

立石科学技術振興財団

助成研究成果集

【第14号】

平成17年(2005)



人間と機械の調和を促進する助成研究成果集

第 14 号

平成 17 年 9 月 (2005)

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（荒木光彦 評議員 京都大学大学院工学研究科長・工学部長）	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16年度）	93
5. 平成16年度活動報告（業務日程・会計）	101
6. 平成17年度助成報告	102
7. 第16回助成金贈呈式	103
8. 受領者投稿	104
神山斉己 愛知県立大学 情報科学部・情報システム学科 助教授	104
原田慶恵 ㈱東京都医学研究機構 東京都臨床医学総合研究所 副参事研究員	105
9. 研究室訪問	106
熊本大学 工学部 数理情報システム工学科 宇佐川研究室	106
10. 第16回（平成17年度）助成課題一覧	108
11. 平成17年度研究助成課題の紹介	110
12. 平成18年度助成候補募集案内	113
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14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16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14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

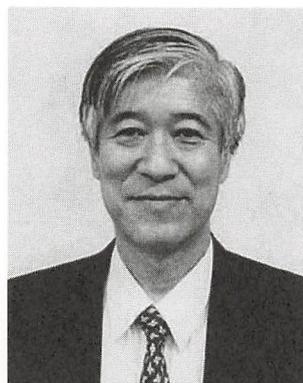
急がず、あせらず、油断せず

科学技術の展開は年々加速されていると言われて
いる。実際、研究科長に選ばれてしばらく論文
のサーベイをさぼっていると、自分の専門分野で
どんな話題が議論の焦点となっているか、世界の
どこにどんな人がいるか、などがわからなくなっ
てしまう。

とは言っても、先方はこちらの事情を御存知な
いので、しばしば査読を依頼されることがある。
大方は「公務多忙にて申し訳ございません」と御
断りしているが、色々な事情で引き受けざるを得ないこともある。そういうとき
は、まず、いくつかの主要国際会議で関連論文を探しておいてから送られてきた
論文の Reference List をみる（これを逆にすると危険だと思っているが）。これ
でなんとか凌げているということは、少なくとも私が深く関わっているシステム
制御分野について、学問の方向性に影響を与えるような本質的進展は、最短 10
年程度の間隔でしか生じていないということであろう。

これは、理論中心でしかも工学志向の分野に限ることかも知れないが、1つ
の新しい考え方（パラダイムと呼ぶ人もいる）の良い面・悪い面・足りないところ
が洗い出されていく過程で一段上の視野が得られる。そのためには、当該テー
マにかかわる人々が色々な立場から議論と交流を積み重ねる必要がある、とい
うことであろう。

本財団では、若手の研究者を重視して助成を行っておられる。若い研究者の中
には、毎年たくさんの論文が発表されるのに圧倒されて、自分がやれることがも
うすぐなくなってしまうのではないかと、口に出して心配する人も多い。しかし、
決してそんな心配をしなくてよいことは歴史が証明している。急がぬよう、あせ
らぬよう、ただし、最新の研究動向には目を配りながらじっくりと自分のテーマ
にとり組んでいただきたい。



評議員 荒木光彦

(京都大学大学院工学研究科長・工学部長)

研究助成成果の抄録一覧

(年度順五十音順)

- ◆ 介護支援用ロボットアームの試作 (1021015) 8
Test Production of an Assistive Robot-Arm for Nursing Care
比 嘉 広 樹 琉球大学工学部電気電子工学科 助手

- ◆ 呼吸モニター用蛍光式炭酸ガスセンサーの開発 (1031001) 12
Development of CO₂ Gas Sensor Using Fluorescent Probe for Monitoring Breath
天 尾 豊 大分大学工学部 助教授

- ◆ 可動範囲に限界が無い球状ハプティックインタフェースの開発 (1031012) 16
Development of a Spherical Haptic Interface without Limitation of Work Space
妻 木 勇 一 弘前大学理工学部知能機械システム工学科 助教授

- ◆ 超高速高精度競合学習ニューラルネットワークによる
画像データマイニング技術の研究 (1031013) 20
Image Data Mining by Using High Performance Competitive Neural Network
長 山 格 琉球大学工学部 助教授

- ◆ H_∞学習理論の確立と柔らかな学習システムの開発 (1031015) 24
Establishment of H_∞ Learning Theory and Development of Smart Learning Systems
西 山 清 岩手大学工学部情報システム工学科 教授

- ◆ 看護介護支援を念頭においた人共存ロボット用高機能デバイスの開発 (1031016) 28
High Performance Robot Sensors for Daily Nursing Elderly People
野 方 誠 立命館大学理工学部ロボティクス学科 助教授

- ◆ 人間とロボットの協調的環境空間モデル構築に関する研究 (1031019) 32
Environmental Spatial Model Construction Based on Human-Robot Cooperation
矢 入 健 久 東京大学 講師

- ◆ 生物における低エネルギー高信頼性情報符号化メカニズムの解明 (1031020) 36
The Study on Low Energy Reliable Information Coding Scheme in Animals
山野辺 貴 信 北海道大学大学院医学研究科 助手

- ◆ 並列デジタルホログラムによる生体3次元瞬時顕微鏡に関する研究 (1041001) 40
Study on the Microscope Based on Parallel Digital Holography for Instantaneous
Three-Dimensional Measurement of Organism
粟 辻 安 浩 京都工芸繊維大学工学部 助教授

- ◆ 制御系と身体系の有機的調和設計：多脚歩行ロボットを用いた事例研究（1041002）…………… 44
Well-balanced Coupling between Control and Mechanical Systems
— A Robotic Case Study —
石 黒 章 夫 名古屋大学大学院工学研究科 助教授
- ◆ デジタルヒューマンモデルを用いた人間-機械融合型の生産システムの評価（1041005）…………… 48
An Evaluation Method for Human-Machine Mixed Manufacturing Systems
by Using Digital Human Models
小野里 雅 彦 北海道大学大学院情報科学研究科 教授
- ◆ 単一分子を挿入する極微ギャップ電極の開発と超高感度バイオセンサへの応用（1041008）…………… 52
Molecular Electronics by the Use of Metal Tips and Gap Electrode
坂 口 浩 司 静岡大学電子工学研究所 助教授
- ◆ Sieve 電極を用いたマン・マシンインターフェイスの研究（1041010）…………… 56
Study of Man-Machine Interface Using Sieve Micro Electrodes
島 谷 祐 一 東京女子医科大学医学部 助手
- ◆ 異種材料微粒子アセンブル技術による卓上型
シンクロトロンのための軟 X 線源の開発（1041011）…………… 60
Soft X-ray Source for Tabletop Synchrotron by Assembly of Binary Particles
菅 野 公 二 京都大学工学研究科 助手
- ◆ 感情認知の手がかりとしてのパラ言語情報
— 基本周波数と音圧の効果 —（1041013）…………… 64
Paralanguage Information as a Cue to Estimate Humans' Emotions
— Effects of Fundamental Frequency and Intensity —
長 崎 康 子 公立はこだて未来大学システム情報科学部 助手
- ◆ 準静的加圧による生体組織の粘弾性分布映像システムの開発（1041014）…………… 68
Tissue Viscoelasticity Imaging System Based on Quasi-Static Deformation
新 田 尚 隆 独立行政法人 産業技術総合研究所 研究員
- ◆ 次世代型レスキューロボットによる瓦礫撤去作業に関する研究（1041015）…………… 72
Research on New Type Rescue Robots for Removing Rubble
羽多野 正 俊 富山大学工学部 助手
- ◆ 高度モバイルアプリケーションのための効率的な情報共有機構に関する研究（1041016）…………… 76
Study on Mechanisms of Efficient Information Sharing for Advanced Mobile Applications
原 隆 浩 大阪大学 助教授

- ◆ 人間の操作性を考慮した運動特性可変型パッシブ移動台車システム (1041017) 80
 Passive-type Mobile Transport System with Variable Motion Characteristics
 for Improving Maneuverability
 平 田 泰 久 東北大学大学院工学研究科 助手

- ◆ 運動の学習と記憶に関する神経情報工学的研究 (1041018) 84
 A Neuro-information Engineering Study on Motor Learning and Memory
 平 田 豊 中部大学工学部 教授

- ◆ 機能的電気刺激法を用いた脊損患者の静的立位機能
 補償機構開発のための基礎研究 (1041019) 88
 Fundamental Research for Development of FES-System for Quiet Standing
 政 二 慶 トロント大学生体材料・生体医用工学部 客員研究員



介護支援用ロボットアームの試作

Test Production of an Assistive Robot-Arm for Nursing Care

1021015

研究代表者	琉球大学工学部電気電子工学科 助手	比嘉 広 樹
共同研究者	琉球大学工学部電気電子工学科 教授	仲村 郁 夫

[研究の目的]

近年、交通事故や脳血管障害などが原因で寝たきりの生活を余儀なくされている人々が増加している。しかしこのような寝たきりの人々の中にも社会とのかかわりを持ちたいと願う人や、身の回りの世話を人に頼らない「自立」を望んでいる人も多い。一方、平均寿命が延びた高齢社会では介護する人の相対的割合はますます減少していくとともに、介護者の高齢化も進むことが予想される。そこで、本研究では寝たきりの人々の自立支援、または生活支援を行なうことを目的として、介護支援用ロボットアームシステムの試作を行なう。

[研究の内容、成果]

介護支援を目的としたロボットアームシステムの概略を以下に述べる。

1. システム構成

図1に試作したシステムの構成を示す。本システムは、(1) 食事の介助や水分摂取の補助、(2) 被介護者の日常の行動を記録し、必要時にかかりつけの医者や介護者にその利用状況を報告したり、システムのインターネットへの接続による電子メール機能等を備えている。これらの機能を重要視した理由は以下の通りである。

まず(1)の水分摂取の補助機能は、健常者の立場からは無視されがちであるが、体の自由が利かない被介護者の立場から考えると、少ない介護者の手を煩わしたくないと思いつつも、「のどの渇き」を潤したいという要求は切実であり、最低限必要な機能であると考えられる。また(2)の機能は、PC(あるいは携帯電話)の通信機能をシステムに組み込み、被介護者が利用した介護動作を記録し、介護者やかかりつけの医師に必要時に通報する機能である。またインターネットへの接続により、電子メールの利用やホームページの閲覧ができ、外部からの情報入手や情報交換を通して被介護者の自立意欲の向上に寄与できると考えられる。

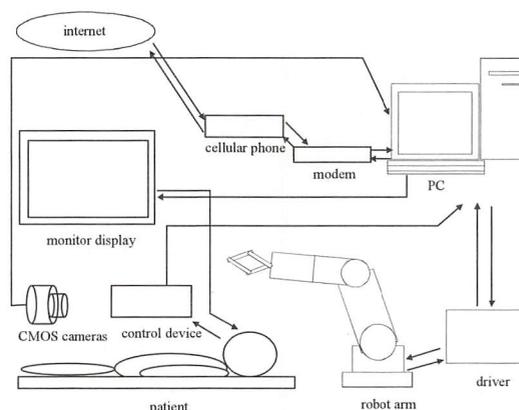


図1 介護支援システムの構成

表1と図2に試作したロボットアームの各パラメータと概観を示す。ロボットアームは5個

表1 ロボットアームのパラメータ

Link No.	0	1	2	3	4
Segment length l [mm]	114	194	141	126	150
Diameter of segment d [mm]	80	62	62	60	—
Range of motion ϕ [deg]	± 170	± 100	± 100	± 160	± 50

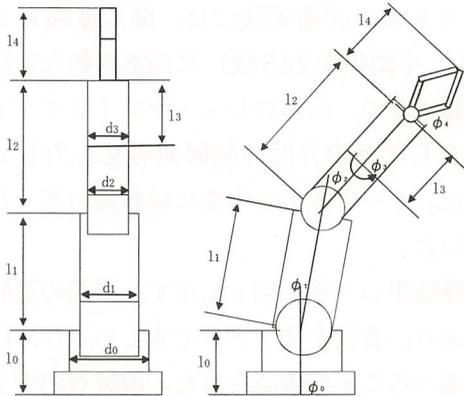
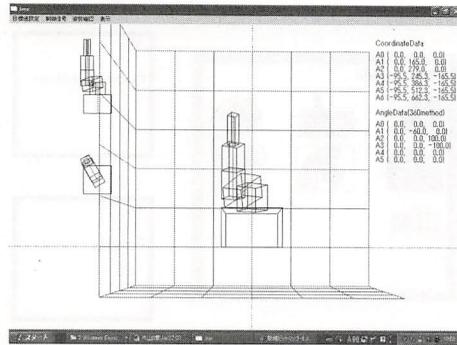


図2 試作したロボットアームの構成

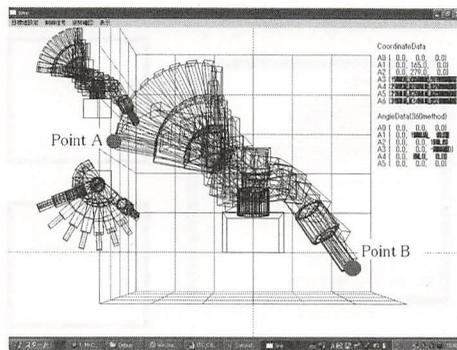
の DC モータを有し、手先には 3 本の指を有する。

2. シミュレータ

ロボットアームの制御を簡単化するため、VisualC++ 6.0 を用いてシミュレータを作成した。またシミュレータを用いてロボットアームを制御するための制御データの作成を行なった。図3に水分摂取命令を実行した際のシミュレータのスクリーンショットを示す。ロボットアームの姿勢及び手先の軌道は画面の中央に表示するものとした。また画面の左側上下には側面及び上方より見たロボットアームの姿勢を、画面の右側上下には各関節の座標及び関節角度を表示した。なお、図3(b)中の点A、Bはそれぞれペットボトル、ユーザの口元を想定している。本シミュレータを用いることにより、ロボットアームの手先の軌道と各時刻における姿勢を事前に確認できるようになった。また実機のロボットアームを動かしながら試行錯誤的に制御データを作成する方法と比較して制御データ作成の所要時間が約 80% 短縮された。



(a) シミュレーション画面 (開始時)



(b) シミュレーション画面 (完了時)

図3 シミュレータのスクリーンショット
水分摂取の制御命令を実行した場合を示す

3. ヒューマンインタフェース

作成したヒューマンインタフェースのスクリーンショットを図4に示す。複数 (マウス、キーボード、頭部の運動等) の入力インタフェースからユーザの入力信号を取り込めるように設計した。またこのシステムでは拡張性を重視し、システムのカテゴリの種類や介助命令の種類を再コンパイルすること無く、それらの変更・追加・削除ができるようにした。これにより、ユーザ個人個人がヒューマンインタフェースをカスタマイズでき、各自の好みに合ったシステムとなるように設定可能である。なお、頭部の運動により入力を行なえる頭部運動入力装置も製作し、ロボットアームシステムの制御入力インタフェースとして用いた。

作成したヒューマンインタフェースでは、各制御命令をカテゴリ別に分類して表示する仕様にした。またそれぞれの制御命令にはアイコンを割り当て、視覚的に目的の制御命令を選択・

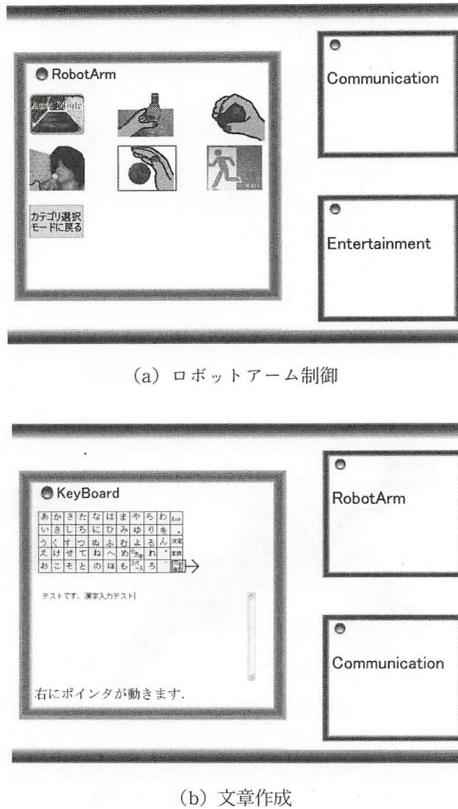


図4 作成したヒューマンインタフェースのスクリーンショットの一例

実行できるようにした。なお、これらの制御命令とアイコンの割り当てもユーザがカスタマイズできるようにプログラムを作成した。今回設定したカテゴリは1. ロボットアーム制御（水分摂取命令と食事の介助命令）、2. 文章作成、3. 通信（メールの作成・送信）、4. 娯楽（音楽ファイルの再生）とした。

今回作成したカテゴリのうち、ロボットアーム制御時と文書作成時におけるヒューマンインタフェースのスクリーンショットの一例を図4 (a), (b) に示す。左側の大きな枠（実画面では赤枠）が現在選択されているカテゴリ、右側の枠（実画面では青枠）はその他のカテゴリを表している。ロボットアーム制御時には、水分摂取や食事の介助が容易に行なえるようにするため、それぞれの制御命令を分割し、各アイコンにそれぞれの分割された制御命令を割り当てた。また、文書作成時には、左側の大きな枠内の上方に50音順に文字が配置された文字盤を

置き、ポインタ（矢印のついた枠）を移動させて所望の文字を選択し、それを文字盤の下に表示させて文書を作成する構成とした。

4. ロボットアームシステムの実用例

システムの評価実験では、健常被験者2名（男性、平均年齢22.5歳）に頭部運動入力装置を装着させて、前述のヒューマンインタフェースを介して食事介助の制御命令を入力してもらった。テーブル上の中央には食物の入った皿を置いた。

実験結果の一例を図5に示す。頭部の運動入力により、食物をスプーンですくい上げ、口元まで運ぶことが確認された。被験者の安全性を考慮して、またユーザに恐怖感を与えないように、ロボットアームの動作は遅く設定した。また水分摂取の制御命令入力により、被験者が水分摂取可能であることも確認された。

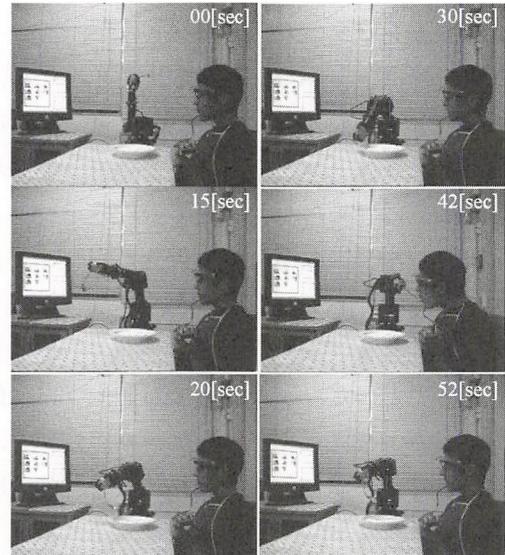


図5 食事の介助命令

次に、本システムを用いて、メールの文書作成と送信の実験を行なった。今回、メール送信時にロボットアームの利用ログも同時に送信されるように設定した。送信されたメールの一例を図6に示す。メール本文の上から2～4行目にロボットアームの利用ログ、上から6行目に文書作成モードにて入力された文章が示されて

いる。定時の利用ログ送信機能で、あらかじめ登録しているメールアドレス宛て（例えばユーザの家族）にログ送信することにより、ロボットアームの利用状況の把握が可能であると考えられる。さらに娯楽モード（音楽再生）において音楽ファイルの再生が可能であることも実験において確認された。



図6 送信されたメールの内容

[今後の研究の方向, 課題]

今後の研究課題として、試作した介護支援用ロボットアームシステムの安全性を向上させることが挙げられる。

[成果の発表, 論文等]

- 1) 片山 明, 比嘉広樹, 仲村郁夫: 介護用ロボットアームのシミュレータに関する基礎的検討, 平成14年電気学会・電子情報通信学会合同講演会講演論文集, pp.21-26 (2002)
- 2) 比嘉広樹, 片山 明, 仲村郁夫: 介護用ロボットアームに関する基礎的検討, 生体医工学, 第41巻特別号, P15-7, p.549 (2003)
- 3) Hiroki Higa, Ikuo Nakamura and Nozomu Hoshimiya: A Basic Study on Control Com-

mand Input Device Using Acceleration Sensors for FES System, Proceedings of ITC-CSCC 2003, pp.1113-1116 (2003)

- 4) Hiroki Higa, Akira Katayama and Ikuo Nakamura: A Basic Study on Application of a Robot Arm to Welfare Instrument for Nursing Care, Proceedings of ITC-CSCC, pp.1117-1120 (2003)
 - 5) 片山 明, 比嘉広樹, 仲村郁夫: ロボットアームを用いた介護システムに関する基礎的検討, 平成15年電気学会・電子情報通信学会合同講演会講演論文集, pp.7-12 (2003)
 - 6) 比嘉広樹, 片山 明, 仲村郁夫, 星宮 望: FESシステムの制御命令入力装置の一評価法, 第10回日本FES研究会学術講演会講演論文集, pp.15-16 (2003)
 - 7) 比嘉広樹, 村上 肇, 仲村郁夫, 星宮 望: FESシステムの頸部運動を利用した制御命令入力装置に関する検討, 生体医工学, 第42巻特別号, OS15-7, p.549 (2004)
 - 8) Hiroki Higa, Ikuo Nakamura and Nozomu Hoshimiya: A Basic Study on Control Command Input Device Using Head Movement for FES System—Availability of Acceleration Sensors—, IEICE Trans. on Fundamentals, Vol. E87-A, No.6, pp.1441-1445 (2004)
 - 9) Hiroki Higa, Akira Katayama, Kazutoshi Tsuha and Ikuo Nakamura: A Study on Application of a Robot Arm to Welfare Equipment for Nursing Care—Using Input Interface and Visual Feedback—, Proceedings of ITC-CSCC 2004, pp.7E2L-3-1-7E2L-3-4 (CD-ROM) (2004)
 - 10) 津覇和敏, 片山 明, 上原英之, 比嘉広樹, 仲村郁夫: 画像処理を用いた口元の位置検出, 平成16年電気学会・電子情報通信学会合同講演会講演論文集, pp.25-30 (2004)
 - 11) Hiroki Higa, Kazutoshi Tsuha and Ikuo Nakamura: A Basic Study on Position Detection of the Lip Using Image Processing, Proceedings of ITC-CSCC 2005 (発表予定)
- 受賞
- 1) 電子情報通信学会九州支部 講演奨励賞 (2003)
 - 2) 電子情報通信学会九州支部 講演奨励賞 (2004)

呼吸モニター用蛍光式炭酸ガスセンサーの開発

Development of CO₂ Gas Sensor Using Fluorescent Probe for Monitoring Breath

1031001

研究代表者

大分大学工学部 助教授

天 尾 豊

[研究の目的]

世界中の手術室や集中治療室での標準監視技術として、簡便かつ正確な呼吸モニター用の二酸化炭素センサーの開発が望まれている。呼吸モニター用センサーでは、呼気に含まれる二酸化炭素を正確かつ迅速に測定できなくてはならない。現在赤外吸収法や半導体を利用した電子的な二酸化炭素センサーが開発されているが、呼気に含まれる水分が原因となって正確な二酸化炭素量が測定できない場合がある。このため多湿条件下で正確に二酸化炭素を測定できるセンサーの開発が望まれている。そこで本研究では、二酸化炭素と接触すると蛍光強度が変化する指示薬を有機ポリマー層に固定化した薄膜を利用した簡便かつ耐水性の高い蛍光センサーを構築することを目的とする。

[研究の内容と成果]

本研究で構築する蛍光式二酸化炭素センサーは図1に示すように2つの薄膜層(pH指示薬層および発光層)で形成されている。二酸化炭素がない状態で励起光線を当てると発光層の色素が発光し、pH指示薬によって吸収され観測される発光は弱くなる。しかし二酸化炭素の量が増えると、pH指示薬の色が変化するため、発光層の色素からの発光に対する吸光度が減少し、観測される発光は強くなる。これらの原理を利用すると、観測される発光の強弱によって二酸化炭素が測定できることになる。

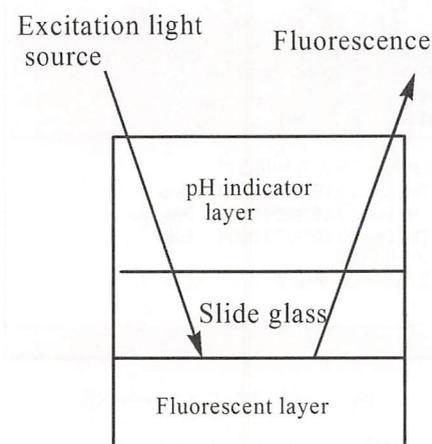
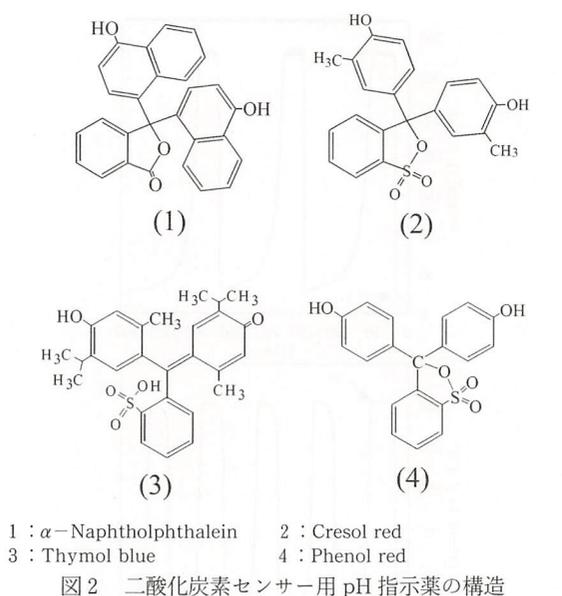


図1 蛍光式二酸化炭素センサーの構成

最初に二酸化炭素測定用プローブとしてのpH指示薬の探索を行った。pH指示薬としてチモールブルー(pH変色域7.8(黄色)~9.5(青色))、フェノールレッド(6.5(黄色)~8.0(赤紫色))、クレゾールレッド(7.0(黄色)~8.6(赤色))、および α -ナフトールフタレイン(7.1(無色)~8.3(青色))(構造を図2に示す)と、発光色素であるEuropium(III) thenoyltrifluoroacetate trihydrateあるいはテトラフェニルポルフィリンを組み合わせた二酸化炭素センサーを作製し、二酸化炭素感度特性を調べた。

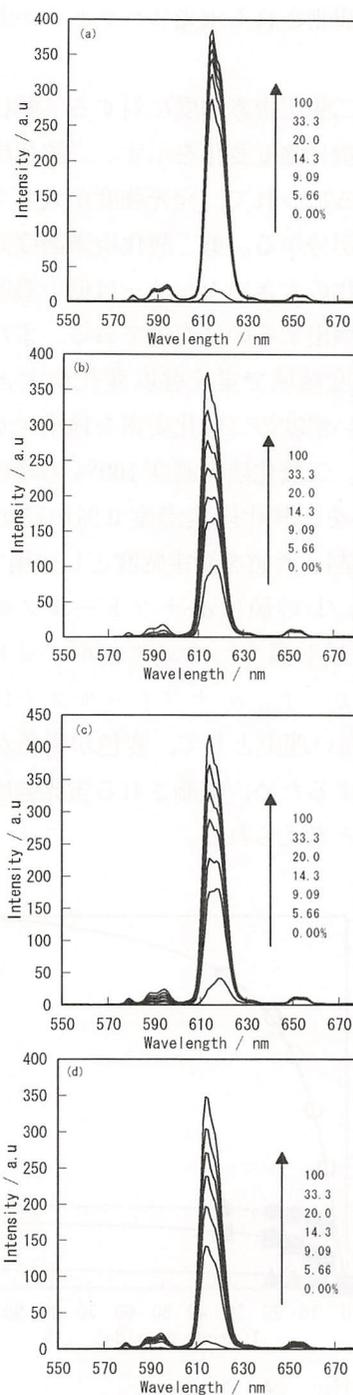
二酸化炭素センサーを構成する重要要素であるpH指示薬を探索した結果、チモールブルーをpH指示薬として用いたセンサーは二酸化炭素に対して高い応答性があり、低二酸化炭素濃度領域でも敏感に応答することが分かった。しかし回復時間が遅いため、残り3種類のpH指



示薬の中で二酸化炭素センサーとして用いるのに適するものを検討すると、蛍光変化量 I_{100}/I_0 の値が大きい α -ナフトールフタレインが適しており、高感度な二酸化炭素センサーを構築することができた。

pH 指示薬担持層に物性の異なるポリマーを利用し、光学二酸化炭素センサーの測定感度制御を目的とした。pH 指示薬担持ポリマーに有機ガラス系ポリマーとしてポリイソブチルメタクリレート、ポリスチレン、ポリメタクリル酸メチル及びエチルセルロースを用いた光学二酸化炭素センサーの測定感度および応答時間を調べた。その結果、有機ガラス系ポリマーを pH 指示薬担持ポリマーに用いた場合、二酸化炭素測定感度特性や応答回復特性がポリマーの物性であるガラス転移温度、二酸化炭素透過係数および a 値に依存することがわかった。有機ガラス系ポリマーの中で、エチルセルロースを用いることで、センサーの感度や応答特性を向上させることができた。

図3に4種類の pH 指示薬固定化膜を用いた二酸化炭素センサーの蛍光スペクトルを示す。いずれの蛍光スペクトルの場合も、二酸化炭素の濃度が増加するに従い、蛍光極大の強度が大きくなることが分かった。特にチモールブルーは低い二酸化炭素濃度での観測される蛍光強度



(a) : Thymol blue (b) : Phenol red
(c) : Cresol red (d) : α -Naphtholphthalein

図3 光学二酸化炭素センサーの蛍光スペクトル変化

変化が大きいことが分かった。また pH 指示薬の色が青色であるチモールブルーと α -ナフトールフタレインは二酸化炭素濃度 0% の時の蛍光強度が他の pH 指示薬に比べ小さいことが分かる。これは発光層からの発光が赤色であり、補色の関係から他の pH 指示薬よりも赤色光を

吸収し、観測される蛍光スペクトルが弱くなっている。

図4に二酸化炭素濃度に対する二酸化炭素センサーの蛍光強度変化を示す。二酸化炭素濃度が高くなるにつれて、発光強度が大きくなっていることが分かる。低二酸化炭素濃度領域で蛍光強度変化の大きいセンサーは低い濃度の二酸化炭素を検出するのに有効である。また高二酸化炭素濃度領域で蛍光強度変化が大きいセンサーは高い濃度の二酸化炭素を検出するのに有効である。二酸化炭素濃度 100% の時の蛍光強度 (I_{100}) を二酸化炭素濃度 0% の時の蛍光強度 (I_0) で割った値を測定感度として用いた。その結果 I_{100}/I_0 の値は α -ナフトールフタレインが 30.3 と最も高く、フェノールレッドが 4.31 と最も低かった。 α -ナフトールフタレインの I_{100}/I_0 が高い理由として、変色が青色から無色へと変化するため、観測される蛍光強度の変化が大きいと考えられる。

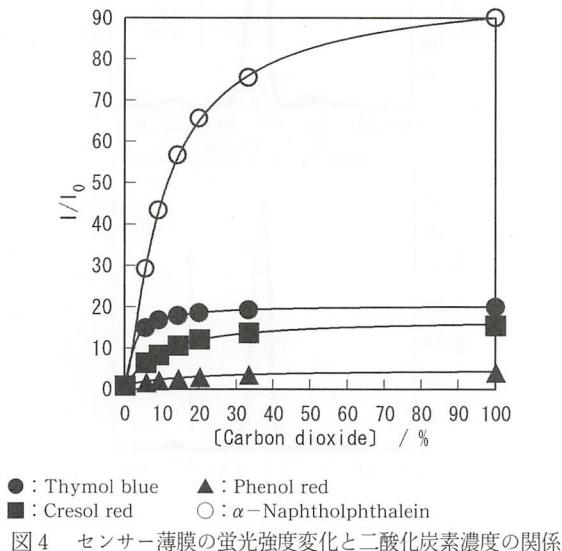
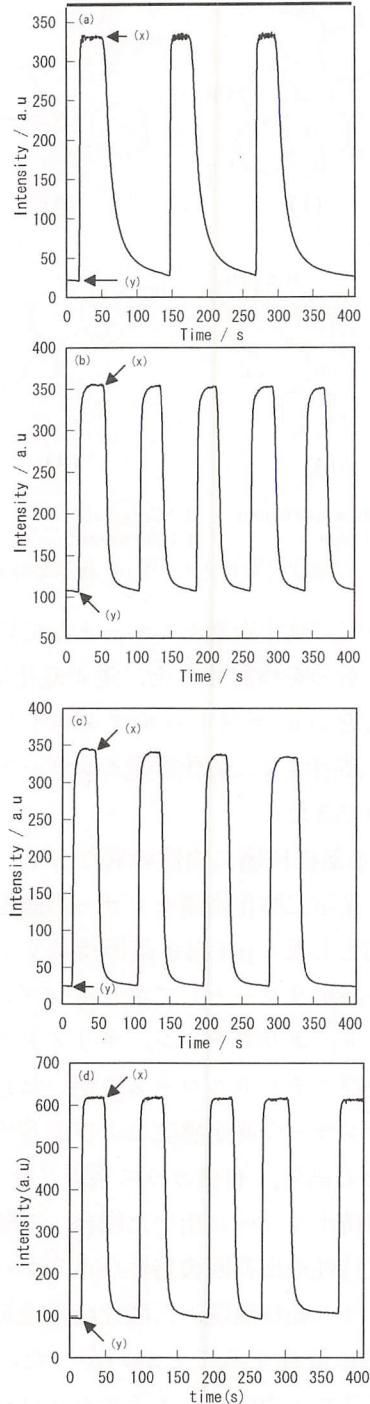


図4 センサー薄膜の蛍光強度変化と二酸化炭素濃度の関係

図5に二酸化炭素センサーの応答・回復の経時変化を示す。図中の (y) は二酸化炭素を、(x) はアルゴンガスを導入した点を示す。アルゴン 100% から二酸化炭素 100% への応答時間は、4 種類の pH 指示薬の中でチモールブルーが最も早い、回復時間は最も遅いことが分かった。この理由は以下の通りと考えられる。



(a) : Thymol blue (b) : Phenol red
(c) : Cresol red (d) : α -Naphtholphthalein
図5 光学二酸化炭素センサーの応答回復特性

チモールブルーは、プロトン付加型が形成されやすく、プロトン脱離型が形成されにくくなり、応答時間が早く、回復時間が遅くなると考えられる。他の pH 指示薬を用いたセンサーでは応答時間に多少の違いがみられるが、回復時間に

おいては差がみられないことが分かった。

以上の結果からチモールブルーを pH 指示薬として用いたセンサーは二酸化炭素に対して高い応答性があり、低二酸化炭素濃度領域でも敏感に応答することが分かった。しかし回復時間が遅いため、残り 3 種類の pH 指示薬の中で二酸化炭素センサーとして用いるのに適するものを検討すると、蛍光変化量 I_{100}/I_0 の値が大きい α -ナフトールフタレインが適しており、高感度な二酸化炭素センサーを構築することができた。

また、 α -ナフトールフタレインを用いたセンサーは水中でも感度良く二酸化炭素を測定することができることから、湿気を含む呼気中の二酸化炭素も測定可能なセンサーであることが示唆された。

さらに、呼気に含まれる重要な気体である酸素を測定可能な蛍光式センサーもすでに構築できている。原理は酸素と接触すると蛍光強度が減少するピレン分子を用いたものである。今回は、ピレン分子を用いた蛍光式酸素センサーの高感度化に関する研究を進めており、脂肪酸とピレン分子とを同時に固定化したセンサー基板を利用することによって、酸素の測定感度を自在に変化させることに成功している。酸素センサーと二酸化炭素センサーを同時に利用できるデバイスは、正確な呼吸モニター用装置として期待が持てる。

[今後の研究の方向と課題]

本研究では、二酸化炭素と接触すると蛍光強度が変化する指示薬を有機ポリマー層に固定化した薄膜を利用した簡便かつ耐水性の高い蛍光センサーを構築することを目的とした。具体的には二酸化炭素測定用プローブとして pH 指示薬である α -ナフトールフタレインを用い、蛍光物質と組み合わせた二酸化炭素センサーを構築した。今後は、本研究成果をいかに呼吸モニ

ター用センサーとして装置化するかが重要な鍵になってくるであろう。また、すでに構築した蛍光物質を利用した蛍光式酸素センサーと組み合わせた多機能センサーを設計することにより、より正確な呼吸用モニターセンサーとして利用できることが期待できる。

[成果の発表、論文等]

- 1) Naoki Nakamura and Yutaka Amao: An optical sensor for CO₂ using thymol blue and europium (III) complex composite film, *Sensors and Actuators B*, 92 (1-2) 98-101 (2003)
- 2) Yuki Fujiwara and Yutaka Amao: An oxygen sensor based on the fluorescence quenching of pyrene chemisorbed layer onto alumina plates, *Sensors and Actuators B*, 89(1-2) 187-191 (2003)
- 3) Yuki Fujiwara and Yutaka Amao: Optical oxygen sensor based on controlling the excimer formation of pyrene-1-butyllic acid chemisorption layer onto nano-porous anodic oxidized aluminium plate by myristic acid, *Sensors and Actuators B*, 89 (1-2) 59-61 (2003)
- 4) Naoki Nakamura and Yutaka Amao: Optical CO₂ Sensor with the Combination of Colorimetric Change of pH Indicator and Internal Reference Luminescent Dye, *Bulletin of Chemical Society of Japan*, 76 (7), 1459-1462 (2003)
- 5) Naoki Nakamura and Yutaka Amao: Optical Sensor for Carbon Dioxide with the Combination of Colorimetric Change of pH Indicator and Internal Reference Luminescent Dye, *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 376 (5) 642-646 (2003)
- 6) Yuki Fujiwara and Yutaka Amao: Optimising oxygen-sensitivity of optical sensor using pyrene carboxylic acid co-chemisorption onto anodic oxidized aluminium plate, *Talanta*, 62 (3) 655-660 (2004)
- 7) Yuki Fujiwara and Yutaka Amao: Novel optical oxygen sensing material: 1-pyrenedecanoic acid and perfluorodecanoic acid chemisorbed onto anodic oxidized aluminium plate, *Sensors and Actuators B*, 99 (1) 130-133 (2004)
- 8) Yutaka Amao and Naoki Nakamura: Optical CO₂ sensor with the combination of colorimetric change of α -naphtholphthalein and internal reference fluorescent porphyrin dye, *Sensors and Actuators B*, 100 (3) 347-351 (2004)
- 9) Yutaka Amao and Naoki Nakamura: An Optical Sensor with the Combination of Colorimetric Change of α -Naphtholphthalein and Internal Reference Luminescent Dye for CO₂ in water, *Sensors and Actuators B*, 2004 in press.

可動範囲に限界が無い球状ハプティックインタフェースの開発

Development of a Spherical Haptic Interface without Limitation of Work Space

1031012

研究代表者 弘前大学理工学部知能機械システム工学科 助教授 妻木 勇一

[研究の目的]

手先に人工的な触覚を呈示するデバイスをハプティックインタフェースと呼ぶ。ハプティックインタフェースは、一般のコンピュータの入出力装置として、また、ロボットの遠隔操作や様々な機器のインタフェースに使用することが可能な応用範囲の広い装置である。近年、多くのハプティックインタフェースが開発されてきた。しかし、従来のハプティックインタフェースは、構造的な制限が必ず存在するため、作業領域の大きさが決まっており、作業領域の縁まで行くと、作業を一時中断せざる得なかった。

これに対し、本研究の目的は、小型で可動範囲に制限のない球状のハプティックインタフェースを開発することである。具体的には、人間とのインタフェースに球を用いることで、姿勢に関する可動範囲の制限を取り払った機構を提案、開発する。開発した機構は、平面運動に限れば、並進運動に関しても可動範囲の制限をなくすことが可能である。このような可動範囲に制限のないハプティックインタフェースを構築することで、機械システムに対する使いやすいヒューマンインタフェースの可能性を探る。

[研究の内容, 成果]

1. 球状ハプティックインタフェース

提案する球状ハプティックインタフェースは、

インタフェースとして球を用いたハプティックインタフェースである。球をアクチュエータにより駆動することにより、制限なく回転させることができるため、姿勢に関して作業領域の制限がない。また、指先だけでなく、手のひらで転がすこともできるため、従来にない新しい感覚を提示することもできる。さらに、球表面に発生する力を利用することで、並進力を提示することも可能である。また、平面運動に限れば、トラックボールと同様に並進運動に関しても可動範囲の制限をなくすことができる。このように、球を利用することで作業領域に制限のないハプティックインタフェースを実現することができる。なお、これは3自由度を持つ能動的なトラックボールと考えることもできる。プロトタイプモデルの写真を図1に、詳細図を図2に示す。

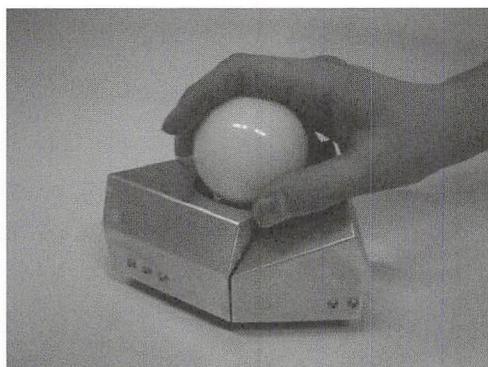


図1 外観

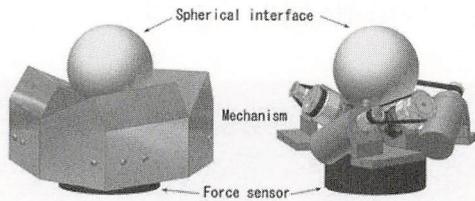


図2 外観詳細

2. プロトタイプモデル

提案する球状ハプティックインタフェースを実現するためには、以下の問題点を解決しなければならない。

- 球の駆動方法
- 球の保持方法
- 小型化の実現

球を駆動する方法の一つとして、球状モータを利用することが考えられる。しかし、超音波モータを利用した球状モータは、トルク制御ができないため、ハプティックインタフェースには不向きと考えられる。また、操作性をあげるため、操作者が直接触れる球の表面部はできるだけ広く取ることが望ましいが、この点でも、球状モータは適していない。

そこで、オムニホイールと DC モータを 3 組用いて駆動することとした。一方、球を保持する方法は、トラックボールのように直径を挟み込んで保持するのが一般的である。しかし、球表面を広く露出させるためには、この方法は向いていない。そこで、球を吸気ロートで吸うことによって、球の保持を実現することとした。これによって、少ない表面積で球を保持することが可能となる。これらの方法は、ハプティックインタフェースの小型化にも大きく貢献した。以下に詳細を示す。

2.1 全体構成

機構部詳細を図 3 に示す。オムニホイール、モータ、プーリ、タイミングベルト、吸気ロート、ルビー球付の柱により構成されている。また、底部には、6 軸の力トルクセンサを配置した。

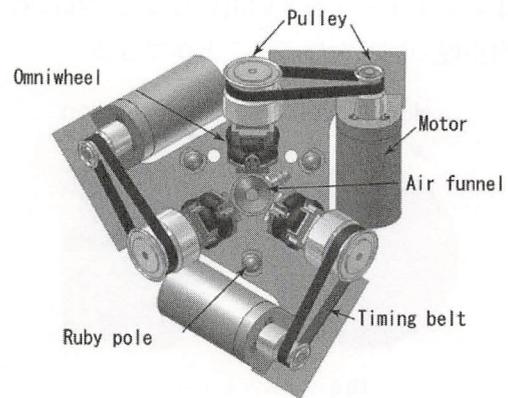


図3 機構部詳細

2.2 球状インタフェースと吸気ロート

操作者が直接操作する球状インタフェースにはビリヤード球を用いることとした。球の直径は $\phi 57.1$ [mm]、重さ 170 [g] である。球はルビー球を載せた 3 本の柱によって支持されている。ルビー球は摩擦係数が低いため、球体の回転を妨げにくく、トラックボール式マウスにも使用されている。

一方、ビリヤード球はルビー球上に乗せてあるだけなので、球体の重さ以上の力で上に持ち上げると操作不能となる。そこで、球を吸気ロートにより下向きに吸うことで、球を保持することとした。吸気ロートの模式図を図 4 に示す。吸気は DC ポンプにより行う。

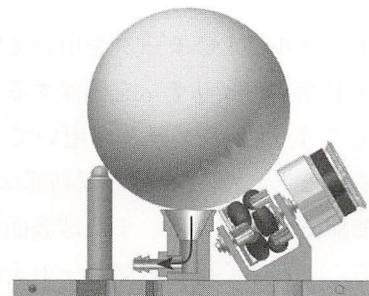


図4 吸気ロート

2.3 駆動機構

球を駆動させるために、オムニホイールを利用する。図 5 に示すようにオムニホイールはホイールの回転方向にのみ力を伝達し、回転方向に対して垂直に働く力には影響を与えない。こ

のオムニホイールを3個用いることで球に対し3自由度の回転を与えることができる。

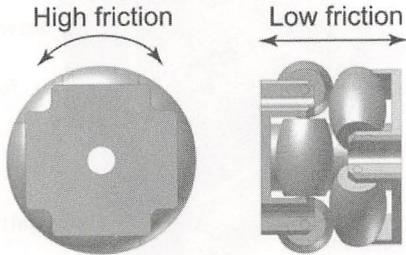


図5 オムニホイール

今回設計したオムニホイールは直径φ20 [mm]、幅14.5 [mm]で、2個の軸受部品とシリコンゴム製の樽形ローラ及びシャフトから構成されている。樽型ローラは左右にそれぞれ4個ずつ、計8個付いており、右輪と左輪は互いに45度ずれている。これにより、8個のローラのうち必ず1個が球状インタフェースに接する構造とした。ただし、厳密に言うと、オムニホイールが接している対象が球のため、常に一つのローラが球に接していることは幾何学的にありえない。しかし、ローラの材質をシリコンゴムとし、柔軟にすることにより、幾何学的に発生するガタを吸収する構成とした。また、このガタを出来るだけ小さく抑えるため、右輪と左輪の間隔を可能なかぎり狭くし、ローラを保持する土台をそれぞれローラの外側に配置している。

オムニホイールはDCモータを用いて駆動する。バックドライブビリティを確保するため、減速機として1:2.2のプーリを用いてベルトで駆動することとした。3個の駆動部は、120度の間隔で配置されている。また球表面を広く露出させることと中心部に吸気ロートを配置できることを考慮して、鉛直軸から30度傾けた位置に駆動部を配置した。

なお、モータ位置については、ハプティックインタフェースを右手で操作することを考慮し、手がカバーの上に載せられるようモータをオムニホイールの左側に配置した。

実際に試作した球状ハプティックインタ

フェースの詳細を図6, 7に示す。

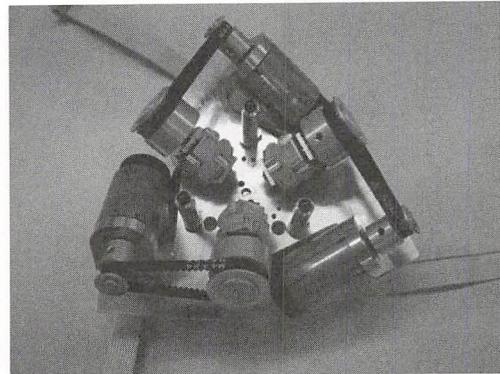


図6 駆動機構部(上面)

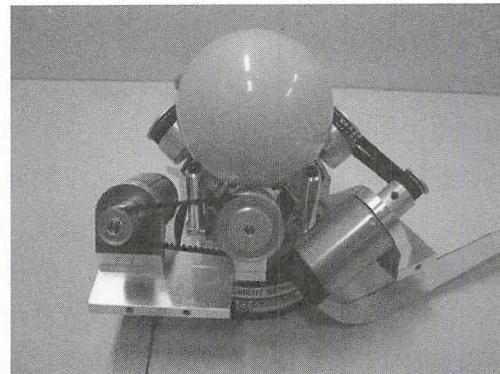


図7 駆動機構部(側面)

3. 制御システム

ハプティックインタフェースの制御システムを図8に示す。DCモータは、Titechドライバにより駆動される。Titechドライバは電子ガバナ回路による速度制御とトルク制御が可能である。Titechドライバへの指令とエンコーダ信号の取り込みにはRitechインタフェースボードを使用した。球の吸引にはDCポンプを使用する。制御用PCは、DOS/V機を用い、OS

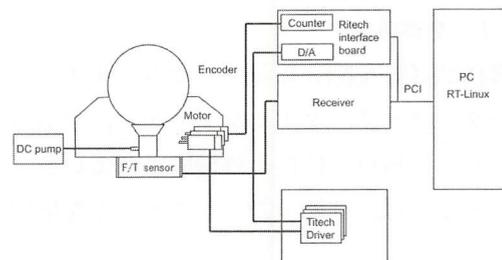


図8 制御システム

にはRT-Linuxを使用する。また、ニッタ製の6軸力・トルクセンサも導入している。このため、回転だけではなく、並進の指令を与えることもできる。また、速度制御型の制御方式でも力制御が実現できる。

4. 動作の検証

実験により、モータに速度指令を与えた場合、球が任意の方向に回転できることを検証した。ただし、回転数が増えるにつれ、誤差が累積され、目標回転方向はずれていく。このような誤差が累積される問題は、本機構では避けられない。しかし、ハプティックインタフェースの場合、球の絶対位置は重要でない場合が多い。すなわち、操作者への力感覚が重要であり、位置誤差の累積はほとんど問題にならない。ただし、誤差の程度を定量的に測定することは、制御方式を確立する上で重要であり、今後の課題である。一方、空気による吸引は、球と吸気ロートの間隙を調整することがむずかしく、効果はあるものの力が弱いことが判明した。また、DCポンプの発生する騒音が問題となった。

5. 結論

本研究により、新しい球状ハプティックインタフェースを開発した。開発したハプティックインタフェースは、インタフェースに球を用い

ることで可動範囲に制限がない機構を実現している。また、オムニホイールを用いた駆動機構や空気の吸引による球の保持機構を導入した。さらに、実験により、球を任意の方向に回転させることが可能なことを検証した。ただし、空気の吸引機構は、今後検討が必要である。

[今後の研究の方向、課題]

今後、本研究により開発した球状ハプティックインタフェースを発展させ、使いやすく、実用的なハプティックインタフェースを開発することを目指す。具体的な今後の課題を以下に示す。

- 球の運動を測定できるセンサを配置し、制御手法の検証を行い、正確に球を駆動する制御手法を確立する。
- トルク制御手法の確立
- 空気の吸引ではなく、磁石を用いた吸引方法の検討

[成果の発表、論文等]

- 1) 妻木勇一, 扇 武史: 球状ハプティックインタフェース, 日本バーチャルリアリティ学会第9回大会論文集, pp. 101-102 (2004)

超高速高精度競合学習ニューラルネットワークによる 画像データマイニング技術の研究

Image Data Mining by Using High Performance Competitive Neural Network

1031013

研究代表者

琉球大学工学部 助教授

長山 格

[研究の目的]

従来のデータマイニングは、顧客情報・売上記録等のテキスト・数字データを対象としたものであった。これに対して、画像データ群を対象とする高速なオブジェクト処理手法および画像データマイニング技術を開発することにより、膨大な画像アーカイブから隠れた規則性を抽出したり、有用な情報の発見・獲得を実現する方法を開発する。画像情報処理分野における新しい試みである本研究を開拓すれば、様々な画像コンテンツの有用性・可能性を拡大することが期待できる。この目的を達成するためには、画像オブジェクトの検出高速化と特徴選択の集約化が必要である。

[研究の内容・成果]

特定のオブジェクトに対応するパターンが、処理対象となる画像中の何処に存在するのかを調べるオブジェクト探索はパターンマッチング問題と呼ばれる。特に、オブジェクトのパターンが画像として表現され、そのパターン画像と処理対象画像の各部分との整合の度合を測ることにより、目的のオブジェクトが存在する位置を求める方法は、テンプレートマッチングと呼ばれ、画像処理におけるパターンマッチングの最も基本的な手法としてよく用いられている。多くの画像処理において画像中のオブジェクト認識は重要課題であるが、特に高精細データは工業用画像や医療用画像に比べてデータ量が極めて膨大であるため、このような高解像度画像中におけるオブジェクト探索を高速かつ正確に行うことができるかが重要となってくる。

データマイニングで多用される知識発見・ルール抽出・分類のための大量データの組合せ処理は、一般に組合せ数の爆発的増大を招くため、現実的な時間での処理は困難である。従って、大量データの分類処理において、最も小さい情報量最大のベクトル要素を自動選択することができれば、総計算量の削減と効率的なデータマイニング処理を実現することができる。このとき、PCワークステーションを多数用いてPCクラスタを構築し、高速かつ効率的な計算処理を行う。

一方、従来のデータマイニングにおいてニューラルネットの有効性が報告されているが、逐次禁止法に基づく場合には学習時間が長く、また、新規パターンに対する追加学習性能が不十分であった。そのため、すでにRCEモデルを発展させた競合学習ネットワークの基本アルゴリズムを提案しており、画像診断・故障推定などへの応用により従来のRCEモデルやLVQ・BP法より優れた高速性と精度・追加学習性を持つことを示している。

図1に、本研究で構築したPCクラスタを示す。その主な仕様は下記の通りである。

- Pentium Xeon 2 CPU 型 2.0 GHz
- 4台を使用した8 CPU ノード構成
- 4台(8 CPU)のうち1つはHostを兼務
- Beowulf 型分散メモリ方式
- MPI ライブラリ実装

上記システムでは並列分散型計算機で多用されるメッセージパッシング方式を採用した。メッセージパッシングとは、プロセッサ間でメッセージを交信しながら並列処理を実現する方式である。PCクラスタのような分散メモリ型の

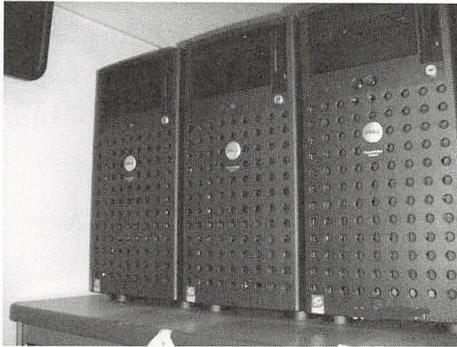


図1 PC クラスタ

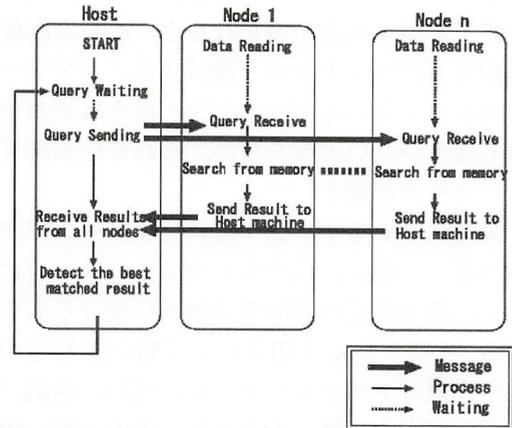


図2 画像の並列探索処理

並列コンピュータシステムでは、各プロセッサ上で動作しているプロセスが各々独立したアドレス空間を持っており、各アドレス空間は分散して配置されたメモリ上に展開される。一方、共有メモリ型の並列システムでは、共有メモリ上に独立したアドレスを持つ複数のプロセス間で互いに通信を行いつつプログラムを実行する。従ってメッセージパッシングは分散メモリシステムにおける一種のプロセス間通信である。

オブジェクトの高速検出処理法について次に述べる。探索対象の画像を大きなブロックで分割すると、テンプレート画像と部分画像の類似した位置が、あるブロックに集中して発生するため、並列処理の際に各ノードでの演算処理負荷が均等にならない。よって、探索基準となる座標を細かく分割し、各ノード間の演算処理が均等になるようにする。探索画像における探索基準の位置は、部分画像の左上隅の座標 (i, j) である。通常はこの座標を移動させ、探索画像とテンプレート画像をマッチングしている。この基準となる左上隅の座標を、それぞれのノードに割り当て各々でマッチングを行っていく、この時の割り当てをサイクリック分割を用いて各ノードに振り分けていく。

図2にオブジェクト探索の並列化処理手順を示す。まず、各ノード毎に探索対象となる画像とテンプレートをメモリに読み込む。読み終わると、各ノード毎に指定された探索基準位置を基に各スレーブノードでマッチング処理を行う。この探索基準の位置座標は、それぞれのスレーブノードがノード番号とプロセス数を用いて求めている。各スレーブでそれぞれの探索が終了

した後、求めた最小残差とその位置座標をマスターノードに送信する。マスターは受信した各々の最小残差を比較し、最も低い残差とその座標を求める。ここで得られた座標を候補座標として次に精密探索を行う。

精密探索は一回目の処理で得られた最小残差の位置を候補として精密探索の範囲を求め、二回目の処理ではその探索範囲内において逐次探索を行い正確な検出位置を求める方法である。マスターは、得られた候補座標を各スレーブに送信し、スレーブは受信した候補座標から精密探索の範囲を求め、その範囲内での逐次探索を行う。この時の逐次探索も同様に、探索基準の座標を分割し各スレーブに割り当てる。各スレーブで精密探索が終了した後、得られた最小残差と位置座標をマスターに送信する。マスターは受信したそれらの残差から、最小の残差とその座標を求める。最終的に求められた座標がオブジェクトの存在する位置となる。

このとき、ファイルアクセスに要する時間を減少させるため、あらかじめ画像をメモリに読み込んでおき、メモリに蓄えた状態でユーザーのクエリーを繰り返し受け付け探索を行う。すなわち、図2のようにプログラムが開始すると、各スレーブで各々の担当画像をメモリに読み込む。それが終了すると、マスターはユーザーからのクエリー入力を待つ。この時のクエリーは、キー画像のファイル名である。クエリーの入力が行われると、それを各スレーブに送信する。スレーブは、マスターからのクエリーを受信し、そのキー画像とメモリに読みこんでいる画像と

のインタレースマッチングを行う。マッチングが終了し最小残差が得られると、それを画像の名前と共にマスターへと送信する。マスターは、各スレーブから送信されてきた最小残差の中で、最も残差が低い画像を求め、それを検索結果としてユーザに返す。

画像に対するデータマイニングについて次に述べる。一般に、様々なデザインパターンに対して、我々が受ける印象は個々に異なるものになる。「華やか」、「明るい」、「暗い」などの印象や作風はデザインパターン、色彩、色調、文様の幾何学的特徴、大きさなど画像の持つ物理的特徴に原因があるとされる。しかし、このような形容詞や作風で表現される情報の感性的側面はデータ科学の立場から明確にされておらず、一般的に好まれる色や柄及び、印象の相互関係なども明確ではない。そこで、本研究では、様々なデザインパターンの絵画画像を用い、その物理的特徴と人間が受ける感性的印象を比較し、それらの因果性を元に分類を行う方法を検討した。すなわち、4名の画家による作品画像を対象として、作品の作風の差異に基づく自動分類を試みる。図3に対象とした画像の例を示す。まず、4名の画家による作品画像において、それらの持つ物理的特徴とくに色彩特徴と幾何学的特徴の一部を抽出し、クラスタ化に基づく分類を行う。

まず、抽出された特徴量を測定変数とし、主成分分析を行う。すなわち、変数間に相関関係

があるとき、測定変数が共有する主要な情報を、いくつかの合成変数（主成分）として集約するものである。つまり、多くの変数をできるだけ情報の損失なしに、1個または互いに独立な少数個の総合的指標として集約する。

$$g_{ik} = w_{1k}z_{i1} + w_{2k}z_{i2} + \Lambda + w_{jk}z_{ij} + \Lambda + w_{mk}z_{im} = \sum_{j=1}^m w_{jk}z_{ij}$$

ここで、 $z_{ij}(i=1,2,\Lambda, l; j=1,2,\Lambda, m)$ は画像 i における標準得点 (l は画像データの数, m は測定変数の数), $z_{ij}(j=1,2,\Lambda, m; k=1,2,\Lambda, n)$ は第 k 主成分の測定変数 j に対する重みであり、合成変数は z_{ij} と w_{jk} の積和となる。また、主成分の分散を寄与といい、測定変数から集約された情報量とみなす。測定変数全体の分散に対する主成分の分散を寄与率、さらに寄与率を第1主成分から順に加算した値を累積寄与率という。本研究では、絵画画像から受ける印象が表わしている作風の概念を、いくつかの潜在的な概念の線形和で成り立っているものと仮定する。その潜在的な概念を抽出する手法として主成分分析を用いる。画像特徴量抽出によって得られたデータを測定変数として主成分分析を行う。これにより、画像から受ける心理的印象を探り、得られる主成分と画像特徴量の相関関係を測定し、その関連を推測する。

与えられた画像データを精密スキャンし、各画素値の持つ色彩特徴に注目する。R, G, B

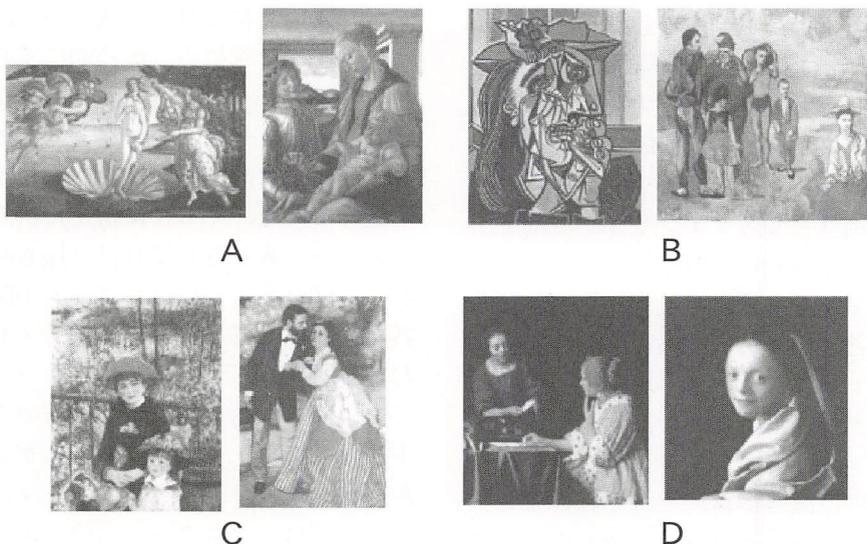


図3 4種類の作風

それぞれの尺度について 256 階調を有するピクセルの個数を階調ごとに積算すると、ピクセル数を高さとした 768 次元のヒストグラムが得られる。色による分析の場合は 768 次元をそのまま適用すると似通った色でも異なったものとして判断されるため、各尺度を 32 次元に変換し、計 96 次元のヒストグラムを利用する。画像 1 の 96 次元特徴ベクトルヒストグラムを用いた。ここでヒストグラムの縦軸は正規化された RGB 値それぞれの割合 (%), 横軸は次元数を表わすものとした。また、グラフの 0 から 31 次元は R, 32 から 63 次元は G, 64 から 95 次元は B を表わすものとした。

画像群に対し、それぞれ得られた 96 次元の R, G, B 値および輝度分布, 256 階調濃淡画像における濃度差線素分布を測定変量とした主成分分析により情報集約を施す。第 1 主成分および第 2 主成分を軸として、各画像の得点をプロットした散布図が図 4 である。これらは図の楕円のように 4 つのクラスに分けることができる。1, 2, 3, 4 はそれぞれウォード法に基づいてクラスター分布を自動構成した際のグループであり、点記号の種類はそれぞれ異なる画家であることを表す。

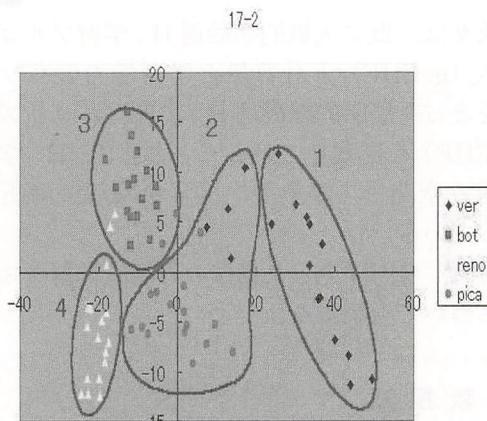


図 4 クラスター分布

この結果から、画家の作風毎の分布が比較的明確に得られていることがわかる。しかし、クラスター化されたグループにおいて誤分類されているデータが複数あるため、クラスタリングアルゴリズムを再検討する必要がある。また、図 4 におけるクラスターに注目すると、分布の近隣関係や分布範囲にいくつか特徴が見られることがわかる。

一方、ここで使用した画像特徴データを用いて競合学習ネットワークによる自動分類を行った結果、作風の認識率は 90.4% となった。このとき、実験対象画像データ 120 枚のうち 40% を学習データとして用い、残りの 60% をテストデータとして使用した。

[今後の研究の方向・課題]

本稿では画像データマイニングを実現するために実施した、1) PC クラスターの構築, 2) 高速画像検出の並列処理, 3) 画像の物理的特徴と人間がそれから受ける印象の因果関係に適用, の 3 点について述べた。その結果、従来確立されていなかった画像データマイニングの有効性・可能性を示した。また、次の課題が残された。すなわち、

- 1) 幾何学的特徴定義の明確化,
- 2) 微妙・微細な物理的特徴の抽出法,
- 3) 知識情報の抽出

である。特に、幾何学的特徴定義の明確化および微妙かつ微細な物理的特徴の抽出法に関して、これまでに試みた方法では明確な手法を見いだすことが出来なかった。また、知識情報の抽出に関して、集約情報からの知識情報抽出を試みた結果、近縁性・類似性の抽出は可能であるが、それ以外については現在のところ成功していない。従って、目下上記 3 点の解決を図っている。

[成果の発表・論文等]

- 1) 電気学会論文誌 C 部門誌 (情報・システム部門) 等に発表予定

H_∞ 学習理論の確立と柔らかな学習システムの開発

Establishment of H_∞ Learning Theory and Development of Smart Learning Systems

1031015

研究代表者

岩手大学工学部情報システム工学科 教授

西山 清

[研究の目的]

H_∞ 学習は、特異な経路を辿って出力誤差曲面のサドルポイントを攻略し速やかに解を探索し、優れた学習特性（ロバスト性、過学習）と解の性質（汎化能力）を実現していることを理論と実験の両面から解析し、その結果を人間と機械が調和した柔らかな学習システムの構築に役立てることを目的とする。

本研究では、特に対話的に学習した文字の筆跡（線図形）を音声から想起し、それをロボットに描かせるシステムを開発する。また、このような入力データや教師データに不確定性を伴う学習システムにおいて H_∞ 学習が有効であることを示す。

[研究の内容, 成果]

1. H_∞ 学習

3層ニューラルネットワークは次のような状態空間モデルで表すことができる。

$$w_{k+1} = w_k \quad (\text{状態方程式})$$

$$y_k = h_k(w_k) + v_k \quad (\text{観測方程式})$$

このとき、外乱 $\{\Sigma_0^{-1/2}(w_0 - \tilde{w}_0), \{v_p\}_{p=0}^k\}$ から出力誤差 $\{e_{f,p}\}_{p=0}^k = \{\tilde{z}_{p|p} - h_p(\tilde{w}_p)\}_{p=0}^k$ までの伝達行列 $T_k(F_f)$ の H_∞ ノルム $\|T_k(F_f)\|_{\infty}$ を最小にする最適 H_∞ 学習は、次の準最適問題の解から間接的に得られる。

[準最適 H_∞ 学習問題] : $\gamma_f > 0$ が与えられたとき、

$$\|T_k(F_f)\|_{\infty}^2 = \sup_{w_0, \{v_p\}} \frac{\sum_{p=0}^k \|e_{f,p}\|_{(\sigma_v^2 I)^{-1}}^2}{\|w_0 - \tilde{w}_0\|_{\Sigma_0^{-1}}^2 + \sum_{p=0}^k \|v_p\|_{(\sigma_v^2 I)^{-1}}^2} \quad (1)$$

に対して、 $\|T_k(F_f)\|_{\infty} < \gamma_f$ を満たす H_∞ 準最適な重みベクトル w を求める。存在条件を考慮しつつ γ_f を出来る限り小さくすれば、H_∞ 学習は

$$J_{\text{HF}} = \|T_k(F_f)\|_{\infty}^2 \quad (2)$$

を最小とする学習となる。

我々は、既に大域的準最適 H_∞ 学習アルゴリズム (g-EHF) と計算量と学習能力のバランスをとった局所的準最適 H_∞ 学習アルゴリズム (l-EHF) を提案している^{1,2)}。さらに、H_∞ 学習の重み空間での挙動や、得られた解の解析も行っている³⁻⁵⁾。

以降、今回開発した動作の対話的学習システムについて説明する。

2. 教授法

簡単な文字や線図形さえ、それを描いた動作（筆跡）を正確に記憶することは難しい。そこで、誰にでも容易にニューラルネットワークを学習できるようにするためには、人間が与える教師データは「不正確」であるということを前提とした「教授法」を考案する必要がある。ここでは、手本付き教授法を提案する（図1）。
手本付き教授法 対話的に学習するための方法として、手本付き教授法を提案する。手本付き教授法は、ネットワークが想起した線図形の正

しいところはなぞり、そうでないところは修正しつつ教示する方法である。手本付き教授法の特徴は、人間とネットワークが「対話的」に学習する点にある。これによって、ネットワークの応答に対して、逐次、適切な入力を対話的に与えることによって効率的な学習ができる。

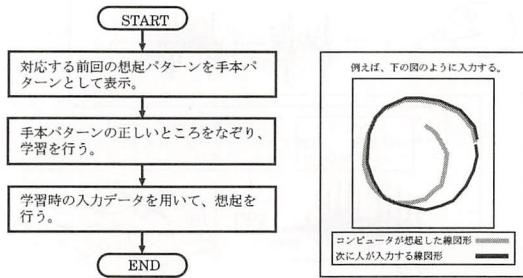


図1 手本付き教授法のフローチャート

3. 動作学習と想起

3.1 ニューラルネットワークの対話的な学習

図2に描画動作の対話的な学習の流れを示す。ここで、ニューラルネットワークとして3層Time-Delayed Neural Network (TDNN)を用いて描画領域にマウスで書き込まれた線図形の学習と想起を行う。描画領域 (X, Y) に書き込まれた線図形の軌跡はサンプリングされ、さらにその直交座標から差分座標に変換される。次に、それらをTDNNの入力データとして次の時点の差分値を予測し、図形全体にそれを繰り返す。描画の際は差分値から直交座標を算出する。これより、並行移動に対して不変な学習が実現できる。

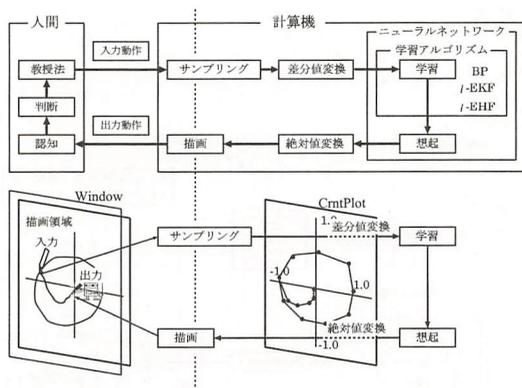
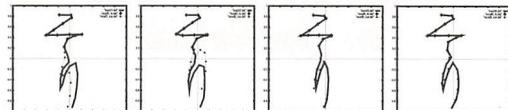


図2 動作の対話的学習

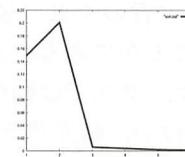
3.2 手本付き教授法による対話的学習

入力層22, 中間層14, 出力層2のTDNNを用いて想起と学習を行うシステムに実際に手本付き教授法を用いて実験を行った。図3はマウスを用いて「そり」の学習の学習過程と学習曲線を示す。学習停止条件は、学習時の入力パターンに対する想起パターンの正規化2乗誤差総和が閾値0.006以下の場合とする。この条件で実際にH_∞学習を行ったところ6回で学習が終了した。図4は学習終了後の想起図形である。「そ」をマウスで入力すると「り」が想起される)

この想起結果と学習過程より学習が正確に行われていることがわかる。



学習1回目 学習2回目 学習5回目 学習6回目



学習曲線

図3 「そり」の学習過程 (22-14-2のネットワーク)

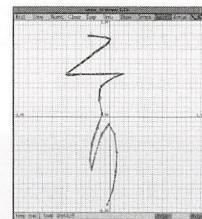


図4 「そり」の学習の想起図形と評価

4. ロボットによる実現

ロボットアームを制御するには3次元の直交座標とその位置に対応した姿勢角が必要となる。しかし、マウスからの入力の場合、直交座標は決定できても、エンドエフェクタの姿勢角は決定できない。しかも、不正な姿勢が入力された場合、ロボットは異常停止してしまう。そこで、ニューラルネットワークに直交座標に対する姿勢角を筆者が直接学習させ、そのネットワーク

からエンドエフェクタの直交座標に対する姿勢角を想起させ、ロボットアームを制御する方法を提案する。図5には姿勢の学習から想起までの流れを示す。

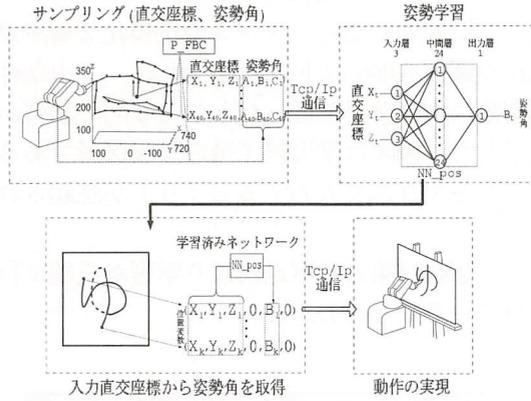


図5 姿勢の学習と想起

以上より、複雑な計算を必要とせず姿勢角を定めることができるだけでなく、筆跡学習において重要な教示者のくせ(姿勢)を学習によって獲得することができる。また、ロボットのコントローラボックスでは動作の時系列データの実行のみを行い、時系列データの生成はLinux上で行っている。また、時系列データはTCP/IP通信で送られているため遠隔からもロボットアームを操作することができる。図6は動作学習によって生成された「ゆ」の時系列データを用いてロボットアームが実際にそれを描いている様子を示す。



図6 ロボットが描いた「ゆ」

5. 音声から動作の連想

5.1 入力音声の処理手順

マイクから入力された音声は図7のように前

処理された後、あるフレーム長と周期で離散フーリエ変換(DFT)し、時間方向に並べたスペクトル $|Y_m|$ の列(声紋)を求め、それをニューラルネットワークへの入力としている。

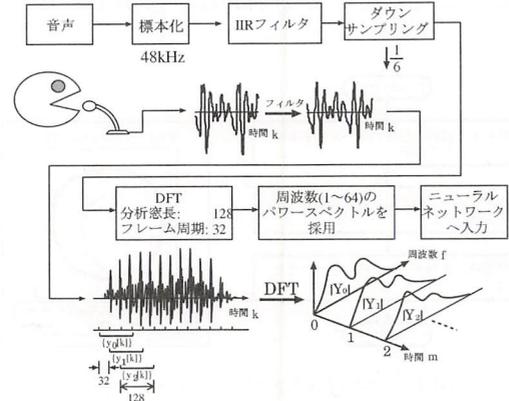


図7 音声信号の前処理

5.2 音声から動作の想起

図8は本研究で開発するシステムの全体図である。このシステムは描画領域にマウスで書き込まれた線図形をsampling()でサンプリングし、それをもとにした入力データを描画用ネットワーク(NN_dr)に入力することによって線図形の軌跡を学習する。次に、音声用ネットワーク(NN_sp)で入力された音声のスペクトル平均と線図形の前半部分との対応関係を学習する。これによって音声から線図形の前半部分を想起し、さらに描画用ネットワークによって後半部分を想起する。このように音声から動作、動作から動作を連続して想起することによって音声から一連の動作を取り出すことができる。

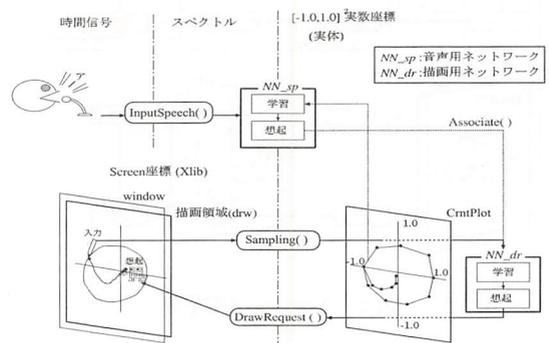


図8 音声からの動作の想起

5.3 音声からのロボットの操作

音声で想起された線図形(筆跡)の時系列データはTCP/IP通信でロボットに送信され、ロボットアームがそれをキャンパスに描く。これによって音声の指示から人間の描画動作を想起し、さらにロボットアームがそれを実際にキャンパスに描く一連の操作が実現できる。

6. 実験による考察

本実験では、今回構築された学習システムを用いて、 H_{∞} 学習(l -EHF)における音声からの動作の連想に関する性能を評価する。また、比較のため H_2 学習(l -EKF)に対しても同様な実験を行った。連想の対象である動作の学習には「○」及び「8」の描画軌跡を用いた。この動作学習の終了後、「○」及び「8」の描画動作の初期12点(線図形の半分)を音声“え”及び“は”にそれぞれ対応付ける学習を行った。ただし、2次元動作の学習には入力層22, 中間層14, 出力層2のネットワークを、音声の学習には入力層64, 中間層14, 出力層24のネットワークをそれぞれ使用した。これらは共にシグモイド関数の傾き α が1.0のTDNNである。また、これらのネットワークは、結合重みが ± 0.3 , 閾値が ± 0.2 の範囲で一様に乱数でそれぞれ初期化されており、共分散行列 P_k の初期対角要素 ε は1.0とし、学習アルゴリズムは l -EKFと l -EHFをそれぞれ実装した。

次に、被験者Aによって予め学習されたニューラルネットワークに対して、他の被験者B, C, Dによって同様な音声連想実験を行っ

表1 l -EKFによる「○」と「8」の連想結果

	B		C		D	
	普通	大	普通	大	普通	大
え	○	○	○	○	○	○
は	8	8	8	8	8	8

表2 l -EHFによる「○」と「8」の連想結果

	B		C		D	
	普通	大	普通	大	普通	大
え	○	○	○	○	○	○
は	8	8	8	8	8	8

た結果をそれぞれ表1と表2に示した。ここで、被験者B~Dには被験者Aと同じ条件で実験が行われた。

[今後の研究の方向, 課題]

本研究では、対話的に線図形(文字)の描画動作を学習し、それをロボットによって実現する方法を提案した。さらに、音声から動作を連想することによって、音声からロボットに任意の線図形を描かせるシステムを開発した。このシステムにおいて、 H_{∞} 学習が音声波形や動作のぶれに対してロバストであることを明らかにした。以上より、柔らかな学習システムの構築において H_{∞} 学習が有効であることを確認した。

今後は、 H_{∞} 学習の潜在能力に関して詳細な検討を進めると共に、その理論解析に決着を付けたいと考えている。また、加速度まで考慮した複雑な動作の学習にも挑戦したいと考えている。

[成果の発表, 論文等]

- 1) 西山 清: 最適フィルタリング, 培風館 (2001)
- 2) K. Nishiyama and K. Suzuki: H_{∞} -Learning of Layered Neural Networks, IEEE Trans. Neural Networks, 12, 6, pp. 1265 - 1277 (2001)
- 3) 西山 清, 落宰公志: 大域的準最適 H_{∞} 学習の解の性質, 第2回情報科学技術フォーラム, Information Technology Letters, LH-004, pp. 153 - 154 (2003)
- 4) 西山 清, 落宰公志, 渡辺充範: H_{∞} 学習の何が新しいか?, 電子情報通信学会技術研究報告, NC 2003-189, pp. 145 - 150 (2004)
- 5) 西山 清: H_2 学習における新たな重み空間方程式の導出, 第3回情報科学技術フォーラム, Information Technology Letters, LH-002, pp. 153 - 154 (2004)
- 6) 西山 清, 野辺地大輔, 山田智明: H_{∞} 学習に基づく動作学習と音声から動作への連想, 電子情報通信学会技術研究報告, MBE 2004-104, pp. 33 - 36 (2005)
- 7) K. Nishiyama and K. Ochisai: Reduction of the Degrees of Freedom for Motion Learning, Proceedings of IEEE International Symposium on Computational Intelligence in Robotics and Automation (2003)
- 8) K. Nishiyama: Effectiveness of the H_{∞} -Learning on Time Series Prediction, Proceedings of International Conference on Computational Intelligence for Modelling, Control and Automation (2004)

看護介護支援を念頭においた人共存ロボット用高機能デバイスの開発

High Performance Robot Sensors for Daily Nursing Elderly People

1031016

研究代表者	立命館大学工学部ロボティクス学科 助教授	野 方 誠
共同研究者	立命館大学工学部ロボティクス学科 教授	平 井 慎 一
	立命館大学工学部ロボティクス学科 院 生	小 川 和 宏
	立命館大学工学部ロボティクス学科 院 生	鍋 田 有 伴

[研究の目的]

ロボットに代表される先端機械技術を人間社会に調和させる為には、表面的なニーズを満たすだけでなく、対象者の内面的な要素・状態の解明と向上を目指した新たな取り組みが必要

である。本研究では医療福祉分野を取り上げ、患者や高齢者を見守り、体の状態を把握し、必要ならばその人の状態や体格に合わせて手助けする支援機器・デバイス(図1)の開発を目的とした。

[研究の内容, 成果]

本研究では、「高フレームレート・イメージセンサモジュールの開発」と、それと他のセンサを融合させた「転倒の事前検出を目標とした身体動作解析システムの構築」を行った。以下、詳細を述べる。

1. 高フレームレート・イメージセンサモジュールの開発

高速性だけに焦点を絞り、秒間300フレーム以上、すなわち現在のビデオフレームの10倍の画像が取得できる「高フレームレート・イメージセンサモジュール」の開発を研究内容に定めた。画像撮像部は、画素32×32ピクセル、最大フレームレートは364フレーム/秒でモノクロ画像を獲得できる既存の高速イメージセンサを採用した。このフレームレートを落とすことなくPCなどの処理系にデータを転送できれ



図1 高機能デバイスを有する共存ロボット

ば、目的の仕様は達成される。

この課題を解決すべくプロトタイプモジュールを製作した。前述の高速イメージセンサから出力されるアナログ画像データはADコンバータに、トリガはCPLDのタイミング制御ブロックに同期をとるため入力される。タイミング制御ブロックからはADコンバータのタイミングトリガを出力し、AD変換の出力安定時間をみてラッチをかけ、変換した8ビット分のデータを保持させる。保持されたデータは基準クロックと位相をずらした画素トリガに同期させながらセレクタによって下位ビットから1ビットずつ出力されている。

試作したイメージセンサモジュール（図2、3）によって1秒間に獲得できた画像データ（図4）は356フレーム分であり、完全な画像は200フレーム前後であった（図5）。データ欠落の原因は、メモリへの転送部に問題があった。

そこで、データ転送インターフェイスをUSB 2.0へと変更した（図6）。撮像実験の結果、動画像において1秒間に獲得できた画像データは

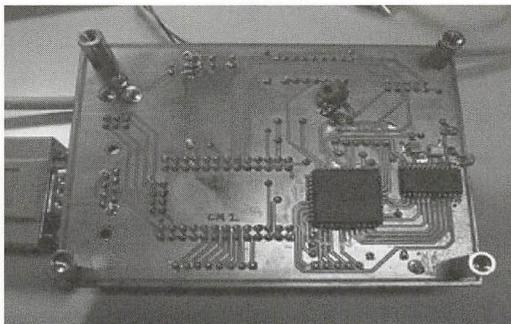
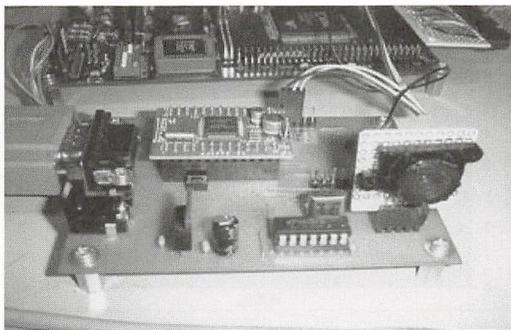


図2 開発したプロトタイプモジュール
高速イメージセンサ、ADコンバータ、CPLD、マイコンにより構成される

364フレーム分であり、ビット欠けは出現しなかった（図7）。以上より、画像撮像部のフレームレートを落とすことなくPCへのデータに成功した。また、試作したモジュールの部品

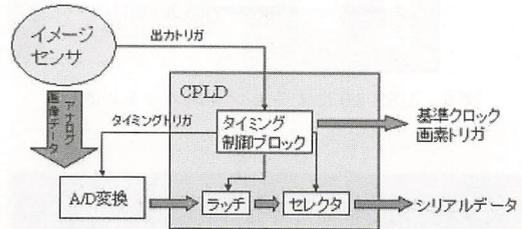


図3 センサモジュールのブロック線図

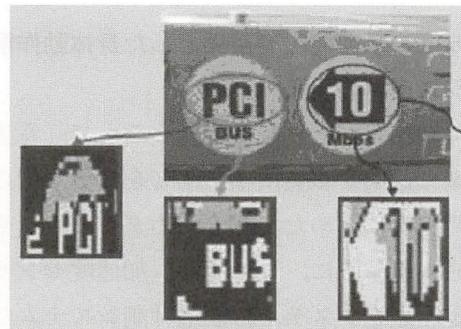
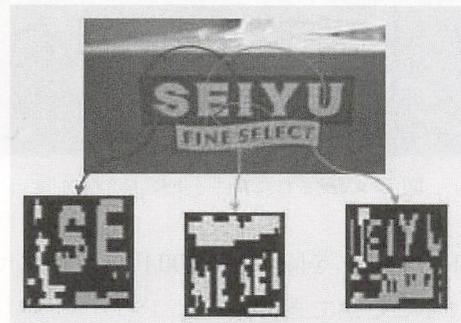


図4 撮像結果（静止画）

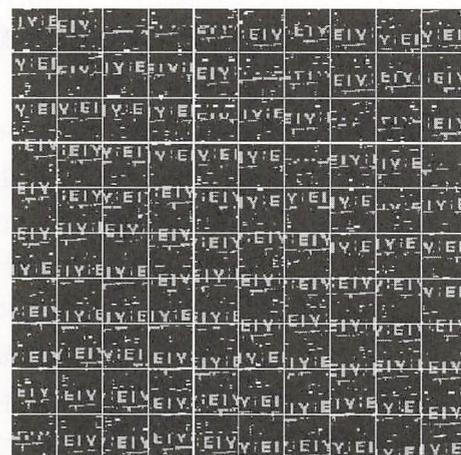


図5 撮像結果（動画）

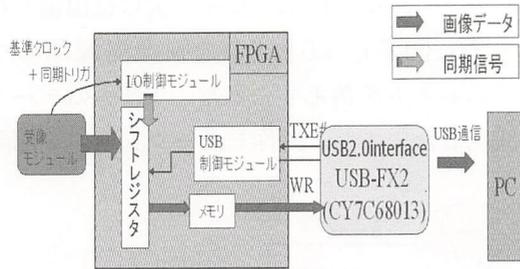


図6 USB 2.0 によるセンサユニットの改良

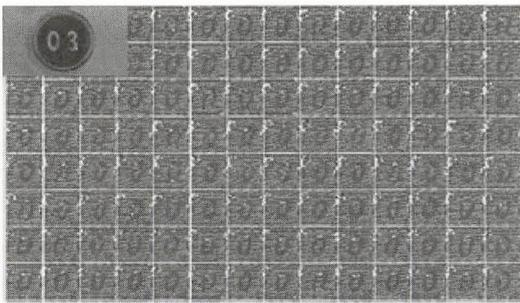


図7 改良されたユニットによる動画

コストはレンズを除いて 5,000 円と安価につくり上げることができた。

2. 転倒の事前検出を目標とした身体動作解析システムの構築

多くの試験とその解析を行うことで、看護介護現場に適用する実用デバイスを構築することを研究内容に定めた。そのためダミー人形や人体（成人男子）に、ジャイロ、加速度センサ、分布足圧測定システム、筋電計測システムなど各種センサを装着して多方面からの計測を行い（図8）、これらを加えた高性能デバイス群により、特に転倒の事前検出を目標とした身体動作解析システムの構築を行った。

数多くの転倒実験を行った結果、特にジャイロセンサから有用なデータが検出された（図9）。具体的には、歩き始め時で角速度が 20 [deg/s] と小さい値に収まっているのに対し、転倒初期段階から角速度が顕著に増加し、転倒時には 230 [deg/s] という本ジャイロセンサの最大計測値を記録した。体幹の角速度が転倒の判断指標になりえるほどの違いが出たかについて、前述の高フレームレート・イメージセンサモ

ジュールなどを使い、主に体の動きに着目して今回の結果を解析した（図10）。人は歩行中も転倒中も足首やつま先周りの回転運動を行っている。この回転運動を上手く打ち消しながら動作している場合は安定状態であり打ち消せていない場合が転倒動作であるといえる。転倒時には、足部の回転動作を上半身で打ち消せておらず、上半身部の角速度は大きな値になっていたことが判明した。

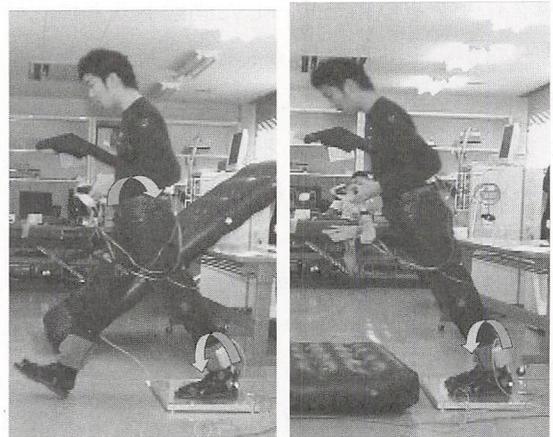
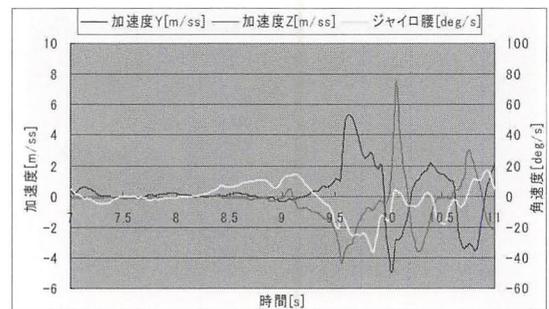
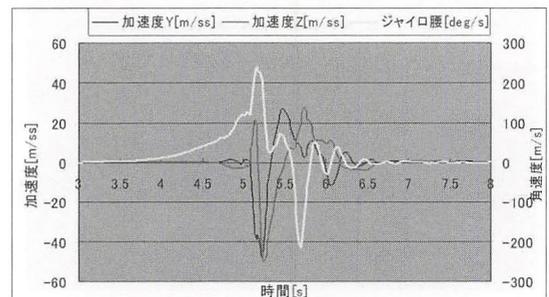


図8 各種センサを装着した動作計測



歩行動作



転倒動作

図9 動作の計測結果（歩行動作，転倒動作）

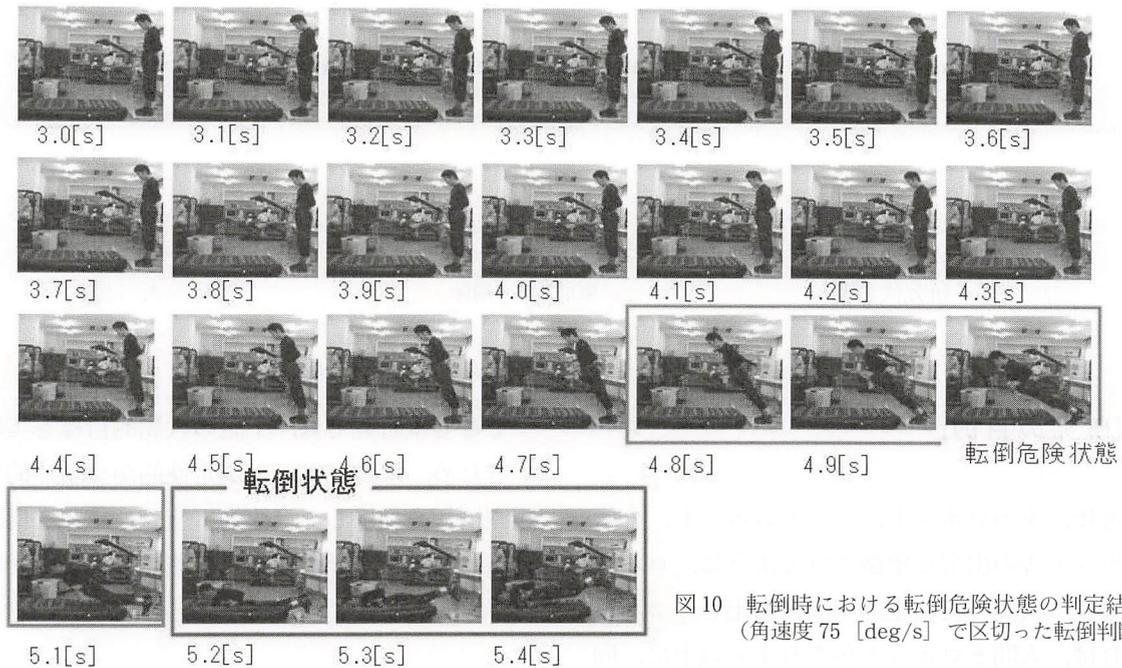


図10 転倒時における転倒危険状態の判定結果
(角速度 75 [deg/s] で区切った転倒判断)

高信頼と高安全が求められる臨床使用を想定すると、転倒開始直前直後の検出や転倒以外の動作による誤判定をしないためには、高フレームレート・イメージセンサモジュールとジャイロによるセンサフュージョンが必要となると考えている。

以上のことから、各速度を検出する能力を有する高フレームレート・イメージセンサモジュール及びジャイロセンサが、特に看護介護支援時で重要となる転倒事故防止を実現する人共存ロボット用高機能デバイスとして有効である事が分かった。

[今後の研究の方向, 課題]

センサモジュールの小型化, 低コスト化と,

多くのフィールドテストの実施による信頼性の向上である。また、転倒を検出するだけでなく、転倒事故の阻止やダメージの軽減を行うロボットデバイスの研究も必要である。引き続き研究を推進していく所存である。

[成果の発表, 論文等]

- 1) 野方 誠, 小川和宏, 河野正洋: 高齢者見守りロボット用高性能センサの開発, ロボティクス・メカトロニクス講演会 '04 予稿集 CD-ROM (2004)
- 2) 野方 誠: 日常生活の質を向上させる「パーソナルロボット」の実現, 大学保有知的財産実用化研究会 (2005)
- 3) 鍋田 有伴: 転倒の事前検出に関する研究, 立命館大学大学院理工学研究科修士論文 (2005)

人間とロボットの協調的環境空間モデル構築に関する研究

Environmental Spatial Model Construction Based on Human-Robot Cooperation

1031019

研究代表者

東京大学 講師

矢入 健久

[研究の目的]

近年、家事ロボット、ペットロボット、介護ロボット等の出現に象徴されるように、ロボットは我々人間の日常生活空間に進出しつつある。これは、人間とロボットがこれまで以上に、同じ物理的空間を共有する機会が増えるということの意味する。その際、物理空間だけでなく、それに付随する空間的情報・知識を両者が共有し合うことが、「安全・安心な」人間とロボットの共存社会を実現するための重要な鍵となる。

実際、人間とロボットが様々な情報を交換し、知識を共有し合うための技術が、ハードウェア・ソフトウェアの両面において近年盛んに研究されている。これに対して、著者らが目標とするのは、ロボットと人間とが空間情報・知識を共有するだけでなく、互いに協調して構築するための技術を確認することである。この目標を実現する上で大きな壁となっているのが、ロボットと人間との空間情報の表現方法、処理方法の違いである。すなわち、人間が定性的かつ断片的な空間情報（例えば、「物体 A は物体 B の右側にある」、「場所 C と場所 D は隣接している」、などの空間情報）を柔軟に処理し、環境全体のモデル（すなわち地図）を頭の中に構成することができるのに対し、現在の知能移動ロボットは定量的で一貫した空間情報を利用することが前提となっており、人間のように定性的で断片的な空間情報を処理する能力を持っていない。

そこで本研究では、上記の大局的目標を実現するため、移動ロボットが定性的かつ断片的な観測情報を利用して自律的に空間モデルを構築するための新しい地図作成手法を提案・開発した。

[研究の内容・成果]

本研究では、定性的かつ断片的な空間情報を用いて、以下の2つの異なる表現レベルに基づく環境地図作成法を開発した。

1. 同時可視性に基づく物体配置地図作成法
2. 可視物体リストに基づくトポロジカル地図作成法

これらの手法では、いずれも、ロボットは環境内を探索移動し、様々な地点で取得した全方位画像から認識された物体のリストを観測情報として利用する（図1）。以下の節では、これら2つの手法の詳細を説明する。

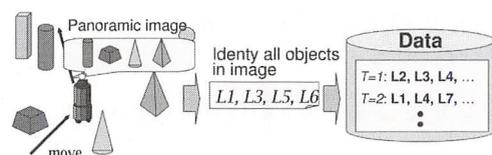


図1 可視物体リストの取得と蓄積

1. 同時可視性に基づく物体配置地図作成法

物体配置地図 (landmark-based map) は、その名の通り環境内に存在する物体が「どこにあるか」という情報を表現する地図であり、移

動ロボットが人間や他ロボットと環境に関する情報を交換したり知識を共有する上で最も基本となる環境表現である。

本提案手法の概略は次のように記述される(図2参照)。まず、前述の観測物体リストの集合(データ)から、「各物体ペアがどれだけの頻度で同時に観測されたか」という「同時可視頻度」(co-visibility frequency)を求める。そして、「同時に見える頻度の高い2物体ほど互いに近くに存在する可能性が高い」という「時間的-空間的接近性等価」のヒューリスティクスを利用し、「経験的距離関数」(empirical distance function)と名付けられた非負単調減少関数によって、各物体ペア間の空間的距離を推定する。最後に、多変量解析手法の一つである多次元尺度構成法(multidimensional scaling: MDS)を適用することによって各物体の位置座標を求める。

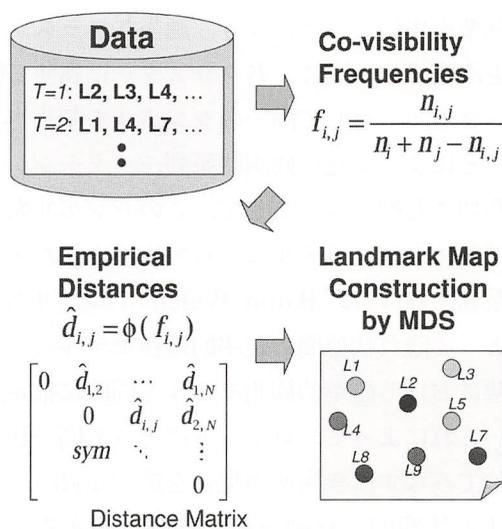


図2 同時可視性に基づく物体配置地図作成法

本提案手法は、従来の物体配置地図作成法と比較して、以下のような特徴を持つ。

- 物体の同時可視性という極めて単純な定性的観測情報しか用いないにもかかわらず、物体の定性的な相対位置関係を非常に正確に再現する点
- デッドレコニングやGPSなどの自己位

置推定機構を全く必要としない点

シミュレーション実験に基づく本手法の検証結果の一部を紹介する。この実験では、30個の物体が存在する環境を想定した。図3の(a)は真の物体配置図を示したものである。一方、(b)(c)(d)はそれぞれ、100、300、600ステップ後に提案手法によって作成された物体配置地図を示したものである。「何と何が同時に見えたか」という極めて断片的な定性的観測情報しか用いていないにもかかわらず、データが増えるに従って非常に精度の高い地図が獲得されていることがわかる。図4のグラフは、ステップ数(データ数)の増加に伴って、作成地図の定

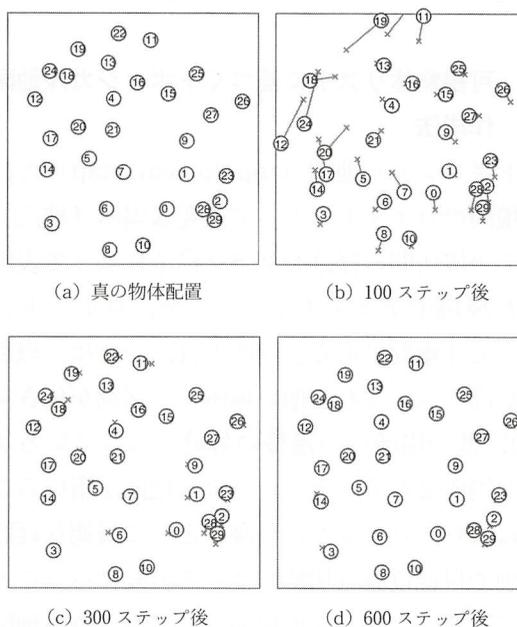


図3 真の物体配置(a)と提案手法による作成地図(b-d)

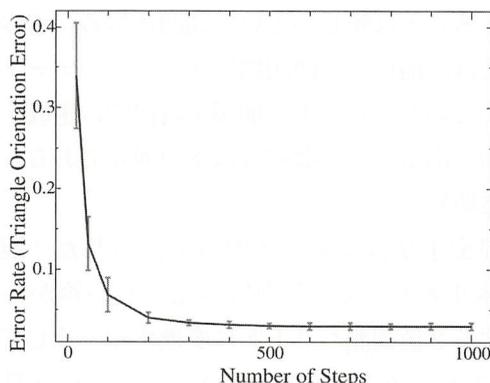


図4 作成地図の定性的エラーの変化

性的誤差がどのように減少していくかを示したものである。ただし、ここで言う定性的誤差とは、環境中の任意の3物体によって形成される三角形の向き（時計回りか、反時計回りか）が真の配置と作成地図とで異なっている割合によって定義されている。なお、この実験では、環境の大きさや物体の数を変えた場合や、ロボットによる物体認識にある程度のエラーが生じる場合、カメラの視野が360度よりも小さい場合など、様々な状況下において本提案手法を検証し、その性能と頑強性の高さを確認した。

また、本研究では、同時可視頻度から物体間推定距離を求める経験距離関数のパラメータを最適化する方法などの拡張法も開発した。

2. 可視物体リストに基づくトポロジカル地図作成法

トポロジカル地図 (topological map) とは、環境内のロボットにとって重要な場所 (地点) とその場所間の経路をグラフ構造によって表現した環境モデルである。ここで、ロボットにとって「重要である」場所とは、一般に、識別性が高く (すなわち他の場所との区別が付き易い)、他の場所への遷移の分岐となっているような場所である。トポロジカル地図を用いることにより、ロボットは自身にとって最適な経路計画や自己位置 (状態) 推定を容易に行うことができる。しかしその反面、トポロジカル地図は、前述の物体配置地図と比べて、ロボット自身の身体性に強く依存するため、人間が事前に与えることは難しいという問題がある。本提案手法は、前述の「観測物体リスト」のデータから、このトポロジカル地図を自律的に生成するものである。その概略は以下の通りである (図5参照)。

提案手法はまず、各地点で得られた「観測物体リスト」を、各物体が見えたか否かを表現する2値観測ベクトルに変換する。そして、そのデータ集合をベルヌーイ分布の混合 (mixture) 分布とみなし、EMアルゴリズム

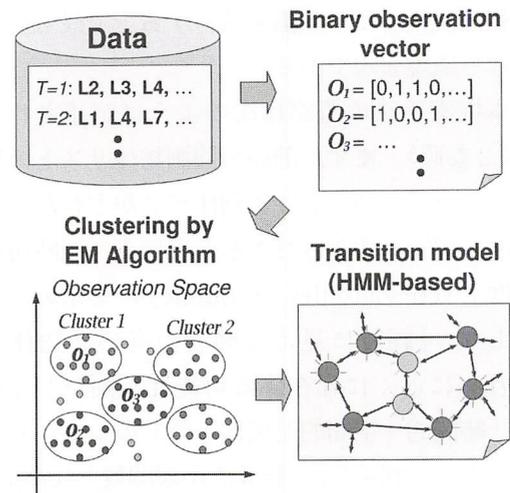
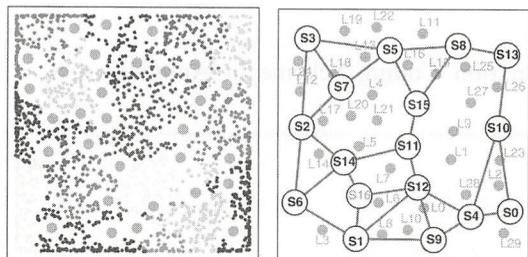


図5 可視物体リストに基づくトポロジカル地図作成法

(Expectation-Maximization algorithm) によるクラスタリングを行う。ここで問題となるのが、全データをいくつかのクラスターに分類するかということであるが、本手法ではBIC (Bayesian Information Criterion) と呼ばれる基準を用いることにより、適当なクラスター数を決定する。次に、各クラスターに属する観測ベクトルに対して同一のシンボルを割り当てることによって元の観測時系列データをシンボル系列に変換する。そして、このシンボル系列を隠れマルコフモデルによって生成されたデータ系列とみなし、Baum-Welch アルゴリズムによって隠れ状態間の確率的遷移モデルと、各状態における確率的観測モデルを同時に推定する。これによって、ロボットにとって同一状態としてみなすべき場所の集合を節 (node)、隣接する状態間の移動を辺 (edge) とするトポロジカル地図が得られる。

図6は、前節で述べたのと同じ実験環境において、提案するトポロジカル地図作成手法を適用して得られた結果を示したものである。左図 (a) は観測物体リストデータをクラスタリングした結果を表しており、右図 (b) は最終的に得られたトポロジカル地図を表している。ネットワーク状の離散的な状態遷移モデルとして環境がモデル化されていることが分かる。



(a) 各地点観測データのクラスターリング (b) 構築されたトポロジカル地図

図6 トポロジカル地図作成の結果例

[今後の研究の方向, 課題]

本研究は今後, 今回提案・開発した2つの定性的空間情報に基づく地図作成法を統合した「多層空間モデル」を構築し, 様々な移動ロボットタスクへの適用を可能にするとともに, この空間モデルを通じて人間との空間情報の交換を行う枠組を構築する予定である。

[成果の発表, 論文等]

- 1) 矢入健久, 堀 浩一: ランドマーク物体の同時可視性に基づく配置地図学習, 第17回人工知能学会全国大会, 2E2-01 (2003)
- 2) Takehisa Yairi and Koichi Hori: Qualitative

Map Building Method for Mobile Robots Based on Co-visibility of Landmark Objects, The 5th IEEE International Symposium on Computational Intelligence in Robotics and Automation (CIRA 2003), FP 2-II-1 (2003)

- 3) Takehisa Yairi and Koichi Hori: Map Building By Mobile Robots With Incomplete and Qualitative Observation, pp.2595-2599, SICE Annual Conference (2003)
- 4) Takehisa Yairi and Koichi Hori: Qualitative Map Learning Based on Co-visibility of Objects, Eighteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-03), pp.183-188 (2003)
- 5) Takehisa Yairi and Koichi Hori: Extension and Evaluation of Covisibility-based Qualitative Map Learning Method for Mobile Robots, The 2nd International conference on Computational Intelligence, Robotics and Autonomous Systems (CIRAS 2003), PS 06-2-05 (2003)
- 6) Takehisa Yairi: Covisibility-based Map Learning Method for Mobile Robots, 8th Pacific Rim International Conference on Artificial Intelligence (PRICAI-04), pp.703-712 (2004)
- 7) Takehisa Yairi, Koichi Hori and Kosuke HIRAMA: Qualitative Map Learning Based on Co-visibility of Objects, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics-Part B, Vol.35, No.4, August, pp.779-800 (2005)

生物における低エネルギー高信頼性情報符号化メカニズムの解明

The Study on Low Energy Reliable Information Coding Scheme in Animals

1031020

研究代表者

北海道大学大学院医学研究科 助手

山野辺 貴 信

[研究の目的]

神経系において主な情報キャリアのひとつはスパイク列である。このスパイク列のどの統計量により情報が運ばれるのかはいまだに決着の付いていない難問である。神経細胞のスパイク発生に影響を与える内在性ノイズには、イオンチャンネルコンダクタンスの確率的变化によるノイズ、膜の受動的インピーダンスと関係する熱ノイズ、イオンが膜をランダムに通過することによって生じるショットノイズおよび $1/f$ ノイズがある。一般に神経系では内在性ノイズが信号に対して比較的大きいためスパイクタイミング列への情報の符号化は不可能である、つまり、神経細胞は高い信頼性（入力と出力が1対1に対応する確率）を持たないと考えられてきた。

シナプスを介した他の神経細胞からの信号伝達は大きく変動するシナプス電流によりなされる。神経細胞への入力電流の変動が大きいとき入力パターンと神経細胞の出力スパイクパターンが1対1に対応するという現象が報告されている (Bryant et al., J. Physiol. 1976, Mainen et al., Science 1995)。言い換えると、神経系においてもデジタル回路と同じようにスパイクパターンに情報が符号化されている可能性が示されている。

しかし、個々の神経細胞において各イオンチャンネルの個数が異なるため、神経細胞ごとに内在性ノイズレベルが異なることが容易に想像

される。したがって、単一神経細胞においてどの程度の内在性ノイズレベルで、またどのような特徴を持つ入力に神経細胞に加わるとき信頼性が高くなるかを調べることは情報キャリアの問題を考える上で重要である。そのためには神経細胞のどの特性がその信頼性を決めるのか詳細に調べることが必要となる。本研究では神経細胞に対する入力、内在性ノイズおよびイオンチャンネル特性が単一神経細胞の信頼性にどう関わるのか理論および実験で明らかにすることを目的とする。

[研究の内容, 成果]

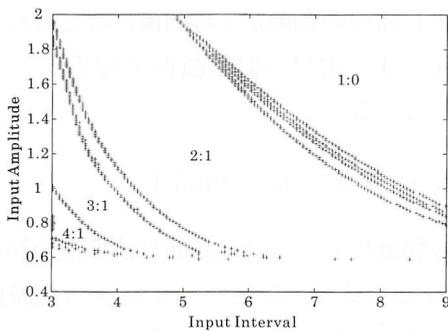
ヤリイカの巨大軸索の電気生理学的実験により得られた Hodgkin-Huxley モデル (HH モデル, Hodgkin & Huxley, 1952) は神経細胞の電氣的興奮現象を再現するモデルとして知られている。また, FitzHugh-Nagumo モデル (FHN モデル) は比較的シンプルな数式で表されるにもかかわらず HH モデルの応答を良く再現する (FitzHugh 1961, Nagumo 1962)。FHN モデルは以下のように記述される。

$$\frac{dV}{dt} = c \left(V - \frac{1}{3} V^3 - w + z \right)$$

$$\frac{dw}{dt} = (V - bw + a) / c$$

ここで、 V は膜電位、 w は膜の不応性、 z は外部刺激電流、 a , b , c は係数を表す。FHN モデルに刺激振幅 A が一定、刺激周期 I が一定で

パルス幅ゼロのパルス列入力（間隔一定パルス列入力）を加え，FHN モデルの応答を調べた。応答パターンは刺激強度 A と刺激間隔 I に依存する。FHN モデルの応答パターンが刺激強度 A ，刺激間隔 I のそれぞれに対しどのように変化するか調べるために 2 パラメータ分岐図を作成した。2 パラメータ分岐図とは横軸に刺激間隔 I ，縦軸に刺激強度 A をとり，これらの作る平面内で応答パターンを類別する図である。図 1 は $z = 0.0$ のときの FHN モデルの 2 パラメータ分岐図である。連続した間隔一定パルス m 個に対して，モデルが n 個の活動電位を発生し，かつ応答の基本周期が mI であるとき，これを $m:n$ 同期応答という。例えば，刺激パルスが 3 回入って 2 回発火し，応答の基本周期が $3I$ ならば，その応答を $3:2$ 同期応答という。



$z = 0$

図 1 FHN モデルの 2 パラメータ分岐図

図 1 にはいくつかの同期応答領域が観察される。我々はこの様な特徴を持つ FHN モデルを用いパルス間隔がガンマ確率密度関数に従って変動する入力（シナプス入力のモデル，以後，確率的パルス列入力と呼ぶ）が加わるときの応答を解析した。ガンマ確率密度関数は以下のような式で表される。

$$i(x) = \frac{\eta}{\Gamma(k)} (\eta x)^{k-1} \exp(-\eta x), \quad \text{if } x > 0$$

$$i(x) = 0, \quad \text{otherwise}$$

この確率密度関数の平均は $E(x) = k/\eta$ ，分散

は $Var(x) = k/\eta^2$ である。パルス間隔がガンマ確率密度関数に従う入力を用いることにより，入力間隔の変動係数（標準偏差/平均）を系統的に変化させることができる。我々は確率的パルス列入力のパラメータ（パルス振幅，平均パルス間隔，入力間隔の変動係数）を系統的に変化させ，神経細胞モデル応答の入力パラメータに対する依存性の分岐図を作成した。同様に，内在性ノイズとして白色ガウスノイズをモデルに加えそのときの各モデルの分岐図も計算し各モデルの応答特性を検討した（[研究成果の発表，論文] を参照）。

次に，FHN モデルのパラメータが $z = 0.35$ の場合を考える。この場合 FHN モデルは自発的に活動電位を発射する状態にある。我々は自発発火する神経細胞の振舞いをよりよく再現するよう非対称性を入れた a-RIC モデルを提案した（Yamanobe et al., 1999）。a-RIC モデルの 2 パラメータ分岐図は FHN モデルとほぼ定性的に等しいので，以後の解析では a-RIC モデルを用いて解析を行う。a-RIC モデルは極座標系を用いて以下のように記述される。

$$\dot{r} = Kr(1-r^2), \quad (r \in R^+, K(\text{定数}) \gg 1)$$

$$\dot{\theta} = l_s, \quad \theta \in S$$

$$l_F, \quad \theta \in F, \quad (\theta \in S^!, l_F \geq l_S)$$

a-RIC モデルをデカルト座標系 (X, Y) で表すとき， X 座標は神経の膜電位に， Y 座標は神経の不応性の状態に関する変数に対応させる（図 2）。 S, F は $S^!$ を分割する 2 つの区間である。 l_S と l_F はそれぞれ， $\theta \in S$ および $\theta \in F$ における状態点の角速度である。よって，a-RIC モデルの角速度は状態点の位置に依存し， S で

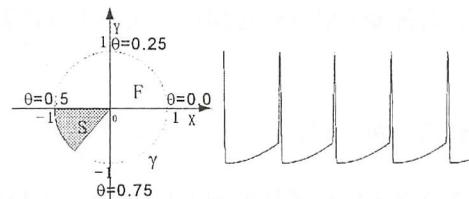


図 2 a-RIC モデルの相平面と膜電位波形

は遅く、 F では速くなる。簡単のため、 K が1より十分に大きい場合のみを考える。

相平面上の任意の状態点 $y(t)$ を考える。これと原点を結ぶ半直線を考え、この直線がリミットサイクル γ_1 と交わる点を $x(t)$ とする。 r 方向と方向のダイナミクスが独立であることに注意する。 $t \rightarrow \infty$ のとき $y(t)$ は原点のまわりを反時計まわりに巻きながらリミットサイクル γ_1 上の点 $x(t)$ に十分すばやく漸近する。

リミットサイクル上の状態点を次に定義する位相を使って表すことができる。

位相 τ : 点 $x_0 = (0, 1)$ をとり、その位相を 0 とする。点 $x \in \gamma_1$ の位相 τ を x_0 から x へ移るのに必要な時間として定義する ($\tau: \gamma_1 \rightarrow S^1$)。

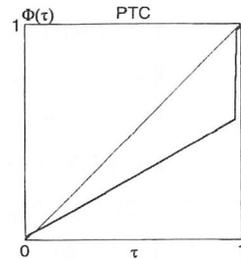
K が1より十分に大きいから何らかの摂動(刺激)によってリミットサイクルから引き離された相平面上の任意の状態点はすばやくリミットサイクル上に復帰する。したがって、ほとんどすべての時間における系の状態はこの位相を用いて記述することができる。また、活動電位の発生を相平面上の状態点がデカルト座標系で X 軸の正の部分に横切ったときと定義する。これによって a-RIC モデルが発する i 番目のインパルスの生起時刻 t_i が定義できる。出力インパルス列で $(i-1)$ 番目と i 番目の間隔を $T_i = t_i - t_{i-1}$ とする。

位相を用い単一パルス入力に対する応答を記述する。 $x \in \gamma_1$ を刺激を受ける直前の状態点、 $x' \in \gamma_1$ を直後の状態点とする。 y を x' を通る径方向の直線とリミットサイクル γ_1 の交点とする。 K が十分大きければ、点 x' から出発した状態点は瞬時に y に近づく。このとき、位相による状態 x の位相を $\tau(x)$ とすると、刺激直前の位相 $\tau(x)$ (旧位相) と直後の位相 $\tau(y)$ (新位相) は写像 $\Phi: S^1 \rightarrow S^1$ を用いて次のように表される。

$$\tau(y) = \Phi(\tau(x))$$

Φ のグラフを位相遷移曲線 PTC (Phase Transition Curve) と呼ぶ (Kawato, 1981)。

正または負の強度 A 、幅 0 の理想的な単一パルス刺激を γ_1 上の状態点に与えると、それは瞬間的に X 軸の方向に大きさ $|A|$ だけ変位する。以下の議論は刺激強度 A の符号に依らないので、 $A < 0$ の場合のみを考える (図3)。



$A = -0.5$

図3 位相遷移曲線の例

周期 I の間隔一定パルス列入力に対する a-RIC の応答を考える。 n 番目の刺激が加わる直前の状態点 $x \in \gamma_1$ の位相を τ_n とする。刺激直後の状態点 $y \in \gamma_1$ の位相は $\Phi(\tau_n)$ で表される。 $(n+1)$ 番目の刺激が I 時間後に与えられるので、 $(n+1)$ 番目の刺激直前の位相 τ_{n+1} は次のようになる。

$$\tau_{n+1} = \Phi(\tau_n) + I, \quad (\text{mod } 1) \quad (1)$$

最初の刺激が加えられる直前の状態点の初期位相を τ_0 とすると、ひきつづくパルス刺激直前の状態点の位相系列 $\{\tau_n\}$ が求まる。

図4はそれぞれのパネルで上が a-RIC の異なる初期値から始まった波形を10個重ねたもの、下の図は入力パルスが加えられたタイミングを示している。矢印より左側では間隔一定パルス列入力、右側では確率的パルス列入力が加えられている。ここで、確率的パルス列の変動係数はで、刺激強度 A および平均入力間隔 I は間隔一定パルス列入力の場合と同じになっている。図4の左上は、間隔一定パルス列入力が入るとき $1:1$ 同期応答が起こる入力パラメータの範囲である。この場合にはどのような初期状態にあるときに a-RIC モデルにパルス列が加えらようと1つの入力パターンに対し1つの出力パターンが対応する。右上の図は、間隔

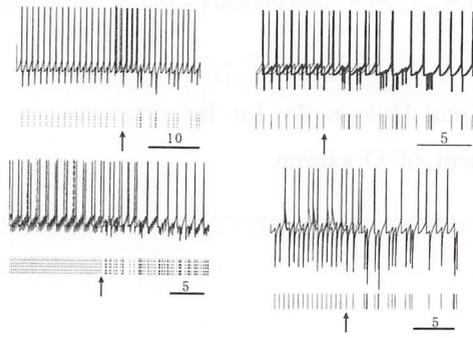


図4 a-RICモデルの間隔一定パルス列入力および確率パルス列入力に対する応答

一定パルス列入力が入るとき2:1同期応答がおこる場合である。2:1同期応答はパルス列が入るときのa-RICモデルの状態により太い線と細い線で描かれているように、1つの入力パターンに対して2つの出力パターンが対応する。しかし、入力パルス列の変動が増加すると入力パターンと出力パターンとの間に1対1の関係が生じるようになる。左下の図では間隔一定パルス列入力に対し準周期応答（周期が無理数となる応答）と呼ばれる応答が起こる。この応答はパルス列が加わるときのa-RICの状態に依存してその後の応答がずれる。この場合においても入力間隔の変動が増加すると1対1の対応関係が生じる。右下の図はモデルの状態に鋭敏に依存した応答が起こるカオス応答領域の場合である。この場合においても他の応答と同様に確率的パルス列入力は1対1の対応関係を引

き出す。我々は、この現象のメカニズムを式(1)で入力間隔 I 、時間に依存して変化する入力間隔 I_n にし調べた（[成果の発表, 論文等]を参照）。さらに、これらの理論的考察を解剖学および生理学的にシンプルな性質を持つヤリイカの神経細胞を用いた実験を検討した。

[今後の研究の方向, 課題]

スパイク生成に必須のイオンチャンネルのみをもち、その形状がシンプルなため精密な空間固定などの実験を行うことができ、純粹に内在性ノイズの影響だけを評価することが出来るヤリイカの神経細胞を用い、神経細胞の信頼性が神経細胞の内在性ノイズレベルとどのような関係にあるのか実験で検証するのが今後の課題である。

[成果の発表, 論文等]

- 1) Takanobu Yamanobe and K. Pakdaman: Synchronization in stochastically forced oscillatory system, (in preparation for submission to Phys. Rev. Lett.)
- 2) 山野辺貴信: 単一神経細胞の応答と発火頻度コーディングの関係, 日本生物物理学会, 第41回日本生物物理学会年会(2003年, 9月23日~25日, B 870)

並列デジタルホログラムによる生体3次元瞬時顕微鏡に関する研究

Study on the Microscope Based on Parallel Digital Holography for Instantaneous Three-Dimensional Measurement of Organism

1041001

研究代表者	京都工芸繊維大学工学部 助教授	栗 辻 安 浩
共同研究者	京都工芸繊維大学工学部 教 授	久保田 敏 弘

[研究の目的]

近年高度に発達した電子制御機械工学技術と生物学技術を融合させることにより、従来法では困難であった高速に動く生体の無侵襲かつ3次元計測を実現することを目指して、本研究では、並列デジタルホログラムを実現するシステムを試作・評価する。

生体計測には画像として情報を得ることが重要である。古くは光学顕微鏡から将来は光CTなどが有望な無侵襲画像計測技術である。これらの方法では3次元情報の計測には走査過程が必要で、高速に動く生体の計測は不可能である。一方、3次元情報の記録・計測技術としてホログラフィがある。従来のホログラフィは高解像力写真乾板に3次元情報を記録し、それを現像・再生する過程が必要で長時間を要した。高速計算機、大容量記憶装置、高解像・高画素数CCD素子等をホログラフィに導入して、これらの過程を省略できて高速計測ができるデジタルホログラフィが考案された。

デジタルホログラフィでは、撮像素子で干渉縞を取得し計算機で3次元物体の位相と振幅を任意の奥行きで得ることができる。デジタルホログラフィでは、高い信号対雑音比を得るために記録時に必要な参照光の位相を4段階に変化させて干渉縞を得る位相シフト法が用いられる。

ただしこの方法では、逐次的に位相を変化させるために瞬時計測が不可能であった。そこで本研究では、我々が考案した並列位相シフト方法をデジタルホログラフィに応用し、生体の3次元瞬時計測が可能なデジタルホログラム顕微鏡システムの有効性を実験で確認する。

[研究の内容、成果]

従来の並列位相シフトデジタルホログラフィの記録光学系の構成を図1に示す。

この光学系では、レーザーからの光を2つに分けて、一方で被写体を照明する。物体からのレーザー光の散乱光を物体光と呼ぶ。他方の光は参照光と呼び、撮像素子上で物体光と干渉する。参照光の光路に図2に示すように位相が0, $-\pi$, $-\pi/2$, $-3\pi/2$ と4段階異なるように 2×2 区分を1単位としてこの単位を2次元ア

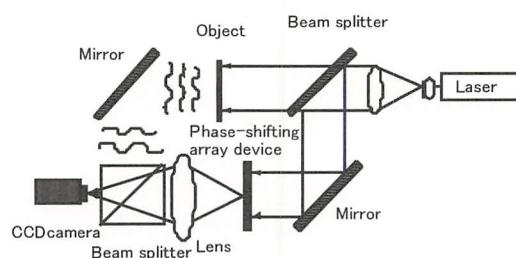


図1 従来の並列位相シフトデジタルホログラフィの記録光学系

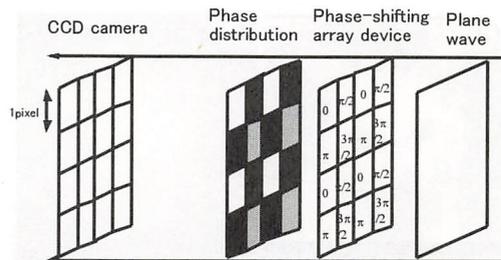


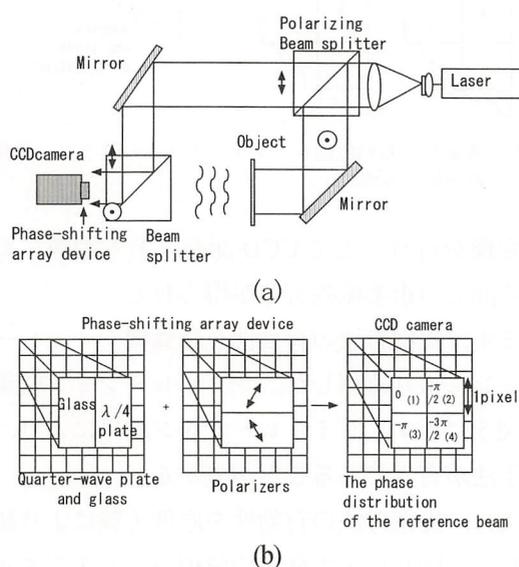
図2 並列位相シフトデジタルホログラフィにおける参照光の位相シフト配置

レイ状に配置された位相シフトアレイデバイスが配置され、撮像素子の各画素に対応して結像される。

この従来の並列位相シフトデジタルホログラフィの記録光学系において参照光は空間的に位相を変化させる位相シフトアレイデバイスを透過し、レンズによって撮像素子に結像させるため位相シフトアレイデバイスと撮像素子の位置合わせが必要になり光学系が複雑になるといった問題があった。そこで、偏光を利用し、位相シフトアレイデバイスと撮像素子を集積したデバイスを用いた記録光学系を考案した。

図3に考案した並列位相シフトデジタルホログラフィの構成図を示す。レーザーからの光は、偏光ビームスプリッター (PBS) によって2つの偏光に分けられる。ビームスプリッターで重ね合わせた2つの光は位相シフトアレイデバイスを通ることで干渉し、4段階 (0, $-\pi/2$, $-\pi$, $-3\pi/2$) の位相の異なる参照光で記録したホログラムが得られる。位相シフトアレイデバイスは図3 (b) のように1/4波長板、1/4波長板の高速軸と同じ屈折率をもったガラス、直交した偏光軸を持った偏光板からなり、CCDと一体化されている。各素子は図3 (b) に示すように CCD の画素と同じように配置され、各素子の1区分の大きさも CCD の1画素の大きさに等しい。偏光板の偏光軸の方向は、入射する2つの光の偏光方向に対し、それぞれ 45° となるように配置され、1/4波長板の高速軸と低速軸がそれぞれ物体光と参照光の偏光方向と一致するように配置される。偏光板はガラ

スを通った物体光と参照光の偏光方向を一致させるために用いる。この結果図3 (b) 中の (1) に到着した参照光と物体光の位相差は 0 rad となる。同様に (2), (3), (4) の場合、参照光と物体光の位相差はそれぞれ $-\pi$, $-\pi/2$, $-3\pi/2$ となる。このようにして位相シフトアレイデバイスを用いて参照光の位相を空間的に物体光の位相を基準として4段階にシフトさせて干渉縞を記録する。



(a) 記録光学系
(b) 撮像素子前面に設置する位相シフトアレイデバイスの構成
図3 考案した並列位相シフトデジタルホログラフィ

並列準位相シフトデジタルホログラフィの像再生の処理手順を図4に示す。記録したホログラムに対して、同じ位相を持った参照光で記録された画素を計算機内でそれぞれ抜き出して4枚のホログラム $I(0)$, $I(-\pi/2)$, $I(-\pi)$, $I(-3\pi/2)$ を得る。この4枚のホログラムを用いて式 (1) で与えられる位相シフト法の計算を行い物体の複素振幅を求める。ただし U_R^* は参照光の複素振幅分布の複素共役である。

$$U(x, y) = \frac{\{I(0) - I(-\pi)\} + i\{I(-\pi/2) - I(-3\pi/2)\}}{4U_R^*} \quad (1)$$

得られた CCD 上の複素振幅に対して、フレネ

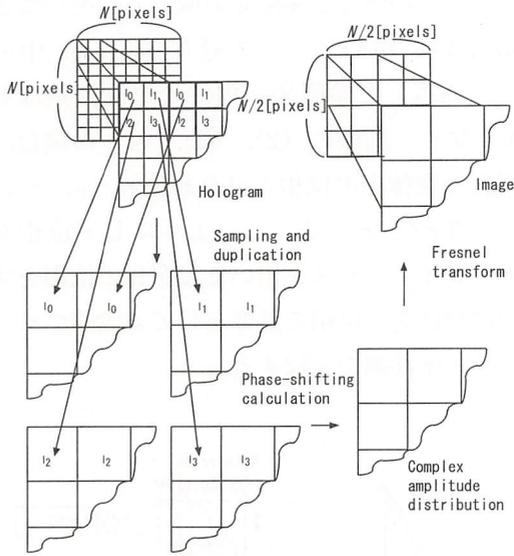


図4 考案した並列位相シフトデジタルホログラフィの像再生処理の流れ

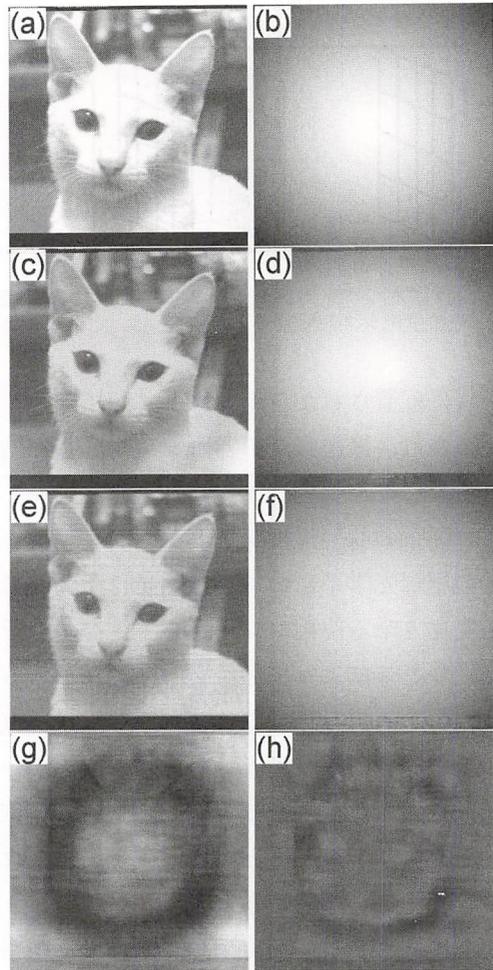
ル変換を行うことで CCD 面からある距離における面での複素振幅分布が得られる。

まず、提案方法の有効性を計算機シミュレーションにより確認した。シミュレーション結果を図5に示す。シミュレーション結果により、本手法が有効であることが分かる。

次に、提案方法の有効性を原理実験により確認した。図6に示す従来の位相シフトデジタルホログラフィのシステムを構成した。波長板と偏光板を用いて、物体光と参照光の位相差と偏光状態を考慮した4枚の干渉縞を記録した。提案方法を等価的に実現するための偏光状態の制御は、レーザーの直後の偏光板を回転させて、透過光の偏光方向を制御した。光源として発振波長633nmのHe-Neレーザーを用いた。各干渉縞から位相シフトアレイデバイスを用いた時に記録できる干渉縞を等価的に作成した。

被写体をミジンコとしたときの再生像を図7(a)に示す。比較として通常の位相シフト法による再生像を図7(b)、1枚の干渉縞から単純にフレネル変換のみによって求めた再生像を図7(c)に示す。この結果、フレネル変換による再生像よりも鮮明な像が得られる事がわかり、提案法の有効性が確認できた。

提案位相シフトアレイデバイスと撮像素子を



- (a) 入力画像の振幅分布
- (b) 入力画像の位相分布
- (c) 従来の位相シフトデジタルホログラフィによる再生像の振幅分布
- (d) 従来の位相シフトデジタルホログラフィによる再生像の位相分布
- (e) 案並列位相シフトデジタルホログラフィによる再生像の振幅分布
- (f) 提案並列位相シフトデジタルホログラフィによる再生像の位相分布
- (g) フレネル変換のみにより再生するデジタルホログラフィによる再生像の振幅分布
- (h) フレネル変換のみにより再生するデジタルホログラフィによる再生像の位相分布

図5 計算機シミュレーション実験結果

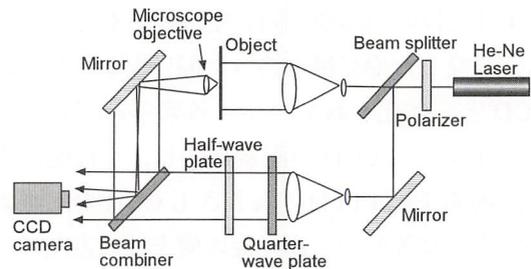
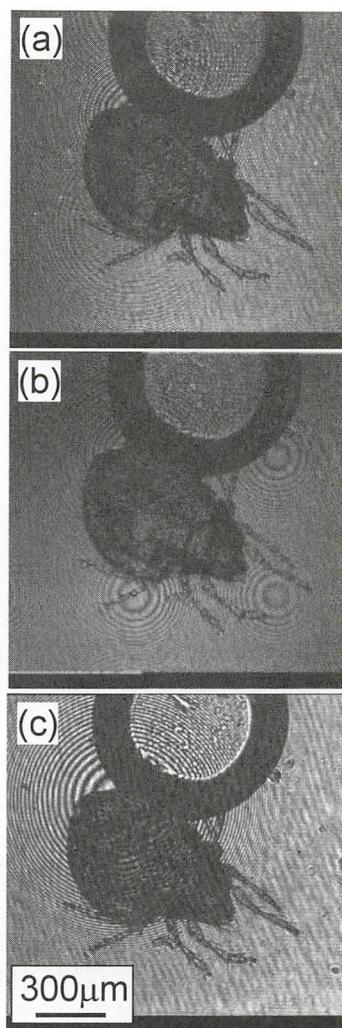


図6 原理確認実験光学系

集積したデバイスを用いることで従来の並列位相シフトデジタルホログラフィの光学系におい



(a) 提案並列位相シフトデジタルホログラフィによる再生像
 (b) 従来の位相シフトデジタルホログラフィによる再生像
 (c) フレネル変換のみにより再生するデジタルホログラフィによる再生像

図7 原理確認実験結果

て必須であった位相シフトアレイデバイスと画素との高精度な位置合わせが不要になる。さらに、位相シフトアレイデバイスと画素を結像系が不要になるために、実用的な生体3次元瞬時デジタルホログラフィック顕微鏡の実現に向けて大きな進展である。

[今後の研究の方向, 課題]

位相シフトアレイと撮像素子とを集積したデ

バイスの開発が課題である。また、本報告では、倍率4の対物レンズを用いて数百 μm の大きさの微生物に対して並列位相シフトデジタルホログラフィック顕微鏡の有効性を原理確認実験で示すことができた。本顕微鏡が医学、生理学、生物学において貢献できることを示すことが今後の研究の方向である。そのために、まずヒト赤血球の瞬時3次元イメージングなどを行うことで、本顕微鏡が医療応用に有効であることを示す。この場合、倍率50~100の対物レンズが必要であり、視野も狭くなるために光量が低下し、CCDに明瞭な干渉縞を記録することの可能性、また適切な露光時間を実験的に明らかにすることが今後の重要な課題である。

[成果の発表, 論文等]

- 1) 藤井 淳, 粟辻安浩, 久保田敏弘: 並列準3段階位相シフトデジタルホログラフィ, Optics Japan 2004 講演予稿集, pp.392-393 (2004)
- 2) 藤井 淳, 笹田正樹, 粟辻安浩, 久保田敏弘: 位相シフトアレイデバイス——撮像素子集積型デバイスを用いる並列準位相シフトデジタルホログラフィ, Optics Japan 2004 講演予稿集, pp.584-585 (2004)
- 3) Y. Awatsuji, A. Fujii, T. Onchi, T. Kubota and O. Matoba: Parallel three-step-phase-shifting digital holography, The first OSA Topical meeting on Information Photonics, JWB4, Charlotte, NC, U. S. A., June, 2005.
- 4) 藤井 淳, 粟辻安浩, 久保田敏弘, 的場 修: 並列準3段階位相シフトデジタルホログラフィとその原理確認実験, 3次元画像コンファレンス2005 講演論文集, pp.65-68 (2005)

[謝 辞]

本研究の推進には、貴重な第15回立石科学技術振興財団研究助成金を利用させて頂きました。(財)立石科学技術振興財団様に心から感謝申し上げます。

制御系と身体系の有機的調和設計：

多脚歩行ロボットを用いた事例研究

Well-balanced Coupling between Control and Mechanical Systems

— A Robotic Case Study —

1041002

研究代表者	名古屋大学大学院工学研究科 助教授	石 黒 章 夫
共同研究者	東北大学大学院理学研究科 教授	川 勝 年 洋

【研究の目的】

ロボティクスでは、伝統的に「まず身体系を作ってからその制御方策を考えて実装する」とでも呼ぶべき原理に基づいてロボットの設計が行われてきた。しかしながら、近年、ロボットの知能は、制御系単体から創り出されるものではなく、制御系と身体系、そして環境の三者間の相互作用を通して発現（創発）する、ということが広く認知されつつある。このことは、ロボットを設計する際には、その初動段階から与えられた身体系の特性を積極的に活用するような制御方策を検討するのみならず、制御方策の潜在能力を引き出すように身体系の特性をも併せて改変することの重要性を示唆している。これは換言すれば、ロボットの制御系と身体系の設計は分離独立して行うことができない、ということになる。

したがって、身体系と制御系の間には、「適切なミーティングポイント」とでも呼ぶべき組み合わせがあるはずであり、このような両システムの有機的連関性を考慮することによって、実時間適応性といった極めて興味深い現象が創発することも期待される。しかしながら、制御系と身体系の「あるべき関係」について深い説明を与える研究は、依然として皆無に等しいのが現状である。

そこで、本研究では、制御系と身体系の有機的調和を解析的ならびに、構成論的に考察することを目的とする。具体的には、複数の体節から構成される多脚歩行ロボットの自律分散的歩容制御問題を取り上げる。そして、任意の脚間初期位相差からエネルギー消費を最小とするよう

な適切な歩容への収束性が、「体節間の情報のやりとり（神経回路の張り巡らせ方）」と「体節間の力学的干渉（背骨の剛性）」の両者の結合によって規定されることを示す。

【研究の内容、成果】

1 問題設定

本研究では、多脚歩行ロボットの自律分散的歩容制御問題を取り上げる。図1に、本研究で用いる多脚歩行ロボットの構造を示す。同図に示すように、このロボットは複数の体節から構成されており、それぞれの体節の左右には脚が取り付けられている。ここで本研究では簡単化のため、各体節の左右の脚は同位相で動くものとし、支持脚・遊脚の期間ならびにその軌道は、設計者によって事前に与えられているものとする。したがって、本問題における制御変数は、各体節の脚運動位相（以降、 i 番目の体節の脚運動位相を θ_i と表記する）のみである。本問題においてロボットに与えられたタスクとは、

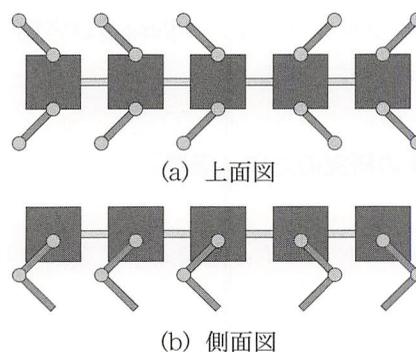


図1 多脚歩行ロボットの模式図

各体節が自脚の位相 θ_i をそれぞれ自律的に調節することによって、最終的に全消費エネルギーを最小とするような歩容へとできるだけ迅速に整定させることである。

2 歩容の収束性に関する考察

本節では、上記問題設定の下で、適切な歩容への迅速な収束が、制御系と身体系ダイナミクスの両者を工夫することによって実現されることを数理的に明らかにする。

いま、体節の個数を n とすると、ロボットの単位時間当たりの全消費エネルギー P は、以下のように各体節の位相の関数として表現できる：

$$P=P(\theta) \quad (1)$$

$$\theta=(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n)^T \quad (2)$$

ここで簡単化のため、制御方策として勾配法を用いることにすると、各体節の位相修正量は、以下のように表記できる：

$$\Delta\theta^{(k)}=-\eta \frac{\partial P(\theta)}{\partial \theta} \Big|_{\theta^{(k)}} \quad (3)$$

上式において、 $\Delta\theta^{(k)}$ は、時間ステップ k における位相修正量を表している。 η は、自脚の位相修正において、他脚の情報をどれだけ取り込むか（換言すれば、体節間の情報のやりとり）を規定する $n \times n$ の行列である。(3) 式に基づく、時間ステップ $k+1$ における位相 $\theta^{(k+1)}$ は、以下のように表される：

$$\theta^{(k+1)}=\theta^{(k)}+\Delta\theta^{(k)}=\theta^{(k)}-\eta \frac{\partial P(\theta)}{\partial \theta} \Big|_{\theta^{(k)}} \quad (4)$$

後の議論を容易にするため、(4) 式の右辺をさらに変形することを試みる。いま、最終的に収束した位相を $\theta^{(\infty)}$ とし、この位相周辺で $P(\theta)$ に多変数 Taylor 展開を施すと、 $P(\theta)$ の θ に関する偏微分は以下ようになる：

$$\frac{\partial P(\theta)}{\partial \theta} \simeq C(\theta-\theta^{(\infty)}) \quad (5)$$

$$C=\frac{\partial^2 P(\theta)}{\partial \theta \partial \theta} \Big|_{\theta^{(\infty)}} \quad (6)$$

ここで、行列 C は Hesse 行列である。したがって、(4) 式と (5) 式から、次式が導出される：

$$\theta^{(k+1)}=\theta^{(k)}-\eta C(\theta^{(k)}-\theta^{(\infty)}) \quad (7)$$

上式において、 $\theta^{(k)}-\theta^{(\infty)}$ を残差ベクトル

$e^{(k)}$ と表記すると、(7) 式は最終的に以下のように表記される：

$$e^{(k+1)}=Ae^{(k)} \quad (8)$$

$$A=I-\eta C \quad (9)$$

ただし、 I は $n \times n$ の単位行列である。

3 行列 η と行列 C の物理的意味

上記で導出した (8) 式中の A は、歩容の収束性のダイナミクスを規定する行列である。したがって、この式から歩容の迅速な収束を実現するためには、 A のスペクトル半径が 1 未満となればよいことがわかる。ここで着目すべきことは、(9) 式に示されているように、 A が η と C から構成されていることである。前述のように、 η は「体節間の情報のやりとり」を司る行列である。これは、換言すれば、「体節間にもどのように神経回路を張り巡らせるか？」という制御系ダイナミクスの設計方策に関するものである。一方、 C は、その定義から明らかのように、体節間の力学的な結合を介した長距離相関効果が強くなれば、その非対角成分が顕在化するような行列である。したがって、この行列は、「体節間の力学的干渉をどのように設計すればよいのか？」という身体系ダイナミクスの設計方策に関することがわかる。

ここで、制御系の設計が、行列 η の各成分を調整することによって明示的かつ直接的に行うことができるのに対して、身体系の設計には工夫を要する。そこで本研究では、本ロボットの体節間どうしを弾性要素（バネ）を介して結合し、この剛性を変化させることによって体節間の長距離相関効果を間接的に調節することを試みる。

4 実験結果

4.1 製作した多脚歩行ロボット実機

上記考察の妥当性を検証するため、図 2 に示すような多脚歩行ロボットの実機を製作した。本研究は初動段階にあるため、後述する学習曲面ランドスケープの可視化の容易さを第一義的に考え、実機の体節数は 3 とした（同図(a)を参照）。一方、予備的な実験の結果、体節間を弾性要素を介して結合する方策に関しては、直動方向に比べて矢状面内でのような結合方策の方が体節間の長距離相関効果を効果的に調節可能であることが明らかとなった。そこで、製作した実機においては、すべての体節を貫く

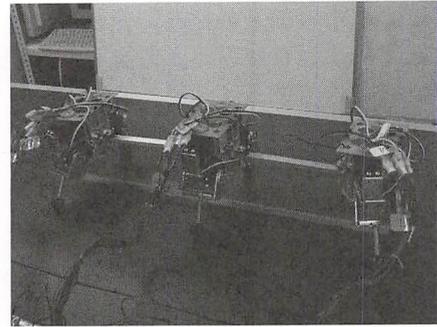
アルミの平板3枚（背骨に相当）を介して物理的に結合し、これら平板間の間隔 h （同図(b)を参照）を改変することで、体節間の長距離相関効果、つまり(9)式にあるHesse行列 C の非対角成分を調節できるような工夫を施した。ここで、この間隔が狭くなるにつれて背骨の剛性は低くなり、広くなるにつれて剛性は高くなることに注意されたい。

4.2 身体系が学習に及ぼす影響の観察

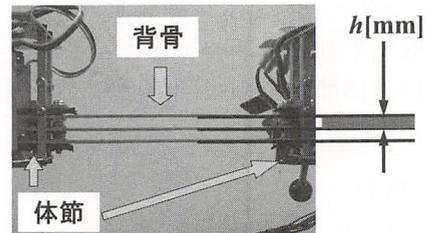
本節ではまず、身体系の力学的特性の改変が、多脚歩行ロボットの消費エネルギーによって規定される学習曲面ランドスケープにどのような影響を与えるかを検証する。そのために、製作した実機を用いて実験を行った。本実験における身体系の力学的特性の改変は、前述のように、ロボットの各体節を結合する背骨の剛性を調節することによってなされる。具体的には、背骨を構成するアルミ平板どうしの間隔 h を、0.0 [mm], 0.8 [mm], 5.5 [mm]と変化させ、これにともなってランドスケープの構造がどのように変わるのかを観察した。ここで可視化の容易さを考慮し、3つの体節の脚運動位相($\theta_1, \theta_2, \theta_3$)から位相差($\theta_{21}=\theta_2-\theta_1, \theta_{31}=\theta_3-\theta_1$)を求め、情報の圧縮を行った。その結果を図3に示す。同図において、横軸と縦軸はそれぞれ体節間の位相差 θ_{21}, θ_{31} を表している。そして、これら二つの変数の組み合わせに対応する点におけるエネルギー消費量 $P(\theta_{21}, \theta_{31})$ を濃淡で表している。同図に示すように、体節間を接続する背骨の弾性特性を変化させることによって、ランドスケープの形状が大きく変化していることが見てとれる。特に、ランドスケープ上の山や谷の数・深さ・広さといった特性に顕著な違いが現れていることに注意されたい。このことは、身体系の設計が適切になされれば、比較的単純な学習方策であっても迅速な収束特性を実現できる可能性を強く示唆している。

4.3 制御系と身体系の連関のさせ方が学習に及ぼす影響の観察

本節では、前述の考察に基づき、学習方策を規定するパラメータ η と身体系の力学的特性の連関のさせ方が学習の時間発展に及ぼす影響を調べる。本実験では簡単化のため、近傍系への参照（局所的な情報のやりとり）の有無という明確な違いが存在する、以下の2種類の行列 η_1 と η_2 を用いて比較することにした：

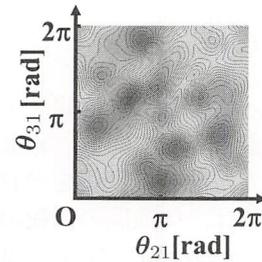


(a) 全体図

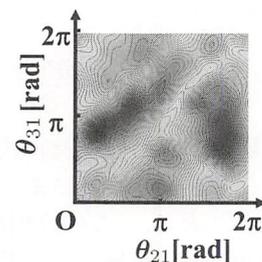


(b) 体節間を結合する弾性要素

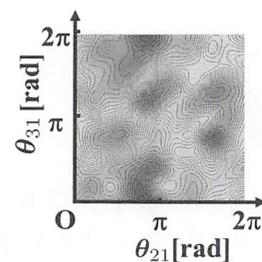
図2 製作した多脚歩行ロボット実験



(a) $h=0.0$ [mm]



(b) $h=0.8$ [mm]



(c) $h=5.5$ [mm]

図3 身体系の力学的特性が学習局面ランドスケープに及ぼす影響

$$\eta_1 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (10)$$

$$\eta_2 = \begin{pmatrix} 1 & -1 & -1 \\ -1 & 1 & -1 \\ -1 & -1 & 1 \end{pmatrix} \quad (11)$$

η_1 は、その行列の形から明らかなように、各体節が他の体節からの情報を受け取っていない、つまり自体節の情報のみに基づいて学習曲面上を探索する方策となっている。一方、 η_2 は、それぞれの体節が自体節のみならず、他の体節からの情報を積極的に取り込んで探索に活用している方策と言える。その結果を図4に示す。ここで、点線と実線で表された曲線はそれぞれ、学習方策として η_1 と η_2 を採用した結果を示している。同図から、学習方策として η_2 が、身体系として $h=0.8$ [mm] で与えられる弾性特性が与えられた場合に、最も優れた収束特性

を示すことが見てとれる。このことから、制御系と身体系のダイナミクスを適切に関連させることの重要性が明らかとなった。

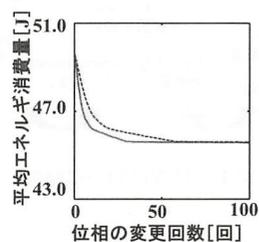
[今後の研究の方向、課題]

本研究では、多脚歩行ロボットの自律分散的制御問題を事例として取り上げ、学習の高効率化のためには、制御系と身体系を切り離して別個に考えるのではなく、それらの関連性を考慮して設計することの重要性を示した。筆者らは、有限な物理的・計算的資源を有する行動主体が、いつ、どこで、どのような変動が起こるかを規定することができない、いわゆる無限定環境において、実時間で行動を合目的に自己組織化しながら対処していくためには、創発現象を活用する以外に方策はない、と考えている。このような観点に立脚し、制御系と身体系のダイナミクスを分離独立して設計するのではなく、有機的に関連させるような設計を行うことによって、これまでのロボティクスでは取り上げられなかった（あるいは、認知されていなかった）興味深い現象が創発することを期待している。

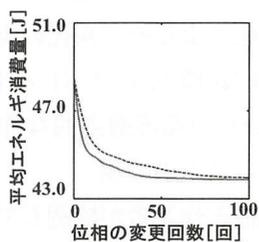
今後は、体節間の長距離相関がより顕在化するような身体を取り上げて、さらに体節数を増やした場合の考察を行うことを考えている。そして、制御系と身体系の有機的関連を通して創発する知能の形態をより詳細に調べていく予定である。

[成果の発表、論文等]

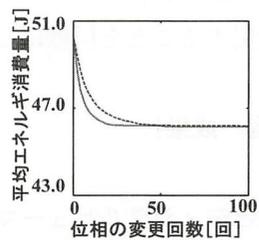
- 1) 山田康武, 石黒章夫: 機構系ダイナミクスを活用した学習曲面の良設定化——四脚受動歩行機械を用いた事例研究——第22回日本ロボット学会学術講演会予稿集 CD-ROM (2004)
- 2) T. Hasegawa, T. Kawakatsu and A. Ishiguro: Improvement of Learning Surface by Exploiting the Interplay between Control and Mechanical Dynamics, in Proc. of SICE Annual Conference CD-ROM (2004)
- 3) 長谷川貴巨, 早川宏治, 川勝年洋, 石黒章夫: 制御系と機構系の有機的関連を活用した学習の高効率化, 第17回自律分散システム・シンポジウム資料, pp. 47-52 (2005)



(a) $h=0.0$ [mm]



(b) $h=0.8$ [mm]



(c) $h=5.5$ [mm]

図4 制御系と身体系の関連のさせ方による学習収束特性の違い

デジタルヒューマンモデルを用いた 人間-機械融合型の生産システムの評価

An Evaluation Method for Human-Machine Mixed Manufacturing Systems
by Using Digital Human Models

1041005

研究代表者

北海道大学大学院情報科学研究科 教授

小野里 雅彦

[研究の目的]

工業製品を製造する生産システムの現場においては、人間と機械のそれぞれの長所を生かした製造ラインの設計と運用が大きな課題となってきた。かつて高度経済成長期においては、増大する生産要求に対応するために完全無人化工場がひとつの生産形態の理想型として描かれ、多くの研究開発がなされた。その後、製品市場が量的充足から価格競争のフェーズに移行するに伴い、生産拠点を国内から労働コストの安い海外に移転して人手による労働集約的な生産を行う生産システムのあり方が推進された時期があった。近年はこうした機械中心と人間中心の両極端の方向性に対して、それぞれの持つ長所と短所をうまく補い、強化して生産活動を実施する人間-機械協調型の生産システムが強く指向されている。

人間である作業者と自動制御される機械という異種の製造主体が協調して効率よく、かつ安全に作業を遂行するためには、作業環境の設計や作業工程の計画を十分に注意して行うことが求められる。そこで期待されるのは近年、その製造企業において現場への適用が始まっているデジタル・マニュファクチャリング(Digital Manufacturing)の技術である。

本研究ではデジタル・マニュファクチャリングで中核的技術となることが期待される仮想生産(Virtual Manufacturing)を、人間と機

械が協調して作業を遂行する生産システムの設計に適用することを考え、その実現に必要な手法の開発を行うことを目的にしている(図1)。



図1 研究目的の概略図

その中において、本研究課題では具体的に、

- 1) 自動機械と作業者が融合した作業環境の仮想生産によるモデル化の実現
- 2) 仮想作業環境における作業者(e-Worker)の環境適用的な作業動作生成のメカニズムの実現
- 3) 自動機械と作業者が協調して行う製造工程のシミュレーションの実現とそれに基づいた評価の実施

の3つを実現することを目標にしている。

[研究の内容, 成果]

1. 仮想生産とデジタルヒューマンモデル

仮想生産(Virtual Manufacturing)とはコンピュータの内部に工場などの生産システムのモデルを構築し、そのプロセスを精密にシミュ

レーションすることで、パフォーマンスの評価や問題発見などを行うこと、あるいはそれを実現する技術のことである。生産システムが大規模化、複雑化、高度情報化するに従って、仮想生産によって生産システムを事前評価することの重要性や有効性が高まってきている。しかしながら、現状において市販されるソフトウェア・システムにより実現できる仮想生産は、機能やコストの面で問題があり、普及に至っていない。特に、仮想生産のソフトウェアにおける共有データ整備と作業現場における人間の扱いが不十分であることが、実用化の課題となっている。

一方で、デジタルヒューマンモデル(DHM)への関心は高まっており、実用化に向けた研究開発も進んでいる。特に、自動車開発などにおける安全性評価や操作性評価などを対象にしたデジタルダミーとしての利用は盛んであるし、工場などにおける荷役業務の作業者への負荷評価など、労働安全面での適用も進みつつある。

しかしながら、こうしたDHMの利用においては、DHMが主であり、その周辺環境は静的であったり受動的であったりすることが多く、DHMと適応的に相互作用を持つ事例への適用は限られている。

以上のことを整理すると以下の解決すべき課題にまとめられる。

- 1) 仮想生産のフレームワークに適合する人間作業モデル(DHM)とシミュレーションの実装
 - 2) 作業環境に適応した行動を行う人間作業モデル(DHM)の動作生成技術の確立
 - 3) 上記2つの技術を総合した人間-機械融合型生産システムの仮想生産による評価
- 以下順にこの3つに関して行った研究内容と成果について述べていく。

2. デジタルヒューマンモデル(DHM)の開発

著者らは1992年ごろより仮想生産のためのソフトウェアシステムの研究開発を行っている。このソフトウェアシステムは、仮想ショップフロア構築環境VirtualWorksと呼ばれ、以下にあげる特徴を有する。

- オブジェクト指向による構成要素の自律的動作の実現
- オブジェクト間のメッセージ交換による時間駆動型のシミュレーション
- 工場を構成する各種機器のモデル・ライブラリ(機械加工, 組み立て, 検査, 保管, 搬送, 計測など)
- 3次元ソリッドモデルの形状と配置に基づく物理的挙動の計算
- 仮想現実感技術によるユーザインタフェース

図2にVirtualWorksによって構築される製造機械のモデル例と、それを仮想現実感技術を用いて3次的に提示した例を示す。

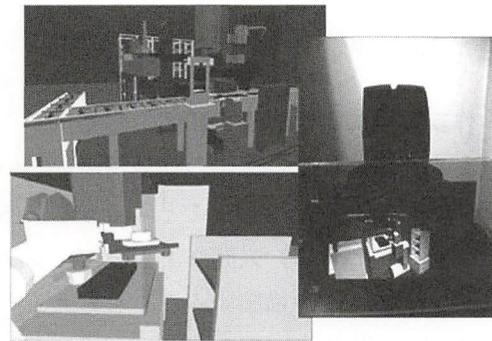


図2 VirtualWorksによる生産設備のモデル例と仮想現実感技術によるモデル提示

VirtualWorksのシステムフレームワークの中で効率的にデジタルヒューマンモデルを実装するために、以下に述べるアプローチを行った。まず、人間の体を頭・両目・胴・左腕・右腕・左手・右手・右脚・左脚の9つのモジュールに分け、それぞれのモジュールごとにコントローラを置き、これらを統合する形で全体のコントローラを設置した。各コントローラは与え

られた制御プログラムによって各モジュールの状態をセンシングし、動作を生成する。また各モジュールのコントローラ間ではメッセージ交換によるデータの授受が行われる。

こうした仕組みは VirtualWorks において、自動機からなる生産セルや生産ラインの制御の仕組みと同一であり、おなじモデル化とシミュレーションの枠組みで実装が可能である。こうして構築された DHM を VirtualWorks の中では e-Worker と呼ぶ。図 3 は e-Worker の例である。

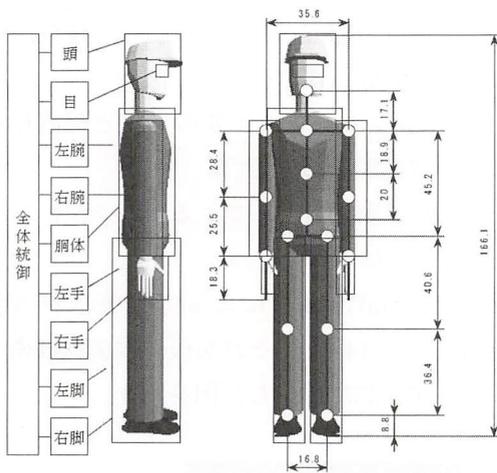


図3 e-Worker のモデル構成と主要寸法

3. 作業環境に適合する DHM の開発

さまざまな変化する工場の作業環境において指示された作業を遂行することのできる（あるいは遂行に失敗する）人間作業者のデジタルヒューマンモデルを構築することを考える。既存の Jack に代表される DHM のソフトウェアにおいては、DHM が置かれた個々の作業環境における作業動作をユーザが逐一、指示やプログラムをしてやる必要がある。作業環境や作業内容が変化した場合にはまた作業動作の入力をしなくてはならないし、作業者の DHM が 10 体あれば、それぞれに対してそうした作業動作の指示入力を行う必要がある。さらに、DHM が置かれた作業環境が自動機械を含んで動的に変化する場合には、DHM への作業動作指示は非常に難しいものになる。

著者らは、仮想生産の世界の中で、設備や道具などの人工物と DHM との間で仮想的なコミュニケーションを行い、動作生成に必要なデータ交換を行う仕組みとしての Virtual Affordance Protocol (VAP) を提案しており、それに基づいて DHM が人工物を適切に扱うことができる仕組みの実装を行った。図 4 は DHM が VAP に基づいて対象物を機の引き出しの中にしてしまうプロセスを示している。本研究においては、人間が人工物を操作する際の手の

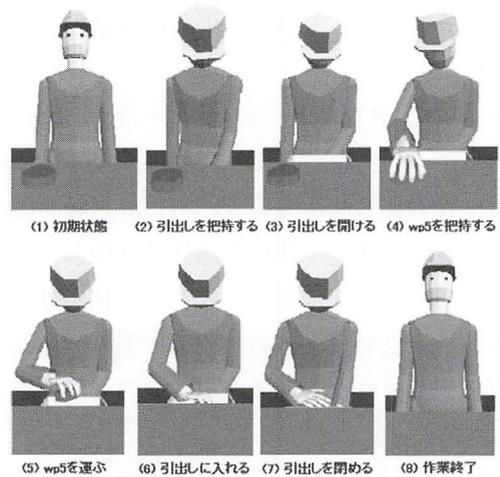


図4 e-Worker による生成動作実行例

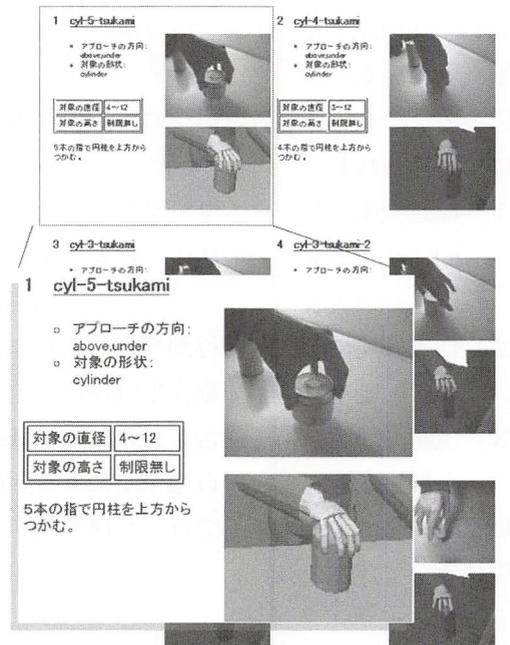


図5 DHM における VAP のための把持パターンカタログの例（一部抜粋）

把持パターンのライブラリの構築を効率的に行うために、手指の形状と手の運動軌跡、および操作対象の運動軌跡を実時間で取得する計測装置を開発した。図5に作成されたライブラリ内容を XHTML により表示したものを示す。

4. 人間-機械融合型生産システムの評価

上述してきた仮想生産システムの構築手法と、そこで作業を行う DHM の構築手法を総合して、人間と各種の自動機械が混在する製造環境を作成している。図6に構築されている人間-機械融合型生産システムの外観図を示す。構築されている工場は 24 m × 24 m の仮想的な敷地中に貯蔵、切削加工、プレス加工、組立、検査などの工程が含まれ、自動機と人間とが混在して作業するエリアを設けている。本作業環境において、DHM の動作生成に関して、各種のゆらぎ（確率的変動）を発生された場合の、生産工程への影響や安全面に関する事項を評価を実施する。現在、こうした作業環境に存在する人工物に対する VAP に関する手続き（オブジェクト指向におけるメソッド）の定義を行っている。

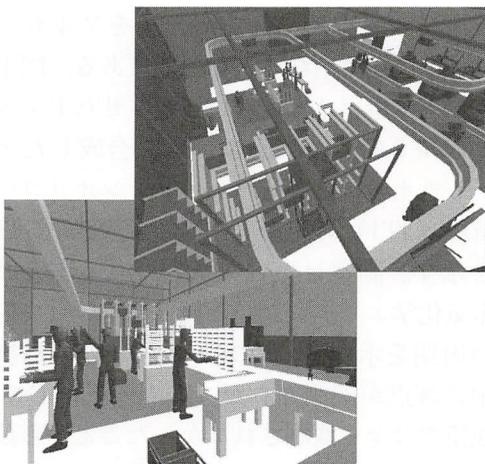


図6 人間-機械融合生産システムの構築例

[今後の研究の方向, 課題]

本研究で述べた手法により扱うことのできる作業環境と業務内容は、実装上の問題でまだ限られており、さらなる実装作業と研究開発が必要となる。今後において特に重要な点としては、作業者の疲労を含めた精神的な面の取り扱いと、作業環境における人間作業相互の影響-協力や干渉-を仮想生産の世界でシミュレーションすることで、より現実に則した生産システムの評価を可能とすることにある。

[成果の発表, 論文等]

- 1) M. Onosato: Manufacturing Knowledge in the Digital Age: Recording Expert's Activities of Problem Solving in Digital Working Environment for Knowledge Intensive Manufacturing, Proc. CIRP-ISMS 2004, pp. 19-28 (2004)
- 2) 小野里雅彦: 生産における知識・技能のデジタル化, システム/制御/情報, Vol. 48, No. 6, pp. 208-213 (2004)
- 3) 小野里雅彦: 業務環境のデジタル化と設計生産知識の継承, 2004年度日本機械学会年次大会講演資料集, Vol. 8, pp. 213-214 (2004)
- 4) 小野里雅彦, 森川真寿, 土田峻史, 田中文基: Virtual Affordance Protocolに基づくデジタルヒューマンと操作対象とのインタラクションの生成, 2005年度精密工学会春季大会学術講演論文集 (CD-ROM), pp. 347-348 (2005)

単一分子を挿入する極微ギャップ電極の開発と 超高感度バイオセンサへの応用

Molecular Electronics by the Use of Metal Tips and Gap Electrode

1041008

研究代表者

静岡大学電子工学研究所 助教授

坂口 浩 司

[研究の目的]

分子は電子が数十オングストロームの空間の中に強く束縛された電子構造を持つ、ひとつの極限の量子構造である。こうした分子をエレクトロニクス素子として利用しようとする分子エレクトロニクスの研究が近年大きな注目を集めている^{1,2)}。1個の分子の電子物性や光学物性を制御できれば分子を使ったダイオード、トランジスタ、レーザーなどの極限素子が実現できる。分子エレクトロニクスを現実化するには一個、或いは欠陥の無い数個の分子にアクセスして、その中での電子の挙動や応答を理解することが非常に重要なステップとなる。本研究では微細な金属探針を用い、分子分解能で局所的な電気物性を計測することを目的とした。電導性原子間力顕微鏡は形状と電気物性を独立して計測可能であり、構造と電気物性との相関を検討するには有用な計測手法である。本稿では、電導性 AFM を使った有機分子自己組織化膜のナノスケールトンネル電導の定量化や画像化について報告する。

[研究の内容, 成果]

1. 絶縁分子中に埋込まれた1個の共役系分子
共役系分子を通して電気伝導がどのような効率や機構で起こっているのかを調べるのは非常に興味あるテーマである。このためには1個の共役系分子を取り出し、分子末端と電極とを接合する必要がある。有機分子自己組織化膜(SAM)はシリル基やチオール基を持つ有機分子が固体表面と共有結合を形成した単分子膜の

ことを指す。特にチオール基を持つ有機化合物は金属表面と化学結合を形成し高度に配向した単分子膜を形成することから、LB膜などの物理吸着した膜と異なり良好な金属-有機分子間の電気接合が形成されるため電気計測を行う分子系材料としては理想的な試料である。飽和炭化水素からなるアルカンチオールは金属表面で二次元結晶を形成することが知られている。アルカンチオール SAM を形成させた金(111)基板を共役系分子の溶液に浸すことにより共役系分子がアルカンチオール SAM のドメイン壁、表面のステップエッジ、格子欠陥に入り込む“挿入法”により孤立した単一分子構造を作る試みが報告されている^{3,4)}。この方法を用いればチオール基を持つ任意の分子をアルカンチオール中に埋め込むことが可能である。図1に金(111)蒸着マイカ基板に形成させたドデカンチオール SAM (C12) に挿入し合成したメルカプトチオール基を持つチオフェンオリゴマー4量体(4T1)の走査トンネル顕微鏡(STM)像を示す。測定は室温・大気中で行い、PtIrを電気化学エッチングした探針を用いた。約5Åの周期を示すアルカンチオールの結晶格子の中に輝点が観測された。この輝点はC12の単独膜では全く観測されなかったことから孤立挿入された4T1分子であると考えられる。観測されたSTMの輝点は図1(b)に示すように輝点の断面を測るとアルカンチオールよりも3Å程度(統計平均では5Å)高くなっている事が分かる。4T1の幾何学的分子長(法線方向から30度傾斜していると仮定)とC12の分子長(30度傾斜)の違いは約1Å程度であり、輝点高さが幾何学長の差よりも高く観測されている

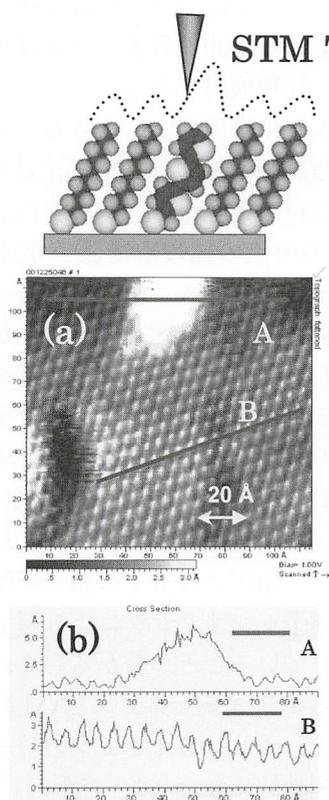


図1 ドデカンチオール中に埋込んだ1個のターチオフェン(3T)分子の(a) STM像(b)断面図

のは4T1分子がC12に比べてトンネル電導効率が高いため、一定の電流値に保ちながら高さを変化させるSTMの動作機構により共役系分子が見かけ上高く観測されているものと考えられる。またSTM像で観測された輝点の面積がオリゴチオフェン単一分子の幾何学的面積よりも大きく観測されているのは探針のアーティファクトのためと考えられる。すなわち観測される走査STM像は、探針の形と分子の形のコンボリューション積分で決まり、探針のサイズは単一分子よりも大きいため、観測されるSTM像は探針先端の形状により大きく影響される。実際ワイヤカッターでPtIr線を切断して作成した先端形状の再現性の乏しい探針を用いると、探針毎に輝点の形状が変化することが分かる。以上の結果は、観測された輝点がオリゴチオフェン単一分子であることを示唆するものと考えられる。

2. 電導性原子間力顕微鏡を用いた接触式単一分子電気計測

1個の分子の電気計測を行うには非常に小さな隙間を持つ金属電極、ナノギャップ電極を利用する方法や走査プローブ顕微鏡を用いて計測する方法に大別して分類できる。ナノギャップは半導体微細加工技術を使って作られ安定した接合を形成できるが分子のサイズでギャップ間隔を自由に制御するのが困難な点や作成装置が大掛りになる点などの問題点がある^{5,6)}。これに対し走査プローブ顕微鏡を用いた計測方法は探針を圧電素子を使って分子に位置させて電気特性を計測する方法であり、多種の分子の電気計測が可能な一般的な方法である。走査プローブ顕微鏡を用いた電気計測法には走査トンネル顕微鏡(STM)を用いる方法と原子間力顕微鏡(AFM)を用いる方法に大別できる。STMは非接触計測法であるため空間分解能は原子オーダーと非常に優れているが、分子を介して流れる電流の絶対値や機構の評価については不向きである。それはSTMが試料と探針の間に流れる電流を一定に保つ様に距離制御する定電流制御による動作機構に基づいている理由と非接触で動作するため計測される電流値はトンネルギャップ抵抗を含んでいる理由による⁷⁾。これに対し電導性原子間力顕微鏡(電導性AFM)は接触式計測法であり、力による探針-試料間距離制御と独立して電気計測が行えるため電導度の絶対値が計測可能である。また探針と試料の接触圧を一定にすれば、異なる試料間で電流値の比較ができ詳しい電導機構に関する情報を得ることが可能となる^{8,9)}。電導性原子間力顕微鏡を用いた再現性のある電気計測成功の秘訣はカンチレバーにコートする金属の選択・膜厚・コート法にある。電導性AFMは接触式計測法であるため、表面走査によりコートした金属が剝離して電流が検出できなくなる場合が多い。市販品の金属コートカンチレバーではすぐに金属が剝離して電導像が得られない例が多々ある。本研究室で作成した電導性カンチレバーを用いれば再現性のある電流値や電導像を得ることができた。

STM像を示したアルカンチオール中に埋め込んだ1個のターチオフェン分子(3T1)を電

導性 AFM で観測した電導像が図 2 (a) である¹⁰⁾。STM 像と同様に輝点が観測され、単一分子の空間分解能で電気計測が可能である。STM では輝点の見かけ上の高さが得られるのに対し、電導性 AFM では 1 個の分子を介して流れる電導度の絶対値を得ることができる。電導像は分子を介して流れるトンネル電流のマッピングを示している。3T1 と C10 の電導度の比較が輝点付近の電流値の断面を測定することにより求められる。輝点の電流はバックグラウンドより 2 桁大きな電流値を示した(図 2 (b))。更に装置の xy 平面でのドリフトを数 Å/min に押さえると、探針を単一分子に固定させて電流-電圧特性を計測することが可能である。このように絶縁分子中に挿入した共役分子系を用

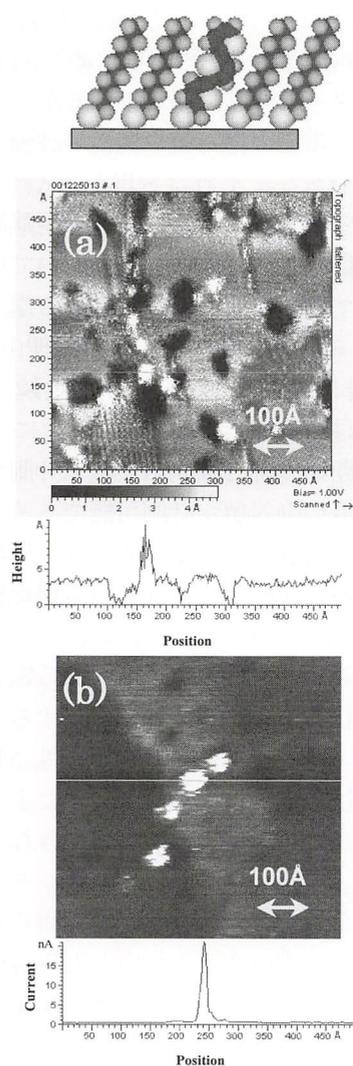


図 2 ドデカンチオール中に埋込んだ 1 個のターチオフェン (3T) 分子の (a); STM 像, (b); 電導性 AFM 像

いれば、孤立した 1 個の分子の電気特性を測ることが可能であり周囲の分子との電導性の違いを同一画像で比較検討できる。

前述したように電導性 AFM は力による探針-試料間距離制御と独立して電気計測が行えるため探針と試料の接触圧を一定にすれば、異なる試料間で電流値の比較や電圧-電流 (IV) 特性を調べることができ、電導性の分子長依存性など電導機に関する情報を得ることが可能となる。合成したメルカプトチオール基を持つユニット数の異なるオリゴチオフェン分子について電導機構を検討した。図 3 にオリゴチオフェン SAM の IV 特性を示した。IV 特性は ±0.1 V の低バイアス領域で線形性を示した。これより低バイアス電圧では分子の量子準位を介さない非共鳴電子トンネリングにより電子が分子を通して流れていることが分かる。またユニット数の異なるオリゴチオフェン SAM の電流値を計測すると、オリゴチオフェンの分子長増加に伴い指数関数的に減衰した (図 4)。この直線の傾きは、分子を介して流れるトンネル電導の減衰定数 (β) を表している。すなわち電子が散乱の影響を受けずにコヒーレントに伝搬する係数を意味する。 β の値が小さいほどトンネル電導効率が高いことを意味する。この傾きからオリゴチオフェンを介して流れる非共鳴電子トンネル電導減衰係数の値は 0.42 \AA^{-1} と求める

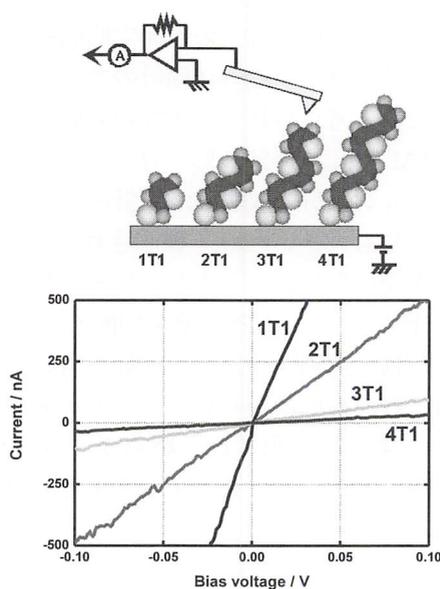


図 3 オリゴチオフェン分子の IV 特性に及ぼす分子長依存性

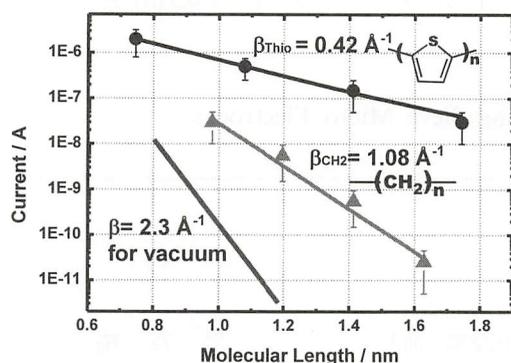


図4 オリゴチオフエン分子のトンネル効果の減衰長

ことができた。同様にして求めたアルカンチオール SAM の β 値は 1.08 \AA^{-1} である。求められたオリゴチオフエンの β 値は量子論によって計算された二つの金電極に挟まれたチオフエンオリゴマーのトンネル電導係数の理論値 (0.35 \AA^{-1}) に近い値であり¹¹⁾、飽和炭化水素(アルカンチオール)に比べ効率の良い非共鳴トンネル電導を定量的に評価することができた。この効率の高さは LUMO-HOMO ギャップの低下と大きな電子交換項の結果により発現していると考えられる¹²⁾。更に、正負 2 V のバイアス電圧を印加したオリゴチオフエン SAM の IV 特性は非線形に増加する曲線が得られ、1.5 V 付近で微分係数が増加した。このことは、印加電圧 1.5 V 付近にオリゴチオフエンの電子状態が存在し、この電子準位を介した共鳴トンネル効果により電流がながれているものと考えられる。分子スケール電気計測では電極電位を変化させることが可能なため非共鳴トンネリングだけではなく、分子の量子準位を介した共鳴トンネリングに関する情報が得られる。これは電気計測のみで可能であり、従来から行われてきた分光手法による電子移動の計測ではできない。接触式分子スケール電気計測の利点を示すものである。

[今後の研究の方向, 課題]

電導性 AFM の特徴は電気計測を探針と試料表面の距離制御と独立して行うことができる点であり、電流制御により試料-探針間距離を制

御する STM がない特色を持っている。この特徴により任意の点にチップをアドレスし局所電気物性を計測することが可能である。今後は、この技術を利用して一個の分子の量子伝導を観測することが可能になるものと期待される。

[参考文献]

- 1) C. Joachim, J.K. Gimzewski and A. Aviram: Nature, 408, 541 (2000)
- 2) Y. Wada, M. Tsukada, M. Fujihira, K. Matsushige, T. Ogawa, M. Haga and S. Tanaka: Jpn. J. Appl. Phys., 39, 3835 (2000)
- 3) G. Leatherman, E.N. Durantini, D. Gust, T. A. Moore, A. L. Moore, S. Stone, Z. Zhou, P. Rez, Y. Z. Liu and S. M. Lindsay: J. Phys. Chem. B, 103, 4006 (1999)
- 4) C. Joachim and J.K. Gimzewski: Europhys. Lett., 30, 409 (1995)
- 5) J. P. Beale and R. F. W. Pease: 38th IEEE Holm Conference on Electrical Contacts, IEEE, New York, pp. 45-49 (1992)
- 6) L. A. Bumm, J. J. Arnold, M. T. Cygan, T. D. Dunbar, T. P. Burgin, L. Jones II, D. L. Allara, J. M. Tour and P. S. Weiss: Science, 271, 1705 (1996)
- 7) M. A. Reed, C. Zhou, C. J. Muller, T. P. Burgin and J. M. Tour: Science, 278, 252 (1997)
- 8) C. Kergueris, J. P. Bourgoin and S. Palacin: Nanotechnology, 10, 8 (1999)
- 9) C. Schönenberger, J. A. M. Sondag-Huethorst, J. Jorritsma and L. G. J. Fokkink: Langmuir, 10, 611 (1994)
- 10) Yamada and K. Uosaki: Langmuir, 13, 5218 (1997)
- 11) L. A. Bumm, J. J. Arnold, T. D. Dunbar, D. L. Allara and P. S. Weiss: J. Phys. Chem., 103, 8122 (1999)

[成果の発表, 論文等]

- 1) H. Sakaguchi, et al., Nano Lett., (2005) in press.

[謝 辞]

立石科学技術振興財団研究助成により、本研究が大いに進展しました。財団関係の方々に深く御礼申し上げます。

Sieve 電極を用いたマン・マシンインターフェイスの研究

Study of Man-Machine Interface Using Sieve Micro Electrodes

1041010

研究代表者

東京女子医科大学医学部 助手

島谷 祐一

[研究の目的]

義肢や人工感覚器, 人工臓器といった障害者の生体機能を代用する人工器官の機能は近年のマイクロ/ナノ・マシンテクノロジーの発展に伴って大きく進歩しつつある。小型軽量かつインテリジェントな人工器官が生体内に埋め込み可能となり, 生体の器官が持つ生理機能により近づいた性能が実現されようとしている。

しかしデバイス自体がいかに精巧になったとしても, それと装着者の意思や感覚を結びつけるマン・マシンインターフェイス(神経インターフェイス)が十分に機能しなくては, それらの機器は体の一部として機能する事にはならない。実際, 各種人工器官の機能的限界を決めてしまっている最大の技術的障壁は神経インターフェイスの部分である。特に使用者の生涯にわたり長期間安定して機能するインターフェイスができなければ, 使用者は身体機能の再喪失に失望し, 埋め込み手術の繰り返しに苦痛を重ねることになる。このような問題の解決を目指して, 本研究ではシーブ(Sieve)電極を神経インターフェイスとして用い, その性能を評価する動物実験を行った。

[研究の内容, 成果]

シーブ電極

シーブ電極はポリイミド樹脂の薄膜基板に多数の微小孔(直径数 μm)を開けたものである。

それらの孔の一部は周辺をリング状の金属層で縁取られた記録電極となっており, 平面的な多チャンネル電極アレイを形成している。シーブ電極の動作原理は図1に示してある。末梢神経束をいったん切断した後電極を挟んで再び縫い合わせると神経線維は電極の微小孔を通して再生し, 再び抹消の感覚器や実効器を支配するようになる。その後各孔を通して再生したニューロン軸索から活動電位の記録を行ったり, またニューロンに電気刺激を行うことができるしくみである。本研究ではこのシーブ電極を顔面神経枝の一つを構成する後耳介神経に埋め込んでその電気的活動の長期記録を行った。また自由行動下での記録も試みた。

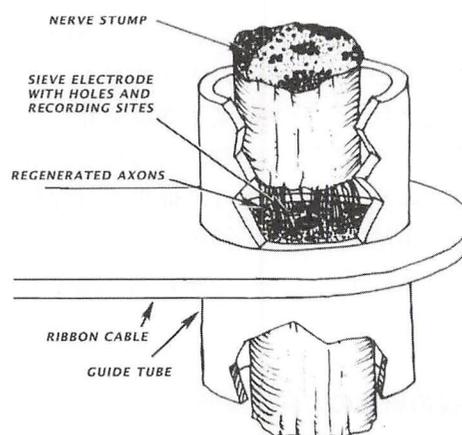


図1 シーブ電極のしくみ

埋め込み手術

今回用いたシーブ電極は3チャンネルの記録部位をもっており, 各チャンネルには神経の再生を

許す通過孔がクラスター状に開けてあるものである(図2)。なお電極の製作はミシガン大学のDr. Bradley と Dr. Najafi に依頼した。

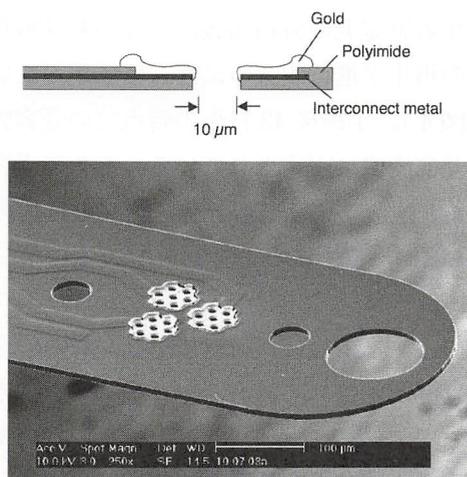


図2 電極の構造と埋め込み

Wister ラット (体重 200 g, メス) を用いて実験を行った。電極は耳介内側の感覚毛を支配する後耳介神経に埋め込んだ。ラットに深い麻酔 (ketamine/xylazine 混合液を 0.1 ml/100 g 体重, 筋肉注射) をかけた後, 左耳介後部から頸部にかけて約 10 mm の切開を行い, 顔面神経を鼓室胞から出て分岐する部位で露出した。耳下腺の一部を剥離して後耳介神経が耳介軟骨に入り込む部位を確認し, その部位より中枢側へ約 3 mm, 後耳介神経が顔面神経に合流する分岐点にかけて後耳介神経を周囲の組織から分離した。シープ電極の取り付け位置は分岐点より抹消側へ約 1 mm のところであり, ここで後耳介神経を切断し, その両切断端にポリイミドチューブ (内径 180 μm , 長さ 250 μm) のガ

イドチューブを取り付けた。シープ電極は電極アレイ面が切断面と平行になるように配置し, その先端を周囲の組織に縫い付けて固定した。神経に取り付けたガイドチューブを電極側のガイドチューブに差し込み, 神経の切断面が電極の両面に接着するようにガイドチューブを固定した。電極のリード配線部は皮下を頭蓋骨の後縁にそって走行させ, 頭頂部でヘッドキャップを頭蓋骨にネジ止めして固定した。ヘッドキャップはステンレスハウジングに 4 ピンの金製端子を備えたもので, 絶縁樹脂にはテフロンを用いてある。端子ピンのうちの 3 つのピンはヘッドキャップ裏面でシープ電極のバックエンド端子に導電性シルバーエポキシで接着し, 電極の 3 チャンネルにそれぞれ接続した。残りの 1 ピンにはテフロンコーティングされた Pt-Ir 線 (直径 50 μm) を接続し, シープ電極と並行して体内に埋め込んだ。Pt-Ir 線の先端部は約 1 mm ほどコーティングを取り除いて露出し, シープ電極の神経結合部付近に配置して対照電極とした。

埋め込み手術後, 神経が再生して再び耳介感覚毛を支配するまで, 1~2 ヶ月の回復期間が必要であった。その間の動物飼育は通常飼育と同様に行ったが, 2 週間に 1 度の割合で麻酔下で神経活動の記録を試みて神経の再生の確認を行った。

神経活動の記録

再生後の神経活動電位の記録は, 麻酔下および自由運動下で行った。記録時にはヘッドキャップの金属端子部を蒸留水で洗浄した後, 各端子ピンを長さ 25 mm のリード線でヘッドアンプに接続した。ヘッドアンプには multi channel systems 社の MPA-8-1 (8 チャンネル) を用いた。神経の活動電位はヘッドアンプで 10 倍に増幅し, さらに生体電気用アンプ (GRASS, QP 511) で増幅した後コンピュータに取り込んで記録した。生体信号の記録および解析には CED 社の Spike 2 を用いた。

自由行動下における記録では、超小型スリッピング（日本サーボ，S 12-6 P-01）をツムラ・フリームービング装置に取り付けた装置を製作した（図3）。フリームービング装置のシーベル取り付け部に6チャンネルのスリッピングを取り付け，その回転軸に内径2.5 mmのスプリングチューブ（長さ20 cm）を固定した。スリッピングのリード線はそのチューブ内を通して先端部から外部に出した。スプリングチューブの先端部にはラットジャケットを取り付け，動物への着脱ができるようにした。ラットジャケットには前述のヘッドアンプ（MPA-8-1）を取り付け，スリッピングからのリード線を接続した。ジャケットの取り付けは動物に軽い麻酔をかけて行った。覚醒後の記録はアクリルケージ内で行い，神経活動を電気的に記録すると同時に行動をビデオカメラで撮影しコンピュータに記録した。

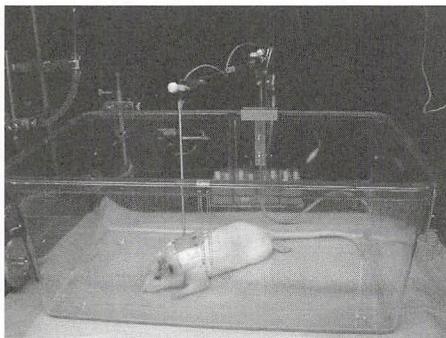


図3 自由行動下での測定

実験結果

9匹のラットに埋め込み手術を行った結果，手術に成功してシーブ電極から神経活動が記録できたものは5例あった。そのうち2チャンネル以上から記録できたものは4例であった。

図4に麻酔下における記録の一例を示す。記録できた神経活動は複合活動電位であり，耳介内側の感覚毛に接触刺激や風刺激を与えたときに生じる感覚応答であった。無刺激時の自発活動はほとんどみられなかった。用いた電極には1チャンネルあたり6つの再生孔（直径10 μm）

がクラスター状にあいているので，各チャンネルを通過して再生する神経線維の本数は数十になると予想される。そのため複合活動電位が記録されることは当然であると考えられる。刺激に応答する感覚毛の分布領域，すなわち受容野は神経の再生が進行するのに伴って広がっていった（図4）。手術後43日後の時点での受容野は耳介基部内側に限定されている。その後受容野は耳介内側を末梢方向に広がり，91日目の記録では耳介内側のほぼ全域を占めるに至った（図4A）。

記録された刺激応答は明瞭で，電極の埋め込み期間が延びても複合活動電位の大きさが小さくなることはなかった（図4B）。成功例5匹のうち3匹では手術後2～3ヶ月後にヘッドキャップが頭蓋骨から脱落したため実験を終了せざるをえなかったが，それらの場合はいずれも最後まで神経の活動は十分に弁別可能な大き

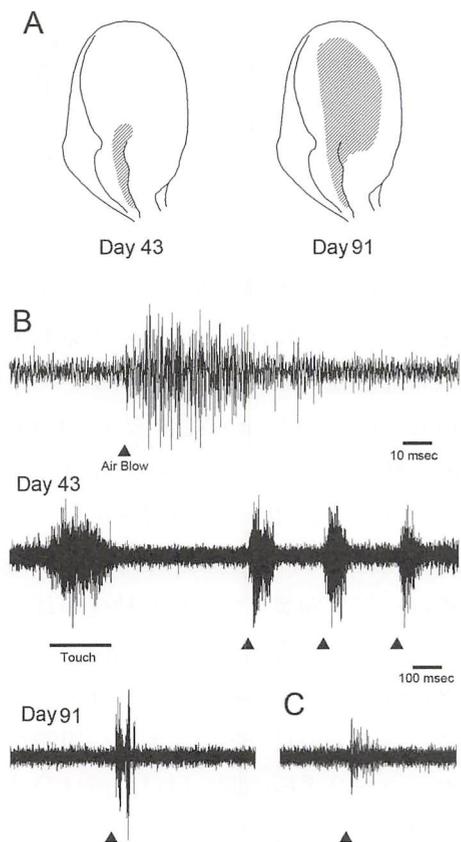


図4 A: 受容野の変化 B: 麻酔下での記録 C: 自由行動下での記録

さで記録できた。他の2例についてはこの報告書の執筆時点においても埋め込みおよび記録可能日数の長期記録を更新中（128日目および114日目）であるが、初回記録時と同様の明瞭な感覚応答が記録され続けている。実験が終了した3例について終了後に電極埋め込み部の状態を解剖して調べたところ、電極の神経ガイドチューブ全体を覆うように固い結合組織の形成が認められた。しかしガイドチューブ内部や再生孔周囲には結合組織はみられず、実験前に懸念された記録部位への結合組織の侵入による電極の性能低下は生じなかった。

次に自由行動下における神経活動の記録を試みた。シーブ電極と一緒に埋め込んだ対照電極とシーブ電極の1つのチャンネル間の電位差を測定する方法で記録を行った場合、麻酔下でも心臓拍動や呼吸にともなう筋電図の混入が問題となった。しかしこれらの筋電図は多くの場合比較的小さく、信号波形を300 Hz～400 Hzのハイパスフィルターで処理することによって取り除くことができた。しかし麻酔が浅くなるにしたがって、頸部あるいは頭部の骨格筋由来と思われる持続的な筋電図波形の混入が激しく、神経の活動電位を弁別することは著しく困難となった。そこでシーブ電極の記録が録れている隣接する2つのチャンネル間で差動記録を行った

ところ、筋電図の成分をほぼ取り除くことができた。ただしチャンネルが近接しているために信号の共通成分も相殺されることになり、複合活動電位の大きさは減少しS/N比の減少がみられた（図4C）。また動物が覚醒下で大きく動くと、しばしば激しいノイズの混入が生じた。

[今後の研究の方向、課題]

以上の結果より、シーブ電極自体は生体内に長期間埋め込んで神経インターフェイスとして使用するのに適した性能を持つといえる。今後引き続き長期記録の日数更新を目指す予定であるが、今後解決すべき課題として、長期間埋め込んで使用可能な外部接続端子の開発や、運動時のノイズの軽減などの問題が残されている。

[成果の発表、論文等]

- 1) Shimatani Yuichi, Yoriko Kawakami and Robert M. Bradley: Cell body distribution of chorda tympani and greater superficial petrosal afferent neurons in the rat geniculate ganglion. ISOT 2004 (Abstract) (2004)
- 2) Shimatani Yuichi, Stefan A. Nikles, Khalil Najafi and Robert M. Bradley: Long-term Recordings from Afferent Taste Fibers. *Physiology & Behavior*, 80, pp. 309–315 (2003)

異種材料微粒子アSEMBル技術による卓上型 シンクロトロンのための軟 X 線源の開発

Soft X-ray Source for Tabletop Synchrotron by Assembly of Binary Particles

1041011

研究代表者

京都大学工学研究科 助手

菅野 公二

[研究の目的]

広領域で連続スペクトルを持ち、高輝度なシンクロトロン放射は X 線顕微鏡による癌の早期発見や治療などの医学応用に期待されている。しかし、従来のシンクロトロンはその大きさが 3 ~ 200 m と非常に大きいため、医療現場での応用が困難であった。そこで、20 MeV の電子を蓄積することができる直径 1.2 m の卓上型シンクロトロンの開発とその応用が進められている。既に硬 X 線放射が報告され、現在は軟 X 線放射の実現に向けて研究が行われている。1 ~ 3 keV の高強度軟 X 線放射を実現するためには干渉遷移放射が有効である。干渉遷移放射では異なる媒体が交互に並んだ構造に電子を通過させて、二つの媒体の境界において発生する弱い X 線を干渉させることで高強度 X 線を得る。しかし発生した X 線が媒体に吸収されるため実用的な強度の干渉遷移放射源は実現されていない。実用的な放射源を作製するためにはサブミクロンの金属層間におけるサブミクロンの間隔を保持し、それらを数十層積層した構造(図1)が必要である。本研究ではその作製技術として粒子アSEMBル技術を用いる。粒子アSEMBルを適用するために、1) 軟 X 線放射源の仕様とプロセスの決定, 2) 異種微粒子を用いた液中アSEMBル配列制御, 3) 微粒子の微小パターンング, 4) 微粒子の付着力評価に関する研究を行った。

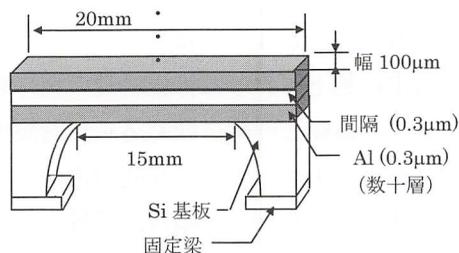


図1 軟 X 線源の構造

[研究の内容, 成果]

1. 軟 X 線源の仕様

本研究では 3 keV の放射強度がピークとなる積層構造の仕様を求めた。薄膜材料には発生する X 線放射の吸収を考慮してアルミニウム (Al) を選択した。20 MeV の電子を蓄積する卓上型シンクロトロンを使用する際に Al 層 0.03 μm , Al 層間隔 0.03 μm が必要であることを理論計算から明らかにした。

軟 X 線源を作製するために以下のプロセスを用いる(図2)。1) Al 粒子とシリコン (Si) 粒子で作られる薄層を交互に Si 基板上に堆積する。構造の幅は 100 μm とする。2) Si 基板をダイスした後、積層構造を固定梁に接着剤を用いて固定する。3) 二ふっ化キセノン (XeF_2) エッチングにより Si 層と基板を除去する。Al 層間隔を維持するために、プロセス 1) では Si 層に Al の支柱を作製する。従来の半導体微細加工では支柱の作製に多くのコストと時間を要する。そのため、新しいプロセス技術として、

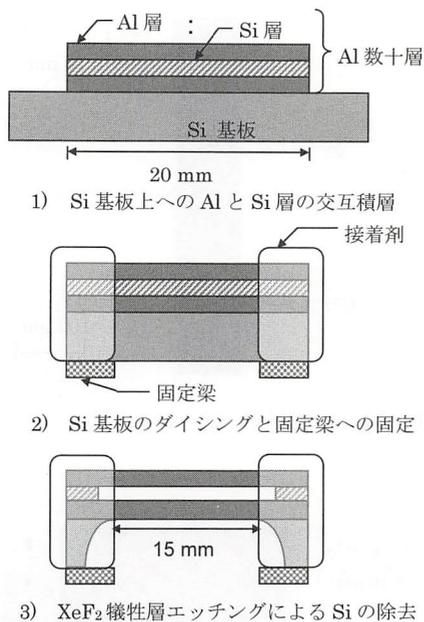


図2 軟 X 線源のプロセスフロー

異種微粒子アセンブル技術を提案する。アセンブル技術を用いて作製する構造の概要図を図3に示す。Al 粒子単層で構成された層と Si 粒子単層中に Al 粒子が規則的に分散している層が互いに並んでいる。Si 粒子が除去された後、Al 粒子が支柱となる。

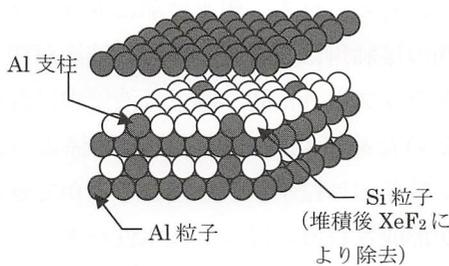


図3 Al 粒子と Si 粒子を用いた粒子アセンブル構造の概要図

2. 異種微粒子のアセンブル

異種微粒子アセンブル技術の第一歩として、シリカ粒子とポリメチルメタクリレート (PMMA) 粒子を用いて、pH を変化させた溶液中において異種微粒子配列がどのように配列するか観察した。

粒子材料として、粒径 8 μm のシリカ粒子と、粒径 10 μm の PMMA 粒子を使用した。塩酸

(pH 2), 純水 (pH 7), 水酸化ナトリウム水溶液 (pH 12) を分散溶媒として、シリカ粒子と PMMA 粒子を個数比 1 : 1 で混合した。粒子分散溶媒をガラス基板上に滴下し、液滴中の粒子を観察した。

液滴中で沈降した粒子は粒子同士が付着し、粒子クラスターを形成した。クラスターを構成する粒子の個数と pH との関係調べた結果を図4に示す。グラフより pH 2 の溶液中で4粒子数以上のクラスター数は pH 7, 12 の溶液中と比較して、最も多いことが分かった。この pH 依存性は pH により変化する表面電荷状態が大きく影響していると考えられる。凝集の度合いは粒子同士の相互作用力・付着力により決まる。相互作用力・付着力は大きく分けてファンデルワールス力、静電気力、疎水性相互作用により決定され、その中の静電気力は表面電荷に依存する。本実験で使用したシリカと PMMA は負に帯電しているため、互いに反発している。pH が小さいほど静電気反発力が小さくなるため、pH 2 では凝集の度合いが高いと考えられる。

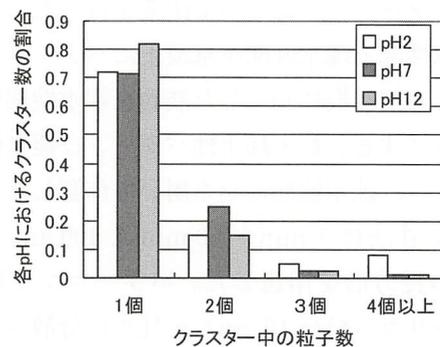


図4 各 pH におけるクラスター数の割合

次に液滴中で2個の微粒子が付着しているクラスターに着目し、それらの組み合わせとクラスター数の関係を図5に示す。シリカ/シリカ, シリカ/PMMA, PMMA/PMMA の組み合わせを調べると、pH によりその割合は大きく変化した。PH 7 ではシリカ/PMMA が最も多いのに対して、pH 12 では PMMA/PMMA

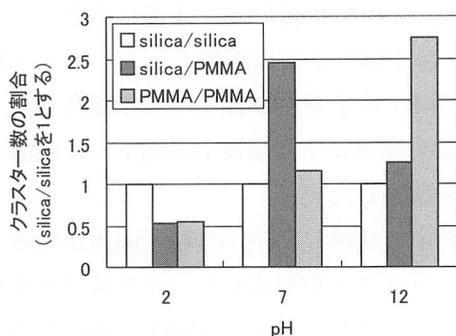


図5 粒子数2個のクラスターにおける pH と組み合わせの関係

が最も多い。この結果より、pHを変化させることで異種微粒子付着の組み合わせが制御可能であると考えられる。Al と Si 粒子の微粒子分散溶液中で Al の粒子クラスターを支柱とする際に、粒子数による支柱の大きさや支柱間隔を制御できるパラメータのひとつとして pH が有用であることがわかった。

3. 微粒子の微小パターンニング

粒子を単層でアセンブルし、発生した軟 X 線放射の吸収を抑えるために積層構造の幅を狭くすることが必要である。そのため、粒子構造を微小な特定領域に単層ずつ位置させるための粒子パターンニングについて研究を行った。

親水性部と疎水性部を基板上にパターンニングすることで基板に滴下した液滴を親水性部分にトラップする。親・疎水性パターンは親水性部にガラス、疎水性部に金を用いて作製した。パターン寸法は 1 mm × 20 mm と 100 μm × 20 mm の長方形を用意した。パターンニング実験ではシリカ（粒径 10 μm）を純水に分散させた粒子分散液を基板上に滴下した。

実験結果を図 6, 7 に示す。親水性部中央に微粒子が最密かつ一層にアセンブルされた構造を形成することができた。親水性部幅 1 mm では粒子パターン幅が平均 783.0 μm, 親水性部幅 100 μm では 10 μm 粒子が 2 個もしくは 3 個配列した。親水性部の大きさを変更することによって粒子アレイの大きさを制御することができ、また、分散液の濃度によって多層の粒子

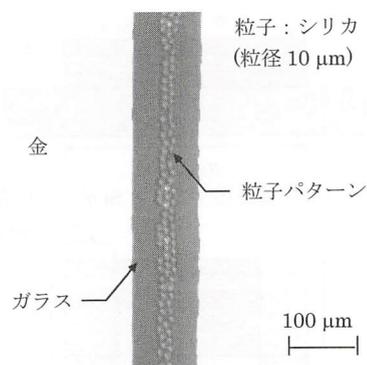


図6 幅 100 μm の親水性パターンへの粒子パターンニング

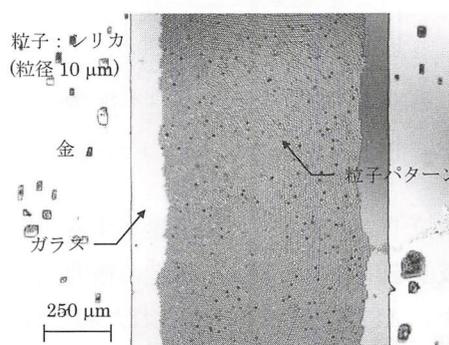


図7 幅 1 mm の親水性パターンへの粒子パターンニング

アレイを形成することも可能であった。親水性部に対し粒子パターンが小さくなったことは次のように考えられる。親水性部にトラップされた液滴の接触角は 30° であった。液滴が親水性部にトラップされた時、粒子は液滴中に存在する。そのため接触角と粒子径の関係より、パターン端部では粒子が入り込むことができない領域が形成される。従って親水性パターンと粒子パターンに間隔が生ずると考えられる。

4. 微粒子付着力評価

粒子アセンブルや粒子パターンニングは粒子/粒子、もしくは粒子/基板の付着力に大きく影響を受ける。そのため、粒子（シリカもしくは PMMA）と基板（ガラスもしくは PMMA）の水中での付着力を原子間力顕微鏡（AFM）により評価した。

粒子/基板間の付着力測定の結果と静電気力、ファンデルワールス力、疎水性相互作用から計

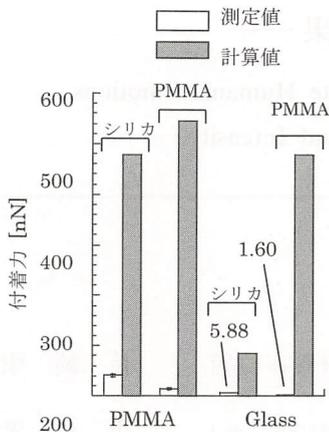


図8 シリカ, PMMA 粒子とガラス, PMMA 基板の付着力

算した付着力を図8に示す。シリカ粒子の付着力の大きさは、PMMA 基板 (41.26 nN) > ガラス基板 (5.88 nN) の順になった。PMMA 粒子の付着力の大きさも同様に、PMMA 基板 (13.84 nN) > ガラス基板 (1.60 nN) の順になった。

理論的計算結果と測定結果を比較すると、水中における付着力は実験値、計算値ともに PMMA 基板、ガラス基板の順に強くなった。しかし、計算値はどの粒子、基板の組み合わせに対しても、測定結果より大きな値となった。

この計算と測定値の誤差要因として、付着力の計算結果を支配している疎水性相互作用力を決定する接触角、及び表面自由エネルギーの誤差、あるいは基板の接触角を粒子の接触角に適用したことなどが考えられる。

[今後の研究の方向、課題]

本報告で得られた結果を基に、異種微粒子分散溶液を用いて、微細パターン中に様々な規則的配列を持った粒子アセンブル構造が作製できると考えられる。今後は粒子径をサブミクロンまで小さくして実際に $100\ \mu\text{m} \times 20\ \text{mm}$ の親水性パターンを用いた異種微粒子のアセンブルを実証する必要がある。さらに、アセンブルした層を積層して軟 X 線源の構造を作製する。

[成果の発表、論文等]

- 1) 市橋 治*, 李 周原, 石井昌宏, 菅野公二, 土屋智由, 田畑 修: 粒子アセンブルにおける液中微粒子の付着力評価, 電気学会 E 準部門総合研究会 (2005)

感情認知の手がかりとしてのパラ言語情報

—— 基本周波数と音圧の効果 ——

Paralanguage Information as a Cue to Estimate Humans' Emotions

—— Effects of Fundamental Frequency and Intensity ——

1041013

研究者代表 公立はこだて未来大学システム情報科学部 助手 長崎 康子
共同研究者 公立はこだて未来大学システム情報科学部 助手 小松 孝徳

[研究の目的]

音声コミュニケーションにおいては、「ええ」「はぁ」の様に、文字に書き起こすことができる言語的な情報だけでは、話し手の意図を汲み取ることができない場合がある。そのような状況では、声の高さの上下、声量の強弱、声色といったパラ言語情報が大きな役割を担っていると思われる。本研究では、パラ言語情報の中でも特に「基本周波数(声の高さ)」と「音圧(声の大きさ)」に着目し、その変化が音声の聞き手に与える効果を検証した。

[研究の内容, 成果]

実験刺激

次第に音量が小さくなるもの、更には次第に音程が高くなるものなど、「音量」と「周波数」とを変化させた刺激音を三角波で作成した。刺激音の開始時と終了時の音圧は、0 dBの音量で作成された刺激音の振幅の大きさを10%、50%、90%と変化させたもの計9種類、刺激音の開始時と終了時の周波数を、75、150、225 Hzの間で変化させたもの計9種類を用意した(図1)。

また、刺激音の長さは、日本語の1音節から3音節に相当する程度の長さ3種類を用意した

(300 ms~900 ms)。よって、9種類(音圧)×9種類(周波数)×3種類(長さ)=計243種類の刺激音を用意された。これらの刺激音は、コンピュータのビーブ音のような音色であり、音韻情報は含まれていないと考えられる。

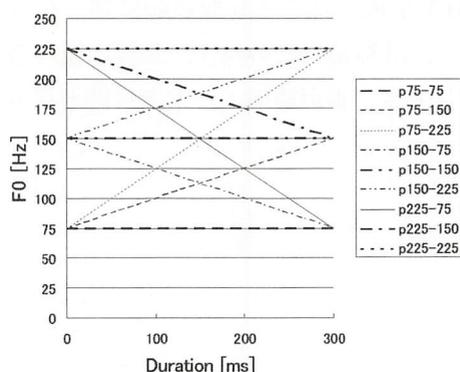


図1 9種類の周波数の変化(表示時間長さ300msの場合)

実験手順

20人の被験者に対して刺激音を呈示したが、その際、その呈示順に偏りが生じないようにカウンタバランスをとった。刺激音はラップトップ型PC上で再生され、ラウドスピーカーを通じて被験者に呈示された。被験者には、「この実験で呈示されるビーブ音は、電話での会話中に電話口の向こうから聞こえてくるコンピュータの反応だと想定してください」との指示を与えた。そして、ある合成音がコンピュータから

呈示された後に、相補的な分布を成している「疑問・驚き」「時間稼ぎ・躊躇」「同意・肯定」という3つの態度のどれと感じたのかを回答することが、この実験のタスクであると説明した。具体的な実験手順としては、まず、243種類の刺激音のうち1つがランダムに選択されて被験者に呈示される。続いて、3つの態度のうち1つがランダムに選択され、被験者に対し質問として対呈示される。例えば、「疑問・驚き」という態度が選択されると、「あなたは、呈示された合成音から『疑問・驚き』を感じましたか?」という質問が呈示され、それに対して、「はい/いいえ」で答えるように指示される。各被験者は、243種類の刺激音×3種類の態度＝合計729試行を行った。

実験結果

計243種類の刺激音のうち、呈示時間の長さ、音圧・周波数の変化幅、最大値、最小値、平均値といった9つの要素が被験者の態度推定に与える影響について調査した。図2はどのような周波数の属性をもった合成音から「疑問・驚き」という態度が推定されていたのかを、図3

はどのような音圧の属性をもった合成音から「疑問・驚き」という態度が推定されていたのかを示している。図4、5は、周波数・音圧の属性と「時間稼ぎ・躊躇」という態度との関係、図6、7は周波数・音圧と「肯定・同意」という態度との関係を示している。各図の横軸は、刺激音声中の基本周波数の変化幅、最大値、最小値、平均値を表しており、縦軸がその刺激音がどのくらいの割合で該当する態度と推定されたかを示す推定率を示している。

1) 「驚き・疑い」の推定

図2の(a)より、呈示音の長さにかかわらず周波数の変化幅が正の値をとる刺激音（上昇調の刺激）は、「驚き・疑問」の推定率が高いことが理解できる。しかし、図3からは、特徴的な傾向はみられなかった

2) 「躊躇・時間稼ぎ」の推定

図4の(a)より、呈示音が長く変化幅が0の刺激音（フラットな刺激）は、「躊躇・時間稼ぎ」と推定されていることがわかる。また、(b), (c), (d)においても一部高い推定率を示

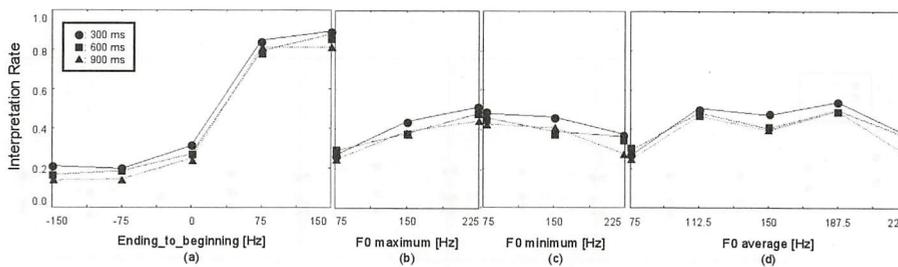


図2 3つの呈示時間長と基本周波数の変化幅、最大値/最小/平均値と「疑問・驚き」という態度との関係

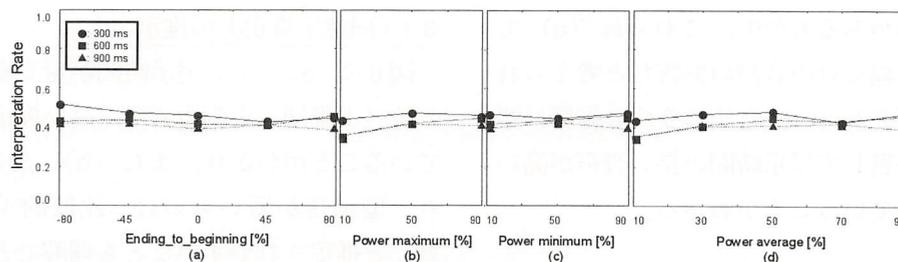


図3 音圧の属性と「疑問・驚き」という態度との関係

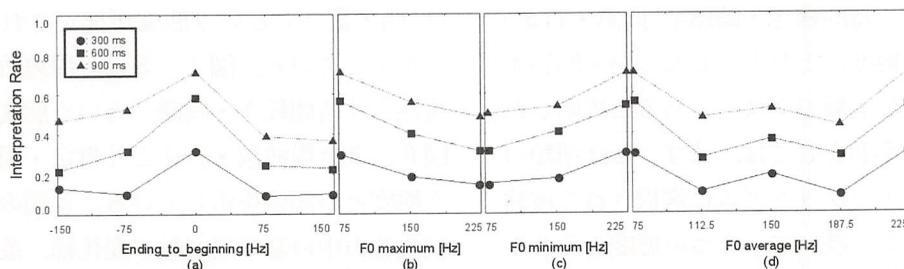


図4 基本周波数の属性と「時間稼ぎ・躊躇」との関係

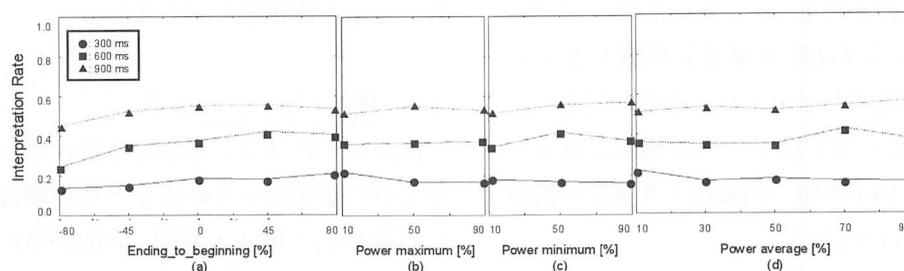


図5 音圧の属性と「時間稼ぎ・躊躇」との関係

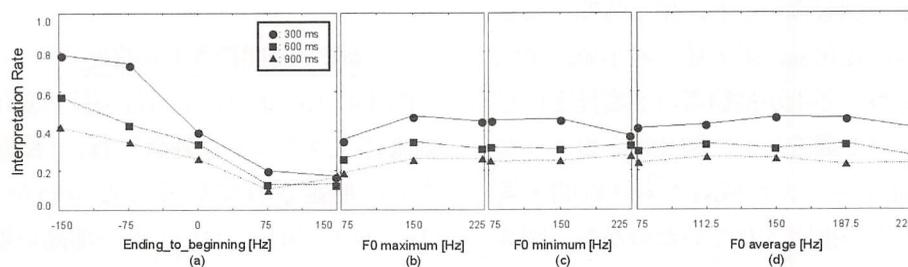


図6 基本周波数の属性と「同意・肯定」との関係

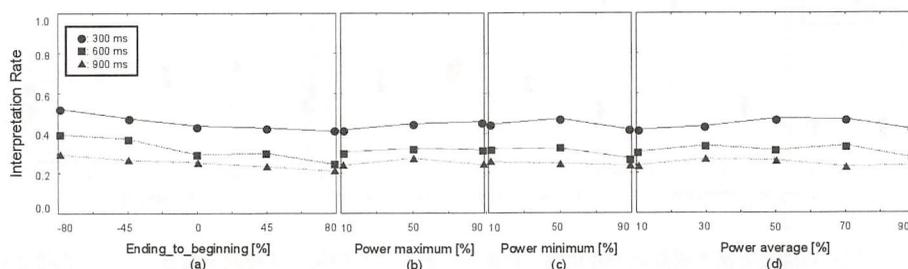


図7 音圧の属性と「同意・肯定」との関係

している音声があるものの、これらは (a) で示された変化幅ゼロの音声の影響だと考えられる。また、図5からは、音圧の変化の影響は観察されず、一貫して呈示時間の長い音声が高い推定率を示していることがわかる。

3) 「同意・肯定」の推定

図6の (a) より、呈示時間が短く変化幅が負の値 (下降調) の刺激音は、高い推定率を示していることがわかり、また (b), (c), (d) より、呈示音が短いものは、比較的「肯定・同意」と推定されやすいことも理解できる。この傾向は、図7からも明らかである。

実験結果のまとめ

以上まとめると、「驚き・疑問」は上昇調の刺激音、「時間稼ぎ・躊躇」は呈示時間が長くフラットな刺激音、「同意・肯定」は呈示時間が短く下降調の刺激音がそれぞれの態度において高い推定率を示していた。よって、被験者の態度推定においては、音圧の変動ではなく、周波数の変動が影響を及ぼしていることが明らかになった。

[今後の研究の方向, 課題]

実験後に行われた被験者へのインタビューでは、「音量の変化は、音源の位置の変化にしか感じなかった」という意見が多く聞かれた。よって、今後は、音圧の変化が聞き手に対してどのような影響を及ぼすのか、また本実験で使用した以外の態度推定に影響があるのかなどを考察する必要があると思われる。

また本実験では、音声刺激を一方向的に被験者に呈示している。今後は、被験者の表出し

た行動に対して、刺激を呈示するというインタラクティブな環境において実験をすることで、音声認知研究から、Human-Computer Interaction 研究へと研究を進めていきたいと考えている。

[成果の発表, 論文等]

- 1) 小松孝徳, 長崎康子: ビープ音からコンピュータの態度が推定できるのか? — 韻律情報の変動が情報発信者の態度推定に与える影響, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 7 (1), pp. 19-26 (2005)
- 2) Nagasaki, Y. and Komatsu, T.: The Superior Effectiveness of the F0 Range for Identifying the Context from Sounds without Phonemes, In Proceedings of the 8th International Conference on Spoken Language Processing, CD-ROM (2004)
- 3) Komatsu, T. and Nagasaki, Y.: The effects of F0 and intensity's range, average, maximum and minimum values for identifying the context from sounds without phonemes (submitted) (2005)

準静的加圧による生体組織の粘弾性分布映像システムの開発

Tissue Viscoelasticity Imaging System Based on Quasi-Static Deformation

1041014

研究代表者

独立行政法人 産業技術総合研究所 研究員

新田 尚 隆

[研究の目的]

臨床における触診では、人手で体表面を準静的に押すような力学的な負荷を与えると、病変組織では正常組織と異なる粘弾性が触知される。組織内に深在する病巣部位の正確な同定には、粘弾性分布を得ることが必要であり、このためには体表を加振する手法が一般的であったが、患者に苦痛を与えるため望ましくない。そこで本研究では、患者に苦痛を与えずに、触診のような準静的な負荷を加えた下で粘弾性分布を得、それを映像化するシステムの開発を目的とする。これにより、医師が直感で捉える粘弾性を、システムで視覚的かつ数値的に評価でき、診断能を向上させると共に、患者負担を低減させることが可能となる。

[研究の内容, 成果]

1. はじめに

癌は正常組織よりも硬くなることから分かるように、多くの病変組織は、粘弾性特性の相違から、正常組織と区別される。そのため、触診による診断が行われていたが、深在病巣やその進展範囲を正確に把握するには限界があった。従って、組織内の粘弾性分布を知ることができれば、粘弾性の相違の観点から病変組織を可視化できることになる。このような背景の下、Elastography や加振映像法の研究が進んでいる。

これまで、生体組織の粘弾性特性の解析では、加振映像法において体表を加振して、横波伝搬速度を計測したり、正弦波の周期的な変位を与えたときの応力応答を Maxwell, Voigt, Kelvin のような粘弾性モデルに当てはめて弾性定数及び粘性係数を求めたりするのが一般的であった。しかし臨床応用を考慮すると、加振では患者に苦痛を与えることになり、粘弾性モデルでは適用モデルや変形速度によって解析結果が左右される欠点があった。

このため、本研究では超音波を用いて、患者に苦痛を与えず、触診のような準静的負荷を加えた下で組織内の粘弾性分布を映像化するシステムの開発を行った。本システムにおける粘弾性特性の計測では、従来のようなモデルを用いず、粘弾性体特有の現象（ヒステリシス）を利用することを特徴としている。

2. 粘弾性分布の可視化

2.1 ヒステリシスパラメータ (HP)

本研究では、粘弾性体特有のヒステリシス現象を利用して粘弾性評価を行う。図 1 (a) は、軟組織に対して準静的に、あるレベル ϵ_0 まで圧縮を与え、その後弛緩を与えたときの様子を示している。圧縮及び弛緩時の応力-歪み曲線を $\sigma_1(\epsilon)$, $\sigma_0(\epsilon)$ とすると、粘性による歪みエネルギー損失により、図 1 (b) のようなヒステリシスループ (以下, HL) が見られる。ループ面積 H は弾性成分に対して粘性成分が多いほど大きくなるため、粘弾性特性の特徴化に利用

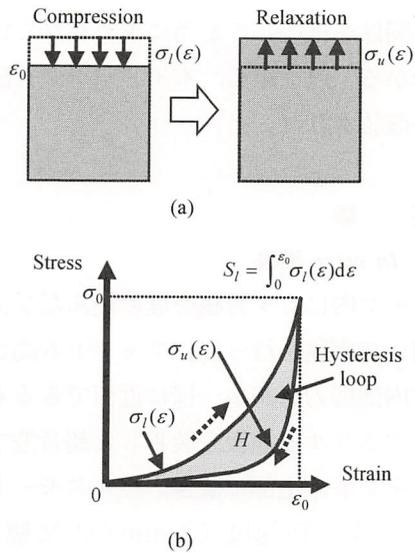


図1 Hysteresis loop in viscoelastic body

できる。ただし、 H は圧縮レベル ϵ_0 により値が変化するため、圧縮時の歪みエネルギーで正規化することで、式(1)のようなヒステリシスパラメータ (Hysteresis Parameter, HP) を定義した。

$$HP = H/S_l \quad (1)$$

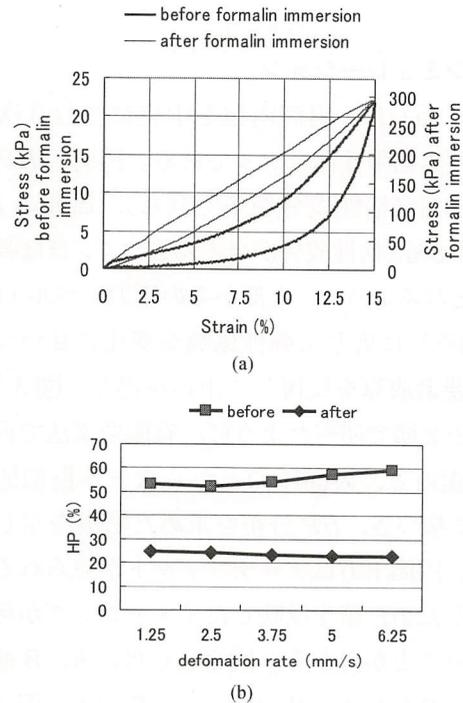
ただし、

$$H = \int_0^{\epsilon_0} \{\sigma_l(\epsilon) - \sigma_u(\epsilon)\} d\epsilon \quad (2)$$

$$S_l = \int_0^{\epsilon_0} \sigma_l(\epsilon) d\epsilon \quad (3)$$

HP は弾性成分に対する粘性成分の比を0から100%の数値で評価でき、粘弾性特性を定量的に評価し得るものである。

図2に、 HP の計測結果を示す。図2(a)は、ブタ大腿筋を10日間ホルマリン漬けとする前後でのHLである。組織変性を反映して、ループ面積が変化していることが分かる。図2(b)は圧縮・弛緩速度を変化させたときの結果である。速度に依らずほぼ一定であることが分かる。すなわち HP が、変形速度に依らない安定した粘弾性評価を可能とすることを示唆している。

図2 HP results for porcine femoral muscle

2.2 超音波による HP イメージング

生体組織内の HP 分布を画像化するには、局所的なHLが必要となる。診断上の利便性を考慮し、超音波を用いてこれを得るため、超音波プローブを体表に押し当て、一定速度で周期的な圧縮と弛緩を与える。このとき組織内では図1(a)のような変形がなされ、その結果、HLが局所的に生じるものと考えられる。

まず応力-歪み曲線の横軸をなす歪みを得るため、圧縮・弛緩過程において超音波RFデータフレームを連続的に取り込み、隣接フレーム間で複合自己相関法(椎名ら, 1996)を適用して組織内の局所歪みを求める。

また同時に、応力-歪み曲線の縦軸をなす応力を得るため、圧縮・弛緩過程においては表面圧力も同時に取得する。正確な HP を得るには、理想的には局所応力が必要となるが、局所歪みと異なり、内部応力は一般に計測が困難である。そこで本研究では、体表面圧力を圧力センサで計測して局所応力の代替することとした。このようにして得た擬似的なHLに基づき、 HP 分

布が推定される。

3. シミュレーション

図3(a)は、円筒内包を中央に含む3次元有限要素粘弾性体モデルである。円筒のHP値が27.3%（粘性成分を多く含む）、周囲のHP値が3.8%（粘性成分がほとんどなく、ほぼ弾性体）となるように、上部からの圧力レベル（100 Pa 刻み）に応じて弾性係数を変化させつつ、有限要素演算を反復して歪みを得た。図3(b)は、2.2節で述べたように、有限要素法で得られる歪みと、表面圧力とから求まる擬似的なHLに基づき、HP分布を求めた結果を示している。円筒下方にアーチファクトが見られるが、設定したHP値を反映したイメージングが可能であることが分かる。図3(c)は、A、B領域で得られたヒステリシスループを示す。傍に示

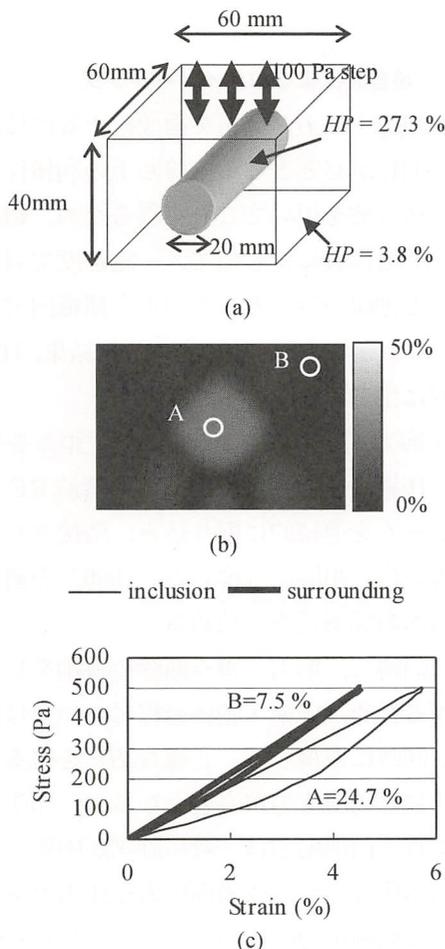


図3 Simulation results

されている数値は推定したHP値であり、真値の大小関係を維持して妥当に求められていることが分かる。以上から、本イメージング法の妥当性が確認された。

4. 実験

4.1 In vitro 実験

ゼラチン内にブタ腎臓を埋め込んだファントムを用いて実験を行った。ファントム高さを調節して内部応力分布が一様に近似できるものとした。アクリル圧縮板を装着した超音波プローブをファントム上部に置き、パルスモーターでプローブを一定速度（1 mm/s）で駆動し、ファントム上部を最大5 mm（平均歪み12.5%相当）まで圧縮して弛緩する周期を繰り返した。

この間、A/D変換ボードを介して、組織内の超音波RF信号の連続フレームと表面圧のデータを同時に取得し、局所的なHLを得るために用いた。

図4(a)(b)は、圧縮初期で得られた超音波Bモード像とelastographyにおける歪み像を示している。歪み像とは応力-歪み曲線における横軸を画像化したもので、硬領域は黒く、軟領域は白く描出される。歪み像では、皮質(cortex)と髄質(medulla)とが、両者の硬さの違いを反映して明瞭に表示されている。

図4(c)は求めたHP像を示す。HP像もまたブタ腎臓の形態的な組織構造を反映しているが、Bモード像や歪み像とは異なるパターンを示している。それ故、HPは従来の画像とは異なる新たな診断情報を提供し得るものと期待される。図4(d)は、皮質及び髄質でのヒステリシスループを示している。図4(e)は、図4(d)から得られるHP推定値と、当該組織を切り出して直接力学計測したHP値との比較を示している。計測時の境界条件が互いに異なるため、推定値と計測値との完全な一致を得ることは困難であるが、大小関係は反映されており、妥当な推定が行われたことを示している。

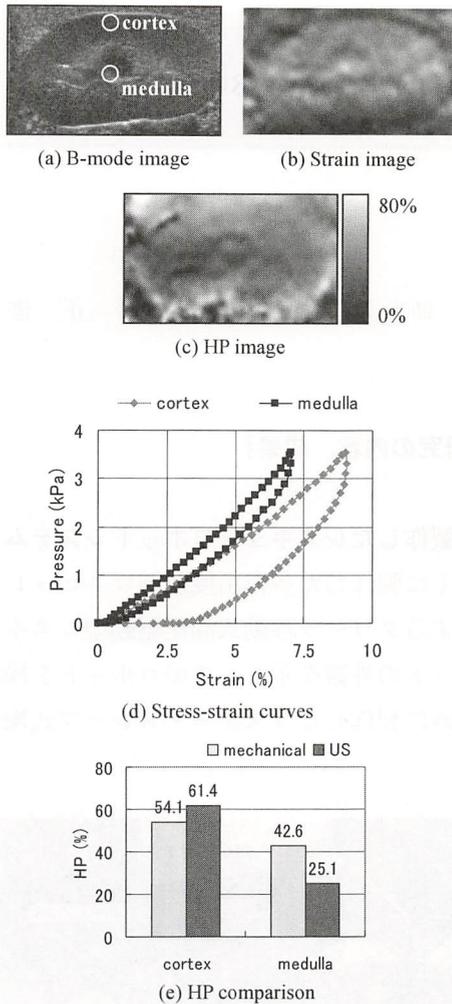


図4 *In vitro* experiments

4.2 *In vivo* 実験

ファントム実験と同様な手技の下、乳房における線維腺腫を対象とした *in vivo* 実験を行った。

図5 (a)(b) は、圧縮初期における B モード像と歪み像を示している。破線囲みが線維腺腫の領域である。B モード像では不明瞭な病変部が、歪み像では硬い領域として明示されていることが分かる。図5 (c) に *HP* 像を示す。*HP* 像もまた、ヒステリシスループが小さい領域として、腺腫領域を明瞭に示していることが分かる。*HP* 像はまた、形態的な乳房組織構造を反映しているが、従来の B モード像や歪み像とは異なるパターンで描出されており、それ故、*HP* 像は、従来画像とは異なり、新たに有益な

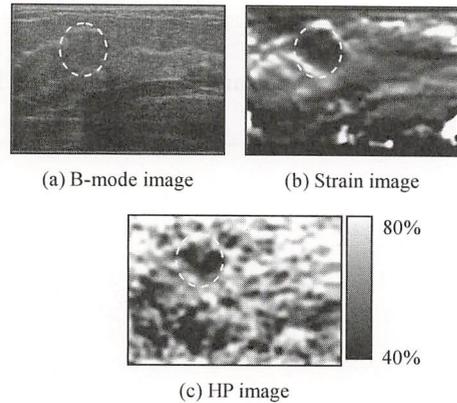


図5 *In vivo* experiments

診断情報を提供し得るものと期待される。

5. 結 論

組織の粘弾性評価を患者の苦痛なく行い、診断能を向上させるために、本研究では *HP* を定義し、これを映像化するシステムを開発した。*In vitro* 実験や *in vivo* 実験を通じて開発手法の有用性が示唆された。

[今後の研究の方向, 課題]

本研究において得られた *HP* 像について、臨床的な有効性を評価するには、病理学的な比較が不可欠である。今後は、*HP* 像と病理像との相関性の検証が課題である。

[成果の発表, 論文等]

- 1) N. Nitta and T. Shiina: Viscoelasticity Imaging Based on Hysteresis Analysis Under Quasi-Static Deformation, Proc. 3rd Int. Conf. on Ultrason. Meas. & Imag. of Tissue Elasticity, p. 35 (2004)
- 2) N. Nitta and T. Shiina: Breast Tissue Assessments Based on High Order Mechanical Properties, Research and Development in Breast Ultrasound, Springer Verlag, pp. 50 - 54 (2005)
- 3) N. Nitta and T. Shiina: Ultrasonic Imaging Based on Measurements of Viscoelastic Hysteresis in Soft Tissue, 生体医工学, Vol. 41, No. 4, pp. 295 - 305 (2003)

次世代型レスキューロボットによる瓦礫撤去作業に関する研究

Research on New Type Rescue Robots for Removing Rubble

1041015

研究代表者

富山大学工学部 助手

羽多野 正 俊

[研究の目的]

本研究の目的は、災害現場で瓦礫撤去を行うレスキューロボットの実現を目指し、その中で重要な転倒安定性評価法を構築することである。

従来の重建機の非転倒姿勢は静的な力の釣り合いにより計算されており、持ち上げ物体が予想以上に重い場合には転倒事故を引き起こしていた。災害現場での瓦礫の質量は予め測定が困難であり未知である。

本研究ではロボットの移動機構と作業機構の結合部に配置した圧力センサにより路面からロボットに加わっている内力を直接計測し、安定性判別を行う手法を提案する。また実際に災害現場で使用可能なレスキューロボットを目指し、多自由度の双腕マニピュレータを持つクローラ移動式油圧駆動型レスキューロボットを製作する。多自由度の双腕多関節マニピュレータの操縦は困難であり熟練を要するため、マスター・スレーブ方式を用いた操作インターフェースシステムを採用する。提案した手法を製作したロボットに適用し実験を行い、安定性判別が可能であることを示す。これにより、不安定な路面上での作業および未知質量の物体を把持・撤去することが可能となる。また、この手法は広く一般の重建機にも適用が可能であると考えられる。

[研究の内容, 成果]

1. 製作したレスキューロボットシステム

図1に製作した多自由度双腕マニピュレータを有するクローラ移動式油圧駆動型レスキューロボットの外観を示し、このロボットを操縦するために製作したマスター・スレーブ式操作イ

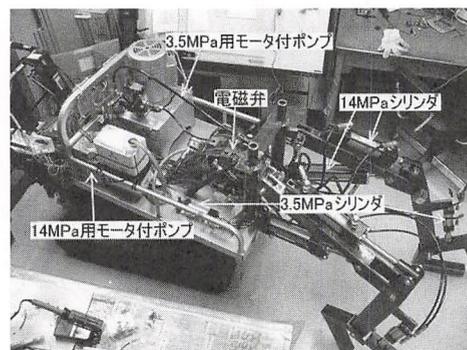


図1 製作したレスキューロボットの外観

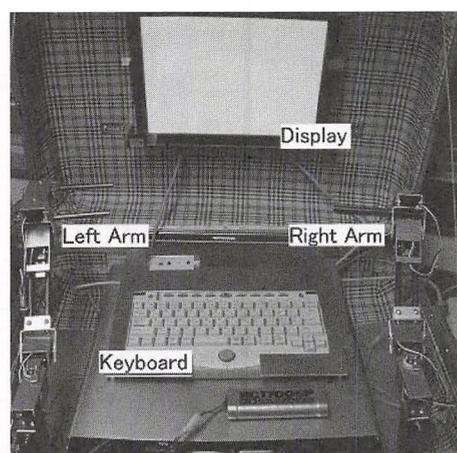


図2 製作した操作インターフェースシステム

インターフェースシステムを図2に示す。またロボットのリンク座標系と各関節の可動範囲を図3に示す。

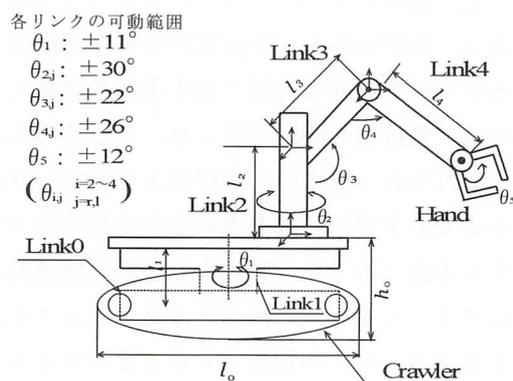


図3 リンク座標系

図3に示すように、車載マニピュレータはハンドの開閉を含む片アーム4自由度、車載マニピュレータ部全体の旋回に1自由度の計9自由度である。移動機構は左右独立クローラ駆動型であり2自由度を有する。よってロボット全体では11自由度を有する。車載マニピュレータの各リンクは油圧シリンダーによって駆動され、リンク2, 3は高出力が要求されるため14 MPaの油圧シリンダーおよび油圧ポンプ、その他のリンクは3.5 MPaの油圧シリンダーおよび油圧ポンプを用いて製作した。各油圧ポンプを駆動させるための動力源としてガス式発電機を用いロボットに搭載した。この電力は制御用コンピュータおよび電子回路等の駆動にも用いられる。これにより外部より電源を供給することなく自立動作が可能である。移動機構部は市販の運搬台車を加工して用いた。また路面からの抗力を測定するために移動機構部と車載マニピュレータ部の左右前後隅4箇所をハイス鋼により結合し、そのハイス鋼に歪みゲージを貼り付け力センサとした。測定された値はA/Dボードを介して制御用コンピュータ内に取り込まれ、後述の安定性判別に用いられる。

移動機構部の質量は100 (kg)、車載マニピュレータ部の質量は75 (kg)であり、油圧アクチュエータ、制御用コンピュータ、発電機

等を含めて総重量約200 (kg)である。また全長・全幅・全高はそれぞれ2,000・700・1,100 (mm)である。持ち上げられる可搬質量は片アームで50 (kg)、双腕で計100 (kg)を想定し設計・製作を行った。

前述のように11自由度のロボットを操縦することは困難であり熟練を要するためマスター・スレーブ方式を採用したインターフェースシステムは図2に示すように左右にロボットのマニピュレータ部と同じ自由度・動作方向を持つ左右2本のアームを有し、下面中央にキーボードを設置し、上面には動作状況の確認および操縦者への指令等の表示を行うディスプレイが取り付けられている。

図1, 2に示したロボットと操作システム全体の信号流れ図を図4に示す。図4の左方に示した制御用コンピュータには、油圧シリンダーの電磁弁を制御するI/Oボードと、各リンクの回転角度を検出するA/Dボードが搭載されている。制御用コンピュータで算出された各リンクの目標値によりI/Oボードを通して電磁弁に信号が送られ油圧シリンダーが動作し、各リンクが駆動される。各リンク角度は設置されたポテンショにより検出され、電圧値としてA/Dボードを通じてコンピュータに入力され、フィードバック制御される。操作インターフェースシステムとはLANを介して通信を行う。

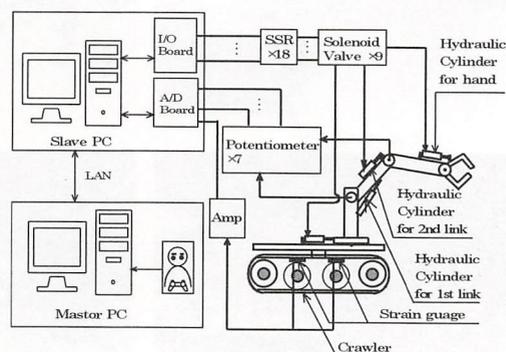


図4 信号流れ図

2. 路面抗力による転倒安定性判別手法の提案

前述のように災害現場では瓦礫の質量や作業路面形状が未知であることがほとんどである。瓦礫がロボットの可搬質量以上の場合、各リンクのアクチュエータが目標角を実現するために出し続ける力は直鎖リンク構造を介してロボットのボディに伝わり、ロボットの姿勢が変化しないまま転倒モーメントを増加させ、突然、転倒運動を引き起こす。そこで本研究では、ロボットが路面から受ける抗力を規範とした転倒安定性評価法を提案する。この手法は2つの評価法から構成され、1つはロボットに取り付けた力センサによりボディに働いている力を常に監視し、その路面抗力情報から安定・不安定状態の安定境界判別を行う方法である。クローラの3点が接地していれば転倒運動は生じない。しかし2点接地状態になると不安定状態となる。そのため本研究では2点以上の路面抗力が0になるときを不安定状態、それ以外を安定状態と定義する。4つの抗力のうち2つの抗力が0になり不安定状態になる組合せは6パターンとなる。

もう1つは、抗力の時間変化情報より安定状態時から不安定状態に移行するまでの予見的時

間を算出し、それを安定余裕時間として安定性を評価する手法である。より安全に作業を行うためには安定状態から不安定状態に移行するまでにどの程度余裕があるについても考える必要があり、安定余裕を安定状態から不安定状態になるまでの予見的な時間で表す手法を提案する。これは、各抗力の時間応答より、ある時間におけるそれぞれの抗力値と微係数より抗力が0になるまでの予見的時間を求め安定余裕時間を算出する方法である。これにより、安定化運動の際にアクチュエータの出力トルクの大きさや入力するタイミングの指針とすることができると考える。

本手法は路面抗力の値そのものを用いるため、リンク長さや車輪間距離などのパラメータ誤差が影響しにくいメリットがある。

3. 実験結果

提案した手法の有効性を確認するために、水平路面における可搬質量以上の物体の持ち上げ実験を行った。図5(a)に示すように初期姿勢において片アームに20(kg)、両アームで計40(kg)のおもりを持ち上げた。本ロボットの想定可搬質量は100(kg)であるが、実験のた

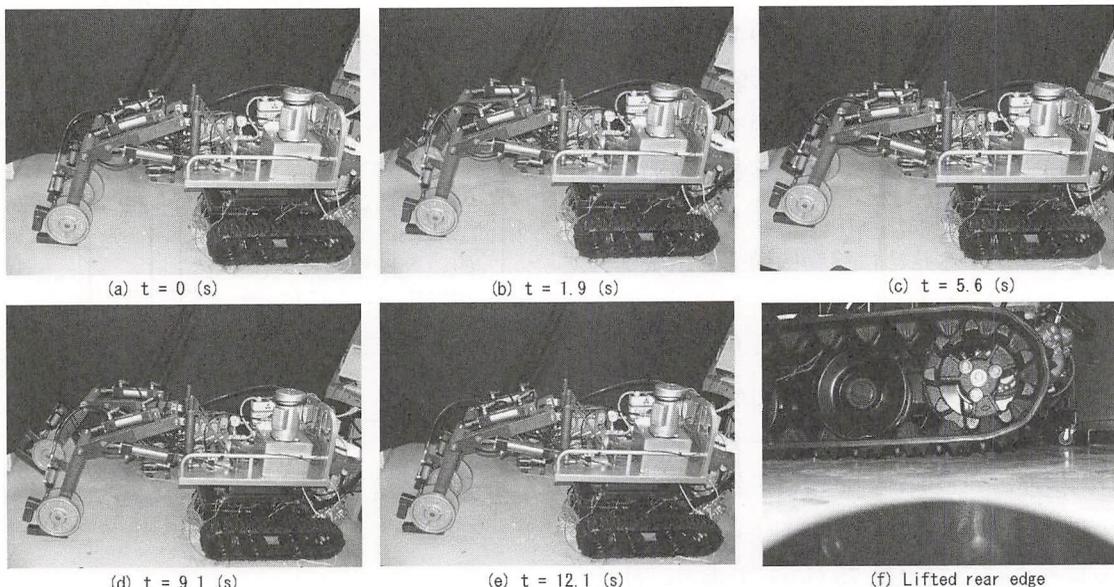


図5 運動結果

めにカウンターバランスを搭載しなかったため、40 (kg) の負荷で転倒運動が生じた。なお、ロボットの質量等のパラメータ、路面形状、把持物体の質量等の情報はコンピュータ内では未知である。

与えた運動は、図 5 (a) の初期状態から (b) の右アームの持ち上げ、(c) の左アームの持ち上げ、(d) の左アーム下げ、(e) の右アーム下げである。運動中の抗力応答と算出した安定余裕時間を図 6 に示す。クローラ前端の左右の抗力をそれぞれ f_{FR} 、 f_{FL} 、後端の左右の抗力をそれぞれ f_{RR} 、 f_{RL} で表す。図 5、6 を対比し考察すると、(a) の初期状態から右アームを持ち上げていくと (b) の $t = 1.9$ (s) までに右後端の抗力 f_{RR} が減少し、さらに左アームの持ち上げにより左後端の抗力、 f_{RL} が減少した。その際、(c) の $t = 5.6$ (s) になる前に後端の左右抗力が 0 となり、写真では判別しづらいが (e) に示すようにクローラ後端が路面から約 3 (cm) 浮き上がった。これは不安定状態であるが、本実験では安定性評価だけ行い安定化運動は行わなかった。その後、左アーム、右アームを下げるに伴い後端の左右抗力がそれぞれ増加し安定状態になっていることが分かる。また 5 (s) 付近において、抗力の減少により、安定余裕時間 T_s も減少し抗力が 0 になる前に T_s が 0 となり、判別ができていることが分かる。

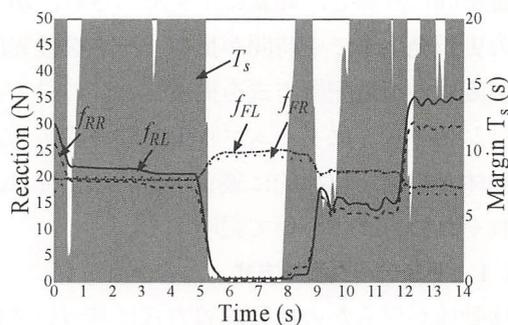


図 6 抗力応答と安定余裕応答結果

斜面、単純な凹凸路面上でも同様の実験を行ったが、同様の結果が得られ安定性評価が可能であることを確認した。以上により、提案した安定性評価法により、転倒安定性を評価することができることを示した。

[今後の研究の方向、課題]

本研究で製作したロボット本体には自立移動させるために発電機を搭載したが、これにより駆動できる油圧ポンプの流量が十分でなく、設計時のマニピュレータの運動速度を発生することができなかつたため今後改良を行う。

評価法については、提案した手法により安定性を判別することはできたが、不安定になりそうな場合には安定化制御を行う必要がある。さらに、多自由度のロボットの操縦や転倒安定性等の多種の情報処理を行いながら目標のレスキュー作業を遂行するためには、今回製作したインターフェース機能をさらに発展させたマン・ロボット協調/調停型インターフェースシステムが必要である。これらの改良・研究を行い、実際に災害現場で使えるロボットの完成を目指す。

[成果の発表、論文等]

- 1) 石樽芳弘, 羽多野正俊, 小原治樹, 高瀬博文: 油圧駆動型レスキューロボットの研究開発, 日本機械学会北陸信越支部第 33 回学生員卒論講演会, pp. 239-240 (2005)
- 2) 羽多野正俊, 小原治樹: クローラ駆動型移動作業車の路面抗力を用いた安定性評価, アドバンティ 2005 シンポジウム講演会, pp. 131-134 (2004)

高度モバイルアプリケーションのための効率的な 情報共有機構に関する研究

Study on Mechanisms of Efficient Information Sharing
for Advanced Mobile Applications

1041016

研究代表者

大阪大学 助教授

原 隆 浩

[研究の目的]

近年、携帯電話を始めとする小型計算機(移動体)の普及により、移動体のみで一時的に形成されるアドホックネットワークが注目されている。アドホックネットワークは、特別なインフラを必要としないため、災害時の救助活動、街中での情報共有、センサーネットワーク、カーナビゲーションシステムなど、様々なアプリケーションへの適用が期待されている。

本研究では、アドホックネットワークを基盤とする高度モバイル環境において、様々なアプリケーションを支援するための、情報共有機構の実現を目的とする。この機構により、ユーザ同士の快適な情報共有が実現され、ユーザの日常生活をより効果的にサポートできるものと考えられる。

[研究の内容, 成果]

本研究では、アドホックネットワークにおける情報共有基盤を確立するために、データ複製の管理方式について研究を推進した。アドホックネットワークでは、移動体の移動によりネットワークの分断が頻繁に発生するため、データ利用性の向上のために、オリジナルを持つ移動体以外の移動体に、データの複製を配置することが有効である。本研究では特に、(1) データ更新を考慮した複製管理、および(2) 消費

電力を考慮したデータアクセス・複製配置について重点的に研究を行った。以下では、これらの研究成果の概要について述べる。

1. データ更新を考慮した複製管理

データ更新が発生するアドホックネットワークでは、移動体が古い複製にアクセスする可能性がある。古い複製へのアクセスは、無駄なデータアクセスやロールバック処理を伴うため、消費電力が重要な問題となるモバイル環境では好ましくない。そこで本研究では、データの利用性の向上と古い複製へのアクセス回数の削減のための基盤技術について研究を行った。まず、各移動体が更新データを配布して、他の移動体のもつ古い複製を更新する更新データ配布方式を提案した。次に、各データの更新発生の間隔を確率的に計算し、頻繁にアクセスされ、かつ次の更新発生までの時間が長いデータを優先的に配置する複製配置方式を提案した。この方式では、各データにタイムアウト時間を設定し、移動体が複製を自律的に破棄する。以下では、それぞれの方式について説明する。

1.1 更新データ配布方式

移動体が何らかの複製配置方式に基づいて複製を作成する環境を想定し、以下の二つの更新データ配布方式を提案した。

DU (Dissemination on Update) 方式: データを更新した移動体が、相互接続している移動体に更新データを配布する。

DC (Dissemination on Connection) 方式：

新しく接続した二つの移動体が各データのタイムスタンプ情報を比較し、もともと接続していた移動体に更新データを再配布する(図1)。

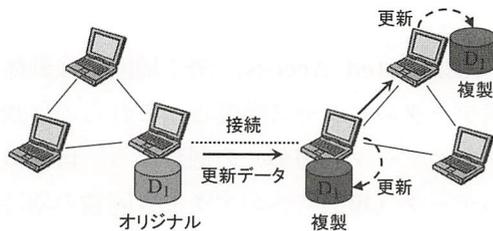


図1 DC方式における更新データの配布

シミュレーション実験の結果から、二つの提案方式は、更新データを配布しない場合に比べて、データの利用率を向上させ、古い複製へのアクセス回数を削減することを確認した。またDC方式は、DU方式より、更新データをネットワーク全体に伝播させるため、データの利用率を向上させつつ、古い複製へのアクセス回数を削減することを確認した。しかし、その反面、DC方式は、DU方式よりトラヒックを増大させることを確認した。実環境では、データの更新頻度や移動体のハードウェア性能に応じて、最適な方式を選択する必要がある。

1.2 複製配置方式

各データ D_j の各複製に対して PTT 値と呼ぶ評価値を次のように定義する。

$$P_{ij} \cdot \int_0^{t_{0j}-t_j} f_j(t+t_j) \cdot t dt$$

ここで、 p_{ij} は移動体 M_i のデータ D_j へのアクセス頻度、 $f_j(t)$ は D_j の更新間隔の確率密度関数、 t_{0j} は D_j の複製のタイムアウト時間、 t_j は D_j が更新されてから経過した時間である。なお、 t_{0j} は古い複製へのアクセス回数を削減するため、 D_j が更新された確率が閾値 α 以上になった場合に D_j の複製を破棄するように計算されたタイムアウト時間である。PTT 値は、移動体が D_j の複製を破棄するまでの平均アクセス成功回数を示す。つまり、移動体が PTT

値の高いデータの複製を作成すれば、データの利用率の向上と古い複製へのアクセス回数の削減を実現できる。本研究では、周期的に PTT 値を計算し、PTT 値に基づいて複製を配置する以下の三つの方式を提案した。

E-SAF (Extended-Static Access Frequency) α 方式：移動体が PTT 値の高いデータから順に複製を配置する。

E-DAFN (Ex.-Dynamic Access Frequency and Neighborhood) α 方式：E-SAF α 方式で複製を暫定的に配置した後、隣接移動体間で複製の重複を解消する。

E-DCG (Ex.-Dynamic Connectivity based Grouping) α 方式：移動体を安定度の高い二連結成分でグループ化し、各グループ内で複製が重複しないように、グループの PTT 値の高いデータの複製を配置する。

シミュレーション実験により、E-DCG α 方式、E-DAFN α 方式、E-SAF α 方式の順にデータの利用率が向上するが、古い複製にアクセスする割合が大きくなることを確認した。実環境では、データの更新頻度や移動体のハードウェア性能に応じて、最適な方式を選択する必要がある。

2. 消費電力均一化のためのデータアクセス・複製配置

アドホックネットワークでは、一般的に移動体は電力容量に制限がある。移動体が他の移動体のもつデータにアクセスする環境では、ネットワークの中心に存在する移動体は多くのデータを中継し、消費電力が大きくなるため、自身の電力を早く使い果たしてしまう。さらに、他の移動体が電力を使い果たした移動体のもつデータにアクセスできなくなり、データの利用率が低下してしまう。そこで本研究では、移動体の消費電力を均一化するデータアクセス方式と複製配置方式を提案した。以下では、それぞれ方式について説明する。

2.1 データアクセス方式

移動体が何らかの複製配置方式に基づいて複製を作成する環境を想定する。このような環境で、移動体が他の移動体のもつデータにアクセスしたときに、自身とデータをもつ移動体までの経路長と経路上の移動体の電力残量を考慮して、データ転送に用いる経路を選択する以下の三つの方式を提案した。

MH (Minimum Hop) 法：ホップ数が最小の経路を選択する。

MB (Maximum Battery) 法：経路上の移動体の最小の電力残量を経路の電力残量とし、経路の電力残量が最大の経路を選択する。

B-H (Battery-Hop) 法：経路の電力残量が閾値 σ 以上の経路の中で、ホップ数が最小の経路を選択する。 σ 以上の電力残量をもつ経路が存在しない場合は、MB法を用いる。

図2にデータアクセス方式による経路選択を示す。この図において、吹き出しは電力残量を示し、その中で灰色は経路の電力残量である。なお、この例では、MB法の σ を25に設定している。

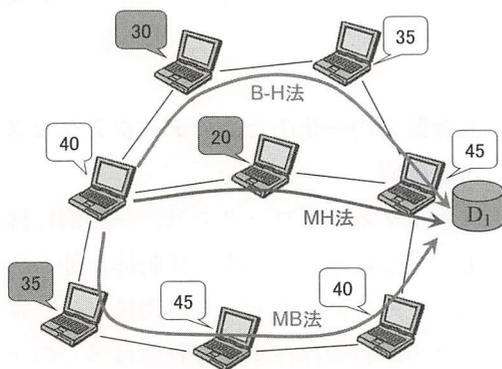


図2 データアクセス方式による経路選択

シミュレーション実験の結果から、提案方式は、単純に最短ホップ数の経路を用いてデータ転送する場合に比べて、電力を使い果たす移動体が初めて現れるまでの時間を長くし、移動体の消費電力を均一化できることを確認した。

2.2 複製配置方式

本研究では、他の移動体のもつデータにアクセスしたときに、複製を作成するものと想定する。その際、移動体の消費電力を均一化するため、データアクセスが特定の移動体に集中しないように複製を作成する以下の二つの方式を提案した。

EA (Expected Access) 法：周囲の移動体の各データのアクセス頻度と、これらの移動体のもつデータ（複製）の個数から、自身のもつデータ（複製）へのアクセス回数の期待値を計算して、期待値が高くなるデータの複製を配置する。

EA+B (Expected Access+Battery) 法：電力残量が σ より小さい移動体は、電力残量を早く使い果たすことを防ぐため、アクセスされにくいデータを配置する。なお、電力残量が閾値 σ より大きい移動体は、EA法と同じ動作をする。

シミュレーション実験の結果から、二つの提案方式は、従来のLRU法と比べて、電力を使い果たす移動体が初めて現れるまでの時間はほぼ同じで、データ利用性を大幅に向上させることを確認した。

[今後の研究の方向, 課題]

本研究の成果により、アドホックネットワークにおける情報共有のための重要な基盤技術を確認することができた。本研究では、アドホックネットワーク上の多くのデータベースアプリケーションは小数個の読書き操作からなる比較的単純なトランザクションを実行するものと仮定しているが、実際には複雑なトランザクション処理を要するものも存在する。

今後は、複雑なトランザクション処理を要するアプリケーションを考慮し、並行処理制御等の機構を検討する必要がある。さらに、研究開発した方法論を実システム上に実装し、運用評価することが重要な課題と考えられる。

[成果の発表, 論文等]

学術雑誌掲載論文

- 1) H. Hayashi, T. Hara and S. Nishio: Updated Data Dissemination Methods for Updating Old Replicas in Ad Hoc Networks, ACM/Springer Personal and Ubiquitous Computing Journal (2005, to appear)
- 2) 神崎映光, 原 隆浩, 西尾章治郎: アドホックネットワークにおけるトポロジの変化を考慮した TDMA スロット割り当て手法, 電子情報通信学会和文論文誌 B, Vol. J 88-B, No. 5, pp. 933-947 (2005. 5)

国際会議発表論文

- 1) H. Hayashi, T. Hara and S. Nishio: Updated Data Dissemination in Ad Hoc Networks, Proc. of Int'l Workshop on Ubiquitous Mobile Information and Collaboration Systems (UMICS 2004), pp. 29-43 (2004. 6)
- 2) H. Hayashi, T. Hara and S. Nishio: Replica Allocation Considering Data Update Intervals in Ad Hoc Networks, Proc. of IFIP/IEEE MWCN 2004, pp. 131-142 (2004. 10)
- 3) A. Kanzaki, T. Hara and S. Nishio: An Adaptive TDMA Slot Assignment Protocol in Ad Hoc Sensor Networks, Proc. of ACM SAC 2005, pp. 1160-1165 (2005. 3)
- 4) T. Hara: Location Management of Data Items in Mobile Ad Hoc Networks, Proc. ACM SAC 2005, pp. 1174-1175 (2005. 3)
- 5) M. Shinohara, H. Hayashi, T. Hara, A. Kanzaki and S. Nishio: VANS: Visual Ad hoc Network Simulator, Proc. of Int'l Conf. on Mobile Computing and Ubiquitous Networking (ICMU 2005), pp. 16-21 (2005. 4)
- 6) T. Hara: Strategies for Data Location Management in Mobile Ad Hoc Networks, Proc. of IEEE ICPADS 2005, pp. 147-153 (2005. 7)

国内シンポジウム・研究会

- 1) 神崎映光, 上向俊晃, 原 隆浩, 西尾章治郎: アドホックネットワークにおける無線リンクの片方向性を考慮した TDMA スロット割り当て手法, 情報処理学会 DICOMO シンポジウム論文集, pp. 313-

316 (2004. 7)

- 2) 篠原昌子, 林 秀樹, 原 隆浩, 神崎映光, 西尾章治郎: 視覚化機能をもつアドホックネットワーク・シミュレータのための再実行機構の実現, 情報処理学会 DICOMO シンポジウム論文集, pp. 473-476 (2004. 7)
- 3) 林 秀樹, 原 隆浩, 西尾章治郎: アドホックネットワークにおける移動特性とアクセス特性を考慮した動的複製配置方式の性能評価, 情報処理学会研究報告, Vol. 2004, No. 72, pp. 623-630 (2004. 7)
- 4) 神崎映光, 原 隆浩, 西尾章治郎: アドホックセンサネットワークにおける無線リンクの片方向性を考慮した TDMA スロット割り当て手法, 情報処理学会マルチメディア通信と分散処理ワークショップ論文集, pp. 305-310 (2004. 12)
- 5) 林 秀樹, 原 隆浩, 西尾章治郎: アドホックネットワークにおけるデータの更新ログの配布について, 情報処理学会研究報告, Vol. 2005, No. 6, pp. 103-110 (2005. 1)
- 6) 篠原昌子, 林 秀樹, 原 隆浩, 西尾章治郎: アドホックネットワークにおける消費電力を考慮したデータアクセスについて, 情報処理学会研究報告, Vol. 2005, No. 6, pp. 111-118 (2005. 1)
- 7) 篠原昌子, 林 秀樹, 原 隆浩, 西尾章治郎: アドホックネットワークにおける消費電力を考慮した複製配置方法について, 電子情報通信学会 DEWS 論文集 (2005. 3)
- 8) 林 秀樹, 原 隆浩, 西尾章治郎: アドホックネットワークにおける更新ログ配布方式の性能評価について, 電子情報通信学会 DEWS 論文集 (2005. 3)
- 9) 神崎映光, 原 隆浩, 西尾章治郎: アドホックネットワークにおけるネットワークトポロジの変化に応じた TDMA スロット割り当て手法について, 情報処理学会研究報告, Vol. 2005, No. 33, pp. 1-6 (2005. 3)

受賞

- 1) 平成 15 年度情報処理学会研究開発奨励賞 (2004. 5)
- 2) 2004 年度エリクソン・ヤングサイエンティスト・アワード (2004. 11)
- 3) 船井情報科学振興財団, 第 4 回船井情報科学振興賞 (2005. 3)

人間の操作性を考慮した運動特性可変型パッシブ移動台車システム

Passive-type Mobile Transport System with Variable Motion Characteristics for Improving Maneuverability

1041017

研究代表者

東北大学大学院工学研究科 助手

平田 泰久

[研究の目的]

現在、人間の重労働からの解放を目指し、様々な人間支援システムの研究開発が行われているが、その多くは、センサ情報を基にサーボモータをいかに制御するかという問題に注目している。このようなシステムは、非常に高機能なシステムは実現できるが、システムが複雑化・高コスト化する。また、システムの複雑化のために重量が増加し、サーボモータの誤動作等を考慮した安全対策も必要となり、実際にはなかなか実用化されないというのが現状である。

そこで、本研究では、システムの駆動力を、サーボモータではなく人の操作力で実現することを考え、その操作力によって実現される駆動力をブレーキによって適切に制御することにより、結果的にそのシステムが目的の運動を実現するシステムの研究開発を行う。このようなシステムは、基本的には人間の操作力によって運動が生成されるため、安全で実用的なシステムになると考えられ、今後の人間支援システムの研究開発において重要な技術になると考えられる。

[研究の内容、成果]

人間の支援を行うシステムの種類は非常に多岐にわたっているが、本研究では特に物体の搬送システムに注目する。人が物体の搬送を考えたとき、搬送物の大きさや重さに応じ、一人での搬送や複数人での搬送、道具を使っての搬送、重機を使っての搬送、アクティブなロボットを使っての搬送などから適切な搬送方法を選択する。ここで新たな選択肢の一つとして本研究では、パッシブ型の協調搬送システムを提案する。一般的に 400 [kg] 程度までの搬送物であれば、

サーボモータなどの動力なしに物体を搬送できることが知られているが、従来その程度の重量物のための知的搬送手段はほとんど存在していない。そこでそのような搬送物を対象として、手軽に利用できかつ高機能・高性能な知的搬送システムとして、パッシブ型搬送ロボットの実用化を目指す。以下本報告書では、パッシブロボティクスについて説明し、次に開発したパッシブ型搬送ロボットの概略を述べ、それをを用いた搬送制御アルゴリズムを提案する。

1 パッシブロボティクス

従来のロボティクスでは、サーボモータなどのアクチュエータを能動的に駆動しロボットの運動制御を行ってきた。サーボモータ等を適切に制御することにより、高性能かつ操作性の良いロボットシステムを実現することができる。しかし、人間生活環境下に適応するロボットの実現を考えた際、アクチュエータの誤作動などに対する安全対策が重要な問題となってくる。その対策のために、従来、力覚センサや触覚センサ、視覚センサなどの様々なセンサをロボットに搭載し、それらの情報をロボットの制御系に組み込むことで安全性を確保しようとしなければならない。また、通常よく利用されるサーボモータは高回転・低トルクという特性を持ち、減速機と共に使用されることが一般的である。さらには、各種装置に付随したサーボンプや制御装置などを搭載する必要がある。このことから、従来のシステムはその構造が複雑化し、重量増加につながるといった問題がある。また、必要装置の多さやその重量は、ロボットが必要とする消費電力の増加にもつながり、バッテリーによって駆動されるロボットには稼働時間の短さなども問題となる。このように人間生活下において人を支援することを目的としたロボット

トの実用化には、多くの課題が残されている。

これに対して、駆動力を持たずにシステムに加わる外力のみを制御することによって、結果的にシステムの運動を制御するパッシブロボティクスという概念がGoswamiらによって提案されている。これは、スプリングやダンパなどの機械要素から構成されるマニピュレータの手先を、スプリングの剛性などの機械要素パラメータを変更することによって、その運動をパッシブに制御するものであり、手先に加えられた力に基づいて手先に様々な運動を実現することができる。また、Peshkinらは、これらの概念を基にCobotと呼ばれる非駆動型の物体搬送システムを開発した。

そこで、本研究でもサーボモータなどを用いることなく、基本的には人の力によってのみ駆動されるパッシブ型搬送ロボットをベースに、そのロボットの車軸に取り付けられたブレーキをロボット制御技術により制御することで、高機能な物体搬送システムの実現を考える。パッシブロボティクスの概念を物体搬送システムに適用すると、駆動力が基本的に人の操作力に依存するため、システムの誤作動によりそのシステムが人の意図に反して能動的に運動するようなことは決してない。また、サーボアンプや減速機などの数を減らすことが可能となり、比較的シンプルで軽量となり、消費電力も少なく、長時間の使用が可能となるといった利点がある。

2 RT Porter

本研究では、パッシブ型搬送ロボットRT Porter (Robot Technology Porter)を開発した(参照図1)。本システムの制御性はブレーキの性能に大きく依存するため、制御性の高いブレーキを採用する必要がある。そこで本ロボットではMR Brake (Load Corp製MRB-2107-3)を採用した。このブレーキの動作原理はブレーキ内部に封入されたMR流体が、磁界の中にさらされると鉄の粒子が即座にチェーンを形成し、フリーフローの状態から固体に近い性質に即座に変化するというものである。特徴として、反応速度は数[ms]と非常に速く、印加する磁界の大きさに比例し粒子の拘束力が増すために、与える電流とブレーキトルクの関係が線形的となり、高精度なブレーキトルク制御が可能となる。

本ロボットの他の構成要素は、全方向移動を実現するZEN Wheelと呼ばれる車輪、エンコーダ、フレーム、制御装置、バッテリーであり3輪全方向型移動ロボットを実現している。本研

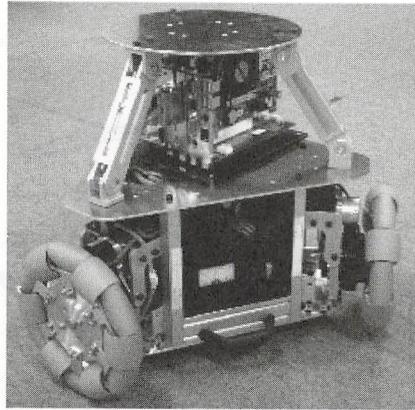


図1 RT Porter

究では、このブレーキのトルクを連続的に制御することで、搬送者や搬送物体に応じて任意に運動特性を変化させることで、的確な支援を可能とする物体搬送システムの構築を目的とする。

3 RT Porterの運動制御

RT Porterには能動的な運動を実現する駆動系を有していないので、RT Porterを水平面上で用いると仮定すると、その駆動力は基本的には人の力となる。従ってRT Porterの制御則は、図2に示すように人がRT Porterに加えることで車輪に発生する力を f_{fw} 、ブレーキトルクを τ_{bw} 、車輪の半径を R_w とすれば、 f_{fw} と τ_{bw} は次式を満たす必要がある。

$$f_{hw}R_w + \tau_{bw} \geq 0 \quad (f_{hw} \geq 0) \quad (1)$$

$$f_{hw}R_w + \tau_{bw} < 0 \quad (f_{hw} < 0) \quad (2)$$

即ち、この条件が満たされたときのみRT Porterの運動制御が可能となる。

次にRT Porterの運動方程式について考える。議論を簡単にするためにRT Porterを水

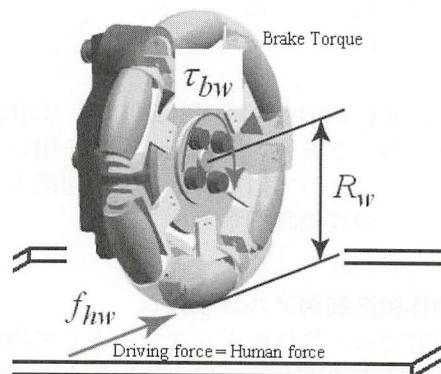


図2 Relationship between Brake Touque and Human's Force

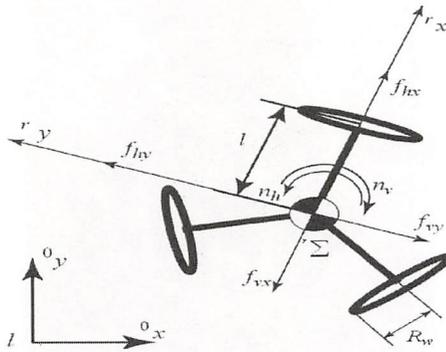


図3 Model of RT Porter

平面上で用いると仮定し、その駆動力は人が加える力/モーメントのみとする。また、図3に示すように RT Porter の質量中心は3輪の車軸の延長線上の交点とし、ロボットと搬送物体の質量中心は一致しているものとする。ロボットの全質量を M_R 、搬送物体の全重量を M_{ob} 、搬送物体の進行方向の粘性抵抗を D とする。さらに、RT Porter に人が加える力を τ_h 、進行方向へのブレーキ力を τ_b 、絶対座標系で表される RT Porter の実際の位置・姿勢を q とすると、物体を把持した RT Porter の運動方程式は次式で表される。

$$(M_R + M_{ob})\ddot{q} + D\dot{q} = \tau_h - \tau_b \quad (3)$$

ここで、各制御則に応じて、ブレーキ力/モーメント $\tau_b = [f_{bx}, f_{by}, n_\theta]^T$ が求められたとき、各車輪のブレーキトルクを $t_b \in R^{3 \times 1}$ とすると、車輪のブレーキトルクは次式で表される。

$$t_b = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{2R_w}{3} & -\frac{R_w}{3l} \\ -\frac{R_w}{\sqrt{3}} & \frac{R_w}{3} & -\frac{R_w}{3l} \\ \frac{R_w}{\sqrt{3}} & \frac{R_w}{3} & -\frac{R_w}{3l} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_{bx} \\ f_{by} \\ n_\theta \end{bmatrix} \quad (4)$$

従って、RT Porter は各制御則により求めたブレーキ力/モーメントを、式(4)を用いてブレーキトルクとして指定することが可能となり、本システムの運動制御が実現できる。

4 物体搬送制御アルゴリズム

本研究では、物体搬送システムとして物体搬送時の操作性や安全性の向上を目的とする2つの制御手法を提案する。1つ目は人間や搬送物の状態に適応して、任意に RT Porter の運動

特性を変化させる手法、2つ目は安全な搬送を実現するため、システムの運動状態に応じて搬送サポート力を搬送者と本システムとの間に発生させる手法である。

4.1 人間・搬送物適応型制御アルゴリズム

搬送者の運動能力や搬送物体の重量に応じて物体搬送システムの運動特性を任意に変化させることができれば、搬送者の操作能力や搬送物体の重量に関わらず常に操作性の高いシステムを実現することができるであろう。また、物体搬送システムの速度超過の防止や、旋回半径を搬送速度に応じて変化させ遠心力の影響で搬送物が振り落とされることを防止したりすることにも役立つと考えられる。ここでは、RT Porter の運動特性を可変とする制御系を設計するため、物体搬送システムが次式を満たすような制御側を考える。

$$M_d \ddot{q} + D_d \dot{q} = \tau_h \quad (5)$$

ここで、 M_d はみかけの慣性質量、 D_d はみかけの粘性抵抗を示し、この値を変化させることにより RT Porter に様々な運動特性を実現することが可能となる。そこで、式(3)と式(5)からブレーキ力/モーメント τ_b を導出すると次式のようなようになる。

$$\tau_b = \{M_d - (M_R + M_{ob})\} \ddot{q} + (D_d - D) \dot{q} \quad (6)$$

式(6)で表される制御入力をシステムに加えることにより、RT Porter にみかけの慣性質量 M_d 、及び粘性抵抗 D_d を実現することができ、RT Porter の運動特性を任意に変化させることが可能となる。

4.2 搬送サポート力制御アルゴリズム

台車のように単に車輪がついた道具を利用して重量物の搬送を行うことを考えると、旋回や停止をしようとしたときに、搬送物が搬送者の手を離れ単独で走行してしまうことがある。そこで、安全な物体の搬送を実現させるために、搬送物と搬送者の間に常にある設定値以上の相互作用力(搬送サポート力)が生じるように本システムを制御することを考える。

いま、搬送システムが搬送サポート力 τ_s を生じるように RT Porter の制御側を考えたとき、それは次式によって表される。

$$\tau_s = \tau_h \quad (7)$$

式(7)を式(2)に代入し τ_b を導出すると次式を得る。

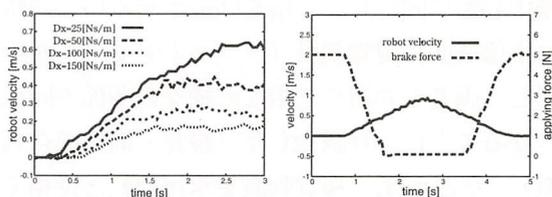
$$\tau_b = -(M_R + M_{ob})\ddot{q} - D\dot{q} + \tau_s \quad (8)$$

これにより、システムは常に操作者に対して搬送サポート力を加えることが可能となり、安全な搬送ができるようになる。

5 実験

提案した RT Porter 及びその運動制御系の有効性を示すために、2種類の実験を行った。まず1つ目は人間・搬送物適応型制御アルゴリズムについての検証実験を行った。本実験では傾斜面を用意し、RT Porter をその自重により駆動させた。これは、RT Porter が搬送者によってある一定の力が加えられた状態を模擬したものであり、その時のシステムの運動特性の変化を確認することができる。ここで、式(5)により物体搬送システムに任意の運動特性を持たせることを考える。しかしながら、本システムに搭載したエンコーダの性能上、加速度フィードバックを行うことは困難である。そこで、実用的な観点から $M_d = M_R + M_{ob}$ とし、粘性抵抗の差 $D_d - D$ を任意に与え、実験を行った。ここでは $D_d - D = 25, 50, 100, 150$ [Ns/m] の4種類を与えた。

そのときに RT Porter の運動の結果を図4(a)に示す。尚、本実験の結果は搭載されたエンコーダにより計測されたものである。この図より、みかけの粘性抵抗が増すことによって、RT Porter の進行方向成分の到達速度や速度の立ち上がりに変化が現れていることが確認でき、システムの運動特性を変化させることが可能であることが示された。また、本実験より、速度超過などを抑制することも可能であることが期待できる。また、高分解能のエンコーダや高精度加速度センサなどの使用により、みかけの慣性行列を変化させることも可能であることが考えられる。



(a) AdaptiveControl (b) Support Force Control

図4 Experimental Results

次に、提案した搬送サポート力制御アルゴリズムについての検証実験を行った。実験は人間・搬送物適応型制御アルゴリズムの検証実験

と同じ実験環境において、実験を行った。先に述べたように加速度フィードバックを行うことは困難であるため、加速度情報は用いず速度情報から τ_b を求め、その効果について検討した。搬送サポート力 $f_{sx} = 5$ [Ns/m] と設定し、粘性定数 $D_x = 10$ [Ns/m] として実験を行った。実験結果図4(b)は、RT Porter がスロープを下っている区間（搬送者が本システムに対してある一定の力を加え駆動させている区間）と、平地に移り停止するまでの区間（搬送者が本システムに対して加える力を減少させている区間）における、RT Porter の進行方向成分の速度とブレーキトルクにより生じる進行方向成分の力を表している。これより、加速度情報がない場合であってもこのアルゴリズムを用いることで、システムの運動状態に応じたブレーキトルクが発生していることが確認できる。また、本実験より加・減速時における急発進や慣性力によりシステムの単独走行を抑制すること可能であることが期待できる。

[今後の研究の方向、課題]

本研究では、パッシブロボティクスの概念に基づき、パッシブ型の3輪全方向移動ロボット RT Porter を開発し、それを用いることで高い安全性が保障される物体搬送システムが構築可能であることを示した。また、本システムに搭載した制御性の高い MR Brake を連続的に制御することで、人間・搬送物体に応じて物体搬送システムの運動特性を任意に変化させる手法と物体搬送システムの運動状態に応じたブレーキトルクの制御を行うことで、搬送者とシステムの間が生じる相互作用力を任意に制御する手法を提案した。

今後の課題として、実際に生じている搬送者とシステムの間が生じる相互作用力を測定することで、今回提案した手法のさらなる有効性を確認することや、複数台のパッシブ型3輪全方向移動ロボット RT Porter を用いることで、より拡張性の高い協調搬送システムの実現を目指していきたいと考えている。

[成果の発表、論文等]

- 1) 深谷憲太, 平田泰久, 小菅一弘: パッシブロボティクスに基づいた人と移動ロボットによる物体のハンドリング, 第5回制御部門大会資料, pp. 491-494 (2005)

運動の学習と記憶に関する神経情報工学的研究

A Neuro-information Engineering Study on Motor Learning and Memory

1041018

研究者代表

中部大学工学部 教授

平 田 豊

[研究の目的]

生物の脳・神経・筋骨格系により実現される運動の制御やその学習と記憶保持能力は、自律歩行が可能となったヒューマノイドとヒトとの調和を促進し、福祉や産業応用を目指す上で欠かせない機能である。しかしながら、現在のところこうした生体特有の高次機能を工学的に実現するには多くの課題が残されている。中でも、学習・記憶の発現メカニズムの工学的理解は最も重要な課題であり、生物実験ならびに理論的考察を融合したアプローチが不可欠と考えられる。そこで本研究では、生物の運動制御・学習・記憶保持メカニズムを電気生理実験ならびに制御・情報論的観点から明らかにすることを目的とする。

[研究の内容, 成果]

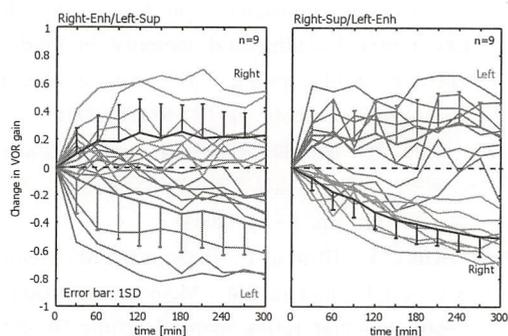
前庭動眼反射 (VOR) は、頭部運動時にそれとは逆方向にほぼ同じスピードで眼球を回転させることにより、安定した視覚を得るための反射性眼球運動である。VOR は学習機能を有し、成長や加齢等による眼球筋肉系の特性変化に対し、中枢神経系 (コントローラ) の特性を自律的に校正することにより、生涯に亘りその機能を高い精度で保つことができる。VOR はその明確な機能に加え、神経経路がよく同定され、入出力信号 (頭部回転, 眼位) の観測・マニピュレーションが容易である等の特徴から、

生物の運動学習機能を探る上で格好の対象として捉えられている。VOR は魚類においても進化上霊長類と同等に発達しており、金魚では行動、解剖、生理学的特性においてサルやヒトとの共通点が多く示されている。これまでの研究により、VOR 運動学習は小脳の不活性化により生じなくなることや、学習の前後で小脳の出力細胞である Purkinje 細胞の発火パターンが変化することなどが示されており、他の運動学習と同様、小脳が VOR 運動学習において重要な役割を果たしていることが知られている。そこで、本研究では金魚 (*Carassius auratus*) ならびにリスザル (*Saimiri sciureus*) を用い、種々の VOR 運動学習課題を与え、その時の小脳 Purkinje 細胞電位を同時計測する実験を実施するとともに、小脳皮質の神経回路網に関する解剖・生理学的知見を忠実に反映したニューラルネットワークモデルを構築し、小脳における情報処理について検討した。

金魚の VOR 運動学習は、被験体を円筒形水槽中心部に固定し、水槽を回転させるのと同時に水槽壁面に視覚刺激 (ランダムドット) を投影し、両者を同相や逆相など種々の関係で回転させることにより誘発した (視覚-前庭競合刺激)。たとえば、視覚刺激を水槽回転と逆相で与えると拡大眼鏡装着時と等価な光学効果が得られ、こうした刺激を与え続けることにより VOR ゲイン (眼球回転速度 / 頭部回転速度) が増加する学習が誘発される。逆に、視覚刺激と水槽が同相で回転する刺激では、VOR ゲイ

ンは徐々に減少する。サルでは、頭部を椅子に固定し、これを白色円筒形スクリーン中心に配置して、金魚と同様、椅子とスクリーンに投影される視覚刺激の組み合わせにより VOR 運動学習を誘発した。

図1に、金魚の VOR 学習曲線を示す。これは、頭部回転の方向に依り、学習すべき VOR ゲインの方向（増減）が異なるような学習課題を与えた際のものである。この結果は、金魚が左右頭部回転時の VOR ゲインを同時に逆方向に学習できることを示している。サルにおいても、これと同様の結果が得られた (Data not shown)。これに対し、図2は左右いずれかの頭部回転時のみ学習を要する学習課題でトレーニングした場合の金魚 VOR 学習曲線を示している。この図から、片側頭部回転時のみの VOR ゲイン増加トレーニングでは、頭部回転の方向に依らず、学習を要する頭部回転方向だけに VOR ゲイン変化が生じ、学習を要さない逆方向回転時のゲインは変化しないことがわかる。一方、片側頭部回転時のみ VOR ゲインを減少させるトレーニングでは、学習を要さない頭部回転方向の VOR ゲインも学習を要する回転方向の VOR ゲインと同じ方向に変化している。これらの結果は、VOR ゲインを増加させるメカニズムと減少させるメカニズムが異なるこ

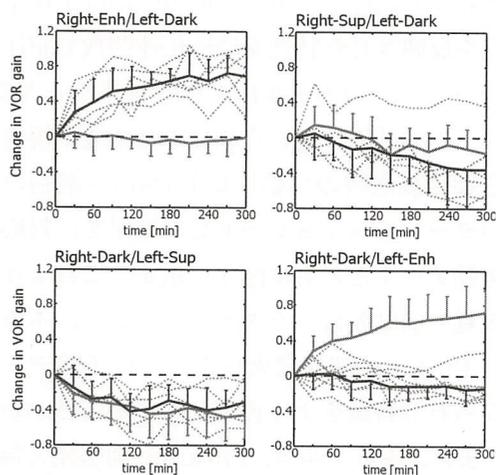


左：頭部右回転時ゲイン増加・左回転時ゲイン減少学習パラダイムにおける、頭部右回転時ゲイン変化（青）と左回転時ゲイン変化（赤）。各色エラーバー付き太線は各々同色細線の平均と標準偏差を表す。右：頭部右回転時ゲイン減少・左回転時ゲイン増加パラダイム。フォーマットは左図と同じ。金魚は、左右頭部回転時の VOR ゲインを同時に異なる方向（増・減）に変化させられることを示している。

図1 金魚 VOR の学習曲線（横軸：学習時間、縦軸：VOR ゲイン変化量）

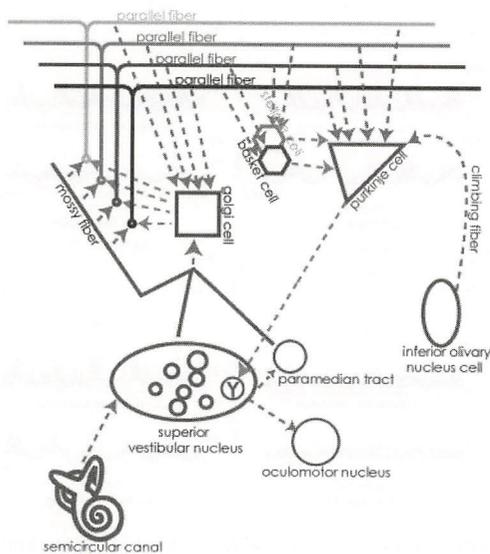
とを示している。

以上の実験結果を説明・理解するために、図3に示すような VOR の数理モデルを構築し、計算機上に実装した。このモデルでは、VOR



左上：頭部右回転時のみゲイン増加（左回転時トレーニングなし）学習。右上：右回転時のみゲイン減少学習。左下：左回転時のみゲイン減少学習。右下：左回転時のみゲイン増加学習。フォーマットは図1と同じ。金魚は、頭部運動の左右に関係なく、ゲイン増加学習は他方向（学習を要しない頭部回転方向）へのゲイン変化なしに独立に行えるのに対し、ゲイン減少学習は学習を要する頭部回転方向のゲインだけでなく、他方向へのゲイン変化も伴う。

図2 右または左頭部回転時のみ学習課題における金魚 VOR 学習曲線



小脳皮質の構造は解剖学的知見に基づき 5 種の神経細胞 (Granular, Golgi, Basket (Stellite), Purkinje cells) と 2 種の入力 (mossy fiber, climbing fiber) で構成してある。神経細胞数は各細胞の存在比率が小脳皮質の解剖学的知見を近似するよう、Granular cell: 10000, Golgi cell: 900, Basket cell: 60, Purkinje cell: 20 となっている。各細胞は Integrate-and-fire モデルで記述し、細胞間の接続様式も解剖学的知見を忠実に反映したものになっている。

図3 VOR モデルの模式図

運動学習・記憶の座として有力視されている小脳片葉の神経回路網構造が陽に記述され、かつ他の経路も解剖学的知見を忠実に反映した構造となっている。小脳皮質の神経細胞は各々 Spiking Neuron モデル (Integrate-and-fire モデル) で記述しており、他の経路は生理学的知見を反映させた特性を持つ伝達関数で記述されている。このモデルにより、従来から VOR システムの評価に用いられてきた4種の視覚-前庭競合刺激時の小脳片葉 Purkinje 細胞の発火パターンをシミュレートした結果を、対応する実験データとともに図4に示す。これより、各視覚-前庭競合パラダイムにおいて、本モデルの Purkinje 細胞発火パターンは実験データに見られる特徴をよく再現していることがわかる。また、本モデルは、Purkinje 細胞発火頻度に見られる大きなばらつきや発火間隔ヒストグラムの分布形状もよく再現している (Data not shown)。Purkinje 細胞は小脳皮質唯一の出力細胞であり、これらの結果は、本モデルが

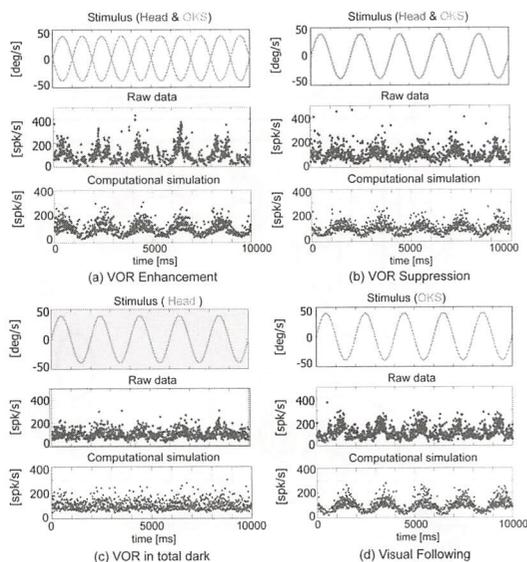
視覚-前庭競合パラダイムにおける系の振る舞いを小脳出力レベルにおいて忠実に表現していることを裏付けている。

[今後の研究の方向, 課題]

今後は、現在の小脳皮質モデルに、これまでに発見・追試確認されているシナプス、非シナプス可塑性を導入し、図1, 2に示した学習課題を例に、小脳皮質の運動学習アルゴリズムならびに情報処理様式を明らかにする。また、このアルゴリズムをロボット制御に応用し、自律学習型コントローラとしての有効性を確認する。これまで、種々の小脳皮質における学習アルゴリズムが提案されてきたが、実験データと定量的に対応付けた検証はほとんどなされていない。今後は、こうした点を踏まえ、モデルによる予測・仮説を実験により検証し、より多角的な視点から小脳運動学習の脳内メカニズム理解とその工学的応用を目指す。

[成果の発表, 論文等]

- 1) Inagaki, K., Hirata, Y., Blazquez, PM. and Highstein, SM.: Cerebellar cortical network model for vestibuloocular reflex motor learning. Annual Meeting Soc. Neurosci. Submitted.
- 2) Yoshikawa, A., Yoshida, M. and Hirata, Y.: Left-right asymmetrical and frequency selective motor learning and memory in goldfish vestibulo-ocular reflex. 34th Annual Meeting Soc. Neurosci. Abstr. 30, CD-ROM (2004)
- 3) 平田 豊: 垂直性前庭動眼反射の運動制御ならびに学習と記憶. 宇宙航空環境医学会論文誌, 第41巻, 第1号, pp. 1-24 (2004)
- 4) Kuki, Y., Hirata, Y., Blazquez, PM., Heiney, SA. and Highstein, SM.: Memory retention of vestibuloocular reflex motor learning in squirrel monkeys. Neuroreport, Vol. 15, No. 6, pp. 188-192 (2004)
- 5) Blazquez, PM, Hirata, Y and Highstein, SM.: The vestibulo-ocular reflex as a model system for motor learning: what is the role of the cerebellum? Cerebellum, Vol. 3, No. 3, pp. 478-481 (2004)



代表的な4つの視覚-前庭競合刺激における小脳片葉 Purkinje 細胞発火パターン実験データとモデル出力の比較。左上: VOR enhancement (視覚刺激と頭部回転速度が逆相関係), 右上: VOR suppression (視覚刺激と頭部回転速度が同相関係), 左下: VOR in dark (暗所で頭部回転刺激のみ付加), 右下: Visual following (頭部固定で視覚刺激のみ付加)。各パネルで上段は頭部ならびに視覚刺激速度プロファイル, 中段はサルを用いた実験で得られた典型的な Purkinje 細胞発火パターン, 下段はモデルの Purkinje 細胞発火パターン (20個のうちの一つ)

図4 VORモデルのパフォーマンス評価

- 6) Yoshikawa, A., Yoshida, M. and Hirata, Y.: Capacity of the horizontal vestibuloocular reflex motor learning in goldfish. Proc. 26th Annual International Conference of the IEEE EMBS, pp. 478 – 481 (2004)
- 7) 平田 豊：動的視覚安定化の脳内情報処理, 日本神経回路学会論文誌, Vol. 11, No. 4, pp. 176 – 192 (2004)
- 8) Hirata, Y., Yoshikawa, A., Blazquez, PM. and Highstein, SM.: Evaluation of the inverse dynamic model in cerebellum during visual-vestibular interactions at different VOR gains in squirrel monkeys. Neurocomputing, in press.
- 9) Blazquez, PM., Hirata, Y., Heiney, SA. and Highstein, SM.: The Y group revisited following VOR adaptation. 34th Annual Meeting Soc. Neurosci. Abstr. 30, CD-ROM (2004)
- 10) 吉田匡利, 吉川明昌, 平田 豊：金魚 VOR 運動学習と記憶保持特性の広帯域計測, 電気関係学会東海支部連合大会講演論文集, CD-ROM (2004)
- 11) 九鬼陽介, 小瀬龍太, 平田 豊：頭部運動方向と速度依存性を考慮した前庭動眼反射運動学習時に用いられる誤差信号の評価, 電気関係学会東海支部連合大会講演論文集, CD-ROM (2004)

機能的電気刺激法を用いた脊損患者の静的立位機能 補償機構開発のための基礎研究

Fundamental Research for Development of FES-System for Quiet Standing

1041019

研究者代表	トロント大学生体材料・生体医工学部 客員 研究員	政 二 慶
共同研究者	トロント大学生体材料・生体医工学部 助教授	M. R. Popovic

[研究の目的]

国内の脊髄損傷患者 (SCI 患者) は 10 万人規模であり、年 5 千人の勢いで増加している。医工学的な手法で運動機能を補償することで、SCI 患者および介護者の心身の健康を維持増進できる。運動機能補償の手法として、携帯型の刺激装置を用いて機能不全筋に電気刺激を与える方法、機能的電気刺激法 (FES 法) が提案されている。手指動作への応用は実用化に近いが、全身の大筋群を対象とした歩行・立位動作についてはまだ実用化に時間がかかる。本研究は患者の QOL (Quality of Life) を高めるような動的立位 (上肢の運動を伴う立位) を補償する FES 法開発を念頭に置き、より基礎的な静的立位姿勢 (上肢動作を伴わない) を補償する FES 法開発を目標とする。静的立位を補償することは動的立位へのステップとなるばかりでなく、褥瘡対策、循環器系改善、下肢代謝改善、骨代謝改善、心理的治療効果等の心身への効果が期待できる。

[研究の内容, 成果]

1. 足関節伸筋の制御 (研究 1)

従来の研究に於ける立位のための FES 法は、比較的大きな刺激を用いることで脚を固め、その粘弾性で制御 (ここでは passive 制御と呼ぶ) しようというものが多かった。しかしながら、健常成人の立位に於いて粘弾性は立位を達成するためには不足しており、中枢神経系に

よって身体のキネマティクスに合わせた筋活動の制御 (active 制御と呼ぶ) が為されていることが示唆されている。従って FES により passive 制御を行うと、必要以上の刺激が必要で、筋疲労が早く長時間の立位を達成することは出来なかった。

我々は足関節伸筋活動と身体動揺との相互相関関数解析を用いて、足関節伸筋の制御は active 制御であることを示唆した (Masani ら 2003)。さらに足関節伸筋活動が身体動揺に 150-200 ms と比較的長時間先行していることも明らかにした。Active 制御による立位制御系は比較的長いフィードバックループ時間があるはずであるが、これにも関わらず先行時間が 200 ms も生じる制御系は、PD 制御器でモデル化するならば、比較的微分ゲインが高い制御器となるはずである。この観点から、ヒト立位を PD 制御器で制御した場合、どのような PD 制御器が生理的に観察される程度の先行時間を生じるかを検討し、PD 制御器を同定した (Masani ら in press)。本研究では、同定された比較的微分ゲインの大きな PD 制御器を、FES 法に应用することを試みた (Vette, Masani ら 2004a; 2004b; 2005)。

被検者は von Hippel-Lindau 病という神経系を含む全身各所に腫瘍ができる疾患患者 1 名であった。被検者はバランスの不全があり、静止立位を行うことは出来るが健常者と比べ身体動揺が大きい。本研究では FES 法を下腿三頭筋に適用し、この刺激強度を同定された PD 制御器を用いて制御することで身体動揺が減少する

かを検討した (図1)。条件を1) 通常の立位 (Nat), 2) PD 制御器で制御された立位 (Cr1), 3) 一定の電気刺激を与えた立位 (Cst) の3種類とし, それぞれの身体動揺を比較した。

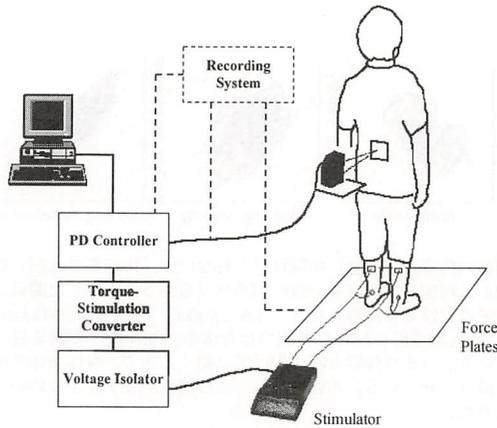


図1 FESによる足関節制御実験

図2 A は3条件下の身体動揺である。一見してCr1時の動揺が, それ以外2者の動揺より小さいことが見て取れる。COM 変位の標準偏差で評価すると, Nat: 1.1 cm, Cr1: 0.90 cm, Cst: 1.32 cm であり, Cr1 が最も小さかった。健康成人では高齢者を含めても 0.2 ~ 1.0 cm 程度であり, Nat や Cst ではこの範囲を逸脱し, Cr1 でかろうじて範囲に収まったわけである。

図2 B は身体動揺のパワースペクトルの両対数プロットである。このプロットから, 身体動揺解析として近年頻用される SDA 解析 (Collins と DeLuca 1994) と同様, 身体動揺のハースト指数を算出できる。ハースト指数が 0.5 より小さく, その値が 0 に近いほど, 動揺

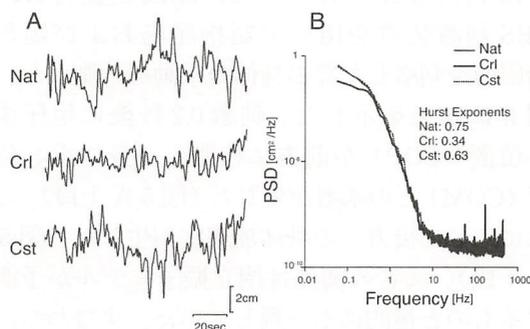


図2 FESによる足関節制御実験における身体動揺 (A) とパワースペクトル (B)

が強いフィードバック制御を受けていると解釈される (政二ら 2004)。図2 B では, Nat, Cst がほぼ同じスペクトルを示したのに対し, Cr1 は低周波数領域に置いて, 緩やかな傾きのスペクトルを呈している。この低周波領域スペクトルの傾きから算出されたハースト指数は, Nat: 0.75, Cst: 0.63 に対し, Cr1: 0.34 であった。Nat, Cst が 0.5 より大きなハースト指数を示していることは, 動揺が病的で, フィードバック調節が働いていないことを示唆するものである。これが Cr1 に於いて 0.5 より小さくなったことは, 用いた PD 制御器により適切に制御されたことを示唆する。

すなわち, 筋電図の身体動揺に対する先行時間に着目して同定された PD 制御器は, FES 法に適用することで, 患者のバランスを改善することができた。このことは本知見の FES 法への応用可能性を示すのみならず, 生体が微分ゲインの高い制御器を用いていることを支持するものでもある。

2. 体幹の制御 (研究2)

我々のこれまでの研究により, 静止立位中の体幹挙動に関して以下のことが明らかとなっている: 静的立位といえども股関節の挙動は大きく, 上体と脚の2セグメントでモデル化した方がよい: 上体と脚の挙動は, 身体重心加速度を最小化するように制御されている (Aramaki, Nozaki, Masani ら 2001)。ただしこの制御が passive 制御か active 制御かは不明である。

FES 法で実現すべきモデルとして, 以下の2つのモデルが想定される。モデル1) 足関節トルクは全身の挙動をフィードバックして active 制御され, 股関節トルクは stiffness だけを一定に与えた passive 制御とする。モデル2) 足関節, 股関節トルクとも上体あるいは全身の挙動をフィードバックして active 制御される。本研究ではこの2つのモデルを検討した。

2.1 筋活動と体幹挙動の相互相関解析

まず足関節伸筋の制御則を同定した方法 (Masani ら 2003; Masani ら in press) を応用し, 体幹の制御様式について検討した。

5名の被検者について, 静止立位中の固有背筋, 腹直筋筋電図を導出した。同時に4台の

レーザー変位計を用いて体幹と脚の動揺を計測した。筋電図と体幹セグメントの挙動の関係を相互相関解析により検討した。

その結果、静止立位中には両体幹筋群の活動が予想されたよりも小さいことが明らかとなった。また静止時より動作時に一過性に筋活動が高まる様子が観察された。これらの筋の活動様相は tonic で、身体挙動との明瞭な相関が観察されなかった。この結果は、股関節は passive 制御が為されていることを示唆する。

2.2 計算機シミュレーション

計算機シミュレーションを用いて、体幹部の制御について検討した。シミュレーションは Matlab7.0.1R14SP1, Simulink6.1, SimMechanics2.2.1 を用いて行われた。身体を模した 2 リンクセグメントモデルを用い、足部は上記で同定した PD 制御器で制御し、体幹はモデル 1, 2 の 2 通りの制御様式を比較した。足部に外乱トルクを付加し、静止立位時の挙動を検討した (図 3)。

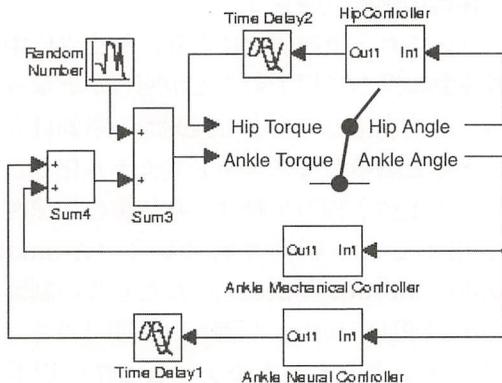
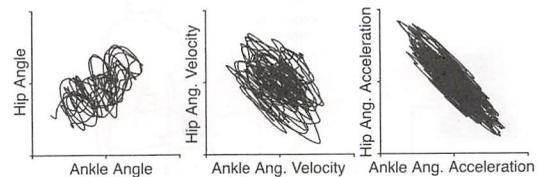


図3 身体 2 リンクセグメントモデルのシミュレーション図式

モデル 1 と 2 の相違点は、フィードバックループに神経回路に於ける情報伝達遅延に相当する時間遅れ (図 2 中 Time Delay 2) の有無である。第一の結果として、モデル 2 ではフィードバックループに 40 ms 程度以上の時間遅れを入れた場合、静止立位を保つことが極めて困難であった。かろうじて立位を保てた場合も生理的に観察されるより格段に大きな動揺となった。

これに対しモデル 1 (Time Delay 2 = 0 ms)

では幅広い範囲の PD 制御器に対して静止立位を再現できた。また、体幹と脚の挙動は相反的で重心加速度を最小化しており、実験的に観察されるもの (Aramaki, Nozaki, Masani ら 2001) と同様であった (図 4)。



両関節の角度変化は強い相関は見られないが、角速度では弱い負の相関が、角加速度では強い負の相関が見られる。こうした関係は、健常者の立位でも観察された (Aramaki, Nozaki, Masani ら 2001)。角加速度に見られる関係は身体重心加速度の変動を最小化している。つまり体幹と脚が相反的に動くことで、身体全体の加速度を減少させている。本研究では、この関係がモデル 1 に於いて認められた。

図 4 シミュレーションに於ける足関節 (横軸) と股関節 (縦軸) の角度 (左), 角速度 (中), 角加速度 (右) の関係

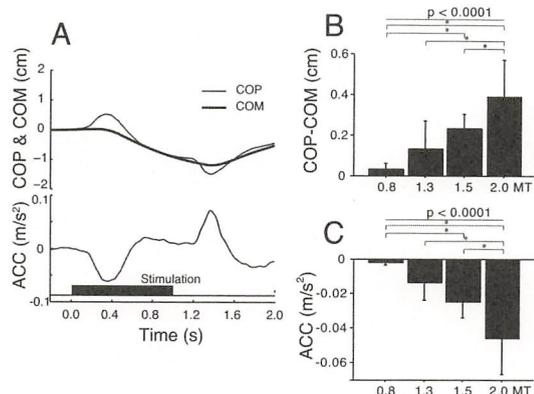
以上 2.1, 2.2 の研究結果より、静止立位中の体幹周りは足関節伸筋と異なりステイフネス制御 (passive 制御) されている可能性が示唆された。従って、FES 法では、股関節周りについてはフィードバック制御の必要がなく、一定のレベルでの刺激で十分であろうと予想される。

3. 足指筋群の貢献についての検討 (研究 3)

立位制御は足関節周りで検討されることが多い。しかし日常生活では「足の指で踏ん張る」ことが度々ある。そこで、立位制御に於ける足指筋群の貢献、および FES への応用について検討を加えた (Tortolero, Masani ら 2004; Masani ら 2004)。

10 名の被検者について、開眼立位時に、FES 刺激装置を用いて短指屈筋および短母指屈筋を刺激した際の身体の挙動を計測した。図 5 に結果を示した。刺激 0.2 秒後に足圧中心位置 (COP) が前方に移動し、身体重心位置 (COM) との乖離が生じた (図 5 A 上段)。これに応じて後方への身体加速度が生じた (図 5 A 下段)。両者の関係は倒立振り子モデルが予測するものと量的にも一致していた。すなわち、誘発された身体加速度は、足指筋群刺激により誘発された COP と COM の乖離に依存してい

たと考えられる。また誘発された加速度の量は、適用した FES 刺激の量に比例していた (図 5 C)。



A: FES 刺激により COP と COM の乖離が生じ (上段), これに従って身体重心加速度が広報向きに生じている (下段)。B, C: FES 刺激を増大させると, これに比例して COP と COM の乖離量 (B), 身体重心加速度 (C) が増えた。

図5 足指筋群への FES による立位姿勢の応答

以上の結果は, 足指筋群は静的立位制御に貢献することを示唆するものである。また刺激と反応の線形性 (図 5 B, C) は, この系の FES への応用可能性を強く支持する。注目すべきは用いた刺激強度は足関節伸筋に適用するものより格段に小さいことであり, 足関節伸筋に FES を適用するより小さな刺激で静止立位を制御できる可能性を示唆する。

[今後の研究の方向, 課題]

本研究では, SCI 患者の静的立位 FES 法開発を念頭におき, 足関節, 股関節, 足指筋群の制御について検討した。足関節制御系は患者への応用まで, 股関節制御系は理論研究まで, 足指筋群については基礎データを収集することが出来た。

研究 1 に於いては, 足関節屈筋の制御は行わなかった。実際の立位では足関節屈筋活動はほとんど見られないというものの, 足関節周り制御に於いては残された課題である。

研究 2 では, 股関節筋群の passive 制御が示唆された。しかしながら, 表層筋の活動は予想されたより少なく, 深部筋の貢献が大きく, そ

の活動が active 制御される可能性が残された。今後は体幹深部筋を含めたより詳細な筋の検討が必要である。

研究 3 では, 基礎データを収集できたので, 制御系の決定, 応用が次の課題である。

さらに, 立位中は大腿部筋群の活動が見られるので, この制御系について今後は検討していきたい。また本研究では SCI 患者への適用には至らなかったで, 今後適用を検討したい。

[成果の発表, 論文等]

- 1) Masani K, Popovic MR, Nakazawa K, Kouzaki M, and Nozaki D: Importance of body sway velocity information in controlling ankle extensor activities during quiet stance. *J Neurophysiol* 90 (6): 3774-3782 (2003)
- 2) Masani K, Vette AH, and Popovic MR: Controlling Balance During Quiet Standing: Proportional and Derivative Controller Generates Preceding Motor Command to Body Sway Position Observed in Experiments. *Gait and Posture*, in press.
- 3) Vette AH, Masani K, and Popovic MR: Physical Implementation of a PD Controller for Improving Human Balance during Quiet Stance. *Artificial Organs* 28 (8): 756 (2004)
- 4) Vette AH, Masani K, and Popovic MR: Physical Implementation of a PD Controller for Improving Human Balance during Quiet Stance. *Proceedings 8th Vienna International Workshop on Functional Electrical Stimulation*, pp. 146-148 (2004)
- 5) Vette AH, Masani K, and Popovic MR: Implementation of a PD Controller for Improving Human Balance. *10th Annual Conference of the International FES Society*, Montreal, Canada (2005)
- 6) Tortolero X, Masani K, Maluly C, and Popovic MR: The Role of Toes in the Fine-Tuning Control of Balance. *The Ontario Biomechanics Conference*. Barrie, Canada (2004)
- 7) Masani K, Tortolero X, Maluly C, and Popovic MR: Toes can fine-tune balance during quiet stance. *The 34th Annual Meeting Society for Neuroscience*, San Diego, USA (2004)

国際交流報告の抄録一覧

(平成16年度)

〔派遣〕

- ◆ 国際生産技術者会議 2004 年度通常総会 (1042001) 94
片 平 和 俊 独立行政法人 理化学研究所 研究員
- ◆ アーキテクチャーやアルゴリズムやネットワークなどに関する国際シンポジウム (1042002) 94
曲 雯 毓 北陸先端科学技術大学院大学 博士課程
- ◆ 2004 年回路とシステム国際シンポジウム主催米国電気学会 (1042003) 95
ジョナ・ガンバ 埼玉大学大学院 島村研究室 博士課程
- ◆ 第7回生体電気インピーダンスに関する国際会議 (1042004) 95
末 廣 純 也 九州大学大学院 システム情報科学研究院 助教授
- ◆ 2004 年度 工学におけるニューラルネットワークに関する国際会議 (1042101) 96
河 合 智 北海道大学大学院 工学研究科 修士課程
- ◆ 第8回メカトロニクス技術に関する国際会議 (1042102) 96
竹 村 研治郎 東京工業大学 精密工学研究所 助手
- ◆ 生産および管理技術に関する国際会議 (1042103) 97
竹 本 康 彦 兵庫県立大学 経営学部 助手
- ◆ 法人、政府、医療、高等教育における E-Learning に関する国際会議 (1042104) 98
立 花 啓 大阪府立大学大学院 理学系研究科 博士課程
- ◆ 北米放射線学会 2004 (1042105) 98
中 山 良 平 三重大学大学院 医学研究科 博士課程
- ◆ 第17回 オーストラリア人工知能国際会議 (1042107) 99
ラハマン・マスドゥル 九州工業大学
サテライト・ベンチャー・ビジネス・ラボラトリー
非常勤講師
- ◆ システム、人間、サイバネティクスに関する国際会議 (1042108) 99
北 埜 裕 子 大阪府立大学大学院 工学研究科 博士課程

〔招聘〕

- ◆ 国際自動制御連盟 (IFAC) 主催
制御と信号処理における適応と学習に関する国際ワークショップ (ALCOSP 2004)
周期制御システムに関する国際ワークショップ (PSYCO 2004) (1043001) 100
片 山 徹 京都大学大学院 情報学研究科 教授
- ◆ PCM 2004 (Pacific Rim Conference on Multimedia 環太平洋マルチメディア会議)
(1043101) 100
相 澤 清 晴 東京大学 新領域創成科学研究科 教授

〔派遣〕

派遣研究者	独立行政法人 理化学研究所 研究員 片平 和俊	1042001
研究集会名	国際生産技術者会議 2004 年度通常総会 (2004 CIRP General Assembly)	
出張期間	平成 16 年 8 月 21 日～ 27 日	
開催場所	ポーランド・クラコフ	
発表論文	電気化学反応を援用した表面改質加工技術によるチタン合金の着色仕上げ (Investigation on Color-Finishing Process Conditions for Titanium Alloy applying a New Electrical Grinding)	

概要：

CIRP は、1940 年代後半に、新しい生産技術の構築のためには、生産技術手法の解析的な研究開発アプローチを国際組織として進める以外にないとする議論を経て、スイス・英国・フランス・ベルギーらの生産技術分野で権威のある諸先生が中心となって、1951 年に創設された歴史ある会議である。参加者は各国の会員（名誉会員、名誉会員、正会員、副会員、賛助会員）が中心となって活躍しており、CIRP 本部のあるパリで毎年 1 月に開催される春季会議と 8 月の総会がある。国内会員は、稲崎一郎（CIRP 国内委員長、慶應義塾大学教授・理工学部長）を中心に総勢 56 名が参加・活動されている。規模は非常に大きい。

今回は第 54 回目を迎える総会だが、世界 33 カ国より各国の会員を中心に 450 名程が参加し、盛大に開催された。研究集会で発表した論文は上記タイトル論文である。医療用マクロデバイスは、「生体内」という特殊環境下で使用されるため、その素材であるバイオマテリアル（チタン合金、ステンレス合金等）には耐食性、耐摩耗性、生体適合性など幾つもの優れた機能が要求される。今回の報告では、バイオインプラント材料の酸化皮膜が一般的に電気化学的な反応によって形成されることに着目し、この反応を研削加工プロセスの構築する研究について 30 分の講演を行った。講演終了後、10 件以上の質問もあり、研究成果を強くアピールできたものと感じている。

派遣研究者	北陸先端科学技術大学院大学 博士課程 曲 雯毓	1042002
研究集会名	アーキテクチャーやアルゴリズムやネットワークなどに関する国際シンポジウム (The International Symposium on Parallel Architectures, Algorithms, and Networks)	
出張期間	平成 16 年 5 月 10 日～ 12 日	
開催場所	中国・香港	
発表論文	モバイルエージェントを用いたネットワークルーティングの分析 (Some Analysis on Mobile-Agent Based Network Routing)	

概要：

私の参加した国際会議はアーキテクチャーやアルゴリズムやネットワークなどに関する国際シンポジウムです。この国際会議は七つの分野で構成されており、アーキテクチャー、アルゴリズム、ネットワークなどの計算技術に関連した専門研究者が一堂に会する国際会議である。今回の国際会議は 2004 年 5 月 10 日から 12 日まで中国・香港で開催された。会議では各分野の研究結果が発表されるとともに、関連分野の研究に関する意見交換をする場としても利用されることを目的としている。今回は全部で 96 の論文が会議上で発表され、研究者の参加も 120 人程度となった。

今回の国際会議の中で、3 つの部門の司会者から私の研究内容について報告するよう依頼された。

私の研究は主にモバイルエージェントを用いたネットワークルーティングの分析を専門としており、だから I-SPAN は、私の研究と密接な関係がある。今回、私はこの国際会議で研究発表を行い、また他の多くの研究者との意見交換も実施でき、有益な情報が数多く得られた。今後の研究に役立てていきたい。

留学中であり、日本語は苦手なので、もうしわけございません。

派遣研究者	埼玉大学大学院 島村研究室 博士課程 ジョナ・ガンバ	1042003
研究集会名	2004年回路とシステム国際シンポジウム主催米国電気学会 (International Symposium on Circuits and systems 2004, IEEE)	
出張期間	平成16年5月22日～29日	
開催場所	カナダ・バンクーバー市	
発表論文	適応バターカント二時間遅延推定 (ABCTDE) 法—IIR 白色フィルタリングアプローチ (An adaptive Butler-Cantoni time delay estimation (ABCTDE) method—IIR whitening filtering approach)	

概要:

この学会は毎年世界各国から多くの人々が参加し将来の信号処理の可能性について話し合う。信号処理の分野では世界でトップレベルの学会です。信号処理は将来の産業・音響・医学などあらゆる方面での応用が期待され、この学会は大きな意義を持つものです。2004年の学会参加者は約1,260人、168のレクチャーセッションと90のポスターセッションの他19のインバイテッドセッションが行われました。

学会の内容は以下のとおりです。

- ・アナログ信号処理
- ・マルチメディアシステムと応用
- ・VLSIシステムと応用 等

それぞれの参加者の発表は興味深いものでした。特にインバイテッドレクチャーの中でセルラーニューラルネットワークは将来性に富んだ高いレベルの内容で、今後の自らの研究にも応用していきたいと思えます。私の論文はデジタル信号処理の分野でレクチャーセッションの形式での発表でした。時間の制約はありましたが世界の高いレベルの中で発表し同じ分野の研究者と直接話し合う機会を持つことができました。大変有意義な学会でした。

派遣研究者	九州大学大学院 システム情報科学研究所 助教授 末廣 純也	1042004
研究集会名	第7回生体電気インピーダンスに関する国際会議 (XII International Conference on Electrical Bio-Impedance (ICEBI XII))	
出張期間	平成16年6月19日～26日	
開催場所	ポーランド・グダンスク工科大学	
発表論文	細胞膜電気破壊を援用した誘電泳動インピーダンス計測法による高感度バクテリア検出 (High sensitive bacteria detection using electropermeabilization-assisted dielectrophoretic impedance measurement method)	

概要:

私は電気力学現象の一種である誘電泳動と電気インピーダンス計測を組み合わせた細菌検出技術である「誘電泳動インピーダンス計測法」(DEPIM)の研究を行っている。DEPIMは迅速且つ簡便な細菌検出法として、食品の安全衛生管理や医療診断など多方面への応用が可能である。今回私は、細胞膜の電気破壊現象を利用して、DEPIMの検出感度を飛躍的に向上させる技術に成功した。同技術によれば、1mL中100個の低濃度細菌を1時間以内に検出することが可能である。この最新の研究成果を発表し、海外の研究者との意見交換を行うことで、今後の研究に有用な新しい知見を得ることを目的として、国際会議に参加した。

会議の内容は、概ね以下の2つに大別されていた。1つは電気インピーダンストモグラフィ(EIT)に関するものである。EITとは、電気インピーダンスの測定データから、生体の断層イメージを再構築する技術である。同様の技術にMRIがあるが、EITはMRIに比べて装置の小型化や低コスト化が可能であるとされている。私は、EITに関しては十分な知識を持っていなかったが、世界中の研究機関で活発な研究が展開されており、興味深い分野であるとの認識を得た。もう1つの主要カテゴリーは、生体の電気インピーダンス計測によって、その存在や機能を検出するセンサーとしての応用に関するものである。私の発表論文は、こちらのカテゴリーに属するものであった。ポスターセッションでの発表であったため、他の参加者と十分に意見交換を行うことができ、大変有意義であった。細菌検出に関しては、欧米先進国においても環境リスクマネジメントや医療診断などと関連して重要なテーマと認識されており、多くの関心を得ることができた。

派遣研究者	北海道大学大学院 工学研究科 修士課程 河合 智	1042101
研究集会名	2004年度 工学におけるニューラルネットワークに関する国際会議 (Artificial Neural Network In Engineering (ANNIE) 2004)	
出張期間	平成16年11月7日～12日	
開催場所	アメリカ合衆国・セントルイス	
発表論文	装着型パワーアシスト装置の制御に関する研究—表面筋電位 (EMG) による人間動作の識別 (A Study for Control of a Wearable Power Assisting System —Recognition of Human Montions by Surface EMG Signals—)	

概要：

会議はニューラルネットワーク、進化プログラミング、人工生命をはじめとした複雑系工学の様々な分野における研究が発表される国際会議であり、今回で14回目である。この会議は毎年セントルイスにあるホテルで開催され、本年は20ヶ国から300件を超えるアブストラクトの投稿があり、採択された151件について研究発表が行われた。会場は、50名程度収容可能な会議室で行われた。全体を通して参加者は200名程度であった。Biomedical Engineeringのセッションでは私は自分の研究発表を行った。このセッションでは私の発表の他に5件の発表があり、ニューラルネットワークを用いた肺疾患の分類を行う方法についての発表やファジィ論理、ニューラルネットワークとEEG(脳波)を用いた睡眠状態を自動的に識別する方法についての研究など、様々な応用例を題材に議論を行うことができた。私の発表は20名程度の聴衆の前で、装置の概要、表面筋電位を用いたコントローラ、ニューラルネットワークを用いた動作の識別法を提案し、最後にテレビ取材を受けた際のビデオを上映して発表を終えた。数分間の質疑の時間では、「制御にかかる時間と人間の意図した時間に差があっては違和感を与えるのではないか」、「安全への対策は十分なのか」等貴重な意見、質問を頂くことができた。私にとっては、初めての海外での発表であり、質疑応答の際にはまだまだ語学力の不十分さを痛感した国際会議参加でもあった。しかしながら、研究者とSpeakers Breakfast, Banquetやセッション等の場で議論を行うことができたのは、非常に貴重な経験であった

派遣研究者	東京工業大学 精密工学研究所 助手 竹村 研治郎	1042102
研究集会名	第8回メカトロニクス技術に関する国際会議 (The 8th International Conference on Mechatronics Technology)	
出張期間	平成16年11月8日～12日	
開催場所	ベトナム・ハノイ	
発表論文	電界共役流体を用いたマイクロ人工筋アクチュエータの開発 (Development of a Micro Artificial Muscle Actuator using Electro-conjugate Fluid)	

概要：

本国際会議は、8回目を迎えるメカトロニクス技術に関する国際会議であり、アメリカ、ヨーロッパ、アジアから約300名の参加者を得て、メカトロニクス技術に関する広範囲な先端技術の報告があった。開催国であるベトナム国内における近年の技術関連分野への関心の高まりから、オープニングセレモニーには政府関係者の出席も見られた。

出席した会議は、11月9日のOpening Ceremony, Keynote Speechにつづき、一般講演が行われた。私は、11月10日に電界共役流体を用いたマイクロ人工筋アクチュエータの開発について研究発表を行った。電界共役流体は直流高電圧の印加によって活発なジェット流を発生する機能性流体であり、本アクチュエータは、このジェット流による圧力を利用して軸方向に繊維強化したシリコンゴムチューブの内圧を制御し、軸方向収縮を出力する新原理のアクチュエータである。このため、開催国のベトナムをはじめ、ドイツ、韓国、台湾などの研究者と活発な討論を行い、本研究を広く認知させることができた。さらに、討論の中から今後の研究方向に大きなヒントとなるコメントを得ることができた。また、コーヒブレイクなどにおいても各国の研究者との交流を深めることができた。なかでも、ベトナムの学生の皆さんの熱心さ、積極性には目を見張った。さらに、私の研究に関連する空気圧人工筋アクチュエータやロボットシステムに関する先端技術に接し、各国の研究者と討論する機会を得ることができた大変有意義な国際会議であった。

派遣研究者	兵庫県立大学 経営学部 助手 竹本 康彦	1042103
研究集会名	生産および管理技術に関する国際会議 (8th International Conference on Manufacturing and Management/Pacific Congress on Manufacturing and Management)	
出張期間	平成16年12月6日～11日	
開催場所	オーストラリア・ゴールドコースト市	
発表論文	入出力特性を考慮した工程管理システムの構築と AIC による要因解析 (Statistical Process Monitoring Procedure Based on Both Input and Output Properties for Specifying Assignable Cause of Out-of-Control State) 臨時設備による生産能力の増強を考慮した受注生産システムの解析 (Analysis of Build-to-Order Manufacturing System with Standby Facilities) Su 近似法による極値データに関する工程管理図法の研究 (Proposal of Control Charts for Extreme Value Distribution based on Su Approximation)	

概 要：

当該国際会議は、激変する社会環境に対応するべく生産システムにおけるさまざまな要素のトータル・マネジメントを目的とし、情報、環境、経済、製造、マーケティング、およびマネジメントに関する知識や技術の融合をテーマとして掲げ、開催されたものである。

当国際会議第1日目においては、研究者としては若輩な私に対してセクション・チェアマンの任が主催者より依頼された。これにより当該セクションにおける研究発表者と密接にかかわることができ、大変貴重な経験を得ることができた。また、同セクション・チェアマンから議事進行等に関し有意義な指導を受け、研究だけでなく、国際交流における貴重な体験を得ることができた。

会議2日目においては、共同研究者と共に研究成果発表を行い、発表後会場より建設的な意見をいただき意見交換をする機会を得ることができ、今後の当該研究の更なる飛躍の方向性を得ることができた。

会議3日目においても研究成果発表を行い、会場より多数の意見をいただき、他の研究者と意見交換を通じて、研究課題の重要性を再認識することができた。

くわえて、会議開催中さまざまな分野における研究成果発表を聞くことができ、最近の研究課題の動向、また重要性を再認識することができた。また各国の研究者と交流を持つことで、貴重な意見を聞くことができ、さまざまな分野における最新の知識・技術を知見することもでき、今後の研究の展開に活用したい。

派遣研究者	大阪府立大学大学院 理学系研究科 博士課程 立花 啓	1042104
研究集会名	法人、政府、医療、高等教育における E-Learning に関する国際会議 (World Conference on E-Learning in Corporate, Government, Healthcare, & Higher Education)	
出張期間	平成 16 年 11 月 1 日～5 日	
開催場所	アメリカ合衆国・ワシントン DC	
発表論文	問題解決指向型学習における知識構築のための多面的オープンラーナーモデリング環境 (Multipue view open learner modeling environment for knowledge construction in problem-solving oriented learning)	

概要：

今回参加した会議は、学習支援システムの研究に携わる研究者や現場の教師が数多く参加する会議であり、技術的評価、学習者の認知度・情動的側面に与える効果についての評価、運用的視点での評価など様々な観点での総合的評価が実施された。

本会議で構築した知的インターフェースに関する総合的な意見交換を行う目的で研究報告をした。

会議への参加を通して、メタ認知能力の育成に関する研究者の関心が非常に高いことを実感した。

本研究の目的は、問題解決の文脈で学習者のメタ認知能力（問題解決を効果的に達成する効果的な学習戦略を立案する能力）を向上させることにあるが、このような領域を対象とした類似の研究は他に見受けられず、様々な取り組みの中でも非常に先進的な取り組みであることも分かった。研究発表に関し、「システム設計の指針として学習理論を参照しているのか?」との指摘を受けた。本研究では、認知心理学分野において構築された認知モデルをコンピュータにも理解可能な形で構築している。しかし、メタ認知に関する学習理論は認知心理学の分野においてもコンピュータに実装可能なほど詳細に整理が進んでいない部分も多く本研究を通じてこれを整備し、学習理論を裏付けられたシステムとしての妥当性を高めて行きたいと考えている。今回の国際会議に参加できたことで、大変貴重な経験を得ることができました。

派遣研究者	三重大学大学院 医学研究科 博士課程 中山 良平	1042105
研究集会名	北米放射線学会 2004 (RSNA 2004: Tへ Radiological Society of North America)	
出張期間	平成 16 年 11 月 27 日～12 月 5 日	
開催場所	アメリカ合衆国・シカゴ	
発表論文	MLO と CC マンモグラフィを用いた微小石灰化クラスターの組織学的分類のための計算機支援診断システム (Computer-aided Diagnosis Scheme for Identifying Histological Classification of Clustered Microcalcifications using MLO and Magnification Mammograms)	

概要：

本会議は、放射線医学に関する世界最大かつ最も質の高い国際会議であり、主催者は放射線分野において最も権威のある医学放射線学会（Radiology）である。本年も多数の演題投稿があり、1 件あたり 2 名以上の査読を受け、約 20% が採択されている。なお、参加人数は 60, 000 人を超える。例年、質の高い最先端の放射線医学の研究報告、最新の画像診断や治療の器械が展示されている。この会議において第一線で活躍している研究者、医者とディスカッションし、知見の充実、レベルの向上を図ることが今回の目的である。私は Physics : Mammography CAD というセッションにおいて、口頭発表を行った。本セッションには、工学と医学の研究者が多数出席しており、高度な医療技術をもつ医師の方々から専門的な意見をいただける良い機会となった。発表後の質疑応答において、先駆的かつ有効な研究として評価され多くの意見をいただいた。特にミシガン大学・Lubomir Hadjiyski 博士に大変興味を持っていただき、多くの意見交換の中で、今後研究を進めていく上で参考となる貴重な情報を得ることができた。CAD の分野の研究は今年も 200 以上あったことに大変驚き、企業との共同研究が行ない易い分野に CAD が発展したことを感じた。

この会議に先立ち、CAD の分野をリードするシカゴ大学を訪問し、土井邦雄教授らと今後の研究打合せを行ない、第一線で活躍する研究者達の研究の進め方を学ぶことができ、大変充実した訪問となった。食堂では、ノーベル賞を受賞した教授が学生達と歓談しながら食事をしており、優秀な研究者と学生のときから気楽に話ができる環境が大変羨ましかった。

派遣研究者	九州工業大学 サテライト・ベンチャー・ビジネス・ラボラトリー 非常勤講師 ラハマン・マスドゥル	1042107
研究集会名	第17回 オーストラリア人工知能国際会議 (The 17th Australian Joint Conference on Artificial Intelligence — AI 2004)	
出張期間	平成16年12月5日～12日	
開催場所	オーストラリア・ケアンズ	
発表論文	見え方指向にもとづく人の姿勢認識への画像処理技法の適用：実験と解析 (Applying Image Preprocessing Techniques for Appearance-based Human Posture Recognition : an Experimental Analysis)	

概要：

本会議は人工知能の分野ではオーストラリアで最高レベルの会議で、2年に1回開催され、今回で17回になる歴史ある会議である。会議は人工知能、コンピュータビジョン、パターン認識とニューラルネット、画像及び信号処理、アーキテクチャ、マルチメディア等をメインテーマとし、今回は600人を超える参加者のある大規模な会議となり、また、今回の会議の論文採択率は41%であった。私は、我々が開発した人の動作認識法に関する研究発表を行い、同分野の著名な研究者達と意見交換を行なうことができた。

本研究はカメラとコンピュータを用いて自動認識するシステムの開発で、人の動作や行動を自動認識できれば、知能ロボットが、転倒しないよう高齢者に手を貸すことや、重い荷物を持つ人を助けること等の行動が可能となり、人の生活上の安全性・利便性が大きく向上し、安全で暮らし易い社会の実現のために絶対必要な技術である。このようなことを実現するためには、まず、人の動作をコンピュータ内で表現し、動作の認識を行なう手法を開発する必要がある。

本発表では、人の動作を固有空間内の曲線で表現し、それを用いて人の未知の動作をコンピュータで自動認識する手法を提案発表した。

派遣研究者	大阪府立大学大学院 工学研究科 博士課程 北埜 裕子	1042108
研究集会名	システム、人間、サイバネティクスに関する国際会議 (International Conference on Systems, Man and Cybernetics)	
出張期間	平成16年10月9日～14日	
開催場所	オランダ・ハーグ市	
発表論文	自律型先物取引エージェントに対するファジィポジションコントローラーの開発 (Development of a Fuzzy Position Controller for an Autonomously Trading Agent)	

概要：

本会議は、IEEE（米国電気電子学会）主催の国際会議の中でも最大級であり、25年以上の歴史を誇るシステム・マン・サイバネティクス（＝人間とシステムとの関係を科学的・技術的に解明する学問）に関する国際会議である。先端技術分野の研究会議といった新しい研究の流れや方向を作り出す学会と位置づけされており、新しい研究に非常に敏感な場であると研究者たちに認識されている。

今回の私の目的は、この会議に参加し、研究発表を行うことにある。

今年の本会議でも、200以上ものセッションが組まれているだけでなく、3つのPlenary Sessionやデモンストレーションも用意され、いたる所で熱心な研究者達の議論が見受けられた。

10月11日に、“Fuzzy System III”というセッションで口頭発表を行った。私の発表は、先物取引での意思決定においてファジィシステムを適用し、どれほど優れた結果を獲得することができるかを議論したもので、非常に先駆的で興味深い研究であると評価された。同時に、他の発表からも、今後の研究につながる素晴らしい知識とインスピレーションを得た。また、本会議で毎年企画されている学生ボランティアにも志願し、発表者のサポートや、地元大学生たちと交友を楽しんだ。本活動は英語力の強化はもちろんのこと、一学生としてのコミュニケーション能力の強化になり、非常に有意義な経験となった。

〔招 聘〕

招 聘 者	京都大学大学院 情報学研究科 教授 片山 徹	1043001
会 議 名	国際自動制御連盟 (IFAC) 主催 制御と信号処理における適応と学習に関する国際ワークショップ (ALCOSP 2004) 周期制御システムに関する国際ワークショップ (PSYCO 2004)	
出張期間	平成 16 年 8 月 26 日～9 月 4 日	
開催場所	横浜国際会議場	
被 招 聘 者	Laboratoire des signaux et systemes, Supélec 教授 ロメオ・オルテガ	

概 要：

IFAC (国際自動制御連盟) は各国代表をメンバーとする世界組織であり、この中には 40 の技術委員会がある。この 2 つの国際ワークショップは「適応・学習」技術委員会が 3 年ごとに開催してきた国際会議で、今回 (8 回目) は初めて日本での開催となった。

特別招聘者であるオルテガ教授は、適応制御や非線形制御理論のパイオニアとして現在最もアクティブに研究を行っており、多くの独創的な成果を築いている研究者である。

8 月 27 日は、慶應義塾大学理工学部の佐野研究室および大森研究室を訪問し、適応制御や受動性に基づく非線形制御理論における最近のトピックについて研究ディスカッションを行い、詳しく展望を述べられた。

8 月 29 日は、本招聘先研究集会の welcome reception がパシフィコ横浜で開催され、8 月 30 日のプレナリー講義および 9 月 2 日の COE 国際ワークショップでの発表内容確認と意見交換をそれぞれの主催者と行った。

8 月 30 日～9 月 1 日は研究集会が 20 カ国 145 名の参加を得て 137 件のテクニカル論文と 4 件のプレナリー講義、1 件のチュートリアル講義が行われ、オルテガ教授は全て参加された。

8 月 30 日には同氏のプレナリーレクチャーが行われ、それは「1984 年に MRACS 構成に用いられた Monopoli の手法が間違っている」という衝撃的な内容であり、多くの質問が寄せられた。

9 月 2 日には慶應技術大学の 21 世紀 COE プログラム「知能化から生命化へのシステムデザイン」主催のワークショップで 60 分の講演とパネル討論を行った。

招 聘 者	東京大学 新領域創成科学研究科 教授 相澤 清晴	1043101
会 議 名	PCM 2004 (Pacific Rim Conference on Multimedia 環太平洋マルチメディア会議)	
出張期間	平成 16 年 11 月 28 日～12 月 3 日	
開催場所	東京国際交流館	
被 招 聘 者	米国イリノイ大学 Thomas S. Huang 教授	

概 要：

本会議は IEEE のマルチメディアに関する国際会議で、環太平洋地域を中心に世界各国からマルチメディア分野の研究者や技術者、開発者、教育者等が一同に介し、最新の研究成果を発表し、将来に向けての議論が行われる場である。本会議の扱う範囲は、映像検索、符号化、インターフェース等のマルチメディア情報処理分野、モバイル、ストリーミングやロバストトランスミッション、プロトコル等のマルチメディアネットワーク分野、そして様々なマルチメディアアプリケーション分野である。

今回招聘の Thomas S. Huang 氏はこの分野 (マルチメディア情報処理) の専門の研究者として多数の論文を発表し、高い評価を得ている。また、数々の国際会議等を経験されており、本会議において活発な研究討論を行う場においても大変有意義な議論が繰り広げられることは必至であり、本会議への参加を招聘した。

今回の第 5 回マルチメディア会議は 24 カ国から投稿数、参加者数、発表者数とも、過去の IEEE 環太平洋マルチメディア会議と比べ質・量ともに倍増した。投稿論文数は 405 件を数え、採択された数は 285 件となり、85 編の口頭発表、174 編のポスター発表があった。アジア圏 (韓国、台湾、中国) を中心に各国から多くの参加者が介し、その成果発表、情報交換を盛んに行うことができた。受付、各セッション会場との動線上にポスターセッション会場が位置したこともあり多くの参加者が会場に足を運び、若い次世代を担うエネルギーとなって随所で活発な議論が発表者と参加者との間に展開された。基調講演は 3 件、スペシャルセッションでは 36 件のプレゼンテーションが行われ、出席者からは盛大な会議であったと賞賛をいただき高い評価を得ることができた。

-
- 平成 16 年度活動報告
 - 平成 17 年度助成報告
 - 第 16 回助成金贈呈式
 - 受領者投稿
 - 研究室訪問
 - 第 16 回（平成 17 年度）研究助成課題一覧
 - 第 15 回（平成 16 年度後期）国際交流助成課題一覧
 - 第 16 回（平成 17 年度前期）国際交流助成課題一覧
 - 平成 17 年度研究助成課題の紹介
 - 平成 18 年度助成候補募集案内

平成16年度活動報告

(1) 主要業務日程

平成16年	4月1日	平成16年度後期国際交流助成の申請応募受付開始
	5月19日	第15回(平成16年度)助成金贈呈式及び懇親交流会開催
	6月18日	第32回理事会, 第32回評議員会開催 ・平成15年度事業報告及および決済報告の承認 ・平成17年度助成課題募集方法の承認
	6月30日	平成16年度後期国際交流助成課題の申請締切
	7月7日	平成16年度夏季選考委員会開催 ・平成16年度後期国際交流助成課題候補の選考
	8月1日	平成17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17年度研究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13号発行
	10月1日	平成17年度前期国際交流助成の申請応募受付開始
	10月31日	平成17年度研究助成課題の申請締切(123件受付)
	12月31日	平成17年度前期国際交流助成の申請締切(25件受付)
平成17年	1月10日	各選考委員による応募課題の書面審査完
	1月21日	第17回選考委員会開催 ・平成17年度研究助成課題候補の選考 ・平成17年度前期国際交流助成課題候補の選考
	3月17日	第33回理事会, 第33回評議員会開催 ・平成17年度事業計画及び収支予算案の承認 ・平成17年度助成課題の承認

(2) 会計報告

収支計算書

(自 平成16年4月1日 至 平成17年3月31日)

(単位:千円)

収入の部	
基本財産運用収入	74,829
寄附金収入	25,000
雑収入	1
助成事業引当金取崩収入	5,000
前期繰越額	10,564
合計	115,393
支出の部	
事業費	54,849
管理費	12,710
助成事業引当金支出	30,000
合計	97,559
次期繰越額	17,834

貸借対照表

(平成17年3月31日)

(単位:千円)

資産の部		
流動資産	現金	24
	普通預金	17,810
	有価証券	0
	助成事業引当預金	55,000
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		1,304,234
負債の部	負債合計	0
正味財産の部	正味財産	1,304,234
負債および正味財産合計		1,304,234

平成 17 年度助成報告

本年は、第 16 回目の助成となる平成 17 年度助成課題に対し、平成 17 年 5 月 13 日、第 16 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	4,496 万円
国際交流助成（前期）	4 件	125 万円
合 計	24 件	4,621 万円

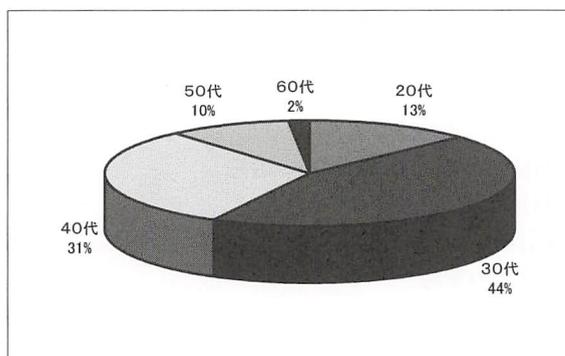
なお、後期国際交流助成は平成 17 年 10 月に実施する。

この結果、財団設立以来の助成事業は、研究助成 321 件、交際交流助成 147 件、助成総額約 8 億 1,041 万円となった。

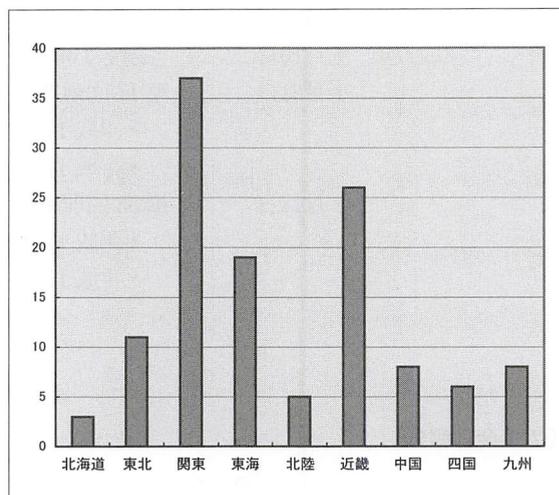
● 平成 17 年度助成の応募状況

（1）研究助成（平成 17 年度）

① 年令別

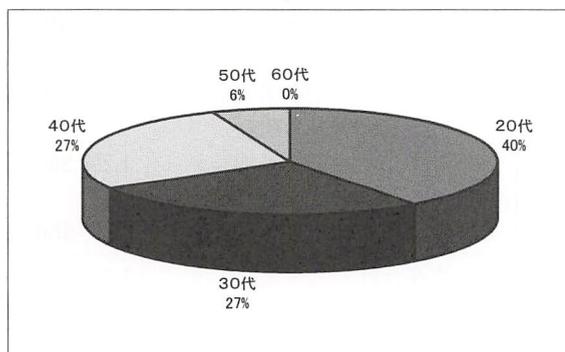


② 地域別

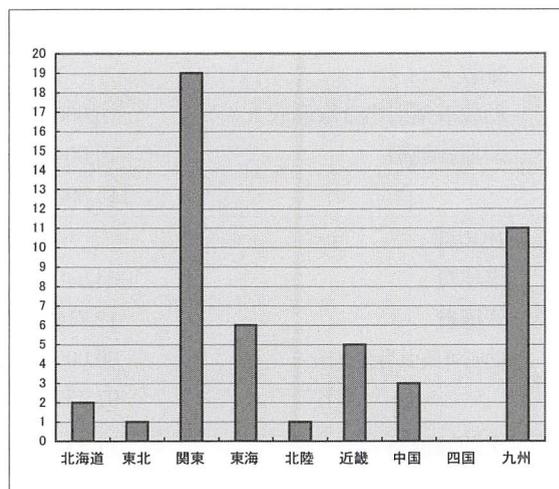


（2）国際交流助成（平成 16 年度後期～平成 17 年度前期）

① 年令別



② 地域別



第16回助成金贈呈式

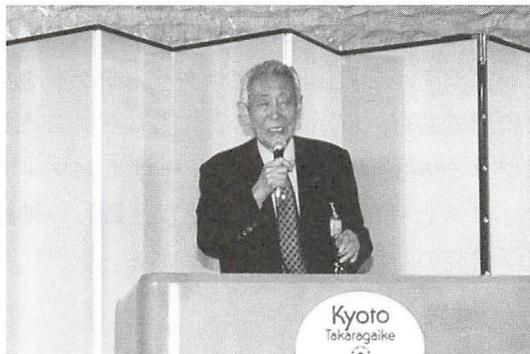
日 時：平成17年5月13日（金）

場 所：京都宝が池プリンスホテル

第16回助成金贈呈式は、来賓の文部科学省大臣官房審議官 小田公彦様、京都府商工部理事 山下晃正様はじめ、平成17年度研究助成金受領者、財団関係者等約90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、110～112 頁に掲載

受領者投稿

コンピュータモデルが研究をひらく

愛知県立大学 情報科学部・情報システム学科 助教授 神山 齊己
(第10回受領者)

私は平成11年度に「仮想網膜の実現」という課題で助成いただいた。前年度に新設された愛知県立大学情報科学部に異動直後のことであり、採択の報は何よりも研究を認めて頂いたという大きな励みとなり、助成金は研究室立ち上げの貴重な力となった。大変感謝している。研究課題は網膜に関する生理学的な知見を集大成した実際の網膜と等価な振る舞いをする仮想網膜をコンピュータモデルとして構築し、網膜の視覚情報処理の仕組みを解明すること、創薬につながるようなモデルを応用した薬物の副作用解析シミュレーションなどを行うものであった。

研究の方向は現在も変わっていないが、最近では所属学科の特徴も考慮し、「頭脳をもつ未来型コンピュータの実現」という看板を掲げ研究を進めている。現在のデジタルコンピュータは人間の論理的な思考の過程を再現する道具としては抜群の威力を発揮している。しかし、デジタルコンピュータが得意とするものは、アルゴリズムを与えることができるごく一部の論理的な処理であり、あいまいな指示ではコンピュータに意図した動作をさせることはできない。一方、人間はあいまいな指示でも的確に判断・行動したり、直感やひらめきのような論理的な思考では容易に説明できない能力を誰もがもち、日常的に使っている。そうした脳神経系の情報処理の仕組みを理解・解明し、その原理を応用することによって人間の優れた能力を搭載した未来型コンピュータを創り出す。そのためには、神経科学的な研究によって得られた知見を数理モデルとして記述・統合し、システム全体としての理解を進めることが重要という立場である。

こうした研究において、数理モデルを構築す

ることが本質的な意義をもつといえる。実は神経科学分野の研究の大部分はモデルの提案といえる。モデルといっても概念図から微分方程式など、様々なレベル



があるが、個々の研究者は頭の中に対象のモデルを組み上げており、この入力ならば出力はこう変化する、この薬を与えると特性はこう変わるといった予測をしている。そうした頭の中のモデルをコンピュータでシミュレートできるモデルとして記述することがシステム理解の鍵を握ると考えられる。これは研究者が脳内に描いていたモデルを具体的なプログラムやデータなどの形で共有、継承することにもなる。こうしたフィールドは最近ではニューロインフォマティクスと呼ばれ、ITを駆使した新しい神経科学研究の時代がひらかれつつある。

受領者投稿

研究費獲得への道

(財) 東京都医学研究機構 副参事研究員 原田 慶 恵
東京都臨床医学総合研究所
(第10回受領者)

私は平成4年秋から平成9年の秋まで科学技術振興事業団（現在は科学技術振興機構）のプロジェクトの研究員だった。当時は、科学技術振興事業団の研究員は科学研究費や財団などへの研究費の申請を行う資格がなかったの、その間自分で研究費を手に入れるために申請書を書くことは全くなかった。また、自分で研究費を手に入れる必要もなかった。今考えるととても恵まれた研究環境で、とにかく研究のことだけ考えて、ひたすら実験する毎日だった。プロジェクト終了後、平成10年の春、慶應義塾大学理工学部物理学科の木下彦先生（現在は早稲田大学理工学部教授）の研究室に専任講師として採用して頂いた。木下先生は当時、科学技術振興事業団のプロジェクトのチームリーダーだったので、研究費は潤沢にあった。しかし、ここで私にとってちょっとショックな出来事があった。木下研の博士課程の大学院生がコンピューターを買いだと言ったとき、木下先生がそれを許可しなかった。すると、この大学院生は「それなら、自分の科研費で買うからいいです」と言ったのだ。この学生は当時、学術振興会の特別研究員で自分の科学研究費を得ていたのだ。この言葉を聞いたとき、いろいろな意味で、自分の研究費を手に入れることの大切さを痛感した。もちろん私はそれまで研究費を申請する資格がなかったのだから、そのとき自分の研究費というものがなくても仕方がなかったのである。また、木下先生はそのことを気遣って、事前に研究費の一部を私の自由に使って良いお金として与えてくださっていた。しかし、やはりそれに甘えてはいけなかった。それから私は研究費獲得のためにたくさんの申

請書を書いた。そのうちの一つが平成11年度立石科学技術振興財団助成金への申請だった。助成金を頂けることに決まって、非常にうれしかったのを覚えている。それからまも



なく、私は平成12年春から現所属の研究所に研究室を持つことになった。自分の研究室を持つということは、研究費を自分の力で獲得し続けなければならないということの意味する。その時独立する決心がついたのは、当時、科学研究費を獲得していたことや立石財団から助成金を頂けたことに因っている。研究室の立ち上げは思った以上に大変だったが、新しい成果も出始め、今は毎日楽しく過ごしている。これもあの時助成金を頂いたおかげと、感謝している。

研究室訪問

熊本大学 工学部 数理情報システム工学科 宇佐川 毅 教授 訪問記

(第9回受領者)

7月の末、気温35℃の暑い中、臼井 支朗選考委員（理化学研究所 脳科学総合研究センター：チームリーダー）に同行いただいて当財団の中塚常務理事と共に、火の国熊本の熊本大学 宇佐川研究室を訪問いたしました。先生には超過密スケジュールの中で、我々の研究室訪問のために時間を取って頂き、高齢化社会でも有効活用される音響システム研究のお話などを興味深く聞かせていただきました。

○ 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。

現在研究しているテーマは、助成をいただきました音響分野と、発話訓練を中心とした e-Learning の2つの分野に分類されます。

まず、音響分野では、特定の方向から到来する音響信号を分離抽出するための各種技術を開発しており、

- A) 周波数領域両耳聴モデルの研究として、2入力での人間の聴覚機能のモデル化
- B) 音声の調波構造に着目した信号分離の研究で、1入力でのスペクトル・サブトラクションおよび調波構造 Wavelet 変換を用いた処理法

C) ブラインド信号処理等を用いたマイクロホンアレーの研究として、多入力でのブラインド処理と適応ノッチフィルタを用いた処理法などの研究を行っています。

A) の周波数領域両耳聴モデルの研究は、私が95年にドイツに10ヶ月間滞在した時に、カクテルパーティープロセッサと称して、会話音から特定方向の音声を抜き出す研究をしていました。このモデルは聴覚系を模擬するため複雑なものでした。しかし実際にはそんな難しいことはやっていないのではないかと思います、もっと簡単な方法で実現出来ないかと考え研究を続けました。その研究成果を2002年に日本音響学会誌に発表し、佐藤論文賞を受賞しました。この研究の応用として、ひとつは助聴器があります。老人が補聴器の上に助聴器を被せることにより、聞き取りたい音声をはっきりと聞くことができるようになります。たとえば、テレビの方向を向けば、テレビ音声がはっきりと聞こえ、孫の方を向けば、孫達の声ははっきりと聞こえるようになるものです。もうひとつは、セキュリティカメラへの応用です。セキュリティカメラにそのような機能を付けることにより、監視画面外で音がしたら、音のした方向にカメラが自動的に向くようにする研究も開始しています。

B) の音声の調波構造に着目した信号分離の研究では、まず、音声信号に含まれる雑音を抑制するために、あらかじめ定常雑音を観測し、そのスペクトルを音声信号スペクトルから差し引く際、しばしば“引き過ぎ”による特有の雑音が生じますが、これを統計的手法により抑制する手法を提案しました。また、音声の調波構造をもつ Wavelet 変換を用いて、高い耐雑音性を維持しつつ高精度に音声ピッチ周波数を抽出する手法も提案しました。この手法は、電話音声など基音が欠落した場合でもピッチ周波数を安定に抽出でき、効率的に雑音を抑制できるものです。

C) ブラインド信号処理等を用いたマイクロホンアレーの研究は、多数のマイクロホンを利用し、複数の音声を分離する手法を提案したものです。特に、特定方向に感度を持たないノッチフィルタを用いることで、ブラインド処理単独で利用するよりも、空間的な分離性能を向上させることができています。

音響分野の研究では、物理的視点や信号处理的視点からのアプローチのみならず、人間の聴覚機構に根ざした視点からのアプローチとの融合を常に考えております。特に聴覚の持つ多様な機能をモデル化し、人間に役立つ形で工学的に活用するという基本姿勢のもとで研究活動を進めています。



ご説明される宇佐川教授

e-Learning の分野については、騒音下での音声認識技術という視点と、言語音声の知覚認知や学習に関する従来のテーマを統合した形で発話訓練システムの構築をめざして研究を進めており、その学習管理などの機能を提供するクラスターサーバーシステムを用いて当大学の留学生センターの日本語初修クラスで、発話訓練の実験を進めています。また、この中では、口唇画像の取得との連携なども試みています。今後は留学生のためにインドネシア語やベトナム語へも発展させ、発音しにくく・区別しにくい言語などを音声認識装置をチューニングすることにより区別できるようにしたいと考えております。今後さらに、どのように学習者に情報を提供すれば、効果的でしかも楽しめる形で教育できるかという視点から取り組んでいければと考えております。

○ 長年にわたって音響分野のご研究を続けてこられたわけですが、取組まれるきっかけなどについてお話を聞かせてください。

音響分野の研究に従事するようになった直接的な理由は、大学院の指導教官だった佐藤利三郎先生から、『博士課程で博士号がとれるなら、就職しても取れる。就職して取れないなら、博士課程に進学しても取れない。』と言うお言葉を賜り、熊本大学の助手に応募させていただき、運良く採用されたこと。その後、奥田譲介先生、江端正直先生から音響分野に関する研究指導を頂いたおかげだと思っています。

間接的には、ちょうどトランジスタ式のテレビが急速に普及し真空管式テレビなどが多く廃棄されはじめた中学生時代、拾ってきた真空管でステレオアンプを自作したり、高校でアマチュア無線を始めたことが大きく影響しているように思います。

立石財団から助成をいただきました研究のきっかけですが、社会調査系の研究グループから、救急車のサイレン音が救急隊員には大きな負担になっていると調査回答が持ち込まれ、たまたま、特定の周波数成分をアクティブ制御するアルゴリズムを研究していたことから、サイレン音の制御に活用できるのではないかと考えて取り組みました。この研究に助成をいただき、比較的短期間に実証実験を行うことができ、ヘッドホンによるアクティブ制御としてほぼ完成の域に達したと考えております。当時、NHK 熊本テレビでその成果を取り上げて頂き、ローカルですが放映していただきました。また学園祭やオープン・キャンパスなどにおいてもデモ展示などを継続的に行いました。

○ 音響信号制御の研究は、今後の社会や人類にどのような貢献をもたらすのでしょうか。

今回の電子サイレン音の選択的制御については、救急車などの緊急車両の場合に限られますが、提案したアルゴリズムは音響信号のみならず振動制御等に広く利用できます。音や振動の問題は、直接的な影響が顕在化しないという意味で先送りされがちですが、社会基盤の“品質面での向上”を考えた場合、避けては通れない問題だと考えています。我々の日常生活では、ひどい音環境の下で生活しています。携帯電話の音も相変わらず品質が悪いですよね。つまり、日常生活において私たちはある意味で妥協して製品を使っています。しかし、ほんの少し音の品質を良くするだけで見直される製品も出て来ると思います。

聴取者にとって不要不快な音や振動を、できるだけ制御するという課題は、今後も継続的に取り組む必要があり、その中で私たちが提案した制御手法は、ひとつの重要な解決法になると考えています。

○ 当財団へのご要望などありましたらお聞かせください。

貴財団から国際交流助成をいただいた時には、私の研究が外部機関（財団）に認めていただけたと言う精神的な面で支えられました。また、研究助成をいただいた時には、財団から研究者として評価されたことが自信につながりました。助成金は研究活動資金とさせていただき、比較的短期間に実証実験ができ、大変助かりました。

若い研究者にとって『〇〇財団から認められた』と評価されることは、経歴書に書くこともでき、モチベーションも上がり、次のステップアップに繋がるチャンスともなります。今後とも若い研究者に対し、立石財団の継続的助成活動を望みます。



左から、中塚常務理事、宇佐川教授、白井選考委員

（本日は貴重なお時間をいただき、ありがとうございました。 レポーター：事務局長 進藤仁志）

第16回(平成17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
新井史人 名古屋大学大学院 工学研究科・助教授	人とロボットの協調のための柔軟触覚センサの開発
石川 潔 兵庫県立大学大学院 物質理学研究科・助教授	偏極キセノン原子を用いた体にやさしいMRI造影剤の開発
石野洋子 広島大学大学院 理学研究科・特任助教授	創薬に向けた学習機能を持つ量子生命科学シミュレータの研究
石原美弥 防衛医科大学校 医用電子工学講座・助手	レーザー誘起音響波を利用した軟骨変性・再生過程の非侵襲的粘弾性計測法の開発
大塚敏之 大阪大学大学院 工学研究科・助教授	自由運動を利用した歩行ロボットの制御理論と実験
河島則天 国立身体障害者リハビリテーションセンター 研究所 運動機能系障害研究部・流動研究員	運動機能障害者の二次障害を予防する在宅リハビリテーション方法・支援装置の開発
小林哲生 京都大学大学院 工学研究科 電気工学専攻・教授	統合的非侵襲脳機能計測に基づく視覚的気づきの脳内機構に関する研究
近藤敏之 東京工業大学大学院 総合理工学研究科 知能システム科学専攻・助手	インタラクションの継続を目的とするインターフェースの適応アルゴリズムの提案
柴里弘毅 熊本電波工業高等専門学校 電子制御工学科・助教授	人間-機械系におけるインストラクティブ制御器に関する研究
竹村泰司 横浜国立大学大学院 工学研究院・助教授	MRIを用いたハイパーサーミアを実現するための微小共振回路の設計試作
永岡 隆 早稲田大学 理工学部・助手	永久磁石を用いた生体内三次元位置センサの開発とその応用
中村太郎 中央大学 理工学部 精密機械工学科・専任講師	人工筋肉と機能性流体を用いた高機能ウェアラブルデバイスの開発
西尾公裕 米子工業高等専門学校 電気情報工学科・助手	生体の視覚系に学んだ実時間動画処理チップ
堀内隆彦 千葉大学 工学部 情報画像工学科・助教授	脳での視えの最適化を目的とする新しい画像符号化
松丸隆文 静岡大学 工学部 機械工学科・助教授	人間共存型移動ロボットにおける行動意図の予告伝達による人間-機械インタラクション
三林浩二 東京医科歯科大学 生体材料工学研究所・教授	機能性高分子膜に半導体加工技術を施した、生体成分計測用ウェアラブルセンサの開発
森 亮介 信州大学 工学部 機械システム工学科・助手	インディペンデント・エージェントによる集団行動の学習
山田武志 筑波大学大学院 システム情報工学研究科・講師	ひずみ尺度と擬似音声を用いた雑音環境下での音声認識率の推定に関する研究
山野辺夏樹 東京大学大学院 工学系研究科 精密機械工学専攻・博士課程	複数ルールを統合した状態行動地図によるロボットの知的動作生成
渡辺哲陽 山口大学 工学部 機械工学科・助手	マイクロマニピュレーション時の人の情報処理メカニズムの解明

研究助成件数 20件 合計 4,496万円

第15回(平成16年度後期)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
河合 智 北海道大学大学院 工学研究科 システム情報工学専攻・修士課程2年	Artificial Neural Networks In Engineering (ANNIE) 2004/ 主催: MISSOURI-ROLLA 大学スマートエンジニアリングシステム研究室
竹村 研治郎 東京工業大学 精密工学研究所・助手	The 8th International Conference on Mechatronics Technology/ 主催: ベトナム科学アカデミー, ベトナムメカニクス協会
竹本 康彦 兵庫県立大学 経営学部・助手	Eighth International Conference on Manufacturing & Management. PCMM 2004/ 主催: General Manager PCMM, Mr. Sam Salem
立花 啓 大阪府立大学大学院 理学系研究科数理情報科学専攻・博士前期課程	World Conference on E-Learning in Corporate, Government, Healthcare, & Higher Education/ 主催: 教育におけるコンピュータ利用振興協会
中山 良平 三重大学大学院 医学研究科・博士後期課程4年	The Radiological Society of North America 90th Scientific Assembly and Annual Meeting (RSNA 2004) / 主催: Brian C. Lentle, M. D.
ラハマン・マズドゥル 九州工業大学 サテライトベンチャービジネスラボラトリー・非常勤講師	The 17th Australian Joint Conference on Artificial Intelligence-AI 2004/ 主催: Australian Computer Society
北埜 裕子 大阪府立大学大学院 工学研究科 電気情報系専攻 経営工学分野・博士前期課程	International Conference on Systems, Man and Cybernetics/ 主催: IEEE (米国電気電子学会)

〔国際交流(特別招聘)〕

招聘代表者氏名・所属機関・職名 (招聘機関での役割)	招聘研究集会または機関名/被招聘者
相澤 清晴 東京大学新領域創成科学研究科 基盤情報学専攻・教授(プログラム委員長)	PCM 2004 (Pacific Rim Conference on Multimedia) / イリノイ大学 Thomas S. Huang 教授を招聘/ キーノート講演: Human Computer Interaction

助成件数 8 件 小計 199 万円

第16回(平成17年度前期)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
飯間 等 京都工芸繊維大学 工芸学部 電子情報工学科・助手	第16回国際自動制御連盟世界会議/ 主催: Petr Horacek and Miroslav Simandl
田中 利恵 金沢大学 医学部 保健学科・助手	コンピューター支援放射線学・外科手術学会 19th 国際学会・展示/ 主催: コンピューター支援放射線学・外科手術学会
劉 軍 名古屋大学大学院 工学研究科 機械理工専攻 電子機械分野・助手	1) 第20回国際機械振動と騒音に関する隔年大会/ 主催: 米国機械学会 2) 第3回回転機械の安定制御の国際大会/ 主催: ISCORMA

〔国際交流(特別招聘)〕

招聘代表者氏名・所属機関・職名 (招聘機関での役割)	招聘研究集会または機関名/被招聘者
和泉 潔 人工知能学会全国大会 国際ワークショップ 実行委員長(産業技術総合研究所 情報技術研究部門・主任研究員)	第19回人工知能学会全国大会 国際ワークショップ Agent Network Dynamics and Intelligence (ANDI'05) / 米国ヒューレットパッカー情報ダイナミクス研究所の Lada Adamic 研究員を招聘/ 基調講演: Information Dynamics in a Networked World

助成件数 4 件 合計 125 万円

平成17年度研究助成課題の紹介

掲載順は、助成課題一覧〔研究助成〕の掲載順

第16回 助成金贈呈式

研究助成課題の紹介

平成17年5月13日
(財)立石科学技術振興財団

人とロボットの協働のための柔軟触覚センサの開発 (1年間)

名古屋大学大学院工学研究科マイクロ・ナノシステム工学専攻
助教授 新井 史人

人の肌のような柔軟な触覚センサの開発
様々なロボット用触覚センサが研究されているが、ほとんど実用化されていない。

柔軟触覚センサの開発:
圧電素子を用いた振動型、柔軟性を併せ持つ。

- ・感度調節可能(特許出願中)
- ・広い計測範囲
- ・セルフセンシング可能
- ・非常に丈夫
- ・製作が容易

ゲルで包み込まれた触覚センサ
力を加えると、感度よく反応。
ゲルで包み込む事により、高感度化、広帯域化→ロボットハンドに応用

偏極キセノン原子を用いた体にやさしいMRI造影剤の開発 (1年間)

兵庫県立大学 大学院物質理学研究科
助教授・石川 潔

MRI = 体にやさしい先端医療機器
体に負担の少ない造影剤の開発

- 偏極Xe原子の発生
- 気体圧力・温度・混合比
- 溶液のスピンダイナミクス
- 磁気双極子・スピン回転相互作用

実用化のためのポイント

- 高偏極 高濃度 長寿命
- 世界の状況
- 偏極気体による肺の診断
- 消化器系の画像診断

創薬に向けた学習機能を持つ量子生命科学シミュレータの研究 (1年間)

広島大学・大学院理学研究科 特任助教授 石野 洋子

[分子の立体構造に基づく薬物設計: Structure-Based Drug Design]

	量子化学計算のターゲット蛋白質	研究目的
従来	完全に立体構造が解明された蛋白質	量子化学計算の精度を高める
本研究	部分的にしか立体構造が解明されていなくとも重要な部分と考えられる蛋白質	専門家(人間)の経験に基づく主観・直感などを知識獲得して活用

【対話型進化計算法を用いたインタラクティブな知識獲得】

- ▶ 専門家(人間)の経験、主観、直感などが考慮されている蛋白質リガンド、環境等の特徴項目を網羅し、表現。
- ▶ 対話型進化計算法により、専門家の考えをパラメータの大きさと関数形として取り出し、精緻化。

人間の知識を対話的に学習する量子生命科学シミュレータの開発

レーザー誘起音響法を利用した軟骨変性・再生過程の非侵襲的粘弾性計測法の開発 (研究期間:1年)

防衛医科大学校医用電子工学講座
助手・石原美弥

レーザー誘起音響法による粘弾性測定原理
レーザー誘起音響法システム
レーザー誘起音響法を用いたセクタンファンクムの粘弾性計測 (原理実証実験)

目的

粘弾性計測の従来法: 機械的方法→同一材料を繰り返し計測できない
(侵襲的、非侵襲的方法) 非侵襲的な化学計測法もあるが、軟骨下部の影響を受けて軟骨のみの特性が得られない
→関節症や変性軟骨症のある患者の診断法(変性過程の診断)、及び軟骨再生医療を実現するための有効な計測法(再生過程の診断)がない
⇒関節軟骨の主要な構成成分(糖タンパク)を非侵襲的に計測する方法の開発が急務

本研究内容(上記計測システム内の赤字参照)

1. レーザーの波長の最適化
2. センサーの改良
3. 計測対象試料の作製

自由運動を利用した歩行ロボットの制御理論と実験 (2年間)

大阪大学大学院工学研究科 機械工学専攻
助教授・大塚 敏之

既存技術

- ・つねに膝を曲げて歩く
- ・「蹴り」を使わない

消費エネルギーが大きく、人間と共に活動するには不十分

本研究

- ・力学的原理にもとづく高効率でシンプルな歩行の原理
- ・自由運動の対称性を利用
- ・「蹴り」による必要最小限のエネルギー補給

蹴り 衝突 対称性

バッテリー駆動で数kmを歩行できるくらいの高効率歩行の実現

運動機能障害者の二次障害を予防する在宅リハビリテーション方法・支援装置の開発 (1年間)

国立身体障害者リハビリテーションセンター研究所 技術補助員 河島 則夫

運動麻痺による筋・関節の不活動

- 筋・骨格系への物理的刺激の減少
- 慢性的な低循環・低代謝状態
- 日常的な関節運動の減少

予防策

弛動的な関節運動
ストレッチ運動が自発的・弛動的な弛緩運動、ストレッチの実施上の障害の労力がかかる。日常的な実施は意外と難しい。

筋・骨格系の退化現象(萎縮)
指端、静脈血栓等の循環障害
尖足、関節拘縮の発現

本研究では...
日常的な疼痛領域への物理的刺激による機能退化、二次障害の予防を目的として、
車椅子のフットレストにセンサーを取り付け、弛緩運動を検出・検出された弛緩運動を促進し、その効果を評価する。

動力化

Key Words: 在宅リ、二次障害予防、弛動的運動、介護者の人的労力軽減、医療費削減

統合的非侵襲脳機能計測に基づく視覚的気づきの脳内機構に関する研究 (1年間)

京都大学大学院工学研究科 電気工学専攻
教授 小林 哲生

多安定知覚時における脳神経活動の計測
機能的MRI、脳磁図(MEG)、脳波(EEG)

機能的MRI、MEG、EEGの統合解析法の開発

視覚的気づきの複雑な脳内機構を探る

同時計測脳波データを媒介にした統合解析法

人に優しい医用画像診断・検査支援システム開発等への貢献

神経活動部位と時間変動を高精度で捉える

平成 17 年度研究助成課題の紹介

インタラクションの継続を目的とするインターフェースの適応アルゴリズムの提案 (1年間)
 東京工業大学 大学院総合理工学研究科 知能システム科学専攻 助手 近藤 敏之

【研究の目的と意義】

- 人と人工物の相互適応系の設計
- 「ユニバーサルデザイン」→「パーソナルデザイン」
- 適応・学習には継続的インタラクションが不可欠

【研究の目標】

- 人間の内部状態の推定モデル
- 飽きのこないインタラクションの実現

【研究方法】

- 人が「飽き」を感じるメカニズムの計測
- 非言語的対話エージェント(ロボット)への実装と評価

人間-機械系におけるインストラクティブ制御器に関する研究 (研究期間:2年0ヶ月)
 熊本電波工業高等専門学校・助教 柴里 弘毅

～人間と機械の調和～ 人間・機械が共に成長することで割り出される共生

本研究:人間の技能向上
 動作改善 → 操作のコツを体得させる

従来:機械システムの性能向上
 動作改善 → 制御アルゴリズム力の補助 → パワーアシスト パワードスーツ

インストラクティブ制御器

- ① 訓練者の運動性能の分析
 → 操作指令から操作点までの入出力モデル導出
 → 操作姿勢・範囲とモデルパラメータの変化
- ② 運動性能に応じた適正負荷・操作指令生成
 → 仮想負荷(デフォルメ), 仮想目標値
- ③ 人間の成長への適応
 → ニューラルネットワーク, Just-In-Timeモデリング

人間の技能向上を目指すインストラクティブ制御器の開発

MRIを用いたハイパーサーミアを実現するための微小共振回路の設計試作 (1年間)
 横浜国立大学大学院 工学研究院 助教授 竹村 泰司

【がん治療】外科療法・抗がん剤・放射線 → 腫瘍・副作用等の患者負担が大きい
【ハイパーサーミア】がんの温熱治療 → 副作用なし・繰り返し治療が可能
 がん細胞は42.5℃以上で死滅

従来技術: RF誘導・誘電加熱, マイクロ波加熱
 正常細胞も加熱してしまう問題が未解決

インプラント(体内挿入)式が有望であるが、十分な発熱を実現する技術は未開発

申請者:共振回路が微小磁界でも発熱することに着目
 MRI(磁気共鳴画像診断)の微弱RF磁界でも十分な発熱を実証
 大きな利点: 画像診断により治療効果を確認・新規装置の導入不要

永久磁石を用いた生体内三次元位置センサの開発とその応用 (1年間)
 早稲田大学理工学部 電気・情報生命工学科 助手 永岡 隆

カプセル型内視鏡を始めとしたカプセル型医療機器の開発
 → 生体内での正確なカプセルの位置が検出できない現状

フラックスゲート磁気センサを用いた微小磁場の検出

カプセル内挿鏡M2A

数学的手法を用いた正確な三次元位置計測

位置センサの出血部位センサへの応用

最終目標: ミクロの決死圏のような医療機器の開発!

人工筋肉と機能性流体を用いた高機能ウェアラブルデバイスの開発 (研究期間:2年間)
 中央大学理工学部精密機械工学科 専任講師・中村 太郎

目的 脳疾患患者の片麻痺等に対するリハビリ用ウェアラブルデバイスの開発

安全・軽量・低価格・より大きな関節粘弾性

より高機能な人と機械の調和が要求される

従来研究 ① 離断者に対するパワーアシスト・モータ(電気式)やマニピュレータ(空気式)の駆動(ワットン大・東理大) ② 片麻痺リハビリ器具・モータ駆動(木阪大) フェーザルセーフの面から危険性が高い

本研究 軸方向繊維強化型人工筋+ER流体クラッチ

大きな関節粘弾性と高い安全性が期待

人間の筋特性に近いマニピュレータの試作
 遠心性収縮等のリハビリ運動パターンの制御

生体の視覚系に学んだ実時間動画処理チップ (2年間)
 米子工業高等専門学校 電気情報工学科 助手 西尾 公裕

典型的な画像処理システムの問題点

- 直列演算 → 実時間での動画処理は不可能
- 占有面積が広い
- 光に対するダイナミックレンジが狭い

動画処理チップの特長

- 生体の並列処理に学ぶ → 高速処理(実時間処理)
- 1チップで実現 → 占有面積が狭い
- アナログMOS回路で構成 → シンプル、低消費電力
- 網膜・脳機能に学ぶ → 6桁以上のダイナミックレンジ

さまざまな環境で用いることができるため、ロボットビジョン、移動体の衝突防止システム、防犯システムなどに適用可能

脳での視えの最適化を目的とする新しい画像符号化 (研究期間:2年)
 千葉大学工学部情報画像工学科 助教授 堀内隆彦

提案アルゴリズムの概要

原画像 → S-CIELAB空間(脳での視え)で符号化結果が最適になることが最大のポイント! (従来は、異なる標準間隔を考慮)

解決のキー技術

- 【課題1】輝度変換
- 【課題2】反色変換
- 【課題3】反対称化
- 【課題4】直交変換符号化
- 【課題5】領域分割
- 【課題6】ハードウェア
- 【課題7】プロトタイプ構築

直交変換符号化 → 符号化データ (課題3) データ圧縮

脳で視る画像は、輝度に敏感色に鈍感→この特性を利用

人間共存型移動ロボットにおける行動意図の予告伝達による人間-機械インタラクション (2年間)
 静岡大学工学部機械工学科 助教授 松丸 隆文

目的 人間の身近で活動する人間共存型ロボット(人工機械システム) → 情緒的・情動的な親和性の配慮の不足

何をするかわからなくて怖い
 なんともなく違和感がある

これからの行動意図の予告表示機能

方法

- 考案した移動方向・移動速度の予告表示方法
 - ある時点の状態を表示
 - ある時点まで連続的に
- 試作した装置

ランプ 吹き出し 光線 プロジェクタ

PMR-2R PMR-1R PMR-2R PMR-1R

目標 対人模擬環境評価実験(目玉ロボット, 光線ロボット)
 新しい予告表示装置の開発(プロジェクタ方式など)
 人間共存型人工機械システムの対人親和性向上
 方向指示器(ウィンカー)に代わる装置への展開

平成 17 年度研究助成課題の紹介

機能的な高分子膜に半導体加工技術を施した、生体成分計測用ウェアラブルセンサの開発 (研究期間:1年間)
 東京医科歯科大学 生体材料工学研究所
 教授・三林浩二

【ウェアラブル酸素センサの開発】
 ◆機能的な高分子膜を基板とし、半導体加工技術を施し、柔軟性と安全性に優れた生体計測用酸素センサを開発する。

【ウェアラブルセンサによる経皮酸素計測】
 ◆貼り薬のように皮膚面にウェアラブルセンサを装着し、システムを扱う作業者の生体成分(酸素、血糖や尿酸値)を経皮より計測し、非侵襲的で生理状態を調べる。

★目標:厚さ100μmの薄膜酸素センサを開発

★目標:血中酸素の経皮による非侵襲モニタリング

インディペンデント・エージェントによる集団行動の学習 (1年間)
 信州大学 工学部 機械システム工学科
 助手 森亮介

【知能ロボットシステムの開発】
 ・単眼視覚をもつ移動ロボットによるボールリフティングタスクの実現 → ロボットスキル
 ・ヒトがスキルを身につけるまでの過程をロボットを通して明らかにする → 学習制御

【集団行動生成アルゴリズムの構築】
 ・複数台の知能ロボット(インディペンデント・エージェント)による集団行動(例) / シレーボール
 ・ボールの動きと個々のロボットの動きという変動する状況に応じて目標のタスクを実現するための集団行動生成アルゴリズムを構築 → 実験による検証
 ・ヒトの行動パターンからロボットの行動パターンを学習し、ヒトと同等あるいはより優れた集団行動を実現

ヒトの集団行動をもとに知能ロボットによる高度な協調タスクの実現に向けた集団行動生成アルゴリズムの構築

ひずみ尺度と疑似音を用いた雑音環境下での音声認識率の推定に関する研究 (研究期間:1年)
 筑波大学大学院システム情報工学研究科
 講師・山田武志

周囲の雑音条件による認識率の変動
 ↓
 音声認識サービスの提供 ⇒ サービス品質(認識率)の保証
 ↓
 どの程度の認識率が得られるのか(認識実験?)

➢ 音声認識率の推定法の開発
 ✓ 簡単な手順
 ✓ 時間を要さない

➢ ひずみ尺度と疑似音の利用
 ✓ ひずみ尺度:ITU-T勧告P.862のPESQ
 ✓ 音声データ:ITU-T勧告P.50の疑似音声
 ⇒ 雑音、雑音抑圧手法、タスク(話者セット)の違いにロバストな推定

原音声 → 雑音抑圧 → ひずみ値の算出 → 認識率の推定

複数ルールを統合した状態行動地図によるロボットの知的動作生成 (1年間)
 東京大学 大学院 工学系研究科 精密機械工学専攻 博士課程 山野辺 夏樹

産業用ロボット ・正確な教示内容の繰り返し ・知能化の遅れ ⇒ 毎回の教示が必要 プログラミングの手間	移動ロボット ・環境変化への実時間対応 ・高度な知能化 ⇒ 安定的な作業達成が困難
--	---

人の作業データ(軌・コッ) → ルールの統合 → 状態行動地図 → 動作生成モデル

経験による方法論

修正 (ロボットの身体性の考慮、安心・安全性向上)

状況変化への柔軟な対応 安定的な作業達成

状態行動地図を用いたロボットの動作生成

- ◆ 状態行動地図 ⇒ 各作業状態と最適行動の写像
- ◆ 作業達成のための複数ルールを統合した地図の作成 ⇒ 人の作業データから抽出した軌・コッ、作業のKnow-how等の重ね合わせ
- ◆ ロボットの身体性の考慮
- ◆ 人が予測可能な動作への限定 ⇒ 安心・安全性の向上

マイクロコンピュータ時の人の情報処理メカニズムの解明 (1年間)
 山口大学工学部機械工学科
 助手・渡辺 哲陽

空気中でのマイクロコンピュータ

凝着力をはじめとする物理現象
 → 環境に敏感で再現性なし

現在: 人の手を介した操作
 操作者の負担: 大

本研究
 操作者の負担を軽減し、さらに自動で動作するシステムの開発を目的に
操作時の人の情報処理メカニズムの解明

上級者と初心者者の操作を比較 (上級者は行い、初心者は行わないことは?)
 → 再現性の得られない環境の中で操作を成功させるために
 何を目的とした行動が必要であるのか

財団法人 立石科学技術振興財団 平成 18 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 18 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。(さらに詳細については募集要項をご覧ください。)

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) 金額および件数

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、他の財団等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る個人またはグループは、ご遠慮下さい。

(4) 募集期間と助成対象期間および助成金交付時期

募集期間：平成 17 年 9 月 1 日～平成 17 年 10 月 31 日（郵便局消印有効）

助成対象期間：平成 18 年 4 月 1 日～原則 1 年

助成金交付時期：平成 18 年 5 月の予定

(5) 申請書類請求および問合せ先

当財団の所定様式（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）に記入して応募して下さい。

〒 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 18 年度前期 国際交流助成候補募集案内

(財)立石科学技術振興財団においては、下記の通り平成 18 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。(さらに詳細については募集要項をご覧ください。)

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。

「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。ことに、渡航経験の少ない若手からの応募を期待します。

(2) 金額および件数

国際交流助成金(派遣と招聘)	派遣	1 件	40 万円以下	} 平成 18 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なを問いません。
- ③ 類似内容で現在、他の財団等から既に助成を受けているかまたは受ける予定になっている個人またはグループは、ご遠慮下さい。

(4) 募集期間と助成対象期間および助成金交付時期

募集期間：平成 17 年 10 月 1 日～平成 17 年 12 月 31 日(郵便局消印有効)

助成対象期間：平成 18 年 4 月 1 日～平成 18 年 9 月 30 日

助成金交付時期：平成 18 年 4 月の予定

(5) その他

渡航期間が助成対象期間をまたがる場合、募集期間内に被招聘者が確定しないなどの場合には事務局にご相談下さい。

(6) 申請書類請求および問合せ先

当財団の所定様式(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)に記入して応募して下さい。

〒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 18 年度後期 国際交流助成候補募集案内

(財)立石科学技術振興財団においては、下記の通り平成 18 年度後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。(さらに詳細については募集要項をご覧ください。)

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。

「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。ことに、渡航経験の少ない若手からの応募を期待します。

(2) 金額および件数

国際交流助成金(派遣と招聘)	派遣	1 件	40 万円以下	} 平成 18 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、他の財団等から既に助成を受けているか、または受ける予定になっている個人またはグループは、ご遠慮下さい。

(4) 募集期間と助成対象期間および助成金交付時期

募集期間：平成 18 年 4 月 1 日～平成 18 年 6 月 30 日(郵便局消印有効)

助成対象期間：平成 18 年 10 月 1 日～平成 19 年 3 月 31 日です

助成金交付時期：平成 18 年 10 月の予定

(5) その他

渡航期間が助成対象期間をまたがる場合、募集期間内に被招聘者が確定しないなどの場合には事務局にご相談下さい。

(6) 申請書類請求および問合せ先

当財団の所定様式(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)に記入して応募して下さい。

〒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。

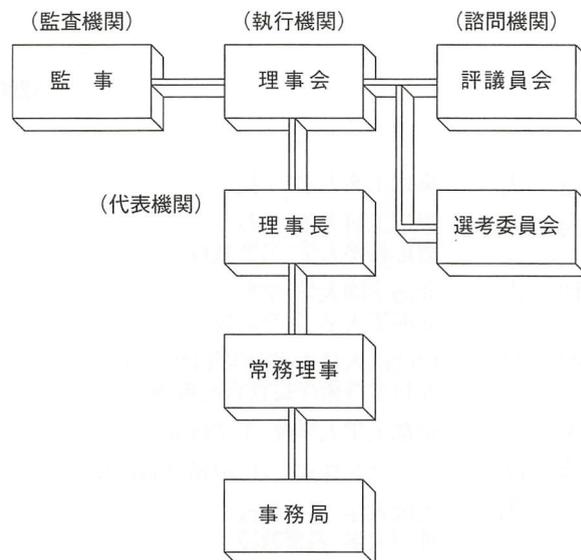
URL：<http://www.tateisi-f.org/>

■ 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



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ヵ所に拝送させていただいておりますが、今号で第14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、第15回（平成16年度）助成研究課題を中心にこの1年間に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、国際交流助成につきましては第15回（平成16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荒木評議員様、投稿文をお寄せいただきました愛知県立大学情報科学部情報システム学科 神山 斉己助教授、(財)東京都医学研究機構 東京都臨床医学総合研究所 原田 慶恵副参事研究員、事務局取材に快く応じていただきました熊本大学工学部数理情報システム工学科 宇佐川 毅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。

本号がお手元に届くころ、平成18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。また、国際交流助成については前期と後期の2回に助成期間を分けて募集いたしておりますので合わせてご覧くださいと思います。

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。

財団法人 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14号
平成17年9月(2005)

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ください。)