

研 究 紀 要

第 36 号

平成 12 年度

奈良工業高等専門学校

目 次

| | | |
|---|--|-----|
| 衝撃強さとAE発生との相関について | 市瀬 辰己・岩井 保善 | 1 |
| 電石不織布による空気清浄空管の開発 | 下之 征人・坂本 雅彦 | 5 |
| 蒸発により誘起される薄い液層内に生ずるベナード対流 | 鈴木光太郎・坂本 雅彦 | 9 |
| 陽に与えられない環境における多足ロボットの進化的歩行獲得 | 平 俊男・飯田 賢一 | 15 |
| ピンオンディスク摩擦・摩耗試験機的设计 | 廣 和樹・和田 任弘 | 21 |
| ビデオ・クリップにおける映像と音響の関連性 | 土井 滋貴 | 25 |
| 同位体ガスレーザー発振を用いた同位体濃度比測定 | 松島 朋史・川那辺 純一・前川 寛・細美 昇平・張 吉夫 | 29 |
| Visual Basic を用いた教育用制御プログラムの開発 | 宮田 正幸 | 35 |
| 低学年における定期試験と学習時間に関する考察 | 飯田 賢一・松尾 賢一 | 39 |
| 複数のセンサ入力による自律型移動ロボット制御の基礎研究 | 道下 貴広・岸下 晴亮・阪部 俊也 | 45 |
| 「人工筋肉」と「超音波モータ」に関する研究動向 | 矢野 順彦 | 51 |
| Combined Iterative Algorithm for Nonlinear Elements in Electromagnetic Transient Simulation | Kazuo Yamamoto, Garth Irwin, Omprakash Nayak and Akihiro Ametani | 59 |
| TMSAT-1の画像データに関する研究 | 浅井 文男 | 67 |
| ObjectFlowによる分散ソフトウェア設計手法 | 工藤 英男・臼井 義美 | 73 |
| シミュレーテッドアニーリングを用いたCMOS組合せ回路の最大同時スイッチングゲート数の評価 | 世古 忠・大原 誠 | 79 |
| A Competitiveness Coefficient of Online Edge-Coloring Algorithm | Masakuni TAKI, Mikihiro SUGIURA, Toshinobu KASHIWABARA | 83 |
| どこでも無線LAN環境「おかもちくん」構築のための予備的考察 | 武藤 武士・平 俊男・村尾 元・中山 満子 | 89 |
| Self-Rewarded RAE: 学習の合理性と高速性とを両立させた経験強化型学習法 | 内田 圭・渡邊 亮介・山口 智浩 | 97 |
| RAE-PIA: 報酬獲得効率を最大化する政策の強化学習 | 山口 智浩・石村 健二 | 101 |
| 気泡塔型培養装置における菌体ペレット懸濁系のペレット濃度の測定 | 河越 幹男・出口 正揮 | 107 |
| 弱半束の決定問題とシーケントによる形式化 | 荒金 憲一 | 111 |
| スパン結び目のリボン表現ともろて型 | 安田 智之 | 117 |
| 視点人物再現 | 片山 悦男 | 123 |
| 高専生に〈工業英語〉は必要か | 加地 朱 | 135 |
| Vygotsky's Contributions and Flaws through Cognitive and Linguistic Development | Naoshi KANAZAWA | 141 |
| 鶴見俊輔のプラグマティズムについて | 木村 倫幸 | 145 |
| カラ、ノデ、タメの使い分けと継起表現〜テについて(韓国語との対照をふまえて) | 金 亨哲・鍵本 有理 | 153 |
| 論文抄録 | | 165 |
| 教官研究活動一覧 | | 167 |

衝撃強さと A E 発生との相関について

市瀬辰己・岩井保善

Correlation Between Impact Strength and Acoustic Emission Events

Tatsumi ICHISE and Yasuyoshi IWAI

In order to investigate the relation between the impact strength and acoustic emission (AE) events, Charpy impact tests were performed on the V notched specimens of quenched and tempered SCM435.

The conclusions obtained were as follows :

- (1) The impact strength decreased remarkably with tempering temperature from 300°C to 600°C and it was found that there were good correlations between the variation of the impact strength and that of AE cumulative counts.
- (2) AE wave patterns showed burst type in impact tests and AE root mean square values were not affected by the impact strength.

1. 緒 言

A E (Acoustic Emission) とは、個体が変形もしくは破壊するとき解放される弾性エネルギーが弾性波として伝播していく現象であり、材料内の微視的および動的過程によく対応している。したがって、A E を観測することによって、疲労亀裂の進展挙動¹⁾をはじめ、応力腐食割れ試験²⁾や破壊靱性試験³⁾等の材料強度学的研究分野や構造物の健全性評価に応用されてきた。また、最近では変換子・検出器等を含む A E 計測技術の性能向上に伴って、多数のセンサーを用いて A E 波の到達時間差を求めることによって、A E 発生源の位置標定が可能となり⁴⁾、落石や地すべり現象、さらに現在問題になっているトンネル内のコンクリート崩落等土木建築分野の異常検出・監視への応用が期待されている。

そこで、本研究では、上述の崩落事故を含め建築物や機械構造物などの損傷検査に A E 計測技術を応用することを目的とし、その基礎的研究として、静的強度の異なる部材に衝撃荷重が作用した場合の A E 発生現象について実験的検討を行ったのでその結果について報告する。

2. 実験方法

2.1 材料および試験片

本実験に用いた材料は、構造用合金鋼 S C M 4 3 5 で、

その化学成分を表 1 に示す。試験片は図 1 に示すように

表 1 S C M 4 3 5 の化学成分(%)

| C | S i | M n | P | S | C r | M o |
|---------------|---------------|---------------|-------------|-------------|---------------|---------------|
| 0.33~ 0.38 | 0.15~ 0.35 | 0.60~ 0.85 | 0.030 以下 | 0.030 以下 | 0.90~ 1.20 | 0.15~ 0.30 |

中央部に深さ 2 mm の V 型の切欠き(45°)を有する板状であり、圧延方向の影響を調べるため、切欠き方向は図 2 に示すような二方向とした。試験片は機械加工の後、真空炉中にて、850°C30min 加熱後油焼入れを行い、その後各温度で 2 時間保持後油焼戻しを施した。

表 2 に熱処理後の主な機械的性質を示す。ここで、試

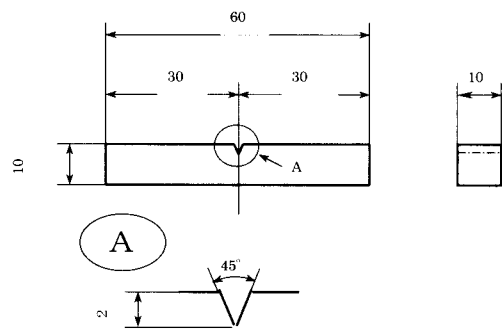


図 1 シャルピー衝撃試験片の形状

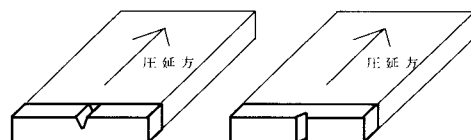


図 2 圧延方向に対する切欠き位置

表2 SCM435の機械的性質

| 熱処理 | 降伏強さ [MPa] | 引張強さ [MPa] | 伸び [%] |
|---------|---------------|---------------|-----------|
| 850℃焼入れ | 1 4 8 0 | 2 0 2 0 | 4.5 |
| 300℃焼戻し | 1 4 4 1 | 1 6 3 7 | 9.1 |
| 400℃焼戻し | 1 3 5 3 | 1 4 7 1 | 11.0 |
| 500℃焼戻し | 1 0 9 8 | 1 1 8 6 | 16.5 |
| 600℃焼戻し | 9 3 4 | 9 9 5 | 19.8 |

試験片は焼入れ材で静的強度が最高値を示し、焼戻し温度の上昇とともに一様に低下しているのがわかる。

2.2 衝撃試験とAE計測

各試験片の衝撃試験には、森試験機製作所製シャルピー衝撃試験機(JIS B 7722 : 振子質量 24.961Kg、振子長さ 750.4mm、持ち上げ角度 146°)を用いた。

ここで、試験片を破断させるためのエネルギーU [J]は、

$$U = W g R (\cos \beta - \cos \alpha) \quad (1)$$

で与えられ、シャルピー衝撃値 [J/cm²]は、

$$\text{シャルピー衝撃値} = U / A \quad (2)$$

で求められる。ただし、

- W : ハンマの質量 [Kg]
- R : 回転中心からハンマ重心までの距離 [m]
- g : 重力加速度 [m/s²]
- α : ハンマの持ち上げ角度 [°]
- β : 破断後の持ち上がり角度 [°]
- A : 破断面の断面積 [cm²]

である。

衝撃試験時のAE計測は、試験片近傍の試験機本体に固定された、AEセンサで電気信号に変換され、プリアンプで増幅後、ディスクリミネータにより取り出された

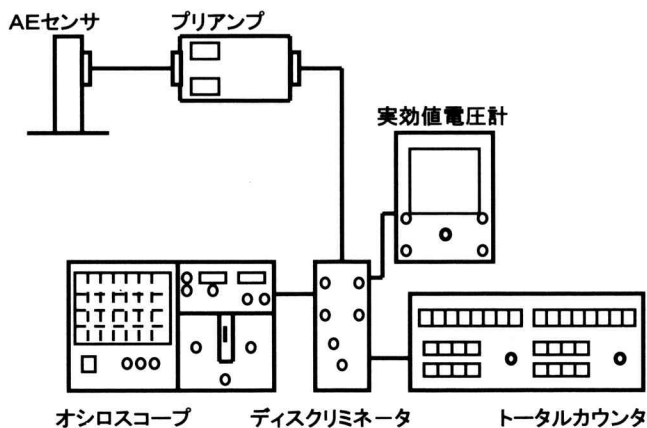


図3 AE計測装置の概略

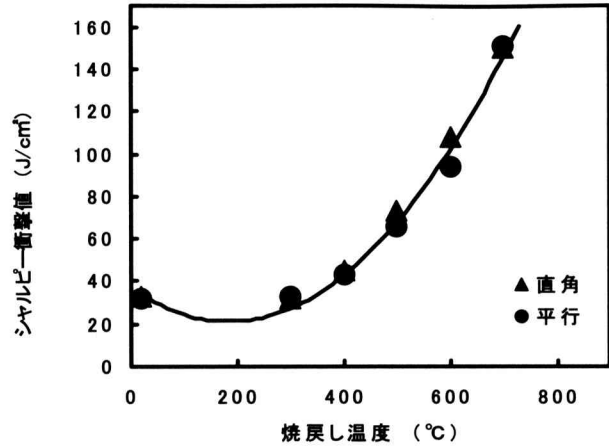
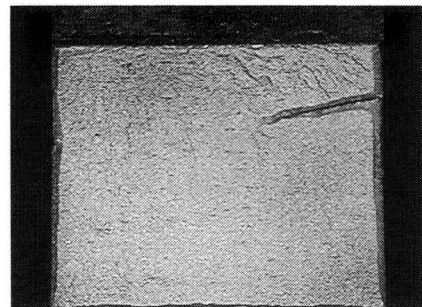
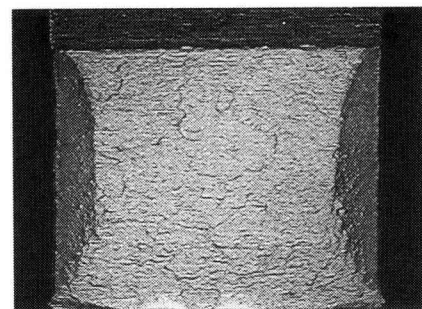


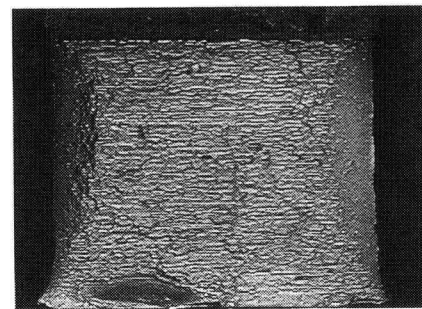
図4 焼戻し温度とシャルピー衝撃値



(a) 850℃焼入れ



(b) 400℃焼戻し



(c) 600℃焼戻し

図5 衝撃破面

AE発生総数はトータルカウンタを経由し、ペンレコーダに記録するとともに実効値電圧の変化もあわせて調査した(図3)。

3. 実験結果および考察

図4に各熱処理材について、切欠き方向の異なる場合の衝撃値の変化を示したものである。図より切欠き方向の相違による衝撃値への影響は特に認められず、衝撃値は低温焼戻しせい性による、200~300℃付近で極小値を示し、400℃以上の温度で急激な上昇傾向を示す。この変化傾向は、400℃付近で観察されたマルテンサイトからソルトバイトへの組織変化および図5に示す破面観察とに関連しているものと考えられ、よい対応を示している。

一方、図6は、衝撃破壊時に発生したAE発生総数と焼戻し温度の関係を示したものである。AE発生は、400℃までの低温焼戻し温度で最大値を示し、焼戻し温度の上昇とともに一様に減少しており、この変化傾向は

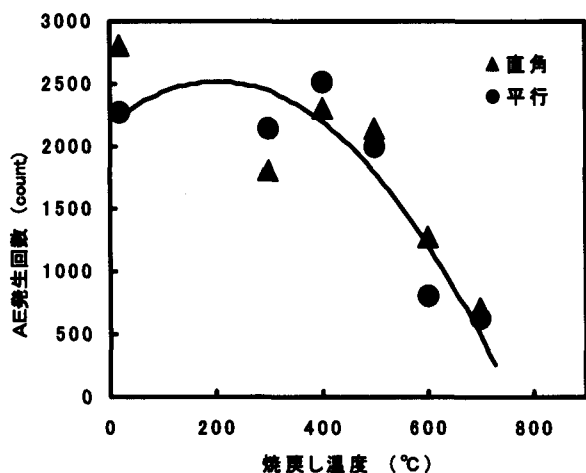


図6 焼戻し温度とAE発生数

図4とよい相関性が認められる。また、試験片破断時に発生するAE波形は突発型として現れ、焼戻し温度には影響されないことがわかった。

図7は、衝撃値とAE発生数の関係を示したものである。少しバラツキが見られるものの延性の増加とともに、AE発生数がほぼ直線的に減少することが認められた。

一方、図8に衝撃値と実効値電圧の関係および図9にAE発生回数と実効値電圧の関係を示す。これらの図より、実効値電圧はAE発生数には依存せず、一定値を保つことが認められ、衝撃強さの影響を受けないことが明らかとなった。

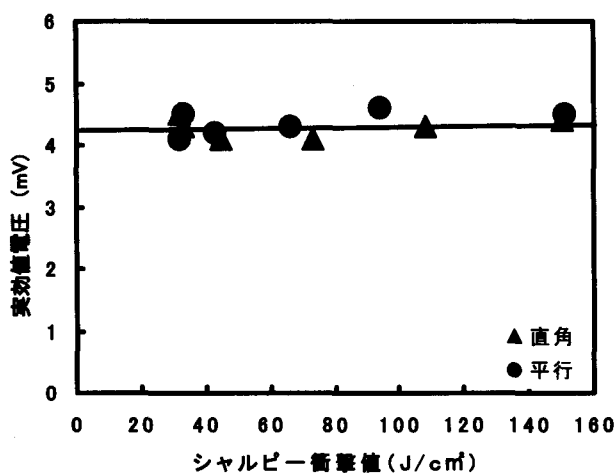


図8 シャルピー衝撃値と実効値電圧

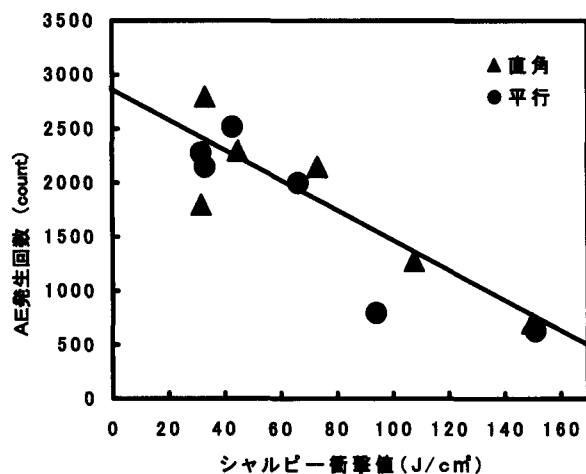


図7 シャルピー衝撃値とAE発生数

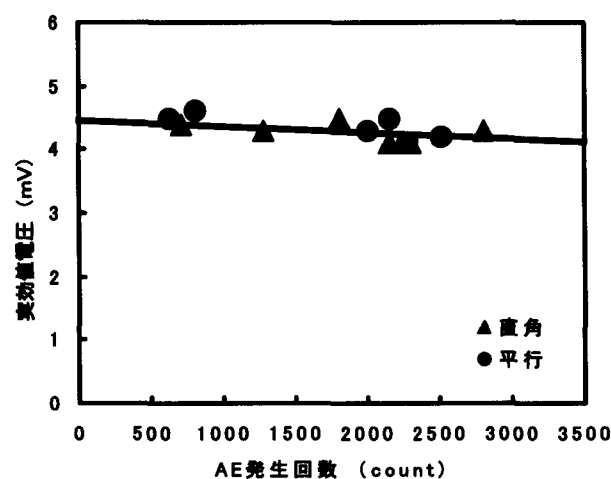


図9 AE発生数と実効値電圧

4. 結 言

本研究では、構造用合金鋼 S C M 4 3 5 を用いてシャルピー衝撃試験を行い、衝撃強さと A E との相関について検討した。その結果、明らかになった点を以下に述べる。

- (1) 300℃ 以上の焼戻し温度領域では、温度の上昇とともに衝撃値は急激な上昇傾向を示した。
- (2) 衝撃値の増加とともに A E 発生数は減少傾向を示し、両者により相関性が認められた。
- (3) 衝撃破壊時の実効値電圧は、衝撃値に影響されず、A E 発生数にも依存しないといえる。

最後に、本研究の一部は、平成 1 2 年度科学研究費補助金奨励研究 (B) の援助により、実施したものである。

参考文献

- 1) 中佐、永田：配管の疲れ損傷追跡への A E 法の適用について、圧力技術, 31, 2 (1975), 72~79.
- 2) Magnami, N. J. : Acoustic Emission and Stress-Corrosion Cracking of U-4 (1/2) wt % Nb, Exp. Mech, (1973), 526~530.
- 3) Gus', I. S. & Finkel', V. M. : Relationship between the Spectrum of Waves Emitted by Energy Reserve at its Tip, 14(1973), 1619~1622.
- 4) 羽田野：A E の定量的解析法, 日本音響学会誌, 31, 1, 3/10(1975).

電石不織布による空気清浄空管の開発

下之征人*1・坂本雅彦

Development of Air Purity Tube by Using an Electromagnetic Non-Woven Fabric

Masato SHIMONO and Masahiko SAKAMOTO

外部電界が存在しない状態でも恒久的に電気分極を保持し、周囲に対して電界を形成する物質を電石という。この特性を持ちつつ超極細繊維である電石不織布は、高い吸着性を有するため、食品加工はじめ電子・精密機器・薬品工業の各製造行程において利用されている。本研究では、電石不織布を空気清浄空管として用いた際の流動特性を詳細に調べることを主な目的としている。その結果、電石不織布を用いた空気清浄空管内の流れとして、一次元の流動モデルを提案するとともに、清浄空管内の圧損が空気流入量の増加に伴いほぼ単調に減少すること、清浄空管の形状は流入空気流量の変化に依存せず、ほぼ同じ形状を確保することなどを明らかにした。

1. 緒 言

外部電界が存在しない状態でも恒久的に電気分極を保持し、周囲に対して電界を形成する物質を電石という。この特性を持ちつつ、超極細繊維である電石不織布は、水や薬品等に対する耐久性に優れており、また捕集効率の極めて高い吸着性能を有していることから、医療はじめ食品工業・半導体・電子工業・精密工業・薬品・化粧品などの様々な各製造分野において、毛髪やフケ、ホコリなどを吸着するマスクやキャップ、室内空間用の空気清浄用エアフィルターとして主に利用されている。最近では、各種高分子フィルムを用いて、安定で強い電石が開発されマイクロホン等の音響素子としても活用されている。

室内空間用の空調による空気清浄用のエアフィルターとして利用する場合、室内空間を無風かつ、均一な温度に確保する観点から、図1に示すようなソックタイプのエアフィルター（以下、これを空気清浄空管と呼ぶ。）として用いられている。その際、清浄空管内へ流入する空気が、管壁から流れ方向に沿う方向に連続的に流出するため、清浄空管の流れ方向に流量や管摩擦係数などが変化し、空管路として、その損失の見積もりが困難となっている。

臼井ら⁽¹⁾は、弾性管内の圧力・流量を独立に時間的に変動させる制御手法を提案し、その制御には弾性管の伸縮による壁面形状の変動が大きく影響していることなどを明らかにした。一方、菊山ら^{(2)~(4)}は、多孔質体からの流入を伴う円管流路内流れについて、その圧力降下の特性を理論的かつ、実験的に調べた。その結果、多孔質体からの流体の流入に伴い壁面摩擦係数が減少すること、流路の圧力低下量が流体の種類に依存することなどを明らかにした。これまで、電石不織布自体の圧力損失を調べた例はあるものの、管壁面からの空気の流出を伴う空気清浄空管として用いた際の流動特性に関する報告は見あたらないのが現状である。

本研究では電石不織布を空気清浄空管として用いた際の安定な流動条件を同定することを目的に、実際の設置状態を模倣した実験装置を用いて、清浄空管内流れの流動損失を測定し、その際の空管形状を観察した。また、流動損失が摩擦損失と運動量損失との和であるとして一次元の流動モデルを提案し、実験結果との比較を行った。これらの結果について、以下に述べる。

2. 理論解析

電石不織布を空気清浄用エアフィルターとして用いた際の清浄空管管路内の一次元流動モデルを図2に示す。清浄空管は、ソックタイプの形状を持ち、管路に空気が流入すると、管路流れ方向に管壁面周囲全方向より空気

*1 奈良高専機械制御工学専攻

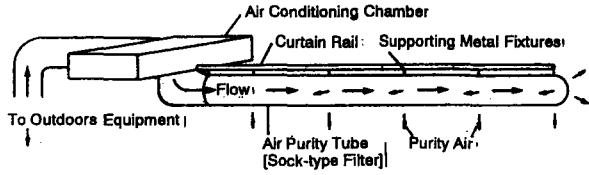


図1 ソックタイプエアフィルター

が流出しながら流動する。なお、流れは定常流れと仮定する。したがって、管路流れ方向の任意の流路断面 x における平均流速を U_m 、圧力を p 、一方、流路断面 $x+dx$ における平均流速を U'_m 、圧力 p' をとすると、

$$U_m \frac{\pi D^2}{4} - V_w \pi D dx = U'_m \frac{\pi D^2}{4} \quad (1)$$

を得る。ここで、 D は清浄空管の直径を表す。清浄空管に空気が流入する際、流入量の大きさにより壁面の形状は変化するが、清浄空管の直径及び断面積をここでは一定とした。一方、微小区間 dx における運動量の変化から、

$$-dp = p dx \frac{U_m(U_m - U'_m)}{dx} = p U_m V_w \frac{4}{D} dx \quad (2)$$

で与えられる。ここで p は空気の密度を表す。微小区間 dx で生ずる圧力低下を、 x 方向の運動量変化による圧力低下と管壁面摩擦による損失の和と定義し、断面における圧力勾配は次式で表される。

$$-\frac{1}{p} \frac{dp}{dx} = U_m V_w \frac{4}{D} + \lambda \frac{1}{D} \frac{U_m^2}{2} \quad (3)$$

ここで、 λ は管摩擦係数であり、層流の場合には $\lambda = 64/R_e$ で、乱流の場合にはブラジウスの式 $\lambda = 0.3164 R_e^{-0.25}$ で近似される。さらに、管壁面から流体が通過する際の圧力勾配 dp/dx と流速 V_w との間には、ダルシイ (Darcy) の法則⁽⁵⁾を用いて、

$$V_w = \frac{k}{\mu} \frac{k(p_\infty - p)}{T} \quad (4)$$

と与えられる。ここで、 k は管壁面から大気中への空気の透過率を表し、一定値をとる。また、 μ は粘性係数を、 p_∞ は清浄空管外気圧力を、 T は管壁面の厚さを、それぞれ表す。

(1)式、(3)式、そして(4)式を用いて整理すると、清浄空管管路内の流動速度に関し、

$$\frac{d^2 U_m}{dx^2} = \frac{pk}{\mu TD} \left(4U_m \frac{dU_m}{dx} - \frac{2\lambda}{D} U_m^2 \right) \quad (5)$$

の2階常微分方程式を得る。上式が管壁面からの流出を伴う清浄空管内流れの支配方程式となる。したがって、清浄空管管路内の流速は、それぞれの空気流入条件のもと、4次精度精度のRunge-Kutta法を用いて求められる。計算では、 $L = 5 \times 10^{-10} \text{ m}^2$ 、 $p = 1.205 \text{ kg/m}^3$ 、 $T = 10^{-3} \text{ m}$ 、 $\mu = 1.82 \times 10^{-5} \text{ Pas}$ 一定とした。

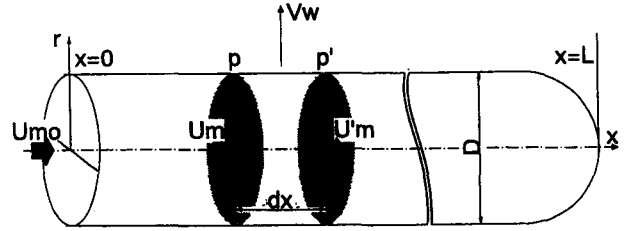


図2 清浄空管内一次元流動モデル

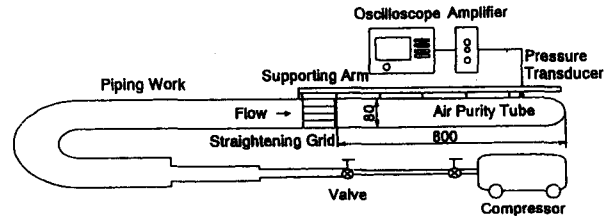


図3 実験装置概略

3. 実験装置及び方法

実験に用いた実験装置概略を図3に示す。圧縮機から空気は高圧空気用ホース及び各種配管を介して全長 L が80cm、直径 D が5 cmのソックタイプのエアフィルターへ流入する。流入する空気の流量はおよそ、 $3.88 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} \sim 7.26 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ であり、配管出口の静圧はおよそ数十Pa前後である。この値は、汎用エアコンの機外静圧とほぼ同じ値である。本来は、送風機あるいはファンを用いるべきではあるが、ここでは静圧の十分な低下を確認した後、圧縮機を用いた。

実験では、清浄空管内の静圧を清浄空管上部に設置した支持棒より圧力センサーを挿入し、流れ方向に6点測定した。清浄空管の圧損は測定した静圧から、空間入口の静圧を差し引くことにより求めた。さらに、清浄空管管壁から流出する空気の状態を観察するため、ビデオを用いて空管の流れ方向及びスパン方向から観察した。以下に、これら実験結果について述べる。

4. 結果及び考察

図4に、管壁面静圧の測定から得た管路圧力損失 Δp を空管流入速度の動圧で無次元化した $\Delta p / (p U_{mo}^2 / 2)$ と、管路の長さを全長で除した x/L との関係を示す。流れ方向の圧損は流路の長さが大きくなるに伴いほぼ単調に減少していること、その値は R_e 数の増加にともない増加していることが分かる。なお、図中には実線と破線、そして一点鎖線にて式(5)を用いて求めた計算結果を示す。定性的に両者の傾向はほぼ一致しており、提案した一次元流動モデルが清浄空管内流動特性をある程度説明していると考えられる。

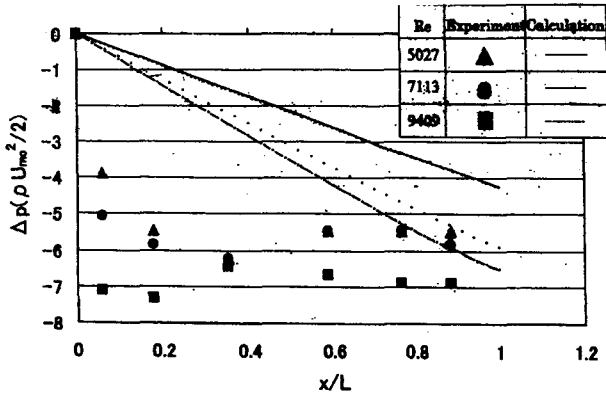
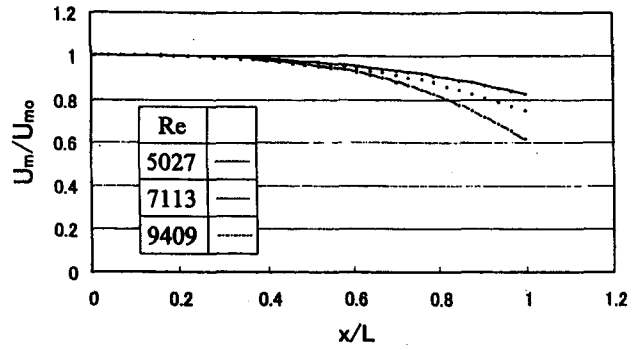


図4. 清浄空管管軸方向の圧損



(a) 管軸方向の速度比

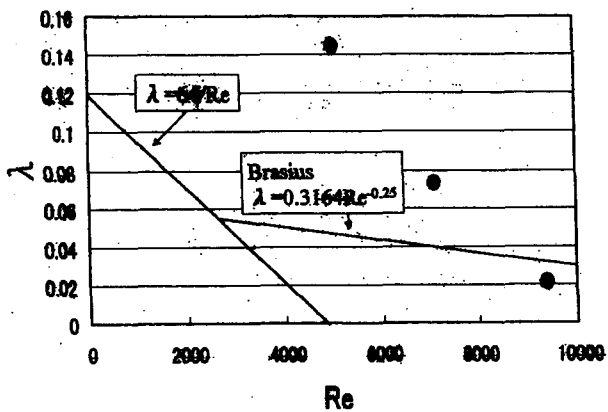
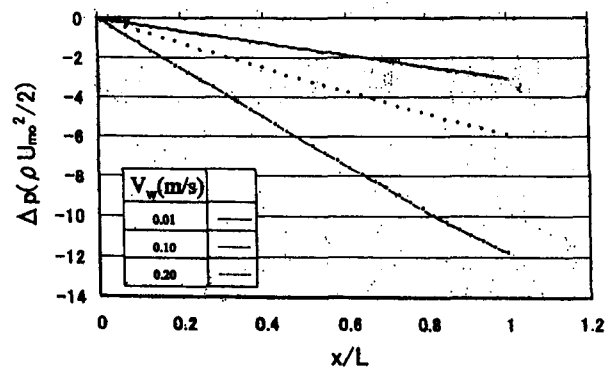
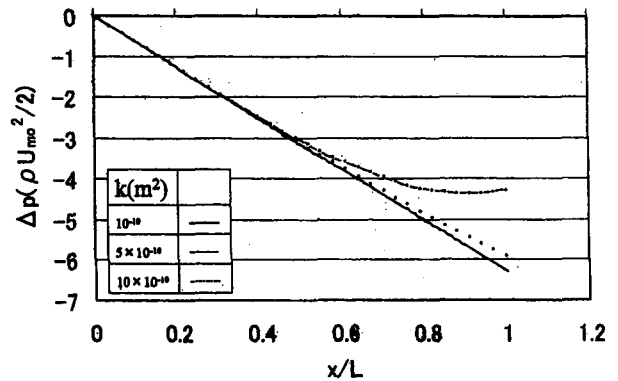


図5. 清浄空管管摩擦係数



(b) 管壁面流出速度の影響



(c) 透過率の影響

図6. 一次元流動モデルの特性

図5に圧損の値から、Darcy-Weisbachの式を用いて求めた管摩擦係数 λ と Re 数との関係を示す。なお、図中には実線にて円管内層流と乱流の管摩擦損失係数の結果を示す。清浄空管管摩擦損失係数の値は、 Re 数の増加に伴い減少していることが分かる。その値は円管内流れの結果に比べ著しく増加していることが分かる。これは、不織布の壁面粗さが円管の場合に比べ粗く、結果として管摩擦係数の増大をもたらしていると考えられる。

(5)式の計算により得られた清浄空管流れ方向の速度比の分布を図6(a)に、清浄空管流れ方向の圧力分布を管壁面からの流出速度 V_w パラメータにし図6(b)に、そして透過率 k パラメータに図6(c)にそれぞれ示す。空管流れ方向の速度は管軸方向のある長さまではほぼ一定の値を維持し、下流方向に急激に減速していることが分かる。一方、空管管壁面からの流出速度の増加に伴い空管流れ方向の圧損が増加していることが分かる。これは管壁面からの流出速度の増加に伴い静圧が大気圧まで急速に回復するためであると考えられる。さらに、空管流れ方向の圧損は透過率の増加に伴い減少していることが分かる。透過率の増加に伴い管壁面の粗さの影響が小さくなり、結果として圧損の減少をもたらしたと考えられる。

図7に R_e 数を6822とした際の清浄空管の形状を示す。空管形状は流入する空気流量の変化に影響せず、ほぼ一定の形状を維持する。これは、空気流入流量の増加に伴い管壁から流出する空気の色が増加し、ほぼ一定の内圧まで上昇し、結果として一定の形状を確保していると考えられる。

今回の実験では、清浄空管管壁面から流出する空気の流出速度を測定しなかった。清浄空管を室内空調用エアフィルターとして適用する場合、体感的には $0.1\text{m/s} \sim 0.2\text{m/s}$ が理想とされている。また、計算では一次元流動モデルを仮定しており、サックタイプの形状を適用していない。空管内の流れでは、先端付近で流れがせき止められ、管路内圧力上昇をもたらすと考えられることから、これら事項については今後の課題としたい。

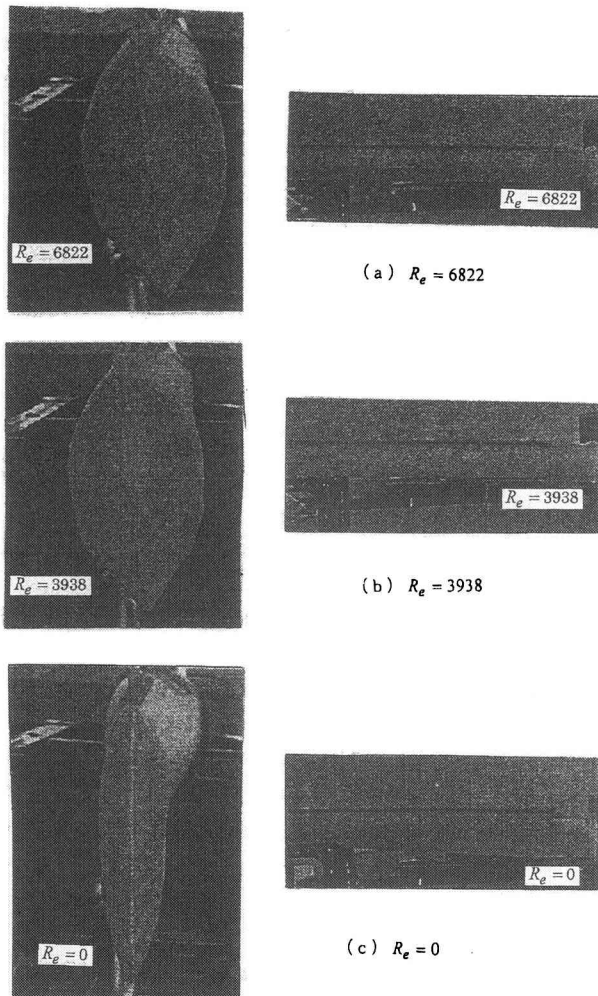


図7. 清浄空管の形状

5. 結 言

電石不織布を空気清浄空管とし適用し際の空気流動特性について、理論的かつ実験的に調べた。得られた知見は以下の通りである。

- (1) 電石不織布を用いた空気清浄空管内の流れとして一次元の流動モデルを提案した。
- (2) 清浄空管内の圧損は空気流入量の増加に伴い単調に減少するが、その値は円管の結果に比べ著しく大きくなる。
- (3) 清浄空管の形状は、流入する空気流量の変化に依存せず、ほぼ同じ形状を維持する。

謝 辞

清浄空管として本研究で用いた電石不織布をはじめ各種関連資料は、(株)サンロードよりご提供頂いた。ここに記して感謝申し上げます。また、実験など極めて敏速にかつ正確にいろいろご協力頂いた奈良高専機械工学科の反端一真君、樋口 豪君に心から感謝申し上げます。

文 献

- (1) 弾性管内の圧力・流量制御 (大動脈流れのシミュレーション)、白井 洋史等、日本機械学会流体工学部門講演会講演論文集、No.940-53, 1994-11.4..5
- (2) 多孔質体からの流入を伴う流路内の流れ、菊山功嗣等、日本機械学会第71期全国大会講演論文集、Vol.C, No.930-63, pp.503-505, 1993-10.2.4.
- (3) 多孔質壁からの流入を伴う円管内流れに関する研究、菊山功嗣等、日本機械学会第73期全国大会講演論文集、II, No.95-10, pp.3-4, 1995-9.11~13
- (4) 多孔質体から流路内への気液二相流流入特性に関する研究、長谷川豊等、日本機械学会第73期全国大会講演論文集、II, No.95-10, pp.5-6, 1995-9.11~13
- (5) 入門流体力学、G.K. Batchelor著、橋本英典、松信八十男ほか共著、東京電気大学出版局、1972.

蒸発により誘起される薄い液層内に生ずるベナード対流

鈴木光太郎^{*1}・坂本雅彦

ON the Mechanism of Benard Convection in a Thin liquid Layer Induced by Evaporation

Koutaro SUZUKI and Masahiko SAKAMOTO

本研究では、前報⁽¹⁰⁾で述べた解析モデルの結果をもとに、蒸発を伴う流体としてエタノールを用いた液層内温度分布の測定および対流パターンの可視化を行い、これら実験結果と比較した。その結果、自由表面にて蒸発を伴う薄い液層内に生ずる対流発生メカニズムが、これまでに提案した解析モデルで説明され得ること、蒸発を伴う液層内垂直方向の温度勾配が、時間の経過に伴い非線形に移行すること、表面張力により誘起される薄い液層内の対流に比べ、より小さな温度勾配で不安定な状態に移行することなどを確認した。

1. 緒 言

浮力により誘起されるレイレイ・ベナード対流⁽¹⁾、表面張力により誘起されるマランゴニ・ベナード対流⁽²⁾、そして両者の力が混在することにより誘起されるタイプ⁽³⁾のベナード対流の発生メカニズムについては、これまでに既に数多くの報告^{(4),(5)}がなされている。これら自然対流が薄い液層内で発生するためには、いずれも液層内垂直方向に負の温度勾配を必要とする。すなわち、液層下部が加熱されているか、あるいは液層上部が冷却されていることを必要とする。

一方、自由表面上にて蒸発を伴う薄い液層内に生ずる自然対流については、これまで Berg 等⁽⁶⁾や Block⁽⁷⁾が、実験的な検討を加えその結果を報告している。その報告では、液層表面に蒸発を伴う場合には、液層底部が冷却されているにも関わらず対流が発生すること、その原因として蒸発に伴う自由表面上の蒸発冷却や、あるいは表面張力の局所的に変動していることが対流の発生に影響していることなどを明らかにしている。

Chai 等⁽⁸⁾は、蒸発を伴う薄い液層内の対流について、液層下部を加熱・冷却・断熱条件のもと 1 2 種類の液体を用いて可視化した。その結果、液層底部が冷却されているにも関わらず自然対流が発生すること、その際液層内垂直方向の温度が、直線的な線形分布とならず非線形な温度分布を形成していることなどを明らかにした。し

かしながら、その対流発生メカニズムについては考察されていない。Yang 等⁽⁹⁾は、蒸発を伴う薄い液層内に生ずる対流発生メカニズムを説明するための解析モデルを提案しているが、本解析モデルの特性については、未だ詳細な検討がなされていない。

本研究では、前報⁽¹⁰⁾で述べた解析モデルの結果をもとに、蒸発を伴う流体としてエタノールを用いて液層内温度分布の測定および対流パターンの可視化を行い、これら実験結果を解析結果と比較した。これらの結果について、以下に述べる。

2. 実験装置及び方法

図1に本研究で試作した実験装置の概略を示す。実験装置は基本的にテストセクション底部の加熱・冷却を行うサーモプレート(井内盛栄堂 TP-80)、液層内の温度を時系列に測定する熱電対とデータロガー(DATAMARK)、液層上層部から対流パターンを撮影するカメラからなる。サーモプレートの温度は0℃から70℃の範囲で設定が可能であり、その精度は±1℃である。

テストセクション部は液層内温度測定用と対流パターン観察用に2種類用意した。温度測定用テストセクション部は、図2(a)に示すように、高さが25mm、幅が140mm、縦が20mmであり、対流パターン可視化用には図2(b)に示すように、高さが25mm、横100mm、縦100mmとした。いずれのテストセクション部にも側板には、アクリル板を使用し、底部には厚さ5mmの銅板を用いている。

* 1 奈良高専機械制御工学専攻

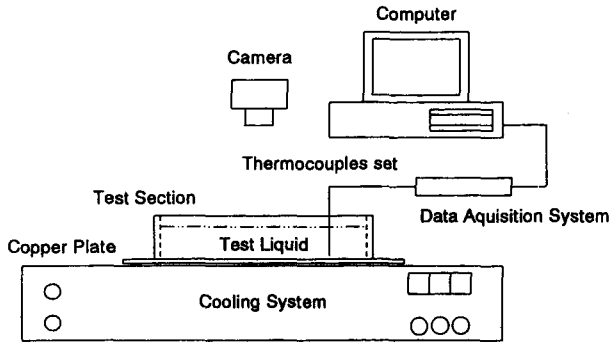
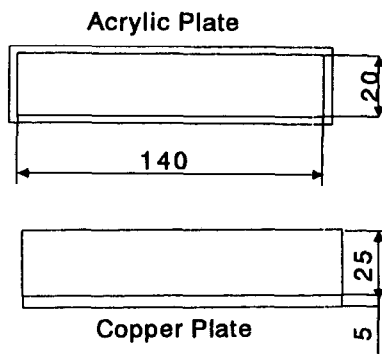
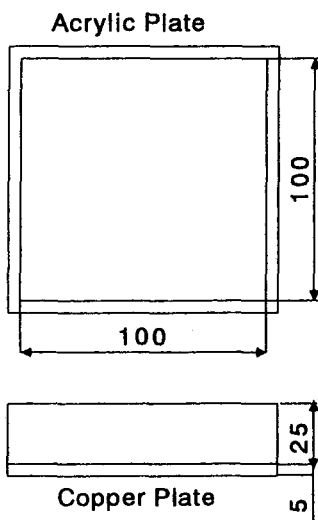


図1. 実験装置概略

実験は、図2(a)に示すテストセクション部にエタノールの液体を高さ8mmになるよう封液した。そして、液層自由表面上に発生する蒸発がとまるまで蓋をし、蒸発が停止したことを目視にて確認後、図3に示すように、液層底部から垂直方向に1mmの等間隔にて7点時系列の変かを測定した。この際、液層底部の銅版設定温度としては、サーモプレートにより、加熱の場合には常温より約2.5℃上昇させ、加熱も冷却もしない場合、そして冷却の場合には常温より約1℃冷却の3条件で実験を行った。なお、実験に使用した熱電対は正常に動作すること検定した後、使用した。液層内の対流パターン観察には、



(a) 液層内温度測定用



(b) 対流パターン可視化用

図2. テストセクション部の構造

予めエタノールの液体にアルミ粉末を混入させ、この液体を図2(b)に示したテストセクション部に封液した後、対流パターン可視化した。表1に、実験に使用したエタノールの物性値を示す。

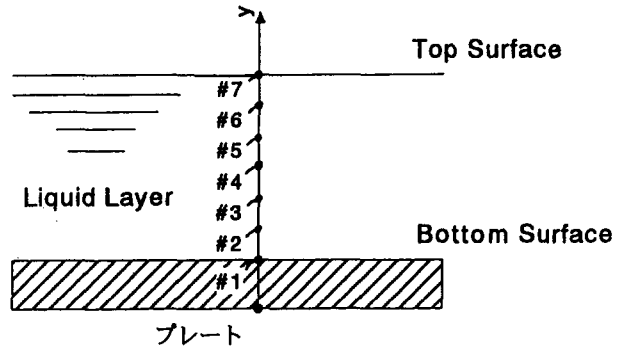


図3. 温度測定箇所

表1. エタノールの物性値

| | ρ (kg/m ³) | λ (w/m°C) | ν (m ² /s) | α (m ² /s) | σ (N/m) | SIN (m ³ /°C) | β (1/°C) |
|---------|-----------------------------|-------------------|---------------------------|------------------------------|-----------------------|----------------------------|----------------------|
| Ethanol | 789.5 | 0.182 | 1.52×10^{-6} | $.934 \times 10^{-7}$ | 2.23×10^{-2} | $.901 \times 10^{-3}$ | 1.1×10^{-3} |

3. 実験結果および考察

図4に液層底部を加熱した際の液層内温度の時系列へ測定結果を示す。測定開始から180秒後に液層内の対流が停止したことを確認した後、テストセクション部の蓋を開けたと同時に対流が観察された。以下の実験についても同じ結果となった。図4から自由表面上の蒸発冷却により液層内の温度が全体的に低下した後、ほぼ一定の値を維持していることが分かる。これは蒸発冷却に伴い熱伝達と液層底部の熱伝導とが釣り合い状態を保ち、結果としてほぼ一定の温度を保っていると考えられる。その際、液層内垂直方向の温度は、液層底部に比べ上層部で高く、概ね負の温度勾配を形成していることが分かる。

図6に、液層底部を加熱もしくは冷却しない場合の温度時系列の測定結果を示す。加熱した場合に比べ、液層内の温度時系列は、時間の経過に伴い多少変動していることが分かる。その際の液層内温度分布は、図7に示すように、液層内垂直方向の温度分布が負の勾配を形成し、時間の経過に伴いその勾配が次第に増加していることが分かる。

図8に、液層底部を冷却した場合の温度時系列の測定結果を示す。測定開始より、温度時系列は前述した結果に比べ、大きく変動し、時間の経過に伴い全体的に温度が低下していることが分かる。図9に、その際の液層内温度分布を示すが、正の温度勾配から次第にその勾配が小さくなり、液層上層部で温度勾配は正となり、下層部では負の温度勾配を形成していることが分かる。ここで

は示していないが、液層内の対流を目視したところ、液層上層部でのみ対流が発生していることが分かった。この時、対流の発生は自由表面上の蒸発による影響よりむしろ浮力によって対流が発生していると考えられる。

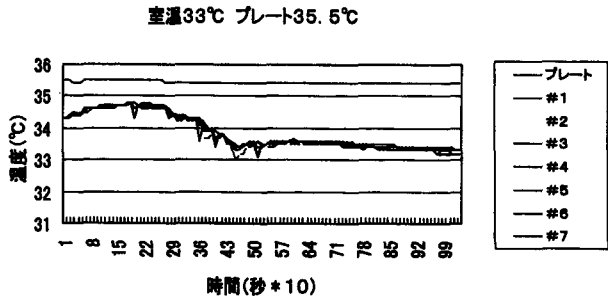
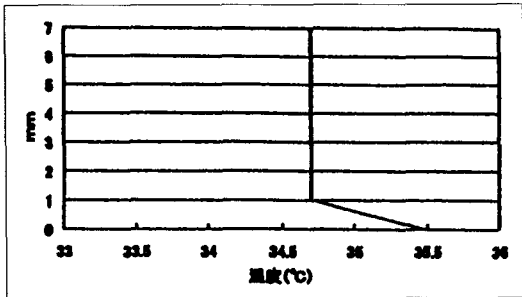
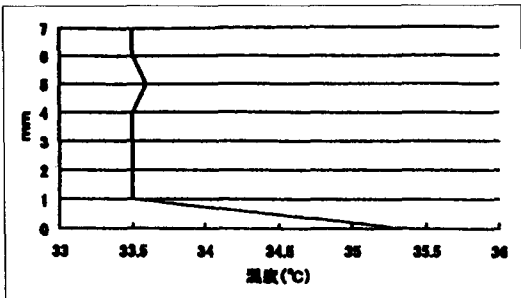


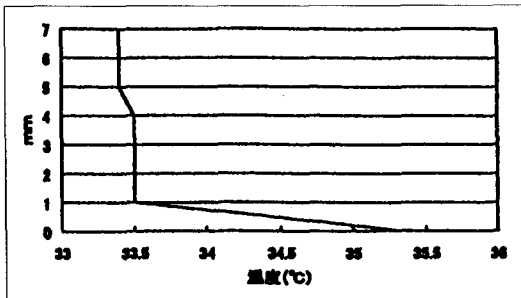
図4. 液層内温度の時系列 (加熱)



(a) 蒸発冷却直後



(b) 蒸発冷却5分後



(c) 蒸発冷却10分後

図5 液層内温度分布 (加熱)

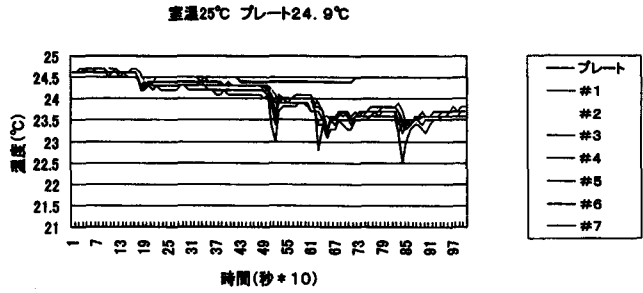
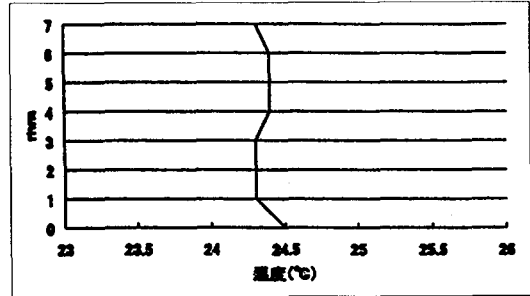
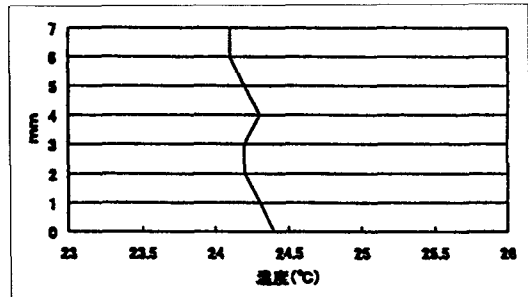


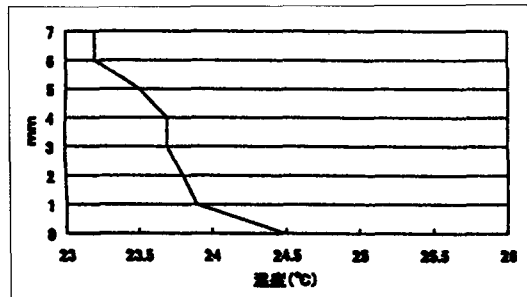
図6. 液層内温度の時系列 (加熱・冷却なし)



(a) 蒸発冷却直後



(b) 蒸発冷却5分後



(c) 蒸発冷却10分後

図7. 液層内温度分布 (加熱・冷却なし)

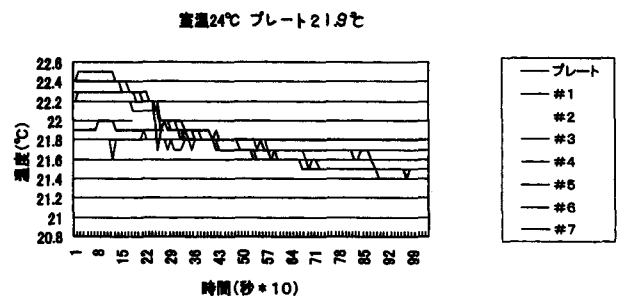
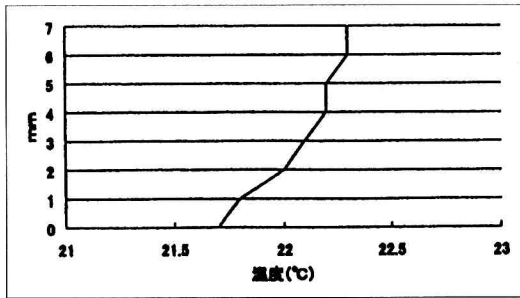
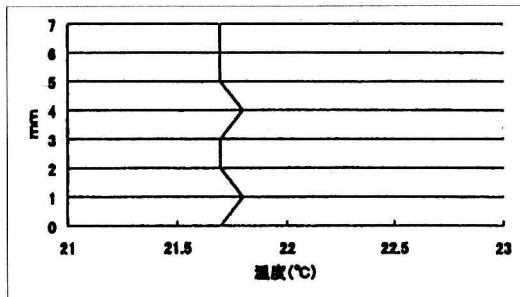


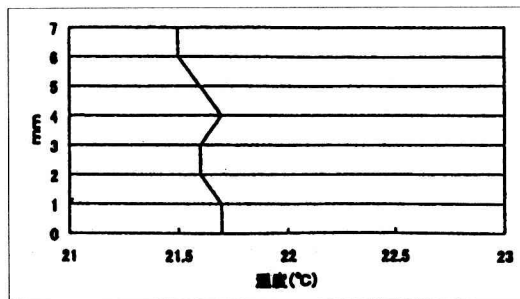
図8. 液層内温度の時系列 (冷却)



(a) 蒸発冷却直後



(b) 蒸発冷却 5 分後



(c) 蒸発冷却10分後

図9. 液層内温度分布 (冷却)

前報で述べた解析結果から、臨界マランゴニ数の値は液層底部壁面が熱伝導条件のもと $B_c = 57.598$ となる。この結果は、自由表面上にて表面張力により誘起される臨界マランゴニ数の値に比べおよそ28%程度低い結果である。自由表面上にて蒸発を伴う液層の場合には、液層底部と表面上の温度が十分小さくとも、液層の厚みが十分小さくとも不安定状態に移行し、結果として対流が発生する。今回の実験では、液層の厚みを8mm一定としたが、この場合臨界マランゴニ数の結果から、対流が発生する条件として液層上下間の温度差は僅かに0.01°Cであり、今回の測定結果からも対流が発生する温度範囲にある。この条件からすれば例えば液層の厚みが1mmであっても0.07°Cの温度差であり、自由表面上に蒸発を伴う場合には、蒸発を伴わない液体に比べ不安定な状態に移行し易いことが分かる。

図10に液層底部を冷却した場合の対流パターンの可視化結果を示す。液層底部の温度設定、いずれの条件につ

いても対流は発生しており、発生したセルの波数は加熱した場合が最も大きかった。

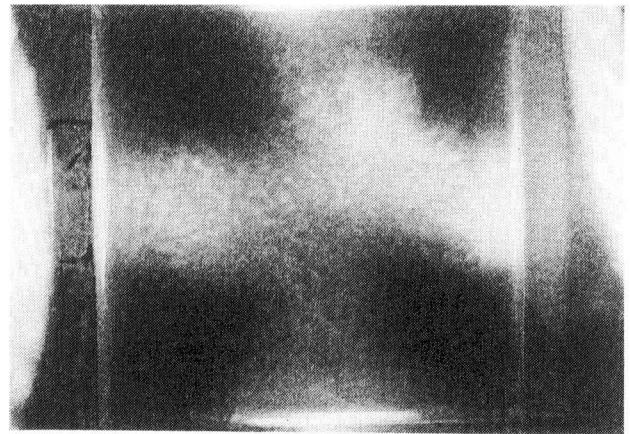


図10. 対流パターン (冷却)

4. 結 言

自由表面上にて蒸発を伴う液体として、エタノールを用いて液層内温度分布の測定および対流のパターンを可視化し、これら実験結果を解析結果と比較した。得られた知見を以下に述べる

- (1) 液表面上にて蒸発を伴う薄い液層内に生ずる対流発生メカニズムが、本解析モデルで説明され得ることを確認した。
- (2) 蒸発を伴う液層内の垂直方向の温度勾配 (分布) は、時系列には線形の温度分布とはならず非線形に変動する。
- (3) 下部壁面を冷却した場合にも対流が発生することを確認し、この時液層垂直方向の温度勾配は非線形な温度分布を形成する。
- (4) 蒸発を伴う液層内に生ずる対流は、従来の結果に比べ、より小さな層の厚みあるいはより小さな温度勾配でも発生する。

謝 辞

実験にご協力頂いた奈良高専機械工学科の野間敬喜君、北村耕一君、種村光史君、木田智也君に感謝の意を表します。

文 献

- (1) On Convection Currents in a Horizontal Layer of Fluid When the High Temperature is on the Under Side, L. Rayleigh, Philosophical Mag., vol.32, No.192, pp. 529-546, 1916.
- (2) On Convection Cells Induced by Surface Tension, J. R. A. Pearson, J. Fluid Mech., vol.4, pp.489-500, 1958.
- (3) Surface Tension and Buoyancy Effects in Cellular Convection, D. A. Nield, J. Fluid Mech., vol. 19, pp.341-352, 1964.
- (4) Benard Cells and Taylor Vorticies, G. K. Batchelor and L. B. Freund, CAMBRIDGE University, 1993.
- (5) Convection, M. G. Verlade and C. Normand, Scientific American, vol.243, pp.92-108, 1980.
- (6) Natural Convection in Pools of Evaporating Liquids, J. C. Berg, M. Boudart, and A. Acrivos, J. Fluid Mech., vol.24, pp.721-735,1966.
- (7) Surface Tension as the Cause of Benard Cells and Surface Deformation in Liquid Film, M. J. Block, Nature, vol.178, Sept. 22, pp.650-651, 1956.
- (8) Marangoni-Benard Convection in an Evaporating Liquid Thin Layer, A. T. Chai and N. Zhang, 4th International Symposium on Heat Transfer, 7-11 October 1996-b, Beijing.
- (9) Evaporation-Induced Benard Convection - A New Type and Its Mechanism, W. J. Yang, N. Zhang, A. T. Chai, K. H. Guo, and M. Sakamoto, National Heat Transfer Conference, August 10-12, 1997 in Baltimore.
- (10) On the Mechanism of Benard Convection in a Thin Liquid Layer Induced by Evaporation, M. SAKAMOTO and W. J. Yang, 奈良高専研究紀要、No.34, H10.

陽に与えられない環境における多足ロボットの進化的歩行獲得

平 俊男・飯田賢一

Evolutional moving robot on the unspecified environment

Toshio HIRA and Ken-ichi IIDA

多足ロボットの歩行において、物理的モデルから解析的に求めた足の最適動作をロボットに予め与えておくことは、環境の変化に対する頑健性の面から適切ではない。なぜならば、ロボットのおかれる環境が予め定められていない場合、ロボットは歩行に際して常に周囲の環境の計測とそれに基づく物理的モデルの再構築、足の最適動作の再計算を行わねばならない。一方、生物を観察してみれば、生物はそのような解析的に求まる最適動作に基づいた歩行を行っておらず、たとえ歩行すべき環境がその生物自身にとって初めてであっても、試行錯誤的にその環境に適応していく能力が備わっていると考えられる。本研究では、4足ロボットの歩行を例に、遺伝的アルゴリズム(GA)を適用することで、予め陽に環境を定めなくとも、生物にみられるような試行錯誤的な適応能力によって歩行獲得する枠組を提案し、試作機を用いた実験による歩行獲得の検証を行った。異なる環境に対して、それぞれの環境に適応する移動距離の向上、歩行モードの変化がみられ、GAによる進化的な歩行獲得が可能であることを確認した。

1 はじめに

多足ロボットの歩行は、脚の形状やロボットそのものの重量といった内的条件と、地面の幾何学的形状や状態などの外的条件(環境)とに大きく依存する。したがって、足の最適動作を物理的モデルに基づき解析的に求めることは、多大な労力が必要となる⁽¹⁾。これに対して、生物は、対象モデルを厳密に構築することなく、与えられた環境に対して試行錯誤的にその動作を決定していく適応能力を持つと考えられる。ただし、限られた時間に対する制約から、実現された歩行は必ずしも最適なものとは限らない。また、適応の際に行われる試行錯誤的な歩行は、まったくランダムに生成した足の動作を試すのではなく、環境との相互作用を通じて定められた方向性を持つ探索であると考えられる。

本研究では、多足ロボットの足の動作決定に遺伝的アルゴリズム(Genetic Algorithm: GA)⁽²⁾を用いることを考える。ここでは、4足ロボットを例にとりあげ、その4足の動作をビット列として表現し、GAにおける個体とする。各個体の適合度には、試作した4足ロボットにビット列として与えられた足動作に対する移動距離のみを考える。したがって、ロボットの足動作の生成に関し

て、そのロボットのおかれる環境は、陽には与えられていない。ここでは、複数の異なる環境をロボットに与え、未知の環境であっても、統一的な枠組による進化的な歩行獲得がGAによって可能であることの検証を行う。

2 多足ロボットの歩行に対する遺伝的アルゴリズムの適用

2.1 試作機の概要

図1に、試作した4足ロボット(全長298×全幅208mm、脚長94mm、重量1.5kgf)の外観を示す。前後の脚間距離は238mm、左右の脚間幅は154mmである。また、

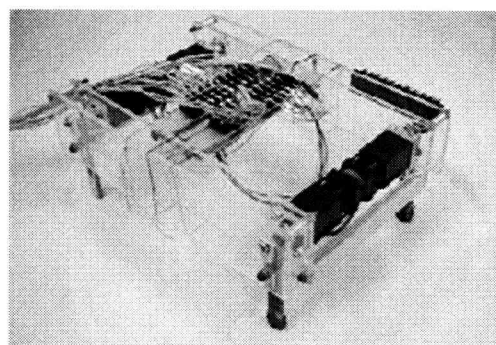


図1 試作機の外観

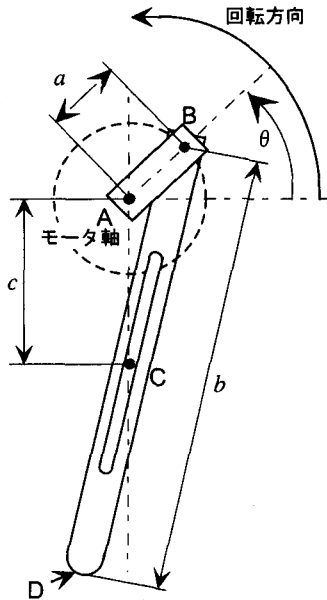


図2 脚スライダクランク機構

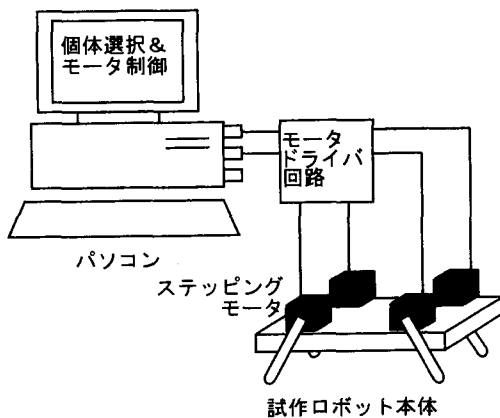


図3 システム構成

各脚には図2に示すようなスライダクランク機構を用いており、各部の寸法はクランク半径(AB) $a = 10$ (mm)、脚長(BD) $b = 86$ (mm)、支点間距離(AC) $c = 27$ (mm)である。原動軸が等速回転の場合、脚先端(D部)の速度は $\theta = 270^\circ$ で最大となる。

脚それぞれの動力にはステッピングモータ(オリエンタルモータ PMC33A-MG30, 励磁最大静止トルク $0.51\text{N}\cdot\text{m}$ 、動作トルク $0.51\text{N}\cdot\text{m}$ (最大120rpm))を使用した。また、モータ駆動系は外部に設置している(図3)。各脚は、それぞれ原動軸回転角度の1自由度しかもたないために、ロボット全体の姿勢は4自由度を持つこととなる。

2.2 遺伝的アルゴリズムの適用

2.2.1 足動作の個体表現

ロボットの足動作として、4脚が独立に動作し、それぞれの原動軸が与えられた動作パターンに従い単位時間

内に回転、停止を断続的に行うことを考える。原動軸の回転は、4脚とも同方向(右脚:時計回り, 左脚:反時計回り)・等速(6 rpm)とするが、脚先端部速度はそれぞれの原動軸角度 θ により異なる。

原動軸に与える動作パターンは、各脚のステッピングモータの単位時間ステップにおける動作と停止とをそれぞれ1, 0の文字に対応させて表現する。各脚の1周期を8ビットの文字列で表し、前右脚, 前左脚, 後右脚, 後左脚の順番で連結した32ビットの文字列を遺伝的アルゴリズムにおける個体とする(図4)。ロボットの足動作は $2^{32} = \text{約}4.3 \times 10^9$ 通りが考えられ、歩行獲得は、これらの中から望ましい足動作を探索する問題となる。これは、全数探索を行うには現実的な規模ではない。

2.2.2 個体適合度

各個体が表現する足動作を行うロボットの歩行において、遺伝的アルゴリズムにおける適合度には、歩行速度やその変動、距離、歩行に要するエネルギーなどの規範が考えられる。ここでは、ビット列で表された原動軸の動作パターンを一定周期数繰返した時点でのロボットの移動距離のみに注目する。移動距離は、ロボットの中心を地面に投影した点を基準に考え、足動作開始・終了時の2つの投影点間距離(mm)とする。また、ロボットが後退した場合、個体適合度は0とする。

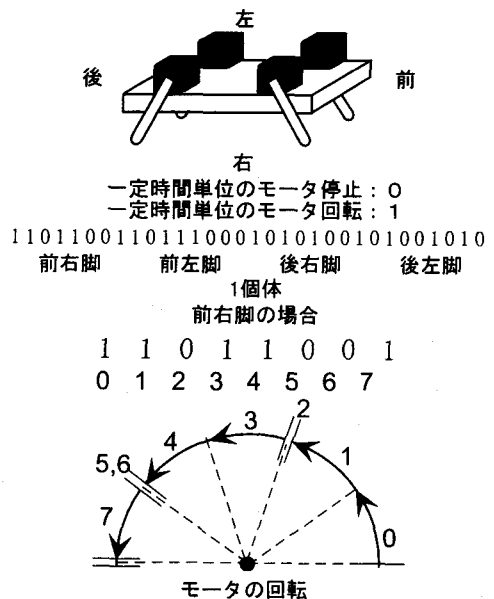


図4 足動作の個体表現

2.2.3 個体の選択による世代更新

遺伝的アルゴリズムでは、複数の個体により構成される集団に対して、各個体の適合度に基づく確率を反映する個体選択によって、次の世代の集団が構成される。また、この際には、個体同士のビット列のランダムな位置での部分交換（交叉）、個体内のランダムな位置のビット反転（突然変異）を行うことによって、局所解への収束の回避を図る。

ここでは、8つの個体によって集団を構成し、選択には、個体数が少ない事からエリート保存戦略[®]を用いる。ある世代の集団に対して、適合度の高い上位4個体については、そのまま次の世代へ複製する。また、これら4個体が持つビット列に対して、ある確率で交叉、突然変異の操作を行った新たなビット列を次の世代の残りの4個体として世代の更新を行うものとする。

3 試作機による歩行獲得実験

前章に述べた試作機、遺伝的アルゴリズムの適用による歩行獲得過程を、遺伝的操作の差違、おかれた環境の差違に注目して観察する。各個体の歩行は、原動軸位相角 $\theta = 270^\circ$ の初期脚位置から、ビット列として与えられた足動作に従って原動軸を回転・停止させたものを考える。この時、回転・停止の単位時間は1秒とし、移動距離の測定は、足動作パターン（8秒間）を歩行開始から5回繰返した40秒後に行う。また、世代の更新は20世代までとした。

3.1 適合度による序列付けの妥当性の確認

世代の更新において、個体の選択はその適合度に基づいた序列に従って行われる。ここでは、適合度として移動距離をとるので、その妥当性の検証を行う。ロボット本体の前脚先端にはゴムを貼りつけており、ロボットのおかれる環境は、平滑な表面をもつ水平な床面としている。まず、9つの足動作パターンをランダムに与え、それぞれ5回の歩行実験を行い、移動距離を測定した。各足動作パターンに対して、移動距離の平均及び標準偏差は、図5に示すようになった。これより、同じ足動作に対する移動距離の再現性は十分にあり、移動距離を個体の適合度とする序列付けは妥当であると考えられる。

3.2 遺伝的操作の差違

世代の更新において、突然変異の操作の有無による歩行獲得過程の差違を調べる。世代更新において集団中の半数の4個体については、前の世代において適合度の高かった上位4個体がそのまま複製される。残りの4個体

については1点交叉が、ランダムな位置で必ず起こるものとし、突然変異がある場合には4個体それぞれのランダムな位置でビット反転を行う。

図6は、まったくランダムに生成した初期集団に対して、1点交叉、突然変異を行った場合の移動距離の推移を、個体集団における最大値、最小値、平均値について示している。ここでは、4世代目と7世代目において、以前の世代の個体集団にはなかった新たな足動作が獲得されていることがわかる。

次に、世代更新における遺伝的操作の効果を調べるために、前実験の10世代までの個体(全80個体)のうち、適応度の低い8個体を初期集団とした場合を考える。この時、(a)突然変異がある場合、(b)突然変異がない場合について、ロボットの移動距離の推移を、集団の平均値、最大値及び最小値について図7に示す。同じ初期集団から世代更新を重ねたこれら2つに対して、どちらの場合も移動距離の向上が最大値、平均値に関して見られる(20世代目での最大値はそれぞれ126mmと65mm)。しかしながら、交叉と突然変異を行った(a)では、新たな足動作の獲得が5回起こっている(第2, 3, 5, 11, 13

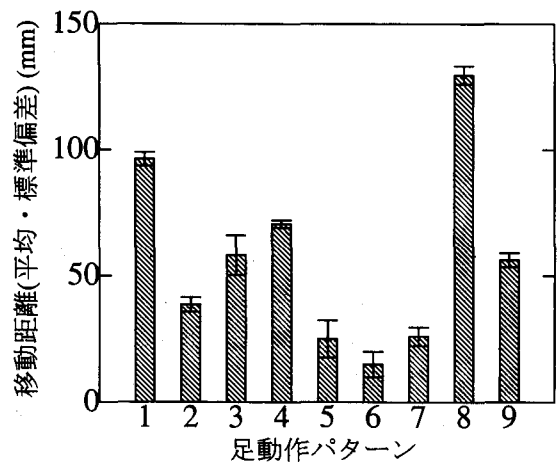


図5 移動距離の再現性

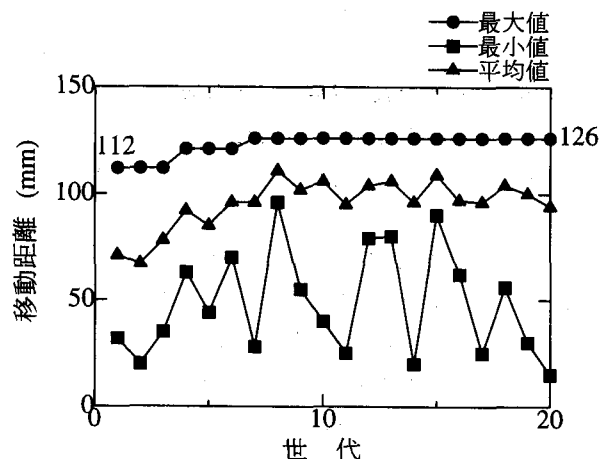
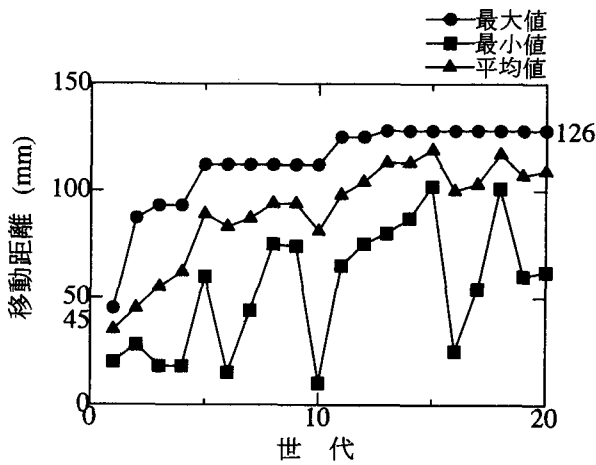
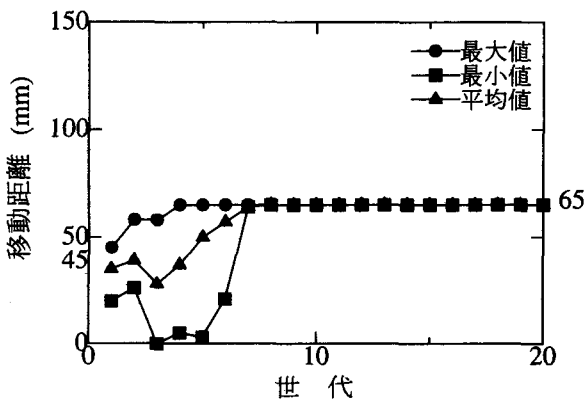


図6 ランダムな初期集団からの世代更新



(a) 突然変異あり



(b) 突然変異なし

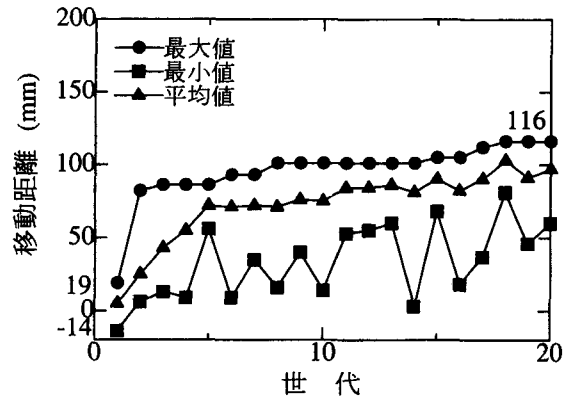
図7 遺伝的操作の差異による歩行獲得過程の差異

世代)のに対して、交叉のみの(b)では、第2世代と第4世代に起こっているだけである。また8世代目以降では集団を構成する8個体全てが同一の足動作を表す一様化がみられ、これ以上の適合度向上は望めないことがわかる。すなわち、今回のように集団が非常に小さい場合の探索では、突然変異による集団の多様性の維持が重要であることがわかる。これは、遺伝的アルゴリズムのランダムサーチとしての側面を示している。

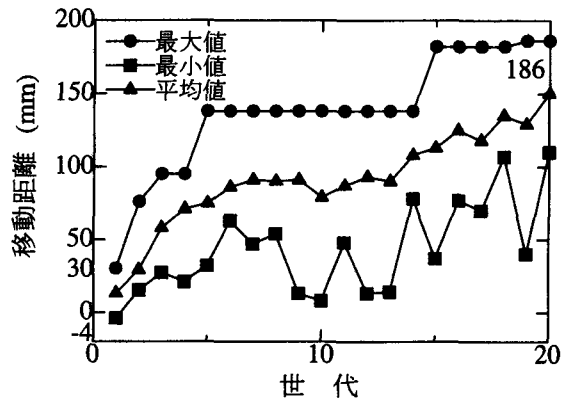
3.2 ロボットのおかれる環境による差違

ロボットが異なる環境におかれた場合の、前節で示した歩行獲得の枠組の適用可能性について調べる(図8)。ここでは、(a)滑りやすい床面(ホワイトボード)、(b)滑りにくい床面(塩化ビニールシート)の2つの環境を考える。ロボット脚先はゴムを貼らず、4脚とも同じ条件とする。また、初期集団は、前節で遺伝的操作の差異を調べた際と同じく適合度の悪いもので構成するとし、遺伝的操作については、交叉、突然変異ともに行うものとする。

図8より、どちらの環境でも、初期集団の最小移動距



(a) 滑りやすい床面



(b) 滑りにくい床面

図8 環境の差異による歩行獲得過程の差異

離は負のもの((a)-14mm, (b)-4mm)がみられる。これは、脚先にゴムを貼らないことで、強く駆動する脚がないためであると考えられる。しかしながら、どちらの環境においても、世代更新とともに移動距離の増加がみられ、歩行が獲得されていることがわかる。また、(b)滑りにくい床面においては、5世代目、15世代目で、大きな移動距離の増加がみられる。

4 歩行獲得に関する考察

4足ロボットの歩行獲得に対して、遺伝的アルゴリズムを適用することで、足動作探索空間の大きさに比してはるかに小さな試行(8個体×20世代=160個体)による歩行獲得が可能が確認された。また、その際には集団の多様性の維持が必要な事がわかった。

この時、ロボットの歩行には、共通の足運びが観察され、前脚先にゴムを貼りつけた場合、後ろの両脚は離地している時間がほとんど無く、その多くが滑っている。また、左前脚が接地している場合の多くで後両脚が滑っているが、逆に右前脚が接地している場合は、左後脚が滑らずに接地し、右前脚と共に進んでいることがわかった。すなわち、ロボットは、脚先の滑りを利用しながら

01101100 11101101 10111011 00011010

前右脚 前左脚 後右脚 後左脚

(a) 滑りやすい床面に対する最良個体足動作

11111111 11101101 10111110 11111111

(b) 滑りにくい床面に対する最良個体足動作

図9 環境の差異による個体進化の差異

歩行していると考えられる。

個体のおかれる環境が異なる場合の実験からは、環境との相互作用を通じ、それぞれが適応的に歩行を獲得していくことが確認された。図9は、(a)滑りやすい床面における20世代目の最良足動作、(b)滑りにくい床面における最良足動作を示している。滑りやすい床面に対しては、原動軸を停止することが多い脚(この場合、前右及び後左)がみられ、脚先の滑りを取込んだ歩行モードとなっていると考えられる。反対に、滑りにくい床面に対しては、原動軸を常に回転させる脚(前右及び後左)が出現しており、この場合は、脚先の滑りを利用しない歩行モードとなっていると考えられる。これらの事は、提案した歩行獲得の枠組が、環境の相違に対する頑健性を持つことを示していると考えられる。

5 おわりに

多足ロボットの足動作の決定に遺伝的アルゴリズムを用い、4足ロボットの足動作をビット列として個体表現し、個体適合度には、その足動作に対する移動距離のみを考えた。個体集団に対して、遺伝的操作を繰返すことで移動距離の向上がみられ、遺伝的アルゴリズムの適用の可能性が確認された。また、異なる環境に対しては、異なる足動作が出現する適応的な歩行獲得が確認された。ここでの適応は、種の形質の変化を伴うような大進化ではないが、個体としての進化的挙動であると考えられる。しかしながら、生物は、ここで示したような試行錯誤だけではなく、経験に基づき発見的に構築した個体内対象

モデル(もちろん、厳密な物理モデルではない)による予測も行っていると考えられる。実際の経験はもちろんであるが、対象モデルから予測した結果も、次の行動の決定には反映されているはずである。今後の展開としては、予測を含んだ歩行獲得の枠組を考えている。その場合、個体内対象モデルの構築には力覚、視覚が大きな要素となると考えられ、これらの導入を検討したい。また、歩行の評価規範についても、移動距離だけでなく、移動に要するエネルギーなども検討していきたい。

参考文献

- (1) 木村浩, 4足歩行型ロボットの動歩行について, 日本ロボット学会誌, Vol.11, No.3, (1993), 377.
- (2) Goldberg, D.E., *Genetic Algorithm in Search, Optimization and Machine Learning*, (1989), Addison-Wesley.
- (3) 北野宏明, 遺伝的アルゴリズム, (1993), 産業図書.

謝 辞

本論文は、本校3学科にまたがる卒業研究の成果をまとめたものである。遺伝的アルゴリズムに関して、多くの教示をいただいた武藤武士氏(情報工学科)、装置と制御系の設計・製作および予備実験に取組んだ98年度卒業生 機械工学科 近澤昭佳君(現在、松下電器産業(株)エアコン社)、中林彰夫君(現在、本校専攻科)、電子制御工学科 岡根慎治君(現在、神戸大学)、情報工学科 中野由紀さん(現在、(株)堀場製作所)、試作機の改良と遺伝的アルゴリズムの適用可能性を探るために多くの実験を行った99年度卒業生 機械工学科 山本陽介君(現在、本校研究生)、渡辺康仁君(現在、京都大学)、電子制御工学科 谷口豊君(現在、電気通信大学)、また、さらなる発展に向けて取組んでいる2000年度卒業生 機械工学科 橋場隆行君(在学中)、電子制御工学科 安部華代さん(在学中)に、記して謝意を表す。

ピンオンディスク摩擦・摩耗試験機の設計

廣 和樹・和田 任弘

Design of Friction and Wear Testing Machine of Pin on Disk Type

Kazuki HIRO and Tadahiro WADA

自動車や自動二輪車のブレーキ装置としてディスクブレーキ装置があり、ディスク材に鋳鋼などが使用されている。鋳鋼の比重は7.1と重く、Al合金にかえることでディスクの質量は鋳鋼の約3分の1になり、大幅な軽量化になることが予想される。一方、過共晶Al-Si合金は耐摩耗性に優れた合金であり、各工業分野の耐摩耗材料として用途が拡大している。これは、Al合金の比重が約2.7と小さいことを応用したものであるが、適度な強度などを有している事も重要な要因である。このようなことから本研究では旋盤を使用したピンオンディスク型摩擦・摩耗試験機を設計し、過共晶Al-Si合金の摩擦・摩耗特性を試験した。

過共晶Al-Si合金の摩擦・摩耗特性を試験した。

1. 緒 言

自動車や自動二輪車の重量は加速、制動性能、操縦安定性などの車両運動性能、燃費などの経済性に直接影響する特性である。それゆえ、車重は非常に重要な要素であり重量が軽くなればこれらの性能が向上する。そのため軽量化がされるわけであるが、自動車の各部材に対してグラム単位の軽量化が図られている現状にある¹⁾。そのなかで鋼からAl合金への材料変更は最も軽量化に効果的であるとされており、すでに部品などで走行実績を持つことや安定供給性、リサイクル性の面から軽量化の中心を占めるものとして注目されている。またブレーキ装置を軽量化することは自動車のばね下重量の低下にもつながる。ディスクブレーキ装置のディスクの材料として鋳鋼が一般に使用されているが、これを軽量な材料に変えることができれば大幅な軽量化につながるようになる。そこで過共晶Al-Si合金を使用することが考えられる。過共晶Al-Si合金は軽量で熱膨張率が小さく耐摩耗性に優れている合金で、各種 casting 方法によりピストンやシリンダーブロックなどの耐摩耗性の必要な自動車エンジン用部材などへの用途が拡大している。²⁾しかし、過共晶Al-Si合金などのAl合金の耐摩耗性についての研究報告は少ないのが現状である。そこで、本研究では摩擦摩耗試験を行うための実験装置を製作し、

2. 実験装置および方法

2.1 実験装置

摩擦・摩耗試験には様々な方法²⁾があるが、本研究では、ピンオンディスク摩擦・摩耗試験機を試作した。ピンオンディスク摩擦・摩耗試験とは、ディスク(円盤)試験片に、先端が平面の円柱状のピン試験片を一定荷重のもとで垂直に接触させながら、ディスク試験片をその中心軸周りに回転させて摺動させる摩擦・摩耗試験のことで、摩擦・摩耗試験の中では最も簡単で便利である。図1にピンオンディスク摩擦・摩耗試験の原理を示す。

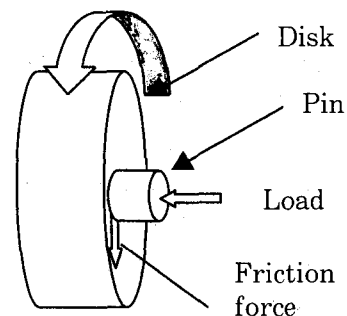


図1 ピンオンディスク摩擦・摩耗試験

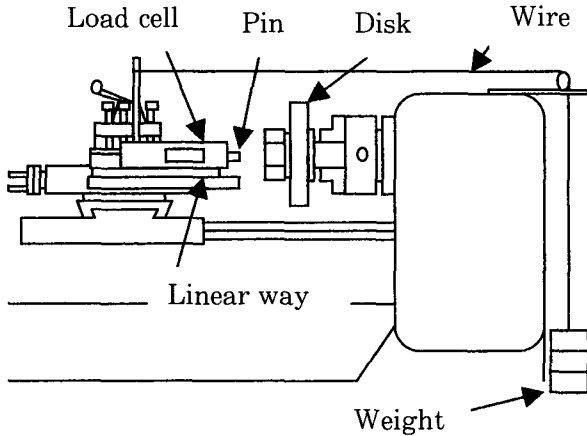


図2 実験装置

図2に試作した実験装置の概略図を示す。ディスク試験片を回転させる駆動装置は、所定の摺動速度が得られる回転速度に設定でき、摩擦力の変動による回転速度の変化が生じない駆動力を持つものでなければならない。そこで、駆動装置として汎用旋盤を使用した。ピン試験片をディスク試験片に押し付ける負荷機構は重錘によるものとした。

摩擦力を測定するために荷重測定器を製作し、旋盤の刃物台に取り付けた。図3に製作した荷重測定器を示す。なお、4本の梁部のうち2本にはそれぞれ左端から約1/4の場所に2枚のひずみゲージを表裏に貼りつけ、摩擦力およびそれに垂直な方向の力を測定できるようにした。また、荷重測定器の下部にリニアウェイを取り付け、荷重測定器が左右にスライドできる構造としてある。

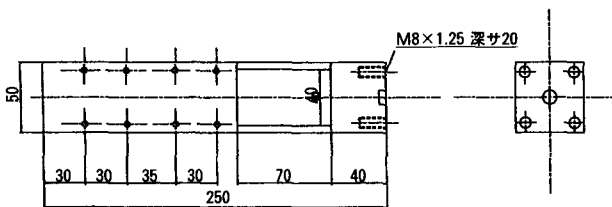


図3 荷重測定器

ディスク試験片はステンレス鋼(SUS304)を使用し、旋盤のチャックに、ピン試験片は過共晶Al-Si合金を荷重測定器に、それぞれ治具により固定される。各試験片については、ピン試験片は直径15mm、長さ48mmの円柱を、ディスク試験片は直径170mm、厚さ20mmの円板を使用した。表1に過共晶Al-Si合金の化学成分を示す。

表1 過共晶Al-Si合金の化学成分 (mass%)

| Si | Fe | Cu | Mn | Mg | Cr | Zn | Ti |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 16.0 | ≤ | 4.0 | ≤ | .45 | ≤ | ≤ | ≤ |
| ~ | 0.5 | ~ | 0.1 | ~ | 0.1 | 0.1 | 0.2 |
| 17.0 | | 5.0 | | .65 | | | |

2.2 実験方法

製作した荷重測定器の較生を行った。具体的には、0~250Nの荷重を与え、鉛直方向、すなわち図1に示した摩擦力の方向と、水平方向、すなわち摩擦力に垂直な方向のひずみ(押し付ける方向ではない)を測定した。さらに、荷重測定器に貼りつけたひずみゲージの位置が妥当であるか確認するため、有限要素法解析ソフト(ANSYS, ED)を用いて構造解析を行った。

実験は常温大気中において、無潤滑で行った。ディスク試験片については超仕上げ機を用いて表面粗さを減らし、ピン試験片については耐水研磨紙をディスク試験片に取り付け、ピン試験片を押し付けて研磨を行い、表面粗さを減らすとともに、ディスク面との片当りをなくした。その後、ディスク試験片を一定速度で回転させた状態で、ピン試験片を重錘により所定の接触面圧でディスク試験片に押し付けて約1分間、摺動させて実験を終了した。摩擦力はピン試験片に取り付けられた荷重測定器により、またピン試験片の摩耗量はレーザ変位計(キーエンス製)を旋盤のベッドに置いて、ピン試験片の実験前後における長さの差により測定した。実験条件は、重錘50~250N、回転数は468~1160rpmである。なおディスク試験片の中心から80mmの場所にピン試験片を押し付けており、摺動速度は3.9m/s~9.7m/sである。

3. 実験結果と考察

3.1 荷重測定器の較生および解析

図4に鉛直および水平方向に荷重を加えた時の荷重とひずみの関係を示す。(上が鉛直方向、下が水平方向)この図より、水平方向に荷重を加えたときは水平方向だけひずみが生じ、また鉛直方向に荷重を加えたときは鉛直方向だけひずみが生じていることがわかる。この結果より、干渉が起こっておらず、荷重測定器は正確に作動していると言える。

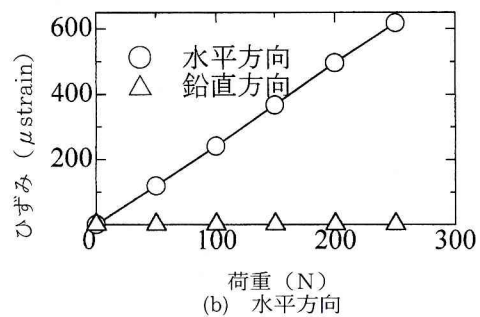
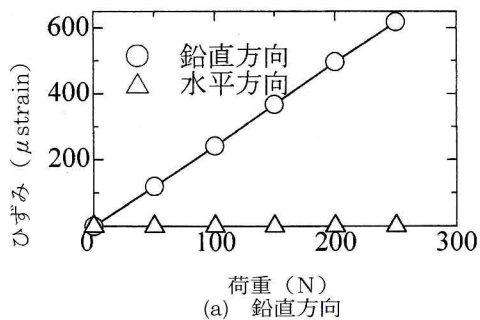
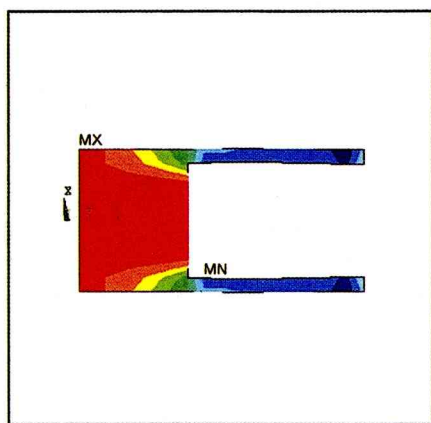
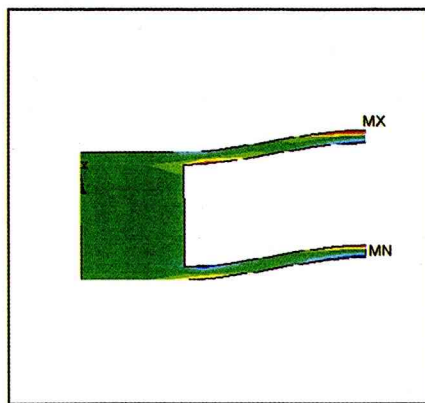


図4 較生結果

次に50Nの荷重を、圧縮、鉛直および水平方向に加えたときの有限要素法による構造解析の結果を図5に示す。



(a) 圧縮方向



(b) 鉛直方向および水平方向

図5 解析結果

この結果より、梁の両端でひずみが最大になり中央部分ではひずみがほとんど生じていないことがわかる。そのために鉛直・水平方向のひずみの測定に対しては、ひずみゲージを梁の中央部分に貼付けるのではなく端のほうに貼付けなくてはならない。このようなことから、本実験ではひずみゲージを梁の端から約1/4の位置に貼り付けており、ひずみを測定している。

3. 2 摩耗量と摩擦係数

図6に接触面圧と摩耗量の関係を示す。

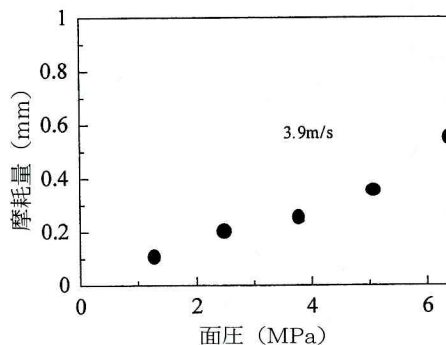


図6 接触面圧と摩耗量の関係

この図より接触面圧を増加させると摩耗量が増加することがわかる。

図7に摺動速度と摩擦係数との関係を示す。

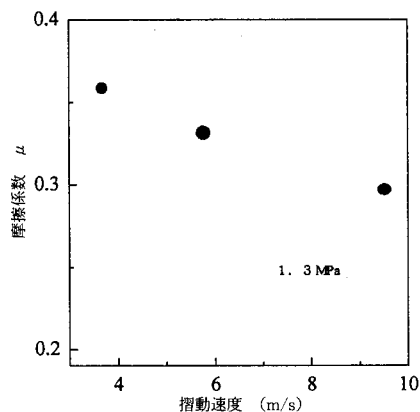


図7 摺動速度と摩擦係数との関係

この結果からやや概略的であるが摩擦係数は摺動速度の増加に伴って減少傾向にあることが伺える。このことはピン試験片が摩擦により発生する熱作用によって軟化することを示している。

今後の予定としては、

- (1) 摩耗量と面圧、摺動速度の関係を詳しく調べる
- (2) 摩耗量は摺動時間の増加とともに変化することが

予想され、実験前後の摩耗量の変化だけでなく、経時変化を調べることが必要である。

4. 結 言

旋盤を用いたピンオンディスク型の摩擦・摩耗試験機を製作した。荷重測定器については干渉なく摩擦力を測定できることを確認し、解析結果からひずみの分布を得た。また過共晶Al-Si合金の摩擦・摩耗特性を調べた結果、摩耗量は面圧、回転数、すなわち摺動速度に依存し、摩擦係数が摺動速度の増加に伴って減少傾向にあることがわかった。

謝 辞

過共晶Al-Si合金を提供して頂きました神戸製鋼株式会社に深くお礼申し上げます。

文 献

- (1) 佐藤 登ほか、自動車用材料の表面解析と設計、山海堂、平成7年、321
- (2) 日本機械学会、摩耗の標準試験方法、丸善(1999)、3

ビデオ・クリップにおける映像と音響の関連性

土井滋貴

Relation of Video and Audio in Video-Clips

Shigeki DOI

ビデオ・クリップ等のビデオ・コンテンツに対して、動画と音との関連性を動的な視点で解析を試みる。本稿では最も基本的な特徴量として、フレーム平均輝度、フレーム間輝度変化、フレーム間音響パワーの3つを10個のビデオ・コンテンツ・データに対して計算し、その統計的特徴と周期的特徴について報告する。計算結果からいくつかのビデオ・コンテンツ・データについては動画と音との間に関連性が認められた。

1. はじめに

近年のコンピュータの性能向上により、いわゆるビデオ・クリップ等のビデオ・コンテンツに対して、動的な解析が可能になってきた。本稿は著者が始めている動画解析(1)について、その処理手法と基礎的な解析結果について述べる。

2. 分析の概要

動画や音声の個々の領域では、通信や蓄積のコストの削減のため様々な圧縮方式が考案され、その開発過程で様々なデータの特徴が解析されている。しかしながら、映像と音声をまとめた解析はあまり見あたらない。

例えば拍手をする動作1つをとってもその映像の動きと発せられる音との間に関係があることは明らかであるが、映像と音響それぞれのどの特徴量にどのような関係があるかを端的に説明することは難しい。さらにこれらが組合わさった、例えばテレビ放送の1場面について、その映像と音響との関係を定量的あるいは定性的に解説する方法は知られていない。

そこで最初の試みとして、拍手をするといったプレーンな事象でなく、音楽クリップやニュース番組、アニメ、ゲームといったある程度複合した映像/音声について統計的にカテゴリ間に固有な映像と音声の関係が見られないかを調査する。

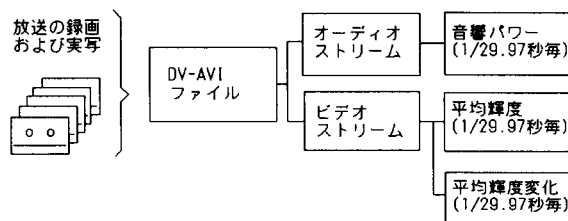


図1 計測システム図

$$\text{音響パワー: } A_{Pi} = \frac{1}{s} \sum_{z=1}^s (|W_i * s + z|) \quad \text{式1}$$

$$\text{平均輝度: } V_{Ai} = \frac{1}{m * n} \sum_{y=1}^n \sum_{x=1}^m (R_{ixy} + G_{ixy} + B_{ixy}) \quad \text{式2}$$

$$\text{平均輝度変化: } V_{Vi} = \frac{1}{m * n} \sum_{y=1}^n \sum_{x=1}^m (|R_{ixy} - R_{(i-1)xy}| + |G_{ixy} - G_{(i-1)xy}| + |B_{ixy} - B_{(i-1)xy}|) \quad \text{式3}$$

ただし、iはフレーム番号
 $s = (1/29.97) / (1/32,000)$
 $m = 720, n = 480,$
 Wは音響1サンプル、R、G、Bは各画素値

3. 分析の方法と結果

各カテゴリの映像/音響データは、その内容が判るように1分程度を放送やビデオカメラを使った実写からサンプリングする。各サンプルはデジタルビデオにダビングし、デジタルビデオからDV-AVIファイルにキャプチャする(2)。このAVIファイルから各種映像/音響特徴を

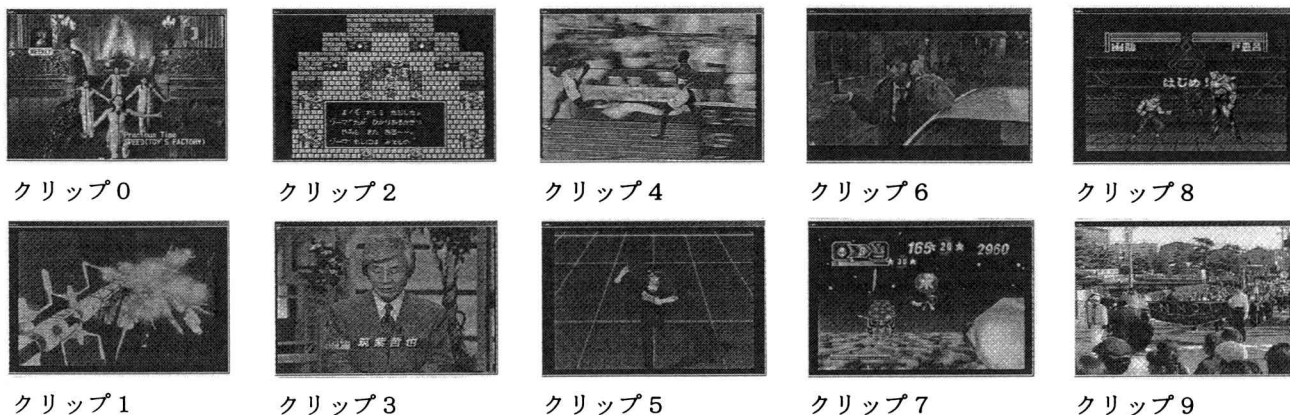
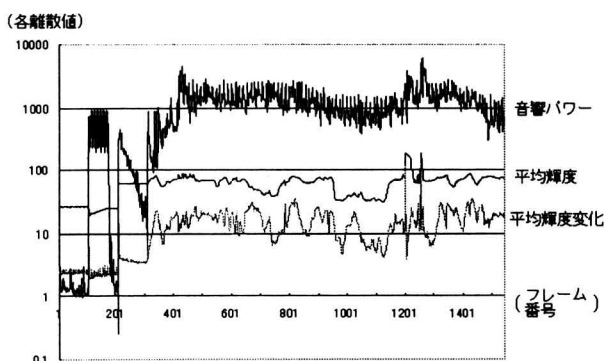


図2 クリップ中の1カットの一覧

表1 クリップ一覧

| | ジャンル・カテゴリ | 説明 | サイズ(byte) | 時間(秒) | 総フレーム数 |
|-------|-----------|---------------|-------------|--------|--------|
| クリップ0 | 音楽クリップ | プレシャスタイム/スピード | 152,328,192 | 40.876 | 1,225 |
| クリップ1 | アニメ | 宇宙物/爆発シーン | 138,649,600 | 37.205 | 1,115 |
| クリップ2 | TVゲーム | 古典的ゲーム | 182,544,384 | 48.984 | 1,468 |
| クリップ3 | ニュース | 朗読 | 180,305,920 | 48.383 | 1,450 |
| クリップ4 | 陸上 | — | 174,958,592 | 46.948 | 1,407 |
| クリップ5 | TVゲーム | オープニング | 195,364,864 | 52.520 | 1,571 |
| クリップ6 | TVドラマ | 刑事物 | 201,445,376 | 54.56 | 1,620 |
| クリップ7 | TVゲーム | デモ画面、飛行シーン | 192,118,784 | 51.553 | 1,545 |
| クリップ8 | TVゲーム | 格闘物 | 169,986,048 | 45.614 | 1,367 |
| クリップ9 | パレード | 実写 | 191,125,926 | 51.284 | 1,537 |

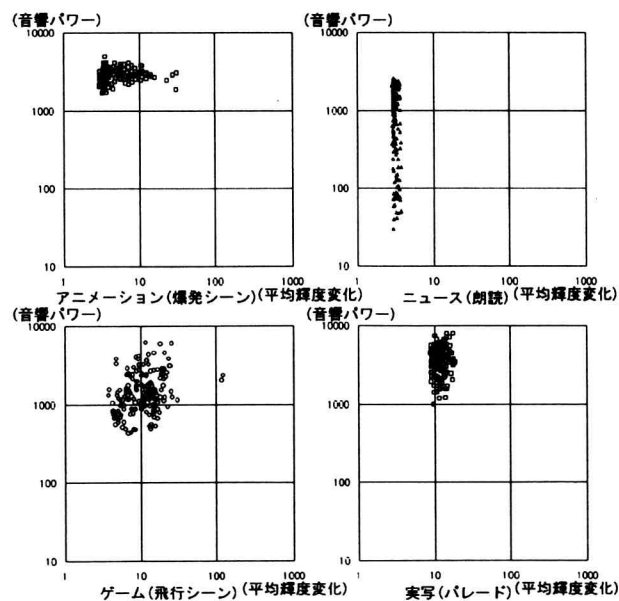


(TVゲーム、デモ画面の飛行シーン)

図3 クリップ7の各特徴量

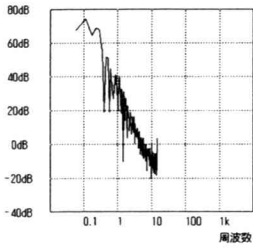
計算する。

今回は、図1、表1に示す10個のビデオ・コンテンツについて、音響パワー、平均輝度、平均輝度変化の3つの特徴量を計算した。計算式を式1、式2、式3に、特徴量の関連性が強いサンプルの例を図3に、各サンプルの特徴量の散布図のうち違いの大きな例を図4に示す。各図から各サンプル毎に特徴量の関連性に違いがあることがわかる。

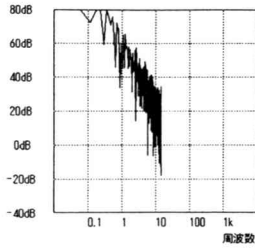


アニメ爆発:630-829 フレーム、ニュース:400-599 フレーム
ゲーム(飛行):1100-1299 フレーム、パレード:600-799 フレーム

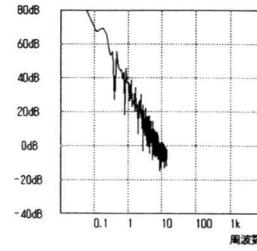
図4 各サンプルの特徴量の散布図



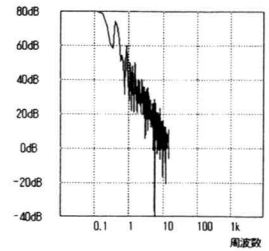
クリップ0前半：平均輝度



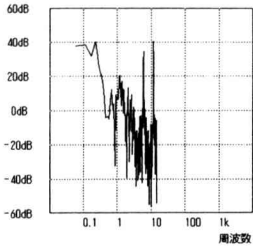
クリップ0後半：平均輝度



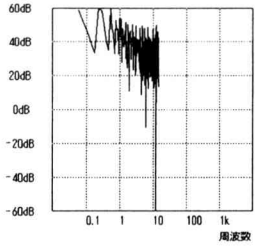
クリップ1前半：平均輝度



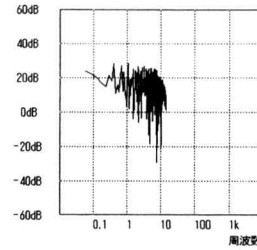
クリップ1後半：平均輝度



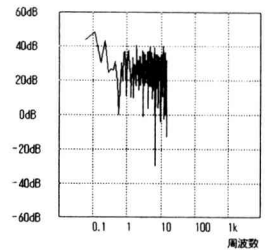
クリップ0前半：輝度変化



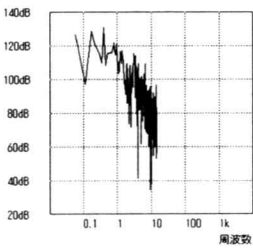
クリップ0後半：輝度変化



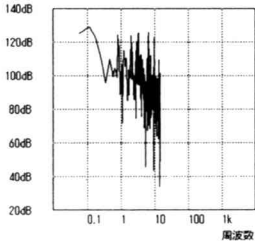
クリップ1前半：輝度変化



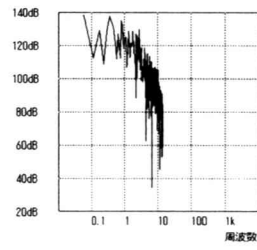
クリップ1後半：輝度変化



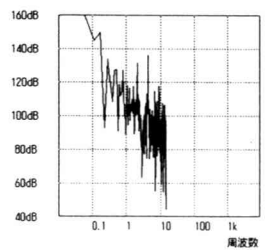
クリップ0前半：音響



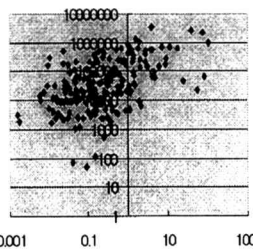
クリップ0後半：音響



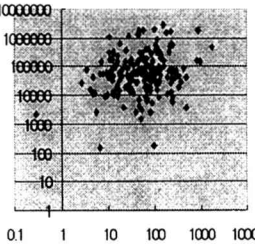
クリップ1前半：音響



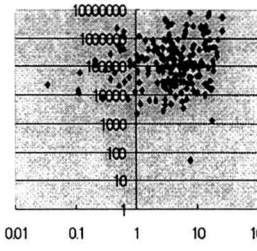
クリップ1後半：音響



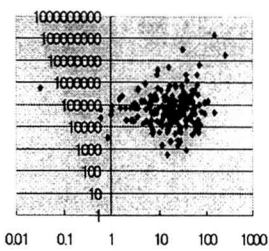
横軸:輝度変化-縦軸:音響
クリップ0前半：散布図



横軸:輝度変化-縦軸:音響
クリップ0後半：散布図



横軸:輝度変化-縦軸:音響
クリップ1前半：散布図



横軸:輝度変化-縦軸:音響
クリップ1後半：散布図

図5 計算された3つの特徴量の周波数分析 その1

更に、計算された3つの特徴量の周波数解析を行う。各クリップは10~521フレームを前半、500~1011フレームまでを後半とした512フレーム(17.08秒間)についてFFTによりパワースペクトルを計算する。10個のコンテンツのうちの4つを例として図5、図6に示す。図5、図6の上段から平均輝度のパワースペクトル、平均輝度変化のパワースペクトル、音響パワーのパワースペクトル

を示し、最下段のグラフはフレーム間平均輝度変化量とフレーム間音響パワーのパワースペクトルを1~199周期までをとり散布図に表している。

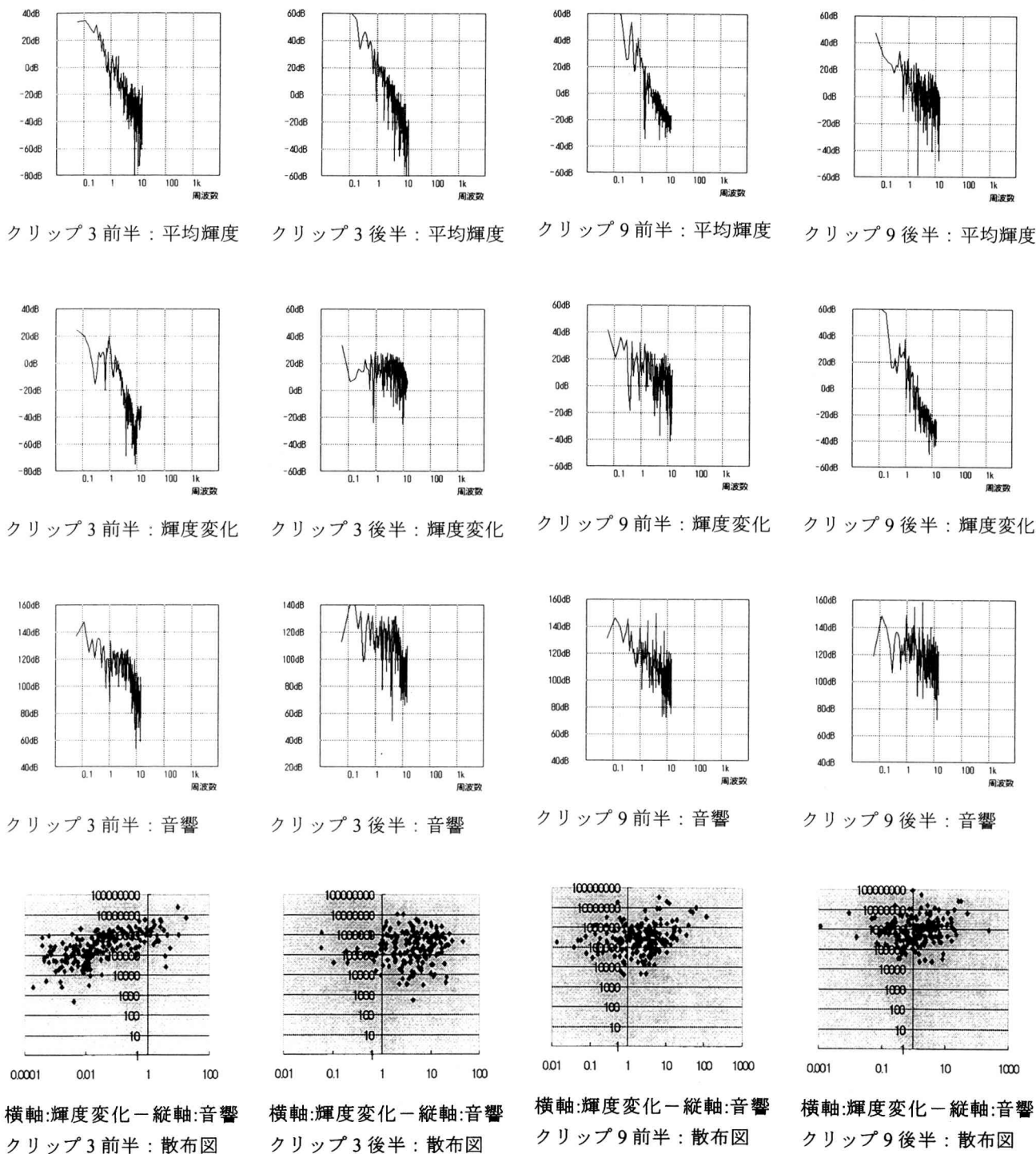


図6 計算された3つの特徴量の周波数分析 その2

4. まとめ

参考文献

ビデオ・コンテンツの映像と音響との関連性を調べるためのシステムを提案し、基本的な特徴量について調査した。調査結果から映像と音響との関連性はコンテンツの内容を表す特徴の1つであることが確かめられた。

- (1) 土井他,「ビデオ・コンテンツにおける映像と音響との関係」,電気系学会関西支部連合大会
- (2) 土井,「デジタル画像キャプチャ/データ抽出プログラム作成入門(前編,後編)」,雑誌インターフェース2000年10,11月号

同位体ガスレーザー発振を用いた同位体濃度比測定

松島 朋史 川那辺 純一* 前川 寛* 細美 昇平* 張 吉夫**

Isotopic Gas Concentration-Ratio Measurement using Isotopic Gas Laser Oscillation

Tomoshi MATSUSHIMA, Junichi KAWANABE, Hiroshi MAEKAWA, Shohei SAIMI and Yoshio CHO

For high sensitivity measurement of isotopic concentration-ratio of trace-level gas mixture, particularly, including carbon dioxide isotopes, we tested a $^{12}\text{CO}_2$ - $^{13}\text{CO}_2$ composite laser system containing intracavity absorption cells. Sensitivity enhancement obtainable by the intracavity absorption cell configuration is examined theoretically. $^{13}\text{CO}_2$ in atmospheric air is readily detected and minimum detectable concentration by the present system was estimated to be 70 ppb.

1. 研究の背景

近年、簡易、安定、高感度かつ経済的な同位体濃度比測定装置の実現が公害対策、医療、予防、環境保全などの諸分野で要望されている。その一例として、最近、胃潰瘍の発現体と見られるようになってきた胃壁宿住ヘリコバクター菌の検査に同位体濃度比測定装置が有効に利用されるものと注目されてきている。これは被験者への尿素試薬投与後の被験者呼気中に含まれる同位体炭酸ガスの自然存在比 ($^{12}\text{CO}_2$: $^{13}\text{CO}_2=99:1$) からのごく僅かなずれによってヘリコバクターピロリ菌の有無の検査を行うものである。しかし、集団大量検査等の要求から、感度、分解能は勿論、経済性、操作簡便性、安定性が特に望まれている。ところが、従来のガス同位体濃度比測定装置において用いられている方法にはいくつかの問題点がある。例えば、質量分析法では、感度、安定性には優れているが、呼気などの混合体試料への適用が困難であり、且つ、高価、大型、取り扱いの複雑性などの問題点がある。一方、分光学的方法では分解能を確保するために大量の検体試料が必要となる等の問題がある。分光学的に簡易に行える光音響法や光電流法では、装置は比較的簡単な構成で出来るが、安定度、感度の点で十分でない。すなわち、安定性、高感度性、操作簡便性、経済性等の点で、ヘリコバクターピロリ菌検査等に適合できる

同位体濃度比測定装置は未だ実現されていないというのが実状である。

本研究は、濃度比を測定しようとする試料（ピロリ菌感染の有無については $^{12}\text{CO}_2$ と $^{13}\text{CO}_2$ ）に含まれる同位体原子または分子を個別に含むレーザー媒質よりなる複数台のレーザーを用い、同位体によって吸収スペクトルが異なることにより、気体中に含まれる同位体の濃度比を測定することを可能にしようとするものである。さらにレーザー共振器内に試料を挿入できる構成にし、光波の多重反射を利用し、実効的に光路長を長くし、微量な同位体ガス物質の濃度測定を実現しようとするものである。

2. 同位体濃度比測定装置の構成と動作解析

Fig. 1 に同位体濃度比測定装置の構成を示す。 $^{12}\text{CO}_2$ レーザおよび $^{13}\text{CO}_2$ レーザの2台のレーザーを同時発振させ、それぞれの共振器内に試料セルを挿入し、それらの試料セルを切り替え放電励起を行い、2台のレーザー出力

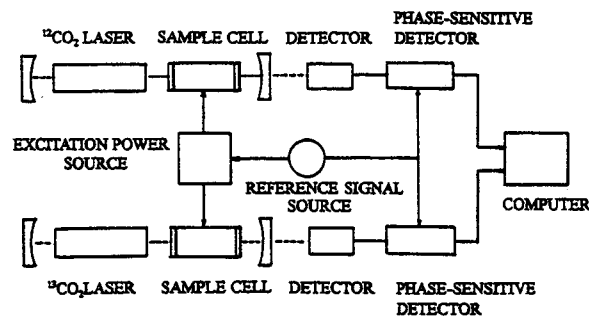


Fig. 1 $^{12}\text{CO}_2$ - $^{13}\text{CO}_2$ composite laser system containing intracavity absorption cells.

* アロカ株式会社

** (株) 応用光電研究室

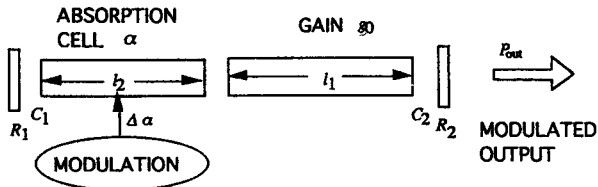


Fig. 2 Schematic layout of a single laser containing an intracavity absorption(sample) cell. R_1 : Output mirror reflectance, R_2 : End mirror reflectance, C_1 : Coupling coefficient between laser cell and output mirror, C_2 : Coupling coefficient between sample cell and end mirror.

を同期検波し、それらの出力比から同位体濃度比を測定するものである。Fig. 2 はレーザ共振器内に試料セルを挿入した場合のブロックダイアグラムを示す。ここで、レーザの小信号利得 g_0 、媒質長 l_1 、試料の吸収係数 α 、吸収長 l_2 、レーザ共振器のミラー反射率 R_1 、 R_2 、透過率 T_1 、 T_2 、ミラーと試料セル、レーザ媒質との光波の結合係数を C_1 、 C_2 、光波の平均断面積 A とすれば、レーザ出力 P_{out} は

$$P_{out} = AT_2I_S \left\{ \frac{g_0 l_1}{\alpha l_2 + \ln \gamma} - 1 \right\} \quad \dots\dots\dots (1)$$

となる。ところで

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}} \quad \dots\dots\dots (2)$$

である。レーザ共振器内に挿入した試料セルにおいて吸収係数 $\Delta\alpha$ で変調したときの小信号変調出力 $\Delta P_{int}(\alpha)$ は(1)式を微分し、

$$\Delta P_{int}^{LA} = A(1-R_2)I_S g_0 \alpha l_1 l_2 (1/\ln \gamma)^2 = \left(\frac{\partial P_{out}}{\partial \alpha} \bigg|_{\alpha} \right)_{int} \Delta \alpha = \frac{AT_2 I_S l_1 l_2 g_0}{(\alpha l_2 + \ln \gamma)^2} \Delta \alpha \quad \dots\dots\dots (3)$$

となる。試料セルを共振器外に置いた場合の小信号変調出力 ΔP_{ext} は

$$\Delta P_{ext}(\alpha) = \left(\frac{\partial P_{out}}{\partial \alpha} \bigg|_{\alpha} \right)_{ext} \Delta \alpha = AT_2 I_S l_2 \left\{ \frac{g_0 l_1}{\ln \gamma} - 1 \right\} e^{-\alpha l_2} \Delta \alpha \quad \dots\dots\dots (4)$$

となり、小信号変調出力における変調感度改善比 E は

$$E = \frac{\text{small-signal modulated output for intracavity absorption-cell}}{\text{small-signal modulated output for external absorption-cell}} = \frac{\Delta P_{int}(\alpha)}{\Delta P_{ext}(\alpha)} = \frac{g_0 l_1}{(g_0 l_1 / \ln \gamma - 1)(\alpha l_2 + \ln \gamma)^2} \quad \dots\dots\dots (5)$$

で示される。変調信号が大きい場合の変調出力 ΔP_{int}^{LA} は

$$\Delta P_{int}^{LA} = P_{out} \big|_{\alpha=0} - P_{out} \big|_{\alpha=\alpha} = A(1-R_2)I_S g_0 l_1 \left\{ \frac{1}{\ln \gamma} - \frac{1}{\alpha l_2 + \ln \gamma} \right\} \quad \dots\dots\dots (6)$$

となる。 α が小さいとき ($\alpha l_2 \ll \ln \gamma$) は

$$\Delta P_{int}^{LA} = A(1-R_2)I_S g_0 \alpha l_1 l_2 (1/\ln \gamma)^2 \quad \dots\dots\dots (7)$$

となる。すなわち、ここで用いるガス濃度が小さい場合には、変調出力が吸収係数に直線的に比例関係にあり、本装置の構成において正確な濃度比が測定できる。変調信号が大きい場合の変調感度改善比 E^{LA} は

$$E^{LA} = \frac{\Delta P_{int}^{LA}}{\Delta P_{ext}^{LA}} = \frac{P_{out} \big|_{\alpha=0} - P_{out} \big|_{\alpha=\alpha}}{P_{out} \big|_{\alpha=0} (1 - e^{-\alpha l_2})} = \frac{\ln \gamma}{(1 - e^{-\alpha l_2})} \left\{ \frac{1}{\ln \gamma} - \frac{1}{\alpha l_2 + \ln \gamma} \right\} \quad \dots\dots\dots (8)$$

で表される。

Fig. 3 は利得をパラメータとして吸収係数に対する出力を示したもので、吸収の増加にともない出力が減少していることを示している。Fig. 4 は吸収係数に対する変調感度改善比 E の関係を示したもので利得の増加にともない改善比も増加していることがわかる。Fig. 5 は吸収係数に対する変調出力を示したもので、Fig. 6 は吸収係数が小さい場合において直線関係が成り立つことを示しており、微少な濃度比測定において精度の向上が図られる。

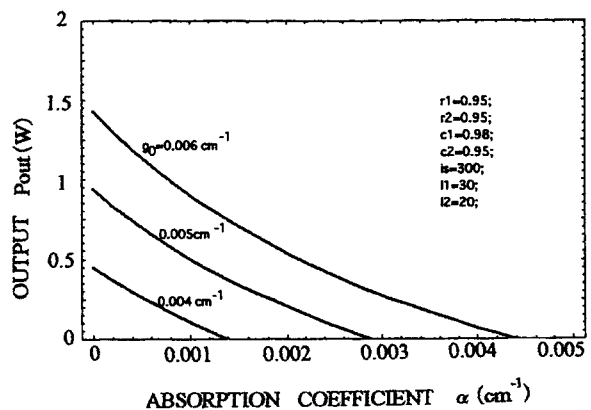


Fig. 3 Output as a function of absorption coefficient α .

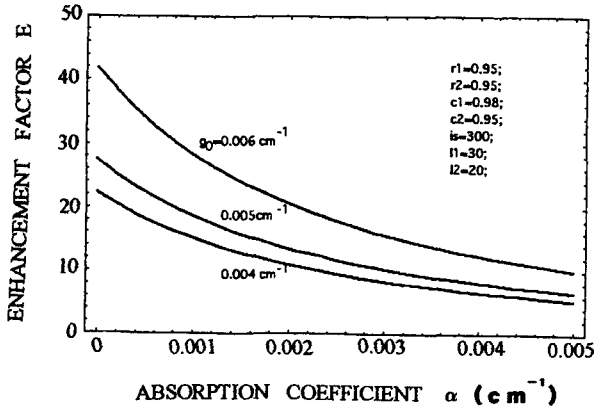


Fig. 4 Small signal enhancement factor as a function of a absorption coefficient α .

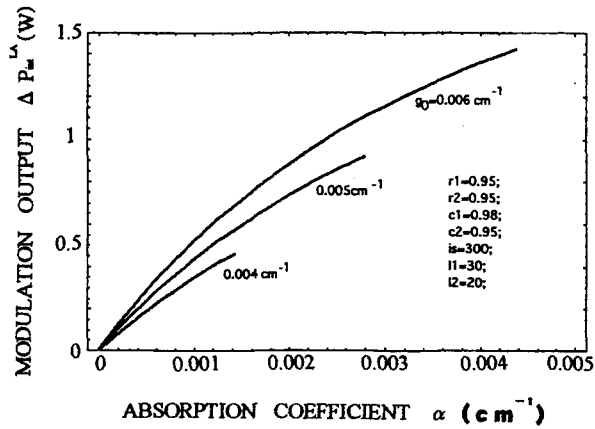


Fig. 5 Large-amplitude modulation output as a function of a absorption coefficient α .

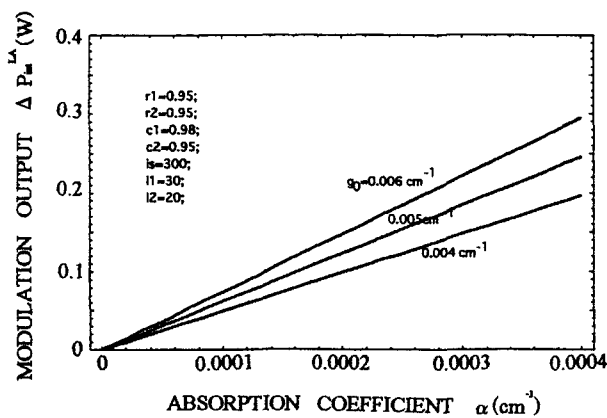


Fig. 6 Large-amplitude modulation output as a function of a small absorption coefficient α .

3. 実験結果

実験構成をFig. 7 に示す。 $^{12}\text{CO}_2$ および $^{13}\text{CO}_2$ レーザ共振器内に試料セルを挿入し、試料セルを30Hzの矩形波でパルス励起を行い、レーザ出力をパイロ検出器と位相検波器を用いて同期検波して検出感度を測定した。Fig. 8 は試料セルの構造を示したもので、セルは長さ25 cm、内径12mmのパイレックス管を用い、中心と両端に電極が取り付けられ、電極間に水冷を施した構造になっている。

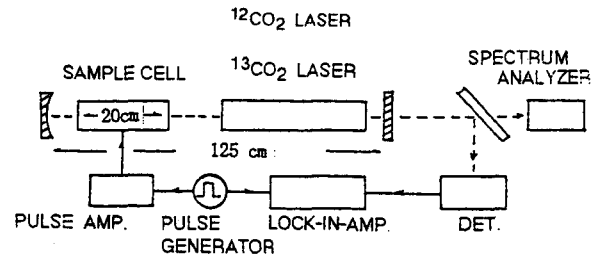


Fig. 7 Experiment setup for sensitivity measurement.

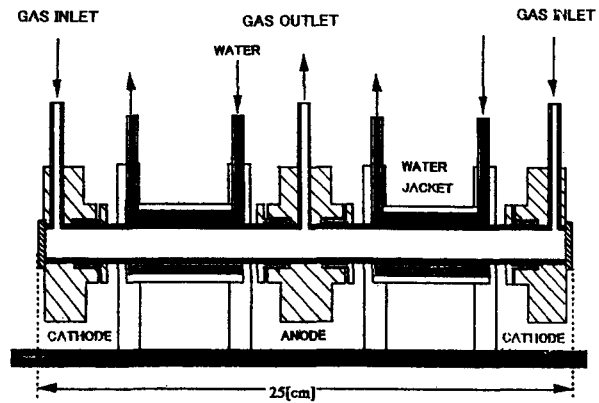


Fig. 8 Cross section of the absorption configuration.

3-1. 大気中の $^{12}\text{CO}_2$ および $^{13}\text{CO}_2$ の検出

微量ガス試料として、大気圧空気を採集して用いた。通常の大気中には $^{12}\text{CO}_2$ と $^{13}\text{CO}_2$ の濃度がそれぞれ350ppmと3.5ppmである。そこで $^{12}\text{CO}_2$ および $^{13}\text{CO}_2$ レーザ共振器内の試料セルに大気の組成比を保ったまま大気を減圧して挿入し、放電励起を行い、レーザ出力を同期検波し、 $^{12}\text{CO}_2$ 及び $^{13}\text{CO}_2$ を検出した結果を Fig. 9、Fig. 10に示す。

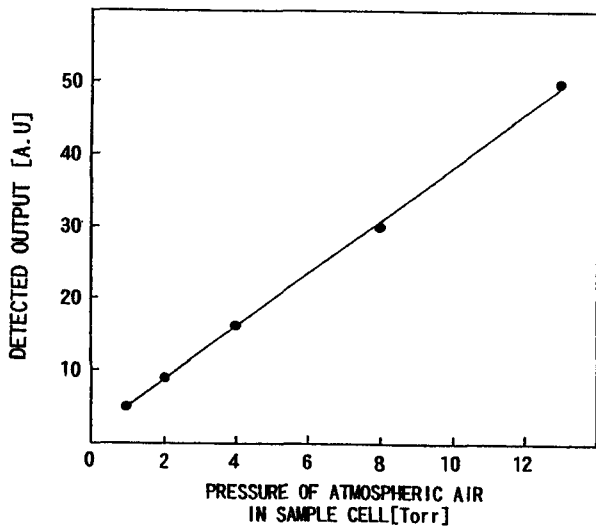


Fig. 9 Example of measured $^{13}\text{CO}_2$ detection output variation when air pressure is changed.

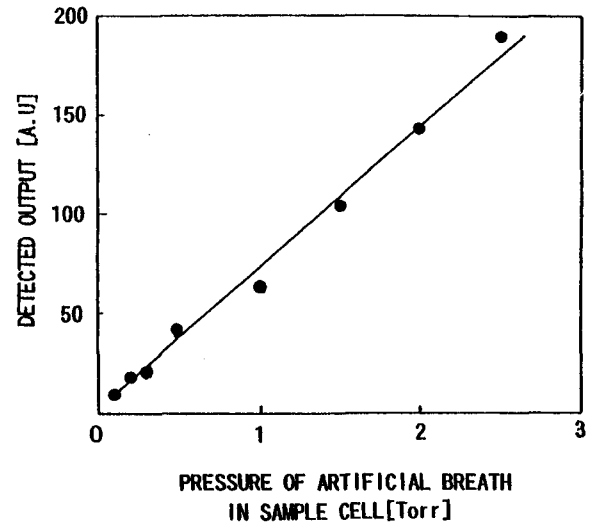


Fig. 11 Example of measured $^{12}\text{CO}_2$ detection output variation when artificial breath pressure is changed.

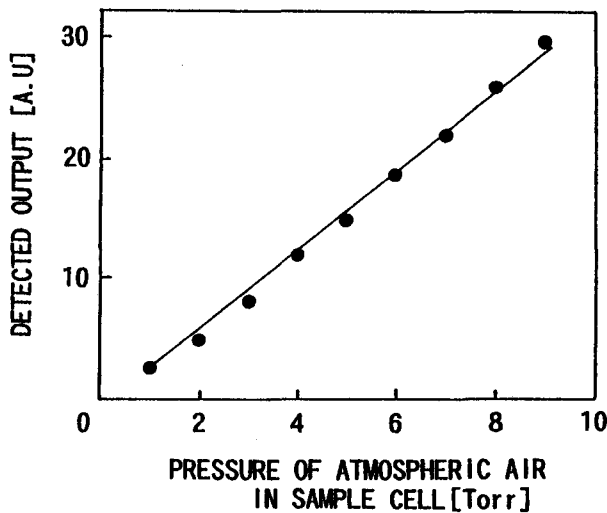


Fig. 10 Example of measured $^{12}\text{CO}_2$ detection output variation when air pressure is changed.

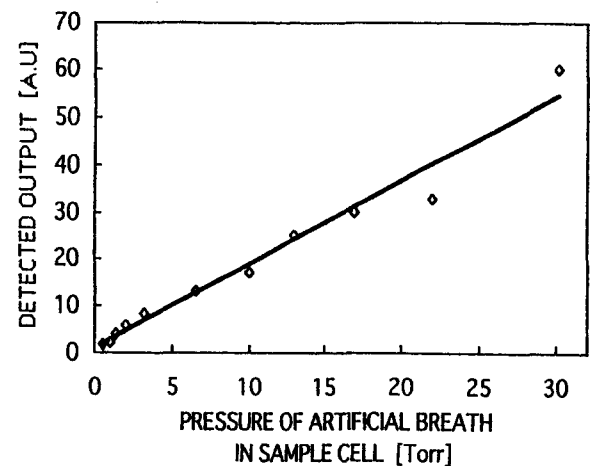


Fig. 12 Example of measured $^{13}\text{CO}_2$ detection output variation when artificial breath pressure is changed.

3-2. 疑似呼気中の $^{12}\text{CO}_2$ および $^{13}\text{CO}_2$ の検出

尿素呼気検査法を用いたピロリ菌の検査に呼気を使用するため、微量ガス試料として、3-1の実験方法と同様に疑似呼気を減圧して試料セルに挿入し、 $^{12}\text{CO}_2$ および $^{13}\text{CO}_2$ を検出した結果を Fig. 11, Fig. 12に示す。

4. 検 討

微量ガス試料として、通常の大気圧空気を採集して用いた。通常大気中の $^{13}\text{CO}_2$ 濃度は3.5ppmである。 $^{13}\text{CO}_2$ レーザをP18、P20、P22(11 μm 帯)R18、R20、R22(10.75 μm 帯)で発振させた。試料セル内空気圧を変えたときの同期出力検波出力変化はいずれの発振線においても測定圧力範囲内で検波出力がセル内圧力空気圧に比例した変化を示した。これより、 $^{13}\text{CO}_2$ の吸収線を測定しているものと推定できる。検出可能な最低空気圧は使用したセルで1 Torr、また励起可能な最大圧力は50 Torr程度である。これより確保可能なS/Nを[S/N=放電可能セル内圧力/検出可能最小セル内圧力]とすればS/N=50/1=50が確保されたことになる。したがって微

量ガス検出限界は $3.5\text{ppm}/50=70\text{ppb}$ となる。

また疑似呼吸用いて、大気と同様に $^{13}\text{CO}_2$ および $^{12}\text{C O}_2$ を検出した。この結果より、濃度比を測定することにより、被験者呼気中からのピロリ菌の有無を判別できる見通しが得られた。

付録：尿素呼気検査法

Fig.A-1 はピロリ菌が存在した場合の人体における呼気中に含まれる同位体炭酸ガスと胃、肺の関係を示したものである。被験者が尿素を飲むとピロリ菌は、この尿素をアンモニアと炭酸ガスに分解する酵素ウレアーゼをもっている。そこで分解された炭酸ガスは血液に吸収され肺を通して呼気として排出される。ここで尿素の炭素を ^{13}C 同位元素でラベリングした尿素を試薬として飲むと、ピロリ菌に感染している場合、 $^{13}\text{CO}_2$ が呼気中に含まれることになる。通常の炭酸ガスの自然存在比 ($^{12}\text{CO}_2: ^{13}\text{CO}_2 = 99:1$) のずれを、すなわち $^{13}\text{CO}_2$ と $^{12}\text{CO}_2$ の濃度比を測定することによりピロリ菌の有無を判別することが出来る。

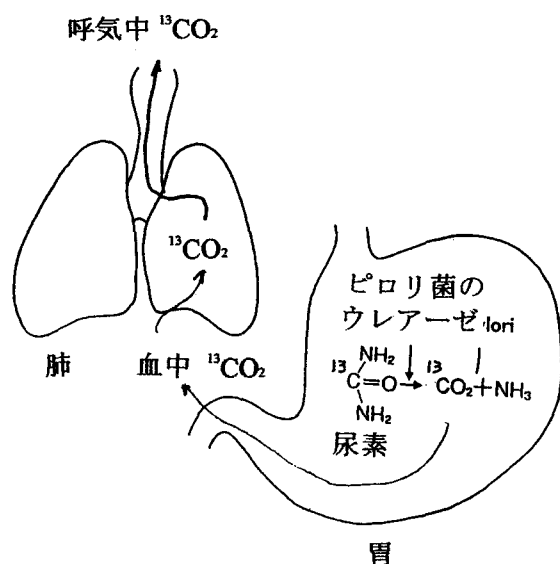


Fig.A-1 ^{13}C 尿素呼気検査の原理 (参考文献 7) 緒方卓郎著、ヘリコバクターピロリ菌より

参考文献

- 1) 松島他、応用物理学会 (1998春) 29PV/Ⅲ
- 2) 松島他、応用物理学会 (1998秋) 16PZ14
- 3) T.Matsushima et al.24th.Int.IRMW.Conf.Dig.W-B6 (Monterey1999)
- 4) 松島他、応用物理学会 (2000春) 29aM9
- 5) 松島他、応用物理学会 (2000秋) 5pN16
- 6) T.Matsushima et al.25th.Int.IRMW.Conf.Dig.W-D2 (Beijing2000)
- 7) 緒方卓郎：ヘリコバクター・ピロリ菌 (ブルーバックス社、1997)

謝 辞

本研究は文部省科学研究費基盤研究 (B) (1)、課題番号11559018によって行われたものである。関係各位に感謝いたします。

Visual Basic を用いた教育用制御プログラムの開発

宮田 正幸

Development of Control Programs for Education Using Visual Basic

Masayuki MIYATA

The author has developed simulation programs for education for each type of control system in the DOS environment. These programs have produced educational effects to study the basic of the control systems. As the performance of personal computers has recently been enhanced, it becomes possible to simulate the current control theory that handles more complicated status variables. In this period, the program development environment has changed from DOS to Windows, and even in this study room, we have developed the programs for education using Visual Basic that runs on Windows 98. Applications for Windows can be developed in a short period, using Visual Basic, and the environment has graphical user interfaces (GUIs). Visual Basic also has many tools required for developing the programs to make efficient application development possible. Programs for events that occurred for these GUIs are prepared to graphically represent control simulation. Further, each type of system and element characteristics can be visualized and represented dynamically, so more educational effects can be expected. In this study room, programs that ran in DOS are transplanted to Windows, where each type of interface has been improved.

1 まえがき

筆者は、各種制御系の教育用シミュレーションプログラムをDOS環境のもとで開発してきた。これらのプログラムは制御系の基礎を勉強する上において、それなりに教育的効果を上げてきた。近年パソコンの能力の向上により、より複雑な状態変数を扱った現代制御理論のシミュレーションも可能になってきた。この間プログラ開発環境もDOSからWindowsへと移行し、本研究室でもWindows98で動作するVisual Basicを用いた教育用プログラムを開発してきた。Visual BasicはWindows用アプリケーションを短時間で開発でき、その環境はグラフィカルインターフェイス(GUI)を持っている。またプログラム開発に必要な多くのツールを備えており、効率的なアプリケーション開発を可能にする。これらのGUIに対して発生したイベントに応じたプログラムを作成することによって制御系のシミュレーションをグラフィカルに表現出来る。さらに各種システム特

性や要素特性を可視化及び動的に表現でき教育的効果が一層期待出来る。本研究は従来DOS上で動作していたPC98用制御系設計プログラム(1)をWindows上に移植したうえで各種インタフェースの改良をおこなった。

2 開発環境

本研究のハードウェア環境としてWindows98が動作するPCを使用した。プログラム開発としてMicrosoft Visual Basic Ver 5を利用した。Visual Basicのアプリケーションを作成するには、フォームやコントロールなどのオブジェクトを使って、ユーザインターフェイスを作成する。次に作成したオブジェクトのプロパティを設定し、コードを記述して、ユーザインターフェイスの動作を指定する。Visual Basicの画面構成を図1に示す。フォームウィンドウはプログラムを実行したときに表示される画面でこれに各種のコントロールを配置して画面を構成する。代表的なコントロールはツールボックスに配置してある。プロジェクトウィンドウにはアプリ

ケーションプログラムをプロジェクト単位で扱う。このウィンドウにはプロジェクトを構成するファイルが表示される。又フォームなどのプロパティを設定するプロパティウィンドウがある。

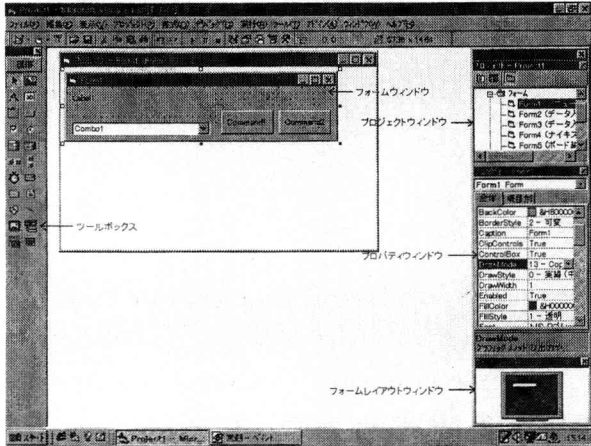


図1 Visual Basic の構成画面

3 制御系のシミュレーション

古典的方法による直列補償フィードバック制御系のブロック線図は図2のようになる。PID補償要素の伝達関数は(1)式で表される。

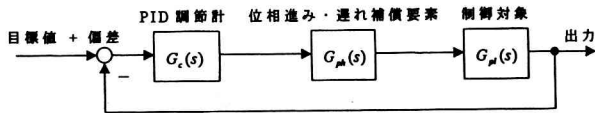


図2 直列補償フィードバック系

$$G_c(s) = K(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s) \tag{1}$$

ここでPID補償要素 K , T_i , T_d の係数の値を入力する。

位相進み・遅れ補償要素の伝達関数は、

$$G_{ph}(s) = \frac{1 + T_{ld}s}{1 + A_{ld}T_{ld}s} \cdot \frac{1 + T_{lg}s}{1 + A_{lg}T_{lg}s} \tag{2}$$

である。但し $0 < A_{ld} < 1$, $1 < A_{lg}$ とする。

ここでは T_{ld} , A_{ld} , T_{lg} , A_{lg} の係数の値を入力する。

制御系の伝達関数は、

$$G_{ph}(s) = \frac{b_{n-1}s^{n-1} + \dots + b_0}{s^n + a_{n-1}s^{n-1} + \dots + a_0} e^{-T_{pl}s} \tag{3}$$

の形で与えるものとする。ここでは次数 N 、係数 $A(i)$, $B(i)$, $1 < i < N-1$, むだ時間 T_{pl} を入力する。 N は10以下とする。

図2の系の一巡伝達関数は、

$$G(s) = G_c(s)G_{ph}(s)G_{pl}(s) \tag{4}$$

閉ループ伝達関数は、

$$W(s) = \frac{G(s)}{1+G(s)} \tag{5}$$

で定義される。

(1) ナイキスト線図

ナイキスト線図は次の条件により開発する。周波数 ω はその指定された下限から3デカードの間について計算しプロットする。複素平面の虚軸は正負とも1/2目盛りにする。

(2) ボード線図

周波数 ω はその指定された下限から4デカードの間について計算プロットする。ゲイン、位相の目盛り値域幅はそれぞれ100db, 360°にする。

(3) 根軌跡

K の値はその指定された最大値以下2デカードの間および $k = 0$ について閉ループ系の極を計算しプロットする。

4 実行結果

このプログラムの流れは大きく分けるとデータ入力、メニュー、実行、データ表示の4つに分けられる。このプログラムの流れを図3に示す。

(1) メニュー

ナイキスト線図、ボード線図、根軌跡の中から描きたい図を選ぶ、又データ入力も選ぶことが出来る。終了はプログラムの終了を表す。メニュー画面を図4に示す。

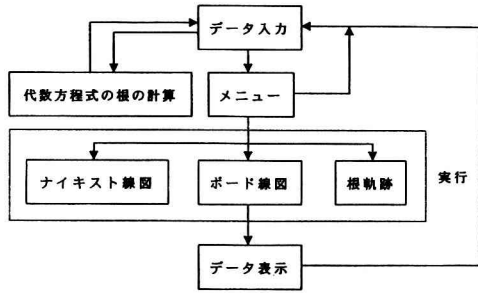


図3 プログラム全体の流れ

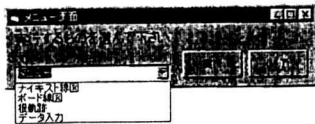


図4 メニュー画面

(2) データ入力

式(3)における伝達関数の各係数を入力する。さらに入力した各要素の保存、及び伝達関数の表示が可能である。実行結果を図5に示す。

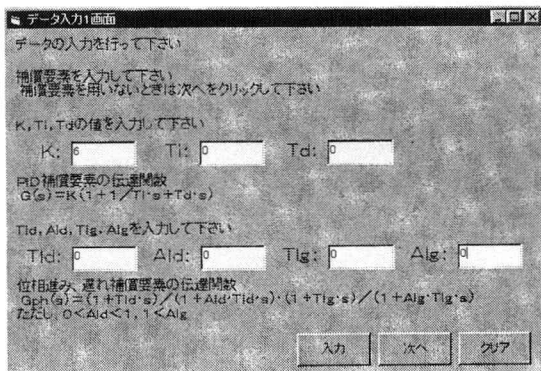


図5 データ表示画面

(3) 計算結果

開発したプログラムに、使用したデータは以下の通りである。

- PID補償要素 $G_c(s)$ $K=6, T_i=0, T_d=0$
 - 位相進み、遅れ補償要素 $G_{ph}(s)$
 - 制御対象要素 $G_{pl}(s)$, $N=3, T_{p1}=0, B(2)=0, B(1)=0, B(2)=400, A(3)=1, A(2)=28, A(1)=400, A(0)=0$
- 実行した結果を図6, 図7, 図8に示す。

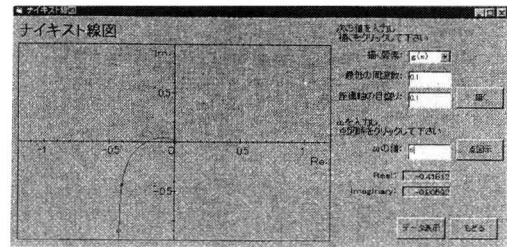


図7 ナイキスト線図

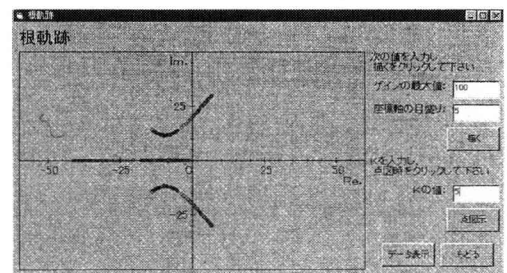


図8 根軌跡

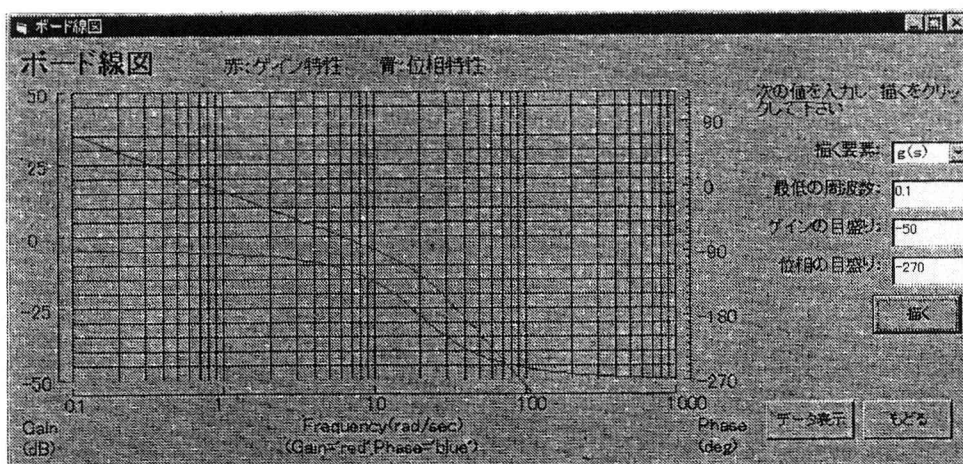


図6 ボード線図

シミュレーションプログラムを実行させた結果いくつかの改良を行った。入力したデータの保存、書き込みを可能にした。プロジェクト実行中のオーバフローに対処した。ナイキスト線図の ω 、根軌跡のゲイン定数 k の変化を動的に表現することが可能になった。

5 あとがき

Windows の環境のもとで Visual Basic の GUI を使って線形自動制御理論の中心であるボード線図、ナイキスト線図、根軌跡などの表示を簡単に表示できるプログラムが開発され、授業等において利用できるようになった。現在 Windows の GUI を使って手軽に得られる制御プログラムはそれほど多くない。Windows の環境は DOS 環境に比べてハードウェアのコントロールが難しい。このため GUI のメリットを最大限に引き出すためにはシミュレーションの分野である。アニメーション機能を使ってナイキスト線図、根軌跡等に応用出来ればよりこのプログラムの有効性が認められると考えられる。今後引き続き現代制御理論、非線形制御理論等の各種解析手法のプログラムシミュレーションを行って行くつもりである。

参考文献

- (1) PC-9801 制御系設計プログラミング 日刊工業社, 木村英紀 他
- (2) Microsoft Visual Basic プログラミングガイド 1998年

低学年における定期試験と学習時間に関する考察

飯田賢一・松尾賢一

The relationship between the periodical examinations and the learning time
in case of lower first and second year classes

Ken-ichi IIDA and Ken-ichi MATSUO

工業高等専門学校は、5年間一貫教育であり、学年毎に学習カリキュラムが効率よく配置されている。しかしながら、5年間の在籍で卒業することが困難である学生が一部に見受けられる。この要因には、様々なことが考えられるが、その中の一つとして考えられる“低学年時における学習の未習慣化”、“毎日の学習時間不足”に着目し、筆者らが平成10年度、11年度における電子制御工学科、情報工学科の学級担任の立場を通じて、担任クラスの学生に対して2年間に渡って、各定期試験後に定期試験と学習時間に関するアンケートを実施した。本稿では、そのアンケート内容と得られた結果に対する考察について報告する。

1. はじめに

工業高等専門学校（以下高専）は、中学校卒業者を対象として実験・実習を重視した5ヶ年一貫教育を行い、創造力豊かな実践的技術者を育成する高等教育機関として誕生した。一般科目（教養科目）と専門科目を効率よく配置したカリキュラムを用意し、卒業後には学部並の技術者を社会に送り出している。しかしながら、効率性を重視したカリキュラムを用意しているにも関わらず、5ヶ年一貫教育がなじめずに成績不振による留年・退学する学生も少なからず見受けられる。特に、留年・退学をする学生は3年以降の学年に多く見られる。この留年・退学する理由を成績だけに限ってみると、何らかの理由（不登校、進路変更など）により急激に成績不振に陥ることもあるが、それよりも、入学当初より常に成績不振であり、この成績不振を3年生以降においても解消できないままにしていることもその要因ではないかと考えられる。新入学生は、入学試験を突破して本校に入学しており、中学時代から成績不振であるとは考えにくく、逆に中学時代は非常に優秀だった者が多い。頻繁にテストのある中学校と年4回の定期試験の高専との違いもあるが、中学時代にあまり試験勉強することなく優秀な成績を修めてきた学生が、高専入学当初の定期試験を受けると、中

学校の延長的な要素が多く、不合格にならない程度の成績で進級することが可能である。その一方で、入学当初の学生において、受験後の安堵感、週休二日制、自主的な学習環境によって、高専入学前の中学校や塾における受身的な学習から、高専での自発的な学習への切替えがうまくできずに、勉強時間を別の時間に費やしてしまっていることも多く見られる。したがって、中学時代に優秀で潜在能力の高い学生が、高専において勉強を習慣付けさせることが出来ずに、成績不振に陥ってしまうことは、非常に悔やまれることである。そこで、この勉強不足にさせないためには、低学年の学生がどのような学習状況でどの程度の学習時間を有しているかを調査する必要がある。そして、その調査結果に基づいて、学習を習慣化させるための対策を検討し、低学年に学習の習慣化を教官側から働きかけることが非常に大切であると考えられる。さらに、調査結果を学生にフィードバックすることにより、他の学生達がどのような学習状況であるかを知ることになり、学生間での勉学意識に刺激を与えることや、勉学の継続性が成績維持と向上にとって非常に重要であることを認知させる効果が期待される。

そこで、本稿では、2つの学科の低学年における学習時間に関するアンケートを実施し、その結果と成績に関する考察を行ったので、以下に報告する。

2. アンケート

アンケートは、以下の

- 1) 定期試験および普段の生活における学習時間
- 2) 試験結果と成績の相関
- 3) 定期試験に向けての学習の仕方
- 4) 定期試験に対する考察

を中心に質問を設定し、奈良高専の平成10年度に入学した電子制御工学科(以下S)および情報工学科(以下I)の学生を対象に、1, 2年次に実施された定期試験終了の1週間後に実施した。なお、このアンケートは、学生への個別指導、成績との相関、データの信憑性を考え、記名制にて行った。

アンケート結果の表で、縦軸の記号を、1A:1年前期中間、1B:1年前期末、1C:1年後期中間、1D:1年学年末、2A:2年前期中間、2B:2年前期末、2C:2年後期中間、2D:2年学年末とした。横軸は、各アンケートにおける回答番号である。質問1から3までの表内の数値は、回答された結果の累積数である。Averageは、回答結果の平均値である。Pは、各試験時におけるクラス平均点である。アンケート結果で1Aが存在しないデータが見受けられるが、アンケートの質問内容に若干の変更があり、データの整合をとるために掲載をしていない。

3. アンケート結果

3. 1 定期試験および普段の生活における学習時間に関するアンケート結果

質問1. 定期考査の準備に勉強をいつから始めましたか

- ① 準備をしなかった
- ② 前日～3日前
- ③ 3日前～1週間前
- ④ 1週間前～10日前
- ⑤ 10日前～2週間前
- ⑥ 2週間前以上

【電子制御工学科】

| | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ | ⑥ | Average | P |
|----|---|----|----|----|----|---|---------|----|
| 1A | 0 | 15 | 15 | 9 | 2 | 2 | 3.09 | 80 |
| 1B | 0 | 11 | 13 | 12 | 6 | 1 | 3.37 | 78 |
| 1C | 0 | 6 | 17 | 8 | 8 | 3 | 3.64 | 78 |
| 1D | 0 | 10 | 15 | 10 | 6 | 1 | 3.36 | 78 |
| 2A | 0 | 11 | 15 | 6 | 9 | 1 | 3.38 | 72 |
| 2B | 0 | 5 | 21 | 7 | 7 | 2 | 3.52 | 74 |
| 2C | 0 | 5 | 13 | 11 | 10 | 3 | 3.88 | 74 |
| 2D | 1 | 6 | 10 | 16 | 5 | 4 | 3.71 | 76 |

【情報工学科】

| | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ | ⑥ | Average | P |
|----|---|----|----|----|----|---|---------|----|
| 1A | 1 | 9 | 10 | 11 | 10 | 2 | 3.60 | 78 |
| 1B | 1 | 11 | 10 | 15 | 4 | 1 | 3.31 | 78 |
| 1C | 1 | 8 | 14 | 9 | 5 | 5 | 3.57 | 77 |
| 1D | 1 | 4 | 15 | 10 | 5 | 7 | 3.83 | 79 |
| 2A | 0 | 10 | 18 | 12 | 2 | 1 | 3.21 | 73 |
| 2B | 0 | 11 | 12 | 11 | 6 | 2 | 3.43 | 71 |
| 2C | 0 | 7 | 12 | 17 | 4 | 3 | 3.60 | 74 |
| 2D | 0 | 15 | 13 | 6 | 7 | 1 | 3.19 | 77 |

質問1では、定期試験の時間割が1週間前に発表され課外活動が中止になる時期の前後において、学生の半数以上が定期試験の準備に取りかかっていることがうかがえる。Sでは、入学当初と比較して学年が進行するにつれて、試験実施1週間以前から試験勉強を開始する学生の増加傾向が見られるが、Iについては、各学年を通じて試験勉強の開始時期についての大きな変動は見られなかった。

質問2. 定期考査の準備に勉強を1日平均どの程度しましたか

- ① 1時間内
- ② 1時間～2時間
- ③ 2時間～3時間
- ④ 3時間以上

【電子制御工学科】

| | ① | ② | ③ | ④ | Average | P |
|----|---|----|----|----|---------|----|
| 1A | 7 | 18 | 13 | 5 | 2.37 | 80 |
| 1B | 4 | 14 | 13 | 12 | 2.77 | 78 |
| 1C | 5 | 9 | 19 | 9 | 2.63 | 78 |
| 1D | 2 | 12 | 17 | 11 | 2.88 | 78 |
| 2A | 3 | 11 | 20 | 8 | 2.79 | 72 |
| 2B | 1 | 12 | 16 | 13 | 2.98 | 74 |
| 2C | 2 | 14 | 18 | 8 | 2.76 | 74 |
| 2D | 1 | 17 | 15 | 9 | 2.76 | 76 |

【情報工学科】

| | ① | ② | ③ | ④ | Average | P |
|----|---|----|----|----|---------|----|
| 1A | 3 | 17 | 15 | 8 | 2.65 | 78 |
| 1B | 2 | 14 | 17 | 9 | 2.79 | 78 |
| 1C | 4 | 10 | 19 | 9 | 2.79 | 77 |
| 1D | 1 | 10 | 16 | 15 | 3.07 | 79 |
| 2A | 2 | 14 | 14 | 13 | 2.88 | 73 |
| 2B | 0 | 11 | 15 | 16 | 3.12 | 71 |
| 2C | 1 | 9 | 16 | 14 | 3.00 | 74 |
| 2D | 2 | 9 | 14 | 17 | 3.10 | 77 |

質問2の結果では、②と③の回答が集中していることから、試験の準備として1日あたり2、3時間の学習時間を費やしていることがわかった。定期試験実施一週間前までは、まだ授業が行なわれているために、帰宅後の勉強時間としては、この程度の学習時間が妥当といえる。しかしながら、試験期間に入ると、午前中には試験が終了するために、帰宅後の勉強時間は、さらに増えるものと考えられる。Sでは、入学当初に比べ学習時間の平均値にあまり変化が見られないが、Iでは学習時間の平均値が定期試験ごとに増加傾向にあることがわかった。

質問3. 普段の生活において勉強を1日平均どの程度していますか(レポート, 宿題を含む)

- ① 0.5時間内 ② 0.5時間～1時間
③ 1時間～2時間 ④ 2時間以上

【電子制御工学科】

| | ① | ② | ③ | ④ | Average | P |
|----|----|----|---|---|---------|----|
| 1B | 17 | 22 | 4 | 0 | 1.70 | 78 |
| 1C | 22 | 18 | 2 | 0 | 1.52 | 78 |
| 1D | 24 | 14 | 4 | 0 | 1.52 | 78 |
| 2A | 23 | 17 | 2 | 0 | 1.50 | 72 |
| 2B | 24 | 15 | 3 | 0 | 1.50 | 74 |
| 2C | 19 | 17 | 6 | 0 | 1.69 | 74 |
| 2D | 22 | 16 | 4 | 0 | 1.57 | 76 |

【情報工学科】

| | ① | ② | ③ | ④ | Average | P |
|----|----|----|---|---|---------|----|
| 1B | 19 | 15 | 7 | 0 | 1.71 | 78 |
| 1C | 23 | 15 | 3 | 1 | 1.57 | 77 |
| 1D | 16 | 18 | 5 | 1 | 1.78 | 79 |
| 2A | 14 | 19 | 8 | 2 | 1.95 | 73 |
| 2B | 14 | 19 | 8 | 1 | 1.90 | 71 |
| 2C | 17 | 18 | 4 | 1 | 1.73 | 74 |
| 2D | 16 | 16 | 7 | 3 | 1.93 | 77 |

質問3では、定期試験の実施期間前でないときの日常における学習時間について調べた結果、30分から1時間程度の学習時間を費やしている学生が多かった。この程度の学習時間から考えられることは、普段の学生生活では、ほとんどが授業中で出された宿題やレポートをこなす程度の学習しか行なわれていないことがわかる。したがって、③以上の学習時間を設けていると回答した学生については、日常から自主的に学習を継続していることが考えられる。

ここでは示していないが、自宅通学生と比較して寮生は、通学時間を必要としないために、比較的、普段の勉強時間を多く確保している結果が得られた。

3. 2 学習時間と成績に関するアンケート結果

ここでは、定期試験直前および日常の学習時間が定期試験の結果にどれほどの効果があるのかを調べた。そこで、質問1から3までの回答結果に対して、縦に各定期試験、横に各定期試験における平均点を80点以上、70点以上80点未満、70点未満の3段階に分類した表を以下に示す。各質問での数値は、各定期試験の平均点によって分類された学生が回答したアンケート結果の平均値であり、Averageは、クラス全体についての回答結果の平均値である。

【電子制御工学科】

・質問1

| | ～69 | 70～79 | 80～ | Average |
|----|------|-------|------|---------|
| 1B | 2.60 | 3.21 | 3.53 | 3.37 |
| 1C | 3.20 | 3.55 | 3.88 | 3.64 |
| 1D | 3.00 | 3.20 | 3.77 | 3.36 |
| 2A | 3.15 | 3.27 | 3.91 | 3.38 |
| 2B | 3.59 | 3.21 | 3.82 | 3.52 |
| 2C | 3.93 | 3.35 | 4.64 | 3.88 |
| 2D | 3.43 | 3.55 | 4.05 | 3.71 |

・質問2

| | ～69 | 70～79 | 80～ | Average |
|----|------|-------|------|---------|
| 1B | 2.60 | 2.32 | 3.26 | 2.77 |
| 1C | 2.00 | 2.75 | 3.00 | 2.63 |
| 1D | 2.25 | 2.76 | 3.31 | 2.88 |
| 2A | 2.50 | 2.91 | 3.18 | 2.79 |
| 2B | 2.71 | 3.21 | 3.09 | 2.98 |
| 2C | 2.64 | 2.88 | 2.73 | 2.76 |
| 2D | 2.43 | 2.75 | 2.93 | 2.76 |

・質問3

| | ～69 | 70～79 | 80～ | Average |
|----|------|-------|------|---------|
| 1B | 1.80 | 1.63 | 1.74 | 1.52 |
| 1C | 1.40 | 1.55 | 1.53 | 1.52 |
| 1D | 1.50 | 1.36 | 1.85 | 1.50 |
| 2A | 1.35 | 1.64 | 1.64 | 1.50 |
| 2B | 1.41 | 1.64 | 1.45 | 1.69 |
| 2C | 1.71 | 1.76 | 1.55 | 1.57 |
| 2D | 1.43 | 1.70 | 1.47 | 1.52 |

【情報工学科】

・質問 1

| | ～69 | 70～79 | 80～ | Average |
|----|-------------|-------|-------------|---------|
| 1B | 3.00 | 3.27 | 3.39 | 3.31 |
| 1C | 3.60 | 3.48 | 3.71 | 3.57 |
| 1D | 4.25 | 3.56 | 4.00 | 3.83 |
| 2A | 3.25 | 3.13 | 3.27 | 3.21 |
| 2B | 3.25 | 3.00 | 4.00 | 3.43 |
| 2C | 4.00 | 3.27 | 3.64 | 3.60 |
| 2D | 3.60 | 3.20 | 2.94 | 3.19 |

・質問 2

| | ～69 | 70～79 | 80～ | Average |
|----|-------------|-------------|-------------|---------|
| 1B | 3.00 | 2.73 | 2.83 | 2.79 |
| 1C | 2.80 | 2.78 | 2.79 | 2.79 |
| 1D | 2.75 | 2.94 | 3.25 | 3.07 |
| 2A | 2.75 | 2.94 | 3.00 | 2.88 |
| 2B | 2.95 | 2.89 | 3.54 | 3.12 |
| 2C | 2.73 | 2.93 | 3.29 | 3.00 |
| 2D | 2.70 | 3.27 | 3.18 | 3.10 |

・質問 3

| | ～69 | 70～79 | 80～ | Average |
|----|-------------|-------|-------------|---------|
| 1B | 2.00 | 1.77 | 1.72 | 1.57 |
| 1C | 1.60 | 1.43 | 1.79 | 1.78 |
| 1D | 1.75 | 1.71 | 1.84 | 1.95 |
| 2A | 2.00 | 1.75 | 2.18 | 1.90 |
| 2B | 1.75 | 1.67 | 2.31 | 1.57 |
| 2C | 1.64 | 1.73 | 1.79 | 1.73 |
| 2D | 1.70 | 1.80 | 2.18 | 1.57 |

この表の結果から、S、Iの両学科とも各定期試験の平均点が80点以上の成績を修めている学生の大半が、定期試験の準備を早めに開始しており、試験に対する学習時間、日常の学習時間の両方において、80点未満の成績を修める学生の学習時間を上回っていることが明らかとなった。学生の学習時間サンプル数の違いはあるものの、これは、全体では見えない学生別の勉強時間が明確化され、成績不振の学生に奮起を促すことができる結果となっている。しかしながら、成績不振者においても、準備が早く、対策にかかる学習時間を長くしている者が若干見受けられ、これらの学生には、効率のよい勉強方法をアドバイスすることが必要だと考えられる。

3. 3 定期試験に向けての学習の仕方に関するアンケート結果

ここでは、先述の学習時間とは違い、学生の学習方法を知るために、以下のような質問にてアンケートを行った。

表中の数値は、学生が回答したアンケート結果の平均値である。

質問4. 定期考査の準備の勉強内容としてどのようなことをしましたか(全体を1として割合で答えなさい)

- ① ノートの整理 ② 教科書を読む
 ③ 教科書の例題, 練習問題 ④ 問題集, 参考書
 ⑤ その他(具体的に)

【電子制御工学科】

| | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
|----|------|------|-------------|------|------|
| 1B | 0.25 | 0.24 | 0.33 | 0.15 | 0.03 |
| 1C | 0.18 | 0.30 | 0.36 | 0.15 | 0.01 |
| 1D | 0.14 | 0.30 | 0.37 | 0.18 | 0.01 |
| 2A | 0.18 | 0.31 | 0.35 | 0.15 | 0.01 |
| 2B | 0.17 | 0.26 | 0.39 | 0.18 | 0.02 |
| 2C | 0.14 | 0.27 | 0.37 | 0.22 | 0.01 |
| 2D | 0.16 | 0.30 | 0.36 | 0.18 | 0.00 |

【情報工学科】

| | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
|----|------|------|-------------|------|------|
| 1B | 0.25 | 0.29 | 0.30 | 0.15 | 0.02 |
| 1C | 0.21 | 0.30 | 0.31 | 0.16 | 0.02 |
| 1D | 0.23 | 0.27 | 0.29 | 0.19 | 0.02 |
| 2A | 0.25 | 0.27 | 0.29 | 0.19 | 0.01 |
| 2B | 0.20 | 0.25 | 0.32 | 0.20 | 0.02 |
| 2C | 0.23 | 0.25 | 0.31 | 0.20 | 0.02 |
| 2D | 0.23 | 0.25 | 0.34 | 0.16 | 0.02 |

この結果からは、学生の定期考査の準備には、②教科書を読む、③教科書の例題、演習問題、の回答が多く見られた。これにより、学生の勉強内容の中心は、やはり教科書であり、意外に、問題集、参考書を用いられていないことがうかがえる。これは、普通科高校と違って、高専の授業に見合った問題集や参考書があまり見受けられないためだと考えられる。また、本校図書館において、問題集や参考書を探すことは、ある程度可能ではあるが、その中から学生自身が問題集より適切な問題や、参考書

の何処を参照すればいいのかを見つけることが困難なようである。全体的な回答結果としては、試験が進行しても定期試験の準備に対する勉強内容については、大きな違いが見られなかった。

質問5. 定期考査の準備の勉強で理解できない点、疑問点をどのように解決しましたか（全体を1として割合で答えなさい）

- ①教科書などを利用して ②友人に教えてもらって
- ③姉、兄に教えてもらって ④先輩に教えてもらって
- ⑤担当教官に相談して ⑥その他（具体的に）

【電子制御工学科】

| | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ | ⑥ |
|----|------|------|------|------|------|------|
| 1B | 0.54 | 0.34 | 0.04 | 0.01 | 0.03 | 0.03 |
| 1C | 0.46 | 0.39 | 0.05 | 0.04 | 0.02 | 0.06 |
| 1D | 0.51 | 0.36 | 0.04 | 0.01 | 0.02 | 0.06 |
| 2A | 0.47 | 0.41 | 0.05 | 0.00 | 0.05 | 0.01 |
| 2B | 0.44 | 0.47 | 0.04 | 0.00 | 0.04 | 0.01 |
| 2C | 0.48 | 0.43 | 0.03 | 0.01 | 0.05 | 0.01 |
| 2D | 0.47 | 0.41 | 0.05 | 0.02 | 0.04 | 0.01 |

【情報工学科】

| | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ | ⑥ |
|----|------|------|------|------|------|------|
| 1B | 0.53 | 0.31 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.08 |
| 1C | 0.55 | 0.31 | 0.02 | 0.02 | 0.05 | 0.04 |
| 1D | 0.48 | 0.38 | 0.02 | 0.02 | 0.06 | 0.04 |
| 2A | 0.51 | 0.37 | 0.02 | 0.02 | 0.06 | 0.02 |
| 2B | 0.51 | 0.38 | 0.00 | 0.01 | 0.08 | 0.01 |
| 2C | 0.52 | 0.37 | 0.00 | 0.02 | 0.08 | 0.01 |
| 2D | 0.47 | 0.41 | 0.01 | 0.03 | 0.08 | 0.00 |

この結果から、学生の多くが、試験の準備のために理解できない点や疑問点の解決方法として、教科書と友人関係を利用して、問題解決にあたっていることがわかる。友人関係の利用については、入学当初から高い結果を得ていることから、定期試験を通じて、より友人関係が深まっていることも考えられる。それと対称的に、担当教官を通じて問題解決する学生が非常に少ないのが残念である。これについては、教官研究室への入室に抵抗があることや、訪れても教官が不在であることが多く、問題解決手段としての期待が薄れつつある感が否めない。この対応策として、オフィスアワーの導入により改善されることを期待したい。

質問6. 定期考査の結果で点数が低かった教科について、低かった原因として考えられるものを答えなさい（全体を1として割合で答えなさい）

- ① テストが難しすぎる ② 自分の勉強不足
- ③ 授業態度 ④ 単純なミス
- ⑤ その他（具体的に）

【電子制御工学科】

| | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
|----|------|------|------|------|------|
| 1B | 0.12 | 0.41 | 0.08 | 0.35 | 0.03 |
| 1C | 0.15 | 0.48 | 0.08 | 0.26 | 0.03 |
| 1D | 0.15 | 0.48 | 0.08 | 0.28 | 0.00 |
| 2A | 0.17 | 0.46 | 0.11 | 0.24 | 0.02 |
| 2B | 0.12 | 0.46 | 0.11 | 0.29 | 0.02 |
| 2C | 0.18 | 0.44 | 0.08 | 0.29 | 0.01 |
| 2D | 0.17 | 0.47 | 0.12 | 0.22 | 0.01 |

【情報工学科】

| | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
|----|------|------|------|------|------|
| 1B | 0.20 | 0.49 | 0.07 | 0.22 | 0.02 |
| 1C | 0.27 | 0.47 | 0.08 | 0.16 | 0.02 |
| 1D | 0.24 | 0.46 | 0.07 | 0.18 | 0.03 |
| 2A | 0.22 | 0.47 | 0.06 | 0.19 | 0.07 |
| 2B | 0.20 | 0.52 | 0.07 | 0.18 | 0.02 |
| 2C | 0.19 | 0.54 | 0.07 | 0.19 | 0.02 |
| 2D | 0.21 | 0.50 | 0.11 | 0.16 | 0.02 |

この結果において、定期考査の結果に対して点数の低い理由について、自分の勉強不足であると受け止めている学生がほぼ半数を占めている。興味深い点としては、定期考査を重ねることにより、単純ミスを指摘する学生が少なくなっていることがわかる。その他として、過去に出題された問題に頼りすぎたこと、試験範囲のやまがはずれたといった注意すべきコメントがあった。

3. 4 定期試験後の考察に関するアンケート結果

ここでは、学生が試験結果に対し、どのように感じたのか知るために、定期試験後の考察等に関して、以下の3項目についてのアンケートも実施した。

質問7. 各教科の定期考査の問題は授業内容を反映したものでしたか。教科ごとに記号で答えて下さい

- ① よく反映していた ② どちらとも言えない
③ 反映していない

質問8. 各教科について困ったことがあれば具体的に記入しなさい

質問9. 定期考査の準備として成功したと思えること、定期考査の結果から思ったことや感想などを記入しなさい

結果の詳細及びコメントは割愛するが、質問7に関しては成績のあまり良くなかった学生の③反映していないが若干見られ、試験対策に失敗したことがわかる。質問8、9は無記名のアンケートと違い、非常に興味深いコメントが多く、個人指導のために適当だと考えられる。

4. おわりに

本稿では、担任クラスを勉強不足にさせないために、低学年の学生がどのような学習状況でどの程度の学習時間を有しているかを調べるために、定期試験毎に定期試験と学習時間に関するアンケートを実施した。

実際には、単にアンケート結果だけを公表するのではなく、学習時間と成績との関係を調べ、回答内容を分析した結果を表やグラフなどにして、保護者懇談会、個人面談時の資料、として有効利用することができた。具体的な事例として、

- 学生個人に対する日常の勉強時間の推移を調べることで、学習に対する意欲の低下や習慣化がおろそかになりつつあることを早急に発見でき、成績不振となる前に、なんらかの対策を講じることができた。
- 成績不振に陥った学生およびその保護者に対しては、日常の学習時間不足および試験に対する準備の遅れの裏付けに、このアンケート回答結果を用いることができた。
- 各教科での教官や授業に対する学生のメンタルな部部分での成績不振も考慮に入れるために、3. 4にある質問項目も用意して、その回答結果から、各

教科の授業内容状況、教官に対するコメント、試験時の体調等のさまざまな意見を聴取することができた。

などが挙げられる。

このアンケートによって、アンケートの回答結果を学生にフィードバックして、学生に単に“勉強しなさい”だけの学習指導ではなく、クラス全体として“平均的にこれだけ日常の学習時間を費やしているよ。”、“試験対策は、このような方法でどれくらい前から準備を始めているよ。”とクラス全体の学習状況を知らせることにより、学生同士がこのアンケートやその回答結果について話をしたり、自分はクラスの中でどれほどの学習状況であるかを意識したりと、少なからず日常の学習に対するヒントになると思われる。

本稿では、3. 4の回答結果の詳細については割愛したが、中でもクラス全体として多かった意見については、HRにおいてクラス全体で議論を行ったり、個人的な内容については、個別に面談を実施した。意見の中には、担任だけでは、早急に解決できなかった問題もあるが、少なからず、その問題点を学生と担任が共有できたことだけでも、進歩があったのではないかと考えている。

最後に、このアンケートについては、学生の学習状況を知る必要性から筆者らが、独自で行なったものである。したがって、このアンケートの設問が適切であるか、その回答結果に対するコメントに客観性があるかについては、定かでない。このアンケートは、学生との対話時間を増してくれた効果と同時に、担任と学生の相互の本音を交換できたコミュニケーションツールとなってくれたともいえる。

謝 辞

このアンケートを遂行するにあたり、ご助言いただいた本校電気工学科・高橋晴雄教授に厚くお礼申し上げます。

複数のセンサ入力による自律型移動ロボット制御の基礎研究

道下 貴広・岸下 晴亮・阪部 俊也

Study on Control of Autonomous Mobile Robot with many sensors

Takahiro MICHISHITA, Haruaki KISHIGE and Toshiya SAKABE

人工知能の研究の一環として、ロボットにサッカーをさせる「ロボサッカー」がある。ロボットにサッカーをさせるためには、多くのセンサ入力をもとにロボット移動制御を行う必要がある。そのための基礎研究として競技用ロボットを開発した。ロボット本体は一応完成し、複数の接触センサを用いたロボット移動プログラムは完成した。本研究では多数個のタッチセンサによる方向制御ならびに画像処理によるボールとの距離決定法を検討し、ロボット制御への可能性を確認した。

1. 研究目的

自律型ロボットの研究、殊に人工知能の研究においては、現在の標準問題として、「サッカー」が設定され、世界の研究者が共通の課題として取り組み、競技という形で研究の成果を披露している。この標準問題が目指すものは、「人間と同じようにサッカーができるロボットの開発」というだけではなく、その過程でさまざまな技術が蓄積され、幅広い分野に新しい技術が普及すること、例えば、次世代人工知能、現実の世界で人間と共存して仕事をするロボットの開発なども含まれている。

それらの研究成果に対する実践の場として「ロボカップ」がある。「ロボカップ」とは、一言で言えば、知能ロボット達がサッカーをするワールドカップサッカー大会の事で、シミュレーションリーグ、小型実機リーグ、中型実機リーグの3部門で構成されている。ロボカップは、ソニーCSL研究所の北野宏明氏や大阪大学の浅田稔氏ら日本の人工知能、ロボティックスの研究者らが中心に、知能ロボット、人工知能研究の次世代のランドマークプロジェクトとして提唱され、世界の注目を集めるビックプロジェクトとなっている。

本研究では、自律型ロボットにサッカーをさせるために、近年飛躍的に小型、高性能化した汎用小型ノート型パソコンをロボットのコントローラとして使い、画像処理のためのビデオキャプチャカード及び小型CCDカメラ、ボールや壁の判定の為の接触センサ、パソコンからモータを駆動するためのインターフェースを搭載し、

それによりロボットを制御する手法の確立を研究目的とする。

なお、本研究に用いたロボットの基本的なシステムは奈良先端科学技術大学の研究発表¹⁾をもとに、使用OSをLinuxからより一般的で開発環境の整っているWindows98に変更し、移動用モータに4段階の回転速度制御回路を設定し、精度の高い移動やより速いスピードの移動に対応できるように変更した。この変更によって明らかになった利点や問題点なども後に述べる。

2. ロボットの構成

ロボットの構成図を図1に示す。

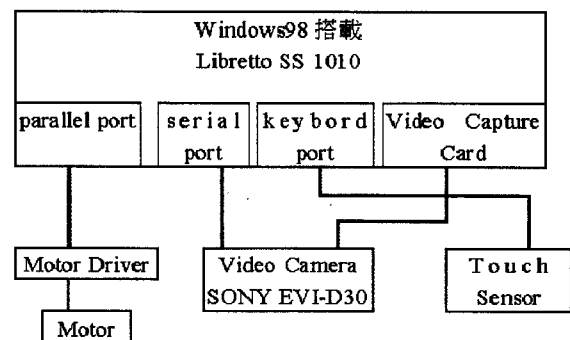


図1 ロボットの構成図

本研究では、自律型ロボットのコントローラとして、東芝社製の小型ノート型パソコン Libretto SS 1010を用いた。なお、OSはDOS/V用のOSの中でも一般的でプログラミングのためのライブラリや技術資料の充実

している Windows98 を選択し、開発言語は統合環境型で Windows 用アプリケーション開発が行いやすく、Windows98 をリリースしているメーカーの開発言語という強みから Visual C++ を選択した。最近のパソコンの飛躍的な高性能化により、一般に普及しているノート型パソコン上で、比較的「遅い」といわれている OS であっても、画像処理をも含んだ自律型ロボットの制御を十分にこなす性能を持っていると判断される。このような汎用パソコンと OS を用いることは、各種ボード類により、機能の追加が比較的容易であること、開発のプラットフォームとして、他のパソコンが利用できるなどの利点が挙げられる。

視覚情報を処理するデバイスとして CCD カメラ (SONY EVI D30) を使用する。CCD カメラから出力される映像信号はビデオキャプチャボードへ入力され、カメラ自身の制御は RS232C プロトコルを利用した制御コマンドにより、パン・チルト機能といったコントロールを行うことができる。

接触センサについては、通常キーボードで使用される PS/2 端子を使用し、キーボードと同様のマトリクス配列をセンサ上で再現し、これを接触センサとして使用する。これにより接触センサは通常のキーボード入力と同等となり、プログラミングが容易になり、拡張性も高まる。接触センサ本体は直径 2 cm ほどの丸形のプッシュスイッチ (SANYO OBSN-24) を用い、取り付け位置を図 2 に示す。

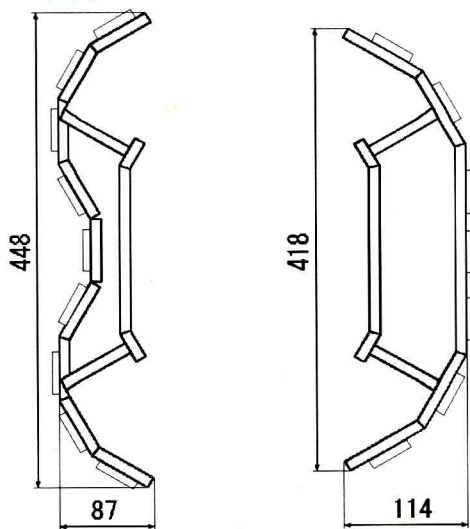


図 2 接触センサ外形図

これらのパソコンやカメラ、タッチセンサなどを市販のラジコンを改造したシャーシに取り付け、サッカーロボットとして製作した。完成したロボットの写真と外形を図 3 及び図 4 に示す。

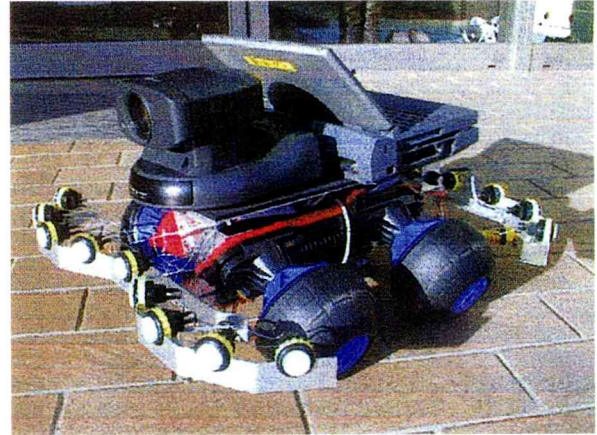


図 3 ロボットの写真

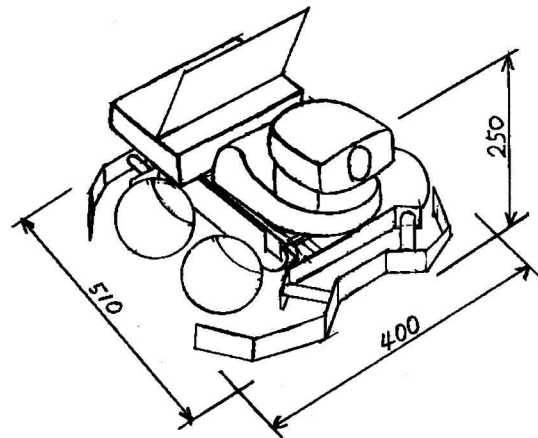


図 4 ロボットの外形

3. カメラ、センサ及びモータの制御方法並びに結果

完成したロボットのカメラ制御や画像処理、タッチセンサについて実験した結果を述べる。

3. 1. カメラの制御

カメラを RS232C を通して制御するために、以下の関数を Visual C++ を用いて作成した。

3. 1. 1. 作成した関数群

```
cam_reset(void);
```

- cam_reset はカメラの電源を入れた後、ズーム、フォーカス、ホワイトバランス、アイリスの順に設定コマンドをカメラに送信する。これらの初期設定は全て Auto にしている。

- この関数は int 型で宣言し、戻り値はデータの送信が全て成功した場合は 0 となる。どこかでデータの送信が失敗した場合には、あらかじめ送信するコマンドに応じて設定した値を返すようにしている。

```
cam_close(void);
```


- ・カメラの電源を落とす。
- ・戻り値はコマンドの送信に成功した場合は1、失敗した場合は0とする。

```
cam_move(int y_speed,int z_speed,int
y_position,int z_position);
```

- ・カメラの動いた後の位置とそのときの速度を指定してカメラを駆動（パン・チルト）させる。
- ・y_speed:パン(横)方向の動きのスピード(1~24)
- ・z_speed:チルト(縦)方向の動きのスピード(1~20)
- ・駆動方式としては原点からの座標を指定する絶対値駆動方式が用いられる。
- ・y_position:横軸の座標値(-880(left)~880(right))
- ・z_position:縦軸の座標軸(-300~300)
- ・戻り値は送信に成功した場合には1、失敗した場合には0となっている。

```
cam_comand(char);
```

- ・この関数では、コマンドを直接文字列にして格納し、引数として送る。
- ・戻り値は成功した場合は1、文字列が違っていた場合は2を返し、送信に失敗した場合4を返すことにしている。ここで、文字列の判定は文字の数が偶数個であるか、最後は"ff"であるかを判定しているだけで、コマンドの詳細については判別していない。

図5に作成した関数を使用して移動速度を設定し、カメラをパンさせた場合の速度と実際の速度の関係を示す。

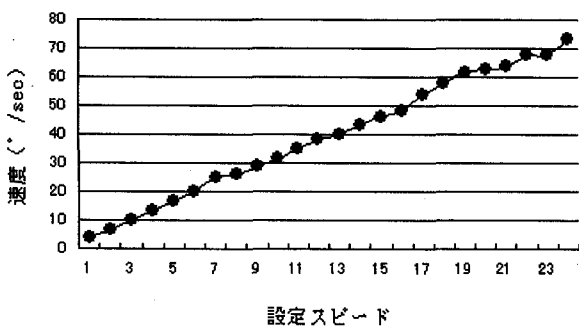


図5 設定スピードと実際の速度の変化

図5より、設定スピードと速度がほぼ比例関係を示していることが判る。最大で75°/SEC程のスピードが出ているが、最大速度では画像処理のスピードが追いつかないと考えられるのでカメラのパン速度については慎重に決定する必要がある。

3. 1. 2. カメラ制御関数の作成結果と問題点

今回作成した関数は当初の目的通り問題なく動作している。しかしながら、次のような問題点もあり、改良が必要である。

C言語(Visual C++)を用いてRS232Cで通信のパラメータを設定する場合、通信パラメータの設定が継続されないため、いったん処理を終えてしまうと、次に送信するときには再び通信パラメータの設定を行う必要がある。現在のプログラムではエラーの発生した場所が判明しにくいので、エラーが発生した場所を特定できるようにする。また、エラーが発生したときの対処がほとんどされていないので、そのときの対処方法を考える必要がある。また、カメラの移動の途中に次の命令が入った場合、後に入力された命令を優先されるため、先に送信されたコマンドの実行が終了した後に次のコマンドを送信する必要がある。

3. 2. 画像処理

RGB表現されたカラーの画像データは、R、G、Bに対応した3枚の画像データから構成されている。

ボール、ゴール、フィールド、壁はすでに色分けされているが、カメラからの出力画像はフルカラーで表示されているので色情報は複雑になっている。その画像の認識を容易にするためには、何らかの処理を施さなければならない。今回以下のような実験を行った。

3. 2. 1. 画像の減色の実験

ビットマップの画像には、1ピクセルごとにR、G、B3色の色情報が含まれており、さらに各色の色情報は0から255の数値で表される。これらの数値の組み合わせにより24ビット16,777,216 (=256×256×256)色まで表される。またこの画像は、加法混色の原理が用いられているためこれらの各数値が大きければ色は白に近づく。

減色処理では、この数値を自分で決めた閾値に照らし合わせることによって色の判別を行いそのピクセルのデータを判定した結果の色に置き換える。これをすべてのピクセルのデータについて繰り返し、その画像を再びディスプレイに出力する。

3. 2. 2. 画像識別の実験

実際に競技をするにはボールやゴールを認識させなければならない。その方法は、減色処理された画像から認識させたい色、例えばボールなら赤、ゴールなら黄というように特定の色情報がピクセルに格納されていれば定義しておいた変数に格納していく。そうすると、映し出された画像にボールがあれば赤を格納する変数には、赤

になっているピクセルの数が含まれる。この方法を用いてボールやゴールを判別させる。またこの方法は次の検証にも用いる。

3. 2. 3. 距離認識の実験

競技を行うフィールドはかなり広いためカメラでのボール探知は難しい。また、ボールに正確に近づくためにはカメラからの映像でボールまでの距離を把握しなければならない。この実験によりどの程度の距離までボールを認識できるかを調べ、またカメラからの各距離に対するボールの大きさ(赤のピクセル数)を調べた。その際、認識処理を簡素化するため、ビットマップ画像の減色をおこなった。

減色前の画像と減色後の画像の結果を図6、図7に示す。

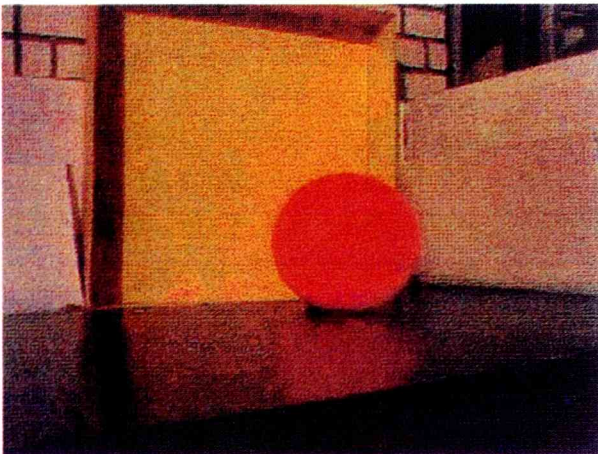


図6 減色処理前の画像

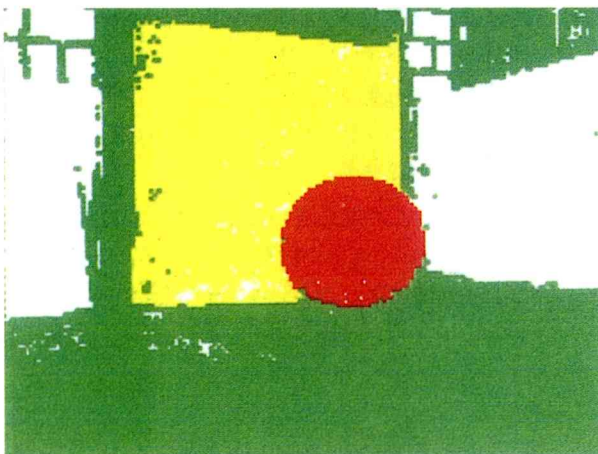


図7 減色後の画像

図7から、フィールド、ボール、フェンス、ゴールの4つに正しく減色と色分けが行われているのがわかる。今回、4色に分けて減色する際元の画像からRGB値を調べ各色の閾値を設定した。

3. 2. 4. 距離認識の結果

減色処理した画像から赤色のピクセルの成分のみを取り出した。画像処理結果を図8に、赤色のピクセル数と距離の関係をグラフにしたものを図9に示す。

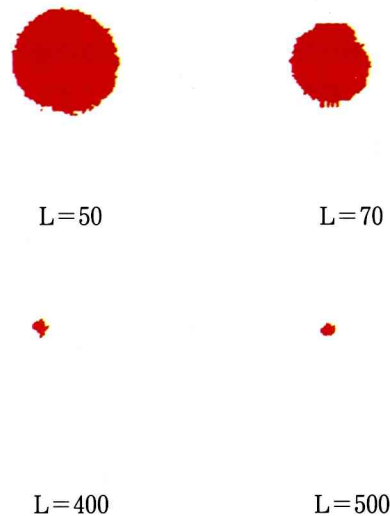


図8 各距離の処理結果(単位はcm)

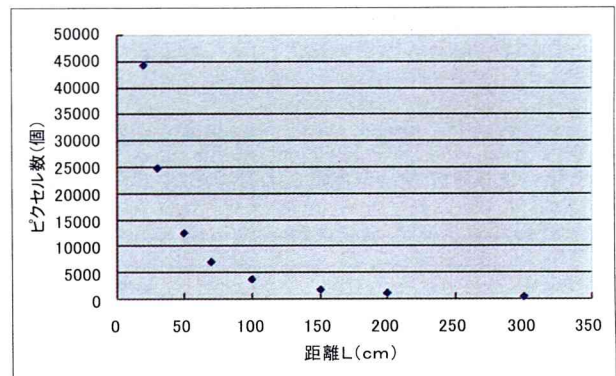


図9 距離とピクセル数の関係

図9の結果から200cm程度までなら赤の占有率で距離が導き出せることが判る。

3. 2. 6. 画像処理実験の結果と問題点

今回、画像処理の実験では正しく色分けを行うことができた。これは取り込んだ静止画像を元に自ら色の閾値を設定したためだが、実際にはフィールド上の照明の環境により明るさの度合いが変化するため本実験で用いた閾値の設定方法では画像処理が正確に行われず、減色によるボールなどの判別や距離認識などに誤差が生ずるおそれがある。この様なことを解消するために今後明るさ等の変化に対応できる閾値の設定方を新たに考えなければ

ばならない。また、それと併せてカメラからのリアルタイムな出力映像を表示するプログラムの作成、および、その表示された映像に対するロボットの行動プログラムの作成が必要である。

3. 3. タッチセンサの状態取得実験

作成したタッチセンサは、図2に示すようにロボットの前面に9個、後面に7個配置したものである。このセンサはSANYO製のプッシュスイッチOBSN-24を使用し、個数及び治具の形状はロボットがサッカーをする際に必要最小限だと思われるだけのセンサを配置した。

パソコンとの接続はPS/2端子を用いて行うが、この端子のデータ転送方式はシリアル方式をとっているので変換を行う必要がある。この変換回路は制作の困難なことから市販のキーボードを分解して流用した。今回使用したものは、MITSUMI製のKFK-EA9XAである。各センサと対応させたキーは、前がQ,W,E,R,T,Y,U,I,O、後ろがA,S,D,F,G,H,Jである。変換回路とセンサとの接続図を図10に示す。

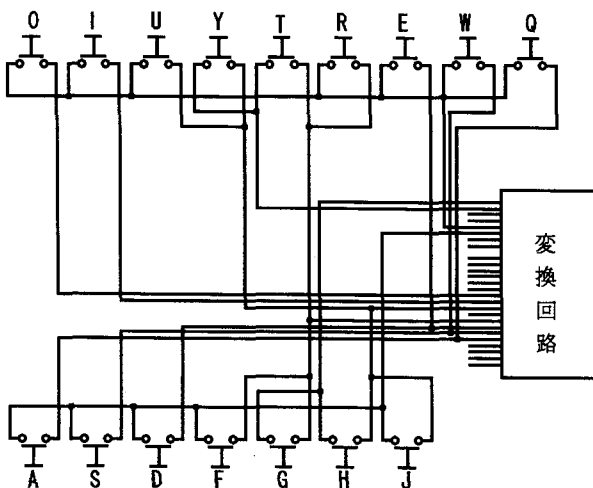


図10 各センサと変換回路の接続図

センサをキーボード上のキーに対応させることは前述したが、実際にプログラムを作成する為には以下のような関数がある。

- OnKeyDown : キーボード上のキーが押された時に呼び出される。
- OnKeyUp : 一度、押下されたキーが離され時に呼び出される。
- OnChar : キーが押下された時に文字コードを返す。

これらは、Windows標準のAPI関数で、このうちOnKeyDown、OnKeyUpは押下されたキー（文字）の

文字コードではなく、仮想キーコードを使うため、ファンクションキーのような特殊なキーも検出することができる。しかし、英文字の大小の区別を行うことができない。一方、OnCharは押下されたキーの文字コードそのものを検出する為、文字コードを持たない特殊キーは検出することができない。

それぞれの関数の書式及び変数の定義は次の通りである。

(1) CWnd::OnKeyDown

書式 void xxx::OnKeyDown(UINT nChar,UINT nReCnt,UINT nFlags);

- nChar : 指定されたキーの仮想キーコード
- nRepCnt : キーを押し続けた時のリピート回数
- nFlags : スキャンコードやその他のキー情報

(2) CWnd::OnKeyUp

書式 void xxx::OnKeyUp(UINT nChar,UINT nReCnt,UINT nFlags);

- nChar : 入力キーの仮想キーコード
- nRepCnt : キーを押し続けた時のリピート回数
- nFlags : スキャンコードやその他のキー情報 (OnKeyDownと同じ)

(3) CWnd::OnChar

書式 void xxx::OnChar(UINT nChar,UINT nReCnt,UINT nFlags);

- nChar : 入力キーの文字コード
- nRepCnt : キーを押し続けた時のリピート回数
- nFlags : スキャンコードやその他のキー情報

以上の関数はキーが押下されたとき、また離された時に呼び出されることは前述したが、押下された（離された）キーの種別はnCharで分かる。ここで渡されるキーコードは用意されている仮想キーコードになる。キーボードは、あるキーを押し続けると連続入力する機能（オートリピート機能）を持っている。オートリピートされているときは、入力としてカウントされた回数がnRepCntで渡される。また、nFlagsには各種の補助情報が渡される。この中で重要なのはビット14で、ここをチェックすればキーが連続で押されているかどうかの確認ができ、単なるキー連続押下の確認にはnRepCntよりも便利である。実際のプログラミングにおいてはnCharを使用することが多かったが、いろいろなキー情報を持つnFlagsについて図11に示す。

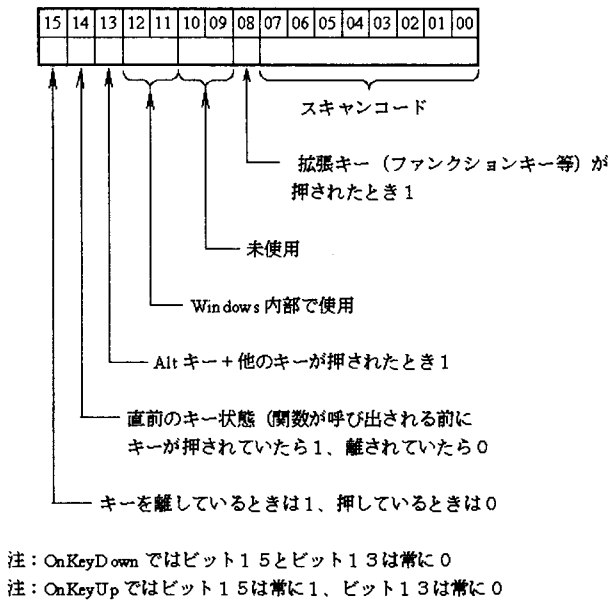


図11 nFlags の持つキー情報

最初に作成したプログラムは、センサの数もあまり多くない（アルファベットの数よりも少ない）ことより、OnChar 関数を用いてセンサへの入力を見るようにした。しかし、この関数では一つの入力に対してしか受け付けず、一つの入力があるときに次の入力が行われると、即ち同時に入力されると後者の入力しか返されず、前者に対しては無視されてしまった。また、OnKeyDown 関数も同様の一つの入力に対してのみ働き、同時入力ということに対して有用でなかった。ここまでの実験で、これらの関数が新しく入力されたキーに対してのみ有効で、キーボードの現在の状態を取得することのできる関数ではないことが分かった。しかし、ロボットの制御を行う上で同時にセンサへの入力があることは十分に考えられる。キーボードの状態を取得できるタイプの関数を探したが、結局見つけることができなかった。そこで、本研究では OnKeyDown 関数と OnKeyUp 関数を組み合わせることにより、同時入力への対応を試みた。その方法は、OnKeyDown 関数がキーが押下されたときに働き、OnKeyUp 関数がキーが離されたときに働く関数であることを利用したものである。まず、どのキーが押下されたかを調べ、そのキーを記憶しておき、そのキーが離されるまで押されているものとし、離されたことが分かった時に記憶していたものを消すという方法（実際には、各キーに対応させた変数にキーが押されているときに1を入れ、キーが離され手いるときは0を入れるというもの）である。

今回作成したタッチセンサ及び、プログラムを用いて実際にどのくらいの数までの同時入力に対して反応でき

るか実験を行った。実験では、前後別々に4個までの同時押しを行った。その結果、2個から7個の同時入力が可能であることが確認された。同時入力の個数にばらつきがあるのは、タッチセンサの配列とキーボードのキーマトリックスに関係していることが判った。キーマトリックス上の同一ラインを共有しているキーに対応するセンサが反応すると、他のマトリックスラインとの同時入力ができなくなる事が多い。また、ラインを共有しているキーのどちらか一方だけを押ししている間は、他のキーも反応する事ができた。最初、このキーと各センサとの対応は分かりやすいようにキーボードのキーの順に割り当てた。この実験を行った結果、できるだけ共有するラインがないように、また同時に入力されることが予測できるようなどころには反応の限界がこないようなキーの割り当てが必要であることが分かった。

謝 辞

本研究は電子制御工学科、川西努、塩田博明、津田竜士、藪上勝宏君らの卒業研究として行われた。ここに感謝の意を表します。なお、本研究は共著者である故岸下晴亮教授の発案により実施され、完成を見ることなく逝ってしまわれた同教授の冥福を祈るとともに、遺志を受け継ぎ今後の研究を発展させたい。

参考文献

- 1) 中村恭之 他：ロボットサッカーの研究のための安価な視覚移動ロボットの開発、J S M E ロボメカ・シンポジウム講演論文集、vol. 3rd. 33~36. 1998
- 2) 入門編C G 標準テキストブック編集委員会：入門編C G 標準テキストブック、画像情報教育振興会、1997
- 3) 画像電子学会：画像電子ハンドブック、コロナ社、1993
- 4) 林晴比古、新 Visual C++6.0 入門 シニア編、ソフトバンク パブリッシング株式会社、1999

「人工筋肉」と「超音波モータ」に関する研究動向

矢野 順彦

The study trend about "the artificial muscle"
and "the ultrasonic motor"

Yorihiko YANO

In recent years, the expectations to an actuator, "an artificial muscle" which imitated the characteristic of the living body muscle is rising. It is because are endowed with the light weight, the big output / the cross section ratio, and moreover a lot of excellent functions and nature to be wealthy in the flexibility, and so on, being small when attempting to make a living body muscle an actuator. A study about the actuator is carried forward in each place but a study is extensively carried forward about "the ultrasonic motor" which used the opposite piezoelectric effect of the piezoelectric ceramic, too. The ultrasonic motor has the advantage to be excellent about the low-speed high torque, the responsibility, and so on.

The result, which investigated what study, was done at present by "artificial muscle" and "ultrasonic motor" in this paper under by using Ei-compindex is described.

Key Words: artificial muscle, ultrasonic motor, study trend, Ei-compindex.

1 はじめに

生体筋肉をアクチュエータとしてみると、小型・軽量、大きな出力/断面積比、高いエネルギー効率、さらに柔軟性に富むためそれ自身で外部衝撃を緩和できるなど多くの優れた機能や性質が備わっている。そのような特徴をもったアクチュエータを創り出すことができれば、人間の運動系に近い柔軟で適応力に優れた制御システムが実現できると考えられる。このアクチュエータのことを一般に「人工筋肉」と称することが多い。

現在、一般に使用されているアクチュエータは電磁式である。電磁式モータは制御性が優れている理由から普及しているものの、それを構成する材料によって性能が決まる。そのため今後大きな進歩は期待できないと指摘されている[1]。

これに代わるアクチュエータは各地であらゆる種類の研究が進められているが、その特徴は一長一短である。この中でも注目できるのは、圧電セラミックの逆ピエゾ効果を応用した「超音波モータ」である。超音波モータは低速高トルク、応答性に優れるなどの利点を持つ。欠

点としては摩擦駆動のため、長時間運転の際に発熱を伴うことである。しかしながら、生体は長時間同じ筋肉を使っているわけではないので、あまり問題にならない。よって「超音波モータ」は、「人工筋肉」の候補として十分に期待が持てる。

本稿では、各方面で研究されている「人工筋肉」ならびに「超音波モータ」について、それぞれ最近10年間(1989年～1999年)の研究動向について解説する。なお、この研究動向の調査には Ei-compindex を用いた。

2 人工筋肉

現在、「人工筋肉」は明確に定義されていない。Ei-compindex を用いて、"artificial"、"muscle"、"artificial muscle" のキーワードが標題または要約に含まれている、最近10年間の研究論文を検索した。その件数は以下の通りである。

| | |
|---------------------|-----------|
| "artificial" | …77,259件、 |
| "muscle" | …6,076件、 |
| "artificial muscle" | …81件 |

本章はキーワード "artificial muscle" が含まれる81件

の研究論文について簡単に紹介する。分類として大きく、「物質の化学反応を用いたもの」、「空気圧を用いたもの」、「電界作用を用いたもの」、「形状記憶合金の特性を用いたもの」、「人工筋肉の研究に関する調査」、「その他」の5種類に分けることができる。「その他」は生体筋肉特性の測定に関する論文を含めている。また複数の電磁式アクチュエータを拮抗配置にすることで「人工筋肉」と称している論文も含めることにした。年ごとの内訳を図1に示す。ばらつきが激しいため一概にいけないがグラフより、「物質の化学反応を用いたもの」、「空気圧を用いたもの」が1991年頃から、少し遅れて「電界作用を用いたもの」が1993年頃から、さらに遅れて「形状記憶合金の特性を用いたもの」が1998年頃から始まっている。年々、人工筋肉への関心が高まっていることがいえるが、多くても年11件(1997年)とまだまだ少ない。なお図1のグラフで1999年が極端に下がっているのは文献調査を同年10月頃に行ったからである。

以下に、人工筋肉の開発という観点に基づいて「物質の化学反応を用いたもの」、「空気圧を用いたもの」、「電界作用を用いたもの」、「形状記憶合金の特性を用いたもの」について紹介する。

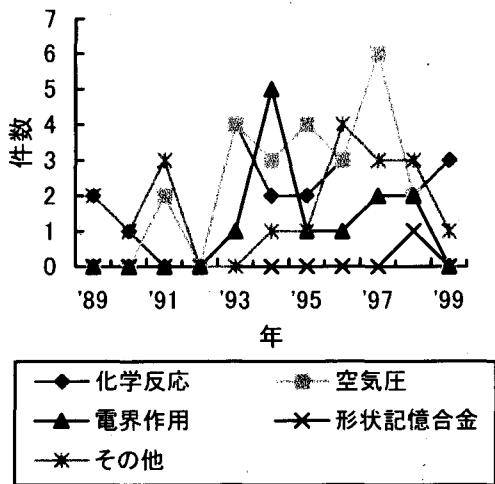


図1 人工筋肉に関する研究の件数

2.1 物質の化学反応を用いたもの

生体筋肉は蛋白質で構成されている。この蛋白質の化学的性質を模倣した人工筋肉について各地で提案されている。物質のイオン交換を用いたもの、ポリマー性材料を用いたもの、ゲル状の物質を用いたものなど、検索件数は計25件であった。Vialらによるイオン交換性ポリマーを用いた人工筋肉の位置制御実験[2]、Oteroらによる多ピロールの特性実験[3]、SuzukiによるPVA(ポリビニールアルコール)ハイドロゲルの応答特性実験[4]の報告など、様々な物質の化学的性質を利用した研究が

進められている。

2.2 空気圧を用いたもの

空気圧を用いたアクチュエータは、システム容積が大きくなる傾向があるものの、空気の圧縮性を利用した力制御ができる。空気圧の持つ柔軟性を備えたアクチュエータの研究は国内外の各地で研究されており、ゴムと組み合わせたものが多い。検索件数は24件であった。なかでもMcKibben人工筋と呼ばれるゴム製アクチュエータに関する研究はとりわけ多く、Tonduらはブリヂストン社と共同研究で2自由度スカラロボットの製作を行っている[5]。またChouらは生体筋肉との特性比較を行っている[6]。

国内ではNoritsuguらがゴム製空気圧アクチュエータを療養ロボットに適用した実験および評価を行っている[7]。

2.3 電界作用を用いたもの

電界作用を人工筋肉に応用した研究の検索件数は12件であった。

主に電気粘性流体を用いたものと静電力を用いたものとの2種類がある。

電気粘性流体とは電界を与えると粘性が可逆的に変化する流体である。特性の違いにより粒子分散系と均一系の2つに大別される。粒子分散系電気粘性流体は、電圧の印加により分極した粒子が電界方向に粒子のブリッジを形成する。この流体は図2(a)の特性を持つ。電界強度Eが零のときはニュートン流体としての特性を示し、電界が印加されるとビンガム流体としての特性を示す。すなわち電圧印加時にはクーロン摩擦に近い振る舞いをする。また均一系電気粘性流体は、低分子液晶および高分子液晶が用いられており、図2(b)の特性を持つ。この流体は剪断速度にほぼ比例した剪断応力が発生し、電界によってその勾配である粘性が制御できる。つまり一定の電界のもとで速度に比例した機械的抑制力が得られる。そのためいわゆる微分制御に相当するものが機械的に実現できる[8][9]。

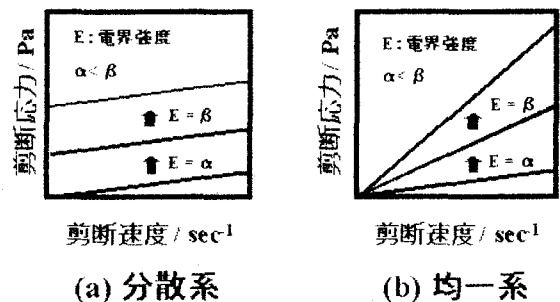


図2 電気粘性流体の特性

この電気粘性流体の特性を利用して、生体筋肉が持つ粘弾性を実現する研究が行われている。Bohonらは電気粘性流体とシリコキサンゲルを用いた人工筋肉を提案し、応答特性を調べている[10]。またTanakaらは電気粘性流体における電界強度の制御手法を提案し、実験により有効性を示している[11][12]。

一方、静電力を用いたものに静電アクチュエータがある。静電アクチュエータとは、帯電状態が異なる物体間に働く静電気力を利用して動作するアクチュエータである[13]。

動作原理を図3に示す。極めて高い抵抗率の抵抗体層を持ったスライダと、図の場合3相に配置された電極を持つステータとから構成される(1a)。電極に正負の電圧を印加すると、抵抗体層内で電荷が働いてスライダに逆符号の電荷が充電される(1b)。このときスライダには垂直方向の吸引力が働くだけであり、また摩擦力が働くので動くことはできない。次にステータの電圧を(2a)のように切り換えると、電極の電荷はすぐに入れ替わるが、スライダの電荷は抵抗体層により変化に時間を要する。つまり電圧を切り換えた直後は元の状態を保持している。このとき電荷間の作用により、スライダには右向きの力が加わる。また垂直方向の吸引力は減少ないし反発力となって浮上力が生じるため、摩擦力は減少する。その結果、スライダは右に電極1ピッチ分だけ動く(2b)。スライダ駆動中に電荷が失われるため連続して駆動すると推力が減少する。そこで、移動子が静止した状態で、(3)のように電極を1相ずらして正負の電圧を印加して再充電を行う。失われる電荷は全体の一部分なので、再充電の時間は初期充電の時間より短くてもよい[14]。

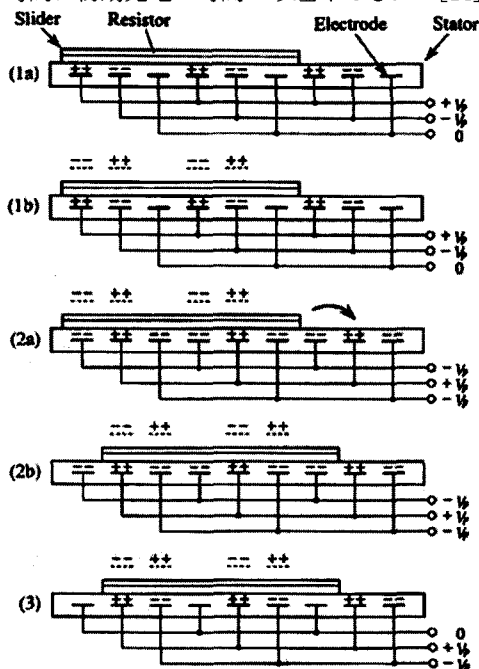


図3 静電アクチュエータの動作原理

静電アクチュエータの研究は1993年頃から始まっており、比較的新しい。Kabeiらによるリニア型静電アクチュエータは入出力特性が年々改善され、1997年の段階では入力電圧300[V]に対して出力は8.3[mN]である[15]。

2.4 形状記憶合金の特性を用いたもの

形状記憶合金(SMA)を用いた人工筋肉の研究は少ない。検索件数は、BaranyiらによるSMAを用いたロボット指のファジー制御[16]の1件のみであった。SMAはアクチュエータの小型軽量化が容易にできる特長を持つが、制御が非常に難しいなどの欠点を持つ。

2.5 その他

人工筋肉の開発を目的とした生体筋肉の特性実験、人工筋肉の制御手法に関する研究や解説などが含まれる。検索件数は計19件であった。Caldwellらは筋肉の物質化学的変化の過程における数学モデルを構築し、動作シミュレーションを行った[17]。Liuらはアクチュエータを拮抗配置にしたマニピュレータにおけるインピーダンストルク制御の実験をしている[18]。またKatayamaらは新しいパラレル階層性ニューラルネットモデルを提案し、シミュレーションとマニピュレータ実験の報告をした[19]。

3 超音波モータ

超音波モータとは超音波領域の機械的振動を駆動源とするアクチュエータ(モータを含む)である。超音波モータの一般的特徴を以下に列記する[1]。

- 超音波振動子のエネルギー密度が高いため、小型軽量となる。
- 巻線は不要であるため、構造が簡単になる。
- 効率が高い。
- 応答性が良く、制御性に優れる。
- 保持トルクが高い。
- 摩擦駆動のため、耐久性に問題がある。
- 高周波電源を必要とする。

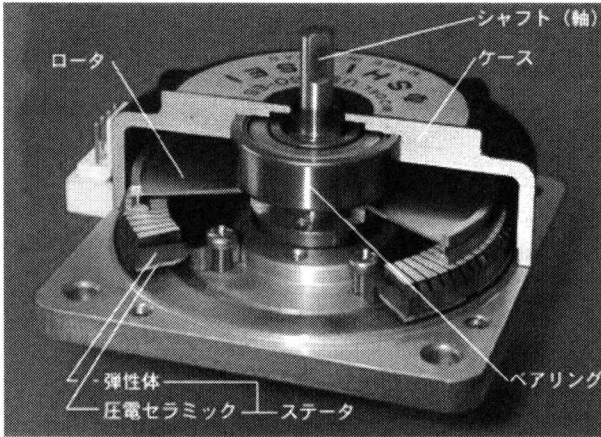


図4 進行波型超音波モータの構造

代表的な超音波モータとして、指田らが開発した進行波型超音波モータの構造を図4に示す[20]。圧電セラミック、弾性体、ロータ、ベアリング、出力軸で構成されており、電磁式モータと比較して部品点数は少ない。

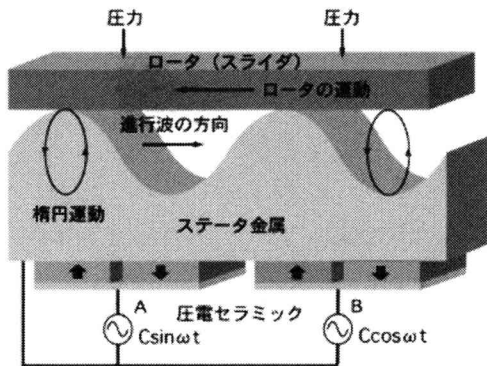


図5 超音波モータの動作原理

図5に進行波型超音波モータの動作原理を示す。圧電セラミックと金属などの弾性体を貼り合わせてステータを構成し、ステータにバネなどの手段で加圧接触してロータ (スライダ) を設置する。そして、磨耗低減のためにロータの表面には耐磨耗性の摩擦材を構成する。圧電セラミックには2組の駆動電極が形成され、それぞれ所定の位相差を持った交流電圧を印加すると、ステータに進行波が励振される。このときステータ表面の点は、図5のような楕円軌跡を描いて運動する。ロータは進行波の波頭でのみステータと接触しているため、楕円軌跡により摩擦駆動される。その結果、ロータは進行波の進行方向と逆の方向に移動する[20][21]。

Ei-compindex を用いて "ultrasonic"、"motor"、"ultrasonic motor" のキーワードがタイトルまたは要約に含まれている、最近10年間の研究論文を検索した。その件数は以下の通りである。

"ultrasonic" …22,334件、

"motor" …30,048件、

"ultrasonic motor" …257件

であった。本章はキーワード "ultrasonic motor" が含まれる 257 件の研究について述べる。分類としては大きく「各種超音波モータの試作と評価」、「超音波モータの特性解析」、「超音波モータの各種制御」、「超音波モータ駆動回路の試作と評価」、「超音波モータの応用」、「超音波モータ研究に関する調査」の6種類に分けることができる。

年ごとの内訳を図6に示す。グラフより、超音波モータの試作とその評価に関する研究が圧倒的に多いこと、そして1994年以降から研究件数が増えている傾向にあることがわかる。この頃から超音波モータが研究者達に認知され、研究対象となっていくものと考えられる。なお図6のグラフで1999年が極端に下がっているのは文献調査を同年11月頃に行ったからである。

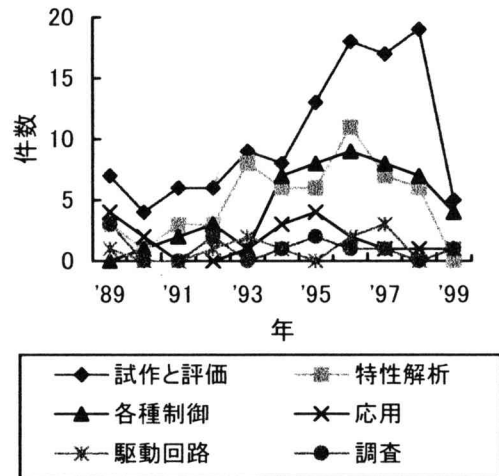


図6 超音波モータに関する研究の件数

3.1 各種超音波モータの試作と評価

指田らによる進行波型超音波モータが1982年に発表されて以来、日本の大学や企業の研究室において種々のモータが試作され改良されている。検案件数も多く112件であった。その研究動向の1つとして複合振動の利用が挙げられる。

その一つが上羽らの複合振動子型超音波モータ[21]である。この方式は、積層型圧電アクチュエータと圧電セラミックとの間にねじり振動子を挿入していることである。振動子の金属ブロックに横方向のねじり振動が発生し、それに同期して積層型圧電アクチュエータが縦方向に振動する。その振動の合成によってアクチュエータの表面に楕円運動を発生させる仕組みである。縦振動と横振動を独立に制御できるのが特徴である。Aoyagiらの超音波モータはたわみ波と縦の伸縮運動とを合成させ

ることによってロータに駆動力を与えている[22]。また Tsujino ら[23]と Tomikawa ら[24]も、この方式を応用した超音波モータを開発している。

この他にも Hirose らのロータとステータとが非接触な超音波モータの評価[25]や、Toyama らによる球形超音波モータの開発[26]など各地で研究が進められている。

3.2 超音波モータの特性解析

超音波モータの理論解析、モデル構築に関する研究も行われている。検索件数は54件であった。超音波モータは前述の通りステータ振動とロータの摩擦により駆動される。そのため、振動と摩擦の特性に関する研究が多い。Chu らは超音波モータ駆動の振動モードを有限要素法で解析を行っている[27]。また Kusakabe らはロータへの加圧問題を扱い、ロータの初期位置の選択が重要という結果が得られている[28]。

3.3 超音波モータの各種制御

超音波モータの動作原理は電磁モータのそれと全く異なる。そのため超音波モータの各種制御に関する研究も盛んに行われている。検索件数は51件であった。位置決め制御、速度制御、ファジィ制御、力制御、最適制御など多様である。

まず位置決め制御であるが、従来ロータの位置情報を用いて低ゲインの比例制御を行うものがほとんどで、その位置決め速度は数秒のオーダーであった。そのなかで Aoyagi らは超音波モータの位相入力と速度出力との関係を利用した位置決め制御法を提案、高速(50ms)かつ精密な位置決めを実現している[29]。また Senjyu らはパラメータ同定とPI制御による位置決め制御法を提案している[30]。

速度制御については、超音波モータに印加する駆動信号の振幅、周波数、位相差などのパラメータの変化で操作可能であるが、それは非線形な関係を持っている。これにあらゆる手法を併用して線形化、もしくは応答性向上を目指した研究が行われている。Senjyu らは周波数制御とPWM速度制御を組み合わせる超音波モータ駆動の効率化を試みている[31]。Izuno らは超音波モータの速度サーボ制御システムを提案、有効性を実験している[32]。

超音波モータの諸特性は非線形であることから、現代制御理論を使った各種制御の研究もされている。Aoyagi らはファジィ制御器による位置決め制御を試みている[33]。また Lin らはファジィニューラルネットワーク制御器を提案し、超音波モータ応答特性の実験を

行っている[34]。

最後に力制御であるが、Kaneko らはトルク調整が可能な超音波モータの提案をしている[35]。また Ito らは超音波モータで駆動する義手のコンプライアンス制御の実験を行っている[36]。

3.4 超音波モータ駆動回路の試作と評価

超音波モータの効率駆動を目的とした駆動回路に関する研究も少数であるが行われている。その検索件数は11件であった。Furuya らは高周波共振インバータ[37]、Lin らは二相電流源インバータ[38]を用いた駆動回路の製作および実験を行っている。また Ishii らは矩形波により駆動する超音波モータのシミュレーションおよび実験を試みている[39]。

3.5 超音波モータの応用

超音波モータの利点である、低速高トルク、自己保持特性、高応答性などの利点を生かした応用研究も行われている。検索件数は18件であった。Nishibori らは超音波モータを用いたロボットハンドを製作し、位置決め制御の実験を行っている[40]。Das らは火星探査のためのロボットマニピュレータのアクチュエータ要素として超音波モータを使い、他の要素との最適化を研究している[41]。Mori らは超音波モータを使ったXYテーブルの制御系について実験を行い、最高速度100mm/s、位置誤差 $0.016\mu\text{m}$ の結果を得ている[42]。Kato らは焦点調整部に超音波モータを用いた高解像度CRTの開発を行っている[43]。このように超音波モータをロボットマニピュレータや焦点機構などに応用するための研究開発が進んでいる。

3.6 超音波モータ研究の調査

アクチュエータ研究者にとって、電磁式アクチュエータにはない特徴を持つ超音波モータは興味深い。そのなかで超音波モータに関する解説や調査研究も行われている。検索件数は11件であった。

Bak らはマイクロモータの必要性和超音波モータの可能性について解説している[44]。Wallaschek は圧電超音波モータの種類と問題点について解説している[45]。Snitka らは旧ソビエト連邦における超音波モータ研究について調査している[46]。同様に Chu らはアメリカ国内における超音波モータ開発動向について、インターネットを用いて調査している[47]。

4 おわりに

本稿では、Ei-compendex を用いて最近 10 年間における「人工筋肉」と「超音波モータ」に関する研究動向について、他の文献を交えながら述べた。

過去 10 年間の研究論文の中で、超音波モータを生体系に適用した研究は Ito らによる義手のコンプライアンス制御[35]があるものの、人工筋肉の一要素として超音波モータを適用した研究はみられなかった。

超音波モータは低速高トルク、応答性に優れるなどの利点がある。しかし生体筋肉のような粘弾性を持っていない。そこで超音波モータと、電気粘性流体などの他要素とを組み合わせることによって、粘弾性制御もできる人工筋肉が実現可能になると考えられる。

冒頭でも述べたように、生体筋肉のようなアクチュエータを創り出すことができれば、人間の運動系に近い柔軟で適応力に優れた制御システムが実現できる。それはこれまでのロボットに不可能だったことを可能にするはずである。

謝 辞

日頃のご指導を賜っているだけでなく、Ei-compendex の使用法についてもご教授いただいた大阪大学大学院工学研究科電子制御機械工学専攻の古荘純次教授、坂口正道助手に感謝いたします。

参考文献

- [1] 内野研二：圧電/電歪アクチュエータ，森北出版，1986.
- [2] Vial-Dominique他：Ion-exchange polymer artificial muscle and actuating system, Proceedings of SPIE The International Society for Optical Engineering, v2779, pp359-364, 1996.
- [3] Otero-TF他：Bilayer dimensions and movement in artificial muscles, Bioelectrochemistry-and-Bioenergetics, v42 n.2, pp117-122, 1997.
- [4] Suzuki-Makoto：Artificial muscle by PVA hydrogel can generate high power close to living skeletal muscle's, Proceedings of the Annual Conference on Engineering in Medicine and Biology. v11 pt3, pp916-917, 1989.
- [5] Tondu-Bertrand：Dynamic model of the McKibben artificial muscle contraction, IEEE ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, pp64, 1997.
- [6] Chou-Ching-Ping他：Measurement and modeling of McKibben pneumatic artificial muscles, IEEE Transactions on Robotics and Automation, v12 n1, pp90-103, 1996.
- [7] Noritsugu-Toshiro他：Application of rubber artificial muscle manipulator as a rehabilitation robot, IEEE ASME Transactions on Mechatronics, v2 n4, pp259-267, 1997.
- [8] 古荘純次,坂口正道：ER流体を用いたニューアクチュエータ, 日本ロボット学会誌Vol.15 No.3, pp323-325, 1997.
- [9] 電気粘性流体/ER Consortiumホームページ：
<http://www.mmjp.or.jp/ER-CONSORTIUM/>
- [10] Bohon-K 他：Electrorheological fluid and siloxane gel based electromechanical actuator: working toward an artificial muscle, Journal of Polymer Science -Part-B: -Polymer Physics, v36 n6, pp1091-1094, 1998.
- [11] Tanaka-Yutaka：Development of ERF-actuator for driving artificial muscle, Nippon Kikai Gakkai Ronbunshu -C, v60 n579, pp3882-3887, 1994.
- [12] Tanaka-Yutaka他：Development and analysis of an ERF pressure control valve, Mechatronics. v7 n4, pp317-335, 1997.
- [13] 鈴森康一：静電アクチュエータ, 日本ロボット学会誌Vol.15 No.3, pp342-346, 1997.
- [14] 東京大学 樋口研究室ホームページ：
http://www.intellect.pe.u-tokyo.ac.jp/japanese/index_j.html
- [15] Kabei-Nobuyuki他：Electrostatic linear actuator developed as a biomimicking skeletal muscle (slider made of conductive material), Nippon Kikai Gakkai Ronbunshu -C, v63 n606, pp451-456, 1997.
- [16] Baranyi-Peter他：Fuzzy rule base reduction for robot finger furnished with shape memory alloy, IECON Proceedings (Industrial Electronics Conference), v1, pp6-11, 1998.
- [17] Caldwell-D-G 他：Artificial muscles as robotic actuators, IFAC Proceedings Series, n10, pp401-406, 1989.
- [18] Liu-Hong 他：New control strategy for DLR's multisensory articulated hand, IEEE Control

- Systems Magazine. v19 n2, pp47-54,1999.
- [19] Katayama-Masazumi 他 : Parallel-hierarchical neural network model for motor control of a musculo-skeletal system, Syst Comput Jpn, v22 n6 1, pp95-105, 1991.
- [20] (株)新生工業ホームページ :
<http://www.tky.3web.ne.jp/~usrmotor/>
- [21] 見城尚志,指田年生 : 超音波モータ入門, 総合電子出版社, 1991.
- [22] Aoyagi-M他 : Ultrasonic motor based on coupled longitudinal bending vibrations of a diagonally symmetric piezoelectric ceramic plate, Electronics and Communications in Japan -Part-II : -Electronics, v79 n6, pp60-67, 1996.
- [23] Tsujino-Jiromaru 他 : Load characteristics and vibration loci at the driving surfaces of ultrasonic rotary motor using a longitudinal torsional vibration converter, Japanese Journal of Applied Physics, -Part-1, v37 n5B, pp2960-2965, 1998.
- [24] Tomikawa-Yoshiro 他 : A rod-type ultrasonic motor using longitudinal and torsional vibration modes, 90 IEEE 7 Int Symp Appl Ferroelectr, pp229-232, 1992.
- [25] Hirose-S 他 : Small non-contact ultrasonic motor, Proceedings of the IEEE Ultrasonics Symposium, v1, pp453-456, 1993.
- [26] Shigeki-Toyama 他 : Development of a new type of multi degree of freedom spherical ultrasonic motor, Proceedings of the Japan USA Symposium on Flexible Automation, v1, pp367-370, 1996.
- [27] Chu-Xiangcheng 他 : New type of solid-state frictional actuator, Yadian Yu Shengguang Piezoelectrics and-Acoustooptics, v20 n1, pp45-49, 1998.
- [28] Kusakabe-Chiharu 他 : Effect of pressing force applied to a rotor on disk-type ultrasonic motor driven by self-oscillation, Japanese Journal of Applied Physics -Part1, v37 n5B, pp2966-2969, 1998.
- [29] Aoyagi-Seiji 他 : Study on fast and fine position control of an ultrasonic motor, Journal of the Japan Society of Precision Engineering Seimitsu Kogaku Kaishi, v59 n2, pp299-304, 1993.
- [30] Senjyu-Tomonobu 他 : Quick and precise position control of ultrasonic motors with two control inputs Quick and precise position control of ultrasonic motors with two control inputs, Electric Machines and Power Systems, v25 n7, p 767-781, 1997.
- [31] Senjyu-Tomonobu 他 : Study on high efficiency drive of ultrasonic motors, Proceedings of the International Conference on Power Electronics and Drive Systems, v1, pp365-370, 1997.
- [32] Izuno-Yuji 他 : Speed tracking servocontrol system with speed ripple reduction scheme for traveling-wave-type ultrasonic motor, Electronics and Communications in Japan -Part-III-Fundamental Electronic Science, v81 n9, pp1-9, 1998.
- [33] Aoyagi-Seiji 他 : Position control of an ultrasonic motor using a fuzzy controller, Seimitsu Kogaku Kaishi Journal of the Japan Society for Precision Engineering, v60 n12, pp1741-1745, 1994.
- [34] Lin-F-J 他 : Fuzzy neural network position controller for ultrasonic motor drive using push-pull DC-DC converter, IEE Proceedings -Control Theory and Applications, v146 n1, pp99-107, 1999.
- [35] Kaneko-Makoto 他 : Ultrasonic motor with the capability of adjustable self-locking torque, IECON Proceedings (Industrial Electronics Conference), v1, pp66-71, 1996.
- [36] Ito-Koji 他 : Compliance control of an EMG-controlled prosthetic forearm using ultrasonic motors, IEEE RSJ GI International Conference on Intelligent Robots and Systems, v3, pp1816-1823, 1994.
- [37] Furuya-Shin-ichi 他 : Load-adaptive frequency tracking control implementation of two-phase resonant inverter for ultrasonic motor, IEEE Trans Power Electron, v7 n3, pp542-550, 1992.
- [38] Lin-Faa-Jeng 他 : Ultrasonic motor drive using a current-source parallel-resonant inverter with energy feedback, IEEE Transactions on Power Electronics 14-1, pp31-42, 1999.
- [39] Ishii-T 他 : Efficiency improvement of an ultrasonic motor driven with rectangular waveform, Japanese Journal of Applied Physics -Part1, v35 n5B, pp3281-3285, 1996.
- [40] Nishibori-Kenji 他 : Position control of robot

manipulators with ultrasonic motors using pulse width modulation, IECON Proceedings (Industrial Electronics Conference), v3, pp1844-1849, 1996.

- [41] Das-H他 : Robot manipulator technologies for planetary exploration, Proceedings of SPIE The International Society for Optical Engineering, v3668, n1, pp175-182, 1999.
- [42] Mori-Kenji他 : Ultrasonic linear motor for a high precision X-Y stage, Ultrasonics Symposium Proceedings. v1, pp657-660, 1989.
- [43] Kato-Kazuo他 : High-resolution CRT monitor using built-in ultrasonic motors for focus adjustment, Journal of the Society for Information Display, v6 n2, pp93-99, 1998.
- [44] Bak-David-J他 : Make way for small motors!, Design News (Boston), v49 n18, p 77-83, 1994.
- [45] Wallaschek-Joerg : Piezoelectric ultrasonic motors, Journal of Intelligent Material Systems and Structures, v6 n1, pp71-83, 1995.
- [46] Snitka-V他 : Status of ultrasonic motors in the former Soviet Union, Ultrasonics, v34 n2-5, pp247-250, 1996.
- [47] Chu-Xiangcheng他 : Development of ultrasonic motor in USA, Yadian Yu Shengguang Piezoelectrics and Acousto-optics, v21 n1, pp37-40, 1999.

Combined Iterative Algorithm for Nonlinear Elements in Electromagnetic Transient Simulation

Kazuo Yamamoto, Garth Irwin*, Omprakash Nayak* and Akihiro Ametani**

*Manitoba HVDC Research Centre, Winnipeg, Manitoba, Canada

**Doshisha University, Kyotanabe, Kyoto, Japan

This paper presents a combined method of Modified Predictor-Corrector Iteration and Newton Raphson Iteration to extend Electromagnetic Transient Simulation to include nonlinear elements in the electrical network solution. The resultant non-linear models are efficient, stable, and more accurate than those using the basic nodal-conductance approach. The algorithm has been tested using large time steps, and with simultaneous abrupt changes of the characteristic of two or more nonlinear elements. The paper also discusses methods for testing convergence, and compares this method to results obtained with interpolation and to the basic nodal conductance matrix solution.

1. INTRODUCTION

The nodal-conductance approach (NCA) is the basis of many Electro-Magnetic Transients Programs such as EMTP, ATP [1] and PSCAD/EMTDC [2]. Changing either the conductance or current injection of a component can be used to approximate non-linear elements. However, unstable or inaccurate solutions can result when applied to complicated systems, such as those utilizing HVDC (high voltage direct current), FACTS (flexible ac transmission system) or power electronic models (whenever a large number of nonlinear elements are to be represented). The inaccuracies occur because switching is limited to occur only on regularly spaced time step points, or because the branch impedance or current injections are based on circuit quantities from the last time step. Linear interpolation [3,4] can represent non-linear devices using piecewise linear approximations, and results in stable and accurately calculated results for any number of non-linear devices. However, it may be difficult to express all kinds of non-linear devices in this way. Therefore it is important to find a more general, accurate and stable representation for nonlinear elements.

Previous work in this area includes a Predictor-

Corrector Iterative (PCI) method [5]. This method required the formulation of the conductance matrix G (of $G * V = J$) in all time steps and iterations, which results in long simulation times. It has been also found that the above method can become unstable on some complex electric circuits as HVDC and FACTS systems.

This paper presents a nonlinear element represented using a parallel connection of a piecewise linear conductance and a nonlinear current source using the combined iteration method of Modified Predictor Corrector Iteration (MPCI) algorithm and Newton Raphson Iteration (NRI) algorithm stably, accurately and fast. Complex nonlinear elements (like primary arc models) whose present state cannot be accurately decided from the previous state are represented in this paper.

This paper demonstrates the proposed algorithm with various devices and example systems, and compares the results to results obtained with linear interpolation, basic NCA solution and measured results.

2. FORMULATION OF NONLINEAR CIRCUIT

2.1 Presentation of a nonlinear element

PCI [5] requires to calculate the conductance

matrix \mathbf{G} (of $\mathbf{G}\mathbf{V} = \mathbf{J}$) in all time steps and iterations, because a nonlinear element is presented as only a nonlinear conductance. This results in huge calculation times, and the results are unstable on some complex electric circuits such as HVDC and FACTS systems. But the method proposed in this paper need not change the conductance matrix in most time step loops because a nonlinear element is presented as the parallel connection of a piecewise linear conductance and a nonlinear current source. Therefore this proposed method is faster than other iteration methods.

Fig.1 and Fig.2 shows the representation of a nonlinear device as the parallel connection of a piecewise linear conductance and a nonlinear current source. This can be modelled as shown in equation (1).

$$i_1 = G \times v_1 - J'_{non} \quad (J'_{non} = J + J_{non}) \quad (1)$$

where J'_{non} : a nonlinear current source, G : a piecewise linear conductance. When a target circuit includes some

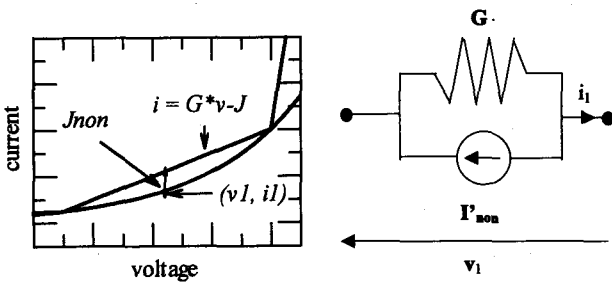


Fig.1 Example case nonlinear elements, an iteration procedure is required to find the solution of the following nodal-conductance equation:

$$\mathbf{G}(t)\mathbf{v}(t) = \mathbf{J}(t) + \mathbf{J}_{non}(t, \mathbf{v}(t)) \quad (2)$$

where $\mathbf{J}(t)$: linear current injection vector. In this paper, the combined iteration method presented after this section is proposed to get the solution of equation (2).

2.2 Optimum ordering of nodes

When all elements in the circuit are linear, those elements are described by the trapezoidal rule of integration [1], and the equations of such circuits include

only linear elements and can be expressed in the following matrix equation:

$$\mathbf{G}\mathbf{v}(t) = \mathbf{J}(t) \quad (3)$$

where \mathbf{G} : linear nodal-conductance matrix, $\mathbf{v}(t)$: node voltage vector, and $\mathbf{J}(t)$: linear current injection vector. In this case, \mathbf{G} is a constant matrix, and $\mathbf{J}(t)$ is time varying. The triangular factorization of \mathbf{G} is performed only once before advancing to the time step loop, and $\mathbf{v}(t)$ is calculated by backward substitution. At the end of each time step $\mathbf{J}(t)$ is renewed to calculate $\mathbf{v}(t + \Delta t)$ which is the node voltage vector at the next time step.

When the circuit includes some nonlinear elements, which are expressed as nonlinear conductances, \mathbf{G} can depend on many factors, such as the instantaneous voltage solution $\mathbf{v}(t)$ [5]. That is to say, the retriangulation of \mathbf{G} is required whenever the factors change at a time step or an iterative step. In this proposed method (MPCI) the retriangulation of \mathbf{G} is not required at each time step and each iterative step, because the nonlinear elements are expressed as a piecewise linear conductance and a variable current injection. The method of the triangular factorization of \mathbf{G} is illustrated in Fig.3.

The ordering proceeds in the following order (as shown in Fig.3): linear nodes without switches, linear nodes with switches, nonlinear nodes without switches, nonlinear nodes with switches. When one or more nonlinear elements operate at that time step, the portion of the matrix from the smallest node number involved in the nonlinear elements to the end must be retriangulated. This ordering method is closely related to the proposed method in [6].

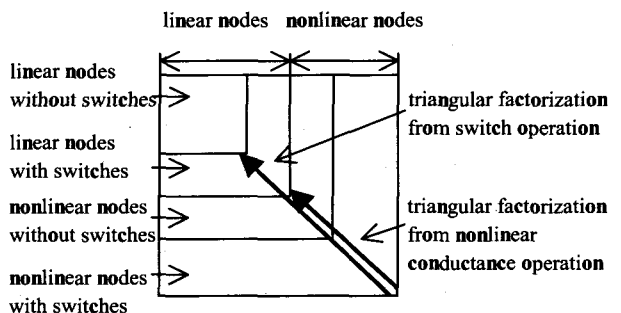


Fig.3 Optimum ordering of nodes in \mathbf{G}

3. THE ITERATION PROCESS

3.1 Modified Predictor-Corrector Iterative Method (MPCI)

One of the proposed methods in this paper is MPCI method. This method is closely related to PCI method in [5]. The MPCI method doesn't require a lot of re-constitution of \mathbf{G} at each time step loop and each iterative step, because it represents nonlinear elements differently than the PCI method. The details of MPCI is illustrated in this section.

The solution of the following equation $\mathbf{v}^{(0)}(t)$ gives the first estimation of the iteration (prediction):

$$\mathbf{G}(t)\mathbf{v}^{(0)}(t) = \mathbf{J}(t) + \mathbf{J}(t, \mathbf{v}(t - \Delta t)) \quad (4)$$

It should be noted that $\mathbf{v}^{(0)}(t)$ is different from the solution at the previous time step, because $\mathbf{J}(t)$ (linear current vector) has been already updated in (4). The improved solutions are repeatedly obtained by the following iteration scheme (correction):

$$\mathbf{G}(t)\mathbf{v}^{(k)}(t) = \mathbf{J}(t) + \mathbf{J}(t, \mathbf{v}^{(k-1)}(t)) \quad (5)$$

where $k = 1, 2, \dots$ is the number of iterations. When the maximum difference of an improved solution from the previous iteration step becomes smaller than a user specified error constant ε namely,

$$\max |\Delta v_i^{(k-1)}| = \max |v_i^{(k)} - v_i^{(k-1)}| < \varepsilon \quad (i : \text{node index}) \quad (6)$$

the $\mathbf{v}^{(k)}(t)$ is regarded as the final solution, and we now proceed to the next time step. If the maximum difference doesn't become smaller than ε within 2 or 3 times iterations, we proceed to iteration with NRI method.

3.2 Newton Raphson Iterative Method (NRI)

The multidimensional root finding method by NRI Method is discussed in [7]. NRI gives us a very efficient means of converging to a root, if a sufficiently good initial can be guessed. If it fails to converge, it indicates that the roots of the solution do not exist nearby.

A typical problem gives N functional relations to be

zeroed, which involves variables $x_i, i = 1, 2, \dots, N$:

$$F_i(x_1, x_2, \dots, x_N) = 0 \quad i = 1, 2, \dots, N. \quad (7)$$

And each of the functions F_i in the equation (7) can be expanded in Taylor series

$$F_i(\mathbf{x} + \delta \mathbf{x}) = F_i(\mathbf{x}) + \sum_{j=1}^N \frac{\partial F_i}{\partial x_j} \delta x_j + O(\delta \mathbf{x}^2) \quad (8)$$

where \mathbf{x} : the entire vector values x_i , \mathbf{F} : the entire vector of functions F_i . The matrix of partial derivatives appearing in equation (8) is the Jacobian matrix \mathbf{Jc} :

$$Jc_{ij} = \frac{\partial F_i}{\partial x_j} \quad (9)$$

In matrix notation equation (8) is

$$\mathbf{F}(\mathbf{x} + \delta \mathbf{x}) = \mathbf{F}(\mathbf{x}) + \mathbf{Jc} \cdot \delta \mathbf{x} + O(\delta \mathbf{x}^2) \quad (10)$$

By neglecting term of order δx^2 and higher and by setting $\mathbf{F}(\mathbf{x} + \delta \mathbf{x}) = 0$, a set of linear equations for the correction $\delta \mathbf{x}$ that move each function closer to zero is derived simultaneously, namely

$$\mathbf{Jc} \cdot \delta \mathbf{x} = -\mathbf{F} \quad (11)$$

The matrix equation (11) in electrical circuits can be solved efficiently by LU decomposition. The corrections are then added to the solution vector,

$$\mathbf{x}_{new} = \mathbf{x}_{old} + \delta \mathbf{x} \quad (12)$$

and the process is iterated to convergence. When the maximum difference of an improved solution from previous iteration step (the maximum of δx_i) become smaller than a user specified error constant ε , namely,

$$\max |\delta x_i^k| < \varepsilon \quad (i : \text{node index}) \quad (13)$$

the \mathbf{x}_{new} is regarded as the solution, and we now proceed to the next time step.

The construction of the Jacobian matrix (including some nonlinear elements) is discussed below. The example case which includes a nonlinear element between node i and j is illustrated. As in equation (2),

the circuit vector \mathbf{F} in (11) is expressed as follows ((14) and (15)):

$$\begin{aligned} G_{ii} &= G_{Lii} + G_N & G_{ij} &= G_{Lij} + G_N \\ G_{ji} &= G_{Lji} + G_N & G_{jj} &= G_{Ljj} + G_N \\ J_i &= J_{Li} + J_N & J_j &= J_{Lj} + J_N \end{aligned} \quad (14)$$

$$\mathbf{F} = \begin{bmatrix} G_{11} & \cdots & G_{1i} & G_{1j} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ G_{i1} & \cdots & G_{ii} & G_{ij} \\ G_{j1} & \cdots & G_{ji} & G_{jj} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ \vdots \\ V_i \\ V_j \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} J_1 \\ \vdots \\ J_i \\ J_j \end{bmatrix} \quad (15)$$

where G_L : the conductance of linear elements, G_N : the conductance of a nonlinear element, J_L : the current source of linear elements, J_N : the current source of a nonlinear element. Therefore, the Jacobian matrix is constructed as the following differential equation (16).

$$\frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \mathbf{V}} = \begin{bmatrix} G_{11} & \cdots & G_{1i} & G_{1j} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ G_{i1} & \cdots & \left(G_{ii} - \frac{dJ_i}{dV_i} \right) & \left(G_{ij} - \frac{dJ_i}{dV_j} \right) \\ G_{j1} & \cdots & \left(G_{ji} - \frac{dJ_j}{dV_i} \right) & \left(G_{jj} - \frac{dJ_j}{dV_j} \right) \end{bmatrix} \quad (16)$$

Equation (17) below is derived from equation (14) (see appendix 1 for details).

$$\begin{aligned} G_{ii} - \frac{dJ_i}{dV_i} &= G_{Lii} + \frac{dI}{dV_i}, & G_{ij} - \frac{dJ_i}{dV_j} &= G_{Lij} + \frac{dI}{dV_j}, \\ G_{ji} - \frac{dJ_j}{dV_i} &= G_{Lji} - \frac{dI}{dV_i}, & G_{jj} - \frac{dJ_j}{dV_j} &= G_{Ljj} - \frac{dI}{dV_j} \end{aligned} \quad (17)$$

The nonlinear current from node i to j is expressed as:

$$I = f(V_i - V_j) \quad V = V_i - V_j \quad (18)$$

and

$$\frac{dI}{dV_i} = \frac{df}{dV}, \quad \frac{dI}{dV_j} = -\frac{df}{dV} \quad (19)$$

Using equations (18) and (19), we can rewrite equations (16) and (17) as follows:

$$\begin{aligned} G_{Lii} + \frac{dI}{dV_i} &= G_{Lii} + \frac{df}{dV}, & G_{Lij} + \frac{dI}{dV_j} &= G_{Lij} - \frac{df}{dV}, \\ G_{Lji} - \frac{dI}{dV_i} &= G_{Lji} - \frac{df}{dV}, & G_{Ljj} - \frac{dI}{dV_j} &= G_{Ljj} + \frac{df}{dV} \end{aligned} \quad (20)$$

$$\frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \mathbf{V}} = \begin{bmatrix} G_{11} & \cdots & G_{1i} & G_{1j} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ G_{i1} & \cdots & \left(G_{Lii} + \frac{df}{dV} \right) & \left(G_{Lij} - \frac{df}{dV} \right) \\ G_{j1} & \cdots & \left(G_{Lji} - \frac{df}{dV} \right) & \left(G_{Ljj} + \frac{df}{dV} \right) \end{bmatrix} \quad (21)$$

In (21), the Jacobian matrix can be efficiently constructed by the differential function df/dv , which can be calculated analytically or numerically. If the function f can be expressed analytically like the arrester model and diode model, the differential function df/dv can often be calculated by analytical differentiation of f . If the function f cannot be expressed analytically, the method to differentiate the function f can be calculated numerically. The arc model, which can't be expressed analytically, is illustrated as an example case for numerical differentiation in the following section.

4. COMPARISON OF MPCJ, NRI AND COMBINED METHODS

In Table 1, the number of iterations required for convergence are compared for the MPCJ, NRI, and combined algorithm. The MPCJ method converges very slowly in many example cases, but is very stable and reaches the approximate solution quickly. Hence this method is not suitable for complex circuits like FACTS and HVDC systems. The NRI method converges very quickly when the solution is close to the root, but can be very unstable elsewhere. NRI therefore requires a good method to reach the approximate solution. Therefore, the third method, which uses MPCJ method at the initial 2 or 3 iterations, then the NRI method is superior. Such a combined iteration method has been used in this paper. This method is stable, fast and accurate. It should be noted that the proposed scheme does not impose restrictions on the number and configuration of nonlinear nodes. Also, because the proposed method does not modify the basic equation of the nodal-conductance approach, it can be implemented in existing EMTP-type programs [1-3].

Table.1 The average number of iterations for the circuits in Fig. 4, 7, and 10.

| | MPCI | NRI | MPCI+NRI |
|----------|----------------|------------------|----------------|
| Arrester | 76.0 | 2.64 | 4.82 |
| Diode | 5.17 | × | 4.00 |
| Arc | 19.4 | × | 5.17 |
| Features | Stable Slow | Unstable Fast | Stable Fast |

× : non-convergency

5. EXAMPLES

5.1 Arrester model in an Oscillatory Circuit

An arrester circuit illustrated in Fig.4 is analyzed using the proposed method. The arrester in the circuit is modeled

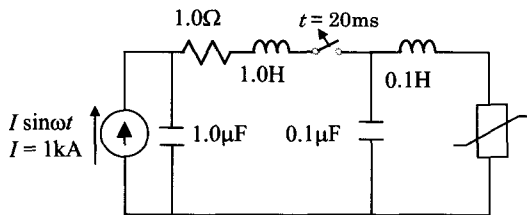


Fig.4 Oscillatory arrester circuit.

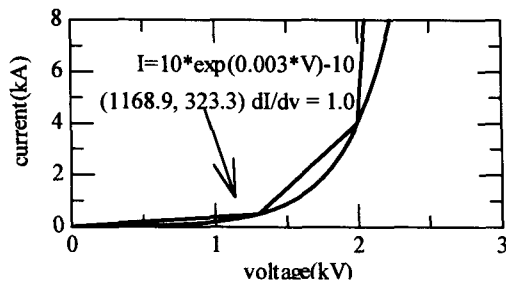


Fig.5 v-i characteristic of arrester-type model

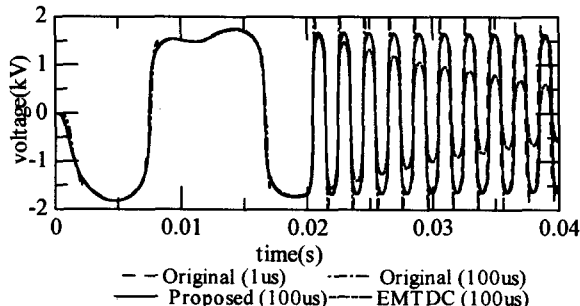


Fig.6 Calculated result

as a parallel connection of a piecewise linear resistance and a nonlinear current source. The $v - i$ characteristic is approximated by $v(i) = 333.3 \times \ln(0.1 \times I + 1.0)$ or $i(v) = 10.0 \times \{\exp(0.003 \times v) - 1.0\}$ as defined in Fig.5. The input function for iterations is

sometimes voltage or current in different areas of the characteristic, depending on the slope.

Fig. 6 shows the circuit voltage for 4 different solution methods: NCA original method ($\Delta t = 1 \mu s$), NCA original method ($\Delta t = 100 \mu s$), EMTDC interpolated solution ($\Delta t = 100 \mu s$), and the proposed method ($\Delta t = 100 \mu s$). The calculated result of the original method with $\Delta t = 1 \mu s$ compares closely with the proposed method which is solved using a much larger time step.

5.2 Diode-Bridge Rectifier Circuit

The diode-bridge rectifier circuit illustrated in Fig.7 is analyzed. The new method models each diode in the circuit as a parallel connection of a piece wise linear resistance and a nonlinear injective current source. The diode $v - i$ characteristic is approximated by $v(i) = 81.65 \times 10^{-3} \ln(51.03 \times 10^6 \times I + 1.0)$, or $i(v) = 1.95 \times 10^{-8} \{\exp(12.25 \times v) - 1.0\}$ as defined in Fig. 8.

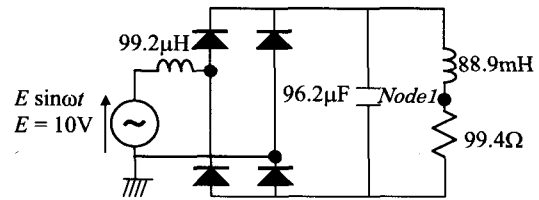


Fig.7 Diode-bridge rectifier circuit

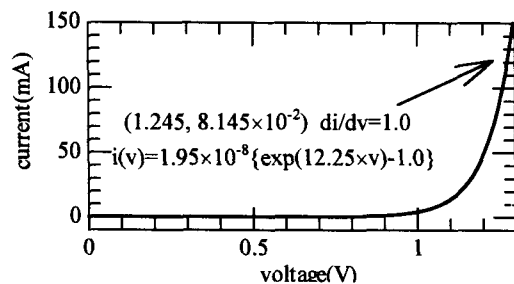


Fig.8 Voltage-current ($v - i$) characteristic of diode

Fig. 9 shows the circuit voltage and current for 4 different solution methods: NCA original method ($\Delta t = 50 \mu s$), NCA original method ($\Delta t = 1 ms$), EMTDC interpolated solution ($\Delta t = 1 ms$), and the proposed method ($\Delta t = 1 ms$). Fig. 9 shows the actual voltage and current measured from a physical test circuit. The calculated results of the original method with $\Delta t = 50 \mu s$, the EMTDC solution solved with a 1 ms time step, and the new proposed method also with a 1 ms time step compare closely and match

the measured waveforms.

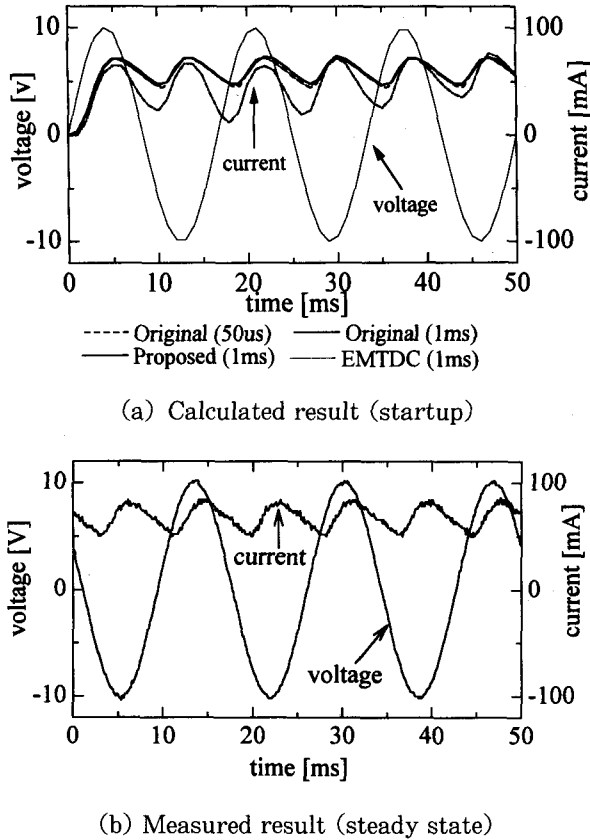


Fig.9 Measured and calculated waveforms of input voltage and output current

5.3 Primary arc model

Earlier work has shown that a primary arc can be represented by the following equations [8,9,10] :

$$\frac{dg}{dt} = \frac{1}{T}(G - g) \quad (22)$$

$$G = \frac{|i|}{Vl} \quad (23)$$

The conductance g at time t tends toward the static conductance G which is determined by the present current i . The speed dg/dt with which g approaches G is determined by the arc time constant T . Various experimental studies have confirmed that the voltage drop along the main arc column is substantially independent of the current, and the value of stationary arc voltage per length is nearly constant in the arc cycle. It was shown that the average constant arc voltage gradient is about 15 V/cm over the range of current 1.4kA to 24kA in spite of some variation. For

the primary arc, T and l (the length of arc) are considered as constant, and T can be given as following equation:

$$T = \frac{\alpha l}{I} \quad (24)$$

where the coefficient α is about 2.85×10^{-5} for the primary arc, I is the peak primary arc current in the first cycle (which is determined by using a small resistance instead of the primary arc model).

We are confronted by two problems in this primary arc model. The first is that the time varying arc conductance g can not be decided from previous information like $v(t - \Delta t)$ or $i(t - \Delta t)$, because of the strong non-linear nature of the arc. The second problem is that the primary arc model can not be expressed as piece wise linear approximation like arrester and diode model. Therefore the method to calculate the primary arc model by use of the combined iteration method is proposed. The following equation can be derived from (22) ~ (24) by the trapezoidal rule and MPCPI rule at the first step.

$$g_{(0)}^{(0)}(t) = g(t - \Delta t) \frac{2T - \Delta t}{2T + \Delta t} + \frac{2\Delta t}{2T + \Delta t} \frac{|i(t + \Delta t)|}{Vl} \quad (25)$$

After the second step, the time varying arc conductance g is renewed by following equation.

$$g_{(k)}^{(n)}(t) = g(t - \Delta t) \frac{2T - \Delta t}{2T + \Delta t} + \frac{2\Delta t}{2T + \Delta t} \frac{|g_{(k)}^{(n-1)}(t) v(t)|}{Vl} \quad (26)$$

Where n : iteration times in arc model, k : iteration times in the main program (combined iteration method). When the maximum difference of an improved solution from previous iteration step (the maximum of $|g^n - g^{n-1}|$) becomes smaller than a user specified error constant ϵ , g^n is regarded as the solution of (22), and we now proceed to the combined iterative method in the main circuit which has already proposed in the previous section. However, the function f can't be expressed analytically like for the arrester and diode model. It is illustrated that the differential function df/dv can be calculated numerically. From (26), $I_{(m)}, V_{(m)}$ are derived from the solution of $g_{(m)}$ when $k = m$, and $I_{(m+1)}, V_{(m+1)}$ are derived from the solution of $g_{(m+1)}$ when $k = m+1$. Therefore df/dv is numerically calculated as $(I_{(m+1)} -$

$I_{(m)}/(V_{(m+1)} - V_{(m)})$. Numerical differentiation is normally avoided because of stability concerns, but was found to be stable and efficient for this application.

A primary arc model test circuit is illustrated in Fig.10 and is analyzed by using the proposed method. The primary arc in the circuit is modeled as a parallel connection of a piece wise linear resistance and a non-linear current source. The simulated arc characteristic is shown in Fig.11. Voltage waveforms are shown in Fig. 12 for the new proposed method ($\Delta t = 200 \mu s$) and the original NCA method

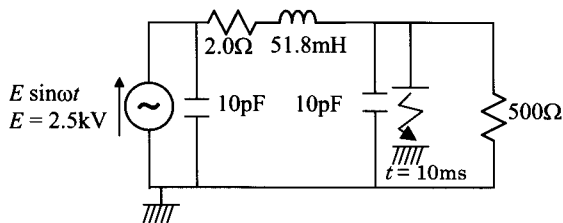


Fig.10 Primary arc model test circuit

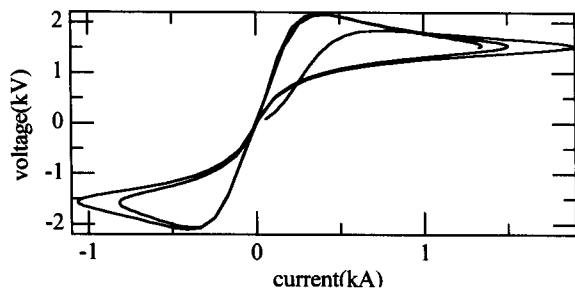


Fig.11 Primary arc characteristic

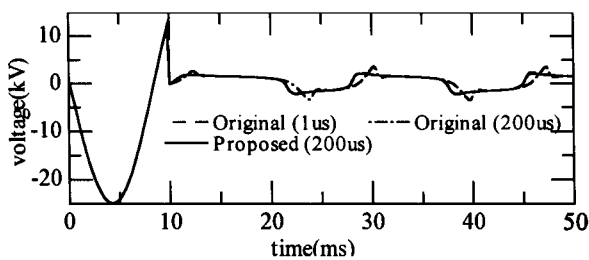


Fig.12 Calculated result

($1 \mu s$, $200 \mu s$). The calculated result by the proposed method is quite similar to the calculated result of original NCA method ($\Delta t = 1 \mu s$).

6. CONCLUSIONS

An extension to the NCA solution method has been presented to allow an arbitrary number and configuration of nonlinear elements in a subnetwork by use of a combined iteration method. This method has

been applied to arresters, diodes, and primary arc characteristics. The calculated results agree well with actual measurements (where available), and with the small time step or interpolated solution methods. The proposed scheme has been shown to be accurate and stable even for a large time step, and can survive simultaneous and abrupt changes due to nonlinear elements.

This solution method has been made efficient by employing 2 different iteration techniques (MPCI and NRI). It is also made efficient by using a piece-wise linear conductance characteristic in parallel with a current injection updated during iterations. For complex non-linear characteristics, it has been shown that the Jacobian required for NRI iterations can be calculated numerically.

In the future, it is possible that this proposed method can be applied to other EMTP-type programs because it is an extension to the basic NCA method.

REFERENCES

- [1] H.W. Dommel, "Digital Computer Solution of Electro-magnetic Transients in Single- and Multi-Phase Networks", IEEE Trans., Power App. And Syst., Vol. PAS-88 (4), pp. 388-399, 1969.
- [2] Omprakash Nayak, Garth Irwin, and Arthur Neufeld, "GUI Enhances Electromagnetic Transients Simulation Tools", IEEE Computer Applications in Power. Vol.8, No.1, 1995.
- [3] P. Kuffel, K. Kent and G.D. Irwin, "The Implementation and Effectiveness of Linear Interpolation Within Digital Simulation", International Conference on Power System Transients, Lisbon, Portugal, 1995, pp. 499-504.
- [4] A.M Gole, I.T Fernando, G.D. Irwin and O.B. Nayak, "Modeling of Power Electronic Apparatus: Additional Interpolation Issues", International Conference on Power System Transients, Seattle, June 22-26, 1997, pp. 23-28.
- [5] T. Noda, K. Yamamoto, N. Nagaoka, A. Ametani, "A Predictor-Corrector Scheme for Solving a Nonlinear Circuit", International Conference on Power System Transients, Seattle, June 22-26, 1997, pp. 5-10.

- [6] H.W. Dommel, "Nonlinear and time-varying elements in digital simulation of electromagnetic transients", IEEE Trans., Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-90, pp. 2561-2567, 1971.
- [7] W. H. Press, S. A. Teukolsky, W. T. Vetterling and B. P. Flannery, "NUMERICAL RECIPES IN C".
- [8] A. P. Strom, "Long 60-cycle arcs in air, AIEE Transaction", AIEE transactions, Vol. 65, pp. 113-118, March 1946.
- [9] T. E. Browne. Jr., "The electric arc as a circuit element", Journal of the Electrochemical Society, Vol. 102, No. 1, pp. 27-37, January 1946.
- [10] A. T. Johns, "Improved techniques for modeling fault arcs on faulted EHV transmission system", IEE Proc. -Gener. Transm. Distrib., Vol. 141, No. 2, pp. 148-154, 1994.

APPENDIX

A. Derivation of (17)

(17) is derived from Fig.1, (14) as following equation :

$$\begin{aligned}
 G_{ii} - \frac{dJ_i}{dV_i} &= G_{Lii} + G_N - \frac{d[J_{Li} + G_N(V_i - V_j) - J - I]}{dV_i} \\
 &= G_{Lii} + G_N - G_N + \frac{dI}{dV_i} \\
 &= G_{Lii} + \frac{dI}{dV_i}
 \end{aligned} \tag{A.1}$$

Other equations in (17) are derived in a similar fashion.

TMSAT-1 の画像データに関する研究

浅井 文男

Research on TMSAT-1 Image Data

Fumio ASAI

タイの実験衛星TMSAT-1が撮影した画像データを衛星から直接取得し、仕様や特徴を明らかにした。TMSAT-1の高解像度画像はLANDSATのMSS 画像に匹敵する空間分解能と波長分解能をもつので、フォトタッチソフトで画像処理すれば植生などの目視判読は可能で、基本的な衛星画像処理と定性的な情報抽出のための教材用リモートセンシングデータとして利用できることが判明した。

1. はじめに

LANDSAT に代表される地球観測衛星が撮影した衛星画像は自然保護、環境保全、気象観測、都市計画、災害対策、資源調査、農林漁業などの広範な分野で利用されるようになった。研究機関のみならず、企業や行政機関においてもリモートセンシング技術の知識と衛星画像データの処理技法を習得した技術者や実務者の需要が増大している。このような状況に対応するため、リモートセンシングや衛星画像に関する授業科目を開設する大学等の高等教育機関も多い。しかし、処理済みの衛星画像を講義の教材として使用するだけでなく、画像データの処理や解析を行う演習や実習なども実施しているのはリモートセンシング関連の講座や研究室がある大学等に限定されているのが現状である。

1980年代よりアメリカやイギリスの大学においては学生の科学技術に関する教育や研究を主要な目的とした実験衛星の設計・開発が盛んに行われるようになった。イギリス/サレー大学の UoSAT シリーズはその代表的な例である¹⁾。開発途上国などにおいても科学技術分野の企業・人材の育成を図る国家プロジェクトの一環として実験衛星の設計・開発が盛んに行われている。韓国の KITSAT シリーズはその代表的な例である²⁾。これらの実験衛星の中には実用衛星に迫る性能をもつリモートセンシング用の光学センサを搭載している衛星もある。そのような光学センサで撮影された画像はリモートセンシングや衛星画像処理の教材として利用できる可能性を

秘めている。しかし、実験衛星の光学センサや衛星画像の仕様に関する公開情報は乏しく、衛星の運用国や運用機関を除いて、画像データを教育や研究に積極的に利用する試みはほとんど行われていない³⁾。

本研究では TMSAT-1 と呼ばれる実験衛星の画像データを継続的に取得し解析することで、その仕様や特徴を明らかにすることを試みた。さらに取得した画像データをフォトタッチソフトで画像処理する方法を考案し、教材用リモートセンシングデータとしての有効性及び活用方法など検討した。

2. TMSAT-1

2.1 TMSAT-1 とは

TMSAT-1(Thai-MicroSat-OSCAR31)はタイのベンチャー企業の出資とイギリスのサレー大学衛星工学研究所の技術協力のもと、タイが初めて開発したマイクロサテライト(Micro Satellite)である⁴⁾。1998年7月10日06:30 UTC にカザフスタンのバイコヌール宇宙基地から気象観測衛星 RESURS-01 とともに Zenit 2 ロケットで打ち上げられた。TMSAT-1 の大きさは 350 × 350 × 650 mm、重量は 48.7kg で、On-Board Computer、Digital Transponder、GPS Receiver、Earth Imaging Subsystem、Digital Signal Processing Experiment などの実験装置を搭載している。

太陽同期軌道を周回する TMSAT-1 の可視時間帯、すなわち通信可能な時間帯は毎日ほぼ同じで、日本標準時のだいたい 09 ~ 12 時と 20 ~ 23 時にそれぞれ 2 回な

いし3回の可視時間帯がある。1回の可視時間は5～15分程度である。TMSAT-1の軌道データを表1に示す。

表1 TMSAT-1の軌道データ

| | |
|-------------|-------------|
| 公転周期：101分 | 軌道傾斜角：98.6° |
| 近地点高度：821km | 遠地点高度：822km |

2.2 画像データとファイル

2.2.1 画像データ

TMSAT-1には5台のリモートセンシング用のカメラが搭載されている。広角カメラが1器、望遠カメラが3器、ビデオカメラが1器で、3器の望遠カメラにはそれぞれ異なる波長帯の光学センサが取り付けられており、マルチスペクトラルイメージ(Multispectral Image)と呼ばれる高解像度画像を撮影するシステムを構成している。本論文では広角カメラで撮影された画像をWAC(Wide Angle Camera) Image、望遠カメラで撮影された画像をNAC(Narrow Angle Camera) Imageと表記する。WAC ImageとNAC Imageの仕様を表2と表3にそれぞれ示す。

表2 TMSAT-1のWAC Image

| | |
|---------------|------------------------|
| 階調：256 | 画像サイズ：611pixel×576line |
| 分解能：2km/pixel | 撮影面積：1500km×1050km |

表3 TMSAT-1のNAC Image

| | |
|--------------------------|------------------|
| 階調：256 | バンド 波長帯 |
| 分解能：98m/pixel | Image1：810～890nm |
| 画像サイズ：1020pixel×1020line | Image2：610～690nm |
| 撮影面積：100km×100km | Image3：510～590nm |

NAC Imageは代表的な地球観測衛星であるLANDSATのMSS(Multispectral Scanner)画像に相当する波長分解能と空間分解能をもち、Image1、Image2、Image3はMSSのBand7(近赤外域)、Band5(赤域)、Band4(緑域)にそれぞれ対応する。WAC Imageは気象観測やNAC Imageの撮影領域の地理的な位置を推定するのに利用される。

2.2.2 画像ファイル

(1)画像ファイルの種類とサイズ

TMSAT-1は撮影した画像データを8bit/pixelのラスターイメージ形式(RAWフォーマット)で衛星内のファイルサーバに蓄積する。画像データはzip形式またはSSTL圧縮と呼ばれる特殊な方式で圧縮される。打ち上げ後、しばらくの間はzip形式が使用されていたが、本論文の執筆時点では圧縮率の高いSSTL圧縮が使用さ

れている。画像ファイルにはTm $pqqqrr$.imsという形式のファイル名が付けられ、各文字列は次のような意味をもつ。

- 1)文字列"tm"はTMSATを表す。
- 2)3番目の"p"は画像の種類を表す。

$$p = \begin{cases} 0 : \text{WAC Image} \\ 1 : \text{NAC ImageのImage1} \\ 2 : \text{NAC ImageのImage2} \\ 3 : \text{NAC ImageのImage3} \\ 4 : \text{NAC Imageの連続したビデオフレーム} \\ 5 : \text{サムネイル画像の連続したビデオフレーム} \end{cases}$$

- 3)4～6番目の文字列"qqq"は画像番号(16進数)を表す。
- 4)7番目と8番目の文字列"rr"はNAC Imageの順序番号を表す。WAC Imageでは執筆時点で"00"になっている。
- 5)拡張子の文字列"im"は画像データであることを表す。
- 6)拡張子の3番目の"s"はファイルの種類を表す。

$$s = \begin{cases} i : \text{圧縮されていないファイル} \\ c : \text{SSTL圧縮されたファイル} \\ t : \text{サムネイルファイル} \end{cases}$$

サムネイルファイルはWAC ImageやNAC Imageを1/4サイズに縮小したファイルである。各画像データのファイルサイズを表4に示す。

表4 画像データのファイルサイズ

| 画像 | ファイル形式 | サイズ(kB) |
|------------------------|------------------|---------|
| WAC Image | Tm0 qqq 00.imi | 343 |
| | Tm0 qqq 00.imc | 60～130 |
| | Tm0 qqq 00.imt | 20 |
| NAC Image (p=1,2,3) | Tm $pqqqrr$.imi | 1017 |
| | Tm $pqqqrr$.imc | 200～400 |
| | Tm $pqqqrr$.imt | 65 |

(2)画像ファイルの関係

zip形式の圧縮ファイルTm $pqqqrr$.zipに含まれるファイルはTm $pqqqrr$.imiだけである。また、サムネイルファイルTm $pqqqrr$.imtと圧縮ファイルTm $pqqqrr$.imcはペアになっている。これらのファイルの関係を図1に示す。



図1 画像ファイルの関係

SSTL 圧縮ファイルの場合、ファイルサーバに蓄積される画像ファイルは1シーンのWAC Imageにつき、順序番号で区別される1シーンから4シーンまでのNAC Imageである。各シーンのNAC Imageの撮影領域はそれぞれ異なるが、どれもWAC Imageの撮影領域に含まれている。ファイルサーバに蓄積されるSSTL 圧縮ファイルのフルセットの例を表5に示す。実際には表5のようなフルセットすべてのファイルが蓄積されていることはほとんどなく、NAC Imageファイルの幾つかが欠けている。ビデオフレームの画像データ($p=4, 5$)がファイルサーバに蓄積されていることはほとんどない。

表5 画像ファイルのフルセット

| 画像 | 圧縮ファイル | サムネイル |
|-----------|--------------|--------------|
| WAC Image | Tm0qqq00.imc | Tm0qqq00.imt |
| NAC Image | Tm1qqq00.imc | Tm1qqq00.imt |
| | Tm2qqq00.imc | Tm2qqq00.imt |
| | Tm3qqq00.imc | Tm3qqq00.imt |
| | Tm1qqq01.imc | Tm1qqq01.imt |
| | Tm2qqq01.imc | Tm2qqq01.imt |
| | Tm3qqq01.imc | Tm3qqq01.imt |
| | Tm1qqq02.imc | Tm1qqq02.imt |
| | Tm2qqq02.imc | Tm2qqq02.imt |
| | Tm3qqq02.imc | Tm3qqq02.imt |
| | Tm1qqq03.imc | Tm1qqq03.imt |
| | Tm2qqq03.imc | Tm2qqq03.imt |
| | Tm3qqq03.imc | Tm3qqq03.imt |

2.3 画像データの伝送

TMSAT-1が搭載している蓄積・転送型のデジタルトランスポンダは、地上局との間のコマンドやデータの送受信にアマチュア無線業務に割り当てられた周波数帯の電波を使用する。TMSAT-1のRFリンクを表6に示す。

表6 TMSAT-1のRFリンク

| | |
|---|-------------------------|
| 電波形式：NFM | Uplink 周波数：145.975MHz |
| 変調方式：FSK | Downlink 周波数：436.925MHz |
| 伝送速度：9600bps, (38400bps) | |
| 呼出符号：Broadcast:TMSAT1-11, BBS:TMSAT1-12 | |

ファイルサーバに蓄積された画像データは地上局からの要求があれば、ブロードキャストプロトコルを使用して伝送される。ブロードキャストプロトコルはPACSATと総称されるデジタル通信実験用の低軌道衛星のために開発されたダウンリンク用の放送型通信プロトコルで、衛星の短い可視時間の間に複数の地上局が効

率よくファイルをダウンロードできる特徴をもつ⁵⁾。しかし、画像データのファイルサイズはかなり大きいので、1つのファイルを完全にダウンロードするには複数回のパスにわたって衛星をアクセスする必要がある。アクセスコマンドの送信、データの受信、ファイルの復元および衛星のトラッキングはWispsと呼ばれるPACSAT専用の通信ソフトウェアを使用すれば自動的に行える⁶⁾。NAC Imageのファイルをすべてダウンロードするには1シーンあたり数日を要し、ファイルは1週間程度でファイルサーバから削除される。よって、効率よくかつ確実に画像データを取得するには受信システムの運用を完全に自動化することが望ましい。取得した画像データは所有権などが設定されていないので、営利目的を除き自由に利用することができる。

3. 画像データ取得・処理システム

3.1 無線設備

TMSAT-1にアクセスするため、筆者が課外活動用に設置しているアマチュア無線局の社団局(呼出符号：JJ3YUJ)を使用する。無線設備の構成を表7に、また、アンテナ系の写真を図2にそれぞれ示す。

表7 無線設備の構成

| |
|------------------------------|
| トランシーバ：IC-821 |
| パワーアンプ：HL-726 |
| プリアンプ：GAS-0720J |
| ローテーター：G-5500 |
| 同軸ケーブル：8DSFB 15m×2 |
| ターミナルノードコントローラ：TNC-555 |
| 145MHz帯10エレメント八木アンテナ：A144S10 |
| 436MHz帯15エレメント八木アンテナ：A430S15 |

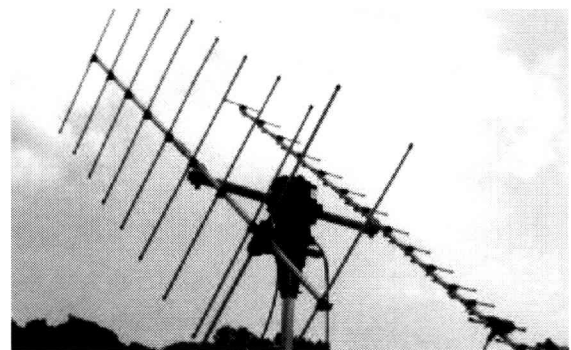


図2 送受信アンテナとローテーター

3.2 画像データ取得・処理システム

画像データを取得し、処理するために使用するハードウェアおよびソフトウェアの構成を表8に、また、無線設備とデータ取得・処理システムの写真を図3にそれぞれ示す。

表8 画像データ取得・処理システムの構成

| |
|----------------------------------|
| カラープリンタ：PM-3000C |
| カラーディスプレイ：TX-D7P35-J |
| パーソナルコンピュータ：Pentium233MHz, 128MB |
| 通信ソフト：Wisp |
| 画像復元ソフト：CCDDSP97 |
| 画像処理ソフト：Paintshop Pro |
| オペレーティングシステム：Windows98 |

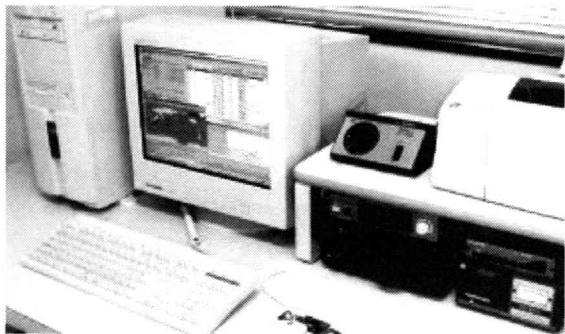


図3 無線設備とデータ取得・処理システム

4. 画像処理

4.1 画像ファイルの復元・表示・保存

4.1.1 SSTL方式で圧縮された画像ファイル

SSTL圧縮された画像データファイルを展開・表示す

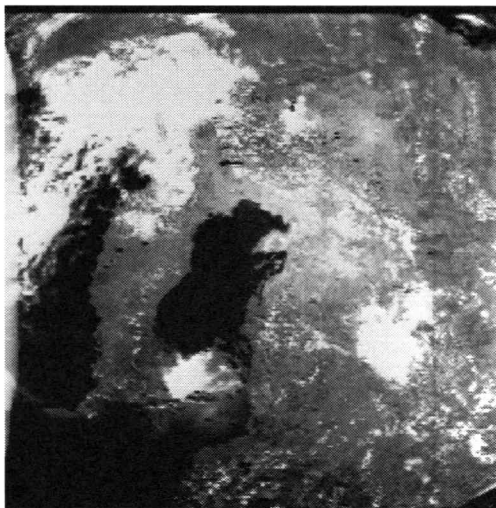


図4 WAC Image

るにはCCDDSPと呼ばれるPACSAT専用の画像処理ソフトウェアを使用する⁷⁾。CCDDSPは画像データファイルの展開・表示だけでなく、画像データが記録された正確な日時と衛星の位置の表示、画像の明るさや位置ずれの補正、BMP形式による保存などでもできる。サムネイルファイルは単独で表示可能であるが、圧縮ファイルを展開・表示するにはサムネイルファイルも必要になる。NAC Imageの1組のサムネイルファイルTm1qqrr.imt、Tm2qqrr.imt、Tm3qqrr.imtが揃えば1/4サイズの縮小版カラー画像が合成・表示できる。NAC Imageのフルサイズのカラー画像を合成・表示するためには1組のサムネイルファイルとともに1組の圧縮ファイルTm1qqrr.imc、Tm2qqrr.imc、Tm3qqrr.imcが必要になる。

4.1.2 zip形式で圧縮された画像ファイル

圧縮された画像ファイルTmpqqrr.zipをpkunzipなどで展開すれば元の画像ファイルTmpqqrr.imiが得られる。画像を表示するにはCCDDSPを使用するか、拡張子"imi"を"raw"に変更し、RAWフォーマットをサポートする画像処理ソフト(たとえばPhotoshopやPaintshop Pro)で読み込む。その際、画像サイズ(NAC Imageなら1020×1020ピクセル)を指定する。

4.1.3 サンプル画像

図4～図7にCCDDSPで展開・表示したTMSAT-1のサンプル画像を示す。WAC Imageは45%、NAC Imageは25%にそれぞれサイズを縮小している。この画像の撮影日時は1999年8月4日10時05分05秒UTC、撮影時における衛星の位置は北緯43.30°、東経14.7°である。WAC Imageではイタリア半島、アドリア海、バルカン半島などが見える。NAC Imageの撮影領域はWAC Imageの中央部で、イーストラ半島、クヴァルネル湾、ツレス島、クルク島などが見える。

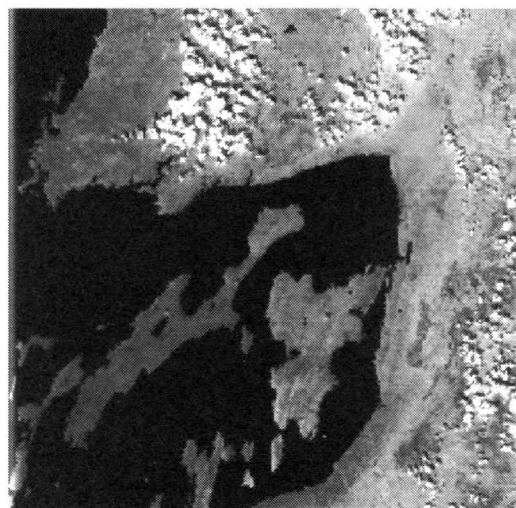


図5 NAC Image/Image1



図6 NAC Image/Image2

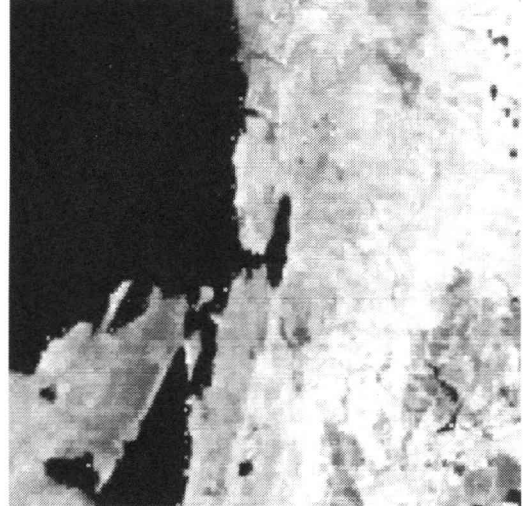


図8 明るさ/コントラストを調節した Image1



図7 NAC Image/Image3

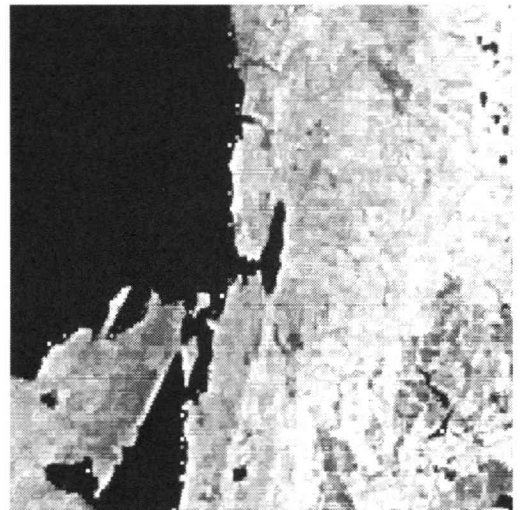


図9 アンシャープネスマスクによる鮮鋭化

4.2 フォトレタッチソフトを使用した画像処理

衛星画像データの処理や解析には専用の画像処理システムや画像処理ソフトが使用されている。しかし、もともとは写真などの加工や修正を行うために開発されたフォトレタッチソフトと呼ばれる汎用の画像処理ソフトでも、衛星画像処理に必要な濃度変換、ヒストグラム表示、空間フィルタリング、擬カラー画像作成、画像の重ね合わせ、画像間演算、カラー画像合成などの操作ができるようになった⁸⁾。本研究では CCDDSP で復元し、BMP 形式に変換した NAC Image を Paintshop Pro で画像処理する。適用した画像処理は以下のとおりである。

4.2.1 濃度変換

図5～図7からわかるように、CCDDSP で復元・表示した NAC Image は暗くて明瞭さに欠ける。そこで、明るさ/コントラストの調整やヒストグラムの平均化などを適用して判読に適した明瞭な画像を作成する。図5

からクルク島北部と対岸のクロアチア共和国/リエーカ近郊の部分を取り出し、明るさ/コントラストを適切に調整した Image1 を図8に示す。Image1 は近赤外画像なので水域と陸域がはっきりと区別できる。なお、図8は拡大も縮小もしていない画像で、NAC Image の空間分解能を知ることができる。

4.2.2 空間フィルタリング

シャープネスや輪郭強調などの標準フィルタを適用して画像の鮮明化や線状構造の強調を行う。また、カスタムフィルタ作成機能を使用して、スキヤンストライピング(Scan Striping)を低減するフィルタなどを作成する。図8の画像にアンシャープネスマスクを適用した画像を図9に示す。図8よりも海岸線の形状がよくわかる。

4.2.3 擬カラー画像の作成

パレット編集機能を利用して濃度値に応じた着色を行い、グレースケール画像を段彩表示する。

4.2.4 幾何補正

Image2 は Image1 と Image3 に対して向きが180° 回転しているうえ、撮影領域が少しずれている。各画像上に基準点(GCP)を設定し、レイヤー機能を利用して位置ずれを補正する。

4.2.5 バンド間画像演算

Image1 と Image2 に減算処理を施して分光反射特性を強調し、植物(クロロフィル)の活性度が高いところほど明るく表示される植生指標画像を作成する。図8の領域の植生指標画像を図10に示す。図8や図9では識別が困難だった海岸地帯と山岳地帯の植生の違いが図10ではよく判読できる。

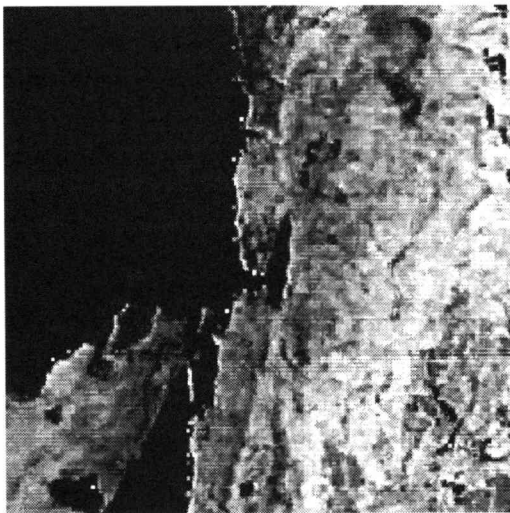


図10 植生指標画像

4.2.6 衛星カラー画像の作成

チャンネル結合機能を利用して Image1、Image2、Image3 に R、G、B の3原色を表9のように割り当て、フォールスカラー画像およびナチュラルカラー画像をそれぞれ作成する。

表9 3原色の割り当て

| | R | G | B |
|-----------|--------|--------|--------|
| フォールスカラー: | Image1 | Image2 | Image3 |
| ナチュラルカラー: | Image2 | Image1 | Image3 |

5. おわりに

タイの実験衛星 TMSAT-1 のマルチスペクトラルイメージをフォトタッチソフトで画像処理すれば、植生などの目視判読は可能で、基本的な衛星画像処理と定性的な情報抽出のための教材用リモートセンシングデータとして有効に利用できることが確かめられた。

本論文執筆時点ですでに TMSAT-1 のマルチスペクトラルイメージよりもバンド数が1つ多く、かつ、高解像度の画像を撮影できる実験衛星 UoSAT-12 が稼働している。UoSAT-12 は撮影した画像データを38400bpsの伝送速度でブロードキャストするので、TMSAT-1 よりも効率的に画像データを取得できる。今後は UoSAT-12 の受信システムを構築し、画像データの仕様や特徴、教材としての利用可能性や活用方法を研究していきたい。

参考文献

- 1) UoSAT シリーズに関しては以下の URL を参照：
<http://www.sstl.co.uk/>.
- 2) KITSAT シリーズに関しては以下の URL を参照：
<http://satrec.kaist.ac.kr/english/SaTReC.html>.
- 3) 実験衛星の画像データの教育利用に関しては以下の文献等を参照：
浅井文男：汎用画像処理ツールを利用した衛星画像データの処理と解析，情報処理教育研究集会講演論文集，pp.422(1999).
浅井文男：衛星画像データ処理の指導事例，工学教育，Vol.48，No.3，pp.33-37(2000).
浅井文男：フォトタッチソフトを利用した衛星画像処理，平成12年度工学・工業教育研究講演会講演論文集，pp.163-166(2000).
- 4) TMSAT-1 と画像データに関しては以下の URL を参照：
<http://www.ne.jp/asahi/hamradio/jj1wtk/tmsat1detail.htm>,
<http://www.ee.surrey.ac.uk/CSER/UOSAT/amateur/tmsat/>,
<http://www.amsat.org/sats/n7hpr/to31.html>,
http://www.sstl.co.uk/mn_cameras_tmsat.html.
- 5) ブロードキャストプロトコルおよび PACSAT に関しては以下の URL を参照：
<http://www.ee.surrey.ac.uk/EE/CSER/UOSAT/papers/icdsc10/icdsc10.html>
- 6) 以下の ftp サイトから入手できる：
<ftp://ftp.amsat.org/amsat/software/win32/wisp/wisp3215.exe>.
- 7) 以下の ftp サイトから入手できる：
<ftp://ftp.amsat.org/amsat/software/win32/display/ccddsp97-119.zip>.
- 8) 長谷川均：リモートセンシングデータ解析の基礎，古今書院 (1998).

ObjectFlow による分散ソフトウェア設計手法

工藤 英男・臼井 義美*

Distributed Software Design Method Based on ObjectFlow

Hideo KUDO and Yoshimi USUI

ネットワークに接続された多くのコンピュータに分散したソフトウェアが、協調して1つの処理を実行する分散ソフトウェアの設計手法を提案する。ObjectFlow をベースとした設計環境を提供し、相互にビジネス・オブジェクト形式のコンポーネントを交換しながら、分散ソフトウェアを設計するものである。本稿では、分散オブジェクト指向に基づくアプリケーションの設計に ObjectFlow を適用した例を示し考察する。

1 はじめに

インターネットの急速な普及により、ビジネス分野においても Webなどを基盤とした分散ソフトウェアの利用が実用化されている。特に、ネットワーク上に分散して接続されたクライアントとサーバの関係が、ネットワーク上で動的に形成されながら、1つの業務を遂行できるような分散ソフトウェアが注目されている。

分散ソフトウェアは、Webと連動してインターネット上で電子決済や電子商取引などを可能とし、JavaやActiveXなどのネットワークを前提としたオブジェクト指向言語が提供されることにより、ビジネスアプリケーションの分野でも脚光を浴びるようになった[8]。

また、オブジェクト間の通信インターフェース仕様であるCORBA (Common Object Request Broker Architecture) を基盤として、異機種間で実行されるオブジェクト同士が、相互に通信して処理を実行する分散オブジェクト指向のシステム開発も進められている。

しかしながら、分散オブジェクト指向に基づくソフトウェア設計の仕様については、いろいろな研究が行われているにもかかわらず、まだ実用的に利用できるまでには至っていない[1]。

そこで、構造化設計技法に基づき要求分析から詳細設計に至るまでのすべての工程を一貫した図式であるSP-FLOW[2]をオブジェクト指向設計に発展させたObjectFlow [3] を提案してきた。本稿では、その

ObjectFlow による設計手法を分散ソフトウェアの設計に適用した例を示し、考察する。

2 分散ソフトウェア設計の特徴

複数のコンピュータ上に実現され、ネットワークを介して協調的に動作するサブシステムの集まりとして構成された情報処理システムを一般に分散システム、また、それを実現するための複数のコンピュータにまたがって実行されるソフトウェアを分散ソフトウェアと呼ぶ[4]。一般に、分散ソフトウェアは、次のような特徴を持っている。

- 1) システム資源の最適な配分が可能である
- 2) システムの基幹部分とユーザ個別部分の分離が容易である
- 3) システムのスケーラビリティに柔軟な対応ができる
- 4) 部門や顧客などの部門を越えた相互接続が実現できる

しかしながら、分散ソフトウェアの開発においては、次のような問題点がある。

- 1) 大規模システムでの最適な分散化設計の難しさ
- 2) システムの拡張や変更に対応しやすい分散コンポーネントの設計が課題
- 3) 不正なアクセスや部分的な故障に対するセキュリティやインテグリティ制御への対応

特に、分散ソフトウェアでは、それぞれのコンピュータで稼働しているプロセス間の通信を通じて、メッセージをやりとりする必要があるが生じるので、各オブジェクト間の関係は非常に複雑になる。その上、分散ソフトウェア

* 奈良先端科学技術大学院大学

の開発は同時並行的に進められることが多く、設計すべき機能を複数の開発グループに分担させる場合もある。

従って、分散ソフトウェアの設計仕様においては「自分の行った設計が他人に分かりやすいこと」、「他人の行った設計が理解しやすい」ことが極めて重要となる。これは、分散ソフトウェアにおける相互のプロセスが協調して処理を実行するようなシステムにおいて、開発チーム間で設計の内容を把握し、相互に矛盾がないことを確認する上で重要なポイントとなる。

本稿で用いる ObjectFlow は、図1に示すように、ネットワーク上に存在する複数のオブジェクトが、インターネットなどを通じて相互にメッセージを交換し、メッセージを受け取ったオブジェクトのメソッドを起動して目的の処理を行い、その結果を他のオブジェクトにメッセージ送信する様子を、忠実かつ視覚的に表記するものである。この手法を利用すると、分散ソフトウェアにおける各オブジェクトの最適な配置の検討が容易になるとともに、システムの拡張や変更に対応しやすい図式表記が可能になる。

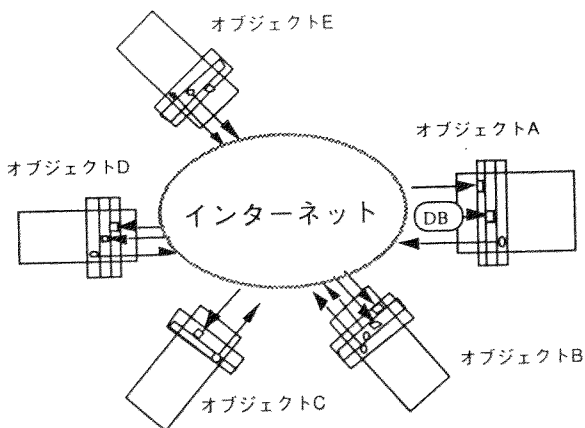


図1 分散オブジェクトの表記例

3 ObjectFlow の概要

3.1 オブジェクトの関係

一般に、オブジェクト指向による設計を行うに当たり、その仕様を中心となるオブジェクト間の主な関係は、次の3つで表現される。

- 1) クラス間の概念的な包括関係を表す (is- a 関係)
- 2) オブジェクト間の構造的な集約関係を表す (has- a 関係)
- 3) オブジェクト間の参照、利用関係を表す (関連)

本手法では、これらのオブジェクトの関係を、図2に示す3つの視点から捉えた図式で表す。以下に、これらの図式の説明と UML(Unified Modeling Language)

[5,6] との表記法との関係を示す。

- 1) オブジェクトを「意味の視点」から体系化し is- a 関係にまとめたものをクラス図として表現する。
- 2) オブジェクトを「構造の視点」から捉え、オブジェクトの has- a 関係を定義したものをコンポーネント図で表現する。これは、UML では、オブジェクト図、コンポーネント図に相当する。
- 3) メッセージ交換により関連するオブジェクトで実行される動的な振る舞いを「機能の視点」から捉えたものをプロセス図として表現する。これは、UML における、ユースケース図、シーケンス図、コラボレーション図、アクティビティ図、状態遷移図を統合したものである。

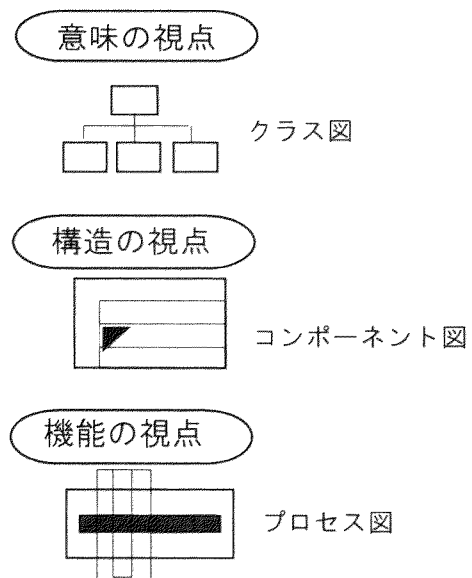


図2 オブジェクトの3つの視点

3.2 表現モデル

分散オブジェクト指向によるソフトウェアでは、いくつかのオブジェクトが相互に影響しあって1つの処理を行うのが一般的である。すなわち、特定の処理に参加するオブジェクトは、それぞれあるクラスとして定義されており、実際に活動する場合はそれぞれのオブジェクトがシステムに参画するものとして集約関係を構成する。

特定の機能を果たすように集約されたオブジェクトをビジネスオブジェクトと呼び、ソフトウェア設計における基本的な活動単位となる。ソフトウェアの実行時には、それぞれのオブジェクトは相互にメッセージ交換を行い、必要に応じてそれぞれのオブジェクトが持つメソッドのうちの1つが起動され、それが次々と連鎖的に実行されることによって、処理が完結する。ObjectFlow は、先に述べたオブジェクトの3つの視点から得られたクラス図、コンポーネント図、プロセス図

を、相互に関連づけながら記述していく手法である。

すなわち、クラス図で示されたクラス階層から目的の処理を実現するオブジェクトを抽出し、複合オブジェクトを構築してコンポーネント図を作成する。図3の例では、クラス X を継承したクラス a, クラス c を取り出し、他のオブジェクトと組み合わせてコンポーネント A, B を構築する。

次に、ある目的を達成するために必要なそれぞれのオブジェクトの動的な振る舞いを、プロセス図で記述する。図3の例では、あるタイミングでオブジェクト a の特定のメソッド a3 を起動し、その結果としてメッセージをオブジェクト c に送り、メソッド c2 を起動するという方法でプロセス図を記述していく。この場合、コンポーネント A, B についてのメソッドが定義されておれば、そのメソッドを用いてもう1レベル粒度の大きい仕様を記述することができる。

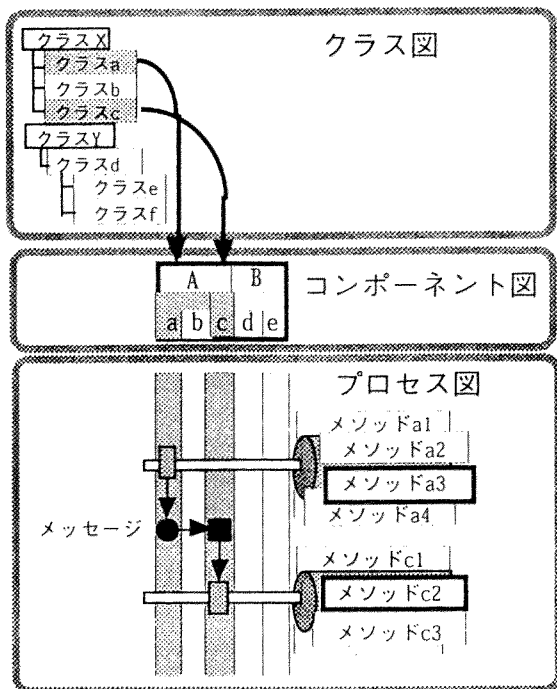


図3 ObjectFlow の表現モデル

4 分散ソフトウェアへの適用

インターネットの発展に伴って、Web アプリケーション、CORBA、トランザクション処理、ビジネスオブジェクトなどの方法を取り入れた分散ソフトウェアが、注目を浴びている。これらの分散ソフトウェアの実現方法について、ObjectFlow を適用した記述方法について述べる。

4.1 Web アプリケーション

Web をクライアントとしたサーバ/クライアントシステムがよく利用されるようになってきたが、例として、ブラウザからインターネットを介して特定のサーバのデータベースにアクセスし、情報を取り出すアプリケーションを図4に示す。

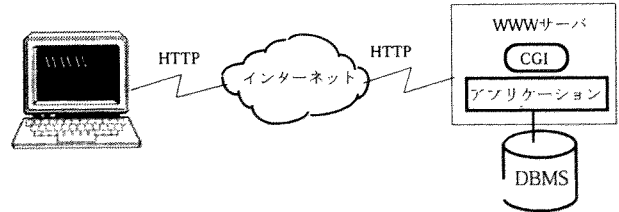


図4 WEB ベースのアプリケーション例

このようなビジネスアプリケーションにおいて、システムの基本設計にあたる最も粒度の大きな仕様を ObjectFlow で表現したものが図5である。

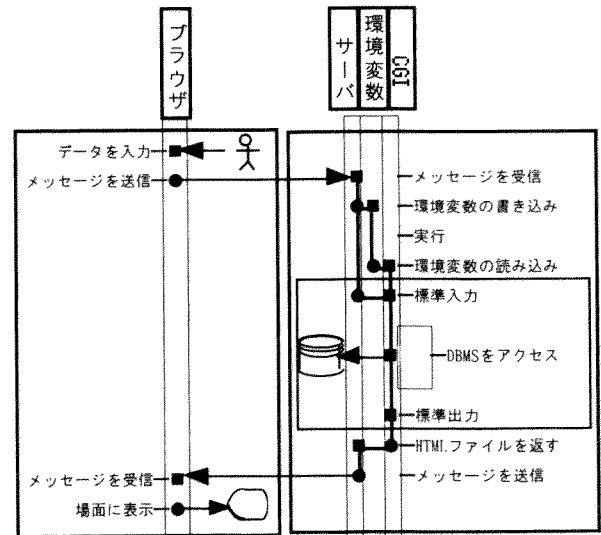


図5 ObjectFlow による記述例

ここでは、Web ブラウザからインターネットを経由してメッセージが Web サーバに送られ、そのメッセージによって起動された Web サーバ側のメソッドが実行される大まかな手順を具体的に表現している。また、Web サーバ側のアプリケーションの内部にはデータベースをアクセスするためのオブジェクトが内包されており、サーバで起動されたメソッドと内包されたオブジェクトとのメッセージ交換や、内包されたメソッドがデータベースをアクセスするタイミングや、アクセスを繰り返す制御構造などを表している。

4.2 CORBA

CORBA は、OMG(Object Management Group)に

よって規定された分散オブジェクトの相互運用のための標準バスである。このバスを備えた CORBA 仕様の分散オブジェクトは、ネットワーク上のクライアントが任意のオブジェクトのメソッドを呼び出してアクセスできるコンポーネントである。

また、分散オブジェクトの相互運用を可能とする ORB(Object Request Broker)は、オブジェクト同士が、異なる言語、ツール、プラットフォーム、ネットワークに跨っていても、メッセージの送受信を通じて容易に対話できるバスを提供している。CORBA 仕様に基づいた分散ソフトウェアの設計を行う場合を、ObjectFlow を用いて表現する。

例えば、Java アプレットを利用した Web アプリケーションは、インターネット上の簡便なビジネスアプリケーションとしてよく利用されている。このような Java/CORBA 連携 [7] によるソフトウェアの仕様を ObjectFlow のプロセス図で記述したのが図 6 である。

このシステムは、クライアントである Web ブラウザから起動され、Web サーバ A よりアプレットを動的にダウンロードした後、そのアプレットを通じてアプリケーションサーバ B に対して処理依頼を行う。このとき、ダウンロードされたアプレットがクライアント側の環境に取り込まれオブジェクトが生成された様子を、三角形のマークを付加して表している。生成されたアプレットは、クライアント側のソフトと連動してその後の処理を行っている。なお、▽はオブジェクトの生成を表し、△は消滅を表す。

一方、アプレットから処理依頼を受けたサーバ B は所定の処理を行った後、その結果をクライアント側のアプレットに返送し、クライアントのブラウザ上に表示する。図 6 のインターネットと ORB バスの図は、模式的に描いたもので、実際の ObjectFlow の記述には必要ない。しかし、この ORB により、さまざまなハードウェア、OS、プログラミング言語などを考慮することなく、粒度の粗いオブジェクトの再利用がしやすくなる。

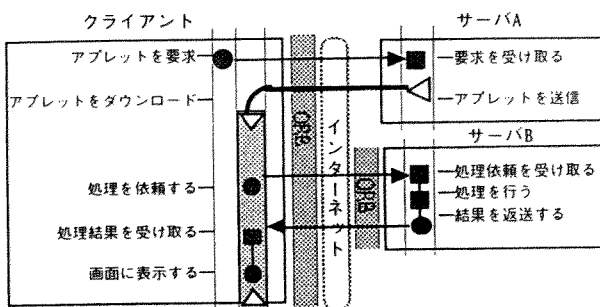


図 6 CORBA 仕様の ObjectFlow 表現

4.3 トランザクション処理

分散アプリケーションの構築には、トランザクションモデルが有効である。トランザクションとは、原子性、一貫性、独立性、耐久性という特性を持つ情報処理単位として定義される。

すなわち、トランザクションは、クライアント側を起点とし、複数のサーバを介して元のクライアントに戻るまでを確実に管理し、そのトランザクションが成功したのか、失敗したのかのいずれかを決定することになる。この方法を用いれば、分散トランザクションに関与するクライアントとサーバ群の間でも協調が可能になり、あるサーバ上で障害が発生した場合には、他のすべてのサーバ上でそのトランザクションをロールバックすることができるようになる。

CORBA 仕様によるトランザクションサービスの例として、複数の入札者がブラウザから商品の競売を行うオークションシステムを取り上げる。この処理に関するオブジェクトは、複数の入札者(クライアント)と、商品の展示などを行っている Web サーバ、競売で最高値をつけた人を選び出すオークションサーバ、実際に入札したデータを管理する入札サーバ、実際にその商品を販売する販売サーバなどが協調して処理を行う。この複数のオブジェクト間にメッセージが飛び交う様子を表したものが図 7 であるが、分散システムの設計においては、それぞれのオブジェクトが別のオブジェクトとどのようなメッセージを交わし、どのような処理を行っているのかをもっと具体的に表現する必要がある。

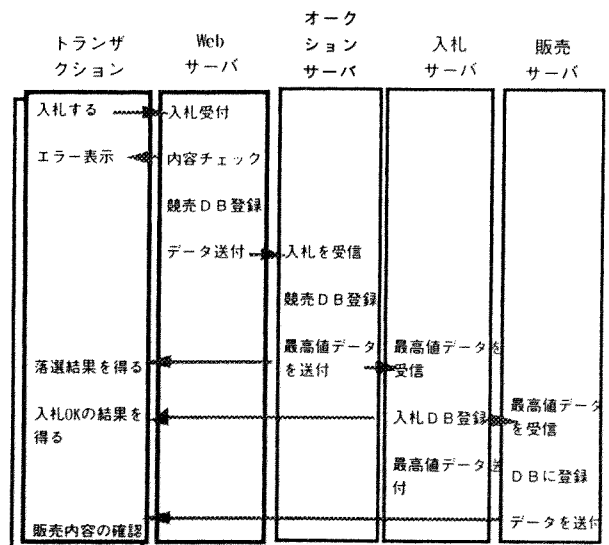


図 7 トランザクションサービスの例

図 6 に示すように、ObjectFlow では、同時に 2 つのオブジェクトと交信を行いつつ実行する様子は明確に記述できるが、図 7 のように、多くのオブジェクトが並行

して実行される場合、ObjectFlow では、すべての並行した処理内容を記述するのは難しい。

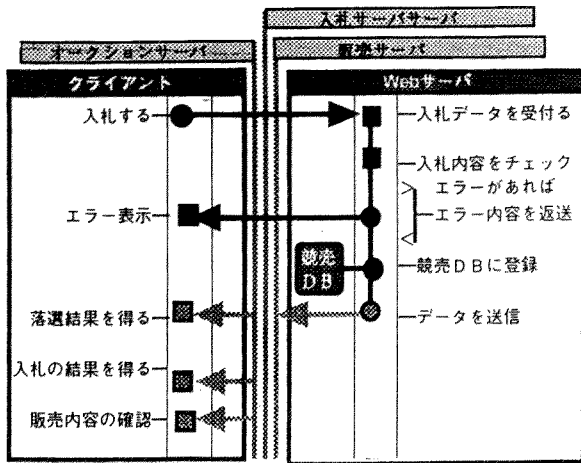


図8 図7のObjectFlow表現

しかし、ObjectFlow は画面で作成し、かつ見ることが前提となっているため、図8のように特定のタイミングにおける2つのオブジェクト間の様子をダイナミックに切り替えて表示することで、この問題を解決することができる。

それは、あたかも、個々のオブジェクトが仕様書の本のそれぞれ1ページにあたり、ネットワークの部分为本の綴じ代にあたって、そこを通じてあらゆるオブジェクトとメッセージの交信を行うように表現することになる。

この方法によって、メッセージ交換のタイミングと、受信したメッセージによるメソッドの起動やその処理の内容、さらに処理の結果を別のオブジェクトに送信する状況を簡潔に、かつ具体的に表現することができる。

4.4 ビジネスオブジェクト

一般に、ビジネス分野における分散ソフトウェアで使われる共通オブジェクトをビジネスオブジェクトと呼ぶ。このような、ビジネスオブジェクトは、オブジェクトの単位をプログラムの単位から、より現実社会の組織や機能を構成するモノを表すコンポーネントとして扱うことができ、コンポーネントを再利用できるメカニズムがあれば、多くの分散ソフトウェアの開発に適用することができる。

ObjectFlow では、先に述べたように、粗い粒度のコンポーネントの表記が行いやすいため、ビジネスの世界で活動している事物、すなわちアプリケーションに依存しない組織や機能を記述し、また仕様レベルで再利用することが容易である。

また、ビジネスの手続きそのものをプロセスオブジェ

クトとして扱うことができるので、特定のデータにこだわらないロジックをコンポーネントとして利用できる。

このように、ObjectFlow は、最も基本的なオブジェクトやその活動だけでなく、それらの集約によって作られたビジネスオブジェクトをも、同じ記述様式で扱うことができる。

また、ネットワークを經由して複雑にメッセージ交換が行われているようなシステムの他、オブジェクトの中にいろいろなオブジェクトを包含して、その内部でメッセージ交換を頻繁に行っているオブジェクトの集合、すなわちビジネスオブジェクトまで、それぞれの関係を想定しながら記述することができる。

5 考 察

分散ソフトウェアの開発における課題として、最適な分散化設計の難しさを挙げたが、これを解決するには、オブジェクトの分散化について、いろいろな分散オブジェクトの組み合わせを検討できるような記述法が必要であり、それを支援する環境が不可欠である。

また、システムの拡張や変更に対応するためにも、システムの内容が分かりやすく業務と直結した表現で記述されていることが望ましい。特に、分散ソフトウェアの開発が、同時並行的に進められる場合には、複数の開発グループの間で常に仕様の整合性を検証しつつ設計に携わることができなければならない。

ObjectFlow は、個々のオブジェクトが本の1ページに相当し、綴じ代で相互の関係を表すような仕組みであるため、オブジェクトをどのように分散化すべきかを試行するのに有効である。

サーバ/クライアント型のシステムでは、両方のオブジェクトにどのように処理を振り分ければいいのかを検討するのに役立つ。特に CORBA 仕様の分散オブジェクトの設計は、ネットワーク上に展開された多数のオブジェクトが標準化された方法で相互にメッセージ交換を行うため、設計が容易であるうえ ObjectFlow による仕様記述に無理なく導入できる。

トランザクション処理は、開始と終了の1区切りによって、メソッドの呼び出しを行うが、起点からいくつかのサーバを經由して元のクライアントにもどるまで、メソッドの呼び出し関係が完結していなければならない。

ObjectFlow では、メッセージの呼び出し関係を時系列に沿って順次示されているので、誤った呼び出しや元にもどらないメッセージ送信手順などは容易に見つけ出すことができる。

また、システム全体の基本計画を策定するような段階

での、大きな粒度のビジネスオブジェクトの組み合わせたによる基本設計から、それぞれのビジネスオブジェクトをプログラム仕様のレベルまで詳細化した場合においても、同じ図式を保ったまま無段階に拡大、縮小ができるため、ビジネスアプリケーションの設計に極めて有効であると考えている。

6 おわりに

ObjectFlow は、分散ソフトウェアの設計において効率の良い記述が行えるもので、特に標準的なバスを備えた CORBA 仕様に基づく分散オブジェクト指向の仕様記述に役立つものと考えている。

しかしながら、ObjectFlow はこの記述を支援する環境と一体になってこそ威力を発揮するため、まず支援システムを完成させ、具体的なテーマに適用しつつ評価したいと考えている。

謝 辞

日頃、ご指導を頂いています奈良先端科学技術大学院大学の鳥居宏次副学長はじめ、ソフトウェア計画構成学講座の井上克郎教授、松本健一助教授ならびに井上研究室の皆様に感謝の意を表します。

参考文献

- [1] Timothy W.Ryan : "Distributed Object Technology : Concepts & Applications", Prentice Hall (1997).
- [2] 臼井義美 : 「SP-FLOW」によるデータ構造に基づくシステム設計法, 情報処理, pp.1228-1236 (1984).
- [3] 臼井義美 : ObjectFlow による分散ソフトウェア設計の図式仕様, 情報処理学会研究報告, Vol.98, No.64, pp.61-68 (1998).
- [4] 長野宏宣, 宮地利雄 : 「分散ソフトウェア開発」, 共立出版 (1996).
- [5] 今野睦監修 : 「オブジェクトモデリング表記法ガイド UML1.3」, ピアソン・エデュケーション (2000).
- [6] Martin Fowler and Kendall Scott : "UML Distilled: Applying the Standard Object Modeling Language", Addison-Wesley Publishers Japan. (1997).
- [7] 成田雅彦, 保西義孝, 勝亦章善, 島村政義, 島村真己子, 杉能康明 : 「CORBA と Java 分散オブジェクト技術」, ソフト・リサーチ・センター (1997).
- [8] 金澤典子 : 「オブジェクト指向再入門講座」, ソフト・リサーチ・センター (1999).

シミュレーテッドアニーリングを用いた CMOS 組合せ回路の 最大同時スイッチングゲート数の評価

世古 忠・大原 誠

Evaluation of Maximum Number of Simultaneous Switching Gates for
CMOS Combinational Circuits Using Simulated Annealing

Tadashi Seko and Makoto Ohara

This paper presents a new approach to evaluate the maximum number of simultaneous switching gates of a given combinational circuit. The new approach is based on an iterative method proposed by Shinogi et al. and applies a simulated annealing (shortly, SA) strategy to search for a new solution. The experimental evaluation using ISCAS'85 benchmark circuits shows that the proposed approach has attained an excellent improvement compared with other related methods including the iterative method.

1 まえがき

近年、携帯用電子機器の高性能化、小型化が進展し、LSI の設計において消費電力に関連する問題が重要となってきた。LSI の電力は大別してクロック回路、メモリ回路、入出力回路、内部論理回路で消費される。内部論理回路が CMOS で実現される場合、回路の消費電力は主としてゲートのスイッチングに伴う充放電電流に起因することが知られている。LSI において瞬時の集中的な電力消費が LSI システムの信頼性を損なう恐れがあるため、これに対応する回路の同時スイッチングゲート数の最大値を見積もることが課題となっている。一方、CMOS ゲートのスイッチングに伴う充放電電流は負荷容量、配線容量、および信号の遅延によるグリッチの影響などを考慮しなければ正確な見積りを行なうことはできないが、モデルが複雑になり計算時間の増大を招くおそれがある。他方、回路の最大同時スイッチングゲート数は瞬時の電力消費と密接な関係があり、短時間の集中的な電力消費を推測する尺度とすることができる。このため本論文では組合せ回路を対象として、その最大同時スイッチングゲート数を見積もる問題に焦点を絞る。

組合せ回路の最大同時スイッチングゲート数を正確に求めるためには、すべての入力ベクトルの組に対して同時スイッチングゲート数を求めその最大値をとればよい

が、入力数が大きい場合、計算時間が膨大になる。そのため、現実的な時間内に最適解に近い近似解を求める方法がこれまでにいくつか提案されている。上田と樹下は部分的しらみつぶし法[1]、分枝限定法[2]、遺伝的アルゴリズムを用いる方法[3]を提案した。これらのなかで、部分的しらみつぶし法は簡単で効果的な方法であるが多くの計算時間がかかる。その後、篠木等は逐次改善法を提案した[4]。この方法では、入力ピンのペア交換により、最大変化ゲート数が増加するように逐次的に入力ベクトルペアを改善する。そして、局所解に陥る問題点を多数の初期解の利用、探索近傍の広域化で解決している。著者等[5]は回路をコーン状に分割し部分回路に対して並列に逐次改善法を適用し、高速化と解の改善を行なう方法を提案している。しかし、逐次改善法においてさらに良い近似解を求めるためには、局所解に陥る問題点に対する新しい解決策が必要とされる。

本論文では逐次改善法で局所解に陥る問題点を解決するため、新しくシミュレーテッドアニーリング[6]を用いた方法を提案する。そして、提案手法を ISCAS'85 ベンチマーク回路で評価し、従来法である逐次改善法、部分的しらみつぶし法、GA 法との比較を行ない提案法の有効性を確認する。

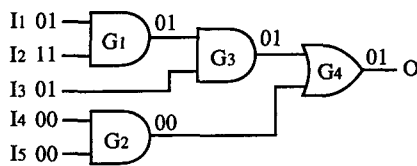
2 準備

2.1 最大同時スイッチングゲート数

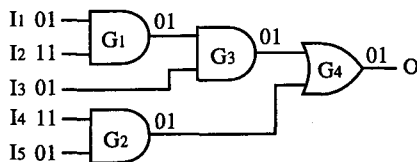
組合せ回路の外部入力端子 I_1, I_2, \dots, I_n に、時刻 t において入力ベクトル $v_t = (v_1, v_2, \dots, v_n)$ を与え、回路が定常状態になった後の時刻 l において入力ベクトル $v_l = (v'_1, v'_2, \dots, v'_n)$ を与える。このとき、入力ベクトル v_t と v_l の組み $V = (v_t, v_l)$ を入力ベクトルペアという。回路にある入力ベクトルペアを与えたとき、出力値が変化するゲートを同時変化ゲートという。例えば、図1(a) において入力ベクトルペア $V = ((0, 1, 0, 0, 0), (1, 1, 1, 0, 0))$ が外部入力端子 I_1, I_2, I_3, I_4, I_5 に与えられたとき、ゲート G_1, G_3, G_4 の出力は0から1に変化し、ゲート G_2 の出力は不変である。このとき、ゲート G_1, G_3, G_4 を入力ベクトルペア V に対する同時変化ゲートという。

同時変化ゲート数を N で表すと、この場合 $N = 3$ である。回路にすべての入力ベクトルペアを与えたときの同時変化ゲート数の最大値を N_{max} で表し、回路の最大同時変化ゲート数という。図1 (b) は $N_{max} = 4$ の例を示す。

一般に回路規模が大きくなると回路の外部入力端子数 n に対して入力ベクトルペア数は $O(2^{2n})$ であり指数関数的に増大するので、回路の最大同時変化ゲート数を求めるために近似解法を用いる。



(a)



(b)

図1 同時変化ゲート

2.2 逐次改善法

最大同時変化ゲート数を求めるための近似解法として、篠木等は逐次改善法 (Iterative Improvement Method)

を提案した[4]。ここではこの方法を I^2 法と表記する。以下に、逐次改善法の処理手順の概要を示す。

- Step 1: 乱数を用いて初期入力ベクトルペアを生成し、論理シミュレーションによって、 N を計算する。
- Step 2: 入力ピンを選択し、そのピンのペア値を変更する。そして、新しく得られた入力ベクトルペアに対して、 N を計算する。このとき、それまでに得られた最適な入力ベクトルペアを保存する。
- Step 3: 現在の最適の入力ベクトルペアに対して Step 2 を繰り返す。この繰り返しは、現在の最大同時変化ゲート数が変化しなくなるまで続行する。
- Step 4: Step 1 から Step 3 を R_{max} 回繰り返す。ここで、 R_{max} は、あらかじめ指定された繰り返し回数の上限である。
- Step 5: 手続きを終了し、最大同時変化ゲート数 N_{max} を得る。

以上の手続きは、入力ベクトルペアが変更されるごとに、回路全体に対して、論理シミュレーションが必要であるので、回路規模が大きくなると計算時間が膨大になる。 I^2 法では、Step 4 において R_{max} を設定して計算を打ち切っている。

3 提案手法

本論文では、最大同時スイッチングゲート数問題への新しいアプローチとして、シミュレーテッドアニーリングを用いる方法を提案する。2.2 で示した篠木等の方法では、解が改悪される場合は新しい候補解を選択しないが、提案法では改悪される場合でも確率的に新しい候補解を選択する。提案法では評価関数として最大同時スイッチングゲート数を採用し、評価値の改悪量 δC を以下の式

$$\delta C = N - N' + 1 \quad (1)$$

で与える。ここで、 N は現在の入力ベクトルペア v に対する同時スイッチングゲート数、 N' は次に選択する候補ベクトルペア v' に対する同時スイッチングゲート数を表す。以下に提案法のアルゴリズムを示す。

- Step 1: (初期解の生成) : 繰り返し回数を表す変数 R を 0 にする。また、初期温度 T_0 を設定する。そして、ランダムに入力ベクトルペアを生成し論理シミュレーションを行ない同時スイッチングゲート

ト数 N をもともとて初期解とする.

Step 2: (入力ピンの選択) : 現在の入力ベクトルペア v について, ランダムに入力端子 i を 1 つ選択する.

Step 3: (候補解の生成) : 選択した i について, 入力ペア (a_i, b_i) のペア交換を行ない, 新しいベクトルペアを生成する. ただし, ペア交換後のペア値は, それぞれ (\bar{a}_i, b_i) , (a_i, \bar{b}_i) , (\bar{a}_i, \bar{b}_i) であり, \bar{a}_i は a_i のビット反転値を表す. そして, 新しく得られた 3 組の入力ベクトルペアに対して, 論理シミュレーションを行ない同時スイッチングゲート数をそれぞれ計算する. その中で最大の同時スイッチングゲート数 N' を与える入力ベクトルペア v' を, 新しい解の候補とする.

Step 4: (SA による解の選択) : 式(1)を用いて評価関数の改悪量 δC を求める. $\delta C < 0$ である場合, 新しい候補解を次の解とする. すなわち, $v = v'$ とする. そうでない場合 $\exp(-\delta C/T)$ の確率で $v = v'$ とする.

Step 5: (温度の更新) : Step 3 ~ Step 4 を入力ピン i を式 $i = i(\text{mod } n) + 1$ に従って 1 ずつ増加して n 回繰り返す. その後, 温度 T を次式に従って更新する.

$$T(t+1) = \alpha \cdot T(t) \quad (0 < \alpha < 1) \quad (2)$$

ただし, α は温度縮小率である.

次に, 時刻 t を $t = t + 1$ とする.

Step 6: (凍結温度の判定) : 温度 T が凍結温度 T_c より小さいとき Step 7 へ行く. そうでないとき, Step 2 へ行く.

Step 7: (終了判定) : 繰り返し回数 R があらかじめ決められた値 R_{max} に到達したとき終了する. そうでないとき, $R = R + 1$ として Step 1 へ行く.

以上の提案法の適用例を図 2 に示す. 図 2 (a) において, 初期入力ペアを $((0,1,0,0,0), (1,1,1,0,0))$ として $N = 3$ を得る. 次に, I_4 についてペア交換して得られた 3 組のベクトルペアに対して論理シミュレーションを行ない, $N' = N'' = N''' = 3$ を得る. 次に SA による解の選択を行なって新しいベクトルペア $((0,1,0,1,0), (1,1,1,1,0))$ を選ぶ(図 2 (c)). このベクトルペアのピン 5 について同様にペア交換を行なって得られた入力ベクトルペア $((0,1,0,1,0), (1,1,1,1,1))$ に対して, 論理シミュレーションを行なった結果, $N' = 4$, が得られ最大値が求められる. この例では, SA により局所解から脱出して最適解を得ている.

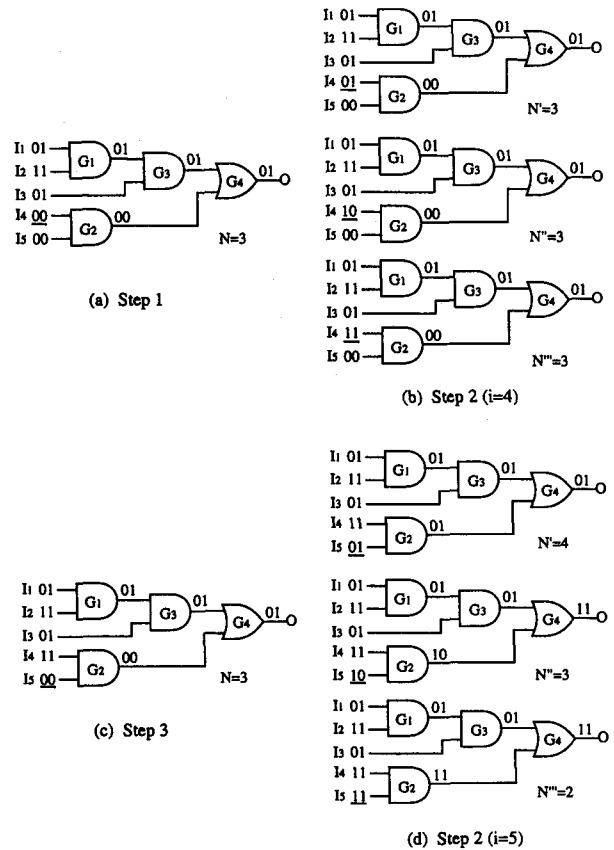


図 2 提案法の適用例

4 実験結果

提案法を Sun Ultra 60 ワークステーション (360MHz, 512MB) 上の C 言語を用いて実現し, ISCAS'85 ベンチマーク回路 [7] に適用して実験を行なった. 表 1 に実験結果を示す. 表 1 において, Proposed SA の欄は提案法によって求めた最大スイッチングゲート数 N_{max} の値 (および CPU 時間 (秒)) を表す. また, IMP は, 文献 [4] の改良版逐次改善法の内でも最も良い値を掲載した. 同様に, Partial Ex. の値は文献 [1] の 2 つのアルゴリズムの中で最も良い値を掲載した. GA は文献 [2] から引用した. 実験において, 初期入力ベクトルペアの数 R_{max} を 100 とし, 初期温度 $T(0) = 10$, 温度縮小率 $\alpha = 0.95$, 凍結温度 $T_c = 0.1$ とした. 表 1 より提案法における最大スイッチングゲート数 N_{max} の値は, 従来のいずれの方法より優れているか同じ値であった.

図 3 (a)-(c) はベンチマーク C5315, C7552, C1355 に提案法を 100 回繰り返して N_{max} を求めた散布図を示す.

以上の結果より提案法は従来法と比べて N_{max} の良い解が得られることが分かった.

表1 実験結果

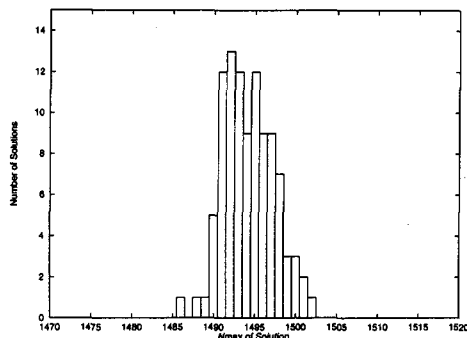
| Circuit Name | Proposed SA (Rmax=100) | IMP[4] | GA[3] | Partial Ex.[2] |
|--------------|------------------------|--------|-------|----------------|
| C880 | 319 (209sec) | 319 | 318 | 315 |
| C1355 | 308 (277sec) | 295 | 296 | 305 |
| C1908 | 604 (312sec) | 604 | 588 | 592 |
| C2670 | 823(2048sec) | 813 | 791 | 806 |
| C3540 | 931 (856sec) | 923 | 919 | 915 |
| C5315 | 1502(2948sec) | 1479 | 1449 | 1434 |
| C6288 | 1581(1008sec) | 1564 | 1539 | 1556 |
| C7552 | 2226(5278sec) | 2180 | 2100 | 2133 |

5 まとめ

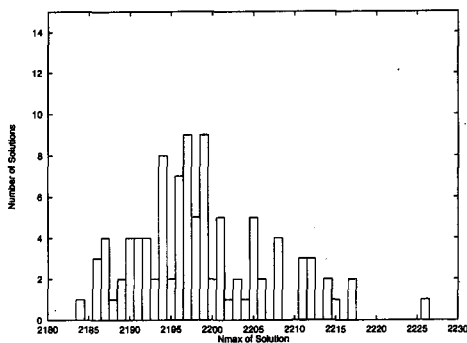
本論文では最大同時スイッチングゲート数を求める問題に対してシミュレーテッドアニーリングを用いるアプローチを新しく提案し、ISCAS'85 ベンチマークに適用して実験を行なった結果、従来の方法に比べて優れた結果が得られることが分った。その結果、提案法の有効性を確認した。今後はパラメータの自動決定法や、用いる入力ベクトルペア数の削減などが挙げられる。

参考文献

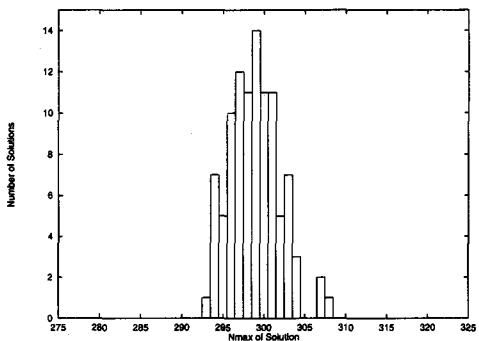
- [1] 上田祐彰, 樹下行三, “CMOS 回路における最大同時変化ゲート数の評価手法について”, 電子情報通信学会技術研究報告, FTS93-45(1993).
- [2] 上田祐彰, 樹下行三, “CMOS 回路における最大変化ゲート数の評価手法について”, 電子情報通信学会論文誌, vol.J78-D-I, no.3, pp.367-375 (1995).
- [3] 上田, 木山, 樹下, “遺伝的アルゴリズムによる CMOS 論理回路の最大変化ゲート数の評価”, 第 33 回 FTC 研究会資料(1995).
- [4] 篠木, 張, 林, 北, “逐次改善法による組み合わせ回路における最大同時スイッチングゲート数の評価,” 電子情報通信学会論文誌, vol.J80-A, no.1, pp.156-169(1997).
- [5] T. Seko, T. Higashino and Tohru Kikuno “Using Cone Partition for Computation of Maximum Number of Simultaneous Switching Gates,” Proc. 1999 International Technical Conference on Circuits/ Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC'99), pp.80-84(1999).
- [6] S. Kirkpatrick, C. D. Gelatt, Jr., M. P. Vecchi: “Optimizatuin by Simulated Annealing,” Science, Vol.220, No.4598, pp. 671-680(1983).
- [7] F. Brglez and H. Fujiwara, “A Neutral Netlist of 10 Combinational Benchmark Circuits and a Target Translator in Fortran,” ISCAS '85:Special Sessionon ATPG and Fault Simulation(1985).



(a) c5315



(b) e7552



(c) c1355

図3 解の散布図

A Competitiveness Coefficient of Online Edge-Coloring Algorithm

Masakuni TAKI, Mikihito SUGIURA*, Toshinobu KASHIWABARA*

SUMMARY We consider an edge coloring game of a graph by two persons who are an adversary and an edge-painter. The former strategy is to add or to delete edges in the graph successively. The strategy is called input. The latter colors the edge as soon as an edge is added in the graph. Then it is never changed the color of edges colored. The latter is not given any further information of the adversary's. We call the coloring strategies of the painter online edge-coloring algorithm.

In this paper the painter is allowed arbitrary amount of colors and colors all of edges added in the graph. A maximum ratio which is a ratio between the number of colors used of an online edge-coloring algorithm A for adversary's family of input and that of offline edge-coloring algorithm is called a competitiveness coefficient of an online edge-coloring algorithm A . We have proved that a competitiveness coefficient of arbitrary randomized online edge-coloring algorithm is greater than $\frac{2k-1}{k}$ where k is maximum degree.

Key word: edge coloring, online algorithm, competitive analysis, two persons game.

1. Introduction

Given an undirected graph $G(V, E)$, an edge-coloring is an assignment of indices $1, \dots, n$ to the edges of G such that no two edges incident on a vertex have the same label. The indices are referred as colors, and the smallest value of n for which such a coloring can be achieved is called the chromatic index of the graph.

The online coloring algorithm is defined as follows. It is not given all of input data in advance. As soon as it is given an input data, it colors the input data one after another. It is not given any further information of input after it colors. In general they use a competitive analysis to analyze the online algorithm, because an absolute performance for the online algorithm dose often not make sense. This is to compare cost of online algorithm with that of offline algorithm for the same family of input data. The offline algorithm is an algorithm that deals with a family of input data all of which are known in advance.

In this paper we consider an edge-coloring game of a graph by two persons who are an adversary and an

edge-painter. The former strategy is to add or to delete edges in the graph successively. The strategy is called input. Since the adversary makes a family of input. On the other hand, as soon as an edge is added in the graph, the latter has to color the edge. Then it is never changed the color of edges colored. The latter is not given any further information of the adversary's. We call the coloring strategies of the painter online edge-coloring algorithm. A maximum ratio which is a ratio between the number of colors used of an online edge-coloring algorithm A for adversary's family of input and that of offline edge-coloring algorithm is called a competitiveness coefficient of an online edge-coloring algorithm A . It is better algorithm that the online edge-coloring algorithm has smaller value of this coefficient.

We analyze a deterministic online edge-coloring algorithm and a randomized online edge-coloring algorithm under the following cases. The painter is allowed arbitrary amount of colors and has to color all of edges added in the graph. For this case the online edge-coloring algorithm was analyzed [3]. In [3], the competitiveness coefficient of arbitrarily deterministic online edge-coloring algorithm was proved that it

*Engineering Science, Osaka Univ, Toyonaka

was greater than $\frac{2k-1}{k}$ where k was maximum degree of the graph. But for randomized online edge-coloring algorithm the outcome was only shown briefly, however the proof was imperfect. In this paper we have proved that the competitiveness coefficient of arbitrary randomized online edge-coloring algorithm is greater than $\frac{2k-1}{k}$ where k is maximum degree.

2. Preliminaries

Here we wish to refer to some notations about graph in [1], and the graph is undirected and is allowed to have multiple edges except on special occasions.

Theorem 1: The chromatic number of arbitrary graph G is equal to the maximum degree of the graph or is greater than it [1].

Theorem 2: The chromatic number of bipartite graph G is equal to the maximum degree of the graph [1].

We consider a two persons game by an edge-painter and an adversary. Let Π be a problem with a finite set I of input instances (fixed size), and a finite set of deterministic algorithms A . For input $i \in I$ and algorithm $a \in A$, let $C(i, a)$ denote the cost of algorithm a on input i . An edge-painter wants to make algorithms whose cost is smaller and an adversary wants to make input instances whose cost is larger. For probability distributions p over I and q over A , let i_p denote a random input chosen according to p and a_p denote a random algorithm chosen according to q .

Theorem 3 (Yao's Minimax Principle) [2]: For all distributions p over I and q over A ,

$$\min_{a \in A} E[C(i_p, a)] \leq \max_{i \in I} E[C(i, a_p)]$$

where $E[X]$ is expectation of X .

There are an oblivious adversary and an adaptive adversary for adversary of randomized online edge-coloring algorithm. When the former dose input, he cannot get the information that edge-painter had chosen colors for family of input before. When the latter dose input, he can get the information that edge-painter had chosen colors for family of input before. Since the adaptive adversary is stronger than the

other.

Let a graph $G_0 = (V, E, k)$ be the beginning of a graph $G, |V| \gg k, E = 0$. Adversary adds or deletes edges to G_0 successively, under the following conditions : the degree of all vertices are always less than k on the way of inputting and once at least the degree of a vertex is just k on the way of inputting. The adversary knows the strategies of the edge-painter. When the adversary adds an edge, the edge-painter colors the edge then the color is different from each of adjacent edges'. When the adversary deletes edges, the edge-painter dose not anything. The edge-painter never changes the color of the edge colored, and the adversary knows the limit of degree of the graph.

The edge-painter's aim is to make small using the number of colors according to the families of input of the adversary. The adversary's aim is to give the families of input that the ratio between using colors of online edge-coloring algorithm and that of offline edge-coloring algorithm is made large.

Let G_{e_1, e_2, \dots, e_i} be a graph just after input e_i according to the family of input $e_1, e_2, \dots, e_i, \dots$

Let $f_A(e_1, e_2, \dots, e_M)$ be the number of using colors of deterministic online edge-coloring algorithm A according to the family of input e_1, e_2, \dots, e_M , and $f_O(e_1, e_2, \dots, e_M)$ be the number of using colors of optimal offline edge-coloring algorithm according to the family of input e_1, e_2, \dots, e_M .

Definition 1: A deterministic online edge-coloring algorithm A is said to be C -competitive such that for any families of input e_1, e_2, \dots, e_M ,

$$f_A(e_1, e_2, \dots, e_M) - C \times f_O(e_1, e_2, \dots, e_M) \leq 0.$$

And the competitiveness coefficient of A , denoted C_A^{det} , is the infimum of C such that A is C -competitive.

Oblivious adversary is the same that he makes all of families of input previously, because he has no influence that edge-painter colored edges before. Let $f_R(e_1, e_2, \dots, e_M)$ be the number of using colors of randomized online edge-coloring algorithm R according to the family of input e_1, e_2, \dots, e_M , then the $f_R(e_1, e_2, \dots, e_M)$ is the random variable.

Definition 2: For oblivious adversary a randomized online edge-coloring algorithm R is said to be

C -competitive such that for any families of input (e_1, e_2, \dots, e_M) ,

$$E[f_R(e_1, e_2, \dots, e_M)] - C \times f_O(e_1, e_2, \dots, e_M) \leq 0$$

And the competitiveness coefficient of R , denoted $C_{R^{obl}}$, is the infimum of C such that R is C -competitive.

Let P be a probability distribution of choosing families of input. The $f_A(e_1, e_2, \dots, e_M)$ and the $f_O(e_1, e_2, \dots, e_M)$ are random variables under P . For a deterministic online edge-coloring algorithm A , defined its competitiveness coefficient under P , C_{A^P} , to be infimum of C such that

$$E[f_A(e_1, e_2, \dots, e_M)] - C \times E[f_O(e_1, e_2, \dots, e_M)] \leq 0$$

Yao's Minimax Principle implies that

$$C_{R^{obl}} \geq \min_A C_{A^P}.$$

The implication of this is as follows : the competitiveness of the best deterministic online edge-coloring algorithm C_{A^P} , according to the probability distribution P of choosing the worst-case families of inputs, is the infimum of $C_{R^{obl}}$ of any randomized online edge-coloring algorithm according to the oblivious adversary.

Definition 3: For an adaptive adversary a randomized online edge-coloring algorithm R is said to be C -competitive such that for the family of input e_1, e_2, \dots, e_M made by the adaptive adversary.

$$E[f_R(e_1, e_2, \dots, e_M)] - C \times E[f_O(e_1, e_2, \dots, e_M)] \leq 0$$

And the competitiveness coefficient of R , denoted $C_{R^{ada}}$, is the infimum of C such that R is C -competitive.

Definition 4: An online edge-coloring algorithm which dose not use greater then h colors as much as possible is defined as follow : when an adversary adds the edge e_i , the algorithm must color with the one of colors, (they are $color_1, color_2, \dots, color_{h-1}$) which are not used yet on the adjacent edges to e_i , in G_{e_1, e_2, \dots, e_i} . Color in this paper has linear order as follow $color_1 < color_2 < \dots$. If new color is used, it must be smallest number that is not yet used.

A set of colors on edges incident from a vertex v is denoted Sv .

3. Online edge-coloring problem

3.1 Deterministic online edge-coloring algorithm

Lemma 1: Let A to be a deterministic online edge-coloring algorithm. For this A , it is $f_A(e_1, e_2, \dots, e_M) \geq 2k-1$ according to the family of inputs e_1, e_2, \dots, e_M .

Proof

We prove it by reductio ad absurdum. We assume that it is $f_A(e_1, e_2, \dots, e_M) < 2k-1$ according to any family of input for A . Here we think that the family of input is as follow.

1. Repeat $k-1$ times adding (v_1, w_1) .
2. Repeat $k-1$ times adding (v_2, w_2) .
- ...
- ...

By the assumption, $Sv_1 \cup Sv_2 \cup \dots$ is a subset of $\{color_1, color_2, \dots, color_{2k-2}\}$.

A subset of $\{color_1, color_2, \dots, color_{2k-2}\}$ is finite, since there exist adequate sequence x_1, x_2, \dots, x_k and $Sv_{x_1} = Sv_{x_2} = \dots = Sv_{x_k}$ if this repeating are continued enough. And then this pattern is disconnected. After that, next following edges are added.

3. Add (v_{x_1}, w_0) .
4. Add (v_{x_2}, w_0) .
- ...
- ...
5. Add (v_{x_k}, w_0) .

Since it cannot color with the element of S_{x_i} on edges added form 3 to 5, these need k colors without $k-1$ colors element of S_{x_i} . For this family of input, total of colors used is as follow : (colors between v_{x_j} , and v_{x_j}) + $((v_{x_1}, w_0), (v_{x_2}, w_0), \dots, (v_{x_k}, w_0)) = (k-1) + k = 2k-1$. But this is the contradiction of the assumption : $f_A(e_1, e_2, \dots, e_M) < 2k-1$. Hence it is $f_A(e_1, e_2, \dots, e_M) \geq 2k-1$. \square

On the above 2, the continuing enough is the maximum $\binom{2k-1}{k-1} \times (k-1) + 1$, and the maximum number of vertices, for making the families of inputs of the above, is $\left(\binom{2k-1}{k-1} \times (k-1) + 1\right) \times 2 + 1$.

Theorem 4: Let A be a deterministic online edge-coloring algorithm. Then $C_{A^{det}} \geq \frac{2k-1}{k}$.

Proof

We prove it by reductio ad absurdum. We assume that it is $C_{A^{det}} < \frac{2k-1}{k}$. By the assumption, it must be made up a following equation (*) for any family of inputs e_1, e_2, \dots, e_M ,

$$f_A(e_1, e_2, \dots, e_M) - C_{A^{det}} \times f_0(e_1, e_2, \dots, e_M) \leq 0. \text{--} (*)$$

Let e_1, e_2, \dots, e_M be a family of input which are used by $2k-1$ colors-algorithm of lemma 1. Since G_{e_1, e_2, \dots, e_i} is bipartite graph, the chromatic number is k from theorem 2. Since these only adds edges, it is $f_0(e_1, e_2, \dots, e_M) = k$ for offline edge-coloring algorithm because of that edge-painter can color with the colors which are colored k -edge-coloring, (such that G has k colors to color edges), to G_{e_1, e_2, \dots, e_i} . These values are substituted for the left hand of (*). Then the left hand of (*) is contradiction of the assumption :

$$(2k-1) - C_{A^{det}} \times k > (2k-1) - (2k-1) = 0$$

Hence $C_{A^{det}} \geq \frac{2k-1}{k}$. \square

3.2 Randomized online edge-coloring algorithm

Theorem 5: Let R be an randomized online edge algo-

rithm. Then $C_{A^{det}} \geq \frac{2k-1}{k}$.

For proving this theorem we apply Yao's Minimax Principle to the competitiveness coefficient. We prove it by reductio ad absurdum. Let $C_{R^{obl}}$ be any randomized online edge algorithm R . We assume that $C_{R^{obl}} < \frac{2k-1}{k}$. From Yao's Minimax Principle, there exist a deterministic online edge-coloring algorithm according to any families of inputs chosen of a probability distribution. Then we think a family of input chosen of a probability distribution as follow,

1. Repeat $k-1$ times adding (v_1, w_1) .
2. Repeat $k-1$ times adding (v_2, w_2) .
- ...
- ...

By the assumption, $Sv_1 \cup Sv_2 \cup \dots$ is a subset of $\{color_1, color_2, \dots, color_{2k-2}\}$.

A subset of $\{color_1, color_2, \dots, color_{2k-2}\}$ is finite, since there exist adequate sequence x_1, x_2, \dots, x_k and $Sv_{x_1} = Sv_{x_2} = \dots = Sv_{x_k}$ if this repeating are continued enough.

3. After that, choose k vertices in the same probability from v_1, v_2, \dots , and add edges from k vertices chosen to w_0 .
4. Delete all of edges added by steps from 1 to 3.
5. Repeat enough times from step1 to step4.

Then these colors on the $k-1$ edges, which come out from k vertices chosen, are all consisted for any deterministic online edge-coloring algorithm. Hence the k vertices chosen are all consisted with $v_{x_1}, v_{x_2} \dots v_{x_k}$.

Since these edges are not colored with the elements of Sv_{x_j} , we need k colors to color these edges except for the $k-1$ colors elements of Sv_{x_j} .

Then the total of colors used is as follow :

$$(\text{colors between } v_{x_j} \text{ and } w_{x_j}) + ((v_{x_1}, w_0), (v_{x_2}, w_0), \dots, (v_{x_k}, w_0)) = (k-1) + k = 2k-1.$$

For any families of inputs chosen of a probability distribution, the expectations of colors used of any deterministic online edge-coloring algorithm is $2k-1$.

And then we study the expectation of colors used of offline edge-coloring algorithm for those families of inputs chosen of a probability distribution, and we pay attention to the graph that is made by step1 to 3 in first time. The chromatic number is k from theorem 2, since these graphs made are bipartite graphs for any families of inputs chosen. As inputs from step1 to 3 are only adding edges, it is enough to use the colors from $color_1$ to $color_k$ by k -edge-coloring if all of families of inputs are known. As it returns to the beginning at step4, it is enough to use the colors from $color_1$ to $color_k$ for adding edges from step1 to 3 after second stage. Therefore the expectation of necessary colors is k if it is offline edge-coloring algorithm according to like these families of inputs chosen of a probability distribution.

Under like these families of inputs chosen of a probability distribution P , any deterministic online edge-coloring algorithm is satisfied with next equation :

$$E[f_A(e_1, e_2, \dots, e_M)] - C_A^P \times E[f_0(e_1, e_2, \dots, e_M)] \leq 0.$$

We substitute the above result for the equation, however, it is as follow:

$$\text{Left side} = 2k-1 - C_A^P \times k > 2k-1 - \frac{2k-1}{k} \times k = 0.$$

This is the contradiction of the assumption, hence

$$C_{R^{obl}} < \frac{2k-1}{k}. \quad \square$$

On the above 2, the continuing enough is the maximum $\binom{2k-1}{k-1} \times (k-1) + 1$ (=X written) as same as the deterministic online edge-coloring algorithm, and the maximum number of vertices, for making the families of inputs of the above, is $\left(\binom{2k-1}{k-1} \times (k-1) + 1\right) \times 2 + 1$. Furthermore repeating at step5 are enough $\binom{X}{k}$ times.

For a randomized online edge-coloring algorithm R there is the relation of $C_{R^{obl}} \leq C_{R^{ada}}$ between $C_{R^{obl}}$ and $C_{R^{ada}}$ from the definition. Let C^{obl} be the minimum of competitiveness coefficient for all randomized online edge-coloring algorithm according to the oblivious adversary, let C^{ada} be the minimum of competitiveness coefficient for all randomized online edge-coloring algorithm according to the adaptive adversary, and let C^{det} be the minimum of competitiveness coefficient for all deterministic online edge-coloring algorithm.

There are the relation of $C^{obl} \leq C^{ada} \leq C^{det}$. Here is $C^{det} = \frac{2k-1}{k}$ from theorem4 and theorem5.

Lemma 2 : Let B be an online edge-coloring algorithm which dose not use greater then h colors as much as possible. The B only uses the colors from $color_1$ to $color_k$ for any family of inputs e_1, e_2, \dots, e_M . [2]

Proof

We prove it by reductio ad absurdum. We assume that the algorithm B colors the $color_{2k}$ to some edges.

Let $e = (v_i, v_j)$ be the edge that were colored $color_{2k}$ at first time. We consider the e colored just before at this time. We pay attention to the colors of edges going out from v_i to v_j , then they must be colored all colors from $color_1$ to $color_k$ by the property of the algorithm B . This is that the summation of degree of v_i and v_j must be at least $2k-1$. But as the degrees of each vertex are not greater then k , at least the degree of either v_i or v_j is k . When the edge e is added at this condition, the degree that is already k becomes $k+1$. This is the contradiction of the role of adversary's input. Therefore the algorithm B dose not use the $color_{2k}$ to some edges. \square

From lemma2 , theorem1, theorem4, and theorem5,

the competitiveness coefficient of an online edge-coloring algorithm which dose not use greater then h ($h \leq 2k$) colors as much as possible is $\frac{2k-1}{k}$.

5. Conclusion

We have described that the competitiveness coefficient of any online edge-coloring algorithm is greater then

$\frac{2k-1}{k}$, where k is maximum degree, for deterministic or randomized online edge-coloring algorithm. We will present new algorithm for online edge-coloring algorithm in next paper.

References

- [1] Robin J. Wilson and John J. Watkins, "Graphs : An Introductory Approach", John Wiley & Sons Inc, 1990.
- [2] Rajeev Motwani, Prabhakar Raghavan, "Randomized Algorithms", Cambridge University Press, 1995.
- [3] Amotz Bar-Noy, Rajeev Motwani, Joseph Naor, "The greedy algorithm is optimal for online edge coloring", Information Processing Letters 44, 251-253, 1992.

どこでも無線 LAN 環境「おかもちくん」構築のための予備的考察

武藤武士*, 平 俊男†, 村尾 元‡, 中山満子§

近年, 情報工学以外の分野でのコンピュータを利用した学習において, ネットワークの果たす役割が非常に大きくなってきた. 特にインターネットの利用によって, 大学に行くこと無く学位を取得できるシステムの実験さえ提供されはじめている. 一方, 中学高校関係(中等教育機関)での情報処理教育がはじまっているが, 学校の中に1つのコンピュータ室を設置して使う程度が現実である. コンピュータ/インターネットの援用による教育が本当に有効であれば, 将来的には情報処理教育以外も含んだ全ての授業で利用の欲求が生まれることが考えられ, コンピュータ室の設置と言うアプローチではいずれ破綻することが目にみえている.

一方, 学生にノート型のパーソナルコンピュータ(PC)を所有させ, 情報コンセント室を設置することで, 家庭での利用と学校での利用をつないだかたちの利用方法も使われはじめている. しかし, 中等教育機関の教室は移動式の机であるため, このような解決策も利用が難しいし, 全ての教室にこのような設備を用意するにはコストがかかりすぎる.

今年に入って IEEE802.11b(<http://grouper.ieee.org/groups/802/11/>) 対応の無線機器が安価で提供されるようになってきた. そこで, 無線 LAN 環境を箱につめ, 学生には無線 LAN のカードを利用してもらうことで, 「どこでも無線 LAN 環境」の提供が可能となる. 本論文では, このようなシステムの設計を行い, このシステムについて議論を行う.

1 はじめに

近年, インターネットの教育への利用 [1] や WBT (Web-based Training and Testing) [2] に注目が集まっている. これらの研究では, 遠隔地でも授業の受講が可能であり, 学生は自分の好きな時間に好きな科目の授業の受講が可能である. これらの授業は中等教育機関などの学校でも利用可能であるが, 設置コストが高く, ネットワークを自由に利用できる部屋を授業に必要な数だけ準備できない.

おかもちくんプロジェクトでは, 無線 LAN 環境を出前などで利用されるおかもちに入れ, 移動可能な無線 LAN 教室の可能性について調査を行う. このシステムはターゲットを中等教育機関と考え, 現状で比較的安価で容易に入手可能なものを選択した.

以下では, はじめに関連研究についてのべ, 無線 LAN 教室に必要な要素について議論する. 次に, プロ

トタイプ実装について説明し, 最後にこのプロトタイプ実装についての議論を行う.

2 関連研究

インターネットにおけるオープンキャンパスとしては SOI [1] (<http://www.soi.wide.ad.jp/>) が良く知られている. ここでは, インターネット上に仮想的にインターネット学科を構築し, 大学の授業として用いるとともに, 広く一般の聴講も認めている. 適用範囲もビデオによる授業公開やレポート公開システム, 授業アンケートなど多岐にわたっている. もちろん, このようなシステムは本研究でも必要である. ここではインターネット学科の構築を行っているため, 授業で用いられるツールに対するリテラシー教育は仮定されている. しかし, これは中等教育機関では仮定できない. そこで, 本研究ではネットワークリテラシーを仮定せず, 教えるために必要な教材を用意することもその範囲とする. また, 対象範囲も情報工学だけに限定せず, 広く一般教養に含まれる授業での利用可能性についても検討を行う.

無線 LAN を教室に導入する試みは広島商船高専でも行われている (<http://mthpl.hiroshima-cmt.ac.jp/edu/wireless/>).

*情報工学科 mutoh@info.nara-k.ac.jp

†機械工学科 hira@mech.nara-k.ac.jp

‡神戸大学工学部

§大阪市立大学学術情報総合センター

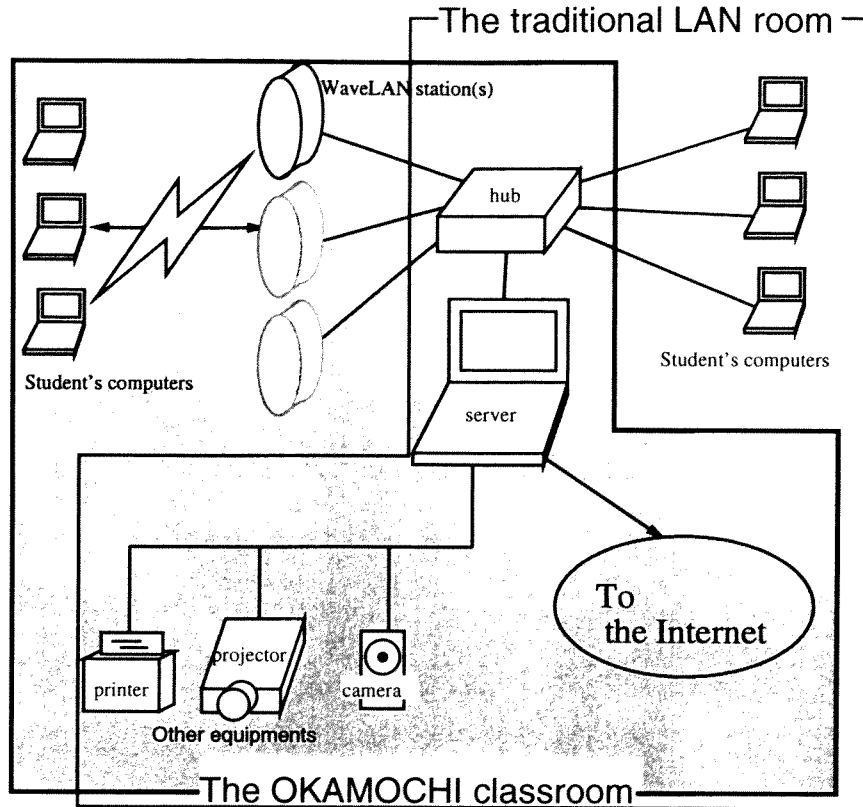


Fig. 1: LAN 教室とおかもち教室のシステム構成図

現状では、ノートパソコンはセンターのレンタル方式であるので、学生所有のノートパソコンを考えている本研究とは立場が異なる。

3 無線 LAN 教室への要求事項

3.1 おかもちシステム

LAN の利用可能なコンピュータ室の構成を Fig. 1 に示す。

ここでは、プレゼンテーション用のプロジェクタやプリンタ、コンピュータ、サーバなどが用意されている。これらのシステムをおかもちに詰め込んだ無線 LAN 環境を、以下おかもちシステムと呼ぶ。おかもちシステムは LAN 環境をできる限りコンパクトに詰め込み、一般の教室でもそのような環境を提供する。Fig. 2 のように、おかもちはシステムの可搬性をあげるための移動用の入れ物であり、出前などでもちいられるアルミ製の入れ物を流用した。おかもちシステムを利用した無線 LAN 環境をおかもち教室、これを使った授業をおかもち授業と呼ぶ。

3.2 おかもち授業とその他の授業との比較

Table 1 は通常の授業、LAN 室での授業、情報コンセント室での授業とおかもち授業の比較表である。基本

的に現在の授業で提供されている環境は維持されている。また、安価にシステムが構築可能なことが最大の利点である。

学生には各人でノート PC を購入してもらい、家庭での復習などにも利用できる体制を構築する。これはプログラミング環境などを家庭学習用に別途用意する必要がなく、作業途中のプログラムや文章をそのまま持って帰れるという利点のためである。

インターネットを授業で利用するためには、

- ・ネットワークカード+情報コンセント
- ・無線 LAN
- ・モデム+公衆電話回線
- ・PHS/携帯電話カード+無線電話

が候補として考えられる。おかもちシステムではこれら全てを用意する。

3.3 物理的な制約

一般に中等教育機関のいわゆる教室には、プロジェクタはおろかスクリーンさえない場合がある。もちろん、ネットワークコンセントなど望むべくもないし、移動式の机を使う以上は設置を行うことも難しい。休憩時間も短いため、ケーブルによる LAN 構築は現実的ではない。そこで、ケーブルの必要がない無線 LAN を利用することが現実的である。

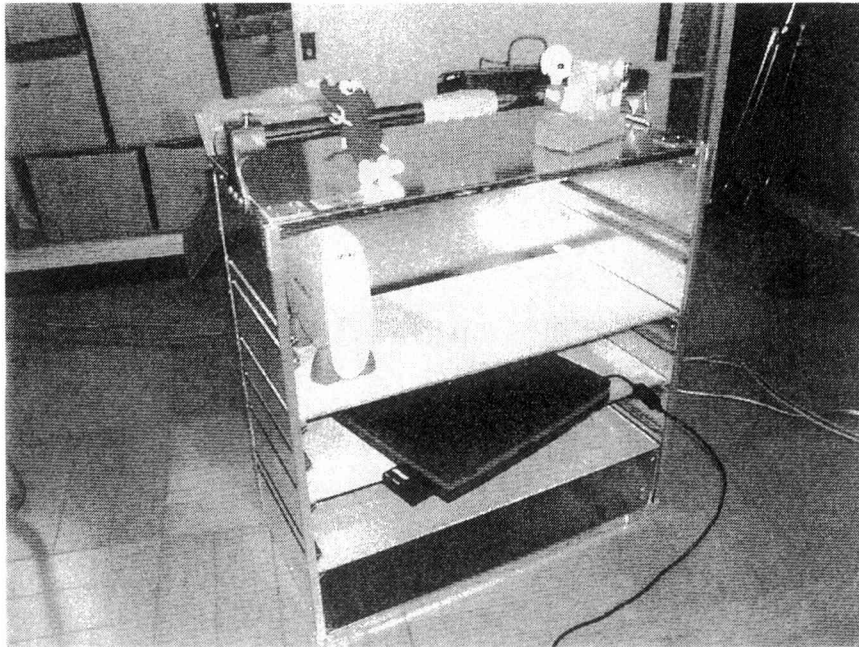


Fig. 2: おかもちの概観

Fig. 1: LAN 教室とおかもち教室のシステム構成図

| | 通常の授業 | LAN 授業 | 情報コンセント室 での授業 | おかもち授業 |
|--------------|-------|-----------|------------------|----------|
| 教材提示 | 黒板 | 固定プロジェクタ | | 携帯プロジェクタ |
| デモ | 特別な機材 | 教師用コンピュータ | | |
| ビデオ上映 | 不可 | 教室の PC | 学生の PC | |
| 板書 | ノート | | 学生の PC | |
| プログラミング環境 | 無し | 教室の PC | 学生の PC | |
| 学生間コミュニケーション | なし | LAN | | 無線 LAN |
| 部屋 | 教室 | コンピュータ室 | 情報コンセント室 | 教室 |
| コスト | なし | 高価 | 比較的安価 | 安価 |

安価な IEEE802.11b 対応の LAN 機器を利用して教室で LAN 環境の構築を行うことを考える。これにより、物理的な配線の必要が無く、短期間での無線 LAN の構築が可能となり、必要なだけシステムを用意するだけで、全ての教室での利用が実現可能となる。

3.4 サーバの設定

サーバのオペレーティングシステム (OS) としては、PC-UNIX のひとつである FreeBSD を用いた。これは、OS 自体の安定性とあとで述べる Linux エミュレーション機能を利用するためである。将来的には、サーバの構築が簡単にできるインストール用 CD-ROM の準備が必要になると思われる。

現在では、PC-UNIX のユーザはまだ多くない。これは、教師にとっても同じであるので、良く使われている OS への対応も必須となる。

VMware (<http://www.vmware.org/>) は Linux などの

OS 上に仮想の PC を構築することで、さまざまな OS の動作が可能となる環境である。これを用い、よく利用されている OS を入れておくことで、慣れない PC-UNIX を使わなくても、授業資料などの作成が可能となる。FreeBSD では Linux モードを使って、VMware が利用可能である。

3.5 プレゼンテーション機能

近年、コンピュータによるプレゼンテーションがよく利用されている。このような環境での授業では、一般に板書をともなう授業よりも速いペースで授業がすすむことも多い。このような場合、途中でわからなくなった学生が授業を見るだけになることは望ましくなく、過去の資料などを用意して、これを参照できることが望ましい。MagicPoint (<http://www.mew.org/MagicPoint/>) は PC-UNIX システムなどで動作するプレゼンテーションツールである。MagicPoint にはプレゼンテーションの画面

をそのままとりだし、html (画像とリンク) とテキスト形式で出力する機能があるため、これらを web サーバに置くことで、学生にはいつでも戻って学習する機会が与えられる。さらに、mgpnet と呼ばれるプログラムを利用すれば、学生の側のプレゼンテーションを教師の画面と同期することも可能である。

このような無線 LAN 教室では、参加者が全てその場にいるため、ビデオ会議システムは必要とされない。しかし、ビデオを上映したい場合などにビデオ会議システムを流用することは可能である。現在、vic [3] や Digital Video Transport System(DVTS) [4] のようなビデオ会議システムが公開されており、FreeBSD で動作可能である。DVTS は IEEE1394 に基づいたビデオシステムであり [5] で利用されているが、広いネットワークのバンド幅を必要とするため、無線 LAN の狭い帯域には適当でない。したがって、本研究では vic の利用を考える。

3.6 コミュニケーション機能

電子メール (E-mail) は非同期のコミュニケーションが可能な便利な道具である。特に、メーリングリスト (ML) を使えば、1 対多のコミュニケーションが実現可能である。近年、ML の記事を自動的に html に変換する fml (<http://www.fml.org/>) のようなサーバが提供されている。実験や実習を伴う授業では同じ質問が繰り返し行われる傾向が顕著である。この場合、一度出た質問への答えを ML で配布することで、無駄な質問を避けることができるだろう。さらに、html のログに対して、namazu (<http://www.namazu.org/>) のような全文検索エンジンを施し、検索可能とすることで、自動的にいわゆる FAQ (Frequently Asked Questions) を実現し、知識の共有が期待できるだろう。

近年、Web 日記と呼ばれるコミュニケーション手段が注目されている。ここでは、普通は非公開である日記をオープンな web で提供し、相互に参照しながら知識体系が構築されていく。筆者の一人も日記をつけている (<http://sentinel.info.nara-k.ac.jp/DailyMemo/>) が、日報システムとして有効であるばかりではなく、全文検索エンジンを併用することで検索の容易な備忘録となることを経験した。このような web 日記のためのシステムも Hyper Nikki System (<http://www.h14m.org/>) や TDS, GNS などさまざまな物が提供されている。学生に作業報告を書かせることで、教育の問題点が明確になると期待しても良いのではないだろうか？

Internet Relay Chat (IRC) [6] はインターネットで利用可能なチャットプロトコルである。ユーザのメッ

セージはあるサーバに送られ、サーバ間で伝達することで、全ての接続されたサーバでのチャットが実現されている。madoka (<http://www.madoka.org/>) というプロキシ (代理) サーバを利用することで、ユーザの入力した時間とメッセージを記録することが可能となるため、あとで解析を行い、協調学習の効果を評価することも可能である。

3.7 学生ノート PC の仕様

本論文で述べた技術は WWW ベースのものであったり、容易にアプリケーションプログラムが入手可能なものばかりである。現在では WindowsCE ベースの Personal Data Assistant(PDA) も安価で利用可能であり、どの程度の仕様を要求事項とするべきかはまだ実験を行う必要がある。しかし、WindowsCE 機のいくつかのものは、NetBSD (<http://www.jp.netbsd.org/>) / hpcmips と呼ばれる BSD 系の OS が稼働するため、ここで提案したシステムに必要な環境は十分整えることが可能である。

4 おかもちくんのプロトタイプ

おかもちは無線 LAN 構築に必要な Table 2 の機器を詰め込むのに適当な大きさである。中等教育機関のクラスルームにおいては学生の机しか存在せず、プロジェクトの設置場所に困ることが少なくないため三脚などの足を用意することも必要である。

5 おかもちくんの利用例

5.1 情報処理教育

5.1.1 データ構造とアルゴリズム

アルゴリズムは基本的に動的な振舞を行うため、アニメーションによるアルゴリズムの動作の提示は非常に効果的である。Marc H. Brown らによる JCAT [7] (<http://www.research.digital.com/SRC/JCAT/>) はこのような試みの代表的なものであり、アルゴリズムの理解のために非常に有効なツールとなることを示している。

著者の一人は授業教材としてこれまでに Sorter (<http://sentinel.info.nara-k.ac.jp/Sorter/>) や SAL[8] (<http://sentinel.info.nara-k.ac.jp/SAL/>) を作成してきた。これらのプログラムは整列アルゴリズムのアニメーションに特化している。

Sorter は Tcl/Tk でかかれたアプリケーションであり、マルチプラットフォームでの動作を目標に作成した。Sorter では、表現上問題のない整列アルゴリズムは網

Table 2: システム仕様: 価格は <http://www.kakaku.com/> 調べの実売価格 (2000 年 9 月 4 日現在) ただし, *はカタログ価格.

| 機能 | 名称 | 仕様 | 価格 (円) | 重量 (kg) |
|---------------|----------------------------|---|----------|---------|
| 教師用サーバ | Fujitsu FMV-BIBLO NE4/600R | Pentium III 600MHz, メモリ 64MByte, HDD12GByte | 209,500 | 3.2 |
| おかもち内の機材 | | | | |
| おかもち | 内田製作所 No.10 | 500H×257W×526D | *11,500 | 4.6 |
| プロジェクタ | Plus U3-880 | 880 ANSI ルーメンス | *478,000 | 1.3 |
| ハブ | Corega Fast SW-5P | 10/100baseT 5ports SW hub | *5,000 | 0.5 |
| プリンタ | Canon MJ-M40 | | 34,800 | 0.9 |
| WaveLAN 基地局 | Melco WLA-L11 | IEEE802.11b, 11Mbps | 29,040 | 0.5 |
| WaveLAN カード | Melco WL-PCM-L11 | IEEE802.11b, 11Mbps | 18,500 | |
| カメラ | IBM Smart Capture CardII | FreeBSD 4.1R では動作しない | 入手不可 | |
| インターネット接続用の機材 | | | | |
| LAN カード | Planex FNW-3600-T | 10/100baseT | *4,800 | - |
| PHS/携帯カード | IO data PCMA-9664P | | *24,000 | - |
| Modem カード | Megahertz XJ3288J-P | 28.8kbps | - | - |

羅するように更新を続けている。

SAL は C 言語のライブラリであり, X Window System 上で動作する. できる限り簡単に実装するために, 現在は値の交換 (swap) ベースのアルゴリズムでだけ動作するようになっている. 基本的にユーザが必要な場所にアニメーション用関数を埋め込むことで, アニメーションが表示されている.

これらの教材を講義形式の授業で利用することで, 学生の理解を助けることが可能だと考えられる.

5.1.2 プログラミング教育

プログラミングの授業で学生が持ち帰ることのできるノート PC を利用することは, 作業の継続性の面で非常に有効であろう. また, 実際に授業で使っていた環境であるので, 家でも問題なく課題を行えるようになる.

近年教育の必要性が叫ばれている Project Based Learning (PBL) はソフトウェア開発の授業で欠かせないものと考えられる. 共同での開発作業を行う場合, Concurrent Version System [9] を利用することで, 協調作業のサポートが可能となるだろう.

このような授業の能力を見るためには, 課題を与えて, 自由に情報検索をし, 時間内に動かせるか評価することが, 学力ではない本当の実力を見る方法だと筆者の一人は考えている. しかし, 試験を LAN 環境で行うことは非常に難しい. 自動採点を仮定すると, 問題は多岐選択式や数値で答える問題に限られる [10]. また, 評価の伴う試験を行うとカンニングなどの問題は避けておれず, システムを複雑化して防止する必要が生じてくる [11]. また, コンピュータの故障や事務的な問題からも, 授業時間中に行うよう指導されることもある.

5.1.3 自習環境

効果的な自習課題を提供することで, 興味のある学生を伸ばすことが可能だと考えられる. 著者の一人はこれまでに情報処理技術者試験の模擬テスト環境として試験のページ [12] (<http://herb.info.nara-k.ac.jp/InfoExam/>) を公開してきた.

このシステムは試験などに取り入れることは一切考慮していないが, 自分の得点が分野ごとにグラフ表示される機能などの実装により, 多くのユーザから利用されている. 試験のページは, 現在 XML [13] を用いる形式に修正中であり, 実装が終われば現状よりも多くの情報が利用可能になる予定である.

5.1.4 その他の授業

オペレーティングシステム (OS) の授業はセマフォなどの概念的な話だけに終りがちで, 実装にまでおよぶものは珍しい. BSD 派生の OS のいくつかはオープンソースであるため, これを授業に利用することが可能であろう. Linux では GPL を採用しているため, 将来仕事で作業をする可能性がある場合, あまり勧めることができない. OS を変更している場合, 不安定な状態になることが多い. そこで, VMware を利用し, 仮想コンピュータで変更中の OS を動かすことで, 安全に開発を行うことが可能となる.

人工知能の授業では, チューリングテスト [14] を簡単に実現可能である. 隣室で無線 LAN につなぎ, コンピュータ/人がチャットを利用して会話を行えば良い. Doctor や人工無能などのプログラムがこの目的に利用可能であろう.

5.1.5 一般的な授業での利用

コンピュータを必要としない他の分野でもこのようなシステムは有効であり、学生の理解を助けると思われる。現在考えている利用方法を以下に示す。

- インターネットからの情報収集
- Alice (<http://www.alice.org/>) を利用したマルチメディア教材の利用
- アンケートの実施と集計の自動化
- いろいろな現象の可視化

6 議論とまとめ

現在、多くの大学では LAN を利用したコンピュータ室をいくつか持っている。しかし、このような環境は LAN の敷設まで考えると高価になりがちである。さらに、必要な数だけの設備を準備することは費用の点から問題が多い。本論文で提案したおかもちシステムは高価な機材を利用しておらず、必要であれば、いくつでもシステムを構築することが可能である。プロトタイプのおかもちシステム 1 式の価格は 815,140 円である。これは、多くの中等教育機関で用意することの可能な金額だと思われる。

無線 LAN は IEEE802.11b で帯域が 11Mbps であるので、マルチメディアアプリケーションの利用は厳しくなる。しかし、無線ステーションは 14 チャンネルを利用し、1 チャンネルおきに最大 7 チャンネルを利用することが可能なので、無線ステーションの増設でこの条件を緩和することが可能である。この場合、クライアントは MAC アドレスベースで各ステーションに割り当てることになるが、ネットワーク帯域の有効活用の点から言うと、利用される帯域もしくは接続されるクライアントの数をを用いて、動的にステーション割当が行われるような仕組みが必要だと思われる。

学生の PC は今回のコスト計算では含まれていない。これは、どの程度のコンピュータが必要なのかの評価が行われていないためである。基本的に PC の技術革新は早く、数年で陳腐化してしまう状況にあり、学校で使えない PC を提供することは無駄が多いと思われる。また、最低必要なランクの PC が指定できるのであれば、学生はそこから自分の目的にあった好きなコンピュータを購入することも可能となるだろう。現在では、WindowsCE の PDA でも WWW の閲覧程度は問題無く可能であるし、最低限の機能であれば 10 万円を切る価格で実現可能である。また、このような PDA を利用する場合では Bluetooth[15] を利用することも考えら

れる。

無線 LAN を利用したことで、電源の供給ができる場所であれば、どこでも無線 LAN 教室の構築が可能である。電源さえ準備可能であれば、室外での実験/実習や体育などの授業にもこのようなシステムの利用が可能であろう。

現在のプロトタイプではおかもちシステムは 11kg もあり、少し重い。しかし、この重量の半分はおかもち自身の重さであり、小さなおかもちを選ぶことでかなり重量を減らすことが可能である。

将来的にはプロジェクトに無線 LAN 基地局を必要な数だけ詰め込んだシステムの構築が考えられる。われわれはこのようなシステムを「弁当箱」と呼んでいる。弁当箱が 50 万円程度で提供できれば、全ての中等教育機関で無線 LAN 教室を提供することも不可能ではないだろう。

おかもちくんプロジェクトの成果は

<http://okamochi.info.nara-k.ac.jp/>

で公開して行くので、興味のある方は御参照ください。

謝 辞

奈良工業高等専門学校情報工学科の学生諸氏には、被験者実験やアンケートなどにご協力いただきました。本年度の共同授業担当者である奈良高専情報工学科本間啓道先生 (プログラミング II)、神戸大学工学部小澤誠一先生 (データ構造とアルゴリズム) には実験等でご迷惑をおかけしました。慶応義塾大学インフォメーションテクノロジーセンターの細川達己先生には、無線 LAN の飽和近辺での特性について有益な示唆をいただきました。倉敷芸術科学大学産業科学技術学部ソフトウェア学科の小林和真先生には、文献のご紹介や有益な情報のご提供をいただきました。神戸大学大学院経営学研究科の平松治彦先生および神戸大学総合情報センターの嶋野逸生先生、伊藤求先生には中等教育機関の教育現場での利用法について示唆を頂きました。また、K*BUG users メーリングリストでは、ソフトウェアの利用法などについて有益な情報を提供していただきました。Alice は kansai-pm メーリングリスト (<http://kansai.pm.org/>) で御紹介いただきました。第一回ホゲ研究会 (<http://hoge.info.nara-k.ac.jp/>) において、Table 1 の内容がまとまりました。あわせて感謝いたします。

最後になりましたが、2000 年 7 月 31 日に亡くなった奈良高専在学中の友人上田太平さんにお礼を申し上げます。あなたは、誰よりも奈良高専を愛していました。このプロジェクトもあなたにおかもちを見せたくてやって

いたように思います。あなたには及びませんが、私も後輩に可能な限り最高の環境で学んで欲しいと思います。

References

- [1] 大川恵子, 伊集院百合, 村井純. School of internet –インターネット上のインターネット学科の構築. 情報処理学会学会誌第 40 巻第 10 号, pp. 3801-3810, 1999.
- [2] A. Greenberg. WBT: The new millennium - training at the speed of change. *INET99*, 1999.
- [3] S. McCanne and V. Jacobson. vic: a exible framework for packet video. In *Proceedings of ACM Multi-media*, 1995.
- [4] A. Ogawa, K. Kobayashi, K. Sugiura, O. Nakamura, and J. Murai. Design and implementation of DV based video over rtp. In *Packet Video Workshop*, 2000.
- [5] K. Okawa, A. Kato, J. Gast, R. Atarashi, Y. Toyabe, L. H. Landweber, and J. MURAI. Global collaboration for the joint university course on the next-generation internet. *INET2000*, 2000.
- [6] J. Oikarinen. *Internet Relay Chat Protocol: RFC1459*, 1993.
- [7] M. H. Brown. JCAT: Collaborative active textbooks using Java. In *CompuGraphics 1996*, Paris, France, December 1996.
- [8] 武藤武士. アルゴリズムアニメーションを利用した授業の効果について. 情報処理教育研究集会講演論文集第 20 号, pp. 122-125, 2000.
- [9] K. Fogel. *Open Source Development with CVS*. The Coriolis Group, 2000.
- [10] 小林和真. インターネットを利用した試験. *UNIX MAGAZINE* 9 月号, pp. 95-99, 1997.
- [11] 嶋直樹, 濱屋進. 電子メールを用いた課題提出における不正行為防止を目的とした送信監視. pp. 138-141, 1999.
- [12] 武藤武士, 榊原和彦, 成田紘一. WWW を利用した選択式問題テスト採点システムの試作. 情報処理研究発表会論文集第 16 号, pp. 69-72, 1996.
- [13] W3C. *Extensible Markup Language (XML) 1.0: REC-xml-19980210*, 1998.
- [14] A. M. Turing. Computing machinery and intelligence. *Mind*, No. 236, 1950.
- [15] 相原達. 近距離無線通信規格 bluetooth. bit 10 月号, pp. 8-16, 2000.

Self-Rewarded RAE : 学習の合理性と高速性とを両立させた 経験強化型学習法

内田 圭*・渡邊 亮介(専攻科 電子情報工学専攻)・山口 智浩(情報工学科)

Self-Rewarded RAE : Speedup Learning with Rationality
based on the Exploitation-oriented Reinforcement Learning Method

Kei Uchida*, Ryouyusuke Watanabe and Tomohiro Yamaguchi

This paper describes a new exploitation-oriented reinforcement learning method in that learning efficiency is compatible with rationality. Previous exploitation-oriented reinforcement learning methods simply reinforce their own experiences so that the initial learning is fast, however, there is no guarantee to converge to the optimal policy since the reinforcement values have no rationality. Therefore, this paper presents the new rational and efficient reinforcement learning method that combines Reward Acquisition Efficiency by the step (RAE, in short) learning with the autonomous sub-reward generation. The former updates the averaged RAE and the averaged distance of each state-action pair from each state-action sequence toward the main reward (called a success episode), and the latter sets up and updates sub-rewards from its success episodes. The advantage of this method is that the learning efficiency is consistent with the rationality since the acquired RAE is used to set up each sub-reward.

1 はじめに

人工知能の主要な研究分野の1つに強化学習(Reinforcement Learning、以下、RLと略記する)がある。RLは、自己の行動に対して、環境から受け取る報酬(Reward)のみを手がかりとして、将来受け取る報酬を最大にするよう行動を強化する。これまでに、この報酬を最大にする最適解を求める様々なRL手法が研究されている。RLは、Profit Sharing法(以下、PS法と略記する)に代表される経験強化型学習手法と、Q-learningやad-DP法[1]に代表される経験収集型学習手法とに分類できる。前者は、経験を単に強化するだけなので、後者に比べ学習に要する試行回数が少なく、初期学習の立上りは速い。しかしながら、強化値自体に合理性がないため、最適政策に収束する保証がないという問題点があった。

そこで本研究では、学習の合理性と効率性とを両立させた新しい経験強化型学習法を提案する。前者は、経験で得た報酬獲得行動系列から1ステップ当たりの報酬獲得効率(Reward Acquisition Efficiency:以下、RAEと略記する)を更新することで学習結果の合理性を保證する強化学習部で、後者は、学習エージェント(以下、LAと略記する)が成功経験から自己の学習目標を誘導する副報酬を自律的に設定する副報酬生成部で実現する。本研究の利点は、学習で得られるRAEに基づいて副報酬の値を設定するため、従来困難だった学習の合理性と効率性とを両立させたことである。更に静的環境での学習の合理性だけでなく、副報酬の自律的設定によって、複数の準最適解の学習、すなわち報酬に至る手数を増やすことにより、多様に変化する環境に対しても、変動への適応能力が期待できる。

2 RAEに基づく強化学習

2.1 従来手法の問題点

経験強化型学習法は、環境の状態、及び環境からの報酬を入力として、状態遷移を繰り返し、報酬が与えられ

* 現 奈良先端科学技術大学院大学
注1) 人工知能学会全国大会(第13回)
1999年6月17日、口頭発表

たときに、初期状態から報酬までの状態行動系列（以下、エピソードと略記する）を一気に強化する方法である。この学習法で重要な問題となるのが、獲得した報酬をどのようにエピソード内で分配するかという分配方法を表す強化関数である。

経験強化型学習法の代表である PS 法は、報酬を獲得した場合、そのエピソードを構成する状態遷移ルール（以下、ルールと略記する）に、強化関数を用いて報酬を分配する。しかし、PS 法における強化値には合理性がない。なぜなら、更新される強化値は、分配された報酬と元の値とを単純に加算するので、一定の値に収束しないためである。このため、初期学習は速いが、最適解に収束しないという問題があった。この問題点を解決する手がかりとして、本研究では PS 法と同様、エピソードを一括強化する LMS 法 (Least Means Square) [1] に注目する。LMS 法は、強化値の単純加算ではなく、獲得報酬の期待値を逐次的に更新する。このため、この期待値の二乗平均誤差の値を最小化する方向へ値が収束する。

しかしながら、上述の LMS 法では、エピソードに参加したルールに分配する報酬の値だけで、獲得した報酬からの距離という概念が考慮されていない為、各ルールに分配される報酬は、エピソード内で報酬からの距離に関係なく一定の値となる。そのため、報酬の期待値を手がかりに行動を選択するだけでは、報酬に到達することが困難になるという問題点が発生する。一方、PS 法の場合は、強化関数が報酬からの距離をある程度反映するが、現状では強化関数自体の合理性が不十分なため、最適値への収束は全く保証されていない [2]。

2.2 RAE-RL の概要

上述の問題点を解決するため、本論文では、経験強化型学習法である LMS 法を改良した、RAE-RL 手法を提案する。本手法は、報酬の大きさを表す期待値を更新する LMS 法と異なり、報酬の大きさを報酬からの距離で割った獲得報酬効率：RAE の期待値を更新する。RAE の定義を式(1)に示す。式(1)を用いて、エピソード中の各ルールに分配する報酬の分配値：RAE_{current} を求める。

$$RAE_{current} = \frac{\text{reward}}{\text{distance}} \quad (1)$$

reward : 獲得報酬

distance : エピソード中での報酬と各ルールとの距離

次に、報酬到達時に、エピソード中の各ルール RAE_i を強化する更新式を(2)に示す。ただし、i は各ルールの強化回数を表す。

$$RAE_{i+1} = \frac{RAE_i \times i + RAE_{current}}{i+1} \quad (2)$$

2.3 RAE の合理性

式(1)及び(2)から分かるように、この RAE-RL では、エピソードの長さに反比例して分配される報酬が小さくなる。つまり、迂回経路を含むエピソードは小さく強化され、迂回経路を含まない最短経路のエピソードは大きく強化されることになる。

宮崎ら [2] は、明らかに無駄なルールを強化しないという局所的な合理性と、必ずいくらかの報酬を継続して得るという大局的な合理性とを満足する条件式を証明したが、強化値そのものに対する合理性は示していない。これに対し、本論文で提案する RAE-RL は、強化値の合理性を RAE で保証している。つまり、獲得報酬を最大化する RL 本来の目的に対し、獲得報酬効率の学習は、合理的といえる。

3 Self-Rewarded RAE による副報酬生成

3.1 副報酬生成による RL の効率化

従来の RL 法における主要な問題点の1つとして、学習の立ち上がりが遅いということがある。これは、RL では報酬に到達しなければ強化が起これず、報酬に至るまでの試行錯誤に多くの遷移回数が必要だからである。この問題を解決するために、PS 法では、報酬に至るエピソードを一括強化している。しかしながら、一度学習したエピソードを繰り返し強化しがちなため、初期の局所解からの脱出が困難であり、故に最適政策に収束しないという新たな問題が発生する。これに対し、局所解に陥ることなく、学習回数を増やして学習を効率化するには、環境中に適切な副報酬を複数設定すれば良い。

そこで本章では、報酬を獲得した成功経験から自己の学習目標を誘導する副報酬：Self-Reward（以下、SRw と略記する）を自律的に設定する副報酬生成による学習の効率化手法について述べる。環境中にこの SRw を適切に設定すれば、報酬に至るまでの試行回数を減少させ、学習の立ち上がりを速くと共に、学習効率をも向上させることが出来る。そして、3.3節以降で、適切な SRw の設定法として RAE に基づく手法について述べる。

3.2 Self-Reward の枠組み・役割

SRw とは、LA が自己の強化学習過程を制御するた

めに、自律的に決定する報酬である (図1 参照)。SRw はLAから見れば、LAが自律的に設定する報酬であり学習結果の一部と考えられる。一方、RLからみれば、従来のRL手法で用いられる主報酬 (以下、GRwと略記する) と、同様の報酬として扱われる。

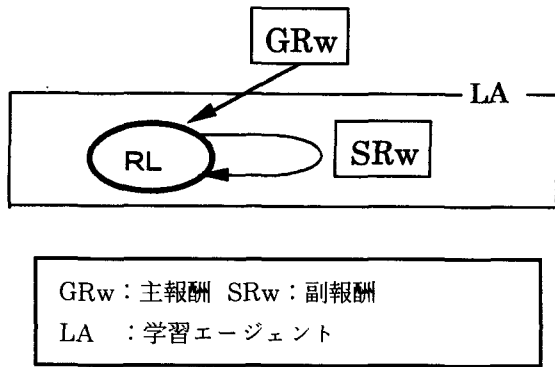


図1 Self-Rewarded RAE のイメージ図

SRw の役割は、GRw を得る為の解候補の道しるべである。つまり、各 SRw 経由の解が、それぞれの別解を表すことになり、適切な SRw を設定することにより、最適解になり得る解 (準最適解) を強化することが可能になる。

3.3 RAE に基づく Self-Reward の設定

Sub-goal としての SRw の設定/更新は、GRw に到達したときのみ、つまり、エピソードを得るごとに SRw を設定することにする。

上記のようにエピソード中に SRw を設定する場合、SRw を1つだけ設定するのであれば、SRw の設定位置は、スタート及びゴールから最も遠い状態、すなわち、エピソード中の中間点に設定するのが妥当である。故に、何らかの報酬が得られた場合、この中間点となる状態に SRw を設定し、中間点が一意に決定しない場合には、スタート地点に近い状態に設定することにする。

次に、適切な SRw の値として、RAE を用いる。具体的には、何らかの獲得報酬が得られた場合、以下の更新式(3)を用いて SRw の更新を行うことにする。この SRw の更新式は、平均 SRw を逐次的に更新する点を除けば、RAE の更新式(1)と同じである。つまり、RAE と同様にして、GRw を頂点とした合理的な SRw 分布平面を逐次的に作っている事になる。

$$SRw_{i+1} = \frac{SRw_i \times i + RAE}{i+1} \quad (3)$$

SRw : Self-Reward i : 更新回数
RAE : (獲得報酬 / SRw から GRw までの距離)

3.4 Self-Reward による RAE の更新

状態遷移を繰り返し、SRw 状態に到達した場合には、GRw の場合と同様、初期状態から SRw 状態に至る部分エピソード中の各ルールの強化学習を行い、強化値 RAE を更新する。その更新式を式(4)、(5)に示す。各ルールに分配する報酬 $SRw_{current}$ は、以下の式(4)で求める。

$$SRw_{current} = \frac{SRw \times l_m}{l_m + l_c} \quad (4)$$

SRw : Self-Reward k : 強化する状態
 l_m : 状態 k から SRw までの距離
 l_c : 状態 k から GRw までの平均距離

$$RAE_{i+1} = \frac{RAE_i \times i + SRw_{current(k)}}{i+1} \quad (5)$$

RAE : 強化値 i : RAE の更新回数
 $SRw_{current(k)}$: 数式(4)より算出される状態 k の SRw 値

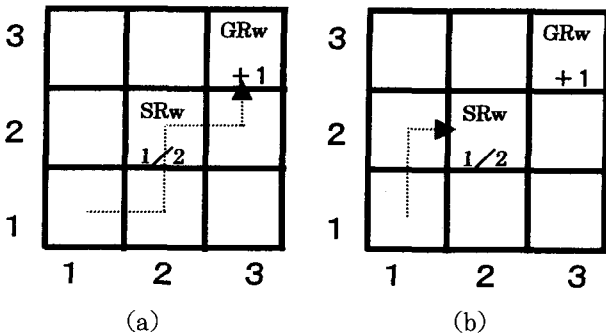
SRw 状態に到達すると、まず式(4)より $SRw_{current}$ を求め、その値を用いて更新式(5)で、各状態の RAE を更新する。

3.5 Self-Rewarded RAE の動作例

以下の図2の動作環境を用いて、Self-Rewarded RAE の動作を具体的に説明する。図2は横3マス×縦3マスの環境であり、今(横、縦)の順で各マスを表示した場合、(1,1)は初期状態、(3,3)は+1の GRw が与えられる終端状態である。各状態は、隣接する縦横方向に確率的に遷移可能とする。

最初に図2(a)に示す破線のエピソードにより、中間点(2,2)に $SRw=1/2$ が設置されたとする。そして、図2(b)の破線に示すような遷移で(2,2)に到達したとすると、この時点で初期状態に向けて RAE と同様の方法で、更新式(5)を用いて、エピソード中の各ルールの RAE を更新する。つまり、SRw を GRw と同様の報酬として扱い、初期状態から現状態までの部分的な経路を強化するのである。これにより、この(2,2)以後の遷移でこの経路が失敗経路(不成功エピソード)になっても、部分的な学習を行える為、従来の経験強化型学習法よりも、学習効率は向上することになる。また本手法は、報酬からの距離を考慮した更新式(5)を用いることにより、RAE-RL の合理性と矛盾しない。つまり、最短距離の経路から学習された最適な SRw 値は、より真値に近い

値になり、最短距離ではない冗長な経路 (迂回経路) から学習された SRw 値は、真値より小さめの値になるため、最適な SRw 値と比べて弱く強化される。



(a) エピソード中の中間点への副報酬設定
(b) 副報酬による部分エピソードの強化

図2 実験環境

4 実験

4.1 比較実験

本論文では、LMS 法と RAE-RL の比較実験についての実験結果を示す。実験は図2の環境 (ただし、環境中に設定される GRw は10に設定した) を用い、LMS 法と RAE-RL それぞれ、総遷移回数5000回で行った。また、最大エピソード長は10に制限して実験を行い、最大エピソード長内で、GRw に到達しない場合は強制的にリセットをして、初期状態からもう一度遷移を開始して学習実験を行った。

4.2 実験結果

上記の条件での RAE-RL の実験結果を、図3に示す。(ただし、図中の値は、小数点第3位を四捨五入した値を表記している。)

| | | | | | | | |
|---|------|------|------|---|------|------|------|
| 3 | 6.74 | 8.14 | — | 3 | 1.95 | 1.47 | — |
| 2 | 3.09 | 6.33 | 7.97 | 2 | 3.00 | 2.77 | 2.17 |
| 1 | 2.13 | 3.09 | 6.01 | 1 | 5.73 | 4.73 | 3.73 |
| | 1 | 2 | 3 | | 1 | 2 | 3 |

(a) RAE 値 (b) 平均距離

図3 RAE-RL の実験結果

従来の経験強化型学習法である LMS 法では、報酬を獲得した場合、報酬までの距離に関係なくエピソード参加ルールすべてを一定の値で強化し、報酬獲得の期待値

を更新するため、環境中の状態すべてが、同じ値の報酬獲得の期待値10になる。

一方、図3 (a)に示した RAE-RL では、各状態の RAE 値が、終端状態(3,3)から離れば離れるほど小さくなっている。このことより、図3 (b)に示す報酬からの距離を考慮に入れたRAE値の更新が図3 (a)で実行されていることが分かる。これらの結果から、RAE-RL を使用することにより、今後の学習の際に行動選択時に、この RAE の値の大きな状態に遷移する、すなわち最大 RAE 値を持つ行動ルールを選択することにより、報酬獲得効率を最大化する報酬に最適に到達することが可能になる。つまり、本論文で提案した RAE-RL は、初期学習の立ち上がりだけでなく、合理性のある強化値により最適政策に収束する学習法であるといえる。

5 おわりに

本論文では、学習の合理性と高速性とを両立させた新しい経験強化型学習法について述べた。実験として従来の経験強化型 RL の LMS 法と本論文で提案した RAE-RL との比較実験の結果を示した。今後の課題としては、静的環境と動的環境とでの RAE-RL の比較実験を予定している。

参考文献

[1] Russell, S., Norvig, P.: Artificial Intelligence, -a modern approach-, pp.598-624, Prentice-Hall International, Inc., 1995
 [2] 宮崎、山村、小林: 強化学習における報酬割当ての理論的考察、人工知能学会誌、Vol.9, No.4, pp.580-587, 1994

RAE-PIA：報酬獲得効率を最大化する政策の強化学習

山口 智浩 (情報工学科) ・石村 健二 (専攻科 電子情報工学専攻)

RAE-PIA: Reinforcement Learning of the optimal policy
that maximizes the Reward Acquisition Efficiency

Tomohiro Yamaguchi and Ishimura Kenji

This paper presents a new model based reinforcement learning method that directly updates Reward Acquisition Efficiency by the step (RAE, in short) in each rule. Most reinforcement learning methods optimizes the discounted total reward received by an agent. However, discounting encourages the learner to sacrifice long-term benefits for short-term gains. Besides, using small discount factor leads to suboptimal policy, on the other hand, larger discount factor makes the learning time so large. To solve them, in our method, while identifying the environment by MDP model, it estimates the value of the reward and the expected distance of each state-action rule toward the reward with the model to integrate them into the RAE.

1 はじめに

人工知能の主要な研究分野の1つに強化学習[1,2,3]がある。強化学習 (Reinforcement Learning、以下、RLと略記する)とは、環境からの感覚入力に対するエージェントの行為 (感覚・行為の組み合わせを、行動と呼ぶ) に対し、環境から受け取る報酬 (Reward) のみを手がかりとして、将来受け取る報酬を最大にするような行動の集合 (政策と呼ぶ) を強化する手法である。

強化学習での本来の学習基準は、学習エージェントが受け取る1ステップ当たりの平均報酬の最大化である。これを直接求める手法は、平均報酬強化学習法[4,5]と呼ばれている。しかしながらこの平均報酬最適化手法では、平均報酬がエージェントの受け取る報酬の無限ステップ和を用いて定義されるため、平均報酬の見積もりが理論的にも手続き的にも困難である、という問題点[4,5]があった。

この問題点は、意志決定理論での“割引率”を用いて、将来に渡る無限の報酬和を現在から遠ざかる報酬ほど割り引き、数学的に収束する報酬の有限和として見積もる

ことでの回避できる。そのため、最適政策を求める大半の強化学習研究は、割引期待報酬和の最大化 [1,6,7] を学習基準としている。しかしながらこの割引型最適化手法では、最適政策が割引期待報酬和を最大化する政策として定義されるため、割引率が小さいと政策への収束速度は速いが必ずしも本来の最適政策に収束せず、一方、割引率を1に近づけると、収束する政策の質が良くなる反面、政策の収束が遅くなる。つまり最適政策の質と学習速度とが両立しないという問題点があった。

そこで本手法では、非割引型最適化の新手法として、報酬からの期待距離 [9] に着目し、報酬獲得効率を最大化する手法を提案する。具体的には、まず単一報酬環境において、同定した環境モデルを用いて、報酬の大きさと、各状態遷移ルールから報酬までの期待距離とを個別に学習した上で、両者を報酬獲得効率: RAE [8] として統合し、本来の最適政策を高速に効率良く算出する基本手法について述べ、次に、基本手法を一般的な複数報酬環境に拡張する手法について説明する。

2 強化学習法の概要

本章では、まず強化学習の基本的な枠組みについて述べ、次にその代表的手法である、割引型最適化手法の概要とその問題点について述べる。

注1) 人工知能学会全国大会 (第14回)

2000年7月5日、口頭発表

2.1 強化学習の基本的な枠組み

強化学習は、外界（環境と呼ぶ）との入出力を通して相互作用しながら行動するエージェント（agent、主体と呼ぶ）を基本的な枠組みに持つ。主体は、環境からの感覚入力（状態と呼ぶ）に対して行為（action）を選択、実行する。行為の結果は主体の状態の変化として環境から返され、報酬が設定された状態遷移に主体が遷移すれば報酬が与えられる。強化学習法の利点は、目標状態を報酬で指示するだけで、環境に応じて任意の状態から目標状態に至る最適な行動系列が学習で得られる点である。環境を確率的状態遷移グラフとしてモデル化した場合、各状態からの遷移を区別するラベルが行為である。状態に対する行為のペアを行動（単にルールと呼ぶ）、全ての状態に対し選択すべきルールの集合を政策（policy）と呼ぶ。学習基準、すなわち学習結果の評価基準は単位行動当たりでの期待獲得報酬の最大化で、これを満たすルールを各状態で与える政策を最適政策と呼ぶ。期待獲得報酬は政策に依存するので、主体は、環境と相互作用しながら政策を探索することになる。この環境との相互作用をどう解釈するかで、強化学習研究は客観観測型と主観経験型との2種に分類できる。前者の観測とは、主体を環境から切り離した上で環境をモデル化することで、これに対し後者の経験とは、行動や政策に依存した学習結果を指す。次節では、客観観測型の代表的手法である、MDPモデルに基づく強化学習について説明する。

2.2 MDPモデルに基づく強化学習法

2.2.1 モデルに基づく強化学習の概要

モデルに基づく強化学習法（model based RL）[5,7]とは、学習エージェントの学習対象である環境に対して、なんらかのモデルを仮定した上で、モデルを介して強化学習を行う手法である。その特徴は、最適政策の学習を、1）観測による環境モデル同定と、2）モデル上での最適政策の探索との2段階に分割して行う点である。

Q学習法等のモデルなし強化学習法の場合、環境に対する最適政策の探索では、環境への観測と、最適政策の探索といった2種類の要因が相互依存するため、一般に効率が悪い。これに対しモデルに基づく手法では、前者の観測は政策に依存せずに行い、後者の最適政策の探索は、観測コストの不要な同定済のモデル上で行うため、モデルなしの強化学習法と比較すると、はるかに効率的に学習できる[7]。

但し、環境のモデル化を行うには、環境のクラスを仮定する必要がある。意志決定理論での動的計画法（DP）では、マルコフ決定過程（MDP）モデルでの最適化手法が知られていることから、観測結果からMDPモデル

を統計的に同定し、最適政策をDP法で探索するad-DP法[7,1]が有名である。客観観測型は、環境のクラスがMDPやその類似クラスに限定される反面、最適性を追求できる利点がある。

2.2.2 MDPモデルによる環境同定

本論文では、環境をMDPと仮定し、モデル同定は、環境におけるルールの実行結果の観測による各状態遷移確率の逐次最尤推定[1,7]によって行う。MDPモデルでは、環境を確率的状態遷移グラフとしてモデル化する。モデルMは、状態iで行為aを行うことを表すルール：Rule(i, a)単位で表され、(1)報酬の位置と大きさ： $Rw(i, a)$ 、(2)ルールを実行した時の遷移先状態jの枝分かれを表す状態遷移確率： $M(i, a, j)$ 、の2種類の情報からなる。(1)は、各ルールに対して、エージェントが受けた報酬の大きさ（の期待値）を更新する。最も単純なモデルは、報酬が決定的な場合であり、環境に対し、各ルールを1回づつ実行すれば、報酬の位置と大きさ $Rw(i, a)$ を同定できる。(2)は、各ルールRule(i, a)の実行回数に対し、ある状態jに遷移した回数、すなわち頻度を用いて状態遷移確率： $M(i, a, j)$ を逐次最尤推定する。Mは、全てのi、a、jについての $Rw(i, a)$ と $M(i, a, j)$ の集合である。環境が静的であれば、モデル同定の精度は、観測（各ルールを実行した）回数に対し、大数の法則によって単調に増加する。

2.2.3 割引期待報酬和に基づく最適政策の探索

最適政策とは、各状態における最適なルールの集合である。具体的には、各状態iに対し、最適性を見積もる効用値U(i)を最大化するルールの集合が最適政策である。式(1)に、エージェントが受け取る割引期待報酬和で表された状態の効用値U(i)の定義を示す。状態iで行為aのルールRule(i, a)を実行したエージェントに対し、式(1)前半の $Rw(i, a)$ はエージェントがそのとき得た直接報酬、後半はエージェントが将来に渡り獲得する割引期待報酬和の最大値を表す。

次に最適政策の探索手法を説明する。効用値U(i)は、それを最大化する行為aを用いて定義され、割引期待報酬和は、ルール遷移先状態の期待効用値U(j)に $0 < \gamma < 1$ の割引率 γ をかけて割り引くことで、遷移状態間で再帰的に定義されている。つまり、各状態の効用値は、行為aと遷移先の状態の効用値とに依存しており、割引率は、考慮すべき依存の範囲を表している。最適政策の探索は、政策反復アルゴリズム（PIA）[1]により、各状態について、式(1)の効用値を最大化する政策が変化しなくなるまで、効用値を繰り返し計算することで求

められる。以上より、最適政策の精度は、モデル同定の精度とPIAの繰り返し回数に依存する。

$$U(i) = R_w(i, a) + \gamma \max_a \sum_j M_{ij}^a \cdot U(j) \quad \dots(1)$$

U(i): 現状態 i の効用値、 R_w(i, a): 直接報酬、
 γ: 割引率、 j: 遷移先状態 M^a_{ij}: 状態遷移確率

2.3 割引型最適化手法の問題点

まず、最適政策を割引期待報酬和の最大化で見積もる場合に生じる2つの問題点について述べる。

第一の問題点は、得られる最適政策が割引率に依存する、という性質である。つまり割引型最適化とは、将来得られる報酬を、得られるまでのステップ数だけ割引率を掛けて割り引くことであるので、短期的な（目先の）報酬を優先し、長期的な（遠い）報酬を過小評価する。そのため、割引率が小さいと必ずしも最適政策に収束せず、一方、割引きなしの場合は、非割引報酬和が無限大に発散する、という問題点がある。

第二の問題点は、学習の収束速度が割引率に依存する、という性質である。通常、割引期待報酬和を最大化する政策は、政策反復アルゴリズム（PIA）による繰り返し計算によって決定される。割引率を1に近づけると、割引期待報酬和が大きくなるため、本来の最適政策へ収束しやすくなるが、その反面、各状態の効用値がより遠くの状態に依存するため、割引期待報酬和を収束させるまでの繰り返し計算の計算コストが増大し、学習速度が極端に遅くなるという問題点がある。

では、割引型手法で得られる最適政策の質について、図1を用いて説明する。この場合、状態0で選択するルールによって、獲得報酬和が左右される。1ステップ当りの平均報酬で比較すると、この例では、10/2 < 16/3 から、状態0から状態3へ向かうパスが最適政策である。しかしながら割引型手法では、γが5/8以上であれば、状態0から状態3へ向かうパスが最適政策となり、5/8以下であれば、状態0から状態2へ向かうパスが最適政策となり、得られる政策が割引率に依存することがわかる。

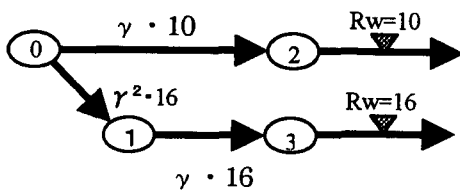


図1 割引率に依存する割引期待報酬和の例

以上のことから、表1に示すように割引型最適化手法

には、割引率が小さいと政策への収束速度は速いが必ずしも最適政策に収束せず、一方、割引率を1に近づけると、収束する政策の質が良くなる反面、政策の収束が遅くなるという、最適政策の質と学習速度とが両立しない問題点がある。

表1 割引型最適化における割引率と収束政策との関係

| 割引率 | 収束する政策の質 | 学習速度 |
|-------|-----------|------|
| r ≈ 1 | 最適政策（に近い） | 遅い |
| r = 0 | 準最適政策 | 速い |

3 RAE-PIA：報酬獲得効率に基づく最適政策の決定

本章では、まず正の単一報酬環境において報酬獲得効率：RAEの基本概念とRAEに基づき最適政策を決定する基本手法：RAE-PIAについて述べ、次に基本手法を複数報酬環境に拡張する手法について説明する。

3.1 正の単一報酬環境でのRAEに基づく最適政策の決定

3.1.1 最小期待距離の定義

最小期待距離とは、あるルールについて、報酬を得たルール（報酬ルールと呼ぶ）への遷移に要するステップ数（距離と呼ぶ）の期待値のうちの最小値である。まず、報酬ルール自身の最小期待距離を1と定義する。それ以外のルール Rule(i, a) の最小期待距離 dist(i, a) は、報酬ルールへの遷移を逆にたどることによって、式(2-1)、式(2-2)により再帰的に定義される。式(2-1)の意味は、状態jへの1ステップの遷移としてルール自身の距離1と、確率的な遷移先jの最小期待距離との加算である。状態iについての最小期待距離 dist(i) は、式(2-2)により、その状態で適用可能なルールのうちの最小値として定義される。

次に最小期待距離の算出法について説明する。単一報酬のMDPの場合、各ルールに対する最小期待距離は、2.2.3節で説明したPIAと同様の繰り返し計算によって算出できる。この繰り返し計算をRAE-PIAと呼ぶ。通常のPIAとの違いは、報酬ルールの最小期待距離が1と固定され、かつ報酬が単一なため、収束に要する繰り返し数がPIAと比べ少ない回数で済む点である。

$$dist(i, a) = 1 + \sum_j M_{ij}^a dist(j) \quad \dots(2-1)$$

$$dist(i) = \min_a \{ dist(i, a) \} \quad \dots(2-2)$$

i: 現状態、 a: 行為、 j: 遷移状態、
 M_{ij}^a : 状態 i で行為 a を行い、状態 j へ遷移する確率
 ※但し Rule(i, a) 上に報酬がある場合は、 $dist(i, a) = 1$

3.1.2 報酬獲得効率: RAE の定義

報酬獲得効率 (Reward Acquisition Efficiency: RAE)[8] とは、状態 i で行為 a を行う任意のルール Rule(i, a) を実行したときに、エージェントが将来受ける 1 ステップ当りの期待報酬を表す。

式(3)にその定義を示す。Rw は、モデル上で同定した単一報酬の大きさを表し、Rw を前節で定義した最小期待距離 $dist(i, a)$ で割ることによって RAE 値が定義される。図 1 の環境での RAE 値の算出の様子を図 2 に示す。

$$RAE(i, a) = \frac{Rw}{dist(i, a)} \quad \dots(3)$$

Rw: 報酬の大きさ、dist(i,a): 報酬までの最小期待距離

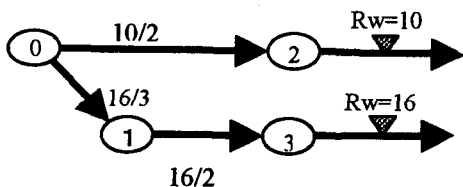


図 2 報酬獲得効率の例

3.1.3 報酬獲得効率に基づく最適政策の決定

まず最適政策は、単一報酬環境の場合、各状態における報酬獲得効率最大のルールの集合として定義される。なぜなら、単一報酬の場合、各状態における報酬への最短距離のルールの実行系列が、全体として 1 ステップ当りの期待報酬を最大化のルール系列と一致するからである。

次に、前述の RAE-PIA での繰り返し計算を効率的に行う方法を説明する。まず報酬ルールを起点として、報酬ルールの元状態とそれに遷移するルールそれぞれについて、最小期待距離を更新する。これを遷移を逆向きにたどりながら各ルールに対し再帰的に繰り返すことによって、報酬ルールをルートとして、報酬ルールに遷移する状態遷移を、状態をノード、ルールをアークとして有向木状に展開する。展開済のノードは、それ以上は展開せず、最小期待距離のみを更新する。以上の手順を、BP-RAE 法と呼ぶ。全ての状態の最小期待距離が変化しなくなるまで BP-RAE 法を繰り返すことにより、RAE-PIA を高速に収束させることができる。

3.1.4 状態遷移空間における最適政策の形状

一般に MDP 環境における最適政策の形状は、繰り返し報酬を獲得する、ループ状の状態遷移系列上の各状態の政策 (これを報酬獲得ループと呼ぶ) と、報酬獲得ループに合流する状態遷移系列上の各状態の政策との和集合で構成される。ここで報酬獲得ループのうち、報酬獲得効率が最大のループを最適報酬獲得ループと呼ぶとすると、最適政策とは、最適報酬獲得ループを中心として構成される政策である。正の単一報酬環境の場合、最適報酬獲得ループは、報酬ルールを含む報酬獲得ループのうち、ループの期待距離が最小となるものである。前節の BP-RAE 法では、報酬ルールを起点とした横型探索により、報酬獲得ループを網羅的に探索しつつ、かつ期待距離が最小のループを効率よく検出できる。

3.2 複数報酬環境での最適政策の近似的決定

一般の強化学習問題では、環境中に報酬が複数存在するので、上述の RAE に基づく手法をそのまま適用することができない。そこで、複数報酬環境における最適政策の決定問題を、報酬ごとに問題分割して個別に行い、それぞれの結果を統合する手法を提案する。

3.2.1 複数報酬環境における報酬獲得ループの定義

まず、基本概念について説明する。まずループとは、状態遷移系列を表すルール系列のうち遷移がループ状になるものである。ループ長とは、ループを 1 周するときの期待距離である。報酬獲得ループとは、ループのうち、ひとつ以上の報酬ルールを含むものである。ここで Loop-RAE を、ループ上を 1 周するときを獲得する期待報酬和をループ長で割った値と定義する。以上より、複数報酬環境における最適報酬獲得ループは、Loop-RAE 最大の報酬獲得ループとして定義できる。直感的には、ループ長が短く、できるだけ多くの正の報酬和が得られるループである。

3.2.2 BP-RAE 法による単一報酬獲得ループの最適化

前節で定義した Loop-RAE 最大の報酬獲得ループを求めるのは、多少計算に工夫が要る。そこで本論文では、複数報酬環境において最適報酬獲得ループを近似的に得る手法を提案する。手法の概要 [10] を以下に示す。

- 1) 報酬ごとの問題分割による、単一報酬下での最適政策の算出
 各報酬について別々にルールごとの RAE 値を RAE-PIA 法で算出し、最適政策を求める。
- 2) ルールごとの RAE 値の比較による、各単一報酬最適政策の統合

各ルールの RAE 値を、各報酬 Rw_n での RAE 値の最大値とし、式(4)を用いて各状態でRAE値最大のルールを求め、その集合を最適政策とする。

$$policy_i = \arg \left[\max_a \left\{ \max_n (RAE(Rw_n, dist(i, a))) \right\} \right] \quad (4)$$

i: 状態、 a: 行為、 policy_i: 状態iの最適政策、
Rw_n: n 番目の報酬

本手法の特徴は、報酬ごとに最適政策の探索を問題分割し、ループ上の報酬が1つの場合に限定した上で、得られる報酬獲得ループの RAE 値を比較することで、政策探索の計算コストを抑えていることになる。したがってこの手法の限界は、複数報酬を獲得する政策を扱えないこと、つまり複数報酬で構成される報酬獲得ループを持つ政策が最適政策となる場合である。

4 実験

4.1 単一報酬環境での割引型 PIA と RAE-PIA との比較実験

実験 1 として、図 3 に示す環境で割引型 PIA と RAE-PIA による最適政策探索の比較実験を行なった。図 3 は、0~4 までの 5 状態で、状態 2 から 0 へのルールに報酬1があり、状態 1 のルール0は確率(1-P)で状態 2 へ確率的に遷移する。最適政策は、状態 0 において $P > 0.5$ の時にルール b、 $P < 0.5$ ではルール a である。確率 $P=0.5, 0.51, 0.52, 0.53$ それぞれの場合について割引率 γ を 1, 0.99, 0.95, 0.9 の 4 通りに変えた時の収束政策を表 2 に示す。表 2 から、割引型 PIA では、割引率が異なると収束する最適政策が異なることがわかる。また割引率 1 では、ルールの効用値に差が生じないため、最適政策が一意に求められない。これに対し、RAE-PIA では、全ての P の場合において、本来の最適政策に収束することがわかる。

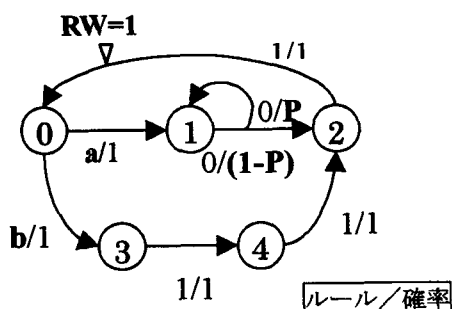


図 3 実験 1 での単一報酬の学習環境

表 2 実験結果 1：収束政策と割引率との比較

| $P \backslash \gamma$ | 1 | 0.99 | 0.95 | 0.90 | RAE |
|-----------------------|-----|------|------|------|-----|
| 0.50 | a=b | a | a | a | a=b |
| 0.51 | a=b | b | a | a | b |
| 0.52 | a=b | b | b | a | b |
| 0.53 | a=b | b | b | b | b |

4.2 複数報酬下での割引型 PIA と RAE-PIA との比較実験

実験 2 として、図 4 に示す環境で割引型 PIA と RAE-PIA による最適政策探索の比較実験を行なった。図 4 は 0~3 までの 4 状態で、状態 1 から 0 へのルールに報酬 100 があり、状態 3 から 0 へのルールに報酬 200 がある。状態 0 のルール b は確率(1-P)で状態 2 への確率的遷移を表す。

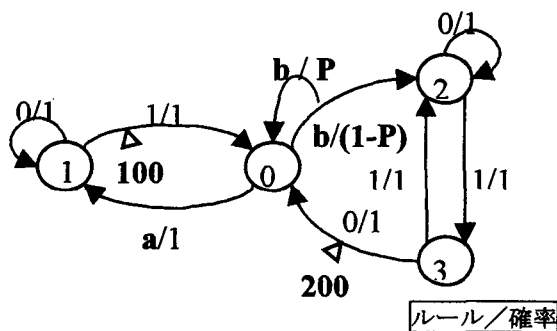


図 4 実験 2 での複数報酬の学習環境

最適政策は、状態 0 において $P > 0.5$ の時にルール b、 $P < 0.5$ ではルール a である。割引率 $\gamma=0.95$ の時、確率 $P=0.51, 0.52$ それぞれの場合の収束政策を表 3 に示す。表 3 から、割引型 PIA では、実験 1 と同様、割引率が異なると収束する最適政策が異なることがわかる。これに対し、RAE-PIA では、どちらの P の場合も本来の最適政策に収束することがわかる。

表 3 実験結果 2：収束した政策の比較

| 遷移確率 P | 割引型PIA | RAE-PIA |
|--------|--------|---------|
| 0.51 | a | b |
| 0.52 | b | b |

5 結論

本論文では、強化学習における割引型最適化手法において、獲得する政策の質と学習速度とが両立しない、と

いう問題点について議論し、それを解決するため、非割引型最適化の新技术として報酬からの期待距離に着目し、報酬獲得効率を最大化する政策の効率的な学習手法を提案し、本来の最適政策が高速に学習できることを実験的に検証した。今後の課題は、最適政策が複数報酬の獲得で構成される場合の効率的な学習手法の確立である。

会関西支部高専卒業研究発表会, pp.25-26, 2000-3

謝 辞

本研究を行うに当り、一部プログラム作成および実験を行なった現大阪府立大学4回生の谷元昭文君[10]に感謝いたします。

参考文献

- [1] Russell, S.J., and Norvig, P., AI-A Modern Approach, Prentice-Hall International, Inc., pp.598-624, 1995
- [2] Sutton, R.S., and Barto, A.G., Reinforcement Learning: An Introduction, MIT Press, Cambridge, MA, 1998
- [3] Kaelbling, L.P., Littman, M.L., and Moore, A.W., Reinforcement Learning: A Survey, Journal of Artificial Intelligence Research, Vol. 4, pp.237-277, 1996
- [4] Mahadevan, S., Average Reward Reinforcement Learning: Foundations, Algorithms, and Empirical Results, Machine Learning, 22, pp.159-195, 1996
- [5] Tadepalli, P. and Ok, D., Model-based Average Reward Reinforcement Learning, Artificial Intelligence 100, pp.177-224, 1998
- [6] 木村 元, 小林 重信, Actorに適正度の履歴を用いた Actor-Critic アルゴリズム - 不完全な Value-Function のもとでの強化学習, 人工知能学会誌, Vol.15, No.2, pp.267-275, 2000
- [7] Barto, A.G., Bradtke, S.J. and Singh, S.P., Learning to act using real-time dynamic programming, Artificial Intelligence 73, pp.81-138, 1995
- [8] 内田 圭, 渡邊 亮介, 山口 智浩, Self-Rewarded RAE: 学習の合理性と高速性を両立させた経験強化型学習法, 人工知能学会全国大会論文集, pp.281-283, 1999
- [9] 石村 健二, RAE-PIA: 報酬獲得効率を最大化する政策の強化学習, BAC2000, p.51-52, 2000
- [10] 谷元 昭文, 山口 智浩, 逆伝播法による報酬獲得効率の高速かつ柔軟な強化学習手法の提案, 電気学

気泡塔型培養装置における菌体ペレット懸濁系の ペレット濃度の測定

河越 幹男・出口 正揮

New Measurement Method of Pellet Concentration in Bubble Column
Fermentors for Submerged Culture of Mycelium Pellets Suspension

Mikio KAWAGOE and Masaki DEGUCHI

A new measurement method was proposed to measure the concentration and size of mycelium pellets in submerged culture by external-loop airlift fermentors. Measuring the number of mycelium pellet and the obstructed time of laser beam by pellets, pellet holdup and pellet size were estimated from the numerical simulation by computer. The relationships among pellet size, pellet holdup and light transmission were obtained from computer simulations. The light transmissions were successfully correlated with the transmission number, product of specific interfacial area and optical length. Relationship between the pellet size and the average particle length calculated from the pellet velocity and average obstructed time was evaluated from the computer simulation, and it was correlated with light transmission by a simple empirical equation. From these correlations, we can estimate the holdups and sizes of pellets simultaneously.

緒 言

酵母などの微小な菌体を培養する場合、培養途中の菌体濃度は一部の液を採取して測定する直接サンプリング法によって測定することができる。しかし、きのこ菌のような糸状菌を液体培養すると、直径が5mmから20mm程度の大きなペレットを形成する³⁻⁵⁾。このような培養系では、サンプリング液が培養液全体の平均値を示さないため、直接サンプリング法を用いることができない。

気液界面積の測定法の一つとして光透過法がある。光束の直径が気泡の大きさに比べ十分大きい場合、気液界面による光散乱のため、光透過率が減少することを利用したものである。Mieの法則のような光散乱に関する理論解析があり、解析が容易であるため、良く用いられている^{1,6,8,9,10)}。しかし、光散乱物体が大きい場合、幅広い平行光線を得ることは必ずしも容易ではない。

本研究では、きのこ培養系における菌体増殖速度を測定するため、計算機による数値実験によって固体粒子による細い光束の遮断確率と平均遮断時間を求め、固体粒子ホールドアップと粒子径を求める方法を開発した。最

近、安価なレーザー発信器や応答速度の速い受光機器が容易に入手できるので、従来の幅広い平行光線を使う場合に比べ、測定が容易になる。

数値実験

レーザービームの透過率は、粒子ホールドアップ ϵ_p と粒子径 d_p に関係する。この関係を求めるために、計算機を用いて数値実験を行った。ただし、解析を簡単にするため、レーザー光源は点光源として扱い、レーザービームの直径は無視した(単一光束)。想定した測定装置をFig. 1に示した。数値実験の手順は以下の通りである。

①塔径、塔高を決める。本実験では、塔径は6cm, 8cm, 16cmとした。前二者は実際に培養に用いている気泡塔の塔径、または液外部循環式エアリフト塔の下降管の直径である。塔高は1mとした。単一光束が塔中心を通るように光源と受光器を設置しているので、塔径が光路長になる。

②この塔の中に粒子を配置する。円筒座標系を用い、座標値 (r, θ, z) は乱数を用いて決定した。その際、粒子同士が空間的に重複しないようにした。粒子ホール

Table 1 Experimental conditions for simulation and legends used in Figures 3, 4 and 5

| | | Column diameter [mm] | | |
|--------------------|----|----------------------|----|-----|
| | | 60 | 80 | 160 |
| Particle size [mm] | 5 | ○ | ⊙ | ● |
| | 10 | □ | ◇ | ■ |
| | 20 | △ | ▽ | ▲ |

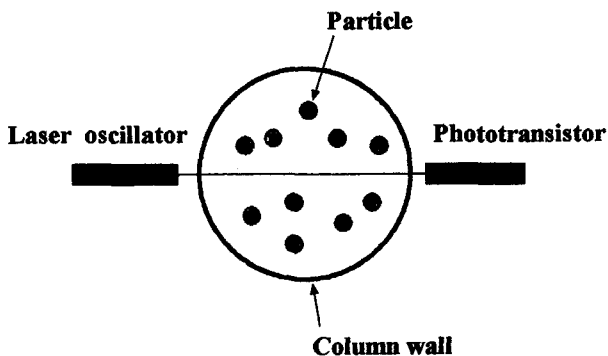


Fig. 1 Measurement system for light transmission

ドアップは0~0.1, 粒子径は実際の菌体ペレットの大きさに近い5mm, 10mm, 20mmとした。

③この粒子群を垂直(塔軸)方向に移動させる。移動速度は実際の下降管内の液流速を用いた(移動速度=25 cm/s)。水平(半径)方向の速度成分は無視した。

④塔出口で、粒子が中心軸を通るレーザービームを遮断するかどうかを検出した。光評価関数 $F(t)$ を、レーザービームが遮断される場合は1, 透過する場合は0として定義した。以上①~④の計算を10回繰り返し、その平均値を用いた。

得られた $F(t)$ の一例を Fig. 2 に示した。レーザーが遮断されている時間を Δt , 全測定時間を T として、光透過率 Φ を次式で定義する:

$$\Phi = 1 - \frac{1}{T} \sum_{i=1}^N \Delta t_i \quad (1)$$

また、遮断時間と粒子速度の積 b_p はビームが横切った粒子長さに相当する。その平均値 $(b_p)_{av}$ は、統計的に見れば、粒子径 d_p , 粒子ホールドアップ ε_p , 光路長などの関数になると考えられる。ここで、粒子径 d_p と平均粒子長さ $(d_p)_{av}$ の比を η と定義する:

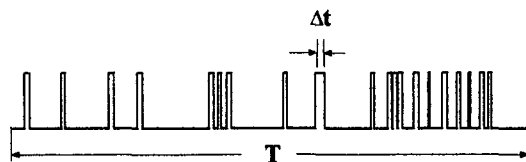


Fig. 2 An example of $F(t)$ obtained from numerical simulation for column diameter of 10cm, particle diameter of 1.0 cm and particle holdup of 0.6%.

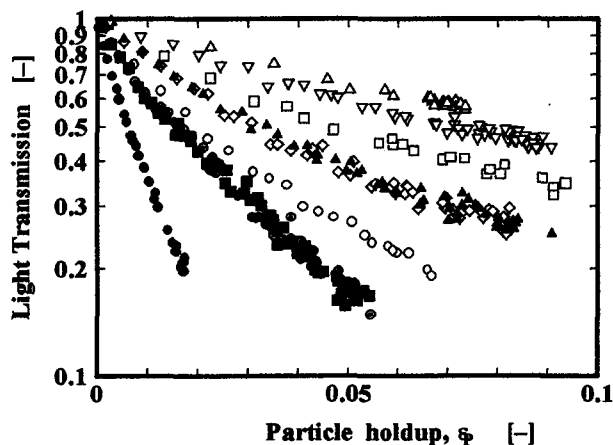


Fig. 3 Plots of light transmission vs. particle hold up.

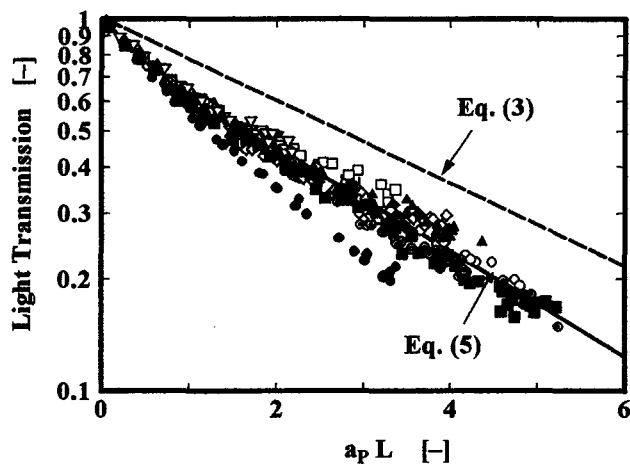


Fig. 4 Correlation of light transmission with $a_p L$

$$\eta = \frac{d_p}{(b_p)_{av}} \quad (2)$$

ここでは、計算機による数値実験の結果から η を算出し、 η と Φ の関係を求めた。

結果及び検討

Fig. 3 に、光透過率 Φ と粒子ホールドアップ ε_p の片対数プロットを示した。透過率は粒子径と塔径 (= 光路長) の影響を強く受けていることが分かる。光束の直径が粒子径に比べて十分大きい場合 (平行光束) には、光透過率、単位体積当たりの粒子比表面積 a_p 、光路長 L の間には次式が成立することが知られている^{2,3)}。

$$\ln \left[\frac{I}{I_0} \right] = \frac{1}{4} a_p L \quad (3)$$

ここで、 I_0 は入射光、 I は透過光の強度であり、 I/I_0 は光透過率である。そこで、(3)式に従って Fig. 4 に数値実験から得られた光透過率を粒子比表面積と光路長の積 (光透過因子) $a_p L$ に対してプロットした。ここでは、光路長 L は塔径 D_c に等しくなる。また、単位分散相当当たりの比表面積 a_p は次式で与えられる。

$$a_p = \frac{6}{d_p} \varepsilon_p \quad (4)$$

Fig. 4 から、光透過率は $a_p L$ によってほぼ相関できることが分かる。粒子径 5 mm、塔径 16mm の場合、光透過率が他の場合に比べ、小さくなっている。この場合を除くと、光透過率はほぼ一本の曲線で相関可能である。ここでは、簡単化のため、光透過率を $a_p L$ のみの関数として次式で相関した。

$$\log_{10} (\Phi) = -0.1 a_p L \{ \exp(-0.7 a_p L) + 1.5 \} \quad (5)$$

Fig. 4 には、比較のため(3)式も破線で示した。光束径が粒子径に比べて十分大きい従来の結果の方が、光透過率が大きいことが分かる。

Fig. 5 に示したように、(2)式で定義された η と光透過率の間には良好な相関関係が認められた。光透過率 = 1 における η の極限值は 1.5 になることが理論的に示されるが、数値実験の結果もほぼこれに近い値を示している。光透過率が 0.93 以上で、若干、ばらつきが見られるのは、光透過率が 1 に近づくにつれて粒子個数が少なくなり、統計誤差が顕著になったものと考えられる。光透過率が 0.93 以上の領域を除けば、即ち $\Phi < 0.93$ では、 η と光透過率の関係は次式で相関できた。

$$\eta = 1.4 \{ 1 - \exp(-2\Phi) \} \quad (6)$$

従って、光透過実験から得られる平均粒子長さと(2)式

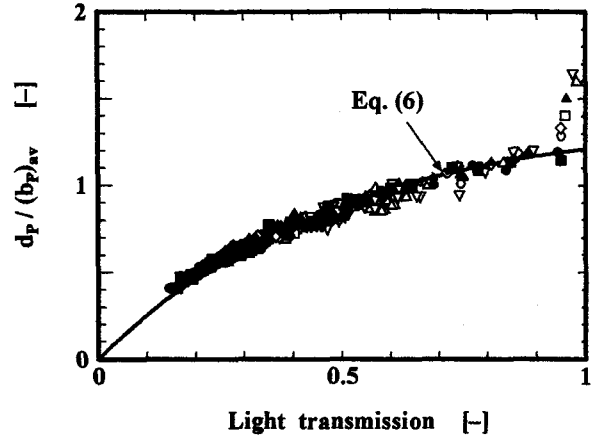


Fig. 5 Correlation of $(d_p)_{true}/(d_p)_{obs}$ with light transmission

及び(6)式から粒子径 d_p を推算することが出来る。

以上の結果から、光透過率と平均粒子長さを測定すれば、比表面積と粒子径が推算できるので、(4)式から粒子ホールドアップが算出できることが分かる。すなわち、粒子径と粒子ホールドアップの同時測定が可能になる。

結 言

計算機を用いた数値実験から、単一光束の光透過率と粒子ホールドアップの関係性を求め、実験式で相関した。また、単一光束を粒子が遮ることによって得られる光の明暗のパルス巾と粒子速度から得られる粒子長さと実際の粒子径の関係を求め、簡単な相関式を得た。これらを用いることにより、粒子ホールドアップと粒子径の同時測定が可能であることを示した。

付記： 本研究で得た結果の一部は第5回日独シンポジウム (文献5) で発表した。

Nomenclature

- a_p = $6 \varepsilon_p / d_p$, specific interfacial area [m⁻¹]
- b_p = particle length measured by light transmission [m]
- D_c = column diameter [m]
- d_p = particle diameter [m]
- L = optical length [m]
- ε_p = particle holdup [-]
- I = intensity of transmitted light [lx]
- I_0 = intensity of incident light [lx]
- T = measurement time [s]
- Δt = time width of pulse [s]
- Φ = light transmission [-]

η = ratio of diameter and length of particle [-]

Literature cited

- 1) Calderbank, P. H.; "Physical Rate Processes in Industrial Fermentation—Part 1: The Interfacial Area in Gas-Liquid Contacting with Mechanical Agitation," *Trans. Instn Chem. Engrs.*, 36, 443-463 (1958)
- 2) Curl, R. L.; "Note on Light Transmission through a Polydisperse Dispersion," *AIChE J.*, 20, 184 (1974)
- 3) Kawagoe, M., K. Hyakumura, S. Suye, K. Miki and K. Naoe; "Application of bubble column fermentors to submerged culture of *Schizophyllum commune* for production of L-malic acid," *J. Ferment. Bioeng.*, 84, 333-336 (1997).
- 4) Kawagoe, M., K. Kawakami, Y. Nakamura, K. Naoe, K. Miki and H. Noda; "Submerged culture of *Tricholoma matsutake* mycelium in bubble column fermentors," *J. Biosci., Bioeng.*, 87, 116-118 (1999)
- 5) Kawagoe, M., K. Tokuda and H. Noda; "Submerged Culture of *Lentinus edodes* by an External-Loop Airlift Column with a Tapered Riser," Preprints of 5th German/Japanese Symposium "Bubble Columns", 156-161, Dresden (2000)
- 6) Landau, J., J. Boyle, H. G. Gomaa and A. M. Al Taweel; "Comparison of Methods for Measuring Interfacial Areas in Gas-Liquid Dispersions," *Can. J. Chem. Eng.*, 55, 13-18 (1977)
- 7) Landau, J., H. G. Gomaa and A. M. Al Taweel; "Measurement of Large Interfacial Areas by Light Attenuation," *Trans IChemE*, 55, 212-215 (1977)
- 8) Langlois, G. E., J. E. Gullberg and T. Vermeulen; "Determination of Interfacial Area in Unstable Emulsions by Light Transmission," *The Review of Scientific Instruments*, 25, 360-363 (1954)
- 9) Lockett, M. J. and A. A. Safekourdi; "Light Transmission Through Bubble Swarms," *AIChE J.*, 23, 395-398 (1977)
- 10) McLaughlin, C. M. and J. H. Rushton; "Interfacial Areas of Liquid-Liquid Dispersions from Light Transmission Measurements," *AIChE J.*, 19, 817-822 (1973)
- 11) Trice, V. G., Jr., and W. A. Rodger; "Light Transmittance as Measure of Interfacial Area in Liquid-Liquid Dispersions," *AIChE J.*, 2, 205-210 (1956)

弱半束の決定問題とシーケントによる形式化

荒金 憲一

The decision problem and sequential formulations for weak semilattices

Kenichi ARAGANE

1つの2項演算 \wedge をもつ代数系で結合律と交換律と巾等律が成り立つものが半束 (*semilattice*) であり, 巾等律を弱い条件 $x \wedge x \wedge y = x \wedge y$ で置き換えた代数系を弱半束 (*WSL*) とよぶ. [1] では, *WSL* におけるいくつかの性質を調べた. 本論文では, [4], [5], [6] での結果を利用することにより, *WSL* における決定問題の肯定的解決を与える. また, *WSL* と演繹的な同値な, G. Gentzen の方法 ([3]) でのシーケント (式) による形式的体系 *GWSL* を考える.

§1 ワード

[1] と同様にワードを定義する.

[定義1] (ワードの定義)

- (1) 変数 $p_1, p_2, \dots, p_n, \dots$ はワードである.
- (2) x と y がワードのとき $x \wedge y$ はワードである.
- (3) 以上の (1), (2) によって構成された記号列のみがワードである.

ワード全体の集合を W とし, 代数系 $A = (W; \wedge)$ を考える. A では W の任意の元 x, y, z に対して, [1] と同様に, 次の等号に関する規則が使えるものとする.

$$\begin{array}{ll} E1 & x = x \\ E2 & x = y \implies y = x \\ E3 & x = y, y = z \implies x = z \\ E4 & x = y \implies x \wedge z = y \wedge z \end{array}$$

§2 WSL

[1] と同様に弱半束を定義する.

[定義2] (WSLの定義)

W の任意の元 x, y, z に対して, 次の $F1, F2, F3$ が成り立つとき, 代数系 A を弱半束 (*WSL, weak semilattice*) とよぶ.

$$\begin{array}{ll} F1 & (x \wedge y) \wedge z = x \wedge (y \wedge z) \\ F2 & x \wedge y = y \wedge x \\ F3 & (x \wedge x) \wedge y = x \wedge y \end{array}$$

[1] と同様に次のことが成り立つ.

[注意 1]

(1) WSL では, 結合律 (F1) が成り立つから, $(x \wedge y) \wedge z = x \wedge (y \wedge z)$ を $x \wedge y \wedge z$ と書く.

(2) $(x \wedge y) \wedge (x \wedge y) = x \wedge y$ (変数以外については, 巾等律が成り立つ.)

[1] と同様に 2 項関係 \leq を定義する.

[定義 3] (不等式の定義)

x, y を W の任意の元とする. $x \wedge y = x$ または $x = y$ が成り立つとき, $x \leq y$ と書く.

[1] で証明したように, 次の定理が成り立ち, \leq が順序関係であることがわかる.

[定理 1]

A が WSL である $\iff W$ の任意の元 x, y, z, u, v に対して A で次の $T1 \sim T6$ が成り立つ.

$$T1 \quad x \leq x$$

$$T2 \quad x \leq y, y \leq x \implies x = y$$

$$T3 \quad x \leq y, y \leq z \implies x \leq z$$

$$T4 \quad x \wedge y \leq x, x \wedge y \leq y$$

$$T5 \quad x \wedge y \leq u, x \wedge y \leq v \implies x \wedge y \leq u \wedge v$$

$$T6 \quad x \neq y, z \leq x, z \leq y \implies z \leq x \wedge y$$

[1] と同様に次のことが成り立つ.

[注意 2] \wedge について, 次の単調性が成り立つ.

$$(1) x \leq y \implies x \wedge z \leq y \wedge z$$

$$(2) x \leq y, u \leq v \implies x \wedge u \leq y \wedge v$$

S3 WSL の決定問題

[注意 3]

$x \sim y \iff x \wedge x = y \wedge y$ と定義すると, \sim は W 上での同値関係になり, W/\sim (W の \sim による商集合) は半束になる.

(証明)

$x \wedge x = x \wedge x$ より $x \sim x$ が成り立つ. $x \sim y$ とすると $x \wedge x = y \wedge y$ で $y \wedge y = x \wedge x$ より $y \sim x$ が成り立つ. $x \sim y$ から $y \sim z$ とすると $x \wedge x = y \wedge y = z \wedge z$ より $x \wedge x = z \wedge z$ で $x \sim z$ が成り立つ. よって, \sim は W 上での同値関係である. $[a], [b] \in W/\sim$ のとき $[a] \wedge [b] = [a \wedge b]$ と定義できる. なぜならば, $a_1 \sim a_2, b_1 \sim b_2$ のとき $(a_1 \wedge b_1) \wedge (a_1 \wedge b_1) = (a_1 \wedge a_1) \wedge (b_1 \wedge b_1) = (a_2 \wedge a_2) \wedge (b_2 \wedge b_2) = (a_2 \wedge b_2) \wedge (a_2 \wedge b_2)$ から $a_1 \wedge b_1 \sim a_2 \wedge b_2$ で $[a_1] \wedge [b_1] = [a_2] \wedge [b_2]$ が成り立つ. また $([a] \wedge [b]) \wedge [c] = [a \wedge b] \wedge [c] = [(a \wedge b) \wedge c] = [a \wedge (b \wedge c)] = [a] \wedge ([b] \wedge [c])$ から結合律が成り立つ. 交換律 $[a] \wedge [b] = [b] \wedge [a]$ も同様に成り立つ. さらに, $(a \wedge a) \wedge (a \wedge a) = a \wedge a$ から $a \wedge a \sim a$ であり, $[a] \wedge [a] = [a \wedge a] = [a]$ により巾等律が成り立つ. よって W/\sim は半束である. (証明終)

[4], [5], [6]での結果を使うと次のことが成り立つ.

[定理 2] 弱半束 (WSL) において 2 つのワードが等しいかどうかの決定問題が肯定的に解ける. (2 つのワードが等しいかどうかを決定するための有限的手続きが存在する.)

(証明)

$x = y$ ならば明らかに $x \sim y$ が成り立つので, $x \neq y$ ならば $x \neq y$ である. [6]の代数的な方法または [4], [5]の Gentzen 流の方法 ([3]) によると半束での決定問題は肯定的に解ける. [注意 3] より W/\sim は半束であるから同じ同値類の中で 2 つのワードが等しいかどうかを調べればよい.

- (1) 2つのワードがともに変数 p, q の場合. 変数は最初のワードとして与えられているので, 等しいかどうかは有限的にわかる.
- (2) 2つのワードが変数 p と変数以外の $x \wedge y$ の場合. $p = x \wedge y$ ならば $p \wedge p = (x \wedge y) \wedge (x \wedge y) = x \wedge y = p$ より変数に対して中律が成り立つことになるから $p \neq x \wedge y$ で, 変数と変数以外のワードが等しくなることはないことがわかる. (半束では等しくなる.)
- (3) 2つのワードがともに変数以外の $x \wedge y, u \wedge v$ の場合. $x \wedge y \sim u \wedge v \iff x \wedge y = u \wedge v$ が成り立つ. なぜならば, \iff は明らかである. \implies について. $x \wedge y \sim u \wedge v$ とすると $x \wedge y = (x \wedge y) \wedge (x \wedge y) = (u \wedge v) \wedge (u \wedge v) = u \wedge v$ から $x \wedge y = u \wedge v$ が成り立つ. よって, 同じ同値類の中の変数以外のワードはすべて等しいことがわかる. (証明終)

§4 GWSL

[2] と同様にシーケント (式) を定義する.

[定義 4] (シーケント (sequent) の定義)

- (1) ワードの有限列をギリシア大文字 Γ, Δ などで表す.
- (2) ワードの有限列 a_1, \dots, a_n を Γ で表し, b をワードとすると, WSL での不等式 $a_1 \wedge \dots \wedge a_n \leq b$ を $\Gamma \longrightarrow b$ で表し, これをシーケントとよぶ. ただし, Γ と b は空でないとする.

[2] と同様の方法で, 弱半束のシーケントによる形式化を考える.

[定義 5] (GWSL の定義)

弱半束 (WSL) のシーケントによる形式的体系 $GWSL$ を次のように定義する.

[1] 始シーケント

$$(B) \quad x \longrightarrow x$$

[2] 推論規則

(1) 構造上の推論規則

(1.1) 増 (weakening) の規則

$$\frac{\Gamma \longrightarrow d}{a, \Gamma \longrightarrow d} (w \longrightarrow)$$

ただし, Γ は空でない ($\Gamma \neq \emptyset$ と書く) とする.

(1.2) 縮 (contraction) の規則

$$\frac{a, a, \Gamma \longrightarrow d}{a, \Gamma \longrightarrow d} (c \longrightarrow)$$

ただし, a が変数のときは, Γ は空でないとする. (a が変数でないときは, Γ は空でもよい.)

(1.3) 換 (exchange) の規則

$$\frac{\Gamma_1, a, b, \Gamma_2 \longrightarrow d}{\Gamma_1, b, a, \Gamma_2 \longrightarrow d} (e \longrightarrow)$$

(1.4) 切 (cut) の規則

$$\frac{\Gamma \longrightarrow c \quad c, \Delta \longrightarrow d}{\Gamma, \Delta \longrightarrow d} (c)$$

(2) 演算 \wedge に関する推論規則

$$\frac{a, \Gamma \longrightarrow d}{a \wedge b, \Gamma \longrightarrow d} (\wedge_1 \longrightarrow) \qquad \frac{b, \Gamma \longrightarrow d}{a \wedge b, \Gamma \longrightarrow d} (\wedge_2 \longrightarrow)$$

$$\frac{\Gamma \longrightarrow a \quad \Delta \longrightarrow b}{\Gamma, \Delta \longrightarrow a \wedge b} (\longrightarrow \wedge_1) \qquad \frac{\Gamma \longrightarrow a \quad \Gamma \longrightarrow b}{\Gamma \longrightarrow a \wedge b} (\longrightarrow \wedge_2)$$

ただし, $(\longrightarrow \wedge_2)$ においては, $a \neq b$ とする.

§5 WSL と GWSL の演繹的同値性

[定義6] (GWSL \vdash の定義)

シーケント $\Gamma \longrightarrow d$ が GWSL で証明可能であるとき, $GWSL \vdash \Gamma \longrightarrow d$ と書く.

[定義7] (WSL \models の定義)

WSL で不等式 $a \leq b$ が成り立つとき, $WSL \models a \leq b$ と書く.

[定義8] (WSL での等号の定義)

$GWSL \vdash a \longrightarrow b$ かつ $GWSL \vdash b \longrightarrow a$ のとき $a \equiv b$ とすれば, \equiv は同値関係である. そこで W/\equiv をあらためて W とし, \equiv を $=$ とみなしたものを WSL での等号とする. (リンデンバウム代数 (Lindenbaum algebra) を考える.)

[注意4]

定義8での WSL では等号に関する規則 $E1 \sim E4$ と次の $E5, E5^\circ$ が成り立つ.

$$E5 \quad x = y, x \leq z \implies y \leq z$$

$$E5^\circ \quad x = y, z \leq x \implies z \leq y$$

(証明)

\equiv が同値関係であることは, 次の $E1, E2, E3$ からいえる.

$E1$: 始シーケント (B) から成り立つ.

$E2$: $x = y$ とすると $GWSL \vdash x \longrightarrow y$ かつ $GWSL \vdash y \longrightarrow x$ から, 明らかに $y = x$ も成り立つ.

$E3$: $x = y$ かつ $y = z$ とすると

$$\frac{x \longrightarrow y \quad y \longrightarrow z}{x \longrightarrow z} \qquad \frac{z \longrightarrow y \quad y \longrightarrow x}{z \longrightarrow x}$$

よって $x = z$.

$E4$: $x = y$ とすると

$$\frac{\frac{x \longrightarrow y}{x \wedge z \longrightarrow y} \quad \frac{z \longrightarrow z}{x \wedge z \longrightarrow z}}{x \wedge z, x \wedge z \longrightarrow y \wedge z} \qquad \frac{x \wedge z \longrightarrow y \wedge z}{x \wedge z \longrightarrow y \wedge z}$$

同様にして $GWSL \vdash y \wedge z \longrightarrow x \wedge z$. よって $x \wedge z = y \wedge z$.

$E5$: $x = y$ かつ $x \leq z$ とすると

$$\frac{y \longrightarrow x \quad x \longrightarrow z}{y \longrightarrow z}$$

$E5^\circ$: $x = y$ かつ $z \leq x$ とすると

$$\frac{z \longrightarrow x \quad x \longrightarrow y}{z \longrightarrow y}$$

(証明終)

[2] と同様に次の 3 つの定理が成り立つ.

[定理 3]

$$WSL \models a \leq b \implies GWSL \vdash a \longrightarrow b$$

(証明) WSL のすべての公理 ($F1 \sim F3$) が $GWSL$ で証明可能であることを示せばよいが、これらと同値な不等式 ($T1 \sim T6$) をシーケントにしたものが $GWSL$ で証明可能であることを示す.

$T1$: 始シーケント (B) から成り立つ.

$T2$: シーケントの定義 (定義 4) と WSL での等号についての定義 (定義 8) から成り立つ.

$$T3 : \frac{x \longrightarrow y \quad y \longrightarrow z}{x \longrightarrow z}$$

$$T4 : \frac{x \longrightarrow x}{x \wedge y \longrightarrow x} \quad \frac{y \longrightarrow y}{x \wedge y \longrightarrow y}$$

$$T5 : \frac{\frac{x \wedge y \longrightarrow u \quad x \wedge y \longrightarrow v}{x \wedge y, x \wedge y \longrightarrow u \wedge v}}{x \wedge y \longrightarrow u \wedge v}$$

$$T6 : x \neq y \text{ とすると } \frac{z \longrightarrow x \quad z \longrightarrow y}{z \longrightarrow x \wedge y}$$

(証明終)

[定理 4]

$$GWSL \vdash a_1, \dots, a_n \longrightarrow b \implies WSL \models a_1 \wedge \dots \wedge a_n \leq b$$

(証明)

ワードの有限列 Γ が a_1, \dots, a_n のとき, $a_1 \wedge \dots \wedge a_n$ を x などと書くことにする.

$GWSL$ の始式 (B) は $T1$ から成り立つ.

次に, $GWSL$ の各推論規則の上式 (上のシーケント) に対応する不等式が WSL で成り立つと仮定するとき, 下式に対応する不等式が WSL で成り立つことを示す.

($w \longrightarrow$) : $x \leq d$ とする. $T4$ より $a \wedge x \leq x$ であるから, $T3$ により $a \wedge x \leq d$ が成り立つ.

($c \longrightarrow$) : $a \wedge a \wedge x \leq d$ とする. a が変数のとき, x は空でないから, $F3$ から $a \wedge a \wedge x = a \wedge x$ であり, $E5$ により $a \wedge x \leq d$ が成り立つ. a が変数でないときは, 注意 1 の (2) より a についての巾等律が成り立つから $a \wedge a = a$ で $a \wedge x \leq d$ が成り立つ.

($e \longrightarrow$) : $x \wedge a \wedge b \wedge y \leq d$ とする. $F2$ より $a \wedge b = b \wedge a$ であるから, 等号に関する規則を使って $x \wedge b \wedge a \wedge y \leq d$ が成り立つ.

(c) : $\Delta = \emptyset$ のときは, $x \leq c \leq d$ より $x \leq d$ が成り立つ. $\Delta \neq \emptyset$ のとき $x \leq c$, $c \wedge y \leq d$ とする. 仮定 $x \leq c$ に注意 2 の (1) を使うと $x \wedge y \leq c \wedge y$ である. これと仮定 $c \wedge y \leq d$ から $x \wedge y \leq d$ が成り立つ.

($\wedge_1 \longrightarrow$) : $\Gamma = \emptyset$ のとき, $a \leq d$ とすると $a \wedge b \leq a$ より $a \wedge b \leq d$ が成り立つ. $\Gamma \neq \emptyset$ のとき, $a \wedge x \leq d$ とする. $a \wedge b \leq a$ に注意 2 の (1) を使うと $a \wedge b \wedge x \leq a \wedge x$ であり, $a \wedge b \wedge x \leq d$ が成り立つ.

($\wedge_2 \longrightarrow$) : 上と同様にできる.

($\longrightarrow \wedge_1$) : $x \leq a$, $y \leq b$ とする. 注意 2 の (2) から $x \wedge y \leq a \wedge b$ が成り立つ.

($\longrightarrow \wedge_2$) : $a \neq b$, $x \leq a$, $x \leq b$ とすると, $T6$ から $x \leq a \wedge b$ が成り立つ.

(証明終)

定理 3 と定理 4 から次の定理が成り立つ.

[定理 5] WSL と $GWSL$ は演繹的に同値である.

参考文献

- [1] 荒金 憲一, 半束の弱い形について, 奈良高専研究紀要 **35**(1999), 105-110.
- [2] 荒金 憲一, MS代数とストーン代数のシーケントによる形式化, 奈良高専研究紀要 **33**(1997), 119-127.
- [3] G. Gentzen, *Untersuchungen über das logische Schliessen* I, II, *Mathematische Zeitschrift* **39**(1935), 176-210, 405-431.
- [4] 松本 和夫, 自由束の語の問題, 奈良高専研究紀要 **1**(1965), 53-59.
- [5] S. Tamura, *Decision procedure for free lattice*, *Memoirs of Osaka Technical College* **1**(1964), 1-12.
- [6] P.M. Whitman, *Free lattice* I, II, *Annals of Mathematics* **42**(1941)325-330, **43**(1942), 104-115.

スパン結び目のリボン表現ともろて型

安田智之

Ribbon presentations of spun knots, and amphicheirality.

Tomoyuki YASUDA

任意二つの一次元結び目 k_1 と k_2 に対して k_1 と k_2 の連結和を k とし、 k_1 と「 k_2 の鏡像」の連結和を l とする。 k と l から各々任意に十分小さい部分弧 α と β を取るとき、 $k - \alpha$ に関連した k のスパン結び目のリボン表現と、 $l - \beta$ に関連した l のスパン結び目のリボン表現とは安定同値である。本論文ではこのことを主定理とし、証明を行う。この定理からは「spun reef と spun granny は同値である」という結果を含む Gordon[4] の定理の別証明が与えられる。また、この定理の系として Marumoto[6] の定理「 k と l が同値な一次元結び目ならば、各々から任意に十分小さい部分弧 α と β を取るとき $k - \alpha$ に関連した k のスパン結び目と、 $l - \beta$ に関連した l のスパン結び目とは安定同値である」で仮定されている条件は、結論を得る為の必要条件とはならない、という結果も得られる。

0. 緒 論

Artin[1] により1925年、一次元結び目 k から十分小さい部分弧を取り除き、四次元ユークリッド空間の中で回転させるという方法での二次元結び目の構成法が示された。この二次元結び目を k のスパン結び目と呼び $\text{spun}(k)$ で表す。一方、1933年、Seifert[2] により k を 3_1 結び目 (Rolfsen[3] の結び目表参照) とし k^* をその鏡像とすると $k \# k$ と $k \# k^*$ は同値でないということが示された。但し $\#$ は連結和を表す。[1] と [2] の上記の結果から、「spun reef と spun granny は同値か」即ち「 $\text{spun}(3_1 \# 3_1)$ と $\text{spun}(3_1 \# 3_1^*)$ は同値か」という問題に関心が持たれていたが、1976年、Gordon[4] により、この問題を含むより一般的な形の問題として問が設定され、解が得られた。即ち「任意二つの一次元結び目 k_1 と k_2 に対し、 $\text{spun}(k_1 \# k_2)$ と $\text{spun}(k_1 \# k_2^*)$ は同値である」という結果が示された。

さて、スパン結び目が二次元リボン結び目であることは、よく知られているが、二次元リボン結び目のリボン表現に対し安定同値とよばれる同値関係の概念が1990年、Nakanishi[5] により、更に1992年、Marumoto[6] により、導入された。特に後者により示された以下の二つの結果は重要である。「 k の一つの橋表現を与えたとす

る。その十分小さな部分弧 δ を除いて Artin[1] の方法でスパン結び目を構成するとき、 $\text{spun}(k)$ のリボン表現として $k - \delta$ の上橋がベースに、下橋がバンドに各々対応するようなものが自然に構成される。」

([6, Theorem3]) これを $k - \delta$ に関連した $\text{spun}(k)$ のリボン表現とよぶことにすると次の定理が成立する。「一次元結び目 k_1 と k_2 が同値ならば各々から十分小さな部分弧 δ_1 と δ_2 を任意に取ったとき $k_1 - \delta_1$ に関連した $\text{spun}(k_1)$ のリボン表現と $k_2 - \delta_2$ に関連した $\text{spun}(k_2)$ のリボン表現とは安定同値である。」([6, Theorem4])

本論文では上述の Gordon[4] の定理と Marumoto[6] の定理に関連した次の定理を主定理とした結果について述べる。

定理

任意二つの一次元結び目 k_1 と k_2 に対して $k_1 \# k_2 = k$ 、 $k_1 \# k_2^* = l$ 、とする。 k と l から各々十分小さい部分弧 α 、 β を任意に取ったとき、 $k - \alpha$ に関連した $\text{spun}(k)$ のリボン表現と、 $l - \beta$ に関連した $\text{spun}(l)$ のリボン表現とは安定同値である。

この定理からは上述の Gordon[4] の定理が一つの系として得られる。またもう一つの系として上述の Marumoto

[6]の Theorem4 の仮定が必要条件ではないという事を示す結果が得られる。一方この定理の証明の為に「スパン結び目は(+)もろて型である」という結果を補題として示す。

1. 準備

1.1定義

$\{D_i^3 \mid i=1,2,\dots,m\}$ を互いに交わらない四次元ユークリッド空間 R^4 内の三次元球体の族とする。また $\partial D_i^3 = O_i^2$ とおく。一方、 $f_i : D^2 \times I \rightarrow R^4$ ($i=1,2,\dots,m-1$) を互いに交わらない像をもつ埋め込みの族とし次の性質をもつものと仮定する。

$$f_i(D^2 \times I) \cap O_j^2 = \begin{cases} f_i(D^2 \times \{0\}) & (\text{if } j=i), \\ f_i(D^2 \times \{1\}) & (\text{if } j=i+1), \\ \phi & (\text{othrewise}). \end{cases}$$

ここで R^4 に埋め込まれた二次元球面

$$\left(\bigcup_{i=1}^m O_i^2\right) \cup \left(\bigcup_{i=1}^{m-1} f_i(\partial D^2 \times I) - \bigcup_{i=1}^{m-1} f_i(\text{Int} D^2 \times I)\right)$$

を K^2 とおくと、 K^2 のことを $(m-1)$ 融合の二次元リボン結び目 (または単に二次元リボン結び目) という。ただし $\text{Int} D^2$ は D^2 の内部を表す。([7],[8]参照)

1.2定義

$$\mathcal{O} = \bigcup_{i=1}^m D_i^3, \mathcal{B} = \bigcup_{i=1}^{m-1} f_i(D^2 \times I) \text{ とおくと } \mathcal{O} \text{ と } \mathcal{B} \text{ の}$$

対 $(\mathcal{O}, \mathcal{B})$ を二次元リボン結び目の m ベースリボン表現 (または単にリボン表現) という。また \mathcal{O} と \mathcal{B} のことを各々リボン表現のベース、バンドという。([6])

1.3定義

R_+^3 と R_-^3 を各々 R^4 の $x_4 = 0, x_3 \geq 0$, である点全体、 $x_4 = 0, x_3 \leq 0$, である点全体とする。 R_+^3 を次の方程式で表される回転で回転させる。

$$\begin{aligned} x'_1 &= x_1, & x'_2 &= x_2, \\ x'_3 &= x_3 \cos \theta - x_4 \sin \theta, \\ x'_4 &= x_3 \sin \theta + x_4 \cos \theta. \end{aligned}$$

回転が R^2 で行われるように R^2 は $x_3 = x_4 = 0$ である点全体としておく。 k を R^3 内の一次元結び目とし $k \cap R_+^3$ がプロパーに埋め込まれた結ばれていない弧であるものとする。 $k \cap R_+^3$ を上述の回転の方程式に従って回転することにより構成される二次元リボン結び目のことを k のスパン結び目といい $\text{spun}(k)$ で表す。([9],[10],[11]) また、この回転で $k \cap R_+^3$ の上橋に対応して

$\text{spun}(k)$ のベース \mathcal{O} が、 $k \cap R_+^3$ の下橋に対応して $\text{spun}(k)$ のバンド \mathcal{B} が各々自然に構成される([6])が、 $(\mathcal{O}, \mathcal{B})$ のことを $k \cap R_+^3$ に関連した $\text{spun}(k)$ のリボン表現という。 $k \cap R_+^3$ が弧 δ であれば、十分小さい部分弧 δ に対し $k - \delta$ に関連した $\text{spun}(k)$ のリボン表現という。

1.4定義

定義(1.1)の記号を使って

$$l_i = f_i(\{0\} \times I) \quad (i=1,2,\dots,m-1)$$

とする。ここで $\{0\}$ は D_i^2 の中心点である。各 l_i と \mathcal{O} は一般の位置にあり、かつ有限個の点で交わると仮定してよい。これらの点を $(\mathcal{O}, \mathcal{B})$ のリボン交差という。

1.5定義

定義(1.4)の各 l_i に関するリボン交差を O_i^2 から O_{i+1}^2 へ の方向に従って $a_{i1}, a_{i2}, a_{i3}, \dots, a_{is_i}$ とおくと、これらに対応して s_i 個の文字からなる語 w_i の次の規則で つくることができる。

l_i が D_i^3 に点 a_{iv} ($v=1, 2, \dots, s_i$) において正の側から交差したときには w_i の v 番目の文字を x_j とし、負の側から交差したときには、同じく x_j^{-1} とする。

こうして構成された語 w_1, w_2, \dots, w_{m-1} を使ってつぎのような結び目群 $\pi_1(R^4 - K^2)$ の群表示を構成することができる。

$$(1.6) \quad [x_1, x_2, \dots, x_m \mid x_i w_i x_{i+1}^{-1} w_i^{-1}; \quad i=1,2,\dots,m-1]$$

但し各 x_i は O_i^2 のメリディアン生成元である。

([12]) リボン表現 $(\mathcal{O}, \mathcal{B})$ から以上の様な方法で構成された群表示(1.6)のことを $(\mathcal{O}, \mathcal{B})$ に関連した群表示という。一方、逆の手順によって群表示(1.6)からリボン表現 $(\mathcal{O}, \mathcal{B})$ を構成することができる。このリボン表現のことを群表示 (1.6)に関連したリボン表現という。

1.7定義

二次元リボン結び目 K^2 に対しその鏡像を $(K^2)^*$ とするとき、 $K^2 \sim (K^2)^*$ ならば K^2 は(+)もろて型であるといい、 $K^2 \sim -(K^2)^*$ ならば(-)もろて型であるという。ここで \sim は結び目が同値であることを表す。

2. 定理の証明

二次元結び目のもろて型に関しては「任意の二次元リボン結び目は(-)もろて型である」という結果が Marumoto[10] によって示されている。特にスパン結

び目の場合は次のことが言える。

2.1補題

スパン結び目は(+)もろて型である。

(証明) 定義(1.3)に従って k から $\text{spun}(k)$ を構成すると回転の式により $\text{spun}(k)$ は R^2 に対して対称であり、 $k \cap R^3_+$ を $\theta = \pi$ だけ回転すると現れる弧 $k^* \cap R^3$ を 2π 回転して構成したスパン結び目と見なすこともできる。この観点から次が成立する。

$$\text{spun}(k) \sim \text{spun}(k^*)$$

一方、定義(1.3)の k を特に k^* として $\text{spun}(k)$ を構成すると、任意の角度 θ における弧は $\text{spun}(k)$ 構成時の角度 θ における弧の鏡像である。この観点からは次が成立する。

$$\text{spun}(k^*) \sim (\text{spun}(k))^*$$

以上により $\text{spun}(k) \sim (\text{spun}(k))^*$ が成立する。

(証了)

2.2定理の証明

Marumoto[6]の定理により k から任意に十分小さな部分弧 α' 、 α'' をとり $k-\alpha'$ 、 $k-\alpha''$ に関連した $\text{spun}(k)$ のリボン表現を各々とるとそれらは安定同値である。同様、1 から任意に十分小さな部分弧 β' 、 β'' をとり $1-\beta'$ 、 $1-\beta''$ に関連した $\text{spun}(1)$ のリボン表現を各々とると、それらは安定同値である。

一方、 k から十分小さな部分弧 γ_3 をとり $k-\gamma_3$ に関連した $\text{spun}(k)$ のリボン表現を構成すると、これは $\text{spun}(1)$ のあるリボン表現と安定同値となる。このことを三段階に分けて証明する。即ち Gordon[4] の定理の証明の三段階

$$\begin{aligned} \text{spun}(k_1 \# k_2) &\sim \text{spun}(k_1) \# \text{spun}(k_2) \\ &\sim \text{spun}(k_1) \# \text{spun}(k_2^*) \\ &\sim \text{spun}(k_1 \# k_2^*) \end{aligned}$$

に従って各段階が安定同値なりボン表現同士の变形として実現されることを各々、(I)、(II)、(III) として述べる。

(I) k_1 と k_2 には向きづけが為されているものとする。 k_1 と k_2 との連結和を双方の上橋同士で行う。その時使われた双方の弧を各々 γ_1 、 γ_2 とする。連結和により新たな上橋が二つできる。 k_1 と k_2 各々の向きに従って $k_1-\gamma_1$ と $k_2-\gamma_2$ に向きが入っているが、 $k_1-\gamma_1$ の始点と $k_2-\gamma_2$ の終点を結んで新たにできる方の上橋において十分小さな部分弧 γ_3 をとる。このとき $(k_1 \# k_2) - \gamma_3$ に関連した $\text{spun}(k_1 \# k_2)$ のリボン表現 $(\mathcal{O}, \mathcal{B})$ は $\text{spun}(k_1) \# \text{spun}(k_2)$ のあるリボン表現に安定同値でもある。その理由を以下に述べる。

$k_1-\gamma_1$ に関連した $\text{spun}(k_1)$ のリボン表現を $(\mathcal{O}_1, \mathcal{B}_1)$ ($t=1,2$) とする。 \mathcal{O}_1 の各成分の番号づけは次の通りとする。 γ_1 を含む k_1 の上橋は γ_1 を除くことによって二つに分かれたが、その一方、「 k_1 の向き」側の上橋に対応する $\text{spun}(k_1)$ のベースを D_{11}^3 とするとき、そこから順に定義(1.1)の番号づけにしたがって、 D_{12}^3 、 D_{13}^3 、 \dots と番号づけすれば、結果として他方、「 k_1 の向きとは逆の向き」側の上橋に対応する $\text{spun}(k_1)$ のベースが最後のベースとなり、これを $D_{1m_1}^3$ と番号づけする。同様、 \mathcal{O}_2 の各成分の番号づけは、 γ_2 を除くことによって二つに分かれた k_2 の上橋の一方、「 k_2 の向き」側の上橋に対応する $\text{spun}(k_2)$ のベースを D_{21}^3 とし、他方に対応する $\text{spun}(k_2)$ のベースが最後のベース $D_{2m_2}^3$ であるとする。 $\{b^3\}$ を $\text{spun}(k_1)$ と $\text{spun}(k_2)$ の連結和を行う為のバンドとし、 $D_{1m_1}^3$ と D_{21}^3 を前者から後者の方向に結ぶものとする。ここでリボン表現 $(\mathcal{O}_1 \cup \mathcal{O}_2, \mathcal{B}_1 \cup \mathcal{B}_2 \cup \{b^3\})$ を構成すると、これは $\text{spun}(k_1) \# \text{spun}(k_2)$ のリボン表現である。ところがリボン表現 $(\mathcal{O}_1 \cup \mathcal{O}_2, \mathcal{B}_1 \cup \mathcal{B}_2 \cup \{b^3\})$ において $D_{1m_1}^3 \cup b^3 \cup D_{21}^3$ を一つのベースにする、安定同値変形のひとつ "trivial addition" move ([6]) を行うと $(\mathcal{O}, \mathcal{B})$ になる。

(II) リボン表現 $(\mathcal{O}_1 \cup \mathcal{O}_2, \mathcal{B}_1 \cup \mathcal{B}_2 \cup \{b^3\})$ に対して $D_{1m_1}^3$ 上にあったバンド b^3 の付け根を、安定同値変形の一つ "band slide" move ([6]) を $m-1$ 回行うことによって D_{11}^3 まで動かす。更にそれに従って b^3 につながっている $(\mathcal{O}_2, \mathcal{B}_2)$ の部分を安定同値変形の一つ "basechange" move ([6]) で D_{11}^3 の十分近くまで動かす。これによって変形後の b^3 (これを $b^{3'}$ とかくことにする) が、 $\text{spun}(k_1)$ と $\text{spun}(k_2)$ の連結和を行うためのバンドであって D_{11}^3 と D_{21}^3 とを結ぶもの、とできる。更に、変形後の $(\mathcal{O}_2, \mathcal{B}_2)$ の部分が R^2 にたいして対称の位置にあるようにもできる。ところが、以上の变形により $(\mathcal{O}_2, \mathcal{B}_2)$ の部分は变形前と比べて R^2 に対して反転しているので、補題(2.1)の証明の前半の議論により $(\mathcal{O}_1 \cup \mathcal{O}_2, \mathcal{B}_1 \cup \mathcal{B}_2 \cup \{b^{3'}\})$ は $\text{spun}(k_2) \# \text{spun}(k_1)$ のリボン表現でもある。

(III) $\text{spun}(k_2) \# \text{spun}(k_1)$ のリボン表現 $(\mathcal{O}_1 \cup \mathcal{O}_2, \mathcal{B}_1 \cup \mathcal{B}_2 \cup \{b^{3'}\})$ に対して (I) の後半の議論と同様、一回の "trivial addition" move ([6]) で D_{21}^3 と $b^{3'}$ と D_{11}^3 とを一つのベースに変形すると $\text{spun}(k_2^* \# k_1)$ のリボン表現ができる。(証了)

$k = 3_1 \# 3_1$ 、 $1 = 3_1 \# 3_1^*$ とおくと Seifert[2] により k と 1 は同値でないのだから、定理により Marumoto[6] の Theorem4 で仮定されている条件は必要条件でないという次の結果がすぐに出る。

2.3系

ある同値でない二つの一次元結び目 k と l で次の条件を満たすものが存在する。 k と l 各々から十分小さな部分弧 α と β を各々任意にとったとき $k - \alpha$ に関連した $\text{spun}(k)$ のリボン表現と、 $l - \beta$ に関連した $\text{spun}(l)$ のリボン表現とは安定同値である。

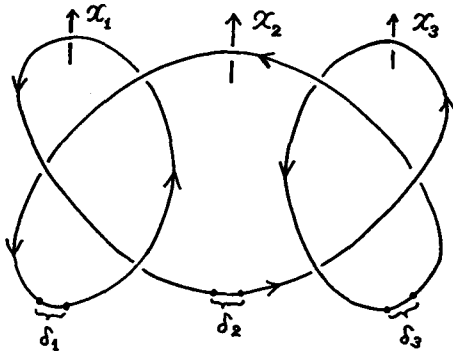
定理の証明(2.2)は $\text{spun}(k_1 \# k_2)$ のあるリボン表現と $\text{spun}(k_1 \# k_2^*)$ のあるリボン表現とが安定同値であることを示したのであるから、Gordon[4] の定理を示したことになる。即ち、定理の系として次を得る。

2.4系

任意二つの一次元結び目 k_1 と k_2 に対し、 $\text{spun}(k_1 \# k_2)$ と $\text{spun}(k_1 \# k_2^*)$ は同値である。

3. $\text{spun}(3_1 \# 3_1^*)$ のリボン表現

一次元リボン結び目 3_1 と 3_1^* との連結和を 1 とおく。 1 のダイアグラムおよび 1 上の十分小さな部分弧 $\delta_1, \delta_2, \delta_3$ を下図のようにとる。下図において x_1, x_2, x_3 は 1 の結び目群 $\pi_1(\mathbb{R}^3 - 1)$ のメリディアン生成元とする。



Marumoto[6] の Theorem4 により $1 - \delta_1, 1 - \delta_2, 1 - \delta_3$ に関連した $\text{spun}(1)$ の三つのリボン表現は互いに安定同値である。しかしながら具体的にそれらがどう実現されるかについては[6]の定理からは分からない。この節ではこれらの安定同値変形を行う具体的手順を示したい。

$1 - \delta_p (p=1,2,3)$ に関連した $\text{spun}(1)$ のリボン表現が次の群表示 G_p に関連したリボン表現 \mathcal{R}_p になることはすぐ分かる。

$$G_1 = [x_1, x_2, x_3 \mid x_1 x_2 x_1 x_3^{-1} x_2^{-1} x_3^{-1} x_2 x_3 x_1^{-1} x_2^{-1}, x_2 x_3 x_2 x_3^{-1} x_2^{-1} x_3^{-1}]$$

$$G_2 = [x_1, x_2, x_3 \mid x_1 x_2^{-1} x_1^{-1} x_2^{-1} x_1 x_2, x_2 x_3 x_2 x_3^{-1} x_2^{-1} x_3^{-1}]$$

$$G_3 = [x_1, x_2, x_3 \mid x_1 x_2^{-1} x_1^{-1} x_2^{-1} x_1 x_2, x_1 x_2 x_1 x_3^{-1} x_2^{-1} x_3^{-1} x_2 x_3 x_1^{-1} x_2^{-1}]$$

ここで \mathcal{R}_1 と \mathcal{R}_2 とが安定同値であることもすぐ分かる。一方、定理の証明(2.2)の議論により \mathcal{R}_2 と次の群表示 G_4 に関連した $\text{spun}(3_1 \# 3_1^*)$ のリボン表現 \mathcal{R}_4 とは安定同値である。

$$G_4 = [x_1, x_2, x_3 \mid x_1 x_2^{-1} x_1^{-1} x_2^{-1} x_1 x_2, x_2 x_3^{-1} x_2^{-1} x_3^{-1} x_2 x_3]$$

以下、 \mathcal{R}_3 と \mathcal{R}_4 とが安定同値であることを、リボン表現に関連する群表示を用いて、リボン表現の安定同値変形に対応する群表示の同型変形で示す。以下で \cong は群の同型を表す。

$$G_3 = [x_1, x_2, x_3, x_4 \mid x_1 x_2^{-1} x_1^{-1} x_2^{-1} x_1 x_2, x_1 x_2 x_1 x_3^{-1} x_4^{-1} x_3^{-1} x_4 x_3 x_1^{-1} x_2^{-1}]$$

$$\cong [x_1, x_2, x_3, x_4 \mid x_1 x_2^{-1} x_1^{-1} x_2^{-1} x_1 x_2, x_1 x_3^{-1} x_4^{-1} x_3^{-1} x_4 x_3, x_4 x_2 x_1 x_2^{-1} x_1^{-1} x_2^{-1}]$$

$$\cong [x_1, x_2, x_3, x_4 \mid x_1 x_2^{-1} x_1^{-1} x_2^{-1} x_1 x_2, x_1 x_3^{-1} x_2 x_1 x_2^{-1} x_1^{-1} x_2^{-1} x_3^{-1} x_2 x_1 x_2 x_1^{-1} x_2^{-1} x_3, x_4 x_2 x_1 x_2^{-1} x_1^{-1} x_2^{-1}]$$

$$\cong [x_1, x_2, x_3 \mid x_1 x_2^{-1} x_1^{-1} x_2^{-1} x_1 x_2, x_1 x_3^{-1} x_2 x_1 x_2^{-1} x_1^{-1} x_2^{-1} x_1 x_2 x_1^{-1} x_2^{-1} x_1^{-1}, x_3^{-1} x_1 x_2 x_1 x_2^{-1} x_1^{-1} x_1 x_2 x_1^{-1} x_2^{-1} x_3]$$

$$\cong [x_1, x_2, x_3 \mid x_1 x_2^{-1} x_1^{-1} x_2^{-1} x_1 x_2, x_1 x_3^{-1} x_1^{-1} x_3^{-1} x_1 x_3]$$

$$\cong G_4$$

最後の同型変形に対応するリボン表現の安定同値変形は定理の証明(2.2)の議論により保証される。

以上により次のことが示された。

3.1命題

$\text{spun}(3_1 \# 3_1^*)$ 従って $\text{spun}(3_1 \# 3_1)$ の四つのリボン表現 $\mathcal{R}_1, \mathcal{R}_2, \mathcal{R}_3$ 、及び \mathcal{R}_4 は互いに安定同値である。

謝 辞

本論文をまとめるにあたり様々な御教示を頂きました大阪産業大学の丸本嘉彦教授に深く感謝致します。

参考文献

- [1] Artin, E., Zur Isotopic zweidimensionaler Flächen im R_4 , Abh. Math. Sem. Univ. Hamburg 4(1925), 174-177.
- [2] Seifert, H., Verschlingungsinvarianten, S.-B. Press. Akad. Wiss. 26(1933), 811-823.
- [3] Rolfsen, D., Knots and Links, Math. Lecture Series 7, Publish and Perish Inc., Berkley, 1976.
- [4] Gordon, C. McA., A note on spun knots, Proc. Amer. Math. Soc. 58(1976), 361-362.
- [5] Nakanishi, Y., On ribbon knots, II, Kobe J. Math. 7(1990), 199-211.
- [6] Marumoto, Y., Stably equivalence of ribbon presentations, J. Knot Theory Ramifications, 1(1992), 241-251.
- [7] Marumoto, Y., On ribbon 2-knots of 1-fusion, Math. Sem. Notes Kobe Univ. 5(1977), 59-68.
- [8] Kawachi, A., A Survey of Knot Theory, Birkhäuser, Basel, 1996.
- [9] Andrews, J. J. ; Curtis, M. L., Knotted 2-spheres in the 4-sphere, Ann. of Math. 70(1959), 565-571.
- [10] Suzuki, S., Knotting problems of 2-sphere in 4-sphere, Math. Sem. Notes Kobe Univ. 4(1976), 241-371.
- [11] Kanenobu, T.; Marumoto, Y., Unknotting and fusion numbers of ribbon 2-knots, Osaka J. Math. 34(1997), 525-540.
- [12] Yajima, T., On a characterization of knot groups of some spheres in R^4 , Osaka J. Math. 6(1969), 435-446.

視 点 人 物 再 現

片山 悦男

Focalizing Character Reinvented

Etsuo KATAYAMA

Henry James creates his first focalizing character in Isabel Archer, the heroine of "The Portrait of a Lady". Almost all the story is told from her point of view, and James's literary technique of point of view reaches its first climax in her developing cognition. The development of her cognition is based on taste. Maisie Farange, the heroine of "What Maisie Knew," like Isabel, experiences the development of cognition and acquires taste. So we need must follow the course of Maisie's acquisition of taste to understand how she becomes a focalizing character reinvented.

序

Henry James の初期の傑作 "The Portrait of a Lady"¹⁾の主人公 Isabel Archer の中に、ジェイムズは最初の完全な視点人物を創造する。物語の殆どすべてがイザベルの目を通して語られ、イザベルの認識の深化の中にジェイムズの視点の技法は最初の極点に達する。そしてイザベルの認識の深化の元になるのが、感情と道徳意識、主観と客観を公平に判断できる「審美感覚」(taste)である²⁾。

この作品の主人公 Maisie Farange もイザベルと同じように物語の中で認識の深化を経験し、審美感覚を身につける。ただメイジーがイザベルと違う点は、イザベルが審美感覚を身につけた時点で物語が終わるのに対して、メイジーは審美感覚を身につけ最後には周りの人々を望ましい結末へと導くところにある。それではメイジーがどのようにして審美感覚を身につけるのか辿っていく必要がある。

1

Beale Farange と Ida Farange の離婚調停の結果、二人の家を半年毎に行き来して暮らすメイジーは、最初両親の悪口を意味も分からずに伝えているだけだが、数年後のある日メイジーの中に「精神的変革」(moral revolution)⁽¹⁵⁾³⁾が起こる。メイジーは自分の役割に気づいて身の危険を感じ、「自分を隠す」(an inner self)

(15)という考え方をもち、悪口の連絡係になるのをやめる。そして自分を隠すように教えたのは、メイジーの気まずい質問に言葉ではなくて目を回して答えた家庭教師の Miss Overmore である。オーバーモア先生が自分の考えを隠すことで自分の立場を守ったとメイジーは考え、好意を抱く。しかしこのオーバーモア先生は、メイジーが6か月後にアイダの家からビールの家に移ると、後からやって来て、家庭教師として受け入れられるが、実際にはビールとの同棲生活を始めてしまうような先生である。

そして、また6か月後にアイダがメイジーを引き取りにくる時、新しい家庭教師として Mrs. Wix という年配の女性が登場する。斜視で矯正眼鏡をかけ、通俗小説の話ばかりする、家庭教師としてはおよそ失格の先生だが、メイジーは彼女の中に世界の誰よりも安心感の持てる母親的存在を見いだす⁴⁾。しかし死んだ娘の Clara Matilda の話をよくするウィックス先生が夫の Mr. Wix については一言も触れないことや、娘の墓には連れて行くのに、夫の墓には一度も連れて行かないことから、ウィックス氏という人物は存在せず、クララ・マチルダも父親の知れない私生児であることが暗示される。このことは、ウィックス夫人を安心できる母親と考えるメイジーの見方が間違っていることを暗示すると同時に、この物語の中でウィックス夫人がメイジーの「相談相手」(confidante)⁵⁾の役割に留まらず、奔放な女性の側面を今後見せることも予示する。

更に6か月後にビールとオーバーモア先生がメイジーを迎えにくる。メイジーは自分がいない間の二人の関係

に興味を持ち彼らのやり取りを目を凝らして見るが、結局「両側に閉まった扉の並んだ長い廊下」(33-4)にいる気持ちになる。大人の問題が閉まった扉に喩えられ、その扉を開けてはいけないと思うメイジーは、大人の問題は詮索しない方がよいことを知る。すると大人は「不可知の存在」(the unknowable)(34)となり、そんな大人の中にいる自分が人形のLisetteと同じ立場になることがわかる。つまり、メイジーは不可知の側面を持つ大人の中にある自分の状況を客観的に認識できる視点を持つつつある。

2

ビールの家ではオーバーモア先生との愛人関係が絶頂期にあり、ビールのオーバーモア先生への過度の要求のため、彼女の家庭教師の仕事は疎かにされメイジーの教育は忘れられる。また6か月が過ぎてもアイダが迎えにこないことから、自分が両親の重荷になっていることをメイジーは心配する。この不安はメイジーの存在を揺るがす不安である。それ故メイジーは、彼女がいるからビールとの関係が礼儀正しい関係になっているというオーバーモア先生の説明を聞き、自分が彼らの関係を世間体のよいものにするという役割を果たしていることに「安心感」(sense of security)(39)を覚える。この後も自分が両親の重荷となり捨てられようとしていると認識できるメイジーは自分の存在に対する不安を持ち続け、それがメイジーの認識の深化の原因となる。

この後アイダは Sir Claude という若い貴族と結婚し、ビールはオーバーモア先生と結婚し、先生は Mrs. Beale となる。そしてメイジーの前に突然サー・クロードが現れる。この訪問には三つの疑問点が残る。まず、サー・クロードは訪問の目的をアイダの代わりにメイジーの様子を見に来たと述べているのに、9章でアイダがこの訪問について知らなかったことが明らかになる点である(67)。次に、この訪問の日にビールが不在であることをサー・クロードが知っている点である(60)。最後に、初対面のビール夫人に妻アイダが子供を欲しがらないことや夫婦間の不和や将来の破局までサー・クロードが口にする点である(61-2)。これらのことから、この訪問以前にサー・クロードとビール夫人は面識があり、しかも夫婦間の不和を話し合えるくらい親密な間柄にあったので、サー・クロードの所在がわかると、ビール夫人が夫の不在の日を連絡して訪問を促したのではないかと考えられる。

そしてサー・クロードとビール夫人が以前から親しい関係にあったとすると、彼らを引き合わせたのは自分で

と考えるメイジーの見方が間違っていることになる。その自分の間違いをメイジーは29章になって初めて認識する。

"I brought them[Sir Claude and Mrs.Beale] together" - Maisie was ready to reaffirm it. She felt none the less for a moment at the bottom of a hole;then she seemed to see a way out. "But I didn't bring mamma together - " She just faltered.(315)

「ママを(他の紳士と)引き合わせたのは自分ではない」と述べてメイジーは口ごもるが、そのことが認識できるメイジーは、「サー・クロードとビール夫人を引き合わせたのも自分ではない」ことも確かに認識している。この場面は手短かに語られてはいるが、メイジーが自分の過去の過ちに気づく認識の場面でもある。そして、メイジーは初対面のサー・クロードを、自分の不遇な境遇をすべて埋め合わせてくれる男性と空想して夢中になり、彼と共にアイダの下へ帰る。

3

しかし、家に帰って来たメイジーにアイダは三日間会おうとしない。再婚したアイダには前夫との間にできたメイジーが邪魔になりつつある。そのようなアイダの態度も原因して、メイジーはサー・クロードの求めに応じてビール邸での彼とビール夫人の会話の内容について、「愚鈍」(stupidity)(69)を装って何も話さない。そのように自分から気持ちの離間しているメイジーに対して、アイダは母親としての義務を放棄し、メイジーの世話をサー・クロードに任せたと断言する(87)。そしてアイダが「冷たくて、ねばねばした魚」(89)みたいだと評して、ほうり出したメイジーを受け取るウィックス夫人は、サー・クロードと「素早く奇妙な視線」(89)を交わす。この視線はアイダがメイジーを見捨てるように、ウィックス夫人とサー・クロードが画策していることを暗示する。

メイジーがビール邸での出来事をアイダに話さなかったことで、サー・クロードはメイジーを 'an awfully good "chap" '(76)と呼び、外出する度にメイジーやウィックス夫人に様々な贈り物を買ってきて、ウィックス夫人には5ポンド紙幣まで渡す。メイジーへの贈り物はアイダに告げ口しなかったことに対するお礼であり、ウィックス夫人への贈り物はビール夫人との密会についてアイダに告げ口しないように求める賄賂である。サー・クロードの贈り物がそういう性質のものであることをメイジーは知らないが、ウィックス夫人は知っている。しかしウィッ

クス夫人はメイジーもサー・クロードの贈り物の意図がわかっていると考え、メイジーに向かって次のように述べる。"It isn't as if you didn't already know everything, is it love?"..."I can't make you any worse than you are, can I, darling?"(73) つまりメイジーは贈り物の意図に気づいていながら、アイーダに愚鈍を装って何も教えなかった悪い娘とウィックス夫人は考え、そのことをアイーダにも知らせている。アイーダがメイジーを冷たい魚と評してほうり出すのは、メイジーがそのような悪い娘に成長したとウィックス夫人から聞かされ、メイジーを「耐えられない重荷」(intolerable burden)(110)と感じているからであろう。

一方自分のことを「家庭的な男」(a family man)(61)と呼ぶサー・クロードはウィックス夫人やメイジーを自分の家族のように扱い、特にウィックス夫人とは彼の問題を夜遅くまで話し合うようになり、結局男女の関係を結ぶことになる。そのことはサー・クロードとウィックス夫人の関係が雇い主と家庭教師の関係から「彼」と「彼女」の関係になったことを、作者ジェイムズが揶揄する次の引用文からもわかる。

The life she wanted him to take right hold of was the public:"she" being, I hastened to add, in this connection, not the mistress of his fate, but only Mrs Wix herself.(97)

そして12章ではサー・クロードとウィックス夫人の不倫に気づいたアイーダからウィックス夫人は解雇通告を受ける(100)。そこでウィックス夫人はメイジーと共にアイーダの家を出て別に家を構える旨を伝え、サー・クロードにも同行を求める。

"What I want to speak of is what you'll get - don't you see? - from such an opportunity to take hold. Take hold of us[Mrs Wix and Maisie]- take hold of her[Maisie]. Make her your duty- make her your life:she'll repay you a thousandfold!"(106)

この台詞から、ウィックス夫人がメイジーの遺産に気づいていて、サー・クロードと結婚するためにその遺産を利用しようとしていることがわかる。このウィックス夫人の要求をサー・クロードは丁重に断るが、メイジーには「僕はどんなことがあっても君を見捨てないよ」(107)と述べて、ウィックス夫人とは別の思惑があることを暗示する。しかしメイジーは大人達の思惑がどんなものかわからないまま、「傍観者の意識」(sense of spectatorship)(107)を持って見ているだけである。

それでも退去勧告を受け食事を出されないままアイーダの家に居座り続けるウィックス夫人を心配していると

メイジーが打ち明けると、サー・クロードは次のように答える。

"Don't be afraid, my dear: I've squared her [Ida]. ... "I mean that your mother lets me do what I want so long as I let her do what she wants."(113)

要するに、ウィックス夫人との不倫をアイーダに気づかれたサー・クロードは、アイーダにも他の男性との不倫を黙認する取引をしたのだ。更に14章ではサー・クロードとビール夫人とメイジーが次のようなやり取りを交わす。

"Besides, you know, I've squared him[Beale]."

"Oh Lord!" Sir Claude cried with a louder laugh and turning again to the window.

"I know how!" Maisie was prompt to proclaim. "By letting him do what he wants on condition that he lets you also do it."

"You're too delicious, my own pet!" she was involved in another hug.(128)

ビール夫人もビールとの間で互いの不倫を黙認する取引をしている。アイーダとサー・クロード、ビールとビール夫人、これら二組の夫婦はお互いの不倫を黙認することで、夫婦関係が成り立っている夫婦と言える。

それにも拘わらず、15章でサー・クロードとメイジーがケンジントン公園でアイーダとある Captain の不倫現場に遭遇する時、また、18章でビール夫人とメイジーが伯爵邸での博覧会でビールと Countess の不倫現場に遭遇する時、サー・クロードもビール夫人もお互いの不倫を黙認する夫婦間の掟を守って、メイジーをそこから連れ去ることなく、逆に、メイジーを連れて不倫をしているアイーダやビールと対決しようとする。夫婦間の掟を破る時、サー・クロードやビール夫人には夫婦関係を維持する気持ちがなくなっているし、また、各々の対決の現場にメイジーを同行したことは、メイジーに対して何らかの思惑が彼らにあることを暗示する。その思惑は15章のサー・クロードの台詞に微かに現れる。

"[Maisie is] Mine. You've given her up. You've not another word to say about her. I have her from her father," said Sir Claude - ...(144)

また14章でサー・クロードはビール夫人に "It's dear, Mrs Wix's idea. There may be something in it." (128)と述べる。ウィックス夫人の考え方とは、ウィックス夫人がメイジーの遺産を利用してサー・クロードと結婚しようとしたことだが、サー・クロードはその考えを横取りして、無一文のビール夫人との結婚にメイジーの遺産を利用するために、ビールからメイジーの親権を

既に得ていることを、この場面でアイダに示唆したのだ。そしてサー・クロードとビール夫人がメイジーを養育することが「唯一礼儀正しいこと」(the only decency) (129)を証明するために、アイダとビールの不倫現場を直接メイジーに見せ、彼らがメイジーの養育に適していないことを納得させようとする。

4

ただ21章で作者がメイジーを「四人組の策略の対象」(the subject of the manoeuvres of a quartette)(198)と呼んでいることから、メイジーはサー・クロードとビール夫人だけでなくビールやアイダの企みの対象でもあることがわかる。サー・クロードとビール夫人の企みが彼らによるメイジーの養育を正当化する企みであるとすると、ビールとアイダの企みは親が子供を捨てることを正当化する企みであるはずだ。サー・クロードは既にメイジーの親権をビールから得ているが、そのためにはビールはメイジーとの親子の縁を切らなければならない。サー・クロードの手紙による指示でビール夫人がメイジーを伯爵邸の博覧会に連れて行き、その会場でビールと伯爵夫人の不倫現場に遭遇し、ビールとビール夫人の口論の後、ビールがメイジーを連れて伯爵夫人の邸宅に向かい、そこでビールとメイジーが親子の別れをする一連の行動は、メイジーの親権譲渡で既に交渉のあるビールとサー・クロードが共謀して企んだものと考えられる。

しかし、ビールの不倫現場を見せることでサー・クロードがメイジーを養育することが正当化されるとしても、ビールがメイジーを捨てることはどのようにして正当化されるのだろうか。ビールは最初伯爵夫人のアメリカの会社を視察するためにアメリカへ行く話をするが、やがて伯爵夫人が戻って来てベルギーの温泉地Spaへ行く話をしたため、ビールの話が嘘とわかる。またアメリカへ行けば二度と会えないと述べて親子の別れを示唆するビールに対して、メイジーが "Then I can't give you up." (192)と述べているにも拘わらず、ビールは伯爵夫人にメイジーが彼らとは関係を持ちたくないと言っていると述べて嘘をつく。メイジーの前で父親の嘘が次々に明らかになると、メイジーはこんな場所からは逃げ出したいと思う。それはメイジーが自分からビールとの親子の縁を切ることを意味し、それこそ正にビールが望んでいることだとメイジーにもわかる。

Then she understood as well as if he had spoken it that what he wanted, hang it, was that she should let him off with all the honours - with all the appearance of virtue and sacrifice

on his side.(187)

これらのことから、伯爵夫人の邸宅にメイジーを連れて来たビールの目的が、メイジーを捨てることを正当化するために、メイジーの方からビールを捨てるように仕向けることだとわかる。

一方、アイダもビールと同じようにメイジーの方からアイダを捨てるように仕向けることで、母が娘を捨てることを正当化しようとする。伯爵夫人邸でビールと別れた五日後にサー・クロードがメイジーの家に現れ、メイジーをドーバー海峡に近い Folkestone のホテルに連れ去る。この行為は実父母から見捨てられようとしているメイジーのためを思ったサー・クロードの犠牲的行為と語られるが、実際には、そのホテルに現れたアイダとメイジーの別れの場面を作り出すためにサー・クロードとウィックス夫人とアイダが共謀して図った行為である。その別れの場面でアイダは転地療養のために南アフリカへ行く話をする一方で、メイジーが彼女を見捨てようとしていると言う。 "You must take your chance - you can't ask me questions if you're so ready to give me up." (219) つまりメイジーがサー・クロードの誘いに乗ってフランスへ渡ることをアイダは母親の自分を見捨てる行為と考え、そのことを彼女が娘メイジーを捨てることを正当化する根拠にしている。この場面の最後でアイダは以前の恋人の大尉についてのメイジーの失言に急に腹を立てて、 "You're a dreadful dismal deplorable little thing," (225) という捨て台詞を残してメイジーを捨てて去っていく。親子の最後の別れの場面であるにも拘わらず、母が娘の行く末を思いやる言葉もかけず、娘の他愛もない失言に腹を立てて憎悪の言葉だけを浴びせて立ち去るという行為は、アイダとサー・クロードの間の何らかの合意の上での行為と考えなければ、大人としては余りにも常軌を逸している。そしてその合意とは、サー・クロードがメイジーをフランスへ連れ出すことを条件にしたアイダの離婚への同意とメイジーの親権のサー・クロードへの譲渡であろう。実の母親が娘を捨てて立ち去った後、その母親から娘の親権を譲り受けたサー・クロードがホテルの玄関から出てきてメイジーを捜す場面は象徴的である。その時サー・クロードがメイジーに、 "Oh you know, we are going to have a system!" (229) と述べたことは、新たにメイジーの親権を得て義理の父から本当の父親になったという意識をサー・クロードが持っていることを暗示する。またサー・クロードが、 "I'm free - I'm free." (229) (230) と二度繰り返すことは、アイダとの離婚が成立したことを暗示する。これらの台詞も前述したような合意が二人の間にあったことを強く示唆する。

そして、このアイダとの別れが母との最後の別れになるという意識をメイジーも持っている。ただメイジーはアイダに有利になるよう行動しこの場面をうまく終わらせたいとしか思っていないことから、メイジーの心の中では既にアイダとの親子の縁が切れている。また、19章のビールとの別れの場面でサー・クロードとビール夫人の世話になる話を自分で決めてきたのかとビールが尋ねると、メイジーは「それで、だとしたらどうだというの」"Well, what if I have ?"(189)と答える。更に17章では彼女を初めて学校に入れてくれ、勉強について配慮してくれるサー・クロードとビール夫人に対して、「少なくとも二人の人間にとって自分は大変な人間なのだという今までになく幸せな気持ち」(163)をメイジーは持つ。すると、"Well, what if I have ?"という台詞は、自分を見捨てようとしている両親よりも、上辺だけでも彼女を愛してくれる義父母の世話になって生きていこうとするメイジーの意志を表す台詞となる。そして、両親から見捨てられたとわかるメイジーが「サー・クロードと共に船出したのだという気持ち」(her sense of being launched with Sir Claude)(221)を持つ時、自分には帰る親の家もなくサー・クロードの世話になって一人で生きていく他はないことが彼女にはわかっている。また、一人で生きていく他はないという意識を持っているからこそ、メイジーはサー・クロードと初めて訪れた外国のBoulogneで目に触れる物すべてに感動し、世界を見ることが自分の「使命」(vocation)(231)と思い、「時間が始まって以来、一時間でそれほどの冒険や経験ができた者は一人もないようだった」(232)という感想が持てる。この性急さや切実さは、親に見捨てられ一人で生きていく他はないと意識する少女の性急さであり切実さである。

5

しかしメイジーの初めての外国旅行も結局はサー・クロードがメイジーをフランスに連れ出すことを条件にした離婚交渉と親権譲渡交渉の一部なので、ロンドンでこれらの交渉を行っているウィックス夫人がフランスへ渡ってきた時点で終わる運命にある。どのくらいフランスに滞在するのか尋ねるメイジーにサー・クロードが、"We shall stay till she [Mrs Wix] arrives."(235)と答えたことがそれを暗示する。また南アフリカに行っているはずのアイダがロンドンでウィックス夫人と会っているというサー・クロードの話を聞いて、メイジーはウィックス夫人が何をしているのか尋ねるが、サー・クロードは、"Oh, you know!"(236)と言うだけで答えな

い。メイジーも対等に扱われた嬉しさから、ついいうっかり、"Yes, I know!"(236)と答えるが、実際には何も知らない。しかし、このやり取りから、今回の突然の外国旅行がウィックス夫人を中心に計画されたことをメイジーははっきり認識する。メイジーの認識力は物語の背後にある真実を少しずつ捉えつつある。

ただサー・クロードが今回の旅行にメイジーを連れ出しにきた時、彼女の心を過ったのは別の直観である。19章の別れの場面でサー・クロードやビール夫人の世話になって生きていこうとするメイジーに対して、ビールは、彼らが互いの配偶者から自由になり、企みの口実としてのメイジーの必要がなくなれば、「彼らは君を町の通りに捨てるだけだろう」(191)と忠告する。20章でサー・クロードが迎えに来た時、メイジーは最初自分が町の通りに捨てられるという直観を持つ。両親に見捨てられたメイジーにとって、サー・クロードやビール夫人からも見捨てられるという直観は彼女の存在を揺るがす不安となる。そして自分の生存に対するメイジーの危機意識が、同じように危機的状況に立つウィックス夫人に対する同情を生み出す。メイジーとウィックス夫人を結び付けるのは、彼女達が同じように直面する自分の生存に対する危機意識である。それではウィックス夫人はどのようにして危機的状況に立ち至るのか。

ロンドンでアイダとの交渉を終えて、ウィックス夫人はブローニュに渡航してくるが、アイダは離婚に条件の一つ付ける。サー・クロードとウィックス夫人の再婚である。そして再婚相手としてアイダからお墨付きを貰ったことで、彼と既に関係のあるウィックス夫人はサー・クロードに結婚を迫る。しかし再婚相手をビール夫人と決めているサー・クロードはウィックス夫人に新しい服や靴の贈り物をして感謝の気持ちを表すものの、あくまでメイジーの家庭教師として扱おうとする。この後ウィックス夫人とサー・クロードは再婚を巡って駆け引きを見せるが、結局サー・クロードはビールから離縁状を送られ困っているビール夫人の待つロンドンに向かう。その際にサー・クロードが手持ちの金を全部ウィックス夫人に渡しホテルから最高の待遇と贅沢を受けられるように手配して出かけたことから、ウィックス夫人との関係を金で清算しようとしていることがわかる。しかし、無一文のウィックス夫人にとってサー・クロードとの結婚は将来の生活の保障でもあるので、その求婚が断られると彼女は将来の生活の保障がなくなり危機的状況に追い込まれる。

そこでウィックス夫人はメイジーの家庭教師兼母親代わりとして、メイジーの遺産を元にして二人で生きていこうと決意する。そのようなウィックス夫人の危機的状

況がよくわからないので、メイジーは彼女にサー・クロードやビール夫人と同居するように求める。しかしウィックス夫人が躊躇うのでメイジーが一人で彼らと同居しようとすると、ウィックス夫人はメイジーに見捨てられたかと思いきや "You give me up? You break with me forever? You turn me into the street?" (273) と述べる。それに対してメイジーは、"Those, it seems to me, are the things you do to me." (273) と答える。ウィックス夫人の台詞は彼女の危機的状況とその状況を回避するためにメイジーを頼っていることを暗示し、一方メイジーの台詞は彼女を危機的状況に陥れたのはウィックス夫人だという認識をメイジーが持っていることを暗示する。最後にウィックス夫人はメイジーを「浮浪児」(waif) (277) 呼ばわりするが、メイジーが両親に捨てられ浮浪児のような状況にあることを、そのように画策したウィックス夫人は当然知っている。ここでもメイジーはウィックス夫人の実像に迫る認識力を見せる。

6

サー・クロードとの関係から彼やビール夫人とどうしても同居できないウィックス夫人は、メイジーと彼らの同居を防ぐためにメイジーの「道徳心」(moral sense) (279) を問題にする⁶⁾。メイジーがサー・クロードに密かに恋していることに気づいているウィックス夫人は、サー・クロードとビール夫人が結婚すればメイジーもウィックス夫人同様サー・クロードの愛人になると考え、四人の同居を「四つの不道徳」(four improprieties) (271) と非難してメイジーの道徳心を問題にし、彼らとの同居をやめさせようとする。しかし、ウィックス夫人にとっては生計を立てるための方便とも言える道徳心の問題が、メイジーにとっては大きな問題となり、彼女の精神的成長を促す一つの契機となる。ウィックス夫人から「あなたには本当に道徳心はないの」(279) と聞かれ、メイジーは最初何を言っているのかわからない振りをするが、逆にそのことで道徳心に欠ける少女になってしまう。自分が道徳心に欠ける人間である意識するメイジーにはウィックス夫人は崇高な高みにいるように見え、道徳心を学ぶことは全てを知ることのように思える。

It came to her in fact as they sat there on the sand that she was distinctly on the road to know Everything. (281)

しかしその後メイジーは全てを知ることにはできず、それとは正反対のことを認識する。

...Maisie sank deeper into the vision that for her friend [Mrs Wix] she was, at the most,

superficial, and that also, positively, she was the more so the more she tried to appear complete. Was the sum of all knowledge only to know how little in this presence [i.e. Mrs Wix] one would ever reach it? (287-8)

ウィックス夫人にとって自分は思慮の浅い人間に過ぎず、完全な人間のように見せかければ見せかけるほどウィックス夫人にはますます思慮の浅い人間に見えるという認識の持てるメイジーは、ウィックス夫人という他人の視点に立って自分を見ている。また、ウィックス夫人を通して全てを知ることにはできないという認識、つまりウィックス夫人は自分に認識できない部分を持つ絶対他者であるという認識もメイジーは持っている。要するに、自分に関する主観的事実を客観的に見ることができず、客観的事実を客観的事実として認識できる平衡感覚のある視点をメイジーは持ち始めている。このような視点をジェイムズは「審美感覚」(taste) と呼び、『肖像』では主人公イザベルが結婚の挫折を味わった後初めて身につける。イザベルが審美感覚を身につけると、それまで彼女を絶対的に支配していた道徳が感情と同じ地平に下り、彼女の言動は道徳だけでなく感情にも支配されるようになる。同じようにメイジーも審美感覚を身につけると、道徳が感情と同じ地平に下り、その言動は道徳と感情の両方に支配される。例えば、自分に道徳心が欠けていることを心配するメイジーは、感情的に振る舞うことで道徳心を示そうとする。「ビール夫人を嫉妬しようと思ったことは一度もないの」(287) とウィックス夫人から聞かれ、メイジーは嫉妬したことなど一度もないのに、「何度もある」(287) と答える。そしてビール夫人がサー・クロードに不親切にすれば彼女を殺すとメイジーは答える。

"If I thought she was unkind to him - I don't know what I should do!" ... "I'd kill her!"

That at least, she hoped as she looked away, would guarantee her moral sense. (288)

ビール夫人を殺すという嫉妬つまり感情を表す台詞が道徳心を実証することを、メイジーは願っている。その一言でメイジーの道徳心に対する疑念が解けて、ウィックス夫人はメイジーに道徳心を認め二人はしっかりと手を握る。つまり、嫉妬という感情で道徳心を示そうとしたメイジーの狙いは的中したのだ。この時のメイジーには感情と道徳を公平に判断できる審美感覚が確かに伺える。そして、今度はその審美感覚が試される。メイジーに対する疑念が解けたウィックス夫人がメイジーに心を許し、"I adore him. I adore him." (289) と告白すると、メイジーは最初 "So do I." (289) と発言しようと思うが、それは彼女の道徳心を否定する発言になるので、"Oh, I

know!"(289)とだけ答える。つまりメイジーはウィックス夫人のサー・クロードに対する愛情を客観的事実として認める発言をすることで、彼女の道徳心を実証している。ただ、実際にはメイジーもサー・クロードを愛しているので、"Oh, I know!"という発言はメイジー自身のその主観的事実とウィックス夫人も彼を愛しているという客観的事実を公平にながめ、ウィックス夫人に対して自分の道徳心を強く印象づけるために、主観的事実を無視して客観的事実を客観的事実として認めた発言と言える。前の場面で「ビール夫人を殺すだろう」と感情的な発言をすることで自分の道徳心を実証したメイジーが、この場面では「私もサー・クロードが大好きなの」という感情的な発言を止めることで自分の道徳心を印象づけようとするところから、前の場面でもこの場面でもメイジーが感情だけに支配されて行動しているわけではないことがわかる。これらのことから、この時のメイジーには主観的事実と客観的事実、道徳と感情を公平に眺め平衡感覚を持って判断できる審美感覚が確かに身についている⁷⁾。

7

そして、この物語の最後ではサー・クロードに対するメイジーの愛情がどのような展開と結末を見せるのかが描かれる。まずビール夫人がメイジーのいるフランスのホテルに現れ、荷物をサー・クロードの部屋に運び入れウィックス夫人に対して、"Dear lady, please attend to my daughter."(296)と呼びかける。これらの行動から、ビール夫人とサー・クロードが結婚すること、メイジーが彼らの養女になること、そして彼らがウィックス夫人を家庭教師として雇うことがわかる。一方サー・クロードに求婚していたウィックス夫人には、ビール夫人が一人でホテルに現れたことが彼女の求婚に対するサー・クロードの答えとわかるので、力が抜けたように茫然としている。しかし、メイジーもサー・クロードを密かに愛しているので、彼とビール夫人の結婚をどうしても直視できない。ビール夫人が一人でホテルに現れたのだから、サー・クロードと喧嘩別れして、メイジーやウィックス夫人と同居するためにフランスに来たとメイジーは考えようとする。ジェームズの作品に数多く登場する結婚適齢期の女性はある男性に対する結婚願望のために、自分の考えを投影した自己中心的な主観的事実しか見えなくなる。この時メイジーは12才であるが、サー・クロードに結婚願望を持ちつつあり⁸⁾、28章の最後の場面ではその結婚願望が端的に現れる。同居を求めるビール夫人の提案を受け入れるのかどうかメイジーが尋ねると、ウィッ

クス夫人から逆に「あなたが受け入れるかどうか知りたいわ」と聞き返され、メイジーは、"Not for a moment."(309)と答え、その後次のように会話は続く。

"Not the two now?" Mrs Wix had caught on; she flushed with it. "Only him alone?" "Him alone or nobody."(309)

ウィックス夫人が顔を赤らめて気づくのは、サー・クロードに対するメイジーの結婚願望である。

しかしサー・クロードがホテルに戻ってきて状況が一変する。朝メイジーに彼の到着を告げるウィックス夫人の様子はどこか寂しげで話す声も弱々しい。到着した夜サー・クロードはビール夫人と一夜を過ごす、そのことは結婚相手としてビール夫人を選択したことを意味し、ウィックス夫人は捨てられた愛人という立場になる。朝ウィックス夫人の様子が寂しげだったのは、彼女がこのことを承知しているからに他ならない。"The situation's too monstrous!"(317)というウィックス夫人の言葉が彼女の気持ちを代弁している。そのような状況にあるウィックス夫人からサー・クロードの到着を告げられると、メイジーはすぐに一人で彼の部屋に行く。サー・クロードとビール夫人のどちらがメイジーやウィックス夫人と同居するのか確かめるためである。部屋に入ってビール夫人の所在を尋ねるメイジーに、サー・クロードは「ビール夫人には会っていない」と答えるが、メイジーは「彼が本当のことを言っていないという確信」(320)を持つ。この後二人は散歩に出るが、その散歩から帰ってきた時、サー・クロードが会っていないはずのビール夫人と再会の喜びも見せずに親しげに話し始めたことで、サー・クロードが嘘をついていたことがメイジーにもわかる。そのことはサー・クロードがメイジーよりもビール夫人の方を大事に思っていることを意味する。また散歩に出かける時にホテルの女主人がサー・クロードに「奥様の朝食はどうかございますか」"Et pour Madame?"(323)とこっそり尋ねることから、彼とビール夫人がホテルの人々からは既に夫婦の扱いを受けていることがわかる。

サー・クロードとメイジーは散歩の前に港の近くの喫茶店で朝食をとる。この時サー・クロードはウィックス夫人と別れて彼やビール夫人と同居するようにメイジーに求める。男女の関係を持ちアイダとの離婚交渉までウィックス夫人にしてもらったサー・クロードには、彼女の視点に立てば彼女の求婚がそれなりに正しいことはわかる(334)。ウィックス夫人にしがみつかれて「こんなに困ったことはない」(335)とメイジーに告白するサー・クロードが一番恐れるのは、自分が"a beastly cad"⁹⁾(334)になることである。自分からウィックス夫人を捨

てで、'a beastly cad'と呼ばれることを恐れるサー・クロードは、メイジーにウィックス夫人と別れさせ、ウィックス夫人に自分から身を引かせようとする。

サー・クロードの提案を聞いて、メイジーは "If I part with her, where will she go?" (336) と尋ねる。ロンドンに戻るだろうが何をするかは知らないというサー・クロードの返事を聞いてメイジーの心に浮かぶのは、高台の城壁の傍の古びたベンチに座る老女と少女の姿である。サー・クロードに捨てられ無一文のまま町の通りに放り出されようとしているウィックス夫人に対する本当の意味の道徳心がメイジーの中に生まれている¹⁰⁾。

しかし、メイジーは道徳的であるからといって、道徳を絶対視する道徳至上主義者ではない。サー・クロードが "Would you only with those two [Mrs Wix and Mrs Beale], stay on without me?" (337) と尋ねると、メイジーが "Without you? Never," (338) と答えることからそれはわかる。そして、メイジーは急に自分が怖くなるが、サー・クロードを見つめる彼女の目にはサー・クロードが驚くほどの情熱が込められている。メイジーは道徳心を忘れ、サー・クロードに対する感情の趣くままに行動しようとする自分を恐れている。この後二人は散歩に出かけるが、その中でメイジーは結婚願望による egotism の影響でサー・クロードの言動を自分の都合のよいように歪めて考える。サー・クロードの視線と一緒にパリに行こうと誘う意図を読み取ったり、サー・クロードと二人きりで南フランスで暮らす様子を想像するのがそのよい例である。そしてメイジーは三度間接的にサー・クロードに求婚する。最初は、駅に停車しているパリ行きの列車を見て、パリに連れて行くように頼む時である。二度目は、その列車が出た後、ウィックス夫人と別れる決心をしたのか尋ねるサー・クロードに、 "If you'll give up Mrs Beale." (346) と答える時である。そして、三度目は、散歩から帰りホテルの玄関の広間でWの印の付いた古びた箱を見てウィックス夫人がホテルから出ていくとわかった時、帰りの遅いサー・クロードとメイジーを諦めて、ビール夫人とウィックス夫人がホテルから立ち去るまで外に出て待ちましようとするサー・クロードを誘う時である。しかし、どの間接的求婚に対しても、サー・クロードは全てその行動でNOの意をメイジーに伝えている。

そして、二人がホテルの部屋に帰った後、ビール夫人の話から、前日四人の同居に同意していたウィックス夫人が、今日になってサー・クロードとメイジーが余りに長い間散歩に出ていることを理由にホテルから出ていくと言い出したことがわかる。ウィックス夫人が同意を翻した理由は、サー・クロードとメイジーが長い散歩の間

に性的関係を持ったと推測し、それを嫌ったためである。この後ウィックス夫人は部屋に入って来て、メイジーをイギリスに連れて帰ろうとする。メイジーは最初サー・クロードに助けを求めるが、サー・クロードは一マイルも向こうに遠ざかったようなよそよそしい態度をメイジーに見せる。サー・クロードは気持ちの上で既にメイジーを見捨てている。彼にとってはビール夫人との結婚を前にして、ウィックス夫人との愛人関係を清算する方が大事である。そして一文無しのウィックス夫人と別れるためには、遺産のあるメイジーと一緒にイギリスに帰す他はないとサー・クロードはこの時点で既に決めている。

それでも、メイジーはサー・クロードに対する結婚願望を持ち続け、一緒に来てくれるように求める。

"Will you come? Won't you?" she inquired as if she had not already seen that she should have to give him up. It was the last flare of her dream. By this time she was afraid of nothing. (352)

これがメイジーの最後の間接的求婚であるが、ここでもサー・クロードはそれに答える言葉を一言も発しないことでNOの意を伝える。また「まるで彼を諦めなければならないことが、まだわかっていないかのように彼女は尋ねた」という上記引用文から、この時点で既にメイジーもサー・クロードを諦めなければならないことがわかっている。しかし、この後もメイジーは "I love Sir Claude - I love him," (359) と告白し、ビール夫人に "Will you give him up?" (359) (361) と要求し続ける。サー・クロードを諦めなければならないことがわかっているメイジーのこうした行動には、彼との結婚という本来の目的とは別の目的が隠されている¹¹⁾。

サー・クロードとメイジーが散歩の間に関係を結んだと推測するウィックス夫人から話を聞き、二人の関係を疑うビール夫人が "Where the mischief have you been?" (350) とサー・クロードを厳しく問い詰めると、メイジーが代わって "We've been everywhere." (350) と答える。また、ウィックス夫人から "Have you lost it [moral sense] again?" (353) と尋ねられると、メイジーは "I feel as if I had lost everything." (353) と答える。その台詞を聞いて、ウィックス夫人はサー・クロードに、 "You've nipped it [moral sense] in the bud. You've killed it when it had begun to live." (354) と述べる。メイジーの台詞はサー・クロードと関係を持って純潔を失ったことを暗示し、ウィックス夫人の最後の台詞は表向きはメイジーの道徳心を扱ってはいるが、実際にはメイジーの純潔を奪ったことでサー・クロードを非難するものだ。そしてビール夫人やウィックス夫人の

考えに沿った受け答えをメイジーがしているということは、彼女とサー・クロードが散歩の際に関係を持ったとビール夫人とウィックス夫人が考えていることをメイジーが知っていることを意味する。つまり、メイジーはサー・クロードとの結婚という自分の夢が叶わないことがわかっていながら、ウィックス夫人やビール夫人が彼女について想像する役回り、即ちサー・クロードと関係を持ちしつこく結婚を迫る義理の娘という役回りを最後まで演じているのだ。そして、この役回りを演じ続けた場合の他の登場人物の影響を考えると、メイジーの秘めた目的が見えてくる。

ウィックス夫人から見れば、メイジーがそのような行動をとり続けることはメイジーとサー・クロードが関係を持ったと考える彼女の推測を裏付ける証拠となり、メイジーは道徳心を失った墮落した少女に見える。しかし、そのことは逆に、サー・クロードに求婚を断られメイジーの遺産に頼って二人で暮らそうとするウィックス夫人の考えを正当化することになる。墮落した少女メイジーに、再び道徳心を教えるという大義名分が立つからである。ただ、ウィックス夫人には、不道德な娘役を演じ続けるメイジーの秘めた意図が最後までわからない。最後の場面でイギリスへ向かう船に乗り込んだウィックス夫人とメイジーは、ホテルのバルコニーにサー・クロードがいたかどうか話し合う。振り返って見たメイジーが彼はいなかったと言うと、ウィックス夫人は、"He went to her [Mrs Beale]," (363) と答え、それに対してメイジーが、"Oh I know!" (363) と答えると、ウィックス夫人はメイジーが何を知らんだらうと考え込む。メイジーはサー・クロードとビール夫人が二人になって何をするのか自分の経験から知っていると暗示し、ウィックス夫人が想像する不道德な娘の役を最後まで演じているのだが、ウィックス夫人にはそのことが最後までわからない。しかし、メイジーがウィックス夫人とイギリスに帰り、二人で暮らすことで彼女の生活費を出し、彼女の生存を保証するという事実は変わらない。

一方、ビール夫人にとってサー・クロードと関係を持ち彼を諦めるように求め続けるメイジーは、本来的には "abominable little horror" (359) だが、ウィックス夫人がメイジーを連れて帰ろうとすると、"Come away from me, Maisie?" (352) と「狼狽と非難のこもった叫び声」を上げメイジーに対する敵意のないことを示す。このビール夫人の二律背反的な言動は、メイジーを娘として引き取り一緒に暮らし始めた場合、ビール夫人の生活費をメイジーの遺産から出すことを、ビール夫人自身がよくわかっているからである。自分の生活費を出すメイジーの言動を、ビール夫人は厳しく批判することがで

きない。ビール夫人は法律上自分がメイジーの母親であると言い、母として娘を説得するが、メイジーはサー・クロードを諦めるように最後まで求め続ける。それでもメイジーの去就に自分の生活がかかっているビール夫人が、どうしてもメイジーを手放さないで、最後にサー・クロードがメイジーとウィックス夫人を証人としてビール夫人を見捨てないこと、つまり、ビール夫人の生活費を彼が出すことを誓約して、漸くビール夫人はメイジーを手放す。しかし、不道德な娘役を演じ続けるメイジーの真の意図が最後までビール夫人にもわからないことは、彼女がメイジーに述べる最後の台詞 "I don't know what to make of you!" (362) からわかる。

最後に、サー・クロードはウィックス夫人やビール夫人と違って散歩の際にメイジーと関係を持っていないことがわかるので、メイジーの言動に隠れた意図があることもわかる。ウィックス夫人と別れるように求めるサー・クロードの提案に対してメイジーが「あなたがビール夫人を諦めれば、私はウィックス夫人と別れます」(346) と逆提案したことを、サー・クロードが「唯一適切な条件」(356) と評したことからもそれはわかる。ビール夫人との結婚を控えたサー・クロードが一番恐れるのは、ウィックス夫人がビール夫人の目の前で彼との関係を暴露し修羅場を繰り広げることである。そんな修羅場を招くよりもメイジーをウィックス夫人と共に帰す方が良くとサー・クロードは思っているので、彼の意に反してメイジーがウィックス夫人と別れるのを拒んだことを有頂天になって発表する(355)。更に、ウィックス夫人との修羅場を避けるために、サー・クロードはメイジーとウィックス夫人が二人で暮らす際の生活費となるメイジーの遺産を、それを盗んだビールから取り返すと約束する。

"You needn't do that," she [Mrs Wix] heard him say. "She has means."

"Means - Maisie?" Mrs Beale shrieked. "Means that her vile father has stolen!"

"I'll get them back - I'll get them back. I'll look into it." He smiled and nodded at Mrs Wix.

This had a fearful effect on his other friend. "Haven't I looked into it, I should like to know, and haven't I found an abyss? It's too inconceivable - your cruelty to me!" she wildly broke out. She had hot tears in her eyes.

He spoke to her very kindly, almost coaxingly. "We'll look into it again; we'll look into it together. It is an abyss, but he can be

made - or Ida can. Think of the money they're getting now!" he continued. "It wouldn't do - it wouldn't do. We can't work her in. . . ." (360)

ところが、メイジーの遺産をメイジーとウィックス夫人の生活費に使うと、自分の生活費が無くなるビール夫人は目に涙を溜めてサー・クロードの残酷な仕打ちに抗議する。しかし、サー・クロードは「メイジーを仲間に加えることはできない」と述べて彼らの計画が破綻したことを暗示し、メイジーをウィックス夫人と帰すようにビール夫人を説得する。メイジーがサー・クロードを諦めるようにビール夫人に求め続けたことが、結局、メイジーを引き取ってその遺産を利用しようとしたサー・クロードとビール夫人の企みを破綻させたことになる。メイジーとサー・クロードは最後の別れの握手をする時、お互いのためにできるだけのことをし合った者として視線を交わす。

... and their eyes met as the eyes of those who have done for each other what they can. (363)

メイジーを見つめるサー・クロードの目には、ウィックス夫人を連れ去ってくれることへの感謝の気持ちと安堵感、そしてメイジーの遺産をビールから取り戻しメイジーやウィックス夫人の生活を保障するという誓約の気持ちが込められているだろう。

一方、サー・クロードを見つめるメイジーの目に愛情が込められていることは言うまでもないが、その愛情はより精神性の高いものである。何故ならこの時のメイジーにはサー・クロードを諦めなければならないことがわかっているのです。その愛情は彼との結婚を求めるものではなく、彼の頭痛の種のウィックス夫人を彼の目の前から連れ去るといふ彼への配慮という形で現れるからである。しかも、メイジーは今後ウィックス夫人と共に暮らし、彼女の生活も保障することになるので、サー・クロードに捨てられ生存の危機に直面するウィックス夫人に対する人道主義的な配慮も、メイジーの視線の中には含まれる。更に、メイジーの視線には、ビール夫人に対する配慮も窺える。サー・クロードを諦めるようにビール夫人に求め続けることで、メイジーは彼らの計画を挫折させるが、そうするとビール夫人の生活費の出所がなくなり、メイジーをどうしても引き留めようとするので、サー・クロードがビール夫人の生活費を保証することで、漸くメイジーは解放される。つまり、メイジーの行動が最後にはビール夫人の生活の保証につながるという点で、彼女に対する人道的な配慮がメイジーの視線には込められている。別の見方をすれば、将来結婚する女性の生活費は相手の男性が保証しなければならないという一般的な道徳を、メイジーがその行動で示唆しているとも言える。

ウィックス夫人やビール夫人に対する人道的配慮を広い意味での道徳心と考えると、最後にサー・クロードを見つめるメイジーの視線は、彼への愛情だけでなく本当の道徳心がいかなるものかを伝えるものにもなっている。そして、これこそ不道徳な娘役を最後まで演じ続けたメイジーの秘めた目的だと私は思う。また、ビール夫人やウィックス夫人にはメイジーの秘めた目的が分かっていないことや、この物語の中の立場上サー・クロードはウィックス夫人への人道的配慮を持つことができないことから、メイジーが他の登場人物の視点の範囲を越えた視点を持つ視点人物になっていることもわかる¹²⁾。

結 語

メイジーの知ったこととは、他の登場人物の視点から見えることだけでなく、彼らの視点の範囲を越えた視点、つまり、審美感覚のある視点から見えることをメイジーが知ったことも意味する¹³⁾。『肖像』の中で、悲劇的な Gilbert Osmond との結婚の後に、主人公イザベルが審美感覚を身につけたことを視点人物の創造と表現できるとすると、大人達の醜い争いや企みに弄ばれながら、次第にサー・クロードに対する結婚願望に目覚め、彼との結婚を叶わぬ夢と知りながら、彼に結婚を迫るといふ感情的・主観的行動をとることで、結果的に望ましい客観的事実を成就し、本当の道徳心を示すことのできるメイジーは、審美感覚を身につけ、その審美感覚に則って主観と客観を巧みに使い分け、道徳的にも望ましい客観的事実を達成できる新しい視点人物とすることができる。その意味で、この作品でジェイムズがメイジー・ファランジを作り出したことは、視点人物再現と表現できるであろうし、また、この新しい視点人物が他の登場人物を道徳的にも正しい結末へ導くことができるという点で、メイジーはジェイムズ円熟期の "The Wings of the Dove" の Milly Theale や、"The Golden Bowl" の Maggie Verver に連なる視点人物とすることができる。

注

- 1) 以後『肖像』と略称する。
- 2) 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, p.124.
- 3) 引用は再版された New York Edition (New Jersey: Augustus M Kelly, Publishers, 1979) vol. 11中の "What Maisie Knew"による。以下引用末尾

の数字はこの版の頁数を示す。

- 4) Weinstein はウィックス夫人に道徳的、感情的ないかがわしさは認めながら、サー・クロードやビール夫人以上に安心感と安定感をメイジャーに与えることも認めている。cf. Philip M. Weinstein, "Henry James and the Requirements of the Imagination," (Harvard Univ. Press, Massachusetts, 1971), p. 95.
- 5) Sister M. Corona Sharp, "The Confidante in Henry James," (University of Notre Dame Press, 1963), p. 127.
- 6) Sharp はウィックス夫人の道徳心の利用の仕方が「ご都合主義的」(opportunistic) と指摘する。cf. Sharp, p. 148.
- 7) Armstrong はメイジャーが最後にはウィックス夫人の道徳心よりも深遠な道徳的視点を身につけると考える。
cf. Paul B. Armstrong, "The Phenomenology of Henry James," (The University of North Carolina Press, North Carolina, 1983), p. 30.
- 8) Jacobson はメイジャーが成長したと言える根拠は、自分が性欲を持っていることの発見と周りの大人を同情を持って評価できるようになったことだと考え、メイジャーの性意識の高まりに注目する。cf. Marcia Jacobson, "Henry James and The Mass Market," (The University of Alabama Press, Alabama, 1983), p. 117.
- 9) cad とは "An unprincipled, ungentlemanly man" の意味である。(cf. "The American Heritage Dictionary of the English Language," p. 267) 21章でアイダが交際していて分かれた大尉のことを "the biggest cad in London"(224) と評していることから、cad とは捨てられた女性が捨てた男性を評して言う言葉であろう。
- 10) Wiesenfarth はメイジャーが最後にウィックス夫人を選ぶ理由は、彼女と一緒にいれば最も人間的になれるからと説明する。cf. Joseph Wiesenfarth, "Henry James and the Dramatic Analogy," (Fordham Univ. Press:New York, 1963), p. 65.
- 11) Smith もサー・クロードを諦めなければならないことがわかっているメイジャーが、何故ビール夫人に「サー・クロードを諦めてくれますか」と質問するのかと問いかける。確かなことは、ただ、その質問をする時メイジャーは大きな騒ぎを引き起こしているということだけだと Smith は考える。cf. Virginia Llewellyn Smith, 'Henry James and the Real thing,' "A Modern Reader's Guide," (Macmillan, London, 1994), p. 172.
- 12) Woolf はこの物語の中で起こっていることは、メイジャーが新たに成熟した視点を身につけ、彼女が英雄視していたサー・クロードの本性が見えるようになることだと言う。cf. Judith Woolf, "Henry James: The major novels," (New York, Cambridge University Press, 1991), p. 79.
- 13) Armstrong はメイジャーの知ったこととは、彼女が自分の存在を自分自身の手につかんでいることと、自分の存在という重荷を避けようとしてサー・クロードについて行っていけないことだと考える。cf. Armstrong, p. 29.

高専生に〈工業英語〉は必要か

加地 朱

Do Technical College Students Need Technical English?

KAJI Akashi

According to the final report by the Prime Minister's Commition on Japan's Goals in the 21st Century released in January 2000, every Japanese may need to develop their English language proficiency in the coming century. When this aim is applied to the technical college students, they need to learn technical English of their majors as future professional engineers. But it is doubtful they are aware of the need of learning technical English. I conveyed a survey in order to know what the students think about the need of learning technical English while they attend to Nara National College of Technology.

1. はじめに

「21世紀日本の構想」懇談会が政府に提出した、本年1月18日公表の報告書は、国際的対話能力が今後必要であり、日本国民全体に将来「国際共通語としての英語を使いこなせる」ことを求めた。

このことは、将来、技術職を求める高専の学生たちが、どのような英語を身に付けているのならよいのかということを考える良い機会となる。現在、インターネット上の情報を集めることができないと、就職すること自体も困難になるなど、インターネットが仕事の上において重要な地位を占めつつある。そのため、特に技術者となる者が多い高専生は、日本国内で働くとしても、今後、専門分野の技術に関して、日本国内のみならず、国外への情報アクセスも必要になる。そして、国外における情報を集める時、英語で書かれている仕事に関する情報が多いことに、学生も気づくだろう。

このように、英語が企業から必要とされている状況があるなか、高専学生が同じような専門分野の学部を卒業した大学生と比べられることがある。そのとき、残念ながら、企業一般から、高専学生の英語運用能力に疑問が持たれることが多い。この理由は何であろうか。

第一の理由として、高専学生たちは、大学受験を経験していないために、集中して英語に取り組むことが少ないということがある。常に教員から与えられた課題には応えるであろうが、それ以上に学習する学生は少ない。

語学上達には必要とされる独自の学習をせず、楽をして良い結果を出そうと考える傾向があり、あまり進歩は望めない。彼らは高専において経験する英語の授業——一般教科のみならず、専門教科の〈工業外国語〉を含めて——をどのように考えているのだろうか。

第二の理由は、企業から学生に求めている英語と、高専において英語を担当する教員（一般教科のみならず、専門教科の〈工業外国語〉担当者も含める）から学生が実際に学んだ英語とに食い違いがあるのではないかと、という点である。これは、学生のみならず、教員にも責任がある。教員側は企業に就職する学生を育てるためだけに教科を教えているのではないが、学生に対して企業が求める英語がどのようなものであるのかということをよく見極めて教育していくことが必要ではないであろうか。

以上2点、高専学生が企業の要求に呼応する英語運用能力に対し、乏しくなりがちである理由を推論したわけであるが、本稿においては、第一の理由について検討してみたいと思う。すなわち、在学している高専学生が、現在、高専において学ぶ専門分野に関してどのように英語を見ているのかという点を中心に考えてみたい。

2. アンケートの概要

本稿が扱うアンケートは、大学英語教育学会のなかにあるESP研究会（English for Specific Purposes）が企画したものに依っている。このアンケートは、普通高校から工学部などに入学した大学生に対する英語教育

についての問題が中心となるが、高専の学生たちに対してもアンケートの対象者として平成12年7月10日に調査をした。教員には平成12年7月3日から14日にかけて調査をした。

アンケートの目的は、大学においてなされている、「理工、コンピュータ、医療、ビジネス、法律、経済などのそれぞれの専門分野に関連した専門分野の英語教育」についての意識調査の一環として行なうことにある。大学において学ぶ専門分野に関連した英語を、教員がどのように捉え教育するならば、学生が社会人になったときに有用であることができるのか、という点を探りたい、というのが当初の目的であった。というのも、専門分野の英語は日本国内では専門分野に関連させて「長い間会社とか専門学校で教えられる英語という認識でとらえられており、一般の学校や大学では教えられてこなかった。ESPが広まらなかったことに関して、Morizumi (1994) は、日本の英語教育が教養主義を貫いてきたことにより実践的な英語教育は避けられてきたから」(寺内1998)とされており、指摘されているような点を改善するには、どのような内容を教えるべきなのかについて議論していく必要があるからである。

そのような目的のために行なったアンケートは、〈工業外国語〉を学ぶ本校本科の4年生Aクラス・Bクラスの2クラス分68人を対象にしたものと、彼らを教える教員13人(本校5人、そのほかの協力校2校)対象のものとの2種類を用意した。なお、学生のAクラスは電気工学科、Bクラスは物質化学工学科の専攻クラスのことであって、英語の学力によるクラスわけではない。

3. 学生対象アンケートの結果

問6「〈工業外国語〉の内容は、あなたのニーズに合っていますか」に対して、「まったく(ほとんど)合っていない」と答えた者が15人(22%)、「普通」は36人(54%)、「(だいたい)合っている」と答えたのは、12人(18%)だった。なお、Bクラスにおいては、この質問に4人(6%)が無回答であった。

問8「いま、専門(仕事)に関わる英語の勉強に意欲を持っていますか。」に対して、「はい」と答えた者は18人(26%)、「いいえ」と答えた者は22人(32%)、「どちらとも言えない」と答えた者は、28人(42%)であった。

この問8に対しては、全員回答であった。Bクラスにおいて、問6に無回答であった者でさえ、答えている。この4人の問8への解答を見てみると、3人までは、「いいえ」と答えているが、残る1人は「はい」と答えている。このことから、これら4人の解答を含め、問6

に対する否定的な者が18人、肯定的な者が13人と見ることにする。

そこで続けて、問8への答えの理由を聞いてみた。問8で「はい」と答えた者に対して、問9「何を勉強しているか」と尋ね、問10では、問8で否定的であった者に対して、その理由を尋ねてみた。

問9であげられた解答は以下のごとくである。「工業英検や資格試験にむけての勉強」(3人)、「テレビを見ること(ここでは詳細は書かれていなかったが、テレビ講座もしくは衛星放送を含め、バイリンガル放送のことに言及している。))」、「字幕がついた映画を見る」、「英会話学校に通う」、「論文を読んだり専門分野の単語を覚える」、の4項目が1人ずつだった。

問10であげられた解答は、「面白くない・興味がないから」(8人・12%)、「役に立ちそうにないから」(2人・3%)、「難しいから」(5人・7%)、「英語が苦手だから」(3人・4%)、「日本人だから」(1人・1%)、といったものである。これらの理由からは、専門科目としての勉強というよりも、科目の「英語」が苦手である学生たちが問8で否定的であった、と解釈した方が適切ではあるまいか。

現に、「大学ではどのような英語の授業を学びたいですか」という質問を問7で行なったが、そこであげられていた解答は以下のようなものである。「工業外国語のような英語」(5人・7%)、「論文の読み方・書き方」(9人・13%)、のように工業系の専門に活用できる英語を求める学生は14人(20%)である。このなかには、問8で否定的な学生が2人含まれている。この2人は、論文や専門書を理解できるようになりたい、と答えている。

他方、一般的コミュニケーションのための道具として活用する英語学習を求める学生は、全体で32人(47%)である。その内訳は「国際社会にのれる(「乗れる」か?)英語」(5人・7%)、「聞く・話すなどのコミュニケーション」(25人・37%)、「インターネットで用いる英語」(1人・1%)、「英語の本を読めるようになる」(1人・1%)である。

問10に書いた学生の中で、問8で否定的であった学生たちの解答を見てみる。「実際に役立つ物(会話)」(9人・13%)、「英語でのディスカッション」(1人・1%)、「文法」(1人・1%)、「ただの英語(「一般教科の英語」か?)」(1人・1%)、という結果が出てきている。すなわち、問8で否定的な解答をした学生の45%にあたる10人が専門科目の知識が必要な〈工業外国語〉よりも、「聞く・話す」ための一般的な英語を学びたいと考えている。

続けて、問11で、「あなたは将来あるいは現在の仕事

(専門)において、英語の必要性をどの程度感じていますか」と尋ねた。すると、61人(95%)が「必要」と答えたが、否定的な解答者は3人のみだった。

問11を詳しく見る。すると、問8の「専門に関しての英語の勉強に意欲があるか」という質問に対し「いいえ」と答えた者22人のうち、7人が「絶対必要」(32%)、さらに別の7人が「必要」(32%)、3人が「やや必要」(14%)と答えている。「絶対必要」と答える者は、問8において「はい」と答えたグループでも、一番多い答え(61%)になっており、「どちらとも言えない」グループにおいては、「必要」とする学生(43%)の次に多い(36%)結果となっている。すなわち、学生たちは英語が仕事あるいは将来に必要という認識は持っている。

問12では、問11の理由を書かせてみた。すると、論文を含め、「仕事をするために」と答えた者は、問8の「はい」グループでは、18人全員であったのに対し、「いいえ」グループでは、0人、「どちらとも言えない」グループでは27人中7人(26%)であった。

「交流のため(会話ができない、国際化、外国に行きたい)」と答えたものは、「はい」グループで6人(33%)、「いいえ」グループで6人(27%)、「どちらとも言えない」グループでは10人(37%)、という結果となった。また、問12へのその他の答えとしては、「いいえ」グループでは、「アメリカが強い」(1人)、「世間がそんな感じ」(2人)もあった。

このアンケートから見えてくるものは、専門に関する英語学習の意欲を持っていない学生ほど、逆に異文化交流のために英語を学びたい、という矛盾した意識がはっきりと表われている、ということである。(問7および12)

問11において、「英語が必要である」と答えた者が大半(95%)を占めたわけではあるが、「必要ない」と答えた学生もいることを忘れてはならない。そのうち2人は、問12において「日本の企業で働くから」と解答している。すなわち彼らは、日本国内に居れば、英語との関わりがなくてもよい、と考えているのである。〈工業外国語〉や〈技術英語〉などの科目の意図しているところと、学生たちの〈工業外国語〉への学習動機や必要性に対する意識とは、必ずしも合致するとはいえない現状である。

4. 学生対象アンケート結果からの問題点

以上、アンケートの結果の詳細を見てきたが、そこから見えてくる問題は、学生たちの〈英語〉という一般科目に対する捉え方である。彼等は、一般教科の〈英語〉

を特別視しすぎている。というのも、〈英語〉といえば、コミュニケーションのため、それも狭義の「国際交流・国際化」のため、と典型的に答えている。しかも、その多くは「聞く・話す」といった、話し言葉を中心に考えており、書き言葉に対する興味が全般に薄い。そうであるので、たとえ、会話で扱われている内容が薄っぺらいものであったとしても、彼等にとって、ペラペラと外国籍の人間(ここに、「異文化間交流」という視点から見ると、別の問題があるのだが)と英語で話しているのは、理屈抜きにして「かっこいい」のである。それもいわゆる〈白人系〉外国人を意識している。巷の英会話学校で教えている大半の外国籍教員の状況を見渡せば、このことは分かりやすいだろう。

また、「21世紀日本の構想」懇談会より提出された最終報告書のなかで扱われている英語公用化論が、教育についての国家レベルでの問題として議論されている。ここでは、英語公用語論者たちは、英語と日本のビジネスとの関連を、議論の論拠としている。「インターネットの普及によって世界のつながりが格段に進んできている。インターネットの八割は英語が使われている、ビジネスの世界でも英語でなかったらやっていけない。このままで行ったら日本は世界の孤児になる。(だから日本国内において英語の)公用語化という縛りによって英語力を高める」と主張する。このような議論は、今回のアンケートの問12において「日本企業で働くから」と答えた学生のような、日本語さえできれば日本国内で働くことに不自由なことではない、と考える人々の目には、現実味を帯びない議論である、と映っているに違いない。

学生たちが答えた類型的英語学習の動機は、部分的には確かに正しいことであるし、彼らは日本国内の学校や語学学校の語学教師の言葉を十分に聞き覚え、学習したことの証でもある。というのも、良識ある学校の教師たちが、「英語を学ぶのは金儲けのためである」とは言わず、教育的配慮から、飽きもせず「英語は世界の〈共通語〉だ、英語を使うことができれば、他の国籍の人々と〈理解し合える〉」などと繰り返すからである。

だが、高専は、専門科目を一般教科と同時に学ぶ、技術者養成のための学校である、という点で、普通高校などとは異なる。現在、企業で求められている技術者とは、従来、必要であった手先の器用さに加え、関連の最新情報を取捨選択し、消化して具体的な製品を作っていくことができる人々である。そうであるならば、情報を書くのに優勢な言語に熟達することは、技術者には不可欠である。そして、その優勢な言語とは、現在では英語である。異文化間交流のために英語学習する、とだけ考えている学生たちに、そのことを付け加えて教えることは、

一般校に比すれば、高専においては、卒業後の進路が明確であるだけに、たやすいことであると思う。次章において、ここであげた問題点を解決する糸口として、学生対象アンケートと同時期に行なった教員対象アンケートの結果を報告する。

5. 教員対象アンケートの結果

本稿では、学生を対象にした専門分野の英語に関する意識調査の結果を中心にみてきたが、このアンケートをとると同時に、なんらかの形で英語（工業外国語を含む）に関わっておられる先生方にもアンケートをお願いした。本校を含め、3校の13人の先生方がご協力くださった。ここで感謝したいと思う。先生方には、専門分野の英語について、どこまでを教授対象とするのか（目標）、具体的な教授材料、学生の専門分野の英語力養成に役立つ改善案の3点について書いていただいた。

まず、目標についてであるが、どの学校においても「専門用語がわかる」こと（総計11人・85%）、と「論文や専門書が読める」こと（総計12人・92%）に力点を置く先生が最も多い。そのため、英文教材を訳読する形が一番多い。ただし、その際のクラスサイズは、本校以外では4人前後で行なっている。これは、〈工業外国語〉が高学年で導入されることが多いからである。所属する卒業研究ゼミが、学生の興味対象と近いものであれば、学生は勉強する対象の焦点を合わせやすいであろうし、意欲がわく授業となるだろう。教員側も小人数ということなら、授業も行ないやすいだろう。

次に、授業で扱う教材であるが、最も多いのが「専門分野の論文・専門書（原書）」（8人・62%）であり、その次に多いものは「英語の雑誌や新聞の記事」（5人・39%）である。ただ、〈工業外国語〉の目標のところであげた、「専門用語がわかる」ことのみに対しての教材は「専門分野の論文・専門書」の購読と比べると少ない（4人・31%）。このことから、専門分野の英語についての授業は、原書を理解する段階で、語彙と内容との両方について学ぶ授業が多いことがわかる。論文を原書で読む前に、専門分野の語彙を説明した文章を扱う授業があるのは、そのためである。また、英文の資料をインターネットから採取される先生もおられた。そうすることによって、技術者としての現実味を帯びた授業となるであろう。

最後に、改善点についてである。もっとも多い回答は、「専門分野の教員と英語教員の連携」であり（11人・85%）、その次に多かったものは、「カリキュラム」（8人・62%）、「教材開発」（6人・46%）であった。

専門分野の英語は、専門が異なれば、同じ英単語を使っていたとしても、専門分野それぞれの文脈のなかで理解せねばならないことがある。それゆえに、〈工業外国語〉は、専門分野の科目である、と考えられるのだろう。しかし、一文レベルにおける英文の文法は、〈工業英語〉学習においても有用であるので、一般的英文の学習延長線上に〈工業英語〉学習がある、と言ってもおかしくない。また、一般教科の英語において学ぶ話の大筋の捉え方を〈工業外国語〉においても活用することもできる。その意味で、〈工業外国語〉を専門学科の教員だけではなく、一般教科の教員も〈工業外国語〉に関わっていく必要がある。

たとえば、教材開発という点で専門学科と一般教科との両者が関わっていくならば、最新の情報をインターネットから取り出し、学生たちに提供することも可能だろう。そうすることによって、教材が現実味を帯びたものになり、英語は苦手だが専門分野について学びたい学生たちの希望に答えることができるのではないか。「工業外国語は役に立ちそうにない」と言う学生ほど、環境を変えてやることを通じて、よく学習する学生へと変身する可能性が残っている、と考える。

参考資料

- 「21世紀日本の構想」懇談会 2000『日本のフロンティアは日本の中にある——自立と協治で築く新世紀』（2000）講談社：東京
- 加地 朱 「〈和文英訳批判〉再考」奈良工業高等専門学校研究紀要33（1998）135—141.
- 河合隼雄 国際社会で不可欠な「手段」朝日新聞 2000.4.4
- 京極興一 『「国語」とは何か』（1993）東宛社：東京
- 茂森弘道 『「小学校から英語」という愚考——それに輪をかけた英語公用化論』（2000）国民会館叢書35
- 高橋晴雄 「高専における工業英語教育について」日本工業教育協会誌36.1（1988）69—72.
- 月尾嘉男 “英語単色”文化滅ぼす 朝日新聞 2000.4.6
- 寺内 一 「大学におけるESP教育：教師の専門性と Team-Teaching」慶應義塾大学語学視聴覚教育研究室『紀要31』（1998）40—58.
- 寺内 一 『第1章ESP入門書（仮題）ESP発展の歴史』JACET SIG on ESP研究

- 会11月27日勉強会配布資料 (1999)
- 長島安治 ビジネスに必要不可欠 朝日新聞
2000.4.7
- 丸谷才一 規定なく意味あいまい 朝日新聞
2000.4.5
- Dudley-Evans, T. and St John, J.M. 1998.
Developments in English for Specific Purposes: A multi-disciplinary approach.
Cambridge: Cambridge University Press.
- Mamoru Morizumi. 1994. *On Correlation between LSP and LGP in Japan in The Practice of LSP: Perspectives, Programmes and Projects.* , Ed. Rosemary Khoo. Singapore : SEAMEO Regional Language Centre.
- Morijiro Shibayama and Kazuhiko Iino. 1999. *ESP Situation at Colleges and Universities in Japan in Annual Report of JACET-SIG on ESP 1999 Review.* , Ed. Hajime Terauchi and Sanae Saito.

Vygotsky's Contributions and Flaws through Cognitive and Linguistic Development

Naoshi KANAZAWA

Lev Semenovich Vygotsky, a Russian thinker, was born in the Soviet Union. His pioneering work in psychology internationally influenced the study of art, literature, linguistics and education after his death, between the 1950's and the 1980's. He attracted the notice of professional psychologists in 1924 with his brilliantly original papers. In the ten years after his debut, Vygotsky was extraordinarily productive. At the time of his death, of tuberculosis, in 1934, much of his work was not published yet. Until 1950's, his work did not appear again in the Soviet Union as a result of Stalinism. Between the 1950's and the 1980's, many of his works were published for the first time, along with reissues of previously published material.

Vygotsky's contribution

Vygotsky reacted against the work of his contemporaries, such as Ivan Pavlov (1849 - 1936), a Russian physiologist. Vygotsky believed Pavlov placed too much emphasis on reactions as the primary component of human behavior. On the other hand, Vygotsky developed his concept of "mediation" in the early 1920's. Mediation distinguishes humans from other animals in their ability to connect stimuli and responses by means of various kinds of links, such as language. These means of mediation become stimuli of more complex responses, or "inner language." He also assumed that language and thought developed independently, both in the individual and in the history of the human species. His presupposition postulates that intelligence is a function of the ability to connote signs with concepts. He also developed a test for schizophrenia as the Vygotsky blocks on the basis of his presupposition.

"*The Psychology of Art*," Vygotsky's first book, was written in the 1920's and published in 1965 as a revision of his doctoral thesis. The book reveals a broad interest in literature and philosophy and exhibits two important qualities of Vygotsky's thought:

1. Human psychology is a very complex phenomenon.
2. Psychology is a means to study culture, rather than an end in itself.

In the early 1930's, he composed his most important and influential work, "*Thought and Language*." Vygotsky surveys various approaches to the subject, focusing primarily on that of his contemporary, Jean Piaget (French thinker). He observed children and argues that speech and thought have different developmental paths until the child was about two years old, and these two roots are joined only at a given stage in the development of the individual. Then the two exert a mutual influence on future development. He showed two examples:

1. A child exhibits speech without meaning. (For example, the child holds a red rod, and says, "Blue! Blue!")
2. A child exhibits intellectual activity without words. (For example, the child enjoys a very simple puzzle by him/herself)

It means the joining and subsequent interaction of the system of language and thought that mark the maturation of the child. In other words, the environment provides labels for the objects and events that the child is thinking about. The child generalized objects and events, using these labels. Moreover language

can be used for remembering as linguistic mnemonic and recalling devices in their process. As the child is developing, his/her generalization (word meanings and concepts) changes. These naming words are essential to abstract concept development.

Language is not only for concept development of the child, but also in problem solution and planning. Children talked to themselves (egocentric speech) about what they were doing and how they were engaged in tasks. Hence language plays the roles in task solution. It also naturally happens for adults (for example, my mother often says at night, "After taking shower, I am going to bed.).

Although these findings proved that language is necessary for thinking, Vigotsky interprets the relation between thought and language in its mature form (inner speech) as two partially overlapping domains; thinking without language and speaking out without thinking. The role of verbalization is done through communicative interaction in which the ways society solves problems are indicated to the child.

Vygotsky focused on the learning process, and studied children in educational settings. He examined that language is first used by the environment to direct the child and used by the child to direct first his actions and then his thoughts in educational settings. The stages of development are the following (Menyuk, 1988):

A. Social Speech

1. Vocalization is used to express needs and feelings and to socialize until age two. Trevarthen and Hubley (1978) attained at a very early stage in the sense that infants "share themselves with others."

2. The child's actions can be directed by speech presented by others from about two to three.

3. The child can direct the actions of others through speech and in this way begin to find out about the society's beliefs and customs.

B. Egocentric Speech

The child begins to use speech to direct the action he is engaging in, because his speech to himself is not communicative at all.

C. Inner Speech

Although there is evidence that the child is still "talking" subvocally, overt use of speech is

disappeared.

To support his theory of inner speech, he also observed that two forms of conceptual learning can be distinguished:

1. Formal and systematic learning,
2. Spontaneous and loosely organized learning.

These two forms led to Vygotsky's theory of "inner speech," that the social function of communication in language is internalized as a set of psychological relations.

Argument

Vygotsky and his successor, Alexander Luria (Russian neuro-psychologist), undertook pioneering studies in cross-cultural psychology. They compared the reasoning processes of uneducated rural people, on giving them varying levels of formal education. Luria always credited Vygotsky's influence and revived his work. They advocate the position that language is crucial to cognitive development.

It may be not crucial for some people to develop their language and thought. There may be the society where the child doesn't need to use his language. Some societies emphasize the importance of verbal interactions and the use of language to solve problems. Environment surrounding children is very important for understanding the development of children. Every child is socially or biologically different from each other.

The work of Lev Vygotsky and his followers offers a basis on which to construct a model of the desired kind (Vygotsky 1978, 1986, Wertsch 1985, and Gill 1992): non-stratigraphic, culturally, informed approach to the analysis of human behavior that enables comprehension to be represented not as the product of a unique and mysterious set of internal operations, but as dynamic and inseparable from a larger context of socially understood activity. In contrast to western traditions, their approach begins from the recognition that the individual is socially formed, or that society and the individual constitute each other in a single dynamic system (Cole 1985).

Vygotsky's research programs sought to pursue the implications of a similar line of thought in

ontogeny, and especially to establish how the complex and specifically human "higher psychological process" develop from elementary biological ones to which he maintained they could not be reduced in the face of behaviorist orthodoxy (Vygotsky 1978, Davydov and Radzikhovski 1985). In his view, the transition is mediated by cultural forms, above all those of language, which the child encounters in social interaction (first of all with parents and siblings), and internalizes in the course of development. Vygotsky did not mention about individual psychology independent of social context, since psychological function first appear: 'the true direction of the development of thinking is not from the individual to the social, but from the social to the individual' (Vygotsky 1986). Growing to psychological maturity means, in effect, learning to use the set of historically and contextually specific 'tools for thought' made available through the culture. It is like the use of tools in phylogenetic development that enables the individual to progress in exponential steps beyond his bare biological initial conditions.

This model of the individual dissolves the boundary, drawn by behaviorist and conventional cognitive psychology alike, between the domains of mental and social activity (Goody 1987). Moreover, it shifts attention from attempts to discover the sequence of learners' unaided and unmotivated acquisition of adult competence to the content and context of the education they receive.

The distinctive feature of Vygotsky's approach to education, not only theoretically but with regard to practical pedagogy, is the dynamic it assumes between learning content and developmental process. Development does not run more or less smoothly along biological-tram-lines. It is conceived of rather as a process that is itself subject to change (Wertsch 1985), and 'learning-led' rather than 'development-led', that is, there exists space within the capacities of the child for problem-solving under 'expert' guidance to extend and transform the nature of the capacities themselves. Vygotsky says (1978), "Properly organized learning results in mental development and sets in motion a variety of developmental processes that would be impossible apart from learning. Thus learning is a necessary and universal aspect of the process of developing culturally organized, specifically

human, psychological functions."

The distance between biological development and the potential level of attainment under tuition, the space in which 'good' learning can occur (the zone of proximal development). It is here that the process of acculturation takes place through the interaction of adult with child, and the means are transmitted that enable the learner to abstract and operate with decontextualized concepts: first, linguistic signs and later symbolic systems such as writing especially in formal education. It is central to the Vygotskian argument that these symbolic systems are 'already in place, already "there," deeply entrenched in the culture and language' (Bruner 1990), and that being educated into their use unavoidably makes the learner a reflection of that culture.

Conclusion

Vygotsky emphasizes on the role of society in conveying to the child the ways in which he or she should think about and solve problems. Language and thought are interdependent in cognitive development, and Language is used in remembering, planning, and problem solution. He also insisted thinking happens without language, and language happens without thinking.

We need to further the study of the relation between cognition and language development and keep reliable data about the capacity of particular populations of children and adults to acquire language. It is an important factor how language is should be taught in the society. There are so many social and physical factors that we need to take care of these factors very carefully, to get reliable data.

Vygotsky left his mark not only on Soviet psychology, but also on the fields of art, literature, and linguistics. The belated translation of his works brought increasing recognition of Vygotsky's immense contribution to twentieth century thought.

References

- Bruner, J. Acts of Meaning. Cambridge, MA: Harvard University Press., 1990.

- Cole, M. "The zone of proximal development." in Wertsch 1985: 146-161
- Davydov V., and A. Radzikhovskii. "Vygotsky's theory and the activity-oriented approach in psychology" in Wertsch 1985: 35-65.
- Gill, M. "Reading, Culture, and Cognition." Edinburgh Working Papers in Linguistics. No.3, (1992): 49-66.
- Goody, J. The interface between the Written and the Oral. Cambridge, UK: Cambridge University Press., 1987.
- Menyuk, P. Language Development. :Harper and Row, Publishers, Inc., 1988.
- Muma, John. Language Acquisition. Austin, Texas: PRO-ED, Inc., 1988.
- Trevarthen, C., and P. Hubley. Secondary Intersubjectivity. London, UK: Academic Press., 1978.
- Vygotsky, L. Mind in Society. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1978.
- Vygotsky, L. Thought and Language. Cambridge, MA: The MIT Press, 1986.
- Wertsch, J. Culture, Communication, and Cognition. New York, NY: Cambridge University Press, 1985.

鶴見俊輔のプラグマティズムについて

A Study of Shunsuke TSURUMI's Pragmatism

Tsuneyuki KIMURA

木村 倫幸

思想家鶴見俊輔の多彩な哲学思想と活動を把握することは、困難な課題である。敗戦直後から現在にいたる約五〇年間の鶴見の軌跡は、ある意味では、そのまま戦後民主主義の軌跡とも言えるものであり、民主主義に関しては彼を抜きにしては語り得ないとさえ思われる程にまで、現代日本社会における鶴見の位置は重要な意味を持っている。とりわけ日本社会全体が、世界と直接結びついて複雑性を増加させ、多様性を要求されて大きく変化しようとしている時には、この鶴見の思想と活動をどのように分析・評価するかということは、より重要性を増すとさえよう。それは、現代日本社会の民主主義の質に根差す問題であり、将来の社会の指針にかかわる問題であるからである。

とはいえ、鶴見の思想と行動のトータルな分析・評価は、不可欠ではあるが、現在のところなお今後の課題として残されざるを得ない。ただしそのためには、鶴見自身の位置を含めた時代社会全体の歴史的な背景の分析・評価を必要とするからである。しかしこのような企ては、今しばらく置くとしても、鶴見の思想と活動の軌跡を見渡すと、その出発点がプラグマティズムにかかわる諸問題であったことには異論がないであろう。そしてこの点から見れば、鶴見のその後の立場の原点らしきものは、このプラグマティズム解釈にあるのではないかと推測される。すなわち鶴見が、長年にわたって、哲学思想を始めとするさまざまな分野で活発な発言を続けてきたバック・ボーンとしてのプラグマティズムこそが、彼の思想と活動の本質を説明していく端緒となり得るのではないかということである。そしてこの点については、これまで余り問題とされることがなかったことも確認されねばならないだろう。それ故、鶴見のプラグマティズム理解を検討していくことが、まずもってなされなければならない。思想を行動の一部としてとらえ、体系ではなく方法としてのプラグマティズムを主張する鶴見の立場の特徴づけを与えることが、小論の意図するところである。そしてこれを切り口として、鶴見の思想と行動を説明していくことが、これからの課題となる。

二

鶴見のプラグマティズム理解についての最大の手引きは、今なお『アメリカ哲学』①であろう。本書は、本格的なプラグマティズム紹介の先駆けとなったものであり、同時に、当時の日本の哲学の状況に対する根底的な批判の毒をも含んでいる。(後者の側面については、今日においてもなお的確な批判となっている。)

鶴見は、プラグマティズムをその発生から説き起こし、発達の諸段階を叙述した上で、これを次のように特徴づける。

「人生全体を各個人の行為の連鎖と見れば、考えは、これらの行為と行為とをつなぐ役目をするものであり、行為の一準備段階と呼び得る。プラグマティズムの主張の中心は、行為の一部としての思想の性格が、(略)世界観や形而上学をふくめてのあらゆる種類の思想に共通することにある。『考えは行為の一段階』という主張を中心としてどんな思想を展開することができるか。プラグマティズムの主唱者は、この中心概念を倫理的と論理的と心理的との三つの面において解釈し、さらにこれを功利主義的傾向と実証主義的傾向と自然主義的傾向に沿って発展させた。②

そしてこれら三つの傾向は、それぞれ、行動 (pragma) に対して、次のようにアプローチする。

(1) 功利主義的傾向

「もし考えが行為の一部なら、考えは意志の主権化③に属するものであり、考え自体としての基準の他に、行為の基準にも従わねばならぬ。行為の基準とは倫理的基準である。そして、プラグマティズムの主唱者によれば、倫理的に正しいことは人間の利益をなすだけ阻害せぬこと——つまり、最大多数の最大幸福ということに当たる」(一一一四六)。

思想が行動の一部である限り、行動の基準 (功利主義的な基準) に従って、思想もまた展開されるべきである、というのがプラグマティズムの主張とされる。

(2) 実証主義的傾向

プラグマティズムの基本的視点から言葉の意味を把握しようとするならば、

「言葉はなんらかの行動の型をその意味として持つという結論が得られる」(同)。このことから、プラグマティズムは、「意味ある文章とは、なんらかの行動に導くもののみであり、その他は意味なき文章ということになる」(同)と主張する。そして、この意味ある文章のみを用いて、思想を形成していくことを提唱する。これは、伝統的なヨーロッパ哲学に対して、特に抽象的で不毛な議論に対して、有効な武器となる。そして意味ある言葉をより明確にしていこうと、われわれの思想の明確化がはかられる。

(3) 自然主義的傾向

「これは心理機能としての考えをとりあげ、考えが行為の一環としてどのような性質をもつかを解明する」(一一一四七)。つまりこの傾向というのは、いわば思想を、心理学を始めとする諸科学の研究成果を利用することによって研究しようとするものである。これは、人間の思想のあり方に対して、これまでとは異なる視点を提供するとされる。

以上のことから、プラグマティズムでは、行動を中心に置き、これに倫理的・論理的・心理的の三方向からアプローチして、これらの基礎の上にさらに、功利主義的・実証主義的・自然主義的な三傾向を有する諸プラグマティズムが成立する。鶴見の例えを借用すれば、三角形の三つの底辺の上にあらわれるさまざまなかたちの立体図形がプラグマティズムであり、そのかたちは、個々の思想家・流派によって大きく異なる。それゆえ「プラグマティズムを他の諸思潮から区別する最大の特徴は、個々の底辺の性質よりも、これらの底辺が共通の中心観念を抱いて集合するその基本形態にある」(一一一四九)とされるのである。

三

以上のように、プラグマティズムには、さまざまなかたちのものがあり得ることが示唆された。しかしこの思想はもともと行動と結び付けての「意味とりの技術として発達して来た」(一一二七九)ということが、プラグマティズムの「意味とりの技術」を方法的に特徴づける。

ここで鶴見は、「行動とむすびつけて意味をとらえるといっても、それには二

つの場合を区別する必要がある」(一一二八二)として、思想の「指示対象」と「使用状況」を区別する。

すなわち、(一)「ある思想が何をさしめすか〔指示対象〕をとらえること」(同)、「その思想の妥当性を実証するような行動」(一一二八四)について知ること、および(二)「ある思想がどういう役割を果しているか〔使用状況〕をとらえること」(一一二八三)、「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」(同)である。

鶴見は、これら二つの行動を区別し、しかも両方に関心をもつことをすすめる。というのも、第二次世界大戦、敗戦後の時代を通じて、わが国では、「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、思想家をだいたいで二種に分類することができる」(同)という状況が生じ、日本の思想状況の不毛性をもたらしたと見なすからである。鶴見のこの指摘は、約五〇年前の状況のみならず、今日においても、特に政治的情勢にかかわる思想問題に関して当てはまる側面をもっている。

例えば一九七二年には、学生運動のあり方に対して、次のように語られる。

「原理だけで状況を把握することはできない。状況は原理によって成り立っているのではないんだから。ある種の原理、原則があるとして、それが状況に適用されるかどうかというのはいくらか見直さなければいけない。原理とこの状況を大前提として考えれば、もう一つの小前提——小前提という小さい見たいに見えるけれども、これは実に複雑な状況についての認識を必要とする。この状況というものがどういふものかということをとらえるのはたいへんむずかしいし、認識は完結することがない」④

「大衆へのはたらきかけが理論について実証条件をつくっていく。また自分たちが日常生活の中で理論を試していくということが実証条件をつくる」(九一—二五三)。

ここには思想を実証する行動についての条件とともに、それが使用される状況についての検証の条件も示されている。上記の引用文は、学生運動におけるリンチの問題に即して述べられているが、自分の思想・理論の正当化から、リンチを正当化する思想になっていくことを阻止する状況をどうつくり出してい

くのかという重要な指摘が、ここにはある。そしてこのような思想のありかたと行動がプラグマティズムの本質を端的にあらわしているとされる。

プラグマティズムは、思想の意味を二種類の行動によって把握して、従来の哲学的思索法の欠陥を克服しようとする。そのために、「他の多くの哲学体系が常識をひっくりかえした地点から出発するのと対照的に、プラグマティズムは、常識と地つぎの場所から出発し、常識をひろげていく仕方を採用する」(一一二八二)。また、このような仕方は、「それぞれの時代における世間的な知恵から抽象化したものとして思想をとらえる結果となった」(一一二八四)。すなわち、プラグマティズムの方法は、思想を、きわめて常識的な視点から、実際の使用状況に照らして検討するというスタンスを示しているのである。それ故そこには、相対的であるとともに、また調整的かつアイマイな部分を残す立場が存在することになる。

四

鶴見は、プラグマティズムを「折衷主義の哲学」として位置づける。そしてこのことは、現在においてもなお当てはまることではあるが、次のような問題状況から由来する。

「思想の領域におけるすべての発言を、一つの観点から整理しなおして、一望のもとに見わたすことは、現在の私たちの力を越える課題である。そこで、どうしても、思想問題にかんしては、いくつかの観点がのこることとなる」(一一二〇四)。

これらの観点をどのように扱うか、そこにプラグマティズムの特質があらわれる。すなわちこれらの観点が完全には統一できないことを認めた上で、これらの間の調整をはかろうというわけである。

「それぞれの観点を主軸として、可能なかぎり高くよじのぼって、可能なかぎりひろい展望を計り、それから次には、そこから見えないものに見える場所に移って、その別の観点をよりどころとして、また可能なかぎり高くよじのぼってあたらしい展望を計る。そういうふうにして、たがいに相当程度に、ふくみあい、しかも、すこしばかりくいちがうちぐはぐの世界像をくみだててゆくのが、プラグマティズムの流儀である」(同)。

このプラグマティズムの役目は、それぞれの思想の観点の使い走りをする「お茶坊主」として例えられているが、鶴見は、「現代人にとって共通の思想的遺産となるべきプラグマティズムは、イデオロギーとしてでなく方法として把握されねばならぬ」(一一三〇五)ことを強調する。

そしてその立場として、「役柄交換説 role-taking theory」(一一三〇四)が特徴となると主張されるのである。「役柄交換説」とは、主として、G・H・ミード (G.H.Mead, 1863～1931) によって唱えられた説であるが、彼は、「自我」の形成において社会的諸関係の決定的な役割を明らかにし、「自我」の本質が社会的自我であることを主張した。そしてこの「自我」は、人間の成長過程において、ある個人が自分以外の他人の役割を想像し演じることを通じて獲得されるとした。つまり個人は、ある社会集団の他のメンバーの振舞いや態度を自分の内に採用していく度合に応じて、その社会集団のメンバーとなっていくのであり、こうした他人の行為・態度をミードは、「一般化された他者 (generalized other)」と呼んだ。すなわち個人は、自分自身を「一般化された他者」の眼で見ることによって、社会的自我としての自我を意識していくのである。

鶴見は、この「役柄交換説」を踏まえて、プラグマティズムの果たす役割を、次のように規定する。

「思想の方法にたいして、プラグマティズムのあたえる処方箋は、一挙にして、人類史上の一時点に合理性をうちたてることなく、科学と、とくに「意味とり方の」技術をベイシック・ロールにおきつつ、それ以外の諸観点とくりかえし役柄交換を活発におこないながら、より大きな合理性にむかうドラマを設計することにある。最後の幕についての定見をもたず、せいぜい次の幕にむかうまでのドラマの発展についての方向感覚しかもちあわせていないので、不可知論と紙一重であるが、ここには最小限度の方向感覚はあるので、不可知論と混同されてはならない」(一一三二八～三二九) ⑤

それ故プラグマティズムは、みずからの方法によって、あくまで調整者として、振舞うことが要請されている。そしてこれが、この思想本来の姿である。

「根本的に、プラグマティズムは、複眼によって世界を見る立場にたっており、さまざまな見方のより深い結合(インタグレーション)を目ざしこそすれ、見方の統一(ユニフィケーション)を目ざさない」(一一二八四)との指摘は、

まさしくその本質的特徴を突いている。

五

以上のような観点と方法をもったプラグマティズムは、社会の諸問題にたいしてどのような可能性を有しているか。鶴見は、これについて考察するとともに、また哲学そのものの改造にまで論を進める。

プラグマティズムの可能性は、まずその姿勢から出てくる。すなわち「状況の中から出発する」(一一一六九)ことである。そしてこの「状況」とは、ある個人の置かれている、それぞれの状況を意味する。つまり「哲学思想は、その作り手の興味を強く反映する。哲学思想は、ある個人がその要求を満たし得るように環境に働きかける努力の一部をなすもので、その作り手の性格、体質、境遇、時代などの刻印をうける」(同)ということである。それ故、ここから、「他人の哲学をはっきり理解するためには、その思想がどんな下心から出発したのかをまず知っておく必要がある。また自分の哲学思想を発表する場合には、それがいかなる歴史的、社会的、生活的、体質的、性格的必要から生まれものであるかを、何かの形で示すことが便利である」(一一一六九～一七〇)ということが出てくる。

このことは、哲学思想の主張、論争、批判の仕方について、従来とは異なった取扱いが必要となることを意味する。そしてその根幹となるものは、「哲学が学問でないということを認識すること」(一一一七〇)であるとされる。すなわち上記の見地からして、「それぞれの人の生き方、見方、考え方の反省としての哲学は、学問におけるような厳密さをもって問題を解くことができないう。そこでアイマイな思索、あてずっぽう、思いこみ、好ききらい、などがどうしても入ってくるようになる。そういう思索にも頼るのが、哲学なるもの正道であると思うのだが、しかし、それに頼っている時には、そのように自覚しては困る」(一一二五九)ということなのである。換言すれば、「よくわからない事を『わからない』と言い、アイマイな事を『アイマイだ』と認め、自分の使う言語の効用と限界について明らかな反省を持ちつつ進む、思索」(一一二六〇)、いわば哲学の「ニセ学問としての自覚」(一一二五九)である。「かくて哲学は、今まで無理矢理に裱を着せられ、ことさらに威厳をつくって

諸学の系列にまぎれこんでいたが、これからはその高座から下りて庶民の生活の中に入ってゆく(一一一七〇)ことになる。

これは、「哲学」自身に対して、自らの枠を破って、率直に現実生活の中で思索することを求めるものであり、プラグマティズムの見地からする「哲学」の解体宣言である。五〇年後の今日、哲学の状況は、なお旧態依然たるものかなりの部分で残しているだけに、鶴見のこの指摘は、的確である。

このことに関連して、鶴見は、「俗語を哲学の用語として新しく生かす」(一一一七一)ことを提唱する。これは、何よりもジェームズ(W. James, 1892-1910)の業績であるとされるが、ジェームズの哲学叙述法に見られるようなスラングと俗語の使用、実物教育、実験との結びつき、興味の役割の強調等には学ぶべきものが多い。「『厳密なる』述語の代りに、もっと形のくずれた、しかもっと気のきいた表現法」(一一一七二)によって、「軽やかに楽しく遊ぶ」(同)思索の効用も、もっと用いられてもよいのではないか、ということである。プラグマティズムの姿勢から出てくる発想は、「厳密さ」自体を否定するものではないが、ことさらに難解な用語や言い回しを使用することに固執するのではなくて、本来的にこのようなものであったと言えよう。

「天性厳肅な人にとってはこんな軽やかな足どりに合わせて思索を運ぶことは不快かつ無益である。しかしこれまでの日本人のようにもともと厳肅でなく生まれついた人間でさえも無理に厳肅そうな顔をして厳肅な言葉を使って自らの哲学を語らねばならぬというのも妙ではないか」(一一一七四-一七五)。

この指摘は、哲学の一面的な厳密性、論理的頑迷さのイメージに対して、プラグマティズムの視点からの批判であり、生活、実験との実的な結びつきへの提唱である。それ故ここから、プラグマティズムがそれを受け取る側での状況にに応じてさまざまな版というべきものになっていく可能性を持っていることが理解される。このことは、プラグマティズムが、「急迫せる社会問題についても説得を通して関係者の相互理解を計ることによって解決し得るとなし、和解の可能を重視して闘争の必要を無視する」(一一一七六)ユーモア小説型、アメリカ市民版プラグマティズムとして存在し得るとともに、そこに存在する諸要素、諸記号を通して、他の諸思想とも共有できる諸国版のプラグマティズムも成立可能であることを意味しているのである。

そしてプラグマティズム自身について言えば、「一つ一つの事実についての

溺れるような愛情」(一一一七八)から発する「例外を愛する精神」(同)の重要性が指摘される。これは、哲学の「ニセ学問としての自覚」につながる問題でもある。鶴見は、これについて、次のように述べる。

「価値の作り主は物質であり社会であるとしても、その実際の担い手は個人なのであるから、美とか善とか正義とかを論じるに当たっては、いくら面倒でも一人一人の人間の価値経験を参考にしなくてはならない。(略)哲学の問題についての答えは、問題の性質上、高度の確実性に達し得ない。答えには人によってかなりの開きがあるし、同一の個人においてさえも年とともに変わることも多い。(略)それゆえに、例外に気をつけるということが純粹学術の分野におけるよりもさらに必要になって来る」(同)。

この「例外を愛する精神の尊重」とは、自らの方法の限界と効用を自覚しつつ、しかも現実即ちして思索を推し進めるプラグマティズムの視点と言えよう。そしてこれはまた寛容の態度へとつながっていくのである。

「生きてゆくためにはまず若干の自信を持たなくてはならぬ。しかし自信ばかりで押し切っては、やがていつかは他人を害する立場に立つ。自分たちは、いつも自分たちの信念がある程度までまゆつばものだということを悟り、かくて初めて寛容の態度を養うことができる。自信と疑問、独断主義と懐疑主義との二刀流によって、われわれは世界と渡り合うことにしたい」(同)。

プラグマティズムの可能性は、このように語られる。

六

ところが、以上のような柔軟な視点を持つプラグマティズムは、鶴見によれば、次のような欠陥をも併せ持つ。

その第一点としては、プラグマティズムに歴史性のないことがあげられる。「歴史が個人の行動歴としてとらえられており、社会の歴史としてとらえられていないことである」(一一一三二六)。現実の世界に対してプラグマティックに行動するとは、まさしく個人が自分の周囲に働きかける以外にはないわけであるが、その個人の意識はまた、自分の周囲の日常環境に限定される。そしてこのことについての自覚は希薄である。社会、歴史が個人に対して直接介入し

て脅かすような場合には、個人はそれに対して、抵抗、行動すると鶴見は言う。しかしそれ以外の歴史性については自覚されることは少ない。

第二点は、「記号論に出発したプラグマティズムは、世界の記号的側面以外については注意をはらっていない」(同) ことがあげられる。「プラグマティズムは、記号論に重点をおくあまり、記号万能主義、コミュニケーション万能主義となり、記号およびコミュニケーションを讚美することによって人間社会の不幸はなくなるかのような幻想に指導されている」(同)。人間社会の非記号的側面、コミュニケーションの裂け目、デイスコミュニケーションは、当然存在するものであるが、これについてプラグマティズムは、注意をはらわない。このことは、プラグマティズムが本来有していた「状況から考える」という姿勢を損なう問題であると言えよう。

第三は、「プラグマティズムが折衷の方法としての自己の存在理由についての、自覚を欠いていることである」(同)。「折衷主義の高峰の中で、哲学史上にそびえたつ独自の高峰」(一一三二七)としてのプラグマティズムは、自身の限界についての自覚を絶えず持っていることで、有効性を維持するのであって、この自覚を欠くことは、プラグマティズムの「お茶坊主」性の本末転倒となる。

以上のプラグマティズムの欠陥と関連して、第二次世界大戦後のアメリカと日本のプラグマティズムでは、①官僚化、②帝国主義化、③大衆化という共通的な思想状況が現象した、と鶴見は指摘する。すなわちプラグマティズムは、本来「正統的な思想のこわばりを行動との交流を求めることによって批判する力として、出発した」(一一二八七)にもかかわらず、これ自身がかえって「正統的な思想」となっている面がある(官僚化)。とりわけプラグマティズムから発した「意味論の技術化」は、その研究者を大学内部に閉じ込め、大衆から遠ざかった、権力との関係を持つものとしている。また歴史を社会の歴史としてとらえることをしないプラグマティズムは、同時に、「個人の意志とは独立に歴史を推進する力としての経済的諸力についての認識を欠く」(一一二九〇) ことよって、結果としてアメリカ帝国主義体制の一部分として組み込まれることになる(帝国主義化)。つまり「帝国主義にたいして積極的に賛成し、これを推進するものとしてプラグマティズムは帝国主義化するのではなく、帝国主義の理念をつかみ得ず、これに自覚的に反対しないということによって、

プラグマティズムは帝国主義化するのである」(同)とされる。さらに、「プラグマティズムの官僚化、帝国主義化は、その傾向を支持強化するために、これらに対応する俗流プラグマティズムを作る必要をもつ。マス・コミュニケーションの諸ジャンルの中に登場する、チャッカリした人間像とその生活技術は、この意味におけるプラグマティズムの大衆化と考えてよいであろう」(一一二九一)という点は、われわれの日常に馴染みのものである(大衆化)。

しかしこのような欠陥や問題が存在するとはいえず、鶴見は、「官僚化、帝国主義化、大衆化のコースがプラグマティズムにとってただ一つの可能な発展のコースではない」(同)と指摘し、プラグマティズムに対して、次のようなスタンスを採用するべきであるとする。

「プラグマティズムは、必然性という概念に重きをおかない。思想史にたいしても、ある思想流派にとって必然的な一つの発展のコースを固定的に考えることをしない。私たちが、プラグマティックな精神にたつて、プラグマティズムの発展の歴史を見るとするならば、私たちは、プラグマティズムが現実のどの領域において妥当性を実証されて来たか、どの領域でどのような使い道で用いられることが適切であるかについて、私たち自身の仕方で積極的にプラグマティズムの意味をくみとって、そのかぎりにおいてプラグマティズムを生かすように試みるべきであろう」(一一二九一～二九二)。

このプラグマティズムへの、欠陥や問題点を踏まえた上での可能性への期待、これが鶴見のプラグマティズム観を特徴づけるものであろう。そしてこのことはまた、プラグマティズムそのものの本質とも照応していると言えよう。

七

以上われわれは、鶴見の提唱するプラグマティズムの特徴を、その構造、方法、折衷主義的性格、可能性そして欠陥と現況というかたちで検討してきた。この中でプラグマティズムの基本的立場の多様性が解明されるとともに、たんにアメリカ市民版のプラグマティズムのみならず、さまざまな各国版ものが成立可能であることが示唆された。このような構造を持ったプラグマティズムは、それ故「イデオロギーとしてでなく方法として把握されねばならぬ」(一一三

○五) というのが、鶴見の重要な主張の一つであった。このことは、プラグマティズムが、真四角のレンガを一つずつ積み重ねて構築される建物のような哲学体系ではなく、どこからでも出入り自由な中庭のようなものとして構想されていることを意味する。これは、従来の哲学思想観に対する批判であるとともに、プラグマティズムの有効性がどこにあるかということを確認するものであった。しかしこの有効性を保持していく力が、実はプラグマティズムには難しいというのも、鶴見の正直な見解であった。それは、次のように語られる。

「折衷の方法としての地力を発揮し、現在の世界に何かの善をなそうとするならば、プラグマティズムは現在のようにアメリカの植民地的支配の目的のためにつかわれることから自分をふりほどき、被圧諸民族の利害(インタレスト)に奉仕しなくてはならない。この目的意識は、どこからあたえられるか。やはり、プラグマティズムの外からあたえらるべきものと、私には思われる。

ここでも、やはりプラグマティズムは、他の流派の思想による補強を必要とする。階級的利害と結びつく仕方についてはマルクス主義から、少数者の利害と結びつく仕方については実存主義から学ぶことが必要となる」(一三二七)。

右の叙述では、他の思想流派の配置と関係については少々古い時代のものとなっているが、プラグマティズムが他流派から学び、それと結びついて、ある方向性をもつことができるという折衷主義的、調整的本質が明確に示されている。しかしこのことは同時に、プラグマティズムが、方法としてでなく、イデオロギーとして使用されているという現実をも示している。アメリカ帝国主義化されたプラグマティズムが問題であるから、そこからの脱出をはかるといふ主張も、プラグマティズム自身の中に含まれている諸矛盾を明らかに出すことにしかならぬように思われる。折衷主義的、調整的機能を発揮しようとするれば、イデオロギーとしてあってはならず、ある種のイデオロギーとしてでなければ、折衷主義的、調整的機能を発揮できぬというプラグマティズムのディレンマをどう解決するか。まさしくここにこそプラグマティズムの折衷主義的、調整的機能を期待するというのは皮肉であろうか。しかし他面、この機能の有効性は厳然として残っているのである。

プラグマティズムが、日本の歴史的状況とのかかわりで、どのような役割を果たしてきたかについては、改めて稿を起さなければならない。そしてこの問題との絡みで、日本の民主主義そのものが検討されねばならないであろう。し

かしその場合にも、プラグマティズムについて鶴見の語る、次の言葉は留意されるべきであろう。「プラグマティズムについて——引用者」このようなより包括的な体系がつけられる場合にも、プラグマティズムの根本的な特徴としてのこるのには、歴史の最後のページを書くもののおちいりやすいコワバリから自由であるという役割交換の性格、つねに暫定的に物事をとらえてゆき、あとの訂正に応じるといふマチガイ主義の性格である」(一三二八)。

註

- ① 本書は、一九五〇年の発行以来、加筆再版を経て、現在では、講談社学術文庫『新装版アメリカ哲学』(一九八六年)として出版されているが、本稿では、『鶴見俊輔集Ⅰ—アメリカ哲学』(一九九一年、筑摩書房)を用いた。
- ② 『鶴見俊輔集Ⅰ—アメリカ哲学』(一九九一年、筑摩書房)一四六ページ。なお以下本書からの引用は、(一—一四〇)等と表記する。
- ③ この記述、「意志の主権下に属するものであり」は、前後の記述からして「意志の主権下に属するものであり」とするのが妥当であると思われるが、如何なるものであろうか。
- ④ 『鶴見俊輔集Ⅰ—方法としてのアナキズム』(一九九一年、筑摩書房、一九九一年)二五六—二五七ページ。なお以下の本書からの引用は、(九—二五六—二五七)等と表記する。
- ⑤ このことに関連して、鶴見は、「今ふりかえって見て、アメリカ哲学から私がおそわった中でもっとも大切なものと感じられるのは、本質を何か特定のモノとして固定して考える仕方をうたがうことである。うたがう権利を社会的行動の中で行使してゆく道を、ミードの思想は準備する」(一—一〇四)と述べているが、この、思想を相対化し、調整していく観点が、後の社会的対象に対する発言につながっていると言えよう。

カラ、ノデ、タメの使い分けと継起表現～テについて (韓国語との対照をふまえて)

金 亨哲*・鍵本 有理

KIMU Hyonchoru・KAGIMOTO Yuri

1. はじめに

日本語を母語とする者が普段何気なく使い分けている助詞や類義表現について、外国人の日本語学習者の目から見ると、新たな問題が提出されることがある。例えば助詞のハとガの使い分け、あるいはアルとイルの違いなどがよく論じられている。

ところで、原因や理由を表すカラとノデ、あるいはタメ(目的を表す場合もある)についても、必ずしも置き換えが可能とは限らず、これまでもさまざまな観点から論じられてきた。本稿では、特に韓国語(本稿ではこの名称を用いることにする)との比較を通して、韓国の日本語学習者が間違いやすい点について指摘し、また、カラ・ノデ・タメの意味用法について考察する。タメニの形もあるが、本稿ではタメで代表させる。また、理由を表す表現と関連して、～テという継起表現についても取り上げることにする。

なお韓国語についての記述は金が行い、日本語に関する部分は鍵本が担当した。金が生じた韓国語の例文について、鍵本が解説を入れ、またこれらの語の意味用法について考察する形をとった。原因・理由や目的を表す韓国語については、解説の部分では印刷の都合上ローマ字で記す。全体にハングルと日本語を対応させ、ハングルの下にローマ字読みを添えた。また、日本語訳もなるべく直訳になるように示したが、当然便宜上のものであり、正確にそのニュアンスに対応するものではない。

2. 従来 of 学説

日本語のカラ、ノデ、タメに関して、これまでに論じられたものについて簡単に振り返っておく。

まず、カラとノデの違いについて、永野賢は、次のような点を指摘した。

a. 未来や命令の意味を含む文が次にくる時には、カラを使うが、ノデは使わない。

朋子が可哀想だから(*ので) 慰めて上げよう。(* は非文を表す。以下同じ)

配給をやるから(*ので) 取りにこい。

b. カラにだけ「結果や帰結を先に述べて、原因・根拠・理由などをあとから説明的に述べる」文末用法がある。

でも、あなたのおっしゃる時間には参れません。母か兄かが楽屋口まで迎えに参っているから(*ので) ですよ。

c. カラには、ノデの持っていない終助詞的な用法がある。

じゃあ僕は赤ノレンへ後から行くから(*ので)。

d. カラには、ハ・コソ・トテなどの係助詞や、トイッテなどをつけて強調する用法がある。

このおれが控えているから(*ので) は大丈夫だよ。

e. カラは推量や未来の意味のことばにつくことができるが、ノデはつかない。

次第にこの偏見は是正されるでしょうから(*ので)、七〇円台の日東は買物です。

そして、このような用法の違いをふまえて、

ひと口に言えば、

* 韓国済州漢拏大学非常勤講師

「から」は、表現者が前件を後件の原因・理由として主観的に措定して結びつける言い方、
「ので」は、前件と後件とが原因・結果、理由・帰結の関係にあることが、表現者の主観を越えて存在する場合、
その事態における因果関係をありのままに、主観を交えずに描写する言い方、
である。

と述べている¹⁾。さらに、命令文などにノテが使われる場合、

かけこみ乗車は危険なのでやめましょう。

財布一個拾得してありますので、お心当たりの方は当窓口までお申し出下さい。

については、いずれも末尾が丁寧形であることから、

「から」だと、強すぎてかどが立つところを、「ので」を使うと、丁寧な、やわらかい表現になり、下にくる丁寧形の表現とよく照応する。

としている²⁾。

この永野の論を嚆矢として、多くの論がある³⁾が、今は省略に従い、また必要に応じて触れることにする。

また、タメについては、奥津敬一郎の論⁴⁾を掲げておく。タメは、原因・理由と目的の両方を表す語であるが、奥津はこの二つを区別するのに、

目的構文には原則として次のような制限がある。

- 1) 補文の主語と主文の主語とは同一でなければならない。
- 2) 補文・主文いずれの主語も有生〔+animate〕のものでなければならない。
- 3) 補文および主文の動詞は、有生の主語による意志的動作を表すもの、〔+volitional〕という素性を持つものでなければならない。
- 4) 補文のテンスは未完了形でなければならない。

と述べ、また、

理由構文の場合は「ため」に限らず一般に、目的構文であげたような4つの制限はすべてない。……要するに、両者に因果関係があればいいのである。

としている。他にも論はあるが、また適宜取り上げることとする。

以上をふまえて、韓国語の原因・理由や目的を示す表現との比較を行い、そこから日本語についても述べる。

3. 1 韓国語の原因・理由や目的を示す表現

まず韓国語で、原因・理由を表す語と、目的を表す語の主なものを文例を示す。

① 도로가 붐볐기 때문에 늦었습니다 (理由)
DOROGA BUMBYEOTGI TTEMUNE NUJYEOT SUMMIDA
道路が 混んでいた ために (ので/から) 遅れました。

② 시험에 합격하기 위해서 공부를 했다 (目的)
SIHEOME HAPGYEOKHAGI WIHESEO GONGBURUL HETDA
試験に 合格する ために 勉強を した。

この韓国語のTTEMUNEは、形式名詞TTEMU (「ため」) に、助詞NE (「に」) がついたもので、日本語と一見似ているが、原因・理由のみを表し、目的構文に使われることはない。この点をまず注意する必要がある。一方、目的を表す場合はWIHESEOを使う。

次に、名詞や形容詞等につく場合であるが、

③ 감기 때문에 학교를 쉽니다 (理由)
GAMGI TTEMUNE HAKGYORUL SYIMMIDA
風邪 (の) ために 学校を 休みます。

④ **예쁘기 위해서 화장을 한다** (目的)

YEPPUGI WIHESEO WHAJANGUL HANDA
 きれいになる ために 化粧を する。

⑤ **아름답기 위해서 운동을 한다** (目的)

ARUMDAPGI WIHESEO UNDONGUL HANDA
 美しくある ために 運動を する。

③は名詞、④⑤は形容詞の場合であるが、いずれもその名詞や形容詞に語尾のG Iがついて名詞化(「～であること」)されたものになっている。日本語の場合、名詞に直接接続する場合は「～のために」と助詞ノを必要とするが、韓国語ではTTEMUNE・WIHESEOともに名詞や形容詞の名詞化したものに直接接続しており、直訳すると「風邪(であること)のために」「きれい(であること)のために」「美しい(こと)のために」のようになる可能性がある。なお日本語では名詞につく場合「～のために」とはいえるが、「～のから」「～のので」という言い方はない。

では、次に、理由を表すものについて、さらに詳しく見ていくことにする。なお、記述にあたっては必要に応じ、奥津の用語「理由構文」「目的構文」を使用する。

3. 2 理由構文

(1) 韓国語の理由構文の概観

韓国語の理由を表す表現としては、TTEMUNE以外に次のようなものがある。

⑥ **지진이 발생해서 건물이 부서졌다**

JIJINI BALSENG HESEO GONMULI BUSEOJYOTDA
 地震が 発生 して 建物が つぶれた(破壊された)。

⑦ **바람이 불어서 유리창이 흔들린다**

BARAMI BULEOSEO YURICHANGI HUNDULRINDA
 風が 吹いて 窓が 揺れる

⑧ **그 책은 값이 싸니까 샀다**

GU CHEKUN KAPSI SSANIKA SATDA
 その 本は 値段が やすいから 買った。

ここで注意しておきたいのは、当然のことながら、SEO、NIKAが日本語の「ので」「から」と等しく対応するわけではないことである⁹⁾。

⑨ **과일을 사서 먹었습니다.**

GWAILUL SASEO MOGOT SUMMIDA
 果物を 買って 食べ ました。

のように、SEOは「前提動作」を表す用法もあり、日本語の～テに近い。また、NIKAは、

⑩ **민기를 만나기 전까지는 반신반의였지만, 이야기를 들어 보니까 모든 것을 납득할 수 있었다.**

MINGIRUL MANNAGI JEONKAJINUN BANSINBANI YOTJIMAN, IYAG
 IRUL DUREO BONIKA MODUN GEOSUL NAPDUK HALSU ITSEOTDA

敏基に会うまでは半信半疑だったが、話を聞けばなるほどと思うことばかりだった。のように「条件文」に使われることがあり、「～してみたところ」という意味があることを参考にされたい。外国の日本語学習者にはカラ・ノデ・タメ、あるいは～テの使い分けがわかりにくいといわれるが、その誤用の原因の一つには、やはり母語の影響も考えられる。そこでいささか煩瑣になるが、韓国語の理由を表す語の使い分けについてみておく。

まずいずれも前件が後件よりも以前か同時である場合、

⑧ 그 책은 값이 싸니까 샀다

GU CHEKUN KAPSI SSANNIKA SATDA
その 本は 値段が やすいから 買った。

⑩ 그 책은 값이 싸서 샀다

GU CHEKUN KAPSI SSASEO SATDA
その 本は 値段が やすくて 買った。

⑫ 그 책은 값이 싸기 때문에 샀다

GU CHEKUN KAPSI SSAGI TTEMUNE SATDA
その 本は 値段が やすい ため (／ので／から) 買った。

このような場合は、NIKA、SEO、TTEMUNEは置き換え可能であるが、微妙なニュアンスの違いがある。すなわち⑧のNIKAは話し手が値段が安いと思って買ったというような場合であり、⑩のSEOは状況として第三者が値段が安いと言うので買ったというような、外から入った情報によってそうしたという場合である。また、⑫のTTEMUNEはどちらの場合も含み、単に理由を表す。つまり簡単にいえば、NIKAは話し手の主観的な立場からの表現、SEOは客観的な状況を表す表現ということになる。TTEMUNEはどちらの場合にも使える表現である。なお、NIKAとSEOについては、南基心が、

「NIKA」は発見から明かしに導くことであり、「SEO」は前件と後件の契機によって明かしに導くことである。(原文は韓国語)

と述べている⁶⁾。

次に、後件を以下のように変えると、SEO、TTEMUNE、NIKAは置き換えられない場合がある。それぞれ使用可能かどうかを、例文の後に簡単に表にして示す。

⑬a. 돈이 있어서 샀다

DONI ITSEOSEO (／NIKA／TTEMUNE) SATDA
お金が あって (／ので／から／ために) 買った。

b. DONI ITSEOSEO (／TTEMUNE) SATNI?
買ったか? 샀니?

c. DONI ITSEONIKA SARA
買え。 사라

d. DONI ITSEONIKA SAJA
買おう。 사자

| | | | SEO | TTEMUNE | NIKA |
|------------|-------|---------|-----|---------|------|
| お金があって | 買った | (過去) | ○ | ○ | ○ |
| (から/ので/ため) | 買ったか? | (疑問) | ○ | ○ | × |
| | 買え | (命令) | × | × | ○ |
| | 買おう | (勧誘・意志) | × | × | ○ |

原因・理由を表す場合のSEOは、後件に命令や勧誘・意志の表現を使うことができない（SEOが単に前提動作を示す場合は可能）。TTEMUNEも同様である。命令・勧誘・意志は後件がまだ実現していない未来の事柄ということになるが、この場合は、NIKAを使う。過去の事柄に対する疑問文には、SEO・TTEMUNEを使い、NIKAは使わない。このような使い分けは、SEO、TTEMUNE、NIKAの基本的な意味から考えて当然ともいえる。

(2) 韓国語と日本語の比較対照

韓国語の場合は、以上のように、まず後件の時制によって、SEO・TTEMUNEとNIKAの使い分けがあり、また主観的か客観的かで微妙なニュアンスの違いがある。

日本語学習者には、まずこのTTEMUNE・NIKA・SEOに対する日本語としてノデ・カラを教えることになるだろうが、その場合、まず基本的には時制にかかわらずノデ・カラが使える（タメについては後述）、またニュアンスの違いとしては、前掲した永野賢の指摘、つまり、

お金があるから（*ので）買え。

のような命令文の場合は、カラを使うのが普通であり、丁寧表現の場合はノデを使うことが多いという傾向に注意する必要がある。

また日本語では、後件が未来の事柄の場合、

お金があるのだから買え。（必然確定）

の他、

お金があるなら買え。

と、条件法のナラ（未来にも現在にも使える）を使った表現がある。ただし、この場合は、お金を持っているのは話し手ではなく命令する相手ということになり、

予算があるから買え。

は、（使うべき）予算が話し手、あるいは話し手を含めた人間（我々）にあるという状況を示す。

また、日本語ではノデ・カラの違いとして、ノデには文末用法がなく、カラが用いられることが挙げられている（当然、倒置の場合などは除く）。韓国語ではTTEMUNEを使うことが多い⁷⁾。TTEMUNEが文末に使われる例を一つ挙げておく。

⑭ 시험에 실패한 것은 점수가 나왔기 때문이다

IPSIE SILPE HANGEOSUN JEOMSUGA NAPPATGI TTEMUNIDA
入試に 失敗した のは、 点数が 悪かった ためだ（／からだ）。

もちろん、倒置や省略の場合はノデを使うこともあるが、このような文末用法の場合、日本語ではカラあるいはタメを使うという点も留意する必要があるだろう。

次に、日本語のノデ・カラの違いとして、平叙文の場合、

聞いておりませんから、わかりかねます。

聞いておりませんので、わかりかねます。

を比べると、カラの方がきつく感じるといわれる。この違いについて、永野は、依頼表現などにノデの使われることが多いという事実を挙げ、

「から」を使うと、主観的な理由を押しつけ、根拠を強調し、いわばたゞみかけるような印象を相手に与えるのに対して、客観的表現である「ので」を使うと、自分を殺して主観を押しつけない、淡々と述べている、という印象を与える。

としている⁸⁾。

韓国語のNIKAとSEOにも同様の傾向があり、

⑮ 머리가 아프니까 결석했다

MEORIGA APUNIKA KYEOLSEOK HETDA
頭が 痛いから 欠席 した。

⑩ 머리가 아파서 결석했다

MEORIGA APASEO KYEOLSEOK HETDA

頭が 痛くて 欠席 した。

の⑩は、欠席した理由を強調した構文になる。頭が痛いことが欠席した必然的な理由、言い換えれば「原因」ではなくても、話し手の判断によって、頭が痛いことを欠席した「理由」として表現しているのである。

一方⑩は、話し手が自分の意見を主張するのではなく、客観的な原因によって後件が成立することを示す。また前件の「頭が痛い」ことは聞き手にとって未知の情報でもよく、SEOを使うことによって丁寧な言い方になる。前掲の⑧⑩の例も参照されたい。SEOは直訳すれば日本語の「～て」に相当するが、特に因果関係がある場合は「～から」よりも「～ので」を当てる方が無難であろう。

(3) ～テの誤用

⑪ 비가 와서 학교에 못 갔다

BIGA WASEO HANGYOE MOTGATDA

雨が 降って 学校に 行けなかった。

この場合～テはノデと置き換えることができる。韓国語のSEOについては、～テ・ノデの両方の日本語が対応するようである。油谷幸利『朝鮮語入門 1』(1996年3月、ひつじ書房)に「どちらの意味になるかは、前後関係によって決まります」(p.61)とある。しかし全てのノデがテと置き換えられるわけではなく、韓国の日本語学習者にはノデとテの使い分けがわかりにくい。日本語学習者の誤用例として同様のものはよく知られており、鈴木忍⁹⁾は、

*暑くて、窓をしめて下さい。

のような例を取り上げて、

「～て」は二つの叙述内容を結びつける役目を持っているだけで、原因・結果、理由・帰結といった関係を生み出すのは前件と後件との接続関係によるものである。

と述べ、～テが本来は継起的な並列を示す表現で、～テそのものが原因を示すという本来の職能を持っているわけではなく、ただ素材と素材を～テで結びつけばよいというものではないとする。そして、原因・理由を表す場合の～テは、文末に命令や禁止、意志の形は使えないことを指摘している(このため、上記の例は不自然な表現となる)。

このような間違いについて、韓国語の用例から考えてみる。

まず、前述のように、SEOは、命令、勧誘・意志などには使えないので、この点は日本語の～テと同様に考えればよい。しかし、先に挙げた⑩の日本語訳、

?その本は値段がやすくて買った。

のような場合、平叙文であるが、やや不自然に感じることもある。奥津も指摘したように、他の語を使った理由構文は主語やテンスなどの制約がないが、～テは無条件には用いられないようであり、～テを用いても不自然さを感じない条件について考える必要がある。

これまでに論じられたものとしては、まず、鈴木が

あらゆる手をつくして、なおした。(手段・方法)

あらゆる手をつくして、なおした。(理由)

の例を挙げ、「なおした」は他動詞、「なおった」は自動詞であるとの違いがあること、また、

かぜをひいて、学校を休んだ。

値段が高くて買わなかった。

とはいえるが、

*値段が安くて買います。

とはいえないことなどから、

原因・理由を表す場合は、後件の文末には意志的な動作を表す動詞はあらわれにくい……「かぜをひいて、学校を休んだ。」の「休んだ」には自分の意志が入ってはいない……やむを得ずそういうはめになったという意味合いが

言外に含まれていると見るべきである。……「値段が安くて買います。」の「買います」は明らかに有意志であるから、不自然な表現になる。

と述べている¹⁰⁾。なおこの「買います」は、未来のことであるので、～テが使えないという見方もできる。

また、豊田豊子は、～テについて

「手段・方法」の場合—前項・後項が意志動詞・意志動詞

「理由」の場合—前項・後項が無意志動詞・無意志動詞、意志動詞・無意志動詞、無意志動詞・意志動詞

であり、

前項が意志動詞で、手段・方法の意味になりやすい場合は、もし理由をはっきりさせたいのなら、「ので」「から」を使うべきです。……また、後項に意志的な動作が来る文で、前項が理由を表す場合には「ので」を使わなければなりません。

とする¹¹⁾。ただし、「後項の述語が意志的な動詞でも、それが過去形であればこうした制限は解除されます。」とし、
お金がなくて、安い店で食べました。

のような例を挙げている。

しかし⑪の日本語訳や、鈴木¹²⁾が誤用例として挙げている文の後件を過去に変えたものも、やや不自然に感じることもある。

*値段が安くて買います。 → ?値段が安くて、買った。

*あした試験があつて、遊ばないようにしなければなりません。 → ?あした試験があつて、遊ばなかった。

*水がきたなくて、飲んではいけません。 → ?水がきたなくて、飲まなかった。

これらを、鈴木の論と同様に、「休んだ」には話し手の意志が入っておらず、一方「買った」は意志的である、と外国の日本語学習者に説明しても、わかりにくいかもしれない。

そこで、これらの文の前件には形容詞か、山田孝雄のいう「存在詞」が用いられていることに注目する。前件に形容詞がある用例を調べる¹³⁾と、

⑱「暗くて見えない」という黒柳さんに、子どもは…… (朝日新聞 21)

⑲教室が汚くて、いやだ。

⑳水がきたなくて、飲めなかった。

㉑涼しくて、よく寝られた。

このように、前件と後件共に、形容詞や形容動詞、あるいは後件に動詞がくる場合でも、動作動詞ではなく存在詞や可能動詞などの状態動詞がきて、話し手の判断や感情、あるいは周囲の状況・状態などを表すのはよいが、

㉒?教室が汚くて、怒った

㉓?涼しくて、寝ました。

のように、前件が形容詞など話し手の「判断」で、後件が「動作」になる場合は、ノデを使うのがよいといえることができる。なお同じ形容詞でも、

㉔頭が痛くて、学校を休んだ。

の「頭が痛い」は「頭痛がする」という言い方もできる、話し手自身の状態であり、このような場合は動作に近いと見なすことができる。

次の例でも考えてみよう。

㉕あの店は品物が少なくて、よくない。

㉕' あの店は品物が少なくて、行かなかった。

後の例は、後件が「動作」のため、テはノデに変えるとよい¹⁴⁾。ただし～テを用いても話し言葉では許容されることも多く、人によってもゆれがある。今後さらに検討の必要がある。

また、前件・後件が共に動詞がくる場合は特に問題はない。

㉖四人とも、ひどく疲れて、むっと押し黙っていたが、…… (風に吹かれて 24)

㉖長男(二五)の暴力に耐えかねて一年半前に夫婦で自宅を出た。(朝日新聞 26)

なお、～テの用いられた文は、上記以外にも、

㉗頭が痛くて、起きられない。(『日本語教育事典』 p212)

⑲実はテープレコーダーの調子が悪くて、最初のインタビューがうまく再生できなかったという事情も……

(アンダーグラウンド 419)

のように、不利益、マイナスの事柄が来るものが多く、そのような例が取り上げられやすいが、そうとは限らない。数は多くはないが、

⑳試験が終わって、ほっとしました。

のような例もある。

3. 3 タメの意味用法—理由と目的—

(1) 日本語の場合

前章で取り上げた以外の理由を表す表現としては、

㉑値段が高いために、買えなかった。

のような、タメを使うものがある。この章ではタメについて取り上げる。まず、このような理由を表すタメとカラ・ノデとの違いについて述べたものに今尾ゆき子の論¹⁶⁾がある。それによると、

通訳になりたいから (ので/*ため)、一所懸命勉強しています。

台風が来るそうだから (そうなので*そうなため) 明日の旅行を見合わせることにした。

のようにタメはモダリティ形式と共起しないこと、また

まあ、興奮していただろうから (*ので/*ため)、しかたがないと思うけれど……

のように、モダリティを表す形式の中でも特に主観性が強いもの(ダロウ、デショウ、マイ)には、タメだけでなくノデも共起しない、

映画の切符が2枚ありますので (から/*ため)、一緒に行きませんか。[勧誘]

のように、意志・勧誘・依頼表現が後続する場合に、カラとノデは使えるが、タメは使えないという違いがあり、それぞれの基本的性質は、

「カラ」：主観的要素にも客観的要素にも使用可能な接続形式

「ノデ」：客観的要素が含まれていれば使用可能な疑似客観的接続形式

「タメ」：主観的要素が含まれていると使用不可能な客観的接続形式

従来「ノデ」は客観的接続機能を持つとされてきたが、「ノデ」よりも「タメ」のほうがさらに客観的な接続形式と考えられる。

であるとする。なおタメは主に書き言葉に用いられるという性質もある¹⁶⁾。

ところで、タメが平叙文に用いられて理由を表す場合、奥津の論では、目的を表す場合と違い、文法制限はないとしている。これに対し、于日平¹⁷⁾は、タメを用いる場合、まず文の性質として、補文(前件)・後件(主文)共に動作的なもの(意志性があるもの)がくる場合は目的構文、補文・主文のどちらか、あるいは両方に状態・結果的なものがある場合は理由構文になるとし、テンスについては、「二つの動作的な出来事の時間関係は発生の前後を基準とする継起関係にある」ことが必要であるとする。その上で、

*明日試験を受けるために、今日は図書館で勉強する。

が非文であるのは、「補文の出来事の発生が主文のそれより以後になって、目的の意味に解釈されるのが普通であるにもかかわらず、主文の出来事発生の理由にしようとする」¹⁸⁾からであると述べている。また前件が未来の場合でも、

?津波が来るために (ので)、ジョンはヨットを陸にあげた。

のような場合は、前件が「予定として既定事実化」¹⁹⁾していると見なし、理由構文として許容されるとする。

タメの用法の問題点としては、目的・理由の二義があり、日本語学習者にその使い分けがわかりにくいことにある。その際、問題になるのは、前件のテンスが未来の場合である。なおその場合もカラ・ノデを使えば問題はなく、奥津のいうように制限はない(テンスが未来の場合も当然使えない)。

㉒明日試験を受けるので (/から/*ため/*て)、今日は図書館で勉強する。

なお、前件のテンスが未来でも、「状態」的なものに言い換えれば、タメを用いても理由構文となる。

㉓明日試験があるため、今日は図書館で勉強した。

㉑明日お客が来ることになっているために、今日は準備で忙しい。

ところで、次のように、前件のテンスが未来で、目的とも理由とも解釈できる例がある。

㉒山田君は明日ニューヨークへ出張するために今日は早退した。

この例は、奥津が提出し、その後于の論でも取り上げられているものである。また、

㉓人と逢うため、留守にします。

これは補文(前件)・主文(後件)共に動作的なもので、于の論に従えば一応「目的」とも考えられるが、

㉔人と逢うので(ノから)、留守にします。

との違いを、日本語学習者にどう説明すればよいだろうか。そこでこのような例を中心に、「目的」と「理由」について考察する。

現代日本語では、一応この「目的」と「理由」を区別しているが、元はこの二つは明確に区別できるものではない。国広哲弥は、

㉕英子がそういったのは、やはり大瀬を完全に突き放したくないためだった。(=完全に突き放したくないためにそういうのだ)

の例を挙げ、

このような現象を見ると、タメの基本的意味は「目的」と「理由・原因」を包含した一つのもので、それがAとB(引用者注、A、Bはこの構文を「AタメにB」とした時の、それぞれ前件と後件を表す)の意味関係によっていずれにもなるのだと考えられてくる。(英語の for, フランス語の pour, 中国語の wèi も「目的・理由・原因」を意味する。)……タメの基本的意味を次のように考える。

タメ 〈Bの行動・状態を引き起こす理由を示す〉

この〈理由〉がBより以前であれば「理由・原因」となる。以後であれば、「目的」ということになる。

とする²⁰⁾。

この国広の論を受け、吉野政治²¹⁾は、「理由」のうち、「時間的に後にあるもの」を、

将来約束されているものや推量されるもの—将来因

意図・希望するもの—目的因

に分けた。そして、上代のタメの用例について、用言を受けるタメは、全てムタメの形を取る、前件が未来のもので、「～だろうから」の意を表す、「将来因」の場合と、「～たいから」の意になる、「目的因」に二分されるとした。

そこでこの見方を、現代語の例にも積極的に応用すればどうであろうか。すなわち、

㉖明日試験を受けるため、今日は図書館で勉強する。

は、「試験を受ける」ことは、まだ実現してはいないが、予定されている未来の出来事(「(予定として)試験を受けるだろう」)で、この場合は理由となる。逆にいえばこの文だけでは話し手が望んで試験を受けるとは考えにくい。一方、

㉗試験に合格するため、図書館で勉強する。

は、「合格したい」という願望、あるいは「～しようと思う」という意志があり、この場合は「目的」と見なすことができる。特に「合格する」ことのように不確実な事柄の場合は、「目的」であると判断しやすい。しかし先ほどの、

㉘山田君は明日ニューヨークへ出張するために今日は早退した。

㉙人と会うため、留守にします。

は、前件が「予定」と見ることができ、普通は「理由」と判断される。㉚と同じ動詞「会う」が用いられていても、

㉛単身赴任を始めた父に会うため、先日、母と弟の三人で上京した。(朝日新聞 22)

のように「父に会いたい」「会おうと思って」という気持ちがある場合は「目的」ととれる。その他、

㉜滋賀県の人々は、琵琶湖の水を守るため、節水するなど様々な努力をしてくれている。(朝日新聞 22)

㉝お金を払うために受付まで行ったんです。(アンダーグラウンド 427)

も同様に考え、「目的」とする。

前件が名詞の場合も、二義性がある場合が多いが、

㉞旅行のため、休暇を取った。

㉟育児のため、仕事を辞めました。

これを、「旅行をしたい」という願望、「育児をしようと思う」という意志があると考えれば、目的と解釈でき、単に

「予定」と見なすと、理由と解釈できるのである。特に「育児のため」の例では、時間的先後関係として、既に育児をしているのであれば「理由」、これから出産・育児を控えている場合は「目的」と見なせる場合もある。

なお、タメはモダリティと共起しないといったが、次のようにタイと共に用いられた例がある。

④①あなたはあの時、すべてを捨てて森に隠れたいために (から/*ので)、わざと賭けに負けたのですね。

今尾はこの例を挙げ、前提・焦点という観点から、ノデは前提・旧情報を示し、焦点にはなりにくく、新情報・焦点である「賭けに負けた理由」を話し手が知り、意外感や驚きを表すにはタメニ (あるいはガタメニ)・カラが使われるとしている²³⁾。この結論は首肯できるものであるが、一言付け加えるならば、元来タメは、未来の事柄に用いられ、「～たいから」の意を含むものであった。～タイタメの例文を、

④①' あなたはあの時、すべてを捨てて森に隠れるために、わざと賭けに負けたのですね。

④④' 英子は大瀬を完全に突き放さないためにそういったのだ。

と言い換えても相違はない。また逆に～タイがない文を、

④②ただ、ディレクターや社員たちに忘れられないために、毎日そこに顔を出しているのだった。

(風に吹かれて 37)

④②' ただディレクターや社員たちに忘れられなくために、毎日そこに顔を出しているのだった。

と言い換えることも可能である。タメの原義が忘れられ、相手や第三者の気持ちを推し量る場合に強めとして～タイが挿入されたと見るべきではないだろうか。

(2) 韓国語との比較

では次に、前件が未来のものについて、韓国語と比較して気になった点を挙げる。まず韓国語の用例を挙げる。

④③ 내일은 개일 것이기 때문에 세탁을 했다

NEILUN GEIL GEOSIGI TTEMUNE SETAKUL HETDA

明日は 晴れるだろう から、洗濯を した。

これは、理由を表すもので、韓国語ではTTEMUNEの他、NIKA、SEOを用いることもできる。ただし前述のように、SEOを使うと外から入った情報などによって洗濯をしたという意味になる。注意点としては、これを日本語にしたとき、ダロウというモダリティ形式があるので、「だろうので」と、ノデを使うことはできないということがある。

また、

④④ 내일 영화를 보니까 오늘 친구와 약속을 했다

NEIL YONGWHARUL BONIKA ONUL CHINGUWA YAKSOKUL HETDA

明日 映画を みるから 今日 友達と 約束を した。

④⑤ 내일 할 일이 있어서 친구와 약속을 했다

NEIL HALILI ITSOSEO CHINGUWA YAKSOKUL HETDA

明日 することが あって 友達と 約束を した。

この二つは普通に使われるが、筆者(金)の判断によると、④④はSEOとは置き換えができないが、④⑤は、SEO・NIKA両方が使われる。韓国語について述べるのが目的ではなく、今はその用意もないが、「明日映画を見る」ことは意志性が強い。また後件(主節)の時点とは切り離されている。一方「明日することがある」というのは、主節の時点で事実となっていると見なすことができる。

しかし日本語では、いずれもこのままでは因果関係が見出しにくく(前後の関連がわかりにくい)、理由構文にはなりにくいように思う。特に は日本語としてはやや不自然に感じるだろう。

そこで先ほど述べた条件から、「映画をみる」ことはどちらかといえば、意志的であり、また話し手の希望であると考えられ、

④⑤a. 映画をみようと思って、友達と約束をした。

b. みるのに

c. みるため

と、目的構文で表現されるのが自然であろう。なお韓国語にも、

㉗ 예약을 하려고 전화했습니다.

YEYAKUL HARYAGO JEONWHA HETSUMMIDA

予約を しようと(思って)電話を しました

のような表現もある。このような例はそう多くはないだろうが、韓国語の用例と比較し、さらに検討する必要がある。

3. 5 目的構文

では、最後に韓国語の目的表現について簡単に触れておく。WIHESEOや前述のRYOGO以外の目的を表す言い方として、

㉘ 그는 담배를 사러 나갔다

GUNUN DAMBERUL SAREO NAGATDA

彼は たばこを 買いに 出た。

のようにREOを使うものがある。REOの後件には必ず移動動詞が使われ、この点、日本語の「～しに」と同様である。これを、

㉙ 그는 담배를 사기 위해서 나갔다

GUNUN DAMBERUL SAGI WIHESEO NAGATDA

彼は たばこを 買う ために 出た。

と、WIHESEOを使うと、日本語と同様、やや特別な言い方で、特に意志・目的を持っていわば遠くまで出かけたという感じになる²³⁾。

4. むすび

以上、理由・目的構文について見てきたが、現代日本語では、個々の語の機能以上に、前後の文脈、内容が重要視されているようである²⁴⁾。今後この傾向はより強まるであろう。特に～テによって、二つの事柄をつないだ場合は、いろいろなケースがある。もしそこに因果関係が見出される(理由と考えられる)ならば、日本語ではノデ・カラを使い、「理由」であることをはっきりさせた方がよい場合もある。他の言語、例えば英語でも継起、手段、方法、原因、理由、対比などを全てandでつなぐことができる²⁵⁾。日本語ではどこまでを許容される言い方とするか、～テの用法を中心に、まだ課題は残されている。

¹⁾ 「「から」と「ので」とはどう違うか」(『国語と国文学』29巻2号、1952年2月)。

²⁾ 「再説・「から」と「ので」とはどう違うのか—趙順文氏への反批判をふまえて—」(『日本語学』第7巻13号、1988年12月)。

³⁾ 本稿で取り上げた以外に、森田良行『基礎日本語2—意味と使い方』1980年6月、角川書店、p110～113、山田みどり「助詞の諸問題」(『研究資料日本文法 第5巻 助辞編(一) 助詞』1984年3月、明治書院)、趙順文「「から」と「ので」—永野説を改訳する—」(『日本語学』第7巻7号、1988年7月)、上林洋二「理由を表す接続助詞補稿

—「から」と「ので」—(東洋大学紀要 留学生教育センター) 12号 1992年3月)、渡辺洋子「現代語助詞論攷 —「から」と「ので」はどう違うのか—」(福岡大学日本語日本文学) 2号、1992年12月)、栗原幸則「理由原因表現の一考察「から」「ので」「て」をめぐって—中級の読解教材作成の指針作りを目指して—」(拓殖大学日本語紀要) 6号、1996年3月) などがある。

- ⁴⁾ 『いわゆる日本語助詞の研究』1986年4月、凡人社。
- ⁵⁾ このSEO・NIKAの用法については、油谷幸利『朝鮮語入門』1996年3月 ひつじ書房、同『朝鮮語入門 2』1997年10月 ひつじ書房、から例文を引用させていただいた。
- ⁶⁾ 「論理的形式으로서의 ‘-니까’ 구문과 ‘-어서’ 구문」, 『국어의 통사·의미론』, 1983年1月、塔出版社。
- ⁷⁾ この場合はNIKAに置き換えることもでき、またテンスが現在の場合はSEOを使うこともできる。
- ⁸⁾ 永野注1論文。また、浅見徹「カラとノデ」(『講座現代語 第六巻』1964年、明治書院)も永野の論を受け、カラの方が理由・原因ということを強く感じないわけにはいかない。主観による理由を強調して相手に押しつけるような響きをするわけである。……依頼とか、こちらの意向表明とかが丁寧形で行われる場合には、カラの代わりにノデが使われることが、よくある。(p297)
- とする。
- ⁹⁾ 鈴木忍『教師用日本語教育ハンドブック③ 文法I 助詞の諸問題1』国際交流基金日本語国際センター、1978年3月。
- ¹⁰⁾ 鈴木注9前掲論文、p183~187。
- ¹¹⁾ 『NAFL Institute 日本語教師養成通信講座 B-3 日本語の文法(3)』p73。
- ¹²⁾ 注11前掲論文、p187。
- ¹³⁾ 用例の出典は、
朝日新聞(大阪本社版、第13版)2000年9月4日 朝刊
五木寛之『風に吹かれて』1972年5月 新潮文庫
村上春樹『アンダーグラウンド』1999年2月 講談社文庫
による。
- ¹⁴⁾ なお、ノデを用いた場合、前件のテンスも過去にそろえる表現もある。
値段が安かったので、買いました。
- ¹⁵⁾ 「カラ、ノデ、タメ—その選択条件をめぐって—」(『日本語学』10巻12号、1991年12月)
- ¹⁶⁾ 『日本語教育事典』p213。例としては、
わたしは当時病院長で、式に出席しなくてはなりませんので、そのための服を着ていました。
(アンダーグラウンド 371)
- のノデはカラとは置き換えられるのが、タメに置き換えられないことが参考になるう。
- ¹⁷⁾ 千日平「「タメニ」の意味表出と構文的特徴—複文に見られる時間関係と意志性について—」(筑波大誌『日本語と日本文学』22号、1996年2月)。
- ¹⁸⁾ 注17前掲論文、p14。
- ¹⁹⁾ 注17前掲論文、p17。また、岩崎卓「ノデ節、カラ節のテンスについて—従属節事態後続型のルノデ/ルカラー—」(『待兼山論叢』日本学編27号、1993年12月)も、ノデ・カラについて、
ノデ節、カラ節の事態は、(それが未来の事態であっても)主節時に真であると確定していなければならないし、
発話者が発話者に真であると認識していなければならない。
としていることも参考になるう。
- ²⁰⁾ 国広哲弥他『ことばの意味 3』平凡社 1982年5月。
- ²¹⁾ 「上代のタメについて」(『万葉』136号、1990年7月)
- ²²⁾ 注15前掲論文、p85~86。
- ²³⁾ この点、『日本語教育事典』p440「~しに」の説明に詳しい。
- ²⁴⁾ 重見一行「「から」と「ので」の構文的機能の相違について」(大阪大学「語文」65号、1996年2月)、p36に指摘がある。
- ²⁵⁾ このことについては、鈴木注9前掲論文、p185に例文が挙げられている。

PID 制御を用いたロボットアームの制振制御

飯田賢一・中島レイ*

Vibration Control for a Robot Arm with PID-Controller

Ken'ichi IIDA, Ray Nakashima

電気学会論文誌 C, 120巻3号, 359-364

サーボモータを駆動源とする位置決め装置は工作機械、産業用ロボットなどに広く用いられている。しかしながら、これらは、機構的にサーボモータにボールネジ、ギア、カップリング等の結合部を介してスライダ、アーム等の負荷が取り付けられており、結合部の剛性の問題から、負荷側が振動的になる場合がある。近年、それらの機械共振系の第一次近似モデルとして2慣性系が用いられ、その振動抑制法として、共振比制御、 H_∞ 制御理論を用いたロバスト制御、オブザーバを用いた状態フィードバック制御などが提案されている。しかしながら、それらの制御法を用いる場合、負荷側にセンサーを取り付けるのは一般的に困難であるため、直接測定できない状態量をオブザーバを用いて推定する必要があり、制御システムは複雑となる。さらに、それらの制御パラメータの決定も複雑になることが考えられる。これらに対し、位置決め系におけるモータ位置を観測量としたPID制御は、整定時間、パラメータ変動に対するロバスト性、汎用性、調整の容易さ等、多くの面で優位性があり、産業界で広く用いられている制御系は依然としてPID制御である。特に、ユーザーがPID制御を用いる大きな要因は調整の容易さであり、それゆえ、セミクローズド方式のシステムを簡略化し、制御パラメータの調整を容易にすることは、非常に重要な要素の一つと考えられる。

本論文では、上記の観点からシステムの簡略化、すなわち、モータ位置および速度情報からなるPID制御器のみによって図1に示すシステム構成から、制振制御しつつ負荷側の位置制御を行うPID制御器の設計を行っている。また、最近のモータの小型高性能化に伴う負荷慣性とモータの慣性比に着目し、PID制御器の設計につ

いて検討を行っている。

その結果、慣性比によって制振制御可能な設計条件が導かれる。さらに、試作した2慣性システムにおけるPID制御器の設計を行い、実測によりシステムの有用性を確認している。図2は、異なる慣性比における実測結果である。提案する手法から導かれたPID制御器の設計パラメータを用いた場合、振動が抑圧され、残留振動なく位置制御されていることがわかる。

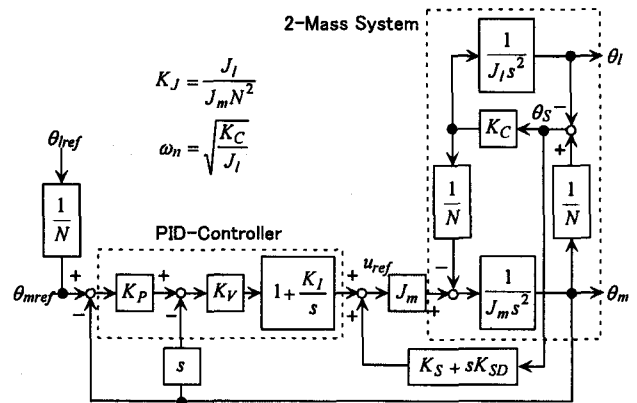


図1 システム構成

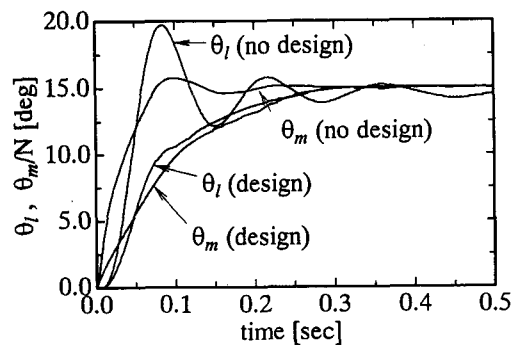


図2 実測結果

* 九州工業大学大学院

Radial Liquid Velocity Distribution in an External-loop Airlift Column with a Tapered Riser

Mikio Kawagoe*, Shohei Yoshida, Yukimasa Ishii and Kazumitsu Naoe

Canadian Journal of Chemical Engineering, 77, No.5, 811-815 (1999)

Airlift bubble columns are widely used as gas-liquid reactors in chemical industry and bioreactors in bioindustry. In the submerged culture of mushroom and mold, they often form spherical and/or filamentous pellets. For such cultures, airlift bioreactors were thought to be more suitable than standard bubble columns and jar fermentors, because the pellets were maintained in suspension due to high liquid circulation and in mild hydrodynamic conditions due to no mechanical moving parts. In these cultures, it is favorable if most of mycelium pellets can be held in the riser of the airlift column, because higher dissolved oxygen concentration and good mixing conditions may be attained in the riser. For this purpose, we devised a modified external-loop airlift column with a tapered riser. Since the cross-sectional area of the tapered riser increases with an increase of height from the bottom of the tapered riser, liquid velocity decreased with increasing the height along the axis of the column. If a particle in the tapered riser have a terminal velocity between the highest liquid velocity at the bottom and the lowest one at the top of the tapered section, the particle will be held in the tapered riser.

The purpose of this study is to investigate the liquid velocity distribution in the tapered riser, because the liquid velocity distribution in the tapered riser as well as the liquid circulation rate may influence the characteristics of this modified airlift column. The liquid velocity distribution in gas-liquid two phase flow has been studied empirically and theoretically by many investigators. However, they studied the gas-liquid flow only in a cylindrical tube. Recently, the liquid velocity distribution in a jet bubble column that had a conical section at the bottom of the column was investigated by solving the momentum balance and equation of continuity. However, the simulation was

very complicated. In the present study, from the practical point of view, we intend to predict the liquid velocity distributions in the tapered section by a simple hydrodynamic model. Also, the liquid velocity distributions in the tapered section were measured by electro-conductivity probe method. The predicted liquid velocity distributions were compared with the observed ones to discuss the validity of the present model.

The liquid velocity distributions obtained by solving Navier-Stokes equation numerically consisted with those calculated from the approximate solution based on the fully developed distribution everywhere in the tapered section. The validity of the present model was confirmed by the comparison of the computed distributions with the observed ones. As shown in Figure 1, the computed liquid velocity distributions agreed well with the measured ones, except for the lower part of the column at high gas flow rates. Also, the computed liquid velocity distribution suggested the existence of the internal liquid circulation in the tapered riser, which was observed visually.

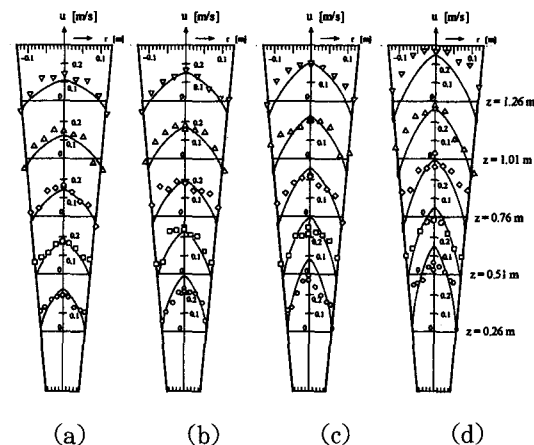


Fig. 1 Liquid velocity distribution in the tapered riser: (a) $G=100$, (b) $G=200$, (c) $G=400$, (d) $G=620\text{cm}^3/\text{s}$

教官研究活動一覽

(機械工学科)

Rotordynamic Fluid Force Moments on an Open-Type Centrifugal Compressor Impeller in Precessing Motion

Y.Yoshida (Osaka Univ.), Y.Tsujimoto (Osaka Univ.), D.Yokoyama (Osaka Univ.), H.Ohashi (Kougakuin Univ.), F.Kano

Proceedings of the International Gas Turbine Congress, Kobe, IGTC'99 Kobe OS-605

(1999年11月15日 講演)

Elongational effects in the flow of viscoelastic fluid through a wavy channel

Takashi Koshiha, Noriyasu Mori (Osaka Univ.), Shiro Sugiyama (Osaka Inst. Tech) and Kiyoji Nakamura (Osaka Univ.)

Rheol Acta. Vol. 38, No. 4, pp. 375-383

(1999年12月)

Measurement of pressure loss and observation of the flow field in viscoelastic flow through an undulating channel

Takashi Koshiha, Noriyasu Mori (Osaka Univ.), Shiro Sugiyama (Osaka Inst. Tech) and Kiyoji Nakamura (Osaka Univ.)

J. Rheology. Vol. 44, No. 1, pp. 65-78

(2000年1月)

波状流路を通過する粘弾性流体の流れの数値シミュレーション

小柴 孝, 森 教安(大阪大学), 中村喜代次(大阪大学)

日本レオロジー学会誌. Vol. 28, No. 1, pp. 27-33

(2000年3月)

Flow resistance in viscoelastic flows through channels with complex periodic geometry

Takashi Koshiha, Noriyasu Mori (Osaka Univ.), Shiro Sugiyama (Osaka Inst. Tech) and Kiyoji Nakamura (Osaka Univ.)

Proceedings of XIIIth International Congress of Rheology, Cambridge, UK, Vol.2 pp. 276-278

(2000年8月25日 講演)

焼付き損傷の理解の進展

野々垣 稔

日本トライボロジー学会 機械技術の進展史 - トライボロジーを主とする - 研究会

(2000年1月21日 講演)

ジャーナルすべり軸受の焼付き損傷に関する研究

木下隼吾, 井上靖数, 野々垣 稔

日本機械学会関西学生会卒業研究発表講演会

(2000年3月15日 講演)

ジャーナル滑り軸受の焼付き

野々垣 稔

関西潤滑懇談会平成12年度9月例会

(2000年9月29日 講演)

事例に基づくリンク機構経路創成法の初期検討(4節平面リンクを対象として)

平 俊男, 田中正夫(大阪大学大学院)

日本機械学会 第9回設計工学・システム部門講演会講演論文集(No.99-27), pp.431-432

(1999年12月)

設計事例に基づくリンク機構経路の総合

平 俊男, 田中正夫(大阪大学大学院)

NCP研究会・機械の強度と形態研究懇話会第23回シンポジウム論文集, pp.41-42

(1999年12月)

空き缶スターリングエンジン

平 俊男, 野々垣稔

'99青少年のための科学の祭典 第2回奈良大会 ガイドブック
(1999年10月)

四足歩行型ロボット歩行パターンの進化的獲得

渡辺康仁, 山本陽介, 谷口 豊, 飯田賢一, 平 俊男

日本機械学会関西学生会卒業研究発表講演会前刷集,

p.11-13

(2000年3月)

事例に基づく四節リンク機構の設計 (動特性を考慮した形状設計への展開)

岡田祥明(大阪大学), 平 俊男, 東藤正浩(大阪大学), 田中正夫(大阪大学)

日本機械学会関西学生会卒業研究発表講演会予稿集,

p.12-12

(2000年3月)

機械工学総合科目としての情報処理

平 俊男

情報処理教育研究発表会論文集 第20号, pp.152-155

(2000年8月)

機械工作法

平井三友(大阪府立高専), 和田任弘, 塚本晃久(大阪府立高専) 著

コロナ社 2000年3月15日出版

Al-17%Si合金の切削における工具摩耗

和田任弘, 三澤顕悟

日本機械学会 関西学生会学生員卒業研究発表講演会

(2000年3月15日 講演)

(Ti, V)Nコーテッド工具の工具摩耗について

和田任弘, 岩崎 伸

日本機械学会 関西学生会学生員卒業研究発表講演会

(2000年3月15日 講演)

TOOL WEAR OF PVD COATED CEMENTED CARBIDE TOOL IN TURNING OF FORGED SINTERED MATERIAL

Shinsaku HANASAKI (Osaka University),

Junsuke FUJIWARA (Osaka University), Tadahiro

WADA, Kazuki HIRO

5th. Inter. National Conference on Progress of Machining Technology (5th ICPMT), Beijing, China (16 Sept, 2000), pp. 42-47.

(電気工学科)

フッ素系 Li イオンゲル電解質の電気的特性と二次電池への応用 (II)

村野孝訓, 河合義和, 沢田英夫, 京兼 純

平成11年電気関係学会関西支部連合大会(G6-23)

(平成11年11月14日 講演)

フラレノール添加 P U E の低電界駆動アクチュエータ

浦西大裕, 京兼 純, 上田 敦 (ニッタ株)

平成11年電気関係学会関西支部連合大会(G6-32)

(平成11年11月14日 講演)

低エネルギーイオン粒子による有機薄膜太陽電池の試作

山口弘樹, 中村昌樹, 京兼 純

平成11年電気関係学会関西支部連合大会(G6-33)

(平成11年11月14日 講演)

フラレノール添加 P U E の電歪効果と低電界駆動アクチュエータへの応用

京兼 純, 浦西大裕, 吉田孝志, 上田 敦 (ニッタ株)

第31回電気電子絶縁材料システムシンポジウム予稿集

pp.273-276

(平成11年11月14日 ポスター講演)

フラーノール添加PUEの電歪効果と低電界駆動アクチュエータへの応用

京兼 純、浦西大裕、上田 敦 (ニッタ㈱)

電気材料技術雑誌 第8巻1号, pp.18-24

(1999年12月)

イオンビームアシスト法を用いた面発光型有機ELダイオードの試作研究

益村友之, 京兼 純

平成11年度電気学会関西支部高専卒業研究発表会

(平成12年3月3日 講演)

フッ素系Liイオンゲル電解質の電気的特性と二次電池への応用

村野孝訓, 南 俊和, 沢田英夫, 京兼 純

平成12年電気学会全国大会(2-092)

(平成12年3月22日 講演)

フラーレン添加PUEの電歪効果とアクチュエータへの応用(Ⅲ)

浦西大裕, 京兼 純, 上田 敦 (ニッタ㈱)

平成12年電気学会全国大会(2-093)

(平成12年3月22日 講演)

低エネルギーイオン粒子による有機薄膜太陽電池の試作

中村昌樹, 山口弘樹, 京兼 純, 吉野勝美 (大阪大学)

平成12年電気学会全国大会(2-091)

(平成12年3月22日 講演)

ポリウレタンエラストマ(PUE)の電歪効果発現とアクチュエータへの応用研究

京兼 純, 浦西大裕, 上田 敦 (ニッタ㈱)

電気化学会第67回大会(3P06)

(平成12年4月6日 講演)

低エネルギーイオン粒子による有機薄膜太陽電池の試作

山口弘樹, 中村昌樹, 京兼 純

電気化学会第67回大会(3P07)

(平成12年4月6日 講演)

ポリウレタンエラストマ(PUE)の電歪効果を利用したアクチュエータへの応用

京兼 純, 浦西大裕, 平井利博 (信州大学), 上田

敦 (ニッタ㈱)

電気化学会技術・教育研究論文誌 第9巻1号,

pp.23-28

(2000年4月)

Electrical Properties of Fluorinated Gel Electrolyte and Its Application to Lithium Ion Secondary Battery

J. Kyokane, T. Murano, T. Minami and H. Sawada

International Conference on Electrical and

Electronic Material Engineering (ICEME 2000),

Osaka, Japan

(April 8, 2000, Oral Presentation)

Electrical Properties of Fluorinated Gel Electrolyte and Its Application to Lithium Ion Secondary Battery

J. Kyokane, T. Murano, T. Minami and H. Sawada

J. Soc. Elect. Mat. Eng., Vol. 9, pp.51-54

(2000年4月)

ポリウレタンエラストマ(PUE)の電歪効果を用いたアクチュエータへの応用研究

京兼 純, 浦西大裕, 平井利博 (信州大学), 上田

敦 (ニッタ㈱), 吉野勝美 (大阪大学)

電気学会「第17回センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム

(平成12年5月30日 講演)

Application to Actuators using Electrostriction Effect of Fullerenol Doped Polyurethane Elastomer

J. Kyokane, D. Uranishi, T. Hirai (Shinshu Univ.),

T. Ueda (Nitta Co.) and K. Yoshino (Osaka Univ.)

Technical Digest of THE 17th SENSOR SYMPOSIUM 2000, IEE Jpn., pp.73-76

(2000年5月)

APPLICATION TO ACTUATORS OF FULLERENOL DOPED POLYURETHANE ELASTOMER (PUE)

J. Kyokane, D. Uranishi and T. Ueda (Nitta Co.)
International Conference on Science and Technology of Synthetic Metals (ICSM 2000), Gastein, Austria
(July 21, 2000, Poster Presentation)

ポリウレタンエラストマ(PUE)の分子構造制御とアクチュエータ機能

京兼 純, 徳木健太郎, 浦西大裕, 上田 敦 (ニッタ 株)

電子情報通信学会・有機エレクトロニクス研究会 (OME-2000-100)

(平成12年9月14日 講演)

光と電気の関わり (特別講演)

高橋晴雄

電気関係学会関西支部主催学生のための講演会
和歌山高専

(1999年10月29日)

太陽電池モジュールの方位に対する発電量の比較

川久保靖 (専攻科), 山脇竹治 (鐘淵化学工業), 水上 誠志郎 (鐘淵化学工業), 寺西大, 高橋晴雄

平成11年電気関係学会関西支部連合大会 G5-1

(1999年11月13日 講演)

赤外線センサを用いた行動予測の基礎実験

藤田隆志 (専攻科), 細木義人 (本科), 寺西大, 高橋晴雄

平成12年電気学会全国大会 1-047

(2000年3月21日 講演)

瞬目センシング法による感性評価の実験的考察

岡本牧人 (専攻科), 高橋晴雄

平成12年電気学会全国大会 3-123

(2000年3月24日 講演)

太陽電池モジュールの方位に対する発電量の比較

川久保靖 (専攻科), 山脇竹治 (鐘淵化学工業), 水上 誠志郎 (鐘淵化学工業), 寺西大, 高橋晴雄

平成12年電気学会全国大会 4-065

(2000年3月24日 講演)

音響信号情報を用いた紙幣の多段階疲弊識別

寺西 大, 大松 繁 (大阪府立大学)

統計数理研究所共同研究リポート123「工学・理学における不規則変動現象の数理的解析—理論と応用」, p.77-82

(1999年12月)

Classification of Bill Fatigue Levels by Feature-Selected Acoustic Energy Pattern Using Competitive Neural Network

M. Teranishi, S. Omatu (Osaka Pref. Univ.), T. Kosaka (Glory Ltd.)

Proceedings of 2000 International Joint Conference on Neural Networks (Italy), Vol.IV, pp. 249-252

(Aug. 2000)

音響データによる紙幣新旧識別

寺西 大, 大松 繁 (大阪府立大学)

平成12年電気学会電子・情報・システム部門大会講演 論文集, pp.375-376

(2000年9月)

超簡単 X Window プログラミング入門

土井滋貴

雑誌インターフェース2000年4月号, pp.87-95 CQ 出版

(2000年2月 掲載)

デジタルビデオと Windows マルチメディア API を利用した動画計測の試み

川邊昌平, 土井滋貴

電子情報通信学会関西支部学生会第5回学生会研究発表会, D-13

(2000年3月 講演)

奈良高専総合情報センター新システムを利用したマルチメディア教育の試み

土井滋貴

第20回高等専門学校情報処理教育研究委員会研究発表会

(2000年8月23日 講演)

デジタル画像キャプチャ／データ抽出プログラム作成入門 (前編)

土井滋貴

雑誌インターフェース2000年10月号, pp.147-156

CQ出版

(2000年8月 掲載)

デジタル画像キャプチャ／データ抽出プログラム作成入門 (後編)

土井滋貴

雑誌インターフェース2000年11月号, pp.147-156

CQ出版

(2000年9月 掲載)

筆記動作画像に現れる個人性の検討

大牧浩二, 中村善一

平成11年電気関係学会関西支部連合大会

(1999年11月13日 講演)

同位体ガスレーザ発振を用いた同位体ガス濃度比測定〔Ⅲ〕

松島朋史, 川那辺純一 (アロカ株), 前川 寛 (アロカ株), 細美昇平 (アロカ株), 張 吉夫 (応用光電), 末田 正

第47回応用物理学関係連合講演会

(2000年3月27日 講演)

同位体ガスレーザ発振を用いた同位体ガス濃度比測定〔Ⅳ〕

松島朋史, 川那辺純一 (アロカ株), 前川 寛 (アロカ株), 細美昇平 (アロカ株), 張 吉夫 (応用光電), 末田 正

第61回応用物理学学会学術講演会

(2000年9月5日 講演)

High Sensitivity Isotope Concentration-ratio Measurement CO₂ Infrared Laser System (Ⅱ)

T.Matsushima, J.kawanabe, S.Saimi, H.Maekawa, Y.Cho, T.Sueta

25th International Conference on Infrared and Millimeter waves(Beijing, China)

(2000年9月13日 講演)

(電制制御工学)

球状車輪型全方向移動ロボットの駆動軸協調制御

飯田賢一, 鎌野琢也, 鈴木茂行 (徳島大学)

第9回インテリジェント・システム・シンポジウム

(1999年10月28日 講演)

四足歩行型ロボット歩行パターンの進化的獲得

渡辺康仁, 山本陽介, 谷口 豊, 飯田賢一, 平 俊男
関西学生会卒業研究発表講演会

(2000年3月14日 講演)

駆動軸協調制御を用いた全方向移動車両の応答特性

飯田賢一, 鎌野琢也, 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

(2000年5月18日 講演)

非線形インピーダンス特性をもつ対象物のピックアップ作業の運動計画と制御

櫛 弘明, 平野正徳 (立命大), 深尾典久 (滋賀県工業技術総合センター), 川村貞夫 (立命大)

第五回ロボティクスシンポジウム, ロボット学会, 日本機械学会ロボティクスメカトロニクス部門, 計測自動制御学会 共同主催

(2000年3月27日 講演)

Planning and Control of Robot Motio Based on Time-Scale Transformation and Iterative Learning Control

Sadao Kawamura(Ritsumeikan Univ.), Norihisa Fukao(IRCS), Hiroaki Ichii
Robotics Research The Ninth International Symposium (Springer) pp.213-220
(2000年5月)

機械的接触環境にあるロボットの学習制御を用いた任意の接触力と速度パターンの実現

櫛 弘明, 平野正徳 (立命大), 近藤智敬 (立命大), S.R.Pandian (立命大), 深尾典久 (滋賀県工業技術総合センタ), 川村貞夫 (立命大)
第18回日本ロボット学会学術講演会
(2000年9月12日 講演)

水中におけるロボットマニピュレータの学習制御

坂上憲光 (立命大), 石原厚志 (立命大), 長澤伸之介 (立命大), 中原義光 (立命大), S.R.Pandian (立命大), 満田隆 (立命大), 櫛弘明, 熊谷道夫 (琵琶湖研究所), 川村貞夫 (立命大)
第18回日本ロボット学会学術講演会
(2000年9月12日 講演)

High Accuracy Measurement of Strain Distribution

Y.Oshida, Y.Iwahashi(Osaka Sangyo Univ.) and K.Iwata(Osaka Prefecture Univ.)
XVI IMEKO World Congress, Vienna, Austria
(Sept. 25, 2000 Oral Presentation)

Nd:YAG レーザを用いたレーザクリーニングの研究

阪部俊也, 吉岡大登, 東郷 先, 辻本 剛, 森井紀雄
((株) ヒラノテクシード)
2000年度精密工学会春季大会
(2000年3月22日 講演)

レーザクリーニングに関する研究

阪部俊也, 辻本 剛, 塩田博明, 平尾大輔 (早稲田大学)
精密工学会2000年度関西地方定期学術講演会
(2000年8月2日 講演)

電磁力による回転液層中の溶融合金ジェットの能動制御と短繊維材の製作

島岡三義, 大中逸雄 (大阪大学)
日本金属学会誌, 第64巻 第9号 pp. 818-824
(2000年9月)

滴状凝縮における鉛直円管外面上の伝熱特性 (冷却水の流れ方向による検討)

細川 力 (姫工大), 中田敏夫, 川島陽介 (姫工大)
第37回日本伝熱シンポジウム講演論文集, pp.645-646
(2000年5月30日 講演)

空気圧アクチュエータを用いた移動式移乗機の開発

早川恭弘, 甲斐義章, 佐藤泰章, 木村憲太
平成11年度秋季フルイドパワーシステムワークショップ講演論文集
(1999年10月19日~22日 講演)

空気圧アクチュエータを用いた移乗動作解析装置による介護者負担度の解析

早川恭弘, 山本貴志, 上山悟司, 井上正俊
平成11年度秋季フルイドパワーシステムワークショップ講演論文集
(1999年10月19日~22日 講演)

空気圧モータを活用した福祉介護用移動機構の開発

早川恭弘, 西田真司, 奥田孝
平成11年度秋季フルイドパワーシステムワークショップ講演論文集
(1999年10月19日~22日 講演)

早川研究室紹介

早川恭弘

機械設計, 第43巻, 第15号, PP.108

(1999年11月号 別冊)

空気圧アクチュエータを用いた立ち上がり動作
補助装具の基礎研究川村貞夫 (立命館大学), 早川恭弘, 須藤健太郎, 米
沢 毅, Pandian.S.R (立命館大学)

第20回バイオメカニズム学術講演会

(1999年11月27日 講演)

Development of an Autonomous Transfer
Machine with Human Compatibility by Using
Pneumatic ActuatorY.Hayakawa, S.R.Pandian (Ritsumeikan University)
and S.Kawamura (Ritsumeikan University)Proceedings of the European Medical & Biological
Engineering Conference

(November 4, 1999)

Development of an Autonomous Transfer
Machine Using Pneumatic ActuatorsY.Hayakawa, T.Yamamoto, N.Iseki, Y.Amano (Nitta
Corp), S.R.Pandian (Ritsumeikan University) and
S.Kawamura (Ritsumeikan University)Proceeding of the Fourth JHPS International
Symposium on Fluid Power

(November 15, 1999)

空気圧モータの性能向上と電動・空気圧駆動ハ
イブリッド化の試み川村貞夫, 永瀬康亘, S.R.Pandian, 武村史朗, 水谷
元 (立命館大学), 早川恭弘

第17回流体計測第14回流体制御合同シンポジウム

(1999年12月3日 講演)

スライディングモード制御を用いた空気圧シリ
ンドの実用的設計

武村史朗, 川村貞夫 (立命館大学), 早川恭弘

機械設計, 第44巻, 第2号, pp.88-89

(2000年1月 別冊)

ベーン型空気圧モータのスライディングモード
制御

武村史朗, 川村貞夫 (立命館大学), 早川恭弘

機械設計, 第44巻, 第2号, pp.90-91

(2000年1月 別冊)

空気圧モータの高精度制御

武村史朗, S.R.Pandian, 永瀬康亘, 水谷 元 (立命
館大学), 早川恭弘, 川村貞夫 (立命館大学)

第5回ロボティクスシンポジア

(2000年3月26日 講演)

Study on a Rehabilitation Machine by Using
Pneumatic Actuators

Yasuhiro Hayakawa

Developments in Fluid Power Control of Machinery
and Manipulators, 2nd International Scientific Forum
(June 29, 2000)Improvement of Vane-Type Pneumatic
Motors and Trial of Hybrid Pneumatic/
Electric MotorsF.Takemura, S.R.Pandian, Y.Nagase, H.Mizutani
(Ritsumeikan University), Y.Hayakawa and
S.Kawamura (Ritsumeikan University)Proceedings of 2000 Japan-USA Symposium on
Flexible Automation

(July 23, 2000)

A Sliding Mode Pressure Observer for Control of Pneumatic Cylinder Actuators

S.R.Pandian, F.Takemura (Ritsumeikan University),
Y.Hayakawa and S.Kawamura (Ritsumeikan University)

Proceedings of 2000 Japan-USA Symposium on Flexible Automation
(July 23, 2000)

Practical Design of Adaptive Model-based Sliding Mode Control of Pneumatic Actuators

S.R.Pandian, F.Takemura (Ritsumeikan University),
Y.Hayakawa and S.Kawamura (Ritsumeikan University)

日本油空圧学会論文集, 第31巻, 第4号, pp.107-114
(2000)

空気圧駆動ロボットのための実用的スライディングモード制御

—圧力オブザーバとモデルベースドコントロールの検証—
水谷 元, 武村史朗, 小形 崇, 井上 学,
S.R.Pandian (立命館大学), 早川恭弘, 川村貞夫
(立命館大学)

第18回日本ロボット学会学術講演会
(2000年9月12日 講演)

空気圧を利用した可変機械拘束要素と足関節装置への応用

山本貴志, 中山雄一 (立命館大学), 早川恭弘, 伊坂忠夫,
川村貞夫 (立命館大学)

第18回日本ロボット学会学術講演会
(2000年9月12日 講演)

空気圧・電気ハイブリッドモータの実現と性能評価

武村史朗, 水谷 元, 井上 学, S.R.Pandian (立命館大学),
早川恭弘, 川村貞夫 (立命館大学)

第18回日本ロボット学会学術講演会
(2000年9月12日 講演)

Development of an active orthosis for knee motion by using pneumatic actuators

S.Kawamura, T.Yonezawa, K.Fujimoto,
Y.Hayakawa, T.Isaka and S.R.Pandian

Proceedings of the International Conference on Machine Automation
(September 29, 2000)

PN Diode model Based on Divided Charge Distribution For EMTP-Type Simulators

Kazuo Yamamoto

平成12年電気学会B部門大会 (平成12年12月電気学会
B部門誌掲載)

(2000年8月2日 講演)

Optimum Time Domain Simulation of Fault Arc Using Combined Iterative Method

Kazuo Yamamoto

35th Universities Power Engineering Conference,
Belfast, Northern Ireland

(6 September 2000)

(情報工学科)

汎用画像処理ツールを利用した衛星画像データの処理と解析

浅井文男

平成11年度情報処理教育研究集会

(1999年11月13日 講演)

URLとIRCチャンネルを関係付けたチャットシステムの研究開発

大杉直樹, 浅井文男

平成11年電気関係学会関西支部連合大会

(1999年11月13日 講演)

NOAA/AVHRR データ取得解析システムの構築

花田和香子, 浅井文男

第14回学生によるコンピュータ利用研究発表会

(2000年3月11日 講演)

衛星画像処理実習の実践事例

浅井文男

授業評価と授業改善に関する実践的研究第3回研究会
(2000年3月23日 講演)

WWW と IRC の連動に基づく大規模なコミュニティウェアのためのプロトコル "VICE" の提案

大杉直樹, 浅井文男, 工藤英男

ソフトウェア技術者協会ソフトウェア・シンポジウム
2000
(2000年6月22日 講演)

フォトタッチソフトを利用した衛星画像処理

浅井文男

平成12年度工学・工業教育研究講演会
(2000年7月19日 講演)

印影と署名の統合による銀行小切手の自動照合

上田勝彦, 松尾賢一, 中村善一

2000年電子情報通信学会総合大会
(2000年3月29日 講演)

印影と署名の統合による銀行小切手の自動照合

上田勝彦, 松尾賢一, 中村善一, 武藤武士

電子情報通信学会パターン認識・メディア理解研究会
(2000年9月22日 講演)

情報処理教育における学習者の意識調査

武村泰宏 (浪速短期大学), 新井基祐 (大阪芸術大学),
工藤英男

文部省平成11年度情報処理教育研究集会
(1999年11月13日)

Debugging Process Models based on Changes in Impressions of Software Modules

Shinji Uchida*, Akito Monden*, Hajimu Iida*,

Ken-ichi Matsumoto*, Katsuro Inoue*, Hideo Kudo
(*Nara Institute of Science and Technology)

International Symposium on Future Software
Technology 2000, China
(2000年8月28日)

鉄鋼レバースミルの板厚変動外乱の推定

落合大輔, 近藤勝也

電子情報通信学会関西支部 第5回学生会研究発表講演会
(2000年3月10日)

DFTを用いた鉄鋼レバースミルの圧延パラメータの解析

馬渡勇人, 近藤勝也

電子情報通信学会関西支部 第5回学生会研究発表講演会
(2000年3月10日)

桁上げ保存加算器を用いた低消費電力化演算回路の合成

中村 篤, 世古 忠, 本間啓道

平成11年度電気関係学会関西支部連合大会講演論文集
pp.G255, 1999
(1999年11月13日 講演)

拡張許容関数集合を用いたトランスダクション法によるCMOS回路の消費電力の削減法

沖田正樹, 世古 忠

電子情報通信学会関西支部学生会第5回学生研究発表講演会論文集, pp.21, 2000
(2000年3月10日 講演)

BDDを用いた機能シミュレーションの高速化

谷野光宏, 世古 忠

電子情報通信学会関西支部学生会第5回学生研究発表講演会論文集, pp.22, 2000
(2000年3月10日 講演)

シミュレーティドアニーリング法を用いた
CMOS回路の最大同時変化ゲート数の評価

大原 誠, 世古 忠

電子情報通信学会関西支部学生会第5回学生研究発表
講演会論文集, pp.23,2000

(2000年3月10日 講演)

桁上げ保存加算器を用いた低消費電力化演算回
路合成の一試み

石井健一, 世古 忠

電子情報通信学会関西支部学生会第5回学生研究発表
講演会論文集, pp.24,2000

(2000年3月10日 講演)

Simulated Annealing Approach to Evaluation of
Maximum Number of Simultaneous Switching
Gates

Tadashi Seko, Makoto Ohara and Tohru Kikuno
(Osaka University)

Proc. 2000 International Technical Conference on
Circuits/Systems, Computers and Communications
(ITC-CSCC'2000), Pusan, Korea, pp.1084-1087,2000

(2000年7月13日 講演)

医療情報システムの構築に関する調査研究

加納郁子, 日向雅世, 多喜正城

学生のための卒業研究発表大会論文集

教育システム情報学会

(2000年3月11日)

アルゴリズムアニメーションを利用した授業の
効果について

武藤武士

情報処理教育研究発表会論文集, 第20号, pp.122-125.

(2000年8月23日 講演)

低学年での情報工学実験導入のための試行につ
いて

武藤武士

情報処理教育研究発表会論文集, 第20号, pp.134-137.

(2000年8月23日 講演)

The Species Fitness Method for the Evolution
of Cooperative Behavior in a Group Task

T.Yamaguchi, M.Kitahashi (Electric Industrial
Corp.), M.Yachida (Osaka Univ.)

Journal of Artificial Life and Robotics, Springer-
Verlag, vol.3, pp.127-132

(1999年10月)

Interactive Self-Reflection based
Reinforcement Learning for Multiagent
Coordination

T.Yamaguchi

Proc. of 5rd International Symposium on Artificial
Life and Robotics (AROB-2000), vol.2, pp.442-445

(2000年1月25日)

Interactive Self-Reflection based
Reinforcement Learning for Multiagent
Coordination

T. Yamaguchi

Proc. of The 6th International Conference on
Intelligent Autonomous Systems (IAS-6), IOS
Press, pp.561-566

(2000年7月25日)

強化信号のコミュニケーションに基づくマルチ
エージェント強化学習

山口智浩

情報処理学会研究報告, Vol.2000, No.66, 2000-ICS-
121, pp.91-98

(2000年7月18日)

RAE-PIA: 報酬獲得効率を最大化する政策の
強化学習

山口智浩, 石村健二

第14回人工知能学会全国大会論文集, pp.329-332

(2000年7月4日)

(物質化学工学)

配位性溶媒中におけるアンチモンポルフィリンの吸収と共鳴ラマンスペクトル

石丸裕士, 松田優子, 犬童奈緒子, 寺岡淳二 (阪市大院理)

日本化学会 第78春季年会講演予稿集Ⅱ p.1313
(2000年3月29日)

アンチモンポルフィリンの溶媒効果と共鳴ラマンスペクトル

石丸裕士, 寺岡淳二 (阪市大院理)

第50回錯体化学討論会講演要旨集 p.266
(2000年9月16日)

光導電素子、並びに該光導電素子を用いた電気化学光電池及び光検出装置

岩下哲雄 (大工研), 浜田洋司, 泉 生一郎, 大西康幸

特開平11-209116
(1999年8月3日公開)

塩化銅-黒鉛層間化合物の光触媒による水の光分解

岩下哲雄 (大工研), 泉 生一郎, 大西康幸

学振第117委員会
(1999年9月24日 講演)

パルス電解による二酸化炭素の還元固定化に関する研究

杉嶋亮作, 泉 生一郎 (指導)

日本化学会近畿支部第2回工業高等専門学校生研究発表会 (支部長賞受賞)
(1999年3月15日 講演)

ニューテック化学シリーズ 物理化学

藤井信行 (長岡技科大), 塩見友雄 (長岡技科大),
泉 生一郎, 伊藤治彦 (長岡技科大), 野坂芳雄 (長岡技科大), 尾崎 裕 (城西大) 朝倉書店
(2000年4月1日出版)

RRDEによる電気化学的CO₂還元機構解析

小野裕香, Yuliono Budianto, 穴戸洋平, 大西康幸,
泉 生一郎

電気化学会第67回大会
(2000年4月6日)

黒鉛層間化合物による新規光触媒反応

黒田久美子, 池内和彦, 浜田洋司, 泉 生一郎, 大西康幸, 岩下哲雄 (大工研)

電気化学会第67回大会
(2000年4月6日)

RRDEによる電気化学的CO₂還元機構解析

小野裕香, Yuliono Budianto, 穴戸洋平, 大西康幸,
泉 生一郎

電気化学会技術・教育研究論文誌, Vol. 9, No. 1,
pp.15~22 (2000)

黒鉛層間化合物による新規光触媒反応

大西康幸, 黒田久美子, 池内和彦, 浜田洋司, 泉 生一郎, 岩下哲雄 (大工研)

電気化学会技術・教育研究論文誌, Vol. 9, No. 1,
pp.47~51 (2000)

Efficient photochemical switching of metal-ion complexation by Malachite Green leuconitrile carrying bis(crown ether) moiety

Ryoko M. Uda, Masaki Yokoyama (Osaka Univ.),
Keiichi Kimura (Wakayama Univ.)

The 3rd international symposium on organic photochromism, p.55 Fukuoka, Japan
(November 14-18, 1999)

クラウン化クリスタルバイオレット誘導体の金属イオン錯形成

明石哲大, 宇田亮子, 大植正敏, 木村恵一 (和歌山システム工)

第16回機能性ホスト・ゲスト化学研究会
(2000年3月27日)

クラウン化クリスタルバイオレット誘導体の金属イオン錯形成

宇田亮子, 明石哲大, 大植正敏, 木村恵一 (和歌山大学システム工)

日本化学会 第78春季年会講演予稿集II, p.99
(2000年3月30日)

ダイオキシン除去装置の試作

梅原 忠, 上田光洋, 山崎慎也

中井健雄, 倉垣興次郎, 西崎勝則 (積水プラントシステム(株))

第5回高専シンポジウム (福井高専)
(1999年1月22日 講演)

(La, Sr)(Co, Fe)O₃ の構造と電気特性

片倉勝己, 中村麻衣子 (姫路工大), 嶺重 温 (姫路工大), 小舟正文 (姫路工大), 藤井 知 (姫路工大), 稲葉 稔 (京大院工), 小久見善八 (京大院工), 八尾 健 (京大院エネルギー科学)

第25回 固体イオニクス討論会
(1999年12月8-10日 講演)

Radial Liquid Velocity Distribution in an External-Loop Airlift Column with a Tapered Riser

Mikio Kawagoe, Shohei Yoshida, Yukimasa Ishii and Kazumitsu Naoe

Canadian Journal of Chemical Engineering, Vol. 77, 811-815 (1999)

気泡塔型バイオリクターによるシイタケ菌糸の液体培養

徳田和也, 河越幹男

第5回高専シンポジウム
(2000年1月22日 講演)

気泡塔型培養装置によるきのこ菌糸の大量培養技術

河越幹男

日本応用きのこ学会誌, Vol. 8, No. 1, 1-11 (2000)

気泡塔型培養装置によるマツタケ菌糸の高速培養

河越幹男

日本菌学会第44回大会
(2000年5月21日 講演)

Submerged Culture of *Lentinus edodes* Mycelium by an External-loop Airlift Bioreactor with a Tapered Riser

Mikio Kawagoe, Kazuya Tokuda and Hideo Noda (Kansai Chem. Eng. Co. Ltd.)

5-th German/Japanese Symposium "Bubble Columns"
(2000年5月29日 講演)

有鍍鉄器の脱塩処理に及ぼす含フッ素オリゴマーの添加効果とその速度論的研究

河越幹男, 山口清美, 澤田英夫, 川本耕三 (元興寺文化財研究所)

日本文化財科学会第17回大会
(2000年7月29日 講演)

Synthesis and Fluorescent Applications of Novel Fluoroalkylated End-capped Oligomers Containing 5-Chloro-8-quinolinyl Segments

H. Sawada, N. Kawasaki, T. Kawase (阪市大生科), and T. Tomita (東北大院農)

J. Fluorine Chem., 103, 31 (2000)

ペルフルオロアルカンおよびペルフルオロジアセチレンLB膜の表面および電気的性質

寺沢直弘, 早川由夫, 深谷治彦, 林永二 (名工研), 沢田英夫, 李京浩, 京兼純

日本油化学会誌, 48, 1385 (1999)

フルオロアルキル基含有オリゴマーによるセルロースの撥水・抗菌加工

川瀬徳三, 丹葉敬一, X. Peng, 藤井富美子 (阪市大生科), 沢田英夫, 池末由香, 吉村剛 (京大木質科学研), 和田邦身 (日本化学繊維検査協会)

繊維学会誌, 56, 155 (2000)

Synthesis of a Novel Fluoroalkylated End-Capped Oligomer-Bound Antitumor Segments and Interaction of This Oligomer with DNA

H. Sawada, K. Ikeno, T. Kawase(阪市大生科)
Eur. Polym. J., 36, 2051 (2000)

ホスホニウム塩含有オリゴマーの合成と抗菌性材料への応用

稲葉佳子, 杉矢 正(日本化学工業), 沢田英夫
CREATIVE, No1, 75 (2000)

Chemistry of Fluoroalkanoyl Peroxides, 1980 - 1998

H. Sawada
J. Fluorine Chem., 105, 219 (2000)

Self-Assembled Aggregates of Fluoroalkylated End-Capped N-(1,1-dimethyl-3-oxobutyl) acrylamide Oligomers Selectively Immobilize Cytochrome c

H. Sawada, Y. Hirata, T. Kawase(阪市大生科) and K. Fujimori(筑波大化)
J. Fluorine Chem., 106, 73 (2000)

A New Approach to Highly Conductive Polymer Electrolytes; Synthesis of Gelling Fluoroalkylated End-Capped 2-Acrylamido-2-methylpropanesulfonic Acid Copolymers Containing Poly(oxyethylene) Units

H. Sawada, Y. Ariyoshi, K. Lee, J. Kyokane, and T. Kawase(阪市大生科),
Eur. Polym. J., 36, 2523 (2000)

Fluoroalkyl End-Capped Oligomeric Surfactants

H. Sawada and T. Kawase(阪市大生科)
Recent Res. Devel. Macromol. Res., 4, 229 (1999)

フッ素系生理活性物質の進歩と応用展開：含フッ素オリゴマー類の合成と性質

沢田英夫(分担執筆)
p85-99 (2000), (株)シーエムシー(東京)

フルオロアルキル基の凝集効果が活かされた新しいフッ素系高分子界面活性剤

沢田英夫, 川瀬徳三(阪市大生科)
日本油化学会誌, 49, 1021 (2000)

フッ素の凝集作用を活かした新しいフッ素系分子集合体の構築とその応用に関する研究

沢田英夫(研究代表者)
平成9年度平成11年度科学研究費補助金[基盤研究(C)(2)]研究成果報告書,
(2000年3月)

フルオロアルキル基含有 N-(1,1-ジメチル-3-オキソブチル) アクリルアミドオリゴマーによる親水性化合物の抽出と応用

沢田英夫, 蔵地皆佳, 滝下勝久, 種谷利幸(石原薬品), 川瀬徳三(阪市大生科)
第38回油化学討論会
(1999年10月 講演)

リンセグメントを有するフルオロアルキル基含有オリゴマー類の合成とその応用

河井義和, 河越幹男, 大植正敏, 沢田英夫
第2回化学工学会学生発表会
(2000年3月 講演)

ベタインセグメントを有する含フッ素オリゴマー類の合成とゲル化

梅戸美地憲, 河越幹男, 大植正敏, 沢田英夫
第2回化学工学会学生発表会
(2000年3月 講演)

ブロック化イソシアネート基含有新規フッ素オリゴマーの開発

沢田英夫, 川瀬徳三 (阪市大生科), 種谷利幸, 滝下勝久 (石原薬品)
ポリマー材料フォーラム講演要旨集, 8, 287 (1999)

新規なフッ素系ポリマーについて

沢田英夫

色材協会第337回塗料物性研究会
(2000年3月 講演)

フルオロアルキル基含有2-ビニルピリジニオプロパンスルホネートオリゴマー類の合成と界面特性

沢田英夫, 梅戸美地憲, 川瀬徳三 (阪市大生科)
日本化学会第78春季年会
(2000年3月 講演)

フルオロアルキル基含有ホスホン酸オリゴマー類の合成とゲル化およびイオン伝導性

沢田英夫, 河井義和, 南 俊幸, 村野孝訓, 京兼 純, 杉矢 正 (日本化学工業), 川瀬徳三 (阪市大生科)
日本化学会第78春季年会
(2000年3月 講演)

グルコシルセグメントを有するフルオロアルキル基含有オリゴマー類の合成とゲル化

沢田英夫, 南 俊幸, 村野孝訓, 京兼 純, 川瀬徳三 (阪市大生科)
日本化学会第78春季年会
(2000年3月 講演)

8-ヒドロキシキノリルセグメントを有するフルオロアルキル基含有オリゴマー類の合成と加溶媒分解触媒への応用

沢田英夫, 秦 幸子, 川崎庸仁, 川瀬徳三 (阪市大生科), 藤森 憲 (筑波大化)
日本化学会第78春季年会
(2000年3月 講演)

フルオロアルキル基含有 N-(3,5-ジメチル-4-ヒドロキシベンジル)メタクリルアミドオリゴマー類の合成と応用

沢田英夫, 川崎庸仁, 前川智美, 川瀬徳三 (阪市大生科)
日本化学会第78春季年会
(2000年3月 講演)

ビス (ペルフルオロデカリン-1-カルボニル) ペルオキシドの合成と熱分解

沢田英夫, 蔵地皆佳, 滝下勝久, 種谷利幸 (石原薬品), 川瀬徳三 (阪市大生科)
日本化学会第78春季年会
(2000年3月 講演)

ヘプタデカフルオロデカヒドロ-1-ナフチル基が末端に導入されたオリゴマー類の合成と界面特性

沢田英夫, 蔵地皆佳, 滝下勝久, 種谷利幸 (石原薬品), 川瀬徳三 (阪市大生科), 寺沢直弘, 早川由夫 (名工研)
日本化学会第78春季年会
(2000年3月 講演)

ジメチル(オクチル)アンモニウムセグメントを有するフルオロアルキル基含有オリゴマー類の合成と抗菌活性

沢田英夫, 柳田堅太, 稲葉佳子, 杉矢 正 (日本化学工業), 川瀬徳三 (阪市大生科)
日本化学会第78春季年会
(2000年3月 講演)

チトクローム c 固定化剤としてのフルオロアルキル基含有 N-(1,1-ジメチル-3-オキソブチル)アクリルアミドオリゴマー

沢田英夫, 平田裕子, 川瀬徳三 (阪市大生科), 藤森 憲 (筑波大化)
日本化学会第78春季年会
(2000年3月 講演)

5-フッ化ウラシルが導入されたフルオロアルキル基含有コオリゴマーが形成する分子集合体とDNAとの相互作用

沢田英夫, 池野宏司, 川瀬徳三 (阪市大生科)
日本化学会第78春季年会
(2000年3月 講演)

フッ素の凝集効果が活かされた新しいフッ素系分子集合体の合成と応用

沢田英夫
日本学術振興会フッ素化学第155委員会第41研究会
(2000年4月 講演)

Surface Modification of Ultra High Molecular Weight Polyethylene and Polycrystal Alumina Ceramic Used in Artificial Joint Surface by Fluoroalkylation Method

T. Kitano(阪市大医), T. Kawase(阪市大生科), H. Sawada
6th World Biomaterial Congress, Hawaii, USA
(2000年5月 講演)

チトクロームc固定化剤としてのフルオロアルキル基含有N-(1,1-ジメチル-3-オキソブチル)アクリルアミドオリゴマー

沢田英夫, 平田裕子, 川瀬徳三 (阪市大生科) 川瀬徳三, 藤森 憲 (筑波大化)
第49回高分子学会年次大会
(2000年5月 講演)

ジメチル(オクチル)アンモニウムセグメントを有するフルオロアルキル基含有オリゴマー類の合成と抗菌活性

沢田英夫, 柳田堅太, 稲葉佳子, 杉矢 正 (日本化学工業), 川瀬徳三 (阪市大生科)
第49回高分子学会年次大会
(2000年5月 講演)

8-ヒドロキシキノリルセグメントを有するフルオロアルキル基含有オリゴマー類の合成と加溶媒分解触媒への応用

沢田英夫, 秦 幸子, 川瀬徳三 (阪市大生科), 藤森 憲 (筑波大化)
第49回高分子学会年次大会
(2000年5月 講演)

ヘプタデカフルオロデカヒドロ-1-ナフチル基が末端に導入されたオリゴマー類の合成と性質

沢田英夫, 蔵地皆佳, 滝下勝久, 種谷利幸 (石原薬品), 川瀬徳三 (阪市大生科), 寺沢直弘, 早川由夫 (名工研)
第49回高分子学会年次大会
(2000年5月 講演)

ブロックイソシアネートを反応基とするオリゴマー型表面フルオロアルキル化剤

Xinghong Peng, 川瀬徳三(阪市大生科), 池野宏司, 沢田英夫
繊維学会年次大会
(2000年6月 講演)

芳香族セグメントを有するフルオロアルキル基含有オリゴマー類の合成と高分子界面活性剤への応用

沢田英夫, 川崎庸仁, 前川智美, 川瀬徳三 (阪市大生科)
第46回高分子研究発表会
(2000年7月 講演)

フルオロアルキル基含有イソシアナトブロックオリゴマーが形成する分子集合体とエチジウムブロミドとの相互作用

沢田英夫, 池野宏司, 川瀬徳三 (阪市大生科)
第46回高分子研究発表会
(2000年7月 講演)

Synthesis and Applications of Bis (perfluorodecalin-1-carbonyl) Peroxide

H. Sawada, M. Kurachi, K. Takishita, T. Tanedani (石原薬品), N. Terasawa, Y. Hayakawa (名工研) and T. Kawase (阪市大生科)

The 16th International Symposium on Fluorine Chemistry, University of Durham, UK
(16 - 21 July, 2000 講演)

Synthesis and Gelation of Fluoroalkylated End-Capped Oligomers Containing Glucosyl Segments

H. Sawada, T. Minami, T. Murano, J. Kyokane, and T. Kawase(阪市大生科)

The 16th International Symposium on Fluorine Chemistry, University of Durham, UK
(16 - 21 July, 2000 講演)

Surface Fluoroalkylating Agents : Blocked-Isocyanate Oligomers End-Capped with Fluoroalkyls Compared with Trimethoxysilane Oligomers

T. Kawase, X. Peng(阪市大生科), K. Ikeno, H. Sawada, T. Tanedani, and K. Takishita(石原薬品)

The 16th International Symposium on Fluorine Chemistry, University of Durham, UK
(16 - 21 July, 2000 講演)

Immobilization of Cytochrome c by the Self-Assembled Aggregates of Fluoroalkylated End-Capped N-(1,1-dimethyl-3-oxobutyl) acrylamide Oligomer

H. Sawada, Y. Hirata, T. Kawase(阪市大生科), and K. Fujimori (筑波大化)

The 10th International Conference on Colloid and Interface Science, University of Bristol, UK
(23 - 28 July 2000 講演)

Interaction of Self-Assembled Aggregates of Fluoroalkylated End-Capped Isocyanate-Blocked Cooligomers with Etidium Bromide

H. Sawada, K. Ikeno, and T. Kawase

The 10th International Conference on Colloid and Interface Science, University of Bristol, UK
(23 - 28 July 2000 講演)

Synthesis and Interfacial Properties of Fluoroalkyl End-Capped Oligomeric Surfactants Having P- OH Segments

T. Kawase(阪市大生科) and H. Sawada

The 10th International Conference on Colloid and Interface Science, University of Bristol, UK
(23 - 28 July 2000 講演)

フッ素の新しい機能が付与された高分子材料の開発と応用

沢田英夫

塗料関連技術研究会, 第35回セミナー
(2000年8月 講演)

ビス(ペルフルオロデカリン-1-カルボニル)ペルオキシドの合成と応用

沢田英夫, 蔵地皆佳, 滝下勝久, 種谷利幸 (石原薬品), 川瀬徳三 (阪市大生科), 寺沢直弘, 早川由夫 (名工研)

第24回フッ素化学討論会 (京大会館)
(2000年9月 講演)

ジメチル(オクチル)アンモニウムセグメントを有するフルオロアルキル基含有オリゴマー類の合成と抗菌活性

沢田英夫, 柳田堅太, 稲葉佳子, 杉矢 正 (日本化学工業), 川瀬徳三 (阪市大生科)

第24回フッ素化学討論会
(2000年9月 講演)

防汚性に優れた成型品及びその製造方法

大谷幸広 (フクビ化学工業), 沢田英夫
特願平2000-86266 (2000年3月)

フルオロアルキル基含有ホスフィン酸オリゴマー類及びその製造方法並びにこれを含有する抗菌剤、界面活性剤及び樹脂組成物

沢田英夫, 龍谷栄一, 原義房, 杉矢 正, 稲葉佳子
(日本化学工業)

特願2000-44615 (2000年2月)

フルオロアルキル基含有ホスフィン酸オリゴマー類及びその製造方法並びにこれを含有する抗菌剤、界面活性剤及び樹脂組成物

沢田英夫, 龍谷栄一, 原義房, 杉矢 正, 稲葉佳子
(日本化学工業)

特願2000-44616 (2000年2月)

フルオロアルキル基含有ホスホン酸オリゴマー類およびその製造方法、並びにその用途

沢田英夫, 杉矢 正 (日本化学工業)

特願2000-66292 (2000年3月)

フルオロアルキル基含有ホスホン酸オリゴマー類およびその製造方法、並びに高分子固体電解質

沢田英夫, 杉矢 正 (日本化学工業)

特願2000-66293 (2000年3月)

フルオロアルキル基含有トリアルキルアンモニウムオリゴマー類及びその製造方法並びにこれを含有する抗菌剤、界面活性剤及び樹脂組成物

沢田英夫, 杉矢 正, 稲葉佳子 (日本化学工業)

特願2000-65011 (2000年3月)

フルオロアルキル基含有トリアルキルアンモニウムオリゴマー類及びその製造方法並びにこれを含有する抗菌剤、表面処理剤及び樹脂組成物

沢田英夫, 杉矢 正, 稲葉佳子 (日本化学工業)

特願2000-65012 (2000年3月)

「ペルフルオロデカリル基含有過酸化物, ペルフルオロデカリル基含有化合物及びそれらの製造方法」

沢田英夫, 種谷利幸, 滝下勝久 (石原薬品)

特願2000-65535 (2000年3月)

撥水性・撥油性と新機能を期待される含フッ素オリゴマー型シラン剤

沢田英夫, 川瀬徳三 (阪市大生科)

化学工業時報

(平成12年3月5日)

Lipase-Catalyzed Reactions in Organic Solvent Using Sugar Ester

Naoe K., Ohsa T., Kawagoe M., and Imai M.
(Nihon Univ.),

Assemblies, The 5th Asia-Pacific Biochemical Engineering Conference 1999, Phuket, Thailand, P-ET10

(1999年11月15日 講演)

シュガーエステル逆ミセル系における *Rhizopus delemar* リパーゼを用いたエステル合成

太佐友美, 直江一光, 河越幹男, 今井正直 (日本大学)

化学工学会第65年会, Q108

(2000年3月29日 講演)

ポリグリセリンエステル分子集合体を利用した *Mucor miehei* リパーゼによる油脂の加水分解

俵元友子, 直江一光, 河越幹男, 今井正直 (日本大学)

化学工学会第65年会, Q109

(2000年3月29日 講演)

シュガーエステル逆ミセル系での lipase によるエステル合成反応条件と速度パラメーター

太佐友美, 直江一光, 河越幹男, 今井正直 (日本大学)

日本食品工学会第1回大会 (東京水産大学), K-5

(2000年8月4日 講演)

ポリグリセリンエステル分子集合体の可溶化特性とその酵素反応場としての利用

俵元友子, 直江一光, 河越幹男, 今井正直(日本大学)
日本食品工学会第1回大会, K-7
(2000年8月4日 講演)

酵素分子の立体構造の安定性と逆ミセル有機相への抽出

小西泰二, 直江一光, 河越幹男, 今井正直(日本大学)
日本食品工学会第1回大会, E-10
(2000年8月5日 講演)

Polyglycerol Ester Assemblages in an Organic Solvent and Its Application to Lipase-Catalyzed Reactions

Naoe K., Tawaramoto Y., Kawagoe M., and Imai M. (Nihon Univ.)
11th World Congress on Biotechnology, Berlin, Germany, VII. 271
(2000年9月6日 講演)

Esterification reaction using *Rhizopus delemar* lipase using reverse micelles of sugar ester

Naoe K., Ohsa T., Kawagoe M., and Imai M. (Nihon Univ.)
3rd European Symposium on Biochemical Engineering Science, Copenhagen, Denmark, 2.23
(2000年9月12日 講演)

黒カビ(*Aspergillus niger*)固定化電極の電気化学的応答特性

三木功次郎, 服部由果里, 小林佳代
電気学会論文誌E, Vol. 119-E, pp549-553 (1999)

フローインジェクションによる潤滑油の全塩基価測定

三木功次郎, 武市伸二 ((株)堀場製作所)
FIA研究懇談会会誌, Vol. 16, p22 (2000)

ピルビン酸センサを用いた日本酒もろみ中のピルビン酸の定量

三木功次郎, 村島健司, 加納健司(京大大学院), 池田篤治(京大大学院)
第45回ポーラログラフイーおよび電気分析化学討論会
(1999年11月26日 講演)

Electrochemical Characterization of Yeast or Mold-Immobilized Electrodes with Electron Transfer Mediators

Kojiro Miki, Kenji Kano (京大大学院), Tokuji Ikeda (京大大学院)
International Symposium on Prospects of Bioelectrochemistry in the 21st Century
(2000年3月19日 講演)

メディエータ型バイオセンサを用いた食品中のピルビン酸定量

三木功次郎, 村島健司, 谷畑直丈, 関口直史, 直江一光, 加納健司(京大大学院), 池田篤治(京大大学院)
日本食品工学会第1回年次大会
(2000年8月4日 講演)

メディエータ型バイオセンサを用いた清酒もろみ中のピルビン酸定量

三木功次郎, 村島健司, 加納健司(京大大学院), 池田篤治(京大大学院), 渡邊章((株)今西清兵衛商店), 松井幸一((株)今西清兵衛商店), 菅原由紀子((株)今西清兵衛商店)
日本醸造学会大会
(2000年9月7日 講演)

ピルビン酸センサによる酵母解糖系振動現象の機構解析

山崎眞一(京大大学院), 三木功次郎, 加納健司(京大大学院), 池田篤治(京大大学院)
日本分析化学会第49年会
(2000年9月26日 講演)

(一般教科)

新編高専の数学1～3 (第2版)

池永彰吾

「指数関数・対数関数」と「偏微分と重積分」の2節の改訂担当

森北出版株式会社

(2000年1月20日 発行)

On the extensions of single valued continuous maps and set valued upper semicontinuous maps

吉岡巖 (岡山大学理学部)、新田眞一 (四條畷学園短期大学)、池永彰吾

第36回位相空間論シンポジウム

(2000年6月2日 講演)

達磨寺・般若寺など17項目

大矢良哲

日本仏教史辞典

吉川弘文館 (平成11年10月)

広瀬大社など21項目

大矢良哲

日本の神々 - 神社と聖地 - 大和 (新版)

白水社 (平成12年7月)

Predictable Books and Second Language Acquisition

金澤 直志

(園田学園女子大学にて)

(1999年9月19日 講演)

創造的なアウトプットを目指すリーディング指導

金澤 直志

(大阪教育大学附属天王寺中・高等学校にて)

(2000年9月23日 講演)

不在になった父に代わるのは (劇評)

神澤和明

「演劇会議」(全日本リアリズム演劇会議)、第101号、pp.78-83

(平成11年11月6日 発行)

意欲作が続く秋の始まり

神澤和明

「悲劇喜劇」(早川書房)、第53巻第1号、pp.48-51

(平成12年1月1日 発行)

劇団大阪、鐘下辰男作『女殺油地獄』

神澤和明

「テアトロ」(カモミール社)、通巻692号、pp.40-41

(平成12年3月1日 発行)

生きる意志の大切さ教えるお化けたち (劇評)

神澤和明

「演劇と教育」(晩成書房)、第47巻第3号、pp.38

(平成12年4月1日 発行)

2000年、終わりの年? 始まりの年?

神澤和明

「悲劇喜劇」(早川書房) 第53巻第4号、pp.70-73

(平成12年4月1日 発行)

家族は恣意的につくれるか (劇評)

神澤和明

「演劇会議」(全日本リアリズム演劇会議)、第102号、pp.54-57

(平成12年4月8日 発行)

ひとりひとりがいとしくなる (マキノノゾミ論)

神澤和明

「悲劇喜劇」(早川書房) 第53巻第6号、pp.15-17

(平成12年6月1日 発行)

William Shakespeare "A Midsummer Night's Dream" 『真夏の夜の夢』

翻訳と上演台本の構成、及び上演指導・演出
(大和高田市・文化庁後援の市民劇団の上演のために)

神澤和明

大和高田市市民劇団「さざんか」公演、さざんかホール大ホール

(平成12年6月25日)

人のつながりに気がつくこと (劇評)

神澤和明

「演劇会議」(全日本リアリズム演劇会議)、第103号、pp.65-68

(平成12年7月8日 発行)

演技力が際立つ若手劇団たち

神澤和明

「悲劇喜劇」(早川書房) 第53巻第9号、pp.50-53

(平成12年9月1日 発行)

書評一柄谷行人『可能なるコミュニズム』(太田出版)

木村倫幸

『季報・唯物論研究』第71号、pp.152-155

(2000年2月)

書評一柄谷行人『倫理21』(平凡社)

木村倫幸

『季報・唯物論研究』第72号、pp.146-149

(2000年5月)

大学・研究所紹介 Goethe-Institut

桐川 修

京都ドイツ語学研究会会報、第13号、京都ドイツ語学研究会

(2000年5月31日)

インターネットを活用したドイツ語授業の試み

桐川 修

高等専門学校ドイツ語教育研究会会報、第2号、高等専門学校ドイツ語教育研究会

(1999年12月1日)

インターネットを利用したドイツ語教材について

桐川 修

高専ドイツ語教育 - 高専ドイツ語教育研究会30周年記念論文集一、同学社

(2000年1月10日)

夏目漱石『坊っちゃん』の「乱暴者」

武田充啓

国文学年次別論文集平成十年版近代分冊

(2000年9月)

Coherent Deuteron Fusion in Double Structure Pd Cathode

H. Toki*, K. Sugimoto*, S. Umisedo*,

Y. Takahashi* and S. Toki (* Research Center for Nuclear Physics)

Osaka University Genshikaku Kenkyu, 45, 2, 103

Translating a linear logic programming language into Java

Mutsunori Banbara and Naoyuki Tamura (Kobe Univ.)

In Proceedings of ICLP'99 Workshop on Parallelism and Implementation Technology for (Constraint) Logic Programming Languages, pp 19-39

(1999年12月)

古典線形論理型プログラミング言語の静的解析の一手法について

姜 京順(神戸大学), 番原 睦則, 田村 直之(神戸大学)

情報処理学会論文誌: プログラミング, Vol. 41, No. SIG 4 (PRO 7), pp 42-55

(2000年6月)

直観主義時相線形論理における論理プログラミングについて

田村 直之(神戸大学), 平井 崇晴(神戸大学), 吉川 英男(神戸大学), 姜 京順(神戸大学), 番原 睦則
 情報処理学会論文誌: プログラミング, Vol. 41,
 No.SIG 4 (PRO 7), pp 11-23
 (2000年6月)

線形論理型言語の Java 言語による処理系の設計と実装

番原 睦則, 姜 京順(神戸大学), 田村 直之(神戸大学)
 情報処理学会論文誌: プログラミング, Vol. 40,
 No.SIG 10 (PRO 5), pp 1-16
 (1999年12月)

古典線形論理型プログラミング言語の静的解析の一手法について

姜 京順(神戸大学), 番原 睦則, 田村 直之(神戸大学)
 情報処理学会 第26回プログラミング研究会 特集「理論」
 (1999年10月 講演)

直観主義時相線形論理における論理プログラミングについて

田村 直之(神戸大学), 平井 崇晴(神戸大学), 吉川 英男(神戸大学), 姜 京順(神戸大学), 番原 睦則
 情報処理学会 第26回プログラミング研究会 特集「理論」
 (1999年10月 講演)

「高専の物理第5版」

共著(堀内他6名)、森北出版株式会社
 (平成12年1月20日第5版第1刷発行)

全国スポーツ博物館一覧

中房敏朗(仙台大学)、松井良明、石井浩一(愛知大学)
 スポーツ史学会編『スポーツ史研究』13,pp.55-73
 (2000年3月)

1998年スポーツ史関連文献書誌

松井良明、鈴木純子(東京YMCA社会体育専門学校)、
 中房敏朗(仙台大学)
 スポーツ史学会編『スポーツ史研究』13,pp.75-89
 (2000年3月)

『新版保健体育概論』近畿地区高等専門学校体育研究会編

松井良明
 分担執筆: 「スポーツの文化史」pp.99-120, 晃洋書房
 (2000年3月 共著)

『スポーツ用具史研究の現状と課題』平成11年度水野スポーツ振興会研究助成金研究成果報告書 [研究代表・中房敏朗(仙台大学)]

松井良明
 分担執筆: 「ガット考」pp.99-107
 (2000年3月 単著)

『近代スポーツの誕生』講談社現代新書

松井良明
 (2000年7月 単著)

『新世紀スポーツ文化論』体育学論叢IV、近藤英男(奈良教育大学)、稲垣正浩(日本体育大学)、高橋健夫(筑波大学)責任編集

松井良明
 分担執筆: 「スポーツ社会史の射程: 近世英国における弓術奨励と不法な遊戯をめぐる」pp.161-183, タイムス
 (2000年7月 共著)

2 体粒子の梯子模型における固有値の数値解II

渡川 健(近畿大学)、田中富士男、宮本止戈雄
 近畿大学理工学部研究報告、第36号、pp13-22
 (2000年)

非接触眼圧計と Goldmann 圧平眼圧計の測定値
の相違—角膜厚および角膜曲率の影響

松本拓也*、牧野弘之*、魚里 博**、西信元嗣*
*、宮本止戈雄（*星ヶ丘厚生年金病院、**奈良県
立医科大学）

日本眼科学会雑誌、104(5),pp317-323
(2000年)

競泳インターバルトレーニングにおける泳速度
と休息時間の変化に伴う血中乳酸濃度およびス
トロック頻度の変化

若吉浩二、立貞栄司、寺田晶裕、森弘暢、小野桂市
(奈良教育大学)

スポーツ方法学研究、第12巻第1号、pp.69-77
(1999年)

競泳短距離自由形レースにおける泳速度とス
トロック変数の変化について

若吉浩二、劉華、森弘暢、若宮知子、小野桂市（奈良
教育大学）

スポーツ方法学研究、第13巻第1号、pp.31-41
(2000年)

2次元リボン結び目の最小交差数

安田 智之

日本数学会秋季総合分科会
(2000年9月26日 講演)

2次元リボン結び目の最小交差数

安田智之

日本数学会2000年度秋季総合分科会
トポロジー分科会講演アブストラクト、pp.71-72
(2000年9月)

「発表リスト (1999.10~2000.9)」

校長 一岡 芳樹

<論文>

- 1) Optical Spectrogram Scope Using Time-to-Two-Dimensional Space Conversion and Interferometric Time-of-Flight Cross Correlation
T. Konishi and Y. Ichioka
Opt. Rev. Vol. 6, No.6, pp.507-512 (1999)
- 2) Ultra-fast image transmission by optical time-to-2-D-space-to-time-to-2-D-space conversion
T. Konishi and Y. Ichioka
J. Opt.Soc. Am. A Vol.16, No.5, pp.1076-1088 (1999)
- 3) Optical Implementation of High-Accuracy Computing Based on Interval Arithmetic and Fixed Point Theorem
T. Sasaki, J. Tanida and Y. Ichioka
Opt. Eng.Vol.38, No.3), pp.485-489 (1999)
- 4) Stream cipher based on pseudorandom number generation with optical affine transformation
Toru Sasaki, Hiroyuki Togo, Jun Tanida, and Yoshiki Ichioka
Appl. Opt. Vol.39, No.14 pp. 2340-2346 (2000)
- 5) Invariant Pattern Recognition Using Neural Networks Combined with Optical Wavelet Preprocessor
Katsuhisa Hirokaw, Kazuyoshi Itoh, and Yoshiki Ichioka
Opt. Rev. Vol.7, No.4 pp.284-293 (2000)
- 6) Ultra-fast Direct Encoding of Ultrashort Pulse with 2D-Space Information by Using Optical 2D-Space-to-Time Conversion System
T. Konishi, Y. Oshita, and Y. Ichioka
Proc. SPIE Vol.4089, spp.111-115 (2000)
- 7) Fabrication of multilevel phase CGH elements based on effective index theory
Wanji Yu, K. Takahara, T. Konishi, T. Yotsuya, and Y. Ichioka
Appl. Opt. Vol39, No.20, pp.3531-3536 (2000)

<著書>

- 1) Digital Optical Computing
J. Tanida and Y. Ichioka,
Progress in Optics, Vol. XL, (ed. by E.Wolf, North-Holland, 1999) ch.II, pp.79-114 (1999)

<解説・総説>

- 1) 時空間融合超高速光情報処理
小西毅*、一岡芳樹 (*大阪大学)
光学、29巻、8号、pp. 498-499 (2000)

<国際学会/ワークショップ報告>

- 1) Ultra-fast Optical Space-to-Time-to-Space Conversion Technique Among Image Signals and Time Sequential Ones
T. Konishi (大阪大学) and Y. Ichioka : The 5th International Conference on Information Systems Analysis and Synthesis (1999)
- 2) Optical 2D-Space -to- Time Conversion System by using Spectral Holography
T. Konishi* and Y. Ichioka (*大阪大学)
SPIE Annual Meeting (1999)
- 3) Tutorial on Ultrafast Time-to-Space-to-Time Optical Information Processing and Transmission
T. Konishi* and Y. Ichioka (*大阪大学)
OSA Annual Meeting(1999)
- 4) Ultrafast All-Optical Processor for Image Acquisition, Transmission, and Retrieval with Ultra-short Pulse Laser
T. Konishi* and Y. Ichioka (*大阪大学)
IEEE LEOS Annual Meeting Conference (Oct.1,1999)
- 5) Ultra-fast Direct Time-Space Conversion based on Interferometric Time-of-Flight Cross Correlation
T. Konishi*, H. Furukawa, and Y. Ichioka (*大阪大学)
The 7th International Workshop on Femtosecond Technology FST2000 (2000)
- 6) Ultra-fast Direct Encoding of Ultrashort Pulse with 2D-Space Information by using Optical 2D-Space -to- Time Conversion System
T. Konishi*, Y. Oshita** and Y. Ichioka (*大阪大学、**大阪科学技術センタ)
Optics in Computing 2000 (2000)
- 7) Ultra-fast Conversion Technique between Temporal Signal and Two-dimensional Spatial One
T. Konishi*, Y. Oshita** and Y. Ichioka (*大阪大学、**大阪科学技術センタ)
SPIE Annual Meeting (2000)

＜国内学会, 研究会報告＞

- 1) 時空間光情報処理におけるスペクトラルホログラフィに基づく2次元画像入力システムの検討
岩本匡平*、長坂由起子*、小西毅*、一岡芳樹(*大阪大学)
日本光学会年次学術講演会 講演(1999)
- 2) 時空間光情報処理におけるスペクトラルホログラフィに基づく2次元画像入力システムの検討
尾下善紀*、小西毅**、一岡芳樹(*大阪大学、**大阪科学技術センタ)
日本光学会年次学術講演会 講演(1999)
- 3) 時空間変換システムにおける超短光パルスのディストーションの影響の検討
谷村和紀*、小西毅*、一岡芳樹(*大阪大学)
日本光学会年次学術講演会 講演(1999)
- 4) 時空間光情報処理における2次元空間→時間変換システムと時間→2次元空間変換システムのカスケード動作
小西毅*、尾下善紀**、一岡芳樹(*大阪大学、**大阪科学技術センタ)
日本光学会年次学術講演会 講演(1999)
- 5) 時空間光情報処理における2次元空間→時間変換システムと時間→2次元空間変換システムのカスケード動作
小西毅*、尾下善紀**、小谷川喬*、古川英昭*、一岡芳樹(*大阪大学、**大阪科学技術センタ)
第61回応用物理学会学術講演会 講演(2000)
- 6) 時空間光情報処理XI -微弱信号へ対応可能なSHG結晶を用いた時間→2次元空間信号変換システム-
尾下善紀*、小西毅**、一岡芳樹(*大阪科学技術センタ、**大阪大学)
第61回応用物理学会学術講演会 講演(2000)
- 7) 光スペクトログラムスコープを用いた超短光パルス信号の振幅・位相の計測
谷村和紀*、住山文香*、小西毅*、谷田純*、一岡芳樹(*大阪大学)
第61回応用物理学会学術講演会 講演(2000)

＜特許＞

- 1) 一岡芳樹、小西毅、"時間信号の2次元空間信号への超高速変換方法、" 特願平11-83905
- 2) 谷田純、一岡芳樹他、"画像入力装置、" 特願平11-233760
- 3) 岩田耕一、一岡芳樹他、"3次元光学素子創製システム、" 特願2000-128494

- 4) 余万吉、小西毅、一岡芳樹、"有効屈折率法を用いたブレード位相型回折光学素子及びその製造方法、" 特願2000-135056

＜地域結集型共同研究事業の報告＞

- 1) 超容量超高速フォトリック情報システム
一岡芳樹
地域から発信する科学技術シンポジウム要旨集—光技術・情報分野—、pp.1-8 ((財)全日本地域交流協会, 2000)

奈良工業高等専門学校 研究紀要第36号

平成13年3月15日

編集兼 奈良工業高等専門学校
発行者 大和郡山市矢田町22

印刷所 実業印刷株式会社
奈良市東九条町6-4

OF NARA NATIONAL COLLEGE OF TECHNOLOGY

NO. 36, 2000
CONTENTS

| | | |
|--|--|-----|
| Correlation Between Impact Strength and Acoustic Emission Events | Tatsumi ICHISE and Yasuyoshi IWAI | 1 |
| Development of Air Purity Tube by Using an Electromagnetic Non-Woven Fabric | Masato SHIMONO and Masahiko SAKAMOTO | 5 |
| ON the Mechanism of Benard Convection in a Thin liquid Layer Induced by Evaporation | Koutaro SUZUKI and Masahiko SAKAMOTO | 9 |
| Evolutional moving robot on the unspecified environment | Toshio HIRA and Ken-ichi IIDA | 15 |
| Design of Friction and Wear Testing Machine of Pin on Disk Type | Kazuki HIRO and Tadahiro WADA | 21 |
| Relation of Video and Audio in Video-Clips | Shigeki DOI | 25 |
| Isotopic Gas Concentration-Ratio Measurement using Isotopic Gas Laser Oscillation | Tomoshi MATSUSHIMA, Junichi KAWANABE, Hiroshi MAEKAWA, Shohei SAIMI and Yoshio CHO | 29 |
| Development of Control Programs for Education Using Visual Basic | Masayuki MIYATA | 35 |
| The relationship between the periodical examinations and the learning time in case of lower first and second year classes | Ken-ichi IIDA and Ken-ichi MATSUO | 39 |
| Study on Control of Autonomous Mobile Robot with many sensors | Takahiro MICHISHITA, Haruaki KISHIGE and Toshiya SAKABE | 51 |
| The study trend about "the artificial muscle" and "the ultrasonic motor" | Yorihiko YANO | 51 |
| Combined Iterative Algorithm for Nonlinear Elements in Electromagnetic Transient Simulation | Kazuo Yamamoto, Garth Irwin, Omprakash Nayak and Akihiro Ametani | 59 |
| Research on TMSAT-1 Image Data | Fumio ASAI | 67 |
| Distributed Software Design Method Based on ObjectFlow | Hideo KUDO and Yoshimi USUI | 73 |
| Evaluation of Maximum Number of Simultaneous Switching Gates for CMOS Combinational Circuits Using Simulated Annealing | Tadashi Seko and Makoto Ohara | 79 |
| A Competitiveness Coefficient of Online Edge-Coloring Algorithm | Masakuni TAKI, Mikihiro SUGIURA, Toshinobu KASHIWABARA | 83 |
| どこでも無線 LAN 環境「おかもちくん」構築のための予備的考察 | 武藤 武士・平 俊男・村尾 元・中山 満子 | 89 |
| Self-Rewarded RAE: Speedup Learning with Rationality based on the Exploitation-oriented Reinforcement Learning Method | Kei Uchida, Ryousuke Watanabe and Tomohiro Yamaguchi | 97 |
| RAE-PIA: Reinforcement Learning of the optimal policy that maximizes the Reward Acquisition Efficiency | Tomohiro Yamaguchi and Ishimura Kenji | 101 |
| New Measurement Method of Pellet Concentration in Bubble Column Fermentors for Submerged Culture of Mycelium Pellets Suspension | Mikio KAWAGOE and Masaki DEGUCHI | 107 |
| The decision problem and sequential formulations for weak semilattices | Kenichi ARAGANE | 111 |
| Ribbon presentations of spun knots, and amphicheirality. | Tomoyuki YASUDA | 117 |
| Focalizing Character Reinvented | Etsuo KATAYAMA | 123 |
| Do Technical College Students Need Technical English? | KAJI Akashi | 135 |
| Vygotsky's Contributions and Flaws through Cognitive and Linguistic Development | Naoshi KANAZAWA | 141 |
| A Study of Shunsuke TSURUMI's Pragmatism | Tsuneyuki KIMURA | 145 |
| カラ、ノデ、タメの使い分けと継起表現～テについて（韓国語との対照をふまえて） | KIMU Hyonchoru・KAGIMOTO Yuri | 153 |
| Abstracts | | 165 |
| Research Activities in 1999～2000 | | 167 |