合と同じように、 T_1 に対し T を十分小さくしたときに近づいていく、図6の連続P制御系の場合には、その特性方程式は次式ようになる。

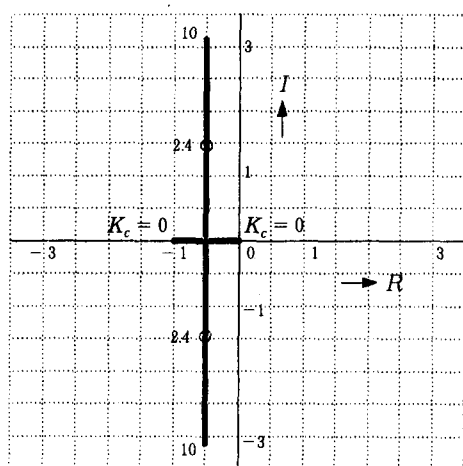
$$1+G(s) = 1+K_c \frac{K_1}{s(T_1s+1)} = 0 \quad (18)$$

この特性方程式は、次式のような、 s に関する2次代数方程式となる。

$$T_1s^2+s+K_cK_1 = 0 \quad (19)$$

この(19)式の場合は、(16)式による実係数 n 次代数方程式において、 $x \rightarrow s$, $n = 2$ とし、 $a_0 \sim a_2$ を次式のようにおく。

$$\begin{cases} a_0 = T_1 \\ a_1 = 1 \\ a_2 = K_cK_1 \end{cases} \quad (20)$$



$$K_I = 1, T_I = 1 \text{ s}$$

図12 連続P制御系の $1+G(s)=0$ の根軌跡

(16)(20)式より、この連続P制御系について、 $G_I(s)$ の $K_I = 1$, $T_I = 1 \text{ s}$ とし、 $G_c(s)$ の K_c を $0 \rightarrow 10$ に変化させて s 平面上にえがいた、特性方程式の根軌跡を図12に示す。連続制御系における s 平面の根軌跡は、左半面にあれば安定である。したがって、図12より、この連続P制御系は $0 < K_c \leq 10$ において安定であることがわかる。この根軌跡より得られた結果も、3.2項の連続P制御系の $G(s)$ のボード線図より得られた結果と対応している。

5 まとめ

ディジタルP制御系について、参考文献1)の3.2項のナイキスト線図およびステップ応答による設計と解析にひきつづき、ボード線図および根軌跡を、パソコンの短いプログラムにより求める方法を示し、このようなディジタル制御系の設計・解析に有効に活用し得ることを示した。制御系設計・解析用の市販ソフトと並行して、こ

のような短い自作のプログラムも活用することにより、市販ソフトにはない、任意のシミュレーションも行わせることができ、制御系の設計・解析のための強力な手段となるとともに、ディジタル制御系の基本的な理解にも大いに役立つ。

今後は、このようなディジタルP制御系が安定である場合に、どのような制御性を有しているかについても把握できるように検討していきたい。さらに、より複雑な制御対象やより高度な制御機能をもつコントローラを含むディジタル制御系についても、安定判別および安定な場合の制御性の把握もできるように拡張していくことが望まれる。

なお、このレポートの一部については、筆者の指導のもとに、平成8年度の電子制御工学科卒業研究生川崎義之君の卒業研究として実施されたものであり、同君の協力に對し感謝する。

参考文献

- 1) 栗本：“グラフィック制御工学入門” コロナ社 (1994)
- 2) 栗本：“高次制御系のステップ応答のシミュレーション” 奈良工業高等専門学校研究紀要 第29号 p45～50 (1994.3)
- 3) 栗本：“非線形制御系の位相面軌跡とステップ応答のシミュレーション” 奈良工業高等専門学校研究紀要 第30号 p63～68 (1995.3)
- 4) 栗本：“非線形制御系の位相面軌跡とステップ応答のシミュレーション(その2)” 奈良工業高等専門学校研究紀要 第31号 p35～40 (1996.3)
- 5) 栗本：“多変数制御系のレギュレータ特性のシミュレーション” 奈良工業高等専門学校研究紀要 第32号 p35～41 (1997.3)

フーリエ級数によるひずみ波交流のシミュレーション

栗 本 尚

Computer Simulation of Distorted Wave by Fourier Series

Takashi KURIMOTO

As the distorted wave is the periodic wave and is represented by Fourier series, computer simulation is performed easily. When the results of computer simulation are used in learning the distorted wave, the effect of education is increased. In this paper the method to draw some distorted waves and these Fourier spectra briefly by N88-BASIC is described. Also the process of distorted wave generation and components of distorted wave are shown. As distorted waves there are considered the full rectified wave, the saw-tooth wave and the trapezoid wave.

1 まえがき

電気工学における交流回路のひずみ波交流は、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修得させている場合が多い。ところで、ひずみ波交流のような、ある周期でくりかえされる周期波については、フーリエ級数により表される。そこで、この計算式より、周期波の各特性を、パソコンで手軽にかつ任意に作成させるようにすれば、ひずみ波交流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、インター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、有効な各特性を、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、全波整流波、鋸歯状波および台形波に関し、フーリエ級数による波形シミュレーション、フーリエスペクトル、波形合成過程および構成波形などを、BASIC 言語による15~20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、他の任意の周期波の波形や特性を、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 フーリエ級数による周期波の分解¹⁾

2.1 周期波のフーリエ級数展開

図1に示すような周期波 $f(t)$ は、その周期を T とすると、次式で示される。

$$f(t) = f(t+T) \quad (1)$$

この周期波 $f(t)$ は、角周波数 ω 、周波数 f として、次式のようなフーリエ級数に展開される。

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \sin n\omega t + b_n \cos n\omega t) \quad (2)$$

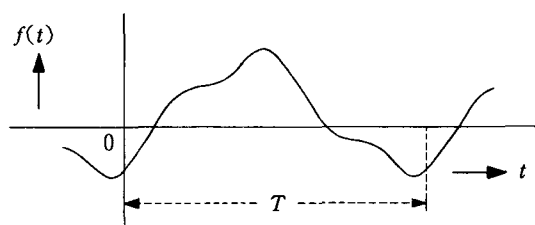


図1 周期波

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} \quad (3)$$

ここで、(2)式のフーリエ係数 a_0 , a_n , b_n は次式による。

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt \quad (4)$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin n\omega t dt \quad (5)$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos n\omega t dt \quad (6)$$

また、(2)式は、次式のように示すこともできる。

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \sin(n\omega t + \theta_n) \quad (7)$$

$$A_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2} \quad (8)$$

$$\theta_n = \tan^{-1} \frac{b_n}{a_n} \quad (9)$$

2.2 特殊な周期波のフーリエ係数

2.2.1 対称波

図2に示すような対称波 $f(t)$ は

$$f\left(t + \frac{1}{2}T\right) = -f(t) \quad (10)$$

となり、そのフーリエ係数は、次式のようにになる。

$$\begin{cases} a_0 = 0 \\ a_n = \begin{cases} \frac{4}{T} \int_0^{\frac{1}{2}T} f(t) \sin n\omega t dt & (n: \text{奇数}) \\ 0 & (n: \text{偶数}) \end{cases} \\ b_n = \begin{cases} \frac{4}{T} \int_0^{\frac{1}{2}T} f(t) \cos n\omega t dt & (n: \text{奇数}) \\ 0 & (n: \text{偶数}) \end{cases} \end{cases} \quad (11)$$

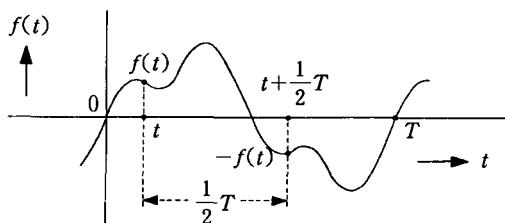


図2 対称波

2.2.2 偶関数波

図3に示すような偶関数波 $f(t)$ は

$$f(t) = f(-t) \quad (12)$$

となり、そのフーリエ係数は、次式のようにになる。

$$\begin{cases} a_0 = \frac{2}{T} \int_0^{\frac{1}{2}T} f(t) dt \\ a_n = \frac{4}{T} \int_0^{\frac{1}{2}T} f(t) \cos n\omega t dt \\ b_n = 0 \end{cases}$$

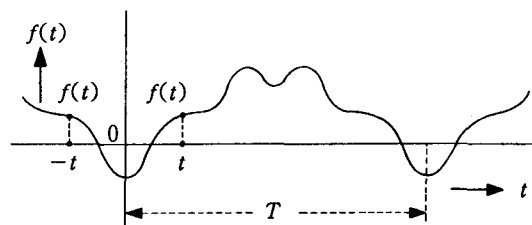


図3 偶関数波

$$\begin{cases} a_n = 0 \\ b_n = \frac{4}{T} \int_0^{\frac{1}{2}T} f(t) \cos n\omega t dt \end{cases} \quad (13)$$

2.2.3 奇関数波

図4に示すような奇関数波 $f(t)$ は

$$f(t) = -f(-t) \quad (14)$$

となり、そのフーリエ係数は、次式のようにになる。

$$\begin{cases} a_0 = 0 \\ a_n = \frac{4}{T} \int_0^{\frac{1}{2}T} f(t) \sin n\omega t dt \\ b_n = 0 \end{cases} \quad (15)$$

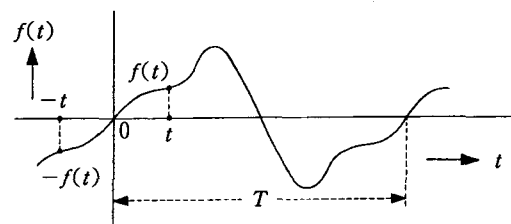


図4 奇関数波

2.3 周期波のフーリエスペクトル

周期波をフーリエ級数に展開して得られる各項の振幅 F を、 n に対してプロットした特性がフーリエスペクトルである。ここで、 n は整数であるため、フーリエスペクトルは離散的な特性となる。ところで、周期波 $f(t)$ が偶関数波のときには、フーリエ係数の $a_n = 0$ であり、奇関数波のときには、 $b_n = 0$ となる。このように、フーリエ係数の a_n または b_n のいずれかが0のときには、直流成分 a_0 と $\cos n\omega t$ 成分、または直流成分 a_0 と $\sin n\omega t$ 成分からなるため、フーリエスペクトルは2次元表示でもよい。しかし、対称波などのように、 a_n と b_n のいずれもが0でないときには、(7)(9)式にも示すように、位相 θ_n が n の関数となることもある。このような場合には、そのフーリエスペクトルの F は、大きさと方向をもつベクトル量となるため、3次元表示にするとわかりやすくなる。

3 フーリエ級数による周期波のシミュレーション

3.1 全波整流波

3.1.1 全波整流波のフーリエ級数展開

図5に示すような全波整流波 $f(t)$ は、 $f(t) = f(-t)$ となるため偶関数波であり、次式で示される。

$$f(t) = \begin{cases} A \sin \omega t & (0 \leq t \leq \frac{1}{2}T) \\ -A \sin \omega t & (\frac{1}{2}T \leq t \leq T) \end{cases} \quad (16)$$

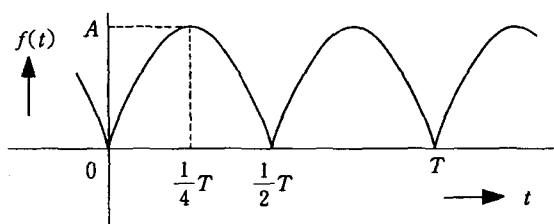


図5 全波整流波

したがって、フーリエ係数は

$$\begin{aligned} a_0 &= \frac{2}{T} \int_0^{\frac{1}{2}T} A \sin \omega t \, dt = \frac{2A}{\pi} \\ a_n &= 0 \\ b_n &= \frac{4}{T} \int_0^{\frac{1}{2}T} A \sin \omega t \cos n\omega t \, dt \\ &= \frac{2A}{T} \left\{ -\frac{1}{(n+1)\omega} \cos(n+1)\pi + \frac{1}{(n-1)\omega} \cos(n-1)\pi + \frac{1}{(n+1)\omega} - \frac{1}{(n-1)\omega} \right\} \\ &= \begin{cases} 0 & (n: \text{奇数}) \\ -\frac{4A}{\pi} \frac{1}{(n-1)(n+1)} & (n: \text{偶数}) \end{cases} \end{aligned} \quad (17)$$

となり、全波整流波 $f(t)$ として次式が得られる。

$$\begin{aligned} f(t) &= \frac{4A}{\pi} \left\{ \frac{1}{2} - \sum_{n=2,4,6,\dots}^{\infty} \frac{1}{(n-1)(n+1)} \cos n\omega t \right\} \\ &= \frac{4A}{\pi} \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{1 \cdot 3} \cos 2\omega t - \frac{1}{3 \cdot 5} \cos 4\omega t \right. \\ &\quad \left. - \frac{1}{5 \cdot 7} \cos 6\omega t - \dots \right) \end{aligned} \quad (18)$$

また、全波整流波 $f(t)$ のフーリエスペクトル F は、(18)式より次式のようになる。

$$\begin{aligned} F &= \frac{2A}{\pi} [n=0: \text{直流成分}] - \frac{4A}{\pi} \frac{1}{(n-1)(n+1)} \\ &\quad [n=2,4,6,\dots: \text{偶数, } \cos n\omega t \text{ 成分}] \end{aligned} \quad (19)$$

```
10 REM R9-PROG1
20 PI=3.1416 : WTE=4*PI : DWT=WTE/200 : A=1
30 SCREEN 2,0 : CONSOLE ,0,0
40 WINDOW (0,-1.2)-(WTE,.6)
50 VIEW (40,0)-(639,399)
60 LINE (0,0)-(WTE,0)
70 LINE (0,-1.2)-(0,.6)
80 FOR J=-1.2 TO .6 STEP .2
90 LINE (0,J)-(WTE,J),,,&H1111 : NEXT J
100 FOR J=0 TO WTE*1.01 STEP WTE/12
110 LINE (J,-1.2)-(J,.6),,,&H1111 : NEXT J
120 FOR WT=DWT TO WTE STEP DWT : F=2*A/PI
130 FOR N=2 TO 24 STEP 2
140 F=F-4*A/PI*1/((N-1)*(N+1))*COS(N*WT) : NEXT N
150 LINE (WT-DWT,-PF)-(WT,-F) : PF=F : NEXT WT
160 END
```

図6 全波整流波を求めるためのプログラム

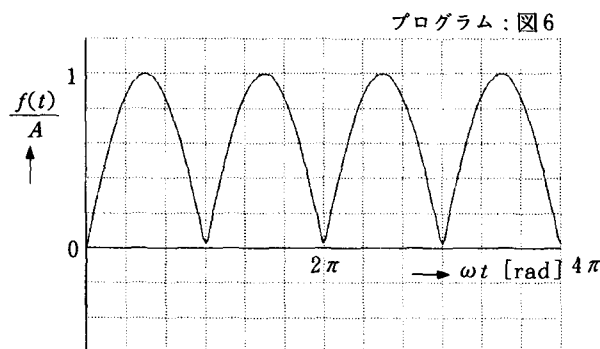


図7 全波整流波のシミュレーション

3.1.2 全波整流波のシミュレーション

(1) 全波整流波の発生²⁾

(18)式より全波整流波 $f(t)$ を求めるためのプログラムを図6に示す。このプログラムは、パソコン PC-9800シリーズのN-88 BASICによる。プログラムをできるかぎり短くするために、グラフの座標軸、目盛り線、計算特性のみをパソコンによりえがかせ、変数名、目盛り数字、パラメータ表示、タイトルなどについては、手書き、テンプレートまたは貼りつけによっている。 $n=0, 2, 4 \dots 24$ の13項数としたときの全波整流波 $f(t)$ を図7に示す。

(2) 全波整流波のフーリエスペクトル

(19)式より全波整流波のフーリエスペクトルを求めるためのプログラムを図8に示す。そのフーリエスペクトルを図9に示す。 n の増加とともに、フーリエスペクトルの F は急速に減少していくことがわかる。したがって、 n として13項数もとれば、かなり正確な全波整流波のシミュレーションが可能となる。なお、全波整流波は、直流成分 a_0 と $\cos n\omega t$ 成分($n=2, 4, 6 \dots$)からなるが、 $\cos n\omega t$ 成分の $n=0$ のときが a_0 であるとみなしてもよい。したがって、このフーリエスペクトルは2次元表示で示す。

```

10 REM R9-PROG2
20 NE=25 : DN=2 : PI=3.1416 : A=1
30 SCREEN 2,0 : CONSOLE ,,0,0
40 WINDOW (0,-.7)-(NE,.5)
50 VIEW (40,0)-(639,399)
60 LINE (0,0)-(NE,0)
70 LINE (0,-.7)-(0,.5),,,&H1111
80 FOR J=-.7 TO .5 STEP .1
90 LINE (0,J)-(NE,J),,,&H1111 : NEXT J
100 FOR J=0 TO NE STEP 5
110 LINE (J,-.7)-(J,.5),,,&H1111 : NEXT J
120 F0=2*A/PI : LINE (0,0)-(0,-F0)
130 FOR N=2 TO NE STEP DN
140 F=-4*A/PI*1/((N-1)*(N+1))
150 LINE (N,0)-(N,-F) : NEXT N
160 END

```

図8 全波整流波のフーリエスペクトルを
求めるためのプログラム

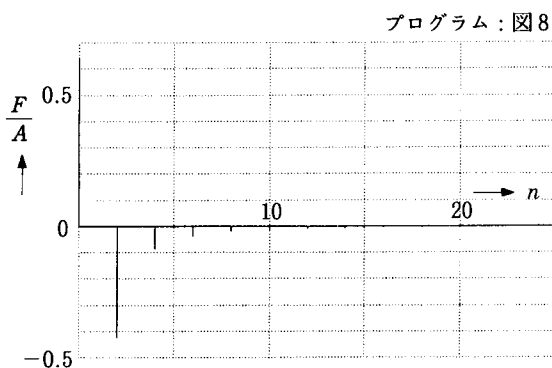


図9 全波整流波のフーリエスペクトル

(3) 全波整流波の波形合成過程

全波整流波の波形合成過程の1例を、 $n=0$ (直流成分) ~ $n=0, 2, 4, 6$ の各場合について図10に示す。 n の増加とともに全波整流波に近づいていくことがわかる。また、全波整流波の $n=0, 2, 4, 6$ の各項の波形を図11に示す。

3.2 鋸歯状波

3.2.1 鋸歯状波のフーリエ級数展開

図12に示すような鋸歯状波 $f(t)$ は、 $f(t) = -f(-t)$ となるため奇関数波であり、次式で示される。

$$f(t) = \begin{cases} \frac{2A}{T}t & (0 \leq t \leq \frac{1}{2}T) \\ \frac{2A}{T}(t-T) & (\frac{1}{2}T \leq t \leq T) \end{cases} \quad (20)$$

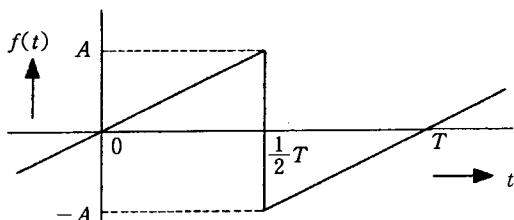
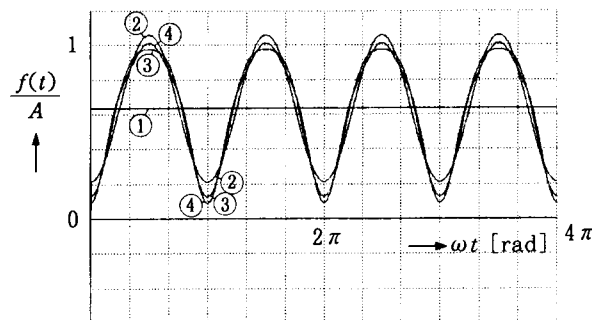
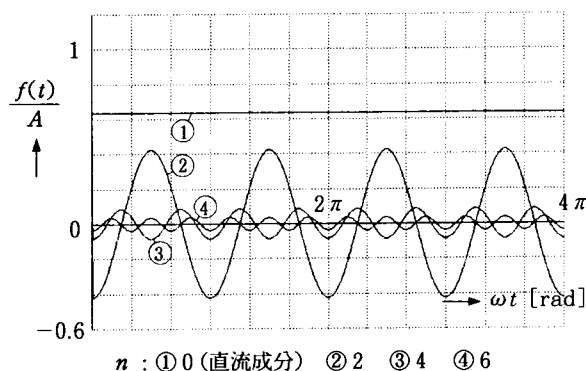


図12 鋸歯状波



n : ①0 (直流成分) ②0,2 ③0,2,4 ④0,2,4,6

図10 全波整流波の波形合成過程



n : ①0 (直流成分) ②2 ③4 ④6

図11 全波整流波の各項の波形

したがって、フーリエ係数は

$$\begin{cases} a_0 = b_n = 0 \\ a_n = \frac{4}{T} \int_0^{\frac{1}{2}T} \frac{2A}{T} t \sin n\omega t dt \end{cases} \quad (21)$$

$$= \frac{2A}{\pi} (-1)^{n+1} \frac{1}{n}$$

となり、鋸歯状波 $f(t)$ として次式が得られる。

$$\begin{aligned} f(t) &= \frac{2A}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n+1} \frac{1}{n} \sin n\omega t \\ &= \frac{2A}{\pi} \left(\sin \omega t - \frac{1}{2} \sin 2\omega t + \frac{1}{3} \sin 3\omega t \right. \\ &\quad \left. - \frac{1}{4} \sin 4\omega t + \cdots \right) \end{aligned} \quad (22)$$

また、鋸歯状波 $f(t)$ のフーリエスペクトル F は、(22)式より次式のようになる。

$$F = \frac{2A}{\pi} (-1)^{n+1} \frac{1}{n} \quad (23)$$

3.2.2 鋸歯状波のシミュレーション

(1) 鋸歯状波の発生

(22)式より、 $n=1 \sim 100$ の100項数としたときの鋸歯状波 $f(t)$ を図13に示す。波形はあまりなめらかには

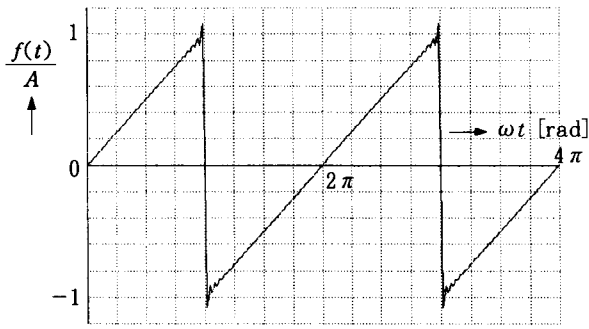


図13 鋸歯状波のシミュレーション

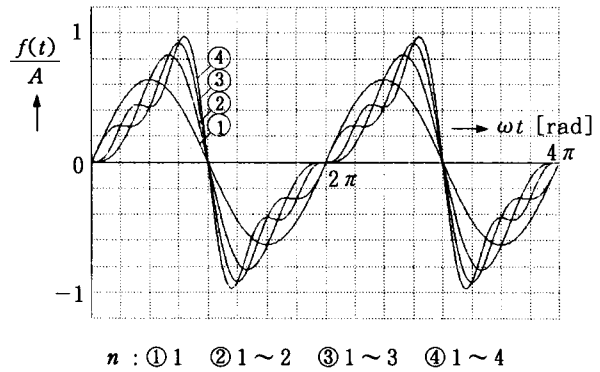


図15 鋸歯状波の波形合成過程

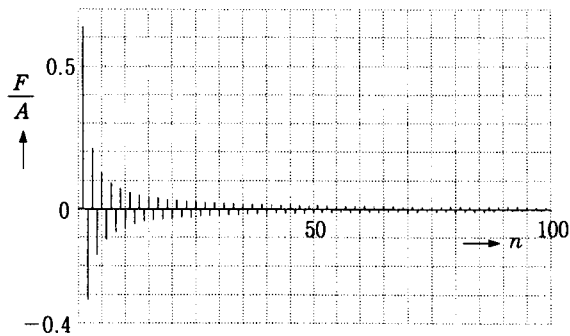


図14 鋸歯状波のフーリエスペクトル

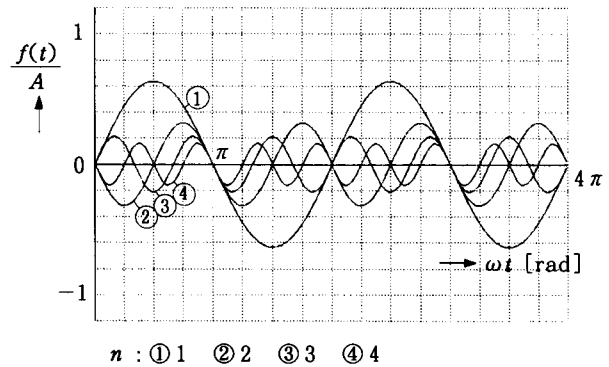


図16 鋸歯状波の各項の波形

ならず、ギブス現象があらわれている。なお、このプログラムは、図6のプログラムの一部修正により容易に作成できる。

(2) 鋸歯状波のフーリエスペクトル

(23)式より鋸歯状波のフーリエスペクトルを求めた1例を図14に示す。 n をかなり大きくしても、フーリエスペクトルの F は徐々にしか減少しないことから、鋸歯状波の正確なシミュレーションの難しいことがわかる。なお、鋸歯状波は $\sin n\omega t$ 成分のみからなるため、このフーリエスペクトルは2次元表示となる。

(3) 鋸歯状波の波形合成過程

鋸歯状波の波形合成過程の1例を、 $n=1 \sim n=1, 2, 3, 4$ の各場合について図15に示す。 n の増加とともに鋸歯状波に徐々に近づいていくことがわかる。また、鋸歯状波の $n=1 \sim 4$ の各項の波形を図16に示す。

3.3 台形波

3.3.1 台形波のフーリエ級数展開

図17に示すような台形波 $f(t)$ は、 $f(t + \frac{1}{2}T) = -f(t)$ 、 $f(t) = -f(-t)$ となるため、対称波かつ奇関数波であり、次式で示される。

$$f(t) = \begin{cases} \frac{A}{\tau} t & (0 \leq t \leq \tau) \\ A & (\tau \leq t \leq \frac{1}{2}T - \tau) \\ -\frac{A}{\tau} (t - \frac{1}{2}T) & (\frac{1}{2}T - \tau \leq t \leq \frac{1}{2}T + \tau) \\ -A & (\frac{1}{2}T + \tau \leq t \leq T - \tau) \\ \frac{A}{\tau} (t - T) & (T - \tau \leq t \leq T) \end{cases} \quad (24)$$

したがって、フーリエ係数は

$$\begin{cases} a_0 = b_n = 0 \\ a_n = \begin{cases} 0 & (n: \text{偶数}) \\ \frac{8}{T} \left\{ \int_0^\tau \frac{A}{\tau} t \sin n\omega t dt + \int_{\frac{1}{2}T - \tau}^{\frac{1}{2}T + \tau} A \sin n\omega t dt \right\} \end{cases} \end{cases} \quad (25)$$

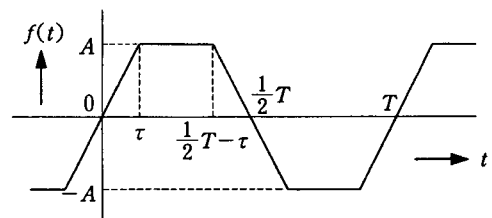


図17 台形波

$$= \frac{4A}{\pi\omega\tau n^2} \sin n\omega\tau \quad (n: \text{奇数})$$

となり、台形波 $f(t)$ として次式が得られる。

$$\begin{aligned} f(t) &= \frac{4A}{\pi\omega\tau} \sum_{n=1(\text{奇数})}^{\infty} \frac{\sin n\omega\tau}{n^2} \sin n\omega t \\ &= \frac{4A}{\pi\omega\tau} \left(\sin \omega\tau \sin \omega t + \frac{\sin 3\omega\tau}{3^2} \sin 3\omega t \right. \\ &\quad \left. + \frac{\sin 5\omega\tau}{5^2} \sin 5\omega t + \cdots \right) \quad (26) \end{aligned}$$

また、台形波 $f(t)$ のフーリエスペクトル F は、(26) 式より次式のようにになる。

$$F = \frac{4A}{\pi\omega\tau} \frac{\sin n\omega\tau}{n^2} \quad (n: \text{奇数}) \quad (27)$$

3.3.2 台形波のシミュレーション

(1) 台形波の発生

(26)式より、 $\omega\tau$ をパラメータとして、 $n = 1, 3 \cdots 49$ の25項数としたときの台形波 $f(t)$ を図18に示す。

(2) 台形波のフーリエスペクトル

(27)式より、 $\omega\tau = \frac{1}{4}\pi$ のときの台形波のフーリエスペクトルを求めた1例を図19に示す。ここで、 $n = 3, 5 \cdots 49$ の部分を見やすくするため、 F/A は拡大して示す。 $n = 1$ のときには、 $F/A = 1.15$ である。

4 まとめ

ひずみ波交流の1例としての全波整流波、鋸歯状波および台形波について、パソコンにより、それらの波形発生、フーリエスペクトル、波形合成過程、構成波形などを求める方法を示し、ひずみ波交流などの周期波を、単に理論計算だけでなく、より深く理解させるのに役立たせ得ることを示した。このように、市販ソフトを用いなくても、周期波の波形や特性を、パソコンの簡潔なプログラムにより、手軽にかつ任意に、可視化やシミュレーションできると非常に有効であり、教育効果も高い。

ところで、ここでとりあげた全波整流波、鋸歯状波および台形波は、そのフーリエ係数の a_n または b_n のいずれかが0となる場合である。一方、半波整流波やパルス幅変調波のように、フーリエ係数 a_0, a_n, b_n のいずれもが0でない周期波もある。このような場合のフーリエスペクトルは、大きさの他に方向ももつベクトル量となるため、3次元表示をすると、より正確に理解させることができる。3次元表示はそんなに容易ではないが、ここでの考え方を拡張していくことは十分に可能である。

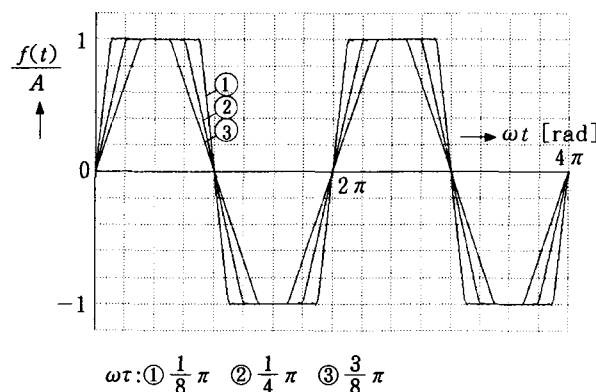


図18 台形波のシミュレーション

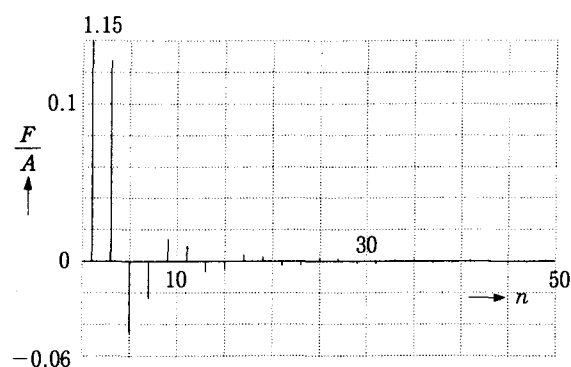


図19 台形波のフーリエスペクトル

筆者は、かねてから自動制御系の設計・解析のために、各種システム特性や要素特性を、パソコンの簡潔なプログラムにより、任意に可視化したり、シミュレーションすることにとりこんできている。^{3) 4)} さらに、この考え方を、電気回路の共振回路の分野にも適用し、理論と実験を強力にバックアップして、共振回路の理解度を高めるのに非常に有用であることも示してきた。⁵⁾ ここでは、このような考え方を、ひずみ波交流の分野に適用してまとめた。

参考文献

- 1) 平山：「電気回路論（改訂版）」電気学会（1970）
- 2) 戸川・下関：「グラフィック振動論」サイエンス社（1984）
- 3) 栗本：「グラフィック制御工学入門」コロナ社（1994）
- 4) 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）
- 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）

球形燃焼容器内における火炎冷却層厚さについて

中 田 敏 夫

Thickness of Flame Quenching Layer in Spherical Combustion Vessel

Toshio NAKATA

一般に火炎は、消炎現象により燃焼室壁面近傍の薄い層内の混合気は燃焼せずに残留することが知られている。この現象の研究は排気浄化だけでなく、熱効率および火炎の構造を究明する上での重要である。そこで、本研究で、球形燃焼容器内において、プロパン-空気均一混合気を燃焼させ、壁面に垂直に伝ばする火炎層厚さを、熱流層の測定結果から推定し、それらの結果から、冷却層厚さにおよぼす圧力、 S/V 比、当量比の影響を示したものである。

1. 緒 言

内熱機関の排気浄化に関する問題で未燃焼ガスが排出されるのは、温度の低いシリンダ壁面近くにおいて火炎が消滅して、壁面近傍に未燃焼炭化水素が残留することがその主原因であるとされており、実際の冷却層の存在は写真撮影によっても確かめられている^①。その基礎的現象である単純な消炎現象から考えていく必要があるが、それもまだ十分には解明されていない。

火炎が消滅する現象は、一般に壁面への熱損失のために熱エネルギーのバランスが崩れて、消炎するという熱理論で説明されている^{②,③}ので、本実験においても、壁面への熱伝導によって消炎がおこると考え、燃料として、プロパン-空気混合気を用い球形燃焼容器内で燃焼させ、壁面の温度変化を測定し、熱流速を求め、火炎冷却層を推定した。その結果から、火炎冷却層におよぼす圧力、 S/V 比、当量比の影響について調べた。

R : ガス定数	[KJ/KgK]
S_u : 燃焼速度	[m/s]
T : 温度	[K]
v : 比容積	[m ³ /Kg]
δ : 火炎厚さ	[m]
λ : 熱伝導率	[W/mK]
ρ : 密度	[Kg/m ³]
ϕ : 当量比	[-]

添字

i : 点火前の状態
u : 未燃焼の状態
$*$: 臨界の状態
w : 壁面における状態
b : 既燃焼の状態

なお、記号の肩に a をつけたものは、断熱の状態をあらわす。

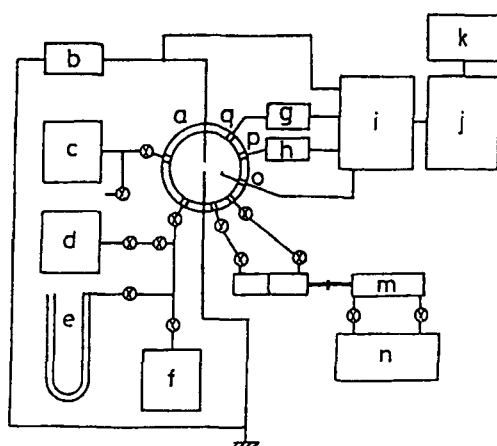
2. 記 号

a : 温度伝導率	[m ² /h]
C_p : 定圧比熱	[KJ/KgK]
D : 燃焼容器の内容	[m]
E : エネルギー	[KJ/mole]
L : 壁面から火炎面までの距離	[m]
P : 圧力	[Pa]
Q : 熱流速	[W/m ²]

3. 実験装置

実験装置の概略を図1に示す。球形燃焼容器を中心に、火花を飛ばすための点火装置、プロパンと空気を混合し容器に充填する混合ガス充填装置および圧力や温度のデータを取り、処理を行う測定装置からなっている。

球形燃焼容器は内径 $D=50, 75, 100, 150$ mmの4種類を用いた。容器には自動車用プラグを改良した電極、ひずみ式圧力計、直径0.3mmの銅-コンスタンタン熱電対^④および吸気と排気用のニードル弁が取り付けられている。



- a 球形燃焼室
- b 点火装置
- c 真空ポンプ
- d プロパン、圧縮空気
- e 水銀マンノメータ
- f 圧力ゲージ
- g 増幅器
- h ひずみ式圧力計
- i データレコーダ
- j トランジェントレコーダ
- k X-Yレコーダ
- l Airシリンダ1
- m Airシリンダ2
- n コンプレッサ
- o イオンギャップ
- p ひずみゲージ
- q 熱電対

図1 実験装置

4. 実験方法

水銀マンノメータで確認しながら、真空ポンプにより球形燃焼容器内を真空にする。つぎに各当量比 ($\phi = 0.8 \sim 1.4$) に相当するプロパンガス (純度98.5%) を水銀マンノメータで測りながら注入し、その後乾燥空気をゆっくりと充填する。充填された空気とプロパンガスが均一になるまで、エアシリンダでもって攪拌し、所定の初期圧力 ($p_i = 20 \sim 300 \text{ KPa}$) まで混合気の圧力を下げる。

全ての弁を閉じ、電気火花によって容器の中心で混合気に点火する。点火後の燃焼圧力および壁面の温度変化をデータレコーダに記録し、オシロスコープで波形を見ながら再生させて、適切な波形をトランジェントレコーダに記憶させ、X-Yレコーダにより出力させた。

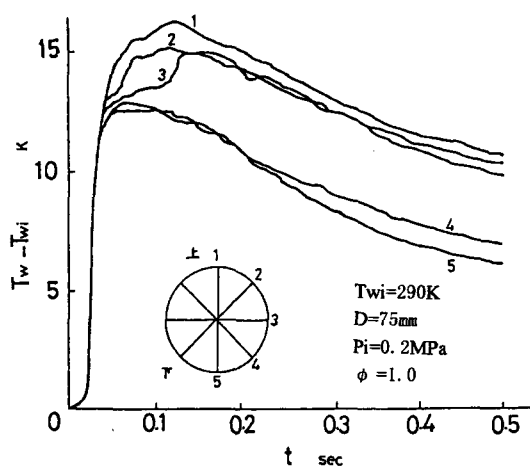


図2 電熱対の各位置における壁面温度

5. 実験結果

5-1 壁面温度

球形容器内での壁面温度の時間変化の一例を図2に示す。図中の数字1～5は容器の各熱電対の位置を表している。熱電対が1～3の上部にあるときは、4、5の下部にあるときよりも壁面温度 T_w が増加している。これは、燃焼室中心のガスが浮力の影響で上方へ移動するためである。燃焼後の壁面温度は実験後とに変動があったが、 dT_w/dt が最大になるまでは、 T_w は熱電対の位置

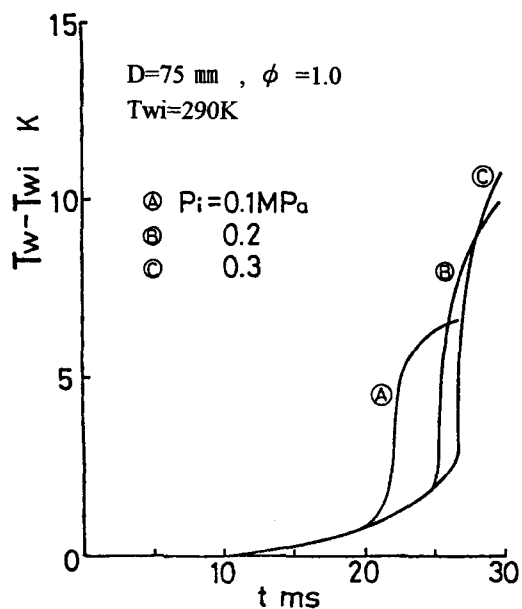


図3 壁面温度変化

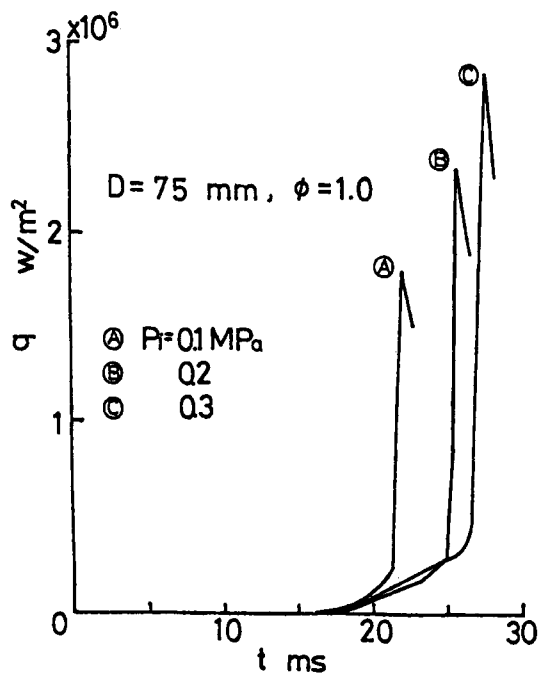


図4 熱流束の時間変化

に関係なくほとんど同じ値を示していた。

図3に初期圧力 p_i による T_w の変化の一例を示す、 p_i が大きくなるにつれて壁面への火炎到達時間が遅くなっているが、これは圧力が増加すると、燃焼速度が遅くなるためであると思われる。

5-2 壁面温度から熱流束の算出

壁面温度 T_w が、 kt で変化していくときの壁面における熱流束 q は熱伝導方程式より、次式のように表される⁽⁶⁾。

$$q = \frac{2\lambda_w}{\sqrt{\pi a_w}} \cdot k\sqrt{t} \quad (1)$$

ただし、 λ_w : 壁面の熱伝導率

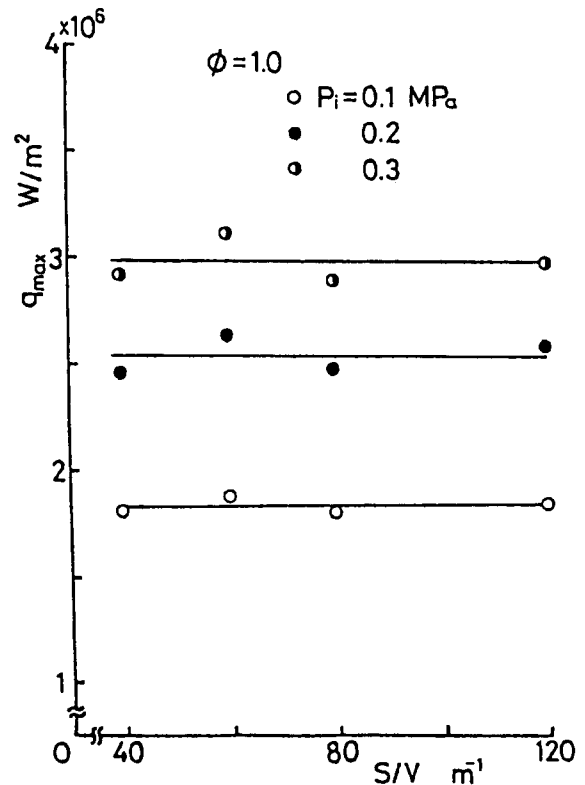
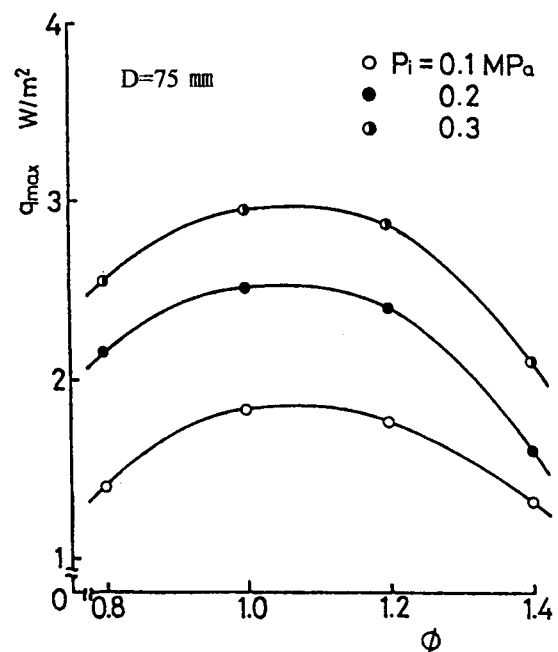
a_w : 壁面の温度伝導率

k : 壁面の時間的变化

t : 点火時期からの経過時間

壁面温度の変化を折れ線近似して重ね合わせると、式(1)は次のようになる。

$$q_{ii} \leq t \leq t_{i+1} = \frac{2\lambda_w}{\sqrt{\pi a_w}} \sum_{j=i}^n (k_j - k) \sqrt{t - t_i} \quad (i = 0, 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

図5 q_{max} と S/V 比の関係図6 q_{max} と ϕ の関係

ただし、 $t_i = i$ 番目に折れ曲がった時間

$k_i = t_i$ のときの折れ線の傾き

式(2)に容器の材質 S50C の $\lambda_w = 53.5 \text{ W/mK}$ 、 $a_w = 1.472 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ を代入して得られた熱流束 q の時間

的变化の一例を図4に示す。この図より、初期圧力 p_i が高いほど、熱流束の最大値 $q_{\max}$ が大きくなることがわかった。また、初期圧力が高いほど $q_{\max}$ に至るまで時間がかかることがわかった。

また、図5は $q_{\max}$ と S/V 比の関係を示したものである。初期圧力と当量比が同じであれば、燃焼室の大きさに関係なくほぼ等しい値となった。よって、当量比、初期圧力および未燃焼ガス温度 T_u (T_w にほぼ等しい)が同一であれば、燃焼室の大きさに関係なく壁面近傍で一定の厚さの冷却層ができると考えられる。

図6は S/V 比一定で、 $q_{\max}$ と当量比の関係を示したものである。理論混合比に近い領域 ($\phi = 1.0 \sim 1.2$) で高い値をとっており、よく燃焼していることがわかる。

5-3 火炎冷却層厚さ

単位火炎面あたりの熱エネルギーのバランスは、次式で示される。

$$\rho_u S_u C_{pb} (T_b^a - T_b) = \lambda \frac{(T_b - T_w)}{L} \quad \dots\dots\dots (3)$$

ただし、 T_b^a : 断熱火炎温度

λ : 熱伝導率

T_b : 火炎温度

C_{pb} : 燃焼ガスの定圧比熱

L : 壁面から火炎面までの距離

また、Kaskanは実験的に次式のような燃焼速度の式を導いている⁷⁾。

$$\frac{S_u}{S_u^a} = \exp \left\{ -\frac{E}{2R} \left(\frac{1}{T_b} - \frac{1}{T_b^a} \right) \right\} \quad \dots\dots\dots (4)$$

ただし、 E : Kaskanの活性エネルギー

R : ガス定数

式(3)と(4)より、次式が得られる。

$$\frac{\rho_u S_u C_{pb} L}{\lambda} = \frac{T_b - T_u}{T_b^a - T_b} \exp \left\{ -\frac{E}{2R} \left(\frac{1}{T_b} - \frac{1}{T_b^a} \right) \right\} \quad \dots\dots\dots (5)$$

式(5)を T_b で偏微分すると、消炎時の火炎温度 T_b^* は次式により求めることが出来る。

$$T_b^* = T_b^a \left(1 - \frac{2RT_b^a}{E} \right) \quad \dots\dots\dots (6)$$

ただし、 $T_b^a = 2268 \text{ K}$

図7に示すように、近似的に定常状態を考え、温度勾配を直線と仮定すると、 T_b^* から壁面までの距離すなわち

火炎冷却層厚さ $\delta_{q\max} (T_b^*)$ は次式で求められる。

$$\delta_{q\max} (T_b^*) = \lambda_g (T_b - T_w) / q_{\max} \quad \dots\dots\dots (7)$$

ただし、 λ_g は未燃焼ガスの熱伝導率である。混合気の大部分は空気であるので、空気の熱伝導率 $\lambda_g = 0.0684 \text{ W/mK}^{(8)}$ を用いた。また壁面温度は室温とほとんど変わらないとして 300 K とした。図8は燃焼圧力の時間変化の一例を示したものである。最高圧力に達した後、圧力の減少が見られるが、これは壁面からの熱損失によるものであり、損失がないとすると破線のようにになる。この最高圧力と式(7)で求めた $\delta_{q\max} (T_b^*)$ の関係を両対数で示すと図9のようになる。これらの図より、冷却層厚さは圧力の増加とともに減少することがわかった。

図10は初期圧力一定での冷却層厚さと当量比との関係を示したものである。この図より、冷却層厚さは理論的に良く燃焼すると考えられる $\phi = 1.0$ より、若干濃い $\phi = 1.1$ 付近でもっとも薄くなることがわかった。

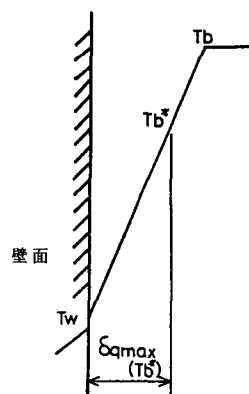


図7 火炎面モデル

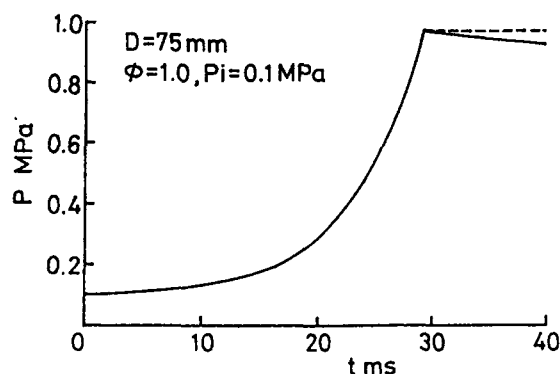
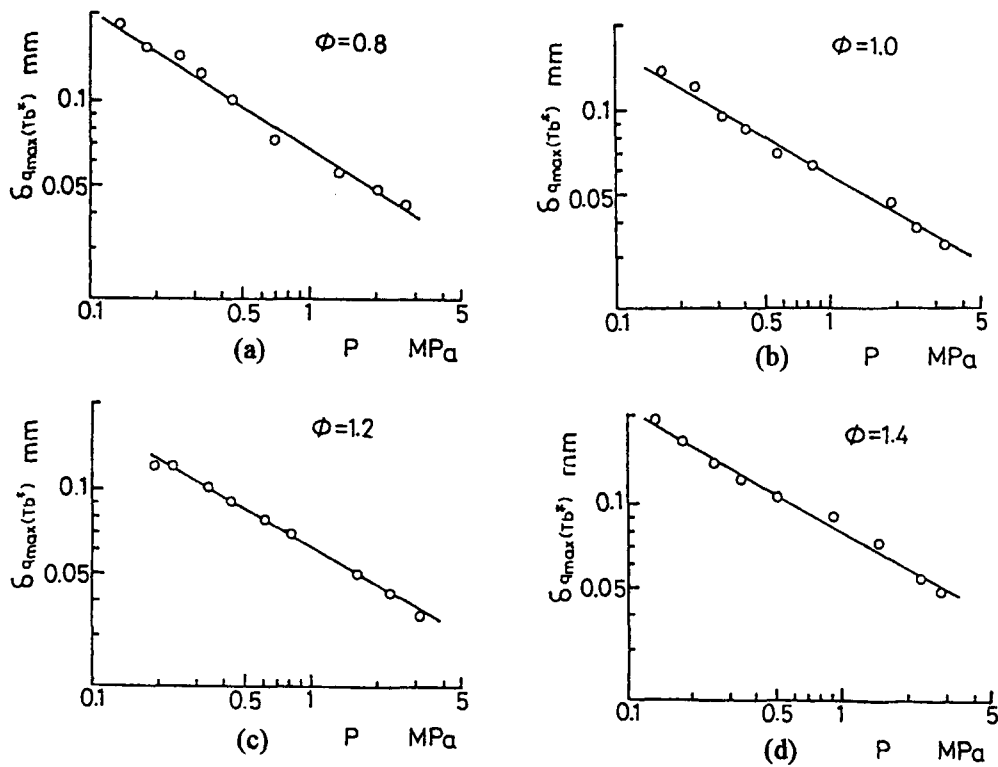


図8 燃焼圧力の時間変化

図9 $\delta_{q_{max}} (T_b^*)$ と再校圧力の関係

6. あとがき

以上の結果より次の結果を得た。火炎冷却層を減少させるためには、混合気が安定に燃焼し、かつ熱流束も最大となる当量比1.0~1.2で燃焼させること、および初期圧力を大きくさせることなどがあげられる。また、燃焼室の S/V 比の変化による火炎冷却層厚さには変化がないことがわかった。

参考文献

- (1) Daniel, W.A., 6th Symp. (Intern.) on Comb. (1956), 886
- (2) Williams, F.A., Combustion Theory (1965), 191
- (3) Mayer, E., Comb and Flame, 1 (1957), 438
- (4) 吉田、針谷、機論、45-391, B (1979), 416
- (5) 一色ほか4名、機論、39-328 (1973), 3760
- (6) 日本機械学会編、機械実用便覧 (1969), 197, 日本機械学会
- (7) Ferguson, C.R. and Keck, J.C., Comb and Flame, 28 (1977), 197
- (8) 日本機械学会編、伝熱工学資料 (改訂第3版) (1966), 294, 日本機械学会

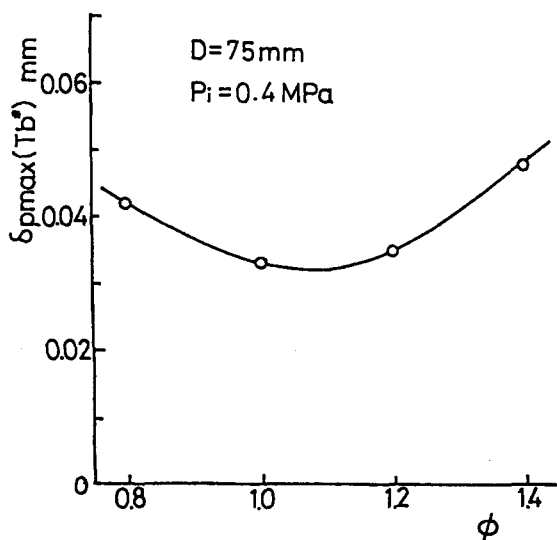


図10 火炎冷却層と混合比の関係

空気圧ベローズアクチュエータを用いた介護補助用移乗機の開発

早川 恭弘・山本 貴志*・井関 典克*

Development of a Care Assist Transfer Machine by Using Pneumatic Bellows Actuators

Yasuhiro HAYAKAWA, Tadashi YAMAMOTO* and Noriyoshi ISEKI*

In this paper, we investigate a new care transfer machine by using pneumatic bellows actuators. The transfer pattern consists of three modes (Manual setting mode, Transfer assist mode and Stop mode). A cared person can drive each part of transfer mechanism with small force to desired position freely by making use of power assist ability in the manual setting mode. When the person is pushing a transfer assist button, the machine lifts the cared person to the desired position by using force sensing ability. In order to secure safety for cared person, the machine can stop at any position when the person does not push the button.

1. 緒 言

現在、身体障害者または足の不自由な高齢者が車椅子から立ち上がる時、介護者を必要とする場合がほとんどである。しかも、これらの介護により腰を痛める介護者が増大しているとの報告がなされている^{1)~3)}。この介護をサポートするための機器として、数種類の移乗機が開発されている^{4)~6)}。しかしながら、現存する移乗機の殆どは、操作するために介護者を必要としており、使い勝手が悪いとの声があることから、移乗機を所有しながらも利用することがほとんどないのが現状である。

現存する移乗機の問題点を解決し、より親和性のある移乗機を開発するために、衝撃力をアクチュエータ本体で緩和し柔軟性を有する空気圧ベローズアクチュエータを移乗機に応用する。空気圧ベローズアクチュエータは、摺動部を有さないことから、ベロースチャンバ内圧力およびベローズ変位量から外力を容易に推定できる。すなわち、力センシング機能を有することから、被介護者に過大な負荷をかけることなく柔軟に持ち上げることができると考えられる。

本研究では、空気圧アクチュエータを用いることにより被介護者が一人で操作できる自動移乗機の開発を行うことを目的とする。但し、被介護者の対象となる者は下肢の衰えた高齢者と設定する。また、移乗する際の人の

姿勢は座位からとし、車椅子や普通の椅子からの移乗を想定する。移乗パターンは、被介護者が自分で移乗機をセッティングするマニュアルセッティングモード、移乗を行う移乗アシストモード、そして、任意の位置で停止する静止モードから構成される。本報告では、試作した移乗機の基礎特性を明らかにする。

2. 自動移乗機

2. 1 自動移乗機の機構及びシステム構成

本研究において試作した移乗機の概略図を Fig.1 に示す。本移乗機は、回転機構部と直動機構部から構成されている。直動機構部には、低摩擦空気圧シリンダ（ストローク：850mm、本体長さ：1085mm）及び拮抗型ベロー

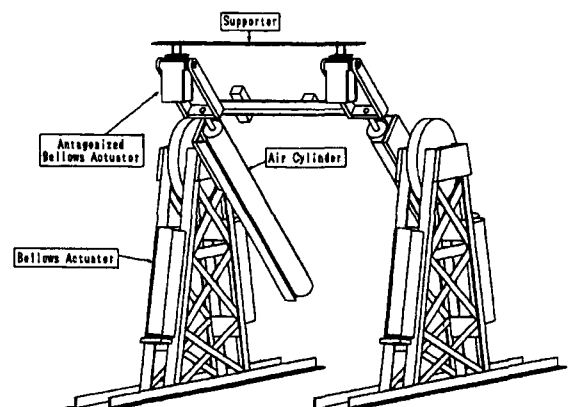


Fig.1 Transfer Machine

* 奈良工業高等専門学校機械制御専攻科

ズアクチュエータ⁶⁾ (ストローク: 40mm、本体長さ: 225mm) を使用する。また、回転機構部⁷⁾ には3連型外圧式ベローズアクチュエータ (ストローク: 250mm、バネ定数0.343N/mm) を用いている。さらに、ベローズ及びシリンダの各アクチュエータを制御するために流量型電空比例弁が各チャンバに接続されている。また、各チャンバ内の圧力は圧力伝送器により測定する。各アクチュエータの変位量は、ポテンシオメータにより検出する。さらに、移乗モード切り換え及び危険防止用緊急停止のため、スイッチボックスを取り付けている。スイッチボックスの構成を Fig.2 に示す。

移乗機は、サポータ部及び直動機構部がプーリーを中心として回転駆動することで、被介護者を立位、または座位させる。移乗プロセスは、被介護者がマニュアル操作で移乗機サポータ部を任意の位置へ移動させる (1) マニュアルセッティングモード、移乗動作を実行する (2) 移乗アシストモード、及び任意の位置で移乗機を停止させる (3) 静止モードから構成される。Fig.2 で示したスイッチボックスにおいて、[M] はマニュアルセッティングモード、[A] は、移乗アシストモードを意味する。すなわち、[M] を押すことにより被介護者はサポータ部を任意の位置にセッティングできる。そして、[A] を印加すると移乗アシストモードを開始する。各ボタンを押し続ける間、指定されたモードを実行する。また、安全のため、[M]、[A] のボタンを同時に押した場合、あるいは押さなかった場合は、静止モードとなる。

2. 2 移乗機の動作アルゴリズム

介護を必要とする場所にロボットが入り込みにくい理

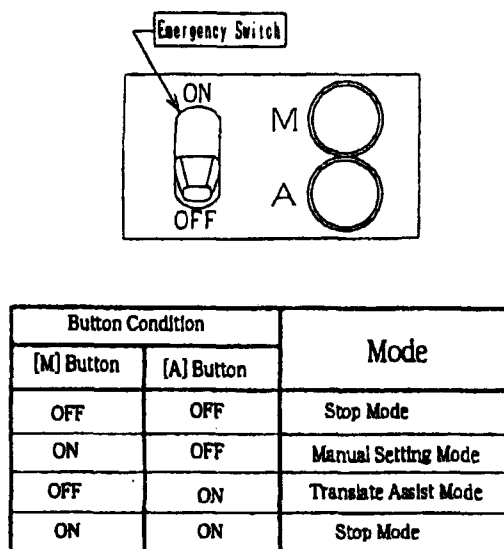


Fig.2 Switch Box of Transfer Machine

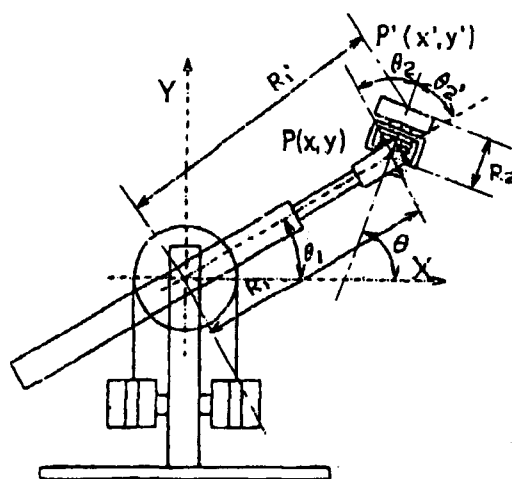


Fig.3 Transfer Mechanism

由として考えられる1つの要因は、被介護者の意志や感情をロボットの動作に反映させることが非常に難しいという点である。本研究では、アクチュエータと力センサの同時利用が可能なベローズアクチュエータを応用することにより、被介護者の動作欲求を体位の変化即ち重心位置の変化から推測し制御する。そして、低コストであり簡単な機構を有する移乗機を開発する。

移乗プロセスは、マニュアルセッティングモード、移乗アシストモード及び静止モードに分類される。

マニュアルセッティングモードでは、被介護者が移乗機サポータ部を各自の体格に適した位置へ移動させる。移乗機は、スイッチパネルの [M] ボタンを印加し続け、サポータ部を操作することにより、移乗機各部を移動させることができる。すなわち、Fig.3 に示すサポータ部 P' を自分の移動させたい方向に向け、伸縮させることにより目標軌道を生成し、軌道制御を行う。本モードにおいては、パワーアシスト機能を使用することにより、約1 kgf の力で自由に移乗機を移動させることが可能となっている。次にマニュアルセッティング終了後の各ア

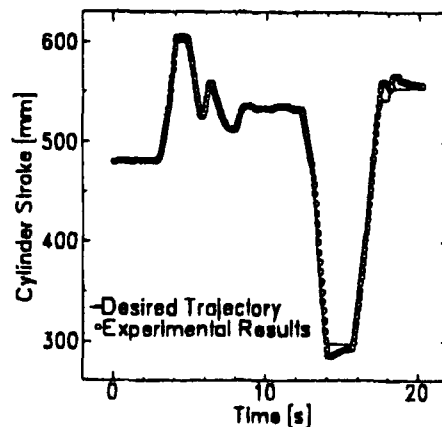


Fig.4 Response of Cylinder

クチュエータチャンバ内圧力及び位置、角度の値を初期値として、移乗アシストモードに移行する。

移乗アシストモードは、サポータ部を倒立振子の原理により地面に対し常に垂直になるように直動機構部のシリンダを制御する。これにより、被介護者がサポータ部から外れることを防止している。また、被介護者を一定の力で支え持ち上げるために、サポータ部に用いている拮抗形ペローズアクチュエータが力センシングアクチュエータとして応用する。そして、被介護者がサポータ部にもたれかかる力の値により、移乗機直動部の回転方向を変化させる。

静止モードは、移乗機各部を現在位置に静止させておくモードである。移乗アシストモード途中においてもスイッチの切り換えにより静止モードを実現できる。

3. 動作特性

3. 1 マニュアルセッティングモードの動作特性

マニュアルセッティングモードにおいて、移乗機を任意

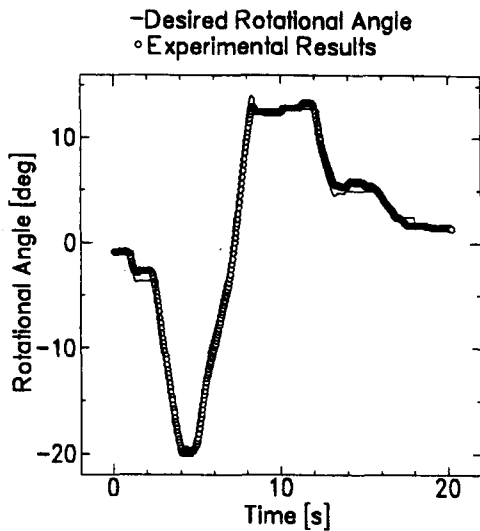


Fig.5 Response of Rotational Part

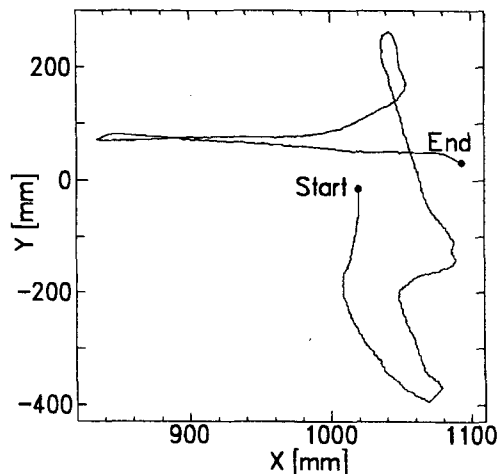


Fig.6 Trajectory of Transfer Machine

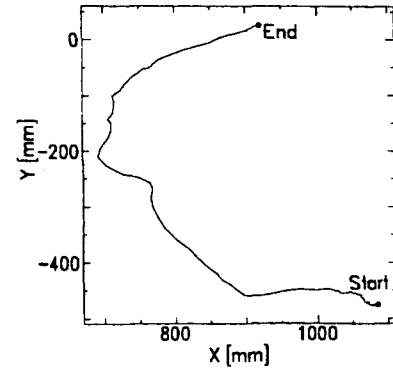


Fig.7 Trajectory of Transfer machine in Transfer Assist Mode

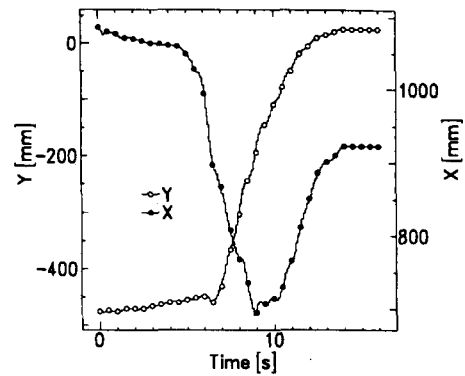


Fig.8 Experimental Result of Transfer Machine in Transfer Assist Mode

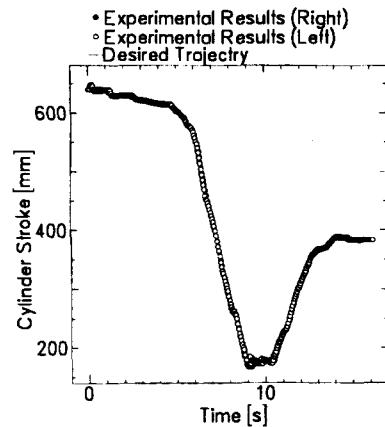


Fig.9 Experimental Result of Cylinder in Transfer Assist Mode

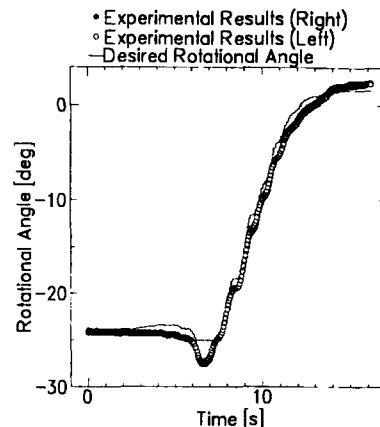


Fig.10 Experimental Result of Rotational Mechanical Part

の位置へ移動させた場合の応答波形の一例を Fig.4, Fig.5に示す、ここで、Fig.4は、直動機構部空気圧シリンダの応答、Fig.5は回転機構部の応答波形である。実験結果より、移乗機サポータ部のマニュアル操作に伴い、動的に変化する各機構部目標軌道に、シリンダおよび回転機構が追従していることがわかる。また、Fig.3に示したX, Y平面におけるサポータ部の軌跡を Fig.6に示す。マニュアル操作により任意の位置へサポータ部を自由に移動させることができることがわかる。

3. 2 移乗アシストモードの動作特性

移乗アシストモードにおける移乗機サポータ部のXY平面上の軌跡を Fig.7に示す。図中、Start 点は移乗アシストモード開始点、End 点は移乗終了点を表わす。移乗動作の後、被介護者はほぼ直立状態になったため、End 点におけるX座標の値が被介護者の足のある位置であると考えられる。すなわち、被介護者は、緩やかに体を前に出していった後、上半身を起こしたことがわかる。X, Y軸方向における移乗機サポータ部の応答波形を Fig.8に示す。時刻14 [s] 以降におけるサポータ部の変位は、一定となっている。これは、その時刻において、移乗アシストモードが静止モードに切り替わったことによる。また、直動機構部の空気圧シリンダおよび回転機構部の応答波形を Fig.9および Fig.10に示す。各アクチュエータの目標軌道は、サポータ部の姿勢および被介護者保持力により導出される。実験結果より、空気圧シリンダは、目標軌道に良好に追従していることがわかる。しかしながら、回転機構部は、目標軌道に対し若干の誤差を生じている。この原因としては、空気圧シリンダ伸縮に伴う慣性モーメントの変化の影響が考えられる。

試作した移乗機では、移乗動作時、若干下半身に負担がかかることが被験者より報告されている。被介護者に対し下半身の負担を軽減するためには、被介護者を支える保持力の増大や、下半身を支える器具などが必要になると思われる。また、被介護者が人に抱きかかえられながら移乗されている感覚を生じさせるためには、移乗機の軌道パターンを検討しなければならないと考える。

3. 3 静止モードの動作特性

移乗機が静止モードにおいて、サポータ部に最大100 [N] の外力を印加したときの直動機構部におけるシリンダの変位と回転機構部の角度変化を Fig.11に示す。外力に対して移乗機各部がほぼ定位置を維持していることがわかる。

4. 結 言

本研究は、低コストかつ人間に対し親和な介護機器を実現することを目的として、空気圧ペローズアクチュエータおよび空気圧シリンダを用いた自動移乗機の開発を行った。

試作した移乗機は、被介護者の体格・身長に個人差があるため、移乗時にアームが伸縮できるようアーム部に空気圧シリンダを用いて柔軟性を持たせた。また、本移乗機は、被介護者に対し緩やかに移乗動作を実現していることを実験により検証した。

最後に、本研究は科学研究費基盤研究 (C) (2) (課題番号: 09650303) により行われた。また、空気圧シリンダ、流量比例電磁弁等において御協力をいただいたS MC株式会社に感謝致します。さらに、ペローズアクチュエータを製作していただいた日本発条株式会社パネ生産本部に感謝致します。

参考文献

- 1) 橋野賢、“移乗介護ロボットの現状と課題”、日本ロボット学会、Vol.11, No.5, 649/654 (1993)
- 2) 安梅勅江、高山忠雄、“高齢化社会の現状”、日本ロボット学会、Vol.11, No.5, 602/607 (1993)
- 3) 鶴原吉朗、萩原博之、“機械技術を福祉に生かす”、日経メカニカル1996年3月4日、No.475, 30/53 (1996)
- 4) 小木曾敏夫、柄川索、他2名、“排泄自立支援システム用移動支援実験評価装置の機構設計”、日本ロボット学会第13回学術講演会予稿編 (3)、1037/1038 (1995)

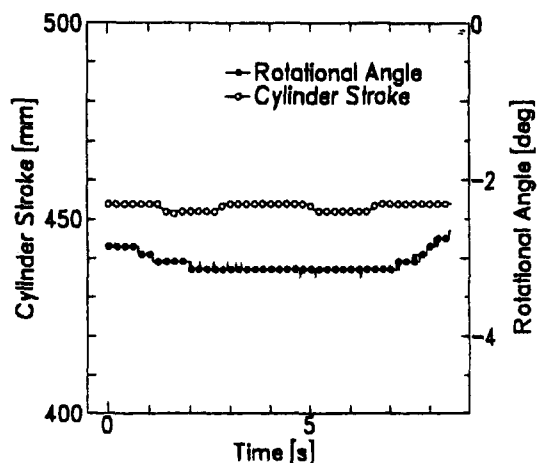


Fig.11 Experimental Results of Cylinder and Rotational Angle

- 5) “Easy Stand” ,Altimate Medical,Inc.TM
- 6) 早川恭弘、川村貞夫、“拮抗型空気圧ベローズアクチュエータの基本性能”、日本機械学会論文集、Vol.61,No.581,115／123 (1995)
- 7) 早川恭弘、川村貞夫、他 2 名、“カセンシング機能を有する空気圧ベローズによるロボットマニピュレータ用回転駆動機構の開発”、日本ロボット学会誌、Vol.14,No.2,271／278 (1966)

多重化探索を取り入れた改良シミュレーテド・アニーリング法

浅井 文男・中道 上

An Improved Simulated Annealing Method based on Multiplex Search

Fumio ASAI and Noboru NAKAMICHI

シミュレーテド・アニーリング法 (S A法) では1つの初期解から始まる解系列の中で解の逐次改善を試みるため、解空間の狭い領域しか探索できない。我々は解系列を多重化し効率的に良質な解を選択するアルゴリズムを取り入れたS A法を考案した。このS A法を巡回セールスマン問題に適用すると、最適解が得られる確率が従来のS A法や他の改良S A法よりもかなり大きくなることが確かめられた。しかし最適解を得るためには従来のS A法よりも1桁長い計算時間が必要になる。今後の課題は考案したアルゴリズムをさらに改良し、計算時間の大幅な短縮を図ることである。

$$f(x_a) < f_{av} < f(x_b) \quad (1)$$

1. はじめに

シミュレーテド・アニーリング法 (S A法) と遺伝的アルゴリズム (G A) は組み合わせ最適化問題を解くための汎用性のある計算法である。S A法は適当な操作 (素過程) により初期解から確率的な状態遷移を繰り返すことで最適解を探索する一種の逐次改善法である。遷移確率の大きさを決定する温度パラメータを探索の過程で適切にコントロールすれば、少ない計算量で比較的良質な近似解を得ることができることが確かめられている。しかし、S A法は素過程の反復で発生する1つの解系列の中で解の逐次改善を試みるため、解空間の狭い領域しか探索できない。よって適切な初期解を選ばないと、パラメータチューニングをいくらしても有限の計算時間では最適解が得られないという欠点がある。一方、G Aは異なる初期解から始まる多重化された解系列に対して選択、交叉、突然変異の操作を適用する計算法なので、解空間の広い領域を探索できるという特徴をもつ。

小坪らはG Aにおける解系列の多重化と選択処理をS A法に取り入れた改良S A法を考案し、VLSIブロック配置問題に適用した。その結果、配線長が短い (評価関数値が小さい) 解が従来のS A法よりも高い確率で得られることを見出した¹⁾。

小坪らのアルゴリズムの特徴は、異なる2つの解系列の中から1つずつ解候補 x_a 、 x_b をランダムに選択し、それらの評価関数値 $f(x_a)$ 、 $f(x_b)$ が

を満たせば x_b を x_a で置き換えるという操作にある。ここで f_{av} は解系列全体の評価関数値の平均値である。しかし、この操作には以下の問題点がある。

- ・常に式 (1) を満たす解候補が選択されるとは限らない
- ・ $f(x_a)$ と $f(x_b)$ の差が小さければ、 x_b を x_a で置き換えても解系列全体の評価関数値の平均値はあまり減少しない (操作の効果が小さい)

我々はこれらの問題点を解決するため、解系列の中から評価関数値が最小の解候補 $x_{\min}$ と最大の解候補 $x_{\max}$ を選択し、 $x_{\max}$ を $x_{\min}$ で置き換えるという操作を採用した改良S A法を提案する。この操作はG Aの選択処理におけるエリート保存戦略に対応するもので、常に置き換え可能な2つの解候補が選択され、かつ、置き換えにより解候補系列の評価関数値の平均値を可能な限り減少させることができる。我々のアルゴリズムを巡回セールスマン問題 (TSP) に適用したところ、最適解が得られる確率が従来のS A法や小坪らの改良S A法よりも向上し、アルゴリズムの有効性が確かめられた。

2. 改良S A法のアルゴリズム

2.1 基本アルゴリズム

改良S A法の基本アルゴリズムには表1に示すメトロポリス法とよばれるモンテカルロ計算法を採用する。

表1 メトロポリス法

step1: 解 $x_i \leftarrow$ 初期解 x_0 , 温度 $T_i \leftarrow$ 初期温度 T .
step2: 素過程により解 x_i から解候補 x_i を生成する
step3: 確率 $p = \exp(- (f(x_i) - f(x_i)) / T_i)$ を計算する
step4: 一様乱数 r ($0 \leq r \leq 1$) を発生させ、 $r \leq p$ なら $x_{i+1} \leftarrow x_i$, $p < r$ なら $x_{i+1} \leftarrow x_i$ とする
step4: 温度を下げる: $T_{i+1} \leftarrow g(T_i)$
step5: step2にもどる

このアルゴリズムをTSPに適用する場合、step2の素過程には2点交換法を、また、step4のアニーリングスケジュールには等比数列型: $T_{i+1} = g(T_i) = \alpha T_i$ ($0 < \alpha < 1$) をそれぞれ採用する。

2.2 解系列の多重化と選択・交換処理

改良SA法ではあらかじめK個の初期解 x_0^k ($k = 1, 2, \dots, K$) を用意しておき、表1に示すメトロポリス法を適用して解系列 $\{x_i^k\}$ ($i = 0, 1, \dots; k = 1, 2, \dots, K$) を生成する。表2に示すように、メトロポリス法をn回適用するごとに解 x_i^k ($k = 1, 2, \dots, K$) の中から評価関数値が最小の解 $x_{\min}^k$ と最大の解 $x_{\max}^k$ を選択し、 $x_{\max}^k$ を $x_{\min}^k$ で置き換えるという操作を行う。

表2 改良SA法のアルゴリズム

step1: 解 $x_i^k \leftarrow$ 初期解 x_0^k , 温度 $T_i \leftarrow$ 初期温度 T .
step2: メトロポリス法をn回適用する
step3: 解 $x_{\max}^k$ と $x_{\min}^k$ の選択と交換を行う
step4: step2へもどる

3. 巡回セールスマン問題への適用

3.1 パラメータの設定

考案した改良SA法を12都市および24都市のTSPに適用し、その性能を評価した。都市は1辺の長さが0.6の正方形の辺上に等間隔に配置している。計算に用いた各種パラメータの設定値を表3に示す。表において「サンプル計算の回数」とは、巡回経路の長さ(コスト)の分布を得るため、初期解をランダムに変えて計算を実行した回数を意味する。

3.2 計算結果

図1に12都市問題、図2に24都市問題の計算結果を示す。図において、「改良SA法(エリート保存)」とは我々のアルゴリズム、「改良SA法(ランダム選択)」とは小坪らのアルゴリズムをそれぞれ意味する。

表3 各種パラメータの設定値

	12都市	24都市
最適解の経路長	2.4	2.4
解系列数 K	5	10
初期温度 T_0	1.0	100.0
温度変更の係数 α	0.95	0.995
素過程の回数	1000	50000
選択・交換処理の回数	10	50
サンプル計算の回数	100	100

図からわかるように、我々が考案したアルゴリズムが最も高い確率で最適解を見つけることができる。しかし従来のSA法よりも1桁長い計算時間が必要になる²⁾。

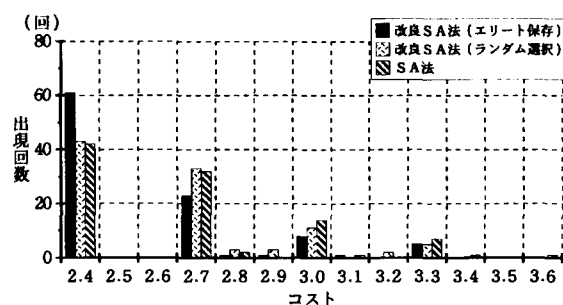


図1 12都市問題のコストの分布

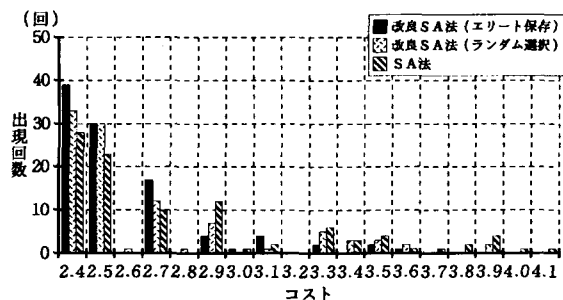


図2 24都市問題のコストの分布

参考文献

- 1) 小坪 成一, 須貝 康雄, 原田 廣則: 遺伝的要素を取り入れた改良型アニーリング法によるブロック配置, 電子情報通信学会論文誌, No. 1, pp87-84 (1990)
- 2) 中道 上: 遺伝的アルゴリズムを取り入れた改良型シミュレーテッド・アニーリング法の研究, 奈良工業高等専門学校卒業研究報告書 (1997)

A Multi-Valued DRAM with Nondestructive Read-Out

Ryo IGARASHI, Yasuyuki FUJIWARA and Kenichi YAMAGUCHI

A multi-valued DRAM cell with two diodes has been developed in order to eliminate an effect of subthreshold current in MOSFET's. In this cell structure, the diode leakage currents are canceled each other so as to maintain storage charge. In an experiment, retention time of several minutes or longer has been obtained.

Advantages of this multi-valued DRAM include low power dissipation, nondestructive read-out capability, small cell size etc. It is emphasized that the multi-valued DRAM offers SRAM performance with DRAM advantages.

1. INTRODUCTION

Semiconductor technology innovation has been continued to realize a system on a chip. It is expected for multi-valued memory to be utilized in a VLSI. This paper describes a multi-valued DRAM with a long retention time of several minutes and nondestructive read-out scheme. It may be difficult to improve retention time of a conventional DRAM cell which consists of one capacitor and one MOSFET. This is because leakage current due to MOSFET is not easy to be reduced [1].

2. Multi-valued DRAM Cell

A basic multi-valued DRAM cell consisting of one capacitor and two diodes is proposed. If the current of each diode is same, there are no currents to discharge or charge the storage capacitor. Therefore, it is possible to realize a multi-valued DRAM with a long retention time.

In general, reverse currents of D_1 and D_2 are determined by the following equation :

$$I_R = I_s \left[\exp \left(\frac{qV_R}{kT} \right) - 1 \right]$$

where I_s is reverse saturation current, V_R is reverse voltage and T is temperature. When V_R is less than $-0.3V$, I_R is approximately equal to I_s . At $V_R < -0.3V$, reverse current is not dependent upon voltage at the junction of D_1 and D_2 . It should be noted that the capacitor C maintains a charge for a long time.

Figure 1(a) shows a basic multi-valued DRAM cell consisting of one capacitor C and two diodes D_1 and D_2 .

The capacitance C is charged up or discharged by

reverse currents through diodes D_1 and D_2 . When both diodes are designed so as to have the same current flow through diodes D_1 and D_2 , a charge of the capacitor C is maintained during a long time. Aiming to simplify DRAM operations, the diode D_2 is replaced by nMOS transistor (to be called FET hereafter) Q_1 . A complete DRAM cell which is capable of read and write operations is illustrated in Figure 1(b). Data are stored dynamically in the capacitor C . In a memory state, FET's Q_2 and Q_3 are turned off by applying 0V to the write address and the read address. The bit line is maintained discharged. Referring to the timing chart shown in Figure 2(a), a write operation is performed by placing the data on the bit line and gating this data into the capacitor by turning FET Q_1 on through the voltage change (0 to V_H) of the write address.

A read operation is performed by turning FET Q_3 on with the discharged bit line as shown in Figure 2(b). The data corresponding to the voltage of the capacitor C is read out on the bit line. It is noted that the voltage of the capacitor C is lowered due to a voltage drop of Q_1 and Q_3 , being read out on the bit line.

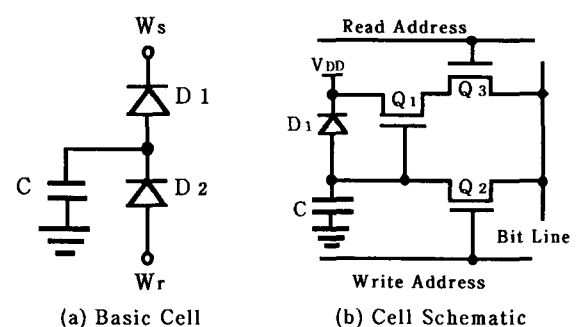


Fig.1 Multi-valued DRAM Cell

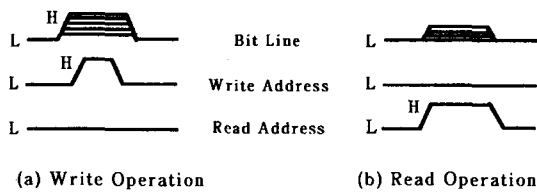


Figure.2 Timing chart of the DRAM

In order to assure that the basic DRAM cell shown in Figure 1 and the DRAM cell shown in Figure 2 have a long retention characteristics, an experimental circuit illustrated in Figure 3 each is used. The diodes D_1, D_2 and FET Q_1 which are integrated in a CMOS IC are used as a basic DRAM cell. Only $100\text{ k}\Omega$ resistor is additionally inserted to read out data stored in the cell. Note that the diodes D_1 and D_2 are originally provided in the IC as static discharge protection devices. The FET Q_1 is a part of a CMOS inverter. Figure 3(a) shows retention characteristics of the basic DRAM cell. It is understood that the leakage current of the diode D_1 is larger than that of the diode D_2 . Therefore, the voltage of the junction of D_1 and D_2 increases toward V_{DD} . When the leakage current of the diode D_2 is increased in order to compensate the leakage current of the diode D_1 , a longer retention time can be obtained.

As shown in Figure 3(b), a longer retention time is obtained compared with the result of Figure 3 (a).

Figure 3(b) demonstrates diode leakage currents are compensated with a leakage current of Q_2 . It is

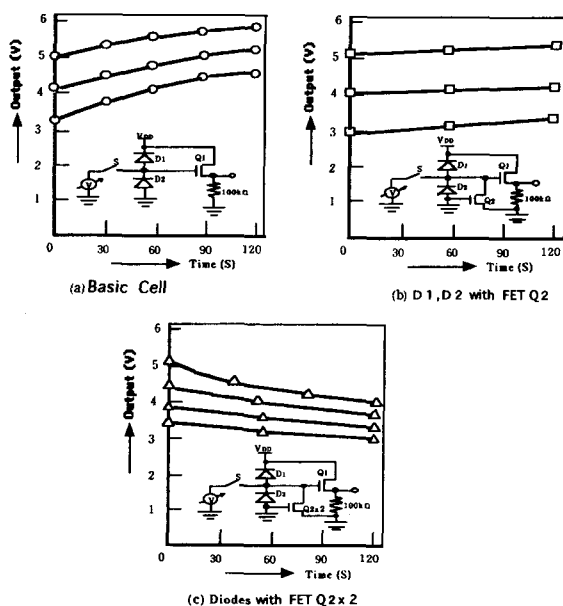


Figure.3 Retention Characteristics

emphasized that a longer retention time is also due to a parasitic capacitor by placing FET Q_2 . Figure 3(c) shows retention characteristics in over compensation by doubling leakage current of Q_2 . From Figure 3(a) and (c), it is clear that retention time difference is due to parasitics of Q_2 .

3. Sensing Scheme

It is very important that nondestructive read-out operations make a simple sensing circuit with a wide operating margin. In order to enhance a long retention characteristics of the DRAM cells, two of the multi-valued DRAM cells connected to a pair of two address lines (write and read) are used as dummy cells. These dummy cells provide a minimum read-out level and a maximum read-out level to resistor network consisting of resistors $R_1, R_2, R_3, \dots, R_8$ as shown in Figure 4.

As shown in Figure 3, maximum read-out level is almost constant with time. Therefore, a constant voltage can be used as maximum read-out level. The resistor network provides seven reference voltage levels, $V_1, V_2, V_3, \dots, V_7$. These voltage levels are determined in order to find what a read-out level is. For example, when a read-out level is higher than V_1 , the comparator CP_1 changes at the output. This means that data of '001' are read out only when CP_1 changes. In the same manner, it is understood '111' are read out when all comparators change at their

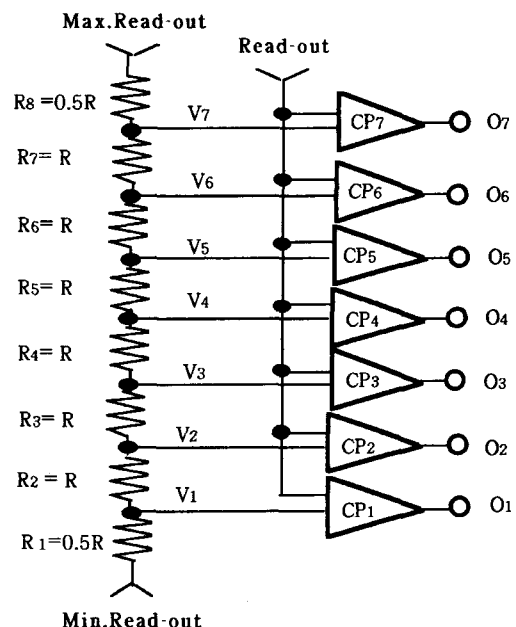


Figure.4 Sense Circuit

outputs.

Since minimum read-out level depends on time elapsed, reference voltage level is automatically adjusted to sense a changed read-out voltage. This means wide operating margin can be obtained with long retention time. For example, 100mV step multi-valued voltage levels can be sensed by a comparator with 20mV offset to realize 240 second retention time.

In order to confirm multi-valued DRAM functions, using an experimental circuit shown in Figure 5(a), operating waveforms observed are illustrated in Figure 5(b).

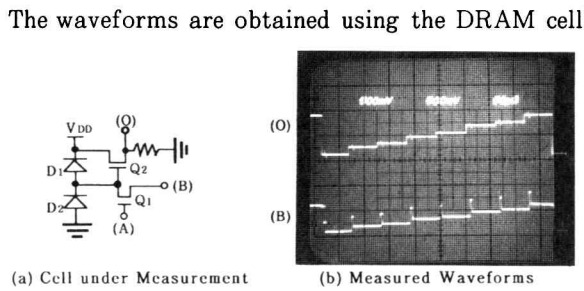


Figure.5 Operating Waveforms

consisting of CMOS IC's (Type 4007 UB) in which a parasitic capacitor is utilizing as memory capacitor.

Since the experimental circuit is not optimized in circuit design, a parasitic capacitance (C_{DG}) of FET Q_1 lowers a voltage across the memory capacitor C_M at a trailing edge of a write pulse. In an optimum memory cell design, the ratio of C_{DG} to C_M is selected as small as possible. This voltage lowering during write pulses is minimized.

4. Cell Area

As for the cell area, the multi-valued DRAM cell is laid out using $0.35 \mu\text{m}$ CMOS technology, being compared with one transistor DRAM cell. Figure 6 shows the multi-valued DRAM cell topology including a trench capacitor, one diode and three FET's. The cell

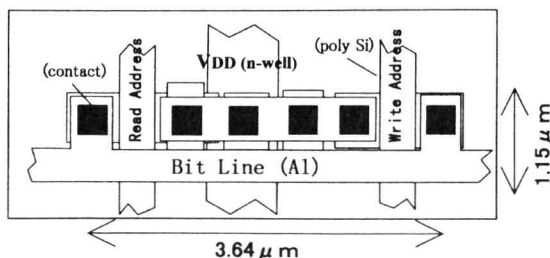


Figure.6 Top View of the DRAM Cell

size is $3.64 \mu\text{m} \times 1.15 \mu\text{m}$ ($4.20 \mu\text{m}^2$). Note that the multi-valued DRAM cell size equals to three times as large as that of one transistor DRAM cell. This means the proposed multi-valued DRAM cell size per bit is same as a conventional DRAM. It may, therefore, be concluded that when the multi-valued DRAM cell stores more than four bits, a cell size of proposed DRAM cell becomes smaller than that of conventional DRAM cell.

Figure 7 shows a cross sectional view of the multi-valued DRAM cell with single N-well CMOS technology and a trench capacitor. V_{DD} is supplied through N-well and P-type substrate is utilized as the ground. It is expected that the trench can be overlapped with N-well or N^+ area of the FET Q_2 . This means that the cell size of the multi-valued DRAM can be reduced.

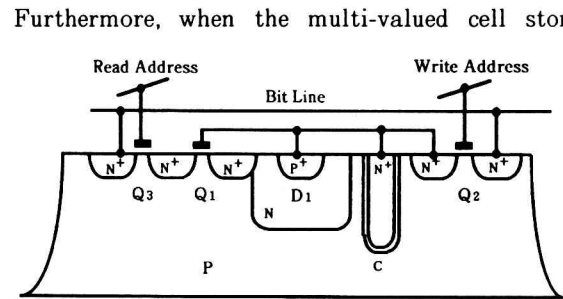


Figure.7 Cross Sectional View of the Cell

three bits, one bit line and two address lines are required. Considering a conventional DRAM cells of three bits, one address line and three bit lines are required. Therefore, the multi-valued DRAM has an advantage from viewpoint of address / bit line requirements.

5. Discussions

The proposed multi-valued DRAM cell shows a long retention time. It may be confirmed that retention time of approximately 6 minutes is realized by an effective leakage current of order of one tenth fA and a storage capacitor of 40fF.

But, there is the principal concern in realizing long retention characteristics in LSI version. From results measured and calculated, it was found the experimental DRAM cell has 0.9pF as storage capacitor. Since diodes, D_1 and D_2 have been designed for protection devices, both leakage current and storage capacitor are almost ten times as large as those of a multi-

valued DRAM cell optimized as shown in Figure 6.

Therefore, it is said the experimental DRAM cell and the optimized cell have same retention time. In terms of leakage compensation approach, it has been confirmed a value of the current to charging-up or discharging a storage capacitor can be minimized by cancellation of diode and FET leakage currents in order to make retention time longer. Since it is important for process parameters as well as circuit configuration to obtain a long retention time, process parameter optimization is required. As shown in Figure 7, since the diode D_1 and FET Q_2 have P-N junctions, these junction areas are designed to be almost same. Process parameters such as impurity levels of P and N areas are designed for reverse current of D_1 to be same as that of FET Q_2 . It is noted that subthreshold current in Q_2 has to be controlled.

From viewpoint of process difficulty, number of contacts of the multi-valued DRAM is compared with conventional DRAM. The multi-valued DRAM cell has five contacts because two contacts of both sides of the cell are shared with the neighbor cells. This means 1.7 contacts per bit. On the other hand, a conventional DRAM cell has 0.5 contacts per bit. It is, therefore, clear that conventional cell has an advantage. From power dissipation point of view, it is also clear that the multi-valued DRAM requires almost no power dissipation for refresh operations because refresh power is proportional to refresh operations per second.

As for power in write and read operations, total number of storage cells is one third of that of conventional DRAM when eight levels are considered. Therefore, it is estimated power dissipation of the multi-valued DRAM is roughly one third of conventional DRAM. It is noted that nondestructive read-out capability requires less power dissipation since rewrite operation is no longer required.

Compared with an SRAM using CMOS technology, the multi-valued DRAM has advantages including less contacts, smaller cell size. If a chip size is much smaller than that of SRAM, there are chances for the multi-valued DRAM to be widely used. It is important for the multi-valued DRAM to have optimized peripheral circuits, especially sense circuits since large number of comparators are required. It is clear that

the number of contacts of seventh of a conventional SRAM which has 13 contacts per bit.

6. Conclusions

Advantages of the proposed DRAM cell include nondestructive read-out of the data stored at the cell capacitor and low power dissipation due to a long retention time of several minutes as shown in Figure 3.

As a result of leakage compensation of diodes or FET connected to the storage capacitor, the multi-valued DRAM cell has a long retention characteristics. The cell size of the multi-valued DRAM is comparable with a conventional DRAM cell. It is, therefore, expected that the proposed multi-valued DRAM can be used in the area where SRAM is required. The feature of the proposed multi-valued DRAM is summarized in Table 1.

TABLE1—multi-valued DRAM feature

Process technology:	0.35 μm CMOS with single layer Al wiring
Cell structure:	one diode, three FET's, one trench capacitor
Cell size:	3.64 x 1.15 μm^2
(cell size per bit):	1.4 μm^2
Operation mode	8 storage levels per cell
Retention time	240 seconds or longer

Acknowledgement

The authors thank S.Kaeriyama, who is now student of Tohoku University, for participation in his graduation work on an multi-valued DRAM at Nara National College of Technology and J.Kobayashi, who is student of the graduate school of Toyohashi University of Technology, for his advice in CMOS circuit design at Nara National College of Technology.

References

- [1] Steven H. Voldman and Chiristopher W. Long, "TLM: A trench Leakage Monitor for a Four Megabit SPT DRAM Technology", IEEE Trans. on Semiconductor Manufacturing, Vol.4, No.3, August 1991, pp226—pp.232.

プログラム開発に関する学生実験の考察

工藤 英男・吉川 博史*

A Study on Experiment of Students in Program Development

Hideo KUDO and Hiroshi YOSHIKAWA

情報工学科の学生としては、プログラム開発における問題の分析や設計に関する手法を体験することが、将来のソフトウェア技術者として必要不可欠と考えている。そこで、4年次の「情報工学実験」の1テーマとして、ここ数年「プログラム設計に関する実験」を行っている。本稿では、この実験の概要と事例を示し考察を行う。

1. まえがき

近頃は、テレビや新聞などにコンピュータに関する番組や記事や、パソコンの宣伝が載らない日がないぐらいに、コンピュータが身近な存在になってきている。将来の就職や進学に有望な分野と信じて、情報工学科に入学した学生に、情報工学に関する知識のみならず実感できる技能や技術を習得して卒業していくことが望まれる。

情報工学科の学生は、1・2年次の「プログラミング」としてPascal言語を、3年次の「プログラミング」としてC言語を学習している。さらに3年次には「計算機ソフトウェア」の科目でデータ構造やアルゴリズムについて学習している。しかしながら、一般的な手続きや言語や単なるプログラミングだけでは、将来の情報処理技術者としては不十分であると考えている。5年次の選択科目として、「ソフトウェア工学」[2,11]があるが、学生の全員が受講できるわけでない。プログラム開発における問題の分析や設計に関する手法を習得し、体験することが、将来のソフトウェア技術者として必要不可欠と考えている [5]。そこで、4年次の「情報工学実験」の1テーマとして、ここ数年「プログラム設計に関する実験」を行っている。この実験の概要と事例を示し考察を行う。

以下、第2章では情報工学実験での位置づけについて、プログラム開発実験とその概要と手順および開発環境を述べ、第3章では実験の具体例について示し、考察を述べ、最後に第4章ではまとめを述べる。

2. 情報工学実験での位置づけ

2. 1 実験の概要

4年次の「情報工学実験」は、5年次の「卒業研究」の予行演習の性格をもっている。つまり、2・3年次の「情報工学実験」では、与えられた課題をきっちりとした実験指導書より実験を行う形態であるが、4年次では各自で文献を調査して自ら実験を計画し実施する形態である。なお、実施年度により異なるが、5テーマ程の実験があり、1回4コマ(180分)を4又は5週間にわたり行う。参考のために、3年間のテーマを次に示す。

7年度：画像処理、データベース、ソーティング、統計解析、コンピュータネットワーク

8年度：画像処理、PLDを用いたカスタムLSIの作成、プログラム設計、コンピュータネットワーク

9年度：画像処理、HDLによる論理回路設計、Excelを用いたシミュレーション、プログラム設計、統計解析、コンピュータネットワーク

このように、担当者により若干テーマが変遷している。そこで、本稿で考察する「プログラム設計に関する実験」は、問題解決の能力をつけるために、課題に対する問題分析、システム分析、システム設計、プログラム設計、コーディング、デバック、運用のソフトウェア開発の全般についての演習を行っている。個人作業しか経験していない学生にグループによる共同作業を、さらに最近注目を浴びているオブジェクト指向の言語によるプログラミングを体験する内容を取り込んでいる。

* 大阪短期大学

2. 2 プログラム開発実験

約4週間にわたって行う実験の内訳は、第1週目に、実験の概要説明（プログラム開発の概要、実験手順、ツール等の使い方）、グループ分けと役割分担、プログラム開発の対象となる問題の発見、手法の選択を行う。第2週目に、問題の分析、手法の学習とツールの試用、プログラミング言語の学習と演習を行う。後半の第3週と4週で、ツールによる開発、プログラミング言語による実現、デバックを行い、最後にレポート作成、作成物の動作確認と批評を行う。

2. 3 実験の手順と開発環境

プログラム開発での共通した実験の手順は、次の4つの部分からなっている。

〔手順1〕問題記述文の作成

〔手順2〕設計手法による分析・設計

〔手順3〕各種ツールによる開発

〔手順4〕プログラミング言語による実現

ただし、実験の開発環境は、実施時期により大きく3つに分かれる。つまり、平成5年度以降は、MS-DOSのもとでのSAVER（セイバー：参考文献1の付属ソフト）やHD（HCPチャート）などのツールとC言語を用いた。その後、8年度まではWindows環境でのCASEトレーナー [6,12] とPascalのオブジェクト指向言語であるDelphi [7,8] を用い、9年度はWindows95でのObjectトレーナー [13,14] とDelphiあるいはVisualC++ [9,15] を用いている。

なお、SAVERとCASEトレーナーは古典的な構造化分析・設計手法のドキュメント作成を支援するツールであり、Objectトレーナーはオブジェクト指向の分析・設計方法論のOMT法 [3,4,10] に基づくドキュメント作成を支援するツールである。

3. 実験の具体例

3. 1 学生が設定した問題

最近2年間における学生が設定した問題としては、新幹線の券売機、擬似現金支払機、図書館管理プログラム、ボーリングのスコア計算、自動販売機、体力測定、ナンパプログラム、ガソリンスタンドの給油、テレビ番組検索プログラム、航空運賃表示システム、自動スーパーマーケット、さらに最近話題の電子ペットに着目したパソコン版電子ペットなどがある。

3. 2 開発の手順

ここでは、航空運賃表示システムを参考に以下の説明に用いる。大きく4つの手順からなる。

〔手順1〕問題記述文の作成

次のように、グループ内で、開発の対象となる問題を決め、仕様の記述文を作る。

コンピュータで航空会社問合せ、国内2空港（新東京国際空港、関西国際空港）から、海外主要都市への航空運賃を表示したい。コンピュータの使用者は、まず出発の空港を選ぶと行き先の都市の一覧が表示される。そこで、行き先を選択し、座席の種類や切符の種類（片道、往復）を選ぶと、航空料金と空港施設資料料が航空会社から送られ表示される。

〔手順2〕OMT法による分析・設計

問題記述文をOMT法による分析・設計を行う。次の5つの手順からなる。

〔手順2.1〕クラス候補の抽出

問題記述文の中から、名詞句を抽出し、クラスになるものを絞り込むと、次の6つが残る。

「航空会社」、「空港」、「航空料金」、「使用者」、「出発地」、「行き先」

なお、出発地は新東京国際空港と関西国際空港を、行き先は海外主要都市をまとめたものである。

〔手順2.2〕各クラスの属性

次のようにクラスの属性を設定する。

「クラス航空会社」属性なし

「クラス空港」サブクラス出発地、属性は場所

サブクラス行き先、属性は都市名

「クラス航空料金」属性は座席の種類、片道料金
往復料金

「クラス使用者」属性なし

〔手順2.3〕オブジェクトモデル図の作成

オブジェクトモデル図を図1に示す。

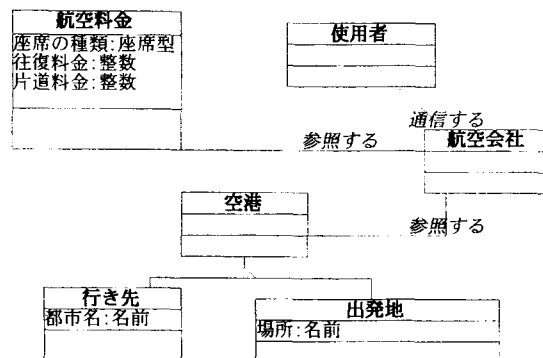


図1 オブジェクトモデル図

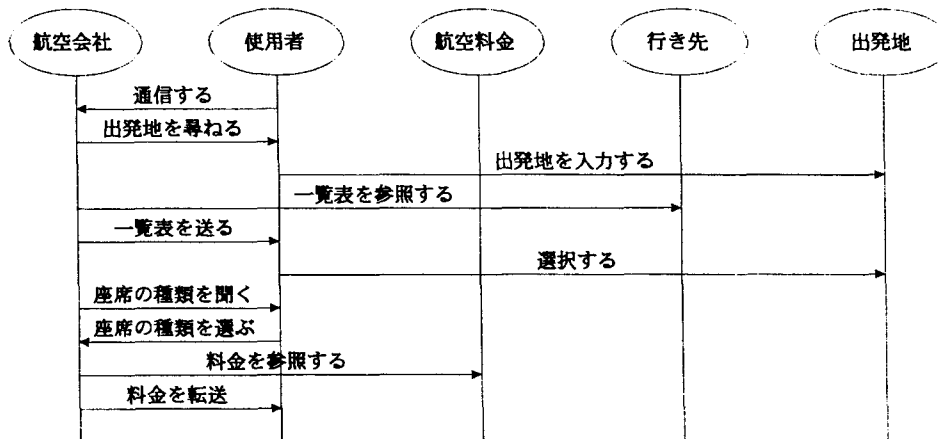


図2 事象トレース図

[手順2.4] 動的モデル図の作成

(a) 事象トレース図の作成

各オブジェクトは互いに事象のやりとりして、状態を変化させる。次のシナリオを時間軸に記述したものを図2に示す。

- ・使用者は、航空会社のコンピュータに通信する
- ・航空会社は、出発地を尋ねる
- ・使用者は、出発地を入力する
- ・航空会社は、行き先から一覧表を参照する
- ・航空会社は、一覧表を使用者に送る
- ・使用者は、一覧表から行き先を選択する
- ・航空会社は、座席の種類を尋ねる
- ・使用者は、座席の種類を選ぶ
- ・航空会社は、航空料金を参照する
- ・航空会社は、料金を使用者に転送する

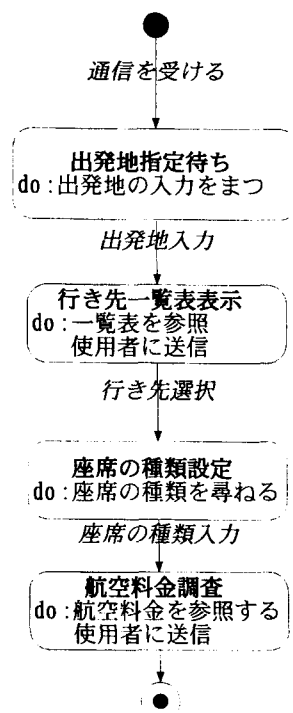


図3 クラス航空会社の状態図

(b) 状態図の作成

クラス航空会社の状態図を図3に示す。

[手順2.5] 機能モデルの作成

航空料金システム、航空料金表示システム、料金計算のデータフロー図を図4に、それぞれの図を(a),(b),(c)に示す。

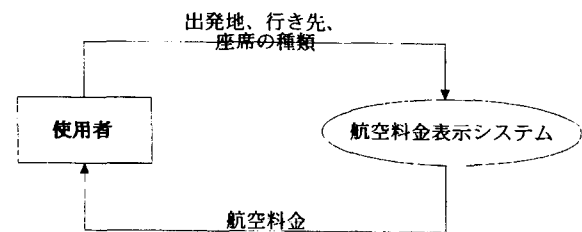


図4 (a). データフロー-航空料金システム

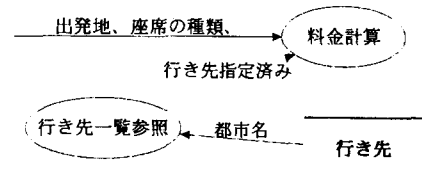


図4 (b). データフロー-航空料金表示システム

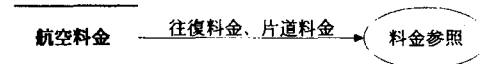


図4 (c). データフロー-料金計算

[手順3] Object トレーナーによる開発

前述の手順を Object トレーナーを用いて、図1から図4を作成する。

[手順4] Delphi による実現

Delphi により実現できた成果物である画面を、次節で示す。

3. 3 実行例

実行例の画面を図5に(a)から(h)に示す。

(a)開始画面

(「通信」を押すと画面(b)に進み、「閉じる」を押すと終了する)

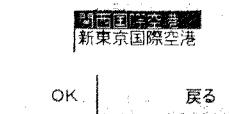
通信を押すと検索を開始します



(b)出発空港の選択画面

(どちらかの空港を選び、「OK」をクリックすると画面(c)に進み、「戻る」を選ぶと画面(a)に進む)

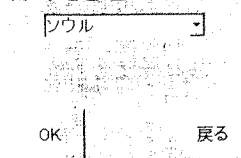
出発空港を選んでください



(c)目的地の選択画面

(コンボボックスから目的地を選択する)

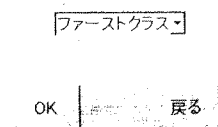
目的地を選んでください



(d)座席の種類を選択画面

(コンボボックスから座席の種類を選択する)

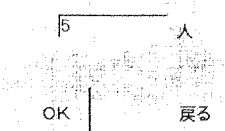
座席の種類を選んでください



(e)人数の入力画面

(人数をキーボードから数字を入力する)

人数を入力してください



(f)往復・片道の選択画面

(どちらかを選択する)

往復、片道を選んでください

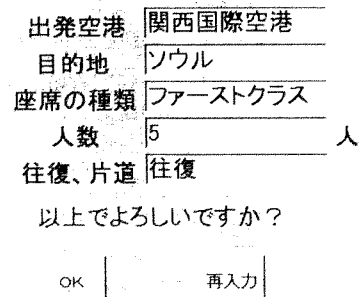
〇 往復

〇 片道



(g)入力確認画面

(入力したデータの確認をし、「OK」をクリックすると画面(h)に進み、「再入力」を選ぶと画面(b)に進む)



(h)運賃表示画面

(計算された運賃が表示され、「終了」をクリックすると画面(a)に戻る)

運賃は 713800 円です

ご利用ありがとうございました。

終了

3. 4 考察

この「航空運賃表示システム」では、比較的容易に全体像が把握できるものに着目して、グループ内のメンバーが納得いく課題に取り組んでいる。成果物の見栄えが気になるところであるが、本来のこの実験の趣旨は、共同作業で1つのものを作り上げる過程において、設計手法を採用し、その手法でドキュメントをツールを用いて作成することである。その点では、それなりに評価できるものであると考えている。なお、ここでは、ドキュメント類の内容についての評価には触れない。

このテーマでの成功の秘訣としては、グループを構成する学生間で、コンセンサスの得やすい対象(関心があるものや面白そうなもの)を、課題に選び、時間的な制約を考慮して、ある程度の規模のプログラムを想定して行うことであるとする。

一般に、解答がはっきりしている問題の解決については非常に得意な学生が多いが、ここで作成されたオブジェクトモデル図、動的モデル図、機能モデル図などが正しいかを判断することは、経験の少ない学生にとっては非常に不安なことである。しかしながら、複数の学生といろいろと、「あーだ、こーだ」と議論して、ある方向に収束する手法を身につけるには、よい一つの方法であろう。

4. あとがき

この数年来、実施してきた「プログラム設計に関する実験」について述べた。この試みを通じて、学生諸君が与えられた課題を指示通りに行うのが一般的であるが、学生自らが課題を発見し、興味をもって課題に取り組むのも良い方法であると実感している。

なぜなら、多くの学生が目を見輝かせ、生き生きと自ら進んで実験を行っている。なお、残念ながら一部の実験に積極的でない学生においては、何をどうする実験なのかを認識できない学生がいるのも事実である。今後の課題は、これら一部の学生を引き付ける努力と関心を示す教材の作成であると考えている。

なお、本稿では、時間の都合で触れることができなかったが、たとえば、最近話題の電子ペットに着目したパソコン版電子ペットなどは、学生の豊かな感性を生かして、素晴らしいGUIを実現している成果物も出てきている(付録1)。学生たちは、さらに放課後を活用して、時間をかけて完成度の高い成果物に仕上げたいとの意欲で伝わってくる状況である。学生の感性を生かして、物作りの素晴らしさを体験できる実験を続けて行きたいと考える。

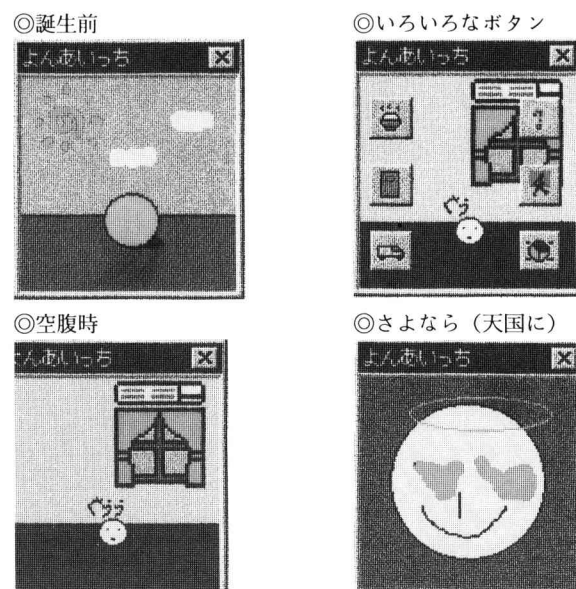
謝辞 最後に、不親切な内容の実験ながら、意欲的に実験に取り組んでくれた学生諸君に感謝の意を示します。なお、今回の航空運賃表示システムを担当した岸上、北村、杉谷、田川君のグループの成果であり、付録1は浅田、大植、大杉、川本君のグループの成果であることを明記します。

参考文献

- [1] 松崎純一：「構造化分析ワークベンチ」, 日経マグローヒル社 (1988).

- [2] 有澤 誠：「ソフトウェア工学」, 岩波書店 (1991).
 [3] 羽生田栄一監訳：「オブジェクト指向方法論OMT」, トッパン (1992).
 [4] 本位田, 山城：「オブジェクト指向システム開発」, 日経BP (1993).
 [5] 工藤英男：「ソフトウェア設計教育に関する支援システムの構築」, 平成6年度科学研究(一般研究C)研究成果報告(1995).
 [6] ㈱SCC：「CASEを学ぶ」, ㈱SCC (1995).
 [7] ボーランド㈱：「Delphi ユーザーズガイド」, ボーランド㈱ (1995).
 [8] 堀越一雄：「はじめてのDelphi」, 技術評論社 (1995).
 [9] 片岡佐一：「VosialC++スーパーテキスト」, 技術評論社 (1995).
 [10] 落水, 東田：「オブジェクトモデリング～新しい思考の方法論～」, ジャストシステム (1995).
 [11] 河村一樹：「ソフトウェア工学入門」, 近代科学社 (1996).
 [12] 吉川, 工藤, 前川, 植田：CASEツールを用いた情報教育への考察, 大阪短期大学紀要, 第10号, pp.37-43 (1996).
 [13] ㈱SCC：「Object トレーナースタートアップガイド」, ㈱SCC (1996).
 [14] ㈱SCC：「Object トレーナーユーザーズガイド」, ㈱SCC (1996).
 [15] マイクロソフト㈱：「VisualC++チュートリアル」, マイクロソフト㈱ (1997).

付録 1



実験用圧延機の圧下位置制御のシミュレーション

近藤 勝也・粟田 智*・喜田 秀夫*

A Simulation for a Roll Position Control of an Experimental Rolling Mill

Katsuya KONDO, Satoshi AWATA and Hideo KITA

It is important for a simulation to show behavior of a subject system precisely. In this paper, the subject of simulation is a roll position control of an experimental rolling mill. A mathematical model was made based on the design specifications of the subject. Experimental data of the roll position control were studied to identify unknown parameters of the mathematical model. The results of the simulation have been given good agreement with the experimental results using the experimental rolling mill.

1. はじめに

シミュレーションはいろいろな分野で使用され、関係の参考書や文献も多い¹⁾が、自動制御においても重要な検討手段の一つである。

シミュレーションでは、数式モデルを用いて計算した結果が、対象となる制御系の実際の振る舞いと良く合うことが一番大切である。このため、シミュレーションによる計算結果を対象の制御系の実験データと比較検討することが良く行われる²⁾。しかし、計算結果と実験データの比較方法や数式モデルの修正方法などを詳細に検討した例は少ない。

本論文では実験用圧延機の圧下位置制御をシミュレーションの対象に取り上げた。圧延機は鉄鋼製造の基幹設備であり、その圧下位置制御は高速で安定した制御が必要である。

ここではシミュレーションのための数式モデルについて述べるとともに、実験データと計算結果を比較検討するための一つの方法を提案している。特に、実験データを解析して数式モデルのパラメータを同定する方法について検討した。その結果、計算結果が実験データとよく一致し、圧下位置制御系のいろいろの検討に使用できるようになった。

2. 実験用圧延機

2.1 実験用圧延機の仕様

圧延機は鉄鋼の重要な製造設備の1つである。圧延機の主な役割は薄板、厚板、形鋼、鋼管など各種製品の寸法を最終段階で仕上げることである。精度の高い製品を製造するため、圧延機ではいろいろ高いレベルの制御が行われている。圧延機のロールの位置を制御する圧下位置制御も重要な制御システムで、高速で精度の高い位置決めが要求される。従来より圧下位置制御の精度向上のために各種の技術が開発されており、圧下位置の駆動装置においても電動圧下方式に比べて応答が速い油圧圧下方式の採用が進んでいる³⁾。

一方、鉄鋼メーカーの研究所では実験用圧延機が新製品の圧延実験などに使われているが、実験用といえども圧下位置制御は実機と同様の高速応答と高精度を持つ必要がある。本論文では、関西地区の鉄鋼メーカー研究所の実験用圧延機をシミュレーションの対象に取り上げた。

実験用圧延機の概要を図1に示す。その機能は、圧延機、油圧制御装置、制御用コンピュータに大きく分けられる。上と下のロールは図示されていないモータによって駆動され、2つのロールで材料を挟んで圧延する。圧延された材料の寸法を決めるのはロールの位置（正確には2つのロールの間隙）である。その位置は圧下位置センサで検出され、油圧制御装置によって位置が調整される。これらの検出信号と制御装置を用いて制御用コンピュータがロールの圧下位置を制御する。圧延機の設備仕様を

* 本校情報工学科平成8年度卒業生

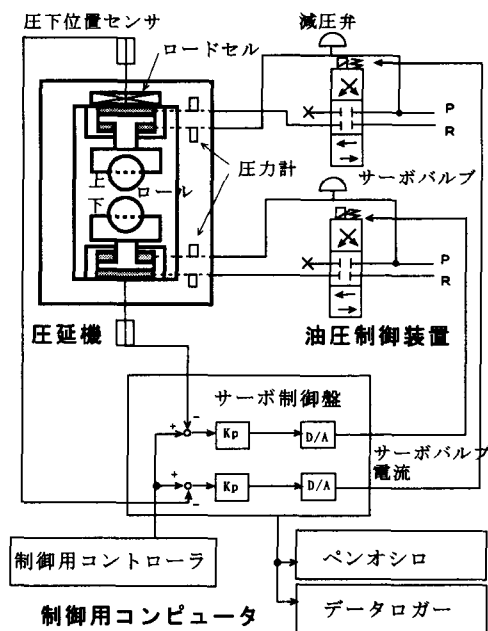


図1 実験用圧延機の構成

表1 圧延機の仕様

項 目	仕 様
最大圧下力	25tonf
駆動モータ	3.7kW
最大油圧	150kg/cm ² (ロール押し) 70kg/cm ² (ロール引き)
最大油量	8000cm ³ /min
最大ロール圧下速度	1mm/s
圧下ストローク	10mm

表1に示す。

2.2 圧下位置制御

図1の実験用圧延機の中で圧下位置制御に関する構成を図2に示し、主な部分を以下に説明する。

(1) 油圧圧下装置

油圧圧下装置によって圧下位置が動かされ上下ロールの間隙が決まる。油圧圧下装置は油圧シリンダと油圧ラムで構成され、油圧シリンダへの作動油の流入・流出により油圧ラムが変位して、ラムに結合したロールが移動する。これらの詳細は後(図4)で述べる。

(2) 圧下位置検出

油圧ラムの動きとロールの動きは同一なので、油圧ラムの変位を圧下位置として検出する。この為マグネスケールと呼ばれる磁気方式の位置検出センサが使用され、その検出値が圧下位置実績である。検出値はデジタル信号で制御用コンピュータに入力される。

(3) サーボバルブ

油圧シリンダへの作動油の流入・出は流量制御バルブであるサーボバルブによって制御される。サーボバルブ電流の大きさに対応して、バルブ開度が高速に変化するので、サーボバルブは高速応答が必要な制御によく用いられる。

(4) 制御用コンピュータ

制御用コンピュータは制御用コントローラとサーボ制御盤とで構成される。制御用コントローラは圧下位置指令を作成してサーボ制御盤に与える。圧下位置指令は、圧下位置の目標値で、後に述べるステップ応答では圧下位置指令は矩形波(ステップ波形)である。

サーボ制御盤では、圧下位置値と圧下位置実績を比較し、両者の差(偏差)に基づいた比例制御が行われる。 K_p は比例制御ゲインである。比例制御にするのは、サーボバルブでの制御動作がその仕組み上、積分制御になるためである。

比例制御を詳しく言うと、偏差に K_p を掛けた結果をアナログ信号に変換して、サーボバルブ電流信号としてサーボアンプに出力する。

(5) サーボアンプ

制御用コンピュータのアナログ出力は通常電圧信号なので、サーボアンプでサーボバルブへの電流信号に変換する。同時に、必要な電流を供給するための増幅器の働きもする。

また、サーボバルブが高速で応答するのに障害となる機械的な静止摩擦を防止するため、バルブを常時高速で微小振動させている。この為のディザと呼ばれる高周波数の正弦波信号がサーボアンプで付加される。

(6) 圧延機の圧下力

上下ロールをお互いに押しつけて行く(ロールギャップを閉めるという)と、上下ロールが接触して反力が発生する。この反力を圧下力と呼ぶ。圧下力が発生した状態は、油圧圧下装置から見ると負荷状態である。逆にロールギャップが開いた状態は無負荷状態で圧下力は発生しない。

本論文は一番簡単な圧延機使用条件である無負荷状態

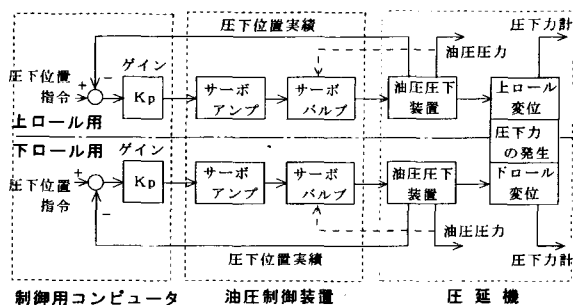


図2 圧下位置制御の構成

を取り扱っている。

(7) その他

図1の中のペンオシロとデータロガーは実験の記録装置である。ペンオシロは圧延機に関するアナログ信号を時間送りチャートに記録するオシログラフで、実験を確認するために使用する。

データレコーダはペンオシロに記録した信号と同じ信号をデジタル変換してカセットテープに記録するデータ収集装置(ロガー)で、実験データを研究室のコンピュータで再生・検討するために用いる。

3. 数式モデル

3.1 ブロック線図

先に述べた圧下位置制御をシミュレーション計算するためのブロック線図を図3に示す。図はロールギャップが開いた無負荷状態の上下ロールのうち片側ロールのみの圧下位置制御系を示し、各ブロックにおける入力及び出力の信号名とその単位を明記した。以下に要点を説明する。

(1) デジタル処理とアナログ処理

デジタル処理は制御用コンピュータによる計算部分で、実験装置では1[ms]の周期で計算されるので、シミュレーションも同一にする。

アナログ処理はアナログ計算装置による処理と実験装置の物理的動きの部分である。シミュレーション計算では十分短い周期で計算することによってアナログ処理を近似するので、ここでは計算周期を0.2[ms]とした。

(2) 偏差と比例ゲイン K_p

圧下位置指令[mm]と圧下位置実績[同]の差が偏差[同]で、偏差にゲイン K_p を掛けて電流信号[mA]を計算する。従って K_p の単位は[mA/mm]である。

K_p は実験装置で使われている値を用いて計算すればよいが、 K_p を正しく求めるのは簡単でないので、4章

で K_p の求め方を検討する。

(3) アナログ変換

デジタル処理の周期でデジタル信号をアナログ信号に変換するので、アナログ出力はその周期で変化する段階状の信号になる。なお、実験装置ではD/A変換器の出力は電圧信号[V]で、サーボアンプによって電流信号[mA]に変換されるが、シミュレーションでは簡単化のためアナログ出力の単位を[mA]にしている。

(4) サーボバルブ

サーボバルブへの入力である電流信号は制御弁の開度指令で、制御弁が開くと弁を通して作動油が流れる。作動油の流量[cm^3/s]がサーボバルブの出力である。これらの計算方法は次節で説明する。

(5) 油圧シリンダ

サーボバルブを通過する流量を積分すると、油圧シリンダに出入りした作動油の体積になり、これをシリンダ底面積で割るとラム変位になる。ラム変位が圧下位置に等しい。

(6) 圧下位置センサと圧下位置実績

圧下位置をセンサで検出したのが圧下位置実績であるが、シミュレーションでは両者は同一である。圧下位置センサの出力は制御用コンピュータの周期でサンプリングされてデジタル信号に変換される。

3.2 サーボバルブ

サーボバルブと油圧シリンダの油圧配管の詳細を図4に示す。サーボバルブの機能は弁制御特性と弁流量特性の組み合わせで表される。

(1) 弁制御特性

サーボバルブは電流信号(サーボ電流とも言う)の大きさに応じて、弁開度を高速に調整するように作られた制御弁である⁹⁾。電流信号+7.5~-7.5[mA]が、シリンダからの流出方向の弁の最大開度+100[%]~流入方向の最大開度-100[%]に対応する。

一番重要なのは弁開度の応答特性で、通常は2次遅れ

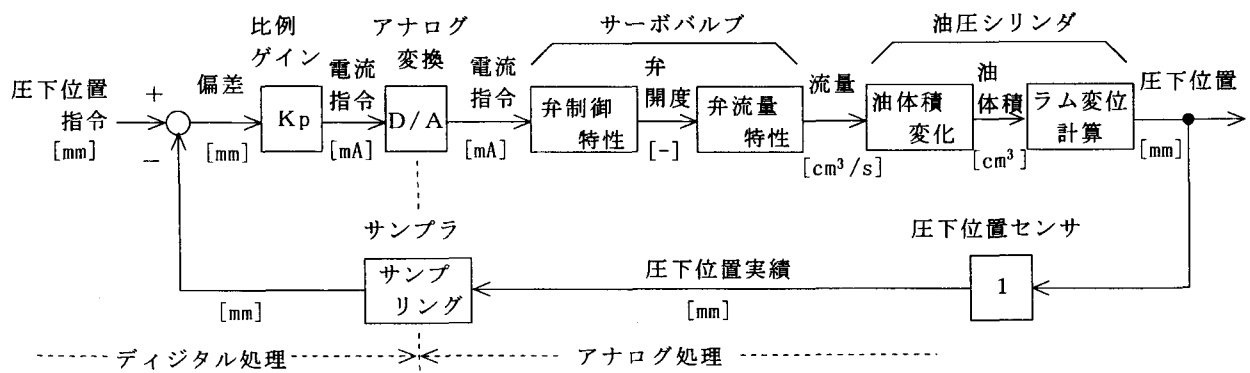


図3 圧下位置制御のブロック線図

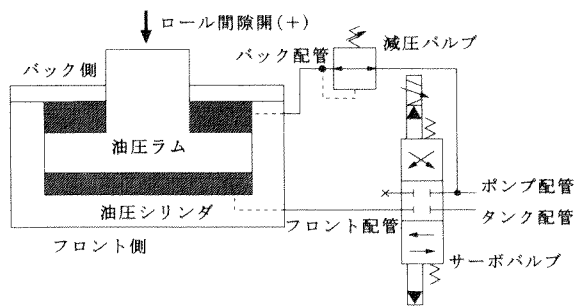


図4 油圧シリンダとサーボバルブの配管図

で表現される。従って弁開度特性は次の伝達関数 $G(s)$ で表される。

$$G(s) = \frac{A}{1 + (2\zeta s / \omega_n) + (s / \omega_n)^2} \quad (1)$$

但し、 A ：電流指令値と弁開度の変換係数 $[\text{mA}^{-1}]$ 、 s ：ラプラス変数、 ω_n ：固有振動数又は固有角周波数 $[\text{rad/s}]$ 、 ζ ：減衰係数である。実験装置に使用されているサーボバルブの値は、カタログより、 $\omega_n = 503 [\text{rad/s}]$ 、 $\zeta = 0.7$ であった。

(2) 弁流量特性

作動油はポンプ配管より供給され、タンク配管へ戻る。ロールギャップを閉める時（圧下位置マイナス方向）は油圧シリンダのフロント配管がサーボバルブによってポンプ配管につながれ、ロールギャップを開く時（同プラス）はフロント配管はタンク側につながれる。後者では油がシリンダより流出する為の圧力が不足するので、シリンダのバック側に低い圧力をかけている。

サーボバルブの弁の流量はオリフィス（穴）における流量と圧力差の関係式を用いて次のように表される。

①シリンダ流出時（ロールギャップ開方向、 $X > 0$ ）

$$Q = K_v \cdot X \sqrt{P_f + P_b' - P_r} \quad (2)$$

②シリンダ流入時（ロールギャップ閉方向、 $X < 0$ ）

$$Q = K_v \cdot X \sqrt{P_s - P_b' - P_r} \quad (3)$$

ただし、 $P_b' = P_b \cdot S_b / S$ 、 Q ：弁通過流量 $[\text{cm}^3/\text{s}]$ 、 K_v ：弁の流量係数 $[\text{cm}^4/\text{s}/\text{kgf}^{0.5}]$ 、 X ：弁開度 $[-]$ 、 P_b ：バック側油圧力 $[\text{kgf}/\text{cm}^2]$ 、 P_b' ： P_b によりフロント側が受ける圧力 $[\text{kgf}/\text{cm}^2]$ 、 P_f ：圧下力によるフロント側油圧力 $[\text{kgf}/\text{cm}^2]$ 、 P_r ：タンク側油圧力 $[\text{kgf}/\text{cm}^2]$ 、 P_s ：ポンプ側油圧力 $[\text{kgf}/\text{cm}^2]$ 、 S ：シリンダのフロント側受圧面積 $[\text{cm}^2]$ 、 S_b ：シリンダのバック側受圧面積 $[\text{cm}^2]$ である。

また実験装置の設計書とサーボバルブのカタログから読み取った値は次の通である。

$K_v = 8 [\text{cm}^4/\text{s}/\text{kgf}^{0.5}]$ 、 $P_b = 70 [\text{kgf}/\text{cm}^2]$ 、 $P_r = 0 [\text{同}]$ 、 $P_s = 150 [\text{同}]$ 、 $S = 167.8 [\text{cm}^2]$ 、 $S_b = 36 [\text{同}]$

3.3 フローチャート

図3のブロック線図を数式モデルに基づいてシミュレートするための処理フローを図5に示し、以下に要点を説明する。

(1) 初期設定

計算で使うパラメータや、圧下位置指令の関数などを設定する。また、変数の値を時系列計算開始時の値（初期値）に設定する。特に、積分要素の初期値に注意する。（通常は初期値はゼロ）

(2) 時系列計算

「時系列開始」以後はシミュレーション上の時刻 t におけるシステムの変化を Δt 毎に計算する。いわゆる動的計算である。設定した計算終了時刻に t が達する迄、 t を Δt ずつ増加させて計算を繰り返す。

Δt はアナログ処理の時間刻みで、ディジタル処理の部分は n 回に1回計算する。すなわち、 $n \Delta t$ がディジタル処理の周期である。

(3) 弁制御特性（2次遅れ）

2次遅れは（1）式の伝達関数に基づいた計算であるが、文献⁵⁾も多いので詳細は省略する。

(4) プログラム言語

プログラム言語は数式が計算しやすいことが望ましい。本シミュレーションではC言語を用いた。

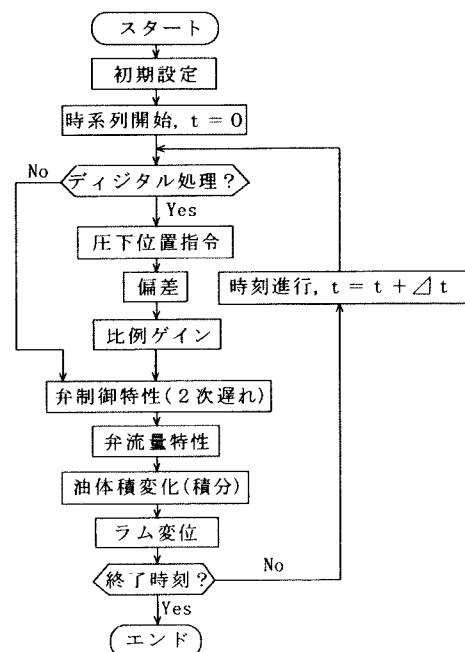


図5 計算のフローチャート

4. 実験データとシミュレーション

シミュレーションで一番重要なことは計算結果がその対象の実測データと良く合うかどうかであり、そのため数式モデルのパラメータの値を正しく設定することが大切である。今回の圧下位置制御では、位置制御の比例ゲイン K_p とサーボバルブの流量係数 K_v の値の確定が困難であった。これを決定するための実験とそのデータの検討について説明する。

4.1 実験

(1) 実験方法

実験用圧延機のロールギャップを開いた無負荷状態で、図3の圧下位置制御の圧下位置指令をステップ波形にする。いわゆるステップ応答であり、ステップ波形の振幅は1[mm]である。

実験データを図1のデータロガーに記録（サンプリング周波数200 [Hz]）し、研究室のパソコンに記録データを読み込んでステップ応答の一部を再現したグラフを図6に示す。

(2) 比例ゲイン K_p の同定

比例ゲイン K_p は、図2に示したように制御用コンピュータのプログラムの設定を見れば、その値が分かるはずである。しかし次の理由から実際は簡単でない。すなわち、通常制御用プログラムは実行用オブジェクトコード（機械語）になっており、制御に使われるメモリのデータは数値計算向きの2進数表示などが使われている。また単位変換のための係数がかかっていることも多い。そこで、実験データに基づいて K_p の値を決定（同定と言う）する必要がある。

まず、制御用コンピュータの出力を切り離し、オープンループにして K_p を同定した。すなわち、圧下位置指

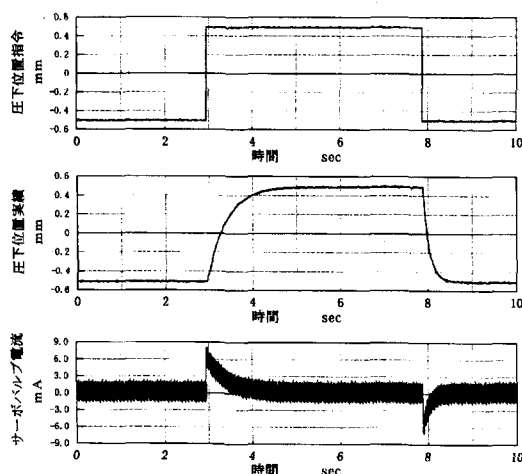


図6 圧下位置制御の実測データ

令値を変えて電流指令出力を測定して K_p を逆算した。その結果、 $K_p=6.2$ [mA/mm] であった。しかし、完成している制御系をオープンループするのは簡単ではなく、対象によってはできない場合もある。

そこで、オープンループにしないで、図6の実測データから K_p を同定する方法を検討した。図6の圧下位置指令と圧下位置実績の（図示しない）偏差に K_p を掛けた結果がサーボバルブ電流なので、 K_p はサーボバルブ電流/偏差である。しかし、図6を見て分かるように実測データにはノイズが多く含まれており、特にサーボバルブ電流に加算されている前述のディザ信号が計算の誤差になる。そこで、圧下位置指令がステップ状に変化してから圧下位置実績がほぼ安定するまでの平均値を次式のように計算して、 K_p を求めた。

$$K_p = \int i_{sv}(t)dt / \int e(t)dt \quad (4)$$

但し、 $i_{sv}(t)$ ：サーボバルブ電流、 $e(t)$ ：偏差である。

このようにして計算した K_p の値はオープンループテストの結果と同じであった。すなわち、(4) 式の方法で K_p を精度よく同定できることが分かった。

4.2 実験と計算の比較

先に述べた圧下位置制御の定数を用いて図6のステップ応答をシミュレートし、実機の測定データと比較した結果を図7に示す。図7の上段に図6の圧下位置実績と同じ測定データを示し、中段が計算結果、下段が両者の差（実機－計算）である。図より差が最大で振幅の15%に達しており、数式モデルの定数の調整が必要であると言える。

定数の中で決定が一番難しいのはサーボバルブの流量係数 K_v である。先の K_v の値はサーボバルブのカタログから読みとったが、カタログデータはいわば設計値であり、実機とは必ずしも一致しないと考えられる。オリフィスにおける流量特性はオリフィスの微妙な形状や流体の種類などの影響を受けやすいので、 K_v を正確に決めるためには実物のサーボバルブを用いた実験が必要である。しかし、この実験は圧延機にサーボバルブを取り付けたままでは不可能に近く、またメーカー出荷時にもサーボバルブ個々の測定は行われていない。

以上のことから、 K_v を調整の変数と考え、ステップ応答の計算結果が実機データと合うように K_v の値を変更した。その結果を図8に示すが、実機データは図7と同じなので省略している。図を見ると、差の最大値は振幅の4%程度になり、シミュレーションの精度が十分良くなったと言える。このとき $K_v=11.2$ [cm³/s/kgf^{0.5}]

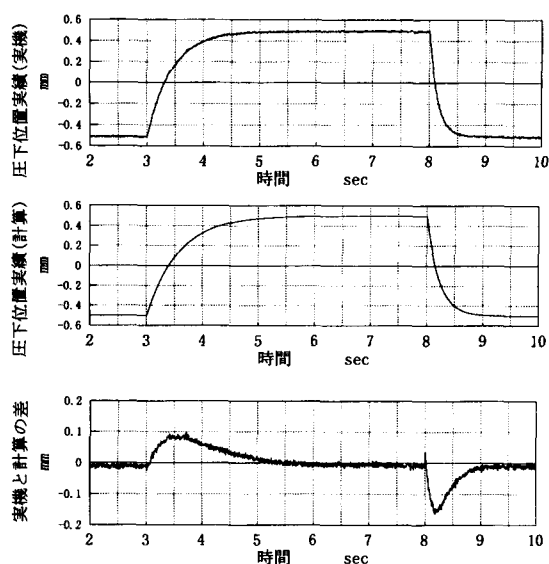


図7 実験データと計算の結果の比較1

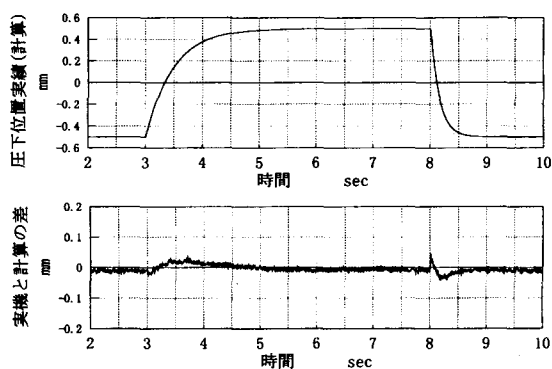


図8 実験データと計算結果の比較2

であった。調整の前は $K_v=8.0$ [同] であったので、調整により K_v を1.4倍したことになるが、前述のように設計値通りに実機を作ることが難しい K_v の値としては妥当であると判断される。

4.3 結果

圧下位置制御の無負荷時ステップ応答のシミュレーション結果である図8を見ると次のことが分かる。

①シミュレーション結果と実機データは良く合っており、このシミュレーションを用いて圧下位置制御のいろいろな検討が出来るようになったと言える。また結果から見て、未知であった係数 K_p と K_v の同定方法はここで述べた方法が有効であると判断できる。

②計算と実機の差がステップ応答の立ち上がり時と立ち下がり時のどちらも同じように小さいことから、このモデルが非線形の特性格もよくシミュレートしていることが分かる。

すなわち、圧下位置制御のサーボバルブは非線形要素である。つまりサーボバルブの式(2)、(3)式が非線形であり、また油圧シリンダへの作動油の流入時と流出時とで作用圧力が大きく異なる。流入時はポンプ圧力、流出時はシリンダのバック側圧力が圧力源になる。この非線形性はステップ応答の立ち上がり時と立ち下がり時の応答時間の差によく現れている。

5. あとがき

実験用圧延機の圧下位置制御を対象に、シミュレーションモデルの作成方法、数式モデルの係数の決定方法および実機データを用いたモデルの調整方法について検討した。特に圧下位置制御の比例ゲイン K_p とサーボバルブの流量係数 K_v を実機データに基づいて同定する方法を示した。

その結果、モデルは圧下位置制御の無負荷時ステップ応答を十分精度良くシミュレートすることができ、圧下位置制御の非線形性による応答も実機データと良く合うことが確認できた。

今後このシミュレーションモデルを用いて実機の圧下位置制御を検討することが可能になった。なお、本報告のモデルはロールギャップが開いた無負荷時の計算であるが、上下ロールを接触させた負荷時のシミュレーションにもそのまま使用することが出来る。すなわち、図2において「圧下力の発生」のブロックの数式モデルを追加すればよい。

参考文献

- 1) 薦田憲久、大川剛直：「システムのモデリングとシミュレーション」、計測自動制御学会 (1995-3)
- 2) 近藤勝也、上田一郎、岡本真明、杉山治「大出力・高速応答の油圧モータサーボ制御の検討」、システム制御情報学会論文誌、Vol.9、No.12 (1996-12)、pp.589~597
- 3) 今井一郎：「冷間圧延によるオフゲージの減少と板厚精度の向上」、鉄と鋼、第67年 (1981)、第15号、pp.2303~2315
- 4) 松崎淳、一柳健：「電子-油圧制御」、日刊工業新聞社 (1993-11)
- 5) 高橋安人：「コンピュータによるダイナミックシステム論」、科学技術社 (1970-11)

FPGA を用いた LSI チップ作成の一試み

世 古 忠

An Implementation of LSI Chips using FPGA

Tadashi Seko

In this paper, we design a calculator chip and a content addressable memory chip (CAM), then implement both chips using Xilinx XC4003A FPGA. In designing the chips, we use high level logic synthesis system PARTHENON developed by NTT and XACT STEP Cad system by Xilinx. As a result, the calculator chip used 100 CLBs and 220 LUTs and the CAM chip used 2477 digital modules. We run those chips on the test board and observe that both chips operate correctly. This is the first step to develop an educational chip for computer architecture ducation.

1 まえがき

コンピュータサイエンスを教育する情報系学科の専門教育において、コンパイラやOSなどのソフトウェアと、計算機アーキテクチャや論理回路設計などのハードウェアとが、密接なつながりをもっており、これらを一貫して扱う実践的な教育の重要性が指摘されている[1, 2]。近年、集積度の向上が著しいFPGA(Field Programmable Gate Array)は、書き換え可能なゲートアレイであり、従来のPLDと比べて、集積度が高く、最近では10万ゲート規模の大規模LSIが実現可能になってきた。FPGAは書き換え可能であるため、LSI回路の試作や、教育への適用が試みられている[3, 4, 5]。最近、大規模LSIの開発においては、ハードウェア記述言語を用いて回路を記述する方式が標準になり、大規模回路でも従来に比べて、短期間で実現できるようになってきた。そこで、本稿では、FPGAの計算機教育への適用の可能性をさぐるため、2種類のチップをそれぞれ、ハードウェア記述言語及び回路図入力の方法により試作したので、これらの事例について報告する。

2 開発の流れ

図1にFPGAを用いたLSI開発の流れ図を示す。

図1に示すように、FPGAで実現すべき回路の機能を、ハードウェア記述言語または回路図入力用のエディ

タを用いて記述する。次に、記述された回路の機能を、シミュレータを用いて検証した後、ハードウェア記述言語を用いる場合には、論理合成および最適化処理を行い、機能レベルの記述を、ゲートレベルの回路記述(ネットリスト)に変換する。次に、求められたゲートレベルの論理回路を、FPGA内部の論理ブロックに写像するために、配置と配線処理を行い、構成情報を得る。この構成情報をFPGA内部へロードすることによって、FPGAは、設計した回路の動作を行う。

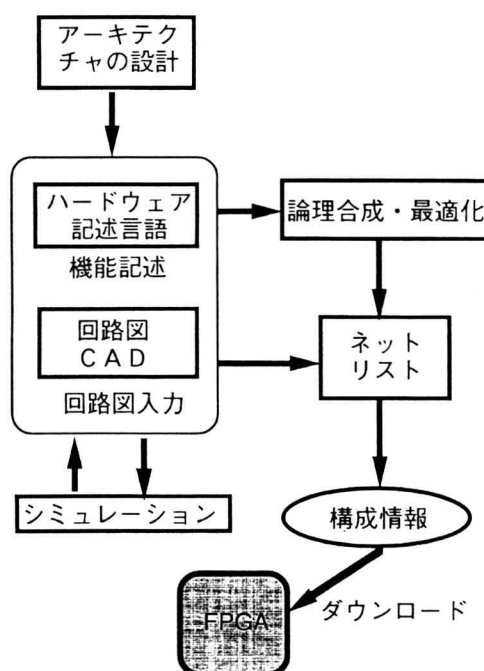


図1 FPGAを用いたLSI開発の流れ図

3 LSI の仕様

今回試作したカリキュレータと連想記憶プロセッサの LSI チップの仕様を以下に示す。

3.1 カリキュレータの仕様

図2に設計したカリキュレータチップのアーキテクチャを示す。

このチップは、4ビットの加減乗算、論理演算を行う。外部のスイッチからデータと命令を入力して、演算結果をLEDで確認する。内部回路はデコーダ部、ALU、レジスタ、スタック、7セグメントデコーダ部から構成されている。ALUは4ビットの加減、論理演算、および乗算を実行する。アーキテクチャとして、アキュムレータ方式の1パス方式を用いているが、内部には1個のスタックを持ち、データの保持および内部レジスタとスタックとの間の演算ができるようにしている。表1に設計したチップの命令表セットを示す。

乗算アルゴリズム

乗算回路は次に示す Booth のアルゴリズムに基づいて実現した。ここで、符号付きの2数を $A = (A_{n-1}$

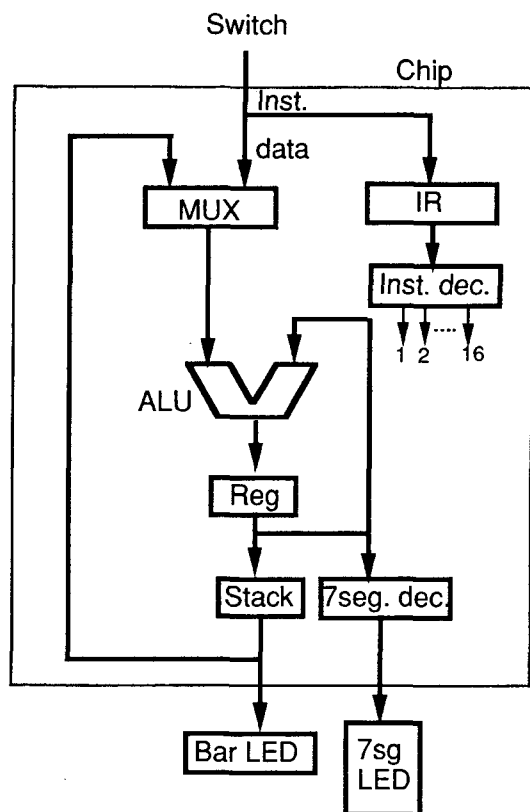


図2 カリキュレータのアーキテクチャ

表1 命令表

コード	記号	機能
000****	ADD reg, data	$reg \leftarrow (reg) + data$
001****	AND reg, data	$reg \leftarrow (reg) \& data$
010****	OR reg, data	$reg \leftarrow (reg) data$
011****	XOR reg, data	$reg \leftarrow (reg) \oplus data$
100****	SUB reg, data	$reg \leftarrow (reg) - data$
110****	LOAD reg, data	$reg \leftarrow data$
1010-	RST reg, data	$reg \leftarrow \#0000$
111000-	MLT reg, stack	$tmp \leftarrow (reg) \times stack[sp]$
111001-	ADDS reg, stack	$reg \leftarrow (reg) + stack[sp]$
111010-	ORD reg, stack	$reg \leftarrow stack[sp]$
111011-	XORS reg, stack	$reg \leftarrow \oplus stack[sp]$
111100-	SUBS reg, stack	$reg \leftarrow (reg) - stack[sp]$
111101-	PUSH reg	$stack[sp] \leftarrow (reg),$ $sp \leftarrow (sp) + 1$
111110-	POP reg	$sp \leftarrow (sp) - 1,$ $reg \leftarrow stack[sp]$

$A_{n-2} \dots A_0$), $B = (B_{n-1} B_{n-2} \dots B_0)$ とする。

1. Aに0を代入する。

2.

(a) $B_{i-1} = B_i$ のとき

Aの値を1ビット右シフトする。

(b) $B_{i-1} = 0, B_i = 1$ のとき

Aの2の補数を取り、nビット左へシフトし、Aに加算する。その後、Aを1ビット右シフトする。

(c) $B_{i-1} = 1, B_i = 0$ のとき

Aをnビット左シフトし、Aに加算する。その後、Aの値を1ビット右シフトする。

以上のアルゴリズムは、C言語と類似した、ハードウェア記述言語 SFL を用いて記述する。このため、ハードウェアの設計をプログラミングと同様に行うことができる。

3.2 連想記憶型プロセッサ

次に、連想記憶型プロセッサ[9]を設計した。図3

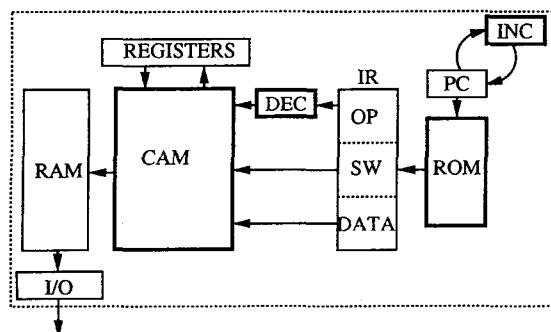


図3 連想記憶プロセッサのブロック図

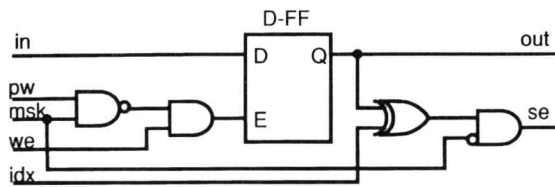


図4 1ビット連想記憶回路

にアーキテクチャのブロック図を示す。

ここで実現している命令は、一致探索、並列書込、並列読み出し、などの機能を持ち、かつレスポンスレジスタの前の値との論理演算も実現している。また、図4に示すように、メモリの各ビットに対して、演算機能を持たせている。

4 試作結果

図5、図6の開発環境を用いて、3.で示したLSIチップをそれぞれ試作した。

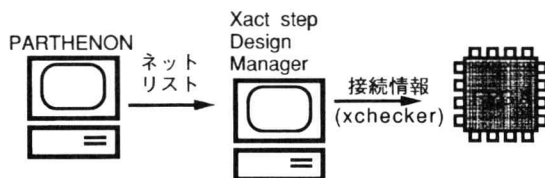


図5 PARTHENONを用いた開発環境

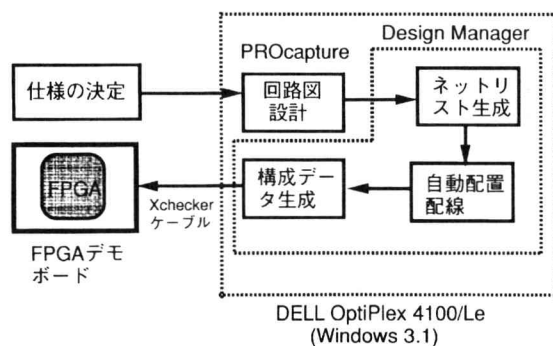


図6 F P G Aの開発環境

図5の開発環境では、はじめに、SUN SPARC ワークステーション上のパルテノン[6]を用いて、カリキュレータの記述を論理合成し、ゲートレベルのネットリストを得る。これより、DELL社のパソコン上の、CADシステムXACT STEP[7]を用いて、配置・配線を行い、構成情報を得る。図6は、パソコン上での回路図入

力によるFPGAの開発環境を示す。試作に当って、Xilinx社のFPGAであるXC4003A[8]を用いた。以下では、試作結果について述べる。

4.1 試作結果1

パルテノンを用いてカリキュレータを論理合成した結果、ゲート数、消費電力、面積、最大遅延時間はそれぞれ1615ゲート、 $4872.9\mu\text{W}/\text{MHz}$ 、 $1317.89\mu\text{m}^2$ 、 1.43ns であった。図6のシステムを用いて配置、配線処理を行った結果、FPGAの使用論理ブロック数、LUT数、フリップフロップ数は、それぞれ100、220、74個であった。配置、配線処理のために27分要した。動作周波数は、5 Hz から 8 MHz で正常動作を確認した。

4.2 試作結果2

図6のシステムを用いて、連想記憶プロセッサの回路図を入力して配置、配線処理を行った。実現した連想記憶部の容量は、8 bits×8 wordsであった。使用したCLB、LUT、FF、I/Oピンの数はそれぞれ、98、149、54、28個であった。なお、使用したデジタルモジュール数は2477個であり配置、配線処理には21分要した。また、図7に示すFPGAデモボードを用いて試作チップの動作確認を行った。

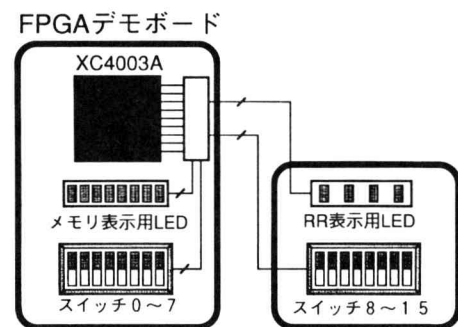


図7 F P G Aデモボード

5 まとめ

今回の試作によってハードウェア記述言語で記述した回路を論理合成し、FPGAで実現することが可能になった。最終的に得られたカリキュレータ・チップは約1600ゲート規模のものであったが、この他に命令セットが異なるものも、いくつか実現した。これらは、プログラムの変更の作業だけで、短期間に実現できた。これに対して、連想記憶型プロセッサの事例では、回路図レベルで人間の手で回路の最適化処理を行ったため非常にコンパ

クトな回路が設計できた。

なお、今回用いたFPGAの集積度は、比較的小規模のものであったため、アーキテクチャが簡単なものとなったが、今後はさらに大規模の集積度をもつFPGAを用いてCPUを作成し学生実験などにおいて適用する予定である。

謝辞：本研究に当ってパルテノンを提供頂いたNTT(株)コミュニケーション科学研究所の諸氏、Xilinxへのネットリスト変換パッケージを使用させて頂いた、豊田高専仲野巧氏に深謝します。最後に、卒業研究でお手伝い頂いた、住永敏彦、米田伸吾の両君に御礼申し上げます。

参考文献

- [1] 神原弘之, 安浦寛人, “計算機教育用マイクロコンピュータ KUE-CHIP の開発とその応用-集積回路技術を利用した情報工学実験-”, 情報処理, Vol.33,no.2,pp.118-127,1992.
- [2] 天野英晴, 西村克信, “計算機入門教育におけるパルテノンの利用”, 第7回パルテノン研究会資料集, 1995.
- [3] 身次茂, “FPGA の現状と将来”, 情報処理, Vol.35,no.6,pp.505-510,1994.
- [4] 末吉敏則, “教育へのFPGAの適用”, 情報処理, vol.35,no.6,pp.519-529,1994.
- [5] Hiroyuki,Ochi, “ASA ver.1: An FPGA-Based Education Board for Computer Architecture/System Design”, Proc. of the ASP-DAC'97, pp.157-165,1997.
- [6] NTTデータ通信株式会社, “PARTHENON User's Manual”, NTTデータ通信株式会社, 1990.
- [7] Xilinx,Inc., “Viewlogic Tutorials”, 1994.
- [8] Xilinx,Inc., “XACT Hardware and Peripherals Guide”, 1994.
- [9] 世古, 菊野, “機能記述言語による連想記憶プロセッサの設計と実現”, 第4回パルテノン研究会資料, pp.5-10,1994.

AN ALGORITHM FOR GENERATING MAXIMUM WEIGHT INDEPENDENT SETS IN A CIRCLE GRAPH

Masakuni TAKI and Toshinobu KASHIWAHARA*

In this paper we propose an algorithm for generating maximum weight independent sets in a circle graph, that is, for outputting every maximum weight independent set without duplication. The time complexity is $O(n^3 + \beta)$, where n is the number of vertices, β output size, i.e., the sum of the cardinalities of the output sets. It is shown that the same approach can be applied for graphs and circular-arc overlap graphs.

1 Introduction

An independent set of a graph is a subset of vertices no two of which are adjacent. An independent set is called maximal if it is contained in no other independent set. An independent set with maximum cardinality is called a maximum independent set. For a vertex-weighted graph, a maximum weight independent set (abbrev. MWIS) is an independent set which has the maximum weight among all independent sets. Generation of a certain family of sets is to output all the sets in the family one by one without duplication.

A circle graph is an intersection graph defined on a set of chords in a circle; there exists an edge between two vertices iff their corresponding chords intersect. The circle graphs were introduced by Even and Itai in [1], and since then, many problems have been studied on them. Problems of maximum independent set, maximum clique, Hamiltonian circuit, and recognition can be solved in polynomial time for circle graphs [9,4]. On the other hand, it is known that coloring and domination problems on circle graphs are NP-complete [9,5].

Generation algorithms have been investigated for many years; cycle generation, cutset generation, maximal independent set generation, clique generation, etc. For maximal independent set generation of arbitrary graphs, the fastest algorithm to date takes $O(nm\alpha)$ time, where n is the cardinality of the vertex set, m the cardinality of the edge set, and α the number of maximal independent sets generated. For particular graphs, much more efficient algorithms are known. Generation of maximal independent sets of an interval graph, of a circular-arc graph, and of a chordal graph can be done in time $O(n^2 + \beta)$, $O(n^2 + \beta)$, $O((n+m)\alpha)$, respectively, where n , m and α are the same as that mentioned above and β is the sum of the cardinalities of the maximal independent sets, i.e., the output size [7]. The former two algorithms run in time $O(\text{polynomial of input size} + \text{output size})$. As any generation algorithm takes $\Omega(\beta)$ time, such algorithms are, in a sense, optimal. We call such algorithms as pseudo-linear or output-sensitive.

In this paper we propose an $O(n^3 + \beta)$ time algorithm to generate MWIS's of a circle graph with positive vertex weights (given the model). Spider graphs and circular-arc overlap graphs are super classes of circle graphs. We show that output-sensitive generation algorithms for MWIS's of these graphs can be obtained in a similar way.

* Osaka University

2 Preliminaries

For a graph G with vertex weight attached to every vertex, the weight of a vertex set is defined to be the sum of weights of vertices in the set.

For a family F of sets, a graph G is called the intersection graph with (or of or on) model F if there exists a one-to-one correspondence between the vertex set of G and the family F such that two vertices are adjacent iff the corresponding sets have non empty intersection. Similarly, for a family F of sets, a graph G is called the overlap graph of F if there exists a one-to-one correspondence between the vertex set and the family F such that two vertices are adjacent iff the corresponding sets overlap, i.e., have non empty intersection and none contains the other.

An intersection graph of a family of chords in a circle is called a circle graph.

An intersection graph of a family of intervals on the real line (i.e., an interval intersection graph, so to say) is called an interval graph. Similarly, an overlap graph of a family of intervals on the real line is simply called an overlap graph. It is known that circle graphs are equivalent to overlap graphs [2]. It is shown in [2] that the size of a maximum independent set of an overlap graph is equal to the weight of an MWIS of an interval graph defined on the same interval model, with suitably defined vertex weight. Utilizing this fact, an MWIS of a circle graph, given its circle model, can be obtained by using an MWIS algorithm for interval graphs.

For a graph G , $V(G)$ denotes the set of vertices of G and $E(G)$ the set of edges. We call a digraph an st -dag (directed acyclic graph) if it is acyclic and has only one source s and only one sink t , where a source is a vertex with no incoming edges and a sink with no outgoing edges. An st -path is a directed path starting from s and ending at t . For an st -dag D , let $\mathcal{P}(D)$ denotes the set of st -paths on D , and let $\mathcal{S} = \{the\ set\ of\ vertices\ on\ P - \{s, t\} \mid P \in \mathcal{P}(D)\}$. Note that $\mathcal{S}(D)$ can be generated efficiently by usual backtracking method, in time proportional to the output size. We call D the diagram for $\mathcal{S}(D)$. With diagram D at hand, generation of $\mathcal{S}(D)$ is quite easy. It is shown in [8] that, for an interval graph G , there exists a diagram for MWIS's of G , and such a diagram can be obtained in $O(n^2)$ time, where n is the cardinality of $V(G)$. In what follows, every diagram we describe are that for MWIS's of some interval graph (say H). Thus we call such a diagram simply a diagram for H (omitting the family of sets it represents).

3 Generation of maximum weight independent sets of a circle graph.

As is started before, a circle graph is an overlap graph. Given a circle model for the circle graph, an interval model for the corresponding overlap graph can be obtained efficiently [2]. In the following we are concerned with many interval models, so we will use the term overlap graph rather than circle graph.

In this section, we are given an overlap graph G with positive vertex weight $wt(\cdot)$ and its interval model $\mathcal{I}$. We assume that all the end points of intervals are distinct. For convenience, we use "vertices" and the corresponding "intervals" interchangeably. The interval corresponding to vertex v will be called interval v . The same applies for interval graphs.

For a vertex v , let

$$cover(v) \stackrel{def}{=} \{u \in V(G) \mid \text{interval } u \text{ is contained in interval } v, u \neq v\}.$$

Let G_v denote the graph obtained from G by deleting vertices other than $cover(v)$. Let $wt'(v)$ be a new weight of v defined as follows:

$$wt'(v) \stackrel{def}{=} wt(v) + \text{the weight of an MWIS of } G_v.$$

Thus there are two kinds of weights, and MWIS's for these two weights will be considered in the following. To

avoid confusion, MWIS with respect to weight $wt'(\cdot)$ is denoted by $MWIS(wt')$; $MWIS$ for $wt(\cdot)$ is simply denoted by $MWIS$ as before. Let $\tilde{G}$ be the intersection graph (interval graph) defined on the same interval model $\mathcal{I}$. For an independent set Q of G , the top layer set of Q is defined to be the set $\{v \in Q \mid \text{no interval } x \text{ in } I_Q \text{ properly contains interval } v\}$, where I_Q is the set of intervals corresponding to vertices in Q . Then we have the following two trivial lemmas.

Lemma 1 Suppose $\{v_1, v_2, \dots, v_k\}$ be an independent set of $\tilde{G}$. Then, $\{v_1, v_2, \dots, v_k\} \cup \bigcup_{i=1}^k (an\ MWIS\ of\ G_{v_i})$ is an independent set of G whose weight (with respect to $wt(\cdot)$) is $\sum_{i=1}^k wt'(v_i)$.

Lemma 2 The weight of an independent set Q of G (with respect to $wt(\cdot)$) does not exceed the sum of the weight $wt'(\cdot)$ of vertices in the top-layer set of Q .

By these lemmas, we have the following theorems. The proofs are straight-forward and so omitted. Unweighted version of Theorem 1 is in [8].

Theorem 1 Suppose that $\{v_1, v_2, \dots, v_k\}$ is an $MWIS(wt')$ of $\tilde{G}$. Then, $\{v_1, v_2, \dots, v_k\} \cup \bigcup_{i=1}^k (an\ MWIS\ of\ G_{v_i})$ is an $MWIS$ of G .

Theorem 2 Let Q be any $MWIS$ of G , and let A be the top-layer set of Q . Then A is an $MWIS(wt')$ of $\tilde{G}$, and, for any v in A , $Q \cap G_v$ is an $MWIS$ of G_v .

Theorem 3 For two distinct $MWIS(wt')$'s X and Y of $\tilde{G}$, where $X = \{x_1, x_2, \dots, x_k\}$ and $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_k\}$, $X \cup \bigcup_{i=1}^k (an\ MWIS\ of\ G_{x_i}) \neq Y \cup \bigcup_{i=1}^k (an\ MWIS\ of\ G_{y_i})$.

Proof: Trivial

Let D be the diagram for $\tilde{G}$ (with respect to $wt'(\cdot)$). Similarly, let D_v be the diagram for $\tilde{G}_v$ (with respect to $wt'(\cdot)$), where $\tilde{G}_v$ is the intersection graph (interval graph) defined on the same interval model as G_v .

Generally, for an induced subgraph H of G , let $\tilde{H}$ denote the intersection graph (interval graph) defined on the same set of intervals that H has as its model. For a set X of vertices, let H_X denote the induced subgraph of H defined on the set $\{v \in V \mid \text{some interval in } X \text{ contains interval } v\}$.

From these theorems we have the following algorithm.

Procedure $M(H, S)$

if $H = \emptyset$ then output S .

else

for each $MWIS(wt')$ X of $\tilde{H}$

$M(H_X, S \cup X)$

$M(G, \emptyset)$ generates the desired output.

For efficient implementation of the algorithm, there are a few points to be noted. Suppose that graph H is the disjoint union of graphs $H_1, H_2, \dots, H_k$. Then, obviously an $MWIS(wt')$ of H is the union of $MWIS(wt')$'s of $H_i, i = 1, 2, \dots, k$, and, vice versa. Thus, if we have $MWIS(wt')$ -generation algorithms of $H_i, i = 1, 2, \dots, k$, $MWIS(wt')$'s of H can be generated in an obvious way. In the procedure, $MWIS(wt')$'s of $\tilde{H}$ can be generated efficiently, because $\tilde{H}$ is the disjoint union of interval graphs. For each $v \in V$, diagram D_v for $\tilde{G}_v$ is constructed in the preprocessing phase. Thus, the time needed to generate all $MWIS$'s of G is $O(\beta)$ where β is the output size, except for

preprocessing phase (i.e., construction of D_v 's). To construct D and D_v 's, $O(n^3)$ time suffices [8]. The overall time complexity is $O(n^3 + \beta)$, space complexity is $O(n^3)$.

4 For spider graphs and circular-arc overlap graphs

In this section, a multichord in a circle is an arbitrary connected figure in a circle with more than one touching point to the enclosing circle. Thus a chord is also a multichord. We assume that unnecessary intersection of multichord has been eliminated: two multichords intersect iff their touching points interleave (as in a circle graph). A spider graph is the intersection graph of such multichords in a circle.

A circular-arc overlap graph is an overlap graph of arcs on a circle. Without loss of generality, we assume that no arc covers the whole circle. Spider graphs and circular-arc overlap graphs are super classes of circle graphs. MWIS generation algorithm for circle graphs described so far can be utilized to obtain output-sensitive MWIS generation algorithms for spider graphs and circular-arc overlap graphs. We assume the graphs are given with the corresponding models. Algorithm $M(G, \emptyset)$ can be thought of to be an MWIS generation algorithm for a circular-arc overlap graph, with a slight modification: MWIS (wt') generation of $\tilde{G}$ (in the 8 for each 8 loop for $\tilde{G}$) is done by the MWIS-generation algorithm for circular-arc graphs rather than for interval graphs [8]. The resulting algorithm is clearly output-sensitive.

For a spider graph, cut the circle model and unroll to obtain a linear model as in usual circle-graph-model to overlap-graph-model conversion [2]. Note that a multichord v becomes an interval which may contain several "inner points" resulting from touching points in the original model. Then, consider $\tilde{H}$ to be the interval graph on the intervals, and for a set of vertices X , H_X to be the induced subgraph of G on the vertex set $\{v \in V \mid X \text{ has } x \text{ such that interval } x \text{ contains interval } v \text{ and interval } v \text{ does not contain any "inner points" of interval } x\}$. By this modification, algorithm $M(G, \emptyset)$ certainly generates MWIS's of the spider graph G . The running time is obviously output-sensitive.

5 Conclusions

In this paper we have given an output-sensitive generation algorithm for MWIS's of a circle graph. We have also shown that the same approach can be applied to obtain output-sensitive generation algorithms for MWIS's of a spider graph and of a circular-arc overlap graph.

No output-sensitive generation algorithm have been obtained so far for maximal independent sets of a circle graph and of a chordal graph. These problems deserve further study.

References

- [1] S.Even and A.Itai, "Queues, stacks and graphs", *Theory of Machines and Computations*, A.Kohavi and A.Paz eds. Academic Press, New York, 1971, pp.71–86.
- [2] F.Gavril, "Algorithms for a Maximum Clique and a Maximum Independent Set of a Circle graph", *Networks*, 3, 261–273, 1973.
- [3] A.Apostolico, M.J.Atallah and S.E.Hambrusch, "New clique and independent set algorithms for circle graph", *Discrete Applied Math.* 36, 1–24, 1992.
- [4] Jeremy Spinrad, "Recognition of circle graphs", *J.Algorithms* 16, 264–282, 1994.
- [5] J.Mark Keil, "The complexity of domination problems in circle graphs", *Discrete Applied Math.* 42, 51–63,

1993.

- [6] Ju Yuan Hsiao and Chuan Yi Tang, "An efficient algorithm for finding a maximum weight 2-independent set on interval graphs" , *Inform. Process.Lett.* 43,229–235,1992.
- [7] Joseph Y.-T.Leung, "Fast algorithm for generating all maximal independent sets of interval, circular-arc chordal graphs" , *J.Algorithms* 5,22–35,1984.
- [8] Y.D.Liang,S.K.Dhall and S.Lakshmivarahan, "On the problem of finding all maximum weight independent sets in interval and circular-arc graphs" , *1991 Symposium on Applied Computing*, 465–470,xvi+487,1991, IEEE Comput. Soc.Press,Los Alamitos,CA,USA.
- [9] D.S.Johnson, "The NP-completeness column: an ongoing guide" , *J.Algorithms* 6,434–451,1985.
- [10] M.C.Golumbic, "Algorithmic Graph Theory and Perfect Graphs" , Academic Press,New York,1980.

ASIP 設計のための演算器とレジスタ数の最適化手法

本 間 啓 道

Functional Units and Register Count Optimization Method for ASIP Design

Yoshimichi HONMA

This paper proposes an ASIP (Application Specific Integrated Processor) design optimization method which takes into account functional units (FU's) and register count simultaneously. The proposed method finds an optimum configuration of FU's and register count that minimizes the execution cycles of an application program under the constraint of allowable hardware cost. According to the experimental results, the proposed method was found to be effective and much more efficient than a conventional optimization method.

1 はじめに

近年の半導体集積度の向上に伴い、ASIP (Application Specific Integrated Processor) の規模が大きくなり、設計期間が長期化する傾向がある。ASIP の設計期間を短縮し、ハードウェアとソフトウェアのバランスがとれたシステムを設計するためには、協調設計が必要である。協調設計の目的は、ハードウェアとソフトウェアの最適な機能分割と、設計期間の短縮である。著者らは、ASIP 開発のための協調設計システム PEAS (Practical Environment for ASIP Development) を提案し、PEAS-I システムを試作してきた [1]。

PEAS-I ではこれまで、命令セットの最適化を行うために IMSP (Instruction set implementation Method Selection Problem) [2] - [4] を組み合わせた最適化問題として定式化し、これらの最適化問題を解くことによって命令セットを決定してきた。これまでの PEAS-I システムでは、最適なレジスタ数を自動的に決定する手段を持っていなかったため、レジスタ数はユーザによって指定されていた。しかし、ハードウェアコストに制約がある場合、レジスタ数と命令セットの間には応用プログラムの実行サイクル数に関してトレードオフが存在する。

本稿ではレジスタの個数と命令セットを同時に最適化するアルゴリズムを提案し、実験によってその有効性を確認した結果について報告する。

2 PEAS-I システム

2. 1 概要

PEAS-I システムは、C 言語で記述された応用プログラムとデータを入力し、応用プログラムの実行サイクル数、CPU コアのゲート数、消費電力のうちの 2 つを設計制約条件とし残りの 1 つを目的関数として最適化された CPU コアを自動設計すると共に、その CPU コアのための C コンパイラ、シミュレータ等の応用プログラム開発ツールを自動生成するシステムである [1]。

設計された CPU コアは HDL 記述で生成され、論理合成を行うことでネットリストに変換される。また、C コンパイラは、GNU C コンパイラ [5] を利用して自動生成される。

2. 2 CPU コアのアーキテクチャ

図 1 に PEAS-I で生成される CPU コアのデータパス部を示す。PEAS-I で生成される CPU コアは以下の特徴を持つ。

- ・ 32ビットのハーバード・アーキテクチャ
- ・ ロード/ストア・アーキテクチャ
- ・ 3 アドレスの汎用レジスタ方式
- ・ GCC の RTL¹⁾に対応した命令セット
- ・ パイプライン制御

2. 3 IMSP による命令セットの最適化

CPU コアの持つ演算器を応用プログラムの実行に最

本稿の一部は D A シンポジウム' 97 (平成 9 年 7 月 10~12 日) において口頭発表されている。

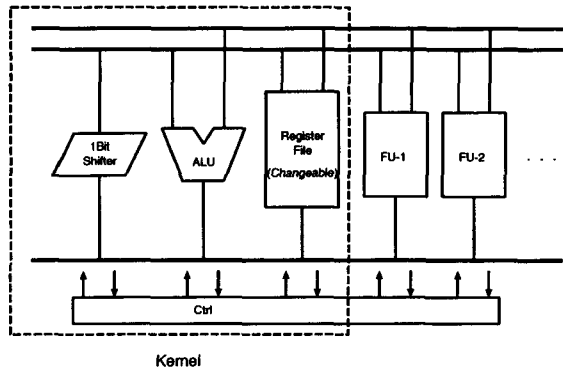


図1 PEAS-I CPU コア のデータパス部

小限必要な機能を実現する kernel (図1 参照) とその他の演算器に分けて考え、kernel で実行する命令群を PRTL (Primitive RTL)、その他の演算器で実行される命令群を BRTL (Basic RTL) と呼ぶ。CPU コアがある BRTL を直接実行する演算器を持たない場合、その BRTL は PRTL を組合せてソフトウェアとして実現される。IMSP を解くアルゴリズムは与えられた設計制約条件のもとで目的関数に合わせて BRTL を実行する演算器の選択を行うことによって命令セットを決定する。これまでのところ IMSP を解くアルゴリズムは演算器の構成だけを最適化し、レジスタの個数を考慮していない。

2. 4 レジスタ数と演算器の構成のトレードオフ

PEAS-I で生成される CPU コアはロード/ストア・アーキテクチャであるため、演算に必要なデータはレジスタ上に置かれる必要がある。CPU コアが応用プログラムのワーキングセットすべてを格納するのに十分な個数のレジスタを持たない場合にはデータをメモリからロード、およびメモリへストアする必要があり応用プログラムの実行サイクル数は増加する。

CPU コアのハードウェア・コストが設計制約条件として与えられている場合を考える。この場合レジスタに割り当てられたハードウェア・コストを演算器に割り当てることによって高速な演算器を使用することができる。すなわち、レジスタ数を少なくしてデータの退避/復帰に時間がかかっても、より高速な演算器を持つことによって演算時間を短くした方が応用プログラムの実行時間を短縮できる場合がある。反対に演算器を低速なものに換える、あるいは持たないで、その分のハードウェア・リソースをレジスタに割り当てることによって応用プログラムの実行時間を短縮できる場合もある。

3 応用プログラムのモデル

レジスタの個数および演算器構成を決定するために、はじめに応用プログラムの実行時間モデルを示す。応用プログラムの実行サイクル数は以下の式であらわすことができる。

$$T(r, X) = T_{sr}(r, X) + T_c(X) \quad (1)$$

r : レジスタの個数

X : 演算器の構成

$T(r, X)$: レジスタ数が r 個、演算器構成が X の場合の応用プログラムの実行サイクル数

$T_{sr}(r, X)$: データの退避/復帰に要する実行サイクル数

$T_c(X)$: レジスタ上のデータの演算、操作に要する実行サイクル数

$T'_c(r)$: CPU コアのゲート数が一定であるときレジスタの個数を r 個として残りのハードウェア・リソースで演算器を構成したときの演算、操作に要する実行サイクル数

ここで、 $T_c(X)$ は演算に必要なデータがすべてレジスタ上に存在している場合の応用プログラムの実行時間を表す。 $T_c(X)$ は設計制約条件を与えて IMSP を解くことによって数パーセント程度の誤差で短時間で見積もることが可能である [3]。図2に $T_c(X)$ とハードウェアコストの関係を示す。横軸に面積、縦軸に時間をとると $T_c(X)$ は単調減少の段階状のグラフになる。

ここで、 X の上限と下限を X_F , X_R で表すことにする。 X_F は、すべての BRTL がライブラリ中のもっとも高速なハードウェアで実現されている演算器構成を表す。 X_R はすべての BRTL がソフトウェアで実現されている演算器構成 (kernel 以外に演算器を持たない構成) を表す。

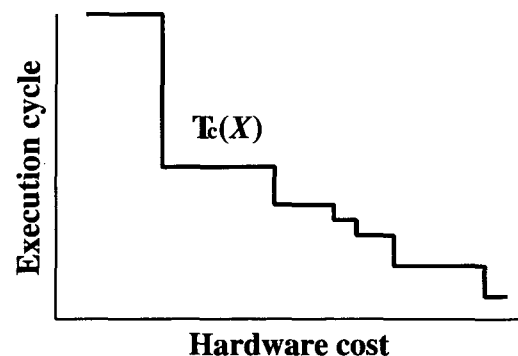


図2 演算に必要なサイクル数と演算器のハードウェアコストの関係

¹ RTL は、GCC の中間言語で用いられる抽象的な演算を記述する言語 (Register Transfer Language) である。

す。

CPU コアの持つレジスタの個数が等しい場合、レジスタの退避／復帰に要する時間は演算器の構成によって決まる。 $T_{sr}(r, X)$ と X 、 X_F 、 X_K について以下の関係が成り立つ。

$$T_{sr}(r, X_F) \leq T_{sr}(r, X) \leq T_{sr}(r, X_K) \quad (2)$$

BRTLをソフトウェアで実現したCPUコアは、BRTLに分類される演算を行うために、中間結果やカウンタなどの中間変数を必要とする。これらの中間変数が増えるため、すべてのBRTLをハードウェアで構成したCPUコアに比べて、格納場所としてレジスタを割り当てられない変数が増える可能性がある。これらの変数はメモリに配置され必要に応じてロード／ストアされるので $T_{sr}(r, X)$ も増加する。ソフトウェアで実現されるBRTLが多いほど $T_{sr}(r, X)$ は大きくなる。さらに、 $T_{sr}(r, X)$ はすべてのBRTLがソフトウェアで実現される演算器構成 X_K のとき最大になる。図3にレジスタ数と $T_{sr}(r, X_F)$ 、 $T_{sr}(r, X)$ 、 $T_{sr}(r, X_K)$ の関係をしめす。 $T_{sr}(r, X)$ は X を固定した場合、コンパイラのレジスタ

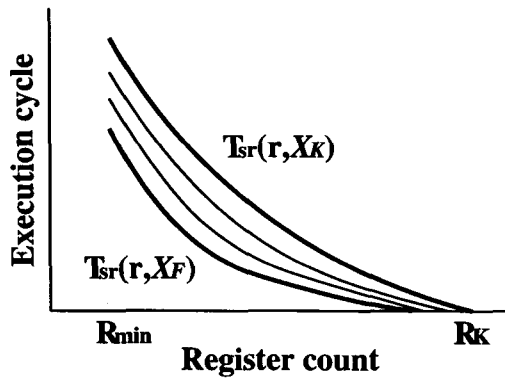


図3 レジスタの退避／復帰に要するサイクル数とレジスタ数との関係

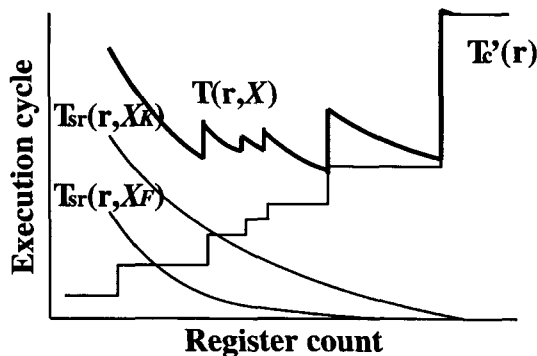


図4 ゲート数を設計制約条件にした場合のレジスタ数と実行サイクル数の関係

割り付け戦略が適切に行われれば単調減少になる。 $T_{sr}(r, X_F)$ は、 $T_{sr}(r, X_K)$ に比べて常に小さい。したがって、 $T_{sr}(r, X)$ は図3で $T_{sr}(r, X_F)$ と $T_{sr}(r, X_K)$ の間に存在する。

応用プログラムの実行サイクル数はデータの退避／復帰に要する実行サイクル数とレジスタ上のデータの演算、操作に要する実行サイクル数の和で表される。レジスタ数 r と応用プログラムの実行サイクル数 $T(r, X)$ の関係を図4に示す。

4 レジスタ数と演算器構成の最適化

前節のモデルを用いて最適なレジスタ数と演算器構成を同時に決定する方法について述べる。

4.1 記法および定義

以下では、次の記法を用いる。

- A_R : レジスタ1個分の等価ゲート数
- A_{max} : ゲート数に関する設計制約
- $A(X)$: X を実現するのに必要なゲート数
- A_F : フル構成の演算器を実現するのに必要なゲート数
- A_K : kernelのみを実現するのに必要なゲート数
- X_{opt} : 最適な演算器構成
- R_{opt} : 最適なレジスタ数
- R_{min} : コンパイラがコード生成に最低限必要なレジスタ数
- R_F : 演算器構成が X_F のときのコンパイラが要求する最大レジスタ数
- R_K : 演算器構成が X_K のときのコンパイラが要求する最大レジスタ数
- $T_{Amax}(r)$: CPUコアのゲート数一定としたときレジスタを r 個もらった場合の応用プログラムの実行サイクル数。

$$T_{Amax}(r) = T_{sr}(r, X) + T'_c(r) \quad (3)$$

ただし、この X は IMSP に制約条件として $A_{max} - A_R \cdot r$ を与えて求めた演算器構成である。

4.2 最適解の存在する範囲

ゲート数に関する設計制約条件のもとで応用プログラムの実行サイクル数を最小にする最適なレジスタ数と演算器構成について以下の定理が成り立つ [6]。

定理1 最適なレジスタの個数 R_{opt} について、次の関係が成り立つ。

$$\begin{aligned} \max \left(\frac{A_{max} - A_F}{A_R}, R_{min} \right) \\ \leq R_{opt} \leq \\ \min \left(\frac{A_{max} - A_K}{A_R}, R_K \right) \end{aligned}$$

系1 最適な演算器構成 X_{opt} について次の関係が成り立つ。

$$\begin{aligned} \max (A_{max} - A_R \cdot R_K, A_K) \\ \leq A(X_{opt}) \leq \\ \min (A_{max} - A_R \cdot R_{min}, A_F) \end{aligned}$$

定理2 任意の $r \geq 1$ について以下の式を満たす R_0 が存在するならば $R_{opt} < r$ である。

$$T'_c(r) > T_{Amax}(R_0)$$

定理の証明は文献参照 [6]。

上記の定理1と定理2により探索空間を限定することができる。

また、応用プログラムの実行サイクル数 $T(r, X)$ は階段状の単調増加のグラフと単調減少のグラフの和で表されるので、最小になる可能性のあるレジスタの個数は階段状に変化する点に限られる。よって図5の○印の点だけを調査すれば良い。

4.3 最適化の手順

前節の定理を用いることによりゲート数に関する設計制約 A_{max} のもとでの最適なレジスタ数 R_{opt} と最適な演算器構成 X_{opt} は以下の手順により求めることができる。

1. X_K 用のコンパイラを用いてコード生成を行い、 R_K をもとめる。

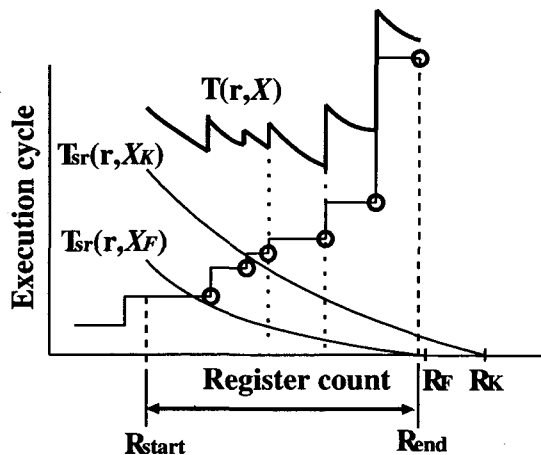


図5 最適な組合せの存在する範囲

2. IMSP を解き $T_c(X)$ をもとめる。
3. 設計制約条件のもとでレジスタの個数を r 個として残りのハードウェア・リソースで演算器を構成したときの演算、操作に要する実行サイクル数 $T'_c(r)$ を求める。
4. 手続き RC_decision (図6) を実行する。

関数 $next(r)$ は次のレジスタ数の候補 ($T'_c(r)$ が階段状に変化する r) を返す。手続き中に出てくる $T(r, X)$ はシミュレーションを行って求めることにする。シミュレーションは応用プログラムの複雑さ(長さ、大きさ、動作内容)に応じたシミュレーション時間がかかるため、設計時間はシミュレーションの回数に比例する。手続き RC_decision は定理1, 2に基づいて候補を絞り込み、シミュレーションの回数を削減している。

5 評価実験

n点FFT ($n=256, 512, 1024$) をサンプルプログラムとして使用して、前節で述べた最適化手法の評価を行った。評価には NEWS5000X (141SPECint92) を使用した。

procedure RC_decision

begin

$$r := \max \left(\frac{A_{max} - A_F}{A_R}, R_{min} \right);$$

if (r は候補ではない) **then**

$$r := next(r);$$

$$R_{end} := \min \left(\frac{A_{max} - A_K}{A_R}, R_K \right);$$

$$T_{opt} := \infty;$$

repeat

if $T'_c(r) + T_{sr}(r, X) < T_{opt}$ **then**

begin

$$T_{opt} := T'_c(r) + T_{sr}(r, X);$$

$$R_{opt} := r;$$

$$X_{opt} := X;$$

end;

$$r := next(r);$$

until ($r > R_{end}$) **or** ($T'_c(r) > T_{opt}$)

write (R_{opt}, X_{opt});

end.

図6 手続き RC_decision

5. 1 予備実験

実験に用いたライブラリではレジスタ1個当たりの等価ゲート数 A_R は464ゲート、最小限の演算器構成 X_K を構成するために必要なゲート数 A_K は11206ゲート、最大の演算器構成 X_F を構成するのに必要なゲートは A_F は30630ゲートであった。演算器等のゲート数はHDLとしてNTTで開発された高位合成システムPARTHENON[7]のSFL(Structured Function description Language)を用いて記述し論理合成を行った結果を使用した。

また、実験に用いたコンパイラではコード生成に最小限必要なレジスタ数 R_{min} は10個、演算器がkernelのみの構成のコンパイラが要求する最大のレジスタ数 R_K は30個であった。可能な演算器の構成を表1に示す。それぞれの演算器の後の数字は演算に必要なクロック数、および次の入力を受けとれるまでのクロック数を示している。

5. 2 実験結果

ハードウェア・コストの制約条件として2万ゲート、3万ゲートを与えて本手法を用いて最適化を行った。2万ゲートの場合、256点FFT、512点FFT、1024点FFTのいずれも最適なレジスタの個数の R_{opt} は10、最適な演算器構成 X_{opt} は表1のNo.9の組合せとなった。3万ゲートの場合、256点FFT、512点FFT、1024点FFTのいずれも最適なレジスタの個数 R_{opt} は22、最適な演算器構成 X_{opt} は表1のNo.5の組合せとなった。結果を確認するためにレジスタ数を変化させて、それぞれ残りのゲート数で演算器構成を最適化し、シミュレーションを行って実行サイクル数を計測した。図7、図8にシミュレーションを行なった結果を示す。 $r=10$ 、 $r=22$ のときそれぞれ応用プログラムの実行サイクル数が最小であることが確

表1 演算器の組合せと必要なゲート数

No.	gate	modules
1	30453	shift:1,1 mul:1,1 div:18,9
2	25517	shift:1,1 mul:1,1 div:19,9
3	25167	shift:1,1 mul:1,1 div:34,17
4	23105	shift:1,1 mul:1,1 div:35,35
5	19709	shift:1,1 mul:1,1
6	18080	shift:1,1 mul:3,3
7	17362	shift:1,1 mul:16,8
8	17324	mul:3,3
9	15123	shift:1,1 mul:17,17
10	14367	mul:17,17
11	14355	shift:1,1 mul:32,32
12	11962	shift:1,1

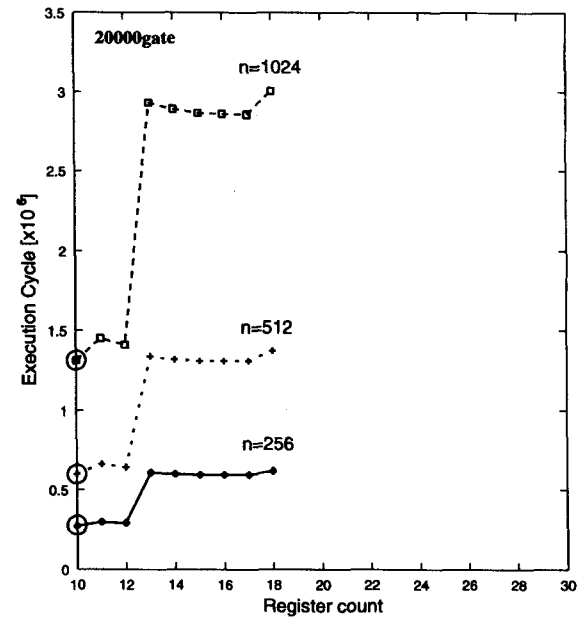


図7 応用プログラムの実行サイクル数とレジスタ数 ($10 \leq r \leq 18$)

認された。

5. 3 考察

制約条件が3万ゲートのとき、レジスタの個数に対して総当たりで最適化するためには21回のシミュレーションが必要となる。シミュレーションに要する時間は、1つのアーキテクチャ用のシミュレーション環境(コンパイラ、アセンブラ、シミュレータ)を用意するのに約5分、また、シミュレーション時間はアーキテクチャに応じて数十秒から数分程度であった。

21回分のシミュレーションに必要な時間は256点FFTで114.6分、512点FFTで115.5分、1024点FFTで127.3分であった。

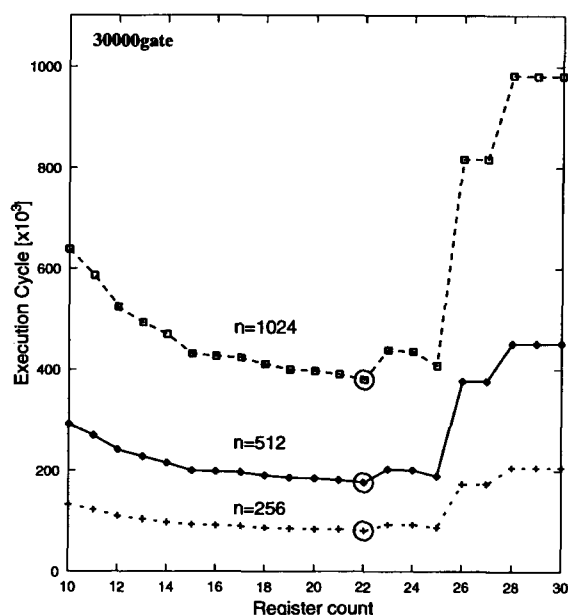
提案したアルゴリズムを用いた場合、最適なレジスタ数と演算器構成を決定するために必要なシミュレーション回数は256点FFTで3回、512点FFTで4回、1024点FFTで3回、要した時間はそれぞれ16.3分、21.9分、18.3分であった。提案したアルゴリズムを用いることで設計時間を約1/5~1/7に短縮することができた。最適化に要した時間の内訳を表2に示す。

6 おわりに

IMSPによって求めた $T'_c(r)$ は数%ではあるが誤差をとらなう。RC_decisionは探索を打ち切る条件として $T'_c(r) > T_{opt}$ を用いているので $T'_c(r)$ の誤差によって最適解を探し出せない可能性がある。

表2 最適化に要した時間の内訳 (単位: 分)

ゲート数	時 間	256 point FFT		512 point FFT		1024 point FFT	
		総当たり	本手法	総当たり	本手法	総当たり	本手法
20,000	環境生成 (生成回数)	45.0(9)	10.0(2)	45.0(9)	10.0(2)	45.0(9)	10.0(2)
	シミュレーション	8.8	1.0	19.2	2.1	48.5	4.7
	Total	53.8	11.0	64.2	12.1	93.5	14.7
30,000	環境生成 (生成回数)	105.0(21)	15.0(3)	105.0(21)	20.0(4)	105.0(21)	15.0(3)
	シミュレーション	9.6	1.3	10.5	1.9	22.3	3.3
	Total	114.6	16.3	115.5	21.9	127.3	18.3

図8 応用プログラムの実行サイクル数とレジスタ数 ($10 \leq r \leq 30$)

コンパイラによるレジスタの割り付けが適切に行われていなければデータの退避/復帰に要するサイクル数 $T_r(r, X)$ は単調減少にならないため、応用プログラムの実行サイクル数 $T(r, X)$ が最小になる r が $T'_c(r)$ が階段状に変化する点だけに存在するとは限らなくなる。

IMSPによって求めた $T'_c(r)$ の誤差、コンパイラのレジスタ割り付けの失敗に対する対策は今後の課題である。

参考文献

- [1] Sato, J., et al.: "PEAS-I: A Hardware/Software Codesign System for ASIP Development," IEICE Trans., Vol.E77-A, No.3, pp.483-491, 1994
- [2] Alomary, A., et al.: "An ASIP Instruction Set

Optimization Algorithm with Function Module Sharing Constraint," IEICE Trans., Vol.E76-A, No.10, pp.1713-1720, 1993.

- [3] N.N.Binh, M.Imai, A.Shimomi, N.Hikichi: "Optimal Instruction Set Design through Adaptive Database Generation," 電子情報通信学会論文誌、(英文誌 (A) 軽井沢ワークショップ特集)、vol.E79-A, no3, pp.347-353, March 1996.
- [4] N.N.Binh, M.Imai, and A.Shimomi: "A New HW/SW Partitioning Algorithm for Synthesizing the Highest Performance Pipelined ASIPs with Multiple Identical FUs," Proc. of the European Design Automation Conference (EURO-DAC'96), pp.126-131, Geneva, Seiss, Sep.1996.
- [5] Stallman, R.: Using and Porting GNU C Compiler, Free Software Foundation, Inc., 1995
- [6] 本間啓道、今井正治、武内良典: "特定用途向き集積化プロセッサのレジスタ数最適化アルゴリズム," 情処研報 Vol.96, No.121, pp.33-40, 1996年, 12月
- [7] NTTデータ通信: 「PARTHENON User's Manual」, 1989

塩化銅-黒鉛層間化合物の CO_2 還元に対する電極触媒効果

泉 生一郎・浜田洋司・濱田 薫・大西康幸・岩下哲雄*

Electrocatalytic Reduction of CO_2 on Graphite Intercalation Compound with CuCl_2 Ikuichiro IZUMI, Yohji HAMADA, Kaoru HAMADA,
Yasuyuki OHNISHI and Norio IWASHITA*

Electrochemical behavior of graphite intercalation compound with CuCl_2 (CuCl_2 -GIC) has been investigated in an aqueous solution of potassium bicarbonate. The voltammetric and chronopotentiometric characteristics suggested a reduction of CuCl_2 -GIC to Cu -GIC in negative potential regions. We found that Cu -atoms generated in the interlayer of reduced CuCl_2 -GIC have led to an electrocatalytic action for the reduction of CO_2 originated from bicarbonate anion.

1 緒 言

黒鉛は、Fig.1のように、平面状に発達した六角網目構造をもつ炭素網が積層してできている異方性の高い物質であり、C軸に沿って隣接している炭素網は弱い van der Waals 力で結合している。また、黒鉛は温度や蒸気圧などの条件を整えることにより、C軸層間に様々な化学種を取り込んで黒鉛層間化合物 (Graphite Intercalation Compounds、略してGIC) を形成する¹⁾²⁾。黒鉛層間へ侵入する化学種は原子や分子を含めて100種類を超え、黒鉛層間化合物の合成方法や特性・用途等の研究が広く行われている。さらに近年では、2種類の化学種が侵入した、いわゆる複合黒鉛層間化合物が注目されるようになってきた³⁾⁴⁾。これらの黒鉛層間化合物は、原料であるもとのホスト黒鉛より高い電気伝導性と電気化学的活性を示すなど、興味あるいくつかの機能を有し、軽量の高伝導材料や電池電極材料などとしても注目されているところである。

本研究ではこれまでに、穏和な条件下でのインターカレーションの達成⁵⁾⁶⁾と、その電極触媒活性の発現を意図して、黒鉛電極の水溶液中での電解還元処理による、塩化銅をゲスト分子とするGIC形成について検討を続けてきた⁷⁾。この塩化銅-黒鉛層間化合物 (CuCl_2 -GIC) による、ある種の電極反応に対する電極触媒の観点からの研究例はほとんど見当たらず、一般的黒鉛

層間での金属塩化物の反応とともに、この種の研究はまだ緒についたばかりである¹⁰⁾。

本研究では、混合法で合成した CuCl_2 -GICについて、炭酸水素カリウム水溶液中での電気化学的挙動を調べた結果、電極近傍で解離生成した CO_2 が塩化銅の還元で生成した Cu -GICの触媒効果により、定性的ではあるが溶液内生成物の一つとしてギ酸を生成することが明らかとなった。

2 実 験

2. 1 試薬と電極

塩化銅-黒鉛層間化合物 (CuCl_2 -GIC) は、 $5 \times 40 \text{ mm}^2$ に切断した東洋炭素社製高品質黒鉛シート1.93 gを無水塩化第二銅2.11 gとともにパイレックス製ガラスアンブルに入れ、 120°C 、減圧下で2時間乾燥した後、

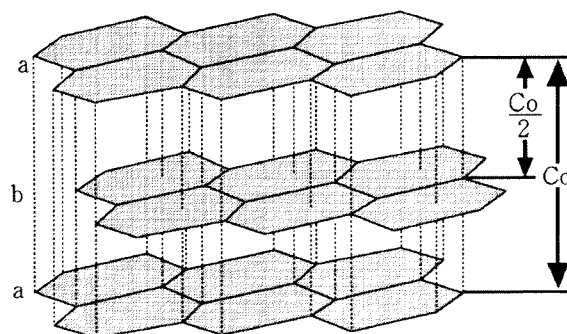


Fig.1 Crystal structure of graphite

* 大阪工業技術研究所エネルギー変換材料部

真空密閉して450℃で5日間、続いて500℃で5日間熱処理を施すことにより合成した。

こうして合成した $\text{CuCl}_2\text{-GIC}$ の組成は $0.034\text{mol-CuCl}_2/\text{mol-graphite}$ であり、X線回折による構造解析の結果はFig.2に示した。図に見られるように、黒鉛の $\langle 002 \rangle$ 、 $\langle 004 \rangle$ 回折線のほか、ステージ2の $\text{CuCl}_2\text{-GIC}$ に帰属される $\langle 002 \rangle$ 、 $\langle 003 \rangle$ 、 $\langle 004 \rangle$ 回折線と、ステージ3の $\text{CuCl}_2\text{-GIC}$ に帰属される $\langle 003 \rangle$ 、 $\langle 005 \rangle$ 回折線がそれぞれ観察された。これらのことから、実験に供した $\text{CuCl}_2\text{-GIC}$ は、ステージ2とステージ3構造をもち、多くの未反応黒鉛と混在した試料となっているものとみられた。

このGICを銀ペーストで銅線とオーミック接触をとり、エポキシ樹脂カローで覆い、先端をカットして電極に供した。測定の際の対極には平滑白金板電極、参照電極に飽和カロメル電極(SCE)を用いた。測定用セルはガラスフィルターで2室に分離されたH型ガラス容器とした。また、実験に使用した試薬は全て市販特級品で、試料溶液の濃度調整には再蒸留水を用いた。

2. 2 実験操作

電流-電位曲線の測定は、ポテンショスタット(北斗電工、HA-501)とファンクションジェネレーター(同、HB-105)を用い、種々の電位走査速度でのサイクリックボルタンメトリーにより行った。電位-時間曲線の測定は、ガルバノスタット(北斗電工、HA-501)を用い、種々の設定電流において、陽分極過程と陰分極過程について行った。

$\text{CuCl}_2\text{-GIC}$ 電極を用いた長時間電解は、ポテンショスタット(北斗電工、HA-501G)で電位設定をし、パーソナルコンピューター(NEC、PC9801BX)で通電量を測定しながら行った。

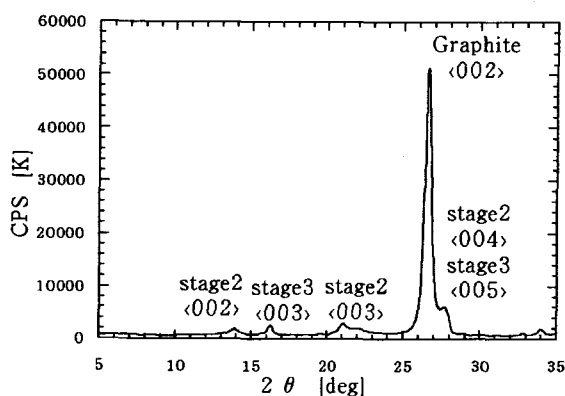


Fig.2 X-ray diffraction pattern of $\text{CuCl}_2\text{-GIC}$

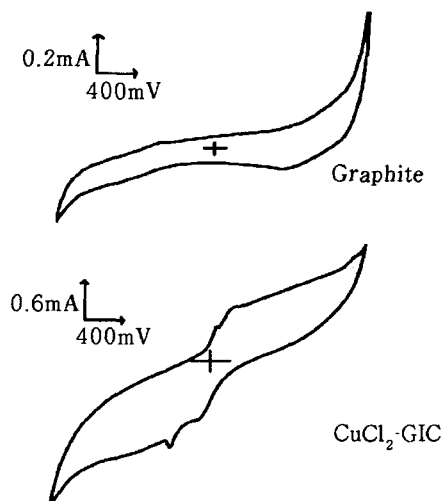


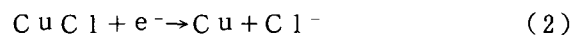
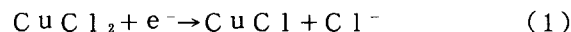
Fig.3 Cyclic voltammograms in 250mM K_2SO_4 solution on $\text{CuCl}_2\text{-GIC}$ electrode

3 結果と考察

3. 1 $\text{CuCl}_2\text{-GIC}$ 電極の電流-電位特性

3.1.1 黒鉛電極と $\text{CuCl}_2\text{-GIC}$ 電極との電流-電位特性の比較

250mM硫酸カリウム水溶液中、電位走査速度(ν) 100mV/s でサイクリックボルタンメトリー(以下、CVと略す)を実施し、黒鉛電極と $\text{CuCl}_2\text{-GIC}$ 電極との電流-電位特性の比較を行った。Fig.3に見られるように、GIC電極では、カソード電位走査においてプラトー電流とピーク電流が、それぞれ -100mV 付近と -320mV で見出され、それらに対応してアノード走査においても電流ピークとプラトー電流が観察された。GIC電極でのこれらの電流増加は、いずれも黒鉛電極では見られなかったもので、次式のような黒鉛層間のゲスト分子である塩化第二銅の還元とその逆反応に起因するものと考えられる。



次に、1M炭酸水素カリウムを含む250mM硫酸カリウム水溶液について電流-電位特性を比較したのがFig.4である。GIC電極では、Fig.3での基礎液中でのピークやプラトーの電位に比べやや卑な電位にシフトするとともに、水素発生直前の電位で第三のカソード還元電流の増加が見出された。電位シフトについては、基礎液に炭酸水素カリウムを加えることによるpH変化が原因となっているものとみられるが、電流増加そのものが、炭酸水素カリウムの添加によって増大する傾向を示した。このことは、式(1)および式(2)で表わされるようなGICのゲスト分子の還元のほか、直接あるいは間接的に炭酸水素カリウムが関係した電気化学反応の関与

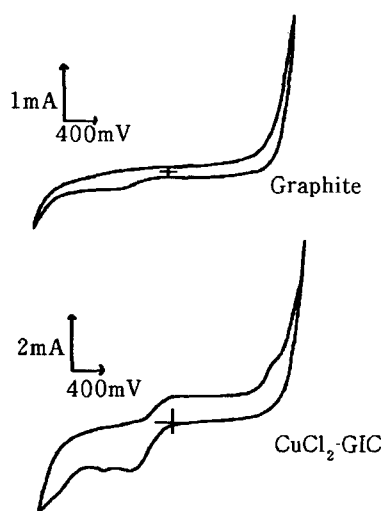


Fig.4 Cyclic voltammograms in 250mM K₂SO₄ solution with 1 M KHCO₃ on CuCl₂-GIC electrode

を示唆するものといえる。

3.1.2 電流-電位特性の炭酸水素カリウム濃度依存性

G I C電極での電流-電位特性を、250 mM硫酸カリウムを基礎液とした種々の炭酸水素カリウム溶液について、 $\nu = 100 \text{ mV/s}$ でのCV測定を行うことにより調べた。Fig.5には、カソード電位走査における三つの各電流ピークの電位範囲内に相当する -400 mV 、 -800 mV 、 -1.26 V での電流値 (i_E) を、基礎液中での電流値 ($i_{E,0}$) に対する比として表わし、炭酸水素カリウムの溶液濃度に対してプロットした。いずれの電流ピークについても、炭酸水素カリウムの濃度とともに増加の傾向にあるが、なかでも第二の電流ピークについては濃度依存性が顕著であり、ほぼ一次の依存性を示した。

これまでに、G I C電極以外の電極を用い、炭酸水素塩の電気化学的挙動に関する研究がなされてきているが、例えば堀ら¹⁰⁾は、HCO₃⁻イオンが電極近傍で式(3)のようにいったん解離してCO₂になり、その後電極上で還元されるものと報告している。

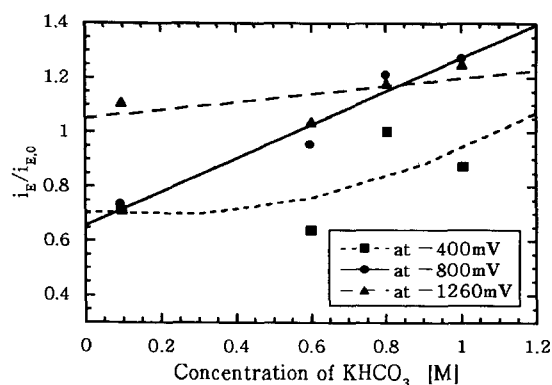
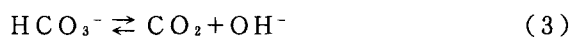


Fig.5 Concentration dependence of cathodic reduction current in 250mM K₂SO₄ solution with KHCO₃

また、Rysselberghe ら¹²⁾ はポーラログラフによるCO₂還元の検討から、CO₂が電気化学的に活性であることを報告している。

これらの報告と上記カソード還元電流の炭酸水素カリウム濃度依存性から、G I C電極上、炭酸水素カリウム水溶液中で起こっているカソード還元反応は、前項で述べたように、黒鉛層間のゲスト分子の還元のほかに、HCO₃⁻イオンから電極近傍で解離生成したCO₂の還元反応が関与するものとみられる。

3.1.3 電流-電位特性の電位走査速度依存性

1 M炭酸水素カリウムを含む250 mM硫酸カリウム水溶液中、G I C電極について、CV測定での電位走査速度の影響を調べたのがFig.6である。既述のように、カソード電位走査では三つの還元電流の増加が見られるが、 100 mV/s の結果を基準に比較すれば、 -800 mV の第二段電流ピークは電位走査速度が小さくなるにつれて貴な電位にシフトし、やがて -400 mV の第一段電流ピークと重なるに至った。また、 -1.26 V での電流増加においても同様に、貴な方向への電位シフトが見られた。ただ、各実験ごとに新たに電極を取り替えている関係で電極面積は相互に異なり、Fig.6では電流値の直接の比較をすることはできない。そこで基礎液の250 mM硫酸カリウム水溶液についてまずCV測定を行い、炭酸水素カリウムを含む水溶液と同一電位において読み取った電流値で標準化を行ったうえで、 -1.26 V でのカソード還元電流の電位走査速度依存性を調べたのがFig.7である。

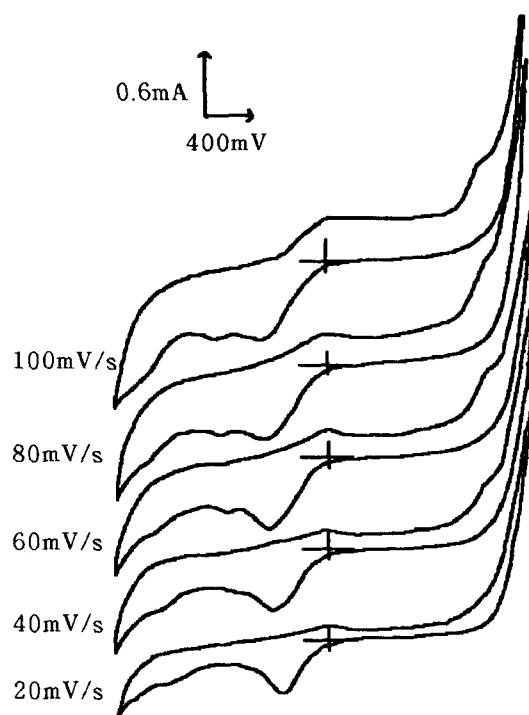


Fig.6 Cyclic voltammograms as a function of potential scan rate

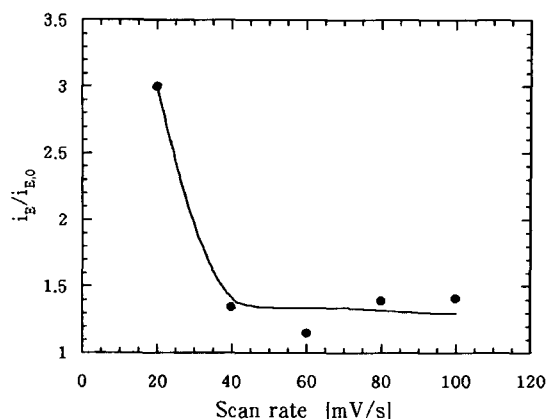


Fig.7 Scan rate dependence of cathodic reduction current in 250mM K_2SO_4 solution with $KHCO_3$

40mV/s以上の電位走査速度では、電流の電位走査速度依存性がほとんどなく、通常の電気化学反応におけるピークの電流の $\nu^{1/2}$ への比例関係が成立しない。このことは、Fig.5の-1.26Vにおける電流の炭酸水素カリウム濃度依存性が小さいことも共通する結果で、この電位において、例えば HCO_3^- イオンから解離生成した CO_2 の還元に対して、電極が不活性であることを示唆しているものと考えられる。しかし、Fig.7で明らかに、電位走査速度をさらに遅くして20mV/sにすると、-1.26Vでのカソード還元電流は他の場合に比べ2倍以上の増加を示した。

電位走査速度を下げたときのこのような、いわゆる電極の活性化は、 $CuCl_2-GIC$ の還元による $Cu-GIC$ への変化によるものと見られ、遅い電位走査の過程で比較的多量に生成した $Cu-GIC$ による CO_2 還元への電極触媒効果に基づくものと推定される。

小さな電位走査速度でのCVは、式(2)の比較的小さい過程の反応電位が貴な電位にシフトし、式(1)の反応電位と重なる傾向を示したが、そのような反応過程で生成した $Cu-GIC$ が CO_2 還元の電極触媒となっていることは、-1.26Vでの電流増加に加えて、その電流増加の貴な方向への電位シフトによっても支持されるであろう。

3.1.4 活性化エネルギーからの検討

電気化学反応の速度はその反応に基づく電流に比例する。したがて、濃度や電位(厳密には過電圧)など温度以外の条件を一定にすれば、通常用いられる Arrhenius の式を次式のように書き換え、反応電流 i と活性化エネルギー E_a との関係を表わすことができる。

$$i = K \exp(-E_a/RT) \quad (4)$$

式中、 T は反応温度(K)、 R は気体定数で、 K は比例定数である。

Fig.8は、基礎液に1M炭酸水素カリウムを含む水溶液中、GIC電極で、前項まで扱ってきた三つのカソー

ド還元電流ピークあるいは電流増加(電位:-400mV、-800mV、-1.26V)について、遅い電位走査速度で得られた電流-電位曲線を準定常のそれとみなして Arrhenius プロットを行ったものである。図から求めた各電位における反応のおよその活性化エネルギーは、それぞれ14kJ/mol、16kJ/mol、6kJ/molであった。第一段および第二段電流ピークについては、基礎液で得られた活性化エネルギーとほぼ同程度であった。なかでも-1.26Vでの反応の活性化エネルギーが特に興味深い。他の電位に比べ1/2以下の活性化エネルギーとなっており、 $Cu-GIC$ によると推定される CO_2 還元への電極触媒効果を表わしているものといえる。

3.2 $CuCl_2-GIC$ 電極の電位-時間特性

基礎液の250mM硫酸カリウム水溶液と、基礎液に1M炭酸水素カリウムを含む水溶液について、 $CuCl_2-GIC$ 電極でのクロノポテンシオメトリーを行い、得られた電位-時間曲線をFig.9に示した。水素発生電位からの陽分極過程と反転後の陰分極過程との一つのサイクルを見ると分かりやすいが、炭酸水素カリウムを含む溶液では、CV測定からの電流-電位曲線における第一段カソード電流ピークと第三段の電流増加に相当する反応の電位停滞が観察され、第二段電流ピークは消滅した。これはCV測定における電位走査速度の遅い場合に見られた挙動と同じく、第二段電流ピークでの反応(式(2))が速いため、第一段電流ピークと重なることによる現象

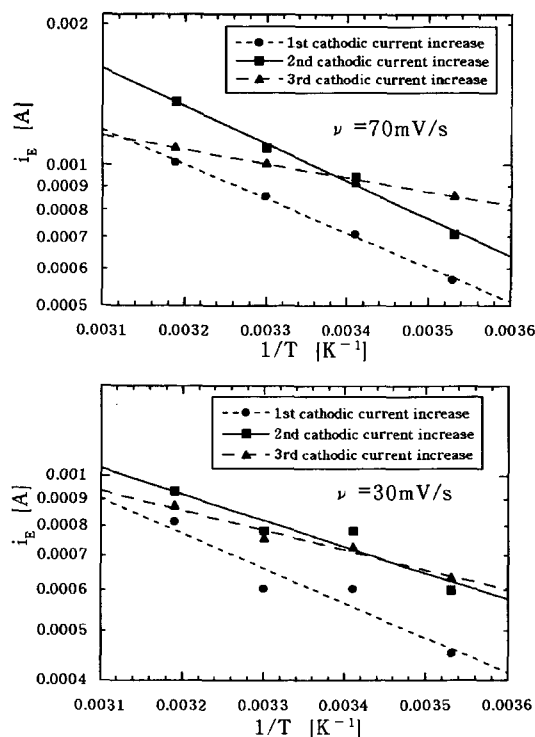


Fig.8 Arrhenius plots for cathodic reduction processes in 250mM K_2SO_4 solution with 1M $KHCO_3$

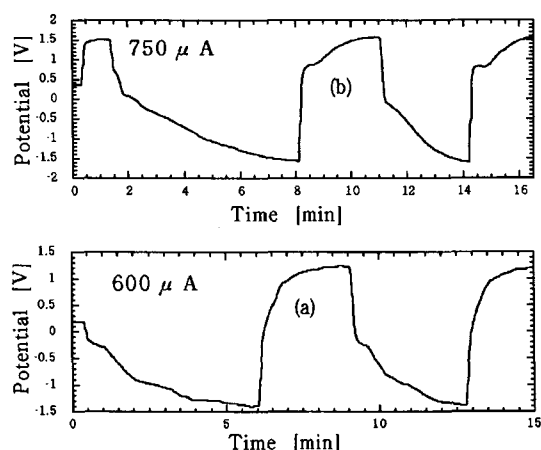


Fig.9 Chronopotentiograms in 250mM K₂SO₄ solutions with^(a) and without^(b) 1M KHCO₃ on CuCl₂-GIC electrode

と理解できる。

次に、炭酸水素カリウムの溶液濃度は一定で、設定電流 (i) を変えて測定を行った。Fig.10で明らかに、 -400mV の電位停滞に相当する反応は設定電流が大きくなると、反応量に相当する $i\tau$ 値 (τ : 電位停滞の遷移時間) が減少し、拡散律速になっている。これは、式(1)および式(2)で表わされるように、GIC電極のゲスト分子である塩化銅の還元から生成する塩化物イオンが、設定電流が大きくなると、黒鉛層間から溶液界面への拡散が追いつかなくなるためと考えられる。

一方、 -1.1V 付近での電位停滞に相当する反応の $i\tau$ 値は、設定電流にあまり依存することはない。換言すれば、設定電流にほぼ比例して反応が進行し、電荷移動過程が反応速度を支配しているものといえる。この電荷移動過程として、これまでの議論のなかで電極近傍で HCO_3^- から解離生成した CO_2 の電気化学還元を挙げており、上記結果とも矛盾するものではない。

3.3 CuCl₂-GIC電極を用いた長時間電解

前項までに述べたように、CuCl₂-GIC電極上では、次式のように、電極近傍で HCO_3^- から解離生成した CO_2 の電気化学還元が起こるものとみられる。

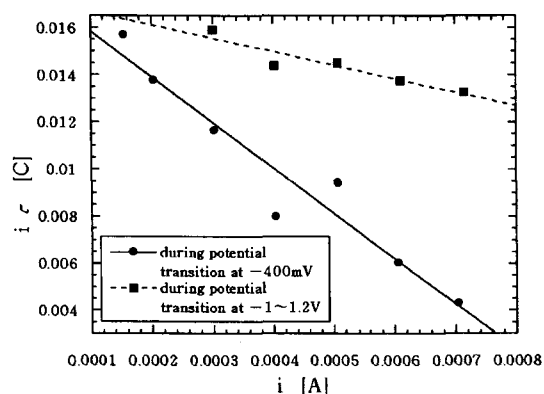
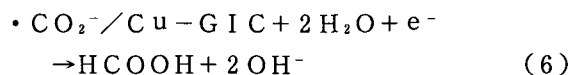


Fig.10 Current dependence of the value of $i\tau$



そこで、GIC電極の面積を測定時に使用した電極のおよそ50倍にして、1M炭酸水素カリウムを含む250mM硫酸カリウム水溶液につき長時間定電位電解を試みた。設定電位 -1.2V 、900C通電後の反応溶液について、白金電極を作用極に用いてCV測定を行ったところ、ぎ酸の電気化学挙動 (Fig.11) の特徴をもつ電流-電位特性を示すことが判った。しかし、生成物であるぎ酸の溶液内濃度が低く、満足できる電流-電位曲線とは言い難く、本論文では図として敢えて掲げることしなかった。今後、さらに十分な長時間電解を実施し、その成果を続報としたい。

4 結 論

黒鉛層間化合物 (GIC) を電極触媒として利用する研究は、まだこれからといった状況にある。そこで、筆者らはGICを電極触媒開発の観点から捉え、それぞれのGICの特質を考慮して、各種電極反応への適用を試みているところである。本研究では、CuCl₂-GIC電極について、炭酸水素カリウム水溶液中での電気化

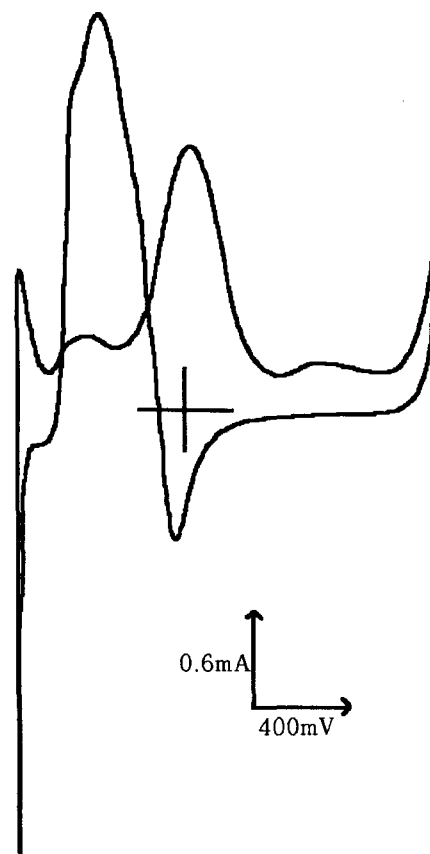


Fig.11 Voltammetric characteristics of formic acid in 250mM K₂SO₄ solution with 50mM HCOOH and 1M KHCO₃

学的挙動を調べ、 CO_2 の還元固定化反応の電極触媒としての可能性を探り出すとともに、今後の展開に役立つ以下の結論を得た。

(1) 基礎液の250mM硫酸カリウム水溶液中、 Cu-GIC 電極を用いたCV測定のカソード電位走査において、黒鉛電極では見られない、ゲスト分子の還元反応に基づく二つの電流ピーク（あるいはプラトー）が観察された。また、炭酸水素カリウムを加えることにより、ゲスト分子の還元のほかに HCO_3^- イオンが関与した電気化学反応が起こるため、水素発生直前の電位において第三の電流増加が見出され、しかも他の二つの電流ピークも増大した。

(2) 特に水素発生直前の電位における電流増加は、電極近傍で HCO_3^- イオンから解離生成した CO_2 の還元起因し、ゲスト分子の還元過程で生成した Cu-GIC がその CO_2 還元電極触媒効果をもたらすことが、遅い電位走査速度での大きな電流増加と還元電位の貴な方向への電位シフトによって支持された。さらに、速い電位走査速度では炭酸水素カリウムの濃度依存性が低く、 Cu-GIC になる前の電極が不活性であることが示唆された。

(3) カソード電位走査での三つの電流ピークあるいは電流増加について求めた活性化エネルギーは、水素発生直前の電位における反応では6 kJ/molで、他の二つの電位における反応に比較すれば1/2以下の低い値となり、 Cu-GIC の CO_2 還元への触媒効果を裏付けた。

(4) 電位-時間特性からは、水素発生直前の電位停滞における i_{τ} 値が設定電流に依存せずほぼ一定であるなど、 Cu-GIC 上での CO_2 還元の反応速度が電荷移動過程により支配されていることが明らかとなった。

(5) Cu-GIC の電極触媒としての実証的な機能を調べるため、炭酸水素カリウムを含む水溶液について長時間定電位電解を行った結果、 CO_2 還元から期待されるギ酸の生成が確認された。しかし、ギ酸の溶液内濃度が低く、定量的な取扱はできていないので、今後さらに研究を継続させ続報としたい。

- 4) 塩山 洋、辰巳 国昭、炭素、No159 (1993), 207.
- 5) 泉 生一郎、佐藤 淳一、大西 康幸、岩未 努、稲垣 道夫、岩下 哲雄、奈良高専研究紀要、28 (1992), 79.
- 6) 佐藤 淳一、泉 生一郎、大西 康幸、坂本 善史、浅井 洋志、岩下 哲雄、稲垣 道夫、電気化学協会 技術・教育研究論文誌、2 (1993), 149.
- 7) I.Izumi, J.Sato, N.Iwashita, and M.Inagaki, Synthetic Metals, 75 (1995), 75.
- 8) 佐藤 淳一、泉 生一郎、西野 敬智、大西 康幸、佐藤 一郎、岩下 哲雄、電気化学協会 技術・教育研究論文誌、3 (1994), 111.
- 9) 泉 生一郎、山下 全広、大西 康幸、佐藤 淳一、浅井 洋志、岩下 哲雄、電気化学協会 技術・教育研究論文誌、4 (1995), 125.
- 10) 塩山 洋、炭素、No178 (1997), 128.
- 11) 堀 義夫、電気化学、58 (1984), 996.
- 12) P.Van Rysselberghe, G.J.Alkire, and J.M.McGee, J.Am.Chem.Soc., 68 (1946), 2050.

参考文献

- 1) A. Metrot, Makromol. Chem., Macromol. Sym., 8 (1987), 39.
- 2) 稲垣 道夫、“炭素材料工学” (1985), p.205 [日刊工業新聞社]
- 3) 田沼 静一、炭素、No145 (1990), 311.

活性炭の再生に関する研究 (4)

梅 原 忠

Regeneration of Activated Carbon (4)

Tadashi Umehara

Rate of thermal regeneration and steam gasification were measured for pentadecane adsorbed on granular activated carbon. The rate data were obtained in a thermal gravimetric apparatus (TGA) operated both at constant temperature (363 to 440K) and with a constant rate of temperature increase from 298 K to 1023K. About 80% of the adsorbed material could be removed at temperature up to 1023K.

The rate of gasification of residual adsorbed material were analyzed. Surface areas obtained at the complete regeneration process (decomposition and gasification) reached that of the virgin-carbon when the amount of carbon gasified is 100% of the residual carbon.

緒 言

活性炭は、水処理、溶剤回収、脱色・脱臭等の用途に幅広く用いられている。近年多量に使用される高品位活性炭は比表面積が大きく、吸着能力に優れたものであり、使用済みの活性炭は再生して使用することが望ましい。再生装置の設計には、種々の吸着物質に対する再生過程の速度論データが必要である。

筆者らは、再生利用をするための最適再生条件を見出すことを目的として、種々の吸着物質に対する再生の速度論的研究を行ってきた¹⁻⁶⁾。

しかし、各種吸着質に対する速度データは少なく、特に再生が困難と言われている物質に対するデータを蓄積することは、重要であると考えられる。そこで本研究では、高温熱再生のみでは充分脱着が起こらない、ペンタデカン¹⁾を吸着物質に選んだ。そして熱再生及び水蒸気による残渣炭素のガス化実験を行い、脱着（分解）過程の速度論的検討を行った。

1. 実 験

1. 1 試料の調整

使用した活性炭は、和光純薬製粒状活性炭で、590～850 μ に粉碎調整した。さらに、蒸留水中で数回煮沸洗浄を行い微粉炭及び不純物を除去した後、383 Kの定温

乾燥機で一昼夜乾燥させたものを、デシケータ中に保存し活性炭試料とした。また吸着質のペンタデカンは、和光純薬製の特級試薬をそのまま使用した。吸着活性炭は、乾燥後の活性炭をペンタデカン中に浸漬させ一定量吸着させた後自然乾燥させ、吸着前後の重量変化を測り、吸着量を求め吸着活性炭試料とした。

1. 2 再生実験

1.2.1 熱再生

吸着活性炭試料を熱重量分析装置を用いて、昇温再生実験 (0.167 K/s) 及び定温再生実験 (367 K、384 K、408 K、440 K) を行った。

1.2.2 水蒸気賦活

熱再生のみでは、脱着されなかった残渣を水蒸気を用いて、ガス化実験を行った。温度については1103、1123、1143 Kの3種類、水蒸気分圧は7.34、9.58、12.34 kPaの3種類で行った。

1. 3 比表面積の測定

吸着前及び再生後の比表面積の測定を、表面積測定装置（柴田科学器機工業製P-700型）を用いて、窒素ガス吸着法により行いBET理論を用いて求めた。

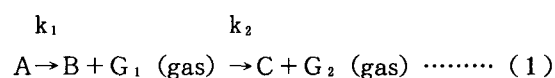
2. 結果及び考察

ペンタデカンを吸着した活性炭の昇温熱再生実験結果を図1に示した。同図には、ドデシルベンゼンスルホン酸ナトリウム (DBS) 及び蔗糖の再生結果も合わせ示した。

ペンタデカンの熱再生は、DBS と蔗糖の中間に位置する脱着のパターンを示すが、440 K 付近までと、それ以降の温度での脱着パターンが異なることが判る。また、1023 K 近くまで昇温させても約20%の吸着残渣として、試料中に残っていることが判った。

そこで、吸着質は比較的低温で起こる脱着と、440 K 以降の高温で起こる過程の2段階逐次脱着分解と仮定し解析を行った。

次の分解脱着機構を仮定した。



それぞれの過程が1次で進行すると仮定すると、第1段については、次式が得られる。

$$\ln(q/q_0) = -k_1 t \quad \cdots \cdots (2)$$

等温速度データより、(2) 式を用いて速度定数 k_1 を求めた。その結果を図2に示した。得られた速度定数のアレニウスプロットより次式を得た。

$$k_1 = 4.22 \times 10^6 \exp(-6.88 \times 10^4 / R_g T) \quad \cdots \cdots (3)$$

(3) 式を用いて440 K 付近までの第1段階の昇温データを検討するための、前報⁹⁾と同様鈴木ら⁷⁾の方法を用いて計算を行った。その結果を図3の波線で示した。計算結果は実測値と比較的良好に一致した。

次に、440 K 以上の高温での第2段階分解については等温速度実験が困難であるため、第1段の残渣の一部が1次で分解脱着していると仮定して、昇温測定結果を用いて鈴木らの方法により活性化エネルギーを求め、次式を得た。

$$k_2 = 1.34 \exp(-3.43 \times 10^4 / R_g T) \quad \cdots \cdots (4)$$

(3) 式を用いて計算結果を求めたのと同様に、(4) 式により440 K 以降の第2段階昇温過程の計算値を求め図3に波線で示した。

2. 2 水蒸気賦活

熱再生の第2段階を終えてもまだ吸着量の20%近くの残渣があることより、高温でさらに熱再生を続けるこ

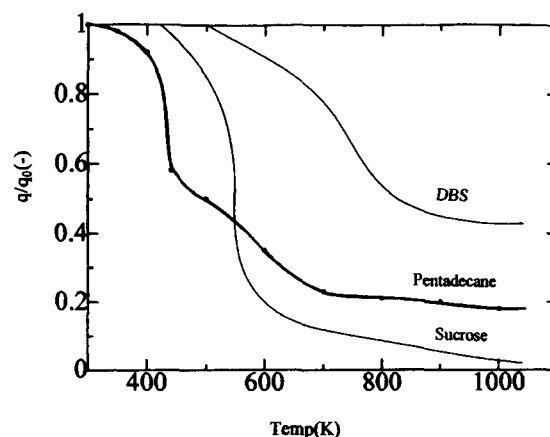


Fig.1 Typical TGA data for Pentadecane (heating rate=0.167K/s)

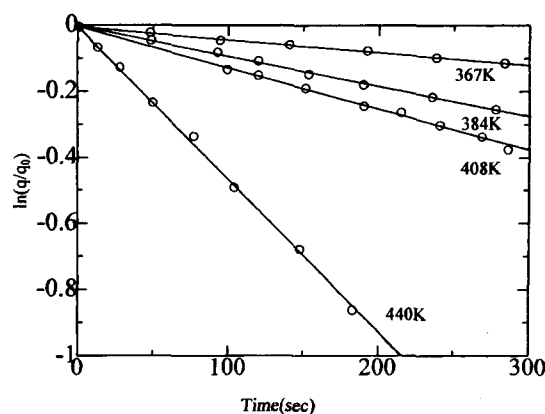


Fig.2 Data for initial rates for first process

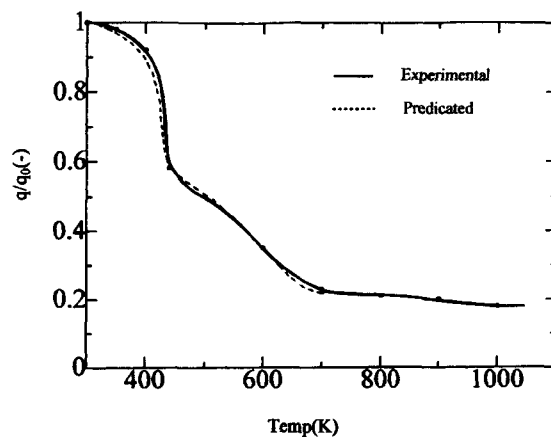


Fig.3 Experimental and predicted TGA curves

とは熱エネルギーの消費が大きくなるため最適な再生法とは言えない。そこで短時間で残渣(炭素)を除去するために、水蒸気による炭素の酸化を行い残渣炭素のガス化を行った。ガス化実験結果の一例を図4に示した。図より明らかなように、水蒸気濃度が高い程ガス化速度は速く、ほぼ直線的に残渣のガス化が進行した。水蒸気による炭素のガス化速度は、次式で表すことができる。

$$1/R = k_3' + (k_2' / (k_1' \cdot p_{H_2O})) p_{H_2} + 1 / (k_1' \cdot p_{H_2O}) \dots (5)$$

水素の影響のない条件で、ガス化実験を行った結果 k_1' 及び k_3' は、表1の値を得た。

2. 3 比表面積

熱再生及び水蒸気によるガス化実験を行い見かけ上、吸着残渣が0 ($q/q_0 = 0$) となった試料について比表面積の測定を行った。その結果を未使用活性炭の比表面積と共に表2に示した。表より明らかなように、ガス化実験後の比表面積は、完全に吸着前と同じ比表面積の値が得られた。従って、ペンタデカンを吸着した活性炭の再生は、熱再生及び水蒸気によるガス化で充分再生使用できると考えられる。

結 言

ペンタデカンを吸着した粒状活性炭の再生実験を行った結果、熱再生のみでは約20%の残渣が残ることが判った。また熱再生過程は440K付近までの比較的速い第1段階分解とそれ以降の遅い第2段階熱分解の2つのプロセスで進行すると考えられた。さらに残渣を水蒸気を用いてガス化実験を行い、見かけ上吸着残渣が0となるまで賦活を行った結果、再生後の比表面積はほぼ100%回復していることが判った。

Nomenclature

k_1, k_2 = rate constants of thermal cracking for first and second process [1/s]
 k_1' = rate constant of steam gasification [kg/(kg · s · Pa)]
 k_2', k_3' = parameters in rate equation [Pa⁻¹]
 P_{H_2O}, P_{H_2} = partial pressure of steam and hydrogen [Pa]
 q = amount adsorbed [g/g-carbon]

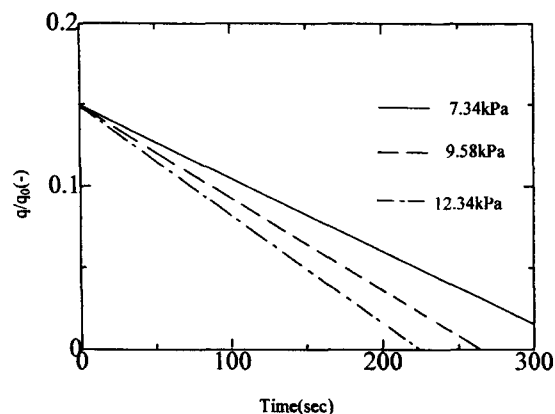


Fig.4 Mass vs.time for steam gasification (no hydrogen)

Table 1 Rate constant k_1' and k_3'

Temp	1103K	1123K	1143K
Rate constant			
k_1' [g/(g · s · Pa)]	$6.14 \cdot 10^{-7}$	$9.57 \cdot 10^{-7}$	$1.32 \cdot 10^{-6}$
k_3' [Pa ⁻¹]	0.0442	0.0874	0.0976

Table 2 Regeneration Condition and surface area

Samples	Virgin carbon	Sample No.1	Sample No.2
Conditions			
Gasification temperature (K)	—	1103	1143
Steam partial pressure (kPa)	—	7.32	12.34
Surface area (m ² /g)	1293	1305	1320

q_0 = initial amount adsorbed [g/g-carbon]

R = gasification rate [kg/(kg virgin carbon · s)]

t = time [s]

Literature cited

- 1) Umehara, T, P. Harriott and J. M. Smith, AIChE Journal **29**, 732 (1983)
- 2) Umehara, T, P. Harriott and J. M. Smith, *ibid*, **29**, 737 (1983)
- 3) Umehara, T and J. M. Smith, *ibid*, **30**, 177 (1984)
- 4) Umehara, T, Research Report of Nara National College of Technology, **23**, 49 (1985)
- 5) Umehara, T, *ibid*, **24**, 96 (1988)
- 6) Umehara, T, *ibid*, **28**, 87 (1992)
- 7) Suzuki, M, D. M. Misic, O. Koyama and K. Kawazoe, Chem. Eng. Sci., **33**, 271 (1978)

テーパ付きエアリフト気泡塔の酸素移動特性に及ぼす温度の影響

河越幹男・上田光洋

Effects of Temperature on Oxygen Transfer Rates in an Airlift Bubble Column with a Tapered Riser

Mikio KAWAGOE and Mitsuhiro UEDA

A novel type of external-loop airlift column which has a tapered riser was constructed. Gas holdups, liquid circulation rates and oxygen transfer rates were measured in this column. Effects of temperature on the gas holdup and oxygen transfer rate were investigated empirically in the temperature range of 17 °C to 40 °C. It was found that the oxygen transfer rate increased with increasing liquid temperature, while the gas holdup was affected slightly by a change in temperature. Both of the gas holdups and oxygen transfer rates were correlated empirically as functions of wet superficial air velocity. Also, the liquid circulation velocity was correlated with the gas holdup based on the pressure balance between the riser and downcomer.

緒 言

エアリフト気泡塔は酸素移動速度や混合速度が大きく、かつ穏和な流動環境を実現できるため、酸素消費速度の大きい酵母や繊細な植物細胞などの培養装置として注目されている。本研究で用いたテーパ付きエアリフト塔は、固体粒子を上昇管内に保持することが可能であるため、菌体を酸素濃度が大きい環境に保持でき、かつ、塔内を循環することによる菌体の損傷を防止できる。従って、このテーパ付きエアリフト塔は、菌体ペレットを生成する糸状菌類の培養や固定化生体触媒を用いるバイオリクターに適した特性を備えている [1, 2]。

このエアリフト塔を培養装置として用いる場合、培養の最適温度は菌種によって異なるので、酸素移動特性に及ぼす温度の影響を知る必要がある。本研究では、通常の培養温度である17℃～40℃の温度範囲において、酸素移動速度と流動特性に及ぼす温度の影響を実験的に検討した。

実 験

の上端径は0.20m、下端径は0.08mで、テーパ部分の長さは0.46mである。液仕込量は45.9dm³とした。上部と下部の連結管の間の高低差は1.55mである。ガス分散器として直径1mmの4個の孔を、テーパ部への導入部分の直管の壁面（塔底より0.295mの高さ）に設けた。実験は、液として水道水、ガスとして空気をを用いた。ガス流量は83～500cm³/sの範囲である。

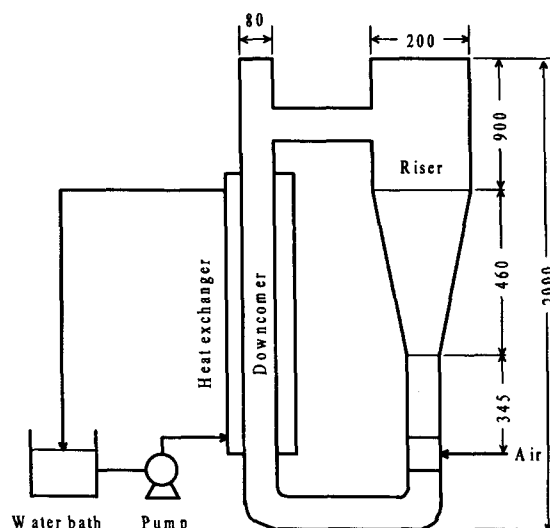


Fig. 1に実験装置の概略図を示した。塔はガラス製であり、全塔高は2.0m、全容量は57.7dm³である。上昇管

Fig. 1 Experimental setup

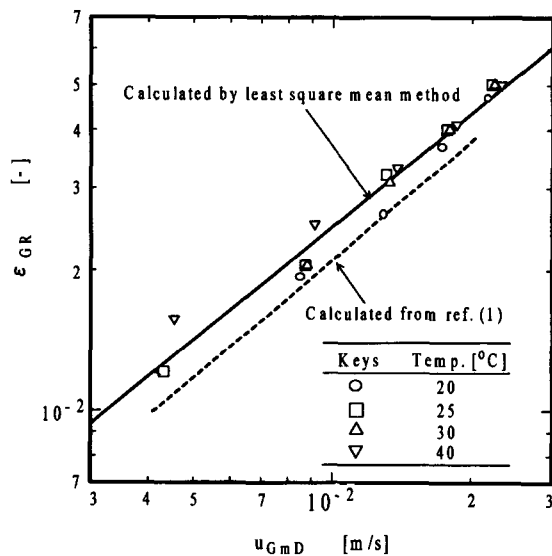


Fig. 2 Correlation of gas holdup as a function of wet mean superficial air velocity

液循環流量は、下降管内の液流速を直径約 3 mm のアルギン酸カルシウムゲル粒子をトレーサーに用いて測定した。ゲル粒子が下降管内の一定距離を流れるのに要する時間をビデオフィルムの解析から求め、流下距離を所要時間で除して液速度とした。この際、粒子沈降速度 (= 0.023 m/s) の補正も行った。

ガスホールドアップは、ガス体積をガス通気による上昇管及び下降管内の液面上昇から求め、それを全気液混相容積で除した商として求めた。

酸素移動速度は、次のようにして測定した。まず、塔内液の溶存酸素を窒素によって脱気する。次に、空気を吹き込み、そのときの溶存酸素の経時変化を DO メータで測定した。液回分式であるので、液存酸素の経時変化は次式で与えられる。

$$V_L \frac{dC}{dt} = k_L A (C_i - C) \quad (1)$$

ここで、 V_L は仕込み液量、 C_i は酸素の気液界面濃度、 C は時間 t における酸素の液本体濃度、 k_L は液側物質移動係数、 A は気液界面積である。初期条件、 $t=0$ で $C=0$ 、のもとで積分すると次式が得られる。

$$\ln \left(\frac{C_i - C}{C_i} \right) = -k_L a_L t \quad (2)$$

ここで、 $a_L = A/V_L$ であり単位液量あたりの気液界面積である。時間が十分大きくなると液は酸素で飽和され、酸素濃度は一定値 (飽和濃度) を示す。界面濃度 C_i はこの飽和濃度とした。(2) 式は、(2) 式の左辺を時間 t に対してプロットすれば直線となり、その勾配から単位液量あたりの容量係数 $k_L a_L$ が求められることを示して

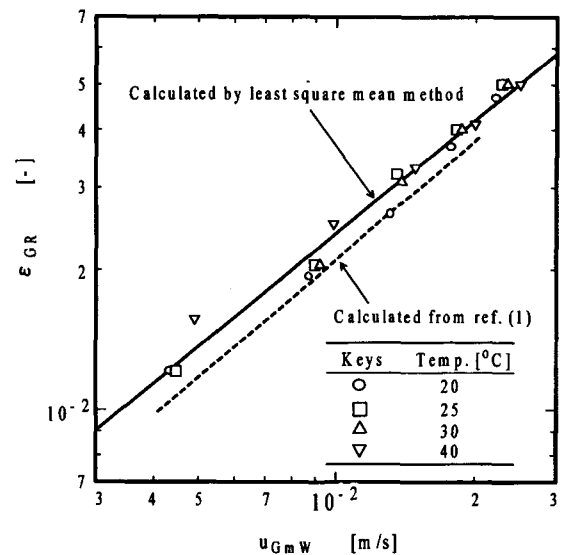


Fig. 3 Correlation of gas holdup as a function of wet mean superficial air velocity

いる。

下降管内の気泡量は上昇管内のそれに比べて小さいので、下降管内の物質移動を無視すると、上昇管単位容積当たりの酸素移動容量係数 $k_L a_R$ は次式でもとめられる。

$$k_L a_R = k_L a_L (V_L/V_R) \quad (3)$$

ここで、 V_R は上昇管内の気液混相容積である。ガス分散器より下の部分での物質移動は無視できるので、 V_R はガス分散孔より上の部分の容積とした。

実験結果及び検討

(1) ガスホールドアップ 気泡のほとんどは上昇管内に存在していたので、下降管内のガスホールドアップは無視した。Fig. 2 に上昇管内のガスホールドアップ ε_{GR} と上昇管内における平均空塔ガス流速 u_{GmD} の関係を示した。通常のエアリフト塔との比較を容易にするため、平均空塔ガス流速 u_{GmD} は次式で定義した。

$$u_{GmD} = \frac{G}{A_m} \quad (4)$$

ここで、 G はガス流量、 A_m は上昇管の有効容積を有効塔高さで除去した平均断面積である。本装置では $A_m = 0.0204 \text{ m}^2$ である。このプロットから ε_{GR} は温度と共にわずかに増加する傾向が認められる。図中の破線は drift-flux モデルに基づく計算値 [1] である。本実験値の方が若干大きくなっている。文献値は電極法による局所値を数値積分して得られた平均値であるが、本実験では目視法によった。本実験範囲では、空気流入による液面上

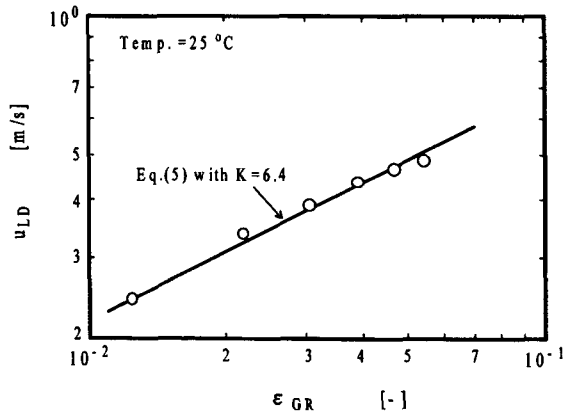


Fig. 4 Correlation of liquid circulation velocity with gas holdup

昇は10mm～45mm程度と小さく、かつ、液面の変動が大きいため、目視法に測定は誤差が大きい。特に低ガス流速において両者の差が大きいのは、この測定法の違いによるものと考えられる。

液温度が高くなると水蒸気圧が高くなり、空気に同伴する水蒸気量が増加するため、ガス流量が増加する。ガスホールドアップの温度による増加はこのためと考えられる。そこで、吹き込み空気は乾燥空気と仮定し、塔内では水蒸気で飽和されるとして、(4) 式で定義される乾燥空気流速の代わりに、湿潤空気流速 u_{GmW} を次式で定義した。

$$u_{GmW} = \left(\frac{P_o}{P_o - P_w} \right) u_{GmD} \quad (5)$$

ここで P_o は大気圧、 P_w は飽和水蒸気圧である。Fig. 3 にガスホールドアップ ϵ_{GR} 対 u_{GmW} の関係を示した。相関精度は、わずかではあるが、Fig. 2 よりも良くなった。このプロットから次式を得た。

$$\epsilon_{GR} = 1.00 u_{GmW}^{0.81} \quad (6)$$

(2) 液循環流量 液循環流は上昇管と下降管の静圧差によって誘起される。上昇管と下降管のガスホールドアップを ϵ_{GR} 、 ϵ_{GD} とすると、静圧差は $(\epsilon_{GR} - \epsilon_{GD}) gH$ で与えられるので、下降管内の液循環流速 u_{LD} は次式で与えられる [3]。

$$u_{LD} = \sqrt{\frac{2gH (\epsilon_{GR} - \epsilon_{GD}) (1 - \epsilon_{GD})}{K}} \quad (7)$$

ここで、 H は両連結管の高低差 ($H = 1.55 \text{ m}$)、 K は管路内の全抵抗係数である。ガス流速が小さい場合には、

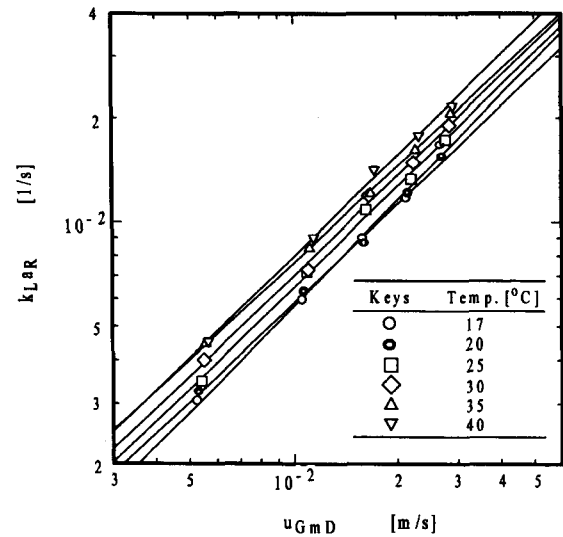


Fig. 5 Plots volumetric mass transfer coefficients in the riser against dry mean superficial air velocity

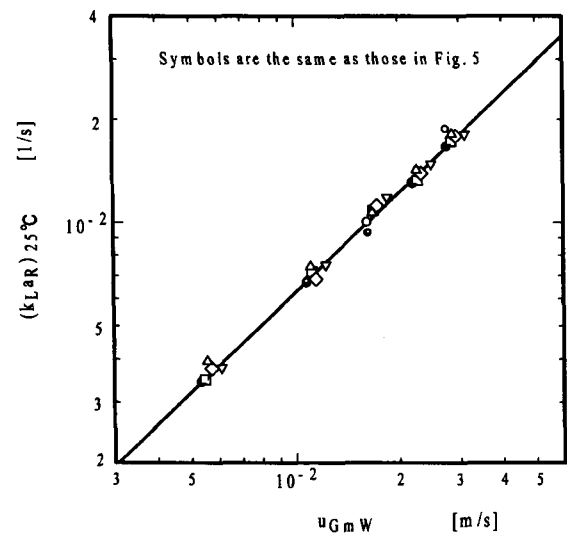


Fig. 6 Correlation of volumetric mass transfer coefficient as a function of wet mean superficial air velocity

下降管内のガスホールドアップは小さく、 $\epsilon_{GD} = 0$ と見なせるので、 u_{LD} は ϵ_{GR} の $1/2$ 乗に比例する。Fig. 4 に下降内における液循環流速 u_{LD} とガスホールドアップ ϵ_{GR} の関係 (25 °C) を示した。このプロットから $K = 6.4$ と求められた。ガス流量の大きいところ、即ち ϵ_{GR} の大きい範囲では、下降管内に気泡が同伴されるため、液循環流量が若干減少する傾向が認められる。

(3) 酸素移動容量係数 Fig. 5 に酸素移動容量係数 k_{LaR} と乾燥空気流速 u_{GmD} のプロットを示した。容量係数はガス流速と共に増加し、また、温度が高いほど大きいことが分かる。

物質移動係数 k_L は液相における酸素の分子拡散係数 D_A の $1/2$ 乗に比例するので、この関係を利用して次式

から各温度における容量係数を25℃の値に換算した：

$$(k_L a_R)_{25^\circ\text{C}} = k_L a_R \sqrt{\frac{D_{A0}}{D_A}} \quad (8)$$

ここで、 D_{A0} は25℃における酸素の分子拡散係数である。 D_A と温度の関係はWilke-Changの式($D_A \mu / T = \text{const.}$ ： μ は粘度、 T は絶対温度)から推算した[4]。

相関因子として、同伴水蒸気量を考慮した湿潤空気流速 u_{GmW} を用いた。Fig. 6に $(k_L a_R)_{25^\circ\text{C}}$ 対 u_{GmW} のプロットを示した。全データは一本の直線で良く相関されることが分かる。このプロットから次式を得た。

$$(k_L a_R)_{25^\circ\text{C}} = 0.527 U_{GmW}^{0.96} \quad (9)$$

即ち、湿潤空気流速を用いれば、酸素移動容量係数と空気流速の関係は、温度に無関係に(9)式で相関できた。

結 言

外部液循環式テーパ付きエアリフト気泡塔のガスホールドアップ、液循環流量、液側酸素移動容量係数を測定し、液温度の影響について検討した。その結果、容量係数は、温度と共に増加することが分かった。ガスホールドアップと酸素移動容量係数は湿潤空塔空気流速を用いて相関できた。また、液循環速度をガスホールドアップの関数として相関した。

Nomenclature

A =gas-liquid interfacial area	[m ²]
A_m =mean crosssectional area of riser	[m ²]
a_L =gas-liquid interfacial area per unit liquid volume	[m ⁻¹]
a_R =gas-liquid interfacial area per unit volume of riser	[m ⁻¹]
C =oxygen concentration in water	[kmol/m ³]
C_i =oxygen concentration at air-water interface	[kmol/m ³]
D_A =oxygen diffusivity in water	[m ² /s]
g =gravitational acceleration	[m/s ²]
G =gas flow rate	[m ³ /s]
H =difference in height between top and bottom connection tube	[m]
K =coefficient of resistance in liquid flow loop	[-]
k_L =liquid-side mass transfer coefficient	[m/s]

P_0 =atmospheric pressure	[Pa]
P_w =saturated vapor pressure of water	[Pa]
T =temperature	[K]
t =time	[s]
u_{GmD} =dry mean superficial air velocity based on A_m	[m/s]
u_{GmW} =wet mean superficial air velocity based on A_m	[m/s]
u_{LD} =liquid velocity in the downcomer <Greek>	[m/s]
ε_{GR} =gas holdup in the riser	[-]
ε_{GD} =gas holdup in the downcomer	[-]

References

- 1) Kawagoe, M. and T. Maeoka: Kagaku Kogaku Ronbunshu, **22**, 629-634 (1996)
- 2) Kawagoe, M., K. Hyakumura, S. Suye, K. Miki and K. Naoe: J. Ferment. Bioeng., **84**, 333-336 (1997)
- 3) Chisti, M. Y., B. Halard and M. Moo-Young: Chem. Eng. Sci., **43**, 451-457 (1998)
- 4) Kagaku Kogaku Kyokai: "Kagaku Kogaku Binran", 4-th ed., Maruzen Co., Tokyo (1978)

MS代数とストーン代数のシーケントによる形式化

Sequential formulations for
MS-algebras and Stone algebras

荒 金 憲 一

Kenichi ARAGANE

最小元 0 と最大元 1 をもつ分配束 (bounded distributive lattice) でド・モルガン律 (F 9, F 9°) と 2 重否定律 ($\neg\neg x = x$) を満たす代数系がド・モルガン代数 (De Morgan algebra; [6] の弱ファジー集合算と同じ) である。また, bounded distributive lattice でド・モルガン律と半 2 重否定律 (F 8, F 8°) と最小元・最大元に関する補元律 (F 10, F 10°) と矛盾律 (F 11) を満たす代数系がストーン代数 (Stone algebra; [3] の擬ファジイ代数 (PFA) と同じ) である。さらに, ド・モルガン代数とストーン代数に共通な代数系が MS 代数 (MS-algebra; [1], [2], [4]) である。ド・モルガン代数と演繹的に同値な, G. Gentzen の方法 ([5]) でのシーケント (式) による形式的体系 GWFS は [6] で既に与えられている。本論文では, MS 代数とストーン代数にそれぞれ演繹的に同値な, シーケントによる形式的体系 GMSA, GSA を考える。

1. ワード

[定義 1] (ワードの定義)

- (1) 定数 0, 1 はワードである。
- (2) 変数 $p_1, p_2, \dots, p_n, \dots$ はワードである。
- (3) x と y がワードのとき $x \wedge y, x \vee y, \neg x$ はワードである。
- (4) 以上の (1), (2), (3) によって構成された記号列のみがワードである。

ワード全体の集合を A とし, 代数系 $\mathfrak{A} = (A; \wedge, \vee, \neg, 0, 1)$ を考える。

2. MS代数

[定義 2] (MS 代数の定義)

A の任意の元 x, y, z に対して, 次の F 1 ~ F 10° が成り立つとき, 代数系 $\mathfrak{A}$ を MS 代数 (MSA) とよぶ。

$$F 1 \quad x \wedge 0 = 0$$

$$F 2 \quad x \wedge 1 = x$$

$$F 3 \quad x \wedge x = x$$

$$F 4 \quad x \wedge y = y \wedge x$$

$$F 5 \quad (x \wedge y) \wedge z = x \wedge (y \wedge z)$$

$$F 6 \quad x \wedge (x \vee y) = x$$

$$F 7 \quad x \wedge (y \vee z) = (x \wedge y) \vee (x \wedge z)$$

$$F 1^\circ \quad x \vee 1 = 1$$

$$F 2^\circ \quad x \vee 0 = x$$

$$F 3^\circ \quad x \vee x = x$$

$$F 4^\circ \quad x \vee y = y \vee x$$

$$F 5^\circ \quad (x \vee y) \vee z = x \vee (y \vee z)$$

$$F 6^\circ \quad x \vee (x \wedge y) = x$$

$$F 7^\circ \quad x \vee (y \wedge z) = (x \vee y) \wedge (x \vee z)$$

$$F 8 \quad x \wedge \neg \neg x = x$$

$$F 9 \quad \neg (x \wedge y) = \neg x \vee \neg y$$

$$F 10 \quad \neg 0 = 1$$

$$F 8^\circ \quad x \vee \neg \neg x = \neg \neg x$$

$$F 9^\circ \quad \neg (x \vee y) = \neg x \wedge \neg y$$

$$F 10^\circ \quad \neg 1 = 0$$

[定義3] (不等式の定義)

x, y を A の任意の元とする. $x \wedge y = x$ が成り立つとき, $x \leq y$ と書く.

[1], [2], [4] より, 次のことが成り立つ.

[注意1] 次の (1), (2) は互いに同値である.

$$(1) \text{ 代数系 } \mathfrak{A} \text{ が MS 代数である} \iff (2) \begin{cases} \mathfrak{A} \text{ が } F1 \sim F7^\circ \text{ を満たす} \\ \neg (x \wedge y) = \neg x \vee \neg y \\ x \leq \neg \neg x \\ \neg 1 = 0 \end{cases}$$

[6], [7] と同様にして, 次の定理が成り立つ.

[定理1] 代数系 $\mathfrak{A}$ が MS 代数 (MSA) であり (つまり $F1 \sim F10^\circ$ が成り立つ), かつ定義3により $x \leq y$ が定義される $\iff A$ の任意の元 x, y, z に対して $\mathfrak{A}$ で次の $T1 \sim T12$ が成り立つ.

$$T1 \quad x \leq x$$

$$T2 \quad x \leq y, y \leq x \iff x = y$$

$$T3 \quad x \leq y, y \leq z \implies x \leq z$$

$$T4 \quad x \leq y \iff x \vee y = y$$

$$T5 \quad 0 \leq x$$

$$T6 \quad x \wedge y \leq x, x \wedge y \leq y$$

$$T7 \quad z \leq x, z \leq y \implies z \leq x \wedge y$$

$$T8 \quad x \wedge (y \vee z) \leq (x \wedge y) \vee (x \wedge z)$$

$$T9 \quad x \leq y \implies \neg y \leq \neg x$$

$$T10 \quad x \leq \neg \neg x$$

$$T11 \quad \neg (x \wedge y) \leq \neg x \vee \neg y$$

$$T12 \quad \neg 1 \leq x$$

$$T5^\circ \quad x \leq 1$$

$$T6^\circ \quad x \leq x \vee y, y \leq x \vee y$$

$$T7^\circ \quad x \leq z, y \leq z \implies x \vee y \leq z$$

$$T8^\circ \quad (x \vee y) \wedge (x \vee z) \leq x \vee (y \wedge z)$$

$$T11^\circ \quad \neg x \wedge \neg y \leq \neg (x \vee y)$$

(証明)

$\implies$:

$T1$: $F3$ と定義3から $x \leq x$ が成り立つ.

$T2$: $\implies$ について. $x \leq y, y \leq x$ とすると $x \wedge y = x, y \wedge x = y$ であり, $F4$ から $x = y$ が成り立つ.

$\impliedby$ について. $x = y$ とすると $F3$ から $x \wedge y = x \wedge x = x$ で $x \leq y$ が成り立つ. 同様に $y \leq x$ が成り立つ.

$T3$: $x \leq y, y \leq z$ とすると $x \wedge y = x, y \wedge z = y$. $F5$ から $x \wedge z = (x \wedge y) \wedge z = x \wedge (y \wedge z) = x \wedge y = x$ で $x \leq z$ が成り立つ.

$T4$: $\implies$ について. $x \leq y$ とすると $x \wedge y = x$ であり, $F4, F4^\circ, F6^\circ$ から $x \vee y = (x \wedge y) \vee y = y \vee (y \wedge x) = y$.

$\impliedby$ について. $x \vee y = y$ とすると $F6$ から $x \wedge y = x \wedge (x \vee y) = x$ で $x \leq y$ が成り立つ.

$T5$: $F4, F1$ から $0 \wedge x = x \wedge 0 = 0$ で $0 \leq x$ が成り立つ.

$T5^\circ$: $F2$ から $x \leq 1$ が成り立つ.

T6 : F5, F4, F3 から $(x \wedge y) \wedge x = (x \wedge x) \wedge y = x \wedge y$ で $x \wedge y \leq x$ が成り立つ. 同様に $x \wedge y \leq y$ も成り立つ.

T6° : F6 から $x \leq x \vee y$ が成り立つ. F4° と F6 から $y \wedge (x \vee y) = y \wedge (y \vee x) = y$ で $y \leq x \vee y$ も成り立つ.

T7 : $z \leq x, z \leq y$ とすると $z \wedge x = z, z \wedge y = z$. F5 から $z \wedge (x \wedge y) = (z \wedge x) \wedge y = z \wedge y = z$ で $z \leq x \wedge y$ が成り立つ.

T7° : $x \leq z, y \leq z$ とすると T4 から $x \vee z = z, y \vee z = z$. F5° から $(x \vee y) \vee z = x \vee (y \vee z) = x \vee z = z$ で $x \vee y \leq z$ が成り立つ.

T8 : F7 と T2 から成り立つ.

T8° : F7° と T2 から成り立つ.

T9 : $x \leq y$ とすると T4 より $x \vee y = y$. 両辺に否定をとると, F9°, F4 から $\neg y \wedge \neg x = \neg y$ で $\neg y \leq \neg x$ が成り立つ.

T10 : F8 から $x \leq \neg \neg x$ が成り立つ.

T11 : F9 と T2 から $\neg (x \wedge y) \leq \neg x \vee \neg y$ が成り立つ.

T11° : F9° と T2 から成り立つ.

T12 : F10°, F4, F1 から $\neg 1 \wedge x = 0 \wedge x = x \wedge 0 = 0 = \neg 1$ で $\neg 1 \leq x$ が成り立つ.

⇐ :

(定義3) $x \leq y \iff x \wedge y = x$ であること : $\implies$ について. $x \leq y$ とする. T1 とこれに T7 を使って $x \leq x \wedge y$.

T6 より $x \wedge y \leq x$ であり, T2 から $x \wedge y = x$ が成り立つ. $\Leftarrow$ について. $x \wedge y = x$ とする. T6 から $x \wedge y \leq y$ であり, 代入して $x \leq y$ が成り立つ.

F4 : T6 から $x \wedge y \leq y, x \wedge y \leq x$ であり, T7 を使って $x \wedge y \leq y \wedge x$. 同様に $y \wedge x \leq x \wedge y$ で T2 から $x \wedge y = y \wedge x$ が成り立つ.

F4° : F4 と双対である.

F1 : T5 と定義3 と F4 から $x \wedge 0 = 0$ が成り立つ.

F1° : T5° と T4 から成り立つ.

F2 : T5° と定義3 から $x \wedge 1 = x$ が成り立つ.

F2° : T5 と T4 と F4° から成り立つ.

F3 : T1 と定義3 から成り立つ.

F3° : T1 と T4 から成り立つ.

F5 : T6 から $(x \wedge y) \wedge z \leq x \wedge y, x \wedge y \leq x, x \wedge y \leq y$. T3 より $(x \wedge y) \wedge z \leq x \dots (1), (x \wedge y) \wedge z \leq y \dots (2)$. また, T6 から $(x \wedge y) \wedge z \leq z$. (2) とこれに T7 を使うと $(x \wedge y) \wedge z \leq y \wedge z \dots (3)$. (1) と (3) に T7 を使うと $(x \wedge y) \wedge z \leq x \wedge (y \wedge z)$. 同様に $x \wedge (y \wedge z) \leq (x \wedge y) \wedge z$. よって T2 から $(x \wedge y) \wedge z = x \wedge (y \wedge z)$ が成り立つ.

F5° : F5 と双対である.

F6 : T6° の $x \leq x \vee y$ と定義3 から $x \wedge (x \vee y) = x$ が成り立つ.

F6° : T6 の $x \wedge y \leq x$ で T4 から $(x \wedge y) \vee x = x$ であり, F4° より成り立つ.

F7 : T6 から $x \wedge y \leq x, x \wedge z \leq x$ であり, T7° を使うと $(x \wedge y) \vee (x \wedge z) \leq x \dots (4)$. T6, T6° から $x \wedge y \leq y, y \leq y \vee z$ であり, T3 より $x \wedge y \leq y \vee z$. 同様に $x \wedge z \leq z, z \leq y \vee z$ から $x \wedge z \leq y \vee z$. これらに T7° を使うと

$(x \wedge y) \vee (x \wedge z) \leq y \vee z \dots (5)$. (4), (5) で T7 を使うと $(x \wedge y) \vee (x \wedge z) \leq x \wedge (y \vee z) \dots (6)$. そこで, T8 と (6) で T2 から $x \wedge (y \vee z) = (x \wedge y) \vee (x \wedge z)$ が成り立つ.

F7° : F7 と双対である.

F8 : T10 と定義3 から成り立つ.

F8° : T10 と T4 から成り立つ.

F9 : T6 で T9 を使うと $\neg x \leq \neg (x \wedge y), \neg y \leq \neg (x \wedge y)$. これらに T7° を使うと $\neg x \vee \neg y \leq \neg (x \wedge y)$. これと T11 で T2 より $\neg (x \wedge y) = \neg x \vee \neg y$ が成り立つ.

F9° : F9 と双対である.

F10 : T5° より $\neg 0 \leq 1 \dots (7)$. また, T5 から $0 \leq \neg 1$ で T9 を使うと $\neg \neg 1 \leq \neg 0$. T10 より $1 \leq \neg \neg 1$ であり, T3 から $1 \leq \neg 0$. これと (7) で T2 から $\neg 0 = 1$ が成り立つ.

$F10^\circ$: $T12$ より $\neg 1 \leq 0$. $T5$ より $0 \leq \neg 1$ で $T2$ から $\neg 1 = 0$ が成り立つ.

(証明終)

[注意2] 束 ($T1 \sim T3$ と $T6 \sim T7^\circ$ が成り立つ) において, 次の (1), (2) が成り立つ.

$$(1) (x \leq \neg \neg x \text{ かつ } (x \leq y \implies \neg y \leq \neg x)) \iff (x \leq \neg y \implies y \leq \neg x)$$

$$(2) \neg (x \vee y) \leq \neg x \wedge \neg y \iff (x \leq y \implies \neg y \leq \neg x)$$

(証明)

(1) : $\implies$: $x \leq \neg y$ とすると仮定から $\neg \neg y \leq \neg x$ であり, $y \leq \neg \neg y$ より $T3$ から $y \leq \neg x$ が成り立つ. $\Leftarrow$: $T1$ より $\neg x \leq \neg x$ で仮定から $x \leq \neg \neg x$ が成り立つ. 次に, $x \leq y$ とする. $y \leq \neg \neg y$ で $T3$ より $x \leq \neg \neg y$ であり, 仮定から $\neg y \leq \neg x$ が成り立つ.

(2) : $\implies$: $x \leq y$ とすると束で成り立つ $T4$ から $x \vee y = y$. これを仮定の不等式の左辺に代入すると $\neg y \leq \neg x \wedge \neg y$. また, $T6$ より $\neg x \wedge \neg y \leq \neg x$ で $T3$ から $\neg y \leq \neg x$ が成り立つ. $\Leftarrow$: $T6^\circ$ の $x \leq x \vee y, y \leq x \vee y$ で仮定を使うと $\neg (x \vee y) \leq \neg x, \neg (x \vee y) \leq \neg y$. $T7$ を使うと $\neg (x \vee y) \leq \neg x \wedge \neg y$ が成り立つ.

(証明終)

[注意3] 束において, 次の (1), (2) が成り立つ.

$$(1) x \leq y, u \leq v \implies x \wedge u \leq y \wedge v \text{ (}\wedge\text{についての単調性)}$$

$$(2) x \leq y, u \leq v \implies x \vee u \leq y \vee v \text{ (}\vee\text{についての単調性)}$$

(証明)

(1) : $x \leq y, u \leq v$ とする. $x \wedge u \leq x \leq y$ から $x \wedge u \leq y$. 同様に, $x \wedge u \leq u \leq v$ から $x \wedge u \leq v$. $T7$ を使うと $x \wedge u \leq y \wedge v$ が成り立つ.

(2) : 同様にして $x \leq y \leq y \vee v, u \leq v \leq y \vee v$ で $T7^\circ$ から $x \vee u \leq y \vee v$ が成り立つ.

(証明終)

3. MS代数のシーケントによる形式的体系 GMSA

[定義4] (シーケント (式) の定義)

ワードの有限列をギリシア大文字 Γ, Δ など表す. ワードの有限列 $a_1, \dots, a_m$ を Γ とし, $b_1, \dots, b_n$ を Δ とするとき, MSA での不等式 $a_1 \wedge \dots \wedge a_m \leq b_1 \vee \dots \vee b_n$ をシーケント (式) $\Gamma \rightarrow \Delta$ で表す. ただし, Γ が空のとき ($\Gamma = \emptyset$ と書く), $1 \leq b_1 \vee \dots \vee b_n$ とし, $\Delta = \emptyset$ のときは $a_1 \wedge \dots \wedge a_m \leq 0$ とする. $\Gamma = \Delta = \emptyset$ の場合は考えない.

このとき, MS 代数 (MSA) のシーケントによる形式的体系 $GMSA$ を次のように定義する.

[定義5] ($GMSA$ の定義)

[1] 始式

$$(B1) a \rightarrow a \quad (B2) 0 \rightarrow \Delta \quad (B3) \Gamma \rightarrow 1 \quad (B4) a \rightarrow \neg \neg a$$

[2] 推論規則

(1) 構造に関する推論規則 :

$$\frac{\Gamma \rightarrow \Delta}{a, \Gamma \rightarrow \Delta} (w \rightarrow) \quad \frac{\Gamma \rightarrow \Delta}{\Gamma \rightarrow \Delta, a} (\rightarrow w)$$

$$\frac{a, a, \Gamma \rightarrow \Delta}{a, \Gamma \rightarrow \Delta} (c \rightarrow) \quad \frac{\Gamma \rightarrow \Delta, a, a}{\Gamma \rightarrow \Delta, a} (\rightarrow c)$$

$$\frac{\Gamma_1, a, b, \Gamma_2 \rightarrow \Delta}{\Gamma_1, b, a, \Gamma_2 \rightarrow \Delta} (e \rightarrow) \quad \frac{\Gamma \rightarrow \Delta_1, a, b, \Delta_2}{\Gamma \rightarrow \Delta_1, b, a, \Delta_2} (\rightarrow e)$$

$$\frac{\Gamma_1 \rightarrow \Delta_1, a \quad a, \Gamma_2 \rightarrow \Delta_2}{\Gamma_1, \Gamma_2 \rightarrow \Delta_1, \Delta_2} (cut)$$

(2) 論理記号に関する推論規則：

$$\frac{a, \Gamma \rightarrow \Delta}{a \wedge b, \Gamma \rightarrow \Delta} (\wedge_1 \rightarrow) \quad \frac{b, \Gamma \rightarrow \Delta}{a \wedge b, \Gamma \rightarrow \Delta} (\wedge_2 \rightarrow)$$

$$\frac{\Gamma \rightarrow \Delta, a}{\Gamma \rightarrow \Delta, a \vee b} (\rightarrow \vee_1) \quad \frac{\Gamma \rightarrow \Delta, b}{\Gamma \rightarrow \Delta, a \vee b} (\rightarrow \vee_2)$$

$$\frac{a, \Gamma \rightarrow \Delta \quad b, \Gamma \rightarrow \Delta}{a \vee b, \Gamma \rightarrow \Delta} (\vee \rightarrow) \quad \frac{\Gamma \rightarrow \Delta, a \quad \Gamma \rightarrow \Delta, b}{\Gamma \rightarrow \Delta, a \wedge b} (\rightarrow \wedge)$$

$$\frac{\Gamma \rightarrow \Delta}{\neg \Delta \rightarrow \neg \Gamma} (\neg \rightarrow \neg)$$

ただし、 Γ が $a_1, \dots, a_m$ のときは $\neg \Gamma$ は、 $\neg a_m, \dots, \neg a_1$ を表し、 $\Gamma = \emptyset$ のときは $\neg \Gamma = \emptyset$ とする。

[注意 4] 始式 (B 4) は次の論理記号に関する推論規則 $(\rightarrow \neg \neg)$ と同値である。

$$\frac{\Gamma \rightarrow \Delta, a}{\Gamma \rightarrow \Delta, \neg \neg a} (\rightarrow \neg \neg)$$

(証明)

$$(B4) \implies (\rightarrow \neg \neg) : \quad \frac{\Gamma \rightarrow \Delta, a \quad a \rightarrow \neg \neg a}{\Gamma \rightarrow \Delta, \neg \neg a} (cut)$$

$$(\rightarrow \neg \neg) \implies (B4) : \quad \frac{a \rightarrow a}{a \rightarrow \neg \neg a} (\rightarrow \neg \neg)$$

(証明終)

4. MSA と GMSA の演繹的同値性

[定義 6] ($MS \vdash$ の定義)

シーケント $\Gamma \rightarrow \Delta$ が $GMSA$ で証明可能であるとき、 $MS \vdash \Gamma \rightarrow \Delta$ と書く。

[定義 7] ($MS \models$ の定義)

不等式 $a \leq b$ が MSA で成り立つとき、 $MS \models a \leq b$ と書く。

[定義 8] (MSA での等号の定義)

a, b をワードとする。 $MS \vdash a \rightarrow b$ かつ $MS \vdash b \rightarrow a$ のとき $a \equiv b$ とすれば、 $\equiv$ は同値関係である。そこで $A / \equiv$ (A の $\equiv$ による商集合) をあらためて A とし、 $\equiv$ を $=$ とみなしたものを MSA での等号とする。(つまり、リンデンバウム代数 (Lindenbaum algebra) を考える。)

このとき [6], [7] と同様にして、次のことが成り立つ。

[定理 2] a, b をワードとすると、次のことが成り立つ.

$$MS \models a \leq b \text{ ならば } MS \vdash a \rightarrow b$$

(証明)

MSA のすべての公理 (F 1 ~ F 10°) が $GMSA$ で証明可能であることを示せばよいが、これらと同値な T 1 ~ T 12 が $GMSA$ で証明可能であることを示す.

T 1 : 始式 (B 1) から成り立つ.

T 2 : 定義 8 から成り立つ.

$$T 3 : \frac{x \rightarrow y \quad y \rightarrow z}{x \rightarrow z}$$

$$T 4 : \Rightarrow : \frac{x \rightarrow y \quad y \rightarrow y}{x \vee y \rightarrow y} \quad \frac{y \rightarrow y}{y \rightarrow x \vee y} \quad \Leftarrow : \frac{x \rightarrow x}{x \rightarrow x \vee y} \quad \frac{x \vee y \rightarrow y}{x \rightarrow y}$$

T 5 : 始式 (B 2) から成り立つ.

T 5° : 始式 (B 3) から成り立つ.

$$T 6 : \frac{x \rightarrow x}{x \wedge y \rightarrow x} \quad \frac{y \rightarrow y}{x \wedge y \rightarrow y}$$

T 6° : T 6 と双対である.

$$T 7 : \frac{z \rightarrow x \quad z \rightarrow y}{z \rightarrow x \wedge y}$$

T 7° : T 7 と双対である.

$$T 8 : \frac{\frac{\frac{x \rightarrow x}{x \rightarrow x \wedge y, x} \quad \frac{x \rightarrow x}{x \rightarrow x, z} \quad \frac{\frac{y \rightarrow y}{y \rightarrow y, z} \quad \frac{z \rightarrow z}{z \rightarrow y, z}}{y \vee z \rightarrow y, z}}{x \wedge (y \vee z) \rightarrow x, z} \quad \frac{x \wedge (y \vee z) \rightarrow y, z}{x \wedge (y \vee z) \rightarrow x \wedge y, x} \quad \frac{x \wedge (y \vee z) \rightarrow x \wedge y, z}{x \wedge (y \vee z) \rightarrow x \wedge y, x \wedge z} \quad \frac{x \wedge (y \vee z) \rightarrow x \wedge y, x \wedge z}{x \wedge (y \vee z) \rightarrow (x \wedge y) \vee (x \wedge z), (x \wedge y) \vee (x \wedge z)} \quad \frac{x \wedge (y \vee z) \rightarrow (x \wedge y) \vee (x \wedge z), (x \wedge y) \vee (x \wedge z)}{x \wedge (y \vee z) \rightarrow (x \wedge y) \vee (x \wedge z)}$$

T 8° : T 8 と双対である.

$$T 9 : \frac{x \rightarrow y}{\neg y \rightarrow \neg x}$$

T 10 : 始式 (B 4) から成り立つ.

$$T 11 : \frac{\frac{x \rightarrow x}{y, x \rightarrow x} \quad \frac{y \rightarrow y}{y, x \rightarrow y}}{y, x \rightarrow x \wedge y} \quad \frac{\neg(x \wedge y) \rightarrow \neg x, \neg y}{\neg(x \wedge y) \rightarrow \neg x \vee \neg y}$$

T 11° : T 11 と双対である.

$$T 12 : \frac{\rightarrow 1}{\neg 1 \rightarrow} \quad \frac{\neg 1 \rightarrow}{\neg 1 \rightarrow x}$$

(証明終)

[定理 3] $a_1, \dots, a_m, b_1, \dots, b_n$ をワードとすると、次のことが成り立つ.

$$MS \vdash a_1, \dots, a_m \rightarrow b_1, \dots, b_n \text{ ならば } MS \models a_1 \wedge \dots \wedge a_m \leq b_1 \vee \dots \vee b_n$$

(証明)

Γ が $a_1, \dots, a_m$ のとき $a_1 \wedge \dots \wedge a_m$ を x などと表す. Δ が $b_1, \dots, b_n$ のとき $b_1 \vee \dots \vee b_n$ を y などと表す. $GMSA$ の始式 (B1) ~ (B4) はそれぞれ T1, T5, T5°, T10 から MSA で成り立つ. 次に, $GMSA$ の各推論規則の上式 (上のシーケント) に対応する不等式が MSA で成り立つと仮定するとき, 下式に対応する不等式が MSA で成り立つことを示せばよい.

$(w \rightarrow)$: $MS \models x \leq y$ とする. T6 より $a \wedge x \leq x$ すると, T3 から $MS \models a \wedge x \leq y$.

$(\rightarrow w)$: $(w \rightarrow)$ と双対である.

$(c \rightarrow)$: $MS \models a \wedge a \wedge x \leq y$ とする. F3 より $a \wedge a = a$ で $MS \models a \wedge x \leq y$.

$(\rightarrow c)$: $(c \rightarrow)$ と双対である.

$(e \rightarrow)$: $MS \models x_1 \wedge a \wedge b \wedge x_2 \leq y$ とする. F4 より $a \wedge b = b \wedge a$ で $MS \models x_1 \wedge b \wedge a \wedge x_2 \leq y$.

$(\rightarrow e)$: $(e \rightarrow)$ と双対である.

(cut) : $MS \models x_1 \leq y_1 \vee a$ かつ $MS \models a \wedge x_2 \leq y_2$ とする. T1 より $x_2 \leq x_2$ であり, 注意3の $\wedge$ についての単調性から $x_1 \wedge x_2 \leq (y_1 \vee a) \wedge x_2$. F4, T8 より $(y_1 \vee a) \wedge x_2 \leq (y_1 \wedge x_2) \vee (a \wedge x_2)$ で T3 から $x_1 \wedge x_2 \leq (y_1 \wedge x_2) \vee (a \wedge x_2) \dots \dots (1)$. また, T6 より $y_1 \wedge x_2 \leq y_1$ と仮定 $a \wedge x_2 \leq y_2$ で注意3の $\vee$ についての単調性を使うと $(y_1 \wedge x_2) \vee (a \wedge x_2) \leq y_1 \vee y_2 \dots \dots (2)$. (1), (2) で T3 から $MS \models x_1 \wedge x_2 \leq y_1 \vee y_2$.

$(\wedge_1 \rightarrow)$: $MS \models a \wedge x \leq y$ とする. T6 より $a \wedge b \leq a$. T1 から $x \leq x$. 注意3の $\wedge$ についての単調性を使うと $a \wedge b \wedge x \leq a \wedge x$. すると, 仮定と T3 から $MS \models a \wedge b \wedge x \leq y$.

$(\wedge_2 \rightarrow)$: $(\wedge_1 \rightarrow)$ と同様にできる.

$(\rightarrow \vee_i)$: $(\wedge_i \rightarrow)$ と双対である.

$(\vee \rightarrow)$: $MS \models a \wedge x \leq y$ かつ $MS \models b \wedge x \leq y$ とする. T7° を使うと $(a \wedge x) \vee (b \wedge x) \leq y$. F4, T8 より $(a \vee b) \wedge x \leq (a \wedge x) \vee (b \wedge x)$. T3 から $MS \models (a \vee b) \wedge x \leq y$.

$(\rightarrow \wedge)$: $(\vee \rightarrow)$ と双対である.

$(\neg \rightarrow \neg)$: $MS \models x \leq y$ とする. T9 より $MS \models \neg y \leq \neg x$.

(証明終)

以上により MSA と $GMSA$ が演繹的に同値であることがわかる.

5. ストーン代数

[定義9] (ストーン代数の定義)

代数系 $\mathfrak{A} = (A; \wedge, \vee, \neg, 0, 1)$ が MS代数であり (定義2の F1 ~ F10° が成り立つ), A の任意の元 x に対して, 次の F11 が成り立つとき, 代数系 $\mathfrak{A}$ をストーン代数 (SA) とよぶ.

$$F11 \quad x \wedge \neg x = 0$$

[2] より, 次のことが成り立つ.

[注意5] 代数系 $\mathfrak{A}$ を bounded distributive lattice とする. このとき, $\mathfrak{A}$ がストーン代数であることは, 次の (1), (2), (3) と互いに同値である.

$$(1) \begin{cases} x \wedge \neg x = 0 \\ \neg(x \wedge y) = \neg x \vee \neg y \\ x \leq \neg \neg x \\ \neg 1 = 0 \end{cases} \quad (2) \begin{cases} x \wedge y = 0 \implies y \leq \neg x \\ \neg x \vee \neg \neg x = 1 \end{cases} \quad (3) \begin{cases} x \wedge y = 0 \iff y \leq \neg x \\ \neg(x \wedge y) = \neg x \vee \neg y \end{cases}$$

定理1と同様にして、次の定理が成り立つ.

[定理4] 代数系 $\mathfrak{A}$ がストーン代数 (SA) であり (つまり F1 ~ F11 が成り立つ), かつ定義3により $x \leq y$ が定義される $\iff A$ の任意の元 x, y, z に対して $\mathfrak{A}$ で定理1の T1 ~ T12 と次の T13 が成り立つ.

$$T13 \quad x \wedge \neg x \leq 0$$

(証明)

$\implies$: F11 と T2 から T13 が成り立つ. $\Leftarrow$: T5 から $0 \leq x \wedge \neg x$. これと T13 から F11 が成り立つ.

(証明終)

6. ストーン代数のシーケントによる形式的体系 GSA

GMSA と同様に, ストーン代数 (SA) のシーケントによる形式的体系 GSA を次のように定義する.

[定義10] (GSA の定義)

GMSA の始式と推論規則に次の始式を付け加えた形式的体系を GSA とする.

$$(B5) \quad a, \neg a \rightarrow$$

[注意6] 始式 (B5) は次の論理記号に関する推論規則 ($\neg \rightarrow$) と同値である.

(証明)

$$\frac{\Gamma \rightarrow \Delta, a}{\neg a, \Gamma \rightarrow \Delta} (\neg \rightarrow)$$

$$(B5) \implies (\neg \rightarrow): \quad \frac{\Gamma \rightarrow \Delta, a \quad a, \neg a \rightarrow}{\Gamma, \neg a \rightarrow \Delta} \quad (B5) \Leftarrow (\neg \rightarrow): \quad \frac{a \rightarrow a}{\neg a, a \rightarrow} \\ \frac{\Gamma, \neg a \rightarrow \Delta}{\neg a, \Gamma \rightarrow \Delta} \quad \frac{\neg a, a \rightarrow}{a, \neg a \rightarrow}$$

(証明終)

7. SA と GSA の演繹的同値性

MSA と GMSA での定義6, 定義7, 定義8と同様に $S \vdash$, $S \models$ および SA における等号の定義をする.

このとき, 定理2と同様にして, 次のことが成り立つ.

[定理5] a, b をワードとすると, 次のことが成り立つ.

$$S \models a \leq b \quad \text{ならば} \quad S \vdash a \rightarrow b$$

(証明) $\frac{x, \neg x \rightarrow}{x, \neg x \rightarrow 0}$ より T13 が成り立つ.

(証明終)

定理3と同様にして, 次のことが成り立つ.

[定理 6] $a_1, \dots, a_m, b_1, \dots, b_n$ をワードとすると、次のことが成り立つ.

$$S \vdash a_1, \dots, a_m \rightarrow b_1, \dots, b_n \quad \text{ならば} \quad S \models a_1 \wedge \dots \wedge a_m \leq b_1 \vee \dots \vee b_n$$

(証明) T13 から (B 5) が成り立つ.

以上により SA と GSA が演繹的に同値であることがわかる.

REFERENCES

1. 荒金 憲一, *MS-algebra* に双対な代数系について, 奈良高専研究紀要 28 (1993), 105–111.
2. _____, ファジイ代数に関連する代数系について, 奈良高専研究紀要 31 (1996), 81–89.
3. 荒金 憲一・竹村 康, 擬ファジイ代数の完全性について, 大阪産業大学論集 自然科学編 第90号 (1992), 5–6.
4. T. S. Blyth and J. C. Varlet, *On a common abstraction of de Morgan algebras and Stone algebras*, Proceedings of the Royal Society of Edinburgh 94A (1983), 301–308.
5. G. Gentzen, *Untersuchungen über das logische Schliessen*, Mathematische Zeitschrift 39 (1935), 176–216, 405–431.
6. 竹村 康, 弱ファジー集合算のシーケントによる形式化, 大阪産業大学論集 自然科学編 第88号 (1991), 39–42.
7. _____, ファジー集合算のシーケントによる形式化, 大阪産業大学論集, 自然科学編 第89号 (1992), 13–15.

柔道選手の苦手意識について

— 高校生を対象として —

中西茂巳・平野嘉彦*・正木嘉美**・藤猪省太**・細川伸二**・安河内春彦***・大谷崇正****

A Survey of Loser's Attitude among Senior
High School Judo Players.

Shigemi NAKANISHI, Yoshihiko HIRANO, Siyouta HUIJI,
Yoahimi MASAKI, Sinji HOSOKAWA, Haruhiko YASUKOCHI
and Takamasa OTANI

柔道は対人競技であり、試合や稽古の中で、相手選手の特徴から直接影響を受けることを、我々は経験上強く感じている。影響を受ける相手選手の特徴要因としては、相手の体格、技術、筋力、また対戦結果等さまざまな要因が考えられる。これらは経験を積み重ねることによって、自己にとって都合の良いものは、得意な相手のタイプとして、不都合なものは、苦手なタイプとして選別し、特に試合の相手の特性を意識するようになる。得意な場合は問題ではないが、苦手な場合は精神的にも負担はおおきく、それが試合結果にも大きな影響を及ぼすことがあり、この苦手意識を除去してやることは、選手育成の重要な要素であると考えられる。

本研究グループでは学生柔道選手を対象に研究の端緒として『柔道選手の苦手意識』について研究に取り組んできた^{1) 2) 3) 4) 5)}。

その結果、対象学生選手の約95%に何等かの苦手意識の存在が認められた。そして、これらについて階級別(−60kg〜+95kg)選手区別に独立性の検定(χ^2 検定)を実施した結果、両者とも優位な差は認められず、苦手意識は階級や競技者レベルに関係なく存在していると言う結果を得た。具体的内容としては、相手の組手、相手の体格、次いで相手の腕力からであった。

相手の組手では、右組・左組いずれも左組の相手を苦手とし、組手位置では、引手は袖口、釣手は奥襟を持たれることを極度に苦手としている。体格では自分より身長が高く、体重も重い相手を苦手とする結果が得られた。

そこで、今回は高校生を対象として、より詳細な苦手意識の状況の把握、大学生と比較することによる経時変化の把握等を目的に調査研究を実施した。

1 調査の概要

調査方法：質問紙法による。

調査期間：92年9月〜93年3月に実施した。

調査対象：92年全国高校総体出場校で、各校の指導者に
主旨を説明し、調査を依頼した。

回収状況：高校男子330名より解答が得られた。

集計区分：分析の際には、身長と体重について2つのグループ(上、下)に分けた。このグループ化の基準値としては平均値を使用した。身長区分では173cm未満(48.2%)を「下」173cm以

上(51.8%)を「上」とした同様に体重区分では85kg未満(52.7%)を「下」85kg以上(47.3%)を「上」とした。

2 解答者の特性

この調査では、高校柔道選手を対象に実施したが、考察に入る前に解答者の選手像を10項目についてまとめた。尚、図中には未解答の%が僅かのため省略した。

* 京都外国語大学 ** 天理大学 *** 九州産業大学
**** 岡山商科大学

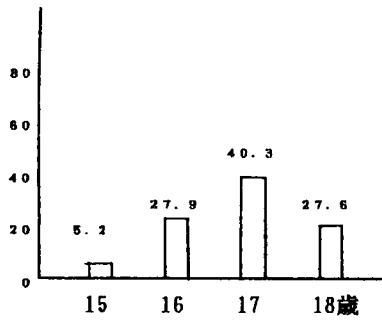


図 1-1 年齢分布

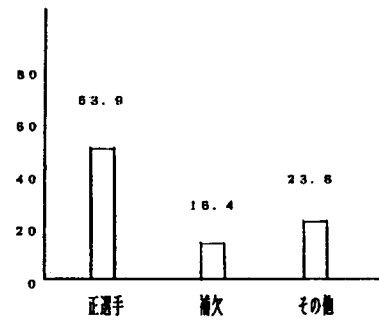


図 1-2 選手区分

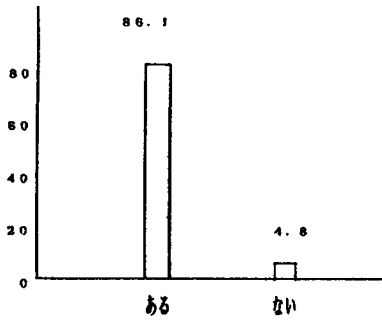


図 1-3 県大会出場経験

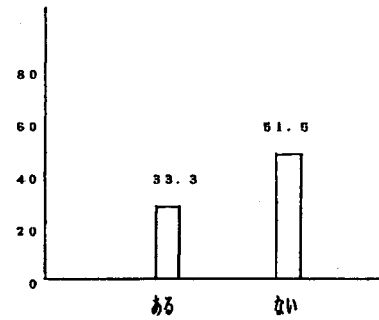


図 1-4 全国大会出場経験

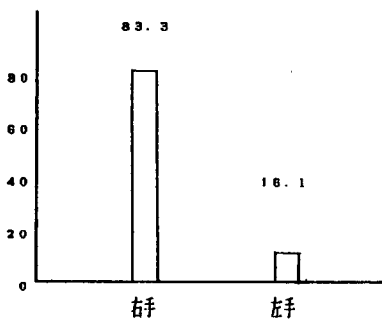


図 1-5 得意な効き手

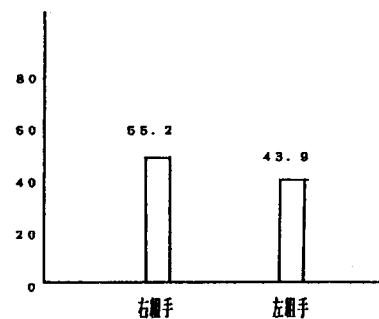


図 1-6 自分の相手

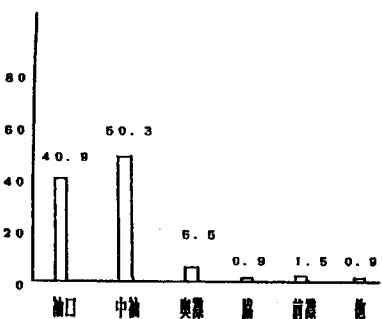


図 1-7 自分の引手位置

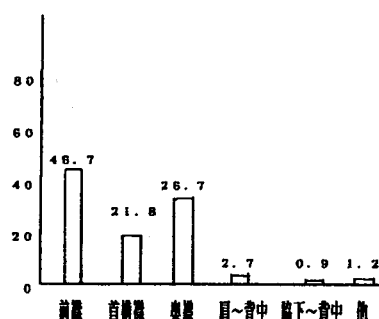


図 1-8 自分の引手位置

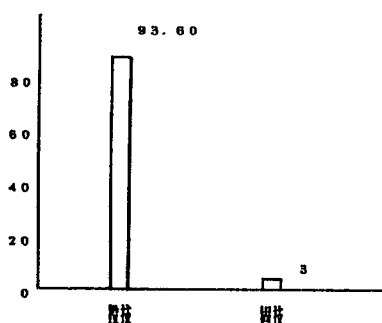


図 1-9 最も得意な技 種類

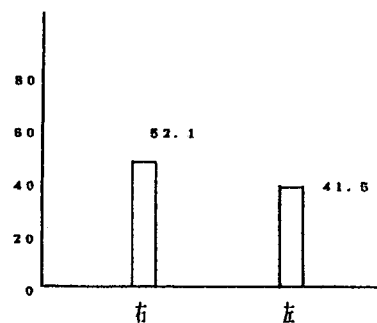


図 1-10 最も得意な技 左右

1) 年齢分布 2) 選手区分 3) 県大会出場経験 4) 全国大会出場経験 5) 得意な効き手 6) 自分の組手 7) 自分の引手位置 8) 自分の釣手位置 9) 最も得意な技 10) 最も得意な技の左右

3 結果と考察

3. 1 苦手意識の存在について

苦手意識の有無については、調査対象者330名のうち97%に何等かの苦手意識の存在が認められた。そしてこの苦手意識を大別すると、相手の身体的要素によるものが44.5%、技術的要素によるものが40.3%、精神的要素によるものが11.2%であった。

したがって苦手意識を受ける要素としては、相手の身体的要素と技術的要素が主である。さらに、具体的な項目にまとめたものが図2であり、相手の組手からが31.8%、相手の体格からが21.2%、次いで相手の腕力からが17.3%であった。

これらの結果を大学生と比較してみると、大学生では何等かの苦手意識を有する者95%、具体的要素では、身体的要素によるものが46.0%、技術的要素によるものが43.1%、精神的要素によるものが7.9%であり、高校生も大学生とほぼ同様の結果を示した。

3. 2 相手の体格と苦手意識について

相手の体格と苦手意識の関係を、表1と図3で示した。この図表は、自分の身長に対して、相手の身長が高い、同じ、低い3区分に分類した。体重についても同様に、自分の体重に対して、相手の体重が重い、同じ、軽い3区分に分類し、相手の身長、体重の組み合わせにより9区分に分類したものである。

苦手とする相手の体格は、自分よりも身長が高く、体重も重い者を苦手とする者が57.4%、次いで、身長は低いが体重が重い相手を苦手とする者が18.7%であった。

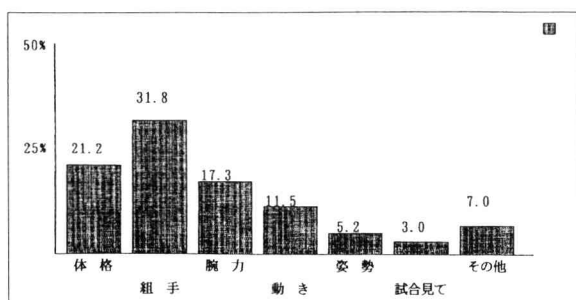


図2 苦手意識の具体的

この結果からみて、自分より体格が重い相手を苦手とする者が多いが、特に相手の体重差との相関が高いことを示している。

以上の結果は、有位水準0.1%の高い有意差が認められた、また、これらの結果を大学生と比較すると、大学生でも、身長が高く、体重も重い者を苦手とするが、60.7%、次いで身長が低く体重が重い、14.6%であり、統計的にも同様の結果を示した。

3. 3 相手の組手と苦手意識について

相手の組手と苦手意識の関係を、図4で示した。自分が右組で相手が右組と左組、自分が左組で相手が右組と左組の4区分とした。左右の組手ができる選手も少数存在すると考えられるが、本調査では最も得意な組手方向で解答してもらった。4区分のうちで最も苦手意識の高い組合せは、自分が右組で相手が左組の33.2%、次いで自分が左組で相手も左組の32.6%であった。

このことから、自分が右組、左組にかかわらず相手が左組の場合を苦手としている。特に左組だけをみると、自分が左組で相手も左組の場合、73.4%の者が苦手としている。以上の結果は、1%の有意差が認められた。また、大学生の結果（右-右20.9%）、（右-左35.6%）（左-右13.8%）（左-左29.7%）と、ほぼ同様の結果を示した。

また、これらの結果は、辻原⁹⁾野瀬⁷⁾等が『柔道試合における競技分析的研究』の中で述べている右組と左組の対戦成績では、左組のほうが勝率が高いという報告と

表1 苦手な相手の体格

		体 重			合 計
		重 い	同 じ	軽 い	
身 長	高い	187	13	11	211
	同じ	10	6	0	16
	低い	61	5	33	99
合 計		258	24	4	326

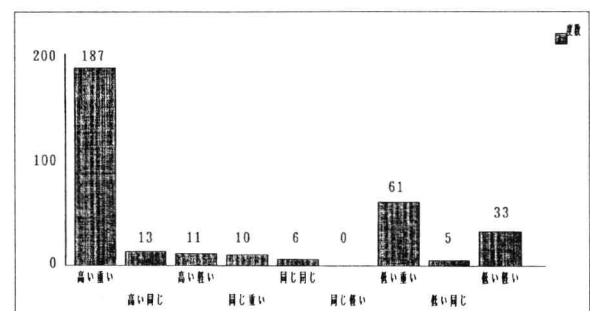


図3 苦手な相手の体格

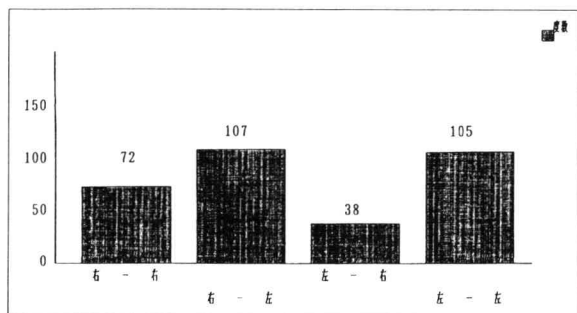


図4 苦手な組手関係 (自分-相手) (1%有意)

も一致しており、左組手に対する苦手意識が、そのまま試合結果に影響を与えているものと推察される。

3. 4 相手の釣手と苦手意識について

釣手位置については、各自の得意技によって釣手位置や、苦手とする位置に違いがあると思われる。また、この自己の持つ得意技の決定要因に、自己の身体的特性が大きく関係している。例えば、身長や体重が優れている者は払腰、内股、大外刈等を得意とする者が多い。逆に小さい者は背負投、体落、小内刈等が多い。身体的特性の中でも得意技の決定要因は、体重よりも身長との関連が高い。^{8) 9) 10) 11)}

そこで、自己の身体的特性も交えて詳細に見ていく必要があると考え、回答者を2つのグループに別けて検討を加えた。

まず、図5は自分の身長と、苦手意識を感じる釣手位置を、また図6は自分の体重との関係を示したものである。身長別では奥襟を持たれるのを、身長が低い者57.6%、高い者58.4%と高い割合で苦手としている。次いで、身長別、体重別とも脇や肩の横から背中を持たれるの順になっている。身長別、体重別ともに検定の結果は、有意差は認められなかった。また、大学生の結果とほぼ同様の結果を示した。

技術的解説を加えるなら、上群、下群にかかわらず、相手に奥襟を取られて引きつけられることによって、自分の間合いが保てず攻撃ができないため、奥襟に苦手意識が集中したものと推察される。

3. 5 相手の引手と苦手意識について

釣手と同様に自分の身長、体重と苦手意識を感じる相手の引手位置を図7、8に示した。

図7の身長と引手位置では、袖口を持たれることに苦手意識を感じるが、身長が低い者42.7%、高い者49.4%と高い数値を示し、次いで両者のとも中袖の低い者26.6%、高い者21.3%の順となっている。

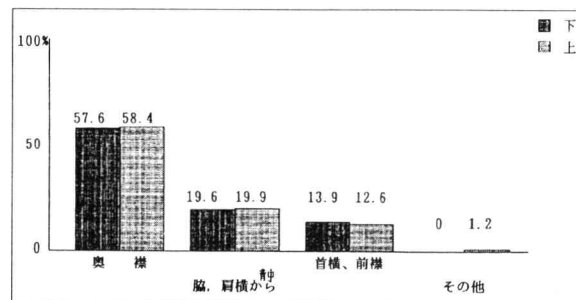


図5 身長別にみた相手の釣手位置

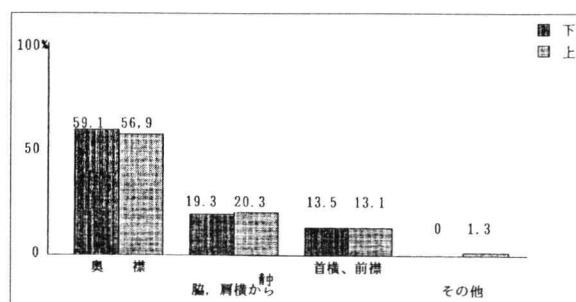


図6 体重別にみた相手の釣手位置

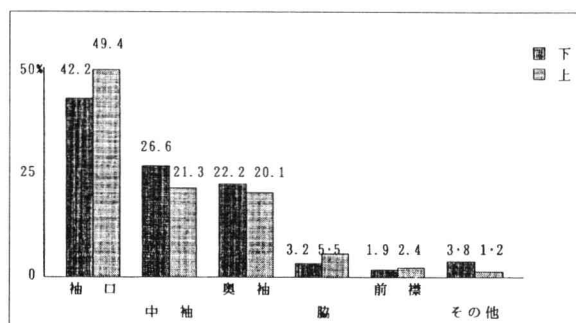


図7 身長別にみた相手の引手位置

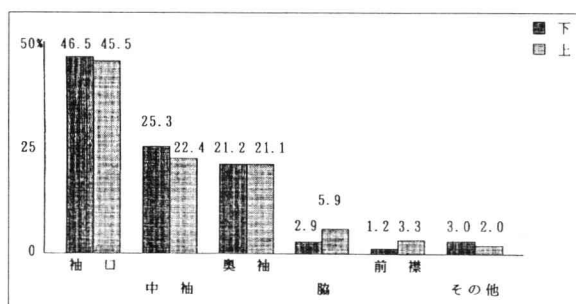


図8 体重別にみた相手の引手位置

図8の体重との関係でも同様の傾向を示し、袖口を持たれることに苦手意識を感じるが、軽い者46.5%、重い者5.4%と高い数値を示し、次いで中袖の軽い者25.3%、重い者22.4%の順であった。身長別、体重別共に独立性の検定を実施したが、両者とも有意差は認められなかった。また、釣手同様、大学生との結果でもほぼ同様の結果を示した。したがって、相手に引手で袖口を持たれることや、釣手で奥襟を持たれることは高校柔道選手の約半数にとって苦手意識に要因となって顕在化している。

3. 6 苦手意識の詳細について

この項では、高校生の苦手意識をより詳細に検討するため、対戦時の具体的な諸項目を設定した。

1) 柔軟性 2) 組手の感じ 3) 間合 4) 相手の懐 5) 腕力の強さ 6) 技の崩し 7) 相手の得意技 8) 技の掛け方 9) 動きの方向 10) 動きの速さ

これらの項目について、自分の体力、形態、技術を基準に5段階で比較した。10項目と苦手意識についてまとめてみると、1) 柔軟性：非常に柔らかい64.8%、次いでやや柔らかい11.5%の順、2) 組手の感じ：非常に強い35.8%、次いで非常に柔らかい27.0%の順、3) 間合：非常に近い36.7%、次いで非常に遠い28.5%の順、4) 相手の懐：非常に深い55.5%、次いでやや深い14.2%の順、5) 腕力の強さ：非常に強い78.2%、次いでやや強い15.2%の順、6) 技の崩し：左右の技で崩す34.8%、次いで同方向で前後に崩す26.7%の順、7) 相手の得意技：足技36.1%、次いで腰技23.6%、の順、8) 技の掛け方：小技、大技を連続で25.7%、次いで小技を連続で23.6%の順、10) 動きの速さ：非常に速い73.9%、次いでやや速い14.8%の順であった。

これらから、苦手意識を強く感じる相手像を作り出すと、腕力、スピード、柔軟性があり、さらに、変化に富んだ攻撃パターンを持ち合わせている選手である。また、これらの結果と大学生を比較しても同様の結果であった。

3. 7 苦手な相手に対する心構えと工夫について

苦手意識を持つ相手との対戦時の心構えを図9で、また対戦時の具体的な留意点を図10で示した。

対戦時の心構えについてみると、自分が積極的な攻撃のみを考えるが63.3%と最も奥、次いで自分の精神力の充実をはかるが18.5%であった。

次に具体的な留意点についてみると、自分の組手を考えるが39.4%、次いで自分の実力を発揮するが13.3%、自分の技の組立を考えるが11.8%であった。これらの結果を考え合わせると、苦手な相手との対戦時には、ただ自分の精神的、技術的能力を最大限に発揮することのみを考えていることが伺える。

この結果と大学生の結果を比較しても、両者ほぼ同様の傾向を示した。

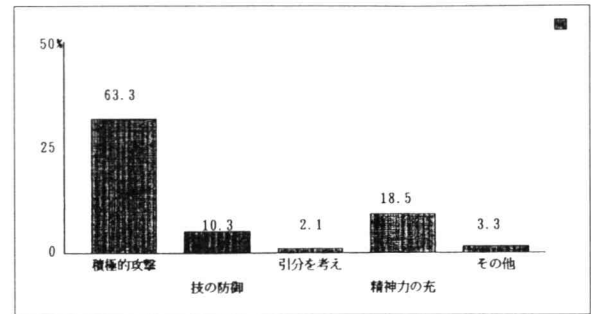


図9 苦手な相手との対戦時の心構え

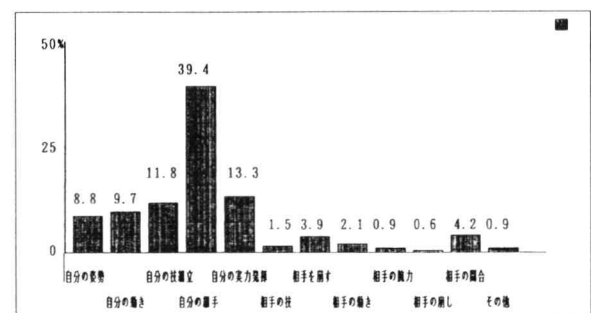


図10 苦手な相手に対する工夫

手の苦手意識について調査を実施した。対象は高校柔道選手で、有効解答数は330名であった。

(1) 調査対象の97%に何等かの苦手意識の存在が認められた。具体的な内容としては、相手の技術的要素である組手 (31.8%)、次いで身体的要素の体格 (21.2%) からであった。

(2) 相手の体格との関係では、自分より身長が高く、体重も重い相手 (57.4%)、次いで身長は低い、体重が重い相手 (18.7%) を苦手としている。身体的な苦手意識では、身長より体重との相関が高い。

(3) 相手との組手の関係では、右組の者も左組の者も、左組の相手に対して苦手意識が高い。また、これは試合の結果とも一致している。したがって苦手意識が直接試合の結果に表れていることが伺える。

(4) 相手の釣手に対する苦手意識は、自分の身長、体重や得意技等に関係なく、奥襟を持たれることを半数以上が苦手としている。

(5) 相手の引手に対する苦手意識も、自分の身体的特性に関係なく、袖口を制せられることを約半数が苦手と感じている。

(6) 苦手な相手の全体像としては、腕力、スピード、柔軟性があり、且つ変化に富んだ攻撃力を有する相手である。

(7) 苦手な相手との対戦時、個々の対策としては、自分の精神力、技術的能力を最大限に発揮することのみを

4 要約

今回、柔道における競技力向上を目的として、柔道選

考えているに過ぎない。

(8) これらの1～7の結果と、以前に行った大学生との比較では、どの項目においても全くと云ってよいほど同様の結果を示した。

このことは、今回の一つの目的であった「苦手意識の経時的変化の把握」という点では、良い結果が得られたとは言いがたい、これについては、苦手意識の発生状況を把握するために、より若年層野調査分析を行う必要があると考える。

5 おわりに

本研究を終えるにあたり、調査に御協力頂いた各校の監督、コーチ、また部員の方々に深謝いたします。

また統計分析では、岡山商科大学商学部、田中潔先生に厚くお令申し上げます。

尚、この論文は日本武道学会第28回大会で発表した要旨に、加筆修正を加えたものである。

参考文献

- 1) 平野嘉彦：階級別に見た柔道選手の苦手意識について 京都外国語大学論叢_{xxix}、p435.1987
- 2) 大谷崇正：柔道における苦手意識の研究－体格と組手について－岡山商科大学論叢第24巻第3号 P55. 1989
- 3) 安河内春彦、藤猪省太、平野嘉彦、大谷崇正：柔道選手の苦手意識について－組手と苦手意識について－九州産業大学教養部紀要第26巻第1号 P47 1989
- 4) 平野嘉彦：各柔道選手の対戦相手に対する意識についての研究 関西柔道競技力向上研究会第1号 P 50 1993
- 5) 大谷崇正、安河内春彦、藤猪省太、平野嘉彦：学生柔道選手の苦手意識について 武道学研究第22巻第3号 P16 1990
- 6) 辻原健太郎、井浦吉彦、野瀬清喜、竹内善徳：柔道試合における競技分析的研究武道学研究第21巻第1号 P13 1988
- 7) 野瀬清喜、竹内善徳、辻原健太郎、中村良三、松井勲、木村昌彦、川村貞三：柔道試合の競技分析に関する一考察 武道学研究16巻第1号 P60 1984
- 8) 五十嵐敬一、金芳保之：柔道の得意技に関する研究－その1得意技の因子について－体育学研究10－1 P88 1965
- 9) 岩田家正：柔道の得意技について 日本体育学会24回大会号 P346 1973
- 10) 平野嘉彦、火箱保之、藤猪省太、大谷崇正：柔道の得意技についての研究 日本体育学会31回大会号 P666 1980
- 11) 村瀬智彦：柔道の得意技選択に関する決定要因 日本体育学会39回大会号 P695 1988

〈和文英訳批判〉再考

加 地 朱

Reappraising the Translation Method in Teaching English Composition

KAJI Akashi

Translating from Japanese into English has been used in traditional English writing classes in Japan. This method, however, is criticized as communicative phases of language teaching and learning are emphasized in English classes, saying teachers should teach the students communication strategies. The author, however, doubts this criticism for several practical reasons. One is that the English learning environment in Japan differs from ESL settings such as in the United States of America. The second reason is that we have not reached common evaluation guidelines for free-controlled writings. The author reviews merits in using translation method.

はじめに

これまでの日本における、とくに英語学習初期課程の学習者に対する英作文指導は、自己表現につながらないものであるとして、批判されてきた。その批判理由の中心にあるものが、和文英訳である。すなわち、和文英訳をするうえで、指導者が学習者に求めることは、ただ単に日本語から英語へと、置き換えることである。このため、言語が本来あるべきコミュニケーションの役割、言わば、自己表現をするということを、和文英訳は果たしていない、という批判がなされてきた。上村 (1993) による批判は、その代表例である。

和文英訳による指導では、「文章」によって「自己の意図」を表現し、目指している読者に伝えるという「英作文」本来の目的を達成することはできない。(上村 : 1993 : 177)

しかし、はたして、和文英訳はコミュニケーションにおいて、役立たないのであろうか。たとえば、上記の和文英訳への批判に対して、筆者は疑問をもっている。なぜなら、和文英訳のなかには、書き手自身の日本語の考えを、英語で表現することも含まれる。いや、和文英訳を指導する方が、自由英作文の指導をするよりも、学習者が自らの考えを表現する方法を学ぶことにおいて効果的である、と考える。和文英訳は、かならずしも、日本語から英語へと表現するうえで、逐語訳する必要はない。と言うのは、和文を英訳するとき、最終的には翻案となるのであり、そこに自己の思考や感情が投入される。すなわち、自らの意志で訳さないところができて、それが一種の自己表現方法になる、と筆者は考える。

以上のような基本的考え方を基にして、本稿では、英語によるコミュニケーションにおける、和文英訳の意義、および和文英訳が果す自己表現方法を学ぶ訓練の場としての役割を検討して、和文英訳の意義を再考したい。議論の進め方としては、はじめに、アメリカ合衆国 (以下アメリカと称する) における先行研究と、その先行研究を踏んだ日本人研究者による研究を検討し、批判を加えたい。次に、コミュニケーションにおける、和文英訳の意義について議論する。そして最後に、和文英訳をどのように指導していくのか、指導の可能性を探りたいと思う。

1. アメリカにおける ESL 学習者への作文指導

1. 1 プロセスアプローチ以前の指導方法

アメリカにおいて移民対象の英語教授をするなかで、作文指導が始まったのは1960年代に入ってからである。しかしそのころは現代とは異なり、書き言葉は話し言葉を単に文字化したものである、と考えられていた。そのために、書き言葉独自の性格に基づいた指導は、なおざりになっていた。たとい、書き言葉に対する指導があったとしても、正確な言葉づかいをするための構文指導の延長上にあるものであり、独立した技能として英語による作文を書くことを、教授者が教えることはなかった、(Kroll, 1991 : 246) という。

また、この時代では作文することは「考えること」と「文章を書くこと」と「書き上げた文章を整えること」という、それぞれ独立した行動が、この順番でなされ、かつ、作品の完成まで、それらを1度ずつ経験することだ、と考えられていた。たとえば Sommers (1980) は Britton (1960) が作文する過程を a series of stages described in metaphors of linear growth と捉えている、と述べている。

“linear model” of the relation of thought and language in speech proposed by Vygotsky, a relationship embodied in the linear movement “from the motive which engenders a thought to the shaping of the thought, *first* in speech, *then* in meanings of words, and *finally* in words” (Sommers 1980 : 378)

1. 2 プロセスアプローチによる研究成果

1970年代半ばになって、アメリカにおいて、英語を母語としている人々が、どのように作文をしているのか、ということを確認する実験が、次々と行われた。その結果、書き手が、どのように作文しているかが分かった。なかでも、これまでに言及されなかった、書く技量の高い書き手の着眼点と低い書き手の着眼点とのあいだには、違いがある、ということが明確になった。たとえば、技量の高い者は、文章の書き始めごろに文章全体の構成に関わる書き直しをし、仕上げ段階では、細かい言い直しなどに注意を払う。ところが、技量の低い者は、書き始めの段階から、文章全体を見渡した書き直しをすることが少ない。この推敲における着眼点の違いが、文章を巧みに書くかどうかに関わっている、というのである。(Faigley et al. 1981 ; Perl 1980 ; Sommers 1980)

上に述べた実験は、その後、英語を第二言語として学ぶ学生を被験者にした場合でも、確認されている。すなわち、文章技術が長けている、と実験者によって判断された被験者は、メッセージを効果的に伝えるためには、どのような構成が良いのか、ということを書きはじめの段階で考えるものの、そうではない被験者は、文章の細かい部分のことばかりをはじめから気にしている。

そのため、実験者たちは、文章表現中に使われる技能が高く、かつ達意の文章を書く書き手が用いている着眼点が、文章を書く際のストラテジー（方略）の一部である、と考え、文章を書くことを苦手とする学生に対して、ストラテジーを学ばせようとした。これが ESL (English as a Second Language) 学習者に対する、プロセスアプローチ (Process Approach) である。ストラテジーを教えることで、言語運用能力が低い ESL 学生に対してであっても、技能としての作文技術を教えることが可能になり、学生たちが伝えようとするメッセージの内容を引き出すことができる、と考える研究者がいた。(Raimes 1985, 1993 ; Zamel 1983, 1987)

プロセスアプローチを唱える研究者たちは、作文の指導は、書き手自身が何を表現したいのかを、理解できるようになる手筈や段取りを、作文を苦手とする書き手が理解できるようにすることだ、と唱えている。そのために、彼らは、従来、作文指導において強調されてきた、文法的に正しい英文を書くことや、文章全体の論理の流れを型にはめることに対して、批判的であった。このことの遠い延長上に（たとえば日本の場合）和文英訳の訓練に対する批判があると言えよう。

1. 3 プロセスアプローチに対する批判

書き言葉を話し言葉と同列にして、コミュニケーションの道具と見るため、プロセスアプローチは、目新しい指導法であった。しかし、プロセスアプローチは、アメリカ全土で受け入れられたわけではない。論述式のテストであった場合、プロセスアプローチを導入して解答しようとしても、時間不足であろうし、出題者の意図する論文形式に、プロセスアプローチによる結果が、一致するとは限らない。その意味で、プロセスアプローチは、全面的に有効な作文指導で

はない、と一部の研究者（Horowitz 1986a, 1986b）から批判された。

第2点目の問題として、英語の言語運用能力が作文をする際の技術に、影響を与えるのではないかと考える研究者もいる。プロセスアプローチを唱える研究者は、言語運用能力とストラテジーとは区別できる、としていた。つまり言語運用能力が低くてもストラテジーを学ぶことによって、達意の文が書ける、と考えていた。しかし、Cumming (1988) は、物を書く経験（writing expertise）と、第2言語である英語の運用能力との両方が、英語で書かれたテキストと、作文をしている最中の態度とに影響を与える、と報告している。

また、批判という形式はとってはいないものの、母語の発想を英語の発想へ翻訳することの有用性を示した例がある。Friedlander (1993) がアメリカ在住の中国人留学生を対象に行った実験が、それである。Friedlander は、留学生らに幼少時代に中国で体験した、或る祭りのことを英語で書かせた。その結果、どの学生も、中国語でメモをとって英語の作文にした作品のほうが、英語でメモをとって英語の作文にしたものよりも、内容的にまとまりがある仕上りになった、と Friedlander は報告している。

2. 日本人研究者の成果の例

日本人の研究者のあいだで、アメリカにおける ESL 学習者における作文指導に、和文英訳を超えうる可能性を見出そう、とする動きがある。たとえば、青木・本岡 (1989) は、作文における推敲の研究において、アメリカの ESL 学習者と同じ成果が、日本在住の日本人被験者にも見られた、と報告している。すなわち日本人英語学習者にも、プロセスアプローチによる指導が「学習者にとって早く、簡単に、以前よりも達意の文章を書けるようになる可能性がある」、というのが彼らの結論である。彼らは、語彙や文法を教えて、「その効果が、いかなる場面でも現れるようになるまでには、長い教授時間が必要」（青木・本岡 1989: 77）である、と考えたため、和文英訳を教えることに消極的である。

しかし、筆者は、彼らの結論に至るために行った実験方法に対し、疑問を持ち、その結果、彼らの結論をも納得し難い、と考える。疑問点は以下3点である。

まず、第一点は、アメリカにおける ESL 学習者を被験者とする研究報告の段階でも、疑問がもたれた、英語の運用能力と作文をする能力との関係についてである。

仮に英語を使って作文をする時、母語話者と非母語話者との二つの場合に分けて、次のように言われている。一般にプロセスアプローチにおいては、非母語話者の場合、文章表現における巧みさ（ストラテジーを含めた作文技術）と、英語の言語運用能力との二種類において、Zamel らは、その二種類の相関関係はない、と言っている。筆者は、この意見に対して、批判的である。両者には深い関係がある、と考えるからである。なぜならば、言語運用能力があるからと言って、それによって文章表現における巧みさが高められる、とは必ずしも言えないかもしれないが、言語運用能力を高めない限り、文章表現における巧みさは充実できない、という見解を有しているからである。なお、Zamel は、母語話者の場合における文章表現の巧みさと、言語運用能力との関係については、何も触れていない。

以上のように、Zamel の主張が、必ずしも妥当ではないにもかかわらず、青木・本岡論文は、Zamel の意見にそのまま従っている点において、問題である。詳しく言えば、青木・本岡論文において、能力の上位グループと下位グループとに分別するため、三つの判断基準を設けている。すなわち、①運用能力、②言いたいことが、よく実験者に理解できる文かどうか、③主張が首尾一貫しているかどうか、である。ところが、同論文では、上の三者が、どういう割合で、評価基準となっているのか、が明確でない。また文法を含めた英語運用能力が、作文学習過程のどの場面で関係するのか、ということを含め、作文技術と英語運用能力とが、関係しているかどうかを理解することは、未だ ESL 被験者はもちろん、EFL (English as a Foreign Language) 学生を被験者にした実験では共通した認識がない。

第2点目は、第1点目の問題より、さらに日本人に対する英語教授を考えるうえで、重要である。その問題は、ESL 学生と EFL 学生とを区別して、指導することを考えるべきではないか、ということである。アメリカにおいて ESL 学生として学ぶ、日本人英語学習者は、日本に居住して英語を学ぶ、日本人英語学習者よりも、議論の展開のうえで、アメリカで英語を母語とする者の論の展開に、より似ている、という報告がある (Hirokawa 1986)。この論文から推測できることは、ここで報告されている、アメリカ在住の日本人は、英語が日常用いられている環境の中で、生活しているうちに、英語独自の論の展開を、学びつつあるのではないかと、ということである。当然、ESL において効果がある指導であるからといって、即そのまま、日本においても有効であるはずだ、とは簡単に判断できないのではないかと。なぜなら、日本において、絶えず、英語にふれて英語を学ぶ機会は、皆無に等しいからである。

第3点目の問題は、被験者のレベルおよびレベルに合わせた、評価方法の問題である。学習の初期段階では、内容よりも、表記方法に対する評価が、重視されるだろう。しかし、学習が進むにつれ、内容に評価の充点がおかれるようになる。そうなれば、内容に対する評価を、客観的に保つことは、可能なのか。この点は、作文を評価するうえで、議論する余地が十分ある。

以上のように、自由英作文において、指導・評価するには、難点が伴う。将来、英語らしく書くことができるのはよい。しかし、そこに至るまで、時間を十分かけられない現実がある。さらに、本質的な問題点としては、英語の母語話者が意識せずに使っている、英語表現の根底にある考え方と、日本語母語話者が日本語の表現上用いる、根本の考え方とは、まったく異なったものである。

筆者が、和文英訳を英作文指導のなかで、再評価しようとしているのは、英語と日本語との考え方の差を、いかに埋めるのかを、訓練する良い機会に和文英訳がなるのではないかと考えるためである。そこで、次章において、その具体的指導方法について触れる。

3. 和文英訳再考

3. 1 和文英訳をする目的

従来、和文英訳に反対する理由の一つとして、学習者が書きあげた、英文の表現が日本語のようなもの、すなわち、いわゆる〈和臭のある英文〉になるから、と言われてきた。こうなる理由は、日本人の学習者は、英語的発想が必要な箇所を、意識していないからである。また、教師が、文型や一文中文法習得の確認をとるためにのみ、和文英訳を用いてきたのではないか。プロセスアプローチという教育方針が、登場する以前のアメリカでは、正確な構文を学習したかどうかを、確認するために作文させていた、ということについては、第1章において述べた。同じような目的で、和文英訳が用いられたとするならば、構文に関する文法は正しくとも、言葉の用法にまで、配慮する余裕がなく、結果的には、不適切な文章になることはありえる。

しかし、和文英訳に期待できる効果は、日英両語の発想の違いを、認識することに見出せる。そのため、和文英訳の訓練によって、日本語で考えたことを、どのようにすれば相手にも理解されるようになるのかを考え、表現しようとするところに、言語学習の本来の目的である、コミュニケーションが成立すると思う。そのように、筆者はコミュニケーションという目的性を重視するため、日本語の語彙や語句を、まったく誠実に訳さない、翻案となっても、日本語の表現の核心を捉らえた、英語の表現になっていれば、コミュニケーションすることは可能である、と考える。また、逆に、日本語だけでは補いきれない論理は、英語表現のなかで、埋め合わせることも、コミュニケーションである、と言い切れる。日本語の論理を読むのは、なにも、日本語を使用する人たちだけではない。外国語で表現された、日本語の論理を読もうとする人たちも含まれる。

コミュニケーションとは、或る人の考えを理解できるよう、他人と情報を共有することである。外国語学習者は母語を獲得した後に、情報を共有するための媒介としての外国語を学ぶため、たとえば英語なら英語の性質（構文、文法、談話、発想）を知ることが大切である。しかし、それを或る程度学んだならば、その外国語で表現できる世界と、すでに学んでいる日本語で表現できることとの違いを知り、その差をどうすれば、少しでも埋めることができるのか、を知ることが必要である。そうすれば〈日本語によって形成されている世界〉を、他の言語使用者と共有できるからである。

また、ESLという条件ではあるものの、1.3で述べた、Friedlander (1993) の例が示しているように、話題によっては、母語から外国語へと翻訳する方が、外国語で始めから表現するよりも、有利であることもある。これは伝えようとする内容の核心部分を、書き手が深く考え、選択できたからである。外国語によるコミュニケーションが始まるのは、伝えたい内容の核心を、どのように表現すればよいかと、適切な言葉を選択している時から始まっている。たまたま媒介となる表現手段が、母語ではなく、外国語であった、というだけである。

それでは、どのようにしたら、発想をはじめとする、日本語と英語との違いに、学習者が敏感になる可能性があるだろうか。その一つの試みとして、ベーシック・イングリッシュを使った例を提示したい。

3. 2 ベーシック・イングリッシュ

英語非母語話者が英語を用いるときに、非母語話者が英語の言葉の根底にある、論の組み立てを感じ取り、理解しや

すいように、オグデンは、ベーシック・イングリッシュを提案した。彼は、ベーシック・イングリッシュの性質を、次のように述べている。

It is an English in which 850 words do all the work of 20,000, and has been formed by taking out everything which is not necessary to the sense. (牧1980: 9)

ベーシック・イングリッシュに含まれる動詞は、わずか16語である。16語は、方向性を示す前置詞などとともに、熟語的あるいは慣用的に使用することによって、2万語に相当する表現ができる、という。ベーシック・イングリッシュでは、学習者が850語に絞りこんだ単語の使い方を完全に理解したうえで、その言葉の持つ核心の意味から、比喩的に使えるようになり、最終的には応用力も、身につけることを目指す。ベーシック・イングリッシュの表現は、母語話者が用いる英語に比べて、ぎこちなく不自然である、という批判はあるものの、外国語として英語を学ぶ学習者たち、とくにEFLの初期課程にいる学習者にとっては、接近しやすい英語である、と筆者は考える。なぜなら、ベーシック・イングリッシュは、学習する範囲を限定することにより、英語を学習しても、現実には英語母語話者と交渉することが、永遠にできないかもしれない、という学習者の不満や不安を和らげつつ、母語話者が使用する、英語のもつ英語らしい特質を学習者に示しているからである。

このベーシック・イングリッシュに対して、不当に低い評価を与えてはならない。たとえば、ベーシック・イングリッシュにおいて活躍する、BE動詞の用法の一つを取り上げても、その十分な理解をすることは、EFL学習者にとっては、なかなか困難なのである。次に、その例を挙げてみる。

彼は今、日光にいて留守です。

[A] (誤答) He is absent in Nikko.

[B] (正答) He is away in Nikko.

問題となるのは、「彼が、どこにいるか。」である。「彼は日光にいたのであって、この発話がなされている場所には、いない。」と日本語では考えるだろう。このことを英語にすると、He is away. He is in Nikko.となり、この2文をつなぐと、正答のようになるのである。もちろん、二文として扱っても、問題はない。ところが、もし、[A] (誤答) のように書いてあるならば、英語母語話者はおそらく「彼は日光には、いない。」という、「いない」ことを言わんとしているのだろう、と考えるらしい。(牧 1980: 29)

しかし、出来上がった英文は、原文の日本語とは違う意味を表現しているうえに、母語話者は誤答を見て、正しい文章である、とも考えない。なぜならば、absentを正しく使っていないためである。absentには、“not present”という意味だけでなく、“not here”のように「ここにはいない」というように、発話がなされている場所には存在していない、という使い方がある。そのため、誤文では、彼が存在していない場所が、「日光」である一方、原文の日本語が「発話されている場所」でもありえる。彼の体は1つしかないのに、2カ所の異なった場所に同時に存在する可能性をもつ、矛盾を犯している文のように、英語母語話者は誤答をみて感じるのであろう。

上の例が示しているように、日本語から英語に表現するとき、日本語らしからぬ表現であっても、ことばを補わねばならぬことが出てくる。ここにあげた例でいうならば、「(発話されている場所) には、いない」ということである。しかし、これを補えるかどうかは、学習者が持つ英語自身の知識も必要だが、それよりも、いかにして日本語の知識がない相手に、英語を媒介にして、伝える内容を理解させることができるか、と考える力が、さらに必要だ。その「いかにして」という手段を得るための訓練をするには、実は和文英訳が最適である。つまり、原語である日本語と、英語で表現できる世界との違いを、論理によって埋めていく作業を、和文英訳では必要とするからである。この訓練をしている時、英語という信号を媒介にしてしか、日本人の考えを追体験することができない、英文の読者に対して、日本語母語話者である英語学習者は、いかにしたならば、効果的に自分たちの考えを表現できるのか、試行錯誤する。この時点で、英語学習者は、読者とのコミュニケーションを図っている、と筆者は考える。

和文英訳をする時、伝えるべき内容を読みこんで、核心を捉えるには、母語の力が必要だ。その内容を分割するときには、母語と英語との両言語の知識と能力とが必要である。これは、母語の力によって分割した内容は、かならずしも、英語で表現できる内容と一致しないためである。そこで、分割された部分それぞれを訳したならば、それが果たして英

語として成立しているかどうかを見る、という工夫の必要が生じてくる。それを積み重ねてゆくことによって、和文英訳が完成に向かっていく、と筆者は考える。もし、上の順序で和文英訳の訓練がなされるのであれば、将来、自由英作文を教えることは、可能かもしれない。教える側として、学生たちに求めるものは、彼らがどういうことを伝えたいのか、を明確にすることである。

おわりに

和文英訳は、これまで、1文だけの与えられた日本語から、英語への単なる読み替え作業のように言われてきた。しかし、筆者は、和文英訳もコミュニケーションの一つの形態である、という立場から、和文英訳を再評価している。伝えたいことを、意味の上で分割し、たとえば、ベーシック・イングリッシュという、限られた数の語彙の英文ではあるものの、それによって表現しうるイメージを、最大限に表現する。こうすることで、構文や文法習得確認のための和文英訳という、これまでの低い評価を改めたい、と思う。また、初期学習課程の日本人学習者に対する、日本の英語教育において、和文英訳が英語の学力を高める方法として、依然として、一定の役割を果たしている実情を否定することは、現実的でない。

自由英作文において、最後に残っている大問題は、たとい伝えたい内容が英文として完成したとしても、出来上がった作文の内容によって、その価値を評価することは可能なのであろうか。内容の優劣を、どのように判断できるのだろうか。そう考えると、自由英作文の評価観点として、よく取り上げられる「内容」は、評価の対象にならない、と筆者は考える。EFLとしての日本人学習者の書く英語が、伝えたいことを的確に伝えているかどうか、評価の対象の中心になるのではないか。その点、和文英訳では、的確に伝えたい内容を捉えているのかどうか、ということが、書かれた英文の中に忠実に再現される。それゆえ、和文英訳は、評価をする場合、非常に便利なのであり、そうした効用をもっと活用すべきではなかろうか。

参考文献

- 青木信之・本岡直子. 1989. 「Composition Strategy について——特に pre-writing と revising の視点から」『中国地区英語教育学会研究紀要』19, 77-83.
- Cumming, A. H. 1988. Writing expertise and language proficiency in ESL writing performance. Unpublished doctoral dissertation, University of Tronto, Toronto, Ontario.
- Faigley, L. & S. Witte. 1981. Analyzing revision. *College Composition and Communication*, 32, 4, 400-414.
- Friedlander, A. 1993. Composing in English : Effects of a first language on writing in English as a second language. In Kroll, B. (ed.) *Second Language Writing : Research Insights for the Classroom*. 109-125. New York : Cambridge University Press.
- Hirokawa, K. 1986. An investigation of native/non-native speaker examination essays. *Papers in Applied Linguistic ----- Michigan*, 1, 2, 105-131.
- Horowitz, D. 1986a. Process, not product : Less than meets the eye. *TESOL Quarterly*, 20, 1, 141-144.
- , 1986b What professors actually require : Academic tasks for ESL classroom. *TESOL Quarterly*, 20, 3, 445-462.
- 上田妙子. 1933. 「英語を書くコミュニケーション」『英語コミュニケーションの理論と実際』173-196. 東京 : 桐原書店
- Kroll, B. 1991. Teaching writing in ESL context. In Celce-Murcia, M. (ed.) *Teaching English as a Second or Foreign Language* (2nd ed.), 245-263. Boston : Heinle & Heinle.
- 牧雅夫. 1980. 自信を持って英作文を教える ----- Basic English のすすめ ----- . 東京 : 北星堂
- , 1984. 自分で使える英語 : ベーシック・イングリッシュ. 東京 : 北星堂
- 室勝. 1986. ベーシック・イングリッシュ一歩前進. 東京 : 北星堂

- Perl, S. 1980. Understanding composing. *College Composition and Communication*, 31, 4, 363–369.
- Raimes, A. 1985. What unskilled ESL students do as they write : A Classroom study of composing. *TESOL Quarterly* 19, 2, 229–258.
- , 1993. Out of woods : Emerging the traditions in the teaching of writing. In Silberstein, S. (ed.) *State of the Art TESOL Essays : Celebrating 25 years of the Discipline*. 237–260. Virginia : TESOL.
- Sommers, N. 1980. Revision strategies of student writers and experienced adult writers. *College Composition and Communication*, 31, 4, 378–388.
- Tannacito, D. J. 1995. *A Guide to Writing in English as a Second or Foreign Language : An Annotated Bibliography of Research and Pedagogy*. Virginia : Teachers of English to Speakers of Other Languages, Inc.
- Zamel, V. 1983. The composing processes of advanced ESL students : Six case studies. *TESOL Quarterly*, 17, 2, 165–187.
- , 1987. Writing : The process of discovery meaning. In Long, M.H. and J.C. Richards (eds.) , *Methodology in TESOL : A Book of Readings*. 267–278. New York : Newbury House.

視点の技法の新展開

片 山 悦 男

A New Phase of Point of View

Etsuo KATAYAMA

A new phase of view, to be concrete, means the introduction of a temporary point of view into the proper one of a focalizing character. By making the point of view of Fleda Vetch, a focalising character of this story, dual in this way, Henry James seems to give a reader a chance to have his own point of view, which permits him to keep his distance from and rescrutinize that of the focalizing character. In this view, the attempt to introduce actively a reader's point of view into the narrative might be called a new phase of point of view.

序

1895年の *Guy Domville* の失敗で終わる劇作期の後に発表された注目作 *The Spoils of Poynton* の中で Henry James は「劇的手法」(scenic method) と視点の技法を用いて後期の作品の先駆けとなる作品を書いたのだが、この作品の視点人物 Fleda Vetch について、批評家達の評価は分かれている。彼女の「道徳的ヒステリー」(moral hysteria) を指摘する人¹⁾ もいれば、彼女の「高潔さ」(integrity) を指摘する人²⁾ もいる。また、フリーダ自身がポイントン邸を巡る財産争いによって墮落させられていたとする人³⁾ もいれば、彼女に「思いやりと利他主義」(sympathy and altruism) を認める人⁴⁾ もいる。視点人物に対するこのような正反対の評価は、ジェイムズの視点の技法がこの作品の中で何らかの変貌を遂げている為と思われる。本論は、視点の技法の変化の元になっている視点人物の視点の二重性を明らかにし、その視点の二重性という観点から、視点人物フリーダの言動や彼女と他の登場人物との関係を再考することで、ジェイムズの実験小説の作品解釈に一光を投げようとする試みである。

1

第2章で、フリーダは、財産も家もなく、画家としての将来の展望も挫折した女性として紹介される。その上、

母親も既に亡く、父親も彼女との同居を望んでないので、フリーダは、Robert C. Mclean が評したように、裕福な家の居候となって生活する「職業的居候」(professional house guest)⁵⁾ にならざるを得ない状況にある女性である。第1章の Waterbath 邸のパーティーに招待されているフリーダは、既にこのことを意識していると思われる。同じようにそのパーティーに招待されている Mrs. Gereth に同調して、ウォーターバス邸の「低俗さ」(vulgarity) や「審美感覚」(taste) の欠如を非難し、フリーダは、ウォーターバス邸の水彩画に対する“a family joke by a family genius” (7)⁶⁾ という評価に同意しているが、第13章では、そのウォーターバス邸の絵を見て、本来画家志望のフリーダが絵を描かなくなったと述べられている。

She had not indeed struggled with a brush since her visit to Waterbath, where the sight of the family splotches had put her immensely on her guard. (148)

すると、そのウォーターバス邸の絵は、実際には画家志望のフリーダの絵よりもうまい絵だったことがわかる。このことは、フリーダが第1章ではその絵についての本当の感想を述べていなくて、ゲレス夫人に気に入られて、彼女の家の居候となる為に、彼女の意見に同調していたことを暗示している。実際に、フリーダは、そのパーティーの後一か月間ゲレス夫人の住む Cadogan Place に通い、彼女の話し相手になり、終いには居候として居座ってしまう。

第1章は前半ゲレス夫人の視点から語られ、後半次第

にフリーダの視点から語られるようになるのだが、その視点の移行が円滑に行われているのは、フリーダが居候の口を得んが為に、自分の本心を隠して、ゲレス夫人に同調している為と思われる、この場合、フリーダの視点は彼女本来の自我を映し出す従来の視点人物の視点ではなくて、生活の道を確保する為に取っている一時的な視点と言える。

2

第1章のパーティーで出会うゲレス夫人の一人息子の Owen に対して、フリーダは結婚願望を抱くようになり、第1章の終わりから第2章の冒頭にかけて、フリーダは頭の弱い夫オーウェンを指図する自分の姿とポイントン邸の蒐集品に囲まれた結婚生活を夢見ている。

she herself was prepared, if she should ever marry, to contribute all the cleverness, and she liked to figure it out that her husband would be a force grateful for direction... as she came up to town on the Monday what she stared at from the train in the suburban fields was a future full of the things she particularly loved.

These were neither more nor less than the things with which she had had time to learn from Mrs. Gereth that Poynton overflowed. (10-12)

そして、オーウェンに対して結婚願望を抱き続けているが故に、フリーダはゲレス夫人に同情しながらも、結局オーウェンに有利なように行動する⁷⁾。例えば、“Fleda...knew her reasons for believing that the maiden-aunt’s principles had had much in common with the principles of Waterbath.” (48) とあるので、ゲレス夫人が移ることになっている Ricks 邸は、ポイントン邸より寧ろウォーターバス邸の考え方と共通点が多いことをフリーダは知っているのだが、第5章でゲレス夫人とリックス邸の下見に行った時、フリーダは、第1章では非難しているウォーターバス邸と同じ趣向のリックス邸の壁紙の鮮やかさを誉めようとする。そんなフリーダの態度も原因してか、ゲレス夫人は結局リックス邸に引っ越し気持ちになり、第6章で主だった蒐集品と共にリックス邸に引っ越す。この時のフリーダの態度は、第4章でゲレス夫人をポイントン邸からリックス邸へ引っ越しさせて欲しいとフリーダに頼んだオーウェンの意向に沿ったものと言える。第6章のオーウェンの「スパイ」(an underhand “companion”) (60) になっているというフリーダの意識や、第11章でフリーダがゲレス夫人に告

白する “my hideous double game” (127) という言葉がそのことを暗示している。そして、オーウェンの意向に従ったフリーダの態度の根底に、結婚願望があることは言うまでもない。フリーダは結婚願望に従って行動する時も、自分本来の視点を隠した一時的な視点を取ることがある。

3

オーウェンはフリーダと初めて二人きりで会った時、小さな針刺を贈り、“I want you to understand, you know - I want you to understand.” (67) と述べて、何やら意味不明の好意を示す。オーウェンには婚約者の Mona がいることがわかっていながら、彼の意味不明の好意を結婚につながる求愛と考えようとするところから、フリーダの結婚願望に基づいた egotism が生まれる。しかし、フリーダの egotism の面白い点は、この後 egotism に支配されたまま行動するのではなくて、客観的事実も見ようとしているところだ、例えば、第11章で、ポイントン邸に蒐集品を返還する見返りとして、オーウェンをモナから奪うように求めるゲレス夫人に対してフリーダは “He [Owen] cares for her [Mona] too much” (127) とか、“She’ll never let him go.” (128) と述べて、その要求を断っている。フリーダには、オーウェンとモナが愛し合って結婚しようとしている、という客観的事実が見えている。しかし、そのことを客観的事実として認めると、フリーダは、オーウェンの意味不明の好意を結婚につながる求愛と考えようとする自分の egotism を否定することになる。それができないフリーダは、オーウェンの意味不明の好意の真意を確かめ、できれば彼と結婚する為に、ゲレス夫人の要求を入れて、モナからオーウェンを奪って結婚する悪女の役割を受け入れる⁸⁾。

しかし、悪女の役割を受け入れることは、本来道徳的なフリーダの審美感覚に反する事であり、「羽目を外すことで」(by letting yourself go) (124)、つまり、オーウェンと性的関係を結ぶことで、モナからオーウェンを奪って結婚するように求めるゲレス夫人の要求⁹⁾も、当然彼女の審美感覚に反している。それでも、悪女の役割を果たす為にロンドンの父の家に帰ったフリーダは、居候の仕事がなくなったことから、自分の存在を揺るがすような「不安感」(a feeling of suspense) (145) に襲われる。また、フリーダが外出した時によく通る画材店のショーウィンドーに置かれている絵が、いつまでも買い取られていないことがフリーダを更に不安にする。フリー

ダよりもうまいその絵が売れないことは、フリーダの絵も売れないことを意味し、画家としての生計の道が絶たれることを意味するからだ。フリーダの存在を揺るがす不安感は二重三重に掻き立てられ、今やフリーダにとって、モナからオーウェンを奪って結婚することが、生存の道を確保する唯一の道となり、フリーダは悪女の役割に真剣に取り組まざるを得ない状況に追い込まれる。そして、そのような状況にあるフリーダの前に、ゲレス夫人からの手紙でフリーダの居所を教えられたオーウェンが現れ、フリーダの父の家で二人の会談が始まる。

4

しかし、モナからオーウェンを奪って結婚するためにロンドンに帰って来た、という理由を表に出して、フリーダがオーウェンに会える訳はない。それは飽くまで裏の理由で、フリーダは表の理由、つまり、ゲレス夫人の反感を買うくらい蒐集品の返還を説得したが、結局失敗し、盗品の蒐集品を見るのも嫌になったので、ロンドンに帰って来た、という理由にこだわらざるを得ない。それでも、オーウェンと結婚することに自分の生存がかかっているフリーダが、裏の理由を忘れることはできない。それ故、フリーダは表の理由を強調することで、裏の目的も達成する方法を取る。その方法とは、ゲレス夫人に蒐集品返還を説得して失敗したため、居候の仕事も棒に振り、今は父の家の安っぽい蒐集品に囲まれて暮らしている自分の姿を見せることで、身を落としてまでオーウェンの為に献身的に尽くした自分の誠意と公正さを印象づけ、オーウェンの好意を愛情にまで深めようというものだ。そして、婚約を無期延期したモナに反感を抱いている¹⁰ オーウェンが、フリーダの思惑通りに彼女の献身ぶりに心引かれフリーダに愛を告白しかけた瞬間に、Mrs. Briggstock がフリーダの父の家を訪ねてくる。ブリッグストック夫人を交えた会談の中でも、フリーダは機転の利いた対応をすることで、自分が優れた人間であることをオーウェンに印象づけ、彼の愛情を得ようとする。

それでも、性的関係を結ぶにせよ、個人的な資質を使うにせよ、モナやブリッグストック夫人にとって、フリーダがオーウェンを奪おうとしている悪女であることに変わりはない。オーウェンと二人きりで会談していた時、オーウェンから “She [Mona] said you weren't honest” (164) と聞いて、フリーダが衝撃を受けるのは、この客観的事実を認識できたからだ。そして、ブリッグストック夫人がフリーダを悪女と疑うモナの疑念を共有していて、その疑念を確かめに来ていることもフリーダは認識

している。この認識と、自分の審美感覚に反する悪女の役割を受け入れたことに対する反発と、オーウェンがモナに反感を抱いていて、自分と結婚したいと思い始めているという優越的な意識から、フリーダはブリッグストック夫人に対して、自分がまるで悪女ではないかのように、“As if I were one of those bad women in a play?” (177) と答えてしまう¹¹。そして、この一言でブリッグストック夫人が自分を悪女と決めつけて帰ったことがわかり、そのことで自分が本当に悪女にされてしまったと意識するが故に、フリーダは逆にその一言で悪女の役割ができなくなる。悪女の役割ができなくなると、フリーダはオーウェンの愛情を頼ろうとする。第16章でフリーダがオーウェンの愛情を試すために父の家から姉マギーの家に移ると、オーウェンは彼女の思惑通り愛情を掻き立てられて訪ねて来る。

5

ここまでは万事順調にフリーダの思惑通りに進んでいるように見える。しかし、オーウェンが本当にフリーダの思惑通りに彼女の優れた個人的資質に感銘を受けるかどうか、フリーダ自身が疑問に思っている。

She never knew the extent of her tenderness for him till she became conscious of the present force of her desire that he should be superior, be perhaps even sublime. She obscurely made out that superiority, that sublimity mightn't after all be fatal. (180)

フリーダは、自分が優れた人間であることを強調することで、モナからオーウェンを奪う作戦が成功する為には、オーウェン自身が優れた人間であることを志向する人間でなければならないことがわかっている。だからこそ、フリーダはオーウェンに優れた人間であって欲しいと願わずにはいられないのだし、そうでなければ、自分が優れた人間であることをいくら強調しても作戦を成功させる決め手にはならないことがわかっているのだ。

そこでは、オーウェンは優れた人間になりたいと思う人間なのだろうか。二人の会談の後半で、“You'll be happy if you're perfect!” (193) というフリーダに対して、オーウェンが “I don't pretend to be perfect, but I shall find a letter tonight!” (193) と答える箇所がある。このやり取りは、オーウェンが優れた人間になりたいと思う人間ではないし、そのような観点からフリーダを好きになっているのでもないことを示している。

しかし、確かに、オーウェンはフリーダに意味不明の好意を示しているし、この会談の中では、“I want you

to marry me” (186) と述べて、フリーダに求婚までしている。それでも、フリーダがモナとの婚約を解消しなかった理由を尋ねると、オーウェンは “If I didn't break off it was just on purpose to leave it to Mona.” (192) と述べて、自分からモナとの婚約を解消する意志の無いことを示している。オーウェンは、婚約を無期延期したモナに対する感情的反発から、一時的に自分に求婚しているだけで、モナとの結婚の意志をまだ残していることが、フリーダにも次第に分かり始める。

それでは、フリーダに対するオーウェンの意味不明の好意が、モナに対する感情的反発だけから来たものかという、そうではなくて、オーウェンにはフリーダに他にも含むところがあることを、作者は “but there was clearly something he longed for besides.” (193) と述べて、暗示する。オーウェンがフリーダに望む物とは、彼女との性的関係に他ならない。オーウェンが “But say there's no letter [of rupture from Mona] -” (195) と述べて、モナとの婚約を破棄せずに、フリーダとの交際継続を望んでいることを仄めかすと、フリーダは “You mean even if she doesn't let you off? Ah you ask me too much!” (195) と答える。このやり取りは、オーウェンの意味不明の好意の中に、フリーダを結婚相手ではなくて、愛人として自分の下に引き留めておこうとするオーウェンの思惑があることを暗示しているし、更に、そのことをフリーダ自身が認識していることも暗示している。

しかし、オーウェンの意味不明の好意の真意がモナに対する感情的反発や、フリーダを愛人として求める性的願望だけだとしたら、オーウェンがフリーダに求婚し、二人が抱擁した時にフリーダが「一抹の寂寥感」(the momentary sense of desolation) (189) を感じることはないだろう。オーウェンの意味不明の好意の中に、感情的反感や性的願望以外に何かフリーダの与り知らぬことがあると直感するが故に、フリーダは寂寥感を感じているのだ。そして、フリーダは、モナとの婚約を解消する役目を彼女に押し付けるようとするオーウェンに対して、次のように述べて、その問題を自分で解決するように求め、彼をモナの下に帰す。

“You must settle that with Mona. You mustn't break faith. Anything's better than that. You must at any rate be utterly sure. She must love you - how can she help it? I wouldn't give you up!” said Fleda. ... “The great thing is to keep faith, Where's a man if he doesn't? If he doesn't he may be so cruel. So cruel, so cruel, so cruel!” Fleda repeated “I couldn't

have a hand in that, you know : that's my position - that's mine....” (196-7)

この台詞にも、自分が優れた人間であることを強調し、オーウェンの愛情を深めようとするフリーダの意図が見受けられる。ただ、この時のフリーダには、オーウェンがモナとの結婚の意志を残していることが分かっているし、オーウェンがフリーダのように優れた人間になりたいと思う人間ではないことも分かっているし、オーウェンがフリーダには結婚ではなくて愛人関係を求めていることも分かっているし、その上何より、オーウェンがフリーダの与り知らぬ意図を秘めて求婚していることも分かっているのだ。フリーダの意図を無にするような、それらの客観的事実が分かっているが、それでも、猶、オーウェンの愛情を深めようとする作戦を取り続けたことは、それが最早悪女の作戦ではなくなり、フリーダが一人の女性として、オーウェンに自分の立場を認めて欲しいと願い、男女が互いに相手の立場を認め合い、愛し合って結婚する、本当の意味での結婚にこだわっていると言える。そして、フリーダは実際に自分に求婚したオーウェンは、今モナより自分の方を愛していると信じ、オーウェンが自分からモナとの婚約を解消し、その後で彼女に求婚すべきだ、という彼女の立場認めて欲しいと願って、オーウェンをモナの下に帰すのだ¹⁰⁾。自分の意図に反する客観的事実が分かっているが、実際に自分に求婚したオーウェンの愛を信じようとしたところに、オーウェンに対する結婚願望からくる egotism に捕われた生身の女性フリーダの真の姿があるように思える。この後も、フリーダは egotism に捕われ続け、モナの下に帰ったオーウェンが、モナとの婚約を解消して、自分の下に帰って来ると信じ続ける。

6

しかし、オーウェンが帰ってから十日経っても何の連絡もないことから、フリーダは内心失敗したと思うようになり、“What game are they all playing?” (200) と考える。第17章以降は、フリーダがオーウェン達の「企み」(game) に気づいていく過程と言える。それでは、この企みとは一体何なのだろう。この後、結局、オーウェンはモナと結婚するが、その結婚式の様子を伝えるモーニングポスト紙の記事に次のような文章がある。

... : the scale of the affair sufficiently showed that the preparations had been in hand for some time back. (251)

つまり、その結婚式の準備は、その規模からしてかな

り前から始まっていたというのだ。実際にどのくらい前から始まったのか、我々読者は推測する他はないが、ゲレス夫人が第20章で “They’re to be married on the seventeenth at Waterbath church.” (241-2) と述べているので、仮にその結婚式を12月17日と仮定して、日付を逆算していくと、フリーダの父の家でオーウェンがフリーダに求愛しかけているところに、ブリッグストック夫人が入って来て、一連の遺り取りをする第14、15章の場面は11月15日になる¹⁰⁾。また、その第14章の場面で、オーウェンはフリーダに “I haven’t seen Mona for ten days, ...I haven’t budged from town.” (159) と述べているので、オーウェンは11月6日から11月15日までモナに会っていないことになる。この後、第19章でフリーダとゲレス夫人がオーウェンを捜してロンドンの彼のクラブに出掛けて行くのが11月27日となり、その時、クラブのポーターが “he had not seen Owen for a fortnight” (229) と言っているのです。オーウェンは11月14日から11月27日までロンドンの彼のクラブに帰っていないことになる。すると、先程の第14章でのオーウェンの台詞、「十日間（11月6日～11月15日）モナに会っていないし、・・・（ロンドンの）町から動いてもいない」と矛盾することになる。オーウェンは、彼のクラブに帰らなかった11月14日から11月27日までの期間の大半を、モナのいるウォーターバス邸に滞在していた可能性が高くなる。すると、11月15日に父の家でフリーダに求愛し、11月17日に姉の家でフリーダに求婚したオーウェンは、モナのいるウォーターバス邸から出掛けて来たことになる。このことと、オーウェンとモナの結婚の準備がかなり前から始まっていたことを考えると、オーウェンがフリーダに求婚していた最中にも、モナとの結婚式の準備は進んでいたことになり、オーウェンのフリーダへの求婚は見せかけだけのものとなる。そして、そのことは、第16章でフリーダがオーウェンと抱擁した時に感じた寂寥感や、モナの婚約破棄の手紙が来なくても、フリーダとの交際継続を望んだオーウェンの態度とびたりと一致する。更に、第17章で、ロンドンのホテルにゲレス夫人を訪ね、夫人がブリッグストック夫人の訪問を受け、フリーダとオーウェンの親密さを伝える話を聞き、蒐集品をポイントン邸に返還したと聞かされ、フリーダはブリッグストック夫人の訪問にも別の意図があったと確信する。オーウェンの見せかけの求婚とブリッグストック夫人のゲレス夫人訪問は、フリーダがオーウェンをモナから奪い取ったとゲレス夫人に信じ込ませ、蒐集品をポイントン邸に返還させる為に、二人が仕組んだ策略だったのだ¹⁰⁾。

7

フリーダは、この策略に対する確信を次第に深めていくのだが、オーウェンに対して結婚願望を抱いている為に、オーウェンの求婚が見せかけであったという客観的事実を中々受け入れることができない。この後、フリーダとゲレス夫人はオーウェンを捜し回るが、結局、見つけられず、フリーダは姉の家に帰り、オーウェンからの連絡を待つ。しかし、その三日後にゲレス夫人が訪ねて来て、オーウェンとモナの結婚を告げ、フリーダとの結婚の可能性が無くなった時、フリーダの結婚願望は抑圧されるが、後で別の形を取って現われることになる。

一方、オーウェンとの結婚の可能性が無くなることは、家も財産も職業も無いフリーダにとって、将来の生活の保障が無くなることを意味し、ゲレス夫人にとっては、老後の世話をしてくれる忠実な息子の嫁がいなくなることを意味する。第20章で、ゲレス夫人がオーウェンとモナの結婚の経緯について、「送り返された蒐集品がポイントン邸に着き始めたことが分かったと、モナはオーウェンに対して、フリーダなら決して取らないある手段（性的関係を結ぶこと）を取り、オーウェンがフリーダの方を振り向く暇も無いうちに、二人は結婚登録所に行き結婚した」（240-1）と説明する時、その中で強調されるのは、オーウェンの前に身を投げ出して彼と結婚したモナに対して、オーウェンの前に身を投げ出さず、彼をモナから奪う事のできなかったフリーダの責任である。ゲレス夫人はフリーダの責任を殊更に強調することで、フリーダに老後の世話をさせようとしている。そのことは、その説明の最後にゲレス夫人が述べた台詞、“Well, I shall [die], thank God! Till then” ... “don’t desert me.” (243) によく現われている。

その言葉を聞き、フリーダは「修道女の誓いの言葉のように」（243）ゲレス夫人を見捨ないことを約束するが、フリーダがゲレス夫人の老後の世話係を引き受けるのは、オーウェンと結婚できなかったことに対する自分の責任を認めたからではなく、フリーダには、そうするより他に生きていく道が無かったからだ。フリーダは、最初、オーウェンとモナが結婚したことでゲレス夫人との縁は切れたと感じ、蒐集品の無くなったリックス邸に一人残されたゲレス夫人には、居候の彼女を養う財産も無いと思っている。第21章冒頭のゲレス夫人の手紙の中の “but there are always things you and I can comfortably hate together” (245) という文の中の “comfortably” という語に、ゲレス夫人が今でも少しは財産を残しているという意味を読み取って、フリーダが彼女の老後の世

話をしに、リックス邸に出かけるところからも、そのことは推測される。

This communication made her [Fleda] easier, if only by its acknowledgement that her friend had something left: it still implied recognition of the principle of property. Something to hate and to hate "comfortably," was at least not the utter destitution to which, after their last interview, she had helplessly seemed to see the ex-mistress of Poynton go forth. (245-6)

そして、フリーダも、自分の生存の道を確保する為に、ゲレス夫人の老後の世話係、つまり、召使になるのを受け入れていることは、ゲレス夫人が手紙の中でフリーダのことを「家具」(furniture) (245) に譬えたのに対して、フリーダがその家具という立場を受け入れていることから分かる。

そして、フリーダがゲレス夫人の召使という立場を受け入れた時、彼女の視点人物としての視点にも、彼女本来の視点を隠す召使の視点が入ってくる。フリーダはリックス邸に着いた時、色褪せた織物と四本の紡績機の脚をうまく組み合わせた配置の仕方に、“the artist's idea” (248) が働いていると述べて、ゲレス夫人の才能を称賛するが、その称賛の言葉には、これから仕える主人に対する、召使のリップサービスの要素が入っていることを否定することはできない。この後、更に、フリーダは、リックス邸に以前住んでいた独身の伯母まで持ち出し、彼女の “a voice so gentle, so human, so feminine” (249) がゲレス夫人に届き、“the impression somehow of something dreamed and missed” (249) を与えるような家具の配置をさせたと述べ、仕上げるに、その亡くなった伯母の亡霊の気配まですると言い出し、ポイントン邸には亡霊はいなかったと述べて、リックス邸を持ち上げるようとする。また、その伯母の苦しみは、ゲレス夫人の苦しみよりもっとひどかったと述べて (250)、フリーダは召使の立場から、意気消沈している主人のゲレス夫人を慰めようとする。

こうして、フリーダのリップサービスの言葉によって、ゲレス夫人も少しは慰められ、二人は主人と召使として新しい生活を始めるのだが、召使は飽くまで「他人」(stranger) (253) であって、オーウェンと結婚して、ゲレス夫人にとって息子の嫁となった「仲間」(yokefellow) (253) ではない。第22章の冒頭では、二人の関係が他人の関係に変わってしまうことが暗示される。そして、この二人の最後の会話の中で、ゲレス夫人が “Well, I shall last a little, but I shan't last for ever.” (257) と述べて、フリーダに自分の死後の身の振り方を考えるように

促した、その直後に、オーウェンから、ポイントン邸の「蒐集品中の逸品」(the gem of the collection) (258) を受け取って欲しい、という趣旨の手紙がフリーダの下に届く。フリーダはオーウェンの申し出の真意が分からない素振りを見せているが、第16章で、モナの婚約破棄の手紙が来なくても、フリーダとの交際継続を求めたオーウェンが、フリーダには結婚ではなくて愛人関係を求めていることが分かっている、その申し出の真意が愛人関係の要求であることも分かっている。

そして、この物語の最後でクローズアップされるのは、オーウェン・ゲレスという男の実像である。彼は、*The Portrait of a Lady* の中で、結婚した主人公 Isabel に求愛する貴族の Lord Warburton と同じように、結婚後も愛人を持つことを容認する、当時のヨーロッパの上流社会の伝統を体現する人物と言える。また、その社会を成立させている要素の一つである遺産相続法に基づいて、自分の母親を騙してまで蒐集品を取り上げ、着の身着のままで家から追い出し、死なせようとしていることに対して、オーウェンは息子としての責任とか、背徳感を感じていないように思える。Christof Wegelin が海外に渡ったアメリカ人に認めた、「因襲の手による個人の責任の消滅」(the death of individual responsibility at the hands of convention)¹⁰⁾ という道徳的問題は、本来、このオーウェン・ゲレスのように、法律や伝統や因襲に支えられた社会に安住するヨーロッパ人の問題と言える。

そして、フリーダは、オーウェンの申し出に応じて蒐集品を受け取ることが、彼との愛人関係を始めることと暗に知りながら、ゲレス夫人が亡くなると、彼女の老後の世話係の仕事も無くなる、という自分の生存に対する不安から、オーウェンの申し出に応じようとする。そう決めた時に、フリーダが “secret rapture” (260) を感じているのは、蒐集品を受け取って、オーウェンとの愛人関係を始めることが、彼女の抑圧された結婚願望を屈折した形で満たすことを表している。

オーウェンの申し出を受けることが、彼の愛人になるのを承諾することだ、というフリーダの意識が文面に出ることはないのだが、ポイントン邸の蒐集品を取りに行く時、自分が何か後ろめたいことをしているという意識をフリーダが持っていることは、彼女がポイントン邸に着いた時、脚の悪い老ポーターから厳しい目付きで見上げられて、脅え、“They've come back?” (263) と問いかけ、オーウェンとモナが帰って来ていたら、彼女がそこに居てはいけないことは、そのポーターも知っているはずだ、とフリーダが考えることから推測される。

そして、最後のポイントン邸炎上は、この物語の視点

人物フリーダが、自分の行為を不正と知りながら、その不正を行おうとした時に、それを妨害する為に作者が設定した偶発事件と言える。そのことは、道徳意識を持ち合わせてなくてはいけない視点人物フリーダの、視点人物としての地位を守るという作者の意志の現われでもある¹⁶⁾。しかし、その偶発事件をフリーダは前以て想像している。

Something, in a dire degree at this last hour, had begun to press on her heart : it was the sudden imagination of a disaster, or at least of a check, before her errand was achieved. (262)

視点人物が想像したことが現実となった点は、同じ視点人物の女家庭教師が想像することが、次々と現実のことのように語られていく、ジェイムズの実験小説の傑作 *The Turn of the Screw* への道を開くものと言える。

結語

この物語でフリーダは、視点人物本来の視点とは別に、居候の視点、悪女の視点、召使の視点、愛人の視点とも言うべき一時的な視点を持つ。これらの一時的な視点の中には、不道徳と言ってもよい視点もあり、本来道徳的であるべき視点人物フリーダが、それらの視点を読者の前であからさまにすることはできない。しかし、視点人物である前に、現実には貧しい女性でもあるフリーダ・ヴェッチは、財産も職業も無い自分の不遇な境遇を生き抜いていく為に、この物語の中で、視点人物としての道徳的な視点と、一時的な不道徳な視点の間を揺れ動き続ける。この作品における視点の技法の親展開とは、具体的には、視点人物の視点の中に、この一時的な視点を導入したことである。こうして、視点人物の視点に二重性を持たせることで、ジェイムズは、視点人物の視点から距離を置き、その視点を再吟味する視点を読者に持たせようと意図しているようにも思える。その意味では、読者を意識し、読者の視点を積極的に物語の中に取り込もうとする試みこそ、この作品が見せた新しい視点の技法と言えるのかもしれない。

付記：本稿は日本英文学会が1996年9月30日に発行した「英文学研究（第七十三巻 第一号）」に掲載された内容に加筆修正したものである。

注

- 1) Yvor Winters. "Maul's Well of Henry James and the Relation of Morals to Manners" in *In Defense of Reason* (The University of Denver Press), p. 319.
- 2) James W. Gargano, "The Spoils of Poynton : Action and Responsibility" *Sewanee Review*, LXIX, No. 4, (Autumn, 1961), p. 659.
- 3) Oscar Cargill, *The Novels of Henry James*, (New York, 1961), p. 239.
- 4) Alan H. Roper, "The Moral and Metaphorical Meanings of *The Spoils of Poynton*," *American Literature*, XXXII, (May, 1960), p. 194.
- 5) Robert C. Mclean, "The Subjective Adventure of Fleda Vetch," *American Literature*, Vol. 36, No. 1, (March, 1964), p. 14.
- 6) 引用は再版された New York Edition (New Jersey : Augustus M. Kelly, Publishers, 1976) vol. 10 の *The Spoils of Poynton* による。以下、引用末尾の数字は、この版の頁数を示す。
- 7) Leon Edel and Lyall H. Powers ed., *The Complete Notebooks of Henry James*, (New York : Oxford University Press, 1987), p. 122. 密かにオーウェンを愛しているが故に、フリーダはゲレス夫人に恐ろしい譲歩をさせ、持ち去った物を返還させる、とジェイムズは述べている。
- 8) 第13章の 'How had Mrs. Gereth known in advance that if she had chosen to be "vile" (that was what Fleda called it) everything would happen to help her?' (144) という文章から、自分が "vile" な人間、つまり、悪女になるという意識をフリーダが持っていることが分かる。
- 9) 'let herself go' という表現が、オーウェンと性的関係を結ぶことを暗に意味していることは、ジェイムズの *Notebooks* に詳しい。ジェイムズはゲレス夫人の無意識の「野蛮さと不道徳さ」(brutality and immorality) を強調したかったのである。(cf. *The Notebooks*, pp. 155-6)
- 10) "And if she can't get them she doesn't want me" (161) というオーウェンの台詞にも、モナに対する彼の反感がよく現われている。
- 11) Peter Brook はこの場面について、"Fleda's own self-consciousness about her role frees her to act with a higher awareness of the significances that

may be read in her enactment : she is aware of the signs that her actions generate, of her embodiment of meanings.”と述べている。(Peter Book, *The Melodramatic Imagination*, New York : Columbia University Press, 1985, p.163)

- 12) この辺りのフリーダの行動を評して、Yvir Winters はフリーダの道徳的ヒステリーを指摘し、Corona Sharp は、フリーダが厳正な論理の為に、「ゆったりとした常識」(expansive common sense)を放棄していると述べる。(cf. Sister M. Corona Sharp, *The Confidante in Henry James*,) Indiana : University of Notre Dame Press, 1963, pp.113-4)
- 13) 何故、これらの場面が11月15日になるのか概略を示すと、第20章でフリーダの家にゲレス夫人が来て、オーウェンとモナの結婚を告げ、リックス邸に帰ってから二週間の内にゲレス夫人の手紙が二通来て、フリーダは15日にリックス邸に向かったとあるので(247) その15日は12月15日となり、ゲレス夫人がフリーダの家を訪ねるのは11月30日となる。また、第19章でフリーダとゲレス夫人がオーウェンを捜し回って、見つからないので、ゲレス夫人がリックス邸に帰ってから、三日後に夫人の電報がフリーダの下に届いたとあるので(235)、フリーダとゲレス夫人が

オーウェンを捜し回るのは11月27日となる。すると、第17、18章でフリーダがゲレス夫人のいるロンドンのホテルを訪ね、蒐集品のポイントン邸への返還を告げられる場面も11月27日となる。また、その場面は、オーウェンが最後にフリーダの下を去ってから、十日後にゲレス夫人の電報が届いて直後の場面なので(198)、第16章でオーウェンがフリーダに求婚するのは11月17日となる。そしてその場面は、第14、15章のフリーダの父の家での問題の場面の二日後のことなので、その第14、15章の場面は11月15日となる。

- 14) この策略を最初に指摘したのは Robert C. Mclean である。(cf. Mclean, pp.26-7)
- 15) Christof Wegelin, *The Image of Europe in Henry James*, (Dallas : Southern Methodist University Press, 1958), p.63.
- 16) 視点人物の視点の基準になる「審美感覚」(taste)は、道徳意識も含めた人間の全ての要求を公平に判断するものであり、フリーダが自分の不道徳に目をつぶることは、視点人物の資格を失うことになる。(cf. 拙論「イザベルの認識の進展－『ある婦人の肖像』の認識論的解題」、*ALBION* (複刊第35号) (京大英文学会、1989) .p.118.

鶴見俊輔の自立の思想について

A Study on Thought of Independence of Shunsuke TSURUMI

Tsuneyuki KIMURA

木村 倫 幸

「これまでに私の参加した運動は、ヴェトナム戦争反対のベ平連だけが大きい運動になったが、その他は小さい運動にとどまった。実際上の効果から見ると、自分をささえる他に役立ったとは思えない。(中略)だが、日常行動の変化に伍して、歩いているとしても、そのあまり重さのない行動がもつ政治上的効果は、未来につらなっているものと私は思う。家の中にいることが家の外の政治につながる道をさがしたい。それを後退として見る見方からすくなくとも解放されたい」^①。

鶴見俊輔は、このように書くことで、従来の思想の方法——それは「科学的な認識をつみかさね、くみあわせて社会改造の展望を作る方法」(九一七八)とよばれる——ではなくて、「もっと別に私そのものからむかう道、私の複合をとおして社会改造の展望をつくる方法」、「思想の生態的把握の方法」(同)によって、何らかの仕方で生きることのできる思想の確立を目指す。

鶴見のこの思想は、戦前・戦後の進歩派の社会改革の運動に対する反省から出ている。科学的認識偏重の弊害が運動の過程において明らかになったとき、鶴見は、「科学に背をむける思想は失敗する。同時に、科学の学習がそのまま思想をつくると信じることは、思想を積極的な生活形態、事業形態から切りはなしてしまう」(同)ということを警告して、運動の客観的条件のみならず、それを担う側の主体的状況のもつ重要さを指摘した。そして運動が最終的には「私にたいする信頼」(同)に集約されることを主張した。

この主張は、社会が先行き不安、行き詰まりの状況を呈している今日、われわれ自身の展望を生活を根拠として考える上で再度見直される必要がある。小論は、かかる鶴見の思想を、自立・抵抗に焦点を合わせて解明しようとする試みである。

一

鶴見の自立の思想は、端的に「権力による強制なしに人間がたがいに助けあって生きてゆくことを理想とする思想」(九一三三)として示される。そして鶴見はこの思想を、取りあえずは「アナキズム」と名づける。このアナキズムはそれ故、世界の政治思想史、政治運動史からわれわれが通常連想するところのア

ナキズムとはかなり異なる印象を与える。すなわち社会的に使用されているアナキズムとは、ほとんどテロリズムの別名であり、鶴見も述べているように「アナキストとは暗殺者の異名」(九一四)だからである。しかしながら本来のアナキズムは、権力によって強制されることのない共同社会を目指すものであり、テロリズムとは無関係なものであるが、現実の問題としてそのような理想的共同社会がそう簡単には実現しないという認識とiraだちが、アナキズムをテロリズムに転化させる。人間の正義感、特に若者のそれがテロリズムに変わりやすいということの理由もそこに見出だすことができる。この権力者の肉体的抹殺をはかるアナキズムに対して、「鎮痛剤」としての「きばのない静かなアナキズム」(同)が存在する。これは例えば東洋アナキズムというかたち(老子の思想等)をとるが、鶴見によれば、この東洋アナキズムの提唱者の多くが日本の軍国主義の協力者(推進者)となっていたという「十五年戦争の実績ゆえに、信頼できない」(九一五)とされる。そこで問題は次のように立てられる。

「今の社会にある権力的支配に抵抗することをやめてしまった静かなアナキズムに転化するのでもなく、権力的支配関係をおしつぶすもう一つの権力的支配をめざすことでアナキズムからそれていく道をとるでもない、アナキズムの道すじはどのようにしてあり得るか」(同)。

この問に対する答は、アナキズムが本来もっている基盤、「それを支えるかくれた部分」(同)に見出だされる。鶴見によれば、その部分とは「個人のパーソナリティであり、集団の人間関係であり、無意識の習慣をふくめての社会の伝統である」(同)とされる。つまり鶴見にとってのアナキズムの目的とは、われわれ自身の生活そのものの足下存在している素朴な共同的生活活動とこれに不随する生活感情の掘りおこしという側面を有しているのであり、このことがまた現在その頂点に達している近代社会——それは政治経済の国家権力機構から文化風俗の隅々にまで拡大している西欧近代資本主義社会を範とする能率社会である——に対する批判ともなる。鶴見の視点は、絶えずこの近代化社会がもたらす権力による個人の管理・抑圧への批判を伴っている。このことは次のアナキズムについての論調においても然りである。

「結局は能率的な軍隊の形式にゆきつくような近代化に対抗するためには、その近代化から派生した人道主義的な抽象観念をもって抵抗するのでは足りない。

い。国家のなう近代に全体としてむきあうような別の場所にたつことが、持久力のある抵抗のために必要である。二十世紀に入ってからうまれた全体主義国家体制のうまれる以前の人間の伝統から、われわれはまなびなおすという道を、新しくさがしだそうとする努力が試みられていい」(九一一―一二二)。

このようにアナキズムは、権力批判、「抵抗としてのアナキズム」(九一八)として提出される。それは、生活の細部にいたるまで介入してくる国家に対して闘う力を準備する理論であり、「権力とは区別された自主管理の形」(九一二三)を求める運動であり、決定論的な世界観・歴史観に対する「うたがう権力の留保」(同)である。②

またこのアナキズムは、社会変革の運動では自らをその内部で律する思想でもあらねばならない。この、従来の運動の歴史においてほとんど見落とされ実現されてこなかった点について、鶴見はこう述べる。

「持久力のある抵抗は、いきいきとした革命の内面像に内側からてらさされる時、はじめて可能になる。そうした抵抗のすみかさねが、ある歴史的状況の中で革命をつくりだした時、その力は、みずからのつくりだした権力を圧迫の道具として使わなかったための力として新しい用途につくことが必要になる」(九一八)。

権力による強制のない共同社会を目指すアナキズムが、自らの運動の進展によって権力を持つものとなっていくことの矛盾は、しかしながら簡単な問題ではない。鶴見は、この場合「おそらくはアナキズムの理想をふみにじるまいという思想をつよくにう新しい官僚があらわれることが必要になるだろう」(九一三)と「一見矛盾しているように見える」(同)発言をしているが、このような官僚性の提唱は、「抵抗としてのアナキズム」という立場から見れば要請すべきものであろう。

しかし同時に鶴見は、G・オーウェル(G. Orwell, 一九〇三―一九五〇)の著作集への解説において、「なぜ人は社会主義のことを言う時に、社会主義の下では、と言うんだろうね。社会主義者はみな、上の方の人間になろうとしていて、その下にいる人たちに何をすべきかを、言いつけているみたいじゃないか」と、オーウェルは言ったそうだ(九一六)という話を引用している。

ここには社会主義といえども、権力については、彼らが打倒を目指す帝国主義的権力と同様の傾向を持っていることが鋭く指摘され、それだけにアナキズム

と権力との問題がより注意深いかたちで取り扱われねばならないことが示されている。

二

さて右のような鶴見のアナキズムは、彼の思想のあり方についての議論と密接に結びついている。周知のように鶴見は、思想を「信念と態度との複合」あるいは「信念と結びついている態度」^③として見ることを主張する。思想は整然と体系だって論理の空中にあるものではなくて、生活に足を置いた人間の行動と不可分のものとして存在するべきことが求められているのである。

そしてこの場合に鶴見は、思想を検討する基準として「(1)思想を実証する行動について知ること」と「(2)思想を使用する行動について知ること」^④の区別を説く。つまりある思想の指示するもの（指示対象）と、それが実際に使われている状況（使用状況）^⑤その思想を使う人々の行動とが区別されて検討されねばならないということである。思想の意味は、これら二つの行動を重ね合わせて見ること——思想を実証する行動（指示対象）が使用する行動（使用状況）を見通しているかどうか、また思想を使用する行動（使用状況）が実証する行動（指示対象）にフィードバックされているかどうかを絶えず検討すること——によって把握されるとする。

従って鶴見が、アナキズムが本来持っている基盤・「かくれた部分」として「個人のパーソナリティ、集団の人間関係、無意識の習慣をふくめての社会の伝統」をあげるとき、それはこのような思想の基準によって検討されるべきものであり、この意味では、アナキズムは、彼の展開する「民主主義」の概念とほぼ重なるものとなる。

というのも鶴見が主張する民主主義（とりわけ積極的民主主義）とは、「興味は私生活の充実に向けられる。天下国家の問題を論じることを好まない。しかし、自分の私生活に天下国家が干渉してくる時、天下国家を論じることをこばまない」（一四六八）とするものであるからである。この民主主義の思想は、「私的な根の上に日本の現実の国家機構を批判する思想」（九一八〇）であり、「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が、世界国家に対して自由を守るとり得となる。（中略）今の個別主権を持つ国家の行きすぎに対して、もっとはっきりそれぞれの土地のしきたりを守って抵抗してゆく」（九一四〇七）思想である。

そしてその最終的な根拠は、他ならぬ鶴見自身の、というよりも各個人の内部に存在する。このことは彼は六〇年安保にかかわる運動の経験から語る。

「私の中には、眼の前に実現された社会制度よりも、より高い社会像と、より低い社会像とが、つまっている。自分の中にあるより高い理想像をかかげて、目前の社会にはたらしめてゆくことが、革命的な行為だと思う」（九一七七）。

「この私の中の小さな私のさらに底にひそんでいる小さなものの中に、未来の社会のイメージがある。私が全体としてひずみをもっているとしても、分解してゆけば、ゆきつくはてに、みんなに通用する普遍的な価値がある。このような信頼が、私を、既成の社会、既成の歴史にたちむかわせる」（同）。

この最終的な根拠によってこそ、鶴見は自身でさまざまな社会運動にかかわることになるが、「この私の中の小さな私」を「分解」して「ゆきつくはて」に存在する「普遍的な価値」とは何であるのか。それは一方では「私の根の上に」現実の国家権力を批判する自我（エゴ）であるが、しかし他方では現実には自我（エゴ）の欲望のみを追求する自我（エゴ）そのものではないであろうか。鶴見の思想の検討基準と有効性、およびその根拠については、右の自我（エゴ）の解明にいたって次第に明らかとなるが、しかしこれについての検討と批判は後に譲られる。

三

これまでの鶴見の自立の思想の検討を通じて、それがアナキズムと名づけられる思想であり、また民主主義を内容とするものであり、そして自我に根拠を置く思想であることが確認された。このような思想は、運動のかたちとしては、大規模な組織だった運動にはなにくく、むしろ少数人数の持続的な運動のかたちかふさわしいといえよう。そしてそのような運動の一つとして「サークル」がある。

鶴見は、サークルについて、それが明治以前の民衆相互のおたがいを尊重する習慣という一種の智慧に期限をもつこと——従って明治以降に成立した自由主義に還元できない何かをもつこと——を指摘し、「そこには、前衛政党の支配、社会主義の成立以後にも、生きのびていくであろう民衆の自由への希望がこもっている」(九一九七)と述べる。

すなわち、サークルとは、「おたがいに顔を見られる、あるいは全然同席できないような条件ならば、何らかの仕方でおたがいをしっかり見わけられる(個体識別)というくらいの小さい集まり。そういう集まりをとおしてすすめられる文化活動」(九一〇〇)であるとされる。

このサークルというかたちでは、「サイズが小さいということの他に、たがいによく会うということが出てくる。両方の要素にかかわるものとして、つきあいというものが、サークルにとっての根本的な特色となる」(同)。つまりサークルの組織では、「つきあいの成熟にかける時間」(九一〇一)が重要であり、「時間が自然に成長してくるのを待つという感覚」(同)が存在する。このことは、思想の最終的な根拠を自我に対する信頼に置く鶴見の思想に適するものといえよう。サークルのメンバーは自発的に何度も長い時間の経過で会うのである、その時間はメンバー各個人の主体性の下に使われる時間である。このような時間を継続して持つことによってサークルのつきあいが深まることは、信頼に値する個人間の関係が成立することを意味する。

そして同時にこの人間関係では、「サークルの進行途上で、自我のくみかえがおこる」(同)。鶴見によれば、「サークルは、つねに仮の主張として自分の考えをまず人前においてみるという、仮とじの本のような形をもっており」(同)、「サークルにおいては、話すことが考えることになるうるし、考えながら話すこともできる。他人の主張をとりいれて、自分のものとして話すこともあたりまえのことと思われる」(九一〇二)のである。ここではある意味では「私有をこえた思想の交流」(同)が存在し、サークルのメンバーは、自分の考えと他人の考えとが交流拡大していく体験を持つことができる。このようなサークルには、共有の実感が存在し、「一つのことにおいて先んじるものの力、おくられているものの力が、たがいに共有されて一つの力となつてはたらくことがみられる」(同)、「おくられている力とむすびつくことによって、すすんでいる力は、それ自身で孤立して前に進むのとはちがう何か貴重なものを

得てゆく」(同)のである。従ってサークルの機能は、組織された、能率を追求する機能的集団などとはまったく異なった次元のものである。そしてその価値観は、能率的な結果や成果への到達ではなく、また一元的な価値への収斂ではなく、サークルのつきあいの過程そのものにあり、過程でいろいろな価値観が交流して各個人において拡大増殖していくことにある。それ故サークルの思想とは本来多元的なものであり、その上になおかつ「あいまいなものの存在が許される思考の場面」(九一〇三)でもある。

サークルは右のような活動と思考のかたちを持って動いているのであるが、鶴見によれば、その「政治的意味は、主として文化に対する関心が自然に含まざるを得ない政治的関心(あるいは無関心)にある」(九一一五)。つまりサークル運動は、その運動の本来のかたちからして、社会変革の実行部隊の運動とはなり得ず、サークルの狭い範囲内での消極的な政治的意味しか持ち得ないとされる。それは社会変革の実行部隊の前身と後史をかたちづくる二つの運動、すなわち「社会変革のプログラムを構想し育てる段階の小集団の形」(同)か、権力に対する抵抗運動として意味を持つ。とりわけ「権力による抑圧に対する抵抗運動としてならば、サークルは、ある局面では政党の組織以上に、無規律である故の機動力を発揮することができるし、弾圧をくぐりぬけて抵抗の形をかえてつづけてゆくこともできる」(同)。このように鶴見は、サークル運動が、規律と管理によって組織された社会変革の運動とは質的に異なる面を有していることを明らかにする。とりわけそれは「抵抗としての側面」に特徴的であり、ここにわれわれは、小論の初めの方で述べた「抵抗としてのアナキズム」が、具体的には「抵抗としてのサークル運動」というかたちをとって現われてくることを理解するのである。

四

今まで述べてきたように鶴見は、「抵抗としてのアナキズム」の思想を「抵抗としてのサークル運動」に結びつけてその意義を説くのであるが、しかし同時にこのサークル運動の原則に絶えず立ち返ることの重要性を強調する。

このことは、サークル内に限らず、「人間は、思想をもつということにおいて

て、自分の判断を絶対化する誘惑からまぬかれることはできない」(九一一六)という傾向(「他人の思想に対する不寛容」を見る時明らかとなる。すなわち「サークルという小集団の思想史においても、メンバーが固定して、外へのはたらきかけや外の人びとの交流がない時には、思想の固定と絶対化の契機はくりかえしあらわれる」(同)のであり、「サークルの精神現象学の中に、サークルの内なるファシズムは、つねに新しくたちあらわれる」(同)のである。

鶴見は、特に左翼の過激な集団の運動にしばしば生じるリンチの問題に関連して、このことを指摘する。かかる集団が閉ざされた集団をつくれれば、その中の議論というのは、運動方針の実証条件から全く切り離されてしまうので、「結局自分のラジカルさを競い合うということにしかならない」(九一二五三)。そして自分たちが日本の社会の真正の底辺を代表しているという自負があるから、「そういう確信のために、自分の感覚がどれだけ大衆からずれているかということを、(中略)社会の中ではかかっていくということができない。自分自身が底辺そのものの代表なんだから、どこまでも突っ走ってラジカルさを主張し、また人にも押しつけていく」(九一二五四)。このようにして、閉ざされた集団においてリンチを正当化する思想が成立するというのである。

しかしながらこのリンチの思想に対して、原理のみを重視していくことは、またスターリン主義の歴史に見られるような結果を招く、と鶴見は主張する。というのも「状況は原理によって成り立っているのではないんだから」、「原理だけで状況を把握することはできない」(九一二五六)からである。そこで「むしろ原理は原理で大切だとしても、そういう原理を適用してリンチをくわえることは避けようというもう一つの原理を立てれば、これはリンチに対してある種のブレーを加えることになる」(九一二五七)という提案がなされる。

その「もう一つの原理」というのは現代の日本の社会運動に対しては有効な提案であるが、これに加えて鶴見は、「もっと別にわれわれの日常の反射というのか、いろいろな反射の訓練がある」(同)ことも主張する。それは火に手を近づけると熱いから手をひっこめるといふレベルの反射であるとされるが、鶴見は、「そういう反射が思想の最も重大なものになるといふ気がする」(同)として、リンチを行う状況に対しても「リンチを避けるような、リンチにくみしないような反射」(同)を育てることの重要性を指摘する。この反射の問題

は、生活にかかわる問題であり、思想をどのように考えるかという問題でもあるが、鶴見はさらに進んで、人間が言語の獲得以前に持っていたはずの反射——同種の動物同士では余り闘い合いをしないし、闘っても片方が負けたという態度・印を示せば相手を食い殺すところまではいかないという反射等々——にもどって思想をつくり直さねばならないという問題、換言すれば、「自然に対する人間のごうまんさをこわす時が来ているのではないか」(九一二二)という根本的な問題意識にまで到達する。

かくして「抵抗としてのアナキズム」に支えられた「抵抗としてのサークル運動」は、さらにそれを基底において支える自我の、自然へとつながる反射という問題にまで達することで、政治運動のみならず文化運動をも含んだたちで、現代社会を根底的に(ラジカルに)批判していく視点を獲得するまでに深化する。そしてこの視点についての評価が残された課題となる。

五

以上われわれは、鶴見の自立の思想を「抵抗としてのアナキズム」を手がかりに検討してきたが、その中でわれわれは鶴見の立脚点が最終的には個人の自我への確信にあることを解明した。そしてそのような自我に信頼を置いた運動のかたちとしてふさわしいとされるサークル運動の特徴を長短ともに検討したわけである。

この鶴見の立脚点は、現代社会においてわれわれがとすれば流されがちな風潮——それは国家権力や巨大メディアによる意識操作によって形作られるが——に対して抵抗していくための拠点を与えるという意味において、今日特に重要な意義を持っている。そしてこの意義についてはいくら強調してもしすぎるということはないであろう。鶴見の言い方を借りれば、「集団へのもたれかかりが、新しいファシズムのもとにある。集団のうねりに身をまかせて生命の充実感をあじわうという傾向である。その集団が、会社大から国家大になるにつれて、危険も大きくなってゆく」(九一二九五)という警告——それは、身近な「いじめ」から国家をあげてのファシズムにつながっている——に対して、自我を確立していく方法である。つまり、「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」によって抵抗していく方法である。換言すれば、「政治制度としての民主主義と社会習慣としての民主主義」(九一四〇〇)の差異を認識し、後者にこそ重きを置く立場であり、この点では鶴見の姿勢は一貫しているといえよう。^⑤

このことは別の面から見れば、鶴見の戦後民主主義についてのユニークな議論である「がきデカ民主主義」を浮上させるであろう。もともと鶴見は、文化の中での漫画の力を高く評価し、「なぜ私は漫画を見るか、それはもちろんおもしろいからですが、なぜおもしろいのか、これはよくないとみえる社会に押し負けない力を私は漫画を見ることによって得るから。自分を笑い、自分を疑う力をここから得るから」(九一五〇九)と述べているが、これは漫画の持つ批判力を正当に言い当てている。

この視点からすれば、少年漫画「がきデカ」の主人公(これは私利私欲の塊のような自己主張をする人物である)が、社会のいかなる権威にも反抗するということは、権力に対して自我に根拠を置く思想そのものの体現であり、自己の権利・欲望の擁護こそ民主主義の基礎であることを考えるならば、「がきデカ」こそが戦後民主主義の担い手としての評価を受けることになる。このような「がきデカ」の行動は、前節での「反射」ということと言うならば、「暮らしの中の反射として組み込まれたもの」(九一五一一)ということでは有効とされる。

「がきデカ」はある意味で反射するはたらきがある。こういうふう金とセックスだけを追い求める人間が活躍するわけでしょう。ああ、日本人はこうなんだな、こういう人間がたくさんいるんだなと思って大人になることがいいんです。日本人は神の子で、万邦無比の国体なんだと思って海外に出ていったら困るんですよ。「がきデカ」を読んでいるれば、ちがった人間になるんじゃないかという希望をもっています」(九一五二三)。つまり「がきデカ」の主人公は、その反射としての行動でわれわれに民主主義の基本としての自分の権利・欲望の重要さを示唆する側面が評価されるわけである。

しかしながらこのキャラクターの持つ積極的な意義を認めるとしても、われわれには同時にそこから、現代の日本社会のあり方を疑い、批判する側面——それは「自分を笑い、自分を疑う」側面でもある——が汲みとられることがさらに重要ではないであろうか。こう考えると、鶴見が戦後民主主義の担い手と

して「がきデカ」の主人公のキャラクターを見るのは少々役者不足の観があるように思われる。

例えば政治学者山口二郎は、鶴見の「がきデカ民主主義」を次のように批判する。

「もちろん、私利私欲を禁圧するところに民主主義は存在しない。(中略)あらゆる政治参加の最初の動機づけは、エゴの追求であろう。しかし、私利私欲の解放を最もうまく逆手に取ったのが戦後の自民党政権であったことをここで思い出さなければならぬ(後略)」。^⑥

そして山口は、近年問題となっているゴミやエネルギーの問題について、私利私欲を超える発想が必要であると指摘して、「単純な私欲の追求の果てには、大規模な環境破壊や財政赤字が待ち受けている。個人の利益を超えて、地球全体の利益、つまり、公共性に思いを致さねばならないゆえんである」^⑦と主張する。

ここにわれわれは、鶴見の自立の思想で提出された一つの大きな問題を見ることが出来る。鶴見の民主主義の思想において、それが拡張発展していく場合に生起する組織と個人との関係が問題となるように、自立の思想・「抵抗としてのアナキズム」は、自我(エゴ)と自我(エゴ)との関係および公共性との関係の問題を提起する。鶴見の思想は、その将来的な展望としては、近代的世観・自然観の再検討にまで及んでいく性格のものであるが、その重要な支点としてのこれらの問題との対決が今後焦眉の課題となる。

註

① 『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、五三五ページ。以下本書からの引用は、(九一五三五)等と表記する。

② 決定論的世界像について鶴見は、「国家にとっては、決定論を採用することが支配につごうよいし、ある一つの進歩の理念を事実そのものであるかのように人に信じさせることがつごうがよい。進歩という考え方を、うたがうことが必要だ」(九一三二二四)と、国家によるイデオロギー操作への警告を述べる。

- ③ 『私の地平線の上に』、鶴見俊輔集、第八巻、筑摩書房、一九九一年、二五三ページ。
- ④ 『アメリカ哲学』、鶴見俊輔集、第一巻、筑摩書房、一九九一年、二八三ページ。以下本書からの引用は（一一二八三）等と表記する。
- ⑤ なお付言すれば、この鶴見の自立・抵抗の思想は、長編小説『神聖喜劇』の作者大西巨人の姿勢と共通するものを有しているように思われる。大西は『神聖喜劇』において、軍隊組織に対して、軍隊自身の規則を逆手に取って一人で抵抗していく人物を主人公として描いているが、これについてジャーナリスト鎌田慧との対談で、次のように語っている。
- 『鎌田 日本の運動論理というのは、アナーキズムをいちやく潰してしまったので、一人で抵抗してもしょうがない、集団で変えていかねば、という方向になりがちだったですね。（中略）そういう風に、組織の力によってしか、全て解決できない、という論理ができています。（中略）そういう一種の待機主義が、戦後の運動をずっと作ってきていて、今、まさに組織自身の崩壊とか、変質に直面するに至ってしまったのは、そういう個として立つ、自立の思想が、運動の中で軽く扱われ過ぎたからじゃないか、と思うんです。
- 大西 そうですね。連帯というものは大切だと思いますけど、それはいわゆる『衆を頼む』というものではない。一人一人が、たった一人でも俺はやるぞと、そしてその運動が手をつなぐものならいいんですが。むしろ、一人じゃやらない（略）というのが、よくありますわね』（『大西巨人文選4・遼遠』、みすず書房、一九九六年、五二一～五二二ページ。）
- ⑥ 山口二郎『日本政治の課題——新・政治改革論』、岩波新書、一九九七年、一九九ページ。
- ⑦ 同書、二〇〇ページ。

夏目漱石『草枕』の〈非人情美学〉

A Consideration of Hi-Ninjou-Bigaku on
Natsume Soseki's *Kusamakura*

Mitsuhiro TAKEDA

武田 充啓

はじめに

『草枕』は、一九〇六（明治三十九）年九月、雑誌「新小説」に発表された中編小説である。よく知られているように、この『草枕』については、次の作者自身による解説がある。

私の『草枕』は、この世間普通にいふ小説とは全く反対の意味で書いたのである。唯一種を感じ、——美しい感じが読者の頭に残りさへすればよい。それ以外に何も特別な目的があるのではない。さればこそ、プロットも無ければ、事件の発展もない。

（『余が「草枕」』①）

「世間普通にいふ小説」とは、「人生の真相を味はせる」ために「汚いもの」をも平気で写すような小説のことであり、漱石は、自分の『草枕』は「人生の苦を忘れて、慰藉する」ことに重きをおいた「美を生命とする」作品だ、と強調するのである。そしてそういう小説だからこそ、「普通的小説」にあるはずの「プロットも無ければ、事件の発展もない」とするのである。

しかし、ここで確認しておきたいのは、引用文の「さればこそ」でつながれた前後の文章が、原因と結果の関係というよりは、むしろ目的と手段の関係にあるということである。つまり、『草枕』が「美」を伝えることを目指したために（原因）、「プロットも無ければ、事件の発展もない」小説ができたため（結果）、というよりは、『草枕』の「目的」（「美」を伝える）を達成するため、事前に「プロットも無ければ、事件の発展もない」という方法が「手段」として意識的に選択された、ということである。

もちろん、『草枕』に話の筋のようなものが全くないというわけではない。「非人情」の旅に出た画工が、那古井の温泉で宿の那美に出会い、彼女の言動に接しながら、自分の理想とする画を完成させようとする物語としてまとめられなくもないのである。しかし、この主人公である二人は、旅人と宿の女というその関係を最後まで保ち続けて、少しも変化を見せないまま、小説は結末にいたるのである。その意味で『草枕』は、やはり「事件の発展」のない小説といえるのである。

「真」よりは「美」を伝えることをもっぱらとし、事件らしい事件のない小説。では読者は、そんな『草枕』にいったい何を讀むことになるのか。

「全くです。画工^{えかかみ}だから、小説なんか初めから仕舞迄讀む必要はないんです。けれども、どこを讀んでも面白いのです。あなたと話をするのも面白い。こゝへ逗留して居るうちは毎日話をしたい位です。なんならあなたに惚れ込んでいい。さうなると猶面白い。然しいくら惚れてもあなたと夫婦になる必要はないんです。惚れて夫婦になる必要があるうちは、小説を初から仕舞迄讀む必要があるんです」

「すると不人情な惚れ方をするのが画工なんですね」

「不人情ぢやありません。非人情な惚れ方をするんです。小説も非人情で讀むから、筋なんてどうでもいいんです。かうして、御簾を引くやうに、ぱつと開けて、開いた所を、漫然と讀んでるのが面白いんです」 (九)

これは、画工と那美さんとの間に交わされる小説の読み方に関するやりとりであるが、ここに見られるような芸術に対する姿勢のみならず、画工の自然や人事に対する考え方や態度といったものを、読者は讀んでいくことになる。それを一言で言えば、『非人情美学』ということになる。私たちは、画工が表明する『非人情美学』に寄り添いながら、彼が自らの課題（『非人情美学』の実践）にどう応えていくのか、という興味をつなぎながら『草枕』を讀み進めていくことになるのである。

この画工による『非人情美学』の実践を見届けるためには、画工が『草枕』において担っている役割について、きちんと目配りしておく必要があるだろう。画工が『草枕』において果たす役割は、たんにその話の引き回し役にとどまるものではなく、いまだ複雑である。彼は旅行中に会おう出来事や人物を「見立て」の発想で見物しようとする観察者であり、またそうした対象をただ眺めているだけではなく、それらを絵や詩に表現しようとする実作者であり、さらに古今東西にわたるその芸術的教養に支えられた自らの趣味や見識を披瀝して倦まない批評家でもあるのである。

画工が「観察者、芸術家、実行者、批判者」といった「何重もの役割を担わされている」ことを指摘したのは清水孝純氏^②であるが、氏が論及するように、

そうした複数の役割のために、画工の『非人情美学』の実践が、読者にとってかなり見通しのわるいものになってしまっているということは事実であろう。しかし、画工の引き受ける複数の役割が、「世間普通に云ふ小説」ではない『草枕』においても、やはり氏のいうように「相いれない」「相対立する」ものであるのかどうか、そしてそれらの役割が彼の『非人情美学』とどう関係するのかについては、画工の『非人情美学』とその実践に則して、個別に詳しく検討し直すべきであると考ええる。

小論におけるこの画工の役割の再検討という課題は、画工の『非人情美学』をどうとらえるか、とくにその実践との関係をどう読み解いていくか、という問題につながるものである。以下の論考では、画工が果たしている幾つかの役割のうち、現実を絵として眺める観察者としての側面と、絵を実際に描こうとする表現者としての側面との、二つの側面にとくに注目したい。この二つの役割こそが、『非人情美学』を支える要であると考えからである。そうしてへ見る』ことと『描く』こととの関係を読み解きながら、彼の『非人情美学』が最終的に貫かれ得たのかどうかを、したがってまた、結末に「成就した」とされる彼の「胸中の画面」の意味についても、これはさらに那美との関係を読み解く作業を補足しつつ、明らかにしたいと思う。

一 見る男 あるいは 描けない画工

画工が何より『見る』人であることは、たとえば次のような文章を見れば瞭然である。

住みにくき世から、住みにくき煩ひを引き抜いて、難有^{あやう}い世界をまのあたりに写すのが詩である、画である。あるは音楽と彫刻である。こまかに云へば写さないでもよい。只まのあたりに見れば、そこに詩も生き、歌も湧く。

(一)

『見る』ことができれば、実際に『描く』ことまではできなくてよい。その「心眼」に「澆^{けう}季^き溷^{こん}濁^{だく}の俗界を清くうらゝかに収め得れば足る」(一)。画工は、

冒頭から、自分が実際には画を描かないで終わる画工であることを告白している。

画工において、〈見る〉ことの方により重点が置かれるのは、彼の〈描く〉という作業が、実際には、作者が『草枕』を〈書く〉という作業によって置き換えられているからである。画工は登場人物であり、『草枕』は小説である。「美しい感じ」は、結局のところ、色や形ではなく、言葉によって実現される。したがって、画工が「難有い世界をまのあたりに」〈見る〉ことさえできていれば、それを「画」に〈描く〉ことまではしなくてよいというのは、画工の言い訳というよりは、作者の言い分なのである。それは「事件の発展」のない小説の読者を結末にまで導いていく方便でもあり、その意味では、画工が小説の中で実際に画を〈描く〉ことなどは、作者によって意図的に制限されているといつてよいのである。

「非人情をしに出掛けた旅」(一)において、画工が最初に〈見る〉のは「自然」である。「自然」に接して「苦」がないのは、その景色を「一幅の画として観、一卷の詩として読むから」であり、「人情」を絡めずに〈見る〉ことができるからである(一)。そして、この「物は見様でどうでもなる」(二)という画工の相対主義的な見方が、「人間」を〈見る〉ときにも適用されるのである。

画工は、〈見る〉ことの基本姿勢として、「見立て」という態度を思いつく。「旅中に起こる出来事」や「旅中に逢ふ人間」を「能役者の所作」や「大自然の点景」に「見立て」ることによって、「人情の電気が無暗に双方で起こらない様にする」というのである。すべての「人間」を「画中の人物」としてしまふのは、「利害に氣を奪はれない」で「彼らの動作を芸術の方面から観察する」ためであり、「余念もなく美か美でないかと鑑識する」(一)ためである。つまり「見立て」は、純粹に「美的」なものだけを〈見る〉ための、観察上のひとつの手続きなのである。

ところで、「自然」や「人間」を「見立て」によって眺めることは、いわば〈見る〉ことを水平方向において二重化することである。この行為は、もちろん積極的で意志的なものであり、努力なしには続かない態度である。しかし画工は、自分自身を〈見る〉ことの対象とするときにもやはり「見立て」を試み、その方法としての可能性の幅の大きさを示して見せている。

茫々たる薄墨色の世界を、幾条の銀箭が斜めに走るなかを、ひたぶるに濡れて行くわれを、われならぬ人の姿と思えば、詩にもなる、句にも詠まれる。有体なる己れを忘れ尽して純客観に眼をつくる時、始めてわれは画中の人物として、自然の景物と美しき調和を保つ。(中略)初めは帽を傾けて歩いた。後には唯足の甲のみを見詰めてあるいた。終りには肩をすばめて、恐る恐る歩いた。雨は満目の樹梢を揺かして四方より孤客に逼る。非人情がちと強過ぎた様だ。(一)

画工は、ほとんど「己れを忘れ尽くし」ながら、しかし「純客観に眼をつく」ろうとする自分を手放してはいない。ここでは、いわば〈見る〉ことが垂直方向に二重化されているということができるだろう。「非人情がちと強過ぎた様だ」という表現はまさしくそのことをあらわしている。それは、彼が酔狂にも雨風(「自然」)にさらされ過ぎた、ということだけをいっているのではない。画工が自分自身に対してあまりに距離を置き過ぎたことを、しかし、彼自身がそれをすっかり自覚しているということもまた、強調しているのである。

このように見てくると、「見立て」は、「自然」や「人間」を対象とするときであれ、自己自身を対象とするときであれ、水平と垂直とでその方向に違いはあっても、〈見る〉ことの二重化による実践であるという点で、共通した「方法」であることがわかるのである。そしておそらくは、この「〈見る〉ことの二重化」という方法の内側で、作者によって、制限された画工の〈描く〉主体彼の〈描く〉ことへの欲望が、生きられているのである。

もちろん画工は、最初から〈描く〉ことを諦めているわけではない。峠の茶屋では、早速写生帖を開いて婆さんや鶏を写生しようとしている。

余は天狗岩よりは、腰をのして、手を翳して、遠く向うを指している、袖無し姿の婆さんを、春の山路の景物として恰好なものだと考へた。余が写生帖を取り上げて、今暫くといふ途端に、婆さんの姿勢は崩れた。(二)

画工が、画を実際に描こうとして描けないのは、この場面だけではない。しかし、ここで注意しておきたいのは、この後、画工がこの峠の茶屋の「婆さん

に石臼を挽かして見たくなつた」とされる点である。これは、「見立て」によって「見る」ことの枠を越えて、画工の「描く」ことへの欲望がかなり露出している場面であり、ここには画工が現実世界を「写す」ことよりも、それを変更してでも、自分の理想とする美の世界を現出させたいという気持ちが窺えるのである。

「描く」ことを許されない画工は、しばしば詩作に転じ、その企てはたいしては途中で投げ出され、あるいは那美に邪魔され、ときには成功したりもするのであるが、それとともに、彼が遠い昔の記憶を蘇らせる場面が幾度かある(七)(十一)(十二)。この画工による過去の想起も、彼が画を「描く」ことを禁じられていることと関係があるだろう。画工の幼少期の記憶については、那美像との対応を安藤久美子氏が指摘している③が、ここで重視したいのは、画工が、画を「描く」ことを代償に、記憶の世界に遊んでいるかに見える点である。この場合、画工によって想起される過去は、幼少期のものに限らない。三本松の記憶(七)においては、「子供心に好い心持ち」になったことが、円覚寺の坊主に関する記憶(十一)では、「気分が晴々した」ことが、木瓜の花にまつわる記憶(十二)においては、「其時分の方が余程出世間的」であったことが、それぞれ思い返されて、木瓜を見つめている画工は、やはり「いゝ心持ちになる」のである。それら過去の想起に共通しているのは、「心からうれしく感じた」り、無邪気に「楽んだ」りが素直にできている、画工の脱俗的な「心持ち」である。そうした「心持ち」に「見立て」ることによって、実際に画を「描く」ことの代わりとしているのである。つまり、この過去の想起もまた、一種の「見る」ことの二重化であり、画工は相変わらず「描く」ことはできないものの、彼の「非人情美学」と結びついた「描く」欲望、「描く」主体は、その「見立て」という方法のうちに見え隠れしつつ、しかし確実に生き延びているのである。

二 「非人情美学」の幅

「自然」の叙景から「心持ち」の表現まで

画工の「非人情美学」が、はたしてどれだけの幅をもつものなのか。対象に

対して距離をとり、客観的に事象を観察する立場と、対象と同一化し、主体が対象と不分明になってしまうことに「竊然として名状しがたい楽」(六)を感じて、その状態に身を委ねているような立場とが、双方ともに「非人情美学」の枠内に収まるものとして考えられるのかどうか。以下、本章ではこの問題について考えてみよう。

たとえば、秋山公男氏は、『草枕』には「非人情美」の枠を超えた、それとは別種の「醜の美」が描かれていると述べている④。氏は、「非人情美学」の基本的な立場は、自他の間に距離(「隔て」)を置いた、対外的・対他的視点の設定にあるとし、それとは対照的に、「醜の美」は「対象との距離を喪失し、醜な周囲の情景と同一化し」「意識も明覚を失い醜な溶解状態にある」主体によって叙景されるとする。この対比の軸は、主体と対象との距離のある／なしであり、「見る」視点の確保／放棄の問題である。

余は明かに何事をも考へて居らぬ。又は慥かに何物をも見て居らぬ。わが意識の舞台に著るしき色彩を以て動くものがないから、如何なる事物に同一したとも云へぬ。されども吾は動いて居る。世の中に動いても居らぬ、世の外にも動いて居らぬ。只何となく動いて居る。花に動くにもあらず、鳥に動くにもあらず、人間に對して動くにもあらず、只恍惚と動いて居る。

(六)

秋山氏は次のようにも述べている。「醜の美の場合、対象との『同化』が実現しそこに美が醸成されるためには、『何事をも考へて居らぬ』『見て居らぬ』『見る』視点の放棄が前提になる」。しかし、ここで見落とされているのは、「見る」視点を放棄した自身をしかし「見て居らぬ」と描写し続けている主体である。これは「見る」視点を放棄した主体が、しかしそのこと自体を「写す」視点については、これをしっかりと把握しているということであろう。そしてこの、先にも見た、画工の「描く」欲望に支えられた、「見る」ことの二重化による「写す」視点の確保にこそ、「写生」のスタンスは生かされているのである。

写生文家は自己の精神の幾分かを割いて人事を視る。余す所は常に遊ん

でゐる。遊んでゐる所がある以上は、写す我と写さるゝ彼との間に一致する所と同時に離れて居る局部があると云ふ意味になる。全部がぴたりと一致せぬ以上は写される彼になり切つて、彼を写す訳には行かぬ。依然として彼我の境地を有して、我の見地から彼を描かねばならぬ。是に於いて写生文家の描写は多くの場合に於いて客観的である。(中略)／此故に写生文家は自己の心的行動を叙する際にも矢張り同一の筆法を用ゐる。

〔「写生文」⑤〕

ここでいわれている「写生文家」の態度は、画工の〈非人情美学〉の姿勢と重なっている。画工は、「写生文家」のように、〈見る〉視点を放棄してしまつてゐる自分を、しかし「写さるゝ彼」として観察し、決して「写す我」「我の見地」を捨ててきていない。対象と同化してしまつてゐる自分自身をなお、「大人が小児を視る如き立場」(「写生文」)から眺めることによって、「自己の心的行動を叙」し続けているのである。

つまり、画工の〈非人情美学〉の基本的立場は、「自然」であれ、「人間」であれ「自己」であれ、その対象の如何を問わず、またその対象との距離の遠近深淺をも問わず、自在に「動き」つつ、〈見る〉ことの二重化のもとにおいて「写す」視点を把持することにあるのである。

たとえば、次の場面を見てみよう。画工が鏡が池に来て、池の中の水草をのぞき込む場面である。

余は草を茵しよなに太平の尻をそろりと卸した。ここならば、五、六日斯うしたなり動かないでも、誰も苦情を持ち出す氣遣はない。自然の難有いところはこゝにある。(中略) 席をずらせて段々水際迄出て見る。余が茵は天然に池のなかに、ながれ込んで、足を浸せば生温い水につくかも知れぬと云ふ間際で、とまる。水を覗いて見る。

眼の届く所はさまで深さうにもない。底には細長い水草が、往生して沈んで居る。余は往生と云ふより外に形容すべき言葉を知らぬ。岡の薄なら靡くことを知つて居る。藻の草ならば誘う波の情けを待つ。百年待つても動きさうもない、水の底に沈められた此水草は、動くべき凡ての姿勢を調べて、朝な夕なに、弄らるゝ期を、待ち暮らし、待ち明かし、幾代の思を

茎の先に籠めながら、今に至る迄遂に動き得ずに、又死に切れずに、生きて居るらしい。(十)

ほぼ同じ箇所を引いて、「余」は藻の草が「波の情けを待つ」ように美那みなのを待っている」と読んだのは、W・バートン氏である⑥。氏は、「自然」を対象としたこれら叙景の中に、画工の自己投影(描写対象との感情の結合)が見られるとし、やはり「非人情」とは「正反對」の立場に移っていると指摘する。氏の考えの基盤にあるのも、「非人情」は「作家が芸術の対象との距離をもつこと」とする見方である。しかし水草が画工の「自己投影」として描かれてゐるのか、それとも那美に「見立て」られてゐるのかは、それこそ「見様でどうでもなる」のである。二重化された視線によって見られてゐるものが、那美であれ、自己自身であれ、それをどう「人情」や「利害」から離れて「美的」とらえ続けることができるか。〈非人情美学〉の要点はそこにある。

右に引いた場面で注意しておきたいのは、描写の対象が何を意味しているかではなく、描写しようとして〈見る〉人、すなわち観察者である画工の「動き」にある。画工はまず、草の上に腰を下ろす。そうして彼は、水草を観察する前に、まるで自分自身がその水草であるかのように、その姿勢を先取りしてじつと「動かない」。それから彼は「段々水際迄」近づき、はじめて池の中を覗き込む。「動かない」水草を確認した画工は、そのあと「立ち上がつて」「石を二つ拾つて」「功德になると思つたから、目の先へ、一つ抛り込」み、さらに「今度は思い切つて、懸命に真ん中へ投げ」ているのである。ここで明示されているのは、ほとんど同化に近いといえるものから客観的といつてよい姿勢までの、あるいは見るだけの観察者から現実的な接触も辞さない実行者としてまでの、対象に対する自在な距離の取り方であり、自在な関わり方というものであろう。

画工は、たんに〈見る〉人であるだけでなく、〈動く〉人でもある。しかしそのことは、彼の「非人情」というスタンスの崩れを意味しない。むしろ「動く」ことによって、画工は「人情」や「利害」の誘惑から逃れるのである。こうして対象との距離や関わり方を自在に変える画工の「動き」は、逆に彼の「非人情」を保証するのであり、彼の〈非人情美学〉は、距離を置いた「自然」の叙景からほとんど距離なしで対象と同化している自己の「心持ち」の表現に

いたるまで、〈見る〉ことを二重化させ、つねに「写す」視点を失わない画工によって、一貫して維持されているのである。

三 顔のない女 あるいは 〈あいだ〉を生きる人

次に、那美と画工の関係について考えてみたい。旅のはじめには、様々な対象に拡散していた画工の〈描く〉欲望は、那美に出逢って彼女と接していく間に、ほぼその対象を那美に集中させていくことになる。そのことと最終的に画工が自分自身の「心持ち」を画にしようとするこの関係を読み解くことが、以下の課題である。

那美は、早くから『草枕』に登場する。画工が那古井へと向かう峠の茶屋で、茶屋の婆さんと馬子の源兵衛とが交わす会話の中に「那古井の嬢さま」「志保田の嬢様」として出てくる。画工は彼らの話を聞きながら、「この景色は画にもなる、詩にもなる」と考え、取り出した写生帖に「花の頃を越えてかしこし馬に嫁」と書き付ける。しかし、画工の「心のうちに」思い浮かぶのは、女の衣装であり髪であり馬であり桜であって、「花嫁の顔だけは、どうしても思いつけなかった」のである(二)。

那美は、最初から顔のない女として登場するのであり、このことは、彼女のちに「自己」を失った存在として現れてくることを予告しているのだが、同時にこのことはまた、以下に見ていくように、画工自身がその「自己」との出会いを求める気持ちを潜在させていたことをも示していたのである。

実際に目にした那美の表情は、画工が今までに「見た事がない」ものであった。

元来は静であるべき大地の一角に陥欠が起つて、全体が思はず動いたが、動くは本来の性に背くと悟つて、力めて往昔の姿にもどらうとしたのを、平衡を失った機勢に制せられて、心ならずも動きつづけた今日は、やけどから無理でも動いて見せると云はぬ許りの有様が——そんな有様がもしあるとすれば丁度此女を形容する事が出来る。

(三)

「本来」は「動かない」はずの女が、無理に「動いて」いる。「不仕合な女に違ない」と口にする画工の関心は、しかし那美の「不幸」の原因や背景よりも、彼女のその「動か静か」はっきりしない表情や「悟りと迷」を「同居」させたような奇態な行動そのものにあるのである(三)。

たとえば画工の目は、振り袖姿で夕暮れの宿の縁側を何度も往きつ戻りつする那美をとらえている。

刻々と逼る影を、すかして見ると女は蕭然として、焦きもせず、狼狽もせず、同じ程の歩調を以て、同じ所を徘徊して居るらしい。身に落ちかゝる災を知らぬとすれば無邪気の極である。知つて、災と思はぬならば物凄。黒い所が本来の住居で、しばらくの幻影を、元の儘なる冥漠の裏に収めればこそ、かやうに間観の態度で、有と無の間に逍遙してゐるのだらう。

(六)

「口も聞かぬ。傍目も触らぬ」那美が「夜と昼との境をあるいて居る」。彼女は、「半ばあの世へ足を踏み込」みながら「夢」と「うつゝ」のあいだを「寂然として歩行て行く」。そして画工の目は、このとき、「竊然として名状しがたい楽」をもたらしたあの特別な〈同化〉の体験(六)を、いわば外から、垂直にはなく水平方向に眺めているのである。「あるものは只心持ちである。此心持ちを、どうあらはしたら画になるだらう——否此心持ちを如何なる具体を藉りて、人の合点する様に髪髻せしめ得るか問題である」(六)。

この問題は、〈見る〉ことの垂直方向への二重化を、水平方向に変換させるに適當な「具体」をうまく発見できるかどうかにかかっていた。画工は、この課題に対して、「不思議な歩行をつづける」那美を「写す」ことによって、応じている。「如何なる事物に同化したとも云へぬ。されども吾は動いて居る。世の中に動いても居らぬ、世の外にも動いて居らぬ。只何となく動いて居る。花に動くにもあらず、鳥に動くにもあらず、人間に対して動くにもあらず、只恍惚と動いて居る」(六)。これは、画工の〈同化〉の「心理状態」(同)を写した文章であるが、那美の行動を叙述する言葉としても、ほとんど違和感なく読めるのである。

もちろん画工は、それが那美の「芝居」である可能性についても意識的であ

る。しかし画工は、「あの女は家のなかで、常住芝居をして居る。しかも芝居をして居るとは気がつかん。自然天然に芝居をして居る」「自分でうつくしい芸をして見せると云ふ気がない丈に役者の所作よりも猶うつくしい」と評価して見せるのである(十二)。画工が「あの女の御蔭で画の修行が大分出来た」(同)というのは、「自然」と「芝居」とのあいだを生きたる那美の「所作」のうちに、「利害」を離れた彼女の「美的生活」(同)を見ているからであろう。

もはやすでに明らかのように、那美は〈あいだ〉を生きたる人である。彼女は動いているように見えて、しかし実は二つのものの〈あいだ〉を往きつ戻りつしているだけの「動けない」女なのである。那美の「不幸」は、ここにある。彼女が「動けない」原因は、様々にあるのであろう。しかし画工はその背景を積極的に探ろうとはしない。それよりも自らが体験した「自然」との特別な「同化」の「心持ち」を、彼女の「表情」や「所作」といった、その表面において見ようとするのである。もちろんこのとき画工の〈同化〉の「楽」と、那美の〈あいだ〉を生きたる「不仕合」とでは、あまりにも違いが大きすぎるのではないかという疑問が浮かばなくもない。しかし、対象とほとんど〈同化〉しているかに見えて、画工の「写す」視点は確保され、〈描く〉欲望が生き延びていたのとちょうど同じように、那美には「自然天然に芝居」という生き方があるのである。そしてこの点にこそ、画工が自分の「心持ち」を、那美の内面ではなくその表面に〈見る〉ことを可能にする、彼の〈非人情美学〉の真髓があるのである。

善は行い難い、徳は施しにくい、節操は守り安からぬ、義の為に命を捨てるのは惜しい。是等を敢てするのは何人に取つても苦痛である。その苦痛を冒す為めには、苦痛に打ち勝つ丈の愉快がどこかに潜んで居らねばならぬ。画と云ふも、詩と云ふも、あるいは芝居と云ふも、この悲酸のうちに籠もる快感の別号に過ぎん。此趣きを解し得て、始めて吾人の所作は壮烈にもなる、閑雅にもなる、凡ての困苦に打ち勝つて、胸中一点の無上趣味を満足せしめたくなる。(十二)

画工にとって、那美に対する興味は、あくまでも「画中の人物」としてのそれなのである。

四 画工の「心持ち」と那美の「憐れ」

もちろん生身の那美は、画工に対して批判的な存在であり得る。二人の男から言い寄られれば、二人とも「男妾にする許りです」と言い切り、人間の作る歌ではなく、鶯の歌が「本当の歌です」と「余に教へ」る那美にとって、画工の大切にしたい絵画の世界などは「横幅ばかり」の「窮屈な世界」にすぎない(四)。彼女は画工を「蟹」呼ばわりして見せるのだが、実は「蟹の様な思ひ」で生きているのは那美自身なのである。

付け文をしてきた若い僧泰安に本堂で抱きついて見せたという挿話(五)は、自分が抱えもったものに応えるものさえあればいつでもそれに応じて生きていつて見せるという彼女の覚悟を示している。しかし、もちろん泰安には那美に見合うような覚悟はない。彼女は、懷に「九寸五分の白鞘」(十二)を潜ませて、いつでもそのつどの「現在」と切り結ぼうとしながら、しかしその「現在」に甬づりになっている存在なのである。

那美が〈あいだ〉を生きたるを得ない存在であることは、先にも引いた鏡が池の水草の描写が、よく示している。

百年待つても動きさうもない、水の底に沈められた此水草は、動くべき凡ての姿勢を調べて、朝な夕なに、弄らるゝ期を、待ち暮らし、待ち明かし、幾代の思を茎の先に籠めながら、今に至る迄遂に動き得ずに、又死に切れずに、生きて居るらしい。(十)

「死にきれずに、生きて居る」水草が、どうしても「動き得ずに」いるのは、動けば卑しくなるからではないか。「動と名のつくものは必ず卑しい」(三)という画工の認識は、那美の価値であり倫理でもあるように思われるのである。「あきづけば、をばなが上に置く露の、けぬべくもわは、おもほゆるかも」という歌を「憐れな歌」とする画工に対して、那美は「憐れでせうか。私ならあんな歌は咏みませんね。第一、淵川へ身を投げるなんて、つまらない」と答えている(四)。ここには那美の「憐れ」に対する態度、「露」のように「消え

入る」こと、「川」を「流れる」こと、つまりは「動く」ことに対しての否定的な姿勢があらわれている。「動くは本来の性に背く」(三)とは、画工が那美を形容した言葉であるが、実際彼女は「動く」ことについてかなり意識的なのである。

那美は、画工とメレディスを読んでいる最中に起こった地震の直後に、「岩の凹みに湛へた春の水」に「落ち付いて影をひたしていた山桜が、水と共に、延びたり縮んだり、曲がつたり、くねつたりする。然しどう変化しても矢張り明らかに桜の姿を保つてゐる所」を見て、画工に「人間もさう云ふ風にさへ動いて居れば、いくら動いても大丈夫ですね」と言葉を掛けてゐる(九)。那美が「動く」ことを容認するのは、「どう変化しても」自分の「姿を保つてゐる」という条件付きのことなのである。

流れるもの程生きるに苦は入らぬ。流れるものゝなかに、魂まで流して居れば、基督の御弟子となつたより難有い。(中略) ミレーのオフエリアも、かう観察すると大分美しくなる。(中略) あれはやはり画になるのだ。水に浮んだ儘、或は水に沈んだ儘、或は水に沈んだり浮かんたりした儘、只其儘の姿で苦なしに流れる有様は美的に相違ない。(七)

画工は当初、自分の存在がそうであるからとでもいうように、「流れる」動くものに美しさを見いだしていた。それが那美と接することによって、描こうとする対象を「動かない」ものの方へ変えていくのである。

「私が身を投げて浮いて居る所を——苦しんで浮いている所ぢやないんです——やすやすと往生して浮いて居る所を——奇麗な画にかいて下さい」

(九)

那美は「自然」と調和してそれに溶け込むような存在ではない。峠の茶屋の老婆を「自然」に溶け込んだ存在として「見立て」ることのできた画工は、那美に対してはそれができない。それは彼女が「自然」と「芝居」の「あいだ」を生きている女だからである。那美は「死」と結びつけられ、「生」と「死」の「あいだ」に置かれることによって、はじめて「見立て」が可能になる、そ

うした存在なのである。

温泉場の御那美さんが昨日冗談に言つた言葉が、うねりを打って、記憶のうちに寄せてくる。(中略) あの顔を種にして、あの椿の下に浮かせて、上から椿を幾輪も落とす。椿が長へに落ちて、女が長へに水に浮いてゐる感じをあらはしたいが、それが画でかけるだらうか。(十)

川に「流れる」土左衛門ではなく、池に横たわる女は「動かない」女である。那美は、つねに「死」を覚悟し「死」を背負った存在であるが、「死」そのものではない。「生」と「死」の「あいだ」に宙づりにされた「動けない」存在なのである。画工は「人間を離れないで人間以上の永久と云ふ感じ」(十)を出そうと試みる。彼が描こうとしているのは、「時間はあるかもしれないが、時間の流れに沿うて、逐次に展開すべき内容がない」(六)世界である。そこでは、切り取られた一瞬の、少しの幅もたない時間において、ただ「空間的に景物を配置したのみで」(同)、しかし「永久と云ふ感じ」を出したのである。平面に奥行きを写すのとちょうど同じように、一瞬の間に、しかし永遠を写そうとするこの課題は、実は「見る」ことの二重化の、いわば応用問題であり、今度は水平方向への二重化という「空間」における二重化にさらに重ねて、「時間」の次元においても「見る」ことの二重化が要請されているのである。

そこで問題になるのは、那美の「顔」である。画工は「流れて行く人」の表情を考えていたときには、「表情が、まるで平和ではほとんど神話か比喩になつてしまふ」、かといって「全然色気のない平気な顔では人情が写らない」などと、「風流」にふさわしい「顔」を探していた(七)。そのときにも、画工は、自分の画に「人情」が写ってほしくない、というふうには考えていない⑦。そして今や「動かない」人を描こうとする画工は、「一瞬」のものでありながら「永久と云ふ感じ」が出るもので、かつ「人間を離れないで人間以上の」ものという条件において、「神の知らぬ情で、しかも神に尤も近き人間の情である」「憐れ」を見出すのである(十)。

色、形、調子が出来て、自分の心があゝ此処に居たなと、忽ち自己を認識する様にかゝなければならない。生き別れをした吾子を尋ね当てる為、六

十余州を回国して、寐ても寤めても、忘れる間がなかったある日、十字街頭に不図邂逅して、稲妻の遮るひまもなきうちに、あつ、此処に居た、と思ふ様にならなければならない。それが六づかしい。(六)

画工は、自分の画に求めようとして得られないでいるものを、那美の「顔」を「写す」ことによって手に入れるようにするのだが、それが彼自身の「心持ち」であり、つまりは「自己」なのである。つまり画工は、自分の「心持ち」を「見立て」るために、那美を「死」と結びつけ、彼女を「動かない」女に「見立て」たうえで、「動けない」彼女の「表情」顔のうちに「自己」を探すという〈見る〉ことの多重化の手続きを必要としたのである。

五 「胸中の画面」の意味（「おわりに」に代えて）

「それだ！ それだ！ それが出れば画になりますよ」

と余は那美さんの肩を叩きながら小声に言った。余が胸中の画面はこの咄嗟の際に成就したのである。(十三)

画工が那美さんの顔に「憐れ」を見つけ、彼の「胸中の画面」が完成する。画工は、自分の「心持ち」をあらわす画を描きたいと思っていた。それが完成したのだとすれば、彼が那美さんの表情のうちに見た「憐れ」というのは、彼女の「感情」というだけでなく、彼自身の「心持ち」でもあるはずである。

畑有三氏は、「観察者と対象の関係性の質そのもの」が変わらなければ、「画工は那美さんの画を、那美さん認識の答えというかたちで完成させることは出来ない」。だから画工が「答えを出すことが出来るためには」彼の「認識は多様化よりも、深化していく必要がある」という視点から『草枕』を読もうとする⑧。そうして、『草枕』の「旅」の経験を潜ってくることで、「人間の現実」に直面していく姿勢を画工は選り取る決意をもつに至った」とするのである。しかし、具体的な経験が主体の認識を深め、やがてその主体が現実に対応する仕方・態度を変えていく、とする氏のそこでの基本的なスタンスは、むしろ「世間普通にいふ小説」を読むのにふさわしい姿勢であって、画工自身には

「那美さん認識の答え」としての「那美さんの画」というような発想はなかったはずである。逆に、そうした認識の深化だの人間の成長だのといった視点そのものを相対化し、そこから逃れるための『草枕』の「方法」であり、〈非人情美学〉だったからである。

那美さんの「不幸」に関心を持たないからこそ、画工の「画面」は成就する。「自然」や「人間」を「見立て」によって眺めることから自分の「心持ち」の表現にいたるまで、画工の興味は徹頭徹尾彼自身、すなわち「自己」の世界に限られている。彼は「現実」他者の世界とは最後まで自分の〈非人情美学〉というフィルタを通してしか関わろうとしない。そしてそれが当初からの彼の望みだったのである。

画工の「胸中の画面」の成就是、彼の〈非人情美学〉が貫かれたことの証左である。そこで成し遂げられているのは、「人間」や「人情」を否定した自然讃美というのではないし、かといって「人間」や「人情」の再発見というのではない。画工が果たした課題は、「神」と「人間」との〈あいだ〉にあるもの、「作者」と「登場人物」との〈あいだ〉にあるものを、「まのあたり」にすることである。たとえば「咄嗟」の瞬間であってもよい。那美が生きているその〈あいだ〉の世界を、他ならぬ「自己」の世界として〈見る〉ことである。池に横たわる女であれ、プラットフォームに立ち尽くす女であれ、いずれにせよ「動かない」ことと「動けない」こととの〈あいだ〉に宙づりにされた那美の表情を、自分自身の「心持ち」として「見立て」ることが可能であったのは、そもそも画工その人が、〈描く〉ことを禁じられたまま、登場人物として〈見る〉ことと作者によって〈書かれてしまう〉こととの〈あいだ〉を生きざるを得ない表現者であったからであり、その彼の「心持ち」こそが「憐れ」だったのである。そしてこの、言葉によって「写す」以外にない画工の「憐れ」の内実としては、「憐れ」の表情そのものを彼が「写す」代わりに、作者が「憐れ」と云ふ文字を、ただそれのみを、書きつけたこと以上のことは、おそらく他にないのである。

註

有斐閣、一九八一・八。

- ① 『余が「草枕」』(『文章世界』一九〇六・一一)。
清水孝純 『草枕』の問題―特に『ラオコーン』との関連において―
『文学論輯』一九七四・三)『日本文学研究資料叢書』夏目漱石Ⅱ』有精
堂、一九八二・九
- ② 安藤久美子 『草枕』ノート(『非人情美学』考)『国文学 解釈と鑑賞』
一九八八・八)。氏は「那美像は対他的な自己と社会の関係認識を形づく
り、幼年期の記憶は即時的な自己了解、自然了解になると考えられる」と
指摘している。
- ③ 秋山公男 『草枕』―「醜の美学」(『日本近代文学』一九九二・一〇)。氏
は、「同化」と「非人情」とは、対極にある立場」とする宮内俊介氏の論
考(『酔興』としての『非人情』―『草枕』の読みの試み―『方位』6
号、一九八三・七)をふまえつつ、「非人情美」と区別して、その「非人
情美」の枠を超えた「醜の美」が描かれていることを指摘している。
- ④ 『写生文』(『読売新聞』一九〇七・一・二〇)
ウィリアム・バートン 『草枕』―「紀行文」の側面から―(『国文学
解釈と鑑賞』一九九七・六)。氏は、『草枕』では、自然を「写生」する
ことから自己を表現することまでの、つまりは「極端」から「極端」まで
の、表現の可能性が試されているということ、また、漱石はそれらの表現
が互いに排他的なものではないことを示したということ、を指摘している。
小論では、これらの幅の大きい異なる表現法のほとんどすべてが、画工の
〈非人情美学〉に収まりうることを述べている。
- ⑤ よく知られているように、漱石は森田草平宛て書簡(一九〇六・九・三〇)
において、結末の場面でも、画工が「自己の利害」を離れて「単に美か美
でないかと云ふ点」から観察していることを、したがって「画工が此の態
度で居れば『憐れ』といふのが人情の一部でも、観察の態度は矢張り純非
人情である」ことを丁寧に解説して見せている。小論はこの作者の見解に
従っていることになる。
- ⑥ 畑有三 『草枕』の旅(『講座夏目漱石』第二巻(漱石の作品(上))

遺伝的手続きによるゆらぎを導入した知識／事例に基づく 構造物概念設計アシスタント

平 俊男・田中正夫*

Rule- and Case-Based Assistant for Conceptual Structural Design
Associated with Genetic Operations

Toshio HIRA and Masao TANAKA

日本機械学会論文集（C編）62巻、601号、(1996)、3420～3427.

設計要求を満たす実体を、設計案として具体化する概念設計の段階では、設計者の創造的活動が主となる。従って、コンピュータによる支援では、設計者が行う判断の自動化よりも、設計者が幅広い可能性を検討できる枠組が重要であり、概念設計の支援システムは、設計知識や事例に基づく候補生成に加え、多様な設計案を提示する機能が求められる。

提案する構造物概念設計アシスタントシステムでは、設計対象物を属性値集合として表し、知識ベースによる候補の生成を基本的機能とする。ただし、この過程は一般に木構造となり、各段階における属性値の決定が以降の過程に対して支配的になる。例えば、橋梁構造物では橋長などの仕様から、まず、つり構造などの橋梁形式を選択し、その形式のもとで以降の属性値を決定していく。従って、分岐の方向がいったん決定されたならば、他の可能性は無視されてしまうことになる。また、概念設計段階では、位相と幾何とが同時に検討されるので属性空間は非常に大きい。本報では、知識ベース推論で得られた競合属性値をもとに、類似の設計事例も提示可能性とし、設計者が既に決定した属性値が異なっても候補となり得るゆらぎを許容する枠組をとった。このとき、機能的類似性を保持する遺伝子の事例ベースを用い、広範囲の事例について類似を測ることを可能としている。これらによって知識ベース推論の流れからは見えない、切捨てられた設計可能性も、推論の後戻りなしに提示可能（図1）となる。

橋梁構造物の概念設計を例にシステムを構築した。橋長500m、中央支間幅300m、橋幅20mの鋼製道路橋を仕様とし、図2に示す設計案が生成された過程をみると、設計者によってアーチ橋構造が決定された後の段階においても、異なる橋梁形式を持つ設計候補も提示され得る事が確認された（図3）。これらは単に橋梁形式の決定

時点に意思決定を後戻りさせるのではなく、その時点までに決定された属性に類似の属性は共通の値が用いられており、決定木の飛移りとみなせるものである。

ここで示した手法は、設計の初期段階では異なったものに潜む類似を見出すことが重要であるとの指摘とも関連している。また、先行する意思決定の決定性を緩和し、設計者に多様な設計候補を示唆する概念設計アシスタントの機能として有用であると考えられる。

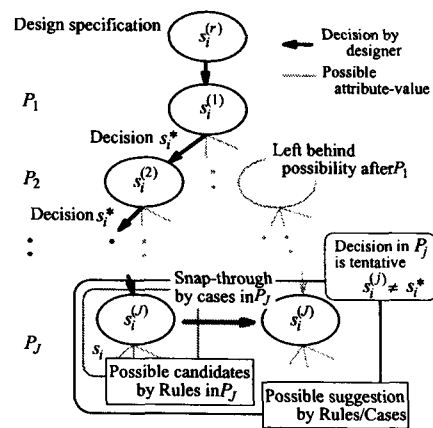


Fig.1 Framework of candidates suggestion with snap-through on decision-tree

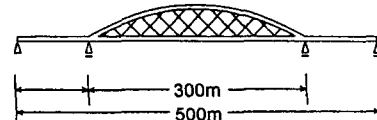


Fig.2 Continuously supported Lohse bridge of 3-spans

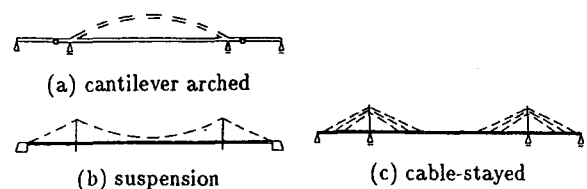


Fig.3 Considered bridge types

* 大阪大学大学院基礎工学研究科

超音波モータ駆動二関節 マニピュレータ搬送システムのファジィ協調制御

飯田賢一・鎌野琢也*・鈴木茂行*

Fuzzy Cooperation Control for A Two-Links Manipulator Transportaion System
with Progressive Wave Type Ultrasonic Motors

Ken'ichi IIDA, Takuya KAMANO and Takayuki SUZUKI

日本 AEM 学会誌 Vol.4, No.3, pp.15-22, 1996

近年、低速高トルク特性、高い保持トルク等の優れた特性を有する超音波モータが小型軽量のアクチュエータとして注目されている。しかしながら、超音波モータは摩擦駆動であるために本質的に非線形特性を有しており、また、その動特性は動作環境により変動すると考えられる。それゆえ、超音波モータを複数台組み合わせて搬送システムあるいは小型マニピュレータを構築する場合、各アクチュエータの応答特性の改善ばかりでなくアクチュエータ間の協調動作が重要となる。例えば、高速な協調動作が実現できれば、高精度・高効率な搬送が可能となる。高速な協調動作を実現するためには、システムの挙動が定常状態のみならず過渡状態においても規範動作に一致するように各アクチュエータを制御する必要がある。このことは一つのアクチュエータが外乱入力などの影響を受けたとき、他のアクチュエータもその影響に応じて変化しなければならないことを意味している。しかしながら、アクチュエータの非線形特性や動特性が異なる場合には、高速な協調制御を実現することは困難である。

本論文では、一例として、超音波モータ駆動二関節マニピュレータを用いた搬送システムを試作し、ファジィ制御による協調制御問題について検討している。

二関節マニピュレータにおいて手先位置は関節角の組み合わせによって決定される。すなわち、手先位置をオペレータが設定した軌道上を常に推移するためには、両リンクが協調的に動作する必要がある、オペレータが設定した軌道上にマニピュレータの手先位置がある状態を協調状態と定義する。

提案する搬送システムを Fig.1 に示す。提案する搬送システムは、各関節のアクチュエータである超音波モータの追従特性を改善するための自己調整ファジィフィードフォワードコントローラ (STFFC) と各関節間の協調状態を判断し過渡状態においても協調状態を満足させるためのファジィ協調コントローラを用いている。自己

調整ファジィフィードフォワードコントローラの制御ルールは追従誤差信号と協調誤差信号をとともに零収束させるよう自動的にチューニングされる。

提案したシステムの有用性を確かめる一例として、マニピュレータのアームの長さ $L_1=0.08$ [m], $L_2=0.13$ [m] で、マニピュレータの手先位置軌道として、X 軸方向を 0.1 [m] に固定し、Y 軸方向に振幅 0.1 [m]、周期 2.0 [sec] で垂直搬送させる実験を行った。Fig.2 は、ファジィ協調コントローラのゲイン β の効果を確認するために、 β を変化させたときの手先位置の二乗平均誤差の応答特性である。二乗平均誤差は β を大きくすることにより、初期段階から非常に小さい値となっている。この結果から、 β を大きくすることにより高速な協調動作が実現されていることがわかる。

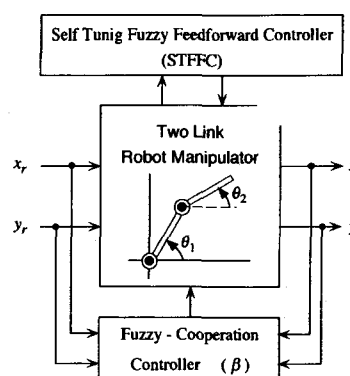


Fig.1 Structure of proposed system

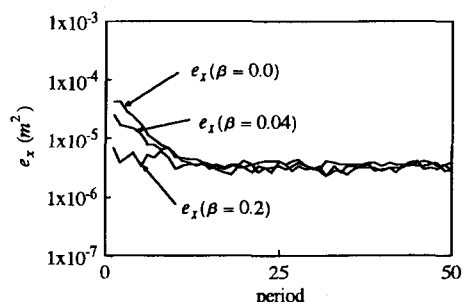


Fig.2 Effect of cooperation gain (β) on tracking performance

超臨界乾燥処理を施した遺跡出土木材の長期保存中における吸湿・脱湿特性

河越幹男・谷尻陽子・安木竜也

日本文化財科学会誌「考古学と自然科学」、第33号、67-76 (1996)

Absorption and Desorption Properties of Moisture in Waterlogged Woods
Treated by Supercritical Drying in a Long-Term Conservation

Mikio KAWAGOE, Yohko TANIJIRI and Tatsuya YASUGI

Archaeology and Natural Science, Vol. 33, 67-76 (1996)

著者らは超臨界乾燥による出土木製品の保存処理法について検討し、本法が処理時間の短縮化と原形保持の観点から有望な処理法であることを見出した。本処理法を実用化するためには、長期保存中における湿度、温度、光などの環境因子の木製品に及ぼす影響を知る必要がある。このうち、温度変化は木材の収縮・膨張に関与するが、通常の条件下では温度変化のみによる木材への影響は小さく、むしろ温度変化によって引き起こされる湿度変化の影響が大きいと考えられる。湿度は温度に比べると制御し難く、気候変動や空調などによって著しく変動する。このような湿度変化によって、木材は空気中の水分を吸収したり（吸湿）、あるいは木材中の水分を空気中へ放出したり（脱湿）するため、木材の含水率は空気中の湿度変化に応じて変動する。木材含水率の変動は収縮・膨張などの物理的变化を引き起こすのみでなく、木材繊維の劣化などの化学的变化にも関与し、木材の長期保存にとっては重要な因子である。

木材を一定温度・湿度の空気中に置くと木材の含水率はある平衡値に達する。遺跡出土木材の平衡含水率に関しては幾つかの測定例があるのみである。特に、長期保存中における空気湿度の変化に対する木材含水率の動的挙動についてはほとんど研究されていない。

本研究では、木製品の保存に特に大きな影響を及ぼす空気中の湿度変化の木材含水率への影響について検討した。木材の吸湿・脱湿機構が分かれば、環境湿度が変化した場合の木材の含水率の変動を予測することが可能となり、最適湿度制御の一助となると考えられるので、超臨界乾燥を施した出土木材の平衡含水率と吸湿・脱湿速

度を測定し、解析した。

図1に湿度を30%と80%の間で周期的に変化させた場合の出土木材（シラカシ）の重量変化を示した。この応答曲線を拡散モデルに基づいて解析し、水分移動係数を求めた。数種の樹種の測定結果から水分移動係数と木材密度との間の相関式を得た。

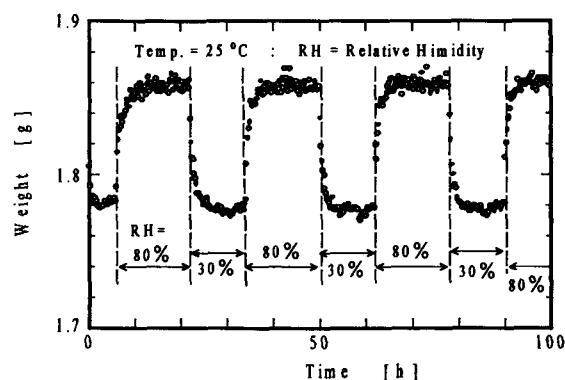


図1 出土木材重量の湿度変化に対する応答

出張報告

世古 忠

1995年4月1日から1996年2月29日まで、1ヶ月間文部省在外研究員として、米国メリーランド州立大学 [1] 電気工学科 Nakajima 教授の下に派遣され、貴重な体験をさせていただいたので、報告させていただく。派遣先のメリーランド州立大学は、米国の首都ワシントンDC近郊に位置し、大学から車で30分足らずで、DCのモールに到達できる位置にある。世界各国の大使館がワシントンDCに置かれている関係から、その関係者の子弟も多く在籍し、メリーランド州立大学の学生の国籍の種類は、米国随一であり、非常に国際色豊かな総合大学である。

メリーランド州立大学の電気、情報系の学科は、電気工学科とコンピュータサイエンス学科がある。私は、電気工学科に所属して、VLSIの設計技術の研究に従事した。

米国では、1980年代から、大学におけるVLSIチップの設計と試作を支援するためのMOSIS [2] と呼ばれる組織を全米横断的に確立し、インターネットを利用して、各地の大学の学生、研究者が開発、設計したチップや、学生がプロジェクト実験で設計した、チップを試作できる。私は、このような組織を利用してレベルの高い教育研究が、実際にどのように行われているのか、以前から興味をもっていたので、今回メリーランド大学で、これらを体験でき、非常に有意義であった。2、3実例を紹介する。電気工学科ではVLSIの設計に関する講義（プロジェクト実験と一体化している）が学部生と修士の学生に課せられており、学部学生はハードウェア記述言語（VHDL, SFL）の講義（ハビットCPUの記述法）の後で、各自の設計アイディアを出して、実際にワークステーションを用いて、設計を記述する。このとき、TAが援助に当たるので細かいところまで、指導が行き届く。修士の学生のプロジェクト実験では、もう少しレベルの高いチップを設計する。FIRフィルタやCORDECのチップなどが設計されていた。これらの設計データは、レイアウトとシミュレーションを済ませ、テストデータを添えてインターネットでMOSISに送ると、1ヶ月程度で10数個のチップが戻ってくるので、そのチップをテスターを用いてテストし、動作させる。学生は、このようにして一通りのチップ試作の実践経験

を経ることによって、興味を持ちながら、技術力を身につけることができる。VLSIの設計コースをとった学生の中には、夏期休暇期間にインテルやモトローラなどで、高給でアルバイトとして雇われ、大学における自分の研究にフィードバックする者もいるようであった。私も、自分の研究のためにMOSISのCADシステムを利用させて頂き、成果をあげることができた。このように、メリーランド大学における実践的な教育、研究の方法については、学ぶところ非常に多く、高専における「実験、実習を重視した創造教育」の重要性を改めて痛感した。

メリーランド大学の電気工学科が入っている同じビルディングに、コンピュータサイエンス学科があり、パターン認識の創始者で有名なローゼンフェルト教授が健在であり、本校の上田勝彦教授が国際会議の帰りに立ち寄られて教授と交流されておられた。一方、私は、コンピュータのネットワークの管理システムがどのようになっているか、興味があったので、自分の体験を少し紹介する。大学側から発行されるIDカードに基づき、部屋の端末から、ユーザ登録用のプログラムを呼び出すと、メニューが出てきて、その指示に従って、個人情報を入力すると登録される。有効になるためには、本人確認が必要であり、専任スタッフのいるオフィスに行き、確認を受ける。感心したことは、コンピュータ利用に関する様々なトラブルに対処する、ボランティアの相談システムがあり、質問事項を入力すると、適任者が選べれて返事が返ってくる。ボランティア活動がここまで、浸透しているのかと感心した次第である。また、学生用のコンピュータシステムは、演習室が各所に存在し、夜間ももちろんのこととして、非常に整った環境の下で、各自が利用できるようになっている。相談員も居て、学生の質問に答えるシステムが整備されていた。なお、大学の一番大きな図書館には、戦後、日本から没収した貴重な図書が収蔵されており、国会図書館などと共同で目録作りが進行しており、日本とのつながりも認識させられた。最後に、今回、貴重な機会を与えて下さった、福岡校長はじめ、情報工学科の教職員、関係各位に深謝致します。

[1] <http://www.umd.edu/>

[2] <http://www.isi.edu/mosis/>

教官研究活動一覽

(機械工学科)

アモルファス合金の熱的安定性と水素ぜい化について

岩井保善

KOYO LINDBERG NEWS,

Vol.605, p2 (1997)

ふれまわり運動するオープン型遠心羽根車に作用する流体力

石井伸次 (阪大院), 横山大造 (阪大院), 吉田義樹 (阪大基工), 辻本良信 (阪大基工), 大橋秀雄 (工学院大), 加納文質

日本機械学会関西支部第72期定時総会講演会

(平成9年3月22日 講演)

スピンラインレオメータによる高分子溶液の伸長粘度測定と流れの数値解析

小柴 孝, 森 教安 (阪大・工), 中村喜代次 (阪大・工)

日本機械学会論文集 (B編), 62巻603号 pp3890-3898

Viscoelastic flow through a wavy channel

T. Koshiba, N. Mori (Osaka Univ.),

S. Sugiyama (Osaka I.T.), K. Nakamura (Osaka Univ.)

2nd Pacific Rim Conference on Rheology (pp137-138)

July.28, 1997, Oral Presentation, Melbourne, Australia

A new beadig method for bent hollow bars

K.Kobatake and H.Sekiguchi

Proc. of 5th ICTP (Columbus, Ohio) 871-874 (1996)]

新しいビード加工装置の開発

小島耕二

近畿通商産業局「近畿産学官テクノプラザ」

(平成8年10月31日講演)

冷鍛部品の微細穴あけ加工

小島耕二, 関口秀夫ほか

第47回塑性加工連合講演会講演論文集, 95-96 (1996)

局部加熱を利用した管のねじり加工

小島耕二, 関口秀夫

第47回塑性加工連合講演会講演論文集, 383-384 (1996)

高専における産学官との共同研究

小島耕二, 関口秀夫

平成9年度塑性加工春季講演会論文集, 369-370 (1997)

チューブフォーミングの基礎と実際
ー曲げ加工の基礎ー

小島耕二

日本塑性加工学会第75回塑性加工講習会

(平成9年7月8日講演)

チューブフォーミング (年間展望)

小島耕二

日本塑性加工学会誌「塑性と加工」, 38-439, 57-60 (1997)

生産システムとコンピューター (FMS/CIM/CAE)

小島耕二ほか

日本塑性加工学会「塑性加工教育ビデオ3」(1997)

Evaporation-Induced Benard Convection A New Type and Its Mechanism

W.J.Yang (University of Michigan), N.Zhang
(NASA Lewis R.C., A.T.Chai,K.H. Guo (Chinese
Academy of Sciences), and M.Sakamoto
1997 National Heat Transfer Conference
Batimore, Aug.10-12,1997 (講演)

How to apply thermo-mechanical treat- ments to forging process from viewpoints of environmental issues.

H. Sekiguchi, K. Kobatake and K. Kubo
Proc. 4th ICEM conf., The Netherlands, (1997).

Punching of small holes on cold forged parts.

H. Sekiguchi and K.Kobatake
30th ICFG meeting (The Netherlands), 10 Sep., 1997
(講演)

Improvement of environmental load in for- ging by thermomechanical treatment and precision forming.

K. Kubo, H. Sekiguchi and Y. Kawabe
Proc. 14th ICPR (Osaka), 1997.

教材としての塑性加工用教科書のよしあし, 日本塑性加工学会教育問題等研究会

関口秀夫
7月30日(1997)講演

Energy consumption and environmental load in forging.

H. Sekiguchi
Proc. 3rd ICEM (Columbus, Ohio), 1996.

Improvement of environmental load in for- ging.

H. Sekiguchi
Proc. 26th National Forging Seminar (Port Aregle,
Brazil), 28- (1996).

Development of new thermomechanical treatment in warm forging.

H. Sekiguchi
ibid., 184-191 (1996).

日本の高等教育の現状と問題点

関口秀夫
中国東北大学, 燕山大学で講演, 9月16-18日(1996)。

Some activities of inter. cooperation on en- vironmental issues.

H. Sekiguchi
29th ICFG meeting (Gyor, Hungary), 10 Sep. (1996)
講演。

焼付き機構に関する基礎的研究

小出達也, 野々垣稔
日本機械学会関西学生会卒業研究発表講演会
(1997年3月20日講演)

遺伝的手続きによる概念設計アシスタントの 個性化

平 俊男, 田中正夫(阪大基礎工)
日本機械学会 第6回設計工学・システム部門講演会
(平成8年10月 講演)

生体の力学的適応に範をとる構造設計の試み

坊上雅史, 平 俊男
日本機械学会 関西学生会卒業研究発表会講演会
(平成9年3月 講演)

構造物の概念設計支援における直観的理解の考慮

名古屋子, 平 俊男

日本機械学会 関西学生会卒業研究発表会講演会
(平成9年3月 講演)

Personalization of Conceptual Structural Design Assistant through Genetic Operations

Hira, T. and Tanaka, M. (Osaka Univ.)

International Symposium on Optimization and Innovative Design 97, Tokyo, JSME
(平成9年7月 講演)

Vibratory Cut-Off Grinding

Shinsaku HANASAKI (Osaka Univ.)

Junsuke FUJIWARA (Osaka Univ.)

Tadahiro WADA

PROGRESS OF CUTTING AND GRINDING, Vol. III, pp.450-455, 1996
(Proceedings of the 3rd International Conference on Progress of Cutting and Grinding)

振動クリープフィード研削

和田任弘

(財)金型技術振興財団 金属に関する研究開発助成
成果論集(第1集), pp.81-86
(平成8年10月)

焼結鋼切削時における工具摩耗

花崎伸作(大阪大学), 藤原順介(大阪大学), 和田任弘

精密工学会 第26回難削材加工専門員会
(平成9年1月20日 講演)

鋼材の高速旋削時における工具摩耗

花崎伸作(大阪大学), 藤原順介(大阪大学), 和田任弘, 酒井宏祐(専攻科)

日本機械学会 関西支部第72期定期総会・講演会
(平成9年3月21日 講演)

焼入れ鋼の温間切削に関する基礎的研究

和田任弘, 岡本幹也(専攻科), 小畠耕二, 関口秀夫
日本機械学会 関西支部第72期定期総会・講演会
(平成9年3月21日 講演)

焼結鋼切削時における工具摩耗

橋本隆寛, 和田任弘

日本機械学会 関西学生会 学生員卒業研究発表講演会
(平成9年3月20日 講演)

振動研削切断に関する研究

中井智之, 和田任弘

日本機械学会 関西学生会 学生員卒業研究発表講演会
(平成9年3月20日 講演)

(電気工学科)

イオンビームアシスト蒸着法による有機薄膜の光電変換素子への応用研究

京兼 純, 青柳倫太郎, 石本晴彦, 吉野勝美(大阪大学)

第7回粒子線の先端的应用技術に関するシンポジウム
(BEAMS'96)
(平成8年11月19日 講演)

イオンアシスト蒸着法を用いた有機薄膜太陽電池に関する基礎研究 I

青柳倫太郎, 京兼 純, 吉野勝美(大阪大学)
平成8年度電気関係学会関西支部連合大会
(平成8年11月24日 講演)

Organic solid capacitor with conducting thin films as electrolyte by ion-beam-assisted deposition

J. Kyokane and K. Yoshino (Osaka Univ.)

Journal of Power Sources; Advanced Capacitors
Part I: Japan, Vol.60, No.2, pp.151-155 (1996)

イオンアシスト蒸着法を用いた有機薄膜太陽電池に関する基礎研究 I

青柳倫太郎, 京兼 純, 吉野勝美 (大阪大学)

平成 9 年度電気学会全国大会

(平成 9 年 3 月 26 日 講演)

ポリエステル系ポリウレタンエラストマーの誘電特性とアクチュエータへの応用

石本晴彦, 上田 敦 (ニッタ㈱), 京兼 純

平成 9 年度電気学会全国大会

(平成 9 年 3 月 26 日 講演)

有機エレクトロニクスの最近の動向について

京兼 純

日本機械学会関西支部・地域技術活動活性化懇話会

第 44 回技術交流

(平成 9 年 4 月 26 日 講演)

高専と国際協力

京兼 純

JICA 帰国専門家関西ブロック連絡会会報

第 3 号, pp.19-20 (1997)

Application to electronic devices using organic thin films by ion-beam-evaporation method

J. Kyokane, R. Aoyagi and K. Yoshino (Osaka Univ.)

Synthetic Metals, Vol.8, pp.1393-1394 (1997)

Polyurethane elastomer actuator

T. Ueda, Y. Kurita (Nitta Co.), T. Hirai (Shinsyu Univ.)

J. Kyokane and K. Yoshino (Osaka Univ.)

Synthetic Metals, Vol.85, pp.1415-1416 (1997)

21世紀の高専部会に望む

京兼 純

関西工学教育協会高専部会 第 21 回夏期研修会

(平成 9 年 8 月 21 日 パネラー)

ポリウレタンエラストマー (PUE) の電歪現象とアクチュエータへの応用

京兼 純, 石本晴彦, 祐源秀行, 平井利彦 (信州大学),

上田 敦 (ニッタ㈱), 吉野勝美 (大阪大学)

電気学会 第 29 回電気絶縁材料シンポジウム

(平成 9 年 9 月 30 日 講演)

Invited Special lecture (as JICA Expert)

[1] An Approach to Formulate Electronic Engineering Curriculum

[2] Teaching Methodology on Optoelectronics Technology

[3] Teaching Methodology on Microcomputer Technology

Haruo Takahashi

The 4th Third Country Training Course on Electronic Engineering Education

Surabaya Engineering Polytechnic institute of Surabaya (Indonesia)

October 06-12/1996

Thermal Recovery Effect on Light-induced Degradation of Amorphous Silicon Module under Sunlight

A. Yamazaki, T. Yamawaki (KANEKA),

S. Mizuka-mi (KANEKA), H. Takahashi

9th International Photovoltaic Science and Engineering Conference (P-I-D-86) November 11-15/1996 at Miyazaki

アモルファス P V モジュールの屋外における熱回復効果の実験的検討

細矢尚之 (専攻科), 正辻和成 (専攻科), 山脇竹治 (鐘淵化学工業), 水上誠志郎 (鐘淵化学工業),

高橋晴雄

平成 9 年電気学会全国大会 (912)

(1997 年 3 月 26 日 講演)

Technical Transfer Activities for Pathumwan Technical College

Haruo Takahashi

JICA Report (August 1997)

紙幣音響データによる新旧識別のためのスペクトル解析

寺西 大, 大松 繁 (大阪府立大), 小坂利寿 (グローリー工業)

第39回自動制御連合講演会

(1996年10月16日 講演)

紙幣音響データによる新旧識別のためのスペクトル解析

寺西 大, 大松 繁 (大阪府立大), 小坂利寿 (グローリー工業)

平成8年電気関係学会関西支部連合大会

(1996年11月23日 講演)

紙幣音データのスペクトル情報を用いた新旧識別

寺西 大, 大松 繁 (大阪府立大)

統計数理研究所共同研究レポート91

(1996年12月19日 講演)

有方向性ダイレクションとその派生処理

土井俊介, 土井滋貴

平成8年電気関係学会関西支部連合大会, G12-6

(1996年11月23日 講演)

スケログラムを用いた列車の走行音からの速度の検出

上田悦子, 土井滋貴

平成8年電気関係学会関西支部連合大会, G2-44

(1996年11月24日 講演)

環境音における高域成分の調査と分析

土井滋貴, 下村満子, 高橋晴雄,

松田 稔 (大阪電通大)

日本音響学会音楽音響研究会資料, MA96-63

(1997年3月14日 講演)

テンポにおける意識的ランダムネス

松田 稔 (大阪電通大), 秋山好一 (大阪電通大),
土井滋貴

日本音響学会平成9年度春季研究発表会, 2-9-17

(1997年3月18日 講演)

有方向性モルフォロジーによる囲い込み処理

土井俊介, 窪晋一郎, 土井滋貴

1997年電子情報通信学会総合大会, D-12-164

(1997年3月 講演)

有方向性モルフォロジーを用いた形状認識

窪晋一郎, 土井俊介, 土井滋貴

1997年電子情報通信学会総合大会, D-12-165

(1997年3月 講演)

照明における $1/f$ ゆらぎ制御法の実験的検討

土井滋貴, 大塚智仁 (栗本鐵工所), 高橋晴雄

電気学会論文誌C, 117巻4号, pp.409-415

(1997年4月)

A Directional Morphological Operation and Its Application to Immunological Image Processing

Shigeki Doi, Etsuko Ueda and Shunsuke Doi

IEEE ICASSP97, Vol.4, pp.3153 (Munich, Germany)

(1997.4.24. Poster)

超音波センサとモルフォロジー処理を用いた形状認識系

土井滋貴, 森和義 (舞鶴高専), 松田稔 (大阪電通大)

海洋音響学会研究発表会, 97-18

(1997年5月30日 講演)

日本の楽曲の小節パターン

松田 稔 (大阪電通大), 秋山好一 (大阪電通大),

土井滋貴

日本音響学会平成9年度秋季研究発表会, 2-5-10

(1997年9月18日 講演)

2 光束コンピュータ合成ホログラムの作成装置の開発

金 圭史, 西 優, 成田紘一

電子情報通信学会1997年総合大会, D-11-101

(平成9年3月 講演)

コンピュータ合成ホログラムのデータ作成に関する研究

西 優, 金 圭史, 成田紘一

電子情報通信学会1997年総合大会, D-11-102

(平成9年3月 講演)

導波形炭酸ガスレーザの試作と炭酸ガス濃度測定装置への応用

石神隆成, 崎山竜二, 松島朋史

平成8年高専卒業研究発表会

(平成9年3月 講演)

10.6 μ m帯能動形3ミラーファブリペロー周波数変換器

片山順多, 松島朋史

第44回応用物理学関係連合講演会

(平成9年3月 講演)

回析格子を用いた10.6 μ m帯中空導波路

生野 孝, 松島朋史

第44回応用物理学関係連合講演会

(平成9年3月 講演)

Side-Wall Emitting ZnSe/AlN Waveguide CO₂ Lasre

Tomoshi MATSUSHIMA and Tadasi SUETA

(Setsunan Univ.)

International Journal of Infrared and Millimeter Waves, Vol.18, No.3, 1997, pp627-632.

(電子制御工学科)

ファジィ推論に基づく二関節マニピュレータ搬送システムの関節軸協調制御

飯田賢一, 鎌野琢也(徳島大学), 鈴木茂行(徳島大学), 電気関係学会関西支部連合大会G3-5

(1997年11月 講演)

超音波モータ駆動二関節マニピュレータ搬送システムのファジィ協調制御

飯田賢一, 鎌野琢也(徳島大学), 鈴木茂行(徳島大学), 日本AEM学会誌, Vol.4, No.3, pp.15-22, 1996

学習制御によって得られた入力トルクの利用法

櫛 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15回日本ロボット学会学術講演会

1997年9月13日 講演

位相シフト法における位相シフト誤差の補正

高木 浩, 押田至啓, 西田茂生

精密工学会第4回卒業研究発表講演会

(1997年3月25日 講演)

Accurate Deflection Gradient Measurement Using a Phase-Shifting Speckle Shearing Interferometer

Y.Oshida, Y.Iwahashi (Osaka Sangyo Univ.) and K.Iwata (Osaka Prefecture Univ.)

XIV IMEKO World Congress, Tampere, Finland

(June 2, 1997, Oral Presentation)

Optical Fiber Sensor

Toshiya Sakabe

Pathumwan Technical College in Thailand

(Dec.25, 1996, Feb.5, 1997 Special Lecture)

Sensor Technology

W.Santi, Toshiya Sakabe

Pathumwan Technical College in Thailand

(March, 1997 Text book in JICA Project)

Sensor Technology Laboratory

W.Santi, Toshiya Sakabe

Pathumwan Technical College in Thailand

(March, 1997, Text Book in JICA Project)

Basic Optical Sensor Technology

W.Santi, Haruo Takahashi, Toshiya Sakabe

Pathumwan Technical College in Thailand

(June, 1997, Published by JICA)

Dependence of Temperature on Surface Tension and Shape of Droplet on a Horizontal Flat Plate

T.NAKATA, T.HOSOKAWA (Himeji Institute of Technology) and Y.FUJIWARA (Himeji Institute of Technology)

Sixth Australasian Heat and Mass Transfer Conference 9-12, December 1996 (講演)

Measurement of Poisson's ratio from displacement distribution obtained by a Speckle interferometer

S.Nishida, Y.Oshida, K.Iwata

Proceeding of XIV IMEKO world Congress (1997)
19-24

空気圧ベローズアクチュエータを用いた6軸微動装置の開発と挿入作業への応用

早川恭弘, 高嶋聡志, 山本貴志, 登坂泰幸, 川村貞夫 (立命館大学)

第14回日本ロボット学会学術講演会

(1996年11月3日 講演)

差分微分値を用いた空気圧アクチュエータのスライディングモード制御

S.R.Pandian (立命館大学), 早川恭弘, 鴨山剛之, 川村貞夫,

花房秀郎 (以上立命館大学)

第14回日本ロボット学会学術講演会

(1996年11月3日 講演)

空気圧ベローズアクチュエータを用いた移乗機の開発

早川恭弘

油圧と空気圧, Vol.28, No.1, 40/46 (1997)

空気圧ベローズアクチュエータを用いた介護用移乗機の開発

早川恭弘, 山本貴志

日本油空圧学会春季油空圧講演会

(1997年5月22日 講演)

空気圧駆動 Hexahedron Rubber Actuator による上肢運動補助ロボットの実現

玉井 雅 (立命館大学), 早川恭弘, 川村貞夫 (立命館大学)

日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会

(1997年6月7日 講演)

Practical Design of Adaptive Model-Based Sliding Mode Control of Pneumatic Actuators

S.R.Pandian (Ritsumeikan Univ), Yasuhiro, Hayakawa, Yoshiyuki Kamoyama and Sadao Kwamura (Ritsumeikan Univ)

Proceedings of AIM Conference (Oral Presentation)
June

Realization of Motion-Support Robots for Human Arms Using Hexahedron Rubber Actuators

Sadao Kawamura (Ritsumeikan Univ) and Yasuhiro Hayakawa

Biomedical Robots: Their Safety and Human Friendliness AIM'97 Workshops (Oral Presentation) June

A Design of Motion-Support Robot for Human Arms Using Hexahedron Rubber Actuators

Sadao Kawamura (Ritsumeikan Univ), Yasuhiro Hayakawa, Masashi Tamai and Takaaki Shimizu (Ritsumeikan Univ)

Proceedings of the 1997 IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS'97) September

空気圧アクチュエータを用いた介護補助用移乗機の開発

早川恭弘, 山本貴志, 井関典克, 伊坂忠夫, 川村貞夫
第15回日本ロボット学会学術講演会
(1997年9月13日 講演)

人間との機械的親和性を有する空気圧アクチュエータの開発とロボット装具への応用

早川恭弘, 玉井雅, 川村貞夫 (以上立命館大学)
計測自動制御学会関西支部シンポジウム
(1997年9月18日 講演)

(情報工学科)

遺伝的アルゴリズムを取り入れた改良型シュミレーテッドアニーリング法の研究

中道 上, 浅井文男

電子情報通信学会関西支部第2回学生会研究発表会講演会 (1997年3月7日 講演)

アマチュア衛星を利用したドップラー効果の観測

浅井文男

第44回応用物理学関係連合講演会 (1997年3月29日 講演)

アマチュア科学衛星を利用した科学技術教育

浅井文男

教育工学関連学協会連合第5回全国大会
(1997年9月11日 講演)

ニューロン・セルとその応用

藤原保行, 金堀 進, 小林 淳, 五十嵐 良

電気関係学会関西支部連合会大会 (1996年11月24日講演)

スペクトラムを有効に利用した太陽電池の高効率化

福家信洋, 五十嵐 良

平成8年度電気通信学会関西支部高等卒業研究発表会
(1997年3月7日講演)

漏れ電流を補償した多値メモリセルに関する研究

梶山隼一, 五十嵐 良

電子情報通信学会関西支部学生会研究発表講演会
(1997年3月7日講演)

ニューロン・セルの提案とデジタル回路

小林 淳, 横洲 竜, 五十嵐 良

1997年電子情報通進学会総合大会
(1997年3月27日講演)

多値DRAMの実用化

五十嵐 良

セミコン関西97アカデミアプラザ・ポスターセッション (1997年5月28日~30日研究発表会)

銀行小切手の自動照会の試み ―色情報の利用による署名と印影の分離抽出―

岡崎大基, 上田勝彦

平成8年電気関係学会関西支部連合大会

(平成8年11月23日 講演)

実習課題回収システムを利用したプログラミング学習の実践

吉川博史 (大阪短期大学), 前川 武 (大阪国際女子短期大学), 工藤英男, 石桁正士 (大阪電気通信大学)
システム情報学会関西支部研究発表会
(1997年11月30日 講演)

CASEツールを用いた情報教育への考察

吉川博史 (大阪短期大学), 工藤英男, 前川 武 (大阪国際女子短期大学), 植田一廣 (大阪短期大学)
大阪短期大学, 紀要, 第10号, pp.37-43 (1996.12)

情報処理における高専生の意識調査(3)―高専4年生と短大1年生との比較―

工藤英男, 吉川博史 (大阪短期大学)
文部省平成8年度情報処理教育研究集会
(1996年12月7日 講演)

オブジェクト指向に基づくアセンブリ言語学習支援システムの改善

大西 仁, 工藤英男
教育システム情報学会関西支部第11回学生研究発表会
(1997年3月8日 講演)

初等音楽教育を対象とする作曲支援ルーツの機能強化

山口直哉, 工藤英男
情報システム情報学会関西支部第11回学生研究発表会
(1997年3月8日 講演)

大出力・高速応答の油圧モータサーボ制御の検討

近藤勝也, 上田一郎 (住友金属), 岡本真明 (同), 杉山治 (同)

システム制御情報学会論文誌, Vol. 9, No.12 (1996-12), pp. 589-597

Reducing Glitching Power Consumption of the GCD Circuit

Tadashi Seko, Masahiro Yoshioka and Tohru Kikuno (Osaka University)

Proceedings of the 1997 International Technical Conference On Circuits/Systems, Computers and Communications, pp. 673-676.

(July 15, 1997 講演)

特定用途向き集積化プロセッサのレジスタ数最適化アルゴリズム

本間啓道 今井正治 (大阪大学) 武内良典 (大阪大学)

設計自動化研究会

平成8年12月12日 講演

特定用途向き集積化プロセッサのレジスタ数最適化アルゴリズムとその評価

本間啓道 今井正治 (大阪大学) 武内良典 (大阪大学)

DAシンポジウム'97

平成9年7月11日 講演

カラー情景画像からの文字列領域の抽出

松尾賢一, 上田勝彦, 梅田三千雄 (大阪電通大)

電気学会論文誌11月号 Vol.116-C, pp1252-1258, 1996

カラー文書画像からの単色文字領域の抽出

松尾賢一, 上田勝彦, 梅田三千雄 (大阪電通大)

1997年電子情報通信学会総合大会 (平成8年3月24日 講演)

適応しきい値法を用いた情景画像からの看板文字列領域の抽出

松尾賢一, 上田勝彦, 梅田三千雄 (大阪電通大)
電子情報通信学会論文誌, Vol.J80-D II, No6, pp
1617-1626, JUNE, 1997

配送伝票からの重ね書き文字抽出の検討

松尾賢一, 上田勝彦, 梅田三千雄 (大阪電通大)
第55回情報処理学会全国大会 (平成9年9月24日 講演)

WWWを利用した選択式問題テスト採点システムの試作

武藤武士, 榊原和彦, 成田紘一
平成8年度情報処理教育研究集会
(1996年12月7日 講演)

情報工学科新実習システムの構成とその運用

武藤武士, 工藤英男
第17回情報処理教育研究発表会
(1997年8月21日 講演)

(化学工学科) (物質化学工学科)

ハイパーポルフィリンの溶媒効果

石丸裕士 田中元英 城森敏夫 園原雄一 寺岡淳二・(阪市立大・理)・
日本化学会 第72春季年会
1997年 (平成9年) 3月 講演

アンチモンポルフィリンの共鳴ラマンスペクトル

石丸裕士 田中元英 泉生一郎 寺岡淳二・(阪市立大・理)・
第47回錯体化学討論会
1997年 (平成9年) 9月 講演

二液分離型p-n接合光化学ダイオードによる水分解

深町純子, 大西康幸, 泉 生一郎
電気化学会技術・教育研究論文誌, Vol.5, No.2, pp.
113~120 (1996)

光電気化学的手法によるエネルギー変換と環境クリーニング

泉 生一郎
徳島大学工学部化学応用工学科特別講演会 (平成8年12月2日 講演)

専攻科の現状と今後

泉 生一郎
津山高専講演会 (平成8年12月20日 講演)

光化学ダイオードにより逆反応を抑えた光化学反応と二酸化炭素固定化への応用

泉 生一郎 (研究代表者), 京兼 純, 片倉勝巳
科学研究費補助金 (基盤研究C-2) 研究成果報告書
(平成7年度~平成8年度)

光に感応する黒鉛層間化合物の電気化学的挙動

浜田洋司, 泉 生一郎, 大西康幸, 岩下哲雄 (大工研)
日本化学会第73秋季年会 (平成9年9月26日 講演)

高専生協誕生と今後

梅原 忠, 桐川 修
日本高専学会第3回総会 (1997年8月29日 講演)

Liquid-membrane-type silver ion-selective electrode based on lipophilic thiacycrown ethers

Masatoshi Oue, Hideo Sawada, Naomi Yoshino, and Keiichi Kimura (大阪大学, 物理・生命工学専攻)
IMSTEC '96 (Proceeding of the international Membrane Science and Technology Conference), vol.1, pp223-225 (Australia)
November 13, 1996 (講演)

Thiacycrown ether derivatives as neutral carriers for silver ion sensors

Masatoshi Oue, Hideo Sawada, Naomi Yoshino, and Keiichi Kimura (大阪大学, 物質・生命工学専攻)
XXII international symposium on Macrocyclic Chemistry, p141 (Korea)
August 7, 1997 (講演)

Liquid-membrane-type silver ion-selective electrode based on lipophilic thiacycrown ethers

Masatoshi Oue, Hideo Sawada, Naomi Yoshino, and Keiichi Kimura (大阪大学, 物質・生命工学専攻)
32nd international conference on Coordination Chemistry, p51 (Chile)
August 25, 1997 (講演)

Applications of the Bubble Column in Biotechnology

Mikio Kawagoe
The Fourth Japan-Korea Symposium on Separation Technology (Oct.6, 1996) (講演)

Flow Characteristics and Mixing Properties in an External-Loop Airlift Column with a Tapered Riser

Mikio Kawagoe
The Fourth Japan-Korea Symposium on Separation Technology (Oct.8, 1996) (講演)

超臨界乾燥処理を施した遺跡出土木材の長期保存中における吸湿・脱湿特性

河越幹男・谷尻陽子・安木竜也

日本文化財科学会誌「考古学と自然科学」, 33号, 67-76 (1996)

Cultivation of Matsutake Mycelium in Bubble Column Bioreactors

Mikio Kawagoe, Yuka Nakamura and Hideo Noda (Kansai Chem. Eng. Co. Ltd.)
Chemical Engineering Symposium series 57, "Horizon of Biochemical Engineering", p.109-112 (Jan., 1997)

気泡塔における液相および気相の混合

河越幹男

「気泡塔の流動とスケールアップ技術」講演会 (化学工学会主催)

1997年2月27日 (講演)

テーパ付きエアリフト気泡塔の流動及び混合特性

河越幹男・吉田尚平・石井幸昌

化学工学会第30回秋季大会

1997年9月8日 (講演)

Synthesis and Surfactant Properties of Fluoroalkylated Sulfonic Acid Oligomers as a New Class of Human Immunodeficiency Virus Inhibitors

H. Sawada, A. Ohashi, M. Baba (鹿児島大医), T. Kawase (阪市大生科), and Y. Hayakawa (名工研), J. Fluorine Chem, 79, 149 (1996).

Gelation of Fluoroalkylated 2-Acrylamido-2-methylpropanesulfonic Acid Oligomers as Potential for Prevention of HIV-1 Transmission

H. Sawada, S. Katayama, Y. Nakamura, T. Kawase (阪市大生科), Y. Hayakawa (名工研), and M. Baba (鹿児島大医), Polymer, 39, 743 (1998).

フルオロアルキル基含有アリル, ジアリルー アンモニウムクロリドオリゴマー類の合成と 界面特性

沢田英夫, 丹葉敬一, 川瀬徳三 (阪市大生科), 馬場
昌範 (鹿児島大医), 早川由夫 (名工研), 日本油化学
会誌, **46**, 191 (1997).

Direct Aromatic Fluoroalkylations of Poly (*p*-phenylene) with Fluoroalkanoyl Perox- ides: An Approach to Highly Soluble Fluor- inated Conducting Polymers

H. Sawada, H. Kita, M. Yoshimizu, J. Kyokane,
T. Kawase (阪市大生科), H. Hayakawa (名工研),
and K. Yoshino (阪大工), J. Fluorine Chem., **82**, 51
(1997).

Reactions of Methyl (Vinyltrimethylsilyl) Acetate with Fluoroalkanoyl Peroxides: Synthesis of a Novel Fluoroalkylated Che- lating Surfactant

H. Sawada, D. Tamada, T. Kawase (阪市大生科),
J. Jpn. Res. Institute Mater. Technol., **15**, 223
(1997).

フルオロアルキル基が芳香環に導入されたポ リ(カーボネート)類の合成と性質

沢田英夫, 北 寛士, 吉水道明, 京兼 純, 森下芳伊,
林田 茂 (日立化成), 吉野勝美 (阪大工), 材料技術,
15, 35 (1997).

スルホン酸基を有するフルオロシリコーンコ オリゴマー類の界面特性

沢田英夫, 大橋朝妃, 吉水道明, 京兼 純, 川瀬徳三
(阪市大生科), 吉野勝美 (阪大工), 材料技術, **15**,
25 (1997).

Surface Modification of Glass by End- Capped Fluoroalkyl-Functional Silanes

T. Kawase, T. Fujii, M. Minagawa (阪市大生科),
H. Sawada, T. Matsumoto, and M. Nakayama (日
本油脂), J. Adhesion Sci. Technol., **10**, 1031 (1996).

Fluoroalkylation of Polyester by End- Capped Fluoroalkyl-functional Silanes

T. Kawase, M. Yamane, T. Fujii, M. Minagawa
(阪市大生科), H. Sawada, and Y. Moriya (日本油
脂), J. Adhesion Sci. Technol., **11**, 1381 (1997).

ペルフルオロオキサアルキレンユニットを 有する 2-アクリロキシエチルトリメチルア ンモニウムクロリドおよび 2-(メタクリロキ シ)エタンスルホン酸オリゴマー類の合成と 性質

沢田英夫, 角野栄作, 早川由夫 (名工研), 富田敏夫
(東北大農), 馬場昌範 (鹿児島大医), 材料技術, **15**,
79 (1997).

Synthesis of Novel Fluoroalkylated 4-Vinyl- pyridinium Chloride Oligomers as Function- al Materials Possessing Surfactant and Biological Properties

H. Sawada, A. Wake, T. Maekawa, T. Kawase (阪
市大生科), Y. Hayakawa (名工研), T. Tomita (東
北大農), and M. Baba (鹿児島大医), J. Fluorine
Chem., **83**, 125 (1997).

The Binding of Calcium Ions in Aqueous Solution Using Fluoroalkyl End-capped Acryloylmorpholine Oligomers

H. Sawada, Y. Yoshino, M. Itoh, T. Kawase (阪市
大生科), and Y. Hayakawa (名工研), J. Fluorine
Chem., **83**, 183 (1997).

Antibacterial Activity of Fluoroalkylated Allyl- and Diallyl-ammonium Chloride Ol- igomers

H. Sawada, K. Tanba, T. Tomita (東北大農),
T. Kawase (阪市大生科), M. Baba (鹿児島大医), and
T. Ide (東ソー), J. Fluorine Chem., **84**, 141 (1997).

Synthesis of Novel Fluoroalkyl End-capped *N*-Vinyl-2-pyrrolidone-acrylic Acid Copolymers by Use of Fluoroalkanoyl Peroxides, and Their Properties

H. Sawada, K. Yamashita, T. Kawase (阪市大生科), T. Tomita (東北大農), M. Baba (鹿児島大医), and Y. Hayakawa (名工研) *J. Fluorine Chem.*, **84**, 155 (1997).

Synthesis of Hydrophilic Fluorosilane Coupling Oligomers Possessing Anti-Human Immunodeficiency Virus Type-1 Activity

H. Sawada, Y. Ikematsu, M. Baba (鹿児島大医), T. Kawase (阪市大生科), and H. Hayakawa (名工研), *J. Jpn. Oil Chem. Soc.*, **46**, 435 (1997).

Aggregation of Fluoroalkyl Units: Synthesis of Gelling Fluoroalkylated End-Capped Oligomers Containing Hydroxy Segments Possessing Metal Ion Binding and Releasing Abilities

H. Sawada, T. Tanimura, S. Katayama, and T. Kawase (阪市大生科), *J. Chem. Soc., Chem. Commun.*, 1391 (1997).

Gelation of Fluoroalkylated End-capped Oligomers Containing Triol Segments under Non-crosslinked Conditions, and Binding or Releasing of Metal Ions by These Oligomers

H. Sawada, Y. Nakamura, S. Katayama, and T. Kawase (阪市大生科), *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **70**, 2839 (1997).

フッ素系高分子界面活性剤

沢田英夫, 川瀬徳三 (阪市大生科), *日本油化学会誌*, **45**, 939 (1997).

フルオロアルキル基含有オリゴマー類の合成と性質

沢田英夫, 川瀬徳三 (阪市大生科), 三谷元宏 (日本油脂),
 (奨励油脂工業会館第40回油脂技術優秀論文賞 (第1席) 受賞, 1997年2月21日).

ゲル化能を有するフルオロアルキル基含有オリゴマー類の合成と性質

沢田英夫, 片山慎介, 川瀬徳三 (阪市大生科), 早川由夫 (名工研),
 第20回フッ素化学討論会 (名古屋国際会議場), 1996年10月.

ベタイン型フルオロアルキル基含有オリゴマーの合成とゲルの生成

沢田英夫, 片山慎介, 川瀬徳三 (阪市大生科), 早川由夫 (名工研),
 第35回油化学討論会 (筑波), 工業技術院筑波研究センター共用講堂1996年11月.

モルホリノ基を有するオリゴメリックなフッ素系界面活性剤の合成

沢田英夫, 池末由香, 吉野美子, 伊藤道子, 川瀬徳三 (阪市大生科), 第35回油化学討論会 (筑波),
 工業技術院筑波研究センター共用講堂, 1996年10月.

フルオロアルキル基含有キレート界面活性剤の合成

沢田英夫, 玉田大介, 山下恵子, 川瀬徳三 (阪市大生科), 早川由夫 (名工研),
 第35回油化学討論会 (筑波), 工業技術院筑波研究センター共同講堂, 1996年10月.

カルボキシル基含有フルオロシリコンオリゴマー溶液の分光学的性質 (4)

中川順平, 酒井秀樹, 荻野圭三, 阿部正彦, 桃澤信幸 (東京理大理工), 川瀬徳三 (阪市大生科), 沢田英夫, 佐野洋 (東京理大理工),
 第35回油化学討論会 (筑波), 工業技術院筑波研究センター共同講堂, 1996年10月.

ベタイン型フルオロアルキル基含有オリゴマー類の性質

沢田英夫, 片山慎介, 川瀬徳三 (阪市大生科), 早川由夫 (名工研),
日本化学会第72回春季年会講演 (立教大学), 1997年3月.

トリオールセグメントを有するフルオロアルキル基含有オリゴマー類の合成と性質

沢田英夫, 中村裕, 川瀬徳三 (阪市大生科), 早川由夫 (名工研),
日本化学会第72回春季年会講演 (立教大学), 1997年3月.

ヒドロキシル基を有するフルオロアルキル基含有トリメチルアンモニウム系オリゴマー類の合成と性質

沢田英夫, 谷村敏博, 川瀬徳三 (阪市大生科), 早川由夫 (名工研), 日本化学会第72回春季年会講演 (立教大学), 1997年3月.

フルオロアルキル基含有アルキルアクリルアミドオリゴマー類の合成と性質

沢田英夫, 吉野美子, 池末由香, 川瀬徳三 (阪市大生科), 早川由夫 (名工研), 日本化学会第72回春季年会講演 (立教大学), 1997年3月.

親水性セグメントを有するオリゴメリックな、フルオロシランカップリング剤の合成と性質

沢田英夫, 池末由香, 川瀬徳三 (阪市大生科), 早川由夫 (名工研), 日本化学会第72回春季年会講演 (立教大学), 1997年3月.

ポリ(オキシエチレン)ユニットを有するフルオロアルキル基含有オリゴマー類の合成と性質

沢田英夫, 伊藤道子, 李京浩, 京兼純, 川瀬徳三 (阪市大生科), 早川由夫 (名工研), 吉野勝美 (阪大工), 日本化学会第72回春季年会講演 (立教大学), 1997年3月.

フルオロアルキル基含有リン酸オリゴマー類の合成と性質

沢田英夫, 玉田大介, 川瀬徳三 (阪市大生科), 早川由夫 (名工研), 日本化学会第72回春季年会講演 (立教大学), 1997年3月.

フルオロアルキル基含有カチオン系オリゴマー類の界面特性と抗菌活性

沢田英夫, 和氣厚仁, 川瀬徳三 (阪市大生科), 早川由夫 (名工研), 井出輝彦 (東ソー), 富田敏夫 (東北大農), 馬場昌範 (鹿児島大医),
日本化学会第72回春季年会講演 (立教大学), 1997年3月.

芳香族ポリマー類の含フッ素有機過酸化物による改質

沢田英夫, 蔵地皆佳, 有吉夕貴子, 北寛士, 川瀬徳三 (阪市大生科),
日本化学会第72回春季年会講演 (立教大学), 1997年3月.

カルボキシル基を有するオリゴメリックなフルオロシランカップリング剤の表面特性と抗エイズウイルス活性

沢田英夫, 池末由香, 河井義和, 梅戸美知恵, 川瀬徳三 (阪市大生科), 馬場昌範 (鹿児島大医),
日本化学会第72回春季年会講演 (立教大学), 1997年3月.

なお, 本講演における演者 [河井義和 (奈良高専, 本科生)] は, 日本化学会より「日本化学会ポスター賞」を受賞, 1997年6月3日.

フッ素系オリゴマー型界面活性剤の水溶液中での構造(I)],

川瀬徳三 (阪市大生科), 沢田英夫, 阿部正彦, 中川順平 (東京理大理工),
日本化学会第72回春季年会講演 (立教大学), 1997年3月.

フルオロアルキル基含有アクリルアミドオリゴマー類の合成と性質

沢田英夫, 池末由香, 吉野美子, 川瀬徳三 (阪市大生科), 早川由夫 (名工研)

第46回高分子学会年次大会 (東京工業大学), 1997年5月.

ゲル化能を有するフルオロアルキル基含有オリゴマー類の合成と性質

沢田英夫, 片山慎介, 中村 裕, 川瀬徳三 (阪市大生科), 早川由夫 (名工研)

第46回高分子学会年次大会 (東京工業大学), 1997年5月.

オリゴメリックな親水性セグメント含有フルオロシランカップリング剤の合成と性質

沢田英夫, 池末由香, 川瀬徳三 (阪市大生科), 早川由夫 (名工研),

高分子学会第43回高分子研究発表会 (神戸) (兵庫県民会館), 1997年7月.

フルオロアルキル基含有アクリルアミドオリゴマー類の合成と性質

沢田英夫, 吉野美子, 池末由香, 川瀬徳三 (阪市大生科), 早川由夫 (名工研)

高分子学会第43回高分子研究発表会 (神戸) (兵庫県民会館), 1997年7月.

ゲル化能を有するフルオロアルキル基含有オリゴマー類の合成と性質

沢田英夫, 中村 裕, 谷村敏博, 川瀬徳三 (阪市大生科), 早川由夫 (名工研),

高分子学会第43回高分子研究発表会 (神戸) (兵庫県民会館), 1997年7月.

パーフルオロパーオキサイドによる芳香族ポリマーのフルオロアルキル化

川瀬徳三 (阪市大生科), 沢田英夫,

平成9年度繊維学会年次大会 (東京・国立教育会館) 1997年6月.

Dyeing of Nylon with Fluoroalkylated Azo Dyes

T. Kawase, K. Nakano (阪市大生科), N. Yoshino (東京理大工), and H. Sawada,

KIT Microsymposium on Color Chemistry and Dyeing (Kyoto Institute of Technology), March, 1997.

Surface Fluoroalkylation with Fluoroalkyl End-capped Silanes

T. Kawase (阪市大生科), Y. Ikematsu, Y. Yoshino, and H. Sawada,

KIT Microsymposium on Color Chemistry and Dyeing (Kyoto Institute of Technology), March, 1997.

Betaine-type Fluoroalkylated Oligomers are Potent Inhibitors of Human Immunodeficiency Viruses Type 1 (HIV-1) and Other Enveloped Viruses

M. Fujiwara, M. Okamoto, T. Mizuta (創薬技術研究所), Y. Hanasaki, T. Ide, D. Katsuura (東ソー), H. Sawada, S. Shigeta (福島県立医大), K. Konno, T. Yokota (創薬技術研究所), and M. Baba (鹿児島大医学部), 10th International Conference on Antiviral Research (Atlanta, Georgia, USA), April 6 ~ 11, 1997.

Surface Fluoroalkylation of Aromatic Polymers by Perfluoroalkanoyl Peroxides

T. Kawase (阪市大生科) and H. Sawada,

The 4th IUMRS (International Union of Materials Research Societies) International Conference in Asia (Makuhari, Japan), September 17, 1997.

Gelation of Fluoroalkylated Oligomers Under the Non-Crosslinked Conditions

H. Sawada, S. Katayama, T. Kawase (阪市大生科), and Y. Hayakawa (名工研),

15th International Symposium on Fluorine Chemistry (The University of British Columbia, Vancouver, Canada), August, 1997.

Synthesis and Properties of Fluoroalkylated Acrylamide Oligomers

H. Sawada, Y. Ikematsu, Y. Yoshino, T. Kawase (阪市大生科), and Y. Hayakawa (名工研), 15th International Symposium on Fluorine Chemistry (The University of British Columbia, Vancouver, Canada), August, 1997.

Flip-Flop Type Fluoroalkyl End-capped Silane Coupling Agent

T. Kawase (阪市大生科) and H. Sawada, 15th International Symposium on Fluorine Chemistry (The University of British Columbia, Vancouver, Canada), August, 1997.

Organization of Fluoroalkyl End-capped Oligomeric Surfactants

T. Kawase (阪市大生科) and H. Sawada, 15th International Symposium on Fluorine Chemistry (The University of British Columbia, Vancouver, Canada), August, 1997.

Synthesis and Surfactant Properties of Fluoroalkylated 4-Vinylpyridine Oligomers

H. Sawada, A. Wake, M. Oue, T. Kawase (阪市大生科), Y. Hayakawa (名工研), and M. Mitani (日本油脂),

1995 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies, Honolulu, Hawaii, December 17 – 22, 1995.

ペルフルオロシクロヘキシル基含有有機過酸化物, 該誘導体, 用途及び製造方法

沢田英夫, 小松慎司 (日本油脂), 特願 平9-209332 (平成9年8月4日).

含フッ素模造イグサ, 及び含フッ素模造イグサの製造方法

遠藤紀光 (光パッキング), 沢田英夫, 特願 平9-96365 (平成9年4月1日).

含ふっ素エラストマ組成物及び含ふっ素エラストマ被覆電線ケーブル

木村一史, 関 育男, 山崎孝則 (日立電線), 沢田英夫, 特願 平9-58705 (平成9年3月13日)

フルオロアルキル基含有リン酸誘導体, その製造方法および表面処理剤

沢田英夫, 伊藤祐司 (昭和電工), 特願 平9-58105 (平成9年3月12日).

フルオロアルキル基含有化合物, その製造方法および高分子電解質

沢田英夫, 魚谷信夫 (昭和電工), 特願 平9-58104 (平成9年3月12日).

フルオロアルキル基含有重合体, その製造方法および金属イオン捕捉剤

沢田英夫, 魚谷信夫 (昭和電工), 特願 平9-58106 (平成9年3月12日).

フルオロアルキル基含有化合物類の創製と抗エイズウイルスの活性の発現に関する研究

沢田英夫 (研究代表者),

平成7年度～8年度科学研究費補助金 [基盤研究(C) (2)研究課題番号07651042] 報告書, 平成9年3月.

Selective Extraction of Subtilisin BPN' from *Bacillus subtilis* Using Reverse Micelles

K. Naoe, S. Matsumura, Y. Mawatari, M. Kawagoe, and M. Imai (Tokyo Univ. of Agri. & Technol.)

The 4th JAPAN-KOREA Symposium on Separation Technology, (Waseda Univ., Tokyo)

(1996年10月8日講演)

逆ミセルによる有機溶媒へのタンパク質と水分子の協同的可溶化現象

直江一光, 市川創作 (農水省食総研), 今井正直 (東京農工大学)

分子科学研究所研究会

「生体分子の安定性に及ぼす水とイオンの役割」, (岡崎)

(1996年11月27日講演)

Hydrodynamic properties of protein with low concentration of guanidine hydrochloride on solubilization into organized-assemblies

K. Naoe, K. Yamamoto, M. Kawagoe, and M. Imai (Tokyo Univ. of Agri. & Technol.)

3rd Workshop "Principles of Protein Architecture", (Kyoto) pp.188

(1996年12月11日講演)

逆ミセルによるタンパク質分離の高効率化のための抽出条件

直江一光

第33回液膜研究会研究講演会, (中野, 東京)

(1997年3月26日講演)

AOT逆ミセルを用いたタンパク質抽出における糖類添加の効果

喜多 豊, 直江一光, 河越幹男, 今井正直 (東京農工大学)

化学工学会第62年会 (東京農工大学)

(1997年3月27日講演)

Minimal AOT concentration of binary protein component in reverse micellar extraction

K. Naoe, M. Tamai, M. Kawagoe, M. Imai, and M. Shimizu (Tokyo Univ. of Agri. & Technol.)

Trans.IChemE, Part C, **75**, 143-147 (1997)

Efficacy of Trehalose on Protein Extraction Using Reverse Micelles.

K. Naoe, Y. Kita, M. Yamamoto, M. Imai, and M. Shimizu (Tokyo Univ. of Agri. & Technol.)

Indonesian Biotechnology Conference, (Jakarta, Indonesia) (1997年6月18日 講演)

逆ミセルを用いたタンパク質抽出における高機能化条件の探索

直江一光

“抽出技術集覧” (化学工学会関東支部, 分離技術会編), pp.85-92, 化学工業社 (1997)

Span60/hexane系逆ミセルを用いたタンパク質抽出における助剤の選択

浦 理, 直江一光, 河越幹男, 今井正直 (東京農工大学)

化学工学会第30回秋季大会 (九州産業大学)

(1997年9月8日講演)

化学発光法を用いた新規細胞数計測法

三木功次郎

化学工学「トピックス」, Vol.60, No.10, pp.736 (1996)

(一般教科)

ファジイ代数の決定問題について

荒金憲一

第14回束論談話会

(1997年1月25日 講演)

大和・紀伊寺院神社大事典

大矢良哲 他共編著

(平成9年4月) 平凡社

A New Phase of Point of View
 — *The Spoils of Poynton* Reconsidered —
 Etsuo Katayama
 STUDIES IN ENGLISH LITERATURE (English
 Number 1997) pp.127~8
 1997年3月21日発行

人形劇『散るは櫻の花のみか』と市民による
 朗読劇『50年目の戦場』
 神澤和明
 「テアトロ」第653号, p.p.44~45
 (平成9年3月1日発行)

教育現場に生かす演劇技術ー講義する声につ
 いてー
 神澤和明
 「高専教育」第20号, p.p.224~231
 (平成9年3月17日発行)

劇評『NIPPON 漂流』『がめつい奴』
 神澤和明
 「演劇会議」第93号, p.p.54~57
 (平成9年5月1日発行)

地方の演劇状況を狂わす者たち
 神澤和明
 「テアトロ」第656号, p.p.56~59
 (平成9年6月1日発行)

劇評『エレジー』『タッチーから吹く風』
 神澤和明
 「演劇会議」第94号, p.p.85~87
 (平成9年7月30日発行)

現代の劇場と観客
 神澤和明
 日本民俗芸術学会第66回研究例会
 (平成9年9月20日 講演)

書評——小宮山量平『戦後精神の行くえ』(こ
 ぶし書房)
 木村倫幸
 季報・唯物論研究 第59号, pp.161~164
 (1997年1月)

書評——鶴見和子『内発的発展論の展開』(筑
 摩書房)
 木村倫幸
 季報・唯物論研究 第60号, pp.148~152
 (1997年4月)

t-J模型におけるスピノンとホロンの統計
 奈良高専 榊原和彦, 近畿大 松居哲生, 東大 一瀬
 郁夫
 日本物理学会
 1996.10 (講演 山口大学)

線形論理に基づく論理型言語について
 番原睦則
 第14回束論談話会
 (1997年1月25日 講演)

Cross-saturated Gain and Dispersion of
 Optically-pumped Far Infrared Laser
 Media in a Ring Cavity.
 N.Sokabe, N.Togawa, M.Hasegawa,
 S.Yamakawa (Osaka City Univ.) and
 Y.Horiuchi
 21th International Conference on Infrared
 and Millimeter Waves. (July 20-25 1997, Winter-
 green 講演)

奈良県安堵町における「なもで踊り伝承」
 松井良明, 橋本紀美 (安堵町歴史民俗資料館)
 日本体育学会編『体育の科学』10月号 (第46巻第10号)
 847~854頁 (1996年10月1日)

スポーツとファッション — スポーツ用語の
関係史 —

松井良明

スポーツ史学会会報『ひすば』No.35, 2～3頁
(1997年2月14日)

スポーツと「理由ある殺人」 — 英国法にお
ける権威の典籍を手掛かりにして —

松井良明

スポーツ史学会編『スポーツ史研究』第10号
107～112頁 (1997年3月31日)

1995年スポーツ史関連文献書誌

松井良明, 中房敏朗 (仙台大学)

スポーツ史学会編『スポーツ史研究』第10号
121～139頁 (1997年3月31日)

英国史における武の問題 — 近世における弓
術の奨励と不法な遊戯について —

松井良明

平成8年度(財)水野スポーツ振興会助成金研究成果報告
書『日本スポーツ史における「武」の問題 — 技法と
しての武・表現としての武 — 』研究代表者・榎本鐘
司 (南山大学), 57～70頁 (1997年3月)

賭けと近代スポーツ — 摂政時代の英国スポー
ツを手掛かりにして —

松井良明

近代社会史研究会第122回例会 (京都大学)
(1997年6月28日 講演)

図書紹介「池田恵子著『前ヴィクトリア時代
のスポーツ — ピアス・イーガンの「スポー
ツの世界」 — 』不味堂出版」

松井良明

スポーツ史学会会報『ひすば』No.37, 8～9頁
(1997年7月30日)

第2言語における擬似受動文の習得について

松林城弘

『英語教育研究』(日本英語教育学会関西支部編)
第20号, pp.79-85.
平成9年3月31日

Tough 構文と第2言語習得: 意味機能的分析
に基づく考察

松林城弘

中部地区英語教育学会三重大会
平成9年6月28日 講演

On the Acquisition of Anaphora Relations
in English as a Second Language: A Study
Based on Syntactic and Semantic/Func-
tional Analyses.

松林城弘

*Annual Review of English Language Education in
Japan*

(全国英語教育学会編)

Vol. 8, pp.21-30.

平成9年7月30日

奈良工業高等専門学校 研究紀要第33号

平成10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 明新印刷株式会社
奈良市南京終町3丁目464番地

RESEARCH REPORTS

OF NARA NATIONAL COLLEGE OF TECHNOLOGY

NO. 33, 1997

CONTENTS

Consideration of Designer's Sensory Understanding at Conceptual Structural Design	Toshio HIRA and Tomoko NAGO	1
The Improvement of Automatic Temperature Cycle Repeater	Kazuki Hiro	7
High Feed Rate Turning with a New Grooving Tool	Tadahiro WADA	11
High Power Factor Converter by Follow Up Control of Current Signal Using Hysteresis Comparator	Shigeji IMURA and Kiyotada SHIBAYAMA	17
Organic Photoelectric Devices using Evaporated Thin Films by Ion-Beam-Assisted Method	Jun Kyokane, Rintarou Aoyagi and Katsumi Yosino	23
Realtime Gesture Recognition by Multi-layered Parallel Recognition Framework of QVIPS	Toshiyuki KIRISHIMA	29
Basic Research of High-frequency Components in Environmental Sound	Shigeki DOI and Michiko SHIMOMURA	35
Lightwave radio-wave mixing using MESFET	Tomoshi MATSUSHIMA and Kiyotaka YAMAMOTO	41
Computer Simulation of Bode Diagram and Root Locus in Digital Control System	Takashi KURIMOTO	45
Computer Simulation of Distorted Wave by Fourier Series	Takashi KURIMOTO	53
Thickness of Flame Quenching Layer in Spherical Combustion Vessel	Toshio NAKATA	59
Development of a Care Assist Transfer Machine by Using Pneumatic Bellows Actuators	Yasuhiro HAYAKAWA, Takashi YAMAMOTO and Noriyoshi ISEKI	65
An Improved Simulated Annealing Method based on Multiplex Search	Fumio ASAI and Noboru NAKAMICHI	71
A Multi-Valued DRAM with Nondestructive Read-Out	Ryo IGARASHI, Yasuyuki FUJIWARA and Kenichi YAMAGUCHI	73
A Study on Experiment of Students in Program Development	Hideo KUDO and Hiroshi YOSHIKAWA	77
A Simulation for a Roll Position Control of an Experimental Rolling Mill	Katsuya KONDO, Satoshi AWATA and Hideo KITA	83
An Implementation of LSI Chips using FPGA	Tadashi SEKO	89
AN ALGORITHM FOR GENERATING MAXIMUM WEIGHT INDEPENDENT SETS IN A CIRCLE GRAPH	Masakuni TAKI and Toshinobu KASHIWAHARA	93
Functional Units and Register Count Optimization Method for ASIP Design	Yoshimichi HONMA	99
Electrocatalytic Reduction of CO ₂ on Graphite Intercalation Compound with CuCl ₂	Ikuichiro IZUMI, Yohji HAMADA, Kaoru HAMADA Yasuyuki OHNISHI and Norio IWASHITA	105
Regeneration of Activated Carbon (4)	Tadashi UMEHARA	111
Effects of Temperature on Oxygen Transfer Rates in an Airlift Bubble Column with a Tapered Riser	Mikio KAWAGOE and Mitsuhiro UEDA	115
Sequential formulations for MS-algebras and Stone algebras	Kenichi ARAGANE	119
A Survey of Loser's Attitude among Senior High School Judo Players	Shigemi NAKANISHI, Yoshihiko HIRANO, Siyouta HUIJI, Yoshimi MASAKI, Sinji HOSOKAWA, Haruhiko YASUKOCHI and Takamasa OTANI	129
Reappraising the Translation Method in Teaching English Composition	Akashi KAJI	135
A New Phase of Point of View	Etsuo KATAYAMA	143
A Study on Thought of Independence of Shunsuke TSURUMI	Tsuneyuki KIMURA	158
A Consideration of Hi-Ninjou-Bigaku on Natsume Soseki's <i>Kusamakura</i>	Mitsuhiro TAKEDA	168
Abstracts		169
Short report on my visitation of University of Maryland	Tadashi SEKO	173
Research Activities in 1996~1997		175