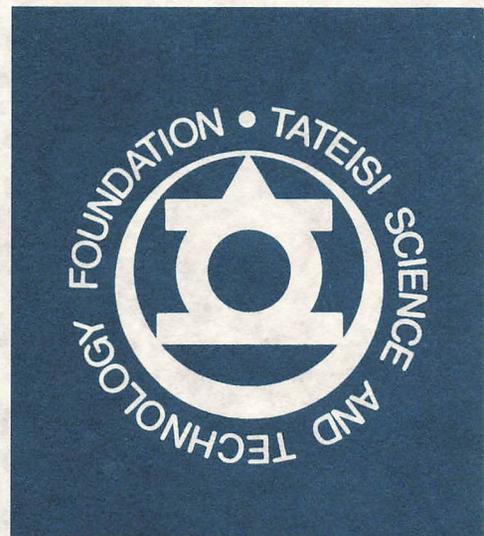


立石科学技術振興財団

助成研究成果集

【第11号】

平成14年(2002)



人間と機械の調和を促進する助成研究成果集

第 11 号

平成 14 年 9 月 (2002)

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醸出資金により「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. 理事長挨拶	2
2. 財団関係者寄稿（諸井 度 理事 太平洋セメント株式会社 相談役）	3
3. 助成研究成果の抄録一覧	5
4. 国際交流報告の抄録一覧（平成 13 年度）	97
5. 平成 13 年度活動報告（業務日程・会計）	103
6. 平成 14 年度助成報告	104
7. 第 13 回助成金贈呈式	105
8. 受領者投稿	106
赤澤堅造 大阪大学大学院 情報科学研究科 バイオ情報工学専攻 教授	106
平井慎一 立命館大学 ロボティクス学科 教授	107
9. 研究室訪問	108
豊橋技術科学大学 情報工学系 中川研究室	108
10. 第 13 回（平成 14 年度）助成課題一覧	110
11. 平成 14 年度研究助成課題の紹介	112
12. 平成 15 年度助成候補募集案内	115
13. 財団の概要	117
14. 役員・評議員	118
編集後記	119

ごあいさつ

このたび、助成研究成果集第11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
術の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13回目の助成金
贈呈式をとり行うことができました。これも日頃
からの皆様のご支援の賜と感謝いたすところでご
ざいます。



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、財団設立の趣意に沿って、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、毎年継続的に実施しております。

第11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。

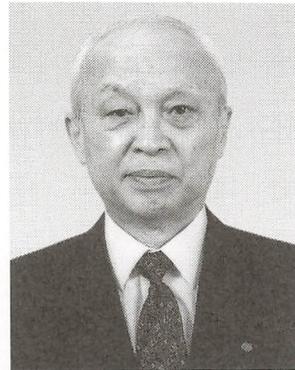
21世紀を迎えた今日、情報化と科学技術の進歩がさらに加速し発展する中で、
忘れてならないのは人間が主人公の社会の回復、すなわち人間と科学技術の高次
元での調和だと考えております。この人間重視の視点に立った豊かで健全な最適
化社会の創造に向けて、私ども財団の助成活動がいささかでも寄与できればと
願っております。

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

脚光を浴びる研究・開発

科学技術の研究・開発は企業にとっても国家にとっても今や最重要事項となってきた。合併して太平洋セメントとなる前の秩父セメントの頃、私も新規事業分野を開拓せねばならぬと考えて、セラミックスやバイオについて研究を進めさせた。しかし10年程かけて結局成果を得ることができなかった。中途半端な及び腰の姿勢で人任せにしていたのでは失敗するのが当たり前と、後で臍を噛んだのである。



アメリカのGEのウェルテ会長の履歴書を読むと、GEは常に成長分野を求め、しかもシェアが1位か2位になる自信がなければ手掛けないとあった。日本では業界のライバル会社が新しいプロジェクトを立ち上げたり、新製品を出したりすると、社内の検討の末お蔵入りしていた案件であっても取り出して、ひとまずスタートさせる。万一相手が成功し自社が手を付けていないと、両者の格差が広がる。もし両者共失敗すればおあいこだという考えであろう。こうして過当競争の挙句誰も利益を得られない。このようなことを繰り返しては企業も国家も成長力は得られない。

それでも高度成長が続けられたのは、輸出産業が海外企業と猛烈な競争を続けて、それぞれ独自の強味を生かして来たからである。

業界1、2位のシェアを維持する強味となると、それが技術力であれ、事業のコンセプトやシステムであれ、販売力であれ半端なものではない。しかもそれを常に研ぎすまし、磨き上げて他社に追いつかれぬようにせねばならぬ。もし他社に抜かれれば潔くその事業を捨てて、次の新しい事業にかかる。

研究開発といっても漫然と自分の好みでやっているでは、結局世の中の役に立たぬ。

脚光を浴びる程、この仕事は厳しいものとなる。しかしこれなしに企業も国家も将来の発展はできないのである。

理事 諸井 虔
(太平洋セメント株式会社 相談役)

研究助成成果の抄録一覧

(年度順五十音順)

- ◆ 単眼ならびに複眼動画をを用いた人体の三次元動作の推定に関する研究 (981012) 8
3-D Human Gesture Estimation using Monocular and Multiclar Image Sequence
島田 伸 敬 大阪大学大学院工学研究科電子制御機械工学専攻 助手

- ◆ メンタルイメージの生成と情報検索の神経機構 (991017) 14
Neural Mechanism of Mental Imagery and Information Retrieval
中 村 清 彦 東京工業大学大学院総合理工学研究科 教授

- ◆ コミュニケーションの観点からみた適応的インタフェース設計と評価 (1001002) 18
Design and Evaluation of Adaptable Interfaces:
From the Perspective of Human-Artifact Communication
植 田 一 博 東京大学大学院情報学環・学際情報学府 助教授

- ◆ 継電器電気接点でのスイッチングアークの分光計測と転移突起に関する研究 (1001005) 22
Spectroscopic Measurements of Switching Arc and Transferred Metal Pip
on Electrical Contacts for Electromagnetic Relays
窪 野 隆 能 静岡大学工学部電気・電子工学科 教授

- ◆ 視覚的注意の影響を考慮した不随意性微小眼球運動モデルと
そのシミュレーション解析 (1001006) 27
A Development of the Miniature-Eye-Movement Model
Accounting for the Influence of Visual Attention
小 濱 剛 愛知県立大学情報科学部 助手

- ◆ 高精細ディスプレイ用超小型フルカラー発光ダイオードの研究 (1011001) 31
Study on Single-chip Full-color Light-emitting Diodes for High-definition Displays
小豆畑 敬 弘前大学理工学部 助手

- ◆ 未知環境下で作業する人間操作型群ロボットシステム (1011002) 35
Human-supervised Multi-agent Robot System in Unknown Environments
太 田 順 東京大学大学院工学系研究科 助教授

- ◆ 脊髄損傷者用歩行補助装具の開発 (1011003) 39
A Gait Orthosis for Paraplegics with a Motor-driven Knee and Hip Joint
太 田 裕 治 お茶の水女子大学生生活科学部 助教授

- ◆ ファジィ論理による近赤外光を用いた脳機能解析支援システムの開発 (1011004) 43
 Fuzzy Logic Aided Human Brain Function Analysis in Near-Infrared Spectroscopy
 小 橋 昌 司 姫路工業大学大学院工学研究科電気系工学専攻 助手
- ◆ ZnMgCdS 系材料による UV-A 直測センサーの開発に関する基礎研究 (1011005) 47
 Basic Research on the Development of UV-A Visible Blind Sensors Using
 ZnMgCdS Based Materials
 小 林 正 和 早稲田大学各務記念材料技術研究所 教授
- ◆ ペット型ロボットがもたらす癒しに関する研究
 —— 心理的・生理的指標による検討 —— (1011006) 51
 Therapeutic effects of a pet-like companion robot :
 The use of psychological and physiological measures
 坂 元 章 お茶の水女子大学大学院人間文化研究科 助教授
- ◆ ER クラッチを用いた柔軟関節ロボットの開発 (1011007) 55
 Development of Flexible Joint Robot Using ER Clutch
 嵯 峨 宣 彦 秋田県立大学システム科学技術学部 助教授
- ◆ 構造型モジュールネットによるネットワーク不正利用検出に関する研究 (1011009) 59
 Studies on the Network Intrusion Detection System base on the Modular Neural Networks
 白 土 浩 琉球大学工学部 助手
- ◆ 視空間の現実感と視覚-運動協応 (1011010) 63
 Reality of Visual Space Following Visuomotor Coordination
 積 山 薫 公立はこだて未来大学システム情報科学部 教授
- ◆ 次世代 TV 電話のための肌の色素成分に基づく顔色合成 (1011011) 67
 Facial Color Synthesis Technique for the Next Generation of TV Phone System
 津 村 徳 道 千葉大学工学部 助教授
- ◆ 21 世紀情報携帯端末ディスプレイの開発 (1011014) 71
 Development of Mobile Information Terminal Display for 21st Century
 服 部 励 治 九州大学大学院システム情報科学研究院 助教授
- ◆ 時空間コヒーレンスゲートによる生体内情報のアダプティブイメージング (1011015) 75
 Adaptive Imaging of Information in Biological Tissues
 Using Spatiotemporal Coherence Gating
 早 崎 芳 夫 徳島大学工学部 講師

- ◆ 錯覚によるテクスチャの誤認知を利用した触覚ディスプレイの研究 (1011017) 79
 Study on Tactile Display Utilizing Erroneous Cognition due to Illusion
 前 野 隆 司 慶應義塾大学理工学部 助教授

- ◆ 遠隔健康管理を支援する情報システムの構築 (1011018) 82
 Developing of Telehealth Care Life Support System
 松 本 勉 熊本電波工業高等専門学校電子制御工学科 助教授

- ◆ フェムト秒2色パルス光を用いた時間分解旋光分散測定法の開発と
 血糖測定への応用 (1011019) 87
 Time-resolved Measurement of Optical Rotatory Dispersion Using Femtosecond
 Two-color Pulse Light and Application to Blood Sugar Test
 安 井 武 史 大阪大学大学院基礎工学研究科 助手

- ◆ 情報機器の超精密組立作業における熟練技術の情報抽出とモデル化 (1011020) 92
 Knowledge Extraction and Task Modeling of Human Skills in
 High-Precision Assembly Tasks for IT Products
 山 本 佳 男 東海大学工学部精密工学科 助教授



単眼ならびに複眼動画像を用いた人体の 三次元動作の推定に関する研究

3-D Human Gesture Estimation using Monocular and Multicular Image Sequence

981012

研究代表者

大阪大学大学院工学研究科 助手
電子制御機械工学専攻

島田 伸 敬

[研究の目的]

近年ヒューマンインターフェイス開発の分野では、憶えにくいボタン操作ではなく、人間のジェスチャを自動認識するシステムへの期待が高まっているが、従来手法はジェスチャの種類が限定されていたり、間違いが多いなど実用的でなかった。本研究は時系列画像から手指を始めとする人体の三次元姿勢を推定し、その動作認識に応用する方法を研究した。

複雑なジェスチャを自動認識したり、動作そのもののデータをサンプリングする場合には、各部の長さや太さ、各関節の角度や向きなど三次元形状を詳細に計測し、モデルと照合する必要がある。一方で限定されたクラスのジェスチャや限られた個数の手話単語を識別する場合には必ずしも関節角度そのものを測定する必要がなく、見え方モデルを保持して照合すればよいが、とくに手話認識の場合は背景が衣服や顔のように複雑な明度パターンとなるので、手領域を切り出すことと認識が密接な関わりを持つようになる。

使用する機器の観点からは大きく分けて、単眼システムと複数のカメラを組み合わせるものに分けられる。前者は単純な分低コストという魅力があるが、単眼では一般に奥行きがわからないので、精密な推定をするには奥行きを曖昧性を解決する枠組が必要となる。後者は得られる情報が多く推定結果の曖昧性が少ないが、複数カメラの配置を精密に測定する必要があった

り、複数の画像情報を組み合わせる方法が複雑になりがちで、実際に動くシステムを作るにはいかに簡単な処理を組み合わせるかという工夫が必要になる。

そこで本研究では精密な推定を行うための理論的基礎研究と、実際に稼働するシステムを構築するという応用研究の2つの観点から、テーマを次のように区分し研究を進めた。

(1) 理論研究

- (a) 一般の関節物体の形と姿勢の両方を精密に推定する手法
- (b) 複雑背景下で手話やジェスチャの識別を行う手法
- (c) 一般の関節物体の形と姿勢、ならびに複数カメラの相対配置を精密に推定する手法

(2) オンラインシステムの開発

- (a) 手指の三次元姿勢を実時間で推定するシステムの研究

以下に各テーマごとの成果について報告する。

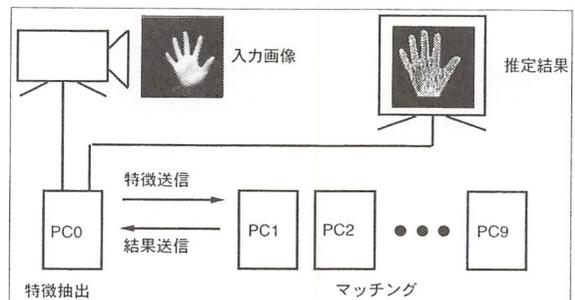


図1 PC クラスタを用いた並列システム

〔研究の内容, 成果〕

1. 手指の三次元姿勢の実時間推定システムの研究

人体のシルエット画像が容易に得られる場合をまず考える。入力画像に対して可能性のあるシルエットを三次元形状モデルから発生させ、入力にマッチする候補を探索する手法は単純で自己隠蔽に強いとされる一方で、多大な計算量を必要とし実時間化に向かないとされてきた。そこで本研究では、この手法を6～20台のPCクラスタ上に実装し、並列探索を実行することによってビデオレートによる推定を実現した。まず背景差分や赤外線カメラを用いて手指輪郭を抽出し、輪郭形状がマッチする候補を見えモデルデータベースから探し、該当するモデルパラメータを推定形状とする。マッチングにおいては、モデルの関節パラメータのサンプリング間隔を細かくすると推定精度がよくなる反面、データベースが大きくなると同時によく似た見えモデルが増え、検索に時間がかかる。そこで、

- ① データベース中の関節角度のサンプリング間隔を比較的大きくとする
- ② 回転, 平行移動, スケールの変化を正規化して登録する

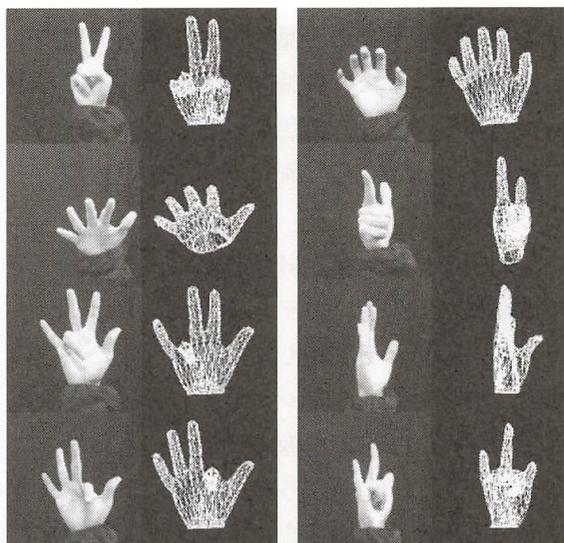


図2 実時間手指姿勢推定システムの処理結果

- ③ 指先など大まかな特徴でまず照合の対象を絞る
 - ④ 前時刻の推定結果から短時間に遷移できる形状のみを照合対象とする
 - ⑤ 指の開き具合いや見る方向の微小なずれによって生じる輪郭特徴パターンの変化を許容する輪郭照合を行う
- 効率的な推定アルゴリズムを考案した。また、
- ⑥ 各時刻で上位複数の候補を保存し、ビーム探索法によって追跡を行う
- ことで、実時間性を失わないロバストな追跡と形状推定を実現した。

以上のアルゴリズムを、ハイエンド PC に大容量メインメモリを搭載し相互に Gbit 高速 LAN で接続した PC クラスタシステム上に実装した。システムマスタ PC に画像処理ボードとディスプレイを接続し、画像入力、特徴抽出、結果表示といった低レベル画像処理を担当させる。探索マネージャ PC は前時刻の推定結果をもとに次時刻の探索範囲を設定し、それを残りの並列探索用 PC 台数分で分割してそれぞれ通知する。探索マネージャ PC と探索用 PC はオンメモリ上にすべてのデータベース内容をロードし、入力特徴にマッチする候補を並列に探索し、担当探索範囲にある姿勢候補の順位付け結果を探索マネージャ PC に通知する。探索マ

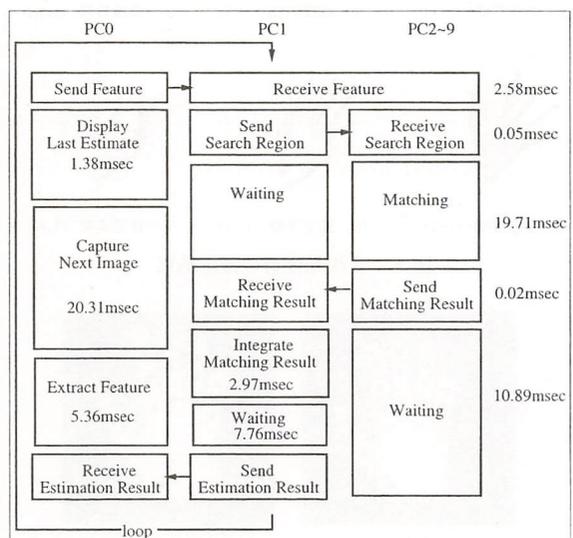


図3 タイムチャート

ネージャ PC は集まった探索結果から決められた上位いくつかの候補を保存し、結果をシステムマスタ PC に送る。以上のシステムにより、約 16 万通りの手指姿勢をビデオレート (30 fps) で推定するシステムを構築することができた。

2. 単眼による一般関節物体の形状と姿勢の精密推定

前節の姿勢推定法で用いる関節物体の三次元形状モデルは実際の人体をレーザレンジファインダで取り込んだものをもとにしているが、各パーツの形状や関節の位置が固定のジェネリックなものであり、実際のユーザの手とは完全に一致しない。そのため、データベース中の手形状輪郭も実際の入力画像とはそもそも完全に一致しないので、姿勢 (関節角度) の推定精度は一定以上には向上しない。

しかし、推定時には次々と画像が入力されていくので、推定中に各部の寸法が変化しないという仮定を用いれば、姿勢を推定しながらオンラインでモデル形状を詳細化してユーザにあわせていくことを考えた。三次元形状を測定する

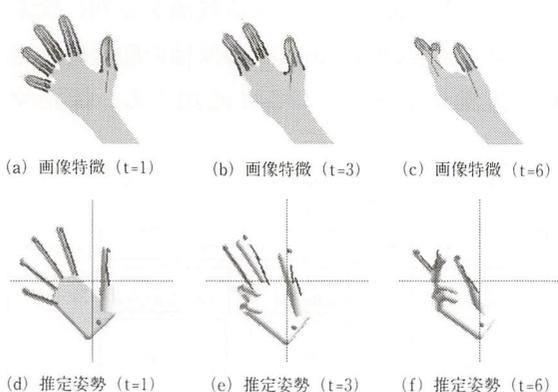


図4 3次元姿勢の推定結果

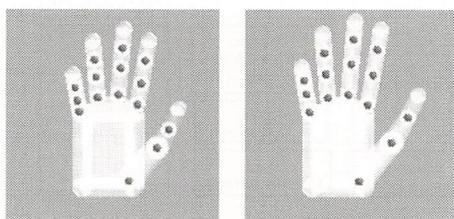


図5 手指形状モデルの詳細化結果

には一般に2つ以上の方向から見た画像が必要とされるが、本研究ではこれを1つのカメラで行うことを検討した。物体の形状と姿勢がまったく変化しなければ1つのカメラでも物体を回転して見る方向を変えながら画像を入力すれば形状測定が可能であるが、関節物体は関節が動くため、毎時刻異なる姿勢の画像が入力される。この場合でも、

- ① 関節の動きの早さに上限がある (動きの連続性)
- ② 各部の寸法 (長さ、太さなど) が変化しない (部分剛体性)
- ③ 関節の可動範囲、ならびに各関節どうしの相関が既知
- ④ 各部の寸法の上限と下限、ならびに各部の寸法どうしの相関が既知

という条件が仮定できる場合には、単眼視動画像からでも関節物体の形状を詳細化できることがわかった。以上4つの条件を形状と姿勢のパラメータ空間における不等式制約として記述し、制約と画像から得られる観測値 (誤差を含む) の両方を満足するパラメータを探す。この計算は多次元空間では極めて大きな計算量を必要とするため、多次元楕円体と平行超平面の組で近似的に記述することにより、オフラインではあるが現実的な計算量で計算を行うことができた。

3. 複雑背景下での手話やジェスチャの識別

一般の背景下で物体輪郭を画像から正確に得るのは難しい。そこで色や動き複数カメラからの画像といった多様な画像情報を推定に用いることを考えた。

単眼視では奥行きが計測できず、姿勢推定が不確かになるので、ステレオカメラを用い、多方向からの見えを利用して推定を行った。この場合、あらかじめステレオカメラの配置を固定しておけば、左右の画像ペアをデータベースに保存し、指などの重なりが少ない、より信頼性の高いと思われる画像をマッチングに用いることによって間違いの少ない姿勢推定を実現した。

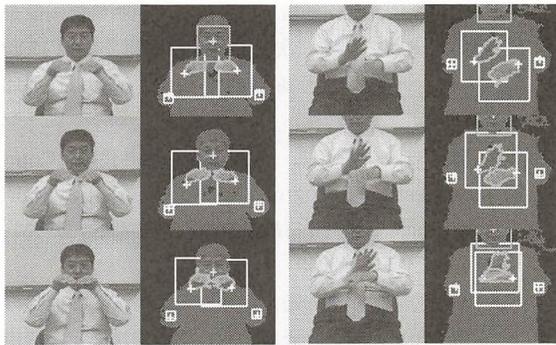


(a) 入力動画像：日本語の“210”を意味する手話単語



(b) マッチング結果：遷移ネットに学習されていたシーケンスを表示

図6 遷移ネットワークによるジェスチャ認識



(a) 顔と重なる場合

(b) 両手が重なる場合

図7 HMMに基づく手話単語の認識システム
(特徴の切り出しと追跡の様子)

また、手話認識への応用を考えると、顔や服と重なった場合や背景が複雑な場合に対応する必要があるが、そのような場合に手指輪郭を正確に切り出す手法を確立する必要がある。そこで動的輪郭モデルや手領域の動きや画素パターン、さらにはジェスチャの認識結果をフィードバックするトップダウン予測を用いて手領域の追跡を行った。

つづいて、抽出された手領域から動きベクトルや指の本数、手の大まかな向きといった多様な画像特徴を計算し、関節物体のあらゆる姿勢を推定した。手話の認識などでは、発生するジェスチャの数がかぎられているので、必要な単語をHMMモデルやSwitching Linear Dynamicsモデル、遷移ネットワークなどによって学習し、形状推定ならびに単語の認識を行った。



図8 ジェスチャ予測に基づく複雑背景下における動的輪郭の追跡

4. 複眼による関節物体の姿勢、カメラ配置の推定

前節まで枠組みではカメラの位置やズームがあらかじめわかっている必要があり、移動する人物を回転カメラをもちいて自由に追跡する場合に応用するのが難しい。そこで、各時刻で変化するカメラ関係を人体姿勢とともに同時に推

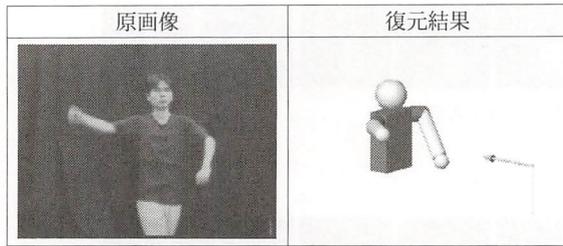


図9 2台の回転カメラの配置と腕姿勢の3次元復元結果

定する手法を研究した。本研究では透視投影変換の幾何解析に基づき、安定なパラメータと不安定なパラメータを分離し、不安定なパラメータの推定に人体形状についての知識を用いることで、計算困難な制約付き形状復元問題を簡単かつ精度を保ったまま解く。

自由に移動する人間をアクティブカメラで追跡しながらその姿勢を求める場合、各時刻でのカメラ間の幾何的關係を表す基本行列を推定する手法（8点アルゴリズム）がこれまでに提案されている。しかし、推定に用いる対応点の誤差が一定値より大きくなると、8点アルゴリズムによる基本行列の推定は極端に不正確になることが知られ、人体のような対象では安定して得られる特徴点が少ないので、従来手法をそのまま適用しても正しくカメラ校正することができず、人体姿勢を復元することもできない。

そこで本研究では、まず8点アルゴリズムで求められた校正パラメータを、推定値の共分散行列を解析することにより正確に推定できた成分とノイズのために不確かな成分にまず分離する。その後、不確かな成分についてのみ、人体の腕の長さが既知という知識を利用して解空間の探索を行う。この手法により計算量のかかる探索作業を必要最小限に抑え、かつノイズにロバストにカメラパラメータならびに人体の姿勢を復元することができた。

[今後の研究の方向、課題]

背景が単純なものでは、ある程度の手指姿勢について実時間で姿勢を推定することができた。また複雑な背景のもとでもジェスチャが既知で

あれば、オフラインであるが領域の切り出しを行いつつ姿勢を推定することができた。今後は任意のジェスチャについて複雑背景からの切り出しと姿勢推定ならびにジェスチャの認識が行えるシステムに拡張していき、手話の自動理解や人間の行動を理解できるインターフェイスシステムを目指したい。

[成果の発表、論文等]

- 1) 木村光佑, 島田伸敬, 白井良明: 単眼輪郭画像を用いた索引による三次元手指姿勢の推定, 第17回ロボット学会学術講演会予稿集, pp. 411-412 (1999)
- 2) 鄭文皓, 久野義徳, 島田伸敬, 白井良明: Complex Gesture Recognition Using Coupled Switching Linear Model, 情報処理学会研究報告 CVIM-124, pp. 1-8 (2000)
- 3) 浜田康志, 島田伸敬, 白井良明: 形状遷移情報の学習を用いた時系列画像からの手指形状推定, 情報処理学会研究報告 CVIM-124, pp. 9-16 (2000)
- 4) 木村光佑, 島田伸敬, 白井良明: CG 検索に基づく単眼シルエット画像を用いた三次元手指姿勢の推定, MIRU 2000 講演論文集, pp. II-145-150 (2000)
- 5) 林健太郎, 久野義徳, 島田伸敬, 白井良明: 動的ロバストキャリブレーションによる人体の姿勢復元, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J 83-D-II, No. 3, pp. 977-987 (2000)
- 6) N. Shimada, K. Kimura, Y. Shirai and Y. Kuno: Hand Posture Estimation by Combining 2-D Appearance-based and 3-D Model-based Approaches, Proc. 15th International Conference on Pattern Recognition, pp. 709-712 (2000)
- 7) N. Shimada, Y. Shirai and Y. Kuno: Model Adaptation and Posture Estimation of Moving Articulated Object Using Monocular Camera, H. H. Nagel and F. J. P. Lopez (Eds.), Articulated Motion and Deformable Objects, pp. 159-172 (2000)
- 8) Y. Hamada, N. Shimada and Y. Shirai: Hand Shape Estimation Using Image Transition Network, Proc. Workshop on Human Motion 2000, pp. 161-166 (2000)
- 9) N. Shimada, K. Kimura and Y. Shirai: Real-time 3-D Hand Posture Estimation based on 2-D Appearance Retrieval Using Monocular

- Camera, Proc. Int. WS. on RATFG-RTS (satellite WS of ICCV 2001), pp. 23–30 (2001)
- 10) M.H. Jeong, Y. Kuno, N. Shimada and Y. Shirai: Recognition of Shape-Changing Hand Gestures Based on Switching Linear Model, Proc. of 11 th Int. Conf. on Image Analysis and Processing, pp. 14–19 (2001)
- 11) 谷端伸彦, 島田伸敬, 白井良明: 手話認識のための手指抽出と単語認識, 電子情報通信学会 福祉情報工学研究会 技術報告, WIT 2001–22, pp. 37–42 (2001)
- 12) M.H. Jeong, Y. Kuno, N. Shimada and Y. Shirai: Complex Gesture Recognition using Coupled Switching Linear Model, Proc. of Asian Conf. on Computer Vision, pp. 132–137 (2002)
- 13) 今井章博, 島田伸敬, 白井良明: 実時間手指姿勢推定のためのロバストな輪郭画像照合, 情報処理学会 CVIM 研究会 研究報告, CVIM-133, pp. 63–70 (2002)
- 14) M.H. Jeong, Y. Kuno, N. Shimada and Y. Shirai: Recognition of Shape-Changing Hand Gestures, IEICE Transactions Division D, 2002 (to appear)
- 15) 浜田康志, 島田伸敬, 白井良明: 遷移ネットワークに基づく多視点画像時系列からの手指形状推定, 電子情報通信学会論文誌 D-II, 2002 (印刷中)
- 16) Y. Hamada, N. Shimada and Y. Shirai: Hand Shape Estimation Using Sequence of Multi-Ocular Images Based on Transition Network, Proc. of Int. Conf on Vision Interface, 2002 (to appear)
- 17) N. Tanibata, N. Shimada and Y. Shirai: Extraction of Hand Features For Recognition of Sign Language Words, Proc. of Int. Conf on Vision Interface, 2002 (to appear)
- 18) 島田伸敬, 今井章博, 白井良明: 単眼画像入力による非接触ビデオレート手指形状推定システム, 第8回画像センシングシンポジウム, 2002 (印刷中)
- 19) M.H. Jeong, Y. Kuno, N. Shimada and Y. Shirai: Two-Hand Gesture Recognition Using Coupled Switching Linear Model, Proc. of Int. Conf. on Pattern Recognition, 2002 (to appear)



メンタルイメージの生成と情報検索の神経機構

Neural Mechanism of Mental Imagery and Information Retrieval

991017

研究代表者

東京工業大学大学院総合理工学研究科 教授

中村清彦

[研究の目的]

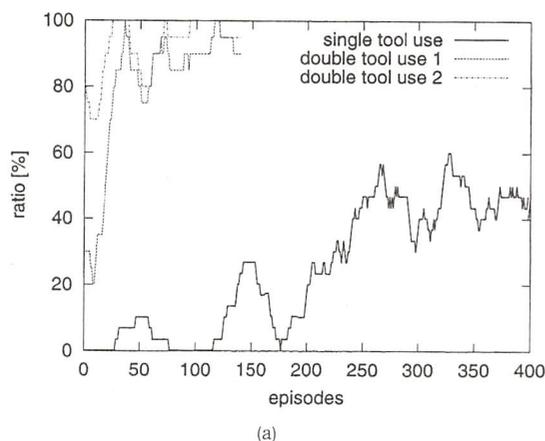
ヒトは外界の対象を必要に応じて種々のイメージとして捉え、柔軟な思考を行っている。このイメージ操作の機構が解明できれば、ヒトと同様の柔軟な思考を行う計算機構の設計が可能となる。本研究は、サルが道具の使用を学習する過程でボディイメージおよび餌のイメージを操作する過程を強化学習理論に基づいてモデル化し、道具使用中のイメージ操作の脳内神経機構を明らかにすることを目的とする。

[研究の内容、成果]

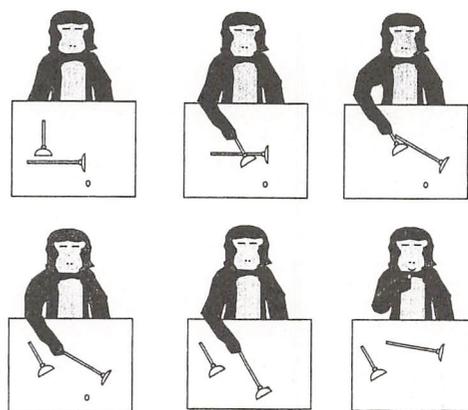
入来ら(1996)は、サルを訓練すると熊手を使って遠くの餌を取れること、およびその時に腕の身体イメージが熊手の先端まで伸びることを示唆する神経活動を報告した(図1a実線)。

さらに日原ら(2001)は、熊手を用いて餌を取ることを学習したサルが、より遠くの餌を取るために長い熊手を短い熊手で取ることを示した(図1a破線)。すなわち、短い熊手で餌を取る学習行動を、短い熊手で長い熊手を取る行動に汎化させて、長い熊手を手元に引き寄せたのである。そして長い熊手に持ち換えてより遠くの餌を取ったのである(図1b)。

本研究は、この2段階の熊手使用を身体イメージの拡張に加えて餌のイメージの熊手への拡張が生じたと仮定してサルの行動過程を強化学習理論に基づきモデル化した。すなわち、サルの脳内に熊手の報酬期待値を表わす関数があると仮定し、この関数値を計算する「道具評価系」をActor-Criticモデルに新しく導入することで一つの道具使用の学習結果を他の場合へ汎化できる行動過程を説明した(図2)。



(a)



(b)

図1 (a)サルによる熊手使用の学習曲線。横軸：試行回数，縦軸：該当する試行から30試行間に熊手で餌が取れた試行の割合。(b)2本の熊手で餌を取る行動。

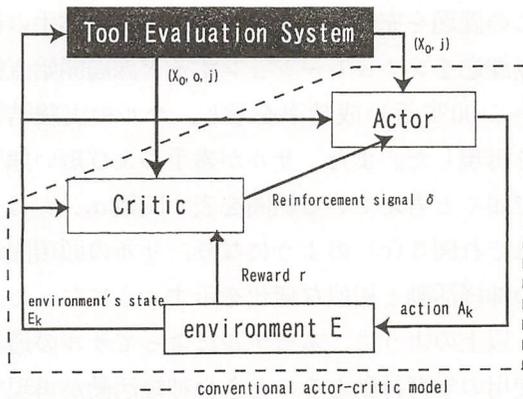


図2 モデルの構成

1. モデル

本研究では環境を以下に示す有限オートマトン E を用いて表現した。

$$E = (E_K, E_S, E_d, E_q, E_F)$$

ここで E_K, E_S, E_d, E_q, E_F は、それぞれ環境の状態、入力アルファベット、遷移関数、初期状態、終了状態を意味している。

E_K は x_f, x_s, x_l の3つの変数で記述され、それぞれ餌、短い熊手、長い熊手の位置をサルを原点として示す。

$E_S = \{A_k\}$ はサルから環境への行動入力で、 A_k は例えば「手が届く物体のうち最も価値の高いものを握る」「手中の熊手で届く物体のうち最も価値の高いものを取る」などである。 E_d はサルの行動によって生じる環境の状態 E_K の推移を示す。 E_q は課題開始時の環境状態で、短い熊手1本で餌をとる課題、長い熊手1本で餌を取る課題、2本の熊手で取る課題の3つで異なる。終了状態 E_F は、餌を手にとった状態、サルが課題を諦めた状態と行動回数がある閾値を越えた状態とした。

道具評価システムは、環境から x_f, x_s, x_l の入力を受け、餌、短い熊手、長い熊手の価値 v_f, v_s, v_l を算出する。これらの価値を基に後述する目標物 o (これは餌 f , 短い熊手 s , または長い熊手 l) とその位置 X_o を Actor-Critic 部へ出力する。道具の価値はその道具が餌に届くか否かで決定される。道具の届く範囲を表現する関数 $\alpha_n(x), \alpha_s(x), \alpha_l(x)$ を導入した。これ

らはそれぞれ、手、短い熊手、長い熊手に関して、サルが届くと考えている範囲を符号化した関数で0から1までの値を取り、位置 x にある物体を取れるとサルが判断した確信度を示す。

この関数の更新則を示す。手に持っている道具 j を用いて位置 y においてある物体を引き寄せた場合に限り、 y からサル自身までの関数値をサルは β_1 だけ上昇させるとする。

この関数を用いて、サルは各物体の価値を以下の式から決めるとする。

$$v_f = r_f$$

$$v_s = \gamma_1 \max \{f_s(x_f, v_f), f_s(x_l, v_l)\}$$

$$v_l = \gamma_1 \max \{f_l(x_f, v_f), f_l(x_s, v_s)\}$$

$$f_s(x, v) = \alpha_s(x)v$$

$$f_l(x, v) = \alpha_l(x)v$$

$$f_n(x, v) = \alpha_n(x)v$$

ここで、 r_f は餌の報酬量、 γ_1 は0～1までの値を取る割引率である。

これらの道具の評価値を基に、現在手に持っている道具 j で取るべき物体 o とその位置 x_o 、及びその価値 v_o を以下の式で求める。

$$(x_o, v_o) = f_j^{-1}(\max \{f_j(x_f, v_f), f_j(x_s, v_s), f_j(x_l, v_l)\})$$

位置 x_o は手や熊手の長さを基に「手の届く範囲」「短い熊手の届く範囲」等の6つの領域に分類できる。 x_o が含まれる領域の番号 X_o と o, j を Actor-Critic 部へ出力する。

Actor-Critic 部の Critic 部は TD 誤差を計算することにより、Actor と Critic 自身に環境を学習させるシステムである。道具評価システムからの入力 X_o, o, j と環境からの報酬量 r を入力として受け取り、状態評価関数 $V(X_o, o, j)$ をその TD 誤差 δ を次式で計算して学習する。

$$\delta = r + \gamma_2 V(X'_o, o', j') - V(X_o, o, j)$$

$$V(X_o, o, j) < -V(X_o, o, j) + \beta_2 \delta$$

ここで X'_o, o', j' は次時刻での道具評価システムからの入力で、 γ_2, β_2 は0から1の定数である。

Actor 部は環境に対して行動 A_k を出力する

システムである。道具評価システムから目標物座標 X_o 、環境から現在手にしている道具 j 、Critic 部から TD 誤差 δ の 3 つの値を入力として受ける。Actor 部はこれらから行動 A_k の優先度を定める関数 $a_k(X_o, j)$ をもっている。これを用いて行動 A_k を出力する確率 $\pi(X_o, j, A_k)$ を計算し A_k をこの確率で環境に出力する。

$$\pi(X_o, j, A_k) = \exp(\lambda a_k(X_o, j)) / \sum_n \exp(\lambda a_n(X_o, j))$$

ここで λ は正の定数である。

また $a_k(X_o, j)$ は TD 誤差を用いて次式で更新される

$$a_k(X_o, j) < -a_k(X_o, j) + \beta_2 \delta。$$

2. シミュレーション結果

本モデルを用いて 1 本の熊手および 2 本の熊手を用いたサル学習過程を計算機でシミュレーションした結果を図 3 に示す。

1 本の熊手を用いた課題の成功率は、サルで

の実験と同様に、試行数と共に上昇していく。この課題を充分学習させた後に 2 本の熊手の行動課題をシミュレーションすると課題開始直後から 90% 近い成功率を示し、サルの実験結果を再現した。また、サルが素手および短い熊手で届くと考えている範囲を表す関数 α_n 、 α_s はそれぞれ図 3 (c) のようになり、サルの頭頂間溝の神経活動と相似な変化を示すようになった。

以上のように、本モデルによってサルの道具使用の学習行動とそのときの神経活動が再現できたことは本モデルで導入した道具評価システムが脳内に存在することを示唆する。

3. 考 察

我々は道具の使用に充分習熟するとその道具が身体と一体化したようなイメージ（内観）をもつ。このことを本モデルでは道具の届く範囲を表す関数 α_s 、 α_l の学習として記述した。また、餌などの目標物が熊手などの道具で取れる位置

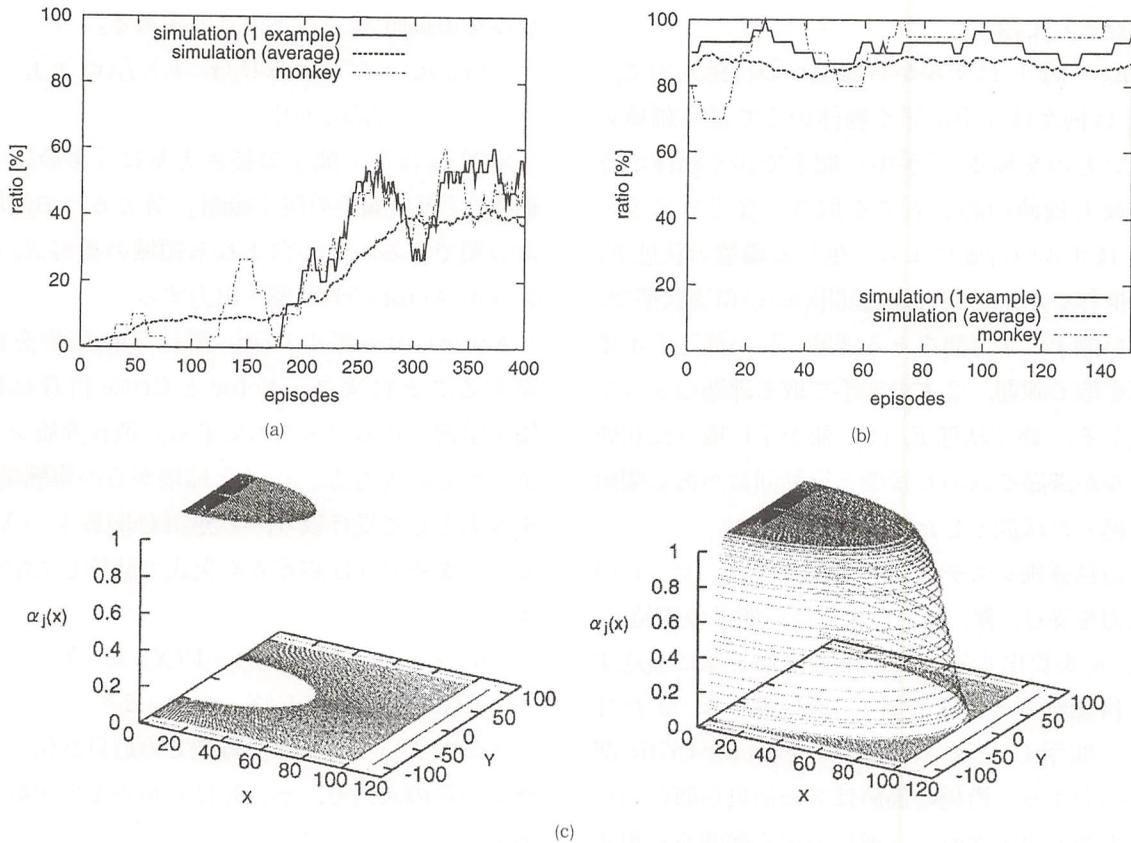


図 3 シミュレーション結果。(a) 1 本の熊手の課題の成功率。(b) 2 本の熊手の課題の成功率。(c) 左図は関数 α_n ($j=n$)、右図は関数 α_s ($j=s$)

にあるとその道具は餌と同じ範疇（イメージ）として認識される。このことを熊手の価値関数 v_s , v_l としてモデル化した。関数 α_s , α_l については頭頂間溝の神経活動がその存在を示唆している。価値関数 v_s , v_l が脳内で計算されていることの検証は今後の課題である。

[今後の研究の方向, 課題]

今後の課題は、まず、熊手の価値関数 v_s , v_l の脳内での存在を検証する実験を考案し道具使用中のサルの脳神経活動を予測する。次に、この実験を実施し単一神経細胞活動を計測して熊手

の価値関数に対応した活動が存在するかを検証することである。

[成果の発表, 論文等]

- 1) Toshisada Mariyama, Sayaka Hihara, Hidetoshi Ishibashi, Atsushi Iriki, and Kiyohiko Nakamura: A reinforcement learning model with tool-evaluation for macaque monkey tool-use, *Neuroscience Research*, Supplement 25, S 200 (2001)
- 2) 毬山利貞, 日原さやか, 石橋英俊, 入来篤史, 中村清彦: サルの道具使用行動獲得の強化学習モデル, 電子情報通信学会技術研究報告, NC 2001-101, pp. 67-174 (2002)

コミュニケーションの観点からみた 適応的インタフェース設計と評価

Design and Evaluation of Adaptable Interfaces :
From the Perspective of Human-Artifact Communication

1001002

研究代表者 東京大学大学院情報学環・学際情報学府 助教授 植田 一 博
共同研究者 青山学院大学文学部 教授 鈴木 宏 昭

[研究の目的]

1990年以降、コンピュータをはじめとする各種の情報機器が爆発的な勢いで普及しているが、同時に、インタフェースのユーザビリティに関する様々な問題点も指摘されている。このような問題点に対処すべく、アイコンなどの様々な工夫や適応的インタフェースが数多く提案されてきた。しかしながら、それらの試みの多くは成功しているとは言いにくい。その原因は様々考えられようが、その中の一つとして、ユーザとインタフェース（あるいはその背後にいる設計者）とのコミュニケーションの阻害があると我々は考えた。すなわち、「インタフェースは異文化コミュニケーションの場」（佐伯，1992）であるにも関わらず、インタフェース設計者の文化では当然のこととされる事柄が一部の初心者ユーザには理解されず、それが両者のコミュニケーション上の障害となっている、と考えられる。それでは、このようなコミュニケーション上の障害をもたらすインタフェース側の要因とは何であるか。本研究では、ユーザの課題分割（鈴木・植田・堤，1998）に焦点を当ててインタフェースの問題点を指摘し、さらにその改善方法を提示することが目的である。

[研究の内容, 成果]

我々は既に先行研究において、一部の初心者が機械操作に困難を覚える理由として、機械操作における課題分割プランの欠如というアイデアを提出し、実験的に検証している（鈴木・植田・堤，1998）。ここで課題分割とは、達成したい事柄をより単純な課題へと分割するということを繰り返し、最終的には即座に実行可能な操作（機能）のレベルまで再帰的に分割していくことを意味する。つまり、機械操作に困難を覚える一部の初心者には、この課題分割プランが欠如している（あるいは意識的には実行不可能な）ため、機械操作を苦手としているのである。

インタフェースによるユーザの課題分割支援の方法は、原理的にいくつか考えられるが、我々が実際に採用したのは全機能の階層構造の提示（植田・遠藤・鈴木・堤，2002）である。この方法は、装置で実現されている機能のすべてをその機能階層まで含めて表示するという極めてナイーブな方法である。この方法は次のような意味を持つと考えられる。

一般に初心者ユーザのつまずきは、（複雑な）課題が順次分割されていくことが理解できず、問題空間中で「迷子」になることにより引き起こされる。つまり、装置からの指示によるサブ

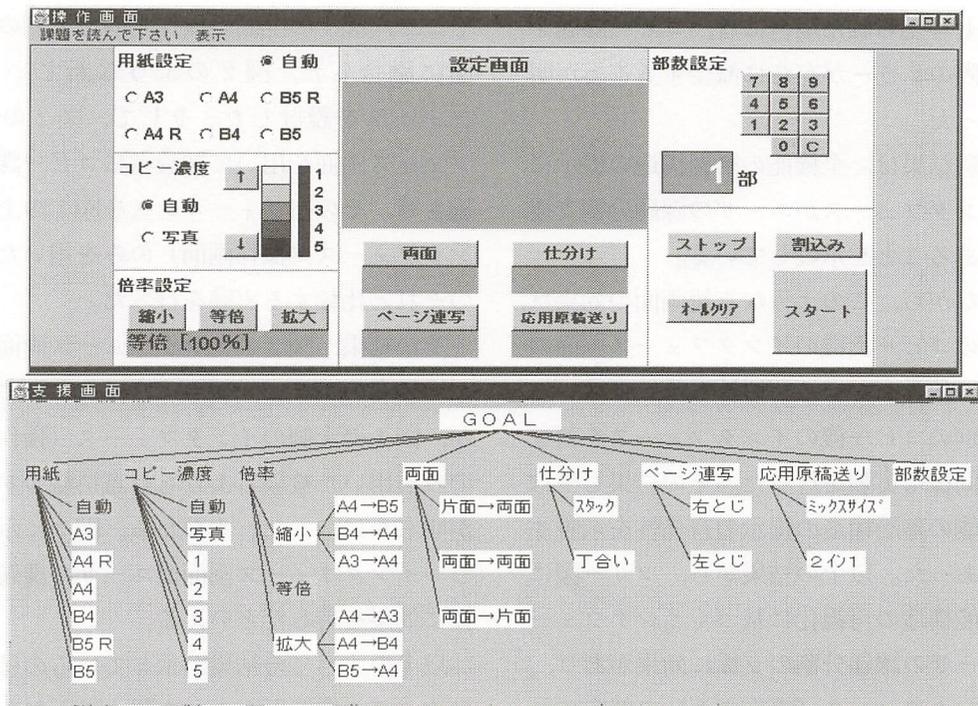


図1

課題と自らのゴールとの関連が見えず、指示されるサブ課題の意味が理解できないため、一見ランダムとも思えるような操作が出現するのである。装置のもつすべての機能の階層関係を提示することは、装置がどのような機能の構造をもつのかを理解する助けとなるだけでなく、自らの操作が課題のゴールの中でもつ意味を理解する助けともなる。こうした意味で、全機能の階層構造の提示は、初心者ユーザの課題分割を支援し、操作パフォーマンスを向上させると考えられる。

実際には、図1の上側に示すような、市販のあるコピー機のインタフェース画面（以下、操作画面）をほぼそのままコンピュータ上に移植し、コピー機と同様な操作ができるように作成した。この操作画面は通常のコピーの実機とほぼ同じものなので、これだけを提示したのではユーザの課題分割を促す効果はない。そこで、上述した全機能の階層構造の提示という考え方をを用いて、コピーの全機能構造をツリー図で表示することとし、この操作画面に対して、図1の下側に示すようなインタフェースの画面（以下、支援画面）を作成した。この支援画面は、

上側の操作画面で実現されている合計12のコマンド群がいかなる構造をもっているのかを、階層的なツリー図を用いて表示した極めてシンプルなものである。上側の操作画面と下側の画面とは連動している。従って、下側の画面で機能の全体構造を見て、設定すべき複雑なコピー課題を単純なサブ課題へと分割しながら、上側の操作画面上の対応するボタンを押すことで、ユーザは複雑なコピー課題のサブ課題への課題分割を自然と実施することになると期待される。

ここで、図1下側の画面のようなシンプルな支援画面で果たして本当にユーザの課題分割が促進され、コピー操作のパフォーマンスが向上するのかがポイントになる。そこで実験では、操作画面（図1の上側）のみを使用して、ある程度複雑なコピーの課題（具体的には、サブ課題を3つ含むコピー課題）6題を実行する被験者群と、操作画面に加えて支援画面（図1の下側）も見ながら同じコピーの課題を実行する被験者群をパフォーマンスの点で比較した。なお、アンケートと簡単なインタフェース操作のスクリーニングテストに基づいて、機械操作が苦手な大学生を被験者として選び出した。その結果、

支援画面も与えられた場合には、コピー課題を実行する際のエラーが有意に減少することが明らかになった。

この実験結果は、全機能の階層構造の提示に基づくインタフェースがユーザの課題分割支援に効果があることを示唆している。

しかしながら、このような支援画面の効果は、もともとのコピー実機のインタフェース画面のデザインに依存している可能性もなくはない。そこで、別のコピー機のインタフェースを対象として、同様な実験を行った。その結果もやはり、全機能の階層構造の提示の有効性を示唆するものであった。以上の結果から、ツリー図による全機能構造の可視化に基づくインタフェースは、ユーザの課題分割の支援に効果があり、しかもインタフェース（操作画面）の特定の仕様やデザインなどによらず有効だと言える。

ところが、よくよく考えてみると、図1の上側の操作画面と下側の支援画面とは同じコピー機能を有している（表現している）。従って、上側の操作画面と下側の支援画面とを融合する、すなわち、下側の支援画面の各サブ機能を表す領域すべてを上側の操作画面にあるボタンで置き換えることも可能である。そうすれば、操作画面と支援画面の2つの画面をわざわざ作成・表示する必要はなくなり、ユーザは支援画面上のツリー構造に配置されたボタンを押すことで、すべてのコピー操作を行うことが可能になる。これにより、課題分割支援機能をつけたインタフェースであっても、従来のコピー実機のLCDのスペースに収めることが可能になる。

そこで、図1の上側の操作画面を下側の支援画面に融合した、図2のような新しいインタフェースを設計した。そして、図2のインタフェース画面を用いて被験者にコピー課題を実施させ、そのパフォーマンスを図1の上側のインタフェース（操作画面）のみを用いた被験者のそれと比較する実験を行った。

その結果、図2のインタフェース画面を用いた被験者のエラー回数および操作に要する時間が、図1の上側のインタフェース（操作画面）のみを用いた被験者よりも有意に減少することが明らかになった。すなわち、図2に示した新しいインタフェース画面がユーザの課題分割支援に効果を有したといえる。

以上のすべての結果が示しているのは、装置のすべての機能とボタンを隠すことなく階層的に可視化したインタフェース画面は、機械操作が苦手なユーザの課題分割を支援し、装置操作のパフォーマンスを大きく向上させる効果を有している、ということである。しかしその反面、現在主流となりつつあるデジタルコピー機のように、装置の機能数が多くなると、図2のように全機能構造を単に表示しただけのインタフェースでは、かえってユーザビリティが悪化することも考えられる。そこで、全機能構造を常に表示する一方で、設定を行おうとしている機能にもフォーカシングできるような、図3に示す新しいインタフェースを設計した。そして、図3のようなインタフェースを用いた被験者のパフォーマンスを市販のデジタルコピー機を用いた被験者のそれと比較したところ、前者の方

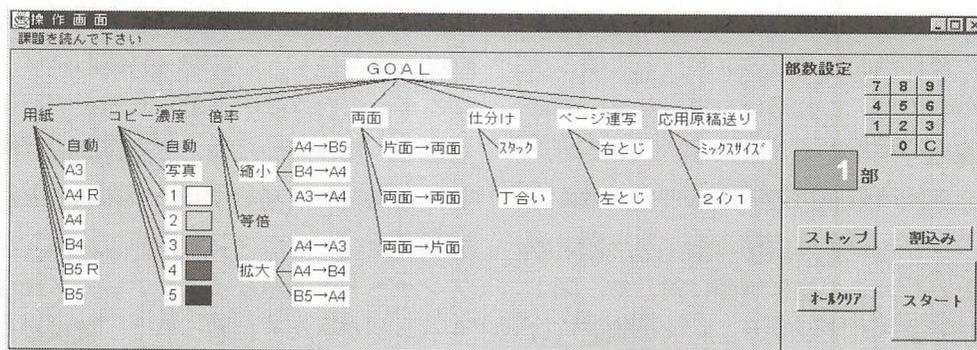


図2

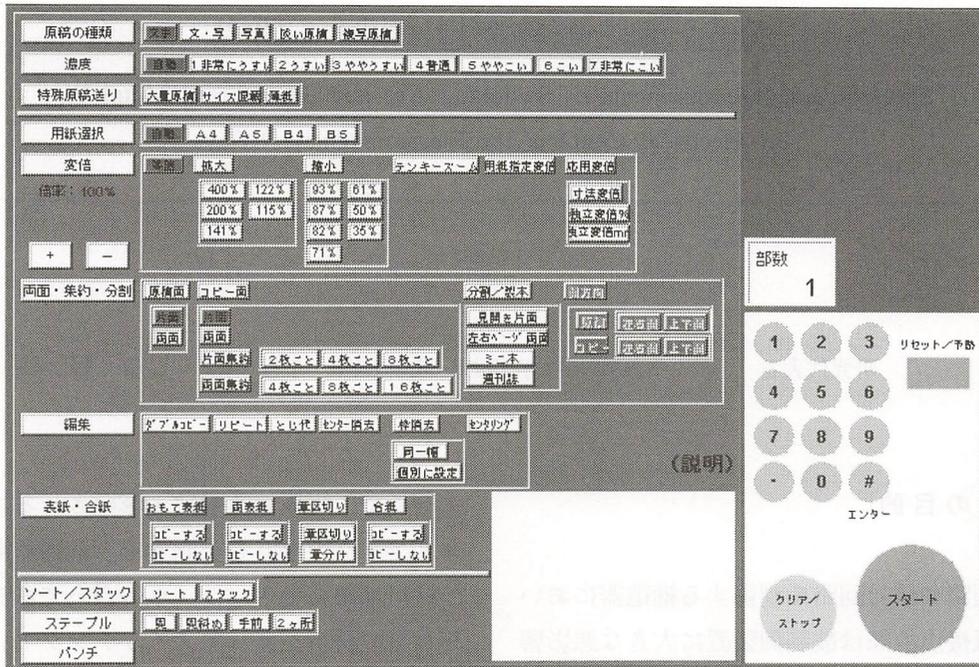


図3

が有意に優れていることが明らかになった。すなわち、全機能構造の表示を基礎にしたコンテキストベースなインタフェース（図3）の有効性が明らかになった。

法を提案した。今後の課題としては、課題分割に困難を覚える人の認知特性のより詳しい同定などが挙げられる。

[成果の発表, 論文等]

[今後の研究の方向, 課題]

本研究では、一部のユーザが機械操作に困難を覚える原因を、ユーザとインタフェース（設計者）とのコミュニケーション上の障害と捉え、それをもたらすインタフェース側の要因として、ユーザの課題分割を支援する機能の欠如に焦点を当てた。その上で、インタフェースの改善方法として全機能構造の表示、およびそれに基づくコンテキスト・ベースなインタフェース構成

- 1) 植田一博, 遠藤正樹, 鈴木宏昭, 堤江美子: 課題分割の可視化によるインタフェース, 認知科学, Vol.9, No. 2, pp.200-212, 2002年.
- 2) 鈴木宏昭, 植田一博: コミュニケーション的インタフェース観, 原田悦子 (編)『人とモノの相互作用—人工物の認知科学』所収, 共立出版 (印刷中)
- 3) 滝沢 亮, 植田一博, 鈴木宏昭: コンテキストベースなインタフェースの提案: 課題分割の観点から見た日常電子機器インタフェースの設計, 『認知科学』へ投稿準備中 (2002年8月投稿予定)

継電器電気接点でのスイッチングアークの 分光計測と転移突起に関する研究

Spectroscopic Measurements of Switching Arc and Transferred Metal Pip
on Electrical Contacts for Electromagnetic Relays

1001005

研究代表者

静岡大学工学部電気・電子工学科 教授

窪野 隆 能

[研究の目的]

電力回路や信号回路を制御する継電器において、電気接点故障は被制御装置に大きな悪影響を及ぼす（例えば、1993年10月5日大阪市営ニュートラムの暴走事故）。開閉電気接点对の最悪故障は分離不良であり、分離不良原因は開閉させた時に発生するアーク放電エネルギーによって誘発された接触面の溶融や材料転移に起因した「電気接点对の溶着やロッキング」である。そこで、スイッチングアークのスペクトル強度の経時変化を測定し、アーク柱内の温度や金属蒸気密度の経時変化を推定し、開離時アークが転移突起の成長過程に及ぼす影響を調べる。また、転移突起の高さから残存寿命を判断する基準を見つけ、制御継電器の定期検査時に適用することでエレクトロニクス社会の電氣的及び環境面での安全に寄与する。

[研究の内容、成果]

1. はじめに

電気接点对を開閉させるときに発生するスイッチングアークが電気接点自身の接触面を傷つけ、変形させる。その一例が図1の転移突起である。この転移突起が電気接点对のロッキングや溶着の主因となる。

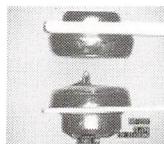


図1 転移突起

そこで、電極面を飛散・蒸発させるスイッチングアークの温度を計測する。継電器電気接点の材料は銀合金やパラジウム合金であるので、それらの材料を使ってスイッチングアークの分光測定をすべきであるが、現有設備の時間分解能に対して銀やパラジウムの接点でのスイッチングアークの継続時間が短いこと、分光スペクトル強度が弱いことのため、低速等速開離装置を使って銅接点とニッケル接点での開離時アークを観測した。

2. 分光測定システム

開離時アークの分光測定システムの全体構成を図2に示す。開離時アークの分光スペクトル（数本）強度を1 or 2 ms 間隔で測定する。アーク電圧とアーク電流も測定する。

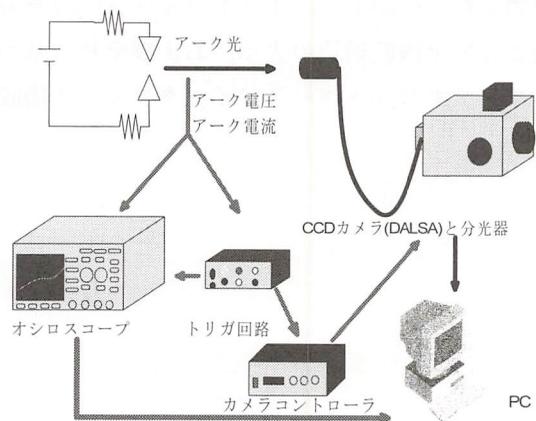


図2 分光計測システム

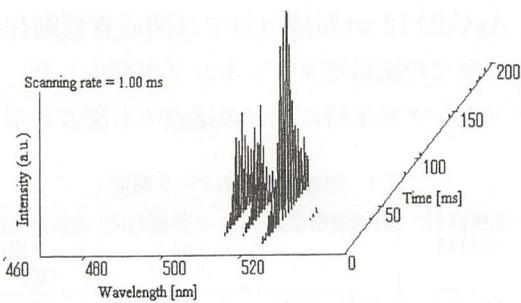
3. 測定結果

3.1 アーク柱温度

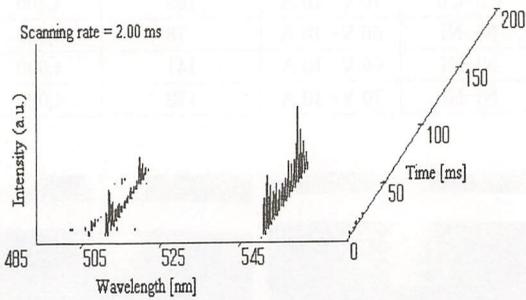
電気接点对を 10 mm/s の低速開離装置で分離させ、開離時アークからの分光スペクトルを 1 ms 間隔毎にリニア CCD センサーで受光する。CCD 出力値 (=各スペクトル線の強度, 図 3 参照) を Boltzmann plot 図に載せると直線上に並ぶ。それ故、複数スペクトル線の強度から Boltzmann plot 法で求めた温度は 1 ms 期間内のアーク放電全体の平均温度と判断する。

同時刻で測定した数本のスペクトル線の強度から、Boltzmann plot 法に従い温度を計算した結果を図 4 に示す。

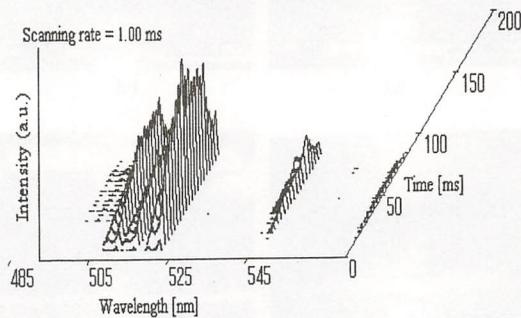
図 3 や図 4 の実験例以外に、電源電圧を変え



陽極 Cu—陰極 Cu



陽極 Ni—陰極 Ni



陽極 Ni—陰極 Cu

図 3 42 V-5 Ω 抵抗性回路での開離時アークのスペクトル強度経時変化

た実験結果から、以下の成果を得た。

(1) 陽極 Cu—陰極 Cu の場合

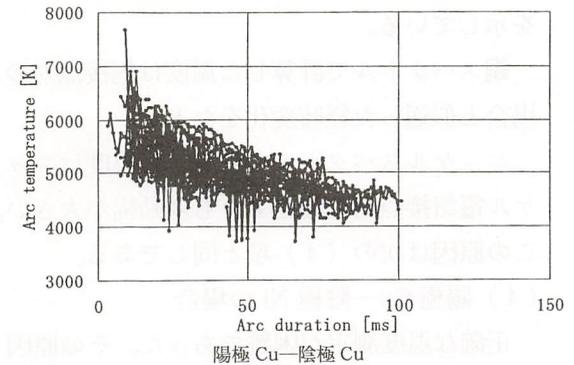
アーク継続時間は遮断電力の増加につれ長くなる傾向にある。

アーク温度の経時変化は各実験条件ともに初期は 6,000 ~ 7,500 K であり、その後は緩やかな変化をたどる。

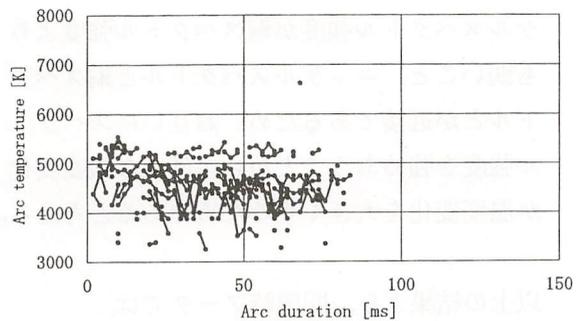
アーク消弧時の温度は各遮断電力とともに約 4,500 K 付近である。

(2) 陽極 Ni—陰極 Ni の場合

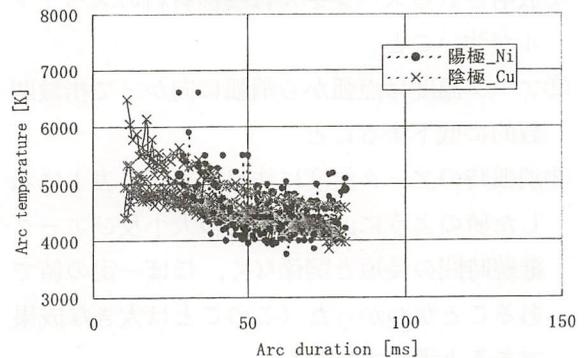
スペクトル線の強度が Cu 電気接点对の場合よりも弱く、30 V-10 A 回路遮断時のアーク光から温度を計算できなかった。



陽極 Cu—陰極 Cu



陽極 Ni—陰極 Ni



陽極 Ni—陰極 Cu

図 4 42 V-5 Ω 抵抗性回路での開離時アークの温度変化

アーク継続時間は遮断電力の増加につれ長くなる傾向にある。

40 V 以上の各電源電圧ともに放電初期のアーク温度は4,500～6,000 Kであり、その後は緩やかな下降線をたどる。

アーク消弧時の温度は各遮断電力ともに約4,000 K 付近である。

(3) 陽極 Ni—陰極 Cu の場合

ニッケルスペクトルで計算した温度と銅スペクトルで計算した温度とがほぼ同じであることから、1 ms 期間ごとのスペクトル強度を基にしてアーク柱全体が熱的平衡状態にあると仮定したことに矛盾は無く、スイッチングアークのアーク柱温度を計測していることを示している。

銅スペクトルで計算した温度は銅接点对の場合と似通った経時変化をたどる。

ニッケルスペクトルで計算した温度はニッケル電気接点对の場合よりも変動幅が大きい。この原因は次の(4)項と同じである。

(4) 陽極 Cu—陰極 Ni の場合

正確な温度測定が困難であった。その原因は、分光器の波長範囲 100 nm 内に入るニッケルスペクトル強度が銅スペクトル強度よりも弱いこと、ニッケルスペクトルと銅スペクトルとが近接であるため、お互いにスペクトル強度を強めあうことから、僅かな強度変化が温度変化を大きくするためであると考えられる。

以上の結果より、開離時アークでは、

- ①放射されるスペクトルは陰極材料のスペクトルが強いこと
- ②アーク温度は点弧から消弧に向かって指数関数的に低下すること
- ③消弧時のアーク温度に注目すると、表 1 に示した値のように、遮断電力の大小及びアーク継続時間の長短と関係なく、ほぼ一定の値であることがわかった（このことは大きな成果であると考えている）。

3. 2. 転移突起の観察

直流電源、抵抗性負荷、2 台の継電器に搭載した試料電気接点（接点間隙約 0.9 mm）を直列に接続し、励磁タイミングをずらして、閉成責務動作と開離責務動作をさせた。動作毎に、バウンス回数、接触・跳ね返り時間、接触抵抗、アーク放電継続時間などを測定し、動作回数 1,000 回ごとにデジタルカメラを用いて電気接点を撮影した。

30 V-3 Ω 抵抗性回路において接点材料 Ag, Pd, AgCdO 12 wt%, AgSnO₂ 12 wt% の 4 種類で実験した。

閉成責務動作の電気接点において、実験終了後の接触面の写真を図 5 に、転移突起の高さの動作回数推移を図 6 に示す。

AgCdO 12 wt% 接点对では閉成責務動作接点の全ての試料でスティッキングが発生した。スティッキング発生時にはどの接点でも図 6 に示す

表 1 消弧時の平均アーク温度

気接点对の材料	直流遮断電力	アーク継続時間 (ms)	消弧時平均アーク温度 (K)
Cu-Cu	50 V-10 A	89	4,510
Cu-Cu	60 V-10 A	118	4,550
Cu-Cu	70 V-10 A	165	4,400
Ni-Ni	50 V-10 A	78	4,090
Ni-Ni	60 V-10 A	141	4,000
Ni-Ni	70 V-10 A	173	4,020

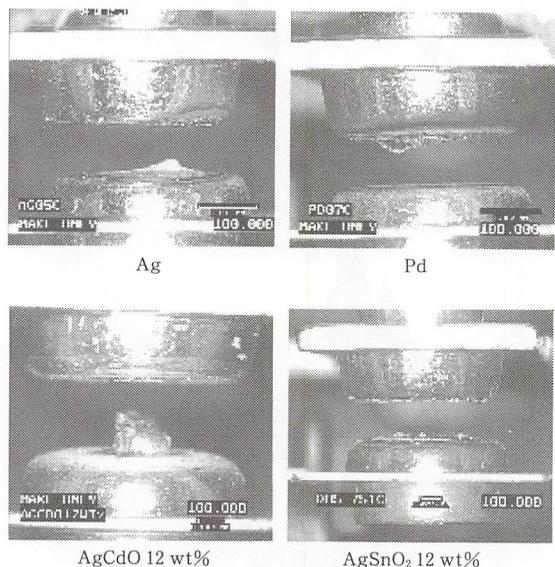


図 5 実験終了後の損傷接触面

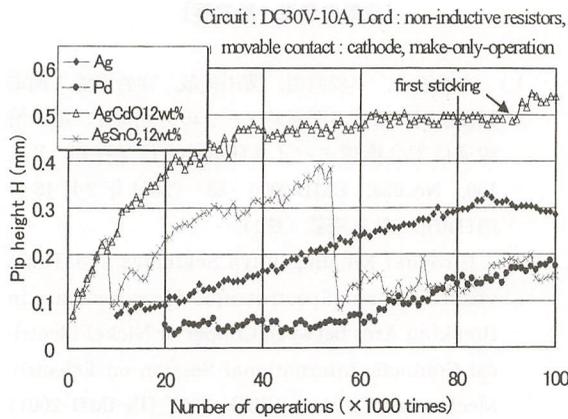


図6 突起の高さ動作回数推移

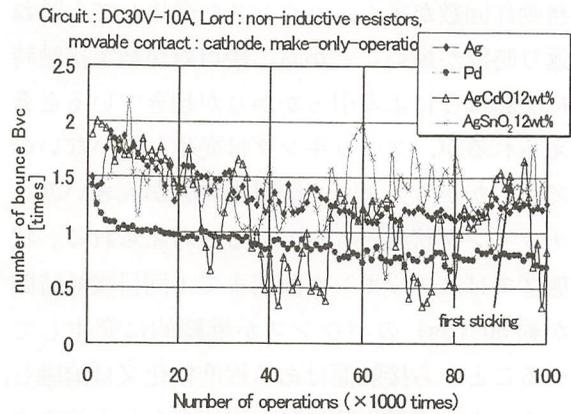


図7 バウンス回数の動作回数推移

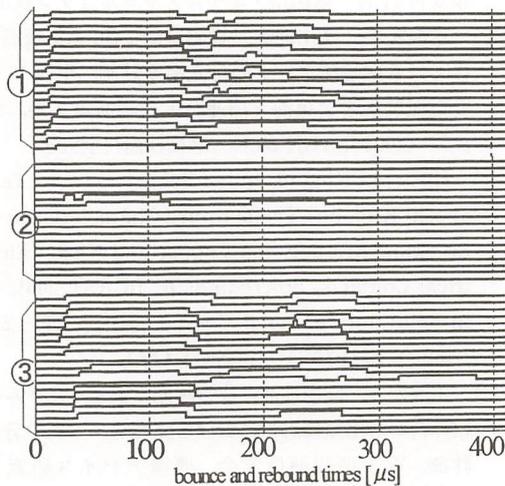


図8 AgCdO 12 wt%のバウンス詳細図

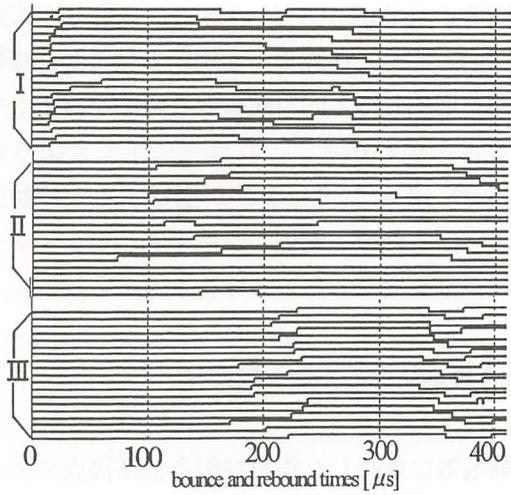


図9 AgSnO₂ 12 wt%のバウンス詳細図

ような突起が高さ0.5 [mm] 以上まで成長していた。突起の高さが0.5 [mm] 以下の時はバウンス回数の最少時の準スチッキング状態でもスチッキングは発生しなかったことや、42 V-5 Ω回路での実験でも同様だったことから「突起の高さ \geq 接点間隙/2」となるとスチッキングの発生確率が高くなると予想した。

AgSnO₂ 12 wt%は突起の高さが、動作初期段階ではAgCdO 12 wt%と同程度のスピードで成長するが、途中突起が崩壊するため突起は0.5 [mm] まで成長することはなかった。なお、突起は崩壊するたびに接触面に散らばり多数の微小凹凸を形成する。この微小凹凸が次回の接触の真実接触可能面となり真実接触点、アーク足ともに移動する範囲も広がり突起も根元の太い突起に変化していくので、AgSnO₂ 12

wt%ではAgCdO 12 wt%のように局部的に接点が損傷することがなかった。

図7に、閉成責務動作1,000回毎に平均化したバウンス回数を示す。図7よりAgとPdでは閉成責務動作回数が増加するとバウンス回数が減少するが、AgCdO 12 wt%やAgSnO₂ 12 wt%では平均バウンス回数に変動を繰り返している。

そこで、バウンス時の接点間電圧波形を1 (開離) と0 (接触) の矩形波による模式図を用いて、AgCdO 12 wt%について①動作初期段階 (安定動作時)、②平均バウンス回数の最少時、③スチッキング直前を図8に示す。さらに、AgSnO₂ 12 wt%についてI動作初期段階、II突起崩壊前、III突起崩壊後を図9に示す。

図8より状態②ではバウンスが発生しない責

務動作回数が多く、バウンスが発生しても跳ね返り時間が短いことから、接点对が衝突接触時に突起などによる引っかかりが起きていると考えられるが、スチッキングは発生していないので引っかかり力よりも開離力の方が大きい準スチッキング状態となっていると考えられる。状態③ではスチッキング直前まで1回目接触時間が約50 [μs] のバウンスが継続的に発生していることから接触面はある程度軟化又は溶融し、スチッキング発生時には、引っかかりと溶着の両方が発生したと考えられる。

図9より AgSnO₂ 12 wt%では状態Ⅱの突起崩壊前に比べて状態Ⅲの崩壊後では1回目接触時間が増加して1回目跳ね返り時間が減少していることがわかる。これは先に示したように AgSnO₂ 12 wt%では突起が崩壊すると接触面に散らばるため、発生した微小凹凸がクッションの役割を果たしているためと考えられる。

[今後の研究の方向, 課題]

継電器に搭載した銀及び銀合金系接点でアーク温度の測定をおこなうために、分光測定系の感度向上の改良を実施し、早期に接触面損傷や転移量の大小とアーク注内の温度や蒸気密度との関係を明確にする予定である。

[成果の発表, 論文等]

- 1) 木浪宏之, 平松直樹, 関川純哉, 窪野隆能: 銅電気接点对における開離時アークの分光特性, 電子情報通信学会機構デバイス研究会, 信学技報, Vol. 100, No. 624, EMD 2000-88 (2001年2月16日 四日市市・住友電装(株))
- 2) Hiroyuki Kinami, Junya Sekikawa and Takayoshi Kubono: Spectroscopic Measurements in Breaking Arcs between Copper or Nickel Electrical Contacts, International Session on Electro-Mechanical Devices IEICE 2001 (IS-IMD 2001) 電子情報通信学会機構デバイス研究会 EMD 2001-48, 信学技報, Vol. 101, No. 326, pp. 21-26 (2001年9月27日 秋田市・ホテルメトロポリタン秋田)
- 3) 木浪宏之, 関川純哉, 窪野隆能: Cu 電気接点对における開離時アークの分光温度計測, 平成13年度電気関係学会東海支部連合大会講演論文集, 48, p. 24 (2001年11月30日 豊橋技術科学大学)
- 4) Hiroyuki Kinami, Junya Sekikawa, and Takayoshi Kubono: Temperature Characteristics of Breaking Arc between Copper and Nickel Electrical Contacts, Proceedings of JICAST 2001, 6th Joint International Conference, pp. 236-239 (2001年12月16日 中国浙江大学)
- 5) 木浪宏之, 関川純哉, 窪野隆能: 銅とニッケルの組み合わせ電気接点对における開離時アークの分光計測, 電子情報通信学会, 機構デバイス研究会 EMD 2001-98 (2002年2月15日 静岡大学佐鳴会館ホール)

視覚的注意の影響を考慮した不随意性微小眼球運動モデルと そのシミュレーション解析

A Development of the Miniature-Eye-Movement Model
Accounting for the Influence of Visual Attention

1001006

研究代表者 愛知県立大学情報科学部 助手 小 濱 剛

[研究の目的]

長時間のテレビの視聴や、コンピュータモニタを凝視するVDT作業は、視力の低下やストレスの蓄積など、一般に眼精疲労として知られる視機能への悪影響をもたらすことから、社会問題化している。眼精疲労時には不随意性の微小な眼球運動(固視微動)に明確な変化が現れることが示されており、過度の疲労蓄積に対する警告としての応用が期待されている。

固視微動は、不随意に生じる微小な眼球運動であり、トレマー、ドリフト、マイクロサッカードなどのいくつかの特徴があることが知られており、定説では、眼筋のノイズ的運動に起因するものとされてきた。しかしながら、視野内のある対象を正確に見ようとする精神活動(視覚的注意の集中)が、マイクロサッカードのダイナミクスに影響を及ぼすことを示す研究報告がなされており、固視微動を解析することにより、間接的に意識や注意といった高次脳機能を計測することの可能性が示唆されている。

本研究では、こうした固視微動と視覚的注意の関係を示す実験データに基づき、注視の持続に要する心理活動を考慮した固視微動モデルの構築を目指し、そのシミュレーション解析により、注意の集中による意識的な凝視などの精神的なストレスが末梢筋系に与える影響を明らかにすることを目的としている。

このような視覚的注意を考慮した固視微動の

モデル化が実現されれば、意識的な凝視が眼球駆動神経系や視覚神経系に与える負担をシミュレートすることが可能となる。その結果に基づいて、あらゆる視覚環境における観察者への影響の予測がなされれば、VDT作業のような過度の凝視を伴う視覚作業への従事者に対して、作業時間と休憩時間の設定や、ダメージを受けた際の静養期間の指示などを適切に行える。すなわち、眼精疲労を未然に防ぐための判断基準を与えることが期待される。

[研究の内容, 成果]

モデルの構築にあたり、まずはじめに、注意の集中や分散によって、発生頻度や動特性に変化が生じることが知られている、マイクロサッカードと呼ばれる固視微動の特徴的な挙動に着目した。マイクロサッカードは、ある方向に向かう微小な視線のジャンプとして観測される眼球運動で、わずかな時間をはさんだ後に逆方向のマイクロサッカードによって再び元の注視位置に戻ってくる場合が多く、矩形波状の時系列として記録される。この矩形波状の運動は、注視位置への注意の集中度合いが変化に伴って、その発生頻度や、振幅が増すことが示唆されている。

中脳の上丘と呼ばれる部位には、注視時に活動する注視細胞と、急速な眼球運動を生じさせるサッカード細胞とが存在しており、注視細胞

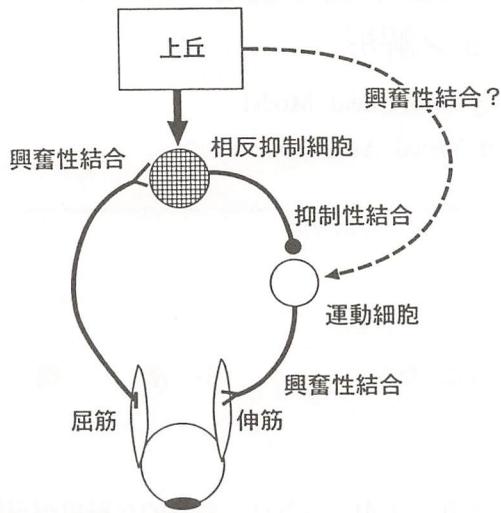


図1 注視システムの概要

がサッカード細胞を抑制している間だけ注視が維持される。このような注視システムの概要を図1に示す。注視細胞が活動している間、外眼筋運動細胞への信号伝達経路に存在する介在細胞（相反抑制細胞）により、運動細胞の活動が抑制され、安定した注視が維持されるが、注視細胞の活動が弱まると同時に介在細胞の活動も弱まり、その結果、運動細胞への抑制がはずれて注視が乱れるものと考えられる。

正確な注視の維持には、視覚的注意が強く影響をおよぼすことがすでに示唆されているが、注視時の眼球運動に視覚的注意が影響をおよぼす要因として、注視位置への注意の集中が弱まると、注視細胞の活動の低下に伴って、眼筋の活動をコントロールする介在細胞への抑制が弱まり、その結果、一時的に眼筋の活動を制止できなくなり、マイクロサッカードが生じやすくなるとの仮説をたてた。

また、注視位置以外の場所に注意を集中した際、マイクロサッカードの振幅が増大する要因として、サッカードのサイズをコーディングしている上丘サッカード細胞から、運動細胞への直接的な入力存在を仮定した。注意の分散により注視細胞が介在細胞を十分にコントロールできなくなると、サッカード細胞が運動細胞を直接的に駆動するため、注意が周辺視野に配置された場合に生じるマイクロサッカードの振幅

は、注視点付近に集中された場合よりも大きくなるものと予想される。

そこで、実際に注視時の眼球運動モデルを構築するにあたり、まずはじめにこの仮説を検証するための心理物理実験を行った。

心理物理実験では、先行研究にならい、注視時の視覚的注意の状態を次の3つに分類してそれぞれの状態を作り出すような実験課題を設定した。

- ① 視覚的注意が注視点上に集中された状態
- ② 視覚的注意が周辺視野に分散された状態
- ③ 視覚的注意が周辺視野の1点に集中された状態

各実験条件のもとで計測されたマイクロサッカードについて解析を行い、条件間で比較検討を行った。

マイクロサッカードを抽出するのに際し、ステップ状波形に対してその位相を保持したまま測定系ノイズを有効に低減できるよう、式(1)で定義されるメディアンフィルタの適用を試みた。その結果、最小で0.06 degのマイクロサッカードを識別することが可能となった。ノイズ除去された眼球運動データから速度閾値処理によりマイクロサッカードを自動的に判別して抽出した。

$$y(n) = \text{median} \left[x\left(n - \frac{K}{2}\right), \dots, x(n), \dots, x\left(n + \frac{K}{2}\right) \right] \quad (1)$$

随意性のサッカード眼球運動は、その最高速度が注意の状態によって変化することが示唆されているが、マイクロサッカードも基本的には同一の動特性を有するものと考えられていることから、マイクロサッカードの最高速度にも注意の影響が及んでいる可能性がある。

そこで、検出されたマイクロサッカードの最高速度と振幅の間に、一般に主系列と呼ばれている式(2)で表される非線型関数を当てはめ、得られた主系列関数によりマイクロサッカード最高速度を式(3)により正規化を行った。

$$V_p = V_a \left[1 - \exp\left(-\frac{A}{A_0}\right) \right] \quad (2)$$

$$V_n = \frac{V_s}{V_p} \quad (3)$$

図2に各実験条件におけるマイクロサッカードの最高速度・振幅特性を示す。正規化されたマイクロサッカード最高速度は、視覚的注意が注視点上に集中された状態（図2中のFT）に比較して、比較視覚的注意が周辺視野に分散された状態（PT）では有意に小さくなることが示された。一方、視覚的注意が周辺視野の1点に集中された状態（CPT）では、マイクロサッカードの正規化最高速度は被験者によってFTかPTのいずれかの結果に近いが、もしくはその傾向をより強めたものとなることが示さ

れた。すなわち、マイクロサッカードの動特性は、視野内のどこかに注意が集中されているか否かで、少なくとも2つの状態を持つ可能性が示唆された。

サッカードのサイズをコーディングしている上丘サッカード細胞から、眼筋運動細胞への直接的な入力が存在するのであれば、視覚的注意を周辺視野のある1点に集中した場合、マイクロサッカードの振幅は、視覚的注意の方向に依存して変化する可能性が考えられる。そこで、視覚的注意の配置場所と、マイクロサッカードの方向や振幅の関係について解析を行った。結果を表1に示す。

視覚的注意の配置場所と同じ方向に向かって生じたマイクロサッカードは、逆方向に向かうものに比べ、その振幅が大きくなる傾向が示さ

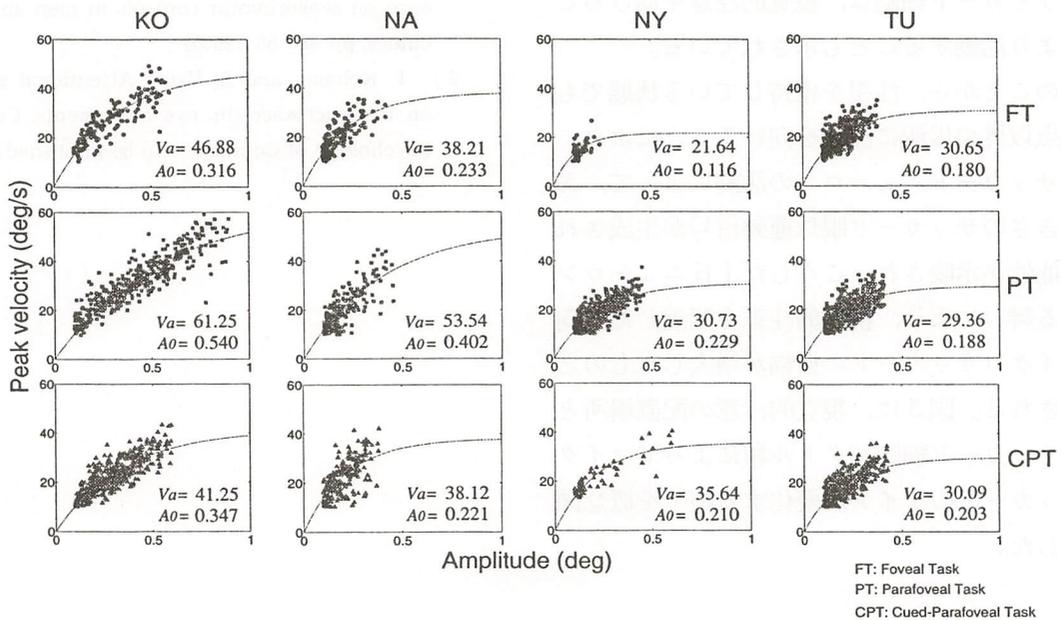


図2 マイクロサッカードの最高速度・振幅特性

表1 視覚的注意の配置場所とマイクロサッカードの発生方向・振幅

Subject	Direction of Cue	Mean Amplitude of Microsaccades (SD)	
		Direction of Microsaccades	
		Leftward	Rightward
KO	Left	0.35 (0.15)	0.39 (0.47)
	Right	0.37 (0.16)	0.38 (0.20)
NA	Left	0.41 (0.25)	0.17 (0.09)
	Right	0.28 (0.10)	0.34 (0.15)
NY	Left	0.37 (0.16)	0.27 (0.15)
	Right	0.27 (0.18)	0.38 (0.31)
TU	Left	0.28 (0.14)	0.28 (0.11)
	Right	0.28 (0.12)	0.32 (0.14)

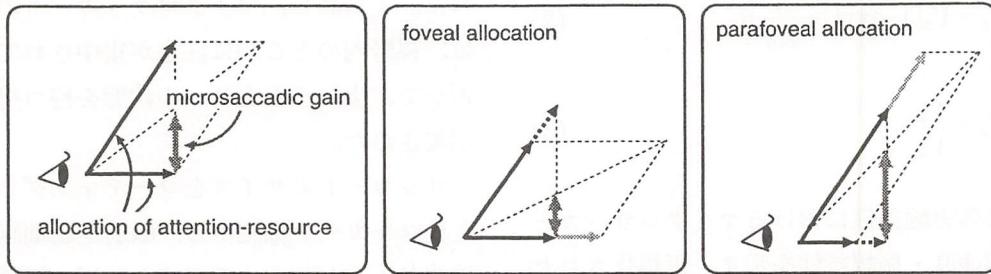


図3 視覚的注意によるマイクロサッカードゲインの修飾

れた。すなわち、視覚的注意の配置場所が、マイクロサッカードの振幅の大きさを修飾している可能性が示唆される。

いくつかの上丘サッカード細胞が同時に活動を開始する時、上丘で生成されるサッカード眼球運動の運動方向は、それぞれのサッカード細胞がコーディングしている運動方向ベクトルのベクトル和となることが知られている。また、上丘サッカード細胞は、視覚的注意を向けることにより活動することも示されている。

このことから、注視を維持している状態でも注視点以外の場所に注意を向けることにより、上丘サッカードニューロンの活動によって、ある大きさのサッカード眼球運動信号が生成される可能性が示唆され、こうした上丘ニューロンの振る舞いにより、視覚的注意を配置した方向にマイクロサッカードの振幅が増大したものと推測される。図3に、視覚的注意の配置場所と上丘サッカード細胞ベクトル和によってマイクロサッカードのゲインが変化する様子を概念図で示した。

[今後の研究の方向, 課題]

本研究の結果、注視を維持するための外眼筋の制御系は、視覚的注意の影響を受けていることが示され、不随意に生じるマイクロサッカードの動特性にも視覚的注意の配置場所やその集中度合いをパラメータとして考慮する必要があることが示唆された。このような注視機構と注意機構との間の神経機序として、視覚的注意が上丘の注視細胞とサッカード細胞との拮抗関係

を崩すように働いている可能性が考えられる。今後の課題として、こうした視覚的注意による修飾を受けた眼球運動系の制御モデルの構築を進める予定である。

[成果の発表, 論文等]

- 1) S. Usui and T. Kohama: Attentional effects on the microsaccadic eye movements, Conference on sensorimotor controls in men and machines, pp. 58-59 (2000)
- 2) T. Kohama and S. Usui: Attentional effects on the microsaccadic eye movements, Current Psychology of Cognition (to be published)

高精細ディスプレイ用超小型フルカラー発光ダイオードの研究

Study on Single-chip Full-color Light-emitting Diodes for High-definition Displays

1011001

研究代表者

弘前大学理工学部 助手

小豆畑 敬

[研究の目的]

1993年以降、高光度青色・緑色発光ダイオードが相次いで実用化されたことに伴い、既存の高光度赤色発光ダイオードと合わせて青・緑・赤という光の三原色が揃い、高光度フルカラー発光ダイオードが実現された。その構造は図1のようになっており、それぞれ青・緑・赤で発光する3枚の半導体チップが一つにパッケージングされている。このフルカラー発光ダイオードは、高光度、高信頼性、軽量、低消費電力という特長を活かして大画面フルカラーディスプレイ等に应用されているが、高精細ディスプレイへの応用を考えた場合、以下の問題が生じる。

- (1) 複数のチップで構成されているため小型化が困難である。
- (2) 各色が異なる場所から放射されるため空間的に色が分離してしまう。

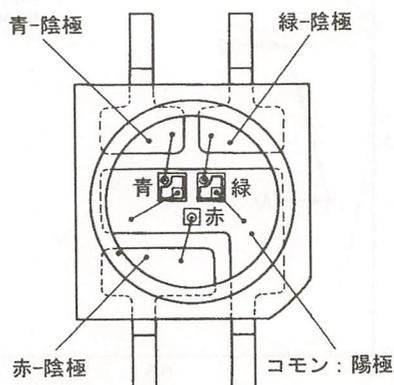


図1 フルカラー発光ダイオードの平面図 (赤崎勇著: 青色発光デバイスの魅力, 工業調査会, p.161 (1997))

本研究は、高精細軽量薄型大画面フルカラーディスプレイに応用可能な超小型フルカラー発光ダイオードを実現するために必要な基本的技術の開発を目的として進められた。

[研究の内容、成果]

小型化・高精細化という問題を解決するため、三原色の光を同一点から放射させることができ、かつ、各色の光を任意の割合で混合することができるフルカラー発光ダイオード(単一チップフルカラー発光ダイオード)を考案した。その動作原理を以下に述べる。

窒化インジウムガリウム系可視発光ダイオードは、動作電流の増大に伴い発光波長が短波長側にシフト(ブルーシフト)するという特徴を有している。日亜化学工業製緑色発光ダイオード(NSPG 500 S型)の場合、動作電流を0.6 mAから20 mAに変化させると発光波長は540 nmから519 nmへと変化し、実に21 nmものブルーシフトが観測される。

単一チップフルカラー発光ダイオードを実現するため、このブルーシフト現象を利用する。図2(a)のように、ピーク電流値 I_1 , I_2 , I_3 のパルス電流に時間差をつけて発光ダイオードに印加すると、ブルーシフト現象により、各パルス電流に対応してそれぞれ波長 λ_1 , λ_2 , λ_3 で発光する(図2(b))。時間差が大きければ各波長の光が順に点滅するのみであるが、人間の目には高い周波数で点滅する光があたかも点灯

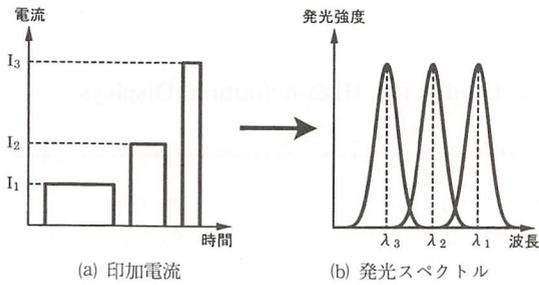


図2 単一チップフルカラー発光ダイオードの動作原理

しているかのように見えるという特性があり、この特性を利用してピーク電流間の時間差を適切に設定すれば、3つの波長の光が混合されて見える。この周波数は臨界融合周波数と呼ばれており約 40 Hz である。フルカラーを実現するためには、さらに、各波長の光を任意の割合で混合する必要があるが、パルス電流のパルス幅もしくは単位時間当たりのパルス数を制御することによって混合の割合を変えることができる。 λ_1 , λ_2 , λ_3 をそれぞれ赤、緑、青に対応する波長に設定することにより、単一チップフルカラー発光ダイオードが実現される。

本動作原理を検証するため、日亜化学工業製緑色発光ダイオード (NSPG 500 S 型) に図3のようなパルス電流 (T_L , T_H , I_L , I_H はそれぞれ $300 \mu\text{s}$, $33 \mu\text{s}$, 6 mA , 350 mA に固定) を印加し、パルス幅 T_L と T_H のみを変化させて発光色の変化を測定した。ここで、電流 6 mA と 350 mA における発光色はそれぞれ緑色、青緑色であった。フルカラーには3色混合が必要

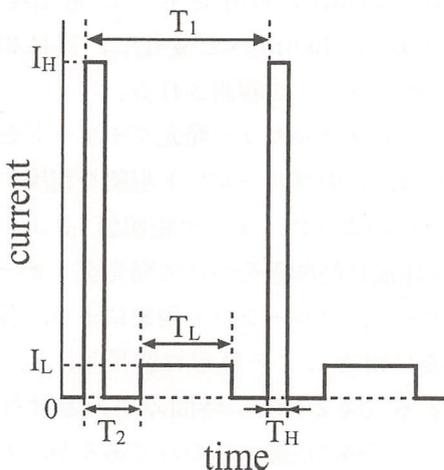


図3 2色混合時の印加電流の模式図

であるが、動作原理を検証するには2色混合で十分である。

測定結果を図4に示す。図4(a), (b), (c) はそれぞれ $(T_L, T_H) = (0 \mu\text{s}, 10 \mu\text{s})$, $(250 \mu\text{s}, 10 \mu\text{s})$, $(250 \mu\text{s}, 0 \mu\text{s})$ のときの発光ダイオードの写真である。パルス幅を変化させるだけで発光色を変化させることに成功している。パルス幅の変化のステップをもう少し細かくして CIE 色度座標をプロットしたものが図5である。図中の (A) と (B) はそれぞれ図4の (a) と (c) に対応している。「●」で表された実験データは (A) と (B) を結ぶ直線上に乗っており、この2色が混合されていることがわかる。すなわち、緑色と青緑色の2色の光を同一点から放射することができる発光ダイオードを実現し、さらに、この2色の光を任意の割合で混合することに成功している。この発光ダイオードは1枚のチップから複数の色の光を放射することができるため、単一チップマルチカ

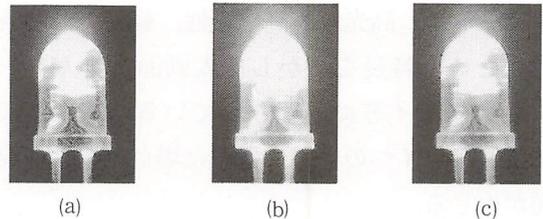


図4 パルス幅を変化させたときの発光色の変化 ($T_L, T_H = (0 \mu\text{s}, 10 \mu\text{s})$:(a), $(250 \mu\text{s}, 10 \mu\text{s})$:(b), $(250 \mu\text{s}, 0 \mu\text{s})$:(c)

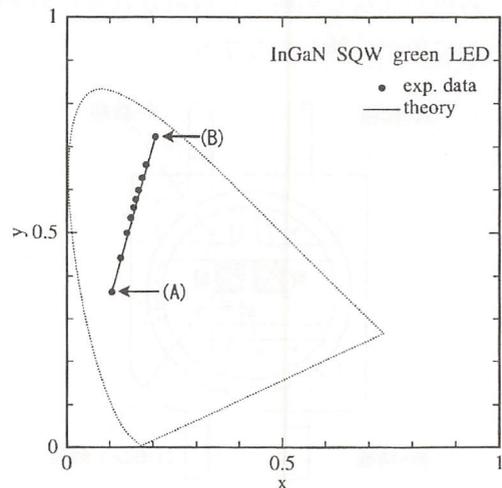


図5 パルス幅を変化させたときの色度座標の変化。(A)と(B)はそれぞれ図4の(a)と(c)に対応している

ラー発光ダイオードと呼ぶことができる。以上の実験により、単一チップフルカラー発光ダイオードの動作原理を実証することができた。

次に、単一チップマルチカラー発光ダイオードの発光波長域を拡大するための知見を得るため、窒化インジウムガリウム系青色、青緑色、緑色、黄色発光ダイオードに対して発光波長の動作電流依存性を測定し、活性層の組成をどのようにすれば発光波長域を拡大することが可能かを調べた。同時に、色度座標の動作電流依存性も評価した。

発光波長の動作電流依存性を図6に示す。窒化インジウムガリウムはインジウムとガリウムの組成比を変えることによって発光波長が変化し、インジウム組成が大きいほど波長は長くなる。図6からわかるように、発光波長が長いほど、すなわちインジウム組成が大きいほど、ブルーシフトは大きくなっている。従って、単一チップフルカラー発光ダイオードを実現するためには、インジウム組成を大きくすることが望ましいと考えられる。フルカラー化に不可欠な赤色発光もインジウムを増やすことによって得ることができる。

動作電流を0.1 mA から1 A へと変化させたときのCIE色度座標の変化を図7に示す。動作電流増大に伴い、青色発光ダイオードは青色から青紫色へ、青緑色発光ダイオードは緑色から青緑色へ、緑色発光ダイオードは黄緑色から緑色を経て青緑色へ、黄色発光ダイオードは橙

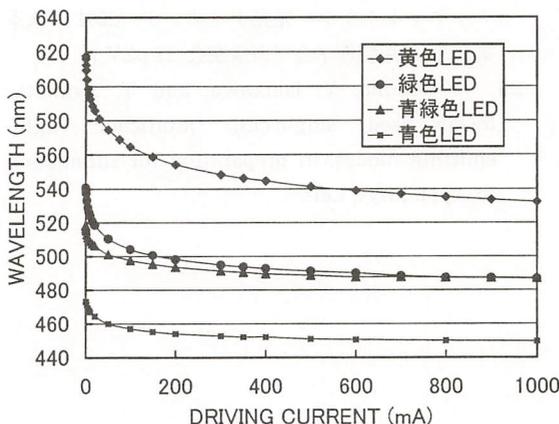


図6 発光波長の動作電流依存性

色から黄色・黄緑色を経て緑色へ変化しており、インジウム組成を増やすと色相の変化も大きくなる傾向がある。ただ、注意しなければならないのは、黄色発光ダイオードで動作電流を増やしていくと色の彩度が大きく低下してしまうことである。この結果から、単純にインジウム組成を増やすだけでは単一チップフルカラー発光ダイオードを実現することは困難であると予想される。

ここで、彩度の低下を抑えつつ発光波長域を拡大する方法を検討するために、ブルーシフトの発現機構について考察を加える。これまでに以下の2つの機構が提案されている。

- ① 局在準位の filling 効果：活性層に使われている窒化インジウムガリウムの組成不均一等により局在準位が存在し、低いエネルギー状態からの発光が飽和するにつれて、より高いエネルギー状態からの発光も始まるため、発光波長がブルーシフトする。
- ② ピエゾ電界の遮蔽効果：基板との格子不整合や熱膨張係数の違いにより、活性層には二軸性歪が導入されている。そのため活性層には量子井戸に垂直な方向に強いピエゾ電界が誘起されており、動作電流の増大に伴ってこの電界が遮蔽されることにより、発光波長がブルーシフトする。

これらの機構は共存していることがわかって

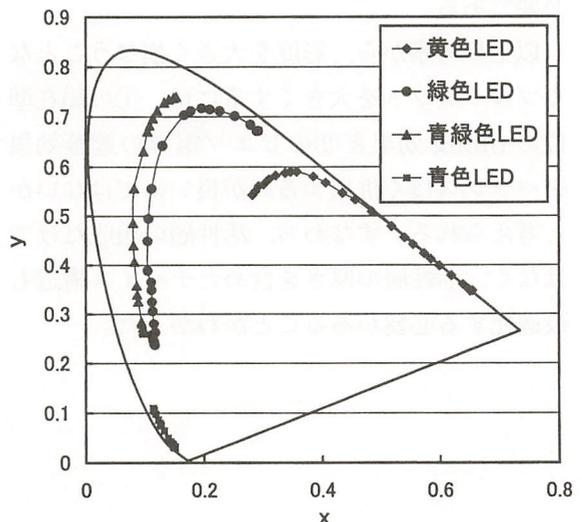


図7 CIE色度座標の動作電流依存性

おり、どちらの機構が支配的であるかは、窒化インジウムガリウムの組成や活性層の厚さ等によって変化すると考えられている。例えば、我々が電流変調エレクトロルミネッセンス分光法で活性層の厚さ 3 nm の日亜化学工業製青色、緑色発光ダイオード（それぞれ NSPB 500 S 型、NSPG 500 S 型）について調べたところ、動作電流 20 mA 以下では①の局在準位の filling 効果が支配的であることが明らかになった。また、活性層の厚さを厚くすると②のピエゾ電界の遮蔽効果が支配的になるという報告もある。

原理的に、①の場合はインジウム組成不均一を増やすことによりブルーシフトが大きくなる。インジウム組成不均一はインジウム組成を増やすほど大きくなる傾向があり、インジウムを増やせばブルーシフトが大きくなると予想される。これは本研究の実験結果と一致している。この機構では、動作電流が増大すると発光スペクトルの半値幅が増加し、彩度が低下してしまうと予想される。②の場合は活性層の厚さを増やすことによりブルーシフトが大きくなる。この機構では、①とは異なり、動作電流増大に伴って発光スペクトルの半値幅が減少すると予想される。これは彩度の低下を防ぐのには好ましい特性である。ただし、あまり活性層を厚くしてしまうと電子と正孔の波動関数の重なりが低下して内部量子効率が低下してしまうため、注意が必要である。

以上の考察から、彩度を大きく損なうことなくブルーシフトを大きくするには、①の局在準位の filling 効果と②のピエゾ電界の遮蔽効果をバランス良く併用するのが良いのではないかと考えられる。すなわち、活性層の組成だけではなく、活性層の厚さを含めたデバイス構造も最適化する必要があることがわかった。

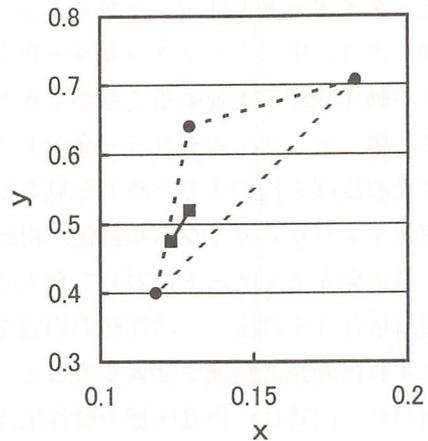


図8 3色混合によるCIE色度座標。●の3色を混合した結果、■の色が得られた

最後に、3色混合用電源を試作し、日亜化学工業製緑色発光ダイオード（NSPG 500 S 型）に適用した結果について報告する。CIE 色度座標を図8に示す。●の3色の光を混合した結果、2色混合では得ることのできない破線の三角形内の色（■）を得ることに成功した。

[今後の研究の方向, 課題]

単一チップマルチカラー発光ダイオードのフルカラー化を目指し、波長可変域の更なる拡大を進めるとともに、ディスプレイへの応用も視野に入れて3色混合技術の開発を進めていきたいと考えている。

[成果の発表, 論文等]

- 1) 本間健史, 石川佳一, 小豆畑敬: InGaN系単一チップマルチカラー発光ダイオード, 2001年秋季第62回応用物理学会学術講演会 12 pZV 10.
- 2) T. Homma, Y. Ishikawa, and T. Azuhata: InGaN-based single-chip multicolor light-emitting diodes, in preparation for submission to Appl. Phys. Lett.

未知環境下で作業する人間操作型群ロボットシステム

Human-supervised Multi-agent Robot System in Unknown Environments

1011002

研究代表者	東京大学大学院工学系研究科 助教授	太田 順
共同研究者	東京大学大学院工学系研究科 教授	新井 民夫
	東京大学大学院工学系研究科 助教授	湯浅 秀男
	東京大学大学院工学系研究科 助手	前田 雄介

[研究の目的]

本研究では、未知環境において小型・複数の移動ロボットを一人の人間が操作し、作業を執行させるためのシステムの開発問題を扱う。この際、人間とロボットシステムの適度な役割分担、また的確な情報の共有が重要である。そこで、本研究の目的を『一人の人間が複数台のロボットを操作し作業を実行させるための手法の提案を行い、実際のシステムを構築し評価を行うこと』と設定する。

[研究の内容、成果]

まず、ロボット群操作システムの概念設計を行う。ロボット群の「操作」に焦点をあて、実環境に適用可能なロボット群操作システムの要件として以下を挙げる。

- (a) 複数ロボットを対象とした操作システムに関しては研究例が少ない。また、操作指令の設計及びロボットに付与する自律機能が天下り的である。操作者対ロボット群という一対多問題のもとで操作者からの指令及びロボット群の自律機能の設計が必要である。

- (b) 従来研究は予め環境に関する情報が獲得されてモデル化されている場合が殆どである。設計初期からその獲得を念頭においた研究例は少ない。操作者に情報を提示するためには環境中の物体の位置・姿勢・形状といった情報の獲得が不可欠であり、ロボット群を投入するのみで環境情報を獲得可能なことが望ましい。また、環境の全ての情報を知る必要はなく、情報を大局的情報、作業指向大局的情報、局所的情報に分類し、作業に必要な部分、すなわち作業指向大局的情報を獲得すれば十分である。

- (c) 操作性を向上させるためにはロボットが作業している環境の情報提示が不可欠である。また、意思伝達を容易とするインタフェースが必要である。

当該問題に対する本研究の具体的解決策について以下に示す。

- (a)の操作指令に関して、ロボット言語における分類を参考とし、搬送作業を「移動」「対象物把持」「環境認識」といった局面に分割し、それぞれの局面に対して移動ロボット群の指令・自律機能の分類を行った。その結果、以下の結果が得られた。

- 指令対象、指令内容に基づき分類を行うこと

により、各レベルにおいて必要とされる指令について明確化できた。

- さらに、各レベル間の機能の差を補完するような機能を導入することで、必要となる自律機能が判明した。
- 最も単純かつ直感的な操作が可能であると思われる単体ロボットからボトム・アップ的に議論を進行させた結果、系統だった分類が可能となった。

次に指令分類に基づき、実際の操作指令の設計を行った。実際にプロトタイプシステムを構築し、挿入作業実験を行った。実験の結果、操作者がロボット群を操作する際に複数ロボットを群として扱い、群に対して指令を与えること、また、操作者からの指令とロボットの自律機能の妥当性が確認できた。反面、複数ロボットを群として扱うため、特にロボット群を直接操作する場合には移動により占有する領域が大きくなり、狭隘空間における細かい操作性の欠如が見受けられた。

(b)の環境情報獲得に関して、ロボット群を環境に投入するのみで作業を可能とするための環境情報獲得手法、及びロボット群の相互位置同定手法を開発した。環境情報は個々のロボットの上に搭載した CCD カメラを用い、2台のロボットがステレオ視を行うことで獲得した。対応点問題については、別のロボットの上に搭載したレーザポインタを操作者が操作して、明示的に計測対象物上の一点を示すことで行う。ロボットの相互位置同定についてはロボット上に位置・姿勢計測に適したマーカーを搭載し、カメラでそれを計測することで計算可能とした。環境情報獲得といった局面においても操作者が作業に必要なと思われる部分を選択的に指示することで冗長な情報獲得を省略可能であり、自律的には困難な情報獲得が可能となった。すなわち作業指向大局的情報の獲得がなされた。

(c)の情報提示に関して、作業指向大局的情報を操作者に提示するために仮想環境を構築し、操作を容易とするために GUI を設計・実装し

た。仮想環境は視点を自由に変更可能であり、また操作者が操作に必要な情報を把握する上で有効な手段である。また、GUI は文字ベースのインタフェースに比較して理解が容易であり、習得が短期間で済むという利点がある。それぞれ汎用性、ユーザーとの親和性を考慮し、Windows アプリケーションとして実装した。

提案した手法を統合し、一つのシステムとして稼動することを確認し、有効性を評価するため、未知環境において搬送作業を行った。図1に実現した作業設定を、図2に指令とロボットの関係を示す。ここでは、3台の小型移動ロボットにより、大型物体を搬送する作業を対象としている。前方のロボット2台が搬送作業を遂行する作業ロボットであり、後方のロボット1台が作業監督を行い、位置・姿勢計測を行う監督ロボットである。図3に作業遂行過程を示す。図3(a)において、作業ロボットがマーカーを点灯させ、それを監督ロボットが観測することで監督ロボット座標系における作業ロボット位置・姿勢を測定した。図3(b)において、物体にレーザを照射することで、監督ロボット座標系における物体位置、姿勢を測定した。図3(c)に、ロボット座標系において物体情報を獲得している状況を示す。図3(d)に物体搬送のために作業ロボットが物体にアプ

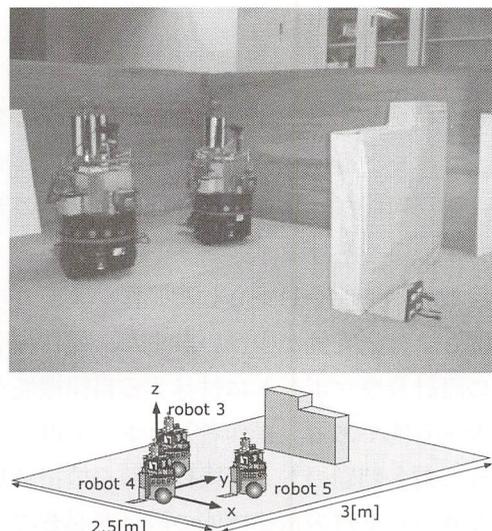


図1 実験環境

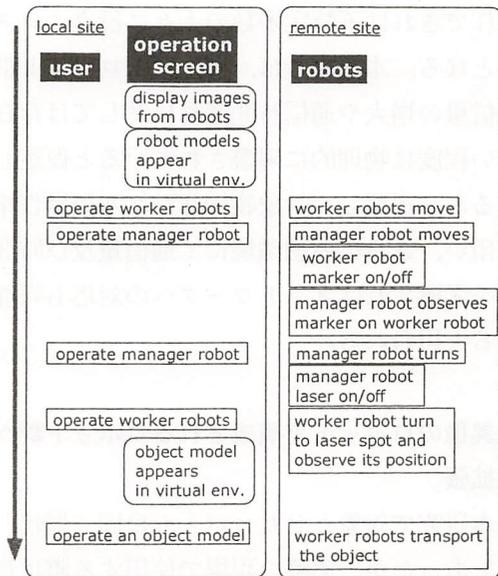
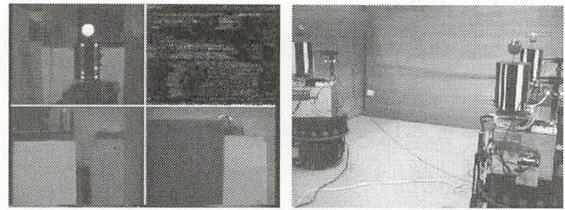


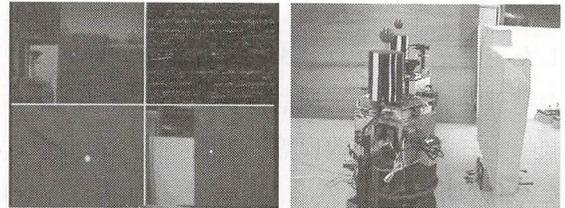
図2 作業指令とロボットの動作の関係

ローチしている状況を示す。図3(e)において、搬送指令に基づき、作業実現をしている様子を示す。実験結果により、以下の点が確認できた。

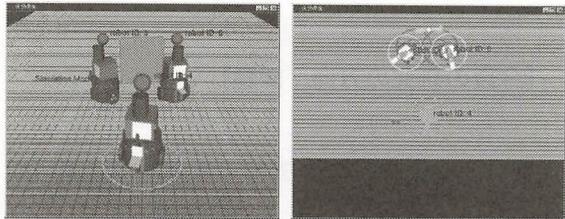
- 指令レベル分類に関して、微調整のような即応性、精度を要求される作業は逐次指令的な直接操作、把持位置への移動、対象物持ち上げ後の搬送のような自動化が可能な部分は目標位置を与える間接操作といった指令レベルの使い分けが有効であることがわかった。
- 未知環境においてロボットの位置・姿勢を同定し、対象物情報を獲得し、形状モデルを生成可能なことを確認した。作業成功を期して最も安全性の高い高精度で環境の情報を獲得するか、あるいは移動が保証されるレベルの精度におさえ、操作者が介入するか、という問題がある。持ち上げ搬送作業における対象物の把持といった局面では高精度のモデルが必要であり、移動が保証されるレベルの精度では失敗する可能性があるが、操作者の介入によりモデルの誤差を補償可能であり、操作者がシステムに介入している利点を確認できた。これにより、情報獲得に関して大局的情報、作業指向大局的情報、局所的情報に分類し、作業指向大局的情報の獲得を保証し、それ以上の精度（局所的な動作に必要な精度）は操作者が必要に応じて介入することで補償



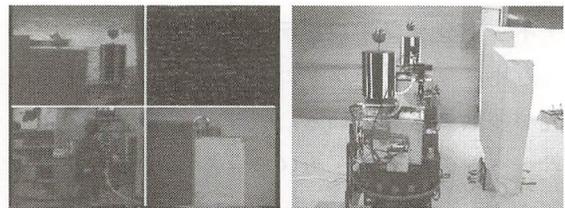
(a) 監督ロボット4, 作業ロボットマーカ点灯時画像取り込み



(b) 監督ロボットレーザー照射 (物体左端), 作業ロボット回転後画像取り込み



(c) レーザー照射位置認識結果に基づく物体モデル導出



(d) 物体把持位置への移動開始



(e) 仮想環境上で指示した位置へ移動終了

図3 作業実現過程

する、本研究のアプローチの有効性を確認できた。

- 操作者に対して、作業指向大局的情報は仮想環境にて、局所的情報はロボット搭載カメラ画像にて情報提示を行った。操作者は通常、作業環境周囲の必要情報が提示された仮想環境を監督しつつ作業を行い、対象物把持の際など局所的情報が必要な場合はカメラ画像を見る。このように情報の詳細度により提示手

法を変化させることで操作者の情報把握が容易となることを確認できた。

システム全体として作業遂行能力があることを確認できた。

結論として、ロボット群の「操作」を念頭においたシステムを構築したことを述べた。構築したシステムはプロトタイプであり、ロボットの踏破性能の向上・通信の安定性の確保、マニピュレータ機構の改良等、実際の使用に供するためには問題点も残っているが、前掲(a)~(c)の3点が重要であることは実用面においても同様である。

[今後の研究の方向, 課題]

本研究で提案した手法・システムの展開可能性について考察する。

・ネットワーク・ロボティクスへの拡張

近年ネットワーク・ロボティクスに関する研究が多数為されている。大学や研究機関のホームページの中には、カメラ・システムと遠隔操作システムを組み合わせ、WWW上でロボットを遠隔操作するという実験を行っているところが少なくない。ネットワーク・ロボティクスは非常に大きな可能性を秘めていると考えている。例えば、留守宅に移動ロボットを設置しておき、外出先からアクセスして、急用を済ます、などということも可能になる。WWWのリアルタイム性を利用し、ロボットにあらかじめ情報を保有させる必要も無く、複数ユーザーに様々な情報・サービスを提供することが可能となる。ある目的に特化したロボットを用意せずとも、ロボット群を容易にWWW上で

操作できれば不特定多数の人々に役立つシステムとなる。本研究では、操作者とロボット群は通信量の増大や通信時間遅れに関しては存在しない程度に物理的に隔離されていると仮定しているが、提案した対象物操作レベルの操作指令を用い、さらに仮想環境にて通信量及び時間遅れを考慮すればネットワークへの対応も可能であると思われる。

・異種のロボットで構成されるロボット群への拡張

本研究で対象としたロボットは同一形状、性能であったが、実際の現場で使用する際には必ずしもロボットを統一できるわけではない。むしろ、様々な種類のロボットが混在するいわゆるヘテロな系が普通である。ロボット毎の動特性、形状を考慮し、そのような場合にも対応できるように、指令及びインタフェースを考慮する必要がある。

・インタフェースの改良

本研究で採用したインタフェースはGUI、すなわち視覚情報に訴えかけるものであった。しかし、視覚・聴覚・触覚・言語等、人間の複数の感覚器及び認知処理様式を考慮して種々の情報を処理し、操作者に提示する。いわゆるマルチ・モーダル・インタフェースにした場合、さらに操作性が向上することが考えられる。音声、力覚情報などは有用な情報である。

[成果の発表, 論文等]

- 1) 中村 明生, 太田 順, 新井民夫, 金子慎一郎: 人間監視下の単眼視ロボット群による環境認識システム, 日本機械学会論文誌, C編, 投稿中, (2001)

脊髄損傷者用歩行補助装具の開発

A Gait Orthosis for Paraplegics with a Motor-driven Knee and Hip Joint

1011003

研究代表者	お茶の水女子大学生生活科学部 助教授	太田 裕治
共同研究者	国立身体障害者 リハビリテーションセンター研究所	矢野 英雄
共同研究者	国立身体障害者 リハビリテーションセンター研究所	中澤 公孝
共同研究者	国立身体障害者 リハビリテーションセンター研究所	河島 則天

[研究の目的]

交通の高度化、スポーツ活動の興隆によりそれに伴う事故数も増加傾向にある。事故の際に脊髄神経が外傷を受けて断裂し受傷部位以下の制御や感覚が失われたものを脊髄損傷と呼ぶ。脊髄損傷者の受傷後の生活を考えた場合、最も問題となるのは移動手段である。現在では車椅子の利用がほとんどであるが、車椅子のみに頼り歩行を放棄すれば、長期的には呼吸循環機能、筋量、骨密度、免疫、消化機能などの諸生理機能は低下し、更に心理的側面（視線の高さの違い）も問題となる。現時点では我が国の脊髄損傷者数は63,000人（91年）から76,000人（96年）と増加傾向にあり、また世界全体では100万人超と考えられており、歩行装具に対する潜在的必要性は極めて高いと考えられる。

これに対して現在までに脊髄損傷者の立位歩行を支援する装具が多く開発されてきた。しかし多くは専門施設でのリハビリテーション訓練を目的とした装具であり、関節の回転自由度が少ない上に動力手段を持たないため多大な歩行労力が必要となり、僅かな段差越えも困難である場合が多い。このことが日常利用に結び付かない理由の一つと考えられる。以上より本研究

では、股・膝関節にパワーアシスト機構を付与することで多自由度低労力型歩行装具を開発し、日常利用に供することを目的とした。

[研究の内容、成果]

データベース Medline/PubMed にて Paraplegia, Orthosis 等のキーワードにて検索すると過去 300 件程度文献がある。多くは装具の臨床評価、装具間の比較、また近年では機能的電気刺激（FES）を利用した装具の評価に関するものであり、装具開発そのものに関する報告は比較的少ない。現時点で市販されている装具としては、Parawalker、左右脚のレシプロ（往復動）機構を有する RGO (Reciprocating Gait Orthosis)、RGO を進化させた ARGO (Advanced RGO)、短下肢装具を股下継手で接続した Walkabout、矢野らにより開発された下肢長可変機構を有する Weight Bearing Control (WBC) Orthosis. 等がある。これらの装具はいずれも動力手段を持たないため、下肢の振出しには体幹部分の大労力を必要とし、それが装具使用中断の理由の一つと考えられる。このため近年では残存筋を電気刺激し屈曲伸展させる FES によるパワーアシスト化が検討さ

れている。本提案ではこれとは別に、制御性に優れるモータ動力によるパワーアシスト化を提案する。更に従来の歩行装具では膝折れの危険性から遊脚中に膝を屈曲する装具は存在せず、膝関節を伸展固定させた状態で股関節のみ回転させるものが全てであったが、本研究で開発する装具は股関節のみならず膝関節もモータ動力により回転させることで foot-floor clearance を大きく取り歩きやすく、より健常者に近い歩容の実現を特徴とする。

1. 膝関節駆動機構

図1に膝関節を回転させるためのメカニズムを示した。図に示すごとく膝関節裏側にリンク機構を組み込み、リンク機構の一端をリニアアクチュエータにより伸縮させることで、膝関節を回転させるものである。リニアアクチュエー

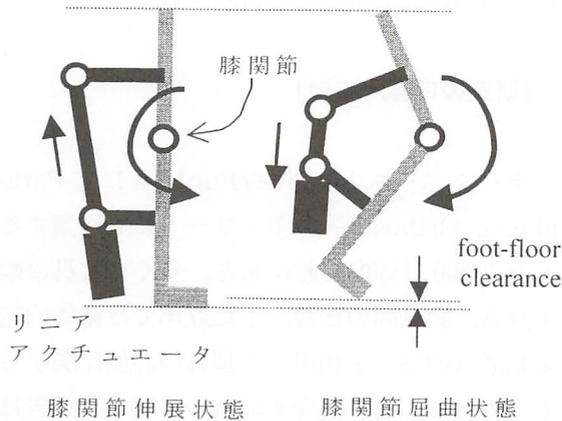


図1 膝関節を回転可能とする歩行装具原理図

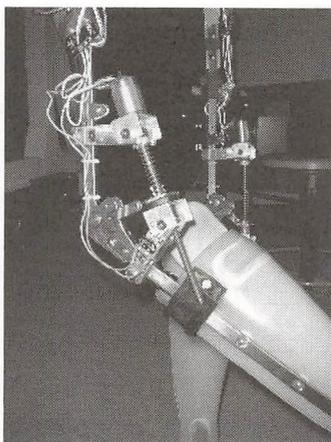


図2 動力化 ARGO 装具の膝関節屈曲

タは、低イナーシャの DC モータ (MINI-MOTOR, 3557012 CS, FAULHABER, Swiss, 14.5 W) 及びボールネジ (リード 2 mm) を組み合わせることで作成し、屈曲角度は最大で 70 度とした (図 2 参照)。以上のメカニズムを先に述べた市販装具の中で剛性・長期信頼性が最も高いと考えられ、かつ交互歩行のためのレシプロ機構を有する ARGO 装具に対し取り付けした。取り付けに際しては ARGO 自身が有する膝関節ロック機構を利用し遊脚期以外は膝関節は伸展位置でロック状態を保つようにし安全面に十分注意した。

2. 股関節回転機構

図3に ARGO 装具の股関節の回転機構を示す。図に示すごとく ARGO では左右の脚はワイヤで連結されており、一方が前に振り出されると他方は後方へ回転する仕組みになっており、これが ARGO による交互歩行の安定化に貢献している。ここではこのメカニズムを利用しワイヤと脚の連結点をリニアアクチュエータにより前後に動かすことで股関節回転 (脚振り動作) のパワーアシスト化を行った。

膝関節・股関節の両機構とも駆動用電源にはニッケル・水素蓄電池 (サンヨー Ni-MH 1600, 1,600 mAh) を 12 本直列接続 (約 14 V) し、連続 1 時間程度の使用を可能とした。また両関節の回転操作はユーザ自らが行うものとし、ス

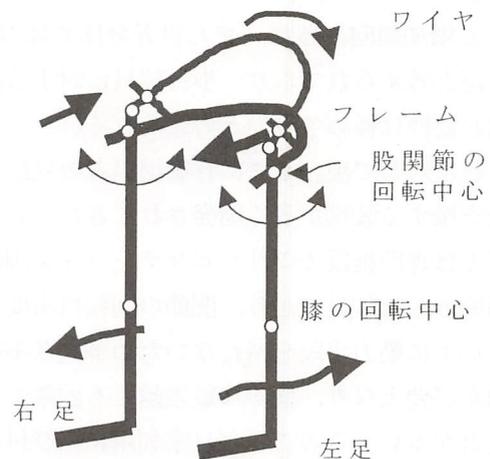


図3 ARGO 装具の股関節往復動機構

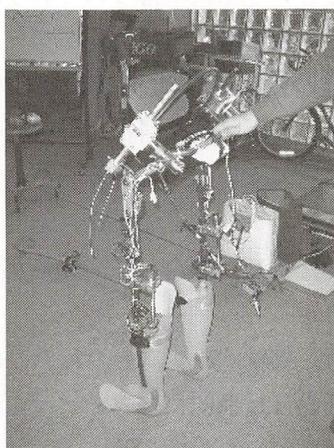


図4 パワーアシスト装具の全体像

スイッチはクラッチ（杖）の握手部分に設置した。スイッチとモータとの電氣的接続は赤外線リモコンとし、ケーブルによる転倒・断線による危険性低減を図った。これらの動力機構、スイッチは単純な機構であり、ARGOはじめ他の装具にも容易に取り付け可能である。図4にパワーアシスト装具の全体像を示す。

3. 歩行実験並びに結果

以上により試作した装具を用いて20才代の脊髄損傷者2名（T6, T12）を対象に歩行実験を行った。またバイコンシステム370を用いることで歩行中の3次元運動解析、筋電図計測、床反力計測を行った。装具による歩行の様子を図5に、また図6にパワーアシストによる膝回転を行った場合及び行わない場合のバイコンによる歩容の計測結果を示す。

以下に歩行実験により得られたパワーアシスト化によるものと考えられる主な要点を示す。

- パワーアシスト化により歩行速度は、23%（T12, 健常者の約半分）並びに28%（T6）向上した。また歩幅も、7%（T12）並びに22%（T6）向上した。
- 膝関節屈曲の最大値は約 37° であった。
- 歩行時の肩及び骨盤の回旋角度の時間変化を測定し、回旋角度絶対量（振幅）が減少したこと、またこれらの値の加速度値（即ち回旋トルク）が減少したことを確認した。これら



図5 被験者（T12）によるパワーアシスト装具装着歩行

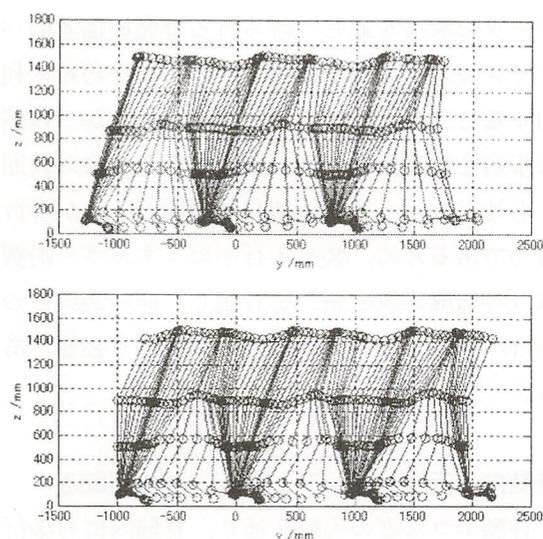


図6 パワーアシスト装具による歩行運動解析（T12, 右足。上：膝回転なし，下：膝回転有）

の値の減少は歩行労力の低下を意味し、これは患者の主観的評価とも良く一致した。

- 非アシスト歩行と比較し、パワーアシスト化により下肢筋群より誘導される筋電信号はより増強されることを確認した。更に歩行周期に一致した筋群のリズミカルな筋電信号が得られた。

【今後の研究の方向，課題】

装具の実用化に関して

以上のパワーアシスト装具により脊損患者による立位歩行が可能であった。今後は本メカニズムをベースにより多くの患者で装着歩行実験を行い、装具の長期信頼性・耐久性・安全性の向上を図ることで実用化を目指す必要がある。同時に日常生活での装具の利用形態も十分考慮

する必要がある。例えば車椅子と併用した場合の使い勝手、立ち上がり（及び着座）動作を支援するメカニズムの付与などの検討が必要である。また試作機では装具機構と生体の歩行バイオメカニクスが必ずしも最適整合となっていないため、今後3次元機構解析プログラムなどを活用することで、装具機構の動特性、強度などの面から最適化設計を行う必要がある。最適化に際してはバイコンシステムによる歩行計測データの解析を通じて得られる脊髄損傷者のバイオメカニクスの歩行ダイナミクスを巧みに利用することで、エネルギー効率が良くかつ自然な歩容を実現することが重要である。なお冒頭でも述べたように現行装具の問題の一つが歩行労力であるため、装具歩行中のエネルギー消費量（呼気酸素摂取量）を計測し、他の装具との歩行パフォーマンスの比較も今後行う必要がある。

脊髄内歩行パターンジェネレータの再賦活

脊髄ネコなどの実験を通じ、脊髄内にも歩行のためのパターンジェネレータが存在することが示されていることから、現在では脊髄損傷者の場合も歩行装具によりこれを再賦活することが可能と考えられ始めている。即ち実験結果で述べたように脊髄損傷者が立位歩行することにより麻痺した筋群から筋電信号が計測されており、このことは脊損の場合でも麻痺筋は基本的な制御性を失っていないことを意味する。車椅子上で生活を送る限りにおいては傷害を受けた脊髄神経は歩行動作による刺激入力を受け付けない状況にあるが、仮に装具による立位歩行を日常的に行えば、下肢筋群の伸展反応は脊髄神経内に入力されるため、これを再賦活し安定した歩行パターンが現出するものと考えており、将来的に脊髄損傷者の歩行は十分現実性があると考えている。しかも本研究での実験からは、パワーアシスト条件を付与することで筋電信号

は増強するという結果が得られており、今後、脊損患者での歩行時における筋電データを収集し、その経時変化を検討することはパターンジェネレータの再賦活を目指した神経生理学の観点からも意義深いものと考えられる。即ち、

- 装具のパワーアシスト化条件（速度・トルク等）を変化させた場合に筋活動量がどの程度変化するか
- 装具歩行を継続的に実施した場合、麻痺領域の神経活動は長期的にはどのような可塑的変化（学習訓練）を遂げるか

に関して検討を行う必要がある。特に装具機構の改良という観点からは、脊髄歩行パターンジェネレータのスムーズな再賦活を実現させるためのメカニズム並びに各関節モータの制御手法の開発を行う必要がある。すなわち単に立位歩行させるのみならず、歩行運動に関わる下肢筋群を長期間リズムカルに強制伸展させることで脊髄神経における歩行機能の再賦活を促進させるためのメカニズムを装具に持たせることが可能となろう。これにより脊髄機能が再賦活されれば、より自立的な歩行動作が可能となり、結果として装具に要求されるパワーアシスト設計仕様はより小さいものとなり安価簡便な装具が提供可能となる。以上の装具開発により脊髄損傷患者の日常歩行は現実的となり、患者の身体及び精神状態、Quality of Lifeは飛躍的に改善されると共に、社会参加、就労支援、ノーマライゼーションに大きく貢献できるものと考えられる。

[成果の発表、論文等]

Y OHTA, et al.: A Gait Orthosis for Paraplegics with a Motor-driven Knee Joint. 4th World Biomechanics Conference, Calgary Canada 2002 Aug. (Accepted)

吉田，太田他：脊髄損傷者の装具歩行と理論値の比較検討。ライフサポート学会大会。2002年9月。

ファジィ論理による近赤外光を用いた 脳機能解析支援システムの開発

Fuzzy Logic Aided Human Brain Function Analysis in Near-Infrared Spectroscopy

1011004

研究代表者

姫路工業大学大学院工学研究科 助手
電気系工学専攻

小橋 昌司

【研究の目的】

本研究では、ヒト脳機能の解析手法開発を目的とする。まず近赤外光による脳機能測定装置(NIRS)を用いて測定した脳表のヘモグロビン濃度時系列データに対する解析手法を提案する。また、NIRSが測定するヘモグロビン反応の性質を調べるため、fMRIによる解析を行う。さらに、それら解析結果に脳構造情報を重畳するため、頭部MRI画像からの領域抽出法も検討する。

【研究の内容、成果】

1. NIRSを用いた言語優位半球判定¹⁻³⁾

ヒトは左右大脳半球どちらかに言語機能の優位性を示す。言語優位半球判定は、脳外科手術において重要な術前診断の一つである。そこで本研究では、NIRSを用いた言語優位半球判定法を提案する。

1.1 NIRSによる脳機能データの測定

本研究では、日立メディコ社製のNIRS装置(ETG-100)と、開発した言語野刺激提示装置を用いて、合計390秒/サンプリング時間0.1秒=3900ポイントを、7名の被験者に対し数回測定した。計測点は左右言語半球を含む24点(各点3cm×3cm)とした。

1.2 ファジィ言語半球判定法

本手法の流れを次に示す。

1) 各計測点 P_i に対し、言語野に対するファ

ジィ所属度 μ_i を求める。

2) 各計測点 P_i に対し、左右半球のヘモグロビン濃度上昇率の比(LI_i)を次式で求める。

$$LI_i = 100 \times \frac{\Delta C_L(i) - \Delta C_R(i)}{\Delta C_L(i) + \Delta C_R(i)} \quad (1)$$

3) 全計測点のヘモグロビン濃度上昇率比 LI_i を(2)式で求め、これをfuzzy laterality index (fuzzy LI) とする。

$$LI_{fuzzy} = \frac{\sum_i \mu_i \times LI_i}{\sum_i \mu_i} \quad (2)$$

1.3 実験結果

被験者(男性, 22才, ES (Edinburgh Score); 1.000)に対する提案法の結果を図1に示す。

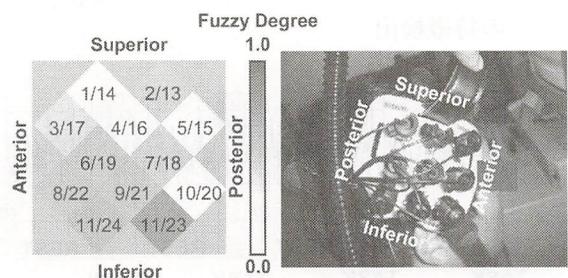


図1 言語優位半球の解析結果

表1 ファジィ言語半球結果

	年齢	ES	回数	Fuzzy LI		一致
				平均	分散	
1	22	1.000	1	- 8.70	0.00	1
2	23	0.625	2	- 22.75	32.17	1
3	23	0.875	3	18.90	24.89	1
4	23	0.733	5	- 14.10	8.98	5
5	22	1.000	2	- 0.05	5.30	1
6	23	1.000	2	- 15.45	6.43	2
7	24	0.800	2	- 12.25	6.15	2

左図は両半球の各計測点での言語野に属する所属度 μ_i を、右図は実験時のプローブ取付け位置を示す。NIRS の測定原理に基づき、計測点はプローブ間に設定される。同図より、言語野が両半球の測定範囲の約下半分に分布していることがわかる。次に、本手法を7人の被験者に数回適用し得られた優位性判定テストの結果を表1に示す。表で‘一致’は、利き手判定テストで求めた利き手 (ES) と、本手法による言語優位半球の判定結果が一致する数である。表より一致度は77% (= 13/17) であった。

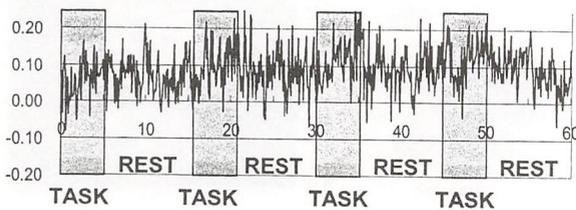
2. NIRS を用いた脳機能状態の解析⁴⁻⁶⁾

実行課題に応じて脳の機能的な情報処理ネットワークも変化する。現在、これに伴う脳血流変化がMRIの解析によって捉えられつつある。そこで、本研究ではより時間分解能の高いNIRSを用いた脳機能状態の推定法を提案する。

2.1 ファジィクラスタリングによる脳機能状態の推定

本研究では、前章で述べたNIRSを用い、被験者に運動課題を課して測定した時系列データを対象とする。提案する解析手法の流れを以下に示す。

1) Wavelet 変換による時間一周波数領域での特徴検出



(a) ヘモグロビン濃度の時間変化

2) Fuzzy C-Means (FCM) 法による時系列データのクラスタリング

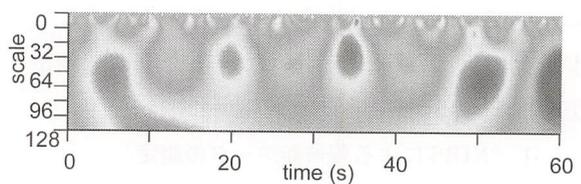
3) 類似クラスタの統合

2.2 実験結果

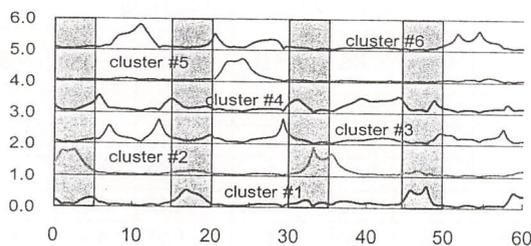
右利きの健常者に左手掌握運動を課し、得られた脳機能測定時系列データに本手法を適用した。図2(a)に示す原信号に対しWavelet変換を適用して得られたWavelet係数を(b)に、各時点でのWavelet係数を特徴ベクトルとし、クラスタ数6でFCMを適用した結果を(c)に示す。次に、各クラスタ間の類似度を、クラスタ中心の特徴値ベクトル間のユークリッド距離として類似クラスタを再帰的に統合し得られた2つのクラスタを(d)に示す。(a)～(d)で横軸は計測時間、縦軸は(a)はヘモグロビン濃度の変化率、(b)はWavelet変換のScale、(c)と(d)はファジィ所属度を示す。以上の実験及び解析の結果、運動状態と休息状態にそれぞれ対応する脳機能状態が推定できたことが確認された。

3. fMRI による Hemo Dynamics 解析⁷⁻⁹⁾

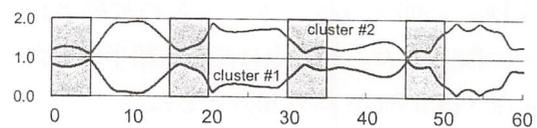
NIRSによる脳機能解析の結果、ヘモダイナミクス反応が脳の場所により異なる傾向が見られた。そこで、本研究ではそのヘモダイナミクス反応の違いによる脳機能地図の作成を目的と



(b) Wavelet 変換による特徴検出



(c) FCM によるクラスタリング結果



(d) クラスタリング統合結果

図2 脳機能状態推定結果

して、fMRI によるヘモダイナミクス解析法を提案する。

3.1 fMRI による脳機能データの測定

本研究では、GE Medical Systems 社製の MRI 装置 (Genesis Signa 1.5 Tesla) と、開発した運動野刺激提示装置を用いて、interlaced scan 法により、シングルイベントに対する BOLD 信号の時系列変化 30 秒 / サンプルング時間 0.1 秒 = 300 ポイントを、9 名の右利き健常者に適用し各数回測定した。計測範囲は全脳で、画素数 64×64 、撮影範囲 $260 \text{ mm} \times 260 \text{ mm}$ とした。

3.2 ウェーブレット変換を用いた Hemo Dynamics 解析法

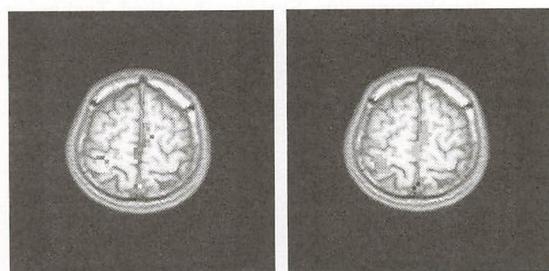
提案する解析法 (HAW ; Hemo-dynamics Analysis by Wavelet transform 法) は、仮説を用いずに、ウェーブレット変換による各画素の賦活の度合い、ヘモダイナミクス反応の遅延 (HR delay) を自動計測する。

3.3 実験結果

右手掌握運動を右利き健常者に本手法を適用した結果を図 3 に示す。(a) は構造画像に賦活の度合い (赤 (低い) - 白 (高い))、(b) は HR delay (緑 (4 秒) - 青 (6 秒)) を重畳表示したものである。図より本手法により賦活場所の同定、さらに HR delay のマッピングが行えたことがわかる。さらに、脳場所によって HR delay が大きく異なることが、本手法により明確に確認できる。

4. 頭部 MRI 画像の自動分割¹⁰⁻¹³⁾

本研究により、NIRS を用いた言語機能の評



(a) 賦活場所 (b) HR Delay Map

図 3 ヘモダイナミクス解析結果

価及び脳機能状態推定法、fMRI に対するヘモダイナミクス解析法により、ヒト脳の機能解析を可能にした。そこで、本章では得られた機能解析結果を構造画像上に重畳するために、脳の解剖学的指標となる側脳室の MRI 画像からの抽出法を提案する。

4.1 MRI による脳構造画像の撮影

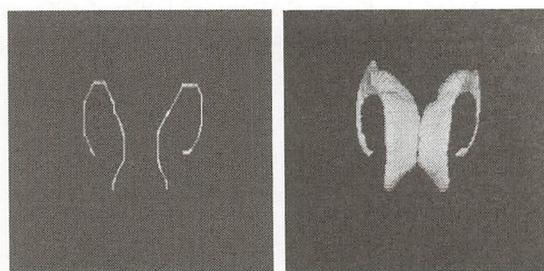
GE Medical Systems 社製の MRI 装置 (Genesis Signa 1.5 Tesla) で 3D SPGR (spoiled gradient echo) 法により冠状断で撮影された T1 強調 MR 画像を処理対象とした。データ構成は、画素数 $256 \times 256 \times 128$ 、濃度階調 256、スライス厚 1.5 mm、FOV は $220 \text{ mm} \times 220 \text{ mm}$ である。

4.2 ファジィ形状制約アルゴリズムを用いた側脳室の自動抽出

ファジィ規則で表現された医師の知識を用いて、抽出領域のおおまかな場所、形状を代表線として描出するファジィ形状制約アルゴリズムを適用する。得られた代表線と Watershed Segmentation 法を用いて側脳室を自動抽出する。

4.3 実験結果

図 4 (a) に本提案法によって得られた代表線を、(b) に側脳室の自動抽出結果を示す。同図より側脳室が正確に抽出できていることを確認した。また、60 例に対して本手法の抽出精度の評価を行った結果、医師の手作業による体積測定と高い相関 (誤差 $1.8 \pm 1.67\%$) を示した。



(a) 代表線 (b) 側脳室

図 4 頭部 MRI 画像の自動分割結果

[今後の研究の方向, 課題]

本研究はヘモダイナミクス解析や脳機能などの基礎的研究と、構造画像や優位性判定などの臨床的研究を行った。今後は、それらの相互利用による、より高次脳機能の解明と、また臨床で用いる脳機能解析支援システムの構築を行う。その為に、より大規模な実験を行い、提案手法の評価や、方法論の理論的考察を行うことが必要である。

[成果の発表, 論文等]

- 1) 松本綱紀, 小橋昌司, 畑 豊, 喜多村祐里, 柳田敏雄: 言語優位球判定のためのファジィモデルを用いた NIRS データ解析法, 電子情報通信学会技術研究報告, pp. 71 - 76 (2002)
- 2) S. Kobashi, T. Matsumoto, Y. Hata, Y. T. Kitamura, and T. Yanagida: Fuzzy Lateral Index for Determining the Language Dominance Using Near-Infrared Spectroscopy, Proc. of the 4th Int. Forum on Multimedia and Image Processing (2002)
- 3) S. Kobashi, T. Matsumoto, Y. Hata, Y. T. Kitamura and T. Yanagida: Fuzzy Logic Approach to Investigating the Language Dominance Using Near-Infrared Spectroscopy, NeuroImage, 8th Annual Meeting of the Organization for Human Brain Mapping (2002)
- 4) S. Kobashi, Y. Hata, Y. T. Kitamura, Y. Hata, T. Hayakata and T. Yanagida: Brain State Recognition Using Fuzzy C-Means Clustering with Near Infrared Spectroscopy, Lecture Note in Comp. Sci., Int. Conf. on Computational Intelligence, pp. 124 - 136 (2001)
- 5) S. Kobashi, Y. T. Kitamura, M. Otsuki, Y. Hata, H. Naritomi, and T. Yanagida: Time Series Analysis in Near-Infrared Spectroscopy Aided by Fuzzy C-Means and Wavelet Transforms, NeuroImage, 7th Annual Meeting of the Organization for Human Brain Mapping, Vol. 13, No. 6, p. S 175 (2001)
- 6) 小橋昌司, 喜多村祐里, 畑 豊, 柳田敏雄: クラスタリングを用いた近赤外計測装置による脳機能計測データの解析, 第40回日本ME学会大会, p. 505, May. (2001)
- 7) 頭井拓朗, 小橋昌司, 喜多村祐里, 畑 豊, 柳田敏雄: Event-related fMRI を用いたヘモダイナミクス解析法, 電子情報通信学会技術研究報告, pp. 31 - 36 (2002)
- 8) T. Zui, S. Kobashi, Y. T. Kitamura, Y. Hata, and T. Yanagida: Data-driven Analysis of Hemodynamic Response Delay in Event-related fMRI Using Wavelet Transform, Proc. of IEEE Workshop on Mathematical Methods in Biomedical Image Analysis, pp. 113 - 120 (2001)
- 9) S. Kobashi, T. Zui, Y. Hata, Y. T. Kitamura and T. Yanagida: Wavelet Based Analysis of the Hemodynamic Response Delay in Event Functional MRI, NeuroImage, 8th Annual Meeting of the Organization for Human Brain Mapping (2002)
- 10) 小橋昌司, 畑 豊: 頭部 MR 画像からの側脳室抽出のためのファジィ形状制約アルゴリズムの提案, 第10回日本ファジィ学会北信越支部シンポジウム (2001)
- 11) S. Kobashi, T. Takae, Y. T. Kitamura, Y. Hata and T. Yanagida: Fuzzy Medical Image Processing for Segmenting the Lateral Ventricles from MR Images, Proc. of IEEE 2001 Int. Conf. on Image Processing, pp. 1095 - 1098 (2001)
- 12) S. Kobashi, T. Takae, Y. Hata, Y. Kitamura and T. Yanagida: Automated Segmentation of cerebrospinal fluid and lateral ventricles from human brain MR images, in Proc. 20th Annual Meeting of the North American Fuzzy Information Processing Society, pp. 1961 - 1966 (2001)
- 13) S. Kobashi, K. Kondo, Y. Hata, and M. Matsui: Knowledge-Based Fuzzy Shape Detective Algorithm for Segmenting Human Brain MR Images, Knowledge-Based Intelligent Information Engineering Systems & Allied Technologies. (印刷中)

ZnMgCdS 系材料による UV-A 直測センサーの 開発に関する基礎研究

Basic Research on the Development of UV-A Visible Blind Sensors Using
ZnMgCdS Based Materials

1011005

研究代表者 早稲田大学各務記念材料技術研究所 教授 小林 正和

[研究の目的]

近年オゾンホールの問題で代表されるように紫外線の影響に対する問題が重要視されてきている。これまでは、「健康的な日焼け」と呼ばれるように、適度の日焼けは健康に良いものと考えられてきた。そして、「健康的な日焼け」を得るのには紫外線の中でも UV-A 領域の光が有効であると考えられてきた。

他方 UV-B や UV-C などの紫外線の成分も知られているが、UV-C は地表に到達する前に大気に吸収されてしまうため特に問題視されていなかった。また、UV-B は光のエネルギーが高いため、従来より問題視されている成分である。

近年窒化ガリウム系半導体技術の進歩により UV-B のセンシングに関しても、技術が飛躍的に進歩している。また、これまでは健康に良い面ばかりが注目されていたため UV-A のセンシングには十分に注目されていなかった。しかしながら、UV-A の光は UV-B の光に比べてより皮膚の深部まで入ること、太陽光の紫外線成分のうちでは UV-A が主となっていることなど、UV-A に対する影響が深刻視されるようになってきた。

従来より紫外線センサーは実用化されているものの、多くの場合、紫外線を選択的に受光するために可視光領域にフィルターをつけるなど、必ずしも効果的な方法によって紫外線センサー

が作製されてきたわけではない。

そこで、本研究では、UV-A 領域の光を直接かつ選択的に受光できる素子構造を提案し、それを作製するために基礎的な知見を得ることを目的とする。

[研究の内容、成果]

UV-A 領域の紫外線を可視光の影響を無視できる状態で直接測定可能な材料を選定する際、禁制帯幅、光感度、格子定数などさまざまな観点から検討を行う必要がある。従来のおわれわれの研究により、それらの条件を満たす材料として GaAs 基板上に作製された ZnMgCdS 系の材料が適当であることを明らかにしてきた。そこでわれわれは、本材料系を実際に分子線エピタキシー法により作製し、その物性を明らかにすることを目指すわけであるが、分子線エピタキシーによる薄膜成長に関しては、基板前処理や薄膜の成長条件の設定、素子構造に関しては、光応答性など、さまざまな観点から検討を加える必要がある。われわれはまず、標記材料の成長を念頭に、基板表面の処理技術の確立を行い、次に RHEED 観察などを用いて標記材料の結晶成長の過程観察を行った。

1. 基板の表面処理技術の開発

GaAs は化合物半導体基板の代表的なものであり、その処理方法等は確立されたものと考え

られる。ただし、表面を砒素ビーム中にさらすなど、GaAs 基板上に GaAs 系材料を作製する場合に限ったことで、本研究で意図しているように GaAs 基板上にまったく異なった性質を有する材料を形成する場合には新しい処理技術が重要であると考えられる。特に本研究で提案しているような S 化合物は GaAs 表面を劣化させることが知られているので、その前処理技術に関しては慎重に検討する必要がある。

本研究では近年利用されることが徐々に増えつつある原子状水素を用いて基板の表面処理を行うこと、そして、その処理表面上に GaAs と格子整合が取れ、ZnMgCdS 系材料と比較的類似である ZnSe 材料を成長し、これら前処理を行った基板を薄膜成長に適應することを検討した。

図 1 に本研究で使用した分子線エピタキシー

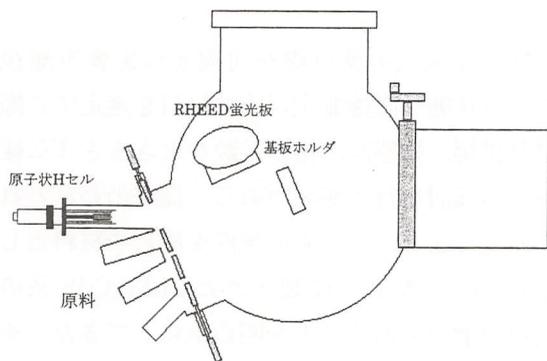


図 1 実験装置概略図

装置の概略図を示す。熱分解により生成された原子状水素 (分圧 2×10^{-6} mbar) を加熱した基板表面に照射することによって酸化膜の除去・表面の平坦化を試みる。引き続き、Zn ビーム Se ビームを交互に照射することによって高品質 ZnSe 薄膜を GaAs 基板表面に形成する。

通常 GaAs の酸化膜除去は砒素ビーム中で 580°C 程度の高温で行うが、原子状水素を用いることにより 400°C 程度の低温でも処理が可能になったことが明らかになった。処理後の RHEED 観察の結果を図 2 に示す。低温であり、砒素も用いていないが、表面再配列構造が明瞭に観察されるほど表面平坦性に優れた基板前処理が行えた。さらにその表面を AFM 顕微鏡により観察した。その結果を図 3 に示す。写真から明らかのように、基板処理表面からは原子ステップが明瞭に観察されており、本処理技術の有効性が明らかになった。なお、関連の成果として本技術を ZnTe 基板の表面処理にも適用し、低温で酸化膜の除去・ホモエピタキシャル膜の結晶成長に成功している。

さらに GaAs 表面の S によるダメージを除去する目的で作製した ZnSe 層の作製直後の RHEED パターンを図 4 に示す。基板温度 280°C で Zn と Se の交互供給により ZnSe の初期核形成を行っている。その結果、 (2×1) 表面再配列構造が確認され、平坦性、結晶性の優れた ZnSe 層が形成されたこと、このことに

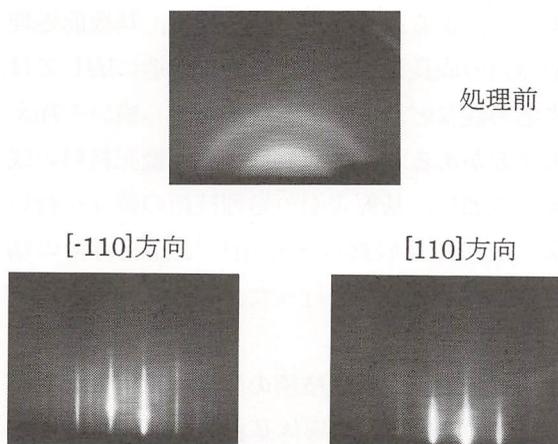


図 2 原子状水素処理による基板表面

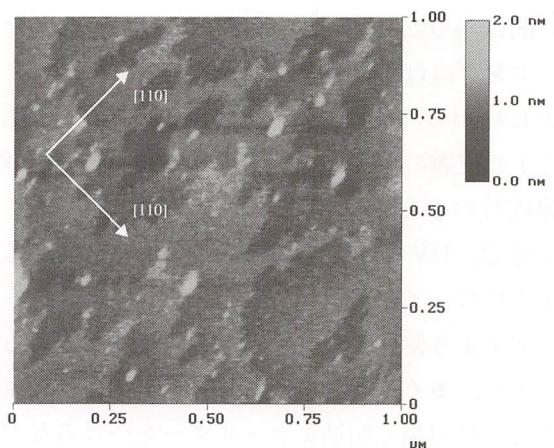


図 3 原子状水素処理後の表面 AFM 像

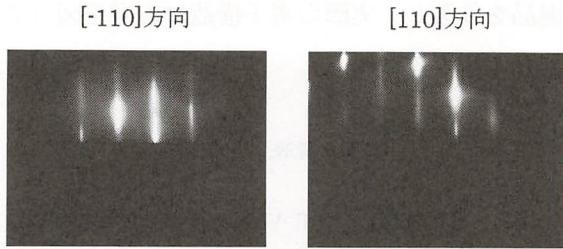


図4 ZnSeバッファ層表面の RHEED パターン
より S 系材料の成長前の表面処理技術として
本方法が適当なことが明らかになった。

2. ZnMgCdS 系薄膜の成長

以上のような表面処理を行った基板の上に ZnCdS, ZnMgCdS の結晶成長を行った。実際に成長した構造の概略図を図5に示す。分子線の調整等の目的により、まずは3元混晶の作製を行い、次に4元混晶の成長を行っている。基板温度 230°C で成長した4元混晶表面の RHEED 観察の結果を図6に示す。写真から明らかのように、基板表面のバルクスポットに対応した位置から混晶の回折が得られており、基

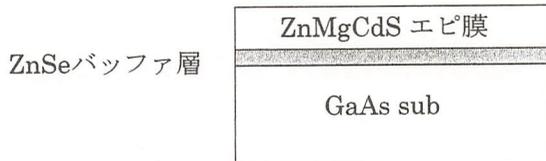


図5 成長した構造の概略

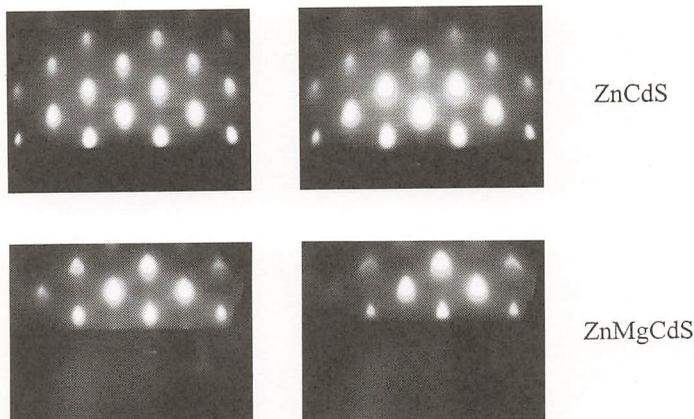


図6 エピ膜表面の RHEED パターン

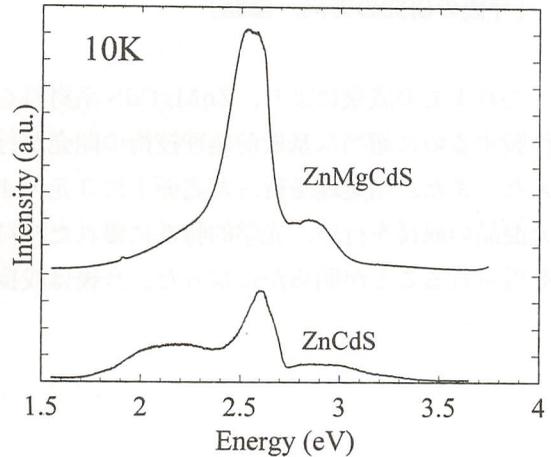


図7 エピ膜の低温 PL スペクトル

板とはほぼ格子整合した材料の成長が可能になったことが明らかになった。しかしながら、スポットがブロードなこと、ストリーク状になっていないこと、再配列パターンが観察されていないこと等、更なる成長条件の最適化が必要なることを示唆している。

得られた試料の光学的特性を評価するために液体ヘリウム温度においてフォトルミネッセンス測定を行った。その結果を図7に示す。3元・4元混晶の両者から 2.6 eV 付近にバンド端付近より明瞭な発光が観察された。発光ピークが必ずしも十分な先鋭度を有していないため、バンド端の正確な位置について詳細な検討は困難であるが、いずれの結晶からも紫外領域に対応した発光が観察されていることから、

RHEED では十分な結晶性が確認されていないにもかかわらず、光学的特性の優れた試料が得られたことが明らかである。

[今後の研究の方向, 課題]

これまでの成果により, ZnMgCdS 系材料を作製するのに適当な基板前処理技術の開発が行えた。また, 当処理を行った表面上に 3 元・4 元混晶の成長を行い, 光学的特性に優れた材料を得られることが明らかになった。今後は成長

条件の最適化を試み, 結晶学的にも優れた 4 元混晶を作製し, 実際の素子構造に応用を図っていく予定である。

[成果の発表, 論文等]

- 1) 応用物理学会・II-VI 族化合物半導体国際会議 (2003 年) 等で発表予定

ペット型ロボットがもたらす癒しに関する研究 —— 心理的・生理的指標による検討 ——

Therapeutic effects of a pet-like companion robot :
The use of psychological and physiological measures

1011006

研究代表者	お茶の水女子大学大学院人間文化研究科 助教授	坂 元 章
共同研究者	お茶の水女子大学大学院人間文化研究科・ 日本学術振興会	檀 淵 めぐみ

[研究の目的]

近年、続々と開発・発売されているペット型ロボットの目標の1つは、生き物のペットと同様の癒しの効果をもたらそうというものである。動物介在療法 (Animal Assisted Therapy : 以下, AAT とする) への応用も行われているペットの癒し効果については、これまでに多くの知見が蓄積されており、心理的安寧をもたらす効果や、緊張を緩和し血圧・心拍を低下させるなどの生理的効果が知られている。しかし同時に、人畜共通感染症の問題や、住宅事情によりペットが飼えないなど、生き物であるが故の問題も数多く存在する。もし、ペット型ロボットが生き物のペットのように癒しの効果をもつのであれば、このような問題のほとんどを解決することができ、ペットの癒しの効果を望ましい形で引き出すことが可能となろう。しかしながら、ペット型ロボットの癒しの効果について、信頼性の高い手法により検討した研究はほとんど見られない。

以上をふまえ、本研究では、ペット型ロボット AIBO が本物の動物のように癒しの効果をもたらすか否か、心理的・生理的側面から検討することを目的とする。

[研究の内容, 成果]

ペット型ロボットが癒しをもたらすか否か検討するためには、ペット型ロボットと触れ合うことにより、被験者が癒されることを示せばよいが、時間の経過による効果に過ぎないという代替説明を除去するためには、同じ時間何もしない場合 (対照条件) と比べてより高い効果を示す必要がある。しかし、ある程度の時間、何もしないでいることは日常的には特殊な状況と考えられることから、本研究では、対照条件に中性的な映像を視聴させることとする。映像の選択の際には、心理学の専門家による内容評定を行い、厳密を期す (予備調査)。

また、癒しの効果は、ストレスを強く感じている場合にもっとも必要性が高いと考えられる。そこで本研究では、あらかじめストレス負荷課題に従事させることによりすべての被験者にストレスを与えたうえで、ストレス状況からの回復の程度について、AIBO と遊ぶ **AIBO 条件** と、中性的映像を視聴する **ビデオ条件** のあいだに違いが見られるかどうか検討する。ストレス課題としては、簡単だが集中力を要する計算問題に解答させることとする。

癒しの測度としては、ペットの癒しに関する先行研究を踏襲し、心理的指標としては、**自尊心・孤独感・状態不安・ストレス**の各尺度を用

い、生理的指標としては、最高・最低血圧と心拍数を測定する。また、AATの効果は動物への愛着や好み、飼育経験により異なるとされることから、AIBOへの愛着度、犬の好き嫌い、動物の飼育経験がロボットの癒しの効果を調整するかどうかを検討する。さらに、ロボットはなじみのない存在であることから、機械への親和性の調整効果についてもあわせて検討する。

1. 予備調査

1.1 方法

1.1.1 評定者

心理学専攻の女子大学院生3名が、独立に評定を行った。

1.1.2 評定内容

寺崎・岸本・古賀(1992)の多面的感情状態尺度から、8つの下位概念(不安、敵意、倦怠、活動的快、非活動的快、親和、集中、驚愕)を測定する35項目を用いた。各項目について、類語国語辞典を参考に反対の意味の形容詞を定め、形容詞対を35項目作成し、「どちらでもない」を中央(0点)、対となる形容詞を両極(±4点)に置く9件法により測定した。

1.1.3 材料

暴力シーンが含まれず、ストーリー性が弱いという基準により8本のビデオ映像(アニメ3・風景3・情報提供2)を用いた。

1.1.4 手続き

評定者は、独立にビデオ8本を30分間視聴したのち、どの程度感情が動かされたかを評定用紙により9件法で評定した。

1.2 結果と考察

各評定者による各項目の評定値(範囲: -4~4)と、各項目の中心からの距離すなわち評定値の絶対値(範囲: 0~4)の平均値を算出した。両者ともに値が低いものほど、感情が動かされにくい、すなわちもっとも中性的な内容と考えられる。この基準による分析の結果、2本のビデオ、「世界の車窓から—フランス鉄道の旅—」と「新世界紀行ヨーロッパ『アルプ

ス』」の2本を中性的映像として選定した。

2. 実験

2.1 方法

2.1.1 被験者

女子大学生40名

2.1.2 ストレス負荷課題

隣り合う1桁の数字を足し算していく課題を用いた。

2.1.3 中性的映像

予備調査により選定したビデオ映像2本を用いた。

2.1.4 ペット型ロボット

AIBO ERS-111 (SONY)を用いた。

2.1.5 生理変数の測定装置

フィナプレス非観血式電子血圧計2300(オメダ)を用いた。

2.1.6 測定内容

以下の測度を用いた。

2.1.6.1 心理的指標

自尊心尺度(19項目)、孤独感尺度(16項目)、ストレス・疲労度尺度(20項目)、状態不安尺度(20項目)を、「全くあてはまらない」から「非常にあてはまる」までの9件法で測定した。

2.1.6.2 生理的指標

最高血圧、最低血圧、心拍数を5分間、30秒毎に測定し、その平均値を代表値として用いた。

2.1.6.3 調整変数

AIBO愛着度尺度(32項目)、機械への親和性尺度(17項目)を、「全くあてはまらない」から「非常にあてはまる」までの9件法で測定した。犬の好き嫌い、動物の飼育経験については、実験終了後のインタビューにおいてたずねた。

2.1.7 手続き

実験の状況は以下の通りであった。

安静時の生理指標(ベースライン)の測定
→ ストレス負荷課題 & 生理指標の測定

表1 条件別の平均値および標準偏差

		AIBO	ビデオ1	ビデオ2	
心理変数	自尊心	112.79 (21.47)	109.20 (40.17)	98.60 (25.22)	
	孤独感	50.60 (14.31)	58.40 (24.19)	74.10 (19.93)	
	ストレス	84.60 (24.38)	93.10 (36.85)	106.60 (30.10)	
	状態不安	69.58 (20.96)	76.20 (24.92)	91.90 (20.65)	
生理変数	最高血圧	(T1)	-2.52 (14.03)	4.39 (9.18)	0.66 (8.33)
		(T2)	-3.84 (14.28)	4.07 (11.61)	3.62 (9.80)
		(T3)	-2.47 (14.99)	2.45 (14.23)	2.49 (10.89)
	最低血圧	(T1)	-0.47 (7.83)	1.32 (6.23)	-0.38 (7.37)
		(T2)	-1.99 (7.59)	1.70 (7.94)	2.28 (7.94)
		(T3)	-3.51 (9.07)	3.47 (9.42)	3.55 (8.18)
	心拍数	(T1)	-1.64 (4.53)	3.56 (4.87)	-0.28 (3.77)
		(T2)	-0.41 (4.75)	0.91 (3.56)	-0.10 (3.83)
		(T3)	-0.13 (5.04)	1.72 (4.11)	-1.47 (3.30)
課題成績	-3.52 (22.71)	1.87 (33.73)	5.17 (19.63)		

注：心理変数については項目合計点の平均値を、生理変数と課題成績については残差平均値を記した。括弧内は標準偏差。

- 処遇 (AIBO と遊ぶ・中性的映像の視聴)
- 生理指標の測定 (T1)
- 心理指標の測定
- 生理指標の測定 (T2)
- ストレス負荷課題 & 生理指標の測定 (T3)

2.2 結果

主要な結果を、表1に示す。

2.2.1 心理的效果

条件を独立変数、自尊心、ストレス・疲労度、孤独感、状態不安のそれぞれを従属変数とする1要因分散分析を行った。その結果、孤独感と状態不安について条件の主効果が有意となり、下位検定の結果、AIBO条件でビデオ条件よりも孤独感と、状態不安が低いことが示された。

2.2.2 生理的效果

条件を独立変数、第1回ストレス負荷課題時の血圧、心拍数を共変量として統制し、処遇直後 (T1)、処遇安静後 (T2)、第2回ストレス負荷時 (T3) の、各時点での血圧と心拍数をそれぞれ従属変数とする共分散分析を行った。その結果、最低血圧について、第2回ストレス負荷課題 (T3) に有意傾向がみられ、下位検定の結果、AIBO条件がビデオ条件よりも、最低血圧が低いことが示された。また心拍数について、処遇直後 (T1) に有意差がみられ、下位検定の結果、AIBO条件がビデオ条件よりも心拍数が低いことが示された。

2.2.3 ストレス負荷課題成績

条件を独立変数、第1回ストレス負荷課題の正答数を共変量、第2回ストレス負荷課題の正答数を従属変数とする共分散分析を行ったが、有意差はみられなかった。

2.2.4 調整効果

前分析において、条件の効果が有意であった従属変数についてのみ言及する。

2.2.4.1 AIBOに対する愛着度

AIBO条件の被験者を、AIBOに対する愛着度尺度の合計得点に基づいて中央値分割し、AIBO条件かつ愛着度高条件 (以下、AIBO & 高条件)、AIBO条件かつ愛着度低条件 (以下、AIBO & 低条件) に分けた。そして、心理変数については、条件を独立変数とする1要因分散分析を行い、生理変数と課題成績については、それぞれベースラインと第1回成績を共変量とする共分散分析を行った。その結果、心理変数の状態不安に有意差がみられ、下位検定の結果、AIBO & 高条件はAIBO & 低条件よりも有意に状態不安が低く、AIBO & 高条件はビデオ条件よりも有意に不安が低かったが、AIBO & 低条件とビデオ条件のあいだに有意差はみられなかった。

2.2.4.2 犬の好き嫌い

AIBO条件の被験者をAIBO条件かつ犬好き条件 (以下、AIBO & 好き条件)、AIBO条件

かつ犬嫌い条件（以下、AIBO & 嫌い条件）に分け、AIBO に対する愛着度と同様の分析を行った。その結果、生理変数については、処遇安静後（T2）の最低血圧に有意傾向がみられ、下位検定の結果、AIBO & 好き条件が AIBO & 嫌い条件よりも有意に低く、AIBO & 好き条件はビデオ条件よりも有意に最低血圧が低かったが、AIBO & 嫌い条件とビデオ条件のあいだに有意差はみられなかった。

2.2.4.3 動物の飼育経験と機械への親和性

いずれの変数についても、調整効果は示されなかった。

2.3 考察

本研究の結果から、ペット型ロボットとの接触によって、心理的には孤独感と不安が減り、生理的にも心拍数が低下し、即時的ではないが最低血圧も低下することが示された。これらの結果は、ペットの癒し研究で得られている知見と類似しており、ペット型ロボットであっても、本物の動物と同じように癒しをもたらす可能性が示唆された。一方、自尊心とストレス・疲労度、最高血圧、課題成績については、このような効果は確認されなかった。その理由としては、実験場面での短期的接触のために、ペット型ロボットの癒し効果を十分に引き出せなかった可能性が考えられる。ペット型ロボットとの接触は、通常、日常生活の中で長期的に行われるものであり、このような状況での接触であれば、より大きな効果が得られるかもしれない。

また、調整効果についても、犬の好き嫌い、AIBO への愛着の高低が、AIBO との接触を通

じた癒し効果を調整することが示唆された。これらの結果も、先行研究で示唆されている点と同様であり、ペット型ロボットへの接触は、本物の動物との接触と類似性が高いと考えられる。

本研究の結果をそのまま一般化することには注意が必要だが、それを考慮しても、ペット型ロボットには人々の心を癒す面があることは確かだ。新しい癒しのツールとして有望であろう。本研究は、このようなロボットによる癒しの効果を、実験的に示した点で意義があるといえよう。

[今後の研究の方向、課題]

本研究により、ペット型ロボットであっても、本物の動物と同じように癒しをもたらす可能性が示唆された。ただし、本研究は、大学生被験者に対する実験室での短期的効果のみを検討している、癒しの効果が生じるプロセスには踏み込んでいない、という点で限界があることも指摘できる。ロボットによる癒しの効果が最も期待されている高齢者を対象とする研究や、日常場面での長期的効果を検討すること、さらに癒しのプロセスを明らかにしていくことが今後の課題である。

[成果の発表、論文等]

- 1) 樞淵めぐみ、山本沙弥香、坂元 章：ロボットセラピーの可能性 — 心理・生理指標によるペット型ロボット AIBO の癒しの効果 —, 日本心理学会第 65 回大会（筑波大学）発表論文集, p.1025 (2001)

ER クラッチを用いた柔軟関節ロボットの開発

Development of Flexible Joint Robot Using ER Clutch

1011007

研究代表者 秋田県立大学システム科学技術学部 助教授 嵯峨 宣彦
 共同研究者 信州大学繊維学部機能機械学科 教授 中沢 賢

[研究の目的]

最近、福祉ロボットやペットロボットに見られるように、ロボットと人間との共有領域が益々拡大している。この実現には、ロボットのより一層の安全性と知能化が必要条件であり、アクチュエータやそれに付随した制御手法の開発が不可欠である。従来の産業用ロボットは囲いを設けるなどの人に接触しないことを前提としているが、本研究で提案するロボット・アームは、人や物と接触することを前提として、接触するときに柔らかくなり、通りすぎると再び元の硬さに戻り目的位置に到達する柔軟関節を持つロボット・アームの開発を目指している。

関節用アクチュエータには、我々が開発中のER（電気粘性）流体を用いたERクラッチを使用し、制御手法には力と位置の動的関係を制御するインピーダンス制御の適用を試みる。

[研究の内容、成果]

1. 均一系ER流体

柔軟関節用デバイスに使用した均一系ER流体は、低分子液晶および高分子液晶が用いられている。図1に動的粘弾性特性を示す。このER流体は電界を印加するに従って、せん断速度に比例したせん断応力が得られることから、ニュートン流体としての特性を示す。本研究で

は、反応速度では粒子系ER流体にやや劣るものの、粒子系ER流体に比べて、

- 同一電界においてせん断応力が大きい
- 粒子の沈降がない
- 電極間ギャップを狭くすることが可能でER効果を最大限引き出せる（コンパクトな設計）

などの理由から均一系ER流体を用いたクラッチを開発した。

2. 一軸型ERクラッチの開発

試作するERクラッチは、トルク出力10 Nm、耐ラジアル荷重1.0 kN、許容回転数60 r/minを目標仕様とした。

まず、基本構造の検討として、一軸型と二軸型を比較検討した。単純化のため、それぞれを同一荷重下における片持ち梁と両端支持梁のモデルで考えると図2のように考えることができ

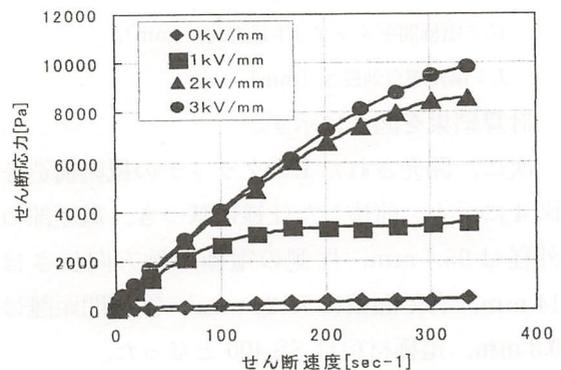


図1 均一系ER流体の動的粘弾性特性

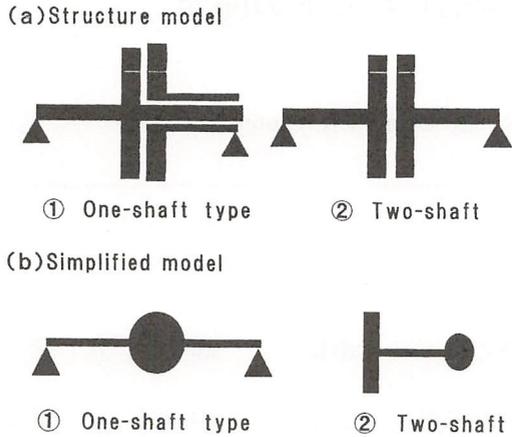


図2 ERクラッチの基本構造

る。(a), (b) それぞれの場合の静的なたわみ δ_a , δ_b は次のような関係式で表される。

$$\delta_a < \delta_b = 2\delta_a \quad (1)$$

これより、できるだけ大きなラジアル荷重に耐えられるよう一軸型構造を選定し、片側を2つのボールベアリングとOリングによる弾性で支持することにより耐ラジアル荷重を実現した。

さらに、電極部形状はER効果を最大にできるように多重円筒+対向型構造とし、目標トルク T に対する電極面積の見積もりには次式によって行った。

$$T = \tau \cdot S \cdot r = \frac{2\pi\mu L \cdot r_1^3 \omega}{G_c} \quad (2)$$

ただし、

μ : 粘性 [Pa·s],

ω : 角速度 [rad/s],

r_1 : 電極部外周半径 [mm],

r_2 : 電極部内周半径 [mm],

G_a : 電極間ギャップ (軸方向) [mm],

G_c : 電極間ギャップ (半径方向) [mm],

L : 電極部有効長さ [mm]

計算結果を図3に示す。

次に、開発されたERクラッチの概略構造を図4に示す。前述した仕様に基づき、電極部の外径は95.4 mm, 片側の電極の軸方向長さは14 mm, 有効面積は7,723 mm², 電極間距離は0.3 mm, 電極材料はSS 400となった。

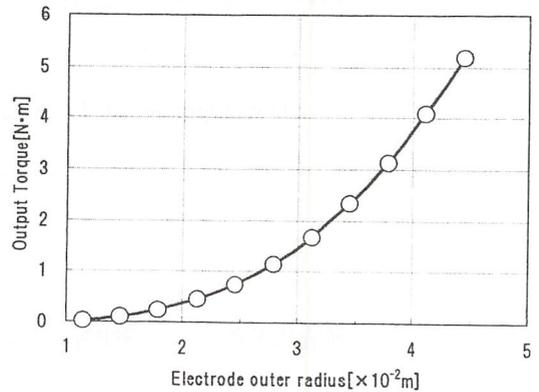


図3 電極サイズと発生トルク

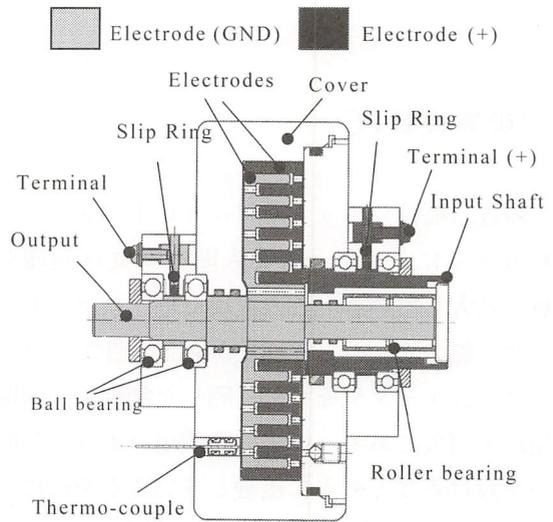


図4 一軸型ERクラッチの概略図

3. ERクラッチの温度特性

本節ではERクラッチにとって特性劣化の原因となる温度上昇特性について検討した。

初めに、実験システムの構成を図5に示す。

本実験システムは、クラッチ入力側に駆動用モータを接続して任意の回転数で定速駆動し、高電圧アンプによって増幅された指令電圧をクラッチ電極部に印加して粘性を変化させる。さらに、出力側にアームを取り付けてアーム先端に加わる力をロードセルによって測定しトルク計測を行う。また、流体の温度測定は、クラッチ内部に取り付けられた熱電対により計測を行う。

図6に、印加電界をパラメータとしたときのER流体の温度に対する出力トルクを示す。この図から、全体的に温度が高くなるにつれて、そのER効果が大きく低下していることがわか

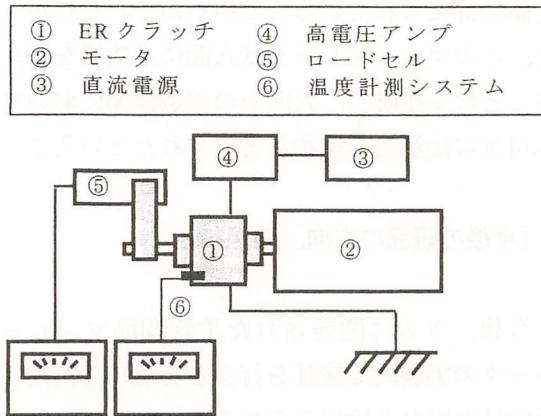


図5 実験システムの構成

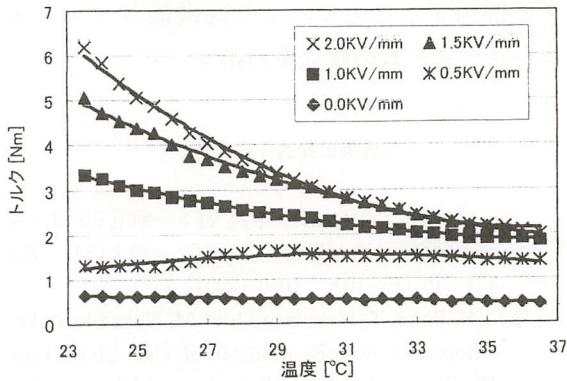


図6 ERクラッチの温度-トルク特性 (30 r/min)

る。したがって、本 ER 流体を有効に使用するには、以下の事項に注意する必要がある。

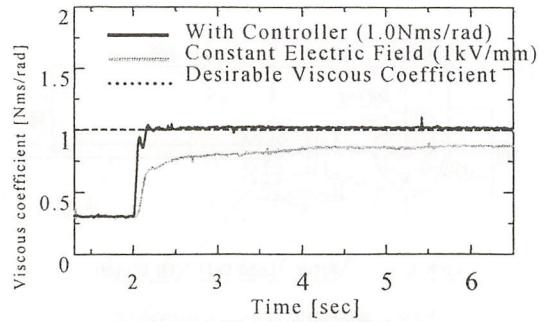
- 電界印加による明確な ER 効果を維持するため、高温領域は避ける。
- 温度変化によるトルク変動を抑えるため、低温領域は避け、流体の温度変動幅をできるだけ小さくする。

また、温度上昇推定式として以下の式を導き、実測値と一致することも確認した。

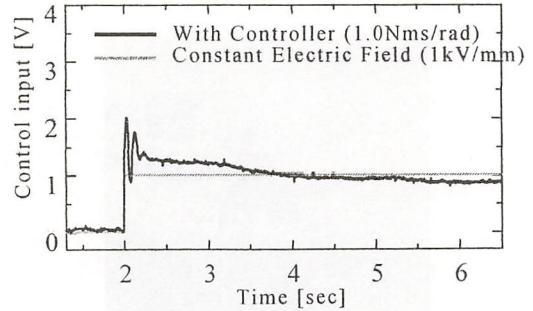
$$\theta_v(t+\Delta t) = \frac{1}{C} \left\{ \sum_{i=1}^n \frac{2\pi h \eta_E(\gamma, \theta_v(t)) \Omega^2 r(i)^3}{c} \cdot \Delta t \right\} + \theta_v(t) \quad (3)$$

4. ER クラッチの制御

均一系 ER 流体は、せん断速度が増加するに
したがって、そのせん断応力は低下する傾向がある。このような現象は本デバイスの信頼性の



(a) Viscous coefficient



(b) Control input

図7 粘性係数のステップ応答

低下を意味することから、好ましい現象である
とは言い難い。したがって、ER クラッチの粘
性係数にフィードバック制御を施すことで、望
ましい粘性係数になるように電界を変化させる
ことにより正確な粘性係数を実現する方法を提
案した。ここで図7に一例として目標の粘性係
数を 1 Nms/rad (40 r/min) としたときのス
テップ応答を示す。この図から、フィードバッ
ク制御を付加していない開ループ制御系は、定
位性が付加された定常偏差を有するシステムと
なっており、その応答もまた緩やかであること
がわかる。しかしフィードバック制御系を適用
することによって、入力電圧をうまくコント
ロールし、ER クラッチのトルクは目標値に対
して定常偏差なく収束し、かつ速応性も向上し
ていることがわかる。

5. 柔軟関節ロボットの開発

以上の検討を総合して、本研究では第2関節
にセミアクティブな関節を有する柔軟関節ロ
ボットを開発した。本研究で開発されたマニ
ピュレータの概略を図8に、その写真を図9に
示す。試作したマニピュレータは、2リンクで

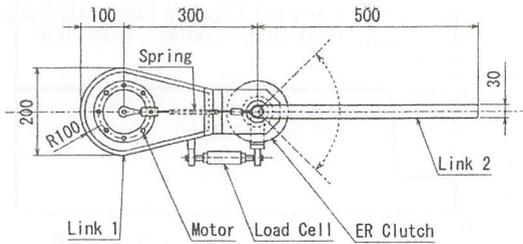


図8 柔軟関節ロボットの概略図

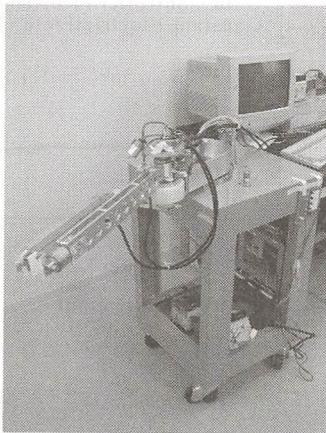


図9 柔軟関節ロボットの写真

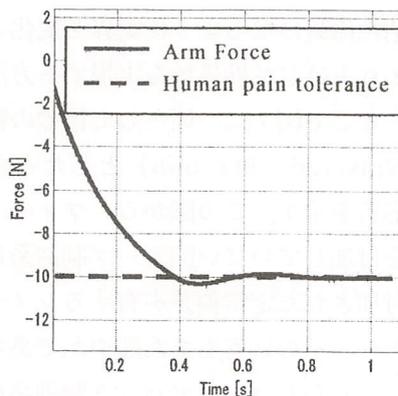


図10 マニピュレータの力と痛覚閾値

構成している。第1関節部は剛性の高いアクチュエータ（モータ）によって駆動される。第2関節部は、駆動部がなく、ER流体を用いたクラッチ及び柔らかいバネのみによって構成される。

図10に、本マニピュレータが外部環境に接触したときのリンク2が受けた力の応答のシミュレーション結果を示す。この図からER流体のトルクを制御することによって、接触時における人間の痛覚耐性値（10 N）よりも小さ

い値に抑えられていることがわかる。したがって、このマニピュレータは人間に不快感を与えることなく接触し、人間との協調作業において不可欠な接触力の緩和が実現されたといえる。

[今後の研究の方向, 課題]

今後、さらに開発された柔軟関節マニピュレータの実験的な検証を行うとともに、実用化に向けた更なる検討を重ねる予定である。

また、人工筋等のフレキシブルアクチュエータと併用することで、より高機能なマニピュレータシステムの確立を目指す。

[成果の発表, 論文等]

- 1) 嵯峨宣彦, 中村太郎, 中沢 賢: 一軸型 ER クラッチの開発とその基礎特性, 電気学会論文誌 D, No. 121-10, pp.1055-1060 (2001)
- 2) N. Saga, T. Nakamura and M. Nakazawa: Development and Evaluation of One Shaft type ER Clutch, *Journal of Robotics and Mechatronics*, Vol. 13 No. 4, pp. 534-539 (2001)
- 3) 中村太郎, 嵯峨宣彦, 中沢 賢 他: 均一系 ER 流体の温度特性に関する検討, 電気学会論文誌 D, No. 122-12, pp. 1243-1249 (2001)
- 4) T. Nakamura, N. Saga and M. Nakazawa: Impedance Control of a Single Shaft Type Clutch Using Homogeneous Electrorheological Fluid, *Journal of Intelligent material system and structure*, 2002, 10 (in press)
- 5) T. Nakamura, N. Saga and M. Nakazawa: Impedance Control of a One Shaft Type Clutch Using Homogeneous Electrorheological Fluid, *Eighth International Conference on Electrorheological Fluids and Magnetorheological Suspensions*, 2001, 7, France
- 6) T. Nakamura, N. Saga and M. Nakazawa: Thermal Effects of a Homogeneous ER Fluid Device, *Eighth International Conference on Electrorheological Fluids and Magnetorheological Suspensions*, 2001, 7, France
- 7) 中村太郎, 嵯峨宣彦, 中沢 賢: 均一系電気粘性流体を用いたセミアクティブ機構の変粘性制御, 平成 13 年度電気学会産業応用部門大会講演論文集, pp. 449-454 (2001. 8)
- 8) 嵯峨宣彦, 中村太郎: ER クラッチのロータ・ダイナミクス, 第 14 回電磁力関連のダイナミクス講演論文集, pp. 505-506 (2002. 5)

構造型モジュールネットによるネットワーク 不正利用検出に関する研究

Studies on the Network Intrusion Detection System base on the Modular Neural Networks

1011009

研究代表者

琉球大学 工学部 助手

白土 浩

[研究の目的]

本報告では、現状の不正侵入検知システムの問題点である未知の攻撃に対する脆弱性を補うために、モジュール型ニューラルネット(MNN)を用いた利用者識別システム構築について検討する。すなわち、各モジュールに通常利用時の個人プロファイルを生成する学習法について、ネットワーク上を流れるパケットをキャプチャリングにより取得し、パケットをコマンド毎に分離・符号化したものを訓練データとする方法について提案する。符号化方法としては、それぞれのコマンドの持つ属性情報を基に各コマンドを機能や特徴に応じて分類し、生成される個人プロファイルを細分化する手法を提案する。そして、実際の作業時のキャプチャデータを個人プロファイルであるMNNに提示することで、普段の行動と異なる状態を検出するシステムを構築する。

[研究の内容、成果]

1. 不正侵入の種類

不正侵入検知(Intrusion Detection System; IDS)とは、外部からの不正侵入や内部からの悪質な行動などを検知するシステムのことである。IDSは、従来のFirewallによるパケットフィルタリング手法では防御できなかった不正行為を検知できるため近年注目されつつある。IDSは、その実装方法によって2つに分類

できる。すなわち、ホスト毎に検知システムを動作させ、ログファイル等から得られる情報により検出するホストベース検知方法と、専用のホストを使って、ネットワーク上を流れるパケットを監視することで検出するネットワークベース検知方法である。さらに、ネットワークベースには予め採取しておいた「不正な操作」や「怪しい動き」の特徴情報(シグネイチャ)をデータベース化しておき、パターンマッチングにより侵入を検出する不正検出(Misuse Detection)と正常時の状態を記憶しておき、通常とは異なる状態を検知する異常検出(Anomaly Detection)に分類される。このようにIDSの実装には複数のアプローチがあるが、現在のところ、ネットワークベースの不正検出が一般的に用いられている。しかしながら、この手法は既存のシグネイチャでは判別不能な未知の攻撃に対して脆弱であるため、常にデータベースを最新の状態に維持しておく必要があるが、新種の攻撃に対応したデータベースがリリースされるまでは無防備な状態となってしまう問題点がある。そこで、以降では未知の攻撃に対応可能な異常検出を対象に議論を進めることにする。

2. 利用者識別システム

図1に提案する利用者識別システムの概要を示す。システムの主な流れとしては、まず、学習時にはパケット・キャプチャリングにより予め取得しておいたエコー応答からコマンド部分

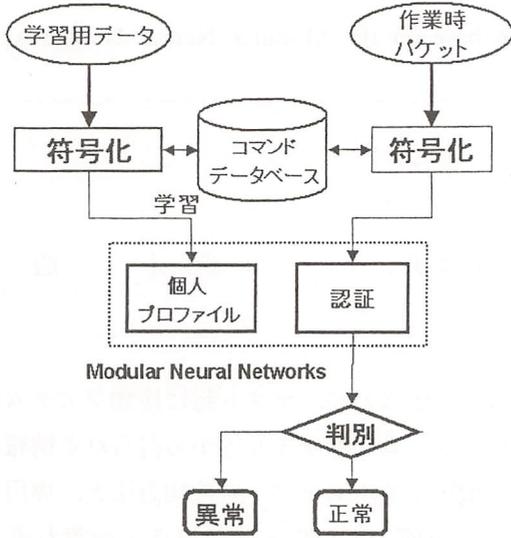


図1 システム概要図

を抜きだし、後述する属性値を用いて符号化した値をモジュール構造型ネットワーク(MNN)内の個人毎のモジュールに学習させて個人プロフィールを作成する。そして、認識時にはリアルタイムに取得したエコー応答をMNNに提示することで異常検出をする。また、MNNの学習法としては、入出力が等しくなるような恒等写像学習を利用する。

次に、キャプチャリングによって得られたコマンドをMNNに入力する際のコマンドの属性に基づいた符合化手法について述べる。今回使用した属性を表1に示す。表中、各属性は、本来の不正侵入の目的となる不正なデータ入手やホストの乗っ取りに関することを中心に考え、(a) /sbin (/usr/sbin等を含む)にはシステム管理上の重要な機能を持つコマンドがあること、(b) rootの権限を使用するものにはセキュリティホールがあり、権限を乗っ取られる

表1 属性の種類

属性 (a)	/sbin に属しているか?
属性 (b)	root 実行属性の有無
属性 (c)	Set-user-bit の有無
属性 (d)	ネットワークソケット利用の有無
属性 (e)	キーワード一致
属性 (f)	スクリプト処理
属性 (g)	開発系コマンド
属性 (h)	高度なシェルコマンド

可能性があること、(c) set-user-bit が立っている場合、所有者の権限で実行可能にできること、(d) ネットワークを利用することで外部との通信により情報を漏洩する可能性があること、(e) キーワード一致はコマンド以外のある特定の条件(例えば password や device を直接参照)で危険性が高くなること。また、(f) と (g) については不正行為を自動化する際に使われること、(h) シェルコマンドは、ユーザ識別情報を目的として与えた。例えば、ネットワークの設定を確認するコマンドである ifconfig の場合、/sbin に属しており、root 以外でも実行でき、set-user-bit は立ってなく、ネットワークを使用し、キーワードに一致しない。また、script 処理や開発系、シェルコマンドには当てはまらないため、MNN への入力は“10010000”となる。

3. プロファイル学習と実パケットによる検証

ここでは、6人の被検者から採取したパケットを対象に前節で述べた属性による符合化の個人プロフィール生成に対する有効性と個人識別時の入出力間誤差の閾値設定についてシミュレーション実験により検討する。実験に用いたMNNの構成は入力ユニットが8個、中間ユニットが各モジュール5個ずつの計30個、出力ユニットが8個の三層構成とした。また、訓練データとして各被検者1,000個の属性値、学習係数 $\eta = 0.5$ 、慣性係数 $\alpha = 0.9$ 、収束条件は訓練データに対する平均自乗誤差が0.01以下になることとした。

実験に用いた各被験者のキャプチャデータにおける各属性値の出現頻度を表2に示す。縦欄には被験者名、横欄には出現した各属性値(10進表記)、また、それぞれの属性値における最高出現回数部分を下線で表している。この頻度分布から個人を特定することが難しいことが読みとれる。この訓練データを用いて作成した個人プロフィールに対して、各被験者の実作業時のキャプチャデータと被験者以外の不正な侵入

表2 被験者毎の属性出現頻度

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
被験者 K	15	14	16	72	74	1	56	126
被験者 N	8	2	40	310	144	1	54	13
被験者 T	3	5	127	185	158	5	28	11
被験者 S	22	0	10	81	91	16	54	48
被験者 A	10	0	13	63	139	174	131	202
被験者 Y	0	15	3	68	94	95	144	3

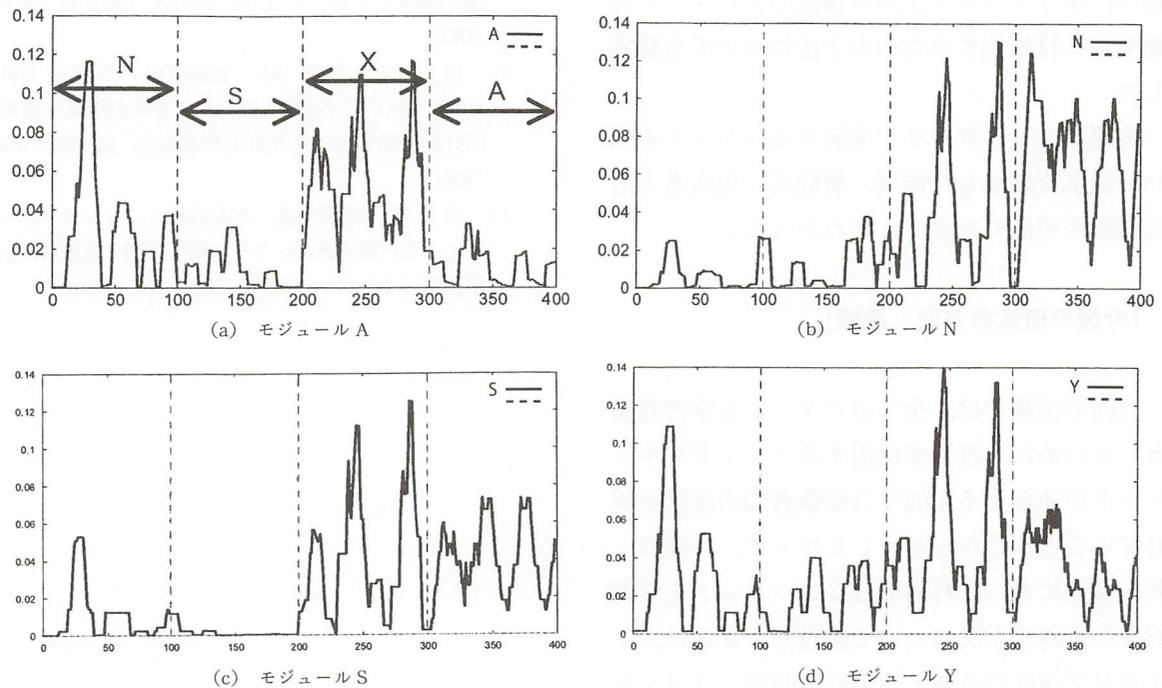


図2 各モジュールによる出力結果

者のデータを作成し、本来の目的である不正侵入検知システムについて評価した。評価に使用するキャプチャデータは、被験者 N ($t = 0 \sim 99$)、被験者 S ($t = 100 \sim 199$)、未知のユーザである侵入者 X ($t = 200 \sim 299$)、被験者 A ($t = 300 \sim 399$) の順にそれぞれ 100 個ずつ計 400 個を結合したデータを用いた。ここに、侵入者 X のキャプチャデータは通常時ユーザがあまり使用しないと思われる、表 1 で用いた属性 (a) (b) (c) に該当するようなコマンドを中心に一般的に使用するコマンドも混ぜ疑似的に作成している。

図 2 はキャプチャリングした 400 個のデータを各モジュールに提示した際の平均自乗誤差推移のグラフである。横軸はコマンド系列、縦軸は平均自乗誤差を幅 10 の移動平均処理した結

果を表している。図中、区間 $t = 0 \sim 99$ では、モジュール N、S が比較的小さな誤差で推移しているが、モジュール N による自乗誤差が最も小さくなっていることが読み取れる。区間 $t = 100 \sim 199$ では、モジュール N、S、A による自乗誤差が小さくなっているが、モジュール S が最も良好な結果であることが読み取れる。また、区間 $t = 300 \sim 399$ ではモジュール A のみが小さな誤差となっており、3 被験者が適切に識別できていることが読み取れる。一方、 $t = 200 \sim 299$ は、侵入者 X のデータ提示区間であるが、この区間では全てのモジュールによる誤差が大きくなっており、他の区間と比べても、その差がはっきりと読み取れる。

4. ま と め

本研究では現状のIDSが抱える問題点の一つである未知の攻撃に対する脆弱性を改善するために、モジュール型ニューラルネット上で異常検出するためのシステム構築について検討した。そして、通常利用時の個人プロファイルを各モジュール上に構築するための手法について述べ、ネットワーク上から採取したパケットを効率良く符号化するための手法についても提案した。

実際にネットワーク上を流れるパケットを用いて識別実験をした結果、被験者、侵入者ともに識別が可能であることがわかった。

[今後の研究の方向, 課題]

今回の実験では、全てのパケットを学習対象としたために、誰もが使用するコマンドやキーワードが連続する場面では被験者間の差異が現れないことが分かった。したがって、今後は、個人識別において有効ではないパケットを学習対象から外す手法について検討し、さらに、タイピング速度やホスト使用の時間帯、コマンド前後間の関連性等を個人特性情報として利用することで、精度の向上を目指す予定である。

[成果の発表, 論文等]

- 1) 白土 浩, 五反田博, 井上勝裕, 熊丸耕介: 三層BPネットの初期値設定法と訓練データの正規化について, システム制御情報学会論文誌, 15巻, 10号, 掲載予定 (2002)
- 2) H. Shiratsuchi, H. Gotanda, K. Inoue and K. Kumamaru: Effects of initialization on Structure Formation and Generalization of Neural Networks, Proc of IEEE IJCNN, pp.2644-2649 (2001)
- 3) 白土 浩, 島袋一樹, 比嘉直樹: Neural Networkを用いた不正侵入検知システムの構築, 第20回計測自動制御学会九州支部講演会, pp.461-462 (2001)
- 4) 白土 浩, 島袋一樹, 比嘉直樹: ニューラルネットによる利用者識別システム構築に関する検討, 信学技報, NC 2001-225, pp.231-236 (2002)

視空間の現実感と視覚－運動協応

Reality of Visual Space Following Visuomotor Coordination

1011010

研究代表者 公立はこだて未来大学システム情報科学部 教授 積山 薫
 共同研究者 産業技術総合研究所脳神経情報研究部門 リーダー 杉田 陽一
 認知行動科学研究グループ

[研究の目的]

近年、開発が進むバーチャル・リアリティでは、ヘッドマウント・ディスプレイなどを用いて身体の動きに視覚情報の変化を連動させ、見ている世界の現実感を生み出そうとする。これは、実は人間がもつ視覚－運動協応についての内的な表象の働きを巧みに利用している。本研究は、その表象が脳内でどのように表現されているのかを探ることを目的とした。ここでは、通常うまく機能している視覚－運動協応が有効ではない場面を作り出し、それによって被験者の空間認知がどのように阻害されるか、また、どのようなメカニズムで回復が生じるかを検討した。

被験者には視野の左右が入れ替わって見える左右反転めがねを装着して種々の空間認知課題に取り組んでもらい、時間経過による変化を記録した。左右反転めがねを装着すると、視覚に基づく行動がうまくできなくなるだけでなく、見ている世界の現実感も失われる。しかし、連続着用を1ヶ月も続けると、視覚に基づく行動は自転車乗りやボール遊びもできるまで回復し、視空間の現実感の回復、視覚世界と触覚世界の調和などの知覚レベルの適応も生じる(Kohler, 1964; Stratton, 1897)。しかも、このことによって、逆さめがねをかける前の協応が失われるわけではなく(Sekiyama et al., 2000),

比喩的に言えば、バイリンガルないしはスイッチ・ヒッターになると考えられる(Sugita, 1996)。このとき、記憶回路の中にどのような新たな結合が生まれるのかを、行動的に観測される知覚的な変化と脳内活動の変化の両方からの検討を行った。

[研究の内容, 成果]

1. 方法

2名の被験者(いずれも20歳, 右利き)に、プリズム式の左右反転めがねを、寝るとき以外は着用し続ける生活を40日間にわたって続けてもらった。着用前1回(からめがね装着)、着用中は数日おき(左右反転めがね装着)、除去後(からめがね装着)は2回、いくつかの視空間課題に取り組んでもらい、変化を追った。ここでは、視覚－運動協応課題、視覚対象の空間定位課題、および手の線画の左右同定課題について、報告する。

視覚－運動協応課題(パフォーマンス課題)では、タッチモニター上のランダムな位置に、1から30までの数字を配置し、30秒間呈示した。被験者には、1から大きい数字へと順に数字を探しながら、左手(非利き手)の人差し指で押して行くように求め、制限時間内にどれだけの個数を押すことができるかを測定した。この課題では、視覚に誘導された身体運動が円滑

になるのはいつごろかを調べようとしていた。

視覚対象の空間定位課題（知覚課題）では、黒背景のディスプレイの右端また左端にランダムに視覚ターゲット（白い円）を呈示し、ターゲットが自分のどちらの手と同じ側にあると感じたかを、視野外にある右手・左手でボタンを押すことで答えてもらい、左右の答えと反応時間を記録した。この課題は、通常の実験室で行動的データの計測のみを行う実験のほかに、週に1回程度、fMRIによる脳内活動の計測も行った。この課題では、視野外にある手の体性感覚的な情報と、プリズムを通して入ってくる反転したターゲットの見えが空間的に一致するようになり、視空間の現実感が生じる時期はいつごろかを調べようとしていた。

手の線画の左右同定課題（身体イメージ課題）は、手のメンタルローテーションを引き起こす課題であった。3種類の手の線画について右手と左手を用意し、それらを画面上で45度ステップで回転させた48個のパターン（図形3×左右2×回転角度8）を作成した。これらを1つずつランダム順に呈示し、被験者には右手であるか左手であるかをできるだけ正確に速く判断して2つのボタンを押し分けてもらい、反応と反応時間を記録した。この課題では、めがね着用後の反転した見えで右手・左手がイメージされるようになる時期を調べようとしていた。

2. 結果

2名の被験者のうち、データの信頼性に関して疑問のあった1名を除き、残る1名の被験者の結果について述べる。

2.1 パフォーマンスと知覚の関係

図1aに運動（パフォーマンス）の適応を調べた視覚-運動協応課題の結果を、また、図1bに知覚的な適応を調べた視覚対象の空間定位課題の正答率を示す。2つのグラフを比べると、協応課題の方が適応が早く、左右反転めがね着用2週間以内に着用前の水準まで成績が回復し

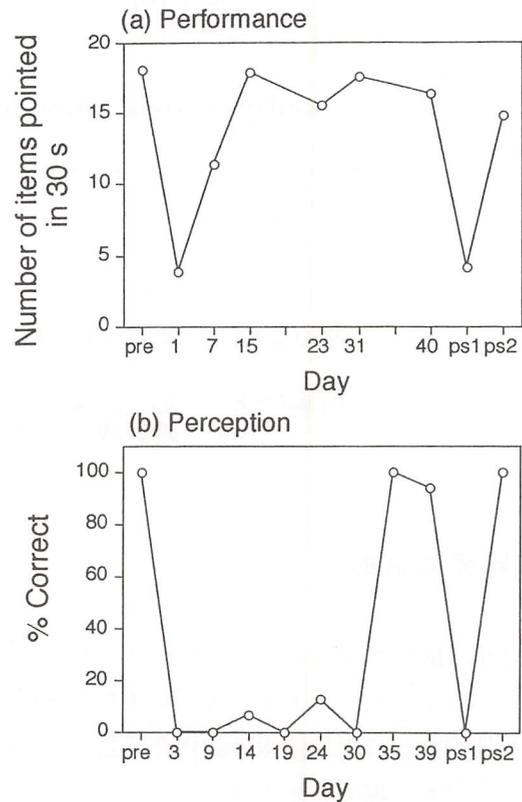


図1 視覚-運動協応課題のパフォーマンス (a) と視空間定位課題の正答率 (b)

ているのに対して、定位課題では正答率の回復がみられるのは着用30日よりも後である。これらの結果は、パフォーマンス（運動）が先行して知覚が後に続くという適応的回復の道筋を示しており、先行研究の結果と一致している。

また、左右反転めがね除去後の残効については、除去後1時間以内 (pst 1) と、翌日 (pst 2) に測定を行った。除去後の回復についての時間的推移は、2つの課題とも同様であり、除去1時間以内では強い残効、翌日にはもう残効が消失しているという結果であった。

2.2 行動的变化と脳内活動の変化の対応

上記2つの課題のうち、定位課題については、fMRIによる脳内活動の計測も行ったので、正答率などの行動的指標と、脳内活動との関係をみてみよう。視覚ターゲットが自分の右手または左手のどちらの手と同じ側にあると感じるか、両手のボタンで押し分けて答えたこの課題では、脳のどのような部位が活動していたのだろうか。

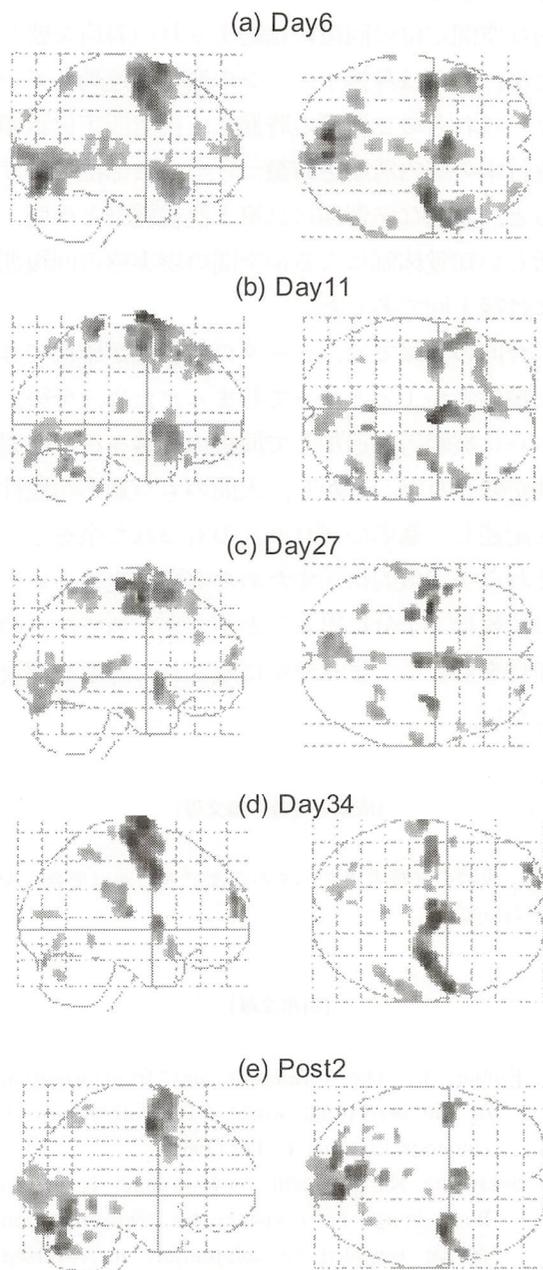


図2 視空間定位課題遂行中の脳内活動
(水平断面では、上半分が左半球)

図2に、fMRIで計測した脳内活動をspm99ソフトウェア (<http://www.fil.ion.ucl.ac.uk>)で解析した結果を、矢状断面と水平断面への投影像として示す。磁気共鳴信号値(Blood Oxygen Level Dependent)が、実験条件の視覚定位課題でベースライン(凝視点を見つめる安静条件)より優位に高かったボクセルを黒い点で示している(解像度 64×64)。全測定日に共通して活動がみられたのは、第1

次視覚野、小脳、頭頂間溝、第1次運動野、補足運動野であった。これらの活動は、視覚刺激を見て、それがどこにあるかの空間的処理をし、その位置に対応した身体運動を行うというこの課題に含まれる一連のプロセスに対応していると考えられる。

これらの部位のうち、着用初期(6日目)と除去直後(除去2日目)は、第1次視覚野と小脳の活動が他の日と比べて顕著に強くなっているのが特徴的である(図2a, e)。前述の図1aで、パフォーマンス課題にみられた視覚-運動協応の急速な学習および除去後の再学習は、この第1次視覚野と小脳の活動に関係しているのかもしれない。

知覚課題で行動的に大きな適応的变化がみられたのは、30日目と35日目の間であった(図1b)。時期的にこれに対応する34日目の脳内活動で特徴的だったのは、後頭葉の第1次視覚野や小脳の活動がきわめて限局されたことと、頭頂葉下前部の縁上回(Brodmannのエリア40)に、それまでほとんどみられなかった活動が大きく現れた点である(図2d)。この縁上回の活動は、再適応が達成された除去翌日には、もうみられなかった(図2e)。これらのことから、脳内活動の変化は、行動的に測定された知覚の変化と対応していると考えられる。

2.3 身体イメージの変化

手の左右同定課題の結果については、概略のみ述べる。左右反転めがねを通してみると、(着用前の基準では)右手は左手に、左手は右手に見えるため、めがね着用前にほとんどすべて正答だった反応が、めがね着用直後はほとんどすべて誤答となった。適応が進むと、従来の手の記憶表象に加えて、着用後の見えと運動指令との関係の記憶表象が新たに形成される(Sekiyama et al., 2000)。先行研究では、これは視空間定位の知覚的回復が生じるのと同じ時期であると報告されている。この被験者では、その時期(30日目と35日目の間)における手の新しい記憶表象の形成を示唆する正答の出現

は、通常の実験手続きでは観察できなかったものの、以下に述べる口頭反応では観察することができた。

今回の実験では、右手か左手かの判断をボタン押しで報告してもらっていたが、手の運動を伴うこの反応方法が新しい身体イメージの活性化に干渉しているかもしれないと考え、28日目からは、ボタン押し反応のセッションの他に、口頭で「右」「左」と言って報告させるセッションも設けた。その結果、28日目の結果はボタン押し反応の結果と差がなかったが、35日目には反応時間の増大という形で、39日目には正答率の増大という形で、手の記憶表象の新たな形成を示唆すると考えられる変化が観察された。したがって、口頭反応でみる限り、身体イメージの変化は、前述の視空間定位における知覚的变化と時期的に同期していることが確認された。

その他に、今回の実験で興味深かったのは、着用10日目に観察された一時的な正答率の増大と、反応時間関数の変化である。視覚-運動協応の学習が急速に進むこの時期には、身体イメージにも一過性の影響があるのかもしれない。

[今後の研究の方向、課題]

本研究では、視野の左右反転によって視覚と身体運動の関係を再構築しなければならない状況に被験者をおき、知覚的回復（視覚と体性感覚との調和感）を達成するまでの道筋を、視覚-運動協応、視空間定位、身体イメージの関係から検討した。3つの課題に対する行動的データおよび知覚課題遂行中の脳内活動データをつき合わせるにより、運動的および知覚的適応の大きな道筋はとらえることができたと思われる。着用初期および除去直後は、視覚-運動

協応の急速な学習・再学習の時期である。知覚的な空間定位の回復には約1ヶ月の着用を要したが、これは身体イメージの変化と連動していた。これらの2種類の時期に、視空間定位課題遂行中の脳内活動を特徴づけていた部位をあげると、急速な学習期には第1次視覚野と小脳、新しい知覚体制による視空間の現実感の回復期には縁上回であった。

今回の実験では、データの信頼性が確保できた被験者が1名となってしまったため、今後、さらに被験者を追加して同様の実験を行う必要性が残された。しかし、人間のもつ適応可能性を記述し、適応のプロセスのもつれた糸をとき、それらを定量的に示すための実験設定についての情報は、十分に得ることができたので、この知見をもとに、すみやかに残された課題を解決したい。

[成果の発表、論文等]

複数の被験者のデータが追加できた時点で発表を行っていく。

[引用文献]

- Kohler, I.: The formation and transformation of the perceptual world. *Psychol. Issues* 3 (monogr. 12), pp. 1-173 (1964)
- Sekiyama, K., Miyauchi, S., Imaruoka, T., et al.: Body image as a visuomotor transformation device revealed in adaptation to reversed vision. *Nature* 407, pp. 374-377 (2000)
- Stratton, G. M.: Vision without inversion of the retinal image. *Psychol. Rev.* 4, pp. 341-360; 463-481 (1897)
- Sugita, Y.: Global plasticity in adult visual cortex following reversal of visual input. *Nature* 380, pp. 523-526 (1996)

次世代 TV 電話のための肌の色素成分に基づく顔色合成

Facial Color Synthesis Technique for the Next Generation of TV Phone System

1011011

研究代表者

千葉大学工学部 助教授

津 村 徳 道

[研究の目的]

昔からカラーフィルムの色再現やカラーテレビジョンシステムにおいて、顔色の再現は最も重要である。近年のマルチメディア、CG、遠隔医療などの画像システムの発展に伴って、ハード・ソフトコピー上の画像再現、医療診断や化粧品開発などに対して、顔色再現は一層重要となっている。さらに今後、次世代 TV 電話やデジタルカメラの付いた次世代携帯電話などにおいても、ユーザーの顔色を好ましく再現することが求められる。

人の肌はいくつかの層からなる複雑な構造をしている。肌にはヘモグロビンやメラニンといった様々な色素が含まれている。肌の構造や色素含有量のわずかな変化によって、肌の色は様々に変化する。研究代表者の属する研究室では、世界で初めて肌色を構成するメラニン成分とヘモグロビン成分に基づく色変換を唯一開発した。色素成分に基づく顔色合成法により、日焼け顔の合成や血色の変化させた画像等の非常にリアルな顔色合成を行うことができる。

色素成分に基づく顔色合成法は、日焼け顔の合成や血色の変化させた画像などの非常にリアルな顔色合成を行うことができるが、次世代 TV 電話等において、どのような顔色合成を行えば良いかこれまで全く調べていなかった。そこで、本研究では、顔色合成された画像を用いて、それぞれの色素が顔色の見えに与える影響を評価した。色素変換に基づき変化させた顔画

像に対する、SD (Semantic Differential) 法により、20名の被験者に対して、様々な主観的キーワードを用いて評価を行った。その結果からメラニン成分とヘモグロビン成分の肌色の見えに与える影響を解析することができた。得られた結果は、次世代 TV 電話等における色再現に指針を与えるとともに、化粧品開発における設計指針をも与える。また、美容の分野における新たな知見を与えるものと期待される。

[研究の内容、成果]

1. 肌色の独立成分分析に基づく顔色合成法

人間の肌において表皮層と真皮層には様々な色素が存在する。特に表皮層にはメラニンが、真皮層には血液に含まれるヘモグロビンが多く存在している。

肌色画像は、RGB カラー CCD カメラによって取得される。得られた肌色画像の解析のための肌色のモデル化にあたり、以下の3つの仮定を行う。1) 肌からの反射光に対して、Lambert-Beer 則が成り立つ。2) 肌色の空間的变化は、メラニンとヘモグロビンの色素量の変化による。3) 各色量は、互いに空間的に独立である。

これらの仮定により、各チャンネルの画素値の逆数の対数をとった濃度空間において、単一色素の色信号と観測信号との間に線形関係が保証される。従って、肌色は図1のようにモデル化できる。濃度空間上では、観測される肌色は

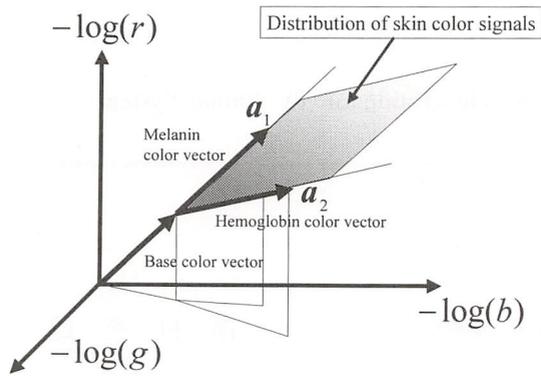


図1 肌色モデル

ベースの色に加えて、ヘモグロビンとメラニンの色ベクトルによって張られる2次元平面上に分布する。

肌色のモデルに従って、独立成分分析を適用する。メラニンとヘモグロビンの色素量を独立成分ベクトルの要素とみなすことができる。また、観測される3チャンネルの色信号の濃度を、観測ベクトルの要素とすれば、色素間に線形関係が成り立ち独立成分分析を適用可能である。

実験に使用する顔画像は、CCDカメラによって撮影した、RGBカラー画像である。濃度空間における観測信号の線形性を保つため、撮影時に照明とカメラの前面に偏光フィルタを設置し、観測信号から被写体の表面反射成分を取り除く。図2は顔色変化画像の再現プロセスを示したものである。3チャンネルで撮影された内部反射成分のみの顔画像より、肌色サンプルとして使用する画像を切り出し、その画素値の逆数の対数をとることで、メラニン色素とヘ

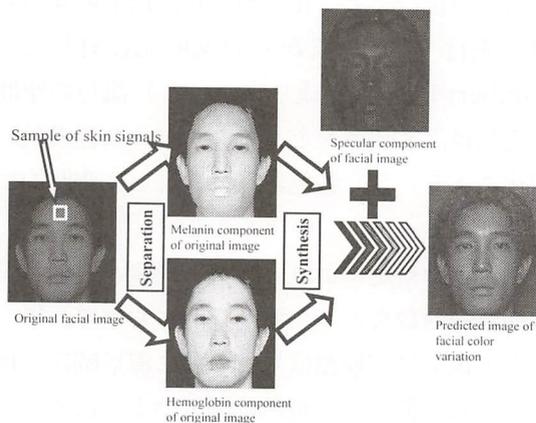


図2 顔色変化画像の再現プロセス

モグロビン色素の分離を行う。さらに各色素の濃度を変化させ、再び合成することで、様々な顔色再現を行う。普段我々が見る顔には表面反射成分が含まれているため、合成後の顔画像に再び表面反射成分を加えて最終的な顔色変化画像となる。

2. 顔色変化に対する主観評価実験

実験のために、推定された各色素量をそれぞれ5段階(0.7倍, 1倍, 1.3倍, 1.6倍, 1.9倍)変化させて合成し、計25枚の顔色変化画像を作成した。図3に再現された25枚の顔画像を示す。横軸がヘモグロビン色素量の変化、縦軸がメラニン色素量の変化を表わし、右上に行くほど肌の色素濃度が濃くなる。これらの画像を用いて、次のような主観評価実験を行う。図4に実験用GUIを示す。評価者には、CRTディスプレイ上に原画像と色素成分変化後の画像を2枚提示し、原画像と比べて変化後の画像がどのような印象をもつか、25組の形容詞対について5段階の評価をしてもらった。評価者は20代前半の研究室内の学生10名である。図5に使用した形容詞対を示す。

使用した顔画像は、20代前半の男女各1名の顔色変化画像各25枚、計50枚である。5段階評価の最高点を+2、最低点を-2として、

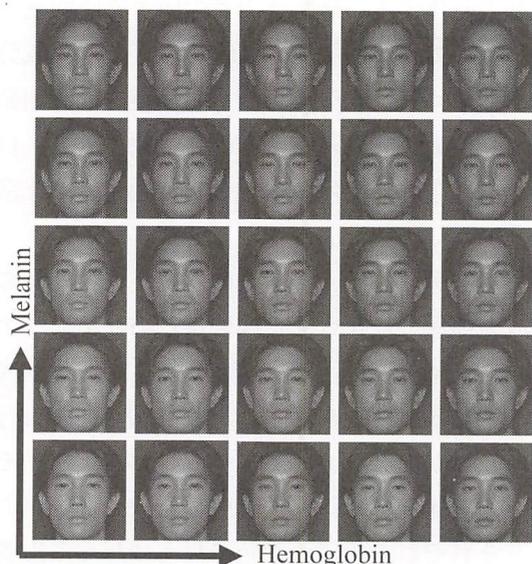


図3 評価に用いる顔色合成画像

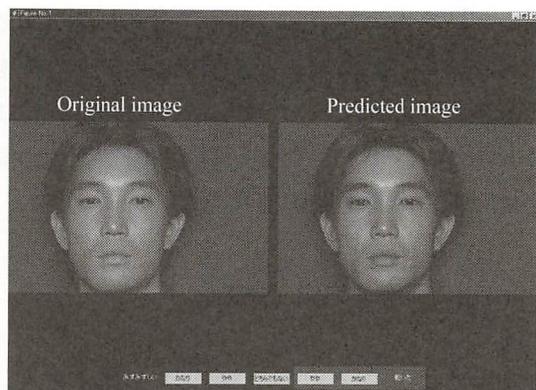


図4 主観評価実験用 GUI

清潔な	=====	不潔な
美しい	=====	きたない
健康そうな	=====	不健康そうな
みずみずしい	=====	乾いた
派手な	=====	地味な
上品な	=====	下品な
明るい	=====	暗い
好ましい	=====	好ましくない
情熱的な	=====	冷静な
やわらかい	=====	かたい
澄んだ	=====	濁った
女性的な	=====	男性的な
活気のある	=====	活気のない
自然な	=====	不自然な
しっとりした	=====	さらっとした
きめの粗い	=====	きめの細かい
年若い	=====	若々しい
生気のない	=====	生き生きした
艶のない	=====	艶がある
不透明な	=====	透き通った
色白な	=====	色黒な
赤味が強い	=====	黄味が強い
青白い	=====	黄黒い
素肌の感じ	=====	化粧肌の感じ
ハリのある	=====	ハリのない

図5 評価に使用した形容詞対

実験より得られたデータを顔画像毎に整理した。各顔色再現画像に対して得られた、各形容詞対に対する評価値は、10名の評価者の平均値とした。このデータをもとに、各形容詞対のメラニン・ヘモグロビン色素量の変化と、評価値の相関図を作成した。図6に各形容詞対ごとの相関図を示す。縦軸、横軸はメラニン・ヘモグロビンの色素量変化の度合いを示し、対応する評価値を等高線によって表した。

その結果、得られた相関図を4つのカテゴリに分類した。1つは、メラニンの色素量のみに関連をもつものである。例えば図6中の「澄ん

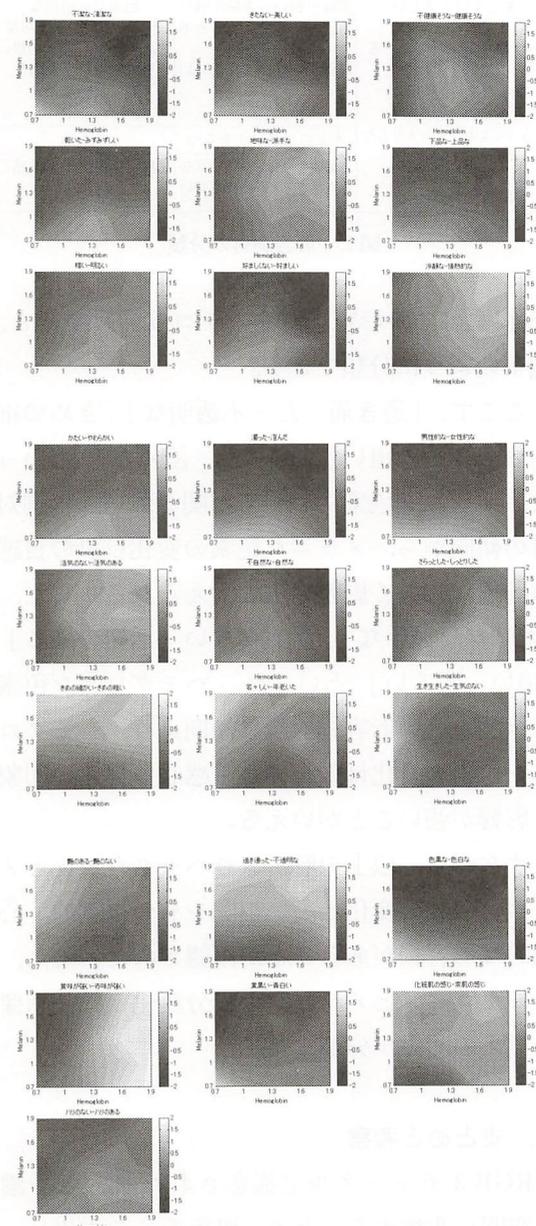


図6 色素とその印象の相関図

だ「濁った」はこのカテゴリに分類できる。2つ目は、ヘモグロビンの色素量のみに関連をもつものである。例えば図6中の「赤味が強いー黄味が強い」がこのカテゴリに分類できる。3つ目は、メラニンとヘモグロビンの両色素量に関連をもつものである。例えば図6中の「上品なー下品な」がこのカテゴリに分類される。最後は、ある色素量の際にピークをもつような形容詞である。例えば図6中の「健康そうなー不健康そうな」がこのカテゴリに分類される。

メラニンとヘモグロビンに相関	ヘモグロビンに相関	メラニンに相関
不潔な—清潔な きたない—美しい 下品な—上品な ハリのない—ハリのある 黄黒い—青白い 艶のない—艶のある 若々しい—年老いた さらっとした—しっとりした 不自然な—自然な かたい—やわらかい 冷静な—情熱的な	地味な—派手な 黄味が強い—赤味が強い 活気のない—活気のある 暗い—明るい 好ましくない—好ましい	乾いた—みずみずしい 色黒な—色白な 透き通った—不透明な きめの細かい—きめの粗い 男性的な—女性的な 濁った—澄んだ
	ある点にピークをもつ 不健康そうな—健康そうな 生き生きした—生き生きしない	その他 化粧肌の感じ—素肌の感じ

図7 形容詞対の分類

25 個すべての形容詞対をカテゴリ分けすると、図7のように分類できる。

ここで、「透き通った—不透明な」「きめの細かい—きめの粗い」「濁った—澄んだ」といった、メラニン色素について相関が強い形容詞対群の傾向から、メラニン色素の変化は肌の質感の印象に大きく影響すると考えられる。また、「地味な—派手な」「活気のない—活気のある」「暗い—明るい」といった、ヘモグロビン色素に相関が強い形容詞対群の傾向より、ヘモグロビン色素の変化は顔全体から感じる見えの印象に影響が強いことがいえる。

すなわち、以上の解析よりヘモグロビンとメラニンの成分変化と高い相関をもつ視覚的、心理的な形容詞があることが確認された。また、ヘモグロビンとメラニンの成分変化と顔色画像の見えの関係が分かった。

3. まとめと考察

RGB 3 チャンネルで撮影された肌画像を濃度空間へ変換することで、肌色をモデル化し、独立成分分析を適用した。その結果、肌に存在するメラニン・ヘモグロビン色素を分離することができた。各色素量を変化させ合成することで、様々な顔色画像の再現ができた。顔色の見えと各色素量の変化との関係を、25 種類の形容詞対によって評価した。その結果、メラニン

色素量と相関をもつ形容詞、ヘモグロビン色素量と相関をもつ形容詞、両色素量と相関のある形容詞、ある色素量のみ評価値がピークをもつ形容詞が存在することがわかった。これによりメラニン、ヘモグロビンの色素量が顔色の見えに与える影響を解析できた。

[今後の研究の方向, 課題]

独立成分分析によって分離された各色素は、顔全体に対して一様に変化させられるが、実際には頬の部分だけが赤くなるなど、色素の変化にむらがあることが考えられる。このような生理学的知見を考慮して色素量を変化させることで、よりリアルな顔色変化の再現が可能と考えられる。また、今回は評価に使用する被写体や、評価者の男女差・個人差について考慮していない。今後はこのような点も含めて、人間の感性和2つの色素量との関連をより深く解析し、望みの条件に最適な肌色を実現するための物理的指標を確立することが必要である。

[成果の発表, 論文等]

- 1) 植月啓次, 津村徳道, 小島信敏, 三宅洋一: 独立成分分析による顔色変化予測に基づく顔画像の評価, 日本写真学会誌 64 巻, 4 号, pp. 255 - 263 (2001)
- 2) 中尾大輔, 津村徳道, 三宅洋一: 実時間分光画像処理のよる肌の色素成分分布変化の測定, Medical Imaging Technology, Vol. 20 No. 2, pp. 123 - 133 (2002)
- 3) Daisuke Nakao, Norimichi Tsumura and Yoichi Miyake: Real-time Multi-spectral Image Processing for Mapping Pigmentation in Human Skin, IS & T/SID's 9th Color Imaging Conference, Color Science, Systems and Appl. pp. 80 - 84 (2001)

21 世紀情報携帯端末ディスプレイの開発

Development of Mobile Information Terminal Display for 21st Century

1011014

研究代表者 九州大学大学院システム情報科学研究所 助教授 服部 励 治

[研究の目的]

電気泳動ディスプレイ (Electrophoretic Display: EPD) は溶媒中の電荷を帯びた粒子が電界によって移動する電気泳動 (Electrophoresis) という現象を利用したディスプレイである。このディスプレイの歴史は1960年代にまでさかのぼることができる。すなわち現在フラットパネルディスプレイの主流である TN 型液晶の発明よりも歴史は古い。1970年代には盛んに研究がなされたが、液晶ディスプレイ (LCD) との開発競争に敗れ、1980年代には殆どの会社が EPD の開発から撤退してしまった。

しかしながら、EPD の潜在的ポテンシャルは忘れ去られることなく、近年のモバイル機器の急速な発展に伴い、再び EPD が脚光を浴びている。なぜならば、EPD は LCD では実現できない高い反射率と超低消費電力を持ち得るからである。

一方、EPD が現在、脚光を浴びている他の一つの要因として電子ペーパー実現への有力候補と成り得ることが挙げられる。しかし、電子ペーパーとしてのコンセプトは未だ漠然としたものである。これは具体的な製品が紙に近いディスプレイからディスプレイに近い紙まで非常に広い範囲で考えられるのが一つの原因であろう。

我々が開発を行っているマイクロレンズアレイ EPD (Microlens-Array EPD: MLA-EPD) の研究は従来ある EPD の原理と近年急速に発

達した微細加工技術を組み合わせることによって、初期 EPD が持っていた問題を解決し、さらに他で開発されている EPD よりも高性能な反射型ディスプレイを開発しようとするものである。

[研究の内容, 成果]

図1に我々が提案する新型 EPD の一画素の断面構造と白黒それぞれの表示状態を示す。特定の色 (図中では白) をもつ泳動粒子は透明溶液中に分散し正負どちらかの電荷を帯びる。着色壁は泳動粒子と対比した色 (図中では黒) に着色されている。ここで上部, 下部電極間に電界を印加することにより電荷を持った泳動粒子が透明溶媒中を電気泳動し、この図のどちらかの状態になる。

従来の構造では電極面積が等しく、色素によって着色した溶液により泳動粒子と対比させコントラストを得ていた。しかし、その色素が電極や泳動粒子に付着してコントラスト、素子

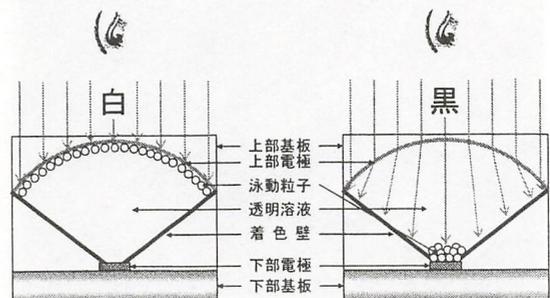


図1 MLA-EPD セルの動作原理

寿命を低下させるという問題があった。我々の提案する新型構造では、透明溶媒を用いるためこのような問題は起こらない。また、上部電極の曲面構造は電気泳動粒子の吸着を均一にする。これと同時に、この構造では電極間距離を短くしても着色溶液による光の吸収を使わないためにコントラストの低下はなく、高速応答の素子を作ることができる。さらに重要な特色として上部電極を曲面構造にするために形成された上部基板の構造は自動的に凹レンズの役割を果たし、上部より観測した場合、下部電極を小さく見せ、さらにコントラストを上げる役目を果たす。

図2に合成石英基板を用いた時の MLA の作成方法を示す。まず石英基板を適当な熱処理後、Si をスパッタ製膜した。次にフォトレジストをスピコートし、パターンニングを行っ

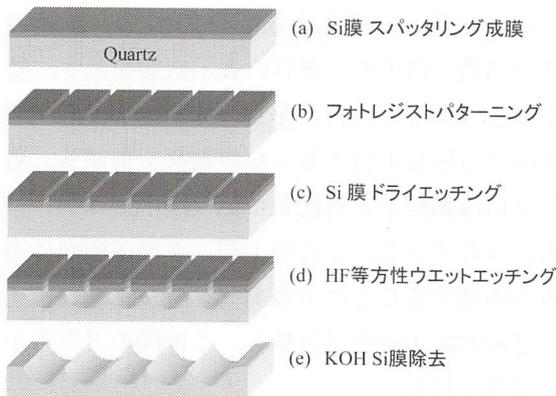


図2 上部レンズ基板の作成プロセス

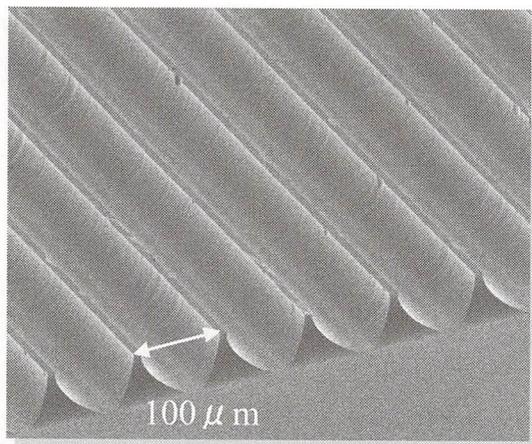


図3 上部基板のレンズ構造

た。このときの開口部のパターンは幅 $10\mu\text{m}$ 、周期 $100\mu\text{m}$ とした。その後、Si をドライエッチングした。その後 BHF を使用して等方性のウェットエッチングをすることにより半円筒状の溝を形成した。最後に KOH によりシリコンとレジストの除去を行った。

図3にこのプロセスによって得られた上部基板を観察したものを示す。図からわかるように期待したライン状のレンズ構造が得られていることがわかる。今回、Si 膜の開口部を幅 $10\mu\text{m}$ としたが、この影響で円柱構造の最下部分で平坦な領域がわずかに存在し正面から見たレンズ効果を低下させるが、さらに Si 膜の開口部の幅を狭めることにより、半円柱状の形状に近づけることができる。また、図手前の断面が楕円形状を示しているのは、この側面もまた等方性エッチングにより角度を持っているため、レンズ断面形状は極めて半円に近い。

図4にこの上部レンズ基板を通して見た下部電極の顕微鏡による観察結果を示す。下部電極の幅は $10\mu\text{m}$ 、周期は $100\mu\text{m}$ である。写真の下半分はレンズ構造のない図5手前の平坦な部分に対応する。図からわかるようにレンズ効果により下部電極が細く見えている様子がわかる。このとき溶媒は注入されていないので石英の屈折率 1.7 を考えると前述したように約 60% に見えるはずであるが、円柱構造頂上の平坦部の存在によりその効果は低下している。また、このような半円柱形状では臨界角によりレンズ側

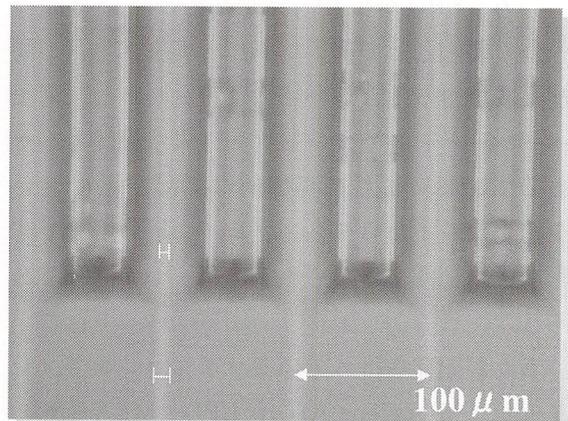


図4 上部基板のレンズ効果

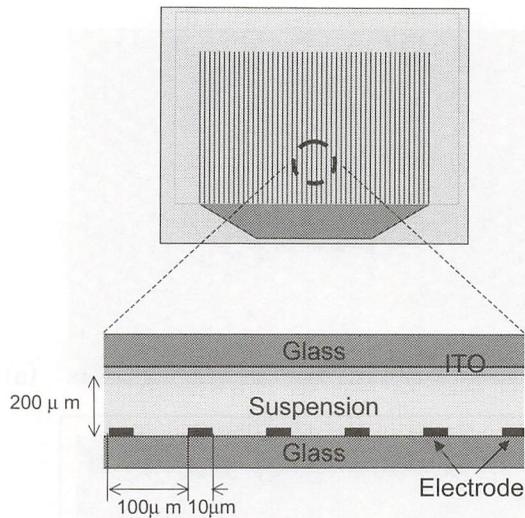
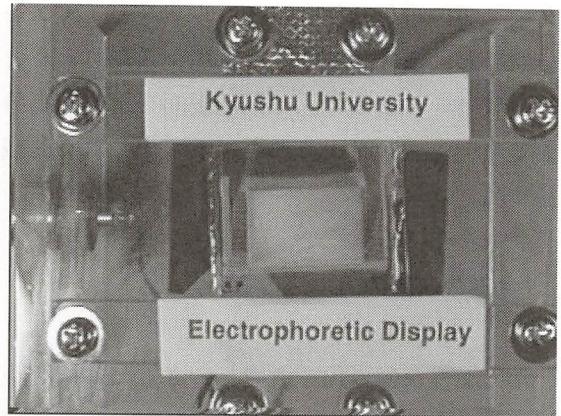


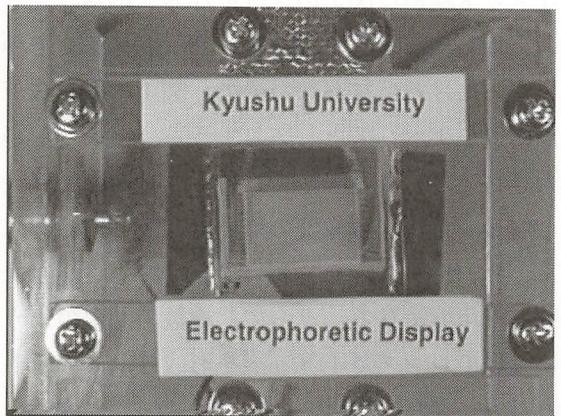
図5 材料最適化用テストプレート構造

面では光が全反射しデットスペースを形成しコントラストの低下を招くと考えられる。この基板材料としては石英ガラスのほかに生産に優位なプラスチックを用いても何ら問題はないと考えられ、将来、更なる低価格化、軽量化のためには非常に有用となるであろう。

図5はMLA-EPDに適する分散媒、泳動粒子、界面活性剤などの材料を最適化するためのテストプレートの構造を示したものである。構造は下部電極を周期 $100\mu\text{m}$ 、幅 $10\mu\text{m}$ のストライプ状とし、上部基板は本来円柱状のMLA構造を持たすべきであるが、材料最適化を優先させ今回は単なる平面としている。ギャップは $200\mu\text{m}$ と広くしている。現在用いている分散系の一例を紹介する。分散溶媒はOctamethylcyclotetrasiloxaneで凝固点 17°C 、沸点 175°C 、比重0.9560、屈折率1.4である。泳動粒子はルチル型チタニア(TiO_2)で粒径 $0.2\mu\text{m}$ 、表面をSi、Alでコーティング処理したものをを用いた。濃度は $6\text{mg}/\text{cc}$ であった。界面活性剤としてはエアロゾルOT(Natriumdioctylsulfosuccinat)を $20\text{mmol}/\text{dm}^3$ の濃度で溶かして用いた。これら材料の調合は、るつぼと超音波で十分にチタニアを粉碎することと、分散溶媒に吸湿性があるので水分吸収に気をつけて行った。このように作製した分散系は分散状態が良好であった。



(a)



(b)

図6 テストプレートで明(a), 暗(b)状態

図6は前述のテストプレートに電圧を印加し、ディスプレイの明暗状態を示したものである。印加電圧は $\pm 200\text{V}$ であった。この電圧はギャップ内に $10^4\text{V}/\text{cm}$ の電界を生成し、この値はEPDに用いられている一般的な値である。残念ながら現時点では反射率、コントラスト、応答時間などの満足な値が期待できず、詳しい値は求めている。同写真のロゴマークは再生紙上に印刷したものであるので、これと比較して反射率、コントラストはまだ印刷物には及ばないことは分かる。応答時間は1秒以内である。

現在確認されている問題点は、ITO電極上への泳動粒子の付着と、電界印加時の泳動粒子の凝集である。特に前者の問題は深刻であり、今回の実験でコントラスト低下の主な原因はここにある。ITO電極面を何も処理せず用いたプレートでは一回の電界印加でITO表面にチ

タニアが付着してしまい、いくら逆バイアスをかけても、電気泳動粒子は電極から離れようとはしない。そこで今回は電極表面を適当な高分子でコーティングすることによってこれを低減させた。

[今後の研究の方向, 課題]

先に述べた臨界角を考慮し、さらに電極間距離を考慮すると、ディスプレイにおける理想的なドット構造は図7のようになる。応答時間を考えた場合、電極間距離は $10\mu\text{m}$ 程度まで小さくしなければならないので、図1のようなセル構造を1ドットとしてしまうと、1ドットの大きさも $10\mu\text{m}$ 程度となり、ドット数が莫大となる。これは解像度の点では有効であるが、XYマトリクスでアドレッシングする場合は殆ど不可能になる。よって、複数の図7のように複数のレンズで1ドットを形成し、1ドットの寸法を数百 μm のオーダーとする。また、ドット内のセル間で異なった電圧がかからず粒子の偏りは問題とならないため、1ドット内の各セルの仕切りはなくてもよいことになる。しかし、ドット間の仕切りは欠かすことができないであろう。

図8は前記構造を実現するために作製された上部レンズ基板を示したものである。最新の

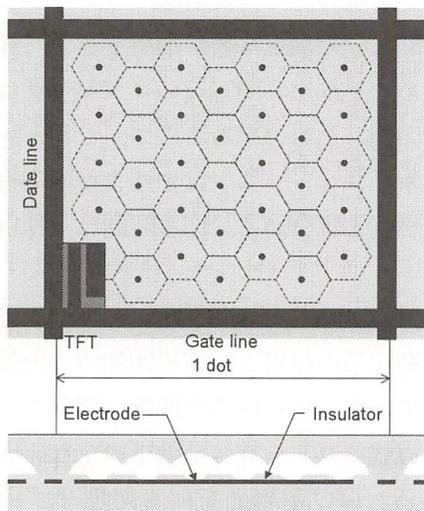
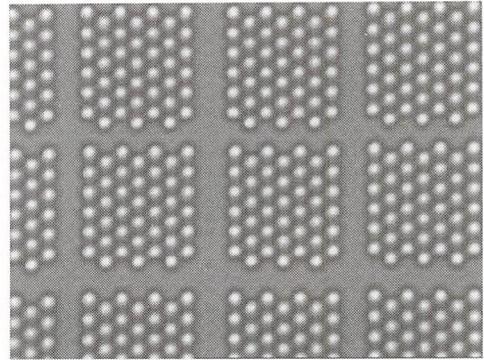
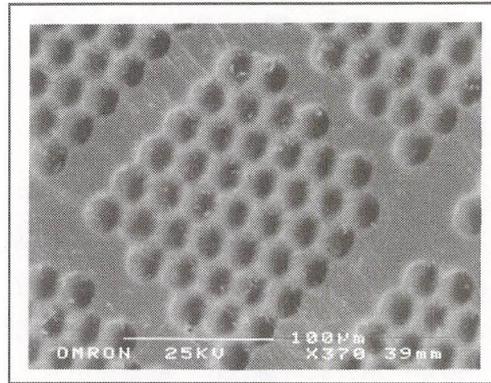


図7 ドット構造



(a)



(b)

図8 上部レンズ基板のドット構造

(a)光学顕微鏡観察像、及び(b)SEM(斜視)観察像

MEMS技術が駆使され、ほぼ設計どおりの理想的な形状が得られている。我々は今後この基板を使い図7の構造を持つEPDピクセルを作製し、高い反射率とコントラストが得られることを示す予定である。

[成果の発表, 論文等]

- 1) 原田善弘, 山田修平, 服部励治: マイクロレンズアレイ電気泳動ディスプレイの開発, 電子情報通信学会, 発光型/非発光型ディスプレイ合同研究会, (2002年1月24日~25日, 長崎大学, 長崎市)
- 2) 原田善弘, 山田修平, 服部励治: 高反射率高コントラスト電気泳動ディスプレイの開発(II), 応用物理学会九州支部講演会, (2001年12月1日, 佐賀大学, 佐賀市)
- 3) 服部励治: 日本画像学会2001年度技術研究会「リライタブル・エレクトロニックイメージング研究会」(2001年11月2日, 日本化学会館講堂, 東京御茶ノ水)

時空間コヒーレンスゲートによる生体内情報の アダプティブイメージング

Adaptive Imaging of Information in Biological Tissues Using Spatiotemporal Coherence Gating

1011015

研究代表者	徳島大学工学部 講師	早崎 芳夫
共同研究者	徳島大学工学部 助手	山本 裕紹

[研究の目的]

光を用いて非侵襲的に生体内構造を可視化する研究は、近年大変盛んである。その手法の一つに、数 $10\mu\text{m}$ 以内の光路差の時にのみ干渉が起こる現象を利用した低コヒーレンス干渉法がある。この方法は、深さ数ミリ程度の部位をマイクロオーダーの高分解能で観測する技術として、医療診断に広く応用されている。本研究の目的は、低コヒーレンス干渉法を利用して、バイオメトリクス、高密度三次元光記録、高秘密隠匿性情報記録メディア等、近未来のヒトと機械との新しい情報コミュニケーション機器の開発を目指した、時空間コヒーレンスゲート技術と波面補償技術を融合した光計測装置の開発である。この研究目的に対して、以下に示す研究項目を遂行することを計画した。はじめに、本研究では、散乱体中の物体のイメージング技術を情報機器に応用することを主眼に置いているため、生体内部を高速に観測することが重要であり、既存の走査光学系による読み出しでは速度の点で問題となる。そこで、イメージセンサーにより画像情報を取得し、散乱体中の情報を並列に計測する。具体的には、ピエゾトランスレータより参照光の位相を変え、CCDカメラで撮像した画像から光波の位相や振幅を抽出する。次に、本研究では情報を画像で取得する

ため、光散乱による他の画素からの光の干渉への寄与を低減するために、低空間コヒーレンスの性質を利用する。さらに、生体試料を観測する場合、サンプル表面が理想的な平面であるとは限らず、得られた像は歪んでしまうはずである。しかし、実際には、その歪みを無視するか、もしくは、ガラスで挟み込み平面を作り出すかを選択している。そこで、干渉計の物体側に液晶空間光変調素子を配置し、物体の表面形状に応じた位相補正を行う。位相補正は、低時間コヒーレンス光源を用いた干渉計と光電子フィードバックシステムにより自動的に行われる。最後に、計測手法や計測装置の性能評価を定量的に行うため、サンプルを散乱物体中の2値のデジタルデータとし、情報機器の性能評価として広く用いられているビットエラーレイトを適用する。

[研究の内容, 成果]

1. 散乱体背後の情報を検出するための低コヒーレンス干渉計測システム

本研究において、生体内情報をイメージングするための装置として、図1に示すスーパーluminescentダイオード (SLD) を低コヒーレンス光源とするマイケルソン干渉計を構成した。SLDからの光は対物レンズでコリメート

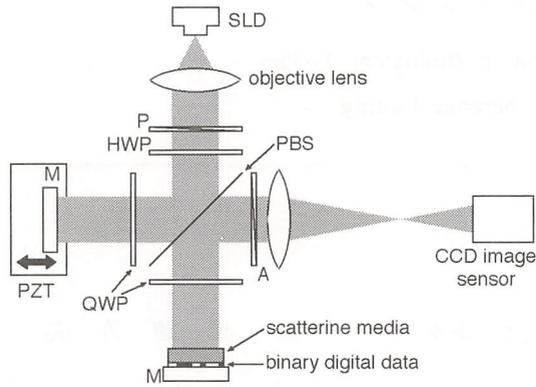


図1 Experimental setup

され、偏光ビームスプリッター (PBS) により 2つの光路に分けられる。光量比は、偏光子 (P)、1/2波長板 (HWP)、検光子 (A)、1/4波長板 (QWP) により任意に調節される。参照光側のミラーはピエゾトランスデューサ (PZT) により可動される。実験装置や計測手法の定量的評価を行う必要があるため、サンプルには人工的な素材を用いる。光散乱体にはエポキシ樹脂に酸化チタンを混合した散乱体を使用し、デジタルデータは写真フィルムとミラーにより形成される。情報を画像で得るために、CCDイメージセンサーにより干渉像を検出する。検出された像はフレームグラバを介してコンピュータに取り込まれ、ビットエラーレイトが算出される。散乱体背後のデジタル情報を得る方法として、参照ミラーをスキャンすることにより得られる干渉信号から計算されたコントラストに対してしきい値処理する方法 (コントラスト判別法) を用いる。このコントラスト判別法を用いて干渉信号の空間的な位相ずれの影響を受けない再生が可能となった。散乱体背後のデジタルデータを再生した結果を図2に示す。図2 (a) は、元のデジタルデータである。図2 (b) は、参照光を遮断した時の検出された画像であり、元の画像が散乱体に隠され、視認できないことを示している。図2 (c) は、参照光と物体光との光路差を光源のコヒーレント長以内にすることにより得られた低コヒーレンス干渉像である。その干渉像はサンプルの表面形

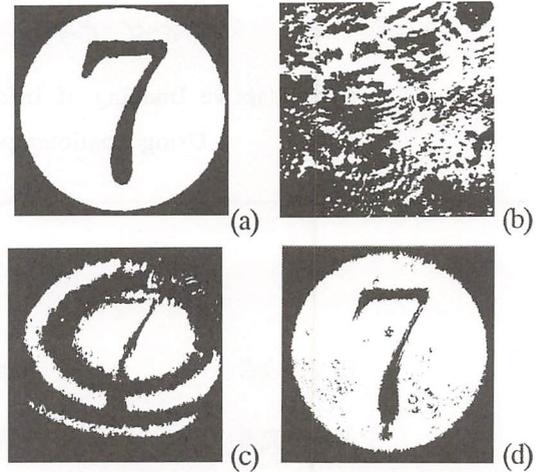


図2 (a) An original binary digital data, (b) a detected image when scattering media is put on the digital data and the reference beam is cut off, (c) a low-temporal interference image, and (d) a digital image obtained by use of the contrast discrimination of interference signals

状により歪んでいる。図2 (d) は、コントラスト判別法を用いて得た像である。ビットエラーレイトを計算すると、それぞれ、(b) では0.48、(c) では0.39、(d) では0.029であった。さらに、光量のばらつきや散乱体の不均一によるコントラスト低下の空間的不均一に対する影響の少ないデータの再生を実現するために、バイナリデータに空間コード化を導入した。空間コード化とは、元来、並列光演算を実行するために開発された手法で、画素を2つのサブ画素に分けて、画素値 (0, 1) に応じて白黒もしくは黒白としてバイナリデータをコード化する手法である。この手法は、画素値の総和が変化しないため、平均光強度が常に一定となり、光の処理には有効な方法である。図3は、散乱体の濃度に対するビットエラーレイトの変化を示している。●は、干渉信号に対してコントラスト判別法を適用した時のビットエラーレイトを示していて、パターンに空間コード化を適用していない場合の結果である。■は、空間コード化を適用した時のビットエラーレイトを示している。両者とも、濃度の高い散乱体ほど、ビットエラーレイトが高くなっている。また、空間コード化の導入により、そのビットエラーレイトが大きく低下している。

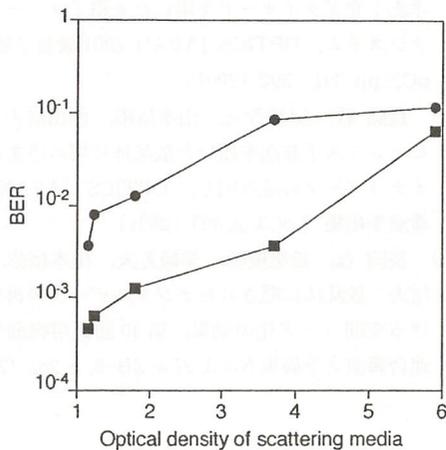


図3 Bit error rate (BER) versus optical density of scattering media

2. 実時間波面補償の機能を実現する光電子フィードバックシステム

物体と撮像系との間の波面の乱れを実時間で補正する実時間波面補償の機能を実現するために、光電子フィードバックシステムを用いた。このシステムは、低時間コヒーレンス光源である端面発光型発光ダイオード (LED) を光源とするマイケルソン干渉計、光アドレス形空間光変調素子 (OASLM: optically addressed spatial light modulator)、液晶ディスプレイ (LCD: liquid crystal display)、CCD イメージセンサーから構成される。LED の使用は、システム内の光学部品表面からの反射光による不要な干渉縞の形成を低減させる。光ファイバを通した LED からの光はコリメートされ、干渉系に導入される。参照光側のミラーは OASLM であり、He-Ne レーザーを光源として LCD に表示された画像により OASLM においてその参照光の位相が変調される。ここで、CCD イメージセンサーの出力像を、LCD に表示することにより、波面の乱れを補正する位相分布を自動的に OASLM 上に形成する。図4は CCD イメージセンサーの出力の高速フーリエ変換像であり、(a) は動作させていない時、(b) はフィードバック動作させた時の出力像である。(b) のフーリエ変換像が (a) に比べて中心強度が強くなっているため、補正後の波

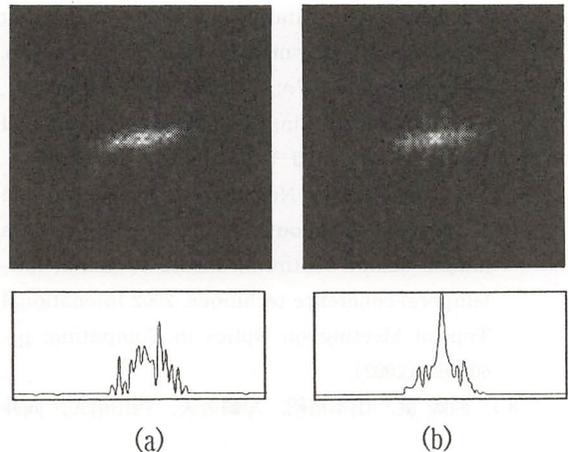


図4 Fourier spectrum of output images (a) before correction and (b) after correction

面がより平面波に近くなっている。

[今後の研究の方向, 課題]

1. 低コヒーレンス干渉計測システムと光電子フィードバックシステムの統合

現段階では、散乱体背後の情報を読み出すための低コヒーレンス干渉計測システムと波面補償機能を有する光電子フィードバックシステムは、別々のシステムとなっている。そこで、平面でない表面形状を有する散乱体背後の情報を読み出すために、これらを統合する必要がある。

2. 情報表現について

現段階では、情報を反射率の違いで表現している。光学的な情報は、凹凸や屈折率により表現できるため、これらの情報表現に関しても定量的な評価を要する。

3. サンプルについて

現段階では、生体ファントムとして酸化チタン微粒子を含むアクリル樹脂を用いているが、より生体に近い材料を用いて評価する必要がある。

[成果の発表, 論文等]

- 1) A. Nagaoka, Y. Hayasaki, H. Yamamoto and

- N. Nishida : Quantitative evaluation of imaging through scattering media by use of digital data, Technical Digest Vol. 2, CLEO/Pacific Rim 2001, The 4 th Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics, MI 3-5, pp. II-496-497 (2001)
- 2) Y. Hayasaki, A. Nagaoka, H. Yamamoto and N. Nishida : Readout of binary digital data hidden behind scattering media by use of low-temporal-coherence technique, 2002 International Topical Meeting on Optics in Computing, pp. 60-62 (2002)
- 3) 西岡 健, 山本裕紹, 早崎芳夫, 西田信夫, 向井孝志 : 発光ダイオードを用いた光電子フィードバックシステム, OPTICS JAPAN 2001 講演予稿集 7 pC2, pp. 391-392 (2001)
- 4) 長岡 敦, 早崎芳夫, 山本裕紹, 西田信夫 : 低コヒーレンス干渉法を用いた散乱体に埋め込まれたバイナリデータの読み出し, OPTICS JAPAN 2001 講演予稿集 7 pC3, p. 393 (2001)
- 5) 長岡 敦, 松葉慶暁, 早崎芳夫, 山本裕紹, 西田信夫 : 散乱体に隠されたデジタルデータの再生における空間コード化の効果, 第 49 回応用物理学関係連合講演会予稿集 No. 3, 27 a-ZH-8, p. 982 (2002)

錯覚によるテクスチャの誤認知を利用した 触覚ディスプレイの研究

Study on Tactile Display Utilizing Erroneous Cognition due to Illusion

1011017

研究代表者

慶應義塾大学理工学部 助教授

前野 隆 司

[研究の目的]

ヒトは接線方向に指を滑らせる動的触察によって、 μm オーダの細かい凹凸面の粗さ感を知覚することができる。物体上を指表面が滑る動的触察時には、指表面は対象物との固着・滑りに伴って振動する。動的触察が接線方向に行われることから、粗さ感是指表面に対する接線方向の振動刺激と関係が深いと考えられる。また、ヒトは凹凸面の空間分布から粗さ感を知覚すると考えられるため、接線方向振動刺激の空間分布も粗さ感に関係していると考えられる。さらに、ヒトの指腹部における2点弁別閾値は約1.5 mmと大きいため、ヒトが対象物の凹凸を認識する際には、凹凸面の空間分布ではなく、時間的振動波形を利用していると考えられる。このため、ヒトの誤認知に基づく錯覚を利用すれば、実際の凹凸面よりも粗い振動刺激を用いて表面の質感を呈示できると考えられる。これらの仮説検証のための基礎研究として、本研究では、指腹部と凹凸面の有限要素解析および触覚呈示装置を用いた心理物理実験を行うことによって、空間的に分布する接線方向振動刺激の振幅や周波数と粗さ感との関係についての基礎的な知見を得ることを目的とする。

[研究の内容, 成果]

1. 有限要素解析

指腹部による粗さ感の知覚には、皮膚の浅い

位置に配置されたメルケル細胞とマイスナー小体に関係している。特に、細かい凹凸面の粗さ感にはマイスナー小体のみが関わっているとされる。よって、様々な粗さ感を呈示するためには、マイスナー小体に対する刺激を変化させればよい。そこで、接線方向刺激と法線方向刺激のいずれが動的触察時におけるマイスナー小体に対する支配的な刺激なのかを確かめるための有限要素解析を行った。機械受容器の神経インパルス発射頻度とひずみエネルギー変化に相関があることから、解析ではマイスナー小体位置でのひずみエネルギー変化と指表面の変形に着目した。

まず、剛体波面（振幅 $A = 3\mu\text{m}$ 、波長 $\lambda = 0.15\text{ mm}$, 0.20 mm , 0.30 mm ）を筆者らが作成した指断面の有限要素モデル表面で滑らせることによって、動的触察を再現する動的接触解析（図1）を行った。剛体波面を指に押し込む量は 0.55 mm 、滑らせる速度は 10 mm/s 、摩

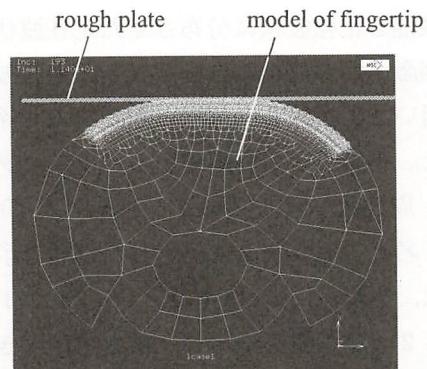


図1 Two-dimensional model of fingertip and rough plate

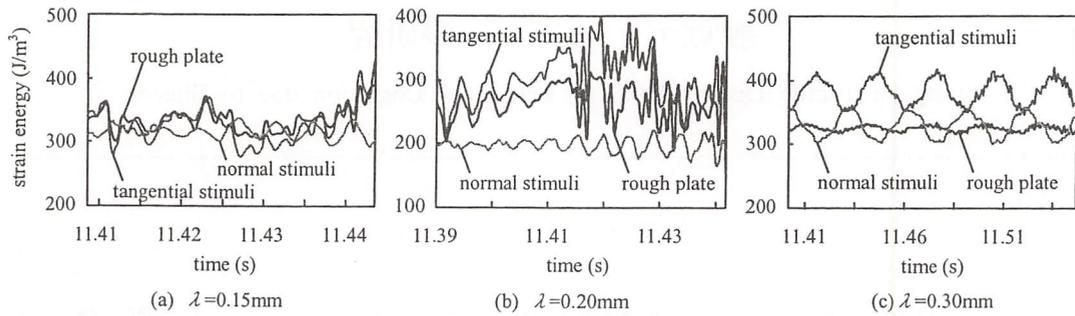


図2 History of strain energy at the Meissner's corpuscle's location

摩擦係数は0.5とした。次に、動的触察時の指モデル表面節点の変位履歴を法線方向と接線方向とに分離し、それぞれ強制変位として各節点に与えることによって、動的触察時のマイスナー小体位置でのひずみエネルギーが接線方向の変位と法線方向の変位のいずれに大きく影響されているかを確かめる解析を行った。両解析の結果を図2に示す。同図より、剛体波面の波長が短い場合には、接線方向強制変位を与えたときのひずみエネルギー変化が剛体波面を滑らせたときのひずみエネルギー変化に類似していることがわかる。以上より、接線方向振動刺激によって細かい面に対する粗さ感を呈示できる可能性を確認することができた。

2. 心理物理実験

心理物理実験によって、接線方向の刺激と粗さ感との関係を明らかにするために、接線方向の刺激を呈示する触覚呈示装置(図3)を製作した。触覚呈示面には、直径0.8mmの刺激子が1mm間隔に10本配置されている。本実験では振幅を正弦波状に分布させた定在波状刺激と、刺激子間の位相差を一定とした進行波状刺激を用いて、接線方向刺激と粗さ感の関係を確認した。刺激子を振動駆動するパラメータは、振幅、周波数、波長である。被験者は20代の男女8名とする。表1に呈示した刺激を示す。実験は、振幅、周波数、波長のいずれか1つが異なる2つの刺激を呈示し、粗さ感が大きい刺激を被験者が回答するという一対比較法で行った。被験者が感じた粗さ感の順序を、表1の最

voice coil motor

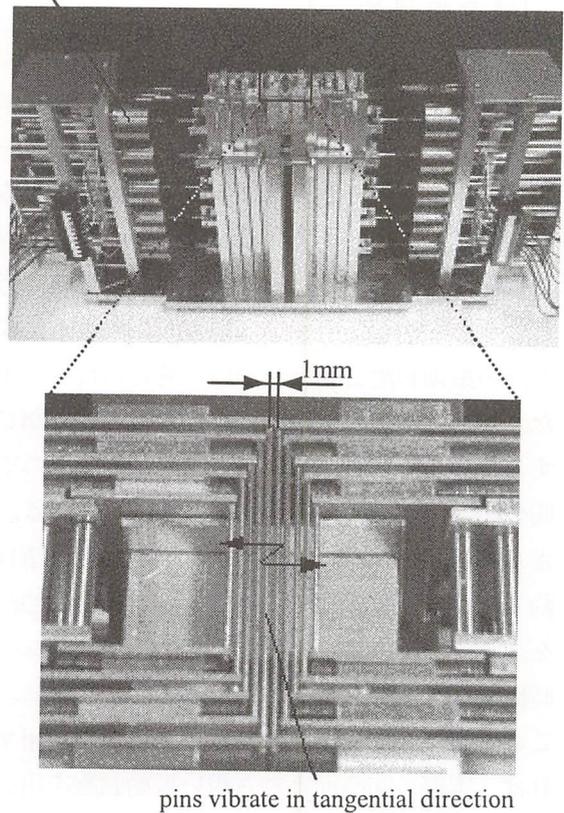


図3 Tactile display producing tangential stimuli

表1 Parameters of tangential stimuli

Parameter	Amplitude (μm)	Frequency (Hz)	Wavelength (mm)	Order of roughness
Amplitude	15	50	4	3
	30	50	4	2
	45	50	4	1
Frequency	30	25	4	3
	30	50	4	2
	30	75	4	1
Wavelength	30	50	2	—
	30	50	4	—
	30	50	6	—

右列にパラメータごとに示す。以上の結果、実験を行った範囲では、振幅が大きい場合や周波数が高い場合に粗さ感が増す傾向がみられた。また、波長は振幅や周波数よりも粗さ感に及ぼす影響が小さいことを確認した。マイスナー小体は皮膚変形速度に依存して神経インパルスを発射することから、振幅や周波数が高い場合に粗さ感が増しているのは、マイスナー小体が強く反応する場合に粗さ感が増すためであると考えられる。

3. ま と め

指腹部と凹凸面の有限要素解析を行った結果、空間波長が短い凹凸面を対象とした場合、動的触察時にマイスナー小体へ加わる刺激は、主に指腹部への接線方向刺激であることがわかった。また、接線方向刺激呈示装置を用いた心理物理実験の結果、振幅が大きい場合や周波数が高い場合など、マイスナー小体が強く反応すると考えられる刺激に対して粗さ感が増すことがわかった。

[今後の研究の方向, 課題]

これまでに、錯覚による誤認知を利用した触覚ディスプレイを開発するためには、指腹部への接線方向刺激が重要であること、振幅や周波数が高い場合に粗さ感が増すことなどを明らかにした。今後は、この特性をさらに定量的に示す必要があると考えている。すなわち、触覚ディスプレイによってどのような時空間分布波形を呈示すれば、触覚受容器に実際の粗さ面を触察する場合と同様なインパルス発射が生じ、ヒトが実際の粗さ面と類似した触感を感じるの

かを定量化する必要がある。このためには、周波数や波長のみならず、刺激波形の時空間パターンを変化させながら与えることのできる触覚ディスプレイを製作し、実験を行う必要がある。また、本研究では装置と指が動かない状態で実験を行ったが、実際の動的触察は指を左右に動かす触運動によって粗さを知覚する行為であるため、指を動かした際に触覚ディスプレイも指とともに移動するような状態での研究が必要であると考えている。このためには、触覚ディスプレイを小型化するとともに、触覚ディスプレイと指の平行移動装置を開発する必要がある。さらに将来的には、触覚ディスプレイを指先に装着できるサイズにまで小型化し、センサグローブに直接取り付けられるようなデバイスにする必要があると考えている。また、本研究では「粗さ感」のみを対象としていたが、「ぬめぬめ」「つるつる」といった、温度感覚や粘性感覚との複合的な感覚にも拡張していく必要があると考えている。

[成果の発表, 論文等]

- 1) 毛利優之, 前野隆司: 接線方向刺激を用いた触感呈示法 (第一報, 触覚ディスプレイの製作と粗さ感の呈示), 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 '02 講演論文集, No.02-6, 2002 年
- 2) 多々良尚愛, 前野隆司: 接線方向刺激を用いた触感呈示法 (第二報: 指腹部有限要素モデルを用いた振動刺激波形の影響の解析), 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 '02 講演論文集, No.02-6, 2002 年
- 3) Naoe Tatara, Masayuki Mori and Takashi Maeno: Method for Displaying Tactile Sensation using Stimuli in Tangential Direction, International Symposium on Robotics, (2002), in press

遠隔健康管理を支援する情報システムの構築

Developing of Telehealth Care Life Support System

1011018

研究代表者 熊本電波工業高等専門学校電子制御工学科 助教授 松本 勉

共同研究者 熊本大学大学院自然科学研究科 教授 川路 茂保

[研究の目的]

超高齢化社会の到来を目前に控えて、医療福祉分野における工学技術の果たす役割はますます増大しつつある。中でも、生活の質（QOL）の高い生活が過ごせることを支援する情報システムの実現が重要な課題となっている。このような医療福祉情報システムを構築するには、医師やコメディカルのタスク、クライアントの情報を分析して人間を含むシステム設計を行う必要があるが、その設計のコンセプトや手法は端緒についたばかりである。これまで特定の事例を対象としたシステム設計の例はあるが、大局的なタスクと情報の分析をもとにした医療福祉のモデリングやシステム設計方法論の提案が行われておらず、他の事例への拡張は困難である。本研究では、医療福祉をサイバネティックスの視点からモデリングとシステム設計方法を提案し医療福祉情報システムを具体的に構築することを目的としている。

本稿では健康生活を医療を含めた広義のものとして捉えシステム論的アプローチにより健康生活の状態判断がシステム同定に帰着することを指摘し、高齢者の健康や生活における問題発見と対処、医療従事者、福祉介護従事者と本人の三者間の情報の伝達・共有を実行または支援するような「健康生活支援」を遠隔的に行う情報システムの設計について報告する。

[研究の内容, 成果]

1. 健康生活支援モデリング

本稿では健康生活の支援を必要とする対象者を「クライアント」と呼ぶことにする。

1.1 健康生活支援タスク

一般に医師やコメディカル[†]はクライアントと定期的または非定期的に接し、クライアントの健康状態や生活状態を観測し、医療行為も含む健康支援や生活支援を行っている。クライアントから医療福祉関連機関に問題発生との連絡があれば、医師やコメディカルはクライアントを訪問し健康状態と生活状態の問題解決にあたる。もし、コメディカルが先にクライアントの健康に関する問題を発見した場合は医師と連絡を取り必要な処置を行う。また、医師からの処方箋にもとづき薬剤師はクライアントに薬剤を処方するが、このとき薬剤履歴を更新し薬剤服用指導を行う。

医師やコメディカルが行うこれらのタスクをサイバネティックスの概念から捉えると、クライアント情報に基づき医師やコメディカルはクライアントの身体機能、精神、認知能力、病態、疾患などを同定し健康や生活を快方（健康目

[†] 一般に医師以外で医療に従事する人を指すが、ここでは家族や近隣住民の協力者も含め広義に解釈することとする。

標) へ向かうような操作量をクライアントへ与えるコントローラとしての役割を果たしている。

1.2 クライアント情報

健康生活支援に用いられるクライアントに関する情報を次のように分類する。

1. 0次情報:

健康生活に関する情報で時間変化が無視できる情報とする。

2. 1次情報:

直接的または簡単な検出器により得られる福祉・介護を含めた医療や生活の情報とする。

3. 2次情報:

生体から採取できる標本を分析して得られる情報とする。

4. 3次情報:

電子情報技術を利用してクライアントの内部状態を表す情報とする。

1.3 健康生活支援モデル

上述の健康生活支援タスクの分析とクライアント情報の構造化により図1に示すスキームが構成できる。ただし、図中の外乱は病因などクライアントの健康生活を悪化させる入力を表す。図1の検出部と治療行為部をそれぞれ一つにまとめて医師・コメディカルのタスクを明示したものを図2に再掲する。以下、これを「健康生活支援モデル」と呼ぶことにする。

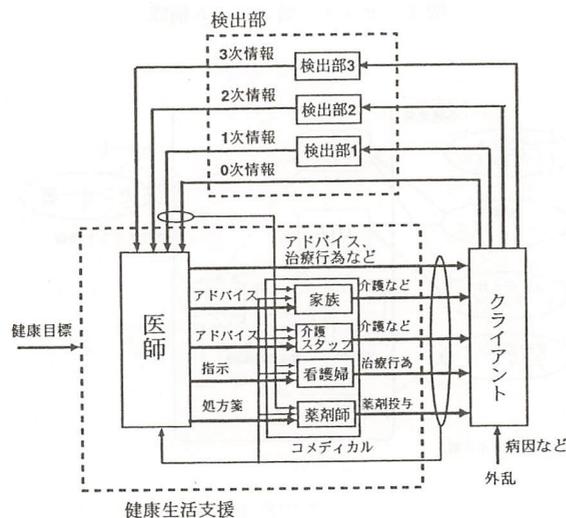


図1 健康生活支援スキーム

健康生活支援モデルにおいて、医師やコメディカルはクライアントの出力 y から健康状態、生活状態、病態・疾患を判断し、クライアントが健康状態になるようにまたは健康的な日常生活を過ごせるように健康生活支援行為を直接的・間接的に与える。なお、健康生活支援行為がブロックの出力 u からコントローラへのフィードバックはクライアントへ与える健康生活支援行為を確認するためのものである。

2. 遠隔健康生活支援システム

本節では前述の健康生活支援モデルに基づき遠隔健康生活支援システムの設計について述べる。

2.1 システム設計

一般に遠隔健康生活支援システムとは、図2の系を確立し空間的に離れた位置に所在するクライアント・医師・コメディカルの3者間の情報の伝達・共有とクライアントへの対処を支援するものと位置付けることができる。

本稿では、システムは、クライアント情報を取得し問題発生の発見とクライアントに問題発生の再確認を行い、必要に応じて医師やコメディカルにクライアント問題発生の通知を行う。また、システムは健康生活の診断及び支援計画策定のためにクライアント情報を医師・コメディカルに提供する。そして、クライアントに対する健康生活アドバイス情報をシステムが提供することにより健康生活支援行為を行うこととする。したがって遠隔健康生活支援システムが持つべき機能を次のよう設定する。

- ① クライアント情報の取得と保持
- ② クライアントの健康生活上の問題発見
- ③ クライアントの問題発生通知と再確認

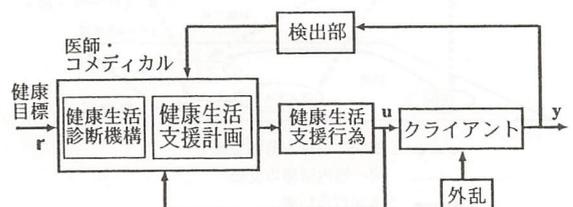


図2 健康生活支援モデル

- ④ クライアント対処策定の支援
- ⑤ 健康生活アドバイスの提供
- ⑥ 医師やコメディカル間の情報共有

これらの機能は①、②がクライアント情報を取得保持し問題の発見、次に③から⑥を一つにまとめ医師・コメディカルへクライアントの問題発生のお知らせ、システムがクライアントに対して行う問題発生のお知らせ、健康生活への対処と共有情報を保持する部分とに整理できる。ここではそれらをセンサー層、アプリケーション層と呼ぶ。また、システムは上述の機能の他、医師・コメディカル・クライアントに提供するためのインタフェースを持ち、これをインタフェース層と呼ぶことにする。

医師・コメディカル・クライアントの各ユーザからの各層の論理的な距離を考慮し遠隔健康生活支援システムを図3に示す階層型構造で構築することとする。また、ユーザの登録・削除、システムの管理運営に必要な機能と管理者インタフェースを持つ。

2.2 階層と機能

本項では遠隔健康生活支援システムの構成と各階層の機能との関連について述べる。

2.2.1 物理層

システムが取り扱う対象は医師、クライアント、コメディカルが多数存在する実世界である。これを物理層と呼ぶことにする。

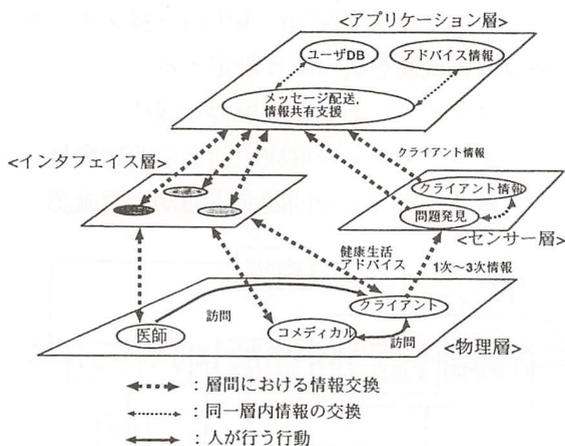


図3 システムの機能と情報の流れ

2.2.2 センサー層

センサー層は2.1項で述べた①、②の機能を実現する。すなわち、センサー層はクライアントの情報を収集し、日常生活における異常性と病態変化・疾患発症を判断し、クライアントの問題発生を発見した場合はアプリケーション層へメッセージを送る。図4はセンサー層のシステム概念を示す。

2.2.3 アプリケーション層

アプリケーション層は2.1項述べた③～⑥の機能を実現する。このためにセンサー層及びインタフェース層とのメッセージ交換を行うメッセージ転送エージェント（MTA）、センサー層が持つクライアント情報とアプリケーション層が持つ治療・介護および健康生活アドバイス情報のデータ転送・中継を行うデータ転送エージェント（DTA）およびデータベース機能（ユーザDB、健康生活アドバイス情報、治療・介護情報）を持つこととする。図5はアプリケーション層の機能を図示したものである。

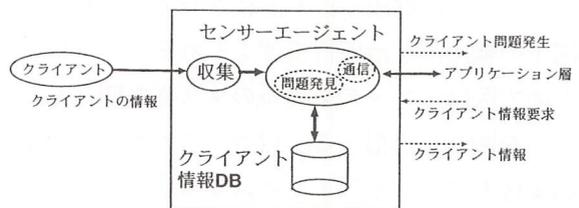


図4 センサー層システム構成

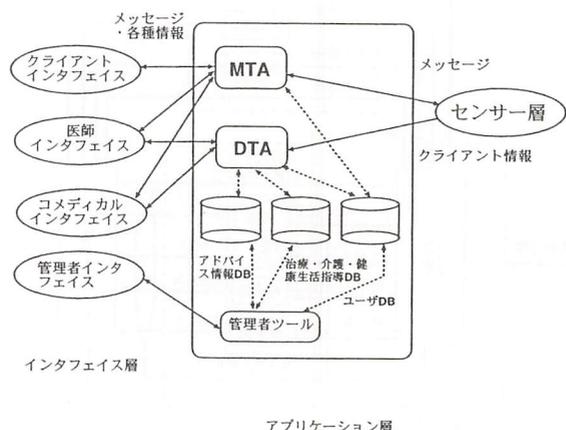


図5 アプリケーション層の機能

2.2.4 ユーザインタフェイス層

ユーザインタフェイス層は2.1項で述べた③～⑥と管理運営のための機能をユーザに提供する働きで、クライアント・医師・コメディカル・管理者がシステムとインタラクションを行う機能を提供する。

3. 遠隔健康生活支援システムのソフトウェア設計

本節では前節で述べた遠隔健康生活支援システムのアプリケーション層のオブジェクト指向を利用したソフトウェア設計と実装について述べる。

3.1 アプリケーション層のソフトウェア設計

3.1.1 ユースケース

まず、システムが外部に提供する機能単位をユースケースとして記述する。この機能単位とインタラクションを行うものはアクターと呼ばれ、人や他のシステムである。2.1で記述したようにこのアプリケーション層は下位層（センサー層、インタフェイス層）からのメッセージを受け取り、他のアクターへの転送とメッセージの内容に応じた処理を行う機能を持つ。したがって個々のメッセージに対応した機能をユースケースとして捉えることができる。医師インタフェイス、クライアントインタフェイスおよびセンサー層とアプリケーション層とのユースケースは次のように設定できる。

1. 安否確認
2. ヘルプ要求
3. 問題発生
4. クライアント情報提供
5. 医師呼出
6. 健康アドバイス情報提供
7. クライアント情報要求

3.1.2 シーケンス図

オブジェクト同士やアクターとユースケース間の協調を表現するためにシーケンス図を作成する。シーケンス図はオブジェクト間のメッセージの受渡し及びアクターとユースケース間

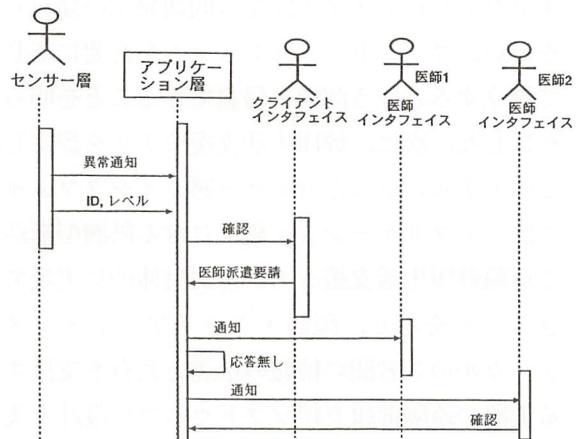


図6 シーケンス図（問題発生時の医師への通知）

のメッセージの受渡しを時系列的に表現する。ここでは、アプリケーション層とアクター間で行われるメッセージの受渡しにおいて、センサー層からクライアント問題発生メッセージが送られ、それが医師インタフェイスへ転送される場合を一例としてのシーケンス図を図6に示す。図中、クライアントから医師派遣要請の応答が届き、さらに医師1からの応答がなく医師2へメッセージを送る場合を示している。

3.1.3 オブジェクトのクラス化

オブジェクト同士の意味的な結び付きを見出しクラスの抽出を行い、クラス図を作成する。

3.1.4 アプリケーション層の実現

アプリケーション層はVine Linux 2.1にJAVA 開発環境JDK1.3を導入しソフトウェアの構築を行い、PostgreSQL 6.5.2を利用してクライアント情報を蓄えるデータベース部を実現している。

各クラス間や階層間の通信はTCP/IPを使用したメッセージ通信により実装している。これにより各クラスはネットワーク上に配置されても動作する。

[今後の研究の方向、課題]

本稿ではシステム論の観点から健康生活支援におけるタスク分析とクライアント情報の構造化を示し、遠隔健康生活支援が制御対象（クラ

クライアント) のシステム同定 (問題発生の見) を行い, フィードバックシステムを必要に応じて確立するという問題に帰着できることを明らかにした。次に, 健康生活支援モデルを提案し, このモデルに基づきセンサー層, インタフェース層, アプリケーション層よりなる階層型構造で遠隔健康生活支援システムが具体的に実現できることを示し, 医師・クライアント・メディカルの3者間の情報の伝達と共有を支援する実際の遠隔健康支援ソフトウェアの設計と実装について述べた。

[成果の発表, 論文等]

学術雑誌

- 1) 松本 勉, 嶋田泰幸, 川路茂保: 遠隔健康生活支援システムの設計と生活行動異常通知への適用, 日本医療情報学会誌 (投稿中)
- 2) 松本 勉, 嶋田泰幸, 川路茂保, 平松義朗: 確率有限オートマトンに基づく生活行動モデルと生活行動異常判定, 日本医療情報学会誌, Vol. 22 No. 1, pp. 35-42 (2002)
- 3) 松本 勉, 鳥越恵治郎, 川路茂保: 血液化学検査データと所見による内科診断支援システム, 日本医療情報学会誌, Vol. 21, No. 6, pp. 363-377 (2002)

国際会議

- 1) Tsutomu Matsumoto, Yuki Ueda and Shigeyasu Kawaji: Clinical Diagnosis Support System using Neural Networks, Proceedings of the 15th International Conference on Computer Based Medical Systems (CBMS 2002), Maribor (2002) (To be published)
- 2) Tsutomu Matsumoto, Yuki Ueda and Shigeyasu Kawaji: A Software System for Giving Clues to Clinical Diagnosis, Proceedings International Symposium on Advanced Control of Industrial Processes, Kumamoto (AdCONIP '02), Kumamoto (2002) (To be published)
- 3) Tsutomu Matsumoto, Yuki Ueda and Shigeyasu Kawaji: An Algorithm for Clinical Diagnosis Using Neural Networks (*Invited Paper*), Proceedings of First NAISO Congress on Autono-

mous Intelligent System (CD-ROM), Geelong (2002)

- 4) Yasuyuki Shimada, Tsutomu Matsumoto and Shigeyasu Kawaji: The Finding Life Emergency of Senior Citizen at Home using Human Behavior Model, Proceedings of the Pacific Asian Conference on Intelligent System 2001 (PAIS 2001), Seoul, pp. 364-369 (2001)
- 5) Yasuyuki Shimada, Tsutomu Matsumoto, Hirofumi Ohtsuka, Koki Shibasato and Shigeyasu Kawaji: Developing of Human Behavior Model at Home and It's Application, Proceedings of 10th World Congress on Medical Informatics (MEDINFO 2001), London, Vol. 1, p. 878 (2001)
- 6) Koki Shibasato, Yasuyuki Shimada, Tsutomu Matsumoto, Hirofumi Ohtsuka and Shigeyasu Kawaji: Modeling the Human Behaviour based on the Daily Use of Consumer-Electronic Equipment, The First International Symposium of Measurement, Analysis and Modeling of Human Functions (ISHF 2001), Sapporo, pp. 131-136 (2001)
- 7) Tsutomu Matsumoto, Toshikatsu Mori, Yasuyuki Shimada, Hirofumi Ohtsuka and Shigeyasu Kawaji: Design Methodology of Tele-Health Care Information System based on Health Care Model, Proceedings of the 6th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design (CSCWD 2001), London, pp. 546-550 (2001)
- 8) Tsutomu Matsumoto, Keijirou Torigoe and Shigeyasu Kawaji: Diagnosis Support System based on Medical Check-up, Proceedings of International NAISO Congress on Information Science Innovation (ISI 2001), CD-ROM, Dubai (2001)

国内での口頭発表

- 1) 松本 勉, 高村一史, 緒方新一, 川路茂保: 遠隔健康生活支援システム用 携帯端末の設計, 第20回計測自動制御学会九州支部学術講演会, 熊本, pp. 470-410 (2001)
- 2) 松本 勉, 川路茂保: 遠隔健康管理支援システムの設計と実装, 第45回システム制御情報学会研究発表講演会, 大阪, pp. 273-274 (2001)

フェムト秒2色パルス光を用いた時間分解 旋光分散測定法の開発と血糖測定への応用

Time-resolved Measurement of Optical Rotatory Dispersion Using Femtosecond
Two-color Pulse Light and Application to Blood Sugar Test

1011019

研究代表者	大阪大学大学院基礎工学研究科 助 手	安 井 武 史
共同研究者	大阪大学大学院基礎工学研究科 大学院生	堀 泰 明
	大阪大学大学院基礎工学研究科 教 授	荒 木 勉
	奈良県立医科大学医学部 教 授	東 野 義 之

[研究の目的]

糖尿病の診断や病態の経過観察には、血糖値（グルコースの血中濃度）測定は欠くことができない検査である。現在、一般的に用いられている酵素法では、1日数回の採血を必要とするため、患者は採血に伴う苦痛や不快感を味わわなければならない。また血液を介した感染事故など、関係する医師や看護婦にとっても、血糖測定の新規化が大きな関心事となっている。

光学的血糖測定法は、患者の採血に伴う苦痛や不快感を除去し、安全で、連続・実時間な高精度測定を実現する可能性を有することからその確立が強く望まれている。これまでにも、近赤外吸収分光法、旋光度測定法、ラマン分光法が提案されているが、実用化に至るまで成熟した手法はない。実用化を妨げる一つの要因は、血液中の散乱効果である。

本研究では、フェムト秒2色パルス光の利用により散乱光を除去すると同時に、グルコースの屈折率分散及び旋光分散を用いた血糖測定法について評価を行った。

[研究の内容、成果]

1. 測定原理

1.1 散乱光の除去

これまでに報告されている光学的血糖測定法では、散乱による影響を考慮していなかった。しかし、実際の血液は血中微粒子（血球成分等）を含んだ強い散乱体であり、散乱の効果は無視できない。例えば、近赤外吸収分光法では吸収と散乱による信号減衰を区別できず、旋光度測定では散乱による偏光解消や微小偏光回転が問題となる。その結果、高精度化に限界があった。一般に光学的血糖測定において、得たい情報は散乱を受けない光（非散乱光）に多く含まれているが、非散乱光は散乱光に比べ極めて微弱である。従って、光学的血糖測定において高精度化を実現するためには、散乱光を除去する必要がある。しかし、従来の測定では、非散乱光と散乱光を分離して測定することは困難であった。本研究の特徴の一つは、血液という散乱場の光計測において、フェムト秒パルスレーザーを光源として用いているところにある。血液のような散乱体にフェムト秒パルスレーザー光を通過させる場合を考える（図1）。こ

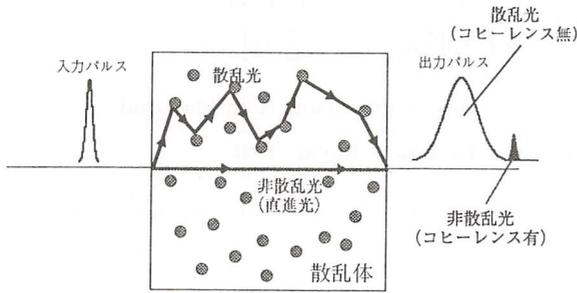


図1 散乱光と非散乱光

のとき、散乱の度合いにより光路長に差異が生じるため、結果として出力パルス光は、非散乱光（直進光）と散乱光が時間的（フェムト秒～ピコ秒オーダー）に分離して出力される。散乱光は時間的に分離されると同時に、コヒーレンスを失う。本研究では、非散乱光と散乱光のコヒーレンスの有無に注目し、フェムト秒2色パルス干渉法によって非散乱光のみを選択的に抽出することによって、散乱の影響を除去する。

1.2 屈折率分散及び旋光分散を用いたグルコース濃度測定

グルコース溶液の屈折率はグルコース濃度に比例し、また波長依存性（屈折率分散）も示す。一方、グルコースは、直線偏光を時計方向に回転させる右旋光性の光学活性を有し、その旋光角がグルコース濃度に依存すると同時に、波長に対しても変化する（旋光分散）。従って、フェムト秒の赤色パルス光（波長：800 nm）と青色パルス光（波長：400 nm）が時間的、空間的及び偏光的に重なったフェムト秒2色パルス光をグルコース溶液に入射すると、両パルス間に時間遅延（ Δt ）が発生すると同時に、偏光にも偏角（ $\Delta\theta$ ）が生じる（表1）。 Δt 及び $\Delta\theta$ はいずれもグルコース濃度に依存するので、これらを用いて血糖測定（グルコース濃度測定）を行う。

2. 測定システム及びサンプル

2.1 フェムト秒2色パルス光の発生及び検出

測定システムを図2に示す。光源のモード同期チタン・サファイアレーザー（中心波長800 nm、パルス幅60 fs、出力200 mW、繰り返し

周波数87 MHz）から射出された赤色パルス光の一部を非線形光学結晶で青色パルス光に波長変換することにより、赤色パルス光と青色パルス光が時間的及び空間的に重なったフェムト秒2色パルス光を発生させる。これらはハーモニクセパレータ（HS）で分離された後、時間遅延制御及び偏光制御を経る。その後HSによって再び重ね合わされて、サンプルに入射される。サンプルを透過したフェムト秒2色パルス光のうち、赤色パルス光のみが2つめの非線形光学結晶で青色パルス光に変換される。フィルターで残存した赤色パルス光を除去し、2つの青色パルス光（赤→赤→青、赤→青→青）のパルス干渉信号を測定する。ピエゾステージによる時間遅延制御及び、ポッケルス・セル（または1/2波長板）による偏光制御は、ロックインアンプを用いて実時間で行う。

2.2 時間遅延制御

サンプルの屈折率分散によって発生した2色パルス光の時間遅延（ Δt ）は、ピエゾステージを用いた光路長調節によって補償する。その

表1 屈折率分散と旋光分散

	通過前	通過後
時間遅延		
偏光		

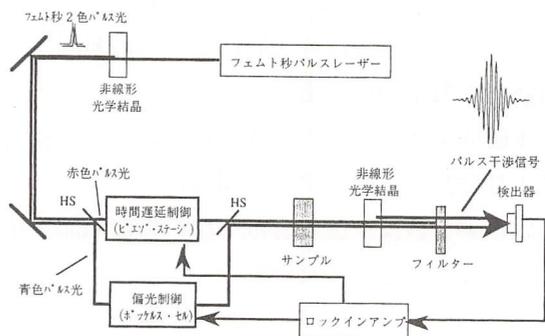


図2 測定システム

結果パルス干渉信号が観測される。パルス干渉信号（包絡線）の強度が最大の時、2色パルス光が完全に時間的に重なっている。その時のピエゾステージの制御移動量から時間遅延量を決定する。また、パルス干渉法では、コヒーレンスを失った散乱光は干渉信号を生成せず、コヒーレンスを有している非散乱光のみが干渉信号を生成するので、散乱光の除去が可能である。

2.3 偏光制御

サンプルの旋光分散によってフェムト秒2色パルス光の偏光方向にズレ ($\Delta\theta$) が生じるため、生成したパルス干渉信号の強度が弱くなる。そこで、パルス干渉信号が最大となるように、ポッケルス・セル（または1/2波長板）で偏光制御することにより、サンプル通過後の2色パルス光の偏光面を完全に一致させる。その偏光角制御量から2色パルス光の旋光分散を求める。散乱による偏光解消及び微小偏光回転の影響は、時間遅延制御によりパルス干渉信号が生成された時点で、除去されている。

2.4 サンプル

実際の血中グルコース濃度レベル（健常者：100 mg/dl, 糖尿病患者：200 mg/dl 以上）前後のグルコース溶液（濃度=0, 50, 100, 150, 200, 250, 300 mg/dl）をサンプルとして用いた。サンプルセルの光路長は10 mm である。

3. 測定結果

3.1 屈折率を用いたグルコース濃度測定

屈折率分散を用いたグルコース濃度測定の基礎実験として、レーザー光源の赤色パルス光（基本波、波長：800 nm）と非線形光学効果により発生させた青色パルス光（第2高調波、波長：400 nm）をそれぞれ用いて、グルコース濃度と時間遅延（屈折率）の相関を評価した。赤色パルス光の測定では相互相関測定を、青色パルス光の測定ではパルス干渉測定を用いて、各濃度における信号ピーク値の時間遅延をそれぞれ求めた。その結果から、時間遅延とグルコース濃度に線形相関があることが分かる（図

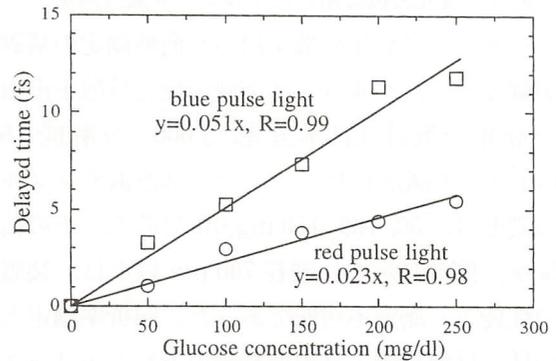


図3 屈折率（時間遅延）とグルコース濃度の関係

3)。また、測定波長による感度（傾き）の違いが見られた。これは、グルコースが正の屈折率分散を有しているためで、赤色より青色パルス光の方が感度が良くなっている。しかし、短波長側では血中ヘモグロビンの吸収が顕著となり、感度とトレードオフの関係にあるため、測定波長の選択が重要である。測定値の近似直線からのばらつきを用いて測定精度を求めた結果、赤色の測定では19.7 mg/dl, 青色の測定では18.9 mg/dl となった。

3.2 屈折率分散を用いたグルコース濃度測定

フェムト秒2色パルス光間の時間遅延差（表1の Δt ）とグルコース濃度の関係を図4に示す。測定値は近似直線からばらついてはいるが、その傾きは屈折率を用いたグルコース濃度測定（図3）における赤色パルス光と青色パルス光の傾きの差、すなわち2色の屈折率分散と近似しており、この測定結果が妥当であることが分かる。近似直線からのばらつきより、測定精度は29.9 mg/dl となった。

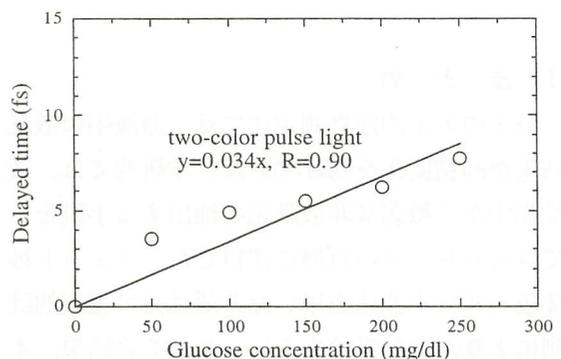


図4 屈折率分散（時間遅延）とグルコース濃度の関係

3.3 旋光分散を用いたグルコース濃度測定

グルコース旋光分散を用いた血糖測定の基礎実験として、グルコース溶液の旋光分散を市販の旋光分散計（日本分光，J 600，分解能 0.5 mdeg）で測定した。グルコース溶液サンプルの濃度は、50, 100, 150 mg/dl である。その結果を、図 5 に示す。波長 700 nm 以上は、装置の性能上、測定不可能であった。屈折率測定と同様、長波長側より短波長側の方がグルコース濃度依存が大きく、高感度な測定が可能であることが分かる。また、2色パルス光の旋光分散を用いた測定でも、高感度化が可能であると考えられる。現在、ポッケルス・セルを用いた実時間旋光分散測定システムの開発を行っている。

3.4 散乱光除去の評価

生体ファントムとして一般に用いられるイントラリピッド溶液を用いて、散乱光除去のための基礎実験を行った。散乱係数を血液と同程度（1.0%）まで変化させたイントラリピッド・サンプル（濃度 0.1, 0.5, 1.0%，光路長 1 mm）をグルコース・サンプルの代わりに置き、パルス干渉信号を測定した。図 6 に、パルス干渉信号（後半部分）の波形を示す。散乱係数の増加に伴い非散乱光の割合が減少するため、パルス干渉縞のビジビリティが減少している様子が分かる。しかし、実際の血液の散乱係数の 1/2 程度（0.5%）までは、パルス干渉信号が測定できている。今後は、検出器の高感度化、光学系の最適化、信号処理回路の改良等を行って、さらに高散乱でも測定可能なシステムにする必要がある。

4. ま と め

従来の光学的血糖測定法では、血液中の散乱効果が高精度化を妨げていた。本研究では、散乱光中から微弱な非散乱光を抽出する手段としてコヒーレンスの有無に注目した。フェムト秒 2 色パルス干渉法を用いた非散乱光の選択的計測により、散乱光除去を行った。その結果、本手法が散乱光除去に有効であることが分かった。

また、グルコースの屈折率分散及び旋光分散が血糖測定に応用可能であるかを評価し良好な結果を得たが、今後はさらに高精度化を実現する

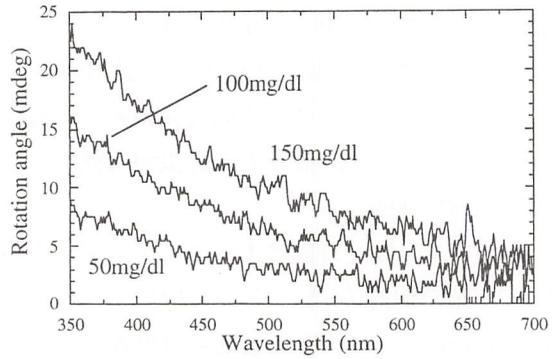


図 5 グルコース溶液の旋光分散

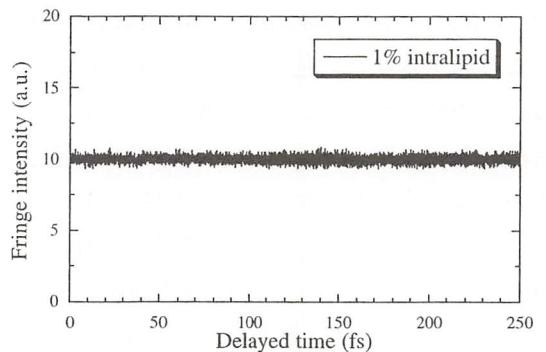
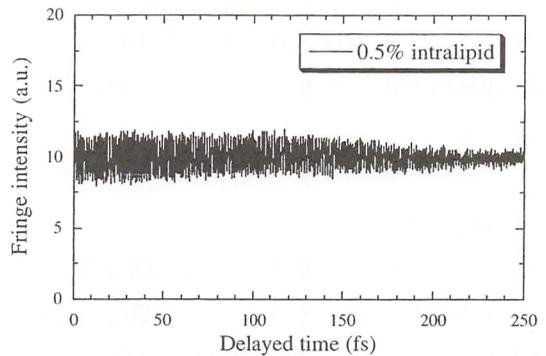
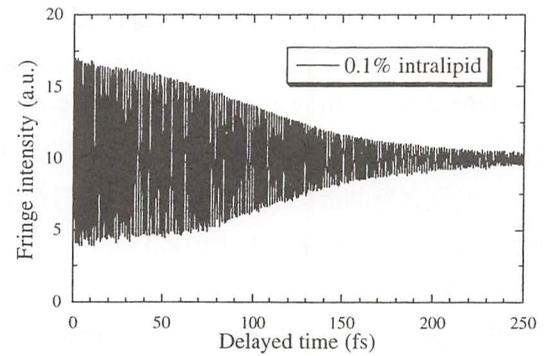


図 6 パルス干渉信号における散乱の影響

ための測定システム改良を行う必要がある。

[今後の研究の方向, 課題]

青色パルス光が位置する可視光短波長域においては、屈折率や旋光度の濃度依存が大きくなる（すなわち高感度である）一方で、ヘモグロビンや皮膚における吸収、および血中微粒子による散乱が顕著になるため、必ずしも血糖測定に適しているといえない。赤色・青色の2色パルス光を発生させる現有システム（モード同期チタン・サファイアレーザー）において本手法の有用性が証明できれば、将来的には感度と上記の影響が折り合う波長帯のフェムト秒2色パルス光を用いて血糖測定を行うことが可能である。例えば、波長1,300 nmのモード同期クロ

ム・フォルステライトレーザーを用いてフェムト秒2色パルス光（1,300 nm, 650 nm）を発生させたり、増幅チタン・サファイアレーザー光によって発生させた白色コンティニウム光（波長400–800 nm）から任意の2色パルス光を選択する等の方法が考えられる。

[成果の発表, 論文等]

- 1) 堀 泰明, 安井武史, 荒木 勉: フェムト秒2色パルス干渉法を用いた血糖値測定法の開発, *Optics Japan 2001 講演予稿集*, pp.319–320 (2001.11 早稲田大学).
- 2) Y. Hori, T. Yasui, and T. Araki: Femtosecond two-color pulse interferometry for the measurement of glucose concentration, *Proc. 19th Congress of the International Commission for Optics*, August 2002, Italy, (in press).

情報機器の超精密組立作業における 熟練技術の情報抽出とモデル化

Knowledge Extraction and Task Modeling of Human Skills in
High-Precision Assembly Tasks for IT Products

1011020

研究代表者

東海大学工学部精密工学科 助教授

山本佳男

[研究の目的]

産業界において電子部品や時計など、比較的精密な組立作業に関してロボットなどを用いた自動化の事例は随所に見られる。しかしハードディスクやポリゴンミラーに代表される情報機器における超精密組立の中には、未だに人手に頼らざるを得ない工程が存在する。生産性や品質管理などの観点からも、組立工程の自動化がトータルコストに与える影響は甚大である。そのような作業の一例が、本研究で対象とするポリゴンミラーの組立作業である。

ポリゴンミラー動圧空気軸受は図1に示すような構造を有する。軸部と軸受部にはともにセラミックス材料が用いられ、モータ部は数万rpmで高速回転するため動圧空気軸受が採用されている。この場合、動圧を発生させるために軸と軸受のクリアランスは $5\mu\text{m}$ 以下である必要がある。この挿入作業では、部品同士の衝

突やかじりを生じると製品品質の低下につながるため細心の注意を要し、現状ではクリーンルーム内で熟練組立技術者により行われている。

本研究はこのような情報機器の組立工程の自動化または作業者を補助するシステムの開発を視野に入れ、組立作業時に発生するさまざまな物理量の計測および解析を行うことを目的とする。ここで言う物理量とは、挿入作業に伴い生じる力・モーメントおよびポリゴンミラーの姿勢に関する情報を指す。熟練作業者がどのようなプロセスで作業を行っているかを解明することは、将来的な自動化につながるだけでなく、非熟練技術者の育成にも役立つものと考えられる。

[研究の内容, 成果]

1. 実験方法

作業者がポリゴンミラーの組立作業を行う場合、目視による作業が有効なのは、ポリゴンミラーを挿入箇所付近に持っていき初期動作のみで、挿入時点では軸の挿入箇所を直接見ることはできず、実際に数 μm の位置変化を視覚で捉えることは不可能に等しい。そのため作業中はほとんど手先(指先)の感覚を頼りにしており、微妙な接触状態の変化を力覚の変化として認識しているものと考えられる。

そこで本実験では、挿入作業に伴う力とモーメント情報を計測することにより、作業者がど

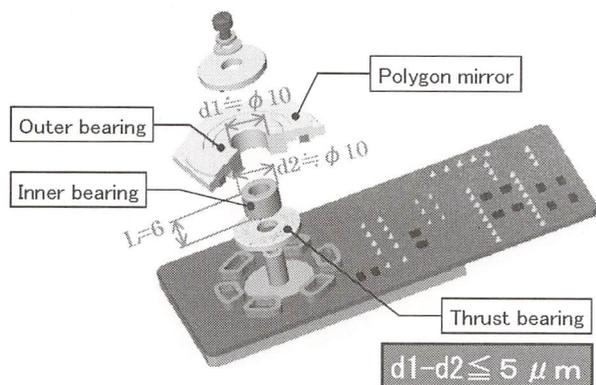


図1 Schematic view of a polygon motor unit

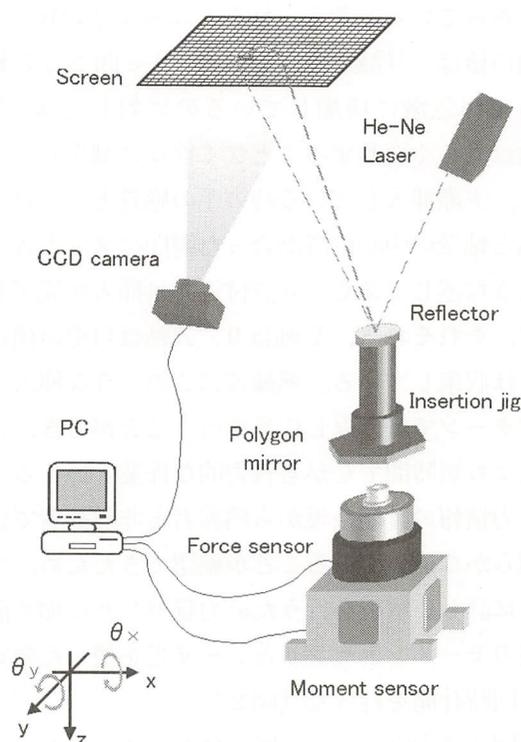


図2 Schematic of experimental setup

のような力加減で挿入点を探索し実際に挿入を実行していくかを解明する。ここでは力とモーメント以外にポリゴンミラーの姿勢変化を同時に測定することにより、作業者の手先の動きに関する情報をより詳しく収集する。

図2に計測実験装置の概略を示す。軸（内筒）のついたポリゴンミラーユニットを市販の6軸力センサ（ニッタ製）上に固定したものをさらに2軸モーメントセンサに搭載固定する。本来6軸力センサは3方向のモーメントを測定可能であるが分解能が低過ぎるため、本研究の用途に適した精度を有するモーメントセンサを開発した。軸受部（外筒）のついたポリゴンミラー装着のための挿入ジグ側には、姿勢測定のために小型ミラーが取り付けられている。そこに上方よりHe-Neレーザー光を照射し、その反射光が上方約2.5 mの高さに設置したスクリーンに投影され、ポイントの軌跡を下からCCDカメラで撮影する。撮影速度は毎秒30フレームであり、姿勢変化の読み取りは画像処理によってレーザーポイントの座標位置を計算し最終的に角度情報に変換している。被験者はこのジ

グを把持して挿入作業を行う。

2. 実験結果および考察

2.1 高精度モーメントセンサ

モーメントセンサの較正曲線を図3に示す。左側がX軸周りのモーメント、右側がY軸周りのモーメントを表し、共に主方向成分と干渉成分を併記している。

検定は、センサ検出部から一定の高さの箇所水平荷重を与えて測定を行った。これはセンサに純粋なモーメントを加えることが難しいためであり、この場合せん断力の影響も含まれるが、異なる高さの作用点で同様な測定を行ったところ、ほぼ同じ出力特性が得られたため、せん断力の影響はほとんどないと考えてよい。X軸、Y軸の出力感度はそれぞれ $100 \mu\text{st}$ あたり $0.0043 \text{ N}\cdot\text{m}$ と $0.0074 \text{ N}\cdot\text{m}$ 、干渉成分は主成分に対し、1.2% および 1.4% と非常に良好である。また両軸とも直線性が良好でヒステリシスもほとんどない。固有振動数はX軸回りが 120 Hz 、Y軸回りが 118 Hz である。

2.2 測定結果および考察

前述したように人がポリゴンミラー動圧空気軸受の組立を行う場合、直接挿入部分を目視することができない。もし仮に見えたとしても数 μm 程度のずれを視覚で認識することは不可能である。そのため実際の挿入では指先の感覚（触覚）を頼りに作業することになる。そこで我々はまず第一段階として、市販の6軸力セン

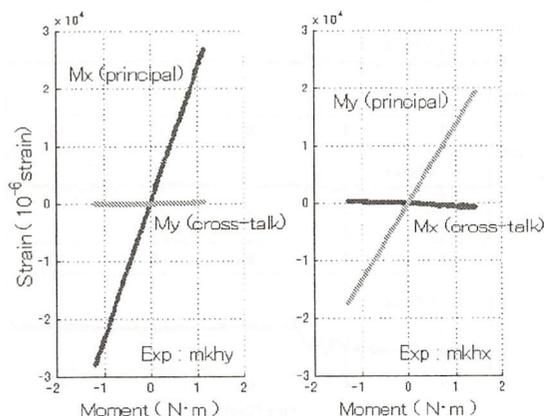


図3 Calibration curve of moment sensor

サを用いて力情報の測定のみを行った^{1,2,5)}

作業する際には組立用ジグを用いる（図2参照）。これは磁石でミラーを保持できるようになっており、ミラー部分に直接触れることなく組立を行うことができる。この場合6軸力センサ上に軸受側となるユニットケーシングを固定し、組立時の各軸方向の力情報を計測した。またこのセンサでは前述の通りモーメント成分の精度が得られなかったため、ここでは3軸の力成分のみを計測・評価している。測定は我々のような素人と実際に組立工程に携っている熟練作業者の協力も得て行った。図4は熟練技術者の典型的な測定結果（クリアランス $5\mu\text{m}$ ）である。素人が挿入を行うと1回組立てるのに要する時間も長くばらつきがあり、またかじりを生じて挿入に失敗することもあるが、熟練者は挿入のパターンのようなものを身に付けていて毎回同じような作業を繰り返していることがわかる。

図5は図4の1回分のデータについて一部の時間軸を拡大したものである。図中aは挿入が開始された時点となっている。X軸の力がまず負の値を示しているがこれは、挿入ジグを右手で持ちX軸正の方向から若干斜めにアプローチしたためである。b-cにかけてはX、Y軸方向の力にばらつきが見られるが、Z軸の値はほぼ正比例で増加しているのが分かる。そしてc-dにおいてZ軸方向の荷重が抜けている。このことからcの時点で2つの軸の中心がほぼ

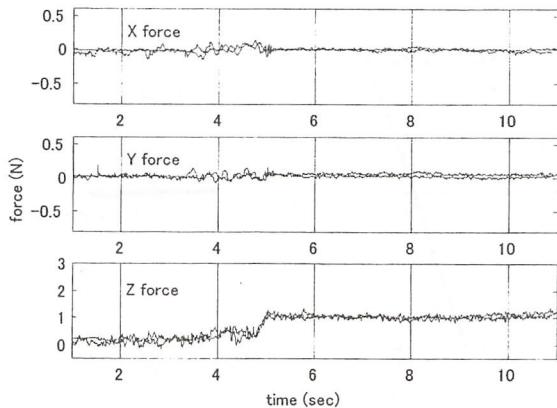


図4 Experimental results ($5\mu\text{m}$)

そろっていると考えられる。よってその後、Z軸の値は一旦減少傾向を示す。d-e間ではZ軸の値が急激に増加しているのに対してX、Y軸は大きく変動することなく徐々に減少していく。実際挿入している時の手の感覚としては、軸と軸受の中心位置が合った瞬間にスッと入るような感じである。e点付近では挿入が完了して、それぞれX、Y軸は0、Z軸は自重の値にほぼ収束している。熟練者はこのような挿入のパターンで繰り返し作業を行うことができ、素人より短時間でしかも省力的な作業といえる。

力情報の計測結果から熟練者と非熟練者では明らかな違いがあることが確認できたため、さらに詳しい解析を行うため力覚センサに加え前述のモーメントセンサとレーザ光を使った姿勢の同時計測を行った（図2）。

図6に力覚センサ、図7にモーメントセンサ、図8にポリゴンミラーの姿勢の時間変化をそれぞれ示す。力とモーメントは随所に対応箇所が見られ、さらに得られた情報をもとに接触状態を推定することで着力点等が求まり、より詳しい解析が可能である。

熟練者と非熟練者の大きな違いは、負荷の与え方である。素人の場合無理やり挿入してしまうためミラー側（ポリゴンミラー+挿入ジグ）の自重以上の負荷をかけてしまうが、熟練者はそのようなことがなく毎回同じように組立を繰り返している。挿入開始時の芯合わせ部分では

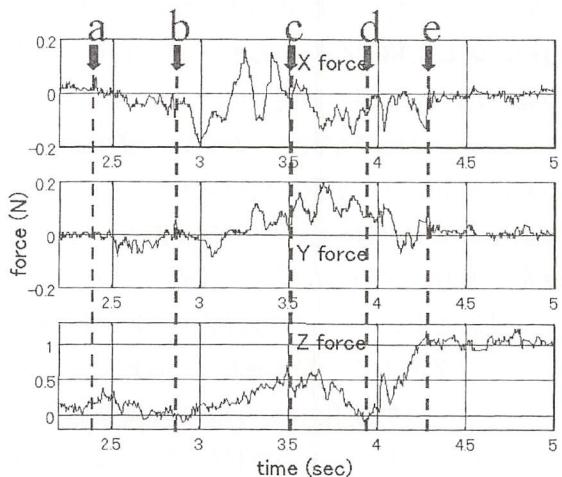


図5 Enlarged view of the insertion process

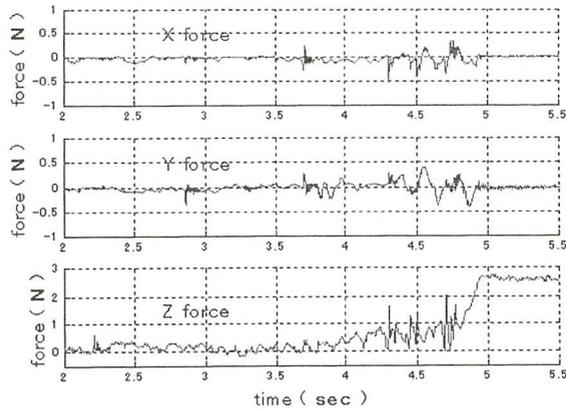


図6 Measured data (force)

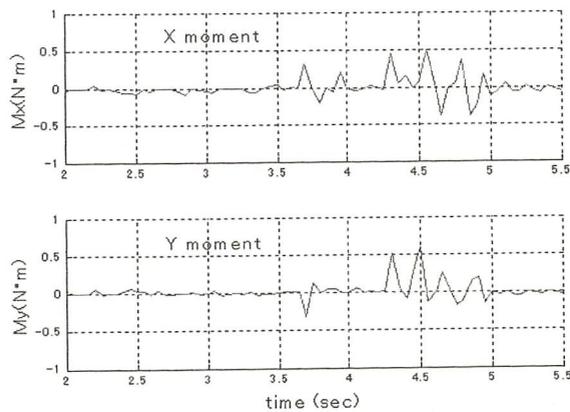


図7 Measured data (moment)

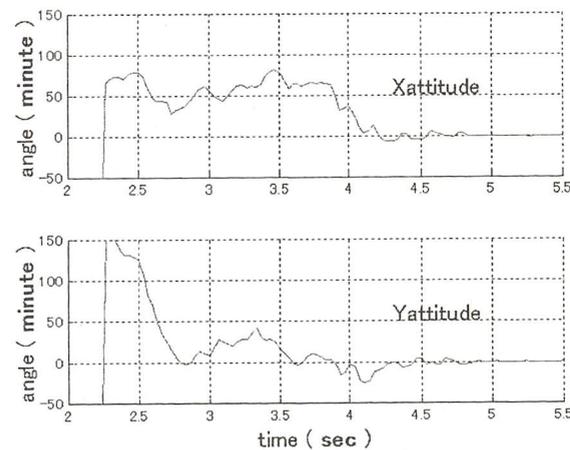


図8 Measured data (attitude)

軸と軸受の双方に設けられた微小面取り部分を利用した調心動作を行っていると考えられる。力とモーメントのグラフを見るとZ軸方向の

負荷が抜けたときにX, Y軸周りのモーメントが少し大きな値になっていることから、挿入の過程ではジグの傾いている方向がわからなくても上向きの力を作用させることで自動的に姿勢を補正する方向にモーメントを作用させ挿入を行っていると考えられる。

[今後の研究の方向, 課題]

力情報の取得から始まり姿勢情報そして高精度モーメントセンサの設計・製作により必要な知覚情報が取得できるようになった。作業の計測実験により熟練作業者と非熟練者の挿入法には有意差があり熟練者の作業は省力的であることが確認できた。今度はこれらの測定情報をもとに接触状態・着力点の解析をさらに進めることにより、熟練技術者が身につけている挿入パターンの解明を行うと共に、その知見をもとに自動化の方策を考えていく予定である。

[成果の発表, 論文等]

- 1) 橋本禎史ほか：超精密組立における力情報の計測, 第18回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp. 1213-1214 (2000. 9)
- 2) 橋本禎史ほか：物理量計測に基づく超精密組立作業の解析, ロボット・メカトロニクス講演会 '01 講演論文集, No.01-4, 2P-1G3 (2001. 6)
- 3) 橋本禎史ほか：超精密組立作業における力と姿勢情報の計測, 第19回日本ロボット学会学術講演会予稿集, (2001. 9)
- 4) Y. Yamamoto, et al.: Task Analysis of Ultra-Precision Assembly Processes for Automation of Human Skills, Proceedings of 2001 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 2093-2098, Hawaii (2001. 10)
- 5) Y. Yamamoto, et al.: Measurement of Force Sensory Information in Ultra-Precision Assembly Tasks, to appear in IEEE/ASME Transactions on Mechatronics (2002)

国際交流報告の抄録一覧

(平成13年度)

〔派遣〕

- ◆ 第9回国際フェジシステム学会世界会議と第20回北米フェジ情報処理学会
国際会議との合同会議 (1012001) 98
石 渕 久 生 大阪府立大学大学院 工学研究科 教授
- ◆ 第10回化学工業における保安防災国際会議 (1012002) 98
島 田 行 恭 岡山大学 工学部 講師
- ◆ 2001年米国電気電子学会 回路とシステム国際シンポジウム (1012003) 99
鄧 天 波 東邦大学 理学部 助教授
- ◆ 電磁結晶構造に関するワークショップ (1012004) 99
長 谷 正 司 独立行政法人 物質・材料研究機構 主任研究員

〔招聘〕

- ◆ 第10回国際自動制御連盟シンポジウム
「鋳業、鋳物および金属プロセスにおけるオートメーション」 (1013001) 100
内 田 健 康 第10回国際自動制御連盟シンポジウム
「鋳業、鋳物および金属プロセスにおけるオートメーション」
国内組織委員会委員長
(早稲田大学理工学部 教授)
- ◆ 第40回日本エム・イー学会大会 (1013002) 100
鳥 脇 純一郎 第40回日本エム・イー学会大会 大会長
(名古屋大学大学院工学研究科 教授)
- ◆ INTERACT 2001 (1014001) 101
黒 須 正 明 INTERACT 2001 大会長
(文部科学省メディア教育センター 教授)

〔派遣〕

派遣研究者	大阪府立大学大学院 工学研究科 教授 石渕 久生	1012001
研究集会名	第9回国際ファジィシステム学会世界会議と第20回北米ファジィ情報処理学会国際会議との合同会議 (Joint 9 th IFSA World Congress and 20 th NAFIPS International Conference)	
出張期間	平成13年7月18日～30日	
開催場所	カナダ・バンクーバー市	
発表論文	非線形関数の言語的モデリングのための遺伝的アルゴリズムに基づく手法	

概要：

私は、上記国際会議にプログラム委員として出席し、研究発表を行うためにカナダのバンクーバー市に出張した。また、会議に先立つ7月19日、カナダのエドモントン市にあるアルバータ大学工学部電気・計算機工学科において講演を行った。これは、学科長である Pedrycs 教授の設定によるもので、教授からは帰国後、今回の訪問を共同研究のスタートにしたいというメールをいただくほど、有意義なものであった。

27日の国際会議では、GA-based approaches to linguistic modeling of nonlinear functions と題した論文発表を行った。これは、ヨーロッパの研究者4名が企画した進化型ファジィシステムに関する特別セッションでの招待論文で、システムの複雑性と言語的な理解の容易性との間でのトレードオフに関する講演を行い、計算時間と複雑性の関係や最適性の概念に関する質疑応答を行えた。この特別セッションに招待された8件の発表は、6件がヨーロッパ、2件が日本の研究者によるもので、興味深い発表が多く積極的に質疑に参加した。この特別セッションの多くの発表で私の過去の研究が引用されていたことから、進化型ファジィシステムに関する研究での自分のポジションを確認できた。

28日には、私が共著者となっている2件の論文発表がそれぞれ、大阪府立大学の中島講師、足利工業大学の村田講師により行われ、私も質疑応答に加わった。

派遣研究者	岡山大学 工学部 講師 島田 行恭	1012002
研究集会名	第10回化学工業における保安防災国際会議 (10 th International Symposium on Loss Prevention and Safety Promotion in the Process Industries)	
出張期間	平成13年6月16日～25日	
開催場所	スウェーデン・ストックホルム市	
発表論文	運転支援システムのための最適操作決定法	

概要：

平成13年6月19日から21日開催の本国際会議は、3年毎に開催され今回が10回目である。参加者は欧州を中心に約400名、3件の基調講演とプロセス産業界における安全への取り組みを中心とした116件の論文発表（ポスター発表62件、口頭発表54件、採択率50%）、展示セッションとして18のブースが設けられていた。

今回、時間をかけたディスカッションを期待し、ポスターセッションに論文を投稿した。ポスター発表は、3日間の会期中の休憩時間、昼食時間帯に設定され、さらにショートプレゼンテーションとして、10分（5分発表、5分質疑応答）の時間が与えられた。同セッションでは、同じ分野のプラント運転支援システムの開発に関する研究も発表され、終了後、意見交換を行うこともできた。日本からも約10名の出席者があり、今後の研究活動を続ける上でのよい情報交換を行うことができた。3件の基調講演では、安全工学分野の研究における問題点の整理、今後の進むべき方法が示されていたが、情報技術の利用に関して、情報の再利用（共有化）の重要性など同意できる部分も多く、今後の研究活動の参考になった。

また、共同研究を行っているフィンランドのVTTオートメーションの研究者も展示セッションを担当しており、VTTにおいて開発している安全解析システムを実際に見ることができたことも有意義であった。

派遣研究者	東邦大学 理学部 助教授 鄧 天波	1012003
研究集会名	2001 年米国電気電子学会 回路とシステム国際シンポジウム (2001 IEEE International Symposium on Circuits and Systems)	
出張期間 開催場所	平成 13 年 5 月 5 日～ 15 日 オーストラリア・シドニー市	
発表論文	1. 行列-配列に基づく完全線形位相 2 次元可変デジタルフィルタの設計 2. 離散化を必要としない可変非整数遅延 FIR フィルタの設計	

概要:

IEEE ISCAS 2001 は、回路とシステムに関する世界でもっとも権威のある国際会議で、全世界からトップクラスの優れた研究者 500 人が大集合し、最新の研究成果を発表して活発な意見交換と討論を行った。

私は、2 次元線形位相可変デジタルフィルタの多次元配列分解に基づく新しい設計法に関する論文の口頭発表と、ポスターセッションにおいて画像信号の補間、デジタルモデルの時間ずれの高精度調整などの分野に有効性が注目されている可変非整数遅延デジタルフィルタの最適設計に関する発表を行った。

自分の論文発表以外に新しい研究分野の開拓という目的で、他の研究者の論文発表を聴講した。大変おもしろい発表が多数あり、すごく勉強になった。これは今後の自分の研究をさらに発展させ、新しい研究方向に向かうきっかけとなる。

IEEE ISCAS という国際会議は回路とシステムの分野で世界で一番難しい国際会議であるので、2 つの論文を発表できたのは自分にとっても初めての経験であり、大変満足した。これからも毎年この国際会議に出席し、少なくとも 1 つの論文を発表できるように頑張りたいと考えている。また、会議終了後、Latrobe University 電子工学科の David Tay 博士との国際共同研究の打ち合わせを行い、今後の研究方針について話し合った。今回の海外渡航は非常に意味深いものであり、心から貴財団の援助に感謝します。

派遣研究者	独立行政法人 物質・材料研究機構 主任研究員 長谷 正司	1012004
研究集会名	電磁結晶構造に関するワークショップ (Workshop on Electromagnetic Crystal Structures)	
出張期間 開催場所	平成 13 年 6 月 8 日～ 16 日 スコットランド・セントアンドリュース市	
発表論文	2 次元準周期フォトニック結晶の光学特性	

概要:

本国際会議は、電磁結晶（フォトニック結晶）をテーマとしたもので、毎年開催されて今回で 3 回目の開催である。フォトニック結晶とは屈折率に光の波長と同程度の周期性がある光学材料であり、光を自在に制御できるため、新しい光学デバイスとして注目されている。

今回の参加者は 140 人程度であったが、フォトニック結晶を研究している世界中の主要な研究者が集まっていた。

私は現在主として研究している準結晶のモデルに基づいて作製した 2 次元準周期フォトニック結晶について、6 月 11 日にポスターセッションにおいて研究発表を行った。大多数の研究者が、並進対称性のある周期フォトニックを研究している点からみれば異例といえるが、2 次元準周期フォトニック結晶の研究者が何人か本会議に参加していて、直接討論することができ大変に有意義であった。

また、関連の発表として、1 次元準周期フォトニック結晶に関するものも 2 件あり、興味深かった。本会議では、特に光回路に関する研究や、完全なフォトニック・バンドギャップを持つインバース・オパールの研究などが面白かった。フォトニック結晶は、ここ数年で大きく研究が進展していて、実用化も近いということが実感できた。

〔招 聘〕

招 聘 者	第 10 回国際自動制御連盟シンポジウム 「鉱業、鉱物および金属プロセスにおけるオートメーション」 国内組織委員会委員長 内田 健康（早稲田大学理工学部 教授）	1013001
会 議 名	第 10 回国際自動制御連盟シンポジウム「鉱業、鉱物および金属プロセスにおけるオートメーション」 (10 th IFAC Symposium on Automation in Mining, Mineral and Metal Processing)	
出張期間	平成 13 年 8 月 29 日～9 月 8 日	
開催場所	東京都新宿区（早稲田大学国際会議場）	
被 招 聘 者	フィンランド ヘルシンキ工科大学 シェルカーリサ ヤムサーヤウネラ教授	

概 要：

本会議は、鉱物および金属プロセスにおける計測、診断、制御、情報化技術など、広い意味でのオートメーション全般にわたる最新の理論と先端技術をテーマとする会議である。3 年毎に開催され、世界各国から毎回 100 から 150 名の研究者および技術者を集め、この分野における伝統あるもっとも高いレベルの国際会議として評価されている。本招聘は、この会議において、この分野の第一人者である Sirkka-Liisa Jämsä-Jounela 教授に、最新の成果および今後の展望について、プレナリー講演をしていただくことを主目的とした。講演タイトルは「Future Trends in Automation in Mineral and Metal Processing」。また同時に、教授に日本の金属産業におけるオートメーション技術・大学における自動制御研究などの現状について、理解を深めていただくことも期待した。

同教授は、IFAC（国際自動制御連盟）において金属プロセスのオートメーションについての技術委員会委員長を務めており、世界的な視野でこの分野の展望ができる立場にある。日本でこのシンポジウムでこのような講演者によるプレナリー講演を行うことができたため、日本からの参加者に世界的な視野に立った展望を与え、諸外国からの参加を促進することができた。また同教授に日本の技術水準・研究水準について正しい理解をしていただく機会となり、国際社会における日本の立場の正当な位置づけに貢献することができた。

招 聘 者	第 40 回日本エム・イー学会大会 大会長 鳥脇 純一郎 (名古屋大学大学院工学研究科 教授)	1013002
会 議 名	第 40 回日本エム・イー学会大会 (The 40 th Annual Conference, the Japan Society for Medical and Biological Engineering)	
出張期間	平成 13 年 5 月 7 日～12 日	
開催場所	愛知県名古屋市（名古屋国際会議場）	
被 招 聘 者	ドイツ ハンブルグ大学 カール・ハイント・ヘーネ教授	

概 要：

今大会は、5 月 9 日から 11 日、名古屋国際会議場において開催され、全参加者約 950 名と本学会としては過去最高レベルの大会であった。被招聘者 Karl Heinz Hoehne 教授は、大会プログラムの中心となる特別講演において「Computer Models of the Human Body」と題する講演を行った。参加者およそ 190 名。

講演の内容は、最近の 3 次元 CT の発展によって人体の高精度の 3 次元像をコンピュータ内に持てるようになったことを踏まえ、人体のモデル（私は「仮想化された人体」とよんでいる）をどう考えるかに始まり、新しい解剖学的モデルとして仮想化された人体がどう使われるか、将来どのような利用が考えられるか、を講演者自らが開発したさまざまな例を示しながら、わかりやすく話したものである。とりわけ、カラフルな美しい映像は印象的で、参加者に深い感銘を与えた。また本講演に用いた図は、ポスター発表の会場にも展示され、多くの参加者が熱心に見ていたことは、極めて印象的であった。教授は、大会における懇親会にも参加され、大会参加者とも種々意見を交換することができた。

これに先だつ 8 日、教授は、名古屋市科学博物館で「脳と体の宇宙旅行～ここまで来た人体イメージング技術～」と題する講演を行った。これは一般市民向けの名古屋市および中京大学主催の講座で、市内の大学生をはじめとして 200 人以上が参加。極めて好評であった。

招 聘 者	INTERACT 2001 大会長 黒須 正明 (文部科学省メディア教育センター 教授)	1014001
会 議 名	INTERACT 2001	
出 張 期 間	平成 13 年 7 月 9 日～ 13 日	
開 催 場 所	東京都新宿区 (早稲田大学国際会議場)	
被 招 聘 者	ブラジル サオカルロス国立大学 修士課程 アレサンドラ・ルビン・アシス氏	

概 要：

本会議は、情報処理関連学会の国際組織である International Federation of Information Processing の Technical Committee 13 が主催して隔年に開催されているもので、今回で 8 回目。この会議は、HCI (Human Computer Interaction) に関するものであり、計算機およびその応用システムについて、人間との相互作用に関する最適化を目指す様々な技術を討議し、今後の計算機関連の技術の方向性を探ることを目的としている。

本会議への参加者は、日本から 167 名、海外から 216 名の合計 24 カ国 383 名。内容面でも、理論学的問題、組織や社会、文化に関する問題、普及と実践活動、対話システム設計など、さまざまな問題が取り扱われるなど、真に国際学会と呼ぶにふさわしいものになっている。

被招聘者の Alessandro Rubin Assis 氏は、Building Virtual Interfaces with the GaCIV Tool と題した発表を行った。これは、人工現実感の研究を構築するツールに関する発表であり、まさに時宜にかなったものであった。

レビューベースのイベントの他に、キーノートスピーチが 3 件、またインフォーマルなイベントとしてレセプションなども実施され、参加者は 5 日間の会期を十分に満喫できたと考える。HCI の分野は、年々進歩をとげており、本会議のような形で研究者や実践担当者が相互に情報を共有しあう場が提供されることは、その進歩を真に有意義なものにするために大変効果的であったと考える。

-
- 平成 13 年度活動報告
 - 平成 14 年度助成報告
 - 第 13 回助成金贈呈式
 - 受領者投稿
 - 研究室訪問
 - 第 13 回（平成 14 年度）助成課題一覧
 - 平成 14 年度研究助成課題の紹介
 - 平成 15 年度助成候補募集案内

平成13年度活動報告

(1) 主要業務日程

平成13年	5月11日	第12回(平成13年度)助成金贈呈式及び懇親交流会開催
	6月22日	第26回理事会, 第26回評議員会開催 ・平成12年度事業報告及び決算報告の承認 ・平成14年度助成課題募集方法の承認
	6月29日	オムロン(株)より運用財産25,000,000円の寄付金受領
	8月1日	平成14年度助成課題募集のための公募案内発送 財団ホームページでの募集案内開始
	9月1日	平成14年度助成課題の申請応募受付開始
	9月30日	助成研究成果集(第10号)発行
	10月31日	平成14年度助成課題の申請締切 ・116件受付(研究助成106件, 国際交流助成10件)
平成14年	1月10日	各選考委員による応募課題の書面審査完了
	1月25日	第14回選考委員会開催 ・平成14年度助成課題候補の選考
	3月14日	第27回理事会, 第27回評議員会開催 ・平成14年度事業計画及び収支予算案の承認 ・平成14年度助成課題の承認

(2) 会計報告

収支計算書

(自 平成13年4月1日 至 平成14年3月31日)
(単位:千円)

収入の部	
基本財産運用収入	48,373
寄附金収入	25,000
雑収入	126
前期繰越額	66,294
合計	139,793
支出の部	
事業費	57,028
管理費	14,529
合計	71,557
次期繰越額	68,236

貸借対照表

(平成14年3月31日)

(単位:千円)

資産の部	
流動資産	現金 99
	普通預金 18,076
	有価証券 50,061
固定資産(基本財産)	
	有価証券 1,231,250
	その他固定資産 150
資産合計	1,299,636
負債の部	負債合計 0
正味財産の部	正味財産 1,299,636
負債および正味財産合計	1,299,636

平成 14 年度助成報告

本年は、第 13 回目の助成となる平成 14 年度助成課題に対し、平成 14 年 5 月 16 日、第 13 回助成金贈呈式を開催し、次の助成を行った。

研究助成	20 件	4,475 万円
国際交流助成（前期）	5 件	215 万円
合 計	25 件	4,690 万円

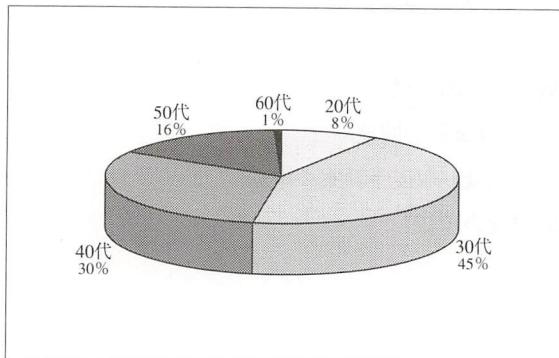
なお、後期国際交流助成は平成 14 年 10 月に実施する。

この結果、財団設立以来の助成事業は、研究助成 261 件、交際交流助成 119 件、助成総額約 6 億 7,085 万円に達した。

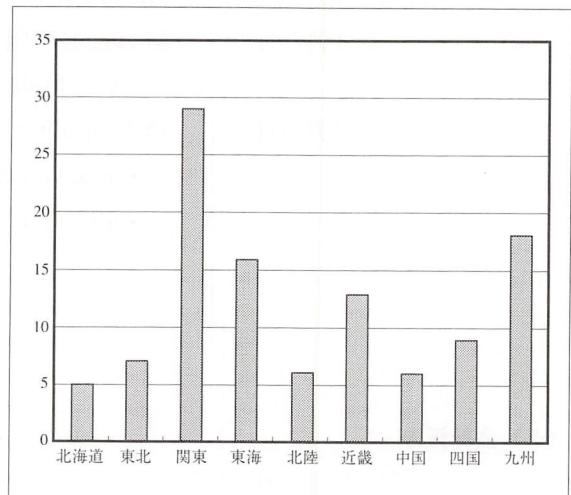
● 平成 14 年度助成の応募状況

(1) 研究助成

① 年令別

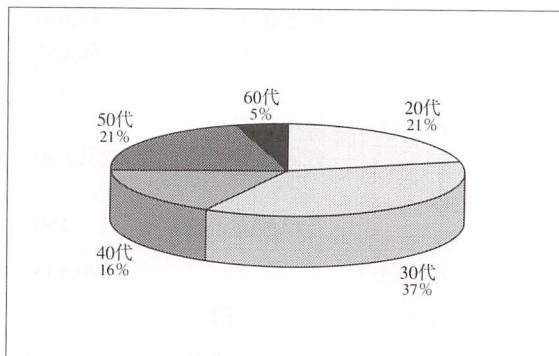


② 地域別

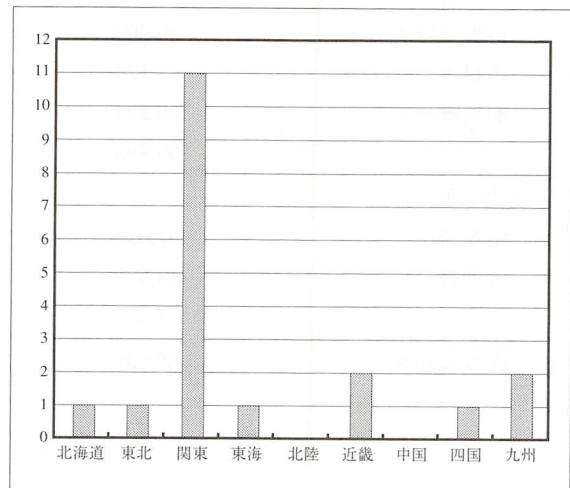


(2) 国際交流助成

① 年令別



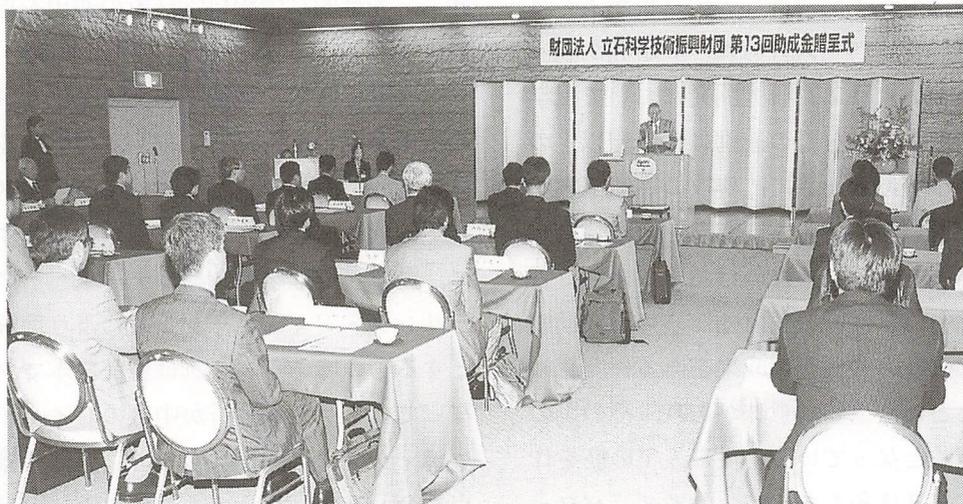
② 地域別



第13回助成金贈呈式

日 時：平成14年5月16日（木）
場 所：京都宝が池プリンスホテル

第13回助成金贈呈式は、来賓の文部科学省大臣官房審議官 坂田東一様、京都府商工部長 麻生純様、同部次長 井上正嗣様はじめ、平成14年度助成金受領者、財団関係者等約80名の出席のもとに開催し、立石理事長より受領者に助成金目録贈呈を行い、記念撮影ののち、引き続き懇親交流会を行った。



贈呈式会場



立石理事長挨拶



目録贈呈

なお、研究助成受領者の皆様には、立石理事長よりの助成金目録贈呈に先き立ち、助成研究課題の目標や内容をOHPを用いて発表いただいた。



助成課題発表

※ 課題発表 OHP は、112～113 頁に掲載

受領者投稿

医学工学連携とインシリコヒューマン計画

大阪大学大学院情報科学研究科バイオ情報工学専攻 教授 赤澤 堅造
(第6回受領者)

異分野融合や医工学連携などの言葉がよく耳にされるが、心臓ペースメーカーの研究が国内ではほとんどないように、研究開発において工学とバイオメディカル分野の連携には予想以上の障碍がいくつもある。さて、専攻の電気工学から見ると異質な筋に関する研究を、大学院の時代から現在まで継続できたのはありがたいことで、また立石科学技術振興財団からの研究助成は財政的な援助と共に研究成果をある程度認めてもらったという重要な意味があり、その後の研究の後押しとなっている。従来人工の筋を作ろうとする試みは多くあるが、サイズ、パワー、制御性能などの点でまだ満足のいくものはない。われわれは、筋と同様に“柔らかさ”があり、それを刻々制御できるような電動アクチュエータの開発を行っており、その申請に対して研究助成を受けた。その後、この人工筋アクチュエータを用いた筋電信号で制御される義手の開発を開始し、現在も継続している。まったく新しい次世代の筋電義手である。人工筋については、現在は既存のモータを利用するに留まっているが、将来的にはバイオテクノロジーの技術を使い筋細胞が人工的に作られるであろう。これに生体の制御の仕組みを取り入れると、優れた義手、義足、人工心臓が創製できる。事実アメリカにおいてはベンチャー企業がバイオ人工筋の研究を進めている。単に工学の技術を医学・生物学に適用することではなく、理工学者の生物との深い付き合いの後、画期的な人工筋、義手、人工心臓などが開発されると考える。

今後の医学・工学の異分野融合のキーとなる分野は、よく言われているようにバイオテクノロジー・機器・材料開発などであるが、これと

共に、先進的な情報科学技術の適用を指摘したい。1つのアプローチは、ポストゲノムプロジェクトとして、遺伝子により産生される種々の蛋白がどのようにして細胞、組織、器官、個体の構成に関与し、どのようなメカニズムにより生体機能を発現させているかを理解するために、医学・生理学の知識のデータベース化とモデリング・シミュレーションにより理解しようとするものである。これは現在日本でブームとなっているゲノム解析が中心のバイオインフォマティクスでは困難なもので、生体の機能に焦点を合わせた高次元のものである。次は、個別疾患に対して、ミクロからマクロなレベルの人体の機能・構造の数学モデルを計算機（インシリコ）に構築し、インターネットを介してシミュレーション実験を行い、診断や治療の支援ツールとして臨床医学において利用できる仕組みである。テーラーメイド医療、医療の定量化、日本のどこにいても最上の医療を保証するシステム、などの点で今後の医療に欠かせないツールになると考えている。ポストゲノムとして、以上を統合したインシリコヒューマン計画を今後日本において進めるべきで、世界に類を見ないものとなる。



受領者投稿

研究者としての旅立ちに向けて

立命館大学ロボティクス学科 教授 平井 慎一
(第6回受領者)

平成7年度に、「柔らかい物体のマニピュレーションにおける技能移植に関する研究」という課題で助成いただいた。人間の作業実演から柔軟物マニピュレーションにおける制御則を獲得し、得られた制御則を機械システムに実装し、柔軟物マニピュレーションを実現するという研究である。

助成の数年前より柔軟物マニピュレーションに関する研究を開始し、線状柔軟物のモデリングを進めていたが、モデルベース手法の限界を感じ始め、実演ベースの手法を模索し始めた時期であった。実演ベース手法とは、人間の作業実演を観察、計測し、計測結果を分析することにより、柔軟物マニピュレーションの作業方策を導くアプローチである。変形しやすいホースを硬い管に挿入する作業に対して、実演ベース手法を適用した。観察の結果、ホースの口が管に完全に入る前と後とでは、ホースに与える運動が異なっていることが判明した。そこで、三次元位置センサと六軸力覚センサを用いて、人間がホースに与える運動と人間が手先に感じる力とを計測し、計測結果を解析したところ、ある方向の力の微分値をもとに、作業を進めていることがわかり、ロボットマニピュレータに作業方策を実装し、作業を実行させることに成功した。

貴財団の研究助成により、センサやコントローラ等を購入することができ、実演ベース手法の有効性を実証できたことを思い出す。結果として、柔軟物マニピュレーションの研究が大きく進展し、一連の研究に対して平成8年度には日本機械学会ロボティクスメカトロニクス部門の業績賞をいただいた。現在も重要課題の一

つとして取り組んでおり、リアルタイムビジョン、触覚センシング、仮想柔軟物など、関連する研究課題を展開している。当時を振り返ると、貴財団の助成は、一人立ちした研究者として仕事をやる機会と自信を与えてくれたと改めて感じる。貴財団の益々の発展をお祈りするとともに、今後とも元気な研究者の旅立ちを支援していただくようお願いしたい。



研究室訪問

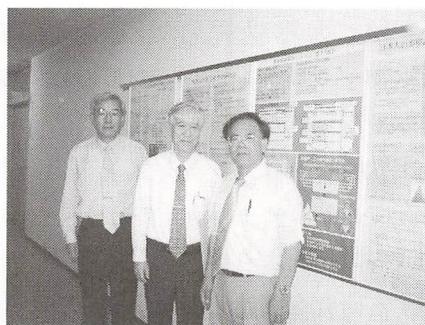
豊橋技術科学大学 情報工学系 中川 聖一 教授 訪問記

(第6回受領者)

8月の始め、荒木 光彦選考委員（京都大学大学院 教授）に同行いただいて当財団の中塚常務理事と共に、中川研究室を訪問いたしました。先生からは助成研究の「音声入力を核としたマルチモーダルなマンマシンインタフェース」の研究をはじめとする音声認識・対話システム等についてのお話しを興味深くお聞かせいただきました。

- 研究室をご紹介いただき、現在の研究テーマなどについてお聞かせください。

研究室では音声対話技術の研究を基本テーマとしていますが、その基礎技術として音声認識技術や言語処理技術の研究を行っています。また、語学教育システムにも力を入れていて、この語学システムと Web 上の音声検索システム、音声対話システムを3本の柱にして研究を進めています。研究室のメンバは助手2名、博士を修了



した研究員1名、博士課程1名、修士課程7名で、各自がテーマをもっています。通算すると音声対話関係のテーマをこの10年くらい継続して中心テーマにしてきたこととなります。

いろいろ研究してきますと音声認識技術だけでなく、人工知能的な知識処理、言語理解・意図理解や自然言語処理など総合的な技術が必要になり間口が広がっています。音声対話技術の研究は7年程前から世間でも始まっていましたが、継続して研究されているところは少なくなり応用面の研究に移ってきています。助成研究の対話システムは5年ほどかけて進めていたもので立石財団からの助成は、ちょうどプロトタイプシステムが完成する段階でしたので大いに役立ちました。

- 長年にわたって携われて来られたご研究のテーマについて詳しくお聞かせください。

助成研究は音声対話システムとして富士山観光案内をモデルにしたシステムです。ここでは対話だけでなく肉眼視やタッチキーを使ったサポート機能も利用し、また対話の履歴を表示するなどしたマルチモーダルなインタフェースにして使い勝手の良いシステムを目指しています。たまたま富士山観光案内ですが、同様の他所の案内システムを作る場合には、Web上のデータベースを賢く使えば1～2日で実現できるまでに完成度は高めています。

最近に実用化された技術としては、聴覚障害者向けのニュースの字幕放送があります。これはNHK放送技術研究所によって数年前に実現されましたが、この実現に協力しました。音声認識の精度は95%程度ありますが、実際のTV放送では正確さを期すためにオペレータが後修正をして放送されています。また、音声入力によるニュース音声記事の検索も研究しています。テレビやラジオの音声放送情報もマルチメディア時代には欠かせない情報であり、Web上の音声情報からの音声検索の重要性は増しています。技術的には不特定話者の音声認識に加えて、現場からのレポートの周囲ノイズの影響、話し言葉に含まれ易い言い淀み、くり返しや助詞欠けなどの難しい課題がでてきますが、それだけに音声にからむ総合的な技術が必要になります。

さらに、ホームページ上で乗車券の予約なども音声対話で行うことも実現しています。このような音声対話システムは入力方法や使いやすさに制約のあるモバイル環境で有効なインタフェース手

段になります。

次に、最近手がけている語学システムでは、話者のアクセントの位置を画面上に表示して手本との比較を視覚的に見られるようにしています。このシステムを利用して解ったことですが、日本人の癖（特性）でしょうか、英語発音のアクセントは音の高低（ピッチ）でつけていますが、ネイティブの人は音の強さ（ストレス）でつけています。この違いも画面上に表示されますので発音の矯正に役立つと思います。語学関係の人からかなり興味を持たれています。

- 音声対話に関する実用的なニーズを重視されておられるように思いますが、実用レベルに達するまでにご苦労な点も多いと思いますが。

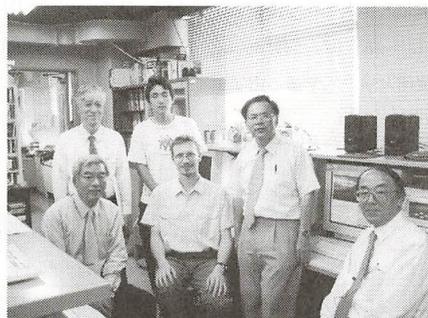
各システムの基本となるのは音声認識技術です。この技術の実力は、数字の発音では人の誤聴率が0.009%に対してマシンは0.72%程度ですが、5,000語程度になると人は0.9%、マシンは7%程度となりS/Nが悪ければ12%と差が広がってしまいます*。このギャップを埋めるのは難しい課題ですが、会話では、人は意味理解によってある単語に続く語彙を100語程度に絞って予測していると言われますが、方法は別にしてマシンでも同程度は実現していて、ニュースとか新聞に限定すれば70語程度に絞っていけます。このような言語処理は必要でしょう。難しいのは、音韻（音素）認識技術です。分野を限って語彙を少なくした使い方をすれば当然精度は向上します。単語認識率が95%程度あれば実用化に結びつくように思えます。

*詳細は、電子情報通信学会論文誌D-II vol.J83-D-II No.2 (2.2000)をご覧ください。

- 早い時期から音声対話に注目したアプリケーションに取組まれて来られたわけですが、今後のご研究を進めていかれる方向をお教えてください。

先程の語学システムの関係になりますが、生徒の発音の良し悪しをネイティブの教師が採点して判定するのに比べ日本人教師が判定した場合にはかなり判定にバラツキがあるというデータがあります。そういうことを考慮すると、この語学学習システムは日本人教師と同等かそれ以上の実力はあります。この9月には実際に使ってもらう予定になっていまして、教師の方が手軽に使えて教材を作れるシステムにはなっていると思います。今後の課題として、発音の表示を今は波形の違いで表示していますが、それを正しい調音するための口のあけ方や舌の位置などの指示、例えばCGによるエージェント画像による表示ができるようなインタフェースになれば生徒の学習速度は速くなると思いますので、発音の違いを波形で表示するだけでなく、生徒の立場に立ったより良いインタフェースへの工夫は必要と感じています。

ディクテーションの分野では、音声WPなど20年も前から言われ、研究もされてきていますが、なかなか使われている状況とはいえません。アプリ面の選択が重要で、紹介した語学教育分野と、Web上での音声データ検索・入力の分野がアプリケーションの目標として良いと考えて研究を進めています。特に語学教育分野では発音の評価まで行っている例がないので力をいれています。



実験室では研究されている音声対話システムや語学学習システムなどの動作モデルを拝見いたしました。たまたま研究室のある建物の耐震工事が行われていて、工事音が大ききノイズ源になっていましたが、雑踏の中での人と人の会話のようなやりとりの場面が現出され興味深く見せていただきました。このような人間味を感じられるご研究のお手伝いの一端を当財団の助成が担えたことに感謝うれしく思いました。

レポーター：事務局長 加藤 裕

第13回(平成14年度)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
網谷重紀 東京大学大学院 工学系研究科 先端学際工学専攻・博士課程	創造活動支援のための人間-機械系の研究
井村順一 東京工業大学大学院 情報理工学研究科 情報環境学専攻・助教授	機械システムの予測型混合論理コントローラ的设计
Eko Purwanto 東京農工大学 工学部・助手	超音波モータを用いた歩行支援システムの開発
円福敬二 九州大学大学院 システム情報科学研究院 電子デバイス工学部門・助教授	SQUID 磁気センサを用いた超高感度免疫反応検出システムの開発
金井浩 東北大学大学院 工学研究科 電子工学専攻・教授	動脈硬化性粥腫の非観血的電子染色のための血管壁生体顕微計測に関する研究
木口量夫 佐賀大学大学院 工学系研究科 生体機能システム制御工学専攻・助教授	動作補助用外骨格型ロボットと人間との知的インターフェースの研究
木竜徹 新潟大学大学院 自然科学研究科・教授	個人適応型運動負荷制御法設計アルゴリズムに関する研究
近藤淳 静岡大学 工学部 システム工学科・助手	層構造体を伝搬する弾性波を用いたバイオセンサの研究
椎名毅 筑波大学 電子・情報工学系・教授	超音波弾性映像法による触力覚センシングに関する研究
塩入諭 千葉大学 工学部・助教授	視覚的注意の捕獲現象の研究
竹内昌治 東京大学 生産技術研究所 マイクロメカトロニクス国際研究センター 講師	アクティブ固定機構をもつカフ型神経インターフェースの研究
竹内勇剛 静岡大学 情報学部 情報科学科・講師	人間の認知的姿勢に基づく人工クリーチャとの交感的なコミュニケーション
中西弘明 京都大学大学院 工学研究科 航空宇宙工学専攻・助手	無人ヘリコプタの操縦法の解析に基づく操縦インタフェース設計
張山昌諭 東北大学大学院 情報科学研究科・助手	3次元動画取得用 VLSI プロセッサの開発と高安全知能システムへの応用
比嘉広樹 琉球大学 工学部 電気電子工学科・助手	介護支援用ロボットアームの試作
日比野新 名古屋総合リハビリテーションセンター 企画研究局 企画研究室 リハビリテーション工学技師	知識情報処理を用いた痴呆症の統合診断支援システムの開発
深見忠典 山形大学 工学部 応用生命システム工学科・助手	分調波を用いた超音波造影剤崩壊量の定量的評価
福見稔 徳島大学 工学部 知能情報工学科・助教授	筋電信号に基づく次世代携帯端末用インタフェースの研究
満田隆 岡山大学 医学部 保健学科・助手	真空圧で駆動する生活支援柔軟ロボットの開発
宮崎文夫 大阪大学大学院 基礎工学研究科・教授	人間と機械のダイナミックな協調タスクに関する研究

研究助成件数 20件 合計 4,475万円

第13回(平成14年度)助成課題一覧

〔国際交流(派遣)〕

(五十音順)

研究者氏名・所属機関・職名	派遣先研究集会/主催者名
川上 泰雄 東京大学大学院 総合文化研究科 生命環境科学系・助教授	第4回バイオメカニクス世界会議 主催：世界バイオメカニクス協議会

〔国際交流(招聘)〕

(1) 特別招聘

(五十音順)

招聘代表者氏名・所属機関・職名	招聘研究集会または機関名/被招聘者名
Andreas Ioannides 理化学研究所 脳機能ダイナミクス研究 チーム・チームリーダー (第8回 ヒューマン ブレインマッピングに 関する国際会議/実行委員)	第8回 ヒューマン ブレインマッピングに関する国際会議に、米国カリフォルニア大学大学院ウォルター・ジャクソン・フリーマン教授を招聘
長谷川 勉 九州大学大学院 システム情報科学研究院・教授 (第6回自律分散型ロボットシステムに関する 国際シンポジウム/組織委員長)	第6回自律分散型ロボットシステムに関する国際シンポジウムに、スイス・チューリッヒ大学ロルフ・ファイファー教授を招聘
和多田 淳三 大阪工業大学 工学部 経営工学科・教授 (第5回チェコ-日本セミナー2002/大会 委員長・実行委員長)	第5回チェコ-日本セミナー2002に、チェコ共和国プラハ経済大学ラディム・イローチェック教授を招聘

(2) 一般招聘

招聘代表者氏名・所属機関・職名	招聘研究集会または機関名/被招聘者名
福島 雅夫 京都大学大学院 情報学研究科 数理工学専攻・教授 (第2回日中最適化会議/組織委員長・プロ グラム委員長)	第2回日中最適化会議に、中華人民共和国湖南大学 応用数学科 李董輝教授を招聘

国際交流助成件数 5件 合計215万円

平成 14 年度研究助成課題の紹介

層構造体を伝搬する弾性波を用いたバイオセンサの研究(1年間)
 静岡大学 工学部 システム工学科
 助手 近藤 淳

圧電素子を用いたバイオセンサ(免疫センサ)の高感度化
 ・従来法: 圧電素子の周波数を高くする
 → 板厚が薄くなる(数マイクロン)、取り扱いづらい、周辺回路技術が複雑という問題点

・本研究の手法: 膜/圧電結晶の層構造体を伝搬する弾性波の数値解析による探索、素子の作製、実験

新しい弾性波素子を用いたバイオセンサの実現

超音波弾性映像法による触力覚センシングに関する研究(1年間)
 筑波大学電子・情報工学系 教授 椎名 毅

【高度な触力覚センシングの必要性】
 ○遠隔医療、ロボット支援手術の分野:
 人体のように弾力があり、不均一な内部構造を持つ対象 → 触診のように微妙で複雑な触力覚情報の把握が必要
 ○従来: 圧力センサで表面反力の計測、数点のみ、平均的な特性のみ
 ○本研究: 超音波による表面近傍の歪み分布像 → 触力覚情報の抽出

【研究のポイント】
 ① 触力覚計測用超音波プローブ開発
 ② SN比向上のためのパルス波形と信号処理法の開発
 ③ 歪み像から触力覚情報の抽出、制御信号のための数値化
 触診のような微妙で複雑な触力覚情報を得る手法の開発

視覚的注意の捕獲現象の研究(1年間)
 千葉大学工学部情報画像工学科
 助教授 堀入 諭

注意による追跡への捕獲刺激の影響を測定する実験
 フレームAとフレームB(左図)を交互に提示したとき、物理的な運動方向は決まらないしかし注意によるディスクの選択によって、ひとつのディスクの回転運動を見ることができる(右図矢印で示すディスク)

追跡中に表示する捕獲刺激(右図矢印)によって注意が捕獲されるとこの追跡ができなくなる

捕獲刺激の表示位置、強度、追跡ディスクとの類似度(色、輝度、大きさ、形)を変え、追跡への妨害効果の強さを測定

妨害効果の大きな条件を探る
 注意の捕獲要因の解明

アクティブ固定機構をもつカフ型神経インターフェースの研究(1年間)
 東京大学生産技術研究所マイクロメカトロニクス国際研究センター
 講師 竹内 昌治

【目的】 微小径の神経に低侵襲で取り付け可能な微小電極の開発

【特徴】
 1. カフ型により神経を包囲し固定
 ポリイミドによる体液からの電気的絶縁、刺入型、神経再生型に比べ低侵襲
 2. SMAアクチュエータを用いたアクティブ固定
 電極に形状記憶合金アクチュエータを組み込み、微小径の神経に容易に取り付け可能
 3. 多チャンネル化
 神経束内の個々の神経に対して刺激・記録が可能

【応用】 機能障害のある組織への疑似感覚刺激、自律神経の慢性モニタリングなど

人間の認知的姿勢に基づく人エグジーチャとの交感的なコミュニケーション(2年間)
 静岡大学 情報学部 情報科学科
 講師 竹内 勇剛

【志向姿勢】
 人間の認知的姿勢特性と模倣行動による人工物の内的状態(心)へのアクセス
 相手に心があり、自分の心に関心があると見なす姿勢 → 交感的コミュニケーション環境を構築する

【模倣行動】
 単に行動を模倣しているだけ → 人間の思い込み

・従来研究は「設計の観点」からのアプローチ
 ・本研究は「人間の思い込み」に着目した「帰属の観点」からのアプローチ
 ・人間の思い込みを無意識に統制することによって、あたかも人工物に心があるかのように思わせる

実際には存在しない人間の思い込み

無人ヘリコプタの操縦法の解析に基づく操縦インタフェース設計(1年間)
 京都大学大学院工学研究科
 助手 中西 弘明

【従来】
 ◆ 操縦訓練が必要
 ◆ 初心者と熟練者の操縦法の違いは？
 ◆ 飛行制御系より熟練者の操縦が勝る

【本研究】
 → 熟練者と初心者の操縦法を解析
 ニューラルネットワークやサポートベクトルマシンの学習による特徴抽出
 - 熟練者の操縦方法 → 優れた飛行制御系の構築
 - 初心者の操縦方法 → 使いやすい操縦インタフェースの構築
 → 操縦インタフェースと飛行制御系のマッチング
 操縦インタフェースにあった飛行制御系の構築

プロボを用いた無人ヘリコプタの操縦

誰も簡単に操縦できるための飛行制御系と操縦インタフェースの構築

3次元動画取得用VLSIプロセッサの開発と高安全知能システムへの応用(1年間)
 東北大学大学院情報科学研究所
 助手 張山昌論

1. 高安全知能システム用人物抽出
 従来: 計算量の減少に主眼 → 信頼性低下
 本研究: 膨大な3次元動き情報の活用 → 高い信頼性(取得された3次元動き情報→人間のモデルとマッチング)

膨大な計算量 → 専用プロセッサの開発を経路

2. 高信頼オプティカルフロー・ステレオビジョンアルゴリズムテンプレートマッチングのウィンドウサイズを画像に応じて適応的に選択するVLSI向きアルゴリズム

3. 並列構造プロセッサの最適設計論
 従来: 熟練設計者による名人芸に設計
 本研究: ユーザープログラムから最適並列構造を自動的に合成する設計理論の確立

並列VLSIプロセッサの高信頼性・高機能の確保に貢献

介護支援用ロボットアームの試作(3年間)
 琉球大学 工学部 電気電子工学科
 助手 比嘉 広樹

【脳血管障害者の介護】
 ● 現状: 介護者不足による介護の質・量の低下 → 寝かせきり状態
 ● 本研究: 「孫の手」的なロボットアームの開発
 機能① 食事、水分採取の介助 → 基本的介護
 機能② 体位変換、起き上がり、リハビリ → 寝かせきりにさせない介護
 機能③ 電子メール(IT化) → 外部との情報交換

生活の質(QOL)の向上に貢献

【ロボットアームの製作と介護用制御プログラムの作成】
 ● ロボットアームの制御と画像処理 → 高速なサーバによる並列処理
 ● 生活の自立を意欲させる介護 → 患者の参加が必要な介護用制御プログラム

寝たきり患者の介護支援用ロボットアームの開発

平成 14 年度研究助成課題の紹介

知識情報処理を用いた痴呆症の統合診断支援システムの開発 (1年間)
 名古屋市総合リハビリテーションセンター 企画研究室
 リハビリテーション工学技術・日比野 新

正常例 異常例

脳波データ
MRI
PET

・従来の痴呆症の診断では、脳波・MRI・PETなどの結果を医師の経験にもとづいて診断
 ・上が正常、下がアルツハイマー型痴呆症

脳波データ
MRI/PETデータ

認知機能テストの得点
予後
早期発見

人工ニューラルネットワーク

従来の痴呆症診断に関する研究は定性的な変化に関するものがほとんどであった
 → 認知機能テストの得点の形で、痴呆症の重症度を推定できるシステムを開発

1. 確率ニューラルネットワークを用いることで、診断結果に確率的な裏付けを持たせる。
2. 脳波の変化、テストの得点の変化などを学習させ、初診時に予後の予測を行う。
3. MRI/PETの画像から特徴を抽出し、アルツハイマー型や脳血管性など痴呆症の分類や重症度予測の補助手段として利用する。

分調波を用いた超音波造影剤崩壊量の定量的評価 (1年間)
 山形大学 工学部 応用生命システム工学科
 助手 深見 忠典

【超音波造影剤への超音波照射】
 従来：造影剤=エコー増強
 近年：造影剤の共振、非線形振動⇒高調波、分調波の発生

高調波：ハーモニックイメージング(すでに実用化)
 分調波：エコパワー非常に小

【分調波の利用】
 ○本研究前の予備実験
 造影剤崩壊前後⇒高調波以上のパワーを持つ分調波出現(低音圧:100kPa以下)
 崩壊現象と分調波の関連性の解明

Experiment System

- ・造影剤崩壊現象解明
- ・分調波による崩壊量の定量的評価
- ・崩壊の生体への影響の調査

筋電信号に基づく次世代携帯端末用インタフェースの研究 (1年間)
 徳島大学 工学部 知能情報工学科
 助教授 福見 稔

従来の、筋電波形の「振幅」「周波数」を用いて認識
 ↓
 多チャンネルの「筋電分布」として認識
 乾式センサー+手指の筋肉で
 4動作リアルタイム認識を行う

4動作を認識するための高速・高精度なアルゴリズムの開発が必要

ニューロ+GAで識別

応用範囲：医療福祉、多種ロボット制御、ゲーム、ウェアラブルコンピュータ

真空圧で駆動する生活支援柔軟ロボットの開発(1年間)
 岡山大学 医学部 保健学科
 助手 満田 隆

【空気圧駆動ロボット】
 従来：振動問題、高圧空気⇒破損時危険
 本研究：真空圧アクチュエータと可変剛性要素を組み合わせる。⇒過大な力が生じない。

可変剛性要素
 → 内部真空圧によって剛性が調節可能。

【制御方法】
 運動時：真空圧アクチュエータを伸縮させる。曲がる方向はどの要素の剛性を小さくするかで決定。
 静止時：アーム全体の剛性を大きくする。
 1本の木のように固まるため、アクチュエータなしに姿勢を保持できる。
 → 空気圧制御特有の振動問題が生じない。
 物体保持時(静止時)にエネルギーが不要。

象の鼻のように変形する柔軟軽量ロボットアームの開発

人間と機械のダイナミックな協調タスクに関する研究 (1年間)
 大阪大学 大学院基礎工学研究科システム人間系
 教授 宮崎 文夫

【入出力マップの効率的学習】
 従来：複雑な物理現象⇒数学モデル
 本研究：過去の経験をデータベース化
 マップ入力 = 飛来するボールの運動特徴
 マップ出力 = 予測打撃位置・予測打撃速度
 [スピンへの対応] ⇒
 K dimensional tree の高次元化
 (ボールの加速度・直前のラケット操作の考慮)

Table Tennis Robot

【リアルタイム運動制御】
 mirror law - 仮想的な鏡に写ったボールの動きに追従する視覚フィードバック制御
 確実な打ち返し ⇒ 適切な打撃位置の予測と正確な追従制御
 ラリーの継続 ⇒ 適切な位置へ返球するための適切な打撃速度の予測

人間とほぼ同等の技能を有する卓球ロボットの実現

財団法人 立石科学技術振興財団 平成 15 年度 研究助成候補募集案内

(財)立石科学技術振興財団においては、下記の通り平成 15 年度の研究助成の候補募集を行いますので、お知らせいたします。

記

(1) 助成対象

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に助成する。

「人間と機械の調和を促進する」とは、人間重視の視点に立った科学技術の健全な発展に寄与したい、という願いからきているものです。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、若手研究者による萌芽的な基礎研究活動も歓迎します。

(2) 金額及び件数

研究助成金 1 件 250 万円以下 20 件以下

(3) 応募資格

- ① 日本国内に居住する研究者であれば、個人またはグループを問いません。
- ② 類似内容で現在、他の財団から既に助成を受けているか或いは受ける予定になっていないこと。

(4) 募集期間

平成 14 年 9 月 1 日～平成 14 年 10 月 31 日（郵便局消印有効）

当財団の所定様式（ホームページからもダウンロード可）に記入して応募して下さい。

(5) 助成金交付の時期

平成 15 年 5 月の予定

(6) 申請書類請求* 及び問合せ先

* なるべくホームページからのダウンロードをご利用下さい。

〒 616-8236 京都市右京区鳴滝春木町 5 番地 20

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

E-mail tateisi-f@omron.com

募集要項、申請書類に関しては当財団ホームページをご覧ください。

URL <http://www.tateisi-f.org/>

財団法人 立石科学技術振興財団 平成 15 年度前期 国際交流助成候補募集案内

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 15 年度前期の国際交流助成の候補募集を行いますので、お知らせいたします。

当財団では今年度より国際交流助成候補の募集に関しては前期（当該年度 4 月 1 日から同年 9 月 30 日）と後期（当該年度 10 月 1 日から翌年 3 月 31 日）に分けて募集いたします。後期募集のご案内は平成 15 年 3 月に行います。

記

(1) 助成対象

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外国人研究者の招聘。派遣は応募者本人に、招聘は被招聘者に助成する。助成の対象期間は、原則平成 15 年 4 月 1 日から同年 9 月 30 日です。

「人間と機械の調和を促進する」とは、人間重視の視点に立った科学技術の健全な発展に寄与したい、という願いからきているものです。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、若手研究者による萌芽的な基礎研究活動の一環としての国際交流を歓迎します。

(2) 金額及び件数

国際交流助成金（派遣と招聘）	派遣	1 件	40 万円以下	} 平成 15 年度助成件数 合計 10 件程度
	特別招聘	1 件	50 万円以下	
	一般招聘	1 件	30 万円以下	

(3) 応募資格

- ① 派遣の応募は、日本国内に居住する研究者であれば、国籍・所属機関を問いません。
- ② 招聘の応募は、日本で開催される学会・研究集会の関係者であれば、国籍・所属機関・団体または個人のいかんを問いません。
- ③ 類似内容で現在、他の財団の助成を受けているか或いは受ける予定になっていないこと。

(4) 募集期間

平成 14 年 10 月 1 日～平成 14 年 12 月 31 日（郵便局消印有効）

当財団の所定様式（ホームページからもダウンロード可）に記入して応募して下さい。

(5) 助成金交付の時期

平成 15 年 4 月の予定

(6) 申請書類請求* 及び問合せ先

* なるべくホームページからのダウンロードをご利用下さい。

〒 616-8236 京都市右京区鳴滝春木町 5 番地 20

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

E-mail tateisi-f@omron.com

募集要項、申請書類に関しては当財団ホームページをご覧ください。

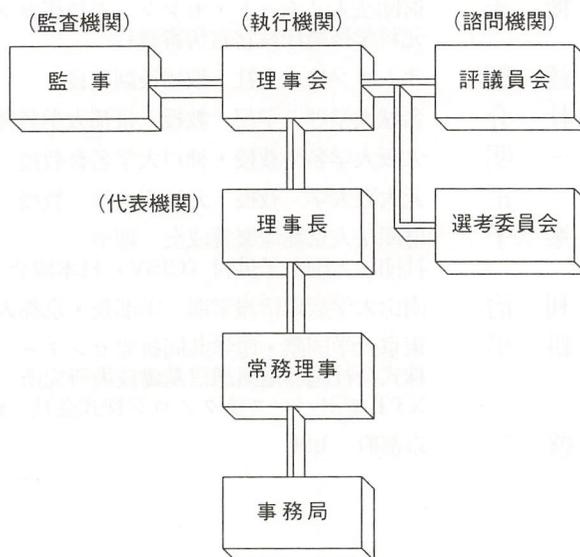
URL : <http://www.tateisi-f.org/>

■ 財団の概要

■ 役員・評議員

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 〒 616-8236 京都市右京区鳴滝春木町 5 番地 20
TEL. (075) 461-4771 FAX. (075) 465-3697
URL. <http://www.tateisi-f.org/> E-mail. tateisi-f@omron.com.
- 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 件以下 / 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 11 億円 株式 1 億 3,125 万円 (額面)
- 財団の組織



役員・評議員

(2002年9月1日現在)

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	中塚弘	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 特別顧問
理事	大澤弘之	財団法人リモート・センシング技術センター 理事長 元科学技術事務次官
理事	大野豊	関西 TLO 株式会社 取締役社長・京都大学名誉教授
理事	熊谷信昭	元大阪大学総長・大阪大学名誉教授
理事	黒田眞	財団法人世界経済情報サービス 理事長・元通商産業審議官
理事	立石義雄	オムロン株式会社 取締役社長
理事	棚橋祐治	石油資源開発株式会社 取締役社長・元通商産業事務次官
理事	長尾眞	京都大学 総長
理事	森川敏雄	株式会社三井住友銀行 特別顧問
理事	諸井虔	太平洋セメント株式会社 相談役
監事	辻敢	辻・本郷税理士法人 会長 (公認会計士)
監事	戸倉晴美	戸倉法律事務所 所長 (弁護士)

評議員

評議員	相澤益男	東京工業大学 学長
評議員	相磯秀夫	東京工科大学 学長
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	財団法人リモート・センシング技術センター 専務理事 元科学技術庁長官官房審議官
評議員	市原達朗	オムロン株式会社 取締役副社長
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	大阪大学名誉教授・神戸大学名誉教授
評議員	末田正	元大阪大学 教授・元摂南大学 教授
評議員	立石峯子	財団法人京都能楽養成会 理事 社団法人国際子供村 (CISV) 日本協会 理事
評議員	長谷川利治	南山大学数理情報学部 学部長・京都大学名誉教授
評議員	葉原耕平	東京大学国際・産学共同研究センター 客員教授 株式会社国際電気通信基礎技術研究所 顧問 NTT アドバンステクノロジー株式会社 顧問
評議員	山田啓二	京都府 知事

(50音順)

編集後記

本助成研究成果集は、当財団の助成研究成果普及事業の一環として毎年秋に継続発行して、助成研究者の皆様、国立国会図書館、全国主要大学・研究機関ならびに同図書館等の400ヶ所に拝送させていただいておりますが、今号で第11号を数えるに至りました。これもひとえに皆様のご支援の賜と感謝いたしております。

本助成研究成果集では、主として第11回（平成12年度）と第12回（平成13年度）助成研究課題の中で、研究計画の終了した研究成果報告を収録しています。また、国際交流助成（派遣、招聘）につきましては第12回（平成13年度）に助成いたしました成果報告の抄録を収録しております。

ご寄稿いただきました諸井理事様、投稿文をお寄せいただきました大阪大学大学院 赤澤教授、立命館大学 平井教授、事務局取材に快く応じていただきました豊橋技術科学大学 中川教授の各位をはじめ編集にご協力いただきました研究者の皆様や関係各位に紙面をお借りして御礼申し上げます。

当財団の助成事業の一つであります国際交流助成は、今年度から前期と後期の2回募集を実施しております。また、その申請時期も遅らせて学会開催時期とのタイムラグを少なくして、皆様の学会活動等によりお役にたてればと考えております。

本号がお手元に届くころ、平成15年度の助成候補の募集期間になっていますので、当財団ホームページをご覧くださいと思います。

当財団常務理事の小野田 裕一が退任し、今年7月に中塚 弘が常務理事に新任いたしました。よろしく願い申し上げます。

当財団の活動ならびに本誌に関する皆様のご意見など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11号
平成14年9月(2002)

発行 財団法人 立石科学技術振興財団
〒616-8236 京都市右京区鳴滝春木町5番地20
TEL (075) 461-4771 FAX (075) 465-3697
E-mail: tateisi-f@omron.com
URL: <http://www.tateisi-f.org/>

印刷 明文舎印刷株式会社
〒601-8316 京都市南区吉祥院池ノ内町10
TEL (075) 681-2741

(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下さい。)