

立石科学技術振興財団

助成研究成果集

【第17号】

平成20年(2008)



人間と機械の調和を促進する助成研究成果集

第 17 号

平成 20 年 9 月 (2008)

財団法人 立石科学技術振興財団

Tateisi Science and Technology Foundation

設 立 趣 意 書

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

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

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

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

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

助成研究成果集

目 次

1. 理事長挨拶	2
2. 財団関係者寄稿 (沖村憲樹 理事 独立行政法人 科学技術振興機構 顧問)	3
3. 研究助成成果の抄録一覧	5
4. 国際交流報告の抄録一覧 (平成 19 年度)	93
5. 平成 19 年度活動報告 (業務日程・会計)	101
6. 平成 20 年度助成報告	102
7. 第 19 回助成金贈呈式	103
8. 受領者投稿	104
井村順一 東京工業大学大学院 情報理工学研究科 教授	104
塩入 諭 東北大学 電気通信研究所 教授	105
9. 研究室訪問	106
宮崎文夫 大阪大学大学院 基礎工学研究科 教授	106
10. 第 19 回 (平成 20 年度) 助成課題一覧	109
11. 平成 20 年度研究助成課題の紹介	113
12. 平成 21 年度助成候補募集案内	118
13. 財団の概要	121
14. 役員・評議員	122
編集後記	123

ごあいさつ

このたび、助成研究成果集第17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19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17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

最近の科学技術情報事情

今日、企業や国家にとって、特許や研究開発論文等の科学技術情報をいかに早く的確に利用するかはきわめて重要で、イノベーションは、その的確な利用なくしては、あり得ない。

政府は、昭和 32 年日本科学技術情報センターを設立し、総合科学技術会議の前身である科学技術会議は、科学技術情報政策を最重要政策としていた。

その後、この問題が、地味な分野であるためか、あまり取り上げられておらず、諸外国に比べ遅れをとっているのは誠に残念であり、将来を憂慮するものである。



現在何が問題となっているか。

- 一、学会活動の低下と学会誌活動の低下である。我が国の学会が細分化され、多くの学会では、研究者の研究活動の成果発表の機会である学会誌の刊行が十分に行われていない。
- 一、我が国の有力学会誌がその出版をエグゼビアース社等欧米出版社にまかせる現象が進んでいる。世界の有力科学技術情報を寡占しているこれら出版社が、極めて高額な料金で販売をしているため、我が国の大学図書館をはじめ世界中が窮状におちいつている。
- 一、我が国の著名な研究者の優秀な論文投稿は、欧米の著名な雑誌に集中、我が国の学会誌が相対的に地位がさがり、経営が困難になるという現象が起きている。
- 一、中国の科学技術情報は 100% 電子化され、誰でも無料でアクセスできる。（ダウンロードは有料であるが。）欧米諸国も 100 パーセント電子化されている。我が国は、30 数%である。JST（科学技術振興機構）、NII（国立情報学研究所）等が努力しているものの、電子化が決定的に遅れている。

科学技術情報は、グローバルでなければならない。一方、国民の幅広い文化活動であり、その国の言語とも密着している必要がある。また、極度に発達したインターネットを的確に利用し、大学、企業、公的機関、医療従事者、弁理士、産学連携事業従事者、メディア等々あらゆるところから情報が生まれ、的確にネット化され、正確に検索され、あらゆる人に利用されることが肝要である。

科学技術情報について、明確かつ強力な政策が打ち出されることを切望する。

理事 沖 村 憲 樹

（独立行政法人 科学技術振興機構 顧問）

研究助成成果の抄録一覧

(年度順五十音順)

- ◆ 視覚障害者のための環境内文字情報読み上げシステムの開発 (1061002) 8
 Development of Text Information Reading System in Natural Scene Images for Blind Person
 江 崎 修 央 鳥羽商船高等専門学校 制御情報工学科 准教授

- ◆ ドラックデリバリーシステム機能を有する生分解神経プローブの開発 (1061004) 12
 Development of Neural Probes Coated Biodegradable Polymer with Drug Delivery System
 加 藤 康 広 東京大学大学院 工学系研究科 先端学際工学専攻 博士課程
 (現 日本電信電話株式会社 NTT コミュニケーション科学基礎研究所)

- ◆ ホログラム立体映像表示を利用した計装システム用
 複合現実感インタフェースの研究 (1061007) 16
 Virtual Touch Interface System for 3D Image Using Holographic Display
 阪 本 邦 夫 島根大学 総合理工学部 准教授
 (現 甲南大学 知能情報学部 准教授)

- ◆ 乳房 X 線写真における構築の乱れを対象とした
 コンピュータ支援診断システムの開発 (1061015) 22
 Computer-aided Diagnosis Scheme for Detection of Architectural Distortions on Mammograms
 中 山 良 平 三重大学 医学部附属病院 中央放射線部 助教

- ◆ 複素ニューラルネットワークに基づくプラスチック地雷探知システムの開発研究 (1061018) 26
 Development of a plastic landmine visualization system based on
 complex-valued neural networks
 廣 瀬 明 東京大学大学院 工学系研究科 教授

- ◆ 低被爆 X 線撮影装置の開発研究 (1061019) 30
 Development of a Low-Dose X-ray Imaging Device
 房 安 貴 弘 長崎総合科学大学大学院 新技術創成研究所 准教授

- ◆ 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 (1071002) 35
 Decision Making of Robots under Existence of Moving Objects by
 Combination of State-Action-Maps
 上 田 隆 一 東京大学大学院 工学系研究科 助教

- ◆ 機械学習に基づく創薬支援システムの開発 (1071003) 40
 Development of a new In silico drug discovery approach based on machine learning
 奥 野 恭 史 京都大学大学院 薬学研究科 准教授

- ◆ 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 (1071004) 44
 Development of a dexterous robot hand with adjustable joint stiffness
 梶 川 伸 哉 東北学院大学 工学部 教授

◆ 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 (1071005)	48
An Emotion Control and Generation Method for Emotional Communication Robots	
加 藤 昇 平 名古屋工業大学大学院 工学研究科 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 (1071010)	53
Electronics Circuit Model with Synaptic Plasticity for Brain-type Information Processing System	
佐 伯 勝 敏 日本大学 理工学部 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 (1071012)	57
Machine learning for structured high-dimensional data	
杉 山 将 東京工業大学大学院情報理工学研究科 准教授	
◆ 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 (1071013)	60
Mathematical modeling of human behavior based on integration of motion and decision	
鈴 木 達 也 名古屋大学大学院 工学研究科 教授	
◆ 絵文字オントロジーの構築とその多角的検索 (1071014)	65
Building Pictogram Ontology and Its Multiple Search Methods	
高 崎 俊 之 京都大学 情報学研究科 社会情報専攻 研究員 (GCOE)	
◆ 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 (1071015)	69
Utterance Analysis Using Higher-order Theory and Speech Recognition for a Person with Articulation Disorders	
滝 口 哲 也 神戸大学 都市安全研究センター 講師	
◆ 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 (1071017) ...	73
Development of Carbon Nanotube based Actuation Materials	
唐 捷 (株)物質・材料研究機構 グループリーダー	
◆ 屋外を高速移動可能な介助犬ロボットの研究開発 (1071021)	76
Developement of a Service Dog Robot Walking Outdoor Dynamically	
福 岡 泰 宏 茨城大学 工学部 知能システム工学科 講師	
◆ 移動物体の遮蔽後位置予測機構の研究 (1071023)	80
A study on position anticipation mechanism of occluded moving object	
藤 田 欣 也 東京農工大学大学院 共生科学技術研究院 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 (1071024)	84
A Learning Algorithm for Structuring and Maximizing of Environmental Information	
藤 本 康 孝 横浜国立大学大学院 工学研究院 准教授	

◆ 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 (1071025)	89
---	----

Bioactivity of Titanium Alloy Finished by a New Grinding System

水 谷 正 義 独立行政法人 理化学研究所 大森素形材工学研究室 協力研究員

視覚障害者のための環境内文字情報読み上げシステムの開発

Development of Text Information Reading System in Natural Scene Images for Blind Person

1061002

研究代表者 鳥羽商船高等専門学校 制御情報工学科 准教授 江 崎 修 央

[研究の目的]

近年、画像中からの文字領域抽出・認識を利用したシステム開発が注目を集めている。情景画像中から文字領域を抽出し、認識処理を利用することで、旅行先での自動翻訳システムや図書の自動データベース化などに利用されつつある。情景画像中の文字情報を読み上げることができれば、視覚障害者にとって必要な情報が得られる可能性が広がる。そこで視覚障害者向けのシステム用技術としても注目されており、バスの行き先読み上げシステムなどが報告されている。我々もこれまでに文字領域抽出手法に重点を絞って研究を行ってきた。この文字情報読み上げシステムと GPS によるヒューマンナビゲーションシステムを組み合わせることで、視覚障害者の単独外出を支援するシステムが構築できると考えている。

本研究では視覚障害者向けの情景画像中の文字情報読み上げシステムの実用化の第一歩としてレストランのメニュー読み上げを行うシステムの開発を目標とし、基本設計、文字領域の抽出手法の実験とメニューデータベースの作成およびメニュー選択に関する検討を行った。

[研究の内容、成果]

1. メニュー読み上げシステムの概要

まず、レストランにおけるメニュー読み上げ

を行うにあたり、対象の店舗の形態を大きく「定食屋」系と「居酒屋」系に分けて考える。「定食屋」系とは、一人が一品頼む場合を主に想定している店舗形態、「居酒屋」系とは、多人数で複数の品を頼む形態であると定義する。「定食屋」系の店舗では、食べ物の注文は、一度で済むことが多いのに対して、「居酒屋」系の店舗では、食べ物や飲み物を複数回に渡って注文するという特徴がある。つまり、「定食屋」系の店舗では、メニューの内容を一度店員に聞けばよいので比較的質問しやすいが、「居酒屋」系の店では、メニューが多岐に渡る上に、注文するたびに質問することとなる。

本システムの構成要素は、図1に示すとおりノート型パソコンなどの小型携帯端末、ネットワークカメラ、コンピュータとへの情報入力を行うハンドコントローラである。動作の概要は以下に示すとおりである。① ユーザが読み上げさせたいメニューを前に広げてハンドコントローラの Capture ボタンを押して画像を撮影する。② 文字領域抽出処理によりメニュー画像から文字領域を抽出する。③ 切り分けられた文字領域に対して認識処理を行う。④ 認識結果から階層構造のメニューデータベースを作成する。⑤ システムはユーザに対して音声で順次選択を促す。⑥ メニューの選択にはハンドコントローラのボタンを利用する。

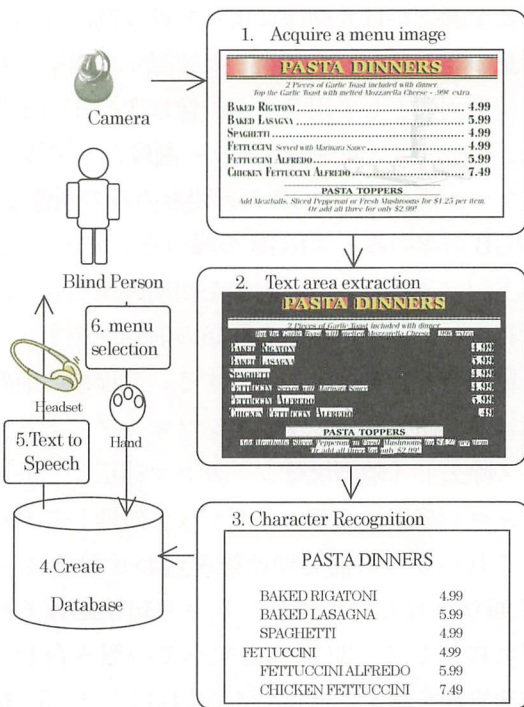


図1 システム概要図

2. メニュー画像からの文字領域抽出

2.1 対象画像

今回対象としたメニューはインターネット上で取得した居酒屋のメニュー画像である。店舗数は10、画像数は35枚である。図2にメニュー画像の一例を示す。

一概にメニューといっても、文字のみからなる画像、食べ物写真が掲載されている中に文字列が記入されている画像などさまざまなものがあ



図2 メニュー画像の例 [1]

る。従って、既存のOCRソフトウェアでは文字領域と非文字領域の切り分けができないので、そのままでは認識処理には利用できない。

2.2 文字領域の抽出手法

対象画像には比較的小さな文字が多く含まれているため、これまでに研究を行ってきた文字領域抽出手法の中でも小さな文字検出に強い4つの手法を利用した。以下にそれぞれの手法の特徴を述べる。

8 color 2 手法は、対象画像を 32×32 ピクセルの小領域に対象画像を分割し、RGBそれぞれのカラーチャンネルに対して判別分析による2値化を行うことで、画像全体を8色に減色した後、文字領域を抽出する手法である。隣り合う文字領域は基本的に同じ色から構成されていることが多いという性質を利用した手法である。

B-Binary 2 はRGBカラーチャンネルを利用するのではなく、HSB表色系の明度に対して2値化を行う方法である。これも8 Color 2 手法と同様に、小領域に分割したあと処理を行っている。メニューに限らず文字領域は人間が認識しやすいように背景領域と文字領域のコントラストをはっきりさせるので、明度で2値化を行うことは、背景領域と文字領域の切り分けに有効な手段である。

Closing-Opening 処理は、Morphology 演算の基本処理手法であるClosingを行った画像とOpeningを行った画像の差分を取る処理である。この処理により、文字領域は水平に接続した領域として出力される。

2.3 抽出結果

文字領域抽出の評価値として *Precision*, *Recall* を利用した。*Precision* とは抽出した領域中に文字領域がどの程度含まれているかという指標である。*Recall* は対象画像中の文字領域をどの程度抽出できたかという手法である。*Precision* と *Recall* はそれぞれ相反する指標であるので、それぞれを考慮した評価値 f も利用する。今、抽出した文字領域を E 、正解文字

表1 各手法による文字領域抽出率

	Precision	Recall	f
8 color 2 (8)	69.4	44.1	53.9
B-Binary 2 (B)	78.5	42.1	54.8
Closing-Opening (CO)	66.4	48.3	55.9
8 + CO	61.5	62.4	62.0
B + CO	66.1	61.4	63.7
8 + B + CO	61.1	63.1	62.1

領域を T , E と T の共通領域を c とすると, $Precision$ と $Recall$ および f はそれぞれ下記のよう

$$Precision = c / |E| \quad (1)$$

$$Recall = c / |T| \quad (2)$$

$$f = (0.5 / Precision + 0.5 / Recall)^{-1} \quad (3)$$

表1に抽出結果を示す。表中で“+”で表してある結果は、2つもしくは3つの手法で出力された領域の論理和を取った領域である。表1の結果から、最も高い $Precision$ となったのは、B-Binary 2 の手法で 78.5% であった。ただし、B-Binary 2 だけでは $Recall$ の値が低く、総合的な評価値 f としては 54.8% にとどまった。 f が最も高かったのは、B-Binary 2 と Closing-Opening の論理和をとった結果で 63.7% であった。メニューを完璧にデータベースに登録することを考えると、高い $Recall$ が必要である。多少 $Precision$ が下がったとしても、抽出領域が本当に文字領域かどうかを文字認識処理結果により判断できると考えるからである。

3. 投票制を用いた文字認識

3.1 複数の認識処理系による投票制について

2章で説明した文字領域の切り分け処理により、1文字ずつの文字画像データが入力として与えられる。その画像に対して認識処理を行う前に、複数の画像処理手法を組み合わせた前処理を行うことにより、いくつかの文字画像が生成される。これら別々の前処理を施された画像に対して文字認識処理を行うと、同じ文字画像にもかかわらず別の認識結果を得る可能性がある。ただし、前処理に関してどの手法の組み合

わせが適切かは元画像によって違う為、今回は下記の組み合わせを利用した認識系を構築した。

初期画像として用意する画像は次の5つとした。それらは、「元画像(カラー画像)」、「グレースケール画像」、「RGBの青要素のみの画像」、「RGBの赤のみ」、「RGBの緑のみ」である。

上記で述べた5つの画像を初期画像として、それぞれに以下に示す5種類の前処理をすべての組み合わせで施すこととする。5種類の前処理は「2値化」、「メディアンフィルタによるノイズ除去」、「階調反転」、「ガンマ補正」、「モルフォロジ演算によるトップハット処理」である。

これら5つの前処理の組み合わせ数は $2^5 = 32$ 通りとなる。つまり、5つの初期画像それぞれに対して、32通りのすべての組み合わせの前処理を施すことにする。これにより、5(初期画像数) $\times$ 32(前処理の組み合わせの数) = 160通りの画像が生成されることとなる。今回利用したOCR処理系はAIソフトの「活字文書OCRライブラリ」である。このソフトウェアは、1つの画像に対して1つの候補文字列を出力するので、この投票制を利用した認識処理系の投票総数は160票となる。最終的には、投票結果の多い順から上位10候補を出力する。

3.2 文字認識実験結果

投票制による文字認識処理の結果が図3である。グラフの横軸は順位、縦軸は認識率を表している。1位の結果は28%だが、2位、3位と累積するごとに認識率が上がっていった。1位ではまだ認識精度が低いものの、2位まで考慮すれば認識精度は38%、10位まで累積結果で認識率は50%程度に上がることを確認した。

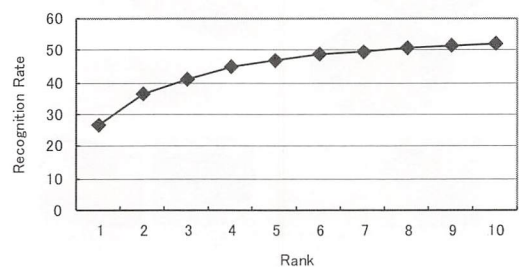


図3 投票制による文字認識処理の結果

認識率はフォントによるばらつきが大きいので、今後はフォントに依存しない認識処理を検討する必要がある。

4. メニューの読み上げ方法に関する検討

店舗における多くのメニューは、「うどん」「丼」「定食」などに分類されている上で「きつねうどん 400 円」「肉うどん 600 円」というメニュー項目などが記載されている。しかし、分類項目は店によって違う。特に最近新規開店する店舗では「一品料理」の分類項目に対して「すぐに出る料理」といった表記を行ったり、メニュー自体も「昔ながらの屋台ラーメン」といった具合に消費者の心をつかむようなキャッチフレーズ入りのメニューも多く見られるようになってきた。メニューの名前に関しては視覚障害者にとってもただ「ラーメン」と読み上げられるよりも「昔ながらの屋台ラーメン」といった名前のほうが楽しめると思うが、それらの分類項目があまりに奇抜なものであると、はじめの段階でどこに希望のメニューがあるのか想像しにくくなると考えられる。そこで、我々は一般的な店舗の典型的な分類項目を整理し、そのテンプレートのどこに該当のメニューを振り分けるかを自動的に決定するメニューデータベース作成機能の実装を目指す。

今回の実験におけるメニューの選択方式として、「Yes/No」選択方式について検討を行った。

「Yes/No」選択方式とは、「Yes」と「No」

に対応した 2 つのボタンのみを押すことによってメニューを選択していく方式である。「Yes」は「決定」を意味し、次の階層に進む場合や最終的なメニュー決定に利用される。「No」は「次に進む」ことを意味し、同階層の別の項目を読み上げる動作を行う。

[今後の研究の方向, 課題]

今後は、文字領域抽出、認識精度の向上を目指していく必要がある。また、メニューの読み上げに関しても、さらに効果的な階層構造の検討を行う。

[成果の発表, 論文等]

- 1) 江崎修央, 砂崎由樹, 中西 航, 清田公保: 視覚障害者向けレストランメニュー画像からのメニュー読み上げシステム, 電子情報通信学会ヒューマンインフォメーション研究会技術報告 (ITE-HI), ITS 2006-82, IE 2006-267, pp. 41-46 (2007)
- 2) K. Kiyota, N. Ezaki, K. Itoh, L. Hirasaki, S. Yamamoto: Pen-based Electronic Note-taking System to support study of visually impaired person, the 13 th Conference of the International Graphonomics Society (IGS 2007), pp. 205-207 (2007)

[参考文献]

- [1] 村さ来ホームページ,
<http://www.murasaki-net.co.jp/>

ドラックデリバリーシステム機能を有する 生分解神経プローブの開発

Development of Neural Probes Coated Biodegradable Polymer with Drug Delivery System

1061004

研究代表者 東京大学大学院 工学系研究科 先端学際工学専攻 博士課程 加藤 康 広
(現 日本電信電話株式会社 NTT コミュニケーション科学基礎研究所)

[研究の目的]

本研究は、“人間と機械の調和を，生体医工学の立場から促進する”ことを目指し，多点電極と薬剤徐放機能を賦与した，脳と機械を直接繋ぐ柔軟神経プローブの提案と開発を目的とした。このような神経プローブの実現は，人工視覚や人工内耳などの人工装具への応用のみならず，現在完治することのない脊椎損傷やパーキンソン病などの神経疾患に対して，新しい治療方法を提案・提供する強い意義がある。

[研究の内容，成果]

2005年米国のCyberkinetics社は，剣山型神経プローブを脊髄損傷患者の脳皮質に埋込み，脳を直接コンピュータへ接続してコンピュータを操作することに成功した。このような脳と機械を直接接続する生体医工学技術の発展は，神経部位との代替を可能にするとされ，中枢神経系の損傷や疾患によって衰えたまたは失った機能を回復させることができる新しい治療方法を提案，提供すると高く期待されている。一方，脳と機械を繋ぐ神経プローブの既存技術は，刺入や留置によって損傷させた脳組織を回復させることが困難であったために，計測対象である神経細胞の死滅などを招いて長期間安定した神経活動の計測を実現できなかった。そこで本研究は，ドラックデリバリーシステム(DDS)

技術を応用したマイクロファイアからの薬剤徐放により，刺入や留置によって損傷した脳組織の回復促進と，柔軟材料をプローブ基板材料として微細加工技術にて作製される多点柔軟神経プローブによる留置時の脳損傷軽減という2つの機能を同時に有した神経プローブを提案し，下記の課題に対する検討または開発を行った。

- 1) 損傷組織を回復させる DDS の応用
- 2) 脳組織損傷を軽減するプローブ基板の開発

3) 留置された神経プローブの脳への影響
以下に詳細を述べる。

1) 損傷組織を回復させる DDS の応用

従来の神経プローブでは，プローブによって損傷した脳組織の回復を望むことはできない。そこで，損傷した脳組織の回復を促進させるために，DDS，特にマイクロファイアによる薬剤送達方法を神経プローブへと組み合わせることを提案し，溶媒蒸発法により作製した(図1)。

材料は，薬剤を包埋するキャリアとして1ヶ月程度の生分解速度を有する50/50 poly(DL-lactide-co-glycolide) (50/50 DLPLG) という生分解ポリマーと，損傷した神経細胞の回復促進と維持に効果があるとされるNGFを用いた。また，神経プローブに固着可能なサイズとなるようにホモジナイズの分散速度を調整し，NGFマイクロファイアの粒子径が10 [μm] から30 [μm] となるように作製した。

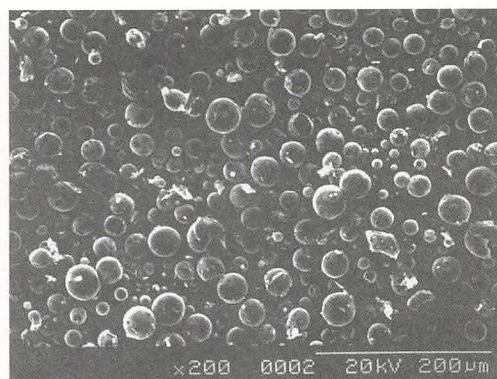


図1 作製されたマイクロフィアのSEM (scanning electron microscope) 画像

次に、リン酸緩衝生理食塩水にマイクロフィアを浸漬して37度でインキュベートし、NGF-Enzyme-linked Immunosorbent Assayを用いてマイクロフィアからのNGFの徐放量を定量した。2週間に渡るインキュベーションの結果、2～6 [ng/ml] のNGFの徐放が確認できた。さらに、マイクロフィアから徐放されたNGFの活性を、ラット副腎褐色細胞腫細胞(PC12)を用いて確かめた。無血清下において8日間インキュベートしたコントロールとNGFが徐放された結果を、それぞれ図2に示した。図2 (a) がコントロール、図2 (b) がNGFの包埋されたマイクロフィアがまかれたディッシュである。図2 (a) では、PC12の神経化はみられないが、図2 (b) では、PC12の神経化、Neuritesの伸展と増加が観察でき、徐放されたNGFの活性保持を定性的に確認できた。

2) 脳組織損傷を軽減するプローブ基板の開発

従来の神経プローブ基板は容積が大きく、プローブの刺入と留置によって脳組織を大きく損傷させていた。そこで、留置後における脳への侵襲を小さくするために、神経プローブ基板の容積を加工限界まで縮小したスケルトン型神経プローブを提案した (図3)。これは計測に必要な金配線とパリレン絶縁層のみ残し、固着されたマイクロフィアにより薬剤を徐放することで、脳組織の損傷軽減と損傷した脳組織の回

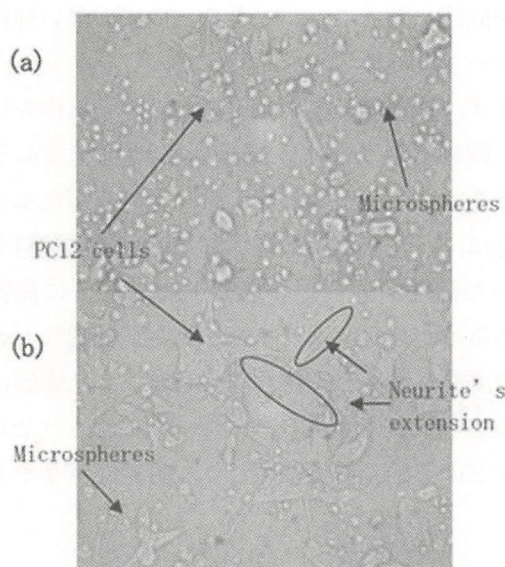


図2 徐放されたNGFによるPC12神経化の写真(無血清下において8日間インキュベート)
(a) コントロール (マイクロフィアにNGFが包埋されていない)。PC12の神経化はみられない。
(b) PC12の神経化, Neuritesの伸展と増加がみられる。

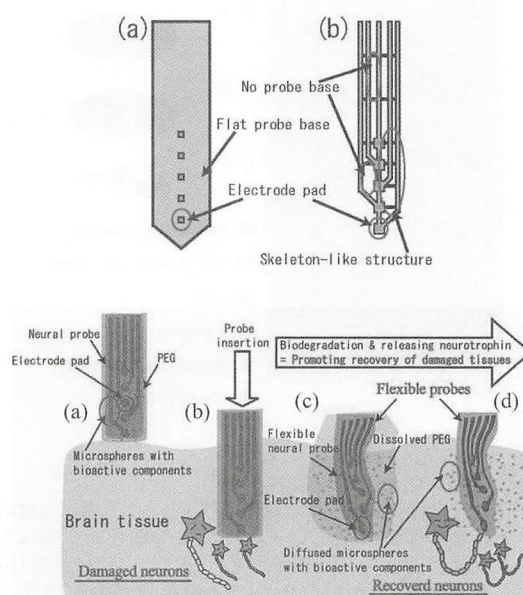


図3 スケルトン構造を有する神経プローブの概念図
上図: (a) は従来の神経プローブを示し、スケルトン構造を有した神経プローブ (b) がプローブ容積を縮小したことを示す。下図: (a) 薬剤を徐放するマイクロフィアと刺入強度を高めるPEGが固着されたプローブ。(b) PEGにより刺入強度を高めて、脳へ刺入されたプローブ。この際、刺入により神経などの脳組織が損傷する。(c) 刺入後にPEGは溶解し、プローブの柔軟性が戻る。スケルトン構造を有し薄く極細のプローブは、脳の動きに柔軟に追従すると共に脳組織と一体化し、プローブと脳組織のずれなどによる組織損傷を軽減する。(d) マイクロフィアから一定期間薬剤が徐放され、損傷した脳組織の回復が促進される。

復を同時に図ることができる、従来にない神経プローブである。

まず、微細加工技術を用いた設計と試作を行い、微細なスケルトン構造が作製可能であることを示した。しかしながら、図4左図に示すように、パリレンに代表される非感光性材料を用いた神経プローブの作製工程は非常に複雑であるばかりか、ドライエッチング装置などを含む高額な装置と維持管理を必要とし、廉価に作製することは困難であった。そこで、パリレンなどの非感光材料にかわり、感光性ポリイミ

ドを柔軟材料基板とする神経プローブの作製を行った。感光性ポリイミドを用いることで複雑なドライエッチング工程を省略し（図4左）、より容易にかつ廉価な神経プローブの作製を実現した（図5）。

次に、ラットを用いた急性実験を行った。単一の生分解性ポリマーでは、刺入強度と薬剤を適切に徐放する機能を同時に保有できない。そこでPEG (polyethylene glycol) と、薬剤を徐放するマイクロスフィアによるハイブリット生分解性ポリマーを作製し、それらをプローブに固着させることで、座屈や破断などを生じずに柔軟神経プローブを大脳皮質または小脳へ刺入でき、神経活動の計測に成功した。なお、全ての動物実験は、東京大学実験動物委員会及びNTTコミュニケーション科学基礎研究所研究倫理委員会の定めるガイドラインに準拠して実施した。

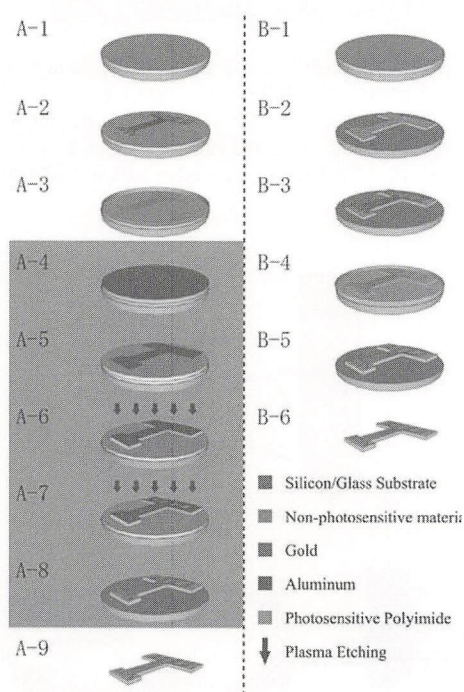


図4 神経プローブの作製工程

A: 非感光性材料による作製工程。B: 感光性材料による作製工程。A-4 からA-8 の灰色背景部はドライエッチング工程を示す。(A-1) 非感光性材料を基板にコート、(A-2) 金の蒸着と金配線をパターンニング、(A-3) さらに金配線を絶縁するために非感光性材料をコート、(A-4) ドライエッチング（プラズマエッチング）の保護膜としてアルミニウムを蒸着、(A-5) 神経プローブの外枠形状にパターンニング、(A-6) ドライエッチングにより神経プローブの外枠形状を作製、(A-7) ドライエッチングにより非感光性材料に絶縁された電極を露出、(A-8) アルミニウム保護膜を除去、(A-9) 基板から神経プローブを剥離。(B-1) 基板に感光性材料をコート、(B-2) 感光性材料を神経プローブの外枠形状にパターンニング、(B-3) 金の蒸着と金配線のパターンニング、(B-4) さらに金配線を絶縁するために感光性材料をコート、(B-5) 神経プローブの外枠形状と露出する電極をパターンニング、(B-6) 基板から神経プローブを剥離。

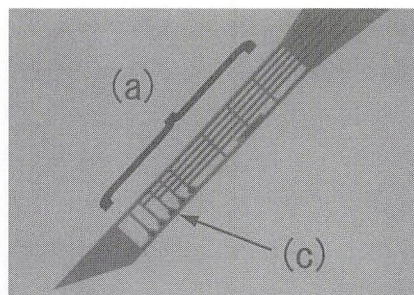
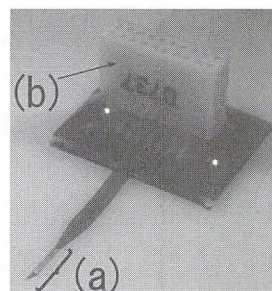


図5 感光性ポリイミドを用いて作製したスケルトン神経プローブの写真

上図：スケルトン神経プローブの全体図

下図：スケルトン神経プローブの刺入部位拡大図。

(a) スケルトン構造を有する刺入部位。(b) コネクタ部。(c) 計測用電極。

3) 留置された神経プローブの脳への影響

作製したスケルトン型神経プローブを1週間ラット脳内へ留置し、脳を摘出して所定の細胞を各々染色することで脳組織における神経プローブの影響を観察した(図6)。染色に関しては、ヘマトキシリン・エオジン染色(全ての細胞を染色)、NewN染色(神経細胞を染色)、GFAP染色(アストロサイトを染色)、CD 68染色(ミクログリアを染色)を行った。

神経プローブが留置された空隙部周囲には、神経細胞が少なく(図6(b)), アストロサイトとミクログリアが凝集した瘢痕化(図6(c),(d))が観察される。これは、神経プローブの刺入と留置により周囲の脳組織が損傷した結果、神経細胞が死滅し、瘢痕化したと考えられる。しかし、瘢痕部位は、周囲近傍のみに限られ、空隙部周囲への広い拡散はみられない。従って、留置された神経プローブの大きなずれなどは生じず、スケルトン構造によって脳組織とプローブとのずれを軽減できたと考える。

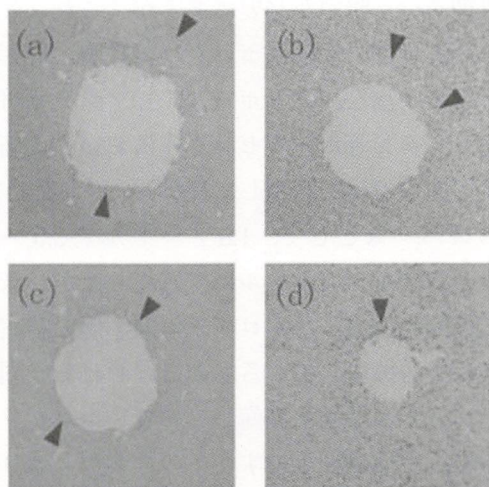


図6 1週間ラット脳内へ留置された神経プローブ周囲の脳組織染色写真
中心の空隙部位がプローブの留置部位を示し、矢印は特徴的に染色されている部位を示す。(a) ヘマトキシリン・エオジン染色された写真。(b) NewN染色された写真。(c) GFAP染色された写真。(d) CD 68染色された写真。

[今後の研究の方向, 課題]

本研究では、NGFを包埋したDDSマイクロソフィアを作製し、NGFの徐放量と薬剤の活性を*in vitro*実験で評価し、*in vivo*実験に向けた有用性を示した。また、スケルトン構造を有する神経プローブを提案し、そのより簡易で廉価に作製する方法の実現と、神経系活動の計測に成功した。今後は、慢性埋め込みによる神経活動の計測と、神経プローブより徐放された薬剤の脳組織への影響評価を検討している。

[成果の発表, 論文等]

- 1) Yasuhiro Kato, Katuhiro Maki, Shigeto Furukawa, Makio Kashino: A Photosensitive Polyimide based Method for an Easy Fabrication of Multichannel Neural Electrodes, Proc. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (2008. 8 (予定))
- 2) 加藤康広, 牧勝弘, 古川茂人, 柏野牧夫: 聴皮質計測に向けた感光性ポリイミドによる脳表電極の開発, 第31回日本神経科学大会, 東京(2008. 7)
- 3) Y. Kato, T. Suzuki, K. Mabuchi: Development of mesh-structure multichannel flexible neural probe, Proc. 19th International Microprocesses and Nanotechnology Conference, pp.370-371 (2006. 10)
- 4) Y. Kato, I. Saito, T. Hoshino, T. Suzuki, K. Mabuchi: Preliminary Study of Multichannel Flexible Neural Probes Coated with Hybrid Biodegradable Polymer, Proc. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, pp.660-663 (2006. 8)
- 5) 加藤康広, 鈴木隆文, 満洲邦彦: Skeleton-Like Multichannel Flexible Neural Probe Coated with Hybrid Biodegradable Polymer, 第29回日本神経科学大会, 京都(2006. 7)
- 6) Y. Kato, M. Nishino, I. Saito, T. Suzuki, K. Mabuchi: Flexible Intracortical Neural Probe with Biodegradable Polymer for Delivering Bioactive Components, Proc. 2006 International Conference on Microtechnologies in Medicine and Biology, pp. 143-146 (2006. 5)

ホログラム立体映像表示を利用した計装システム用 複合現実感インタフェースの研究

Virtual Touch Interface System for 3D Image Using Holographic Display

1061007

研究代表者

島根大学 総合理工学部 准教授

阪本 邦夫

(現 甲南大学 知能情報学部 准教授)

[研究の目的]

ホログラフィ技術を応用した立体映像表示により、空中に「警告」情報などを浮遊表示させ、実在する機械・装置の配置位置に合わせた情報表示が可能な複合現実感インタフェースを構築することで、プラント運用での監視作業支援を行う3次元映像による計装システムを実現する。情報の提示領域を3次元空間へ拡張することにより、多くの情報を表示可能になるとともに、3次元空間上の任意の位置に工場プラント配管等の異常箇所の情報を、実在する3次元空間上の物体と重畳表示(物体の位置と映像による拡張情報の提示位置が一致するような情報表示)させることのできるため、ユーザ(監視者)が直感的に認識可能な「人に優しい」情報提示が可能になる。

[研究の内容、成果]

1. ホログラム作製環境の構築

本研究では、空中に幾何図形を表示させる映像システムを構築し、実物体の位置に情報を重畳する3次元計装システムなどの実空間拡張情報システムの実現技術の開発を目指している。3次元空間上に映像表示を行う手法として、両眼視差を利用した立体視による方法と、レンズ作用により映像表示面自体を空間上に表示させる方法により、空間情報提示システムの用途に

応じた効果的な立体表示を実現する光学系を実現する。そこで、3次元の実空間上に映像表示を行うため、レンズや回折格子等の機能を備えた光学素子を、ホログラフィ技術を用いて作製する。このようなホログラム光学素子は写真(撮影)技術により媒体に記録する方法(光学系により記録すべき光束を生成し、暗室内で写真撮影法により記録)により作製するため、まずはホログラムの作製環境の構築を行った。

1.1 ホログラム作製用光学設備の構築

ホログラフィ実験を行うためには、撮影・現像処理を行う暗室が必要であるが、これらの作業は、実験室の片隅にホログラム作製(撮影作業)用の暗室を、ダンボール、Lアングル材、遮光カーテン等ホームセンターにおいて安価に入手可能な資材を利用して構築した。撮影作業用のスペースとして、1.8メートル×2.5メートルの空間をダンボールにて遮光したが、若干の光の漏れはあるがホログラム撮影用の暗室としては十分機能しているものと思われる。同暗室内には水道設備も完備しており、ホログラムの撮影、現像処理等のすべての作業が一通り行える構造となっている。

また暗室とともに、光学実験を行う除振台(光学実験台)についても専用の光学実験設備は未整備の状態である。そこで重量の大きいOAテーブルを光学実験台の代用として使用した。ただし、ホログラムの撮影の際には、1ミリ当たり数千本の干渉縞の記録が必要なため、

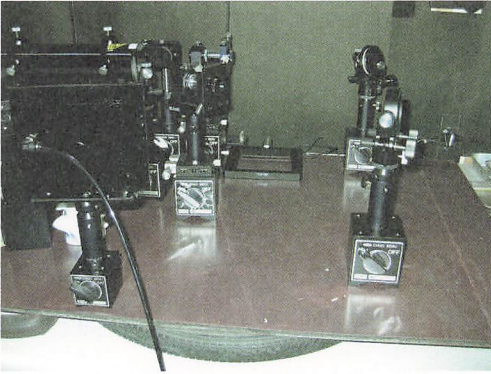


図1 鉄板をベースに用いた光学実験台

撮影中の振動対策が必要である。建物からの振動を除去するため OA テーブルの足部分に非弾性ゴムの球体を挿入し、実験台への振動を防止するように改造を行った。ホログラムの撮影に必要な暗室設備と除振台（光学実験台）については、予算の関係上、専用の光学実験設備ではないが、ホログラムの撮影記録時間（露光時間）が3秒以内であれば、概ね干渉縞の記録が適切に行われ、ホログラムの作製が可能であった。さらに、図1に示すような厚み10ミリの鉄板を自転車チューブの上に載せて実験台として使用しており、マグネットで光学機器の固定もでき、ホログラムの撮影も、本格的な光学除振台を使用した場合とほぼ同様に行うことができる。

1.2 光学素子の作製

左右映像分離に使用するホログラム光学素子の作製を行った。スリット方式の立体表示と同じ機能を実現するホログラム素子を作製するため、ホログラム部分より奥行き10ミリの位置に配置した線状の光源をホログラムに記録を行うことで、所望の特性の光学素子を作製した。作製した光学素子は5ミリ間隔のスリットにより左右映像分離を行うように設計された光学特性を有しており、図2は、このホログラム光学素子全面を照明光により照明した場合に再生される、再現された線状光源を撮影したものである。また、ホログラム上に光学素子を選択的に作りこむことで、見る方向により観察できる図

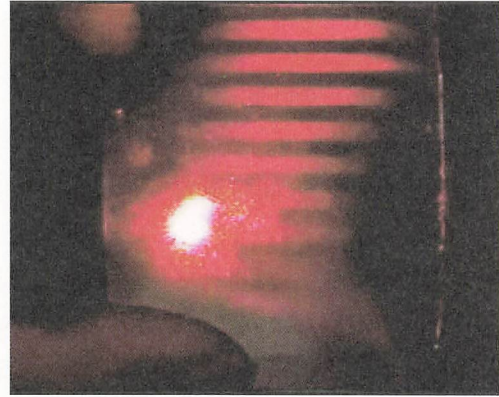


図2 ホログラムスクリーン

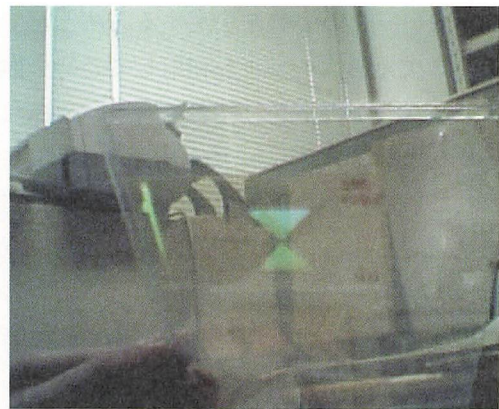


図3 図形パターンを構成するホログラム素子

形が変化する素子も試験的に作製した。図3はその素子の写真である。見る方向により、光の反射状態が変化するため、一方の図形のみがキラキラしている。

2. 複合現実感インタフェース

音声認識や画像を用いた認識などは、人間の意図を正確に伝達する上で重要な技術であり、ロボットとのコミュニケーションやコンピュータとのインタフェースを実現するため、様々な研究が行われている。この中で人間の行う「指差し」という動作は、方向を示したり、ヒトや物を指し示したりする場合に用いられる重要なコミュニケーション手段の1つである。立体映像を用いた複合現実感環境では、空中に浮遊する立体映像に対する指示や仮想映像物体の移動操作などは、この「指差し」という動作により行うことを目指している。本章では、人間の指

差し動作をコンピュータに理解させる方法について簡単に述べる。

2.1 指差し方位の計測

「指差し」を含め、手や指を用いた手振りによる意思表示は、人間の重要なコミュニケーション手段の1つであり、ジェスチャーなどの手振りを認識して、人間と機械とのコミュニケーションを実現しようとする数多くの試みが報告されている。手振りを認識するためには、カメラ画像から手や指の関節などの各部位の位置を計測し、手や指の3次元姿勢を求めなくてはならない。この姿勢を決定する方法として、手指の3次元形状モデルを利用して姿勢を推定する方法などが提案されており、手話認識など手振りをを用いるコミュニケーションの実現に応用されている。このように手や指の3次元姿勢が求まると、指差しの方向も検出できるが、「指」の方向が「指差し」の方向に一致するのは、指先と指差しの対象が近距離にある場合（「これ」という単語が付随して指差しを行う場合）である。近距離の指差し以外に、「あれ」という単語が付随する遠距離の「指差し」がある。複合現実感計装システムでは図4に示すとおり、実物体や関連する情報表示はガラス面のホログラムスクリーンよりも奥の空間に存在することになる。そのため、「指差し」で直接指示することはできず、間接的な遠距離の「指差し」による指示となる。遠距離の指差しでは、指示方向を決定する際の基準となる指示基準点

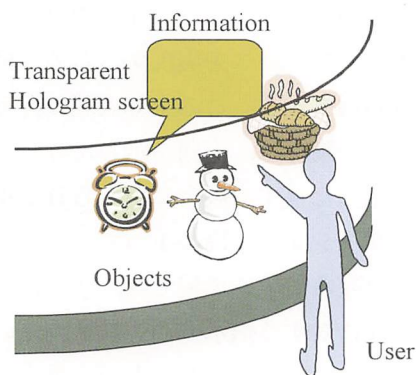


図4 複合現実感情報システム

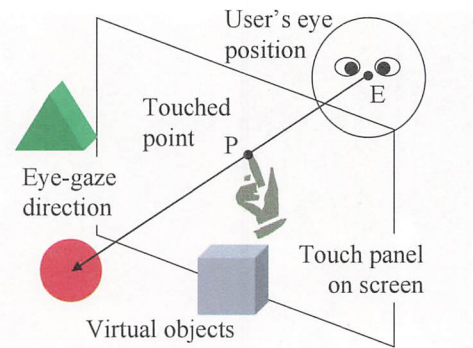


図5 指差しインタフェースシステム

が必要で、この指示基準点を決定するため、指差し動作のメカニズムを解明しようとする研究が行われている。指示基準点と指示動作点（指先）を結んだ直線上に指示対象点が存在するが、この指示基準点は、指示を行うヒトの姿勢に応じて変化するため、一意に決めることは困難である。そこで本研究では、視線の先に指示対象が存在するように、「指差し」を行うこととし、両眼の中心点（視点）を指示基準点として、指差しの方向を求めることにした。図5に示すように、本システムの「指差し」指示では、従来のタッチパネルに用いられているフィルム状のタッチセンサをガラス面に装着すれば、「指差し」指示を行っているかどうかの操作者の意図は、タッチセンサで検出できるため、どこを指差しているかを特定するためには、指示基準点である視点の3次元座標の計測がポイントとなる。

2.2 視点位置の3次元計測

任意の点や物体の3次元座標を計測するには、2台以上のカメラを利用したステレオ画像計測を利用するのが一般的である。しかし、今回の場合のように視点位置の3次元座標計測ということであれば、注目点（カメラ画像上の眼）の幾何学的配置の条件を活用することで、カメラ1台での計測が可能である。以下、その原理について簡単に述べる。

図6はピンホールカメラで操作者の顔を捉えた状態を模式的に図示したものである。この図では、実空間に存在する操作者の顔と撮像面に

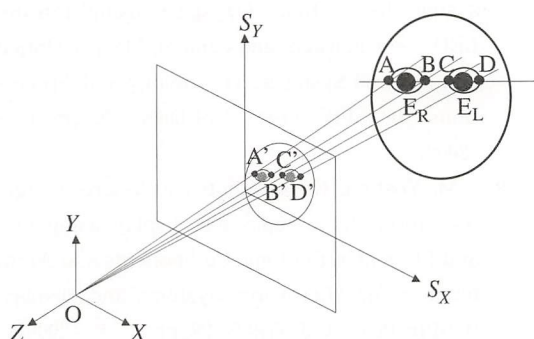


図6 3次元座標計測の原理

投影された顔が図示されている。図6において、XYZ座標系をカメラのレンズ中心の点Oを基準とした絶対座標系とし、Z座標が奥行き方向の距離を表すものとする。また S_X - S_Y 座標は、撮像面の座標系を表すものとする。ここで、点A, B, C, Dは両眼の両端にあたる特徴点（注目点）とし、対応する撮像面上の点をそれぞれ点A', B', C', D'とする。また、瞳の位置をそれぞれ点E_R, E_Lとし、各点は線分ABおよび線分CDの中点とする。さらに、画像キャプチャ時には次の条件を仮定するものとする。

- 1) 両眼の間隔（線分E_RE_Lの長さ）をRとする
- 2) AB:BC:CD=k:1:k
- 3) $\vec{OA} = t_A \vec{OA}'$, $\vec{OB} = t_B \vec{OB}'$, $\vec{OC} = t_C \vec{OC}'$
(ただし、 t_A, t_B, t_C は変数)

図6において、ベクトルOA, OB, OCには

$$(k+1)\vec{OB} = \vec{OA} + k\vec{OC}$$

の関係が成り立つ。また、

$$t_B(k+1)\vec{OB}' = t_A\vec{OA}' + t_C\vec{OC}' \quad (1)$$

$$|\vec{E_L E_R}| = |\vec{AC}| = R \quad (2)$$

の2式が成立する。A'B':B'C'=k':1を仮定すると

$$(k'+1)\vec{OB}' = \vec{OA}' + k'\vec{OC}' \quad (3)$$

が成り立つ。式(1)と(3)の係数を比較すると、変数 t_B, t_C は

$$t_B = \beta t_A, \quad t_C = \gamma t_A \quad (4)$$

$$\text{ただし、} \beta = \frac{k'+1}{k+1}, \quad \gamma = \frac{k'}{k}$$

として求められる。 $|\vec{AC}| = R$ であることを用いると、次の方程式が導かれる。

$$\begin{aligned} |\vec{AC}|^2 &= |\vec{OC} - \vec{OA}|^2 \\ &= t_C^2 |\vec{OC}'|^2 - 2t_A t_C \vec{OA}' \cdot \vec{OC}' + t_A^2 |\vec{OA}'|^2 \\ &= R^2 \end{aligned}$$

この方程式に(4)式を代入すると、 t_A についての2次方程式となり、点AのZ座標が常に負であることを考慮すると、変数 t_A は一意に決定でき、その値は以下ようになる。

$$t_A = \frac{R}{\sqrt{\gamma^2 |\vec{OC}'|^2 - 2\gamma \vec{OA}' \cdot \vec{OC}' + |\vec{OA}'|^2}} (>0)$$

以上のように、変数 t_A が定まったことにより、(4)式を用いて変数 t_B, t_C も自動的に求めることができる。3つの変数 t_A, t_B, t_C がすべて一意に決定できるため、実空間にある両眼の特徴点（注目点）である点A, B, Cの3次元座標が決定でき、点B, 点Cの中点を指示基準点とすることで、指先と視線を利用した遠隔対象物の「指差し」指示がカメラ1台の映像のみで実現できる。

[今後の研究の方向, 課題]

1台のカメラ画像から視点位置の計測を行う方法および指差しによるインタラクションを行うシステムについて述べた。本論文で述べた計測方法を用いることにより、一般に市販されているUSBカメラを1台接続して、カメラ映像の入力、画像認識、計測およびインタラクションの処理すべてを1台のコンピュータで行う簡易な構成の「指差し」インタラクションシステムを構築することができた。このシステムにより「指差し」による指示が行えるため、画面上の複数の情報や対象物から指差しにより1つ選ぶといった用途の指示システムなど、映像空間

の中の物体単位の指示であれば十分に使用することができる。また、指先位置のタッチセンサによる計測に加えて「確定」や「キャンセル」といった指示をジェスチャー認識により行う機能を加えることにより、システムに操作者の意図を正確に伝達することができると考えている。今後の課題としては、提案した計測手法とインタラクションシステムを改良し、立体映像表示技術を用いて空間に立体映像として表示された仮想物体への「指差し」によるインタラクションを行うシステムや、さまざまなコマンド入力のためのジェスチャー認識機能の追加などについて検討を行う予定である。

[成果の発表, 論文等]

- 1) K. Sakamoto: Polarizer slit enables full-screen high-resolution dual-view display, SPIE Newsroom: Illumination & Displays, doi: 10.1117/2.1200603.0185 (2006)
- 2) H. Nakayama, R. Kimura, K. Sakamoto: Finger Pointing Using a Single Camera, Advances in intelligent IT, pp. 431-432 (2006)
- 3) S. Taneji, T. Tawada, K. Sakamoto: Virtual Theremin: Cyber music instrument by human motion capture, Advances in intelligent IT, pp. 433-435
- 4) K. Sakamoto, H. Nakayama, S. Taneji: "Virtual Draw: Drawing system in the 3D virtual space, Advances in intelligent IT, pp. 440-442 (2006)
- 5) K. Sakamoto, T. Nishida: Field lens 3D display: Dual-layer LCDs enable to modulate orthogonal polarized illuminations, Optical Information Systems IV, SPIE Proc., Vol. 6311-36, pp. 1-8 (2006)
- 6) M. Nishida, K. Sakamoto: Pseudoscopic-free high resolution lenticular 3D display, Applications of Digital Image Processing XXIX, SPIE Proc., Vol. 6312-55, pp. 1-8 (2006)
- 7) M. Nishida, K. Sakamoto: Three dimensional measuring method of head and eye tracking system using a single camera, Electro-Optical and Infrared Systems: Technology and Applications III, SPIE Proc., Vol. 6395-38, pp. 1-8 (2006)
- 8) K. Sakamoto, S. Taneji: Mobile viewer system for virtual 3D space using infrared LED point markers and camera, Electro-Optical and Infrared Systems: Technology and Applications III, SPIE Proc., Vol. 6395-39, pp. 1-8 (2006)
- 9) M. Yoshigi, K. Sakamoto: Full-screen high-resolution stereoscopic 3D display using LCD and EL panels, Photonic Components and Architectures for Microwave Systems and Displays II, SPIE Proc., Vol. 6399 B-28, pp. 1-8 (2006)
- 10) K. Sakamoto, T. Morii: Multiview 3D display using parallax barrier combined with polarizer, Photonic Components and Architectures for Microwave Systems and Displays II, SPIE Proc., Vol. 6399 B-27, pp. 1-8 (2006)
- 11) K. Sakamoto, T. Nishida, K. Uchida: 360 degree viewing stereoscopic 3D display system, IDW 2006 The 13th International Display Workshops, IDW 2006 Proc., pp. 1397-1400 (2006)
- 12) A. Tanaka, K. Sakamoto: Virtual Display: Mirror Image for Extension of Display Area, IDW 2006 The 13th International Display Workshops, IDW 2006 Proc., pp. 1401-1402 (2006)
- 13) H. Morimoto, K. Sakamoto: Field-lens 3D Display using Linear and Circular Polarized Illuminations, IDW 2006 The 13th International Display Workshops, IDW 2006 Proc., pp. 1403-1404 (2006)
- 14) K. Sakamoto, K. Uchida: Event Driven Illumination System for Image Reconstruction of Hologram, Practical Holography XXI: Materials and Applications, SPIE Proc., Vol. 6488-31, pp. 1-8 (2007)
- 15) K. Uchida, K. Sakamoto: Pseudoscopic-free and Multi-view 3D Displays using Invisible Area Generated by Polarized Slit Barrier, Projection Displays XII, SPIE Proc., Vol. 6489-18, pp. 1-8 (2007)
- 16) K. Sakamoto, H. Morimoto: Modulating Method of Linear and Circular Polarized Illuminations for Field-lens 3D Display, Projection Displays XII, SPIE Proc., Vol. 6489-19, pp. 1-8 (2007)
- 17) K. Sakamoto, T. Nishida: 3D display systems using dual-layer LCD panels, Asia Display 2007, pp. 447-452 (2007)
- 18) K. Uchida, K. Sakamoto: All-around 360 Degree Display System for Collaborative Tasks, Asia Display 2007, pp. 1941-1946 (2007)
- 19) A. Tanaka, K. Sakamoto: Extension of Screen

-
- Region using Virtual Mirror Image of Dual-views Display, Asia Display 2007, pp. 2071 – 2076 (2007)
- 20) H. Morimoto, K. Sakamoto: Light Control Method of Polarized Illuminations using piled LCD panels, Asia Display 2007, pp. 2077 – 2082 (2007)
- 21) H. Fukuda, H. Morimoto, K. Sakamoto: Air Touch: Theremin-Like Interface System Enables to Recognize User's Operation in the Air, HCI international 2007, pp. 408 – 412 (2007)
- 22) H. Morimoto, H. Fukuda, K. Sakamoto: Virtual Touch: Touch-Panel Interface Using Fingertip Position and Eye-Gaze Detection, HCI international 2007, pp. 461 – 465 (2007)
- 23) A. Tanaka, M. Adachi, K. Sakamoto: Touch Together: Multi-Users Touch-Panel Interface System for Collaborative Task Surrounding Round Table, HCI international 2007, pp. 509 – 513 (2007)
- 24) K. Uchida, A. Tanaka, K. Sakamoto: Pointing Interface for Virtual Display with Extended Displaying Region Using Mirror Image, HCI international 2007, pp. 514 – 518 (2007)
- 25) Y. Iwaze, M. Yoshigi, K. Sakamoto: Light Path: Light Guide for Route Indication in the Office Building with RFID Technology, HCI international 2007, pp. 666 – 670 (2007)
- 26) H. Nakayama, H. Fukuda, K. Sakamoto: Networked Indication Display System for Route Guidance in the Public Facilities, HCI international 2007, pp. 727 – 731 (2007)
- 27) K. Sakamoto, T. Nishida, T. Morii: DOTCH: Handy Route Guidance System Using Direction Indicator Projected by Laser Illumination, HCI international 2007, pp. 751 – 755 (2007)
- 28) S. Ueda, S. Taneji, K. Sakamoto: Rhyming Game and New Digit Input Interface System for Brain Exercise, HCI international 2007, pp. 1294 – 1298 (2007)
- 29) M. Adachi, T. Ishihara, K. Sakamoto: Pictogram Generator: Design Support System Enables Everybody to Produce Illustrations Easily, HCI international 2007, pp. 1491 – 1495 (2007)
- 30) T. Ishihara, K. Uchida, K. Sakamoto: Video Viewer Enables to Playback Based on XML-Like Scene Scenario, HCI international 2007, pp. 1505 – 1509 (2007)

乳房 X 線写真における構築の乱れを対象とした コンピュータ支援診断システムの開発

Computer-aided Diagnosis Scheme for Detection of Architectural Distortions on Mammograms

1061015

研究代表者 三重大学 医学部附属病院 中央放射線部 助教 中山 良 平

〔研究の目的〕

乳房 X 線写真における微小石灰化クラスタ、腫瘍陰影、そして構築の乱れ（正常乳腺の歪み）は乳がんの徴候として現れるため、それらの検出は極めて重要である。しかし、これらの所見は不明瞭なものが多く、見落としの原因となっている。それゆえ、二人以上の医師による複数読影が乳がんの検出率向上に有効であることが知られている。しかし、乳房 X 線写真の集団検診への導入に伴い、読影医不足が深刻な問題であり、複数読影の実施が困難な状況にある。

そこで、コンピュータの高速演算、情報整理能力を医療現場に取り入れることにより、その問題を解消しようという試みが行われてきた。そのひとつとして、コンピュータを用いて乳がん所見を自動的に検出し、その位置を医師に提示するコンピュータ支援診断（Computer-aided Diagnosis: CAD）システムが挙げられる。この CAD システムは欧米を中心に普及しており、乳がんの検出率向上と読影医不足の解消が図られている。

乳房 X 線写真における CAD システムにおいて、微小石灰化クラスタや腫瘍陰影を検出対象としたものが多く、構築の乱れを対象としたものはほとんど報告されていない。一方、ある研究グループが行った乳房 X 線写真の読影実験の結果、微小石灰化クラスタと腫瘍陰影の医師の感度は、それぞれ 94% と 82% であったの

に対し、構築の乱れの感度は 60% と非常に低かったことが報告されている。これらの背景をふまえ、微小石灰化クラスタや腫瘍陰影よりも、構築の乱れの検出を支援する CAD システムの必要性の方が高いと考えられる。そこで本研究では、構築の乱れを対象とした CAD システムの開発とその有用性の検討を行った。

〔研究の内容、成果〕

従来、構築の乱れを対象とした CAD システムでは、構築の乱れの特徴として局所領域における乳腺の集中度（ある点に周りの線状凸領域の方向が集中する度合い）が用いられた。一方、正常乳腺は乳頭から分樹状に広がって伸びている。したがって、正常乳腺が歪んだ構築の乱れは乳腺が乳頭方向に分布していない特徴を有する。そこで本研究では、局所領域における乳腺集中度と乳腺の乳頭方向への分布に基づいた構築の乱れ検出 CAD システムを開発した。

1. 実験試料

実験試料は、博愛会病院で撮影された乳房 X 線写真 80 枚で構成された。これらには、構築の乱れ 80 例が含まれ、空間分解能 0.05 mm/pixel、濃度分解能 12 bit（4096 階調）でデジタル化したものを解析対象画像として用いた。また、構築の乱れの位置は、経験豊富な乳腺専門医により決定された。

2. 方法

2.1 線状構造および方向ベクトルの抽出

乳腺に相当する線状構造（線状凸領域）を検出するため、乳房 X 線画像に円形・線状パターン検出のためのフィルタバンクを適用した（図 1）。このフィルタバンクは、各画素において、水平方向、垂直方向、斜め方向の 2 回差分値を要素とするヘシアン行列の固有値を解析することにより、線状パターンと円形構造（円形凸領域）を区別する。本研究では、各画素において最小固有値と最大固有値の絶対値の比率が 0.4 以下のとき線状構造に属すると定義し、スケール 1 から 3 までの線状構造画像を生成した（図 2）。また、最小固有値の固有ベクトルを線状

構造の方向ベクトルと定義し、スケール 1 から 3 までの線状構造方向ベクトル画像を生成した。

2.2 特徴量の抽出

乳房 X 線画像を 400 画素 × 400 画素（20 mm × 20 mm）の関心領域に区切り、各関心領域からスケール 1 から 3 までの乳腺集中度と乳腺の乳頭方向への分布を抽出した。局所領域における乳腺集中度の抽出では、まず、関心領域内の線状構造に属する各画素において、関心領域の中心方向へのベクトルと線状構造方向ベクトルの内積を計算した。そして、それらの平均値を関心領域における乳腺集中度として定義した。乳腺の乳頭方向への分布の抽出では、乳頭方向へのベクトルと線状構造方向ベクトルの内積を

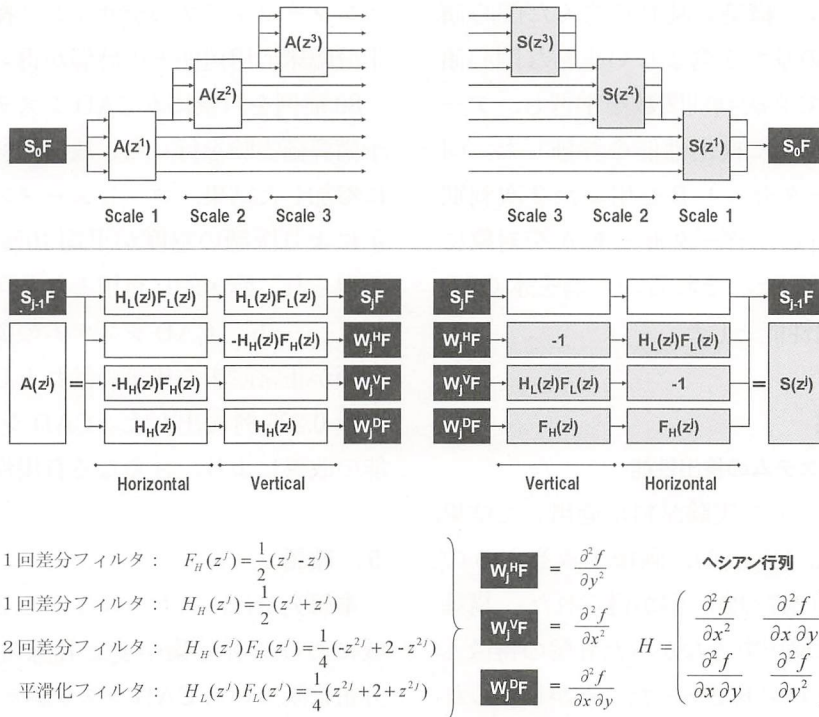


図 1 円形・線状パターン検出のためのフィルタリングバンク

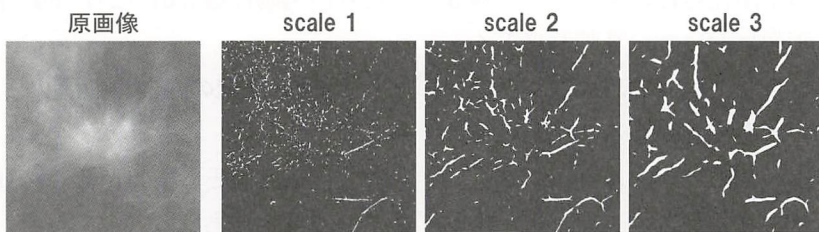


図 2 線状構造画像

計算し、それらの平均値を関心領域における乳腺の乳頭方向への分布として定義した。

2.3 構築の乱れの検出

スケール1から3までの乳腺集中度と乳腺の乳頭方向への分布を特徴量として用いた2次判別関数により、構築の乱れを含む関心領域と構築の乱れを含まない正常な関心領域を識別した。検出性能の評価では、まず、構築の乱れを含むと識別された関心領域が連結する領域の重心を計測した。そして、その重心が、乳腺専門医が決定した構築の乱れの領域内にあった場合、構築の乱れは正しく検出されたと定義した。

我々は、まず、実験試料を二つのデータセットに分けた（データセットA：40画像、データセットB：40画像）。そして、データセットAから選択された構築の乱れを含んだ関心領域40例、構築の乱れを含まない正常な関心領域40例を用いて2次判別関数を学習し、データセットBを対象に検出性能を評価した。同様にして、データセットBを用いた2次判別関数の学習を行い、データセットAを対象に検出性能を評価した。それらの平均を本CADシステムの検出性能とした。

3. 結果と考察

3.1 CADシステムの検出性能

本CADシステムを実験試料に適用した結果、真陽性率71.3% (57/80)、画像1枚当たりの偽陽性数3.01 (247/80) 個が得られた。構築の乱れを正確に検出できなかった乳房の特徴として、デンスブレストであったことが挙げられる。デンスブレストにおける乳腺は、その背景部とのコントラストが極めて低い。そのため、フィルタバンクの平滑化処理によりスケール3の線状パターン画像において、乳腺がほとんど検出されなかった。したがって、フィルタバンクのフィルタサイズを小さくするなど、円形・線状パターン検出のためのフィルタバンクをこの問題に対応させる必要がある。

また、2次判別関数の学習において、構築の

乱れを含んだ関心領域と正常な関心領域をそれぞれ40例しか用いなかったことにより、適切に学習されなかった可能性がある。構築の乱れと正常乳腺は区別が非常に困難な上に、それらには様々なパターンがある。したがって、構築の乱れと正常乳腺ともに、より多くの関心領域を用いて、2次判別関数を学習させる必要がある。

4. 臨床的有用性の評価

本CADシステムの臨床的有用性を評価するためにプロトタイプを作成した。このプロトタイプは、診断対象画像の通常、拡大表示、濃度階調変換などの機能を備えている。医療現場のヒアリングにより、本プロトタイプは、ユーザーインターフェイスのデザイン、操作性において十分臨床応用可能との評価が得られた。

80症例を対象に本CADシステムの有用性の予備評価実験を行った。放射線科医2名が実験に参加した結果、コンピュータの解析結果の表示により医師の感度が平均10%向上する結果が得られ、臨床的に有用となる可能性が示唆された。一方、CADシステムの偽陽性により、医師が正常陰影を構築の乱れとして画像1枚当たり0.225例検出した。CADシステムの検出能の改善により、さらなる有用性が期待できる。

5. 結語

本研究では、スケール1から3までの局所領域における乳腺集中度と乳腺の乳頭方向への分布に基づいたCADシステムを開発した。本CADシステムを乳房X線画像80枚に適用した結果、真陽性率71.3% (57/80)、画像1枚当たりの偽陽性数3.01 (247/80) 個が得られた。

[今後の研究の方向、課題]

今後の計画としては、以下の研究を順次進めていく予定である。

- ① CADシステムのアルゴリズムを改良す

ることにより、検出性能を向上する。

- ② CAD システムの有用性の実証, および厚生省の薬事申請のための試験として, 遠隔医療ネットワークを用いた大規模な評価実験を実施する。
- ③ 大規模な評価実験の結果をまとめ, メーカーと協力し厚生省の薬事申請を検討する。

[成果の発表, 論文など]

論文発表

- 1) Ryohei Nakayama, Ryoji Watanabe, Kiyoshi Namba, et al.: "An Improved Computer-Aided Diagnosis Scheme Using the Nearest Neighbour Criterion for Determining Histological Classification of Clustered Microcalcifications," *Method Inform Med.*, vol. 46, no. 6, pp. 716–722 (Dec. 2007)
- 2) Ryohei Nakayama, Ryoji Watanabe, Kiyoshi Namba, et al.: "Computer-aided Diagnosis Scheme for Identifying Histological Classification of Clustered Microcalcifications by use of Follow-up Magnification Mammograms," *Acad Radiol.*, vol. 13, no. 10, pp. 1219–1228 (Oct. 2006)
- 3) Ryohei Nakayama, Ryoji Watanabe, Kiyoshi Namba, et al.: "Potential Usefulness of Multiple-Mammographic Views in Computer-aided Diagnosis Scheme for Identifying Histological Classification of Clustered Microcalcification," *Proc. of International Workshop on Digital Mammography 2006*, pp. 229–236 (June 2006)

学会発表

- 1) Ryohei Nakayama, Ryoji Watanabe, Kiyoshi Namba, et al.: "Computer-aided Diagnosis

(CAD) Scheme for Determining Histological Classification of Clustered Microcalcifications on Magnification Mammograms Based on Nearest Neighbour Case," *Radiological Society of North America 2007 92 st Scientific Assembly and Annual Meeting (RSNA 2007)*, Chicago, p. 979 (Nov. 2007)

- 2) Ryohei Nakayama, Ryoji Watanabe, Kiyoshi Namba, et al.: "Computer-aided Diagnosis (CAD) Scheme for Determining Histological Classification of Clustered Microcalcifications Based on the Nearest Neighbour Criterion in the Follow-up Feature Space," *Computer Assisted Radiology and Surgery (CARS) 2007*, Berlin, p. 513 (June 2007)
- 3) Ryohei Nakayama, Ryoji Watanabe, Kiyoshi Namba, et al.: "Computer-aided Diagnosis (CAD) Scheme for Identifying Histological Classification of Clustered Microcalcifications Based on the Similarity Measure in Feature-Space," *RSNA 2006*, Chicago, p. 283 (Nov. 2006)
- 4) Ryohei Nakayama, Ryoji Watanabe, Kiyoshi Namba, et al.: "Computerized Analysis for Identifying Histological Classification of Clustered Microcalcifications in Follow-up Magnification Mammograms," *RSNA 2006*, Chicago, p. 779 (Nov. 2006)
- 5) Ryohei Nakayama, Ryoji Watanabe, Kiyoshi Namba, et al.: "Potential Usefulness of Multiple-Mammographic Views in Computer-aided Diagnosis Scheme for Identifying Histological Classification of Clustered Microcalcification," *International Workshop on Digital Mammography 2006*, Manchester, pp. 229–236 (June 2006)
- 6) 中山良平, 渡邊良二, 水谷洋輔, 他: "乳房 X 線写真における構築の乱れ検出支援システムの開発," 第 27 回医療情報学連合大会, 神戸 (Nov. 2007)

複素ニューラルネットワークに基づくプラスチック地雷 探知システムの開発研究

Development of a plastic landmine visualization system based on
complex-valued neural networks

1061018

研究者代表

東京大学大学院 工学系研究科 教授

廣 瀬 明

[研究の目的]

対人プラスチック地雷の探知は世界人類の急務であるが、未だに困難な課題である。これを実現するための具体的な技術開発はさまざまな内容を含む。なかでも、現場の作業者にわかりやすい対人プラスチック地雷の可視化のシステムの実現が決定的に重要である。これも「人間と機械の調和の促進」を具現化する課題である。

われわれはこれまでに、CMRF（複素マルコフ・ランダム・フィールド）モデルに基づく適応的地中可視化レーダを提案・構築し、その有効性を実証している。それによって対人プラスチック地雷を有効に探知する道を世界に先駆けて切り拓いた。さらに進んで、対人プラスチック地雷を地雷らしさも含めてわかりやすく可視化するシステムを構築するためには、適応的な地表区分化と地雷らしさの推定が可能な可搬システムの構築が必要となる。

本研究の目的は、複素ニューラルネットワークによって有用な地表区分と地雷らしさの可視化を実現する可搬システムを構築することである。そして地雷除去と人類・機械の調和に貢献しようとするものである。

[研究の内容と成果]

これまでにわれわれは、独自のCMRFモデルによるプラスチック地雷可視化システムを提

案し、その有効性を実証している。この方法は、地中レーダの反射波を複素振幅画像として適応的に扱うものである。すなわち、位相感受型のフロントエンドで反射波を受信して得られる複素振幅イメージを、複素振幅の「複素テクスチャ（もよう）」の特徴に基づいて適応的に分類する。そして画像を地雷部分のクラス、粗い砂利部分のクラス、細かい砂利部分のクラスなどに分類するものである。その分類された画面を人間が見て、地雷の確率が高いかどうかを判断する。この方法によって多くの場合、地雷は地雷としてひとつの地雷（と思われる）クラスに分類され、地雷探知の有用な方法であることが確認された。しかし現システムは実験室内などでのみ利用可能な大型のものである。まず可搬型のシステムの構築が必要である。機能的にも、状況によっては地雷が2つ以上のクラスに分かれることもあり、その画面から地雷の存在を見出すことが困難な場合もある。そのため、地雷クラスと思われる場合のその地雷らしさを表現することも望ましい。

本研究は、可搬型システムを構築することを目的とする。また各クラスの地雷らしさを複素ニューラルネットワークによって判断・表現して提示する方法も開発する。すなわち、クラスのテクスチャの特徴が複素特徴ベクトルで表されているため、その特徴ベクトル空間に複素ニューラルネットワークの方法によって自己組織的にメトリック（距離）を構成して、地雷特

徴に対する近さ・遠さを表現する。それによって、あるクラスがどれぐらい地雷らしいのか可視化するとともに、地雷らしさの高い複数のクラスが自然に一体に見えるようなシステムを実現する。そして可搬型のシステムを構築し、その方式の有用性について実際に現場で使用してもらうことにより評価を行い、改善の余地と方向についての知見も得る計画とした。

次のように研究を進め成果を得たので報告する。

(1) 複素ヘブ則による地雷クラス同定のソフトウェア作製と原理確認

報告者らが提案している複素ヘブ則を利用して、上記課題を解決できるのではないかと考えた。複素ヘブ則とは、ニューラルネットワークの基本自己組織化法則として広く知られているヘブ則を、複素数を扱うように拡張したものである。特に電磁波や光波などの波動情報を扱うのに適している。複素ヘブ則は、複素情報空間での信号点の相関をニューロ結合に埋め込むものであり、これを利用すると複素空間での距離(メトリック)が自己組織的に形成されると期待される。これを基本原理として、テスト画像に含まれるどの領域クラスが地雷に対応しているか、すなわち地雷クラスの同定が可能になると考えた。この考えに基づき、地雷領域クラスを同定する適応的信号処理を行うソフトウェアを作製し、原理確認実験を行った。計測専用のノートPCを購入し、フロントエンドの制御、得られた反射画像の格納と適応的画像区分、および同定ソフトウェアによる地雷らしさを含めた可視化を行った。対象土壌は、まずはじめに東京の通常土壌とし、これに対象物体として金属缶(金属地雷の代替)および模擬プラスチック地雷を埋設した。その結果、定性的に良好な結果を得た。すなわち、地雷領域が分割された場合でもそれらとともに地雷クラスと同定し融合する効果を得ることができた。

(2) 可搬型システムの有用性の実証(現地実地実験を含む)

基礎動作が確認されたため、図1に示すように、平成19年3月末に現地実地実験を行った。本方式の有用性を確認した。カンボジアの地雷除去センター(Cambodian Mine Action Center: CMAC)の協力を得て、シエムレアプ地区のテストサイトでの実験を行った。これによって現地のラテライト土質でのデータを取得するとともに、実際に現地で除去活動を行っている作業員等の意見を得た。ラテライトは透磁率が高く比較的大きな散乱を引き起こすため、地中レーダにとって難しい土壌である。われわれのシステムでも東京の土に比べて困難さは増したものの、強く湿った状況以外では十分な区分結果が得られ、システムの優秀性が示された。また作業員から得られた意見からは、われわれの区分データ提示による可視化方法は基本的に大変有効であり、近い将来の除去活動の強力な手段となりうることが確認された。

ただしその際、(輸出規制法規の関係でスキンの遅いベクトルネットワークアナライザを持参して利用していた理由もあり)2次元反射データの取得時間が1スキャンあたり約20分かかっていた。通常使用しているベクトルネットワークアナライザを用いたとしても、10分弱の速さになる。これは実用上は問題になる遅さである。従前のシステムで機械的にアンテナをスキャンしていたときに1時間以上の時間がかかっていたことに比べれば大幅な時間削減



図1 カンボジアCMACのメンバーとともに行ったラテライト土質の場合のデータ取得とシステム評価

が実現できたといえる。しかし、一層の短縮が望ましいことも明らかになった。また、現在は機械的な高周波スイッチを使用しているため、システム全体の重量が約 20 kg あり、減量が望ましい。アンテナ部分自体はわずか 200 g である。半導体スイッチ等を使用すればかなりの高速化と軽量化が可能であると考えられる。

(3) 現地実験結果の検分とシステムの改良

現地実験によって得られたデータの詳細な検分を行った。特に適応区分に重点をおいた。図 2 は、少し湿った砂地に 5 cm の深さに埋設された PMN 地雷の計測および処理結果である。ある周波数点における (a) 振幅画像と (b) 位相画像、および (c) 10 の周波数点のデータを用いて CSOM による適応区分を行った結果である。区分結果画像のうち、白いクラスが地雷クラスを示している。システムはよく区分を実行し、可視化に成功していることがわかる。図 3 は、少し湿ったラテライト土に 5 cm の深さに埋設された PMN 地雷の計測および処理結果である。図 2 の場合とほぼ同等に区分に成功し

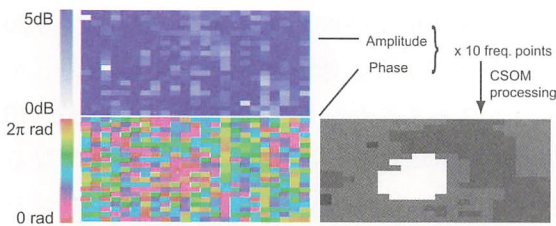


図 2 少し湿った砂地に 5 cm の深さに埋設された PMN 地雷の計測および処理結果：ある周波数点における (a) 振幅画像と (b) 位相画像、および (c) CSOM による適応区分結果

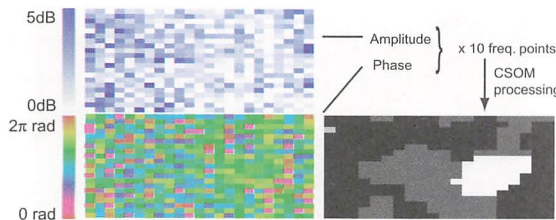


図 3 湿ったラテライト土に 5 cm の深さに埋設された PMN 地雷の計測および処理結果：ある周波数点における (a) 振幅画像と (b) 位相画像、および (c) CSOM による適応区分結果

ていることがわかる。データの周波数に対する変化を詳細に観察したところ、地雷部分の反射複素振幅に周期的な変化が明確に、あるいはぼんやりと、観測されることが確認された。これは共振現象を示唆しており、CSOM の特徴抽出の考え方の正しさに裏づけを与えるものであると考えられる。

[今後の研究の方向と課題]

以上の研究の結果、次のことが明らかになった。基本的に、本システムは優れた地雷可視化能力を有することが確認された。現在、地雷除去現場では金属探知機が広く利用されている。この場合、取りこぼしは非常に少なく、その結果 安全は確保される。しかし、爆弾破片などの地雷以外のものに反応する 誤り警報率が非常に高く、作業効率が低くなりがちであることに問題がある。(プラスチック地雷にも微量の金属が含まれている。) 次世代となる地中レーダは未だ開発段階である。現在、実用化が近いと考えられている地中レーダは、通常のレーダと同様に反射波の強度や反射断面積を観測するものである。そのため、金属片とプラスチック地雷の区別をつけづらい。

本研究が提案しているシステムは、この区別を実現しうるところに特長がある。その意味では、次々世代の技術であるといえる。CMAC もこの点を高く評価している。本研究の結果をもとに、今後、スキャンの高速化と重量の軽量化を行い、より実用に近いシステムを構築する予定である。また金属探知機と本システムとを組み合わせることにより、取りこぼしが少なく、かつ地雷区別度が高いシステムが構築されることが考えられる。今後、そのようなデュアルセンサシステムの開発につなげてゆく予定である。

[成果の発表、論文等]

- [1] R. Yamaki, A. Hirose: "Singularity-spread-

- ing phase unwrapping," IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing, to appear
- [2] A. Hirose, S. Masuyama, K. Yasuda: "High-resolution walled-LTSA-array ground penetrating radar system using adaptive complex-valued self-organizing-map processing," Asia Pacific Microwave Conf. (APMC) 2007 Bangkok, Proc. (Dec. 11 – 14, 2007, Bangkok) to be presented
 - [3] A. Hirose, S. Masuyama: "UWB measurement, complex-amplitude texture, and Walled-LTSA array in plastic landmine visualization," Int'l Conf. on Ultra Wideband (UWB) 2007 Singapore, Proc. (Sept. 24 – 29, 2007, Singapore) to be presented
 - [4] S. Masuyama, A. Hirose: "Walled LTSA array for rapid, high spatial resolution, and phase sensitive imaging to visualize plastic landmines," IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing, 45, 8 (2007) 2536 – 2543
 - [5] R. Yamaki, A. Hirose: "Weighted singular unit restoration in interferograms based on complex-valued MRF model for phase unwrapping," Int'l Symposium on Antennas and Propagation (ISAP) 2007 Niigata, Proc. (Aug. 20 – 24, 2007, Niigata) 812 – 815
 - [6] S. Masuyama, K. Yasuda, A. Hirose: "Removal of direct coupling in an Walled-LTSA array for visualizing plastic landmines," Int'l Symposium on Antennas and Propagation (ISAP) 2007 Niigata, Proc. (Aug. 20 – 24, 2007, Niigata) 1238 – 1241
 - [7] R. Yamaki, A. Hirose: "Phase Unwrapping by Spreading Phase Singularity in Airborne Interferogram," Progress in Electromag. Research (PIERS) 2006 Tokyo, Proc. (August 2–5, 2006, Tokyo) 311
 - [8] S. Masuyama, A. Hirose: "Plastic Landmine Imaging with Integrated Walled LTSA Handset," Progress in Electromag. Research (PIERS) 2006 Tokyo, Proc. (August 2–5, 2006, Tokyo) 463
 - [9] A. Hirose, R. Yamaki: "Phase unwrapping with phase-singularity spreading," Int'l Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS) 2006, Denver, Proc. (July 31 – Aug. 4, 2006, Denver) Prof. 1259 – 1260
 - [10] S. Masuyama, A. Hirose: "Integrated walled-LTSA handset for quick and high-spatial-resolution phase-sensitive imaging," Int'l Conf. on Ground Penetrating Radar (GPR) 2006 Columbus, Proc. (June 19 – 22, 2006, Ohio) UXO. 7
 - [11] A. Hirose: "Complex-Valued Neural Networks," Studies in Computational Intelligence, vol. 32, Springer-Verlag (August 2006) ISBN 3 – 540 – 33456 – 4

低被爆 X 線撮影装置の開発研究

Development of a Low-Dose X-ray Imaging Device

1061019

研究代表者 長崎総合科学大学大学院 新技術創成研究所 准教授 房 安 貴 弘

[研究の目的]

X 線撮影は、誰もが年 1 回の健康診断で受診するように、人の健康維持のために重要な医療機器となっているが、放射線を用いるため、年間の総利用回数は限られる。より低被爆量でも撮影可能な X 線撮影手法が得られれば、よりの確かつ安全な診察が可能になるであろう。そこで本研究では、放射線からの信号を大幅に増幅することで、少量の X 線でも検出することができるようになる、GEM (Gas Electron Multiplier) と呼ばれるデバイスを用い、低被爆 X 線撮影装置の開発研究を行う。特に、例えば小さな町医院でも使えるよう、あるいはポータブル用途にも対応できるように小型化するため、LSI 技術を利用した読出し回路の開発を行った。

[研究の内容、成果]

1 GEM を用いた X 線撮像機

GEM とは、ポリイミド等の高分子化合物シートに金属膜を塗布し、多数の穴を開けた材料であり、欧州合同素粒子原子核研究機構 (CERN) において初めて開発され [1]、東京大学原子核科学研究センター (CNS) において、より安定性を高めた改良版が開発された [2]。図 1 に、GEM を用いた X 線撮像機の構造を示す。筐体内部は Xe (90%) CO₂ (10%) の 1 気圧気体で満たされており、まず X 線が

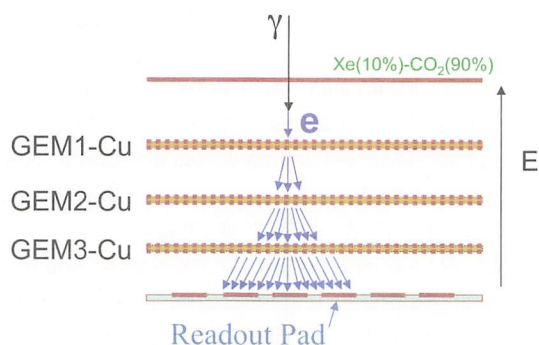


図1 GEM による X 線の検出法

ガス中で光電効果により電子に変換され、得られた電子が GEM によって増幅される。本研究では、出来るだけ少ない線量から必要な情報を得るため、粒子の入射事象ごとに位置情報を得られることが望ましい。ピクセルに到達する電荷分布の拡がり、ピクセルの大きさよりも十分に小さい場合、その X 線の入射位置の測定精度 σ は、ピクセルの中心から隣のピクセルの中心までの距離を d とすると、

$$\sigma = \frac{d}{\sqrt{12}} \quad (1)$$

に制限される。そこでここでは、位置分解能の向上のため、ピクセル基板表面に抵抗体を塗布し、電荷分布が複数ピクセルに渡るように分散させ、各ピクセルの入射電荷量による重量平均を取ることで、X 線の入射位置を得るものとする。

2 フロントエンド LSI の回路構造

図 2 に、本研究で開発したフロントエンド

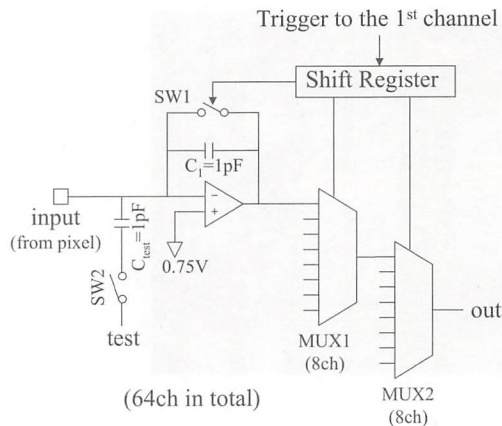


図2 フロントエンド LSI のブロック図

LSI のブロック図を示す。本 LSI は、64 ch のチャージアンプおよび出力マルチプレクサから成る。

回路は初期状態では、SW 1 が開状態になっており、事象ごとに発生した電荷は、フィードバックコンデンサ C_1 によって、電圧に変換される状態となっている。GEM の電圧変化あるいは、別途設けられたトリガーカウンタによって X 線の入射が検知されると、CDS (Correlated Double Sampling) 法による読出しが行われる。即ち、まずピクセル電荷によって生じた C_1 の電圧が、マルチプレクサを通して読み出され、直後に SW 1 を閉じて C_1 を放電する。放電の直後、ベースライン補正を後に行うために、 C_1 の電圧が再び読み出される。以上の動作が Ch 1 から Ch 64 まで順次繰り返され、各チャンネルで得られた電圧が、マルチプレクサを通してシリアルに読み出される。

なお、本 LSI は 64 個のピクセル入力の他、 C_{test} を通して全チャンネルに共通のテストパルス電圧を入力するための、テスト端子を備えている。

図 3 に、本 LSI の 1 ch 分の回路設計を示す。入力信号は、ダイオード接続された FET により、静電対策が施されている。フィードバックコンデンサの放電に用いるスイッチは、閉動作時にスイッチから漏洩する電荷が測定精度を低下させることを防ぐため、CMOS 型のスイッ

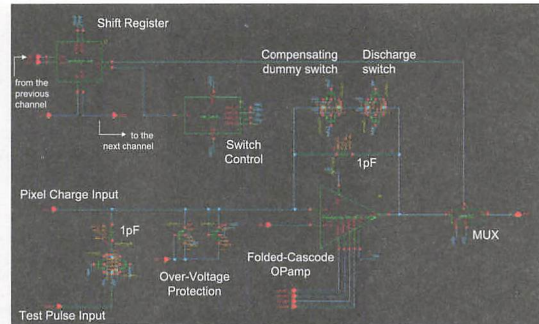


図3 フロントエンド LSI の 1 ch 分の回路図

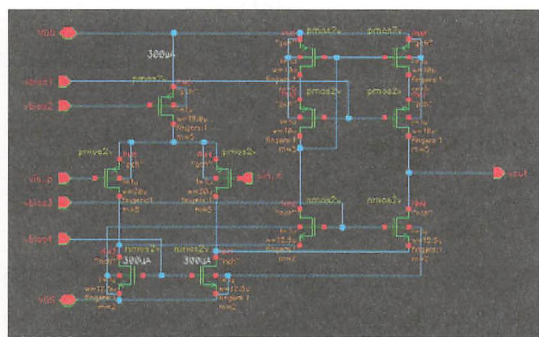


図4 Folded-Cascode 型オペアンプの回路図

チを用いると同時に、さらに補償用のダミースイッチを直列に挿入した。

電荷を電圧に変換するためのチャージアンプには、図 4 に示す folded-cascode 型のオペアンプを用いる。3 pF の出力負荷容量を仮定して行った回路図レベルでのシミュレーションによると、DC 開ループゲイン 64.2 dB、ゲインバンド幅 63.1 MHz、スルーレート 148 V/ μ s、および、セトリング時間 26.1 ns であった。

3 レイアウト設計およびシミュレーション評価

LSI のレイアウト設計は、TSMC 0.25 μ m 1 P5M n -well プロセス用に行われた。チップ全体の設計図を図 5 (a) に示す。チップの寸法は 5 mm $\times$ 2.5 mm であるが、電源ラインにおける電圧降下によりチャンネル間のばらつきが増大するのを防ぐため、多くの面積を電源ラインに費やす形となった。左半分には 32 ch 分、右半分に残り 32 ch 分の回路が納められている。上部にはデジタル I/O 回路、下部にアナログ

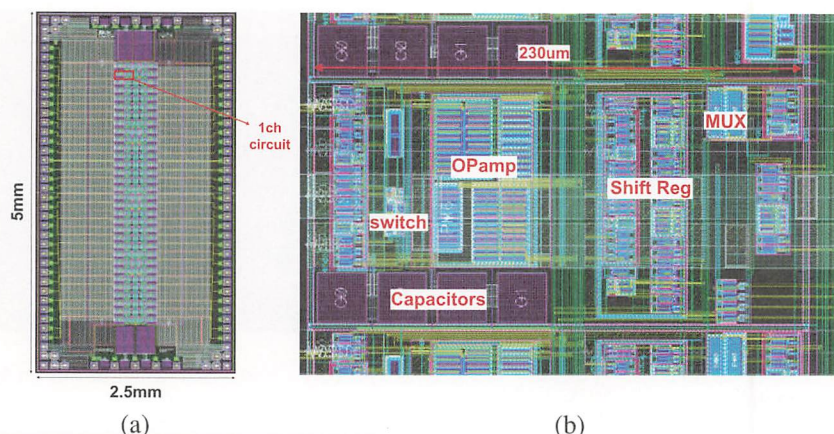


図5 (a) チップ全体および (b) 1 ch 分のレイアウト設計図

I/O 回路が配置されている。1 ch 分のレイアウト設計図を図 5 (b) に示す。1 ch 当りの寸法は約 $230\mu\text{m} \times 110\mu\text{m}$ である。

シミュレーション検証を行うため、配線の寄生容量および寄生抵抗が、レイアウト設計データから抽出された。但し、検証時間の短縮のため、抽出は 8 ch 分についてのみ行われた。レイアウトシミュレーションの結果、隣接チャンネル間のクロストークは 0.01% 以下、アナログ出力へのクロック信号の漏洩は約 10mV_{pp} 、チップ全体の消費電力は約 75mW と見積もられた。読出しトリガーが与えられてから全チャンネルが読み出されるまでの間に、電荷の漏洩によりフィードバック・コンデンサの電圧が低下（ドループ）すると、測定誤差の原因となる。ここでは、 1ms 間のドループは約 7mV であり、そのうちの 4mV が放電スイッチからの電荷漏洩によるものと見積もられた。アナログ出力波形は、 3pF の負荷容量を仮定した場合に、変動電圧の 1% までのセトリング時間が、立上り時に最大で約 50ns 、立下り時に最大で約 160ns であった。

4 フロントエンド LSI の測定評価

試作されたフロントエンド LSI チップは、QFP パッケージにパッケージングされ、評価用ボードを用いて測定評価が行われた。試作チップのアナログ出力には 8 ビット ADC が接

続され、チップと ADC のコントロールおよび ADC の読出しは、PC に接続された FPGA ボードにより行われた。

まず、入力電荷量に対する出力電圧の特性評価が行われた。1 つのチップの ch 1 について測定した結果を、図 6 (a) に示す。また、入力電荷 0.2pF 以上のデータに対するフィット直線からの残差を、図 6 (b) に示す。小信号の領域においてやや大きな非線形性が見られるものの、 0.2pF 以上においては、良好な線形性が得られた。

次に、チャンネル間およびチップ間のばらつき特性の評価を行った。図 6 (c) に、 0.75pF を入力した時の入力対出力のゲインを、10 個のチップの各々全 64 ch について測定した結果を示す。これによると、チップの下側（向きは図 5 (a) に準ずる）にあるチャンネル (Ch 32) は、上側にあるチャンネル (Ch1, Ch 64) と比較して、ゲインが低くなっており、チップ内のチャンネル位置に依存することが伺えるが、その原因については更に調査が必要である。

アナログ出力のセトリング特性は、試作チップによる測定結果によると、マルチプレクサのチャンネル切り替え後 $1\mu\text{s}$ を経ても、十分なセトリングに達していないことが明らかとなった。これは先に示したレイアウト・シミュレーション結果を大幅に上回る値である。その原因として、アナログ出力ラインがチップの縦方向

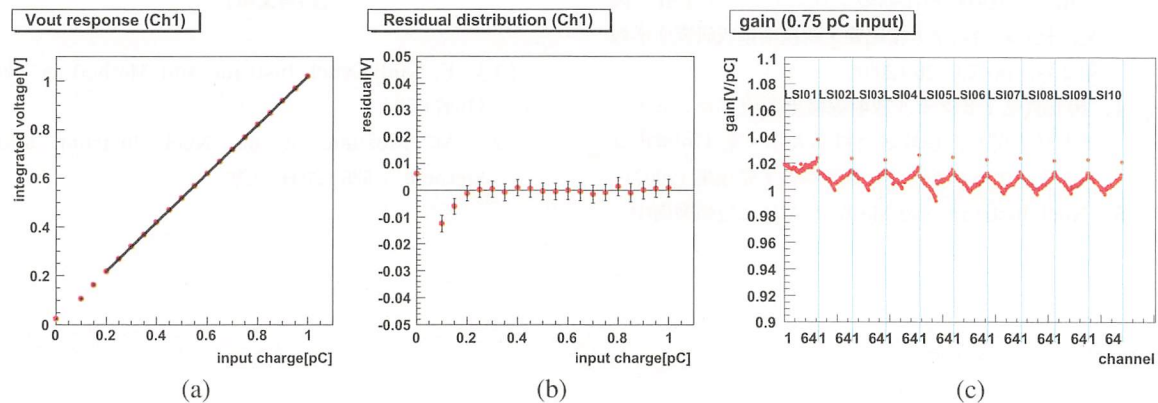


図6 フロントエンド LSI の測定評価結果

(a) 入力電荷量に対する出力電圧の特性, および (b) 入力電荷量 0.2 pF 以上のデータ点に対するフィット直線からの残差。(c) 0.75 pF を入力した時のゲインの, チャンネル間およびチップ間のばらつき。

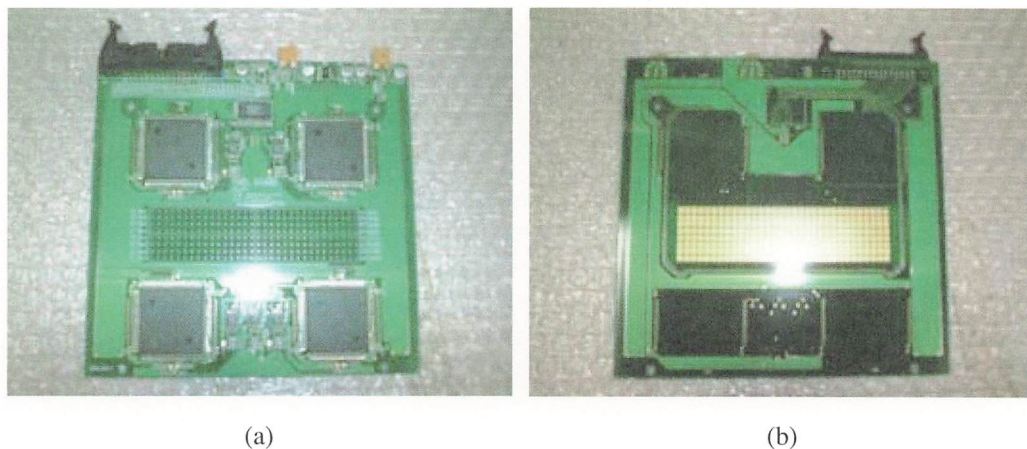


図7 4つの試作 LSI を搭載したピクセルボードの (a) LSI 側, および (b) ピクセル側の写真

長さに渡って縦断し, 比較的大きい寄生容量を持つにも関わらず, シミュレーションにおいては 8 ch 分しか寄生容量を抽出しなかったために, セトリング時間が過小評価されてしまったものと考えられる。

[今後の研究の方向, 課題]

チップの試作は概ね成功であったが, アナログ出力のセトリング時間が長い等の課題を残した。従って, サンプリング速度を向上させるためには, チップ全体のシミュレーション等を通して, レイアウト設計の改善が必要である。

また, 本チップを用いた X 線イメージング実験も近い将来に行いたい。そのためのピクセ

ル基板は既に試作済みであり, 図 7 にその写真を示す。X 線イメージング実験に成功した後は, 更なるピクセルの高密度化と, それに対応可能な高密度集積チップの開発および, データ読出し系の開発を行う。

[成果の発表, 論文等]

1. T. Fusayasu: A Fast Integrating ADC Using Precise Time-to-Digital Conversion, 2007 IEEE-NSS Conference Record, pp. 302–304 (2007)
2. T. Fusayasu, S. Sano, Y. Tanaka, and H. Hamagaki: Development of a Frontend LSI for Radiation Imaging Detectors with Gas Electron Multipliers, 2007 IEEE-NSS Conference Record, pp. 305–308 (2007)
3. 房安貴弘, 田中義人, 浜垣秀樹: ガス電子増幅器

を用いた放射線検出器のフロントエンド LSI の開発, 長崎総合科学大学紀要・新技術創成研究所報 第 2 号, pp. 23-26 (2007)

4. 房安貴弘: ピクセル放射線検出器用フロントエンド LSI の開発, 長崎総合科学大学・第 4 回学術フロンティアセンターシンポジウム・要項集 (2007)
5. Nucl. Instrum. and Method. A 誌に投稿準備中.

[参考文献]

- [1] F. Sauli, Nucl. Instrum. and Method. A 386 (1997) 531.
- [2] M. Inuzuka, et. al., Nucl. Instrum. and Method. A 525 (2004) 529.

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

Decision Making of Robots under Existence of Moving Objects by
Combination of State-Action-Maps

1071002

研究代表者

東京大学大学院 工学系研究科 助教

上 田 隆 一

[研究の目的]

実世界で知的にふるまうロボットは、工場のように固定されていない不確定な環境に対してロボスタである必要がある。他の移動体は、環境の不確定要素として代表的なものである。他の移動体をタスク中に考慮することは、ロボットの行動決定の研究で困難な課題の一つである。

本研究では、障害物の存在する状況下での行動決定則を状況に応じて作成するための一般的な対処方法を提案する。提案手法の特徴は、障害物の無い状況での行動決定則を事前知識として、障害物を回避しつつタスクを達成するための行動を算出することにある。

提案手法の流れは、1) 他の移動体や障害物がない状態を想定し、あるタスクに対する基本的なロボットの行動決定則を作成、2) 移動体が存在する場合を想定した行動決定則をいくつか作成し、3) 1, 2の行動決定則を事前知識とみなして組み合わせ、タスクを達成するための行動シーケンスを生成するものである。

[研究の内容・成果]

本年度は、提案手法中で最も重要な、事前知識（行動決定則）の組み合わせ手法を重点的に研究し、学会で発表するために予稿を執筆した。本稿では例題として、ロボットサッカー（ロボカップ4足リーグ）でのロボットの行動決定を



Fig. 1 RoboCup environment



Fig. 2 ERS-7

扱い、シミュレーション・実機で評価を行った結果を示す。シミュレーション中では、移動障害物として敵ロボットを考慮した。敵ロボット（移動障害物）を考慮した行動決定則として、守備行動の行動決定則を作成し、他の行動決定則と組み合わせた。

1. 実験環境と問題設定

ロボカップ4足リーグ [3] では、Fig. 2のロボットがFig. 1に示すサッカーフィールド上でサッカーを行う。本稿で扱うタスクは、3台のロボットが敵のゴールを避けて相手ゴールにシュートすることとする。ロボットは仲間ロボットとの無線による通信を行いながら、自律的に行動する。ロボットが獲得できる情報は不完全、不確実であるが、ロボットはサッカーにおいて実時間で行動決定しなければならない。

2. 方策の連鎖

2-1 状態空間の分割

本稿では、試合の状態が変数の組 $\{x_1, x_2, \dots,$

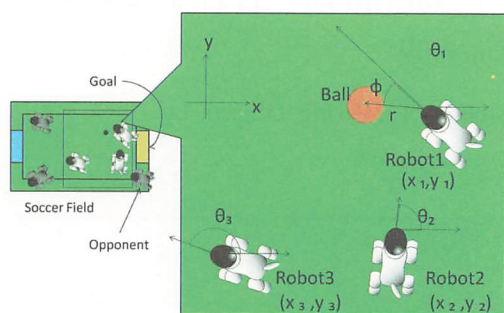


Fig. 3 Coordinate system of Robots and the Ball

x_n で記述されると仮定する。これらの変数は状態変数と呼ばれ、状態変数で張られる空間 X は状態空間と呼ばれる。Fig. 3 に示すように、この問題で最低限考慮すべき状態変数は各ロボットの姿勢（位置と向き） 3×3 変数とボールの位置 2 変数の合計 11 変数である。

ロボットにあるタスクが与えられたとき、ロボットはタスクに対して最善な行動をとるべきである。タスクを評価関数により定義すると、ロボットの挙動は評価関数により定量的に評価できる。最適制御理論をここでは完全に説明しないが、以降の議論のために以下の式を定義する。

$$\pi: X \rightarrow A \text{ and } V: X \rightarrow \mathcal{R} \quad (1)$$

π は状態空間 X 内の状態から行動空間 A 内の行動への写像である。本稿での行動とは、ロボット 3 台の行動の組を表す。この写像は方策と呼ばれる。状態価値関数 V はタスクにおける状態の価値を表す。方策が多次元のルックアップテーブルで作成される場合、方策は状態行動地図と呼ばれる。この場合、状態空間は多次元格子で離散化される。

2-2 状態行動地図

文献 [2] において、ロボット 2 台とボール 1 個の 8 個の状態変数を考慮した状態行動地図が作成されている。作成には動的計画法 [1] が用いられている。この状態行動地図は約 6 億個の離散状態に対して作成されている。

本稿では、さらに多くの離散状態を含む状態行動地図を計算する。フィールドのサイズは縦

4 [m] 横 6 [m] であるため、状態行動地図と状態価値関数は 30 億状態となり、計算には 1 か月を要した。この地図により、ロボットは 14 種類の歩行行動と 4 種類のキック行動を選択できる。この部分空間にはロボットが 2 台存在するので、行動空間 A 内の行動の数は行動数の平方となる。しかし、本稿では計算コストを抑えるため、74 通りの行動の組のみを考慮している。この地図を 8 D 攻撃地図と呼ぶ。

同様に、次の状態行動地図を作成した。

- 5 D 攻撃地図：ロボット 1 台、ボール 1 個を考慮。ロボットのタスクは、ボールを敵ゴールまで、できるだけ少ないステップ数で運ぶ
- 3 D 守備地図：ロボット 1 台を考慮。ロボットのタスクは自ゴール前の定位置へ移動し、待機する

これらの 2 つの地図はロボット 1 台のみを考慮している。これらの地図は、8 D 攻撃地図の補助的なものである。

2-3 状態価値関数を組み合わせた行動決定

提案手法の概念を Fig. 4 に示す。ロボットは前節で作成した地図をさまざまに組合せて使用する。Fig. 4 (a) は、ロボットがすべて 8 D 攻撃地図により行動決定する場合を表す。ここでは、1 台のロボットが両方の部分空間に属する。この場合、各空間での行動決定が互に対立してしまう。提案手法は、各空間を状態価値関数で比較することでこの問題を解決する。この手法では、ロボットの機能の価値が評価されており、より価値の高い行動が選択される。この手順は Fig. 4 (b) に示される。

他の状態行動地図を使用すると、価値の比較はより複雑になる。各部分空間のタスクや規模が異なるため、各部分空間を単純に比較することは望ましくない。

ここで、筆者らは以下に述べるヒューリスティックを設計する。しかし、提案手法の基本的な方針は価値の比較であり、ここでも地図の組合せを価値関数によって比較を行う。

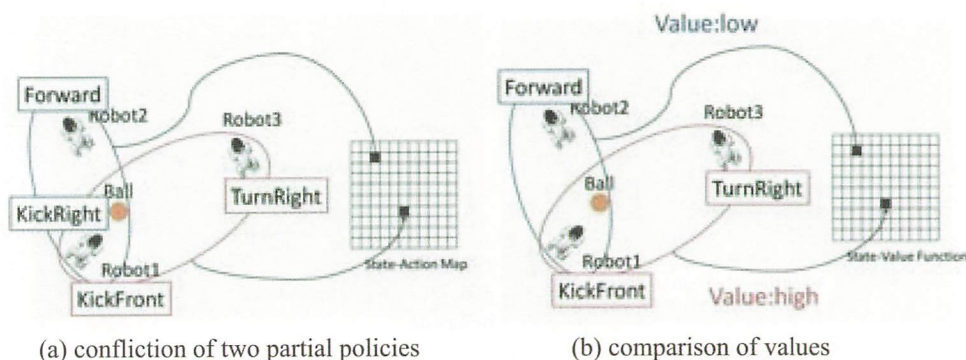


Fig. 4 Conflict and its resolve

3台のうちボールに最も近いロボットが攻撃地図を使用すると仮定すると、残り2台が攻撃または守備を行うことになる。この場合、役割の組合せは以下の式により選択される。

$$\max \begin{cases} V_{\text{offense5D}}(s_1) + \alpha \{V_{\text{defense}}(s_2) + V_{\text{defense}}(s_3)\} \\ 2V_{\text{offense8D}}(s_{12}) + \alpha V_{\text{defense}}(s_3) \\ 2V_{\text{offense8D}}(s_{13}) + \alpha V_{\text{defense}}(s_2) \\ \max \{V_{\text{offense8D}}(s_{12}), V_{\text{offense8D}}(s_{13})\} \\ + V_{\text{offense8D}}(s_{12}) + V_{\text{offense8D}}(s_{13}) \end{cases} \quad (2)$$

s_1 はボールとボールに最も近いロボットの離散状態を表す。以降、ボールに最も近いロボットを Robot 1 と呼ぶ。タスク中、この名前が与えられるロボットは環境の変化に応じて変化する。Robot 1 以外のロボットは Robot 2, Robot 3 と呼ぶ。 s_{12} は 8 次元空間におけるロボット 2 台とボール 1 台の離散状態である。 $V_{\text{offense8D}}$, $V_{\text{offense5D}}$, V_{defense} は各地図の状態価値関数を表す。パラメータ α は正の値であり、攻撃、守備の相対的な重要度を決定する。この式を最大化するロボットの役割の組合せが選択される。役割の組合せが選択されると、ロボットは各組合せに対応する地図を使用し行動決定する。

3. シミュレーション

シミュレーションにより提案手法の有効性を評価する。検証に用いるシミュレータは大域的な行動決定のために作成されており、以下のようない点で実環境と異なる。

- ロボットは自身の正確な姿勢を獲得できる。また、他機の正確な姿勢も通信により獲得できる。
- 敵ロボットの姿勢、ボールの位置は、視野内にあるときに正確に獲得できる。
- ボールの保持などの局所的行動を考慮していない。ロボットはボールとの距離が 150 [mm] から 250 [mm]、角度が -95 [deg] から 95 [deg] のときにキック可能。

3台のロボットが行うタスクは、敵ゴールへボールを運ぶことである。ボールがフィールド外に出た場合、敵チームがゴールに成功した場合は、タスクが失敗したとみなす。

また、評価に使用するロボットのチーム（3台）は以下の3種類である。

- Team A：5D 攻撃地図のみ使用
- Team B：8D 攻撃地図のみ使用
- Team C：3種類の地図を使用

敵ロボットは Team A と同種であり、5D 攻撃地図のみを使用する。すなわち、各敵ロボットは仲間へパスすることなく、自分だけで得点を目指して行動する。このチームとの対戦を各チーム 10000 回行い、ゴールの成功数を集計した。

はじめに、Team A と Team C の挙動を Fig. 5 に示す。ここでは、説明のため敵ロボットの軌跡を表示していない。Team A のロボットはすべてボールに接近している。一方、Team C のロボットはパスを駆使してボールを移動させ

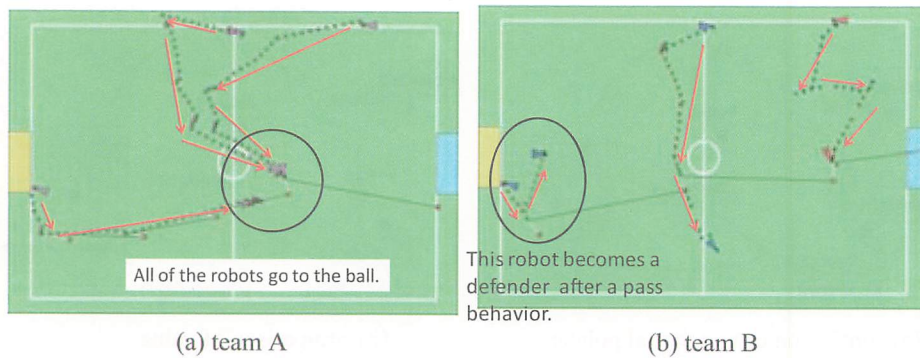


Fig. 5 Typical Trials on Simulation

Table 1 The result of simulation

team	goals
Team A (uncooperative)	5228
Team B (cooperative, only 8 D map)	5516
Team C (cooperative, three maps)	5613

ている。さらに、守備地図を使用することで、左のロボットがゴール前に待機している。Team Cにおいてロボットの役割分担に成功していることが分かる。

シミュレーションの結果を Table 1 に示す。8 D 攻撃地図の使用により、Team B は Team A に比べてゴール数が 5.5 [%] 増加した。さらに、3 種類の地図を使用により、Team C では Team A に比べてゴール数が 7.4 [%] 増加した。以上より、提案手法によりタスク達成の効率が改善したと言える。8 D 攻撃地図のみを使用した Team B に対して、3 種類の地図を用いた Team C の改善が小さい理由として、守備地図の性能が悪い可能性がある。

4. 実機実験

提案手法を ERS-7 へ実装し、実環境での検証を行う。本節では、非協調の Team A、8 D 攻撃地図のみを用いる Team B の 2 チームの挙動を比較する。本実験では、敵チームを使用せず、両チームの挙動のみを確認する。

両チームの挙動を、Fig. 6 と Fig. 7 に示す。Team A のロボットは互いに協調していないため、ロボット間で衝突が発生している。一方、提案手法による Team B のロボットは互いに

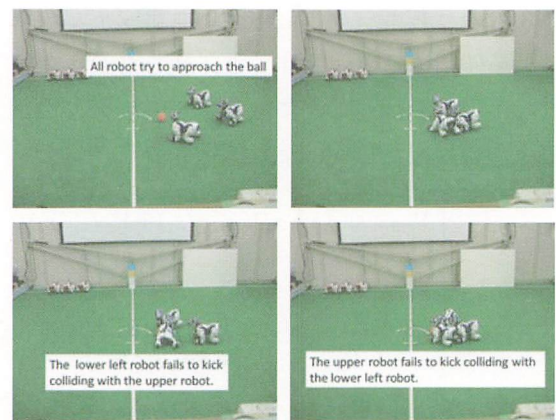


Fig. 6 A trial of the uncooperative team (Team A)

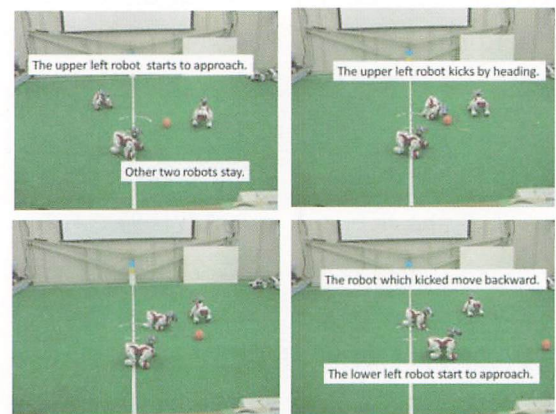


Fig. 7 A trial of the uncooperative team (Team B)

距離をとっており、衝突は発生していない。

5. おわりに

本稿では、ロボット 3 台の準最適な協調行動を実現する手法を提案した。ロボットの作業前に動的計画法によりロボット 2 台用の最適方策を作成し、それらを組み合わせて 3 台に適用し

た。各ロボットがどの方策を用いるかを、状態価値関数により役割の組合せを比較することで決定した。ロボカップ4足歩行リーグをモデル化したシミュレーションにおいて、提案手法により3台の協調に成功し、ゴールまでの時間の短縮に成功した。また、実機実験において、提案手法によるチームではロボットが互いに距離をとって行動する様子が観測された。

[今後の研究の方向, 課題]

以上のアルゴリズムに、敵ロボットの位置を価値関数計算に考慮して行動決定する機能を追加した評価が完了している。今後、論文等で順次発表する予定である。

[成果の発表, 論文等]

- 1) 上田隆一, 小林圭祐, 新井民夫: “価値反復による2台のサッカーロボットの協調動作計画—30億状態を有する状態行動地図の生成と評価”, 自律分散システムシンポジウム, pp.229–234 (2008)
- 2) 小林圭祐, 上田隆一, 新井民夫: 二台用最適方策

を用いた複数ロボットの協調行動, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMEC), 長野 (2008)

- 3) K. Kobayashi, R. Ueda and T. Arai: “Cooperative Behavior of Multiple Robots by Chain of Monolithic Policies for Two Robots,” The 10th International Conference on Intelligent Autonomous Systems, Baden Baden, Germany (2008)

[参考文献]

- 1) R. E. Bellman: Dynamic Programming, Princeton University Press (1957)
- 2) R. Ueda, *et al.*: “Dynamic Programming for Creating Cooperative Behavior of Two Soccer Robots — Part 1: Computation of State-Action Map,” Proc. of IEEE ICRA, pp. 1–7 (2007)
- 3) H. Kitano, *et al.*: “RoboCup: The Robot World Cup Initiative,” Proc. of International Conference on Autonomous Agents, pp.340–347 (1997)
- 4) P. Stone and M. Veloso: “Task Decomposition, Dynamic Role Assignment, and Low-Bandwidth Communication for Real-Time Strategic Teamwork,” Artificial Intelligence, vol.110, pp.241–273 (1999)

機械学習に基づく創薬支援システムの開発

Development of a new In silico drug discovery approach based on machine learning

1071003

研究代表者

京都大学大学院 薬学研究科 准教授

奥 野 恭 史

〔研究の目的〕

医薬品開発には、医薬品と生体との作用点となるタンパク質（遺伝子）と化合物の相互作用を解明することが不可欠であり、本研究では、タンパク質と化合物の相互作用予測により医薬品候補化合物を探索する創薬支援システムの開発を行う。具体的には、遺伝子・タンパク質の配列と化学物質の化学構造を入力した際に、そのタンパク質と化学物質との相互作用（結合、薬理活性など）の有無を判別することを目指している。具体的には、遺伝子・タンパク質の配列と化学物質の化学構造を入力データとして、それらをプロファイル表現化するステップと、作成したプロファイルを機械学習し予測システムを構築するステップと、相互作用予測結果を実験により検証するステップの3ステップを計画している。

〔研究の内容、成果〕

1. サポートベクターマシンを用いた相互作用予測モデルの開発

活性化化合物を効率よく迅速に探し出すために、計算機を用いた候補化合物の絞り込み手法「バーチャルスクリーニング（VS）」が開発されてきた。現在よく用いられているVSとして、既知リガンドとの構造類似性に基づく「Ligand-based virtual screening（LBVS）」と標的タンパク質の立体構造に基づく「Struc-

ture-based virtual screening（SBVS）」がある。この二つの手法は、近年の情報技術の進歩と相まって、この10-20年で著しい発展を遂げ、ゆるぎない地位を確立した。しかしながら現在、VSのヒット確率は1%-10%もあれば良しとされており（例えば、LBVSでは、既知活性化化合物の骨格構造に強く影響される嫌いがあるし、SBVSでは、パラメータの恣意性、予測的中率の低さなどが指摘されている）、さらなる技術的な改良や革新的技術の開発が切望されていることは間違いない。

そこで本研究では、LBVSやSBVSとは概念の異なる第三のVSとして、「ケミカルゲノミクスに基づくVS手法（Chemical Genomics-based virtual screening: CGBVS）」に着手した。「ケミカルゲノミクス」は、興味を持つ化合物が生物に与える影響についてゲノム規模で研究する学問であり、マイクロアレイやハイスループットスクリーニングなどの同時大量解析技術の革新に後押しされ、近年、注目を浴び始めている。それに伴い、化合物と遺伝子の関連性について、膨大な実験データが蓄積されている。そこで我々は、情報科学技術の一つであるパターン認識技術を用いて、タンパク質と化合物との結合情報（ケミカルゲノミクス情報）から抽出したタンパク質のリガンド認識パターンに基づいて活性化化合物を効率的に発見することを新手法「CGBVS」のコンセプトとした。

タンパク質とリガンドとの相互作用パターンの認識とそのリガンド予測を開発するために、

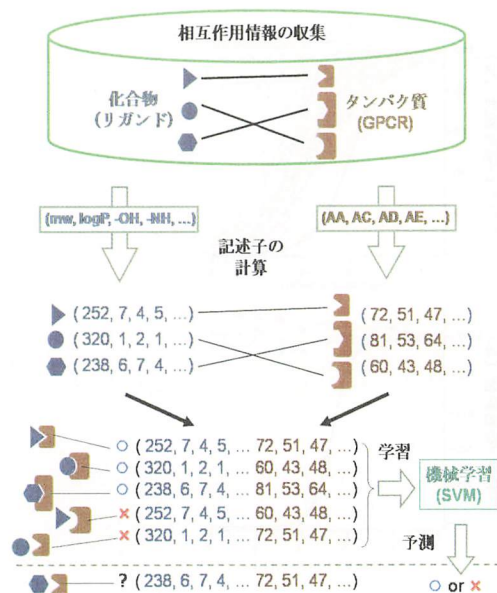


図1 CGBVSの流れ

我々は学習アルゴリズムの一種であるサポートベクターマシン (SVM) を用いた。SVM は、2 クラス分類器の一種であり、与えられた 2 つのグループに属する特徴ベクトルを最大マージンで分離するような超平面を構築する。ここで、最大マージンとは、分離した超平面から各サンプル間までの最短距離を指す。我々は、この SVM を用いて、化合物-タンパク質相互作用の有 / 無を判別する手法を開発した。その手法の流れを図 1 に示す。まず、収集した相互作用をベクトルとして表現するために、各化合物の化学構造、各タンパク質のアミノ酸配列について、様々な属性 (記述子と呼ぶ) を計算する。次に、正例 (相互作用する化合物-タンパク質ペア) および負例 (相互作用しない化合物-タンパク質ペア) に対応する記述子をそれぞれ組み合わせて特徴ベクトルを構成し、SVM を用いて学習モデルを構築する。このモデルが得られると、(未知の化合物-タンパク質ペアに相当する) 新しいベクトルが相互作用 有 / 無のどちらのクラスに属するか、を予測することができる。

2. 交差検定法による予測モデルの評価

既存の VS 手法との比較検討を行うため、今

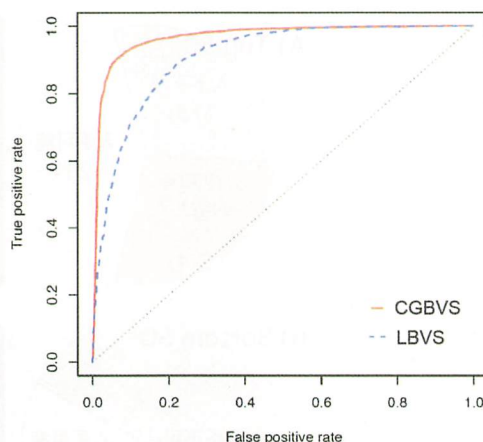


図2 ROC 曲線による相互作用予測性能の比較
赤い実線が CGBVS、青い破線が最近傍法を用いた LBVS を示す。

回開発した CGBVS と LBVS との予測性能を比較した。収集した化合物-GPCR 相互作用を用いて、負例を交換しながら 5 分割交差検定法 (5 fold cross-validation) を試行した。交差検定の結果、最近傍法を用いた LBVS では $84.4 \pm 0.3\%$ 、CGBVS では $91.6 \pm 0.2\%$ の相互作用を正しく予測した。また、ROC 曲線からも、CGBVS の予測性能の高さが確認された (図 2)。したがって、ケミカルゲノミクス情報の活用がリガンド予測性能の向上につながったといえる。なお、予測に要する計算的負荷が一般的な LBVS によるものとほとんど変わらないことから、CGBVS は大規模スクリーニングに十分適用可能と考えられる。

3. ヒト $\beta 2$ アドレナリン受容体リガンド予測への適用

ヒト $\beta 2$ アドレナリン受容体 ($\beta 2$ AR) を標的 GPCR とし、構築した学習モデルを用いてリガンド予測を行った。リガンド予測の対象化合物は、他 GPCR のリガンドとして知られている 826 化合物とした。そして、CGBVS により予測された $\beta 2$ AR リガンド候補上位 50 の化合物のうち、文献・特許調査により 14 種の化合物について $\beta 2$ AR との相互作用に関する報告を確認した (図 3 A 左)。さらに、残りの相互作用不明な化合物のうち、入手可能な 21

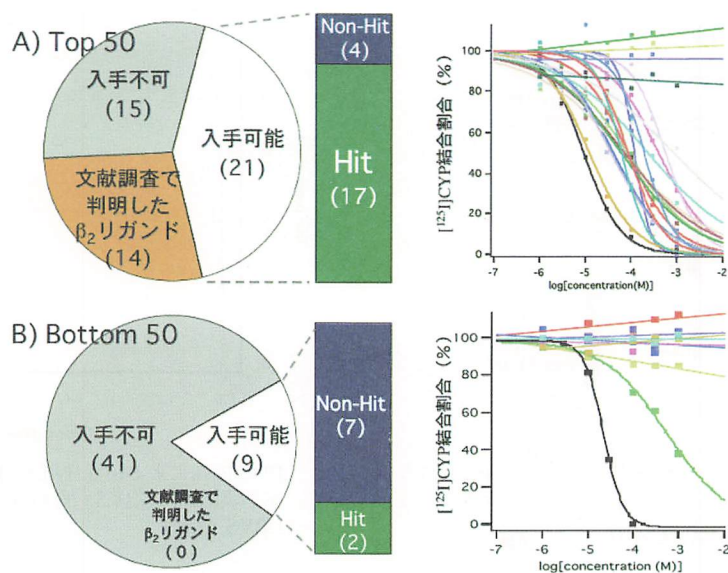


図3 $\beta_2\text{AR}$ リガンド予測結果の検証
予測スコア上位 50 (A) と下位 20 (B) の化合物に対する調査・実験結果を示す。(左: 文献調査および実験検証で判明した化合物の内訳。右: $[^{125}\text{I}]$ -シアノピンドロールに対する結合阻害曲線。縦軸が阻害の割合、横軸が各化合物の濃度を示す。)

種類について *in vitro* 結合阻害実験を行ったところ、17 種類の化合物が相互作用 ($10^{-5} \text{ M} < \text{IC}_{50} < 10^{-3} \text{ M}$) を示した (図 3 A 右)。結合阻害実験のヒット率は 81% (17/21) にのぼり、ここにおいても高い予測的中率が示された。

一方、下位 50 化合物については、 $\beta_2\text{AR}$ リガンドとして報告されているものは文献および特許調査では確認されなかった (図 3 B 左)。さらに、残りのうち入手可能な 9 化合物についても結合阻害実験を行ったが、2 個の化合物が同程度の強さの相互作用を示したものの、残りの 7 化合物は相互作用を示さなかった (図 3 B 右)。

これらの予測結果を LBVS によるものと比較したのが図 4 である。結合阻害実験で相互作用を確認した化合物の半数近くは、LBVS ではスコアが低かった。実際に、これらの化合物は、典型的な $\beta_2\text{AR}$ 作動薬の構造 (カテコラミン骨格、イソプレナリン誘導体) および $\beta_2\text{AR}$ 拮抗薬の構造 (アリルアルキルアミン誘導体) とは異なる多様な骨格を持っており、化合物の構造類似性に基づく従来の方法では発見が

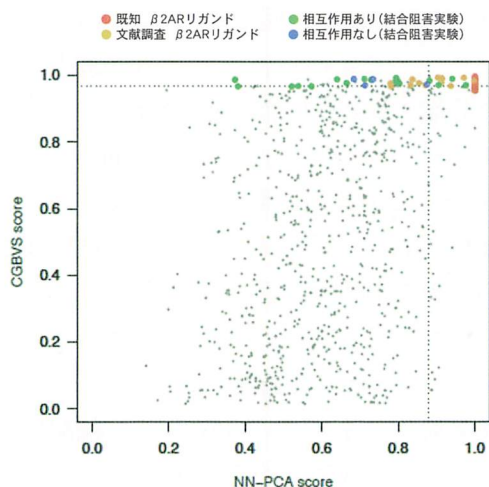


図4 CGBVSとLBVSによる $\beta_2\text{AR}$ リガンド予測結果の比較
各点が化合物であり、縦軸はCGBVS、横軸はLBVS (主成分空間における最近傍法) による相互作用予測スコアを示している。文献調査および結合阻害実験の結果を色分けにて表示した。なお、図中の点線は、各手法において上位 50 位のスコアを示す。

困難なりガンド群である。また、これらの化合物の中には、ニューロペプチド受容体アンタゴニストなど、従来はペプチド受容体に作用する化合物として知られていたものも含まれており、遠縁にあたる $\beta_2\text{AR}$ とも相互作用することが今回の結合阻害実験により確認された。以上から、ケミカルゲノミクス情報が、リガンド

予測精度の向上のみならず、新規骨格を持つリガンドの検出にも有用であることが示唆された。

[今後の研究の方向, 課題]

計算機によって創薬を行うインシリコ創薬システムの理想形は、「新規性・高活性・選択性・安全性・リード展開性」の全ての点において優れた化合物, すなわち医薬品候補化合物として総合的に良質な化合物を「高精度」に計算予測するシステムと言える。本研究では、「高精度・新規性」の点において優れた性能を示す方法論の開発に成功した。今後の研究展開としては、残りの課題である「選択性・高活性・安全性・リード展開性」における技術開発を行い、これらを統合化したインシリコ創薬システムの実用化へと繋げたい。

[成果の発表, 論文等]

論文発表

1. Yabuuchi, H., Nijima, S., Hirokawa, T., Hara, T., Minowa, Y., Tsujimoto, G. and Okuno, Y.: "Chemical genomics-based virtual screening identifies novel ligands and cross-reactivities." Science, in submission
2. Nijima, S. and Okuno, Y.: "Laplacian Linear Discriminant Analysis Approach to Unsupervised Feature Selection." *IEEE/ACM Transactions on Computational Biology and Bioinformatics*, in press
3. Okuno, Y., Tamon, A., Yabuuchi, H., Nijima,

S., Minowa, Y., Tonomura, K., Kunimoto, R. and Feng, C. "GLIDA: GPCR-Ligand Database for Chemical Genomics Drug Discovery — Database and Tools Update." *Nucleic Acids Research*, 36, D 907–12 (2008)

4. Kitajima, M., Minowa, Y., Matsuda, H. and Okuno, Y.: "Compound-Transporter Interaction Studies using Canonical Correlation Analysis." *Chem-Bio Informatics J.*, 7, 24–34, 2007

学会発表

1. 日本薬学会 128 年会 日本薬学会奨励賞受賞講演「バイオ空間とケミカル空間の包括的相関解析とそのインシリコ創薬への研究展開」(2008. 3. 28)
2. 日本薬学会 128 年会 日本薬学会・日本学術会議薬学委員会共催シンポジウム「バイオインフォマティクスの薬学研究・薬学教育への応用と展開」Bio-Informatics for Pharmaceutical Sciences and Pharmacy Education「バイオ空間とケミカル空間の包括的相関解析とそのインシリコ創薬への研究展開」(2008. 3. 26)
3. 第 3 回三重ゲノム創薬フォーラム「薬学研究におけるアレイインフォマティクス」(2008. 2. 15)
4. 平成 19 年度第 2 回産業情報交流会「ケミカルゲノミクスに基づくインシリコ化合物探索他」(2007. 10. 22)
5. 新産業を創る先端科学技術フォーラム 2007「ポストゲノム創薬のための新技術」セッション「ケミカルゲノミクスに基づく創薬インフォマティクス」(2007. 10. 18)
6. 第 66 回日本癌学会学術総会 International Session "Chemical Genomics for Cancer Research" "Knowledge Discovery and Data Mining in Chemical Genomics" (2007. 10. 3)
7. 日本ケミカルバイオロジー研究会 第 2 回年会「ケミカルゲノミクス情報を利用した GPCR の in silico リガンド探索手法の開発」(2007. 5. 10)

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

Development of a dexterous robot hand with adjustable joint stiffness

1071004

研究代表者

東北学院大学 工学部 教授

梶 川 伸 哉

〔研究の目的〕

人と共存し、日常生活をサポートしてくれるロボットには人並みの器用さが求められる。特に、手腕系の器用さは取り扱う作業の豊富さから重要である。我々は指の自由度とともに関節の剛性を巧みに調節することで実に多彩な運動特性を実現している。例えば、落下物を柔らかく受け止める動作などは関節運動と関節剛性の協調により、衝撃力を十分に吸収した物体運動の停止作業である。

こうした作業の実現のためには機構的な剛性調節機能が必要となり、その調節方法も重要である。

そこで本研究ではロボットハンドに搭載可能な関節剛性調節機構の提案とそれを搭載したロボットハンドを用いた関節剛性調節について検討を行う。

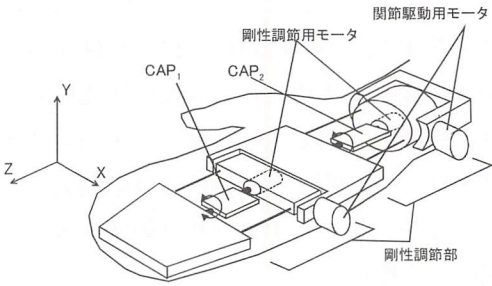


図1 ハンドイメージ図

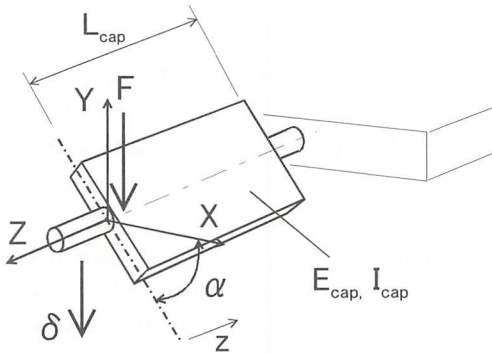


図2 CAPの概要

〔研究の内容、結果〕

1. 関節剛性調整機構

本研究で提案する関節剛性機構を搭載したロボットハンドのイメージ図を図1に示す。

なお、以降は関節特性を表すものとして剛性の代わりにコンプライアンスを用いることとする（剛性の逆数）。本図に示すように関節剛性は関節部に挿入した弾性薄板（CAP: Compliance Adjuster Plate）の姿勢を制御することにより実現する。

以下にそのメカニズムについて図2を基に説明を加える。

まず、CAPの長さ、断面2次モーメント、ヤング率をそれぞれ、 L_{cap} 、 I_{cap} 、 E_{cap} とし、その一端に力 F を加えたとする。そのときCAP全体に蓄えられる歪エネルギー U は以下の式で与えられる。

$$U = \frac{1}{2E_{cap}} \int_0^{L_{cap}} \left(\frac{F^2 z^2}{I_{cap}} \right) dz \quad (1)$$

カスティリアノの定理により上式からCAP

先端の変位量 δ は以下のように求められる。

$$\delta = \frac{\partial U}{\partial F} = \frac{L_{cap}^3}{E_{cap} I_{cap}} F \quad (2)$$

ここで、 I_{cap} はその姿勢角 α により (3) 式のように変化する。よって、力 F と変位 δ は以下のようなコンプライアンス $C(\alpha)$ で結ばれ、CAP の姿勢制御により、関節部の硬さを調節することができる。

$$I_{cap}(\alpha) = \frac{I_{capX} \cdot I_{capY}}{I_{capX} \cos^2 \alpha + I_{capY} \sin^2 \alpha} \quad (3)$$

$$\delta = C(\alpha) F, \quad C(\alpha) = \frac{L_{cap}^3}{3E_{cap} I_{cap}(\alpha)} \quad (4)$$

2. 手先コンプライアンスモデル

次に、手首関節と指根元関節の二関節を有するハンドの手先コンプライアンスについて考える。ハンドの概要図を図3に示す。

図に示すようにハンドを指部と手のひら部に分けて考える。

まず、指部において手先に加わる力 F により蓄えられる歪エネルギー U_1 は指部と関節部における歪エネルギー U_{link1} , U_{cap1} を用いて次のように表せる。

$$U_1 = U_{link1} + U_{cap1} \quad (7)$$

また、このときの指部先端の変位量 δ_1 は以下のようになる。

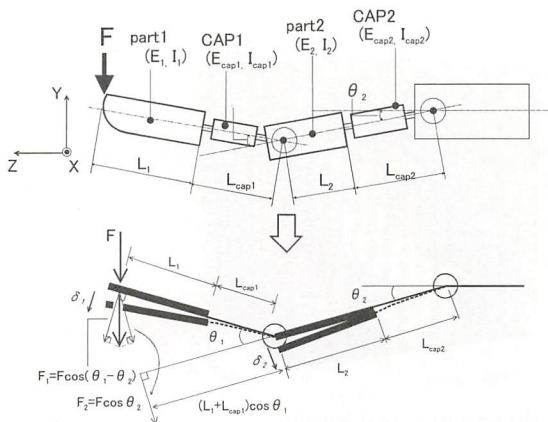


図3 2関節ハンドのモデル

$$\delta_1 = \frac{\partial U_1}{\partial F} \quad (8)$$

$$= \left\{ \frac{L_1^3}{3E_1 I_1} + \frac{(L_1 + L_{cap1})^3}{E_{cap1} I_{cap1}} \right\} F_1 \quad (9)$$

$$\approx \frac{(L_1 + L_{cap1})^3}{3E_{cap1} I_{cap1}} F \cos(\theta_1 - \theta_2) \quad (10)$$

ここで、 L , I , E はそれぞれ指部 (添え字 1), CAP 部 (添え字 cap 1) の長さ, 断面二次モーメント, ヤング率である。 F_1 は手先力 F の指部直交成分である。(10) 式は (9) 式括弧内の第 1 項におけるヤング率が非常に大きいことから、それを無視したものである。

手のひら, 手首関節部についても同様の方法でモデル式を考えることで、以下のような手のひら先端部変位量 δ_2 と外力 F の関係を得ることができる。

$$\delta_2 \approx \frac{(L_1^* + L_2 + L_{cap2})^3}{3E_{cap2} I_{cap2}} F_2 \quad (11)$$

$$L_1^* = (L_1 + L_{cap1}) \cos \theta_1 \quad (12)$$

$$F_2 = F \cos(\theta_1 - \theta_2) \quad (13)$$

以上の (8) 式~(12) 式を基に外力 F と総手先変位量 δ_y は以下のように与えられる。

$$\delta_y = \delta_1 \cos \theta_1 + \delta_2 \cos \theta_2 \quad (14)$$

$$= (C_1(\alpha_1) + C_2(\alpha_2)) F = C(\alpha_1, \alpha_2) F \quad (15)$$

$$C_1(\alpha_1) = \frac{(L_1 + L_{cap1})^3}{3E_{cap1} I_{cap1}} \cos \theta_1 \cos(\theta_1 - \theta_2) \quad (16)$$

$$C_2(\alpha_2) = \frac{(L_1^* + L_2 + L_{cap2})^3}{3E_{cap2} I_{cap2}} \cos \theta_2 \cos(\theta_1 - \theta_2) \quad (17)$$

以上のように二つの CAP の姿勢制御により、ハンド手先のコンプライアンス $C(\alpha_1, \alpha_2)$ を調節することができる。

3. 試作ハンドの概要

今回試作したハンドの概要を図4に示す。

指関節と手首関節駆動には、それぞれ DC モータ (RE-MAX 17, RE-MAX 24: Maxon)

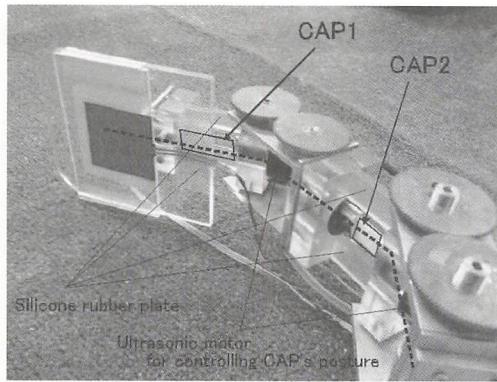


図4 プロトタイプ概観

を、CAP 1, CAP 2 の姿勢制御には超音波モータ (USR 30: 新生工業) を利用した。CAP 1, CAP 2 の素材は共にアクリル樹脂であり、寸法は幅×長さ×厚さでそれぞれ $10 \times 40 \times 2$ mm, $16 \times 30 \times 2$ mm である。また、CAP 1, CAP 2 の両側には CAP と平行に 2 枚のシリコンゴムの板が関節部と指および手のひら部を繋ぐように装着されている。このゴム板により関節部と指および手のひら部が固定され、その間で CAP が回転することが可能になる。

ハンド全体の大きさは人の手のひらとほぼ同サイズである。

4. コンプライアンス調節域の検証実験

ここでは、試作したハンドを用いてコンプライアンス調節域の確認とモデルの有効性について検討する。実験はハンドの指関節角 θ_1 、手首関節角 θ_2 をそれぞれ 20 deg., 30 deg. の姿

勢に保った状態で、手先に強制外力を加えた。その際の手先変位量からハンド手先のコンプライアンスを求めた。また、同様の条件下でモデルから求めたハンドコンプライアンスの値を比較した。

図5にその結果を示す。図5 (a) はモデルから求めたコンプライアンス予測値であり、同図 (b) は実験データから求めた実測値である。両者の傾向は非常によく類似しており、モデルが有効であることが確認される。

しかしながら、CAP 1, 2 の姿勢角 α_1, α_2 が 45 deg. 以上になる領域ではモデルに比べ、実験値が高い値となっている。これは、この領域では CAP の曲げ剛性が上昇し、CAP の弾性変形は生じなくなる。このことを反映し、モデルではコンプライアンスは小さな値を示す。一方、実験においては加えられた外力が CAP 以外の部分、例えば、CAP 回転軸のクリアランス部分やその他の組み付け部の隙間でも吸収されるようになる、手先の変位が生じ、結果としてコンプライアンスはモデルよりも大きな値となったものと推測される。この点については構造および製作方法を改善することである程度修正することができると考えられる。

以上のことをまとめると、CAP の姿勢角が $0 \sim 45$ deg. の範囲では、構築したモデルが有効に機能することが確認できた。また、試作機でのコンプライアンス調節域は 0.01 m/N から 0.03 m/N の範囲であり、ほぼ 3 倍の変化とな

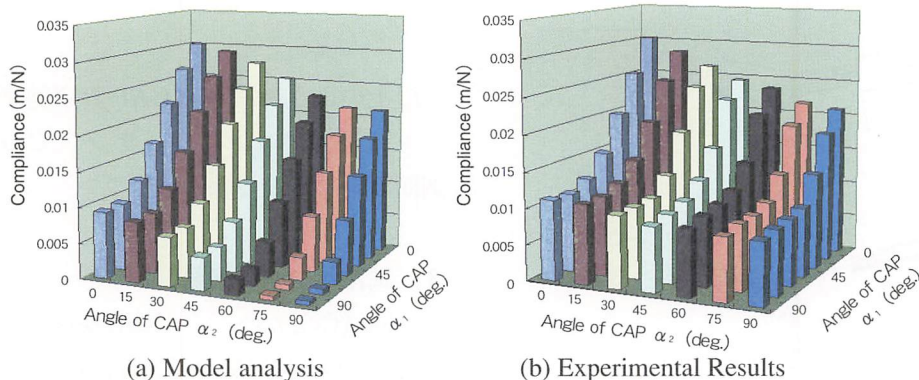


図5 コンプライアンスのモデル予測値と実験値の比較

ることが確認された。

5. コンプライアンス制御実験

次に、試作機を用いたオンラインでのコンプライアンスの調節実験を行い、調節の要する時間の検証を行った。実験はハンドの二関節を固定した状態で、CAP 1, 2 を共に 90 deg. に固定した状態を初期状態とした。これはハンドのコンプライアンスが最も低い状態である。このハンドの手先に力センサを押し当て 10 mm/s の速度で強制変位を与える。強制変位に伴う接触力が 1.0 N を超えた時点で CAP の姿勢を 0 deg. まで変化させる。その姿勢制御に要する時間と変化前後の挙動の変化について確認した。その結果を図 6 に示す。

この図より、CAP の姿勢変化は接触力が設定値 1.0 N に到達した後、若干の遅れを伴って始まっている。制御サンプリングは 3 ms であ

るが、CAP 1 についてはおよそ 20 ms, CAP 2 については 40 ms 程度の遅れとなっている。この遅れは主として CAP の慣性と CAP 回転部の摩擦の影響によるものと考えられる。また、姿勢変換に要する時間は CAP 1, 2 についてそれぞれ 80 ms, 180 ms 程度である。以上のことから設定した閾値を超えてから CAP 1, 2 のコンプライアンスの調節が完了するまでは、それぞれ、およそ 100 ms, 220 ms 程度であると見積もることができる。

[今後の研究の方向、課題]

今後は、今回の検討内容を基に、より応答性およびコンプライアンス調節域の広いハンドシステムを製作することが挙げられる。また、そのハンドの運動とコンプライアンス調節の協調法を人の手の運動制御の解析を基に構築する予定である。

[成果の発表、論文等]

- 1) S. Kajikawa: Variable Compliance Mechanism for Human-care Robot 33rd Annual Conference of IEEE Industrial Electronics (IECON 2007), 2736 - 2741.
- 2) 梶川伸哉：剛性可変機構を有するロボットハンドの開発, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2008 (発表予定)

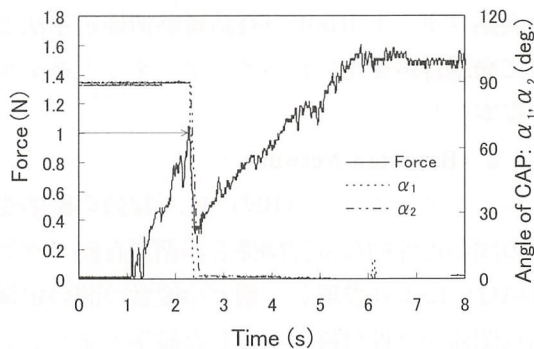


図 6 コンプライアンス制御結果

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

An Emotion Control and Generation Method for Emotional Communication Robots

1071005

研究代表者

名古屋工業大学大学院 工学研究科 准教授

加 藤 昇 平

[研究の目的]

本研究では、感情を伴うコミュニケーションが可能な対個人サービスロボットを開発する。本研究の目標は、ロボットの高度な擬人化を実現する要素技術として、会話や画像認識・通信の基本処理の中に、感情認識、感情制御、感情表出、の3つが整合された感性情報処理を実現することである。これにより、本研究で開発するロボットは、生活支援や情報提供などユーザーに利便性を提供するのみならず、会話を通じたロボットとのコミュニケーションにおいてユーザーに心的作用をもたらす。

[研究の内容、成果]

近年、人とのより豊かなコミュニケーションを目指した会話ロボットの研究が盛んに行われている。我々は、先行研究において開発した感性会話ロボット ifbot (図1) を用いて以下の感情認識・制御に関する研究を行った。

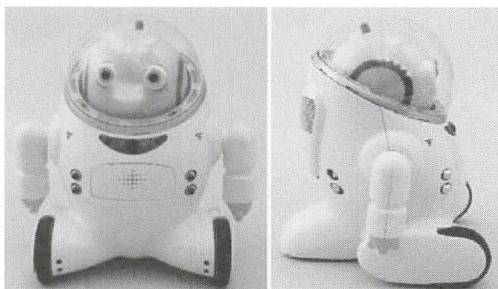


図1 感性会話ロボット ifbot

1 ペイジアンネット混合モデルを用いた感性ロボットのための話者音声からの感情推定

1.1 背景と概要

ロボットと人間とのより豊かなコミュニケーションのためには、お互いの感情や情動を把握する必要がある。その実現には、人間が後天的に学習し獲得している「対話者感情を理解する知能」の推論モデルをロボットに持たせることが必要であると考える。そこで本研究では、感性会話ロボット Ifbot の対話者感情推定手法として発話音声を用いたペイジアンネットモデルを提案した。

1.2 Bayesian Network

ペイジアンネット (BN) は、複数の確率変数の間の定性的な依存関係を非循環有向グラフ (DAG) により表現し、個々の変数の間の定量的な関係を条件付確率で表した確率モデルである。

ペイジアンネットを用いて知識をモデル化することで、感情推定の知識記述量・計算量が大幅に削減される。また部分的な証拠からでも確率的に推論できる長所を持つ。このため本研究では、ロボットに搭載する感情推定のための知識モデルとして効率とロバスト性を得ることが可能なペイジアンネットを応用する。

1.3 感情推論器の学習

本研究では、対話者が発話した音声から対話者感情を推定するための感情推定知識をペイジアンネットワークとしてモデル化した。本節では、モデル構築の流れについて概説する。

音声資料：使用する音声資料は、感情表現がなされている必要がある。本研究ではTVドラマ、映画、それに準ずるものより女優、俳優が感情を込めて発話したフレーズを抽出し「怒り」「嫌悪」「悲しみ」「恐怖」「驚き」「喜び」の6種類（以降、6感情）に分類した。それらの中から、聴取実験により感情が適切に表現されていると判断された音声資料をサンプルデータとする。

特徴量の抽出：音声は、3つの要素（韻律、音質、音韻）から成り立っている。この中で、韻律の特徴が人間の感情表現に最も関連することが過去の様々な研究から明らかになっている。そこで本研究では、音声資料から振幅構造を反映する「短時間パワー」(PW)、ピッチ構造を反映する「基本周波数」($F0$)及び時間構造を反映する「1モーラあたりの発話継続時間」(Tm)をそれぞれ計測する。 PW 及び $F0$ に関しては、平均、最大、最小、標準偏差を抽出した。このとき、短時間分析におけるフレーム長を23 ms (250 samples)、フレーム周期を11 msとし、窓関数としてHamming窓を使用した。以上9個の音声韻律特徴量と話者の性別情報 (SE)をベイジアンネットワークの確率変数とする。

モデルの構造決定：本研究では、音声資料より抽出した各音声特徴量を適当な量子化数で量子化し学習データとする。学習データに含まれる目標属性（6感情）と属性（音声韻律特徴）との間の依存関係を表現するために属性間の結合とその強さ（CPT）を学習することでベイジアンネットワークの構造を決定する。学習方法として、本研究ではBIC (Bayesian Information Criterion) が最大となるモデルを求めこれを対話者の感情推定のための知識としてロボットに与える。BICを最大にするモデルの探索にはK2アルゴリズムを用いた。

1.4 感情推定実験

本論文で提案した手法の有効性を確認するため、感情推定実験を行った。まず、6感情のい

ずれかにラベル付けされた音声資料を1600事例用意し、話者の性別ラベルと音声の韻律特徴を抽出し属性を付与した後、任意に1400の学習事例と200のテスト事例を作成した。図2に学習事例から作成されたベイジアンネットワークモデルを示す。

評価実験はテスト事例から10属性すべての証拠が与えられた場合と、6証拠 ($SE, F0_S, F0_{MAX}, PW_S, PW_{MEAN}, Tm$)のみ、ならびに、4証拠 ($F0_{MAX}, PW_S, PW_{MEAN}, Tm$)のみが与えられた場合の3つについて行った。表1（左）に感情推定の正答率を示す。全証拠を用いた実験では6感情すべてにおいて55%以上の正答率で認識された。特に「怒り」の感情について高い認識性能が確認された。一方で、6証拠および4証拠のみを用いた実験では「悲しみ」「嫌悪」の正答率が大きく低下したものの、

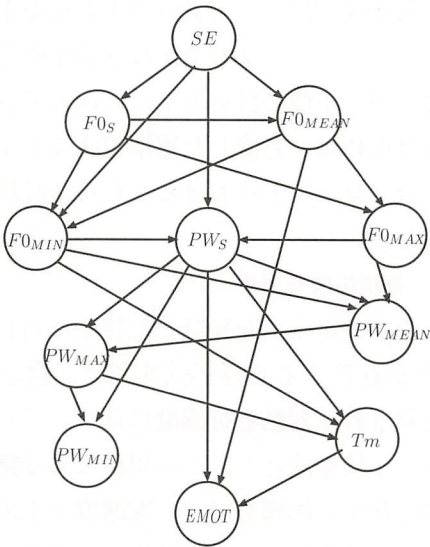


図2 生成されたベイジアンネットワークモデル

表1 感情推定実験結果

感情	正答率 (%)			
	提案 (BN) 手法			PCA
	全 (10) 証拠	6 証拠	4 証拠	
怒り	72.1	54.1	58.1	63.6
悲しみ	64.9	24.3	27.0	27.0
嫌悪	64.1	38.5	35.9	61.5
恐怖	55.6	37.0	37.0	48.1
驚き	59.3	48.1	44.4	44.4
喜び	63.0	40.7	44.4	22.2

6 感情を無作為に回答した場合 (16.7%) を下回ることはなく、6 感情すべてが認識されたといえる。このことから提案手法の頑健性が確認された。また、主成分分析 (PCA) を用いた非線形判別分析との比較実験の結果 (表 1 (右)) から、「嫌悪」をのぞく 5 感情について大幅な正答率の改善が確認されており、提案手法の有効性が確認できた。

2 対話者好感度に基づいた感性ロボットの感情制御

2.1 背景と概要

まず、感情決定の主要素として快-不快に着目し、ロボットが会話中の相手 (対話者) に対して抱く好感度を会話ロボットの快-不快と捉え、対話者好感度に基づく感情生成モデルを提案した。一方心理学において、感情の性質や強さの違いによる分類の一つに気分が挙げられており、感情決定において気分は重要な要素と考えられる。そこで、より豊かな感情生成を行うために、快-不快の計算モデルに加えて気分値と覚醒度を新たに考慮した感情生成モデルを提案し、会話ロボットにおけるこれらの計算方法を考案した。

2.2 感情生成モデル

本稿ではロボットが発話した質問に対して対話者 P が返答する会話形式を考え、会話内容から計算された**対話者好感度**に基づいてロボットの快-不快を決定し、その累積である**気分値**とその変化量の影響を受ける**覚醒度**を求め、これにより感情を制御する感情生成モデルを提案する。図 3 に本稿で提案する感性会話ロボットの感情生成モデルを示す。

認証プロセスでは対話者 P の認識や対話者好感度 L_P の初期値決定を行う。また対話プロセスでは 1 対話 (本稿では質問と返答の一组を 1 対話と呼ぶ) ごとの感情 E を用いた表情決定と発話及び、返答語 W の音声認識を行う。そして感情プロセス (図 4) では、まず、ロボットの発話文と対話者の返答語 W 、語の好

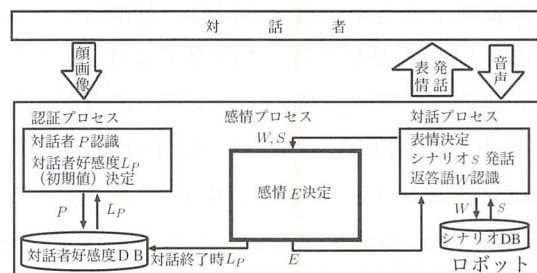


図 3 感情生成モデル

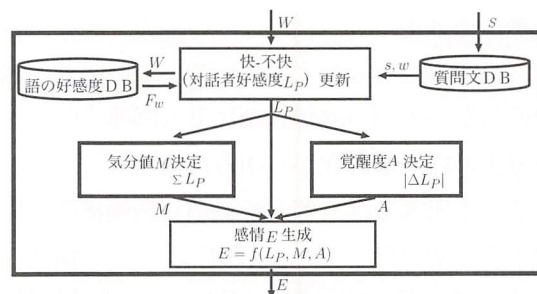


図 4 感情プロセス

感度 DB、質問文 DB を用いて対話者好感度 L_P を求める。次に、この L_P に基づき気分値 M と覚醒度 A を決定する。そして L_P 、 M 、 A の 3 要素から感情生成関数 $f(L_P, M, A)$ によって感情 E を決定する。

2.3 気分値 M の計算方法

気分とは比較的長時間にわたり持続的に生じるものである。快が連続すれば気分も良くなり、不快が連続すれば気分も悪くなる。そこで本稿では、気分値を過去から現在までの快-不快すなわち対話者好感度の蓄積と捉えた。ある 1 対話 n における気分値 M_n を以下の式で定義する。

$$M_n = \sum_{m=0}^k Att(m) L_{P(n-m)} \quad (1)$$

ここで n は対話の順序を示すインデックスである。対話者好感度 L_P が気分値に与える影響は過去に遡るほど徐々に弱まると考え、 m 対話前の対話者好感度 $L_{P(n-m)}$ と減衰関数 $Att(m)$ の積の和を気分値とする。気分値は κ 回前までの対話者好感度によって決定される。 $Att(m)$ は m に対し単調減少し、 $0 \leq Att(m) \leq 1$ の値をとる。

2.4 覚醒度 A の計算方法

本稿では、生理的な一日の覚醒睡眠リズム（生理覚醒度）をベースとし、これに心理的要素（心理覚醒度）を加えたものを覚醒度と定義する。ifbot の年齢設定は5歳のため、生理覚醒度として幼児の覚醒睡眠リズムを参考に作成し、心理覚醒度として対話者好感度の変化による刺激と対話者との会話時間のストレスによる疲労を採用する。ある1対話 n における覚醒度 A_n を以下の式で定義する。

$$A_n = \alpha Stim_n - \beta Tired(t_n - ts_P) + \gamma ARhythm(t_n) \quad (2)$$

$$Stim_n = \frac{|L_{Pn} - L_{P(n-1)}|}{2} \quad (3)$$

ここで $Stim_n$ は、現在の対話者好感度 L_{Pn} と1対話前の対話者好感度 $L_{P(n-1)}$ の差分の絶対値によって与えられる心理的な刺激である。 t_n , ts_P はそれぞれ対話 n の行なわれた時刻、対話者 P との会話開始時刻を示し、 $Tired(t_n - ts_P)$ は対話者 P との会話時間 $t_n - ts_P$ によって生じるストレスによる疲れを示す単調増加関数である。 $ARhythm(t_n)$ は時刻 t_n における生理覚醒度を示す。 α , β , γ はそれぞれ刺激敏感度、疲労係数、生理覚醒係数と呼ばれ、 $Stim_n$, $Tired(t_n - ts_P)$ 及び $ARhythm(t_n)$ がロボットの覚醒度にどの程度影響するかを示す係数である。

提案モデルをロボットに実装し種々の実験を行い有効性を確認した。ここでは、紙面の都合上割愛させていただく。詳しくは、本抄録末尾の発表論文を参照されたい。

[今後の研究の方向、課題]

まず、音声・言語混合ベイジアンネットワークを用いて感性ロボットのための対話者感情の推定法を提案した。本手法により、音声情報から対話者の感情を推定することが可能となった。今後の課題としては、学習データを増加させる

ことにより感情推定の性能を改善すること、および、対話者の顔表情やジェスチャを考慮した総合的な感情推論器を構築し、ロボットへの実装を行なう予定である。

つぎに、感性会話ロボットのための快-不快、気分値、覚醒度を用いた感情生成モデルを考案し、対話者好感度による感情制御の計算方法を提案した。今後は、気分の概念をより発展させた感情生成モデルを考案し、ロボットの性格づけや個性化の実現について取り組む計画である。

[成果の発表、論文等]

学会誌論文

1. 趙章植, 加藤昇平, 加納政芳, 伊藤英則: ページアンネットワークを用いた感性会話ロボットのための対話者感情の推定法, 情報科学技術レターズ, Vol. 6, pp. 327-330 (2007. 9)
2. 柴田寛, 加納政芳, 加藤昇平, 中村剛士, 伊藤英則: 感性ロボットの表情変化による性格付け, 情報科学技術レターズ, Vol. 6, pp. 323-326 (2007. 9)
3. 竹内将吾, 酒井あゆみ, 加藤昇平, 伊藤英則: 対話者好感度に基づく感性会話ロボットの感情生成モデル, 日本ロボット学会誌, Vol. 25, No. 7, pp. 1125-1133 (2007. 11)

国際会議論文

1. Jangsik Cho, Shohei Kato and Hidenori Itoh: Bayesian-Based Inference of Dialogist's Emotion for Sensitivity Robots, IEEE International Symposium on Robot & Human Interactive Communication (RO-MAN 2007), pp. 792-797 (2007. 8)
2. Minori Gotoh, Masayoshi Kanoh, Shohei Kato and Hidenori Itoh: A Neural-based Approach to Facial Expression Mapping between Human and Robot, Lecture Notes in Artificial Intelligence, Vol. 4964 (Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems), Springer-Verlag, pp. 194-201 (2007. 9)
3. Yuki Matsui, Hiroshi Shibata, Masayoshi Kanoh, Shohei Kato and Hidenori Itoh: Interaction Effects in Facial Expressions of Emotional Space-using Kansei Robot "Ifbot", International Conference on Kansei Engineering and Emotion Research, CD-ROM (2007. 10)
4. Jangsik Cho, Shohei Kato and Hidenori Itoh:

A Biphase-Bayesian-based Method of Emotion Detection from Talking Voice Lecture Notes in Artificial Intelligence, Vol. 5179, Springer-Verlag, pp. 50-57 (2008. 9)

学術講演会予稿

1. 趙章植, 加藤昇平, 伊藤英則: 感性会話ロボットのためのベイジアンネットワークを用いた対話者感情推定法, 情報処理学会第 69 回全国大会, 分冊 4, pp. 235-236 (2007. 3)
2. 松井裕紀, 柴田寛, 加納政芳, 加藤昇平, 中村剛士, 伊藤英則: 感情空間を用いた感性ロボットの表情表出効果, 第 17 回インテリジェント・システム・シンポジウム, pp. 447-450 (2007. 8)
3. 松井裕紀, 柴田寛, 加納政芳, 加藤昇平, 中村剛士, 伊藤英則: 感性ロボットの感情空間を用いた表情変化によるインタラクション効果, 第 6 回情報科学技術フォーラム, pp. 497-488 (2007. 9)
4. 加納政芳, 後藤みの理, 加藤昇平, 伊藤英則: 遠隔コミュニケーションのための感性ロボットと人の表情対応付け, 第 6 回情報科学技術フォーラム, pp. 489-492 (2007. 9)

[謝 辞]

本研究を進めるにあたり多大な支援をいただきました, 立石科学技術振興財団に深く感謝致します。

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

Electronics Circuit Model with Synaptic Plasticity
for Brain-type Information Processing System

1071010

研究代表者

日本大学 理工学部 准教授

佐 伯 勝 敏

[研究の目的]

私は、脳を構成しているニューロンに着目し、電子回路でモデル化することにより、集積回路技術でネットワーク化し、脳型情報処理システムを構築させたいと考えている。これをロボットに搭載した場合、人とロボットとの調和がとれるよう、なるべく人の脳に近いモデルのチップを開発することで、よりスムーズに人とロボットとのマッチングがとれるのではないかと考え、脳の特徴である学習に着目し、パルスのタイミングに依存したシナプス可塑性を有するハードウェアモデルを開発することを目的とし、研究を行った。

近年、海馬 CA1、大脳新皮質、小脳などにおいて、シナプス前ニューロン、シナプス後ニューロンの発火によるスパイクの時間差に依存して、長期にわたりシナプス結合が変化する長期増強 (LTP)、長期抑圧 (LTD) といった現象が起こるシナプス可塑性、STDP (Spike Timing Dependent synaptic Plasticity) が発見された。

今回、私は LTP の時間領域の狭いメキシカンハット型の時間窓を持つスパイクの時間差に依存したシナプス可塑性に着目し、スパイク入力の時間差に依存してシナプスの結合荷重制御を行う回路、及び、その回路の出力値に従いシナプス後ニューロンにパルス伝搬を担うシナプスモデルについて検討を行った。

[研究の内容、成果]

図 1 に、メキシカンハット型の時間窓を示す STDP を用いたパルス形ニューラルネットワークの概略図を示す。同図はシナプス前細胞体部 N_{pre} 、シナプス後細胞体部 N_{post} 、 N_{pre} から N_{post} へ介在する抑制性細胞体部 N_i とし、 N_{pre} と N_{post} 、及び、 N_{pre} と N_i を結ぶ興奮性シナプス部、 N_i と N_{post} を結ぶ抑制性シナプス部、 N_{pre} 、 N_{post} が出力するパルスの時間差に依存して興奮性シナプス部の結合荷重 $W_{post, pre}$ 、及び、抑制性シナプス部の $W_{post, i}$ を制御するシナプス結合荷重制御部から成る構成とした。また、 N_{pre} と N_{post} に刺激電流 i_{pre} 、 i_{post} が流れ込み、興奮性シナプス部の結合荷重 $W_{i, pre}$ は一定とした。

図 2 に図 1 で用いた細胞体モデルの回路構成を示す。この細胞体モデルは生体のニューロン

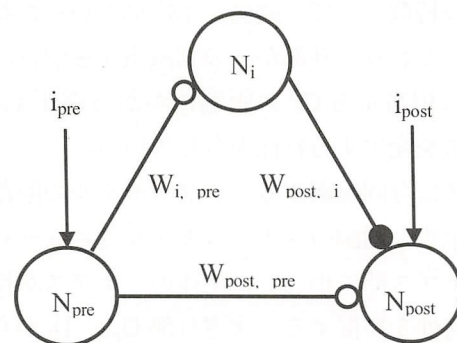


図 1 メキシカンハット型の時間窓を示す STDP を用いたパルス形ニューラルネットワーク

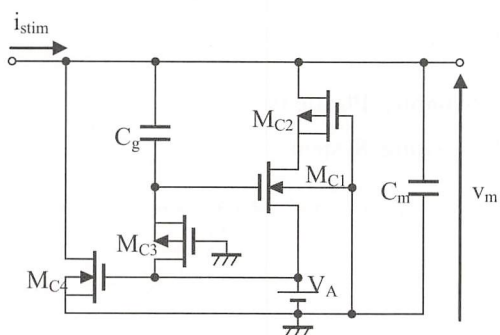
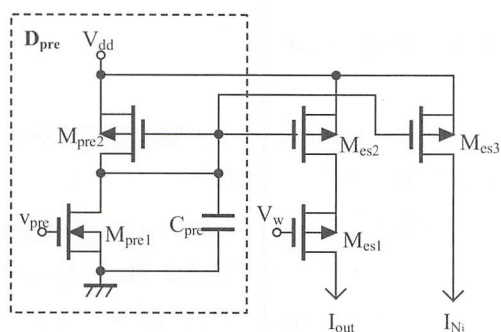
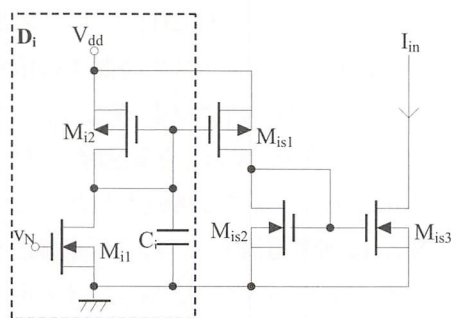


図2 細胞体モデル



(a) 興奮性シナプスモデル



(b) 抑制性シナプスモデル

図3 シナプスモデル

が持つ特徴として、閾値、不応期といった特性を有しており、外部からの刺激電流を受け、膜容量に相当する C_m の両端にかかる電圧 v_m にパルスが発生する特性を有している。

図3に今回提案するシナプスモデルの回路構成を示す。同図のシナプスモデルはニューロンのシナプス部に相当し、生体のシナプスが持つ遅延特性を模擬する一次遅れ部 D_{pre} , D_i から成る構成とした。興奮性シナプスモデル、抑制性シナプスモデルをそれぞれ (a), (b) に示す。

同図 (a) の回路は、 D_{pre} と3つのpチャネルMOSFET, M_{s1} , M_{s2} , M_{s3} から成り、 N_{pre} がパルスを出した時に生じる電圧 v_{pre} が D_{pre} の容量 C_{pre} により、遅れて出力電流 I_{out} が N_{post} として用いた細胞体モデルに流れる。また、シナプス結合荷重制御回路による結合荷重制御電圧 V_w により、 I_{out} の大きさを調整することが可能である。また、同図 (b) の回路は、 D_i とそれぞれカレントミラー構成となっている M_{i2} , M_{is1} 及び、 M_{is2} , M_{is3} から成り、 N_i がパルスを出した時に生じる電圧 v_{Ni} が D_i の容量 C_i により、遅れてマイナスの出力電流 $-I_{in}$ が N_{post} として用いた細胞体モデルに流れる。すなわち、 N_{post} として用いた細胞体モデルから引き込み電流 I_{in} が流れ、 C_m に掛かる電圧 v_m を低下させ、パルスの出力を抑える。

図4にシナプス結合荷重制御回路の構成を示す。図中、 V_w は同回路の出力であり、図3 (a) の興奮性シナプス回路を制御する電圧である。また、 D_{pre} は図3 (a) の興奮性シナプス回路内の D_{pre} と、 D_i は図3 (b) の抑制性シナプス回路内の D_i とそれぞれ同一であり、 D_{post} も一次遅れ部を示している。 N_{pre} , N_{post} がパルスを出し、 v_{pre} , v_{post} が生じる度に D_{pre} , D_i , 及び D_{post} 内の容量 C_{pre} , C_i , 及び C_{post} の両端電圧が変動し、 M_{pre2} , M_{i2} , M_{post2} に電流が流れる。さらに、 M_{pre2} は M_{pre3} と M_{pre6} , M_{i2} は M_{i3} , M_{post2} は M_{post3} とそれぞれカレントミラー構成とし、電流が流れる。ここで、 M_{pre6} のドレイン側に接続した N_i は、 N_{pre} の細胞体モデルがパルスを出し v_{pre} が生じた際に、抑制性ニューロンを介することで遅れをもたせたパルスを出し、 M_{i1} のゲートに v_{Ni} を印加する。また、 C_{pre} , C_i , 及び C_{post} の両端電圧に応じた電流が D_{pre} 側では M_{pre3} , M_{pre4} , M_{pre5} , 及び M_{pre6} を介し、 D_i 側では M_{i3} , D_{post} 側では M_{post3} からそれぞれ流れ、さらに、 N_{pre} , N_{post} の細胞体モデルがパルスを出し v_{pre} , v_{post} が生じるたびに、 M_{pre7} , M_{i4} , M_{post4} がON状態となり、容量 C_w に掛かる電圧 V_w が変化する構成とした。

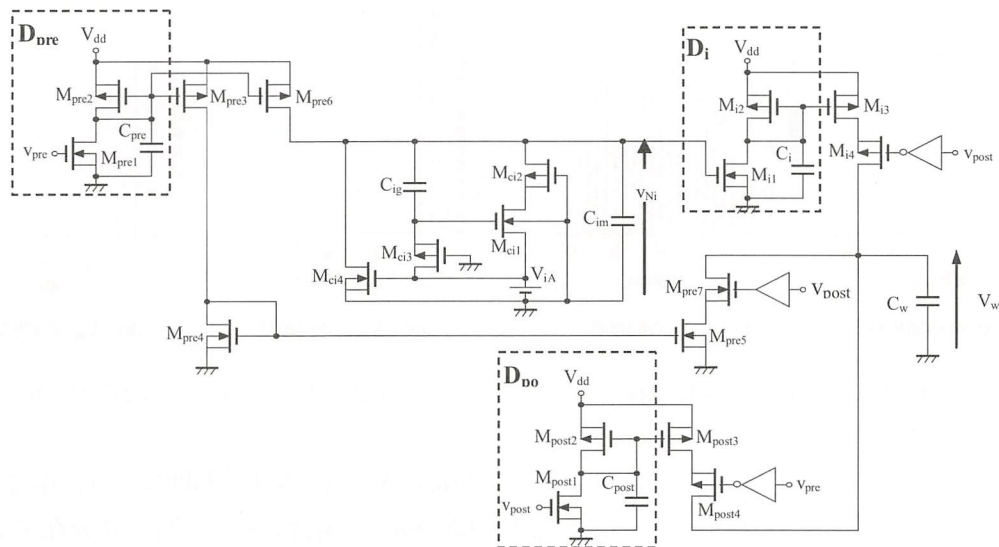


図4 シナプス結合荷重制御回路

図5に図4のシナプス結合荷重制御回路の特性の一例を示す。同図は、 N_{pre} 、 N_{post} の細胞体モデルが出力するパルスの時間差 Δt に対する V_w の変化量 ΔV_w を示す時間窓特性の一例で、横軸に Δt 、縦軸に ΔV_w を示す。この特性より、生体で発見されたメキシカンハット型の時間窓特性と類似した特性が得られたことを示している。

次に、図2の細胞体モデル、図3のシナプスモデル、図4のシナプスの結合荷重制御を行う回路を用いて、STDPを用いたパルス形ニューラルネットワークを構成した場合、シナプス結合荷重の増強、抑圧に相当する、興奮性

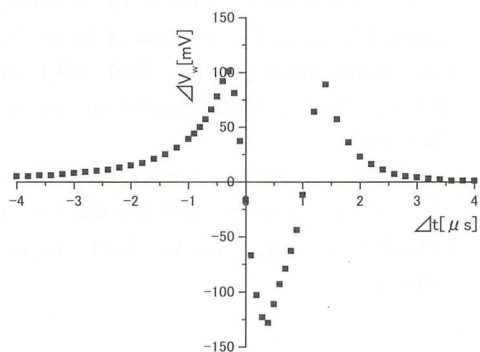


図5 シナプス結合荷重制御回路の特性

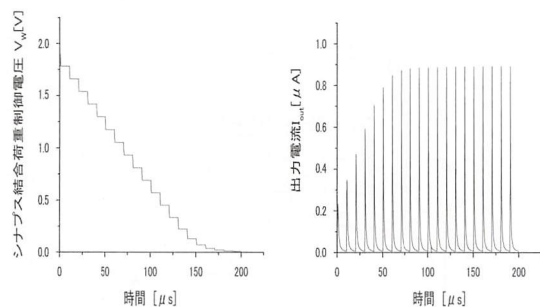
シナプスモデルの出力電流の制御について検討を行う。検討には、 N_{pre} 、 N_{post} が出力するパルス列として次式の信号を用いた。

$$S_{pre} = \sum_{i=1}^m v_{pre,i}(T \cdot i) \quad (1)$$

$$S_{post} = \sum_{j=1}^n v_{post,j}(T \cdot i + dt) \quad (2)$$

上式中、 v_{pre} は N_{pre} から出力される i 番目のパルスの振幅を示しており、 v_{post} は N_{post} から出力される j 番目のパルスの振幅を示している。 T はパルス周期、 dt は N_{pre} が出力するパルス列に対する、 N_{post} が出力するパルス列の遅れ時間を示している。今回、一例として図5の時間窓特性より、常に V_w が低下している $dt = 0.5 [\mu s]$ を増強が起こるパターン、また、常に V_w が上昇している $dt = -0.5 [\mu s]$ 、 $1.5 [\mu s]$ を抑圧が起こるパターンとして、 $T = 10 [\mu s]$ のパターンを用いた。

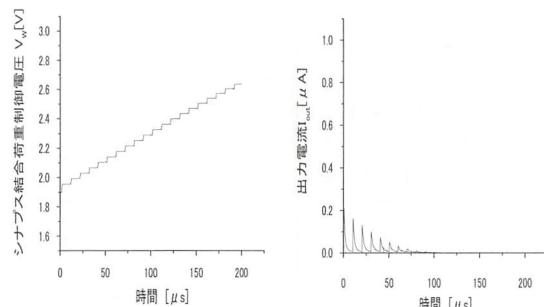
図6に $dt = 0.5 [\mu s]$ における増強過程の特性の一例を示す。同図 (a) はシナプス結合荷重制御電圧 V_w 、(b) は図3(a)の興奮性シナプスモデルの出力電流 I_{out} の各時間推移を示している。図中、横軸は時間を示しており、縦軸 (a) は V_w 、(b) は I_{out} を示している。同図 (a)



(a) V_w の時間推移

(b) I_{out} の時間推移

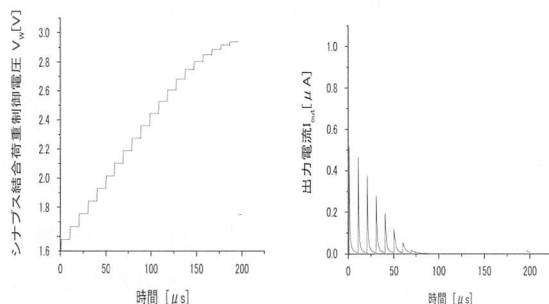
図6 $dt = 0.5$ [μs] における増強過程



(a) V_w の時間推移

(b) I_{out} の時間推移

図8 $dt = 1.5$ [μs] における抑圧過程



(a) V_w の時間推移

(b) I_{out} の時間推移

図7 $dt = -0.5$ [μs] における抑圧過程

は時間経過に伴い V_w が階段状に低下していくことを示しており、(b) は時間経過に伴い I_{out} の振幅が大きくなり、次第に一定になることを示している。このことは、 N_{pre} と N_{post} が出力するパルス間隔が常に V_w が低下する範囲にあるため、 N_{post} がパルスを出力するたび、 N_{pre} と N_{post} 間の興奮性シナプスの結合荷重が増強されていることを示している。

図7に $dt = -0.5$ [μs]、図8に $dt = 1.5$ [μs] における抑圧過程の特性の一例を示す。図7、8(a) は抑圧過程の V_w 、図7、8(b) は I_{out} の各時間推移を示している。図7、8(a) は共に時間経過に伴い V_w が階段状に上昇していくことを示しており、(b) は、時間経過に伴い I_{out} の振幅が小さくなることを示している。このことは、 N_{pre} と N_{post} が出力するパルス間隔

が常に V_w が上昇する範囲にあり、中でも $dt = 1.5$ [μs] の場合、 N_{pre} と N_{post} に介在する N_i による影響を受けるため、 N_{pre} と N_{post} 間の興奮性シナプスの結合荷重が抑圧されていることを示している。

[今後の研究の方向、課題]

今後は、今回提案したシナプス可塑性を有する電子回路モデルを用いて、記憶の保持、想起について検討を行う予定である。

[成果の発表、論文等]

- [1] Yugo Hayashi, Katsutoshi Saeki, Yoshifumi Sekine: A Synaptic Circuit of a Pulse-Type Hardware Neuron Model with STDP, Technical paper in International Congress Series 1301 Elsevier, pp. 132–135 (Jul. 2007)
- [2] Katsutoshi Saeki, Yugo Hayashi, Yoshifumi Sekine: Noise Tolerance of a Pulse-type Hardware Neural Network with STDP Synapses — Thermal Noise and Extraction of Phase Difference Information —, Proc. 2007 IEEJ International Analog VLSI Workshop, pp. 88–93 (Nov. 2007)
- [3] 関根好文, 佐伯勝敏: カオス発生可能なパルス形ハードウェアニューロンモデルの実装とその応用, 日本神経回路学会誌, Vol. 15, No. 1, pp. 27–38 (2008. 3)

複雑な構造を持つ高次元データに対する機械学習

Machine learning for structured high-dimensional data

1071012

研究者代表

東京工業大学大学院情報理工学研究科 准教授

杉 山 将

[研究の目的]

高度情報化社会の現代、コンピュータの性能は飛躍的に向上している。一方でコンピュータはどんどん複雑になり、コンピュータを使える者と使えない者の差、いわゆるデジタルディバイドが大きな社会問題となっている。この状況を改善するためには、多くの人がコンピュータを使えるよう教育を施すよりも、逆に個々のユーザのレベル・趣向に合わせるようコンピュータを学習させるのが有効なアプローチである。そのためには、様々なユーザから抽出された複雑なデータを用いてコンピュータを学習させる必要がある。本研究課題では、そのような複雑な構造を持つ高次元データに対する機械学習法を開発する。

近年、様々な機械学習の手法が提案されているが、データの次元が非常に高い場合、次元の呪いと呼ばれる現象のため、学習の効率が致命的に低下してしまうことが知られている。この問題を回避するためには、データに含まれている本質的な構造・情報をできるだけ維持したまま、データの次元数を削減することが有効である。本研究課題の目的は、有効な次元削減の手法開発することである。

[研究の内容、成果]

従来の次元削減の手法では、正規性などの単純な構造はうまく保持することができる。しか

し近年の現実的なデータは非常に複雑な構造を持っており、それを失うことなく如何にして次元削減を行うかが本研究課題の技術的な課題である。そこで我々は、データのマルチモーダリティと呼ばれる構造に着目する。マルチモーダリティとは、ある一種類の情報が更に異なるタイプに階層的に分類されるような構造のことであり、自然言語、脳波信号、遺伝子・たんぱく質情報など多くの現実データで見受けられる構造である。本研究課題では、マルチモーダル構造を有効に保持できる次元削減法の開発を行う。

次元削減は、1936年に提案されたフィッシャーの判別分析など統計学の分野で非常に古くから研究され、数学的にも実用的にも非常に重要な研究課題である。また、近年の高度情報化によるデータ量の爆発的増加に相まって、機械学習の分野でも次元削減の研究が盛んに行われている。現在よく用いられている代表的な次元削減法は、複雑な最適化処理を行うため計算に非常に時間がかかる。また、必ずしも最適解が求まるとは限らないため、出力結果の信頼性が低い。更に、マルチモーダル構造に着目した研究は皆無である。従って、マルチモーダル構造を保持できる高速かつ信頼性の高い次元削減法を開発すれば、機械学習、統計学及び様々な応用分野に多大な貢献ができると期待される。

本研究課題においてマルチモーダリティを保持するための鍵となるアイデアは、データマイニング分野で盛んに研究されているデータクラスタリング技術である。これは、類似したデー

タを自動的にグルーピングする技術であり、データの局所構造を積極的に利用している。我々はクラスタリング法におけるデータの局所構造保存技術に着目し、これを次元削減に応用することによりマルチモーダリティを維持できる次元削減法を開発した。

提案法は局所フィッシャー判別分析と名づけられ、その有効性を様々なデータを通して実証した。図1、図2に甲状腺データの分析結果を示す。局所フィッシャー判別分析法は、レイリーの原理と呼ばれる最適化原理に基づいており、解を高速かつ安定に計算することができる。従って、提案法は大規模なデータに対しても適用することができるという特徴を持っている。

我々は、人工知能学会「データマイニングと統計数理研究会」にて局所フィッシャー判別分析法に関する講演を行ない、研究会優秀賞を受賞した。また、複数の民間企業に招待され、関連する講演を行なうなど、手法の有効性が客観的に認められた。

[今後の研究の方向、課題]

局所フィッシャー判別分析法は、ラベルの付いたデータの分析に有効な次元削減法である。一方、近年の応用例では、ラベル付きデータに加えて、無数のラベル無しデータが与えられることがある。このような状況は、準教師付き学習と呼ばれ、機械学習分野で近年盛んに研究されている。

このように部分的にラベル付けされているデータを解析できるように、局所フィッシャー判別分析の概念を拡張することが本研究の自然な流れである。現在、我々は準教師付き局所フィッシャー判別分析法を開発しており、その第一報が国際会議に採録されたところである。今後ますます発展させていく予定である。

[成果の発表、論文等]

- 1) Sugiyama, M.: Dimensionality reduction of multimodal labeled data by local Fisher discriminant analysis. Journal of Machine Learning Research, vol. 8 (May), pp.1027 – 1061 (2007)

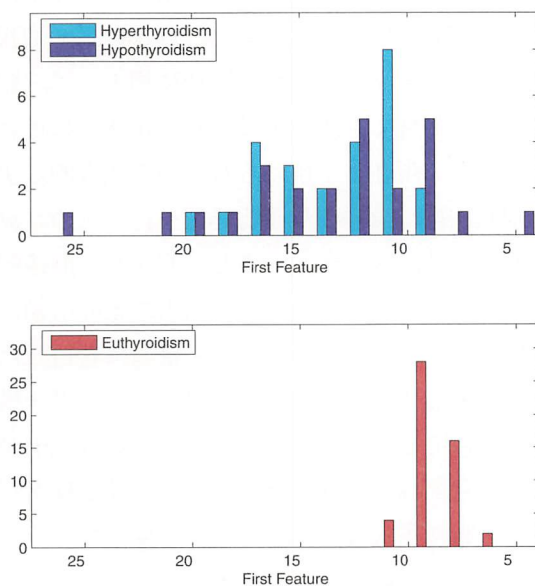


図1 通常のフィッシャー判別分析による甲状腺疾患データの解析結果。正常な患者と疾患を持つ患者のデータはうまく分離されるが、異なる疾患（機能亢進と機能低下）の患者は混ざってしまう。

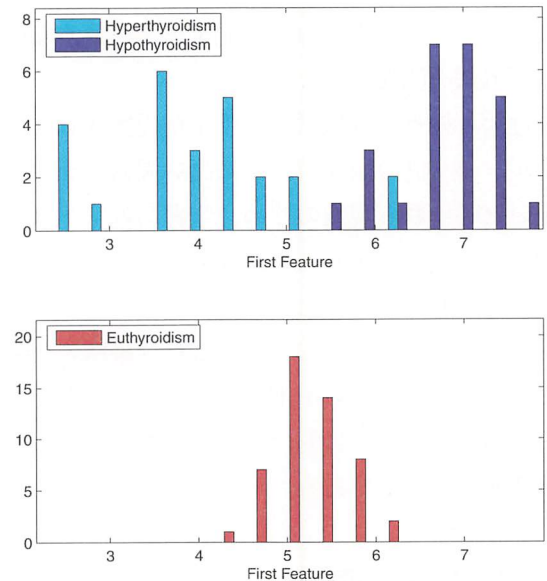


図2 局所フィッシャー判別分析による甲状腺疾患データの解析結果。正常な患者と疾患を持つ患者のデータはうまく分離され、異なる疾患（機能亢進と機能低下）の患者も分離される。

- 2) Sugiyama, M., Idé, T., Nakajima, S. & Sese, J.: Semi-supervised local Fisher discriminant analysis for dimensionality reduction. The 12th Pacific-Asia Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (PAKDD 2008), Osaka, Japan, May 20–24 (2008)
- 3) Kitamura, Y. & Sugiyama, M.: Dimensionality reduction of partially labeled multimodal data. In Proceedings of The 21st Annual Conference of The Japanese Society for Artificial Intelligence (JSAI 2007), no. 3 D 6–1, Miyazaki, Japan, Jun. 18–22 (2007)
- 4) Sugiyama, M.: Local Fisher discriminant analysis for dimensionality reduction. In Proceedings of the Japanese Society for Artificial Intelligence, 3rd Meeting of Special Interest Group on Data Mining and Statistical Mathematics, SIG-DMSM-A 603–04, pp. 19–26, Kobe, Japan, Feb. 27–28 (2007)

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

Mathematical modeling of human behavior based
on integration of motion and decision

1071013

研究代表者

名古屋大学大学院 工学研究科 教授

鈴木 達也

【研究の目的】

人間行動モデルの構築は、人間と共存する人工物の設計において不可欠の重要な課題である。高次の人間行動は、通常、「認知」、「判断」、「動作」の各プロセスを経て発現すると考えられているが、このような高次の人間行動をモデル化するためには、各プロセスを個別に切り出してモデル化・解析するだけでは不十分であり、それらの相互作用まで考慮に入れる必要がある。

そのためには、これらをできるかぎり統一的に扱う枠組みが必要となるが、これまで、これらを統一的に捉えた例はあまりない。これは、高次の人間行動における「判断」が「する」か「しない」かの離散的な（二値的な）情報処理であるのに対して、認知系における処理や動作系における動特性が連続的な情報処理であることから、適切な統一的数値表現が欠落していたことが要因の一つであると考えられる。本研究では、このような高次の人間行動は、「一連のプリミティブな動作とその切り替え（判断）によって実現される」との考え方に立って、連続／離散ハイブリッドシステムの観点から高次モーションの解析・設計のための新たな枠組み作りに取り組み、具体例として、前方車追従運転を取り上げ、ハイブリッドシステムとして捉えることの有用性を示す。

本研究で提案する枠組みの基本的な戦略は、観測された行動データに対して、ハイブリッド

システムに対するパラメータ推定手法を適用し、プリミティブな動作とモード遷移を観測データから同時にモデル化するというものである。ここで得られる高次行動のモデルは、一見すると複雑に見える高次モーションを、いくつかの動作モードの集合とその切り替えで表現することにより、（１）物理的理解が容易、（２）計算コストが少ない、（３）表現能力が高い、モデルとなっている。結果として、高次行動に対する実時間予測やアシスト系の設計等の工学的利用につなげやすいモデルであるという特長を有することから、ハイブリッドシステムとして高次行動を捉える試みは、高次行動をモデル化、解析、設計するための基本的な枠組みを提供することになると期待される。

【研究の内容、成果】

図１に本論文で提案する高次モーションモデル

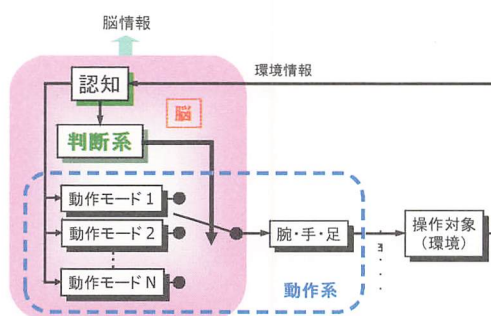


図1 ハイブリッドシステムとしての人間行動

ルの概略を示す。図1において、‘Perception’は「知覚（情報の取捨選択，加工）」を，‘Decision making’は「判断」あるいは「モード遷移」を，また，‘Motion’は脳内で生成される「動作モード」を表しており，いくつかの異なったモードがあると仮定する。最終的には，脳から出力される指令に基づいて，手足が動作し，あるタスクを遂行する。図1に示すモデルでは，「動作モード」は知覚情報に対してある連続的な情報処理を行うのに対し，「判断」は，いくつかの動作モードの選択・切り替え，つまり離散的な情報処理を行っていることになる。このように，タイプの異なる情報処理をハイブリッドダイナミクスの観点から明示的に混在させている点が従来のモデルと比べた場合のこのモデルの大きな特徴である。

次にハイブリッドシステムに対するパラメータ推定法について述べる。ハイブリッドシステムに対するパラメータ推定法はさまざまな形で提案されているが，以下では本研究で用いたデータクラスタリングに基づいたアプローチの概要を述べる。（1）式に示すような N 個のモードからなる区分的 ARX モデル（PWARX：PieceWise AutoRegressive eXogenous model）を考える。（1）式において， k は離散時刻を表し， y_k は時刻 k での出力を表す。また， Ψ_k は時刻 $k-1$ 以前の入出力データから構成される regressor ベクトルであり， θ_i は第 i モードのダイナミクスに関するパラメータベクトルを表す。このモデルは，regressor ベクトルの存在領域によってモード（ダイナミクス）が切り替わるタイプのハイブリッドシステム表現となっている。また， $e_{i,k}$ はモードごとに異なる式誤差であり，白色性と仮定する。

$$\begin{cases} y_k = \Psi_k^T \theta_1 + e_{1,k}, & \text{if } \Psi_k \in C_1 \text{ (Mode 1)} \\ y_k = \Psi_k^T \theta_2 + e_{2,k}, & \text{if } \Psi_k \in C_2 \text{ (Mode 2)} \\ \dots & \dots \\ y_k = \Psi_k^T \theta_N + e_{N,k}, & \text{if } \Psi_k \in C_N \text{ (Mode N)} \end{cases} \quad (1)$$

データクラスタリングを用いた確定的ハイブリッドシステムのパラメータ推定の基本的アイデアは，まず，局所ダイナミクスを特徴量としたクラスタリング手法を用いて各データの属するモードを決定し，そのあとで Support Vector Machine (SVM) 等を用いて各モード間の分離面を求めるという点にある。クラスタリング手法は比較的大量のデータを扱うことが可能なため，モーションの解析のように大量のデータを扱う必要がある問題に対しても実用性は高いと言える。以下にその概要を示す（図2参照；ただし，図2において Ψ は一次元としている）。まず準備として，時刻 k での観測データ o_k を以下のように定義する。

$$o_k = (y_k, \Psi_k) \quad (2)$$

- 入出力からなるデータ系列 $O = (o_0, \dots, o_T)$ が得られた場合，図2(a)のように各 $o_k (k=0, 1, \dots, T)$ に対し距離の近い c 個のデータを集め局所集合 LD_{S_i} を作り，特徴量 $\xi_{i,k}$ を求める。ここで，特徴量 $\xi_{i,k}$ は LD_{S_i} 中のデータに対して ARX モデルを当てはめ，最小二乗推定を施すことにより得られるパラメータ（（1）式中の θ_i に相当）と LD_{S_i} 中のデータの平均値とから構成される。
- データ系列 O 中の各データ $o_k (k=0, 1, \dots,$

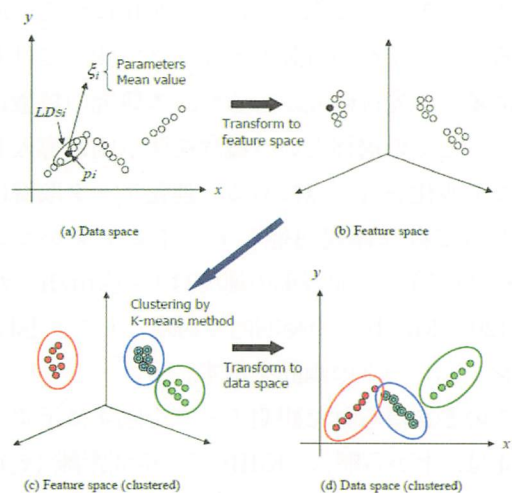


図2 クラスタリングに基づくモード分割

T) を特徴量 i_k に変換することで特徴空間における分布を得る (b) ((b) では、特徴空間は三次元としている)。そして、特徴空間上のデータに対し、K-means 法に基づいてクラスタリングを行う (c)。

- 特徴空間におけるクラスタリング結果を元のデータ系列 O に割り当てる (d)。

クラスタリングされたデータ系列 O 中の各モードに対し、通常の最小二乗推定を施すことで各モードにおけるパラメータを求める。なお、上記の方法の場合、同時に複数本のデータ系列を解析対象としても何ら問題はない。ただし、K-means 法は基本的にはひずみ誤差を極小化するクラスタリング手法であるため、常に最適なクラスタリング結果が得られるとは限らない。したがって本研究では、初期参照ベクトルの配置を変更しながらクラスタリングを行った。次に切り替え条件の推定であるが、モード分割 (クラスタリング) がすでになされているので、各クラスタ間の分離面を求めることで、モードの切り替え条件が求められる。データが十分多ければ、例えば SVM 等を適用することで、非線形な分離面を含めたより一般的な切り替え条件 (分離面) を推定することも可能である。

次に、認知や判断を伴う高次の人間行動の一例として、高速道路等におけるドライバの前方車追従行動を対象として、確定的ハイブリッドシステムモデルに基づいたモデル化について述べる。ドライバの行動モデリングに関してはすでに多くの先行研究があるが、本研究の特徴は、モードとその遷移という概念を明示的に導入してモデル化を行う点にある。運転データ取得に当たっては立体視可能なドライビングシミュレータを用い、前方車の速度は 0 [km/h] から 120 [km/h] の範囲内で可変とした。図 3 にシミュレータの画面を示す。

このとき得られた観測データを図 4 に示す。図 4 は、上から順に、KdB (x_1)、車間距離 (x_2)、車間相対速度 (x_3)、アクセル / ブレーキ操作量 (y : アクセル操作量を正、ブレーキ操作量を



図 3 シミュレータの画面

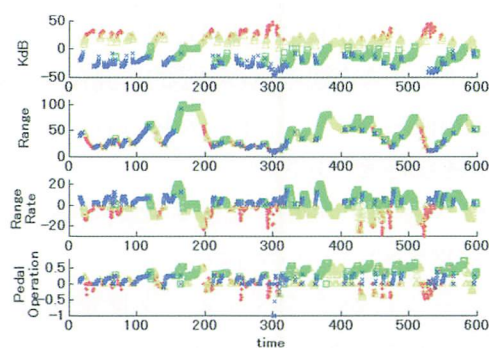


図 4 観測された前方車追従行動データ

を負として一次元化) を表す。ここで、KdB とは接近度に対する評価指標の一つで、運転者の網膜上に映る前方車背面の面積の時間変化率を表す。

また本研究では、前方車追従行動における運転モードが 4 つに分けられるとし、その各モードにおける動作の定義を次式のように異なる ARX モデルで表現する。

Mode A (collision avoidance)

$$y_k = a_1 x_{1, k-1} + b_1 x_{2, k-1} + c_1 x_{3, k-1} + d_1 y_{k-1} \quad \text{if } x_{k-1} \in C_1$$

Mode B (approaching)

$$y_k = a_2 x_{1, k-1} + b_2 x_{2, k-1} + c_2 x_{3, k-1} + d_2 y_{k-1} \quad \text{if } x_{k-1} \in C_2$$

Mode A (following control I)

$$y_k = a_3 x_{1, k-1} + b_3 x_{2, k-1} + c_3 x_{3, k-1} + d_3 y_{k-1} \quad \text{if } x_{k-1} \in C_3$$

Mode A (following control II)

$$y_k = a_4 x_{1, k-1} + b_4 x_{2, k-1} + c_4 x_{3, k-1} + d_4 y_{k-1} \quad \text{if } x_{k-1} \in C_4$$

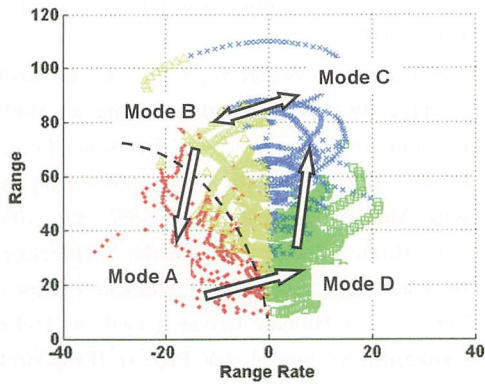


図5 前方車追従行動のモード分割結果

ここで添え字の k はサンプリング時刻を表す。今、

$$\Psi_k = (x_{1, k-1}, x_{2, k-1}, x_{3, k-1}, y_{k-1})^T \quad (3)$$

$$\theta_i = (a_i, b_i, c_i, d_i)^T \quad (4)$$

と定義することで、前述のデータクラスタリングをベースとしたハイブリッドシステムのパラメータ推定手法が適用できる。これにより観測データのモード分割を行った結果を図5に示す。

図5は車間距離－車間相対速度の空間でモード分割結果を示している。また、図4に示す観測データにはこのように得られたモード分割結果が示してある。これらを見ると、4つのモードの特徴を垣間見ることができるばかりか、SVM等を適用してモード間の分離面を求めることでモード間の遷移条件も導出可能となる。得られたパラメータの詳細についてはここでは省略するが、モード間の分離面に現れるパラメータを調べた結果、モード間の遷移において最も本質的な役割を果たしている知覚情報がKdBであることが明らかとなった。

以上により、前方車追従行動のハイブリッドシステムとしてのモデル化が可能となった。

【今後の研究の方向、課題】

ハイブリッドシステムモデルに基づくアシスト系の設計が重要な今後の課題の一つになると考えている。図5をもとに考えれば、Mode A

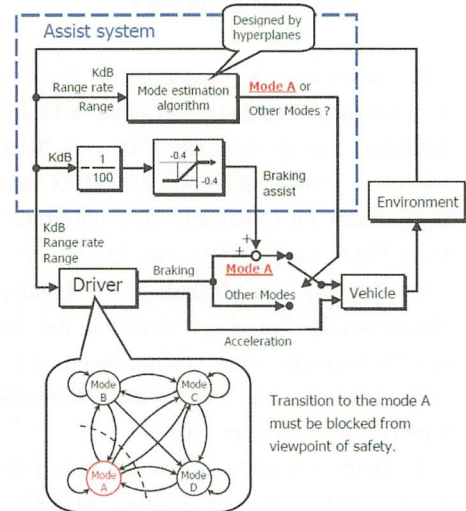


図6 ハイブリッドシステムモデルに基づいたアシスト系

がドライバーにとって危険な領域であるとみなせるため、Mode A への遷移をできるだけ抑制するようなアシスト系が望ましいということになる。この観点から筆者らのグループでは現在、図6に示すようなアシスト系の実現に取り組んでおり、その有用性の検証を進めている。アシスト系の実現結果については機会を改めて論じさせていただく。

一方、エキスパートシステムに代表される記号処理的なAIにおいて、記号接地の問題、すなわち記号化された表現と実世界での現象をどのように関連付けるかは大きな課題となっている。この点が克服されない限り記号処理的なAIには限界があると思われる。本研究で述べたハイブリッドシステムモデルをベースとした現象の表現、モデル化手法は、実世界における現象からほぼ自動的に記号化された表現を抽出することができる一種の信号－記号変換との見方もできる。その意味では、記号処理的なAIにおける記号接地問題の有力な解決手法の一つとなり得ると考えられる。また、上位概念としての記号処理的なAIと融合することで、実世界との親和性が高い知的人工システムの構築につながると期待できる。

【成果の発表, 論文等】

- 1) S. Sekizawa, S. Inagaki, T. Suzuki, S. Hayakawa, N. Tsuchida, T. Tsuda, H. Fujinami: 'Modeling and Recognition of Driving Behavior Based on Stochastic Switched ARX Model', IEEE Trans. on Intelligent Transportation Systems, Vol. 8, No. 4, pp. 593 – 606 (2007)
- 2) S. Taguchi, S. Inagaki, T. Suzuki, S. Hayakawa, N. Tsuchida: 'Modeling and Analysis of Driver's Decision Making based on Logistic Regression Model', Proc. of SICE Annual Conference, pp. 2390 – 2395 (2007)
- 3) T. Akita, S. Inagaki, T. Suzuki, S. Hayakawa, N. Tsuchida: 'Hybrid System Modeling of Human Driver in the Vehicle Following Task', Proc. of SICE Annual Conference, pp. 1122 – 1127 (2007)
- 4) S. Taguchi, S. Sekizawa, S. Inagaki, T. Suzuki, S. Hayakawa, N. Tsuchida: 'Stochastic Modeling and Analysis of Drivers' Decision Making', Proc. of IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, pp. 587 – 592 (2007)
- 5) T. Akita, S. Inagaki, T. Suzuki, S. Hayakawa, N. Tsuchida: 'Analysis of Vehicle Following Behavior of Human Driver Based on Hybrid Dynamical System Model', Proc. of IEEE Multi-conference on Systems and Control, pp. 1233 – 1238 (2007)
- 6) 鈴木達也: 'ハイブリッドシステムと高次モーション', 電気学会論文誌D分冊 (招待論文), (2008年6月号 掲載予定)

絵文字オントロジーの構築とその多元的検索

Building Pictogram Ontology and Its Multiple Search Methods

1071014

研究代表者 京都大学 情報学研究科 社会情報専攻 研究員(GCOE) 高 崎 俊 之

[研究の目的]

近年のグローバル化で異文化交流は益々重要だが言語の壁は大きい。英語運用が主流だが言語デバインド等の課題も多く、言語・文化を超え交流できる ICT 環境構築活動が世界規模で非常に重要となってきた。

本研究では、ICT を最大限活用した絵文字コミュニケーション手法を提案することで、絵文字解釈の文化差異を逆に楽しめる多文化共生型の国際交流の実現を目指し、その基盤となる絵文字オントロジーの枠組みを示し、国内外での実証実験データを活用した文化差を考慮するテキスト検索や画像特徴検索など、多様な形態を備えた多元的検索の仕組みを構築することを目的とする。

[研究の内容、成果]

本研究では、文化的曖昧性と言語的曖昧性を吸収する汎用的な絵文字オントロジーとしての絵文字辞書データモデル提案と、その多元的絵文字検索手法の構築を行なった。以下に本研究の内容および成果について報告する。

1. 絵文字コミュニケーション

絵文字はこれまで様々なフィールドにおいて利用されてきている。障害により意思伝達の難しい人々が意思疎通できるように言葉に代わって用いられる言語代替手段としての絵文字、携

帯電話やパソコンでのメールや BBS など主にテキストでの表現を情感豊かにするコミュニケーションとして用いられるエモティコンや顔文字、そして言語の成立に伴う歴史的な背景により利用されていた象形文字などである。障害を持った人々へ向けたコミュニケーション手段として、AAC (代替拡大コミュニケーション) という学術分野で研究されてきた。また同言語圏内利用を前提とした携帯電話の絵文字に関する研究があったり、表情やジェスチャーなどのノンバーバルコミュニケーションの文化差異に関する研究などがなされてきた。ただ国際コミュニケーション手法を主目的とした絵文字の開発および研究は非常に稀であった。

本研究では、異文化コラボレーションという適用領域における言葉の壁を越えたコミュニケーションメディアとして絵文字を位置づける。本適用領域での実証フィールドとしては、児童の国際交流活動を実施している特定非営利活動法人パンゲアのアクティビティの場を使う。このような適用領域では図1のような絵文字メーラー等の絵文字コミュニケーション用ツールを利用するが、絵文字辞書の効果的な構築ができていない。多元的な検索ができる絵文字辞書を用意することで、ユーザにとって使いやすいツールが提供できる。フィールドの観察を通して、語彙の関連関係といった絵文字の意味に関する整理と、機能・形状などの視覚パターンによる整理の両方が大切であることが分かった。

本研究では、絵文字辞書の枠組みとして、絵



図1 絵文字ソフトウェア例：Communicator

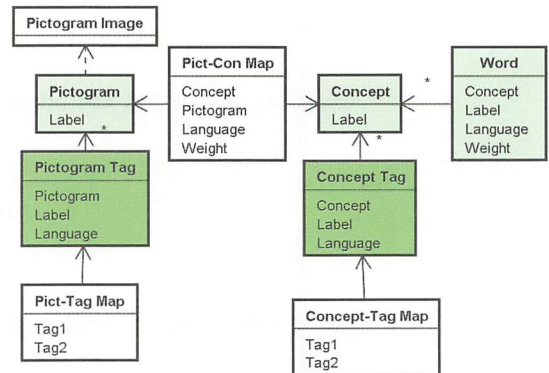


図2 絵文字辞書データモデル図

文字の視覚的側面（絵文字の「絵」的な側面）と、絵文字の意味的側面（絵文字の「文字」的な側面）の2つの側面を併せて定義できるハイブリッド型絵文字辞書データモデルを構築した。

2. ハイブリッド型絵文字辞書データモデル

絵文字は「絵」と「文字」の両面の特徴を持つが、本適用領域でのハイブリッド型絵文字辞書データモデルの枠組みを構築するにあたって、大きく三つの課題が挙げられる。

一つ目は、異文化のコンテキストで利用されることを想定しているために、絵文字から解釈される意味概念がユーザの文化によって異なるという問題であり、ここではこれを文化的曖昧性と呼ぶ。従って、絵文字と意味概念は、1対1対応ではないセマンティクス構造を実現しなくてはならない。

二つ目は、言葉の多義性や表記ゆれの問題である。ユーザが「リンゴ」の絵文字を探したい時に「りんご」「リング」「林檎」など、複数の検索文字列を入力する可能性があり、システム側はそれらの入力に応えないといけない。ここではこれを言語的曖昧性と呼ぶ。

三つ目は、ユーザは絵文字メールを創る時、必ずしも絵文字の意味概念として伝えたいケースばかりでなく、ASCIIアートのように絵文字を並べて、絵文字デザインの視覚的特徴を伝えたい場合もある、ということである。このよ

うな絵文字メッセージを創作する際にユーザは、意味概念での絵文字検索ではなく、視覚的特徴を検索キーとして絵文字を探したい。

これら三つの課題を踏まえ、文化的曖昧性と言語的曖昧性を吸収する絵文字概念と、視覚的な特徴を、それぞれ定義するハイブリッド型絵文字辞書データモデルの枠組みを提案する（図2）。

2.1 三つの基本要素

まずは基本要素として、絵文字、概念、語句の三つを定義した。

「絵文字」とは、絵文字デザインそのものであり、主な属性として絵文字画像への参照（実装上は画像ファイルへの参照）を持つ。「概念」とは、人間が認識する具体的または抽象的な意味を指し示すもので、言語に依存せず、ユーザはこの概念の存在を意識しない。概念は意味の粒度や概念レベルとの整合性を取るべきで、例えば「早朝」と「朝」という二つの概念があったときに、その絵文字辞書の目的やユーザコミュニティによっては、それらは一つ「朝」という概念にまとめて登録すべき場合がある。こういった首尾一貫性が必要となるため、概念の追加・編集・削除などの管理については、一般ユーザではなく、専門のユーザが管理することを想定している。「語句」とは、言語に依存した概念を指し示す文字列である。表記ゆれや言い換えなどから、一つの概念に対して複数の語

句が存在することを想定している。

2.2 基本要素間の重み付き関連

上記の基本要素において、概念と絵文字、概念と語句が、それぞれ言語別の重みを伴った関連関係を持つ。ここでの言語とは、例えば、日本語とか英語とかの自然言語の種別のことである。「概念と絵文字との関連」での重みとは、その対象となる概念と絵文字との関連の強さを0.0～1.0の数値で表す。これにより、ある概念（および語句）を入力すると、それに関連する絵文字群を関連の強さの順番でソート表示する、といったことが実現できる。「概念と語句との関連」での重みとは、その語句が指し示す概念への重要度（一般的な頻度）を指す。これは語句の多義性を考慮した時に、必ずしも1つの語句が1つの概念に対応するとは限らないためである。

以上の「概念-絵文字」「概念-語句」の重み付き関連により、概念を媒介して絵文字と語句が互いに関連づけられる仕組みとした。

2.3 二つの階層的関連要素

概念同士の関連や、絵文字同士の関連を定義するために、絵文字タグ、概念タグの二つの階層的関連要素を定義した。両者ともメタデータとして絵文字タグ内、および、概念タグ内、それぞれで階層関係を持つ特徴がある。これら二つの関連要素によって、上述した基本要素が整理されるだけでなく、ユーザは文字列検索でなくディレクトリ検索することも可能となる。

「絵文字タグ」とは絵文字の視覚的特徴を定義するメタデータで、基本要素の絵文字に紐付く。文化圏による絵文字タグと絵文字との紐付き方が異なるケースがあるため、絵文字タグは言語属性を持つ。視覚的特徴として、色彩（赤、青、緑など）、形状（四角形、円形、三角形など）、次元（平面的表現、立体的表現）、テクスチャー（金属的、布、砂など）といった要素が考えられる。また「絵文字タグマップ」という仕組みを導入している。これは、絵文字タグ同士の関連を階層構造として保持できる仕組みで、

これによりユーザは絵文字の視覚的特徴について、キーワード検索とディレクトリ検索の両方を行うことができる。

「概念タグ」とは概念のカテゴリーを定義するメタデータで、基本要素の概念に紐付く。文化圏によって概念タグと概念との紐付き方が異なるケースがあるため、概念タグはユーザ属性を持たせた。利用シーンおよびユーザによって概念のカテゴリー分類手法は異なるが、本研究の適用領域である児童の異文化コラボレーションシーンでは、基本概念・感情・エンターテイメント・人・場所・関連／比較・食べ物・動き・百科事典の9カテゴリーとして定義していた。また「概念タグマップ」という「概念タグ」間の階層関係も定義することができる仕組みを導入している。これにより、例えば、食べ物カテゴリーの下に、食事・おやつ・調理、などのサブカテゴリーを階層的に定義していくことが可能となる。

以上、絵文字タグと概念タグという二つの関連要素を定義することによって、絵文字の視覚的側面と意味的側面の両面において基本要素を構造化した。

3. 実験データによる多元的検索システム構築

上述したハイブリッド型絵文字辞書データモデルを、汎用的なデータモデル・フレームワークとして実現できるように実装し、本適用領域のフィールドでの実証実験などによって多言語での基本要素のデータ群を得てテストデータとして利用したシステム構築を行なった。絵文字・概念・語句といった基本要素、概念のカテゴリーを示す概念タグ、そして視覚的特徴を示す絵文字タグなどを登録・編集・検索・削除等の操作を可能とする40種の関数群からなる絵文字Webサービスとして、JBoss/MySQL技術を使って実装した。

ハイブリッド型絵文字辞書データモデルのシステム構築作業と平行して一部既存の調査データに加えるかたちで、120個の絵文字に対応す



図3 実験風景（オーストリア ウィーン市）

る語句解釈に関する被験者実験を、本研究の適用領域であるアジア・ヨーロッパ・アフリカなどの国際交流活動フィールドにて実施した（図3）。回答データは語や語句の解釈語からなるが、これらの解釈語を絵文字ごとにリストアップし、このリストから固有語を取り出し、各固有語が出現する頻度を集計した。そして得られた語句について表記ゆれやデータ整形を施し、1,133 個の概念を抽出し本 Web サービスを利用して登録した。これにより、例えば英単語の検索のリクエストに対して、XML 形式で検索結果のレスポンスを得た。システムが多言語処理に対応しているため、データが揃えば新規の言語を追加していくことも可能となっている。図4に month という概念で文字列検索した場合のレスポンス例を挙げる。ここで、重み `picWeight` の総和が 1.0 にならないのは、語句群から概念抽出をするプロセスにおけるノイズ処理の影響である。

[今後の研究の方向・課題]

今後は、アルゴリズム改良などによるシステムパフォーマンス向上をすると共に、登録する絵文字や言語などの数を増やし、多くの国内外の異文化コラボレーションのフィールドで評価をしていきたい。また本 Web サービスを利用する多様な絵文字アプリを開発し、ICT による新しい異文化コラボレーション像について研

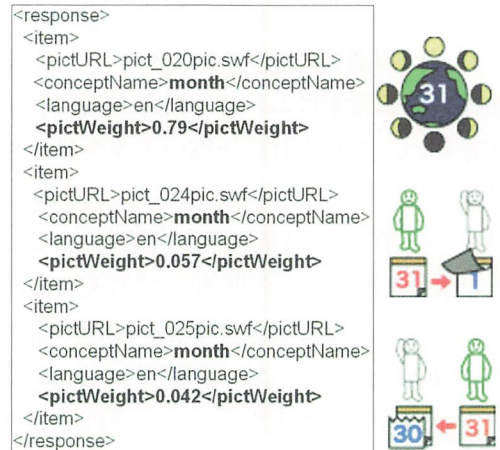


図4 “month” の検索結果（左）と各対応絵文字（右）

究していきたい。

[成果の発表、論文等]

- 1) Toshiyuki Takasaki, Yumiko Mori: Design and Development of a Pictogram Communication System for Children around the World. In: International Workshop on Intercultural Collaboration (IWIC-07), Springer-Verlag LNCS 4568, pp. 193-206 (2007)
- 2) Heeryon Cho, Toru Ishida, Rieko Inaba, Toshiyuki Takasaki, Yumiko Mori: Pictogram Retrieval based on Collective Semantics, In: HCI Intelligent Multimodal Interaction Environments, Series: Lecture Notes in Computer Science, Vol. 4552, Springer, pp. 31-39.
- 3) Shogo Kamiya, Tomoko Koda, Toshiyuki Takasaki, Heeryon Cho: Development of Pictogram Conversion Tool for Cross-culture Collaboration, Proceedings of Human-Agent Interaction Symposium 2007 (HAI-2007). (in Japanese)
- 4) Toshiyuki Takasaki: Weaving Technologies into Empathetic Intercultural Collaboration among International Children, e-Culture Session, Asia-Pacific Advanced Network 2008 (APAN 2008)
- 5) Heeryon Cho, Toru Ishida, Toshiyuki Takasaki, Satoshi Oyama: Assisting Pictogram Selection with Categorized Semantics, European Semantic Web Conference 2008 (ESWC 2008, accepted)

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

Utterance Analysis Using Higher-order Theory and Speech Recognition
for a Person with Articulation Disorders

1071015

研究者代表 神戸大学 都市安全研究センター 講師 滝口 哲也

[研究の目的]

近年、家庭生活においても様々な機器の情報化が進み、情報家電が浸透しつつある。しかし、そのような機器は操作が複雑であり、障害者が使いこなすには困難である場合が多い。

重度障害者の自立支援機器として、環境制御装置は重要な役割を担っている。これまでも、幾つかの環境制御装置が開発、実用化されている。従来の環境制御装置では操作方法として、押しボタンスイッチを用いたものや、呼吸を用いたもの、音声認識を用いて操作を行うものもある。

人が最も使いやすいインターフェースとしては、「声」があげられる。声を使って機器の操作が可能になれば、障害者にとっては、ユビキタス社会での自立した生活への期待が持てる。

これまでの音声認識の研究は、発話障害を持たない成人男女の発話に対するものがほとんどであった。そのため発話障害者などの発話スタイルが異なった場合では、従来の音響モデルでは認識が困難であると考えられる。本研究課題においては、これまでになかった新しいソフト面でのユニバーサルデザインとして発話障害音声に注目し、ユビキタス社会における発話障害者の自立支援に役立てる。

[研究の内容、成果]

1. 健常者音響モデルでの認識

脳性麻痺の症状における発話障害のレベルは様々であり、例えば次のような分類が考えられる。1) 痙直型、2) アテトーゼ型、3) 失調型、4) 緊張低下型、5) 固縮型、それぞれの症状が混合して現れる混合型もある。これらのうちアテトーゼ型脳性麻痺では、知能障害を合併していないケースや比較的知能障害の程度が軽いケースが多いため、まず我々はこのタイプの音声データに注目した。収録した障害者音声データを、健常者の音声データで学習した音響モデルを使用している汎用の音声認識ソフトウェア Julius を使い 210 単語認識を行ったところ、2.4% しか認識出来なかった。一方、健常者の音声データに対しては 88.4% の単語正解精度（認識率）が得られた。従来の健常者用音響モデルでは発話スタイルが全く異なるため、認識が困難である事が分かる。実験結果を図 1

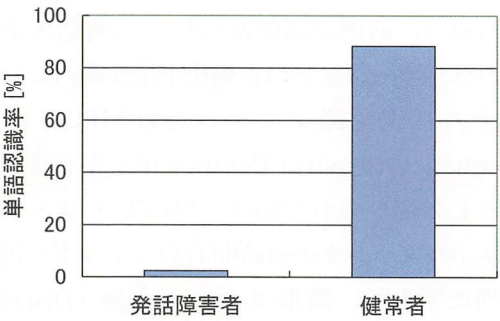


図 1 健常者用不特定話者音響モデルでの認識結果

に示す。

健常者の不特定話者音響モデルでの音声認識が困難であることから、発話障害者の音響モデルを作成し認識実験を行った。実験用データとして、各音素バランス単語（210 単語）を 5 回連続発声し、各発話を手動で切り出したファイルを使用した。1 回目の発話の認識を行う場合は 2～5 回目の発話を用いて音響モデルを作成した。これを各発話に対して行う。各発話における認識率を図 2 に示す。使用した音声特徴量は MFCC 12 次元 + Δ MFCC 12 次元である。図 2 より、1 回目の発話が 77.1% と他の発話に比べると著しく低下している。これは 1 回目の発話は最初の意図的な動作であり、他の発話よりも緊張状態に陥っていると考えられる。そのためアテトーゼが生じて調音が困難になり、発話スタイルが不安定となることから認識精度が低下したと考えられる。

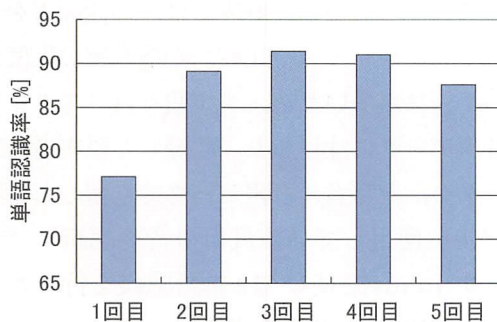


図 2 発話回数毎の認識率

2. 主成分分析による発話バリエーションの正規化

まず、本研究課題においてアテトーゼ型に見られる、筋肉の緊張から生じる発話スタイルのバリエーションの正規化手法を検討した。従来の音声認識システムでは MFCC (Mel Frequency Cepstral Coefficient) が音声特徴量として用いられている。MFCC ではメル尺度フィルタバンクの短時間対数エネルギー出力系列に対して、離散コサイン変換 (Discrete Cosine Transform: DCT) を適用し、ケプス

トラムが得られる。そして音声のスペクトル包絡成分に対応する低次ケプストラムのみを抽出し、特徴量として音声認識に用いられる。本研究課題では、発話スタイルの変動にロバストな特徴量抽出法として、離散コサイン変換の代わりに、主成分分析 (Principal Component Analysis) を用いた手法を検討した (図 3)。

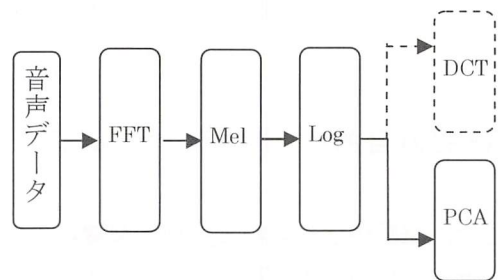


図 3 PCA を用いた特徴量抽出

前述した通り、アテトーゼ型の発話障害の場合、最初の動作において緊張状態により通常よりも不安定な場合がある。そこで提案手法では 2 回目発話以降の安定した発話を用いて主軸を求め、1 回目の発話 (調音不安定音声) に対して対数スペクトル上で PCA を適用する。本手法において、安定した音声成分は低次元空間に、一方調音不安定成分は高次元空間に集まると期待出来る。この結果 PCA により調音不安定成分の抑圧が行われ、より有効な (安定した) スペクトル情報の抽出が可能となる。具体的な処理を以下に述べる。

短時間分析によって得られたフレーム n 、周波数 ω の観測音声を $X_n(\omega)$ 、クリーン音声を $S_n(\omega)$ とする。ここで、1 回目の音声を以下の式で表現する。

$$X_n(\omega) = S_n(\omega)H(\omega)$$

1 回目発話には発話スタイル変動成分 H が畳み込まれていると考える。次に対数変換を行い、観測信号を S と H の加算で表す。

$$\log X_n(\omega) = \log S_n(\omega) + \log H(\omega)$$

ここで観測信号 X に対して PCA を適用すると、

- ・クリーン音声 S の主なエネルギーは D 個の主な固有値に集中する。
- ・それ以外の固有値に対応する主な成分は、付加成分である。

と期待出来る。ここで、主な D 個の固有値に対応する固有ベクトルを V とすると、この V を用いて以下のようなフィルタリングを考える。

$$\hat{S} = VX$$

このフィルタリングによって付加成分 H を抑圧する事が出来る。本研究課題では、主軸 V の計算には 2 回目以降の発話音声を用いて、上記フィルタリングを 1 回目の調音不安定音声に適用する。図 4 に主成分が 17 個の場合の認識結果を示す（比較用に MFCC 17 次元の結果も示す）。DCT（MFCC）の代わりに PCA を適用し、高次元空間における不安定要素を抑圧することにより、1 回目発話において 83.8% まで認識率が改善された。DCT よりも PCA の方が 1 回目発話の調音不安定音声において、より有効的な特徴量抽出法であるといえる。

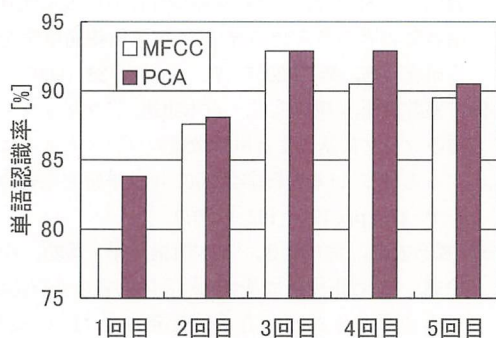


図4 PCAを用いた発話バリエーションの正規化

3. 障害者発話区間検出

従来の音声認識器では、周囲雑音の影響を受けないようにするために、音声入力スイッチ（マイクロフォンスイッチ）が必要となっている。脳性麻痺障害者にとっては、発話障害だけでなく、身体的な障害を伴っている場合があり、

マイクロフォンスイッチ等を操作するのは非常に困難である。本研究課題において、機械学習法の一つである AdaBoost を用いた障害者発話区間検出を検討した。

AdaBoost は、単純な識別器を複数組み合わせることによって精度の高い識別器を構成する Boosting 法の中でも顕著な性能を示す方法である。本研究課題においては、AdaBoost を発展させた Real AdaBoost を用いて障害者発話の検出を行った。

学習データ数を n 、繰り返し回数を M とする。これらの値はあらかじめ決定しておく必要がある。学習データを $x_i (i=1, \dots, n)$ 、各データの重みを $w_i (i=1, \dots, n)$ とする。 x_i は音声特徴量を表し、ここでは MFCC を使用した。各データ x_i にはあらかじめラベルとして $y \in \{-1, 1\}$ を与えておく。すなわちデータ x_i が音声であれば $y=1$ 、データが非音声であれば $y=-1$ とする。

1. 各データに対する重みを $w_i = 1/n$ で初期化する。
2. $m=1, \dots, M$ まで、以下を繰り返す。
 - (a) w_{mi} を重みとして、 x_i から重複を許して n 個、リサンプリングしたものを x'_i とする。
 - (b) x'_i に対して弱識別器 $f_m(x)$ を構成する。ここでは、 $f_m(x)$ に CART を用いた。
 - (c) 得られた弱識別器 $f_m(x)$ を用いて以下の $c_m(x_i)$ を計算する。

$$c_m(x_i) = \frac{1}{2} \log \left(\frac{f_m(x_i)}{1 - f_m(x_i)} \right)$$

- (d) 各データ x_i の重みを更新する。

$$w_{(m+1)i} = \frac{w_{mi} \exp \{-y_i c_m(x_i)\}}{\sum_{r=1}^n w_{mr} \exp \{-y_r c_m(x_r)\}}$$

3. 弱識別器の線形結合により、強識別器 $F(x)$ を得る。

$$F(x) = \sum_{m=1}^M c_m(x)$$

AdaBoost の重要な性質の一つに、誤ったデータに対するサンプリング重みを増やし、次回以降の学習でそれらのデータを重点的に学習する、ということがあげられる。それにより前段の弱識別器において誤識別を起こしてしまったデータに対しても、後段の弱識別器により正しく識別する事が期待出来る。図5に発話障害者の発話区間検出結果を示す。弱識別器の数は50、学習用音声データは340発話、非音声区間として80秒のデータを用いた（男性話者1名）。図5の縦軸、横軸は各々以下を表す。

FRR (False Rejection Rate)

= 「非音声と誤検出されたフレーム数」 / 「音声」の総フレーム数

FAR (False Acceptance Rate)

= 「音声と誤検出されたフレーム数」 / 「非音声」の総フレーム数

健常者用モデルと比較評価を行ってみたところ、約2%から3%程度の改善が得られた。発話区間検出に関しては、健常者用モデルと発話障害者用モデルとの間に、あまり大きな精度差は見られなかったが、発話障害者においては個人差のばらつきが大きく、更に多くの被験者で評価を行う必要がある。

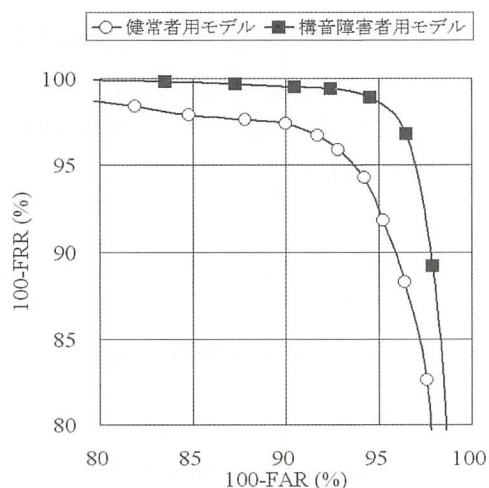


図5 発話区間検出精度

〔今後の研究の方向、課題〕

脳性麻痺発話障害者は、一人一人その障害特性が多様であるため、今後さらに様々な話者の多量のデータを蓄積し、発話障害者の解析を行い、音響モデルのカスタマイズ機能の改善を計っていく必要がある。また提案したアルゴリズムの有効性は有限個の単語認識に対してのみ示されている。数十単語程度のコマンド入力だけでは、障害者にとってはシステムの使い勝手が決して十分であるとは言えない。今後、任意の発話文（話し言葉）の認識についても検討を進める予定である。

〔成果の発表、論文等〕

- 1) Hironori Matsumasa, Tetsuya Takiguchi, Yasuo Ariki, Ichao LI, Toshitaka Nakabayashi, "PCA-Based Feature Extraction for Fluctuation in Speaking Style of Articulation Disorders," Interspeech 2007, pp. 1150 - 1153 (2007)
- 2) 朴 玄信, 滝口哲也, 有木康雄, "音素部分空間の統合による音声特徴量抽出の検討", 第9回音声言語シンポジウム, SP 2007-137, pp. 241 - 246 (2007)
- 3) 松政宏典, 田中克幸, 滝口哲也, 有木康雄, 李 義昭, 中林稔堯, "情報家電操作における脳性麻痺構音障害者の音声認識評価", 電子情報通信学会技術研究報告, WIT 2007-7, pp. 33 - 38 (2007)
- 4) 室井貴司, 滝口哲也, 有木康雄, "フィッシャー重みマップに基づく音声特徴量のロバストネスに関する考察", 日本音響学会 2007 年秋季研究発表会, 1-P-27, pp. 191 - 192 (2007)
- 5) 松政宏典, 滝口哲也, 有木康雄, 李 義昭, 中林稔堯, "話者正規化に基づく構音障害者の音声認識", 日本音響学会 2008 年春季研究発表会, 1-Q-24, pp. 215 - 216 (2008)

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

Development of Carbon Nanotube based Actuation Materials

1071017

研究者代表

(独)物質・材料研究機構 グループリーダー

唐

捷

[研究の目的]

「人間と機械の調和の促進」のために、従来の「固い」「重い」といったロボットから「柔らかい」「軽い」ロボットへと移行が求められる現在では、強度と柔軟性など機械特性が優れているカーボンナノチューブ(CNT)材料が注目されている。本研究では、われわれが独自に開発した電気泳動法を応用して、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を開発し、CNT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。そして次の本格的な超強度CNT構造材料および高性能CNTアクチュエータ開発研究において先導的な役割を果たすことを目指す。

[研究の内容、成果]

CNTをベースとしたロボット用高性能アクチュエータ材料としては、超高強度CNTファイバと高性能センサー用CNTシートを創製することが必要である。従来の複合材料に匹敵またはそれを超える強度を持ち、導電性と高熱伝導性を有するファイバの実現を目指す。また、アクチュエータ用のセンサー材料として、表面積が大きく感度が従来のものを超えるCNTシートの作製を目指す。

技術的課題としては、これまでの電気泳動法に電極針構造の改良及び針とCNT分散液間の

制御の高度化等の改良を加え、高密度・高配向CNTファイバ作製技術を確立する。

また、多点電極針電気泳動法により、高密度・高配向CNTシートを得、さらにその電気化学的アクチュエータ機能を最適に引き出すシート作製プロセスを開発し、今までにない高性能アクチュエータCNTシートを創製する。また、その構造解析、強度評価、アクチュエータ機能評価を行い、さらに、固体電解質膜との多層化により、高性能アクチュエータを試作し、ロボット構造材料への有効性を検証する。

カーボンナノチューブは、円筒形の立体構造として様々な螺旋構造を持ち、その構造に依存して金属にも半導体にもなるという著しい特徴を持っている。われわれは電気泳動法で簡単かつ制御しやすい長繊維化CNTの糸の作製に成功した。それにより、軽量・高強度・導電性カーボンナノチューブ・ポリマー複合材料の作製や生物用電極の作製を進めている。

今回、高分子アクチュエータ素材であるポリピロールを出発材料とし、カーボンナノチューブを均一に分散させ、また、有機溶剤でファンクショナイズすることにより、マトリクスのポリピロールに架橋化させた(Fig. 1)。このことにより、アクチュエータ性能を大幅に向上させることに成功している。

また、軽量・高強度・導電性カーボンナノチューブ・ポリマー複合材料の作製や生物用電極の作製も進めているが、微小な長繊維化CNTの糸の力学測定法の確立が必要である。

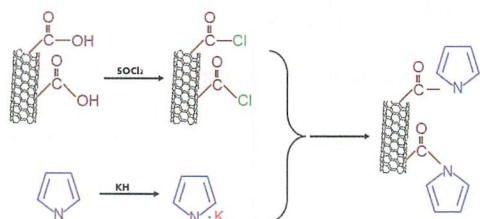


図1 有機溶剤によって、カーボンナノチューブをファンクショナル化する

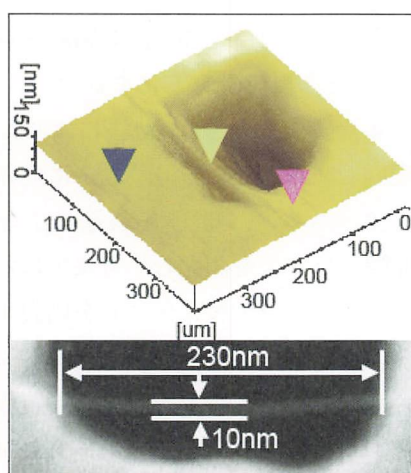


図2 AFM測定用のカーボンナノチューブサンプルの様子を示している。挿入図に使用しているカーボンナノチューブのバンドルのSEM写真を示している

普段使われている顕微力学測定法はカーボンナノチューブ系の測定に対して、試料のサイズが小さすぎて使いにくい。そこで、原子間力プローブ顕微鏡を用いて、長繊維化カーボンナノチューブファイバのヤング率の測定を試みた。

Fig. 2 に示したように Si 基板上に溝を設け、カーボンナノチューブファイバを架橋した上で、Si 基板上 (青矢印) および Si 基板上のナノチューブ部 (赤矢印)、ナノチューブ架橋部分 (黄矢印) の 3 か所において AFM により応力を加え変形量を測定した。結果を Fig. 3 に示す。変形量からヤング率を導くためには試料の密度が必要である。ナノチューブファイバは Fig. 4 に示したように電場によってナノチューブバンドルを配向・集積させるためその密度は、電場強度に関係する。結果種々の直

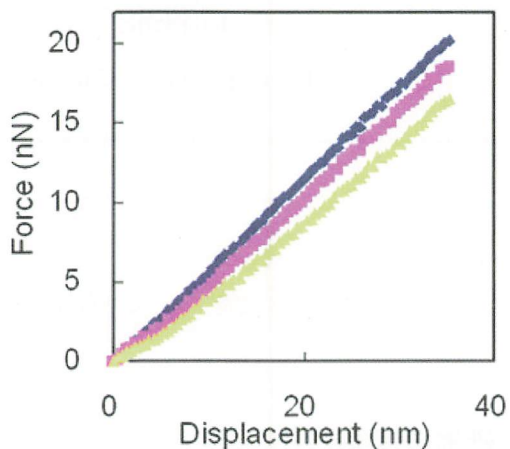


図3 三つのカラーの矢印は、それぞれ、図2で示す Si 基板上 (青)、Si 基板上のナノチューブ部 (赤)、ナノチューブ架橋部分 (黄) での応力と変形の関係を表している

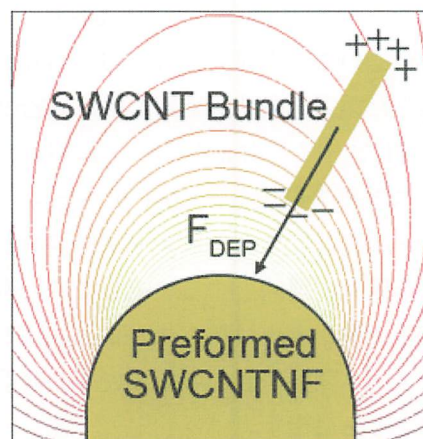


図4 カーボンナノチューブバンドルの結合力は作製するときの電場強度と関係している。図4ではカーボンナノチューブファイバの先端に受けた電場強度を示している

径・堆積密度を持ったナノチューブファイバが得られる事になる。例としていくつかの試料の SEM 写真を Fig. 5 に示す。堆積密度の違いが明らかにわかる。ナノチューブファイバ形成時の電場強度から見積もられたナノチューブ直径と堆積密度の関係を Fig. 6 に示す。このような方法で様々な直径のカーボンナノチューブファイバの強度を測定し、ヤング率を見積もった。

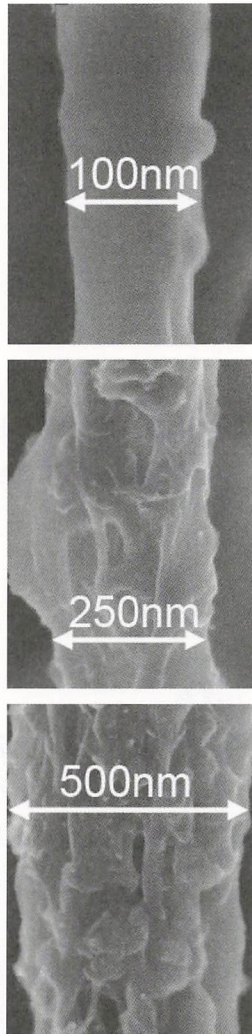


図5 違う直径のカーボンナノチューブファイバのSEM写真を示している。堆積密度の違いが明らかにわかる

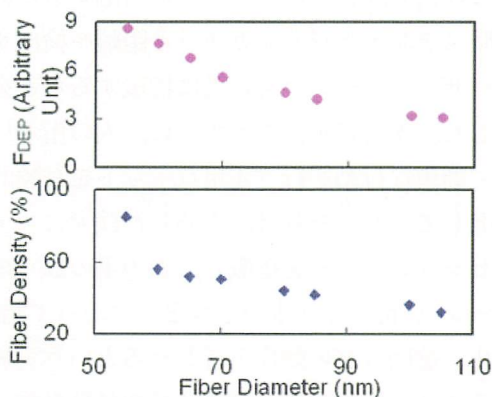


図6 計算された電場密度とカーボンナノチューブ直径の関係及びカーボンナノチューブの堆積密度と直径の関係を示している

直径が 100 nm のカーボンナノチューブファイバの強度は 250 GPa であり、普通のカーボンファイバ増強材料より強度が 4 倍が高くなったことを解明した。これから進めたいカーボンナノチューブ・ポリマー複合材料の開発について、明るい道が示されたと考えられる。

[今後の研究の方向、課題]

我々が高分子アクチュエータ素材であるポリピロール・カーボンナノチューブ複合膜の作製ができ、アクチュエータ性能を大幅に向上させたことがわかった。この結果に基づいて、アクチュエータ用軽量・高強度・導電性カーボンナノチューブ・ポリマー複合材料の作製プロセスを確立し、性質評価を行った。イオン導電性高分子のポリピロールにカーボンナノチューブを均一分散し、マトリクスと架橋させることにより、アクチュエータ伸縮率や発生応力を大幅に向上させ、さらに性能劣化を格段に減少させることが期待される。

[成果の発表、論文等]

- 1) J. Tang, Fabrication and Applications of Carbon Nanotube Fibrils by Dielectrophoresis, 4th Annual Conference on FOUNDATIONS OF NANOSCIENCE (FNANO 07), invited (2007)
- 2) J. Tang, P. Zhu, H. Zhang and L.-C. Qin, Tensile Modulus of Carbon Nanotube Nanofibers Produced by Dielectrophoresis, 2007 MRS Fall Meeting (2007)

屋外を高速移動可能な介助犬ロボットの研究開発

Development of a Service Dog Robot Walking Outdoor Dynamically

1071021

研究代表者

茨城大学 工学部 知能システム工学科 講師

福岡 泰 宏

[研究の目的]

我が国の身体障害者補助犬（盲導犬，聴導犬，および介助犬）は慢性的に不足しており，育成に長期の時間と費用を要する。これを背景に，車輪型の身体障害者補助犬ロボットの開発はこれまでも行われているが，屋外の段差や凸凹路の高速移動が非常に困難である。一方で，申請者はこれまで屋外の段差，坂，非舗装路などを人が歩行する程度の速度で歩行可能な犬型の4足歩行ロボット「鉄犬」を開発してきた。この運動性能を生かして，身体障害者補助犬の中でも技術的に比較的实现しやすいと考えられる，迅速なサポートを行う介助犬ロボット（図1）を開発することを研究の目的とする。

介助犬は基本的に車椅子に乗った身体障害者の介助を行うことを目的としているため，常に車椅子に同行することが要求される。従って，本申請研究期間内においては，車椅子と仮定し

た歩いている人を動的追跡対象として追跡しながら歩き続ける機能を鉄犬に持たせることを目標とした。

[研究の内容，成果]

1. 追跡手法の提案

鉄犬による動的対象の追跡を遂行するにあたっての技術的課題は，移動する対象についていけるだけの運動能力，および見失わないための視覚や距離センサなどを用いた追従制御手法の確立が挙げられる。

鉄犬は，屋外において旋回半径 20 cm 以上の旋回能力，および 1.5 m/s 以内での高速歩行が可能であり，高速に移動する車椅子を追跡可能な運動能力を現時点で備えているので，動的対象物を追跡する制御手法の確立がここでの主な技術的課題となる。それに対応するために，2眼ステレオビジョンカメラと距離を検出するレーザレンジセンサを鉄犬に搭載することを検討した。申請者らはこれまでに，人の指示に対して簡単な行動を行う4足ロボットを試験的に開発していた。それは，上述した鉄犬にステレオビジョンカメラを搭載し，人の手のひらのパターン（「待て」，「来い」など）によって始動，停止，旋回などの動作を行わせるという実験である。ステレオビジョンカメラでは特徴物（この場合は手）の検出を行っており，そこでの検出率，および実験の成功率は比較的高かったため，車椅子のような特徴的な対象物の検出は比

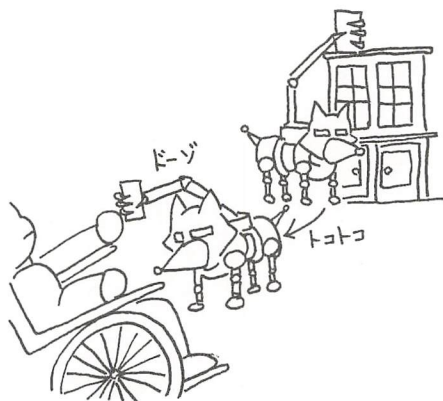


図1 介助犬ロボット予想図

較的容易に行えると考える。場合によっては、車椅子に特徴的な目印をつけて検出しやすくすることも可能である。しかしながら、介助犬が活動する屋外では、車椅子が走行するような舗装路であっても、小さな凹凸は無限に存在するため、そのような路面を歩行すればカメラ画像は時に大きく振動して車椅子を見失うことがある。そのような状況に対応するためにレーザーレンジセンサを搭載した動的対象追跡を本研究期間に主として行ったのでここで紹介する。ステレオビジョンカメラを用いる追跡法は今後の課題とし、レーザーセンサを用いる手法と組み合わせることでより高精度な追跡が可能になると考えている。

2. ハードウェアの構成

図2にレーザーレンジセンサ（北陽電機社レーザーレンジファインダURG-X 002 S）を首の下に搭載した鉄犬の画像を示す。レーザーレンジセンサでの距離検出範囲は地面から高さ220 mmの水平面において、前方180度とする。

3. 歩行者追従制御

追従制御とは、鉄犬の歩行者追従を実現するために歩行速度、進行方向制御のことである。本実験では、歩行者が鉄犬から離れるにつれて、鉄犬の歩行速度を大きくし、歩行者が鉄犬の進行方向から隔たるにつれて、鉄犬の旋回運動を急にし、歩行者と鉄犬の距離を一定に保つようを制御する。これらの制御は、鉄犬に塔

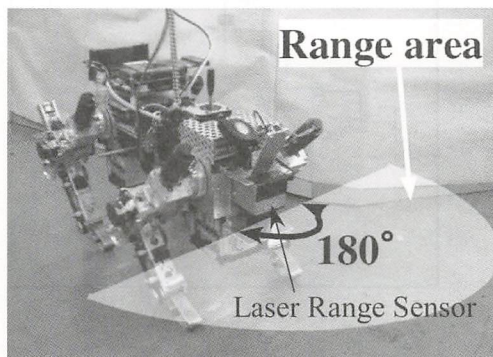


図2 鉄犬

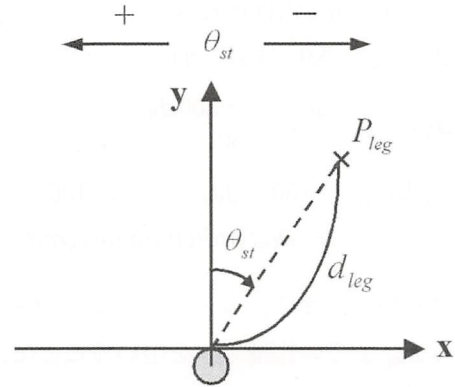


図3 歩行者追従制御に使用されるパラメータ

載されたレーザーレンジセンサからの距離データより算出される歩行者の脚の位置 (P_{leg}) に基いて行われる。本実験で使用されるパラメータを図3に示す。

レーザーレンジセンサの位置を原点とし、歩行者の脚の位置を P_{leg} とする。鉄犬の歩行速度制御のために、レーザーレンジセンサによって検出されたレーザーレンジセンサから P_{leg} までの距離 d_{leg} が使用され、鉄犬の進行方向制御のために、レーザーレンジセンサと P_{leg} の成す角度 θ_{st} が用いられる。ただし、 θ_{st} は、y 軸の左側を正方向とする。

鉄犬は、方向転換のためにヨー軸周りに膝下が回転する腰（ヨー）関節を備えており、直進歩行時常に図2のような位置（目標角度 $\phi_{\{LF, RF, RL, RH\}}^* = 0$ ）となるようにしているが、歩行者追跡歩行時は、進行方向を決定するために、腰（ヨー）関節の目標角度を支持脚の時のみ式1に変更する。

$$\begin{aligned}\phi_{\{RF, RH\}}^* &= \theta_{st} \times \pi / 180 [\text{rad}] \\ \phi_{\{LF, LH\}}^* &= -\phi_{\{RF, RH\}}^*\end{aligned}\quad (1)$$

これは、レーザーレンジセンサと歩行者の脚の位置 P_{leg} の成す角度 θ_{st} をそのまま支持脚の腰（ヨー）関節の目標角度とすることを意味する。

また、歩行速度を決定するために、ピッチ軸周りに回転する腰（ピッチ）関節の目標角度 ϕ_{present}^* を支持脚の時のみ式2に変更する。

$$\begin{aligned}
 v^* &= d_{leg}/1000 [m/s] \\
 \Delta\varphi_{present} &= 5.0 \times (v^* - v) \\
 \Delta\varphi'_{present} &= \frac{\Delta\varphi_{present} + 500\Delta\varphi_{last}}{501} \\
 \varphi^*_{present} &= -(50 + \Delta\varphi'_{present}) \times \pi/180 \\
 &\quad + (Body\ pitch\ angle) [rad]
 \end{aligned} \tag{2}$$

式2において、まず、レーザーレンジファインダから P_{leg} までの距離 d_{leg} を用いることで、目標歩行速度 v^* が算出される。さらに v^* を使い、現在の歩行速度 v と比較することで腰（ピッチ）関節の角度の増加分 $\Delta\varphi_{present}$ が導かれる。ここで、 $\Delta\varphi_{present}$ を1サンプリング前のそれ（ $\Delta\varphi_{last}$ ）によって平滑化する。これは、歩行速度の急な変化による滑り为了避免するために行われる。最後に、平滑化された $\Delta\varphi'_{present}$ に鉄犬のピッチ軸まわりの胴体の傾き *Body pitch angle* を加えたものを腰（ピッチ）関節の目標角度とし、PD制御を行う。なお、 $\varphi^*_{present}$ を算出する際に用いた50は、ヒューリスティックに決定した値である。

4. 実験結果

歩行者追従実験の内容を以下に記述する。

- 障害物無し
- 歩行者は移動方向を左右に変化
- 歩行者の歩行速度が変化

図4に、歩行者追従実験の概略図を示す。歩行者の移動方向は、まず右に変化し、次に左に変

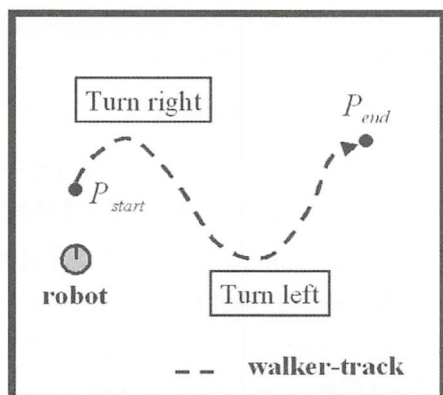


図4 歩行者追従実験の概略図

化をし、停止する。歩行者のスタート、ストップ地点は P_{start} , P_{end} でそれぞれ表される。実験の様子を図5に示す。図6は鉄犬のレーザーレンジセンサから脚までの距離（ d_{leg} ）を表す。 d_{leg} が約6秒後に増加、すなわち、歩行者が鉄犬から遠ざかると、鉄犬の歩行速度（図7）が約7秒後に増加しているのが見て取れる。本実験

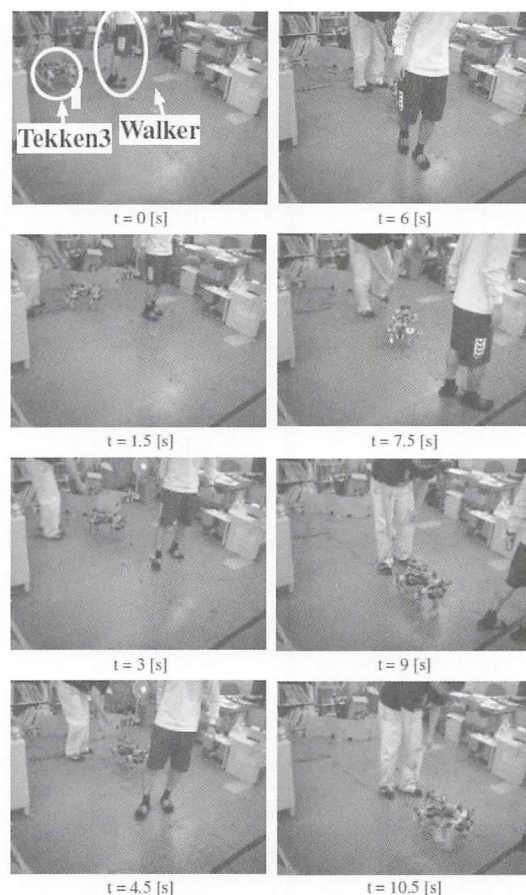


図5 歩行者追従実験

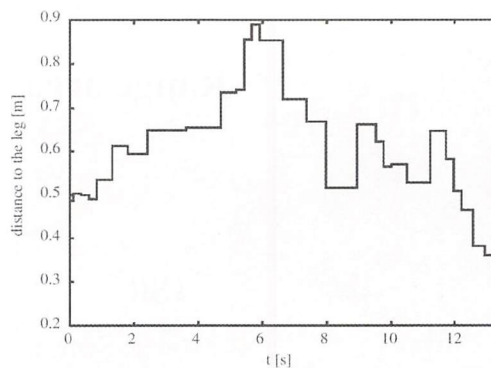


図6 レーザーレンジセンサから歩行者の脚までの距離（ d_{leg} ）

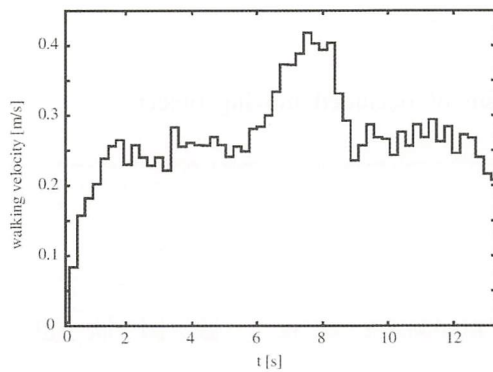


図7 鉄犬の歩行速度

を通して、鉄犬は歩行者とほぼ一定の距離を保つように歩行速度が制御されていることがわかる。

〔今後の研究の方向、課題〕

レーザーレンジセンサからの距離データに基づいて鉄犬の進行方向と歩行速度をリアルタイムで制御し、歩行者追従を実現した。鉄犬と歩行者の脚が成す角度を用い、鉄犬の腰（ヨー）関節角度の目標角度を設定することにより、進行方向の制御を行い、また、鉄犬から歩行者の脚までの距離を用い、鉄犬の腰（ピッチ）関節

角度の目標角度を設定することにより、歩行速度の制御を行った。しかし、その際に使用された各定数は、繰り返し行われた実験によりオフラインで決定された。これらの定数の大きさが鉄犬の旋回半径や加速度を大きく左右すると考えられるため、今後さらなる検討が必要である。

また、冒頭にも述べているように、レーザーレンジセンサによる歩行者追従が十分に行われた後にはステレオビジョンカメラを搭載し、より高い精度で歩行者追従ができるようにする必要がある。

〔成果の発表、論文等〕

- (1) H. Kimura, Y. Fukuoka and A. Cohen: Adaptive Dynamic Walking of a Quadruped Robot on Natural Ground based on Biological Concepts", Int. Journal of Robotics Research, Vol. 26, No. 5, pp. 475 - 490 (2007)
- (2) Y. Fukuoka: A Quadruped Robot Walking along a Wall with a Laser Range Finder, Neuro-morphic Engineering Workshop, Telluride, USA, JULY 1st-21st (2007)
- (3) 福岡：レーザーレンジファインダを用いて人を追従する4足動歩行ロボットの研究開発，茨城講演会（2008. 9 発表予定）。

移動物体の遮蔽後位置予測機構の研究

A study on position anticipation mechanism of occluded moving object

1071023

研究者代表 東京農工大学大学院 共生科学技術研究院 教授 藤 田 欣 也

共同研究者 国土舘大学政経学部 准教授 竹 市 勝

[研究の目的]

歩行者交通事故の発生要因には、不注意や判断誤りなどに加えて、走行車両の位置予測誤りの可能性が考えられる。運動物体の未来位置を正しく予測するためには、正確な速度認知機構と適切な予測機構を持つ必要があるが、現在、一般的に実施されているのは、車両が到達する時刻を予測する速度見越し検査のみと言って良い状況にある。

他方、申請者らは、仮想現実感技術を用いた人間の運動物体位置予測機構に関する実験環境を構築し、遮蔽一定時間後の運動物体の位置を予測する課題において、位置を過小評価する現象を発見した。現実の道路交通状況においても、停止大型車両などによる走行車両の遮蔽が生じる可能性があり、同様の過小評価が生じるのか実験的に解明する必要があった。

そこで本研究は、実際の道路交通を模擬した広視野仮想環境を構築して位置予測課題を実施し、遮蔽後運動物体位置予測特性を解析すること、ならびに、反復訓練による予測特性改善の可能性の検討を目的とする。

[研究の内容、成果]

1. 運動物体の遮蔽後位置過小評価現象

速度見越し課題のように、移動物体が特定位置に到達する時刻を予測する課題においては、物体が運動途中で遮蔽されても、回答のばらつきや、個人による若干の過小あるいは過大回答の傾向はあるものの、ある程度正確に時刻を予測することができることが知られている。逆に、遮蔽後の運動物体の位置を回答させる課題における予測特性は、これまでほとんど調べられていなかった。そこで、筆者らは、図1 (a) の実験環境を構築し、図1 (b) のように直径40

置に到達する時刻を予測する課題においては、物体が運動途中で遮蔽されても、回答のばらつきや、個人による若干の過小あるいは過大回答の傾向はあるものの、ある程度正確に時刻を予測することができることが知られている。逆に、遮蔽後の運動物体の位置を回答させる課題における予測特性は、これまでほとんど調べられていなかった。そこで、筆者らは、図1 (a) の実験環境を構築し、図1 (b) のように直径40

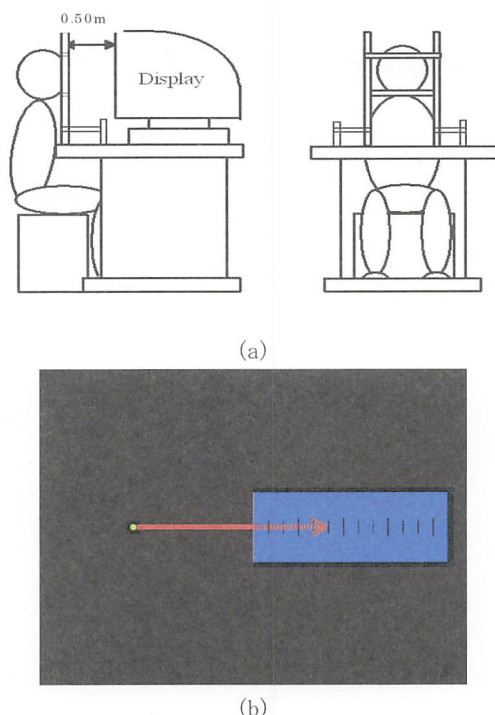


図1 運動物体の遮蔽後位置予測課題の (a) 実験セットアップと (b) 提示画像

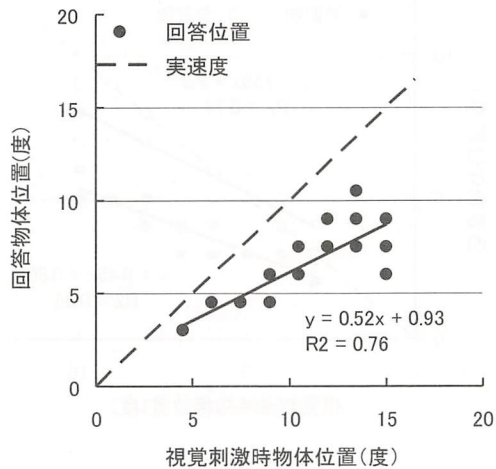


図2 運動物体の遮蔽後位置予測課題の結果例

mm の物体が、左方から眼球運動速度換算で 15 deg/s の速度で飛来して、板によって遮蔽され、0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0 s 後に板が変色したときの物体の位置を、板上の目盛りで回答させる課題を実施した。

その結果、図2のように、視覚刺激が提示されたときの物体位置を、実際の物体運動速度から算出される位置の半分程度に予測する位置過小評価現象が普遍的に観察された。これは、人間が遮蔽後の物体速度を大きく誤って認知していることを示唆し、その発生機構は未だ明らかではないものの、車両など運動物体の予測に重大な影響を与える可能性が示唆された。

2. 広視野現実模擬環境での位置予測実験

そこで本研究は、提示映像や視野角を、より現実の交通状況に近づけた環境で実験を実施すべく、新たに導入した大型プラズマディスプレイと高速描画計算機を用いて、図3の環境を構築した。

図3の条件における視野角は60度で、シミュレーションにおける観察位置は道路端から手前6mとした。この条件で、トレーラの左方から奥方向の車線を赤い車が速度14 m/s (約50 km/h) で接近し、トレーラによって遮蔽される。遮蔽から一定時間後に、歩行者信号が赤から青に変化することで視覚刺激が与えら

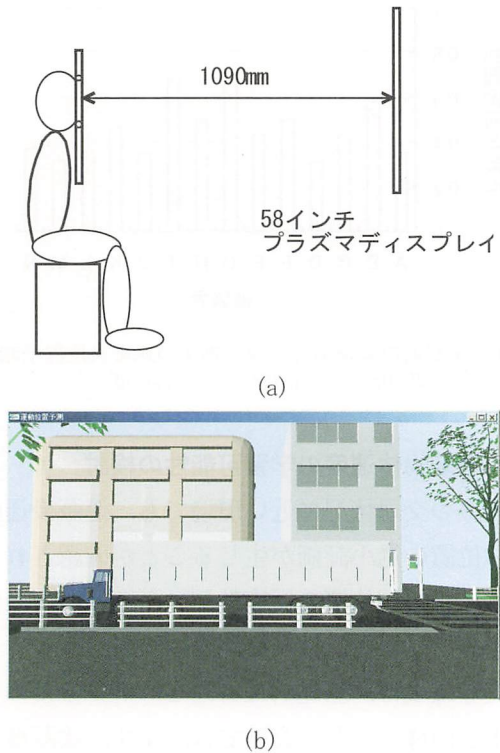


図3 実交通状況を模擬した運動物体の遮蔽後位置予測課題の (a) 実験セットアップおよび (b) 提示画像

れ、そのときの走行車両の位置を被験者にトレーラ側面の目盛りを用いて回答させた。遮蔽から視覚刺激までの時間は、100, 210, 320, 430, 540 ms の5段階で、移動距離に換算して1.5, 3.0, 4.5, 6.0, 7.5 mである。

実験は、被験者1名につき100回(各条件20回)の予測課題を実施した。その後、被験者ごとに、図2と同様に実際の物体位置と回答位置の回帰直線を求め、その傾きから被験者の持つ表象速度(速度イメージ)を求めた。14名の被験者全員の、実際の運動速度で割って正規化した表象速度を図4に示す。図から明らかなように、すべての被験者が普遍的に遮蔽後の位置を過小評価する現象が、広視野で現実を模擬した複雑な映像でも生じることが証明された。すなわち、走行車両が大型物体で遮蔽された後に、信号など外部からの刺激によって車両位置を予測すると、実際よりも走行距離を少なく見積もる可能性が極めて高いことが示唆された。

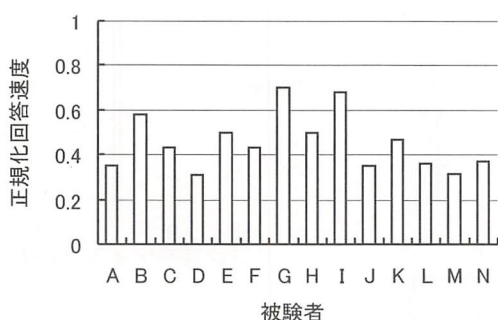


図4 実交通模擬環境での運動物体の遮蔽後位置予測特性。実運動速度で正規化した回答速度

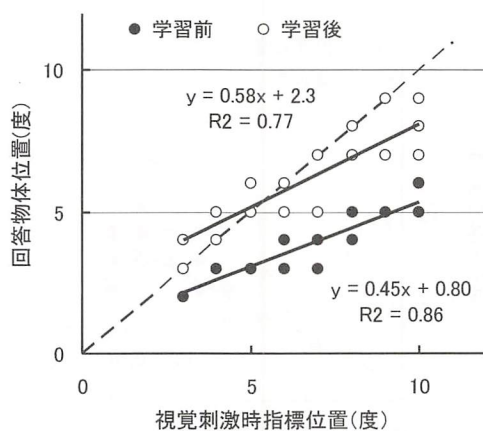
3. 遮蔽物体速度の学習可能性の検討

実際の交通状況に近い環境でも、遮蔽後運動物体位置の過小評価が生じることが確認されたため、正しい位置の反復教示による、遮蔽後位置予測の学習可能性を実験的に検討した。

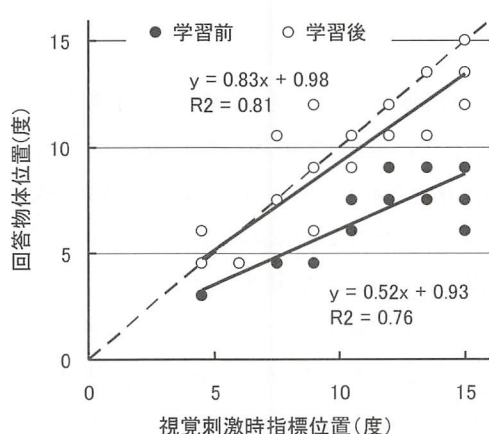
実験環境は、基礎的な特性を解析するために、図1と同様とした。実験では、まず、遮蔽後位置予測課題によって被験者の学習前予測特性を評価し、その後に、同様の予測をおこなわせて被験者が回答した後に正しい位置を教示する学習課題を100回おこない、その後に、再度、遮蔽後位置予測課題を実施した。

その結果、図5 (a) のように回答位置が実際の物体の位置に近づく平行移動型の学習効果が多くの被験者で観察された。しかし、回帰直線の傾きは、学習前とほぼ同程度か、やや大きくなる程度であった。そこで、さらに学習課題を400回まで増やして、100試行ごとに予測課題を実施してその変化を観察したところ、学習課題の回数が増えるにつれて、図5 (a) の平行移動型の学習の後に、図5 (b) のように、ゆっくりと回帰直線の傾きも実速度に近づいてくる現象が観察された。図6に変化の例を示す。実位置と回答位置の比から算出した単純回答速度が早期に学習され、その後に、回帰直線の傾きである表象速度が実際の運動速度に近づく様子が観察される。

学習課題では回答後に正しい物体位置を教示するため、被験者には、正しいと思う位置ではなく、自分が予想した位置を回答するように指



(a)



(b)

図5 学習前後での遮蔽後位置予測特性の変化の例
(a) 100回程度の学習初期に多く見られる変化例、
(b) 数百回の学習後に多く見られる変化例

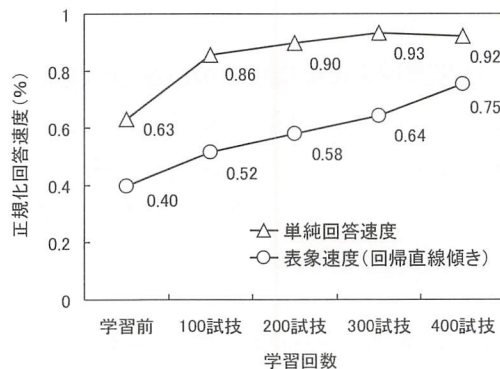


図6 学習の反復による単純回答速度（実位置と回答位置の比）および表象速度（回帰直線の傾き）の変化の例

示しているにもかかわらず、徐々に回答位置が実際の位置に近づく、すなわち学習が成立することが判明した。しかし、学習初期においては、

回帰直線の傾き，すなわち，視覚刺激までの時間を変化させたときの運動量の差から求めた速度がほとんど変化していないことから，初期の学習は，速度そのものでなく，正しい位置を回答するための，みかけの学習である可能性が高い。これに対して，さらに学習を反復することで，回帰直線の傾きが徐々に実速度に近づくことから，回帰直線の傾きは，被験者が持つ速度表象を反映している可能性が高いと考えられる。すなわち，教示によって遮蔽後の速度表象が正しくなるように修正することが可能と考えられるが，学習の指標としては，単純に実位置と回答位置の比を見るのではなく，回帰直線の傾きから算出される速度を用いる必要があること，また，学習には数百回以上の反復が必要であること，が示唆された。今回の 400 回の反復学習には 2 時間程度を要していることから，交通事故低減にむけたトレーニングプログラム開発のためには，より効果的な学習プロトコルの検討が望まれる。

[今後の研究の方向，課題]

本研究では，運動物体の遮蔽後位置過小評価現象が，現実の交通状況を模擬した環境においても生じること，すなわち，走行車両が大型物体で遮蔽された後に，信号など外部からの刺激によって車両位置を予測すると，実際よりも走行距離を少なく見積もる可能性が極めて高いこ

とが示された。

さらに，過小評価特性が，正しい位置を教示する反復学習によって改善される可能性を示した。しかし，遮蔽後位置予測特性の改善効果の維持期間や，より効果的な学習プロトコルの検討など，さらなる検討課題が明らかとなった。今後は，より詳細な実験を重ねて人間の遮蔽後運動物体位置予測機構を明らかにすることで，歩行者交通事故後の低減につなげてゆきたいと考えている。

[成果の発表，論文等]

- 1) M. Takeichi, K. Fujita and H. Tanaka: Eye movement after occlusion during position anticipation task, 30 th Annual Meeting of European Conference on Visual Perception, 60 (Aug. 2007)
- 2) 新井健之，藤田欣也，竹市勝：運動物体の遮蔽後位置予測と再出現時刻予測に関する研究，日本バーチャリアリティ学会第 12 回大会（2007. 9）
- 3) 新井健之，藤田欣也，竹市勝：運動物体の遮蔽後位置予測における学習可能性の検討，日本バーチャリアリティ学会第 10 回 VR 心理学研究会（2007. 12）
- 4) M. Takeichi, K. Fujita and H. Tanaka: Discussion on anticipated velocity slowdown of occluded object and eye movement, 31 st Annual Meeting of European Conference on Visual Perception (Aug. 2008 発表予定)
- 5) 藤田欣也，竹市勝，新井健之：仮想環境を用いた走行物体の遮蔽後位置予測機構の解析，自動車技術会秋季大会（2008. 10 発表予定）

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

A Learning Algorithm for Structuring and Maximizing of Environmental Information

1071024

研究代表者

横浜国立大学大学院 工学研究院 准教授

藤 本 康 孝

[研究の目的]

ヒトは外界の情報の約7割～9割を視覚から得ているといわれている。ロボットの可能性を広げるためには、視覚情報の学習と認識技術の向上が必要不可欠となってくる。画像認識技術は、コンピュータやCCDカメラの進化とともにめざましく発展しており、産業界では不良品検出、指紋認証、顔認識システム、交通情報の調査などの分野で活用されている。しかし、コンピュータによる認識技術は特定の限られた環境下でのみ有効であり、未だ人間のように柔軟に環境を認識し理解するシステムには至っていないのが現状である。

本研究では、より柔軟な自律ロボットの実現を目指し、外界から得られる情報（環境情報）を再構築し、その情報に基づいて行動を決定するロボットの開発を目的とする。環境情報の学習に主成分分析（Principal Components Analysis; PCA）を適用し、低次元化された確率分布モデルとして情報を蓄積する。逐次的に入力される情報に基づいて、PCAにおける固有空間を効率的に更新する手法を検討する。さらに、その固有空間においてクラスタリングを行い、状況認識を行う方法について検討する。

PCAは、Kirbyらによって顔画像の圧縮に用いられ、Turkらによって顔画像の向きや大きさが一定であれば、高い認識率を得ることが示され、それ以来画像認識に多く用いられている。また、顔画像だけでなく、3次元での物体

の認識にも適用する方法も提案されている。PCAでは、画素値の共分散行列から固有値を求める必要があるが、この計算には多くの時間を要する。そこで本研究では、計算時間の短縮を目的としてニュートン法を用いた方法を提案する。この方法では、それまでに得られた固有値と固有ベクトルの誤差分のみを修正することで、効率良く計算することができる。これにより、得られた画像をリアルタイムに認識し、またその情報を逐次学習することを目指す。

[研究の内容、成果]

1. 主成分分析（PCA）

画素数 N の静止画像の各画素の濃度値を $y_k^{(i)}$ ($i=1, \dots, n, k=1, \dots, N$) で表す。 n は画像で枚数を表す。画素ごとに正規化を行うことで認識率が向上することが期待されるため、平均0、分散1に正規化を行ってからPCAを行う。

全サンプル画像の画素ごとの平均 c_k と標準偏差 σ_k は、 $c_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_k^{(i)}$, $\sigma_k^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_k^{(i)} - c_k)^2$ として求まる。これを用いて、正規化を行った画像ベクトル $\mathbf{y}_i$ は、次のように表せる。

$$\mathbf{y}_i \equiv \left[\frac{y_1^{(i)} - c_1}{\sigma_1}, \frac{y_2^{(i)} - c_2}{\sigma_2}, \dots, \frac{y_N^{(i)} - c_N}{\sigma_N} \right]^T \quad (1)$$

このとき、画像集合の共分散行列 $\mathbf{P}$ は $\mathbf{P} = \frac{1}{n} \sum_i (\mathbf{y}_i \mathbf{y}_i^T)$ と求まる。この共分散行列の固有値を求め、対応する固有ベクトル $\mathbf{v}$ を基底ベクトルとすることで固有空間に投影することが

できる。このとき、固有ベクトルを主軸とし、対応する固有値をその主軸方向の標準偏差とする多次元分布を考えることができ、主要な固有値と主軸で分布を近似することができる。共分散行列は画素の2乗という大きな行列であり、普通に計算することは難しいが、十分小さい固有値は無視することができることから、画像の次元を数次元まで落すことができる。

固有空間上では、2枚の画像相関 $y_i^T y_j$ が大きければ2点間距離が小さくなるため、画像判別に利用できる。

2. オンライン学習での固有値計算

逐次的に画像を取得する場合、画像を1枚得るごとに固有値と固有ベクトルを求める必要がある。しかし、毎回計算するには全ての画像データを所持していなければならない、また計算時間もかかるため効率が悪い。そこで、効率の良い共分散行列の更新法、またニュートン法を用いて入力画像に対する固有値、固有ベクトルの変化分のみを計算し修正する方法とその逆行列計算を近似的に行う方法を提案する。

共分散行列の更新 共分散行列を求めるために、取得した画像データを蓄積していかなければならないが、これは膨大なデータ量となり、学習する画像枚数に限界ができてしまう。そこで、それまでの共分散行列と入力画像から、新しい共分散行列を更新する。 i 枚目までの画素毎の平均を $c^{(i)}$ 、標準偏差を $\sigma^{(i)}$ と表すと、 n 枚目の新規画像 $y^{(n)}$ を取得したとき、画素毎の平均と標準偏差は、それまでの平均と標準偏差を用いて次式で更新することができる。

$$c_k^{(n)} = \frac{n-1}{n} c_k^{(n-1)} + \frac{y_k^{(n)}}{n} \quad (2)$$

$$\sigma_k^{(n)2} = \frac{n-1}{n} (\sigma_k^{(n-1)2} + c_k^{(n-1)2}) + \frac{y_k^{(n)2}}{n} - c_k^{(n)2} \quad (3)$$

と表せる。また、 i 枚目までの共分散行列を $P^{(i)}$ とすると、 n 枚目までの共分散行列 $P^{(n)}$ は、 $n-1$

枚目までの共分散行列 $P^{(n-1)}$ を用いて表すことができる。その (a, b) 要素を $P_{a,b}^{(n)}$ としたとき、

$$P_{a,b}^{(n)} = \frac{1}{\sigma_a^{(n)} \sigma_b^{(n)}} (P_{a,b}^{(n-1)} \sigma_a^{(n-1)} \sigma_b^{(n-1)} + y_a^{(n)} y_b^{(n)} - n c_a^{(c)} c_b^{(n)} + (n-1) c_a^{(n-1)} c_b^{(n-1)}) \quad (4)$$

と更新していくことができる。これにより、画像枚数が増えても共分散行列と平均、標準偏差を所持しておけば更新し続けることができる。

ニュートン法 逐次的に画像を取得する場合、画像を1枚得るごとに固有値と固有ベクトルを求めなければならない。そこで、ニュートン法を用いて入力画像による変化分のみを計算し修正する方法を提案する。

P の固有値、固有ベクトルをそれぞれ λ_i , v_i ($i = 1, \dots, m$: m は必要な固有値の数) とする。このとき、 $\lambda_i v_i = P v_i$ 、および、正規化した固有ベクトルについて $v_i^T v_i = 1$ が成り立つ。 $n-1$ 枚目までの共分散行列 $P^{(n-1)}$ の i 番目の固有値を $\lambda_i^{(n-1)}$ 、固有ベクトルを $v_i^{(n-1)}$ とし、 $P^{(n)}$ の i 番目の固有値、固有ベクトルの近似解として $\lambda_i = \lambda_i^{(n-1)}$, $v_i = v_i^{(n-1)}$ とおくと、式誤差

$$e_i = \begin{bmatrix} (\lambda_i I - P^{(n)}) v_i \\ v_i^T v_i - 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

が存在することになる。固有値、固有ベクトルを求めるために方程式 $e_i = 0$ を解けば良い。ヘッセ行列 H_i は、

$$H_i = \begin{bmatrix} \frac{\partial e_i}{\partial v_i^T} & \frac{\partial e_i}{\partial \lambda_i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda_i I - P_i^{(n)} & v_i \\ v_i^T & 0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

と求められるので、ニュートン法を用いて、

$$\begin{bmatrix} v_i \\ \lambda_i \end{bmatrix} := \begin{bmatrix} v_i \\ \lambda_i \end{bmatrix} - \alpha H_i^{-1} e_i \quad (7)$$

のように、誤差ベクトルが $e_i = 0$ となるまで更新することで、固有ベクトルを求めることができる。 α はステップ幅を表す。実際は逆行列を直接計算することはせずに、線形方程式を共役勾配法により解くことで (7) 式を計算する。

近似逆行列による方法 ニュートン法を用いると、誤差分のみの計算となり早い収束が望めるが、(7) 式の第 2 項 $H_i^{-1}e_i$ の線形方程式の計算に時間を要する。そこで、この部分の計算時間の効率化を考える。 i 番目の固有値に対応するヘッセ行列 H_i の固有値、固有ベクトルは、共分散行列 P の固有値 λ と固有ベクトル v を用いて表すことができる。 H_i の固有ベクトルからなる行列 V_i および固有値を対角に並べた行列 Λ_i

$$V_i = \begin{bmatrix} v_1 & v_2 & \cdots & \frac{1}{\sqrt{2}}v_i & \cdots & v_m & \frac{1}{\sqrt{2}}v_i \\ 0 & 0 & \cdots & \frac{1}{\sqrt{2}} & \cdots & 0 & -\frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$\Lambda_i = \text{diag}[\lambda_i - \lambda_1, \cdots, \lambda_i - \lambda_{i-1}, 1, \lambda_i - \lambda_{i+1}, \cdots, \lambda_i - \lambda_m, -1] \quad (9)$$

を用いて、ヘッセ行列は $H_i \simeq V_i \Lambda_i V_i^T$ と近似できる。したがって、ヘッセ行列の近似逆行列は (8) 式、(9) 式より、

$$H_i^{-1} \simeq V_i \Lambda_i^{-1} V_i^T = \begin{bmatrix} \sum_{j \neq i}^m \frac{1}{\lambda_i - \lambda_j} v_j v_j^T & v_i \\ v_i^T & 0 \end{bmatrix} \quad (10)$$

と表わせる。ただし、 m はヘッセ行列 H_i を十分に再現するために必要な固有値の数である。

(10) 式を (7) 式のニュートン法の更新式に代入し、誤差ベクトル $e_i = 0$ となるとき、固有値、固有ベクトルが求まる。

3. クラスタリング

固有空間の投影した後、その対象物がどのような画像かを判別する必要がある。事前学習を行わない教師なしデータを自動的に分類するクラスタリングの方法として、本研究では階層的的手法を用いた。階層的手法は、すべての点が 1 個の対象だけを含む別のクラスタである状態を初期状態として、それぞれのクラスタ間の類似度を計算し、次々と併合していくことで任意のクラスタ数に分類する方法である。クラスタ間の類似度の計算法には最短距離法を用いた。

4. 実験

実験条件 日常環境での PCA による学習実験を行った。実験では、日常環境として研究室画像を 560 枚を用い、PCA により固有空間と主成分画像を求めた。PCA を行う (30 × 40) pix に縮小して用いた。

結果 図 1 に、第 1 ～第 3 成分での固有空間におけるクラスタリング結果と、またそのときの固有値と主成分画像を示す。クラスタリングでは画像枚数の 3 以下のクラスタを孤立点とし、

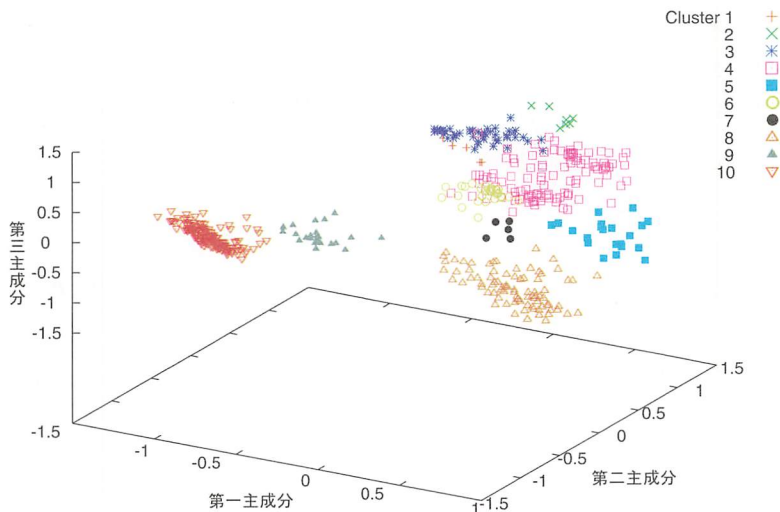


図 1 560 枚までのクラスタリング結果

残りのデータ数が全体 90% を満たすまで最短距離法によるクラスタの融合を繰り返した。最短距離法の計算には、第 5 主成分までの固有空間を用いた。図 2 の主成分画像からは、第 1 主成分と第 2 主成分では奥に人影が、また第 3 主成分では手前に人影が見える。このときの各クラスタの平均画像は図 3 のようになった。Cluster 3, 4 では奥の方の人が変化し、Cluster

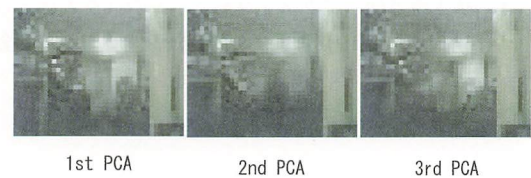


図 2 主成分画像

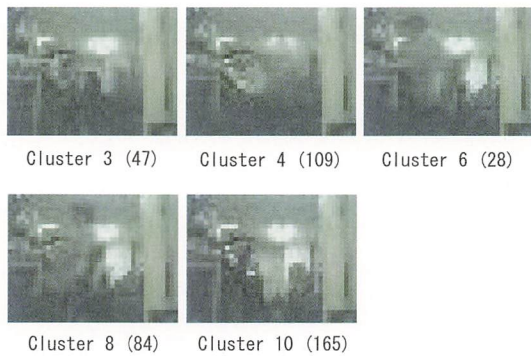


図 3 クラスタの平均画像 (括弧内は要素数)

6, 8 では手前の人の姿勢が変化している様子が分かる。このクラスタの時間変化を表したものが図 4 であり、これによって手前の人物は 200 枚付近で現れて 350 枚付近で退席している、など対象の行動パターンを知ることができる。

計算時間の比較 650 枚の画像に 1 枚を追加し、固有空間を再構成したときの各手法の計算時間を表 1 に示す。ベキ乗法は求める固有値と次の固有値の差が小さい場合に収束に時間がかかるという性質があるため、主成分の数が多くなるほど時間がかかる傾向がある。ニュートン法を用いた場合、計算時間にばらつきが無く安定していることが分かる。さらに、逆行列計算に共役勾配法を用いたニュートン法と近似逆行列を用いた提案手法を比較すると、平均で約 1 / 6 に計算時間を短縮することができた。この点から大量の画像を扱う場合に、提案手法は非常に有効であると言える。

表 1 固有値と画像の学習にかかる時間 (秒)

成分	固有値	ベキ乗法	ニュートン法 (共役勾配法)	ニュートン法 (近似逆行列)
1 st	1922.7	1.58	2.21	0.551
2 nd	328.0	3.08	2.52	0.318
3 rd	155.8	3.20	2.74	0.400
4 st	93.2	5.28	2.85	0.518
5 nd	57.8	57.40	3.96	0.656

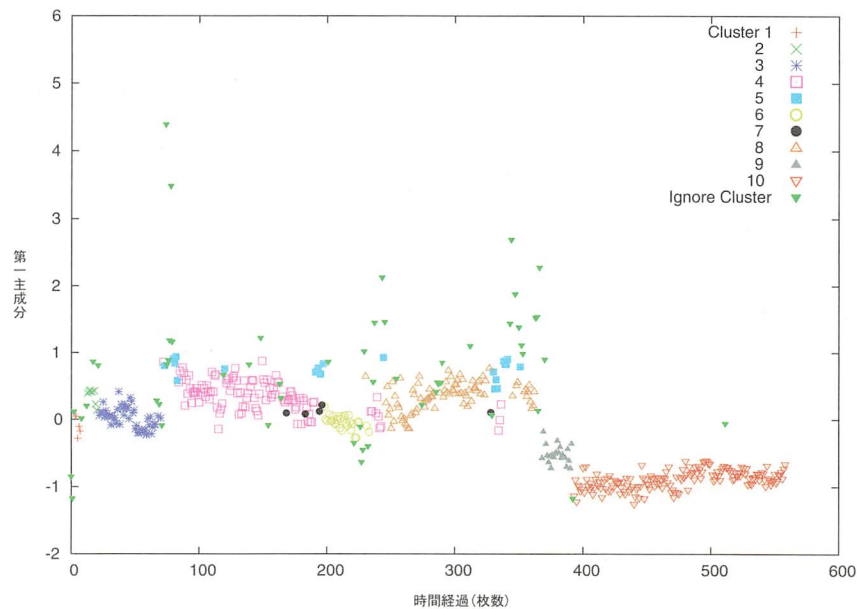


図 4 入力画像が属するクラスタの時間変化

[今後の研究の方向, 課題]

本研究では, PCA を用いて画像情報のクラスタリングを行い, また未知画像に対して PCA の固有空間を効率よく更新する方法について検討した。この構造化した環境モデルを確率分布として捉え, 情報理論的意味での情報量を最大化するようにロボットの行動を生成する方法についても検討を行っている。これまでのところ比較的単純なアクティブビジョンシステムを対象としているが, これを一般化し, 汎用性を実現することが課題である。

[成果の発表, 論文等]

1. 加藤英夫他：ロボットビジョンによる環境情報の構造化の研究, 電気学会産業計測制御研究会資料, IIC-08-24, pp.21-25 (2008. 3)
2. 藤本康孝他：アクティブビジョンによるオンライン学習に関する研究, 電気学会産業計測制御研究会資料, IIC-08-89, pp.17-22 (2008. 3)
3. 藤本康孝他：ステレオビジョンとオプティカルフローを併用した3次元環境認識の高速化に関する研究, 日本ロボット学会学術講演会, 2N12 (2007. 9)
4. 藤本康孝他：アクティブビジョンシステムによる環境情報の構造化に関する研究, 日本ロボット学会学術講演会, 2N16 (2007. 9)

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

Bioactivity of Titanium Alloy Finished by a New Grinding System

1071025

研究代表者 独立行政法人 理化学研究所 大森素形材工学研究室 協力 水谷正義
研究員

【研究の目的】

金属系バイオマテリアルは、その優れた力学特性により硬組織代替材として多く利用されている。しかしながら、これらの材料は骨組織との適合性に乏しく機能回復に至るまでには長期間を要する。そこで近年では、表面にアパタイトを複合することにより骨組織適合性を持たせた傾斜機能的発想でのバイオマテリアルの開発が進められている。現在では溶射法によりアパタイトを被覆する方法や化学処理により表面にアパタイトを自然析出させる方法等が研究されているが、いずれの処理方法も加工後に別行程で処理が施され、特別な装置や溶液を必要とするなど効率・環境・コスト等の問題が懸念されている。また現状ではコーティング層との密着性や処理後の形状精度の劣化、また局所的な処理が困難であるといった問題も指摘されており、これらに代替する効果的で全く新しい表面処理技術の研究開発が強く求められている。

そこで本研究では、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優れる表面改質層を付与することが可能となる表面改質加工技術の開発を行った。具体的には、超精密鏡面研削技術である ELID 研削法の原理を応用し、加工プロセス中の電気化学反応を利用して加工面で積極的に酸化反応を起こさせ、酸化皮膜の組成を制御することで、体内で骨類似アパタイトを自然析出させるという生体活性機能を表面に付与することを試みた。

【研究の内容、成果】

・表面改質加工システムの開発

本研究では、高効率かつ高精度の加工が可能である、電解インプロセスドレッシング研削（以下、ELID（Electrolytic In-Process Dressing）研削）を応用した表面改質加工プロセスを開発し、それを金属系生体材料の加工法として利用することの効果について検討した。本項では、開発した表面改質加工法の概略について述べる。

図1に表面改質加工システムにより被加工材表面に改質層が形成される過程の模式図を示す。かかるシステムでは、砥石と電極の間で電解現象による砥石のドレッシングが行われると同時に、研削液中に含まれる水の電気分解が生じる（図中①）。この反応により発生した水酸イオン

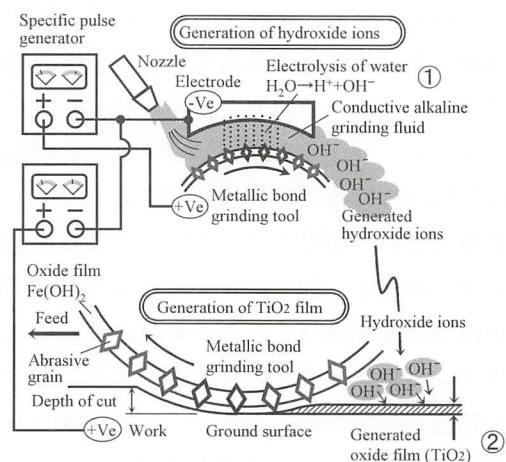


Fig. 1 Schematic illustration of surface modification

(OH⁻) は、導電性の研削液を介して被加工物表面まで運ばれる。このとき試料表面では、酸化皮膜が剥がれ活性な状態、すなわち酸化反応（アノード反応）が起こりやすい状態となっているため、厚い酸化皮膜が形成される（図中②）。この状態にさらに、通常砥石に与えているプラスの電圧を試験片にも直接印加し、試験片自体を陽極として研削を行うことで、印加する電圧値に対応した膜厚の酸化皮膜を形成させることが可能となる。

また、チタンは酸素との親和力が強いので、表面の酸化皮膜を通過した酸素が基材内部に拡散しやすいということが知られている。とくにかかるシステムにより加工を施した表面では、前述した電気化学反応によりチタンと酸素との親和性が高まり、このような酸素の拡散現象が効果的に発現する。そのため、本システムにより加工を施すことにより形成された酸化皮膜は基材に対して傾斜的に存在する。したがって、容易にはく離することがないという特徴を有することも明らかとしている。

・表面改質加工による生体活性の付与

人工股関節のステム部や人工歯根など、骨との結合が必要となるような部位では、材料の表面と生体骨とが互いに早期にかつ強固に結合するかという点が重要となる。そこで近年では、材料表面に対して生体活性（材料を体内に埋入した際に、骨類似アパタイトが自然に析出する機能）を付与することにより骨親和性を持たせるという発想での研究が進められている。しかしながら、前述した通り、いずれの処理も加工後に別行程で処理を施す必要がある。

本研究では、開発したシステムによる表面改質効果を利用し、加工プロセスと同時に加工面に生体活性を付与することを試みた。これまでチタンに生体活性を付与する手法としてアルカリ処理が提案されている。この処理はチタンを水酸化ナトリウム水溶液中に浸漬した後、加熱することでその表面にチタン酸ナトリウムを

形成させる手法であり、処理された材料を生体内に埋入すると骨類似アパタイトが自然析出し、周囲の骨と強固に結合する。そこで本研究では、加工に使用する研削液として水酸化ナトリウムを主成分とするものを試作し、加工プロセスにおける電気化学反応中に加工面にチタン酸ナトリウムを形成させることにより生体活性を付与することを試みた。なお、研削液として水酸化ナトリウム水溶液を主成分としたものを用いて、電圧を印加しながら研削加工を施した試験片を以下、表面改質加工材とする。また比較のために通常の ELID 研削を施した ELID 研削材および、アルカリ処理を施したアルカリ処理材を準備した。

図 2 に各加工面に対してエネルギー分散型 X 線分光法（EDX）を用いて元素分析を行った結果を示す。同図中、とくにナトリウム元素の濃度に注目すると、通常の ELID 研削材にはその存在を示すピークは検出されないことがわかる。それに対し、水酸化ナトリウム水溶液を主成分とする研削液を用いて表面改質加工を行った表面改質加工材では、アルカリ処理と同程度のナトリウムの存在を示すピークが検出される。

そこで次に、検出されたナトリウム元素がどのような化学結合状態で存在しているかについて調べるため、X 線光電子分光法（XPS）による分析を行った。図 3 にその結果を示す。同図より、両シリーズともに 1073.3 eV の位置に結合エネルギーのピークが確認できる。ナトリウム元素は、それが単体で存在する場合には

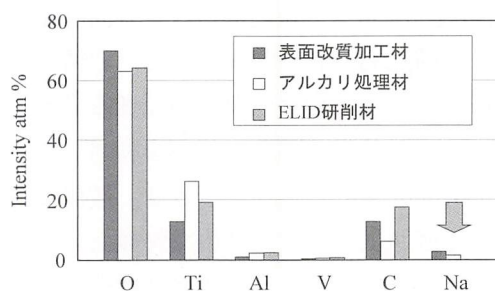


Fig. 2 Ultimate analysis of the surfaces

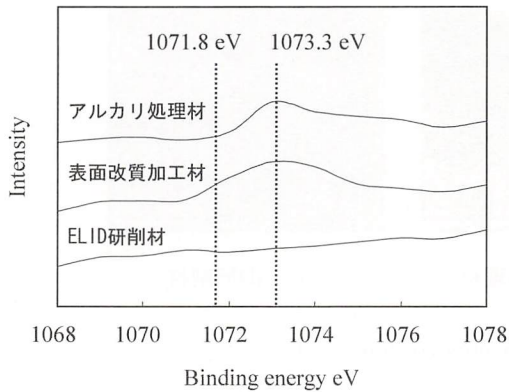


Fig. 3 XPS results for analysis of sodium

1071.8 eV の結合エネルギーを示す。しかしながら、図3において検出された表面改質加工材のピークはそれらの値よりも高エネルギー側にシフトしていることがわかる。これは、表面改質加工材表面に存在するナトリウム元素が酸素元素などとの反応により化合物を形成していることを示すものである。さらにそのピークの位置はアルカリ処理を施したアルカリ処理材で検出されたピーク位置と一致していることから、表面改質加工材で検出されたナトリウム元素は、通常アルカリ処理を行うことにより形成されるチタン酸ナトリウムとして存在しているものと考えられる。

また、表面改質加工材表面の結晶構造を調べるため、X線回折(XRD)による分析を行った(図4)。その結果、 $2\theta = 22^\circ$ および 28° 付近にチタン酸ナトリウムを示すピークが検出された。なお、このピークは通常のELID研削加工を行ったELID研削材の場合には認められなかった。このことから表面改質加工材表面に

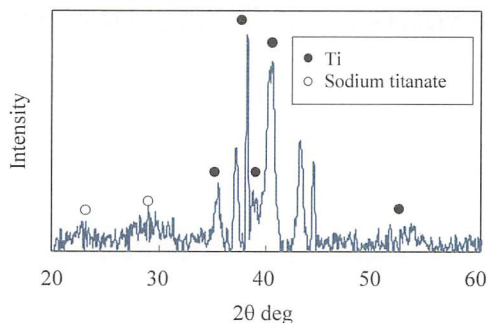


Fig. 4 X-ray diffraction pattern

チタン酸ナトリウムが形成されているものと考えることができる。

表面改質加工プロセスでは、前述した通り、導電性砥石と電極の間に発生する高い電位差により、その隙間に供給されている研削液中において水の電気分解が生じ、水酸イオンの濃度が高くなるが、水酸化ナトリウム水溶液を主成分とする研削液を用いた場合には、これと同時に水酸化ナトリウムの電気分解によりナトリウムイオンが発生すると考えられる。このナトリウムイオンは、ELID研削による酸化プロセス中で加工面と効果的に反応し、その結果チタン酸ナトリウムが形成されたものと推察される。

このことは、その表面が生体活性を有している可能性を示唆するものである。そこで各試験片を擬似体液(Simulated body fluid; SBF)中に浸漬することにより、試験片表面の生体活性の有無を調べた。なお SBF とは、無機イオン濃度をヒトの体液とほぼ等しいものにした溶液であり、かかる溶液中に試験片を浸漬することにより、生体内で起きる反応をほぼ再現可能であるとされている。本研究では、生体活性の有無に関して顕著な相違を得るため、通常の SBF のイオン濃度を 1.5 倍にして調整した 1.5 SBF に試験片を浸漬し、 37°C に保持したインキュベータ内で 7 日間の浸漬試験を行った。

図5に SBF 浸漬試験後に走査型電子顕微鏡(SEM)により表面を観察した結果を示す。同図より、ELID研削材表面は浸漬前と比較して何も変化が生じていないのに対し、表面改質加工材およびアルカリ処理材表面には、7日以内にその表面に析出物が形成されていることがわかる。

図6に表面改質加工材表面に観察された析出物を、EDXを用いて分析した結果を示す。同図より、図5で観察された析出物からアパタイトの主成分であるカルシウム元素およびリン元素のピークが認められる。このことは、図5で観察された物質がアパタイトであることを示唆するものである。

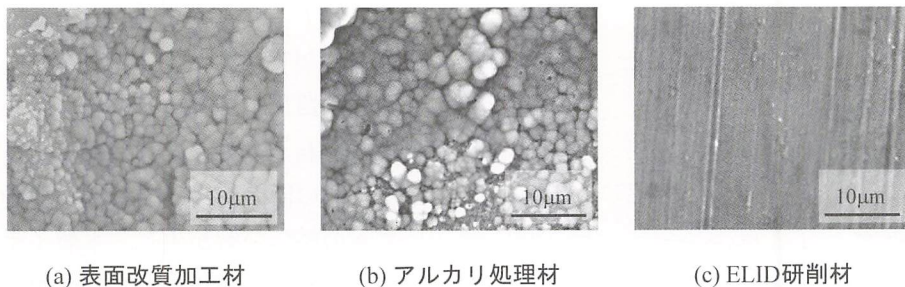


Fig. 5 SEM images of the surface after soaking 1.5 SBF

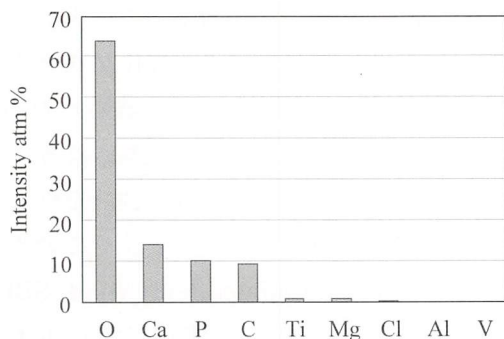


Fig. 6 Ultimate analysis after soaking 1.5 SBF

以上のことから、水酸化ナトリウム水溶液を主成分とする研削液を用いて表面改質加工を施すことにより、加工面にチタン酸ナトリウムを形成させることが可能となり、その結果、生体活性を付与可能であることが明らかとなった。このことは、本技術をインプラントと骨との早期結合を目的とした表面改質法として実用することの可能性を示すものである。

[今後の課題]

本研究では、析出したアパタイトに関する詳細な分析については行っていない。今後はその詳細な分析とともに、アパタイトが析出するメカニズムを明らかにすることが重要となる。また、それを制御する手法についても検討していく必要があると考えている。

[成果の発表、論文等]

- [1] Mizutani M., Komotori J., Katahira K., and Ohmori H.: "Development of a new integrated machining system ~Improvement of surface characteristics on metallic biomaterials with a new electrical grinding system~, Journal of Machine Engineering, 7, 1, pp. 15 - 23 (2007)
- [2] 水谷正義, 山本聡一, 小茂鳥潤, 片平和俊, 大森整: "電解インプロセスドレッシング (ELID) 研削を利用したチタン合金の表面改質加工とその効果", 材料. 掲載決定.
- [3] 水谷正義, 小茂鳥潤, 片平和俊, 大森整: "耐食金属材料の高機能化のための表面改質加工", 型技術, 22, 8, pp. 162 - 163 (2007)
- [4] Mizutani M., Yamamoto S., Haze M., Komotori J., Katahira K., and Ohmori H.: "Bioactivity of Titanium Alloy Finished by a New Electrical Grinding", The 11th World Conference on Titanium, Kyoto, Japan, (June, 2007).
- [5] 水谷正義, 小茂鳥潤, 山本聡一, 片平和俊, 大森整: "表面改質加工による砥粒成分の拡散現象に及ぼす加工温度の影響", 2007 年度砥粒加工学会学術講演会 (ABTEC 2007), 東京, (2007. 9).

[謝 辞]

本研究を遂行するにあたり、(財) 独立石科学技術振興財団の研究援助を戴きました。ここに記して感謝の意を表します。

国際交流報告の抄録一覧

(平成 19 年度)

〔派遣〕

- ◆ 10th International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR 2007) (1072001) 94
中 後 大 輔 電気通信大学大学院 情報システム学研究科 助教
- ◆ International Symposium on Olfaction and Electronic Nose 2007 (1072002) 94
Nitikarn Nimsuk 東京工業大学 理工学研究科 博士課程
- ◆ International Symposium on Nonlinear Theory and its Application (NOLTA 2007)
(1072003)..... 95
八 木 将 計 京都大学大学院 工学研究科 電気工学専攻 博士課程
- ◆ 2007 IEEE 65th Vehicular Technology Conference (VTC 2007 –Spring) (1072004) 95
李 睿 棟 筑波大学大学院 システム情報工学研究科 博士課程
- ◆ International Conference on Intelligent Systems and Control (ISC 2007) (1072101) 96
湊 純 子 徳島大学 ソシオテクノサイエンス研究部 助教
- ◆ 2007 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (1072102) 96
渡 辺 寛 望 山梨大学大学院 医学工学総合教育部 人間環境医工学専攻
博士課程
- ◆ IEEE-RAS 7th International Conference on Humanoid Robots (Humanoids 07)
(1072103)..... 97
亀 田 幸 季 弘前大学大学院 理工学研究科 安全システム工学専攻 博士過程
- ◆ 2007 IEEE International Ultrasonics symposium (1072104) 97
衣 川 尚 臣 東北大学大学院 工学研究科 電子工学専攻 修士課程
- ◆ The 2007 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems
(1072105)..... 98
楨 田 諭 横浜国立大学大学院 工学府 システム統合工学専攻 博士課程

〔招聘〕

- ◆ The 15th IEEE International Workshop on Nonlinear Dynamics of
Electronic Systems (1073001) 98
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 准教授
実行委員長
- ◆ The First International Conferense on White LEDs and Solid State Lighting (1073101) ... 99
田 口 常 正 山口大学大学院 理工学研究科 教授
組織・実行・プログラム委員長
- ◆ The 1st Asian Biomaterials Congress (1074101) 99
立 石 哲 也 (御物質・材料研究機構 生体材料センター長
大会長

〔派遣〕

派遣研究者	電気通信大学大学院 情報システム学研究科 助教 中後 大輔	1072001
研究集会名	10 th International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR 2007) (IEEE Robotics and Automation Society, Engineering in Medicine and Biology Society)	
出張期間	平成 19 年 6 月 13 日～ 15 日	
開催場所	オランダ国 ノルドバイク市	
発表論文	起立・着座支援機能を有するリハビリ歩行器の開発 (Rehabilitation Walker with Standing and Seating Assistance)	

概要：

本会議は、世界最大級の福祉工学及び支援デバイス研究に関する国際会議である。参加人数は 300 人強で、現在実生活において福祉デバイスを使用しているユーザー（障害者）20 人がゲストが招かれ、また福祉機器の製造販売会社 12 社の企業展示があり、実機を用いたデモンストレーションも行われた。

本会議では、オーラルセッション約 60 件とポスターセッション約 200 件があり、私はオーラルセッションにて標記論文の講演発表を行った。本発表は、我が国において、特に自宅にて生活する症状の軽い（要支援～要介護 2 程度、平成 19 年改正前基準）高齢者の起立動作を支援する「小型・軽量・低コストな支援デバイスの開発」に関するもので、会場の大きな注目を集めた。また、システム動作や制御方式に関する技術的な質問のほかに我が国の介護保険に関する質問等も受け、大変活発な質疑応答となった。特に欧米の研究者に対し、我が国の現状から被介護者使うことができる予算は限られているため、低コストなデバイスの開発が求められていることをアピールすることが非常に重要であった。

講演発表及び質疑応答では、欧米の福祉工学研究者とディスカッションを行うことができ、また他者の福祉デバイスに関する種々の研究発表から大きな知見を得ることができたことは有意義であった。

派遣研究者	東京工業大学 理工学研究科 博士課程 Nitikarn Nimsuk	1072002
研究集会名	International Symposium on Olfaction and Electronic Nose 2007 (ISOEN Organization Committee)	
出張期間	平成 19 年 5 月 3 日～ 5 日	
開催場所	ロシア国 サンクトペテルブルグ市	
発表論文	短時間フーリエ変換と水晶振動子ガスセンサによる動的に変化する匂いの識別能力の向上 (Improvement of Capability for Classifying Odors in Dynamically Changing Concentration using QCM Sensor Array and Short-time Fourier Transform)	

概要：

本国際会議は、E-nose 分野において最も注目されている会議です。世界各地から主に E-nose を専門としている学者が集まり、この分野に関する最新かつ最先端の研究技術を発表します。今年は、ヨーロッパからの学者が最も多く、その他北アメリカ、アジアそして南アメリカからの学者が参加しており、約 200 人でした。発表は、約 40 の口頭セッションと約 70 のポスターセッションに分かれて、3 日間にわたって行われました。

私が発表したのは開催最終日の口頭セッションでした。私の論文は、他研究者の論文に比べ、内容が多く多少複雑だったため持ち時間内での質疑は、基礎的な質問が多かったのですが、発表後の休憩時間では、何人かの研究者から、さらに詳しく説明するようにと声を掛けられました。結果については、もう少し実験をして信頼性を高めるべきだという意見もありましたが、一方このようなアプローチ方法は斬新であり、大気において急激変化する匂い濃度を短時間に識別できることは素晴らしいという意見もありました。

今回、国際会議に出席したことは初めての経験であり、大変有意義でした。自分の研究に対する様々な意見をいただき、また他の研究を知ることによって、自分の研究の盲点や今後の課題が分かるようになりました。今後もまた会議に積極的に参加して意見交換等を通して研究を進めていきたいと思います。

派遣研究者	京都大学大学院 工学研究科 電気工学専攻 博士課程 八木 将計	1072003
研究集会名	International Symposium on Nonlinear Theory and its Application (NOLTA 2007) (The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers (IEICE))	
出張期間	平成 19 年 9 月 16 日～ 19 日	
開催場所	カナダ国 バンクーバー市	
発表論文	Fast Computation of Approximated Error Bound for Harmonic Balance Method Using Algebraic Representation	

概要：

NOLTA は、非線形理論とその応用についての国際会議であり、この分野における代表的な国際会議の一つである。今年は、140 件の論文が採択され、参加者は 300 から 400 人であり、開催国であるカナダをはじめ、アメリカ、ヨーロッパ諸国、中国、韓国及び日本からの参加者があった。

会議は、11 の Special Session を含む 35 の Technical Session で行われたが、私は、Special Session にて、標記論文の発表を行った。従来、非線形回路の解析に用いられる近似法であるハーモニックバランス法の解保証のため保証領域というものが必要とされてきたが、計算コストが高いという問題点があった。今回の発表では、計算機代数を用いることで、この保証領域を高速に求める方法を提案した。私共の研究対象は、「非線形回路システムの振動現象の代数的解析法」であり、そのためのツールである計算機代数は、近年急速に発達、注目されてきている分野である。この計算機代数は、今後のコンピュータの向上を考慮すると、非線形分野においての標準となることも期待できるが、ベースとなっている理論が難解であることもあり、現在、その応用例が少ない。しかし、今回の発表は、「高速化」というわかりやすいテーマであったため多くの方に聴講いただけた。

今回、自分の発表だけでなく、他の Session や Banquet, Farewell Party に参加し、いろいろな研究者と議論する機会を得た。私共の研究対象である代数的解析法の利点と将来性をわかっていただけたかと思う。今後もこの経験を活かして研究に取り組んでいきたい。

派遣研究者	筑波大学大学院 システム情報工学研究科 博士課程 李 睿棟	1072004
研究集会名	2007 IEEE 65 th Vehicular Technology Conference (VTC 2007 –Spring) (IEEE Vehicular Technology Society)	
出張期間	平成 19 年 4 月 22 日～ 25 日	
開催場所	アイルランド国 ダブリン市	
発表論文	アドホックネットワークにおける客観的なトラスト管理方式 (An Objective Trust Management Framework for Mobile Ad Hoc Networks)	

概要：

VTC 2007 –Spring は、無線技術と車両技術との学際的な会議として特徴を持ち、世界でも高いレベルの国際会議である。今回参加者は、韓国、日本、ヨーロッパ、アメリカはじめ世界各国から 800 人を超える規模の開催となり、非常に盛会なものでした。本会議のセッションは、Ad Hoc、センサーネットワーク、無線ネットワーク、移動アプリケーション、移動衛星システム等々があり、私は、Ad Hoc 及びネットワークセッションに参加し、ここで標記論文の発表を行いました。情報セキュリティ関係の研究者が大いに興味を示し、私の研究の応用面や技術的に詳しい質問も受けましたが、全てにできるだけ詳細にお答えしました。

本会議では、世界各地からの著名な先生方や研究者が、この分野での新しい発展等を発表され、私自身、沢山の知見を得られたことは、大変有意義なものでした。また、私の専門領域で、多くの先輩研究者や同年代の研究者とそれぞれの研究テーマについて意見交換をし、懇親交流を深められたことは、貴重な経験であり、多くの研究者とのネットワークを持つことができたのは何より大きな財産ともなりました。

なお、本会議において、IEEE VTS Japan Chapter から研究奨励賞を受賞することができました。これを励みに、より一層の研究活動に努めていきたいと思います。

最後に、貴財団から国際交流助成のおかげで、このように素晴らしい勉強と貴重な体験の機会を得ることができました。誠にありがとうございました。

派遣研究者	徳島大学 ソシオテクノサイエンス研究部 助教 湊 純子	1072101
研究集会名	International Conference on Intelligent Systems and Control (ISC 2007) (The International Association of Science and Technology for Development (IASTED))	
出張期間	平成19年11月19日～21日	
開催場所	アメリカ合衆国 マサチューセッツ市	
発表論文	コーパスに基づく感情推定手法の比較に関する研究 (Comparison of Corpus-based Emotion Estimation Methods)	

概要：

本会議の主な目的は、知的システム制御分野の開発とアプリケーションに関連する全般的な研究テーマの成果を発表することであり、基調講演では技術開発から実用的なアプリとして製品化に至るまでを扱ったものが目立った。また、本会議の特徴として同じ分野の研究者の交流を促進することに重きを置いており、多数の関連企業、研究機関からの講演者が集まった。今回の会議は、Intelligent Control, Text and Image Recognition, Understanding and Affective Computing ほか全7分野のセッションに分かれて行われ、発表総数は、基調講演3件、一般講演80件、チュートリアル1件の計84件であった。

私は、標記論文を Understanding and Affective Computing セッションにて口頭発表を行った。発表内容は、「テキストからの話者感情認識のための手法の提案とその評価について」であり、聴講者から多数の質問を受け、活発なディスカッションとなった。全体を通して、人工知能や知的制御は、感性研究と関連が深い研究分野であることから、会議に参加し同分野の研究動向を得ることや同分野の研究者と交流を深めることは、非常に大きな意義があった。またセッション終了後には、人とコンピュータの強調をテーマとした感性工学の研究で有名なメディアラボ研究所や MIT ミュージアムを訪問し、大変刺激を受けた。

最後になりましたが、若手研究者及び大学院学生が海外での国際会議に参加できる機会は少なく、貴財団の助成により、このような貴重な経験をできたことに深く感謝します。今回の国際会議参加での経験を活かしながら、今後の研究活動に精進したいと思います。

派遣研究者	山梨大学大学院 医学工学総合教育部 人間環境医工学専攻 博士課程 渡辺 寛望	1072102
研究集会名	2007 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics	
出張期間	平成19年10月7日～10日	
開催場所	カナダ国 ケベック市	
発表論文	ウェアラブル歩行支援装置 (WEK) の研究開発 (Research and Development of WEearable WalKing Mate System)	

概要：

この国際会議では、Human-Computer Interface など人間と機械の調和をテーマとして、約40のセッションに分かれて発表が行われた。発表された論文は約800本であり、Regular Session の他に Poster や Special Session, Workshop や Keynote Address も催され、世界各国からの研究者による活発な意見交換が行われた。私が標記論文を発表したのは、Regular Session であり、セッションのテーマは、「Decision Support System」であった。今回の発表では、他セッションのテーマとして「Image Processing/Pattern Recognition」が挙げられていたので、画像処理に焦点を当て、カメラから取得した画像に対して、エッジ検出や直線抽出等を用いた画像処理手法とその結果を示した。一方的に発表するだけでなく、質問を受けたり、それに対する議論を行ったりと、とても充実した発表を行うことができた。また、セッション終了後にも質問や意見交換をするなど、研究内容に興味をひくものであったと確信している。

Keynote Address や Special Session では、世界的に著名な先生方の講演を聴くことができ、より深い研究内容や技術者としての心得等を学ぶことができた。今回、初めて海外での発表という経験を積むことができたが、それにも増して、他のセッションに参加し、研究者の発表を聴くことによって、今注目されている研究や最新の技術についての情報収集や情報交換、意見交換を行うことができたことは、今後の研究にとっても役立つ大きな成果であった。

.....

派遣研究者	弘前大学大学院 理工学研究科 安全システム工学専攻 博士課程 亀田 幸季	1072103
研究集会名	IEEE-RAS 7th International Conference on Humanoid Robots (Humanoids 07)	
出張期間	平成19年11月29日～12月1日	
開催場所	アメリカ合衆国 ピッツバーグ市	
発表論文	床下支点倒立振り子モデルによる特異点近傍の歩行制御 (Walking Control around Singularity Using a Spherical Inverted Pendulum with an Underfloor Pivot)	

概要：

本国際会議は、ヒューマノイドロボットの分野において唯一の専門国際会議である。論文件数は、100件程度で、内訳は3分の1が口頭セッション、3分の2がポスターセッションからなる。ヒューマノイドロボットの研究分野は広く、バランス制御をはじめ、歩行制御、運動計画、設計やデザインなど多岐にわたる。

私が、口頭セッションで発表した内容は、その内歩行制御に関するものである。ヒューマノイドロボットの特徴は、人間と同じ2足歩行にあり、これを可能にする歩行制御技術は、数多く研究・開発されてきた。現在、2足歩行技術の決定的なものではなく多種多様に存在するが、安定した歩行動作という点では、一応の完成の域に達したといえる。しかし多くの場合、その歩行動作は人間のものとは異なり、不自然である。そこで人間の歩行動作を模範とした人間らしい歩行動作の実現が、近年の研究対象として扱われている。我々の提案する手法もその1つである。ヒューマノイドロボットと人間の歩行動作の大きな違いは、膝の使い方にある。これまで多くのヒューマノイドロボットは、特異点という理由から歩行中に膝を伸ばすことができなかった。我々は、今回の研究において膝をほとんど伸ばした姿勢を含む歩行動作を実現することができた。セッションでは、その手法の利点を中心にシミュレーションと実験結果について発表し、本手法の特徴と有効性を十分にアピールした。本手法の概念が1つのアプローチとして多くの研究者の役に立てるものと推測する。今回の発表を通し、ヒューマノイドロボットの技術の発展に貢献できたと思われる。

派遣研究者	東北大学大学院 工学研究科 電子工学専攻 修士課程 衣川 尚臣	1072104
研究集会名	2007 IEEE International Ultrasonics symposium (IEEE Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control Society)	
出張期間	平成19年10月28日～10月31日	
開催場所	アメリカ合衆国 ニューヨーク市	
発表論文	周波数領域における超音波エコーのコヒーレンスに基づく心臓壁領域の同定 (Identification of Heart Wall Based on Coherence of Ultrasonic Echoes Evaluated in Frequency Domain)	

概要：

本会議は、超音波に関する世界最大の国際会議である。世界各国から計1000件の申込みの中、採択率は6～7割と厳しいものである。私は、ポスターセッション“CARDIAC（心臓）”にて標記論文の発表を行った。内容は、超音波を用いて心臓の壁領域を自動同定する手法についてであり、医師は主観によらず画像診断を行うことができ、負担の軽減と誤診の可能性を低減することを狙いとしたものである。

本発表には、多くの研究者が興味を持って訪ねて下さった。1時間の発表であったが、その間に人の流れが途切れることなく、常に誰かがポスターを見て、質問をする順番を待つというような状況であった。若い学生だけでなく、超音波医工学分野で著名な先生方とも討論をし、良き評価を頂くと同時に有用なアドバイスを頂戴した。討論の場には来られなかったが、ポスターを見て興味を持って下さった方々もいて、論文をe-mailで送って欲しいとの申し出も数件あった。討論の最後にお褒めの言葉を頂いて、握手を求められることも度々あったが、このようなことは自らの自信につながると同時に、今後の研究に対する大きなモチベーションとなった。この国際会議は、日本国内では行われていない大規模な超音波だけについての会議であるため、他の発表も自らの研究に直結する非常に有用なものばかりであり、4日間の学会聴講はまた大変有意義なものであった。最後にこのような有意義な海外渡航を経済面から支援して下さい貴財団に感謝の意を表します。

派遣研究者	横浜国立大学大学院 工学府 システム統合工学専攻 博士課程 榎田 諭	1072105
研究集会名 出張期間 開催場所	The 2007 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems 平成19年10月29日～11月2日 アメリカ合衆国 サンディエゴ市	
発表論文	力制御と視覚による位置制御を利用したサブミリメートルサイズ電子部品のマニピュレーション (Manipulation of Submillimeter-sized Electronic Parts Using Force Control and Vision-based Position Control)	

概要：

本会議は、知能ロボット及びシステムに関する国際会議であり、ロボット工学の分野において最大規模かつ最も権威ある会議の一つである。本年度は、1300件の論文投稿があり、681件が採択されたと報告されている。会議には、世界各国から1000人以上の研究者が集い、11セッション分れて研究結果が発表され、活発な議論が行われた。私は、“Manipulation and Compliance Assembly”Sessionで、標記論文の講演を行った。本論文は、査読者のコメントによると、ばねの復元力を利用した簡便な力制御手法を微小電子部品の組立に適用したという点が評価されたようである。講演では、本論文で提案する組立ロボットの制御手法に対する反応は良く、そのオリジナリティ性を十分理解してもらえたと感じている。また発表に対して、2件の質問を受けたが、いずれも改良を促すものであり、今後の研究に活かすことができていると考えている。

Session後に開催されたWorkshopは、テーマ毎に半日ないし1日に亘って行われ、より詳細な説明と議論が可能な勉強の場であり、私は、“Robotic Microassembly of 3D Hybrid MEMS”Sessionに傍聴し、議論に参加した。様々な3次元微小組立技術が研究されていたが、実用化のためにはまだまだ改善の余地があるものが多かったと感じた。今回、この国際会議に参加し、国内外の研究者と最先端のロボット工学に関する議論を行い、また交流を深めることができたことは大変有意義であった。また、ここでの経験は、今後の研究活動に必ず良い効果をもたらすものと確信している。末筆になりましたが、本国際会議参加に際して、貴財団より助成金という形でご支援を頂戴したことに深くお礼申し上げます。

〔招 聘〕

招 聘 者	徳島大学大学院 ソシオテクノサイエンス研究部 准教授／実行委員長 西尾 芳文	1073001
会 議 名 出張期間 開催場所	The 15th IEEE International Workshop on Nonlinear Dynamics of Electronic Systems 平成19年7月23日～26日 徳島市 四国大学交流プラザ	
被 招 聘 者	Jagiellonian University (ヤギェウオ大学・ポーランド) 教授 Maciej J. Ogorzalek	

概要：

本国際会議は、世界中の研究者が電気電子システムで観測される非線形ダイナミクスに関する知識や考えを交換し、またこれを利用した情報科学の最先端研究についての新しい方向性を示していくことを目的としています。今回は、参加者人数は150名で、うち海外からは50名、世界のトップレベルの研究者が多数参加する大変質の高い国際会議となりました。ヨーロッパ外での開催は今回が初めてとなりましたが、これは特に徳島大学での当該研究分野の研究成果が認められて開催を要請されたものです。

初日には、基調講演としてヤギェウオ大学のMaciej J. Ogorzalek教授による「Nonlinear Models and Methods for Biometrics」と徳島大学副学長の川上教授による「Attractors in Circuit Dynamics」が講演されました。Ogorzalek教授の講演に対しては、生体認証技術の将来性に対する多くの質問があり、大変好評でした。また、本会議では、ポスターセッションの時間を長く設け、参加者がより多くのポスターを閲覧できるようにしたことで、熱心にディスカッションする光景を見ることができました。さらにライブデモセッションでは、発表者に非線形回路システムの最先端研究の回路実験やコンピュータシミュレーションのデモを行ってもらいました。これを通して実際に目で見て肌で感じることで、より高いレベルでの議論が行われました。今回の会議では、多くの著名な研究者から若手研究者まで幅広い研究者が自身の研究について議論をすることができ、参加者にとっては大変有意義な会議になったと確信しています。それと同時に、本会議が今後この分野の発展にとって非常に重要な足掛かりになったと思っています。

招 聘 者	山口大学大学院 理工学研究科 教授／組織・実行・プログラム委員長 田口 常正	1073101
会 議 名	第1回 白色LEDと固体照明国際会議 (The First International Conferense on White LEDs and Solid State Lighting)	
出張期間	平成19年11月26日～30日	
開催場所	東京都港区 ホテルパシフィック東京	
被 招 聘 者	Georgia Institute of Technology, Professor Ian T. Ferguson 教授	

概 要：

近年、白色発光ダイオードは、白熱電球、蛍光ランプあるいは高輝度放電ランプに代替可能な次世代省エネルギー型固体照明光源として期待されている。白色LED照明技術は、日本から世界に発信され、ここ10年で日本の技術をもとに一般照明光源への応用を目指し、“見る”あかりから“照らす”あかりへと、世界各国で学術的かつ産業化を意図した研究が進められてきた。特に、1998年通産省（現、経産省）が進めた国家プロジェクト「高効率電光変換化合物半導体開発（通称、“21世紀のあかり”）」は、地球温暖化対策の省エネルギー照明光源開発の切札として世界に先駆けて取り上げられた。しかしながら、これまで日本では、白色LED照明に関する学術的国際会議は一度も開催されたことがなく、国内外の学会と産業界からその開催を強く要請されていた。こうした経緯から第1回国際会議が開催され、国内外から606名（うち海外167名）が参加し、白色LED照明技術に関する最新の発表が行われることとなった。本会議オープニングセレモニーでは、白色LED照明の将来展望として、地球温暖化と地球環境保全のために、省エネルギー型固体照明技術の普及・促進は、世界共通の緊急課題であり、1企業、1国のみでは達成できなく、世界各国で協力し合って進めていくことを宣言した。

本会議では、白色LED照明の基礎と応用に関するセッションを16部門設けた。発表論文は、招待講演者を含めて、総数161件、内訳は、口頭発表74件、ポスター発表87件であった。一般発表の採択は非常に厳しく選定され、それだけ優れた論文が発表されたものと考えている。

なお、特別招聘者のFerguson教授には、副委員長、セッション座長をお願いするとともにクロージング・リマークのまともを行っていただいた。

招 聘 者	(株)物質・材料研究機構 生体材料センター長／大会長 立石 哲也	1074101
会 議 名	第1回 アジアバイオマテリアル会議 (The 1st Asian Biomaterials Congress)	
出張期間	平成19年12月6日～8日	
開催場所	茨城県つくば市 つくば国際会議場	
被 招 聘 者	中国 四川大学 生体材料工学研究センター 樊 渝江 教授	

概 要：

これまでアジアには、生体材料に関し、ASBM（Asian Symposium on Biomedical Materials）とAISB（Asian International Symposium on Biomaterials）との2つの会議があったが、両会議の同意を得て、2007年に「第1回アジア統一バイオマテリアル会議」を開催することとなった。本会議には、アジア各国から541名の登録参加者があり、8つのセッションに分かれ、392件（口頭129件、ポスター263件）の研究発表が行われた。

本会議では、皮膚や軟骨等の組織再生を行う細胞基盤材料から薬物送達システムに至るまで、生体材料の全般にわたって最先端研究が発表された。また、その特徴として評価技術・標準化の成果が発表された。再生医療では様々な材料が使用されているが、その基準がなかった。例えば細胞基盤材料に細胞を播いて再生組織を作るが、それが多孔質体である場合、その空孔率の基準がなかった。本会議が、アジアでの生体材料の基準、標準を根づかせるきっかけになったと考えている。各国の高い研究のレベルを象徴するように、口頭発表では質疑応答が活発に繰り広げられ、またポスター会場には、熱心に質問する参加者で溢れかえった。参加者数は、主催者の予想を大きく上回り、会議は盛況のうちに閉会した。

なお、招待講演者である樊教授には、本会議で薬物送達システムに関する講演をしていただいた。また本会議の国際委員として、開催期間中、各国の研究者との交流にご尽力をいただいた。

樊教授の招聘にあたって、貴財団よりご支援をいただき深く感謝いたします。

-
- 平成 19 年度活動報告
 - 平成 20 年度助成報告
 - 第 19 回助成金贈呈式
 - 受領者投稿
 - 研究室訪問
 - 第 19 回（平成 20 年度）研究助成課題一覧
 - 第 18 回（平成 19 年度後期）国際交流助成課題一覧
 - 第 19 回（平成 20 年度前期）国際交流助成課題一覧
 - 平成 20 年度研究助成課題の紹介
 - 平成 21 年度助成候補募集案内

平成 19 年度活動報告

(1) 主要業務日程

平成 19 年	4 月 1 日	平成 19 年度後期国際交流助成の申請応募受付開始
	5 月 17 日	第 18 回（平成 19 年度）助成金贈呈式及び懇親交流会開催
	6 月 15 日	第 38 回理事会、第 38 回評議員会開催
		・平成 18 年度事業報告および決済報告の承認
		・平成 20 年度助成課題募集方法の承認
	6 月 30 日	平成 19 年度後期国際交流助成課題の申請締切
	7 月 20 日	平成 19 年度夏季選考委員会開催
		・平成 19 年度後期国際交流助成課題候の選考
	8 月 1 日	平成 20 年度助成課題募集のための公募案内発送
		財団ホームページでの募集案内開始
	9 月 1 日	平成 20 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 16 号発行
	10 月 1 日	平成 20 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 20 年度研究助成課題の申請締切（135 件受付）
	12 月 31 日	平成 20 年度前期国際交流助成の申請締切（25 件受付）
平成 20 年	1 月 16 日	各選考委員による応募課題の書面審査完
	1 月 25 日	第 20 回選考委員会開催
		・平成 20 年度研究助成課題候補の選考
		・平成 20 年度前期国際交流助成課題候補の選考
	3 月 14 日	第 39 回理事会・第 39 回評議員会開催
		・平成 20 年度事業計画及び収支予算案の承認
		・平成 20 年度助成課題の承認

(2) 会計報告

収 支 計 算 書

（自 平成 19 年 4 月 1 日 至 平成 20 年 3 月 31 日）
（単位：千円）

I 事業活動収支の部	
1. 事業活動収入	
基本財産運用収入	106,508
特定資産運用益	82
寄附金収入	1,200
雑収入	44
2. 事業活動支出	
事業費支出	77,443
管理費支出	14,866
事業活動収支差額	15,525
II 投資活動収支の部	
1. 投資活動収入	
助成事業引当金取崩収入	5,000
2. 投資活動支出	
助成事業引当金積立支出	15,000
投資活動収支差額	- 10,000
III 財務活動収支の部	
1. 財務活動収入	0
2. 財務活動支出	0
財務活動収支差額	0
当期収支差額	5,525
前期繰越収支差額	21,428
次期繰り越し収支差額	26,953

貸 借 対 照 表

（平成 20 年 3 月 31 日）
（単位：千円）

I 資産の部	
1. 流動資産	
現金	214
普通預金	26,739
有価証券	0
2. 固定資産	
(1) 基本財産	
有価証券	6,289,375
定期預金	100,000
(2) 特定資産	
助成事業引当資産	113,500
(3) その他の固定資産	150
資産合計	6,529,978
II 負債の部	
1. 流動負債	0
2. 固定負債	0
負債合計	0
III 正味財産の部	
1. 指定正味財産	
寄附金	1,100,000
寄附株式	5,289,375
指定正味財産合計	6,389,375
2. 一般正味財産	140,603
正味財産合計	6,529,978

平成 20 年度助成報告

本年は、第 19 回目の助成となる平成 20 年度助成課題に対し、平成 20 年 5 月 14 日、第 19 回助成金贈呈式を開催し、次の助成を行った。

研究助成	33 件	7,584 万円
国際交流助成（前期）	7 件	217 万円
合 計		7,801 万円

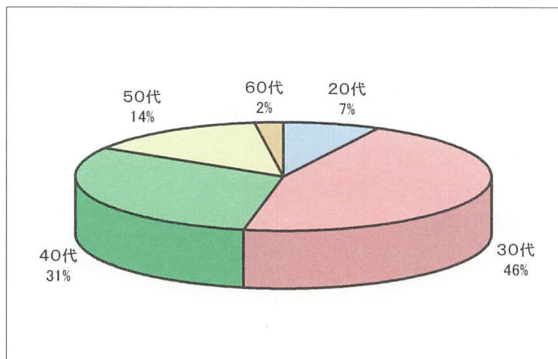
なお、後期国際交流助成は平成 20 年 10 月に実施する。

この結果、財団設立以来の助成事業は、研究助成 403 件、交際交流助成 187 件、助成総額約 10 億 1,226 万円となった。

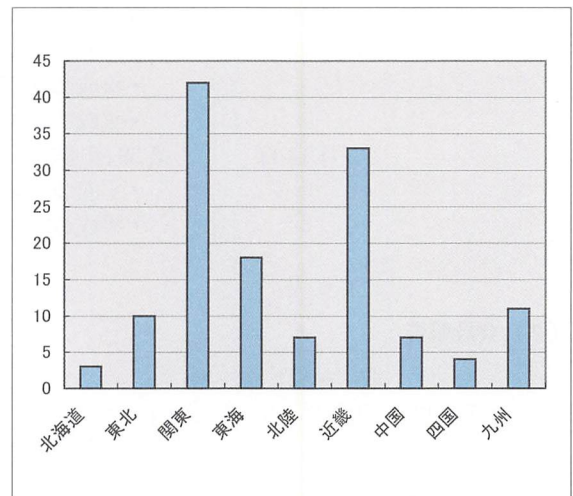
● 平成 20 年度助成の応募状況

（１） 研究助成（平成 20 年度）

① 年令別

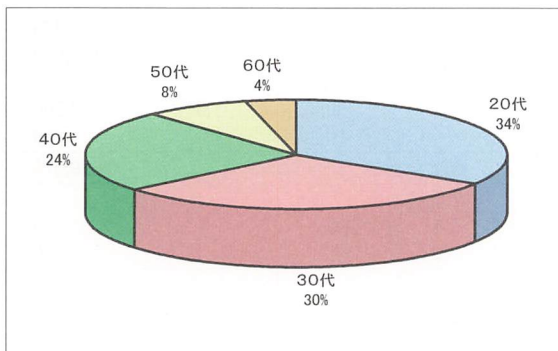


② 地域別

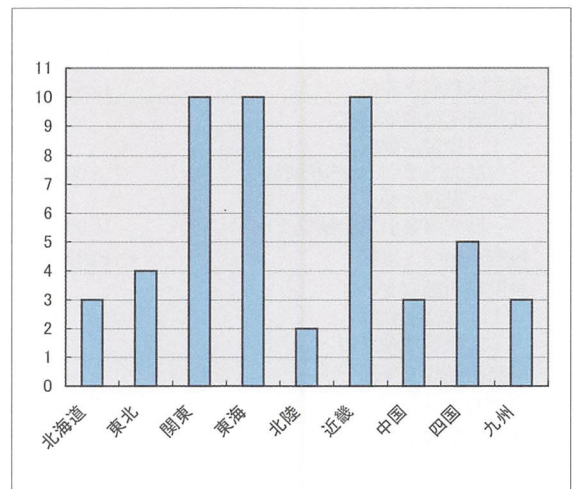


（２） 国際交流助成（平成 19 年度後期～平成 20 年度前期）

① 年令別



② 地域別



第19回助成金贈呈式

日 時：平成20年5月14日（水）

場 所：グランドプリンスホテル京都

第19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、京都府労働観光部部長 山下晃正様はじめ、平成20年度研究助成金受領者、財団関係者等約100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PPTを用いて発表いただいた。



助成課題発表

※課題発表PPTは、113～117頁に掲載

受領者投稿

制御理論と研究助成

東京工業大学大学院 情報理工学研究科 教授 井村 順一
(第13回受領者)

私が立石科学技術振興財団から「機械システムの予測型混合論理コントローラ的设计」という研究題目で助成をいただいたのは、東京工業大学に異動した2年目のときでした。当時は、研究室立ち上げのための諸経費に運営交付金が費やされたこともあり、採択が決まったときは大変有難く思ったことを今でも鮮明に記憶しています。その後、約7年が経過しましたが、この研究助成により始まった研究テーマは、現在も様々な形で引き継がれ、私の研究を支える重要な基礎の一つになっています。まずは、立石科学技術振興財団に対して深く感謝したいと思います。

私の研究は制御理論です。実際の具体的な対象に対して研究する、といった形式ではなく、様々な対象を制御することができる普遍的な理論を構築することが研究目的です。制御理論の分野では、多くの場合、研究対象を具体的に特定しないため、専門でない方にはアウトプット(研究の意義)が非常にわかりにくい研究分野であると言えます。機械システム、電気システム、化学プロセス、バイオ、量子力学系、経済システムなどほとんどの対象はすべて微分方程式という統一言語で表現できるため、制御における本質を捉えた普遍的な設計論を構築するというアプローチは至って自然です。機械システムのように研究対象を絞ったとしても、その研

究目的は同じで、やはり機械システム全般の制御において普遍性を追求します。

7年前、研究助成授与式において、パワーポイントのシート1枚を使って本研



究テーマについてお話させていただいた際、出席されていた方の一人から、私の研究課題に対して、何をやりたいのか一番わかりにくかったと感想をいただきました。今そのシートを見ますと、筆者自身もこれではわかり難いと感じます(7年後の今ならばもう少しわかり易く書けるようになったのではないかと思います)。しかしながら、制御理論分野に限らず、本質的にアピールが難しい研究分野があるということを、この場を借りて申し上げておきたいと思います。こうした研究分野に属する若い研究者にとって、そのハンディキャップを最初から適切に克服するのはなかなか難しいことなのではないかと想像します。私の場合は大変有難いことに助成していただきました。これも立石科学技術振興財団の審査員の方々の幅広い視野によるものと思います。今後もそうした視点を是非持ち続けていていただきたいと思います。

受 領 者 投 稿

研究のサイクルとゴール

東北大学 電気通信研究所 教授 塩 入 論
(第13回受領者)

研究助成のための研究計画書には、その研究の意義が説得力をもって書かれていけないと思うが、筆者は、ゴールの設定という点で居心地の悪さを感じることが多い。研究計画に目標があるのは当然であるが、そこまでの道のりが見通せているのであれば、研究することがあるであろうかと思ってしまうし、見通せない場合は具体性のない記述になりがちである。指導した学生から、研究が、仮説構築とその検証のサイクルであることが体験できたという感想をもらったことがあった。実際それが研究者の日常であると思うが、このサイクルとゴールの関係はいつも明確ではない。仮説検証のサイクルは永久に続くように見えるが、研究計画にはゴールが必要である。

立石科学技術振興財団から助成していただいたのは、「視覚的注意の捕獲現象の研究」という研究テーマであった。当時は、なんとか視覚的注意の動きを実験的にとらえ、その成果が上がりつつある時期であり、このテーマも注意の位置を測定するために考えていた。研究助成のおかげもあり、いくつかの興味深い成果を上げることができた。現在は、それらの成果に基づき、自然画像の観察時などより日常正確に近い環境で人間の注意を測定する、さらにそれを予測するシステムを構築することを目標に研究を進めている。こう書くのは簡単であるが、実現は非常に難しい。画像中の目立つ対象をみつけ

ることは、視覚特性を考慮して画像処理をすることである程度は可能である。しかし、我々が注意を向ける対象は、何をしようとしているか、そこで何が重要かに

大きく依存するし、個人差の影響もある。これらの問題をひとつひとつ解決する必要があるし、その前に問題を分析する必要もある。暗中模索状態といえないこともないが、それでもいまままでに得ることができた手掛かりを元に、研究を進めている。

さて、研究のゴールの話をもどすが、申請書にはこのテーマは運転時の安全性やインターネットなどで適切な映像呈示を行う上で重要であると書いた。これはその通りだと思っている。しかし、実際の研究成果を実用的なものに繋げるには、さらに多くの時間がかかるし、見通しのよい話でもない。それでも基礎的研究の場合、その意義を具体的に示すためにこの種のゴールについて述べることが多い。立石科学技術振興財団においては、おそらくこのような点もご理解いただいた上で、助成をしていただいたものと思い、その意味でも大変感謝している。また今後もそのような点を考慮して基礎研究についての評価をしていただければと思う。



研究室訪問

大阪大学大学院 基礎工学研究科 機能創成専攻 宮崎 文夫 教授 訪問記
(第13回受領者)

7月31日猛暑の最中、柳田敏雄選考委員（大阪大学大学院 生命機能研究科・教授）にご同行いただき、大阪大学大学院 基礎工学研究科 機能創成専攻 宮崎文夫 教授を訪問しました。

宮崎文夫教授からは、ご専門の研究分野のお話や助成研究課題のその後の取組みなどについて伺いました。多岐にわたって研究されているロボティクスについて、ご懇切なご説明を授かり、また、最新の研究や技術の一端にも触れることができ、有意義な時間を過ごさせていただきました。

○ まずは研究室をご紹介いただき、現在どのような研究テーマに取り組んでおられるかお聞かせ下さい。

基礎工学研究科機能創成専攻に所属しています。機能創成専攻は、機械や生体を「しくみ」として捉え、その「はたらき」を解明するとともに、得られた知見を工学的に応用することを使命としています。また、この専攻には3つの領域があり、機能デザイン領域に属する私の研究室では、主にロボティクス・メカトロニクスの研究を進めています。人間と機械の関係を考察し、両者を融合する過程を通じて、人間の理解と人間を支援するシステムの実現を目指しています。



研究室にて 宮崎文夫 教授

現在の研究テーマとしては、①タスクを実行するときの人の巧みな運動スキルを理解するとともに、それをロボットに伝達するスキル・サイエンスの研究、②人とロボットのインタフェースに着目したヒューマン・インタフェースの研究、この2本立てで研究を進めています。

スキル・サイエンスに関する研究では、そもそも人の運動学習メカニズムはどうなっているのだろうかというところに興味があって、色々なアプローチで理解を深め、ロボットで検証するといったやり方で進めています。実は、貴財団から助成を受けた「卓球ロボットシステム」の課題は、基本的に運動学習を中心にした研究でした。最近では、それらの結果を活かしながら、人とロボットのインタラクションに関する研究、すなわち人とロボットが密に絡み合った状態において、いかに上手くロボットが人を支援するかといった観点からの研究へと展開してきています。具体的には、装具（短下肢装具ロボット）ですね。肢体不自由者の方の歩行支援装具としてリハビリへの利用を目指した研究を行っています。人の運動スキルのロボットへの伝達に関しては、卓球のフォワードスイングの卓球ロボットへの伝達や、ドライブテクニックを移植した認知移動ロボット（人の巧みな運転スキルを搭載した自律走行ロボット）の研究があります。

一方、ヒューマン・インタフェースに関する研究では、ロボット工学や画像処理技術を援用して、人間の意図通りに動く新しい機械システムの開発や、人間－機械間の意思伝達の方法論の研究を行っています。具体的には、人とかかわる手術ロボットとしての内視鏡外科手術支援システムや、生体情報（こめかみの動き）を利用したハンズフリーなHMI機器等の研究開発を進めています。

○ 立石財団の助成テーマは、その後どのように進みましたでしょうか？

貴財団から助成を受けた「卓球ロボットシステムの開発」は、人間と機械のダイナミックな協調タスクに関する研究の一例として取り上げ進めてきたものです。

卓球ロボットは、20年ほど前にATTベル研で試作されました。しかしながら、制約が多くあ

りましたので、もっとうまくできないものかと思い研究を始めました。卓球は、予測、運動学習といった運動スキルに関わる重要な問題を含んだ典型的なタスクということもあって取り上げたという背景もあります。助成を受けた当時の「卓球ロボット」の研究は、運動学習を中心としたものでした。機械工学系の学生達が興味を持って、こういうものをすぐに作ってしまうという点も大きく奏功しましたね。



卓球ロボットシステム

最初に試作した卓球ロボットシステムは、必要最小限の4自由度（縦、横の並進動作の2自由度とラケット面の姿勢を決める2自由度）で実装していました。その後は、人間と同じように、ラケットの振りの動作を加えて5自由度とし、制御についても、新しいアプローチで、より簡単な方法へと進化させてきています。

最初は、ロボットが全部自分で学習するという枠組みを作ってやろうというアプローチでしたが、これがなかなか厄介でタスクが変わると全部一から組み直すという必要がありました。そこで、できれば人のスキルをうまく活用できないかということで、上手い人のスキルをダイレクトにロボットに移植する（技能の伝達）ような研究を始めました。最近では、当時の成果とは、また違ったいろいろな成果が出てきています。当初、遊び心で、温泉卓球の浴衣のおねーさんには勝てるようなロボットを作りたいと思っていましたが、今は、十分に勝てるレベルに達しています（笑）。

（卓球ロボット研究詳細につきましては、WEB ページ <http://robotics.me.es.osaka-u.ac.jp/MiyazakiLab/ResearchGroup/pingpong/index.html> に公開されていますのでご参照ください。）

○ 長年にわたりロボティックスの分野での研究を続けてこられていますが、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。

当研究室の制御理論専門の先生から、それまでロボットのロの字もなかったのに、いきなり「ロボットをやってみないか」と言われて、それではあまりやられていない2足歩行のロボットを作ってみようかという気になりました（笑）。もともと制御理論が好きで、制御によってものを動かすことに興味がありましたので、この研究を始めたというのがそもそものきっかけでした。

やっているうちに、人間は何の意識もしないで歩いているのに、いざロボットに歩かせようとするとなかなかできない。大変なんですね。どうやってやろうか、何がどうなっているのだろうかと考えた時に、生体をもっと知らないといけないんじゃないかと動物を意識した上でロボットの研究をしないといけないなと思い、それからずっと今のスタイルで研究を続けています。

○ 人間のように動くロボットを考えるとき、何か新しいコンセプトが必要とお考えでしたら、それはどのようなことかお聞かせください。

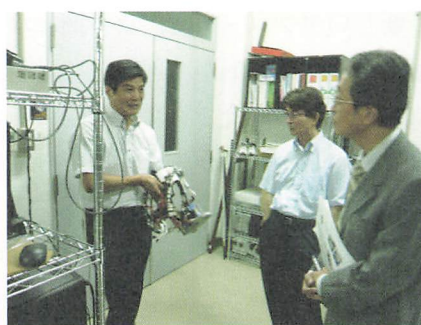
ロボット屋が早急にやらなければならないと思っているのは、「プログラミング」ですね。ロボットを動かそうとすると、一生懸命に膨大なプログラムを書かなければならない。いろいろ複雑な動作をさせようとする、一層その負担が増大します。ですから、その手間を減らす、そのスタイルを変えるということが一番必要じゃないかと思っています。要するに人間と同じように動作させようとするのなら、上手い人の動作をそのまま真似てやれば良いということになります。例えば、モーションキャプチャのような技術も進歩しています。そういう技術をうまく使えば、もっと複雑な動作も簡単にプログラミングできるのではないかと考えています。今は、その辺が次のステップとして面白いのではないかと考えています。

○ 動物は、ダイナミックで複雑な動作をいちいちモデル化して、脳がコントロールしているのではなく、恐らく、経験から、うまくいったダイナミクスを記憶して、それをベースに順に改良することを積み重ねているのだらうという説もありますが、そんな「しくみ」を真似るといった感じでしょうか。

まさにその通りだと思います。最近のブレインマシンインターフェースの研究で、猿の脳から信号を取り出して人工のマニピュレータの制御装置につなぐと、猿がマニピュレータを自在に動かすことができるような状況になっています。この例からも、身体の動きとそれを動かす時のコマンド間の相関をうまく構造化していけば、一種の学習といえますが、人でもそういうことができるということです。そんなスタイルでロボットに人の様々なスキルを移植し動作させることは十分に考えられるところだと思っています。

○ 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でしょうか。

人の役に立つものや人と機械の快適なコミュニケーションの実現を目指しています。例えば、医療の分野、特に外科の領域では、いろんな意味で工学系の技術を必要としています。そういうところへはかなり入っていきますし、貢献できると考えています。最初にご説明しました医療用ロボットなどは、すぐに実用化できるほど纏まってきています。



歩行支援システム

社会や人類への直接的な貢献という意味で技術の実用化というのは重要な側面をもちますが、実用化を裏打ちする技術そのものの進化、進展にも大きな意義があります。ロボットをやっていてよく分るのは、見た目には複雑そうな振舞いが実は非常に簡単なメカニズムで実現できることが多いということです。先ほどの卓球ロボットなんかもそうですが、人とラリーを行っている様子を見ると、一見高度で複雑な処理を行っているように見えますが、最近の新しいアプローチによれば、極めて簡単な処理で実現することができます。こうした新しい方法論の研究から、(制御)技術を革新し、進化、進展させていくことにも大きな意義があると考えているわけです。

近年、人間の運動を理解するための方法論として、認知心理学や実験心理学との関わりを強めてアプローチしています。文系の人は、人間の機能を大胆にざくっと解釈され、定性的で一見役に立たないような気もしますが(笑)、脳の働きとの関係で科学的にアプローチする試みもなされており、工学系との共通性も増してきています。新しい(制御)技術の方向性を与えてくれるという点では、連携して取り組むことの意義は大きく、人と機械のベストマッチングを目指した技術革新や進化、進展に大きな貢献をしていくものと考えています。

あとがき

インタビューの後、実験室にて最新の研究テーマのご紹介をいただきました。認知移動ロボット、短下肢装具ロボット、卓球ロボットシステム等のスキル・サイエンステーマや内視鏡外科手術システム等のヒューマン・インタフェーステーマを実際に見聞できたことで、当研究室の目指すところを鮮明に実感することができました。宮崎先生は、ロボティクス・メカトロニクスの研究の意義や今後の展望について、滔々とお話され、また、人と機械の快適なコミュニケーションの実現への熱き思いに触れ大変感動いたしました。

ますますのご活躍をご祈念申し上げます。

(レポート：常務理事 竹部高生)

第 19 回（平成 20 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
石光 俊介 広島市立大学大学院 情報科学研究科 システム工学専攻 准教授	体内伝導インターフェース装置の開発
井上 貴浩 岡山県立大学 情報工学部 スポーツシステム工学科 助教	拇指中手骨関節の動的バイオメカニカル構造の優位性の解明とロボット ハンドへの応用
今井 晋二 滋賀医科大学 リハビリテーション部 准教授	関節軟骨再生のための骨髄多機能幹細胞刺激装置の開発
岩橋 直人 (独) 情報通信機構 第二研究部門・知識創成 コミュニケーション研究センター 専門研究員	人間とロボットの安全・安心なインタラクションのための動作の言語化 技術の研究
大倉 和博 広島大学大学院 工学研究科 機械システム工学専攻 教授	永続的人工進化に基づく協調マルチロボットシステムの開発
大槻 知明 慶応義塾大学 理工学部 情報工学科 准教授	不均一電波伝搬環境における事前知識不要な低演算量位置推定法
北原 照代 滋賀医科大学 社会医学講座 予防医学部門 講師	手話アニメーションを用いた聴覚障害者に対する乳がん検診受診支援シ ステムの研究
金 享燮 九州工業大学 工学部 准教授	胸部 MDCT 画像の経時差分法の開発と病変部候補領域の抽出
工藤 博幸 筑波大学大学院 システム情報工学研究科 コンピュータサイエンス専攻 准教授	患者にやさしい次世代 CT 装置の構成方式
久間 英樹 松江工業高等専門学校 電子制御工学科 准教授	人と協調動作する石見銀山遺跡調査ロボット用マニピュレータに関する 研究
柴田 智広 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 准教授	乗物の加速・減速中における錯覚現象に関する基礎的研究
島田 邦雄 福島大学 共生システム理工学類 准教授	視覚障害者や人工手足使用者のための新しい MCF センサを使った義肢 システムの開発
庄司 英一 福井大学大学院 工学研究科 知能システム工学専攻 准教授	伸縮性電極の接合によるイオノマー系化学アクチュエータの創製と運動 性能
関根 一光 徳島大学大学院 ヘルスバイオサイエンス研究部 助教	ファイバー形状記憶合金を応用した低浸襲な消化管蠕動運動デバイスの 開発研究
瀬戸 文美 千葉工業大学 未来ロボット技術研究センター 研究員	人間と共存・協調するロボットアームの動作生成手法の開発
高野 千尋 お茶の水女子大学大学院 人間文化創成科学 研究科研究院 基礎部門 リサーチフェロー	Time-lapse 画像を用いた生体情報計測デバイス
高橋 宏知 東京大学 先端科学技術研究センター 講師	情動センシング用 Brain-Computer Interface の基盤技術
田中 聡久 東京農工大学大学院 共生科学技術研究院 先端電気電子部門 准教授	多チャンネル脳波からの効率的な律動信号抽出法

第 19 回（平成 20 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
田村 宏樹 宮崎大学 工学部 助教	学習機能を持つ小型表面筋電位計測装置の開発
唐山 英明 東京大学大学院 情報理工学系研究科 特任助教	脳波による新しいライフログ検索技術
野田 賢 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 准教授	プラントオペレータの認知情報処理モデルによるヒューマンエラー解析と事故予防策立案
栢 修一郎 東北大学 電気通信研究所 助教	福祉支援用機器の直感的制御を可能にするマンーマシン入力インターフェースの開発
原 武史 岐阜大学大学院 医学系研究科 准教授	脳 X 線 CT 画像の標準化による救急医療のための脳画像解析システムに関する研究
番 浩志 京都大学 こころの未来研究センター 助教	網膜部位再現性を利用した視覚関連 fMRI 脳活動の表示・解析手法の開発
久門 尚史 京都大学大学院 工学研究科 電気工学専攻 准教授	時間解像度と量子化レベルを関連付けた適応的信号表現アルゴリズムのハード化
松本 光春 早稲田大学 理工学術院 先進理工学部 助教	人との共存を目指したロボットの聴覚機構の開発
三浦 弘樹 一関工業高等専門学校 制御情報工学科 講師	残存機能を十分に活かすためのリハビリ機器と運動解析技術の統合化
宮本 浩一郎 東北大学大学院 工学研究科 電子工学専攻 助教	半導体化学センサを用いた細胞単層幕の薬物透過特性評価法の開発研究
村上 俊之 慶応義塾大学 理工学部 システムデザイン工学科 教授	筋肉のスチフネス変化と加速度制御に基づいた人と移動機械システムの協調制御
望山 洋 筑波大学大学院 システム情報工学研究科 准教授	柔軟物の力学的機能を活用した瞬発力によるアシストデバイスの研究
山越 健弘 金沢大学大学院 自然科学研究科 特任准教授	経時的差分体表面温度を用いた新規運転ストレス評価法に関する研究
山下 淳 静岡大学 工学部 機械工学科 助教	単眼全方位カメラを用いた環境モデリングによる人間への任意視点映像提示の研究
横山 修子 大阪大学大学院 基礎工学研究科 機能創成専攻 特任研究員	テラヘルツ・スタンダードコム内蔵型周波数カウンターの開発

研究助成件数 33 件 合計 7,584 万円

第 18 回（平成 19 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／主催者名
湊 純子 徳島大学大学院 工学研究科 情報システム工学専攻	The 10th IASTED International Conference on Intelligent Systems and Control —ISC 2007— 主催：IASTED (International Association of Science and Technology for Development)
渡辺 寛望 山梨大学大学院 医学工学総合教育部 人間環境医工学専攻	2007 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics 主催：IEEE
亀田 幸季 弘前大学大学院 理工学研究科 安全システム工学専攻	IEEE-RAS 7th International Conference on Humanoid Robots 主催：IEEE
衣川 尚臣 東北大学大学院 工学研究科 電子工学専攻	2007 IEEE International Ultrasonics Symposium (2007 年 米国電気電子学会 (IEEE) 国際超音波シンポジウム) 主催：IEEE Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control Society (米国電気電子学会 (IEEE) 超音波、強誘電体、周波数制御に関する分科会)
横田 諭 横浜国立大学大学院 工学府 システム統合工学専攻	The 2007 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (知能ロボットとシステムに関する国際会議) 主催：IEEE/RSJ

〔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
田口 常正 山口大学大学院 理工学研究科	第 1 回「白色 LED と個体照明」国際会議 Ian T. Ferguson (イアンファーグソン) School of Electrical and Computer Engineering, School of Material Science and Engineering, Director, FRP Next Generation Lighting, Georgia Institute of Technology, Professor 招待講演：Biology effect for human body using White LED Lighting

〔国際交流（一般招聘）〕

申請者氏名・所属機関・職名	派遣先研究集会／主催者名
立石 哲也 (独) 物質・材料研究機構	第 1 回アジアバイオマテリアル学会 樊 渝江 (四川大学・教授) 中国 招待講演：Development of Nano-Structured Scaffolds for Tissue Engineering (再生医工学のためのナノ足場材料の開発)

助成件数 7 件 助成額総額 155 万円

第 19 回（平成 20 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
泉 隼人 関西大学大学院 工学研究科 総合工学専攻 大学院生	Asia-Pacific Conference on Transducers and Micro-Nano Technology 2008 (APCOT 2008) 主催：Ming-Chiao Lai, Yonhua Tzeng, Yu-Cheng Lin
田中 智行 広島大学大学院 工学研究科 社会環境システム専攻 助教	8th World Congress on Computational Mechanics (WCCM 8) 5th European Cngress on Oomutational Methods inApplied Sciences and Engineering (ECCOMAS 2008) 主催：IACM ECCOMAS
西出 俊 京都大学大学院 情報学研究科 知能情報学専攻 博士課程	2008 IEEE International Conference on Robotics and Automation 主催：IEEE
Pitoyo Hartono 公立はこだて未来大学 情報アーキテクチャ学科 准教授	The 18th International Conference on Artificial Neural Networks (ICANN 08) 主催：Institute of Computer Science,Academy of Science of the Czech Republic European Neural Network Society International Neural Network Society Japanese Neural Network Society
松尾 徳朗 山形大学大学院 理工学研究科 准教授	IEEE/ACIS International Conference on Computer and Information Science 2008 主催：IEEE
矢入 健久 東京大学 先端科学技術研究センター 准教授	IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)（ロボット工学と自動化に関する国際会議） 主催：IEEE

(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
鈴木 幸司 室蘭工業大学 情報工学科 教授	2008 IEEE Conference on Soft Computing in Industrial Appkications (SMCia/ 08) にイリノイ大学 David Goldberg 教授を招聘 基調講演：『Genetic Alogorithm and Industrial Applications』

(国際交流（一般招聘）)
 なし

助成件数 7 件 助成額総額 合計 217 万円

第19回 助成金贈呈式

研究助成課題の紹介

平成20年5月14日

(財)立石科学技術振興財団

体内伝導インタフェース装置の開発 (1年間)

広島市立大学 大学院情報科学研究科 システム工学専攻
准教授 石光 俊介

1. 研究目的
「音声認識装置の力」がコミュニケーションシステムにおける音声合成システムの構築
2. 研究内容・期待される研究成果
体内存音器を用いて音声認識し、それらで音源・伝達路の無知な音声合成を作成
体内存音器を用いるの効果を明らかにし、聴覚下で音源・伝達路を推定する
体内存音器と伝達路を用いて、失った周知特性を回復して音質、声調と明らかにする
3. 研究の進捗内容と今後の予定
研究の進捗内容は発表の場では発表済みである。今後の予定は、声源の認識精度が低いといふため精度の向上を図り、このシステムにより改善できると期待される上、今後の「コミュニケーションシステム」における「人型知能装置」の社会実装に向けて取り組む予定である

指首中手骨関節の動的バイオメカニカル構造の
優位性の解明とロボットハンドへの応用(1年間)

岡山県立大学 情報工学部 スポーツシステム工学科
助教 井上 貴浩

実際の握み操り動作を3Dモーションキャプチャ

【指関節角の相対運動計測】

- 3方向から高速度カメラで計測することで、タスクによる指指示動作パターンの明確化

要因 →

- (a) 把持対象物の物理パラメータ
- (b) タスクの種類
- (c) 動作の運動速度

【操り動作中の指先力測定実験】

- 力覚センサを内蔵した物体把持による指先剛性特性と回転関節剛性の数値化

↓

「指把先端軌跡の適応的可変性」と「指剛性特性の適応的可変性」の解明

目標: 9つの指指示動作パターンがタスクに応じて適応的に選択され、巧みで器用な操り動作を実現していることを明らかにする。

関節軟骨再生のための骨髄多機能幹細胞刺激装置の開発
(1年間)

滋賀医科大学 整形外科リハビリテーション部准教授・今井晋二

【損傷軟骨の修復】
従 来：マイクロフラクチャ法
→骨髄腔への穿通に伴う一連の軟骨修復過程

十分量の軟骨前駆細胞が得られず

本研究：2段階に分けた軟骨修復促進
→骨髄腔への穿通に伴う修復過程
・損傷軟骨近傍・骨髄内における骨髄多機能幹細胞の増進
・軟骨下骨の穿破による二次刺激による軟骨前駆細胞の動員

十分な器質産生による軟骨再生

人間とロボットのための安全・安心なインタラクションのための動作の言語化技術の研究（1年間）

（独）情報通信研究機構 第2研究部門 知識創成コミュニケーション研究センター
音声コミュニケーショングループ 専門研究員 岩橋 直人

【目的】

- ・ 自然な発話によって安心して動作を指示できる機能

【達成目標】

- 1 ユーザーが出した動作指示の曖昧性を解消する質問生成
- 2 次に行おうとする動作を表現する発話生成

【課題】

- ・ ロボットの発話に対するユーザーの理解度推定機能の開発

【従来の動作表現技術】

- ・ 設計者によって与えられた動作と学習知識による発話理解
- ・ ユーザーの教示による動作と動作の学習
- ・ 学習した動作による動作確認のための発話生成手法は、いままでにない

【特色・独創的ポイント】

- ・ ユーザーの状況に合った対話と行動の能力の学習
- ・ ユーザーとロボットの動作・対話一度を統計的学習により推定
- ・ 過不足ない自然な動作表現発話の生成

対話により指示動作を明確化するための状況に応じた発話生成

永続的人工進化に基づく協調マルチロボットシステムの開発
(1年間)

広島大学 大学院 工学研究科 機械システム工学専攻
教授 大倉 和博

【マルチロボットシステム】

人も含む環境との創造的な相互関係を構築するためには、高い**自律性能**が必要
従来型アプローチ：制御器として、極小規模かつ単純な進化型人工神経回路網
⇒ **自律性能が限定的で不十分**

【本研究のアプローチ】

永続的人工進化論を採用して**自律性能の大規模向上**を狙い、協調的チームプレーを発現
- (1) 大きな進化可能性を持つ新しい進化型人工神経回路網(OBEANN)を使用
- (2) **進化型計算専用グリッド**を利用して蓄積的な計算機資源を供給

自律的役割分担

永続的人工進化

自律的に役割分担をする進化マルチロボットシステムの開発

不均一電波伝搬環境における事前知識不要な低演算量位置推定法
(研究期間：1年間)

慶應義塾大学 理工学部 情報工学科
准教授・大槻 明

●：センサ(減算定数A)
●：センサ(減算定数B)
○：選択センサ

位置推定

【位置推定法】
従来：GPS → 屋内では使用不可
・WSN：事前伝搬環境を測定 → 作業負担大
・WSN：一様な伝搬環境を測定 → 特性劣化
・WSN：全センサを用いて最大推定 → 演算量大
本研究：
・センサ基本セット(3個)に基づく位置推定用センサセット選択 → 低演算量、不均一伝搬環境の影響低減
・選択センサセットの減算定数を推定し位置推定 → 不均一伝搬環境の影響低減

WSN：無線センサネットワーク
【シミュレータの開発】 基本特性の確認
【実測データを用いた特性評価】

基本セットに基づくセンサセット選択および簡易減算定数推定法に基づく位置推定法の開発

```

graph TD
    A[【研究の目的と意義】  
①乳がん検診における聴覚障害者に対する乳がん検診受診支援システムの研究（研究期間：2年）  
所属機関 筑波医科大学・社会医学講座、予防医学分野  
施設長・氏名 講師・北原直也] --> B[【研究の目標】  
①乳がん検診における医療者と受診者のとの会話内容、および受診時の「声」を把握  
②必要となる手話アームションシステムと評価  
③聴覚障害者の検診受診に必要な配慮を明らかにする]
    B --> C[【具体的研究方法】  
①聴覚障害者10人、健聴者10人を対象に乳がん検診実施内容を確認  
②医療者と受診者間の会話内容を記録  
③検診時所要時間、放射線技師の被曝線量を測定  
④検診時の会話状況を元に、手話アームションを作成・評価実験、わかりやすい視覚的改善案提示  
⑤次年度、手話アームションを用いた対応システムを開発・実用化に向けての評価実験  
⑥聴覚障害者および医療機関向けに、視覚的学習資料およびパンフレットなどの作成]
    C --> D[【研究の結果と意義】  
「聴覚障害者の受診時の対応支援用手話アームションの研究開発の一環」  
●研究開発が開始した胃腸科トドク検査利用のシステムは、「対話」への配慮なし  
●乳がん検診をテーマとした研究は他にありません]
  
```


平成 20 年度研究助成課題の紹介

胸部MDCT画像の経時差分法の開発と病変部候補領域の抽出(2年間)

九州工業大学工学部
准教授・金 亨 彦

【経時差分画像の作成に関する研究】
従来法：胸部単純画像にのみ適用可
提案法：最新のマルチスライスCT画像にも適用可
【経時差分画像作成位置合わせ手法の開発】
・画像位置合わせ時の精度向上
・差分画像上のアーチファクトの低減
【医師への診断支援システムの構築】
・医師側：診断時間の軽減、診断精度の向上
・受診側：QOLの高い医療診断の実現

経時変化を考慮した
診断支援の効率化の実現

過去CT画像セット 現在CT画像セット

病変部はどこ？

患者にやさしい次世代CT装置の構成方式(研究期間:1年)

筑波大学 大学院 システム情報工学研究科 コンピュータサイエンス専攻
准教授・工藤 博 幸

★次世代CT装置のコンセプト

被爆量を大幅に低減してより安全に！

撮影中の静止や息止めを
不要にしてより快適に！

関係ない部位
X線ストップ

キーアイデア
関心領域X線
照射方式

キーアイデア
体動に影響され
ない画像生成法

動いてしまった、どうしよう

従来のCT 次世代CT

1/10の被爆量
で画像は同じ

動いても画像
はブレない

**人と協調動作する石見銀山遺跡調査ロボット用
マニピュレータに関する研究(1年間)**

松江工業高等学校 電子制御工学科 准教授 久間英樹

石見銀山遺跡概要

鳥取県大田市「石見銀山遺跡」→2007年7月に世界遺産登録
現在までに約600箇所の坑道(遺跡)が確認されている。
しかし、非常に狭く、落盤・坑内の溜水等・崩落の危険のため
多くが立ち入り禁止、未解明である。

ロボットによる調査状況

狭い坑道(最小幅 約0.25m)に対応した
探索ロボットを開発
→ 坑道内部の精緻な画像データや、距離
センサ、温度センサ、3軸加速度セン
サを用いて形状、方位、傾斜角を計測。
各種計測データから坑道の様子を推測。

全周クローラ型 探索ロボット 82号坑道 形状計測データ

本研究の目的

確実かつ的確に作業を行うために
人間との協調作業を生む、操作性が高いロボットマニピュレータシステムを開発
→ ロボットの操作性を向上
→ 石見銀山遺跡の全歩解明に貢献 → 同様の各地坑道調査に応用

乗物の加速・減速中における錯覚現象に関する基礎的研究(1年間)

奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科
准教授 柴田智広

【乗物の加速減速による錯覚現象】
従来：重力方向知覚は、慣性力によって変化する(図(a))
→ 誘発される下向き反射的眼球運動(前庭動眼反射)によって錯覚効果を評価できる

本研究：(1)椅子の傾きによって下向き眼球運動が誘発されるか？
(2)自然画像と人工画像との差異により眼球運動の差異が生じるか？

【最先端のVR機器を利用した実験】
当研究科の所有する、計算機制御可能な球面の広視野ディスプレイや電動椅子(右図参照)を利用する。

・乗物に乗る人間の認知に新たな知見
・ドライビングシミュレータやエンターテインメントへの波及効果

**視覚障害者や人工手足使用者のための新しい
MCFセンサを使った義肢システムの開発(1年間)**

福島大学 共生システム理工学類
准教授 島田邦雄

従来：触覚の無い盲人用杖、義足、義手等
本研究：より人間の手の感覚に近い触覚、杖等のシステム開発
MCF(温度感)…… MCF(温度感)…… 2002年に申請者が開発
シリコンオイルゴム
1. 物に触れて感じるという触覚あり
2. 触れた物の温度を感じる温度感あり
3. 弾力性と伸縮性あり

人間の皮膚に近い触覚の人工皮膚用MCF

触覚や温度感
知覚や温度感
知覚や温度感
知覚や温度感

指の部分の試作例

伸縮性電極の接合によるイオンノーマ系化学アクチュエータの創製と運動性能(1年間)

福岡大学大学院工学研究科 知能システム工学専攻
准教授 庄司 英一

巧みに滑らかに動く、曲面の制御で自在に大空を翔く、海の中を遊泳する、
のような動く仕組み、さらに、の筋肉のように滑らかに動く駆動原理を工学的に具体化させること
次世代型の駆動機構として 化学反応をベースとする動く仕掛け 駆動技術として具現化させる → 急務!

工学的開発

従来の電気モーター・機械仕掛け

化学反応による駆動原理

生物系のように化学エネルギーから運動エネルギーに変換する

化学系アクチュエータ

材料創成と制御技術の連携

次世代を担う駆動原理の特徴

従来の化学系アクチュエータ電極構造の金属薄膜の剥離、作製の時間(90時間)、コスト問題を一気に解決 & 大面積化も原理上OK!

1) 超小型・軽量化が容易
2) 電気/化学エネルギー変換効率が高い
3) 機械的な故障が少ない
4) 大気中で動作可能(水中でもOK)
5) しなやかな屈曲運動性

人間と機械の調和、人・動植物が行っている自然な動きを工学的に実現する

**ファイバー形状記憶合金を応用した
低侵襲な消化管蠕動運動デバイスの開発研究(研究期間:1年6ヶ月)**

徳島大学大学院 ヘルスバイオサイエンス研究部 生体材料工学分野
助教・関根一光

消化器がん患者の治療法
～侵襲の大きな外科的治療

選択肢の一つとしての
「低侵襲なメカニカル蠕動運動デバイス」
「体内埋込み可能な超細線人工蠕動器」

検討課題

・生体の消化管輸送に近い能力の模倣
→ 形状記憶合金を人工筋内とした動力源
・消化管組織に挿入可能な形状・寸法・動作温度
→ 作動流体による軟性形状・熱均一性
・低電力消費と高い機械的効率化
→ 致密温度制御可能な小型コントローラ導入

蠕動運動デバイス+内挿型システム
＝ 低侵襲 & QOLの維持

他の臓器への応用例
尿管、直腸、肛門括約筋

人間と共存・協調するロボットアームの動作生成手法の開発(1年間)

千葉工業大学 未来ロボット技術研究センター
研究員 瀬戸 文美

・人間の生活空間内で作業を行うロボットアームには・・・
- 人間に脅威や違和感を覚えさせない動作を生成する必要。
- 人間との接触や協調作業に対する実時間での柔軟性が必須。
従来手法は目標時刻の設定が必要、実時間での柔軟性×

提案する動作生成手法の実現により・・・

アームの手先に仮想的に発生させた目標位置への並進力に基づき動作を生成

並進力の生成に高次遅延系を用いる

並進力の設計指針にロボットアームの運動学・力学モデルを考慮

目標時刻が必要なく、柔軟性○人間との協調作業にも適用可能

人間の動作特性と似た動作が生成

異なるロボットアームそれぞれに適した動作生成手法が設計可能

人間との親和性が高い動作が実時間で生成可能に！

平成 20 年度研究助成課題の紹介

Time-lapse画像を用いた生体情報計測デバイス (研究期間: 2年0か月)

お茶の水女子大学大学院 人間文化創成科学研究科
研究院研究員・高野 千尋

Time-lapse画像を用いた生体情報計測デバイス —— 構成と計測結果

図1 本計測デバイス構成概略図

図2 画像計測結果(顔面歪み計測)

(1) 研究の目的と意義
生体に関する少ない非侵襲計測によることを主眼に、非接触、非侵襲、無痛で日常生活で簡単に使用が期待される画像計測を用いて生体情報計測デバイスの開発、詳細研究を目的としている。

(2) 研究の仮定
Time-lapse画像を用いた計測デバイスは、簡便な計測手法により、心拍数・呼吸数等の計測に置らずに顔面歪み・呼吸変動計測から心拍数の推定、顔面歪みの計測から呼吸変動の推定も可能になることが見込まれ、他に顔面歪み

(3) 研究の目的
・本システムの画像計測技術を用いて、非接触、非侵襲、無痛で日常生活で簡単に使用が期待される画像計測を用いて生体情報計測デバイスの開発、詳細研究を目的としている。

(4) 具体的な研究手法
・高速度カメラを用いたTime-lapse画像を解析し、計測精度の向上、リアルタイム化、携帯型機器化などの実現を目指す研究開発を展開

・ユビタス実験室(お茶の水女子大学)にて計測予定(研究室に、本デバイスをインストール、遠隔地からの計測実験など)

情動センシング用Brain-Computer Interfaceの基盤技術 (研究期間: 1年)

東京大学先端科学技術研究センター
講師・高橋 宏知

(1) 脳の「状況依存型情報処理機構」を調べたい
状況・環境 → 脳の状態(情動)(e.g., 快/不快, 怖気/勇気...)
⇒ 情報表現のスイッチング (i.e., 「幽霊の正体見たり枯れ尾花」)

【各分野の研究トレンド】
【神経科学】 学習による脳の情報表現の変化(可塑性)の探索
⇒ 状況依存型情報表現(有限のリソースで柔軟な情報処理)
【医学生体工学】 Brain-Computer Interface (BCI)の開発
従来のBCIは具体的情報(e.g., 手足の動き→ロボット制御)
⇒ 次世代BCIは高次情報(e.g., 情動, 感情, 意志, 目的...)

実験手法: ラットの条件付(調教) + 神経活動の多点計測
従来の問題点: 情動研究に客観的な動物実験モデルがない
⇒ 予備実験(状況依存型条件付)を提案, スイッチング条件付

【工学的応用】
(2) 時空間的な神経活動から情動を推定したい
解析手法: パターン認識, 情報量, 自己回帰モデル... (改良効果)

情動センシング用BCI基盤技術 → 高次意志抽出, 神経経済学, etc.

多チャンネル脳波からの効率的な律動信号抽出法

東京農工大学 大学院共生科学技術研究院
准教授・田中聡久

信号抽出 (本課題の研究対象)

脳活動を示す律動的な信号(α 波, β 波, θ 波等)

ノイズのパワーが強いと、DFTやフィルタリングでは観測不可能。

目標
・アレキ信号処理, アレイ時間周波数解析の考え方を基に、律動信号を抽出する枠組みを作る。

応用
・ブレイン・コンピュータ・インターフェイス(BCI)

日常環境下強いノイズ

学習機能を持つ小型表面筋電位計測装置の開発 (1年6ヶ月)

宮崎大学 工学部 電気電子工学科
助教・田村 宏樹

【表面筋電位計測装置】
従来: 一般的にアンプ、パソコンが必要
本研究: 表面筋電位専用小型アンプ + マイコン(もしくはFPGA) で構成
⇒ 小型化

【アンプの小型化】
・ノイズに強く、消費電力が小さいアンプの作成

【学習機能の実現】
・表面筋電位信号から特徴量を抽出 → 計算量の少ない方法を提案
・ニューラルネットワークの技術を用いてパターン分類
⇒ 表面筋電位信号の変化に自己組織的に対応する方法を提案

学習機能を持つ小型表面筋電位計測装置を用いた
ヒューマンインターフェイス機器の開発

脳波による新しいライフログ検索技術 (研究期間: 1年6ヶ月)

東京大学 IRT 研究機構
特任助教・唐山英明

従来の情報検索手法
■ マウスやキーボードによる検索・選択
■ 手の運動を介して行われる

今回提案する新しい情報検索手法
■ 念じるだけで検索・選択
■ 手の運動を介する必要がない
■ 脳活動を利用するため直観的

ブレイン・コンピュータ・インターフェイスの活用
P300電位の利用、パターン認識技術の適用
高齢者などへの直観的インタフェースとしても発展性がある

プラントオペレータの認知情報処理モデルによる
ヒューマンエラー解析と事故予防策立案 (研究期間: 1年間6ヶ月)

奈良先端科学技術大学院大学
准教授・野田 賢

従来 ヒューマンエラーに起因するプラント事故の頻発
事故後の聞き取りやデータ解析による原因調査

本研究 プラントオペレータの認知情報処理モデル構築
シミュレーションによるヒューマンエラー解析
事故を未然に防ぐ予防策立案

本研究の特徴
・オペレータの異常診断過程に注目(誤診断→事故)
・オペレータモデルによる異常診断シミュレーション
・不適切なアラーム設定による誤診断の発生メカニズムの解明
・誤診断を防ぐためのアラームマネジメント

誤診断の発生メカニズムの解明と予防策立案

プラント運転シミュレーション実験
オペレータ視線移動分析実験

福祉支援用機器の直感的制御を可能にする
マン・マシン・インターフェースの開発 (1年間)

東北大学 電気通信研究所 生体電磁情報研究分野
助教 杉 修一郎

【マン・マシン・インターフェース】
従来: ジョイスティック、データグローブ等(接触型)
※ 直感的操作、ストレス・フォースフリー化: 両立は困難
本研究: ワイヤレス磁気モーションキャプチャシステム
(1. 非接触型磁気マーカーを用いた非接触型)

① 小型軽量磁気マーカーの開発 ⇒ ストレス・フォースフリー化
② 位置・方向の高精度検出 ⇒ 直感的操作、パラメータに富んだ動作パターンを特定可能
③ 低電磁場($<10\mu T$) マイクロ波 ⇒ 日常的に使用可能

・重量減・高感度・高精度・非接触による、全磁気マーカーの同時取得
・Gauss-Newton法を用いた非線形最小二乗法による逆問題計算(位置・方向算出)

① 1. 非接触型磁気マーカー ② 2. 高精度位置検出 ③ 3. 高精度方向検出

表示例

【期待できる結果】
・微小な出血の検出
→ 救急専門病院、非救急専門病院の補助
・急性期脳梗塞の早期治療開始
→ MRI画像を用いない梗塞領域の把握

脳X線CT画像の標準化による救急医療のための
脳画像解析システムに関する研究 (研究期間: 1年)

岐阜大学大学院医学系研究科 准教授・原 武史

目的: 脳治療に使うコンピュータ支援診断の基盤技術開発

複数の正常症例を
・変形
・位置あわせ
・重ね合わせ

対象画像 (事故等)

正常症例を標準化
CT値の違いを客観的に
医師へ提示する

変形
位置あわせ

【方法】
複数の正常例から
正常脳のCT値を推定
患者の画像を位置あ
わせする。

スコアリング

モデル化
・平均CT値
・標準偏差

脳梗塞
硬膜下血腫

【期待できる結果】
・微小な出血の検出
→ 救急専門病院、非救急専門病院の補助
・急性期脳梗塞の早期治療開始
→ MRI画像を用いない梗塞領域の把握

平成 20 年度研究助成課題の紹介

網膜部位再現性を利用した視覚関連fMRI脳活動の表示・解析手法の開発 (1年)
京都大学こころの未来研究センター 助教 番 浩志

「脳の空間でfMRI脳活動を表現する手法」から「視野の空間でfMRI脳活動を表現する手法」へ

fMRIで得られた視覚関連脳活動の表現方法
従来の方法 (A) : 脳の構造に基づいたデータの標準化・平均化を行い、脳の構造上で活動分布を表示。直線本図 (B) : 脳活動分布を視覚刺激が提示されていた「視野の空間」へと変換して表現

本研究で提案する手法の利点

- 個人間の脳構造のばらつきを考慮し、より正確な脳活動の標準化・平均化が可能
- 視野の空間という全個人で共通の枠組みで脳活動を議論できる
- ヒトの脳活動と機械とを対応させるインターフェースを開発するには、両者の機能表現のベースを同じにできると効果的である
- 本図では「視野」の空間というヒトと機械の間に共通の枠組みを用いて脳活動を表現し、両者の共通性を可能にするための基礎技術確立を目指す

時間解像度と量子化レベルを関連付けた適応的信号表現
アルゴリズムのハード化 (1年間)
京都大学大学院 工学研究科 電気工学専攻 准教授・久門 尚史

目的: 人間にとって適切な信号解像度表現へのリアルタイム変換
アプローチ: 時間解像度と量子化レベルの対称性に基づく関連付け

高速化する信号 → 高時間解像度、低ビット量子化
ゆっくり変化する信号 → 低時間解像度、多ビット量子化

応用: $\Delta\Sigma$ A/D変換器の適応デモーション
入力: オーバーサンプリングされた1ビット信号
出力: 適切な時間解像度と量子化レベルの多ビット出力

設計: 実時間信号処理プロセッサ
FPGA (再構成可能なLSI) による高速信号処理プロセッサの設計

人との共存を目指したロボットの聴覚機構の開発 (1年間)
早稲田大学理工学術院先進理工学部 助教 松本 光希

【ロボットにおける聴覚機構】
従来手法: マイクロホンアレイ、独立成分分析
○ 環境から来る外部雑音
× ロボット内部から来る内部雑音

本研究: マイクロホンとビエゾ素子の組み合わせにより、内部雑音を除去

【実利用のための内部雑音除去処理技術の開発】
・マイクロホンアレイの適用範囲を拡張
・ブラインド音源分離などの技術を提案手法に適用
・Autonomous robot UBIROでの雑音除去実験
実用を想定した実環境での実験

マイクアレイとビエゾ素子を利用したロボットの内部雑音除去

残存機能を十分に活かすためのリハビリ機器と運動解析技術の統合化 (1年6ヶ月)
一関工業高等専門学校 制御情報工学科 講師 三浦 弘樹

リハビリ訓練システム

・ 従来: 出力結果のみでの評価
→ 元々の原因はどこにある?
→ 回復箇所、未回復箇所は?
→ その後の回復の可能性は?

・ 本研究: 計測装置と身体モデルを導入
→ 身体力学モデルを構築し組み込む
→ 機器とモデルの統合により、訓練時の身体状態把握
→ データベース化により、回復箇所と回復過程を把握

効果的な訓練計画と、個人に適した支援機器設計への指針の提案

運動機能評価と身体状態推定可能なリハビリ評価訓練システム

半導体化学センサを用いた細胞単層膜の薬物透過特性評価法の開発研究 (研究期間: 1年)
東北大学大学院工学研究科 電子工学専攻 助教 宮本 浩一郎

我々を取り巻く多種多様の化学物質
環境ホルモン・生体毒性物質...
化学物質・刺激物の評価法が必要

細胞単層膜の薬物透過特性 + 半導体化学センサ

- 半導体化学センサ表面の修飾による培養環境の整備
- インピーダンス測定による従来法との比較
- 集積化による多検体測定 (同時計測・長時間計測)

筋肉のステフネス変化と加速度制御に基づいた人と移動機械システムの協調制御 (研究期間: 1年)
慶應義塾大学理工学部システムデザイン工学科 教授 村上 俊之

筋肉のステフネス変化推定 → 人の動作モード (動作意思)、環境モードの推定と識別
人の等価加速度入力の推定 → パワーアシストモードおよびパワーアシストゲインの設定
パワーアシスト指令 → モータ電流指令 → モータ加速速度応答

人の動作モードおよび環境モードに基づいた新しいパワーアシスト制御装置の開発

柔軟物の力学的機能を活用した瞬発力によるアシストデバイスの研究 (1年間)
筑波大学 大学院 システム情報工学研究科 准教授 望山 洋

目的: 所要所に瞬発力を発生させることにより有益な力作業補助 (e.g. 30kgの重量物持ち上げ、起立補助) を実現する、軽量 (<5kg)・安価 (<¥50千) で安全なアシスト装置の開発。

アイデア: 柔軟物の力学的機能を活用、具体的には、柔軟物の飛び移り屈座に伴う瞬発力発生機能を利用する。

- 機構がシンプル・軽量・安価にできる可能性
- 瞬発力の利用→エネルギーが低く、実は安全

経時的差分体表温度を用いた新規運転ストレス評価法に関する研究 (1年間)
金沢大学大学院 自然科学研究科 特任准教授・山越 健弘

運転中に生体情報を取得できるシステムを構築し、事故の危険性を未然に防止する!

従来: 世界的にも実用化されているものは少ないが、心電、瞬きを利用しようとした研究が盛ん
本研究: 生体情報としては簡易計測が可能な**生体温度情報**に着目

体の末梢部 (手、足、鼻) 温度は**ストレス**の影響を受け易い

【研究の目的】
生体情報としては遙かに計測しやすく、ストレスに敏感に反応する末梢部温度情報に着目し、従来の**新たな運転中ストレス評価法としての妥当性および方法論を提案**することを目的とする。

【仮説の証明】
末梢部と体幹部の**差分体表温度**は**ストレス**の指標

Overall Goal 次世代型安全運転支援システムの提案

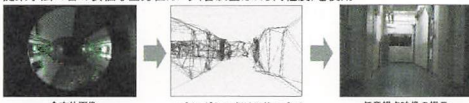
平成 20 年度研究助成課題の紹介

単眼全方位カメラを用いた環境モデリングによる
人間への任意視点映像提示の研究(1年間)

静岡大学 工学部 機械工学科 准教授・山下 淳

【任意視点映像の生成・提示】

従来手法: 複数の高価な計測機器を使用 (GoogleマップStreet View: 11個の特殊なカメラ)
提案手法: 1台の安価な全方位カメラ (普及型は5万円程度) を使用



全方位画像 モデリング (この例は形状モデル) 任意視点映像の提示

【技術的な特色・チャレンジングポイント】

(1) 手持ちでカメラを適当に動かすだけで自動的に3次元モデリングを行うことが可能
(2) 視野が広く(長所)、解像度が低い(短所)という全方位カメラの特性を考慮
(3) 人間の要求に応じてリアルタイムで任意視点映像を提示することが可能

新規な技術

(a) カメラの動きの高精度な推定手法
(b) 撮影対象の高精度な3次元計測手法
(c) 高精細な任意視点映像の生成手法

テラヘルツ・スタンダードコム内蔵型周波数カウンターの開発

大阪大学大学院 基礎工学研究科 機能創成専攻 (研究期間: 1年)
特任研究員 横山修子

【THz周波数コム】
様々な領域への展開

生体計測 (がん診断等) にTHz波の利用

- ・良好な物質透過性
- ・安心安全 (低エネルギー・低侵襲)

正確な周波数計測の必要性
トレーサビリティの整備急務

【従来】 0.5THz以下: 電気的手法
10THz以上: 光学的手法
0.5-10THz: 有効な手段が無い

【光周波数コム】技術
(ノーベル物理学賞受賞)
をTHz領域に拡張

↓

『THz周波数コム』を周波数計測の目盛りに！

テラヘルツ・スタンダードコム内蔵型周波数カウンターの開発

超精密絶対周波数計測

- ・マイクロ波～THz領域をフルカバー
- ・原子時計レベルの周波数精度

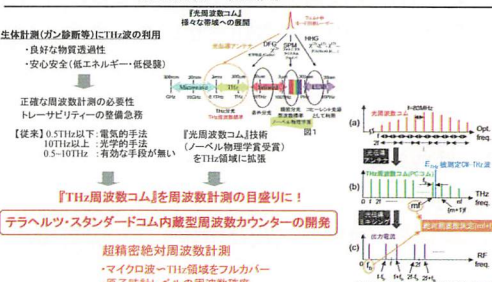


図2: THz周波数コムによる絶対周波数測定

財団法人 立石科学技術振興財団 平成 21 年度 研究助成（A，B）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 21 年度の研究助成（A），（B）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（A）助成金	1 件 250 万円以下	20 件程度
研究（B）助成金	1 件 500 万円以下	2 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 20 年 9 月 1 日～平成 20 年 10 月 31 日（郵便局消印有効）

助成対象期間：研究助成（A） 平成 21 年 4 月 1 日～原則 1 年

研究助成（B） 平成 21 年 4 月 1 日～原則 2 年

助成金交付時期：平成 21 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 21 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 21 年度前期の国際交流助成の候補募集を行いますので、お知らせいたします。(さらに詳細については募集要項をご覧ください)

記

(1) 助成対象

国際交流助成(派遣と招聘)

エレクトロニクス及び情報工学の分野で、人間と機械の調和を促進するための研究活動を行う研究者の海外派遣または外国人研究者の招聘。派遣は応募者本人に、招聘は被招聘者に助成する。

「人間と機械の調和を促進する」とは、人間重視の視点に立った科学技術の健全な発展に寄与したい、という願いからきているものです。上記の範囲で、科学技術を人間にとって最適なものとするための、若手研究者による萌芽的な基礎研究活動の一環としての国際交流を歓迎します。ことに、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 21 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 20 年 10 月 1 日～平成 20 年 12 月 31 日(郵便局消印有効)

助成対象期間：平成 21 年 4 月 1 日～平成 21 年 9 月 30 日です。

助成金交付時期：平成 21 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。

(株) 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 21 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 21 年度後期の国際交流助成の候補募集を行いますので、お知らせいたします。（さらに詳細については募集要項をご覧ください）

記

（１） 助成対象

国際交流助成（派遣と招聘）

エレクトロニクス及び情報工学の分野で、人間と機械の調和を促進するための研究活動を行う研究者の海外派遣または外国人研究者の招聘。派遣は応募者本人に、招聘は被招聘者に助成する。

「人間と機械の調和を促進する」とは、人間重視の視点に立った科学技術の健全な発展に寄与したい、という願いからきているものです。上記の範囲で、科学技術を人間にとって最適なものとするための、若手研究者による萌芽的な基礎研究活動の一環としての国際交流を歓迎します。ことに、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 21 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 21 年 4 月 1 日～平成 21 年 6 月 30 日（郵便局消印有効）

助成対象期間：平成 21 年 10 月 1 日～平成 22 年 3 月 31 日です。

助成金交付時期：平成 21 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。

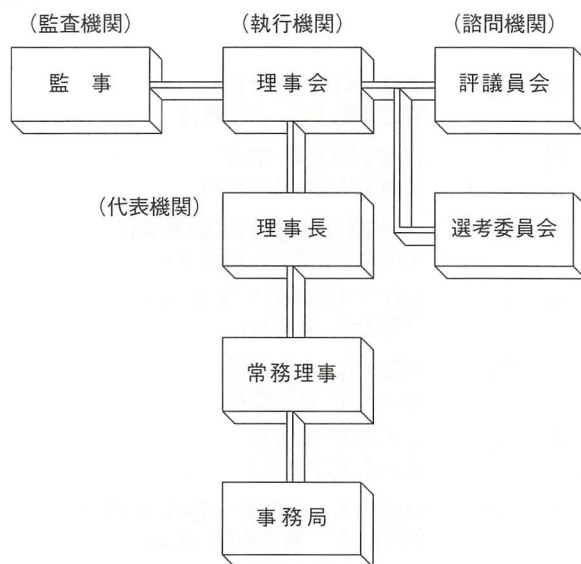
URL : <http://www.tateisi-f.org/>

■ 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

(平成 20 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 顧問 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 安全保障貿易情報センター 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 元京都大学 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	税理士（辻・本郷税理士法人 特別顧問）
監事	中川 朋子	弁護士（イリス法律事務所）

(平成 20 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	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 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17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18回（平成19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18回（平成19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沖村理事様、投稿文をお寄せいただきました東京工業大学大学院 情報理工学研究科 井村 順一教授、東北大学 電気通信研究所 塩入 論教授、事務局取材に快く応じていただきました大阪大学大学院 基礎工学研究科 宮崎 文夫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21年度の助成候補の募集期間になっていますので、当財団ホームページをご覧くださいと思います。また、国際交流助成については前期と後期の2回に助成期間を分けて募集いたしておりますので合わせてご覧くださいと思います。

当財団の活動ならびに本誌に関する皆様のご意見などお待ちしております。

財団法人 立石科学技術振興財団 事 務 局

財団法人 立石科学技術振興財団
Tateisi Science and Technology Foundation
助成研究成果集 第 17 号
平成 20 年 9 月 (2008)

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下さい。)