

立石科学技術振興財団

助成研究成果集

【第16号】

平成19年(2007)



人間と機械の調和を促進する助成研究成果集

第 16 号

平成 19 年 9 月 (2007)

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醵出資金により「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 (尾尻哲洋 監事 辻・本郷税理士法人 特別顧問 税理士)	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 18 年度)	121
5. 平成 18 年度活動報告(業務日程・会計)	129
6. 平成 19 年度助成報告	130
7. 第 18 回助成金贈呈式	131
8. 受領者投稿	132
前野隆司 慶應義塾大学理工学部機械工学科 教授	132
安井武史 大阪大学大学院基礎工学研究科 助教	133
9. 研究室訪問	134
積山 薫 熊本大学文学部総合人間学科 教授	134
10. 第 18 回(平成 19 年度)助成課題一覧	137
11. 平成 19 年度研究助成課題の紹介	140
12. 平成 20 年度助成候補募集案内	144
13. 財団の概要	147
14. 役員・評議員	148
編集後記	149

ごあいさつ

このたび、助成研究成果集第16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18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15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世紀の今日、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

公益法人改革への心構え

昨年6月に公益法人改革3法（一般法，認定法，整備法）が成立しました。施行は2年半後の来年（平成20年）の秋です。これらの法律は当然に当財団にも適用されますから他人事ではられません。

新法の趣旨は，①公益法人（社団法人・財団法人等）の活動を広く自由に認めると同時に，②天下りや予算の濫用といった不正行為に利用されないようにしようというものです。ですから，たとえば，新法下では財団を株式会社と同じように登記だけで設立することが出来るようにした反面，原則「課税」扱いとし，運営に対する監視も法律により強化することにしたのです（いわゆる準則主義です）。

もちろん，我々のような既存の財団法人には，「公益性の認定」を得ることで，従来と同様の非課税法人として活動を継続することが出来ます。この点に関しては専門家（私もその一人と自負しておりますが・・・）に委ねる事とします。

さて，こうした改革下において，実際の財団法人の運営についてはどのように対応すべきなのでしょう。運営責任者たる理事・評議員・監事はどのような姿勢で財団の運営にあたるべきなのでしょう。この点について私は，「法律の下で活動の自由度が拡大する」ということは，運営責任者が「ガバナンスとコンプライアンス機能を充実させる」ことと同意語だと考えています。

つまり，新会社法という法律に規定された一般の営利法人の取締役や監査役と同様な権限と責任が科せられると考えるべきでしょう。

今後は，財団の運営に関して，主務官庁が手取り足取り指導・監督するということはありません。したがって，財団法人自らがその公益法人としてのあるべき姿を追及し，具体的活動を決定し実行して行かなければなりません。

その意味で運営責任者たる理事・評議員・監事の権限と責任は非常に重いものになります。法的な視点から見ると，従来の財団理事（長・会）・評議員（長・会）・監事は，主務官庁の指導により設置しているようなところがありましたが（かならずしも正確な表現ではありませんが），今後は法律に定められた法人の機関としてその設置が義務付けられ，その役割が規定されるわけです。

その点では，多くの財団が陥りがちな事務局主導の運営から脱皮し，運営責任者がその役割を自覚し大いにガバナンス機能を発揮すべきだと思います。

法律に規定されたか否かは別にして，私も監事としてその責任を自覚し，財団の発展に寄与したいと改めて感じています。



監事 尾 尻 哲 洋

（辻・本郷税理士法人 特別顧問 税理士
株式会社 中央アセットマネジメント 代表取締役社長）

研究助成成果の抄録一覧

(年度順五十音順)

- ◆ 語学学習支援のための身体化エージェント・システムの社会的知性 (1041020) 8
 Social Intelligence for Language Learning Systems with Embodied Agents
 森 島 泰 則 国際基督教大学教養学部語学科 准教授

- ◆ 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 (1051003) 12
 Learning Simulator Research Based on Quantum Life Sciences Aiming
 at Structure-Based Drug Design
 石 野 洋 子 広島大学大学院理学研究科 特任准教授

- ◆ 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 (1051004) ... 16
 Development of Noninvasive Viscoelastic Measurement Method Using Laser Induced
 Acoustic Wave in the Process of Degeneration and Regeneration of Articular Cartilage
 石 原 美 弥 防衛医科大学校医工学講座 准教授

- ◆ インタラクションの継続を目的とするインタフェースの適応アルゴリズムの提案 (1051008) 20
 An Interface Design Principle for Continual Human-Agent Interaction
 近 藤 敏 之 東京農工大学大学院共生科学技術研究院 准教授

- ◆ 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 (1051009) 25
 A Study on Instructive Controller for Human-Machine System
 柴 里 弘 毅 熊本電波工業高等専門学校 准教授

- ◆ 人工筋肉を用いた6軸人間共存型マニピュレータの開発 (1051012) 29
 Development of a 6-DOF Manipulator Actuated by a Straight Fibers Type Artificial Muscle
 中 村 太 郎 中央大学理工学部精密機械工学科 准教授

- ◆ 生体の視覚系に学んだ実時間動画画像処理チップ (1051013) 33
 A Chip for Processing Moving Image in Real Time Based on Biological Vision System
 西 尾 公 裕 米子工業高等専門学校電気情報工学科 講師

- ◆ 脳での視えの最適化を目的とする新しい画像符号化 (1051014) 37
 A Novel Image Coding Algorithm for Aiming at Optimizing Appearance in Human Brain
 堀 内 隆 彦 千葉大学大学院融合科学研究科 准教授

- ◆ 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 (151034) 42
 Human-Robot Interaction by using Preliminary Announcement and Indication of
 Human-Friendly Mobile Robot's Upcoming Action and Intention
 松 丸 隆 文 静岡大学工学部機械工学科 准教授

- ◆ 集束電界を利用した非侵襲がん治療装置の開発 (1061001) 49
A Noninvasive Cancer Treatment System using the Focused Electric Field
石 原 康 利 国立大学法人 長岡技術科学大学 准教授

- ◆ 網膜走査ディスプレイの現実場面への応用に関するヒューマンファクター的研究 (1061003) 54
A Human Factor Study on Application of Retinal Scanning Displays to Actual Work Situations
岡 田 有 策 慶應義塾大学理工学部管理工学科 助教授

- ◆ マイクロ・ナノマシーニングを用いた生体単分子マニピレーション法の開発 (1061005) 60
Development of Micro Electro Mechanical System for Single Molecule Manipulation
久米村 百 子 東京大学生産技術研究所 産学官連携研究員

- ◆ 車内表示機器の視認負荷とドライバー運転行動の関係 (1061006) 64
Relationship between Driver's Visual Performance to Look at In-vehicle Devices
for Displaying Information and Driving Behavior
小 坂 洋 明 奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科 助教

- ◆ メディアコミュニケーションにおける遅延時間の影響に関する研究 (1061008) 68
Influence of Delay Time on Media Communication
渋谷 雄 京都工芸繊維大学情報科学センター 教授

- ◆ 顔画像通信技術を応用した知的発達障害児の早期検出 (1061009) 72
Mentally Retarded Children Detection at an Early Ages Using
Face Image Communication Technology
杉 浦 彰 彦 豊橋技術科学大学大学院工学研究科 助教授

- ◆ レスキュー支援のための移動ロボットシステムに関する研究 (1061010) 76
Research on Mobile Robot System for Rescue Support
高 橋 悟 香川大学工学部知能機械システム工学科 准教授

- ◆ 電界共役流体 (ECF) を利用したマイクロ人工筋セルの開発とその集積化 (1061011) 81
Integration of Micro Artificial Muscle Cells using Electro-conjugate Fluid
竹 村 研治郎 東京工業大学精密工学研究所 助手

- ◆ 長距離および短距離力制御を用いたマイクロシステム用ナノアセンブル技術の開発 (1061012) ... 85
Nano-scale Assembly for Microsystem using Long and Short Distance Force Control
田 畑 修 京都大学工学研究科 教授

- ◆ ナノダイヤモンドを用いたナノ流体による消音冷却システムの開発 (1061013) 90
Development of Cooling System using Nanofluid including Nanodiamond Particles
鳥 居 修 一 熊本大学大学院自然科学研究科 教授

◆ 避難誘導のためのロケーションウェアシステムの研究 (1061014)	95
A Location-aware System for Evacuation Guidance	
中 西 英 之 大阪大学大学院工学研究科 准教授	
◆ スーパープリズム光学系による超小型分光システム (1061016)	99
Ultrasmall Spectrometer System Based on Superprism Optics	
馬 場 俊 彦 横浜国立大学大学院工学研究院 教授	
◆ 映像からの移動対象検出のための適応的背景映像モデリング (1061017)	103
Adaptive Background Scene Modeling for Detection of Moving Objects	
波 部 斉 奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科 助教	
◆ 人からの作業指示を利用した知識の自動獲得と環境への知識埋め込みに関する研究 (1061020) ...	107
Knowledge Acquisition using Human-machine Interaction and Embedding Knowledge into Environment	
前 泰 志 大阪大学大学院基礎工学研究科システム創成専攻 准教授	
◆ 大画面ナチュラル3次元ホログラフィックディスプレイ (1061021)	112
Natural Three-dimensional Holographic Display with Wide Screen	
的 場 修 神戸大学工学部情報知能工学科 助教授	
◆ ゲル微粒子を用いたマイクロアクチュエータの開発 (1061022)	116
Development of Microactuators Consisting of Microgels	
矢ヶ崎 一 幸 岐阜大学工学部 教授	

語学学習支援のための身体化エージェント・システムの社会的知性

Social Intelligence for Language Learning Systems with Embodied Agents

1041020

研究代表者

国際基督教大学教養学部語学科 准教授

森 島 泰 則

[研究の目的]

近年、人型ロボットなどがマスコミの注目を浴び、機械 — 特に、ロボットやコンピュータなど知的情報処理能力を備えた機械 — との共生が近未来の姿としてかなりの現実性をもって議論されるようになってきた。このような文脈の中で、これらの知的情報処理能力を備えた機械を単なる機械として見るのではなく、社会的な役割を持ち、人と人のインタラクションに介入するような「アクター」としてとらえられるという観点が重要性を増している。そこでは、人間と機械のインタラクションにおける社会性に焦点が当てられ、コンピュータ[†]は「社会的エージェント」とも呼ばれる。従来、人間と機械の協働には、機械が論理思考・問題解決能力などの認知的知能を備えることが求められてきた。一方、人間は社会的生物であり、人間同士の協働には対人関係能力が重要な役割を果たしている。したがって、人間と機械が調和して協働するためにも、インタラクションは不可欠な要素であり、その社会的側面を見逃すことはできないといえよう。

本研究では、このような「社会的エージェントとしてのコンピュータ」の観点から、対人関

係に作用する社会的関係、役割、パーソナリティ、感情などによって行動を制御する身体化エージェントを語学教育へ応用し、エージェント・モデルの構築、評価実験から、協調的学習システムにおける効果、および、人間と機械の協調のあり方を探求することを目的としている。近年、教育学・教育心理学では、学習者が他の学習者とともに学ぶ方が高い学習効果が得られるという研究報告がされている。これは、学習には認知的な側面だけでなく、他者と協働する、あるいは競争するといった社会的な側面が学習効果に重要な役割を果たすことを示している。そこで、エージェントを利用した教育システムに社会性という概念を導入することにより、より高い学習効果を上げることが期待される。

[研究の内容、成果]

1. 学習支援システムの概要

本研究では、目標とする知的学習支援システムの基本概念を、学習者同士の社会的関係・インタラクションに基づく学習を実現するコンピュータ・システムとし、共同学習者という役割を持った身体化エージェントと学習者がインタラクションしながら学習を進めることを前提としている。社会的関係・インタラクションの具体例として、エージェントと学習者が助け合う協調的關係や互いに競い合う競争的關係、能力的關係（対等、差がある）や、エージェントに教えながら学ぶ、エージェントの様子（正し

[†] ここでは、「コンピュータ」の語を上述の「ロボットやコンピュータなど知的情報処理能力を備えた機械」という語感で用いている。また、本研究は、ロボットを研究対象とするものではないので、これ以降はコンピュータのみに議論を限定する。

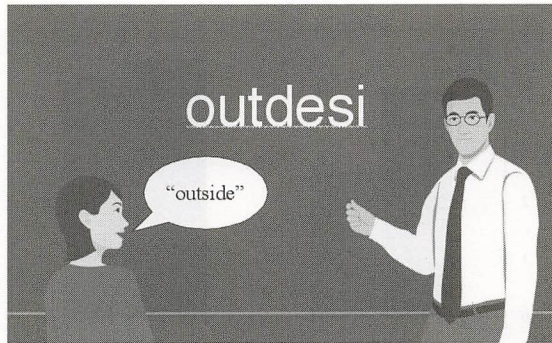


図1 学習支援システムのインターフェース

くできる、間違える)を見ながら学ぶといったインタラクションが想定される。このようなインタラクションを通して、学習意欲(興味, 継続力), 自信(自己効力感)が高まり, その結果, 学習内容の理解・習得が深まるといった効果が期待される。

本研究で目指しているシステムでは, 学習の場(例, 教室)をメタファーとして採用し, 教師エージェント, 共同学習者エージェントを配置した。これにより, 学習者と教師との1対1のインタラクションに限定されるのではなく, 学習者対教師, 共同学習者対教師, 学習者対共同学習者という多様なインタラクションの可能性が生じる(図1参照)。

2. 社会的知性モデル

身体化エージェントとの協調的インタラクションを実現するためには, ユーザがエージェントとの間に社会的関係をもつ(認める, 感じる)ことが必要である。そのための要件のひとつは従来の人工知能的な能力であり, 次いでパーソナリティ, 感情, 社会的インタラクションのルールなどの社会的知性(social intelligence)に基づいたインタラクション設計である。著者とその研究グループは, 数年にわたり, 社会的知性のモデル化に取り組んでいる。その理論的基盤は, スタンフォード大学のReevesとNassによって提唱された「Media Equation (メディアの等式)」である。この理論によれば, コンピュータのような知的情報処理を

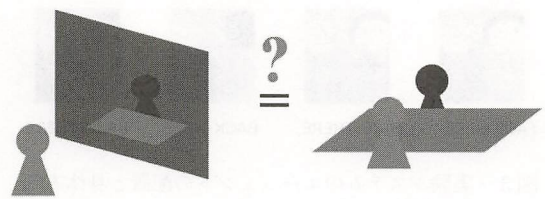


図2 ユーザとエージェントの仮想空間の関係が実空間の関係のように感じられるか?

行う機械に対しては, 人は相手が機械であっても, 本質的に人と同等であると見なし, 対人ルールを適用すると考えられる。

ユーザとエージェントの社会的インタラクションを実現する上で重要な課題に, ユーザがエージェントと社会的関係の場を共有できるかという問題がある。本研究でもそうであるが, 多くのエージェント・システム研究では, コンピュータ・ディスプレイ上にエージェントが登場し, ユーザ(学習者)はそのエージェントとインタラクションするという形態をとる。このとき, ユーザは実空間に存在するのに対し, エージェントは仮想空間に存在するということになる(図2参照)。この実空間と仮想空間の乖離によって, ユーザとエージェント間の社会的関係やインタラクションに齟齬が起こる可能性がある。したがって, ユーザが, エージェントをどれだけ身近に感じることができるか, すなわち, ユーザがどれくらい心理的没入感を感じられるかが課題となるといえる(図2参照)。

著者らは, 学習支援エージェント・システム設計にあたって, このような問題に注目して研究を行っている。ここではエージェントの物理的特性および行動的特性が及ぼす影響について得られた知見を報告する。

3. エージェントの身体配置, 身体方向

コンピュータ・ディスプレイ上の身体化エージェントとユーザとのインタラクションにおける, エージェントの身体方向と仮想空間分割を基準としたエージェントの位置に着目し, これらのユーザへの影響を検証する実験を行った。ユーザが画面上エージェントとの間に認知する

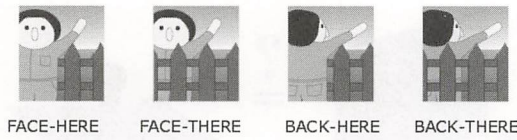


図3 実験システムのエージェントの配置と身体方向 (4条件)

心理的距離の要因には、エージェントのサイズなどによる距離感だけでなく、画面上の物体を基準とした想定的な位置関係、距離感も重要な要因であると考えられる。本研究では、画面奥行き方向の仕切りを基準として、エージェントが配置される位置によりユーザはどのような影響を受けるかを検証した。

実験目的の「動物園ウェブ・サイト」として、エージェントによる動物紹介を行うアプリケーションを Macromedia Flash により実装した (図3 参照)。このシステムでは、自己紹介の後、飼育係のエージェントが、日本各地の動物園で行われている混合飼育 (同じ場所で異なる種類の動物を展示する試み) の事例について、2種類の動物の写真を見せながら解説する。エージェントの配置の仕方は、図3にあるように「2つの位置 (画面奥行き方向の仕切りである柵の手前あるいは後ろ)」×「2つの身体方向 (ユーザと対面する、またはユーザと同じ方向を向く)」の合計4状態 (条件) が用意された。48名の実験参加者は、無作為にこれらの4条件のひとつに割り当てられた。実験参加者は、動物園ウェブ・サイトのナビゲーション評価であると教示され、エージェントの説明を聞いた後、質問紙によりエージェントに対する印象評定 (7件法) および混合飼育に登場した動物の記憶再認課題を行った。

多くの先行研究からエージェントに対する印象評定に影響があることが知られており、この実験からも同様の結果が得られたが、特筆すべきものとして、記憶再認課題において以下のような結果が得られた (図4 参照)。

- 1) エージェントの身体方向がユーザと対面するときの方が、ユーザと同じ方向

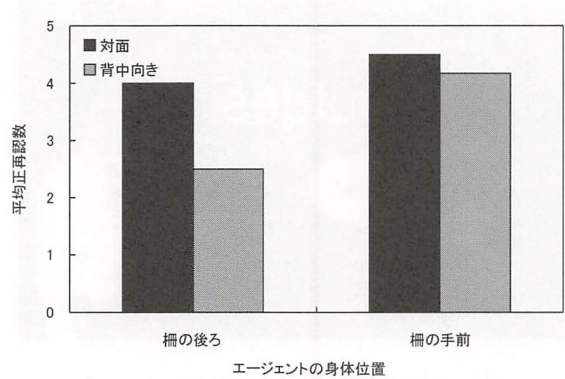


図4 条件ごとの記憶再認課題の平均正再認数

を向くときより正再認数が有意に多い [$F(1, 44) = 5.71, p < .05$]

- 2) エージェントがユーザ側からみて仕切り柵の手前に現れたときの方が、仕切りの後ろに現れたときより、正再認数が有意に多い [$F(1, 44) = 7.98, p < .01$]

これは、他者の注意が向けられている状態において得意な作業を行うとその作業の遂行が促進されるという社会的促進の効果が起った可能性を示唆しており、他者としてのエージェントの注意の有無が身体方向、位置によってユーザに認識され、それが記憶に影響を及ぼしたと考えることもできる。エージェントの身体位置や方向が、学習に深く関わる記憶に影響を与える可能性を示唆する今回の結果は、新しい知見であるといえる。

4. エージェント行動の自己効力感への影響

自己効力感とは、自己に対する「有能感、信頼感」をいい、学習における「自信、意欲」とも結びつく概念である。我々は、ユーザの心理的没入感のひとつの現れとして、画面上のエージェントの行動がユーザの自己効力感に影響を及ぼすであろうとの仮説を立て、それを実験的に検証した。実験に用いたシステムは、図1のような、教師役のエージェントと学習者役のエージェントが登場する学習支援システム (実験用) である。実験では、学習者エージェントが英語アナグラム問題に解答するのを観察する

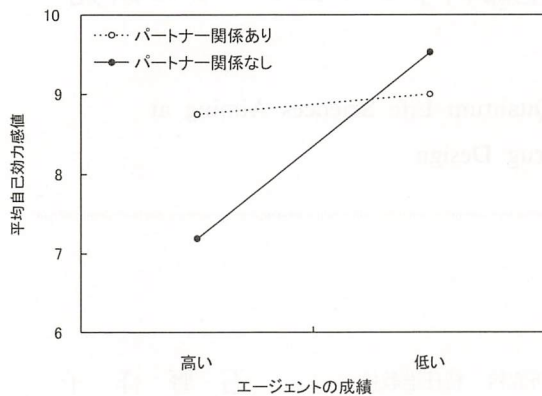


図5 条件ごとの自己効力感の平均値

ように教示され、タスク終了後、質問紙によって実験参加者の自己効力感が調査された。実験参加者は、大学生、大学院生 61 名で、無作為に 4 つの実験条件のひとつに割り当てられた。実験条件は以下の通りである。

- 1) エージェントとパートナーであると教示され、エージェントの成績が高い
- 2) エージェントとパートナーであると教示され、エージェントの成績が低い
- 3) エージェントとパートナーであるとの教示がなく、エージェントの成績が高い
- 4) エージェントとパートナーであるとの教示がなく、エージェントの成績が低い

実験の結果、図 5 に示すように、アナグラムの成績の高い学習者エージェントを観察したときより、成績の低いエージェントを観察したときの方が、自己効力感が高いというデータが得られた [$F(1, 58) = 4.28, p < .05$]。また、学習者エージェントとパートナーであると教示された場合は、エージェントの成績によって自己効力感に差がないのに対し、パートナーの教示

がない場合に、上述の傾向が強いという結果が得られた [$F(1, 58) = 2.79, .05 < p < .10$]。これらの結果から、画面上のエージェントであっても、その行動によって自己効力感に影響があることが示唆された。これらの知見から、エージェントの行動や、ユーザがエージェントとどのような社会的関係を認知するかを考慮して学習支援エージェント・システムを設計することが重要であるといえる。

[今後の研究の方向、課題]

本研究で取組んでいる社会的知性のモデル化はまだ限定されており、さらなる研究開発が必要であることは言うまでもないが、いわゆる人工知能的な知性の実装だけではなく、共同学習者エージェントの身体性や行動がユーザ（学習者）に及ぼす効果について興味深い知見が得られつつある。学習支援という観点から、学習者に対して効果がある共同学習者エージェントの特性の特定が必要である。また、継続的学習における、これらの社会的知性の効果についても検証が必要であるといえる。

[成果の発表、論文等]

- 1) 鈴木聡, 森島泰則, 中村美代子, 槻館尚武: 身体化エージェントの身体方向と画面奥行き方向の仮想空間分割がユーザに与える影響, 電子情報通信学会技術研究報告, 106 (269), pp.13-18 (2006)
- 2) 鈴木聡, 森島泰則, 中村美代子, 槻館尚武: 身体化エージェントの身体方向と相対的距離がユーザに与える影響, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2006 論文集, pp.17-20 (2006)

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

Learning Simulator Research Based on Quantum Life Sciences Aiming at Structure-Based Drug Design

1051003

研究代表者

広島大学大学院理学研究科 特任准教授

石 野 洋 子

[研究の目的]

分子の立体構造に基づく薬物設計を成功裡に行うためには、標的蛋白質の厳密な立体構造情報に加え、候補化合物とのドッキング計算で精度の高い相互作用エネルギー値を求める必要がある。しかし、現実にはそれらの要求を完全に満たすことは難しく、従来は専門家が自身の経験に基づいて計算結果を吟味し有望な化合物を選択していた。そこでの「知識」を明示的に示すことは難しく、これまで実現されていない。本研究では、対話型進化計算法により人間と計算機がやり取りを繰り返す過程で、人間の経験に基づく主観や直感という漠とした知識を計算機が学習する量子生命科学シミュレータの開発を提案する。これにより人間の暗黙知を共有し、人と計算機が協調した薬物設計を可能とする。

[研究の内容, 成果]

1. 標的タンパク質の設定

分子の立体構造に基づく薬物設計 (SBDD: Structure-Based Drug Design) は、標的となる受容体タンパク質の立体構造や相互作用情報に基づいて医薬品設計を理論的に行うもので、有望な候補化合物 (リード) を探索、選定し、最適化する工程で用いられる手法である。SBDD を成功裡に行うためには、用いるタンパク質の立体構造の精度が非常に高いことが必

要である。本研究では G タンパク質共役型受容体 (GPCR: G Protein-Coupled Receptors) を取り上げ、SBDD に耐えうる程度に正確な立体構造を予測することを目標とする。

GPCR は、細胞膜上に存在し、神経伝達物質やホルモンを認識する生体センサーとしての役割を持つ。GPCR の種類は多岐にわたるが、構造の点で細胞膜貫通ヘリックスを 7 本持つという共通点を有し、タンパク質中で最大のスーパーファミリーを形成している。現在臨床的に用いられている薬の約半分が GPCR に作用するものと言われており、創薬の大きなターゲットである。

そこで、SBDD が期待されるわけだが、GPCR は膜タンパク質のため結晶構造を得るのが非常に難しく、これまでに実験的に結晶構造が得られているのは、ウシロドプシンだけである。ロドプシン (Rhodopsin) は、目の網膜に存在する物質で、これまで実験的に結晶構造が得られているのは光を吸収する前の「不活性型」だけである。そのため、これを鋳型にして予測した他の GPCR の立体構造は、やはり不活性型になってしまい、活性型と結合するといわれているアゴニスト (作動薬) の探索に用いることはできない。本研究では、これらの問題を解決する手法を提案する。

2. 提案する手法

本研究では、扱う問題を活性型 GPCR の立

体構造予測問題として定式化し、次に説明するタンパク質の誘導適合(induced-fit)を考慮したモデルを導入する。

タンパク質の高次構造は、水素結合、静電的相互作用、疎水性相互作用など極めて微小な安定化力で維持されており、外界からの熱エネルギーで常に揺らいでいる。溶液中でのタンパク質は、揺らぎのためにわずかに異なる多くの立体構造の間を移り変わっており、その中で結合を許す構造にのみリガンド(低分子化合物)は結合し、より安定したエネルギー値をとるように複合体構造が変化する。このように、まるでリガンドがタンパク質の構造を結合に適したものに变えたようにみえる現象を誘導適合という。誘導適合を考慮したタンパク質・リガンドの結合シミュレーションシステムは、その難しさのためにほとんど存在しないのが現状である。我々は、誘導適合を考慮した SBDD 実現のために、時間スケールの異なる揺らぎの組合せで GPCR の揺らぎをモデル化することにした。なお、モデル化にあたり、GPCR は脂質二重膜に囲まれているため他の球状タンパク質ほど自由には動けないが、結晶中の環境ほど拘束されてはいないという点と、GPCR を構成するヘリックスの溶液中での軸周りの回転運動がこれまでの研究で示唆されているという点を考慮した。そして、誘導適合による構造変化を結合シミュレーション単体の中で解決するのではなく、他の手法と組み合わせた進化計算法を用いることで解決するアプローチをとることとした。具体的には、以下のフレームワークを提案する。

- (1) ウシロドプシンを鋳型として、ホモロジーモデリングで標的 GPCR の初期立体構造を構築する。
- (2) 数十～百 ps 程度までの GPCR 分子の揺らぎを分子動力学(MD: Molecular Dynamics)でシミュレーション計算し、平均的な構造を求める。
- (3) より時間スケールの大きい揺らぎとして、GPCR を構成する各ヘリックスの

軸を中心とした回転運動を仮定する。既に結合することが自明であるアゴニストを訓練例として、結合シミュレーションと実数値遺伝的アルゴリズムを組み合わせた探索を行うことで、アゴニストの結合に適したヘリックスの回転位置を求める。

この中で特に注意を要する点は、(3) の探索で用いる評価関数である。通常のタンパク質とリガンドの結合シミュレーションでは、様々な評価関数が提案されているが、全ての場合において結合自由エネルギーを精度良く反映するようなスコアは現在までにわかっていない。そこで、本研究では客観的なスコアに加え、専門家の具現化できない知識を取り込むために、探索のサイクルごとに結合の様子をビューワーソフトウェアで提示しユーザーに定性的な判断を下してもらうようにした。その際、「どの程度良いか」という判断は難しいので、「これは良くない」というもののみ選び出し、負の評価を与えるようにした。このように対話的に人間の評価基準を取り入れるので、これは対話型進化計算法のひとつといえる。

3. 用いている要素技術

提案手法中で用いている主要要素技術には、分子動力学シミュレーション、実数値遺伝的アルゴリズム、ドッキングシミュレーションがある。それらを簡単に説明する。

3.1 分子動力学シミュレーション

本研究では“分子とは部分電荷を持った原子がバネでつながったもの”とみなして計算を行う古典 MD の立場を用いる。個々の原子の運動を、以下のニュートンの運動方程式を解くことで求める。なお、本研究で用いた MD ソフトウェアは、TINKER である。

$$m_i \frac{d^2}{dt^2} \mathbf{r}_i = -\nabla_i U(\mathbf{r}_1 \dots \mathbf{r}_n), \quad i=1, \dots, n$$

$m_i, \mathbf{r}_i$ は粒子 i の質量と位置

U は系全体のポテンシャルエネルギー

3.2 実数値遺伝的アルゴリズム

遺伝的アルゴリズム (GA: Genetic Algorithms) は生物の適応進化に関するダーウィンの自然選択説を計算機上で模擬する最適化手法である。GA については離散値空間を探索領域とする組合せ最適化問題への応用がよく知られているが、連続値空間を探索領域とする問題には、実数値 GA という手法が提案されている。本研究では、実数値 GA のうち単峰性正規分布交叉 (UNDX: Unimodal Normal Distribution Crossover) を用いている。

3.3 ドッキングシミュレーション

標的分子とリガンドの結合について、以下の式で与えられる結合自由エネルギー変化 (ΔG_{bind}) のできるだけ小さい構造を探索する。

$$\Delta G_{bind} = G_{complex} - (G_{protein} + G_{ligand})$$

探索の評価関数としてのスコアには様々なものが提案されている。本研究では、統計的スコア関数法 (既知の結晶構造を統計的に処理して、各官能基のペアの相対的な配置の確率分布を求めてスコア化する方法) を用いている GOLD というソフトウェアを用いる。

4. ロイコトリエン受容体を用いた実行例

実際の適用例として、様々な GPCR のなかからロイコトリエン (LT: Leukotriene) 受容体を取り上げて計算を行った。ロイコトリエンは、生体防御に重要な役割を果たす生理活性脂質である一方、気管支喘息の発症・増悪因子として知られている。現在までに4種のLT受容体のクローニングがなされているが、そのなかでロイコトリエン B4 受容体 (LT4R1_HUMAN) のアミノ酸配列情報を用いて実験を行った。

LT4R1_HUMAN の配列についてウシロドプシン (1L9H) を鋳型にしてホモロジーモデリングを行った結果を初期構造として、TINKER で全原子緩和のためのアニーリングを行った後、MD シミュレーションを行った。パラメータ等は以下の通りである。力場は

amber 99 を用い、温度: 310 K、圧力 1 気圧、Time Step: 1.0 fs の条件下で文献から得られた制約条件を加えて、65.4 ps 間計算を行い、平均原子位置を求めた。

次に、活性型 LT 受容体ではヘリックス3, 5, 6 がリガンドとの結合に関与しているらしいという文献情報があるので、この3本のみを自由に回転させた立体構造を実数値 GA での個体と定義した。実数値 GA とドッキングシミュレーションを組み合わせた探索については、以下のように行った。

- 1) 初期集団の生成: 実数値 GA での集団プールにおける個体数は30とし、初期集団をランダムに生成する。
- 2) 世代ごとの生存選択: 集団プールからランダムに交叉のための親を選択し、UNDX で子を6個生成する。子個体 (6個) + 親個体 (2個) の計8個に対して立体構造の評価を下すために、すでにアゴニストとして知られている 12-keto-LTB4 (PubChem No. sid 8233) を使って GOLD でドッキングシミュレーションを行う。1つの個体当たり GOLD スコアの高い順に5つのリガンドのコンホメーションを記録しておき、ユーザーが画面でその結合状態をチェックする。ユーザーが結合状態を「良くない」と評価したものには負の評価を与える。そうして、各個体の最高スコアが決定したら、高い順に2個体を選択し (エリート戦略)、集団中の両親と置き換える。
- 3) 反復: ある停止条件が満たされるまで、ステップ2) を繰り返す。

今回は、時間的な制約から60世代の計算を行った。その進化計算によるスコアの推移を図1に示す (スコアは高いほど良い)。なお、60世代後の回転角の最適解は、TM3: 127°, TM5: 174°, TM6: -26°であった。この最適解を持つ LT 受容体の立体構造とリガンドの結合状態を図2に示す。ヘリックス3, 5, 6 とリガ

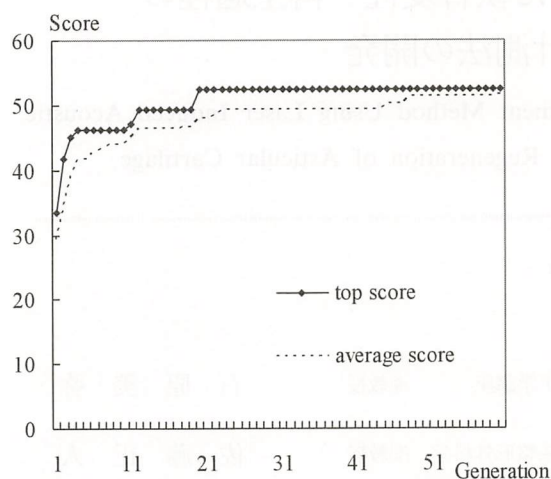


図1 進化計算によるスコア変化

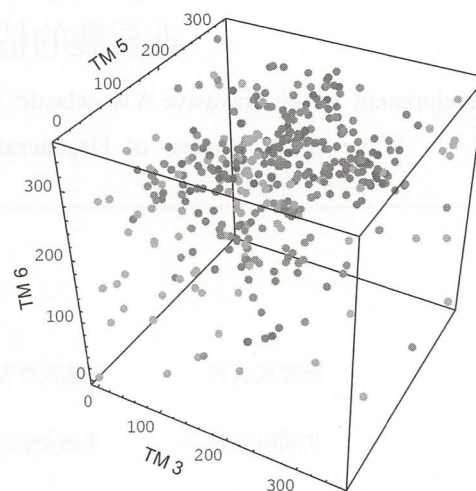


図3 探索空間

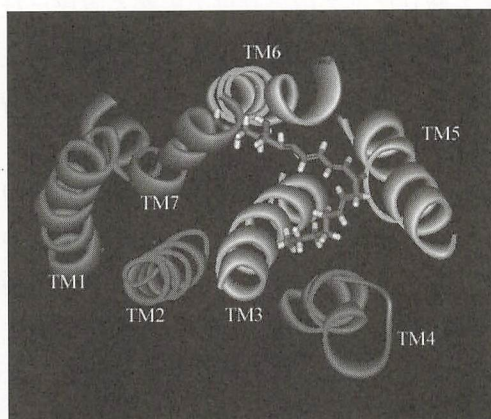


図2 得られたドッキング構造

ンドが相互作用しているらしいことが見てとれる。図3は3つのヘリックスの回転角の探索空間を示す。各ドットは探索されたポイントを示し、色が濃い方が、GOLDのスコアが高い。これによりそれほど偏りのない探索が行われたことがわかる。

最後に、本手法で得られたLT受容体構造の良さを検証するために、構造を作る計算に用いた以外のアゴニストでドッキングシミュレーションを行った。同様のことをホモロジーモデリングだけで作成したLT受容体の立体構造でも行い、得られた両者のGOLDスコアを表1

表1 他のアゴニストのGOLD Score

アゴニスト名	ホモロジーモデリング だけで作った構造	MD+進化計算で 作った構造
sid 801685	1.9	45.5
sid 801683	-16.1	43.7
sid 8234	-12.4	42.5

に示す。表1から、本手法で得られた活性型GPCRの立体構造は、単にホモロジーモデリングから得られたものと比較してアゴニストとの良好な結合を示していることがわかる。

[今後の研究の方向、課題]

今後は、進化計算の評価関数スコアの精度をよくするための更なる検討を行うとともに、予測された構造の評価手法を開発する。また、ロイコトリエン以外のGPCRについても検証していきたい。

[成果の発表、論文等]

- 1) 石野洋子：進化計算を用いたGPCR活性型コンホメーションの探索研究，第35回人工知能学会・分子生物情報研究会（SIG-MBI），2007年3月（石川県）。

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

Development of Noninvasive Viscoelastic Measurement Method Using Laser Induced Acoustic Wave in the Process of Degeneration and Regeneration of Articular Cartilage

1051004

研究代表者	防衛医科大学校医工学講座	准教授	石 原 美 弥
共同研究者	東海大学医学部外科系整形外科	准教授	佐 藤 正 人

【研究の目的】

高齢社会を迎えて骨軟骨の機能維持は高齢者のADL (Activity of daily life) の維持に必須である。特に65歳以上の20%が発病する変形性関節症の早期診断のために、関節軟骨の主要な機能である粘弾性の直接的な診断が待望されている。また、変形性関節症の治療法として、盛んに研究されている軟骨再生医療の評価法の開発も急務とされている。本研究では、申請者が提案したレーザー誘起音響波の挙動から対象試料の粘弾性を非侵襲的に測定する方法(光音響法)を関節軟骨に適用し、変形性関節症モデルの軟骨変性過程及び組織工学的手法による軟骨再生過程の評価を可能とする計測法の開発を目的とする。

【研究の内容、成果】

医療現場に持ち込める実用性に優れたレーザー光を用いた生体計測技術の1つに光音響法が挙げられる。光音響法は一定条件のパルスレーザー光を照射する際に吸収体において熱弾性過程により組織内で発生する応力波の経時変化を圧電素子で検出する方法である。光音響法は組織の光吸収係数の分布に由来する音響信号をイメージングする方法で、光計測最大の問題

である散乱による信号減衰の影響を直接には受けない深部診断が可能で、光と超音波の特長を併せ持ち、医学・医療分野に幅広い需要を持つ有力な診断・計測法として注目されている。脳内血管イメージング、眼科領域の網膜病変の1つである黄斑変性症のレーザー凝固治療時のモニタリング、グルコースモニタリング、各種癌の早期診断、熱傷の深度診断、皮膚移植の生着モニタリングなど、多分野で臨床に直結した研究開発が進められている。

研究者らは局所で発生した応力波が組織内を伝播する過程で組織固有の粘弾性により減衰する現象に着目し、光音響法で力学特性を計測できる基本原理を提案した。すなわちスプリングとダッシュポットから構成される線形粘弾性体に作用した応力の緩和時間が粘弾性パラメータに関係することをナノ秒パルスレーザー光照射により発生させた応力波の減衰時間に適用させた計測法である。計測原理を図1に示す。

測定システムの励起光源としてまず初めにOPO(光パラメトリック発振器, パルス幅; 5~7 ns)を用いた。コラーゲンやその他の蛋白を光の吸収体とした波長(250~355 nm)をOPOの発振波長に設定した。この波長の範囲内では、短い波長を用いる方が吸収が大きいので発生する光音響波のピーク値を高めるとともに光音響波の発生深度を浅く(0.1 mm 以下)

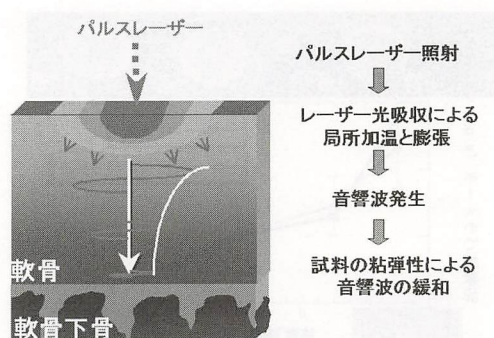


図1 光音響法による粘弾性計測の原理

できる。設定した波長内を検討した結果、いずれの波長においても光音響信号が検出可能であった。光音響法の実用性を考慮すると、小型、可搬、安価な励起光源が望まれるので、これらの条件を満たすQスイッチNd:YAGレーザーの第3高調波（波長：355 nm，パルス幅：5～6 ns）を使用したシステムを作製した。

出力光は石英光ファイバー（コア径 600 μm ，長さ 1 m）で導光する。光音響波の検出には、圧電性高分子フィルムのポリフッ化ビニリデン共重合体（PVDF（TrFE））を用いた。本システム開発当初は、圧電フィルムからなるセンサーと光ファイバーを測定試料に対して対向して配置する *in vitro* の計測にのみ使用可能な透過型プローブを設計し、原理実証等を行った。その後、*in vivo* でも使用可能な反射型プローブに改良した。反射型プローブとは、光ファイバーと圧電センサーを同軸に配置した構造で、詳細な検討の結果、光ファイバーをプローブの中央に配置し、センサーをリング状にする形状がもっとも感度が高くかつ実用的であることがわかったので、これを反射型プローブとし、設計・試作した。図2に示す。プローブの出力信号をFET増幅器（バンド幅，1 kHz–100 MHz；ゲイン，46 dB）で増幅して、マルチチャンネルデジタルオシロスコープで観測した。光音響法計測系の全体図を図3に示す。

次に本開発システムの非侵襲性を確認するために、細胞増殖活性試験を用いてレーザー照射による軟骨への影響を検討した。軟骨細胞に

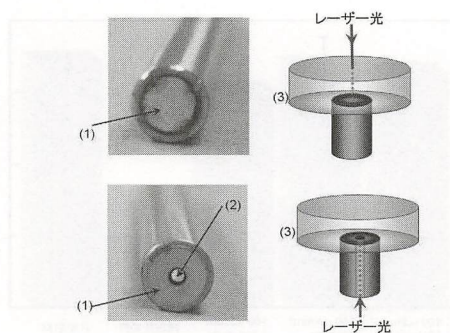


図2 開発したプローブ
（透過型プローブ（上）と反射型プローブ（下））
（1）圧電センサー，（2）光ファイバー，（3）測定試料



図3 レーザー誘起音響波を利用した
可搬式粘弾性計測システム

波長 355 nm の Q スイッチ Nd:YAG レーザーを以下の条件で照射した。① 100 $\mu\text{J}/\text{mm}^2$ ，30 shots，② 150 $\mu\text{J}/\text{mm}^2$ ，30 shots，③ 100 $\mu\text{J}/\text{mm}^2$ ，1500 shots，④ positive control である細胞が死滅する条件として、アルコールを各 well に 20 μl ずつ滴下する群，⑤ negative control であるレーザーを照射しない群の 5 群で実験した。細胞増殖活性試験には、Cell Counting Kit-8 を使用する WST-8 アッセイを用いた。96 ウェル培養皿に播種した細胞に 5 グループの条件を施行し、増殖活性試験試薬 CCK-8 溶液を滴下した。その後、37 $^{\circ}\text{C}$ ，5 % CO_2 ，100 % 湿度条件下のインキュベーターで培養し、上清の 450 nm における吸光度を計測した。

図4のグラフに示してあるように、有意差を持ってレーザー照射群 ① 100 $\mu\text{J}/\text{mm}^2$ ，30 shots，② 150 $\mu\text{J}/\text{mm}^2$ ，30 shots，③ 100 $\mu\text{J}/$

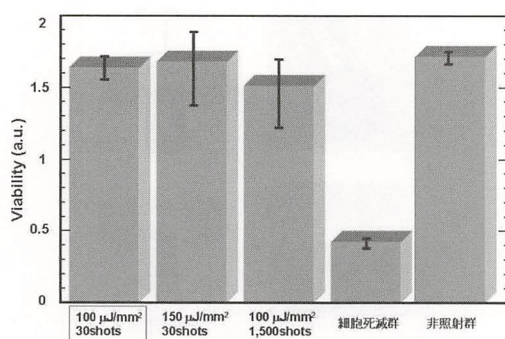


図4 開発システムの安全性試験結果

mm², 1500 shots は, ④ アルコール滴下群と増殖活性が異なった。また, ⑤の照射しない群とは有意差がなかった。すなわち, 現在使用している①の条件ではレーザー照射による細胞の影響が全くないことが確認され, 開発システムで非侵襲計測が可能であることが示された。

変形性関節症モデルを用いて軟骨変性過程の評価が本開発システムで可能かどうか検討した。実際には, ブタ膝関節からパンチアウトした軟骨一骨プラグをトリプシン (1 mg/ml) で酵素処理して変形性関節症モデルとした。トリプシンの処理時間を変化させて, 変性度を变化させた。処理時間が長い方が変性が進行していることになる。図5のグラフに示した結果は, トリプシン処理時間が長いほど, 減衰時間は単調に長くなった。図5の組織像からも確認できるように細胞外マトリックス変性割合と減衰時間は相関があった。以上より, 変性の進行にとも

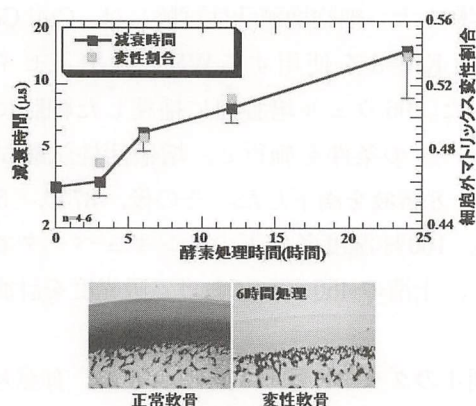


図5 変性過程の測定結果と変性割合の比較グラフ(上)とトリジンブルー染色した組織像(下)

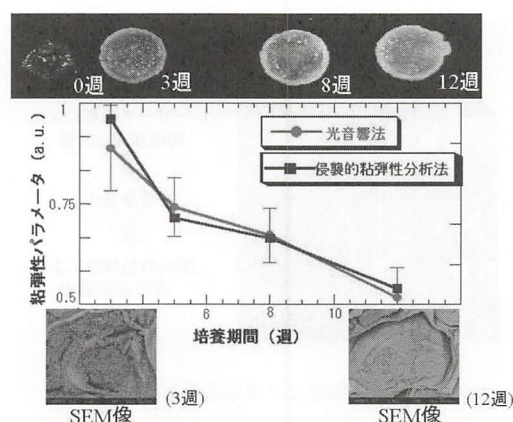


図6 開発システムによる測定結果と侵襲的分析装置による粘弾性特性の比較(グラフ), 培養軟骨組織の写真(上)と走査電子顕微鏡 (SEM) 像(下)

なって粘弾性が変化する様子が開発システムで評価可能であった。

組織工学的手法を用いた培養軟骨組織を測定対象にして, 再生過程の評価に関して検討した。測定試料は, 膜付きアテロコラーゲンハニカムスポンジを担体として軟骨細胞を播種して再生軟骨組織を作製した。培養期間をパラメータとして再生の成熟度を变化させた。

図6の培養軟骨組織の写真とSEM像からわかるように, 培養期間が長くなるにつれて細胞外マトリックスが構築された。図6のグラフに示してあるように減衰時間と侵襲的分析装置(レオメータ)で計測した粘弾性パラメータは相関があり, 細胞外マトリックス構築を反映していた。すなわち, 再生過程において軟骨細胞が細胞外マトリックスの形成により獲得する粘弾性を評価できることが示された。以上より本開発システムによる粘弾性計測で, 軟骨変性及び再生過程を非侵襲的に評価できることが実証された。

[今後の研究の方向, 課題]

今後は, ① 本開発システムが関節鏡視下に適用可能となるためのプローブを開発し, 臨床応用に発展させる, ② 再生医療で急務とされているバリデーションに用いる技術として確立

する，ことを課題とする。また，本システムで用いたレーザー光は軟骨の主に細胞外マトリックスの自家蛍光を励起できるので，自家蛍光による細胞外マトリックスの性状分析も可能な多機能評価法に発展させていきたい。

[成果の発表，論文等]

書籍

- 1) 石原美弥，佐藤正人，菊地眞，岡野光夫（監修），大和雅之（監修）：第2章 再生医療基盤技術 6 バイオメディカルイメージング，再生医療技術の最前線，シーエムシー出版，pp. 61-68, 2007
- 2) 石原美弥，菊地眞，赤池敏宏（編著）：再生医療教科書シリーズ④再生，医療のためのバイオエンジニアリング，コロナ社，pp. 147-167, 2007
- 3) 石原美弥，菊地眞，田畑泰彦（編著），岡野光夫（編著）：第4章ティッシュエンジニアリングと周辺環境 ティッシュエンジニアリングにおける評価技術，ティッシュエンジニアリング 2006，日本医学館，pp. 189-194, 2006
- 4) 石原美弥，佐藤正人，持田譲治，菊地眞，田畑泰彦編：遺伝子医学 MOOK「再生医療へのブレイクスルー —— その革新技術と今後の方向性 ——」，再生医療を具現化するための基盤技術として

論文

- 1) 石原美弥，ほか：ナノ秒パルスレーザーによる細胞外マトリックスの構築モニター，電気学会論文誌 C, in print, 2007
- 2) M. Ishihara, et al.: "Usefulness and limitation of measurement methods for evaluation of tissue-engineered cartilage function and charac-

terization using nanosecond pulsed laser.", Proceedings of SPIE, 6439, 643909-1-643909-4, 2007

- 3) M. Ishihara, et al.: "Development of Diagnostic System for Osteoarthritis Using the Photo-acoustic Measurement Method.", Lasers in Surgery & Medicine, 38, 249-255, 2006
- 4) M. Ishihara, et al.: "Multifunctional evaluation of tissue engineered cartilage using nanosecond pulsed light for validation of regenerative medicine", IFMBE Proceedings, 14, 3187 (2006)
- 5) M. Ishihara, et al.: "Development of a non-invasive multifunctional measurement method using nanosecond pulsed laser for evaluation of regenerative medicine for articular cartilage." Proceedings of SPIE, 6084, V-1-V-4, 2006
- 6) 石原美弥，ほか：再生医療に役立つ光技術；光音響法による粘弾性評価。電気学会 光・量子デバイス研究会資料，OQD-06-19, 7-10, 2006
- 7) M. Ishihara, et al.: "Usefulness of Photo-acoustic measurements for evaluation of the biomechanical properties of tissue-engineered cartilage.", Tissue Engineering, 11 (7-8), 1234-43, 2005
- 8) 石原美弥，ほか：軟骨再生医療の評価に用いる光音響法の開発。レーザー医学会誌，26 (1), 53-59, 2005

[謝 辞]

本研究を遂行するにあたり，(財)立石科学技術振興財団の研究援助をいただきました。ここに記して深い感謝の意を表します。

インタラクションの継続を目的とするインタフェースの 適応アルゴリズムの提案

An Interface Design Principle for Continual Human-Agent Interaction

1051008

研究代表者 東京農工大学大学院共生科学技術研究院 准教授 近 藤 敏 之

〔研究の目的〕

近年、我々の日常生活空間には、高度な演算能力を持ち、ヒトと相互作用する人工物（たとえばエンターテインメントロボットやソフトウェアエージェントなど）が溢れている。しかしながら、その多くは、あらかじめ設計された行動パターンで反射的にふるまうのみであり、ここで実現される相互作用の質はユーザ側の解釈能力に大きく依存している。一方、心理学における内発的動機づけの概念によれば、人間には本質的に未知なるモノを同定したいという欲求（知る欲求）があることが知られている。このことは、上記の人工物との相互作用が長期的には持続し得ないことを示唆している。我々は、人工物を介してユーザのふるまいを長期的に計測し、その統計情報から、ユーザの内部状態（飽きなどの短期的な心理状態）や個性（嗜好や性格のように長期的に変化しない性質）を推定し、これに基づいて相互作用を調節することでインタラクションを持続させる人工物の実現を目指している。

本研究では、インタラクションが持続するためにロボットの行動生成機構（以後「インタラクションモデル」と呼ぶ）が有すべき機能要因を明らかにすることを試みる。このため、（1）インタラクションモデルの仮説的生成と、（2）インタラクションモデルを実装したロボットとユーザの相互作用実験、を繰り返す過程を通して、インタラクションモデルを改

善する、という構成論的な研究アプローチを採用する。

例えば、「予定調和的な行動」は、知る欲求が早々に満たされるためユーザの関心が持続しないと予想される。また、「ランダムな行動」は、ロボットの行動に一貫性が見られないことによって知る欲求が阻害され、フラストレーションが高まり、相互作用すること自体が苦痛となると予想される。一方、インタラクションモデルとして生物的な情動モデルを実装することは、行動の時系列に適度な一貫性を与えるため、相互作用を豊かにすると予想される。このように本研究では行動の予測可能性が高い場合（予定調和行動）と低い場合（ランダム行動）のように、一見相反する状況が人間に飽きを感じさせ、インタラクションの継続を阻害する要因となる一方、適度な予測可能性を保つことが相互作用の持続のためには有効であるという仮説の妥当性を、ロボットを用いた心理物理実験を通して検証する。

〔研究の内容、成果〕

1. インタラクション実験の設定

本研究では、先の研究目的を達するため、図1に示すロボット（Sony社製 AIBO, ERS-7）に、次節に示す3種類のインタラクションモデルを実装し、被験者との相互作用実験を行った。インタラクションモデルの違いのみを評価するため、AIBOが取りうる行動は、すべ

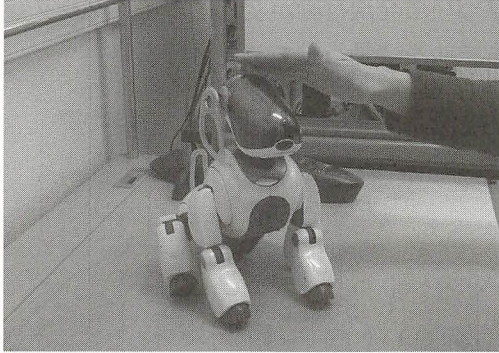


図1 Sony AIBO ERS-7

でのインタラクションモデルに共通の8種類を用いた。この8種類の行動は、各々2秒間程度の身体動作パターンであり、Sony社製のMotion Editorを用いて作成した。

これら8種類の行動に情動ラベルを付けるため、予備実験として、19名の被験者（20代前半の男性14名、女性5名）に行動をひとつずつ提示し、覚醒度と快・不快レベルの2軸からなるラッセルの情動判断空間モデルの2次元座標中に、その動作を最もよく表現していると感じた位置を手書きでチェックしてもらうという方法で回答してもらった。

図2にその平均と標準偏差（楕円）を示す。例えば、動作2、5、7は、多くの被験者が嬉しそうと判断した行動であり、一方、動作6は快活な行動、動作8は眠気強い行動、動作1、

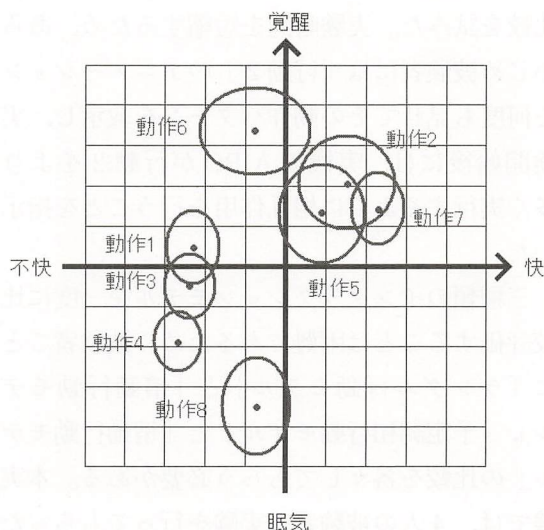


図2 ラッセルモデル上に写像された行動

3、4は悲しげな行動と判断された。このように、行動の情動ラベルをユーザ集団の判断に委ねることで、少しでも設計者のバイアスを取り除くことに努めた。

以上のように、AIBOからユーザへの相互作用は、行動の表出という視覚的なモダリティを通じて行われる。一方、ユーザからAIBOへの相互作用は、頭部と背中にあるタッチセンサへの接触情報を用いた。AIBOのタッチセンサは飽和型の特性を持つため、センサ値を指数平滑移動平均等を用いてソフトウェア的に処理し、ユーザの接触行動を、「たたく」と「なでる」の二つの行動として認識するプログラムを開発した。AIBOの制御プログラムはLinux上でgccを用いて開発した。また、実行時には、インタラクションのログを、Sony社製のRP-OPEN-Rを利用してワイヤレスLANを介してネットワーク上のサーバに記録した。

2. インタラクションモデル

行動の予測可能性と、インタラクションの持続性の関係を検証するため、(1) 予測可能性が高い場合（予定調和行动）、(2) 低い場合（ランダム行動）、および(3) 適度な予測可能性を保つ場合（情動行動）の3つのインタラクションモデルをAIBOに実装し、仮説の妥当性を検証する。

2.1 予定調和行动モデル

図3に示すように、8つの行動を状態ノードとし、ノード間の遷移（アーク）を2つの接触

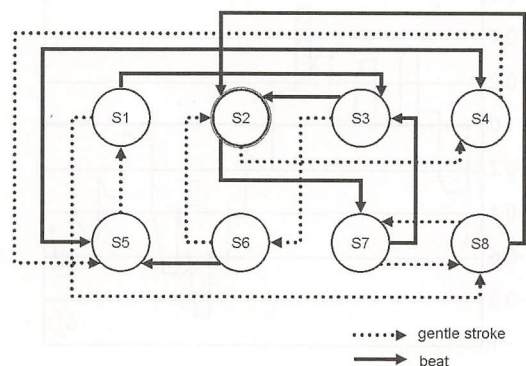


図3 予定調和行动モデル

行動（たたく、なでる）に対応させた状態遷移モデルを無作為に設計し、これを用いてユーザとの相互作用実験を行う。これは一次マルコフモデルとなるため、ユーザは容易に同定できると予想される。

2.2 ランダム行動モデル

ユーザの接触行動に関係なく、8種類の行動パターンから一様な確率で、あるひとつの行動を選択し表出する。

2.3 情動行動モデル

先に述べたラッセルの情動判断空間モデルの二つの軸に相当する「覚醒度レベル（ ξ ）」と「不快レベル（ ζ ）」をロボットの内部状態とし、これらの変数がユーザとの接触インタラクションに基づいて自律的に時間発展する内部ダイナミクスを次式のように設計する。この内部状態

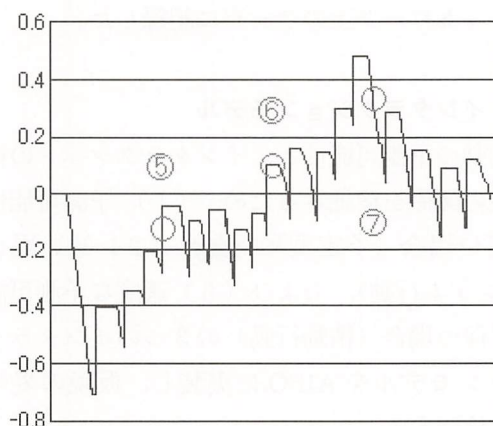


図4 覚醒度レベルの推移

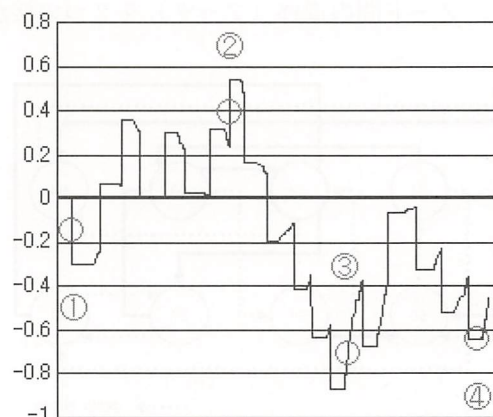


図5 不快レベルの推移

に基づいて発現行動が変化するインタラクションモデルを情動行動モデルと呼ぶ。

$$\xi_{n+1} = \xi_n + (0.25 \ 0.2 \ 0.2 \ 0.2 - 0.053) \begin{pmatrix} s_{head}^{gentle\ stroke} \\ s_{head}^{beat} \\ s_{back}^{gentle\ stroke} \\ s_{back}^{beat} \\ s_{null\ head\ \Delta\ back} \end{pmatrix}$$

$$\zeta_{n+1} = \begin{cases} \zeta_n + (0.1 - 0.1 \ 0.05 - 0.05) \begin{pmatrix} s_{head}^{gentle\ stroke} \\ s_{head}^{beat} \\ s_{back}^{gentle\ stroke} \\ s_{back}^{beat} \end{pmatrix} & (s_{null\ head\ \Delta\ back} \neq 1) \\ \zeta_n \times 0.99 & (s_{null\ head\ \Delta\ back} = 1) \end{cases}$$

ここで、縦ベクトル s は、接触インタラクションの部位および接触のしかたを示す状態ベクトルであり、要素がうちひとつのみが1で、他は0となる。また、 $s_{null\ head\ \Delta\ back} = 1$ は、どのセンサも発火していない（すなわち相互作用していない）ことを意味している。上式に従えば、覚醒度レベル ξ は、インタラクションの種類によらず頻度に基づいて増加し、インタラクションがなければ自然減衰する。一方、不快レベル ζ は、インタラクションの種類と頻度に基づいて増減する。図4および5に、覚醒度レベルと不快レベルの推移の一例を示す。

3. インタラクション実験

三種類のインタラクションモデルを実装したAIBOを用いて、被験者を用いたインタラクション実験を行い、インタラクションモデルの比較を試みた。実験時間を短縮するため、あらかじめ被験者には「行動2」のアニメーションを何度も見せてその動作パターンを教示し、実験開始後には、実機のAIBOが行動2をより多く実行するように相互作用を行うことを指示した。

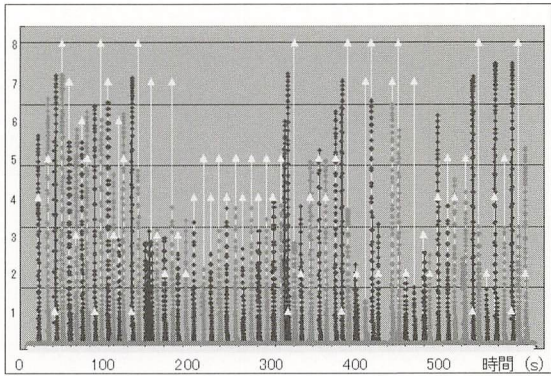
三種類のインタラクションモデルを一度に比較評価することは困難であるため、被験者ごとに「ランダム行動モデル」と「情動行動モデル」、「予定調和行動モデル」と「情動行動モデル」の比較を各々してもらう必要がある。本実験では、4人の被験者に実験を行ってもらった。実験の順序による影響を排除するため、表1に

表1 被験者の実験順序

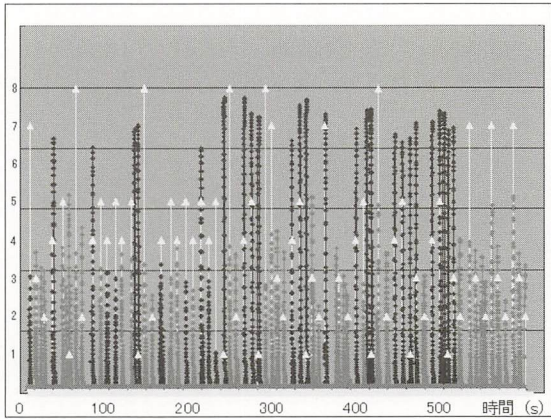
	被験者 1	被験者 2	被験者 3	被験者 4	時間
一回目 前半	ランダム 行動	情動行動	予定調和 行動	情動行動	20 分
一回目 後半	情動行動	ランダム 行動	情動行動	予定調和 行動	20 分
休憩					30 分
二回目 前半	予定調和 行動	情動行動	情動行動	ランダム 行動	20 分
二回目 後半	情動行動	予定調和 行動	ランダム 行動	情動行動	20 分

示す順に相互作用実験を行った。

被験者にはあらかじめ、(1) 頭と背中にタッチセンサがあるということ、(2)「たたく」と「なでる」という方法でインタラクションを行うことができる、ということを教示し、インタラクションモデルの差異については説明しなかった。また、休憩前と二回目の後半後の計二回、前後半の AIBO を比較するためのアンケート調査を行った。

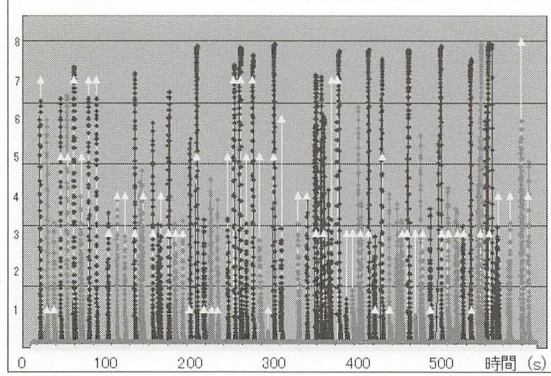


(a) 前半10分間

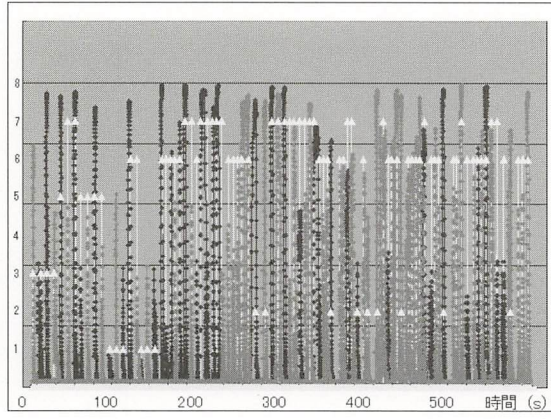


(b) 後半10分間

図6 予定調和行動モデル (被験者1)



(a) 前半10分間



(b) 後半10分間

図7 情動行動モデル (被験者1)

図6および7に、被験者1の予定調和行動モデルと情動行動モデルにおけるインタラクション実験の結果を示す。縦軸は AIBO が表出した行動番号と、頭部および背中への接触インタラクションのセンサ値を表している。図6の(b)より、被験者は、予定調和行動モデルの終盤になって行動2を出すための行動系列を把握できたことが見て取れる。

一方、図7の(b)より、情動行動モデルでも終盤には行動2を多く出すことができていることから、内部状態変数(覚醒度と不快レベル)を維持することが行動表出に関連することを把握できていると言える。ここで、タッチセンサへの接触頻度を比較すると、情動行動モデルの方が有意に高く、ユーザの関心を維持できていることが示唆された。

また、アンケートによる内観報告によれば、情動行動モデルはすべての被験者が生物らしい

と感じており、中には、「同じ動作の繰り返しが多いが、時に予想外の動作が出るとうれしく感じた」など、他の二つのインタラクションモデルと比べ、飽きずに引きつけられたと報告している。

[今後の研究の方向、課題]

本稿の結果が、8種類しか行動を持たないロボットに限ったものであるか否かを多くの行動パターンを持つ系で調べる必要があると考える。また、短期的なユーザ状態の推定だけではなく、

長期的に変化しないユーザのパーソナリティの抽出と、それを利用した暗黙的な情報支援について、現在研究を進めている。

[成果の発表、論文等]

- 1) 平川大介：ヒューマンエージェントインタラクションにおける長期間相互作用の促進手法に関する研究，平成18年度東京農工大学工学部情報工学科卒業論文，2007
- 2) 平川大介，近藤敏之：HAI相互適応系における持続的インタラクションの実現，HAIシンポジウム2007（投稿予定）

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

A Study on Instructive Controller for Human-Machine System

1051009

研究代表者 熊本電波工業高等専門学校 准教授 柴 里 弘 毅

[研究の目的]

本研究では、「人間と機械の調和」を人間も機械もともに成長することで創り出される共生と捉えている。人間－機械系の成長型共生を目指し、適切な訓練を行うことで人間の操作能力を伸ばすインストラクティブ制御器に向けた実験装置の開発および人間の動特性モデルの導出を行う。

[研究の内容、成果]

1. 上肢運動モデル

人間－機械系の成長型共生を目指す本研究では、訓練者の動作を数学的に記述したモデルの構築を出発点としている。従来研究の1つに、肩から手先までの上肢運動を表すモデルとして DFF モデルがある。DFF モデルは、視覚情報として得られる手先と目標の誤差を入力とし、手先の変位を出力とするモデルである。このモデルでは視覚情報から得られる誤差を入力としているため、筋の反射動作や視覚では認識が困難な高速動作を表現できないという問題がある。本研究では、視覚のフィードバック要素に加えて力覚フィードバック要素も考慮した上肢モデルを提案する（図1）。このモデルにおける力覚は、外力による筋の伸縮情報のフィードバックに対応する。また、目標追従動作時において、目標からの誤差が顕著な場合は視覚情報に関係なく大胆に手を動作させると考えられることか

ら、誤差補償感度係数を導入した。力覚フィードバックループの結合強度 α 、脳の誤差補償感度係数 β と表すと、上肢運動モデルは次式で表される。ただし、その他のパラメータを表1の通りとする。

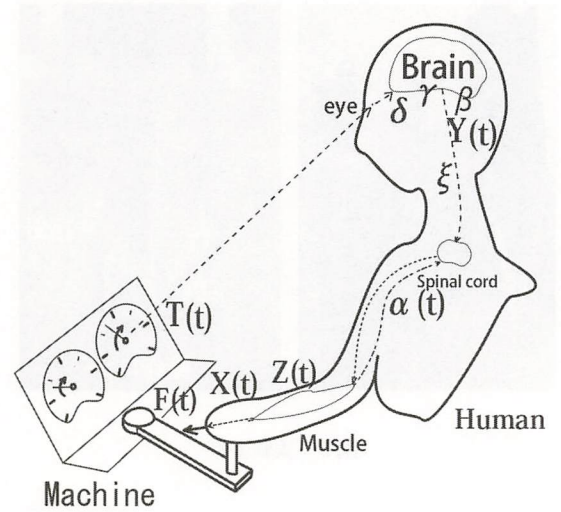


図1 人間－機械系

表1 人間－機械系のモデルパラメータ

記号	説 明
$T(t)$	ターゲットの位置
$X(t)$	手先の位置
$Y(t)$	脳からの腕の筋肉への動作指令
$Z(t)$	筋の変位
δ	網膜から脳までのむだ時間
ξ	脳から筋肉までのむだ時間
τ_1	運動指令時定数
τ_2	筋運動の時定数
$\alpha(t)$	力覚フィードバックループの結合強度
β	誤差補償感度係数
γ	フィードフォワードループの結合強度
$F(t)$	筋の発生力

$$\begin{aligned}\dot{Y} &= \frac{1}{\tau_1} (T(t-\delta) - X(t-\delta)) + \beta(\dot{T}(t-\delta) \\ &\quad - \dot{X}(t-\delta)) + \gamma\dot{T}(t-\delta) \\ \dot{X} &= \frac{1}{\tau_2} (Y(t-\xi) - Z(t)) \\ &\quad - \int_0^t \alpha(t-\tau)F(\tau)d\tau\end{aligned}$$

2. モデルの評価

2.1 ステップ応答

実験は、被験者が椅子に座った状態で、指針目標に追従するように一軸アーム系のロッドを回転させて行った（図2）。被験者の上半身が揺れるのを防ぐため、上体をホールドする椅子を用いている。本研究では、目標軌道をステップ状の目標とし、25回の試行データの平均値をモデル同定データとした。同定パラメータを

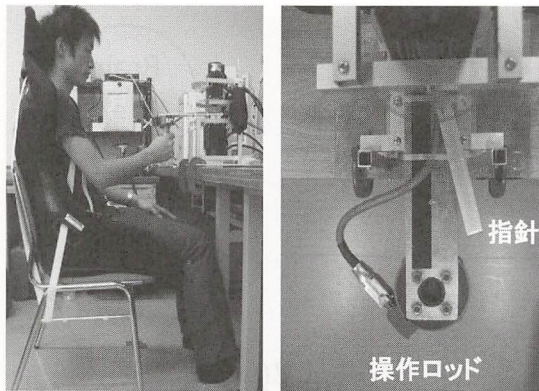


図2 実験姿勢

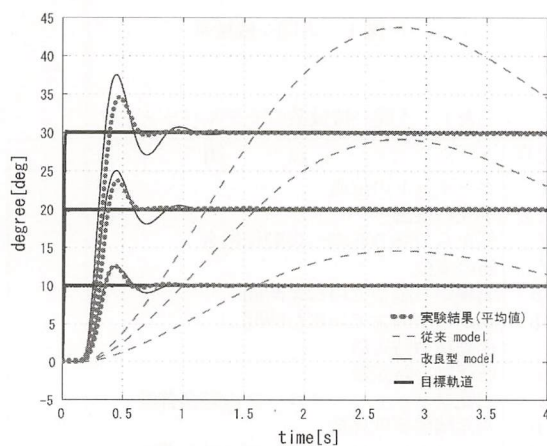


図3 従来モデルとの比較

用いたシミュレーションと実験結果の比較を図3に示す。従来モデルの応答は高周波域での再現性が低く、ステップ応答を十分に再現できないが、改良型モデルは実験結果と比べるとアンダーシュートが大きい傾向にあるものの、従来モデルと比べると応答特性が大幅に改善され、上肢運動の応答を十分に再現していることが確認できる。

2.2 操作力の比較

実験の操作目標は指針に追従するようにロッドを回転させることであるが、機器の操作感には力覚との関連がある。操作者の操作力を引き出すには力覚の再現性も考慮されるべき点である。

図4に力センサーにより測定された実験時の操作力を示す。① ステップ状の目標に追従すべく加えられるインパルス状の力、② 行き過ぎを抑える逆向きの力、③ 定常値に収束させるための抑制力が観測されている。改良型モデルのシミュレーション結果を図5に示す。シミュレーションにおいても、①～③の特徴が同様に再現されていることがわかる。また、④に見られる操作力の揺らぎも現れており、操作力の時間応答の特徴を捉えている。

3. まとめ

本研究では、従来モデルの問題点を力覚フィードバックおよび誤差補償感度関数を追加した改良型モデルにより解決した。

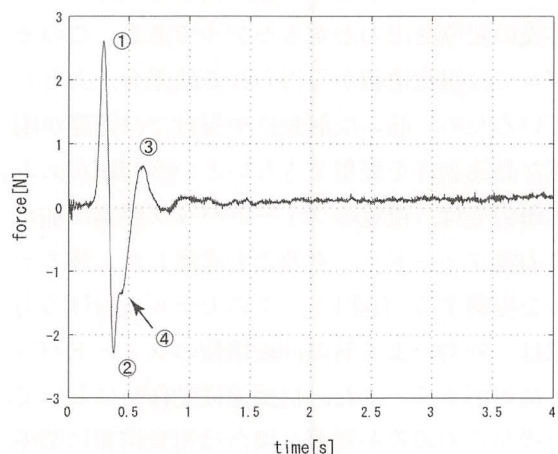


図4 操作力（実験値）

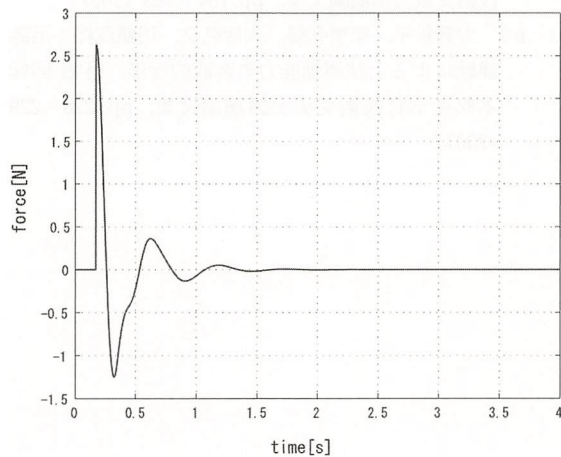


図5 操作力（シミュレーション）

[今後の研究の方向，課題]

1. 実験システムの改良

現行の実験装置では、指針と操作ロッドの差を目視によって読み取るが、視線のわずかなずれが人の読み取り誤差となる。この誤差は数学的モデルの導出から分離されるべき問題であり、操作者の身長や姿勢によらず目標を正しく認識できる仕組みが必要である。現在、指針と操作ロッドの様子をプロジェクタで投影する実験システムを構築中である（図6，図7）。

この装置の目的は、操作者に指針と操作ロッドとの差を視覚情報で、より正確に認識させることにある。実験装置の上方にカメラを設置して撮影された映像を表示する方法も検討されるが、移動量が微小で精細な操作が要求される場面では、従来実験装置と同様の読み取り誤差が

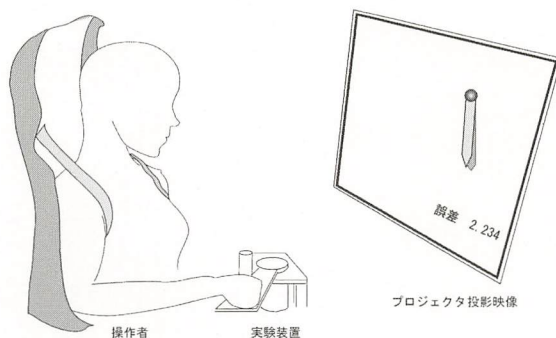


図6 リアルタイム投影システム

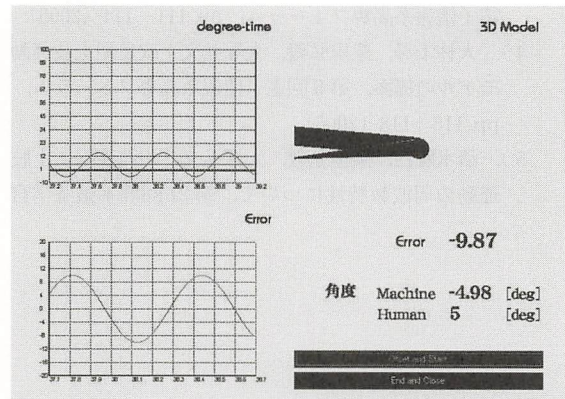


図7 投影画面

予想されるため、角度情報をカウンターボードでコンピュータに取り込みグラフィック処理で提示する方式とする。また、表示方法においても直感的に把握しやすいような配慮が必要となる。目標角度とのずれを数値で提示し、画面左側には数秒間の動作履歴をグラフ表示して、目標値との誤差に応じて色を白、青、オレンジと変色温度的な表現にするなどの工夫についても検討している（図7）。これらの改良により、操作者に対し詳細な情報提供が可能となり、目的とする動作の種類に応じた訓練が可能になると思われる。

2. 研究の方向性

本研究では健常者を対象として実験を行ってきたが、障害を持つ方のQOL向上に役立てるなどの活用法についても検討する。

[成果の発表，論文等]

- 1) 清水聡仁，室口直人，柴里弘毅，大塚弘文，川路茂保：1軸アーム型ハンドル操作時の人の動特性について，第20回熊本県産学官技術交流会講演論文集，pp.176-177（2006）
- 2) 清水聡仁，柴里弘毅，大塚弘文，川路茂保：1リンクアームを用いた追従動作における上肢運動の測定，平成18年度電気関係学会九州支部大会，p.138（2006）
- 3) 清水聡仁，柴里弘毅，大塚弘文：リンク型インターフェース操作時の上肢運動——ステップ状目標追従時の上肢運動モデルについて——，第5回

電子情報系高専フォーラム, pp.111-114 (2006)

- 4) 大林千尋, 柴里弘毅, 大塚弘文: 改良型上肢運動モデルの提案, 第5回電子情報系高専フォーラム, pp.115-118 (2006)
- 5) 清水聡仁, 柴里弘毅, 大塚弘文, 川路茂保: 上肢運動の周波数特性について, 第21回熊本県産学官

技術交流会講演論文集, pp.184-185 (2007)

- 6) 大野耕平, 柴里弘毅, 大塚弘文, 川路茂保: 追跡課題による上肢運動能力の客観的評価, 第21回熊本県産学官技術交流会講演論文集, pp.228-229 (2007)

人工筋肉を用いた 6 軸人間共存型マニピュレータの開発

Development of a 6-DOF Manipulator Actuated by
a Straight Fibers Type Artificial Muscle

1051012

研究代表者

中央大学理工学部精密機械工学科 准教授

中 村 太 郎

[研究の目的]

近年、医療・福祉分野における介護ロボットや、家庭におけるコミュニケーションロボットなど、ロボットが人間と共存する環境に進出してきている。これらのロボットは人間と密接した動作環境で活躍するため、接触・衝突したときの安全性が確保され、人間との共同作業に適した動作性能を持つ柔軟なアクチュエータを用いると有効である。人間の筋肉は動作・構造ともに柔軟性があり、さらに高出力・高効率で応答が速いので、このようなロボットに使われるソフトアクチュエータの理想的なモデルとして人工筋肉が注目されている。

本研究では、軸方向繊維強化型人工筋肉を用いて人間の腕の関節配置や筋配置を模倣した 6 自由度マニピュレータを開発し、パワーアシストや自立型ロボットへの応用を目的としている。

[研究の内容、成果]

1. 軸方向繊維強化型人工筋肉

ゴム人工筋肉には、既にマッキベン型人工筋肉と呼ばれるアクチュエータが広く用いられており、軽量・高出力・柔軟性を実現している。しかし、網目状構造のスリーブを使用していることから、高い収縮率が得られず、ゴムとスリーブの摩擦により壊れやすいという欠点がある。

本研究では図 1 に示す軸方向繊維強化型人工

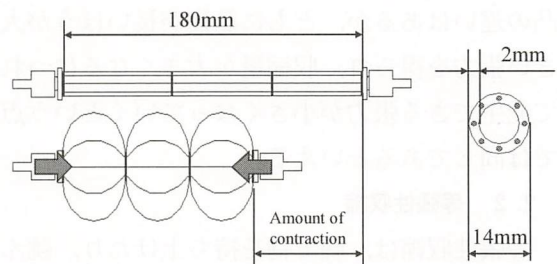


図1 軸方向繊維強化型人工筋肉

筋肉を開発した。この人工筋肉はマッキベン型とは構造・挙動共に異なり、高収縮率・高耐久性を期待できる。

本人工筋肉は天然ラテックスゴムをチューブ状に成形し、ガラスロービング繊維を軸方向に配置した構造を有する。本人工筋肉に空気圧を供給すると、ゴム膜は膨張するが、繊維は軸方向に拘束される。その結果、人工筋肉は半径方向に膨張して軸方向に収縮する。このときの収縮力をアクチュエータとして利用する。

またチューブにリングを取り付けて過度の膨張による破裂を防ぎ、人工筋の長さとの半径の比を調節して様々な条件での特性を検討することができる。

2. 人工筋肉と生態筋との比較

筋の収縮形態には、大きく分けて静的な等尺性収縮と動的な等張性収縮がある。この二つの収縮特性を、人工筋と生体筋について比較する。

2.1 等尺性収縮

等尺性収縮は、腕で物を持って静止している

ときや動かない物を押しているときなどのように、筋全体の長さを変えずに筋の張力が大きくなるような収縮形態のことをいう。

本実験では、まず人工筋を加圧して種々の筋長で固定する。そこから設定した最大圧力まで圧力を高め、そのときの最大等尺性張力を測定した。実際の生体筋と本人工筋における筋長と張力の関係を図2に示す。なお、筋の自然長と最大張力を代表値として、筋長と張力を無次元化してある。

グラフから人工筋・生体筋では上に凸、下に凸の違いはあるが、ともに筋長が長いほうが大きい張力を得られ、収縮量が大きくなるにつれて発生できる張力が小さくなっていくという点では同じであるといえる。

2.2 等張性収縮

等張性収縮は、腕で物を持ち上げたり、跳んだりするときなど、一定重量の負荷を移動させることで筋力を発揮し、筋の張力自体は等しく保たれているような収縮形態である。

実験は、自然長の人工筋の一端に一定の負荷をかけた状態で圧力を加え、収縮の始まりから収縮の完了までの速度を測定した。負荷と収縮速度の関係を図3に示す。

結果から、人工筋・生体筋ともに筋収縮の速度と発生する張力は反比例するという、同様の特性を持っている。

等尺性収縮と等張性収縮の特性から、軸方向繊維強化型人工筋と生体筋の収縮特性は近い

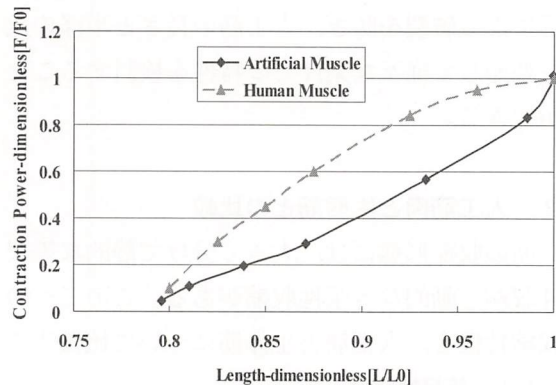


図2 等尺性収縮における収縮特性

と考える。

3. マニピュレータ概要

3.1 駆動方式

本マニピュレータの駆動方式は、人間の腕と同じ拮抗筋駆動である。二本の人工筋をワイヤーで繋ぎ、関節回転軸に固定されたプーリーを介して拮抗配置する。両方に同じ初期圧力を掛けた状態から筋の片方を加圧し、もう一方を減圧すると二本の人工筋肉の収縮力に差が生じる。この収縮力の差がプーリーによって回転運動に変換され、関節を駆動させる。駆動方式の概略図を図4示す。なお、初期圧力を P_0 、入力する圧力差を dP とする。

3.2 マニピュレータの構造

本マニピュレータは、手先が任意の位置・姿勢をとることができるように6自由度に設定し、肩3自由度、肘1自由度、手首2自由度として

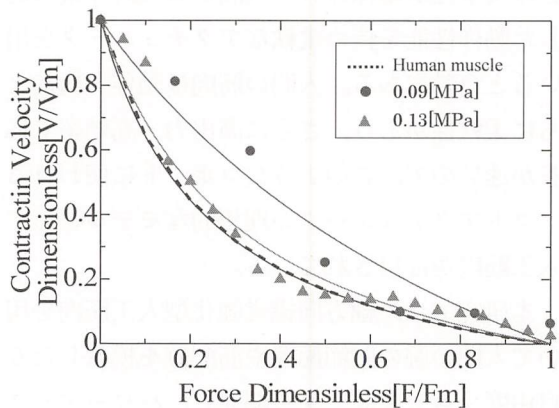


図3 等張性収縮における収縮特性

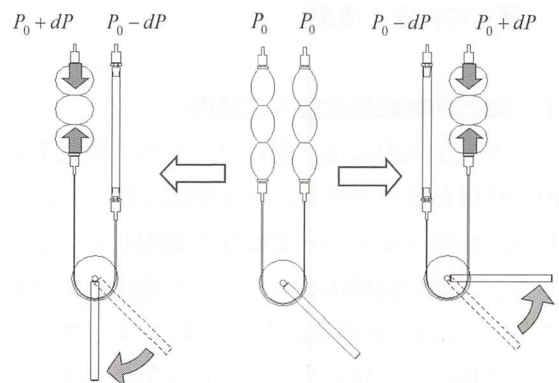


図4 マニピュレータの駆動方式

人間の腕に近い関節配置を実現した。出力/重量比の高いゴム人工筋肉をアクチュエータとして使用することで、マニピュレータの多自由度化に伴う重量の増加を抑えることが出来る。また、アームリンクを覆うように人工筋を配置する内骨格構造とすることで、人間とマニピュレータが接触したときの安全性を高めた。

関節駆動トルクと駆動可能範囲はプーリー径に依存してトレードオフの関係になるが、今回の設計では駆動範囲に重点を置いてプーリー径を決定し、駆動トルクについては、人工筋を並列に配置して補う。図5にマニピュレータの概略図を、表1に各関節の駆動範囲と筋配置の並列・単列を示す。

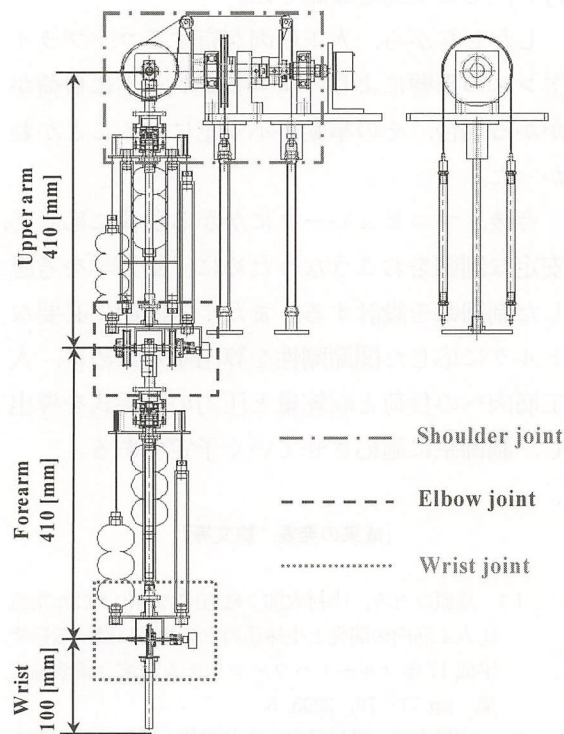


図5 マニピュレータ概略図

表1 マニピュレータの稼動範囲・筋配置

Parts	Motion	Range [deg]	Muscle configuration
Shoulder	Flexion, Extension	140, 40	Parallel
	Abduction, Adduction	160, 0	Parallel
	External rotation, Inner rotation	80, 80	Single
Elbow	Flexion, Extension	130, 0	Parallel
Wrist	Flexion, Extension	160, 0	Single
	External rotation, Inner rotation	80, 80	Single

4. 位置制御実験

4.1 実験方法

マニピュレータの位置制御実験を行った。位置制御のブロック線図を図6に示す。まず図7のように第2関節を原点としたxyz座標を定め、目標位置を $x=300[\text{mm}]$, $y=400[\text{mm}]$, $z=630[\text{mm}]$ とする。手先の目標姿勢をロール・ピッチ・ヨー角 $\theta\phi\psi$ で定義し、 $\theta=120[\text{deg}]$, $\phi=-30[\text{deg}]$, $\psi=-150[\text{deg}]$ とする。目標位置・姿勢から、逆運動学計算を行って各関節角度を算出する。さらに角度偏差をPI制御器に通して圧力差 dP を決定し、これを人工筋に入力してマニピュレータを駆動させる。PI制御器の比例ゲインと積分ゲインは試行錯誤的に求めた。マニピュレータの動きは図7のように二台のカメラで撮影し、動作解析ソフトMoviasを使って手先の位置を測定する。実験

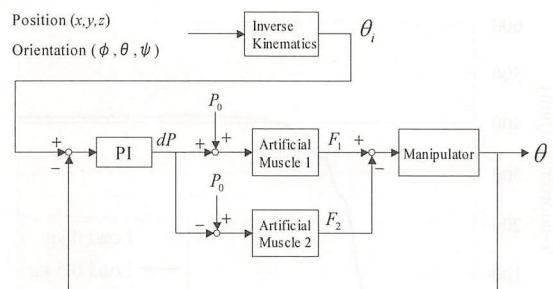


図6 位置・姿勢制御のブロック線図

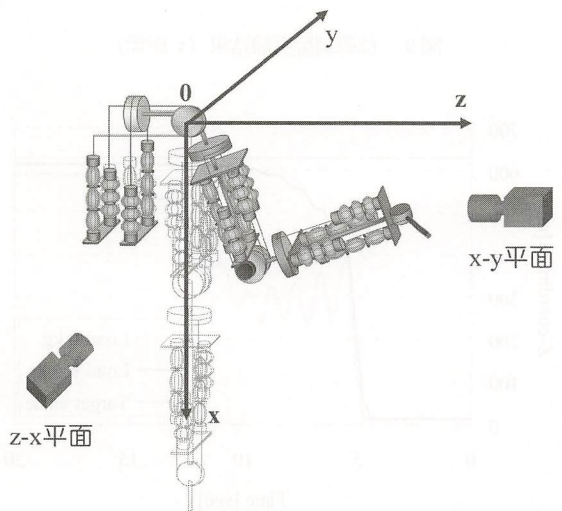


図7 各座標と撮影方向

は、無負荷の場合と手先に 0.5 [kg] の負荷を持たせた場合で行った。

4.2 実験結果

図 8～10 に本マニピュレータにおける位置制御実験の各座標における結果を示す。これらの図より、マニピュレータの位置はわずかに偏

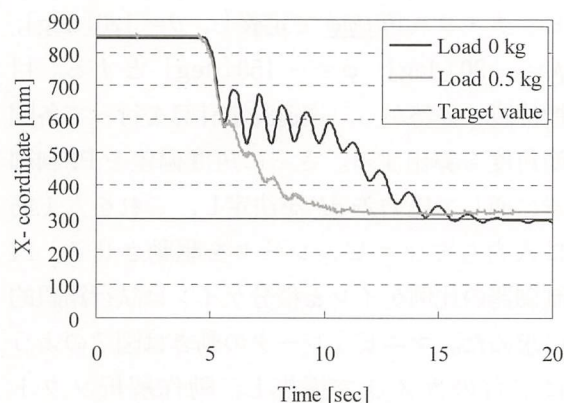


図 8 位置制御実験結果 (x 座標)

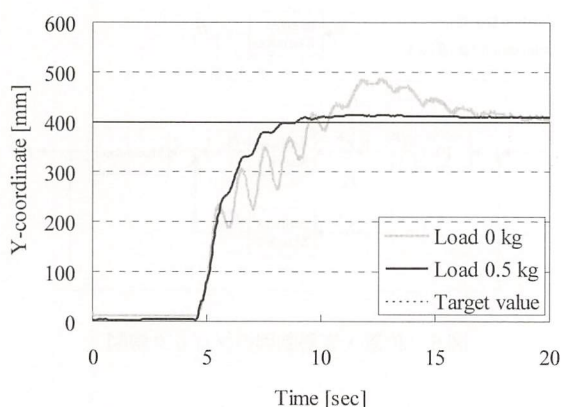


図 9 位置制御実験結果 (y 座標)

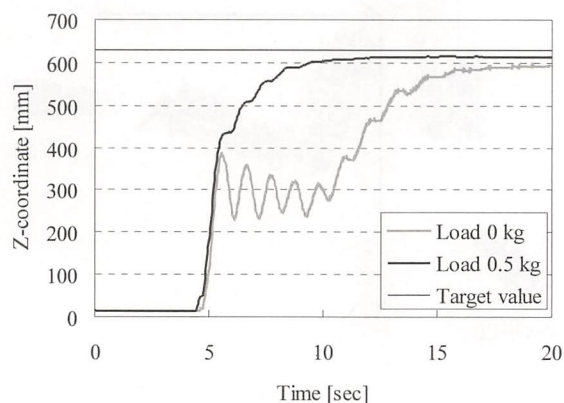


図 10 位置制御実験結果 (z 座標)

差が残るものの、ほぼ目標位置に到達していることが確認できる。しかしながら負荷印加時において、その挙動が不安定になることが分かる。これは、人工筋は高いコンプライアンスを有するため、負荷印加による慣性力の影響により制御系が不安定になってしまうことが原因であると考え。

[今後の研究の方向、課題]

本研究では、高収縮率・高耐久性を期待できる軸方向繊維強化型人工筋肉を作製し、生体筋と近い特性であることを確認した。また、この人工筋を使用して 6 自由度マニピュレータを開発し、逆運動学計算を利用した位置制御実験を行い、その挙動を確認した。

しかしながら、人工筋肉が有するコンプライアンスの影響により、マニピュレータに負荷がかかる場合、その挙動が不安定になることがわかった。

今後、マニピュレータにかかる負荷に応じて、安定な制御をおこなうために、動力学を考慮した制御系を設計する。また、各関節に必要なトルクに応じた関節剛性を算出するために、人工筋肉への負荷と収縮量と圧力の関係式を導出し、制御系に適用させていく予定である。

[成果の発表、論文等]

- 1) 篠原ひとみ, 中村太郎: 軸方向に強化された空気圧人工筋肉の開発と生体筋肉との比較に関する研究, 平成 17 年フルードパワーシステム講演会講演論文集, pp. 77-79, 2005. 5
- 2) 中村太郎, 島村健史, 永井秀和: 関節に粘弾性を有する人工筋肉マニピュレータの開発, ロボティクスメカトロニクス講演会 '06, 1P1-B 24, 2006. 5
- 3) 中村太郎, 篠原ひとみ: 軸方向繊維強化型ゴム人工筋肉の数学モデルの導出とフィードフォワード線形化の試み, 第 11 回ロボティクスシンポジウム, pp. 222-227, 2006. 3
- 4) Hitomi Shinohara, Taro Nakamura: Derivation of a mathematical model for artificial muscles, Proceedings of 4th IFAC Symposium on Mechatronic systems, pp. 266-270, 2006

生体の視覚系に学んだ実時間動画画像処理チップ

A Chip for Processing Moving Image in Real Time Based on Biological Vision System

1051013

研究代表者

米子工業高等専門学校電気情報工学科 講師

西 尾 公 裕

[研究の目的]

監視カメラや防犯システムなどにおいて、動画画像を実時間で処理することは必要不可欠である。現在の画像処理システムは、主に Charge Coupled Device (CCD) カメラと逐次処理型コンピュータにより構成されている。このシステムでは、直列演算により情報を処理するため、膨大な時間を必要とし、動画画像処理の実現は難しいとされている。一方で、生体の視覚系は、個々の細胞が並列に処理することで高速処理するため、実時間での画像処理を容易に行うことができる。

本研究は、生体の視覚系に学ぶことで、超コンパクトな実時間動画画像処理チップを実現することを目的としている。このようなチップが実現すれば、ロボットビジョン、視覚障害者のための視覚代行装置、移動体の衝突防止システムなどへの応用が期待され、我々人の生活にとって極めて役に立つと考えられる。

[研究の内容、成果]

1. 網膜の動き検出モデル

本研究では、網膜の動き検出モデルに学んで、電子回路を構築した。生体の網膜は、主に外網膜と内網膜に分けられる。外網膜は入力画像のエッジの位置を検出する。内網膜にあるアマクリン細胞は、外網膜で生成されたエッジ信号を用いて、動き情報を生成するとされている。

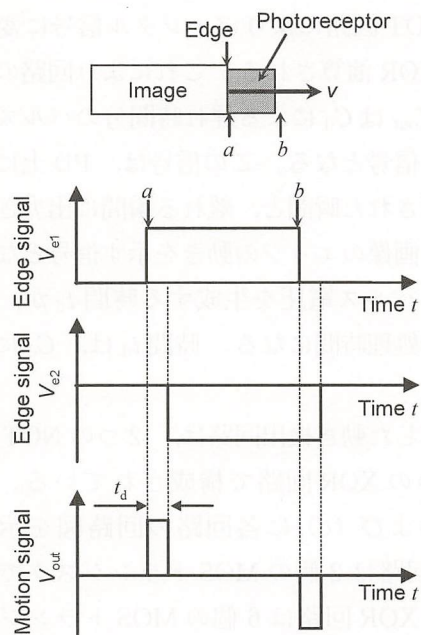


図1 網膜に学んだ動き検出モデルの時間応答

図1に、網膜に学んだ動き検出モデルの時間応答を示す。このモデルでは、エッジ信号 V_{e1} が生成される。また、信号 V_{e1} から信号 V_{e2} を生成する。このとき、 V_{e2} は V_{e1} に対して時間 t_d の遅れを持つ。出力信号 V_{out} は V_{e1} と V_{e2} との和になるため、正と負のパルスが出力される。 V_{out} は、エッジが受光部の上に移動する瞬間に正のパルスを示し、離れた瞬間に負のパルスを示すため、これらのパルス信号が動き信号になる。

2. 電子回路化

図1の応答を基に考案した Complementary Metal Oxide Semiconductor (CMOS) 電子

回路を図2 (a) に示す。回路の入力にはフォトダイオード (PD) を用いた。エッジ検出回路はアナログ回路で構成されており、シンプルな構成になっている。動き検出回路はデジタル回路で構成されており、素子間のばらつきによる回路の誤動作を改善している。

エッジ検出回路は、PD 上に投影された画像のエッジ信号 V_{e1} および V_{e2} を出力する。このとき、 V_{e2} はキャパシタ C_d により遅れが生じる。 V_{e1} および V_{e2} は、動き検出回路に入力され、NOT 回路によりデジタル信号に変換されて XOR 演算される。これにより回路の出力電圧 V_{out} は C_d による遅れ時間分のパルス幅を持った信号となる。この信号は、PD 上に画像が投影された瞬間と、離れる瞬間に出力されるため、画像のエッジの動きを示す信号となる。なお、パルス電圧を生成する時間 t_d が、この回路の処理時間になる。時間 t_d は、 C_d に依存する。

考案した動き検出回路は、2つの NOT 回路と1つの XOR 回路で構成されている。図2 (b) および (c) に各回路の回路図を示す。NOT 回路は2個の MOS トランジスタで構成でき、XOR 回路は6個の MOS トランジスタ

で実現できる。よって、動き検出回路は8個の MOS トランジスタで構成することができ、これまでに考案されているアナログ回路とほぼ同じ素子数となる。これにより、考案した回路は少ない素子数でありながら確実に動作することができる。

考案した回路の一次元配列は移動する物体の速度を検出することが可能である。一次元配列した単位回路上を物体が通過するときに、パルス信号を単位時間でカウントすることにより、物体の速度を検出できる。また、相関型動き検出モデルに学んだ機能を追加することで、物体の移動方向を検出することも可能になる。

3. 考案した回路の評価

まず、電子回路シミュレータ (SPICE) により、図2の単位回路を評価した。電源電圧 V_{DD} を3 Vとし、キャパシタ C_d を1 pF として与えた。シミュレーションには、1.2 μm CMOS プロセスを想定したモデルパラメータを与えた。

図3 (a) に入力電流 I_{in} を示す。時間 $t=4$ msec のときに、PD 上に画像が投影されると

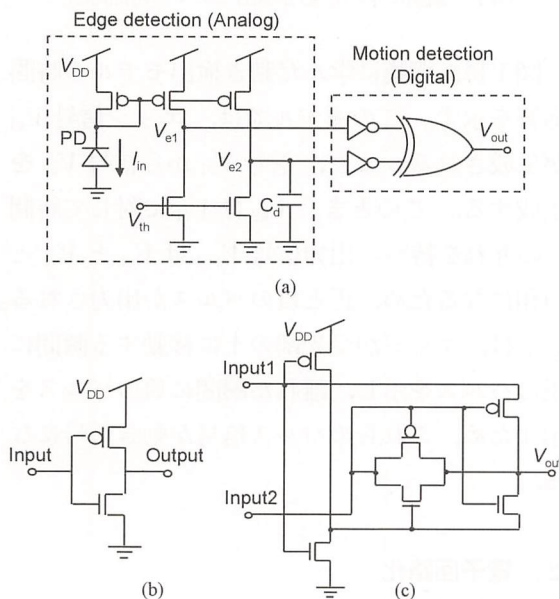


図2 動き検出回路
(a) 単位回路 (b) NOT 回路 (c) XOR 回路

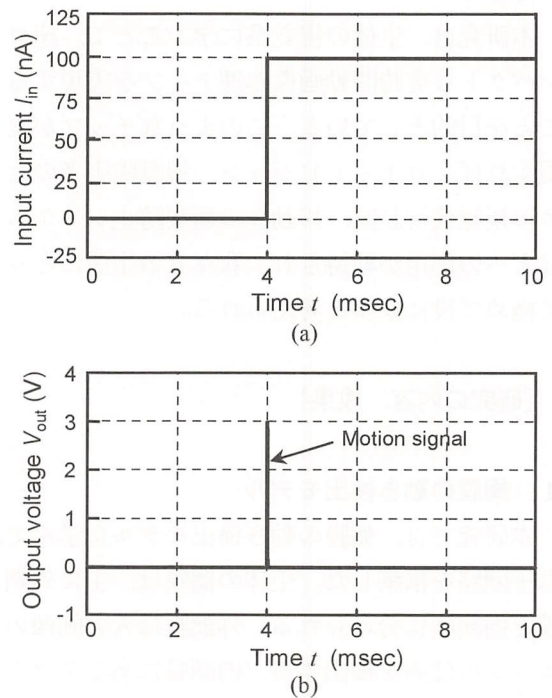


図3 シミュレーション結果
(a) 入力電流 (b) 出力電圧

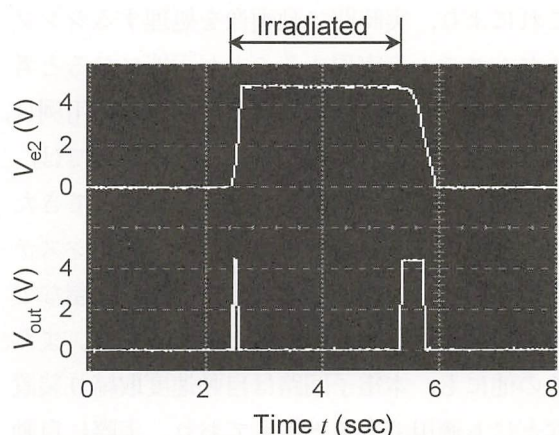


図4 動き検出回路の測定結果

仮定して I_{in} を与えた。図3 (b) に出力電圧 V_{out} を示す。 I_{in} (エッジ) の立ち上がり、に、 V_{out} は電源電圧 V_{DD} を示した。考案した回路は、図1 に示した網膜の動き信号と同等の電圧 V_{out} を生成することがわかった。

考案した電子回路が正常に動作することを確認するために、テスト回路を作製して、測定を行った。PD 上に光を照射し、出力電圧をオシロスコープにより観測した。電源電圧 V_{DD} は 5 V とした。

図4 に測定結果を示す。PD 上に光を照射したときに、電圧 V_{e2} は V_{DD} を示した。回路の出力電圧 V_{out} は、PD に光を照射した瞬間と、離れた瞬間にパルス信号を示した。以上より、考案した回路は正常に動作することが確認された。

4. 応用システムの作製

本研究では、テスト回路を前処理とする基本的な応用システムを作製した。まず、防犯システムの模型を構築した。このシステムでは、考案した回路をコンピュータと接続している。考案した回路を前処理に用いることで、高速な動き検出が可能となり、回路の出力信号をコンピュータで処理することで、様々な機能を付加することができる。防犯システムの模型の概観を図5 に示す。この模型では、室内へ侵入しようとする侵入者に対して警告を行う場合を想定

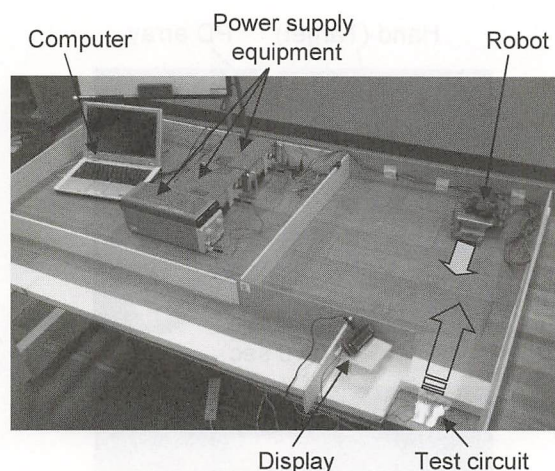


図5 防犯システムの模型

している。回路が侵入者の動きを検出し、ロボットが動作し、スピーカーから警告音が発せられ、掲示板に警告文が表示されることが確認された。

ロボットビジョンなどでは、対象物体を追跡することが求められている。考案した回路の一次元ネットワークを前処理とする物体追跡システムを構築した。一次元ネットワークは、物体の速度と方向を検出できるように設計された。右方向および左方向を示すそれぞれの信号を直流モータに与えることで、対象物を追跡させるようにした。直流モータの回転数を制御するために、速度信号を与えた。作製した物体追跡システムを図6 に示す。受光部中心のPDを手で覆って光を遮り、手を左から右方向へ移動させた。受光部は常に光が遮られる位置に移動した。この結果、物体追跡システムが手の動きに追従することが確認された。

本研究で構築した電子回路は非常にシンプルな構造であった。この回路を用いることで、物体の接近を検出するネットワーク、背景の動き情報を生成せずにターゲットのみの動き情報を生成するネットワークなどの素子数を低減することができることもわかった。

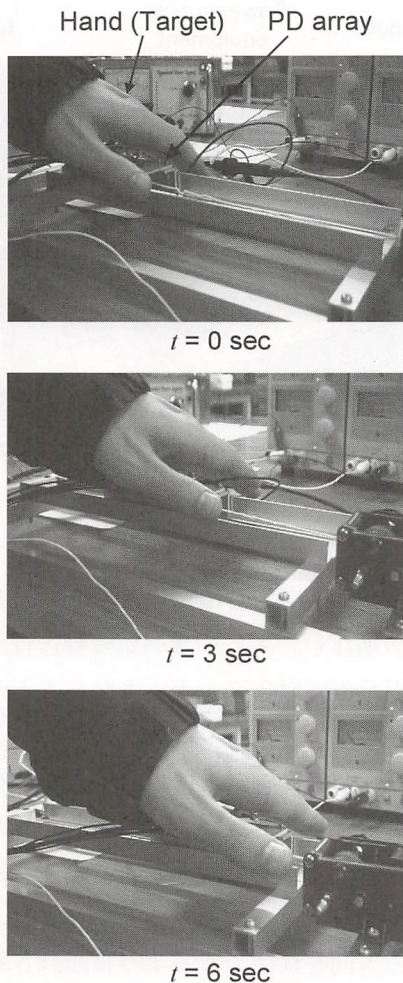


図6 対象物追跡システム

[今後の研究の方向、課題]

本研究では、比較的素子数が少なく、正常に動作する動き検出回路を構築することができた。

これにより、実時間で動画像を処理するシンプルなシステムを実現することが可能になると考えられる。しかし、このような回路の応用例は、未だに乏しいように感じられる。本研究では、応用例として基本的なシステムを構築してきたが、模型の作製しかできなかった。防犯システムにおいては、模型ではなく、実際の家屋などでの検証を行う必要があると考えられる。また、その他にも、本電子回路は自動速度取締り装置などにも適用できると考えており、実際に自動車の速度などが検知することができるかなどの検証が今後必要になると考えられる。

本研究で設計した回路は、今後移動体に組み込むことができるように改良していく必要があると考えられる。これにより、自動の車いすなどへの適用やロボットへの導入も可能になると考えており、今後このような研究を行う予定である。

[成果の発表、論文等]

- 1) 松坂建治, 佐々木慎吾, 西尾公裕: 網膜の情報処理に学んだ動き検出機能の電子回路化, 平成 19 年電気学会全国大会 講演論文集 エレクトロニクス / 情報工学システム / センサ・マイクロマシン, pp. 12-13 (2007)

本助成研究の成果は、今後関連する国際会議や論文投稿によって発表する予定である。

脳での視えの最適化を目的とする新しい画像符号化

A Novel Image Coding Algorithm for Aiming at Optimizing Appearance in Human Brain

1051014

研究代表者

千葉大学大学院融合科学研究科 准教授

堀 内 隆 彦

共同研究者

小寺イメージング研究室

小 寺 宏 暉

〔研究の目的〕

無線通信技術の進歩により、カラー画像の伝送は益々需要が増している。一般にカラー画像の伝送帯域は限られているため、画像データの適切な符号化が重要となる。現行の画像符号化方式は、画像を画素単位の信号として定義し、エネルギー最小化などの信号処理問題として設計されている。しかし、それは実際に人間が脳で視ている画像とは異なるため、人間の視えにとっては適切でない。本研究では、人間の知覚特性を利用した新しい画像符号化技術の創出を目的とする。本研究の成果は、脳での視えを最適にする画像符号化を実現するだけでなく、人間にとって重要な画像情報の順序付けが可能となり、災害時の限られた通信帯域における有効な画像伝送への応用などが期待できる。

〔研究の内容、成果〕

1. カラリゼーション画像符号化

本研究では、申請者が提案してきた「カラリゼーション」と呼ばれるモノクロ画素への着色技術を基盤として、カラー静止画像を対象とした新しい符号化手法の構築を目指した。本章では、本研究の基礎となったカラリゼーション画像符号化の概要を述べる。

カラリゼーション符号化は、2004年に申請

者らによって提案されたカラー画像の符号化手法である。カラリゼーション符号化の概念図を図1に示す。本研究で用いているカラリゼーション手法は、「種画素 (Seed)」と呼ばれる色画素をモノクロ画像上に撒布することにより、モノクロ画像全体を着色する技術である。カラリゼーション符号化では、入力画像を輝度画像と色度画像に分解し、輝度画像上に種画素を撒布していく。カラリゼーション技術によって、輝度画像を着色し、所望の精度のカラー画像が得られたとき、このときの輝度画像と種画素を符号化データとする。

さて、申請研究の目的を実現するための技術的課題として、5つの解決を目指していた。

(課題1) 脳での視えを考慮したカラー画像

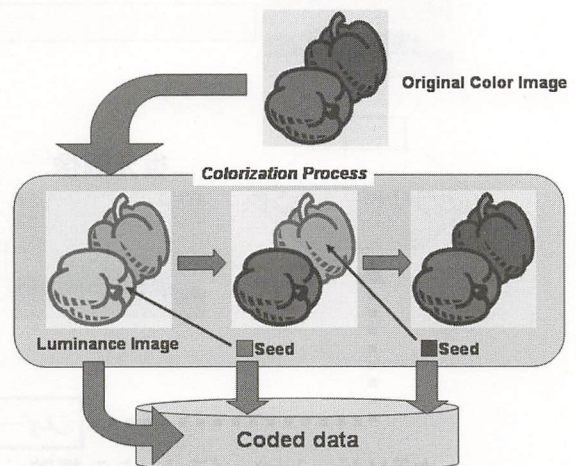


図1 カラリゼーション符号化の概念図

から輝度画像の分離方法

(課題 2) 輝度画像と代表色点による画像全体の色の推測方法

(課題 3) 輝度画像と代表色点のそれぞれのデータ圧縮方法

(課題 4) 画像に依存した最適な代表色点の選択方法

(課題 5) プロトタイプシステムの構成と処理速度の評価

以下では、それらの研究成果を述べる。

2. 課題 1 ～課題 3 に対する成果

2.1 課題 1

(課題 1) に関しては、文献 1) において、RGB 空間をはじめとして、YUV, YIQ などの各色空間において検討を行った。符号化を試みってきたが、本研究のアプローチである脳での視えの最適化を考慮して、S-CIELAB 空間における輝度信号 O_1 を利用することとした。S-CIELAB 空間は、Zhang らによって提案され、視距離と解像度をパラメータとして与えることにより、任意のカラー画像の脳での視えをシミュレートできる色空間である。この色空間で再現・評価を行うことにより、脳での視えを最適化することが可能となる。提案手法では、視

覚フィルタを通過した後の画像の視えを考慮するために、フィルタを通過した後の輝度画像 O_1' を輝度の符号化データとすることとした。本論文で提案する符号化手法を図 2 にまとめる。

2.2 課題 2

(課題 2) に関しては、S-CIELAB 空間における適切なカラリゼーション手法の構築が目的であった。本研究では、はじめに、従来提案してきた $L^*a^*b^*$ 空間におけるカラリゼーション手法が持つ問題点の改善に取り組んだ。従来手法では、エッジ部分付近での誤着色や、種画素間の境界部分付近に歪が見られるなどの問題点があった。これは、適切な色表現を行うためには、多量の種画素が必要であることを意味しており、画像符号化においてはデータ量の増加を招くことになる。そこで、本研究において、「種画素のブレンドによるカラリゼーション手法」を考案し、この問題点を解決した。

本研究で提案したアルゴリズムを述べる。一般に、自然画像には、以下の 2 つの性質があることを実験的に確認した。一つは、カラー画像において、任意の 2 つの画素間の距離が近ければ色度差は小さく、距離が遠ければ色度差は大きいという性質である。もう一つは、任意の 2 つの画素の輝度差が小さければ色度差も小さく、

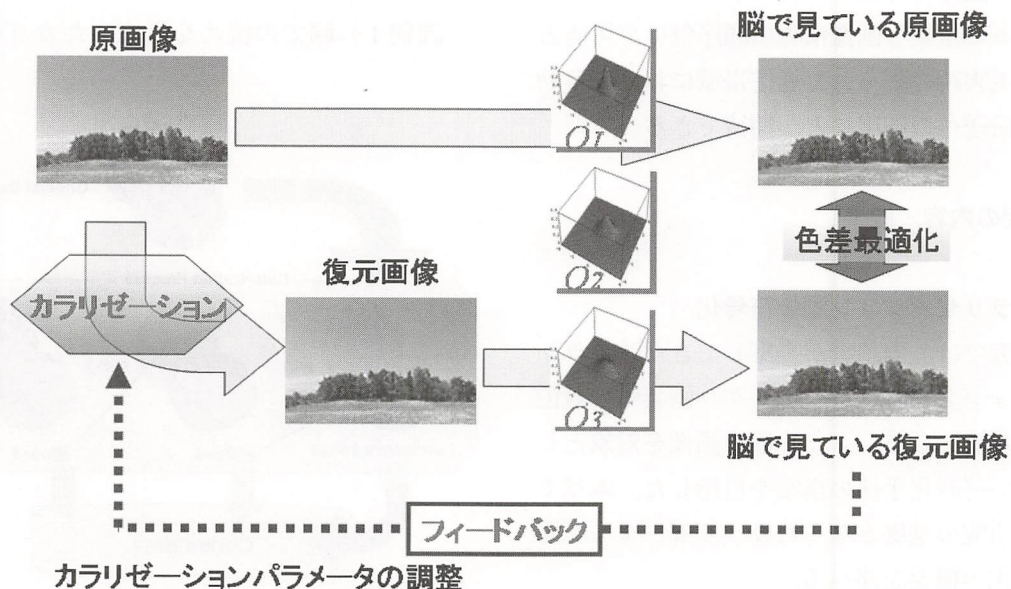


図2 提案する符号化モデル

輝度差が大きければ色度差も大きいという性質である。これらの2つの性質を、以下の2種類の距離によって定義する。

(NED: Normalized Euclidean Distance)

任意の画素 I と種画素 S_p の $NEDd_1(I, S_p) \in [0, 1]$ を、

$$d_1(I, S_p) := \frac{\|I, S_p\|^2}{\sqrt{width^2 + height^2}} \quad (1)$$

によって定義する。ただし、 $width$ と $height$ は、画像の横と縦の画素数である。

(NLD: Normalized Luminance Distance)

任意の画素 I と種画素 S_p の $NEDd_2(I, S_p) \in [0, 1]$ を、

$$d_2(I, S_p) := \frac{|L(I) - L(S_p)|}{100} \quad (2)$$

によって定義する。

これらの2つの距離を統合した距離 $d(I, S_p) \in [0, 1]$ を、以下のように定義する。

$$d(I, S_p) := \alpha d_1(I, S_p)^r + (1 - \alpha) d_2(I, S_p)^r \quad (3)$$

ここで、 α は2つの距離の荷重である。 $\alpha = 1$ のときに、種画素散布法と一致する。 $r \in \mathbb{R}^+$ は種画素の影響力を制御するパラメータであり、実験によると $r = 5$ 程度が適切であった。

式(3)を用いて、種画素の荷重 $W(I, S_p) \in [0, 1]$ を以下の式で定義する。

$$W(I, S_p) = \frac{d(I, S_p)^{-1}}{\sum_p d(I, S_p)^{-1}}, \sum_p W(I, S_p) = 1 \quad (4)$$

式(4)の荷重を用いて種画素の色度をブレンドすることによって、モノクロ画素 I のカラーは、CIELAB空間では以下のように決定される。

$$\begin{cases} L(I) \\ a(I) := \sum_p W(I, S_p) a(S_p) \\ b(I) := \sum_p W(I, S_p) b(S_p) \end{cases} \quad (5)$$

従来は、最近傍種画素の色情報のみを利用して色の推定を行っていたが、複数の種画素の情報をブレンドすることによって、少数の種画素でもテクスチャのような小領域が混在する画像の色表現が可能となった。CIELAB空間では、輝度軸と色差軸が直交していたが、本研究で扱う S-CIELAB の反対色空間では、輝度軸と色差軸が斜交している。そこで、式(5)を S-CIELAB の反対色に適用する方法を考案した。また、視覚フィルタを通した後の色が、色域を超え得るという新たな問題のあることが判明し、何らかの色域写像を施す必要があることが判明した。これに関しては、現在研究を継続中である。

2.3 課題3

検証実験を通じて、輝度信号に対しては直交変換符号化を施し、色差信号に対しては算術符号化を施すことに効果がある見通しが得られた。構築したシステムでは、具体的に輝度信号の符号化には、Wavelet 符号化と DCT に基づいた JPEG 符号化を検討した。

2.4 課題4

符号化の種画素を選択する方法として、

- (1) ランダムに選択する方法
 - (2) 輝度ヒストグラムの最頻値から選択する方法
 - (3) CIELAB空間に置かれた格子内の密度の高い色画素から選択する方法
 - (4) CIELAB空間における K-means クラスタリングに基づいて選択する方法
- のそれぞれに対して検証実験を行った。その結果、(4)の選択方法が最も安定して良好な結果が得られた。

2.5 課題5

以上のアルゴリズムを用いて、Linux OS 上で画像符号化システムを構築した。評価実験のために、設備経費によって広色域のプリンタ、および sRGB 出力可能なカラー液晶ディスプレイを購入して利用した。詳細は次章で述べる。

3. 実験結果

実験には種々のカラー画像を準備し、提案手法による符号化／復号化処理を行った後に、プリンタおよびディスプレイ出力を行った。実験では、3種類の視距離 10, 30, 50 [cycle/deg.] を設定して符号化画像を生成し、原画像と復号化画像を表示した主観評価と、S-CIELAB 空間の色差による客観的評価を行った。

主観評価の結果、CIELAB 色差に差があっても S-CIELAB 色差に差がない場合には、提案手法による符号化／復号化画像の違いも視認できないことが、プリンタおよびディスプレイの双方で確認された。しかしながら、2.2 で触れた色域を超える場合、再現画像に赤味を帯びる問題点が明らかとなった。また、従来手法の例として、JPEG と比較して客観的評価を行った例を図 3 に示す。図 3 (c) および (d) は、どちらも 30 (cycle/deg.) で S-CIELAB 色差が 3 程度であるが、提案手法の方が JPEG より少ないデータ量で再現できている。

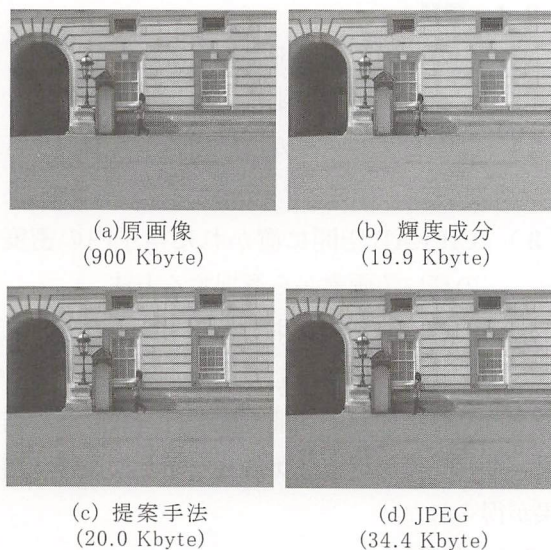


図 3 実験結果例

[今後の研究の方向, 課題]

申請期間においては、図 2 に示される最適化のためのフィードバックについて、十分検討することができなかった。2.4 で述べたように、種画素の設定には色空間における K-means 法を用いているが、その選択には実際の画像空間の空間的情報を用いていない。そのため、空間的に種画素に偏りが生じる場合もあり、最適な符号化とは言えない。そこで、種画素の位置や、カラリゼーションの係数を微調整しながら最適化を図るフィードバック機能を検討する必要がある。

また、本研究の応用として、画像通信への応用を検討したい。

[成果の発表, 論文等]

(課題 1～課題 3 に関して)

- 1) M. Nishi, T. Horiuchi and H. Kotera, "A Novel Picture Coding Using Colorization Technique", Proc. IS & T's NIP 21, pp. 380–383 (2005)
- 2) T. Horiuchi and H. Kotera, "Colorization for Monochrome Image with Texture," Proc. IS & T/SID's CIC 13, pp. 245–250 (2005)
- 3) T. Horiuchi and H. Kotera, "Colorization for Monochrome Image Based on Diffuse-Only Reflection Model", Proc. AIC 05, Part I, pp. 353–356 (2005)
- 4) T. Horiuchi and H. Kotera, "Colorization Algorithm for Monochrome Video by Sowing Color Seeds", Journal of Imaging Science and Technology, Vol. 50, No. 3, pp. 243–250 (2006)
- 5) T. Horiuchi, "Grayscale Image Segmentation Using Color Space", IEICE Trans. on Information and Systems, Vol. E 89–D, No. 3, pp. 1231–1237 (2006)
- 6) T. Murakami, T. Horiuchi and H. Kotera, "Colorization for Monochrome Motion Pictures By Using Reliable Displacement Vectors", Proc. IS & T's NIP 22, pp. 386–389 (2006)
- 7) 堀内隆彦, 小寺宏暉:「種画素のブレンドによるカラリゼーション」, カラーフォーラム JAPAN 2005, 9–2, pp. 129–132 (2005)

(to appear in July 2007)

- 9) 甲田洋三, 堀内隆彦:「S-CIELAB 反対色空間を利用したカラリゼーション画像符号化」, 2006 年映像メ大会, 13-11 (2006)

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

Human-Robot Interaction by using Preliminary Announcement and Indication
of Human-Friendly Mobile Robot's Upcoming Action and Intention

151034

研究代表者

静岡大学工学部機械工学科 准教授

松 丸 隆 文

[研究の目的]

人と同じ生活空間・作業現場で動作する人間共存型のロボットにおける情動的な対人親和性の向上を目的として、移動ロボットのこれからの行動・意図を、周囲にいる人にわかりやすく予告・表示する機能・手法と装置（不要な人にも伝達され周囲の静寂を乱す音声以外の方法）を開発して評価する。

少子・高齢社会の到来とともに、高齢者・身障者の介護・介助支援だけでなく、人々の日常生活支援のために、ロボティクス・メカトロニクス技術の適用や実用化が期待され、人と同じ生活空間・作業空間で動作する人間共存型ロボットが増加している。しかし人工物であるロボットでは、特別な配慮がなければ、これからの動作を外見から人が判断することは難しい。そこでロボットのこれからの行動を、そのように動く前に周囲の人に知らせる、予告表示の機能を考える。

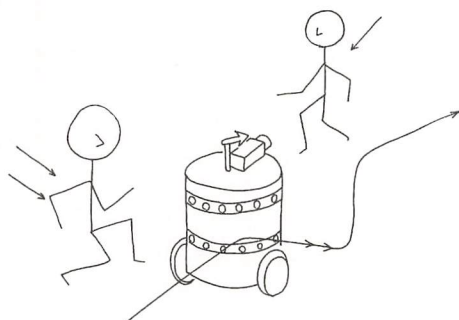


図1 これからの動作の予告表示

[研究の内容、成果]

1. 提案する方法

移動ロボットや輸送機械が人との接触や衝突を避けるには、2つの情報（移動速度と移動方向）の予告表示が必要だと考え、これらを伝達するための2タイプ・4種類の方法を提案した（表1）。

（1）これから先のある時点の状態を予告表示

（a）ランプ方式：複数個のランプをロボット上に設置する。これから動こうとする方向のランプを点灯して移動方向を予告し、またランプの色や点滅周期を変えて移動速度を表示する。
（b）吹き戻し（伸縮矢印）方式：筒に息を吹き込むと伸展するおもちゃ・小道具である吹き戻しを、旋回する台に載せてロボット上に設置する。吹き戻しの長さが移動速度を、その向きで移動方向を表現する。

（2）現在からある時点までの動作を連続的に予告表示

（c）光線方式：光源を例えばパン・チルト2自由度機構の先端に取り付けて振ることで、走行面上に光点の残像として予定経路を描画する。何秒後までの経路を描画するかをあらかじめ決めておくので、経路の長さが移動速度をあらわし、描画された経路が移動方向を直接あらわす。ある位置まで移動するとき、最短経路を直進するのか、迂回したりどこかを經由するのか、など途中の状態を表示できることが特徴である。

表1 考案している予告表示方法

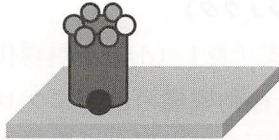
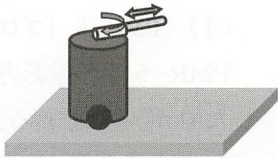
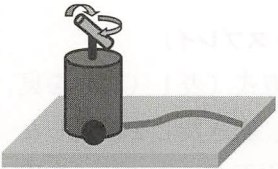
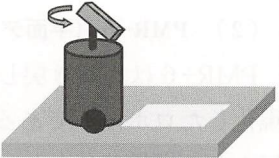
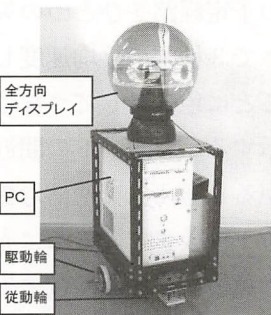
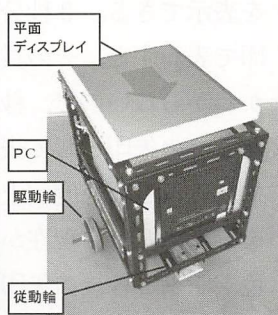
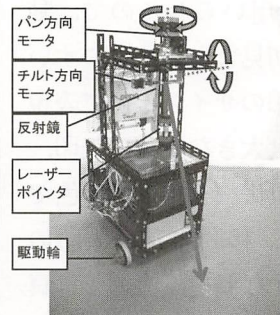
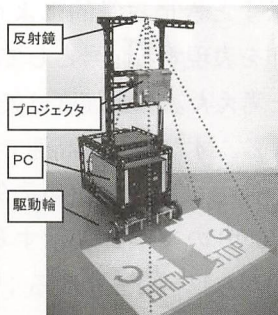
(1) ある時点の状態を予告表示		(2) ある時点まで連続的に予告表示	
(a) ランプ	(b) 吹き戻し	(c) 光線	(d) 投影
			
上面に複数のランプを配置し点灯（移動方向）。色や点滅で移動速度も表示可能。	矢印の向きで移動方向、矢印の長さで移動速度。2種の情報を同時に表示。	光線+2自由度機構で予定経路を描画。途中の状態（経路など）も表示可能。	プロジェクタで映像を投射。経路だけでなく時間—位置関係や他の情報も表示可能。

表2 試作した予告表示ロボット

(1) ある時点の状態を予告表示		(2) ある時点まで連続的に予告表示	
(a) PMR-2	(b) PMR-6	(c) PMR-1	(d) PMR-5
			

(d) 投影方式：プロジェクタをロボット上に設置し、走行面に2次元画面を投影する。画面には予定経路だけでなく、停止や後退などの動作状態も予告できる。またバッテリー残量、過熱機器や消耗部品に対する警告など、ロボットの内部状態も提示できる。

2. ハードウェアの開発

まず、これからの動作の予告表示の有効性と予告のタイミングなどを、ソフトウェア・シミュレーションでの被験者実験により検討した。その結果、1.0～1.5秒前が最適なタイミングであることがわかり、さらに連続的な表示はわかりやすいが、ロボットを見る人の立ち位置などによっては描画経路にある程度の長さが必要であることもわかった。このシミュレーションによる検討から、4つの方法の特徴や動作の予告表示の有効性が確認できた。そこでそれを踏まえて、提案方法を具現化する4台のロボット

を開発した。

(1) PMR-2（全方向ディスプレイ）

PMR-2は、ランプ方式（表1（a））を具現化したロボットである。2輪駆動型の移動機構の上に、全方向ディスプレイを設置し、そこに表示される目玉の形状と位置で、これから先のある時点の状態を予告表示する（表2（a））。

事前に知識がなくとも意味や内容を類推しやすくするために、表示する絵柄を“目玉”にした。視線は人どうしても相手の行動意図を予測するときの手掛かりのひとつである。ロボットを人に似せて親しみやすくしたいというねらいもある。表示する移動速度は標準・低速・停止の3種類、移動方向は直進・大回り・小回り・その場旋回の4種類である。移動速度は目玉の開閉度合いで表現する：すなわち、高速では目玉を全開、低速では目玉を半開、停止では目玉を閉じる。移動方向は目玉の表示位置で表現する：すなわち、直進では正面から0度、大回り

では正面から 30 度、小回りでは正面から 60 度、その場旋回では正面から 90 度の場所に表示する。

(2) PMR-6 (平面ディスプレイ)

PMR-6 は、吹き戻し方式 (表 1 (b)) を具現化したロボットである。吹き戻しを模擬した何らかの機構の代わりに平面ディスプレイを用いて、そこに表示される記号や文字で、これから先のある時点の状態を予告表示する (表 2 (b))。

吹き戻しを伸縮矢印と見なして、表示する基本的な絵柄を“矢印”にした。矢印は方向を示すときに日常的によく用いられるので、動作を表現する記号として初見でもわかりやすいと考えた。移動速度は矢印のサイズと色で表現する：すなわち、高速では大きな緑色の矢印、低速では小さな黄色の矢印、停止では赤色で STOP の文字を表示する。移動方向は矢印の曲がり具合で表現する：すなわち、直進では真直ぐの矢印、大回りではゆるく曲がった矢印、小回りではきつく曲がった矢印、その場旋回ではまらなくなった矢印を表示する。後退時には BACK の文字を表示する。

(3) PMR-1 (レーザーポインタ)

PMR-1 は、光線方式 (表 1 (c)) を具現化したロボットである。鏡で反射された光線が走行面に照射され、鏡をステッピング・モータでパン・チルト方向に往復運動することで、光点の残像として“予定経路”を描画する (表 2 (c))。

予定経路を描画する時間はあらかじめ決めておく。移動速度が 0.2 [m/s] でも、現在から 3 秒後までの経路を描画できるように、パン・チルト方向の動作範囲を設定した。走行面上に照射された光点が十分に明るく見えるならば反射鏡の往復動作はできるだけ早いほうがよいが、あまり明るくない光点を早く動かすと逆に視認性が悪くなる。そこで反射鏡の往復動作の周期は最大 2 [Hz] とした。したがって移動速度は描画された経路の長さで表現され、移動方向は描画された経路そのもので表現される。速度の

変化は、7 本のレーザーポインタをオン / オフして光点の明るさや形状を変えることでも表現できる。

(4) PMR-5 (プロジェクタ)

PMR-5 は、投影方式 (表 1 (d)) を具現化したロボットである。移動機構の前部にプロジェクタを設置し、画面を走行面に投影する (表 2 (d))。

投影される画面の主な内容はここでも“予定経路”である。投影画面のサイズとロボットの走行性能を考えると、据え付けたプロジェクタと反射鏡で、画面の中に 3 秒後までの予定経路を表示できる。3 秒分の予定経路をひとつの矢印で表わすと、その長さで 3 秒間の平均速度しかわからないので、秒ごとに色分けしてつなげた 3 つの矢印として表示する。ロボットの間近になるほど緊急度が上がると考え、交通信号機を参考にして、現在から 1 秒後までの矢印は赤色、1～2 秒後の矢印は黄色、2～3 秒後の矢印は緑色とした。矢印は自在に曲げて経路を表現し、さらに早く動くときほど危険度が上がると考えて、移動速度に応じて矢印の横幅も調整する。また投影画面には動作状態も表示する。その場旋回の場合は回転方向に応じて対応する矢印記号を画面の左右に表示する。後退、停止を予告するための BACK と STOP の文字も、画面内に表示する。標準の白色背景に加えて、投影面が明るくとも視認性を保つために黒色背景の画面も準備した。

3. 評価 (1) アンケート

開発した 4 台のロボットのこれからの移動速度と移動方向の予告表示のわかりやすさを評価するためにアンケートを実施した。特に性別や年齢によって評価が異なるかに注目した。

4 台のロボット (目玉ロボット PMR-2、矢印ロボット PMR-6、光線ロボット PMR-1、投影ロボット PMR-5) を、2005 国際ロボット展 (11 月 30 日～12 月 03 日、東京国際展示場) に出展した。背景と目的、提案する方法、

表3 評価値の平均点

	PMR-2 (目玉ロボ)		PMR-6 (矢印ロボ)		PMR-1 (光線ロボ)		PMR-5 (投影ロボ)	
	移動速度	移動方向	移動速度	移動方向	移動速度	移動方向	移動速度	移動方向
Total	2.87	3.37	3.56	3.98	2.53	2.84	3.91	4.46
Male	2.86	3.38	3.53	3.98	2.52	2.84	3.87	4.42
Female	3.04	3.35	3.79	4.04	2.91	3.09	4.43	4.79
10-19	3.00	4.14	4.00	4.50	2.29	2.71	4.43	4.57
20-29	2.57	3.34	3.39	3.96	2.55	2.63	4.01	4.50
30-39	2.97	3.17	3.65	3.97	2.10	2.49	3.86	4.52
40-49	2.54	3.15	3.32	3.66	2.77	3.10	3.84	4.47
50-59	3.08	3.59	3.86	4.35	2.85	3.33	4.07	4.38
60-	3.67	3.80	3.50	3.80	3.04	3.21	3.69	4.38

ロボットの構成などを説明したのちに、ロボットが動作する様子を見てもらい、来場者にアンケートへの回答をお願いした。アンケートは主に、それぞれのロボットにおける移動速度と移動方向のわかりやすさの5段階評価（わかりにくい：1～わかりやすい：5）である。4日間で約200名から回答を得た。評価点の平均値を表3に示す。

4台のロボットに対する評価値として取得したデータを一元配置分散分析したところ、5%の有意水準で4つの標本の母集団の母平均に有意な差があることがわかった。すなわち、4つのロボットにはわかりやすさ/わかりにくさで差があり、男女とも、どの年齢層でも、投影ロボットPMR-5が最も高い評価点を獲得した。一方、親しみやすい表現として目玉ロボットPMR-2を、また一度に提供される情報量が少ない単純な表現として矢印ロボットPMR-6を、特に若年層や高齢層の一部が高く評価した。男女別では女性が、速度に応じた矢印サイズの変化に好意的であることが目立った。

4. 評価（2）対人模擬環境実験

人とロボットがごく近くに共存しなければならない現実に近い状況を設定した2種類の実験をおこなった。なお実験では、これから先のある時点とは1.5秒後、現在からある時点までも1.5秒後までを予告表示することにして、4台のロボットで表示のタイミングの条件をそろえた。

（1）すれ違い実験

狭い通路で人とロボットがすれ違う際の動きを、モーションキャプチャで計測する（図2(a)）。通路（幅1.8[m]）のラインの内側の向かい側から36[cm/s]で、左右のどちらかに人を避けながら進むロボットに対して、被験者には60[cm/s]で進みながら、予告表示を見ることでロボットとぶつからないように避け



(a) すれ違い実験



(b) 位置予測実験

図2 対人模擬環境実験

てもらう。ロボットとすれ違うときの人の動きを計測して、予告表示の有無や種類による人の動きの変化を比較する。今回はロボットと人の間の距離と人の移動速度の変化に着目した。

6人の被験者が3回ずつ試行した平均値で通常歩行時と回避時の速度差を比較すると、これから先のある時点の状態を予告表示するものの方が、速度差が小さくなった。これは、1.5秒後までの経路表示よりも、1.5秒後にロボットが左右のどちらに曲がるのかを瞬時に示すほうが、人は回避しやすかったのだと考える。

(2) 位置予測実験

ロボットの1.5秒後の位置について、人の予測と実際の動作とのズレをモーションキャプチャで計測する(図2(b))。ロボットは4.5×3.0[m]の範囲内をランダムに動く。被験者には予告表示を参考にして予測した1.5秒後のロボットの位置を、棒で指示してもらう。予告表示の有無や種類によるズレの大きさを比較する。

8人の被験者が1回ずつ試行した平均値で予測と実際のズレを比較すると、現在からある時点までの予定経路を予告表示するロボットのほうが、ズレが小さくなった。これは、1.5秒後にどちらに曲がるかを示すよりも、1.5秒後までの経路を示すほうが、ロボットの動きを正確に伝えることができるためだと考える。

これらの実験結果から、どのロボットでも予告表示の効果を確認できたとともに、これから先のある時点の状態の予告表示は、単純な情報を素早く予告できること、また現在からある時点までの予定経路の予告表示は、複雑な情報を正確に予告できることがわかった。

[今後の研究の方向、課題]

ロボットがあらかじめ計画された経路を移動する場合や、自動掃除機のようにロボットがその場で経路を決定しながら移動する場合でも、ロボットがこれから先の状態や予定経路を予告表示して一定時間後に実際にそのとおりに移動

するだけなので、作業の遂行という観点では問題がない。しかし乗用車のように、人がロボットを実時間で直接操作する場合には、予告表示から一定時間後に動作すると、制御系に常に一定の時間遅れが挿入されることになり、操作者にとって操作性が悪くなるという問題点がある。そこでこのような場合には、これまでの操作者の操作履歴や環境条件などから操作者の次の操作を予測し、ロボットは予測した動作を予告表示しながら、操作者からの指令を実時間で実行してゆく方法が考えられる。この操作者の次の操作を予測する方法とともに、操作者が予測に反した操作をした場合やロボットが安全を確保するために自律的に急停止する場合などへの対処方法も、今後の課題である。

[成果の発表、論文等]

◇著書

- 1) T. Matsumaru: Preliminary-Announcement Function of Mobile Robots' Upcoming Operation, in Robotics Research Trends, Nova Science Publishers (2007.12). (in press)

◇学術誌論文

- 1) 松丸隆文, 工藤新之介, 遠藤久嗣, 伊藤友孝: 人間共存型移動ロボットの行動を予告表示する方法と有効性のシミュレーションによる検討, 計測自動制御学会論文集, vol. 40, no. 2, pp. 189-198 (2004. 02)
- 2) T. Matsumaru, K. Iwase, K. Akiyama, T. Kusada, and T. Ito: Mobile robot with eyeball expression as the preliminary-announcement and display of the robot's following motion, Autonomous Robots, vol. 18, no. 2, pp. 231-246 (2005. 03)
- 3) 松丸隆文, 草田享, 岩瀬和也: 光線を用いて予定経路を表示する機能をもつ移動ロボットの開発, 日本ロボット学会誌, vol. 24, no. 8, pp. 976-984 (2006. 11)
- 4) 松丸隆文, 干場祐, 平岩慎司, 宮田康広: プロジェクタを用いて次の動作を予告表示する機能をもつ移動ロボットの開発, 日本ロボット学会誌, vol. 25, no. 3, pp. 410-421 (2007. 04)
- 5) T. Matsumaru: Development of four kinds of mobile robot with preliminary-announcement

and display function of its forthcoming operation, Journal of Robotics and Mechatronics, vol. 19, no. 2, pp. 148–159 (2007. 04)

◇国際会議論文

- 1) T. Matsumaru, and Y. Terasawa: Preliminary Announcement and Display for Human-Friendly Mobile Robot, Preprints of IFAC Workshop on Mobile Robot Technology, [Jejudo, Korea], pp. 226–231 (2001. 05.)
- 2) T. Matsumaru, and K. Hagiwara: Method and Effect of Preliminary-Announcement and Display for Translation of Mobile Robot, Proc. of the 10 th Int. Conf. on Advanced Robotics (ICAR 2001), [Budapest, Hungary], 17–4, pp. 573–578 (2001. 08)
- 3) T. Matsumaru, and K. Hagiwara: Preliminary-Announcement and Display for Translation and Rotation of Human-Friendly Mobile Robot, Proc. of 10 th IEEE Int. Workshop on Robot and Human Communication (ROMAN 2001), [Bordeaux and Paris, France], WE 11, pp. 213–218 (2001. 09)
- 4) T. Matsumaru, K. Iwase, T. Kusada, Kyouhei Akiyama, Hirotochi Gomi, and Tomotaka Ito: Preliminary-Announcement Function of Mobile Robot's Following Motion by using Omni-directional Display, Proc. of The 11 th Int. Conf. on Advanced Robotics (ICAR 2003), [Coimbra, Portugal], pp. 650–657 (2003. 07)
- 5) T. Matsumaru, K. Akiyama, K. Iwase, T. Kusada, H. Gomi, and T. Ito: Eyeball Expression for Preliminary-Announcement of Mobile Robot's Following Motion, Proc. of The 11 th Int. Conf. on Advanced Robotics (ICAR 2003), [Coimbra, Portugal], pp. 797–803 (2003. 07)
- 6) T. Matsumaru, H. Endo, and T. Ito: Examination by Software Simulation on Preliminary-Announcement and Display of Mobile Robot's Following Action by Lamp or Blowouts, 2003 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation (2003 IEEE ICRA), [Taipei, Taiwan], TuA 12–4, pp. 362–367 (2003. 09)
- 7) T. Matsumaru: Mobile Robot with Preliminary-announcement and Display Function of Following Motion using Projection Equipment, The 15 th IEEE Int. Symp. on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN 06), [Hatfield, United Kingdom], ThC 2 (4), pp. 443–450 (2006. 09)
- 8) T. Matsumaru, T. Kusada, and K. Iwase:

Mobile Robot with Preliminary-Announcement Function of Following Motion using Light-ray, The 2006 IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS 2006), [Beijing, China], WP 2–2 (2), pp. 1516–1523 (2006. 10)

- 9) T. Matsumaru: Mobile Robot with Preliminary-announcement and Indication Function of Forthcoming Operation using Flat-panel Display, 2007 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation (ICRA '07), [Rome, Italy], ThA4. 4, pp. 1774–1781 (2007. 04)

◇学術講演会予稿

- 1) 干場祐, 岩瀬和也, 松丸隆文, 伊藤友孝: 人間共存型ロボットの遠隔操作に関する研究 (第 25 報) — プロジェクタを利用した移動ロボットの次の行動予告 —, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2005, 1A1-S-050 (2005. 06)
- 2) 干場祐, 宮田康広, 松丸隆文: 人間共存型ロボットの遠隔操作に関する研究 (第 27 報) — プロジェクタによる移動ロボットの次の動作の予告 —, 第 23 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 1H 23 (2005. 09)
- 3) 干場祐, 平岩慎司, 宮田康広, 松丸隆文: 人間共存型ロボットの遠隔操作に関する研究 (第 29 報) — プロジェクタを用いた移動ロボットの次の行動の予告表示 —, 計測自動制御学会第 6 回システム・インテグレーション部門講演会 (SI 2005), 2C1-2, pp. 527–528 (2005. 12)
- 4) 平岩慎司, 干場祐, 宮田康広, 松丸隆文: 人間共存型ロボットの遠隔操作に関する研究 (第 30 報) — レーザーポインタを用いた移動ロボットの次の行動の予告表示 —, 計測自動制御学会第 6 回システム・インテグレーション部門講演会 (SI 2005), 2C1-3, pp. 529–560 (2005. 12)
- 5) 松丸隆文, 干場祐, 宮田康広, 平岩慎司: 人間共存型ロボットの遠隔操作に関する研究 (第 31 報) — 全方向ディスプレイを用いた動作予告機能付き移動ロボットの開発と評価 —, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2006 (Robomec 2006), 2P1-A 31 (2006. 05)
- 6) 松丸隆文, 干場祐, 宮田康広, 平岩慎司: 人間共存型ロボットの遠隔操作に関する研究 (第 32 報) — 平面ディスプレイを用いた動作予告機能付き移動ロボットの開発と評価 —, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2006 (Robomec 2006), 2P1-A 33 (2006. 05)
- 7) 松丸隆文, 干場祐, 宮田康広, 平岩慎司: 人間共存型ロボットの遠隔操作に関する研究 (第 33 報) — レーザーポインタを用いた動作予告機能付き移動ロボットの開発と評価 —, 日本機械学会ロ

ボティクス・メカトロニクス講演会 2006 (Robomec 2006), 2 P 1-A 35 (2006.05)

- 8) 松丸隆文, 干場祐, 宮田康広, 平岩慎司: 人間共存型ロボットの遠隔操作に関する研究 (第 34 報) —— プロジェクタを用いた動作予告機能付き移動ロボットの開発と評価 ——, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2006 (Robomec 2006), 2 P 1-A 37 (2006.05)
- 9) 宮田康広, 新林丈明, 赤井孝輔, 本多正剛, 松丸隆文: 人間共存型ロボットの遠隔操作に関する研究 (第 36 報) —— 次の動作の予告表示機能の対人実験 ——, 計測自動制御学会第 7 回システム・インテグレーション部門講演会 (SI 2006), 1 F 4-6, pp. 252 - 253 (2006.12)
- 10) 新林丈明, 宮田康広, 松丸隆文: 人間共存型ロボットの遠隔操作に関する研究 (第 37 報) —— 動作の予告表示のための全方向ディスプレイの表示コンテンツの検討 ——, 2006 年度計測自動制御学会中部支部静岡地区計測制御講演会 (SICE-Chubu

Shizuoka 2006), 2 A 4 (2006.12)

- 11) 宮田康広, 新林丈明, 赤井孝輔, 本多正剛, 松丸隆文: 人間共存型ロボットの遠隔操作に関する研究 (第 38 報) —— 次の動作の予告表示の対人実験 ——, 2006 年度計測自動制御学会中部支部静岡地区計測制御講演会 (SICE-Chubu Shizuoka 2006), 2 A 5 (2006.12)
- 12) 宮田康広, 新林丈明, 鈴木重央, 林民通, 赤井孝輔, 松丸隆文: 人間共存型ロボットの動作予告に関する研究 (第 1 報) —— 4 種類の手法の対人評価実験 ——, 第 51 回システム制御情報学会研究発表講演会 (SCI '07), 5 T 2-1, pp. 159 - 160 (2007.05)
- 13) 新林丈明, 宮田康広, 鈴木重央, 林民通, 赤井孝輔, 松丸隆文: 人間共存型ロボットの動作予告に関する研究 (第 2 報) —— 全方向ディスプレイの表示内容の検討 ——, 第 51 回システム制御情報学会研究発表講演会 (SCI '07), 5 T 2-2, pp. 161 - 162 (2007.05)

集束電界を利用した非侵襲がん治療装置の開発

A Noninvasive Cancer Treatment System using the Focused Electric Field

1061001

研究代表者

国立大学法人 長岡技術科学大学 准教授

石 原 康 利

[研究の目的]

がんの温熱療法（ハイパーサーミア）において、生体内の局所領域を所望温度に加温できないことが大きな課題となっている。我々は、温熱治療効果の改善と患者のQOL（Quality of Life）向上のために、がん組織を非侵襲、かつ、局所選択的に加温可能なシステムの開発に取り組んでいる。本研究では、（１）生体深部の非侵襲加温を実現するために、『リエントラント型空胴共振器』の特性を利用した加温アプリケーションを開発するとともに、（２）加温領域の局所化を実現するために、リエントラント電極間に挿入した誘電体の電界集束効果により、対象領域のピンポイント加温を図ることを目的とした。

[研究の内容、成果]

1. リエントラント型空胴共振器による局所加温

リエントラント型空胴共振器内部の電磁界分布（E, H）は、（１）式に示す波動方程式に基づく。

$$\begin{aligned}\nabla^2 E + k^2 E &= 0 \\ \nabla^2 H + k^2 H &= 0 \\ k^2 &= \omega^2 \varepsilon \mu\end{aligned}\quad (1)$$

ここで、 ω は角周波数 [rad/s]、 ε は誘電率 [F/m]、 μ は透磁率 [H/m] を表す。

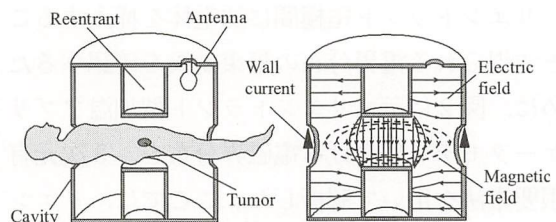


図1 リエントラント型空胴共振器を利用した加温アプリケーション

共振周波数が最も低い共振モードの場合には、空胴共振器内部に図1のような電磁界分布が形成され、リエントラント電極間に電界分布が集中する。したがって、治療部位をリエントラント電極間に配置することで、生体深部に局在したがんを非侵襲に加温できる。我々はこれまでに、ヒト腹部領域を加温対象としたプロトタイプ機を試作しており、ファントム実験によって電極径程度の局所領域を加温できることを確認している。しかし、頭頸部等に局在した早期がんを治療するには、さらなる加温領域の局所化が必要であった。

リエントラント電極間の電界分布を局在化する一つの方法として、加温アプリケーションの小型化が考えられるが、空胴共振器の小型化に伴う共振周波数の上昇によって、深部加温特性の劣化が懸念されている。このため、リエントラント電極周囲に誘電体を配置し、共振周波数を低減することで、局所加温特性の改善が試みられてきた。本研究ではさらに、アプリケーション内部に挿入する誘電体をリエントラント電極間に配置することで、加温アプリケーションの小型化によ

る電界局在に加え、電極間の電界をより効果的に集束させることを提案する。ここでは、挿入する誘電体形状・寸法・性状による電界分布の集束効果を数値解析することで、局所加温特性の最適化を図る。さらに、数値解析結果に基づき試作機を構築し、実験的に本手法の有用性を明らかにする。

2. 誘電体の挿入による電界分布の集束

2.1 数値解析による評価

リエントラント電極間に誘電体を挿入することで得られる電界分布の集束効果を確認するために、図2に示すリエントラント型加温アプリケーションモデルにおける電磁界分布を、3次元有限要素法を用いて解析した。ここでは、リエントラント電極間に挿入する誘電体を円筒型、接頭円錐型とし、誘電体の直径、高さ、リエントラント電極との間隔を変更した場合のリエントラント電極間に形成される電界分布を算出した。電界分布の集束効果は、ファントム内部の正規化 SAR (specific absorption rate) を用いて評価した。

図3に、円筒型誘電体の高さ H を 60 [mm] 一定とし、直径 D を 60 ~ 150 [mm] とした場合のファントム中心断面における半径方向 (r 方向) の正規化 SAR 分布を示す。誘電体未

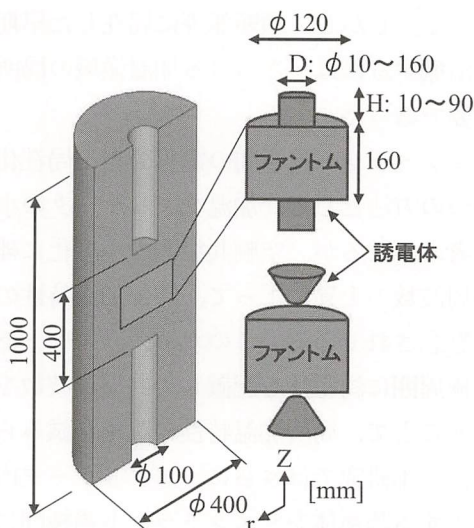


図2 数値解析モデル

挿入の場合における SAR 分布の半値幅が 104 [mm] であるのに対して、直径 60 [mm] の誘電体を挿入した場合に最も電界分布の集束効果が高く、正規化 SAR 分布の半値幅は 84 [mm] となった。これは、誘電体未挿入時に対して約 20 [%] の電界集束効果の改善に対応する。

図4に、誘電体の直径 D を 60 [mm] 一定とし、高さ H を 10 ~ 90 [mm] とした場合の r 方誘電体向の正規化 SAR 分布を示す。誘電体の高さが 60 [mm] の場合に、正規化 SAR 分布の半値幅が最小となることから、円筒誘電体を挿入した場合には、直径、高さとも 60 [mm] の場合に最適な局所加温特性が得られることが示された。しかし、ファントム中心軸方向 (Z 方向) の正規化 SAR 分布を示した図5より、 r 方向に比べ Z 方向には集束効果が得られにくいことが示唆された。これは、誘電体の挿入に

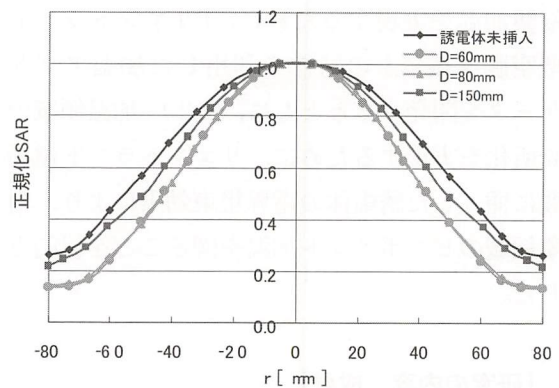


図3 電界集束効果 (D : 60 ~ 150 [mm])

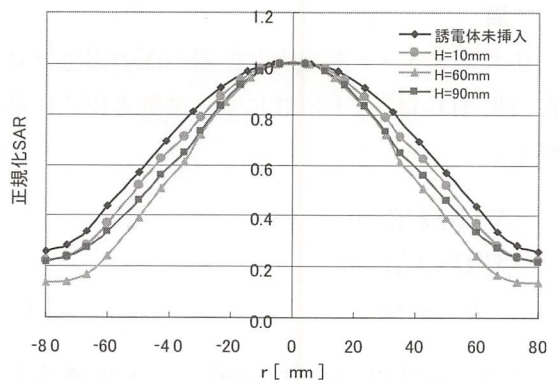


図4 電界集束効果 (H : 10 ~ 90 [mm])

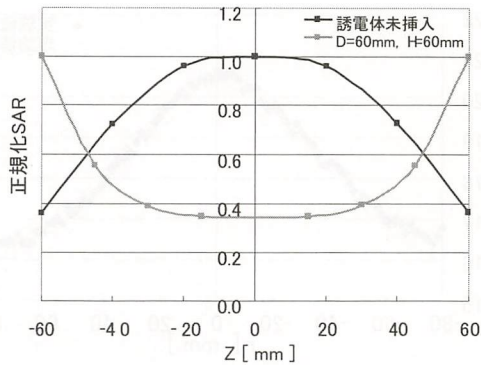


図5 Z方向の電界集束効果

より、Z軸方向に沿った円筒状の電界分布（加温領域）が形成されるためであり、このような電界分布形状を加温源として利用した場合には、対象物体表面の異常加温が懸念される。そこで、この現象を緩和するために、誘電体とファントムとの間に空隙を設けた場合の電界集束効果を解析した。その結果、Z方向の正規化 SAR 分布の広がりには改善できるが、r 方向の電界集束効果が 20 [%] から約 10 [%] に減少した。このように、誘電体挿入による加温領域の集束効果は r 方向に得られ易いものの、Z 方向の大幅な改善は困難であることが明らかになった。この傾向は、誘電体形状が切頭円錐型の場合にも認められた（r 方向に関する正規化 SAR 分布の半値幅は誘電体未挿入の場合に比べ約 24 [%] 減少した）。逆に、このようにして形成される円筒状の電界分布を回転することで、円筒状の電界分布が交叉する回転軸周辺の領域のみに電界分布を集中できるため、本研究を新たな加温方式として発展できる可能性がある。

2.2 試作機による評価

数値解析の結果、誘電体を挿入することでリエントラントギャップ間の電界分布を集束できる可能性が示された。この効果を実験的に確認するために、図6に示す加温システムを構築・調整し、ファントム実験を行った。

加温装置は、小型リエントラントアプリケーション、マッチング回路、アンプ、信号発生装置より構成されている。リエントラント空洞共振器への効率的な電力伝達のために、リエントラン



図6 実験システムの概要

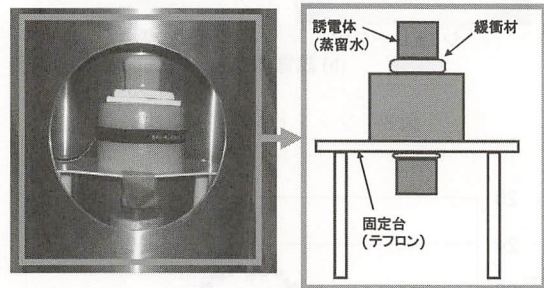


図7 ファントム・誘電体の配置

ト空洞共振器の共振周波数をネットワークアナライザ（E 5061 A : Agilent Technologies）を用いて測定し、マッチング回路を介して RF 波を供給した。また、加温対象のファントム（寒天：4 [%]，NaCl：0.24 [%]，NaN 3：0.1 [%]）をテフロン製の台に固定し、図7に示すようにポリ容器に封入した蒸留水を誘電体として配置した。なお、誘電体とファントムとの間に緩衝材を挿入し、誘電体をファントムと電極の間に配置した。

加温アプリケーションに供給する電力は、ファントム側面近傍の電界強度を電界強度計（EMR-20 : Narda）により測定し、ファントム中央の SAR 値が 20 [W/kg] 相当となるように調整した。また、加温特性を評価するために、加温終了直後のファントム断面の温度分布をサーモグラフィー装置（InfraEye 1200 : (株) 富士通）を用いて測定した。

図8に、誘電体未挿入、ならびに、挿入した場合のファントム内部の温度分布を数値解析結

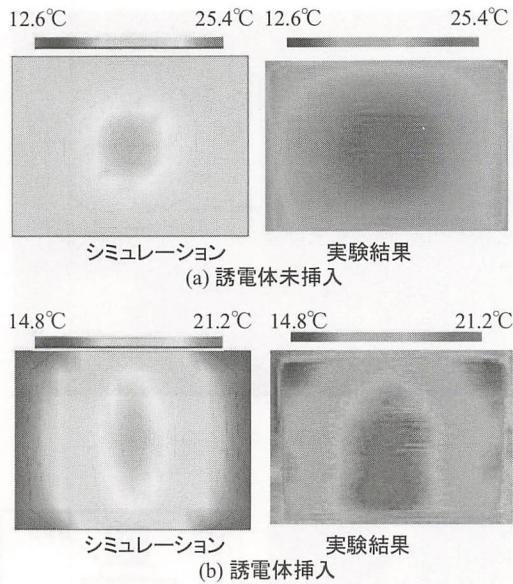


図8 ファントム内加温特性

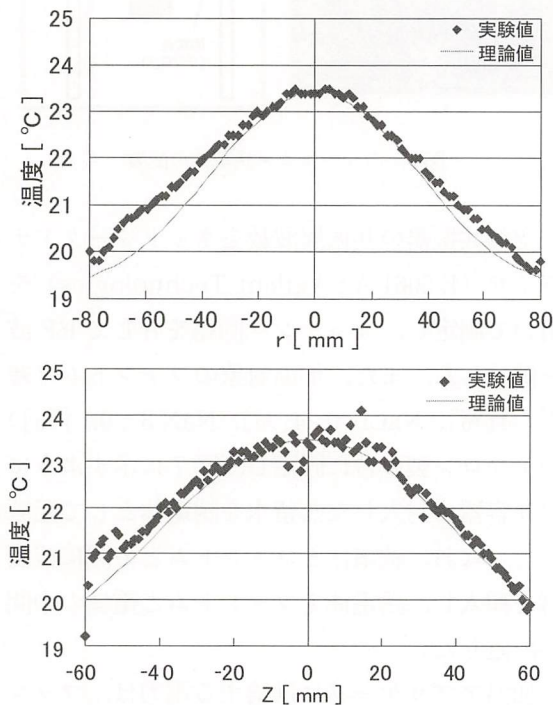


図9 温度分布プロファイル (誘電体未挿入)

果とともにそれぞれ示す。また、図9、10に r 、 Z 方向の温度プロファイルを示す。

誘電体挿入時の温度分布の半値幅は74 [mm]であり、未挿入時の半値幅88 [mm]に対して半値幅(局所加温領域)を約16 [%]減少できることが示された。なお、理論値との差異はファントム、挿入誘電体、および、リエ

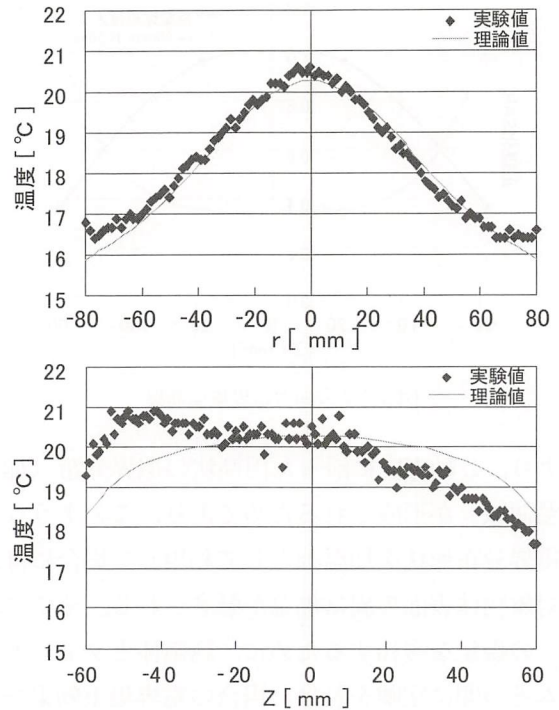


図10 温度分布プロファイル (誘電体挿入)

ントラント電極との相対位置の誤差が主な要因であることを数値解析により確認している。

2.3 まとめ

誘電体を挿入することで、リエントラント電極間の電界分布を未挿入時に比べ約20 [%] (r 方向)集束できることが確認された。しかし、 Z 方向の電界集束は困難であり、挿入する誘電体とリエントラント電極との間隔を設けることで集束効果を改善できるものの、その場合には r 方向の電界分布の集束効果が低減することを明らかにした。この対策として、誘電体を挿入して r 方向の電界分布を集束した後、アプリケーションを回転することで Z 方向の電界を回転軸周辺に集中させる新たな加温方式が有望であることを示した。

[今後の研究の方向、課題]

ハイパーサーミアの課題の一つである局所加温に関して、リエントラント型空洞共振器に誘電体を挿入することを提案し、電界の集束効果が得られることを示した。しかし、頭頸部等の

早期局所がんを加温するには、30 [mm] 以下の加温領域が必要となる。本研究成果にアプリケーションの回転操作を加えること、ならびに、リアルタイム温度計測法に基づくアクティブな温度制御を実現することで、より局所を加温が可能になると考えている。今後、本研究成果を生かした研究展開を予定している。

[成果の発表、論文等]

- 1) 峯岸康充, 和田森直, 石原康利, 小型リエントラント型アプリケーションの局所加温特性改善の検討, 電子情報通信学会信越支部大会講演論文集, p. 88 (2006)
- 2) 井野祐一郎, 石原康利, リエントラント型加温方式における局所加温の検討, 電子情報通信学会信越支部大会講演論文集, p. 98 (2006)
- 3) Y. Ishihara, N. Wadamori, Hyperthermia applicator based a reentrant cavity for localized head and neck tumors, *J. Med. Eng.*, (in print).

網膜走査ディスプレイの現実場面への応用に関する ヒューマンファクター的研究

A Human Factor Study on Application of Retinal Scanning Displays to Actual Work Situations

1061003

研究代表者	慶應義塾大学理工学部管理工学科 助教授	岡 田 有 策
共同研究者	東京理科大学工学部経営工学科 助 手	中 西 美 和

[研究の目的]

本研究は、網膜走査ディスプレイを用いた Augmented Reality 技術を現実の作業場面に応用する可能性について、ヒューマンファクターズの観点から検討するものである。

Augmented Reality (AR) は、人間の現実世界を増強する技術であり、医療や産業を中心とした様々な分野への応用が期待されている。この技術を実現する網膜走査ディスプレイ(Retinal Scanning Display: RSD) は、人間の網膜に低出力の光線を直接当て、それを高速に操作することによって映像を視覚に認識させる。従って、これを頭部に装着したとき、実視野に電子的な情報を重ね合わせて見ることができる。

我々の先行研究では、手順的作業において、従来の紙媒体によるマニュアルの代わりに RSD によるマニュアル提示を行った場合、作業時間とエラーがともに減少することが見込まれた。

そこで、本研究では、RSD を用いた手順提示方法の現実場面への応用可能性を明らかにすべく、次の3点を具体的な検討課題とした。

課題1) 熟練者及び非熟練者の両者を支援するマニュアル提示方法として、RSD による AR を応用する可能性を検討する。

課題2) RSD による AR を用いたマニュアルを実作業に導入するにあたってのヒューマンファクター的要件を検討する。

課題3) 医療及び産業の現場において、RSD による AR を用いたマニュアルの利用が有効と思われる作業を調査し、現状分析をもとに導入後の効果について検討する。

[研究の内容・成果]

1. 課題1の概要

現実の作業場面では、スキルレベルの異なる作業者が同じ手順書を共用することが少なくない。一般的に、熟練者は、作業効率を損なわないよう必要な箇所を容易に参照できることを望み、一方で、非熟練者は作業の順序や対象物を誤認しないよう明確かつ詳細に理解できることを望む。しかしながら、従来の紙媒体の手順書の場合、記載内容を拡充すればするほど紙束のボリュームが増すため、かえって携帯性や検索のしやすさを損なうというジレンマがあった。そこで本研究では、このような問題を解消するために AR 技術を応用する可能性について検討した。

本研究ではまず、熟練者及び非熟練者が従来の紙媒体の手順書を用いた際の作業阻害要因を実験的に調べた。実験では、配電盤に手順書

通りにプラグを差し込み、できるだけ迅速に論理回路を通電させる作業を被験者に課した。被験者 16 名は、決められたプログラムに沿って練習を行い、作業手順に対する知識を十分に習得した熟練群（8 名）と、必要最小限の練習のみを行い、作業手順に対する知識が十分でない非熟練群（8 名）に分けられた。配電盤を図 1 に、手順書を図 2 に示す。

実験中のエラーを解析した結果、作業阻害要因として、作業の特徴、手順書の参照、手順書の記載事項、作業のやり方に関する計 9 個が抽出された。特に、熟練群のエラーは、プラグ差込時の指示参照の煩雑さ、記憶に依存しがちな作業のやり方に、一方、非熟練群のエラーは、手順書の記載事項の複雑さや微小な操作に集中が偏る傾向に、端を発していたことが分かった。そこで次に、このような作業阻害要因の除

去・緩和を狙いとして、AR による手順提示方法を具現化した。図 3 に示すような頭部装着型の RSD（NOMAD：Microvision 社製）を採用し、図 2 と同様の手順書を提示することとした。従って、RSD を装着して配電盤に向き合うと、図 1 の上に図 3 を重ね合わせて見ることができた。その他にも、個別ブロックの拡大提示する機能等を付加した。

この方法を、熟練群及び非熟練群の両者に対して適用し、紙媒体の手順書を用いた場合との比較を通して有効性を検証した。

図 4-1 に非熟練群の一実験あたりのエラー回数を、図 4-2 に熟練群の一実験あたりのエラー回数を示す。紙媒体の手順書を用いた場合に比べて、非熟練群では、経路の誤選択によるエラーが著しく少なくなり、熟練群では、い

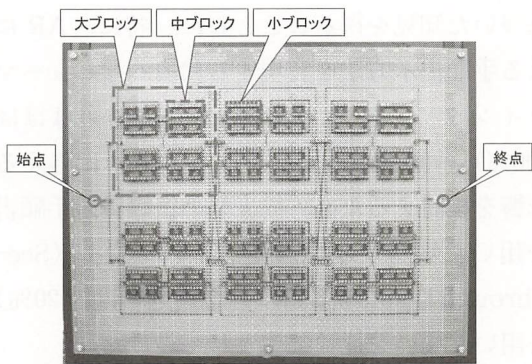


図 1 配電盤

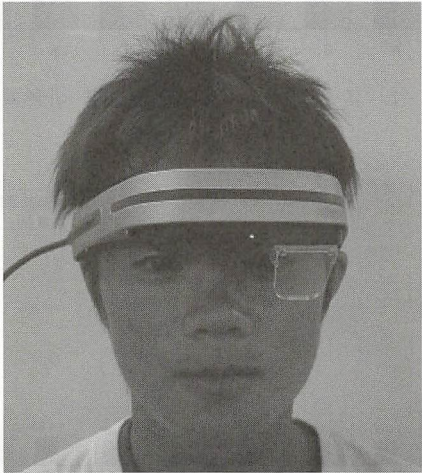


図 3 RSD

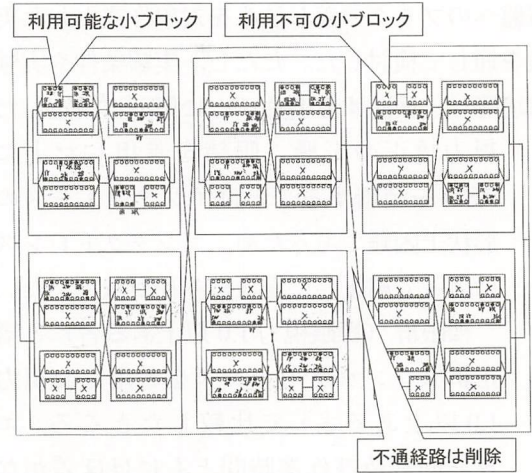


図 2 手順書

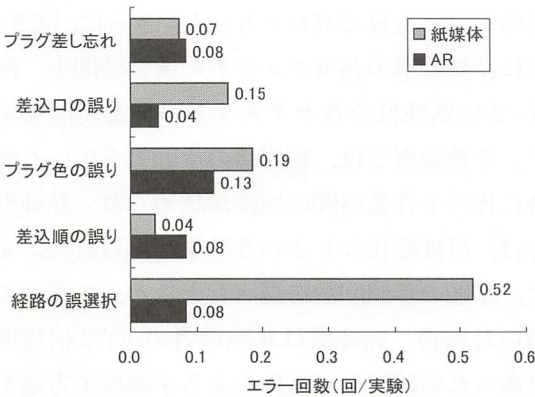


図 4-1 一実験あたりのエラー回数（非熟練群）

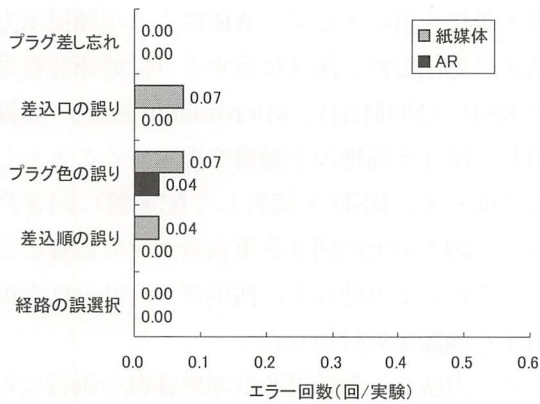


図4-2 一実験あたりのエラー回数（熟練群）

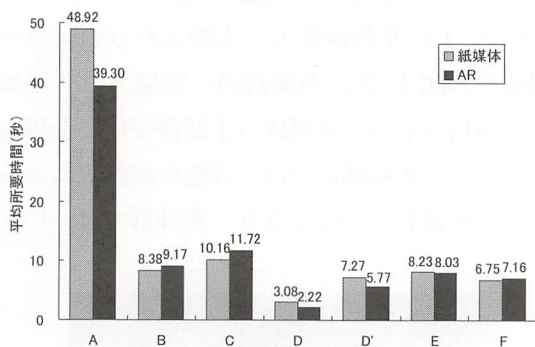


図5-1 各セグメントの平均所要時間（非熟練群）

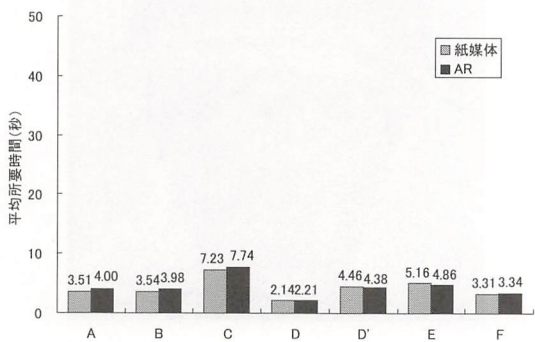


図5-2 各セグメントの平均所要時間（熟練群）

れのエラーもほぼゼロとなった。さらに、図5-1に非熟練群の各セグメントの所要時間を、図5-2に熟練群の各セグメントの作業時間を示す。非熟練群では、紙媒体の手順書を用いた場合に比べて作業時間の短縮が認められ、熟練群では、ほぼ変化なしという結果が得られた。また、手順の参照回数を調べたところ、紙媒体を用いた場合、熟練者は非熟練者の1/2倍程度であったのに対し、ARによる手順提示方法を用いた場合は、ほぼ同数であった。

以上のことから、ARを用いた手順提示方法は、非熟練者のエラーを減少させるとともに、作業効率をも高めること、また、熟練者の本来の作業効率を妨げることなく、手順確認を促進することが確認された。従って、この方法は、従来型の紙媒体による手順書では解消することの難しかった問題の一方策として有効に働くことが示唆された。

2 課題2

作業効率を維持しつつヒューマンエラーを抑えるための一方策として、ARの有効利用が期待される。ただし、実作業の現場に導入するにあたっては、作業者及び作業環境に関する諸要件を十分明らかにしておく必要がある。

そこで、本研究では、ARを手順提示方法として利用することを想定した場合の、基本的なヒューマンファクターの要件について、実験に基づいた知見を得ることとした。特に、ARによる手順提示方法を実現する代表的なヒューマンインタフェース、RSD（外景透過率はほぼ100%）の利用が作業パフォーマンスに与える影響を検討するため、従来型の紙媒体の手順書を用いた場合及び透過型ディスプレイ（See-Through Display:STD, 外景透過率は約20%）を用いた場合を比較条件として設けた。

検討対象とした要件は、作業者及び作業環境に関する6項目とした。各要件については、配電盤へのプラグの差し込みを対象作業とした実験を通して検討した。ただし、実験条件や実験環境等は、検討する要件ごとに個別に設定した。

1) 視力矯正の影響：眼鏡を着用した上にRSDを装着することはインタフェースの形状上困難であるため、コンタクトレンズによって矯正した場合のみを対象とした。

裸眼群（裸眼視力1.0以上ある者）と矯正群（コンタクトレンズを着用して視力1.0以上ある者）で比較したところ、エラー回数及び作業時間ともにほぼ差がなかった。従って、RSDを利用する上で、

コンタクトレンズの着用による作業への影響は特にはないと言える。

- 2) 優位眼・劣位眼による影響：人間には、多くの場合、利き眼、すなわち優位眼があることが知られているが、単眼式の RSD を装着して作業を行う場合、どちらの眼に装着することが望ましいかを検討した。

ローゼンバッハ法によって各被験者の優位眼を調べ、優位眼に RSD を装着した場合と劣位眼に装着した場合とで作業パフォーマンスを比較した。その結果、劣位眼に装着したときの方が作業時間はやや短く、主観評価においても高い得点が得られた。従って、RSD を用いる場合は劣位眼に装着し、優位眼を実世界の作業対象や手元に開いておくことが望ましいと言える。

- 3) 外景の明るさによる影響：JIS Z 9110（照度基準）では、作業の特性に応じた基準照度が定められているが、RSD の利用は考慮されていない。そこで、RSD を手順提示のインタフェースとして用いる場合、作業環境の明るさに対する配慮の必要性を検討した。

照度面（配電盤）照度を、6 段階（100 (lx), 400 (lx), 800 (lx), 1200 (lx), 1600 (lx), 2000 (lx)）に設定した室内条件、及びこれよりも大幅に高い照度となる室外条件で実験を行った。その結果、いずれの条件においても、エラー回数及び作業所要時間ともに違いは見られなかった。従って、RSD を利用する上で、外景の明るさは特に関係ないものと言える。

- 4) 作業負担：従来型の紙媒体に替えて RSD を手順提示のインタフェースとして用いることに対しては、作業負担の増大が懸念される。そこで、生理的なものを含む複数の指標から、作業負担について検討した。

実験では、配電盤に 30 本のプラグを差し込むことを 1 タスクとし、これを図 6 のようなサイクルで行うこととした。実験結

(実験開始前)

心電図、フリッカー値、自覚症状調べ

ターム1(プラグ30本×3タスク)

心電図、フリッカー値、自覚症状調べ

ターム2(プラグ30本×3タスク)

心電図、フリッカー値、自覚症状調べ

ターム3(プラグ30本×3タスク)

心電図、フリッカー値、自覚症状調べ

図6 作業負担を検討するための実験手順

果は、作業所要時間、フリッカー値、心電図の R 波間隔の変動率、自覚症状得点の 4 点から分析した。結果を総合すると、RSD を用いた場合でも、従来の紙媒体を用いた場合に比べて、特に大きな作業負担はないといえよう。むしろ、作業所要時間が短縮することによって、継続的に作業を行った場合はその負担が和らぐような傾向も見られた。

- 5) 外景の変化に対する気づき：RSD は片眼を覆うインタフェース上の構造を持つため、装着時の視野狭窄が懸念される。そこで、RSD を装着して作業を行う場合、周囲の変化に対する気づきがどの程度確保されるのか検討した。

実験では、配電盤の正面に座った被験者の周辺視野、すなわち水平方向 -90° から $+90^{\circ}$ 、垂直方向 -60° から $+60^{\circ}$ の範囲に、ランダムに発光する LED を配置した。被験者は、配電盤にプラグを差し込む作業に集中するよう指示されたが、作業中に LED の点灯に気づいた場合にはそれを指摘することとした。紙媒体の手順書を用いた場合の発光盤検出率を図 7-1 に、RSD を用いた場合の発光盤検出率を図 7-2 に示す。結果から、RSD を用いた場合、水平方向 -60° 以上 $+60^{\circ}$ 以下、垂直方向 -45° 以上 $+0^{\circ}$ 以下の範囲では、紙媒体を

	-90°	-60°	-30°	0°	30°	60°	90°
60°	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
55°	0.00	0.00	0.00	0.12	0.05	0.00	0.00
45°	0.00	0.17	0.19	0.40	0.27	0.29	0.00
0°	0.47	0.35	0.39		0.40	0.35	0.13
-45°	0.59	0.64	0.64		0.50	0.67	0.43
-55°	0.40	0.36	0.41		0.71	0.44	0.20
-60°	0.25	0.12	0.10		0.08	0.00	0.06

図 7-1 紙媒体の手順書を用いた場合の検出率

	-90°	-60°	-30°	0°	30°	60°	90°
60°	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
55°	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
45°	0.15	0.63	0.07	0.41	0.25	0.29	0.00
0°	0.82	1.00	0.94		0.81	1.00	0.53
-45°	0.26	0.88	0.64		0.56	0.57	0.00
-55°	0.06	0.31	0.15		0.22	0.00	0.00
-60°	0.00	0.00	0.06		0.00	0.06	0.00

図 7-2 RSD を用いた場合の検出率

用いた場合に劣らない高い割合での検出率となった。一方、垂直方向 55° 以上の範囲に設置された発光盤の点灯にはまったく気づけなかった。これは、RSD のバイザー部分が前方上部への視界を遮ったためと考えられる。ただし、今後の開発によってさらにコンパクトな形状になることが予想されるため、この問題は将来的に解消されることが見込まれる。

- 6) 作業準備の煩雑さ：AR による手順提示方法を用いる場合、RSD を装着して、作業対象と提示される情報とが重なり合って見えるよう姿勢を調節する必要がある。この準備にかかるおおよその時間について調べた。

装着までの時間と重ね合わせまでの時間を計測したところ、前者は平均 19.2 (s)、後者は平均 6.0 (s) となり、特に準備の煩雑さはないことがわかった。

3 課題 3

AR による手順提示方法が適用できそうな作業について、実際の工場及び病院にて調査した。三菱重工名古屋航空宇宙システム製作所で

は、機体の組立及び検査時にマニュアルを携帯しながら作業を行うことが難しい。従って、作業者は手順を十分に記憶した上で作業に臨んでいる。しかしながら、常に同じ対象物を扱うような単純作業ではないため、経験の浅い作業員への教育・訓練の負担が大きい。このような現状に対して、AR による作業提示方法は、ハンズフリーでマニュアルを参照できること、作業員が自分の熟練度に応じたマニュアルを見ることが可能であることなど、応用の有効性が見込まれた。また、板橋中央総合病院では、病院内の調理現場で配膳作業を行う際、個々の患者に応じた対応が必要である。現状ではホワイトボードや紙媒体の指示に従って配膳を行っており、この際のヒューマンエラーがしばしば生じている。この場面でも、提示情報の切り替えが容易で、参照の煩雑さが少ない AR による手順提示方法の有効利用が見込まれた。

[今後の研究の方向、課題]

今後の課題としては、主に、次の 2 点のテーマについて研究するつもりである。

- 1) 実視野の情報の複雑さと RSD によって提示される情報の量のバランス
- 2) 立体的な構造物の組立・検査作業時の動的作業マニュアルへの応用

[成果の発表・論文等]

- 1) 中西美和, 岡田有策: 熟練者および非熟練者の両者を支援する手順提示方法としての Augmented Reality 技術の応用, ヒューマンファクターズ-11 (1), pp. 84-95 (2006)
- 2) 中西美和, 尾関彦彦, 赤坂俊哉, 岡田有策: 実作業への Augmented Reality の導入に際してのヒューマンファクター的要件, ヒューマンファクターズ-11 (2), pp. 155-166 (2007)
- 3) M. NAKANISHI, Y. OKADA: Development of an Instruction System with Augmented Reality Technology —for supporting both skilled and unskilled workers—, INSCIT (International Conference on Multidisciplinary Information Sci-

- ences and Technologies) in Merida, Spain, pp. 112–116 (2006.11)
- 4) T. AKASAKA, M. NAKANISHI, Y. OKADA :
Appropriate Complexity of Image Displayed on
Head-Mounted Displays in Augmented Reality,
12 th International Conference on HCI (Human
Computer Interaction) in Beijing, China, Judg-
ing (2007. 7)

マイクロ・ナノマシーニングを用いた生体単分子 マニピレーション法の開発

Development of Micro Electro Mechanical System for Single Molecule Manipulation

1061005

研究代表者

東京大学生産技術研究所 産学官連携研究員

久米村 百子

〔研究の目的〕

近年、バイオ MEMS の分野においては、特定の機能を持つ生体分子をデバイスに導入することによって、機械・電氣的デバイスとして利用しようという試みがなされている。機能性分子とマイクロ・ナノマシーニングの融合により、ナノテクノロジーの目指す高機能性微細構造が可能になると期待されている。しかし、複数の機能を持つそれぞれの分子を、デバイス内の任意の場所に置くためには、物理的に分子を制御することが必要と考える。そこで本研究では、マイクロ・ナノマシーニングによって作製したフルイディクスデバイス内で生体分子を単分子に分離し、微小なピンセットにより捕獲・マニピレーションする方法を確立することを目的とした。

〔研究の内容、成果〕

1. マイクロ・ナノフルイディクスデバイスの設計

本研究で提案するマイクロ・ナノフルイディクスデバイスは、幅の異なるチャンネルを組み合わせたデザインを有し、チャンネルの構造によって分子の分離（振り分け）を達成しようとするものである。つまり、分子一個が通れるような微小なチャンネルを作り、これに順々に分子を通過させる。対象とする分子は、生化学の基礎実験で頻繁に用いられており、購入しやすいλ-

DNA (48 k bps, Takara) を用いることとした。λ-DNA は直径 2 nm, 長さ 16 μm の高分子であり、分子全体は電氣的に負の状態になっている。

チャンネル層の材質には、Poly (dimethylsiloxane) (PDMS) を選択した。PDMS は、無色透明な粘性の高いポリマーであり、加熱によって硬化するため、モールドイングによりマスターのパターンを転写することができる。生体分子を扱うマイクロデバイスの基板として頻繁に利用されている。また、チャンネル内での DNA の駆動方法には、電気泳動を採用した。DNA は電氣的に負に帯電しているため、陰極から陽極へ泳動させることができる。そのため、電気泳動のための電極を、ガラス上にパターンニングすることとした。

2. マイクロ・ナノフルイディクスデバイスの作製

チャンネル層の作製方法を以下に示す。シリコン基板にレジストを塗布し、ホトリソグラフィによりチャンネルのデザインをパターンニングした。Deep Reactive Ion Etching (DRIE) によりチャンネルの深さに相当する距離をエッチングした。これが鋳型となる。鋳型のシリコン基板をアセトンで洗浄した後、PDMS (Dow Corning Toray, Silpot 184) を流し込み、100°C 7 分の条件で固化させた。完成した PDMS シートに、円筒形のパンチを使って、試料をチャンネルに導入するためのアクセスホールを開けた。

電極層の作製方法を以下に示す。(1) ガラス基板 (Matsunami, NEO) をアセトン浴で超音波洗浄, (2) ネガレジスト (Zeon, ZPN 1150-90) を 5000 rpm, 60 sec. の条件でスピンコート, (3) アルミニウムを蒸着 (50 nm), (4) アセトンに浸し, 超音波によりリフトオフ。

以上の手順で作製したチャンネル層と電極層を, マスクアライナー (ユニオン光学) を用いて, アライメントしながら両ウエハの距離を徐々に近づけ, 張り合わせた。作製したマイクロ・ナノフルイディクスデバイスを図1に示す。

3. DNA 分子振り分けの実験方法

全ての実験は, 倒立顕微鏡 (Olympus, IX-71) のステージ上で行い, イメージインテンシファイア (Hamamatsu photonics, C 9016-1) とカメラ (DAGE MTI, CCD-300-RCX) を接続して画像を取得した。DNA の様子を観察するために, 蛍光染料の YOYO-1 (molecular probes) を加えた。YOYO-1 の濃度は, DNA 濃度に対して約 1000 倍とした。

マイクロピペットを使って, チャンネル層のアクセスホールに超純水を入れ, チャンネルが水で満たされるのを確認したのち, DNA 水溶液 2 μ L を片方のアクセスホールに入れた。直流電圧を印加し, DNA がチャンネル内を電気泳動する様子を観察した。

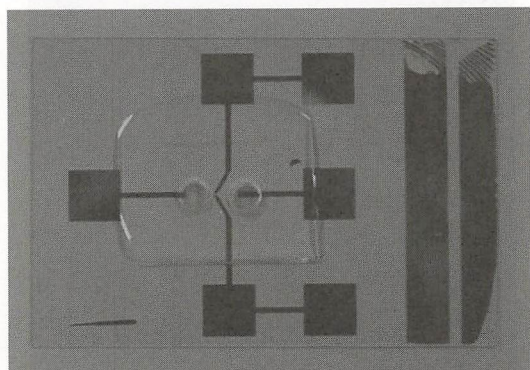


図1 マイクロ・ナノフルイディクスデバイス

4. チャンネルサイズの最適化

λ -DNA 一分子ずつをマイクロチャンネルに通過させるため, チャンネル幅 800 nm から 2 μ m において数種類のマイクロチャンネルを作製し, DNA 通過の実験を行った。幅 800 nm のチャンネルを用いた場合は, DNA はほとんど通過しなかった。この原因は, 電気浸透流の影響や, DNA の粘性抵抗などによるものではないかと考える。幅 1 μ m $\times$ 深さ 2 μ m のチャンネルの場合, 実験を始めて 10 分程度は DNA が通過する様子が観察されたが, 実験時間が経過するに従って, DNA がチャンネル入り口で留まるようになった。これはチャンネル表面の電気的狀態が変化し, DNA が障害を受けているのではないかと考える。幅 2 μ m $\times$ 深さ 4 μ m のチャンネル 10 本を並列に並べたチャンネル層 (図2) を用いた場合, 電気泳動によって DNA 分子を通過させることができた。このチャンネル層を用いて DNA 振り分けの効率を評価した。

5. DNA 分子の振り分け効率の評価

マイクロ・ナノフルイディクスデバイスを用いた DNA 分子の振り分け効率を, チャンネルを通過する DNA 個数を計測することによって評価した。この実験に用いたチャンネルは, 幅の広いチャンネル (アクセスチャンネル) と狭いチャンネル (マイクロチャンネル) から構成されており (図2), アクセスチャンネルは, 幅 300 μ m $\times$ 深

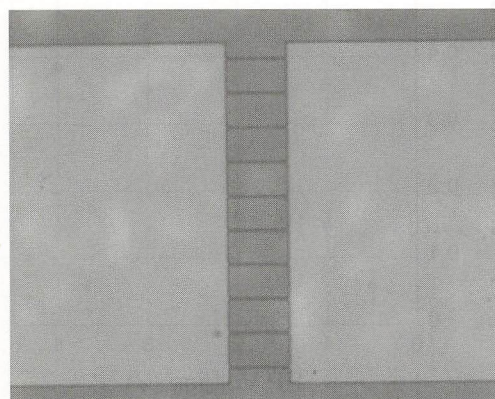


図2 マイクロチャンネル (中央)
サイズ: 幅 2 μ m $\times$ 深さ 4 μ m $\times$ 長さ 50 μ m

さ $4\mu\text{m}$ 、マイクロチャンネルは、幅 $2\mu\text{m}$ ×深さ $4\mu\text{m}$ である。電圧印加により、DNA が電気泳動することを確認した後、 $0.5 \sim 4\text{V}$ の範囲で、アクセスチャンネルとマイクロチャンネルを通過する DNA 個数を数え、比較することで、本デバイスの分子振り分け効果を評価した。具体的には、それぞれのチャンネルの断面を単位時間あたりに通過する DNA の個数を計測した。図 3 に結果を示す。

図 3 より、マイクロチャンネルを通過する個数はアクセスチャンネルを通過する個数より、約 20 分の 1 に減少していることがわかる。これは、DNA の電気泳動の流れと、電気浸透流の流れの関係から生じると考える。DNA は陽極から陰極へ流れるが、電気浸透流は逆向きであ

る。電気浸透流は、ガラスなどの表面で起こる流れなので、チャンネルの比面積（面積 / 体積）が大きくなるほど、効果的になる。本実験で用いたデバイスの場合、マイクロチャンネルの比表面積は、 $((0.002 \times 0.05 \times 2 + 0.004 \times 0.05 \times 2) / (0.004 \times 0.002 \times 0.05)) = 1500\text{ mm}^{-1}$ と算出される。アクセスチャンネルの比表面積は、チャンネル長さを $200\mu\text{m}$ とした場合（同様の計算により） 506 mm^{-1} になるため、マイクロチャンネルはアクセスチャンネルに対して、約 3 倍の比表面積を持つことになる。

6. 平面電極による DNA 単分子の捕獲

鷲津らは、アルミニウムの平行な電極に高周波の電圧を印加することによって DNA 分子を伸長させ、捕獲する方法を報告している [1]。鷲津らの提案した平面電極では、電圧が直接印加されない部位があり [2]、電氣的にフローティングとなっている。通常、2 本の電極に電圧を印加した場合、電極からジュール熱が発生し、電極周辺に対流が生じる。一方、フローティング電極の周辺には対流は生じないために、水溶液中の DNA が、対流に巻き込まれて電極から遠ざかることはない。このデザインを参考に、マイクロ・ナノフルイディクスデバイス内に作り込んだ平面電極間への捕獲を試みた。

平面電極のギャップ間隔は $10\mu\text{m}$ とした。DNA がマイクロチャンネルを通過し、電極付近

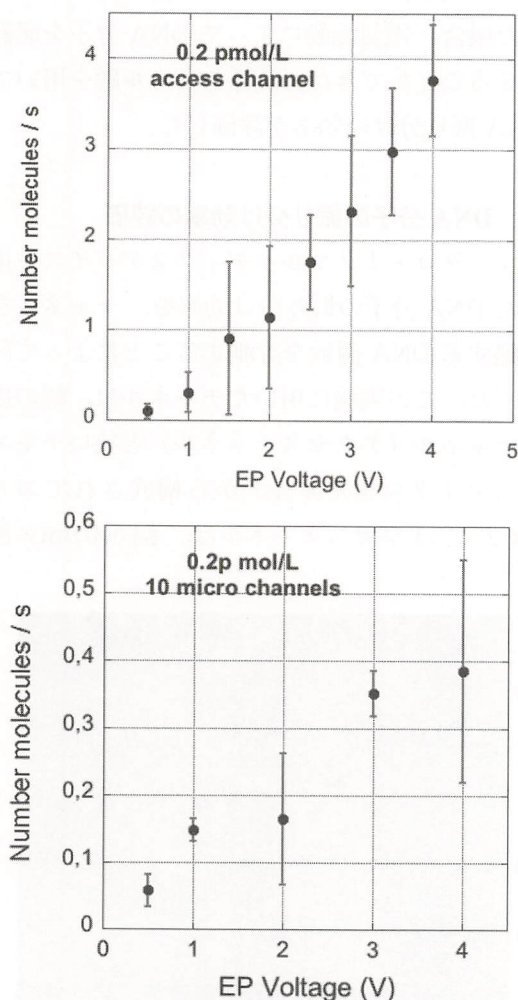


図 3 単位時間の通過 DNA 個数
上：アクセスチャンネル，下：マイクロチャンネル

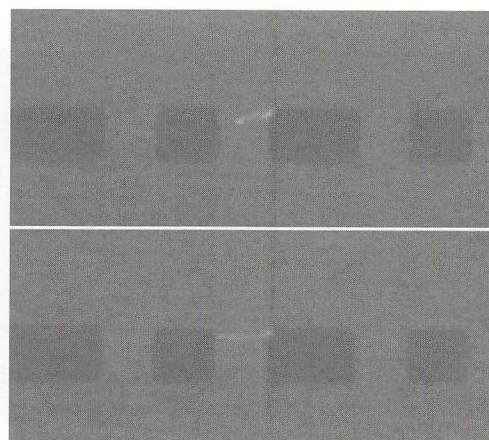


図 4 電極間に固定される単分子 DNA

に達したのを確認して、捕獲用の平面電極に 0.9 MV/mm の交流電圧を印加した。図に DNA が電極間に捕獲される様子を示す。DNA 分子は、伸長しながら片側の電極に付着したのち、電界によって逆の末端が伸長し、最後に電極間に付着した。

7. マイクロ・ナノフルイディクスデバイスと微小ピンセットによる DNA 分子の捕獲実験

マイクロ・ナノマシーニングにより、微小ピンセットを作製した。ピンセットについても、一部がフローティングになるように設計した。ピンセット作製で行う主なプロセスは、微細パターン形成のためのホトリソグラフィー、SOI 基板のバルク層を高いアスペクト比で加工するための DRIE、ピンセット先端を鋭角にするための異方性エッチングである。詳細な微小ピンセットの作製方法については省略する [3]。ピンセットをマイクロ・ナノフルイディクスデバイスのホールに挿入し、チャンネルで振り分けた DNA 分子の捕獲を試みた。マイクロチャンネルから数十 μm の距離にホールを設け、微小ピンセットをマニピレータを用いてアプローチした。ピンセットの先端は、顕微鏡により観察することができる。DNA がチャンネルを通過するのを確認してピンセットに交流電圧を印加すると、DNA はピンセット先端には集まらず、上方 (z 軸方向) に流れる様子が観察された。これは、ピンセットの上方も水に浸されているため、電界による水流の向きが複雑になっているためと考える。マイクロ・ナノフルイディクスデバイス内では、チャンネル高さが 4 μm と固定されているために、DNA の垂直方向の動き

はほとんど制限される。しかし、ホール内では DNA の動きは三次元になるために観察することも困難であった。

[今後の研究の方向, 課題]

本研究では、マイクロ・ナノフルイディクスデバイス内で DNA 分子を単分子に効果的に振り分けることに成功した。また、デバイス内で単分子を捕獲することができた。しかし、立体的な微小ピンセットによる単分子の捕獲には至らなかった。これを達成するためには、ピンセットを挿入する部分を数 μm までに小さくし、DNA の動きをできるだけ制限する必要があると考える。

[成果の発表, 論文等]

久米村百子, 榊直由, Christophe Yamahata, 橋口原, Dominique Collard, 藤田博之: マイクロチップを用いた単分子 λ -DNA の捕獲, 第 15 回化学とマイクロ・ナノシステム研究会, 2007 年 5 月 25, 26 日, 東北大学

[参考文献]

- [1] M. Washizu: "Electrostatic Manipulation of DNA in Microfabricated Structures", IEEE Trans. Ind. Appl., 26, pp. 1165 - 1172 (1990)
- [2] M. Washizu, O. Kurosawa, I. Arai, S. Suzuki, & N. Shimamoto: "Applications of electrostatic stretch-and-positioning of DNA", Ind. Appl. IEEE Trans., 31, pp. 447 - 456 (1995)
- [3] G. Hashiguchi, T. Goda, M. Hosogi, K. Hirano, N. Kaji, Y. Baba K. Kakushima, and H. Fujita: "DNA manipulation and retrieval from an aqueous solution with micromachined nanotweezers" Anal. Chem., 75, pp. 4347 - 4350 (2003)

車内表示機器の視認負荷とドライバー運転行動の関係

Relationship between Driver's Visual Performance to Look at In-vehicle Devices for Displaying Information and Driving Behavior

1061006

研究代表者 奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科 助教 小坂 洋 明

[研究の目的]

安全運転に効果があると期待されている Head-up display (以下 HUD) は、ドライバーに対して俯角が小さいため、優れた情報提示システムであると考えられる。しかし、HUD による情報提示に対して運転の安全性低下の危険性が示唆されている。本研究では、運転中のドライバーへの情報提示について、HUD を使った場合とカーナビゲーションシステムで使われる液晶カーモニタ (以下 LCM) をセンタークラスターパネルに配置した場合の 2 条件で実験を行ない、ドライバーの視認行動、運転動作、主観評価に関するデータを収集、解析し、異なる 2 種類のディスプレイからの情報取得がドライバーに与える影響について調べる。

[研究の内容、成果]

1. 視覚情報提示実験

1.1 実験装置

実験には HONDA ドライビングシミュレータ (以下、DS) を用いた。この DS は、6 軸のモーションが可能である。また、ミラーに映像が映し出される範囲は、運転席前方を中心に左右計 135° である。

運転席前方のダッシュボード上に車載用液晶カーモニタを設置した。同じくダッシュボード上にコンバイナリフィルムを貼ったガラス板を

設置し、フィルム部分にモニタ映像を投影することで、HUD を模擬した。HUD 画像を注視した場合とドライバーが運転席で正面を向いた場合の間の俯角は 15° 程度、映像中央と被験者の左右の目の中間点との距離は 0.9 m 程度であった。また、センタークラスターパネル内にドライバーが運転席で正面を向いた場合と比べて俯角 30° 程度の位置に設置した液晶カーモニタを LCM として利用した。LCM 中央と被験者の左右の目の中間点との距離は 0.65 m 程度であった。

1.2 提示情報

実験では、先行研究を参考に漢字・ひらがな・カタカナ・アルファベット (A~Z)・数字 (1~9) から成る 30 文字の文字情報を 3 行で表示した。提示情報の内容は、2005 年 10 月の主なニュースから引用した。このような提示情報を 72 種類作成し、実験に使用した。

1.3 被験者

被験者は合計 14 名 (男性 11 名、女性 3 名) で、年齢は 22 ~ 29 歳であった。被験者は全員裸眼で普通自動車免許を取得していた。

1.4 実験コース

本実験で用いた 2 通りの走行コースのうちコース 1 を図 1 に示す。被験者は図中の START 地点を出発し、①→②→③…→⑪の順に走行して、END 地点で停車する。①から⑪の近くにある四角で囲んだ矢印は、その番号付近の地点における進行方向を示す。コース 1、

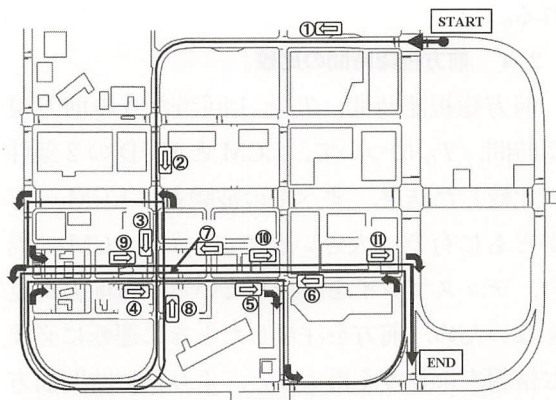


図1 実験コース

2ともにSTART地点からEND地点までの所要時間は6分程度であった。図中の黒実線は走行経路を示す。交差点の太い矢印は音声指示により右・左折を指示した箇所を示す。

1.5 情報提示方法

情報提示は交差点手前で行った。交差点に制限速度で進入する約8秒前の地点に自車が来ると「ポーン」という合図音が流れ、その音を合図に実験者が即時にディスプレイに文字情報を表示させた。被験者は提示された文字情報を口頭で読み上げ、実験者は被験者の読み上げが終わった時点で表示を消去した。情報提示は図1で丸に囲まれた数字①～⑪の近くにある矢印の先端にある11箇所の交差点の手前で行った。

1.6 実験手順

被験者は練習走行後、運転のみの走行（この条件をDRVと呼ぶ）、LCMを使った提示情報の読み上げありの走行（LCMと呼ぶ）とHUDを使った場合の走行（HUDと呼ぶ）それぞれ2週の計6周行なった。データの収集はこの6周が対象である。計測走行は被験者ごとに順序を変更した。また、被験者は各周回終了後にNASA-TLX評価シートとアンケート項目に回答した。

2. 実験結果

実験前及び実験中の指示に従わなかったなどのケースに該当する被験者4名は今回の解析から除外した。従って解析対象被験者は10名

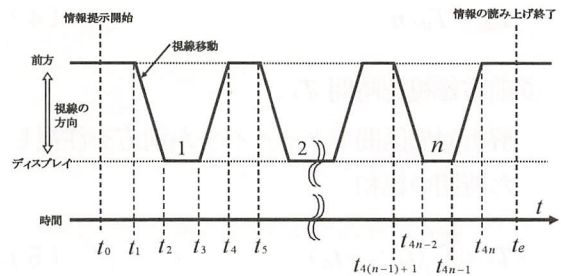


図2 表示機器視認時のドライバー視線移動パターン

(S1～S10)である。

2.1 視線移動に関する特徴量の定義

被験者がLCM及びHUDを視認する様子を観察した結果、読み上げ開始から終了までに視線が自車前方とディスプレイの間を何度か往復することが分かった。従って、被験者が提示情報を読む際に行った視線移動のパターンを図2のように表した。情報提示に対する視線移動の解析対象区間は、情報提示後に被験者のアイマークが前方からディスプレイへ移動開始した時刻(t_1)から、提示情報の読み上げが終わる直前にアイマークがディスプレイから前方に戻った時刻(t_{4n})までとした。以下に図2中の記号を使って6つの特徴量を定義する。

①総視認時間 T_l

解析対象区間の時間

$$T_l = t_{4n} - t_1 \quad (1)$$

②ディスプレイ視認回数 N_d

解析対象区間でディスプレイを注視した回数

$$N_d = n \quad (2)$$

③ディスプレイ総視認時間 T_d

解析対象区間でドライバーがディスプレイを注視した時間の総和

$$T_d = \sum_{i=1}^n (t_{4i-1} - t_{4i-2}) \quad (3)$$

④1回当たりのディスプレイ視認時間 T_{ds}

解析対象区間におけるドライバーのディスプレイ注視1回あたりの所要時間

$$T_{ds}=T_d/n \quad (4)$$

⑤前方総視認時間 T_f

解析対象区間でドライバーが前方を注視した時間の総和

$$T_f=\sum_{i=1}^{n-1}(t_{4i+1}-t_{4i}) \quad (5)$$

⑥1回当たりの前方視認時間 T_{fs}

解析対象区間におけるドライバーの前方注視1回あたりの時間

$$T_{fs}=T_f/(n-1) \quad (6)$$

2.2 ディスプレイ視認回数の比較

ディスプレイ視認回数、 N_d について、HUDとLCMの2条件で比較した結果、9名はLCMの方が多いことが分かった。全被験者のデータで2条件間のデータ分布に差があるかを調べるため、Wilcoxon Signed-rank Testを行なった結果、LCMの方がHUDより有意($p<0.01$)に視認回数が多かった。この理由として、LCMの場合はディスプレイを注視している間は前方がほぼ視野に入らないため前方の状況確認を何度も繰り返す必要がありディスプレイ視認回数が多くなったと考えられる。一方、HUDの場合被験者は道路状況などの情報がディスプレイを見ながらでも取得できていると感じるため前方を繰り返し注視しなかったと考えられる。

2.3 ディスプレイ視認時間の比較

ディスプレイ総視認時間、 T_d と1回当たりのディスプレイ視認時間、 T_{ds} について、LCMとHUDの2条件で比較した結果、9名はHUDの方が有意に大きいことが分かった。原因としてLCMの場合ディスプレイを見ている間は前方がほぼ視界に入らないことから被験者が不安を感じ、ディスプレイ視認時間をできる限り短くしようとしたことが考えられる。これに対してHUDの場合、被験者は運転中の前方確認がディスプレイを見ながらできると感じて、より長い時間ディスプレイを注視したと考えら

れる。

2.4 前方視認時間の比較

前方総視認時間、 T_f と1回当たりの前方視認時間、 T_{fs} について、LCMとHUDの2条件で比較した結果、すべての被験者はLCMの方がともに有意に大きい値であった。LCMの場合、ディスプレイを注視している間は前方が見えないため、前方を注視したときに運転に必要な情報をより多く得ようと、より長い時間前方を注視したと考えられる。一方、HUDの場合被験者は運転中の前方確認がディスプレイを見ながらできると感じて、前方を注視する1回あたりの時間が短くなったことと、ディスプレイ視認回数も少ないため、結果的に前方を注視した時間の総和が短くなったと考えられる。

2.5 総視認時間の比較

総視認時間、 T_t について、LCMとHUDの2条件で比較した結果、有意な差は見られなかった。この原因として、前方総視認時間はLCMの方が有意に長い、ディスプレイ総視認時間はHUDの方が有意に長い。このため、それらの和とほぼ等しい総視認時間は、有意差がなくなったと考えられる。

3. 総合評価

2章で述べた提示情報の読み上げにおける視認行動の結果と、主観評価の結果について、LCMとHUDを用いた場合の6つの特徴量の大小関係を整理した。計測結果については、統計的検定で有意差があったもの(HUD<LCMまたはLCM<HUD)、なかったもの(LCM=HUD)で分類した整理分類の結果を表1に示す。

S1, S2, S5は、主観評価においてLCMとHUDの間で差がないと回答し、S3, S4は特徴量に関する回答を行っていない。一方、この5名に関する特徴量の計測結果ではLCMとHUDの間で差が出ている。例えば、ディスプレイ視認回数はLCMよりHUDの方が少ない。この5名は視認行動の違いを自覚していな

表1 総合評価

データ 種別	被験者	各特微量についての大小関係		
		HUD<LCM	LCM<HUD	LCM=HUD
主観評価	S1, S2, S 5	—	—	視認行動について LCM と HUD 間の差はない
	S3, S 4	無回答	無回答	無回答
	S6, S 10	ディスプレイ視認回数 読み上げにかかる時間	1 回当たりのディスプレイ視認時間	—
	S 7	ディスプレイ視認回数	1 回当たりのディスプレイ視認時間	—
	S 8	読み上げにかかる時間	—	ディスプレイ視認回数
	S 9	ディスプレイ視認回数 読み上げにかかる時間	1 回当たりのディスプレイ視認時間	—
計測結果	S3を除く 9 名	ディスプレイ視認回数 前方総視認時間 1 回当たりの前方視認時間	ディスプレイ総視認時間 1 回当たりのディスプレイ視認時間	総視認時間
	S 3	前方総視認時間 1 回当たりの前方視認時間	ディスプレイ総視認時間	ディスプレイ視認回数 1 回当たりのディスプレイ視認時間 総視認時間

い可能性がある。

S6、S8、S9、S10の4名については、主観評価（感覚）と計測結果で大小関係が異なる特微量がある。この4名は主観評価で読み上げにかかる時間はHUDの方が短いと回答しているが、特微量の計測結果ではLCMとHUDの総視認時間に差はない。この4名はHUDの場合、実際に視認していた時間と比べて短い時間しか視認していないと感じていることになる。この感覚のずれや「HUDを視認しながら前方も正しく視認することが可能である」と被験者が誤って解釈することが原因で、ドライバーが自覚なしに長くHUDを注視することで前方不注意になるケースが出てくるのではないかと懸念される。

[今後の研究の方向、課題]

今後の課題として、DSの加速度や被験者のブレーキペダル操作など最大減速度以外の運転

行動を表す指標の解析や読み上げタスクのパフォーマンスを詳細に調べる必要がある。ディスプレイ読み取り時における視線移動や運転行動についても、その違いがあるかを調べる必要がある。本研究で取り上げた一時停止交差点以外の見通しのよい交差点、直線、カーブ等の道路条件において実験を行い、本研究の成果と照らし合わせて検証していくことも必要である。また、今回明らかになったLCMやHUDの問題点が、実際にどの程度安全運転に影響があるのかを具体的に検証する必要がある。

[成果の発表、論文など]

- 1) 小坂洋明, 安藤史朗, 野田賢, 西谷紘一: 車載情報表示機器使用がドライバの視線移動や主観評価に及ぼす影響, 交通科学, Vol. 37, No. 1, pp. 36-45 (2006)

メディアコミュニケーションにおける遅延時間の影響に関する研究

Influence of Delay Time on Media Communication

1061008

研究代表者

京都工芸繊維大学情報科学センター 教授

渋谷 雄

【研究の目的】

本研究では、メディアコミュニケーションの1つとして1対1の音声チャットを取り上げ、伝送遅延による不快感と発言の重量を軽減するために、自分の発言の相手側における再生状況を表示する手法を提案し、実験により評価する。

【研究の内容、成果】

1. 音声チャットにおける遅延の影響

本研究で対象とする音声チャットとは、インターネット等のコンピュータネットワークを介してPCユーザ同士が行う実時間音声対話のことである。音声チャットでは、送信側での発話が符号化され、送信され、受信側で復号化され、再生される。この発話から再生までに要する時間は0ではなく、音声チャットにおける発言の伝送には少なからず遅延が存在する。つまり一方が話し始めてから、それが他方に知覚され始めるまでに時間差、すなわち伝送遅延が生じる。

音声チャットにおいて伝送遅延が存在することによって生じる主な問題として、相手の応答遅れに対する不快感と、発言の意図しない重量の2点がある。ここで不快感とは、相手の応答遅れに対する不安や不満感である。

音声チャットにおいて伝送遅延が存在すると、自分の発言終了から相手の発言開始を知覚するまでの時間が長くなる。これは自分の発言が相手に届くまで、またそれに対する相手の応答が

自分に届くまでが伝送遅延時間分遅れるからである。応答遅れが適当な長さ(600 ms)であると、人は対話相手に「丁寧である」等の良い印象を持つ。しかし、応答遅れが長くなりすぎると、人は相手の応答が遅いことに不快を感じると考えられる。すなわち、相手の応答が無いことに対して不安に感じたり、不満を抱いてしまったりする場合があると考えられる。この不快感は、相手の応答遅れが伝送遅延によるものか相手の会話の間によるものかが区別できず、伝送遅延を相手の会話の間と解釈してしまう場合に生じると考えられる。

発言の重量には意図的なものと意図しないものがある。意図的な重量は自分の意見を強く主張したいときなどに、相手が発言していることを知覚していながらも自分の発言を開始するためによって生じる。意図しない重量は相手が発言を開始することを知覚する前に、自分も発言を開始してしまうために生じる。

音声チャットにおいて伝送遅延が存在すると、存在しない場合と比較して、意図しない重量が一層生じやすくなると考えられる。意図しない重量が生じると、会話が円滑に進まなくなり、混乱が生じる。

2. 提案手法

応答遅れは、往復の伝送遅延時間に相手の間(相手が自分の発言を聞き終わり、応答を開始するまでの時間)が加わったものである。しかし、人は両者を区別することができない。ここ

で、相手からの応答がない原因は、伝送遅延のため相手にまだ自分の発言が届いていないためであることがわかれば、応答遅れに対する不快感を軽減できると考えられる。そこで、本研究では相手側での自分の発言の再生状況を表示することを提案する。それによって話者は自分の発言の相手側での再生開始や終了のタイミングを知ることができるので、応答がない間の相手の状況（まだ発言を聞いていない、聞いている、または、聞き終わった）がわかる。

さらに、自分の発言が終了した後、その発言が相手側で再生し終わり、相手が発言しないことを確認するまで次の発言を開始することを控えれば、意図しない重畳を減少させることができる。

発言の再生状況を話者に視覚的に表示する方法を考えるにあたり、再生状況の時間的変化に着目する。このとき、再生状況表示方法として、発言の再生開始と終了のタイミングのみを通知するために、そのタイミングで表示を切り替える方法と、開始から終了までの経過を表す方法の2通りが考えられる。以下、前者の表示方法を「再生中表示」、後者の表示方法を「再生過程表示」とする。再生中表示では、ユーザは自分の発言の相手側での再生開始と終了のタイミングのみ、つまり、再生中であるか否かを知ることができる（図1参照）。また、再生過程表示では、ユーザは再生開始と終了のタイミングに加えて、自分の発言が再生されている過程を知ることができる（図2参照）。

発言とそれに対応する表示が出る時間帯を図

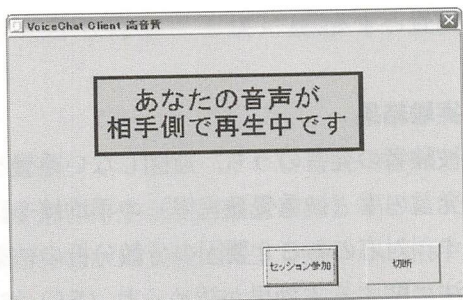


図1 再生中表示

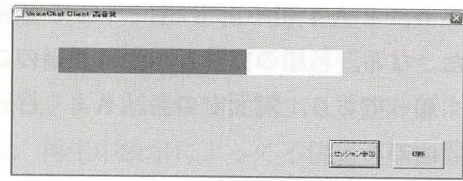


図2 再生過程表示

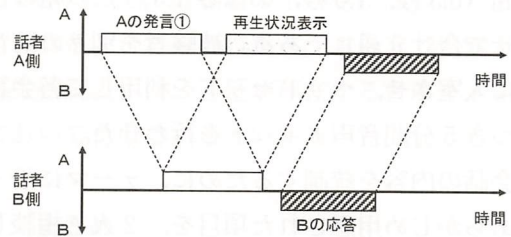


図3 再生状況の提示タイミング

3に示す。再生状況が表示される時間帯は、実際に相手側で再生されている時間帯より伝送遅延時間分遅れる。そのため、図に示すように、相手側において自分の発言が終了してから相手が応答を開始するまでの時間と、表示が消えてから相手の応答が自分側で再生され始めるまでの時間が等しくなるため、相手が自分の発言に対して実際どれほどの間で応答しているのかがわかる。

なお、図2に示す再生過程表示では、相手側で自分の発言がどこまで再生されたかを自分の画面にプログレスバーとして表示する。この表示では、自分が発言を開始すると、発言している間は白いバーが伸びていく。そして、相手側で再生が開始され、それを知らせるメッセージを受信すると、再生された時間分だけ赤いバーが白いバーに重なるように伸びていく。この表示が再生中表示と異なる点は、バーの伸びから自分の発言がどこまで再生され、あとどれくらいで再生し終わるかがわかることである。

3. 実験

相手側での再生状況を提示することによって不快感と重畳が軽減されるかどうかを調べるために実験を行った。

被験者は同じ研究室に属する20代の学生10

顔画像通信技術を応用した知能発達障害児の早期検出

Mentally Retarded Children Detection at an Early Ages Using Face Image Communication Technology

1061009

研究代表者

豊橋技術科学大学大学院工学研究科 助教授

杉 浦 彰 彦

[研究の目的]

本研究ではマルチメディア情報通信技術を用いて、従来の知能発達検査の問題点を解消し、知能発達障害児の早期自動検出を目指す。本方式では人間と機械の調和を実現するために、インターネットを用いて端末ディスプレイに小児自身のフィードバック映像を提示し、小児の動作や反応を解析することで、被験者の知能発達を推定する。実験では、早期（低年齢）における知能発達障害児の検出を行うため、小児に何か指示を与えて動作をさせたり、質疑応答式のテストを用いることはしない。会話のできない小児でも検査できるように、被験者には様々な映像を提示して、その際の反応、表情、動作などを解析し、知能発達障害児の早期検出を目指す。

本研究は、現在検討が進められているマルチメディア情報通信を用いた医療技術の高度化の一環として、今後の進展が期待される複合領域に属しており、新しい学際領域研究である。これまでに、脳障害の程度評価やリハビリ支援のために、コンピュータによる顔画像処理が用いられた例は少なく、萌芽性の高い研究といえる。本手法により、従来の問診では難しかった小児の脳障害の程度評価を実現したい。これまでも、マン・マシーンインターフェイス技術の高度化を目的に、顔画像の表情合成・認識につい

ては、様々な方面で研究が進められてきた。本研究では、マルチメディア情報通信技術を応用して遠隔診断支援の実現する。

本研究により、知能発達障害児の認知能力を評価することができれば、表情の認知機構を解明する上で重要なデータとなり、新しいタイプの医療測定器の実用化が可能となる。また、表情の認知に限らず、脳の認知機能そのものの理解にも役立つ研究になる。

さらに病院などに出向かなくても、家庭内のインターネット端末をもちいて、短い時間で（約2分間）小児の知能を検査できる。

これまでに、知能発達障害児の程度評価にコンピュータ画像が用いられた例はない。また、顔画像の表情合成・認識については、日本を中心に様々な研究が進められており、本研究ではこれらの技術をベースに、マン・マシーンインターフェイス技術の高度化を医療の支援に適用する。

本方式の特徴と展開（目標）を以下に列挙する。

- ・短い時間で小児の知能を検査できる
- ・生後6ヶ月から測定可能で、知能発達障害を早期段階で発見できる
- ・インターネットを利用することで、多くの母親（小児）が簡単に利用できる
- ・小児の知能テスト・知能発達障害児のリハビリを全自動化

- ・リハビリをコンピュータゲーム感覚で行うことができる（知能発達障害とその親の負担が軽減）

〔研究の内容、成果〕

1. 実験方法

第一段階として、実験ではコンピュータディスプレイを用いて小児に自身のフィードバック映像や身近な人（母親、保母など）の画像を提示し、小児の動作や反応を解析することで、知能発達障害児の早期検出を目指す。実験では3歳以下の子供でもテストができる様に、小児に動作を要求したり質疑応答を用いることはしない。例えば言葉を話せない小児に対して、様々な画像や音声を提示する方式を用いるので、赤ちゃんでも検査することが可能となる。撮影した画像から小児の反応、表情、動作、時間を解析することで、知能発達障害児の早期検出の可能性を検討する。実験では評価基準として遠城寺式などの評価基準を用いて、本方式の有効性を確認する。実験の様子を図1に示す。小児の反応の画像解析においては、例えば図2に示す

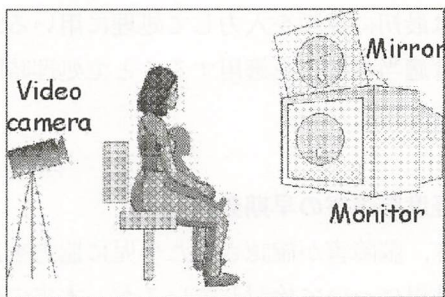


図1 実験システム

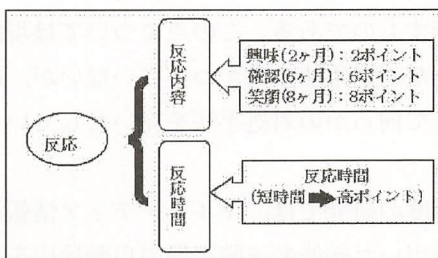


図2 評価ポイント

2種類の基準を適用する。

2. 反応内容の評価

遠城寺式乳幼児分析的発達検査にある社会性カテゴリーの基準によると、生後2ヶ月から人の顔に対して興味を示し、生後6ヶ月では鏡を見て反応を示し、生後8ヶ月では鏡を見て笑いかけるとある。本方式では、反応のおこる月齢をもとに評価を数値化して、被験者である小児の月齢を予測し、実際の月齢との比較を行う。この比較結果に大きな差（約2倍程度を目安）がある場合には、再検査や医師の診察を促す。

ここでは「興味」「確認」「笑顔」の反応を分析することで、小児の社会性カテゴリーにおける発達検査の自動化を実現する。

3. 実験結果

実験では、実際の小児の動作を考慮して、母親などに抱きかかえられて実験に参加した場合と、一人で座っている場合について、単視点（カメラ1台）と多視点（カメラ3台）で撮影を行い、人手による評価結果と計算機（自動）による結果の相関を比較した。単視点では、抱きかかえられた場合で0.88、一人で座った場合で0.83となり、抱きかかえられている場合の方が良いポジションで撮影できるため精度が向上することが確認された。多視点では、抱きかかえられた場合で0.92、一人で座った場合で0.91となり、何れも単視点の場合よりも精度の向上が確認された。また多視点の場合、抱きかかえられた時と一人で座った時の差が少なく、安定した性能が確保できていることがわかった。

検出したデータの推移を連続的に取得し、自動で分析するシステムへの応用を考えた場合、誤検出は致命傷になる。誤検出を減らすためには、動画像内の背景及び照明環境に高いロバスト性が必要である。また、頻繁に顔の向きや位置の変わるフレームを考慮する必要がある。そこで本研究は、検出困難なフレームの自動検出を改善するために、多視点画像について「前処

理」を施し、検出の可否に加え、検出結果の信頼性を「尤度」として算出する手法について検討した。以下に示す前処理と尤度推定を行い、実験を進めている。

4. 前処理

フレーム全画素の明るさの平均を、画像補正用のフィルタパラメータに利用することで、幅広い照明環境への適用を実現した。処理手順としては、顔・目などを構成する肌色から黒以外の色部分を削除した後、レベル・ガンマ補正、微分フィルタを併用して2値画像を生成した。さらに、候補点検出処理の負荷を軽減するため、膨張と収縮処理を用いてノイズ除去を行った。その後の候補点抽出では、数ピクセル単位で領域のブロック化処理を行った後、ラベリングによって候補点の矩形情報を得た。ここで、目の形状と大きく異なるラベルは除外し、残ったラベルのみを尤度推定対象とした。

5. 尤度推定

ラベル単体での尤度推定として輝度成分、色成分、ラベルの形状情報などを要素として用いた。輝度成分では、主に画面の縦横方向のヒストグラムからの判定を行った。また色成分の推定では、修正 HSV 表色系を利用し、肌色部分内にラベルが存在しているか確認した。この処理は、輝度情報で除外しきれなかった色成分を持つラベルの尤度を下げる効果がある。

次に閾値以上の尤度を保持しているラベルに対し、複数ラベル単位で位置情報を比較し、候補領域の絞り込みを行った。この処理により、両目単位で認識不能なラベルや、顔範囲から極端に離れているラベルは候補から除外することができる。残った候補領域の情報や数フレーム前の結果との照合を行うことで、最終的な尤度を決定した。

本年度の研究では、マルチメディア情報通信技術を用いた知能発達障害児の自動検出を目的に「顔部位の自動抽出と精度向上」について中

心に研究を進めた。とくに動き回る小児を対象とすることから、多視点画像を用いた性能向上について検討し、手動検出と同程度の性能を確保できるか確認した。

[今後の研究の方向、課題]

実用化に際して課題となりうる問題点について以下に列挙し、それぞれに考えられる対処方法をあげる。

1. 顔部位の自動抽出と精度向上

現在、実験ではクロマキー用のブルーシートを背景に撮影を行い、理想的な条件下での画像入力処理を行っているが、実用化に際しては様々な背景画像が考えられる。対処として既存研究の知識ベースの顔領域抽出手法を適用し、自動化を目指したい。

2. 顔（表情）認識の自動化

現在、事前に登録した顔画像をもとに、例えば母親の顔（表情）を合成したり、表情の認識を行っているが、実用化に際しては様々な顔について自動化処理を実現しなければならない。当面は最初に真顔を入力して処理に用いるが、何れは適当な手法を適用することで処理時間の短縮を実現したい。

3. 軽度脳障害の早期発見

現在、脳障害が確認された小児に協力を頂き、評価結果について検討しているが、本来の研究の目的は既存手法で確認される以前に、できるだけ早期に軽度の脳障害の段階で検出することを目指すものである。この点については現段階で適切な対処手法は考えついていないが、研究を通して何らかの対処手法を見いだしていきたい。

本年度の研究では、マルチメディア情報通信技術を用いた知能発達障害児の自動検出を目的に「顔部位の自動抽出と精度向上」とくに動き

回る小児を対象とすることから、多視点画像を用いた性能向上について検討した。

今後は多視点画像に対しての前処理や尤度推定を活用することで、さらなる性能向上を図りたい。また、軽度脳障害の早期発見についても検討していきたい。

[成果の発表、論文等]

- 1) 杉浦彰彦, 上田正子: 顔画像の合成による相貌失認の程度評価, 電子情報通信学会論文誌第 J 80-A 巻, 第 1 号, pp. 294-297 (1997)
- 2) 鎌田光宣, 杉浦彰彦: 合成回転軸におけるメンタルローテーション関数変化, 映像情報メディア学会誌, 第 53 巻, 第 9 号, pp. 1325-1327 (1999)
- 3) 杉浦彰彦, 米村恵一, 原島博: A Classification of Cerebral Disease by using Face Image Synthesis, IEICE Transaction on Fundamentals, 第 E 83-A 巻, 第 9 号, pp. 1853-1859 (2000)
- 4) 杉浦彰彦, 米村恵一: Assessment of Drinking Condition as Preliminary Stage for Rank Evaluation of Cerebral Disease, IEICE Transaction on Fundamentals, 第 E 86-A 巻, 第 11 号, pp. 2860-2867 (2003)
- 5) 倉持敦, 米村恵一, 杉浦彰彦: 視覚特性を考慮した周波数帯域の補正表示方式, 電気学会論文誌, 第 124-C 巻, 第 2 号, pp. 467-472 (2004)
- 6) 杉浦彰彦: リニブラキラナ, Mentally Retarded Children Detection at an Early Ages using Sociality Reaction Test, IEEJ Transaction on EIS, 第 124-C 巻, 第 7 号, pp. 1428-1436 (2004)
- 7) リニブラキラナ, 川又崇, 杉浦彰彦, 顔表情認知を用いたうつ状態の自己簡易診断検査, 映像情報メディア学会誌, 第 58 巻, 第 11 号, pp. 1649-1655 (2004)
- 8) 鬼丸真一, 米村恵一, 杉浦彰彦: 視線走査統制による表情認知時間の計測と表情認知モデルの検討, 電子情報通信学会論文誌, J 88-A 巻, 第 4 号, pp. 308-311 (2006)
- 9) 杉浦彰彦, リニブラキラナ, 米村恵一: Automation Analysis System of Child's Development Test and Multi Viewpoints Input Method, IEEJ Transaction on EIS, 第 126-C 巻, 第 4 号, pp. 424-434 (2006)
- 10) 高巢聡, 杉浦彰彦, 米村恵一: 表情変化に着目した依存症診断支援システムの提案, 日本顔学会誌, Vol. 6, No. 1, pp. 53-60 (2006)

[図表、写真の掲載]



レスキュー支援のための移動ロボットシステムに関する研究

Research on Mobile Robot System for Rescue Support

1061010

研究代表者 香川大学工学部知能機械システム工学科 准教授 高 橋 悟

[研究の目的]

未知の環境下において行動する移動ロボットのレスキュー支援を目指し、障害物との衝突を回避しながら自律的に行動する手法を確立することを目的とする。

本研究では、カメラとソナーセンサを持つ移動ロボットが障害物との衝突なく目的地へと到達するための手法を新たに提案する。このとき、カメラとソナーセンサの情報を協調し、障害物の三次元位置を検出する。さらに、得られた情報に基づき自律的に障害物を回避しながら目的地に到達するための移動ロボットの軌道生成を実施する。

[研究の内容、成果]

本研究では、図1 (a) に示す Active Media Robotics 社製の移動ロボット Amigobot を用いる。本移動ロボットは1台のカメラ、8つのソナー、2つのエンコーダ付独立駆動輪を持つ。カメラは光軸が移動ロボットの前進方向と平行

に設置し、移動ロボットの位置 $(x_R(k), y_R(k))$ と姿勢 $\phi_R(k)$ をエンコーダ情報に基づき算出する。また、図1 (b) に示すように移動ロボットを基準としたロボット座標系 Σ_R とワールド座標系 Σ_W を定める。

1. 障害物の検出手法

カメラとソナーに基づく障害物の位置検出手法を本章では述べる。このとき、カメラ画角内の情報を取得可能な前方二つのソナーを用いる。ここで、画像情報に基づく画像上での障害物検出法、障害物を示すソナーの計測点位置の算出法、さらに各情報を統合して得られる障害物の位置決定手法について記す。

1.1 画像処理による障害物領域の検出

まず、障害物は移動体ではないと仮定する。ここで、移動ロボットが行動することにより生じる画像変化、すなわちオプティカルフローに着目する。オプティカルフローは連続して撮影された画像間に生じる速度ベクトルである。算出手法として、本研究ではブロックマッチング法を適用する。これはテンプレートマッチングを活用し、画像中の小領域の移動量を求めることで得ることができるが、計算時間が長くなる問題があり、ここではテンプレートマッチング時の画像情報を間引く等の工夫を施し対応する。テンプレートマッチングに正規化相関を適用し、二枚の入力画像を $f_{k-1}(i, j)$, $f_k(i, j)$ とおくとその相関値 $C(u, v)$ を次式により算出する。

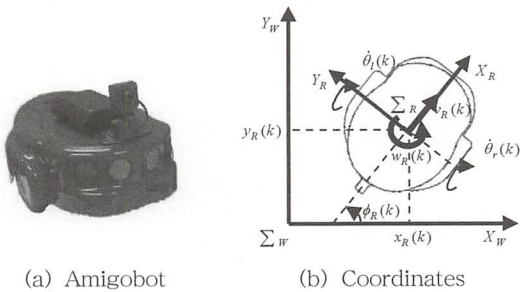


図1 移動ロボットと座標系

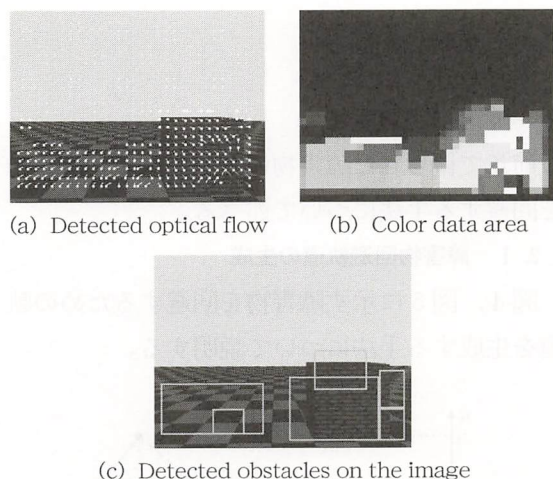


図2 画像処理による障害物領域の検出

$$C(u, v) = \frac{\iint_s (f_{k-1}(i, j) - \bar{f}_{k-1})(f_k(i+u, j+v) - \bar{f}_k) didj}{\sqrt{\iint_s (f_{k-1}(i, j) - \bar{f}_{k-1})^2 dx dy} \sqrt{\iint_s (f_k(i+u, j+v) - \bar{f}_k)^2 didj}}$$

ここで、最も相関値が大きい (u, v) をオプティカルフローベクトル (OFV) (u_{ij}, v_{ij}) と定める。取得したオプティカルフローの算出結果は図2 (a) に示す。さらに、OFV を用いて画像上の障害物領域の検出を行う。各画素における OFV の大きさ r_{ij} と方向角度 ϕ_{ij} ($0 \leq \phi_{ij} < 360$) を次式より導く。

$$r_{ij} = \sqrt{u_{ij}^2 + v_{ij}^2}$$

$$\phi_{ij} = a \tan 2(v_{ij}, u_{ij})$$

さらに、方向角を 30 度刻みに 0 から 11 の数字に量子化し、ラベリング処理を施すことで、同じ方向成分の領域分割を行う (図2 (b) 参照)。一般のラベリング処理では同じ色の画素をひとまとまりの領域とするが、ここでは近傍画素の色情報が隣り合うものであれば、それらの画素はひとまとまりの領域とみなす。本研究では、領域を分割した際に、その領域を構成する画素の数が 100 画素以上であればその領域を障害物候補領域として検出する (図2 (c) 参照)。

1.2 ソナー計測点の算出

ソナーが示す計測点の位置計算法を述べる。障害物検出で用いるソナーは移動ロボットの前方

方二つであり、1 m 以内の情報を示す情報のみを扱う。

このとき、ロボット座標系 Σ_R での計測点位置 $({}^R x_n^p(k), {}^R y_n^p(k))$ は次式で得られる。

$$\begin{bmatrix} {}^R x_n^p(k) \\ {}^R y_n^p(k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_n^s \\ y_n^s \end{bmatrix} + l_n(k) \begin{bmatrix} \cos \phi_n^s \\ \sin \phi_n^s \end{bmatrix} \quad (1)$$

ここで、 (x_n^s, y_n^s) , ϕ_n^s はロボット座標系 Σ_R におけるソナーの位置、姿勢角を表す。また、添え字 n はソナーの番号を表し、ここでは $n=1, 2$ である。さらに、ワールド座標系 Σ_W でのソナー計測点は次式で与えられる。

$$\begin{bmatrix} {}^W x_n^p(k) \\ {}^W y_n^p(k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_R(k) \\ y_R(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos \phi_R(k) & -\sin \phi_R(k) \\ \sin \phi_R(k) & \cos \phi_R(k) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} {}^R x_n^p(k) \\ {}^R y_n^p(k) \end{bmatrix}$$

1.3 センサ情報の統合による障害物位置検出

前節まで、画像上に障害物候補領域とソナー計測点位置情報が導出しているが、これら二つの情報のみでは障害物情報として不十分である。画像情報については、得られた領域情報が本当に障害物であるのか、またその障害物の三次元位置情報は未知である。一方、ソナーより得られる情報ではその障害物の大きさを知ることは困難である。従って、これらの情報を統合し、三次元位置、大きさ情報を持った障害物の検出手法を次のように導く。二つの情報を画像上で対応させるため、ソナー計測位置を画像上に表示する。このとき、カメラから見たソナー計測点位置、すなわち式 (1) で得られた値を次式に代入し、次の値を算出する。

$$\begin{bmatrix} {}^C x_n^p(k) \\ {}^C y_n^p(k) \\ {}^C z_n^p(k) \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & c_x \\ -1 & 0 & 0 & c_y \\ 0 & -1 & 0 & c_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} {}^R x_n^p(k) \\ {}^R y_n^p(k) \\ {}^R z_n^p(k) \\ 1 \end{bmatrix}$$

ここで、 (c_x, c_y, c_z) はロボット座標系 Σ_R におけるカメラの位置を示す。次に、ソナー計測点上の画像撮影範囲を算出する。画像撮影幅 $x_n^c(k)$ と撮影高さ $y_n^c(k)$ は次式で表される。

$$x_n^c(k) = z_n^p(k) \cdot \frac{x_{CAM}}{f}$$

$$y_n^c(k) = z_n^p(k) \cdot \frac{y_{CAM}}{f}$$

ここで、 x_{CAM} , y_{CAM} はカメラの撮像素子サイズ、 f は焦点距離である。これらを用いて、画像上のソナー計測点位置 $u_n^p(k)$, $v_n^p(k)$ は次のように計算される。

$$u_n^p(k) = X_{SIZE} \cdot \left(\frac{x_n^p(k)}{x_n^c(k)} + \frac{1}{2} \right)$$

$$v_n^p(k) = Y_{SIZE} \cdot \left(\frac{y_n^p(k)}{y_n^c(k)} + \frac{1}{2} \right)$$

ここで、 X_{SIZE} , Y_{SIZE} は画像サイズを表し、本研究では $X_{SIZE} = 320$, $Y_{SIZE} = 240$ とする。さらに、ソナーは指向角 θ_{sd} を持ち、本研究では指向角を考慮したソナー計測範囲を画像に対応させる。ソナー計測点位置での指向角による広がり $W_n^p(k)$ は次式で算出する。

$$W_n^p(k) = \frac{X_{SIZE}}{x_n^c(k)} \cdot l_n(k) \cdot \tan \theta_{sd}$$

得られた情報を基に画像上のソナー計測範囲を図3 (a) のように表示し、1.1節で得られた障害物候補領域画像(図2 (c) 参照)と重ね、候補領域とソナー計測範囲が一部分だけでも重なっていればその領域を障害物とみなし、候補領域に距離情報を与える。このとき、障害物検出画像を図3 (b) に示す。さらに、得られた障害物の上下左右端を囲み、その中心座標 (u_{ob}, v_{ob}) 、幅 im_{ob} 情報を用いてワールド座標系 Σ_W での障害物位置 (x_{ob}, y_{ob}) と大きさ d_{ob} を次のように求める。

$$x_{ob} = \left(u_{ob} - \frac{X_{SIZE}}{2} \right) \cdot \frac{x_n^c(k)}{X_{SIZE}}$$

$$y_{ob} = W y_n^p(k)$$

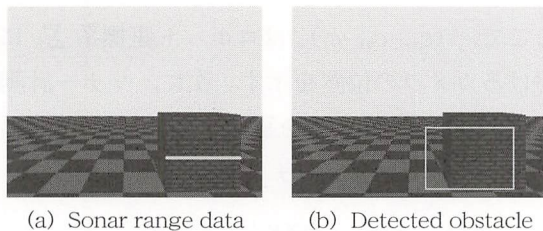


図3 情報統合による障害物の検出

$$d_{ob} = im_{ob} \cdot \frac{x_n^c(k)}{X_{SIZE}}$$

2. 障害物回避手法

前章で得られた障害物の情報に基づき障害物を回避する手法について述べる。

2.1 障害物回避軌道の生成

図4, 図5 に示す障害物を回避するための軌道を生成する手法について説明する。

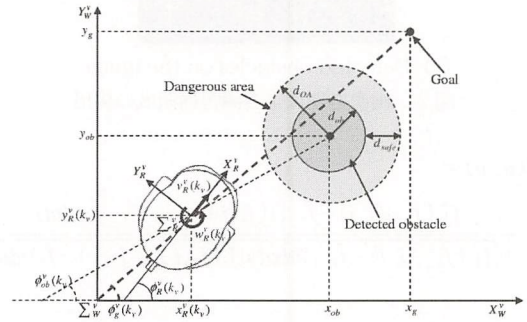


図4 障害物回避軌道の生成

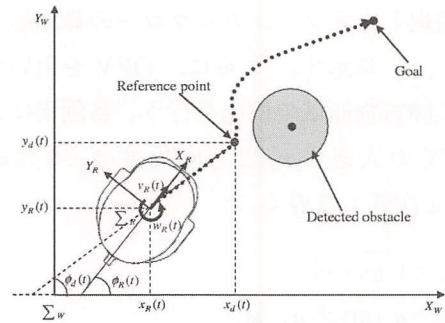


図5 生成軌道への追従

本研究では、仮想空間を定義し、その中で仮想移動ロボットが障害物を回避する軌道を作成する。すなわち、地障害物が検出された瞬間の移動ロボット、障害物、目的地の位置を仮想空間に配置し、さらに障害物の大きさを考慮した衝突危険領域 $d_{OA} (= d_{safe} + d_{ob})$ を設ける(図4 参照)。この仮想空間上で仮想ロボットに並進速度 $v_v(k_v)$ 、回転速度 $w_v(k_v)$ を与え、目的地に到達させる。ここで、並進速度 $v_v(k_v)$ は一定とし、回転速度 $w_v(k_v)$ を次式で与える。

$$w_v(k_v) = \begin{cases} A(d)(\phi_{ob} - \phi_R(k_v) \pm \frac{\pi}{2}) & \text{if } d \leq d_{OA} \\ \phi_g(k_v) - \phi_R(k_v) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

$$A(d) = \frac{1}{\exp(d^2/\sigma^2)}$$

$$\sigma = d_{OA}/2$$

$$d = \sqrt{(x_R(k_v) - x_{ob})^2 + (y_R(k_v) - y_{ob})^2}$$

$$\phi_{ob}(k_v) = \text{atan} 2(y_{ob} - y_R(k_v), x_{ob} - x_R(k_v))$$

$$\phi_g(k_v) = \text{atan} 2(y_g - y_R(k_v), x_g - x_R(k_v))$$

このように設定した仮想移動ロボットが逐次通過する点を移動ロボットの軌道と定める。本研究における軌道情報はこの点情報の集合として次のように $((x_R^v(0), y_R^v(0), (x_R^v(1), y_R^v(1) \dots (x_R^v(k_v), y_R^v(k_v)) \dots (x_R^v(k_{end}), y_R^v(k_{end})))$ と表す。また、式(2)中の符号±の選択により、障害物の左側、または右側を通る場合の二種類の軌道が得られる。ただし、どちらの軌道が移動ロボットに対して付加が少ないかが軌道選択の判断基準とする。本研究では次式を最小にする軌道を常に選択する。

$$J_n = \sum_{k_v=0}^{k_{end}} \text{atan} 2(\Delta y_R^v(k_v), \Delta x_R^v(k_v))$$

例えば、図5においては障害物の左側を通過する軌道が選択されている。

2.2 生成軌道への追従制御

前節で導出した障害物回避軌道に移動ロボットを追従させる。まず、移動ロボットの座標 $(x_R(k), y_R(k))$ と最も近くに位置する生成軌道の座標点 $(x_R^v(k_v), y_R^v(k_v))$ を探索する。探索された軌道上の座標点から $step$ 個先の軌道上の座標点 $(x_R^v(k_v + step), y_R^v(k_v + step))$ を移動ロボットが目指すべき点、すなわち参照点 $(x_d(k), y_d(k))$ として定義する。ここで、 $step$ は実験的に適用に定め、値が小さいほど軌道に正確に追従するが、移動ロボットの動作が滑らかでない。また、 $step$ 値が大きいほど移動ロボットの動きは滑らかになるが軌道上を正確に走行することはできない。実験的に $step = 10$ とする。

次に、設定された参照点 $(x_d(k), y_d(k))$ に

向うための移動ロボットの並進速度 $v_R^{cmd}(k)$ と旋回速度 $w_R^{cmd}(k)$ を次式に従い算出する。

$$v_R^{cmd}(k) = \alpha \cdot \sqrt{(x_R(k) - x_d(k))^2 + (y_R(k) - y_d(k))^2}$$

$$w_R^{cmd}(k) = \beta \cdot (\phi_d(k) - \phi_R(k)) + \dot{\phi}_d(k)$$

$$\phi_d(k) = a \tan 2(y_R(k) - y_d(k), x_R(k) - x_d(k))$$

$$\dot{\phi}_d(k) = \phi_d(k) - \phi_d(k-1)$$

導出された並進速度 $v_R^{cmd}(k)$ 、旋回速度 $w_R^{cmd}(k)$ の具現化ため、各車輪の回転速度を次のように求める。

$$\dot{\theta}_r^{cmd}(k) = \frac{1}{2a} \cdot (b \cdot w_R^{cmd}(k) + 2 \cdot v_R^{cmd}(k))$$

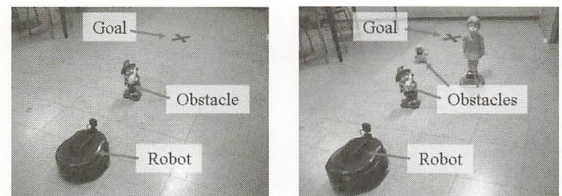
$$\dot{\theta}_l^{cmd}(k) = \frac{1}{2a} \cdot v_R^{cmd}(k) - \dot{\theta}_r^{cmd}(k)$$

ただし、上述した手法にて生成される軌道は障害物の奥行きについて十分な考慮は成されていないため、カメラ視野外、すなわち移動ロボットの側面方向に存在する障害物の回避に困難を生じる場合がある。

3. 実験結果

前章において、提案した各種手法の有効性を実験により検証する。

第一に、図6(a)のように障害物が一つだけ存在する場合における移動ロボットの挙動を確認する。このとき、目的地は移動ロボットの初期位置から前方2mの位置に設定する。実験結果を図7に示す。実験結果より移動ロボットは障害物を回避し、目的地に到達していることがわかる。しかし、移動ロボットが検出した障害物とソナーが計測した障害物の位置誤差が



(a) Experiment 1

(b) Experiment 2

図6 実験構成

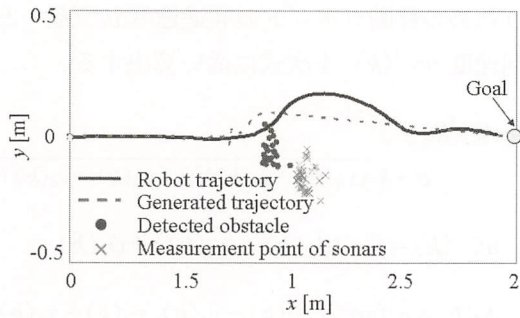


図7 実験結果 1

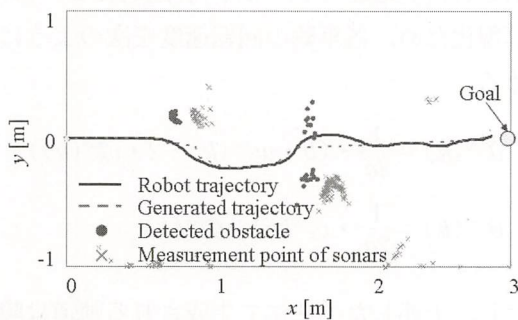


図8 実験結果 2

生じている。また、生成軌道に対して追従遅れやオーバーシュートがあることがわかる。

第二に、図6 (b) に示すように複数の障害物を配置した場合を検討する。目的地位置は移動ロボットの前3 mとする。図8の実験結果より障害物は回避であることが言える。

[今後の研究の方向、課題]

今後、移動ロボットの側面方向の情報を組み込み最適な衝突回避軌道生成を実施する。さらに、リアルタイム性を向上させるために、プログラムの高速化をはかる。現在、屋内実験のみ実施しているため、レスキュー支援実践型を目指し、本手法の本格的な屋外実験を行い、さらなる課題の抽出を行い、手法改善を行う予定である。

[成果の発表、論文等]

- 1) 奈良俊介, 高橋悟, 日高浩一: センサーフュージョンによる移動ロボットのナビゲーション, 第49回自動制御連合講演会論文集, SA-9-3-4, CD-ROM (2006)
- 2) 奈良俊介, 高橋悟: 視覚センサとソナーセンサを適用した移動ロボットのハイブリッド制御, 第7回計測自動制御学会 SI 部門講演会論文集, pp. 918-919 (2006)
- 3) 奈良俊介, 長原大輔, 高橋悟: 移動ロボットナビゲーションに基づく障害物回避制御, 電気学会産業計測制御研究会資料, pp. 13-16 (2007)

電界共役流体（ECF）を利用したマイクロ人工筋セルの開発とその集積化

Integration of Micro Artificial Muscle Cells using Electro-conjugate Fluid

1061011

研究代表者 東京工業大学精密工学研究所 助手 竹 村 研治郎

〔研究の目的〕

ロボットの利用範囲が急速に拡大するにつれて、ヒトと機械システムのインタラクションの機会が増えている。これにともない、生物の柔軟性にヒントを得た「ソフトメカニクス」がロボティクス分野において注目されている。たとえば、柔軟性を実現する機能要素として、生物の筋肉を人工的に再現した人工筋アクチュエータの開発が進められている。これまでに、空気圧によりゴムチューブを伸縮させるもの、特殊な高分子材料を電氣的エネルギーで収縮させるものなどが実現されてきた。

本研究は筋肉の潜在的な柔軟性を実現する新たなアクチュエータとして、直流高電圧の印加によって活発な流動（ECF ジェット）を発生する電界共役流体（ECF）を利用して繊維強化チューブを駆動するマイクロ人工筋セルの開発を目的とする。本アクチュエータは液圧駆動であるにもかかわらずパワー源、タンク、駆動部を一体としたセル構造を有するため、筋肉のように微小アクチュエータの集合体として所望の出力を有する人工筋を実現することができ、ロボティクス分野に機能要素からのブレークスルーをもたらすと思われる。

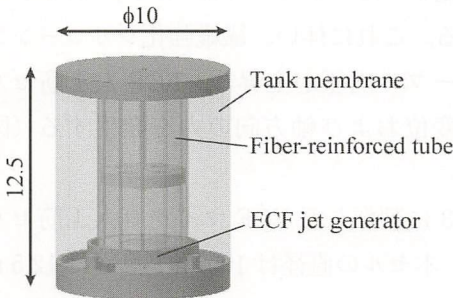
〔研究の内容、成果〕

電界共役流体（Electro-conjugate Fluid, ECF）は、直流高電圧の印加によって活発な

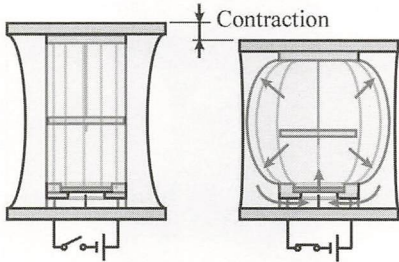
ジェット流を発生する機能性流体である。本研究では、このジェット流によって収縮変位を得る ECF マイクロ人工筋セルを開発し、集積化による高出力化について検討した。

1. 構造および駆動原理

ECF マイクロ人工筋セルの構造を図1（a）に示す。本セルは外側からポリエチレン製のタンク膜、繊維強化シリコンゴムチューブ、ECF ジェット発生部を有し、内部は電界共役流体（FF-1_{EHA2}，新技術マネイジメント社製）で満たされている。二重円筒構造を成すタンク膜と繊維強化シリコンゴムチューブの間



(a) Schematic view



(b) Driving principle

図1 ECF micro artificial muscle cell

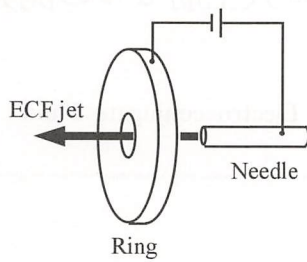


図2 Ring-needle electrode pair

の空間がタンクであり、ECF ジェット発生部を介して繊維強化シリコンゴムチューブ内部と通じている。また、軸方向に繊維強化されたシリコンゴムチューブは内圧の変化に伴い軸方向に収縮し、径方向には膨張するアクチュエータ部である。ECF ジェット発生部は内部に図2に示すような針状ーリング状電極対を有し、ポンプとして作用する。なお、繊維強化シリコンゴムチューブ内部に配置されている円板は、ECF を充填した際に表面張力によって生じるチューブの変形（中心部が細くなる変形）を軽減するためのものである。

ECF ジェット発生部に電圧を印加すると針状電極先端からリング状電極を貫くように ECF ジェットが発生し、液体をタンクから繊維強化シリコンゴムチューブ内へとポンピングする。これに伴い、繊維強化シリコンゴムチューブの内圧が上昇し、ECF 人工筋セルは収縮変位および軸方向の力を発生する（図1(b)）。

図3に製作した ECF マイクロ人工筋セルを示す。本セルの直径は 10 mm、高さは 12.5 mm



図3 Fabricated ECF micro artificial muscle cell

である。ただし、アクチュエータ部となる繊維強化シリコンゴムチューブの直径は 5 mm、長さは 10 mm、膜厚は約 45 μm であり、表面に 12 本のアラミド繊維が等間隔で接着されている。

2. 駆動特性

2.1 ECF マイクロ人工筋セルの駆動特性

集積化のために前述の ECF マイクロ人工筋セルを 6 つ製作し、駆動特性を測定した。

はじめに、各セルの無負荷収縮特性をレーザ変位計により計測した。実験結果を図4に示す。図からわかるように、各セルには個体差があり、印加電圧 4.5 kV 時の最大変位はセル D において 0.63 mm であった。

つぎに、各セルの発生力をロードセルを用いて測定した結果を図5に示す。ただし、セルは端部中心付近に取り付けられた糸によりロード

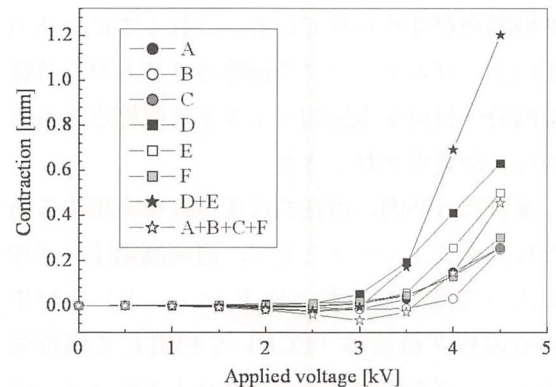


図4 Contracting characteristics

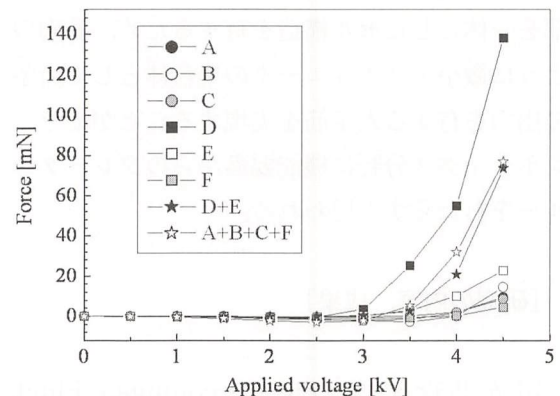


図5 Force characteristics

セルと接続されている。収縮特性同様、セルごとに個体差がある。セル単体での最大発生力はセル D において 4.5 kV 印加時に 138 mN であった。

2.2 集積化 ECF 人工筋の駆動特性

前節の結果から、収縮変位においてなるべく個体差の少ない組み合わせとしてセル D と E を直列化し、図 6 (a) に示す直列化マイクロ人工筋を構成した。直列化により収縮変位は各セルの総和となり発生力は平均化されると予測される。無負荷収縮特性を計測したところ最大収縮変位は 4.5 kV 印加時に 1.20 mm であった (図 4)。セル D および E の 4.5 kV 印加時の収縮変位は 0.63 mm および 0.50 mm であり、直列化により収縮変位はおおむね 2 つのセルの和になることが確認された。また、発生力を計測したところ、最大発生力は 4.5 kV 印加時に 73.7 mN であった (図 5)。セル D および E の 4.5 kV 印加時の発生力は 138.3 mN および 22.8 mN であるので発生力は平均化されることが確認された。

つぎに、セル A, B, C および F を直並列化し、図 6 (b) に示す直並列化マイクロ人工筋を製作した。直並列化により、単体のセルに比

べ収縮変位の増加および発生力の増大が予測される。無負荷収縮特性を計測したところ最大収縮変位は 4.5 kV 印加時に 0.46 mm であった (図 4)。セル A, B, C および F の 4.5 kV 印加時の収縮変位はそれぞれ 0.26 mm, 0.25 mm, 0.26 mm, および 0.30 mm であるので収縮変位が増加することが確認された。また、発生力を計測したところ、最大発生力は 4.5 kV 印加時に 76.9 mN であった (図 5)。セル A, B, C および F の 4.5 kV 印加時の発生力はそれぞれ 9.6 mN, 14.5 mN, 8.6 mN, および 4.5 mN であるので発生力が増大したことがわかる。

前述のように、ECF 人工筋セルを直列化すると発生力は平均化される。このことを考慮すると直並列化した際の発生力は予想よりも大幅に向上した。これは、図 6 に示したように、ECF 人工筋セルを直並列化した際の両端をエンジニアリングプラスチックの板により連結したため、各セルの収縮方向が強制的に軸方向に統一され、発生力が大きく向上したものと考えられる。

【今後の研究の方向、課題】

本研究では、集積化に適した構造を有する電界共役流体を応用したマイクロ人工筋セルを提案し、実験によりセル単体および直並列に集積化した際の駆動特性を明らかにした。この結果、セルの直列化により収縮変位はセル単体の場合の和となり、発生力は平均化されることが明らかとなった。また、セルを直並列に集積化した場合、収縮変位、発生力ともに向上することがわかった。

今後は、セル単体の性能向上を目指して

- 電極形状の最適化 (高出力化, 低電圧化)
- 強化繊維配置の最適化 (収縮特性改善)
- 小形, 高集積化

について検討し、マイクロロボットアーム / ハンドなどの具体的応用例への適用を目指す。



(a) Cells in series



(b) Cells in series-parallel

図 6 Integrated ECF micro artificial muscle

[成果の発表, 論文等]

学術論文

- 1) Kenjiro Takemura, Shinichi Yokota, Kazuya Edamura: Development and Control of a Micro Artificial Muscle Cell using Electro-conjugate Fluid, Sensors & Actuators A, No.133, Issue 2, pp.493-499 (2007)

国際会議

- 1) Kenjiro Takemura, Shinichi Yokota, and Kazuya Edamura: Driving Performance and Control of a Micro Artificial Muscle Cell using Electro-conjugate Fluid, Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.1018-1023 (2006)
- 2) Kenjiro Takemura, Shinichi Yokota and Kazuya Edamura: ECF Micro Artificial Muscle Actuator and its Application to Micro Robot Arm, Proceedings of the 6th International Symposium on Linear Drives for Industry Applications (2007) [in press]

国内会議

- 1) 竹村研治郎, 横田眞一, 枝村一弥: ECF マイクロ人工筋アクチュエータの駆動特性, 平成18年度春季フルードパワーシステム講演会講演論文集, pp.28-30 (2006)
- 2) 竹村研治郎, 小泉和弘, 横田眞一, 枝村一弥: ECF マイクロ人工筋セルの集積化, 日本機械学会年次大会講演論文集, Vol. 4, pp.121-122 (2006)
- 3) 竹村研治郎, 矢島史也, 小泉和弘, 横田眞一, 枝村一弥: セルの集積化による ECF マイクロ人工筋, 日本機械学会関東支部山梨講演会講演論文集, pp.203-204 (2006)
- 4) 小泉和弘, 矢島史也, 竹村研治郎, 横田眞一, 枝村一弥, 電界共役流体を応用したマイクロ人工筋セル, 第19回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム講演論文集, pp.109-110 (2007)
- 5) 竹村研治郎, 横田眞一, 小泉和弘, 矢島史也, 枝村一弥: 電界共役流体を応用したマイクロ人工筋セル, 平成19年度春季フルードパワーシステム講演会講演論文集, pp.13-15 (2007)
- 6) 竹村研治郎, 横田眞一, 枝村一弥: スリーブ形 ECF マイクロ人工筋の研究, 日本機械学会年次大会講演論文集 (2007) [発表準備中]

長距離および短距離力制御を用いたマイクロシステム用 ナノアセンブル技術の開発

Nano-scale Assembly for Microsystem using Long and Short Distance Force Control

1061012

研究代表者

京都大学工学研究科 教授

田 畑 修

[研究の目的]

1. はじめに

微小電気機械システム(MEMS: Micro Electro Mechanical Systems)・マイクロシステム(MS: Micro System)は高齢化, 低環境負荷, 高度情報化などをキーワードとする人間と機械の調和を目指す21世紀の社会基盤を構築するキーテクノロジーである。一方, ナノテクノロジーへの集中的な研究開発努力は着実に成果を挙げ, ナノスケールの機能部品とMEMS・MSの融合により医薬分野, 環境など多くの分野で生活を質的に変えうる成果が生まれると期待されている。しかし微細加工技術を駆使してシステムのスケールダウンを目指すトップダウンアプローチでは, MEMS・MSへのナノ機能部品のアセンブルはまだ実現できていない。一方, 分子・原子のセルフアセンブリを用いるボトムアップアプローチでは, ナノ材料創生などではシンプルな微細構造をエレガントに実現できるが, 複雑なMEMS・MSの製造に適用できる見通しは立っていない。そこでトップダウンとボトムアップのそれぞれのアプローチの特長を併せ持ち, ナノ機能を有する次世代のMEMS・MSの基盤製造技術となる新規なコンセプトのナノアセンブル技術の開発が期待されている。

本研究の最終目標は, 微細加工技術でシリコン基板(ターゲット基板)上に製作されたMEMSに, 個別に作製された数ミクロンから

サブミクロンの微小機能要素(以下, コンポーネント)をアセンブルして集積化を達成する技術の確立である。本稿では, 前述の目標を達成するために必要な2つの技術課題, (1) コンポーネントをアセンブル領域に誘導するために, 溶液中のコンポーネントを長距離(数cmオーダー)搬送する技術, (2) コンポーネントのシーケンシャルセルフアセンブリ(組付け順序を制御したアセンブリ)を行なうためにコンポーネント相互の結合力(短距離力, 数nmオーダー)を組付け順序に従って外部から制御する技術, を解決する手段を提案し, その実現可能性を確認した結果を報告する。

[研究の内容, 成果]

1. 光誘起誘電泳動を用いた長距離力制御

1.1 コンセプト

これまでに疎水間力[1], 界面張力[2]などさまざまな相互作用力を用いたセルフアセンブル技術が実現されている。セルフアセンブルは基板上のサイトから相互作用力が働く距離にコンポーネントを近接させることが必要である。コンポーネント数を増やすことで, サイト近傍でのコンポーネントの存在確率を増やすことができるが, 存在確率を増加させるにつれてコンポーネント作製コストが増加する。そこでコンポーネントを操作し, サイト近傍に集めることでサイト近傍コンポーネントの存在確率を増大させ, 高い効率でセルフアセンブルによる

集積化を実現する手法を提案する。この手法では、コンポーネントのアライメントはセルフアセンブルにより達成されるため、アセンブル操作に高い位置精度を必要とせず、ナノスケールコンポーネントへの応用に適している点も特徴である。

1. 2 光誘起誘電泳動

光照射を用いてコンポーネントを非接触で基板上的の任意箇所にマニピュレーションできる光誘起誘電泳動を用いる。誘電泳動はコンポーネント周辺の電場強度の非対称性によりコンポーネントに作用する誘電泳動力を用いてコンポーネントをマニピュレーションする技術である。誘電泳動力の方向はコンポーネントと溶媒の誘電特性によって決まる。電場強度が大きい方へ動く場合を正の誘電泳動、逆を負の誘電泳動と呼ぶ。例えば、図1 (a) のように平行電極間に電場を加えると、正の誘電泳動の場合、電極の端部にコンポーネントが集まる。光誘起誘電泳動では、基板上に形成した光導電性膜に光を照射することによって導電性の高い領域、すなわち電極領域を生成してコンポーネントを集め、その後光照射領域を移動させることでコンポーネントをマニピュレートする (図1 (b))。

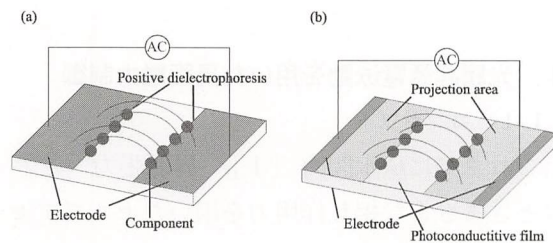


図1 (a) 正の誘電泳動力, (b) 光による電場制御を用いたマニピュレーション

1. 3 光誘起誘電泳動装置

構築した光誘起誘電泳動装置を図2に示す。クセノンショートアークランプより生成された光をDMD (Digital Mirror Device) に照射し、DMD上に形成した像をレンズにより光導電性膜上に結像させる。光学系の倍率によりDMD素子の1画素が基板上に形成する最小スポット

サイズは可変であり、現在の構成における最小サイズは $6\mu\text{m}$ である。使用した光導電性膜は $25.1\text{ mW}/\text{cm}^2$ の光で約1000倍の導電率変化を示す。

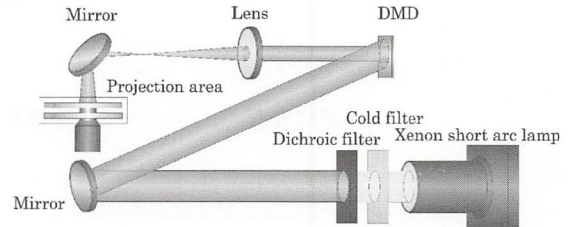


図2 構築した光誘起誘電泳動装置

1. 4 数値解析による検証

光誘起誘電泳動力を理論から予測した。誘電泳動力はコンポーネントを粒子と仮定した場合、

$$F = 2\pi r^3 \epsilon_m \text{Re}[K(\omega)] \nabla E^2 \quad (1)$$

と表せる。ここで、 r は粒子半径、 ϵ_m は溶媒の誘電率、 $K(\omega)$ はクラジウスモソッティ因子、 E は電場である。ここで、図1 (b)を二次元化したモデルを用いて電場強度の2乗、および誘電泳動力を計算した結果を図3に示す。等高線図は電場強度の2乗、矢印はコンポーネントを $10\mu\text{m}$ のPMMA粒子、溶媒を水と仮定した場合の誘電泳動力のベクトル線図を表している。この条件では正の誘電泳動が起り、電場強度の大きい白い部分、つまり光の端部にコンポーネントが集まることがわかる。最も強いところで nN オーダーの誘電泳動力が作用し、重力 (pN オーダー) より大きく、コンポーネントを動かすのに十分な値であることが確認できた。

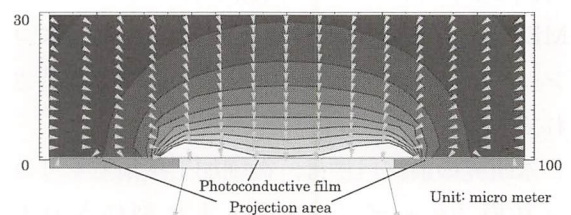


図3 光誘起誘電泳動力の解析結果 (図1 (b) の場合)

1.5 実験による検証

光誘起誘電泳動実験は正の誘電泳動を示す $10\mu\text{m}$ の PMMA 粒子と水を用いて行った。印加電圧は $10\sim 50\text{ V}$ 、周波数は数十から数万 Hz を用いた。 $10\mu\text{m}$ の PMMA 粒子を用いた実験結果より、光の端部に粒子が集まることが確認できた (図4 (a))。さらに光を動かすことにより粒子がマニピュレートされることが確認できた。負の誘電泳動を示す、 $10\mu\text{m}$ のシリカ粒子及び水を用いて同様の実験を行った結果、光と光の間に粒子が集まり、光を動かすことで粒子をマニピュレートできることが確認できた。

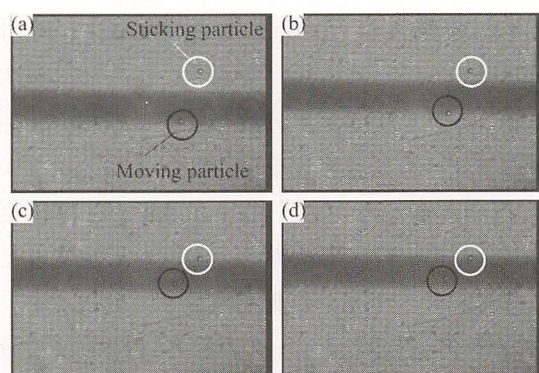


図4 水に分散した $10\mu\text{m}$ の PMMA 粒子の光誘起誘電泳動実験

2. DNA を用いた短距離力制御

2.1 コンセプト

MEMS に「位置」と「順序」を制御してナノ・マイクロオーダーのコンポーネントをセルフアSEMBルすることで、その性能を飛躍的に向上させることができると期待されている。これまで ssDNA (single strand Deoxyribo Nucleic Acid) で表面を修飾した μm 、 nm オー

ダーの微粒子を位置制御してセルフアSEMBルさせた報告例はあるが [3, 4]、セルフアSEMBル順序の制御を実現した例はない。

ssDNA は糖とリン酸からなる一本鎖上にアデニン、チミン、シトシン、グアニンの4種の塩基を配列した構造をしている。ある ssDNA にはそれと相補的な塩基配列を持つ ssDNA が存在し、これらが選択的に結びつくことで dsDNA (double strand DNA) が形成される。これをハイブリダイゼーション (以降ハイブリ) という。これを利用すれば、アSEMBルを行いたいコンポーネントの表面を ssDNA 分子で修飾することにより、ここに相補的な塩基配列を持つ ssDNA で修飾したコンポーネントを選択的に付着させることができる。一方 dsDNA には、雰囲気温度をある特定の温度 (T_m) まで上げることで2本の ssDNA に分離する性質がある。この T_m 以上であれば、ssDNA はハイブリを起こしにくい。 T_m は DNA の塩基配列等によって決定される。以上のような DNA の特性から、基板と微小コンポーネントの表面を様々な種類の ssDNA で修飾することにより、雰囲気温度の制御を用いて、これらのセルフアSEMBルの位置と順序を制御することができると期待される (図5)。

本研究では、最終目標であるナノ・マイクロスケールコンポーネントのセルフアSEMBル実現に向けて、温度を制御した環境における ssDNA で表面修飾した、(1) nm スケールの Au ナノ微粒子の凝集実験反応、(2) nm スケールの Au ナノ粒子の基板への吸着に関する実験、を行った。

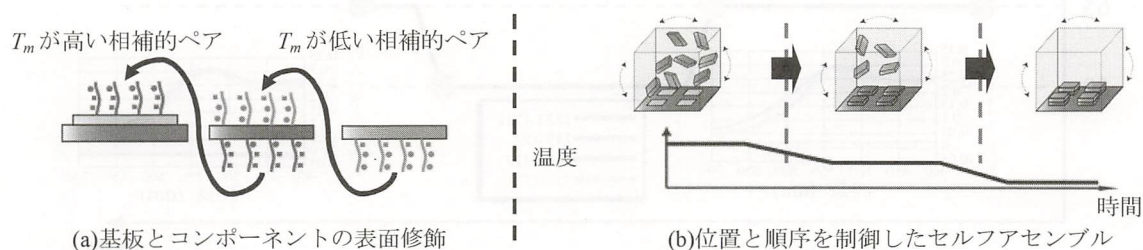


図5 DNA を用いた微小コンポーネントのセルフアSEMBルの概念

2.2 実験方法

アセンブルに用いたのは直径 15 nm の Au ナノ微粒子コロイドと、Au 薄膜を蒸着した Si 基板である。D 21, D 21', D 9, D 9' と名付けた 4 種類の ssDNA を表面修飾に用いた。これらの DNA の末端には Au と共有結合を形成する SH 末端を付加した。D 21 と D 21' は T_m が高い (約 65°C) 相補的ペア, D 9 と D 9' は T_m が低い (約 50°C) 相補的ペアである。

粒子凝集実験では, 上記 4 種類の ssDNA で表面修飾した Au ナノ粒子コロイドを混合して相補的な Au ナノ粒子を含むコロイドを 2 種類 (D 21-D 21', D 9-D 9'), 非相補的な Au ナノ粒子を含むコロイドを 2 種類 (D 21-D 9', D 9-D 21') 作製した。これらコロイドの温度を時間経過と共に段階的に変化させた時の吸収スペクトルを測定した。

Au ナノ粒子の基板吸着実験では, D 21 と D 9 で表面修飾した基板を, それぞれ D 21', D 9' で表面修飾した粒子のコロイドに浸漬し, 温度を時間経過と共に段階的に変化させた。粒子の基板吸着を確認するために, サンプル基板の反射率スペクトルを測定 (平滑な Au 表面の反射率を 100% とする) した。

粒子表面および基板表面の ssDNA 修飾状態が粒子吸着量に与える影響を調べるために, ス

ペクトロメータを用いて粒子表面の修飾状態を評価し, XPS (X-ray Photoelectron Spectroscopy) を用いて基板表面の修飾状態を評価した。

2.3 実験結果

吸収スペクトルの測定結果を図 6 に示す。530 nm 付近のピークは Au ナノ粒子が分散している事を示し, ピークの低下は Au ナノ粒子がハイブリによって凝集し沈殿した事を示す。まず 65°C にて 24 時間保持することで T_m の高い相補的コロイド (D 21-D 21') が, 続いて温度を 50°C に下げてから 24 時間保持することで T_m の低い相補的コロイド (D 9-D 9') にハイブリが観察された。65°C および 85°C で 10 分間加熱することにより, これらハイブリは順次解離し, コロイドが再分散した。この間, 非相補的なコロイドは変化を示さなかった。これより, DNA のハイブリを用いた Au ナノ粒子凝集反応の選択性・順次性・可逆性が確認できた。

反射率スペクトルの測定結果を図 7 に示す。530 nm 付近の減衰ピークの深さは粒子吸着量に対応する。55°C (図中 1 st プロセス) にて T_m の高いサンプル基板で, 続いて 40°C に温度を下げて (図中 2 nd プロセス) から T_m の低いサンプル基板で, 一定量の Au ナノ粒子の吸着が確認された。これより, 基板への粒子吸

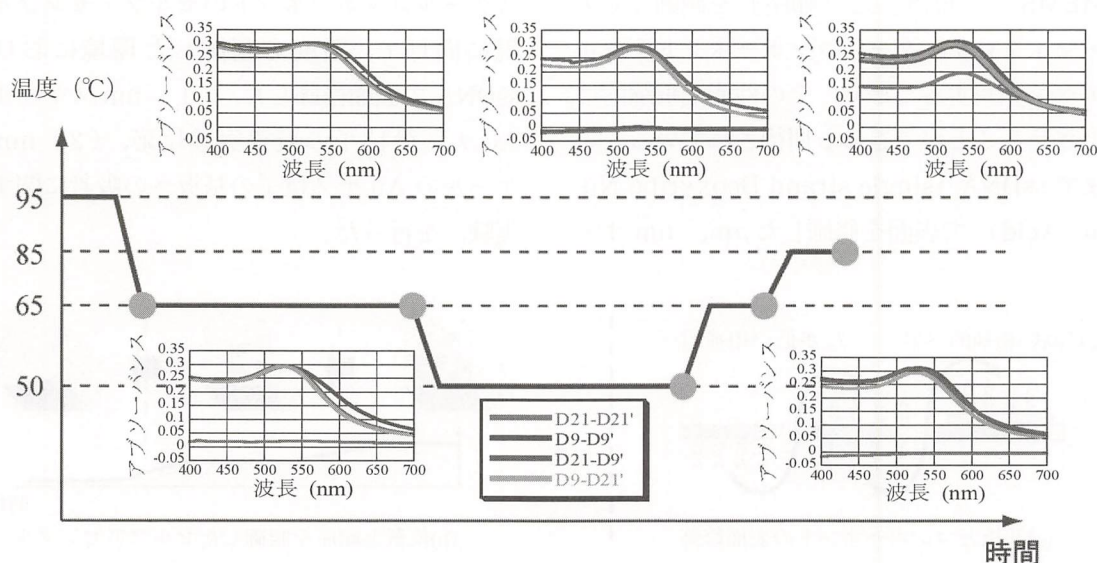
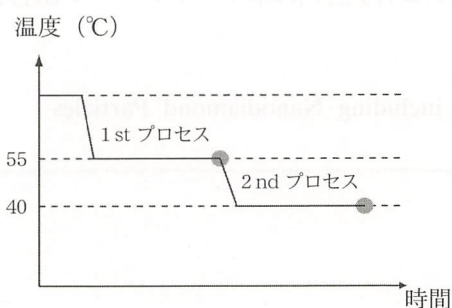
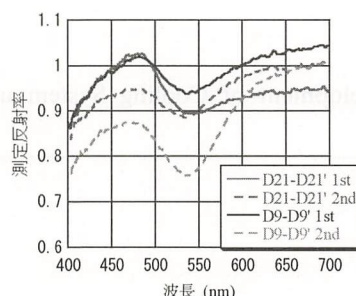


図 6 Au ナノ粒子の順次的凝集反応



(a) 温度の時間変化プロセス



(b) サンプル基板の反射率測定結果(Au 表面基準)

図7 Au ナノ粒子の順次的基板吸着反応

着反応においても順次性が確認された。基板吸着反応に際して様々な温度域での実験を行ったところ、 T_m の高いサンプル基板の粒子吸着量は T_m の低いサンプル基板と比較して少なかった。

修飾状態の測定結果より、表面がより長い ssDNA によってより密に修飾されている場合に、粒子吸着反応量が減衰することが明らかになった。

[今後の研究方向, 課題]

光誘起誘電泳動を用いた長距離力制御では、光による電場制御によって粒子をマニピュレートできることを実証した。今後、構築した光誘起誘電泳動装置を用いて、数十 μm 以下の微小コンポーネントをマニピュレートした後、セルフアセンブルを用いて基板上に集積化する実験を進める。

DNA を用いた短距離力制御では、ナノ粒子凝集系のみならず基板表面への粒子吸着系において、順次的・選択的アセンブルが可能であることを実証した。今後、基板上に固定された ssDNA のハイブリッド挙動解明などの基礎実験を実施し、マイクロチップの位置と基板への組付

け順序を制御したアセンブル技術確立に向けた研究を進める。

[成果の発表, 論文等]

- [1] 日下部達哉, 菅野公二, 土屋智由, 田畑修: DNA 修飾した微小コンポーネントのシーケンシャルセルフアセンブリ, 文部科学省ナノテクノロジー総合支援プロジェクト「分子・物質総合合成・解析支援グループ」成果発表会, pp. 24-25 (2007. 3. 22-23) 岡崎
- [2] 日下部達哉, 種村友貴, 樋口雄一, 菅野公二, 土屋智由, 田畑修: DNA の選択性および温度特性を利用した Au ナノ微粒子のセルフアセンブル, 粉体工学会第 43 回夏期シンポジウム「微粒子集積体の配列構造・自己組織化: ボトムアップテクノロジーとしての可能性を探る」, pp. 19-20 (2007. 8. 6-7) 京都
- [3] 田畑修: 光誘起誘電泳動装置, 特願 2007-162824

[参考文献]

- [1] H. Onoe, K. Matsumoto and I. Shimoyama: *J. Micro. Sys.*, 13, 4, 603 (2004)
- [2] U. Srinivasan, D. Liepmann and R. T. Howe: *J. Micro. Sys.*, 10, 1, 17 (2001)
- [3] Y. Maeda et al.: *App. Phys. Lett.* 79, 1181(2001)
- [4] J.J. Storhoff and C. A. Markin.: *Chem. Rev.* 99 (1849-1999)

ナノダイヤモンドを用いたナノ流体による消音冷却システムの開発

Development of Cooling System using Nanofluid including Nanodiamond Particles

1061013

研究代表者

熊本大学大学院自然科学研究科 教授

鳥 居 修 一

[研究の目的]

従来使用されているマイクロチャネルを用いた発熱体の冷却では、ポンプ駆動を使用して作動媒体を循環させているので、ポンプ駆動音が発生する。そこで本研究では、閉ループマイクロチャネルを製作し、流路の一部を加熱することによって自然対流でチャネル内の作動媒体を流動させながら、作動媒体が循環する事でループ全体から放熱させる冷却方法を検討する。

水、オイル、エチレングリコールなどの作動媒体にナノオーダーの金属・非金属粒子を混合させた新しい種類の流体が開発され、Choi [1] によって「ナノ流体 (nanofluid)」と名付けられた。ナノ流体は長時間安定な状態を保ち、伝熱性能の高い流体である [2]。Lee [3] の研究によると、粒子径 35 nm の Cu 粒子をエチレングリコールに懸濁させたナノ流体を用いて伝熱実験を行った結果、エチレングリコールと比較して体積分率 4 % のナノ流体の熱伝導率は 20 % 上昇した。また、Xuan と Li [4] は熱流束一定の下、Cu ナノ流体を用いて伝熱実験を行ったところ、水と比較してナノ流体の熱伝達率が大幅に向上していることを確認し、ナノ流体の体積分率が低い場合は管摩擦による損失の増加はほとんどないと主張した。しかし、 γ -Al₂O₃ (粒径 13 nm) と TiO₂ (粒径 27 nm) を水に懸濁したナノ流体を用いた Pak と Cho [5] の研究では、ナノ流体の体積分率 3 %、平均流速一定の下で伝熱性能の

評価を行った結果、純水と比較してナノ流体の熱伝達率は 12 % 低かった。その理由として、体積分率が高い場合、ナノ流体の粘度は純水と比較して非常に大きくなることが原因であると考えられた。また、Yang [6] によるグラファイトナノ流体を用いた研究にも同様の傾向が見られた。この研究に用いたグラファイト粒子は、平均直径 1–2 μ m、厚さ 20–40 nm で円盤のような形状をしている。層流下で円管内を流れるナノ流体の伝熱性能を評価したところ、熱伝達率の向上率は熱伝導率の向上率と比較して、非常に低かった。熱伝導率との比較は考慮に入れないとして、グラファイトナノ粒子のアスペクト比は 0.02 ほどであり、非常に大きいアスペクト比を持つカーボンナノチューブ (CNT) 懸濁液 (> 100) の研究結果 [7] から、ナノ粒子のアスペクト比はナノ流体の伝熱性能において非常に大きな役割を持っていることが分かった [8]。

そこで、本研究では、マイクロチャネルとナノ流体 (液体にナノダイヤを添加したもの) を用いた冷却法を検討し、高効率冷却システムを構築することを目的とする。ナノダイヤモンド (約 2000 W/mK) を使用したナノ流体の伝熱性能が既存のナノ流体による既存の実験結果に比べて性能がどの程度向上するかを、ナノダイヤモンドの添加量に対して検討する。

[実験装置と方法]

1. マイクロチャンネルの製作と流動試験

アルミ基板上に幅が $50\mu\text{m}$ で深さ $500\mu\text{m}$ の溝を切削する〔図1〕。この基盤全体を極薄ガラス板で覆う。加工と製作は熊本大学中央実験工場のマイクロマシニング装置で行う。形成されたマイクロチャンネル内の流動はほぼ2次元であると見なせる。

マイクロチャンネルの一部にヒーターを取り付ける。この流路を垂直に固定し、下端を水容器に入れる。その際、マイクロチャンネル内には、水を充填させておく。その後、ヒーターを加熱させることによって作動媒体は浮力によって流路内部を上昇する。この時のマイクロチャンネル内での上昇高さを測定する。図2に使用した装置を示す。

2. ナノ流体を用いた流動試験

図3はナノ流体の伝熱性能実験装置を示して

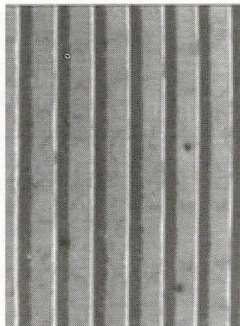


図1 マイクロ溝

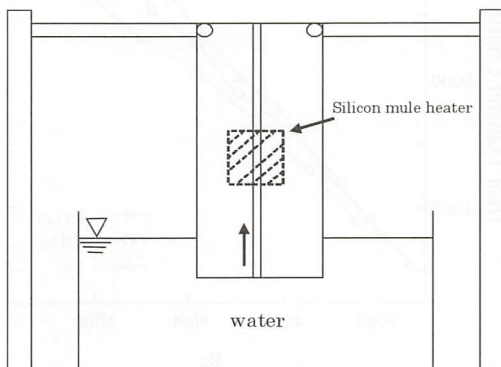


図2 実験装置

いる。実装置は冷却装置、電圧調整器、データロガー、流量計、ポンプ、電圧計、内径 3.96 mm のステンレス管、熱電対及び水槽で構成されている。電圧調整器を使いステンレス管に直接電圧をかけることによってジュール熱を発生させ、流体を加熱した。加熱試験部には6つのK型熱電対を設置しておりそれぞれの位置の管の外壁面温度を計測した。

3. マイクロフィンによる放熱量促進効果

市販のアルミ板（肉厚 0.5 mm ）にエッチング微細加工を施して放熱面積を拡大させる。その一例を図4に示す。ここでは、図1のマイクロ加工フィン以外に、格子状のマイクロ加工を行ったフィンも使用した。伝熱板の放熱特性を検討するために使用した実験装置を図5に示す。

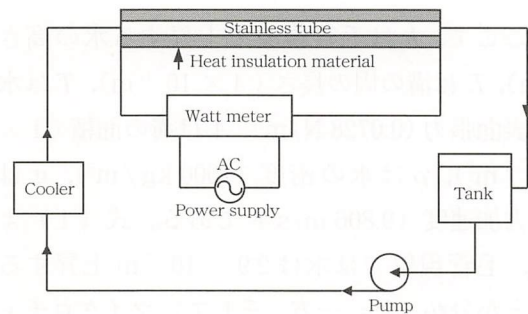


図3 実験装置

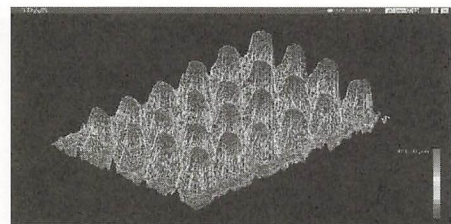


図4 マイクロフィンの加工断面

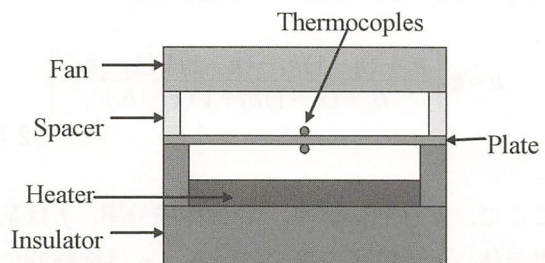


図5 実験装置

装置は、断熱容器、伝熱板及び電動ファンからなる。実験では、断熱容器底部に固定されたヒーターに定格電力を与えて加熱させ、その時の容器内部の温度を K 型熱電対で測定する。使用するファンは定格で運転する。板に格子状マイクロフィンを加工した場合（ピッチ 250 μm 、深さ 280 μm 、溝幅 150 μm ）、板裏面に耐熱塗料（黒色）を塗布した場合、その放熱板表面を更にファンで冷却した場合について検討した。室内の温度は約 24 度に固定した。

[結果と考察]

1. マイクロチャンネル内の流動実験

$$h = \frac{LT}{A\rho g} \quad (1)$$

ここで、 h は毛管現象で上昇する水の高さ (m)、 L は溝の周りの長さ (4×10^{-3} m)、 T は水の表面張力 (0.0728 N/m)、 A は溝の面積 (1×10^{-6} m²)、 ρ は水の密度 (1000 kg/m³)、 g は重力加速度 (9.806 m/s²) である。式 (1) より、毛管現象では水は 2.9×10^{-3} m 上昇することが分かった。一方、そして、マイクロチャンネルの一部を加熱した場合、水は 160 mm ほど上昇した。このことから、マイクロチャンネル内の流動は毛管現象で流動させるには限界があり、浮力によって作動媒体を流動させることができることが確認された。

2. ナノ流体を用いた流動試験

ナノ流体の熱伝導率は Hamilton-Crosser [9] の式 (2) を使って予測した。

$$k = k_f \left[\frac{k_s + (n-1)k_f - (n-1)V(k_f - k_s)}{k_s + (n-1)k_f + V(k_f - k_s)} \right] \quad (2)$$

ここで、 k は熱伝導率、 V は体積分率、 f は基礎流体、 s は粒子を表している。 n は経験的に得られた形状係数であり、本研究では $n = 3$ と

した。

図 6 にナノ流体の熱伝導率の比較を示す。 Al_2O_3 や CuO と比べてダイヤモンドの熱伝導率の方が優れていることが分かる。したがって、ダイヤモンドナノ流体は他のナノ流体よりも優れた伝熱性能を持っているといえる。

体積分率 0.4%、1%、及び水の熱伝達係数の測定結果を図 7 に纏める。レイノルズ数 (Re) が低い場合、異なった作動媒体による熱伝達係数に違いが殆ど見られないが、Re が増すにつれて水と比べてナノ流体の熱伝達率の方が大きくなることが分かる。体積分率が 0.4% のとき、水の熱伝達率に比べて約 6% 上昇しており、1% のときは約 14% 上昇している。ま

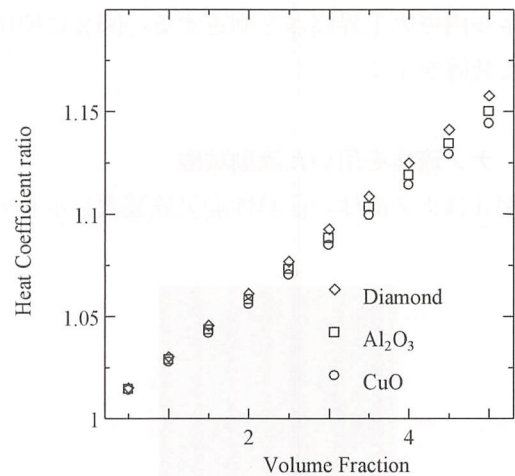


図 6 ナノ流体の熱伝導率

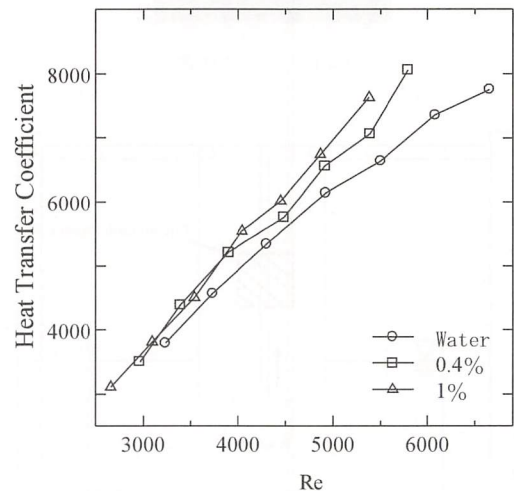


図 7 ナノ流体の熱伝達係数とレイノルズ数との関係

た、体積分率の増加によっても熱伝達係数は増加している。これによりナノ流体は単層流と比べて優れていると思われる。

一連の結果からナノ流体は熱伝導率の増加と同時に熱伝達係数も増加することから、ナノ流体は他の作動媒体に比べて伝熱性能がよいかどうかについては明確でない。そこで、無次元数を導入して再検討する。

図8はヌセルト数(Nu)とレイノルズ数との関係で一連の結果を纏めたものである。Reが増加するにつれて、ナノ流体のNuも増加していることが分かる。

3. マイクロフィンによる放熱量促進効果

図9は、断熱容器内温度と放熱面の関係を纏めたものである。市販のアルミ板からの放熱に

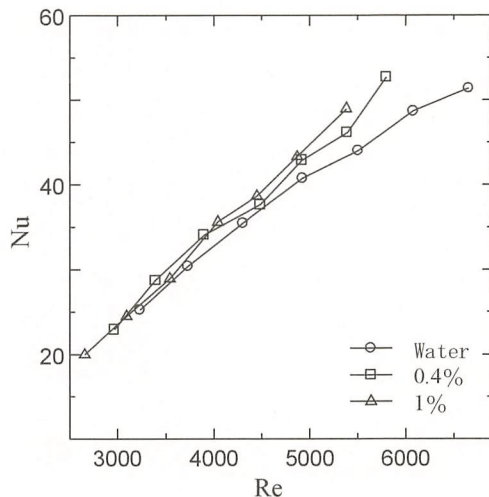


図8 ナノ流体のヌセルト数とレイノルズ数との関係

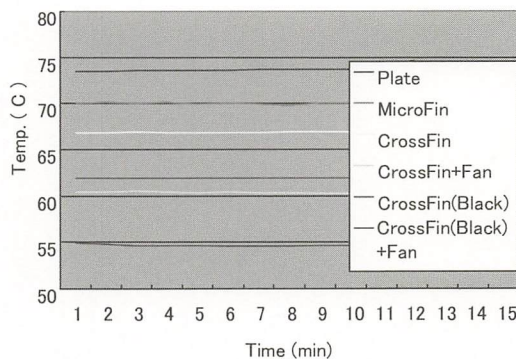


図9 各種放熱面の放熱特性

比べて、アルミ板にマイクロ加工することによって断熱容器内の熱がアルミ板から放出され、内部温度が急激に低下していることが分かる。

一連の結果から、断熱容器内部温度は、アルミ板を黒色に着色して格子状マイクロフィン加工し、その面を電動ファンで強制的に冷却した場合に急激に低下している。即ち、市販のアルミ板や通常のマイクロフィン加工を施した場合よりも、格子状マイクロフィンにすることで、容器内部温度は低下する。更に、アルミ板に格子状マイクロフィン加工を施し、ヒーターからの放射熱を吸収しやすくするために黒塗料を鋼板裏面に塗布して、更にマイクロフィン側を強制的にファンで冷却することで、鋼板からの放熱量を大きく増やすことができる。但し、ファンを駆動させれば音が発生するので、静寂を確保しつつ放熱性能を高めるには、アルミ板に格子状マイクロフィン加工を施し、黒塗料をアルミ板裏面に塗布する場合であることが分かった。

[今後の研究の方向、課題]

ナノダイヤモンド粒子を使用してナノ流体の伝熱性能とマイクロフィンの放熱性能について実験を行った。その結果、ナノ流体は単層流と比べて優れた伝熱性能を示す。更に、マイクロチャンネルを使用して作動媒体を浮力によって駆動させることが可能であり、その作動媒体に単相流ではなくナノ流体を使用するための基礎データが得られた。

[参考文献]

- [1] U. S., Choi: Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles, ASME FED Vol. 231, pp. 99 - 103 (1995)
- [2] K. Khanafer, K. Vafai, and M. Lightstone: Buoyancy-driven heat transfer enhancement in a two-dimensional enclosure utilizing nanofluids, Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 46, pp. 3639 - 3653 (2003)
- [3] S. Lee, S. U. S. Choi, S. and Li, J. A. Eastman:

Measuring thermal conductivity of fluids containing oxide nanoparticles, *J. Heat Transfer*, Vol. 121, pp. 280–289 (1999)

- [4] Y. Xuan, and Q. Li: Investigation on convective heat transfer of nanofluids, *Journal of Heat Transfer*, Vol. 125, pp. 151–155 (2003)
- [5] B. Pak and Y. Cho: Hydrodynamic and heat transfer study of dispersed fluids with sub-micron metallic oxide particles, *Experimental Heat Transfer*, Vol. 11, pp. 151–170 (1998)
- [5] Y. Yang, Z. G. Zhang, E. A. Grulke, W. B. Anderson and G. Wu: Heat transfer properties of nanoparticle-in-fluid dispersions (nanofluids)

in laminar flow, *Int. J. Heat and Mass Transfer*, Vol. 48, pp. 1107–1116 (2005)

- [7] Y. Ding, H. Alias, D. Wen, R. A. Williams: Heat transfer of aqueous suspensions of carbon nanotubes (CNT nanofluids), *Int. J. Heat and Mass Transfer*, Vol. 49, pp. 240–250 (2005)
- [8] X.-Q. Wang and A. S. Mujumdar: Heat transfer characteristics of nanofluids: a review, *Int. J. Thermal Sciences*, Vol. 40, pp. 10–17 (2006)
- [9] A. E. Bergles: Recent development in convective heat transfer augmentation, *Appl. Mech. Rev.* Vol. 26, pp. 675–682 (1973)

避難誘導のためのロケーションウェアシステムの研究

A Location-aware System for Evacuation Guidance

1061014

研究代表者

大阪大学大学院工学研究科 准教授

中西 英之

〔研究の目的〕

駅や空港のような大規模公共空間における一般的な避難誘導は、全避難者にとって有用である総体的な情報だけを構内放送によって一斉に流すものであり、その例は「近くの非常階段から避難してください。」である。これに対して本研究で扱う避難誘導とは、個々の避難者の携帯電話に向かって現在位置の周囲の状況に応じた情報を送るものであり、その例は「目の前の階段はすぐに混雑します。向こう側の階段を使ってください。」である。受動的に経路を提示する従来のナビゲーションシステムとも異なり、誘導システムが避難者の進行経路を能動的に制御しようとする。このような、人間と機械の協調によって効率的なナビゲーションを達成する位置依存型の誘導システムを研究する。

具体的には、1) 参加型シミュレーション、2) 拡張実験、という2つの方法による実験を地下鉄のプラットフォームで行う。この実験で、避難者のいる場所や周囲の混雑状況などの実世界のコンテキストを含む誘導メッセージが避難誘導においてどのように有効であるのかを、実世界コンテキストを含まない構内放送のメッセージと比較することによって解明する。

〔研究の内容、成果〕

実験に用いた仮想都市シミュレータFreeWalk/Qは、仮想都市FreeWalkとシナリオ

記述言語Qを組み合わせたものである。Q言語はSchemeをベースにしており、拡張有限状態機械をモデルとしている。Qで書かれたシナリオに従って、エージェントはFreeWalkの仮想空間の中で、歩いたり、話したり、ジェスチャーを使ったりできる。プログラムが制御するキャラクタであるエージェントと、ユーザが制御するキャラクタであるアバタは共通のインタラクションモデルを持っており、エージェントを制御するためのアプリケーションプログラミングインタフェースとアバタを制御するためのユーザインタフェースが統合されているのが特長である。これによって、エージェントとアバタが混在するシミュレーションの実行が容易となっている。図1は実験で用いた避難群集のシミュレーションである。被験者は実験室においてコンピュータのディスプレイに映し出さ

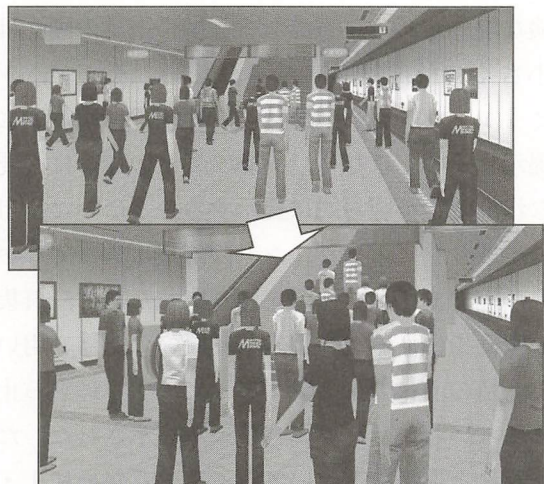


図1 避難群集シミュレーション

れるシミュレーションの中にいる自分のアバタをゲームパッド等で操作する。このような human-in-the-loop 型のマルチエージェントシミュレーションは参加型シミュレーション (Participatory Simulations) と呼ばれている。

上記の避難群集シミュレーションは、拡張現実感 (AR) インタフェースによって実環境に重ねることが可能である。シミュレーションの中の多数のエージェントを重ねることによって、実環境での実験は小規模でも、これを拡張して仮想的に大規模な実験にすることができる。我々はこのような実験を拡張実験 (Augmented Experiments) と呼んでいる。拡張実験の被験者は、仮想空間の中のアバタをゲームパッド等で操作するのではなく、実環境において行動する。ただし、その行動は環境中のセンサを介して仮想空間の中のアバタの行動に反映される。エージェントの行動はアバタの行動から影響を受ける。そして、エージェントの行動は AR インタフェースを介して被験者の行動に影響を与える。このように、実環境にいる被験者とシミュレーションの中のエージェントの間にインタラクションが発生する点が、参加型シミュレーションとは異なる。

拡張実験ではシミュレーションを提示する方法として透過型 HMD ではなく携帯電話を用いた。なぜなら、実環境で行動している人間の視界を仮想群集のような大きな画像で覆うのは危険な場合があるからである。携帯電話の画面は小さくて解像度も十分ではない。そこで、シミュレーションの映像によって状況を視覚的に提示するのではなく、実験タスクの遂行に必要な状況変化を記号的に提示することにした。自分を取り巻くエージェントの群集によってなかなか前進できない状況を作り出すために、群集の密度を伝える次のような 4 段階の記号を用いた。目の前に群集の壁があって、すぐに立ち止まらないういけない場合は×が表示された。だんだんと群集に近づいて行っているために 1・2 メートルだけゆっくり前進できる場合は△・

○が表示された。自由に歩き回れる状況では◎が表示された。どの記号を表示するかはシミュレーションの状況にもとづいて決定した。シミュレーションの中にいる被験者のアバタは、位置検出センサが捉える被験者の位置にもとづいて歩行した。

集団行動のマルチエージェントシミュレーションは実行する度に異なる振舞いを示す。VR インタフェースを用いる被験者 (VR 被験者) と AR インタフェースを用いる被験者 (AR 被験者) が同じシミュレーションを共有して共同で評価を行えば、アンケートや観察データなどの分析結果に含まれる分散を抑えることができる。FreeWalk/Q は、VR 被験者に必要な視覚的状況提示と AR 被験者に必要な記号的状況提示を同一のシミュレーションから生成可能である。また、VR 被験者によるゲームパッドからの入力でも AR 被験者を捉えたセンサからの入力でもアバタを動かすことができる。図 2 はシミュレーション実験のアーキテクチャであり、拡張実験と参加型シミュレーションを統合したものである。仮想空間には群集エージェントおよび VR 被験者のアバタと AR 被験者のアバタが、実空間には AR 被験者と地下鉄の一般乗降客が、実験室には大スク

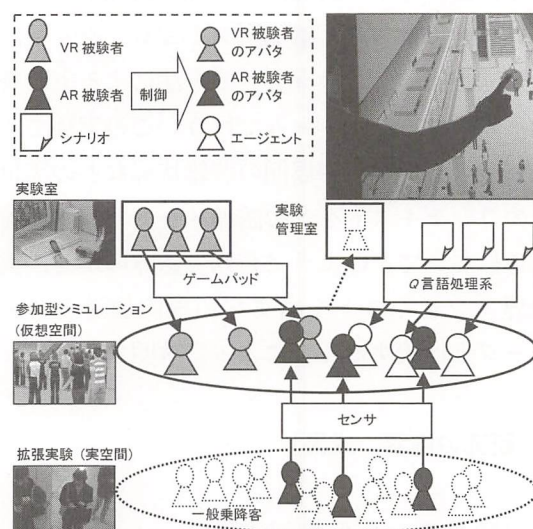


図2 実験のアーキテクチャ

リーンに表示されるシミュレーションを眺める実験管理者と VR 被験者がいる。

実験の仮説は次のように立てた。冷静さを失った避難者を安全に誘導するために、緊急時の避難誘導は何よりもまず信頼されなければならない。遠隔コミュニケーションにおける信頼を調べた過去の研究によると、信頼には二つの独立した要因がある。一つは感情的要因であり、協力的な印象を与えるかどうかに関係する。避難誘導の場合で言うと、人々の安全な避難を支援しようとしている印象を与えるかどうかである。もう一つは認知的要因であり、タスクを完遂可能であるという確信を与えるかどうかに関係する。避難誘導の場合で言うと、正しい状況把握にもとづいて効率的な避難を実現できるという確信を与えるかどうかである。避難誘導システムの場合、感情的要因はあまり問題にならないと思われるが、認知的要因はシステムの機能と大きく関連すると考えられる。そこで、位置依存型誘導は構内放送型誘導よりも認知的要因の点で優れていると予想した。位置依存型誘導のメッセージは避難者の位置や周囲の混雑状況を反映しているので、避難現場の状況を把握した上で最適な指示を出している印象を与え、それが信頼につながるはずである。よって、より信頼され、避難に有用であると思われ、避難者を落ち着かせることができる、という仮説を立てた。

実験には、VR 被験者 9 名と AR 被験者 8 名の計 17 名が参加した。実験の舞台となった地下鉄駅の業務の邪魔にならないように、一度に避難する AR 被験者は 3 人にし、それに VR 被験者 3 人、エージェント 100 体を加えて実施した。誘導メッセージの違いのみの影響を評価するためにホーム中央の階段に全員が誘導される設定とし、階段周辺の混雑を再現するために 100 体のエージェントで実験を行った。図 1 のように、プラットホームにいる乗降客は一斉にホーム中央の階段を通過してコンコースへ避難しようとし、階段はすぐに混雑した。各被験者は

2 回避難に参加し、位置依存型と構内放送型の誘導をランダムな順番で体験した。各避難終了後に、誘導の信頼度と有用性、および避難時の冷静さについて問うアンケートに答えた。システムトラブルにより VR 被験者 1 名と AR 被験者 3 名は片方の誘導法しか体験できなかったため、それらのデータは分析から取り除いた。

位置依存型誘導と構内放送型誘導の双方において、システムは被験者の位置にもとづいて、次のようなタイミングで 5 回メッセージを送信した。1 つ目のメッセージは避難が開始した時点、2 つ目は階段から約 15 m 手前を通過した時点、3 つ目は約 10 m 手前を通過した時点、4 つ目は約 5 m 手前を通過した時点、最後のメッセージは階段を登り始めた時点で送信された。位置依存型誘導のメッセージは階段周辺の混雑や進行方向に関する情報を含んでいた。被験者は避難が開始した時点で「前方の階段から避難してください」というメッセージを受け取り、一定距離進んだところで「このまま階段に進んでください」、階段手前で混雑している群衆の最後尾に着いた頃に「混雑していますがこの階段を使ってください」、混雑を通り抜けつつあるときに「もうすぐ混雑を抜けますので慌てないでください」、階段を登り始めたときに「落ち着いて階段を上ってください」というメッセージを受け取った。これに対して構内放送型誘導のメッセージは、「近くの階段から避難してください」、「慌てずに避難してください」、「最寄りの階段を使ってください」、「落ち着いて避難してください」、「そばにある階段を利用してください」であり、通常の避難のアナウンスと同じである。

避難終了後、VR 被験者も AR 被験者も全員同じアンケートに答えた。アンケートは、信頼度に関する 3 問、有用性に関する 3 問、冷静さに関する 6 問、そして実験意図の察知を防ぐための 12 問、の計 24 問で構成した。全質問は 1 点から 9 点までの 9 ポイントのリカート尺度である。VR 被験者のデータと AR 被験者のデー

タは別々に分析した。対応ありの両側 t 検定で二つの誘導システムが与えた印象の違いを分析した。すると、VR 被験者のデータからは、位置依存型のほうが信頼できるという結果 ($t(7) = 3.1, p < .05$) を得た。これは「信頼」指標（構内放送型：13.1，位置依存型：19.6，3が最低点で27が最高点）の比較結果である。この指標は次の3質問「誘導に従う気になりましたか?」, 「誘導は信頼できましたか?」, 「誘導には説得力がありましたか?」の得点の合計（クローンバックの α 係数は0.84）である。また、位置依存型のほうが有用であるという結果 ($t(7) = 2.8, p < .05$) も得た。これは「有用」指標（構内放送型：15.3，位置依存型：20.2，3が最低点で27が最高点）の比較結果である。この指標は次の3質問「誘導は役に立ちましたか?」, 「メッセージは分かり易かったですか?」, 「誘導は親切でしたか?」の合計（クローンバックの α 係数は0.70）である。これらの結果を図3に示す。AR 被験者のデータでは「信頼」指標でも「有用」指標でも有意差は見られなかったが、「冷静」指標（構内放送型：9.8，位置依存型：14.6，2が最低点で18が最高点）を比較した結果、位置依存型のほうが冷静になれたという結果 ($t(4) = 3.1, p < .05$) を得た。この指標は、「急がずに避難しましたか?」と「慌てずにできましたか?」の得点を足したもの（クローンバックの α 係数は0.91）である。図3にこの結果を示す。VR 被験者のデータでは、この指標では有意差が出なかった。以上で言及した質問以外に有意差の出たものは無かった。また、構内放送型の優位性を示す結果は見られなかった。

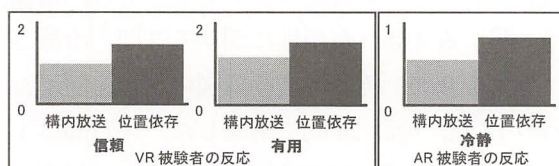


図3 比較結果

[今後の研究の方向, 課題]

本研究によって位置依存型誘導システムの有効性が示された。今後は、位置依存型誘導システムに用いた各要素技術を一般化し、避難誘導のみならず、我々の日常生活全般を支援するシステムに発展させる。具体的には、1) GPS・カメラ付き携帯電話を用いた大規模仮想都市構築システム、2) RFIDを用いた床面位置検出センサ、3) ロボットを用いた遠隔コミュニケーション支援システム、の開発を行っていく。

[成果の発表, 論文等]

- 1) 中西英之, 石田亨: インタクションを投影するデジタルシティ, 建築雑誌, Vol. 122, No. 1565, pp. 10-13 (2007)
- 2) 黒川高弘, 高橋甲介, 中西英之: 床面 RFID センサ「インテリマット」の開発, 情報処理学会研究報告 ヒューマンコンピュータインタラクション, 2007-HCI-124, pp. 49-56 (2007)
- 3) Daisuke Tamada and Hideyuki Nakanishi: Constructing of a Large-scale Virtual City based on an Open Content Method. Digital Cities 5: Urban Informatics, Locative Media and Mobile Technology in Inner-City Developments (2007)
- 4) 中西英之, 野上大輔, 石黒浩: テレロボビジョン: ネットワークカメラとロボットによるコミュニティ支援, 第21回人工知能学会全国大会, 2D5-3 (2007)
- 5) 玉田大輔, 中西英之: オープンコンテンツ方式にもとづく大規模仮想都市の構築, 第21回人工知能学会全国大会, 2B4-4 (2007)
- 6) 野上大輔, 中西英之, 石黒浩: ヒューマノイドロボットアバターシステムの提案, 情報処理学会研究報告 グループウェアとネットワークサービス, 007-GN-64, pp. 61-66 (2007) (優秀発表賞受賞)
- 7) Toru Ishida, Yuu Nakajima, Yohei Murakami and Hideyuki Nakanishi: Augmented Experiment: Participatory Design with Multiagent Simulation. International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-07), pp. 1341-1346 (2007)
- 8) 伊藤英明, 中西英之, 石田亨: 超越型コミュニケーションを用いた位置に基づく遠隔指示の分析, 情報処理学会論文誌, Vol. 48, No. 3, pp. 1372-1380 (2007)

スーパープリズム光学系による超小型分光システム

Ultrasmall Spectrometer System Based on Superprism Optics

1061016

研究代表者

横浜国立大学大学院工学研究院 教授

馬 場 俊 彦

〔研究の目的〕

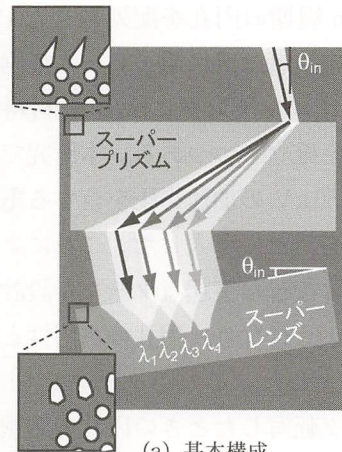
近年、データ通信需要の大幅な増大に対応するため、波長分割多重光通信において高性能分光フィルターが要求されている。またライフサイエンスにおける生体分析や、環境汚染物質の検出にも精密な分光が必要になっている。しかし一般に分光器は大型で高価であり、分析には費用や時間がかかる。一方、本研究の分光システムは極めて小型で、これらの問題を解決する可能性をもつ。将来、ナノプリント技術等でのシステムが簡便に作製されるようになれば、各家庭の光通信モデムに搭載されるフィルター、様々な現場での使い捨てセンサーなどとして利用されるようになると期待される。

本研究が採り上げるスーパープリズムとは、多次元的な微細周期構造（フォトニック結晶、以下、PCと略す）の中で起こる特異な分散に由来する光の負の屈折現象を指す。1998年 NEC により発見され、分光や結像を大きく変える画期的な現象として世界的に研究が行われた。しかし種々の問題のために、最近まで大きな進展が見られなかった。筆者は構造とシステム構成に独自の提案を行うことで問題を解決し、本研究開始前に高性能な分光が実現される見通しを得た。そこで本研究ではその実証に取り組んだ。

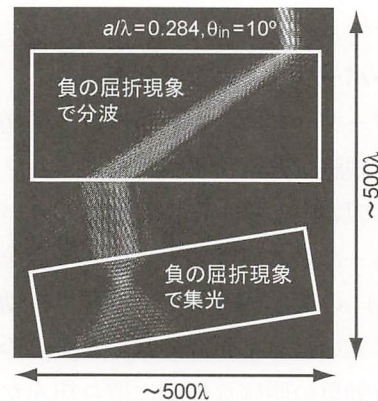
〔研究の内容、成果〕

1. 分光システムの概要

提案した分光システムを図1 (a) に示す。ここでは波長によって負の屈折角が大きく変化するスーパープリズム効果と、負の屈折によって集光するスーパーレンズ効果を組み合わせてい



(a) 基本構成



(b) FDTD法による光伝搬シミュレーション

図1 提案した分光システム

る。これにより、回折格子と反射レンズを用いる従来の分光器のサイズや分解能の限界を打破する。図1 (b) は時間領域有限差分 (FDTD) 法による光波シミュレーションである。スーパープリズムとスーパーレンズには、入出射面での反射を抑える最適化された構造が付加された円孔配列 PC を仮定している。入射された光が負の屈折を受けて偏向され、さらに負の屈折で集光される様子がわかる。この理論解析からは、全体の分光システムサイズが 1 mm 角と小さくても、例えば波長 $1.55\text{ }\mu\text{m}$ に対して分解能 0.4 nm が得られることがわかっている。より小さなデバイス、例えば後述するような $100\text{ }\mu\text{m}$ 角以下の場合には分解能が低下するが、それでも 10 nm 程度が分解できると予想される。

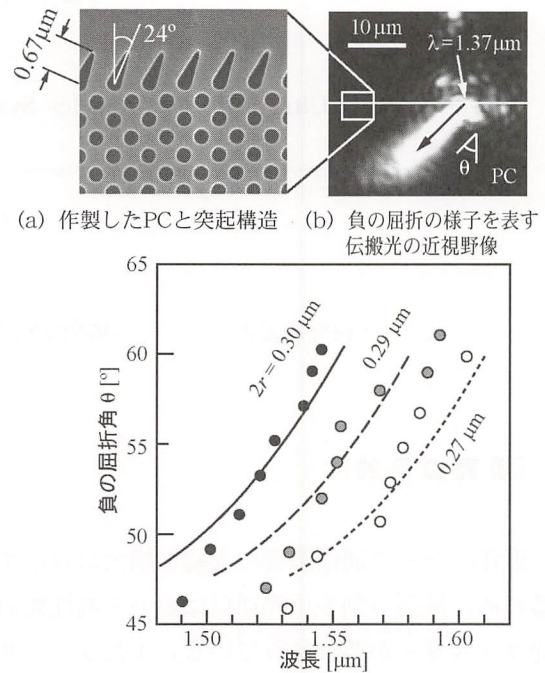
2. Si 材料への PC の作製技術の確立

本実験における PC の基本構造は、光導波薄膜に 450 nm 周期の円孔を配列させた PC スラブである。申請者は既に電子ビーム描画と誘導結合プラズマエッチングによる Si 材料への構造作製技術を確立しつつある。本研究では、従来より高い 50 kV の加速電圧を有する電子ビーム描画装置を新たに導入した。これにより、後述するような複雑な突起パターンが設計に忠実に得られるようになり、円孔の真円性と均一性も大幅に向上した。このパターンを Si 系材料にエッチング転写したときの円孔の側壁粗さは、標準偏差値で 3 nm 以下と評価された。

3. スーパープリズム効果の観測

スーパープリズムの負の屈折は、最初の報告以降から観測が非常に不明瞭であった。これは、PC 界面で反射損失や散乱損失が大きいことに原因があった。本研究代表者はこの点を指摘し、図1 (a) の突起構造が損失低減に有効なことを見出していた。本研究では、まずその作製と負の屈折効果の明確な観測に取り組んだ。

図2 に結果を示す。電子ビーム描画の改良により、突起構造が良好に形成されているのが



(c) 負の屈折角の実験プロットとFDTD法による理論曲線

図2 スーパープリズム効果の観測

(a) よりわかる。これに垂直から 10° 傾けて光を入射させると、(b) のように PC 中では入射とは逆方向の負の屈折光が明瞭に観測された。ここでは光が素子上方から見えているが、これは上方への放射が起こる波長を意図的に選んだためである。より長波長側で放射は消えるが、PC を透過する光からも負の屈折が確認された。(c) にその屈折角の分散をまとめる。ある円孔直径 $2r$ の試料に対して、 60 nm の波長変化に対して 15° の角度変化が評価され、これは FDTD 法による理論値とよく一致した。 $2r$ を変えようと動作波長はシフトし、これも計算結果とよく一致した。これらの結果は、スーパープリズム効果を光波帯で明確に評価した初めての例である。

4. スーパーレンズ効果の観測

スーパーレンズ効果はスーパープリズム効果以上に世界的に研究されてきたが、こちらも光波帯での観測は困難で、全てマイクロ波帯の研究であり、これも界面での損失が原因であった。これについても本研究代表者は図1 (a) に示す変形孔が有効なことを見出し、本研究開始前

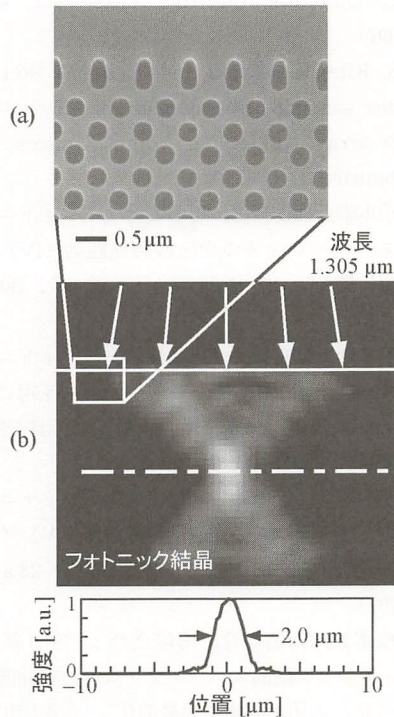


図3 スーパーレンズ効果の観測
(a) 作製したPCと変形孔構造,
(b) 集光の様子を表す伝搬光の近視野像

に集光の様子を確認する初期実験に成功していた。

本研究では変形孔を含むPCの作製精度を高め、さらに上記の放射条件を考慮することで、より明確に集光特性を評価することに成功した。その様子を図3に示す。FDTD法で設計された変形孔が良好に形成されている。また、放射条件を利用することで集光の様子が明確に観測されている。さらに光源を複数個用意したときには、複数個の焦点が形成されることも確認された。これにより、界面に対して物体の対象像を結像させるという、スーパーレンズの最大の特長の一つが実証されたことになる。

スーパープリズムと同様、このレンズ効果も光波帯で明確に評価した初めての例である。

5. 分光システムの原理実証

スーパープリズムとスーパーレンズを組み合わせた図1の分光システムを実際に作製した。その様子を図4(a)に示す。プリズムとレン

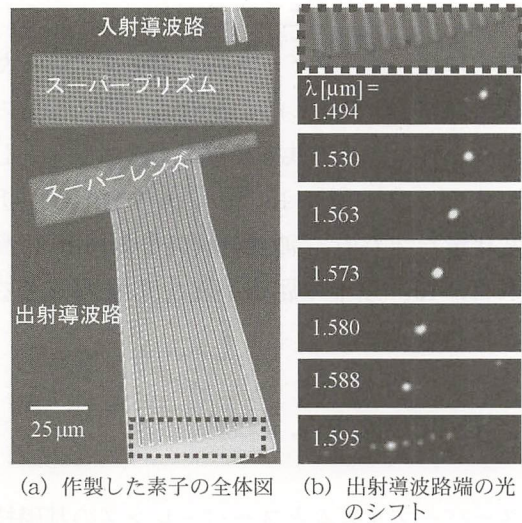


図4 微小分光システムの実証

ズには前述の損失低減構造が配置されている。レンズの出射端は曲線形状になっているが、これは色収差を補正するためである。レンズは出射導波路に直結され、出射光が明確に分離されるようにした。(b)は入射波長を変化させたときの出射光のシフトの様子である。明瞭な分光動作が確認された。波長分解能は、長波長側では11 nmでほぼ一定であったが、短波長側では15～30 nmと低下した。これはスーパープリズムの波長依存性によるものである。短波長側の出射端を伸ばして、光ビームを分離する長さをとれば、分解能を均一化することは可能と考えられる。また前述のように、この分解能は素子サイズで制限される。ここに示した素子は、入出射導波路を除く実効的なサイズが80 μm(100 μmときわめて小さく、FDTD計算で予測された分解能とよく一致している。したがって、素子を1 mm角程度まで大型化すれば、分解能を0.5 nm以下に向上させることは可能と考えられる。

6. 物性センサーの基本動作確認

本助成期間では、図4の素子を用いたセンシングの実験は間に合わなかった。ただしより手軽な基礎実験として、同様のPCスラブに微小共振器を形成し、その共振波長を周囲媒質に

よってシフトさせることを試みた。その結果、空气中に比べてメタノール、アセトンといった有機溶媒に PC を浸したときには、円孔部分の屈折率上昇によって共振波長が明確にシフトした。そのシフト量は $180 \text{ nm}/\Delta n$ (Δn は屈折率変化量) となり、波長分解能を 0.1 nm に高めれば、 10^{-3} 以下の屈折率変化が検知できることがわかった。

[今後の研究の方向、課題]

スーパープリズムとスーパーレンズの基礎技術を確立し、複雑な分光システムの動作実証にも成功した。今後は波長分解能を高めると共に、同素子での媒質センシング動作の実証、微小分光センシングシステムへの展開が期待される。高分解能が低損失かつ簡易な作製手法で実現できるかが様々な応用への重要な課題となる。

[成果の発表、論文等]

- 1) T. Matsumoto, K. Eom and T. Baba: "Focusing of light by negative refraction in photonic crystal slab superlens on SOI substrate", Opt. Lett. 31, 2776 (2006)
- 2) T. Matsumoto, T. Asatsuma and T. Baba: "Experimental demonstration of wavelength demultiplexer based on photonic crystal negative refractive components", Appl. Phys. Lett. (2007, to be submitted)
- 3) T. Matsumoto, T. Asatsuma and T. Baba: "Light transfer, parallel focusing and demultiplexing using negative refraction in photonic crystal", Quantum Electron. Laser Sci., QWH 7 (2007)

- 4) S. Kita, K. Nozaki and T. Baba: "Refractive Index sensing utilizing photonic crystal nanolaser array", Int. Symp. Comp. Semicon., (2007, submitted)
- 5) 松本崇, 朝妻智彦, 馬場俊彦: "フォトリック結晶スーパーレンズの光伝搬特性観測 (IV) 複数の光源の集光", 応用物理学会秋季講演会, 30 p-ZD-6 (2006)
- 6) 松本崇, 朝妻智彦, 馬場俊彦: "フォトリック結晶スーパープリズムとスーパーレンズを用いた波長フィルタ (II) 分光特性の観測", 応用物理学会秋季講演会, 30 p-ZD-7 (2006)
- 7) 朝妻智彦, 松本崇, 馬場俊彦: "フォトリック結晶スーパーレンズの光伝搬特性観測 (V) イメージの転送", 春季応用物理学会講演会, 28 a-ZB-7 (2007)
- 8) 松本崇, 朝妻智彦, 馬場俊彦: "SOI 基板上のフォトリック結晶スーパープリズムの光偏向特性観測 (II) 入出射端構造の最適化", 春季応用物理学会講演会, 28 a-ZB-8 (2007)
- 9) 松本崇, 朝妻智彦, 馬場俊彦: "スーパープリズムとスーパーレンズを用いた波長フィルタ (III) レンズ長の最適化", 春季応用物理学会講演会, 28 a-ZB-9 (2007)
- 10) 北翔太, 野崎謙悟, 馬場俊彦: "フォトリック結晶微小レーザアレイを利用した屈折率センサの提案", 春季応用物理学会講演会, 27 p-ZB-8 (2007)
- 11) 北翔太, 野崎謙悟, 馬場俊彦: "フォトリック結晶微小レーザアレイを利用した屈折率センサ (II) 素子動作の観察", 秋季応用物理学会講演会 (2007, 発表予定)
- 12) 朝妻智彦, 松本崇, 馬場俊彦: "フォトリック結晶スーパーレンズの組み合わせによる収差補正", 秋季応用物理学会講演会 (2007, 発表予定)

映像からの移動対象検出のための適応的背景映像モデリング

Adaptive Background Scene Modeling for Detection of Moving Objects

1061017

研究代表者 奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科 助教 波 部 齊

〔研究の目的〕

本研究では、映像中に存在する検出対象（人物・障害物・車両など）を精度よく検出する手法の確立を目指す。自律的に動作するロボットや、人間に適切な情報を提供する情報システムを構築する際には、機械が周囲の状況を把握することが不可欠である。そこで、映像からの対象検出は基本となる機能であり、現在でもセキュリティシステムや移動ロボットに広く用いられているが、動的環境（特に屋外）においては性能に限界がある。

それに対して本研究では、動的環境における高精度な対象検出の実現を目指し、背景映像の特徴に応じた適応的なモデリング手法を提案する。

〔研究の内容、成果〕

本研究では、「背景映像のモデリング」による移動対象検出を行う。一般に移動対象検出は、画像を検出対象とそれ以外（背景）との二つの領域に分別する操作と考えられ、その方法には対象モデルに基づくものと背景モデルに基づくものがある。対象モデルに基づく対象検出は対象が既知でなければならないという制約があるが、背景モデルに基づく対象検出は背景についてのみ学習するので、対象は未知であって構わない。そのため、実世界における対象検出の中で、対象に関して未知である場合にはこの方法

が有効である。本研究も後者に属するものである。

背景モデルに基づく対象検出では、背景に関する情報を学習する必要がある。通常、実世界では背景の状態は不変でないため、単純な背景差分に基づく対象検出は有効ではない。そこで、実世界における対象検出を実現するには、背景の変動を適切にモデル化する必要がある。背景変動のモデル化の方法としては、これまで様々なものが提案されてきた。それらは以下の3つに大別される。

- (1) 背景変動に対して不変な特徴を利用する方法。
- (2) 与えられた背景画像系列より計算される統計量を用いる方法。
- (3) 背景変動の時間的、空間的な相関関係に注目する方法。

(1) は時間変化に対して不変な特徴を単独の画像から抽出するものであるが、現実的には完全に不変な特徴を抽出することは不可能であるので、その時間変化を(2)のような統計モデルで記述するものが用いられている。さらに、単純な統計量ではなく、時間的あるいは空間的な変化・相関関係を利用したものが(3)であるといえ、順をおってモデルの複雑さは増している。

このような中で、本研究では線形システムを用いて背景画像の時間的変化を記述し、背景変動のモデル化を行う。ここでいう線形システムとは、内部状態を示す状態ベクトルの変化が線

形な方程式で記述できるシステムのことを指し、時刻 t での状態ベクトルを、時 $t-1$ から $t-R$ までの状態ベクトルから推定するというものである。背景変動の要因として、実環境では（１）照明条件の変化、（２）背景に存在する物体の移動・出現、（３）木の葉の揺らぎの、周期的・規則的とみなせる変化、など様々なものが挙げられるが、本研究ではこのうち（３）に着目して背景変動をモデル化する。（３）の変動は、過去から連続して発生するものであり、それを表現するものとして線形システムは妥当なものであると考えられる。さらに線形システムでは、演算がすべて線形な行列演算で記述できるため単純かつ高速であり、実時間処理が必要とされるシステムへの適用にも有利であるといえる。

線形システムを用いて背景映像の変動を記述する場合には、観測画像データから状態ベクトルへの変換が非常に重要になる。本研究では、（１）観測画像に対して平滑化による解像度変換を適用し、（２）線形システムのモデル化誤差と状態ベクトルの変動を解析することで、対象検出に最適な状態ベクトルを選択する。細かい解像度の観測画像をそのまま状態ベクトルとしたときには、それぞれの要素の変動が複雑になって線形システムで表現したときの予測誤差が大きくなるが、それを平滑化して得た状態ベクトルでは大域的な変動のみが表現されているので、線形システムでの予測誤差の低減が期待できる。しかし、極端に平滑化した場合には予測誤差が小さくなっても検出対象と背景の識別が不可能になる可能性があるので、（１）のように状態ベクトルの変動を解析して最適な解像度を求める。以下に、その具体的な手法を述べる。本研究で採用する線形システムは、具体的に $x_t = F[x_{t-1}^T, x_{t-1}^T, \dots, x_{t-R}^T]^T$ で定義する。ここで、 x は各時刻での状態を表す状態ベクトルであり、 F は過去のデータと現在のデータの関係を記述する状態遷移行列である。先述のとおり、観測された画像データから状態ベクトルへの変換が非常に重要になり、本研究では、以

下のように変換を行う。

状態ベクトルとして最も単純なものとしては、画像ブロックをそのままベクトル表記したものが考えられるが、この場合状態ベクトルの各要素はもとの画像の画素を表しており、それぞれの要素の変動が非常に複雑なものとなる。そのため状態ベクトルの変動を線形な変換で記述するのはほぼ不可能である。そこで、本研究では画像の平滑化を行った後に状態ベクトルに変換する。得られた状態ベクトルは背景の大域的な変動のみを表現しているため、線形システムに適用したときに誤差の小さい予測が行えると考えられる。以下、画像ブロック $I_t^{(k)} (t=1, \dots, T)$ から状態ベクトル $x_t^{(k)}$ を生成するアルゴリズムを示す（図１）。

- （１）画像ブロック $I_t^{(k)} (N \times N \text{ 画素})$ 内に、 $M \times M$ 画素の小ブロックを考える。小ブロックの始点を画像ブロックの左上端（座標を $(0, 0)$ とする）とし、小ブロック内の画素値の和を x'_1 とする。なお、 M の決定方法については後述する。
- （２）小ブロックの始点を $(0, 0), (0, 1), \dots, (1, 0), (1, 1), \dots, (N-M, N-M)$ と移動させていき、それぞれの始点の場合における小ブロック内の画素値の和を $x'_1, x'_2, \dots, x'_Z$ とする（ここで、 $Z = (N-M+1)^2$ ）。
- （３）ベクトル $x'_t = [x'_1, x'_2, \dots, x'_Z]^T$ を、時刻 t における状態ベクトルとする。状態ベクトルの各要素が小ブロック内の画素値の和であるので、以上の操作は画像の解像度を小ブロックサイズのレベルまで粗くすることと同等である。

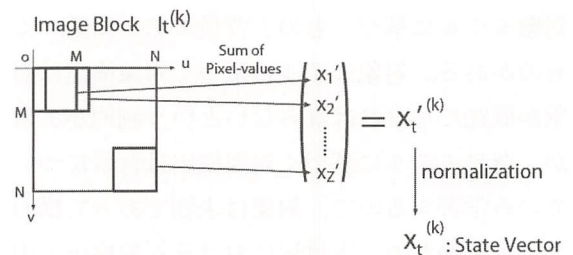


図１ 状態ベクトルの生成

- (4) ベクトル $x'_t{}^{(k)}$ を以下のように正規化する。

$$x_t^{(k)} = \frac{x'_t{}^{(k)}}{\|x'_t{}^{(k)}\|}$$

得られた $x_t^{(k)}$ を状態ベクトルとする。このように正規化することにより、一様な画素値の変化の影響を受けなくなる。照明条件の変化が画素値の一様な変化を引き起こすと近似できるとすると、正規化により照明条件の変化の影響を削減することができる。

上記の方法により得られる状態ベクトルは、小ブロックのサイズ M 、すなわち画像の解像度に依存する。 M のとりうる値の範囲は $1 \leq M \leq N$ であり、各ブロックにおいて対象検出を行う際に最も適切な解像度が存在すると考えられる。最適な M を選択するために、本研究では以下の2つの指標を用いる。

■状態ベクトルの予測誤差

まず、直観的に考えられる指標として、与えられたデータからある M を用いて導出した状態遷移行列 F から予測した状態ベクトルと観測データの間の誤差が考えられる。この誤差は、現在の解像度 M でのデータが線形システムで表現できるか否かを表している。以下ではこの誤差を E と定義する。

■状態ベクトルの変動

しかし、対象検出に最適な解像度を決定するための評価値として E だけでは不十分である。なぜなら、 E が小さければ状態ベクトルの変動の予測精度は高いといえるが、極端に平滑化されているために状態ベクトルの変動がほとんど見られずほぼ不変であり、そのために予測精度が高いという可能性もありうる。

仮に、ある画像ブロックに対し異なる2つの解像度において状態ベクトルを得たときに E が同程度であった場合、状態ベクトルの変動が小さいほうは単に極端に平滑化されているために E が小さいと考えられる。他方、変動が大き

い状態ベクトルは細かい背景変動まで表現しているといえるので、 E が同程度の場合は変動の大きい状態ベクトルを用いるのが適切と考えられる。また、極端に平滑化したために状態ベクトルの変動が小さい場合には、対象が現れた場合に背景との識別が困難になり、対象検出の精度が低下する可能性がある。そのような観点からも、状態ベクトルの変動に注目することは重要といえる。状態ベクトルの変動を評価するものとして、下式で表される変動値 V を用いる

$$V(x^{(k, M)}) = \frac{V_0(x^{(k, M_{\min})})}{V_0(x^{(k, M)})}$$

ここで $M_{\min}$ は M の最小値であり、 V_0 は

$$V_0(x^{(k, M)}) = \frac{1}{T-1} \sum_{t=2}^T \text{Sim}(x_{t-1}^{(k, M)}, x_t^{(k, M)})$$

で定義される。ここで、 $\text{Sim}(\cdot)$ は二つのベクトルの類似度を示し、この値が小さいほど時刻 $t-1$ から時刻 t での状態ベクトルの移動が大きい。そのため V_0 が小さいほど状態ベクトルの変動が大きいものとみなせる。したがって V は、同一ブロックにおける、解像度 M での状態ベクトルの変動と解像度 $M_{\min}$ での状態ベクトルの変動との比を示している。

■二つの指標の統合

以上のように求まった、状態ベクトルの予測誤差 E 、および状態ベクトルの変動値 V を用いて、最適な解像度 M を求める。言うまでもなく、 E が大きいと線形システムは精度よく機能しない。また、 E が小さくても変動値 V が小さければ単に画像が極端に平滑化されているだけの可能性があるので、 E が小さいものの中で V は大きいほうが好ましい。このような観点から最適な解像度 M を決定する。

以上の手法の有効性を確認するための実験結果を以下に示す。

実験では、図2に示す屋外で撮影した画像を使用した。その中で特徴的なパターン A, B, C を選び出し、それぞれに対して解像度を変更させて行った対象検出の性能評価結果を図3から図5に示す。それぞれの図で、横軸は対象を

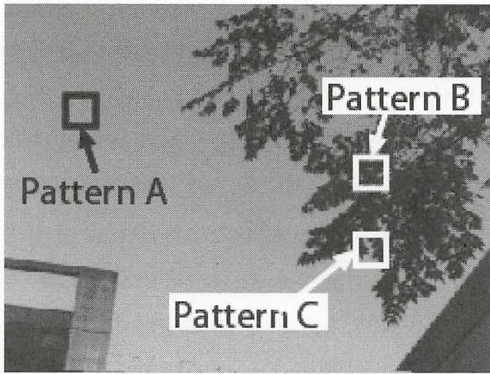


図2 実験で使った映像

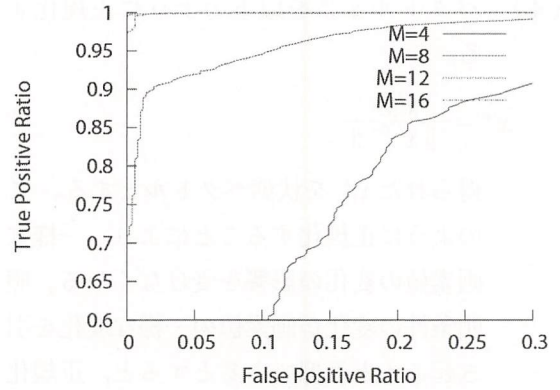


図5 パターン C での評価結果

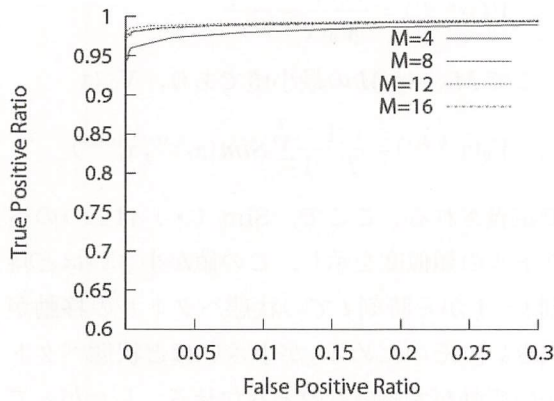


図3 パターン A での評価結果

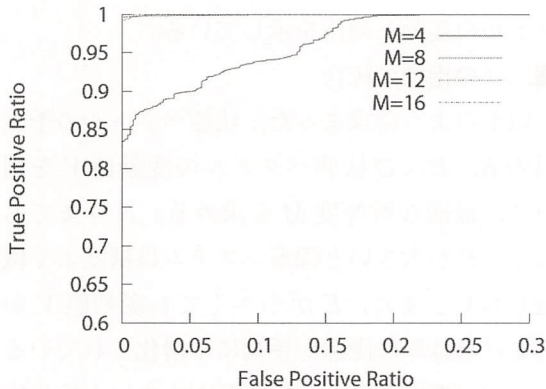


図4 パターン B での評価結果

都合上省略するが、先日の評価値 E および V が最適な解像度を選択する指標として有効であることも確認でき、本手法の妥当性が確認できた。

[今後の研究の方向，課題]

今後は、多数のデータを用いて詳細な実験を行い、アルゴリズム改良を行う予定である。また、背景の動きだけでなく、屋外シーンのさまざまな構造を認識し、対象検出に応用することもある（科学研究費補助金の研究課題として実施予定である）。

[成果の発表，論文等]

情報処理学会コンピュータビジョンとイメージメディア研究会や電子情報通信学会パターン認識とメディア理解研究会などの国内学会や、CVPR, ICPR などの国際学会に投稿する予定である。

[謝 辞]

この研究を行う機会を与えていただいた立石科学技術振興財団に心から感謝いたします。また、日頃から議論を行っていただいている京都大学大学院情報学研究科松山隆司教授はじめ松山研究室の各位に感謝いたします。

誤って検出した割合を示しており、縦軸は対象を正しく検出した割合を示している。すなわち、図上で左上に近いほど、性能が良いことがわかる。この図をみると、解像度 M を大きくすると性能が向上する傾向がみられるが、極端に大きくすると逆に悪化することがわかる。紙面の

人からの作業指示を利用した知識の自動獲得と環境への 知識埋め込みに関する研究

Knowledge Acquisition using Human-machine Interaction and
Embedding Knowledge into Environment

1061020

研究代表者 大阪大学大学院基礎工学研究科システム創成専攻 准教授 前 泰 志

〔研究の目的〕

少子高齢化社会の進展とともに、人間の日常生活を支援するための家庭用ロボットの導入が期待されている。日常生活で人間がロボットを使い易くするためには、人間がロボットに指示を与える場合には、できるだけ人間同士で作業を頼むときのような自然な会話でロボットに命令を与えられることが望ましい。本研究の目的は、要介護者などのユーザが、人に頼む時のような簡単な指示でロボットを遠隔操作し、作業を達成できるようにすることである。

〔研究の内容、成果〕

本研究では、ロボットが人間の指示から得られる作業対象物の知識を、物体に添付した RF-ID タグに蓄えていくことによって、次回からはロボットが RF-ID タグから知識を得て、人間からの詳細な指示なしで行動できるようにすることを目標とする。課題として、一般ユーザがロボットに与えるあいまいな指示では作業に必要な事柄も省略されることが多く、ロボットが行動できないことがあげられる。本研究では、このような場合に、ロボットが人間に詳細な指示を求めることによって、作業に必要な知識を得ることとする。人間との対話から物体の知識を獲得することによって、ロボットは、センサからでは得られない物体固有の名前や、所有者

などの知識も得ることができる。得られた知識を作業対象に添付した RF-ID タグに蓄えることによって、次回からは人間の指示があいまいな場合にも、ロボットが不足している詳細な情報を RF-ID タグから取得し行動できるようにする。

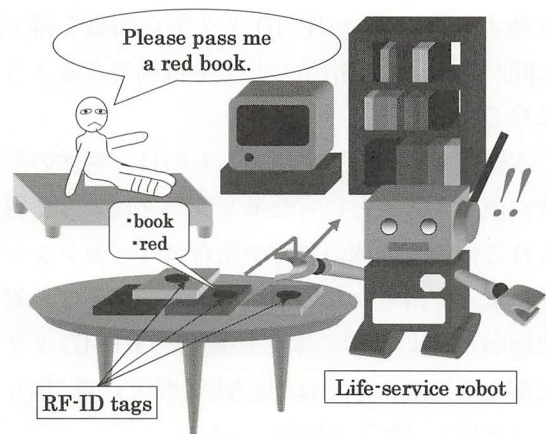


図1 環境から知識を得て行動するロボット

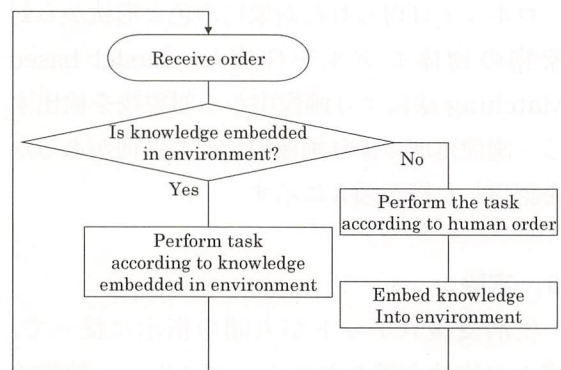


図2 ロボットの行動の流れ

本手法を用い、より多くの知識が蓄えられた環境を構築することで、より簡単な指示でロボットが行動できるようになる。

1. 対話を用いた環境知能化

人間から指示を与えられたときのロボットの行動の流れを図2に示す。人間からの指示やRF-IDタグから得られる知識が十分にある場合、ロボットはそれらの知識を用いて作業を行う。知識が不足している場合には、ロボットは人間により詳しい指示を求め不足している知識を得る。ロボットは新たに得られた知識を物体に添付してあるRF-IDタグに蓄え、作業を行う。

ロボットが人間から指示を受ける度に上記の処理を行うことによって、徐々に多くの知識がRF-IDタグに蓄えられて行く。その結果、十分な知識が環境に蓄えられた後、ロボットは行動すべき場所でRF-IDタグから知識を得て、人間からの詳しい指示なしでも行動できるようになる。

本研究で知識として用いるものは、物体の形状や色、大きさといったセンシングによって得られる情報、物体の名称や所有者などセンシングによって得られない情報である。例えば、対象物が「青い数学の本」の場合、RF-IDタグに蓄える知識としては、長方形(形状)、青(色)、本(名称)、数学(内容)である。

2. 対象物の画像認識法

ロボットは得られた対象物の色と形状から対象物の物体モデルを作成し、Model-based Matching法により画像中から対象物を検出する。画像処理により画像中にどこに何があるかを認識した例を図3に示す。

3. 実験

生活支援ロボットが人間の指示に従って、様々な物体が置かれたテーブルから「数学の本」を選択する実験を行った。実験では、ロ

ボットがいくつかの物体があるテーブルの前において、指示された本を認識して掴む状況を想定した。生活支援ロボットの代わりにロボットアームを用い、手先にビデオカメラとRF-IDタグのデータを読み書きするためのアンテナを装着して用いる(図4)。人間がロボットに「数学の本を取ってください」と指示したときに、ロボットアームが環境中から数学の本を手先で選択する実験を行った。

本実験では、人間との対話は図5に示すPC

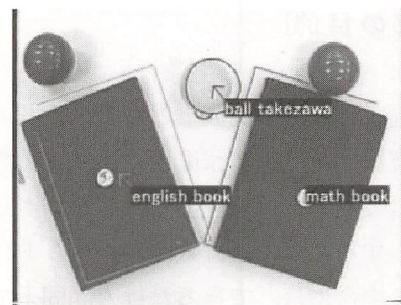


図3 物体モデルを用いた画像確認

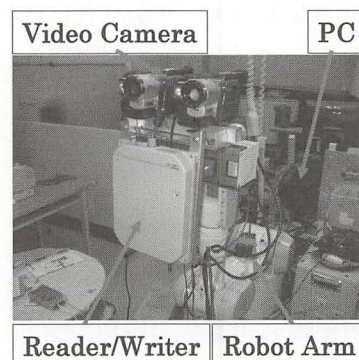


図4 実験で用いたロボットアーム

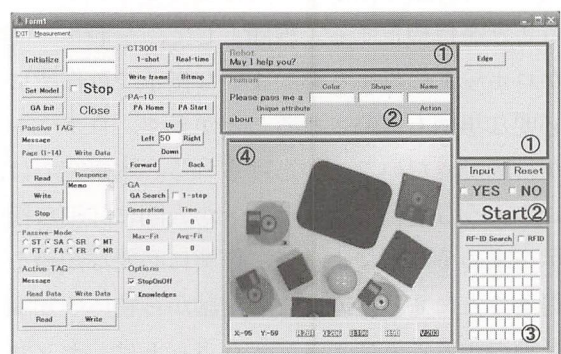


図5 人とロボットの対話用パネル

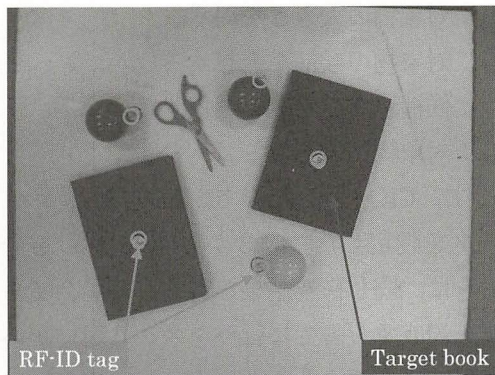


図6 状況 A

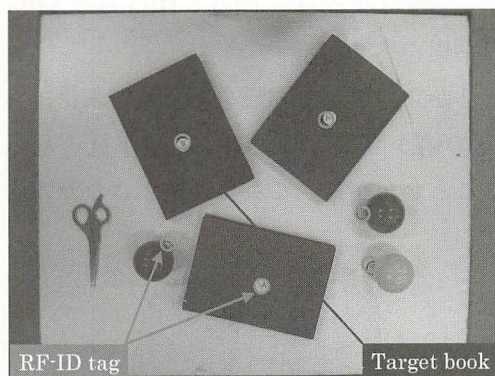


図7 状況 B

のモニター上に表示されたパネルを使い、対象物の色や形状をキーボードを用いて入力しロボットに知識を与えた。

実験では、テーブルの上にある物体の状況として次の2つの状況 A, B を用意した。

状況 A 対象物の青い本が1冊ある(図6)。

状況 B 対象物の青い本以外に別の青い本が1冊あり、ロボットは画像から2冊の青い本を識別できない(図7)。

環境 A, B について、知識が環境に蓄えられる前と後を想定し、RF-ID タグに知識がない状態と知識がある状態の計4つの場合で実験を行った。

実験1：状況 A。知識なし。

実験2：状況 A。知識あり。

実験3：状況 B。知識なし。

実験4：状況 B。知識あり。

表1 実験4でタグに蓄えられている知識

ID	Name	Color	Shape	Content
no 006	book	blue	square	math
no 009	book	red	square	english
no 011	ball	green	circle	...
no 012	book	blue	square	robotics
no 015	ball	yellow	circle	...
no 016	ball	blue	circle	...

状況 B において RF-ID タグに蓄えてある知識を表1に示す。

ロボットは人間から指示を与えられた後に、その場にある RF-ID タグからデータを読み込む。その後にロボットが行う動作を各実験について次に述べる。

実験1 RF-ID タグに知識が蓄えられていないため、人間との対話から本の色と形状を得て物体モデルを作成し、画像認識で1つの青い長方形を検出する。人間に検出物が対象物であるか確認する。

実験2 「本」「数学」の知識が蓄えられている物体が1つしかないので、その物体を対象物として認識する。

実験3 RF-ID タグに知識が蓄えられていないため、人間との対話から本の色と形状を得て物体モデルを作成し、画像認識で2つの青い長方形を検出する。人間にどちらの検出物が対象物であるか教えてもらう。

実験4 「本」「数学」の知識が蓄えられている物体は1つしかないので、その物体を対象物として認識する。

4. 作業効率の比較

環境中から指示された物体を選択する上記の実験において、人間と機械の協調システムの知的さを評価するための指標である MIQ (Machine Intelligence Quotient) を用いて、環境に蓄えた知識を用いて作業を行うことの有用性を示す。MIQ は、作業を行う際に必要となる作業コストの総和である CIQ (Control Intelligence Quotient) から、作業に必要な人

間の知的さを表す HIQ (Human Intelligence Quotient) を引くことで計算される。MIQ を計算するために、ITG (Intelligent Task Graph) と呼ばれる一連の作業をいくつかのタスクに分割し各タスクの関係を表す図を作成し、各タスク毎に、そのタスクを行うために必要な作業コストなど、幾つかのパラメータを与える。実験 1 から実験 4 における ITG を図 8 から図 11 に示す。図中の (1) から (8) は物体を認識する作業を 8 つに分割したときの各タスクの番号を表す。各タスクの内容を以下に示す。

- (1)：対象物の名前を得る。
- (2)：対象物の色を得る。
- (3)：対象物の形状を得る。
- (4)：対象物の特徴を得る。

- (5)：対象物の大きさを得る。
- (6)：対象物の候補を発見する。
- (7)：候補から対象物を選択する。
- (8)：対象物を確認する。

ここで、CIQ は最大で 105 となるようパラメータを設定した。図 8 から図 11 から分かるように、同じ作業結果が得られる場合でも、作業を達成するまでに行うタスクに違いがある。環境に知識を蓄えることによって、少ないタスクで物体を認識できていることが分かる。実験 1 から実験 4 における CIQ、HIQ 及び MIQ の計算結果を表 2 に示す。

表 2 から、環境に知識を蓄えることによって、MIQ の値が高くなり、CIQ の値が低くなっていることがわかる。これは、指示された本を選

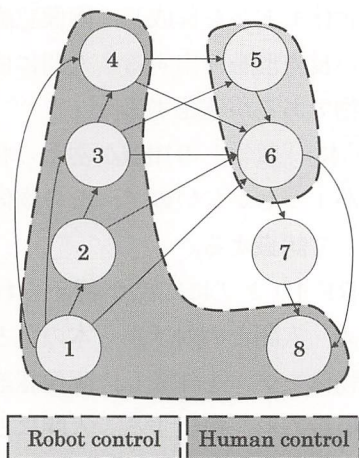


図 8 実験 1 の ITG

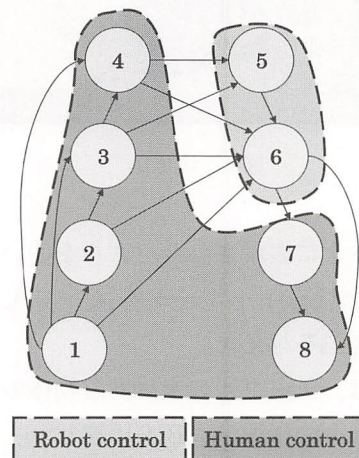


図 10 実験 3 の ITG

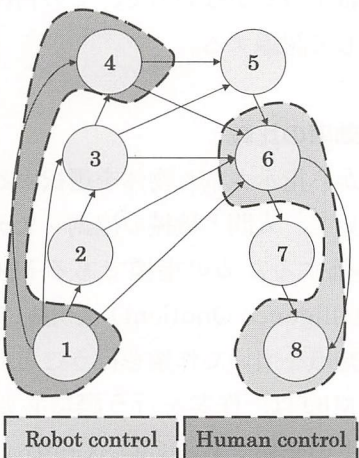


図 9 実験 2 の ITG

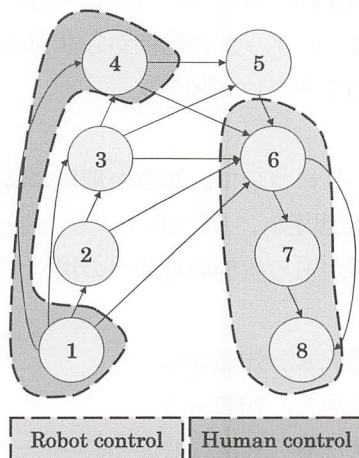


図 11 実験 4 の ITG

表2 実験における CIQ, HIQ, MIQ

Experiment	CIQ	HIQ	MIQ	MIQ / CIQ
1	75	47.3	27.7	36.9
2	49	18.7	30.3	61.8
3	105	78.3	26.7	25.4
4	79	18.7	60.3	76.3

扱するという同じ作業結果が得られる作業でも、環境に知識を蓄えることによって、作業を達成するまでに必要となる作業コストを減少させていることを示している。また、作業を達成するまでに求められる作業コストに対して、ロボットが行う作業の割合（MIQ/CIQ）は、増加している。つまり、環境に知識を蓄えることによって、作業自体が容易になることと、ロボットが人からの指示なしで作業できる割合が増えることによって、作業を達成するまでの人間の負担を減少できていると言える。

[今後の研究の方向，課題]

人間から与えられた知識を環境にだけ蓄えておくと、その知識は蓄えた環境近辺でしか利用

できない。ある場所や物体にしか使わない知識は、その場やその物体にだけ蓄えておけば良いが、ロボットが一度与えられた知識をどこでも利用するためには、ロボットが知識を蓄えておくほうが良い。このように与えられた知識を有効に利用するためには、知識の内容によってロボットが蓄えるべき知識と環境が蓄えるべき知識があり、それらを考慮した知識を蓄える方法の開発が今後の課題である。

[成果の発表，論文等]

[1] Yasushi Mae, Yoshiteru Takezawa, Mamoru Minami: "Intelligent Environment Using RF-ID Tag," The 7th Asia-Pacific Conference on Control & Measurement, pp. 177 - 181 (2006)

[2] 竹澤佳晃, 前泰志, 見浪護: "環境知能化のための対話による知識獲得", 第24回日本ロボット学会学術講演会, 3I22 (2006)

[3] 竹澤佳晃, 前泰志, 見浪護: "ロボットと人間の対話を利用した環境知能化", 日本機械学会ロボティクスメカトロニクス部門講演会, 2P1-N02 (2007)

大画面ナチュラル3次元ホログラフィックディスプレイ

Natural Three-dimensional Holographic Display with Wide Screen

1061021

研究代表者	神戸大学工学部情報知能工学科 助教授	的 場 修
研究代表者	神戸大学工学部情報知能工学科 助 手	仁 田 功 一

[研究の目的]

光技術によるデータ通信の高速化やデジタル映像機器の進展にともない、より人間に優しい3次元映像の表示・記録技術の研究が活発化している。ホログラフィーは、3次元物体からの光の波面情報を完全に記録し、再生できる理想的な方法として知られている。しかしながら、ホログラフィーによる3次元映像再生システムの開発には、空間コヒーレンスが良く、薄型でかつ大画面の光源開発が必須である。

本研究では、薄型かつ大画面化に適用可能な空間コヒーレンスの高い面光源として、導波路アレイを用いる方法を提案し、数値計算により設計する。これにより、ホログラフィーによる、より自然な3次元ディスプレイ装置を開発する重要かつ革新的な基盤となる。

[研究の内容, 成果]

本研究では、導波路アレイを用いて、薄型でかつ大画面に拡張可能な高空間コヒーレンスな面光源を提案する。ビーム伝播法を用いた光波伝播解析により、均一な強度分布が得られる導波路アレイ構造を設計する。

1. 大画面高空間コヒーレンス面光源の原理

ホログラフィーは3次元物体からの光波の分

布を参照光と呼ばれる光波と干渉させて、干渉強度分布を振幅変調または位相変調に置き換えて記録する技術である。我々は、ホログラムをデジタル情報として記録するデジタルホログラフィーにより3次元物体を記録し、再生可能であることを示している。記録された3次元物体情報を映像として再構成するためには、波面の情報、つまり、光の強度情報だけでなく位相情報も操作できる空間光変調素子とコヒーレント光源が必要である。しかし、従来の大画面ディスプレイ用の光源はインコヒーレント光源を使用しており、3次元情報を再生するために必要な位相情報を操作することが困難である。

本研究では、導波路アレイの光波分岐の性質を利用して、目に優しく、眼鏡等の特殊な装置を使用することなく、肉眼のみで観察できる3次元ディスプレイのためのコヒーレント面光源を提案する。

図1にその概念図を示す。光源としてレーザー光を導波路アレイに入射することでレーザー光がアレイ状に並ぶ導波路内に分岐される。時間コヒーレンスの高いレーザー光を分岐しているため分岐された光も高コヒーレントな光として出力され、位相情報が保存されることが期待できる。

導波路アレイからの出力光波は、コリメートレンズにより平行光にされた後、液晶空間光変調素子などの空間位相変調素子に入射され、位

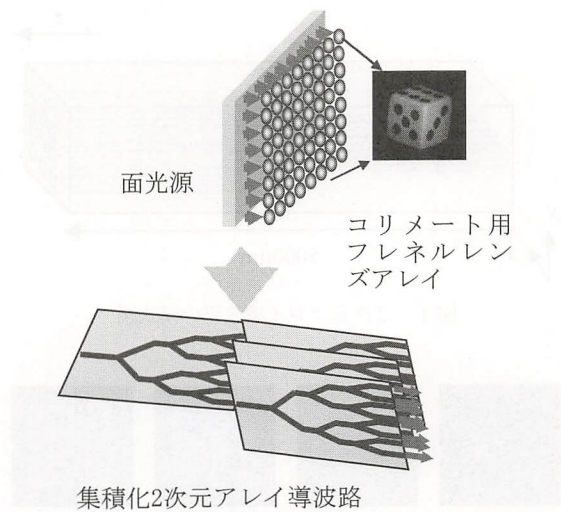


図1 導波路アレイを用いた大画面高コヒーレンス面光源とそれを用いた3次元ディスプレイ

相は各画素で自由に制御される。我々は、位相変調分布のみにより、3次元物体を再生できることを既に明らかにしており、提案するコヒーレント面光源により3次元映像を自然な形で観察することができる。

以下では、2次元アレイ導波路を設計するために、はじめに1次元アレイ導波路で1次元方向に光波を分岐した後、2次元方向に展開する2段階の設計を行った。

2. 1次元アレイ導波路の設計

ディスプレイ用光源として使用するためには、導波路アレイから出力されるそれぞれの光波の強度が均等になることが望ましい。また、位相分布も均一であることが望まれる。等間隔の1次元導波路アレイでは、理論上、それぞれの導波路から出力される光波の強度はベッセル関数の関係で出力されることが知られている。本節では、2次元差分ビーム伝播法を用いて、1次元アレイ導波路での光波の伝播解析を行った。

1次元アレイ導波路での導波路幅、導波路間隔、コア、クラッドの屈折率のパラメータを表1に示す。アレイ導波路の断面図を図2に示す。コアの屈折率を n_{core} 、クラッドの屈折率を n_{clad} とする。導波路アレイの導波路の本数は9本であるとし、コア、クラッドの屈折率差は固定と

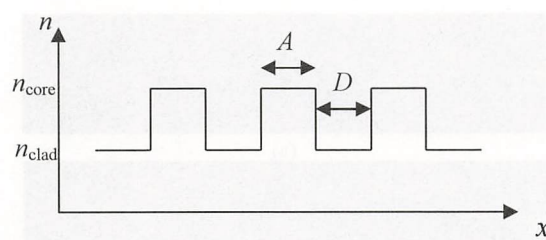


図2 1次元アレイ導波路の断面図

表1 1次元アレイ導波路の設定値

	A (μm)	D (μm)	n_{core}	n_{clad}
pattern 1	2.5	2	1.5	1.49925
pattern 2	2.5	4	1.5	1.49925
pattern 3	4.5	2	1.5	1.49925
pattern 4	4.5	4	1.5	1.49925
pattern 5	6.5	6	1.5	1.49925

A : channel width
D : separation between channels

する。導波路幅 A、間隔 D を変化させて光波の伝播の様子と出力強度のばらつきを調べた。各導波路はシングルモード条件を満足している。

導波路アレイに入射する光は波長 532 nm の単色コヒーレント光を用いる。計算領域は x 方向×z 方向に $512\mu\text{m} \times 10,000\mu\text{m}$ であり、x 方向、z 方向の分解能はそれぞれ $0.5\mu\text{m}$ 、 $5.0\mu\text{m}$ である。z 方向は光の伝播方向である。入力には単一導波路の導波モードを与えた。

表1に示す5つの導波路パターンに対する伝播の様子を図3に示す。伝播距離 z を変化させ、9本の導波路からの出力強度が均一になる場所を求める。表2は5つのパターンについて、9本の導波路の出力強度の分散値が最も小さくなる時の伝播距離 z と平均強度、分散を示したものである。分散値が最も小さい値を示したパラメータは pattern 3 である。薄型ディスプレイの設計を目的としているため、短い伝播距離で光波を分割できることが重要である。そこで以下の3次元シミュレーションでは pattern 3 のパラメータを元に解析する。

3. 2次元導波路アレイの設計

1次元アレイ導波路の結果を元に、薄型3次元ディスプレイ用コヒーレント光源を設計

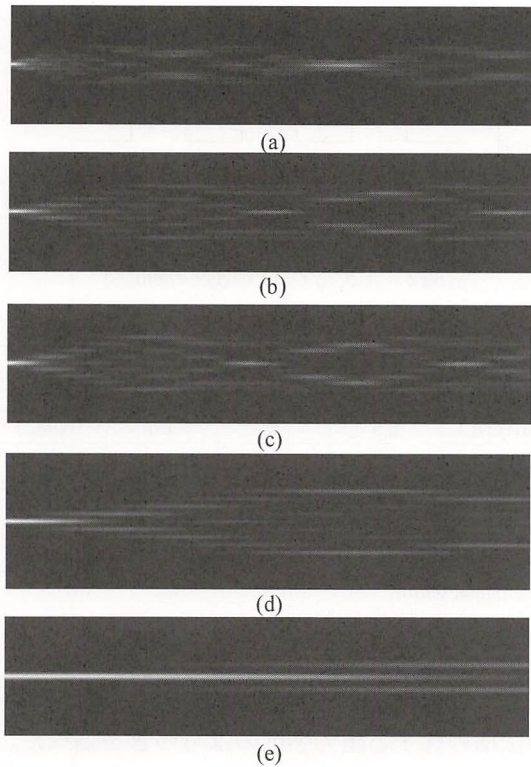


図3 導波路中の光波伝播の様子
それぞれ pattern (a) 1, (b) 2, (c) 3, (d) 4, (e) 5

表2 伝播距離に対する平均強度と分散

	z (μm)	分散	平均強度
pattern 1	1,455	1.36×10^{-3}	0.13
pattern 2	2,205	1.12×10^{-3}	0.12
pattern 3	1,940	9.96×10^{-4}	0.11
pattern 4	4,865	2.11×10^{-3}	0.11
pattern 5	24,480	2.56×10^{-3}	0.11

する。3次元シミュレーションを交互陰差分法 (ADI-BPM) を用いて解析する。

2次元アレイ導波路の解析では、図4の2次元アレイ導波路モデルを用いる。1次元アレイ導波路の結果を元に $z = 1940 \mu\text{m}$ 平面まで x 軸方向に9本の導波路を並べる。導波路は $4.5 \times 4.5 \mu\text{m}$ の矩形導波路を用いて、導波路間の幅を $2 \mu\text{m}$ と設定し、屈折率はコア n_{core} を1.5、クラッド n_{clad} を屈折率差0.05%の1.49925に設定する。 $z = 1940 \mu\text{m}$ の位置で、ここまで x 軸方向に配列させていた9本の導波路を中心に y 軸方向に同じように9本の導波路を並べた。計算領域を $x \times y \times z = 512 \times 512 \times 5,000$ 画素とし、 x, y, z の分解能 $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ を $\Delta x =$

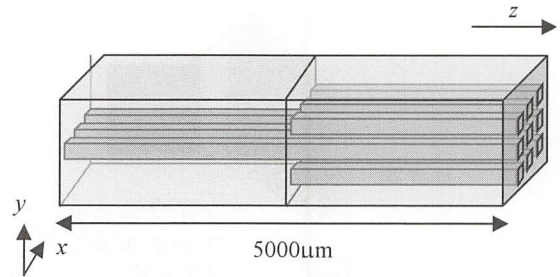


図4 2次元アレイ導波路の模式図

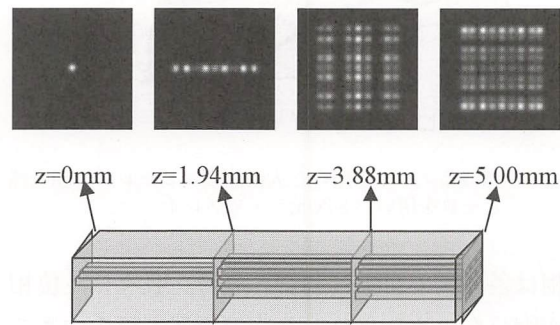


図5 2次元アレイ導波路における各 z 位置での出力強度分布

$\Delta y = 0.5 \mu\text{m}$, $\Delta z = 5.0 \mu\text{m}$ とする。

図5は $z = 0 \text{ mm}$, $z = 1.94 \text{ mm}$, $z = 3.88 \text{ mm}$, $z = 5.0 \text{ mm}$ 平面での導波路アレイの光の伝播の様子を表したものである。 $z = 5.0 \text{ mm}$ 平面で81本の導波路の中心の光強度を比較した時、平均値 1.1×10^{-2} , 分散値 2.31×10^{-5} となった。強度むらがあるのが分かるが、 $z = 5.0 \text{ mm}$ では、 9×9 の出力スポットが見られる。1次元アレイ導波路では、 $z = 1.94 \text{ mm}$ で9つに分岐しているが、2次元アレイ導波路では、 $z = 3.88 \text{ mm}$ で最も良好な出力パターンが得られている訳ではない。この理由は、2次元アレイ導波路では、2次元方向の結合が存在するため、導波路間のエネルギーの移行が2次的に複雑化していることに起因すると考えられる。

図6に $z = 5.0 \text{ mm}$ での x, y 軸方向の位相分布の断面図を示す。導波路の周期に比べて、位相分布の周期は緩やかである。 $\pm 40 \mu\text{m}$ の範囲で位相変化は $2\pi \text{ rad}$ 程度である。しかしながら、位相は均一でないため、空間位相変調素子での補正が必要である。

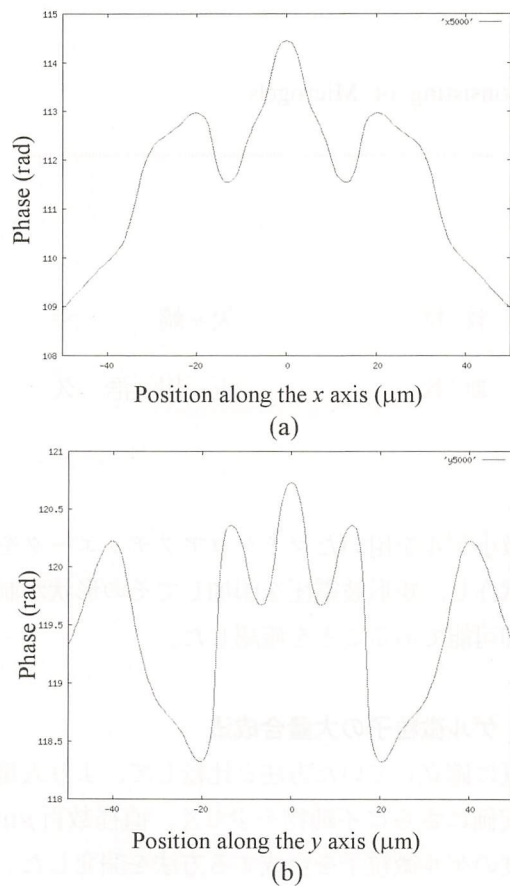


図6 $z = 5.0 \text{ mm}$ での位相分布
(a) x 軸方向, (b) y 軸方向

[今後の研究の方向, 課題]

本研究では, 長さ 5.0 mm で 9×9 の導波路アレイの設計を行ったが, 3次元ディスプレイのためには, 1024×768 画素以上の導波路アレイを 1 cm 程度で作製する必要がある。このため本提案手法のように1次元ずつ光波を分岐するのではなく, 入射位置から2次元アレイ導波路の構造設計を行う必要がある。また, 導波路構造を面内, 伝播方向ともに均一とするのではなく, 分布を持たせることで, 出力強度のばらつきをおさえることが可能であるかを調べる必要がある。

[成果の発表, 論文等]

- 1) O. Matoba, K. Hosoi, K. Nitta, and T. Yoshimura: Fast acquisition system for digital holograms and image processing for three-dimensional display with data manipulation, Appl. Opt., Vol. 45, No. 35, pp. 8945 – 8950 (2006)
- 2) IEEE LEOS (Laser and Electro-Optics Society), 応用物理学会等に発表予定 (2007)

ゲル微粒子を用いたマイクロアクチュエータの開発

Development of Microactuators Consisting of Microgels

1061022

研究代表者	岐阜大学工学部 教授	矢ヶ崎 一 幸
共同研究者	岐阜大学工学部 助教	玉 川 浩 久

[研究の目的]

本研究では、高分子材料のひとつであるゲルで作製された、直径 $10\mu\text{m}$ 程度の微粒子を用いることにより電気駆動型マイクロアクチュエータを開発することを目的とする。本マイクロアクチュエータは、微粒子を単に繋げて電極間に挟むだけで様々な形状のものが容易に製作でき、また、非常に柔らかく、その構成要素として用いることにより人工筋肉の実現化が可能である。さらに、脳血管診断・治療用マイクロカテーテル、聴覚などの感覚器代行、細胞やDNA操作など、医療や福祉、バイオ分野でも期待されているマイクロマシンの動力源としても適したものである。本研究の成果は人類の幸福のために貢献する新しい形の機械の創造に寄与するものである。

[研究の内容、成果]

上記の研究目的のもと、具体的に次の研究を行った。

- 直径数百 μm 程度のゲル微粒子の簡易大量合成法を開発した。
- COOH 基を含むゲル微粒子の印加電圧下における膨潤収縮挙動を実験的に調べた。さらに、ゲルの膨潤収縮挙動を記述する数学モデルを提案し、その妥当性を検証した。

- 微小ゲルを用いたマイクロアクチュエータを試作し、矩形波電圧を印加してその形状が制御可能であることを確認した。

1. ゲル微粒子の大量合成法

既に確立していた方法と比較して、より大量に安価にさらに不純物を少なく、直径数百 μm 程度のゲル微粒子を合成する方法を開発した。COOH を含むアクリルアミド系のゲル微粒子を例に挙げて以下に合成手順を述べる。

- (i) アクリルアミドとアクリル酸をモノマーとする共重合体プレゲル液を作製する。
- (ii) 油凝固剤と食用油の混合液体に、プレゲル液を攪拌混合する。溶液中にはプレゲル液滴が生成される。
- (iii) (ii) で作製した溶液を加熱溶解したパラフィン（融点 60°C ）に攪拌混合し、さらに攪拌しながら自然冷却してプレゲル液滴を閉じ込めた状態で固化させる。
- (iv) (iii) で作製したパラフィン混合体を 55°C 下で 4 時間加熱し、プレゲル液滴を重合させる。
- (v) 大量の熱湯中に (iv) で作製したパラフィン混合体を入れ再溶解させ、ゲル微粒子を熱湯中に抽出する。さらに、溶解したパラフィンを除去し、一日静置する。ビーカー底にゲル微粒子が沈殿した後、上澄みを捨てる。

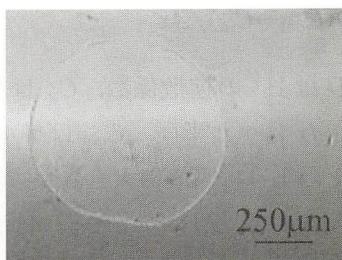


図1 水中での膨潤ゲル微粒子

- (vi) (v) の沈殿物にイオン交換水を加え加熱し、ゲル微粒子の表面を洗浄する。一日静置後、上澄みを捨てる。この洗浄操作を数回繰り返す。
- (vii) さらにイオン交換水を入れ、ゲル微粒子内部の不純物を遊離させる。その後エタノールを加え、ゲルを収縮沈殿させて上澄みを捨てる。
- (viii) 最後に透析を行い、不純物の極めて少ないゲル微粒子を作製する。

図1は、この手順で作製されたゲル微粒子をイオン交換水に浸漬し膨潤させたときの様子を写真撮影したものである。このように非常にきれいな球状のゲル微粒子を大量に合成することができる。また、溶媒として水とエタノールを用いて、巨視的ゲルと変わらない可逆的膨潤収縮挙動を観察した。この合成手法は他種のゲル微粒子合成にも有効であった。

2. 電気刺激下におけるゲルの形状変化

2.1 実験

1章の方法で作製した、負電荷を帯びたアニオン性ゲル微粒子の電気刺激下における挙動を実験により調べた。ゲルは温度等様々な外部環境に鋭敏に応答する為、全ての測定は恒温恒湿機中で温度湿度環境を一定に保って行った。

図2に示すように、水中（pH 6程度）でゲル微粒子を正あるいは負の電極近くに置き、5、7.5および15 Vの3通りの直流電圧を印加して、形状の変化を位相差顕微鏡下で測定した。このとき同時に電極間に流れる電流も計測した。

図3と4に、印加電圧が5 Vのとき正極と

負極付近にゲルを置いた場合に測定された直径の経時変化を示す。図からわかるように、正極付近に置いた場合アニオン性ゲルは収縮し、負極付近に置いた場合膨潤する。

図5と6は、3通りの印加電圧に対して、ゲル微粒子の初期直径と（直径変化の）時定数の関係を求めた結果である。図より、電圧が高く、初期直径が小さいほど、平衡状態へ到達する時間が短いことがわかる。これは、アニオン性ゲルが低 pH 溶液中で収縮、高 pH 溶液中で膨潤することと、溶媒（水）の電気分解により正極と負極で H^+ と OH^- が生成して、pH が正極で低く、負極で高くなるためと考えられる。

電極間を流れる電流が、電気分解における H^+ と OH^- の生成に伴う電子授受によるものと考えて、電極付近の pH を近似的に算出した。その計算結果を表1に示す。最初水は pH 6 程度であるが、印加電圧の大きさによらず、正極

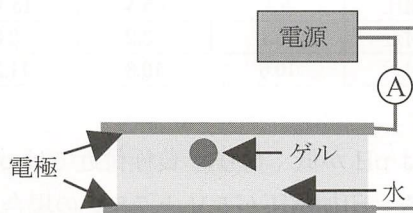


図2 実験装置の概略

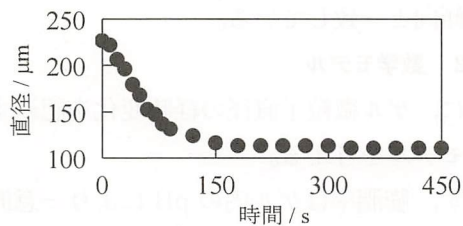


図3 正極付近でのアニオン性ゲルの直径の経時変化

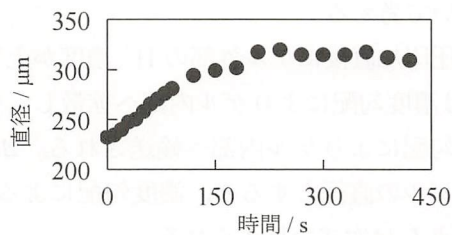


図4 負極付近でのアニオン性ゲルの直径の経時変化

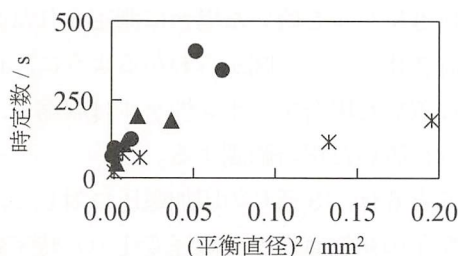


図5 正極におけるゲルの(平衡直径)²と時定数の関係(○は印加電圧が5 V, △は7.5 V, *は15 Vの場合の結果)

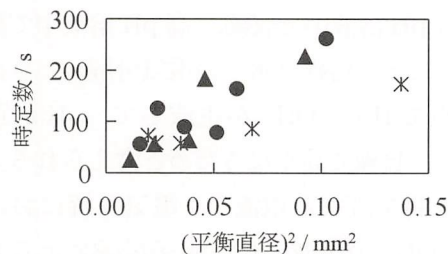


図6 負極におけるゲルの(平衡直径)²と時定数の関係(○は印加電圧が5 V, △は7.5 V, *は15 Vの場合の結果)

表1 測定電流より予測される電極付近のpH

印加電圧	5 V	7.5 V	15 V
正極付近	3.1	3.2	2.8
負極付近	10.6	10.8	11.5

付近ではpHが低くなり、負極付近ではpHが高くなる。印加電圧が5 Vと7.5 Vの場合、15 Vの場合と比較すると、正負極ともpHは余り大きな差が見られない。これは、図5と6の結果の傾向と一致している。

2.2 数学モデル

次に、ゲル微粒子直径の経時変化を記述する数学モデルを与える。

まず、膨潤率はゲル内のpHにより一意的に決定されるものと仮定し、ゲル内のH⁺の濃度に着目する。ゲル微粒子が正極付近にある場合について考える。

電圧印加直後にゲル外部のH⁺濃度が上昇し、H⁺は濃度勾配によりゲル内部へ拡散し、更に電位勾配によりゲル内部へ輸送される。 Δx を微小ゲルの直径とすると、濃度勾配によるH⁺の流速 J_d は次式で与えられる。

$$J_d = D(C_{\text{out}} - C_{\text{in}}) / \Delta x \quad (1)$$

ここで、 D はH⁺の拡散係数、 C_{in} はゲル内部H⁺濃度、 Δx はゲル半径、 C_{out} はゲル外部H⁺濃度で表1のように電流の大きさから算出できる。電位勾配によるH⁺の流速 J_e は次のようになる。

$$J_e = u C_{\text{out}} (V_{\text{out}} - V_{\text{in}}) / \Delta x \quad (2)$$

ここで、 u はH⁺の移動度、 V_{in} と V_{out} は、それぞれ、ゲルの内部と外部の電位である。また、 e を電気素量、 k をBoltzmann定数、 T を絶対温度として、Einsteinの関係

$$u = (eD) / (kT) \quad (3)$$

が成立する。電圧を印加する時刻を $t = 0$ とする。ゲル内部のH⁺の量は、ゲル体積 $v = (4\pi/3)\Delta x^3$ を用いて $C_{\text{in}}v$ と表わされる。 R を膨潤率とすると、半径 Δx は次式で与えられる。

$$\Delta x = (R/R_0)^{1/3} \Delta x_0 \quad (4)$$

ここで、 R_0 と Δx_0 は、それぞれ、初期時刻 $t = 0$ におけるゲル微粒子の膨潤率と半径である。

$S = 4\pi\Delta x^2$ をゲル表面積、 C_0 をゲル合成直後のアクリル酸モノマー濃度とすると、微小時間 Δt におけるゲル内部のH⁺の増加量は、

$$(J_d + J_e)S\Delta t - \frac{KC_0v_0}{R_0} \left(\frac{1}{C_{\text{in}}(t + \Delta t) + K} - \frac{1}{C_{\text{in}}(t) + K} \right) \quad (5)$$

と計算される。ここで、 v_0 は時刻 $t = 0$ でのゲル微粒子の体積、 K はCOOHの解離平衡定数である。ゲル微粒子とほぼ同組成の巨視的ゲルの実験結果から、膨潤率 R とDonnanポテンシャル ϕ を $\log C_{\text{in}}$ の多項式によって次のように近似する。

$$R(C_{\text{in}}) = a_3 [\log C_{\text{in}}]^3 + \dots + a_1 [\log C_{\text{in}}] + a_0 \quad (6)$$

$$\phi(C_{in}) = b_4[\log C_{in}]^4 + \dots + b_1[\log C_{in}] + b_0 \quad (7)$$

また, Donnan ポテンシャル ϕ を用いると,

$$V_{out} - V_{in} = \phi(C_{out}) - \phi(C_{in}) \quad (8)$$

となることに注意する。結局, 式 (4)–(6) より, 次式が導かれる。

$$\dot{C}_{in} - f(C_{in}) = 0 \quad (9)$$

ここで,

$$f(C_{in}) = \frac{R_0 S (J_d + J_e) (C_{in} + K)^2}{(R_0 v + v_0 C_{in} R') (C_{in} + K)^2 - K C_0 v_0} \quad (10)$$

であり, ドットとダッシュは時間 t と C_{in} に関する微分を表す。

式 (1)–(4) および (6)–(8) の関係を用いて式 (9) を数值的に解くことにより, ゲル内部 H^+ 濃度 C_{in} , さらに, 式 (4) の関係からゲル半径 Δx を求めることができる。同様な方法により, 膨潤過程の場合も扱うことができる。初期直径が 200, 300, 400 μm の場合に対して, 微小ゲルが正極付近にあり, 収縮する場合に計算を行った結果を図 7 に示す。計算結果は図 3 の実験結果をある程度再現している。また, 微小ゲルが負極付近にあり, 膨潤する場合の計算結果も同様な結果が得られた。

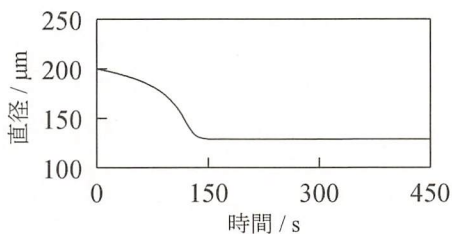


図7 ゲル直径経時変化 (数値計算)

3. 印加電圧によるゲル微粒子変形制御

ゾルーゲル間の固定電荷間静電相互作用を利用し, 正電荷を帯びたカチオン性ゾルにより 10 個のアニオン性ゲル微粒子を接着して, マ

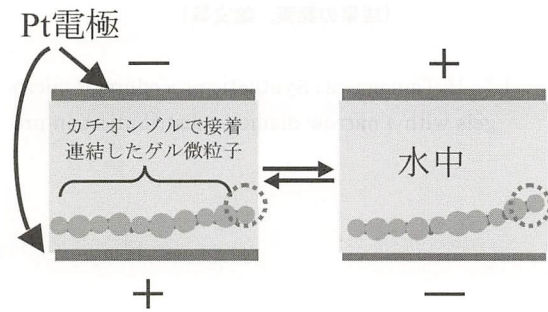


図8 実験装置の概略

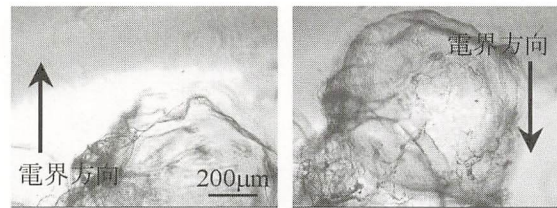


図9 連結ゲル微粒子の運動映像

イクロアクチュエータを試作した。さらに, 図 8 に示すように, 試作したマイクロアクチュエータを Pt 電極間に置き, 振幅 7.5 V, 周期 20 s の矩形波電圧を印加してその変形挙動を観察した。図 9 に示した写真のように, マイクロアクチュエータは可逆的の屈曲運動を示した。図 9 では顕微鏡撮影の為視野が狭く図 8 の点線で囲んだ部分のみの撮影となっている。電界方向が上向きの場合はゲル上面が収縮し, 電界方向が下向きの場合はゲル下面が膨潤し, 全体として図 8 に示すような屈曲運動を行った。

[今後の研究方向, 課題]

微小ゲルを用いたマイクロアクチュエータの実現に向けて研究を進めて行く。この目的のため, 以下の課題が残されている。

- (i) 多数の微小ゲルの集積法の確立
- (ii) ゲル表面に密着する屈曲性電極の開発
- (iii) 微小ゲルの機械強度の向上
- (iv) マイクロアクチュエータの発生力の測定および向上
- (v) より正確な微小ゲルの膨潤収縮モデルの提案

[成果の発表, 論文等]

- [1] H. Tamagawa: Synthetic procedure of microgels with a narrow diameter distribution, in pre-

paration.

- [2] H. Tamagawa and K. Yagasaki: Electrically-induced volume change behavior of microgels, in preparation.

国際交流報告の抄録一覧

(平成 18 年度)

〔派遣〕

- ◆ 2006 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA) (1062001) …… 122
荒 田 純 平 名古屋工業大学大学院 工学研究科情報工学専攻 助手
- ◆ 2006 IEEE International Conference on Acoustics,
Speech and Signal Processing (ICASSP) (1062002) …… 122
北 原 鉄 朗 京都大学大学院 情報学研究科 知能情報学専攻 博士後期課程
- ◆ IFAC International Symposium on Advanced Control of
Chemical Processes ADCHEM (1062003) …… 123
佐 藤 孝 雄 兵庫県立大学大学院 工学研究科 機械系工学専攻 助教
- ◆ ACM 21st Annual Symposium on Applied Computing (1062004) …… 123
松 本 倫 子 埼玉大学大学院 理工学研究科 情報数理学専攻 博士後期課程
- ◆ The XVI Congress of the International Society of
Electrophysiology and Kinesiology (1062005) …… 124
村 岡 哲 郎 早稲田大学 先端科学健康医療融合研究機構 客員研究助手
- ◆ 2006 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA) (1062006) …… 124
森 亮 介 信州大学 工学部 機械システム工学科 助教
- ◆ nanotech 2006 montreux (1062101) …… 125
岡 田 浩 樹 名古屋大学大学院 工学研究科 化学・生物工学専攻 博士後期課程
- ◆ SICE-ICASE International Joint Conference 2006 (SICE-ICCAS 2006) (1062102) …… 125
辻 俊 明 埼玉大学 工学部電気電子システム工学科 助教
- ◆ 10th International Workshop on Frontiers in
Handwriting Recognition (IWFHR '10) (1062103) …… 126
徳 野 淳 子 国立大学法人 東京農工大学 総合情報メディアセンタ 特任助手
- ◆ 2006 IEEE International Conference on Systems,
Man, and Cybernetics (SMC 2006) (1062104) …… 126
野 村 収 作 島根大学 総合理工学部 数理・情報システム学科 助手
- ◆ 7th International Conference on Music Information Retrieval (ISMIR) (1062106) …… 127
吉 井 和 佳 京都大学大学院 情報学研究科 知能情報学専攻 博士後期課程
- ◆ 2006 IEEE International Conference on System, and Cybernetics (SMC '06) (1062107) …… 127
山 口 生 九州工業大学 ヒューマンライフ IT 開発センター 博士研究員

〔招聘〕

- ◆ IWIC 2007 第一回異文化コラボレーション国際ワークショップ (1063101) …… 128
石 田 亨 異文化コラボレーション 国際ワークショップ実行委員会 /
京都大学大学院 教授

〔派遣〕

派遣研究者	名古屋工業大学大学院 工学研究科情報工学専攻 助手 荒田 純平	1062001
研究集会名	2006 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)	
出張期間	平成 18 年 5 月 14 日～ 21 日	
開催場所	アメリカ合衆国 フロリダ州 オーランド市	
発表論文	遠隔低侵襲手術システムを用いた日本－韓国間遠隔手術実験 (A Remote Surgery Experiment between Japan-Korea Using the Minimally Invasive Surgical System)	

概要：

37 万人の会員を世界 150 カ国に有する IEEE 主催の国際会議である ICRA は、ロボット分野において世界最大規模の国際会議である。本年の ICRA における採択率は 39%（応募件数 1756 件）であり、ロボット研究における非常に高いレベルの国際会議として広く認知されている。会議は、5/15 から 5/19 にかけて行われ、会議での発表に加え、会議初日と最終日に行われたワークショップにも参加するなど、積極的な会議参加を行うことができた。研究分野とする手術ロボット分野においては、本大会では関連研究も含めて 4 つのセッションが構成され、どのセッションでも会場が満員になるほど盛況であった。

研究発表は、セッション「Surgical Robot I」にて行い、多くの参加者から多くの質問を受け、大変有意義なものとなった。特に、今回発表を行った遠隔手術については、今後の手術ロボット開発におけるキラーアプリケーションとなるであろうとの議論がなされ、注目の高い分野である。本大会でも国境を越えた遠隔手術実験を実際に行い、報告を行った論文は唯一であったこともあり、大きな注目に集めた。

参加したワークショップ「MRI Compatible Robotics」は、これから大きな発展が見込まれる分野であり、世界中の研究者が会した本会議での情報交換は大変有用な機会であった。また、ワークショップ「Robotics based Medicine」は、世界中の著名な研究者が会し、研究発表とディスカッションが活発に交わされた。世界最先端の開発動向を知り、また実際の研究者から意見を聞くことができる貴重な機会であった。

派遣研究者	京都大学大学院 情報学研究科 知能情報学専攻 博士後期課程 北原 鉄朗	1062002
研究集会名	“2006 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing” (ICASSP)	
出張期間	平成 18 年 5 月 13 日～ 25 日	
開催場所	フランス国 ツールーズ市	
発表論文	発音時刻検出と音高推定の不要な楽器音認識技術 (A Music Instrument Recognition Technique without Using Onset Detection nor F0 Estimation)	

概要：

ICASSP は、IEEE 主催の音響信号処理分野における最大規模かつ最難関の国際会議であり、世界中の音響信号処理研究者が一堂に会する。音声情報処理のみ、あるいは音楽情報処理のみに特化した会議とは異なり、様々なバックグラウンドを持つ研究者から意見をもらうことができるという点では、非常に重要かつ有意義な会議である。本年の ICASSP は、オーラル 6 会場、ポスター 8 会場のパラレル進行となっており、1460 件の発表があった。（投稿総数 3040 件、採択率 48%）

私は、ポスターセッション「Application to Music」にて、我々の楽器音認識研究の最新成果を発表した。発表の内容は、楽器音認識を「時間周波数平面における楽器存在確率の計算」と捉え、この計算を発音時刻や基本周波数を推定することなく行う新たな方法についてである。発表を行った当セッションは、絶え間なく人が来て、ポスターを読んだり議論をしたりで大変盛況であり、我々の研究成果に関しては、多くの研究者から面白いとの評価をいただいた。楽器音認識の新たなアプローチとして認知性が高まっていくことを期待している。

今回このような重要な会議に参加して、我々の研究にとっても大変意義深い研究やアイデアにも触れることができ、さらなる研究開発のヒントとなりうる情報を多く得られたことは大きな収穫であった。

派遣研究者	兵庫県立大学大学院 工学研究科 機械系工学専攻 機械知能工学部門 助教 佐藤 孝雄	1062003
研究集会名	高度プロセス制御に関する国際会議 (IFAC International Symposium on Advanced Control of Chemical Processes ADCHEM)	
出張期間	平成 18 年 4 月 2 日～5 日	
開催場所	ブラジル国 グラマド市	
発表論文	高速シングルレート系と入力多重マルチレート系の一般化予測制御 (Generalized Predictive Control in Fast-rate Signal-rate and Input Multiplex Type Multirate System)	

概要：
国際会議（ADCHEM）は、プロセス制御を主な対象として 3 年毎に開催される主要な国際会議であり、ほぼ世界中の該当分野の研究者を対象にした規模の会議である。会議場の場所柄か成果参加者は、南北アメリカ、ヨーロッパ、アフリカがほとんどを占め、アジアからはわずか 3 名であり、その内訳は台湾 1 名、日本 2 名であった。このうち 1 名は申請者自身である。今回、この国際会議にて研究成果を発表する機会に恵まれ今後の研究をますます進展させるための大きな励みにもなった。以下に、発表内容の概要を示す。

連続時間系である制御対象を離散時間系であるディジタル制御器を用いて制御するサンプル値制御では、連続的な信号を得ることができず、計測したサンプル点上の信号しか利用できない。人間も連続的な情報を用いて動作しているように思えるが、多くの動作は自分自身や操作する機械の挙動を予め脳の中で描き、目などの計測装置からの信号を散発的に考慮しつつ動作していると考えられる。本研究は、このような合理的な人間の動作を制御方法として実現する研究である。サンプリング周期と制御周期が異なるマルチレート系は、シングルレート系と比べてサンプル点上の応答改善に有効であるが、サンプル点間の応答を悪化する恐れがあり、設計は相対的に複雑となる。そこで本研究では、シングルレート系とマルチレート系の相違を意識することなく制御系設計を可能とするため、一般化予測制御の統一的な設計方法について提案したものである。実システムへの適用例として磁気ディスク装置の制御など、サンプリング周期に制約を有する系への応用が挙げられる。

派遣研究者	埼玉大学大学院 理工学研究科 情報数理学専攻 博士後期課程 松本 倫子	1062004
研究集会名	ACM 21st Annual Symposium on Applied Computing (ACM: Association of Computing Machinery)	
出張期間	平成 18 年 4 月 21 日～23 日	
開催場所	フランス国 デュジョン市	
発表論文	Cooperative Active Contour Model and Its Application to Remote Sensing	

概要：
本会議は、情報技術分野で最も評価の高い国際学会 ACM が組織する国際会議で、20 年以上の歴史があり高レベルで定評があります。大きな特徴としては、特定分野に絞った会議ではなく、総合的な複数分野に跨るセッション（今回は、38 セッション）で構成され、研究者が一堂に会することが挙げられます。今回、927 本の論文提出に対し厳密な審査の結果 300 本の論文が受理（採択率 32.4%）されました。

我々の論文（ポスターセッション）は、分散人工知能の分野で盛んに研究されている分散協調システムを画像の領域分割の一手法である動的輪郭モデル Snake に導入したものです。多くの研究者とディスカッションができ、またセッションチェアマンからは「興味深い研究だ」との言葉をいただくなど、反応はおしなべて好評で、非常に有意義な発表となりました。今後の展開へ参考となるアドバイスも多数あり、十分な手ごたえと共に、本研究がどのような発展を見込めるかといった意味でも多くの可能性が見えてきた大変充実した会議であったと感じています。

私自身国際会議への出席は初めての経験でしたが、世界の多くの研究者の持つ情熱に触れ、大いに勇気付けられましたし、またディスカッションを通して知り合うこともできました。私個人としても非常に大きな飛躍であり、今後の自身の成長にとって貴重な機会となりました。今回の発表を通して学んだことを糧に頑張ります。

派遣研究者	早稲田大学 先端科学健康医療融合研究機構 客員研究助手 村岡 哲郎	1062005
研究集会名	The XVI Congress of the International Society of Electrophysiology and Kinesiology (The International Society of Electrophysiology and Kinesiology)	
出張期間	平成 18 年 6 月 28 日～7 月 3 日	
開催場所	イタリア国 トリノ市	
発表論文	同位相の筋活動は、同側手足を逆方向に動かすことを容易にする (In-phase Muscle Activation Makes It Easier to Move Ipsilateral Hand and Foot in Opposite Directions)	

概 要：

この国際会議は、ヒトを対象とした電気生理学に関する世界的な会議で、国内外で非常に重要視されている。今回の会議においては、Keynote Lecture 5 題、一般口頭発表演題 156 題、一般ポスター発表演題 226 題の合計 387 題の演題が発表された。会議における発表内容は、基礎から臨床までの主に身体運動に関する最先端の研究であった。発表者の出身国を見ると、開催国であるイタリアに加え、ブラジル、カナダ、アメリカ、オランダ、日本の発表者が多かった。会議は、同時進行で行われる発表が多くならないように配慮されており、聞きたい発表が同時に行われて困ったということはない。

この中で、標記演題のポスター発表を行った。

多数の研究者と話をする機会を持つことができ、今後の研究方針なども含めた有意義な議論をすることができた。今回の学会大会参加により、手足協調動作の制御機構について研究をしていく上での今後の指針、有用な方法論を見出すことができ、また、現在行われている最新の研究に触れることができた。今回得られた経験は、手足協調動作の制御機構に関する研究を今後進めていく上で非常に大きな助けになるものと思われる。

派遣研究者	信州大学 工学部 機械システム工学科 助教 森 亮介	1062006
研究集会名	2006 ロボット工学と自動化に関する国際会議 (2006 IEEE International Conference on Robotics and Automation/ICRA 2006)	
出張期間	平成 18 年 5 月 14 日～21 日	
開催場所	アメリカ合衆国 フロリダ州 オーランド	
発表論文	ヒューマンスキルを実現する知能ロボットシステムの開発 —単眼視覚を持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— (Development of Intelligent Robot System Realizing Human Skill Realization of Ball Lifting Task Using a Mobile Robot with Monocular Vision System)	

概 要：

本会議は、IEEE 主催のロボットに関する国際会議として最も権威が高く、今年度は、49 ヶ国から 1756 件の論文投稿があり、最終的に 680 件が採択され、過去最低の 38.7% の採択率という大変厳しいものであった。59 件のポスター発表も含め、113 のテクニカルセッション、3 つのビデオセッション、および 14 のチュートリアル/ワークショップが 5 日間に亘って行われた。参加人数も 1144 人と規模も大きく、質の高い国際会議であった。

私の発表は、テクニカルセッションの初日に、コンピュータビジョンのセッションで行った。人間の視覚に関連した視覚を持つロボットの制御のセッションで、私の発表論文に最も適したセッションであったことと、スケジュールや同じセッションの発表者に恵まれたこともあってか、多数の聴衆が集まり、私の発表に興味をもたれた研究者から、質疑応答の時間が過ぎるほど多数の貴重な意見や質問をいただいた。特に、人間の高度なスキルをどのようにしてロボットに実装するかについての議論においては、今後の研究を進める上で非常に重要な知能ロボット開発に関する大変貴重な意見をいただき大いに参考になった。セッション以外にも、多くの研究者と議論をする機会があり、大変有意義であった。

派遣研究者	名古屋大学大学院 工学研究科 化学・生物工学専攻 博士後期課程 岡田 浩樹	1062101
研究集会名	nanotech 2006 montreux (nanotech 2006 montreux 組織委員会)	
出張期間	平成 18 年 11 月 11 日～19 日	
開催場所	スイス国 モントルー市	
発表論文	PMMA マイクロチップ上でのタンパク質高効率解析を指向した新規ナノコーティング技術の開発 (Novel Non-Covalent Adhesive Polymer Coating on PMMA Microchip for High-Throughput Protein Analysis)	

〔派遣〕

本国際学会は、近年注目を集めているナノバイオテクノロジーに関するもので、ヨーロッパにおけるこの分野の代表的な学会の一つである。ここ数年はヨーロッパだけでなくアメリカやアジアからの参加者も増加しており、まさに国際学会となっている。参加人数は、100 人余りと多くはない。この会議は、ナノテクノロジーを専門とする半導体技術者や研究者、また生命科学を専攻する研究者が一堂に会する場であり、当該分野の最新の研究発表や討論、及び技術交流が毎年行われている。少人数ゆえ、研究者同士の交流は密なものとなっている。今回の参加で、NIH（国立衛生研究所）の Brenda Korte 博士とは現在の私の取り組んでいる研究についていろいろ相談させてもらい、今回の学会参加の大きな成果の一つになっている。

ところで、この 2、3 年間にナノテクノロジーを活かしたタンパク質解析研究（プロテオミクスと呼ばれる）は最も注目を集めており、この会の主要テーマの一つとなっている。私の発表は、マイクロチップ上にマイクロ・ナノ構造体を構築し、タンパク質解析のスループットを飛躍的に増大させたというものである。このような重要な学会において、この研究内容を発表することは、ナノテクノロジーのプロテオミクス分野における重要性を世界にアピールできるだけでなく、生命科学・医療分野からのナノテクノロジーへの注目を集めるものと期待される。参加者からは、マイクロ・ナノ構造体の具体的作成方法などについて質問が多かった。また 12 本の分析場を一枚のチップ上に集積化させた今回の私の研究発表に対して、評価するコメントを多数いただいた。

派遣研究者	埼玉大学 工学部 電気電子システム工学科 助教 辻 俊明	1062102
研究集会名	SICE-ICASE International Joint Conference 2006 (SICE-ICCAS 2006)	
出張期間	平成 18 年 10 月 17 日～22 日	
開催場所	大韓民国 釜山市	
発表論文	空気圧人工筋を用いたロボットの制御器設計 (Controller Design for Robot with Pneumatic Artificial Muscles)	

概 要：

SICE-ICCAS 2006 は、日本計測自動制御学会（SICE）と韓国の The Institute of Control, Automation and System Engineers（ICASE）との両学会が、自動制御の学術的連盟をアジア内で確立することを目標として、共同開催に至った国際会議である。日韓両国からの自動制御のエキスパートの他、中国、アメリカをはじめとする世界 30 カ国から 1000 名を越える参加者が集う大規模な会議となり、今後の自動制御の展開について活発な議論がなされた。冒頭の招待講演（筑波大学 山海教授）は、これからの自動制御の発展によって、人間－機械協調系の可能性が広がることを予感させるものであった。

筆者は、3 件の論文発表を行い、そのうち標記タイトルの論文について講演を行った。マッキベン型と呼ばれる空気圧駆動人工筋肉を用いたロボットマニピュレータの制御手法に関する提案を行ったものである。マッキベン型人工筋肉は、低剛性、超軽量という特性を持つことから安全性が高く、人間－機械協調系のアクチュエータとして有望視されているが、電気モータと比較して制御性能で劣るという問題があり、実用的に応用されることは多くない。本論文では、マッキベン型人工筋肉を拮抗配置し、それによって発生する冗長性を活用してマニピュレータの機械的剛性を操作する手法を提案した。本手法は、マッキベン型人工筋肉を利用したマニピュレータの制御帯域を大幅に拡張するものである。そのため今まで精度の低さを理由に採用が見送られてきた様々なシステムにマッキベン型人工筋肉が応用できるようになり、産業応用が促進されるであろう。発表後の反響も大きく、質疑応答時間では、本手法についての活発な議論が展開された。

派遣研究者	国立大学法人 東京農工大学 総合情報メディアセンター 特任助手 徳野 淳子	1062103
研究集会名	10th International Workshop on Frontiers in Handwriting Recognition (IWFHR '10) (The International Association for Pattern Recognition (IAPR))	
出張期間	平成18年10月22日～28日	
開催場所	フランス国 La Baule	
発表論文	1. 構造化字体表現型 HMM に基づくオンライン手書き文字認識における座標特徴の利用法と効果 (Modeling of Pen-Coordinate Information in SCPR-based HMM for On-line Recognition of Handwritten Japanese Characters) 2. 階層的な文字部品間の位置関係を選択的に利用したオンライン手書き文字認識 (On-line Handwritten Character Recognition Selectively Employing Hierarchical Spatial Relationships among Subpatterns)	

概要：

本会議では、タブレット PC や PDA、デジタルペン等で筆記された文字を読取るオンライン手書き文字認識から、郵便宛名や帳票読取り、古代文書解析等に用いられているオフライン文字認識まで、「手書き文字認識技術」を中心に研究発表、討論が行われました。今回で10回目の開催、世界21カ国から約240名の研究者が参加しました。

本会議において、私は、口頭発表とポスター発表の2件を行いました。いずれもオンライン手書き日本語文字認識の性能向上に関するものであり、漢字が複数の部首から構成されるという階層構造に着目しています。前者は、日本語文字認識では利用困難とされてきた隠れマルコフモデル (HMM) に対し、漢字の階層構造を利用することで学習効率やメモリ量の問題を軽減しようとした手法の提案です。後者は、HMM と同じく統計的確率モデルであり、近年注目されている Bayesian Network に漢字の階層構造を利用することによって、文字の崩れ方が異なる場合でも同一のモデルで認識ができるようにということを提案したものです。

両発表とも漢字認識に特化した発表であったため、西欧圏の文字認識研究者は、興味を示さないのではと予想していましたが、実際に質疑応答してきた研究者はアジア圏よりも西欧圏の研究者が多く、嬉しい誤算となりました。「漢字の階層構造（各文字がどの部首から構成されているか）をどのように定義しているか」という質問は、日本人には気づきにくい視点であり、今後の課題として検討していきたいと思いました。

派遣研究者	島根大学 総合理工学部 数理・情報システム学科 助手 野村 収作	1062104
研究集会名	2006 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC 2006) (IEEE Systems, Man, and Cybernetics Society)	
出張期間	平成18年10月8日～13日	
開催場所	中華民国 台北市	
発表論文	唾液中の免疫物質指標によるデスクワークストレス予測システムの研究 (Prediction of Deskwork Stress with Visual Display Terminal by Human Immune Substance in Saliva)	

概要：

当会議は、米国最大の工学系学会である IEEE の一部会である「System, Man, and Cybernetics Society」主催の年次大会である。一部会の大会とはいえ、世界45カ国から1304件の論文（採択率70%）が発表され数千人が参加した。ヒューマン・マシン・インターフェースに重きを置いた大会ではあるが、その他にもインテリジェントシステム、ファジー、パターン処理、バイオインフォマティクス等幅広い分野で発表がなされた。

筆者は、“Human-Machine-System”セッションにおいて、「唾液中の生体内分泌物質によるPC作業ストレスレベルの評価」およびその応用研究として「ストレス生体反応モデルによるPC作業ストレス予測システムの研究」について発表を行った。この研究は、生体情報の中で生体内に分泌される各種ホルモンや免疫物質を心的ストレス評価指標として活用する研究であり、当会議においても唯一の研究手法・テーマであった。実際、発表時において多くの参加者に興味を持って頂いたと実感できたが、「どのような仕組み・装置で生体内の各物質を定量するのか」といった研究手法についての技術的な質問が多く寄せられた。その他、大会中の他のセッションや懇親会に参加し、脳波や心拍音等の従来人間—機械インターフェースで数多く採用されてきた生体情報を用いた工学研究を行っている研究者と議論する機会を得たが、その多くの方にとって本研究は新しい手法と受け入れられ、その議論の中で自分自身にとっても、本研究の世界的な位置付けや将来の方向性について実質的な知見を得ることができた。

派遣研究者	京都大学大学院 情報学研究科 知能情報学専攻 博士後期課程 吉井 和佳	1062106
研究集会名	7th International Conference on Music Information Retrieval (ISMIR)	
出張期間	平成18年10月8日～12日	
開催場所	カナダ国 ヴィクトリア市	
発表論文	潜在的なユーザ嗜好に関する確率モデルを用いた協調的かつコンテンツに基づくハイブリッド型音楽推薦手法 (Hybrid Collaborative and Content-based Music Recommendation Using Probabilistic Model with Latent User Preferences)	

概要：

音楽情報検索（MIR：Music Information Retrieval）に関する国際会議 ISMIR は、今年で7回目の開催となり、注目度は年々増す一方で、現在では音楽情報科学関連の国際会議では、最大規模である。60 件の論文と 12 件のポスター・デモ発表が採択され、参加者は 150 人程度であった。大学に籍を置くアカデミック畑の研究者だけでなく、西欧の音楽関連企業の研究者が多く参加しており、本会議は、産学連携研究を始める良いきっかけとなっている。

海外では音楽の定額制聞き放題サービスが登場し成長している。日本企業のサービスは未だ登場していないが、少なくとも MIR 技術の点で優位に立たなければならないと考えている。現在、協調フィルタリングに基づく音楽推薦システムは多くの商用サービスに利用されているが、未だユーザの評価のない CD は推薦できず、同じアーティストの楽曲ばかり推薦されることが多い。一方、音楽コンテンツの類似度に基づく音楽推薦システムは、上記の欠点を持たないが、自動記述技術の未熟や計算コストの問題から未だ実用化に至っていない。そこで我々は、「推薦精度の高さ」、「ユーザが未評価である楽曲も推薦可能」、「アーティストのバラエティの豊さ」の 3 条件に着目し、これらを同時に満たすため、ユーザの 5 段階評価スコアと楽曲から自動抽出した音響的特徴とを確率的に統合するモデルを用いて音楽推薦を行う手法を考案した。今回、この研究内容（標記論文タイトル）についてオーラルセッションで発表を行った。多くの研究者から非常に興味深くて面白い研究内容・発表だという感想を頂けた。また、企業の研究者とも多数顔見知りになることができ、実際のサービス展開を行うために必要な要件に関しても有益な議論を行うことができた。

派遣研究者	九州工業大学 ヒューマンライフ IT 開発センター 博士研究員 山口 生	1062107
研究集会名	2006 IEEE International Conference on System, and Cybernetics (SMC '06)	
出張期間	平成18年10月8日～11日	
開催場所	中華民国 台北市	
発表論文	モバイルモーションキャプチャー法による一時的なイベントの 3 次元モデル化 (A Mobile Motion Capture Technique Excelling in 3-D Modeling of Temporary Events)	

概要：

IEEE SMC は毎年開催されており、システム工学、マン-マシンインターフェース、サイバネティックス等、大変幅広い分野の研究者が一堂に会し、人と機械と知能に関する高水準の研究発表及び討論が行われる国際会議である。今回は、「マン-マシンシステムとサイバネティックスのための情報技術の創生」というテーマのもとで開催され、全世界 45 カ国から 1304 件の論文投稿があり、800 件のオーラルセッション発表、121 件のポスターセッション発表が採択された。

私は、「Image Processing 2」セッションで標記題目の発表を行った。この発表には、セッション内で最も多くの方に聴講いただき、また内容についても大変好評であった。原理の詳細は数式を用いて理論的に説明し、その他の部分は多くのアニメーションを用いて分かり易く発表することに尽力した甲斐があり、特徴等を十分理解してもらえたと感じている。セッション終了後にも聴講者の方々から直接の質問やコメントを賜り、提案法の特徴や詳しく原理等について回答を行い意見交換することができた。我々の発表内容に対する関心の高さを感じることができ、大変有意義な発表となった。また、同会場で催された Student Reception にも参加し、多くの同年代の学生や研究者と互いに研究や自国の文化等について楽しく交流することができた。

最大の収穫は、同じ分野の研究を行っている世界各地の研究者に我々の研究成果を発表することができたことと、彼らと意見交換や異文化交流が図れたことであると思う。今後もこの貴重な経験を活かして研究に励みたい。

〔招 聘〕

招 聘 者	異文化コラボレーション 国際ワークショップ実行委員会 / 京都大学大学院 教授 石田 亨	1063101
会 議 名	IWIC 2007 第一回異文化コラボレーション国際ワークショップ (The First International Workshop on Intercultural Collaboration)	
出張期間	平成 19 年 1 月 25 日～ 26 日	
開催場所	京都大学 百周年時計台記念館 国際交流ホール	
被 招 聘 者	プリンストン大学 心理学専攻 上級研究員 Christiane D. Fellbaum 博士	

概 要：

本会議は、言語、文化の壁を越えた異文化コラボレーションのための、Web、インターネット、自然言語、コミュニケーション、教育・心理学等の学術論文と、国際活動を行う NPO 等の事例研究を集めた世界初の国際ワークショップである。

今回招聘の Christiane D. Fellbaum 氏は、WordNet と呼ばれる人間の語彙に関する心理言語学論に基づいた英語語彙集を作成し、その多言語展開をはかる Global WordNet Association の会長も務めている。言語および文化の壁を越えた異文化コラボレーションを促進するという観点から招待講演者に最適であり、本会議への参加を招聘した。

第一回の国際ワークショップであったが、世界 23 カ国から 103 名の参加者を迎え、招待講演の他、それぞれ異なる立場から異文化コラボレーション研究へのアプローチが紹介され盛況の内に終了した。今回のワークショップを特徴付けているのは、異文化コラボレーションにおける複合的な問題を扱った点である。研究者だけでなく現場で活動しているフィールドワーカーによる発表もあり、様々な視点からの検証および情報交換が行われ、熱心な議論が交わされた。研究面においても、自然言語処理やヒューマンインタフェースを中心とした情報工学系の研究者に加え、社会言語学や文化人類学など幅広い分野からの参加があり、新たな連携が生まれそうである。異文化コラボレーション活動は、ビジネス、科学、教育の分野に大きく貢献する可能性を孕んでいるが、文化および言語の違いから生じる問題を抱えている。問題解決のためには、言語や文化がコラボレーション活動に与える影響に対する理解、そしてコンピュータを媒体とする新たなコミュニケーションツールの開発が必要である。追って Springer からの出版予定の論文集では、この両面からの考察がなされている。

-
- 平成 18 年度活動報告
 - 平成 19 年度助成報告
 - 第 18 回助成金贈呈式
 - 受領者投稿
 - 研究室訪問
 - 第 18 回（平成 19 年度）研究助成課題一覧
 - 第 17 回（平成 18 年度後期）国際交流助成課題一覧
 - 第 18 回（平成 19 年度前期）国際交流助成課題一覧
 - 平成 19 年度研究助成課題の紹介
 - 平成 20 年度助成候補募集案内

平成 18 年度活動報告

(1) 主要業務日程

平成 18 年	4 月 1 日	平成 18 年度後期国際交流助成の申請応募受付開始
	5 月 18 日	第 17 回（平成 18 年度）助成金贈呈式及び懇親交流会開催
	6 月 16 日	第 36 回理事会，第 36 回評議員会開催 ・平成 17 年度事業報告および決済報告の承認 ・平成 19 年度助成課題募集方法の承認
	6 月 30 日	平成 18 年度後期国際交流助成課題の申請締切
	8 月 1 日	平成 19 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
	8 月 4 日	平成 18 年度夏季選考委員会開催 ・平成 18 年度後期国際交流助成課題候補の選考
	9 月 1 日	平成 19 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 15 号発行
	10 月 1 日	平成 19 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 19 年度研究助成課題の申請締切（119 件受付）
	12 月 31 日	平成 19 年度前期国際交流助成の申請締切（17 件受付）
平成 19 年	1 月 18 日	各選考委員による応募課題の書面審査完
	1 月 25 日	第 19 回選考委員会開催 ・平成 19 年度研究助成課題候補の選考 ・平成 19 年度前期国際交流助成課題候補の選考
	3 月 14 日	第 37 回理事会・第 37 回評議員会開催 ・平成 19 年度事業計画及び収支予算案の承認 ・平成 19 年度助成課題の承認

(2) 会計報告

収 支 計 算 書		貸 借 対 照 表	
(自 平成 18 年 4 月 1 日 至 平成 19 年 3 月 31 日)		(平成 19 年 3 月 31 日)	
(単位：千円)		(単位：千円)	
I 事業活動収支の部		I 資産の部	
1. 事業活動収入		1. 流動資産	
基本財産運用収入	98,959	現金	138
特定資産運用益	60	普通預金	21,290
寄附金収入	5,550	有価証券	0
雑収入	21	2. 固定資産	
2. 事業活動支出		(1) 基本財産	
事業費支出	62,860	有価証券	9,242,500
管理費支出	13,123	定期預金	100,000
事業活動収支差額	28,608	(2) 特定資産	
II 投資活動収支の部		助成事業引当資産	103,500
1. 投資活動収入		(3) その他の固定資産	150
助成事業引当金取崩収入	10,000	資産合計	9,467,578
2. 投資活動支出		II 負債の部	
助成事業引当金積立支出	36,000	1. 流動負債	0
投資活動収支差額	26,000	2. 固定負債	0
III 財務活動収支の部		負債合計	0
1. 財務活動収入	0	III 正味財産の部	
2. 財務活動支出	0	1. 指定正味財産	
財務活動収支差額	0	寄附金	1,100,000
当期収支差額	2,608	寄附株式	8,242,500
前期繰越収支差額	18,820	指定正味財産合計	9,342,500
次期繰り越し収支差額	21,428	2. 一般正味財産	125,078
		正味財産合計	9,467,578

平成 19 年度助成報告

本年は、第 18 回目の助成となる平成 19 年度助成課題に対し、平成 19 年 5 月 17 日、第 18 回助成金贈呈式を開催し、次の助成を行った。

研究助成	27 件	6,402 万円
国際交流助成（前期）	5 件	148 万円
合 計		6,550 万円

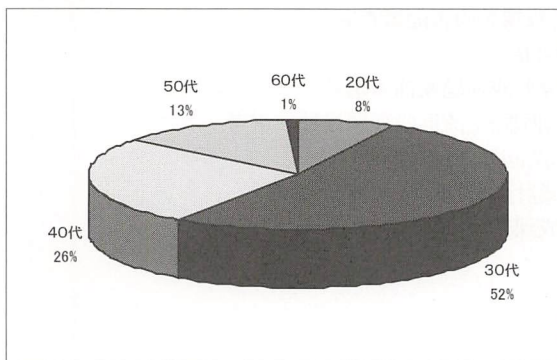
なお、後期国際交流助成は平成 19 年 10 月に実施する。

この結果、財団設立以来の助成事業は、研究助成 370 件、国際交流助成 173 件、助成総額約 9 億 3,270 万円となった。

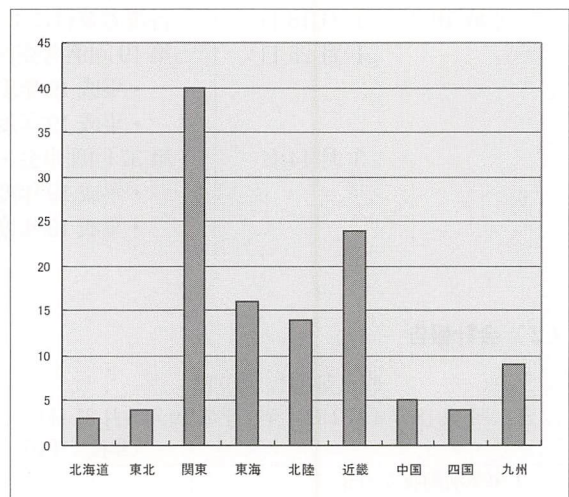
● 平成 19 年度助成の応募状況

（1）研究助成（平成 19 年度）

① 年令別

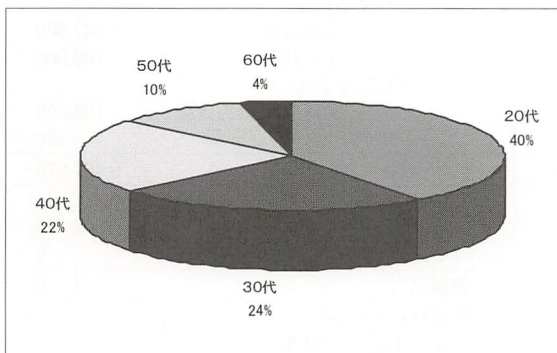


② 地域別

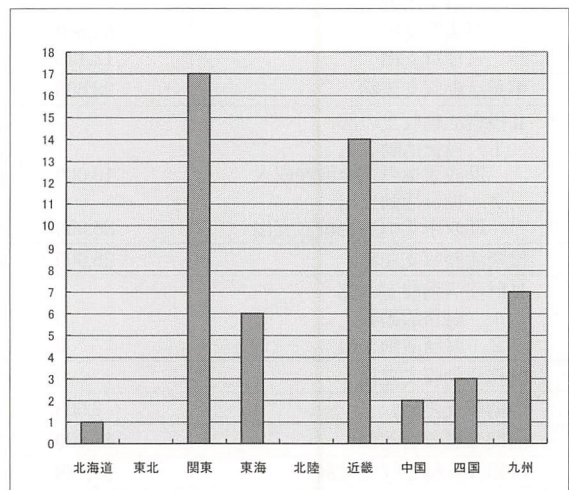


（2）国際交流助成（平成 18 年度後期～平成 19 年度前期）

① 年令別



② 地域別



第18回助成金贈呈式

日 時：平成19年5月17日（木）

場 所：グランドプリンスホテル京都

第18回助成金贈呈式は、来賓の文部科学省大臣官房審議官 藤木完治様、京都府商工部部長 山下晃正様はじめ、平成19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発表していただいた。



助成課題発表

※ 課題発表は、140～143頁に掲載

受領者投稿

触覚・感覚・心の研究

慶應義塾大学理工学部機械工学科 教授 前 野 隆 司
(第12回受領者)

私は、平成13年度に、「錯覚によるテクスチャの誤認知を利用した触覚ディスプレイの研究」というタイトルで助成をいただいた。それまでも触覚の研究は行っていたものの、ヒトの触覚受容機構の解明と、把持力制御のための触覚センサのアルゴリズム開発にのみ注力しており、触感をヒトに呈示するという研究は行っていなかった。したがって、立石科学技術振興財団からの助成を受けた研究をきっかけに、私の研究は、バーチャルリアリティーや触感の呈示・センシング研究に広がったわけであり、感謝している。

当時の研究は、複数の電磁加振子によってヒトの指に接線方向の振動刺激を加えたときに、ヒトはどれくらい鋭敏に表面の凹凸を感じうるか、というような内容であった。触覚研究が、視覚や聴覚に比べていかに遅れているかを思い知ったことを思い出す。すなわち、ヒトが「つるつる」や「ざらざら」を検出するためには、どのような刺激を与えればよいのか、また、それがなぜ「つるつる」や「ざらざら」という触感のクオリア（感覚質）に変換されるのか、といった点は全く不明であった。それから現在までの6年間、私は、ICPF（イオン性高分子ゲル）や、超音波振動の振幅変調を用いた触覚ディスプレイを用いることによって、従来のシステムよりもリアルな触感をヒトに呈示できることを明らかにしてきた。また、有限要素法やニューラルネットワークを用いた認知モデルの

構築や、心理物理実験に基づき、触感がどのような因子から構成されているのか、それがどのような脳内機構によってクオリアに変換されるのか、といった点の一端を明らかにしてきた。



さらには、機能としての触感のみならず、心にわきあがるクオリアとしての触感にも興味があり、触覚、感覚、心に関する哲学的考察も行うに至った。その結果は、『脳はなぜ「心」を作ったのか—「私」の謎を解く受動意識仮説』（筑摩書房、2004年）および『錯覚する脳—「おいしい」も「痛い」も幻想だった』（筑摩書房、2007年）にまとめたので、ご興味のある方はごらんになっていただきたい。

以上のように、立石科学技術振興財団からの助成をきっかけに、私は、研究領域を、触感、感覚、心へと広げることができた。さらには、最近では、科学技術倫理やシステムデザイン・マネジメントにも興味を持ち、いかに根源的な部分で社会に貢献するかを目指しているつもりである。今後も、様々な成果をあげることで貴財団の支援に答えたいし、貴財団が今後も多くの優秀な研究者を育成されることを心より願っている。

受 領 者 投 稿

若手研究者と民間研究助成

大阪大学大学院基礎工学研究科 助教 安 井 武 史
(第12回受領者)

立石科学技術振興財団から研究助成を受けた6年前は若手研究者(31才)であった筆者も、今年度から科研費・若手研究の応募年齢制限(37才以下)に引っかかり、若手枠もいよいよ卒業である。本稿では、若手研究者にとっての民間研究助成という観点から個人的意見を述べてさせて頂こうと思う。

最近では若手研究者を対象とした公的な競争的研究資金が増加傾向であるものの、科研費(若手研究)に依存するだけでは、若手研究者の懐具合は一般に厳しいものである。このような若手研究者にとって、民間研究助成は極めて有り難い研究資金源である。民間研究助成の中には若手優先のものが少なくない上に、助成額もちょっとした研究を始めるには十分な額である(立石科学技術振興財団は高額の部類に入る)。筆者の場合、アイデア段階の研究テーマの取っ掛かりを掴むため、まず民間研究助成に応募することから始める。そして獲得した研究助成金によって研究が実際に動き出し、見通しが立った研究テーマに関しては公的研究資金によって研究を加速させるというのが1つのパターンである。また、予算獲得のためには、研究アイデア・研究業績と共に、予算申請書の作文能力も重要なファクターである。この予算申請書の作文スキルを磨くという観点でも、民間研究助成への応募は非常に有意義であったと思う。例えば、専門外の審査員でも魅力的に思わ

せる予算申請書を作成するためには、小難しい研究の話をかみ砕いて分かり易く説明し、直感的にその内容を訴える必要がある。また、頭の中では研究を整理し

ていたつもりでも、実際に予算申請書という文書にしてみるとその論理展開の矛盾に気付くこともある。筆者の場合、様々な民間研究助成に応募する過程の中で作文スキルが向上すると共に、研究内容がクオリファイされて、その後の競争的研究資金の獲得に繋がっていったように思う。

最後に、筆者の助成テーマは『フェムト秒2色パルス光を用いた時間分解旋光分散測定法の開発と血糖測定への応用』である。『光を用いて血糖を測る』という萌芽的な研究にも関わらず、若手研究者にとっては少なからずの研究助成金を頂き、研究を行っていく上で非常に助かった。幸いにも研究成果を原著論文2編と解説論文1編にまとめることができた上に、関連テーマで博士(工学)学位を取得した堀泰明君(現 産総研)が平成18年度日本光学会奨励賞を受賞するという想定外のご褒美まで頂き、個人的には最も実りの多い研究助成金であった。ここに深謝します。



研究室訪問

熊本大学 文学部 総合人間学科 積山 薫 教授 訪問記

(第12回受領者 前公立ほこだて未来大学システム情報科学部 教授)

7月23日、藤田博之選考委員（東京大学 生産技術研究所・教授）、川路茂保選考委員（熊本大学大学院自然科学研究科・教授）にご同行いただき、熊本大学文学部認知心理学研究室 積山薫 教授を訪問しました。

熊本大学黒髪キャンパスには、旧制第五高等学校のレンガ作りの建物（重要文化財）が残り、緑溢れるクスノキやセンダンの大木の傍らには、往時教鞭をとったこともある夏目漱石やラフカディオ・ハーンの銅像が佇むなど、優美な環境の中に、熊大の歴史と伝統を大いに感じ入りました。

積山薫教授からは、ご専門の認知心理学についてのお話や助成研究課題「視空間の現実感と視覚・運動協応」のその後の取組みなどについて伺いました。認知心理学が対象とする人の心の働きと基本的な行動特性との関連について、実験的、科学的手法でアプローチされている様子を大変興味深く見聞きさせていただきました。

- まずは認知心理学についてご紹介いただき、現在どのような研究課題テーマに取り組んでおられるかお聞かせ下さい。

たとえば、私たちが目から入った情報から外界の様子を認識するまでに、脳でどのようなことが起きているのでしょうか。認知心理学とは、噛み砕いていえば、見る、聞く、覚える、あるいは最近では感情も含めますが、それらを「心の働き」と捉え、そういう人間の心の働きに関する現象やメカニズムを実証的に調べる学問です。

その際に、目に見える人間の行動を出来るだけ定量的に調べるのが特徴です。

私の研究の柱は、目で見た像から3次元の物体を認識したり、言葉を聞き取るときに、相手の体の運動情報や自分の身体イメージがどう役に立っているかを調べることです。

近年、心理学は大きく実験心理学と臨床心理学の2つに分けられています。おおよそ一般的にイメージされる心理学を扱っているのは臨床心理学かも知れませんが、私たちが扱っている認知心理学は、実験心理学に属する学問です。臨床心理学では、クライアントを想定し、その人に対する精神的な援助や改善をすることを目的としています。実験心理学では、悩みや問題を抱えた人にとどまらず、広く一般の人の心の働きのメカニズムや基本的な行動特性を研究しています。

それから、心理学は「読心術」とあるという世間一般のイメージもあるかもしれませんが、そのようなことは科学的な心理学では扱っていません。ただ、人間関係を研究するという意味では、実験心理学のなかに社会心理学という学問領域があり、例えば1人より複数で仕事をした方が作業効率があがるのか、などといった問題を研究しています。認知心理学は、実験心理学のなかでも「1人心理学」の色彩が強いかもしれませんが、近年ではコミュニケーションなども研究対象になってきています。

現在の研究テーマといいますと、一貫して「脳の活動を調べる」路線でやっていますが、そのやり方や対象がシフトしてきています。

もともとは、逆さめがねを用いた研究—人間は自分の手のイメージを脳のどこで処理をしているのかを調べる研究—が発端ですが、最近では、人間は話しを聞く時に音だけでなく口の動きや形を見て理解しているという実態に注目して、視覚と聴覚の情報統合が脳の中でどのように起こるのかを、



研究室にて 積山薫 教授

いろいろな方法（fMRI、ポジトロン断層撮影、脳磁図等）を試しながら調べるという研究にも取り組んでいます。

マルチモーダルな知覚情報と身体協応の関係性をただ単に知るということではなく、その仕組み（メカニズム）を解明するために、脳の活動を調べ、できるだけ定量的に捉えていくことが、認知心理学では不即不離の立場であり、苦勞のしがいのあるところです。手法の試みでは、定量的に捉えるための設備装置や対象となる被験者とその生活環境が大きな要素でもあり、そのために、fMRIや脳磁図などを使った計測では、その装置のある研究所へ足繁く通いましたし、英語母語被験者のデータを収集するのに海外にも長く足を運びました。

○ 長年にわたって認知心理学の分野での研究を続けていられていますが、取り組まれたきっかけ・動機などについてお話を聞かせてください。

もともと理系的な考え方が好きだったのですが、なぜか自分では数学が好きなのに、点が悪くて（笑い）、それで、人間に関して数理的なアプローチで研究するのが心理学ではないかと思い、関心を持ったのがそもそものきっかけだったように思います。ただその頃は、認知心理学というのは一般的ではなかったように思いますが、大学の講義で唯一眠くならなかったのは心理学の授業だけでした（笑い）。その先生の影響で、逆さめがねの実験とかを始めまして、それが長じて、立石財団の助成もいただくことになりました。

○ 逆さめがねの研究論文は、Nature 誌にも発表なされていますが、立石財団の助成テーマにも関係のある内容なのでしょうか？ また、助成テーマは、その後どのように進みましたでしょうか？

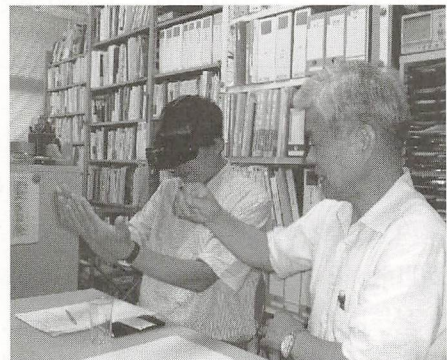
2000年にNature 誌に掲載された論文は、立石財団の助成テーマの前段階になる内容です。実は、立石財団の助成テーマについては、その後データを集めすぎてちょっと纏める時間とマンパワーに苦慮しているのが実状ですが、この夏には絶対に纏めようと思っています。脳の活動を計るということをやり始めると、行動だけを記録していた頃とは違って、ひとりではなかなか大変なことで先に進まないですね。

夏休みに分析を進めていたと思ったら、あっという間に授業が始まり、頭が違う方向に向いてしまうということが起きたりして……、でも ON GOING の学会発表のものはコンスタントに進めていますので、論文に関しても順番に片付けていこうと思っています。

○ 研究の成果は、どのような分野で活用され、社会や人類にどんな貢献をするもののでしょうか。

一つには、例えば、ロボットに知的なことをさせたいとき、人間がどうやってそれを行っているのかを知ること、ある程度ヒントなり知識なりを提言できるのではないかと考えています。こうしたロボットへの展開も一つの筋道ですが、人間がより良く生活するといったところに目を向けたとき、認知あるいは認識といった意味合いで、教え方や表現といった観点から何が出来るかということを示すような筋道もあろうかと思います。そういう観点では、マガー効果について実体験をしていただき、そこから提言できそうなことをお話します。

現在進めている研究テーマでも少しお話しましたが、人間は、口の動きや形を見ながら、声を聞き理解するという実態があります。反面、人間のマルチモーダルな知覚特性として、「（矛盾する）口の動きの情報が音声の聞こえを変える」という現象があり、マガー効果と呼ばれています。これは、聴覚情報の処理が視覚情報のそれよりも遅い、高齢者で特に生じやすいことが私たちの実験



逆さめがねを体感
奥側 藤田選考委員、手前側 川路選考委員

を通して解明されてきており、こうした研究の成果から、人間のより良きコミュニケーションに対する提言につなげていくことができるのではないかと考えています。

また、認知心理学の研究に長年携わってきて、近頃は、人間の脳の可塑性（適応する脳）について強く思いを致すところがあります。新しい場面に対する人間の適応力は非常に高く、マルチモーダル知覚情報と身体協応が結びつくことで、人間の脳内では、今まで活動していなかった領域が活動するようになったりします。また、2カ国語以上の言語を頻繁に使う人は両方を操れるバイリンガル者になるわけです。一方、学習によってせっかく作った脳の神経回路も、毎日使っていないと回路として働きが弱くなるということを、逆さめがねへの適応過程の研究で思い知らされました。寝たきりになると精神的にも衰えてしまうのは、容易に理解できます。脳の可塑性を鍛えるには、毎日普段の活動や行動をすることがいかに大切か、ということをお私たちの研究は示唆しており、私自身、人間のそうした脳の可塑性について、大いにその啓蒙活動をしていきたいと考えています。

○ 最後に、当財団へのご要望などありましたらお聞かせ下さい。

研究課題が貴財団から採択されたことは、まず自信にもつながりました。そして被験者を使っての実験検証は、物入りなことが多いこともあり、研究活動資金を助成いただいたことで、研究にも拍車がかかり、大変助かりました。

財団への研究助成活動への提案という点では、研究者のネットワーク作りの情報やきっかけの場がいただけたらとてもいいと思います。例えば、助成者のみならず一般の研究者も対象にして研究交流会議等を支援するといったことは、いろんな分野の研究者のコネクションやコラボレーションを促進することにつながり、大変有用で価値のあることではないかと思っています。

あとがき

先生は、人間がマルチモーダルな情報をどのように統合するのかについて、視覚や聴覚だけでなく身体の動きという観点に合わせて研究を進められています。今回の研究室訪問では、逆さめがねを使った実験や視覚が聴覚に変化を与えるというマガーク効果の実験を実際に体感させていただき、認知心理学が目指すところの一端が実感できたように思います。

最後に先生は、この研究の意義として、人間の脳の可塑性（適応する脳）を挙げ、この啓蒙に取り組んでいきたいと熱っぽく語られていたのが大変印象に残りました。

ますますのご活躍を祈念いたします。

第 18 回（平成 19 年度）助成課題一覧

〔研究助成〕 (五十音順)

申請者氏名・所属機関・職名	申請課題名
岩木 直 (独)産業技術総合研究所 人間福祉医工学研究部門 主任研究員	運動－視覚神経ダイナミクスの非侵襲計測技術による「操作感」の評価
上田 隆一 東京大学大学院 工学系研究科 精密機械工学専攻 助教	状態行動地図の組み合わせによる移動障害物の存在下でのロボットの行動生成
奥野 恭史 京都大学大学院 薬学研究科 統合薬学フロンティア教育センター 准教授	機械学習に基づく創薬支援システムの開発
梶川 伸哉 東北学院大学 工学部 機械知能工学科 助教	人の剛性調節機能の解析に基づく器用なロボットハンドの開発
加藤 昇平 名古屋工業大学大学院 工学研究科 情報工学専攻 助教	感性コミュニケーションロボットのための感情制御と感情生成
衣笠 竜太 カリフォルニア大学 研究員	筋疲労を軽減させるメカニズムとしての協働筋間活動交替の可視化・定量化に関する研究
清川 清 大阪大学 サイバーメディアセンター 准教授	利用者視点での超広視野映像の撮影機構に関する研究
桑原 義彦 静岡大学 工学部 教授	マイクロ波イメージングによる初期乳癌検診法の確立
神崎 素樹 京都大学大学院 人間・環境学研究科 准教授	力発揮調節の不安定性を改善する神経生理学的・力学的補償機構の解明
佐伯 勝敏 日本大学 理工学部 電子情報工学科 准教授	脳型情報処理システムのためのシナプス可塑性を有する電子回路モデル
嶋田 泰幸 熊本電波工業高等専門学校 電子制御工学科 准教授	食生活改善を支援する個人適応型情報システムの構築
杉山 将 東京工業大学大学院 情報理工学研究科 計算工学専攻 准教授	複雑な構造を持つ高次元データに対する機械学習
鈴木 達也 名古屋大学大学院 工学研究科 機械理工学専攻 教授	動作・判断を統合した行動の数値モデルの構築とその予防安全技術への応用
高崎 俊之 京都大学大学院 情報学研究科 社会情報学専攻 研究員	絵文字オントロジーの構築とその多元的検索
滝口 哲也 神戸大学 都市安全研究センター 講師	高次元理論を用いた発話障害者の発話スタイルの解析及び音声認識への適用
田中 茂雄 金沢大学大学院 環日本海域環境研究センター 准教授	骨粗鬆症性骨折予防を目的とした筋刺激用エレクトロニクスデバイスの開発
唐 捷 (独)物質・材料研究機構 材料ラボ, 一次ナノ材料グループ グループリーダー	カーボンナノチューブをベースとしたロボット用高性能アクチュエータ材料の開発
中嶋 秀 九州大学大学院 工学研究院 応用化学部門（機能） 助教	コンパクトディスク型マイクロチップを用いたマイクロ生化学分析システムの開発

第18回（平成19年度）助成課題一覧

〔研究助成〕

（五十音順）

申請者氏名・所属機関・職名	申請課題名
西 竜志 大阪大学大学院 基礎工学研究科 准教授	分解・調整アプローチによる生産システムの最適運用計画システムの開発
野田 善之 豊橋技術科学大学 工学部 生産システム工学系 助教	路面状況に応じたアシスト力を生成するパワーアシスト車いすの開発
福岡 泰宏 茨城大学 工学部 知能システム工学科 講師	屋外を高速移動可能な介助犬ロボットの研究開発
藤岡 美博 松江工業高等専門学校 機械工学科 准教授	動的環境下における人間と協調動作するロボットアーム制御に関する研究
藤田 欣也 東京農工大学大学院 共生科学技術研究院 教授	移動物体の遮蔽後位置予測機構の研究
藤本 康孝 横浜国立大学大学院 工学研究院 准教授	環境情報の構造化と獲得情報量の最大化を規範とした学習制御の研究
水谷 正義 (株)理化学研究所 先端技術開発支援センター 支援展開チーム 協力研究員	電解インプロセス表面改質加工による骨組織適合型バイオインプラントの創製
南 哲人 (株)情報通信研究機構 未来 ICT 研究センター 専攻研究員	非侵襲脳計測法による脳内情報の読み取り技術の開発
宮田 昌悟 九州工業大学大学院 生命体工学研究科 助教	磁気共鳴緩和現象を応用した生体軟組織のマイクロ構造評価システムの構築

研究助成件数 27 件 合計 6,402 万円

第17回（平成18年度後期）助成課題一覧

〔国際交流（派遣）〕

（五十音順）

申請者氏名・所属機関・職名	派遣先研究集会・主催名
岡田 浩樹 名古屋大学大学院 工学研究科 化学・生物工学専攻博士課程	nanotech 2006 montreux (主催：nanotech 2006 montreux 組織委員会)
辻 俊明 東京理科大学 工学部 第一部機械工学科 助手	SICE-ICASE International Joint Conference 2006 (SICE-ICCAS 2006) (主催：The Society of Instrument and Control Engineers および The Institute of Control, Automation and Systems Engineers)
徳野 淳子 東京農工大学 産官学連携・知的財産センター 講師	10th International Workshop on Frontiers in Handwriting Recognition (IWFHR 10) (主催：The International Association for Pattern Recognition)
野村 収作 島根大学 総合理工学部 数理・情報システム学科 助手	IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (主催：IEEE-Systems, Man, and Cybernetics Society)
山口 生 九州工業大学大学院 工学研究科 機械知能工学専攻 博士課程	IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics 2006 (主催：IEEE)
吉井 和佳 京都大学大学院 情報学研究科 知能情報学専攻 DC1 / 博士課程	7th International Conference on Music Information Retrieval (主催：ビクトリア大学)

第 17 回（平成 18 年度後期）助成課題一覧

〔国際交流（特別招聘）〕

申請者氏名・所属機関・職名	派遣先研究集会・主催名
石田 亨 京都大学大学院 情報学研究科 教授	第一回異文化コラボレーション国際ワークショップ / プリンストン大学の Christiane D. Fellbaum 上級研究心理学者 招待講演：Crosslinguistic Wordnets/ 本ワークショップのプログラム委員会共同委員長も務める

〔国際交流（一般招聘）〕 なし

助成件数 7 件 助成額総額 170 万円

第 18 回（平成 19 年度前期）助成課題一覧

〔国際交流（派遣）〕

（五十音順）

申請者氏名・所属機関・職名	派遣先研究集会／主催者名
中後 大輔 電気通信大学大学院 情報システム学研究科 助手	10th International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR 2007) 主催：IEEE Robotics and Automation Society・IEEE Engineering in Medicine and Biology Society
Nitikarn Nimsuk 東京工業大学 理工学研究科 博士課程	International Symposium on Olfaction and Electronic Nose 2007 主催：ISOEN Organaization Committee
八木 将計 京都大学大学院 工学研究科 電気工学専攻 和田研究室 博士課程	International Symposium on Nonlinear theory aqnd its Applications (NOLTA 2007) 主催：The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers (IEICE)
李 睿棟 筑波大学 システム情報工学研究科 博士課程	2007 IEEE 65 th Vehicular Technology Conference VTC 2007 –Spring 主催：IEEE Vehicular Technology Society

〔国際交流（特別招聘）〕

申請者氏名・所属機関・職名	派遣先研究集会／主催者名
西尾 芳文 徳島大学大学院 ソシオテクノサイエンス研究部 助教授	The 15 th IEEE International Workshop on Nonlinear Dynamics of Electronic Systems (NDES 2007) ポーランド・ヤギェヴォ大学の Ogorzalek 教授を招聘 基調講演：Nonlinear Models and Methods for Biometrics

〔国際交流（一般招聘）〕 なし

助成件数 5 件 助成額総額 合計 148 万円

平成 19 年度研究助成課題の紹介

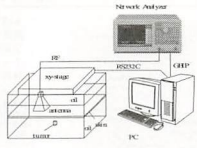
マイクロ波イメージングによる初期乳癌検診法の確立(2年間)

静岡大学工学部電気電子工学科
教授・桑原義彦

【初期乳癌の診断】
従来：X線、超音波 → 診断に手間がかかる
→ 10mm以下の初期癌は診断が困難
→ X線被曝(特に若年で問題)
本研究：UWBレーダによるイメージング
→ 電子ビーム走査による診断時間短縮
→ 5mm程度の初期癌も診断可能
→ X線被曝なし

【基礎データの蓄積に向けたプロトタイプの実現】
UWBレーダパルスを直接標準化してデジタル信号処理することは困難
周波数帯域(3-8GHz)によりネットワークアナライザで反射信号測定
広帯域アンテナの物理面積の制約からアレ化が困難
XYステージを用いた機械走査 → 自由に素子間隔を変えて評価可能

周波数帯域信号と機械走査を用いたプロトタイプ診断装置の開発



力発揮調節の不安定性を改善する神経生理学的・力学的補償機構の解明(1年間)

京都大学 大学院人間・環境学研究所 認知・行動科学講座
准教授・神崎素樹

【力発揮調節の不安定性に関する着眼点】
従来：加齢、筋量、運動単位の動員様式
本研究：求心性神経活動、筋・腱の力学的性質、力発揮方向

【随意収縮における力発揮調節の過程】 力発揮過程における本研究の着眼点。
運動指令 → 運動神経発火 → 筋線維活動 → 筋・腱の力学的性質 → 筋力発揮 → 力発揮方向
↑
求心性神経活動によるフィードバック

【力発揮調節の不安定性の改善】
・適切な機械的振動刺激による求心性神経活動の変調。
・適切な機械的振動刺激による筋・腱の力学的性質の変化。
・適切な電気刺激を用いた筋間の活動性相違による力発揮方向の安定。

神経生理学的・力学的補償機構に基づく力発揮調節の不安定性改善手法の開発

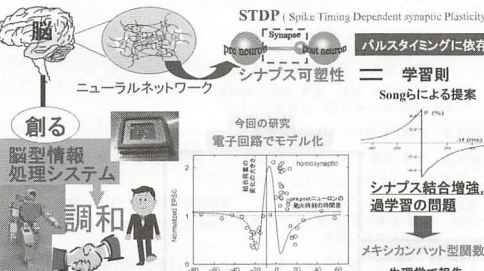
脳型情報処理システムのためのシナプス可塑性を有する電子回路モデル(1年間)

日本大学 理工学部 電子情報工学科
准教授 佐伯 勝敏

STDP (Spike Timing Dependent synaptic Plasticity)
ニューラルネットワーク シナプス可塑性 = 学習則
Songらによる提案

創る 脳型情報処理システム
調和

今日の研究
電子回路でモデル化
シナプス結合増強、過学習の問題
メカニカルハット型関数
生理学で報告



食生活改善を支援する個人適応型情報システムの構築(2年間)

熊本電波工業高等学校
准教授・嶋田 泰幸

従来の献立提示システムは
身長・体重・年齢・性別からカロリー計算 → 情報不足 個別非対応

＜研究目的＞
ユーザの生活環境も含めた様々な情報をもとに、ユーザに適した献立の献立を提供する
個人適応型情報システムの構築

1. ユーザの個人情報(身体情報、健康状態、嗜好等)
2. レシピ情報(調理法、栄養価等)
3. 医学情報(症例、治療法等)
4. 生活環境情報(居住地域、食材の市場価格等)

ユーザ毎に献立選択時の必要項目が異なる
ユーザ毎に適した献立を早く提供する仕組みが必要

【個人適応型情報システムを構築し、個人に対応した献立を提案】

1. 食生活改善に関わる情報の分析
2. 個人適応型情報システムの構築とインタラクティブシステムの設計
3. ユーザインタフェースの開発およびシステムの検証

複雑な構造を持つ高次元データに対する機械学習(研究期間:1年間)

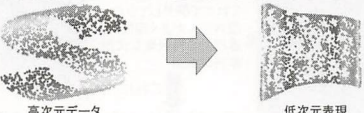
東京工業大学 大学院情報理工学専攻 計算工学専攻
准教授 杉山 研

■ 背景:近年、複雑な構造を持つ高次元データを処理したいというニーズが高まっている
例)脳波データ、ヒューマノイドロボット、自然言語、遺伝子など

■ 着目点:高次元のデータでも、本質的な次元数は小さいことが多い

高次元データ → **低次元表現**

■ 研究目標:データの本来の構造を失うことなく、次元数を削減する
■ 応用例:ブレイン・コンピュータインターフェース、ヒューマノイドロボット制御など

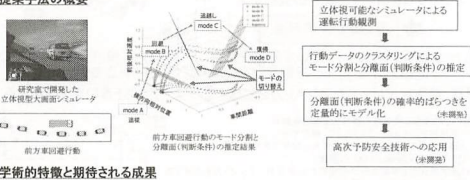


動作・判断を統合した行動の数理モデルの構築とその予防安全技術への応用(1年間)

名古屋大学 大学院工学研究科 機械理工学専攻
教授・鈴木 達也

研究目的 人間の(運動)行動データを観測し、観測データと連続/離散ハイブリッドシステム表現に基づいて、行動の運動学的側面と論理的側面の統合化数理モデルを構築する。

提案手法の概要



学術的特徴と期待される成果
人間の行動を動作と論理判断が混在した連続/離散ハイブリッドシステムとして捉え、行動データから体系的にそのメカニズムをモデル化することで、特に従来困難であった人間の判断メカニズムの定量的モデル化が可能となる。また、得られた判断モデルにより、人間の判断メカニズムの予測が可能となり、新たな高度の予防安全が可能となる。

絵文字オントロジーの構築とその多角的検索(1年間)

京都大学 大学院 情報学研究所 社会情報学専攻
研究員 高崎俊之

背景:言葉を超えるICT国際交流手段として絵文字を提案し、絵文字メーカーを試作

① 文化・言語の曖昧性
絵文字解釈の文化的相違
絵文字検索時における検索語彙の揺れ
概念の分類方法の文化的相違

② 絵画的な絵文字メッセージ
ASCIIアートの絵文字をパーツ利用するユーザにとって絵文字検索が困難

絵文字辞書の2つの問題
「私」を表す絵文字の米差異

目的:文化差を考慮した検索や画像検索など多様な検索形態をもつ絵文字オントロジー構築

① 異文化を考慮した絵文字の概念定義手法
各絵文字の意味概念を、階層的なシソーラス(Wordnet)定義に加え、各文化圏ユーザの意見を反映させたキーワードをメタデータ付与。
★まずは100個の絵文字を日本・韓国・ケニア(英語)・オーストラリア(独語)に対応
→ 世界中のユーザーひとりが検索しやすい絵文字検索システムを構築・評価

② 画像としての特長をキーとした絵文字検索
視覚的特長を画像認識により自動抽出・登録

高次元理論を用いた発話障害者の発話スタイルの解析及び音声認識への適用(1年間)

神戸大学 都市安全研究センター
講師・瀧口 哲也

情報家電の浸透: ユビキタスコンピュータ社会
・機器操作の複雑化 → 障害者の操作困難

◆ 音声認識による情報機器の操作
従来:健康者のみを対象
本研究:
「新しいユニバーサルデザインによる音声認識」
発話障害者の自立支援を目指す。

アテュード型発話障害者の音声解析を行う
✓複数回発話による発話スタイルの安定性の解析。
✓カーネル法を利用した高次元空間での障害者発話スタイル正規化。
✓教師なし学習による発話障害者専用音素クラスの解析。

発話区間抽出 → **音素クラス定義** → **発話スタイル正規化** → **発話障害者音声認識** → **情報機器(情報家電)の操作**

平成 19 年度研究助成課題の紹介

骨粗鬆症性骨折予防を目的とした筋刺激用エレクトロニクスデバイスの開発 (1年6ヶ月間)
金沢大学大学院環日本海域環境研究センター
准教授 田中茂雄

【力学刺激による骨形成促進】
従来：身体運動により骨を刺激
本研究：筋肉の電氣的収縮制御により骨を刺激
→ 運動の必要がない。
→ 重篤な骨粗鬆症でも骨折の心配がない。
→ 寝たきりの骨折患者へも応用可能。

【実験動物(ラット)を用いた刺激効果の確認】
刺激波形 → 効果的な刺激波形の探索
ノイズ振動に着目 → 生理的且つ骨形成効果が確認されている
制御方法 → 回路に流れる電流の検出値を利用したフィードバック制御
筋肉に流れる電流を確保 → 装置の有効性と安全性の確保

電気的に制御された筋収縮を利用した骨形成促進装置の開発

カーボンナノチューブをベースとしたロボット用高性能アクチュエータ材料の開発 (1年間)
物質・材料研究機構
グループリーダー 唐 捷

本研究では、われわれは独自に開発された電気泳動法を、高密度・高配向 CNTファイバおよびシート作製のためのプロセス技術として開発するとともに、カーボンナノチューブをベースとしたロボット用高性能アクチュエータ材料を創製することを研究の目的とする。

「乗らかい」「軽い」ロボットへと移行 出来る新型機能材料の開発

コンパクトディスク型マイクロチップを用いたマイクロ生化学分析システムの開発 (研究期間: 2年)
九州大学大学院工学研究科応用化学部門 助教 中嶋 秀

【背景】
ベッドサイド臨床検査、オンサイト環境分析
半導体微細加工技術 → 生化学分析
マイクロ生化学分析システム
必要な構成要素が全て集積された高度なシステムは存在していない。

【目的】
ポンプやバルブを全く使用せず、生化学分析に必要な、試料採取・試料導入・前処理・濃縮・分離・検出の全ての要素を集積化した、真にポータブルなマイクロ生化学分析システムの構築

コンパクトディスク型多機能集積マイクロチップに基づく新規マイクロ生化学分析システムの開発

分解・調整アプローチによる生産システムの最適運用計画システムの開発 (2年間)
大阪大学大学院基礎工学研究科システム創成専攻
准教授 西 竜志

従来 設計者、計画者、運用者が分離
→ シミュレーションによる試行錯誤
本研究 ベトリネットによるモデリング
(解析、最適化、設計、実装の共通モデル)
モデリング、最適化、設計、運用、検証の同期化
→ ヒューマンエラーをなくす、仕様変更に対応
問題点 最適化探索における状態爆発
解決法 分解・調整アプローチによる最適化
熟練者の行動計画の導出、生産システムの自動化
検討 ・ベトリネットによるモデリング ・熟練技術者の行動モデルの抽出
内容 ・分解・調整による生産システムの最適運用計画の導出 ・工場の生産計画、搬送システム運用に適用

設計・運用・最適化・実装・検証の統合開発環境構築

路面状況に応じたアシスト力を生成するパワーアシスト車いすの開発 (1年間)
豊橋技術科学大学工学部生産システム工学系
助教 野田善之、代理 山本和広

□ 手動車いすにおける問題
道路走行時に路面の傾斜によって、ハンドリムを操作する腕への負担が大。

□ 電動車いすの利用
しかし、①電動化により、車いす重量が増加 → 故障時に自力で対処できない。
②筋力の低下 → 手動車いすに乗りこなす、(自立できない)。
目標：路面状況に応じたアシスト力を生成するパワーアシスト車いすを開発する。

□ 車いすの姿勢と乗客の操作力との関係解析
→ 動作解析シミュレータを用いて、解析する。
→ 簡易数値モデルより車いすの姿勢から操作力を推定する。
□ パワーアシスト制御システムの開発
→ 推定操作力と平面走行時の操作力の差分からアシスト力を生成する。
□ パワーアシストシステムの軽量化
→ ダイレクトドライブモータ、リチウムイオンバッテリーを利用し、パワーアシスト稼働時間に応じたバッテリー容量、モータ出力を検討し、軽量化を図る。

屋外を高速移動可能な介助犬ロボットの研究開発 (1年間)
茨城大学 工学部知能システム工学科
講師 福岡 泰宏

介助犬の問題 → 犬の育成期間・費用、犬のストレス、衛生など → 介助犬ロボットの研究開発

介助犬の基本的な仕事は車椅子で移動する身体障害者の支援であるため、屋外不整地を高速移動可能な移動機構が必要

これまで開発してきた屋外を人が歩く程度の速度で歩行可能な大型歩行ロボット
これに、ステレオカメラとレーザーレンジセンサを搭載して視覚機能を付加する

目標：介助犬の基本動作として、屋外において走行する車椅子(または、動的対象物)を追跡できる機能を実装する

動的環境下における人間と協調動作するロボットアーム制御に関する研究
松江工業高等専門学校 機械工学科 准教授・藤岡 美博

研究目的
動いたり、徐々に質量が変わる重量物の運動を補助するロボットの開発
動的質量計測に関する研究
振動環境下もしくは動く対象物の質量計測

研究の目標
角度センサなどを振動観測センサとして適用し、従来のアーム構造で、物体の質量・重心位置を推定。

研究方法
振動環境下での高速・高精度質量・重心位置の推定手法を応用して搬送物の質量・重心を推定。

移動物体の遮蔽後位置予測機構の研究 (1年間)
東京農工大学 大学院共生科学技術研究院 システム情報科学部門
教授 藤田 欣也

【歩行者の交通事故の一例】
遠くから車を見ているのに一度隠れると判断を誤る
→ 移動物体の予測が正しくできていない？
申請者のこれまでの研究：
「移動物体が途中で遮蔽されると人間はその移動量を過小評価する」

【なぜ人間は移動物体が遮蔽されると移動量を過小評価するのか？】
仮説：心理学的衝突等の可能性は排除→眼球運動が影響した可能性？
実験：課題(遮蔽/非遮蔽など)と予測特性・眼球運動の関係を解析、訓練可能性の検討
実験環境：より実際の交通状況に近い仮想環境で予測課題を与え、視線を計測
解析：眼球運動波形、眼球運動と予測特性の関連を分析
訓練可能性：反復訓練やフィードバックによる予測特性改善の可能性検討

人間の遮蔽後移動物体予測機構に基づく交通事故の低減

平成 19 年度研究助成課題の紹介

環境情報の構造化と獲得情報量の最大化を規範とした学習制御の研究
(研究期間:1年)

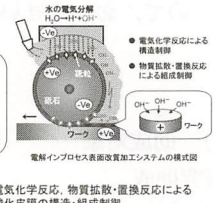
横浜国立大学 准教授・藤本 康孝

【研究目的】ロボットが人と調和するためには、住環境などの複雑な環境下における環境認識技術の向上が必要⇒新しい学習方式の開発
【自律移動ロボットの制御】
従 来:環境情報は予め学習 ⇒ 柔軟性に欠ける
新しい環境には適応が困難
センサを用いた自律マッピングの研究 ⇒ 幾何情報しか扱えない
本研究:①新しい情報が入る毎に逐次学習する高速アルゴリズム
適合する研究機関:MIT
(原理が異なる。本研究ではより高速なアルゴリズムを目指す)
②自ら未知の情報を求めて行動(獲得情報量の最大化)
⇒ 環境情報を絶えず蓄積・構造化, 学習効率の飛躍的向上
【研究目標・方法】新しい学習制御の開発と基礎実験による検証
環境情報の構造化に主成分分析を適用(計算コスト大)
⇒ 逐次アルゴリズムの開発による大幅な計算高速化
環境から獲得する情報量を最大にするよう行動制御 ⇒ 学習効率向上, ロボットの好奇心
知能ロボット研究のマイルストーンとなる, 自ら賢くなるロボットの実現



電解インプロセス表面改質加工による骨組織適合型バイオインプラントの創製(1年)
独立行政法人理化学研究所 先端技術開発支援センター
協力研究員・水谷 正義

【バイオインプラントに対する骨融合性付与】
従来: コーティング(溶射), 化学的処理(アルカリ処理)
コーティング層との密着性
処理後の形状精度の劣化
局部的な処理が困難
加工後に別工程で処理
特別な装置や溶液が必要
安全性・信頼性の問題
効率・環境・コストの問題

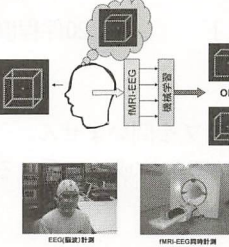


ELID研削による超精密・高効率加工の実現 + 電気化学反応, 物質拡散・置換反応による酸化皮膜の構造・組成制御

インプラントのナノ精度加工と同時にアパタイト形成能の覆れる表面改質層を付与可能となる
電解インプロセス表面改質加工システムの開発

非侵襲脳計測法による脳内情報の読み取り技術の開発(研究期間:1年)
独立行政法人情報通信研究機構・未来ICT研究センター
専攻研究員・南 哲人

【ヒトに優しい通信技術の実現】
たとえば
情報の受け手側の状態に応じて
情報量をコントロールする
そのためには
ヒトの理解度や意識した内容を
脳活動から抽出する技術の開発
どうやって
複数の脳活動計測手法を組み合わせ
より精度の高い技術の開発



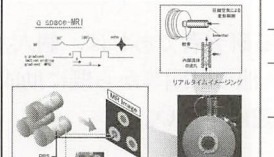
磁気共鳴緩和現象を応用した生体軟組織のマイクロ構造評価システムの構築
(研究期間:1年間)
九州工業大学 大学院生命工学研究科 生体機能専攻
助教・宮田 昌悟

変形性関節症の早期発見・治療

【MRIを応用したマイクロ構造評価システム】
水粒子の制限拡散現象の観測
生体軟組織(関節軟骨)のマイクロ構造

【従来のMRI】
形状データの収集が主で
マイクロ構造の評価は不可能

「臨床応用のための基礎的研究」
q-space MRIパルスシーケンスの最適化
→ q gradient の印加が信号減衰に与える影響の解明
→ 軟骨組織内での現象のモデル化
単純な軟骨モデルの必要性及び
再生医療への展開
→ 軟骨細胞-ハイドロゲル培養モデルの適用
水粒子の制限拡散の観測による
マイクロ構造評価システムの開発



財団法人 立石科学技術振興財団 平成 20 年度 研究助成候補募集案内

財団法人立石科学技術振興財団においては、下記の通り平成 20 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 件程度
-------	--------------	--------

(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 19 年 9 月 1 日～平成 19 年 10 月 31 日（郵便局消印有効）

助成対象期間：平成 20 年 4 月 1 日～原則 1 年

助成金交付時期：平成 20 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。

〒600-8234 京都市下京区塩小路通堀川東入南不動堂町 801 番地

財団法人 立石科学技術振興財団 事務局

TEL (075) 365 4771 FAX (075) 365 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 20 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 20 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助成を歓迎します。ことに、派遣に関しては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 20 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 19 年 10 月 1 日～平成 19 年 12 月 31 日（郵便局消印有効）

助成対象期間：平成 20 年 4 月 1 日～平成 20 年 9 月 30 日です。

助成金交付時期：平成 20 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ください。

（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。

〒600-8234 京都市下京区塩小路通堀川東入南不動堂町 801 番地

財団法人 立石科学技術振興財団 事務局

TEL (075) 365 4771 FAX (075) 365 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 20 年度後期 国際交流助成候補募集案内

財団法人立石科学技術振興財団においては、下記の通り平成 20 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助成を歓迎します。ことに、派遣に関しては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 20 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 20 年 4 月 1 日～平成 20 年 6 月 30 日（郵便局消印有効）

助成対象期間：平成 20 年 10 月 1 日～平成 21 年 3 月 31 日です。

助成金交付時期：平成 20 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ください。

（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。

〒 600 - 8234 京都市下京区塩小路通堀川東入南不動堂町 801 番地

財団法人 立石科学技術振興財団 事務局

TEL (075) 365 4771 FAX (075) 365 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。

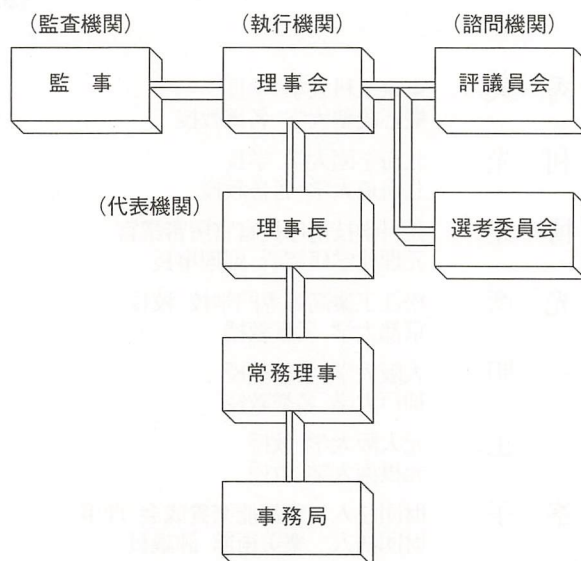
URL : <http://www.tateisi-f.org/>

■ 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 〒600-8234 京都市下京区塩小路通堀川東入南不動堂町801番地
TEL. (075) 365 4771 FAX. (075) 365 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件程度/年, 250万円以下/件)
 2. エレクトロニクス及び情報工学の分野で、人間と機械の調和を促進するための国際交流に対する助成。
(研究者の海外派遣及び外国人研究者の招聘, 助成10件程度/年, 50万円以下/件)
 3. エレクトロニクス及び情報工学の分野で、人間と機械の調和を促進するための研究成果の普及。(助成した研究結果を年間1回発行)
 4. その他、本財団の目的を達成するために必要な事業。
- 基本財産 現金11億円
オムロン株式会社株券 2,625,000株
- 財団の組織



役員・評議員

(2007年4月1日現在)

役員

理事長	立石信雄	オムロン株式会社 相談役
常務理事	竹部高生	オムロン株式会社 参与
理事	伊夫伎一雄	株式会社三菱東京 UFJ 銀行 特別顧問
理事	大野豊	京都大学 名誉教授
理事	沖村憲樹	独立行政法人 科学技術振興機構 理事長 元科学技術庁 科学審議官
理事	熊谷信昭	兵庫県立大学 学長 元大阪大学 総長
理事	黒田眞	財団法人 世界経済情報サービス 理事長 元通商産業審議官
理事	立石義雄	オムロン株式会社 代表取締役会長
理事	棚橋祐治	石油資源開発株式会社 代表取締役社長 代表執行役員
理事	長尾眞	国立国会図書館 館長 前京都大学 総長
理事	森川敏雄	株式会社三井住友銀行 名誉顧問
監事	尾尻哲洋	辻・本郷税理士法人 理事
監事	中川朋子	イリス法律事務所 (弁護士)

(2007年4月1日現在)

評議員

評議員	相磯秀夫	東京工科大学 学長 慶応義塾大学 名誉教授
評議員	朝倉利光	北海学園大学 学長 北海道大学 名誉教授
評議員	雨村博光	元科学技術庁長官官房審議官 元理化学研究所 副理事長
評議員	荒木光彦	松江工業高等専門学校 校長 京都大学 名誉教授
評議員	岩田一明	大阪大学 名誉教授 神戸大学 名誉教授
評議員	末田正	元大阪大学 教授 元摂南大学 教授
評議員	立石峯子	財団法人 京都能楽養成会 理事 財団法人 楽美術館 評議員
評議員	長谷川利治	京都情報大学院大学 副学長 京都大学 名誉教授, 南山大学 名誉教授
評議員	葉原耕平	株式会社国際電気通信基礎技術研究所 顧問
評議員	柳田敏雄	大阪大学大学院 生命機能研究科 教授
評議員	山下牧	オムロン株式会社 専務取締役
評議員	山田啓二	京都府 知事

(50音順)

編 集 後 記

本助成研究成果集は、当財団の助成研究成果普及事業の一環として毎年秋に継続発行して、助成研究者の皆様、国立国会図書館、全国主要大学・研究機関ならびに同図書館等の400ヶ所に拝送させていただいておりますが、今号で第16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17回（平成18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17回（平成18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尾尻監事様、投稿文をお寄せいただきました慶応義塾大学理工学部機械工学科 前野 隆司教授、大阪大学大学院基礎工学研究科 安井 武史助教、事務局取材に快く応じていただきました熊本大学文学部総合人間学科 積山 薫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20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いただければと思います。

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16号
平成19年9月(2007)

発 行 財団法人 立石科学技術振興財団
〒600-8234 京都市下京区塩小路通掘川東入南不動堂801番地
TEL (075) 365-4771 FAX (075) 365-3697
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。)