

研 究 紀 要

第 32 号

平成 8 年度

奈良工業高等専門学校

目 次

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	1
金蒸着されたベルセロ容器を用いた負圧発生	広 和 樹	7
焼結鋼切削時における雰囲気ガスが工具摩耗に及ぼす影響	和 田 任 弘	11
スケール・スペース・フィルタリングとモルフォジカル・フィルタを組み合わせた処理に関する考察	土 井 滋 貴	17
筆者照合のための偽筆の分析	中 村 善 一	21
WWWにおけるセキュリティ管理の一手法	成 田 紘 一	25
実験支援のための共振回路の作動シミュレーション	栗 本 尚	29
多変数制御系のレギュレータ特性のシミュレーション	栗 本 尚	35
平均場理論に基づくボルツマン・マシン学習の性能評価Ⅱ	浅井 文男・村中 庸志	43
σ ニューロン・セルとその応用	五十嵐 良・小林 淳・金堀 進・藤原 保行	49
オブジェクト指向に基づくアセンブリ言語の学習支援ツール	工藤 英男・大西 仁・若宮 栄・的場 裕司	55
連想記憶プロセッサを用いたパターン並列故障シミュレーションの解析	世 古 忠	61
単一ノズルからの気泡生成に及ぼす先行気泡の影響	安部 香織・河越 幹男	67
クリプケモデルによるファジイ代数の完全性について	荒 金 憲 一	71
『ポイントン邸の蒐集品』再考	片 山 悦 男	79
鶴見俊輔の民主主義について	木 村 倫 幸	92
『虞美人草』の「小供」たち	武 田 充 啓	104
加賀乙彦『宣告』論－信仰告白の形象化－	細 井 誠 司	112
論文抄録		113
教官研究活動一覧		119

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

Thermal Stability and Hydrogen Embrittlement on Amorphous Alloy

Yasuyoshi IWAI

Various kinds of amorphous alloys were developed and applied to the mechanical use due to the high strength as well as the electro-magnetic materials. In this study, thermal stability of Fe base amorphous alloy ribbons were experimentally examined by using X-ray diffraction techniques and also hydrogen embrittlement was discussed. It was clarified that there were some good correlations between the characteristics of static strength and the crystallization rates. From the results of static and fatigue tests by introduced hydrogen to the specimens, it was found that the amorphous alloys showed remarkable sensitivity of hydrogen embrittlement as well as the high strength steels.

1. 緒 言

固体金属は一般に構成している原子の配列が規則的で、それぞれの物質に特有な原子配列の仕方をしている。ところが、これとは反対に原子の配列に仕方が無秩序で規則性のないものがあり、これをアモルファス金属あるいは非晶質金属と呼んでいる¹⁾。結晶金属と比較してアモルファス金属の特徴は巨視的にみると構造が均一で組成も均質なことであり、このことが高い機械的強さ、高靱性、耐摩耗性、耐食性、優れた軟磁性特性など実用的に着目される性質を発現する原因となっている^{2) 3)}。しかしながら、現状のアモルファス金属材料の抱えている共通の問題として、形状の制約と熱的安定性に起因する特性およびこれら特性の試験評価法の未確立などが指摘されている^{4) 5)}。

一方、アモルファス金属は非常に強度の高い材料であるが、一般に鉄鋼材料では高強度になると微量の水素吸蔵でも著しい強度の低下を示すことが知られている^{6) 7)}。通常の結晶金属の場合、原子空孔や転位あるいは結晶粒界などの欠陥の存在が、この水素ぜい化の大きな要因と考えられている⁸⁾がアモルファス金属にはそのような結晶欠陥は存在しないため、水素に対してどのような挙動を示すのかはこれまでほとんど知られておらず興味深い

問題である。

そこで本研究では、市販されているFe系アモルファス合金を用いて、いくつかの機械的特性の熱的安定性について試験・評価を行うとともに、水素ぜい化現象についても実験的検討を行ったので、これらの結果について述べる。

2. 実験方法

2. 1 実験材料および試験片

本実験に使用したアモルファス合金は、米国アライドシグナル社より薄帯として市販されているMETGLAS 2605-S2 (厚さ 25 μ m) であり、その化学成分をTable 1に示す。また、Fig 1に試験片の形状を示す。試験片は図のように、片側に切欠き (応力集中係数 $\alpha=2.4$) を有する形状に機械加工し、引張り試験に際しては試験片の両端を、厚さ 1 mmの鋼板を接着して補強した。

Table 1 Chemical compositions. (%)

B	Si	C	Mn	Al	P	S	Cu
2.06	5.32	0.1>	0.1>	0.1>	0.1>	0.1>	0.1>

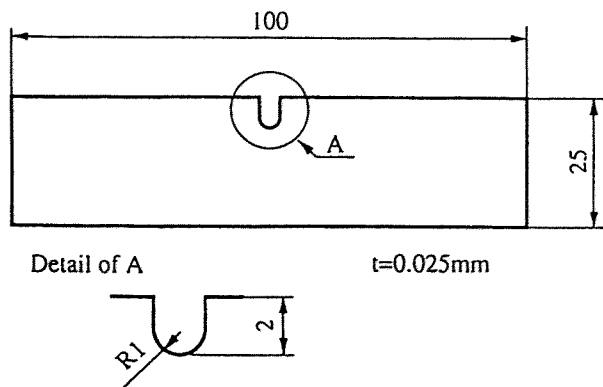


Fig 1. The shape and dimensions of specimen.

2. 2 X線回折試験

アモルファス金属は温度が高くなるとともに構造緩和を起こし、熱的に平行な状態へと移行し、ついにはアモルファス状態から結晶状態となる。この結晶化が生じることによる特性変化がアモルファス金属の実用化において大きな障害となっている。そこで本研究ではアモルファス金属の熱的安定性について、種々の温度で加熱した試料のX線回折試験を実施した。Table 2に本実験で使用するX線の回折条件を示す。

Table 2. Conditions of X - rays diffraction technique.

Characteristic X-ray	Cok α_1
Filter	Fe
Tube voltage	30kV
Tube current	10mA
Scanning speed	2deg/min
Time constant	10sec

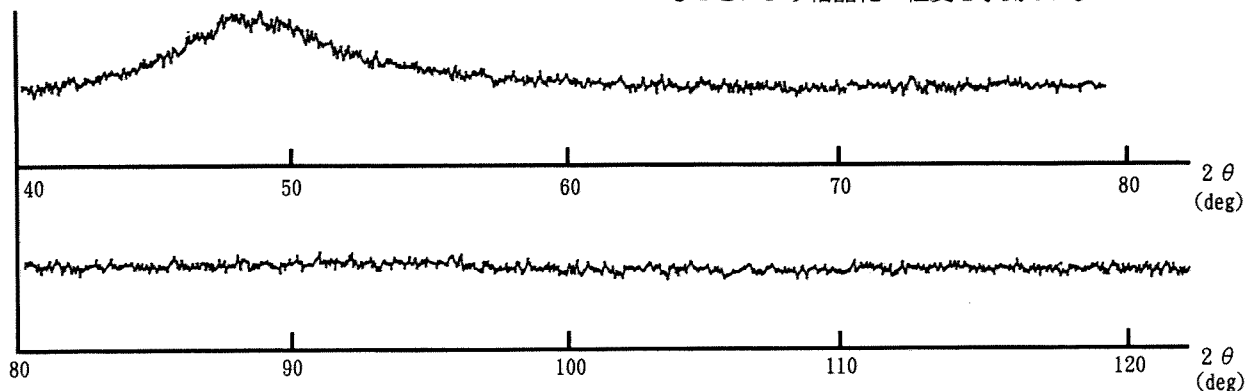


Fig 3. X - ray profile of amorphous specimen

2. 3 静的引張り試験および水素ぜい化の評価

アモルファス状態（結晶化率0%）から熱的影響による強度変化の測定は、各種熱処理材の切欠き強さから評価した。使用した引張り試験装置は、島津製オートグラフ（AGS-100D）で引張り速度は0.5mm/minとした。

また、水素ぜい化感受性についても水素吸蔵後の引張り試験により判断した。試験片への水素の導入には、5% H_2SO_4 水溶液を用い、Fig 2に示すような陰極電解法により電流密度20mA/cm²にて種々の時間チャージした。

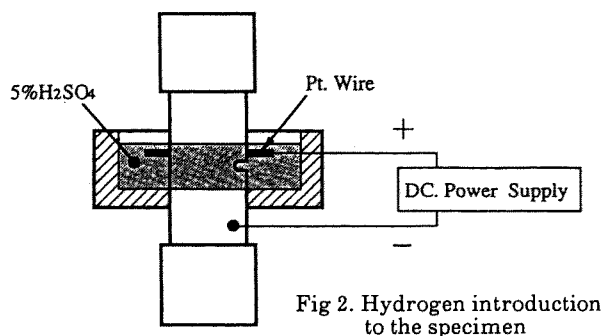


Fig 2. Hydrogen introduction to the specimen

3. 実験結果および考察

3. 1 X線回折試験結果

Fig 3にアモルファス合金受入れ材のX線回折試験結果を、またFig 4に真空中にて600℃で加熱処理し、完全に結晶化した場合の回折結果をそれぞれ示す。

Fig 3より2θで約40°～60°の範囲でアモルファスに特有なハローパターンが見られ、また2θで120°までの走査角では回折ピークは検出されず、受け入れ材は完全なアモルファス状態であるといえる。一方、Fig 4では、結晶化による回折ピークが5箇所検出されている。これらの回折ピークは2θの小さい方から順に(100)、(111)、(200)、(211)、(220)の各面からのものであるが、この中で(100)面からの回折強度が特に大きいことがわかる。そこで各種温度で加熱処理を行った場合については、(100)面における回折強度曲線を比較することにより結晶化の程度を予測した。

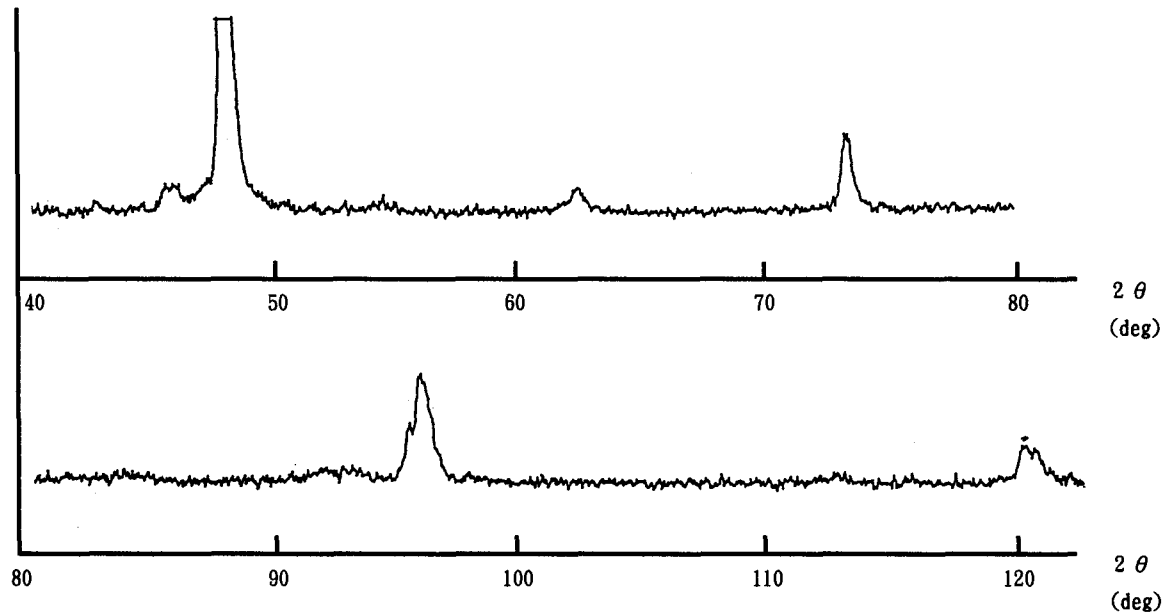


Fig 4. X - ray profile of crystallized specimen.

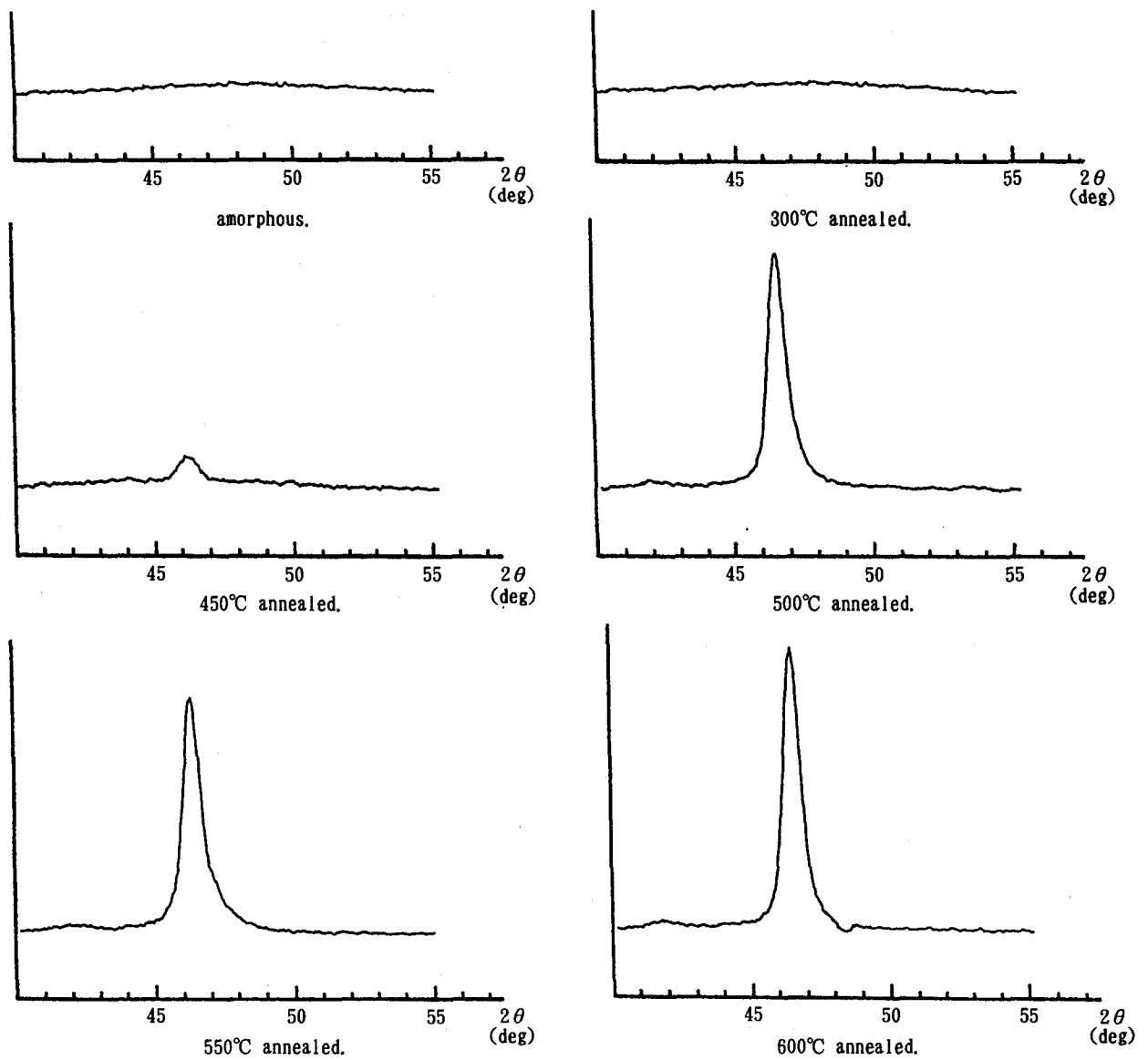


Fig 5. X - ray profiles of amorphous and annealed specimens.

Fig 5に各種温度で加熱処理した後の(100)面におけるX線回折強度曲線を示す。図より450℃～500℃の間で急激に結晶化が生じていることがわかる。またベースラインと回折線に囲まれた面積を比較することにより、およそその結晶化率が推定できると考えられる。そこで本研究では、600℃加熱処理材の面積を1とし各種加熱材の回折線の面積との比を結晶化率と定義した。Fig 6に加熱温度と結晶化率の関係を示す。

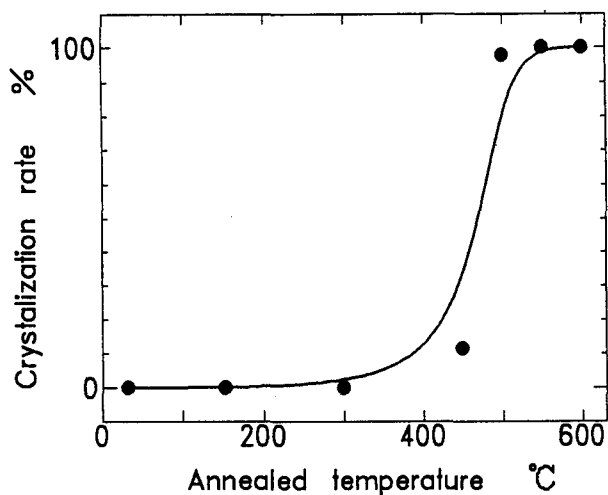


Fig 6. Relation between the crystallization rate and the annealed temperature

3. 2 硬度の温度依存性

アモルファス合金の特徴として、硬度が高いことが挙げられるが、本実験では硬さの変化からも熱的安定性を評価した。Fig 7は加熱温度とビッカース硬さの関係を示したものである。図中の破線は先に求めた結晶化率である。図より、約500℃付近の加熱温度で硬度の急激な低下が認められ、この変化傾向はX線による結晶化率の測定結果と良い相関を示すことがわかる。

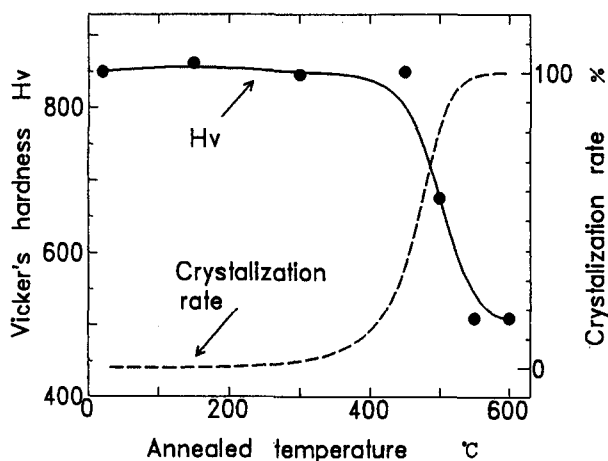


Fig 7. Relation between the vicker's hardness and the annealed temperature

3. 3 引張り強度の温度依存性

Fig 8はアモルファス合金の加熱温度に対する静的強度の変化を切欠き強さで示したものである。図よりアモルファス状態を維持する450℃までの温度範囲では、切欠き強さは温度上昇とともにほぼ直線的な低下傾向を示す。しかし、およそ500℃以上の加熱処理材では急激な低下傾向を示しているが、これは結晶化によるぜい化に起因するものと思われる。

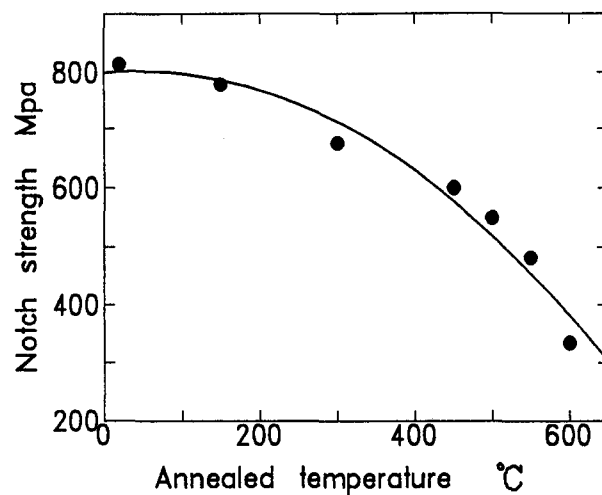


Fig 8. Relation between the notch strength and the annealed temperature

3. 4 水素ぜい化感受性

Fig 9に水素チャージ時間とアモルファス合金の切欠き強度比の関係を示す。ここで切欠き強度比とは、水素吸蔵前後の切欠き強さの比で、この値は水素ぜい化感受性を表している。図より、およそ1時間を超える水素チャージで、切欠き強さがおよそ50%にまで低下していることから、アモルファス合金の場合も一般の高強度鋼と同様に、強度レベルが高い場合は水素ぜい化感受性も高いといえる。

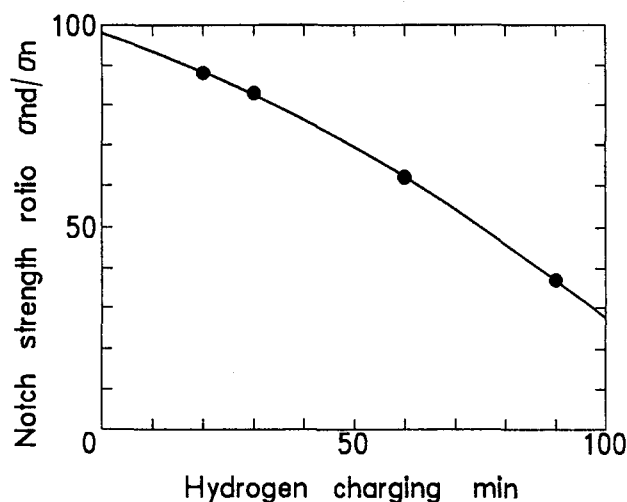


Fig 9. Relation between the notch strength and the hydrogen charging time

通常、高強度鋼における水素ぜい化は、結晶粒界や介在物の周辺などの構造欠陥内の水素濃度の増加により生じる。すなわち、水素原子が再結合して水素分子となる際の圧力発生や、水素が介在することによる原子間結合力の低下が原因と考えられている。⁵⁾しかし、アモルファス状態では構造欠陥が存在しないため、水素原子が原子配列のどの部分に侵入するのかは特定できない。しかしながら、アモルファスにおいても介在物は存在するため、この周辺に水素が集積してクラック核となり、ぜい化を引き起こすものと推定される。

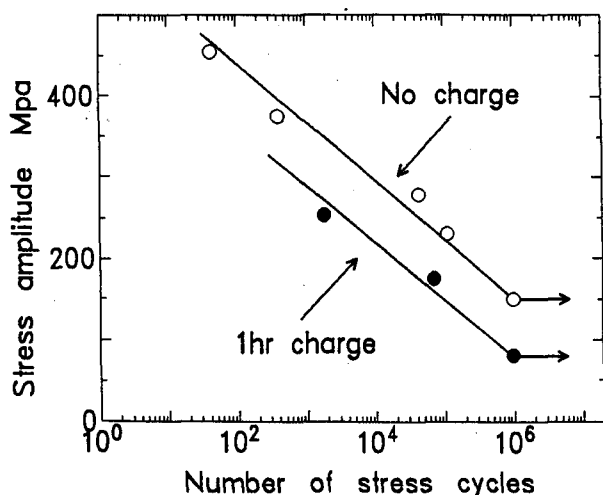


Fig 10. S - N diagram of METGLAS 2605 - S2

本研究では、アモルファス合金の疲労強度に及ぼす水素の影響についても検討した。Fig 10に繰り返し周波数10Hz、正弦波、完全片振り下における水素吸蔵前後のS-N線図を示す。ここでも静的試験結果と同様、水素ぜい化が原因と考えられる破断寿命の大幅な減少が認められ、限界応力値も応力繰り返し数10⁶で約60%程度となることが明らかとなった。

4. 結 言

本研究ではFe系アモルファス合金であるMETGLAS 2605-S2の熱的安定性および水素ぜい化について実験的検討を行った結果、以下のことが明らかになった。

(1) X線回折法により450℃で明らかに結晶化しはじめ、500℃で試験片のほぼ全てが結晶化することが確認された。

(2) 加熱温度に対する硬さの変化と結晶化率とは良い相関関係が存在し、硬度は結晶化の開始とともに急激に減少することが確認された。

(3) 水素吸蔵材の静的引張りおよび疲労試験より、結晶構造を持たないアモルファス合金においても水素ぜい化感受性が高く、著しい強度の低下を示すことが明らかとなった。

参考文献

- 1) 増本健、深道和明、“アモルファス合金その物性と応用” アグネ、11 (1981)
- 2) 大森豊明、“新技術への機能材料” 工業調査会 163 (1983)
- 3) 若宮正行、材料、42, 773 (1993)
- 4) L.A.Davis, Script. Met., 9, 339 (1975)
- 5) 飯高一郎、“理論金属学” 333、誠文堂新光社 (1971)
- 6) 岩井保善、有間淳一、材料、26, 42 (1977)
- 7) 岩井保善、有間淳一、材料、27, 236 (1978)

金蒸着されたベルセロ容器を用いた負圧発生

広 和 樹

Achievement of Negative Pressure in a Berthelot Tube Evaporated with Au

Kazuki HIRO

液体が負圧状態にあるとき等方的な張力を受ける。その状態は熱力学的には準安定状態であるので容易にキャビテーションをおこす。それ故、負圧下の液体物性測定に関する報告はもちろんその発生技術に関するものさえほとんどない。このようなことから本研究では金属容器ベルセロ法を用いて高負圧発生技術の確立を目的としている。今回、金蒸着されたベルセロ容器を用いて腐食の影響をなくし内部のガス供給を抑える目的で負圧が測定された。その結果、蒸着された容器の最高負圧はわずか200サイクルで7.8MPaとなり、あらかじめ脱ガス処理された容器を蒸着することによりさらに大きくなった。また温度サイクルに伴い負圧は蒸着された脱ガス容器で増加し続けた。以上のことから、金の真空蒸着は、腐食対策として有効で効率よく大きな負圧を発生できるがより大きな負圧の向上には素地金属に含まれるガスが関与しており脱ガスすることが必要であることがわかった。

キーワード： 負圧 (Negative pressure) ベルセロ容器 (Metal Berthlot tube) 真空蒸着 (Vaccum evaporation)

1. 緒 言

液体が本来とるべき体積より膨らんだ状態にあるとき、液体には引張応力が作用し、飽和蒸気圧以下であれば負圧となる。この状態は、液体内に気泡が存在すれば瞬時に気液二層状態に移行する。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。また、常圧の水の定圧比熱が-45℃で発散する傾向にあることが発見され準安定な、過冷却、過熱、負圧状態を含んだ状態方程式（相図）による水の特異な性質（密度最大温度、粘性の温度依存性）の理論的に解明する試みがなされている。

高い負圧を発生させるためには、キャビテーションを起こす要因となる微小な気泡をいかに取り除くかが課題である。ゴミや空気泡を含まない抜気された蒸留水では、水と接触している固体容器表面上の欠陥に捕らわれたガ

スが原因であるとされていたが、これよりも容器内部に含まれているガスや、水の腐食により生成される気体¹⁾が主原因であることがわかってきた。

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、容器金属に金の蒸着処理を施し、水による容器壁面の腐食をなくし、金属内部のガスをその蒸着膜により封じ込めることで高負圧発生を試みた。

2. 実 験

2. 1 実験方法及び装置

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。この方法の利点は負圧を準静的に発生させるため持続性があることと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。

図1に装置の概略図を示す。温度の異なる恒温槽に実験容器をモータにより交互に沈め、高温側でまず正圧を発生させ、つぎに低温側で負圧発生を行う。このとき、圧力が零となる温度を決めておく。これは容器が密封系であることを利用して温度による圧力変化が容器の膨張率と圧縮率の比で表せることから正圧時のデータを用いてあらかじめ密封に必要なトルクを計算し締め付け量をモニタすることで決定される。高温槽と低温槽の温度はこの圧力零点温度を基準にする。特に低温槽の温度を下げすぎると冷却速度の増加、不均一な熱伝導により負圧が影響されるので零点近くに設定しておく。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。

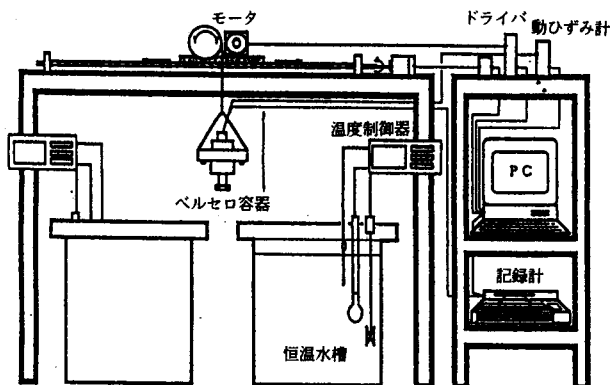


図1 実験装置

ベルセロ容器を図2に示す。これは銅製（工業用純銅）で中の試料室は径10mm、高さ15mmの円筒型を成している。煮沸された試料水の封入は金属製プラグの塑性変形により実現される。なお、試料水には1度蒸留し抜気されたものを入れ、プラグも十分煮沸してから密封する。これらはキャビテーションの原因となる気泡を除去するためである。

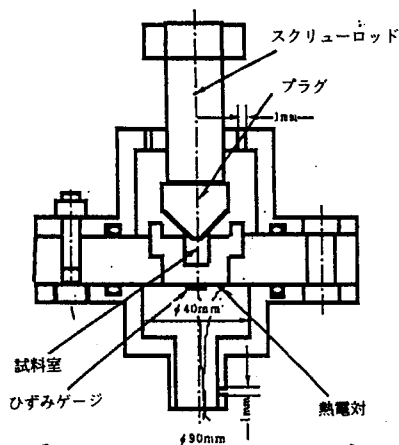


図2 ベルセロ容器

圧力の測定は試料室底部の外に貼られたひずみゲージにより行い、ゲージの較正方法としては図3に示したようなシステムにより N_2 ガスを試料室内に導入し120atmまでの既知の圧力に対する出力電圧を測定し最小2乗法により行う。なお、実験によって発生する負圧は、そのひずみが N_2 ガスによる正圧方向のひずみと等しいと仮定して測定される。

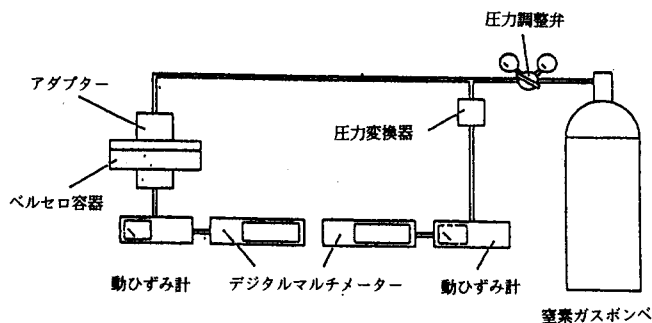


図3 圧力較正装置

2. 3 プラグの処理方法

本研究では行ったプラグの処理方法を以下に示す。

(1) 電解研磨

表面加工層の除去、蒸着物と比蒸着金属とのなじみを良くするために表面研磨後、アセトンにて超音波洗浄を行い、10%のリン酸水溶液中、電流密度 $34\text{mA}/\text{cm}^2$ の条件で電解研磨を行った。

(2) 真空蒸着

電解研磨処理を施した後、 $3 \times 10^{-5}\text{Torr}$ の真空度で真空蒸着を行った。蒸着方式は抵抗加熱式、蒸着源は金（純度99.95%、0.24g、0.48g）を用い、蒸着膜のむらをなくすために非蒸着物を回転させながら行った。

(3) 高温真空脱ガス

真空蒸着によって、金属内部のガスをその蒸着膜により封じ込めることで高負圧を得ることができるか否か調べるために行った。真空度は $3 \times 10^{-5}\text{Torr}$ 、脱ガス温度は300K、時間は1hである。

3. 結果と考察

表1に、本実験で行った実験結果を示す。

表1 プラグの処理条件と最高負圧の関係

データ番号	処 理 条 件	最高負圧 (MPa)
1	電界研磨	6.5
2	蒸着 a	7.8
3	脱ガス→蒸着 a	10.1
4	脱ガス→蒸着 b	9.8
5	蒸着 a→脱ガス	12.3
6	蒸着 b→脱ガス	12.1

注) 蒸着 a、b はそれぞれ 0.24g、0.48g の金蒸着を示す。

3. 1 蒸着による負圧の向上

データ 1 とデータ 2 について考える。最高負圧はデータ 1 では 6.5MPa、データ 2 では 7.8MPa となっており蒸着を施したプラグの方が 1.3MPa 程大きい値になっている。また図 3 に温度サイクルを伴う負圧の増加傾向を示す。データ 2 のプラグでは最初のわずか 200 サイクルの間に負圧は急激に上昇し最高負圧に達している。このことから金の蒸着処理によって効率よく大きな負圧を得ることができるといえる。しかしながら、このプラグではサイクルに伴って負圧は減少していき 400~500 サイクルを経過するとデータ 1 との間に相違はほとんどなくなっている。これについては後で述べる。

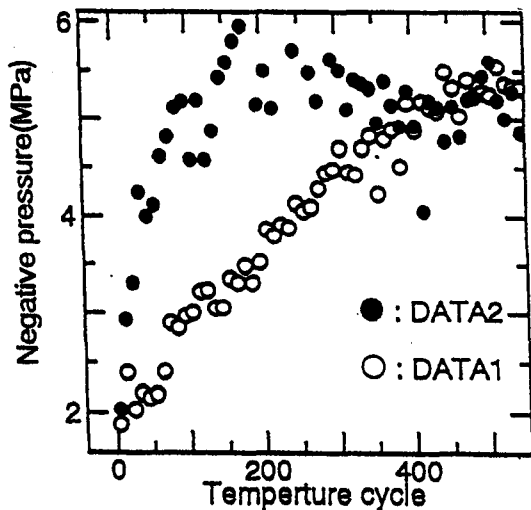


図3 温度サイクルと負圧の関係

3. 2 脱ガス処理の影響

まずデータ 2、データ 3、データ 4 について考える。最高負圧はデータ 2 では 7.8MPa、データ 3 で 10.1MPa、データ 4 で 9.8MPa となっており、蒸着量の多少にかかわらず、素地金属を脱ガスしたプラグの負圧は、脱ガスしなかったものより大きい。素地金属を脱ガスすると負

圧は大きくなったのであるから、負圧は素地金属である銅中のガスの影響を受けたことがわかる。

次にデータ 2、データ 3 についての温度サイクルによる負圧の増加傾向を図 4 に示す。データ 2 では負圧は 200 サイクルを経過した辺りで低下し最終的にはデータ 1 と変わらなかったがデータ 3 では低下することなく順調に増加し続けている。この低下は素地金属から膜を通してキャビテーションの原因となるガスの放出が行われたと考えることができ蒸着膜による金属内部のガス抑制効果は見られない。

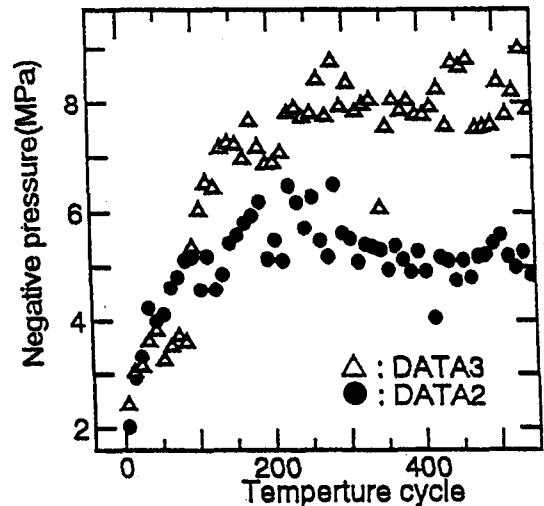


図4 温度サイクルと負圧の関係

次にデータ 2 とデータ 3、データ 5 についての 500 サイクル移行の温度サイクルと負圧の関係を図 5 に示す。

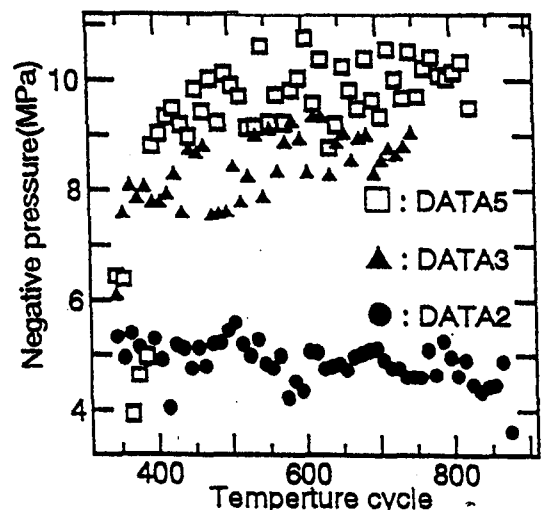


図5 温度サイクルと負圧の関係

最高負圧は蒸着膜も含めて脱ガスしたデータ 5 が 12.3MPa でもっとも大きくなった。負圧平均値はデータ 5 が 10.2MPa、データ 3 が 8.8MPa、データ 2 が 4.9MPa となり蒸着膜も含めて脱ガスしたプラグと素地

金属のみ脱ガスしたプラグとの差 (1.4MPa) は素地金属のみ脱ガスしたプラグと蒸着のみ施したプラグとの差 (3.9MPa) より小さい。これより蒸着膜に含まれるガスが僅かであると仮定すれば負圧は蒸着膜中のガスの影響を受けていると考えることができる。このことについては今後の検討課題としたい。

4. 結 言

金属容器ベルセロ法による液体物性測定の実現のため、容器金属に金の真空蒸着処理を施し、試料水による腐食をなくし、金属内部のガスをその蒸着膜により封じ込めることにより高負圧発生を試みた。その結果以下の結論を得た。

- (1) 金の真空蒸着は、腐食対策として有効で効率よく大きな負圧を発生できる。
- (2) より大きな負圧の向上には蒸着膜や素地金属に含まれるガスが関与しているため、脱ガスすることが必要となる。

5. 謝 辞

本研究を行う上で、実験装置等で御支援いただきました本校電気工学科の京兼純教授ならびに化学工学科の片倉勝巳助教授に深く感謝いたします。

6. 参考文献

- (1) Hiro.K, Nishi K, Ohde Y and Tanzawa Y
J.Phys.D:Appl.Phys.28(1995)2392
- (2) ギュンター・ベツォー 金属エッチング技術
(1977) アグネ
- (3) ジークフリード・シラー 真空蒸着 (1977) アグネ
- (4) 平尾孝、新田恒治、早川茂 イオン工学の基礎と応用 (1992) 工業調査会

焼結鋼切削時における雰囲気ガスが工具摩耗に及ぼす影響

和田 任 弘

Influence of Atmosphere Gases on Tool Wear in Cutting of Sintered Steel

Tadahiro WADA

It is generally known that atmosphere gases have an influence on tool wear in metal cutting, and silicon nitride ceramics tools show good performance in cutting of gray cast iron. However, the large wear was observed on the tools in cutting of sintered steels with silicon nitride ceramics tools. In case of the cutting of the steels such as sintered steels, it has been considered that the reaction between Si and Fe is the major cause of the large wear. The purposes of this report are to clarify the relation between atmosphere gases and the tool wear in turning of sintered steel with silicon nitride ceramics tool or alumina ceramics tool. The main results obtained are as follows: (1) In turning of sintered steel with silicon nitride ceramics tools, the tool wear formation was controlled by applying argon gas to the cutting point. (2) In the case of turning with alumina ceramics tool, there is little difference between the wear in the air and the wear in the argon gas were observed.

1. 緒 言

切削において、雰囲気ガスが、工具摩耗に影響を及ぼすことは古くから知られている⁽¹⁾⁽²⁾。最近では、大石ら⁽³⁾の報告によれば、ステンレス鋼SUS304をCBN工具で切削する場合、溝摩耗の生成には雰囲気ガスの影響が強く作用し、アルゴンガスを供給すると溝摩耗が促進されるのに対し、酸素を供給することにより溝摩耗が抑制されるとしている。また、山根ら⁽⁴⁾は、ちっ化けい素系セラミックス工具でねずみ鋳鉄を切削する場合、窒素雰囲気中での切削の方が空気中に比べ、工具摩耗が非常に大きくなると報告している。

さて、ちっ化けい素系セラミックス工具は、アルミナ系セラミックス工具にくらべ、破壊靱性値が大きく、高温での硬度低下が少なく、熱伝導が良好など工具材料として優れた特性を有する。しかし炭素鋼などをこの工具で切削すると工具摩耗が急増する。このことは、すでに報告したように、ちっ化けい素系セラミックス工具で焼結鋼を切削した場合、他の工具には生じなかった大きな溝状の摩耗が逃げ面に生成された⁽⁵⁾ことと一致してい

る。これは、工具の主成分であるSiと被削材中のFeとが反応しやすいためと推察される。しかし、ちっ化けい素系セラミックス工具の主な摩耗機構が、工具と被削材との反応のためのみであるとすれば、雰囲気ガスは工具摩耗に大きな影響を及ぼさないと考えられる。

そこで、本研究では、ちっ化けい素系セラミックス工具による焼結鋼の切削をアルゴンガス雰囲気中で行い、工具の摩耗状態を詳細に調べた。さらに、空气中切削の場合と比較し、焼結鋼切削時におけるちっ化けい素系セラミックス工具の摩耗機構についても若干の考察を加えた。

2. 実験方法

実験に用いた被削材焼結鋼の化学成分ならびに機械的性質を、それぞれ表1、表2に示す。表2に示すように焼結鋼の引張り強さは、340MPa、硬度はHB130である。また、図1に、焼結鋼の光学顕微鏡による金属組織を示す。図1に示すように、焼結鋼には多くの気孔が存在す

表1 焼結鋼の化学成分 (wt%)

C	Ni	Cu	Mo	Other
0.3	0.8~1.3	0.2~0.5	0.2~0.4	<0.1

表2 焼結鋼の機械的性質

Tensile strength	Brinell hardness
340 MPa	HB130

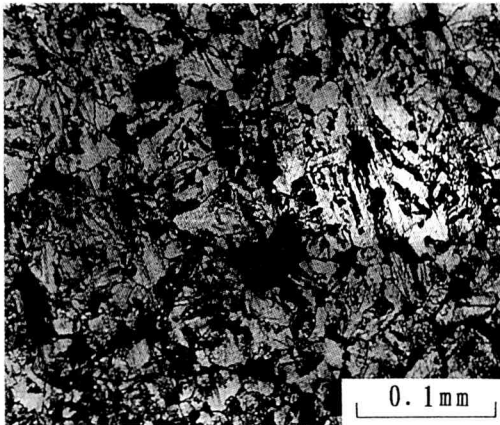


図1 被削材焼結鋼の金属組織

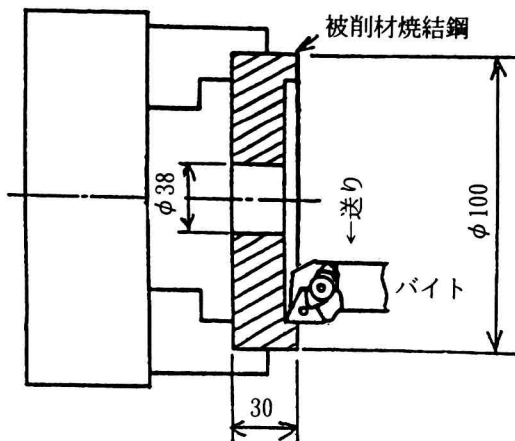


図2 切削実験の概略

る。そして、この気孔が不連続形切りくずを生成させたり、あるいは熱伝導率を低下させ、切削温度の上昇をもたらす。

使用した工作機械は、無段変速装置を取付けた昌運工作所製ST5×1000型高速精密旋盤 (7.5/11kW, 8~2500 rpm) である。

図2に、被削材焼結鋼切削時における切削実験の概略を示す。なお、この図は空气中切削時の場合である。被削材焼結鋼の形状は、外径100mm、内径38mm、厚さ30mmの円盤である。切削実験は、端面切削のため、切削速度が一定となるように、バイトの位置 (X軸) とともに主軸回転数を変化させた。また、アルゴンガス雰囲気中の切削時には、アクリル製の箱 (縦530mm×横560mm×高さ

表3 切削工具

Tool	Substrate	Coating layer (μm)
Ceramics I	Si ₃ N ₄	—
Ceramics II	Si ₃ N ₄	TiN - Al ₂ O ₃ - TiN* (2~3)
Ceramics III	Al ₂ O ₃ - Ti(CN)	TiN** (1)

* : CVD process ** : PVD process

- : Non-coated

表4 焼結鋼切削時における切削条件

Cutting speed	V=3.33, 5m/s
Feed rate	S=0.01mm/rev
Depth of cut	a=0.1mm
Cutting method	Dry

450mm) で切削部を覆い、工具のすくい面から約20mm上部に取付けられた内径4mmのノズルによって、毎分25Lのアルゴンガスを供給した。

使用バイトは、市販のTNGA160408型スローアウェイチップを、MTG NR2525M16型外径加工用バイトホルダ (東芝タンガロイ社製) に取付けたもので、このときの工具形状は (-6°, -6°, 6°, 6°, 30°, 0°, 0.8) となる。

使用した工具材種は、表3に示す3種類のセラミックス工具である。すなわち、ちっ化けい素系セラミックス工具I、ちっ化けい素系セラミックス工具に主としてアルミナをCVDコーティングしたセラミックス工具II、およびアルミナ系セラミックス工具にTiNをPVDコーティングしたセラミックス工具IIIである。なお、いずれのセラミックス工具の切れ刃にも、0.15mm×(-25°)のプレホーニングが施してある。

表4に、焼結鋼切削時における切削条件を示す。送り、切込みは、それぞれ一定とし、切削速度を、3.33, 5 m/sと変化させた。

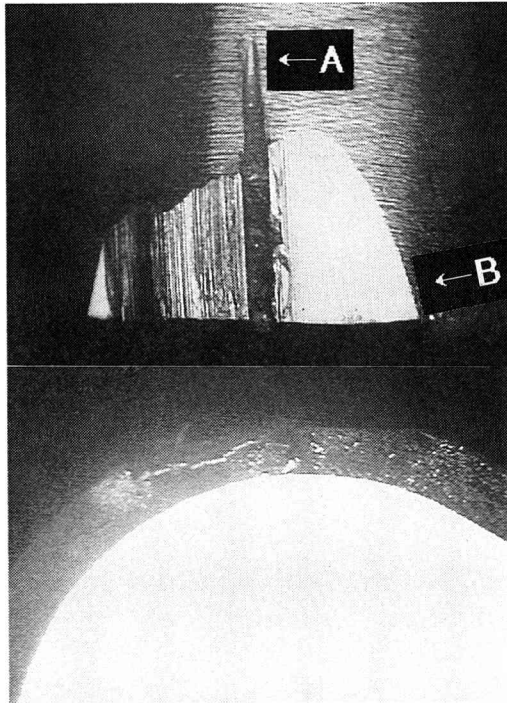
3. 実験結果および考察

まず、通常の鋼 (溶融鋼) と焼結鋼との切りくず形状の比較を行うために、クロム鋼 (SCr420) ならびに焼結鋼の切削を行った。なお、切削は、空气中ならびにアルゴンガス雰囲気中で行った。その結果、いずれの切削雰囲気であっても、クロム鋼切削時には、長く連続した切りくずが生成された。これに対し、焼結鋼切削時には、不連続形切りくずが生成された。

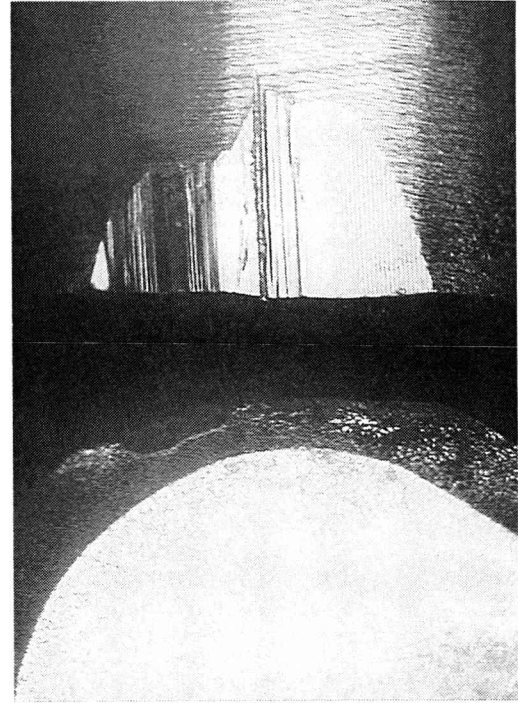
次に、3種類のセラミックス工具で焼結鋼の切削を空气中ならびにアルゴンガス雰囲気中で行い、工具の摩耗状態を比較した。その結果を、図3に示す。はじめに、

図(i)、(ii)に示すちっ化けい素系セラミックス工具Ⅰ、Ⅱの場合について述べる。空気中で切削するといずれのちっ化けい素系セラミックス工具であっても、図i(a)中のA部ならびに図ii(a)中のC部で示すところに、大きな溝状の逃げ面摩耗が生成される。これに対し、図i

(b)ならびに図ii(b)に示すようにアルゴンガス雰囲気中で切削すると、いずれのちっ化けい素系セラミックス工具であっても、顕著な溝状の摩耗は逃げ面には観察されない。次に、アルミナ系のセラミックス工具Ⅲの場合を、図(iii)に示す。図iii(a)ならびに図iii(b)に示すよ

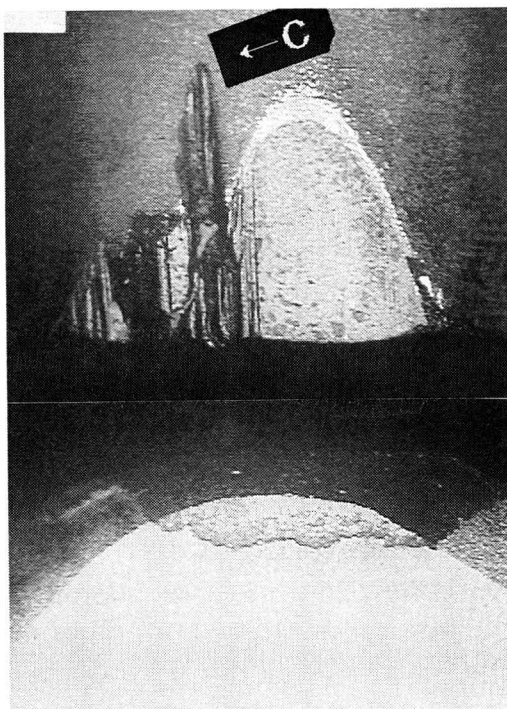


(a) Air

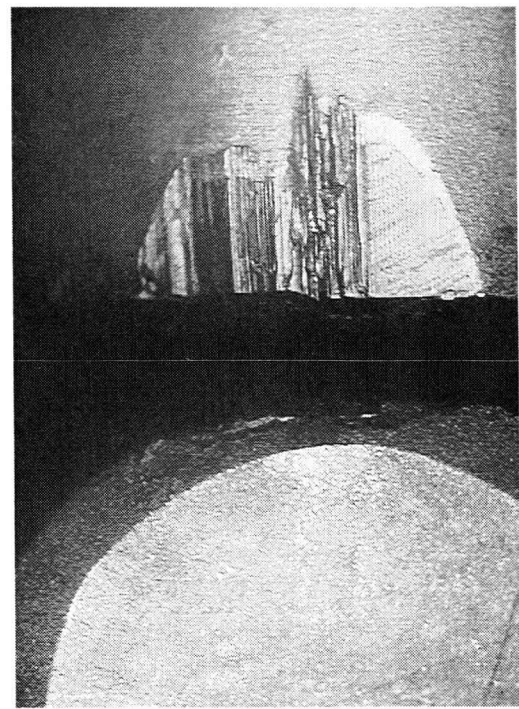


(b) Argon

(i) Ceramics I, L=3.5km



(a) Air



(b) Argon

(ii) Ceramics II, L=2.7km

図3 工具摩耗(その1)

切削速度: $V=5\text{m/s}$, 送り: $S=0.01\text{mm/rev}$, 切込み: $a=0.1\text{mm}$, 切削方式: 乾式, 被削材: 焼結鋼

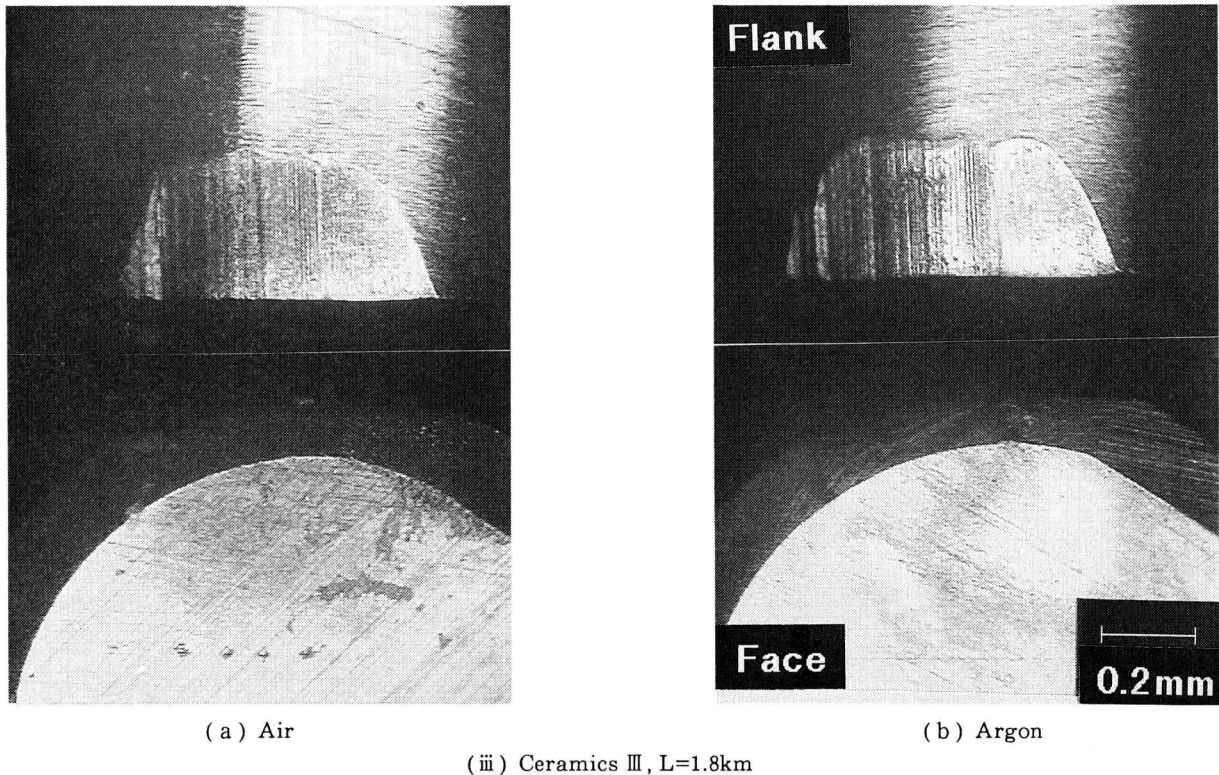


図3 工具摩耗 (その2)

切削速度: $V=5\text{m/s}$, 送り: $S=0.01\text{mm/rev}$, 切込み: $a=0.1\text{mm}$, 切削方式: 乾式, 被削材: 焼結鋼

うに、焼結鋼を空气中で切削した場合とアルゴンガス雰囲気中で切削した場合との逃げ面の摩耗状態は、よく似ている。すなわち、逃げ面には、切れ刃にほぼ平行に摩耗が生成されており、また顕著な境界摩耗や溝状の摩耗は観察されない。

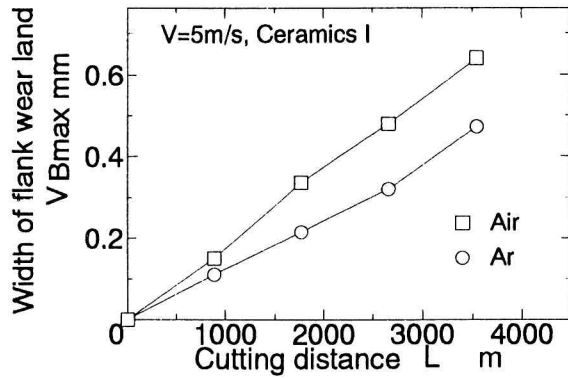
以上のことから、3種類のセラミックス工具で焼結鋼を切削すると、工具材種によっては、特異な摩耗が発生することがわかる。しかし、いずれのセラミックス工具ならびに切削雰囲気中であっても、逃げ面摩耗が主な工具損傷となる。そこで、逃げ面摩耗幅の最大値VBmaxを光学顕微鏡によって測定した。

図4に、焼結鋼を切削した場合の切削距離Lと逃げ面摩耗幅の最大値VBmaxの関係を示す。なお、切削速度は5m/sの場合である。図(a)に示すセラミックス工具Iの場合、図3に示したように空气中で切削するとかなり大きな溝状の摩耗が逃げ面に生成されるが、アルゴンガス雰囲気中ではこれが小さくなった。このため、工具の摩耗進行は、アルゴンガス雰囲気中切削時のほうが空气中切削時に比べ遅い。なお、ここでは示さないが、切削速度3.33m/sの場合の摩耗進行も、アルゴンガス雰囲気中切削時のほうが、空气中切削時に比べわずかに遅くなった。また、図(b)に示すセラミックス工具IIの場合も、セラミックス工具Iの場合とほぼ同様、アルゴンガス雰囲気中の方が摩耗進行は遅い。これに対し、図(c)

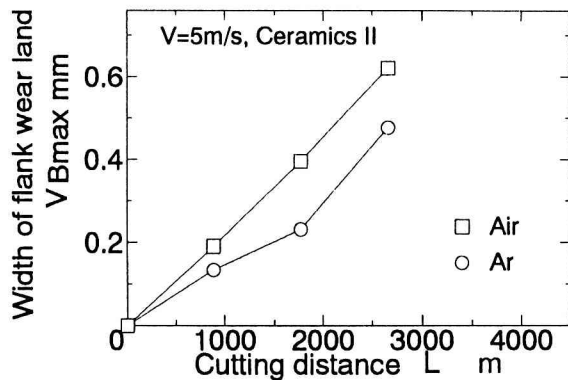
に示すセラミックス工具IIIの場合、空气中切削時における摩耗進行とアルゴンガス雰囲気中切削時における摩耗進行とに大差ない。また、ここでは示さないが切削速度3.33m/sの場合も同様、摩耗進行は、切削雰囲気によって大差なかった。

以上のことから、ちっ化けい素系セラミックス工具で焼結鋼を切削した場合、アルゴンガス雰囲気中で切削した方が、通常の切削時に比べ、工具摩耗が小さくなることがわかる。

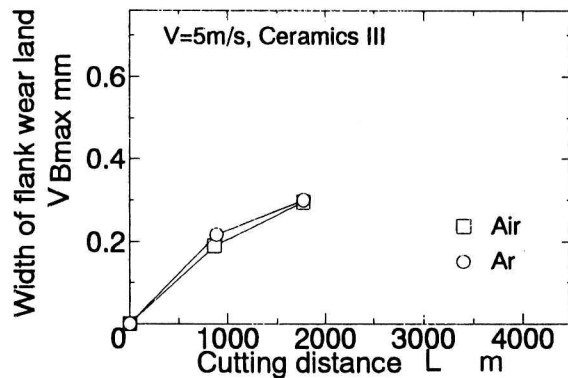
ねずみ鋳鉄のような不連続切りくずを生成する被削材の切削では、すくい面あるいは逃げ面に空気が進入している可能性があるといえる⁽⁴⁾。このため、本研究で用いた焼結鋼も不連続切りくずが生成されるため、切削部に空気が進入している可能性がある。しかし、ちっ化けい素系セラミックス工具による焼結鋼切削時には、鋳鉄切削時に見られるような優れた耐摩耗性の効果は現れなかった。図5に、焼結鋼切削後におけるセラミックス工具Iの送り境界部付近における逃げ面の摩耗状態を示す。図(a)は、空气中切削後の場合で、図3 i (a)中のB部で示すところである。図(b)は、アルゴンガス雰囲気中切削後の場合である。いずれの切削雰囲気中であっても、送り境界部付近の前逃げ面には、送り0.01mmをピッチとする溝摩耗が見られるが、切削雰囲気が前逃げ面の摩耗生成には、大きな影響を及ぼさないと考えられる。しかし、



(a) Ceramics I



(b) Ceramics II



(c) Ceramics III

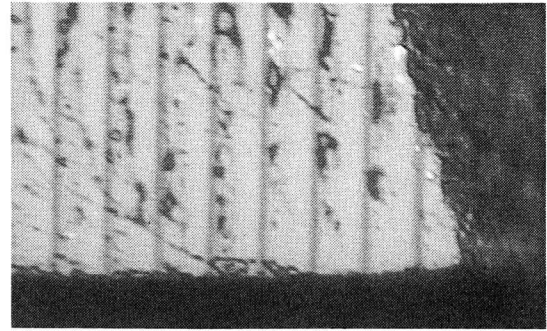
図4 切削距離Lが逃げ面摩耗の最大値VBmaxに及ぼす影響

切削速度: $V=5\text{m/s}$, 送り: $S=0.01\text{mm/rev}$, 切込み: $a=0.1\text{mm}$,
 切削方式: 乾式, 被削材: 焼結鋼

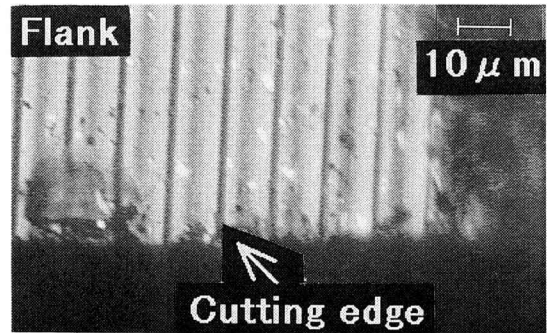
図3 i (a)中のA部ならびに図3 ii (a)中のC部で示したところには、大きな溝状の逃げ面摩耗が生成されており、この部分における詳細な摩耗機構については、今後報告する予定である。

4. 結 言

本研究では、アルゴンガス雰囲気中で、焼結鋼の切削



(a) Air



(b) Argon

図5 セラミックス工具Iの送り境界部の逃げ面摩耗

切削速度: $V=5\text{m/s}$, 送り: $S=0.01\text{mm/rev}$, 切込み: $a=0.1\text{mm}$,
 切削距離: $L=3.5\text{km}$, 切削方式: 乾式, 被削材: 焼結鋼

をセラミックス工具で行い、雰囲気ガスが工具摩耗に及ぼす影響を調べた。その結果、アルゴンガス雰囲気中では、ちっ化けい素系セラミックス工具の摩耗は、空气中切削時に比べ抑制されることがわかった。しかし、アルミナ系のセラミックス工具では、アルゴンガス雰囲気下でも工具摩耗を抑制する効果がないことがわかった。

参考文献

- (1) 奥島啓式ら: 切削加工におけるふん囲気の効果 (第1報), 日本機械学会論文集, 31, 229 (1965) 1387.
- (2) 豊島敏雄ら: 切削におけるふん囲気の潤滑効果 (第1報), 潤滑, 22, 47 (1977) 240.
- (3) 大石健司ら: 溝摩耗生成機構に関する基礎的研究, 精密工学会誌, 52, 5 (1986) 819.
- (4) 山根八洲男ら: 窒化けい素系工具の切削性能および摩耗 (第1報) - 鋳鉄切削時の摩耗 -, 精密工学会誌, 54, 2 (1988) 365.
- (5) 花崎伸作ら: 焼結鋼切削における工具摩耗, 精密工学会関西支部講演会前刷り, (1996.8).

謝 辞

本研究を行うにあたり、被削材焼結鋼を提供していただきました三菱マテリアル株式会社、ならびに工具を提供していただきました東芝タンガロイ株式会社に、深く謝意を表します。

スケール・スペース・フィルタリングと モルフォジカル・フィルタを組み合わせた処理に関する考察

土 井 滋 貴

Study of Signal Processing Using Scale - Space Filtering and Morphological Filtering

Shigeki DOI

本稿では1次元信号への効果的なモルフォジカル・フィルタの導入方法について提案し検討する。距離計測のための超音波センサからの受信信号の認識等を例にスケール・スペース・フィルタリングの出力であるフィンガープリントのトレース方法にモルフォジカル・フィルタを導入した複合型の信号処理方法を提案する。処理結果等から、従来使用していたルールベースによるトレース方法と比較して精度の向上が見られ、処理系を使用する際もトレースのためのルールの構築よりも構造要素の選定のほうが簡易に行えることが判った。

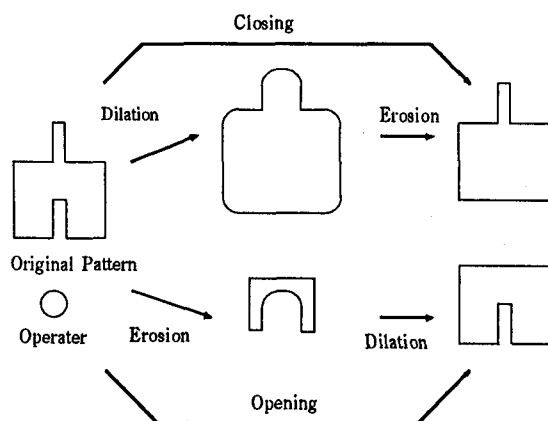
1. 1次元信号をモルフォロジカル・フィルタ処理する場合の問題点

数学的モルフォロジーを利用したモルフォロジカル・フィルタは特に画像処理の分野で強力な信号処理手法として注目されている(1)。図1にモルフォロジカル・フィルタの振る舞いを模式的に示す。この手法を1次元信号に適用する場合、その非線形な作用により期待した効果が得られない場合がある。図2はその一例で、心電図から脈拍を求める際の雑音除去の処理にモルフォロジカル・フィルタを利用した場合であるが、処理された信

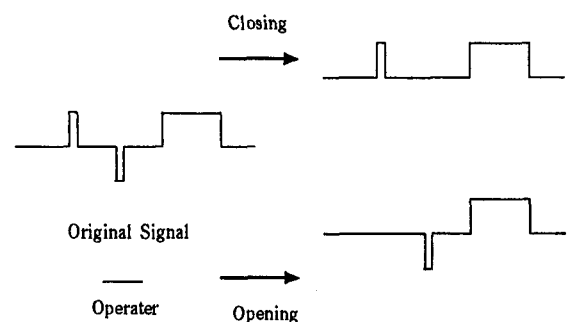
号の2次微分を求めるとフィルタ処理時の非線形ひずみの影響が大きく現れているのが判る(2)。

一方、マルチスケールで信号を解析する手法としてスケール・スペース・フィルタリング(3)があるが、この手法を1次元信号を2次元信号に拡張するフィルタとして利用しこの拡張された2次元情報をモルフォロジカル・フィルタ処理する手順が考えられる。図3にその手順を示す。

本稿では、FPK(4)のデコードと距離計測のための超音波受信信号の認識(5)(6)を例に、フィンガープリントのトレース方法にモルフォロジカル・フィルタの導入を提案する(7)。

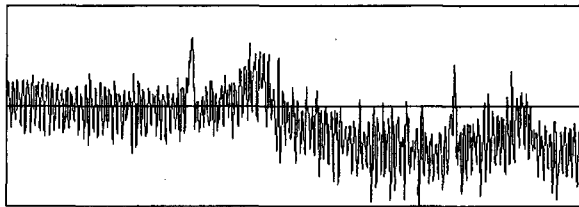


2次元信号のモルフォロジカル・フィルタ



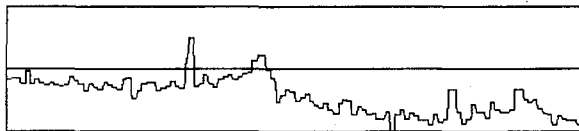
1次元信号のモルフォロジカル・フィルタ

図1 モルフォロジカル・フィルタの基本演算

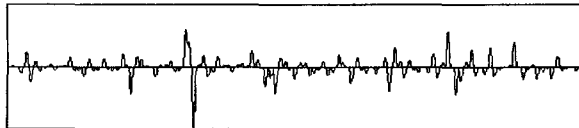


[D0.DAT] data_size=960 max=1457.000000

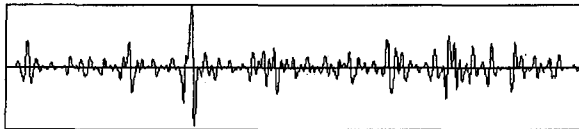
筋電成分の重畳した元信号 (2 秒間)



[M031M1.DAT] data_size=960 max=1237.000000



[M031MID.DAT] data_size=960 max=5650.000000



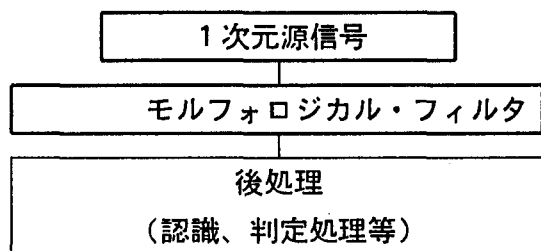
[31MIDDI.DAT] data_size=960 max=35251.000000

上段：元波形をopening+closing

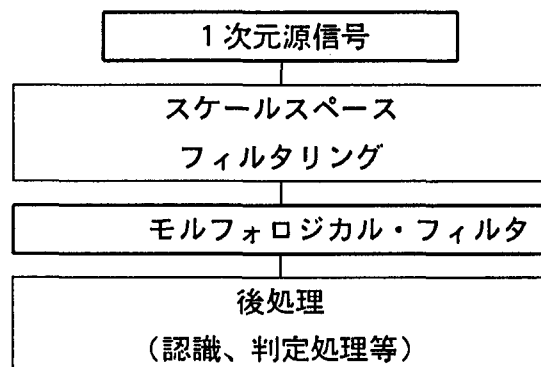
中段：上段の信号を微分

下段：中段の信号を微分 (正負逆表示)

図2 1次元信号を直接モルフォロジカル・フィルタ処理した場合の不具合の例



1次元信号を直接モルフォロジカル・フィルタ処理する



スケール・スペース・フィルタリングと組み合わせる

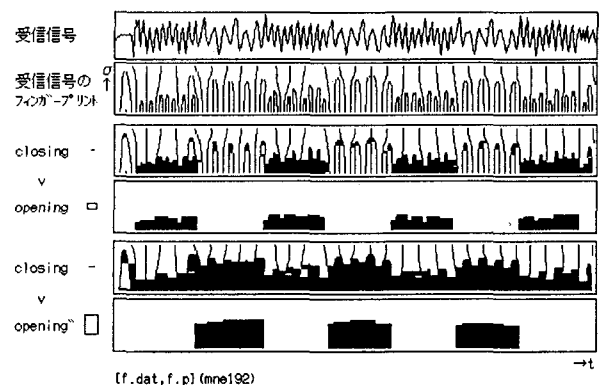
図3 スケール・スペース・フィルタリングとモルフォロジカル・フィルタを組み合わせた処理手順

2. モルフォロジカル・フィルタによるフィンガープリントのトレース

筆者らは超音波受信信号などのセンサからの信号の処理にスケール・スペース・フィルタリングを用いた手法を提案してきた。この手法を利用するにあたっては、スケール・スペース・フィルタリングの出力であるフィンガープリントのトレース (読み下し) 方法が重要になる。フィンガープリントはマルチスケールに拡張された信号の変曲点の集合である。したがってその集合に幾何的な処理を施すことによって、特定の信号を区分することができる。

2.1 FPKのデコード

FPK(fingerprint Patern Keying)は送受信系においてある特定の信号を受信したとき、その信号をスケール・スペース・フィルタリングして得られるフィンガープリントのパタンをキーとして情報を伝達しようとする手法である。従来はこのフィンガープリントのデコードにルールベース的な手法を用いてきたが、このデコード部分にモルフォロジカル・フィルタを導入する。図4にデコードの様子を示す。特定のフィンガープリントの弧に対応する構造要素を用いることで、それぞれのコード特有のフィンガープリントの部分が島として取り出せるのが判る。



コード0 : 200hz+1kHz (20msec)
 コード1 : 200Hz+600Hz (20msec)
 伝達速度 : 50BPS
 伝送距離 : 3m(空中)

図4 FPKのデコード例

2.2 距離計測のための超音波受信信号の認識

筆者は複数の超音波センサを用いることによって、対象物体の形状を面を張るように認識する処理系を提案してきた。図5、図6、図7にその系を模式的に示す。

このセンサ系の超音波センサからの受信信号と処理の

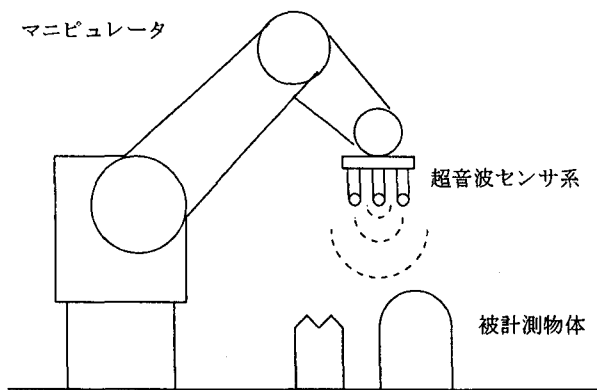


図5 作業対象を認識するセンサ系

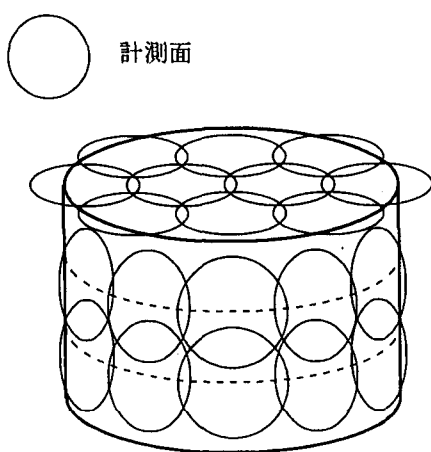


図6 面を用いた形状の認識

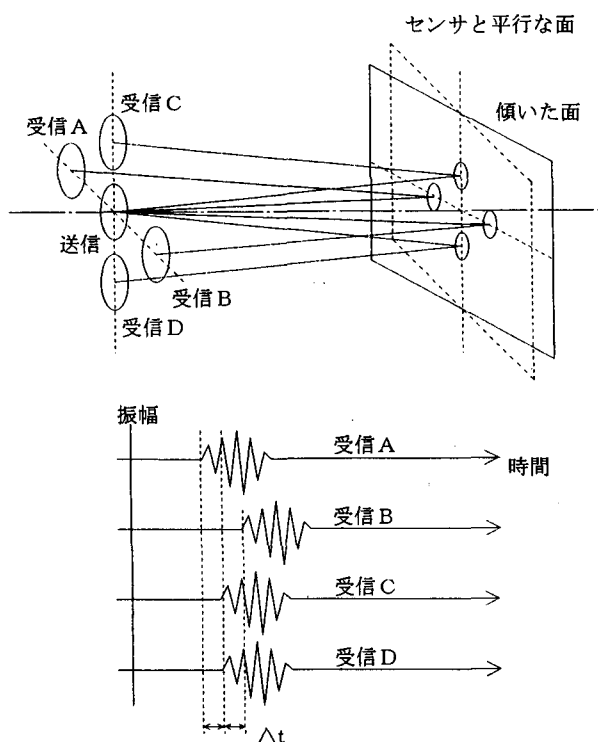
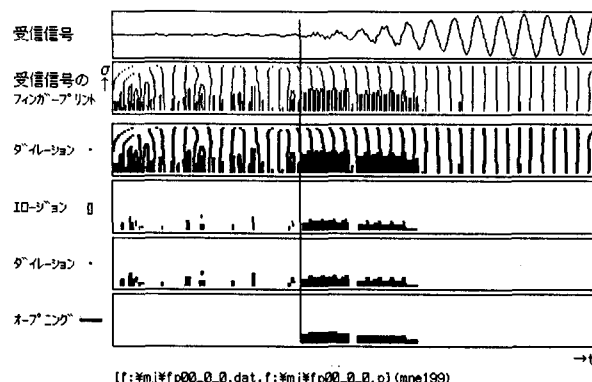


図7 面の距離と傾きの決定（傾きのある場合）

様子を図8に示す。図8は40kHzと200kHzの2つの周波数を使った超音波センサからの受信信号で、1段目のグラフは受信信号、2段目はそのフィンガープリントである。まずこのフィンガープリントに縦方向の線状の構造要素でダイレクションすることによって3段目のグラフのように特定の周波数成分以上の信号部分でブロックが生成される。つづいて矩形の構造要素でエロージョンおよびダイレクションすることによって4、5段目のグラフのようにフィンガープリントの特定のパターン以外が取り除かれる。さらに横方向の線状の構造要素でオープニングすることによって5段目のグラフのように時間的に継続した部分が取り出される。このブロックの先端が受信信号の先端となる。

各計測距離における受信信号の処理結果の例を図9に、結果の値の分散を図10に従来のルールベースによるトレース方法による結果と併せて示す。ルールベースによるトレース方法と比較して精度の向上が見られる。また定量的な評価は難しいが、トレースのためのルールの構築よりも構造要素の選定のほうが簡易に行える感触がある。



- 1 段目：40kHzと200kHzを組み合わせた超音波センサからの受信信号
- 2 段目：そのフィンガープリント
- 3 段目：縦方向の線状の構造要素でダイレクション
～特定の周波数成分以上の信号部分でブロックが生成される
- 4 段目：矩形の構造要素でエロージョン
- 5 段目：矩形の構造要素でダイレクション
～特定のパターン以外が取り除かれる
- 6 段目：横方向の線状の構造要素でオープニング
～時間的に継続した部分が取り出される

図8 モルフォロジカル・フィルタによるフィンガープリントのトレース

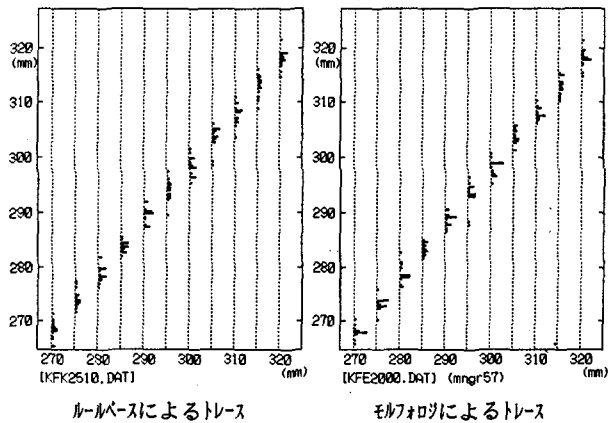


図9 距離計測結果

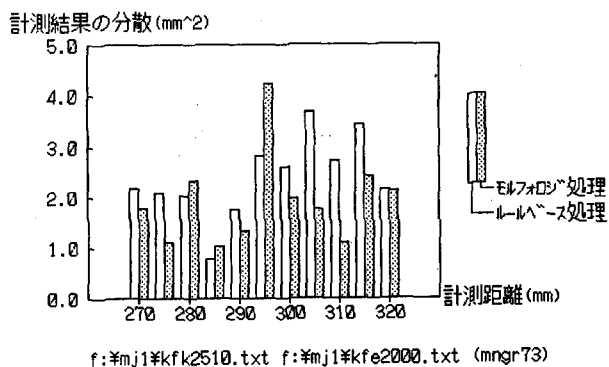


図10 距離計測結果の分散

を用いたフィンガープリント・パターン・キーイングの研究”, 奈良高専紀要第26号, 1990

- (5) 土井, 他: “超音波センサとスケール・スペース・フィルタリングを用いた距離計測系”, 平成7年電気学会全国大会, 610
- (6) 土井, 高橋, 松田: “超音波による形状認識系のためのスケール・スペース・フィルタリングを用いた信号処理”, 電気学会論文誌C, 115巻11号, pp.1310-1316, 1995
- (7) 土井, 松田: “スケール・スペース・フィルタリングとモルフォロジー処理を組み合わせた信号認識”, 平成7年電気関係学会関西支部連合大会, G2-21

3. まとめ

1次元信号の効果的な処理にモルフォロジカル・フィルタを導入する方法としてスケール・スペース・フィルタリングと組み合わせた手法を提案した。

FPKのデコードおよび超音波センサ信号の処理結果からフィンガープリントのトレースにモルフォロジカル・フィルタが有効であることが確かめられた。

参考文献

- (1) 上田, 土井, 松田: “免疫系モデルを導入したモルフォロジー・フィルタによる形状識別”, 画像の認識・理解シンポジウム(MIRU'96), 1996
- (2) 土井: “モルフォロジーフィルタを用いた心電図のRR時間の測定方法”, 奈良高専紀要第31号, 1995
- (3) 森, 土井, 松田: “スケール・スペース・フィルタリングの並列アルゴリズム”, システム制御情報学会論文誌, Vol.9, No.8, pp.347-355, 1996
- (4) 土井, 他: “スケール・スペース・フィルタリング

筆者照合のための偽筆の分析

中 村 善 一

An Analysis of Forgeries for Automatic Writer Verification

Yoshikazu NAKAMURA

筆者照合システムを構築する上で重要な課題は偽筆の排除である。本論文では、偽筆の排除を考えるために、まず人がどの程度他人の筆跡を真似られるのかという立場から検討を行った。偽造者の知り得る情報により偽筆を三つのレベルに分類し、書写技能に基づく特性値を用いて真正筆跡からの距離により偽筆の真似の程度を評価した。また、あわせて照合実験も行った。その結果、人は造形に関して筆跡を十分に真似られること、形を真似ることでペンの速度も真正筆跡に近づく傾向があることが明らかになった。さらに、書写技能に基づく特性値を用いることで偽筆の排除が期待できることが示された。

1. まえがき

現代社会において、銀行におけるATM、CDや各種クレジットカードの利用、特定場所への入退室管理など、個人識別の重要性が増している。特に近年の情報化社会の急速な進展に伴い、コンピュータやネットワークシステムの利用者の正当性を確認する個人照合技術の確立が急務である。

個人を照合する方法として、筆跡に個人性が現れることを利用した筆者照合がある。筆者照合に関しては、従来から筆跡の動的情報を用いたオンライン署名照合を中心に研究が行われている。これまでの研究では照合率の高さのみに議論が集中し、吉村ら⁽¹⁾が指摘するように実験に用いたデータの質、すなわちどの程度の偽署名が用いられたのかが明らかではない。しかし、筆者照合システムを構築する上での重要な課題は偽筆の排除であり、どの程度までの偽筆なら排除できるのか、あるいは排除が難しいのかについて議論する必要がある。

本論文では、偽筆の排除を考えるために、タブレットよりオンライン入力される筆跡を対象に、まず人がどの程度他人の筆跡を真似られるのかという立場から検討を行う。筆跡を真似るといった場合には二つの観点がある。一つは筆跡の形であり、もう一つはペンの動きである。これら二つについては、筆者が提案している書写技能に

基づく特性値⁽²⁾により個人性の抽出が可能であり、この特性値を用いてどの程度真似られるかについて実験を行い分析したのでその結果を報告する。

2. 偽筆データの収集

2. 1 前提とする筆者照合システム

筆者照合システムに用いる筆跡としては、すぐに署名が思い浮かぶ。確かに署名は書き慣れており個人内の変動が小さいことが予想される。しかし、署名はその筆跡を盗まれる危険性がある。そこで、署名の代わりにパスワードを筆跡として入力する筆者照合システムが考えられる。パスワードとすることで、偽造者はパスワードとその筆跡の両方を盗む必要があり、よりシステムの安全性が増すものと考えられる。

よって本研究では、液晶タブレットよりオンラインでパスワードを入力し、その筆跡により個人を同定する筆者照合システムを前提とする。

2. 2 偽筆のレベル

前提とする筆者照合システムで存在すると考えられる偽筆は、偽造者が知り得る情報によって以下の三つのレベルに分けて考えられる。

レベル1は、パスワードのみを知っており筆跡に関し

ての情報は何も入手していない場合である。したがって偽造者は偽造者自身の筆跡でパスワードを書くことになる。

レベル2は、パスワードの筆跡の静的情報を知っている。この場合、偽造者はパスワードに使用された文字の形や配置を真似ることになる。

レベル3は、パスワードの動的情報も知っている場合である。このとき、偽造者は筆跡の形だけでなくペンの動きも真似ることになる。

2. 3 偽筆データの収集

10人の被験者の内5人が任意にパスワード(「バブルス」、「キンドコ」、「カタカナ」、「奈良市」、「四暗刻」)を設定し、各人より25個の真正筆跡を収集する。残りの5人を偽造者とし、各人から各レベルそれぞれ5個ずつ偽筆を収集する。

なお、レベル1の偽筆は偽造者自身の筆跡でパスワードを筆記し、レベル2は液晶タブレット上に25個の真正筆跡から任意に選んだ筆跡を表示しそれを真似てもらった。ただし、筆跡を見ながら模倣したものであり、筆跡をなぞってはいない。レベル3は真正筆跡のペンの動きを観察した後、レベル2と同じ状況で筆跡の形とペンの動きを真似てもらった。

また、収集したすべての筆跡は液晶タブレット上に表示した一定枠内(2cm×10cm)に書かれ、そのサンプリング速度は100points/sec、分解能0.36mm/pointである。

図1にデータの一部を示す。

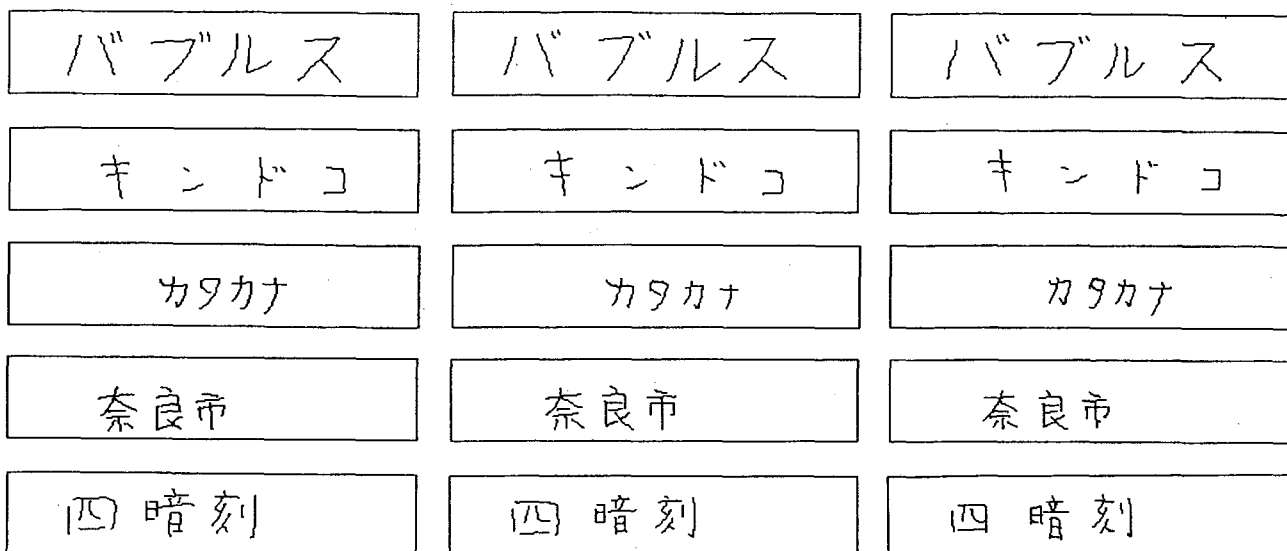


図1 収集したデータの例(左から真正筆跡、レベル2、レベル3)

3. 偽筆の分析方法

3. 1 分析に用いる特性値

偽筆がどの程度真正筆跡を真似られたかということは、言い換えればいかに真正筆跡の持つ個人性を真似られたかということである。したがって、真似の程度は筆跡から個人性を表す特性を抽出し、その特性に基づいて評価する必要がある。

筆跡に現れる個人性について筆者は、個人性が現れるのは個人が習得している書写技能に差があるためと考え、書写技能に基づく特性値を定義し、それらに個人性が現れることを報告している⁽²⁾。本研究では、この特性値を偽筆の分析に用いることにする。

具体的に用いる特性値は以下の通りである。

一字の造形や全体の構成を表す造形法に関する特性値として、天地左右のあき、字間、文字の中心位置・大きさ・縦横比、点画の始点位置・方向・長さを用いる。また、筆使いを表す用筆法に関する特性値として、点画の平均速度、空画の方向・長さ・速度、始筆部の方向・平均速度、送筆部の曲直・方向・平均速度、終筆部の方向・平均速度を用いる。

なお、特性値の定義については文献(2)に詳しいのでここでは省略する。

3. 2 分析方法

偽筆がどの程度真正筆跡に近づいているのかを、次式で示す距離 D で評価する。

$$D = \sqrt{\sum_{i=1}^m \frac{(f_i - \mu_i)^2}{\sigma_i^2}} \quad (1)$$

ここで、 m は特性値の数、 f_i は筆跡の i 番目の特性値、 μ_i はタブレット上に表示した真正筆跡の i 番目の特性値（ただし、速度に関する特性値の場合は真正筆跡の平均）、 σ_i^2 は μ_i まわりの分散である。この D が小さい程、真正筆跡をよく真似ていることになる。

一般に、筆跡の形に注意を払って真似ようとするペン速度など用筆に関する特性を真似るのが困難になり、逆に用筆に注意を払うと形がおろそかになると考えられる。そこで、距離 D を求める際に使用する特性値を、全特性値、造形法のみ、用筆法のみ、速度に関する特性値の四つとした。

3. 3 照合実験

上記で求めた距離 D に基づいて照合実験を行い、偽筆排除の可能性について検討を行う。なお、照合のためのしきい値 T の設定は次のように行う。

$$T = D_m + \omega D_s \quad (2)$$

ここで、 D_m 、 D_s は真正筆跡の距離 D の平均と標準偏差、 ω は重み係数である。

4. 分析の結果と検討

表1に、使用した特性値ごとの偽筆と真正筆跡の距離の平均値を示す。また、表2に照合実験の結果を示す。表中、真正筆跡に対する数値は真正筆跡を誤って棄却する誤棄却率を、他は偽筆を誤って受け入れる誤照合率を

表す。なお、照合の際のしきい値設定のための ω の値は2.0とした。これは、真正筆跡の距離が正規分布で近似できるとしたとき、約98%が受理される値である。

結果を見ると、文字の形や配置の個性を表す造形法に関する特性値については、レベル2・3とも真正筆跡をよく真似ており真正筆跡に十分近づいている。このことは、造形法に関する特性値のみを用いた場合の誤照合率の平均がレベル2で42.4%、レベル3で31.2%であることよりも明らかである。また、画数の多い漢字のほうが画数が少ない片仮名より筆跡の形は真似にくい傾向があるといえる。偽造者別の結果は表中に示していないが、レベル2において真正筆跡として誤って受理された偽筆の数は、各人25個の内それぞれ、5、8、5、13、22個であった。このことは、筆跡の形を真似ることが誰にでもたやすいことではなく、個人によって大きく差があることを示す。

次に、ペンの速度など筆使いを表す用筆法に関する特性値のみを用いた結果について検討する。距離の平均値を造形法の場合と比較すると、明らかに用筆法のみを用いた方が大きくなっており、用筆法が造形法に比べて真似にくいことを示している。これは、照合結果において「バブルス」と「カタカナ」のレベル2以外の誤照合率が0%であることから明らかである。

一般に筆跡の形を真似ようとするペンの速度が遅くなり、レベル1よりレベル2の方が用筆法、速度とも真正筆跡との距離が大きくなると考えられる。しかし、今回の結果を見るとレベル2の方が距離が平均として小さ

表1 使用した特性値ごとの距離の平均値

		バブルス	キンドコ	カタカナ	奈良市	四暗刻	全平均
全特性	レベル1	2.345	2.214	3.853	2.988	3.508	2.981
	レベル2	1.357	1.800	2.368	1.677	2.328	1.906
	レベル3	1.380	1.746	2.540	1.670	2.005	1.868
	真正筆跡	0.975	0.974	0.976	0.979	0.979	0.977
造形法	レベル1	1.954	1.844	2.472	2.379	2.028	2.135
	レベル2	1.261	1.312	1.111	2.359	1.393	1.287
	レベル3	1.203	1.590	1.179	1.408	1.395	1.355
	真正筆跡	0.953	0.951	0.953	0.958	0.957	0.954
用筆法	レベル1	2.487	2.427	4.528	3.268	4.067	3.355
	レベル2	1.405	2.043	2.910	1.820	2.669	2.170
	レベル3	1.488	1.838	3.141	1.799	2.220	2.097
	真正筆跡	0.976	0.980	0.982	0.982	0.984	0.981
速 度	レベル1	1.914	2.678	3.322	4.154	2.035	2.821
	レベル2	1.594	2.646	2.609	2.281	1.902	2.206
	レベル3	1.801	2.214	2.472	2.163	1.522	2.034
	真正筆跡	0.979	0.986	0.983	0.980	0.989	0.983

表2 照合結果 (誤照合率、誤解棄却率)

		バブルス	キンドコ	カタカナ	奈良市	四暗刻	全平均
全特性	レベル1	0%	0%	0%	0%	0%	0.0%
	レベル2	24%	0%	4%	0%	0%	5.6%
	レベル3	28%	0%	0%	0%	4%	6.4%
	真正筆跡	0%	0%	0%	4%	0%	0.8%
造形法	レベル1	0%	0%	0%	0%	0%	0.0%
	レベル2	52%	44%	72%	32%	12%	42.4%
	レベル3	64%	12%	60%	16%	4%	31.2%
	真正筆跡	4%	4%	0%	4%	0%	2.4%
用筆法	レベル1	0%	0%	0%	0%	0%	0.0%
	レベル2	40%	0%	4%	0%	0%	8.8%
	レベル3	16%	0%	0%	0%	0%	3.2%
	真正筆跡	4%	0%	0%	4%	0%	1.6%
速 度	レベル1	16%	0%	12%	0%	0%	5.6%
	レベル2	36%	0%	0%	0%	0%	7.2%
	レベル3	4%	0%	0%	0%	20%	4.8%
	真正筆跡	4%	0%	8%	0%	0%	2.4%

くなっている。すなわち、形を真似ることでペンの速度などの筆使いも真正筆跡に近づくという興味深い結果が得られた。ただし、偽造者別に見ると5人中3人がこれにあてはまり、残り2人はパスワードによってレベル2の方がレベル1より真正筆跡との距離が大きくなった。このことから、筆跡の形を真似ることで極端にペンの速度が遅くなり真正筆跡からの距離が大きくなるようなことはないといえる。

また、レベル2と3との比較から次のことがいえる。レベル3では筆跡の動的情報を観察し用筆と造形を同時に真似るわけであるが、用筆に意識が働く分若干造形が真似にくくなるという結果が得られた。しかし造形に関して、レベル2と3で極端に距離の差があるわけではない。これは、データの収集がレベル1、2、3の順であったことで形に関しては訓練がある程度できていたためと考えられる。

最後に照合結果について検討する。上述したように筆跡の形は真似やすいことから、造形法のみ特性値を使用した場合はレベル2、3において偽筆の排除ができない。また速度のみを使用した場合は全体として誤照合率は低い、レベル1において誤照合が存在する。これは、同じ文字を書けば形は違ってもペンの速度が非常に近い筆記者が存在し、速度情報のみでの照合の危険性を示している。

用筆法および全特性値を使用した場合は、「バブルス」を除けばほぼ同程度に良好な照合結果を得ている。特に両方とも ω の値を最適に設定すれば、「バブルス」以外では100%の照合率が得られた。「バブルス」については、文字の構造が単純でありしかも真正筆跡に癖がな

く非常に真似やすい筆跡であったことが照合結果を悪くした原因と考えられる。したがって、画数の多い複雑な文字をパスワードに選ぶことにより、書写技能に基づく特性値を用いて偽筆の排除が可能になると考えられる。

5. むすび

筆者照合システムの構築にあたっての重要な課題である偽筆の排除を検討するために、人がどの程度他人の筆跡を真似られるかについて分析した。

書写技能に基づく特性値を用い、真正筆跡からの距離で真似の程度を評価することで、(1) 造形は真似やすく十分真正筆跡に近づくこと、(2) 用筆は造形に比べて真似にくいこと、(3) 造形を真似ることで用筆も真正筆跡に近づく傾向があること、を明らかにした。

また、照合実験を行うことで書写技能に基づく特性値により偽筆の排除が期待できることを示した。

今後は、被験者数を増やしより一般的に偽筆について議論を行う必要がある。

文 献

- (1) 吉村ミツ, 吉村功: “筆者認識研究の現段階と今後の動向”, 信学技報, PRMU96-48, pp.81-90 (1996-06)
- (2) 中村善一, 豊田順一: “書写技能に基づく筆跡に現れる個人性の抽出”, 信学論, J77-D-II, 3, pp.510-518 (1994-03)

WWWにおけるセキュリティ管理の一手法

成 田 紘 一

A Method of Security Managements in WWW

Hirokazu NARITA

この論文では、インターネットで使用されているWWWシステムにおけるセキュリティ管理の一手法が述べられている。著者の学校では、WWWを教職員や学生用の掲示板として使用することを考えている。このとき問題となるのが、どのようにして教職員専用のデータを他のユーザから取り出せ無くするかということである。ここでは、最近使用されだしてきたシングルユーザマルチタスクのOSであるマイクロソフト社のWindows95を使ったパソコンと、その上で動作するWWWサーバ用プログラムを使用すると同時に管理用のCGIプログラムを作成してセキュリティ管理を行っている。

1. まえがき

インターネットという言葉をもマスコミで見たり聞いたりしない日は無いほど、インターネット流行の今日である。特に、インターネットの機能の1つであるWWW (World Wide Web) が注目を浴びている。インターネットとはWWWのことであると思っている人々もいまだ多い。WWWがこのように注目されているのは、それが、文字、画像、音を同時に取り扱うことができるマルチメディア機能をもっているからである。このシステムは通信系からいえば比較的簡単なシステムで、サーバにあるhtml (Hyper Text Makeup Language) と呼ばれる言語で書かれたファイルをクライアント側のブラウザと呼ばれるプログラムで読み出し、クライアント側のCRTや音声出力にデータを出力するシステムである。

さて、昨年度末に筆者の学校においても学内LANが設置された。このLANで使用されているプロトコルはTCP/IPである。これによって、教官室、事務室、研究室や実験室、視聴覚室、一部の教室等全校でインターネットが利用できるようになった。そこで、筆者はこのLANを使用して学内の教職員や学生向けの掲示板システムを、上記のWWWで構築することを考えた。いわゆるイントラネットの構築である。しかしながら、ここでセキュリティの問題が生じてくる。元々、インターネットはUNIX上で開発

されたものであるためセキュリティが非常に甘いといわざるを得ない。特に、WWWでのファイルは殆どの場合、IDやパスワード無しで読み出すことが可能である。これがWWWの長所であるが、ここで述べるような特定者向けの掲示板システム等の構築においてはこれが欠点となる。また、UNIXはマルチユーザのOSであるので、一度、そのUNIXの使用者 (ID登録者) になれば、かなり複雑な管理法を取らない限りは、システムファイル等を読み出し不可能にすることは困難である。

そこで、筆者は、WWWを使って掲示板システムを構築するにあたり、この欠点を補うための種々の方法を考えた。その1つはサーバ用の計算機としてUNIXを使ったWSを使わず、Windows95を使ったシングルユーザのパソコンを使用した。そして、Windows95で動作する認証機能を持ったWWWサーバプログラムを使用した。更に、このサーバとネットワークのユーザ管理を行っているWSとの相互認証が可能なプログラム (CGIプログラム) を作成した。これらの開発により、本学におけるWWWを使った掲示板システムが構築できたので報告する。

2. 使用計算機とWWWサーバ

WWWサーバを動作さす計算機として通常UNIXを

OSとするWSが主として用いられているが、UNIXはマルチユーザのOSであり、ファイルをユーザから完全に見えなくすることは難しい。特に、インターネットに接続されているWSにおいて、TelnetやFtpが使用可能な場合、そのマシンで構築されているWWWサーバでのHtmlファイルを見えなくすることは不可能である。ただし、httpで転送する場合は、WWWサーバ独自の認証を使えば、読み出し不可にすることは可能である。

筆者の学校においては、各種のサーバはマルチユーザで動作しており、また、教育的配慮から出来るだけ多数の人々がネットワークに接続されている多くの計算機を使用できるようにしている。これらのことから、UNIXをOSとするような計算機においては、特定のユーザしかファイルを見ることができないようなWWWを構築することは難しい。そこで、インターネットを通じてファイルを供給できない、すなわち、通常はクライアントとしかならないパソコンを使用することが考えられる。

さて、これまでパソコンで使用されてきたOSであるマイクロソフト社のMS-DOSやDOS/Vの場合はクライアントとしか動作しない。しかしながら、最近、同社から市販されたWindows95と呼ばれるOSはパソコン用のシングルユーザのOSではあるが、マルチタスクのOSであり、特定の機能に限ればサーバとして動作することが可能である。そこで、筆者はこのOS上で動作する各種のWWWサーバを調査した。その結果、数10種類のWWWサーバがフリーウエアもしくはシェアウエアで存在することが分かった。それらのサーバは種々の機能を持っているが、ここでは、WWWそれ自体で認証機能やIPアドレスのフィルタリング機能をもっている、UNIX上で動作するNCSAのhttpdと同機能もしくはそれ以上の機能を持っているWebSiteと呼ばれるO'Reilly社のサーバプログラムを使用することにした。

3. ネットワークとWWWサーバにおけるユーザ管理

今回用いたWWWサーバはIPアドレスのフィルタリ

ング機能を持っているので、学外からのこのサーバへのアクセスを排除するため、このIPフィルタリング機能を使用した。すなわち、本校で使用しているCクラスのIPアドレスを持っている計算機のみこのサーバにアクセスできるようにした。ここでは、本校のIPのみがAllowとなっている。

外部からのアクセス排除は上記の方法で可能だが、内部のユーザ管理がまた必要である。WWWのデータファイルは教職員用と学生用に分けてあり、原則として学生は教職員用のデータを見ることが出来ない。この機能を実現するためにWWWサーバの認証機能を使った。この機能はUNIXのユーザ管理と同様な機能であるが、UNIXとは独立した機能となっている。WWWサーバへユーザのIDとパスワードを登録しておき、更に、登録されているユーザがアクセス可能なファイルのディレクトリを設定する。このようにすれば、このディレクトリに存在するWWWデータをユーザがアクセスするときはいつでも認証確認がクライアント側になされ、ユーザは自己のIDとパスワードを打ち込まなければ、それらのファイルを見ることができない。ただし、この方法にも問題があるので、この事については後述する。

ところで、このユーザ管理であるが、本校のネットワーク管理者は非常に少数であり、このWWWサーバの管理についてもかなりの労力を要する。そこで、筆者はこの管理を容易にする機構を考えた。その管理機構を図1に示す。

筆者の学校では、ネットワークの利用者の管理は1台のWSで行っている。このWSには、1年から5年生までの全学生、専攻科生、教職員のIDとパスワードが登録されている。現在のところ、学生のIDは先頭が学科を示す英字1文字と以下の7文字は数字になっている。また、専攻科生も先頭が英字1文字、次が学年を示す数字、以下が原則として名前のローマ字の先頭6文字以内から構成されている。教職員のIDは原則として名前のローマ字8文字以内となっている。もし、このIDとパスワードの管理機能がWWWサーバで利用できれば、

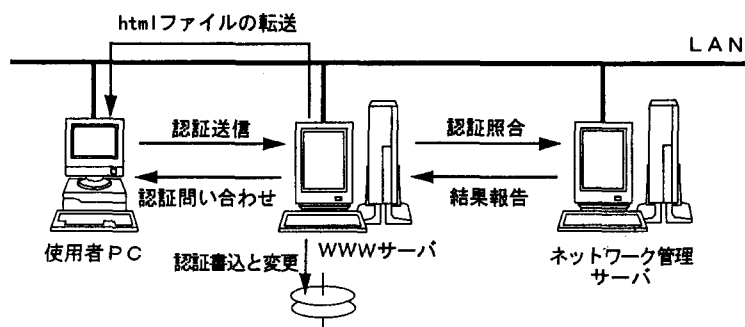


図1 WWWサーバの認証システム

ユーザ管理労力が非常に低減できることになる。このような応用のために複数のサーバ間の認証を共通にするRADIUSと呼ばれるシステムがあるが、このシステムを使うと、複数のサーバ間の認証がまったく同じになってしまう。そのため、1つのサーバの認証が破られると、他のサーバの認証も知れてしまうことになる。そこで、筆者は、図1に示すように、WWWサーバがユーザから受け取った認証をネットワーク管理サーバに送り、そのユーザが教職員か学生かをパスワードを含めて確認するプログラムをCGIで開発した。そして、確認結果から、受け取った認証を自分のサーバに記憶し、さらに、ユーザに直ちにその認証の変更を指示し、WWWサーバ用のパスワードを設定さすようにした。このネットワーク管理サーバとの認証照合にはTelnetの認証確認プロトコルが使用されている。

上記のように認証の2重化を行うことによりセキュリティを高めている。しかしながら、パソコンとWWWサーバ間はこのような対策が取られていないので、使用にあたっては十分に注意する必要がある。

4. 動作結果

図2に、パソコンのブラウザからWWWサーバを最初に読み出した画面を示す。この掲示板の使用にあたっては、まずこの画面で認証を行うように指示している。



図2 掲示板の初期画面

この画面の認証の登録部をクリックすると図3のようなユーザ確認画面がブラウザ上に表示される。

ここで打ち込まれたIDとパスワードは、まず、WWWサーバへ送られる。WWWサーバは、そのデータを認証プロトコルを使って、管理サーバに問い合わせる。管理サーバはその認証を自分で所持している認証データ

と照合を取り、その結果をWWWサーバに送り返す。

WWWサーバは、その結果にしたがって、図4のような画面をパソコンのブラウザ上に表示する。この時点では、まだ認証がネットワーク管理サーバと同じであるので、更にセキュリティを高めるために、認証を変更するようにする。

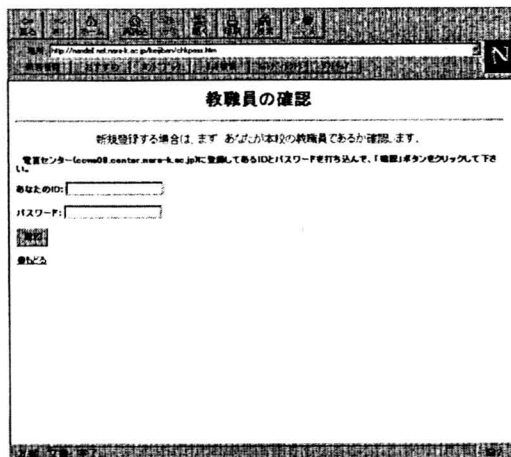


図3 ユーザ確認画面

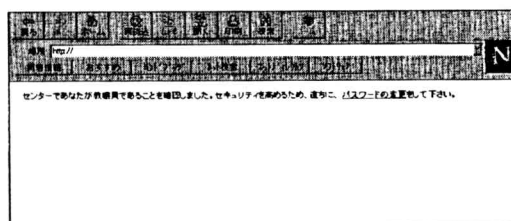


図4 照合結果画面

ユーザが直ちに認証を変更すると、図5のような画面となり、その内容がWWWサーバの認証ファイルに書き込まれ、これ以降はこの認証を使ってhtmlファイルのアクセスを行うことになる。

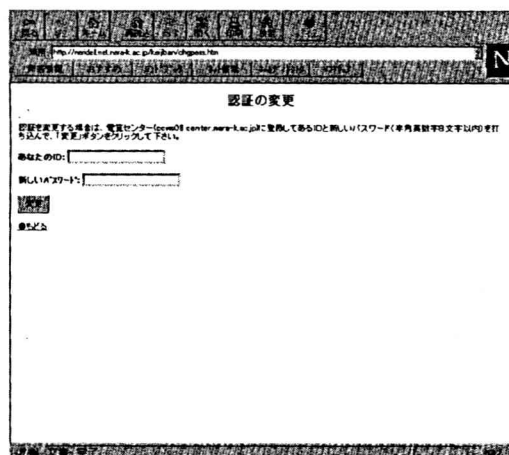


図5 認証変更画面

5. おわりに

本論文において、WWWサーバにおける認証管理の1つの方法が示された。現在、このシステムは試験的に運用されているが、殆ど問題は生じていない。

しかしながら、インターネットは元来アカデミックユースに開発されたものであり、オープンシステムを基本としているので、セキュリティ対策は非常に脆弱なシステムと云わざるを得ない。このシステムも、パソコンとWWWサーバ間はキャラクタベースのデータの授受が行われており、使用に当たっては十分に注意する必要がある。パソコンとWWWサーバ間のデータ転送方法はパソコン側のブラウザに依存しており、米国においては、既に暗号化されたhttpが使用されているが、現在の所、これを使用できるソフトウェアは、米国の暗号ソフトの輸出規制により、日本では使用できない現状にある。そこで、筆者は既存のWWWシステムとは異なったセキュリティ対策機能を持った掲示板システムを現在開発中である。

謝 辞

平素から、筆者の研究にご助力いただいている、本校電子計算機室副室長・榊原和彦講師と武藤武士助手に厚くお礼申し上げます。

文 献

- [1] <http://webcompare.iworld.com>
- [2] “HTMLリフェレンス”、Open Design, No.4, 1996
- [3] “インターネットサーバの構築技術”, Interface, No.7, 1996

実験支援のための共振回路の作動シミュレーション

栗 本 尚

Computer Simulation of Operation in Resonance Circuit for Support of Experiment

Takashi KURIMOTO

In learning the resonance circuit of RLC , usually students can understand some frequency characteristics and vector loci by circuit calculation and circuit experiment. Such charts can be drawn easily by the personal computer. When the results of this computer simulation are used, the effect of education is increased. In this paper the method to draw frequency characteristics and vector loci of impedance, current and voltage etc. briefly by N88-BASIC is described. As resonance circuits there are considered the series resonance circuit of RLC and the parallel resonance circuit of LC .

1 まえがき

電気工学における交流回路¹⁾において、 RLC 共振回路は、最も基礎的な回路の一つであり、理論式による回路計算および各特性を修得させるときに、回路実験により、理論と実際との対応を確認させている場合が多い。ところで、このような回路実験をする前に、計算式より、共振回路の各特性をパソコンで手軽にかつ任意に作成し、このシミュレーション特性と回路実験による特性を直接比較検討できるようにすれば、共振回路を理解させるのに非常に有効である。また、一定時間内に実験することが困難な特性についても、シミュレーション特性を求めることは比較的容易であるため、共振回路を十分にかつ正確に把握させることも期待できる。

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

このような観点から、ここでは、 RLC 直列共振回路

および LC 並列共振回路に関し、周波数特性、ベクトル軌跡などの各種特性を、BASIC言語による20行程度の非常に短いプログラムにより求める方法について示す。なお、この考え方により、他の任意の電気回路の各種特性を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 RLC 直列共振回路

2.1 インピーダンス $\dot{Z}$

2.1.1 $\dot{Z}$ の計算

図1に示すような RLC (R :抵抗、 L :インダクタ、 C :キャパシタ) 直列共振回路において、 RLC 直列回路のインピーダンス $\dot{Z}$ は、次式で示される。なお、インダクタは、コイル抵抗 R_L をもつため、インダクタンス L と R_L の直列接続で表す。

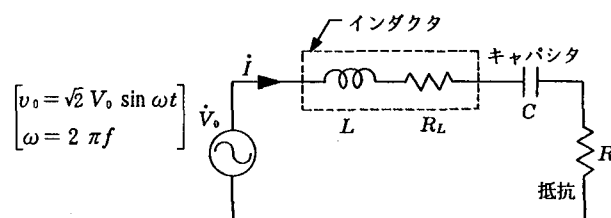


図1 RLC 直列共振回路

$$\dot{Z} = (R + R_L) + j(\omega L - \frac{1}{\omega C}) \quad (1)$$

この $\dot{Z}$ の絶対値(大きさ) Z 、位相 θ は次式のようになる。ただし、 $\omega = 2\pi f$ とする。

$$Z = \sqrt{(R + R_L)^2 + (2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC})^2} \quad (2)$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC}}{R + R_L} \quad (3)$$

2.1.2 周波数特性のシミュレーション

インピーダンス $\dot{Z}$ に関し、(2)式より、周波数 f を変化させたときの、 R をパラメータとする Z - f 特性をパソコンによりえがかせた1例を図2に示す。なお、このような特性をえがくためのプログラムに関しては、次の2.2.2項において示すプログラムを一部修正することにより容易に作成できるので、ここでは示していない。また、 θ - f 特性については、次の2.2.2項における電流 $\dot{I}$ の位相 ϕ - f 特性(図4参照)に対し、(3)(6)式より、 $\theta = -\phi$ となることから、ここでは示していない。図2より、共振周波数 f_0 (2.2.1項(7)式参照)において、 Z は最小値となることがわかる。

2.2 電流 $\dot{I}$

2.2.1 $\dot{I}$ の計算

交流電圧 $\dot{V}_0$ を基準として、このRLC直列共振回路の電流 $\dot{I}$ 、その絶対値 I 、位相 ϕ を求めると次式のようになる。

$$\dot{I} = \frac{\dot{V}_0}{\dot{Z}} = \frac{V_0 \{ (R + R_L) - j(\omega L - \frac{1}{\omega C}) \}}{(R + R_L)^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2} \quad (4)$$

$$I = \frac{V_0}{\sqrt{(R + R_L)^2 + (2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC})^2}} \quad (5)$$

$$\phi = -\tan^{-1} \frac{2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC}}{R + R_L} = -\theta \quad (6)$$

なお、このRLC直列共振回路において、 $\dot{Z}$ の虚数部が0となる共振時の共振周波数 f_0 は、次式のようになる。

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (7)$$

2.2.2 周波数特性のシミュレーション

電流 $\dot{I}$ に関し、(5)(6)式より、 I 、 ϕ - f 特性を求めるためのプログラムを図3に示す。このプログラムは、パ

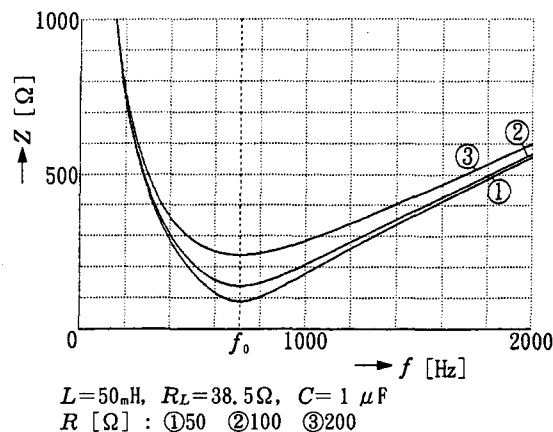


図2 RLC直列共振回路の Z - f 特性

ソコンPC-9800のN-88 BASICによる。プログラムをできるかぎり短くするために、グラフの座標軸、目盛線、計算特性のみをパソコンによりえがかせ、変数名、目盛数字、パラメータ表示、タイトルなどについては、手書きまたはテンプレートによっている。 R をパラメータとする I 、 ϕ - f 特性の1例を図4に示す。

```

10 REM R6-PROG1
20 FE=2000 : DF=2 : PI=3.1416 : V0=2 : L=.05 : RL=38.5 : C=.000001
30 DEF FNI(F)=V0/SQR((R+RL)^2+(2*PI*F*L-1/(2*PI*F*C))^2)
40 DEF FNFD=1/(2*PI*SQR(L*C))
50 SCREEN 2,0 : CONSOLE ,0,0
60 WINDOW (0,-.024)-(FE,0)
70 VIEW (40,0)-(639,399)
80 LINE (0,0)-(FE,0)
90 LINE (0,-.024)-(0,0)
100 FOR J=-.024 TO 0 STEP .002
110 LINE (0,J)-(FE,J),,H1111 : NEXT J
120 FOR J=0 TO FE STEP FE/10
130 LINE (J,-.024)-(J,0),,H1111 : NEXT J
140 LINE (FNFD,-.024)-(FNFD,0),,HFD0F0
150 FOR I=1 TO 3 : READ R : DATA 50,100,200
160 FOR F=DF TO FE STEP DF
170 LINE (F,-FNI(F))-(F+DF,-FNI(F+DF)) : NEXT F
180 NEXT I
190 END

```

(a) I - f 特性

```

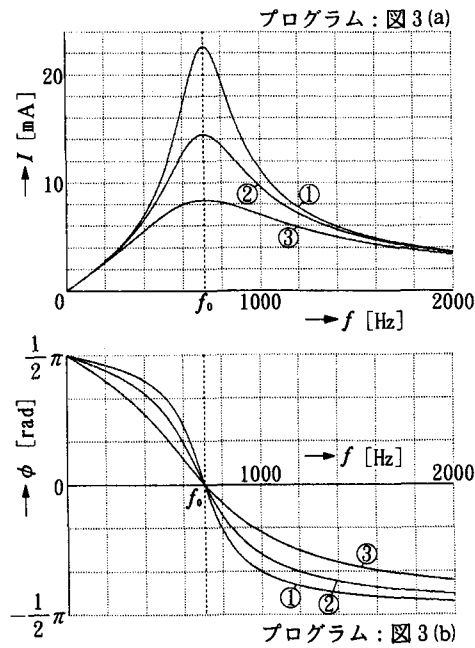
10 REM R6-PROG2
20 FE=2000 : DF=2 : PI=3.1416 : L=.05 : RL=38.5 : C=.000001
30 DEF FNPHI(F)=-ATN((2*PI*F*L-1/(2*PI*F*C))/(R+RL))
40 DEF FNFD=1/(2*PI*SQR(L*C))
50 SCREEN 2,0 : CONSOLE ,0,0
60 WINDOW (0,-PI/2)-(FE,PI/2)
70 VIEW (40,0)-(639,399)
80 LINE (0,0)-(FE,0)
90 LINE (0,-PI/2)-(0,PI/2)
100 FOR J=-PI/2 TO PI/2 STEP PI/6
110 LINE (0,J)-(FE,J),,H1111 : NEXT J
120 FOR J=0 TO FE STEP FE/10
130 LINE (J,-PI/2)-(J,PI/2),,H1111 : NEXT J
140 LINE (FNFD,-PI/2)-(FNFD,PI/2),,HFD0F0
150 FOR I=1 TO 3 : READ R : DATA 50,100,200
160 FOR F=DF TO FE STEP DF
170 LINE (F,-FNPHI(F))-(F+DF,-FNPHI(F+DF)) : NEXT F
180 NEXT I
190 END

```

(b) ϕ - f 特性

図3 RLC直列共振回路の I 、 ϕ - f 特性

を求めるためのプログラム



$V_0 = 2\text{ V}$, $L = 50\text{ mH}$, $R_L = 38.5\Omega$, $C = 1\mu\text{ F}$
 $R [\Omega]$: ①50 ②100 ③200

図4 RLC直列共振回路の $I, \phi - f$ 特性

図4より、 f_0 において I は最大値、 ϕ は0となって、 $\dot{I}$ は $\dot{V}_R$ と同位相となることがわかる。また、このRLC直列共振回路の共振の鋭さを示す Q (quality factor) は、次式で表される。

$$Q = \frac{2\pi f_0 L}{R + R_L} \quad (8)$$

R が小さくなるにしたがって、 Q が大きくなるが、図4からも確認できる。

2.3 抵抗 R の端子電圧 $\dot{V}_R$

2.3.1 $\dot{V}_R$ のベクトル軌跡の計算

抵抗 R の端子電圧 $\dot{V}_R$ 、その絶対値 V_R 、位相 α_R は、(4)(5)式より、次式のように求められる。

$$\dot{V}_R = R\dot{I} = \frac{RV_0 \left\{ (R+R_L) - j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) \right\}}{(R+R_L)^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} \quad (9)$$

$$V_R = RI = \frac{RV_0}{\sqrt{(R+R_L)^2 + \left(2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC}\right)^2}} \quad (10)$$

$$\alpha_R = -\tan^{-1} \frac{2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC}}{R + R_L} = \phi \quad (11)$$

(11)式より、 $\dot{V}_R$ と $\dot{I}$ とは同位相となることがわかる。

(9)式より、 f を変化させたときの $\dot{V}_R$ のベクトル軌跡は、

次式より求められる。

$$\dot{V}_R = V_{Rx} + jV_{Ry} \quad (12)$$

$$V_{Rx} = \frac{R(R+R_L)V_0}{(R+R_L)^2 + \left(2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC}\right)^2} \quad (13)$$

$$V_{Ry} = -\frac{R\left(2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC}\right)V_0}{(R+R_L)^2 + \left(2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC}\right)^2} \quad (14)$$

ところで、この(13)(14)式より f を消去すると、次式が得られる。

$$\left(V_{Rx} - \frac{1}{2} \frac{R}{R+R_L} V_0\right)^2 + V_{Ry}^2 = \left(\frac{1}{2} \frac{R}{R+R_L} V_0\right)^2 \quad (15)$$

この(15)式より、 $\dot{V}_R$ のベクトル軌跡 $V_{Ry} - V_{Rx}$ 特性は、 V_{R0} を

$$V_{R0} = \frac{1}{2} \frac{R}{R+R_L} V_0 \quad (16)$$

とすると、図5に示すような、中心 $(V_{R0}, 0)$ 、半径 V_{R0} の円となることがわかる。なお、インダクタの $R_L = 0$ (理想的な場合) のときには、(16)式より、 $V_{R0} = V_0/2$ となり、 $\dot{V}_R$ のベクトル軌跡は、中心 $(V_0/2, 0)$ 、直径 V_0 の円となる。

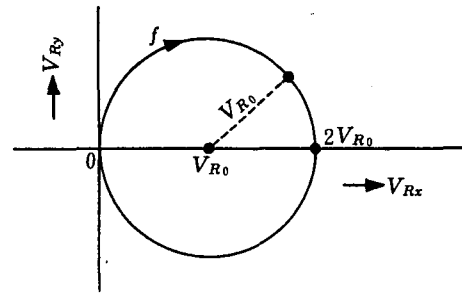


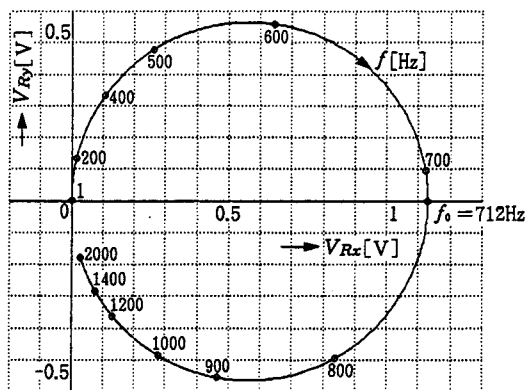
図5 $\dot{V}_R$ のベクトル軌跡

2.3.2 ベクトル軌跡のシミュレーション

(12)~(14)式より、 $f=0\sim 2000\text{ Hz}$ における $\dot{V}_R$ のベクトル軌跡 $V_{Ry} - V_{Rx}$ 特性の1例を図6に示す。なお、このプログラムに関しては、次の3.3.1(2)項の図10のプログラムを一部修正することにより容易に作成できるので、ここでは示していない。

この $\dot{V}_R$ のベクトル軌跡は、(16)式より、 $V_{R0} = 0.565\text{ V}$ であるから、中心 $(0.565\text{ V}, 0)$ 、半径 0.565 V の円となり、 V_{Rx} 軸との交点は $2V_{R0} = 1.13\text{ V}$ となる。図6は、それとほぼ一致していることが確認できる。

3 LC並列共振回路



$V_0 = 2 \text{ V}$, $R = 50 \Omega$, $L = 50 \text{ mH}$, $R_L = 38.5 \Omega$, $C = 1 \mu\text{F}$

図6 RLC直列共振回路の $\dot{V}_R$ の

ベクトル軌跡 $V_{Ry} - V_{Rx}$ 特性

3.1 インピーダンス $\dot{Z}$

3.1.1 $\dot{Z}$ の計算

図7に示すようなLC並列共振回路において、LC並列回路のインピーダンス $\dot{Z}$ 、その絶対値 Z 、位相 θ を求めると、次式ようになる。

$$\begin{aligned} \dot{Z} &= \frac{1}{\frac{1}{R_L + j\omega L} + j\omega C} \\ &= \frac{R_L + j\omega \{L(1 - \omega^2 LC) - CR_L^2\}}{(1 - \omega^2 LC)^2 + (\omega CR_L)^2} \end{aligned} \quad (17)$$

$$Z = \frac{\sqrt{R_L^2 + 4\pi^2 f^2 \{L(1 - 4\pi^2 f^2 LC) - CR_L^2\}^2}}{(1 - 4\pi^2 f^2 LC)^2 + (2\pi f CR_L)^2} \quad (18)$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{2\pi f \{L(1 - 4\pi^2 f^2 LC) - CR_L^2\}}{R_L} \quad (19)$$

なお、このLC並列共振回路において、 $\dot{Z}$ の虚数部が0となる共振時、即ち

$$L(1 - \omega^2 LC) - CR_L^2 = 0 \quad (20)$$

を満足するときの並列共振周波数 f_0 およびそのときのインピーダンス Z_0 は、次式より求められる。

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R_L}{L}\right)^2} \quad (21)$$

$$Z_0 = \frac{L}{CR_L} \quad (22)$$

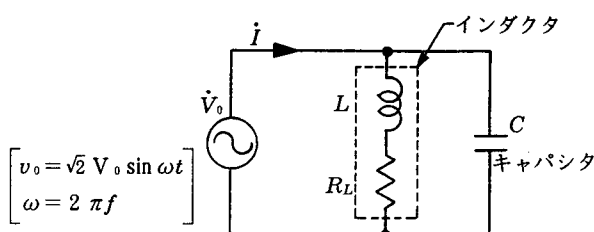
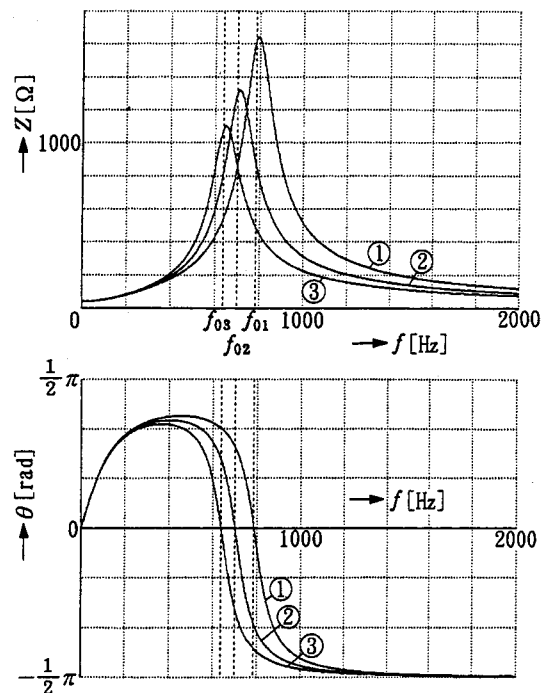


図7 LC並列共振回路



$L = 50 \text{ mH}$, $R_L = 38.5 \Omega$
 $C [\mu\text{F}]$: ①0.8 ②1 ③1.2

図8 LC並列共振回路の Z , $\theta - f$ 特性

3.1.2 周波数特性のシミュレーション

インピーダンス $\dot{Z}$ に関し、(18)(19)式より、 C をパラメータとする Z , $\theta - f$ 特性を求めた1例を図8に示す。なお、このプログラムは、図3のプログラムの一部修正により容易に作成できるので、ここでは示していない。

ところで、(21)(22)式より、 f_0 , Z_0 は C の関数となっているが、このことは、図8においても確認される。また、 f_0 において、 Z は最大値とはならず、 f_0 よりも少し高い周波数において最大値となることもわかる。

3.2 電流 $\dot{I}$

3.2.1 $\dot{I}$ の計算

交流電圧 $\dot{V}_0$ を基準として、このLC並列共振回路の電流 $\dot{I}$ 、その絶対値 I 、位相 ϕ を求めると、次式のようになる。

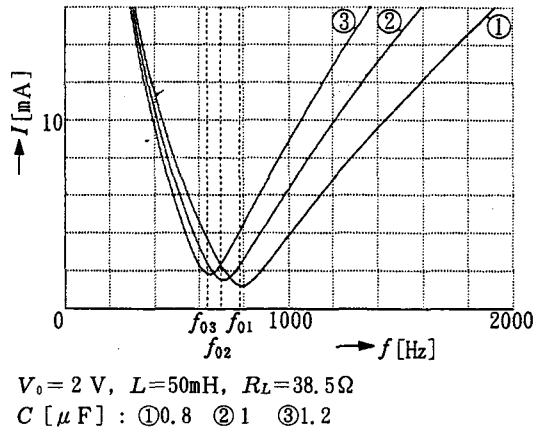
$$\dot{I} = \frac{\dot{V}_0}{\dot{Z}} = \frac{V_0 [R_L - j\omega \{L(1 - \omega^2 LC) - CR_L^2\}]}{R_L^2 + (\omega L)^2} \quad (23)$$

$$I = \frac{V_0 \sqrt{R_L^2 + 4\pi^2 f^2 \{L(1 - 4\pi^2 f^2 LC) - CR_L^2\}^2}}{R_L^2 + (2\pi f L)^2} \quad (24)$$

$$\phi = -\tan^{-1} \frac{2\pi f \{L(1 - 4\pi^2 f^2 LC) - CR_L^2\}}{R_L} = -\theta \quad (25)$$

3.2.2 周波数特性のシミュレーション

電流 $\dot{I}$ に関し、(24)式より、 C をパラメータとする $I - f$ 特性を求めた1例を図9に示す。なお、このプログラム

図9 LC並列共振回路の I - f 特性

も、図3(a)のプログラムの一部修正により容易に作成できる。また、 $\dot{I}$ の ϕ - f 特性については、(25)式より、 $\phi = -\theta$ となることから、必要に応じて、図8の $\dot{Z}$ の θ - f 特性を参照すればよい。

$\dot{Z}$ の場合と同様に、並列共振周波数 f_0 は C の関数となっていること、また、 f_0 において、 I は最小値とはならず、 f_0 よりも少し高い周波数において最小値となることがわかる。

3.3 $\dot{Z}$ のベクトル軌跡

3.3.1 f 変化時の $\dot{Z}$ のベクトル軌跡

(1) f 変化時の $\dot{Z}$ のベクトル軌跡の計算

(17)式より、 f を変化させたときの $\dot{Z}$ のベクトル軌跡は、次式より求められる。

$$\dot{Z} = Z_x + jZ_y \quad (26)$$

$$Z_x = \frac{R_L}{(1 - 4\pi^2 f^2 LC)^2 + (2\pi f C R_L)^2} \quad (27)$$

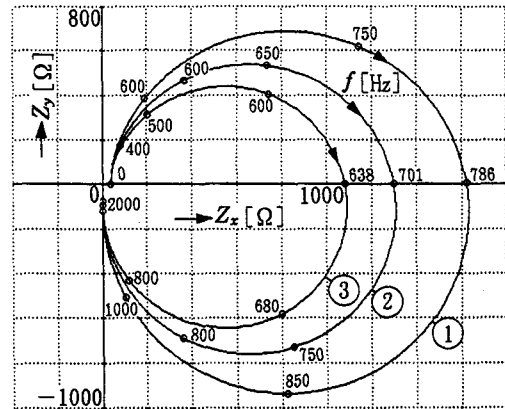
$$Z_y = \frac{2\pi f \{L(1 - 4\pi^2 f^2 LC) - C R_L^2\}}{(1 - 4\pi^2 f^2 LC)^2 + (2\pi f C R_L)^2} \quad (28)$$

この $\dot{Z}$ のベクトル軌跡については、(27)(28)式より f を消去して求められるが、少し複雑になるため、ここではパソコンによりえがく。

(2) ベクトル軌跡のシミュレーション

(26)~(28)式より、 f を変化させたときの $\dot{Z}$ のベクトル軌跡 Z_y - Z_x 特性を求めるためのプログラムを図10に示す。 C をパラメータとする、 $f=0\sim 2000\text{Hz}$ における $\dot{Z}$ のベクトル軌跡 Z_y - Z_x 特性の1例を図11に示す。この図11によれば、 $\dot{Z}$ の周波数特性を示す図8に対し、別の観点から、 f の変化に対する $\dot{Z}$ の変化状況を把握することができる。

ところで、このプログラムはできるかぎり短くするた



プログラム：図10 ただし

① 20 ... $C=.0000008$, 170 → 160

③ 20 ... $C=.0000012$, 170 → 180

$L=50\text{mH}$, $R_L=38.5\Omega$

$C[\mu\text{F}]$: ① 0.8 ② 1 ③ 1.2

図11 LC並列共振回路の f 変化時の

$\dot{Z}$ のベクトル軌跡 Z_y - Z_x 特性

め、 C の任意の値に対し1個のベクトル軌跡をえがき、 f の適当な指定値について○印を示すようにしてある。したがって、 C をパラメータとして変化させるときには、重ね書きによりえがく。図11では、①~③の C に対し、まず②をえがき、次にプログラムを図11の各指定にしたがって変更し、①,③の2回の重ね書きをする。なお、 f の適当な指定値に対し、点 (Z_x, Z_y) を○印で示すのは、図10のプログラムの160~190によっている。

3.3.2 C 変化時の $\dot{Z}$ のベクトル軌跡

(1) C 変化時の $\dot{Z}$ のベクトル軌跡の計算

(17)式による $\dot{Z}$ について、 $L, R_L, \omega(f)$ を一定とし、 f を変化させるかわりに、 C を変化させたときの $\dot{Z}$ のベクトル軌跡を求める。いま、並列共振時、即ち(28)式による $Z_y=0$ となるときの C, Z をそれぞれ C_0, Z_0 とすると、次式が得られる。

$$\begin{aligned} L(1 - 4\pi^2 f^2 LC_0) - C_0 R_L^2 &= 0 \\ \rightarrow C_0 &= \frac{L}{R_L^2 + (2\pi f L)^2} \end{aligned} \quad (29)$$

$$Z_0 = \frac{R_L}{(1 - 4\pi^2 f^2 LC_0)^2 + (2\pi f C_0 R_L)^2} = \frac{L}{C_0 R_L} \quad (30)$$

ここで

$$Q = \frac{\omega L}{R_L} = \frac{2\pi f L}{R_L} \quad (31)$$

$$h = \frac{C}{C_0} \quad (32)$$

```

10 REM R6-PROG3
20 FE=2000 : DF=2 : PI=3.1416 : L=.05 : RL=38.5 : C=.000001
30 DEF FNZX(F)=RL/((1-4*PI^2*F^2*L*C)^2+(2*PI*F*C*RL)^2)
40 DEF FNZY(F)=2*PI*F*(L*(1-4*PI^2*F^2*L*C)-C*RL^2)/((1-4*PI^2*F^2*L*C)^2+(2*PI*F*
F*C*RL)^2)
50 SCREEN 2,0 : CONSOLE ,0,0
60 WINDOW (-400,-800)-(1800,1000)
70 VIEW (151,0)-(639,399)
80 LINE (-400,0)-(1800,0)
90 LINE (0,-800)-(0,1000)
100 FOR J=-800 TO 1000 STEP 200
110 LINE (-400,J)-(1800,J),, &H1111 : NEXT J
120 FOR J=-400 TO 1800 STEP 200
130 LINE (J,-800)-(J,1000),, &H1111 : NEXT J
140 FOR F=0 TO FE STEP DF
150 LINE (FNZX(F),-FNZY(F))-(FNZX(F+DF),-FNZY(F+DF)) : NEXT F
160 'FOR I=1 TO 7 : READ F : DATA 0,600,750,786,850,1000,2000
170 FOR I=1 TO 8 : READ F : DATA 0,400,600,650,701,750,800,2000
180 'FOR I=1 TO 7 : READ F : DATA 0,500,600,638,680,800,2000
190 CIRCLE (FNZX(F),-FNZY(F)),12 : NEXT I
200 END

```

図10 LC並列共振回路の f 変化
時の $\dot{Z}$ のベクトル軌跡 Z_y
- Z_x 特性を求めるための
プログラム

とし、(29)(31)(32)式を用いると、(17)式による $\dot{Z}$ は次式のようになり、 C 、即ち h を変化させたときの $\dot{Z}$ のベクトル軌跡は、次式より求められる。

$$\dot{Z} = \frac{R_L(1+Q^2)}{1-jQ(1-h)} = Z_x + jZ_y \quad (33)$$

$$Z_x = \frac{R_L(1+Q^2)}{1+Q^2(1-h)^2} \quad (34)$$

$$Z_y = \frac{R_L Q(1+Q^2)(1-h)}{1+Q^2(1-h)^2} \quad (35)$$

ところで、(34)(35)式より h を消去すると、次式が得られる。

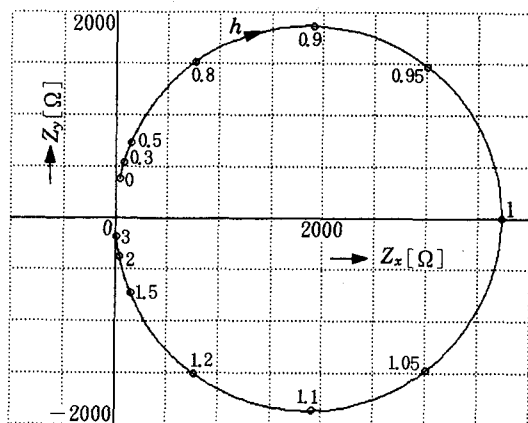
$$\left(Z_x - \frac{1+Q^2}{2} R_L\right)^2 + Z_y^2 = \left(\frac{1+Q^2}{2} R_L\right)^2 \quad (36)$$

この(36)式より、 $\dot{Z}$ のベクトル軌跡 Z_y - Z_x 特性は、 Z_c を

$$Z_c = \frac{1}{2}(1+Q^2)R_L \quad (37)$$

とすると、中心 $(Z_c, 0)$ 、半径 Z_c の円となる。

(2) ベクトル軌跡のシミュレーション



$L=50\text{mH}$, $R_L=38.5\Omega$, $f=1200\text{Hz}$, $C_0=0.348\mu\text{F}$

図12 LC並列共振回路の $h(C)$ 変化時
の $\dot{Z}$ のベクトル軌跡 Z_y - Z_x 特性

(33)~(35)(31)式より、 $f=1200\text{Hz}$ のとき、 C 、即ち h を $0 \rightarrow 3$ に変化させたときの $\dot{Z}$ のベクトル軌跡の1例を図12に示す。なお、このプログラムも、図10のプログラムの一部修正により容易に作成できる。

この $\dot{Z}$ のベクトル軌跡は、(37)(31)式より、 $Z_c=1865\Omega$ であるから、中心 $(1865\Omega, 0)$ 、半径 1865Ω の円となり、 Z_x 軸との交点は $2Z_c=3730\Omega$ となる。図12は、それとほぼ一致していることが確認できる。

4 まとめ

RLC直列共振回路およびLC並列共振回路について、パソコンにより、各種の周波数特性やベクトル軌跡などを求める方法を示し、限られた時間内での実験を支援さ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、電気回路の各種特性を、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することができると、実験結果の確認にも活用でき、非常に有用である。実際の測定がやや面倒で時間がかかる特性（例えば周波数に対する位相特性）の把握、パラメータ変化に対する各種特性の変化状況の検討などに対しては、特に有効である。

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。²⁾ここでは、この考え方を電気回路の分野に適用してまとめた。

参考文献

- 1) 岡田・谷中：“電気工学基礎” コロナ社 (1991)
- 2) 栗本：“グラフィック制御工学入門” コロナ社 (1994)

多変数制御系のレギュレータ特性のシミュレーション

栗 本 尚

Computer Simulation of Characteristics as Regulator in Multivariable Control System

Takashi KURIMOTO

As one of the multivariable control system, the control system of inverted pendulum is taken up. At first the analysis of the controlled object is performed using the model of it. Then the state feedback control system is constructed by the pole assignment method. When some characteristics are drawn optionally by very short program of computer, it is very useful. In this paper methods to draw the response as a regulator and the concrete operation of base and pendulum briefly by N88-BASIC are described.

1 まえがき

多変数制御系については、現代制御理論¹⁾を用いて設計・解析することができるが、行列演算をはじめ、かなり複雑な計算を必要とすることもあり、市販の多変数制御系設計用CADを用いて設計・解析する場合が多い。しかし、このようなCADは、入手コストも比較的高く、かつ任意の制御系特性が得られるとは限らない。ところで、筆者は、古典制御理論による通常の1変数制御系について、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、その有効活用をはかってきた。^{2)~5)} この考え方を、現代制御理論による多変数制御系の設計・解析にも拡張し、必要に応じて、任意の制御系特性をシミュレーションすることができれば、有効である場合もある。

そこで、ここでは、多変数制御系として最も基本的な1例である、2入力1出力の倒立振り子制御系について考える。この制御系に関し、制御対象をモデル化して、状態方程式と出力方程式を求め、制御対象を解析する。その後、極配置法による状態フィードバック制御系を構成したとき、そのレギュレータとしての応答特性および台車と振り子の作動状況などを、パソコンのBASIC言語に

よりシミュレーションするための方法について示す。

2 倒立振り子制御系^{6) 7)}

2.1 制御系の構成

パソコンをコントローラとする倒立振り子制御系を図1に示す。この制御系は、台車の水平方向の位置 $r(t)$ と台車に取り付けられた振り子の回転角度 $\theta(t)$ を入力として、パソコンで制御信号を発生し、サーボ増幅器を通し

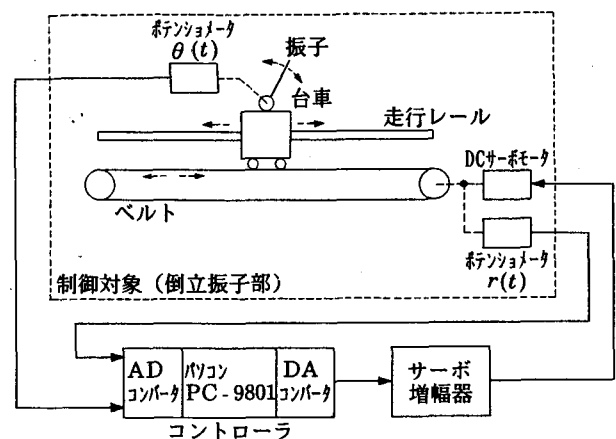


図1 倒立振り子制御系

てDCサーボモータを駆動し、台車位置 $r(t)$ を制御することにより、振子を安定に倒立させる2入力1出力の多変数制御系となる。なお、以下では適宜 $r(t) \rightarrow r$, $\theta(t) \rightarrow \theta$, $u(t) \rightarrow u$ として表す。

2.2 制御対象のモデル化

2.2.1 台車と振子に関する運動方程式

制御対象となる倒立振子モデルを図2に示す。この倒立振子モデルの運動を、台車に関する運動と振子に関する運動に分けて運動方程式を求める。なお、各パラメータの説明については、表1に示す。

台車の水平方向の運動方程式は、次式ようになる。

$$M \frac{d^2 r}{dt^2} + c \frac{dr}{dt} = ku - H \quad (1)$$

ここで、台車に加えられる力 H は、振子が倒れるときに振子から受ける反力を示す。

また、振子の重心の水平方向と垂直方向および重心まわりの回転の各運動方程式は、次式ようになる。

$$m \frac{d^2}{dt^2} (r + l \sin \theta) = H \quad (2)$$

$$m \frac{d^2}{dt^2} (l \cos \theta) = V - mg \quad (3)$$

$$J \frac{d^2 \theta}{dt^2} = Vl \sin \theta - Hl \cos \theta - c_0 \frac{d\theta}{dt} \quad (4)$$

ここで、振子の回転軸に加えられる力 V は、台車から受ける力の垂直方向成分であり、力 H は、台車から受ける力の水平方向成分（台車に与えた反力の反作用による力）である。また、振子が回転するとき、回転軸の摩擦により、モーメント $c_0 \dot{\theta}$ を受けるものとする。

2.2.2 運動方程式の線形化

ここで、振子の回転角度 θ が、平衡点、即ち倒立状態から大きくずれないと仮定し、動作平衡点 $\theta = 0$ の近傍で線形化すると、(1)~(4)式は、次式のような微分方程式で表されることになる。

$F = ku(t)$ [N] : 台車駆動力
 $u(t)$ [V] : DCサーボモータ駆動電圧
 $f = c \frac{dr(t)}{dt}$ [N] : 粘性摩擦力

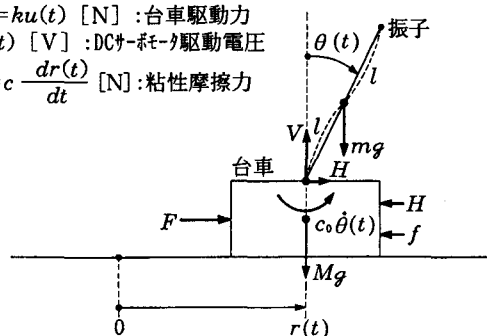


図2 倒立振子モデル

表1 各パラメータの説明と数値

パラメータ	単位	説明	数値
M	kg	台车系等価質量	5.01
k	N/V	電圧/トルク変換係数	30.9
c	kg/sec	台車の等価粘性摩擦係数	24.5
J	kg・m ²	振子の重心まわりの慣性モーメント	2.14×10^{-3}
l	m	回転軸から振子の重心までの距離	0.115
m	kg	振子質量	0.1
c_0	kg・m ² /sec	回転軸の粘性摩擦係数	5.98×10^{-4}
g	m/sec ²	重力加速度	9.8

$$(M+m) \frac{d^2 r}{dt^2} + ml \frac{d^2 \theta}{dt^2} = -c \frac{dr}{dt} + ku \quad (5)$$

$$ml \frac{d^2 r}{dt^2} + (J+ml^2) \frac{d^2 \theta}{dt^2} = -c_0 \frac{d\theta}{dt} + mgl \theta \quad (6)$$

この場合の倒立振子モデルは、 r に関して2次、 θ に関して2次の微分方程式で表されることから、4次の制御対象となる。

2.2.3 状態方程式

この制御系の状態変数 $x(t)$ を

$$x(t) = \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ x_3(t) \\ x_4(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r \\ \theta \\ \dot{r} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} \quad (7)$$

として、(5)(6)式より、倒立振子モデルの状態方程式を求めると、次式が得られる。

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) \quad (8)$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & -\frac{m^2 l^2 g}{\Delta} & -\frac{(J+ml^2)c}{\Delta} & \frac{mlc_0}{\Delta} \\ 0 & \frac{(M+m)mgl}{\Delta} & \frac{mlc}{\Delta} & -\frac{(M+m)c_0}{\Delta} \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{(J+ml^2)k}{\Delta} \\ -\frac{mlk}{\Delta} \end{bmatrix} \quad (10)$$

ただし

$$\Delta = (M+m)J + Mml^2 \quad (11)$$

とする。

2.2.4 出力方程式

この制御系の出力 $y(t)$ を

$$y(t) = \begin{bmatrix} y_1(t) \\ y_2(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r \\ \theta \end{bmatrix} \quad (12)$$

とすると、倒立振り子モデルの出力方程式は、次式で表される。

$$y(t) = Cx(t) \quad (13)$$

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (14)$$

2.2.5 A, B の決定

図2に示す倒立振り子モデルの各パラメータ数値の1例をまとめて表1に示す。この表1のパラメータ数値を用いて、(9)~(11)式より A, B を求めると、次式のようになる。

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & -0.0736 & -4.82 & 0.000391 \\ 0 & 32.7 & 16.0 & -0.174 \end{bmatrix} \quad (15)$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 6.08 \\ -20.2 \end{bmatrix} \quad (16)$$

2.3 制御対象の解析

2.3.1 安定性

(8)(15)(16)式による倒立振り子モデルの状態方程式より、この制御系の特性方程式は次式のようになる。

$$|sI - A| = 0 \quad (17)$$

ここで、 I は単位マトリクスであり、 A は(15)式による。この(17)式は、次式のような s の4次方程式となる。

$$\begin{aligned} s(s^3 + 4.994s^2 - 31.87s - 156.4) \\ = s(s + 4.709)(s + 5.907)(s - 5.622) = 0 \end{aligned} \quad (18)$$

したがって、 A の固有値は、次の4個となる。

$$s = -5.907 \quad -4.709 \quad 0 \quad 5.622 \quad (19)$$

(19)式より、実部が正の固有値があることから、この制御対象は不安定であることがわかる。これは、振子が垂直に倒立している状態のときに、わずかな変動を与えただけで振子が倒れてしまうことを反映している。

2.3.2 可制御性

倒立振り子モデルの状態方程式より、次式の可制御性行列 U_c を求める。

$$U_c = [B \quad AB \quad A^2B \quad A^3B] \quad (20)$$

ここで、 A は(15)式、 B は(16)式による。 $|U_c| \neq 0$ より、この U_c のランクは

$$\text{rank}(U_c) = 4 \quad (21)$$

となることから、この制御対象は可制御であることがわかる。このことは、状態フィードバックにより任意の極配置が可能であり、状態フィードバックによる安定化が可能、即ち振子が倒れないような制御系を構成することができることを意味している。

2.3.3 可観測性

倒立振り子モデルの状態方程式と(13)(14)式による出力方程式より、可観測性行列 U_o を求める。

$$U_o = \begin{bmatrix} C \\ CA \\ CA^2 \\ CA^3 \end{bmatrix} \quad (22)$$

ここで、 A は(15)式、 C は(14)式による。この U_o のランクは

$$\text{rank}(U_o) = 4 \quad (23)$$

となることから、この制御対象は可観測であり、オブザーバによる状態推定が可能であることがわかる。

3 極配置法による

状態フィードバック制御系の設計

3.1 状態フィードバック制御系

図3に示すように、倒立振り子を制御対象とする状態フィードバック制御系を構成するとき、 $u(t)$ は次式で示される。

$$u(t) = -Fx(t) \quad (24)$$

ここで、 F はフィードバック係数行列であり、状態変数

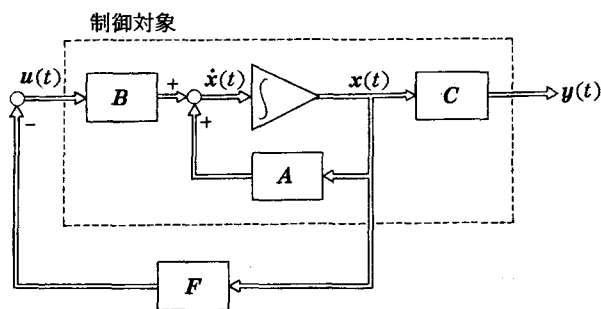


図3 状態フィードバック制御系

が4個であるため、次式で表される。

$$F = [f_1 \ f_2 \ f_3 \ f_4] \quad (25)$$

(24)式を(8)式に代入すると、次式が得られる。

$$\dot{x}(t) = (A - BF)x(t) \quad (26)$$

この(26)式から、状態フィードバックすることにより、 $A \rightarrow (A - BF)$ に変えていることがわかる。したがって、不安定な A に対し、 F を適切に選ぶことにより、 $(A - BF)$ を安定にすることができる。(24)式に(7)(25)式を代入すると、 $u(t)$ は次式ようになる。

$$u(t) = -(f_1 r + f_2 \theta + f_3 \dot{r} + f_4 \dot{\theta}) \quad (27)$$

ここでは、制御系がレギュレータとして望ましい応答を示すように、極配置法により、フィードバック係数 $f_1 \sim f_4$ を設計する。

3.2 極配置法による F の設計

(26)式による状態フィードバック制御系の特性根は、 $(A - BF)$ の固有値、即ち次の特性方程式より求められる。

$$|sI - (A - BF)| = 0 \quad (28)$$

この(28)式は、次式のような s の4次方程式となる。

$$s^4 + (6.08f_3 - 20.2f_4 + 4.994)s^3 + (6.08f_1 - 20.2f_2 + 1.050f_3 - 0.08f_4 - 31.87)s^2 + (1.050f_1 - 0.08f_2 - 197.3f_3 - 156.4)s - 197.3f_1 = 0 \quad (29)$$

一方、任意の指定した固有値 $\lambda_1 \sim \lambda_4$ を特性根とする s の4次方程式は、次式のようになる。

$$\begin{aligned} & (s - \lambda_1)(s - \lambda_2)(s - \lambda_3)(s - \lambda_4) \\ &= s^4 - (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4)s^3 + (\lambda_1\lambda_2 + \lambda_2\lambda_3 + \lambda_3\lambda_4 + \lambda_4\lambda_1 \\ & \quad + \lambda_1\lambda_3 + \lambda_2\lambda_4)s^2 - (\lambda_1\lambda_2\lambda_3 + \lambda_2\lambda_3\lambda_4 + \lambda_3\lambda_4\lambda_1 \\ & \quad + \lambda_4\lambda_1\lambda_2)s + \lambda_1\lambda_2\lambda_3\lambda_4 = 0 \end{aligned} \quad (30)$$

(29)(30)式の比較から、この制御系の特性根が、任意に指定した固有値 $\lambda_1 \sim \lambda_4$ をとるためには、(29)式の $s^i (i=0 \sim 4)$ の各係数が、(30)式の $s^i (i=0 \sim 4)$ の各係数と一致する必要があることから、 $f_1 \sim f_4$ が求められる。

ここでは、1例として、 $\lambda_1 \sim \lambda_4$ を次のような安定な特性根に指定する場合を考える。

$$\begin{cases} \lambda_1 = -1 + j2 \\ \lambda_2 = -1 - j2 \end{cases} \quad \begin{cases} \lambda_3 = -2 + j \\ \lambda_4 = -2 - j \end{cases} \quad (31)$$

この $\lambda_1 \sim \lambda_4$ より、 $f_1 \sim f_4$ を求めると、次式のような F と $u(t)$ が求められる。

$$F = [-0.127 \ -2.56 \ -0.944 \ -0.334] \quad (32)$$

$$u(t) = 0.127r + 2.56\theta + 0.944\dot{r} + 0.334\dot{\theta} = u(t) \quad (33)$$

この(33)式による $u(t)$ を制御対象に状態フィードバックすることにより、この制御系は指定された特性根をもつことになり、安定な制御系となる。

3.3 状態フィードバック制御系の状態方程式

この倒立振子の状態フィードバック制御系の状態方程式は、(26)(32)(15)(16)式より、次式のようになる。

$$\begin{bmatrix} \dot{r} \\ \dot{\theta} \\ \ddot{r} \\ \ddot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0.772 & 15.5 & 0.92 & 2.03 \\ -2.57 & -19.0 & -3.1 & -6.92 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r \\ \theta \\ \dot{r} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} \quad (34)$$

4 レギュレータとしての

応答特性のシミュレーション²⁾

4.1 状態方程式の解法

(34)式による状態方程式について、ルンゲ・クッタ法により解を求める。そのために、次式のような状態方程式について考える。

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1(t) \\ \dot{x}_2(t) \\ \dot{x}_3(t) \\ \dot{x}_4(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} & A_{14} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} & A_{24} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} & A_{34} \\ A_{41} & A_{42} & A_{43} & A_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ x_3(t) \\ x_4(t) \end{bmatrix} \quad (35)$$

ここでは、 $x_1(t)$ の求め方について示すが、 $x_2(t) \sim x_4(t)$ についても、 $x_1(t)$ と同様に求めることができる。(35)式より、 $x_1(t)$ に関しては次式が得られる。

```

10 REM R7-PROG1
20 FOR I=1 TO 4 : FOR J=1 TO 4 : A(I,J)=0 : NEXT J : NEXT I
30 A(1,3)=1 : A(2,4)=1 : A(3,1)=.772 : A(3,2)=15.5 : A(3,3)=.92 : A(3,4)=2.03 :
   A(4,1)=-2.57 : A(4,2)=-19 : A(4,3)=-3.1 : A(4,4)=-6.92
40 TE=8 : DT=.02 : H=2
50 FOR I=1 TO 4 : X(I)=0 : NEXT I : X(2)=.2
60 SCREEN 2,0 : CONSOLE ,0,0
70 WINDOW (0,-.5)-(TE,.5)
80 VIEW (40,0)-(639,399)
90 LINE (0,0)-(TE,0)
100 LINE (0,-.5)-(0,.5)
110 FOR J=-.5 TO .5 STEP .1
120 LINE (0,J)-(TE,J),, &H1111 : NEXT J
130 FOR J=0 TO TE STEP TE/16
140 LINE (J,-.5)-(J,.5),, &H1111 : NEXT J
150 FOR T=0 TO TE STEP DT
160 FOR I=1 TO 4 : X0(I)=X(I) : NEXT I
170 FOR I=1 TO 4 : GOSUB *D : K1(I)=K(I)
180 X(I)=X0(I)+K1(I)*1/2*DT : NEXT I
190 FOR I=1 TO 4 : GOSUB *D : K2(I)=K(I)
200 X(I)=X0(I)+K2(I)*1/2*DT : NEXT I
210 FOR I=1 TO 4 : GOSUB *D : K3(I)=K(I)
220 X(I)=X0(I)+K3(I)*DT : NEXT I
230 FOR I=1 TO 4 : GOSUB *D : K4(I)=K(I)
240 X(I)=X0(I)+1/6*(K1(I)+2*K2(I)+2*K3(I)+K4(I))*DT : NEXT I
250 LINE (T,-X0(1))-(T+DT,-X(1))
260 LINE (T,-X0(2)*H)-(T+DT,-X(2)*H)
270 NEXT T
280 END
290 *D
300 K(I)=0 : FOR J=1 TO 4 : K(I)=A(I,J)*X(J)+K(I) : NEXT J
310 RETURN

```

図4 レギュレータとしての応答 $r(t)$, $\theta(t)-t$ 特性を求めるためのプログラム

$$\dot{x}_1(t) = A_{11}x_1(t) + A_{12}x_2(t) + A_{13}x_3(t) + A_{14}x_4(t) \quad (36)$$

いま、 $x_1(t) \rightarrow x_i$ と表し、初期値またはすでに求められた値 x_{i-1} に対し、 Δt 後の値 x_{i+1} を次の手順により求める。

$$\textcircled{1} \quad k_1 = \sum_{j=1}^4 A_{1j} x_{ji} \quad (37)$$

$$x_{1(i+\frac{1}{2})} = x_{1i} + \frac{1}{2}k_1 \Delta t \quad (38)$$

$$\textcircled{2} \quad k_2 = \sum_{j=1}^4 A_{1j} x_{j(i+\frac{1}{2})} \quad (39)$$

$$x_{1(i+\frac{1}{2})} = x_{1i} + \frac{1}{2}k_2 \Delta t \quad (40)$$

$$\textcircled{3} \quad k_3 = \sum_{j=1}^4 A_{1j} x_{j(i+\frac{1}{2})} \quad (41)$$

$$x_{1(i+1)} = x_{1i} + k_3 \Delta t \quad (42)$$

$$\textcircled{4} \quad k_4 = \sum_{j=1}^4 A_{1j} x_{j(i+1)} \quad (43)$$

$$\textcircled{5} \quad x_{1(i+1)} = x_{1i} + \frac{1}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) \Delta t \quad (44)$$

なお、上記の計算には、 $x_1(t)$ と同様に、 $x_2(t) \sim x_4(t)$ についても、並行して同様の手順により求め、 $k_1 \sim k_4$ の計算に用いる。その結果として、 $x_1(t) \sim x_4(t)$ のすべての解が得られることになる。

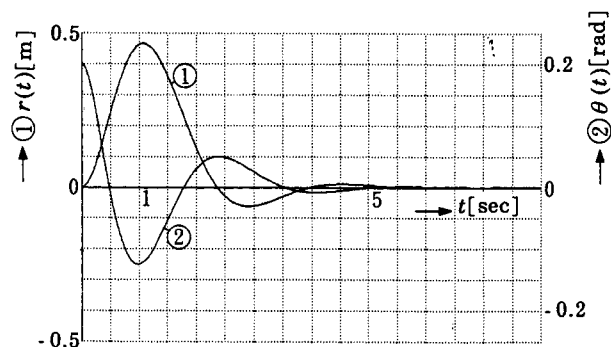
4.2 応答特性のシミュレーション

(35)式による状態フィードバック制御系に、初期偏差を与えたときのレギュレータとしての応答特性 $x_1(t)[r]$,

$x_2(t)[\theta]-t$ 特性を、(36)~(44)式により求めるためのプログラムを図4に示す。このプログラムは、パソコンPC-9800のN-88 BASICによる。プログラムをできるかぎり短くするために、グラフの座標軸、目盛線、計算特性のみをパソコンによりえがかせ、変数名、目盛数字、パラメータ表示、タイトルなどは、手書きまたはテンプレートによる。

ここで、(34)式による状態フィードバック制御系について、1例として、初期偏差 $x_2(0)=0.2\text{rad}$ および $x_1(0)=-0.4\text{m}$ を与えたときの $r, \theta-t$ 特性を、図5および図6に示す。なお、この結果については、市販の多変数制御系設計・解析用CADである $\mu\text{DPAX}^{\text{®}}$ によりシミュレーションを行い、同じ結果が得られることを確認した。

次に、図4について、そのプログラム作成の概要を示



プログラム : 図4
 $\theta(0)=0.2\text{rad}$

図5 レギュレータとしての応答 $r(t)$, $\theta(t)-t$ 特性
[初期値 : $\theta(0)$]

```

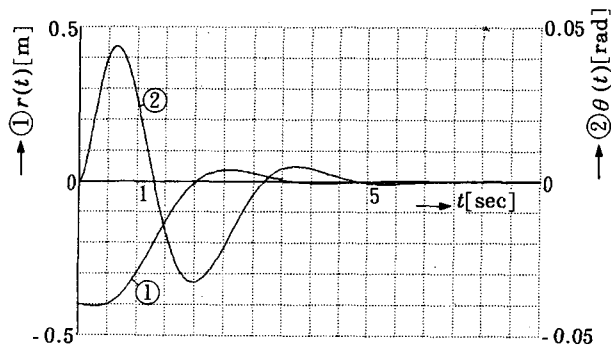
10 REM R7-PROG2
20 FOR I=1 TO 4 : FOR J=1 TO 4 : A(I,J)=0 : NEXT J : NEXT I
30 A(1,3)=1 : A(2,4)=1 : A(3,1)=-.772 : A(3,2)=15.5 : A(3,3)=.92 : A(3,4)=2.03 :
  A(4,1)=-2.57 : A(4,2)=-19 : A(4,3)=-3.1 : A(4,4)=-6.92
40 TE=8 : DT=.02 : L=.115 : N=0
50 FOR I=1 TO 4 : X(I)=0 : NEXT I : X(2)=.2 : X00(2)=.2
60 DEF FNH(T)=X(1)+2*L*SIN(X(2))
70 DEF FNV(T)=2*L*COS(X(2))
80 SCREEN 2,0 : CONSOLE ,0,0
90 WINDOW (-.6,-.3)-(.6,.5)
100 VIEW (40,0)-(639,399)
110 LINE (-.6,0)-(.6,0),,,&H1111 : LINE (-.6,.4)-(.6,.4),,,&H1111
120 LINE (0,-.3)-(0,.5),,,&H1111
130 FOR J=-.6 TO .6 STEP .1 : LINE (J,0)-(J,.01) : LINE (J,.4)-(J,.41) : NEXT J
140 FOR J=-.3 TO .5 STEP .1 : LINE (-.01,J)-(0,J) : NEXT J
150 FOR T=0 TO TE STEP DT
160 FOR I=1 TO 4 : X0(I)=X(I) : NEXT I
170 FOR I=1 TO 4 : GOSUB *D : K1(I)=K(I)
180 X(I)=X0(I)+K1(I)*1/2*DT : NEXT I
190 FOR I=1 TO 4 : GOSUB *D : K2(I)=K(I)
200 X(I)=X0(I)+K2(I)*1/2*DT : NEXT I
210 FOR I=1 TO 4 : GOSUB *D : K3(I)=K(I)
220 X(I)=X0(I)+K3(I)*DT : NEXT I
230 FOR I=1 TO 4 : GOSUB *D : K4(I)=K(I)
240 X(I)=X0(I)+1/6*(K1(I)+2*K2(I)+2*K3(I)+K4(I))*DT : NEXT I
250 IF X00(2)>0 THEN H=X(1)-X0(1) ELSE H=X0(1)-X(1)
260 IF H<0 THEN N=N+1
270 IF N<=1 THEN GOTO 280 ELSE GOTO 290
280 LINE (X(1),0)-(FNH(T),-FNV(T)) : GOTO 300
290 LINE (X(1),.4)-(FNH(T),-FNV(T)+.4)
300 NEXT T
310 END
320 *D
330 K(I)=0 : FOR J=1 TO 4 : K(I)=A(I,J)*X(J)+K(I) : NEXT J
340 RETURN

```

図8 台車と振子の作動シミュレーションを求めるためのプログラム

す。

- ① 20~30: (35)式の $A_{ij}(i=1\sim 4, j=1\sim 4)$ をすべて0とした後、0以外の要素の値を指定する。
- ② 40: 定数、パラメータ設定値などを指定する。Hにより $x_1(t)$ に対する $x_2(t)$ のスケールを調整する。
- ③ 50: $x_i(0)(i=1\sim 4)$ をすべて0とした後、任意の初期値を指定する。 $[x_2(0)=0.2]$
- ④ 70: ディスプレイの x, y 軸の変化範囲を指定する。
[x 軸: t 0~TE[sec], y 軸: $x_1(t)$ -0.5~0.5m]
- ⑤ 80: ディスプレイ640×400のうちの使用範囲を指定する。
- ⑥ 90~100: x, y 座標軸を実線で引く。
- ⑦ 110~140: x, y 軸に関する目盛線を点線で引く。



プログラム: 図4 ただし 40... H=10
50... NEXT I: X(1)=-.4
 $r(0)=-0.4\text{m}$

図6 レギュレータとしての応答 $r(t)$, $\theta(t)$ - t 特性
[初期値: $r(0)$]

- ⑧ 150~270, 290~310: (36)~(44)式のルンゲ・クッタ法の計算式を用いた160~240, 290~310により、 t を変化させていったときの $x_i(t)(i=1\sim 4)$ を順次計算し、250~260により $x_1(t)$, $x_2(t)$ をプロットして、応答特性を求める。ここで、(36)式に対応する $k_i(i=1\sim 4)$ の計算はサブルーチン*Dを用いる。なお、260により $x_2(t)$ をプロットするとき、40のHによりスケールを適当にきめる。 $[x_2(t) - 0.25\sim 0.25\text{rad}]$

4.3 台車と振子の作動シミュレーション

図5のような r, θ - t 特性によると、台車と振子の作動状況を直観的につかむことが難しい。そこで、図7に示すように、振子の台車に対する固定端(回転中心)を P_1 、振子の自由端を P_2 とすると、振子は $P_1(r, 0)$ と $P_2(r+2l\sin\theta, 2l\cos\theta)$ を結ぶ線分で表されることに

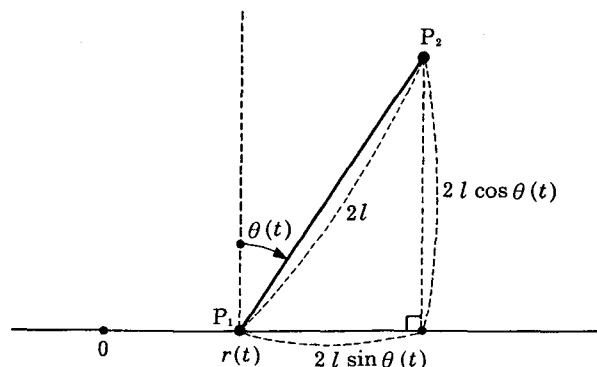


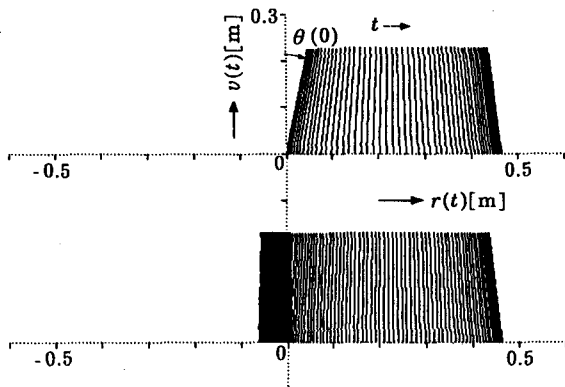
図7 台車と振子の位置関係

なる。この線分 P_1P_2 の時間 t に対する変化状況をえがくことにより、台車と振子の作動状況を直観的につかむことができる。

初期偏差 $\theta(0)$ を与えたときの台車と振子の作動シミュレーションを求めるためのプログラムを図8に示す。1例として、図5に対応する台車と振子の作動シミュレーションを図9に示す。

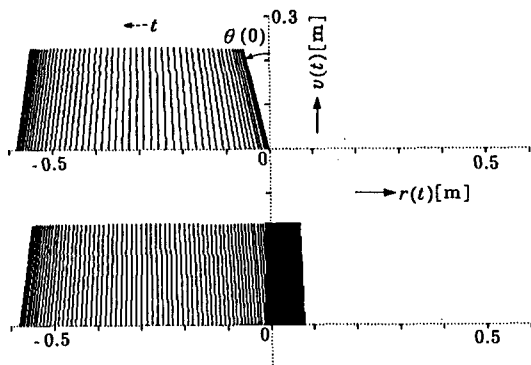
ここで、初期偏差 $\theta(0)$ を与えたとき、 $\theta(0)$ の方向に対応して、まず台車がいずれかの方向に作動する。そして、台車をはじめてその方向を変えるときに、振子の位置を下側に平行移動させ、それまでの作動状況とオーバーラップさせないようにして、全体の作動状況を見やすくなるようにしてある。なお、線分 P_1P_2 は、図8の40, 60~70, 280~290によっている。また、振子の位置の平行移動は、50, 250~270によるが、初期偏差 $x_2(0) [\theta(0)]$ を、50の $\dots X(2)=.2 : X00(2)=.2$ のように2回設定する必要がある。ところで、ディスプレイ上で作動状況を見るだけで、結果のハードコピーをとらないときには、このような平行移動の配慮をする必要はない。

図5および図9を比較すると作動状況がほぼ一致する



プログラム：図8
 $\theta(0)=0.2 \text{ rad}$

図9 台車と振子の作動シミュレーション(1)



プログラム：図8
ただし 50...X(2)=-.25 : X00(2)=-.25
 $\theta(0)=-0.25 \text{ rad}$

図10 台車と振子の作動シミュレーション(2)

ことが確認できる。また、初期偏差 $\theta(0)$ を変えた場合の台車と振子の作動シミュレーションを図10に示す。

5 まとめ

多変数制御系の基礎的な1例である倒立振り子制御系について、極配置法による状態フィードバック制御系の設計を行い、初期偏差を与えたときのレギュレータとしての台車位置と振り回転角度の応答特性、および台車と振子の作動シミュレーションを求める方法を示し、多変数制御系の設計・解析に有効に活用し得ることを示した。

市販のソフトと並行して、このような非常に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うようにすることができ、かつ、難解な多変数制御系についての理解度を高めることにもなり、非常に有効である。

今後は、このような倒立振り子制御系について、振子を倒立させながら、台車を任意の目標位置に追従させることのできるサーボ系とし、そのステップ応答や台車と振子の作動シミュレーションなどを求める方法に拡張していくことも可能である。さらに、より複雑な多変数制御系、ロバスト制御系、ファジィ制御系、ニューロ制御系などに対しても応用展開をはかっていきたい。

参考文献

- 1) 小郷・美多：“システム制御理論入門” 実数出版株式会社 (1979)
- 2) 栗本：“グラフィック制御工学入門” コロナ社 (1994)
- 3) 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)
- 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” 奈良工業高等専門学校研究紀要 第30号 p63~68 (1995.3)
- 5) 栗本：“非線形制御系の位相面軌跡とステップ応答のシミュレーション(その2)” 奈良工業高等専門学校研究紀要 第31号 p35~40 (1996.3)
- 6) 大山・工藤・岡本・藤沢：“現代制御理論に基づいたデジタル制御系の設計法” インターフェース p215~250 (1986.12)
- 7) 兼田・山本：“デジタル制御工学” 共立出版株式会社 (1989)
- 8) 戸川・下関：“グラフィック振動論” サイエンス社 (1984)

平均場理論に基づくボルツマン・マシン学習の性能評価Ⅱ

浅井 文男・村中 庸志*

Performance of the Mean Field Learning Algorithm for Boltzmann Machines II

Fumio ASAI and Tsuneshi MURANAKA

平均場理論を導入したボルツマン・マシン学習の計算機シミュレーションを高速化するため、エイトケンのデルタ2乗法を用いて平均場方程式を解く学習アルゴリズムを提案する。このアルゴリズムをテスト用のボルツマン・マシン学習に適用した場合、逐次代入法を用いる標準的なアルゴリズムを適用した場合と比較して、学習を達成するために必要な計算ステップ数や計算時間が約70%に短縮されることが判明した。このアルゴリズムはパラメータを含まないため汎用性があり、実用的なボルツマン・マシン学習に対しても加速効果が期待できる。

1. はじめに

アクレイ達が提案したボルツマン・マシンの学習則¹⁾を計算機上でシミュレートするとき、そのアルゴリズムはモンテカルロ法に基づく統計的な処理を含むので、一般に非常に長い計算時間が必要になる。物理学の平均場理論を導入すると、統計的な処理を平均場方程式を解くという確定的な操作に置き換えることができる²⁾。我々は可視ユニット1個と隠れユニット1個で構成されるボルツマン・マシンに単純な確率的環境を学習させる問題に対して平均場理論を導入したアルゴリズムを適用し、その有効性を確かめた³⁾。

平均場理論に基づくボルツマン・マシン学習を計算機でシミュレートする場合、平均場方程式は逐次代入法を用いて数値的に解く。しかし、逐次代入法は一般に収束が遅いことが知られている。逐次代入による反復計算を加速する手法を導入すれば、ボルツマン・マシン学習をさらに高速化できる。

我々は平均場方程式の数値解法にエイトケンのデルタ2乗法を採用したボルツマン・マシン学習のアルゴリズムを提案する。このアルゴリズムをテスト用のボルツマン・マシン学習に適用すると、逐次代入法を用いる従来のアルゴリズムを適用した場合と比較して、学習を達成

するために必要な計算ステップ数や計算時間が約70%に短縮されることが判明した。

2. ボルツマン・マシン学習

2.1 ボルツマン・マシンの動作

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

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

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

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

*本校卒業生 現在、新潟大学

ボルツマン・マシンを動作させる、すなわち更新規則

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

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

で与えられる。ここで $E(V)$ は

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

で定義されるボルツマン・マシンのエネルギーである。

2.2 ボルツマン・マシン学習

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

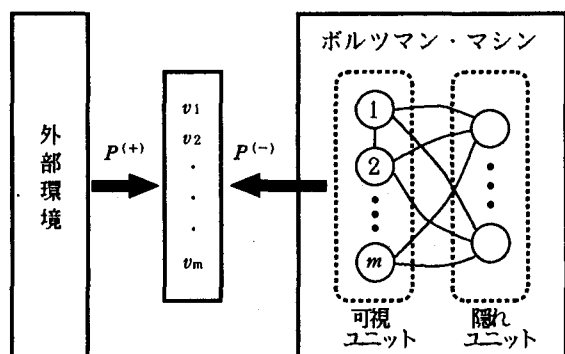


図1 ボルツマン・マシン学習

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

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

で定義される。 G は非負の量で、 $P^{(-)}(V)$ と $P^{(+)}(V)$ が完全に一致する場合にのみ0になる。よって、 w_{ij} と h_i を調整することにより G を最小化することが学習に相当する。簡単のため $h_i = w_{ii}$ とおくと、以下の規則に

従って w_{ij} を修正してゆけば、 G を減少させることができる。

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

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

表1 学習アルゴリズム

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

表2 モンテカルロ計算のアルゴリズム

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

2.3 シミュレーテッド・アニーリング法

外部環境の確率分布 $P^{(+)}(V)$ が広い範囲の確率を表す場合、表1のstep1～step4において、温度 T をかなり低く設定する必要がある。しかし温度が低いときはエネルギーの局所的な最小状態に落ち込む傾向があるので、ボルツマン・マシンが平衡状態に達するまでに非常に長い時間がかかる。一方、高い温度から出発して望ましい温度 T に達するまで徐々に温度を下げていくと、最初から

温度を T に設定するよりもずっと速く平衡状態を実現することができる。この手法をシミュレーテッド・アニーリング法と呼ぶ。

3. 平均場理論に基づくボルツマン・マシン学習

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

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

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

$$p_{ij} = \langle v_i \rangle \langle v_j \rangle \quad (8)$$

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

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

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

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

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

表3 平均場理論に基づく学習アルゴリズム

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

4. 平均場方程式の数値解法

4.1 逐次代入法

平均場方程式(10)は非線形方程式である。一般に非線形方程式

$$x = \phi(x) \quad (11)$$

を逐次代入法で解くアルゴリズムを表4に示す。

表4 逐次代入法のアルゴリズム

step1:	$x_k \leftarrow x_1$ (初期値), $k \leftarrow 1$
step2:	$x_{k+1} \leftarrow \phi(x_k)$
step3:	$k+1 \leftarrow k$ としてstep2にもどる。

4.2 エイトケンのデルタ2乗法

逐次代入法は一般に収束が遅い(1次の収束)。これを加速するアルゴリズムにエイトケンのデルタ2乗法がある⁴⁾。非線形方程式(11)をエイトケンのデルタ2乗法で解くアルゴリズムを表5に示す。

表5 デルタ2乗法のアルゴリズム

step1:	$x_k \leftarrow x_1$ (初期値), $k \leftarrow 1$
step2:	$x_{k+1} \leftarrow \phi(x_k)$
step3:	$x_{k+2} \leftarrow \phi(x_{k+1})$
step4:	$x_{k+1} \leftarrow x_k - \frac{(x_{k+1} - x_k)^2}{x_{k+2} - 2x_{k+1} + x_k}$
step5:	$k+1 \leftarrow k$ としてstep2にもどる。

エイトケンのデルタ2乗法は逐次代入法に限らず、一般に収束の遅い等比数列の極限値の推定によく用いられる。また、パラメータを含まないという特徴がある。他の加速手法、例えばSOR法はパラメータを含むので、平均場ボルツマン・マシン学習に応用する場合はパラメータチューニングの操作が必要になる⁵⁾。

5. 簡単な学習問題への適用

図2に示すように、可視ユニット1個と隠れユニット1個でボルツマン・マシンを構成し、可視ユニットの状態が1になる確率が p である外部環境の確率分布 $P^{(+)}(v_1=1)=p$ を学習させる⁶⁾。

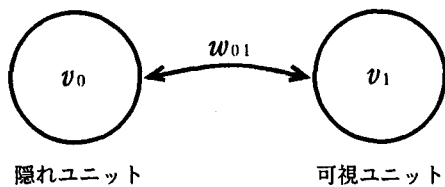


図2 テスト用のボルツマン・マシン

表3の学習アルゴリズムにシミュレーテッド・アニーリング法(SA法)を取り入れた具体的な学習アルゴリズムを表6に示す。step1とstep3において、平均場方程式は逐次代入法またはエイトケンのデルタ2乗法を用いてそれぞれ非同期的に解く。

表6 SA法を取り入れた学習アルゴリズム

-
- step1: 確率 p で可視ユニットを $v_1=1$ に固定し、アニーリングを行いながら式(10)を解いて $\langle v_0 \rangle$ を求める。
- step2: 式(8)より $p^{(+)}_{01}$ を求める。
- step3: すべてのユニットを自由にし、アニーリングを行いながら式(10)を解いて $\langle v_0 \rangle$, $\langle v_1 \rangle$ をそれぞれ求める。
- step4: 式(8)より $p^{(-)}_{01}$ を求める。
- step5: step1~step4を反復して $p^{(+)}_{01}$, $p^{(-)}_{01}$ の平均値 $\bar{p}^{(+)}_{01}$, $\bar{p}^{(-)}_{01}$ をそれぞれ求める。
- step6: 式(6)に従って重み w_{11} を修正する。
- step7: step1にもどる。
-

プログラムを実行するために必要な各種のパラメータは表7のように設定し、文献6と同じアニーリングスケジュールを採用する。プログラムの作成および実行はワークステーションNEWS5000上で行う。

表7 パラメータの設定値

step5の回数	128
初期温度	100
最終温度	10
微小定数 ε	0.001
確率 p	0.1

逐次代入法を採用した学習アルゴリズムによる計算結果を図3に、また、エイトケンのデルタ2乗法を採用した学習アルゴリズムによる計算結果を図4にそれぞれ示す。グラフの縦軸はカルバックダイバージェンス G 、横軸は計算ステップ数(表6のstep7の回数)を表す。カルバックダイバージェンスのグラフとともに、可視ユニットの状態が1になる確率 $P^{(-)}(v_1=1)$ を表すグラフもプロットしている。図3および図4から、計算ステップ数の増加とともにカルバックダイバージェンス G は減少してゆき、 $P^{(-)}(v_1=1)$ も外部から与えた値 $p=0.1$ に近づいてゆくことがわかる。

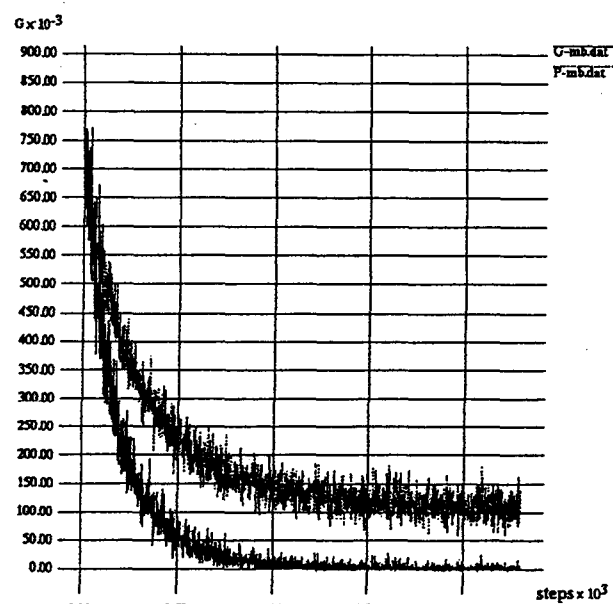


図3 逐次代入法を用いた場合

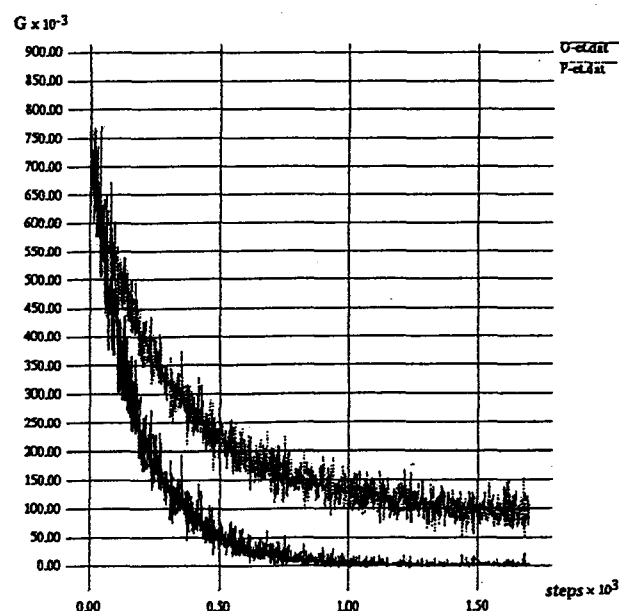


図4 デルタ2乗法を用いた場合

学習が達成される、すなわちカルバックダイバージェンスの値がほぼ 0 になるまでに要する計算ステップ数と計算時間を表 8 に示す。これらの値は 10 回の試行の平均値である。

表 8 計算結果

	計算ステップ数	計算時間 (s)
逐次代入法	2.3×10^2	45
デルタ 2 乗法	1.7×10^2	32

エイトケンのデルタ 2 乗法を用いると、計算ステップ数および計算時間も逐次代入法を用いた場合の 70% 程度に減少する。よって、エイトケンのデルタ 2 乗法による加速はアニーリングを取り入れた場合でも有効でありボルツマン・マシン学習を実質的に高速化する。平均場方程式の個数はユニットの個数に比例して増加するので多くのユニットで構成されるボルツマン・マシンを用いた実用的な学習問題に対しては、本研究で得られた以上の加速効果が期待できる。

参考文献

- 1) Ackley, D., Hinton, G. and Sejnowski, T.: *A Learning algorithm fo Boltzmann machines*, Cognitive Science 9, pp.147 - 169 (1985)
- 2) Bilbro, G., R. Mann, T.K. Miller, W.E. Snyder, D.E. Van den Bout, and M. White: *Optimization by Mean Field Annealing*, In *Advances in Neural Information Processing Systems I*, pp.91 - 98 (1989)
- 3) 浅井文男, 新家康裕: 平均場理論に基づくボルツマン・マシン学習の性能評価, 奈良工業高等専門学校研究紀要, vol.31, pp.45 - 48 (1996)
- 4) 戸川隼人: 数値計算, 岩波書店, pp.29 - 30 (1991)
- 5) 村中庸志: 数値計算法の改良による平均場ボルツマン・マシン学習の高速化に関する研究, 奈良工業高等専門学校卒業研究報告書 (1996)
- 6) 飯沼一元: 入門と実習・ニューロコンピュータ, 技術評論社, pp.117 - 127 (1994)

σ ニューロン・セルとその応用

五十嵐 良・小林 淳*・金堀 進*・藤原 保行*

σ Neuron Cell and Its Applications

Ryo IGARASHI, Jun KOBAYASHI, Susumu KANAHORI and Yasuyuki FUJIWARA

LSI 技術の進歩に伴い、集積度が飛躍的に向上している。これは微細化技術の進展に負うところ大である。一方、同じ機能を実現するために必要な素子数を少なくすることで集積度を向上させることができれば、高機能化および低価格化の面で有利となる。

まず、通常のCMOSテクノロジーを使用してニューロン・セルの構成が可能か否かを検討した結果、入力信号に対応させた電流をカレント・ミラー回路でアナログ的に加算または減算することにより、正負の重み付けのできるニューロン・セル（電流の総和を基本としていることから σ ニューロン・セルと呼ぶ）の構成が可能であるとの結論を得た。

このニューロン・セルはニューラル・ネットワークを実現する上で有用であるが、論理回路への応用を検討した結果、CMOS 論理回路に比較して素子数を $1/2$ から $1/6$ に低減できることが明らかとなった。さらに、2 個のカレント・ミラー回路の組み合わせにより、多値メモリの構成が可能となり、これをアキュムレータとして使用すると、多値加算回路が簡単に実現できる。

本論文は現在広く実用されているCMOS論理回路の機能を、より少ない素子数で実現できる σ ニューロン・セルを提案し、ニューラル・ネットワークの実現はもとより論理回路、メモリおよびアナログ回路への応用についての基本原理およびシミュレーション結果を紹介する。

1 はじめに

半導体技術の進歩により、大規模集積回路が実現されている。しかし、製造プロセスの複雑化とチップ面積の増大により、歩留まりの低減に伴うコスト上昇は避けられない。

そこで、同じ機能を少数の素子で実現することを目的とした MOSFET 回路が提案されている [1]。この回路は通常の MOSFET のゲートをフローティングとし、複数の入力端子とこのフローティングゲートをコンデンサで入力信号に対する重み付けがなされる。コンデンサを使用しているので、回路のリーク電流によりフローティングゲートの電位が変化し、誤動作の原因となる恐れがある。さらにコンデンサの値は固定であるため

入力信号に対する重み値を可変にすることが困難であると考えられる。そこで、通常の CMOS テクノロジーを使用してニューロン・セルの構成が可能か否かを検討した結果、入力信号に対応させた電流をカレント・ミラー回路でアナログ的に加算または減算することにより、正負の重み付けのできる新ニューロン・セルの構成が可能であるとの結論を得た [2]。

このニューロン・セルはニューラル・ネットワークを実現する上で有用であるばかりでなく、多値論理回路への応用が可能であることが判明した。これにより CMOS 論理回路に比較して素子数を $1/2$ から $1/6$ に低減できることが明らかとなった。さらに、2 個のカレント・ミラー回路の組み合わせにより、多値メモリの構成が可能となり、これをアキュムレータとして使用すると、多値加算回路が簡単に実現できる。

本論文は現在広く実用されている CMOS 論理回路の

* 奈良工業高等専門学校専攻科電子情報工学専攻

機能を、より少ない素子数で実現できる σ ニューロン・セルを提案し、ニューラル・ネットワークの実現はもとより多値論理回路およびメモリへの応用についての基本原理および基礎実験の結果について述べると共に消費電力の低減および素子数の低減による高速化の可能性について述べる。

2 σ ニューロン・セル

入力信号をコンデンサを介してニューロン・セルに与える場合には重み付けが困難であることは前に述べた。この問題を解決するために通常のデジタル回路を用いる方法が提案されている。この方法は多くの素子を必要とするためチップ面積が増大し、結果としてコスト高は避けられない。

以上のような困難を取り除くためのニューロン・セル(以下 σ ニューロン・セルと呼ぶ)を図1に示す。

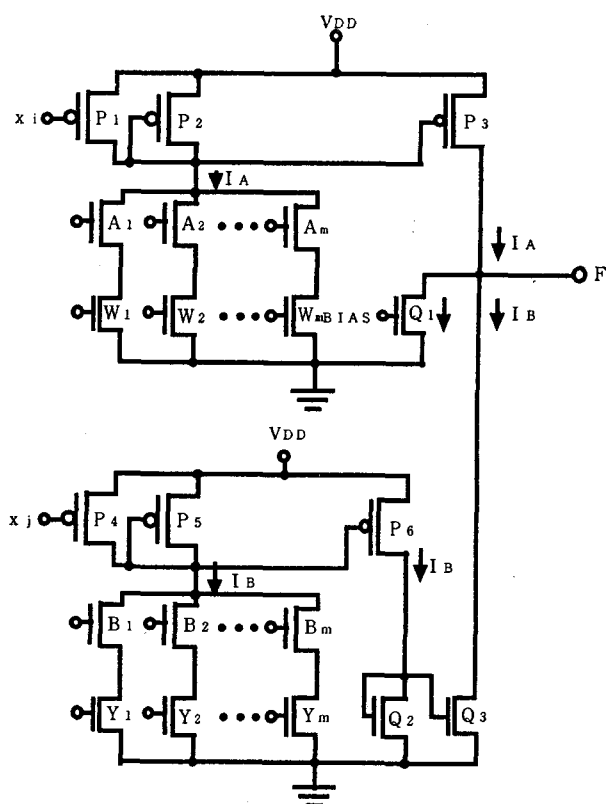


Figure 1 Current Mode Neuron Cell

図1 σ ニューロン・セル基本回路

通常、ニューロン・セルは4つの部分から構成され、それらは入力記号 x_i に対して正の重み付けを行う回路、入力信号 x_j に対して負の重み付けを行う回路、正のしきい値回路および負のしきい値回路である。まず、 σ

ニューロン・セルの動作原理について述べると、正の重み付けは n チャンネル MOSFET $W_1, W_2, \dots, W_m$ のそれぞれのゲートに電圧を印加して m 個の電流源とし、それぞれの電流源の電流を流すか否かを n チャンネル MOSFET $A_1, A_2, \dots, A_m$ のそれぞれのゲートに印加する信号により制御する。さらに P チャンネル MOSFET P_1 のゲートに入力信号 X_i を印加する。入力信号 X_i が "1" の場合のみ P_1 はオフとなり、重み付けされた電流 I_A が P_2 を流れる。

同様に、負の重み値は $Y_1, Y_2, \dots, Y_m$ のそれぞれのゲートに電圧を印加した m 個の電流源と電流のオン・オフを制御する n チャンネル MOSFET $B_1, B_2, \dots, B_m$ により行われる。入力信号 X_j が "1" の場合のみ負の重み値に対応した電流 I_B が P_5 に流れる。 P_5 と P_6 および Q_2 と Q_3 はそれぞれカレント・ミラーとなっているので、出力端子 F において電流 I_A から I_B が差し引かれる。負の電流に較べて正の電流が大きい場合、ほぼ電流電圧に等しい電圧が出力端子に現れる。この逆の場合には、出力端子の電圧はほぼ 0 となる。

次に、しきい値の与え方について述べると、前述した回路から P_1 と P_4 を取り除いてカレント・ミラー回路と正負の重み付け回路を接続するときい値回路が構成される。すなわち、正負のしきい値に対応して重み付けされた電流が入力信号に対応して重み付けされた電流にしきい値として加算または減算され、この関係は(1)式によって表される。

$$F = f \left(x_i \sum_{i=1}^m w_i - x_j \sum_{j=1}^m w_j \right) + \left(\sum_{k=1}^n \theta_k - \sum_{l=1}^n \theta_l \right) \quad (1)$$

次に、重み付けについて述べると、重み値に対応した電流を得るには MOSFET のチャンネル幅 (W) とチャンネル長 (L) の比 (W/L) を重み値に対応させればよい。 $m=3$ の場合、 W/L が $1:2:4$ となるように Q_1, Q_2 および Q_3 を設計し、3 ビットの制御信号を印加すればよい。この場合、重みは 8 段階で制御可能となる。

図1には1個の正の入力信号と1個の負の入力記号を持つ σ ニューロン・セルを示しているが、複数個の正負の入力信号を受け入れるように容易に拡張できる。

3 論理回路への応用

σニューロン・セルは正負の重み付けとしきい値を可変にできるので、論理回路への応用が期待できる。

全加算器への応用例を図2に示す。図において、 P_1, P_2, P_3 はPチャネルFETで、それ以外はNチャネルである。 W_1, W_2, W_3 を電流源Iとして使用し、 A_1, A_2, A_3 のゲートにはA,Bおよび桁上げ信号を印加し、電流Iをオン・オフし、 P_1 において電流を加算する。従って、少なくとも2入力が1であれば、 Q_1 の電流 $1.5I$ より P_2 に流れる電流が大きくなり、桁上げ出力信号端子Cは1となる。桁上げ信号を Q_2 のゲートに加え、電流源からの電流 $2I$ を P_3 を流れる電流から差し引くか否かを制御し、さらに $0.5I$ の電流により和出力Sが1か否かを定める。

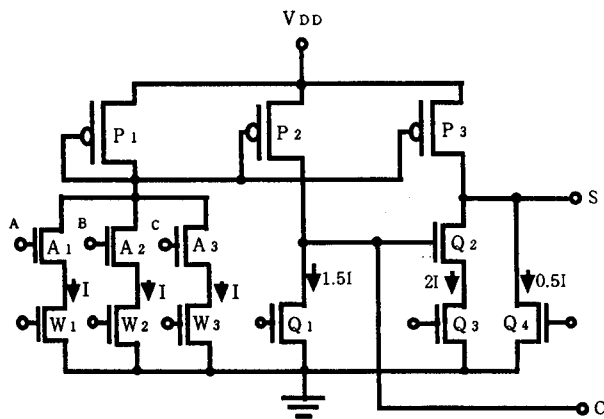


Figure 2 Full Adder

図2 全加算器のFET回路

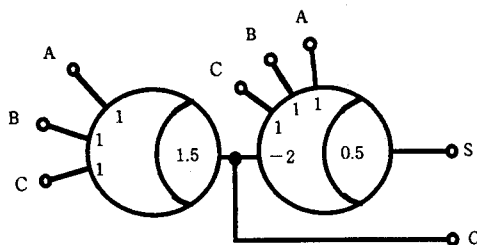


Figure 3 Full Adder by Threshold Gates

図3 全加算器のしきいゲート表現

図3にしきいゲートで表現した全加算器を示す。図3において、負の重み $1.5I$ はしきい値 1.5 を与え、桁上げ信号Cはしきい値 0.5 のしきいゲートに負の重み -2 で入力される。なお、図2および図3の和出力を奇数パリティ信号としても利用できる。

次に、図4にしきいゲートで構成した4ビット比較器を示す。

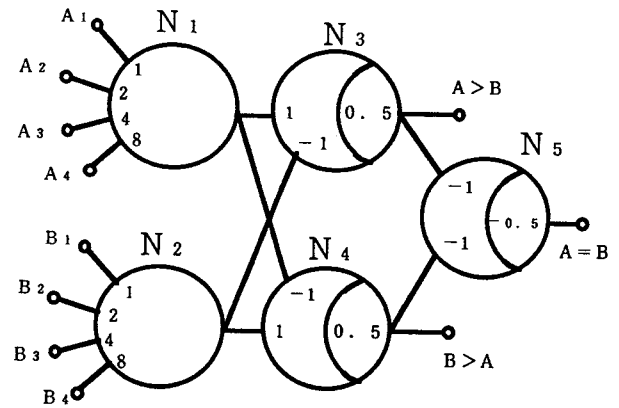


図4 4ビット比較器のしきいゲート表現

図4のしきいゲート N_1, N_2, N_3 をFET回路で実現した比較器の一部を図5に示す。

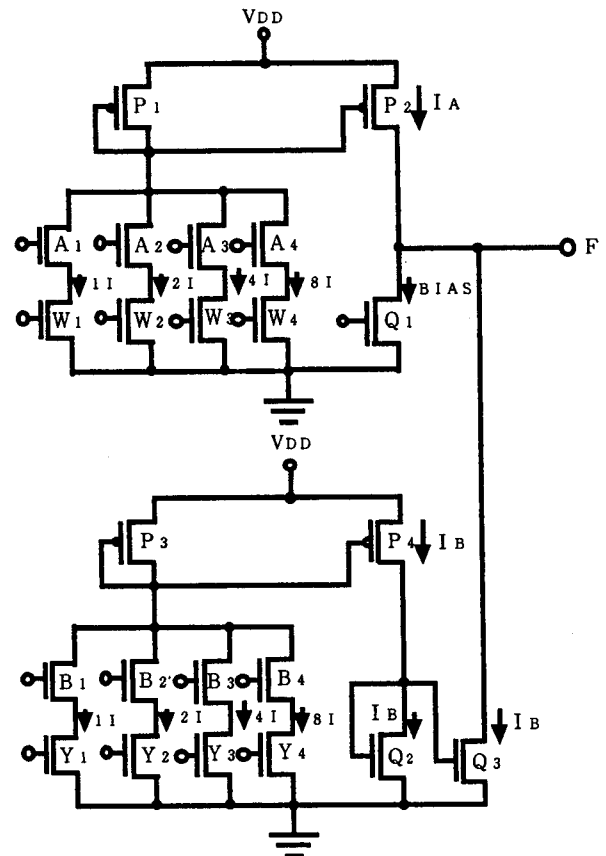


図5 4ビット比較器のFET回路

4ビットの情報AとBを比較する場合、AおよびBのそれぞれに1、2、4、8の重み付けを行い、 N_1 には情報Aに対応する電流が得られ、 N_2 に情報Bに対応する電流が得られるようにD/A変換を行う。

従って、4ビットのD/A変換器 N_1 および N_2 の出力をしきいゲート N_3, N_4 の入力として印加することにより、それぞれの出力から $A > B$ および $A < B$ に対応する信号が得られる。さらにしきいゲート N_5 により、 $A = B$ に対応する信号が得られる。

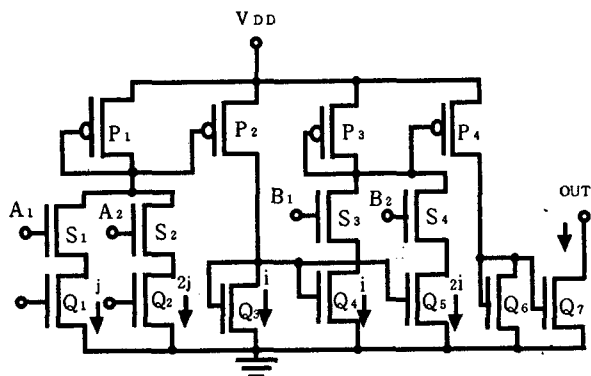


図6 2ビット乗算器のFET回路

図5では、 $A > B$ に対応する信号が出力端子Fに得られる。 Q_2, Q_3 は負の重み付けのためのカレント・ミラーで、 P_2, Q_1, Q_3 によりしきいゲート N_3 が構成される。

図6に2ビット乗算器のFET回路を示す。2ビットの情報A, Bの乗算は、まずAをD/A変換し、その値を情報Bに対応して0倍、1倍、2倍、3倍することにより行われる。図6において、 A_1, A_2 のD/A変換の結果は Q_3 の電流 i となり、この電流 i を(B_1, B_2)倍することにより、乗算結果は P_3 を流れる電流として求められる。この電流はカレント・ミラー P_4 を介して別のカレント・ミラー Q_6, Q_7 に導かれ、出力端子OUTから流れ込む電流となる。この電流は後述のA/D変換器により4ビットの情報に変換できる。

次に図7に示す多値メモリは、PチャネルFET P_1, P_2 によるカレント・ミラーとNチャネルFET Q_1, Q_2 によるカレント・ミラーにより構成される記憶回路に保持される電流により記憶が行われる。記憶回路の電流を0にセットするために Q_3 をオンにする。しかる後、 Q_3 をオンにして端子Sから多値情報に対応する電流を流出させることにより、情報の書込を行う。

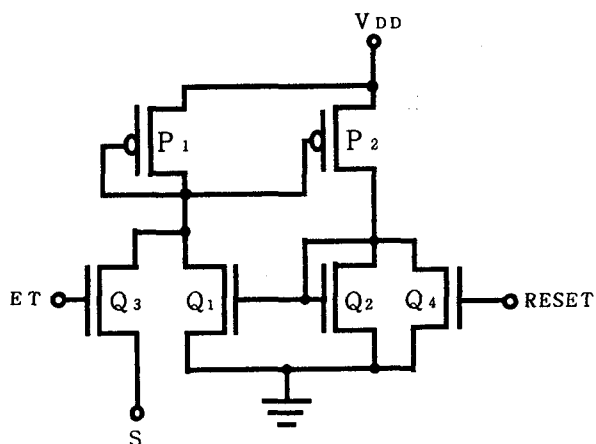


図7 多値メモリのFET回路

図8にシミュレーション結果を示す。 -5.0mA の記憶状態はリセット・パルスにより電流0の状態となる。次に、書込動作を行うと、 -2.0mA の電流が流れて新記憶状態にセットされることが分かる。

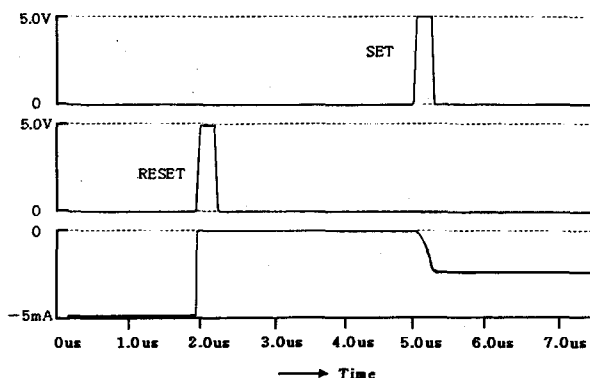


図8 多値メモリのシミュレーション結果

4 アナログ回路への応用

LSIの高機能化を計るには論理回路との一体化の可能なアナログ回路を実現することである。以下、カレント・ミラーを駆使することにより実現可能な差動増幅器、A/D変換器等のアナログ回路について述べる。

図9は差動増幅器の一例で、正負のそれぞれの入力電圧を電流に変換するための入力回路が設けてある。

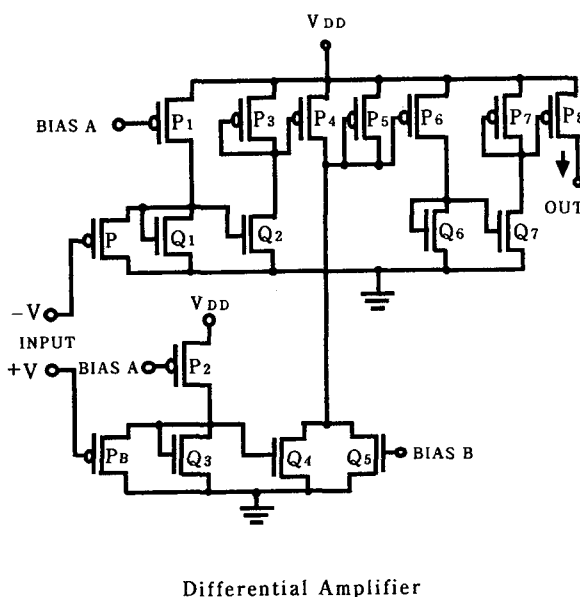


図9 差動増幅器のFET回路

図9において、正入力に対応する P_2 の電流から負入力に対応する Q_4 の電流を差し引いて中間差動出力を得る。この差動出力はカレント・ミラーにより電流増幅を

行う。すなわち、それぞれのカレント・ミラーの2個のFETのW/Lを変えることにより行う。

次に、図10に示すA/D変換器について述べると、最大2ビット分の電流(3I)を流出させる形で入力を与えられる。まず、電流が2I以上であるか否かが Q_1 、 P_2 により行われて2¹ビットを決定する。2¹ビットが決定すると、入力電流が3Iの場合には、 Q_2 がオンになるため3Iと2.5Iが比較され、2⁰ビットが1となる。

電流を入力とするA/D変換器は多値メモリの読み取り回路として使用できる。

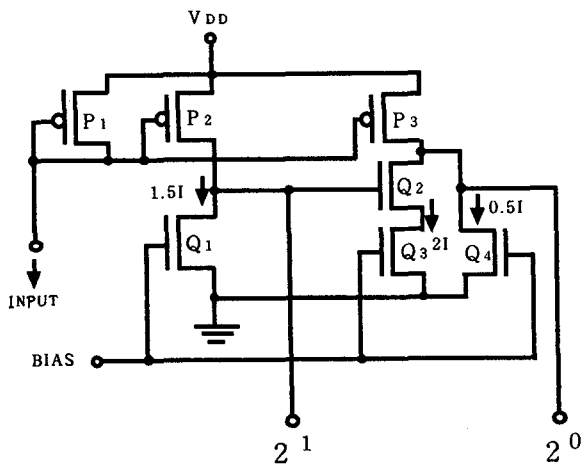


図10 A/DコンバータのFET回路

5 まとめ

容易に正負の重み付けのできるσニューロン・セルを提案し、ニューラル・ネットワークの実現はもとより論理回路およびアナログ回路への応用について述べた。この基本回路は構造が比較的簡単であるため、CMOS論理回路をσニューロン・セルを用いたしきいゲートで構成するとFET数を1/2から1/6程度に減らすことができる。表1に通常のCMOS論理回路のFET数をσニューロン・セルで構成した場合のFET数と比較した結果を示す。

FET数の比較の一例を示したが、集積度、消費電力、動作速度等の項目についての詳細な検討は今後の課題であるが、集積度については、FET数が少なくてよいの

で有利である。消費電力については、定常状態では電流が流れるので、電力消費を伴う。しかし、CMOS論理回路が高速で動作する場合には信号線浮遊容量の充放電、FETの貫通電流による電力消費の増大は避けられないが、σニューロン・セルによる論理回路は大部分が電流モードで動作するので動作時の電力消費を抑えることができると考えられる。定常状態における消費電力については、NチャネルFETを電流源として用いているので、動作時以外はこの電流をオフにすることにより電力消費が低減できる[3]。CMOS論理回路の動作時の電力消費は電源電圧の2乗に比例するが、この提案の場合は定電流源を用いているので、電源電圧に比例する。従って、この提案の方が有利である。

次に、動作速度について考察すると、少ないFET数で回路が構成できるので、回路の段数が少なくて良いので信号遅延が小さくなる。しかし、正負の電流の差が小さい場合には、回路の浮遊容量を充放電する電流も小さくなるので、速度が低下する。

集積度については、FET数が少ないことが必ずしも集積度を高くしうるとは限らない。これはW/Lの異なったFETの使用が必要だからである。σニューロン・セルによる論理回路ではW/Lの大きなオン・オフ用FETが必要である。これは集積度の向上の妨げとなる。

多値メモリへの応用には未解決の課題があるが、メモリ・アレイ面積を低減しうる可能性があり、アナログ・メモリとして使用することもできる。アナログ回路への応用では、複雑なバイアス回路を必要としない差動増幅器を構成できるのが大きな利点である。

参考文献

- [1] T.Ohmi, T.Shibata: "An Intelligent MOS Transistor Featuring gate-level Weighted Sum and Threshold Operations" (1991), pp.919-922, IEDM
- [2] 小林淳、西本祐子、三村泰裕、五十嵐良: "Current Summation Neuron Cell (σ-Neuron Cell)" 1995年度電子情報通信学会学生報告会、p.36
- [3] 榎本忠儀: "マルチメディアに向けたLSIの低消費化技術" 電子情報通信学会誌 Vol.79 No.3 pp.296-306

表1 FET数の比較

	CMOS	σニューロン・セル
2ビット全加算器	80	25
4ビット比較器	164	33
2ビット乗算器	56	15

オブジェクト指向に基づくアセンブリ言語の学習支援ツール

工藤 英男・大西 仁*・若宮 栄**・的場 裕司***

A Study of Assembly Language Learning Tool by the Object - Oriented Approaches

Hideo KUDO, Hitoshi OHNISHI, Sakae WAKAMIYA and Yuji MATOBA

本稿では、アセンブリ言語の修得を支援する学習ツールについて報告する。このツールはオブジェクト指向に基づいて分析・設計ならびに実現を行った。今後、試作したツールを改善することにより、初学者の入門教育の教材として有効なものになると考える。

1. まえがき

コンピュータそのものを専門とする情報系学科では、計算機の構造や振る舞いを理解するためにアセンブリ言語を学習することが必要である。しかし、高級言語と比較して、難解で理解しがたい点で敬遠される傾向にある。その原因として、アセンブリ言語がハードウェアと密接な関係にあり、習得には多くのハードウェアの知識を必要とすることに起因する。また、特に、近年のコンピュータにおけるハードウェアは多機能化と複雑化が進み、初めてアセンブリ言語を学ぶ学生にとって、最新の実機でのアセンブリ言語の学習は適しているとは言い難い。それらの問題点を克服するために、アセンブリ言語の教育用システムや関連するツールの報告がされている[1-6]。これらの多くは大学生を対象としたもので、高専生2・3年のような低学年を対象としたものではないので、この点を改善するために、アセンブリ言語の習得を支援するツールを試作した[7]。

以下、第2章ではアセンブリ言語の学習支援ツールの概要について述べ、第3章ではOMT法を用いた学習支援ツールの開発についてシステム分析を中心に述べる。第4章では試作したツールの実行例と考察を述べ、最後に、第5章ではまとめと今後の課題について述べる。

2. アセンブリ言語の学習支援ツール

アセンブリ言語の基本を習得するには、最新のコンピュータに用いられている複雑なCPUより、基本的な8ビットのCPUであるZ80[8]を対象とする方が適当であると考えた。そこで、次の特徴を持つアセンブリ言語の学習を支援するパソコンのプログラムを作成することにした。

- ①ハードウェアの内部情報の可視化と、容易に参照と編集できる手段を提供する。
- ②多くの情報を瞬時に把握できるよう視覚的に優れたインターフェースを提供する。
- ③学習者が思いのままに操作し、理解を深められるようきめ細かな制御を可能にする。

学習支援ツールは、図1の示すように、CPU、メモリ、レジスタセット、I/Oポート、LEDデバイス、および7セグメントLEDデバイスを構成要素とする仮想マシンと各々のハードウェアのインターフェースとなるウィンドウ群から構成した。図1の構成要素の機能について説明する。

- ①CPU用のウィンドウは、内部情報の表示部と制御用のボタンを持つ。表示部には直前に実行された命令のニーモニックとCPUの動作状態を表示する。また、ボタンはCPUに対して実行、割込み、ステップ実行などの制御命令を送るためのものである。
- ②メモリは64KBのメモリ空間を仮想的に実装したものであり、この空間上にはRAM、ROM、あるいは

* 本校専攻科 電子情報工学専攻

** 本校卒業生

*** 甲南大学理学部

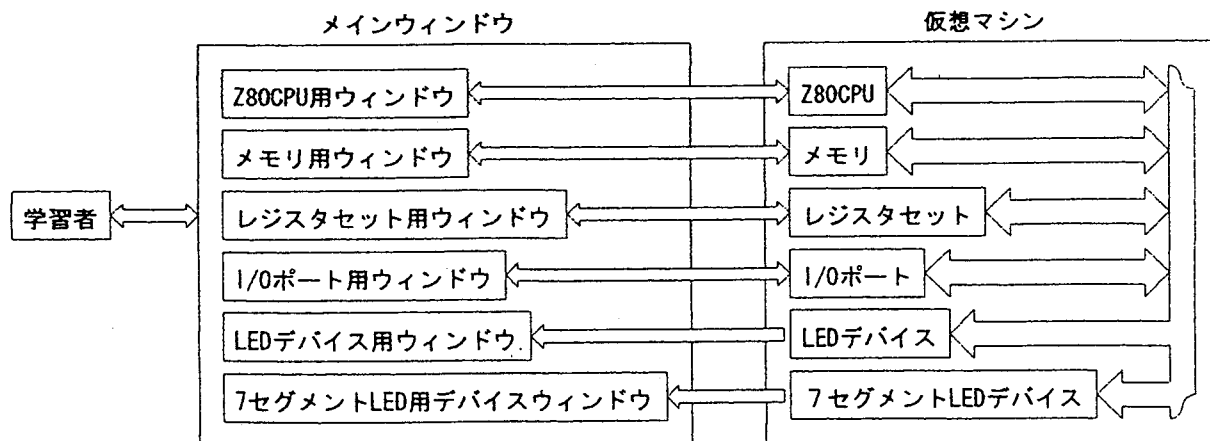


図1 学習支援ツールの概要

はグラフィックビデオ RAM（以下、VRAM と略す）などの素子を配置する。メモリ用のウィンドウは、学習者がメモリの内容を容易に編集できる画面エディット機能を有する。

③レジスタセットはメモリ同様に編集する頻度が高いため、画面エディットが可能なレジスタセット用のウィンドウを持つ。

④I/OポートはZ80の持つI/Oポートアドレス空間を実装したものである。I/Oポート用のウィンドウには周辺のデバイスから出力されているデータを表示する。また、学習者はこのウィンドウを介して、I/Oポートへ直接データを出力できる。

⑤LEDデバイス及び7セグメントLEDデバイスは、入力されたデータを保持して点灯するデバイスとする。

なお、各デバイスは仮想マシン内に存在するバスで接続されており、このバスを介して情報をやりとりする。また、CPUはZ80のバイナリを実行する部分であり、バスを介してメモリから命令をフェッチし、解析して実行する動作を繰り返す。なお、メモリ用ウィンドウは、実行中のコード領域とデータが格納されている領域を同時に表示するなど、メモリ空間に離散的に存在する情報を同時に監視できる複数個のウィンドウを開けるものとする。

3. 学習支援ツールの開発

3.1 システム分析

学習支援ツールの開発手法として、オブジェクトモデル化技法（Object Modeling Technique, 以下、OMTと略す）[9]を採用した。オブジェクトモデルはシステムの静的・構造的な側面を、動的モデルはシステムの時

間的・動作的な側面を、機能モデルはシステムの変換的・機能的な側面をそれぞれ表現したものである。

(1) オブジェクトモデルの構築

分析の第1ステップでは、オブジェクトモデルを構築する。3つのモデルの中でオブジェクトモデルが動的モデルや機能モデルに先行するのは、通常オブジェクトモデルの対象となる静的な構造がよりの確に定義できるからである。図2に学習支援ツールのオブジェクトモデルを示す。

メモリを例にとると、RAMやROMはメモリICであり、VRAMは特殊なRAMである。また、メモリ空間は複数のメモリICから構成し、他のデバイスもメモリ同様、実世界の存在に基づいてモデル化する。仮想マシンを構成する各デバイスは、オブジェクトクラスとしてモデル化されたバスによって関連づけ、バスおよび各デバイスから仮想マシンを構成する。

(2) 動的モデルの構築

分析の第2ステップである動的モデルの構築は基本的に状態をノード、事象を枝とする状態遷移図の集合として表現する。学習支援ツールでの動的な振る舞いは簡素である。学習者の操作を反映して事象を発生する要素はCPU用のウィンドウのみであり、他のウィンドウは、状態を問わず並列的にデバイスの保持するデータを参照あるいは変更するだけである。すなわち、これらのウィンドウに対する学習者の操作は、状態の遷移に一切関与しない。また、唯一の事象の発生源となるCPUウィンドウも、実行、割込みおよびステップ実行のボタンによる事象を発生するだけであり、これらの事象は単にCPUに対して動作の制御を行うものである。

さらに、学習者の操作から二次的に起こる内部的な状態遷移も非常に簡素であり、CPUクラスが動作状態に

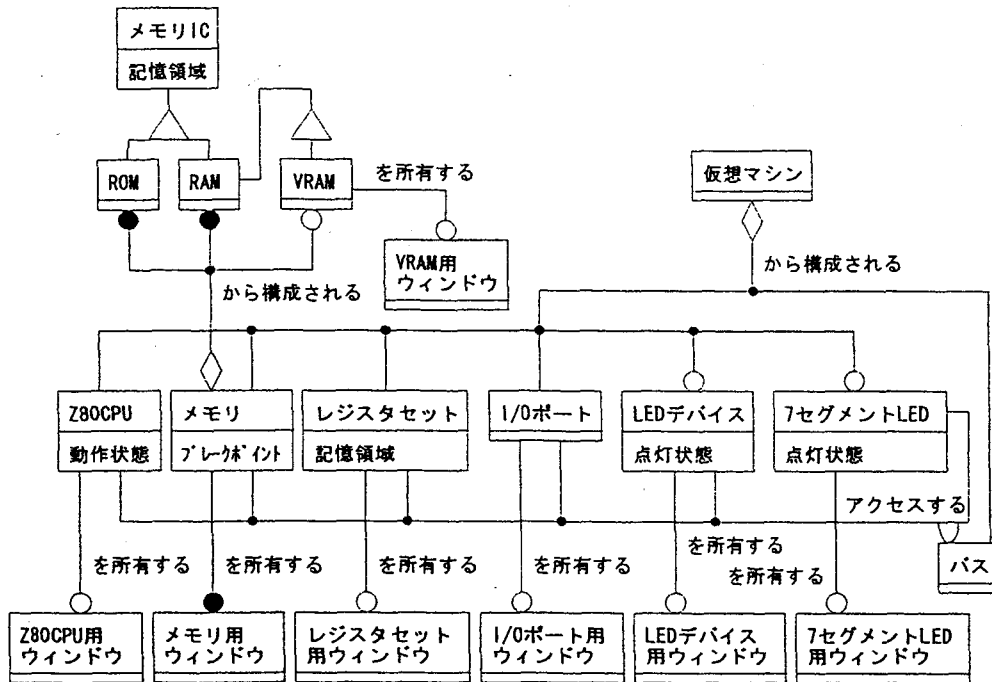


図2 オブジェクトモデル

応じてアイドルあるいは実行のループを遷移し続けるだけである。他のデバイスのオブジェクトクラスは、CPUからの問い合わせに対して状態の遷移を伴わない一時的な動作を行う。

(3) 機能モデルの構築

分析の最後のステップでは、機能モデルを構築する。機能モデルは、計算の順序やオブジェクトの構造を無視して、値がどのように変換されていくかだけを表すモデルである。機能モデルでは、関数や手続きをノードに、データのフローを枝にもつグラフを基本に表現する。機能モデルの例として、図3に学習支援ツールのステップ動作プロセスに対するデータフロー図を示す。

図3では、ステップ動作におけるプロセス全体はプログラムカウンタの入力を、メモリ、レジスタセットあるいはI/Oポートへの操作の出力に変換する。この変換は、主にフェッチ、デコードおよび実行の3つのプロセ

スによってなされ、以下にこれらの機能記述を示す。

①フェッチ（プログラムカウンタ、命令長、メモリ）

- ・プログラムカウンタの保持するアドレスに格納されている1バイトデータを、メモリからロードする。
- ・この1バイトデータと命令長テーブルを比較し、もし命令長テーブルから命令長が得られたなら、さらに、命令長-1バイトのデータを同様にロードし、これらの任意長のデータをバイナリとして出力する。
- もしそうでなければ、命令長を1とみなして、最初の1バイトだけをバイナリとして出力する。

②デコード（バイナリ、変換テーブル）

- ・バイナリを変換テーブルと比較することにより中間表現を生成し、出力する。

③実行

（中間表現、I/Oポート、レジスタセット、メモリ）

- ・もし中間表現が不正命令なら、

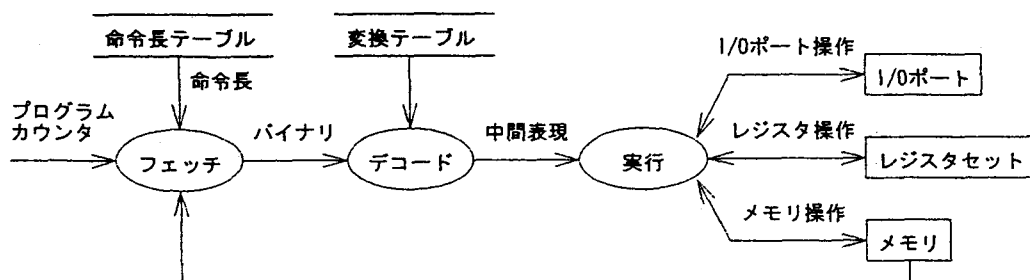


図3 機能モデル

何もしない。

- もし中間表現がデータ転送を伴うなら、
I/Oポート、レジスタセットあるいはメモリに対して、操作命令を出力する。
- もし中間表現が演算を伴うなら、
レジスタセットあるいはメモリから必要なデータを読み込み、加工して操作命令とともに中間表現で指定される先に出力する。
- もし中間表現が何らかの制御を伴うなら、
操作命令として出力する。
- いかなる場合も、
中間表現に含まれる命令長をもとに、レジスタセットに対してプログラムカウンタを進めるよう操作命令を出力する。

各プロセスはより具体的なサブプロセスへと展開することにより、データの変換過程を明確にすることができる。アプリケーション全体としての大まかなデータフロー（最上位データフロー）があり、このデータフロー中にサブプロセスとして現れるステッププロセスを部分的に抜き出し、さらに展開してものが図3あるいは機能記述である。

このように、他のプロセスも任意の抽象レベルで展開、表現することが可能であり、全体として、キーボードやマウスから与えられる学習者の操作を入力とし、画面への表示する最上位データフローを表現する。

3.2 システム設計

分析における焦点は「何をすべきか」という問題を明確に定義することにあるのに対し、システム設計にける焦点は「どのように行うか」という問題解決のための手段にある。特にシステム設計では解を構築していく上での、高い抽象レベルでのアプローチを図る。

分析で得られたモデルおよびシステム設計で決定したアーキテクチャをもとに、アルゴリズムやデータ構造、設計におけるトレードオフ、制御や関連の実装などを決定する。なお、オブジェクト設計や関連の設計などについては紙面の都合上割愛した。

3.3 学習支援ツールの実現

ツールの開発環境と動作環境は、マイクロソフト社のMS- Windows3.1環境下で、ボーランド社のBorland C++4.0J[10]を用いて、Windowsアプリケーションとして作成した。また、ツールの実現は、最終的な実装の前に、暫定的に決定されたモデルを用いてラピッドプロトタイピングによるアプローチを図った。その結果をフィードバックし、設計を吟味した後、C++言語およ

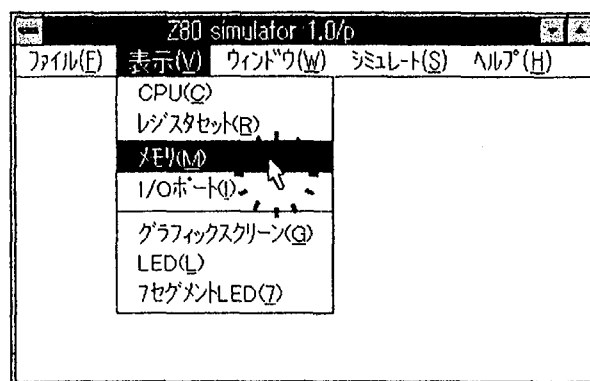
びOWL (Object Windows Library) クラスライブラリによる実装を行った。

4. 実行例と考察

学習支援ツールの実行における画面例を、以下に図4の①から④の順に示す。

①メモリウィンドウを開く

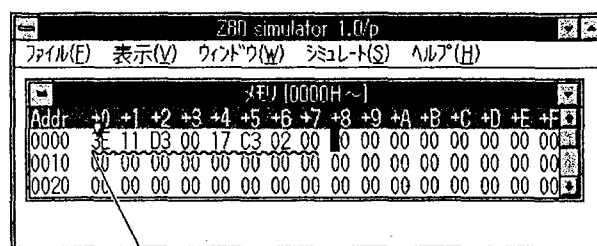
- メモリウィンドウのメニューから「表示」-「メモリ」を選択する。



②オブジェクトコードを入力する

- キーボードから、次のオブジェクトコードをプログラムメモリに格納する。

アドレス	コード	ニーモニック
0000	3E 11	ORG 0000H LD A,11H
0002	D3 00	OUT (00H),A
0004	17	RLA
0005	C3 02 00	JP 0002H

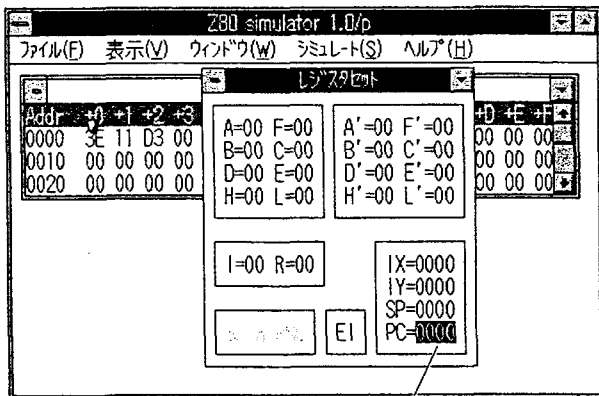


キーボードから入力

3E 11 D3 00 17 C3 02 00

③ PCレジスタを設定する

- ・メニューの「表示」 - 「レジスタセット」からレジスタセットウィンドウを開く。PCレジスタの値を000Hに設定する。



クリックして強調表示した後
キーボードから「0000H」と入力

④ プログラムを実行する

- ・メニューの「表示」から CPU ウィンドウと LED ウィンドウを開く。CPU ウィンドウの実行ボタンを押して、プログラムの動作を確認する。

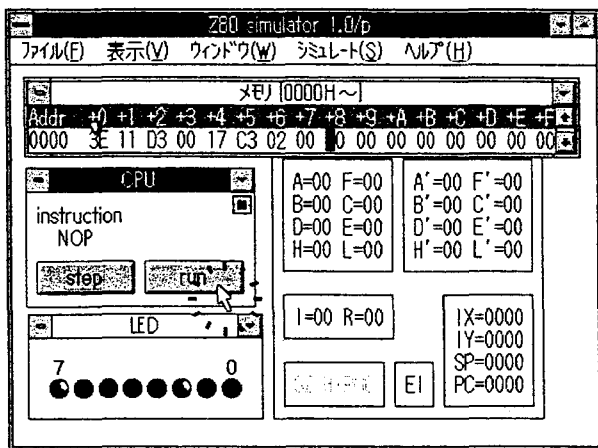


図4 学習支援ツールの実行例

以下に、本ツールに関する考察を行う。利点としては、学習支援ツールの開発、動作環境であるMS-Windowsが提供するウィンドウを用いたグラフィカルなインターフェースのもつ長所を生かすことにより、学習者に対して、分かりやすくかつ直観的に操作しやすいインターフェースが実現できた。

例えば、レジスタセットは、レジスタセットウィンドウなるウィンドウインターフェースをもち、それぞれの

レジスタに格納されている値がリアルタイムに表示され、また学習者は、表示されている値をクリックして新しい値をタイプするだけで変更することが可能にした。このように学習者は、本来ならばブラックボックス的なハードウェアの内部を瞬時に把握することができ、また思いのままに編集し、試してみることで理解を促進すると考えられる。

改善すべき問題点としては、実行速度についてである。Pentium(100MHz)のシステムで、1秒あたり約70命令程度実行するが、この値は決して満足のいくものではない。これは全てのウィンドウをクローズした状態での値であり、メモリウィンドウを1枚開いた場合の実測値は、約10命令/秒とさらに低下する。これらの実行速度に対する問題は、次の2つの原因によるものである。

1つはメモリの実装におけるデータ構造およびアルゴリズムである。リスト構造を採用しているため、1バイトのデータをロードする毎に線形探索を行う。高速化のみを追求するなら、Z80のアドレス空間を64Kバイトの配列として実装すればよいであろう。

もう1つの原因は、メモリウィンドウに対する描画である。現段階ではメモリに対してストアされるごとに、そのストアされるアドレスがウィンドウ内に表示されているいないに関わらず、ウィンドウ全体を再描画している。この処理にかかる時間は、データ構造およびアルゴリズムの問題の比でないほど大きなものである。

この問題はコーディングを設計モデルに忠実に、また可読性を重視して行ったための結果であり、この処理をウィンドウに表示されていない場合は無視し、描画する場合も必要な領域だけを描くようにすれば飛躍的に改善されるであろう。

5. あとがき

本学習支援ツールを用いることにより、学習者は本来ならばブラックボックス的なハードウェアの内部を瞬時に把握することができ、理解を促進するであろう。なお、実行速度が遅い原因の一つとしては、コーディングを設計モデルに忠実に、また可読性を重視して行ったための結果であると考えられる。

今後の課題としては、考察で述べたような問題の改善や、オンラインヘルプによる学習の支援環境としての充実、動的なシステム構成の変更(例えば、ダイアログボックスでメモリマップを自由に設定できるなど)、アセンブル、逆アセンブル、ヒストリ機能などの追加などが望まれる。

参考文献

- [1] 的場, 吉岡, 佐藤: プログラミング教育用擬似計算機システムについて, 情報処理, Vol.17, No.2, pp.118-123 (1976).
- [2] 佐藤他: TSS によるアセンブリ言語教育用システム, 信学技報, Vol.78, No.112, pp.13-16 (1978).
- [3] 樽美, 宇津宮, 荒牧: 計算機理解援助用シミュレータ SIM960, 信学技報, Vol.79, No.78, pp.27-32 (1979).
- [4] 阿草他: TSSの下でのアセンブリ言語および計算機構造の教育援助システム, 情報処理学会論文誌, Vol.21, No.6, pp.482-490 (1980).
- [5] 島崎他: 情報工学科におけるプログラミング学習の一例, 情報処理学会論文誌, Vol.21, No.2, pp.83-90 (1980).
- [6] 的場, 工藤, 松浦, 吉岡: 連結編集過程を考慮したソフトウェア教育用ツール (TSE), 情報処理学会論文誌, Vol.22, No.5, pp.458-464 (1981).
- [7] 若宮, 工藤: 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開発, 教育システム情報学会関西支部, 第10回学生研究発表会論文集, pp.29-30 (1996).
- [8] 額田忠之: 「Z80ファミリ・ハンドブック」, CQ出版社 (1985).
- [9] James Rumbaugh: "Object - Oriented Modeling and Design", Prentice - Hall, (1991) (羽生田栄一訳: 「オブジェクト指向方法論 OMT」, トッパン (1992)) .
- [10] Borland International : 「Borland Object Windows for C++ 2.0プログラマーズガイド」, ボーランド株式会社 (1994).

連想記憶プロセッサを用いたパターン並列故障シミュレーションの解析

世 古 忠

Analysis of Computational Complexities of Pattern Parallel Fault Simulation on Content Addressable Memory Processor

Tadashi SEKO

In this paper, we analyse computational complexities of parallel fault simulations on content addressable memory processor. First, a formal model of content addressable memory processor is introduced. Then, we describe algorithms of parallel fault simulation on it. Finally, it is shown that computational complexity of pattern parallel fault simulation is $O(n)$.

1 まえがき

論理回路の故障シミュレーションは、テストパターン
の故障検出率の評価、テストパターンの生成、故障辞書
の作成などに用いられており、論理回路の故障検査に不
可欠なものである[1][2][3]。通常、故障シミュレー
ションでは、仮定された複数の故障と多くのテストパ
ターンに対して、論理回路のシミュレーションを行う必
要がある。このため、回路規模の増大に伴う計算量の増
大が問題になっており、この問題を解決することに関心
が集まってきている。

こうしたアプローチの1つとして、連想記憶プロセッ
サのもつビット毎の並列演算機能を利用して計算時間の
短縮をはかる試みがある[4][5]。連想記憶プロセッサは
SIMD(Single Instruction Multiple Data)型の並列プ
ロセッサと考えられる。故障シミュレーションの並列ア
ルゴリズムは故障並列法とパターン並列法に分類できる
[1][3]。これまで、石浦等[5]は連想記憶上で故障並列
アルゴリズムを線形時間で計算する方法を提案している。
これに対し、本論文ではパターン並列アルゴリズムを連
想記憶プロセッサ上で実現する場合[6]の計算量の解析
を行なう。解析の結果、パターン並列アルゴリズムの計
算量は $O(n)$ である結果が得られた。

2 連想記憶のモデル

ここで考える連想記憶のモデルを図1に示す。基本的
に、連想記憶は記憶アレイ部、マスクレジスタと選択レ
ジスタから構成される。記憶アレイ部の各語は x ビット
の長さを持ち、全体で y 語ある。各語は信号線により選
択レジスタに接続されている。連想記憶に対して次の7
種類の命令が定義されている。

(1) Setmask register(MKSET Data)

長さ x ビットのDataをマスクレジスタにセッ
トする。

(2) Search data(SEARCH {thru,and,or} Data)

連想記憶の各語に対し、マスクレジスタによっ
てマスクされていない部分の値と、Dataとを比
較して、一致するときその語に対応する選択レ
ジスタのビットの値を次の様に定める。thruなら
1にする、andなら選択レジスタのビットとの論
理積をとり、一方orなら論理和をとり、その結
果を選択レジスタの新しい値とする。

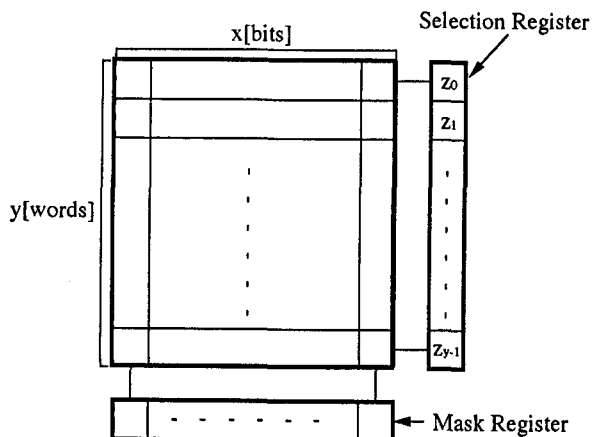


図1 連想記憶の構成

- (3) Shift selection register (SHIFT {fd,bfd})
 選択レジスタの中味をfdなら前方向に, bfdなら後方向(bfd)に1ビットだけシフトする。
- (4) Parallel write (PWRITE {all,sel,unsel} Data)
 allなら連想記憶のすべての番地にDataを並列に書き込む。selなら対応する選択レジスタの値が1となっている番地にDataを並列に書き込む。次にunselなら選択レジスタの値が0となっている番地に書き込む。
- (5) Parallel read (PREAD {all,sel,unsel})
 allなら連想記憶のすべての番地からデータを並列に読み出す。selなら対応する選択レジスタの値が1となっている番地からデータを並列に読み出す。unselなら逆に選択レジスタの値が0となっている番地から並列に読み出す。
- (6) Write data (WRITE adr Data)
 adrの示す連想記憶の番地にDataを書き込む。
- (7) Read data (READ adr)
 adrの示す連想記憶の番地からデータを出力用メモリに読み出す。

3 並列故障シミュレーション

故障シミュレーションでは、通常、与えられた回路、故障集合とテストパターン集合に対して、どのテストパターンによってどの故障が検出可能であるかを決定する。ここでは、代表的な2つの並列故障のシミュレーション法であるパターン並列法と故障並列法について説明する。

3.1 パターン並列の故障シミュレーション

連想記憶を用いたパターン並列の故障シミュレーションの実現を例を用いて説明する。パターン並列の故障シミュレーションのアルゴリズム (Algorithm PP) の概要を次に示す。

Algorithm PP

- Step1: 故障値格納領域(/0,/1)に故障値0または1をセットする。
- Step2: すべてのテストパターンを連想記憶に読み込む。
- Step3: 正常回路に対し、全てのテストパターンについて論理シミュレーションを行ない、正常時の出力値を計算する。
- Step4: 次の(1)と(2)の一連の処理を各故障について並列に実行する。
 - (1) 故障回路に対して、全てのテストパターンについてゲートの評価を行って、故障時の出力値を計算する。
 - (2) 故障時の出力値と正常時の出力値を比較する。もし値が異なるテストパターンがあれば、そのテストパターンは故障を検出可能であると判断する。

【例1】ここでは図2に示す4個のNANDゲート G_1, G_2, G_3, G_4 , 4本の入力信号線 x_1, x_2, x_3, x_4 , 1本の出力信号線 f , その他の5本の信号線 g, h, i, j, k から構成される回路について考える。図3(a)は、その回路に対する連想記憶上での表現を示す。上記の10本の信号線に対応する10個のビット以外に $f_a, /0, /1$ の3ビットを含んでいる。 f_a は与えられた縮退故障が回路上に発生したと仮定した場合の回路の出力を格納する。一方、 $/0, /1$ は各語について見ると0, 1の値をもち、それぞれ0縮退故障と1縮退故障を表す。

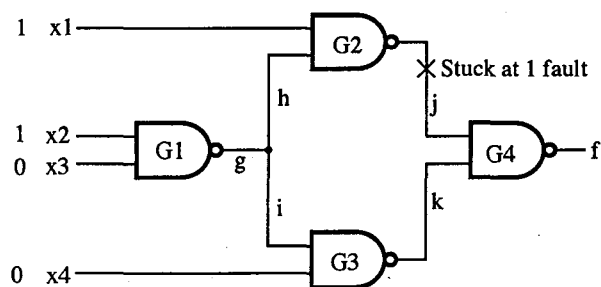


図2 回路例1

図3(a)は故障シミュレーションの入力を、図3(b)は故障シミュレーションの出力を表している。テストパターン $T_1=(1,1,0,0)$ に対して、故障のない場合には内部信号線と出力信号線の値は $(g,h,i,j,k,f)=(1,1,1,0,1,1)$ となる。ここで信号線 j の1縮退故障について考える。この場合には、 j の信号線の値としては、/1フィールドの値（同様に、0縮退故障の場合には/0フィールドの値）を用いて計算し、求まった出力信号線での値を f_a とする。この場合 $(g,h,i,j,k,f_a)=(1,1,1,1,1,0)$ となる（図3(b)参照）。 $f \neq f_a$ が成立するのでテストパターン T_1 により信号線 j の1縮退故障が検出できることが分かる。

図3(b)は全ての可能なテストパターン $T_0, T_1, \dots, T_{12}$ に対する信号線 j の1縮退故障に関する結果を示す。この結果から信号線 j の1縮退故障は（ $f \neq f_a$ となっている）テストパターン T_1, T_6, T_{12} によって検出可能であることが分かる。

	x1	x2	x3	x4	g	h	i	j	k	f	f_a	/0	/1
T0	1	1	1	0								0	1
T1	1	1	0	0								0	1
T2	0	1	0	0								0	1
T3	0	0	0	0								0	1
T4	0	0	1	0								0	1
T5	0	0	1	1								0	1
T6	1	0	1	1								0	1
T7	1	1	1	1								0	1
T8	1	1	0	1								0	1
T9	1	0	0	1								0	1
T10	0	0	0	1								0	1
T11	0	1	0	1								0	1
T12	1	0	1	0								0	1

(a) 初期状態

	x1	x2	x3	x4	g	h	i	j	k	f	f_a	/0	/1
T0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1
T1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1
T2	0	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1
T3	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1
T4	0	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1
T5	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1
T6	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1
T7	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1
T8	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1
T9	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1
T10	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1
T11	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1
T12	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1

(b) 最終状態

3.2 故障並列の故障シミュレーション

連想記憶を用いた故障並列の故障シミュレーションの実現を例を用いて説明する。故障並列の故障シミュレーションのアルゴリズム(Algorithm FP)の概要を次に示す。

Algorithm FP

- Step1: 各テストパターンについて次の Step2, Step3を実行する。テストパターン p を1つ読み込む。
- Step2: 正常回路に対し、読み込んだテストパターンについて論理シミュレーションを行い、正常時の出力値を計算する。
- Step3: 各故障について、次の(1)~(3)を並列に実行する。

- (1) 故障に対応して、連想記憶上で対応する信号線の値を書き換える。
- (2) 故障回路の出力を計算する。
- (3) 正常回路と故障回路の出力値を比較する。もし値が異なる故障回路が存在すれば、その故障は検出可能であると判断する。

〔例2〕例1と同様、図2の回路について考える。従って、信号線の集合は、 $\{x_1, x_2, x_3, x_4, g, h, i, j, k, f\}$ となる。今、次のような信号線の故障集合 $\{x_1/0, x_2/1, x_3/0, x_4/1, g/0, h/0, i/1, j/1, k/1, f/0\}$ （ただし、 $x_1/0(1)$ は信号線 x_1 の0(1)の縮退故障を表す）を考える。便宜上 $x_1/0, x_2/1, x_3/0, x_4/1, g/0, h/0, i/1, j/1, k/1, f/0$ をそれぞれ $f_1, f_2, \dots, f_{10}$ と表す。信号線の信号値の他に、故障番号を2進数で格納する。故障番号0の語は正常回路に対応している。回路に故障 f_i を仮定した場合を、故障番号 i の行に対応させる。

図4(a)に連想記憶の初期状態を表す。同図では入力信号線にテストパターン $(x_1, x_2, x_3, x_4)=(1,1,0,0)$ を読み込んだ状態を示す。図4(b)には故障並列故障シミュレーションの結果を示す。正常回路の出力は1であり、故障 f_i を仮定したときの出力値0と異なっているのがテストパターンにより、 f_i の故障が検出できることが分かる。図4(b)より、最終的にはテストパターン $(1,1,0,0)$ によって故障 f_1, f_5, f_6, f_8 の故障が検出できることが分かる。

図3 パターン並列の故障シミュレーション

	fault no.	x1	x2	x3	x4	g	h	i	j	k	f
f0	0	0	0	0	1	1	0	0			
f1	0	0	0	1	1	1	0	0			
f2	0	0	1	0	1	1	0	0			
f3	0	0	1	1	1	1	0	0			
f4	0	1	0	0	1	1	0	0			
f5	0	1	0	1	1	1	0	0			
f6	0	1	1	0	1	1	0	0			
f7	0	1	1	1	1	1	0	0			
f8	1	0	0	0	1	1	0	0			
f9	1	0	0	1	1	1	0	0			
f10	1	0	1	0	1	1	0	0			

(a) 初期状態

	fault no.	x1	x2	x3	x4	g	h	i	j	k	f
f0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1
f1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1
f2	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	1
f3	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1
f4	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0
f5	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1
f6	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1
f7	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1
f8	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1
f9	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1
f10	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	1

(b) 最終状態

図4 故障並列の故障シミュレーション

4. 時間計算量の分析

4.1 準備

連想記憶を用いた並列故障シミュレーションに要する時間計算量を分析するため、幾つかの記号を導入する。シミュレーションの対象になる論理回路のゲート数を n 、故障の総数を m 、テストパターンの総数を l とする。パターン並列アルゴリズム、及び、故障並列アルゴリズムを適用した場合のゲートの評価回数をそれぞれ、 N_p 、 N_f とし、実行時間を T_p 、 T_f とする。

更に、図1に示したように連想記憶の記憶アレイ部のサイズを x (ビット) $\times y$ (語)とする。以下の分析においては、連想記憶のサイズは十分に大きいものと仮定する。すなわち、記憶アレイ部には回路に含まれるすべての信号線を1語として表現できるものとする。更に、すべてのテストパターン及びすべての故障が記憶アレイ部に格納できるものとする(つまり、 $y \geq l$ 、かつ、 $y \geq m+1$)。

4.2 主な結果

ゲートの評価回数について、次の補題1、2が成立する。

補題1: パターン並列アルゴリズムによる故障シミュレーションの場合、ゲートの評価回数 N_p は次式で与えられる。

$$N_p = \alpha n \leq n(m+1) \quad (1)$$

ここで、 $\alpha = 1 + k_1 + k_2 + \dots + k_m$ であり、各 k_i ($1 \leq i \leq m$)は i 番目の故障時に評価したゲートの割合である。

補題2: 故障並列アルゴリズムによる並列故障シミュレーションの場合、ゲートの評価回数 N_f は次式で与えられる。

$$N_f = ln \quad (2)$$

次に、上述の補題より並列故障シミュレーションに要する実行時間に関する定理が証明できる。

定理1: パターン並列アルゴリズムによる故障シミュレーションの場合、実行時間 T_p は、次式で与えられる。ここで、 c_1 はゲートの評価時間の平均とする。

$$T_p = c_1 N_p = c_1 \alpha n \leq c_1 n(m+1) \quad (3)$$

定理2: 故障並列アルゴリズムによる故障シミュレーションの場合、実行時間 T_f は次式で与えられる。ここで c_1 はゲートの評価時間の平均とし、 c_2 は故障の挿入(Algorithm FPのStep3の(1)の処理)に要する時間の平均とする。

$$T_f = c_1 N_f + c_2 m \quad (4)$$

$$= c_1 ln + c_2 m \quad (5)$$

定理1、2より次の系1、2が導かれる。

系1: パターン並列アルゴリズムによる故障シミュレーションを行なう場合の計算時間は $T_p = O(n)$

である。

系2: 故障並列アルゴリズムによる故障シミュレーションを行なう場合の計算時間は $T_f = O(n)$ である。

いわゆる木状回路の場合、回路内のゲート評価を並列に実行するとき、並列度が急激に減少する。このような性質をもつ回路の場合には故障並列アルゴリズムよりもパターン並列アルゴリズムの方が有利であると思われる。

系3: $n = 2^s - 1$ 個の2入力1出力ゲートからなる木状回路について考える。故障の総数を $m = 2(2^{(s+1)} - 1)$, テストパターンの総数を $1 = 2^{(2^s)}$ する。このとき、ゲート評価回数 N_p , N_f は次式で与えられる。

$$\begin{aligned} N_p &= O(n \cdot 2^s) \\ N_f &= O(n \cdot 2^{2^s}) \end{aligned}$$

この系3とは逆に、並列にゲート評価を実行するとき、評価の度に並列度が増大する性質をもつ回路の場合には、パターン並列アルゴリズムに比べ故障並列アルゴリズムが有利になると予想される。

5 おわりに

本論文では、連想記憶を用いた2つの並列故障シミュレーション法の計算複雑性について考察を行なった。その結果ゲート数 n に対してパターン並列法の計算時間が $O(n)$ であることを示した。今後の課題として、ベンチマーク回路を用いて故障並列法とパターン並列法の比較を行なうこと等が挙げられる。

参考文献

- [1] M.Abramovici, M.A.Breuer and A.D.Friedman, *Digital Systems Testing and Testable Design*, Computer Science Press (1990).
- [2] M.A.Breuer and A.D.Friedman, *Diagnosis & Reliable Design of Digital Systems*, Computer Science Press (1976).
- [3] E.W.Thompson and S.A.Szygenda, "Digital Logic Simulation in a Time-based, Table-driven Environment: Part 2. Parallel Fault Simulation", *Comput.*, Vol.8, pp.38-49 (1975).
- [4] 安浦, 渡部, 左達, 田丸, "機能メモリ型並列プロセッサFMPP上での論理シミュレーション", 電子情報通信学会計算機システム研究会資料CP-SY90-94 (1991).
- [5] N.Ishiura and S.Yajima, "Linear Time Fault Simulation Algorithm Using a Content Addressable Memory", *IEICE Trans. on Fundamentals*, Vol.E75-A, no.3, pp.314-320 (1992).
- [6] 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.

単一ノズルからの気泡生成に及ぼす先行気泡の影響

安部 香織・河越 幹男

Effects of a Preceding Bubble on Formation of Bubble through a Single Nozzle

Kaori ABE and Mikio KAWAGOE

A bubble formation model was proposed to evaluate effects of a preceding bubble on a following bubble growing at top of a nozzle immersed in water. The effects of preceding bubble were taken into account through a wake formed behind the preceding bubble. Calculations on bubble formation were carried out for three cases. Frequency of bubble formation and bubble size were measured by light attenuation method. Rising velocity of bubbles was obtained by analyzing video tape. Comparing the bubble sizes calculated from the model with the ones observed, we found that the preceding bubble affects formation of the following bubble but no coalescence occur.

緒 言

単一ノズルからの気泡生成に関しては、従来から多くの研究がなされており、最近では非球形モデル^{3), 4)}のような現実の現象に即したシミュレーションモデルも提案されている。しかし、このような厳密なシミュレーションは、高速のコンピューターを用いても非常に長い計算時間を必要とするため、近年においても、厳密さには欠けるが、現象を容易に把握できる簡単な球形モデル¹⁾が用いられ、気泡生成に及ぼすガス流速や気液物性などの影響が検討されている。種々のモデルが提案されているが、ほとんどのモデルはノズルから生成している単一の気泡のみに注目した気泡生成モデルである。実際の気泡生成においては、先に生成してノズルを離脱して上昇している先行気泡の影響がある。しかし、このような先行気泡の影響を考慮した気泡生成モデルはほとんど見あたらない。

本研究では、計算の簡単な球形モデルに先行気泡の影響を考慮したモデルを考案し、先行気泡の後続気泡に及ぼす影響について考察し、数値シミュレーションにより生成気泡径を求め、実測値と比較検討した。

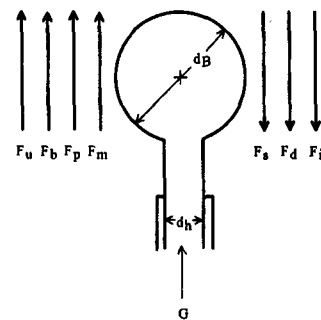


Fig.1 Bubble formation model

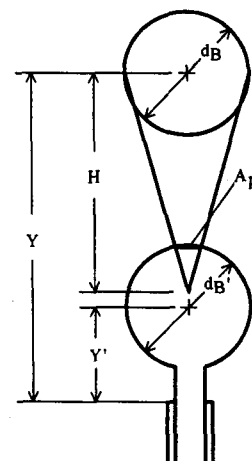


Fig.2 Schematic view of model considering the influence of preceding bubble

気泡生成モデル

本研究で用いたモデルをFig. 1に示した。用いたモデルは2段階球形モデルであり、気泡に働く力をそれぞれ矢印で示した。気泡生成中のガス流量は一定で、流体は静止していると仮定した。気泡体積は、ノズルからのガスの供給により増加する。

Fig. 2は先行気泡の影響を評価するモデルを示している。気泡が液中を上昇するとき、気泡の背後に渦が形成され、この渦は気泡に同伴して上昇する。この気泡の背後に形成される渦を後流(wake)という。wakeの体積は気泡形状や流れ状態によって異なるが、球形気泡の場合、wakeの体積 V_L は次式で表される¹⁾。

$$V_L = \frac{11}{16} V_B \quad (1)$$

先行気泡の後続気泡に及ぼす影響はwakeを介して及ぼされる。ここでは簡単化のため、wakeの中に後続気泡が入った場合に先行気泡の影響が現れると考える。wakeの長さを厳密に求めることは可能ではあるが、複雑な計算を要する。実際の気泡生成の現象を考慮するとそこまでの厳密さは必要ではないと思われるので、ここでは簡単化のためwakeの形状を底面の直径が気泡径と同じ円錐形で近似してwakeの長さ H を次式から求めた。

$$H = (V_L + \frac{1}{2} V_B) / (\pi d_B^2 / 12) = 2.375 d_B \quad (2)$$

先行気泡のwakeに覆われる後続気泡の前面の断面積 A_p は、wakeを円錐形で近似した場合、円錐断面の面積として次式で表せる。

$$A_p = \frac{H - \{Y' - (Y + d_B)\}}{H} \quad (3)$$

ここで、 Y および Y' はそれぞれノズル先端からの先行気泡及び後続気泡の中心位置である (Fig. 2 参照)。ただし、後続気泡が先行気泡のwake中に全て入ってしまった場合には A_p は気泡の断面積として次式で表す。

$$A_p = \frac{\pi}{4} d_B^2 \quad (4)$$

先行気泡の後続気泡に及ぼす力 F_u は A_p に働く抗力で評価する。後続気泡は先行気泡のwake中を速度 u_D で上昇しているとすれば、 F_u は次式で表せる。

$$F_u = C_d A_p \left(\frac{\rho_L u_D^2}{2} \right) \quad (5)$$

ここで、 u_D は先行気泡と後続気泡の上昇速度の差で与えられる。

生成中の気泡についての力の釣り合いは、次式で表せる。

$$F_p + F_b + F_m + F_u = F_g + F_d + F_i \quad (6)$$

ここで、 F_p はノズルにおける圧力差 $P_g - P_L$ による上向きの力、 F_b は流入ガスの持つ運動量、 F_g はノズルにおける表面張力による下向きの力、 F_d は気泡に働く抗力(下向き)、 F_i は気泡に働く慣性力であり、それぞれ次式で与えられる。

$$F_p = \frac{\pi}{4} d_B^2 (p_g - p_L) \quad (7)$$

$$F_b = \frac{\pi}{6} d_B^3 (\rho_g - \rho_L) \quad (8)$$

$$F_m = \frac{\pi}{4} d_B^2 \rho_g w_g^2 \quad (9)$$

$$F_g = \pi d_B \sigma \quad (10)$$

$$F_d = \frac{\pi}{4} d_B^2 C_d \frac{\rho w^2}{2} \quad (11)$$

$$F_i = (\rho_g + \frac{11}{16} \rho_L) \frac{\pi}{6} d_B^3 \frac{dw}{dt} \quad (12)$$

運動方程式(6)を数値積分することにより生成中の気泡の上昇速度 w を求めた。

一方、ノズルから分離した後の気泡上昇速度 u_B は次式で表せる。

$$m \frac{du_B}{dt} = F_b - F_d \quad (13)$$

ここで、 F_b は上昇中の気泡に働く浮力、 F_d は抗力、 m は気泡とwakeの合計質量であり、ノズル離脱後の気泡体積及び断面積を V_B 、 A_B とすると、それぞれ次式で与えられる。

$$F_b = (\rho_L - \rho_g) V_B g \quad (14)$$

$$F_d = C_d A_B \left(\frac{\rho_L u_B^2}{2} \right) \quad (15)$$

$$m = \rho_g V_B + \rho_L V_L \quad (16)$$

先行気泡の影響を無視する場合には、運動方程式(6)式において $F_u = 0$ とすればよい。計算は次の3つのケースについて行った。

(ケース1) 先行気泡の影響が全くない場合($F_u = 0$)

(ケース2) 先行気泡の影響を考慮するが、先行気泡と後続気泡が接触しても気泡は合体せず、上昇速度は両者の気泡速度の平均値になるとした場合

(ケース3) 先行気泡と後続気泡が接触したときには2個の気泡は合体して1個の気泡になる場合

実験装置および方法

用いた塔は正方形断面(100×100mm)を持つ高さ280mmの透明アクリル樹脂製の角槽であり、塔底の中心にノズルを設置した。ノズルは外径6mm、孔径1mmのガラス管を用いた。ノズルの長さは95mmで、ノズル先端は塔底から48mmの高さにくるように設置した。

気泡の生成頻度を測定するため、塔軸に対して左右対称の位置に光源と受光器を設置した。光源にはヘリウム-ネオンレーザー、受光器にはフォトランジスターを用いた。ガスは窒素、液は脱イオン水である。ガス流量は0.14~5.0cm³/sの間で変化させた。

レーザーの光路はノズル孔の真上にくるようにセットした。生成した気泡が光路を横切るとレーザー光を散乱して透過光強度が変化する。この透過光強度の変化をフォトランジスターで測定した。気泡生成頻度に対応したパルス信号が得られるので、パルス周期から気泡生成頻度 f を求めた。気泡体積 V_B はガス流量 G と生成頻度 f から次式で求められる。

$$V_B = G / f \quad (17)$$

気泡径 d_B は気泡を球形と仮定して算出した。

同時にビデオカメラで気泡生成過程を撮影し、気泡の上昇速度と気泡が垂直に上昇する距離 Z を求めた。ビデオカメラの1コマ当たりの時間は1/30sであるので、1コマ毎の気泡の距離の変化 ΔZ を測定して、気泡上昇速度 u_B を $u_B = 30 \Delta Z$ から算出した。

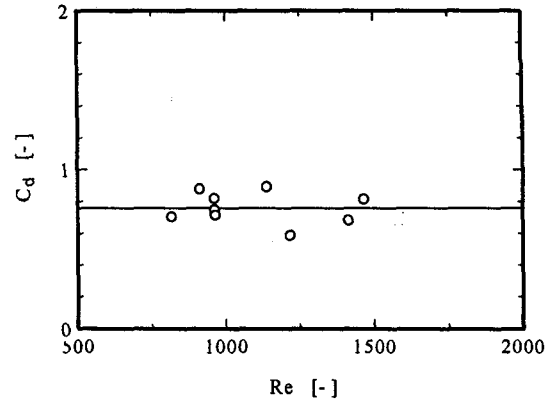
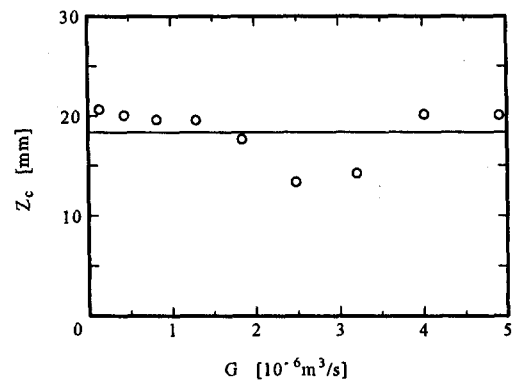
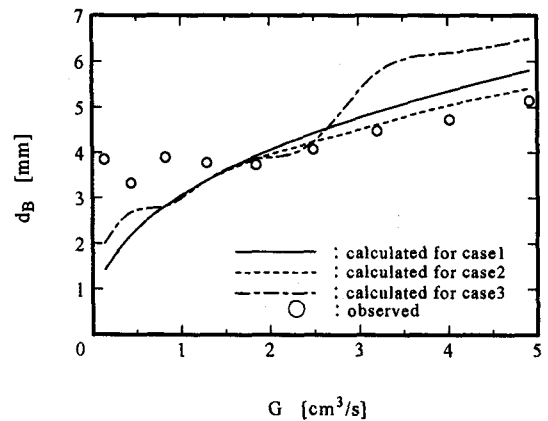
実験結果及び検討

実験により求めたノズル離脱後の気泡の直径 d_B 、及び上昇速度 u_B を用いて次式より抵抗係数 C_d を求め、Fig. 3 にこの結果を C_d 対 $Re (= d_B u_B \rho_L / \mu_L)$ のプロットで示した。

$$C_d = \frac{\left(\frac{\pi}{6} d_B^3 \right) (\rho_L - \rho_G) g}{\left(\frac{\pi}{4} d_B^2 \right) \left(\frac{\rho_L u_B^2}{2} \right)}$$

$$= \frac{4}{3} \left(\frac{\rho_L - \rho_G}{\rho_L} \right) \left(\frac{g d_B}{u_B^2} \right) \quad (18)$$

Fig. 3 から、本実験範囲内では $C_d = 0.76$ の一定と見なすことができた。従来の研究によると、この範囲の Reynolds 数では $C_d = 1.5 \sim 2.0$ である²⁾。本実験結果は

Fig.3 Plots of C_d against Re Fig.4 Plots of Z_c versus G Fig.5 Relation between d_B and G

従来の結果の約1/2になった。ビデオ観察によるとノズル離脱後の気泡はほぼ球形を保っている。従来の研究で測定された C_d は自由上昇中の気泡の C_d であり、自由上昇中の気泡は球形とは異なり、楕円形あるいはキノコ笠状をしている。本実験結果が従来の C_d の約1/2になったのは、この気泡の形状の違いによるものと考えられる。

ノズル離脱後の気泡は、最初は垂直に上昇するが、あ

る高さに達すると水平方向の速度成分が大きくなり、垂直に上昇しなくなる。Fig. 4 に、気泡が垂直に上昇する限界距離 Z_c をガス流量 G に対してプロットした。 Z_c の平均値は約18mmであった。モデルの適用範囲はこの高さまでとした。

実験から求めた C_d を用いて、前述のモデルの3ケースについて数値計算を行なった。Fig. 5 に得られた d_b 対 G の関係を示した。低ガス流速 ($< 1 \text{ cm}^3/\text{s}$) 領域では、ケース3の計算値が他の2ケースの場合よりも大きくなり、気泡生成中に気泡の合体が起こりうることを示している。中ガス流速域 ($1 \sim 2.5 \text{ cm}^3/\text{s}$) では3ケースの計算値はほぼ一致しており、先行気泡の影響は小さい。高ガス流量域 ($> 2.5 \text{ cm}^3/\text{s}$) では3ケースの計算値の差が大きくなり、先行気泡の影響が強く現れていることが分かる。

低ガス流量 ($G < 1 \text{ cm}^3/\text{s}$) の範囲では、実験においてガス流量を一定に保つことが難しく、ガス流量一定の条件が成立していなかったため、実測値のほうが計算値よりも大きくなった。ガス流量が大きくなる ($G > 2 \text{ cm}^3/\text{s}$) と、実測値はケース2の計算結果に最もよく一致する。従って、本実験の場合、先行気泡の影響はあるものの、気泡の合体は起こっていないものと考えられる。ビデオ撮影によっても気泡の合体は観察されなかった。

結 言

先行気泡の影響を考慮した単一ノズルからの気泡生成モデルを提案し、先行気泡の後続気泡に及ぼす影響について検討した。モデル計算の結果と実測値を比較した結果、先行気泡の影響はあるが、気泡の合体は起こらないと考えた場合のモデル計算値が実測値と最もよく一致することが分かった。

Nomenclature

A_b = crosssectional area of bubble	[m^2]
A_p = shaded area by the wake of preceding bubble	[m^2]
C_d = drag coefficient	[—]
d_b = bubble diameter	[m]
d_n = inner diameter of nozzle	[m]

F_b = buoyancy force	[N]
F_d = drag force	[N]
F_i = inertia force	[N]
F_m = force due to momentum of entering gas	[N]
F_p = force due to pressure difference	[N]
F_s = force due to surface tension	[N]
F_u = upward force exerted from a preceding bubble	[N]
g = gravitational acceleration	[m/s^2]
H = length of wake	[m]
p_e = pressure in bubble at the top of nozzle	[Pa]
p_L = pressure in liquid at the top of nozzle	[Pa]
Re = Reynolds number	[—]
u_b = bubble rising velocity after detachment from the nozzle	[m/s]
u_p = velocity of bubble in the wake	[m/s]
V_b = bubble volume	[m^3]
V_L = liquid volume accompanied by a bubble	[m^3]
G = volumetric gas flow rate through nozzle	[m^3/s]
w = velocity of bubble growing at nozzle	[m/s]
w_s = gas velocity through nozzle	[m/s]
Y = position of bubble center from the top of nozzle	[m]
Z_c = critical height	[m]
ρ_L = density of liquid phase	[kg/m^3]
ρ_e = density of gas phase	[kg/m^3]
σ = surface tension	[N/m]

Literatures

- 1) Gaddis, E.S. and A. Vogelpohl: "Bubble formation in quiescent liquids under constant flow conditions", Chem. Eng. Sci., 97 - 105 (1986)
- 2) Karamanev, D.G.: "Rise of gas bubble in quiescent liquids", AIChE. Journal, 40, 1418 - 1421 (1994)
- 3) Terasaka, K. and H. Tsuge: "Bubble formation under constant-flow conditions", Chem. Eng. Sci., 48, 3417 - 3422 (1993)
- 4) Tsuge H., D. Yoo and K. Terasaka: "Simulation of the bubble formation in bubble column under high pressure conditions", Chemical Engineering, 40, 941 - 945 (1995)

クリプケモデルによるファジイ代数の完全性について

荒 金 憲 一

On the Completeness with Kripke Frames for Fuzzy Algebras

Kenichi ARAGANE

L.A.Zadeh により導入されたファジイ集合 ([8]) における集合算を抽象化した代数系がファジイ代数 ([1]) であり, Kleene algebra と呼ばれている. これと演繹的に同値な, G.Gentzen の式 (シーケント) による形式的体系 GFA を考える ([7]). [1] ではファジイ代数の完全性を標準形定理を使って代数的な方法で証明したが, ここではクリプケモデルを使って GFA の完全性を証明する.

ところで L を束とし, L の部分集合全体からなる集合 (冪集合) を $\mathfrak{P}(L)$ とするとき, $\langle \mathfrak{P}(L); \cap, \cup \rangle$ の形の束の部分束を集合束という. G.Birkhoff と M.H.Stone の分配束の表現定理 ([2]) によると,

束 L が分配律を満たす $\iff L$ はある集合束と束同型である

ここでは, L をファジイ代数とする. $\mathfrak{F}^*(L)$ を L の素フィルター全体からなる集合とし $\mathfrak{P}(\mathfrak{F}^*(L))$ を $\mathfrak{F}^*(L)$ の部分集合全体からなる集合とする. このとき上の分配束の表現定理と同様にして, L は $\mathfrak{P}(\mathfrak{F}^*(L))$ に埋め込まれる ([5]). また, $\mathfrak{F}^*(L)$ の部分集合で包含関係に関して閉じたもの全体からなる集合を $\mathfrak{C}(\mathfrak{F}^*(L))$ とする. このとき [6] の方法 ([3],[4]) により, L は $\mathfrak{C}(\mathfrak{F}^*(L))$ に埋め込まれる. ここでは, ファジイ代数のクリプケフレームを考えて, ファジイ代数についてのこの形の表現定理を証明する. さらに, それを使ってファジイ代数と同値な GFA の完全性を証明する.

1. ファジイ代数のクリプケフレーム

次の定義は [1] の定義 2 と同値である.

[定義 1] (ファジイ代数の定義)

L の任意の元 x, y, z に対して, 次の条件が成り立つとき, 代数系 $L = \langle L; \wedge, \vee, ', 0, 1 \rangle$ をファジイ代数 (Kleene algebra と同じ) という.

$$\left\{ \begin{array}{l} \langle L; \wedge, \vee, 0, 1 \rangle \text{ は bounded distributive lattice である} \\ x \leq y \implies y' \leq x' \\ x'' = x \\ x \wedge x' \leq y \vee y' \end{array} \right.$$

[注意] 束において次のことが成立つ.

$$\left\{ \begin{array}{l} x \leq y \implies y' \leq x' \\ x'' = x \end{array} \right. \iff \left\{ \begin{array}{l} x \leq y' \implies y \leq x' \\ x'' \leq x \end{array} \right.$$

[証明] $\Rightarrow : x \leq y'$ とすると $y = y'' \leq x'$

$\Leftarrow : x' \leq x'$ から $x \leq x''$ よって $x'' = x$. また $x \leq y = y''$ とすると $y' \leq x'$

これからは、代数系 $\mathbb{L}$ をその台集合と同じ記号 L で表すことにする.

[定義2] (クリプケフレームの定義)

次の条件を満たす $\mathbb{K} = \langle K; \leq, *, \perp \rangle$ をファジイ代数のクリプケフレームという.

(1) K は集合で, $K \neq \emptyset$ であり, $\leq$ は K 上の半順序である.

(2) $*$ は K 上の unary operation で次の条件を満たす.

$$(i) x^{**} = x$$

$$(ii) x \leq y^* \Rightarrow y \leq x^*$$

(3) $\perp$ は K 上の binary relation で次の条件を満たす.

$$(i) x \perp y \Leftrightarrow y \not\leq x^*$$

$$(ii) x \perp x, y \perp y \Rightarrow x \perp y$$

[注意] $\mathbb{K}$ がクリプケフレームのとき, 次のことが成り立つ.

(1) $\perp$ は symmetric である.

(2) $x \not\leq x^*$

(3) $x \perp y, y \leq z \Rightarrow x \perp z$

(4) $[x \perp x, y \perp y \Rightarrow x \perp y] \Leftrightarrow [y \leq x^* \Rightarrow (x \leq x^* \text{ または } y \leq y^*)]$

[証明] (1): $y \not\leq x$ とすると $x \leq y^*$ より $y \leq x^*$. よって $x \not\leq y$.

(2): $x^* \leq x^*$ から $x \not\leq x^*$. このとき $\forall x \exists y (x \not\leq y)$ が成り立つ.

(3): $x \not\leq z$ かつ $y \leq z$ とすると $y \leq z \leq x^*$ から $x \not\leq y$.

(4): $[(x \perp x \text{ and } y \perp y) \Rightarrow x \perp y] \Leftrightarrow [x \not\leq y \Rightarrow (x \not\leq x \text{ or } y \not\leq y)] \Leftrightarrow [y \leq x^* \Rightarrow (x \leq x^* \text{ or } y \leq y^*)]$.

これからは、ファジイ代数のクリプケフレームを単にクリプケフレームと呼び、クリプケフレーム $\mathbb{K}$ をその台集合と同じ記号 K で表すことにする.

[定義3] ($\perp$ と regular と closed の定義)

K をクリプケフレームとし, $A \subseteq K$ とするとき, 次のように定義する.

(1) $A^\perp = \{ x \in K \mid x \perp y \text{ for any } y \in A \}$

(2) $A^{\perp\perp} = A$ が成り立つとき, A は regular であるという.

(3) 任意の $x, y \in K$ に対して $x \in A, x \leq y \Rightarrow y \in A$ が成り立つとき, A は closed であるという.

[注意] K がクリプケフレームで, $A, B \subseteq K$ のとき, 次のことが成り立つ.

(1) $A \subseteq A^{\perp\perp}$

(2) $A \subseteq B \Rightarrow B^\perp \subseteq A^\perp$

(3) $A^{\perp\perp\perp} = A^\perp$

(4) $\emptyset^\perp = K, K^\perp = \emptyset$

[証明] (1): $x \in A$ とする. 任意の $y \in A^\perp$ について $A^\perp$ の定義から $y \perp x$ であり, $x \perp y$ から $x \in A^{\perp\perp}$. よって $A \subseteq A^{\perp\perp}$.

(2): $A \subseteq B$ とし, $x \in B^\perp$ とする. 任意の $y \in A$ について $y \in B$ から $x \perp y$ であり $x \in A^\perp$. よって $B^\perp \subseteq A^\perp$.

(3): (1)と(2)より $A^{\perp\perp\perp} \subseteq A^\perp$. また(1)より $A^\perp \subseteq A^{\perp\perp\perp}$. よって $A^{\perp\perp\perp} = A^\perp$.

(4): $\emptyset^\perp = K$ は明らかである. $x \perp y$ for any $y \in K$ を満たす $x (\in K)$ が存在したとすると $x \perp x^*$ となり, 定義2の下での注意の(2)に矛盾する. よって $K^\perp = \emptyset$.

[Lemma 1] K をクリプケフレームとし, $A, B, A_i (i \in I) \subseteq K$ とする. このとき, 次のことが成り立つ.

$A, B, A_i (i \in I)$ が closed であるならば $A^\perp, A \cap B, A \cup B, \bigcap_{i \in I} A_i, \bigcup_{i \in I} A_i$ は共に closed である.

[証明] $A^\perp$ が closed であること: $x \in A^\perp, x \leq y$ とする. 任意の $z \in A$ に対して $x \perp z$ より $z \perp x, x \leq y$ から $z \perp y$. よって $y \in A^\perp$. 他は定義から明らかである.

[Lemma 2] K をクリプケフレームとし, $A, B \subseteq K$ とする. このとき, 次のことが成り立つ.

A, B が closed であるならば $A \cup B = (A^\perp \cap B^\perp)^\perp$

[証明] $x \in A \cup B$ とするとき, 任意の $y \in A^\perp \cap B^\perp$ について $x \perp y$ であるから, $x \in (A^\perp \cap B^\perp)^\perp$ により $A \cup B \subseteq (A^\perp \cap B^\perp)^\perp$. 逆に $x \in (A^\perp \cap B^\perp)^\perp$ とする. 任意の $z \in A^\perp \cap B^\perp$ に対して $x \perp z$ から $z \not\leq x^*$. このとき $x^* \notin A^\perp \cap B^\perp$ である. なぜならば, もし $x^* \in A^\perp \cap B^\perp$ とすると $x^* \not\leq x^*$ となって矛盾するから. $x^* \notin A^\perp$ の場合, $x^* \not\leq u$ for some $u \in A$. $u \leq x^{**} = x$ から $x \in A$ である. $x^* \notin B^\perp$ の場合も同様にして $x \in B$. よって $x \in A \cup B$. ゆえに $(A^\perp \cap B^\perp)^\perp \subseteq A \cup B$.

[Lemma 3] K をクリプケフレームとし, $\mathbb{C}(K) = \{S \subseteq K \mid S \text{ は closed である}\}$ とする. このとき, $\langle \mathbb{C}(K); \cap, \cup, \perp \rangle$ は complete なファジイ代数である.

[証明] Lemma 1 から $\langle \mathbb{C}(K); \cap, \cup \rangle$ は complete な分配束である. 最小元 0 は $\emptyset$ であり, 最大元 1 は K である. $A, B \in \mathbb{C}(K)$ とする. 定義 3 の下の注意の (2) から $A \subseteq B \Rightarrow B^\perp \subseteq A^\perp$ が成り立つ. また, Lemma 2 から $A^\perp \perp = A$ が成り立つ.

次に, $A \cap A^\perp \subseteq B \cup B^\perp$ を示す. Lemma 2 から $B \cup B^\perp = (B^\perp \cap B^{\perp\perp})^\perp = (B^\perp \cap B)^\perp$ であり, $A \cap A^\perp \subseteq (B^\perp \cap B)^\perp$ を示せばよい. $x \in A \cap A^\perp$ とすると $x \perp x$. 任意の $y \in B^\perp \cap B$ について $y \perp y$ であり, クリプケフレームの定義から $x \perp y$. よって $x \in (B^\perp \cap B)^\perp$.

2. ファジイ代数の表現定理

[定義 4] (filter の定義)

L を束とし, $L \supseteq F \neq \emptyset$ とする. 次の条件を満たす F を L の filter という.

$$\begin{cases} (1) a \in F, a \leq b \Rightarrow b \in F \\ (2) a, b \in F \Rightarrow a \wedge b \in F \end{cases}$$

[注意] F が filter であることと, 次の (i), (ii) は互いに同値である.

$$(i) a, b \in F \Rightarrow a \wedge b, a \vee b \in F$$

$$(ii) a, b \in F \Leftrightarrow a \wedge b \in F$$

[定義 5] (proper filter と prime filter と $\perp$ の定義)

(1) $F \subsetneq L$ を満たす L の filter F を proper filter という.

(2) 次の条件を満たす proper filter F を prime filter という.

$$a \vee b \in F \Leftrightarrow (a \in F \text{ または } b \in F)$$

(3) $\mathfrak{F}(L)$ と $\mathfrak{F}^*(L)$ を次のように定義する.

$$\mathfrak{F}(L) = \{F \mid F \text{ は } L \text{ の proper filter}\}, \mathfrak{F}^*(L) = \{F \mid F \text{ は } L \text{ の prime filter}\}$$

(4) $\mathfrak{F}(L)$ 上の binary relation $\perp$ を次のように定義する. $F, G \in \mathfrak{F}(L)$ のとき,

$$F \perp G \Leftrightarrow (a \in F \text{ かつ } a' \in G \text{ for some } a \in L)$$

[注意] L がファジイ代数のとき $\perp$ は symmetric である.

[証明] $F \perp G$ とすると $a (= a'') \in F$ かつ $a' \in G$ for some $a \in L$ から $G \perp F$.

[Lemma 4] L を分配束とし, $L \ni a \neq 0$ とする. このとき $a \in F \in \mathfrak{F}^*(L)$ を満たす F が存在する.

[証明] L を分配束とし, $L \ni a \neq 0$ とする. $[a] = \{x \in L \mid a \leq x\}$ は proper filter である. $\Gamma = \{F \in \mathfrak{F}(L) \mid a \in F\}$ とすると $[a] \in \Gamma$ から $\Gamma \neq \emptyset$. Γ の任意の chain $F_1 \subseteq F_2 \subseteq \cdots \subseteq F_i \subseteq \cdots$ ($i \in I$ で $\forall F_i \in \Gamma$) について, $\bigcup_{i \in I} F_i \in \Gamma$ であるから Zorn の補題により Γ の極大元 $P(\in \Gamma)$ が存在する. このとき P が L の prime filter であることを示す.

もし P が prime filter でないとすると, $x \vee y \in P$ かつ $x \notin P$ かつ $y \notin P$ を満たす $x, y (\in L)$ が存在する. そこで $P_x = \{u \in L \mid p \wedge x \leq u \text{ for some } p \in P\}$, $P_y = \{u \in L \mid p \wedge y \leq u \text{ for some } p \in P\}$ とおくと, P_x と P_y は L の filter である. $P \cup \{x\} \subseteq P_x$, $P \cup \{y\} \subseteq P_y$ は明らかである. ここで $P_x \subsetneq L$ とすると P_x は proper filter で $P_x \in \Gamma$ となり P の極大性から $P \cup \{x\} = P_x = P$ となる. $x \notin P$ に矛盾するから $P_x = L$ である. 同様に $P_y = L$ である. このとき $y \in P_x$ から $p_1 \wedge x \leq y$ for some $p_1 \in P$. 同様に $x \in P_y$ から $p_2 \wedge y \leq x$ for some $p_2 \in P$. すると $P \ni (p_1 \wedge p_2) \wedge (x \vee y) = (p_1 \wedge p_2 \wedge x) \vee (p_1 \wedge p_2 \wedge y) \leq (p_2 \wedge y) \vee (p_1 \wedge x) \leq x \vee (p_1 \wedge x) = x$ から $x \in P$ となり矛盾する. よって $P \in \mathfrak{F}^*(L)$.

[Lemma 5] L を分配束とする. $a \in L$ とし, $a \notin F \in \mathfrak{F}(L)$ とする. このとき, $a \notin G$ かつ $F \subseteq G \in \mathfrak{F}^*(L)$ を満たす G が存在する.

[証明] L を分配束とし, $a \notin F_0 \in \mathfrak{F}(L)$ とする. $\Gamma = \{F \in \mathfrak{F}(L) \mid F_0 \subseteq F \text{ かつ } a \notin F\}$ とおくと $F_0 \in \Gamma$ から $\Gamma \neq \emptyset$. Γ の任意の chain $F_1 \subseteq F_2 \subseteq \cdots \subseteq F_i \subseteq \cdots$ ($i \in I$ で $\forall F_i \in \Gamma$) について, $\bigcup_{i \in I} F_i \in \Gamma$ であるから Zorn の補題により Γ の極大元 $G(\in \Gamma)$ が存在する. この G が L の prime filter であることを示す. もし G が prime filter でないとすると, $x \vee y \in G$ かつ $x \notin G$ かつ $y \notin G$ を満たす $x, y (\in L)$ が存在する. そこで $G_x = \{u \in L \mid p \wedge x \leq u \text{ for some } p \in G\}$, $G_y = \{u \in L \mid p \wedge y \leq u \text{ for some } p \in G\}$ とおくと, G_x と G_y は L の filter である. $G \cup \{x\} \subseteq G_x$, $G \cup \{y\} \subseteq G_y$ は明らかである. $x \notin G$ から $G \subsetneq G_x$. 同様に $G \subsetneq G_y$. このとき $G = G_x \cap G_y$ である. なぜならば, $G \subseteq G_x \cap G_y$ は明らかである. 逆に $u \in G_x \cap G_y$ のとき $p_1 \wedge x \leq u$ かつ $p_2 \wedge y \leq u$ for some $p_1, p_2 \in G$. $(p_1 \wedge x) \vee (p_2 \wedge y) \leq u$ であり, $(p_1 \wedge x) \vee (p_2 \wedge y) = (p_1 \vee p_2) \wedge (p_1 \vee y) \wedge (p_2 \vee x) \wedge (x \vee y) \in G$ から $u \in G$. よって $G = G_x \cap G_y$ が成り立つ. さらに $a \notin G_x$ または $a \notin G_y$ が成り立つ. なぜなら, もし $a \in G_x$ かつ $a \in G_y$ であるとする $a \in G$ となり矛盾するから. $a \notin G_x$ の場合, $G_x \in \Gamma$ となり, G の極大性に矛盾する. $a \notin G_y$ の場合も同様に矛盾する. よって $G \in \mathfrak{F}^*(L)$ である.

[Lemma 6] L をファジイ代数とする. このとき, $\langle \mathfrak{F}^*(L); \subseteq, *, \perp \rangle$ はクリプケフレームである.

ただし, $F \in \mathfrak{F}^*(L)$ のとき $F^* = \{x \in L \mid x' \notin F\}$ とする.

[証明] $F \in \mathfrak{F}^*(L)$ のとき $F^* \in \mathfrak{F}^*(L)$ であることを示す. $0 = 1' \notin F$ より $1 \in F^*$ であり, $1 = 0' \in F$ より $0 \notin F^*$. よって $L \supsetneq F^* \neq \emptyset$ が成り立つ.

$F^* \ni x \leq y$ のとき, もし $y' \in F$ であるとする $y' \leq x'$ より $x' \in F$ となり $x \in F^*$ に矛盾するから $y' \notin F$. よって $y \in F^*$. また $x, y \in F^*$ のとき, もし $x \wedge y \notin F^*$ であるとする $(x \wedge y)' = x' \vee y' \in F$ である. F は prime filter であるから $x' \in F$ または $y' \in F$ となり $x, y \in F^*$ に矛盾するので, $x \wedge y \in F^*$. よって $F^* \in \mathfrak{F}^*(L)$. さらに $x \vee y \in F^*$ とすると $(x \vee y)' = x' \wedge y' \notin F$ である. ここで $x \notin F^*$ かつ $y \notin F^*$ であるとする $x' \in F$ かつ $y' \in F$ で $x' \wedge y' \in F$ となり矛盾する. よって $x \in F^*$ または $y \in F^*$ となり $F^* \in \mathfrak{F}^*(L)$. $F^{**} = \{x \in L \mid x' \notin F^*\} = \{x \in L \mid x'' = x \in F\} = F$ より $F^{**} = F$ が成り立つ. 次に $F \subseteq G^* \Rightarrow G \subseteq F^*$ を示す. $F \subseteq G^*$ とし $x \in G$ とする. もし $x' \in F$ ならば $x' \in G^*$ より $x'' = x \notin G$ となり矛盾するから $x' \notin F$ であり $x \in F^*$. よって $G \subseteq F^*$. また $F \perp G \Leftrightarrow G \perp F \Leftrightarrow a \in G$ かつ $a' \in F$ for some $a \in L \Leftrightarrow a \in G$ かつ $a \notin F^*$ for some $a \in L \Leftrightarrow G \not\subseteq F^*$. よって $F \perp G \Leftrightarrow G \not\subseteq F^*$ が成り立つ. 次に $(F \perp F \text{ かつ } G \perp G) \Rightarrow F \perp G$ を示す. $F \perp F$ かつ $G \perp G$ とすると $a, a' \in F$ for some $a \in L$ かつ $b, b' \in G$ for some $b \in L$. $F \ni a \wedge a' \leq b \vee b'$ から $b \vee b' \in F$. また $(b \vee b')' = b' \wedge b \in G$. よって $F \perp G$.

[Theorem 7] (ファジイ代数の表現定理)

L をファジイ代数とし, $\mathfrak{C} = \mathfrak{C}(\mathfrak{F}^*(L)) = \{S \subseteq \mathfrak{F}^*(L) \mid S \text{ は closed}\}$ とする. 写像 $h: L \rightarrow \mathfrak{C}$ を任意の $a \in L$ に対して $h(a) = \{F \in \mathfrak{F}^*(L) \mid a \in F\}$ と定義する. このとき, h はファジイ代数としての L への同型写像である. また $h(L)$ は $\mathfrak{C}$ の subalgebra であり, $\mathfrak{C}$ は $\mathfrak{B}(\mathfrak{F}^*(L)) = \{S \mid S \subseteq \mathfrak{F}^*(L)\}$ の subalgebra である.

[証明] Lemma 6 より $\langle \mathfrak{F}^*(L); \subseteq, *, \perp \rangle$ はクリプケフレームである。また Lemma 3 より $\langle \mathfrak{C}; \cap, \cup, \perp \rangle$ は complete なファジイ代数である。従って $\mathfrak{C}$ は $\mathfrak{P}(\mathfrak{F}^*(L))$ の subalgebra である。

$L \ni 1 \neq 0$ より Lemma 4 から $1 \in F$ である $F (\in \mathfrak{F}^*(L))$ が存在して $\mathfrak{F}^*(L) \neq \emptyset$ である。

$h(a) \ni F \subseteq G \in \mathfrak{F}^*(L)$ とすると $G \in h(a)$ であるから $h(a)$ は closed であり、 $h(a) \in \mathfrak{C}$ である。また $h(0) = \emptyset$, $h(1) = \mathfrak{F}^*(L)$ である。

次に h が 1 対 1 写像であることを示す。 $h(a) = h(b)$ とする。 $a = 0$ の場合 $h(a) = \emptyset = h(b)$ 。このときもし $b \neq 0$ なら Lemma 4 より $b \in F \in \mathfrak{F}^*(L)$ を満たす F が存在するから $h(b) \neq \emptyset$ となり矛盾する。よって $b = 0$ で $a = b$ が成り立つ。

$a \neq 0$ の場合、もし $b \notin [a]$ であるとする。 Lemma 5 より $[a] \subseteq F \nexists b$ for some $F \in \mathfrak{F}^*(L)$ 。 $a \in F$ より $F \in h(a) = h(b)$ から $b \in F$ となり矛盾するので $b \in [a]$ で $a \leq b$ が成り立つ。同様に $b \leq a$ 。よって $a = b$ が成り立つ。

$h(a \vee b) = \{ F \in \mathfrak{F}^*(L) \mid a \vee b \in F \} = \{ F \in \mathfrak{F}^*(L) \mid a \in F \} \cup \{ F \in \mathfrak{F}^*(L) \mid b \in F \} = h(a) \cup h(b)$ 。

$h(a \wedge b) = \{ F \in \mathfrak{F}^*(L) \mid a \wedge b \in F \} = \{ F \in \mathfrak{F}^*(L) \mid a \in F \} \cap \{ F \in \mathfrak{F}^*(L) \mid b \in F \} = h(a) \cap h(b)$ 。

$h(a') = h(a)^\perp$ を示す。 $a = 0$ のとき $h(a') = h(1) = \mathfrak{F}^*(L)$ 。 $h(a)^\perp = h(0)^\perp = \emptyset^\perp = \mathfrak{F}^*(L)$ 。よって、このときは $h(a') = h(a)^\perp$ が成り立つ。そこで $a \neq 0$ とする。

$\subseteq : F \in h(a')$ とすると $a' \in F$ 。任意の $G \in h(a)$ について $a \in G$ より $G \perp F$ から、 $F \perp G$ であり、 $F \in h(a)^\perp$ 。よって $h(a') \subseteq h(a)^\perp$ 。

$\supseteq : F \in \mathfrak{F}^*(L)$ のとき対偶 $F \notin h(a') \Rightarrow F \notin h(a)^\perp$ を示す。つまり $a' \notin F$ とするとき $F \perp H$ for some $H \in h(a)$ を示せばよい。そこで $\Gamma = \{ G \in \mathfrak{F}^*(L) \mid a \in G \text{ かつ } F \perp G \}$ とおく。もし $F \perp [a]$ であるとする。 $b \in F$ かつ $b' \in [a]$ for some $b \in L$ 。 $a \leq b'$ より $b \leq a'$ であり、 $a' \in F$ となり矛盾するから $F \perp [a]$ が成り立つ。 $[a] \in \Gamma$ より $\Gamma \neq \emptyset$ 。 Γ の任意の chain $G_1 \subseteq G_2 \subseteq \dots \subseteq G_i \subseteq \dots$ ($i \in I$ で $\forall G_i \in \Gamma$) について、 $\bigcup_{i \in I} G_i \in \Gamma$ であるから Zorn の補題により Γ の極大元 $H (\in \Gamma)$ が存在する。この H が prime filter であることを示す。もし H が prime filter でないとすると $x \vee y \in H, x \notin H, y \notin H$ を満たす $x, y (\in L)$ が存在する。

$H_x = \{ u \in L \mid p \wedge x \leq u \text{ for some } p \in H \}$, $H_y = \{ u \in L \mid p \wedge y \leq u \text{ for some } p \in H \}$ とおくと H_x と H_y は filter であり、 $H \cup \{x\} \subseteq H_x$ と $H \cup \{y\} \subseteq H_y$ が成り立つ。ここでもし $F \perp H_x$ かつ $F \perp H_y$ であるとする。 $b_1, b_2 \in F, b'_1 \in H_x, b'_2 \in H_y$ for some $b_1, b_2 \in L$ であり、 $p_1 \wedge x \leq b'_1, p_2 \wedge y \leq b'_2$ for some $p_1, p_2 \in H$ 。このとき $H \ni p_1 \wedge p_2 \wedge (x \vee y) = (p_1 \wedge p_2 \wedge x) \vee (p_1 \wedge p_2 \wedge y) \leq (p_1 \wedge x) \vee (p_2 \wedge y) \leq b'_1 \vee b'_2 = (b_1 \wedge b_2)'$ である。 $b_1 \wedge b_2 \in F$, $(b_1 \wedge b_2)' \in H$ より $F \perp H$ となり $H \in \Gamma$ に矛盾する。よって $F \perp H_x$ または $F \perp H_y$ が成り立つ。 $F \perp H_x$ の場合、 H の極大性から $H_x = L$ である。 $y \in H_x$ より $p \wedge x \leq y$ を満たす $p (\in H)$ が存在する。このとき $H \ni p \wedge (x \vee y) \leq y$ より $y \in H$ となり矛盾する。 $F \perp H_y$ の場合も同様に矛盾する。よって H は prime filter であり、 $H \in h(a)$ かつ $F \perp H$ が成り立つ。以上により h は L から $\mathfrak{C}$ の中へのファジイ代数としての同型写像であることが示された。さらに、 $h(a), h(b) \in h(L)$ のとき $h(a) \cup h(b) = h(a \vee b) \in h(L)$, $h(a) \cap h(b) = h(a \wedge b) \in h(L)$, $h(a)^\perp = h(a') \in h(L)$ であることから $h(L)$ は $\mathfrak{C}$ の subalgebra である。

3. 完全性について

ファジイ代数に対応する命題論理を次のように定義し、ファジイ論理 (GFA) とよぶ。ただし、0, 1 を命題定数とする。論理式の有限列 (空なものも含めて) をギリシア大文字 $\Gamma, \Delta, \dots$ で表す。また、式 (sequent) $\Gamma \longrightarrow \Delta$ が GFA で証明可能であるとき、 $\vdash \Gamma \longrightarrow \Delta$ と書く。

[定義 6] (ファジイ論理の定義)

GFA はゲンツェンの式 (sequent) による形式的体系であり、次の始式と推論規則からなる。

[1] 始式

(B1) $A \longrightarrow A$ (B2) $0 \longrightarrow$ (B3) $\longrightarrow 1$ (B4) $A, \neg A \longrightarrow B, \neg B$

[2] 推論規則

(1) 構造に関する推論規則 :

$$\begin{array}{c}
\frac{\Gamma \longrightarrow \Delta}{A, \Gamma \longrightarrow \Delta} (w \longrightarrow) \quad \frac{\Gamma \longrightarrow \Delta}{\Gamma \longrightarrow \Delta, A} (\longrightarrow w) \\
\\
\frac{A, A, \Gamma \longrightarrow \Delta}{A, \Gamma \longrightarrow \Delta} (c \longrightarrow) \quad \frac{\Gamma \longrightarrow \Delta, A, A}{\Gamma \longrightarrow \Delta, A} (\longrightarrow c) \\
\\
\frac{\Gamma_1, A, B, \Gamma_2 \longrightarrow \Delta}{\Gamma_1, B, A, \Gamma_2 \longrightarrow \Delta} (e \longrightarrow) \quad \frac{\Gamma \longrightarrow \Delta_1, A, B, \Delta_2}{\Gamma \longrightarrow \Delta_1, B, A, \Delta_2} (\longrightarrow e) \\
\\
\frac{\Gamma_1 \longrightarrow \Delta_1, A \quad A, \Gamma_2 \longrightarrow \Delta_2}{\Gamma_1, \Gamma_2 \longrightarrow \Delta_1, \Delta_2} (cut)
\end{array}$$

(2) 論理結合子に関する推論規則 :

$$\begin{array}{c}
\frac{A, \Gamma \longrightarrow \Delta}{A \wedge B, \Gamma \longrightarrow \Delta} (\wedge_1 \longrightarrow) \quad \frac{B, \Gamma \longrightarrow \Delta}{A \wedge B, \Gamma \longrightarrow \Delta} (\wedge_2 \longrightarrow) \\
\\
\frac{\Gamma \longrightarrow \Delta, A \quad \Gamma \longrightarrow \Delta, B}{\Gamma \longrightarrow \Delta, A \wedge B} (\longrightarrow \wedge) \\
\\
\frac{\Gamma \longrightarrow \Delta, A}{\Gamma \longrightarrow \Delta, A \vee B} (\longrightarrow \vee_1) \quad \frac{\Gamma \longrightarrow \Delta, B}{\Gamma \longrightarrow \Delta, A \vee B} (\longrightarrow \vee_2) \\
\\
\frac{A, \Gamma \longrightarrow \Delta \quad B, \Gamma \longrightarrow \Delta}{A \vee B, \Gamma \longrightarrow \Delta} (\vee \longrightarrow) \\
\\
\frac{\Gamma \longrightarrow \Delta}{\neg \Delta \longrightarrow \neg \Gamma} (\neg \longrightarrow \neg)
\end{array}$$

ただし, Γ が $A_1, \dots, A_m$ のとき $\neg \Gamma$ は $\neg A_m, \dots, \neg A_1$ を表し, $\Gamma = \emptyset$ のときは $\neg \Gamma = \emptyset$ とする.

$$\frac{A, \Gamma \longrightarrow \Delta}{\neg \neg A, \Gamma \longrightarrow \Delta} (\neg \neg \longrightarrow) \quad \frac{\Gamma \longrightarrow \Delta, A}{\Gamma \longrightarrow \Delta, \neg \neg A} (\longrightarrow \neg \neg)$$

[定義7] (付値の定義)

L をファジイ代数とする. 任意の写像 $f: \text{命題変数全体の集合} \longrightarrow L$ を L 上の付値 (assignment) という. このとき, 次のようにして $f: \text{論理式全体の集合} \longrightarrow L$ へと一意的に拡張される.

- (1) $f(0) = 0, f(1) = 1$
- (2) $f(A \wedge B) = f(A) \wedge f(B)$
- (3) $f(A \vee B) = f(A) \vee f(B)$
- (4) $f(\neg A) = f(A)'$

[定義8] (評価の定義)

$\langle K; \leq, *, \perp \rangle$ をクリブケフレームとする. 集合 K と命題変数全体の集合との間の2項関係 (binary relation) $\models$ が次の条件を満たすとき, $\models$ を K 上の評価 (valuation) という. p を命題変数とし, $a, b \in K$ とするとき

$$a \models p, a \leq b \implies b \models p$$

このとき, $\models$ は次のようにして K と論理式全体の集合との間の2項関係へと一意的に拡張される.

- (5) $a \not\models 0, a \models 1$
- (6) $a \models \neg A \Leftrightarrow a^* \not\models A$
- (7) $a \models A \wedge B \Leftrightarrow a \models A$ かつ $a \models B$
- (8) $a \models A \vee B \Leftrightarrow a \models A$ または $a \models B$

[注意] A を任意の論理式とし, $a, b \in K$ とする. このとき, 次のことが成り立つ.

$$a \models A, a \leq b \Rightarrow b \models A$$

[証明] 論理式 A の構成に関する帰納法による.

- (i) A が命題変数か命題定数のときは定義から成り立つ.
- (ii) $A = \neg B$ のとき, $a \models \neg B, a \leq b$ とすると $a^* \not\models B$ である. このとき $b \models \neg B$ つまり $b^* \not\models B$ を示せばよい. もし $b^* \models B$ とすると $a \leq b = b^{**}$ から $b^* \leq a^*$. すると帰納法の仮定から $a^* \models B$ となり矛盾する. よって $b^* \not\models B$ が成り立つ.
- (iii) $A = B \wedge C$ のとき, $a \models B \wedge C, a \leq b$ とすると $a \models B$ かつ $a \models C$. このとき帰納法の仮定から $b \models B$ かつ $b \models C$ となり $b \models B \wedge C$ が成り立つ.
- (iv) $A = B \vee C$ のとき, $a \models B \vee C, a \leq b$ とすると $a \models B$ または $a \models C$. このとき帰納法の仮定から $b \models B$ または $b \models C$ となり $b \models B \vee C$ が成り立つ.

[Theorem 8] (ファジイ論理の完全性)

$A_i (1 \leq i \leq m), B_j (1 \leq j \leq n)$ を任意の論理式とする. このとき, 次の (1), (2), (3) は互いに同値である.

- (1) $\vdash A_1, \dots, A_m \longrightarrow B_1, \dots, B_n$
- (2) 任意のファジイ代数 L と L 上の任意の付値 f に対して, 次のことが成り立つ.

$$f(A_1) \wedge \dots \wedge f(A_m) \leq f(B_1) \vee \dots \vee f(B_n)$$

ただし, $m = 0$ のときは $f(B_1) \vee \dots \vee f(B_n) = 1$ とする.

- (3) 任意のクリプケフレーム K と K 上の任意の評価 $\models$ に対して,

$$(a \models A_1 \text{ かつ } \dots \text{ かつ } a \models A_m) \Rightarrow (a \models B_1 \text{ または } \dots \text{ または } a \models B_n) \text{ が任意の } a \in K \text{ に対して成り立つ.}$$

[証明] (1) $\Rightarrow$ (2): GFA の各始式について (2) の不等式が成り立つことが容易に示される. また各推論規則に関しては, 上式について (2) の不等式が成り立つと仮定するとき, その下式について (2) の不等式が成り立つことが容易に示される.

(2) $\Rightarrow$ (1): 論理式全体の集合を R とする. 任意の $A, B \in R$ に対して $\vdash A \longrightarrow B$ かつ $\vdash B \longrightarrow A$ が成り立つとき $A \sim B$ とすれば $\sim$ は R 上の同値関係である. A を代表元とする同値類を $[A]$ で表す. 商集合 (リンデンバウム代数と同じ) を $R^* = R / \sim = \{[A] \mid A \in R\}$ とする. このとき $[A] \wedge [B] = [A \wedge B], [A] \vee [B] = [A \vee B], \neg[A] = [\neg A]$ と定義すると, $[0]$ が最小元, $[1]$ が最大元であり, R^* はファジイ代数となる. さらに $[A] \leq [B] \Leftrightarrow \vdash A \longrightarrow B$ が成り立つ. ただし, $\vdash 1 \longrightarrow B$ を $\vdash \longrightarrow B$ と書く. 写像 f : 命題変数 p の全体の集合 $\longrightarrow R^*$ を $f(p) = [p]$ とすると f は R^* 上の付値である. $m \neq 0$ のとき仮定 (2) から $[A_1 \wedge \dots \wedge A_m] \leq [B_1 \vee \dots \vee B_n]$ であり, $\vdash A_1, \dots, A_m \longrightarrow B_1, \dots, B_n$ が成り立つ. $m = 0$ のとき, 仮定 (2) から $[1] \leq [B_1 \vee \dots \vee B_n]$ であり, $\vdash \longrightarrow B_1, \dots, B_n$ が成り立つ.

(2) $\Rightarrow$ (3): $\langle K; \leq, *, \perp \rangle$ をクリプケフレームとし, $\models$ を K 上の評価とする. Lemma 3 より $\mathcal{C}(K) = \{S \subseteq K \mid S \text{ は closed}\}$ は complete なファジイ代数である. このとき $\mathcal{C}(K)$ 上の付値 f : 命題変数 p 全体の集合 $\longrightarrow \mathcal{C}(K)$ として $f(p) = \{x \in K \mid x \models p\}$ をとることができる. なぜならば $f(p) \ni x \leq y \in K$ のとき, $x \models p$ より $y \models p$ で $y \in f(p)$ から $f(p)$ は closed である. さらにこのとき, 任意の論理式 A に対して $f(A) = \{x \in K \mid x \models A\}$ が成り立つことを A の構成に関する帰納法で示す.

- (i) A が命題変数 p のときは f の定義から成り立つ.
- (ii) A が命題定数のとき, $f(0) = \emptyset = \{x \in K \mid x \models 0\}$. また $f(1) = K = \{x \in K \mid x \models 1\}$.
- (iii) $A = \neg B$ のとき, $f(\neg B) = f(B)^\perp$ であり, 帰納法の仮定から $f(B) = \{x \in K \mid x \models B\}$ である. このとき $f(B)^\perp = \{x \in K \mid x \models \neg B\}$ を示せばよい. $x \in f(B)^\perp$ とする. もし $x^* \models B$ であるとする. $x^* \in f(B)$ から $x \perp x^*$ で, $x^* \not\models x^*$ となり $\leq$ が半順序であることに矛盾する. よって $x^* \not\models B$ であり $x \models \neg B$ が成り立つ. 逆に $x \models \neg B$ とすると $x^* \not\models B$ であり帰納法の仮定から $x^* \notin f(B)$. そこで $y \in f(B)$ である任意の y を考える. もし $x \not\models y$ とすると

$y \leq x^*$ である. $y \models B$, $y \leq x^*$ より $x^* \models B$ で $x^* \in f(B)$ となり矛盾する. よって $y \in f(B)$ である任意の y に対して $x \perp y$ が成り立つから $x \in f(B)^\perp$ である.

(iv) $A = B \wedge C$ のとき. $f(B \wedge C) = f(B) \cap f(C) = \{x \in K \mid x \models B\} \cap \{x \in K \mid x \models C\} = \{x \in K \mid x \models B \text{ かつ } x \models C\} = \{x \in K \mid x \models B \wedge C\}$.

(v) $A = B \vee C$ のとき. $f(B \vee C) = f(B) \cup f(C) = \{x \in K \mid x \models B\} \cup \{x \in K \mid x \models C\} = \{x \in K \mid x \models B \text{ または } x \models C\} = \{x \in K \mid x \models B \vee C\}$. 以上により $f(A) = \{x \in K \mid x \models A\}$ が示された.

この付値 f に対して仮定 (2) から $f(A_1) \cap \dots \cap f(A_m) \subseteq f(B_1) \cup \dots \cup f(B_n)$ が成り立つ. $a \in K$ とする. $a \models A_i$ for any $i (1 \leq i \leq m)$ とすると $a \in f(A_i)$ であり, $a \in f(A_1) \cap \dots \cap f(A_m)$ から $a \in f(B_1) \cup \dots \cup f(B_n)$. よって, ある $k (1 \leq k \leq n)$ に対して $a \in f(B_k)$ であり, $a \models B_k$ が成り立つ.

$m = 0$ のとき, 仮定 (2) より $f(B_1) \cup \dots \cup f(B_n) = K$ である. $a \in K$ とすると, ある $k (1 \leq k \leq n)$ に対して $a \in f(B_k)$ であり, $a \models B_k$ が成り立つ.

(3) $\Rightarrow$ (2): L をファジイ代数とし, f を L 上の付値とする. Lemma 6 より $\langle \mathcal{F}^*(L); \subseteq, *, \perp \rangle$ はクリプケフフレームである. そこで $F \in \mathcal{F}^*(L)$ とし, p を命題変数とすると, $F \models p \Leftrightarrow f(p) \in F$ と定義する. $G \in \mathcal{F}^*(L)$ とし, $F \models p$, $F \subseteq G$ とすると $f(p) \in F$ から $f(p) \in G$ で $G \models p$ である. よって $\models$ は $\mathcal{F}^*(L)$ 上の評価である. このとき, 任意の論理式 A に対して $F \models A \Leftrightarrow f(A) \in F$ が成り立つことを A の構成に関する帰納法で示す.

(i) A が命題変数 p のときは定義から成り立つ.

(ii) A が命題定数のとき. $F \models 0$ かつ $f(0) = 0 \notin F$ より $F \not\models 0 \Leftrightarrow f(0) \notin F$. また $F \models 1$ かつ $f(1) = 1 \in F$ より $F \models 1 \Leftrightarrow f(1) \in F$.

(iii) $A = \neg B$ のとき. $F \models \neg B \Leftrightarrow F^* \not\models B \Leftrightarrow f(B) \notin F^* \Leftrightarrow f(\neg B) = f(B)' \in F$.

(iv) $A = B \wedge C$ のとき. $F \models B \wedge C \Leftrightarrow F \models B$ かつ $F \models C \Leftrightarrow f(B) \in F$ かつ $f(C) \in F \Leftrightarrow f(B \wedge C) = f(B) \wedge f(C) \in F$.

(v) $A = B \vee C$ のとき. $F \models B \vee C \Leftrightarrow F \models B$ または $F \models C \Leftrightarrow f(B) \in F$ または $f(C) \in F \Leftrightarrow f(B \vee C) = f(B) \vee f(C) \in F$.

以上により $F \models A \Leftrightarrow f(A) \in F$ が示された. そこで $a = f(A_1) \wedge \dots \wedge f(A_m)$ とし, $B = B_1 \vee \dots \vee B_n$ とするとき $f(B) \in [a]$ を示せばよい. もし $f(B) \notin [a]$ であるとする. Lemma 5 より $[a] \subseteq F \not\models f(B)$ である $F (\in \mathcal{F}^*(L))$ が存在する. $f(B_1 \vee \dots \vee B_n) \notin F$ から $F \not\models B_1 \vee \dots \vee B_n$ であり $F \not\models B_1$ かつ...かつ $F \not\models B_n$... $\otimes$ が成り立つ. ところが $a \leq f(A_i)$ より $f(A_i) \in [a] \subseteq F$ から $F \models A_i (i=1, \dots, m)$. 仮定 (3) より, ある $k (1 \leq k \leq n)$ に対して $F \models B_k$. これは $\otimes$ に矛盾する. よって $f(B) \in [a]$ が成り立つ.

$m = 0$ のとき, 任意の $F \in \mathcal{F}^*(L)$ に対して $F \models B$ であるとき $f(B) \in [1]$ を示せばよい. もし $f(B) \notin [1]$ であるとする. Lemma 5 から $[1] \subseteq F$ かつ $f(B) \notin F$ である $F (\in \mathcal{F}^*(L))$ が存在する. このとき $F \not\models B$ となり仮定 (3) に矛盾する. よって $f(B) = 1$ が成り立つ.

References

1. 荒金憲一・竹村 康, ファジイ代数の完全性について, 大阪産業大学論集 自然科学編 第89号(1992), 9-11.
2. G. Birkhoff, *Lattice Theory*, 3rd ed., Amer. Math. Soc. Colloq. Publ. 25, 1967.
3. R.I. Goldblatt, *Semantical analysis of orthologic*, Journal of Philosophical Logic 3 (1974), 19-35.
4. ———, *The Stone space of an ortholattice*, Bull. London Math. Soc. 7 (1975), 45-48.
5. 近藤通朗, *Representation theorem of quasi-Kleene algebras in terms of Kripke-type frames*, Mathematica Japonica, 38 (1993), 185-189.
6. 小野寛晰, *Embedding theorem for lattices with complementation*, 数理解析研究所講究録 516 (1984), 180-195.
7. 竹村 康, ファジイ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.
8. L.A. Zadeh, *Fuzzy sets*, Information and Control, 8 (1965), 338-353.

『ポイントン邸の蒐集品』再考

片 山 悦 男

The Spoils of Poynton Reconsidered

Etsuo KATAYAMA

The secret point of view of Fleda Vetch could be called a point of view of a Mrs Gereth's protégé, that of a bad woman, that of a Mrs Gereth's maid - servant, or that of a would - be lover of Owen Gereth, which she takes in turn with the progress of the narrative. Conscious that these secondary points of view are prone to be immoral and cannot be laid bare, Fleda manages to keep them secret from readers and consistent with her primary and moral one. Now let us see how the heroine keeps her immoral point of view consistent with her moral one to continue to be a focalizing character of this story.

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『ポイントン邸の蒐集品』の中でヘンリー・ジェイムズは「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ですが、この作品の視点人物フリーダ・ヴェッチについては評価が分かれています。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⁾ もいます。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⁾ もいます。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劇的手法と共に用いられることで何らかの変貌を遂げている為と思われます。本論ではこのような観点からこの作品を再評価してみたいと思います。

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ます。その上母親も既に亡く父親も彼女との同居を望んでいないので、フリーダはロバート・C.マククリーン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す。第1章のウォーターバス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ます。同じようにそのパーティーに招待されているゲレス夫人に同調してウォーターバス邸の「低俗さ」(vulgarity)や「審美感覚」(taste)の欠如に反発して、フリーダはウォーターバス邸の水彩画を「家族で冗談に天才の作品と言っているが、その絵の話をするだけで身震いするような一組のおかしな水彩画」(7)⁶⁾ と評していますが、第13章ではそのウォーターバス邸の絵を見て本来画家志望のフリーダが絵を描かなくなったと述べられています。

She[Fleda] had not indeed struggled with a brush since her visit to Waterbath, where the sight of the family splotches had put her immensely on her guard. (148)

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上手い絵だったことがわかります。このことはフリーダが第1章ではその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ます。実際にフリーダはそのパーティの後一か月間ゲレス夫人の住むカドゥガン邸に通い、彼女の

話し相手になり終いには居候として居座ってしまいます。

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ですが、その視点の移行がスムーズにし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ます。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でしょう。

2

第1章のパーティで出会うゲレス夫人の一人息子のオーウェン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ます。

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のです⁷⁾。例えばゲレス夫人が移ることになっているリックス邸はポイントン邸より寧ろウォーターバス邸の考え方と共通点が多いことをフリーダは知っているのですが(48)、第5章でゲレス夫人とリックス邸の下見に行った時フリーダは第1章で非難したウォーターバス邸と同じ趣向のリックス邸の壁紙の鮮やかさを誉めようとします。そんなフリーダの態度を見てゲレス夫人はリックス邸に引っ越す気持ちになり、第6章で主だった蒐集品と共にリックス邸に引っ越します。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ます。第6章のオーウェンの「スパイ」(an under-hand "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「私

の忌まわしい二重の企み」(my hideous double game)(127)という言葉がそのことを暗示しています。そしてオーウェンの意向に従ったフリーダの態度の根底に結婚願望があることは言うまでもありません。フリーダは結婚願望に従って行動する時も自分の本心を隠した一時的な視点を取ることがあるのです。

3

オーウェンはフリーダと初めて二人きりで会った時、小さな針刺しを贈り「僕は君にわかって欲しいんだ」(67)と述べて何やら意味不明の好意を示します。オーウェンには婚約者のモナがいることがわかっていながら彼の意味不明の好意を結婚につながる求愛と考えようとするとところから、フリーダの結婚願望に基づいたegotismが生まれます。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です。例えば第11章でポイントン邸に蒐集品を返還する見返りとしてオーウェンをモナから奪うように求めるゲレス夫人に対して、フリーダはオーウェンがモナを大変気に入っていてモナもオーウェンを決して手放さないと述べてその要求を断っています(127-8)。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のです。しかしそのことを客観的事実として認めることは、フリーダにとってオーウェンの意味不明の好意を結婚につながる求愛と考えようとする自分のegotismを否定することです。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のです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肉体関係を結ぶことでモナからオーウェンを奪って結婚するように求めるゲレス夫人の要求⁹⁾も当然彼女の審美感覚に反しています。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)に襲われます。またフリーダが外出した時によく通る画材店のショーウィンドーに置かれている絵がいつまでも買い取られていないことがフリーダを更に不安にします。フリーダよりも巧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です。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ます。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ります。

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ありません。それは飽くまで裏の理由で、フリーダは表の理由つまりゲレス夫人の反感を買うくらい蒐集品の返還を説得したが、結局失敗し盗品の蒐集品を見るのも嫌になったのでロンドンに帰って来たという理由にこだわるを得ません。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ません。それ故フリーダは表の理由を強調しながら裏の目的も達成する方法を取るのです。その方法とは、ゲレス夫人に蒐集品返還を説得して失敗し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です。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てフリーダに愛を告白しかけた瞬間に、ブリッグストック夫人がフリーダの父の家を訪ねてくるのです。ブリッグストック夫人を交えた会談の中でもフリーダは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しています。

それでも肉体関係を結ぶにせよ個人的な資質を使うにせよ、モナやブリッグストック夫人にとってフリーダがオーウェンを奪おうとしている悪女であることに変わりはありません。オーウェンと二人きりで会談していた時、オーウェンから「彼女（モナ）が君は性悪女だと言っていた」（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です。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ます。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つ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、「まるで私が劇に出てくる悪女の一人みたいに」（177）と答えてしまうのです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な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のです。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します。第16章でフリーダは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りますが、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ます。

ここまでは万事順調にフリーダの思惑通りに進んでいるように思えます。しかしオーウェンが本当にフリーダの思惑通りに彼女の優れた個人的資質に感銘を受けるかどうかフリーダ自身が疑問に思っています。

She never knew the extent of her tenderness for him till she became conscious of the present force of her desire that he should be superior, be perhaps even sublime. She obscurely made out that superiority, that sublimity mightn't after all be fatal. (180)

フリーダは自分が優れた人間であることを強調することでモナからオーウェンを奪う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のです。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です。

それ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でしょうか。二人の会談の後半で「完全な人間であれば幸せになれますよ」（193）と言うフリーダに対してオーウェンが「私は完全な人間だと言うつもりはありませんが、今夜には（モナの婚約破棄の）手紙が来るでしょう」（193）と答える箇所があります。この遣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ます。

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ますし、この会談の中ではフリーダに求婚までしています（186）。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（192）、オーウェンは婚約解消はモナに任せている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ます(192)。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ます。

それではフリーダに対するオーウェンの意味不明の好意が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暗示しています(193)。オーウェンがフリーダに望む物とは彼女との肉体関係に他なりません。オーウェンが「でももし(モナの婚約破棄の)手紙が来なくても…」(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しますと、フリーダは「たとえ彼女があなたを解放しなくてもとおっしゃるのですか。あなたは私に多くのことを求め過ぎているわ」(195)と答えています。この遣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ますし、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ます。

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「一瞬の寂寥感」(the momentary sense of desolation)(189)を感じることはないでしょう。オーウェンの意味不明の好意の中に感情的反発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です。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つけようとするオーウェンに対して次のように述べて、その問題を自分で解決するように求め彼をモナの下に帰します。

“You must settle that with Mona. You mustn’t break faith. Anything’s better than that. You must at any rate be utterly sure. She must love you - how can she help it? I wouldn’t give you up!” said Fleda. … “The great thing is to keep faith. Where’s a man if he doesn’t? If he doesn’t he may be so cruel. So cruel, so cruel, so cruel!” Fleda repeated. “I couldn’t have a hand in that, you know: that’s my position - that’s mine. …”(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ます。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です。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ます。そしてフリーダは実際に自分に求婚したオーウェンは今モナより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を認めて欲しいと願って、オーウェンをモナの下に帰すのです¹²⁾。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所に、オーウェンに対する結婚願望からくるegotismに捕らわれた生身の女性フリーダの真の姿があるように思えます。この後もフリーダはegotismに捕らわれ続け、モナの下に帰ったオーウェンがモナとの婚約を解消して自分の下に帰って来ると信じ続けるのです。

5

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、「彼らは皆何を企んでいるのだろう」(200)と考えます。第17章以降はフリーダがこの企みに気づいていく過程と言えます。それではこの企みとは一体何なのでしょう。この後結局オーウェンとモナは結婚しますが、その結婚式の様子を伝えるモーニングポスト紙の記事に次のような文章があります。

…: the scale of the affair sufficiently showed that the preparations had been in hand for some time back. (251)

つまり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ことです。実際にどのくらい前から始まったのか我々読者は推測する他はないのですが、ゲレス夫人が第20章で「彼らの結婚式はウォーターバス教会で17日の予定です」(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遣り取りをする第14、15章の場面は11月15日になります¹³⁾。またその第14章の場面でオーウェンはフリーダに「十日間モナに会っていないし、... (ロンドンの) 町からも動いていない」(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ります。この後第19章でフリーダとゲレス夫人がオーウェンを探してロンドンの彼のクラブに出掛けて行くのが11月27日となり、その時クラブのポーターが二週間オーウェンに会っていないと言っているの(229)、オーウェンは11月14日から11月27日までロンドンの彼のクラブに帰っていないことになります。すると第14章で「十日間 (11月6日～11月15日) モナに会っていないし、... (ロンドンの) 町から動いていない」と述べたオーウェンの台詞と矛盾することになります。オーウェンは彼のクラブに帰らなかった11月14日から11月27日までの期間の大半を、モナのいるウォーターバス邸に滞在していた可能性が高くなります。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ります。このこととオーウェンとモナの結婚式の準備がかなり前から始まっていたことを考えますと、オーウェンがフリーダに求婚していた最中にも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のです。そしてそのことは第16章でフリーダがオーウェンと抱擁した時に感じた寂寥感や、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のです。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のです。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です¹⁴⁾。

フリーダはこの策略に対する確信を次第に深めていくのですが、オーウェンに対して結婚願望を抱いている為に、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ません。この後フリーダとゲレス夫人はオーウェンを捜し回りますが結局見つからず、フリーダは姉の家に帰りオーウェンからの連絡を待ちます。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ますが後で別の形を取って現れることになります。

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します。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 (肉体関係を結ぶこと) を取り、オーウェンがフリーダの方を振り向く暇も無いうちに二人は結婚登録所に行き結婚した」(204-1)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す。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のです。そのことはその説明の最後にゲレス夫人が述べている台詞「でも有り難いことに私は死ぬでしょうね。その時まで...私を見捨てないで」(243)によく現れています。

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)ゲレス夫人を見捨てないことを約束するのですが、フリーダがゲレス夫人の老後の世話を引き受け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て、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です。フリーダは最初オーウェンとモナが結婚したことでゲレス夫人との縁は切れたと感じ、蒐集品の無くな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ます。第21章冒頭のゲレス夫人の手紙の中の「あなたと私にはいつも一緒になって気楽に憎むことのできる物があるのです」(245)という文の中の「気楽に」(comfortably)(245)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ます。

This communication made her[Fleda] easier, if only by its acknowledgement that her friend had something left: it still implied recognition of the principle of property. Something to hate and to hate "comfortably," was at least not the utter destitution to which, after their last interview, she had helplessly seemed to see the ex-mistress of Poynton go forth. (245-6)

そしてフリーダも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ります。

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自分の本心を隠す召使の視点が入ってくるのです。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錘機の脚をうまく組み合わせた配置の仕方に「芸術家の着想」(248)が働いていると述べてゲレス夫人の才能を称賛しますが、その称賛の言葉にはこれから仕える主人に対する召使のリップサービスの要素が入っていることを否定することはできません。この後更にフリーダはリックス邸に以前住んでいた独身の伯母まで持ち出し、彼女の「大変優しくて人間的で女性らしい声」(249)がゲレス夫人に届き「何か夢見ていたが取り損ねたという印象」(249)を与えるような家具の配置をさせたと述べ、仕上げにその無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ようとします。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します。

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ですが、召使は飽くまで「他人」(stranger)であってオーウェンと結婚してゲレス夫人にとって息子の嫁となった「仲間」(yokefellow)(253)ではないのです。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ます。そしてこの二人の最後の会話の中でゲレス夫人が「私も少しは持ちこたえるでしょうが、ずっと長生きする訳ではありませんよ」(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のです。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ますが、第16章でモナの婚約破棄の手紙が来なくてもフリーダとの交際継続を求めたオーウェンが、フリーダには結婚ではなくて愛人関係を求めていることが分かっているので、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ます。

そしてこの物語の最後でクローズアップされるのは

オーウェン・ゲレスという男の実像です。彼は『ある婦人の肖像』の中で結婚した主人公イザベルに求愛する貴族のウォーバートンと同じように、結婚後も愛人を持つことを容認する当時のヨーロッパの上流社会の伝統を体现する人物と言えます。またその社会を成立させている一つの要素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、着の身着のまま家から追い出し死なせようとしていることに対して、オーウェンは息子としての責任とか背徳感を感じていないように思えます。クリストフ・ウェジリンが海外に渡ったアメリカ人に認めた「因襲の手による個人の責任の消滅」(the death of individual responsibility at the hands of convention^{1) 5)})という道徳的問題は本来このオーウェン・ゲレスのように法律とか伝統とか因襲に支えられた社会に安住するヨーロッパ人の問題と言えます。

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のです。そう決めた時にフリーダが「密かな恍惚感」(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ます。またフリーダが蒐集品を取りにポイントン邸に向かう自分の姿を「聖堂に向かう巡礼者」(259)に準えたのは、オーウェンの申し出を受けることが第一義的には自分の生存の道を確保するという人間にとって何よりも大切なある意味では神聖なことだからです。

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ですが、ポイントン邸に蒐集品を取りに行く時自分が何か後ろめたいことをしているという意識をフリーダが持っていることは、彼女がポイントン邸に着いた時脚の悪い老ポーターから厳しい目付きで見上げられて脅え「彼ら(オーウェンとモナ)は帰って来てるの」(263)と問いかけ、オーウェンとモナが帰って来たら彼女がそこに居てはいけないと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ます。

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ます。そのことは道徳意識を持ち合わせてなくてはなら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れでもあります^{1) 6)}。しかしその偶発事件をフリーダは前以て想像しています。

Something, in a dire degree at this last hour, had begun to press on her heart: it was the sudden imagination of a disaster, or at least of a check, before her errand was achieved. (262)

主人公フリーダが想像したことが現実となった点は、同じように主人公の家庭教師が想像することが次々と現実のこのように語られていくジェイムズの実験小説の傑作『ねじの回転』への道を開くものと言えます。またこの物語でフリーダの視点は居候の視点、悪女の視点、そして一瞬正当な結婚を願う結婚適齢期の女性の視点となり、その後召使の視点、最後に愛人の視点へと変わっていきますが、フリーダ本来の自我が表に出た結婚適齢期の女性の視点を除いて残りの視点は全て不遇な境遇を生き抜いていく為にフリーダが一時的に身につけた視点と言えます。この視点の技法の変化は、生計を立てるためには自分本来の視点を隠して行動しなければならない職業的居候フリーダ・ヴェッチを視点人物としたことにその主な原因がありますが、そうすることでジェイムズは、視点人物の視点から距離をおき、その視点を再吟味する視点を読者に持たせようとしているのです。読者の視点を積極的に物語の中に取り入れ読者の頭の中で物語を完結させようとした点において、この作品は視点の技法の新しい展開と発展を記す作品と言えるのではないのでしょうか。

(付記： 本稿は1994年11月5日に開かれた京大英文学会年次大会において口頭発表した内容に加筆修正したものです。)

注

- 1) Yvor Winters, "Maul's Well or Henry James and the Relation of Morals to Manners" in *In Defense of Reason* (The University of Denver Press, 1947), p.319.
- 2) James W. Gargano, "The Spoils of Poynton: Action and Responsibility" *Sewanee Review*, LX-IX, 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中の*The Spoils of Poynton*による。以下引用末尾の数字はこの版の頁数を示す。
- 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「下品な」(vile)人間つまり悪女になるという意識をフリーダが持っていることが分かる。
- 9) 'let herself go' という表現がオーウェンと肉体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「野蛮さと不道德さ」(brutality and immorality)を強調したかったのである。(cf. *The Notebooks*, pp.155-6)
- 10) 「彼女(モナ)は蒐集品が手に入らなければ、僕なんか要らないんだ」"And if she can't get them she doesn't want me." (161) というオーウェンの台詞にもモナに対する彼の反感がよく現れている。
- 11) ピーター・ブルックはこの場面について「自分の役割についてのフリーダ自身の自意識が彼女を解放し、自分の演技に読み取られるかもしれない意味をより高尚に意識しながら行動させる、つまり彼女は自分の行動が生み出す「暗号」(signs)に気づいている」と述べている。(cf. Peter Brook, *The Melodramatic Imagination*, New York: Columbia University Press, 1985, pp.163-4.)
- 12) この辺りのフリーダの行動を評してウィントースはフリーダの道徳的ヒステリーを指摘し、コロナ・シャープはフリーダが厳正な論理の為に「ゆったりとした常識」(expansive common sense)を放棄していると述べている。(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てリックス邸に帰ってから二週間の内にゲレス夫人の手紙が二通来てフリー

ダは15日にリックス邸に向かったとあるので(247)、その15日は12月15日となり、ゲレス夫人がフリーダの家を訪ねるのは11月30日となる。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11月15日となる。

- 14) この策略を最初に指摘したのはロバート・C・マクリーンでした。(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復刊第35号』(京大英文学会,1989), p.118.

鶴見俊輔の民主主義について

A Study of Democracy on Shunsuke TSURUMI

Tsuneyuki KIMURA

木村 倫 幸

戦後日本の思想界においてユニークな軌跡を残してきた哲学者鶴見俊輔（一九二二～）の立脚点は、彼自身のこれまで背負ってきた「生活」にある。鶴見は、この視点から戦後の日本社会についての分析と特徴づけを加えつつ、その民主主義のあり方について積極的な発言を続けてきた。そしてその発言が「思想の科学」研究会あるいはさまざまな市民運動を通して、いわゆる進歩的とよばれる人びとのあいだに一定の強い影響を与えてきたことは間違いないところであろう。それは、戦後の民主主義とよばれる大きな流れに、別の視点から光をあてるかたちの民主主義であり、鶴見は、この民主主義観によって、ともすれば戦後民主主義一色に染まってしまうことの意味と予測される危険を指し示したといえる。

戦後という言葉がもはや過去のものとなってしまった観のある現在、戦後民主主義も、定着化と無関心・形骸化という二つの側面を持ちながらわれわれにとって当たり前のものとして存在している。しかしこの当たり前の戦後民主主義は、近年の激動する世界の情勢（社会主義の崩壊にともなう世界の再編成と多元的社会への志向等々）の中に自分の位置を模索する日本社会に対応するかたちで変化を余儀なくされている。すなわち戦前の天皇制国家のいわば裏返しとして出発した戦後民主主義という表看板は、今やその意義と内容について根底から細部にいたるまで再検討を必要としているのである。

この意味で鶴見の提起した民主主義が、戦前の天皇制に対する批判であるとともに、戦後民主主義に対する検討のひとつの基準となり得るものとして登場してくる。というのも鶴見の「生活」の視点からする民主主義は、一定の限界を有するとはいえず、それ抜きにしてはわれわれの生存そのものを考えることのできない生活に根ざし、その中で日常生活としての民主主義を考察するからである。この視点は、日本の近代化の過程において意識的に追求されることの少なかったものである。いわば国家の側からの体制の推進に抗して、庶民・大衆の側において下から生活に即して提出されてきた民主主義とよぶことができる。

小論は、かかる鶴見の「生活」に根ざした民主主義の構造と機能との説明を通じて、この民主主義が現代日本社会において持つべき意義を追求しようとするものである。もとより鶴見は現存の哲学者であり、その

思想を総括するなどという作業は今後に待つ外なく、また小論の探究作業も不十分な側面を多々残すものではあるが、「生活」の視点からする民主主義の積極的本質を描くことができれば、と念じている。

一

鶴見は、さまざまところで自分自身の生活についてふれているが、その根幹にかかわるところでは「大衆」の重要さを指摘する。

「どちらかといえば、人間にとって根源的なのは、大衆としての行き方なので、知識人も結局、大衆的なものだという気がするのですね。大衆はマスではなくて、それぞれ辺境に生きているものなんだ。だから知識人が辺境に生きて大衆はマスだという考え方は、前衛知識人の迷信だと思うのです。そんなものじゃないと思う。結局、大衆は辺境のなかに生きているし、知識人も辺境に生きるんだけど、知識人は大衆として辺境に生きている」①

ここには社会において有名なエリート・英雄に対する無名の庶民・大衆の立場が、後にふれる知識人に対する批判とともに明快に示されている。この無名の庶民・大衆の立場に根を張るという視点は、鶴見の戦争体験に由来するものであるが、戦争における「大量死」の意味を考察するところにも示される。

「なぜヒトラーは有名で、アウシュヴィッツで殺された二百万のユダヤ人は無名なのか。学者にとっては、自明の理であるその答えは、よく考えてみると、それほど自明ではない。歴史記述の便宜上、ヒトラーの名をのこし、ヒトラーによって消された人々の名を消すということであって、そのような処置は、あくまでも、便宜上の処置にすぎない。それ以上の思想的根拠、価値的根拠があるわけではない」②

無名が有名であり、有名が無名であるとする立場は、戦争の犠牲者に対する認識であるとともに、現在生きている庶民・大衆こそが社会の担い手であることを主張する。すなわち庶民・大衆はそれぞれの小さな生活を生きているわけであるが、それぞれが自分の生活の主人公であることを自覚している。そのことは庶民・大衆が持っている生活の感覚とそ

の思想が切り離されているのではなく、いわば生活のスタイルとして思想が存在していることを意味している。庶民・大衆が持つ当たり前、まともさという常識的感覚がひとつの思想となつていたのである。このことは、庶民・大衆の思想が知識人のもつそれよりも低いということの意味しない。鶴見は「生き方のスタイルを通してお互いに伝えられるまともさの感覚は、知識人によって使いこなされるイデオロギーの道具よりも大切な精神上の意味をもっています」と評価する。③

この庶民・大衆の思想は、普通われわれが哲学・思想ということで考えるものとは大分様相を異にする。それは鶴見によれば「習慣変化」とよべるものであり、別の言い方をすれば「人間のもつ思想は、はじめにロゴスがあつて、それが思想の全体をつらぬくというふうなものではありにくい。ほとんどの場合に、思想は、行路の途中で気づかれた思想である」(八一―二〇九)ということでもある。従つて庶民・大衆の思想は、その生き方のスタイルの中に見出されねばならない。このような思想の考え方は、近代化されてこの方の日本においては思想の名に値しないとされ、ほとんど無視ないし軽視されてきたが、鶴見は、実はこれがブラグマティズムの思想観であることを指摘し、その有効性を訴える。すなわち庶民・大衆が自己の生活スタイルとして持つこの思想こそが、戦後の日本の民主主義の発展の問題を考える上に非常に重要な手掛かりを与えると考えられるのである。

二

さきほどの「思想」に関してもう一度述べるならば、「どうも明治以後の日本の用語例では、『思想』という言葉は、ブロック建築のように、きちんと積みあげられた観念の建物を言うらしく、まとまった一定の形が要求される。はじめにおわりまでを考えぬいた上でつくりあげられた観念の体系を言うものらしい」(八一―二〇八)④ということである。

このことは、大学で講じられているいわゆるアカデミズムの哲学はもちろんのこと、戦前の国家体制の思想にも、また戦後民主主義の思想にもあてはまると考えられている。しかし果してそうであろうか、という

のが鶴見の提出した問題である。大学アカデミズムと戦前の国家体制の思想に関しては右のことはまだしも首肯できるとしても、戦後民主主義の思想については、「ブロック建築のように、きちんとつみあげられた」というようなものが最初から存在していたのかどうか、そしてそれが現在のわれわれのあいだに存在しているのかどうかについては、疑問を持たざるをえない。ところがわれわれは、戦後民主主義を疑わざるものとして、これ一色に染まってしまったように感じており、進歩的、革新とよばれる社会勢力もそのように行動している。少々話題は古くなるが、この間の事情を、鶴見は次のように語る。

「孤立した個人の型が一つあって、それと逆の型が、日教組・総評、すべてそういうふうになっちゃうんだけれど、マンモス集団。考えるんじゃないくて、一種のそれこそ絶対物質だな。運動になっちゃうんだ」(Ⅰ―二三四)。

このようなあり方で存在している民主主義の観念とは、それ故一種の「呪文」として作用しているといえよう。それは戦前戦中に宣伝された「必勝の信念」と同様の構造を持っていて、ひとつの「枠」として人間の思考を導く機能を有しているのである。周知のように民主主義の観念は、戦後の日本社会の形成発展にあたって巨大な影響を与え続けて、あたかも空気が存在するように社会に存在しているとされる。しかしその民主主義の観念が、ある意味では「呪文」としての側面を有しているということ、そしてこの「呪文」は、「呪文を破られないかぎり呪文としては相当なもの」ではあるが、「呪文というのはいったん破られたら怖い」(Ⅷ―二五五)という面も有していることを鶴見は指摘する。

そこで鶴見は、思想を「きちんとつみあげられた」観念のブロック建築として見るのではなく、「習慣変化」、「信念と態度の複合」(Ⅷ―二五三)として考えること、つまり信念(＝価値判断)としてのみでなく、「信念と結びついている態度」(同)として思想を見ることを主張する。それは、「信念というのとは人類普遍の形としてだすことができるわけですが、その信念を法王の前でも屈せずと言うことができるかどうか。それは態度にかかわります」(同)という視点である。

この視点から見れば、民主主義を「呪文」(抽象的原理)としてではなく、生活スタイル(具体的原理)の問題としてとらえなおすことの意味

義が出てくる。それ故鶴見は、「信念だけで見ない、態度を重く見て態度との複合で見るということになりますと、家の中の思想を重く見るというほうに自然に重点がいきます」(Ⅷ―二五八)として、家の中の場の中心としての女性に注目する(「女性原理」)。この原理は、家の中の女性の役割に象徴されるように多分に曖昧なものを含み、かつ生活的に「自立」した個人の「自治」を意味する。それは経済的に「自立」しているかのごとく見えているが、生活的には全く「自立」していない男性原理の急所を衝く原理である。「生活」そのものがそのまま「自治」による運動となっていくような「女性原理」にもとづく運動、これが鶴見のいう民主主義の原点をなしていると思われる。ここから成立していく民主主義は、従って「男と男の抽象的な原理」(Ⅰ―三七四)によって支えられるようなものではなく、「小さな『人と人とのあいだ』をだいいじにして、がっちり組んだ運動」(同)であり、深い人間的結合に基盤を置く運動である。これは、民主主義を大きな政治運動として見る視点からすれば、「状況がわるくなったときに、小さくもちこたえる思想にすぎない」(Ⅰ―三八〇)とされるかもしれないが、鶴見は、これに対して、「自分で動かせないような大きい運動にしても、穴倉の部分を抽象的なスローガンで埋めるようなかたちでは、まずいと思う」(Ⅰ―三八一)として、「どんなに小さくても、女性的な原理が『家』を少しでもはみ出してつながっていくような運動であれば、さまざまなかたでもちこたえられるのではなからうか」(Ⅰ―三八〇)と「女性原理」の有効性を対置する。

ここには「家」という庶民・大衆の立場からの民主主義のあり方が、それまでの民主主義の運動とは異なるスタイルで説かれている。このような民主主義の運動が「家を少しでもはみ出したところ」に結実したが、例えば原水爆反対運動であり、公害反対の市民運動である。これらの運動は、社会の一般的な発展法則の解明から特定の問題の解決に向かってなされたものではなく、その反対に、特定の地域の運動から始まって、社会の法則的知識を求める方向に動き、既成の勢力に影響を与えていったという意味では、まさしく「家の中」から起こった民主主義の運動であり、それらの運動の最初の担い手からしても「女性原理」にもとづく運動であったといえるであろう。

三

ところがこの民主主義の運動は、特定の問題、特定の地域の運動から始まったとはいえ、やがては国の障壁と衝突するにいたり、また既存のさまざまな政治勢力との関係を持つことになる。そうなると鶴見の提唱してきた民主主義は、庶民・大衆の生活スタイルという小状況に根ざしながらも、これとは次元の異なる大状況に関係せざるをえなくなる。このところの関係をどう見るか、という問題が生じる。

これについて鶴見は、民主主義ということの内容を消極的と積極的とに区分する。前者の消極的民主主義とは、「国家の政治をより多く民主化することを望みはするが、政府の側から国民の自由をせばめてゆくようなことが起こった時には、反対せずに甘んじて自由をせばめられてゆく、(中略)退いていくという行動様式と思考様式」^⑤を意味する。ところがこの消極的民主主義は、近代的な諸制度・技術との結合ができ、その結果として「消極的民主主義という一点においてはきわめて前近代的なままに、人間の知的装備はきわめて複雑なものになり得」(同)る「実務的知識人」(近代日本の知識人の主流を占める)が出現する。しかし彼ら「実務的知識人」は、世界の刻々の情勢変化に応じて自分の人間に関する価値判断の根本的基準が変化することに対して、鈍感かつ無責任な存在であるとされる。^⑥それゆえかかる消極的民主主義は、現状を肯定追認する以外の意味を持たないし、民主主義の名に値するかどうかが疑いが残る。

これに対して、後者の積極的民主主義とは、「興味は私生活の充実に向けられる。天下国家を論じることが好まない。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がこばまない」(一四六六)という姿勢であり、「これこれの条件まで自分たちの生活が国家によって引き上げられたならば、自分たちは政府と関係のない私人であっても結束して、政府を倒そう」(一四六三)とする姿勢を指す。これは、政府国家に対する抵抗権の表明であり、政府を倒すこと(革命)へとつながる。鶴見は、この、「私人であっても」(すなわち市民の生活や「自治」に関して)国家からの介入に対しては断固として抵抗するということに民主主義の基本を見ており、このような約束が国

民の中での共通事項となっている場合にのみ、民主主義は成立するとしている。従って民主主義とは、自分の生活を守る決意、「自治」を擁護する姿勢であり、それは最終のところ、これを侵犯する国家に対する抵抗・革命の可能性を含んでいる。これについて鶴見は、「だから、革命の可能性を完全に抜きにした場合には、民主主義もまた成立しないことになる」(同)と述べる。

ただしこれと同時に鶴見は、かかる思想を含めておよそ思想を検討するにあたって、行動と結びつけて理解しようとするのであるが、その場合に二つのことを区別する必要があるとする。

それは、「(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」の区別である(一一二八三)。前者「思想を実証する行動」を知るとは、「ある思想が何をさしめするか(指示対象)をとらえること」(一一二八二)であり、ある思想が正しいと言える条件(実証条件)を知ることである。また後者「思想を使用する行動」を知るとは、「ある思想がどういう役割を果しているか(使い道)をとらえること」、「その思想を使う人々の行動がどんなものであるかを知ること」(一一二八三)とされる。

これら両者の側面は、区別されはするが、しかし全く無関係に存在するものではなく、思想の意味はこれら二種類の行動を重ね合わせて見ることによって把握される。それ故右に述べた民主主義の場合にも、これらの行動が分離されてはならず、この意味で自己の生活からかけ離れたものとしてではなく、市民自身の生活や「自治」にとどまる、手の届く範囲での民主主義が要請されるのである。この場合、思想を実証する行動(指示対象)は、それを使用する行動(使用状況)を見通しているものでなければならず、また思想を使用する行動(使用状況)は、それを実証する行動(指示対象)に絶えずフィードバックされてゆかねばならない。

かかるかたちで進められていく運動とは、さしあたっての規模としては、それほど大きくないことが予測される。運動の規模よりは、そこに参加している人びとの間での信頼できる人間関係が、まず重視されねばならない。鶴見のいう「女性原理」を基盤にした運動は、前出の「小さな『人と人との間』をだいにして、がっちり組んだ運動」でもある。

そしてこのような運動であれば、社会的な状況がかなり悪くなったとしても持ちこたえられ、長続きするだろう、というのがその主張である。

この運動のかたちがどれだけの社会的な有効性を持っているかということは、今後なお論議され実践されていく必要があるが、しかしこのことを別にしても鶴見が思想を検討するにあたって提起した二つの視点の区別は、現代日本社会の思想のあり方への痛烈な批判となっている。というのも現代日本では、「思想の真偽・正否に興味をもつ人は、思想の使われかたには興味をもたぬ人である。また逆に、思想の使われかたに興味をもつ人は、思想の真偽・正否には興味をもたぬ人である。このことによって、日本の学者、評論家、思想家をだいたい二種類に分類することができると思うが、このように二つにぴたりと分れるということが、日本の思想状況の不毛をもたらししている」(Ⅰ―二八三)からである。この文章が書かれたのは一九五七年のことであるが、現在でも状況はそう大きくは変化していないと思われる。この意味で鶴見の主張する民主主義の運動は、思想としても新たな局面を確立していく展望を含んだものと考えることができであろう。

四

以上われわれは、鶴見のいう民主主義の内容について、その主要な特徴を検討してきた。そこにおいてわれわれは、この民主主義が庶民・大衆としての各人の生活から出発し、その生活と不可分の関係にあり、そうであればこそ通常いわれる民主主義とはまた別の可能性を有するものであることを確認した。さてこの民主主義が現代社会において持つ別の可能性とは何か、それは多元性ということであろう。鶴見は、次のように語る。

「庶民というのは、わたしのことばで言えば、異心のあるもの、違う意見を持ったものがいってもいいじゃないかという思想を、からだの反射としてもっている人間のことでしょ」(Ⅰ―四四四)。

「横向いている人間を尊重するという考え方が、直接民主主義そのもののなかに植え込まれなければ、日本人にとっても、もうすでに一つの

島とか村になった人類にとっても救いようがないですよ。(略)みんなのなかにちょっと違う人間がいて、いいんじゃないか。それを肉体的に抹殺することはないんだ、というふうな反射意識を植えつけていくことが、日本にとっても世界にとっても必要だという気がしますね」(Ⅰ―四四三)。

これは、本論の最初でも述べたように戦前の天皇制国家のイデオロギーに対する批判であり、また戦後民主主義を錦の御旗として推し進めてきた勢力への批判ともなる。すなわち異なる意見の存在を認めるとは、従来主張はされながらも実際にはそれほど実現されていたとはいえない「少数意見の尊重」から一歩進んだかたちであり、異なる意見の存在を、ことさら構えた姿勢で対処するのではなく、自然の振る舞いとして扱っていく態度である。ここから鶴見は、原理原則による運動や思想の押し付けを拒否し、高邁な理想や理論よりも庶民・大衆の生活実感を尊重する。

「かくあるべし、かくありたいと真円のような空中の理想を押しつけたがる人はいます。けれども、庶民のほうは、つねに地上に足をつけて歩いていきたい」(Ⅰ―四四五)。

「原理原則を押しつけることに對するある種のこっけいさと、その非人間性に気がつかないと、人間はいまの状況からなかなか越えられないんじゃないでしょうかね」(Ⅰ―四四九、四五〇)。

このような鶴見の言葉は、また「体験から考えるという方法は、体験の不完全性・不完全性の自覚をてばなさない方法である」(Ⅰ―四五〇)という姿勢に裏打ちされている。鶴見には、体験・生活という基盤に立脚しつつも、その体験・生活が次の新たな体験によって変化していくというプラグマティストとしての冷静な自覚が横たわっているのである。かくして「完結性・完全性の観念に魅惑されて、その尺度によって状況を裁断するというようなことがないようにする」という慎重な姿勢が、小規模かつ地道ではあるが長続きしていく市民運動を模索していく方向となる。

しかしながらかかる民主主義の運動は、同時に多くの問題点をも含んでいる。そしてこれらの問題点は、この民主主義の運動が進展しようとするとき、その足元をすくいかねない危険性をも有している。その最大

の問題点は、この立場が庶民・大衆の生活に根ざしているという特徴そのもののうちに存在する。すなわち鶴見のいう「女性原理」「自治」による運動は、粘り強い側面を持つていえるとはいえず、その生活範囲の狭さは否定すべくもない。もともとそのような性格の運動であるといってしまうとそれだけのことなのであるが、この点についての考察が不可欠であろう。プラグマティズム自体が歴史性を持たず、歴史Ⅱ個人の行動歴としてしかとらえきれないことの限界がそのままではまるのかもしれない。

そしてこれと関連して、生活の枠とその外の世界との関係の問題がある。すなわちこれもプラグマティズムの伝統的盲点とされている経済問題への関心の欠如ということに発するものと考えられるが、社会問題への生活的道徳的関心があり、そして生活を圧迫してくるものに対して抵抗することはあっても、その個人の生活を越えて、現代社会そのものに作用して生活そのものを規定している経済諸力・諸法則についての認識がないという問題である。この社会の諸作用についての認識——それは諸個人の意志とは独立に存在し社会を動かしているものであるが——を欠くことは、個人の生活範囲という枠そのものについての疑いを不問にする。そしてこの点が、鶴見の提唱する民主主義の運動を社会的政治的運動へと形成していくことを困難にしているといえよう。このことは、換言すれば運動の分散性と組織性の問題であり、どうしても分散的傾向を持たざるをえない多元的な運動をどう組織として形成していくかという問題である。

しかし以上のような問題点を含みつつ、鶴見のいう民主主義は、これまでの既成の進歩的政治勢力がしばしば見落としてきた重要な視点——生活している具体的個人という視点——を持つており、また社会的政治的運動が（思想的運動をも含めて）不完結性・不完全性を持つていえるという自覚は、現実社会と将来の社会のあり方についての議論に対して鋭い警告となっている。この民主主義の運動は、現存する諸勢力の運動と交差・分離しあいながら進んでいくものであるが、その中で鶴見のような視点・立場がどこまで認められるかということ自体が、現代日本社会の民主主義のパロメータといえるであろう。（文中、敬称略）

註

- ① 『日本人とは何だろうか』、鶴見俊輔座談第一巻、晶文社、一九九六年、一二五ページ。以下本書からの引用は、（Ⅰ—一二五）等と表記する。
- ② 『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、一〇六ページ。以下本書からの引用は、（Ⅷ—一〇六）等と表記する。
- ③ 『現代日本思想』、鶴見俊輔集第五巻、筑摩書房、一九九一年、一八五ページ。以下本書からの引用は、（Ⅴ—一八五）等と表記する。
- ④ この点について鶴見は、これに続けて「それにしても、明治以後の学者や思想家には、国家の政策のかわりめごとに自分の觀念の体系の一貫性をくずして大きな模様がえをした人びとが多いのが、そのような思想の通念にてらしあわせてへんに思える」（Ⅷ—二〇八）と述べて、日本の知識人階級の無節操ぶりを批判している。
- ⑤ 『アメリカ哲学』、鶴見俊輔集第一巻、筑摩書房、一九九一年、四六三ページ。以下本書からの引用は、（Ⅰ—四六三）等と表記する。
- ⑥ 「なにゆえに昭和十年代には戦争が文明の母であり、昭和二十年代には戦争はゆるすべからざる野バンであり、昭和三十年代にはある程度妥協せざるを得ない慣わしであるのか。このような根本的座標の変化に対してなんのいたみも感じない精神構造を、私は危険なものと思う」（Ⅰ—四六四）という鶴見の的確な批判は現在においても有効である。

『虞美人草』の「小供」たち

'Kodomotachi (Children)' in
Natsume Soseki's *Gubijinsou*

Mitsuhiro TAKEDA

武田 充啓

はじめに

『虞美人草』の末尾に置かれた甲野欽吾の日記を読んでいると、いったいこれは誰が書いているのか、という疑問が浮かぶ。「入道無言客みちのこむげんかく。出家有髮僧いけいゆうはつそう。」の一聯をもって「最後の頁の最後の句」とし、家を出る決意のもとに一度は「思い切って」暖炉に捨てられた日記帳を、「まだ書く事があつた」(十八)と、わざわざ拾い上げているのは誰なのか。そうして、しかし目の前の一人の人間の死に直接ふれることもなく、自分の正しさを疑うことなく肯定するために、「万人」なる抽象的存在を持ち出し、「悲劇」だの「道義」だのを説こうとしているのはいったい誰なのか(十九)。

たしかに、甲野は日記を書く男であった。そこには、もっぱら漢詩や諺めいた警句が、「世間」を「遠くに眺めて居る」(一)ための工夫として記されていた。その登場の当初から、「解脱」を求めている甲野は、同時にその「解脱」を阻んでいる自分自身の猜疑心についても気がついていた。「魂胆」をもった義母や義妹への「当然の」疑いだけでなく、「無二の友達」である宗近に対してさへ「迂闊には」と予防線を張らざるを得ない自身についても意識的だったのである(三)。では、なぜ甲野はそうした自分自身の「我」を抱えたまま、それに目をつぶって、自分がさも「万人」を見下ろす高みにでもいるかのように「道義」の訓を垂れようとするのか。従来から指摘されてきたように、彼は自分の猜疑心の奥に潜んでいる我欲について十分に自覚的ではなく、そのために自己批判を徹底できなかった、ということなのだろうか。

いや、おそらくはそうではない。こうしたことは、後にくわしく見るように、たしかに甲野の欲望の死(彼は自分の理想とする「大人」や「小供」になろうとしていた)と深く関わっている。しかし「我」を超越していくはずの甲野の自己否定の試みが、彼の理想として、その「解脱」への希求のなかに組み込まれていくことなくおわたしたのは、彼の一個の人物としての認識力や実践力の不足からでは、おそらくない。それは『虞美人草』のテクストに組み込まれた特殊な表現装置(他の箇所では「活人画」と名指されてもいる)によって、相反するものが共存させられ、矛盾が止め揚げされて、本来は実現不可能なはずの彼の欲望が、

一瞬の成就として、つまりは一枚の「画」として、結晶させられてしまったためではなかったか。そして、それ以後の甲野には、日記を書く必然性がすでになくなってしまっているのではないか。これが以下の議論において確かめたい第一の要点である。

もうひとつ、これも従来から多くの論者がとりあげている問題であるが、なぜ藤尾は死ななければならぬのか、という問題について、やはり私なりの答えを探りたいと思う。

藤尾が不自然にも殺されるのは、彼女が背負っている「美文」のせいである、と明快に指摘してみせたのは水村美苗である①。水村氏は、「美文」が藤尾を「妖婦」にしたてあげ、死罪に相当する罪が彼女にあるかのように「業深き女」を捏造していくその機能に着目する。そして氏は、作品世界と作家の内面的葛藤とを重ね合わせながら、『虞美人草』にある、好ましい「漢文学」と厭わしい「英文学」との対立、すなわち「男と男」の世界と「男と女」の世界との対立と、そこから生まれる三角関係の構造を読み解きながら、「藤尾的なもの」は「英文学的なもの」とその本質において関わりあっているために、それを「嫌悪」する作家によって殺されるのだ、とするのである。

水村氏も指摘するように、『虞美人草』にはある過剰なものが含まれている。それは「詩的なもの」や「美的なもの」を背負った藤尾という存在と深く結びついた何ものかに違いない。『虞美人草』の作者はそれを藤尾の「我」と呼んで「道義」で囲い込もうとしたし、ある論者はそれを「商品というイデオロギー」②という言葉で包み込もうとしている。しかし、それでもそこにおさまり切らない何ものかがあるのである。その何ものかを『虞美人草』の本文中の言葉で名指すとすれば、それは「動くもの」③ということになるだろう。たしかに藤尾はある種の「近代性」を背負わされている。しかし彼女の抱えている「動くもの」は、「文明の進歩」自我の拡大／道義の必要性／近代の批判」というような枠組みにおさまるものではない。水村氏は、『虞美人草』が藤尾の「罪」を明確にできないテキストである限り、「藤尾的なもの」を「男と女」の世界という以上に明確に定義しようとするのは無駄である、と述べている。しかし私は「藤尾的なもの」の、すなわち「動くもの」の、少なくともその手がかりについては、彼女の「夢」をとおして見出せる

のではないかと考えている。そしてここではそれを探りたいと思うのである。

「女詩人」と呼ばれもする藤尾の「夢」は、「詩的なもの」や「美的なもの」を享受できる「永遠の小供」の日々を送り続けることである。二十四歳の「御婆さん」(二)になるこれまで、彼女が小供のままでいられたのは、父親が生きていてくれたからである。言うなれば、父が提供してくれた特別な「時間」が、彼女の「夢」を生かし続けてきたのである。その意味では父親の死後、「世界滅却の日を只一人生き残った心持」(八)でいるのは、甲野欽吾という小供だけではないのである。そして「父の時間」のもとにとどまり続けようと意志する藤尾は、おそらくはその強すぎる欲望のために、倫理的な問題を突きつけてくる「過去」とはまた別の、存在の不安と結びついた「動くもの／故里」(ふるさと)と向き合うことになるのである。そうしてその「動くもの／故里」を封印したり、逆に蘇らせたりもすることになる表現装置としての「美文」が、藤尾の不自然な死と深く関わっているのではないか。これが以下の議論における第二の要点である。

小論では、甲野の「道義」や「解脱」の実践の物語を彼の理想とする「大人」や「小供」の観点からもう一度たどり直し、また藤尾の「我」の闘争の物語を彼女の夢である「永遠の小供」の観点から問い直してみたい。そうすることによって、従来の「勧善懲悪」の問題枠から逃れつつ、『虞美人草』という作品が、甲野の「理想」や藤尾の「夢」を瓦解させる表現装置をその内部に抱え込んだテキストであることを明らかにしたいのである。そして、そのことによって見えてくるのは、『虞美人草』というテキストが登場人物たちからその「書くこと」を奪うことによって成立しているテキストである、ということである。

一 「立ん坊」あるいは 甲野欽吾という小供

甲野欽吾は、小説の終結近く、「真面目」になっていよいよ家を出ようとするとき、継母に呼び止められている。

「(前略) 何が気に入らないで、親の家を出るんだか知らないが、少しは私の心持にもなつて見て呉れないと、私が世間へ対して面目がないぢやないか」／「世間はいつでも構はないです」／「そんな聞訳のない事を云つて、――頑固な小供見た様に」／「小供なら結構です。小供になれば結構です」／「又そんな。――折角、小供から大人になつたんぢやないか。(中略) 少しは考へて御覧な」／「考へたから出るんです」／「どうして、まあ、そんな無理を云ふんだらうね。(中略) 私は――亡くなつた阿父さんに――」
 「阿父さんは大丈夫です。何とも云やしません」 (十八)

「小供から大人に」なることが人の自然な成長であり、また当然の義務であると信じて疑わない母親は、甲野を「小供」扱いし、彼の身勝手な振る舞いを窘めようとする。逆に甲野は、そうした「世間的な思考や価値から自由になれない母親のような「大人」をこそ相対化するような存在を、思い描こうとしている。このとき甲野は、彼が考える理想としての「小供」を口にしてるのである。「世間はいつでも」とい「阿父さんは大丈夫」という甲野は、ほとんど「解脱」を実現してしまっているかに見える。しかし「なら結構」「なれば結構」という言い方のうちには、その反対に、彼の「解脱」への欲望が現実には不可能な夢でしかないという苦い認識が含まれている。甲野は自分がそうなりたい「小供」と世間からそうあれと強いられる「大人」という二つのものの間で、そのいずれにもなりきれずに宙づりになっているのである。そして結果的には甲野は「親の家」から動くことなく、「大人」を受け入れる形で小説は終わるのである。

一方、小説の冒頭、叡山に登る場面では、甲野は「只万里の天を見る」と吟じ、「動けば吐く」と語っていた(一)。彼の日記や言動からも甲野が高い見識と動かない道義性を携えて脱俗超然としてゐる「大人」を理想としていたことがわかる。もちろん現実には、このときすでに甲野は父親の遺産を相続しており、東京では「家」の存続や「世間」の秩序保守のために「大人」になるという「喜劇」が、彼を待ちかまえていたのである。甲野はその登場の当初から、彼の理想としての「大人」と現実とに要請される「大人」とのあいだに引き裂かれていたのであり、そ

もそもが「天地の間に懸かつてゐる」(八)人だったのである。

『虞美人草』を甲野の「理想」という視点から見れば、へ高い／動かない／大人」を憧憬する「小供」が、世間的な「大人」への成長・成熟を拒み、しかし理想の「大人」の可能性を思い知らされていくなかで、ついには「高くなく／動く／小供」という夢を見ようとする物語として読むことができる。

以下では、この物語を軸にしなが、『虞美人草』をたどり直すことになるが、さしあたっては、父親の死後約四ヶ月になる「現在」、甲野の倫理や欲望がどんなかたちで生きられているのかについて、彼の理想としての「大人」の観点から見ておきたい。

「立ん坊でも覚悟文はちゃんとしてゐる」と甲野さんは(中略)向き直る。／「叔父さんが生きてると好／がな」／「なに、阿爺おやぢが生きて居ると却つて面倒かも知れない」／「さうさなあ」と宗近君はなあを引つ張つた。／「つまり、家を藤尾に呉れて仕舞へば夫で済むんだからね」／(中略)／「愈本当の立ん坊か」／「うん、どうせ家を襲いだつて立ん坊、襲がなくなつて立ん坊なんだから一向構はない」 (三)

家を出さずすれば、「喜劇」は回避できる。「大人」にならなくてすむのである。にもかかわらず、それをせずに甲野は「愚図々々」(一、八、十五)している。甲野を「立ん坊」にしているのは、しかし彼の目の前の「現実」ではなく、むしろ彼の「理想」のほうなのである。甲野にとって、すでに壊れてしまった「家」を長男としてどうするか、というような問題よりも、父親が死んだのち、だからこそ自分の「理想」をどういうかたちで生き延びさせるか、という問題のほうがより切実なのである。

甲野が「大人」を夢想する小供のままでいられたのは、父親がいてくれたからである。その父の死後、へ高い／動かない／大人」という甲野の理想は、たんに思い描かれるものとしてではなく、「肖像画」となつて常に「飲吾を見下ろして」いる「父」に対してどういう人間として向かい合うか、という彼の個人的／倫理的な課題として生きられることに

なる。その課題をはなれば、彼の理想は、「なさぬ仲」の母や妹という現実の前で試され、おそらくは殺される外ないからである。したがって、甲野の理想にとって真に生きることは、「家」を襲ぐか襲がないかではなく、〈父〉に対する自分の姿勢をどう定めるかであり、それが決まらない限り、彼は「立ん坊」のままでいる外にないのである。

生きて居る眼は、壁の上から甲野さんを見詰めてゐる。甲野さんは椅子に寄り掛かった儘、壁の上を見詰めてゐる。二人の目は見る度にぴたりと合ふ。眠として動かずに、合はした儘の秒を重ねて分に至ると、向ふの眸が何となく動いて来た。(十五)

甲野が向かい合うべき〈父〉と、彼の実際の父親とは別の次元の存在である。もちろん作者も甲野自身もそんな区別をいちいちしているわけではない。甲野は「肖像画」を見上げ、「只の人」であつた父親を思い出し、自分の「体たらく」を嘆いてみせている。しかし、たとえ家督や財産を放棄しても、その期待に背いたからと恥じ入ったりする必要もなく、「阿父さんは大丈夫です。何とも云やしません」と言い切れるような、そういう〈父〉をやはり甲野が父親の「肖像画」の中に見ようとしていることも確かなのである。

このとき〈父〉は、甲野の「理想」がその存続のために要請仮構した一種の延命装置としてあるだけではない。この〈父〉は、そこから甲野の個人的な倫理が生まれ出てくるという意味で、彼の倫理のふるさとしてあり、その前で彼の「現実」の有様が明らかにされ、同時にそのことによってまたその向こうに彼の「理想」の姿が浮かび上がるという意味では、甲野の認識と欲望の鏡でもあるのである。

もちろん、甲野に「我」がないわけではない。実際、甲野は法律上の「相続人」を自認しながら自らは結婚する気もなく(九)、継母の「世話」をする気もない(十五)。にもかかわらず藤尾の「世話」だけは「したいと思つてゐる」(同)。しかしこうした甲野の姿勢から、彼のどんな我欲を読み取るうとも、甲野が藤尾に対して、彼女の結婚相手に宗近を名指すところまで踏み込もうとすることについては、彼の「我」からの説明だけでは十分でないのである。甲野にとって、藤尾と宗近とを

結婚させるという父親の「約束」(三)を履行することは、たんに父権を代行するということを意味するのではない。それは〈動かない道義〉を実践することであり、甲野はむしろそれを自分の個人的な「理想」として、〈父〉に向かい合うにふさわしい行為として、実現させたいのである。

もっとも、甲野に義母とその娘に対する根深い「疑」(三)があることもまた事実である④。しかしそうした「疑い」から、つまりは自分がつくり出している「謎」から、自分自身を解放すること。そのことと〈高い／大人〉であろうとすることは、同じ一つのことであつて別のことではない。それができないまま、妹や母親に対して〈高い／大人〉をだけは演じようと、甲野がいくらか藻掻いてみせても、「なさぬ仲」の相手には、それがより利己的で権力的な振る舞いに映る。甲野は見通しのつかない我儘な「小供」にしか見えないのである。

二 〈書くこと〉を奪う「活人画」

ごくごく私的で、個人的なものにすぎない何ほどの想いを、他人と共有できる言葉に「翻訳」(五)すること。〈書くこと〉のうちには、そうした欲望が含まれている。だとすれば、甲野の手によって〈書かれた言葉〉を子細にたどれば、〈父〉に向かい合おうとする甲野の個人的な倫理や欲望が、そこから読み取れるのではないか。

しかし、「一簣桜角雨、閑殺古今人」と起承された絶句に始まる甲野の日記に、〈父〉への言葉を見つけることはできない。彼はもっぱら自分の日記(に記す言葉)を俗世間から距離を置くための方便として用いている。「家」を出ようとする決意さえ、他人事のように漢詩にしてしまふ甲野の日記(の言葉)は、〈父〉を迂回し続けているようにさえ見えるのである。

しかし『虞美人草』の「作者」は、甲野がやはりどうかしてその個人的なものでしかない倫理を、他者に通じる言葉に「翻訳」しようとしていることを、そしてそれがほとんど不可能な試みであることを、逆説的なかたちで、つまりは甲野が〈書くこと〉を崩壊させていく過程を描

写することによって、はっきりと示している。

肖像画の〈父〉の眼を抜け出た「魂がじり／＼と一直線に甲野さんに逼ってくる」(十五)という体験のあと、いよいよ「家」を放棄するにあたって、〈父〉と本気で向かい合わねばならなくなった甲野が描かれる。「片身とは、思ひ出す便を与へながら、亡き人を故に返さぬ無惨なものである」(同)。そのとき甲野は肖像画を仰ぎ見て、「此画は厭だ」「片身は焼くに限る」とまで考える。甲野は〈父〉との「不可思議」な向かい合いの体験を、身体の衰弱か頭の具合の悪さのせいに行っているが、彼はそれが「魂」だから語り得ないのではない。それが〈動くもの〉だからこそ言葉にできないのである。

この後につづく、財産の譲渡を藤尾に言い渡す場面では、「鳥」↓「鳥」↓「駄」↓「駄舌」と漢字を変形し、添加し、その意味を転換させていくような「落書」から、意味そのものを失った「凶案」の反復、羅列をひたすら続ける甲野が並行して描かれている。甲野は、〈動くもの〉を抱えた〈父〉を、また藤尾を、他人に通じるような言葉に「翻訳」することができない。ここで彼は、狂気すれすれまでにその可能性を模索しつつ、他方で「真黒な化石」(一一)になること、あるいは「死」への強い誘惑に全身であらがいながら、かろうじて理性の世界に踏みとどまるのである。

日記を捨てるに至るまでを含む、この甲野の〈書くこと〉の崩壊の過程は、同時にまた彼の「理想」の挫折とその自覚の過程でもあるのだが、注意しておきたいのは、このとき〈父〉に対する倫理的な重圧に耐えている甲野が、それと同時に〈動くもの〉がもたらす存在論的な不安にも向き合っているという点である。宗近が訪ねて来るまで、甲野は「一時間以上」も「凶案」を書き続けているのである(十七)。

〈父〉は〈魂／動くもの〉を抱えている。この〈動くもの〉を見定めない限り「動かないでしかも生きてゐる」〈父〉は謎である。では「謎」としての〈父〉にどう向かい合うか。この問いを生きている中で、父親の「約束」を履行することが断念され、代わって「真面目」(十八)への飛躍が試みられるのである。

しかし、〈小供〉がかなわぬ夢にすぎないことを自覚する甲野が、それでも「本来の無一物から出直」(十七)そうとすると、彼は自分の

「理想」の死と引き換えにそうするのである。このとき甲野は、自分の欲望を二つの方向に振り分けている。一つは、自らは〈動かない／大人〉として、宗近という〈小供〉を動かす、その宗近に小野を〈大人〉にさせ、そうして藤尾という小供に向かい合わせるといふ、自身の「真面目」を「感化」として連続させていく形で、その「道義」の実践をはかる方向にであり、もう一つは、自ら〈動く／小供〉として、肖像画の〈父〉と自分を重ね合わせるかたちで「解脱」をめざす方向にある。そして小論の冒頭「はじめに」でも先取りしてふれておいたように、甲野の「道義」の実践は、藤尾の死によって中断／貫徹されるのであり、彼の「解脱」への欲望は「活人画」のかたちで凍結／成就されるのである。

以下、本章では「活人画」の導入による解決とそれがもたらす意味について考え、〈小供〉や〈大人〉の代行と「道義」の問題については、次章以降で考えることにしたい。

「家を出る」覚悟を以前からしていた甲野にとって、「真面目」とは、家督や財産の譲渡を藤尾に宣告したことではない。「僕の方が母より高い」「賢い」「善人だ」(十七)と宗近に告白したことである。この正直な告白によって、甲野は初めて自分の理想の〈高さ〉を捨て、初めて宗近と同じ現実の「高さ」に降り立ったのである。しかし、甲野自身はそのことを自覚できず、したがって「片身」と訣別しきれない。「一向要領を得ない」言葉だとして燃やしかけたはずの「日記」を拾い上げてしまうのも、言葉にできない〈父〉の肖像画を壁から外して持ち出そうとするのも、甲野が自己批判を徹底できていない証である。しかし、甲野の母親と宗近の妹糸子が、甲野の家出をめぐって言い争う場面では、それらの一切がそのまま宙づりにされてしまうのである。

海と山とを心得た甲野さんは黙って二人を見下してゐる。(中略) 此二人の問答を前に据へて、甲野さんは阿爺の額を抱いた儘立つて居る。別段退屈した気色も見えない。焦慮(しやうりょ)たさうな様子もない。困ったと云ふ風情もない。二人の問答が、日暮迄続けば、日暮迄額を持つて、同じ姿勢で、立つてゐるだらうと思はれる。(十八)

「親の謎を解くためには、自分が親と共同体にならねばならぬ」(三)と甲野は日記に書いていた。「道義」の実践を宗近に委ねてしまった甲野に他人を見下げる視線はない。自在に生きる「小供」を夢見ながら「家」を出ようと「動き」つつ、しかし壁から下ろした「父」を抱えたまま「動かない」で立ち尽くすこと。「作者」は、これを一種の「活人画」として描いている。そしてこの「活人画」に示されているのは、同時に「高い／高くない」「動かない／動く」「大人／小供」であるような行為の姿勢であり認識の態度である。

只新しい理想か、深い理想か、広い理想があつて、之を世の中に実現しやうと思つても、世の中が馬鹿で之を実現させない時に、技巧は始めて此人の爲め至大な用をなすのであります。一般の世が自分が実世界に於ける發展を妨げる時、自分の理想は技巧を通じて文芸上の作物としてあらはるゝ外に路がないのであります。

(『文芸の哲學的基礎』)

「博士」と「金時計」と「藤尾」とが一揃いになった「美しい画」を思い描き、「此画の中の人物となる」ことを「理想」としていたのは小野である(四)。しかし「作者」の「技巧」によって、その「理想」の死を救い上げられたのは甲野なのである。こうして甲野の「解脱」への欲望は、彼自身が活きながら「画の中の人物となる」かたちで成就したかに見える。しかしこのとき、「父／動くもの／謎」に向かい合いつつ記されるはずの甲野の私的な言語は、他者に共有される言葉としてはついに書かれることなく、「謎」を「活人画」として「翻訳」してみせた作者の「技巧」によって、永遠に封殺されてしまったのである。それだけではない。このために甲野はすでに自ら「書くこと」の必然性をなくしている。したがって、いったん捨てた日記を拾い上げてそこに記すことになるのは、彼の個人的な倫理的課題とは何のかかわりもない、世間的な道徳につながる、むしろ「作者」の道義であり哲学なのである。「まだ書く事があつた」のは、「活人画」という「技巧」によっては、いまだ自身を「謎」の問題枠から解放しきれずにいる者であり、どうしても「最後に哲学をつける」つもりでいる作者その人の外ではない。そ

してそこでは、一般化された「道義」によって、あれほど甲野を悩ませた「動くもの」は、もはやまったく隠蔽されてしまっているのである。むしろこの作者による介入については、別の見方もできる。義母と糸子を見下ろす甲野はそのとき、ちょうど甲野たち登場人物を眺める作者の位置に重ね合わせられている。漱石は『写生文』という文章に、「写生文家の人事に対する態度」は「大人が小供を視るの態度である」と書いている⑤。甲野を「活人画」によって救う「作者」の態度は、まさにこの態度である。柄谷行人は、フロイトがヒューモアを「親が子供に対するような態度」であると説明しているのを取りあげて、「漱石のいう『写生文』の本質はヒューモアだ」と指摘している⑥。これにならえば、『眞美人草』は写生文であり、最後の「悲劇の哲学」の部分も、これを作者による「道義」の押しつけと見るのではなく、「ヒューモア」として見ることもできるのである。

しかし小論では、のちにさらに見ていくように、「ヒューモア」によっても制御しきれなかった「動くもの」を、つまりは大人や親の態度で居続けられなくさせるほどに作者を悩ませたであろう「動くもの」のほうを、特に強調しておきたいのである。

三 「感化」とその代償 あるいは 宗近一と小野清三

ここでは、甲野の「真面目」に感化され、「道義」の実践への欲望を代行する、宗近や小野がそのことによってどんな代償を払うことになるのかについて見ておこう。

宗近が甲野の「理想」としての「小供」を引き受けることになるのは、結婚の談判にやってきた宗近が、小野と睦む藤尾の姿を見せつけられ、甲野に諭されて藤尾との結婚を断念する場面である(十七)。甲野に椅子をすすめられた「宗近君は小供の如く、命令に服し」ている⑦。この直後に、甲野は初めて「宗近さん」とその名を呼び、「正直な者程人には使はれ易い」(三)としていた宗近への「疑い」を捨て、やっと「親しき友」に自らをさげすむのである。そしてこのときからおそらく宗近は、甲野の欲望の正式な代行者として「動く」ことになるのである。し

かし皮肉なのは、この「活躍の兒」(十八)が、「真面目」以前の甲野の「謎」に対する姿勢までも受け継いでしまうことである。というのは、そのために宗近は、もともと持っていた「小供」的な彼本来の自在な批評性を失うことになるからである⑧。

宿の襖に描かれた「筍」をめぐって「意味が分からないものが描いてあるんだから謎」だとする京都での宗近は、「意味があるから謎」だとする甲野を相対化し得ていた(三)⑨。そしてこの宗近の「謎」に対する態度は、『虞美人草』に「一つのセオリー」を持ち込み「最後に哲学をつけ」ようとする作家⑩への批判でもあったのである。

甲野もまた、かつては宗近や「作者」への批評性を持ち得ていた。

「人間は、それなら斯うする許りだと云ふ了見がなくつちや駄目だと思ふんだね」／「それも宜からう」／「それも宜からうぢや張り合いがないな。ゴーチアン、ノットはいくら考へたつて解けつこ無いんだもの」／「切れば解けるのかい」／「切れば——解けなくつても、まあ都合がいゝやね」／「都合か。世の中に都合程卑怯なものはない」

(三)

この会話は、藤尾の「謎」が「ゴーチアン、ノット／金時計」にあると見て、宗近がそれを「切る／壊す」ことになる結末の伏線になっている。しかし、ここにある言葉は、小説の伏線という役割を越えて、この小説の結末に対するあらかじめの批判としても聴こえてくる。藤尾を殺そうとする『虞美人草』の作者は、「都合程卑怯なものはない」という甲野の言葉に、どれだけ耐えられるだろうか。むろん、宗近はアレキサンダーではない。宗近はそれで何かを手に入れるわけではなく、このときまでに藤尾との未来はすでに奪われているからである。その意味で宗近の行為は彼の「都合」ではない。しかしたとえ宗近の行為が、彼のいうように「好意上」(十九)のものであったとしても、そのことが「作者」の「都合」のアリバイになるわけではないのである。

「謎」を「意味」によって捉えようとする反宗近的な宗近の振る舞いによって、藤尾の「謎」は確定される。宗近は、藤尾を捉え損なっているだけではない。自分自身をも見失っている。彼本来の振る舞いは、

「動く謎」を「動かない意味」として一つに固定せずにはいられない誰彼を相対化し批判する「小供」としてあるべきはずのものだからである⑩。この「小供」らしさを作者自身もまた見失っている。だからこそ藤尾の死は、彼女の生を「我」や「業」として都合よく「翻訳」してしまった作者に対する、終わりのなき抵抗として輝き続けることになるのである。

もちろんこれ以前に、甲野の欲望の代行者としての宗近には大切な仕事があった。小供である小野を「大人」にすることである。「文学者」であり、「詩人」とされる小野であるが、彼の詩作品そのものは、しかし実際に紹介されることはない。甲野は世間に背を向けつつ日記を「書く男」であったが、小野は世俗の欲望に執着しつつ「博士論文」を「書く男」である。そしてまた小野は「詩人丈に尤も想像力に富んで」(十八)おり、その「想像力」によって他人の心を「読む男」でもある。小野の「人情」はここから生まれてくる。そして小野の問題は、いうまでもなく「書くこと」に徹しきれないところにある。

小野が「過去の管を今更覗いて見ると——動くものがある」(四)。しかし小野が「書くこと」に徹しきれないのは、「社会が後指を指す」(十七)というような道義的な圧迫のためばかりではない。孤堂先生と小夜子を捨てる「決心をした」小野が、「動くもの」の向こうに見るようになるのは、たとえば次のような世界である。

瘦せた頬を描く。落ち込んだ眼を描く。纏れた髪を描く。虫の様な氣息を描く。——さうして想像は一転する。／血を描く。物凄き夜と風と雨とを描く。寒き灯火を描く。白張の提灯を描く。——
慄然として想像はとまる。／想像のとまった時、急に約束を思い出す。

(十七)

小野の「想像力」は、彼を「慄然」させるような何かに突き当たっている。ここでの「約束」とは、藤尾と大森へ行くことであるが、小野は倫理的な問題として了解することで、正体の知れない「動くもの」をなんとか抑え込もうとしているのである。小野は宗近に救われるのを待っていたといつてよい。

「然し真面目になると、ならないとは大問題だ。契約があったの、滑ったの転んだの。嫁があつちや博士になれないの、博士にならなくつちや外聞が悪いのつて、丸で小供見た様な事は、どつちがどつちだつて構わないだらう」(十八)。宗近は小野にその「生れ付きを敲き直」せと迫る(同)。小野には甲野の欲望の代行者として困難な課題が与えられる⑫。小野には、たとえ「証文」(書かれた言葉)が残されていなくても、
 ⑫。高い道義的見地からその「約束」を守りきる「大人」が期待されるのである(甲野自身は同じ理由で父親の「約束」を諦めている(十五))。この要求に応え、孤堂先生の娘小夜子との婚約を履行することは、現実には小野から「博士論文」を奪うことになるだろう。つまり、小野は、利害意識を抱えて「書く男」から、書かれてはいない文字を道義的に「読む男」へとその存在のあり方を転換させられているのである。
 『虞美人草』において、甲野にしても小野にしても、「書くこと」とその人物の個人的な倫理や理想(や夢)の問題とは深く関わっている。そして彼らはいずれも、存在を脅かす不安をもたらす「動くもの」に出くわしてしまい、「書くこと」を奪われることになるのである。そしてそれは同時に、彼らから個人的な倫理や理想を奪い、作者の「道義」を押しつけられてしまうことでもあるのである。

四 〈故里〉 あるいは 甲野藤尾という小供

甲野欽吾が「大人」を拒んでいたように、藤尾もまた世間的な「大人」を拒んでいる。そして彼女は「家庭的な婦女」(六)、「男の用を足すために生れたと覚悟してゐる女」(同)、「大人しく、傍に着いてゐる」(十八)のような女を軽蔑し、たった独りで「大人になる／大人しくなる」ことに抵抗しているのである。実際に母親から「丸で小供で」「実に赤兒で」(二)と紹介される藤尾は、父親の「金時計」に執着している。それは「小供の時から藤尾の玩具になつた時計」(三)であり、これだけが彼女に残された「父」だからである。自分だけの「父」を抱えながら父親の死後を生き抜こうとしているのは甲野一人ではない。藤尾は実際には失われてしまった「父の時間」を今もなお生き続ける「永

遠の小供」を夢見ようとしているのである。事実、宗近はこの時計を「考へると古い時計」(三)「太鼓の時計」(十六)といい、彼の父親もまた「あれで針が回るかな」(十六)といっている。『虞美人草』において「金時計」が果たす役割を見事に分析して見せたのは、竹盛天雄である。しかし竹盛氏は、宗近親子の「金時計」に関するこれらの発言については言及していない⑬。藤尾の「金時計」への欲望において重視したのは、心理の劇を超えたところで、「道義／過去」対「我／近代」という物語の枠組みさえ踏み抜いてしまうような、ある「過剰」を抱えた小供の「夢」である。

「又夢か」と甲野は藤尾に声をかけている(十二)。藤尾に必要なのは小野その人ではなく「詩」や「恋」という「夢」である。しかし「二人の宇宙」は兄や母親が不在の時空でのみ成立するユートピアにすぎない。

呼び交はしたる男と女の姿が、死の底に滅り込む春の影の上に、明らかに躍り上がる。宇宙は二人の宇宙である。(中略)若き血潮の、寄せ来る心臓の扉は、恋と開き恋と閉ぢて、動かざる男女を、躍然と大空裏に描き出してゐる。二人の運命は此危うき刹那に定まる。
 東か西か、微塵だに体を動かせばそれ限りである。(二)

たしかに、この「活人画」の宇宙は母親の帰宅によって脆くも崩れ去る。しかし藤尾の「恋」は、「書くこと」を許されず、兄にも実母にさえも理解されない彼女の孤独が、彼女の「父の時間」への欲望が、かたちを変えて現れ出た「夢」であり、いわば彼女の「文芸上の作物」(『文芸の哲学的基礎』)なのである。

『ブルターク英雄伝』を「読む女」として登場した藤尾は、甲野の投げ掛ける言葉に「嘲」(あざわらひ)を読み、また彼の利他的な配慮の裏に隠された利己心を読む。自分のプライドを傷つけた小野には「手紙を書きかけ」て、しかしすぐに「引き裂」いている(十二)。「決して書くまい」(同)と心に誓うこの「女詩人」は、しかし「作者」によって書くことを禁じられた「読むことしかできない女」なのである。したがって、藤尾の「詩」は実際には書かれることなく、「家庭的な女」糸子に破られ

てしまう程度の「空想」(六)にとどまる他にない。この点、詩や論文を「書く男」である小野は、藤尾の「夢」の代行者であり、彼女の「恋／文芸上の作物」がそれを通じて可能になるはずの、いわば「技巧」なのである。

「昼と夜の間に立つ人」は、母親に呼ばれてはじめて「現実世界に競り出して来る」(二)。その「現実」の世界では、小野は「道具」であり、「玩具」である。そこでは、藤尾は母親の欲望を忠実に映す鏡のような「小供」にすぎない。小野もまた「無一物の某」を入れて、大人しく嫁姑を大事にさせる「(十二)」という母親の「策略」に見合った人物である他にない。そしてその小野が、藤尾との「約束」を違えて、博士論文を「書く男」ではなく、書かれてもいない小夜子との婚約の証文を「読む男」としてその目の前に現れたとき、藤尾はそれ以上「夢」を見続ける余地を見つけることができなかったのである。

「動くもの」を抱えた藤尾の「謎」は、たとえば次のようなかたちで暗示されている。

菱餅の底を渡る気で真直な向ふ角を見ると藤尾が立ってゐる。濡色に捌いた濃き髪のアたりを、梅の柱に押し付けて、斜めに持たした艶な姿の中段に、帯深く差し込んだ手頸丈が白く見える。萩に伏し薄に靡く故里を流離人はこんな風に眺める事がある。故里を離れぬ藤尾は何を眺めてゐるか分らない。母は椽を曲つて近寄った。

「何を考へてゐるの」

「おや御母さん」と斜めな身体を柱から離す。振り返つた眼付には愁の影さへもない。我の女と謎の女は互に顔を見合した。実の親子である。

「どうかしたのかい」と謎が云ふ。

「何故」と我が聞き返す。

「だつて、何だか考へ込んでゐるからさ」

「何にも考へて居やしません。庭の景色を見て居たんです」

「さう」と謎は意味のある顔付をした。

「池の緋鯉が跳ねますよ」と我は飽く迄も主張する。成程濁った水のなかで、ぼちやりと云ふ音がした。

「おやおや。——御母さんの部屋では少しも聞えないよ」
聞えないのではない。謎で夢中になつてゐたのである。

「さう」と今度は我の方で意味のある顔付をする。世は様々である。(十二)

「緋鯉がぼちやりと又跳ねる」。「鯉」に関する問答は、後に母親と甲野の間でも繰り返されている(十五)。そしてそこでは母親に対して、鯉の音は「聞えない」と答える甲野は、のちに宗近に対しては、藤尾のことを「飛び上りもの」「跳ね返りもの」と呼んでいるのである(十七)。藤尾は自分の中に「動くもの」を抱えている。「跳ねる緋鯉」が藤尾ならば、その立てる「ぼちやり」という「音」は、「書くこと」を禁じられ、また自らに発語を禁じている彼女が洩らした「声」である。

「ぼちやり」の響きは小夜子の「ころりん」という「琴の音」(三)と対応している④。ただ小夜子は上京以来琴を弾かなくなっただけである(九)。「象徴とは本来空の不可思議を眼に見、耳に聴く為めの方便である」(三)と甲野は日記に書いていた。「ぼちやり」は藤尾の「無絃の琴」(同)である。しかし甲野は、藤尾が抱える「不可思議」を彼女の「我」とのみ見てしまい、決して藤尾を「動くもの」に向かい合おうとする自分と同類の存在とは見ないのである。

藤尾の「謎」は、動きそうにない「金時計」よりは、むしろそれを納めている手文庫の「蒔絵」にこそ関わっている。「蒔絵」は、次のようなかたちで「動く」からである。

藍を含む黒塗に、金を惜まぬ蒔絵は堂を描き、楼を描き、廻廊を描き、曲欄を描き、円塔方柱の数々を描き尽して、猶余りあるを是非に用ひ切らん為めに、描ける上を往きつ戻りつする。縦横に空を走る焰の線は一点一画を乱すことなく整然として一点一画のうちに活きて居る。しかも明らかに動いて、動く限りは形を崩す景色が見えぬ。(十一)

博覧会の「イルミネーション」は「大いなる火の絵図面」を「虚空」に描き出す。そのありさまが「蒔絵」に喩えられる。ここで「蒔絵」は、

「動かない」世界から解放され、「空を走る焰の線」となり、限られた僅かな時間を、しかし「活きて」「明らかに動いて」いる。博覧会場の夜の空は、「動くもの」としての藤尾本来の「美」が許された貴重な時空である。藤尾は思わず「夜の世界は昼の世界より美しいこと」ともらさずにはおられない(同)。

「金時計」は壊され、「紫の絹紐は取つて捨て」られ、「仰向け」に藤尾は横たえられても、「蘆雁の高時絵」は忘れられずに描かれている(十九)。しかし「驕る眼を眠つた藤尾」は「天女の如く美しく」と書かれてしまうとき、「動く美」は「動かない美」へと連れ戻されているのである。甲野の「理想」は、宗近という「小供」から小野という「大人」へ、そして藤尾へと移り継がれて、最後にはこの「小供／動く時絵」が「小供のままで死ぬこと／動かない画」として描かれることで結ばれる。しかしこの結末は、甲野の欲望の成就であると同時に挫折である。「動かない美」として固定されようとする藤尾は、甲野の欲望というよりは、作者の「道義」により寄り添ったかたちで葬られているからである。観山での甲野の姿勢を模倣させられ、その眼をつぶらされてしまっても、藤尾の「謎」は、世間的なものにすぎない「道義」のようなものに、ほどよく包み込まれたりはいまい。そもそも、「謎／動くもの」の解明の手段としての「死？死とはあまりにも無能」(三)であつたはずなのである。

母親が「丹念に撫つ」て眠らせねばならなかった、あの見開かれたままの藤尾の眼は、何を見続けようとしていたのか。博覧会場で小夜子と小野を目撃した翌日、頭を柱にもたせ掛けながら、藤尾はその「流離人」を思わせる視線で、しかし「何を眺めて」いたのか。母親のそばを離れたことのない「赤兒」は、同時に父親のもとを離れようとし「小供」でもある。藤尾はおそらく、「父」という「故里」を眺めようとしていたのである。「故里を離れぬ」藤尾が「故里」を眺めようとするかどうか。「動くもの」を抱えた存在がその「動くもの」を見つめようとするかどうか。己自身を覗き込もうとする眼球のような事態になるだろう。彼女が「何を眺めてゐるか分らない」のはそのためである。藤尾はこのとき、懐かしいだけではない、むしろ自分を「我の女」以前のものに、さらには自分を「無」にさえしてしまうよう

な不可思議な「故里」に立ち会っているのではなかったか。

「故里」は、人がそこで生い立ち、そこから出て行くところである。それは生まれた土地を指すばかりではない。たとえば孤堂先生にとっての二十年ぶりの東京がそうであるように、小夜子にとっての小野もやはり「故里」である。人はそこを離れてはじめて「故里」を見いだす。そしてそのとき「故里」はつねに二重である。「命より明らかな夢の中なる小野」(九)と五年ぶりに目の前を見る「寄り付けない」(同)小野。心の内側に存在する主観的な「故里」と客観的実在としての「故里」。その二つの「故里」の間に齟齬があるために、人は苦悶する。「来て見るとさうでもないね」「こんな人ではなかった」(九)。しかしそれらの「故里」はありふれた幻滅の体験(文明批判や道義の基盤となる「過去」と同次元のもの)にとどまっておらず、藤尾や作家が向き合っている「故里」とは異なっている。

藤尾の「父」は、彼女に「詩／美」に囲まれて生きる「独身者／永遠の小供」という「夢」を見続けさせてくれた父親であり、また同時に「約束／道義」として宗近との「結婚」を押し付け、「夢」を殺しにくる父親でもある。しかし「琴」を弾くことを自らに禁じることによって、「故里」との違和から眼を背けようとする小夜子とは反対に、藤尾の「我」が、二様の父親の像の、そのずれを引き裂いて「父」を直視しようとするとき、彼女の「我」もまた散逸し、そこに「不可思議」な世界が立ち現れるのである。「我」も「道義」もまだ生まれぬ「太古」の「故里」。言語的秩序もなく「父」さえも表象されない「故里」。「金時計」はこの世界の「時間」を刻むのである。甲野に逼ってくる「魂」もおそらくこの「故里」からもたらされたものであろう。それは、あらゆる視線／意味を吸い尽くして元に戻さない「真黒な化石」(一)という点では「万事の終」(同)であり、同時にそれを抑圧しそれを隠蔽するかたちで、「我」も「人情」も、さらには「道義」さえもが、しかしそこから生まれてくるという点では「万事の始め」(同)である。いずれにせよそれは意識で捉えられる客観的実在世界の「外なる世界」(同)であり、甲野が憧れていた「死」とほとんど変わりのない世界なのである⑤。甲野を捉えた「活人画」の場面と同様に、ここでも作者は藤尾の欲望を十分に描ききっており、したがってものはや藤尾について綴るべき

言葉は尽きているのである。そのことに作者は自覚的でなく、要らぬ言葉をさらに書き連ね、藤尾を殺してしまうことになってしまったのである。

最後に、『虞美人草』の〈美文〉表現と作家の内面的葛藤との関係について述べておこう。「あれは嫌な女だ。詩的であるが大人しくない。徳義心が欠乏した女である。あいつを仕舞に殺すのが一篇の主意である」⑩。この作家の言葉に対して水村氏は、藤尾は「詩的であるが」ゆえに「大人しくない」のである、と述べている。しかし「大人しくない」ものとは何か。それは〈動くもの〉である。そして〈動くもの〉が作家にとって危険なのは、それが倫理的な課題を突きつけてくるものだからではない。存在をおびやかす無気味な〈故里〉を呼び起こすものだからである。

かつて小宮豊隆が「俳句を繋げて行くやうな、美しい詩」「圧搾された表現」⑪と評した『虞美人草』の〈美文〉は、「活人画」がそうであったように、〈動くもの／故里〉を〈動かないもの／言葉〉に変換する装置として機能している。しかしまたこの装置そのものが、〈故里〉の封印であると同時にそれを召喚する「片身」として、つまりは〈動くもの／言葉〉として両義的に機能することになるのである。したがって藤尾その人は殺されても、藤尾の「片身」として、あるいは藤尾の喩として『虞美人草』に刻みこまれた表現、すなわち〈美文〉は、「動かないでしかも生きてゐる」かたちで残されることになる。だからこそそのちに作家は、甲野が「父の肖像画」と向き合ったのとちょうど同じように、『虞美人草』と向かい合わねばならなかったのである。

註

- ① 水村美苗『「男と男」と「男と女」——藤尾の死』（『批評空間』No. 6 福武書店 一九九二・七）
- ② 石原千秋「博覧会の世紀へ——『虞美人草』」（『漱石研究』No. 1 翰林書房 一九九三・一〇）。石原氏は、帝国主義的欲望を背景にした博覧会の記号論的分析を重ね合わせつつ、男の欲望に支えられた

「商品」として自らを自覚した藤尾が、甲野の観念しようとする秩序（「死の意味論」による抑圧）の世界を根底から揺るがす姿を浮き彫りにしている。

③ 「動くもの」（四）は、たとえば藤尾と同じように「近代性」を生きようとする小野に対しては、「過去」から「道義」を突きつけにやってくる何物かである。そういう点からいえば、「動くもの」は倫理に関わる何物かであるといえる。しかし藤尾だけがそれと正面し見極めようとする「動くもの」は、決して倫理の周辺にとどまっているような何物かではない。倫理をも踏み越える何物かである。

④ 甲野は藤尾が小野から借りている本にある挿し絵（そこでクレオパトラは冠をかぶっている）を知っており（十一）、庭の扇骨木の植え込みが母親の部屋から「一番好く見える」ことを知っている（十五）。知っているだけではない。彼はそんなことは家長のあたりまえの特権だともいうように、それを自分から告げて妹を動揺させてみたり、母親に尋ねられても「見たとも見ないとも云はなかつた」りするのである。

⑤ 「写生文」（明治四〇年一月二〇日 『読売新聞』）

⑥ 柄谷行人「漱石とジャンル」（『群像』講談社 一九九〇・一）のち

『漱石論集成』第三文明社所収 一九九二・九）

⑦ 『虞美人草』において、「小供」という言葉が、未熟・我儘・無分別といった否定的な意味として使われていない例は、先に挙げた甲野の家出の場面でのそれとここでの宗近に対してだけである。

⑧ 橋浦洋志「小野の人情」（『日本近代文学』第三八集 一九八八・五）。橋浦氏は、「勸懲」を担う「性格」は崩壊することはない」とし、小野や藤尾を懲らしめる側に立つ人物の性格を固定的に見ている。しかし本稿で触れているように「勸懲」の成立には甲野や宗近の欲望の転化やそれによる「性格」の変化が必要条件となっているのである。

⑨ 石原氏前掲論文 同じ部分をとりあげて、石原氏は甲野の「死の意味論」を読み解いていくのであるが、小論では別の視点から、甲野と宗近のその役割の「交換」と批評性の喪失を強調する読みを試み

ている。

⑩ 明治四〇年七月一九日小宮豊隆宛書簡中の言葉。

⑪ 甲野の理想としての「小供」を生き始める以前の宗近は、たとえばすでに「外交官の試験に及第」し、「人間を二通り拵へ」るために髪を「小野清三式」刈っている（十六）。宗近は「雅号」（一）と「真面目」を同居させているのである。小野の友人浅井が「口を頼みに」（十七）行こうとしたり、実際には孤堂先生の「真面目」に圧倒されて行き場をなくし、逃げ込んでくることになったりするものも、宗近に一方を排除してしまわない両義的な二面性があつたからこそ、可能だったのである。

⑫ 西垣勤「『虞美人草』論」（『日本文学』一九七四・五のち「虞美人草」『漱石と白樺派』有精堂所収 一九九〇・六）。西垣氏は「漱石はあえて二人の間柄を、数ヶ月の間の婚約の成立とし、それ以前のつきあいをなくすために小夜子を東京の女学校にゆかせ、婚約後五年間も会わせないというかなり無理な設定」をし、そのうえでなお「道義」を主張している」と指摘している。この小野の改心の問題は『文芸の哲学的基礎』における「真」から「善」へのその理想の選択変更の問題と対応しており、遠藤祐「漱石の反自然主義をめぐって」（『日本近代文学』第三集 一九六五・一一）が指摘した、漱石の人間把握におけるH・スペンサー流の科学的決定論からW・ジェームズ流の自由意志論への移行の問題と重なっている。

⑬ 竹盛天雄「『虞美人草』の綾」―「金時計」と「琴の音」―（『国語と国文学』一九八三・八）。ここで竹盛氏は、『虞美人草』において「金時計」が果たす役割を見事に分析して見せている。しかし、宗近親子の「金時計」についてのこれらの発言についての言及はない。

⑭ 運實重彦「近さの誘惑」（『夏目漱石論』青土社 一九七八・一〇）。「琴の音」の「説話的機能」に注目する運實氏は、立て切った甲野の書斎（十七）の外から聴こえてくる藤尾の「『ホホホホ』が京都の宿の『ころりん』に相当する響き」だとし、「琴の音」を「藤尾独特の『瘧声』」「歇私的^{ヒステリック}里性の笑い」と対応させている。

⑮ ここで「動くもの／故里」をいおうとすると、私はフロイト／ラ

カンのいう「無気味なもの」／「現実（界）」を一応念頭においている。それらの用語の使用を避けたのは、私の理解がといていないためである。もちろんここでの目的は藤尾あるいは漱石を精神分析的に解釈することではない。「故里」に関しては、「生存の孤独」と結びついた「ふるさと」（坂口安吾）について、西谷修「ふるさと、またはソラリスの海」（『現代思想』青土社 一九九〇・八のち『戦争論』岩波書店所収 一九九二・一〇）が、井口時男「物語の壊れるとき」―坂口安吾と小林秀雄（『物語論／破局論』論創社 一九八七・七）の論考をふまえて、優れた分析を展開しており、そこから多くの示唆を得ることができた。また、「動くもの」に関しては、「表象」と「近代」との関係について鋭い分析をしている松浦寿輝の論考（『平面論』岩波書店 一九九四・四、フロイト／ラカンとの関連ではとくにその第四章「現実的なもの」をめぐって、第十一章「鏡と幽霊」など）があることを、小論の仕上げの段階で知った。不明を恥じるほかないが、そこで氏によって提出されている「貌」という概念、あるいは「現実的なもの」や「物」をめぐっての記述は、別のアプローチであり別の言葉ではあるものの、ここで私がいおうとしている「動くもの」とおそくは同じものについて（それがどんなものであり、またそれとの出会いの体験のうちにどんなことが起こっているのかについて）、より明晰に、そのほとんどを語り尽くしているように思われる。残念なことに、小論ではこうした松浦氏の仕事の成果をうまく取り込むことができていない。

⑯ 前出⑩に同じ。

⑰ 小宮豊隆「虞美人草」（『漱石の芸術』岩波書店 一九四二・十二）。

なお、『虞美人草』からの引用は、すべて三十五巻本『漱石全集』（岩波書店、一九五六・一〇）第五巻によった。旧字体は新字体に改めたものがあり、ルビは省いたものがある。傍点はとくに断りのない場合、すべて引用者による。

加賀乙彦『宣告』論

— 信仰告白の形象化 —

細井誠司

Seiji HOSOI

A Study on Kaga Otohiko's *Senkoku*

— はじめに

加賀乙彦の小説『宣告』は、昭和五十年一月より昭和五十三年七月にかけて雑誌『新潮』に連載され、昭和五十四年二月に上下二巻の単行本として新潮社から刊行された。『フランドルの冬』(昭和四十二年刊)、『荒地を旅する者たち』(昭和四十六年刊)、『帰らざる夏』(昭和四十八年刊)に次ぐ作者第四の長編で、拘留所を舞台にして、主人公が処刑される最後の五日間の生活を中心に、拘留所と死刑囚をめぐる様々な問題を多面的かつ重層的に描き出した大作である。

その主題は、凄惨な拘留生活の実態や死刑制度の矛盾を剔抉するとともに、人間崩壊を迫る外的状況に抗して最期まで人間の尊厳を保持しつつ魂の救済を遂げた一人の人間を描破する点にあったろう。しかし、そうした作品の意図や主題は、必ずしも、正当な理解と評価を受けているとは言い難い。

『宣告』が、昭和五十四年六月に第十一回日本文学大賞を受賞した際、審査委員代表の丸谷才一氏は、△近來の収穫△、△大変な力量△と称賛しつつも、「選評」の中で次のように苦言を呈している。

「ただ、この長編小説が、△神が死んだ△以後の精神状況をそれ以前の小説技法(トルストイ的なリアリズム?)で描いてゐるため、作品の世界のどこどこに空隙が生じてゐることはやはり指摘しておかなければなりません。特に主人公である死刑囚の信ずる神と、副主人公(?)である医師の抛りどころである精神医学とがすれちがってゐて、もちろんそれは当然なのですが、しかし作者がそのすれちがひをあまり気にしてゐないのはをかしい」①

当時の『宣告』評の多くが、こうした小説技法の問題や拘留所の実態描写の問題に集中していることについて、作者は不満であったようで、次のように述懐している。

「この宗教的な体験、……自分自身が、この小説に書きこんだことを、いったい、日本の批評家がどう読んでくれるだろうというこ

とに、非常に興味を持った」②が、「書評・批評家は、これを宗教的な小説として捉えたものは殆どな」③く、「限界状況における人間の苦悩を描いたとか、あるいは犯罪者の心理を描いたのだ、死刑囚の実態を書いたとか、そういう批評がほとんど」②で、「私は非常にがっかりした」③。「私がびっくりしたこと、あの小説についての多くの批評は、私の意図をまるで無視したか、見のがしたものであった」④。「つまり、日本の文学界というところは、そういう宗教的な方向での文学の評価、ということをはほとんどしないのです」②。

『宣告』の主題について作者が具体的に言及している例を、更に挙げてみよう。

「私の小説でも信仰は隠れたひそやかな主題なのであった」⑤

「私がもっとも力をこめて書いたのは、死刑囚の日常生活や監獄の実態などではなくて、虚無の存在論であった」④

「私はA（筆者注……次項「二」の正田のこと、以下同じ）をモデルに、一人の私の分身を創り出そうとした。Aの手紙や手記を読み、聖書を読み、キリスト教関係の書物を勉強し、瞑想にふけり、主人公の信仰を描くことによって、自分自身のイエス・キリストへの想いを強くしていった。この小説は、私の信仰告白の最初の形象化であった」⑥

こうした一連の自解によれば、『宣告』の意図は宗教小説という点にあり、宗教小説として読むとは、即ち、この作品に作者の「信仰告白」を読み取るということである。しかし、信仰は「隠れた、ひそやかな主題」でもあるということだから、作者のいう「私の信仰告白の最初の形象化」は、主人公の魂の救済劇という主題の陰に隠された、いわば副主題の位置にあると言ってよからう。いずれにしろ、そうした作者の信仰問題と関連させる形で『宣告』を論じた作品論は、これまでにないよう

である。

そこで本論においては、更に幾つかの作者の証言に依りながら、作者のいう作品の意図・主題——作者の信仰告白の形象化——の問題を闡明してみたい。併せて、丸谷氏が指摘した作品の難点、すなわち、主人公の信ずる神Vと主人公の抱える精神医学Vとの「すれちがひを作者があまり気にしていない」とする点についても言及して、『宣告』論とする。

二 モデル正田昭との邂逅

『宣告』の主人公楠本のモデルは、メッカ殺人事件の主犯正田昭である。

メッカ殺人事件は昭和二十八年七月に発生した。証券会社に勤務していた正田が生活費や遊興費に窮したあげく、共犯者と謀って証券外務員を東京新橋のバー「メッカ」で殺害し、現金四十万円を奪って逃走した事件である。正田は十月になって京都で逮捕され、昭和三十八年一月に最高裁で死刑が確定し、昭和四十四年十二月に刑死した。犯人が大学出のインテリであったことに加え、逮捕された際、悪びれた様子をあまり見せなかったことから世間を驚かせ、当時の流行語「アプレゲール」の典型として喧伝された事件である。

この正田と作者との出会いは、作者が昭和三十年に東京拘留所の医官となり、翌三十一年四月に面接した時に始まる。このとき正田は、既にカトリックの洗礼を受けて敬虔なクリスチャンとなっていた。犯行はわが身の破滅のための手段であり、牢獄こそ憩いの場と考えるようなニヒリストの正田を、カトリックの信仰がまっとうな人間の世界へ連れ戻し、信頼と愛の世界に導いていたのである。多くの死刑囚が死の恐怖に耐えきれず拘禁ノイローゼに陥るなか、正田は常に冷静かつ礼儀正しく応接し、作者に強い印象を与えたという。

正田との交わりは、作者のフランス留学などを挟んで一時途絶えたが、作者が昭和四十年から東京医科大学に勤務するようになり、犯罪心理学研究の立場から獄中の正田に手記を求めたり、昭和四十二年に自著

の『フランドルの冬』を贈ったりしたことから復活し、書簡の往復は昭和四十四年に正田が処刑されるまで続いた。作者は、正田の手紙や手記・日記からキリスト教信仰について深く学び教えられたという。その間の事情について、次のように語っている。

「私が彼から学んだものは、死刑囚の心理などという表層の出来事ではなく、人間の生存にかかわる、深く暗く暖かい精神の動きであった」。^⑦

「彼の信仰が、死刑囚というせつは詰まった状況から必死で神を求める体のもではなくて、もっと魂の本然とした奥から溢れでてくる様子が私にも伝わってきた」。^⑧

「信仰は深い罪の自覚なくしてはありえない。罪の身を悔い改め、神の許しを得たところから、神への人への暖かい愛が生まれるのである。正田昭の信仰はまさしく、そこから始まっていたのだ」。^⑨

更に、正田との出会いとその影響の大きさについての証言は、次のように続く。

「(もし正田との出会いがなかったならば) 本当に心の底から思うのだが、自分はキリスト者にならなかったと思う」。^⑩

「Aは、死んだあと、むしろ私に頻繁に語り掛けるようになった。そうしてAは私に、生きているときよりも大きな影響を与えるようになった」。^⑪

「『宣告』は(私が小説を書いたのではなく、Aが私に小説を書かせたのだ)」。^⑫

こうした証言の数々をみると、死刑囚正田が作者に与えた人格的影響の大きさは、余人の憶測を超えるものがあったのだろう。結果とし

て、正田は作者をキリスト教信仰に導き、作者をして、『宣告』は正田昭が書かせたとさえ言わしめているのである。

『宣告』の創作意図・主題と正田との関連については、次のように述べている。

「正田昭が亡くなってから……正田昭をモデルにして、一つの小説を書くと同時に、自分自身のキリスト教体験というものを、もう一度、根本的にこの小説を通じて考えなおしてみたいという、気持ちでそこに働いてまいりました。……死を前にした人間がいかに信仰というものに生きるか、ということが主要なテーマではあるのですけれども、もう一つ、……ある種のものの考え方、というものが投影されてきました。……」

書いているうちにだんだん自分の体験というものが、そこに入ってくるわけですね。そしてはからずも、正田という人を通じて、私自身は、別な私自身のものの考え方を根本から考え直すという作業を強いられることになりました」。^⑬

以上引用した証言や自解を総合して『宣告』創作の意図を勘案すると、次のようになる。

作者は、正田をモデルにして、死刑囚という極限状況下におかれた人間の信仰を描き、そのことを通して、主人公に仮託した作者自身のキリスト教体験を語ろうとしている。

作者は、昭和六十二年五十八歳の時にカトリックの洗礼を受けた。それは、『宣告』を書き終えてから九年の後であり、キリスト教に関心を寄せ始めた留学時代から数えて三十年の後である。「この小説は、私の信仰告白の最初の形象化であった」^⑭との回想は、『宣告』が、作者のそうした長年にわたる思索・求道の歩みや神への憧憬の跡を書き留めた最初の作品であるということに他ならない。

三 作者が語る『宣告』の主題

そこで、『宣告』の主題を支えている作者の思索やキリスト教体験を、別著からの証言に基づき箇条書きの形に要約整理してみると、次のようになる。

○人間存在の根拠

人間の存在は、自分の力を越えた大きな不思議な力に支えられている。生きていくことも人との出会いも不思議である。正田との出会いも不思議である。人間がこの世に存在することの根拠は、神秘ということである。②

○暗黒の虚無

ハイデガーの『形而上学とは何か』という書物を開いているうち、私たちがこの世界に生きているというのは、いわば仮の姿にすぎなくて、私たちの小さな生を支えているのは暗黒の虚無だという考察を読んで、私は心がふるえるほど強い印象を受けた。人は生まれる前には暗黒の虚無にいた。死後もそうだ。とすれば人生とは、暗黒から暗黒へのわずかな束の間にすぎない。人は死ねば、生まれる前の状態へもどっていくという考え方に私は慰められたのである。⑨

私は彼の『形而上学とは何か』において、存在するものが虚無に支えられてあるという洞察に、自分の思考を百八十度転換させられるほどの震撼を覚えた。あらゆる存在物は、そこになかった虚無をかかえている。何かがそれをそこにあらしめた。……こういう思惟のさなかで私が書いたのが『宣告』であった。虚無と存在を存在しめているものへの存在論が小説の骨格にある。この思惟を具現する人間として私は一人の死刑囚の状況を設定した。④

○反世界

反世界というわけのわからない概念をいきなり持ち出して恐縮だが、この言葉を私は、現実世界の裏にある暗い世界、私たちの存在を支える

虚の存在と解している。反世界に私たちの現実世界の本質を示すという具合に直接的に考えてもよいかも知れない。とにかく、すぐれた文学や演劇が、この反世界を垣間見せてくれることは事実である。それを見ることによって、私たちの現実世界がゆらぎはじめ、堅固だと思っていた日常生活がまことにあやふやな根拠によってしか成立していないことが悟らせられ、私たちが生真面目にしていた行為が、俄然コッケイまわるものとして見えてくる。⑩

○光と闇

『創世紀』の最初の部分をみると、まず闇があり、次に光あれと神が言われると、光があったと書いてある。私たちは、何かの力で支えられているから光っているだけであって、その支えがなくなれば光は消えて闇に戻る。闇の方がもとである。私たちのもとにあるのは闇であって、決して光ではない。私達が光っているのは、闇があるから光っているだけなのだ。……無限の中でなぜ人間が生まれたかというものの考え方を『創世紀』にひっかけて書いた。②

○悪

昭和初年代生まれの自分たちは、これこそ善だということがすべて悪であったという、悪夢のようなできごとを体験している。アメリカ人を殺すことは善であったが、戦後は全く逆になった。「悪」ということは何ですか、わかりません」と言う正田のニヒルな言葉の陰に、そういうことをちょっと感じた。②

○死刑制度の矛盾

死刑囚という状況そのものがいかに過酷で非人間的であるかに、しばしば誤審論者は思いつかない。自己の犯した殺人についてどんなに悔い改めてもはや手おくれで、未来には恥辱の死しかないということ、つまり許しがないという状況ほど非情で非人間的なことがあるのか。⑪

○恥辱の死

『宣告』の主題の一番中核にあるもの、……それは、死刑囚という過

酷な状況、下の下の死に方、恥辱の死に方、恥多い死に方をせざるを得ないにもかかわらず、信仰をもってそれを喜びとして迎えなければならぬ。その矛盾をどうするかということ。「罪のいや増すところ恵みもいや増せり」(「ロマ書」)。これをA君はすぐ大事な一言として死ぬまで読みなおしていた。ここに中心的な話題がある。③

○赦しと恵み

正田は、「律法の来りしは咎の増さんためなり。然れど罪の増すところには恩恵も彌増せり」(「ロマ書」五・二〇)の聖句を、繰り返し引用している。掟があるのは罪の自覚を促すためであり、罪の自覚が増すのはますます恵みが増すということ、つまり罪を犯した人ほどより救われるということである。

自分は殺人を犯したのだから、死刑になるのは仕方がない。しかし自分の罪は神によって赦されていると思う。赦されることによって自分は大きな恵みを受けた。殺人がいかに罪深い行為か、深い罪意識でもって自覚できたからである。正田は、このように突き詰めて考えることができた。恵みを悟った時、正田は明るくなって、明るい毎日を過ごし始める。小説を書いているうちに、そのことがはつきりしてきて、正田という人物の核心はここにあったのではないかと思うようになった。②

『宣告』の骨格には右に列挙したような思索の数々があつて、その主題を支えていると言えよう。そこで次に、作品『宣告』を通して主題を具体的に追跡し、その確認を試みることにする。

四 主題の追跡と確認

死刑執行の予感に怯える主人公の楠本他家雄は、時々、眩暈の発作をとまなつて、高所から深い井戸の暗闇・地獄の底へと墜落し吸い込まれて行くような異常感覚に捉えられている。自己存在の基盤そのものが崩壊し、生活の支えを失って深淵に落下していくような恐れ感覚である。しかし、この発作は死の恐怖に因るものではなく、もっと形而上学的な

問題に起因している。つまりこれは、「三 作者が語る『宣告』の主題」の項で触れた「暗黒の虚無」、反世界Vの認識の具象化なのである。楠本には、「死よりももっと恐れているものがある」という。それは、自分が永遠に極悪人の殺人者という烙印を押されたまま、しかも絞首刑という「恥辱の形」でもって死んで行かねばならないということである。

こうした楠本の恐れは、彼がカトリックの信仰者として、聖書の「身を殺して後に何を為し得ぬ者どもを懼るな。懼るべきものを汝らに示さん。殺したる後ゲヘナに投げ入るる権威ある者を懼れよ」(「ルカ福音書」一二・四・五)とのイエスの言葉を真正面で受け止め、死後の自分が、永遠の闇・悪の世界に葬り去られるのを恐れているからに他ならない。彼は自分自身に絶望し、「噫われ悩める人なるかな、此の死の體より我を救はん者は誰ぞ」(「ロマ書」七・二四)と、大いなる手による罪の苦悩からの救済を期待し祈念している。(以上、第一章)

その彼は、自分が犯した罪の淵源である闇や悪について、次のように考え語る。

光輝くこの日常世界の裏側には広大な漆黒の闇の世界があつて、この世界を支えている。そこからほんの一步踏み出しさえすれば闇への「墜落」が起り、漆黒の闇が光輝く真昼のすべてを一瞬の差で塗り潰してしまう。殺人衝動などの悪も、その闇の世界から来ているのではない。したがって自分は、殺人を犯したから悪人なのではない、闇の世界から来た生来の悪人であるが故にたまたま殺したにすぎない。悪は悪魔という人格を持った存在である。この絶対の権力者は、自分を操って崩壊と虚無へと転落させていく。転落過程では、悪魔に服従している限り悦楽に事欠くことがない。「悪は楽しみ」とは真実であり、破壊は快楽である。

原罪意識と悪の持つ魔力とについて、楠本はこのように語り、自力ならぬキリストに依る救済の待望を暗示する。(以上、第二・三章)

更に彼は、自分の刑死と復活につき次のように思索する。

あらゆる存在物は闇から出てきて、今というわずかな時間に辛うじて光の中に存在しているに過ぎない、闇こそが存在物の根拠だ。死とは、存在の根拠である暗黒に帰ることである。暗黒において誕生という事件

がおきた以上、同じ暗黒において復活が起こらぬ理由はない。イエスの復活も、自分の復活も……。

また、パウロの言葉に「律法の来りしは咎の増さんためなり。然れど罪の増すところには恩恵も彌増せり（ロマ書）」とある。さすれば、絞首というハ恥辱の形も今の自分にとっては恵みである。この刑罰が自分のハ罪を教えてくれたのであるから。楠本はこう考えて、死の苦悩を超越し自己救済を図っていく。（以上、第四章）

この世こそ仮のものである。目に見えぬ裏の世界、背後の世界の方が、この世よりかえって明るいのではないか。闇の世界は虚無ではないのだ。安らかな充実した世界である。このことに自分は賭け、祈る。最後に楠本は、こうした心境に達し、「安心して死ねます。わたくしは幸福者です」との言葉を残して死路につく。（以上、第七章）

以上から明らかなように、主人公を通しての、原罪の自覚・深化と信仰による救済、虚無の克服、それはとりもなおさず復活の問題——これが『宣告』の主題である。

五 信仰告白形象化の問題

最後に、作者のいう作品の意図・主題——信仰告白の形象化——に關わる問題と、丸谷氏の指摘する問題、即ち主人公の信仰と副主人公の精神医学とのハすれちがひについて考察し、この小論を終えることとする。

楠本は「安心して死ねます」と言い残し従容として死につくが、終始一貫、確固不動の信仰を持ち続けているように描かれているわけではない。時として懷疑に陥り、苦悩している。例えば、第四章の告白には、「死刑は恩恵なり、罪のいや増すところには恵みもいや増せり、と信じつつ自分は死刑囚なる状況に馴れ睦ぶことが出来ない」とあるとおりである。

この懷疑は、とりもなおさず主人公に仮託した作者自身の信仰状態の告白であろう。この点について作者は、「（自分は洗礼を受けていないので）『宣告』という小説を、ビクビクして書いた、そのビクビクがじつ

は、主人公の信仰のあり方に出ているのです。……最後の最後まで、主人公は一点、疑っているんです、神を」②と証言している。

また、副主人公の近木こそ作者の分身であるから、作者の信仰への関心は、当然この近木によって表現されているはずである。近木は、楠本の思想に共鳴し神への信仰に憧れながらも、なお楠本と同時点に立つまでには至っていない。あと一步の所に迫った段階で留まっている。そうした近木に対して作者は、楠本をして、「先生は、目にみえないもの、すぐ近くにおられます」と言わしめ、作者自身が神信仰の一步手前の段階に在ることを示唆している。作者の証言によれば、「これは洗礼を受ける一步手前の心の状態だと思う。『宣告』を書いた時、そこまで私は到達したのです」③ということになる。

作者がキリスト教に関心を寄せ始めたのは、昭和三十二年から三十五年へかけてのフランス留学時代に遡る。そして、その留学体験から生まれた最初の作品『フランドルの冬』では、キリスト教の世界を描きながら、「どこか対岸の現象として突きはなして」おり、神谷美恵子氏から「作者にとってキリスト教は重要だが、なお切実な問題でないようだ」との書評をもらって、「私は自分の、煮えきらない態度をずばりと見抜かれた思いがした」④と語る。

それが、正田昭と書簡を往復させた昭和四十二年、四十四年当時には、「私は神へのあこがれを心に抱きながら、その一步手前で立ち止まっていた」⑥となり、『宣告』を書いているうちに私の気持ちしがキリスト教に傾いていった」③、『宣告』は、私がキリスト教に傾斜した、最初の証しであった」④、「『宣告』を書いた」その一〇年間、ほとんどキリスト教徒だという自覚はあったんです。ただ、何か踏み切れないものがあって、これを書き終えた一九七九年、ある神父に相談したわけです。洗礼を受けたいがどうかと⑩という証言になる。そうして昭和六十二年に至って五十八歳の折に、作者はカトリックの洗礼を受けた。「私の信仰告白の最初の形象化」の「最初の」とは、こうした長年にわたる彷徨求道の歩みの中に位置づけることによって、その意味が判然とするのである。

受洗の動機を探れば、『宣告』を書いた時、だんだん死後の世界は、暗くて何もない陰惨な世界ではなくて、もっとその先に明るい何かがあ

る、光輝くような世界ではなからうかということに気がついてきた」③という証言に行きつく。楠本の言では、「広大で神によって充実した世界」の発見である。虚無の世界に光明を見いだしたこと、一言で要約すればヘニヒリズムの超克、これが作者の受洗の動機であろう。「私をもっとも力をこめて書いたのは、……虚無の存在論であった」④との作者の言葉は、この謂である。

丸谷氏の指摘について一言すれば次の如くである。

副主人公の近木は、他の登場人物と同様に、作者の視点からは第三人称的に設定され描写されている。しかし、作者の楠本に対する思い入れが篤くなるにつれ、作者と近木とは時になって描出されるようになる。例えば、第七章の、「近木は楠本によって支えられていたのだ。いま、彼は自分にとって親しい友人だ」等の叙述がそれで、作者の思いが高潮した箇所では、近木の心中思惟は一人称の告白の形で書き表わされ、近木を押し退け作者が直接顔を出している。小説の前半でこそ、信仰と精神医学とは対等並置の問題であったが、後半のクライマックス、死がさし迫った極限状況下にあつては、信仰は精神医学を超えて魂の問題として捉えられている。信仰問題に対する作者の姿勢は、ここに明確に打ち出されていると言えよう。かくして作者は、主人公楠本を、「闇の中でもがいている人たちがどんな光を得ていく物語」⑩の一人として、造型し得たのである。

〔参考文献〕

- ① 丸谷才一 日本文学大賞「選評」 (『新潮』 昭和五四年七月号)
- ② 加賀乙彦 『キリスト教への道』 (みくに書房 昭和六三年十一月)
- ③ 加賀乙彦 「私の文学と宗教体験」 (『女子パウロ会』講演 平成四年九月二三日)
- ④ 加賀乙彦 「無限と虚無―私とキリスト教」 (『群像』 昭和六三年三月号)
- ⑤ 加賀乙彦 (『朝日新聞』夕刊 昭和六三年二月一五日)
- ⑥ 加賀乙彦 『ある死刑囚との対話』 (弘文堂 平成二年三月)

- ⑦ 加賀乙彦 『死刑囚の記録』 (中公新書 昭和五五年一月)
- ⑧ 加賀乙彦編 『死の淵の愛と光』 (弘文堂 平成四年三月)
- ⑨ 加賀乙彦 「死後の世界」 (『サンデー毎日』昭和五一年八月一日号 『私の宝箱』所収)
- ⑩ 加賀乙彦 「狂気と反世界」 (『世は無情―浮世名残の夏の夜ばなし』(円企画公演プログラム) 昭和五一年六月 『私の宝箱』所収)
- ⑪ 加賀乙彦 「死刑制度の矛盾」 (『読売新聞』昭和四九年十一月一九日 『私の宝箱』所収)
- ⑫ 加賀乙彦 対談「わが信仰と文学を語る」 (『信徒の友』平成八年四月号)

Effects of ion beam irradiation on electrical properties of Langmuir - Blodgett (LB) films

Jun Kyokane, Michiro Yoshimizu and Kastumi Yoshino*

Synthetic Metals, Vol.71, pp.2217 - 2218 (1995)

Among various methods for preparation of ultra thin films and highly ordered molecular array, the Langmuir - Blodgett (LB) technique is one of the most simple and convenient method. Application and development of the LB films as electronic devices, optical elements and functional materials have attracted much attention. It is important to fabricate conductive LB films and to improve the electrical properties of LB films for these purpose. The TCNQ complex of different molar ratios of the donor and acceptor were prepared for the conductive materials. We also proposed one method using ion beam irradiation for improving the quality and stability of the LB films.

The charge transfer complex (TCNQ complex) LB films were fabricated by using the Moving - Wall method. Among various donors, N - isopropyl 4,4' bipyridinium was prepared and TCNQ complex of different molar ratios of the acceptor and donor were synthesized. The TCNQ complex LB films were deposited onto glass as Y - type films. The conductivity of multilayers formed from the TCNQ complex was about 10^{-3} S/cm in the plane of the films. The conductivity of these films was found to be strongly dependent on the ratio of donors as shown in Fig.1. This type of TCNQ complex LB films should be increased the donor concentration rather than the acceptor to get the high conductivity.

To improve both the quality and stability of the LB films, we applied an ion beam to the films of 34 layers for 90 seconds under the same conditions. Figure 2 shows the conductivity of the bombarded LB film with a helium ion beam and non - irradiated films. The conductivity of the bombarded films with He^+ beam were $1.3 \sim 2.5 \times 10^{-2}$ S/cm. These conductivities were larger by more than one order of

magnitude than the value of conductivity obtained the non - irradiation films. An enhancement in conductivity is associated with an orientation due to the conformation of molecules by irradiation of ion beams. A similar effect is also reported in polydiacetylene LB films with the use of Fe^+ beam under the high energy at 1 KeV.

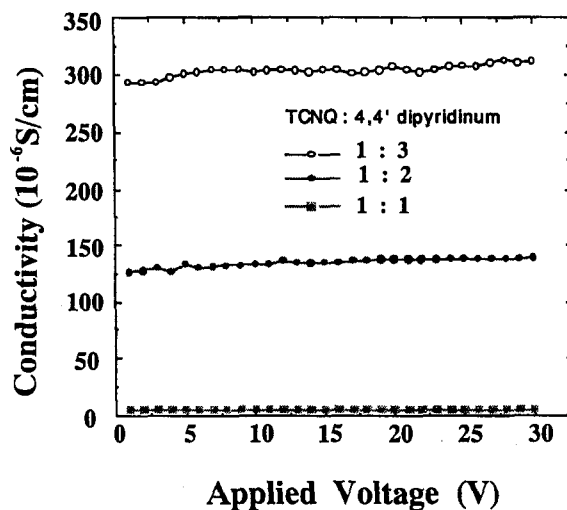


Fig.1 Dependence of the conductivity on the applied voltage of the TCNQ complex LB films.

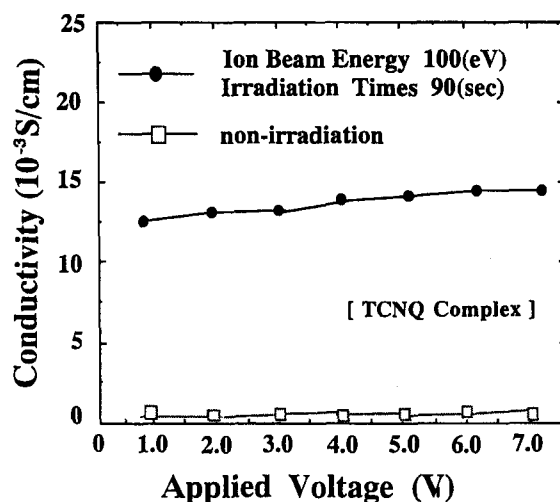


Fig.2 Irradiation effect on the conductivity for the TCNQ complex LB films.

*Faculty of Engineering, Osaka University

Side-wall Emitting ZnSe/AlN Waveguide CO₂ Laser

Tomoshi MATSUSHIMA and Tadasi SUETA¹⁾

1995 International Laser, Lightwave and Microwave Conference Proceedings, Shanghai, China, (1995) pp.32 - 35.

In conventional gas lasers, the output is extracted from the cavity mirror placed at right angles to the laser axis. Recently, we proposed a novel technique to extract the laser output from the side-wall parallel to the laser axis and reported the construction and preliminary performance of the proposed side-wall emitting (SWE) ZnSe/AlN waveguide CO₂ laser.

Proposed laser with wider radiation area will be attractive for parallel optical processing, high power applications, and narrow coherent beam.

In this paper, we estimate the possible output power of the SWE laser, assuming realistic parameters. Figure 1 shows a model of SWE waveguide CO₂ laser. A part of waveguide is replaced by ZnSe plate, which is transparent at the CO₂ laser wavelength. The plate is used as an output window. Other part of the waveguide is made of AlN ceramics.

We calculated the output power from the waveguide wall using Rigrod's equation. Parameters shown in Table 1 were used for the calcu-

lation. Figure 2 shows the power output of SWE waveguide CO₂ laser as a function of output window transmittance. When the transmittance of the output window is 2.5%, the maximum output power of 5.5 W would be obtained. In this case, the transmittance of output window is defined by ratio of the output power from the output window to the internal laser power.

TABLE 1

Parameters for Numerical Calculation of the Output Power from the Side Wall

Waveguide Length	: 10 cm
Waveguide Width	: 2 mm
Waveguide Height	: 2 mm
Waveguide Material	: AlN (aluminum nitride)
Output Window Material	: ZnSe (zinc selenide)
Small Signal Gain	: 0.02 / cm
Saturation Parameter	: 1 kW / cm ²

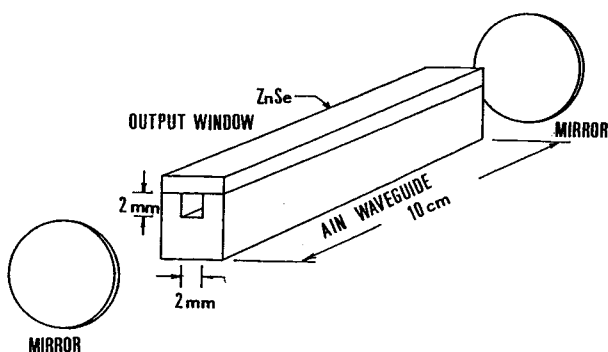


Fig.1 A model of SWE waveguide CO₂ laser.

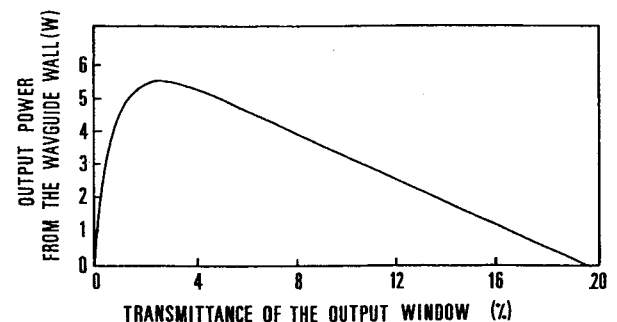


Fig.2 Output power of SWE waveguide CO₂ laser as a function of output window transmittance.

1) Setsunan University, 17-8 Ikeda - Nakamachi, Neyagawa - shi, Osaka 572, Japan

回転液中紡糸法におけるSn - 37mass% Pb 合金細線の断面形状変化

島岡 三義・大中 逸雄*

Change of Cross - Sectional Shape of Sn - 37 mass% Pb Alloy Fiber in the In - Rotating - Liquid - Spinning Process

Mitsuyoshi SHIMAOKA and Itsuo OHNAKA*

日本金属学会誌, 第60巻, 第4号 (1996年), pp.420 - 426.

回転液中紡糸法で多くの結晶質および非晶質合金細線が製造されている。しかしながら、高融点合金に対する最適紡糸条件下では、表面張力の小さい合金の場合、著者らの紡糸経験では円形断面を有する連続細線を得ることはできない。そこで、Sn - 37mass% Pb合金を用いて、細線の断面形状と紡糸条件（噴射ノズル径、 $d_n=140\sim300\mu\text{m}$ 、噴射圧力、 $0.1\sim0.4\text{MPa}$ 、溶湯過熱度、 $64\sim564\text{K}$ 、ドラム回転数、 $1.67\sim3.5\text{s}^{-1}$ 、ジェット入射角、 $\phi_o=0.26\sim1.31\text{rad}$ 、冷却液体温度、 $282\sim315\text{K}$ ）の関係を検討した。

ジェット噴出質量流量は溶湯過熱度にほとんど依存しなかった。しかし、溶湯過熱度の増大とともにジェット噴射方向が不安定になり、ノズル出口におけるジェット径の変動も顕著になった。

得られた細線の断面の円形度は、噴射圧力、冷却液回転液層周速度、ノズル径、ジェット入射角度、および冷却液体密度がそれぞれ減少するとともに、また、Fig.1に示すように、溶湯過熱度の増大とともに増大した。特にノズル径が $300\mu\text{m}$ の場合にその傾向が著しく、液層入射時に大きく扁平化したものが、下流側で凝固するまでに自身の表面張力によって断面が円形に回復していることがわかった。

Fig.2に示すように、ジェットの液層入射点において、ジェットの内圧 P_j がジェットに作用する冷却液体の動圧 P_f より大きい場合に（円柱状に噴射されたジェットは静力学的にその断面を円形に保ちうる）、高い円形度を有する細線が得られた。

$$P_j = \frac{2\sigma_j}{0.9d_n} \quad (1)$$

$$P_f = C_D \frac{\rho_w (V_{wi} \sin \phi_o)^2}{2} \quad (2)$$

ここで、 σ_j ；溶融ジェットの表面張力、 C_D ；流体抗力係数、 ρ_w ；冷却液体密度、 V_{wi} ；回転液層表面周速度である。

ジェットの冷却過程のコンピュータシミュレーションを、噴射温度から合金液相線温度までの温度範囲で行った。平均冷却速度は水中で $0.5\sim2.4\times10^5\text{Ks}^{-1}$ 、メタノール中で $1.4\sim3.0\times10^4\text{Ks}^{-1}$ 、サラダ油中で $4.7\sim6.5\times10^3\text{Ks}^{-1}$ であった。

冷却液体にメタノールやサラダ油を用いた場合には、溶湯過熱度が低くてもより円形断面の細線を得ることができた。メタノールと水や、サラダ油と水などの2重液層や、サラダ油、メタノールおよび水の3重液層も、円形断面を有する細線を得るのに効果があった。

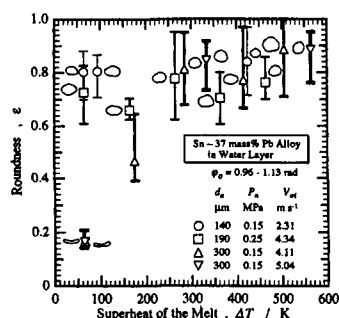


Fig.1 Effect of superheat of the melt on the roundness of the obtained Sn - 37 mass% Pb alloy fiber.

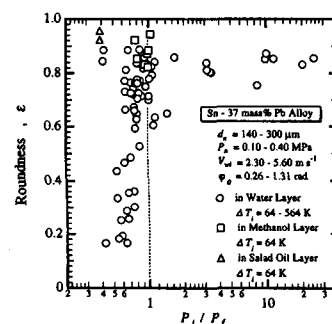


Fig.2 Relation between the ratio of inner pressure of jet and dynamic pressure of liquid coolant acting on the jet at the rotating liquid surface and the roundness of the obtained Sn - 37 mass% Pb alloy fiber.

* 大阪大学工学部材料開発工学科

ぬれにくい平板上の単一液滴形状に関する一考察

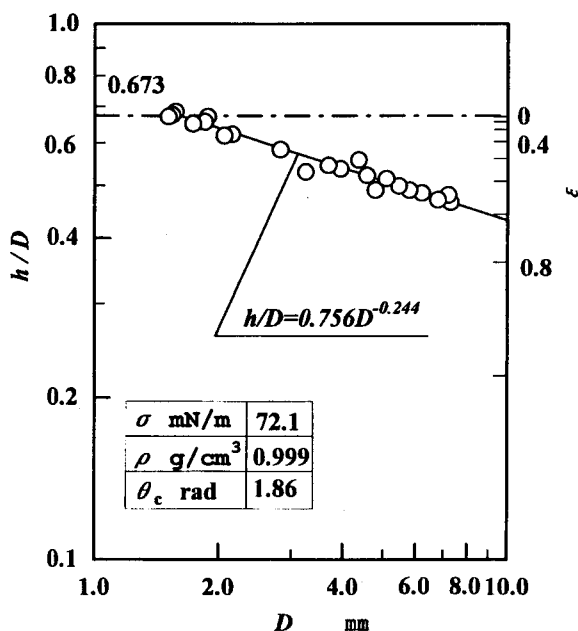
中田 敏夫・細川 力*・藤原 良樹*・大上 芳文*

The Shape of a Droplet on an Un-Wettable Horizontal Flat Plate

Toshio NAKATA, Tsutomu HOSOKAWA, Yoshiki FUJIWARA and Yoshifumi OGAMI

混相流 Vol.10 No.1 (1996)

滴状凝縮における離脱滴は、下部伝熱面上を落下する際に、伝熱面の掃除による伝熱促進と、伝熱面の被覆による伝熱妨害の二つの相反する作用がある。これらの作用による滴状凝縮熱伝達率は膜状凝縮の場合と比べて高い値を示すことは明らかにされている。滴状凝縮現象は膜状凝縮に比べてそのメカニズムは複雑であるが、その熱伝達に影響を与える因子も今日明らかにされつつある。それらの因子の中で、凝縮面上の液滴の挙動と形状は熱伝達に影響をおよぼす重要な因子である。凝縮滴の形状を球欠あるいは楕円球欠と近似することができれば、液滴の形状の各諸量より熱伝達に関する評価を簡略的に行うことができる。

図1 $\eta = 0\%$ における D と h/D の関係

そこで本報は、大気中においてぬれにくい水平面上に静止している既知質量の単一小液滴についての形状に関して、実験および計算を行い比較検討したものである。

ぬれにくい固体表面として 100×200 mm、厚さ15mmのテフロン板を水平に固定した。液滴に質量濃度 $\eta = 0\%$ （蒸留水）と $\eta = 40\%$ のエタノール水溶液を用い、表面張力はジョリーのばね秤を用いて3回の測定を行った。

実験は、大気圧中で気温約 15°C 、蒸留水の温度約 10°C のもとで行った。固体表面上の液滴は、CCDビデオカメラで鉛直方向と水平方向の映像として撮影された。撮影された映像より、液滴の径 D 、接触角度 θ および高さ h を求めた。これらの値より計算した形状と映像のものと比較した。

図1は実験結果の一例として、 $\eta = 0\%$ （蒸留水）の場合における D と h/D の関係を対数グラフで表したものである。なお、図中の右側の座標は h/D と対応した楕円の離心率 ϵ を示している。図中の一点鎖線は、液滴を球欠とした場合である。また $\eta = 40\%$ のエタノール水溶液についても、同様の結果が得られた。

その結果、大気圧下のぬれにくい水平面上において、静止している既知質量の液滴形状を観察し、次のことがわかった。液滴形状は楕円球欠モデルで近似できる。

$\eta = 0\%$ （蒸留水）の場合、液滴径が2.1mm以下で、また $\eta = 40\%$ （エタノール水溶液）の場合、液滴径が2.7mm以下の場合に、球欠滴とみなせる。液滴径が大きく、液滴を楕円形状とみなす場合は、液滴径 D と液滴高さ h の関係は $\eta = 0\%$ のとき $h = 0.756D^{0.756}$ で、 $\eta = 40\%$ のとき $h = 0.543D^{0.602}$ で表される。液滴径の増加にともない、 $h_m/h_{\max}$ （ h_m ：平均高さ、 $h_{\max}$ ：最大高さ）は単調に増加し、1に漸近する。

機械系専門用語を用いたアンケート調査による教育評価 (アデレード大学, 奈良工業高等専門学校, 姫路工業大学の場合)

細川 力*¹・中田 敏夫・ルッセル ラクストン*²

Evaluation of Education in Using Questionnaire of Technical Terms
(The University of Adelaide, Nara College of Technology and Himeji Institute of Technology)

Tsutomu HOSOKAWA, Toshio NAKATA and Russell E.LUXTON

工業教育 43巻 4号

教育評価を論ずることは極めて大変なことであるが、今回の機械系専門用語を用いたアンケート方による教育評価を検討することにより、その結果を著者ら自身の教育計画あるいは教育改善に主に役立てようとするものである。

オーストラリアのアデレード大学、日本の奈良工業高等専門学校そして姫路工業大学の3つの学校の機械工学科学生を対象に、機械系専門用語を用いたアンケート調査を行い、各学校における教育効果を検討した。アンケート調査に用いた機械系専門用語に関しては、日本機械学会発行の日米両語で書かれている機械用語集により、各分野ごとに15個の単語を任意に選択する。その各分野については、表1に示す。表1に示す各分野ごとのそれぞれ15個の単語について、学生に、次の①②③の回答文の中から1つを選択させる。

表1 調査分野

記号	分 野	記号	分 野
A	基礎共通, 機械力学	J	機械要素
B	計測, 自動制御, 生産管理	K	軸受, 潤滑
C	材料力学	L	工作, 工作機械
D	塑性学, 塑性加工	M	精密機械
E	流体工学, 流体機械	N	溶接, 鋳造
F	熱工学	O	交通工学
G	冷凍工学, 空調調和, 衛生工学	P	荷役工学, 産業機械
H	内燃機関	Q	化学機械
I	蒸気動力, 原子動力		

表2 各回答の平均値

学 校 名	回答種別	低学年	高学年	高学年/低学年
アデレード大学	回答①	6.3	10.0	1.59
	回答②	3.3	2.6	0.79
	回答③	5.4	2.4	0.44
奈良工業高等専門学校	回答①	1.3	6.3	4.85
	回答②	1.8	3.1	1.72
	回答③	11.9	5.7	0.48
姫路工業大学	回答①	1.9	5.3	2.79
	回答②	3.2	5.4	1.69
	回答③	9.9	4.3	0.43

①私は、その用語の意味を知っている。

②私は、その単語の意味は説明できないが、聞いたことはある。

③私は、その単語の意味を全く知らない。

表2は各回答①②③に対する回答単語数の平均値をまとめたものである。併せて、カリキュラムに関して考察を行った結果、各学校ともに学年進度による教育効果は明らかで、さらに、開講科目による各分野ごとの定性的な教育効果も、概略、同様の結果が得られた。しかし、各学年、各分野における定量的な比較では、アデレード大学の場合が一番良い結果を示した。さらに、学年進度による教育効果では、奈良工業高等専門学校の場合が良い結果を示した。

* 1 姫路工業大学

* 2 アデレード大学

テーパー付エアリフト気泡塔の流動特性

河越 幹男・前岡 孝司

Flow Characteristics of an External - Loop Airlift Column with a Tapered Riser

Mikio KAWAGOE and Takashi MAEOKA

化学工学論文集, 22巻, 3号, 629 - 634(1996)

Kagaku Kogaku Ronbunshu, Vol.22, No.3, 629 - 634(1996)

液外部循環式エアリフト気泡塔は気泡が上昇する上昇管と液を塔底に循環させる下降管から構成されており、構造が簡単で、酸素移動速度と伝熱速度が大きくかつ液循環速度が速いため混合時間が短いなどバイオリアクターとして優れた特性を有している。特に、固体粒子が存在する場合、粒子を上昇管内に留めて浮遊状態に保つことができるため、菌体ペレットを形成する担子菌の培養などに適している。

従来の外部循環式エアリフト気泡塔では、上昇管は円筒で管断面積が軸方向に一定であるため、液流速はどの高さにおいても同じである。従って、ペレットの沈降速度と液の上昇速度が釣り合う安定点が存在しない。このため、菌体ペレットのような固体粒子を上昇管にのみ溜めておくことは不可能であり、ペレットは連結管と下降管を通して塔内を循環する。このときペレットは剪断力の大きい塔頂と塔底の連結部を通過するため、菌糸が損傷を受け培養に悪影響を及ぼす恐れがある。また、酸素濃度も上昇管内の方が大きいので、ペレットを上昇管にのみ留めることができれば有利な培養環境を得ることができる。

本研究では、この観点から上昇管にテーパーをつけて、塔頂に近づくほど塔断面積が大きくなる逆円錐形をした上昇管を有するエアリフト塔を試作した。このエアリフト塔は上に行くほど液流速が小さくなるため、液循環流量を適当に調節すれば、塔頂部での液流速を固体粒子の沈降速度以下にし、かつ、塔底部での液流速を固体粒子の沈降速度以上にすることができ、上昇管内に固体粒子を保持することが可能になる。ここでは、このエアリフト気泡塔の流動特性について検討した。

ガスホールドアップの半径方向の分布は放物線分布に従った。軸方向分布はdrift-fluxモデルにより整理でき

た (Fig.1参照)。液循環速度は上昇管と下降管の間の圧力差と流路内の圧力損失のバランスから導かれた半理論式によって相関できた (Fig.2参照)。

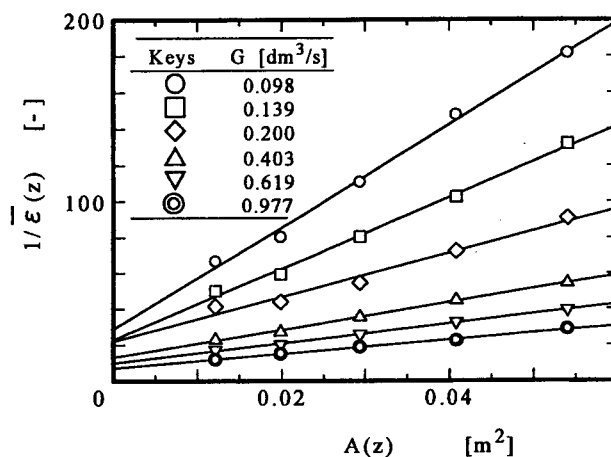


Fig.1 Axial gas holdup distribution

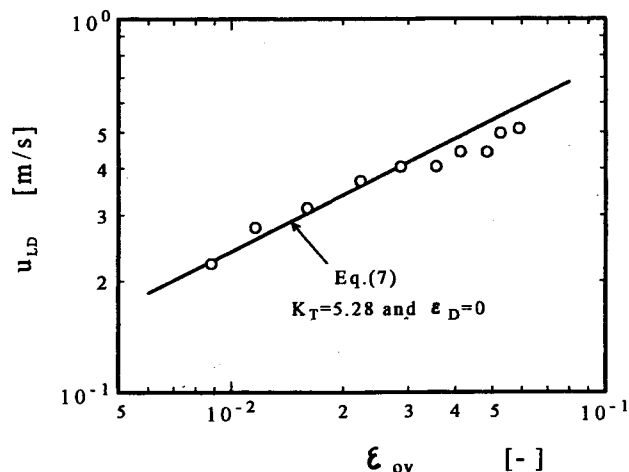


Fig.2 Liquid circulation velocity

教官研究活動一覽

(機械工学科)

オープンタイプ遠心羽根車に作用する振れ回り
流体力

石崎 晋(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
日本機械学会流体工学部門講演会
(平成8年7月24日 講演)

Swirling Flow in Suction Pipe of Centrifugal
Compressor with Inlet Guide Vanes

T. Baba, H. Nishikawa, Y. Fukao(Kobe
Steel,Ltd.), F. Kano
Massachusetts Institute of Technology
(Lecture, July 29, 1996)

屈曲管路内を通過する高分子溶液の流れにおけ
る圧力損失と流速分布測定

小柴 孝, 森 教安(大阪大学), 杉山司郎(大阪工
業大学), 中村喜代次(大阪大学)
第45回応用力学連合講演会
(平成8年1月30日 講演)

Viscoelastic Effects of the Flow of Polymer
Solutions in Periodic Undulating Channels

Takasi KOSIBA, Noriyasu MORI(Osaka Univ.),
Kiyoji NAKAMURA(Osaka Univ.)
XII th International Congress of Rheology pp.381 -
382
(Aug. 19, 1996 Oral Presentation Quebec City,
CANADA)

波状流路における粘弾性流体の流れの数値計算

小柴 孝, 森 教安(大阪大学), 中村喜代次(大阪
大学)
日本機械学会第74期全国大会
(平成8年9月21日 講演)

新加工プロセスによる材質創製と形状面からみ
た新素材づくり

小島耕二
奈良県工業技術センター技術フォーラム
(平成8年3月13日 講演)

チューブフォーの基礎と実際
ー曲げ加工の基礎ー

小島耕二
日本塑性加工学会 第73回塑性加工講習会
(平成8年7月9日 講演)

曲管のビード加工法の開発

小島耕二
日本塑性加工学会 チューブフォーミング分科会
(平成8年7月10日 講演)

鍛造工程への加工熱処理の適用

関口秀夫
精密鍛造に関するインドー日本ワークショップ
(ニューデリー, インド)(1996年2月27日 講演),
同上論文集 86-98.

地球環境を考えた生産システム

関口秀夫
日本機械学会関西支部講演会(京都)(1996年3月22
日)(ワークショップ オーガナイザー)

鍛造における環境負荷の改善

関口秀夫, 久保勝司(摂南大), 河部寿雄(鍛造技術
研究所)
第5回中国ー日本精密鍛造シンポジウム(西安, 中
国)(1996年4月26日 講演), 同上論文集 118-121.

ネットシェイプ形成技術の動向と展望

関口秀夫, 佐野利男 (機械技術研究所)

自動車技術会学術講演会 (横浜) (1996年 5月16日
講演), 同上論文集 185-188.

塑性加工と環境問題

関口秀夫

日本塑性加工学会鍛造分科会 (新居浜)
(1996年 6月13 日講演)

鍛造におけるエコロジー技術

関口秀夫, 久保勝司 (摂南大), 河部寿雄 (鍛造技術
研究所)

鍛造技報21-66 (1996), 11-21. (1996年 7月)

鍛造におけるエネルギー問題への一考察

関口秀夫

第29回ICFG (国際鍛造グループ) 総会講演会
(ジュール, ハンガリー) (1996年 9月10日 講演)

日本の教育制度とその問題点

関口秀夫

中国東北大学, 燕山大学での特別講演会
(1996年 9月17日, 18日 講演)

Improvement of Environmental Loads in Forging Process

関口秀夫

第16回鍛造セミナー (ボルトアレグレ, ブラジル)
(1996年 9月30日 講演)

ESTIMATION OF AN APPROXIMATE FORMULA OF FRICTIONAL CHARACTERISTICS OF A JOURNAL SLIDING BEARING IN MIXED LUBRICATON

Minoru NONOGAKI, Satoshi MOMOZONO (Tokyo
Institute of Technology), Tsunamitsu NAKA-
HARA

Proc. INTERNATIONAL TRIBOLOGY CON-
FERENCE YOKOHAMA 1995, PP1249-1254.

混合潤滑摩擦面における表面形状変化に関する研究

首藤竜哉, 吉備和敏, 野々垣稔

(社) 日本機械学会 関西学生会卒業研究発表講演会
(平成 8年 3月20日 講演)

部分ジャーナルすべり軸受の混合潤滑摩擦特性に関する研究

河合茂昭, 野々垣稔

(社) 日本機械学会 関西学生会卒業研究発表講演会
(平成 8年 3月20日 講演)

混合潤滑理論の接触近似式における表面形状パラメータの考察

野々垣稔, 中原綱光 (東京工業大学)

(社) 日本トライボロジー学会 トライボロジー会議
'96春 東京 (平成 8年 5月13日 講演)

ジャーナルすべり軸受の混合潤滑摩擦特性におよぼすミスアラインメントの影響

野々垣稔, 中原綱光 (東京工業大学)

(社) 日本機械学会 第74期全国大会講演会
(平成 8年 9月21日 講演)

ジャーナルすべり軸受の混合潤滑と焼付き

野々垣稔

関西潤滑懇談会 (平成 8年 9月26日 講演)

設計者の個性を考慮する構造物の概念設計アシスタント (主観的価値観の獲得)

平 俊男, 田中正夫 (阪大基礎工)

日本機械学会 第73期通常総会講演会
(平成 8年 4月 講演)

Candidates Generation for Conceptual Structural Design Assistant through Genetic Operations Based on Design Rules and Cases

Hira, T. and Tanaka, M.

Proc. of Japan – U.S.A Symposium on Flexible Automation (Stelson, K and Oba, F. eds.): ASME, p. 641, 1996年7月

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 (阪大基礎工)

日本機械学会論文集 (C編), 62巻, 601号,
(1996年9月)

Sensory Evaluation of Past Design Cases and Design Candidates for Conceptual Structural Design

Tanaka, M. (阪大基礎工), Hira, T., JSME International Journal, vol.39, No.3, Ser.C,
(1996年9月)

Limitation on achieving negative pressure for water in a Berthelot tube

Kazuki Hiro, Kenji Nisii, Yoshihito Ohde, Yatoshi Tanzawa (名古屋工大), J. of Phys D: Appl. Phys, 28, 2392 - 2394

固体内ガス輸送能の測定系としてのベルセロ系の可能性

森 圭司, 大出義仁, 青木 守 (名工大), 広 和樹
第43回応用物理学会関係連合会
(平成8年3月26日 講演)

Flow visualization and heat transfer experiments in a turbulent channel flow obstructed with an inserted square rod

M. Yao, M. Nakatani and K. Suzuki (Kyoto Univ.)
Int. J. Heat and Fluid Flow 16 389 - 397, 1995

An application of algebraic turbulent heat flux model to liquid metal turbulent heat transfer in confined coaxial jet

Janusz S. SZMYD, Masanori YAO, Kazuyoshi Nakabe and Kenjiro SUZUKI (Kyoto Univ.)
第33回日本伝熱シンポジウム講演論文集 (1996-5)
pp613 - 614 (平成8年5月17日 講演)

被削材に適した工具材種を選定するために (各種難削材の旋削加工の場合)

和田任弘

奈良県工業技術センター 平成7年度第一回表面技術研究会 (平成7年10月18日 講演)

鋼材の高速旋削時における工具摩耗

酒井宏祐, 和田任弘

日本機械学会関西学生会学生会員卒業研究発表講演会
(平成8年3月20日 講演)

焼結鋼切削時における工具摩耗

河村 直, 和田任弘

日本機械学会関西学生会学生会員卒業研究発表講演会
(平成8年3月20日 講演)

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 1996年度関西地方定期学術講演会
(平成8年8月6日 講演)

(電気工学科)

イオンビームアシスト蒸着法を用いた有機薄膜の電気・電子素子への応用IV

京兼 純, 谷口 功, 吉野勝美 (大阪大学)
平成7年度電気関係学会関西支部連合大会
(平成7年11月11日 講演)

導電性LB膜に関する基礎研究Ⅲ

吉永道朗, 京兼 純, 吉野勝美 (大阪大学)
平成7年度電気関係学会関西支部連合大会
(平成7年11月12日 講演)

ポリエステル系ポリウレタンエラストマーの電界効果とアクチュエータへの応用 (I)

上田 敦, 笠崎敏明, 栗田康史 (ニッタ株), 平井利博 (信州大), 京兼 純
平成7年度電気関係学会関西支部連合大会
(平成7年11月12日 講演)

低エネルギー粒子線による有機薄膜の創成と発光素子への応用

京兼 純, 上田 敦 (ニッタ株), 吉野勝美 (大阪大学)
平成8年度電気学会全国大会
(平成8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電界効果とアクチュエータへの応用 (II)

上田 敦, 栗田康史 (ニッタ株), 平井利博 (信州大), 京兼 純
平成8年度電気学会全国大会
(平成8年3月28日 講演)

イオンアシスト蒸着法による導電性有機薄膜を電解質とした固体コンデンサの試作研究

科学研究費補助金〔試験研究 (B)(2)〕研究成果報告書
(平成5年度～平成7年度)
研究代表者 京兼 純 (平成8年3月 発行)

イオンアシスト蒸着法による有機薄膜の高次構造制御と光素子への応用研究

科学研究費補助金〔一般研究 (C)〕研究成果報告書
(平成6年度～平成7年度)
研究代表者 京兼 純 (平成8年3月 発行)

Application to electronic devices using organic thin films by ion-beam-evaporation method

J. Kyokane, R. Aoyagi and K. Yoshino (Osaka Univ.)
International Conference on Science and Technology of Synthetic Metals (ICSM'96), Snowbird, Utah, USA
(July 29, 1996, Poster Presentation)

Polyurethane elastomer actuator

T. Ueda, Y. Kurita (Nitta Co.), T. Hirai (Shinsyu Univ.), J. Kyokane and K. Yoshino (Osaka Univ.)
International Conference on Science and Technology of Synthetic Metals (ICSM'96), Snowbird, Utah, USA (August 1, 1996, Poster Presentation)

Blue Electroluminescence from Poly(p-phenylene) Solubilized by Perfluoropropylation.

M. Hamaguchi (Osaka Univ.), H. Sawada, J. Kyokane and K. Yoshino (Osaka Univ.)
Chemistry Letters 1996; Chem. Soc. Jpn., pp.527 ~ 528

ポリウレタンエラストマーの電界効果とアクチュエータへの応用

上田 敦, 国武典彦 (ニッタ株), 平井利博 (信州大学), 京兼 純
平成8年電気学会 電子・情報・システム部門大会
(平成8年9月5日 講演)

ポリウレタンエラストマーの電界効果とアクチュエータへの応用

上田 敦, 栗田康史 (ニッタ株), 平井利博 (信州大学), 石本晴彦, 京兼 純
電子情報通信学会技術研究報告〔有機エレクトロニクス〕(OME96-12, pp.27 ~ 33)
(平成8年9月27日 講演)

カオスデバイスのモーター制御応用への基礎実験

松井大信（専攻科），大塚智仁（専攻科），高橋晴雄
平成 7 年電気関係学会関西支部連合大会 G3-11
（1995年11月11日 講演）

アモルファス太陽電池モジュールの温度効果についての実験的検討

山崎章史（専攻科），山脇竹治，水上誠志郎（鐘淵化学工業），高橋晴雄
平成 7 年電気関係学会関西支部連合大会 G2-29
（1995年11月12日 講演：電気学会論文発表賞）

奈良高専における就職活動について

高橋晴雄
関西工学教育協会高専部会だより 第37号 pp. 4～6
（1995年12月20日 発行）

高専の工業英語教育における試み

高橋晴雄
論文集高専教育 第19号 pp.67～72（1996年 3月）

工業英検 3 級クリア（改訂版）

高橋晴雄
日本工業英語協会（1996年 6月 1日 出版）

Education System in Japan and Colleges of Technology

Haruo Takahasi
Pathumwan Technical College in Thailand
（August 8, 1996Special Lecture）

（社）工業英語協会主催 工業英語研究会 工業英語のやさしい指導法と実際

高橋晴雄
（1996年 9月 6日 招待講演）

位置ずれ・回転不変な文字認識ニューラルネットの改良

寺西 大，大松 繁（大阪府立大学），岩間尚文（富山県立大学）
計測自動制御学会システム情報関連合同シンポジウム
（1995年11月 講演）

免疫系モデルを用いたモルフォロジーフィルタによる画像処理

上田悦子，土井滋貴
平成 7 年電気関係学会関西支部連合大会，G2-1
（1995年11月 講演）

スケール・スペース・フィルタリングとモルフォロジー処理を組み合わせた信号認識

土井滋貴，松田 稔（大阪電通大）
平成 7 年電気関係学会関西支部連合大会，G2-21
（1995年11月 講演）

スケール・スペース・フィルタリングを用いた心電図波形のP-R時間の測定

土井俊介，土井滋貴
平成 7 年電気関係学会関西支部連合大会，G2-22
（1995年11月 講演）

1/fゆらぎ照明における安らぎ効果の実験的検討

大塚智仁（栗本鐵工所），土井滋貴，高橋晴雄
平成 7 年電気関係学会関西支部連合大会，G2-23
（1995年11月 講演）

免疫系モデルを導入したモルフォロジー・フィルタによる画像識別

上田悦子，土井滋貴
平成 8 年電気学会全国大会，567
（1996年 3月 講演）

Java言語でマルチメディア・コンテンツを作る

上田悦子, 土井滋貴

雑誌インターフェース96年3月号

CA-Realizerで作る信号処理プログラム1 ～グラフ表示プログラムの作成

土井滋貴

雑誌トライピーシー96年5月号

CA-Realizerで作る信号処理プログラム2 ～信号処理お試しツールの作成

土井滋貴

雑誌トライピーシー96年5月号

OS/2による制御プログラミング

土井滋貴

雑誌インターフェース96年8月号

付属CD-ROM "InterGiga" オリジナル記事

音楽におけるブロッキング

松田 稔 (大阪電通大), 秋山好一 (大阪電通大), 土井滋貴

日本音響学会音楽音響研究会資料, Vol.15, No.1
(1996年6月 講演)

旋律ゆらぎと楽曲の類似度評価

秋山好一 (大阪電通大), 松田 稔 (大阪電通大), 土井滋貴

日本音響学会音楽音響研究会資料, Vol.15, No.2
(1996年7月 講演)

免疫系モデルを導入したモルフォロジー・フィルタによる形状識別

上田悦子, 土井滋貴, 松田 稔 (大阪電通大)

画像の認識・理解シンポジウム (MIRU'96)
(1996年7月 講演)

教育用言語としてJavaを考える

土井滋貴, 上田悦子

平成8年度文部省主催高等専門学校研究集会 (第3班)

事例発表 (1996年8月 講演)

有方向性モルフォロジとその画像処理への応用

土井俊介, 上田悦子, 土井滋貴

情報処理学会第53回全国大会 (1996年9月 講演)

免疫系モデルと有方向性モルフォロジフィルタによる識別系

上田悦子, 土井俊介, 土井滋貴

情報処理学会第53回全国大会 (1996年9月 講演)

線形予測による旋律パターンの判別分析

秋山好一 (大阪電通大), 松田 稔 (大阪電通大), 土井滋貴

日本音響学会平成8年度秋季研究発表会
(1996年9月 講演)

超音波による形状認識系のためのスケール・スペース・フィルタリングを用いた信号処理

土井滋貴, 高橋晴雄, 松田 稔 (大阪電通大)

電気学会論文誌C, 115巻11号平成7年, pp. 1310-1316

スケール・スペース・フィルタリングの並列アルゴリズム

森 和義 (舞鶴高専), 土井滋貴, 松田 稔 (大阪電通大)

システム制御情報学会論文誌, Vol.9, No.8, pp. 347-355, 1996

日本の楽曲と旋律ゆらぎ

松田 稔 (大阪電通大), 秋山好一 (大阪電通大), 土井滋貴

日本音響学会誌, 52巻2号1996, pp. 99-104

筆者認識のためのオンライン入力文字に現れる文字変形の分析

谷川 大（専攻科），中村善一，成田紘一
平成 7 年電気関係学会関西支部連合大会
（1995年11月12日 講演）

表情を用いた顔画像識別

山下誠一郎（専攻科），中村善一，成田紘一
平成 7 年電気関係学会関西支部連合大会
（1995年11月12日 講演）

表情を用いた顔画像識別

山下誠一郎（専攻科），中村善一，成田紘一
1996年電子情報通信学会総合大会
（1996年 3 月30日 講演）

パターン認識型匂いセンシングシステムの開発 II

岡崎哲三（専攻科），成田紘一，中村善一
平成 7 年電気関係学会関西支部連合大会
（1995年11月11日 講演）

Side - Wall Emitting ZnSe/AlN Waveguide CO₂ Laser

T. Matsushima and T. Sueta(Setunan Univ.)
1995 International Laser, Lightwave and Microwave Conference(ILLMC'95), Shanghai, China(Oct. 9, 1995, Oral Presentation)

プラスチック中空導波路を用いた導波形炭酸ガスリングレーザ

住友俊也，松島朋史，末田 正（摂南大学）
平成 7 年度電気関係学会関西支部連合大会
（平成 7 年11月12日 講演）

能動形F-P光変調器（II）

大櫃洋介，松島朋史，末田 正（摂南大学）
平成 7 年度電気関係学会関西支部連合大会
（平成 7 年11月12日 講演）

画発光導波形炭酸ガスレーザの出力パターン

松島朋史，末田 正（摂南大学）
1996第57回応用物理学会学術講演会
（平成 8 年 9 月 9 日 講演）

（電子制御工学科）

鋳鉄の弾性定数と組織変化に関する X 線的研究

有間淳一，岩井保善，安田昌生（専 2）
日本材料学会 第32回 X 線材料強度に関するシンポジウムにて講演（1996年 7 月25日）

オブザーバを用いた二軸速度同期システムの応答特性

飯田賢一，鎌野啄也，鈴木茂行，安野 卓（徳島大学），片岡 雄（片岡機械製作所）
電気関係学会四国支部連合大会8-13
（1995年11月 講演）

外乱オブザーバを用いた高速多軸同期システムの応答特性

飯田賢一，鎌野啄也，鈴木茂行，安野 卓（徳島大学），片岡 雄（片岡機械製作所）
電気学会全国大会691（1996年 3 月 講演）

ファジィ制御を用いた多関節マニピュレータの関節軸協調動作

飯田賢一，鎌野啄也，鈴木茂行（徳島大学）
システム制御情報学会研究発表講演会3045
（1996年 5 月 講演）

二関節マニピュレータの関節軸協調制御システムの応答特性

飯田賢一，鎌野啄也，鈴木茂行（徳島大学）
計測自動制御学会学術講演会206A-2
（1996年 7 月 講演）

位相シフト・スペックル干渉法における位相差測定の精度向上

押田至啓, 岩橋善久(大阪産大), 岩田耕一(大阪府大)
第43回応用物理学関係連合講演会
(平成8年3月26日 講演)

High Accuracy Phase Measurement in Phase-Shifting Speckle Interferometry

Y. Oshida, Y. Iwahashi(Osaka Sangyo University) and K. Iwata(Osaka Prefecture University)

1996 International Workshop on Interferometry(IWI'96) (1996年8月28日 講演)

位相シフト・スペックル・シアリング干渉計における位相シフト誤差の補正

押田至啓, 岩橋善久(大阪産大), 岩田耕一(大阪府大)
光学連合シンポジウム 福岡'96
(平成8年9月7日 講演)

衝撃波ハンドブック

高山和喜編

衝撃波の収束

岸下晴亮(分担執筆)

シュプリンガー(平成7年12月15日 出版)

反射衝撃波の収束

岸下晴亮, 手島光司(京都教育大), 西田迪雄(九大工)
日本学術会議第2回シンポジウム「C.G.で見る流れの世界」(平成8年4月19日 講演)

回転液中紡糸法におけるSn-37mass%Pb合金細線の断面形状変化

島岡三義, 大中逸雄(大阪大学工学部)
日本金属学会誌, 第60巻, 第4号, pp.420-426.
(平成8年4月)

表面張力の温度依存性および単一液滴形状

中田敏夫, 細川 力(姫工大), 藤原良樹(姫工大),
大上芳文(姫工大)
日本機械学会関西支部(平成7年11月11日 講演)

ぬれにくい平坂上の単一液滴形状に関する一考察

中田敏夫, 細川 力(姫工大), 藤原良樹(姫工大),
大上芳文(姫工大)
混相流 Vol.10, No.1 (平成8年3月)

2次元変位分布を用いたポアソン比測定に関する研究

吉田 敦, 西田茂生, 押田至啓
精密工学会1996年度春季全国大会(1996年3月27日)

空気圧ベロースアクチュエータを用いた3自由度高出力ロボット

小山 浩, 西田剛和, 奥田和敏(以上立命館大学),
早川恭弘, 川村貞夫(立命館大学)
第13回日本ロボット学会学術講演会
(1995年11月3日 講演)

HRA(Hexahedron Rubber Actuator)を用いた運動補助ロボットの開発

清水高章, 玉井 雅(以上立命館大学), 早川恭弘,
川村貞夫(立命館大学)
第13回日本ロボット学会学術講演会
(1995年11月3日 講演)

拮抗形ベロースアクチュエータを用いた6軸装置の基本性能

竹田貴博, 早川恭弘, 大谷秀一, 松井 潔, 細田容司,
川村貞夫(立命館大学)
平成7年秋季油空圧講演会(1995年11月24日 講演)

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

早川恭弘, 川村貞夫 (立命館大学), 後藤健夫 (立命館大学), 永井克明

日本ロボット学会誌, Vol.14, No.2, 271/278(1996)

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, 辻元秀和, 竹田貴博, 川村貞夫 (立命館大学)

平成8年春季油空圧講演会 (1996年5月31日 講演)

空気圧アクチュエータのための実用的スライディングモード制御

S.R.PANDIAN, 金澤義則, 鴨山剛之 (以上立命館大学), 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 (1996年6月21日 講演)

Development of a New Insertion Device Using Pneumatic Bellows Actuators with Force Sensing Ability

Yasuhiro HAYAKAWA, Takahiro TAKEDA and Sadao KAWAMURA (Ritsumeikan Univ)

Proceedings of the Japan - U.S.A Symposium on Flexible Automation, ASME, 843/846 (July, 1996, Oral Presentation)

Practical Design of a Sliding Mode Controller for Pneumatic Actuators

S. R. PANDIAN, Yasuhiro HAYAKAWA, Yoshinori KANAZAWA and Sadao KAWAMURA (Ritsumeikan Univ)

Proceedings of the Japan - U.S.A Symposium on Flexible Automation, ASME, 181/188 (July, 1996, Oral Presentation)

空気圧駆動 Hexahedron Rubber Actuator (HRA)を用いた運動補助ロボットの性能評価

玉井 雅 (立命館大学), 早川恭弘, 川村貞夫 (立命館大学)

日本機械学会第74期全国大会

(1996年9月21日 講演)

(情報工学科)

情報処理教育を取り入れた総合科目の試案

浅井文男

平成7年度情報処理教育研究集会

(1995年12月14日 講演)

高等専門学校における基礎専門科目の総合化に関する研究

浅井文男, 市原 亮, 堀内泰男

平成7年度科学研究費補助金研究成果報告書

(1996年3月31日)

規格化手法を取り入れたポップフィールド模型の性能評価

浅井文男, 木村嘉和

日本物理学会第51回年会 (1996年4月1日 講演)

重み値可変機能を有する ν MOS回路

小林 淳, 五十嵐良

電気関係学会関西支部連合大会

(1995年11月11日 講演)

フラッシュメモリの記憶保持テストの高速化

土屋 宏, 森野 勲, 五十嵐良

電気関係学会関西支部連合大会

(1995年11月11日 講演)

Current Summation Neuron Cell (σ - Neuron Cell)

小林 淳, 西本裕子, 三村泰裕, 五十嵐良
平成7年度電子情報通信学会関西支部学生報告会
(1996年3月8日 講演)

CMOSトランジスタによる単純パーセプトロンモデルの実現

藤井博文, 五十嵐良
第3回電気学会関西支部高専卒業研究発表会
(1996年3月8日 講演)

ニューロン・セルによる機能回路

五十嵐良
セミコン関西96大学ポスターセッション
(1996年5月31日 講演)

Extraction of Signature and Seal Imprint from Documents

Katsuhiko Ueda
Handwriting and Drawing Research : Basic and applied issues, pp.419 - 427,
M. Simmer, G. Leedham and A. Thomassen eds.,
IOS Press: Amsterdam (August 1996).

情報処理における高専生の意識調査(1) - 低学年にみられる意識と成績の関係 -

工藤英男, 下村満子
文部省平成7年度情報処理教育研究集会
(1995年12月14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開発

若宮 栄, 工藤英男
教育システム情報学会関西支部第10回学生研究発表会
(1996年3月2日 展示発表)

白地図CAIシステムの開発

吉川博史 (大阪短期大学), 工藤英男, 松永公廣 (摂南大学)
大阪短期大学, 紀要, 第9号, pp.19 - 27(1996.03)

WWWによるOMT法の学習支援ツールの開発

大西 仁, 工藤英男
電子情報通信学会1996年総合大会
(1996年3月28日 講演)

新入生のコンピュータに対する意識調査(II)

工藤英男, 下村満子, 吉川博史 (大阪短期大学)
教育システム情報学会, 第21回全国大会
(1996年8月2日 講演)

筆圧情報を活用する書字教育用ワークステーションの開発

松永公廣 (摂南大学), 工藤英男
摂南大学経営情報学部, 経営情報研究, Vol. 4, No. 1, pp.47 - 63(1996.06)

熟練溶接作業のロボット教示システム

松原浩平, 萩原俊一, 田中伊佐保 (以上住友金属), 近藤勝也
第38回自動制御連合講演会前刷集No.2004
(1995年12月6日 講演)

RSVPタスクにおける漢字部首のMigration

下村満子
日本心理学会第59回大会 (平成7年10月 講演)

2重RSVPタスクにおける課題難度の効果

下村満子
関西心理学会第107回大会 (平成7年11月 講演)

情報処理における高専生の意識調査(2)：コンピュータ不安尺度を用いた情緒的側面の検討

下村満子，工藤英男

文部省平成7年度情報処理教育研究集会

(平成7年12月 講演)

漢字の語彙性が単語照合課題に及ぼす効果

下村満子

日本基礎心理学会第15会大会

(平成8年度5月 講演)

The function of individual character in kanji word recognition

Michiko Shimomura

26th International Congress of Psychology

(平成8年8月 講演)

漢字の語彙性が熟語の処理に及ぼす効果

下村満子

日本心理学会第60回大会(平成8年9月 講演)

組合せ回路の消費電力削減に関する一考察

世古 忠，菊野 亨(大阪大学)

1996年電子情報通信学会ソサイエティ大会

(1996年9月19日 講演)

サッカーコーチングシステムの開発

福田真人，長嶋剛史，多喜正城

第10回学生研究発表論文集(教育システム情報学会)

(1996年3月2日 講演)

カラー情景画像からの文字列抽出

小野政也，梅田三千雄(大阪電気通信大学)，

松尾賢一

平成7年度 電気関係学会関西支部連合大会

(平成7年11月12日 講演)

情景画像からの文字列抽出のための2値化手法の比較と検討

松尾賢一，上田勝彦，梅田三千雄(大阪電気通信大学)

平成7年度 電気関係学会関西支部連合大会

(平成7年11月12日 講演)

カラー道路画像からの道路標識の抽出手法の検討

中井 徹，松尾賢一，上田勝彦，梅田三千雄(大阪電気通信大学)

パターン認識・理解研究会「若葉研究者のためのポジションペーパーセッション」

(平成7年11月17日 講演)

道路情景画像からの道路標識の抽出

本居伸哉，松尾賢一

平成8年度電子情報通信学会関西支部学生会第1回研究発表会(平成8年3月8日 講演)

カラー情景画像から抽出された道路標識の認識

中井 徹，小川 亨，松尾賢一

平成8年度電子情報通信学会関西支部学生会第1回研究発表会(平成8年3月8日 講演)

4近傍セルオートマトンによる動的位置決め搬送パターンの形成

武藤武士，北村新三(神戸大学 工学部)

第38回自動制御連合講演会

(1995年12月5日 講演)

奈良工業高等専門学校におけるインターネットの利用について

武藤武士，榊原和彦，市原 亮，成田紘一

平成7年度情報処理教育研究集会

(1995年12月15日 講演)

セルオートマトンの状態遷移規則の進化的獲得 および2次元搬送システムへの適用

青木正春*, 武藤武士, 松尾 元*, 北村新三*

* 神戸大学 工学部

第23回知能システムシンポジウム

(1996年3月23日 講演)

自律分散搬送システムの遷移規則の遺伝的アル ゴリズムによる獲得

木村昌史, 武藤武士, 北村新三 (神戸大学 工学部)

第40回システム制御情報学会研究発表講演会

(1996年5月17日 講演)

1次元交通流モデルの2次元への拡張に関する 研究

村田佳洋, 武藤武士, 北村新三 (神戸大学 工学部)

第40回システム制御情報学会研究発表講演会

(1996年5月17日 講演)

(化学工学科)

ハイパーポルフィリンの電子状態と共鳴ラマン スペクトル

石丸裕士, 田中元英, 藤本則和, 矢倉栄幸, 寺岡淳二

(阪市大・理)

日本化学会, 第70回春季年会 (1996年3月 講演)

水溶液中での塩化銅-グラファイト層間化合物 の電気化学的生成

泉生一郎, 山下全広, 大西康幸, 佐藤淳一 (北陸先端
科学技術大学院大), 浅井洋志 (片山化学工業研究
所), 岩下哲雄 (大阪工業技術研究所)

'95年電気化学秋季大会 (平成7年9月30日 講演)

水溶液中での塩化銅-グラファイト層間化合物 の電気化学的生成

泉生一郎, 山下全広, 大西康幸, 佐藤淳一 (北陸先端
科学技術大学院大), 浅井洋志 (片山化学工業研究
所), 岩下哲雄 (大阪工業技術研究所)

電気化学協会 技術・教育研究論文誌, Vol. 4, No.
2, PP.21 ~ 26(1995)

Electrochemical intercalation of bromine in- to graphite in an aqueous electrolyte solu- tion.

I. Izumi, J. Sato (Japan Advanced Institute of Sci-
ence and Technology, Hokuriku), N.
Iwashita (Osaka National Industrial Research In-
stitute) and M. Inagaki (Faculty of Engineering,
Hokkaido Univ.) Synthetic Metals, Vol.75, pp.75
~ 77(1995)

光化学ダイオードとその応用

泉生一郎

北陸先端科学技術大学院大学教材科学研究科特別講演
会 (平成8年3月4日 講演)

二液分離型光化学ダイオードを用いたCO₂ 固 定化反応

森元弘次, 大西康幸, 泉生一郎

日本化学会第70回春季年会 (平成8年3月28日 講演)

p-n接合による二液分離型光化学ダイオードを 用いた水分解とCO₂ 還元

深町純子, 大西康幸, 福島隆史, 泉生一郎

日本化学会第70回春季年会 (平成8年3月28日 講演)

Acceleration of Photocatalytic Antibacterial Action of TiO₂ by Halide Ions against Oral Microorganism

K. Onoda*, Y. Ohnishi, H. Shuto*, Y. Nakagawa*,
T. Morioka** and I. Izumi (*Shiken
Co., LTD., ** Kyushu Univ.)

DENKI KAGAKU, Vol.64, pp.400~402(1996)

生成物分離型光化学ダイオードの開発とその還元反応への応用

大西康幸, 泉生一郎, 森元弘次, 深町純子

第20回エレクトロオーガニックケミストリー討論会
(平成8年6月28日 講演)

高専改革における専攻科の意義

泉生一郎

日本高専学会シンポジウム

(平成8年8月23日 講演)

金属アドアトム修飾電極による二酸化炭素の還元

森元弘次, 大西康幸, 泉生一郎

'96年電気化学秋季大会 (平成8年9月17日 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

'96年電気化学秋季大会 (平成8年9月17日 講演)

Neutral-carrier-type silver ion-selective electrodes based on lipophilic thiacyclopentadienes

M. Oue, Y. Ishii, N. Yoshino, H. Sawada, K. Kimura

Poster Presentaion, Pacifichem '95, Honolulu
(1995. 12. 18)

Neutral-carrier-type ion-selective electrodes based on macrocyclic compounds

M. Oue

Insutitut Teknologi Sepuluh Nopember, Indonesia, 1996. 6. 6 (講演)

Hydrogen Oxidation on Polymer Coated Anode in Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells

Z. Takehara, Z. Ogumi(Kyoto Univ.), K. Katakura, J. Maruyama(Kyoto Univ.)

The Electrochemical Society Fall Meeting
CHICAGO, Oct. 8-13, 1995 (講演)

Microelectrode Simulation of Anode in Polymer Electrolyte Fuel Cells.

K. Katakura, J. T. Hinatsu, K. Inatomi, M. Inada, Z. Ogumi, Z. Takehara(Kyoto Univ.)

DENKIKAGAKU Vol. 64, No. 6 pp711~717(1996)

プラズマ共重合膜被覆によるPEFC用ガス電極の高機能化

国居 新, 丸山 純, 小久見善八, 竹原善一郎, 内本善晴, 八尾 健 (京大工), 片倉勝己

'96電気化学秋季大会 (平成8年9月17日 講演)

プラズマ重合法を用いた高性能PEFC用ガス拡散電極の作製

内本善晴, 八尾 健, 国居 新, 丸山 純, 小久見善八, 竹原善一郎 (京大工), 片倉勝己

第37回電池討論会 (平成8年9月26日 講演)

エアリフト型気泡塔によるマツタケ菌糸の大量培養

河越幹男・川上健太郎・野田秀夫 (関西化学機械)

化学工学シンポジウムシリーズ 50, 168-171頁
(1996年2月)

超臨海乾燥処理を施した遺跡出土木材の長期保存における吸湿・脱湿特性

河越幹男

日本文化財科学会第13回大会

(1996年6月15日 講演)

テーパー付きエアリフト気泡塔の流動特性

河越幹男・前岡孝司

化学工学論文集, 22巻, 3号, 629 - 634頁 (1996)

テーパー付きエアリフト気泡塔内の液流速分布及び液側混合特性

河越幹男・吉田尚平

化学工学会第29回秋季大会 (1996年9月17日 講演)

Cultivation of Matsutake Mycelium in Bubble Column Bioreactors

Mikio Kawagoe, Yuka Nakamura and Hideo Noda(Kansai Chem. Eng. Co., Ltd.)

化学工学会第29回秋季大会 (1996年9月18日 講演)

バイオ生産プロセスにおける培養・センシング・分離精製

河越幹男, 三木功次郎, 直江一光

'96国際食品工業展アカデミックプラザ (千葉)
(1996年5月28日 講演)

Account: Fluorosilicon Oligomers; Polymeric Materials

Encyclopedia - Synthesis, Properties and Applications, Vol. 4 (Editor - in - Chief; J. C. Salamone)

H. Sawada, CRC Press, Inc., Florida , p2539(1996)

Account: Fluoroacrylic Acid Oligomers; Polymeric Materials

Encyclopedia - Synthesis, Properties and Applications, Vol. 4 (Editor - in - Chief; J. C. Salamone)

H. Sawada, CRC Press, Inc., Florida , p2489(1996)

Account: Fluoropolymers (Preparation by Aromatic Fluoroalkylation); Polymeric Materials

Encyclopedia - Synthesis, Properties and Applications, Vol. 4 (Editor - in - Chief; J. C. Salamone)

H. Sawada, CRC Press, Inc., Florida , p2507(1996)

Synthesis and Surfactant Properties of Fluoroalkylated Acrylic Acid Co - oligomers Containing Dimethylsilicone Segments as Potential Inhibitors of HIV - 1

H. Sawada, A. Ohashi, M. Oue, M. Baba(鹿児島大医), M. Abe (東京理大), M. Mitani, and H. Nakajima, J. Fluorine Chem., 75, 121 (1995)

Synthesis and Surfactant Properties of Novel Fluoroalkylated 4 - Vinylpyridinium Chloride Oligomers

H. Sawada, A. Wake, M. Oue, T. Kawase(阪市大生科), Y. Hayakawa (名工研), Y. Minoshima, and M. Mitani(日本油脂),
J. Colloid Interface Sci., 178, 379(1996)

Synthesis and Surfactant Properties of Novel Acrylic Acid Co - oligomers Containing Fluoroalkylated End - Groups: A New Approach to Polymeric Inhibitors of Human Immunodeficiency Virus Type - 1

H. Sawada, K. Tanba, N. Itoh, C. Hosoi, M. Oue, M. Baba(鹿児島大医), T. Kawase(阪市大生科), M. Mitani, and H. Nakajima (日本油脂), J. Fluorine Chem., 77, 51(1996).

フルオロアルキル基含有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オリゴマー類の合成と性質

沢田英夫, 片山慎介, 大植正敏, 川瀬徳三 (阪市大生科), 早川由夫 (名工研), 馬場昌範 (鹿児島大医), 富田敏夫 (東北大農), 三谷元宏 (日本油脂)
日本油化学会誌, 45, 161(1996)

フルオロアルキル基含有 1, 3 - ジビニルテトラメチルジシロキサン-アクリル酸コオリゴマー類の合成と性質

沢田英夫, 山本恵司, 大植正敏, 川瀬徳三 (阪市大生科), 早川由夫 (名工研), 馬場昌範 (鹿児島大医), 三谷元宏 (日本油脂)
日本油化学会誌, 45, 37 (1996).

Synthesis and Surfactant Properties of Novel Fluororalkylated Amphiphilic Oligomers

H. Sawada, T. Kawase (阪市大生科), Y. Ikematsu, Y. Ishii, M. Oue, and Y. Hayakawa (名工研)
J. Chem. Soc., Chem. Commun., 179 (1996).

Synthesis and Surface Properties of Novel Fluororalkylated Flip-Flop-Type Silane Coupling Agents

H. Sawada, Y. Ikematsu, T. Kawase (阪市大生科), and Y. Hayakawa (名工研)
Langmuir, 12, 3529 (1996).

Synthesis Fluororalkylated N-Vinyl-2-pyrrolidone-Acrylic Acid Cooligomers from Fluoroalkanoyl Peroxides: A Receptor for Binding Free Calcium Ions

H. Sawada, T. Kawase (阪市大生科), K. Yamashita, and Y. Hayakawa (名工研),
J. Chem. Soc., Chem. Commun., 827 (1996).

両端にフルオロアルキル基を有する新規アクリレートオリゴマーによるポリエステルのSR加工

川瀬徳三, 河本久美, 藤井富美子, 皆川 基 (阪市大生科), 沢田英夫, 日本油化学会誌, 45, 259 (1996).

Account: Fluorinated Peroxides

H. Sawada, Chem. Rev., 96, 1779 (1996).

新規フルオロシリコンオリゴマーの潤滑特性

松田賢治, 中川順平, 西山勝広, 野見山裕, 松川広一 (東京理大), 沢田英夫, 酒井秀樹, 阿部正彦 (東京理大), 色材協会誌, 69, 361 (1996).

はっ水, はっ油性ポリスチレンフィルムの調製

阿部正彦 (東京理大), 沢田英夫
表面科学, 16, 710 (1995).

含フッ素有機過酸化物の反応性を利用したフッ素系界面活性剤の合成と応用(5)フルオロアルキル基含有カチオン系オリゴマー類の合成と特性 (I)

沢田英夫, 材料技術, 14, 180 (1996).

含フッ素有機過酸化物の反応性を利用したフッ素系界面活性剤の合成と応用(5)フルオロアルキル基含有カチオン系オリゴマー類の合成と特性 (II)

沢田英夫, 材料技術, 14, 214 (1996).

Biomedical Functions and Biotechnology of Natural and Artificial Polymers, Edited by M. Yalpani

H. Sawada, A. Ohashi, M. Baba (鹿児島大医), T. Kawase (阪市大生科), Y. Hayakawa (名工研), p207 (1996), ATL Press Inc. Science Publishers, MA.

フッ素系機能性材料の合成と物性に関する研究

沢田英夫, 三谷元宏 (日本油脂)
材料技術研究協会賞 (論文賞) 受賞,
(1996年4月19日)

Perfluoroalkyl End - Capped Oligomeric Silane Coupling Agents: Fluoroalkylation of Polyester Surface

T. Kawase, M. Yamane, T. Fujii, M. Minagawa(阪市大生科), and H. Sawada, 1st International Congress on Adhesion Science & Technology, Amsterdam, The Netherlands, October 16-20, p77, 1995

Perfluoroalkyl End - Capped Oligomeric Silane Coupling Agents: Fluoroalkylation of Glass Surface

T. Kawase, T. Fujii, M. Minagawa (阪市大生科), and H. Sawada, 1st International Congress on Adhesion Science & Technology, Amsterdam, The Netherlands, October 16 - 20, p103, 1995.

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(2)

阿部正彦, 中川順平, 吉原慶一, 加茂川恵司, 桃澤信幸, 酒井秀樹(東京理大), 川瀬徳三(阪市大生科), 沢田英夫, 佐野 洋(食総研), 第34回油化学討論会講演 平成7年10月19, 20日, 名古屋国際会議場.

カルボキシル基含有フルオロシリコンオリゴマー類の合成と抗エイズウイルス活性

沢田英夫, 大植正敏, 馬場昌範, 川瀬徳三(阪市大生科), 富田敏夫(東北農), 早川由夫(名工研), 三谷元宏(日本油脂) 第34回油化学討論会講演 平成7年10月19, 20日, 名古屋国際会議場.

フルオロアルキル基含有アリルアミン, ジアリルアミンオリゴマー類の合成と抗菌活性

沢田英夫, 丹葉敬一, 大植正敏, 川瀬徳三(阪市大生科), 富田敏夫(東北農), 早川由夫(名工研), 三谷元宏(日本油脂) 第34回油化学討論会講演 平成7年10月19, 20日, 名古屋国際会議場.

フルオロアルキル基含有スルホン酸オリゴマー類の合成と性質

沢田英夫, 大橋朝妃, 大植正敏, 吉水道明, 京兼 純, 川瀬徳三(阪市大生科), 早川由夫(名工研), 三谷元宏(日本油脂), 吉野勝美(阪大工) 第34回油化学討論会講演 平成7年10月19, 20日, 名古屋国際会議場.

フルオロアルキル基含有4 - ビニルピリジオンオリゴマー類の合成と性質

沢田英夫, 和氣厚仁, 大植正敏, 川瀬徳三(阪市大生科), 早川由夫(名工研), 三谷元宏(日本油脂) 第34回油化学討論会講演 平成7年10月19, 20日, 名古屋国際会議場.

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, 片山慎介, 大植正敏, 川瀬徳三(阪市大生科), 早川由夫(名工研), 三谷元宏(日本油脂) 第34回油化学討論会講演 平成7年10月19, 20日, 名古屋国際会議場.

フルオロアルキル基含有アリルアミンオリゴマー類の合成と性質

沢田英夫, 丹葉敬一, 大植正敏, 川瀬徳三(阪市大生科), 早川由夫(名工研), 三谷元宏(日本油脂) 第19回フッ素化学討論会講演 平成7年11月10, 11日, 岡山大学.

フルオロアルキル基含有4 - ビニルピリジオンオリゴマー類の合成と性質

沢田英夫, 和氣厚仁, 大植正敏, 川瀬徳三(阪市大生科), 早川由夫(名工研), 三谷元宏(日本油脂) 第19回フッ素化学討論会講演 平成7年11月10, 11日, 岡山大学.

カルボキシル基含有フルオロシリコンオリゴマー類の合成と抗エイズウイルス活性

沢田英夫, 大植正敏, 馬場昌範(鹿児島大医), 川瀬徳三(阪市大生科), 三谷元宏(日本油脂) 第19回フッ素化学討論会講演 平成7年11月10, 11日, 岡山大学.

フルオロアルキル基含有スルホン酸オリゴマー類の合成と性質

沢田英夫, 大橋朝妃, 大植正敏, 吉永道明, 京兼 純, 川瀬徳三(阪市大生科), 早川由夫(名工研), 三谷元宏(日本油脂), 吉野勝美(阪大工) 第19回フッ素化学討論会講演 平成7年11月10, 11日, 岡山大学.

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, 片山慎介, 大植正敏, 川瀬徳三(阪市大生科), 早川由夫(名工研), 三谷元宏(日本油脂) 第19回フッ素化学討論会講演 平成7年11月10, 11日, 岡山大学.

Synthesis and Properties of Novel Fluoroalkylated Allyl- and Diallammonium Chloride Oligomers

H. Sawada, K. Tanba, 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.

Synthesis and Properties of Fluoroalkylated Oligomers Containing Trimethylammonium Unit

H. Sawada, S. Katayama, 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.

Synthesis and Anti - HIV - 1 Activitiy of Fluoroalkylated Oligomers Containing Sulfo Groups

H. Sawada, A. Ohashi, M. Oue, M. Baba(鹿児島大医), 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.

Synthesis and Anti - HIV - 1 Activitiy of Fluoroalkylated Co - oligomers Containing Carboxy Groups

H. Sawada, K. Tanba, M. Oue, M. Baba (鹿児島大医), and T. Kawase(阪市大生科) 1995 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies, Honolulu, Hawaii, December 17-22, 1995.

フルオロシリコン化合物の合成と性質

沢田英夫
F&Fセミナー(東京) (1996年1月)

フルオロアルキル基含有アリルアミンコオリゴマー類の合成と性質

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), 富田敏夫(東北大農), 早川由夫(名工研) 日本化学会第70回春季年会講演(青山学院大学) (1996年3月)

フルオロアルキル基含有スルホン酸コオリゴマー類の合成と性質

沢田英夫, 大橋朝妃, 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) 日本化学会第70回春季年会講演(青山学院大学) (1996年3月)

芳香族ポリマー類へのフルオロアルキル化反応

沢田英夫, 北 寛士, 吉水道朗, 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70回春季年会講演(青山学院大学)
(1996年3月)

モルホリノ基を有するフルオロシランカップリング剤の合成とその表面特性

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70回春季年会講演(青山学院大学)
(1996年3月)

モルホリノ基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界面特性

沢田英夫, 吉野美子, 伊藤道子, 川瀬徳三(阪市大生科), 早川由夫(名工研)
日本化学会第70回春季年会講演(青山学院大学)
(1996年3月)

フルオロアルキル基含有N-ビニル-2-ピロリドン-アクリル酸コオリゴマーの合成と性質

沢田英夫, 山下恵子, 川瀬徳三(阪市大生科), 早川由夫(名工研)
日本化学会第70回春季年会講演(青山学院大学)
(1996年3月)

過酸化フルオロアルカノイルと(ビニルジメチルシリル)酢酸メチルとの反応

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70回春季年会講演(青山学院大学)
(1996年3月)

フルオロアルキル基含有2-アクリルアミド-2-メチルプロパンスルホン酸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)
日本化学会第70回春季年会講演(青山学院大学)
(1996年3月)

フルオロアルキル基含4-ビニルピリジウムコオリゴマー類の合成と性質

沢田英夫, 和氣厚仁, 谷村敏博, 馬場昌範(鹿児島大医), 冨田敏夫(東北大農), 川瀬徳三, 前川智美(阪市大生科), 早川由夫(名工研)
日本化学会第70回春季年会講演(青山学院大学)
(1996年3月)

カルボキシル基含有フルオロシリコンオリゴマーの分光学的性質(3)

中川準平, 吉原慶一, 加茂川恵司, 桃澤信幸, 酒井秀樹(東京理大), 川瀬徳三(阪市大生科), 沢田英夫, 佐野 洋, 阿部正彦(東京理大)
日本化学会第70回春季年会講演(青山学院大学)
(1996年3月)

FLIP-FLOP型含フルオロアルキルシランカップリング剤によるガラスの表面改質

川瀬徳三(阪市大生科), 沢田英夫, 池末由香
日本化学会第70回春季年会講演(青山学院大学)
(1996年3月)

フルオロアルキル基含有ベタイン型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)
高分子学会第42回高分子研究発表会(神戸)講演(兵庫県中央労働センター) (1996年7月)

モルホリノ基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, 池末由香, 吉野美子, 伊藤道子, 川瀬徳三(阪市大生科), 早川由夫(名工研)
高分子学会第42回高分子研究発表会(神戸)講演(兵庫県中央労働センター) (1996年7月)

ベタイン型重合体, その製造方法及び抗ウイルス剤

沢田英夫, 馬場昌範(鹿児島大医), 花崎保彰(東ソー)
特願 平8-73214 (平成8年3月4日)

ポリフェニレン化合物およびその製造方法

沢田英夫, 京兼 純, 吉野勝美 (阪太工), 魚谷信夫
(昭和電工)

特願 平8-53286 (平成8年3月11日)

フルオロシリコーンオリゴマー

沢田英夫, 安江敏郎 (昭和電工)

特願 平8-55071 (平成8年3月12日)

1,3-ジケトン化合物及びその製造方法

沢田英夫, 安江敏郎 (昭和電工)

特願 平8-55073 (平成8年3月12日)

フルオロアルキル基含有オリゴマー

沢田英夫, 伊藤祐司 (昭和電工)

特願 平8-55072 (平成8年3月12日)

フルオロアルキル基含有オリゴマー及びその製造方法

沢田英夫, 安江敏郎 (昭和電工)

特願 平8-53383 (平成8年3月11日)

21世紀を睨んだ新技術・新素材：フッ素とケイ素が融合した新しい機能性材料 — フルオロシリコン

沢田英夫

平成8年度奈良高専公開講座講演 (1996年8月)

Gel Suppression and Induction of Protein Extraction by Guanidine Hydrochloride Addition in Reverse micellar Extraction Process.

K. Naoe, Y. Shintaku, Y. Mawatari, M. Kawagoe, and M. Imai (Tokyo Univ. Agri. & Technol.)

The 2nd Workshop on Partitioning of Biopolymers Using Polymer/ Deterget Mediated Two-Phase Systems (Osaka Univ.)

(1995年10月3日 講演)

逆ミセルを用いたタンパク質抽出における塩酸グアニジン添加効果に対する温度効果

村田昌代, 直江一光, 河越幹男, 今井正直

化学工学会第61回年会 (名古屋大学)

(1996年4月4日 講演)

逆ミセル抽出の最近の進展と工学的な有用性

今井正直 (東京農工大), 直江一光

分離技術, 25(5), 387, (1995)

Novel Function of Guanidine Hydrochloride in Reverse Micellar Extraction of Lysozyme from Chicken Egg White.

K. Naoe, Y. Shintaku, Y. Mawatari, M. Kawagoe, and M. Imai

Biotechnol. Bioeng., 48, 333-340, (1995)

Solubilization of Proteins in Reverse Micelles with a Low Concentration of Guanidine Hydrochloride: Control of Protein Stability in Protein Extraction.

K. Naoe, M. Murata, Y. Shintaku, M. Kawagoe, S. Hakoda, M. Imai, and M. Shimizu (Tokyo Univ. Agri. & Technol.)

The 2nd Workshop "Principle of Protein Structure", (Tokyo), (1995年12月13日 講演)

Solubilization Behavior of Modified Proteins in AOT Reverse Micelles

K. Naoe, T. Kai, M. Kawagoe, and M. Imai (Tokyo Univ. Agri. & Technol.)

7th Congress of Asian Pacific Confederation of Chemical Engineers, (Taipei, Taiwan)

(1996年3月4日 講演)

Higher Activity and Recovery of Lysozyme in AOT Reverse Micellar Extracrtion with Pretreatment of Feed by Dilute Guanidine Hydrochloride

K. Naoe, M. Murata, M. Kawagoe, and M. Imai
ADVANCES IN BIOSEPARATION ENGINEERING 1995, (Ed. by The Special Study Group for Bioseparation Engineering of SCEJ), pp.36-40, (1996)

バイオセパレーションとしての逆ミセルを用いたタンパク質抽出の可能性

直江一光, 今井正直 (東京農工大)
化学工業, 47(5), 15-23 (1996)

Minimal AOT Concentration with Guanidine Hydrochoride in Reverse Micellar Protein Extraction

K. Naoe, M. Kawagoe, S. Hakoda, M. Imai, and M. Shimizu (Tokyo Univ. Agri. & Technol.)
The 1996 International Congress on Memberane and Memberane Processes (Yokohama)
(1996年8月20日 講演)

Effect of Guanidine Hydrochloride on Protein Recovery from Reverse Micellar Organic Media

M. Murata, K. Naoe, M. Kawagoe, and M. Imai (Tokyo Univ. Agri. & Technol.)
The 1996 International Congress on Memberane and Memberane Processes (Yokohama)
(1996年8月20日 講演)

Span/hexane系ミセルを用いたタンパク質抽出

浦理, 直江一光, 河越幹男, 今井正直 (東京農工大)
化学工学会第29回秋季大会, (同志社大学),
(1996年9月18日 講演)

An amperometric pyruvate sensor based on a pyruvate oxidase-immobilized carbon paste electrode containing vitamin K₃ as a mediator.

K. Miki, H. Kinoshita (Kuwassui Women's College), Y. Yamamoto, N. Taniguchi (Kyoto Reserch Center fot Hyginene) and T. Ikeda (Kyoto Univ.),
DENKI KAGAKU, 63, 1121 (1995)

Amperometric measurement of reducing activity exhibited by intact cultured cells of *Daucus carota* L.

T. Kuroasaki, T. Ikeda, K. Kano (Kyoto Univ.), N. Taniguchi, Y. Yamamoto (Kyoto Reserch Center fot Hyginene) and K. Miki
DENKI KAGAKU, 63, 1171 (1995)

An amperometric-enzymatic method for assays of inorgainc phosphate and adenosine deaminase in serum based on the measurements og uric acid with a dialysis membrane-covered carbon electrode.

H. Kinoshita, D. Yoshida (Kuwassui Womem's College), K. Miki, T. Usui (Nagasaki Univ.), and T. Ikeda (Kyoto Univ.)
Anal, Chim, Acta., 303, 301 (1995).

Measurements of oxidoreductase-like activity of intact bacterial cells by an amperometric method using a membrane-coated electrode

T. Ikeda, T. Kurosaki, K. Takayama, K. Kano (Kyoto Univ.) and K. Miki
Anal. Chem., 68, 192 (1996)

酵素を用いるアンペロメトリーによる臨床、食品分析

木下英明 (活水女子大), 三木功次郎, 池田篤治 (京都大学),
ぶんせき, 1996(3), pp.182~189

ピルビン酸デヒドロゲナーゼ固定化電極の応答特性およびセンサへの応用

三木功次郎, 橋本 望, 木下英明 (活水女子大), 池田篤治 (京都大学)

第41回ポーログラフィーおよび電気分析化学討論会 (1995年11月27日 講演)

フェノール類の酸化電流および血清グルクロニダーゼ活性測定への応用

木下英明 (活水女子大), 三木功次郎, 池田篤治 (京都大学),

第41回ポーログラフィーおよび電気分析化学討論会 (1995年11月28日 講演)

Mediated bioelectrocatalysis at the yeast cell-immobilized electrode.

K. Miki, H. Kinoshita (Kuwassui Women's College), and T. Ikeda (Kyoto Univ.)

1995 環太平洋国際化学会議 (Pacifichem '95), (1995年1月20日 講演)

P-ヒドロキシヒブリル-His-leuを基質に血清アンギオテンシン転換酵素反応に対する共存物質の影響

木下英明 (活水女子大), 三木功次郎

第6回日本臨床化学会九州支部総会 (1996年1月27日 講演)

電子伝達メディエータ存在下における真菌類を固定化した電極の電流応答の特性

三木功次郎, 村井久子, 小菅暁生, 乗房俊生, 木下英明 (活水女子大), 池田篤治 (京都大学)

1996年度日本農芸化学会大会 (1996年3月31日 講演)

細胞の酸化還元活性の電気化学測定法

池田篤治, 加納健司, 加藤 寛 (京都大学), 三木功次郎

第57回分析化学討論会 (1996年5月25日 講演)

電子伝達メディエータ存在下における真菌類固定化電極の電流応答

三木功次郎, 村井久子, 木下英明 (活水女子大), 池田篤治 (京都大学)

'96電気化学秋季大会 (1996年9月17日 講演)

血清グルクロニダーゼ活性の電気化学的測定法

木下英明 (活水女子大), 三木功次郎, 池田篤治 (京都大学)

'96電気化学秋季大会 (1996年9月18日 講演)

(一般教科)

ファジイ代数の完全性について

荒金憲一

第19回「半群, 言語とその周辺」研究集会

(1995年11月1日 講演)

論理と思考

田村三郎, 荒金憲一, 平井崇晴

大阪教育図書 (1996年5月 発行)

可算コンパクト性の周辺の諸概念について

池永彰吾

'96JAMS Annual Meeting (日本数理科学協会主催) (1996年9月2日 講演)

Singly Generated

Ryo Ichihara

Japanese Association of Mathematical Sciences Annual Meeting - Operator Algebra

(1995年9月2日 講演)

与楽寺への接近 —地名は語る—

大矢良哲

『奈良歴史ファイル』第2号 (平成8年8月10日)

視点の技法の新展開 — 『ポイントン邸の蒐集品』再考—

片山悦男

『英文学研究』(第73巻第1号)(日本英文学会)
pp.75~87. (1996年9月30日)

舞台技術としての声を聞く

神澤和明

『シアターアーツ』第4号, pp.164~167
(平成8年1月25日 発行)

出直しの年, か (95年の関西劇界)

神澤和明

『テアトロ』第640号, pp. 58~59
(平成8年3月1日発行)

書評 — 尾関周二・後藤道夫・佐藤和夫編
『ラディカルに哲学する』(全5巻, 大月書店)

木村倫幸

季報・唯物論研究 第55号, pp. 90~97
(1995年12月)

書評 — 鈴木正・王守華編『戦後日本の哲学者』(農文協)

木村倫幸

季報・唯物論研究 第56/57号, pp.127~132
(1996年4月)

『カードミステリー』とゴルデル

木村倫幸

大阪哲学学校編『『ソフィーの世界』の世界』(青木書店), pp. 30~40 (1996年9月10日発行)

『英語授業Q & A』

樋口忠彦 (近畿大学), 国方太司他
第3章担当, 中教出版 (平成8年3月)

リーディング授業におけるオーラル・イントロダクション — 環境問題を題材にして

国方太司

英語授業研究学会第8回全国大会
(平成8年8月21日 講演)

児童を引きつける楽しい授業のポイント

国方太司

児童英語教師のための第12回JASTEC研修セミナー
(平成8年8月24日 講演)

奈良高専におけるWWWの構築と運用

榊原和彦, 市原 亮, 武藤武士

大阪大学大型計算機センターニュース, Vol.25, No. 4, 33, (1996)

榊原和彦, 松居哲生 (近畿大), 一瀬郁夫 (東大)

Numerical study of the charge - spin separation in the t - J model:

日本物理学会 金沢大学 1996.4 (講演)

大和国在地武士の動向と染田天神連歌

勢田勝郭

『中世文学』第41号 (平成8年6月)

夏目漱石『坑夫』の逃亡者

武田充啓

国文学年次別論文集 平成六年版近代分冊
(平成8年6月)

線形論理に基づくPrologに向けて

番原睦則, 杉山英二 (OKI電気), 姜 京順 (神戸大学大学院), 田村直之 (神戸大学工学部助教授)

Prolog産業応用シンポジウム論文集1995

(1995年10月20日)

Linear and Nonlinear Line Profiles of Infrared Photoacoustic Signatures.

N. Sokabe(Osaka City Univ.), Y. Horiuchi.

20th International Conference on Infrared and Millimeter Waves.(Dec.13 1995, ORANDO,講演)

Photoacoustic Measurements of Self-broadening Coefficients of Some Selected Infrared Transitions.

Y. Horiuchi, N. Sokabe (Osaka City Univ.).

20th International Conference on Infrared and Millimeter Waves.(Dec.13 1995, ORANDO,講演)

光音響分光におけるスペクトルプロファイル.

曾我部 伸 (大阪市大), 堀内泰男

応用物理関係連合講演会 (平成 8 年 3 月 講演)

「なもで踊り」復元の試み — 奈良県安堵町の事例を中心として —

松井良明, 橋本紀美 (安堵町歴史民俗博物館)

日本体育学会第46回大会 (群馬大学)

(1995年10月 5 日 講演)

イギリス刑法における「理由ある殺人」の裁定とスポーツの歴史的関係について

松井良明

スポーツ史学会第 9 回大会 (専修大学)

(1995年11月25日 講演)

1994年スポーツ史関連文献書誌

中房敏朗 (仙台大学), 松井良明

スポーツ史学会編『スポーツ史研究』第 9 号, 59-71 頁 (1996年 3 月)

『生活文化のイギリス史 — 紅茶からギャンブルまで —』指昭博編著

松井良明

執筆担当: 「ピクニックの流行を支えたもの」 61-72 頁,

「紅茶とポニーと柳のボール」 83-94 頁,

「ゴルフの魅力: ブリティッシュ・ゴルフ

・メーカーズ」 177-188 頁,

「五月祭の陽気な英国」 191-202 頁,

「ウィンブルドン・テニス」 203-212 頁

同文館出版 (1996年 4 月19日 共著)

なもで踊り伝承 — 奈良県における伝承地の分布と踊りの全般的な特徴について —

松井良明, 橋本紀美

日本体育学会編『体育の科学』 6 月号 (第46巻第 6 号) 495-502 頁 (1996年 6 月 1 日)

<図書紹介>ピーター・バーク編『ニュー・ヒストリーの現在 — 歴史叙述の新しい展望 —』人文書院

松井良明

スポーツ史学会会報『ひすば』No.33, 4-5 頁

(1996年 8 月19日)

賭と近代スポーツ

松井良明

日本体育学会第47回大会 (千葉大学) ・スポーツ人類学専門分科会シンポジウム『賭とスポーツの人類学』

(1996年 9 月25日 講演)

なもで踊りの研究 — 「布留社南無手踊」をめぐって —

松井良明, 橋本紀美 (安堵町歴史民俗博物館)

日本体育学会第47回大会 (千葉大学)

(1996年 9 月27日 講演)

第2 言語における照応関係の習得について：意味・機能的分析に基づく考察

松林城弘

全国英語教育学会仙台研究大会

(1996年8月1日 講演)

英語授業Q & A

樋口忠彦（近畿大），國方太司，高島英幸（兵庫教育大），高橋一幸（神奈川大），巽 俊二（大阪府教育センター），守屋雅博

中教出版（平成8年3月20日出版）

Motions of trivial links, and ribbon knots.

Yoshihiko Marumoto, Yoshiaki Uchida, and Tomoyuki Yasuda.

Michigan Mathematical Journal, Vol.42
No.3(1995) 463–478.

奈良工業高等専門学校 研究紀要第32号

平成9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

RESERCH REPORT

OF NARA NATIONAL COLLEGE OF TECHNOLOGY

NO. 32, 1996

CONTENTS

Thermal Stability and Hydrogen Embrittlement on Amorphous Alloy	Yasuyoshi IWAI	1
Achievement of Negative Pressure in a Berthelot Tube Evaporated with Au	Kazuki HIRO	7
Influence of Atmosphere Gases on Tool Wear in Cutting of Sintered Steel	Tadahiro WADA	11
Study of Signal Processing Using Scale - Space Filtering and Morphological Filtering	Shigeki DOI	17
An Analysis of Forgeries for Automatic Writer Verification	Yoshikazu NAKAMURA	21
A Method of Security Managements in WWW	Hirokazu NARITA	25
Computer Simulation of Operation in Resonance Circuit for Support of Experiment	Takashi KURIMOTO	29
Computer Simulation of Characteristics as Regulator in Multivariable Control System	Takashi KURIMOTO	35
Performance of the Mean Field Learning Algorithm for Boltzmann Machines II	Fumio ASAI and Tsuneshi MURANAKA	43
σ Neuron Cell and Its Applications	Ryo IGARASHI, Jun KOBAYASHI, Susumu KANAHORI and Yasuyuki FUJIWARA	49
A Study of Assembly Language Learning Tool by the Object - Oriented Approaches	Hideo KUDO, Hitoshi OHNISHI, Sakae WAKAMIYA and Yuji MATOBA	55
Analysis of Computational Complexities of Pattern Parallel Fault Simulation on Content		
Addressable Memory Processor	Tadashi SEKO	61
Effects of a Preceding Bubble on Formation of Bubble through a Single Nozzle	Kaori ABE and Mikio KAWAGOE	67
On the Completeness with Kripke Frames for Fuzzy Algebras	Kenichi ARAGANE	71
The Spoils of Poynton Reconsidered	Etsuo KATAYAMA	79
A Study of Democracy on <i>Shunsuke TSURUMI</i>	Tsuneyuki KIMURA	92
'Kodomotachi(Children)' in Natsume Sosekis <i>Gubijinsou</i>	Mitsuhiro TAKEDA	104
A study on Kaga Otohiko's <i>Senkoku</i>	Seiji HOSOI	112
Abstracts		113
Research Activities in 1995~1996		119