

立石科学技術振興財団

# 助成研究成果集

【第6号】

平成9年(1997)



# 人間と機械の調和を促進する助成研究成果集

第 6 号

平成9年度9月(1997)

財団法人 立石科学技術振興財団

Tateisi Science and Technology Foundation

## 設 立 趣 意 書

今日、日本の科学技術の進歩・発展は著しいものがありますが、エレクトロニクス及び情報工学の分野における技術革新も、いまでは社会的・経済的にきわめて大きな影響を及ぼしています。たとえば、工場では各種工程のオートメーション化が進むとともに、オートメーション機器をコンピュータや通信機器とつなぎ、工場全体を統合的に動かすシステムの実現へと向かっています。

一方、オフィスでは、ワークステーションやパソコンなどのOA機器の普及が目覚ましく、また通信技術を利用することにより、データベースへのアクセスや情報交換も盛んになりつつあります。さらに、家庭においても、いわゆるホームオートメーション機器が浸透しはじめています。

このように、人間が働き生活する環境に、エレクトロニクス技術に支えられた各種機器がどんどん入ってきており、しかもその技術は年々高度化・システム化してきています。しかしながら、その技術革新のスピードが速いだけに、技術革新がそれら機器やシステムを使う主体である人間に及ぼす影響が十分考慮されない傾向があります。このため、本当に使いやすい機器・システムの開発が大きな課題になっています。

一方、今後の技術の飛躍的な発展のためには、人間の素晴らしい知識能力を規範にしたファジィなどの人工知能技術を確立し、使いやすい機器・システムの提供はもちろん、人間がより楽しく創造的な活動をするのに広く役立たせることが期待されます。

このような情勢に鑑み、オムロン株式会社、立石一真及び立石孝雄の拠出資金により「立石科学技術振興財団」を設立し、エレクトロニクス及び情報工学の分野で、人間と機械の調和を促進する研究及び国際交流に対し助成をおこない、技術革新を人間にとって真に最適なものとするに寄与せんとするものであります。

---

---

# 助成研究成果集

---

---

## 目 次

1. 設立趣意書	
2. 理事長挨拶	2
3. 財団関係者寄稿（岩田一明 評議員 高知工業高等専門学校長）	3
4. 助成研究成果の掲載抄録一覧	4
5. 助成研究成果の抄録	6
6. 財団の概要	110
役員・評議員名簿（五十音順）	111
7. 第8回（平成9年度）助成課題一覧	112
(1) 研究助成（21件）	112
(2) 国際交流助成（13件）	113
8. 平成10年度助成課題候補募集案内	114
9. 編集後記	115

## ごあいさつ

このたび、助成研究成果集第6号の発行に際し、ひとことご挨拶申し上げます。

当財団は、オムロン(株)の創業者でありました、故立石一真が卒寿を迎えましたのを機に、科学技術分野で、人間と機械の調和を促進することを趣意として設立し、本年5月には第8回目の助成金贈呈式をとり行うことができました。

本成果集の発行は、助成研究の成果普及活動のひとつとして行うもので、助成対象となった研究課題の成果を、財団設立の趣意に添って、方向を同じくする研究者、研究機関と共有することを目的とすると共に、研究者の相互交流の一助となることを願って発行するものです。これからも毎年継続的に発行できるよう願っております。

第6号の発行にあたり、ご寄稿いただきました研究者の皆様をはじめ、ご協力いただいた方々に厚く御礼申し上げます。

限りない情報化と科学技術の進歩の中で、豊かで健全な最適化社会を創造するためには、科学技術と人間の調和の向上を求める努力も忘れてはならないことと考えております。

21世紀に向け、人と機械がより高次元で調和し、人間重視の視点に立った最適化社会の創造のための、より高度な科学技術の発展に、いささかでも寄与できればと願っております。

今後も引き続き、ご支援ご鞭撻を賜りますようお願い申し上げます。



理事長 立石 信雄

## 寄稿：科学技術予測と研究課題探索

今後の科学技術の動向を展望する目的から世界各国で技術予測が続けられている。1997年7月、第6回科学技術予測の結果が公表された。これは5年間隔で科学技術庁が実施しているものであるが、対象分野も材料・プロセス、エレクトロニクス、情報、ライフサイエンス、宇宙、海洋・地球、資源・エネルギー、環境、農林水産、生産・機械、都市・建築・土木、通信、交通、保険・医療・福祉と広く、とりあげられた課題数も1072に及ぶ。

今回の結果から見えてくる特徴は環境、情報分野を重視する視点が強くでていることで、とくに情報分野は重要度100位以内に24課題が並ぶ。前回の第5回では9課題であったことからみて、その急増ぶりは目立つ。反面、生命関連の分野では相対的に重要課題数が急減している。これらの結果を自らの考えと対比させながら検討していくのは一種の知的な刺激があって楽しい。同時に研究者としてこの成果をどのように理解し、活用するかについても熟考の必要がありそうだ。

予測で取り扱われた課題は研究者が思考と検証を試み、すでに研究の芽がでており、実現の可能性もあると判断されたという性質をもつ。いいかえれば、課題選定の段階で成果があいまいなものは排除されるのが通例である。見方をかえれば基礎開拓的な段階の研究課題は含みようがないのである。こう考えてみると、研究者として取り組む課題は技術予測の課題の種をつくる範囲にあると位置づけられそうである。1997年5月、国際生産研究会議を日本で開催するに際して、生産分野の研究エキスパートが内在させている、社会の将来像と研究課題の調査を実施した。そこには、情報化、人間調和化、ライフサイクル化、環境調和化が21世紀初頭のキーワードとして表出した。そして、文化に適応し、リスク回避を念頭においた技術への願望が伝わってくる。研究者への期待は膨らむ。と同時に深い哲理と洞察力と謙虚さがますます要望される中、研究者を支援する財団への期待は大きい。



評議員・岩田一明  
(高知工業高等専門学校長  
大阪大学名誉教授・神戸大学名誉教授)



- ◆ プラスチックアクチュエータに関する研究 (961005) ..... 61  
 Studies on Plastic Actuators  
 金 藤 敬 一 九州工業大学情報工学部電子情報工学科 教授
- ◆ マルチメディアの相互補完的利用による障害者の感覚代行支援に関する研究 (961007) ..... 66  
 A Study on Communication Aids of a Sensory Handicapped Person Using a Multi-media Information  
 清 田 公 保 熊本電波工業高等専門学校情報通信工学科 講師
- ◆ 磁性流体を利用した見やすいディスプレイの開発 (961008) ..... 71  
 Development of the Display Material by the Use of Magnetic Fluid  
 斉 藤 光 徳 龍谷大学理工学部 教授
- ◆ 人工生体膜型 LB 膜を用いた感性化学センサの構築 (961009) ..... 76  
 Development of a New Chemical Sensor with Sensibility using Langmuir-Blodgett Film  
 Mimicking Biological Membrane  
 白 鳥 世 明 慶應義塾大学理工学部 専任講師
- ◆ 視覚障害者歩行支援システム用地磁気センサの集積化に関する研究 (961011) ..... 79  
 A Study of Integrated Terrestrial Magnetic Sensor of Walking Navigation System  
 for the Visually Impaired  
 田 所 嘉 昭 豊橋技術科学大学工学部 教授
- ◆ 機能的電気刺激による麻痺肢の機能再建 (961012) ..... 84  
 Restoration of Paralyzed Muscle with Functional Electrical Stimulation  
 富 田 豊 慶應大学理工学部 教授
- ◆ プラント運転制御システムのヒューマンインタフェースに関する研究 (961013) ..... 89  
 Study on Human Interface of Industrial Plant Operation Control System  
 西 谷 紘 一 奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科 教授
- ◆ 人間と知能機械 (ロボット) のインテリジェント・コミュニケーション  
 に関する基礎的研究 (961014) ..... 94  
 A Fundamental Study on Intelligent Communications between Human being and Robot  
 早 川 義 一 名古屋大学大学院工学研究科 教授
- ◆ 動画像による手話自動通訳システムの開発研究 (961015) ..... 101  
 Development of Automatic Sign Language Translation System Using Image Sequences  
 藤 村 貞 夫 東京大学大学院工学系研究科 教授
- ◆ 無出血・無輸血手術のための低血圧循環制御システムの開発と臨床応用 (961016) ..... 105  
 Development and clinical application of hypotensive circulatory control system  
 for bloodless, transfusion-free surgery  
 前 谷 俊 三 天理医学研究所 副所長  
 (元京都大学生体医療工学研究センター 教授)

# 上肢トラッキング動作における手と目の協調運動の解析

## Analysis of Hand-Eye Coordination in Manual Tracking Motion

931009

研究代表者 龍谷大学理工学部電子情報学科 講師 小堀 聡

### [研究の目的]

手動制御系において、ディスプレイ上の目標値入力に対してポインティングデバイスを用いて出力を追従させるという、上肢の運動によるトラッキング動作については、既にいくつかの研究がなされているが、運動機能障害を対象とした臨床応用例は少ない。高齢化社会において、何らかの運動機能障害を持つ人が増えることを考慮すると、今後この分野の研究はますます重要になると考えられる。

これまでの研究では、上肢トラッキング動作の実験を行い、入出力データを中心に解析を行ったが、視覚系の役割も重要であると考えられる。そこで、新たに眼球注視点も同時に測定できるシステムを開発し、それらの測定データから手と目の協調性とその制御機構を総合的に解析し、さらに運動機能障害における制御機構上の問題点を定量的に明らかにし、臨床にも応用できる解析システムを構築することが本研究の目的である。

### [研究の内容、成果]

上記の目的を達成するために、まず、これまでの2次元の上肢トラッキング動作の測定システムに、アイカメラによる眼球注視点の測定機能を付加した実験システムを開発し、

測定方法を確立した。次に、このシステムを用いて、健常者を対象に予備実験を行い、動作特性を解析するとともに、解析システムの作成を行った。さらに、臨床における上肢運動機能の評価に応用するにあたっての問題点を検討した。

#### 1. 上肢トラッキング動作およびその測定方法

手動制御系についての研究として、トラッキング動作の実験結果により、動作特性を伝達関数で近似的に表現するという方法が古くから用いられてきた。そして、それらの研究のほとんどが健常者を対象としており、一般的な動作特性についての報告は数多くあるが、上肢運動機能障害の患者を対象とした研究はあまり多くなく、有効な臨床への応用例はほとんど見られない。このことが本研究の背景になっている。

手動制御系には大きく分けて、補償制御系と追従制御系があるが、ここでは、目標値と制御値のそれぞれの現在値を同時にディスプレイ上に表示する追従制御系の実験を行うことにした。また、ポインティングデバイスとしては、マウスを用いた。

目標値データとしては、乱数とスプライン関数を用いてランダムで滑らかな変化をする2次元データを作成して、ファイルに保存しておき、実験の際にそれらをランダムに読み

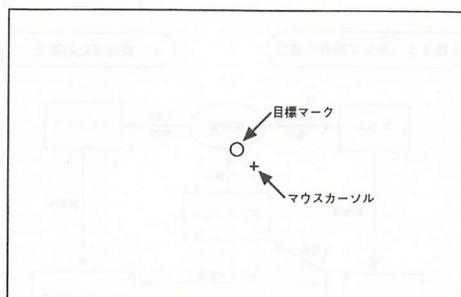


図1 実験中のディスプレイ

込むようにした。難易度はほぼ一定に保たれている。目標のマークは半径9 dotsの黄色の円で表され、基本移動速度は平均32 dots/secとなるように設定した。

一方、マウスの動きは一辺10 dotsの水色の十字形のカーソルで表示される。マウスの実際の移動距離とディスプレイ上でのカーソルの移動距離の比率は、1 : 2 (マウス感度2) に設定した。

実験中のディスプレイは図1に示した通りである。

なお、制御対象が通常の比例要素の場合では、健常者において個人差や学習効果が現れにくいという予想から、反転要素や積分要素での実験を行うとともに、比例要素については目標の移動速度をパラメータとすることにした。

反転要素とは、マウスの操作方向とディスプレイ上のカーソルの移動方向が反転しているものであり、さらに左右反転、上下反転、上下左右反転に分かれ、それぞれ左右方向のみ、上下方向のみ、上下左右両方向が反転している。このような反転要素での実験は、通常の知覚体制の擬似的な破壊と見なすことができる。

一方、積分要素とは、マウスの操作量を時間で積分したものをカーソルの移動量とする

ものであり、ここでは1階積分のみである。

また、移動速度をパラメータとした実験においては、基本移動速度の整数倍で目標マークが移動するように表示させる。

## 2. 眼球運動およびその測定方法

眼球運動は、断続性運動 (サッケード)、随従運動、輻輳運動、固視微動などに分類されるが、本研究で測定、分析するのは、そのうちの断続性運動と随従運動である。断続性運動は視線をジャンプさせるような眼球の運動 (最高速度は300°/sec以上) であり、随従運動は滑らかな眼球の運動 (速度限界は30°/sec程度) である。

眼球運動は、対象物の動きにより種類が切り替わる。すなわち、対象物がゆっくり動いているときは、対象を中心窩にとらえて、その動きに合わせて目を滑らかに回転させて追跡している。一方、対象の動きが速いときは、視線の滑らかな動きとジャンプを繰り返しながら追跡している。

眼球運動に関しては古くから研究されているが、トラッキング動作時にこれらの切り替えがどのように行われるかについての詳細な報告は見られない。

ここでは、眼球注視点の測定にはアイカメラを使用する。一般に、眼球はその中心がほぼ固定された回転運動を行うので、注視点の測定としては、顔に対する相対的な眼球の回転をとらえればよい。本研究で使用するアイカメラは、角膜反射光による方法で眼球注視点を測定する。

角膜反射光による方法とは、以下のようなものである。

眼球の角膜は強膜に対してやや出張っており、またその表面は鏡面のようになめらかで、光を当てると凸面鏡の作用をし、その反射光

をレンズでとらえれば光源の実像を映写面に映すことができる。角膜の内側には光源の虚像が生じ、この位置は眼球運動によって変わるので映写面の実像も動く。これを注視点のマークとして利用することができる。

### 3. 実験システム

実験システムとしては、パーソナルコンピュータを中心に、ポインティングデバイスとしてマウスを用い、アイカメラ（大阪大学附属病院理学療法部所有）により、上肢トラッキング動作における入出力のデータと眼球注視点を同時に測定できるシステムを開発した。

システムの開発にあたっての留意点のうちの一つとして、現有機器の機能上の制約に対する対策がある。上肢トラッキング動作と眼球注視点を同時に測定する必要があるため、具体的には、次のようなことが技術的に問題となった。

- 一定のサンプリング周期を得るには、どのようにすればよいか。
- 測定データを同期させるには、どのようにすればよいか。
- アイカメラの注視点データを、どのようにディスプレイの座標に対応させるか。

3番目のキャリブレーションの問題は次節で述べ、ここでは、1番目と2番目の問題点の解決法を説明する。

まず、眼球注視点を測定するのに用いるアイカメラの測定のサンプリング周期は33 msecであるので、コンピュータのインターバルタイマ割り込みを用いて、同じサンプリング周期で上肢トラッキング動作（制御値データ）の測定、保存が行えるようにした。

次に、アイカメラからコンピュータへの入力、データ出力装置を介して行うが、この

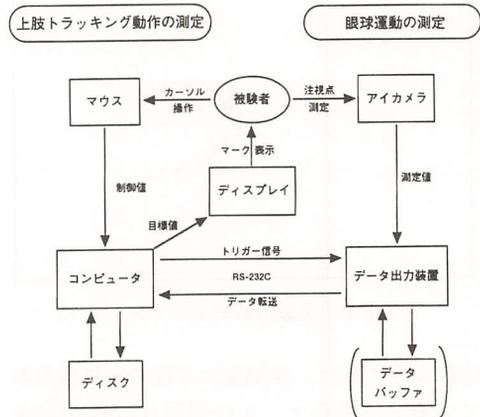


図2 システム構成図

装置に内蔵されたデータバッファにより、約5分間分のデータが保存できる。そこで、トリガー信号により、眼球注視点の測定を上肢トラッキング動作の測定と同時に開始し、測定終了後、RS-232Cを用いて両眼の眼球注視点の座標をデジタルデータとしてコンピュータに送信するという方法を用いることにした。

以上のことを考慮して、実験システムは、図2に示したように、次のもので構成した。

パーソナルコンピュータ

（日本電気：PC-9801 BX/M2）

カラーディスプレイ

（日本電気：PC-KD 854）

640 × 400 dots, 0.38 mm/dot

マウス（日本電気：PC-9871 K）

4 counts/mm

マウスパッド

280 × 216 mm

アイカメラ

（ナック：アイマークレコーダ EMR-V およびその関連機器）

#### 4. キャリブレーション

実験において、被験者にはコンピュータのディスプレイの表示を見せて、トラッキング動作を行わせることになるので、ディスプレイの座標のどこを見ているのかのデータが必要となる。そのためには、アイカメラによって測定した注視点データを、被験者が注視したディスプレイの座標に対応させなければならない。ここでは、このための作業をキャリブレーションと称しており、これにはハードウェア・キャリブレーションとソフトウェア・キャリブレーションという2つの段階がある。

##### (1) ハードウェア・キャリブレーション

角膜反射光による方法での眼球注視点の測定においては、眼球の形状や大きさなどの個人差を補正するため、撮影倍率（光学的倍率×電氣的倍率）を調整しておく必要がある。このうちの電氣的倍率の調節をアイカメラのカメラコントローラのスイッチで行う。

##### (2) ソフトウェア・キャリブレーション

被験者が実験において見るディスプレイは、アイカメラによって測定可能な視野の範囲の中になければならない。そして、被験者がディスプレイの座標のどこを見ているのかを知るためには、注視点データの座標系とコンピュータのディスプレイの座標系の対応関係を調べておき、注視点データをディスプレイ上の対応する点の座標に変換する必要がある。この変換を行うために、独自に開発したキャリブレーション用のプログラムを使用する。

##### (3) キャリブレーションの方法

トラッキング動作の実験を行うのと同じように、アイカメラを被験者に装着し、ディスプレイの前に座らせる。被験者とディスプレイの位置関係も実験の場合と同様に調整する必要がある。

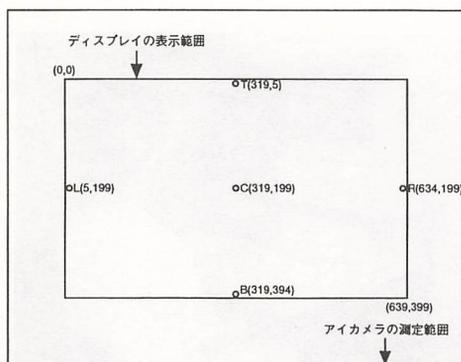


図3 ソフトウェア・キャリブレーション

次に、キャリブレーション用のソフトウェアを起動する。このソフトウェアは、ディスプレイ上に半径 5 dots の円のマークを、中央 (C)、右端 (R)、左端 (L)、上端 (T)、下端 (B) の順に表示させ、被験者に注視させるものであるが、その際にハードウェア・キャリブレーションを行うとともに、ソフトウェア・キャリブレーションのための注視点データも測定する（図3参照）。

そして、この測定データから座標変換の計算を行う。この計算においては、中央の円を注視したときの測定データの座標が、注視点データの座標系の中心と一致するように補正するとともに、左右と上下の円を注視したときのデータから x 軸方向と y 軸方向の変換比率を算出する。これらの数値より、実際の注視点データのコンピュータのディスプレイ上の座標を求めることができる。

#### 5. 実験の方法

予備実験として、23歳の健常な男子学生1名を対象に、制御対象により、比例要素、左右反転要素、上下反転要素、積分要素の4種類で実験を実施した。これらの場合の目標の移動速度は基本速度の2倍であり、積分要

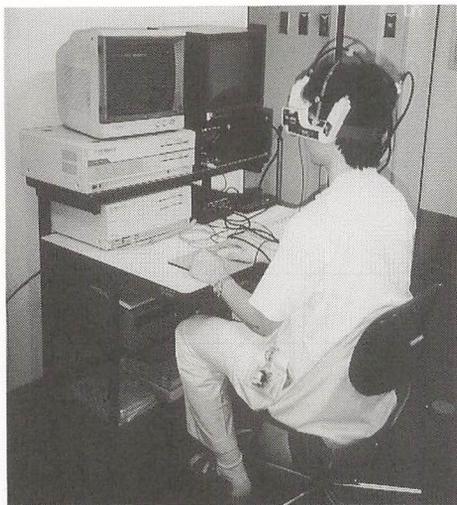


図4 実験中の写真

素でのマウス感度は1とした。また、比例要素に関しては、移動速度をパラメータとし、基本速度の1, 3, 5, 7倍の4段階に変化させた実験も実施した。

制御対象が左右反転, 上下反転, 積分要素の場合はそれぞれ10回ずつ, 速度をパラメータとする場合は4回連続で測定した。1回30secの試行終了ごとに約1分のインターバルをとり, 同じ種類の実験では連続して試行を行った。

実験に際しては, 被験者に対して, 「目標マークの動きにマウスカーソルをできるだけ正確に追従させよ」という課題を与えて, 実験を行った。また, 先入観を与えるのを防ぐために, 実験の主旨, 解析方法については被験者にいっさい知らせていない。

なお, 実験中の様子を図4の写真に示した。

## 6. 解析の方法

予備実験のデータに対する解析としては, まず, 目標値, 制御値, 注視点の3つの時系

列データのx軸, y軸それぞれの変化を横軸を時間, 縦軸を座標値にして示す方法を基本とし, これまでの上肢トラッキング動作の研究において用いていた, 目標値と制御値との誤差や動作パターン(遅れ動作および逆動作)の判別も表示させることにした。さらに, 眼球運動のパターンとの関係を調べるために, 目標値と制御値の時間微分値(速度)を求めるとともに, 注視点の速度から眼球運動の種類を判別し, 表示するようにした。これらのデータは, メニューにより比較したいものを選んで表示できる。また, 平面上での誤差, 動作パターン, 速度も算出, 表示できるようにした。

一方, 上肢運動機能自体の評価方法としては, 従来の平均誤差と動作パターンの割合を各試行ごとに計算した。このような平均化された数値では, 眼球運動との関係を分析することは難しいが, 臨床での評価にとっては直感的に分かりやすく有効である。

## 7. 実験の結果と検討

紙面の都合上, ここでは結果のグラフとしては1例だけを紹介する。図5は, 制御対象が積分要素の場合の5回目の試行の結果について, x軸方向の目標値, 制御値, 注視点, 目標値と制御値の誤差を選んで表示したものである。

このグラフから, 積分要素の制御動作に完全に習熟しておらず, 随所に誤差が大きくなる場所が見られること, そして, その場合の眼球注視点の動きを読み取ることができる。

実験の結果より, 一般に目標の速度が小さい場合や移動方向があまり変化しない場合, もしくは, 反転要素や積分要素に習熟している場合には, 目標値と制御値の誤差は比較的小さく保たれ, 逆の場合は大きくなることが

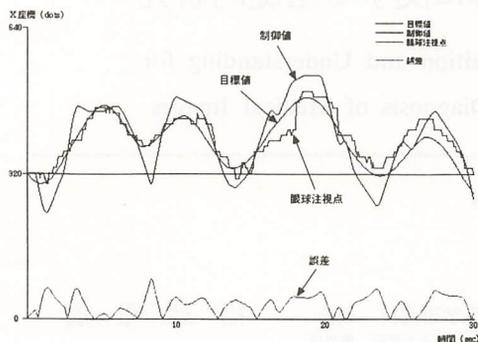


図5 実験結果のグラフの例

多いといえる。

そして、その誤差の大小によって眼球運動のパターンに、次のような違いが見られた。

- 誤差が比較的小さい場合、注視点データは、細かな変化を繰り返す。つまり、視線が目標マークあるいはマウスマウスのどちらかをとらえる際には随従運動が見られるが、他方に視線を移すときには、小さな断続性運動が見られる。
- 誤差が大きの場合、注視点データには、大きな変化が随所に現れる。つまり、大きく離れた他方に視線を移すときに、大きな断続性運動が見られる。

このような視線の移動により、目標マークとマウスマウスの動きや位置関係を把握し、誤差を小さくする動作をしているといえる。これは手と目の協調によるものである。

#### [今後の研究の方向、課題]

実験システムの開発の際のもう1つの留意点は、臨床での応用への配慮である。しかし、実際に応用するとなると、アイカメラの装着とキャリブレーションに時間がかかること、また、アイカメラは、装着すると重く、圧迫

感があることなどの問題点がある。これらを解決するには、新型の軽量なアイカメラを使用するしかないが、非常に高価であり現実的ではない。

前者の問題に関しては、より簡便なキャリブレーションの方法を検討している。また、後者に関しては、被験者の負担を軽減し、かつ、頭部を安定させ、より正確な測定をするために、あご台を利用することにした。

今後は、このあご台を使用して、健康者での実験と解析、モデル化を行い、臨床応用の際の基準データを収集し、疾患の種類や程度は限定されるであろうが、臨床側からの意見を参考にしうえて、臨床への応用も検討する予定である。

なお、本研究においては、システムの開発やデータの解析は龍谷大学理工学部で行い、上肢トラッキング動作の実験は大阪大学附属病院で行うという形態で研究を進めた。同病院理学療法部の井上 悟技師長をはじめとする方々にここに感謝の意を表する次第である。

#### [成果の発表、論文等]

##### 参考論文

- 1) S. Kobori *et al.*, "Evaluation of Upper Limb Motor Function by means of Tracking Motion on Reversal Element", The Transaction of the IEICE, Vol. E 74, No. 5, pp. 1047 ~ 1050, 1991.
- 2) 小堀 聡, "反転要素を制御対象とした上肢トラッキング動作の学習過程", 人間工学, Vol. 28, No. 5, pp. 243 ~ 249, 1992.

##### 口頭発表

- 1) 小堀 聡, "上肢トラッキング動作時における眼球運動の測定と解析", 情報処理学会第 55 回全国大会, 1997.

# 医用画像の解析と診断へのコンピュータ支援 のための画像認識・理解に関する基礎的研究

## A Fundamental Study on Recognition and Understanding for Computer Aided Analysis and Diagnosis of Medical Images

941015

研究者代表 九州芸術工科大学芸術工学研究科 教授 福島重廣  
(元九州工業大学情報工学部制御システム工学科 助教授)

### [研究の目的]

医用画像の定量的な解析, および, 効率的かつ安定な診断を可能にするために, コンピュータによる画像診断支援システムを開発する。複数種の医用画像を対象とし, とくに, 画像認識・理解といったコンピュータビジョンの問題を中心に検討する。そして, 医療において重要な画像診断の実現と, 膨大な検査画像の医療上および学術上の有効利用に貢献することを目的とする。

### [研究の内容, 成果]

#### 1 胃 X 線二重造影像の画像理解システムの構築<sup>1-7)</sup>

胃 X 線二重造影像のコンピュータ支援診断における判定支援のために, 胃領域の画定, 脊柱陰影の認識, および, バリウム溜り領域の識別の方式を開発し, それらを統合して画像理解システムを構築した。

##### 1.1 システムの構成

本システムにおける処理の流れを Fig. 1

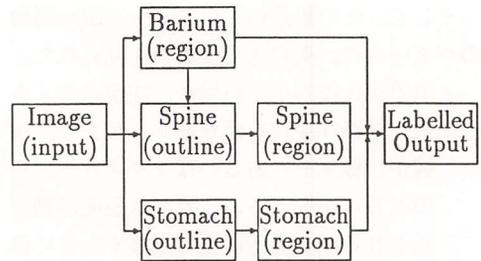


Fig. 1 Processing flow of the system

に示す。胃領域は線追跡による方法または動的輪郭を用いた最適化による方法で辺縁を囲い込んだ後, 領域の塗りつぶしによって抽出する。脊柱領域はハフ変換を用いて辺縁を抽出した後, やはり領域の塗りつぶしによって抽出する。バリウム溜り領域は群化と領域成長にもとづく方法によって抽出する。なお, バリウム溜り領域についてはエッジ検出にもとづく方法についても別途開発してきている。

最終結果としては多重にラベル付けされた画像が出力される。

##### 1.2 実験結果

以上の方式を 18 症例に適用して画像理解システムの認識性能を厳しい判定および甘い



Fig. 2 An original image

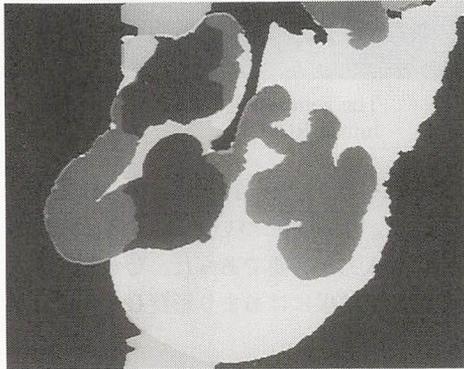


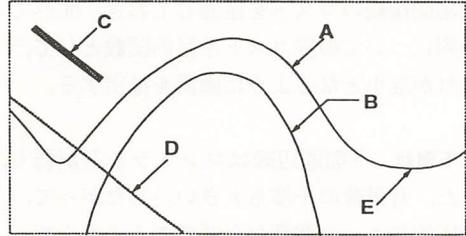
Fig. 3 The labelled output by tracking

判定による認識成功症例数で評価した。その結果、胃領域については、線追跡による場合 15～18 症例、また、最適化による場合 16～18 症例が成功であった。また、バリウム溜り領域については 14～18 症例、脊柱領域については 10～16 症例が成功であった。

入力画像 Fig. 2 に対する画像理解の結果を Fig. 3 に示す。この例では線追跡にもとづいて胃領域を認識している。

## 2 顎関節 X 線画像の理解<sup>8-9)</sup>

顎関節の形態を解析するためには X 線写



- A: mandibular fossa (下顎窩)
- B: mandibular head (下顎頭)
- C: petrotympanic fissure (錐体鼓室裂)
- D: interfering structure (干渉像)
- E: articular tubercle (関節結節)

Fig. 4 The schematic illustration

真から Fig. 4 に示すような下顎頭、下顎窩、錐体鼓室裂などの辺縁を詳細にトレースしなければならない。顎関節 X 線写真は画質が劣る反面、被写体の形態が安定している規格写真であるため、モデルにもとづく強引なアプローチが利用できる。本研究では、すべての要素について、形態モデルにもとづいて強調マスクと目的関数を設定し、後者の最適化によってトレースを生成する方式を開発した。目的関数の各項にはエッジらしさ、連続性、滑らかさ、方向性などが反映されている。さらに、関心領域の自動抽出も行った。

### 2.1 方法

**グリッド像の除去** 原画像にはほぼ水平方向のグリッド像が重畳している。画像の各列についてフーリエ空間周波数領域において低域通過フィルタ処理を行い、これを除去する。

**下顎窩** 方向性エッジ強調マスクを複数の向きに回転して適用し、それらに対する応答の最大値をとることによって下顎窩辺縁を強調する。そして、画像の各列から辺縁上の 1 画素を抽出する。そのために隣接列における

画素間接続のコストを定義しておき、すべての列についての総コストを目的関数として、これが最小となるように画素を抽出する。

**下顎頭** 下顎頭辺縁はコントラストが弱く、また、背景像の干渉も大きい。したがって、適応的なエッジ強調が必要である。そこで、まず、下顎窩のときと同パターンの鉛直エッジ強調マスクを用いて下顎頭辺縁下部の両足の列座標を求める。それらにもとづいて画像を横方向に3分割する。そして、それぞれの区分において、下顎頭のエッジに沿う角度に回転したエッジ強調マスクを適用する。下顎頭辺縁を両足の中点を中心として放射状に走査し、方向角が列座標に、また動径が行座標に相当する極座標形式の画像表現を求める。この表現に対して上と同様に総コストの最小化を図る。

**錐体鼓室裂および干渉像** それぞれ、右下方斜傾エッジ強調マスクを用いて強調した後、下顎窩と同様にして総コストの最小化を図る。このとき、連続性については、右下方への接続が低コストになるように接続コストを定義している。

**関心領域の設定** 下顎窩辺縁と干渉像中心線との交点から関節結節へ接線を引き、その上部を顎関節形態計測の規格領域として関心領域を設定した。

## 2.2 実験結果

本方式を顎関節 X 線画像 24 枚に適用した。原画像の 1 例を Fig. 5 に、また、その処理結果を Fig. 6 に示す。要素が視認できる写真についての (成功数)/(総数) の比率は、下顎窩、下顎頭、錐体鼓室裂、干渉像につい

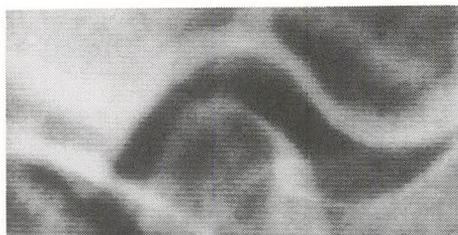


Fig. 5 An original radiographic image

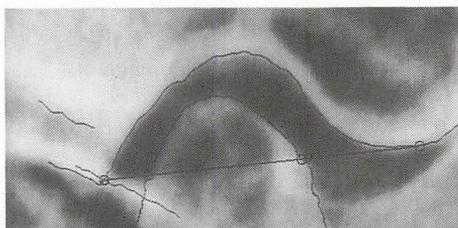


Fig. 6 The generated trace and the determined ROI

て、それぞれ 20/24, 17/21, 10/14, 23/24 であった。下顎頭については 11 例は両足の設定に手入力が必要であった。しかし、手入力の精度は結果にはあまり影響しないことが分かった。

## 3 顎関節シネ X 線画像からの下顎頭運動軌跡の追跡<sup>10)</sup>

顎関節の機能を下顎頭の運動軌跡としてとらえるために、シネ X 線画像からの画像処理にもとづく方式を開発した。画像技術としては、シネ画像の系列内サブトラクション法を開発した。

### 3.1 方法

被検者の頭部を固定しておいて、口を開いてから再び閉じるまでの一連の矢状面内下顎運動における顎関節部のシネ X 線撮影像 30 フレームを、テレビカメラによってコン

コンピュータに入力した。このとき、濃淡値はフィルムを照明したときの透過光量を表している。

**光源変動の補正** 入力された各フレームはフレーム内の平均濃淡値が変動していた。これは主として画像入力装置の光源変動によるものである。まず、X線画像の透過重畳性を利用してこの変動を補正する。

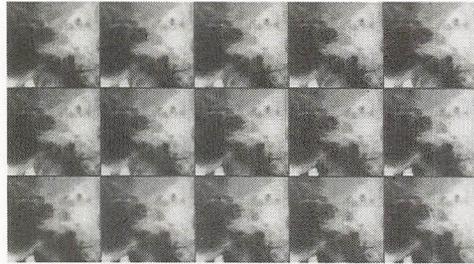


Fig. 7 Intensity-compensated

**系列内サブトラクション** コントラストの弱い下顎頭を抽出するために、X線画像の濃淡値の加法性を利用して、シネ画像の系列内サブトラクション法を開発した。この方法によれば、不動物体のみ背景画像が撮像できずに運動物体が常時撮像されてしまう場合でも、最小値投影によって背景画像を求めることができる。こうして求めた背景画像をシネ画像の各フレームから差し引くことによって運動要素、つまり下顎頭陰影を抽出した。



Fig. 8 Estimated background

**下顎頭先端点の決定** 運動軌跡を追跡するためには、下顎頭陰影から下顎頭領域を認識して特徴点を決定する必要がある。そのために、特徴点としては下顎頭先端点を求めた。

### 3.2 実験結果

Fig. 7は光源変動を補正した原画像（開口時）、また、Fig. 8は推定した背景画像、Fig. 9は運動軌跡の追跡の結果である。

### 4 断層像輪郭線による胎児胃立体形状の推測と計量<sup>[1-15]</sup>

胎児胃の子宮内での発達過程に関心が寄せられている。われわれは、胎児胃超音波断層像を用いて解剖学的知識を援用したコンピュータビジョン技術による立体形状の推測、

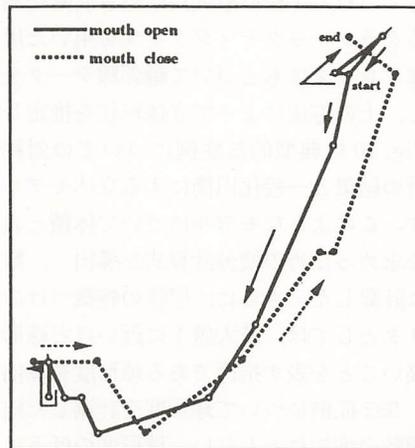


Fig. 9 The motion trace

およびそれにもとづく定量的解析を試みた。

#### 4.1 立体形状モデリング

筒状物体を一方向から見たときの影絵の輪郭線が与えられ、さらに、この物体は対称軸が平面上にあり、その平面に平行な画像面に直交投影されていると仮定する。このとき、対称軸に直交する断面の投影は線分になり、対称軸の投影に直交する。つまり、影絵の対称軸に関して対称な点の対を影絵輪郭線上に見いだせば、それらを結ぶ線分がこのような断面の投影である。対称軸と対称点对とが直交しないとき、弱い意味での対称性について同様に考える。対称性の解析にはわれわれが提案してきた計算原理を用いる。

断面の形状を仮定し、各断面を対称軸にそって積み重ねていくことにより、立体形状を一般化円筒としてモデル化する。

#### 4.2 胎児胃形状計測

胎児胃は胃軸がほぼ平面内に存在すると考えられ、また、胃軸に垂直な断面はほぼ円形であることが観察される。そこで、胃軸を含むと考えられる1枚の最大長軸超音波断層画像からグラフィックディジタイザを用いた手動的なトレースにもとづいて輪郭線データを入力し、上の方法によって立体形状を推定した。Fig. 10 に典型的な症例についての対称性解析の結果と一般化円筒による立体モデルを示す。このようなモデルについて体積と表面積を求めるための積分計算式を導出し、数値的に計算した。さらに、形状の特徴づけのパラメタとしては、最大値1に近いほど球形度が高いことを表す指標である球形度を算出した。932 症例について球形度を計測した結果、週数の増加にともない、球形度の低下に対応して胃角部の形成が進んでいることを定

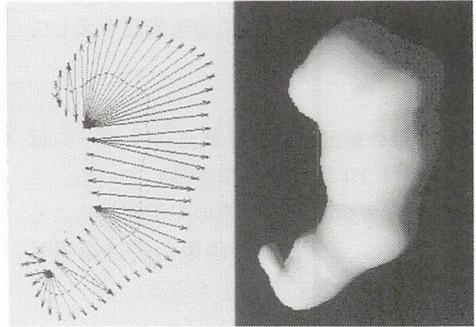


Fig. 10 From symmetry analysis to 3D modeling

量的に示すことができた。

#### [今後の研究の方向, 課題]

本研究によって複数種の医用画像の認識・理解の枠組みの基礎をほぼ確立することができた。今後、それらの評価、および、画像診断と学術上の有効利用の実現へ向けてさらに発展させることが課題として残っている。

胃 X 線二重造影の画像理解については、システムの評価・改善をはかるとともに、病変検出システムとの統合による画像診断支援システムの実現をはかりたい。

顎関節 X 線画像の理解については顎関節形態の計測・解析へと進み、多数の検査データに適用して、その統計的理解をはかるといふ歯学の研究へ供したい。

顎関節シネ X 線画像からの下顎頭運動軌跡の追跡については症例数を増すとともに、歯学運動学の研究に進みたい。

断層像輪郭線による胎児胃立体形状の推測と計量の問題については、一応の学術的目標を完了した。今後、さらに臨床応用の可能性を探る。

[成果の発表, 論文等]

- 1) 上井弘樹, 山田耕久, 白石達也, 福島重廣: 試行錯誤探索による胃 X 線二重造影像からの胃輪郭線追跡, 画像の認識・理解シンポジウム講演論文集 II, 319-326, 1994.
- 2) 上井弘樹, 福島重廣: 動的輪郭を用いた胃 X 線二重造影像からの胃領域の識別, *Med. Imag. Tech.*, 13: 591-592, 1995.
- 3) 大西康夫, 岩倉康哲, 福島重廣: 胃 X 線二重造影像からの脊柱陰影の抽出, *Med. Imag. Tech.*, 12: 523-524, 1994.
- 4) 岩倉康哲, 大西康夫, 福島重廣: 胃 X 線二重造影像における脊柱陰影の認識, 電子情報通信学会技術研究報告, IE 94-34, 49-56, 1994.
- 5) 山内 健, 福島重廣: 零交差にもとづく胃 X 線二重造影像からのバリウム溜り領域の識別, *Med. Imag. Tech.*, 13: 513-514, 1995.
- 6) 宮崎晃一, 福島重廣: 群化にもとづく胃 X 線二重造影像からのバリウム溜り領域の識別, *Med. Imag. Tech.*, 15: 519-520, 1997.
- 7) 吉本康一, 福島重廣: 胃 X 線二重造影像の画像理解システムの構築, *Med. Imag. Tech.*, 15: 521-522, 1997.
- 8) 安永真二, 児玉和彦, 来栖剛臣, 福島重廣, 大庭健: 顎関節 X 線画像の理解, 画像の認識・理解シンポジウム講演論文集 II, 327-334, 1994.
- 9) 奈良美奈子, 福島重廣, 大庭健: 最適化による顎関節 X 線画像からのトレース図の生成, *Med. Imag. Tech.*, 13: 513-514, 1995.
- 10) 福島重廣, 西田知広, 大庭 健: 最小値投影にもとづくサブトラクションを用いたシネ X 線画像からの下顎頭運動軌跡の追跡, 医用画像情報学会雑誌, 12: 35-43, 1995.
- 11) 福島重廣: 断層像輪郭線による胎児胃立体形状の推測と計量, *Med. Imag. Tech.*, 12: 521-522, 1994.
- 12) S. Nagata, T. Koyanagi, S. Fukushima, *et. al.*: Change in the three-dimensional shape of the stomach in the developing human fetus, *Early Human Development*, 37: 27-38, 1994.
- 13) 2次元像から3次元形状を推測する, 産婦人科の実際, 43: 1821-1825, 1994.
- 14) T. Yoshizato, T. Koyanagi, S. Nagata, T. Takashima, S. Fukushima, *et. al.*: Three-dimensional ultrasound image of the fetal stomach: congenital duodenal obstruction in utero, *Early Human Development*, 41: 39-47, 1995.
- 15) S. Fukushima: Division-based analysis of symmetry and its application, *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 19: 144-148, 1997.

---

## 高真空用超小型自走機械群の開発と 微細機能電子デバイス製作への応用

Development of Miniature Robots Workable in High Vacuum Chamber  
and Application for Micro Electric Device Fabrication

---

951001

研究代表者	静岡大学工学部 助教授 (電気通信大学電気通信学部)	青山 尚之
共同研究者	静岡大学工学部 教授	佐々木 彰
共同研究者	静岡大学工学部 助手	岩田 太

### 【研究の目的】

本研究では、高真空容器などの特殊環境下で通常の精密位置決め機構の設置や搬入が困難な場所において、精密な超小型ロボット群を稼働させ、資料表面の広範囲にわたり微細加工を可能にするシステムの構築を目的としている。これまでに困難であった多層・傾斜分布する平面分布の微細素子の生成が容易になり、半導体デバイスの生産コストの低減に大きく寄与するものと期待される。

### 【研究の手法およびその結果】

微細加工の方法としては、機械的な材料除去加工法のほかに物理・化学蒸着（PVD, CVD）などの薄膜生成法、電子ビームを用いる方法などさまざまな方法が知られている。材料の原子・分子をターゲット面に堆積・吸着させる方法はある程度の広がりをもった範囲全体に均一な膜厚が分布するため、幾何学

的なパターンが要求される場合はマスクを用いるのが一般的である。また逆に材料を除去する場合はエッチングなどにより所定の形に成形している。

我々の研究グループではすでに大気中でミクロンオーダーの精度が微細加工可能な超小型の機構の開発に成功しており、ここでは高真空中でも稼働する機構を開発するとともにこの機構を遠隔操作することにより薄膜生成の精密制御の基本的な可能性について実験を行った。図1に高真空用に設計・試作した超小型の精密自走機械を示す。この機構は圧電素子と電磁石により構成されており、それらを同期駆動することで、インチウォームの原理で精密に移動することができる。最小の歩幅は0.1ミクロンであり、極めて高い位置決め分解能を達成している。まずこの機構が高真空中（ $10^{-4}$  Pa程度）でも安定に動作するように材料などについて改良を行った。まず真空中の前処理のベーキングでは300度程度で約30分加熱し、水分などを除去するた

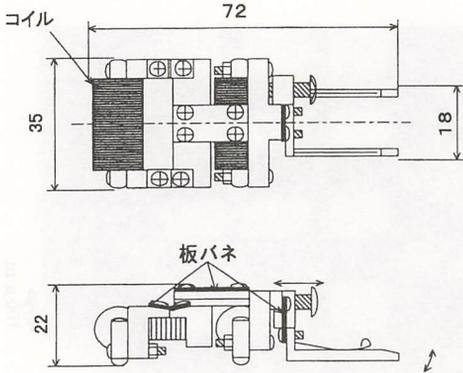


図1 サンプル・マスクホルダ付きの超小型精密自走機構

め、耐熱性の高いセラミック系のコーティング剤で被覆処理を行った。さらに真空中でも蒸発しにくい接着剤（エポテック H 65-175 MP）やふっ素樹脂系極細電線（ジュンフロン R-GTO 1 A 080）を用いて試作した。この研究で提案する方法の可能性を示すために、次のような基礎的な実験を行った。図2に示すように高真空蒸着装置のチャンバー内にこれらの超小型の自走機械が移動できるようなステージが2段設置されている。上段にはサンプルホルダー、マスクホルダーを装備した精密自走機械があり、下段には蒸着源を供給する自走機械が配置されている。この容器には最大7台の自走機械が稼働できるようになっている。図3には装置の写真を示す。

蒸着した金属を精密にパターンニングするために

1. 蒸着しながら、マスクを持った自走機械が精密に移動し、階段状に膜厚が分布する薄膜を生成する。
2. マスクとサンプルを2台の超小型自走機械に搭載し、これらの相対位置を精密に制御しながら薄膜パターンを連続生成する。
3. さらにもう1台のマニピュレータ付きの

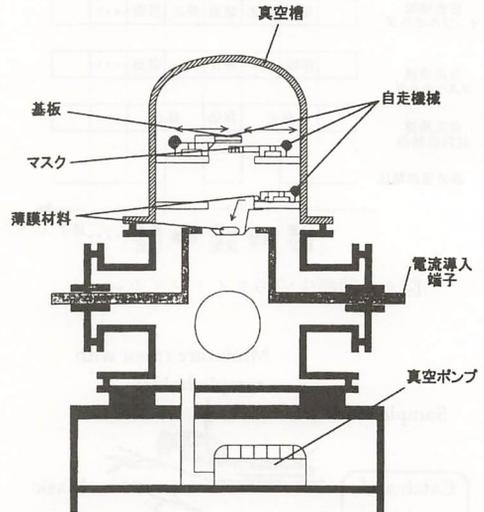


図2 基礎実験装置の構成

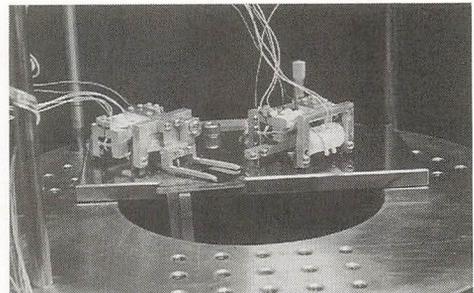


図3 実験装置の写真

自走機械が蒸着源に材料を投入させ、ことなる種類の薄膜を交互に生成させる。

図4には薄膜の生成を行わせる場合のタイミングチャートを示し、どのように動作するかを示すものを図5に示す。まずサンプルと試料を保持した2台の小型自走機械が蒸着源上に接近し、所定の位置に停止する。そして蒸着が1回終了すると、相対位置がわずかにずれるように再度位置決めし、蒸着を開始する。この工程を繰り返すことで、微細なパ

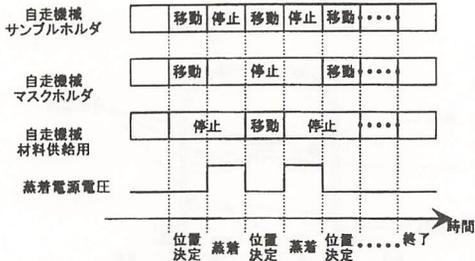


図4 薄膜生成のタイミングチャート

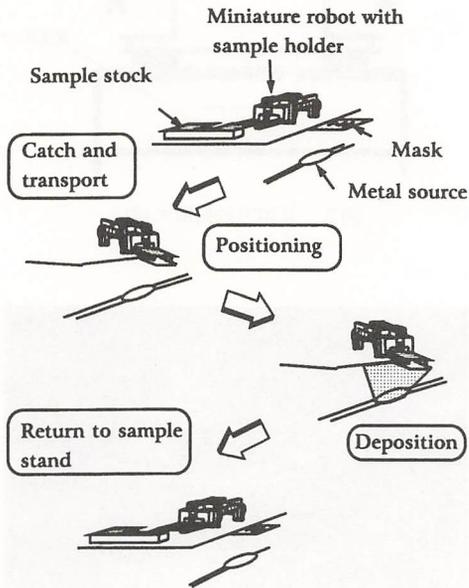
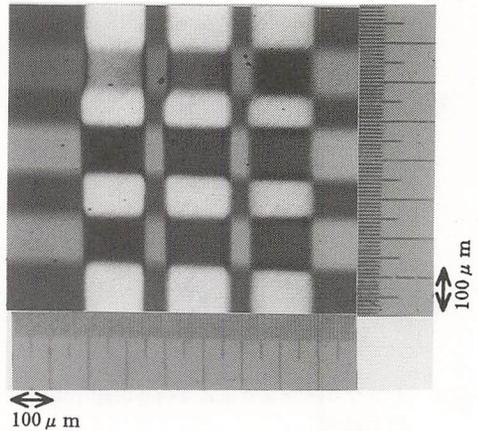
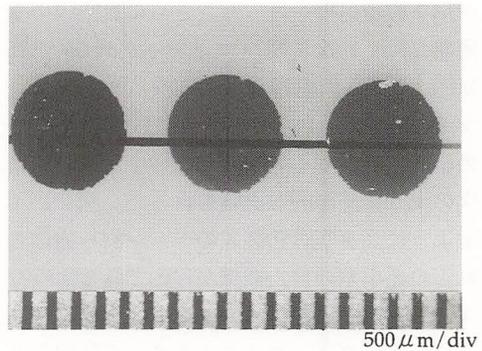


図5 微細薄膜パターンの連続生成の手順

ターンが連続的に生成される。一般に膜厚は蒸着時間に比例するが、これを局部的に遮蔽することで膜厚分布を形成することができる。この実験では超小型の自走機械がマスクを基板面に沿って精密に位置決め動作を繰り返すことで任意の薄膜形状を生成させる。マスクを用いたパターン蒸着法における蒸着むらはこの方法の分解能に相当するが、これは蒸着源、マイク、サンプルの幾何学的配置により決定される。この実験装置で



(a) 格子状に生成されたアルミ蒸着パターン



(b) 円形パターンと細いパターンの組み合わせ

図6 薄膜パターンの精密制御実験

は、数ミクロンの微細パターンの生成が可能である。

図6に代表的な実験結果を示す。同図(a)では幅100ミクロンのスリット状のマスクを用いて第1層に対して第2層が直交するようにパターンニングした例である。単純な動作の繰り返して、複雑な閉ループ制御することなく、精密な薄膜パターンが得られていることがわかる。また同図(b)では3個の円形の薄膜パターンを等間隔で生成した後、別のス

リット状のパターンを生成させた結果である。この結果から、微細パターンを生成し、さらにそれらの間を細長いパターンで結線する作業も容易にできることがわかる。さらに2種類の金属を十文字のマスクを用いて交互に薄膜パターンを生成せることにも成功している。

[今後の研究の方向・課題]

本研究課題では高真空中でも稼働する超小型の精密自走機構を設計試作するとともに、これらの数台を制御することで精密な薄膜パターンを連続的に自動生成することを試みた。1台の自走機械にはマスク、もう1台には試料そして、蒸着金属源の交換に1台の自走機械が割り当てられている。実験ではこれらの操作はオペレータにより操作されており、基本動作はコンピュータで遠隔制御されているが、指令やタイミングの調整はまだ自動化す

るに至っていない。また現在はガラス基板上に異種金属の薄膜パニングを成功させたが、将来は実際にSiなどの半導体材料基板を用いてこのような処理をすることでマイクロセンサーやFET-トランジスタのような機能電子素子の生成を試みる。

[成果の発表, 論文等]

- 1) 青山尚之, 杉田剛浩, 水谷謙一郎: 小型自走機械群による超精密生産機械システム (第16報) 高真空中での微細物理加工の試み ①, 1995年度精密工学会春季大会学術講演論文集, 605-606 (1995).
- 2) 水谷謙一郎, 青山尚之: 小型自走機械群による超精密生産機械システム (第24報) 高真空中での微細物理加工の試み ②, 1996年度精密工学会秋季大会学術講演論文集, 5-6 (1996).
- 3) Hisayuki Aoyama, Kenichiro Mizutani: Micro Devices Produced by Micro Robots, 12th ASPE Annual Meeting (1997) submitted.

# 免疫型外乱除去システムの研究

## Disturbance Rejection System inspired by the Immune System

951004

研究者代表 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 石田好輝

### [研究の目的]

免疫システムは、高度なパターン認識、学習機能を備えている。とくに情報システムとしてみたとき、その情報処理の様式は、従来のものと違う独自のものである。そこで、本研究では、その情報モデルを確立し、頭脳の情報モデルであるニューラルネットと同様のパターン認識・学習や免疫独自の学習・認識モデルを与えたいというのが本研究の目的である。

### [研究の内容、成果]

免疫系の記憶や認識において細胞レベルでの処理が中心となる。すなわち、それが特異的にはたらく抗原に遭遇した細胞は、記憶細胞としてその寿命や増殖率などのパラメータを変えることにより、次回おなじ抗原にたいしてより効率的に働くという考え方である。ここでは、このような細胞という単位を重視した免疫系の情報処理を、細胞をエージェントとして対応させることにより実現することを考える。

#### 1 免疫的適応アルゴリズム

免疫系の特徴にもとづき、多様性にもとづく適応パラダイムとして以下の免疫的適応ア

ルゴリズムを提案する。

1. 多様性の生成：エージェントはその特異性における多様性を遺伝アルゴリズム同様の遺伝的組替えにより生成する。(ただし実際の免疫系においては、cross over は行なわれない。)
2. 自己寛容の確立：エージェントはその生成・教育段階において自己パターンにたいしては、反応しないように調整される。
3. 非自己の記憶：エージェントはその作動段階において一度遭遇した非自己パターンにたいしてより敏感になるように調整される。

この免疫型情報システムのパラダイムは環境が予測できないような問題に適用できる。典型的な一つの問題は外乱やノイズなどの知識がえられない場合の制御問題である。とくに外乱と制御信号が信号レベルでは識別できない場合に、その特徴がいかせる。

#### 2 エージェントによる免疫型システムの実現

ここで述べた免疫型情報システムのパラダイムを実装する一つの方法は、免疫細胞に対応する自律性を持ったエージェントの集合を考えることである。

- レセプタ（認識部）とエフェクタ（実行部）からなり、それ一つでもタスク実行の単位であるエージェントからなる。

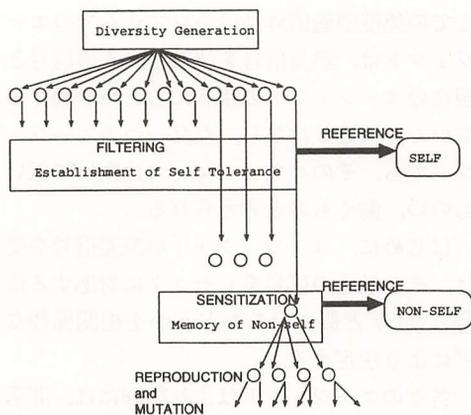


図1 エージェントアーキテクチャによる免疫的適応アルゴリズムの実現

- レセプタ（認識部）は特定のパターンのみを認識する。すなわちエージェントとしては、特異的に働く。
- 上記のエージェントは変異をともなった増殖が可能である。変異はレセプタ（認識部）とエフェクタ（実行部）において行なわれる。
- レセプタにおける変異は、環境にふくまれる非自己との親和性が上がるように行なわれる。

エージェントによる免疫型システムの基本は、認識部と実行部がペアになり、増殖・変異可能なエージェントの集団にたいし、環境による選択が行なわれ適応が行なわれることにある。

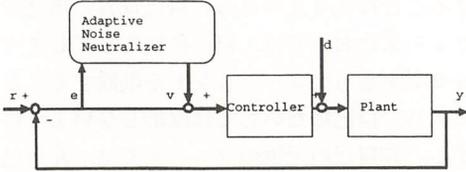
図1にこのエージェントを用いた免疫的適応アルゴリズムの概念図を示す。多様性の生成のフェーズにおいては、エージェントの遺伝子を仮定し遺伝アルゴリズムと同様におこなえる。その際、エージェントの特異性についての多様性を確保するため遺伝的組替えをもちいる。エージェントはその遺伝子の仕様に基づきおもにレセプタ、エフェクタを構築

することによりえられる。自己寛容の確立のフェーズにおいては、自己に反応してしまうレセプタをもつエージェントを削除することにより、自己にたいしては反応しないようにする。非自己の記憶のフェーズでは、非自己に反応するレセプタをもつエージェントが活性化される。活性化されたエージェントは次のような性質をもち、遭遇した非自己との親和度を高める。

- 増殖率をあげる。
- 寿命を長くし、かつ死亡率を低くする。
- クローンを生成する。
- クローン生成の際の突然変異率をあげる。

## 2.1 免疫型外乱除去システム

図2は、この免疫型外乱除去システムをつけた適応制御系の概念図である。この図で、免疫型外乱除去システムはシステムに並列につけられたエージェントよりなる。各々のエージェントは基本的にはshapingフィルタであり、図3のように入力として誤差信号 $e$ をうけ、その入力をフィルタの出力をつくるように変形される。エージェントのポピュレーションおよびエージェントのパラメータは制御系の作動中、変動しうる。不用なエージェントは非活性となるか除去され、新しいエージェントが生成される。単純のため、外乱は周期的であると仮定する。この仮定は外乱が決定論的かつ周期的な関数の有限個の和で表現されることを意味する。この場合各々のエージェントは有限長の信号のペアをもつことになる。ペアのうちの一つの $x_j(n)$ はプラントにたいする入力信号のパターンをあらわし、もうひとつの $y_j(n)$ はその入力にたいするプラントからの出力をあらわす。このペアは事前に用意される必要がある。すなわち、このレセプタにたいおうする認識信号



d: 外乱, r: 基準入力, e: 誤差信号, v: 中和信号

図2 外乱除去システムの構成

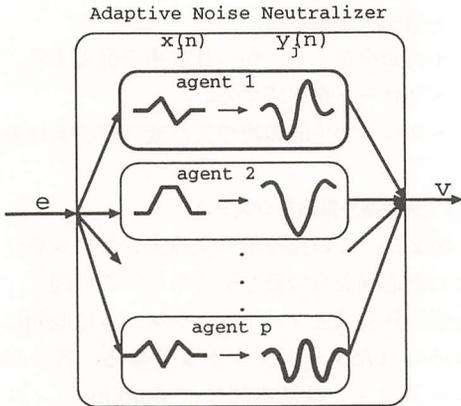


図3 エージェントによる外乱認識と中和信号

とエフェクタにたいする中和信号のペアは、それぞれのエージェントについて、あらかじめ与えられていることにする。ここで、 $x_j(n)$  のことを遺伝子とよぶ。このペアは、実際の生物では非常にながい進化の過程でえられるものである。

各々のエージェントにおける認識信号と中和信号のペアの概念図を図3に示す。この図3は図2に示されている免疫型外乱除去システムのブロックをより詳しくかいたものである。

ここで各々のエージェントにおける処理に焦点をおいて述べる。エージェントは、その自律性を特徴とする。すなわちエージェントは自分自身の認識により決定・行動する。こ

こでの免疫型適応外乱除去システムでのエージェントは、誤差信号を認識し、その信号と現在のエージェントの状態にもとづき動作していく。極端なものはなし、ただ一つのエージェントでも、そのパフォーマンスは極めて低いものの、働くものと考えられる。

はじめに、エージェント  $j$  が誤差信号を受け、その最近の信号をレセプタに対応する信号と  $y_j(i)$  と似ているかどうかを相関係数などにより決定する。

各々のエージェントはより詳細には、非活性、半活性、活性などの状態のうちいずれかにあり、どの状態にあるかで、誤差信号にたいし異なった反応をおこす。

制御動作中、エージェント  $j$  は信号  $e(\cdot)$  に埋め込まれたパターンで、信号  $y_j(\cdot)$  に似ているものを探す。もし似ているパターンがみつければ、そのエージェントは周期性があるかを調べる。そのパターンが信号  $e(\cdot)$  のなかで周期的であることがわかれば、そのエージェントは信号  $x_j(\cdot)$  を適当に増幅して、システムに加えその外乱の効果を中和しようとする。

## 2.2 外乱除去のシミュレーション

シミュレーションでプラントおよびコントローラの伝達関数は、それぞれ

$$P(s) = \frac{250}{s(s+130)}, C(s) = 40,$$

を用いる。

このシミュレーションにおいては、制御入力  $r(t)$  を0とする。すなわち図2の  $d$  において外乱が加えられるのみである。したがって、このシミュレーションでは免疫的適応アルゴリズムの第2ステップの自己寛容の確立は省くことができる。もし、制御信号があった場合は、それと外乱との区別が重要な問題

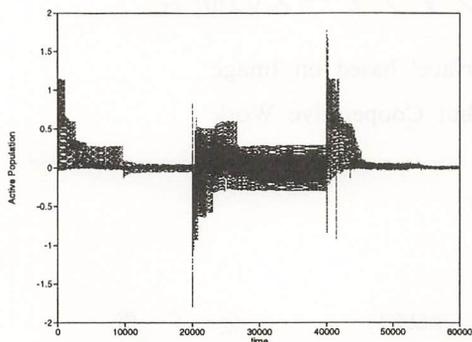


図4 二回目の外乱との遭遇における外乱除去

となる。このシミュレーションでは、さらにもとの認識信号にたいし、どの中和信号がペアとされるかの知識があらかじめ与えられているとする。

初期遺伝子データとしては、単純な形（ここでは3点で表現される3角形）を用いた。このシミュレーションにおいては、10個の長さの異なる遺伝子データを用いた。エージェントは免疫的適応アルゴリズムにおいて、進化するため初期遺伝子データはある程度の多様性さえもっておけば、任意である。しかし、できるだけ異なった外乱に対応できるプリミティブなものを用意する必要がある。免疫的適応アルゴリズムの第3ステップで、遺伝子は変異する。

免疫系の一つの特徴として、免疫記憶がある。すなわち、1度遭遇した抗原にたいしては、2度目以降に遭遇した場合1度目よりより効率的に抗原を除去していく。そこで、別のシミュレーションでは同じ外乱に、はじめて（0ステップにおいて）遭遇し、その後べつの外乱に40000ステップさらしたのち、ま

たはじめに遭遇したのと同じ外乱に遭遇し、それらを比較してみた（図4）。2度めに外乱に遭遇した場合の方がより効率的に除去されているのがわかる。これは、やはり免疫的適応アルゴリズムの第3ステップにおけるエージェントの適応の結果であるが、この場合は一度目に遭遇したエージェントの寿命が伸びたことによる。

#### [今後の研究方向, 課題]

このシミュレーションではエージェント間の直接の相互作用はないとしている。Jerneのイデオタイプネット説に忠実になるならば、各々のエージェントの出した中和信号は、他のエージェントの認識の対象にもなるとし、ネットワーク全体としてはたらくというようにすべきである。

#### [成果の発表, 論文等]

- 1) Y. Ishida and N. Adachi, "An Immunological Algorithm and Its Application to Disturbance Rejection," NAIST Technical Report, NAIST-IS-TR 95030, 1995.
- 2) Y. Ishida, "Note on Immune Network and Majority Network," NAIST Technical Report, NAIST-IS-TR 95031, 1995.
- 3) Y. Ishida and N. Adachi, "Active Noise Control by an Immune Algorithm" *Proc. International Conference on Evolutionary Computation* 96, Nagoya, pp. 150 - 153, 1996.
- 4) Y. Ishida, and N. Adachi, "An Immune Algorithm for Multiagent: Application to Adaptive Noise Neutralization," *Proc. IROS* 96, Osaka, pp. 1739 - 1746, 1996.

# 人間—ロボット協調作業のための画像認識に基づくハンドリングインタフェースの研究

## A Study on 'Handling Interface' based on Image Recognition for Human-Robot Cooperative Work

951008

研究者代表 北海道大学大学院工学研究科 金子 俊一  
 共同研究者 東京農工大学工学部 本多 庸悟

### 【研究の目的】

人間—ロボット協調のための新しいインタフェース技術を確立することを目的とする。コマンド入力などを使わずに、たとえば対象物体の受け渡しなどを実現するために、画像認識技術と空間計測技術を融合した新しい計測・認識手法およびそれに基づいた制御法を開発する。この実現により、通常生活空間で人間と共存・協調する知的ロボットを構築するための基礎的検討が可能となる。

### 【研究の内容】

これまでの研究内容及び研究成果について述べる。

#### 2.1 色キャップ方式による実時間手指認識

概要を述べる (図1)。左手指に装着した色キャップをマーカーにして、手指の位置・姿勢を実時間認識する手法を開発しシステムとして実現した。非線形識別による色抽出、モデル駆動型姿勢認識、実時間対照物認識法

(次節参照) により構成されている。特に姿勢計算においては、指寸法を既知とすること

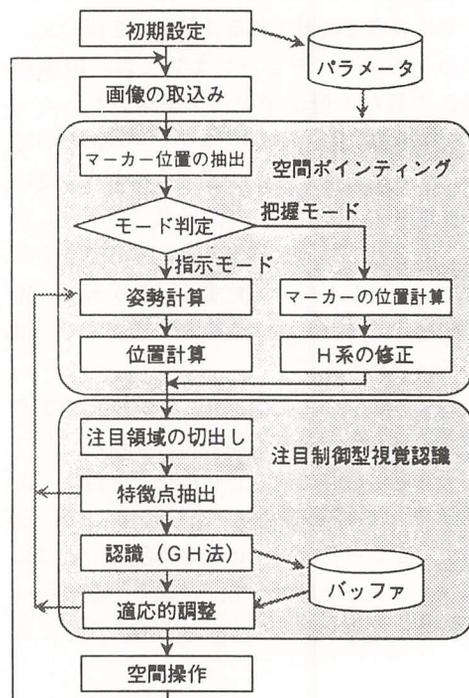


図1 ハンドリングインタフェースの全体構成

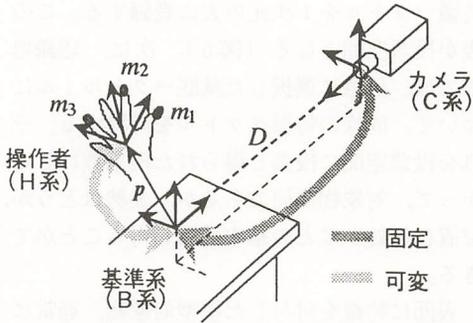
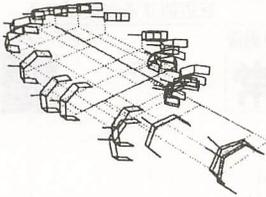


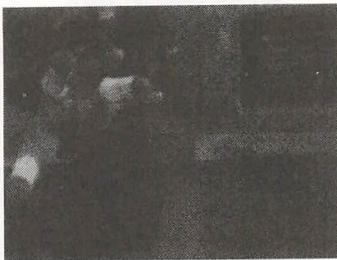
図2 手指の座標系設定



(a) Initial position



(b) Locus of pointing



(c) Goal position

図3 実時間姿勢検出

による独自のアルゴリズムを開発した(図2)。実験では約4 Hzのスループットを実現した(図3)。

## 2.2 把握対象物の位置・姿勢の実時間認識のための高速認識アルゴリズムの開発

オペレータによって把握された対象物の位置・姿勢を実時間で推定し取得するための手法として、画像エッジ特徴に基づく投票型の高速認識法を考案した。

概要を述べる。この方法は、

(1) モデル登録

(2) 対象物の認識

の2つの処理から構成される。両処理における基本的特徴量は画像から抽出する直線エッジセグメントである。まずモデル登録処理では、あるモデル画像に対して抽出された $n$ 個の直線エッジセグメント群から、任意に1本の基底セグメントを選択する。基底セグメントと他のセグメント間の交差角度の列( $n-1$ 次元ベクトル)を正規化された特徴とする。これをすべての基底セグメント、すべてのモデル画像ごとに計算しておく(図4)。

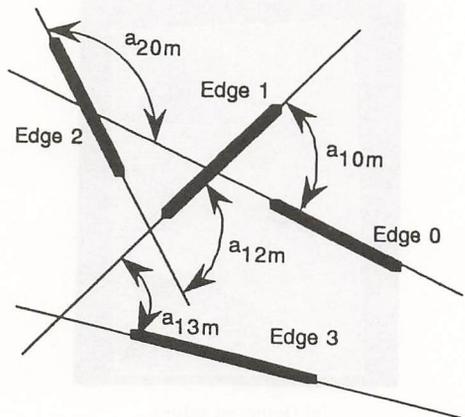


図4 交差角度特徴

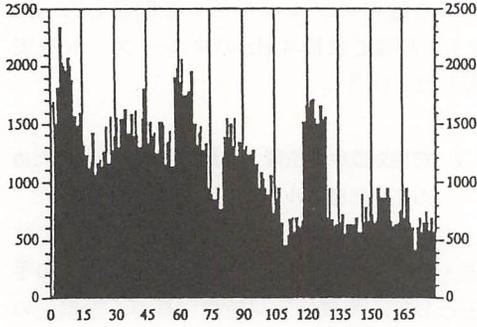
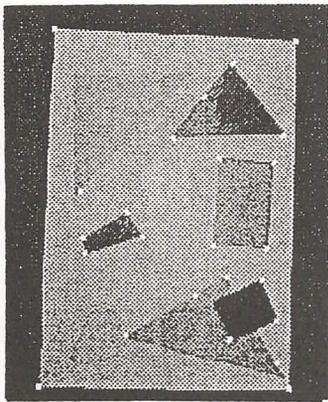
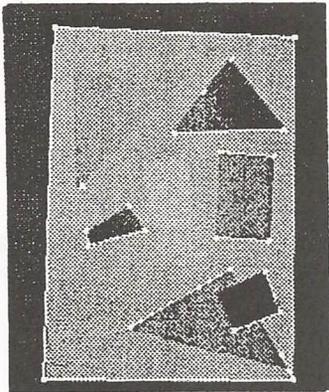


図5 Hash table



(a) Detected vertices



(b) Detected edges

図6 実時間対象物認識

特徴ベクトルを1次元の表に登録する。この表が投票空間となる(図5)。次に、認識処理では、任意に選択した基底ベクトル1本について、同様の特徴ベクトルを計算する。それを投票空間に投票し得られた投票数にしたがって、対象物が何であるか、姿勢はどうか、位置は何かなどの基本情報を得ることができる。

表面に特徴を付与した模型対象物、通常に入手可能な CCD カメラとワークステーションを用いた実験では、約 2 Hz のスループットを実現している(図6)。

### 2.3 文字・記号領域抽出のためのインスタンス投票法の開発

実空間におけるロボットビジョンシステムを実現するためには、予め計画・付与される知識(軌道情報、障害物情報、目標識別情報

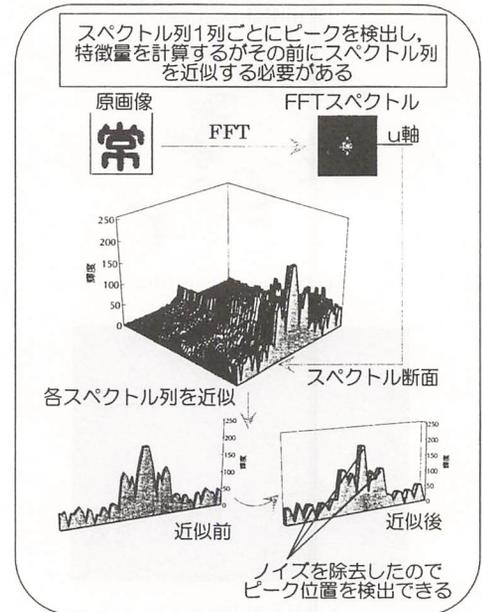
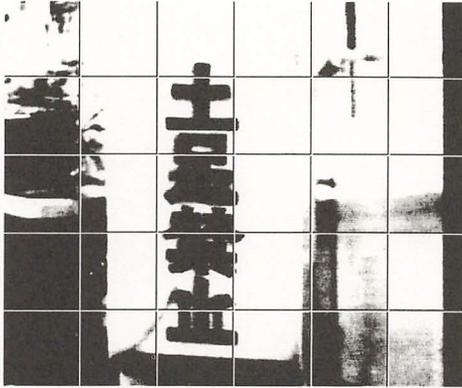


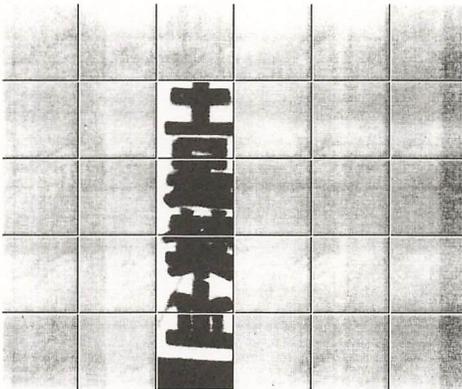
図7 フーリエ特徴

など)に加えて、実時間で実空間の情報を取得し、それに基づいて目標達成の戦略を導出する必要がある。そのための基本的方法として、文字・記号領域を自律的に発見するためのアルゴリズムを開発した。この方法は先の方法と同様に投票空間への投票数によってボタン識別を行うものである。

概要を述べる。文字・記号領域の学習のための見本となる部分画像から、フーリエスペクトルに基づく特徴量を算出し(図7)、し



(a) 原画像②



(b) 画像②の認識結果(学習画像数60)

図8 文字候補領域の抽出

きい値処理を経て、0あるいは1の値を要素にもつ特徴ベクトル(2値化インスタンス)を得ておく。文字・記号領域を示す2値化インスタンス群と非文字・記号領域を示す2値化インスタンス群を得る。これらのベクトル群から、要素の任意の組合せとして各群を区別できる部分ベクトル(縮退ベクトル空間あるいは部分空間)を選択しておく。次の認識処理では、認識対象となる画像から同様に2値化特徴を計算する。各部分空間への投票値を総計することにより、識別を行う。大学キャンパス内の実画像に対して約85%の認識率を得た(図8)。

#### [今後の研究の方向, 課題]

本プロジェクトで得た多くの技術的成果に基づいて、今後の展開を述べる。操作者の手指の認識を更に信頼性を高めて行うために、人間の動作モデルの使用を検討している。これによって操作者の行為の予測することが可能となり、より一層の高速化が期待できる。対象物の認識に関しては、ランドマーク方式からより実物の特徴を抽出するための画像処理を検討する必要がある。

#### 謝 辞

最後に、本研究を実施するにあたり、立石科学技術振興財団より多大なご好意をいただいた。記して感謝いたします。

#### [成果の発表, 論文等]

- 1) Shun'ichi KANEKO et al.: Real Time Visual Recognition in Handling Interface for Human-Robot, Proc. of the CESA'96, 1997.
- 2) 金子俊一: 画像ボタン認識の基礎と応用—ロボットなボタン認識の実現に向けて—, 精密工学会画

- 像応用技術専門委員会サマーセミナー'96 講習会  
テキスト, 1996.
- 3) 馬場直人他: インスタンス投票法による文字領域の抽出, 第2回画像センシングシンポジウム SII '96講演論文集, 31-36, 1996.
- 4) 早川洋一他: フーリエ特徴を用いたインスタンス投票法に基づく画像認識, 第3画像センシングシンポジウム SII'97 講演論文集, 133-138, 1997.
- 5) Shun'ichi KANEKO et al.: Handling Interface based on Visual Recognition toward Interaction between Human and Robot, Proc. of the International Conference on Recent Advances in Mechatronics, 187-192, 1995.
- 6) 田中毅他: 空間ポインティングと注目制御型視覚認識, 第10回ヒューマンインタフェース・シンポジウム論文集, 487-492, 1994.

# 生体信号を利用した学習型ヒューマン- ロボット・インタフェースに関する研究

## A Study on Human-Robot Interface with Learning Capability Using Bioelectric Signals

951009

研究代表者	広島大学工学部 教授	金子 真
共同研究者	広島大学工学部 助教授	辻 敏夫

### [研究の目的]

脳波信号や筋電位信号、皮膚電気反射などの生体信号は、人間の生理的な内部状態に応じて変化する。例えば、脳波信号は音・光などの外的刺激や意思・感情・体調などの内的要因によって変化し、筋電位信号は筋の収縮に応じてその成分が変化する。

この信号をヒューマン-ロボット・インタフェースの手段として利用することは、自然な操作感覚が得られることや、特別な訓練をしなくても操作可能となることから重度の障害者、寝たきりの高齢者などにとって大変意義深い。そこで、このような生体信号の利用を目的とし、その時系列信号パターンをニューラルネットにより識別することを試みた。

ニューラルネットを用いた生体信号識別法は、これまでも幾つか報告されているが、そのほとんどがRumelhartらが提案した誤差逆伝播型ニューラルネット<sup>1)</sup>を用いたものであった。しかしながら非定常性が強い生体信号を識別する場合、ネットワークの構造が

一様であるために、写像の複雑さが増すにつれて多量の教師サンプル数や学習時間、大規模なネットワークが必要となる<sup>2-4)</sup>。さらに、識別の際、生体信号の時間的な変動を考慮することも難しい。本研究では、時系列生体信号パターンを精度よく識別するために、新しいネットワーク構造と学習アルゴリズムを提案した。

### [研究の内容・成果]

#### 2.1 生体信号識別法

図1に本研究で提案するネットワークの構造を示す。測定した生体信号  $S(t)$  は前処理され、入力ベクトル  $\mathbf{x}(n) \in \mathcal{R}^d (n=1, \dots, N)$  として、次々とLLGMN部に入力される。ここで  $d$  は入力ベクトルの次元数を表わす。LLGMN部は、個々のパターンが  $K$  個の事象のうち、どの事象に属するか、その事後識別確率を計算する。 $\mathbf{Y}(n) \in \mathcal{R}^K (n=1, \dots, N)$  はLLGMN部の出力ベクトルである。

次に、このベクトルの各要素  $Y_k(n) (k=1, \dots, K)$  をそれぞれNF部へ入力する。NF部

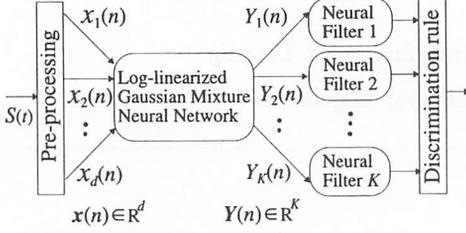


図1 ネットワーク構造

では、時系列パターンの変動に応じて事後識別確率を修正する。識別判定部では、各NFからの出力を、その総和が1となるように正規化する。そして、各々の値を確率変数とみなし、最も確率の高い事象を、入力パターンに対する識別結果とする。

### 2.1.1 LLGMN 部

LLGMN 部の構造を図2に示す。このニューラルネットは学習的に獲得した確率分布に基づいて事後確率を計算することができる。

まず、入力ベクトル  $\mathbf{x}(n) \in \mathcal{R}^d$  を次式にしたがって変換し、新たな入力ベクトル  $\mathbf{X}(n) \in \mathcal{R}^H (H=1+d(d+3)/2)$  とする。

$$\mathbf{X}(n) = [1, \mathbf{x}(n)^\top, x_1(n)^2, x_1(n)x_2(n), \dots, x_1(n)x_d(n), x_2(n)^2, x_2(n)x_3(n), \dots, x_2(n)x_d(n), \dots, x_d(n)^2]^\top \quad (1)$$

この変換は、GMMの各コンポーネントに対応するガウス分布を、 $\mathbf{X}(n)$ の線形演算で表現するために行う。ニューラルネットの第1層はこの入力ベクトル  $\mathbf{X}(n)$ の次元数  $H$ に合わせて  $H$ 個のユニットからなり、ユニットの入出力関数には恒等関数を用いる。

第2層は、第1層の出力を重み  $w_h^{(k,m)}$ を介して受け取る。第1層の出力を  $^{(1)}O_h(n)$ 、第2層のユニット  $\{k, m\}$ への入力を  $^{(2)}I_{k,m}(n)$

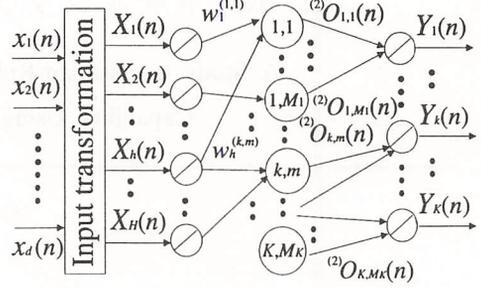


図2 LLGMN 部の構造

とし、出力を  $^{(2)}O_{k,m}(n)$  とすれば、

$$^{(2)}I_{k,m}(n) = \sum_{h=1}^H ^{(1)}O_h(n) w_h^{(k,m)} \quad (2)$$

$$^{(2)}O_{k,m}(n) = \frac{\exp[^{(2)}I_{k,m}(n)]}{\sum_{k'=1}^K \sum_{m'=1}^{M_k} \exp[^{(2)}I_{k',m'}(n)]} \quad (3)$$

となる。ただし、 $w_h^{(K,M_k)} = 0 (h=1, 2, \dots, H)$ である。第3層のユニット  $k$ は、第2層の  $M_k$ 個のユニット  $\{k, m\} (m=1, \dots, M_k)$ と結合している。入出力関係は、

$$^{(3)}I_k(n) = \sum_{m=1}^{M_k} ^{(2)}O_{k,m}(n) \quad (4)$$

$$Y_k(n) = ^{(3)}I_k(n) \quad (5)$$

である。LLGMN部では、この第3層の各ユニットの出力が事象  $k$ の事後確率を表現している。

### 2.1.2 NF 部

Loは、非線形信号のフィルタリングのために図3に示すようなNFを提案した<sup>5)</sup>。本手法ではこのNFを用いて、LLGMN部では考慮できない入力データの時系列的な変動に対処する。いまLLGMN部に、入力ベクトル  $\mathbf{x}(n)$ が与えられ、 $k$ 番目の出力ユニットに  $Y_k(n)$ が出力された場合を考える。NF

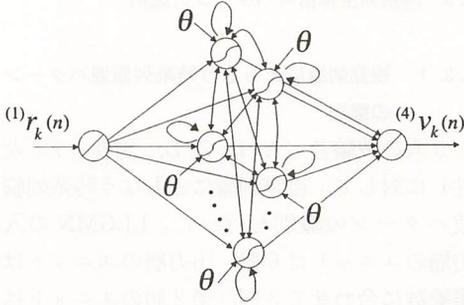


図3 NF部の構造

部の第1層のユニットはこの出力を入力 $r_k^{(1)}(n)$ として受け、この値をそのまま $v_k^{(1)}(n)$ として出力する。

第2層は $J$ 個のユニットからなる。各ユニットには、第1層のユニットの出力と一時刻前の第2層のユニットの出力が、重みを介して伝えられる。また、この層にはバイアス入力 $(\theta=1)$ を付加している。第2層のユニット $j$ への入力 $r_k^{(2)}(n)$ 、および出力 $v_k^{(2)}(n)$ は、

$$r_k^{(2)}(n) = \sum_{i=1}^J u_k^{i,j} v_k^{(1)}(n-1) + u_k^{(j)} \quad (6)$$

$$v_k^{(2)}(n) = g(r_k^{(2)}(n)) \quad (7)$$

となる。ただし、 $u_k^{i,j}$ は第2層内でのユニット $i$ からユニット $j$ への結合荷重、 $u_k^{(j)}$ は、第1層のユニットから第2層のユニット $j$ への結合荷重を示す。また、 $u_k^{(j)}$ はバイアスから第2層のユニット $j$ への結合荷重である。入出力関数はシグモイド関数 $g(x) = 1/(1 + \exp(-x))$ とする。

第3層のユニットは、第2層の全てのユニットと結合しており、入出力関係は、

$$r_k^{(3)}(n) = \sum_{i=1}^J u_k^{i(2,3)} v_k^{(2)}(n) \quad (8)$$

$$v_k^{(3)}(n) = g(r_k^{(3)}(n)) \quad (9)$$

となる。ただし、 $r_k^{(3)}(n)$ は第3層のユニットへの入力、 $u_k^{i(2,3)}$ は第2層のユニット $i$ から第3層のユニットへの結合荷重である。 $v_k^{(3)}(n)$ は第3層ユニットの出力を表す。

第4層の出力関数は恒等関数であり、第4層ユニットの出力を $v_k^{(4)}(n)$ とすると、

$$v_k^{(4)}(n) = u_k^{(3,4)} v_k^{(3)}(n) \quad (10)$$

となる。 $u_k^{(3,4)}$ は第3層から第4層への結合荷重で、ゲインの役割をはたす。

## 2.2 生体信号パターンの抽出

本研究では以下の2種類の生体信号を対象とし、パターンを抽出した。

### [1] 脳波信号

脳波信号の測定には被験者の負担が小さく、実用的な環境下で使用可能な小型脳波計 (IBVA, ランダムエレクトロニクスデザイン製) を使用した。測定した信号は、low-cut (3 Hz) および high-cut (40 Hz) の1次アナログフィルタを通した後、増幅する。そして、その信号をA/Dコンバータ (サンプリング周波数 120 Hz・量子化ビット数 8 bit) によってデジタル化する。

被験者を通常の計算機室内の椅子に座らせ、安静状態で、閉眼 (60秒) 開眼 (60秒)、開眼・閃光刺激 (60秒) の合計 180秒間、学習データ用の脳波信号を測定する。次にM系列により作成したランダムな時間間隔に従って視覚刺激を与え、その際に 450秒間の識別用脳波を測定する。閃光刺激を行うフラッシュライト (光源: クセノン, エネル

ギー量：1.76 [J]， 4 Hz で点滅）は被験者の眼から約 50 cm 離れた位置に設置する。

前処理として、測定した脳波  $S(t)$  を 128 点毎に FFT（高速フーリエ変換）し、周波数スペクトルを計算する。次に、周波数スペクトルにおいて識別に有効とみられる帯域（0～35 Hz）を、臨床脳波学における  $\delta$  波、 $\theta$  波、 $\alpha$  波、 $\beta$  波などを基準にして分割する。そして、それぞれの帯域毎にパワースペクトルの平均値を計算し、平均値の時系列を作成した。このとき、帯域毎に時系列の範囲が  $[0, 1]$  になるように標準化した。本稿では、帯域を 2 分割した場合の入力ベクトル  $(x_1, x_2)$  について実験を行った結果を示す。

### [2] 筋電位信号

筋電位信号の測定には、前腕部に簡単に装着できる筋電義用手用乾式電極（今仙技術研究所）を使用した。電極は  $90^\circ$  間隔で  $L=4$  対取り付け、サンプリング周波数は 1 [kHz] とする。

被験者に比較的短時間（4 秒間）に連続動作を行わせ、その際の筋電位パターンを識別実験に用いた。動作は、掌屈、背屈、回内、回外、握り、開きの  $K=6$  動作とする。

前処理として、測定した EMG 信号  $EMG_i(t)$  ( $i=1, \dots, L$ ) を全波整流し、その後 1 次のバターズフィルタ（カットオフ周波数： $f_{cut}=9$ [Hz]）を用いて平滑化する。この平滑化 EMG 信号を  $t_d=10$  [msec] 毎に抽出し、さらに  $L$  個のチャンネル和が 1 となるように正規化したものをニューラルネットへの入力ベクトル  $X(n)=[X_1(n), X_2(n), \dots, X_L(n)]^T$  とした。

## 2.3 時系列生体信号パターンの識別

### 2.3.1 視覚刺激にともなう時系列脳波パターンの識別

5 人の被験者（A, B, C, D, E: 男性, E: 女性）に対して、視覚刺激にともなう時系列脳波パターンの識別を行った。LLGMN の入力層のユニットは 6 個、出力層のユニットは事象数に合わせて 3 個、第 2 層のユニットは 9 個（各事象 3 個）とした。また、NF 部の第 2 層のユニット数は 8 とした。

識別結果の一例を図 4 に示す。上から正解動作、脳波信号、本手法から NF を除いた場合の識別結果、本手法による識別結果で、NF を除いた場合は LLGMN 部の出力がそのまま識別判定部に入力されるものとした。脳波から被験者の状態を識別することが極めて困難であることがうかがえる。NF で時系列特性を考慮することで、かなり識別精度が向上している。この場合 80% 程度の識別率となった。

次に、全ての被験者に対する識別結果を表 1 に示す。NF により識別率が向上し、ある程度の識別が行えているが、かなり識別が困

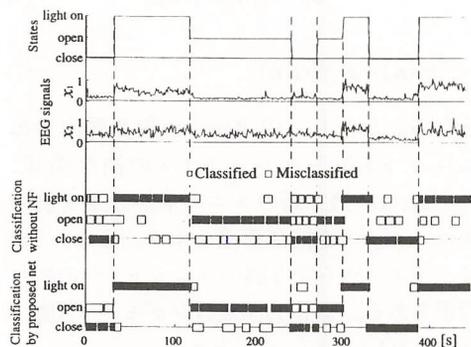


図 4 時系列脳波パターンの識別結果（被験者 A）

表1 時系列脳波パターンの識別結果

Type of the network		LLGMN	LLGMN with NF
subjectA (male)	$R_{cla}$	75.8	84.4
	$R_{std}$	0.5	0.1
subjectB (male)	$R_{cla}$	83.8	91.6
	$R_{std}$	0.3	0.3
subjectC (male)	$R_{cla}$	69.1	78.3
	$R_{std}$	4.5	2.3
subjectD (male)	$R_{cla}$	65.8	74.6
	$R_{std}$	1.7	1.8
subjectE (male)	$R_{cla}$	77.2	87.1
	$R_{std}$	1.9	0.9

$R_{cla}$ : Classification rate (%)  
 $R_{std}$ : Standard deviation (%)

難な場合もあることがうかがえる。今後、電極位置などの実験装置や特徴抽出法などを改善する必要があると考えている。

### 2.3.2 連続動作にともなう時系列筋電位パターンの識別

実験は切断者を含む男子大学生2名に対して電極位置を変えて行った。切断者は、手首関節近くの前腕部を切断して約6カ月経過している。比較的短時間(4秒間)に6つの動作を連続して行った際の時系列筋電位信号について識別実験を行った。LLGMN部の入力層のユニットは15個、出力層のユニットは事象数に合わせて6個、第2層のユニットは12個(各事象2個)とした。また、NF部の第2層のユニット数は5とした。

識別結果の一例(切断者)を図5に示す。上から正解動作、筋電位信号、本手法からNFを除いた場合の識別結果、本手法による識別結果で、NFを除いた場合はNN部の出力がそのまま識別判定部に入力されるものとした。ただし、4対の電極から測定した筋電位信号の自乗和を計算し、その値が設定したしきい値以下の時は、静止(stop)とみな

し識別を行わなかった。NFで考慮する遡り時間ステップ数は $C=3$ とした。NF部を除いた場合では、各動作が遷移した直後の区間や、連続動作の後半で誤識別がかなり多くなっている。NFの導入により、識別精度が著しく向上していることが分かる。

また、2人の被験者に対して電極位置を変えて行った識別結果を表2に示す。全ての実

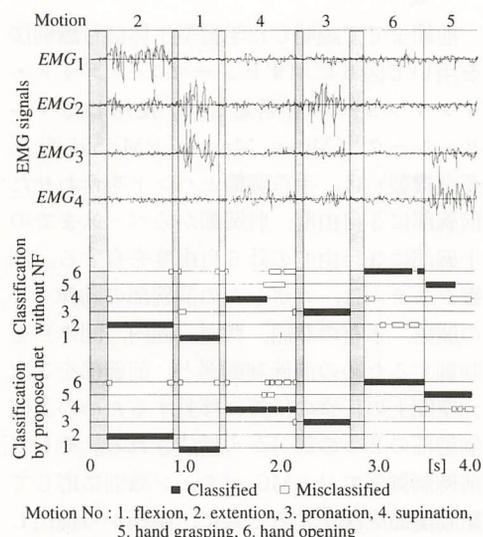


図5 連続動作筋電位パターンに対する識別結果(切断者)

表2 時系列筋電位パターンの識別結果

Type of the network		LLGMN	LLGMN with NF
No. 1 Normal C	$R_{cla}$	70.8	80.7
	$R_{std}$	2.6	0.5
No. 2 Normal C	$R_{cla}$	70.3	79.4
	$R_{std}$	2.8	0.9
No. 3 Amputee	$R_{cla}$	72.5	81.5
	$R_{std}$	2.0	1.0
No. 4 Amputee	$R_{cla}$	71.9	81.1
	$R_{std}$	2.9	0.7

$R_{cla}$ : Classification rate (%)  
 $R_{std}$ : Standard deviation (%)

験結果とも明らかに、NFの有効性が表われている。

以上の実験より、提案するネットワーク構造および学習アルゴリズムを用いて生体信号パターンが十分な精度で識別できることが確かめられた。

#### 2.4 ヒューマン-ロボット・インタフェースの構成

前節までで説明した学習型生体信号識別法を用いて図6に示すヒューマン-ロボット・インタフェースを開発した。使用したマニピュレータ (Move Master RM-501 (株)三菱電機製) は、手首関節とハンドを合わせた前腕部に3自由度、肘関節からベースまでの上腕部に3自由度の計6自由度を有する。制御システムは、ロボットの前腕部の動作(手の開閉、手首の掌屈、背屈、回内、回外)を制御するための前腕制御部と、前腕部を3次元空間上の任意の位置に移動するための上腕制御部の2つの部分から構成される。そして、前腕制御部ではEMGパターン識別に応じて駆動関節を決定すると共に、電極から抽出したEMG信号の自乗和の大きさに応じて動作

速度を制御する。また、上腕制御部では3次元位置センサ (ISOTRACK II POLHEMUS社製) からの入力座標値  $(x, y, z)$  に応じて上腕部の各関節角度を計算し、マニピュレータの姿勢を制御する。

#### [今後の研究の方向、課題]

今後は、本研究で提案した生体信号識別法の精度をより向上させていくとともに、リハビリテーションシステムへの応用についても検討していく予定である。

#### [参考文献]

- 1) D.E. Rumelhart, G.E. Hinton and R.J. Williams, "Learning Internal Representations by Error propagation," in *Parallel Distributed Processing I*, pp. 318-362, MIT Press (1986)
- 2) F. Y. Wu, J. D. Slater, L. S. Honih and R. E. Ramsay, "A neural network for event-related potential diagnosis," *Computer in biology and machine*, Vol. 23, No. 3, pp. 251-264 (1993)
- 3) M. F. Kelly, P. A. Parker and R. N. Scott, "The Application of Neural Networks to Myoelectric Signal Analysis: A preliminary study," *IEEE Trans. Biomedical Engineering*, Vol. 37, No. 3, pp. 211-230 (1990)
- 4) A. Hiraiwa, K. Shimohara and Y. Tokunaga, "EMG pattern analysis and classification by neural network," *Proceedings of IEEE International Conference on Syst., Man and Cybern.*, p. 1113 (1989)
- 5) J. T. H. Lo, "Synthetic Approach to Optimal Filtering," *IEEE Trans. Neural Networks*, Vol. 5, No.5, pp. 803-811 (1994)

#### [成果の発表・論文等]

(学術雑誌論文)

・福田, 辻, 金子: ニューラルネットによる時系列脳

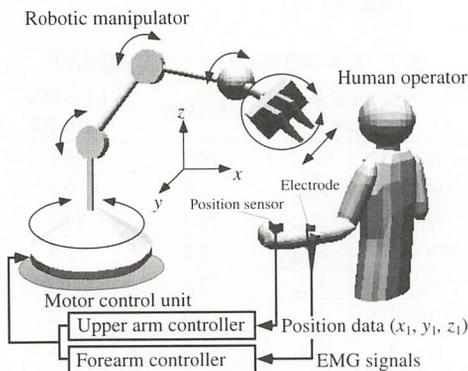


図6 ヒューマン-ロボット・インタフェースの構成

波パターンの識別, 電子情報通信学会論文誌, D-II, Vol. 80, No. 7, pp. 1896-1903, 1997.

- T. Tsuji, O. Fukuda, H. Icinobe, M. Kaneko: A Log-Linearized Gaussian Mixture Network and Its Application to EEG Pattern Classification, IEEE Trans. Syst., Man and Cybern. (submitting)
- T. Tsuji, O. Fukuda, M. Kaneko: Pattern Classification of Time-series EMG Signals Using Neural Networks, IEEE Trans. Syst., Man and Cybern. (submitting)
- 福田, 辻, 金子: ニューラルネットによる連続動作 EMG パターンの識別, 電気学会論文誌 C (1997: 採録決定)

(国際会議発表論文)

- O. Fukuda, T. Tsuji, M. Kaneko: Pattern Classification of EEG Signals Using a Log-Linearized Gaussian Mixture Neural Networks, Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks, pp. 2479-2484, Perth, 1995.
- O. Fukuda, T. Tsuji, M. Kaneko: Pattern Classification of EEG Time Series Using Neural Net-

works, 5th IEEE International Workshop on Robot and Human Communication RO-MAN '96, Tsukuba, November, 1996.

- O. Fukuda, T. Tsuji, M. Kaneko: An EMG Controlled Robotic Manipulator Using Neural Network, 6th IEEE International Workshop on Robot and Human Communication RO-MAN '97, Sendai, September-October, 1997 (submitting)

(国内学会発表論文)

- 福田, 辻, 中川, 金子: ニューラルネットによる時系列 EMG パターンの識別, 第35回 SICE 学術講演会, pp. 257-258, 鳥取, 1996年7月.
- 真崎, 辻, 福田, 大塚, 金子: アミューズメント性を考慮した EMG-Based Rehabilitation Aid (EBRA) の開発, 電気・情報関連学会中国支部第47回連合大会, pp. 246-247, 鳥取, 1996年10月.
- 福田, 辻, 金子: ターミナルアトラクタを利用したニューラルネットによる時系列 EMG 信号識別, 第6回インテリジェント・シンポジウム, pp. 145-148, 大阪, 1996年10月.

# 集積化機械システムの研究

## Study on Integrated Micromachine Systems

951012

研究代表者 名古屋大学大学院工学研究科 教授 佐藤 一 雄  
共同研究者 名古屋大学大学院工学研究科 助手 式田 光 宏

### 〔研究の目的〕

マイクロマシンは機械と電子回路の集積化、機械要素間の無駄体積の排除、機械システムの超小型化を実現するものとして期待されているが、その設計・製作に関する方法論が確立されていない。本研究はそれらに対する解決手段を提供することを目的として行った。

機械要素を順次組み立てて複雑なシステムを構築する従来の機械の製作法に代わって、半導体の微細加工プロセスを応用して多数の微細な機械要素を予め決めた配置に一括して作り込んでしまうという新しいタイプの機械の製作方法を研究した。また、その際に問題となる薄膜材料の機械的特性の評価方法について新しい手法を研究した。

### 〔研究の内容、成果〕

#### 1. 研究対象

当該研究者らは1992年に、Fig. 1に示すような新しい方式の静電力アクチュエータの原理を発表した。その構造は、一定の間隔を隔てた一対の平行平板電極とその中間に位置する金属薄膜の可動部材からなる。電極板表面には絶縁膜を施し、金属薄膜の両端をそれ

ぞれ対向する電極板に固定してその中間部をS字形に弾性的にたわませる。金属薄膜と一方の電極の間に電圧を加えれば、薄膜と電極板との接触面積を増大する方向にS字形が移動する。電圧を電極に交互に印加すれば、薄膜は電極板の間を上下に往復動することになる。このような構成により次の効果が得られる。(1)従来の静電アクチュエータでは被駆動体を電界の方向に10 $\mu$ m程度しか変位させられなかったが、本方式では変位がmmオーダーに達する、(2)摺動部分が無いので摩擦摩耗のおそれが無い、(3)可動部の質量が小さいので高速の応答が期待できる。

このアクチュエータの電極板に貫通孔を設けて薄膜の運動によりこれをふさげば、様々な方式のバルブができる。Fig. 2にその一例を示した。本研究ではこのような特長を持つバルブアクチュエータを半導体製造技術を応用展開したマイクロマシニング技術で一括製作する方法を研究し、新しい製作方法を実証した。

さらに、このような製造方法で製作した薄膜材料が果して機械的な用途に適するかどうかを評価する目的で、マイクロ材料の引張試験をシリコンチップ上で実施する「オンチップ引張試験」というアイデアを提案し、これ

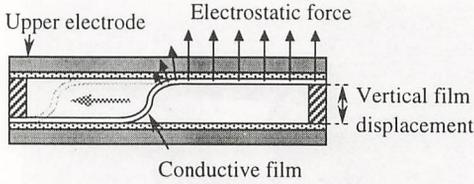


Fig. 1 Electrostatic actuator with an S-shaped film

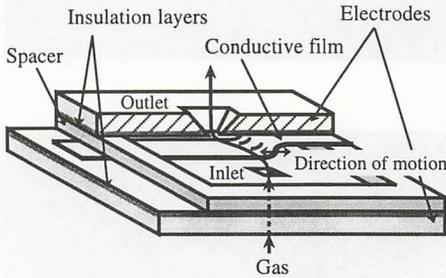


Fig. 2 Configuration of an S-shaped microvalve

が試験法として使えることを実証した。

## 2. 一括製作方法の提案

研究対象のバルブアクチュエータは、金属薄膜が一方の基板面から  $100\ \mu\text{m}$  以上隔った他の基板面に連結するという、高度に3次元的な形状を実現しなければならない。これまで手作業で拡大モデルを作ってきたが、マイクロマシニング技術で工業的に製作可能な方法を新たに考案し、これを製作して実証した。考案したバルブアクチュエータの製作方法は3枚のシリコンウェハの積層構造からなる。その構成を Fig. 3 に示す。上下のウェハは電極板であり簡単な構造をしているが、中間のウェハにはウェハ表面から裏面にわたって帯状の金属薄膜を形成しなければならない。この目的で、Fig. 4 に示す方法で中間ウェハを形成した。即ち、表面に深い溝を加工したシリコン基板に金属薄膜材料としてニッケ

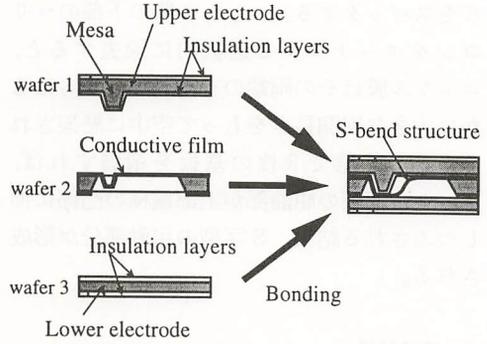


Fig. 3 Fabrication of an S-shaped micro-actuator

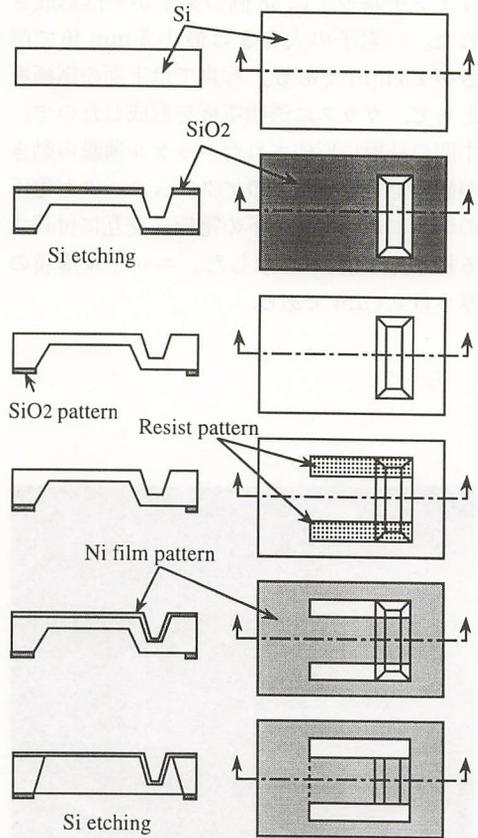


Fig. 4 Fabrication sequence of the middle wafer

ルをスパッタする。ニッケル膜の下部のシリコンをエッチングで選択的に除去すると、ニッケル膜はその両端の支持間隔よりもはるかに大きな展開長さをもって空中に懸架される。この状態で3枚の基板を積層すれば、ニッケル薄膜の屈曲部が上部電極の凸部に押しつぶされる結果、S字型の可動部分が形成される。

### 3. 実験結果

上記の方法でシリコン基板上に一括形成されたアクチュエータの配列を Fig. 5 に示す。3インチ基板上に48個の素子が一括形成された。一素子の大きさは最小5mm角で厚さが1.5mmである。写真では上面の電極板として、ガラスに透明電極を形成したので、中間の基板に形成されたニッケル薄膜の動きが観察できる。個々のアクチュエータが電圧の切替によって、上下の電極に交互に付着する様子を Fig. 6 に示した。ニッケル薄膜の厚さは $0.4\mu\text{m}$ である。

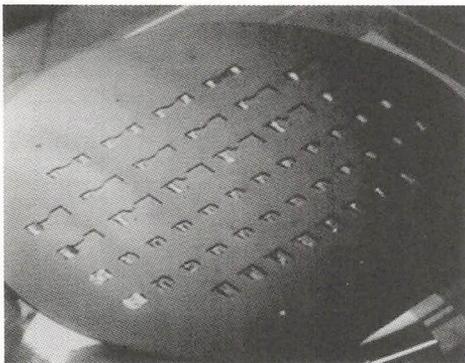
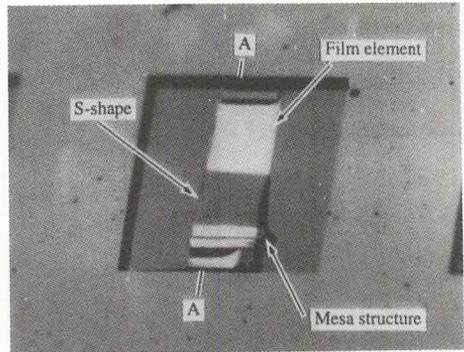
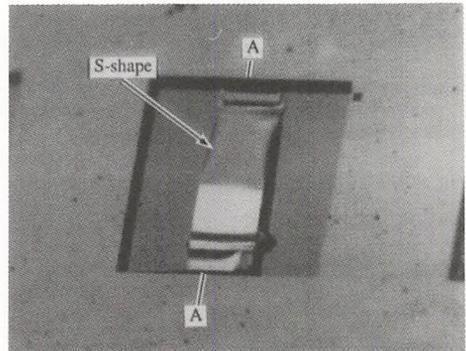


Fig. 5 Top view of assembled microactuators in an arrayed manner



(a)



(b)

Fig. 6 Film operation observed through glass plate. (a) Voltage is applied between the film and the Si electrode. (b) Voltage is applied between the film and the ITO electrode

### 4. 結果の検討

以上の結果、提案した方法が高度に3次元的な構造を持つマイクロアクチュエータの一括製作技術となりうることを実証した。しかし、スパッタ薄膜をバルブ要素に適用するまでには次の課題が解決されなければならない。(1) 流体の漏れを防ぐに必要な厚さを持った金属薄膜を製作すること。(2) 繰り返し変形に耐える薄膜の機械的特性を実証すること。

第1の課題に対して、現在スパッタ膜を下

地にして残留応力の小さいメッキ膜の形成を検討している。第2の課題については、薄膜をシリコンチップに形成した状態で引張り試験にかける「オンチップ引張り試験」の概念を新たに提案して、本用途のみならずマイクロマシン用材料一般の評価に役立てられるよう、試験法としての一般化を試みている。

### 5. オンチップ引張り試験

オンチップ引張り試験用シリコンデバイスの構成を Fig. 7 に示す。薄膜の引張り試験片とそれに水平方向に荷重を加える荷重付加機構がシリコンチップに集積化されている。引張り試験の他、疲労試験にも適用可能なように設計した。現在、チップの加工プロセスを開発し、試験法としての信頼性を実験的に検証中である。

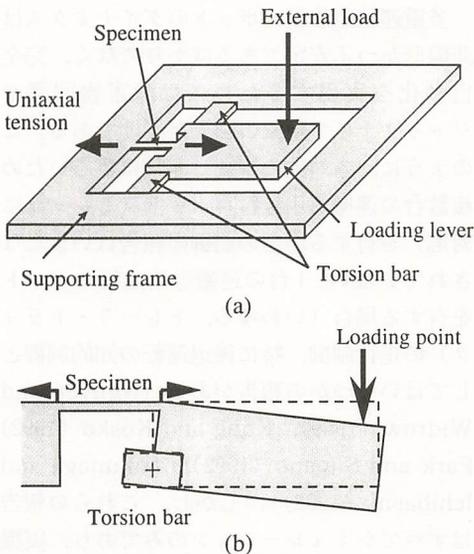


Fig. 7 Principle of proposed tensile testing device. (a) Overall view of the device. (b) Schematic cross-section

### [今後の研究の方向, 課題]

静電型マイクロアクチュエータの一括製作法を提案し、そのアイデアを実証した。今後に残された研究課題は以下の通りであり現在それらの解決に取り組んでいる。

- (1) 基板の積層構造によるデバイス実装のための、基板間の接合・組立技術の確立。
- (2) マイクロ材料の機械的性質評価法の確立。
- (3) マイクロバルブを初めとするマイクロデバイスと外部のマクロな領域の配管・配線類との接続技術の確立。

### [成果の発表, 論文等]

- 1) M. Shikida, et al.: Operation of S-Shaped Film Actuator in Liquid Environment, Technical Digest of the 14th Sensor Symposium (1996) 271-274.
- 2) M. Shikida, et al.: Fabrication of an Electrostatic Microactuator with an S-shaped Film, Tech. Dig. of Transducers'95 (Stockholm 1995. 6. 25-29) vol. 1, 426-429.
- 3) K. Sato, et al.: Micro tensile-test system fabricated on a single crystal silicon chip, Proc. of MEMS'96 (San Diego, 1996. 2. 11-15) 360-364.
- 4) 山崎正憲 他: 単結晶シリコンチップ上での微小材料引張り試験, 平成8年電気学会全国大会講演論文集 3巻 (1996) 167-168.
- 5) K. Sato, et al.: On-chip tensile testing method for evaluating mechanical properties of thin film materials, Technical Digest of the 14th Sensor Symposium (1996) 167-170.
- 6) 吉岡テツヲ 他: 薄膜材料の単結晶シリコンチップ上での引張り試験, 電気学会研究会資料 MM-96-2 (マイクロマシン研究会, 1996. 7. 21) 11-17.

# 多重連結型移動ロボットのための 知的進化制御システムの構築 ——障害物回避とジャックナイフ現象の回避——

Intelligent Evolutionary Control for a Mobile Robot with Multiple Trailers

951014

研究代表者

金沢大学工学部 助教授

田 中 一 男

## [研究の目的]

近年、機械システム、とくにアームロボットや走行ロボットの高度知能化が試みられている。本研究では、進化論的な考え方に基づく安定解空間内強化学習法の提案とその多重連結型ロボットの走行制御への適用を行った。多重連結型ロボットは、多種多量の物品を効率よく運搬できるように、従来の単体の駆動走行ロボットと（駆動機能を持たない）複数の運搬専用走行ロボットを直列に接続したものである。障害物等が散在する限られたスペース内での走行制御には内輪差による障害物の衝突回避が必要であり、また後退運転にはジャックナイフ現象を回避することが要求される。多重連結型ロボットの障害物回避やジャックナイフ現象の回避行動を実現するためには、従来の古典制御、現代制御の手法よりも知的ルールベース制御が向いている。ただし、状況に応じた柔軟な知的制御ロジックを構築することが必要である。しかし、一方で、すべての状況に対してあらかじめ制御ルールを準備することは不可能である。本研究では、基本的な制御ルールは前もって与えるが、他の制御ルールについては強化学習を

用いて発見的に獲得することを試みた。しかし、強化学習による制御ルールの獲得は極めて発見的であるため、多重連結型ロボットの走行制御が効果的に行えるかどうかの保証はない。そこで、多重連結型ロボットのロボスト軌道安定化条件を満足する解空間を導き、この空間内での制限付き強化学習を行った。

多重連結型移動ロボットのダイナミクスは非線形かつ不安定であるばかりでなく、完全自動化を実現するためには障害物回避やジャックナイフ現象の回避が必要である。このように、本対象の制御は非常に難しいため、複数台の運搬専用走行ロボット（トレーラに対応）を有する場合の制御の報告はいまだなされていない。1台の運搬専用走行ロボットを有する場合（いわゆる、トレーラ・トラック）の走行制御、特に後退運転の知的制御としてはいくつかの報告がある（Nguyen and Widrow (1989), Kong and Kosko (1992), Park and Sugeno (1992), Tokunaga and Ichihashi (1992)）。しかし、これらの報告はすべてシミュレーションのみであり、実機への実現性には乏しい。一方、従来の制御理論や非線形制御理論を用いて実機のトレーラ・トラック（スモールスケールの模型）の

制御を行い、その安定性を解析した研究成果 (Sampei, 1991) もある。この研究では、1台のトレーラを有する(トレーラ・トラック)についての制御しか試みられていない。トレーラ・トラック、すなわち1台のトレーラ(運搬ロボット)だけでは、実際には多量多量の物品を効率よく運搬するまでには至らない。本研究では、複数台の運搬ロボットを直列に接続した多重連結型ロボットの走行制御を実現した点に大きな意義がある。

【研究の内容、成果】

(1) ロボットの作製、制御システムの構築

多重連結型走行ロボット(スモールスケールの模型)を用いた制御システムの構築を行った。図1に3台のトレーラを有したロボットの模型を示す。具体的には、駆動走行ロボットのステアリング部、駆動部の設計と作製、複数の運搬専用走行ロボットの作製を行った。図2は実験で用いた座標系を示している。図3は実験システムの概要を示している。

CCDカメラ、超音波センサーを使用し、障害物の有無、及び、障害物等の距離の計測

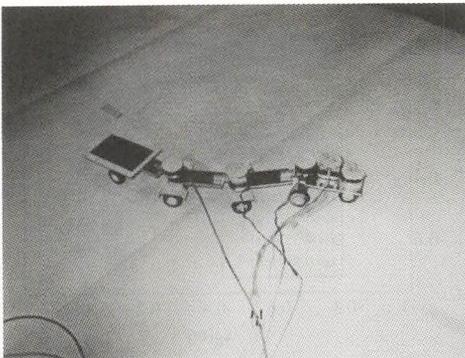


図1 3台のトレーラを有するロボット

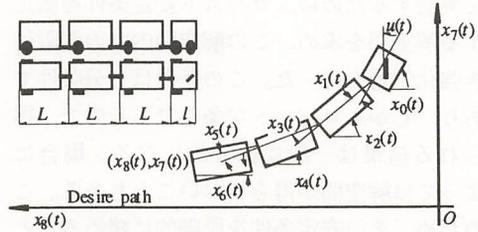


図2 実験システムの座標系

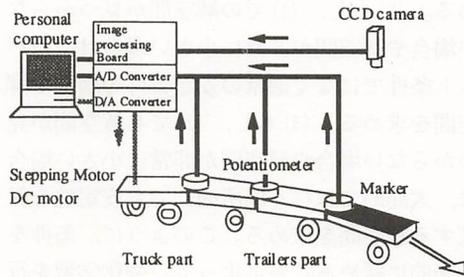


図3 実験システム概要

を行った。また、各連結間の角度はポテンショメータにより測定した。駆動走行ロボットはモータで駆動し、ステアリング角度を操作することによって走行方向を制御する。

(2) 進化制御アルゴリズムの構築

多重連結型走行ロボットの障害物回避やジャックナイフ現象の回避行動を実現するためには、従来の古典制御、現代制御の手法よりも知的ルールベース制御が向いている。ただし、状況に応じた柔軟な知的制御ロジックを構築することが必要である。しかし、一方で、すべての状況に対してあらかじめ制御ルールを準備することは不可能である。本研究では、基本的な制御ルールは前もって与えるが、他の制御ルールについては進化論的な考え方に基づく強化学習を用いて発見的に獲得するアルゴリズムを提案した。有効な探索

を実現するために、ロバスト安定条件を満足する解空間を求め、この解空間内での制限付き強化学習を行った。この条件は十分条件であり、しかもロバストな条件であるので、得られる結果は一般に保守的になる。場合によっては解空間が得られないこともある。このため、その安定条件を段階的に緩めることによって解空間の拡大を試みた。(1) ロバスト安定条件を満たすパラメータの解空間を求める。(2) もし、(1)での解空間が見つからない場合や解空間が非常に小さい場合は、ロバスト条件ではなく通常の安定条件を満たす解空間を求める。(3) もし、(2)でも解空間が見つからない場合や解空間が非常に小さい場合は、大局的ではなく局所的にでも安定性を保証する解空間を求める。このように、条件を段階的に緩めることによって、強化学習を行う解空間の拡大を図った。

(3) シミュレーション実験 & 実機実験

図1に示したロボットを用いて実験を行った。図4～6に2台あるいは3台のトレーラを有する場合の実験結果を示している。複数台のトレーラを連結した場合でも、また、難しい初期位置からでも、直線軌道に追従しており、後退制御実験が成功していることがわかる。

次に、クランクコース等の走行コースの軌道制御を行い、(2)で構築した制御ロジックの妥当性を明らかにした。クランクの幅や長さを変化させても、柔軟な制御規則の獲得ができたことから、本手法の有効性を示すことができた。なお、図7のクランク走行において、多重連結型走行ロボットの軌跡は最前部車両の軌跡のみを示してある。図8は障害物回避の様子を示している。

また、シミュレーション実験では、10台

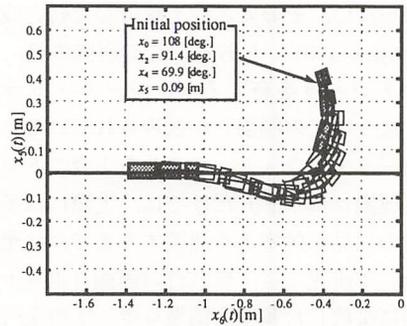


図4 実機実験の結果 (2台トレーラ)

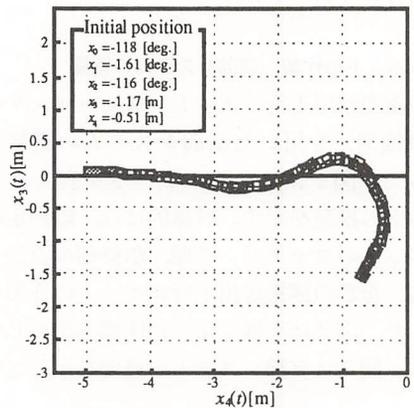


図5 実機実験の結果 (2台トレーラ)

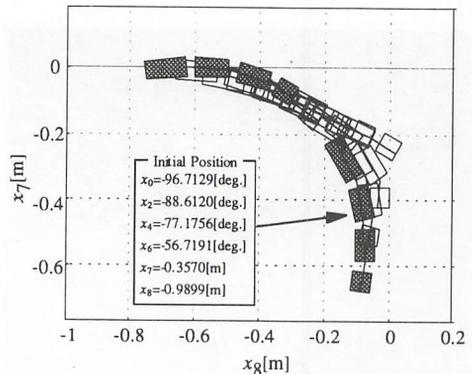


図6 実機実験の結果 (3台トレーラ)

のトレーラを有する場合についての制御についても試みた。図9は10台のトレーラを連結させたロボットの座標系を示している。図10, 図11はシミュレーション結果を示している。これらの結果より、設計された制御器がうまく働いていることがわかる。シミュレーションではあるが10台のトレーラを有する後退制御は非常に難しいことから、今回の結果は将来的なモデル機実験の成功の可能性が示唆できたと考えている。

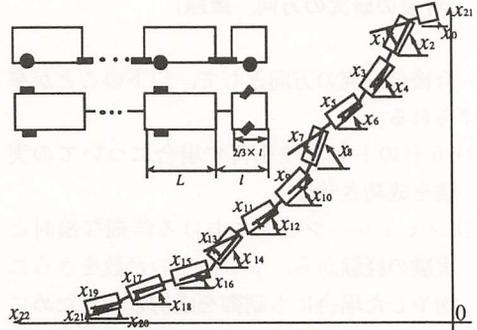


図9 10台のトレーラ

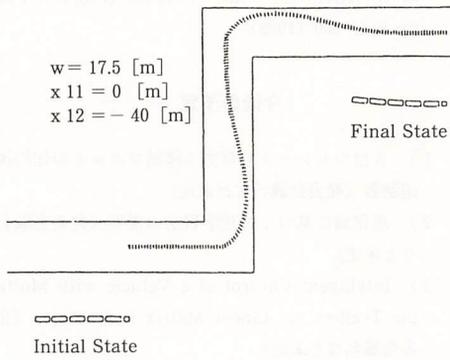


図7 クランク走行

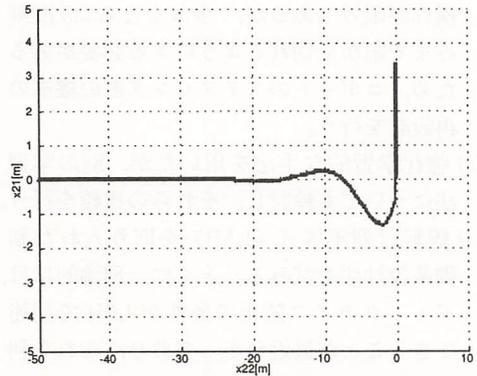


図10 シミュレーション結果

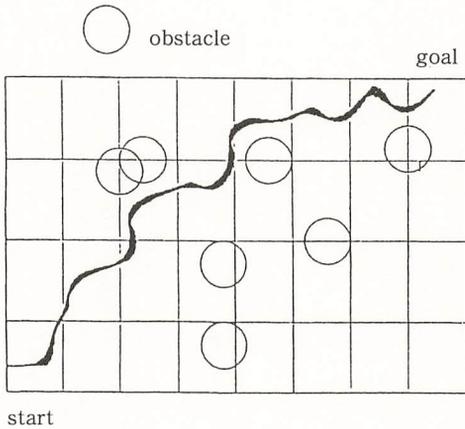


図8 障害物回避

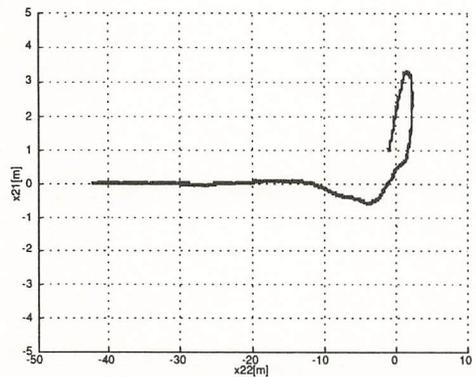


図11 シミュレーション結果

.....

[今後の研究の方向、課題]

今後の研究の方向として、以下のことが挙げられる。

- (1) 5台のトレーラを有す場合についての実験を成功させる。
- (2) シミュレーションにおける詳細な検討と実験の経験から、トレーラの台数をさらに増やした場合にも制御を成功させるためには、ステアリング角度をより細かく切れるようにする必要があることがわかった。現状の機構では、約2度刻みのステアリング操作が限界であるが、少なくとも0.5度刻みまで細かく切れるようにする必要があるため、ロボットのステアリング部の機構の再設計を行う。
- (3) 強化学習的な手法を用いたが、別の学習法についても検討し、それらの比較を行う。
- (4) 線形行列不等式 (LMI) を取り入れた制御系設計法を試みる。とくに、理論的には、ジャックナイフ防止の条件がLMIで記述できることが最近わかっており、これを利用することにより効果的にジャックナイフ

現象を回避できると考えている。

謝 辞

本研究は立石科学技術振興財団の助成によって行われたことに感謝の意を表します。

[成果の発表、論文等]

- 1) K. Tanaka and T. Kosaki, "Path Tracking Control of an Automobile Robot with a Trailer Using Parallel Distributed Compensation," Proc. of International Conf. of CFSA/IFIS/SOFT'95 pp. 555-560 (1995).

今後の予定

- 1) 3台のトレーラを有する移動ロボットの知的後退制御 (発表会議名など未定)
- 2) 進化論に基づく強化学習法の提案 (発表会議名など未定)
- 3) Intelligent Control of a Vehicle with Multiple Trailers via Linear Matrix Inequalities (発表会議名など未定)

# 多次元音響処理による音声認識の高度化に関する基礎研究

## Robust Speech Recognition based on Multi-dimensional Acoustic Signal Processing

951017

研究代表者	奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 助教授	中村 哲
共同研究者	奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 教授	鹿野 清宏
	奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 博士後期課程2年	山田 武志

### [研究の目的]

音声による自然なヒューマンマシンインタフェースを実現する上で、ハンズフリー音声認識は必要不可欠な技術である。この技術により、ユーザはマイクロホンを意識する必要がなくなり、離れた場所から自由に動き回りながら音声認識システムを利用することができる。現在までの音声認識システムでは、口をマイクロホンに十分近付けて発声することを前提としている。ところが、これはユーザにとって非常に煩わしく、ユーザの自由な移動を妨げてしまうという問題を含んでいる。このようなシステムでマイクロホンから離れて発声すると、周囲雑音や部屋の残響などにより音声認識性能は大きく劣化してしまう。本研究の目的は、雑音や残響のある環境下で高精度なハンズフリー音声認識を実現するための基礎的検討を行なうことである。

### [研究の内容, 成果]

本研究では、実環境下でハンズフリーな音声認識を実現するために、マイクロホンアレーの適用について検討する。マイクロホンアレーは複数のマイクロホンで構成されており、各受信信号間にはマイクロホンと音源の位置関係に応じた位相差や振幅差が生じる。これらの空間的な情報を利用して指向性を制御することにより、周囲雑音や残響を抑圧することができる。研究成果を以下に要約する。

#### 1 マイクロホンアレーを用いた音声認識システム

マイクロホンアレーで雑音や残響を抑圧するとき、目的とする方向に感度が高く、それ以外の方向に感度が低い指向性を形成する。従って、発話者方向にマイクロホンアレーの指向性ビームを向け続けることが非常に重要である。マイクロホンアレーの指向性ビームを発話者方向と異なる方向に向けてしまうと、音声を抑圧することになり音声認識性能は大

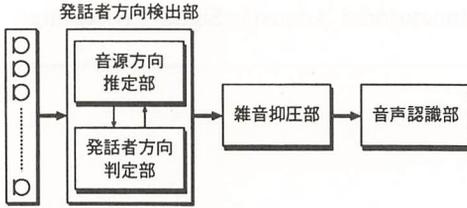


図1 システムの構成

大きく劣化してしまう。以上のことを考慮し、図1に示すような構成の音声認識システムについて検討する。発話者方向検出部では発話者がどの方向にいるのかを検出する。この処理を短い時間毎に行なうことにより、発話者が移動する場合に対処することができる。このようにして得られた発話者の方向に指向性ビームを向けて雑音や残響を抑圧し、音声認識を行なう。

## 2 実験システム

実験システムの処理フローを図2に示す。実験システムでは、マイクロホンアレー信号処理として遅延和アレーを用いる。マイクロホンアレーの受信信号間には、音源とマイクロホンアレーの位置関係に応じた時間差が生じる。遅延和アレーでは、この時間差を補正して加算することにより目的とする音源の信号を強調する。以下、図2の処理(A)(B)(C)(D)について説明する。

(A) 各素子の受信信号  $x_1(n; m), \dots, x_M(n; m)$  をフーリエ変換し、 $X_1(k; m), \dots, X_M(k; m)$  を得る。

(B) 式(1)で定義する周波数毎の空間パワースペクトルを  $\theta = 0, 1, \dots, 180$  に対して計算する。

$$P(\theta, k; m) = \left| \sum_{i=1}^M X_i(k; m) \cdot \right|$$

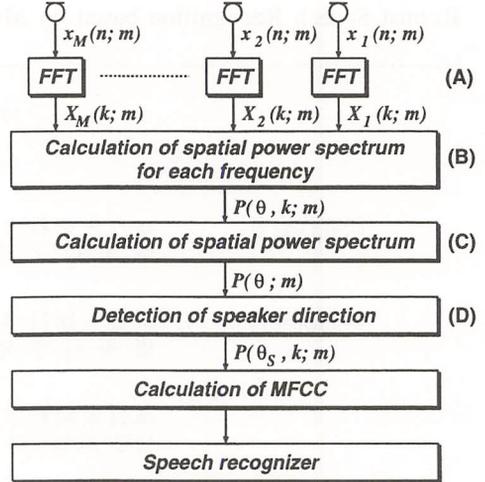


図2 実験システムの処理フロー

$$\exp \left\{ j2\pi f_k (i-1) \frac{d \cos \theta}{c} \right\}^2 \quad (1)$$

ここで、 $m$  はフレーム番号、 $M$  は素子数、 $d$  は素子間隔、 $c$  は音速、 $k$  は周波数帯域番号、 $f_k$  は  $k$  に対応する周波数である。

(C) まず、式(2)で定義する空間パワースペクトルを計算する。

$$P(\theta; m) = \sum_k P(\theta, k; m) \quad (2)$$

そして、 $P(\theta; m)$  のピークとなる方向を検出することにより、 $A$  個の音源方向を推定する。

(D)  $A$  個の音源方向のうちどれが発話者方向  $\theta_s$  であるかを判定する。発話者方向  $\theta_s$  が分かれば、雑音抑圧された音声のパワースペクトルを式(1)から  $P(\theta_s, k; m)$  として得ることができる。本研究では、パワー最大方向検出に基づく方法(以下、SLAM-Pと呼ぶ)と調波構造検出に基づく方法(以下、SLAM-Hと呼ぶ)の2通りを用いる。SLAM-Pでは、最もパワーの大きい音源方

向を発話者方向として判定する。一方、SLAM-Hでは、音声に特有の情報である調波構造に着目し、調波構造が顕著に含まれる方向のうち最もパワーの大きい方向を発話者方向として判定する。ただし、どの方向にも調波構造を検出できない場合は前のフレームの $\theta_s$ を採用する。

### 3 評価実験

発話者が一人と雑音源が一つ存在する状況を考え、シミュレーションデータと実環境データを用いて認識実験を行なう。評価基準は単語認識率と発話者方向検出精度である。発話者方向検出精度は、発話者方向を $\pm 3^\circ$ 以内の誤差で検出した場合を正解とし、(正解フレーム数 / 全フレーム数)  $\times 100$ で定義する。

認識対象は、ATR音声データベースSetAの話者MHTの重要語500単語である。音声認識部にはTied Mixture分布型HMM(混合数256)を用いており、環境独立54モデルをテストデータと異なる話者MHTの重要語2,620単語で学習している。フレーム長は32 msec(ハミング窓)、フレーム周期は8 msec、高域強調は $1 - 0.97z^{-1}$ である。また、特徴パラメータは、メルケプストラム16次、 $\Delta$ ケプストラム16次、 $\Delta$ パワーである。

#### 3.1 シミュレーションデータの生成

マイクロホンアレーは素子数14、素子間隔2.83 cmであり、発話者は真正面 $90^\circ$ 方向、白色ガウス雑音源は $40^\circ$ 方向としている。マイクロホンアレーの受信信号は、平面波音場を仮定して計算機シミュレーションにより生成する。

#### 3.2 実環境データの収録

実環境データの収録概要を図3に示す。収録に使用した部屋は、残響時間約0.18秒の簡易音響実験室である。マイクロホンアレーは素子数14、素子間隔2.83 cmであり、発話者と白色ガウス雑音源としてスピーカーを使用している。

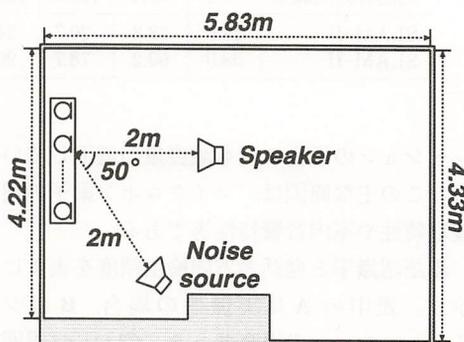


図3 実環境データの収録概要

#### 3.3 実験結果

まず、シミュレーションと実環境における帯域6 kHzの白色ガウス雑音に対する指向特性を図4に示す。実環境の場合、シミュ

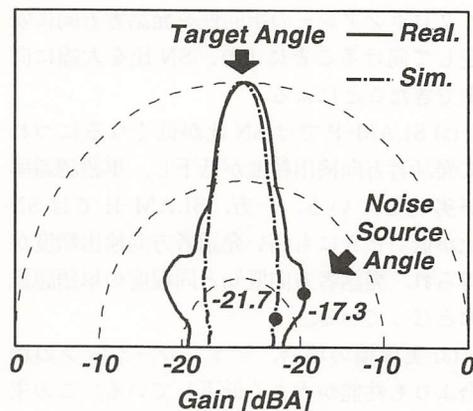


図4 指向特性

表1 単語認識率 (WA) [%] と発話者方向検出精度 (TLA) [%], (A は実環境データ, B はシミュレーションデータ)

	SN 比 [dB]									
	10				20				Clean	
	WA		TLA		WA		TLA		WA	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
シングルマイク	11.4	27.4	—	—	53.4	74.8	—	—	85.6	97.2
発話者方向既知	64.2	90.4	100.0	100.0	82.0	97.2	100.0	100.0	—	—
SLAM-P	18.6	28.8	20.7	24.6	62.6	81.8	47.8	57.4	—	—
SLAM-H	58.0	90.2	78.7	99.4	78.8	97.2	88.7	99.6	—	—

レーションの場合よりも減衰量が低下している。この主な原因は、マイクロホン素子の周波数特性や室内音響特性等である。

単語認識率と発話者方向検出精度を表1に示す。表中の A は実環境の場合、B はシミュレーションの場合である。Clean は周囲雑音がほとんど存在しない場合を表し、実環境の場合は SN 比約 32 dB、シミュレーションの場合は SN 比約 38 dB である。また、発話者方向既知の単語認識率は達成できる上限となる。実験結果を以下にまとめる。

(1) 発話者方向既知の単語認識率はシングルマイクよりも改善されている。これは、マイクロホンアレーの指向性を発話者方向に安定して向けることにより、SN 比を大幅に向上できたことによる。

(2) SLAM-P では SN 比が低くなるにつれて発話者方向検出精度が低下し、単語認識率が劣化している。一方、SLAM-H では SN 比が低いときにも高い発話者方向検出精度が得られ、発話者方向既知と同程度の単語認識率となっている。

(3) 実環境の場合、シミュレーションの場合よりも性能が大きく低下している。この主な原因は、マイクロホン素子の周波数特性や室内音響特性等である。

#### [今後の研究の方向, 課題]

今後は、実環境での性能劣化の問題に対処する予定である。また、発話者の移動軌跡の候補を同時に複数考慮しながら音声認識を行なう方法についても検討していきたい。さらに、素子数 100 程度の大規模マイクロホンアレーについて検討する予定である。

#### [成果の発表, 論文等]

- 1) 山田武志, 中村 哲, 鹿野清宏, “マイクロホンアレーを用いた話者方向検出による音声認識”, 日本音響学会講演論文集, 1-2-4, pp.7-8, (1995).
- 2) 山田武志, 中村 哲, 鹿野清宏, “マイクロホンアレーを用いた話者方向検出による音声認識”, 電子情報通信学会音声研究会, SP95-65, pp.27-34, (1995).
- 3) Satoshi NAKAMURA, Takeshi YAMADA, Tetsuya TAKIGUCHI, and Kiyohiro SHIKANO, “Hands Free Speech Recognition by a Microphone Array and HMM Composition”, Proc. IWHIT 95 Aizu, pp.33-38, (1995).
- 4) 山田武志, 中村 哲, 鹿野清宏, “マイクロホンアレーを用いた発話者方向検出による音声認識—実環境における性能評価—”, 日本音響学会講演論文集, 1-5-19, pp.45-46, (1996).
- 5) 青木二寛, 山田武志, 滝口哲也, 中村 哲, 鹿野清宏, “マイクロホンアレーと HMM 合成による実

- 環境における音声認識実験”, 日本音響学会講演論文集, 2-Q-2, pp.133-134, (1996).
- 6) Takeshi YAMADA, Satoshi NAKAMURA, and Kiyohiro SHIKANO, “Robust Speech Recognition with Speaker Localization by A Microphone Array”, Proc. ICSLP 96, pp.1317-1320, (1996).
- 7) Satoshi NAKAMURA, Takeshi YAMADA, Tetuya TAKIGUCHI, and Kiyohiro SHIKANO, “Hands-free Speech Recognition by a microphone array and HMM composition”, Third Joint Meeting of ASA & ASJ, (1996).
- 8) 井上雅晶, 山田武志, 中村 哲, 鹿野清宏, “種々のマイクロホンアレイによる音声認識の検討”, 電子情報通信学会音声研究会, SP 96-89, pp.13-20, (1997).
- 9) 山田武志, 中村 哲, 鹿野清宏, “マイクロホンアレイによる3次元トリス探索に基づく移動話者の音声認識”, 情報処理学会音声言語情報処理研究会; 97-SLP-15-6, pp.35-40, (1997).
- 10) 山田武志, 中村 哲, 鹿野清宏, “マイクロホンアレイによる3次元トリス探索に基づく移動話者の音声認識”, 日本音響学会講演論文集, 3-6-21, pp.129-130, (1997).
- 11) 井上雅晶, 山田武志, 中村 哲, 鹿野清宏, “音声認識のためのマイクロホンアレイ設計尺度についての検討”, 日本音響学会講演論文集, 2-3-6, pp.515-516, (1997).

# 蝸牛内に存在する外有毛細胞の音刺激に対する挙動解析

## Analysis of Motility of Isolated Outer Hair Cell in the Cochlea in Response to Sound Stimuli

951021

研究代表者 (助成金受領者)	東北大学工学部 教授	和田 仁
共同研究者	長崎大学医学部 教授	小林 俊光
	東北大学医学部 講師	池田 勝久

### [研究の目的]

会話時における鼓膜の振幅はわずか数 nm にすぎないが、ヒトは小さな音でもはっきりと認識することができる。この聴覚の鋭敏な判別機能は、内耳蝸牛内に存在する外有毛細胞 (Outer Hair Cell: OHC) 自身の active な動きによる、エネルギー増幅機構により達成されていると考えられている<sup>1)</sup>。外有毛細胞の動きは、細胞内の電気変化に起因すると推測されているが、その動きと電気変化の相関は明確になっていない。

そこで本研究では、高速な動きを捕らえることのできる高速度ビデオと倒立顕微鏡を組み合わせ、外有毛細胞の挙動計測システムを構築し、モルモットの単離外有毛細胞の電気刺激に対する挙動計測を試みた。そして、外有毛細胞の動きと電気変化の相関関係を調べた。

### [研究の内容、成果]

#### 1. 計測方法

実験には、体重 250 ~ 600 g のハートレー系白色モルモット (guinea pig) を用いた。まず、モルモットの蝸牛を摘出し、人工外リンパ液内で、OHC が存在する器官であるコルチ器を露出させた。OHC はコルチ器内で他の細胞に支持されているため、酵素処理することにより、OHC のみを単離した。

図 1 に、単離 OHC の挙動計測システムのブロック図を示す。計測システムは、高速度ビデオカメラ、デジタル画像記録装置、倒立顕微鏡、パッチ・ホールセルクランプ用増幅器、発振器、オシロスコープ、画像データ保存用の MO ディスクドライブ、およびパーソナルコンピュータで構成されている。本計測で用いた高速度ビデオの撮影速度は、250 pps (picture/sec) または 500 pps であり、標準ビデオ (30 pps) の約 8 ~ 16 倍である。また、ビデオカメラはハイビジョン用に開発されたものであり、高感度・高解像度で、顕

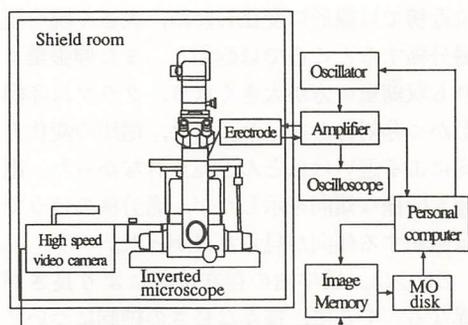
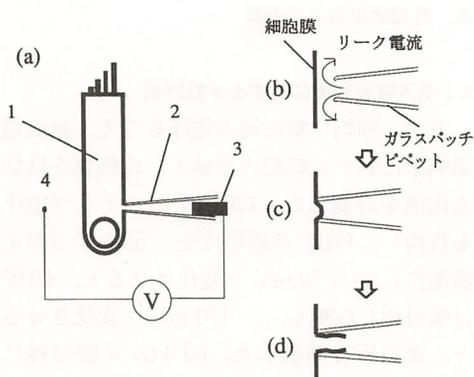


図1 外有毛細胞挙動計測システム

微鏡により高倍率化され暗くなった映像も鮮明に撮影することができる。

OHCの電気刺激には、パッチクランプ法(patch-clamp technique)のホールセルモード(whole-cell mode)を用いた。ホールセルモードを完成するまでの手順を図2に示す。OHCへの電圧負荷は、図2(a)のように、ガラスパッチピペット内と細胞外の人工外リンパ液中の二つの銀—塩化銀電極(Ag-AgCl electrode)間で行った。パッチピペット内には、細胞内と同様 $K^+$ の高い溶液を入れた。パッチ・ホールセルクランプ用増幅器にステップパルスジェネレータおよびオシロスコープを接続し、適当なステップパルスを両電極間に負荷し、そのとき電極間を流れる電流をオシロスコープを用いて観察する。次に細胞膜にパッチピペットを近づけていき(図2(b)),細胞膜に接触したところでパッチピペット内を吸引し、電極と細胞膜を密着させる。すると密着部の電気抵抗が増加し、リーク電流が減少してくる。この抵抗値がギガオーム( $10^9 \Omega$ )のオーダーになることをギガシール(giga seal)の完成という(図2(c))。ここで吸引を解除してから、電極先端開口部の細胞膜を、瞬間的に高電圧を負荷する(zapping)ことにより破壊し、電極内と



- (a) 細胞への電圧負荷方法。  
 (b) リーク電流が大きい状態。  
 (c) リーク電流が減少し、リーク電流がほぼ0になった状態。  
 (d) 細胞膜が破れ、電極内と細胞内がつながった状態(Wrhole-cell mode)。  
 1. 外有毛細胞; 2. ガラスパッチピペット;  
 3. 銀—塩化銀電極; 4. 人工外リンパ液

図2 パッチクランプ法のホールセルモード

細胞内を貫通させる(図2(d))。

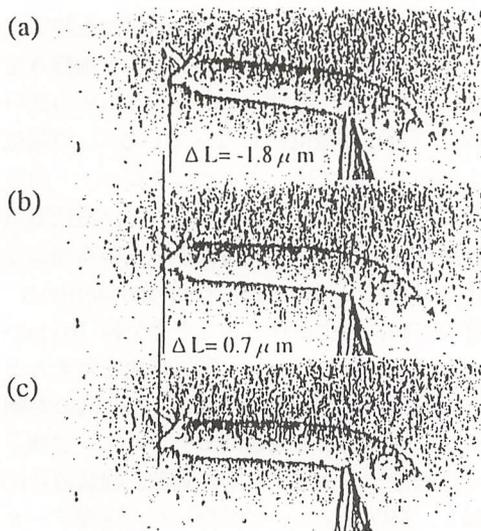
一般に細胞外に対する細胞内電位を膜電位(membrane potential)といい、細胞外を0 mVとして、通常 $-80 \sim -40$  mVの低い電位(静止膜電位)になっている<sup>2)</sup>。膜電位を制御する際には、まずパッチピペット内の電位を静止膜電位に合わせてから、電圧電気刺激を与えた。なお、膜電位を正の方向に変化させることを脱分極(depolarization)、負の方向に変化させることを過分極(hyperpolarization)という。電気刺激を与えたときのOHCの動きを、倍率40~60倍の対物レンズを経由して高速度ビデオカメラで捕らえ、画像データをデジタル画像記録装置に記録し、MOディスクに保存した。画像データをパーソナルコンピュータで解析し、OHCの伸縮量等を計測した。なお、計測の際の電圧および電流は非常に微弱なため、計測はすべてシールドルーム内で行った。

2. 計測結果および考察

2.1 直流電気刺激に対する挙動計測

まず、細胞に矩形波の電圧を与え、直流電気刺激に対する細胞の挙動と、細胞膜を横切る電流を計測した。120 mV のステップ電圧を負荷し、OHC の膜電位を  $-50$  mV (静止膜電位) から  $70$  mV へ変化させると、OHC は脱分極し収縮し、 $-170$  mV へ変化させると、過分極し伸張した。図 3 (a) に脱分極により縮んだ OHC、図 3 (b) に自然長の OHC、そして図 3 (c) に過分極により伸びた OHC を示す。

次に別の細胞で、ステップ電圧を  $20$  mV 間隔で  $-180$  mV から  $180$  mV、逆に  $180$  mV から  $-180$  mV まで変化させ、長さ変化—電圧 (図 4 (a)) および電流—電圧 (図 4 (b)) の関係を調べた。長さ変化は静止膜電

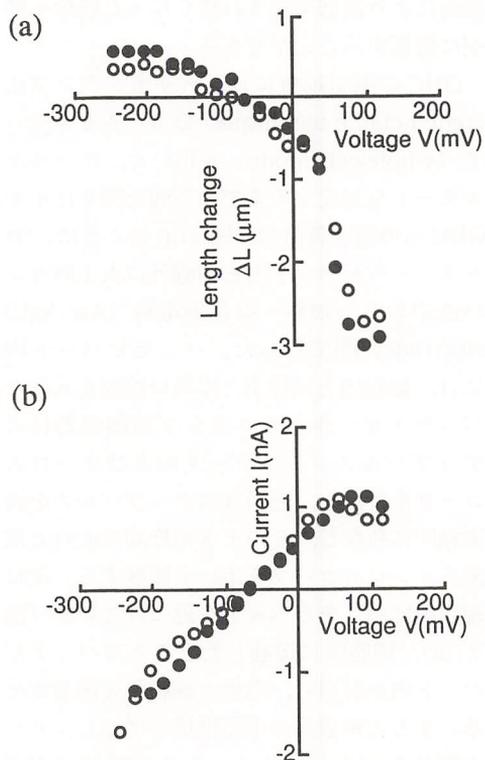


(a) 脱分極により縮んだ状態 ( $V = 120$  mV)。  
 (b) 静止状態 ( $V = 0$  mV)。  
 (c) 過分極により伸びた状態 (電圧  $V = -120$  mV)。

図 3 ステップ電圧により伸縮する OHC

位近傍では線形に変化したが、大きく脱分極、過分極するところでは飽和し、また伸張量よりも収縮量の方が大きくなり、グラフは非線形かつ非対称となった。また、電圧の変化方向による違いはほとんど見られなかった。電流も同様な傾向を示したが、過分極のほうでは飽和する傾向が見られなかった。

OHC は、蝸牛内の存在位置により長さが異なる。そこで、様々な長さの細胞について、ステップ電圧刺激に対する細胞の長さ変化を



○ はステップ電圧を  $-180$  mV から  $180$  mV、  
 ● はステップ電圧を  $180$  mV から  $-180$  mV へ  
 と変化させた場合。  
 (a) OHC の長さ変化と電圧の関係。  
 (b) 電流と電圧の関係

図 4 ステップ電圧に対する応答

計測した。図5に細胞の自然長に対する細胞の長さ変化を、図6に細胞のひずみの変化を示す。28.3 $\mu\text{m}$ から85.5 $\mu\text{m}$ までのOHCについて計測したところ、細胞の長さが長いほど長さ変化量が大きくなり、逆にひずみは小さくなった。 $\sigma$ ,  $E$ ,  $\epsilon$ ,  $F$ ,  $A$ ,  $L$ ,  $\Delta L$ をそれぞれ応力, ヤング率, ひずみ, 力, 断面積, OHCの自然長, OHCの長さ変化とすると,

$$\sigma = E\epsilon = E\epsilon \frac{\Delta L}{L} \quad (1)$$

$$F = \sigma A = EA \frac{\Delta L}{L} \quad (2)$$

$\Delta L/L$ は図5の縦軸であるから、OHCのヤ

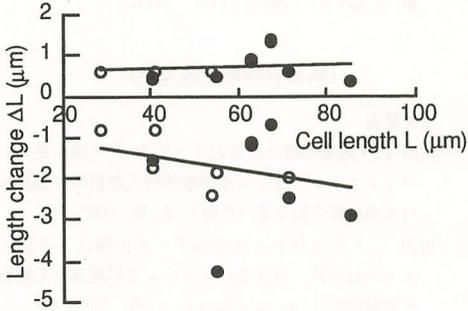


図5 OHCの長さ変化と自然長の関係

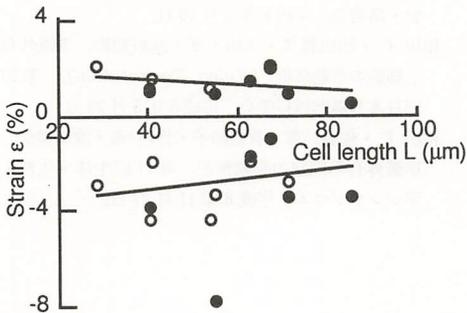
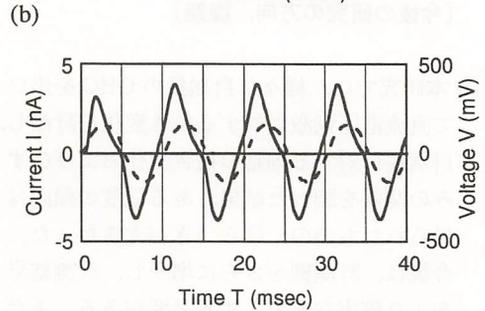
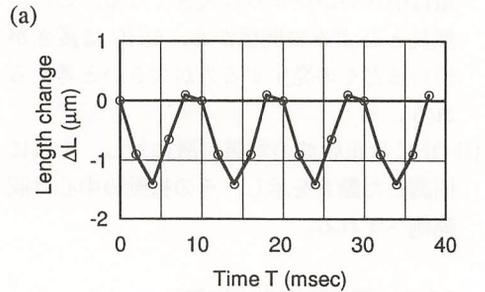


図6 OHCのひずみと自然長の関係

ング率と直径がどの細胞についても一定であると考え、OHCが伸縮する時に発生する力 $F$ は、細胞の長さが短いほど大きく、長いほど小さいということになる。基底板は基底回転にいくほど硬く、頂回転にいくほど柔らかくなり、OHCの長さは、基底回転ほど短く、頂回転ほど長い<sup>3)</sup>。また、OHCが基底板振動を加振するためには、基底回転の方に存在する短いOHCほど発生する力が大きいと考えられている<sup>4)</sup>。上述の計測結果は、文献4)の推察と一致する。

## 2.2 交流電気刺激に対する挙動計測

OHCに正弦波の電圧を与え、交流電気刺激に対する細胞の挙動と、電流を計測した。図7(a)に細胞の長さ変化、図7(b)に電流を



(a) OHCの長さ変化。  
(b) 細胞膜電流(実線)と電圧(破線)。

図7 100 Hz, 160 mVの正弦波電圧に対する応答

示す。OHCに160 mV, 100 Hzの正弦波を加えると、OHCはそれに同調するように伸縮性の振動を繰り返した。この動きには、振動の中心のずれ、すなわちDC shiftがみられたが、この原因には図4(a)でみられるような、伸張量よりも収縮量の方が大きいということが考えられる。電流には位相の進みがみられたが、これは電流が電荷の速度を表すためと考えられる。

### 3. 結 言

- (1) OHCは膜電位の変化により伸縮運動をし、その変化量は伸張量よりも収縮量のほうが大きく、電位変化に対し非線形的に変化する。
- (2) OHCは、自然長が長いほどその変化量は大きくひずみは小さくなり、短いほど変化量は小さいがひずみは大きくなる。この自然長とひずみの関係から、OHCは長さが短いほどその発生する力が大きいと考えられる。
- (3) OHCは正弦波の電気刺激に対し、それに同調した動きを示し、その振動の中心は収縮側へずれる。

#### [今後の研究の方向、課題]

- (1) 本研究では、様々な自然長のOHCを用いて直流電圧刺激に対する長さ変化を計測し、自然長に対する細胞の長さ変化およびひずみの関係を調べた結果、ある程度の傾向は見られたものの、ばらつきが大きかった。今後は、計測例をさらに増やし、計測結果をより確実なものとする必要がある。また、その際に用いるOHCは、蝸牛内のどの部分から取り出したものかを明確にした方がよいと思われた。

- (2) 交流電圧刺激に対するOHCの長さ変化の計測に関しては、低周波数の交流電圧に対して計測を行った。今後は、さらに高周波数の交流電圧に対する計測も行いたい。また、同一の細胞を用いて低周波数から高周波数まで幅広い周波数帯に対するOHCの長さ変化を計測し、周波数応答も調べることが、今後の課題である。

#### [参考文献]

- 1) Kachar, B., Brownell, W. E., Altschuler R. and Fex, J., Nature 322 (1986), 365-368.
- 2) Ashmore, J., J. Physiol. 388 (1987), 323-347.
- 3) 野村恭也, 平出文久, 原田勇彦, 新耳科学アトラス (1992).
- 4) 和田仁, 野口周一, 大山健二, 日本機械学会論文集 (C編) 61 (1995), 1477-1481.

#### [成果の発表、論文等]

##### 論文発表

- 和田仁・佐藤邦彦・菅原路子・竹内進・池田勝久, バッチクランプ法による単離外有毛細胞の挙動解析, 日本機械学会論文集 (C編), 63巻, 732-735.
- 和田仁・佐藤邦彦・菅原路子・池田勝久・古川正幸・高坂知節, 高速度ビデオによる単離外有毛細胞の挙動解析, Otology Japan, 7巻, 102-108.

##### 口頭発表

- 佐藤邦彦・和田仁・竹内進・池田勝久, 単離外有毛細胞の挙動解析, 日本機械学会東北支部第31期総会・講演会, 平成8年3月16日.
- 和田仁・池田勝久・古川正幸・高坂知節, 単離外有毛細胞の挙動解析 (Video Presentation), 第97回日本耳鼻咽喉科学会, 平成8年5月23日.
- 和田仁・佐藤邦彦・菅原路子・竹内進・池田勝久, 単離外有毛細胞の挙動解析, 第11回生体・生理工学シンポジウム, 平成8年11月27日.

---

# 受け手の動きに適応した運動視差を再現できる 高臨場感 3次元画像伝送システムの開発

3D Image Acquisition and Display System  
with Motion Parallax Presentation Capability

---

961003

研究代表者            筑波大学電子情報工学系 教授            大 田 友 一  
共同研究者            筑波大学電子情報工学系 講 師            中 村 裕 一

## [研究の目的]

コンピュータビジョンの技術を画像の伝送・表示に活用することにより、現実の世界を撮影した画像において、受け手の動きに適応した運動視差を再現して高度の臨場感を与えることが可能な3次元画像伝送・表示方式を開発する。端的に言えば、現実の世界の実写に基づく仮想現実感システム、運動視差を再現できる立体テレビジョンの実現に向けての基礎研究である。

## [研究の内容、成果]

### 1. 研究の背景

距離的制約や物理的制約のために現場に居ることの出来ない人間に対して、高度の臨場感を与える映像を提示する技術は、遠隔操作、遠隔学習、通信販売などの多様な分野での応用が可能であり、仮想現実感、立体テレビジョンとして盛んに研究されている。

仮想現実感システムでは、受け手に仮想世界における存在感を与えるために受け手の動

きによって生じる運動視差を再現した画像をCGで生成して提示する。しかし、現実の世界の情報を自動的に獲得して計算機内に表現することが困難なため、そこで扱われる世界は、人工的に作成された仮想世界に留まっているのが現状である。

一方、立体テレビジョンのように両眼視差を持たせた2枚の画像を提示することによって、受け手に立体感を与える画像伝送・表示方式の研究も盛んである。しかし、入力側で撮影した画像をそのまま再生するだけでは、受け手の動きに適応した運動視差の再現はできず、高度の臨場感を与えるには限界がある。

### 2. 研究の方法

本研究では、従来、ロボットの視覚を構築するために研究されてきたコンピュータビジョンの技術を、画像の伝送・表示に活用することにより、新しい3次元画像メディアの実現を目指す。従来、人間の視覚機能を代替する機械を実現するために研究されてきた技術を、人間の視覚機能と協調して視覚機能を強化する機械の実現に適用しようとするもの

である。

本システムの概念図を図1に示す。以下の3点が骨子となっている。

① 実写により得られる画像から3次元世界の情報を復元してコンピュータ内部に取り込むことによって、任意視点からの画像生成を可能にする。

② カメラをマトリクス状に配置した多眼ステレオ法によって、隠れの影響を排除し、物体輪郭の明確な高精細3次元情報の安定な復元を可能にする。

③ 観察者の頭部の動きを検出する磁気センサーと通常の2次元ディスプレイによって表示系を構成し、頭の動きに適応して運動視差を再現した画像の生成と表示を行う。

### 2.1 3次元情報の獲得

仮想現実感システムのように、任意の視点からの画像表示を可能とし、かつ、立体テレビジョンのように実写の映像を表示できる3次元画像表示システムの実現には、実写により得られる画像から3次元世界の情報を復元してコンピュータ内部に取り込むことが必要である。

本研究では、我々が長年研究してきたコンピュータビジョンの技術を用いて、これを可能にする。一般にコンピュータビジョン技術では、安定な3次元復元は困難であるが、我々は、マトリクス状にカメラを配置した多眼ステレオ法によって信頼性の高いステレオ画像処理を行う方法を開発した。これによって、比較的少数のカメラで撮影した画像から多数のカメラでの撮影状況を仮想的に再現することが可能となった。

しかし、立体感のある画像を生成するために重要となる物体の輪郭付近では、ステレオ法における隠れの問題が発生し、3次元情報の復元精度が著しく劣化する。この隠れの問題に対して、マトリクス状のカメラ配置を活用した隠れの検出法を考案したことにより、高精細な3次元情報の復元が可能となった。図2に入力シーンの例と、求められた3次元情報を示す。奥行の小さな手前の物体ほど白く表示されている。

### 2.2 運動視差を再現した3次元画像表示

カメラマトリクスにより撮影した画像のセットと、そこから復元した3次元情報を用

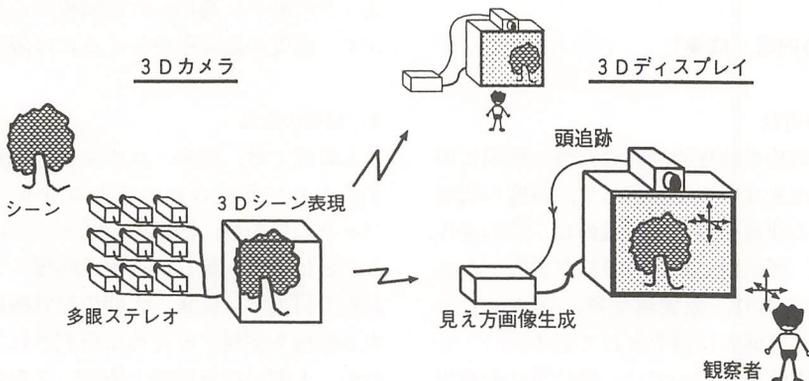


図1 高臨場感3次元画像伝送システムの概念図



図 2(a) 9眼ステレオの入力画像例

いることによって、任意の視点からの画像を生成することができる。3次元情報の表現方法としては、ロボットの視覚を実現する場合には3次元モデルを作成することが一般的であるが、本研究の場合には、最終出力が（任意の見え方の）2次元画像であることを考慮し、入力画像と奥行き情報のセットとして表現し、そこから直接に任意視点の画像を生成する方法を開発した。

通常の2次元ディスプレイと、頭部の動きを検出する磁気センサーによって、表示系は構成されており、観察者の頭の動きに適応して運動視差を再現した画像を提示することが可能になっている。

#### [今後の研究方向, 課題]

現時点で、システム全体の基本的な部分は

構築され、評価実験も可能になっているが、ステレオハードウェアの開発、移動情景への適用、3次元情報の符号化法開発など大きな課題を残しており、精力的に研究を進めているところである。

#### [成果の発表, 論文等]

- 1) Passive Depth Acquisition for 3D Image Displays, IEICE Transactions on Information and Systems, Vol. E 77-D, No. 9, pp. 949-957 (1994. 9)
- 2) 3次元画像メディアのためのコンピュータビジョン, OplusE, No. 183, pp. 117-130 (1995. 2)
- 3) 多眼ステレオ法を用いた運動視差の再現可能な3次元画像表示, 3次元画像コンファレンス, pp. 178-183 (1995. 7)
- 4) Occlusion Detectable Stereo Using A Camera Matrix, Proc. Asian Conference on Computer Vision, pp. 331-335 (1995. 12)

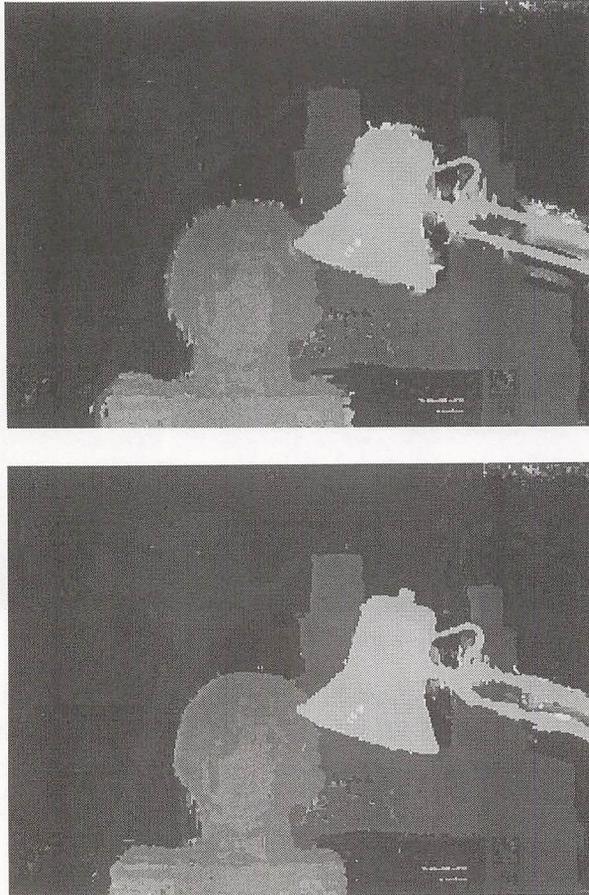


図 2 (b) 9 眼ステレオによって得られた 3 次元情報  
(上) では隠れの影響によって物体輪郭が不鮮明になっているが、我々の開発したアルゴリズムでは (下) のように、精度の高い 3 次元情報が得られる。

- 5) 3D Image Display with Motion Parallax by Camera Matrix Stereo, IEEE MULTIMEDIA'96, pp. 349-357 (1996. 6)
- 6) Occlusion Detectable Stereo-Occlusion Patterns in Camera Matrix-IEEE CVPR'96, pp. 371-378 (1996. 6)
- 7) Occlusion Detectable Stereo-Systematic Comparison of Detection Algorithms, ICPR'96, pp. 280-286 (1996. 8)
- 8) 多眼ステレオ法を用いた運動視差の再現可能な 3 次元画像表示, テレビジョン学会誌, Vol. 50, No. 9, pp. 1268-1276 (1996. 9)
- 9) 3 次元画像メディアとコンピュータビジョン, 一ロボット技術としての CV からメディア技術としての CV へ, 情報処理, Vol. 37, No. 11 pp. 981-986 (1996. 11)
- 10) 隠れ検出の可能な多眼ステレオ法, 電子情報通信学会論文誌, D-II Vol. J80-D-II, No. 6, pp. 1432-1440 (1997. 6)

## プラスチックアクチュエータに関する研究

## Studies on Plastic Actuators

961005

研究代表者	九州工業大学情報工学部 電子情報工学科 教授	金 藤 敬 一
共同研究者	九州工業大学情報工学部 電子情報工学科 助手	高 嶋 授

## [研究の目的]

導電性高分子の電気化学的酸化・還元により伸縮する機能（電解伸縮）のメカニズム解明とアクチュエータへの応用を目的とする。

## [研究の内容、成果]

## 1. 背景と方針

導電性高分子は、ポリアニリンを例として図1(a)に示すように、 $\pi$ 電子共役系が一次的に連なった高分子である。本来絶縁体であるが、酸化あるいは還元によって電導度が数S/cm以上の金属並になると同時に、分子構造の変形によりマクロな形状変化が起こる。電気化学的には電圧によって変形の大きさを制御できるのでアクチュエータあるいは人工筋肉への応用が期待されている。

今まで、ポリアニリン薄膜の電解伸縮について、様々な陰イオンの酸性水溶液中で、伸縮率、応答および発生力を定量的に測定した。その結果、電解伸縮の主なメカニズムは、図1に示すように(a)酸化による $\pi$ 電子の非局在化が引き起こす分子の形態変化（コイル $\leftrightarrow$ ロッド変化）、(b)高高いイオンの出

入りによる伸縮、(c)酸化によるポリカチオン間の静電反発などがあることが分かった。これらのメカニズムの中で、(b)が主な要因であるが(a)および(c)の機構もある程度関与していると推測し、電解伸縮効果を最大限引き出すには、(a)および(c)の寄与も利用することが有効と考えた。

酸化過程でアニオンが注入（ドーピング）されず、カチオンが放出される系について電解伸縮を調べれば、機構(a)と(c)の寄与につい

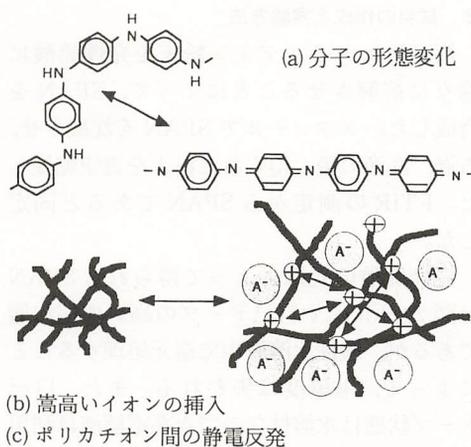


図1 電解伸縮のメカニズム

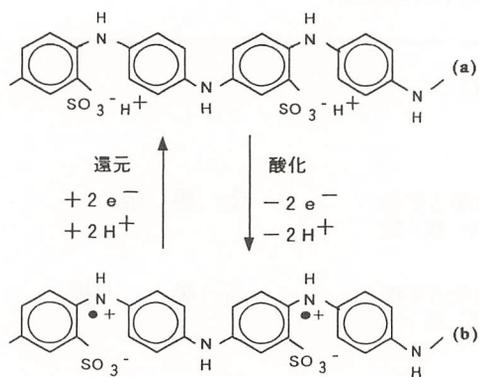


図2 SPANの電解酸化・還元反応と構造変化  
(a)還元状態, (b)酸化状態

での知見が得られる。この方法の一つは、アニオンが高分子鎖に付加された図2に示すスルホン化ポリアニリン (SPAN)<sup>1)</sup>を用いる方法、もう一つは、非常に大きいサイズのアニオンを取り込んだ状態のポリアニリンを用いることである。ここでは、これらのポリアニリンの電解伸縮を測定することによって、機構 (a), (c) の寄与について調べた。

## 2. 試料の作成と実験方法

塩基性エメラルディン粉末を発煙硫酸に徐々に溶解させることによって、SPANを合成した。メタノールでSPANを沈殿させ、ろ過、洗浄の後、得られた粉末を真空乾燥した。FTIRの測定からSPANであると同定した。

発煙硫酸の処理によって得られるSPANは図2 (b)に示す自己ドーブの高い導電状態であるが、酸性水溶液中で還元処理することによって、電導度は失われる。また、自己ドーブ状態は水溶性なので水系電解液は利用できない。また、不融なので薄膜あるいはロッド状に成形が難しい。従って、酸化状態

の粉末 (15 mg) とナフィオン懸濁液 (Nafion perfluorinated inon-exchange powder (5 wt%) Aldrich Chemical) の混合溶液を、金を蒸着したポリイミドフィルム (7.5/μm) に塗付し、バイモルフ形のアクチュエータを作成した。SPANとナフィオンの混合膜の厚さは約32μmであった。

巨大アニオンとして樟脳スルホン酸 (CSA) を使い、その水溶液中に金蒸着したポリイミド膜を陽極として、10 mA/cm<sup>2</sup> の定電流によりポリアニリンを重合し、重合後純水で洗浄した。注入電荷量は0.5 C/cm<sup>2</sup> で、バイモルフ構造のアクチュエータである。

電解反応は、透明セルにバイモルフ形アクチュエータを作用電極、白基板を対向電極、銀線を参照電極として、サイクリックボルタモグラム (CV) より測定した。また、伸縮挙動は、アクチュエータの下端に取り付けた反射板の動きをレーザー変位計で検出した。コンピュータにより、電解反応を制御し、アクチュエータの動作と共にデータを取り込み、処理を行った。

## 3. 実験結果と考察

SPAN薄膜における電圧の走引速度 1 mV/sでの典型的なCV曲線と変位、即ち、伸縮挙動を図3 (a)に示す。また、電位の走引速度を50 mV/sと速くしたときのCV曲線と伸縮挙動を図3 (b)に示す。CV曲線は、通常のアニオンドーブに見られる挙動を示すが、伸縮は通常のポリアニリンとは全く異なった挙動をする。その特徴は、通常のアニオンドーブのポリアニリンでは酸化過程で一様に伸び還元過程で収縮するのに対して、SPANでは1 mV/sのゆっくりした酸化の過程では一旦伸長するが、酸化の平衡状態では最も収縮した状態になる。また、還元過程

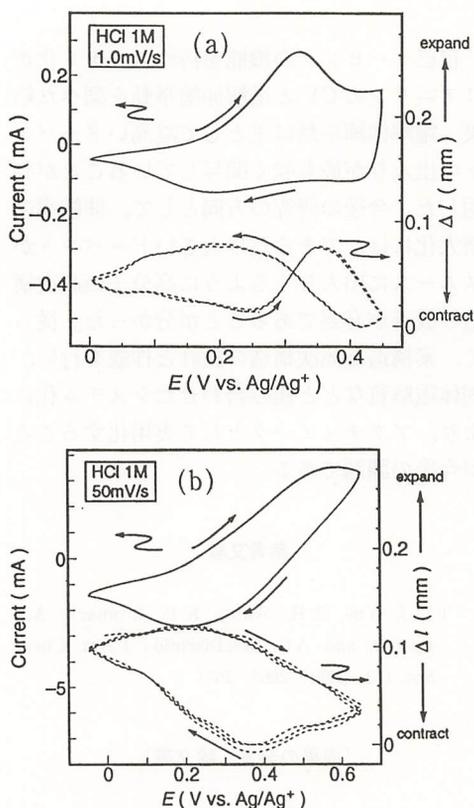


図3 自己ドーブ、スルホン化ポリアニリンのCVおよび伸縮挙動、電位走査速度 (a) 1 mV/s, (b) 50 mV/s

ではゆっくり伸長した後、わずかに収縮する。50 mV/sの比較的速い走引では、図3(b)に示すように酸化過程で収縮し、還元過程では伸長する単純な結果が得られた。しかし、SPAN膜が1.5  $\mu\text{m}$ の薄膜においても50 mV/sの比較的速い走引でも酸化過程で一旦伸長することが確認された。つまり、遅い走引速度および薄膜で見られる酸化過程で一旦伸長する現象は、より平衡状態での挙動と考えることができる。ナフィオンのみを塗付したアクチュエータではほとんど屈伸挙動は見

られなかったので、上述の挙動はSPANに特徴的なものと考えている。また、通常のポリアニリン膜に比べ伸縮率は非常に小さい。

電位が0 V付近の還元状態が0.4 Vの酸化状態より伸長した状態であることは、興味を持たれる。SPANの電解酸化・還元反応において、図2に示す(a)から(b)への酸化過程では、電子の抜き取りとプロトンの排出が起り、還元では逆の反応となる。もし、イオンの注入によって伸長が起り、排出によって収縮するものとすれば、酸化過程での収縮はプロトンあるいはオキソニウムイオン( $\text{H}_3\text{O}^+$ )の排出によるものとして、説明できる。

しかし、1 mV/sのゆっくりした電位走引や薄膜で見られた、酸化過程で一旦伸長するメカニズムは説明できない。このメカニズムは仮に次のような緩和過程を考慮すると説明できる。スルホン基が付加したポリアニリンは、通常のポリアニリンに比べて電導度が小さい。その理由として、スルホン基の導入によって、鎖間の距離が大きくなり、電子の移動ができにくくなること、および、スルホン基のマイナス電荷が窒素原子と結合してポリマー鎖を収縮させ $\pi$ 電子系を局在化するためと推察される。即ち、SPANの初期の酸化過程では窒素原子の孤立電子対が酸化(引き抜かれ)によりポラロンが形成されて、一旦 $\pi$ 電子が非局在して剛直になるが、スルホン基のマイナス電荷により構造が緩和して $\pi$ 電子の局在化即ち収縮が起ること考えられる。

一方、定電流法でCSAを対イオンとして重合したバイモルフ型アクチュエータのCV曲線と伸縮挙動を図4示すように、CVおよび伸縮挙動は $\text{BF}_4^-$ 水溶液中と同様な振る舞いをするが、伸縮率は1桁ないしは2桁ほ

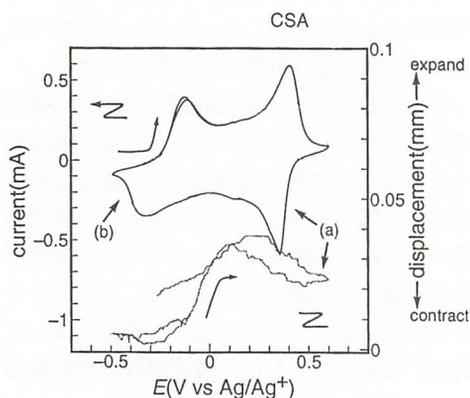


図4 樟脳スルホン酸をドーパントするアクチュエータのCVと伸縮挙動

ど小さい。酸化・還元ピークの pH 依存性は、第一酸化ピークでは pH に対する  $E_{1/2}$  の傾きが約  $0.06 \text{ V/pH}$  より、1 個の電子に対応して 1 個プロトンが放出される反応を示唆している。また、第二酸化ピークでは傾きが約  $0.12 \text{ V/pH}$  であることから、1 個の電子に対して、2 個のプロトンが関与することが判る。このことから、樟脳スルホン酸をドーパントする電解重合ポリアニリンはカチオン駆動型のアクチュエータと見ることができる。

伸縮挙動は、図 4 に示すように CSA の電解液中で第一酸化過程ではわずかに伸長し、第二酸化では収縮する。第一酸化ではプロトンあるいはオキソニウムイオンが放出されることにも拘わらず伸長することから、この伸長は酸化による  $\pi$  電子の非局在化あるいはポリカチオン間の静電反発による機構が関与していると結論できる。第二酸化の収縮はプロトンあるいはオキソニウムイオンの放出と  $\pi$  電子の局在化およびポリカチオンの消失による収縮機構が考えられる。

[今後の研究の方向, 課題]

自己ドーピングの機能を持つスルホン化ポリアニリンの CV と電解伸縮挙動を調べた結果、電解伸縮挙動は主として高高いドーパントの出入りが最も強く関与していることが判明した。今後の研究の方向として、伸縮率の増大化には、できるだけ大きいドーパントがスムーズに出入りするよう高分子の高次構造の改善が必要であることが分かった。従って、素構造と高次構造の設計と作成を行い、固体電解質などと組み合わせたシステム化により、アクチュエータとして実用化することが今後の課題である。

参考文献

1) J. Yue, Z.H. Wang, K.R. Cromack, A.J. Epstein and A.G. MacDiarmid: J. Am. Chem. Soc. 113, (1991) 2665 - 2671.

[成果の発表, 論文等]

1) K. Isobe, T. Fukunaga, W. Takashima and K. Kaneto. "Selective Electrodeposition of Conducting Polymers" International Conference on Synthetic Metals, Salt Lake City, USA. July 29, 1996 (M 22).

2) W. Takashima, T. Uesugi, M. Kaneko and K. Kaneto "Mechano-Chemoelectrical Effect in Polyaniline Film" International Conference on Synthetic Metals, Salt Lake City, USA. July 29, 1996 (p. 1. 271).

3) M. Kaneko, M. Fukui, W. Takashima and K. Kaneto. "Electrolyte and strain dependences of chemomechanical deformation of polyaniline film" International Conference on Synthetic Metals, Salt Lake City, USA. Aug. 1, 1996 (p. 3. 163).

4) 金藤敬一, 金子昌充, 高嶋 授「有機合成高分子

で人工筋肉を造る」応用物理, 65 巻 8 月号 (1996) 803-810

- 5) 福井正徳, 金藤敬一「自己ドーブポリアニリンの作成と電解伸縮挙動」第 57 回応用物理学術講演会, 1996 年 9 月 9 日, 九州産業大学, 福岡, (9 aZM 3)
- 6) 金子昌充, 高嶋 授, 金藤敬一「導電性高分子ポリアニリンの電解伸縮現象」電子情報通信学会 1996 年 10 月 3 日 山口大学吉田キャンパス, 山口

市, (3 aYQ-6)

- 7) 金子昌充, 高嶋 授, 金藤敬一「導電性高分子ポリアニリンの電解伸縮の pH 依存性」第 44 回応用物理学関連連合講演会, 1997 年 3 月 30 日 日大船橋, 船橋市 (30 pNH 8)
- 8) 金藤敬一「導電性高分子を用いたアクチュエータ」長田, 梶原編, ゲルハンドブック 2 編 2 章 7 節, エヌ・ティー・エス (1997) 印刷中



# マルチメディアの相互補完的利用による 障害者の感覚代行支援に関する研究

## A Study on Communication Aids of a Sensory Handicapped Person Using a Multi-media Information.

961007

研究者代表

熊本電波工業高等専門学校  
情報通信工学科 講師

清田 公保

### [研究の目的]

マルチメディアの理想的な基本技術は視覚障害者や聴覚障害者などの感覚障害者が必要とする感覚補助を全て完備したシステムと考えられる。本研究では、これまで電話や手紙などの情報通信メディアを簡単には利用することができなかった感覚障害者に対して、残存感覚に対応したメディアを相互協調利用することでコミュニケーションの伝達支援を行うことを提案する。

### [研究の内容、成果]

#### 1. 研究背景

これまで視覚障害者間では点字や音声によるコミュニケーションが行われ、聴覚障害者間では手話や要約筆記（いわゆる筆談）で情報の交換がなされてきた。しかし、障害者の積極的な社会参加が望まれる現代において、異種感覚障害者間で直接的にコミュニケーションを行う手段は皆無である。本研究は、異なった感覚障害を持ったもの同士間でも円滑にコミュニケーション（例えば、視覚障害者と聴覚障害者が遠隔地で情報交換を行う場

合など）が行えるような感覚代行支援を伴うユーザインタフェースを、マルチメディア技術を用いて実現する。すなわち、これまで異種感覚障害者の中で仲介役を行っていた健常者に代わって、マルチメディア機能を持つコンピュータが感覚代行をサポートする（図1）。

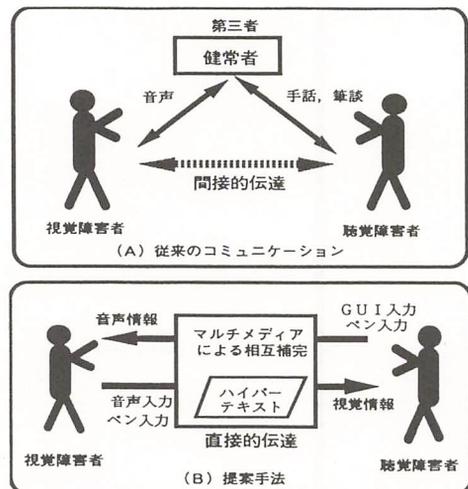


図1 マルチメディアによるコミュニケーション支援

Fig. 1 Communication aids using a multi-media.

上記システムにおいて、視覚障害者—聴覚障害者間で実時間のコミュニケーションを実現するためには、① 視覚障害者からのメッセージを文字や絵に変換する処理と② 聴覚障害者からのメッセージを音声に変換する処理が基本的に必要となる（聴覚障害者は聴覚機能の停止により発話も困難な場合が多い）。①の理想形としては音声入力法が最も有効であるが、現時点におけるパソコン処理能力ではリアルタイムな変換効率は望めず、同音異義語を多く有する漢字などに対しては正しい漢字を選択する作業が頻繁に発生する。このため、本研究では第1段階として聴覚障害者に良く用いられている筆談方式を採用する。この手法は近年増加傾向にある交通事故や疾病による中途失明者に対して特に有効である。すなわち、点字の学習やキーボード操作の習得が困難で、情報機器の操作を諦めていた視覚障害者が、墨字（点字に対して一般の活字をいう）によって日本語文章を作成する可能性が出てくる。

また、②に対しては、従来のキーボード、或いはペン入力による文章を音声合成ソフトを利用して音声出力させることで文字情報の感覚代行支援を実現する。

## 2. 視覚障害者対応ペン入力システム

感覚障害者の中でも視覚障害者は、キーボードやモニタスクリーン情報が視覚的に得られない。このため、音声情報による感覚代行支援が必要となり聴覚障害者以上に日本語入力には障害を伴う。

我々は、これまでの研究により中途失明者や文字の字形を憶えている視覚障害者に対しても、オンライン日本語入力システムが有効であるとの知見を得ている。ただし、視覚障害者による手書き文字は図2に示すような固

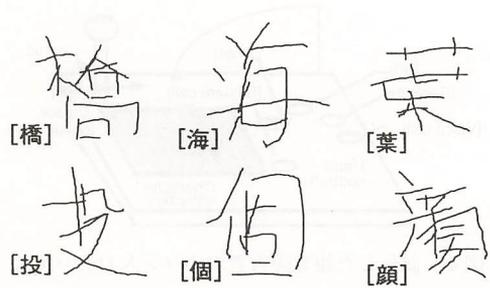


図2 視覚障害者による手書き漢字の例

Fig. 2 An example of the character samples written by visually disabled persons.

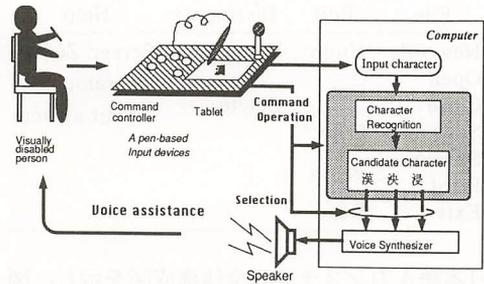


図3 視覚障害者対応オンライン手書き入力システム

Fig. 3 Block diagram of on-line Japanese input system for visually disabled persons.

有の文字変形が見られるために、従来の認識アルゴリズムを直接利用すると認識率が非常に低下する。その結果、候補文字の読み上げ回数が大幅に増加し、音声出力の効率に悪影響を及ぼすことを確認した。そこで視覚障害者の筆記した文字の変形分析を行い、別途視覚障害者に対応する手書き文字認識アルゴリズムを新たに開発した<sup>1-5)</sup>。この文字認識アルゴリズムを用いて、視覚障害者にも対応する日本語入力インタフェースシステムを構築した。

図3に視覚障害者対応のオンライン手書き

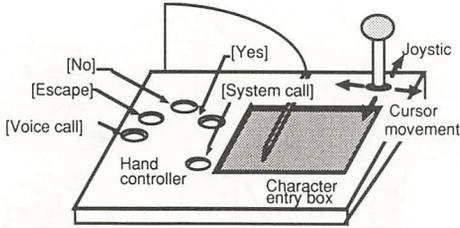


図4 試作した視覚障害者対応ペン入力デバイス  
Fig. 4 A prototype of a Japanese input device.

表1 システムコールのモード一覧

Table 1 List of the system-call

File	Edit	Dictionary	Help
New File	Undo	Registry	Screen Zoom
Open	Cut		Operaion
Close		Delete	About system
Save	Copy		
Save as...	Paste		
Print			
Exit	Read		

日本語入力システムの全体構成図を示し、図4に試作したペン入力デバイスの詳細図を示す。本システムは、ペン入力デバイスとパソコンによる音声合成ソフトウェアおよび独自に開発した文字認識処理系によって構成されている。また、図4に示す様に専用ハンドコントローラのコマンドキーはペン入力操作時に自然に手を添えた位置に配置されており、定位置にセットすればキーの位置を毎回確認しなくても済むように配慮してある。これは入力デバイスの試作段階で視覚障害者の被験者から、視覚障害を持った人は触覚情報を有効に使うことが多く、常に利用するキーに触れているという状態は操作性以上に筆記者に安心感をもたらす効果があるとの意見があり、この効果を反映したものである。さらに、利用度の高い入力時のコマンド操作には[Yes]/[No] 選択による単純操作を採用し、

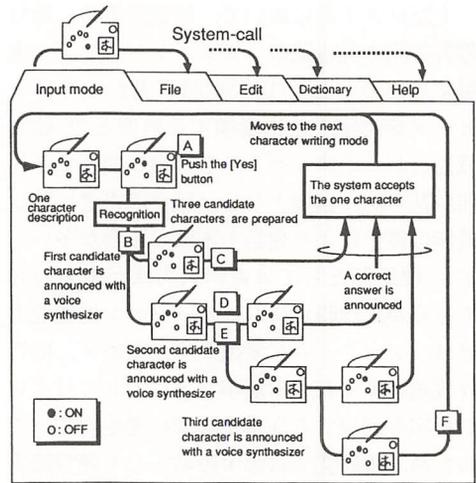


図5 文字入力の流れ

Fig. 5 A flow chart of a character input algorithm.

文字編集や印刷などの作業は[System Call] ボタンにより階層的に処理する。システムコールとは、ファイル管理や編集などシステムの制御に関わる割り込み処理の総称を言い、表1に示すようにモードを大きく4つに分けている。モード選択では予め用意されている項目を順次読み上げるので、処理を行いたい項目のところで[Yes] キーを入力する。項目は階層的に構成されており、[Yes] キーを入力する度に下位の階層へ下りていき、最下層で実際の処理を行う。また項目選択の際に[Escape] キーを入力すれば一つ上の階層に戻り、最上段の階層の場合は文字入力待ちの初期状態へ戻る。

上記の基本設計に基づき、日本語入力インタフェースのプロトタイプを試作し、その操作性について視覚障害者2名と中途失明を想定した目隠し状態の晴眼者4名に対して評価実験を行った。図5に文字入力の操作手順を簡単に説明する。被験者は段差が設けられた

表 2 日本語文字の認識率

Table 2 The recognition rate for visually disabled.

Character Type	Number of characters	Correct	Cand. 3 (%)
Kanji	1006	94.9	99.3
Kana	46	93.1	99.0
Katakana	46	93.3	98.8
Alphabet	52	91.3	99.5
Numeral	10	96.4	100.0
Other symbols	32	83.4	97.7
Total	1192	96.5	99.0

Correct: 第1位認識率 Cand. 3: 累積第3位認識率

タブレット上の文字記入枠に文字を筆記する。それから1文字の区切りを示すために、専用ハンドコントローラの [Yes] キーを入力する (A)。システムは文字の認識を開始し、第1候補文字を音声合成ソフトウェアより音声出力する (B)。もし、正しい文字であれば、[Yes] キーを押すと登録され (C)、次の文字入力待ちとなる。第1候補文字の答えが違っ

ていた場合は、[No] キーを入力すると (D)、第2候補の文字が続いて音声出力される (E)。以下、第3候補まで音声出力しても正しい文字が選ばれなかった場合は、自動的に再入力モードへ移行する (F)。

プロトタイプを利用してもらった被験者の感想をまとめると次のようになる。① ペンで文字を入力するだけでパソコンに文字が登録できるのは便利、② 音声補助により比較的容易に操作が可能だった、といった意見と① 音声合成出力で聞き取りにくい文字があった、② スタイラスペンのペン先が少しでもタブレットに触れると記入開始となり入力ミスの原因になるので気をを使う、といった意見が寄せられた。後者に対しては、さらに改善の余地があるが、全体的に本プロトタイプに対する操作性の評価は概ね良好であった。また、別途視覚障害状態で日本語文字認識の実験を実施した結果、表2に示すように第3

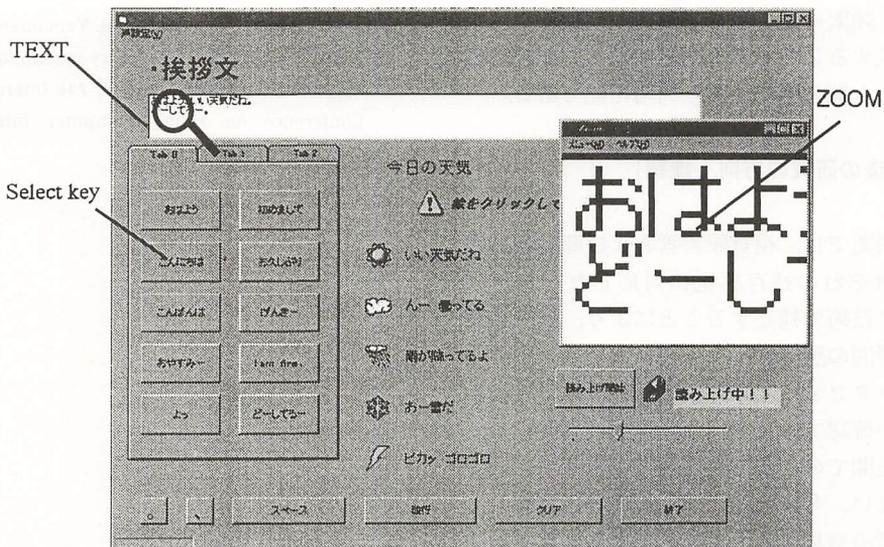


図6 文章テンプレート

Fig. 6 An example of a text template input interface.

候補文字まで用意すれば本システムは、ほぼ正解文字が抽出できることを確認した<sup>5)</sup>。

### 3. 聴覚障害者対応入力インタフェース

従来、筆談方式などでコミュニケーションを行っていた聴覚障害者にとっても、2. で述べた日本語入力インタフェースはより一層効果的と考えられる。但し、インターネットなどを利用して遠隔地間で実時間に情報交換を行う場合、いくつか留意点がある。

一つは会話成立に必要な双方向通信の実現である。聴覚障害者からの情報は音声出力として視覚障害者に伝達されるため発話状態を示す指示マーカーを付加し、相手方の音声出力終了を確認するモニタ機能が必要である。さらに筆談方式では文字の入力がどうしても遅くなる傾向にあるため、会話が一方通行にならないような工夫も必要と思われる。そこで上記問題の一方策として図6に示すような、定形文テンプレートをオプションとして開発した。頻繁に使用する文例をキー操作やペンで選択することで文書を簡単に入力でき、弱視者にも拡大機能により利用可能である。

#### [今後の研究の方向、課題]

本研究では、視覚障害者および聴覚障害者のそれぞれの残存感覚に対応したマルチメディア技術で補完することにより、異種感覚障害者間の感覚代行を実現した。個々のユーザインタフェースは評価実験により、その有効性が確認できたが、今回は最終目的である遠隔地間での相互情報伝達実験までには至っていない。今後は双方向伝達実験を実施し、利用者の意見を取り入れることにより実用に供するシステムへと改善する必要がある。

#### [成果の発表、論文等]

- 1) 清田公保, 尾島 潤, 山本真司: “視覚障害者のためのオンライン手書き漢字の部分構造情報を用いた分類”, 情報処理学会論文誌, vol. 37, No. 10, pp. 1821-1828, 1996.
- 2) K. Kiyota, S. Yamamoto, N. Ezaki and T. Sakurai, “On-line Japanese character recognition system for visually disabled persons”, Proc. of 13 th International Conference on Pattern Recognition. vol. IV. pp. 210-214. IEEE Computer Society Press, 1996.
- 3) 清田公保, 櫻井敏彦, 山本真司: “ストローク代表点の相対位置情報に基づく視覚障害者用オンライン文字認識”, 電子情報通信学会論文誌 (D-II), Vol. J 80. No. 3, pp. 715-723, 1997.
- 4) 清田公保, 森田智之, 柳井貴志, 山本真司: “視覚障害者用オンライン日本語文字認識”, 電子情報通信学会総大会講演論文集, D-12-89, p 296, 1997.
- 5) 清田公保, 柳井貴志, 森田智之, 堂下万由美, 山本真司: “視覚障害者用オンライン手書き文字認識システムの開発”, 日本ME学会, 1997. (投稿中)
- 6) K. Kiyota, T. Morita and S. Yamamoto: “Pen-based Japanese character entry system for visually disabled persons”, Proc. of 7 th International Conference on Human-Computer Interaction 1997 (in press).

# 磁性流体を利用した見やすいディスプレイの開発

## Development of the Display Material by the Use of Magnetic Fluid

961008

研究代表者

龍谷大学理工学部 教授

齊藤光徳

### [研究の目的]

マルチメディア時代の到来が叫ばれている今日、ディスプレイ装置の重要性が増してきている。従来からのCRTに加え、最近では液晶パネルやプラズマディスプレイも使われるようになってきたが、長時間見つめると目が疲れるなどの問題はまだ解決されたとは言えない。理想的には、紙に印刷された文書のように白と黒のコントラストを自然光の反射によって観察することが望まれる。

このような機能をもつ材料を実現する方法のひとつとして、黒色の磁性流体と白色の多孔質セラミックスを複合化することが考えられる。磁性流体は、直径100 Å程度の磁性微粒子を水・オイルなどに懸濁させた液体であり、微粒子による強い散乱と吸収で黒色を呈するとともに、磁場によって流動するという特徴を持つ。一方、ガラスキャピラリプレートやアルミナ膜などの多孔質膜は、微細孔による散乱で白色を呈し、その微細孔中にはさまざまな物質を封入するという性質をもっている。このような多孔質セラミックス中に磁性流体を封入した複合材料がいかなる光学特性・磁気特性を示すかは興味深い研究対象である。本研究では、そのための基礎として、磁性流体・多孔質膜それぞれの光学特性、およびそれらの複合体の光学特性を明らかにす

ることを目的に研究を行った。

### [研究の内容、成果]

#### 1. 磁性流体の特性

光学材料を利用するには屈折率や光吸収係数のデータが必要であるが、磁性流体の場合、ほとんど光を通さないこと、液体であるため保持が難しいことなどの理由で、これらの基本的な光学定数ですら測定されていない。本研究では、図1のような半円形プリズムを用いた分光反射率測定装置を作製し、反射率の角度依存性から複素屈折率  $n - j\kappa$  を求めた。半円形プリズムは屈折率1.7のガラスでできており、かつ入射角  $\theta$  を  $85^\circ$  付近まで大きくできるので、全反射臨界角近傍の反射率を

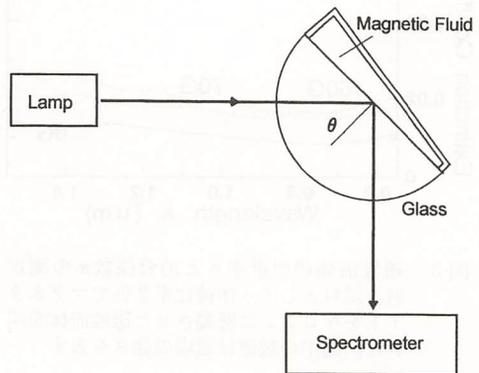


図1 磁性流体の反射率測定装置の光学系

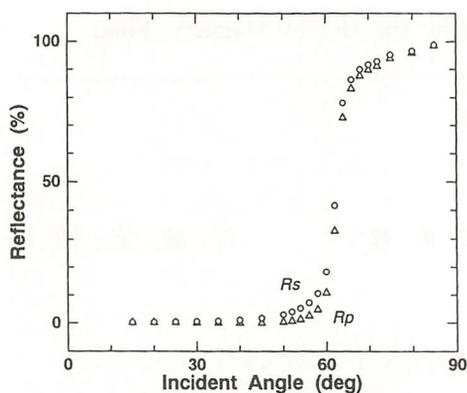


図2 磁性流体の反射率の測定例

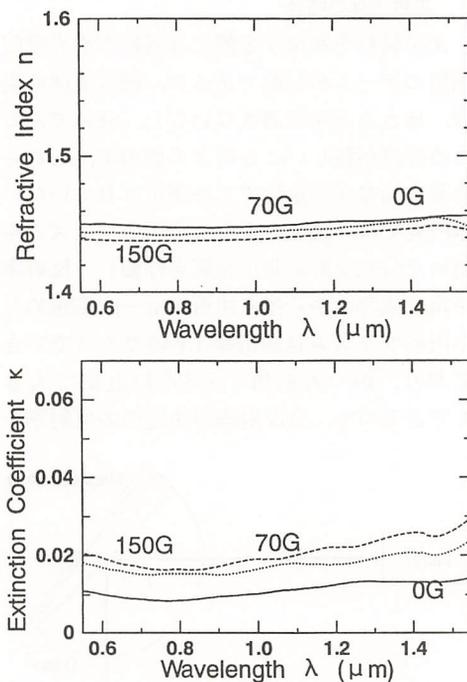


図3 磁性流体の屈折率  $n$  と消衰係数  $\kappa$  の測定値。試料として、体積比率 2% でマグネタイトをケロシンに懸濁させた磁性流体を用いた。図中の数値は磁場の強さを表す

精度よく測定できる。光源にはハロゲンラン

プを用い、偏光子で p 偏光または s 偏光を選んで試料に入射させ、光スペクトラムアナライザで可視から近赤外の広い波長域にわたって反射スペクトルを測定した。

この装置で測定した磁性流体の反射率曲線  $R(\theta)$  の一例を図 2 に示す。入射角  $\theta = 60^\circ$  付近で全反射のため反射率が急激に立ち上がっているが、この角度は屈折率  $n$  と関係している。光を吸収しない材料 ( $\kappa = 0$ ) であれば、全反射臨界面より大きな入射角では反射率が 100% になり、曲線は平坦になる。しかし、磁性流体のように光を強く吸収する材料 ( $\kappa$  が大) では、エバネッセント光が吸収されるため全反射臨界面を越えても反射率が 100% には届かず、角度とともに少しずつ上昇する。したがって、 $n$  と  $\kappa$  を含む Fresnel 反射の理論曲線をこれらの測定値にフィッティングさせることにより、 $n$  と  $\kappa$  を同時に評価することが可能である。

マグネタイトを体積濃度 2% でケロシンに懸濁させた磁性流体について測定した  $n$  と  $\kappa$  の値を、図 3 に実線で示す。屈折率  $n$  は波長とともに 1.45 から 1.46 へと徐々に上昇する。消衰係数  $\kappa$  は  $10^{-2}$  程度であり、 $0.8 \mu\text{m}$  付近の波長で最小になっている。また、図 3 の点線と破線は、電磁石を半円形プリズムの上下に置き、磁性流体に磁場をかけた状態で測定した結果を示す。磁場が 70 G (点線)、150 G (破線) と強くなるにつれて  $n$  は低下し、逆に  $\kappa$  は上昇することがわかる。

次に、磁性微粒子の濃度を変えて光学定数の測定を行った。図 4 に示すように、微粒子の体積濃度  $f$  を大きくすると、 $n$  も  $\kappa$  もほぼ線形に大きくなる。磁性流体をマグネタイトとケロシンの複合材料と考え、有効媒質理論で屈折率を評価すると、図 4 の実験値とよく一致した。このことは、微粒子や溶媒の素材、

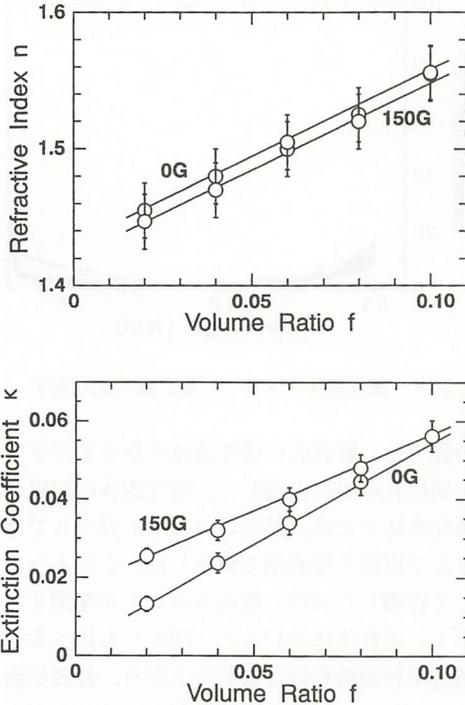


図4 磁性流体の光学定数の体積濃度依存性。マグネタイトとケロシンの磁性流体について、波長  $1.4\mu\text{m}$  で測定した結果を示す。図中の数字は磁場の強さを表す。

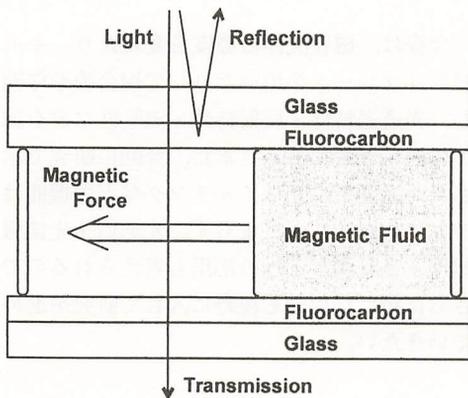


図5 磁性流体の流動性を調べる実験の試料

および体積濃度を変えることにより、所望の光学定数をもつ磁性流体を合成できることを意味している。

磁性流体の流動性に関しては、図5のような試料を作製して実験を行った。2枚のスライドガラスが  $500\mu\text{m}$  の間隔で貼り合わせてあり、その隙間に半分だけ磁性流体が入っている。磁石で磁性流体を引き寄せて、その移動の様子をレーザー光の透過でモニタした。その結果、ガラスのままでは磁性流体が吸着して移動しにくいことがわかった。そこで、ガラス表面にフッ素樹脂をコートしたところ、流動性が格段に向上した。

## 2. 多孔質膜の光透過特性

磁性流体を保持する母材として、まず、陽極酸化アルミナ膜の使用を検討した。陽極酸化アルミナ膜は、アルミニウム板を酸浴中で酸化して作製されるもので、円柱状の空孔が膜表面に垂直に立ち並んでいる。今回の実験では、直径約  $0.2\mu\text{m}$  の孔が体積比率 50% 程度で並ぶ、厚さ  $60\mu\text{m}$  の膜を使用した。分光器で透過スペクトルを測定したところ、図6のような結果が得られた。可視光域では白色不透明であるが、波長が長くなるにつれて光をよく通すようになることがわかる。アルミナは本来透明な材料であるが、微細孔で光が散乱されるため可視光域では不透明になっていると推定される。孔中に液体を入れると透過率が向上することも実験でわかり、孔による散乱が光学特性を支配していることが明らかになった。

次に、キャピラリプレートの光学特性を調べた。キャピラリプレートは、内径  $6\sim 25\mu\text{m}$  のガラス管を規則正しく並べた形状をしている。この配列の規則性によって、キャピラリプレートでは強い回折現象が見られるこ

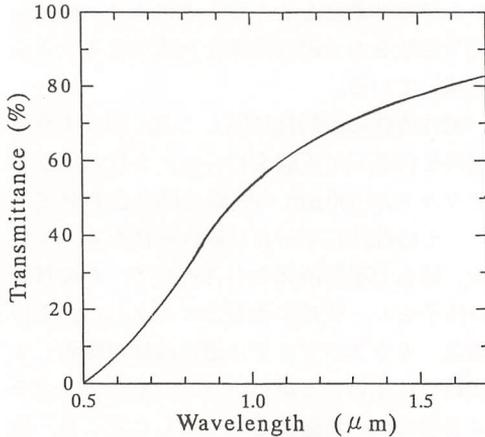


図6 多孔質アルミナ膜の透過スペクトル

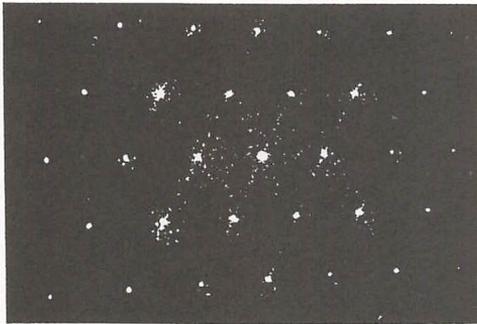


図7 キャピラリプレートによる He-Ne レーザ光の回折パターン

とがわかった。図7は、孔径  $10\mu\text{m}$  のキャピラリプレートに、波長  $0.63\mu\text{m}$  の He-Ne レーザをあてたときの回折パターンを示す。回折光の間隔は、孔の間隔から算出される回折角とよく一致した。

### 3. 磁性流体と多孔質膜の複合化

前述のアルミナ膜の孔に磁性流体を封入することを検討した。孔径が  $0.02\mu\text{m}$  あるいは  $0.1\mu\text{m}$  の膜では、磁性流体を孔の中に入れるのが困難であった。しかし、孔径  $0.2\mu\text{m}$

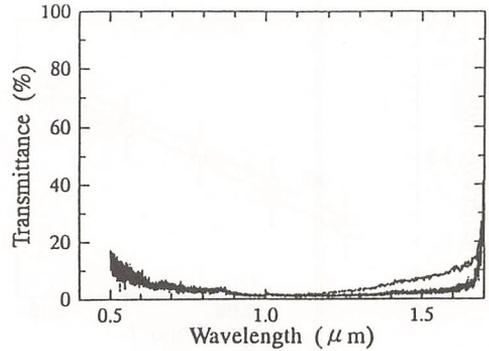


図8 磁性流体 / アルミナ複合膜の光透過率

の膜では、膜表面に磁性流体を垂らすだけで容易に孔の中に浸透した。磁性流体の溶媒の蒸発を防ぐため、試料はスライドガラスではさんで周囲を接着剤で封止した。このようにして作製した試料の透過スペクトルを図8に示す。磁性流体の封入前(図6)と比べると、透過率は短波長側では若干上がり、長波長側では下がっている。短波長側では液体の封入で散乱が減り、長波長側では磁性流体による吸収が現れるためと考えられる。

### [今後の研究の方向, 課題]

今後は、磁性流体の濃度を変えたり、キャピラリプレートを用いたりして複合膜を作製し、光透過特性・反射特性・流動性などを調べていく予定である。また、今回の研究で示された光回折や光スイッチングなどの機能は、ディスプレイにとどまらず、光通信・光情報処理・光計測などへの応用も考えられるので、さらに新たな用途も視野に入れて研究を進めていきたい。

[成果の発表, 論文等]

- 1) M. Saito, M. Takakuwa, and M. Miyagi: "Optical constants of magnetic fluids and their application to optical switches", IEICE Trans. E 78-C, 1465 (1995).
- 2) 齊藤光徳: "穴の光学的性質と応用", 表面科学, 17, 694 (1996).
- 3) 上仲宏和, 齊藤光徳: "周期構造をもつ多孔質酸化膜の光透過特性", 第57回応用物理学会学術講演会, 8P-ZQ-9, 1996年9月, 福岡.
- 4) 松本典久, 北川和人, 齊藤光徳: "磁場による磁性流体の光学定数の変化", 第57回応用物理学会学術講演会, 8P-ZQ-10, 1996年9月, 福岡.

## 人工生体膜型 LB 膜を用いた感性化学センサの構築

Development of a New Chemical Sensor with Sensibility using  
Langmuir-Blodgett Film Mimicking Biological Membrane

961009

研究代表者 慶應義塾大学理工学部 専任講師 白鳥世明

### [研究の目的]

人が森ですすがしい気分になるわけが、分析化学の進展により、木々が放つテルペン系のおい物質をかぐことに起因することが明らかになった。こうした、人に優しい環境の構築には、人の感性に近い応答を示すセンサが必要である。本研究では、人工生体膜型の LB 膜を用いて、人に優しい特定のおい物質に選択的に応答する、感性化学センサを構築するための基礎研究を行なった。

### [研究の内容、成果]

有機分子超薄膜の作成法として分子を 1 層ずつ積み重ねる LB 製膜法が有望視され、近年研究が盛んである。特に、膜中に異種の分子を埋め込んだり、混合したりすることにより、こうした LB 膜に特異な機能を持たせようとする試みが数多くなされている。こうした LB 膜を構成する膜物質は、親水基と疎水基とを合わせ持つ両親媒性化合物からなり、人の味細胞や嗅覚細胞を構成する脂質に類似した構造をもつ。LB 法はこうした膜分子の疎水基を外側にして配列するため、おい物質が吸着しやすい構造を人工的に構築するこ

とが可能である。人が森林浴ですすがしい気分になる場合、その多くは、フィトンチッド効果とも呼ばれる、樹木から放たれるテルペン系のおい物質をかぐことによる薬理作用に起因する。ここで、テルペンとは分子構造中に 2 個以上のイソプレンを含む有機化合物で、このイソプレンを含む炭化水素基は疎水性が強いため、疎水基-疎水基相互作用により、LB 膜のような疎水基を表面に出した薄膜に吸着しやすいと考えられる。その際、LB 膜にテルペン系のおい物質のみを選択的に吸着する特性をもたせることができれば、例えば、人にすがすがしい気分をもたらす雰囲気に応答する“感性化学センサ”が誕生することになる。

次に、具体的な研究成果を述べる。

#### 1. 特定な大きさの分子を吸着する膜構造の作製

我々は LB 膜中にピロール分子を混合する量を調整することにより、LB 膜中の両親媒性化合物分子（アラキジン酸）の間隔を  $22 \text{ \AA}^2$  から  $32 \text{ \AA}^2$  までオンゲストロームのオーダーで制御可能であることを見いだした (Thin Solid Films 284-285 (1996) 66-68, 及び, 信学技報 OME 95, 1995. 11. 17)。本研究ではピロールよりも大型かつサッカー

ボール型の球対称構造をもつフラーレン  $C_{60}$  を LB 膜中に埋め込み、LB 膜分子の間隔を物理的に制御することにより、その間に吸着する気体分子の大きさのコントロールを試みた。膜構造の観察は原子間力顕微鏡 AFM を用いて行った。その結果、フラーレン  $C_{60}$  を用いた場合、図 1 に示すように LB 膜の分子間隔は小型のピロール分子を用いた場合と同様に  $22 \text{ \AA}^2$  から  $32 \text{ \AA}^2$  まで調整されたが、ピロールよりも少量の分子で調整することができた。

生体系におけるにおい受容のメカニズムとしては栗原らによる説が有力であるが、それは、生体膜にはにおいに対する特異的なタンパク質はないが、嗅上皮の膨大な数の嗅細胞の組成が少しずつ違っているために、種々様々なおいにたいして異なる膜電位応答を生じ、その応答パターンが脳で情報処理され認識される、というものである。本研究ではこの説に基づき、水晶振動子基板の上に組成の異なる脂質膜を累積し、テルペン系のおい物質に対して強い応答、すなわち周波数シフトを示す膜組成、膜構造を見出した。におい

物質としては  $\alpha$ -ピネン、 $\beta$ -カリオフィレン、リモネン等、森林のなかのグリーンと総称される成分の主要な物質を用いた。

## 2. 感性化学センサの試作

上記 1 の成果に基づき、さすがしさに応答する感性化学センサを試作した。センサの構成図を図 2 に、このセンサ中の LB 膜の構造および吸着過程の概念図を図 3 に示す。図 3 に示すように、水晶振動子上に累積された LB 膜分子の間隔が大きい方がガス分子をより吸着しやすいと考えられる。

また、この水晶振動子上に累積した、分子間隔制御された膜に対して、大きいガス分子は吸着しづらく、小さい分子は吸着しやすい。次に、森林中のグリーン成分の吸着応答を図 4 に示す。図 4 に示すように、一般に LB 膜中のアラキジン酸分子の分子間隔が大きいほど、森林中のグリーン成分に関するにおい物質の吸着量が増大し、また分子間隔の調整によってにおい物質の識別機能を調整できることが明らかになった。以上のように、本研究により、LB 膜の分子間隔を調整することに

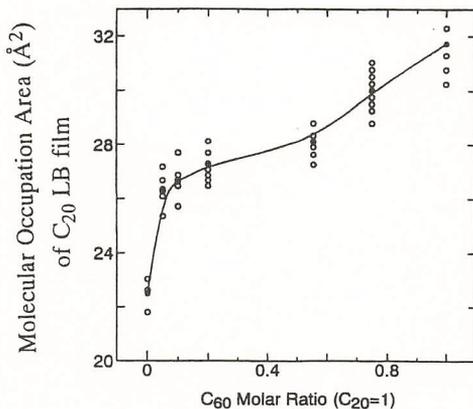


図 1 LB 膜中に混入するスペーサ分子の量と LB 膜分子 1 分子あたりの占有面積との関係

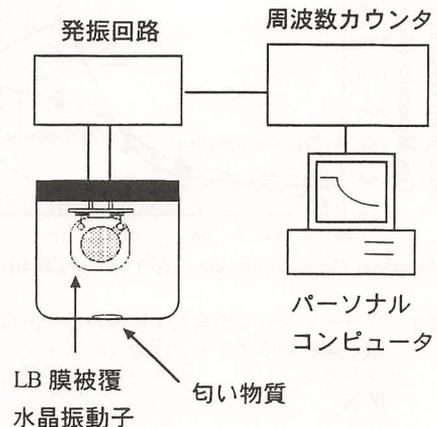


図 2 水晶振動子をもちいたセンサシステム

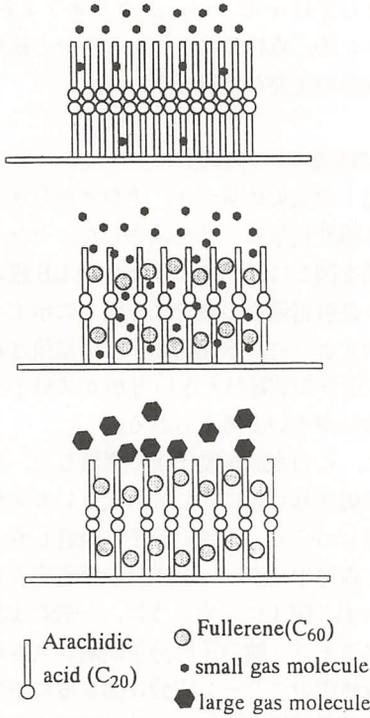


図 3 分子間隔を制御した LB 膜中への分子の選択的吸着

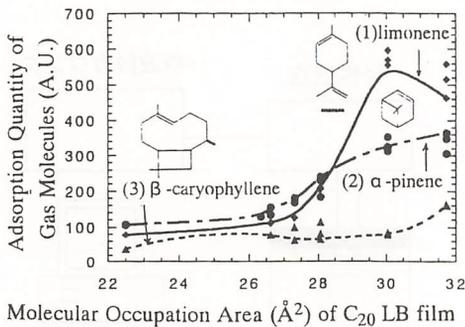


図 4 フラーレン分子を含む LB 膜の分子占有面積と森林中のグリーン成分 ( $\alpha$ -ピネン,  $\beta$ -カリオフィレン, リモネン) の吸着量との関係

より、森林のグリーン成分に対する応答を選択的に高めたセンサを試作することに成功した。

[今後の研究の方向, 課題]

応答特性は、水晶振動子基板の上に LB 膜を累積後直後の各臭い物質に対する応答を示した。センサとしての実用化の為には、センシング機能の安定性に対する調査、検討が必要である。

[成果の発表, 論文等]

- 1) 白鳥(謝)世明, 清水基, 館 鋼次郎, 池崎和男, “フラーレン混合 LB 膜のガス分子吸着特性”, 第 44 回応用物理学関係連合講演会講演予稿集, 28 A-NL-3, p. 1122.
- 2) Seimei Sha Shiratori, Motoi Shimizu and Kazuo Ikezaki, “Molecular Sifter Using Space Controlled LB Films by Fullerene Molecules”, The Eighth International Meeting on Organized Molecular Films, August 24-28, 1997, A silomar, California, USA (accepted for publication), Submitted in Thin Solid Films.

# 視覚障害者歩行支援システム用地 磁気センサの集積化に関する研究

A Study of Integrated Terrestrial Magnetic Sensor of  
Walking Navigation System for the Visually Impaired

961011

研究者代表 豊橋技術科学大学工学部 教授 田所 嘉 昭  
共同研究者 豊橋技術科学大学工学部 助教授 川 人 祥 二

## 〔研究の目的〕

我々は、視覚障害者の歩行支援システムを開発している。この方式は、ほぼ自動車のナビゲーションシステムと同様であり、歩行者が携帯する装置（万歩計、地磁気センサ、マイクロコンピュータ等）で、歩行軌跡を測定し、これと目的地までの教師データを比較することで、視覚障害者に音声とブザーで適切な指示を出すものである。

このシステムの実用化のためには、携帯装置の小型化が是非とも必要である。本研究の目的は、これまで使用してきた自動車用地磁気センサの代わりに、本研究室でこれまで研究してきた集積化フラックスゲート磁気センサの特性改善を計り、その駆動回路と信号処理回路を含めて集積化を計った集積化地磁気センサの開発を行うことである。

## 〔研究の内容、成果〕

前述の研究目的を達成させるため、本研究では以下の3つの項目に重点を置いて研究を

行った。本報告では、特に以下の(1)について報告をする。

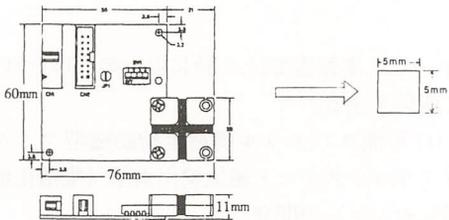
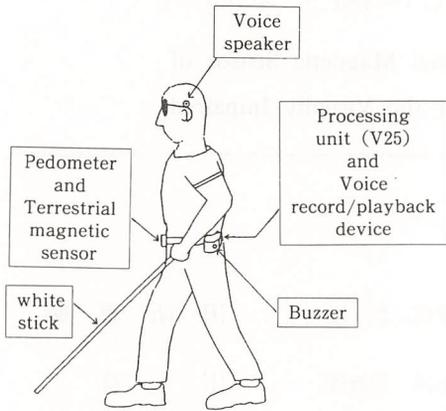
(1) 平面スパイラル構造差動励磁型マイクロフラックスゲート磁気検出素子（集積化地磁気センサ）の開発

(2) ソレノイド構造差動励磁型マイクロフラックスゲート磁気検出素子（高感度磁気検出センサ）の開発

(3) オーバーサンプリングタイプAD変換器（ $\Delta\Sigma$ 変調方式：高感度磁気検出素子用インタフェース回路）の開発

### 1. 平面スパイラル構造差動励磁型マイクロフラックスゲート磁気検出素子

本研究は、Fig. 1に示す視覚障害者歩行支援システムに使用している地磁気センサ（大きさ：60×76×11mm）を小型化することに重点を置き、磁気検出素子、駆動回路、信号処理回路を集積化し、同一チップ上で実現するための各構成要素の方式を検討し、その製作を行った。



Terrestrial magnetic sensor used for automobile navigation system      Integrated magnetic sensor to be developed

Fig. 1 Walking navigation system for the visually impaired and terrestrial magnetic sensor

1.1 平面スパイラル構造磁気検出素子

磁気検出素子の構造として、Fig. 2 に示すようにソレノイド構造とスパイラル構造が考えられる。センサ感度の点からは、ソレノイド構造が適している。これに関しては、上記の研究課題(2)で検討を行った。しかし、磁性材料からなる磁気検出素子と、半導体素子の駆動回路、信号処理回路といった異質なものを同一チップ上で実現するためには、製作工程はできるだけ簡単で、お互いへの影響ができるだけ少ない構成法が望ましい。スパイラル構造は、集積化を行う場合、層の積み重ねで実現でき、製作工程は比較的簡単であ

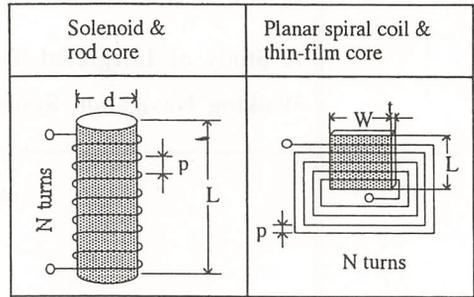


Fig. 2 Solenoid type and planar spiral type magnetic sensor

り、半導体素子への損傷や汚染も少ない構造であるので、この構造を地磁気センサ用磁気検出素子に採用した。

1.2 差動励磁型検出素子

磁性材料を励磁する場合、単軸励磁だと、励磁信号の直結成分が検出コイルに現れ、出力信号処理回路でこのバイアス分を打ち消す処理を必要とする。それに対し、差動励磁型にすれば、外部磁界に比例した信号成分のみが現れる。また、単軸励磁型に比べ、コアの面積が2倍になり、磁気感度も2倍にすることができる。スパイラル構造の差動励磁型検出素子の基本構造を Fig. 3 に示す。また、

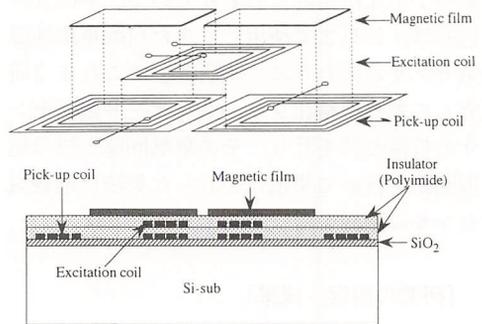


Fig. 3 Differential-output winding structure planar spiral type magnetic sensor

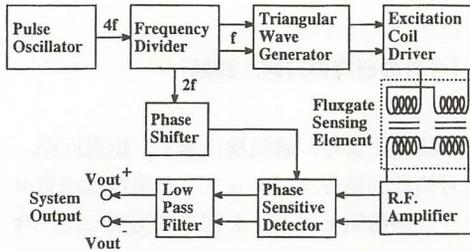


Fig. 4 Block diagram of integrated magnetic sensor system

磁気検出方式には、低オフセット検出が可能な第2次高調波検出方式を採用した。

### 1.3 集積化磁気センサ回路

全体の回路構成のブロックダイアグラムを Fig. 4 に示す。駆動用回路部は、励磁周波数の4倍を発生するパルス発振器、2段の分周器、三角波発生器及びコアを周期的に励磁する励磁コイルドライバから構成される。

第2高調波検出方式に基づいた信号処理回路部は、検出コイルに誘導された周期的なパルス電圧に対する高周波増幅器、励磁の2倍の周波数を持つパルス電圧により、センサ信号との乗算を行うクロス結合スイッチを用いた位相検出器及び被測定外部磁界のみを取り出すローパスフィルタから構成される。磁界検出素子は平面スパイラル構造差動励磁型フラックスゲートセンサを用いる。

### 1.4 製作プロセス

最初に、駆動用回路部と信号処理回路部を標準5 $\mu\text{m}$ NMOSプロセス技術により製作した。一層目にセンサインタフェース回路の配線と検出コイルの配線を2.2 $\mu\text{m}$ 厚アルミ膜をスパッタ法で製作した。2層目に励磁コイルを3.5 $\mu\text{m}$ 厚アルミ膜で製作、最上層にパーマロイ(81% Ni, 19% Fe)膜を対向型

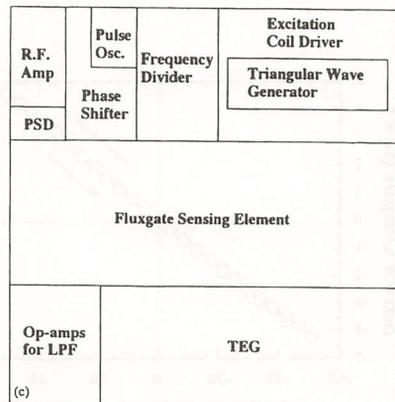
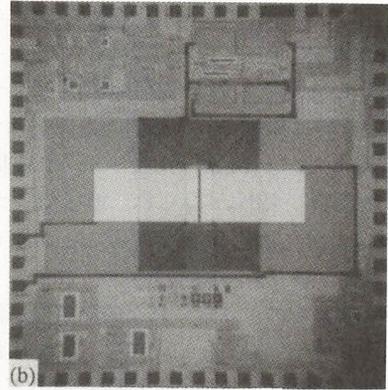
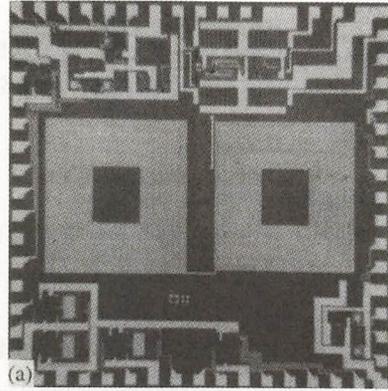


Fig. 5 Photographs of the integrated fluxgate sensor: (a) the fabricated sensor interface circuits, (b) the fabricated integrated fluxgate sensor chip, and (c) its layout

低温スパッタリングにより堆積した。

製作した集積化センサのチップ写真を Fig. 5 (a), (b) に、その構成素子の配列を (c) に示した。

### 1.5 特性評価及び考察

試作したパルス発振器の発振周波数は、2.44 MHz (設計値：4 MHz) であり、その結果、励磁周波数は 610 kHz (設計値：1 MHz) になった。励磁電流は 10 V の供給電圧に対して 110 mA<sub>p-p</sub> (設計値：200 mA<sub>p-p</sub>) である。これは励磁コイルの抵抗が設計値の 56 Ω から 100 Ω になったことによる。

Fig. 6 に製作された集積化磁気センサの被測定磁界に対するセンサ出力電圧を示す。この図より、+51 μT から -51 μT の間で線形性の良い特性が得られ、地磁気 (±30 μT) は十分に測定可能であることが明らかにされた。また、集積化マイクロフラックスゲートセンサにより得られた磁気感度は設計の約 200 V/T から約 90 V/T しか得られなかった。これは、上述した励磁電流の不足が

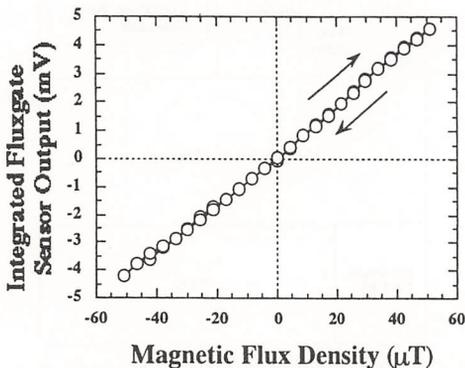


Fig. 6 Relationship between the applied magnetic field and the output voltage of the integrated magnetic sensor system

主な原因である。

### [今後の研究の方向, 課題]

本研究により、磁気検出素子、駆動回路、信号処理回路をワンチップした集積化磁気センサ (地磁気センサ) を初めて実現した。今後はこのセンサ出力をマイクロコンピュータに接続するため、前掲した研究課題の (3) に挙げたオーバーサンプリングタイプ AD 変換器と接続し、視覚障害者歩行支援システムの地磁気センサとして実用化させることである。また、本研究では設計値より劣った特性になったが、この改良も今後の課題である。

一方、研究課題 (2) のソレノイド構造差動励磁型マイクロフラックスゲート磁気センサについては、高感度の磁気センサをめざして種々検討し、その製作を試みたが、最終段階でコイルの接触を起こしてしまい、完成にはいたらなかった。途中までの実験結果より推測される感度は、約 18000 V/T で、これまでの集積化磁気センサのチャンピオンデータの 2700 V/T (我々が実現した) より 6 倍の感度が実現可能であり、バルクタイプ (マイクロ化されていない) フラックスゲート磁気センサに匹敵するものである。そのため、再度このタイプの集積化磁気センサの実現をめざしたい。

### [成果の発表, 論文等]

- 1) S.O. Choi, S. Kawahito, Y. Matsumoto, M. Ishida, Y. Tadokoro, "An integrated micro fluxgate magnetic sensor with on-chip interface circuits," The 10th of European Conf. on Solid-State Transducers, Vol. 1, pp. 127 - 130, 1996.
- 2) S. Koga, A. Yamasawa, S. Kawahito, Y. Tadokoro, "Micro fluxgate magnetic sensor in-

- terface circuits using  $\Delta\Sigma$  modulation," Tech, Digest of 14 th Sensor Symposium, pp.67-70, 1996.
- 3) 青野, 大市, 田所, "案内杖による視覚障害者歩行支援システムの性能", 電学論 C, 116-C, 9, pp. 1043-1053, 1996.
  - 4) 中村, 青野, 田所, "視覚障害者用誘導型歩行支援システム", 信学論, Vol. J79-D-II, 9, pp.1610-1618, 1996.
  - 5) 久保田, 田所, "視覚障害者用歩行支援システムを用いた歩行実験", 信学技報, HCS 96-19, pp. 79-86, 1996.
  - 6) S. Kawahito, H. Satoh, M. Sutoh, Y. Tadokoro, "High-resolution micro fluxgate sensing elements using closely coupled coil structures," Sensors and Actuators, A 54, pp.612-617, 1996.
  - 7) S. Kawahito, M. Sutoh, A. Yamasawa, Y. Tadokoro, "Micro fluxgate magnetic sensors using planar coils wrapped around a film core," 電学論 E, 116-E, 10, pp.413-421, 1996.
  - 8) S. Kawahito, M. Sutoh, A. Yamasawa, Y. Tadokoro, K. Mizuno, O. Tabata, "Micro fluxgate magnetic sensor interface circuits using  $\Delta\Sigma$  modulation," 電学論 E, 117-E, 2, pp. 84-88, 1997.
  - 9) S.O. Choi, S. Kawahito, Y. Matsumoto, M. Ishida, Y. Tadokoro, "An integrated micro fluxgate magnetic sensor," Sensor and Actuators A, (in print)
  - 10) 坂本, 合志, 田所, "デジタルカメラと携帯電話を用いた視覚障害者支援システムの検討", 映像情報メディア学会論文誌, (条件付き採録).
  - 11) 松尾, 合志, 田所, "デジタル携帯電話を用いた歩行者追尾システム", 計測自動制御学会論文誌, (投稿中).



# 機能的電気刺激による麻痺肢の機能再建

## Restoration of Paralyzed Muscle with Functional Electrical Stimulation

961012

研究代表者	慶應大学理工学部 教授	富田 豊
共同研究者	慶應大学理工学部 助教授	本多 敏

### [研究の目的]

近年、交通事故の多発に伴い、脊髄損傷患者が増えてきている。脊髄には脳から筋肉及び末梢神経に至る運動伝達路があるため四肢麻痺を生じる（図1）。現在多くの四肢麻痺患者が病院や自宅で寝たきりになっており、四肢の運動補助・再建が望まれている。

我々は、日常生活の中で、ある物体を掴んだり、抑えたり、移動させたりする。この時、手先をその物体の位置へ移動させるという手先の位置の制御が必要である。四肢麻痺患者の場合、上肢を自分で動かすことができないので、この機能を回復するために何か手段を考える必要がある。一つの手段として、機能的電気刺激（以下 FES）と呼ばれる手法がある。これは、筋肉を電気刺激することにより収縮を促すことができることを利用し、この収縮を健常者と同様に制御し、麻痺肢の運動機能などを再建する手法である。

しかし、患者の限られた残存機能による患者の意志のコントローラへの伝達方法が提案されなければならない。これまで、意志伝達法として、呼気センサや音声、肩関節の運動を用いる方法が報告されている<sup>3-5)</sup>が、これらの方法では、目的位置や各関節の運動量、

動作速度、目的位置までの軌跡などの多くの情報を一度に伝達するのは不可能である。更に、動作を行なう度に呼気センサをくわえたり、声を発したりするのは患者に負担である。

FESによる麻痺上肢の制御方式として、健常者の動作筋電図から『標準刺激パターン』を作成しそれを患者へ電気刺激パターンとして適応させる方法などがある<sup>3)</sup>。この方式では、各筋肉の協調性があるものの患者の可能な動作は、登録されているパターンに限られる。

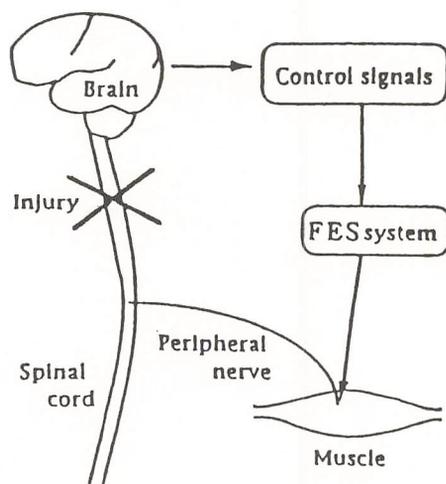


図1 FESシステムの原理図<sup>1-2)</sup>

本研究では、上肢障害者を想定した場合でも手先の位置を指示可能な装置を開発した。そして、この装置の使用例として FES システムに適用し、健常被検者により平面内で肘関節の動作確認実験を行なった。

## [研究の内容、成果]

### 1. 手先位置指示装置を適用した FES システム

本システムは、図 2 に示すようにポインティングライト、ポジションセンサ、AD コンバータ、コンピュータ、DA コンバータ、刺激装置、電極から構成されている。

患者は、ポインティングライトを取り付けた野球帽をかぶり、麻痺上肢の手首にポジションセンサを装着する。そして、水平面内だけ動くことが可能な補装具の上に麻痺上肢の前腕を乗せ、椅子に座る。ポインティングライトは、平面に高さ 30 cm から照射した時に直径が約 15 cm になる赤色光束を発する。患者がポジションセンサに光を照射すると、ポジションセンサは、光束の中心位置を検出する。

ここで得られた信号は、AD コンバータを介してコンピュータに入力される。コンピュータではこの信号から手先が光束の中心

に移動するような刺激パターンを作成した後、刺激装置により上肢の各筋に刺激を加える。つまり、患者は光をポジションセンサに照射しながらその中心をずらしていくことができる。

光が照射されていない時は、光を離れた瞬間の手首の位置を肘関節に取り付けられたゴニオメータで検出し、その位置を再び光が照射されるまで維持するように制御する。

#### 1.1 ポインティングライト

光源には、赤色高輝度 LED (660 nm : 東芝) を用いた。これは、頭部に取り付けるため、発熱せず小型、使用者本人が光の位置を認識できるよう可視光高出力、高い周波数で変調できるような高速応答などの条件から選択した。

ポインティングライトは平面上に照射した時、その強度分布がベル型になるよう凸レンズで焦点位置を調整した。これは中心から周辺にかけて、光強度の強い傾斜があるので、使用範囲内では、斜め方向から、また、距離を変えて照射してもその形状はほとんど変化しない。この光は商用周波数で点滅している一般照明、一定光量の太陽光などの外乱光と区別するために 5 kHz の正弦波で変調した。

#### 1.2 ポジションセンサ

##### 1.2.1 構成及び外乱光によるノイズの除去

ポジションセンサは、図 3 に示す形状をしており、4つの受光素子から構成されている。各受光素子では外乱光の影響を除去し、信号光のみの光強度を得るために、まず 650 nm の光学フィルタで遮断した。次に図 4 に示す回路を通した。受光素子は信号光の変調周波数、広指向性および波長感度特性を考慮し、TPS 603 A (東芝) を使用した。信号光は各

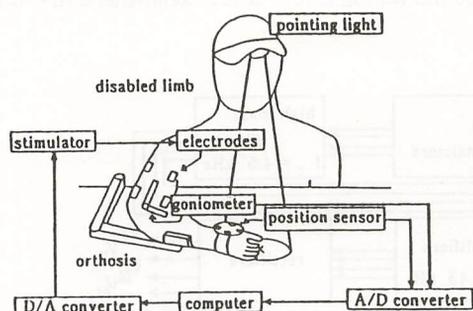


図 2 手先位置制御 FES システム

受光素子で受信され、その光強度は電氣的信号に変換される。さらに外乱光による電氣的信号は、3 kHz 以下の周波数ベクトルを有していることが分かっているので、ハイパスフィルタを通すことにより 4.5 kHz 以下を連断し、必要な信号成分を取り出した。このようにして取り出した電圧は、信号光の光強度に比例している。これを半波整流することにより直流信号として得た。

ここで、I～IVの各受光素子における信号を  $V_I \sim V_{IV}$  と名付ける。その信号を AD コンバータを介してコンピュータに入力した。

### 1.2.2 位置検出

$V_I \sim V_{IV}$  からポジションセンサと光の中心の位置関係を検出するためにコンピュータで次のような計算を行なった。

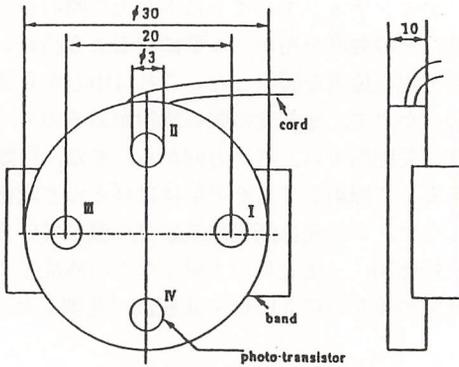


図3 ポジションセンサ

$$e_x = \frac{V_I - V_{III}}{\sqrt{(V_I - V_{III})^2 + (V_{II} - V_{IV})^2}}$$

$$e_y = \frac{V_{II} - V_{IV}}{\sqrt{(V_I - V_{III})^2 + (V_{II} - V_{IV})^2}}$$

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} = \lambda \begin{bmatrix} e_x \\ e_y \end{bmatrix}$$

## 2. 実験方法

手先位置指示装置の動作確認のために、この装置を FES システムに適用して実験を行った。肩関節と肘関節両方を同時に制御した。コントローラは比例制御器、刺激筋は上腕二頭筋、上腕三頭筋、大胸筋、三角筋後部である。

### 2.1.1 刺激方法

FES において、神経や筋系に加える電気刺激には短い持続時間のパルス電流が用いられる。筋肉の発生する張力は、収縮に参加した筋線維の数により決定される。筋の収縮量を制御するための刺激パルスの変調法には、振幅変調法 (AM)、パルス幅変調法 (PWM) などが提案されている。本研究では、振幅変調を使用し、刺激電流振幅と筋収縮量の関係は、閾値 (筋肉が収縮し始める刺激強度) と痛みを感じ始める刺激強度の範囲では、比例すると仮定した。パルス周期を 20 ms に固定した。また、表面電極を用いた。

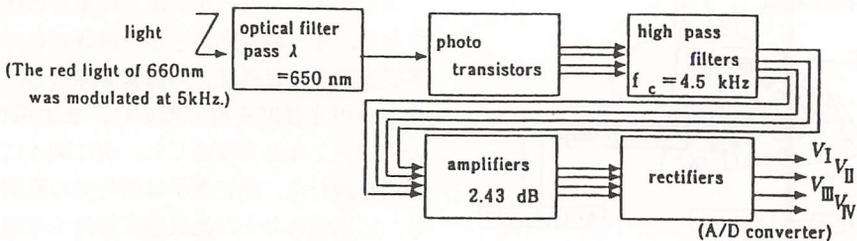


図4 外乱光による影響の除去

### 2.1.2 制御

肘関節に対する制御のブロックダイアグラムを図5に示す。関節角度をゴニオメータにより検出した。各筋肉をそれぞれ独立に離散比例制御器により制御した。制御器の入力は、 $X$ とし、出力は、各筋への刺激強度を決定するコントロール電圧 $U$ とした。刺激装置はコントロール電圧 $U$ に比例した刺激強度を出力する。 $X=0$ の時には各筋に閾値が与えられるように設定した。

光が照射されていない時は直前の肘及び肩の関節角度 $\psi_{\text{elbow}}$ を目標角度とし、再び光が照射されるまでその角度を維持するように制御した。比例制御器の係数は、限界感度法

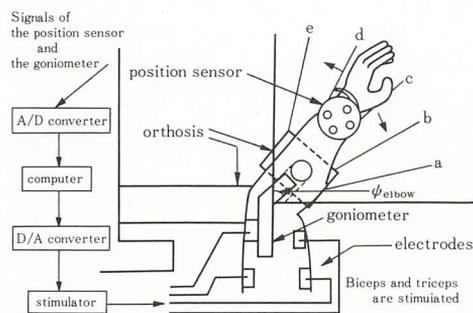


図5 実験システム

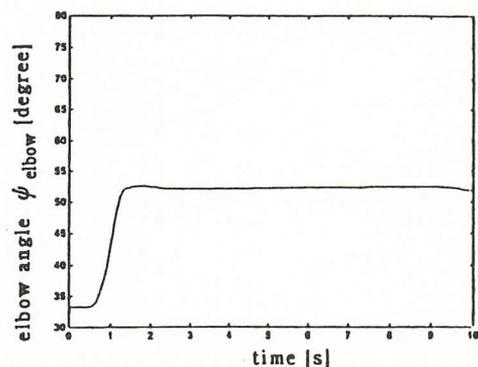


図6 ステップ応答

により決定した。

## 3. 実験及び結果

### 3.1 実験1：比例度の決定

被験者は、21歳の健常な男性とし、被験者の閾値、痛みを感じない最大刺激強度を測定し、パラメータを定めるためにステップ応答の計測を行なった。

まず光源をある位置に固定し光の照射範囲の端に位置センサがくるように定めた。その時、光がセンサに照射しないように光を紙で遮った。紙を瞬間的に取り除いた後、手首が、光の中心に移動する時の肘の角度を各比例係数において行ない、データレコーダに記録した。

その結果の一例を図6に示す。ステップ入力に対して0.5秒以内に追従している。

## 4. 結論

手先の位置を指示できるシステムが開発された。システムは、頭部にあるライトにより手先の位置を指定し、上腕への刺激により、その位置をコントロールするものであった。

システムの利点を以下に示す。

1. 目的地点への軌跡を設定したり、健常者からの刺激パターンを作成する必要がない。
2. 使用者にとって、操作が容易である。
3. 手先は必ず目的地点へ到達できる。
4. 使用者は任意の軌跡から任意の位置へ手先を移動させることができる。

### [参考文献]

- 1) 板倉直明：機能的電気刺激における筋・関節運動制御システムの研究，慶應義塾大学大学院学位論文，1989。
- 2) 吉田直樹：Articular Angle Control with In-

verse Dynamics Model Tuned by Neural Network for Functional Neuromuscular Stimulation, 慶應義塾大学大学院学位論文, 1990.

3) 星宮, 半田, 内藤, 矢島: A Multichannel FES system for the Restoration of Motor Function in High Spinal Cord Injury Patients, A Respiration-controlled System for Multi-joint Upper Extremity, IEEE TRANSACTION ON BIOMEDICAL ENGINEERING, Vol. BEM 36, No. 7, pp. 754 - 760, 1989.

4) R.H. Nathan: An FES-based system for generating upper limb function in the C4 quadriplegic, Medical & Biological Engineering & Computing, Vol. 26, pp. 549 - 556, 1989.

5) Mark W. JOHNSON, P HUNTER PECKHAM: Evaluation of Shoulder Movement as a Command Control Source, IEEE TRANSACTION ON BIOMEDICAL ENGINEERING, Vol. BME 37, No. 9, pp. 876 - 885, 1990.

プラント運転制御システムの  
ヒューマンインタフェースに関する研究

Study on Human Interface of Industrial Plant Operation Control System

961013

研究代表者	奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 教授	西谷 紘一
共同研究者	奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 助教授	山下 裕
	奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 助手	黒岡 武俊
	奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 助手	北島 禎二

[研究の目的]

化学プロセス産業におけるプラントのオペレーションは、DCSを用いたCRTオペレーションが主流になっている。この運転形態の特徴は、数値制御機能と論理制御機能を融合させて高度化された自動制御システムと、監視操作を受け持つオペレータのハイブリッドシステムである点である。このシステムでは、オペレータは、プラントのスタートアップやシャットダウン時の操作、異常兆候の検知、異常時における対応操作や異常原因の究明など、人間の高度な認識や判断に委ねられる複雑かつ広範囲に渡る業務が求められるようになってきている。

このような状況に対応するには、教育訓練の充実を図る等の人間側に対するアプローチと、オペレータのより使い易いシステムにす

るというシステム側に対するアプローチの2つの方法が必要と考えられる。いずれの方法に対しても、人間とシステム(機械)の関わりを詳細に分析することが必要になる。

本研究では、プラント運転実験から得られるデータから、複雑なヒューマンインタフェースの問題点を抽出し考察するための具体的方法を提案することを目的とした。

[研究の内容、成果]

1. 実験設備

実験で使用した仮想プラントオペレーション環境の概略図を図1に示す。これは、教育訓練用のリアルタイムボイラーシミュレータと産業用運転制御システムのオペレータコンソールを結合したものである。被験者には、実験中にプラントを監視操作しながら、どの

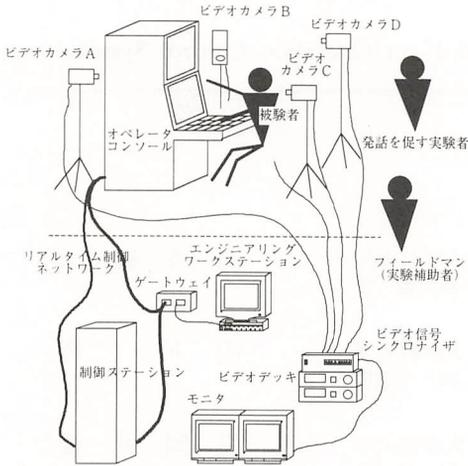


図1 プラント運転実験設備

ようなことを認識しているのか、どのようなことを解決しようとしているのかなど、時々刻々に浮かぶことをできるだけ言葉としてしゃべってもらい、これを発話プロトコルデータとして収録する。オペレータの心理的側面も考察するため被験者の顔の表情と手元の動き、および二台のCRT上の監視操作画面（パネル）を4分割画面のビデオ画像として記録する。また同時に、キーボード操作、アラーム、画面切替、プロセス変数の経時変化データなどをシステム側に履歴として記録する。このような実験設備を用いて、図2に示す手順で実験を実施した。

## 2. 実験準備

実験シナリオは、実験目的にあったものを設定する必要がある。今回は、監視操作のためのグラフィック画面を評価することを目的として、給水バルブの固着、燃料ヒーター内の配管つまり、バーナーヘッダー圧力計の故障という、標準的な教育訓練コースには含まれていない3種類の新しいマルファンクションを準備し、これらの異常原因究明を被験者の課題とした。実験に先立って、設定した異常のもとでのプラントの挙動を、物理的に起こる現象と制御動作による現象で表して、被験者が大きなミスなく運転課題を達成する場合の、標準的なオペレーションの流れ（以下、模範オペレーションと呼ぶ）をグラフで表した。本研究では、オペレーションの流れを観察範囲、観察対象、検証内容、判断結果の4要素からなる認知ステップの連鎖として描く、新しい表現方法を考案した。

プラント運転には習熟が必要とされるため、被験者の選択が重要となる。本実験では8つの標準マルファンクションに対応できることを被験者の条件とした。またオペレーション

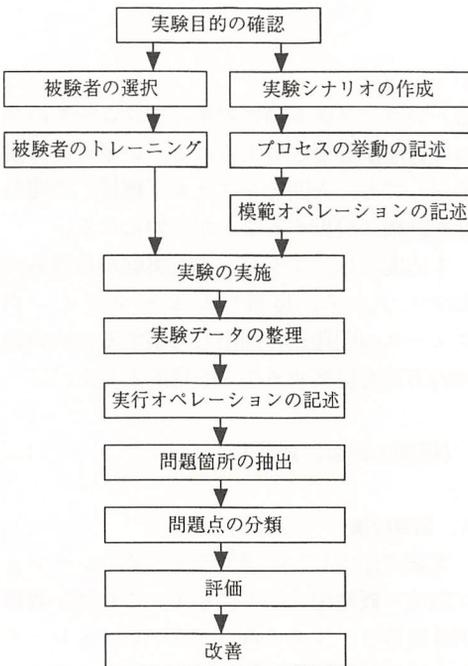


図2 ヒューマンインタフェース評価のための実験手順

の仮想環境や実験環境に慣れてもらうための訓練期間を設けた。

### 3. 実験結果の分析

分析のため、プロトコルデータを他のデータとともに時系列的に整理した表を考案した。この表には、異常発生からの経過時間にそって、VTR 記録から文字化した発話データ、アラーム等の事象の発生、各 CRT に表示されていた監視操作画面、被験者が見ていた画面、被験者の行った端末操作、実験者の観察記録も併せて記入する。次に被験者が実際に行ったオペレーションの流れ（以下、実行オペレーションと呼ぶ）をグラフで表す。図3に、模範オペレーション（細線）と実行オペレーション（太線）を重ねて示した。このグラフから詳細な検討を行うべき箇所が得られる。すなわち、模範オペレーションとのズレ、アラーム発生箇所、操作に長時間を要し

ている箇所、同じパスを複数回通っている箇所などの点が手がかりになる。

抽出した問題点は、表として整理する。表には、マルファンクション発生からの経過時間、観測された問題点（事実）、解析者の意見（判断）、原因の所在（分類）、原因の内容を表すキーワード（分類キーワード）が発生順に記入される。例として、バーナーヘッド圧力計の故障に対して行った実験の分析結果を表1に示す。

プロトコルデータを基にオペレーションを分析するのは非常に有効な方法ではあるが、多大な時間を必要とし、また分析者による個人差もある。この弱点を解決するため、問題点のキーワードを集めたキーワード表をあらかじめ作成しておき、人とシステムが入り組んだ複雑な問題を系統的に分析することを試みた。キーワード表の作成では、抽出した問題のキーワードを分類・整理した。分類項目

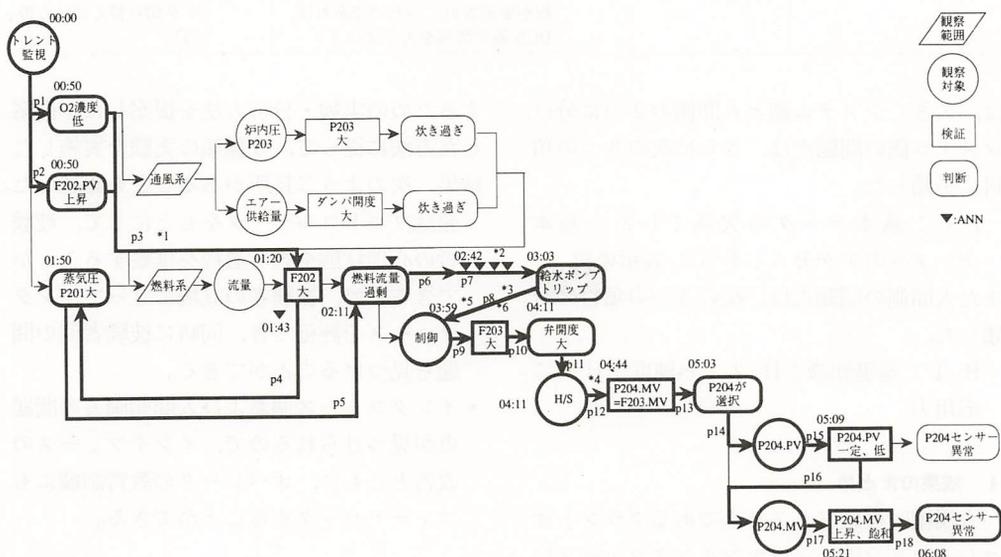


図3 模範オペレーションと実行オペレーションの比較例

表1 オペレーションの分析結果例

マーク	経過時間	バス	事 実	解 析 者 の 意 見	分 類	分類キーワード
*1	0:01:04	p3	酸素濃度に関係するコントロールループがよく分かっていない。	プロセス、コントロールループの理解不足。	H-1	制御系の知識
*2	0:02:48~ 0:03:15	p7	L 202. PV. LO 及び LL のアラームについては特に危機的な印象をもっていない。アラームの後のオペレーションに焦りが無い。	L 202. PV. LL はドラム破壊につながるアラームであるがオペレータはそれを認識していない。DCS はボイラ機能破壊につながるという情報を与えるべき。	H-1 H-1 H-3 I-1	対象プロセスの知識 アラーム重要度の知識 アラームの解釈 アラーム重要度の情報
*6	0:03:07	p8	P 201. PV. LO 及び LL のアラームが発生しているが、アラームの原因を調査しようとしていない。	BFP を早く起動させようとしており、アラームを注意する余裕がない様である。	H-1	アラーム処理の熟練
*5	0:03:15	p8	L 202. PV. LL アラーム後 29 秒でドラム破壊。	アラームが発生してからドラム破壊までの時間が短かすぎるとは ないか。 L 202. PV. LL アラームより 29 秒でドラム破壊が起こることをオペレータは知らなかった。	E-2 H-1	実験設定（ドラム貯水量のキャバの不足） 対象プロセスの知識
*3	0:03:55	p8	BPF トリップの原因が分からない。	BFP 停止に関するオペレータの知識不足。 ドラム圧がある程度上昇した時点で、DCS は BFP がトリップする可能性がある情報をオペレータに掲示すべき。	H-1 H-3 I-1	対象プロセスの知識 問題解決能力 機器故障の原因の表示
*4	0:04:44	p12	ハイセクターのコントロールについて、なぜこのようなループになっているのか理解していない。	コントロールループに対する（なぜ H/S が設けられているか）オペレータの認識不足。 （この実験中にハイセクターの選択が変更されていたのであれば、DCS 側で情報を表示すべき）	H-1 I-1 I-1	ハイセクターの知識 ハイセクターの切り替え情報の表示 異常の提示（ハイセクター切り替えに伴う警告）

は、大きくシステム側と人間側の2つに分け、システム側の問題点は、さらに次の3つの項目に分類した。

I-1：基本データの欠落；I-2：基本データへのアクセス；I-3：表示の質  
また人間側の問題点は、次の3つの項目に分類した。

H-1：基礎知識；H-2：熟練度；H-3：応用力

#### 4. 成果のまとめ

大規模で複雑なシステムであるプラントオペレーションのヒューマンインタフェースについて、その問題点を系統的に抽出し、評価

するための実験・分析方法を提案した。提案した方法に従って、6種類の実験を実施した結果、次のような長所があることを確認した。

- 発話プロトコルデータをもとにして、被験者の心理状態や思考過程を推察することができるので、被験者の立場に立ってインタフェースを評価でき、同時に被験者側の問題も見つけることができる。
- インタフェース側および人間側両方の問題点が見つけられるので、インタフェースの改善とともに、オペレータの教育訓練にもフィードバックすることができる。

[今後の研究の方向, 課題]

本研究で得られた実験方法をさらに利用し易いものにするため, 次の項目について検討する予定である。

- キーワード表をチェックリストとして利用できるよう整備する。
- 被験者の個人差や学習効果を除いてインタフェースを評価するための, オペレータモデルを作成する。
- オペレータから発話の負担を軽減するため脳波や筋電図などの生理指標を利用する。
- チームによるオペレーションに対応した実験・分析方法を検討する。

[成果の発表, 論文など]

学術論文

- 1) 西谷紘一, 藤原健史, 黒岡武俊, 北島禎二, 福田 稔: プラント運転制御システムに対するユーザビリティテストの試み, 日本プラント・ヒューマンファクター学会誌, Vol. 1, No. 1, pp. 26-35, 1996.
- 2) 西谷紘一, 黒岡武俊, 北島禎二: プロトコル分析を用いた CRT オペレーションにおけるヒューマンインタフェースの評価方法, 日本プラント・ヒューマンファクター学会誌, Vol. 2, No. 1, pp. 16-25, 1997.
- 3) 北島禎二, 中山慶彦, 黒岡武俊, 山下 裕, 西谷紘一: プラント運転を行うオペレータモデルの開発, 日本プラント・ヒューマンファクター学会誌 [掲載決定].

口頭発表

- 1) 中山慶彦, 北島禎二, 山下 裕, 西谷紘一: プラントオペレーションにおけるヒューマンモデリング, 化学工学会第 62 年会, J 114, 東京, 1997 年 3 月 27-29 日.
- 2) Go Suzuki and Hirokazu Nishitani: Usability test of industrial plant operation systems, Workshop on Process Operations, PSE-ESCAPE, Trondheim, 25-29 May, 1997.
- 3) Hirokazu Nishitani, Taketoshi Kurooka, Teiji Kitajima and Chie Satoh: Experimental Method for Usability Test of Industrial Plant Operation System, 7th International Conference on Human-Computer Interaction, San Francisco, 24-29 Aug., 1997.

---

# 人間と知能機械（ロボット）のインテリジェント・ コミュニケーションに関する基礎的研究

## A Fundamental Study on Intelligent Communications between Human being and Robot

---

961014

研究者代表 名古屋大学大学院工学研究科 教授 早川 義一

### [研究の目的]

テレグジスタンス技術の確立によって、遠隔および危険な環境（宇宙空間、深海、原子炉内など）、位置/力が極端にスケールアップあるいはスケールダウンされた環境（マイクロオペレーションなど）、ヒトの侵入を極端に嫌う環境（クリーンルームなど）などに人間が直接入ることなく、臨場感をもって複雑な作業を遂行できる。また、間近に迫っている日本の高齢化社会では、複数の準自律型介護ロボットの集中管理システムに対する期待が大きく、そこでは、テレグジスタンスが不可欠な技術となる。

テレグジスタンスでは、実環境下にあるロボットとそれを操縦するヒトとのコミュニケーションが、視覚、力覚、聴覚などの五感情報に基づいて行なわれる。本研究は、このインテリジェント・コミュニケーションに不可欠な情報圧縮・伝送法、情報表示法、ロボットの自律制御法など、高度な情報処理技術、制御技術を確認するための基礎的研究である。

### [研究の内容、成果]

本研究で実施した課題は大きく2つに分けられる。一つはマスタスレーブロボットのロバストな制御方式に関する研究であり、他の一つは多指ハンドロボットの把握と操りに関する研究である。以下で、これらの研究の内容と成果をまとめる。

#### 1. ロバストなバイラテラル制御

##### (1) 研究目的

位置と力のバイラテラル制御方式として、従来から対称型、力帰還型などの構成法が考えられてきた。しかし、マスタスレーブシステムの構築においては、システムの安定性ととも、その操作性の良さが重要であり、最近では、これらの型にとらわれないシステム構成に基づいて、マスター/スレーブ双方のマニピュレータおよびスレーブ側対象物のダイナミクスを単一システムとみなしてコントローラが設計されてきている。したがって、万一マスター/スレーブ間の伝送が断絶した時に、挙動の安定性を保証することはできない。

本研究では、マスター/スレーブそれぞれにローカルコントローラ（インピーダンス制御）を導入して独立安定化を図る。また、メインコントローラの設計に $\mu$ 設計法を用いて、操作性の阻害要因であるマニピュレータやスレーブ側環境（対象物）のモデル化誤差に対するロバスト安定性、ロバスト性能を保証する。

(2) システム構成の提案

- 独立安定化：マスター/スレーブ間の通信 (Fig. 1) のメインコントローラの入力側あるいは出力側) が断絶した場合の安定性を確保するために、双方に安定化のためのローカルコントローラを設計する。さらにその外側にメインコントローラを設計し、マスタースレーブとして機能させる。
- 線形化と非干渉化：メインコントローラを線形系で設計する目的から、ローカルコントローラでは非線形補償を行い、非線形で軸間干渉のある多自由度マニピュレータの線形化と非干渉化を同時に実現する。また、異構造・異自由度マスタースレーブシステムに対してもローカルコントローラの変更だけで対処できる。
- ロバスト性の確保：メインコントローラを $\mu$ 設計法を用いて設計することにより、モデル化誤差に対するロバスト安定性、ロバ

スト性能を保証する。

- カフィードバックを重視：マスタースレーブシステムを用いて作業を行なう時、位置の追従性より力の追従性を重要視したい場合が考えられる。例えば卵を掴もうとする時、重要なのは“把握位置”より“把握力”である。本研究ではメインコントローラへの入力をマスター/スレーブの力のみとするシステムを試みる。位置の追従性はローカルコントローラを位置コントローラとすることで解決を図る。

(3) 実機試験

2台の並列駆動型3軸ミニチュアロボット (Fig. 2) を用いた実機試験によって、提案した制御方式の性能と有効性を確認する。

実機のハードウェア構成を Fig. 3 に示す。モータの駆動電圧はPC上のD/Aボードからドライバユニットを介して与えられる。アーム角はモータに取り付けたロータリエンコーダの出力をカウンタボードを通して読み込む。アーム先端には3軸ロードセルを取り付け、歪みアンプの出力をA/Dボードから取り込むことで、アーム先端に発生する力のセンシングができる。

実験方法は、対象物の伸縮方向以外には、ローカルコントローラによるインピーダンス

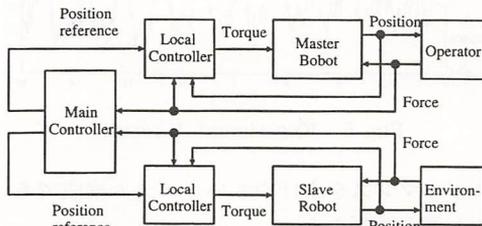


Fig. 1 Structure of controlled system

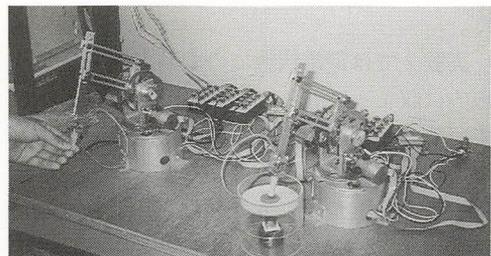


Fig. 2 Overview of robot

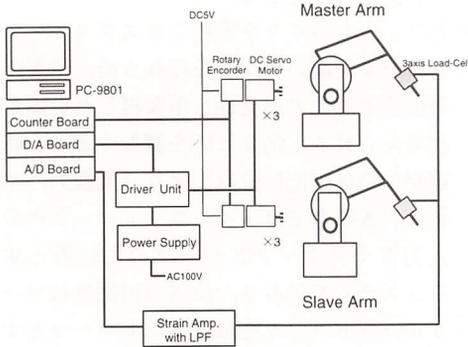


Fig. 3 Experiment system

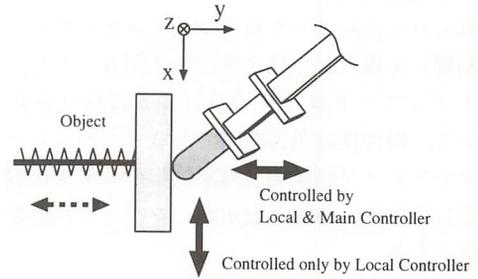


Fig. 4 Experiment method

制御のみを行ない、アームが直線的に動作するようにした (Fig. 4)。オペレータはバネの縮み方向に力を加えるものとし、スレーブアームが対象物から離れて無負荷状態とならないように留意した。

Fig. 5, Fig. 6 に実験結果を示す。上段から力 ( $f_m$ : マスタ側,  $f_s$ : スレーブ側), 力偏差, 位置 ( $y_m$ : マスタ側,  $y_s$ : スレーブ側), 位置偏差の順である。

[実験 1] 意図的に 1 Hz 程度の正弦波状に力を加える。

[実験 2] 定常状態での性能を見るために、加える力を一定にして静止した状態を作る。

実験 1 では力が非常に良く追従している。位置はピーク点でのオーバーシュートがやや大きく見られるものの、偏差は仕様の範囲内に収まっている。実際の操作感も良好であった。

実験 2 では定常状態での力偏差が 0.2 [N] 以内に収まっていることから、仕様を満たしていることが確認される。また仕様の範囲内であるが、位置の定常偏差も見られる。これはモデル化誤差の影響であろうと思われる。

実験 1, 2 共に、力の追従性について良好な結果が得られている。逆に言えば、力のパ

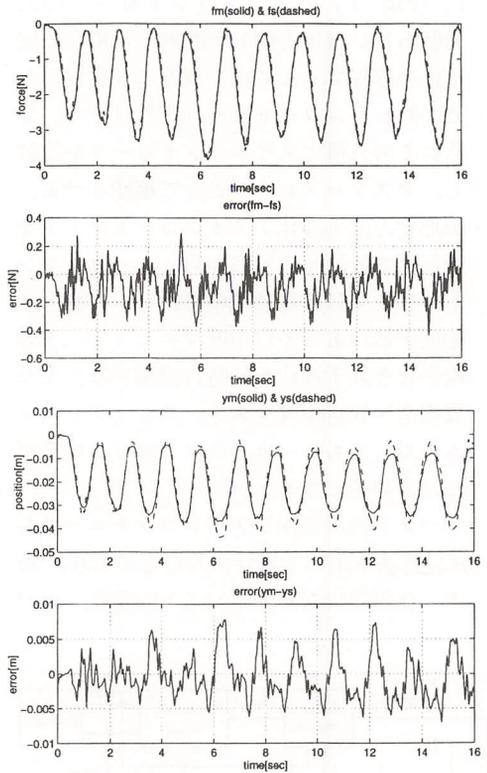


Fig. 5 Experiment 1 result

フォーマンスを上げやすいシステム構成であると言えるだろう。

なお、スレーブ側の力 ( $f_s$ ) に振動成分が

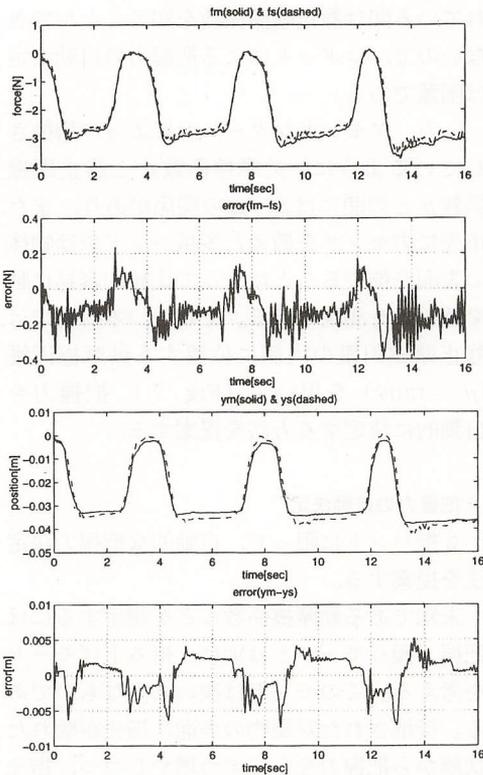


Fig. 6 Experiment 2 result

発生しているが、原因としてセンサノイズやスレーブアームと対象物の接点での擦り合わせによる摩擦など、モデル化していないダイナミクスの影響が考えられる。

マスター/スレーブ間の通信 (Fig. 1 のメインコントローラの入力側あるいは出力側) が断絶した場合、マスタースレーブシステムとしての機能は喪失する。しかし、各々のローカルコントローラによってマスターとスレーブは独立にインピーダンス制御され、決して不安定化することはない、設定された位置目標値の回りで指定したインピーダンスを実現した。

#### (4) 問題点

問題点としては、モデル化誤差の考慮にともない、位置の追従性が悪化する点が挙げられる。これは力の追従性とのトレードオフである。また、メインコントローラの次数が増大することに加えて、ローカルコントローラ (インピーダンス制御) はアームの逆動力学問題を解いているため、非常に計算量が多い点が挙げられる。この問題はアームの自由度が増したとき深刻である。

## 2. 多指ハンドロボットの把握と操り

### (1) 研究目的

現在の産業界では既に産業用ロボットは不可欠だが、将来、ロボットが社会的・経済的に担う役割を考えると、刻々と変化する環境や対象物に柔軟に対応していく能力を備えた非産業用ロボット (身障者・老人介護用、医療用、一般家庭用など) が求められよう。この要求に一面から応えるものとして対象物専用グリッパに代わる汎用性の高い多指ハンドでの把握・操りの研究が盛んであり、指先での滑べり・転がりなどの現象や操り力の定式化が行なわれてきている。しかし、これに対し、把握力についての議論はまだ充分とは言えず、未知対象物のための適切な把握力を定める決定的な手法は今のところ確立されていない。そこで、本研究では、多指ハンドでの把握・操りにおける適切な把握力とは何かを考えつつ、ロボットが比較的簡単に得ることのできる対象物の情報からの把握力決定法の指針を示す。また、2指ハンドの具体的な把握力決定法を提案し、実機試験によりその有効性を示す。

(2) 把握力と動摩擦円錐

多指ハンドの把握と操りでは、操り力と把握力を別々に算出し、それらの和を指先力として各指先から加える方法が支配的である。本研究でもこの考えに基づいた上で、特に把握力の決定に論点を絞って議論する。ここで、把握力の満たすべき条件は次の3つである。

条件1：把握力は各指先接触安定を実現。

条件2：把握力は対象物を壊さない。

条件3：各指の把握力ベクトルの和は0。

条件1を満たすためには、すべての指先力ベクトルが（静止）摩擦円錐内部に存在しなければならないことが知られている（Fig. 7）。図における摩擦円錐の角度 $\theta$ は、指先と物体間の静止摩擦係数 $\mu$ を用いて、 $\mu = \tan \theta$ の関係がある。

条件2については、ロボットが認知できる情報からは対象物を壊さないような最大の指先力を知ることは大変困難かつ再現性に乏しい。そこで、本研究では、条件1を満たすなるべく小さい把握力が条件2を達成するという考え方に立つことにする。

しかし、許容最小把握力の決定には静止摩

擦係数が必要であり、指先接触安定が達成されている間は静止摩擦係数を知ることができないので、ロボットによる把握力の自動決定は困難である。

一方、アモントンクーロンによって指摘されているように、動摩擦係数 $\mu'$ と静止摩擦係数 $\mu$ の間には $\mu' < \mu$ の関係があり、また、指先に力センサを備えた多指ハンドでは物体の表面を撫でることによって比較的容易に動摩擦係数を測定できる。そこで、本研究では、静止摩擦円錐の内側に位置する動摩擦円錐（ $\mu' = \tan \phi$ ）を用いて（Fig. 7）、把握力を自動的に決定する方法を提案する。

(3) 把握力の自動決定

2指ハンドに限って、自動的な把握力決定法を提案する。

未知である動摩擦係数などを測定するには、把握・操りモードとは別に、持ち上げモードを考える。このモードは次のようなものである。接地された対象物の表面に指先が触れた状態から把握力を少しずつ増やしつつ、指先を対象物表面に沿うように上げる。このとき、Fig. 7における指先が受ける横方向の力 $f_x$ と縦方向の力 $f_y$ の比が動摩擦係数である。常に下向きの荷重を観測し続け、これが増加しなくなった時点で標準指先接点間距離及び指先接点位置を取り込み、持ち上げモードは終了する。

把握・操りモードを考える。2指ハンドの場合、条件3を満たすためには、把握力ベクトルが互いに他方の指先接点方向を向き、大きさが等しければ良い。つまり、把握力ベクトルの方向は常に一定であり、大きさの決定だけが問題となる。

そこで、その大きさは「2つの指先力が各々の動摩擦円錐から出ず、かつその内の少

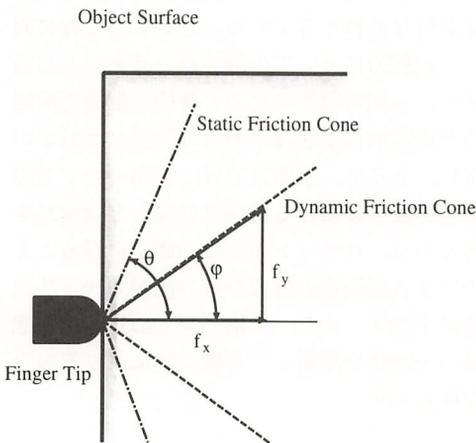


Fig. 7 Friction cone

なくとも一方は動摩擦円錐に乗る」ものとすれば、条件1を満足しつつ、条件2を満たすことが期待できる。具体的には、Fig. 8のように、(a)、(b)の場合は正の把握力を、(c)の場合は負の把握力を加えることになる。

Fig. 9 は把握・操りモードにおける制御

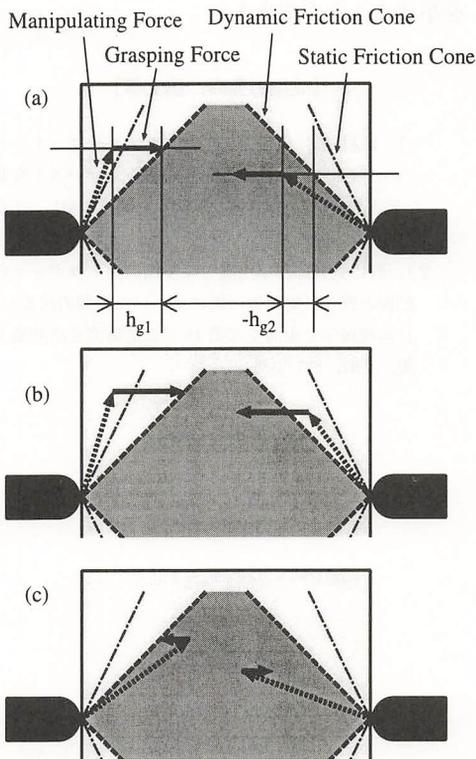


Fig. 8 Examples

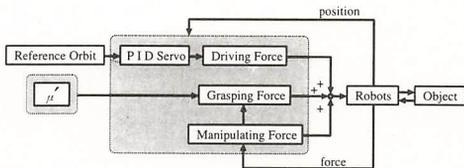


Fig. 9 Grasping/manipulating control system

系の概念図である。持ち上げモードで得られた動摩擦係数 $\mu'$ から適切な把握力を決定することになる。

(4) 実機試験

実機試験で用いた2指ハンドは並行駆動型3軸ミニチュアロボット2台である。

質量、動摩擦係数などについて未知な対象物数種類を把握し操りを実験した。その結果、対象物の質量や運動の様子に合わせて適切に把握力を変化させつつ、大き過ぎる把握力を与えることもなく、壊れやすい対象物も壊さずに、把握・操りを実現できた。

Fig. 10 は、スポンジ製立方体を操ったときの対象物の位置と操り力・把握力の大きさである。矢印で示した区間で力の外乱をそれぞれ2回づつ与えている。操り力が変化して位置変動を抑えているが、これに伴って、把握力も変化して指先接触安定を保っていることが確認できる。

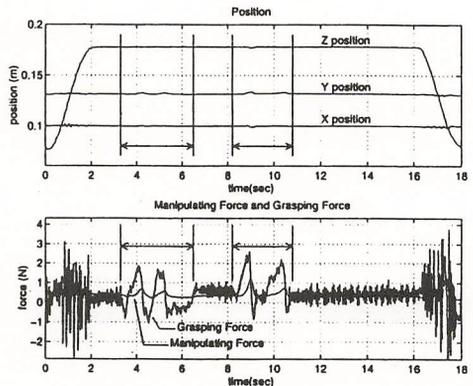


Fig. 10 Position and force

[今後の研究の方向、課題]

本研究では、実環境の多様性、伝送の断絶などにロバストな位置/力バイラテラル制御法を開発するとともに、汎用性の高い多指ハンドの把握と操りにおける把握力自動決定法を開発した。

今後の課題としては

• 適応ロバスト制御方式の開発

ロバスト制御方式によって許容される実環境および伝送遅れの変化幅には限界がある。この限界の克服のためには、ロバスト制御方式の適応化が必須である。実環境の変化に対しては、ウィンドサーファ法、マルチモデル法が有効と考えられる。また、伝送遅れの変化に対してはマルチモデル法や予測呈示法が有効と考えられる。

• 自律機能の研究

実環境や伝送遅れの突発的な変化に対応するには、知能機械（スレーブ）側における自律機能が不可欠である。機能分析に基づく自律機能の付加を達成するとともに、ヒトの操作コマンドと知能機械の自律機能との整合性が重要と考えられる。を挙げる事ができる。

[成果の発表、論文等]

- 1) 鈴木 勲, 早川義一: マスタスレーブロボットのバイラテラル制御 (独立安定化とロバストな制御系の設計), 日本機械学会論文集 (C編), 63巻, 608号, 1997, 1295/1302
- 2) 野口真太郎, 早川義一: 多指ハンドロボットの把握と操り (動摩擦円錐に基づいた把握力決定), 日本機械学会東海支部第46期総会講演会講演論文集, 1997, 327/328

## 動画像による手話自動通訳システムの開発研究

### Development of Automatic Sign Language Translation System Using Image Sequences

961015

研究代表者	東京大学大学院工学系研究科 教授	藤村 貞夫
共同研究者	東京大学大学院工学系研究科 助手	喜安 千弥
	群馬大学工学部 講師 (元東京大学大学院工学系研究科 助手)	伊藤 直史

#### [研究の目的]

近年、聴覚障害者と健聴者間のコミュニケーションの機会増加にともない、手話自動通訳システムの実現への期待が高まっている。本研究は、聴覚障害者と健聴者の円滑なコミュニケーションを目的として、手話パターンを自動認識して文字や音声に変換し、また手話文を手話パターンとして表示する通訳システムの実現を目指している。

手話の自動認識の研究としては、データグローブを入力に用いる方法が多く報告されている<sup>1)</sup>。しかし、本来手話は人間の視覚を通じたコミュニケーション手段であり、画像を入力とするほうが、インタフェースの簡便性や汎用性の点からも、より自然なマンマシンインタフェースを実現できる。本研究では動画像を用いた手話の認識方法に注目して研究開発を行う。

画像による手話認識は、単語ごとに入力された画像を対象として少数の単語について試みられた例があるが<sup>2)</sup>、分類精度が低い上、

連続的な動作から複数の単語（手話文）を認識するには至っていない。

#### [研究の内容、成果]

##### 1. はじめに

手話は、手の形、位置、動きの組合せで特定の意味が表現される。動画像を用いて手話を認識するためには、これらの情報を画像から精度良く抽出する必要がある。我々は、各指を異なる色で着色したカラー手袋を用いることにより、画像上で正確に指を識別し、B. D. T. (Binary Decision Tree) アルゴリズムを用いて手形状の認識を精度良く行った<sup>3)</sup>。また、動画像から手の位置を時系列的に抽出し、DP (Dynamic Programming) マッチングを適用して手の動きを認識した。手の形と動きの認識結果を統合して手話単語を決定することで、20種類の手話単語に対して、平均90%以上の認識率が得られた<sup>4)</sup>。

しかし手話による実際の会話では、連続した動作で複数の単語（手話文）が表現される。

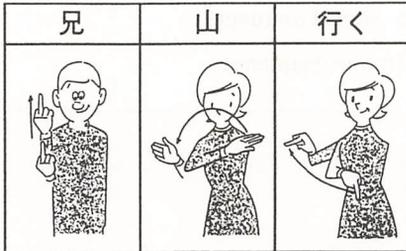


図1 使用した手話単語の一例<sup>3)</sup>

したがって、単語の境界を決定しつつ個々の単語を認識する必要がある。本研究では、図1に例を示したような右手のみで表現される手話単語を対象として、カラー動画像を用いた手話文の認識方式を開発した。20種類の単語からなる128文で認識実験を行った結果、特定話者（1名）に対して96%の認識率が得られた。

## 2. 手話文認識における課題

時間領域を分割 (segmentation) して、単語の境界を決定しつつ認識を行う点は、音声認識も同様である。しかし音声認識では、すべての音素がいずれかの単語に必ず対応するのに対し、手話ではひとつの単語の終了から次の単語の開始までの間に、手の移動が存在する。この単語としての意味をもたない動きの存在が音声認識との大きな相違であり、通常用いられている音声認識の手法をそのまま適用しただけでは、良好な結果は得られない。

本研究では手の速度の極小点で時間領域を分割した後、まず個々の領域についてDPマッチングとB. D. T. アルゴリズムを用いて単語候補を決定した。さらに手の形に基づいて単語候補の妥当性を評価し、単語に相当しない領域を除去して、手話文を認識した。

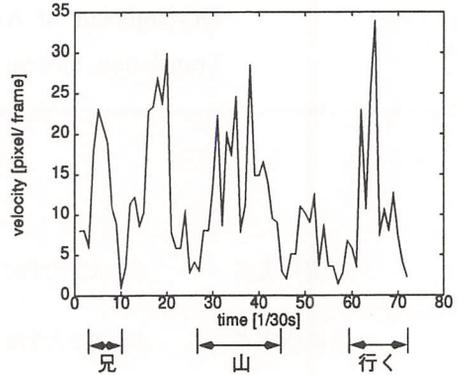


図2 手話文「兄，山，行く」の手の重心速度，分割と単語の対応（意味を持たない動きを含め，5領域に分割される）

## 3. 認識アルゴリズム

### 3.1 特徴抽出

まず、手話を撮影したカラー画像から手領域を抽出し、色情報を用いて各指を識別する。さらに、手全体の重心座標、および、手の形状に関する各種の特徴量（指、掌・甲の長さ、方向など）を抽出する。重心座標の抽出は動画像の各フレームについて1/30秒ごとに行い、手形状の特徴抽出は、領域分割で得られる各時間領域の始めと終りのフレームに対して行った。

### 3.2 領域分割 (segmentation)

連続した手話の動作を個々の動きに分割する。個々の動きの始めと終りには必ず手の速度の極小点が存在することに着目し、各フレームにおける手の重心座標から速度を計算して、その極小点を分割点とする。図2に重心速度の時間変化の例を示す。分割された各時間領域は、単語を表す動きと、単語としての意味をもたない動きのどちらかに相当している。

### 3.3 単語候補の決定

分割された各時間領域が、それぞれすべて

単語に対応すると仮定し、単語候補を決定する。まず、DP マッチングにより、手の重心座標の時系列データを辞書データとマッチングさせ、手の動きによって分類する。DP マッチングは、時間軸を変換しながら入力パターンと参照パターンを最適にマッチングさせる手法であり、個人差などによる時間軸の伸縮を許容した認識が行える。

次に、同じ動きをもつ単語のいずれに相当するかを、手形状の特徴量を用いて B. D. T. アルゴリズム<sup>6)</sup>により決定する。B. D. T. アルゴリズムは、あらかじめ教師データに基づき適切な特徴と閾値を選択して二分木状の分類機構を生成しておき、それを用いて未知データを効率良く分類する方法である。20 単語について構成された二分木の例を図 3 に

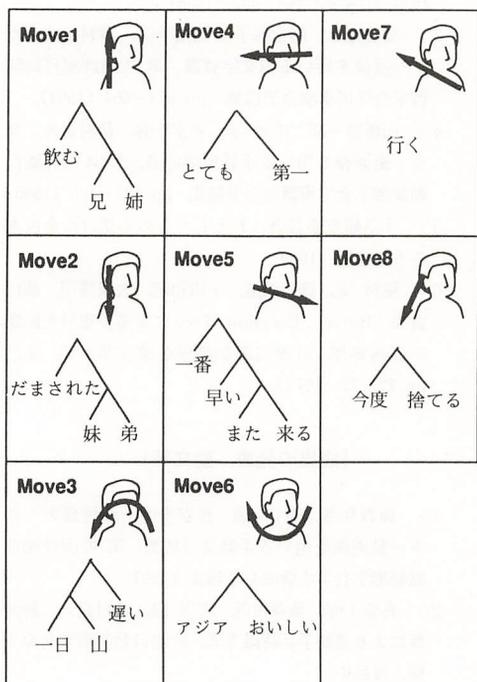


図 3 構成された二分木

示す。

以上により、各時間領域に対して単語候補が得られる。

### 3.4 単語候補の妥当性の評価

各領域に対して、得られた単語候補の妥当性を評価し、その領域が単語に相当するかを判定する。手形状が辞書データと良好に一致していれば、単語候補は妥当であり、不一致が大きくなるほどその時間領域は単語を表現しないものとする。

妥当性の判定に用いる手形状の特徴には「手の裏表」、「各指の長さ」、「各指の水平角」、「各指が見えるか見えないか」の 4 つを用い、辞書データとの不一致量の加重和を判定に使用した。各指標に対する重みは経験的に決定している。各時間領域の始点と終点で評価を行い、両者の和を総合的な評価量とした。

### 3.5 単語の判定と手話文の合成

評価量が大きくなった領域を、単語間の意味をもたない動きに対応するものとみなして除外する。ここでは図 4 に示すように閾値を設定し、閾値を上回る課価量をもつ領域を除外した。評価量が閾値以下の領域は単語領域とみなして手話文の合成に用いる。

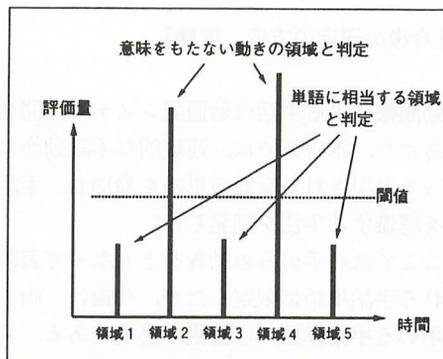


図 4 閾値を用いた判定

#### 4. 実機と結果

実験システムでは、計算機への画像取り込みや処理速度に制約があるため、一度手話画像をビデオテープに録画し、それを1フレームごとに再生しながら処理を行った。画像上で手領域の抽出を容易にするため、ここでは背景を黒とし、黒い長袖の服を着用して上半身を撮影した。カラー手袋は各指に桃・紫・黄・青・緑の5色を割り当て、掌と甲は白とした。

実験にあたって、右手のみで表現される単語を20種類選択し、これらを組み合わせて2～4単語からなる意味の通る手話文を64種類構成した。表1に実験に使用した手話文の例を示す。特定の手話者1名に対し、各単語について教師データを10個ずつ、テスト用の手話文データを128文撮影して認識を行った。その結果、認識を誤ったのは5文であり、96.1%の認識率が得られた。

表1 実験に用いた手話文の例

2単語	兄 遅い, 一番 おいしい
3単語	弟 とても 早い, 姉 アジア 行く
4単語	兄 一日 山 行く

#### [今後の研究の方向, 課題]

動画像による手話自動通訳システムの開発にあたり、本研究では、連続的な手話動作によって表現された複数の単語を識別し、手話文を認識する手法を開発した。

ここでは右手のみの動きをともなって表現される手話単語に限定したが、今後は、両手を用いる手話単語への拡張が必要である。また、今回は特定の話者(1名)についてしか

認識実験を行っていないが、複数および不特定の話者に対する認識を実現する必要がある。

現在までに実現されたのは手話認識部分のみであるが、双方向の自動通訳システムとするためには、音声や文字を入力とした手話画像の生成・提示システムも開発する必要がある。これらの機能を統合して、実用的な手話通訳システムを実現することが、本研究の最終的な目標である。

#### [参考文献]

- 1) 佐川浩彦, 酒匂 裕, 阿部正博: 圧縮連続 DP 照合を用いた手話認識方式, 電子情報通信学会情報処理学会論文誌 D-II, J 77-D-II, 4, pp. 753-763 (1994).
- 2) S. Tamura and S. Kawasaki: Recognition of Sign Language Motion Images, Pattern Recognition, 21, 4, pp. 343-353 (1988).
- 3) 高橋克幸, 清水郁子; 喜安千弥, 藤村貞夫: カラー画像を用いる指文字認識, 第33回計測自動制御学会学術講演会予稿集, pp. 553-554 (1994).
- 4) 加藤晋一郎, 中尾 学, 喜安千弥, 藤村貞夫: カラー動画像を用いる手話単語認識, 第34回計測自動制御学会学術講演会予稿集, pp. 125-126 (1995).
- 5) 手話研究委員会: わたしたちの手話(1), 全日本ろうあ連盟 (1969).
- 6) 稲村 実, 豊田弘道, 上田和紀, 大森隆司, 藤村貞夫: Binary Decision Tree による多重分光画像の高速処理, 計測自動制御学会論文集, 15, 4, pp. 72-77 (1979).

#### [成果の発表, 論文等].

- 1) 藤森和哉, 岩田 顕, 喜安千弥, 藤村貞夫: カラー動画像を用いる手話文の認識, 第36回計測自動制御学会学術講演会予稿集 (1997).
- 2) 喜安千弥, 藤森和哉, 岩田 顕, 藤村貞夫: 動画像による連続手話認識方式, 計測自動制御学会論文集, 投稿中.

無出血・無輸血手術のための  
低血圧循環制御システムの開発と臨床応用

Development and clinical application of hypotensive circulatory  
control system for bloodless, transfusion-free surgery

961016

研究者代表 天理医学研究所 副所長 前谷 俊三  
(元京都大学生体医療工学研究センター 教授)

共同研究者 京都大学医学部麻酔学教室 助手 白神 豪太郎  
京都大学医学部外科学教室 助手 小野寺 久  
京都大学生体医療工学研究センター 教授 堤 定美

〔研究の目的〕

外科手術は多少とも出血を伴う。もし多量の出血を放置すれば生命の危険を伴うので、輸血が必要となる。ところが輸血自体にも重大な合併症がある。例えばエイズ、肝炎、肝癌、免疫の低下と感染や癌再発などであり、それ以外にも将来新たな合併症が発見される可能性もある。更に出血は手術野を覆い隠して、手術の正確さと迅速さを阻む要因となる。従って手術は無出血・無輸血が理想である。出血を制御するためには、外科医の修練や手術器材の改善があげられるが、これにも限界がある。もう一つの方法として、出血は血圧が低い程少なくなるので、血管拡張剤を使って血圧を下げればよい。ところが過度の低血圧自体も、臓器障害や生命の危険をきたすので、血圧を正確に安全かつ有効な水準まで低

下させ、維持する必要がある。これを医師の手で行うことは容易でなく、また余分の負担を課することになる。そこで医師に代わって自動制御技術を応用して血圧制御を行うのが本研究の目的である。

〔研究の内容、成果〕

1. 基礎実験

われわれは既に本学自動制御工学分野の協力を得て、雑種犬の平均動脈圧を正常の約半分という低値で長時間安全に維持する方法を開発した。その方法を要約すれば、血管拡張剤（降圧剤）と平均動脈圧（MAP）との間の関係は、むだ時間をもつ一時遅れ系というモデルが適合する。そこで、むだ時間、ゲイン、時定数という3つのパラメータを予め推定し、状態予測制御法によりMAPの目標を

60 mmHg に設定して血圧を制御した。さらに何らかの緊急異常事態が発生した場合には、専門医の判断を優先し、その知識や経験を fuzzy 理論として上位制御に組み込んだ。

その後動物実験で得られた成果は以下の通りである。降圧剤としては最近多用されているカルシウム拮抗剤 (nicardipine) に比べて、神経節遮断剤 (trimethaphan camsilate) のほうが低血圧に伴う肝障害やアシドーシスがみられず、かつ目標値からの逸脱が累積誤差、累積時間共に小さかった。従って臨床応用に際しては専ら後者を使用することにした。

## 2. 臨床応用

平成 7 年 11 月本学医学部「医の倫理委員会」の承認を得て臨床応用を開始した。対象は出血が多く、輸血を要する手術患者であり、特に直腸癌局所再発に対する骨盤内臓と骨盤壁の合併切除や肝切除を選んだ。これらは腹部の手術の中でも出血量、輸血量ともに多く、出血が 10,000 g を越えることも稀ではなかった。さらに信仰上の理由で輸血を絶対受け入れない患者も対象にした。患者には手術

前、口頭及び文書でインフォームドコンセントを得た。平成 9 年 3 月までに延べ 15 名の患者に血圧制御を行った (表 1)。この中の 10 例は直腸癌局所再発例であり、7 例に骨盤内臓全摘を、5 例に仙骨合併切除を行った。また大腸癌肝転移は 5 例であるが、切除の適応となったのは 2 例のみである。これとは別に院外の直腸癌局所再発 2 例に対しては、コンピュータを使用せず、微量注入ポンプにより低血圧を維持した。

外科医側の印象では、出血が減少し手術野が明瞭となり、手術が容易かつ正確になったように感じられた。客観的に血圧制御の効果を比較するために、直腸癌局所再発で仙骨合併切除を施行した症例に限り、血圧制御を行わなかった過去の症例を対照として、出血量と手術時間を比較した。その結果は図 1, 2 に示す。手術時間は有意に短縮され、出血量の中央値も約半量となった。対照例では、予想外に多量の出血が起きたり、手術が異常に長引くことがあったが、血圧制御ではこうした異常例がみられなかった。これは手術がほぼ計算通りに行えることを意味する。通常の手術であれば輸血を必要としなかったと考え

表 1 血圧制御症例

症例番号	年齢(歳), 性	疾 患	手 術	出血量 (g)	輸 血	手術時間
1	78, 女	結腸癌, 肝転移	右半結腸切除	50	なし	3h15min
2	67, 男	直腸癌局所再発	骨盤内臓全摘, 仙骨切除	3,800	あり	7h55min
3	66, 女	結腸癌, 卵巣, 肝転移	S 状結腸切除, 卵巣摘出	780	あり	1h48min
4	54, 男	直腸癌局所再発	試験開腹	260	なし	2h09min
5	64, 男	直腸癌局所再発	骨盤内臓全摘, 仙骨切除	7,770	あり	12h12min
6	60, 男	直腸癌局所再発	骨盤内臓全摘, 仙骨切除	5,440	あり	17h27min
7	58, 女	直腸癌局所再発, 肝転移	大腿腫瘍切除, 肝右葉切除	305	あり	5h56min
8	74, 男	結腸癌肝転移	試験開腹	700	なし	2h58min
9	60, 女	直腸癌局所再発	骨盤内臓全摘	5,100	あり	13h05min
10	65, 男	直腸癌局所再発	腫瘍切除, 尿管カテーテル	3,200	あり	8h11min
11	54, 女	直腸癌	低位前方切除, 子宮全摘	1,230	なし	4h50min
12	61, 男	直腸癌肝転移	肝区域切除 (3 箇所)	1,070	なし	6h17min
13	52, 男	直腸癌局所再発	骨盤内臓全摘, 仙骨切除	3,700	あり	13h20min
14	68, 女	直腸癌局所再発	骨盤内臓全摘, 仙骨切除	3,100	あり	9h05min
15	58, 男	直腸癌局所再発	骨盤内臓全摘, 仙骨切除	3,000	あり	13h15min

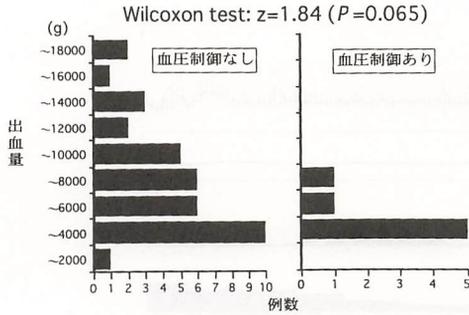


図1 仙骨合併切除例の出血量

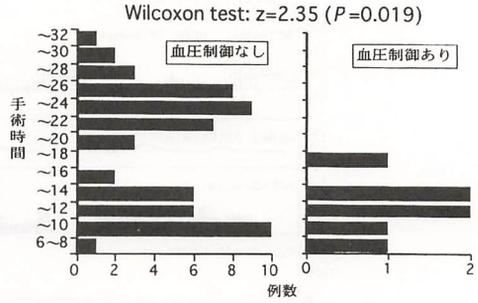


図2 仙骨合併切除例の手術時間

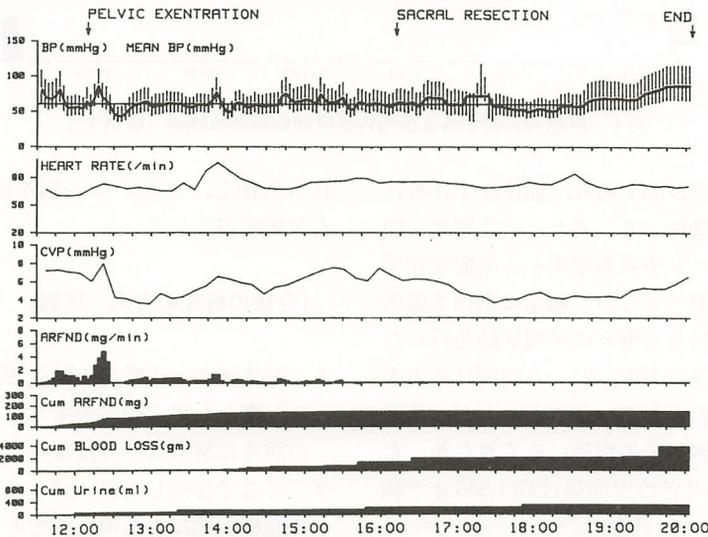


図3 直腸癌局所再発に対する骨盤内臓全摘と仙骨合併切除例の経過 (症例2)

る。図3に代表的症例の経過を図示する。

5時間に及ぶ制御期間中血圧はほぼ目標値の60 mmHgに維持されている。注目すべきことは安定した血圧を維持するためには、システムは降圧剤(ARFND)を一定速度で注入せず、血圧に応じて頻回に増減している。また後期には注入を減量ないし中止しても、低血圧は保たれている。こうしたこまめな調

節を医師が行うことは困難と思われる。ただこれだけのきめ細かい注入速度の増減が必要不可欠であったかは今後の検討課題でもある。というのは学外で医師が降圧剤を一定速度で注入した場合にも比較的安定した低血圧が得られた例もあるからである。もう一つの血圧制御の特徴として尿量の減少がみられる。ただショックと異なる点は、血圧制御の場合は、

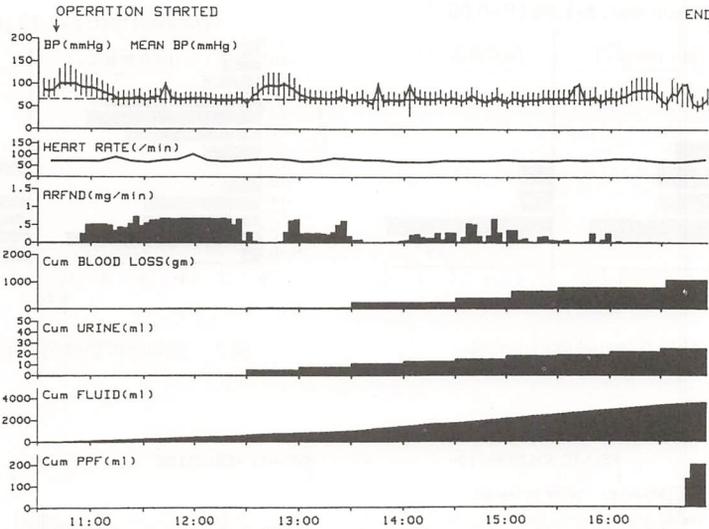


図4 肝転移に対する3箇所肝区域切除例の経過(症例12)

乏尿や無尿は可逆的であり、血圧を上げれば尿量は直ちに増加する。またこの乏尿期も血液のクレアチニンや尿素窒素その他血液化学データは著変を示さない。極端な例は3箇所の肝転移巣に対して別々に区域切除を行った61歳男性である(症例12)、6時間に及ぶ手術中、尿量はわずか20mlであったが、術後経過は順調で腎不全の徴候はみられなかった。ちなみにこの患者の出血量は約1,000gで輸血は不要であった(図4)。

しかし本シリーズの中には降圧剤ではなく、大量出血を十分補正しなかったために低血圧をきたしたと思われる例もある(症例13)。この例では手術後創壊死と一過性の腎不全や黄疸がみられた。当時のシステムでは出血と補液のアンバランスに警告を発するルールが組み込まれていなかった。逆に目標値より血圧が下降した場合に、輸液を増量するロジックがあり、これが乏尿と相まって水分の過剰投与を来した例もある(症例4)。幸いいず

れも恢復し、入院中の一例を除き、他の14人が無事退院している。

[今後の研究の方向、課題]

1. 今後医師と工学者の相互理解と連携をより緊密として、両者のギャップを突く事故の防止に努めなければならない。
2. ここで使用したアルゴリズムは、糖尿病の血糖調節にも応用可能である。われわれは現在豚全摘犬で血糖制御実験を行い、近い将来臨床応用の予定である。本システムの開発を契機として制御工学が薬物の血中濃度や体温、麻酔深度の調節など広い医学分野での応用が促進されるものと期待される。
3. 本血圧制御システムは現在京大病院で、しかも開発者の下でしか使えない。そこで広く一般病院の使用に供するためには、もっとコンパクトかつ安価で、医師でも容

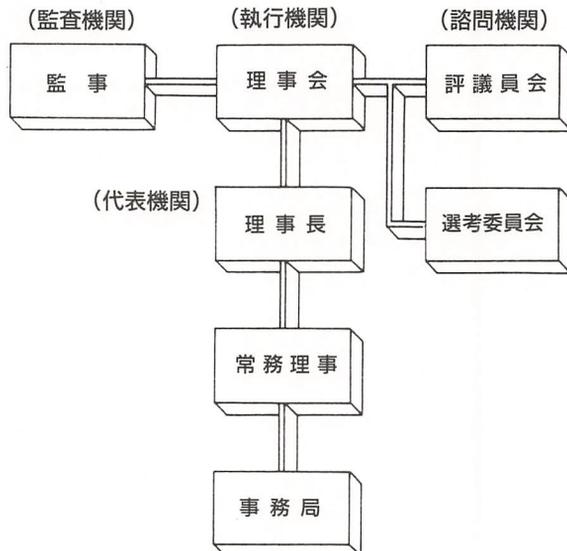
易に使用できる装置の開発が必要である。  
現在本学工学部自動制御分野が企業と共同  
してその開発を計画している。

[成果の発表, 論文等]

- 1) 坂本忠弘, 古谷栄光, 小野寺 久 他: 自動血圧制御システムの臨床応用. 第34大会回日本人工臓器学会, 東京, 1996年10月3日.
- 2) 小野寺 久, 前谷俊三, 森本秀樹 他: 直腸癌局所再発に対する骨盤内臓全摘-安全性と術後 QOL 改善への試み, 第34会日本癌治療学会総会, 東京, 1997年11月3日.
- 3) 坂本忠弘, 古谷栄光, 小野寺 久 他: 低血圧麻酔への自動血圧制御システムの臨床応用, 日本医工学治療学会第9会学術大会, 広島, 1997年2月22日.
- 4) 小野寺 久, 前谷俊三, 韓 秀弦 他: 再発直腸癌に対する骨盤内臓全摘の適応と治療成績, 第97会日本外科学会総会, 京都, 1997年4月9日.
- 5) 坂本忠弘, 古谷栄光, 小野寺 久 他: 自動血圧制御システムの臨床応用, 人工臓器 26: 184-189, 1997.
- 6) 前谷俊三, 小野寺 久, 西川俊邦 他: 骨盤内臓全摘出の適応と成績, 外科 59: 559-569, 1997.
- 7) 小野寺 久, 前谷俊三, 池内大介 他: 直腸癌局所局所再発に対する仙骨合併骨盤内臓全摘出術-自動血圧制御による安全性の向上と非失禁型尿路再建術-第50回日本消化器外科学会総会, 横浜, 1997年7月17日.
- 8) Maetani S, Onodera H, Nishikawa T, et al: The significance of local recurrence of rectal cancer as a local or disseminated disease. Brit J Surg 1997 (in press)

# 財団の概要

- 名称 財団法人 立石科学技術振興財団  
(英文名 Tateisi Science and Technology Foundation)
- 所在地 京都市右京区花園土堂町10番地  
TEL.(075)461-4771 FAX.(075)465-3697
- 理事長 立石 信雄
- 設立年月日 1990年3月6日
- 目的 エレクトロニクス及び情報工学の分野で、人間と機械の調和を促進する研究及び国際交流に対し助成を行い、技術革新と人間重視の両面から真に最適な社会環境の実現に寄与することを目的とする。
- 事業内容
  1. エレクトロニクス及び情報工学の分野で、人間と機械の調和を促進するための研究に対する助成。  
(研究費助成20件程度/年、250万円以下/件)
  2. エレクトロニクス及び情報工学の分野で、人間と機械の調和を促進するための国際交流に対する助成。  
(研究者の海外派遣及び外国人研究者の招聘、助成10件程度/年、50万円以下/件)
  3. エレクトロニクス及び情報工学の分野で、人間と機械の調和を促進するための研究成果の普及。  
(助成した研究結果を年間1回発行)
  4. その他、本財団の目的を達成するために必要な事業。
- 基本財産 現金10億円 株式1億3,125万円(額面)
- 財団の組織



# 役員・評議員

(1997-4-1 現在)

## 役員

理事長	立石 信雄	オムロン株式会社 取締役会長
常務理事	小野田 裕一	オムロン株式会社 参与
理事	伊夫伎 一雄	株式会社東京三菱銀行 相談役
理事	大澤 弘之	宇宙開発事業団 顧問・元科学技術庁事務次官
理事	大野 豊	京都大学名誉教授・立命館大学客員教授
理事	尾佐竹 洵	東京大学名誉教授
理事	熊谷 信昭	科学技術会議議員・大阪大学名誉教授
理事	黒田 眞	東京中小企業投資育成株式会社 取締役副社長 元通商産業審議官
理事	巽 外夫	株式会社住友銀行 取締役会長
理事	立石 義雄	オムロン株式会社 取締役社長
理事	三笠 薫	オムロン株式会社 顧問
理事	諸井 虔	秩父小野田株式会社 取締役相談役
監事	辻 敢	公認会計士
監事	戸 倉 晴美	弁護士

## 評議員

評議員	相 磯 秀夫	慶応義塾大学大学院 政策・メディア研究科委員長
評議員	朝 倉 利光	北海学園大学工学部 教授・北海道大学名誉教授
評議員	雨 村 博光	理化学研究所 副理事長 元科学技術庁長官官房審議官
評議員	荒 卷 禎一	京都府 知事
評議員	岩 井 壮介	名城大学理工学部 教授・京都大学名誉教授
評議員	岩 田 一明	高知工業高等専門学校長 大阪大学名誉教授・神戸大学名誉教授
評議員	立 石 峯子	
評議員	寺 野 寿郎	東京工業大学名誉教授
評議員	長谷川 利治	京都大学大学院工学研究科 教授
評議員	秦 野 勲	オムロン株式会社 取締役副社長
評議員	葉 原 耕平	株式会社国際電気通信基礎技術研究所 顧問 NTT エレクトロニクステクノロジー株式会社 顧問
評議員	洲 一 博	慶応義塾大学理工学部 教授

## 第8回（平成9年度）研究助成課題一覧

[研究助成]

(五十音順)

研究代表者氏名・所属機関・職名	研究課題名
内村圭一 熊本大学工学部 数値情報システム工学科・助教授	Dial-a-Ride方式における乗客輸送経路の最適化に関する研究
内山勝 東北大学工学部機械航空工学科・教授	ソフトテレロボティクスの研究
金子豊久 豊橋技術科学大学情報工学系・教授	仮想現実感環境に適用する柔らかい物体のモデルの構築
黒澤実 東京大学工学系研究科 精密機械工学専攻・助教授	弾性表面波霧化器に関する研究
小池卓二 東北大学工学部機械電子工学科・助手	最適鼓室形成法の確立一有限要素法による解析一
小寺宏曄 千葉大学工学部画像工学科・教授	色彩画像の快適色変換に関する研究
杉江俊治 京都大学大学院工学研究科 応用システム科学専攻・助教授	非線形自由度を活用した制御システムの高機能化
杉本重雄 図書館情報大学図書館情報学部・助教授	多国語文書閲読ツールを利用したデジタル図書館のための情報アクセス支援環境
武田一哉 名古屋大学大学院工学研究科 電子情報学専攻・助教授	蓄積型情報ネットワークにおけるオーディオ情報のブラウジング環境に関する研究
陳謙 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科・助手	仮想現実感技術を用いた破片からの遺物の復元
寺本孝司 大阪大学大学院工学研究科 電子制御機械工学専攻・助手	大規模リアルタイムプロセスシミュレーションを用いた機械操作技能習熟支援のための拡張現実感システムの開発に関する研究
遠山茂樹 東京農工大学工学部・教授	球面超音波モータを利用した人工義手のためのヒューマンフレンドリーなインターフェースの開発
西藤聖二 山口大学工学部電気電子工学科・講師	脳波の非線形動特性の解析による新しい親和型インターフェイスシステムに関する基礎的研究
野田秀樹 九州工業大学工学部電気工学科・助教授	統計的逐次決定法を用いた認識率の設定可能な発声内容独立型話者認識法の開発
畑豊 姫路工業大学工学部情報工学科・助教授	ファジィ論理を用いた医療画像処理システムの開発研究
堀川洋 香川大学教育学部情報科学科・助教授	高次相関に基づく不変特徴を利用した多チャンネル画像および3次元画像におけるパターン認識
松田豊稔 熊本電波工業高等専門学校 情報通信工学科・助教授	眩しさによる誤認識を防ぐ光学フィルタの開発
溝口博 埼玉大学工学部情報システム工学科・助教授	人間共棲機械のための機械表現行動手法の研究
三田勝己 愛知県心身障害者コロニー発達障害研究所 治療学部・部長	人の筋肉を模擬したアクチュエータの開発とリハビリへの応用

研究代表者氏名・所属機関・職名	研究課題名
持田 恭 島根県衛生公害研究所・主任研究員	エレクトロニクス産業に用いられているレアメタル類のヒト培養細胞を用いての毒性の検討
山田 喬彦 立命館大学理工学部情報学科・教授	システムオンチップ化による極小規模のインターネット用ノードシステム

研究助成総額 4,922 万円

[国際交流助成]

(五十音順)

受領者氏名・所属機関名・職名	派遣先研究集会 / 主催者名
新井 宏之 横浜国立大学工学部電子情報工学科・助教授	1997 年 IEEE アンテナ伝播国際シンポジウム及び国際電波連合科学会議 主催: IEEE アンテナ伝播部門
内野 英治 九州工業大学情報工学部 制御システム工学科・助教授	知的技術とソフトコンピューティングに関する第 5 回ヨーロッパ会議 主催: ヨーロッパ知的技術研究所 (ELITE)
郭 書祥 三重大学工学部機械工学科・助手	1997 年 IEEE ロボティクスとオートメーションカンファレンス 主催: IEEE ロボティクスとオートメーション学会
掛谷 秀昭 理化学研究所抗生物質研究室・研究員	1997 年度アメリカ生化学会・分子生物学会合同国際会議 主催: アメリカ生化学会・アメリカ分子生物学会
北 栄輔 名古屋大学工学研究科 機械情報システム工学専攻・講師	コンピュータを用いた構造物の最適設計に関する第 5 回国際会議 主催: エセックス工科大学・英国、ラ・カルナ大学・スペイン、ローマ大学・イタリア
佐々木 高義 科学技術庁無機材料研究所 第 8 研究グループ・主任研究官	第 9 回インターカレーション化合物に関する国際会議 主催: ポールパスカル研究センター・ボルドー固体化学研究所
渋谷 雄 京都工芸繊維大学工芸学部・講師	第 7 回人間-コンピュータ・インタラクションに関する国際会議 主催: パデュー大学、HCI インターナショナル 97
鍾 寧 山口大学工学部 知能情報システム工学科・助教授	第 10 回フロリダ人工知能国際会議 主催: フロリダ人工知能研究学会
濱口 泰正 科学技術庁航空宇宙技術研究所 機体部・主任研究官	第 11 回国際複合材料会議 主催: オーストラリア複合材料構造学会
村田 忠彦 足利工業大学工学部経営工学科・助手	第 6 回 IEEE ファジィシステム国際会議 主催: アメリカ電気電子学会 (IEEE)
荒井 栄司 大阪大学工学部・教授	CIRP (国際加工者会議) MS セミナー (生産システム) 国際会議に、スロベニア国リュブリアナ大学 J. ベクレニク教授を招聘
古田 勝久 東京工業大学情報理工学研究科 情報環境学専攻・教授	第 11 回システム同定に関する国際自動制御連盟学術会議 (IFAC) に、スウェーデンランド工科大学カール J. オストロム教授を招聘
森本 政之 神戸大学工学部・教授	1997 年音響学の研究と教育のためのシミュレーションおよび可視化・可聴化に関する国際シンポジウム (ASVA 97) に、ドイツ連邦共和国ルール大学イエンス P. ブラウエルト教授を招聘

国際交流助成総額 577 万円  
平成 9 年度助成総額 5,499 万円

# 財団法人 立石科学技術振興財団

## 平成 10 年度 助成候補募集案内

財団法人立石科学技術振興財団においては、下記の通り平成 10 年度の研究助成及び国際交流助成の候補募集を行っておりますので、お知らせいたします。

記

### (1) 助成対象

助成金の交付対象は、次に掲げるものとします。

#### ① 研究助成

エレクトロニクス及び情報工学の分野で、人間と機械の調和を促進するための研究活動

#### ② 国際交流助成（派遣と招聘）

エレクトロニクス及び情報工学の分野で、人間と機械の調和を促進するための研究活動を行う研究者の海外派遣または招聘

人間と機械の調和を促進するということは、必ずしも、マンマシーン・インターフェースに関する狭義の科学技術のみを意味するものではなく、上記の範囲で、科学技術を人間にとって最適なものとするための地道な草の根的基礎研究活動も含み、広義でとらえるものとします。

### (2) 金額及び件数

- |                  |                            |
|------------------|----------------------------|
| ① 研究助成金          | 1 件 250 万円以下、20 件程度（5 千万円） |
| ② 国際交流助成金（派遣と招聘） | 1 件 50 万円以下、10 件程度（5 百万円）  |
|                  | 総額 5 千 5 百万円               |

### (3) 応募資格

- ① 研究者であれば、個人、グループを問いません。
- ② 当財団に、成果報告書と収支報告書の提出が可能な方。
- ③ 同一内容で他の財団から既に助成を受けているか、または受ける予定になっている個人またはグループは、ご遠慮下さい。

### (4) 募集期間

平成 9 年 9 月 1 日～平成 9 年 10 月 31 日（郵便局消印有効）

当財団の所定用紙に記入して応募してください。

### (5) 助成金交付の時期

平成 10 年 5 月の予定（選考委員会と理事会で決定後）

### (6) 申請書類請求及び問い合わせ先

〒 616 京都市右京区花園土堂町 10 番地 財団法人 立石科学技術振興財団 事務局  
TEL (075) 461-4771 FAX (075) 465-3697

※申請書類のご請求は、応募種類（研究助成、国際交流助成・派遣、国際交流助成・招聘）のいずれかをををご記入のうえ、ファックスでお願いいたします。

以上

## 編 集 後 記

昨年に引き続き、お陰様で今年も助成研究成果集（第6号）を発行することができました。ご寄稿いただきました岩田評議員様はじめ研究者の皆様、また編集にご協力くださいました関係各位に紙面をお借りして御礼申し上げます。

第6号は主として、当財団が第6回目（平成7年度）及び第7回目（平成8年度）に研究助成いたしました助成課題の中で、研究計画の終了したものを集録しています。

国際交流助成につきましては、本誌発行の目的から巻末の第8回目（平成9年度）助成課題一覧表の中で、派遣、招聘の要点のみをご紹介しますにとどめました。

この第6号から本誌の掲載内容、掲載順を変更いたしまして、巻末の索引は省略させていただきました。本号を含め既刊号の索引は今後別の形での提供をいたします。

本助成研究成果集は、当財団の研究成果普及事業の一環として発行しておりますが、お陰様で本号を含め109件の助成研究成果論文を掲載いたしまして、助成研究者の皆様、国立国会図書館、全国主要大学・研究機関並びに同図書館等約400ヵ所に拝送させていただいております。

本誌は、毎年9月に継続発行してまいりますので、皆様のご意見、ご感想等お待ちしております。

(財)立石科学技術振興財団 事務局

財団法人 立石科学技術振興財団  
Tateisi Science and Technology Foundation  
助成研究成果集 第6号  
平成9年9月(1997)

発行 財団法人 立石科学技術振興財団  
〒616 京都市右京区花園土堂町10 TEL (075) 461-4771  
FAX (075) 465-3697

印刷 (株) 中野新文社  
〒604 京都市中京区西新道通松原上ル東側  
TEL (075) 314-6161

(本紙の一部又は全文の掲載を希望される時は、財団と研究代表者の許可を得てください。)