

立石科学技術振興財団

助成研究成果集

【第13号】

平成16年(2004)



人間と機械の調和を促進する助成研究成果集

第 13 号

平成 16 年 9 月 (2004)

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（長尾 真 理事 独立行政法人 情報通信研究機構・理事長, 前京都大学・総長）	3
3. 助成研究成果の抄録一覧	5
4. 国際交流報告の抄録一覧（平成 15 年度）	89
5. 平成 15 年度活動報告（業務日程・会計）	95
6. 平成 16 年度助成報告	96
7. 第 15 回助成金贈呈式	97
8. 受領者投稿	98
川上養一 京都大学工学研究科電子工学専攻 助教授	98
陳 謙 和歌山大学システム工学部デザイン情報学科コンピュータ支援設計講座 助教授	99
9. 研究室訪問	100
東北大学大学院 工学研究科 航空宇宙工学専攻 内山研究室	100
10. 第 15 回（平成 16 年度）助成課題一覧	102
11. 平成 16 年度研究助成課題の紹介	104
12. 平成 17 年度助成候補募集案内	107
13. 財団の概要	111
14. 役員・評議員	112
編集後記	113

ごあいさつ

このたび、助成研究成果集第13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15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13号の発行にあたり、ご寄稿いただきました研究者の皆様をはじめ、ご協力いただいた方々に厚く御礼申し上げます。

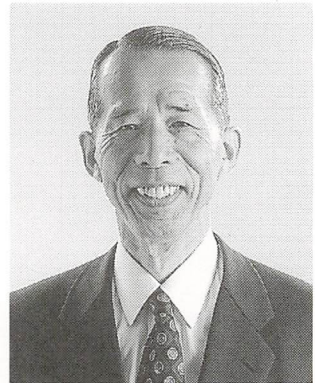
21世紀を迎えた今日、情報化と科学技術の進歩がさらに加速し発展する中で、忘れてならないのは人間が主人公の社会の回復、すなわち人間と科学技術の高次元での調和だと考えております。この人間重視の視点に立った豊かで健全な最適化社会の創造に向けて、私ども財団の助成活動がいささかでも寄与できればと願っております。

今後も引き続き、ご支援ご鞭撻を賜りますようお願い申し上げます。

理事長 立石 信雄

技術は芸術，ゆっくりと

今日の科学技術の発展は目覚ましい。2，3年離れているだけで，自分の専門分野の姿が全く変わってしまっているといった状況である。ところが，そのような科学技術も具体的な産業応用ということになると多くの課題を含み，容易に製品に結びつかない。たとえ製品ができたとしても，それが広く社会に受け入れられ，誰もが自由に使い，また楽しむというところにまで行くためには長年月の改良が必要となる。そこには芸術的センスさえ要求されるようになってきている。



そもそもアート（art）という語はギリシャ語のテクネ（技術）と同じ意味のラテン語であった。つまり高い品質の物造り，職人芸がアートであり，これが芸術作品に繋がっていったのである。何百年か前に日常的に使われていたもので，ほんとうに使いやすい良いものは多くあり，今日民芸といった形で高く評価されていたりする。こういったものは長い年月をかけて改良を重ね，本当に使いやすく親しみがもて，また人間の美意識をも満足させるものとなっている。

現代の技術やそれに基づく製品もこのように多くの人が使うことによって改良され，使いやすい親しみやすいものにまで高められてゆく必要がある。それにしてもあまりにも変化の方が早すぎ，そういった熟成のための時間を確保することが難しいのが現代である。ゆっくりとした熟成のときを必要とするワインでさえ，熟成を早める研究がなされているという。技術を芸術に持ってゆく研究をしなければならぬ。

しかし，人間はなぜこのように急ぐのだろうか。急いで何処へ行こうとしているのだろうか。

理事長 尾 真

（独立行政法人 情報通信研究機構・理事長，前京都大学・総長）

研究助成成果の抄録一覧

(年度順五十音順)

- ◆ 正準変換に基づく機械システムの制御に関する研究 (1011016) 8
 On Control of Mechanical Systems via Generalized Canonical Transformations
 藤 本 健 治 名古屋大学大学院工学研究科 助教授

- ◆ 創造活動支援のための人間－機械系の研究 (1021001) 12
 Research on Human-Computer Interaction for Supporting Creative Activities
 網 谷 重 紀 日本学術振興会 海外特別研究員

- ◆ 機械システムの予測型混合論理コントローラの設計 (1021002) 16
 Predictive-Type Mixed Logical Controller Design of Mechanical Systems
 井 村 順 一 東京工業大学 助教授

- ◆ 人間の認知的姿勢に基づく人工クリーチャとの交感的なコミュニケーション (1021012) 20
 Phatic Communication with Artificial Creatures through Human Interpersonal Posture
 竹 内 勇 剛 静岡大学情報学部 助教授

- ◆ 無人ヘリコプタの操縦法の解析に基づく操縦インタフェース設計 (1021013) 24
 Human Interface Design Based on the Analysis of the Operation of an Unmanned Helicopter
 中 西 弘 明 京都大学大学院工学研究科 助手

- ◆ 3次元動画画像取得用 VLSI プロセッサの開発と高安全知能システムへの応用 (1021014) 28
 Development of a VLSI Processor for Acquisition of 3-D Image Sequences and
 Its Application to Highly-Safe Intelligent Systems
 張 山 昌 論 東北大学大学院情報科学研究科 助教授

- ◆ 分調波を用いた超音波造影剤崩壊量の定量的評価 (1021017) 32
 Quantitative Evaluation of Ultrasound Contrast Agents' Collapse Using Subharmonics
 深 見 忠 典 山形大学工学部応用生命システム工学科 助手

- ◆ 言語障害者のための会話補助システム (1031002) 36
 Development of a Communication-Aid System to Detect Eye-Gazed Patterns
 江 口 啓 熊本電波工業高等専門学校・電子工学科 助教授

- ◆ 支援型インターフェースにおける光脳機能計測信号の利用に関する研究 (1031003) 40
Optical Measurement of Intrinsic Signal of Brain Function for Supporting Interface
岡 田 英 史 慶應義塾大学理工学部電子工学科 助教授
- ◆ 汎用性を備えたデータベース検索音声対話プラットフォームの設計と実装 (1031004) 44
Design and Implementation of General-Purpose Spoken Dialogue Platform for Database Retrieval
奥 乃 博 京都大学大学院情報学研究科知能情報学専攻音声メディア分野 教授
- ◆ マイクロ能動カテーテルを用いる低侵襲脳血管手術支援システム (1031005) 48
A Supporting System for Minimum Invasive Intravascular Neurosurgery
郭 書 祥 (Shuxiang Guo) 香川大学工学部 助教授
- ◆ 医療用マイクロデバイスのためのナノ表面改質加工技術の研究開発 (1031006) 52
R & D of Nano-surface Modifying Fabrication Technique for Medical Micro Devices
片 平 和 俊 独立行政法人 理化学研究所 研究員
- ◆ マイクロマシニング技術による集積化能動触覚センサに関する研究 (1031007) 56
Development of Micromachined Active Tactile Sensor
式 田 光 宏 名古屋大学エコトピア科学研究機構 助教授
- ◆ ニオイアレイセンサーと有害化学物質監視システムに関する基礎研究 (1031008) 60
A Fundamental Study on the Electronic Nose and the VOC Observation System
庄 司 英 一 福井大学工学部知能システム工学科 助教授
- ◆ 情報活用社会に整合するプラスチック高集積回路の試作研究 (1031009) 64
Plastic Integrated Circuits for Information Technology
染 谷 隆 夫 東京大学工学系研究科量子相エレクトロニクス研究センター 助教授
- ◆ 胸部 X 線動画像を対象としたコンピュータ支援診断システムの開発 (1031010) 68
Development of Computer Aided Diagnosis System for Dynamic Chest Radiographs
田 中 利 恵 金沢大学医学部保健学科 助手
- ◆ 情報場を介したインタラクションに基づく創発的問題解決システムに
関する基礎研究 (1031011) 72
Emergent Systems Approach for Problem-Solving Based on Interactive Information Fields
玉 置 久 神戸大学工学部 助教授
- ◆ 安全で信頼性を有するメカトロニクスシステムに関する研究 (1031014) 76
Safety and Reliable Mechatronics Systems
滑 川 徹 長岡技術科学大学工学部機械系 助教授

◆ ハイブリット中空糸ゲルモジュールを用いた人型ロボット用 人工筋肉システムの開発 (1031017)	80
Development of Artificial Muscle System for Humanoid Using Hybrid Hollow Fiber Gel Module	
比 嘉 充 山口大学大学院医学研究科 助教授	
◆ 同期的オンラインコミュニケーションにおける情報処理と対人認知に関する 実験的研究 (1031018)	84
Human Information Processing and Interpersonal Perception in Synchronous Online Communication : An Experimental Approach	
三 浦 麻 子 神戸学院大学人文学部 助教授	

正準変換に基づく機械システムの制御に関する研究

On Control of Mechanical Systems via Generalized Canonical Transformations

1011016

研究代表者

名古屋大学大学院工学研究科 助教授

藤 本 健 治

共同研究者

京都大学大学院情報学研究科 教 授

杉 江 俊 治

〔研究の目的〕

オフィスの空調から航空機の自動操縦まであらゆる分野で、人と機械の調和をはかる要の技術として制御がある。この技術では、線形の系を対象とした線形制御理論がその主流であり、対象物を線形のモデルで近似して設計を行うのが通常である。しかし実際には多くの対象が非線形要素を含んでおり、こうした対象も扱いたいという要求から近年非線形制御と呼ばれる制御手法が注目を浴びはじめている。しかしカオス等に代表されるように非線形系の振る舞いは多様であり、これらを統一的に扱うことは本質的に難しい。これは「非線形系」が「線形系」に比べて広すぎるクラスであることに起因している。したがって「非線形系」のなかでも実用的に重要な制御対象に限定することで効果的な手法が得られる場合がある。そのような限定されていてかつ実用上重要度の高い制御対象のクラスが力学系や電気回路などの物理系である。このような物理系の特徴をいかした制御法を従来の一般的なモデルを用いた制御法に対比させて「ダイナミクスベース制御」と呼ぶ。本稿はこのダイナミクスベース制御の一手法であり、筆者らが提案している一般化正準変換を用いた制御系設計手法、とくにハミルトン系の対称性を利用した反復学習制御法について述べる。これらの制御法は物理系が生得的に持っている

性質をうまく利用したものであり、従来法に比べシンプルで自然な制御法になっている。実際制御対象のパラメータをあまり用いないため、モデル化誤差に関して非常にロバストなものになっている。人間も物理系の一種であり、その物理系に自然な制御法を用いることで、より細やかで人にやさしい制御技術の構築が期待される。

〔研究の内容、成果〕

1. ハミルトン制御系

ここでは、物理系を統一的に表すモデルとして次式のようなハミルトン制御系を用いる。

$$\Sigma_H^0: \begin{cases} \dot{x} = (J-R) \frac{\partial H(x, u, t)^T}{\partial x} & x(0) = x^0 \\ y = -\frac{\partial H(x, u, t)^T}{\partial u} \end{cases} \quad (1)$$

$H(x, u, t) \in \mathbb{R}$ はハミルトン関数と呼ばれ、系の物理的なエネルギーを表す。 $J, R \in \mathbb{R}^{n \times n}$ は歪対称、対称（半正定）行列であり、それぞれハミルトン系のエネルギー保存の性質および摩擦などによるエネルギー散逸の性質を表すものである。例をあげてみよう。

一般的な機械系を考えよう。例えば図1のようなロボットアームである。関節角座標を $q \in \mathbb{R}^m$ 、慣性行列を $M(q) \in \mathbb{R}^{m \times m}$ 、一般化運動量を $p := M(q)\dot{q} \in \mathbb{R}^m$ 、入力（トルク）を u

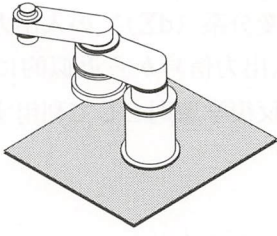


図1 2リンクロボットアーム

$\in \mathbb{R}^m$, 重力等による位置エネルギーを $V(q)$ $\in \mathbb{R}$ とし, 状態を $x = (q, p) \in \mathbb{R}^{2m}$ とすると, この系の運動は次のハミルトン制御系で表される。

$$\begin{pmatrix} \dot{q} \\ \dot{p} \end{pmatrix} = \left(\begin{pmatrix} 0 & I \\ -I & 0 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & D \end{pmatrix} \right) \begin{pmatrix} \frac{\partial H(q, p, u)^T}{\partial q} \\ \frac{\partial H(q, p, u)^T}{\partial p} \end{pmatrix}$$

$$y = -\frac{\partial H(q, p, u)^T}{\partial u} = q \quad (2)$$

ただしハミルトン関数は

$$H(q, p, u) = \underbrace{\frac{1}{2} p^T M(q)^{-1} p}_{\text{kinetic energy}} + \underbrace{V(q) - u^T q}_{\text{potential energy}}$$

のように運動エネルギー (kinetic energy) と位置エネルギー (potential energy) の和になっている。上式の「potential energy」は, 通常の重力による位置エネルギー $V(q)$ と入力信号 $u(t)$ が仮想的に作り出す時変の位置エネルギー $-u^T q$ から構成されている。

この例からもわかるように (1) 式のモデルを用いると多くの電気-機械系が表現できる。この (1) 式のモデリングは, 系のエネルギー H に注目した形式であるので, この H , もしくは H を加工した関数をリアプノフ関数として用いてフィードバック制御を行なう手法 (一般化正準変換) が得られている¹⁾。以下では (1) 式のハミルトン制御系の対称性および, この性質と一般化正準変換を用いた反復学習制御法について説明する。

2. 勾配法

まずは反復学習制御の準備として勾配法を用いた最適化を簡単に復習しておく。まず制御対

象を, 入力 u を出力 y に移すような $y = \Sigma(u)$ という「関数」と考えることから出発しよう。反復学習制御とは, ある与えられた y の目標値 y^d に対して評価関数

$$\Gamma(y) := \frac{1}{2} \|y - y^d\|_{L_2}^2 \quad (3)$$

を最小 (すなわち 0) にするような u を求めること, といいかえることができる。すなわち $y = \Sigma(u)$ を通常の「関数」だと思えば, $\Gamma(\Sigma(u))$ を最小化する問題になる。関数 $\Gamma(\Sigma(u))$ を最適化するツールの一つとして勾配法が良く知られている。この方法ではまず $\Gamma(\Sigma(u))$ の勾配 (微係数) を調べ, 微係数が負になるもっとも急な方向へ u を随時移動させてゆく方法である。これに従い, まず $\Gamma(\Sigma(u))$ の微分*を計算してみよう。

$$\begin{aligned} d\Gamma(y)(dy) &= \langle y - y^d, dy \rangle_{L_2} \\ &= \langle y - y^d, d\Sigma(u)(du) \rangle_{L_2} \\ &= \underbrace{\langle (d\Sigma(u))^*(y - y^d), du \rangle_{L_2}}_{\Gamma_u} \quad (4) \end{aligned}$$

ここで $(\cdot)^*$ は $(\cdot)$ の随伴作用素**を表している。上式の Γ_u が $\Gamma(\Sigma(u))$ の u に関する微係数である。したがって適当な正のゲイン K を用いて最急降下の方に入力を $du = -K \cdot \Gamma_u$ のように変化させれば, (4) 式より $d\Gamma = -K \|\Gamma_u\|_{L_2}^2 < 0$ となり Γ は減少してゆくことがわかる。なお上式のように入力を変化させるとは, 実際には $u_{(i)}, y_{(i)}$ でそれぞれ i 番目の入出力 $y_{(i)} = \Sigma(u_{(i)})$ の組を表すとして

$$\begin{aligned} u_{(i+1)} &= u_{(i)} - K_{(i)} \cdot \Gamma_u \Big|_{\substack{u=u_{(i)} \\ y=y_{(i)}}} \\ &= u_{(i)} - K_{(i)} (d\Sigma(u_{(i)}))^* (y_{(i)} - y^d) \quad (5) \end{aligned}$$

$i = 1, 2, \dots$ によって u を更新してゆくことに対応し, i をどんどん大きくしてゆくこと

* ここでの「微分」は Fréchet 微分であり, 各 u に対して $d\Sigma(u)(v) = \Sigma(u+v) - \Sigma(u) + o(\|v\|)$ を満たす v に関して線形な写像。

** 線形写像 T の随伴作用素とは, $\langle u, Tv \rangle = \langle T^*u, v \rangle$ を満たす線形写像 T^* 。

$\Gamma(\Sigma(u_{(i)}))$ が所望の値（すなわち最小値）に近付いてゆく。ここで現れる $d\Sigma$, $(d\Sigma)^*$ をそれぞれ Σ の変分系および随伴変分系と呼ぶ²⁾。

さてあとは更新則 (5) を入出力データ $(u_{(i)}, y_{(i)})$ だけを使って実行すれば、反復学習制御の一手法になるわけだが、(5) 式は制御対象の随伴変分系 $(d\Sigma)^*$ を含んでおり、この作用素を計算するには制御対象の精密な情報が必要になり、もはや「学習」ではなくなってしまう。

3. ハミルトン制御系の対称性

前節では、勾配法に基づく更新則 (5) を入出力データだけを用いて学習的に実行することが一般には困難であることを述べた。しかし制御対象 Σ が (5) のようなハミルトン系 Σ_H であれば、(5) 式の随伴変分系を計算することなしに、この更新則を使うことができるのである。(1) 式のハミルトン系に対しては、次のような性質が成り立つ。

定理²⁾ ある仮定のもとで (1) 式のハミルトン制御系の変分系 $d\Sigma_H$ および随伴変分系 $(d\Sigma_H)^*$ は互いに時間反転した状態空間表現を持つ。

Σ_H が線形の場合には、上の定理の性質はその伝達関数行列が対称行列になることと等価であるため、この性質を対称性と呼ぶ。簡単にいえば、この性質が成り立つときには初期状態と入力 (x^0, u) に対して (ξ^0, w) をうまく選んで、 $\Sigma_H^x(u)$ と $\Sigma_H^w(w)$ の状態の軌跡がちょうど時間反転の関係になるようにできれば

$$(d\Sigma_H^x(u))^*(v) = \mathcal{R} \circ (d\Sigma_H^w(w)) \circ \mathcal{R}(v) \quad (6)$$

が成立する。ここで $\mathcal{R}$ は、時間区間 $[0, T]$ 上の時間反転作用素で、 $(\mathcal{R}(u))(t) = u(T-t)$ である。さらに微分 $d\Sigma_H$ は、 Σ_H の「差分」を利用すると v が微小なとき

$$d\Sigma_H(u)(v) \approx \Sigma_H(u+v) - \Sigma_H(u) \quad (7)$$

のように近似できる。したがってこの2つの関係式を組み合わせることで、(5) 式の更新則に

現れる随伴変分系 $(d\Sigma)^*$ の入出力信号をもとの系 Σ の入出力信号から近似的に作り出すことができ、反復学習則として利用することができる。

4. 一般化正準変換を用いた設計

さていよいよ反復学習制御則を設計してみよう。実際に反復学習を行う場合には、制御対象をローカルなフィードバックで漸近安定化しておく必要がある。こうしておかないと、せっかく最適な（フィードフォワード）入力が学習で求まっても、初期値の微妙なずれや雑音などで出力の波形が大きく変わってしまう可能性がある。しかしハミルトン系の制御対象にフィードバックを施すと、閉ループ系は一般にはハミルトン系ではなくなってしまう。したがってここで用いるローカルフィードバックは、ハミルトン系の形を保存するものでなくてはならない。このようなハミルトン形式を保存する変換を一般化正準変換⁸⁾とよぶ。この一般化正準変換と先の勾配法に基づく更新則を併用することで、反復学習制御を行うことができる。

実際に図1のような2リンクのロボットアームの実機を用いて実験を行った結果を図2に示す。各関節の目標値として正弦波を使った時間対称な軌道を与え、(5) 式の更新則を用いて反復学習を行った。左図はそのときの1軸のデータである。実線が目標軌道 q_1^d 、破線が学習軌道でありそのうち太線のものが10ステップの学習後の最終結果である。また右図は、そのときの評価関数 Γ の推移を表している。速やかに目標軌道に収束している様子がわかる。

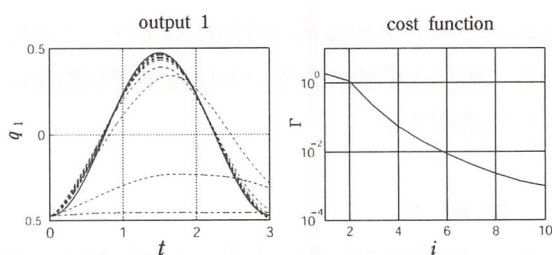


図2 ロボットアームの反復学習制御（実験）

また(3)よりもっと一般的な評価関数を用いることで、軌道追従問題だけでなく、終端状態達成問題などのより一般的な最適制御問題も扱うことができる⁴⁾。

[今後の研究の方向, 課題]

制御対象の物理的な(定性的な)性質をうまく利用してやることにより, 制御対象のパラメータなどの(定量的な)情報をほとんど用いることなく制御できる手法を紹介した。このように系の詳細なモデル情報に基づくのではなく, 定性的なモデルを用いる手法を「ダイナミクスベース制御」と呼ぶ。この手法の特徴は, 「制御対象にとって自然な制御」であり, 結果として「制御器が非常に簡単になる」ことである。実際, ほとんど制御対象のパラメータなどの情報を用いずにある種の最適制御問題が解けるのである^{2, 4)}。なお本研究では, これ以外にもハミルトン系の制御手法に関する結果をいくつか得ている^{1, 3, 5-7)}。

人間も物理系の一種であるので, 本手法を人間を含む制御系に対して用いることで, 人間の不確かさを許容するような自然な制御を行うことができ, 細やかで人にやさしい制御技術を構築することが期待される。この方面の研究が今後の大きな課題であろう。

[成果の発表, 論文等] (抜粋)

- 1) 藤本: メカニカルシステムの非線形制御における未解決問題, 計測と制御, Vol. 42, No. 2, pp. 100 - 106 (2003)
- 2) K. Fujimoto and T. Sugie: Iterative learning control of Hamiltonian systems: I/O based optimal control approach. IEEE Trans. Autom. Contr., Vol. 48, No. 10, pp. 1756 - 1761 (2003)
- 3) K. Fujimoto, K. Sakurama and T. Sugie: Trajectory tracking control of port-controlled Hamiltonian systems via generalized canonical transformations. Automatica, Vol. 39, No. 12, pp. 2059 - 2069 (2003)
- 4) K. Fujimoto, T. Horiuchi and T. Sugie: Optimal control of Hamiltonian systems with input constraints via iterative learning. In Proc. 42nd IEEE Conf. on Decision and Control, pp. 4387 - 4392 (2003)
- 5) R. Lopezlena, J.M.A. Scherpen and K. Fujimoto: Energy-storage balanced reduction of port Hamiltonian systems. In Proc. IFAC Workshop on Lagrangian and Hamiltonian Methods for Nonlinear Control, pp. 79 - 84 (2003)
- 6) K. Fujimoto, J.M.A. Scherpen and W.S. Gray: Hamiltonian realizations of nonlinear adjoint operators. Automatica, Vol. 38, No. 10, pp. 1769 - 1775 (2002)
- 7) K. Fujimoto and T. Sugie: Trajectory tracking control of nonholonomic Hamiltonian systems via canonical transformations. In Proc. American Control Conference, pp. 2824 - 2829 (2002)
- 8) K. Fujimoto and T. Sugie: Canonical transformation and stabilization of generalized Hamiltonian systems. Systems & Control Letters, Vol. 42, No. 3, pp. 217 - 227 (2001)

創造活動支援のための人間－機械系の研究

Research on Human-Computer Interaction for Supporting Creative Activities

1021001

研究代表者	日本学術振興会	海外特別 研究員	網 谷 重 紀
共同研究者	東京大学先端科学技術研究センター	教 授	堀 浩 一

〔研究の目的〕

本研究では知識創造過程を支援するための方法「知識の液状化と結晶化 (knowledge liquidization & crystallization)」およびシステム「Knowledge Nebula Crystallizer」を提案・構築することを目的とする。

〔研究の内容、成果〕

1980年代半ば以降に「社会と組織にとって知識が重要になる」という指摘がなされ始め、新たな経営理論が生まれてきた。

「知識とは何か」という議論は長年認識論の分野においてなされており、また経営などの実務分野での知識管理に関する研究において実用的上の定義がいくつかなされているが、完全に合意を得た定義は存在していない。西洋の伝統的認識論に強く影響を受けて「知識というものは形式的に記述することができ、万人が共有することができる」という暗黙的な前提があったため、知識管理に関する研究や実践においては関心の中心はいかにして「科学的・客観的知識」を捉えて蓄えておくというところにあった。こうしたアプローチで知識管理を成功させてきた例も存在するのは事実であるが、同時に行き詰まりを見せているのも事実である。

1990年代に「従来の知識管理へのアプロ

チは新しい知識を創造するという視点を欠いている」ということが指摘された。数多くのケーススタディを通して、知識というものが人間の実践的行為の中に埋め込まれているものであり、その文脈に合わせて動的に構成されるものであり、その構成のためには多視点から現象を分析する能力が必要であるということが主張され、知識管理における関心が「知識獲得・蓄積」ではなく、「知識創造」へと移っていった。そこで野中らのSECIモデルやFischerらのDesign Perspectiveといった知識創造過程に関する理論が生まれたのである。

従来の知識創造に関する理論は多くの企業の知識管理に対する考え方に影響を与え、その重要性が理解されるに至ったが、現実にはその理論を具体的に実務に適用する方法が提示されておらず、実際に知識創造のためには何をすればよいのかわからないという問題が生じている。理論を実践に落とし込むための方法が必要とされているのである。

本研究は「知識は文脈に依存して動的に再構築されるものであり、静的に蓄積しておけるものではない」という立場をとる。「形式的に記述して保存しておける知識」というものは知識の一形態に過ぎない。知識とはむしろそうした「固体」のようなものではなく「液体」のようなものであって、文脈によって形を変えることや、部分的に抽出して融合することで新たな文

脈に適用可能な性質を持つものに変化させることができるものであると捉える。そして知識の文脈依存性と Design Perspective に基づき、本研究では知識創造過程を以下の段階が繰り返される循環的過程であると捉える。

- 「人間の実践的行為の文脈」を伴う情報を獲得する
- 獲得された情報の内容や情報間の関係を多様な視点から観察・分析して理解する
- 自分が現在おかれている文脈に適合するように情報間の関係を再構成する
- 実践に適用する

「知識の液状化と結晶化」は大まかに言って「情報を分解して保存しておき、それを必要に応じて適切な形で再構成する」というものである。分解の際、人間が情報の意味内容を理解するためにはその情報が実世界に接地されていなくてはならない。それを踏まえて、本研究では「知識の液状化と結晶化」を以下のように定義する。

【知識の液状化】人間の行為の文脈を伴った情報を、実世界に記号接地できる概念を核とし、そのローカルな意味的關係を保存して核を単位とする粒度に分解すること。

【知識の結晶化】液状化で保存したローカルな意味的關係を文脈に応じて結合してグローバルに新構造を生成すること。

Knowledge Nebula Crystallizer (KNC) は知識の液状化と結晶化を実現するためのシステムである。KNC は、獲得された「人間の行為の文脈を伴った情報」を上記の液状化の定義に従って分解し、蓄積するためのレポジトリであり、また蓄積された情報の断片とその情報間の関係をユーザの現在の文脈に添った形で結合して提示するシステムである。ユーザは提示された情報および情報間の関係を観察・分析して、提示された情報空間を理解する。さらに KNC はユーザに提示した情報間の関係性を再構築させるというインタラクションを提供し、内省的思考を促進させて新たな知識を生み出すことを

支援するものである（図1～図3）。本研究では提案する方法とシステムの有効性を検討するために広告会社との共同研究を通して東京モーターショーなどの「イベント設計」を具体的な課題として選び、構築した方法とシステムを適用した。イベント設計は、現状ではプロの企画者の暗黙的な知識に頼る部分が大きい創造活動であり、知識創造のための知識管理の方法が強

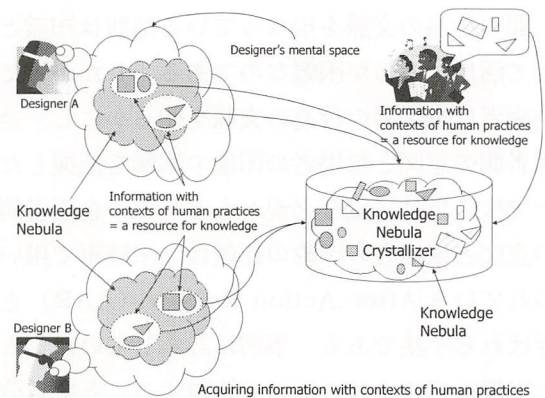


図1 知識の元となる情報の獲得

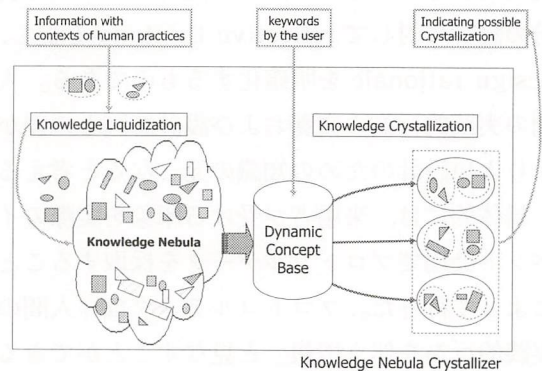


図2 KNCによる知識の液状化と結晶化

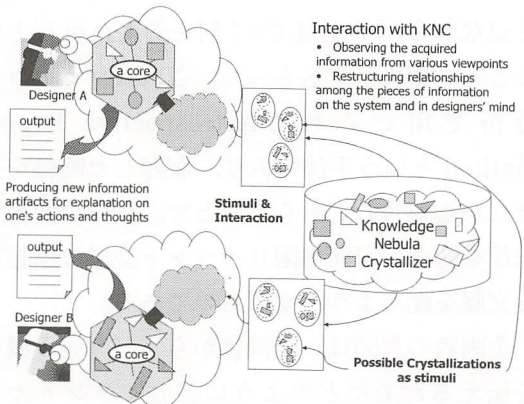


図3 提示された情報を刺激とした情報の再構築

く求められている分野の代表例のひとつである。

従来のイベント設計においては、設計のための材料としてアンケートの統計分析結果およびインタビューが使われていたが、企画する側からは「実際の効果の中身が見えてこない」という声が挙がっている。これは Suchman が主張するように、インタビューやアンケートだけでは人間の行為の文脈 (situated action) を把握しきれないことが理由であると考えられる。人間の行為の文脈を損なっている情報は知識として活用するのが困難なのである。したがって企画者は来場者の行為の文脈を明らかにし、企画者側の意図と来場者の印象の乖離を把握した上で次の設計に臨む必要がある。この企画者側の意図と来場者の印象の比較は、米陸軍で用いられている After-Action Review (AAR) と呼ばれる手法である。事前に計画していたことと実際に起こったことを比較することで自分の行動への内省を促進し、自分の行動に対する説明力を与えるものであり、設計においては自分の設計に対して reflective thinking を促し、design rationale を明確化するものである。人間の実践的行為の文脈および設計意図との差がよりよい設計のための知識の元となると考える。

具体的には、来場者が受ける印象を実際のイベント会場でプロトコルデータを採取することによって行った。プロトコルデータは「人間の実践的行為を伴う情報」と見なすことができる。実際のイベント会場の指定のブースを記録装置をつけて周ってもらい、見た後に記録した映像を見ながら「何を見て」「何を考えたか」ということを報告してもらった。これはプロトコル分析で用いられる Retrospective Report Method という手法であり、記録した映像を見せながら報告してもらうことで、記憶の変容や忘却を防ぎ、可能な限りイベント会場で生起する文脈を捉えようとするものである。

企画者の意図は、企画書から「どういう概念を伝えるためにどのようにどのイベントオブジェクト (ステージや説明員, 床, 他の来場者

など、イベント会場内に存在し、来場者が見ることができるもの全てを指す) をどのように配置して会場を設計したか」ということを抽出した。企画書だけからでは拾いきれない部分は直接質問を行うことで補った。

イベント設計支援を対象とした Knowledge Nebula Crystallizer for Exhibition Design (KNC 4 ED) は得られたプロトコルデータを液状化の定義に従って取り込み、結晶化の定義に従いユーザに提示することでイベント設計における知識創造過程を支援する。図 4 に KNC 4 ED を、図 5 に KNC 4 ED と知識創造過程との関係を示す。

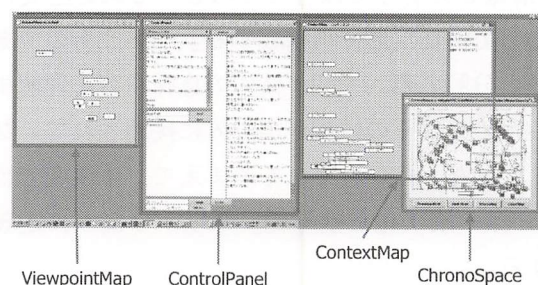


図 4 KNC 4 ED

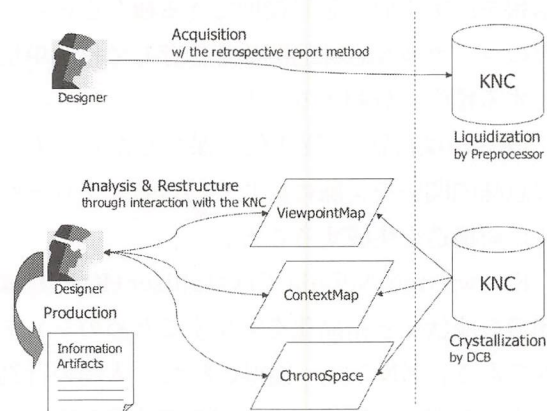


図 5 KNC と知識創造過程との関係

ユーザスタディの分析結果およびプロのイベントプランナーとの議論を通して、筆者が構築した知識創造過程を支援するための方法とシステムの有効性の検討を行った。本研究の成果は以下の通りである。

- 従来の知識創造過程に関する研究は理論で止まっていたが、本研究では実際に知識創造過程を支援するための方法および

システムを構築した。

- ・ 実世界で通用する手法を構築するべく、提案・構築した方法およびシステムを実設計問題へ適用を行い、ユーザスタディを行った。システムとのインタラクションを通して知識創造過程が促進されたことを確認した。
- ・ プロフェッショナルとの議論を通して、実務上の有効性を確認した。本研究成果は実際のイベント設計過程を支援するものであるに留まらず、今後の他の分野への応用が期待されるものであった。

本研究は知識創造過程を支援するための方法およびシステムのあり方についてのひとつの方向性を与えたと考える。

[今後の研究の方向, 課題]

本研究では言語情報を知識の元となる情報として捉えて人間の創造活動の支援を試みた。今後は映像や音などの非言語情報も知識の元となる情報として捉えて最終的な information artifact を生成する過程を支援することを考えて行く予定である。

[成果の発表, 論文等]

- 1) Shigeki Amitani: "A Method and a System for Supporting the Process of Knowledge Creation", PhD thesis, Department of Advanced Interdisciplinary Studies, University of Tokyo, (2004)
- 2) Shigeki Amitani and Koichi Hori: "Knowledge Nebula Crystallizer for Knowledge liquidization & Crystallization — From a Theory to a methodology of Knowledge Management

—", Knowledge-Based Systems. (in review)

- 3) 網谷重紀, 森 幹彦, 柴田博人, 庄司裕子, 堀浩一: イベント設計における知識獲得のための方法論と知識再構築支援システムに関する研究, 日本知能情報ファジイ学会誌, Vol. 15, No. 3, pp. 34–44 (2003)
- 4) Shigeki Amitani and Koichi Hori: Knowledge Nebula Crystallizer for Knowledge liquidization & Crystallization — from a Theory to a methodology of Knowledge Management —, Proceedings of Expertise in Design 2003, Design Thinking Research Symposium 6, University of Technology, Sydney, Australia, 17–19 November (2003)
- 5) Shigeki Amitani, Mikihiro Mori, Hiroko Shoji, Hirohito Shibata and Koichi Hori: Knowledge Nebula Crystallizer for Exhibition Planning, Proc. of SICE 2003, Annual Conference, (2003)
- 6) Shigeki Amitani, Mikihiro Mori and Koichi Hori: An Approach to the Supporting System for Event Planning — Toward a Knowledge Reconstruction Engine —, ICONIP '02-SEAL '02-FSKD '02 Abstracts, p. 208 (2002)
- 7) Shigeki Amitani, Mikihiro Mori and Koichi Hori: An Approach to a Knowledge Reconstruction Engine for Supporting Event Planning, Proc. of Fall Symposium on Chance Discovery of AAAI 2002, pp. 61–69 (2002)
- 8) Shigeki Amitani, Mikihiro Mori and Koichi Hori: An Approach to a Knowledge Reconstruction Engine for Supporting Event Planning, Proc. of KES 2002, Part 2, pp. 1281–1285, E. Damiani et al. (Eds.), IOS Press (2002)
- 9) 網谷重紀, 森 幹彦, 庄司裕子, 柴田博仁, 堀浩一: イベント設計における知識獲得のための方法論と知識再構築支援システムに関する研究, 第17回人工知能学会全国大会論文集, 2E1–02 (2003)
- 10) 網谷重紀, 堀 浩一: 知識創造過程支援のための方法とシステムに関する研究, 情報処理学会人工知能基礎論研究会, 第2回シナリオ創発ワークショップ資料 (2003)

機械システムの予測型混合論理コントローラ的设计

Predictive-Type Mixed Logical Controller Design of Mechanical Systems

1021002

研究代表者

東京工業大学 助教授

井 村 順 一

[研究の目的]

人間は運動（連続ダイナミクス）と論理が密接に結びついた複雑な動作を実現している。本研究の目的は、機械システムに対して、連続ダイナミクスだけでなく論理情報処理を含む知的制御系設計論を、こうした人間の情報処理を基礎にして構築することにある。これは人間同士の協調動作のように、機械と人間の論理を含む協調動作を実現するための一歩であると考え

[研究の内容、成果]

1. はじめに

ハイブリッドシステムは、通常、連続ダイナミクス（微分方程式に支配された物理系）と離散ダイナミクス（オートマトンや命題論理）が混在したシステムをいう。自動車、飛行機、ロボット、生産システム、化学プラントなど様々なシステムは、運動系（物理系）とプログラミングによる論理条件とが混在しており、ハイブリッドシステムとみなすことができる。このようなハイブリッドシステムに対する解析や制御の研究は90年代後半より盛んに行われているが、そこではダイナミクスが切り替わることを想定した状況で如何に解析するか、如何に制御するかが主な中心テーマであり、標準的なモデルとして混合論理動的（Mixed Logical Dynamical, MLD）モデルや区分的アファイン（Piecewise affine, PWA）モデルが用いられ

てきている。

一方、人間は、視覚などの連続値情報、触覚や言葉などの離散値情報をもとに、脳内で認識し（離散値）、連続ダイナミクスである手足により運動する（連続値）、というように、連続値と離散値という異質な情報をダイナミックに処理することが可能な最も柔軟で、かつ洗練されたシステムと見なすことができる。この情報処理のプロセスをシステム設計に利用することは魅力的である。

こうした観点のもとで本研究では、障害物回避運動を行う人間の情報処理に焦点を当て、そのような情報処理をシステム設計論的に実現するための一つの枠組みを構築する。

2. 運動と判断のリアルタイム最適化手法

図1に示すように、インベーダゲームなどの環境からの時々刻々と変化する情報をもとに、人間が味方のビークルに対してなんらかの判断・運動操作入力を出力している状況を考える。ここで考える環境からの情報は、時変で複雑な拘束条件（以下、拘束領域と呼ぶ場合もある）とする。例えば、ビークルの障害物回避問題や群制御問題の場合、TVゲームの画面上でビー

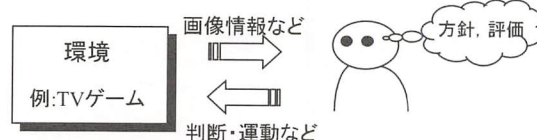


図1 インベーダゲームにおける人間の情報処理

クルの取り得る状態 x の拘束領域 $C(t)$ が与えられているものとする。このような問題の特徴は、 $C(t)$ が一般には単連結でも凸でもない複雑な集合である点にある。このように、拘束条件が複雑になり、解くべき問題が複雑になるほど、リアルタイムで解くためには近似解を考えざるを得ない。本研究では、そういった観点から、このような問題を捉える基本的な枠組みを図2に提案する。その基本構成は、画像から得られる時々刻々の情報を認識し（リアルタイムモデリング）、その情報を使ってなんらかの評価規範のもとで最適な判断・運動入力生成する（リアルタイム最適制御）、という2つのブロックで構成される。リアルタイムモデリングでは、環境から得られる連続情報である拘束条件 $C(t)$ をリアルタイム最適制御との整合性を考慮して（部分的に）時間・空間的に離散近似する。リアルタイム最適制御では、その離散近似された情報を使って、与えられた評価規範に基づいて判断（離散値）と運動（連続値）の最適制御入力を生成する。この図において、人間のように認識部と制御部に分け、さらにそれぞれを連続情報と離散情報に分けて同時に情報処理する点が重要である。

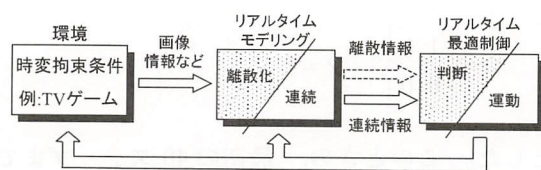


図2 インベータゲームにおける情報処理の枠組み

障害物回避問題を例にとると、画面の情報からの障害物位置情報、衝突回避に関する条件を時間的に空間的に離散化し（リアルタイムモデリング）、その情報をもとに、操作するビークルの運動は、連続時間・連続値ダイナミクスのまま扱い、ある評価規範に基づいて判断を含む運動のための制御入力を生成している（リアルタイム最適制御）。なお、ここでの「判断」とは、障害物を含む非凸拘束領域を離散化したこ

とにより、例えば右、直進、左といった離散値入力を生成することと対応している。

具体的には、つぎの問題を考える。

問題1 m 入力 n 次元可制御な線形システム

$$\dot{x} = Ax + Bu$$

に対して、初期状態と終端状態 (x_0, x_f) が与えられているものとする。また判断時刻 $t_i (i = 1, 2, \dots, f)$ 、および時変あるいは時不変の拘束条件 $C_d(t_i)$ が $\mathcal{R}^n$ 上の有限集合として与えられているものとする。このとき、つぎの条件を満たす状態フィードバック制御入力 $u(t) \in PC^m$ (PC は区分的連続値関数の集合を表す) と中間目標状態 $x_i \in \mathcal{R}^n, i = 1, 2, \dots, f-1$ 、を求めよ。

- (i) つぎの評価関数を u と x_i に関して最小にする。

$$J(x_0, u, \{x_i\}_{i=1, 2, \dots, f}) = \sum_{i=0}^{f-1} \int_{t_i}^{t_{i+1}} \{(x(t) - x_{i+1})^T Q (x(t) - x_{i+1}) + u^T(t) R u(t)\} dt \quad (1)$$

- (ii) $x(t_i) = x_i \in C_d(t_i), i = 0, 1, \dots, f$

ここで、行列 Q, R はそれぞれ $Q \geq 0, R > 0$ とする。

問題における t_i と $C_d(t_i)$ が前節で述べたリアルタイムモデリングにより加工された情報であり、本来これらはリアルタイムモデリングにおいて問題設定し、何らかの意味で最適化すべきものであるが、ここでは、簡単のため、 $t_i = ih$ (h は拘束条件を判断する時間周期) とし、 $C_d(t_i)$ も有限集合として適当に与えられているものとする。

この問題1の解はつぎのように与えられる。

定理1 問題1に対する最適制御入力 $u^* \in PC$ は

$$\begin{aligned}
 u^*(t) = & -R^{-1}BP(x(t) - x_{i+1}^*) \\
 & + R^{-1}B^T\tilde{A}^{-T}PAx_{i+1}^* \\
 & - R^{-1}B^Te^{\tilde{A}^T(t_{i+1}-t)}W^{-1}(D_i^* - E_{i+1}^*)
 \end{aligned} \quad (2)$$

で与えられる。ここで

$$\begin{aligned}
 \tilde{A} &= A - BR^{-1}B^TP, \quad D = e^{\tilde{A}h}, \\
 E &= e^{\tilde{A}h} - \int_0^h e^{\tilde{A}\tau} d\tau (I + BR^{-1}B^T\tilde{A}^{-T}P)A,
 \end{aligned}$$

であり、 P と W は、それぞれ

$$\begin{aligned}
 PA + A^TP - PBR^{-1}B^TP + Q &= 0 \\
 W\tilde{A}^T + \tilde{A}W + BR^{-1}B^T - e^{\tilde{A}h}BR^{-1}B^Te^{\tilde{A}Th} &= 0
 \end{aligned}$$

の正定解である。また x_i^* , $i=1, 2, \dots, f-1$ はつぎの離散最適化問題の解である。

$$\min_{x_i \in C_d(t_i), i=1, 2, \dots, f-1} \sum_{i=0}^{f-1} f(x_i, x_{i+1}) \quad (3)$$

$$\begin{aligned}
 f(x_i, x_{i+1}) := & (Dx_i - Ex_{i+1})^TW^{-1}(Dx_i - Ex_{i+1}) \\
 & + (x_i - x_{i+1})^TP(x_i - x_{i+1}) \\
 & + 2(x_i - x_{i+1})^T\tilde{A}^{-T}PAx_{i+1} - hr_i
 \end{aligned}$$

$$r_i := -x_{i+1}^TA^TP\tilde{A}^{-1}P^{-1}QP^{-1}\tilde{A}^{-T}PAx_{i+1}. \quad (4)$$

である。

式 (3) の問題の解 x_i^* は時刻 t_i での最適な中間目標状態である。問題設定よりこれらの状態を通過し、かつ中間目標状態間の運動を最適にする入力が式 (2) である。また、

$$J(x_0, u^*, \{x_i\}_{i=1, 2, \dots, f}) = \sum_{i=0}^{f-1} f(x_i, x_{i+1}) \quad (5)$$

が成り立つことから、評価関数 (1) の最小値は、式 (3) の値で与えられる。

この定理より、問題 1 は式 (3) の中間目標状態を最適化する問題に帰着された。 $C_d(t_i)$ は x_i の取り得る有限集合を表すので、離散最適化問題に帰着されていることに注意されたい。詳細は省くが、この離散最適化問題は、効率のよい前向きの動的計画法により解くことが可能である。

3. 数値シミュレーション

ここでは、2 項で提案した手法の有効性を数値シミュレーションにより示す。

障害物回避問題において制御されるビークルのダイナミクスが

$$\dot{x} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & -10 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} u, \quad x = \begin{bmatrix} x_p \\ x_v \end{bmatrix} \quad (6)$$

によって与えられているとする。ここで x_p は、一次元方向に制限されたビークル運動の位置、 x_v はその速度である。一方、 x_p 軸方向と垂直方向には、ビークルは予め固定された一定速度で移動するものとする。位置 x_p の離散値数は各時刻 t_i で 1 (m) おきに 10 個、一方、速度 x_v の離散値数は、 -1.0 から 1.0 (m/sec) を 0.2 間隔で計 11 個とした。グリッドされた位置空間で障害物はランダムに生成しているものとする。また、位置のノードから出る最大エッジ数 $n_{out} = 3$ 、予測ステップ数 $f = 20$ とした。レーシングホライズン法を用いるものとする。すなわち、各時刻 t_i で $x(t_i)$ を初期状態として最適制御入力 $u^*(t)$ を $[t_i, t_{i+20}]$ 上で求め、 $t \in [t_i, t_{i+1})$ において $u^*(t)$ を印加するものとする。また、終端状態 x_f は自由端とし、最適化している。評価関数 (1) の重み行列は Q と R は

$$Q = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad R = 1.$$

とした。このときの、最初の 40 ステップまでのシミュレーション結果を図 3 に示す。図 3 より、距離に関して最小の軌道でビークルが障害物を避けているのが確認できる。また、図 4 は、上記の設定のもとで使用した前向き動的計画法のアルゴリズムの計算時間を、速度の離散数が 4 種類の場合について横軸を予測ステップ数 f としプロットしたものである。アルゴリズムは C 言語で実装し、プロセッサは Pentium IV 3.06 GHz で、メモリは 2.0 GB であった。図は最悪ケースの場合（すなわち、全く障害物がない場合）の計算時間を示す。

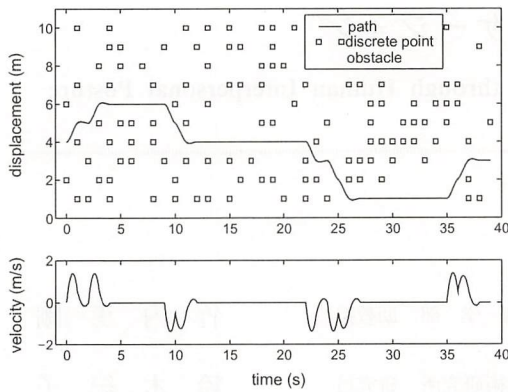


図3 シミュレーション結果

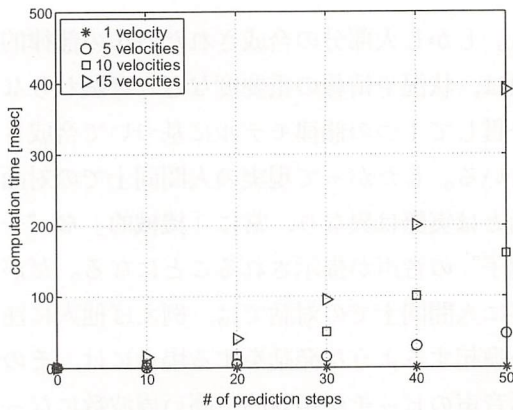


図4 前向き動的計画法の最悪ケースの計算時間

[今後の研究の方向, 課題]

本手法のさらなる展開に向けた課題について述べる。

1. リアルタイムモデリング

離散最適化問題 (3) を効率的に解くために、離散数は一般にできる限り少ない方がよいであろう。こうした観点に基づく拘束条件の空間的・時間的離散化手法の開発が望まれる。離散

点をリアルタイム最適制御の中で動的に生成することも考えられる。

2. サンプル値区分的ハイブリッドシステムへの拡張

本手法を、申請者が提案しているサンプル値型区分的アファインシステムに適用し、より広いクラスの制御対象に適用できるように理論を拡張することが挙げられる。

[成果の発表, 論文等]

- 1) H. L. Hagenaaers, J. Imura and H. Nijmeijer : Approximate continuous-time optimal control in obstacle avoidance by time/space discretization of non-convex state constraints. to appear in IEEE Conference on Control Applications (2004)
- 2) J. Imura : Optimal control of sampled data piecewise affine systems, Automatica, Vol. 40, No. 4, pp. 661 – 669 (2004)
- 3) 井村順一：非凸状態領域における運動と判断の同時最適化, 計測自動制御学会制御部門大会発表予定 (2004)
- 4) 井村順一, 兼近達也：障害物回避における運動生成と判断のための離散近似高速アルゴリズム, ロボメカ発表予定 (2004)
- 5) 井村順一：ロボットがインベーダーゲームをするには？ ～運動と判断のリアルタイム最適化を目指して～, システム制御情報学会ハイブリッドシステム研究交流会シンポジウム, pp. 69 – 74 (2004)
- 6) 兼近達也, 井村順一：幅優先探索を用いた障害物回避問題の高速アルゴリズムの開発, 第46回自動制御連合講演会, pp. 803 – 806 (2003)
- 7) 東 俊一, 井村順一：サンプル値区分的アファインシステムの可制御性, 計測自動制御学会論文集, Vol. 39, No. 5, pp. 469 – 478 (2003)

人間の認知的姿勢に基づく人工クリーチャとの 交感的なコミュニケーション

Phatic Communication with Artificial Creatures through Human Interpersonal Posture

1021012

研究代表者

静岡大学情報学部 助教授

竹内 勇剛

共同研究者

(株)国際電気通信基礎技術研究所 研究員

鈴木 紀子

【研究の目的】

本研究は、人間－人工物間の交感的なコミュニケーションの実現を目指し、人工物との相互作用の過程における人間の認知的なメカニズムを解明することを目的とする。

人間の交感的なコミュニケーションは言語によるメッセージの交換を中心として達成されるのではなく、むしろ非言語的な相互作用によって達成されることが発達心理学や社会心理学の見地などからも指摘されている。そこで本研究では特に本研究では人間と人工物間における非言語的な相互作用に着目し、人間の行為に対する人工物の発話に伴う韻律表現に対する解釈を通して2者間での交感的コミュニケーションの成立における人間の認知モデルの検討を試みる。

【研究の内容、成果】

1. はじめに

本研究は、他者との対話場面において人間が態度や行動を変化させる際の外的な要因として音声の韻律的特徴が与える影響を解明することを目指す。

近年、音声合成技術の実用化が進んできており、すでにカーナビゲーションシステムや銀行のATMや各種情報案内システムなどが、ユーザに対して音声による情報提示を行なって

いる。しかし大部分の合成された音声の韻律的特徴は、状況や情報の重要度などとは関わりなく一貫して1つの韻律モデルに基づいて合成されている。したがって現実の人間同士での対面対話とは実際は異なり、常に「機械的」な“一本調子”の音声が目立つことになる。だが現実には人間同士での対話では、例えば他人に注意を喚起するような発話をする場合には、その発話音声のピッチが相対的に高い周波数になったり、話速も相対的に速まったりすることが知られている。そのため、現在の合成音声のように“一本調子”の韻律的特徴をもった発話の内容を理解することは、すなわち発話の語彙的意味を理解することに他ならない。一方、人間は状況や場面に応じた韻律的特徴の相対的な変化を伴った音声を認知できれば、仮に発話された内容の意味が十分に理解できなくても、しばしば的確に反応することを可能にしている。このようなことは未知の言語の音声に対しては特に顕著である。

本研究では、音声の韻律情報が発話された内容の意味の解釈に対して強力な影響をもつ可能性に注目し、他者との対話場面において発話された音声の韻律的特徴が、聞き手の態度や行動を変化させる要因となることを実験を通して検証することを目指す。

2. 態度や行動を変化させる要因

一般に人間の態度や行動を変化させる要因としては、(a) 権威や大勢の意向、専門家性などによる社会的勢力や社会的規範によるものや、(b) 明示的に与えられる指示や命令、依頼、説得といった言語的なメッセージによるものが挙げられ、これらの多くは社会心理学の分野においてこれまで様々な説明がなされてきた。だがこれらの要因の他にも、人間が態度や行動を変化させる場合が日常生活の中では散見される。たとえば乳児の「微笑み」が養育者の養育態度を暗黙的に促進させる動機となっている可能性が指摘されていることなどがある。また人間に限らず「甘えた声（鳴き声）」をする対象に対して我々はしばしば寛容な態度をとってしまうことがある。これらの直感的であったり反射的な反応は、(c) 人間の生理や生態学的な理由によって引き起こされる態度や行動の変化であるといえる。特に音声の韻律的特徴が、(c) のような意図性をもった直感的・反射的な反応を誘発する有力な要因となっていることが乳児を対象とした発達心理学の分野で報告されている。

3. 実験

本実験では、人工的なクリーチャとして意味付けられたコンピュータから呈示される韻律的特徴（ピッチレンジ）の異なる音声「いい？」という被験者が選択した行動を確認する音声を2種類用意し、それらを聴取した被験者が後続する行動がどのような影響を受けるかについて実験を通して観察する。

3.1 方法

被験者 18～25歳の大学生、大学院生29名。専門分野は文科系から理科系まで多様。

実験課題 被験者は、大型プラズマディスプレイ上（50インチ）に表示された3D描画された迷路を500歩以内に抜け出すことを課題（洞窟脱出課題）として与えられる（図1）。

被験者は、迷路の中を探索している際に十字路やT字路にさしかかると、どちらに進むか

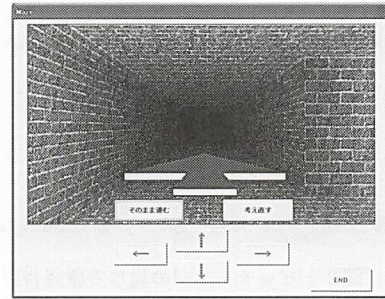


図1 「洞窟脱出課題」遂行中の画面

を選択しなくてはならない。このとき、被験者が選択した進路について、コンピュータから確認音声として「いい？」というピッチレンジの異なる2種類の音声のどちらかが出力され、「そのまま進む」または「考え直す」のいずれかを選択し進路を決定する（表1）。

表1 確認音声聴取後の被験者の選択肢

選択項目	遂行内容
そのまま進む	進もうとした方向に一步進む
考え直す	その場でもう一度進路を決めなおす

なおこの洞窟脱出課題は被験者に与えられた500歩以内では脱出することは不可能なため、どの被験者も500歩の移動および進路の選択をしなくてはならないように設計されている。

確認音声 成人男性が相手の行為に対して確認の意図で発話した「いい？」をSTRAIGHT分析合成にかけ、ピッチレンジを100％に操作した音声O（Original）と150％に操作した音声W（Wide）を刺激音声として用いた（図2）。広いピッチレンジは聴覚的に際立った韻律を持ち、事前の聴取実験により、これら2つの音声間には差異が明確に知覚されることが明らかになっている。

発話「いい？」は、語自体の意味ではなく発話された状況・文脈からその意味が認知されるため、韻律情報が発話に意味を与えることを観察するのに適していると考えた。

実験条件 29名の被験者は表1の2つの条件に均等になるように無作為に割り振られた（条件1：15名、条件2：14名）。

条件1の被験者群に対しては、表2に示す通

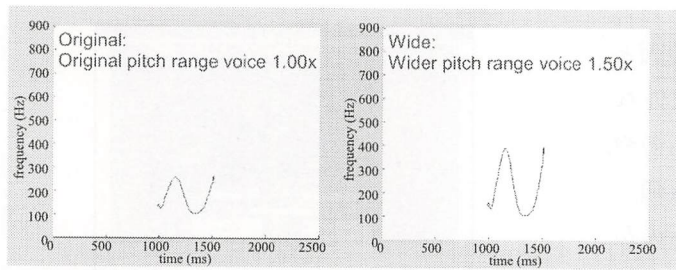


図2 ピッチレンジの異なる確認音声「いい?」

り、音声 O が呈示された場合は「そのまま進む」を選択すると新たな進路へと進むことができるが、音声 W が呈示された場合は即座に行き止まりとなってしまう、選択した進路へは進むことができない。

逆に条件 2 の被験者群に対しては、音声 W が呈示された場合には新たな進路へと進むことができるが、音声 O が呈示された場合には選択した進路へは進むことができない。

表 2 確認音声のピッチレンジと経路情報間の組合せ

実験条件	音声 O	音声 W
条件 1	進める	進めない
条件 2	進めない	進める

音声 O ピッチレンジが 100% の確認音声

音声 W ピッチレンジが 150% の確認音声

観察項目 本実験では、ピッチレンジの異なる 2 種類の確認音声のいずれかを聴取後の被験者の「考え直す」選択率を試行ごとの時系列で分析する。時系列の行動を観察することで、発話の意味認知における韻律の影響をより具体的に明らかにすることができる。

課題内で呈示される確認音声は計 50 回で、10 回の呈示を 1 試行とし、被験者は課題内でこれを 5 試行繰り返す。

3.2 手続き

1. 被験者は洞窟脱出課題での達成目標や操作方法などについての教示を受ける。
2. 被験者に洞窟脱出課題を実行させる。

- (a) 十字路および T 字路で、被験者が進路を決定した際に確認音声呈示される。確認音声は 10 回の呈示を 1 試行とし、1 試行内の異なる 2 種類のピッチレン

ジによる確認音声はランダムに呈示される。

- (b) 被験者は確認音声聴取後に「そのまま進む」「考え直す」のいずれかを選択する。

3. 被験者は 2 を 5 試行繰り返す。

3.3 仮説と予測

音声に伴う韻律情報は、生理的・生態学的要因に基づいた人間の態度・行動の変化を引き起こす主要な誘因であるという仮説を導き、その仮説の妥当性を洞窟脱出課題の遂行を通して検証する。

被験者は表 2 に示す通り、条件 1 の場合は音声 W が呈示されたときは「考え直す」を選択し、条件 2 の場合は音声 O が呈示されたときに「考え直す」を選択することで、進路を進められるルールを課題遂行中に発見し学習するはずである。したがって条件 1 も条件 2 も、それぞれの条件のもとで呈示されたどちらかの音声に対して「考え直す」を同程度の割合で選択することが論理的に導ける。

ところが仮説が支持されるならば、韻律的特徴が異なる音声 O と音声 W との間には、その反応に違いが生じることが予測される。すなわち、音声 W は音声 O に比べて自動的により慎重な態度あるいは行動をすることを誘発し、ルールの発見および学習によらない反応を示すと考えられる。

3.4 結果と考察

図 3 は、行き止まりを表す確認音声を聴取した後の被験者の「考え直す」選択率を、試行ごとに表したものである。この実験結果から次の

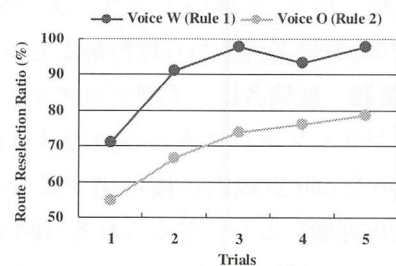


図3 行き止まりを表す確認音声聴取後の「考え直す」選択率

ことが示された。

- 課題全体にわたって、条件 2 における音声 O に比べて、条件 1 での音声 W を呈示された方が「考え直す」の選択率が高い。なお、試行 2 ($\chi^2 = 6.49$), 試行 3 ($\chi^2 = 8.58$), 試行 5 ($\chi^2 = 6.10$) に有意な差が認められた。
- 音声 W を呈示された場合は、試行 2 に向かって急激に「考え直す」選択率が上昇するが、音声 O の場合、その上昇は課題全体にわたってなだらかなのである。
- 条件 1 において音声 W による確認では「考え直す」選択率が、ほぼ 100% に近く、条件 2 の音声 O の場合、その上昇は試行 5 であっても 80% ほどにとどまっている。

これらの結果は、音声 W が被験者の態度や行動に対して一定の傾向を指向する強い効果をもっていることを示唆している。すなわち、韻律の効果によって、環境や言語的な意味から独立して、発話に対する反応が自動的に方向づけられる可能性があり、この反応は高次の認知的反応以前に生じていることが示唆される。

逆に音声 O については、先が行き止まりであるという情報との結びつきを見出しにくいことが明らかとなった。音声 O は音声 W に比べ、語彙的な意味や発話のなされた状況等との関係の中で発話に対する高次の認知的反応としての意味づけが行われるという可能性が考えられる。これは特に結果の 3 点目で述べたように、同じ情報を表しているにもかかわらず音声 O では試行 5 であっても「考え直す」の選択率が約 80% にとどまったことに支えられる。この結果は、発話に対する意味を韻律によって一意に決定してもいいのかという被験者の迷いを表しているという解釈も可能であると考えられる。

4. ま と め

本報告では、異なる韻律的特徴をもった音声

し、同じ語彙的情報が提供されたときの発話に対する反応に与える影響の違いに着目した。その結果、次のことが明らかになった。

- ピッチレンジの広い聴覚的に際立った韻律と普通の韻律とでは、同じ語彙的情報を提供してもその認知のされ方が異なる。
- 発話された文脈に関係なく、音声の韻律が発話に対する反応に大きな影響を及ぼす。

[今後の研究の方向, 課題]

この実験で得られた結果が示すように、韻律情報に対する認知が対人コミュニケーションのというよりは、自動的、機械的な過程でなされるという可能性が示唆された。しかしながら、直感に近い感覚で相手の発話意味が認知できることが日常の経験でわかる通り、韻律の効果の一つとして発話への意味づけに対しても同様に強い影響力を持つことも事実である。したがって音声の韻律情報が聴取者に対して与える影響を、語彙的な処理と関わる高次の認知的処理過程の枠組みで捉えるのと同時に、韻律的特徴が固有にもつ人間の態度や行動に対する影響について、さらに研究を進展させていく予定である。

[成果の発表, 論文等]

- 1) Y. Yabuta, N. Suzukli, Y. Takeuchi, and Y. Katagiri: Effect of Voice Prosody on the Decision Making Process in Human-Computer Interaction, The INTERSPEECH 2004 (ICSL 2004), <to be appeared>
- 2) N. Suzuki, Y. Takeuchi, K. Ishii, and M. Okada: Effects of Echoic Mimicry Using Hummed Sounds on Human-Computer Interaction, Speech Communication, Vol. 40, pp. 559-573 (2003)
- 3) N. Suzuki, Y. Yabuta, Y. Takeuchi, and Y. Katagiri: Effects of Voice Prosody by Computers on Human Behaviors, Proc. of the Euro Speech 2003, pp. 161-164 (2003)
- 4) 藪田洋平, 鈴木紀子, 竹内勇剛, 片桐恭弘: 人間の行動に作用するメディアを介した音声の韻律, 信学技報 HCS 2002-39, pp. 13-18 (2003)

無人ヘリコプタの操縦法の解析に基づく操縦インタフェース設計

Human Interface Design Based on the Analysis of the Operation of an Unmanned Helicopter

1021013

研究代表者

京都大学大学院工学研究科 助手

中 西 弘 明

共同研究者

京都大学大学院工学研究科 教授

井 上 紘 一

[研究の目的]

農薬散布など農業の省力化のために無人ヘリコプタが用いられているが、その操縦は大変難しく、これまでは訓練により操縦に熟練する必要があった。近年、無人ヘリコプタの自律飛行が可能となったが、操縦の滑らかさや風に対する応答などはまだ熟練者の操縦に及ばないところが多い。本研究では操縦者の操縦パターンを解析・抽出することを試み、熟練者の操縦法は優れた飛行制御系の構築に反映させる。初心者の操縦法からは使いやすい操縦インタフェースに関する検討を行い、初心者でも簡単に操縦可能な操縦インタフェースの改善を目的とし研究を行う。

[研究の内容、成果]

1. はじめに

本研究で対象とした無人ヘリコプタはYAMAHA 発動機(株)製 RMAX であり、その写真を図1に示す。

2. 初心者の操縦方法

飛行制御系の補助なしで無人ヘリコプタの操縦を行うことは初心者にはほぼ不可能である。しかし、自律飛行制御系の利用により、その操縦は著しく容易なものとなり、だれでも容易に



図1 産業用無人ヘリコプター RMAX

操縦できるようになる。本研究ではまず、無人ヘリコプタの操縦を行ったことがない初心者(京都大学学部学生、大学院学生)により、フライトシミュレータにより操縦実験を行い、それぞれの操縦者に同じような飛行軌道をたどらせたときの操舵履歴を調べた。ここで無人ヘリコプタの入力はエレベータ操舵(前後方向の速度調整用)、エルロン操舵(左右方向の速度調整用)、ラダー操舵(左右回転速度の調整用)、コレクティブ操舵(上下方向の速度調整用)の4種類であり、操縦インタフェースには無線操縦で広く用いられているプロポを用いた。それぞれの操縦者の操舵履歴を観察すると、初心者大きく二つのグループに大別することができることが判明した。図2および図3にその典型的な例を示す。それぞれの図において一番上がエレベータ操舵、エルロン操舵、ラダー操舵で

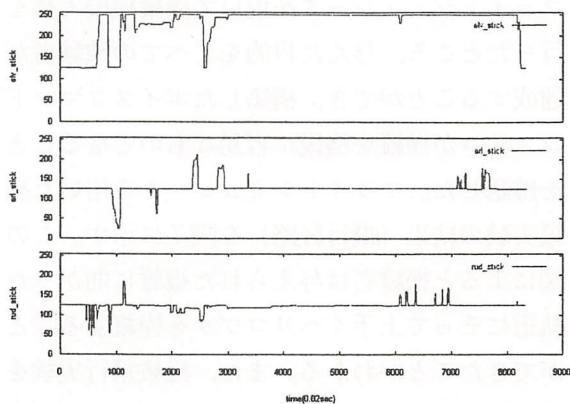


図2 初心者の操舵履歴

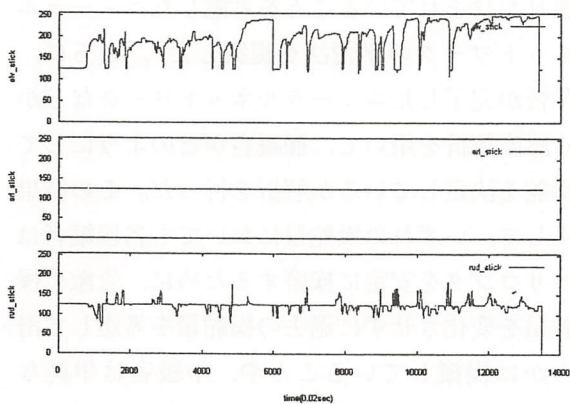


図3 初心者の操舵履歴

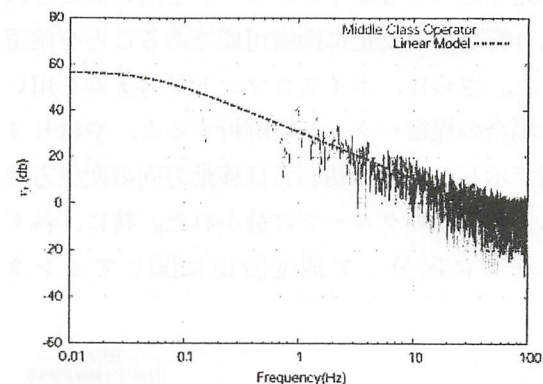


図4 中級操縦者による操縦結果の周波数解析

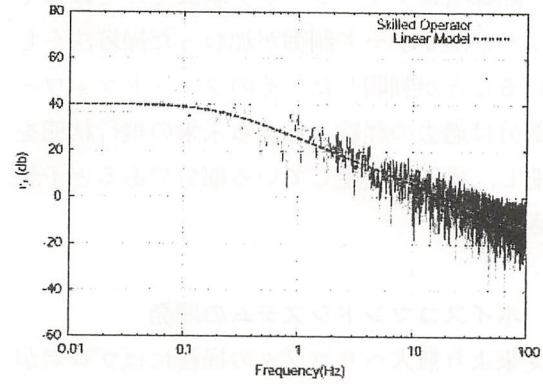


図5 熟練操縦者の操縦結果の周波数応答解析

ある。図によるとエルロン操舵とラダー操舵の方法が大きく異なることが分かる。この違いは、無人ヘリコプタの移動方向の制御を、左右移動で行っている人（図2）と旋回で行っている人（図3）の違いである。自動車などの乗り物の多くは前後移動と独立に左右移動する機能はなく、左右移動はヘリコプタに独特な機能である。同様の実験を、操縦熟練者に行ったが、すべての操縦者が旋回により速度方向の変更を行っていた。

3. 熟練操縦者の操縦方法

高サンプリングで姿勢角や位置、速度を測定、記録することができるGPS-慣性航法複合航法アルゴリズムを小型ノートパソコンに組み込み、それを機体に搭載することにより熟練者と中級者の飛行、特にホバリング状態のデータ収集を行い、その結果から周波数解析を行った。機体横方向の速度データを解析した結果を図4、

5に示す。それぞれのグラフによると操縦者の操舵結果はよく線形近似することができるが、これは中級者、熟練者も速度を視覚から判断しその大きさに比例した操舵するという比較的簡単な制御を行っているだけにすぎないことを意味していると思われる。また、両者の操縦結果の違いとして帯域幅が大きく異なっていることが分かる。帯域幅とは応答が追従可能である目的指令の周波数帯域のことであるが、これが大きいほど高い運動性を持つことを意味する。特に、機体横方向の速度の制御では熟練者は中級者の5倍も大きな帯域幅を持っていることが確認することができたが、これが熟練者と中級者の操縦の大きな違いとなり、操縦結果に大きく影響を与えることが分かった。

また、飛行状態だけでなく同時に操舵指令のデータも保存し、ニューラルネットワークやサポートベクトルマシンなどを用いてその特徴抽出を行った。その際、測定データには誤差など

誤りが含まれていることを考慮したニューラルネットワークの学習法を提案した²⁾。さらに、学習が完了したニューラルネットワークなどから感度解析を用いて、操縦者がどのようにして操舵を決定しているか解析を行った。その結果として、いずれの操舵量においても各操縦者はヘリコプタを安定に操縦するために、急激に操舵量を変化させずに過去の操舵量を考慮して滑らかに操縦していることや、中級者は単純なフィードバック制御をしているだけに過ぎないが、熟練者はフィードバック制御だけではなくフィードフォワード制御が加わった操縦法をしていることが判明した。そのフィードフォワード部分は過去の経験などから未来の飛行状態を予測し、操舵を決定している部分であると予想できる。

4. ボイスコマンドシステムの開発

従来より無人ヘリコプタの操縦にはプロボが用いられてきた。操縦者は視覚によりヘリコプタの姿勢などを判断し、安定に飛行可能な操舵を経験や知識から決定し、プロボのスティック操作を行い、各操舵量を無人ヘリコプタに送信していた。しかし、自律飛行制御系の利用により、その操縦を大幅に簡略化することが可能であり、例えば操縦者は目標とする高度指令や速度指令などを入力するだけで安定な飛行を実現することができる。このような半自律飛行制御は、無人ヘリコプタの主用途である農作業においても重要な役割を果たすだけでなく、更なる発展的な利用である安全・防災活動などにおいて非常に重要な役割を果たす。半自律飛行制御を利用した操縦ではプロボを用いる必要はなく、操縦インタフェースの選択に自由度が生じる。本研究では、2節で行った初心者の操縦実験結果と、人間にとってもっとも自然で簡単な意思伝達手段は音声であることに注目して、ボイスコマンドシステムの開発を行った。開発したボイスコマンドシステムの概略図を図6に示す。大学生を主とする操縦未経験者を被験者を選び、

フライトシミュレータを用いて操縦模擬実験を行ったところ、与えた目的をすべての被験者が達成することができ、構築したボイスコマンドシステムが操縦を格段に容易なものとなることを確認した。フライトシミュレータを用いた操縦実験の結果（飛行経路）を図7に示す。この図によると操縦者は与えられた複雑に曲がった軌道にそって上手くヘリコプタを操縦することができたことがわかる。また、操縦飛行実験を行うことによりメインロータの引き起こす騒音の元であってもボイスコマンドを用いることにより容易かつ安定に操縦可能であることを確認した。さらに、ボイスコマンドシステムを用いた場合の操縦パターンを解析すると、やはり2節で示したように初心者者は移動方向の変更方法により二つのグループに分かれた。特に、各グループに区分して速度設定に関してインタ

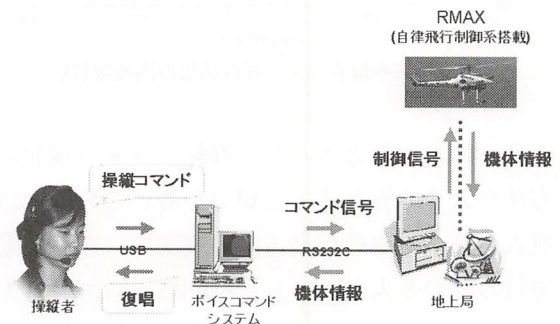


図6 ボイスコマンドシステム

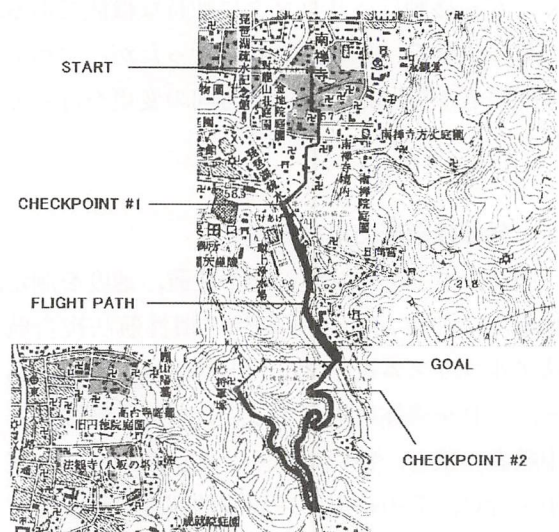


図7 飛行経路

ビュー結果をまとめたところ、以下のような互いに矛盾する意見が得られた。

[旋回を利用する操縦者]

- ・ 左右移動は軌道の微調整に利用するのみであるので、前進速度に比べて遅くすること
- ・ 前進速度にあわせて旋回速度を早くすること

[左右移動を利用する操縦者]

- ・ 前進方向の速度と左右移動の速度が同じ程度の速さとしてすること
- ・ 旋回速度はどのようなものでもよい

このような要望の違いにより、特に初心者ではボイスコマンドシステムなどの操縦インタフェースにあらかじめ決められた速度設定しか利用できないことは、不満に思うことが多いことが分かった。この欠点を解消するためには、適応的あるいは能動的に速度設定を調整する機構を付加することによりユーザの操縦感や満足度が向上すると考えられる。これらの方法が有効であるかを確認するために、

[A] コマンド履歴より速度設定を適応的に調節する機構

[B] 能動的に速度設定を調節する機構

[C] 両方を複合した機構

をそれぞれ追加したボイスコマンドシステムにより飛行シミュレーション実験を行い、最も操縦性に優れるものを調査したところ、[A] 1名、[B] 6名、[C] 8名という結果を得た。適応機構のみで速度設定を調整する方法は、ユーザが満足する速度を速やかに与えることは難しく、特に、操縦に慣れるにつれて、[A] に不満を抱く傾向が強まることも分かった。この実験の結果より適応的、能動的な速度調整機構を複合して用いること、各ユーザにあった操縦感覚を容易に提供することが可能であることが分かる。

[今後の研究の方向、課題]

本研究では無人ヘリコプタの操縦インタ

フェースに限定して研究開発を行ったが、自律飛行制御系の高度化に伴い、従来では不可能であった可視範囲外での飛行が容易なものとなっている。これにより、無人ヘリコプタの用途は拡大し、特に火山など危険地帯における観測活動を有人機に代わって行うことができるようになった。また、災害対応・防災用としての価値が認められ、平成14年度に文部科学省により開始された大都市大震災軽減化特別プロジェクトにおけるレスキューロボット等次世代防災技術の開発の研究項目の重要項目として取り入れられ、我々の研究グループを中心として盛んに研究が開始された。防災・災害対応用としては情報収集活動が主務となるが、それには搭載した観測カメラなどを容易に取り扱うことや、収集情報を分かりやすく観測者に提示するためのインタフェースも重要な役割を果たす。無人ヘリコプタを防災用として十分に用いるためには、本研究のような操縦インタフェースや情報提示インタフェースの更なる研究が必要であり、これにはレスキュー隊員など行動解析などを十分に行う必要があると考えている。

[成果の発表、論文等]

- 1) 中西弘明, 佐藤 彰, 井上紘一: 特徴抽出による無人ヘリコプタの操縦法の解析, Proceedings of Human Interface Symposium 2002 (HI 2002), pp. 635 - 638 (2002)
- 2) 中西弘明, 佐藤 彰, 井上紘一: 無人ヘリコプタのための音声コマンドシステムの開発, Proceedings of Human Interface Symposium 2002 (HI 2002), pp. 305 - 308, (2002)
- 3) Hiroaki Nakanishi and Koichi Inoue: Development of Autonomous Flight Control System for Unmanned Helicopter by Use of Neural Networks, Proceedings of the 2003 International Joint Conference on Neural Network, pp. 2400 - 2405 (2003)
- 4) 青木創太, 中西弘明, 井上紘一: 災害対応用無人ヘリコプタのインタフェース設計, Proceedings of Human Interface Symposium 2003 (HI 2003), pp. 379 - 382 (2003)

3次元動画像取得用 VLSI プロセッサの開発と 高安全知能システムへの応用

Development of a VLSI Processor for Acquisition of 3-D Image Sequences and
Its Application to Highly-Safe Intelligent Systems

1021014

研究代表者

東北大学大学院情報科学研究科 助教授

張 山 昌 論

[研究の目的]

安全性・セキュリティの確保などを重視した「人にやさしい情報社会」のためには、家庭用サービスロボット、高安全自動車などの人間を支援する知能システムが重要となる。その要素技術として、本研究では、リアルワールド環境を高速かつ自律的に取得する VLSI プロセッサの開発を行う。

[研究の内容、成果]

3次元動画像取得は、異なる視点に配置されたカメラ画像を用いて物体の3次元情報を取得するステレオビジョンと、同一のカメラを用いて異なる時刻に撮影された画像間の対応付けを行うオプティカルフロー抽出からなる。これらの処理においては、計算量が膨大であるため最新のマイクロプロセッサを用いても処理時間が膨大となる問題があった。本研究では、計算量の最小化を指向したアルゴリズムと、専用 VLSI プロセッサによる高並列処理により、処理の大幅な高速化を達成した。以下にその概要を述べる。

1. 再帰的ステレオマッチングとその VLSI 化^{2,4-6)}

ステレオビジョンとは、図1に示すように、異なる視点から取得された複数の画像画の対応

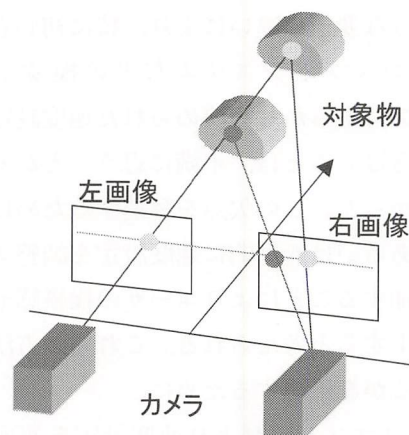


図1 ステレオビジョンの設定

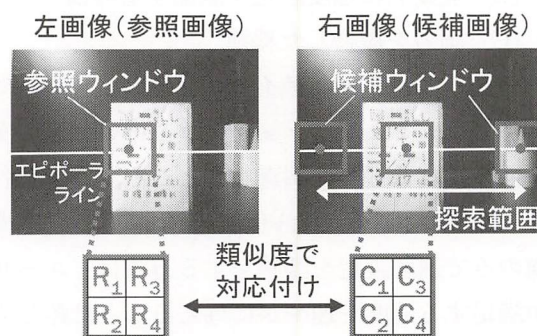


図2 対応点探索

情報を用いた三角法により、物体表面の3次元座標情報を取得する手法である。

従来の対応点探索の手法とその問題点を説明する。図2に示すように、左画像（参照ウィンドウ）上への参照ウィンドウ、右画像（候補画像）上へのエピポーラライン上に候補ウィンドウを考える。対応点探索の目的は、参照ウィンド

ウと最も類似した候補ウィンドウを見つけ出すことである。ウィンドウ間の類似度の典型的な評価指標として、ウィンドウ間の対応する画素の画素値の絶対差分の和 (SAD) がある。図 2 の例では、SAD は次式で与えられる。

$$\begin{aligned} \text{SAD} = & |R1-C1| + |R2-C2| \\ & + |R3-C3| + |R4-C4| \end{aligned}$$

SAD の値が小さい程、ウィンドウが類似することを意味する。ウィンドウサイズが $N \times N$ の場合、1 回の SAD において、従来の方法では、 N^2 回の絶対差分 (AD)、 N^2-1 回の加算が必要であった。

SAD の計算量を減少するために、本研究では、中間結果の再利用に基づき計算量を最小化するアルゴリズムを提案した。図 3 に示すように、参照ウィンドウ RW 1 と候補ウィンドウ CW 1、参照ウィンドウ RW 2 と候補ウィンドウ CW 2 に対して SAD 演算を計算する例を考える。この場合、従来の方法では、SAD 演算は以下のように計算される。

$$\begin{aligned} \text{SAD1} = & |R1-C1| + |R2-C2| \\ & + |R4-C4| + |R5-C5| \\ \text{SAD2} = & |R4-C4| + |R5-C5| \\ & + |R7-C7| + |R8-C8| \end{aligned}$$

SAD1, SAD 2 は、ウィンドウの重複部分に対応して、共通の中間結果 $|R4-C4| + |R5-C5|$ が存在することがわかる。SAD 2 を計算する際には、SAD 1 の計算により生成された中間結果を利用することにより、SAD 2 を 2 回の AD 演算と 2 回の加算で計算でき、SAD を直接計算する場合に比べ計算量

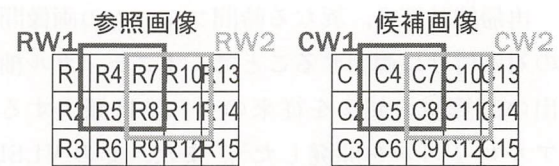


図 3 共通の中間結果を有する SAD 演算の例

を減少できる。共通の中間結果に含まれる AD 演算及び加算の回数は、参照ウィンドウ間（または候補ウィンドウ間）のオーバーラップ部分の画素数に対応することに着目し、ウィンドウ間のオーバーラップを最大にするようなウィンドウ間で SAD の共通の中間結果を利用することにより、計算量の最小化を達成した。画像サイズ 512×512 、ウィンドウサイズ 15×15 の場合、従来の手法と比較して計算量を 1.2% に減少できることを明らかにした。

また、本アルゴリズムは、VLSI 化に適した規則性を有している。図 4 に再帰的ステレオマッチングのデータフローグラフ (DFG) 表現を示す。DFG の各ノードは SAD 演算を表す。有向エッジは、始点ノードの出力が終点ノードの入力として用いられることを表す。各ノードからは、SAD 演算の中間結果として、ウィンドウ全体の SAD 演算結果 (SAD) と、ウィンドウ内の右端の列に対する SAD 演算結果 (SLICE) が出力される。DFG から、本アルゴリズムが同一処理の規則的な繰り返し構造を有することが分かる。また、ノードを 2 次元配列状に並べた場合、各ノードの入力画素の並びが、画面上の並びに対応するという規則性を有する

本 VLSI 設計においては、次のような理由から、算器間および演算器・メモリ間の相互結合

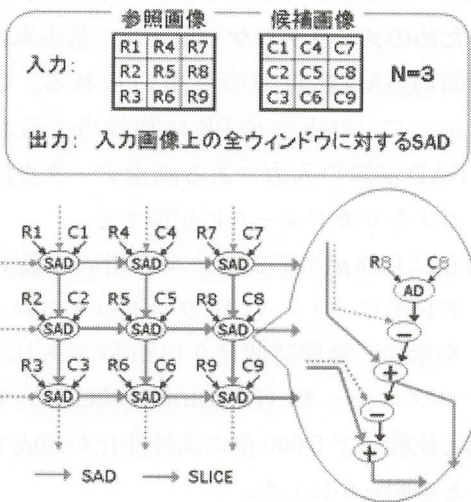


図 4 ステレオマッチングの DFG

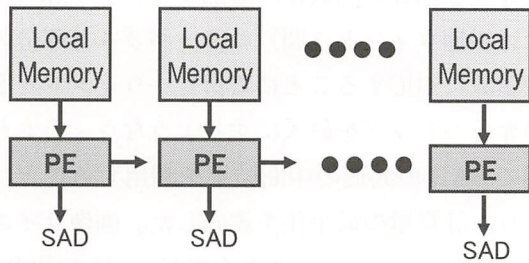


図5 ステレオビジョン VLSI のアーキテクチャ

網の簡単化が重要な課題となる。近年、トランジスタの微細化に伴い、トランジスタの遅延よりも、配線に起因する性能劣化（遅延時間・消費電力の増大）を引き起こしている。さらに、高並列な画像処理を行う場合には、相互結合網が複雑になる可能性が高いため、配線に起因する性能劣化が特に深刻となる。

相互結合網の複雑さを最小化するために、以下の最適化手法を考案し、図5に示すように、相互結合網が最小化されたロジックインメモリアーキテクチャを得た。

(1) 中間結果の語長に着目した演算器アロ

ケーション：2種類の間接結果（SADおよびSLICE）の語長のうち、語長の長いSADを同一のPEで再利用するように割り当てる。結果として、PE間では語長の短い中間結果を転送することになり、PE間相互結合網を最小化できる。

(2) ロジックインメモリアーキテクチャの

ためのメモリアロケーション：各画素は1個のSAD演算でのみ用いられる。したがって、ひとつのPEに割り当てられたSAD演算の入力である画素データを同一のメモリモジュールに記憶する。

図6に0.18 μ CMOSルールを用いて設計したステレオビジョンVLSIプロセッサのレイアウトを示す。処理時間は0.13m秒であり、マイクロプロセッサ（Pentium4@2GHz）での処理と比較して5,000倍の高性能化が達成できることを明らかにした。

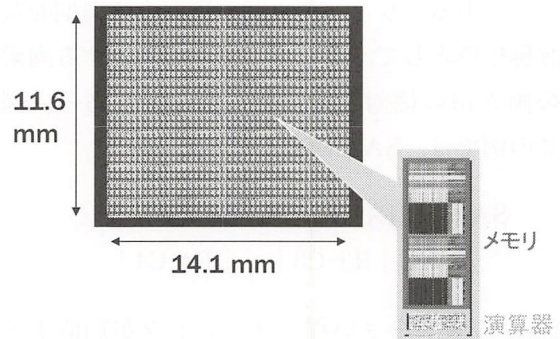


図6 ステレオビジョン VLSI プロセッサのレイアウト

2. 再帰的計算に基づく高信頼ステレオマッチングアルゴリズム²⁾

SADを用いた対応点探索の信頼性は、ウィンドウサイズに依存して決定される。ウィンドウが大きい場合は、対応は大局的に正しいが、透視投影の歪みにより局所的には誤差が生じる。一方、ウィンドウが小さい場合には、対応は局所的には正しいが、ウィンドウ内の情報が少ないため大局的な誤対応を引き起こす可能性がある。

この問題を解決するために、大きなウィンドウで大局的に対応点候補を限定した後に（大局的探索）、段階的にウィンドウサイズを小さくしながら対応具合を改善する（局所探索）アルゴリズムを提案した。全体の計算量において支配的となる、ウィンドウが大きい場合の計算量を減少するために、再帰的計算再帰的ステレオマッチングを利用した。これにより、計算量と信頼性を両立するアルゴリズムを提案した。図7に実験結果を示す。局所探索を用いない場合と比較して、誤対応を20%程度減少できた。

3. 再帰的オプティカルフロー抽出アルゴリズムとそのVLSI化¹⁾

再帰的計算を、異なる時間フレームの画像間の対応付けに適用することで、オプティカル抽出の計算量の減少を従来の1/10に減少するアルゴリズムを開発した²⁾。また、そのVLSI化においては、ウィンドウ間の並列性に着目し

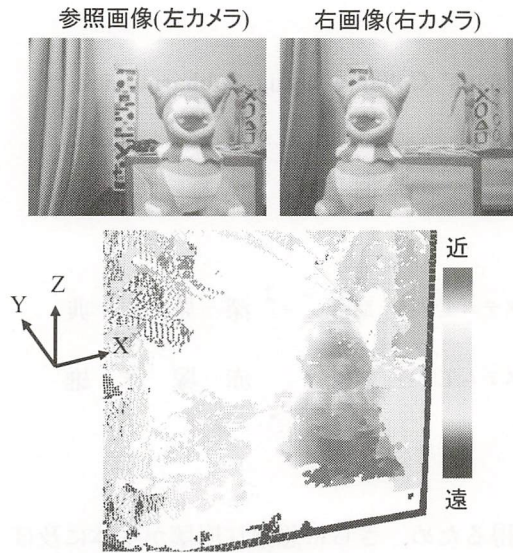


図7 3次元プロット

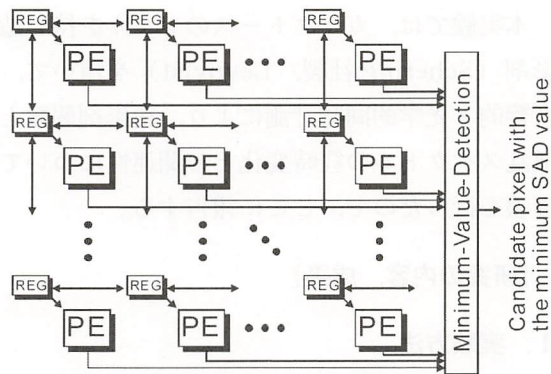


図8 オプティカルフロー抽出用 VLSI プロセッサのアーキテクチャ

た PE 間データ転送フリーアーキテクチャを考案した(図8)。FPGA(書き換え可能集積回路)を用いて試作を行い、従来のマイクロプロセッサでの処理と比較して、1桁程度の高性能化が達成できることを明らかにした。

[今後の研究の方向, 課題]

今後の研究の方向としては、提案手法を物体認識等のより高次の処理へ応用することが重要となる。従来、この種の処理は、3次元動画像取得の計算時間の問題から、2次元画像のみを用いた手法が中心であった。本提案による高速な3次元動画像取得とを前提とした、クオリティの高い高次処理のアルゴリズムの開拓が期待される。

また、3次元動画像取得の高信頼化に関しては、知識などの高次情報を活用した手法との融合と、その VLSI 化が課題である。

[成果の発表, 論文等]

- 1) M. Hariyama and M. Kameyama: Optical Flow Extraction Based on Reuse of Intermediate Results and VLSI Implementation, SICE Annual Conference, pp. 2366–2369 (2002)
- 2) 三浦清志, 張山昌論, 亀山充隆: 再帰的計算に基づくステレオマッチングとその VLSI 化, 電子情報通信学会ソサイエティ大会, C-12–14 (2002)
- 3) 佐々木悠, 張山昌論, 亀山充隆: 再帰的演算による高速化を指向した VLSI 向き高信頼ステレオマッチング, 電気関係学会東北支部連合大会, 2H4 (2003)
- 4) 三浦清志, 張山昌論, 亀山充隆: 再帰的計算に基づくステレオマッチングと VLSI 化, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J 86–C, No. 8, pp. 752–759 (2003)
- 5) K. Miura, M. Hariyama and M. Kameyama: Stereo Vision VLSI Processor Based on a Recursive Computation Algorithm, SICE Annual Conference, pp. 2338–2341 (2003)
- 6) 三浦清志, 張山昌論, 亀山充隆: 再帰的演算に基づくステレオマッチング VLSI プロセッサのアーキテクチャ, 信学技報, ICD 2003–126, pp. 25–30 (2003)

分調波を用いた超音波造影剤崩壊量の定量的評価

Quantitative Evaluation of Ultrasound Contrast Agents' Collapse Using Subharmonics

1021017

研究代表者	山形大学工学部応用生命システム工学科 助手	深 見 忠 典
共同研究者	山形大学工学部応用生命システム工学科 教授	赤 塚 孝 雄

[研究の目的]

今日、超音波造影剤（コントラスト剤）は、医学的診断の分野において広く用いられるようになってきた。通常、コントラスト剤は、数 μm 程度のマイクロバブルであり、気泡もしくは難溶性のフッ素系ガスがガラクトースやアルブミン等のシェルによりコーティングされた構造をしている。マイクロバブルは、ガス（気体）と血液や組織の音響特性が大きく異なるため後方散乱を増強する。さらに、超音波照射による共振、崩壊、消失等により、送信周波数（基本波： f_0 ）のハーモニクス（高調波： $2f_0$ ）やサブハーモニクス（分調波： $f_0/2$ ）を生成する。特に、マイクロバブルの共振により得られる高調波成分は生体組織からのそれよりも非常に大きいという性質を利用し、高調波を用いて画像化を行うことで、組織血流間のコントラストを増強するハーモニックイメージングに用いられている。一方、分調波成分は、生体組織からの発生がほとんどないことから、さらによい生体組織血流間のコントラストが得られるものと期待されている。

しかしながら、分調波成分の生成メカニズムについては、マイクロバブルの共振や崩壊現象となんらかの関連性があると考えられているものの、十分に解明されていない。エコー増強と消失を制御して組織対血流の最適なコントラス

トを得るため、さらに急激な崩壊が生体に及ぼす影響を安全性の観点から調べるためにも、崩壊の振る舞いを定量的に把握することは重要と言える。

本実験では、ガラクトースのシェルを持つ造影剤（Schering 社製、Levovist）を用いて、音響的・光学的同時計測により、造影剤個数と散乱スペクトルの経時変化との関連性について実験を行ったので、ここに報告する。

[研究の内容、成果]

1. 実験方法

超音波パルスの照射に同期して、造影剤からの散乱波スペクトル及び造影剤の振る舞いを観測するため、図1のような測定システムを構成した。水槽中に設置した底辺が一辺約 10 mm の正方形である柱状の寒天に、5.0 mm 径の穴を開け、5.0 mg/ml の Levovist 溶液を内部に注入した。ファンクションジェネレータ（YOKOGAWA 社製、WE-7121）により中心周波数 3.4 MHz、10 波長の超音波パルスを、単一円板トランジューサを用いてパルス繰り返し周波数（Pulse Repetition Frequency：PRF）を 30 Hz～2,000 Hz、音圧を 25 k～250 kPa で照射した。造影剤からのエコーを、広帯域ハイドロフォンを用いて収集し、デジタイザ（YOKOGAWA 社製、WE711S）により 20 MHz、12 bit でサンプリングした。また、同時に光学顕

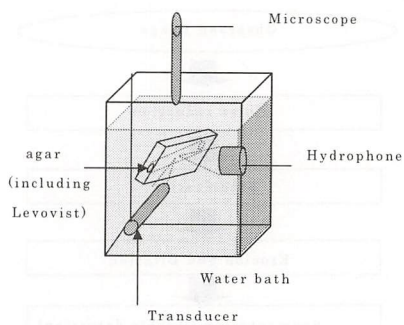


図1 計測システム

微鏡 (KEYENCE 社製, VH-Z 450) に装着された高速度カメラ (FOTRON 社製, FASTCAM-PCI 500 C) を寒天上方に設置し, 画像を 250 frame/s, 512 × 480 pixel にて取得した。こうして得られた音響データ及び画像データは, 計算機に転送され解析される。

音響データに対しては, 各送信パルスに対応した造影剤からの散乱波を切り出し, 高速フーリエ変換 (Fast Fourier Transform: FFT) を施して周波数スペクトルを求め, 分調波成分の経時変化 (照射回数による変化) を観測した。また光学顕微鏡により取得した画像データは, 画像処理により造影剤個数の解析が行われた。

次節では, 実験結果として, 分調波成分収集の効率よい条件を得るため, PRF を固定した条件において音圧変化による分調波生成について, さらに照射音圧を固定した条件で PRF 変化による分調波生成について述べ, 音響的・光学的同時計測による分調波生成とバブル個数の変化について示す。

2. 実験結果

2.1 分調波生成と照射音圧の関係

図2はPRFを1,000 Hzとし, 音圧を25 k~250 kPaとした時, 基本波成分を基準として分調波及び高調波成分のパワー比を表したものである。図中で分調波成分は, 25 k~50 kPaの低音圧下で低い値で推移しているが, 50 kPaを超えると急激に増加し, その後音圧を上げるにつれて, 緩やかに減少を見せた。75 kPa~125 kPaにおいて比較的大きな値を示した。

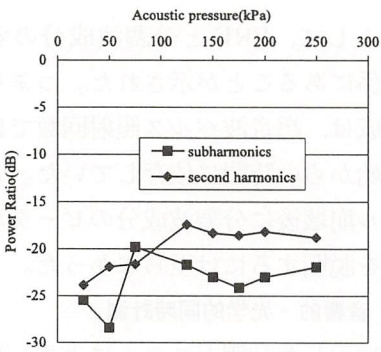


図2 照射音圧と基本波成分を基準とした分調波及び高調波成分のパワー比の関係

2.2 分調波生成と繰り返し周波数の関係

図2と同様にPRFと基本波成分を基準とした分調波及び高調波成分とのパワー比を図3に示した。分調波成分については, PRFの値に関わらず, ほぼ一定値であった。しかしながら, 分調波成分と基本波成分との出現時刻の時間的なずれが確認された。このずれとPRFとの関連性を調査するため, 基本波成分と分調波及び高調波成分の時間変化に対して相関を用いて2つの成分生成の時間的なずれを計算した。結果を図4に示す。

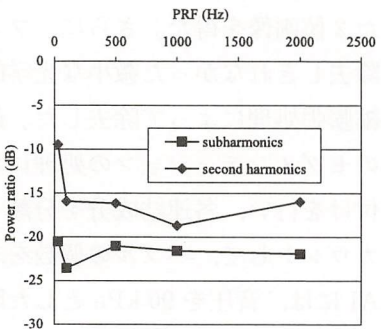


図3 PRFと基本波成分を基準とした分調波及び高調波成分のパワー比の関係

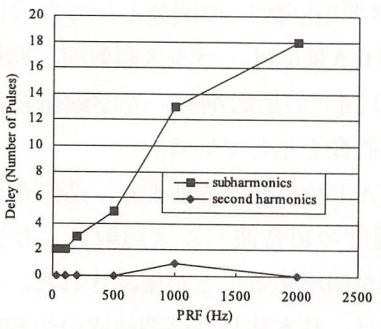


図4 PRFと基本波成分を基準とした分調波及び高調波成分の出現時間差の関係

結果として、PRF と分調波成分のずれは、比例関係にあることが示された。つまり、分調波の生成は、超音波パルス照射回数ではなく、照射開始からの時間に依存していた。この急激なバブル崩壊後に分調波成分のピークが出現する現象を説明するには至らなかった。

2.3 音響的・光学的同時計測

前節に示した計測システムにより、音響的・光学的同時計測した結果を示す。本研究では、寒天内の造影剤封入位置での音圧を 90 kPa 及び 30 kPa、PRF を 250 Hz とした時の受信信号の基本波成分 (3.4 MHz)、高調波成分 (6.8 MHz)、分調波成分 (1.7 MHz) の時間変動及び造影剤の個数変化を画像解析により調べた。

造影剤の個数を求める画像処理のフローチャートを図 5 に示す。この処理は、はじめに観測系固有のノイズを除去するため、バブルを注入前の寒天内の画像を取得し、造影剤注入後の画像に対して差分を取ることで実行された。次に、画像にメディアンフィルタを施し、光学的なノイズの軽減を行い、P-タイル法を用いて入力画像の輝度値の偏りに左右されない、安定した 2 値画像を得た。さらに、フィルタ処理では除去しきれなかった微小な光学的なノイズを伸縮膨張処理によって除去した。最後に、バブルのセグメンテーションの処理において、ラベル付けを行い、各連結成分を分離し、その個数をカウントして、バブルの個数を求めた。

図 6 A I には、音圧を 90 kPa とした時の受信信号の基本波成分、高調波成分、分調波成分を基本波成分の最大値を 0 dB とし、時間変化 (パルス照射回数) の関数として表示した。また、図 6 A Ⅲ には、パルス照射前、照射 7 回、照射 20 回での造影剤を、光学顕微鏡によって捉えた画像を示している。

図 6 A I 及び図 6 A Ⅲ より、造影剤個数は、10 回程度の超音波パルス照射により大部分の造影剤が崩壊することが確認された。この個数の変動は、基本波及び高調波成分の変動と同期していた。一方、分調波成分は、造影剤崩壊に

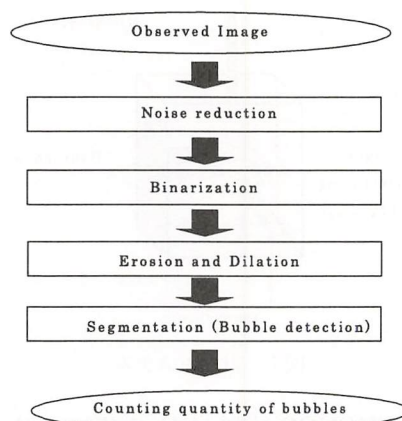


図 5 造影剤検出処理のフローチャート

伴い、パワー増加が見られ、バブルの個数の変化、他の 2 成分の変化に対して、逆相関性を持つ推移を示した。図 6 A Ⅱ に分調波成分の発生が確認できるパルス照射 10 ～ 30 回における受信波形の平均周波数スペクトルを示している。これを見ると分調波成分が顕著に出現していることが確認される。

次に音圧を 30 kPa とし、同様の実験を行った結果を図 6 B に示す。散乱スペクトルの時間変化については、音圧 90 kPa 時に比べ、基本波及び高調波成分の変動は小さく、分調波成分においても顕著なパワーの変動は見られなかった。このことは、図 6 B Ⅱ の平均周波数スペクトルからも確認できる。また、図 6 B I 及び図 6 B Ⅲ より、造影剤の個数にも変化が見られず、光学顕微鏡による画像からもほとんど崩壊していないことが分かる。

以上のことから、超音波造影剤の音響的・光学的同時計測結果より、基本波及び高調波成分は、造影剤個数の減少に伴い、同様に減少していた。一方、造影剤の個数の変化と分調波成分の時間変化が、逆相関性を示しており、造影剤崩壊に伴う分調波成分生成が示唆された。

[今後の研究の方向、課題]

本研究では、光学的・音響的同時計測により、分調波成分生成と超音波造影剤の崩壊現象との関連性について調査を行った。結果として、基

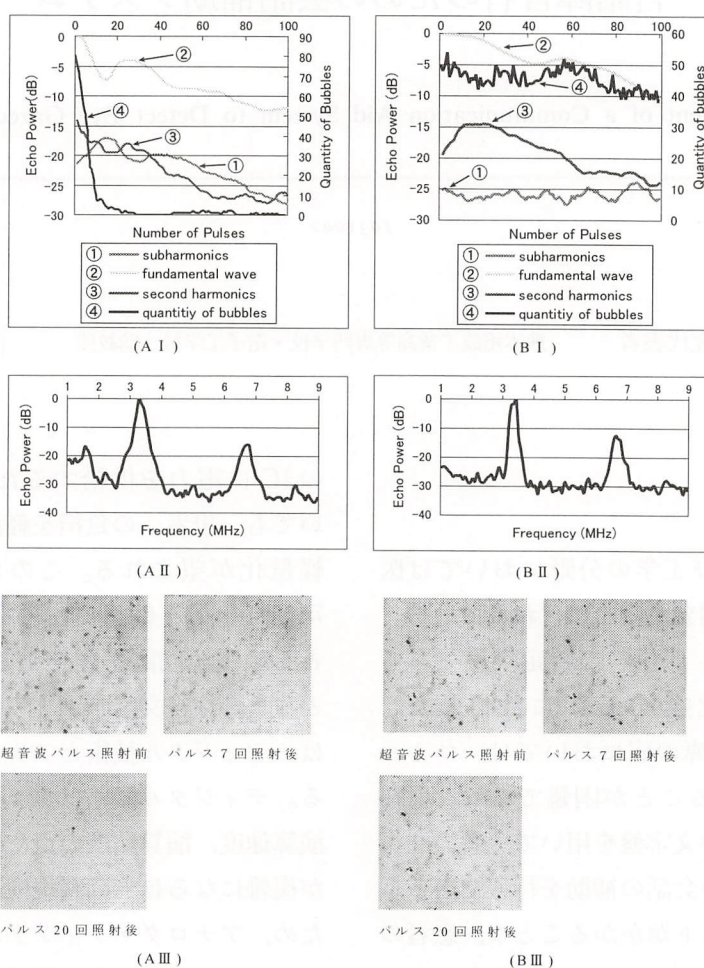


図6 超音波造影剤の音響的・光学的同時計測 (A) 音圧 90 kPa 時, (B) 音圧 30 kPa 時 (I) 受信信号成分の時間変化, (II) 周波数スペクトル [パルス照射 10 ~ 30 回の平均スペクトル], (III) 光学顕微鏡による計測画像

本波成分及び高調波成分の変化と、分調波成分の変化の間に逆相関関係があること、分調波成分生成と造影剤崩壊との関連性が認められた。しかしながら、急激な造影剤崩壊後に分調波成分の生成量がピークを示す理由について説明するには至らなかった。この点について、粒径分布の変化や、それと共振周波数の関係も考慮してその原因を調査してゆきたい。また、分調波の生成は、超音波パルス照射回数ではなく、照射開始からの時間に依存していた。この点についてもさらなる実験が必要であると考えられる。以上の問題点について今後より詳細な調査を行い、分調波発生メカニズム解明に繋げてゆきたい。

[成果の発表、論文等]

- 1) T. Fukami, T. Shiina and T. Akatsuka: A

Consideration on the Relation between Subharmonics and Microbubble Collapse, Joint Symposium on Bio-Sensing and Bio-Imaging (JSBB), AP-1 (2001)

- 2) 舞草秀伯, 八木有毅, 深見忠典, 柳田裕隆, 赤塚孝雄: Levovist におけるマイクロバブルの振る舞いの光学的・音響的同時計測, 第 37 回日本エム・イー学会東北支部大会, 21 (2003)
- 3) 舞草秀伯, 八木有毅, 深見忠典, 赤塚孝雄, 柳田裕隆: Levovist におけるサブハーモニクス生成について, 第 26 回日本超音波医学会東北地方会学術集会, pp. 26 - 14 (2003)
- 4) 舞草秀伯, 八木有毅, 深見忠典, 柳田裕隆, 赤塚孝雄: 超音波造影剤におけるマイクロバブルの振る舞いの光学的・音響的同時計測, 電子情報通信学会医用画像研究会, MI 2003 - 75 (2004)

[謝 辞]

山形大学工学部情報工学科の柳田裕隆助手には、本実験システムの製作において御助言を頂きました。ここに記して感謝致します。

言語障害者のための会話補助システム

Development of a Communication-Aid System to Detect Eye-Gazed Patterns

1031002

研究代表者

熊本電波工業高等専門学校・電子工学科 助教授

江 口 啓

[研究の目的]

近年、医学および工学の分野においては医療補助システムの開発が盛んに行われている。本研究においては、厚生省の特定疾患である筋萎縮性側索硬化症（ALS）に注目した。ALSなどの身体麻痺の病においては、コミュニケーションをとることが困難である。現在は、熟練の看護婦が文字盤を用いて患者の注視文字を判別し、その会話の補助を行っている。このため、人的コストがかかることや、患者のプライバシーが守られないなどの弊害が生じている。

本研究においては、眼球の運動だけでコミュニケーションをとることができる会話補助システムを開発する。同システムにおいては、患者がヘッドマウントディスプレイ（HMD）のスクリーン上に投影された文字盤を注視し、専用 IC によりその注視文字を判別することにより意思を伝達するものである。同システムの実現にあたっては、HMD に組み込むための注視文字判別チップと、そのチップに電力を供給するための IC 電源を設計する必要がある。なお、HMD に関しては、既に様々な種類の物が製品化されているため、映像機器に関しては問題が無い。注視文字自動判別については、既存のデジタルマイクロプロセッサを用いた実現方法が考えられるが、チップ面積が非常に大きく重たいため、HMD に搭載することは不可能である。また同様に、そ

の IC に電力を供給するための電源回路についても、患者への負担を軽減するために小型・軽量化が望まれる。このため、HMD に搭載可能な小型・軽量の注視文字自動判別チップとその電源回路を開発することが本研究の鍵となる。注視文字判別チップの実現にあたっては、デジタル技術とアナログ技術が挙げられる。デジタル回路はアナログ回路に較べて、演算速度、演算精度の点で優れているが、演算が複雑になるほど回路規模が大きくなる。このため、アナログ・デジタル混在技術を用いることにより、HMD に搭載可能な小型・軽量の専用 IC チップを開発する。具体的には、注視文字を判別するために必要な主要演算回路部をアナログ技術により設計し、カメラからの入力画像を処理する回路をデジタル技術により設計する。これにより、小型・軽量の注視文字自動判別チップを実現する。一方、電源回路部としては、現在、磁性部品であるトランスを用いた電源回路が主流であるが、トランスを用いた電源回路は大きく重たくなるという欠点がある。さらに、トランスから発生する電磁ノイズによって周辺回路が誤動作する可能性がある。そこで、磁性部品を用いずに電源回路を設計する。具体的には、スイッチトキャパシタ（SC）技術を利用することにより、トランスを用いない小型・軽量の電源回路を IC チップ上に集積化する。

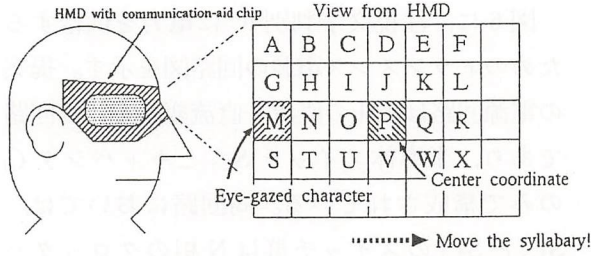


図1 提案システムの概要

【研究の内容、成果】

図1に提案システムの概要を示す。提案システムはHMDに注視文字判別ICとそれに電力を供給するための電源ICによって構成されている。各ICブロックにおける動作は次のようになる。

1. 回路構成

1.1 注視文字判別ブロック

図2に注視文字判別ブロックのブロックダイアグラムを示す。注視文字判別ブロックは、デジタル部とアナログ部によって構成されている。図3にデジタル部の回路構成を示す。同ブロックにおいては、患者が文字盤の正面を向いている時の瞳の状態画像 $I^0(i, j)$ ($i \in \{1, \dots, m\}, j \in \{1, \dots, n\}$) を $m \times n$ 画素の画像として注視文字判別IC内に読み込む。続いて、 t 秒後の患者の瞳が動いた時の状態画像 $I^t(i, j)$ を読み込む。デジタル部においては、 $I^0(i, j)$ と $I^t(i, j)$ を2値化した画像 $f^0(i, j)$ と $f^t(i, j)$

の差分画像 $r^t(k, l)$ ($k \in \{1, \dots, p\}, l \in \{1, \dots, q\}$) を次式により出力する。

$$r^t(k, l) = \overline{g^0(k, l)} \cap g^t(k, l) \quad (1)$$

ここで、 $g^t(k, l)$ は演算処理を高速に行うために $f^t(i, j)$ より抽出される特徴画像であり、次式で与えられる。

$$\begin{aligned} g^t(k, l) &= f^t(c_1 \times k, c_2 \times l) \\ c_1 \times p &\leq m \\ c_2 \times q &\leq n \end{aligned} \quad (2)$$

ディジタル部からの出力は、図4に示す総和ブロックに渡される。同ブロックにおいては、 $r^t(k, l)$ を上 (U)、下 (D)、左 (L)、右 (R) の4つのブロックに分割し、各領域における黒画素の数 $D_U^t, D_D^t, D_R^t, D_L^t$ を次式により計算する。

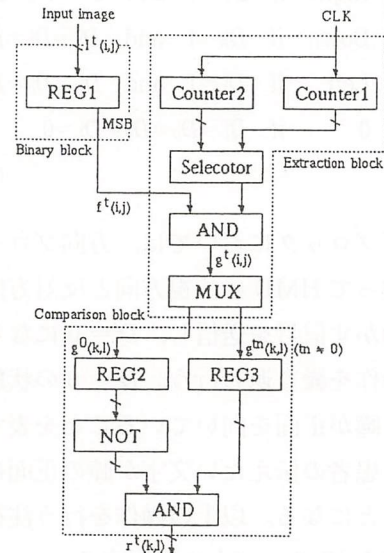


図3 デジタル部の回路構成

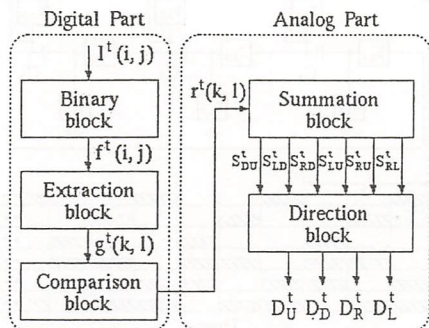


図2 注視文字判別ブロック

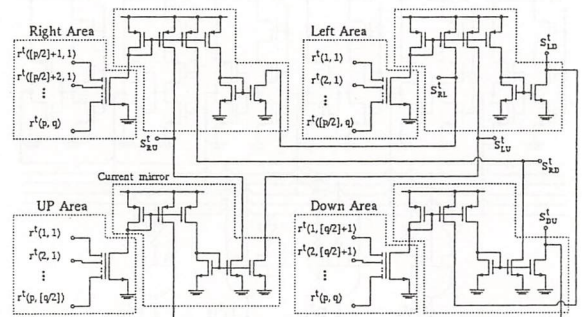


図4 総和ブロックの回路構成

$$\begin{aligned}
 D'_u &= \overline{u(S'_d \Theta S'_u)} \cap u(S'_b \Theta S'_r) \cap u(S'_b \Theta S'_l) \\
 D'_b &= \overline{u(S'_l \Theta S'_b)} \cap u(S'_b \Theta S'_r) \cap u(S'_b \Theta S'_l) \\
 D'_r &= \overline{u(S'_u \Theta S'_r)} \cap u(S'_b \Theta S'_r) \cap u(S'_b \Theta S'_l) \\
 D'_l &= \overline{u(S'_u \Theta S'_l)} \cap u(S'_b \Theta S'_r) \cap u(S'_b \Theta S'_l)
 \end{aligned} \quad (3)$$

ただし,

$$\begin{aligned}
 S'_u &= \sum_{k=1}^p \sum_{l=1}^{q/2} r'(k, l), \quad S'_d = \sum_{k=1}^p \sum_{l=q/2+1}^q r'(k, l), \\
 S'_r &= \sum_{k=p/2+1}^p \sum_{l=1}^q r'(k, l), \quad S'_l = \sum_{k=1}^{p/2} \sum_{l=1}^q r'(k, l)
 \end{aligned}$$

ここで, $u(\cdot)$ は単位ステップ関数であり, Θ は限界差演算子である。次に, 図5に示す方向ブロックにおいて, どの領域に最も黒画素が存在するかを次式に従って検出することにより, 瞳の注視方向を決定する。

$$D' = \begin{cases} \text{Up} & \text{if } D'_u=1 \text{ and } D'_r=D'_b=D'_l=0, \\ \text{Right} & \text{if } D'_r=1 \text{ and } D'_u=D'_b=D'_l=0, \\ \text{Down} & \text{if } D'_b=1 \text{ and } D'_u=D'_r=D'_l=0, \\ \text{Left} & \text{if } D'_l=1 \text{ and } D'_u=D'_b=D'_r=0, \\ 0 & \text{if } D'_u=D'_b=D'_r=D'_l=0, \end{cases} \quad (4)$$

アナログブロックにおいては, 方向ブロックの出力に従って HMD に注視方向と反対方向に文字盤を動かす信号を送信し, $D' = 0$ になるまで以上の操作を繰り返し行う。 $D' = 0$ の状態というのは, 瞳が正面を向いていることを表す。すなわち, 患者の伝えたい文字が瞳の正面にあるということになる。以上の操作を行う注視文字判別回路を IC チップ上に実現する。

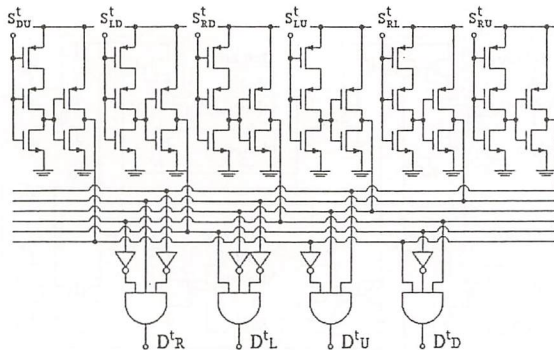


図5 方向ブロックの回路構成

1.2 電源ブロック

図6に, 注視文字判別 IC に電力を供給するためのトランスレス電源の回路図を示す。提案の電源回路は電圧の直流一直流変換を行う回路であり, 半導体スイッチ $S_{i,j}$ とキャパシタ C_j のみで構成されている。同回路においては, $S_{1,j}$ と $S_{2,j}$ のスイッチ群は N 相のクロックパルス $\Phi_{1,j}$ と $\Phi_{2,j}$ によってそれぞれ駆動される。また, $S_{3,j}$ と $S_{4,j}$ のスイッチ群は $\Phi_{1,j}$ の位相を巡回的にずらしたクロックパルスによって駆動される。出力負荷ならびに, スイッチにおける損失がないと仮定した場合, 図6における出力電圧は, 次式で与えられる。

$$V_{out} = \frac{Q}{P} V_{in} \quad (5)$$

ここで, P と Q はそれぞれ入力端子と出力端子にスイッチを介して直列に接続されるキャパシタの数を示している。パラメータ P, Q の値は, スイッチ $S_{3,j}$ と $S_{4,j}$ を駆動するためのクロックパルスのタイミングによって, それぞれ決定される。このように, 提案回路はパラメータ P, Q の値を変化させることにより, 入力電圧を線形的に昇降圧変換する。

2. 特性解析

提案回路の設計の妥当性を確認するために, 回路シミュレータを用いた特性解析を行った。

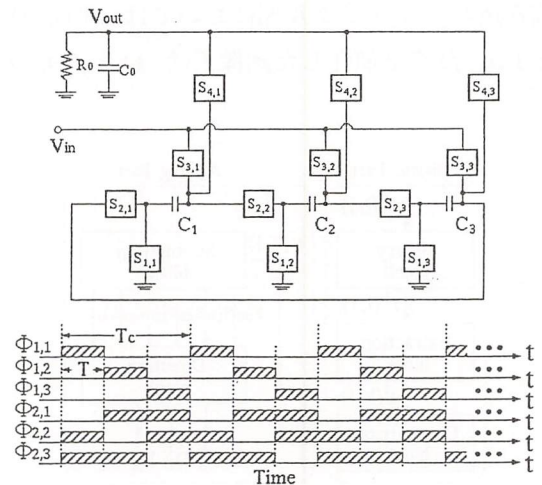
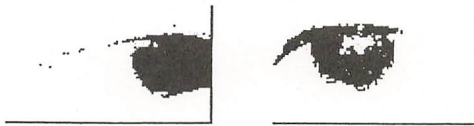


図6 トランスレス電源回路



(a) 左向き (b) 右向き

図7 入力画像



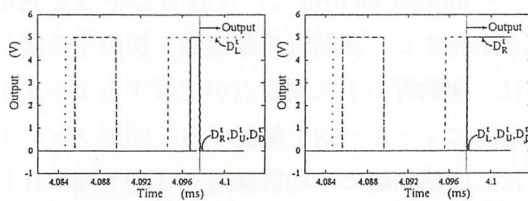
(a) 左向き (b) 右向き

図8 2値化画像



(a) 左向き (b) 右向き

図9 差分画像



(a) 左向き (b) 右向き

図10 方向検出結果

注視文字判別ブロックの特性解析においては、図7に示す画像を入力として与えた。同入力画像から得られた2値化画像 $f(i, j)$ と差分画像 $g(k, l)$ を図8, 9にそれぞれ示す。また、図10にアナログブロックの出力結果を示す。同図において、左方向 D_L^i と右方向 D_R^i の5Vのパルスが出力されており、入力画像における瞳の注視方向が検出されているのがわかる。

電源ブロックの特性解析においては、リチウムイオンバッテリーからの入力を想定し、入力電圧3.6Vから5Vの出力電圧を得る場合についてシミュレーションを行った。図11に電圧変換の結果を示す。提案の電源回路においては、30Ωの出力負荷を取り付けた場合に、電圧変換効率85%以上を実現できた。また、図6の回路構成からわかるように提案の電源回路は、磁性部品であるトランスを用いずに電圧変換が可能である。

3. 集積化

設計した回路については、VDEC（大規模集

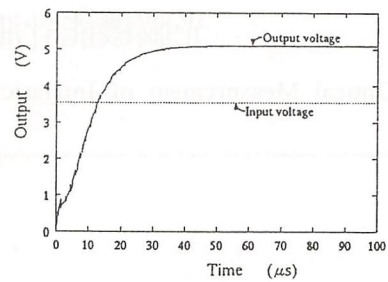
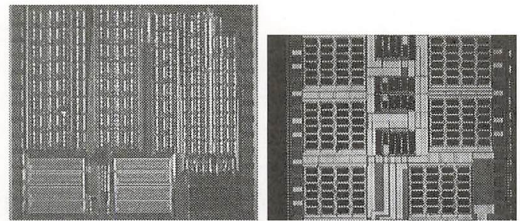


図11 出力電圧の過渡特性



(a) 注視文字判別 IC (b) 電源回路 IC

図12 試作 IC

積システム設計教育センター・東京大学) を利用して、試作 IC を作製した。図12に、試作した注視文字判別 IC とトランスレス電源回路 IC を示す。同回路の試作にあたっては、オンセミコンダクタ社の1.2μm CMOS プロセスを用い、2.3 mm 角チップ上に集積化した。

[今後の研究の方向, 課題]

今後の研究の方向としては、注視文字判別 IC において市販の HMD と接続するためのインターフェースの設計が挙げられる。また、臨床実験を行うことにより、システムのユーザーインターフェースの改善を図ることなどが課題として挙げられる。

[成果の発表, 論文等]

- 1) K. Eguchi, H. Zhu, T. Tabata and F. Ueno: An IC chip of a communication-aid circuit to detect eye-gazed patterns, Proceedings of the International Technical Conference on Circuit/ Systems, Computers and Communications, Vol. 2, pp. 1109–1112 (2003)
- 2) K. Eguchi, H. Zhu, T. Tabata, F. Ueno, I. Oota and T. Inoue: Design of a random-switching controller using chaos generators, Transactions of IEE of Japan, Vol. 123–C, No. 11, pp. 1964–1969, Nov. (2003)

支援型インターフェースにおける 光脳機能計測信号の利用に関する研究

Optical Measurement of Intrinsic Signal of Brain Function for Supporting Interface

1031003

研究代表者

慶應義塾大学理工学部電子工学科 助教授

岡田 英史

[研究の目的]

筋萎縮性側索硬化症など、脳から筋肉へ指令を伝達する神経に障害がある患者は、脳機能は正常でも機器の操作や発声が困難となる。本研究では、光で脳機能信号を検出し、簡単な機器を操作したり、意思伝達を行うインターフェースに利用する方法について基礎的な検討をおこなう。現在の光脳機能計測技術では、指を運動したときに、直径 30 mm 程度の領域で信号が観測される。これは、散乱によって脳組織における空間感度分布が広がっているためである。これに対して、脳組織の運動野において顔から手の運動を司っている領域は、個人差はあるが、おおよそ 30 ~ 40 mm の範囲に分布している。したがって、目、口、手を運動させる 3 種類の脳機能を判別するためには 10 mm 程度の空間分解能が要求され、これが支援型インターフェースに光脳機能計測信号を利用できるかどうかの目安となる。本研究では、頭部の組織散乱の影響を考慮した再構築法を用いることによって、光脳機能計測の空間分解能向上を試みる。さらに、生体模擬モデル（ファントム）を作成し、実験的に再構築法の空間分解能について評価を行う。

[研究の内容, 成果]

1. 脳機能計測と頭部ファントム

図 1 は、支援型インターフェースにおける脳

機能計測と本研究で作成した頭部ファントムの模式図である。一組の入射ファイバと検出ファイバの間隔は 30 mm で、それらの中点を測定点と定義する。運動野の脳機能を検出する場合には、運動野の上に測定点が位置するように 1 次元的にファイバ対を配置する。頭部ファントムは、頭部組織の不均質構造を 3 層で単純化した平行平板モデルである。脳組織を模擬した層には円孔が設けてあり、吸収が異なる円柱を挿入することで脳機能の賦活部を模擬するようになっている。図 2 は、作成したファントムを脳組織側から撮影した写真である。

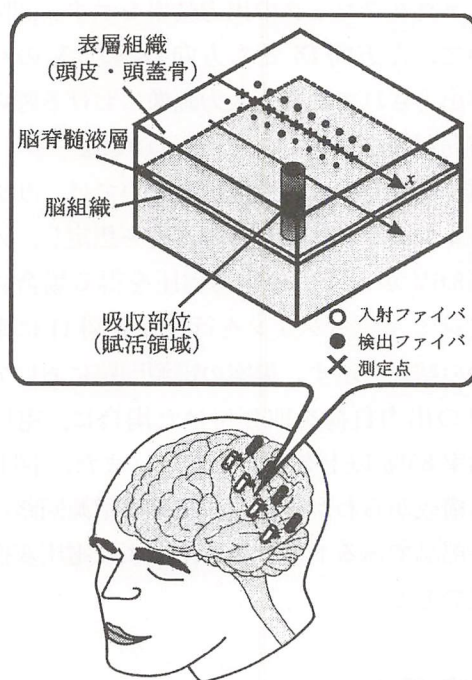


図 1 脳機能計測と頭部ファントム

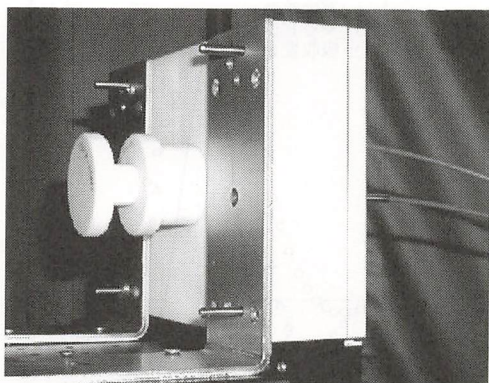


図2 頭部ファントム

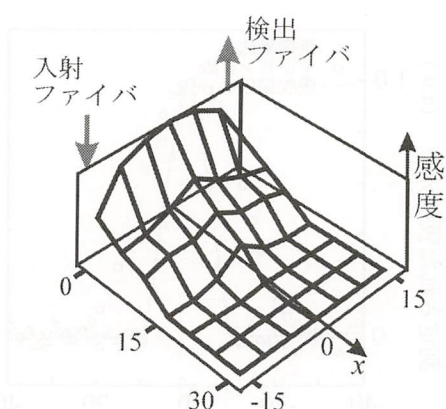


図3 ファイバ対の空間感度分布

ファントム中の賦活部位と入射-検出ファイバ対の相対位置を変化させたときに検出された信号強度の分布を図3に示す。一対の入射-検出ファイバが、広い範囲で生じた脳機能の賦活を捉えていることが分かる。このことが、光による脳機能計測の空間分解能を低下させる要因になっている。感度は、入射ファイバと検出ファイバの midpoint (測定点) で最も高くなっており、感度が10%になる領域は、入射、検出ファイバを通る直線を長軸とする約 40×30 mm の楕円形を呈している。

2. 検出信号の処理法

光脳機能信号を支援型インターフェースの入力信号として用いるための空間分解能について評価するため、図3に示したファントム実験によって求めたファイバ対の空間感度分布をもとに、賦活領域の位置および大きさの精度につい

て検討を行った。賦活領域としては、半値幅 10 mm のガウス分布型の吸収変化を有する領域を考え、1次元的に配置したファイバ対によって検出された信号から、脳組織中の吸収分布を求めた。このとき、測定点の間隔を 4 ~ 28 mm に変化させた。各ファイバで検出される信号を、組織の吸収変化分布と空間感度分布から式(1)のような順問題をして記述し、逆問題を解くことによって吸収変化の分布を求めた。

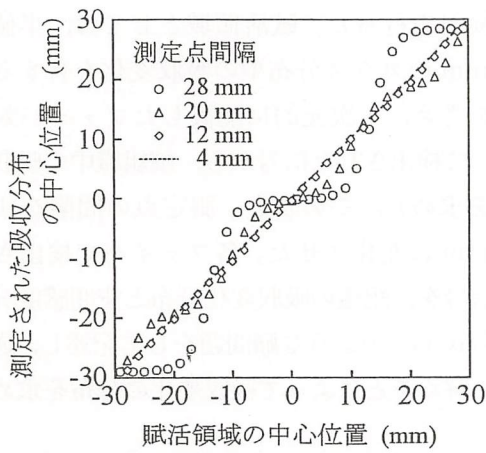
$$\begin{bmatrix} \Delta OD_1 \\ \Delta OD_2 \\ \vdots \\ \Delta OD_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_{11} & J_{12} & \cdots & J_{1M} \\ J_{21} & \ddots & & J_{2M} \\ \vdots & & J_{ij} & \vdots \\ J_{N1} & & & J_{NM} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \mu_{a:1} \\ \vdots \\ \Delta \mu_{a:i} \\ \vdots \\ \Delta \mu_{a:M} \end{bmatrix} \quad (1)$$

ここで、 $[\Delta OD]$ は各ファイバ対で検出された脳機能の賦活による検出信号、 $[\Delta \mu_a]$ は、脳組織表面の各部位における脳機能の賦活による吸収変化、 J はヤコビアン行列を示している。ヤコビアン行列の各列は、各ファイバ対に対する空間感度分布から求めている。また、再構築法の効果を検証するため、光脳機能画像計測で一般に用いられているマッピング法によっても吸収変化の分布を求めた。マッピング法では、各ファイバ対で検出された信号を、測定点にマッピングし、補間を行うことで組織の吸収変化分布を算出した。

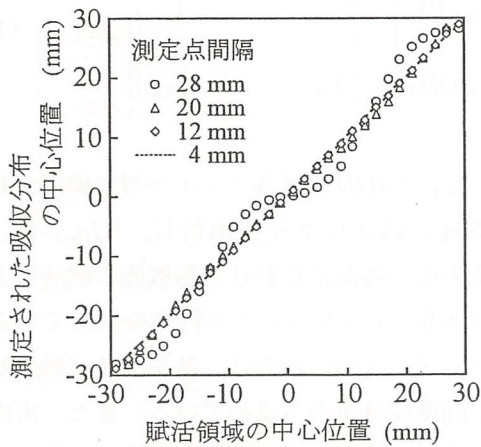
3. 実験結果

3.1 賦活部位の位置精度

脳組織における賦活領域の中心位置と、光脳機能信号から求めた賦活領域の中心位置の関係を図4に示す。従来のマッピング法で求めた賦活位置は、測定点の間隔が大きくなると、周期的な測定誤差が顕著になってくる。このとき、賦活位置が正確に求まるのは、賦活部位が測定点か隣接する測定点の midpoint にあるときのみである。ただし、支援型インターフェースでは、ファイバ対の間隔は 10 mm 以下になると考えられ、この条件の場合には位置ずれはほとんど

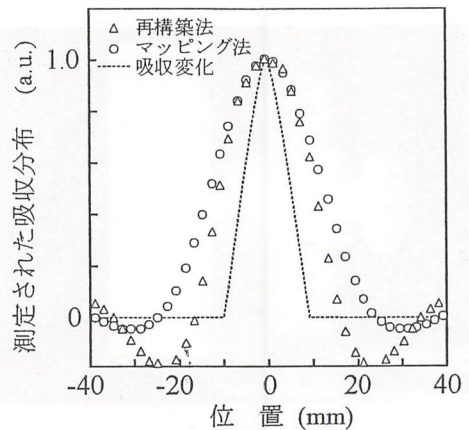


(a) マッピング法

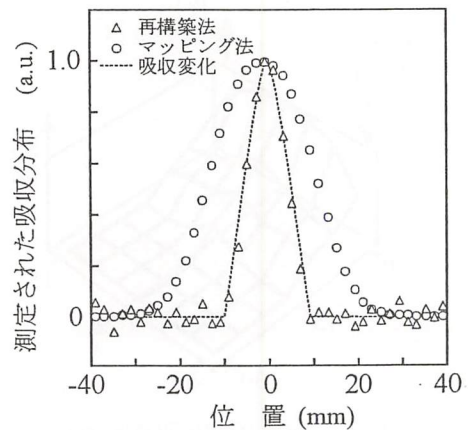


(b) 再構築法

図 4 組織吸収変化の位置精度



(a) 測定点間隔 : 20 mm



(b) 測定点間隔 : 4 mm

図 5 組織吸収変化分布

生じないことがわかる。また、再構築法を用いると、位置精度が向上することが分かる。

3.2 賦活部位の半値幅の精度

実際に光脳機能信号を支援型インターフェースに利用する場合の最大の問題点は、組織の散乱による分布の広がりによる空間分解能の低下である。図 5 は、(a) 測定点間隔 20 mm、(b) 測定点間隔 4 mm のファイバ配置で検出した信号から賦活領域における組織吸収の分布を、マッピング法と再構築法で求めた結果である。ここで、賦活領域の半値幅は 10 mm である。マッピング法では、いずれの測定間隔の場合でも、半値幅が 30 mm 程度に広がってしまっている。図 3 に示したように、ファイバ対は短軸方向に 30 mm 程度の空間感度を有している。したがって、単純に補間を行うだけのマッピ

ング法では、測定間隔を狭くしても空間分解能の向上は期待できないことが分かる。一方、再構築法を用いた場合、測定点間隔が 20 mm のときに得られた組織吸収分布は、マッピング法によって得られた結果とほとんど同じ半値幅になっているが、測定点間隔を 4 mm にした場合の結果を見ると、実際の賦活領域における組織吸収の分布をほぼ正確に求められていることが分かる。

図 6 は、賦活領域の半値幅を変えたときに、(a) マッピング法と (b) 再構築法で求めた組織吸収分布の半値幅を示している。従来のマッピング法では、賦活領域の半値幅が 20 mm 以下の場合、得られる組織吸収変化の分布は広がってしまい、実際の賦活領域の大きさにほとんど依存していない。一方、再構築法を用いる

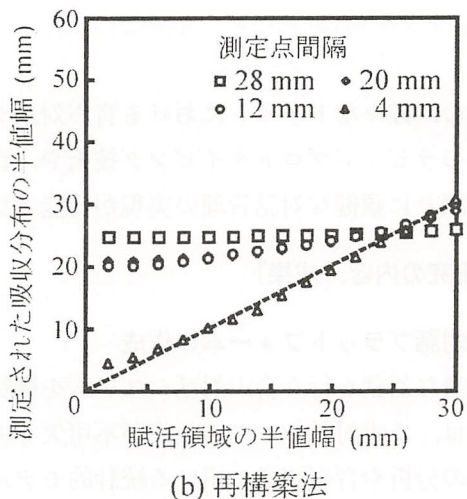
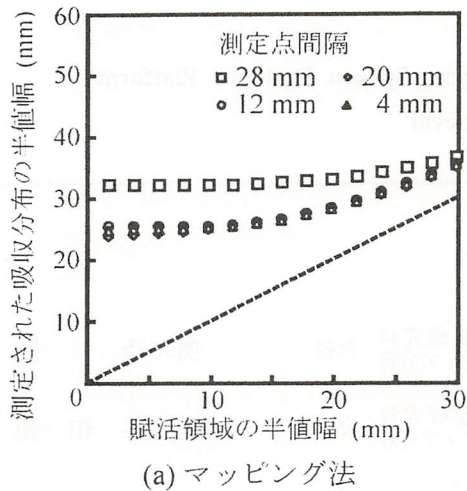


図6 組織吸収変化の半値幅の精度

ことによって、測定点の間隔を狭くファイバ対を配置した場合には、10 mm 以下の分解能で脳機能の賦活状態を捉えることが可能となっている。

[今後の研究の方向, 課題]

ファントム実験の結果から、再構築法を用い

ることで、支援型インターフェースに必要と考えられる 10 mm 以下の分解能で脳機能の賦活を捉えることが可能となることが明らかになった。ファントムの組織吸収変化は、賦活の有無によって明確に変化する理想的なものである。しかし、実際に脳機能の計測を行うと、安静にしている状態でも検出された信号にゆらぎ成分がみられ、信号成分と同程度の変動を生じることさえある。光脳機能計測信号を支援型インターフェースとして使用するためには、このゆらぎ成分と意思伝達を意図した信号成分を判別することが今後の重要な課題となる。

[成果の発表, 論文等]

- 1) E. Okada, T. Hayashi and H. Kawaguchi: Modelling of light distribution in the brain for topographical imaging, The Int. Conf. on Advanced Laser Technologies 11th Annual Meeting, p. 13 (2003)
- 2) H. Kawaguchi, T. Hayashi, T. Kato, and E. Okada: Evaluation of spatial resolution of near infrared topography using spatial sensitivity profile, Proc. SPIE, 5158, pp. 249–257 (2003)
- 3) H. Kawaguchi, T. Hayashi, T. Kato and E. Okada: Improvement of near-infrared topography by optode arrangement and reconstruction algorithm using spatial sensitivity profile, IEEE EMBS Asian-Pacific Conf. on Biomed. Eng., 19076 (2003)
- 4) H. Kawaguchi, T. Hayashi, T. Kato and E. Okada: Theoretical evaluation of accuracy in position and size of brain activity obtained by near-infrared topography, Phys. Med. Biol., 49, pp. 2753–2765 (2004)

汎用性を備えたデータベース検索音声対話プラットフォームの設計と実装

Design and Implementation of General-Purpose Spoken Dialogue Platform
for Database Retrieval

1031004

研究代表者	京都大学大学院情報学研究科 知能情報学専攻音声メディア分野	教授	奥 乃 博
共同研究者	京都大学大学院情報学研究科 知能情報学専攻音声メディア分野	助手	駒 谷 和 範

[研究の目的]

我々は、人間にとって快適な機械とのインタフェースの実現を目指して、音声対話システムの研究を行っている。音声対話システムの有望なタスクのひとつとして、データベース検索が挙げられる。航空機の予約タスクや列車情報の検索など、現在までに様々な研究機関で開発されているタスクは、大きく分類するとデータベース検索に含まれるといえる。

本研究では、このデータベース検索タスクに対して、円滑な音声対話システムを速やかに立ち上げるための汎用なプラットフォームを設計し、実装することを目的としている。具体的には、半自動的に音声対話システムを構成する方法や、文脈情報を用いて音声認識誤りに対して頑健に対話を行う方法について述べる。まず、検索対象であるデータベースから、ドメイン固有の語彙情報を抽出することで、様々なドメインにおける音声対話システムを半自動的に構築するプラットフォームを設計・実装した。さらに、データベース検索タスクでの対話の進行をモデル化して文脈的な制約を定義し、これを用いて音声認識誤りの検出・除去を行う方法についても研究を行った。

これらにより、ホテル検索やレストラン検索

を含む、様々なドメインにおける音声対話システムのラピッドプロトタイピング技術や、音声認識誤りに頑健な対話管理の実現が可能となる。

[研究の内容、成果]

音声対話プラットフォームの作成

円滑な対話を行う音声対話システムを構築するには、まず対話データの収集が不可欠である。対話の分析や音声認識に用いる統計的モデル作成には大量のデータが必要とされるためである。このため、様々なドメインにおけるシステムを一から作成するラピッドプロトタイピング技術が重要となる。

音声対話システムでは、地名や店名など、ドメインに固有な語彙がタスク遂行に重要な役割を果たす。しかし、一般的な言語モデルを用いた音声認識プログラムでは、ドメイン固有な単語を認識することはできない。例えば、あるドメインでは重要となる局所的な地名は、大量の新聞記事から学習された一般的な言語モデルでは認識することはできない。

本研究では、ユーザの発話を属性とその値の組でモデル化し、これをデータベースの項目とその値に対応づける。これにより、ドメインに依存する語彙を検索対象であるデータベースから半自動的に抽出し、ドメインに依存しない発

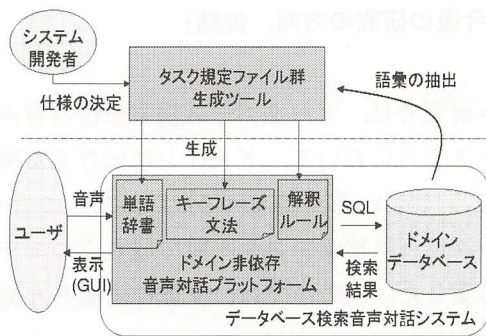


図1 音声対話プラットフォーム

話パターンを用意したテンプレートに基づき文法を生成する。これにより音声認識用の言語モデルを構成する。さらに検索時の出力インターフェースとしてGUIを併用することにより、システムの状態を逐次ユーザに提示するとともに、典型的なキーフレーズパターンをユーザに示し、ユーザ発話をシステムの受理可能な範囲内に誘導することができる。

これらのモデルに基づき、データベース検索を行う音声対話プラットフォームを実装した(図1)。本プラットフォームは、システム開発者が指定するタスク仕様に基いて、単語辞書や文法を生成する「タスク規定ファイル群生成ツール」と、生成されたタスク規定ファイル群に従ってユーザとのインターフェースとして動作する「汎用的音声対話エンジン」から構成される。タスク規定ファイル群生成ツールは、システム開発者がGUI上で項目を選択することにより、半自動的にタスク規定ファイル群を生成する。このタスク規定ファイル群に従って、汎用的音声対話エンジンは対象ドメインの検索インターフェースとして動作する。つまり、データベース検索タスク一般で成り立つ情報は汎用的音声対話エンジンに用意しておき、個々のドメインに依存した情報のみを、タスク規定ファイル群生成ツールにより半自動的に生成することで、各ドメインにおける音声対話システムを簡単に構築することが可能になる。

文脈を考慮した発話の解釈

音声対話システムを実用化するには、音声認

識誤りへの対処も不可欠である。音声認識誤りが起こった場合、必要な部分に対してのみシステムは確認を行うべきである。従来研究では、確認を行うべき部分の同定には一発話の音声認識スコアなどから計算する信頼度を使用している。しかし、一発話より大きな単位まで考慮した判断ではないので、文脈的に整合性のない音声認識結果に対して適切に対処することができない。

本研究ではデータベース検索音声対話における話題の動的な構造と静的な構造を定義し、これらを定義して決定木学習を行うことで、各内容語を適切に取捨選択する。静的な構造による文脈的制約は、データベース検索音声対話における対話を「検索条件の指定」「情報の提示要求」の2モードとした時のモード間の遷移から得る。また、動的な構造による文脈的制約は、入力された情報の履歴を表す木構造を利用して定義する。

具体的なシステムの対象として、レストラン検索をタスクドメインとして取り上げた。データベース検索タスクにおける典型的な対話として、まず希望する検索条件を追加・削除することにより数件まで店(関係データベースにおけるキー属性)を絞り込み、その後絞り込んだ店の具体的な情報に関して質問を行うという手順を想定する。ここでの前者を「検索条件の指定」モード、後者を「情報の提示要求」モードとする。本研究ではこの2モード間の遷移を、静的な構造による文脈的制約とする(図2)。各発話は2つのモードのいずれかに属し、データベースの各項目に対応するスロットに対して値の代入を行うものとみなせる。各モードで現れる表現や語彙は異なるため、これを利用して発話がどのモードであるかを決定する。

動的な構造として、対話の履歴を表す木構造を定義する。木の各ノードはスロットと値の組で構成される(図3)。発話によりスロットに値が追加されればノードが追加され、値が削除されるとノードも削除される。対話のある時点で話題となっているスロットと値の組の集合は、

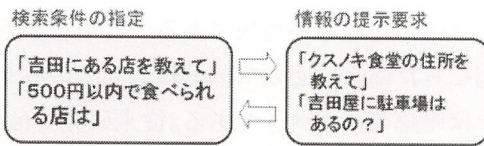


図2 データベース検索タスクにおける静的構造

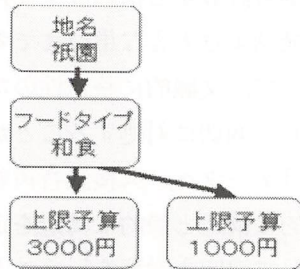


図3 対話の動的構造

木のルートから最も右の子を辿っていくことで得られる（以下これらのノードを参照ノードと呼ぶ）。木構造は具体的には以下の規則により作成される。

- 新たに追加するノードと同じスロットを持つノードが参照ノード中になれば、参照ノードの子の位置にノードを追加する
- 同じスロットを持つノードが参照ノード中にあれば、そのノードの弟の位置にノードを追加する
- 削除したいノードの下に部分木が存在しない場合、そのノードを削除する
- 削除したいノードの下に部分木が存在する場合、削除するノードの弟の位置にその部分木を移動する

本研究では、収集した対話データから決定木学習を行い、まず各内容語に対して対話行為やその取捨選択の候補を出力し、それらを総合することで発話の対話行為を決定する。その後決定された発話の対話行為に基づき、各内容語の取捨選択を行う。決定木学習では、上記で述べた静的構造や動的構造から得られる特徴を含め、30種類の特徴量を用いた。

評価実験は6名から収集した730発話に対して行い、文脈的制約を加えることで発話の対話行為の推定精度が向上し、言語的に曖昧である発話に対して精度良く言語理解が行えることを確認した。

[今後の研究の方向、課題]

本研究では、データベース検索を行う音声対話システムにおいて、ドメインに依存する部分とそうでない部分を切り分けることにより、データベース検索タスク一般で成り立つモデルを考案した。現時点では、文脈を考慮した発話の解釈部分は、音声対話プラットフォームと独立に開発されているため、これらを統合することで、より頑健な音声対話システムを半自動的に生成できるプラットフォームとすることができ。また、より多数のユーザを用いた性能の評価が必要である。

音声対話システムが人間と機械との快適なインタフェースとなるには、より多くの実データに基づくモデルの作成や研究が不可欠である。本研究で実現したプロトタイプ技術により、より自然なデータの収集が可能となり、音声対話システムの研究が促進されると考えられる。

[成果の発表、論文等]

ジャーナル論文

- 1) 駒谷和範, 上野晋一, 河原達也, 奥乃 博: 音声対話システムにおける適応的な応答生成を行うためのユーザモデル, 電子情報通信学会論文誌, 電子情報通信学会, Vol. J87-DII (2004) (印刷中)
- 2) Hiroshi G. Okuno, Kazuhiro Nakadai, Hiroaki Kitano: Effects of increasing modalities in recognizing three simultaneous speeches, Speech Communication, in print, Sep. 2004.
- 3) Hiroshi G. Okuno, Kazuhiro Nakadai, Tino Lourens, Hiroaki Kitano: Sound and Visual Tracking for Humanoid Robot, Applied Intelligence, Kluwer Publishers, Vol. 20, No. 3, pp. 253-266 (May/June, 2004)
- 4) 駒谷和範, 鹿島博晶, 田中克明, 河原達也: 複合的言語制約に基づくキーフレーズ検出を用いた汎用的なデータベース検索音声対話プラットフォーム, 情報処理学会論文誌, Vol. 44, No. 5, pp. 1333-1342 (May 2003)
- 5) Hiroshi G. Okuno and Kazuhiro Nakadai: Active audition for humanoid robots that can listen to three simultaneous talkers, Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 113, No. 4, Pt. 2 of 2, p. 2230 (Apr. 2003)

解説論文

- 1) 奥乃 博, 中臺一博: ロボット聴覚の課題と現状, 情報処理学会, 情報処理, Vol. 44, No. 11, pp. 1138-1144 (Nov. 2003)

国際会議論文

- 1) Hiroshi G. Okuno, Tetsuya Ogata, Kazunori Komatani and Kazuhiro Nakadai: Computational Auditory Scene Analysis and Its Application to Robot Audition, Post-Proceedings of the International Conference on Informatics Research for Development of Knowledge Society Infrastructure, IEEE Computer Society Press, pp. 73-80 (Jun. 2004)
- 2) Tsuyoshi Tasaki, Takeshi Yamaguchi, Kazunori Komatani, Tetsuya Ogata and Hiroshi G. Okuno: Robot Motion Control using Listener's Back-Channels and Head Gesture Information. Proceedings of 2004 International Conference on Spoken Language Processing (ICSLP-2004), accepted, ASA, ASJ, and ESCA, Korea, Oct. 2004.
- 3) Kazushi Ishihara, Yuya Hattori, Tomohiro Nakatani, Kazunori Komatani, Tetsuya Ogata and Hiroshi G. Okuno: Disambiguation in Determining Phonemes of Sound-Imitation Words for Environmental Sound Recognition. Proceedings of 2004 International Conference on Spoken Language Processing (ICSLP-2004), accepted, ASA, ASJ, and ESCA, Korea, Oct. 2004.
- 4) Tsuyoshi Tasaki, Takeshi Yamaguchi, Kazunori Komatani, Tetsuya Ogata and Hiroshi G. Okuno: Proceedings of International Workshop on Robot and Human Interaction (Ro-Man-2004), accepted, IEEE, Kurashiki, Sep. 2004.
- 5) Yuya Hattori, Kazushi Ishihara, Kazunori Komatani, Tetsuya Ogata and Hiroshi G. Okuno: Proceedings of International Workshop on Robot and Human Interaction (Ro-Man-2004), accepted, IEEE, Kurashiki, Sep. 2004.
- 6) Kazunori Komatani, Teruhisa Misu, Tatsuya Kawahara and Hiroshi G. Okuno: Efficient Confirmation Strategy for Large-scale Text Retrieval Systems with Spoken Dialogue Interface. Proceedings of the 20th International Conference on Computational Linguistics (Coling-2004), accepted, Geneva, Aug. 2004.
- 7) Kazushi Ishihara, Tomohiro Nakatani, Tetsuya Ogata and Hiroshi G. Okuno: Automatic Sound-Imitation Word Recognition from Environmental Sounds focusing on Ambiguity Problem in Determining Phonemes. PRICAI-2004 Topics in Artificial Intelligence (Eighth Pacific Rim International Conference on Artificial Intelligence), LNAI, accepted for oral presentation Springer-Verlag, Aug. 2004.
- 8) Kazunori Komatani, Ryosuke Ito, Tatsuya Kawahara and Hiroshi G. Okuno: Recognition of Emotional States in Spoken Dialogue with a Robot. Innovations in Applied Artificial Intelligence: Seventeenth International Conference

on Industrial and Engineering Applications of Artificial Intelligence and Expert Systems, IEA/AIE-2004, LNAI 3029, Springer-Verlag, Ottawa, pp. 413-423 (May. 2004)

- 9) Kazunori Komatani, Shinichi Ueno, Tatsuya Kawahara and Hiroshi G. Okuno: User Modeling in Spoken Dialogue Systems for Flexible Guidance Generation. Proceedings of the Eighth European Conference on Speech Communication and Technology (Eurospeech-2003), Geneva, pp. 745-748 (Sep. 2003)
- 10) Kazushi Ishihara, Yasushi Tsubota and Hiroshi G. Okuno: Automatic Transformation of Environmental Sounds into Sound-Imitation Words Based on Japanese Syllable Structure. Proceedings of the Eighth European Conference on Speech Communication and Technology (Eurospeech-2003), Geneva, pp. 3185-3188 (Sep. 2003)
- 11) Kazunori Komatani, Shinichi Ueno, Tatsuya Kawahara and Hiroshi G. Okuno: Flexible Guidance Generation using User Model in Spoken Dialogue Systems, Proceedings of the 41st Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (ACL 2003), Sapporo, pp. 256-263 (Jul. 2003)
- 12) Kazunori Komatani, Fumihiko Adachi, Shinichi Ueno, Tatsuya Kawahara and Hiroshi G. Okuno: Flexible Spoken Dialogue System based on User Models and Dynamic Generation of VoiceXML Scripts. 4th SIGdial Workshop on Discourse and Dialogue, pp. 87-96 (2003)

査読つき国内会議論文

- 1) 神田直之, 駒谷和範, 尾形哲也, 奥乃 博: データベース検索音声対話システムにおける履歴を考慮した検索条件の管理, FIT-2004, 情報科学技術レターズ (Sep. 2004)
- 2) 駒谷和範, 翠 輝久, 河原達也, 奥乃 博: ソフトウェアサポートタスクにおける効率的な確認を行うための対話戦略, FIT (情報科学技術フォーラム), 情報処理学会, 電子情報通信学会, LF-2, pp. 95-96 (Sep. 2003)

口頭発表

- 1) 神田直之, 駒谷和範, 尾形哲也, 奥乃 博: データベース検索タスクにおける文脈的制約を用いた音声対話システム, 第41回言語・音声理解と対話処理研究会, 人工知能学会 (Jun. 2004)
- 2) 駒谷和範, 翠 輝久, 河原達也, 奥乃 博: 大規模知識ベースの検索を行う音声対話システムの確認戦略の評価, 言語処理学会第10回年次大会, pp. 87-90 (Mar. 2004)
- 3) 神田直之, 駒谷和範, 尾形哲也, 奥乃 博: 音声対話システムにおける話題の構造を用いた効率的な対話管理, 情報処理学会第66回全国大会, 学生奨励賞, 4T-5 (Mar. 2004)
- 4) 駒谷和範, 上野晋一, 河原達也, 奥乃 博: ユーザモデルを導入したバス運行情報案内システムの実験的評価, 音声言語処理研究会, 情報処理学会研究会資料, 2003-SLP-47 (12), pp. 59-64 (Jul. 2003)

マイクロ能動カテーテルを用いる低侵襲脳血管手術支援システム

A Supporting System for Minimum Invasive Intravascular Neurosurgery

1031005

研究者代表

香川大学工学部 助教授

郭 書 祥
(Shuxiang Guo)

[研究の目的]

臨床医学の分野において、特に複雑な脳外科マイクロ・サージェリでは、低侵襲で、直径が数 mm 以下の血管の分岐点で自由に進路を選択でき、動脈瘤内へ自由に進入できるマルチ機能型知能マイクロ能動カテーテルシステムが世界的に注目されている。近年では、長尺なものでも湾曲が可能で、複雑な形状に曲げられても湾曲動作が変化しない、遠隔操作が可能で操作性の向上が図れる等の理由から SMA アクチュエータを用いる能動型カテーテルの開発・研究が主流となっている。しかし、加工上や構造上の問題などによって小型化が困難で、応答性が劣る。現段階では、カテーテルの先端湾曲、回転、挿入などの多自由度動作を実現するマイクロメカニズム、エネルギー提供などということが世界中に研究されている。本研究は、これまでの研究成果に基づき、応答性に優れ、生体内での安全性を兼ねそなえたマイクロ能動カテーテルの開発を一つ位置づけ、基礎研究を行い、低侵襲脳外科血管手術支援への応用を目指し、低侵襲カテーテル操作支援システムの概念と支援方法を提案し、2 自由度カテーテル支援システムを試作し、視覚と力覚の組合せにより、支援実験を行い、それらの有効性を確認した。

提案したカテーテルは 2 自由度湾曲能力を持つことにより、侵入径路が狭く複雑な場合でも湾曲ができ、しかも湾曲動作を保持し、2 V ほどの低電圧で生体内などの液中でも直接湾曲

でき、安全性が高くて、超小型化できるなどという特徴がある。マイクロ能動カテーテルによる力覚低侵襲脳外科手術の支援システムの開発は低侵襲の医療技術の確立だけではなく、産業の応用（エンジンや配管などのメンテナンスなど）も可能である。

[研究の内容、成果]

1. はじめに

複雑な脳外科手術では、低侵襲で、直径が数 mm 以下で多自由度に血管の分岐点で自由に進路を選択でき、動脈瘤内へ自由に進入できるあるいはミリオーダー構造やセンシング・多機能化を有するマイクロ能動カテーテルシステムが大きく期待されている。著者らは以上のような背景を踏まえ、脳血管手術や診断などに応用される多自由度能動カテーテルの機構と制御を目的として研究を行った。本研究では、今まで開発してきた多自由度能動カテーテルシステムを用いて、脳外科手術の応用を目指し、低侵襲カテーテル操作支援システムの提案と試作を行った。その操作支援システムの構成や実験結果などについて報告する。

2. マイクロ能動カテーテルシステム

脳外科検査や手術に用いられるカテーテルは管の直径は最先端のもので数 mm 以下になっている。股の付け根から血管へ挿入して、エックス線による透視像で位置を確認しながら、目

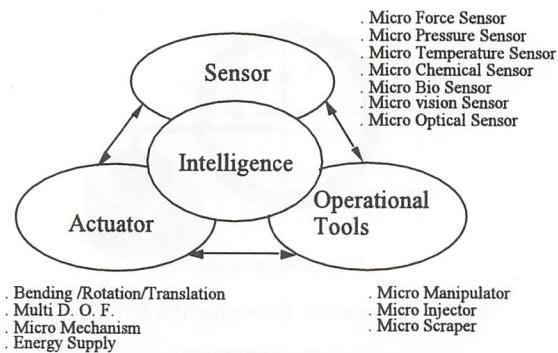


Fig. 1 Concept of Micro Active Catheter System

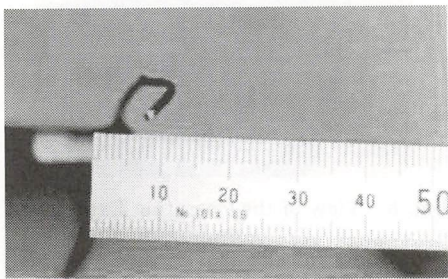


Fig. 2 Developed Micro Active Catheter

的のところまで進める。そこで、内部の情報を知らせる各種のマイクロセンサと、蛇行の動きを与えるマイクロアクチュエータ、検査・手術用の内視鏡やメスなどが装備され、特殊技能がなくとも遠隔操作によってスムーズに挿入できる多機能能動微小デバイスである。提案する能動カテーテルシステムの概念と構成を Fig. 1 に示す。本研究では、形状記憶合金（SMA）ワイヤーをマイクロアクチュエータとして、2 自由度湾曲能力を持つユニットを複数直列に先端部に連結させたシリアルーパラレル型能動カテーテルを提案・試作した。Fig. 2 には開発されたカテーテルの湾曲動作を示す。

3. 低侵襲カテーテル操作支援システム

Fig. 3 に提案した支援システムの概念図を示す。支援システムでは、X 線 CT や MRI などにより撮影、3 次元再構築された血管のコンピュータグラフィックス（CG）と能動カテーテルの CG を重ねてディスプレイ上に表示する。オペレーターは、この画像をヘッドマウントディスプレイ（HMD）等を通して立体視しな

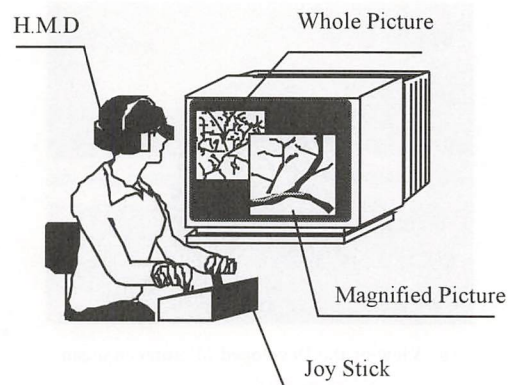


Fig. 3 Concept of the Multi Functional Intelligent Medical Assistance Microsystems

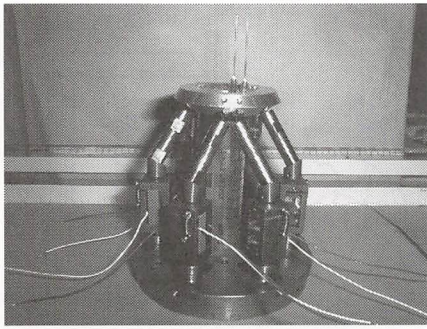
がらジョイスティックを操作することにより、CG 上のカテーテルを湾曲・移動させ進路を選択する。また、仮想空間内でカテーテルと血管内壁が接触した場合にはジョイスティックからオペレーターに反力を与えることにより、画面からの視覚情報のみでは不足しがちなカテーテルと血管内壁の接触状態を力情報により補う。

3.1 能動カテーテル支援システムの試作

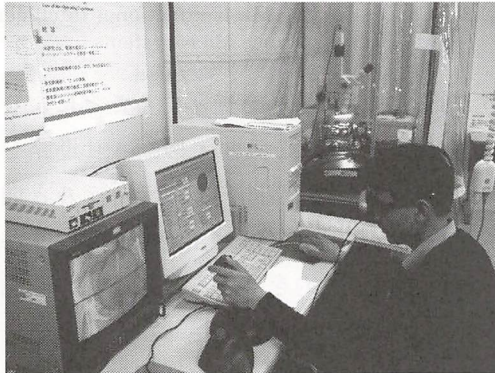
人間に仮想空間からの力覚を伝える装置を力ディスプレイ装置（フォースディプレイ）と呼んでいる。フォースディスプレイとしての機能も果たすジョイスティックを製作した。このジョイスティックでは、軸に取り付けられたエンコーダの読みから極座標値（ α, θ ）を入力することが可能で、軸に取り付けられたアクチュエータにより操作者に反力を与えることができる。開発した操作支援システムを Fig. 4 に示す。仮想空間内の（能動）カテーテルを操作する場合の支援方法として本研究では、（1）視覚支援と（2）力覚支援とする。力覚支援の有効性を調べるため、力覚支援による実験を行った。

3.2 操作支援システムの構成

本研究では、脳外科手術作業における技能を解明し、作業モデルを作成し、動的モデルをシステムに取り入れることで、作業者を補助し、ある程度の作業を自動的に実行できることを目指す。大きな動作範囲で高い分解能を実現するためには、微動機構と粗動機構を組み合わせる



(a) View of the Developed Micromechanism



(b) Structure of Human Scale Teleoperating System

Fig. 4 Total Supporting System

方法と考えられる。微動機構としては、ピエゾ駆動 3 軸ステージと圧電素子によるパラレル微動メカニズムが利用になる。貼られた歪ゲージにより、位置を検出し、圧電素子の入力電圧にフィードバックするものである。XYZ 3 軸の最大変位は $20\mu\text{m}$ で、分解能は 1nm である。粗動機構としては、各軸の変位は 20mm 、分解能 $1\mu\text{m}$ になる中央精機社の DC モータ（速度制御型）駆動 XY 2 軸ステージを用いる。

4. 操作支援実験

作業者は作業モデルと力センサーの情報に基づいて、オペレーション指令を出す。そのオペレーション指令は微小オペレーション制御装置を介して、粗動 XY ステージと微動機構を駆動する。顕微鏡の画像情報と力フィードバックを取り入れながら次のオペレーション操作を決定するというアルゴリズムを利用する。本研究では、Fig. 5 に示す実験装置を使い、遠隔支援操作実験を行った。実験の様子を Fig. 6 に

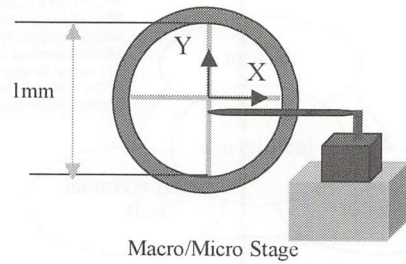


Fig. 5 Operating Experimental System

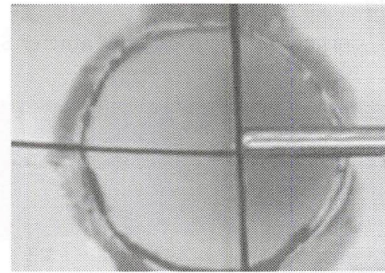


Fig. 6 View of the Operating Experiment

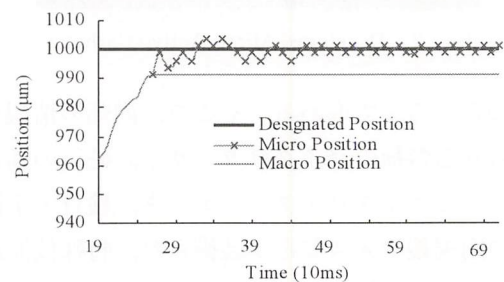


Fig. 7 Experimental Results for Teleoperation

示す。実験では、直径 1mm の穴（脳血管相当）がプラント・セルとして使用される。また、ワイヤーは固定し、コントロールシステムによってマクロ/マイクロメカニズムを駆動すると、テレビモニターのクロス移動を明白に確認でき、遠隔の外部制御より、XY 平面に 2 自由度微粗動の複合制御の操作を確認できた。複合制御の実験結果を Fig. 7 に示す。実験結果により力覚の重要性、力覚支援の有効性を確認できた。

5. おわりに

本研究では、能動カテーテルの低侵襲脳外科手術支援への応用に着目し、インテリジェント能動カテーテルの微細加工、センシング機能の実現によるカテーテルの知能化、ヘッドマウン

トディスプレイやワークステーション、デジタル・オシロスコープなどのハードウェアを構築し、センシング機能の実現によるカテーテルの知能化、計測制御と情報伝達を行う。また、脳外科手術におけるプランニング支援システムを構築し、マイクロ能動カテーテルの操作支援システムと支援方法（視覚支援、力覚支援）を提案し、基礎的な支援システムを試作した。シミュレーション挿入実験（“In Vitro”）を行い、システムの操作性に対して、視覚支援と力覚支援について評価するための簡単な実験を行い、それらの有効性を確認した。

[今後の研究の方向、課題]

本研究成果に基づき、具体的に能動カテーテルの低侵襲脳外科手術支援への応用に着目し、インテリジェント能動カテーテルの微細加工、センシング機能の実現によるカテーテルの知能化、ヘッドマウントディスプレイやワークステーション、デジタル・オシロスコープなどのハードウェアを構築し、センシング機能の実現によるカテーテルの知能化、計測制御と情報伝達を行った。今後の研究課題としては、微細加工による2次元力計測センサーの製作（皮膚型力センサー、放電加工・エッチング加

工）、脳外科手術におけるプランニング支援システムを構築し、動物実験（“In Vivo”）を行い、システムの操作性を全体に評価することなどが挙げられる。

[成果の発表、論文等]

- 1) S. Guo: Microoperation Characteristic Evaluation of a Human Scale Tele-operating System, IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM 2003), Kobe, Japan, pp. 874–879 (2003)
- 2) S. Guo: A Novel Fin Type of Mobile Microrobot In-Pipe Inspection, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol. 15, No.6, pp. 616–623 (2003)
- 3) S. Guo: A New Type of Fish-like Underwater Microrobot, IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, Vol. 8, pp. 136–141 (2003)
- 4) S. Guo: A New Type of Micropump Driven by a low Electric Voltage, International Journal of Acta Mechanica Sinica, Vol. 20, No. 2, pp. 146–1151 (2004)
- 5) S. Guo, Y. Okuda and K. Asaka: A Novel Type of Underwater Micro Biped Robot with DOF, pp. Proc. of 2004 IEEE International Conf. on Robotics and Automation, pp. 4881–4886 (2004)
- 6) S. Guo: Microsystems for Biomedical Applications (Development of Micro Active Catheter System and New Type of Micropumps), International Journal of Information, Vol. 7 (2004) (in press)

医療用マイクロデバイスのためのナノ表面改質加工技術の研究開発

R & D of Nano-surface Modifying Fabrication Technique for Medical Micro Devices

1031006

研究代表者

独立行政法人 理化学研究所 研究員

片 平 和 俊

〔研究の目的〕

生体内に埋入する電子デバイスは、生体への負荷を低減させるためにも極力小さく「マイクロ化」しなければならない。さらに、数十年の長期間使用が前提となるため、使用中の破損・損傷が生じない強固な構造とする必要がある。本研究では、ナノ精度加工と所望の表面機能（耐食性、耐摩耗性、生体適合性）を付与するという、革新性の高い独創的な表面改質加工技術の開発を目指す。本研究で提案するナノ表面改質技術によって、かかる過酷環境のもとで長期間安全に使用可能なマイクロデバイスを創製することは、人間と機械の調和という観点から極めて意義深い。

〔研究の内容、成果〕

1. はじめに

金属系バイオマテリアルとしても最も利用されるチタン合金は軽量でかつ高強度、また優れた耐食性を示す。しかしながら、優れた特性や機能をもつ反面、熱伝導率が低いこと、および化学的に活性であるなどの点から加工性が悪く難削材であるという欠点も有している。従来生体材料の加工には、研削により使用する目的に応じた寸法・形状に加工した後、研磨によりその表面を高品位に仕上げるという行程が主流となっている。本研究では、近年、高品位・高能率研削法として注目されている ELID (Elec-

trolytic In-Process Dressing, 電解インプロセスドレッシング) 研削法の原理を用いる^{*}。この手法は、電解現象を利用することにより導電性を有する砥石の目立てを加工中に行い、常に切れ味の良い状態に砥石表面を保ちながらナノ品質の表面性状を得ることが可能な手法である。かかる研削技術は、電子部品や光学部品などに対して既に数多く実用化されている。

本章では、金属系生体材料として広く用いられている Ti-6Al-4V 合金に対して、ELID 研削を施し、高品位・高能率加工の実現を試みた。また、その研削面に対して種々の分析装置を用いて表面の化学的分析を行うことにより、ELID 研削面の表面改質効果について明らかにすることを目的とした。その際、金属系生体材料に対する鏡面仕上げを行う上で主流となっている『研磨』を施した試験片と比較することにより ELID 研削の有用性について検討・考察を加えた。

2. 供試材および実験方法

本研究で注目した ELID 研削は、鑄鉄ボンドをはじめとするメタル系の砥石を電氣的にドレッシングする手法である。図1に実際に使用したラップ研削盤の構成を示す。本装置は、下軸に砥石を配置し上軸に試験片を取り付け、試験片を砥石上方より定圧で押し付けて加工を行

^{*} 大森 整：超精密加工に対応した電解インプロセスドレッシング (ELID) 研削法, 精密工学会誌, Vol. 59, No. 3, pp. 43-49 (1993)

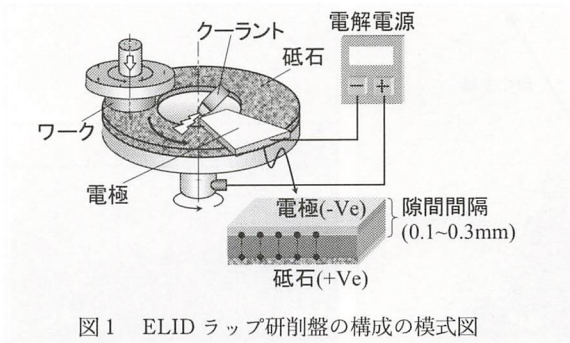


図1 ELID ラップ研削盤の構成の模式図

うというものである。砥石として粗粒砥石から超微細砥粒砥石まで使用が可能であり、高能率研削から超精密研削を実現できる。

供試材としては、生体材料として広く用いられる Ti-6Al-4V 合金を使用した。試験片形状はφ15、厚み5mmの円筒とした。この試験片の一方の端面に対し、ラップ型 ELID 研削盤を用いて研削加工を施した。その際仕上げ加工には、メタルレジンボンド砥石を使用した。表1に ELID 研削条件を示す。なお、このようにして準備した試験片を本章では ELID series と呼ぶ。また比較材として、耐水研磨紙により#800-#2000 まで順次研磨後、アルミナ粉 (0.06

表1 ELID 研削条件

ワーク	Ti-6 Al-4 V 合金
加工装置	片面ラップ研削盤
砥石	メタルレジンボンド酸化セリウム砥石; #20000
電解条件	電解電圧 (E ₀): 150 V 電解電流 (A ₀): 10 A
研削条件	砥石回転数: 92 rpm ワーク回転数: 92 rpm

μm) を用いて鏡面状に研磨した試験片 (以下 Alumina series と呼ぶ) および丸本ストルアス社製自動研磨装置を使用し、耐水研磨紙により#320-#1200 まで研磨した後、コロイダルシリカ (SiO₂) を用いて研磨を行った試験片 (以下 SiO₂ series と呼ぶ) を準備した。

試料表面の詳細な分析には SEM を用いた。さらに各試料表面の元素分析には EDX, 化学的分析には XPS を用いた。試験片表面に形成されている酸化皮膜の観察については TEM を用いて行った。

3. 実験結果および考察

ELID 研削および各種研磨仕上げを施した加工面に対し、SEM による表面観察を行った結果を図2に示す。同図(a)より、ELID 研削を

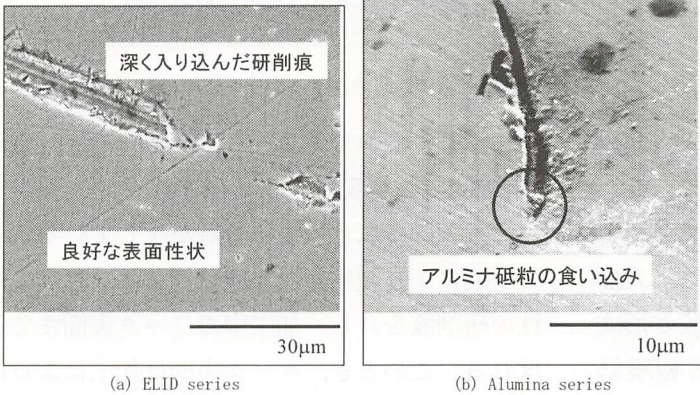


図2 SEM による表面観察

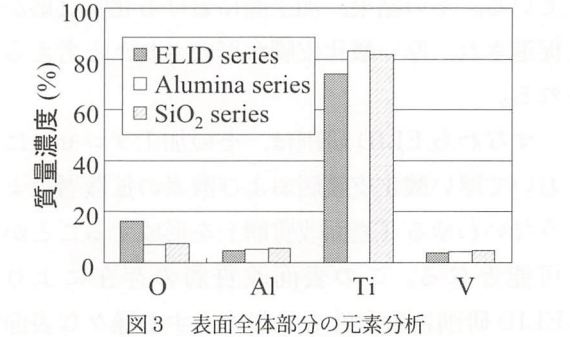


図3 表面全体部分の元素分析

施すことにより表面に形成された研削痕は非常に大きなものもあり、それは表面深くまで切込まれていることがわかる。またこれらは、肉眼でも観察できるほど大きなものであったが、表面全体に形成されているのではなく点在していた。また Alumina series には、同図(b)に示すような加工痕が複数認められた。これは前述したような遊離砥粒による研磨法の欠点の一つである砥粒の食い込みであると考えられる。

仕上げ表面の性状を分析するため、EDX により各試料の加工面全体における元素分析を行った結果を図3に示す。本研究では、各試料の原子濃度のなかで相違が顕著に認められる酸素原子の濃度に注目する。加工面全体における ELID series の酸素原子濃度は、Alumina

series および SiO_2 series と比較して、明らかに高濃度であることがわかる。このことは、ELID 研削を施した試験片の表面には各研磨仕上げを施したものに比べて酸化皮膜の性状が異なるということを示唆するものである。この表面酸化皮膜について透過型電子顕微鏡 (TEM) を用いた詳細な観察を試みた。図 4 に表面近傍の縦断面を観察した結果を示す。なお同図 (a) は ELID series の表面酸化皮膜の写真、(b) は SiO_2 series のそれを示す。

写真の中で、線状に規則的な原子配置を示す部分がチタン原子から構成される母材である。また非結晶 (アモルファス) の部分が表面に存在する酸化皮膜であると考えられる。同図から、 SiO_2 series の表面に形成されている酸化皮膜の厚さは 3 nm–5 nm であることがわかる。これは通常大気中に置かれたチタン表面を保護している酸化皮膜と考えられる。それに対し ELID 研削を施した場合には表面の酸化皮膜の厚さは約 15 nm 以上に増大していることがわかる。このように ELID series 表面には通常のチタン表面に形成されているものに比べて厚い酸化皮膜が形成されていることが明らかとなった。そこでさらに両材表面の酸素の深さ方向の濃度分布について XPS を用いた分析を試みた。

図 5 に、両材の酸素濃度の深さ分布を測定した結果を示す。同図から、ELID series 表面には SiO_2 series に比べて厚い酸化皮膜が形成されている。この結果は TEM による観察結果とも一致している。さらに ELID series の場合、表面近傍部分だけでなく基材内部においても高濃度の酸素が検出されるということがわかる。すなわち、ELID 研削を施すことにより、表面に厚い酸化皮膜が付与されるだけでなく、基材内部に酸素が拡散しているということが考えられる。

図 6 は ELID 研削により被加工材に酸化皮膜層および酸素の拡散層が形成される過程を模式

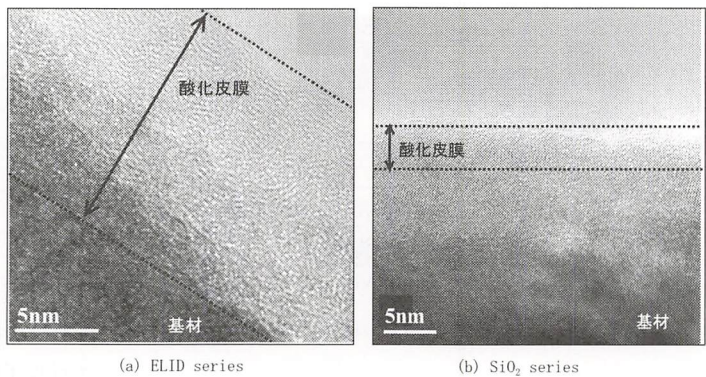


図 4 TEM による表面酸化皮膜の観察

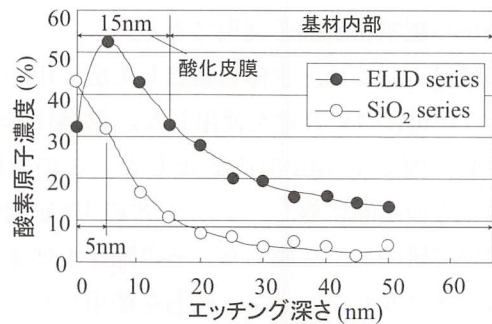


図 5 XPS による酸素濃度の深さ分布

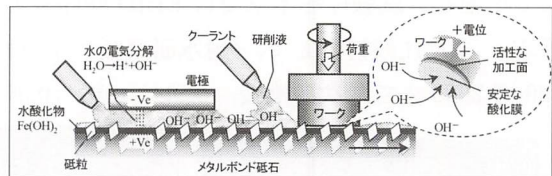


図 6 ELID 研削による表面改質層の形成メカニズム

的に示したものである。ELID 研削では、砥石-電極間で電解現象による砥石のドレッシングを行うと同時に水の電気分解が生じている。この反応により発生した水酸化物イオンは、導電性の研削液を介し、加工中のワーク表面まで運ばれる。このとき、ワーク表面は加工により母材を保護する酸化皮膜が剥がれ活性状態となっている。その結果、加工面における化学反応が促進され、厚い酸化皮膜が形成されたと考えられる。

すなわち ELID 研削は、その加工プロセスにおいて厚い酸化皮膜層および酸素の拡散層のようないわゆる『表面改質層』を形成することが可能となる。この表面改質層の存在により ELID 研削は耐食性をはじめとする様々な表面

機能の向上をもたらすものと考えられる。

4. 表面改質加工による耐食性改善

本節では、前節で表面性状を評価した試料の腐食特性を調べるため、電気化学セルを用いて3電極法による電気化学試験を行った^{***}。その際、材料自身の腐食挙動の把握のため動電位分極試験を用いた。腐食溶液には37℃に保持した0.89% NaCl溶液を用い、参照電極として飽和カロメロ電極、対極として白金電極を使用した。供試材としては前節で使用したELID series および SiO₂ series を用いることにする。

図7に両試料に対して動電位分極試験を行った結果を示す。同図は、横軸に参照電極に対する電極電位、縦軸に電流密度をとった、いわゆる分極曲線と呼ばれるものである。まず、不動態保持電流密度の値に注目すると、SiO₂ series に比べて ELID series の値は低い値を示していることがわかる。これは ELID series において皮膜を通しての金属の溶解がしにくいということを示すものであり、ELID 研削が、試料表面からの金属イオンの溶出を抑制するなどの効果があることを示している。

次に孔食電位の値に注目する。チタンはもとも耐食性に優れるため、はっきりとした孔食電位は見られないが、SiO₂ series では2.5 V 付近、ELID series は3.0 V 付近で若干の電流密度の立ち上がりが認められる。すなわち ELID series の方がより高い電位まで孔食の発生を抑制できているということがいえる。以上のように、ELID 研削は加工を行うと同時にその表面に改質層を形成し、その効果により耐食性を向上させることが可能であることが明らかとなった。このことは、ELID 研削が生体材料に対する新たな加工法として適用できる可能性を示唆するものである。

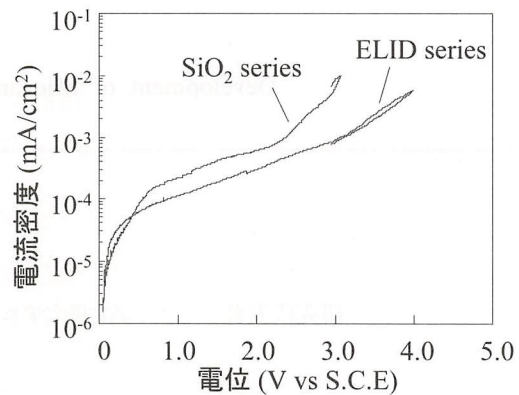


図7 動電位分極曲線

[今後の研究の方向, 課題]

今後は、この表面改質層の生成メカニズムをさらに掘り下げて解明し、改質プロセスを自在にコントロールするための実験・検証を行い、バイオマテリアルのナノ表面改質加工技術、人に優しい医療用マイクロデバイスの生産技術の確立に向けた成果を狙う。また本研究成果は、耐食性、耐摩耗性が要求される他の高付加価値製品の高品位化、長寿命化にも対応でき、今後も幅広い製品を対象としたナノ表面改質加工技術開発への進展が期待でき、広大な波及効果が期待される。

[成果の発表, 論文等]

- 1) Mizutani M., Katahira K., Komotori J., Nagata J. and Ohmori H.: Surface finishing for bio-materials — Application of the ELID grinding method, International Journal of Modern Physics B, Vol. 17, No. 8 & 9, pp. 1395 – 1400 (2003)
- 2) 水谷正義, 小茂鳥潤, 片平和俊, 渡邊 裕, 大森 整: 金属系生体材料 (Ti-6 Al-4 V 合金) の腐食特性に及ぼす ELID 研削の効果, 精密工学会誌, Vol. 69, No. 12, pp. 1744 – 1748 (2003)
- 3) Mizutani M., Komotori J., Katahira K., Ohmori H. and Watanabe Y.: Improvement of Corrosion Resistance and Mechanical Properties of Biomaterial (Ti-6 Al-4 V alloy) by ELID grinding, Advances in Abrasive Technology VI, pp. 473 – 476 (2003)

^{***} ステンレス鋼のアノード分極曲線測定方法, 日本工業規格, G 0579 (1983)

マイクロマシニング技術による集積化能動触覚センサに関する研究

Development of Micromachined Active Tactile Sensor

1031007

研究代表者 名古屋大学エコトピア科学研究機構 助教授 式 田 光 宏

[研究の目的]

半導体微細加工技術を応用展開したマイクロマシンの研究は、メカトロニクスの構成要素である制御回路、センサなどを大きさ数ミリメートル角のシリコンチップ上に集積化できる。このため従来にはない知的で微小な機械システムが実現され、現に圧力・加速度などの物理量を計測する集積化マイクロセンサが新規デバイスとして市場を開拓している。しかしながらこれまで開発されたセンサは何れも、「センサ=受動素子」という概念で捉えられているために、一つのデバイス構造で一つの物理量しか検出していない。本研究では、センサに能動素子であるアクチュエータを付加し、「センサ=受動素子+能動素子」という新しい捉え方をすることで従来にはないセンシング機能を実現することを目的とする。

[研究の内容、成果]

1. 能動触覚センサの構造及び動作原理

報告者が提案した能動触覚センサを図1に示す。デバイスは突起状の接触部を有するダイアフラム構造からなる。ダイアフラムの根本部分にはダイアフラムのたわみを検出するためのセンサ素子（ピエゾ抵抗素子）が、そしてダイアフラム下部にはダイアフラムを上下方向に駆動するためのアクチュエータ機構が組み込まれる。デバイスの動作原理を説明する（図2参照）。

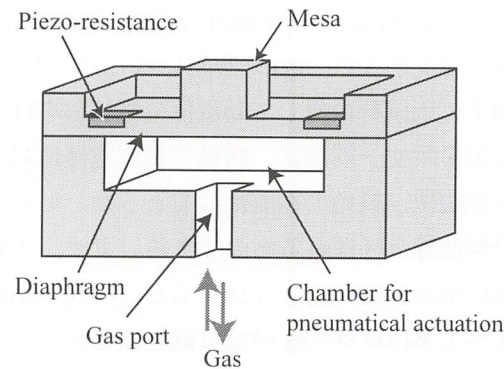


図1 能動触覚センサの基本構造

図は3個のデバイスをアレイ配置したものである。凹凸形状を有する物体が触覚センサに接触すると、図2(a)に示したように、接触している部分では中央突起部が吐出している大きさだけダイアフラムがたわむ。ピエゾ抵抗素子でダイアフラムのたわみを検出することで接触圧及び接触物体の表面形状認識を行う。一方、接触物体の硬さの認識にはダイアフラムの運動を利用する。駆動機構を用いてダイアフラムを上方方向に駆動する。このとき接触物体の弾性変形に応じてダイアフラム中央に設けた突起部は上方方向に変位する。従ってダイアフラム駆動に用いたアクチュエータの発生力と、ダイアフラム変形量との関係を計測することで接触物体の硬さを認識できる。

以上のように、本デバイスでは、受動的なセンサに能動的なアクチュエータ機能を付加することで、従来の触覚センサでは不可能であった接触物体の硬さ認識を可能にしている。更に本センシング素子をマイクロマシニング技術を用

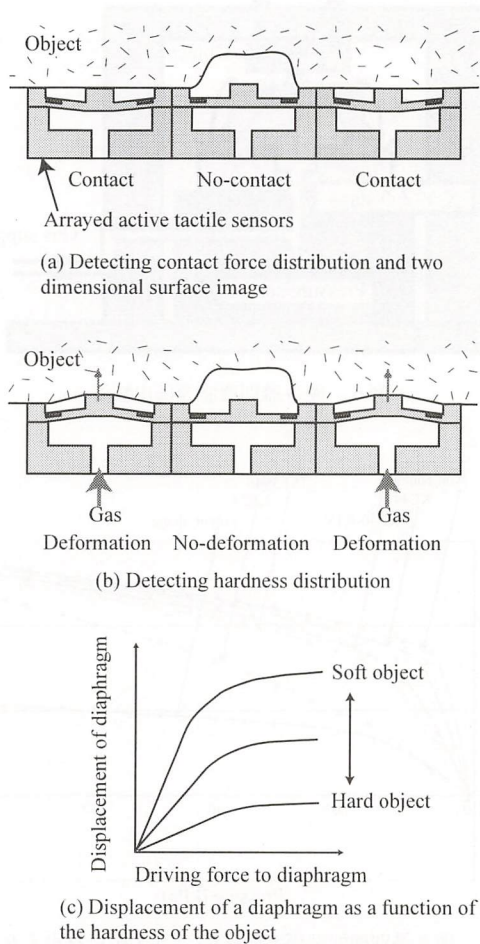


図2 能動触覚センサの動作原理

いて微小化・アレイ化を図れば、接触物体の表面性状検出，2次元接触圧分布認識，2次元接触物体硬さ認識などが可能になるなど，各種接触情報を2次元分布としてとらえることが可能になる。

2. 能動触覚センサの動作特性

人間の指を接触対象物として想定し本能動触覚センサを設計した。またマイクロマシニング技術を用いて触覚センサ（センシング部分）を製作した（図3）。

(i) センサデバイスの基本特性

能動触覚センサの基本特性として無負荷時の動作特性を測定評価した。実験ではダイアフラム部分に空気圧を加えるためにエポキシ樹脂を用いてデバイスチップをアルミ製の治具に固定した。数気圧のガスをため込んだチャンバーク

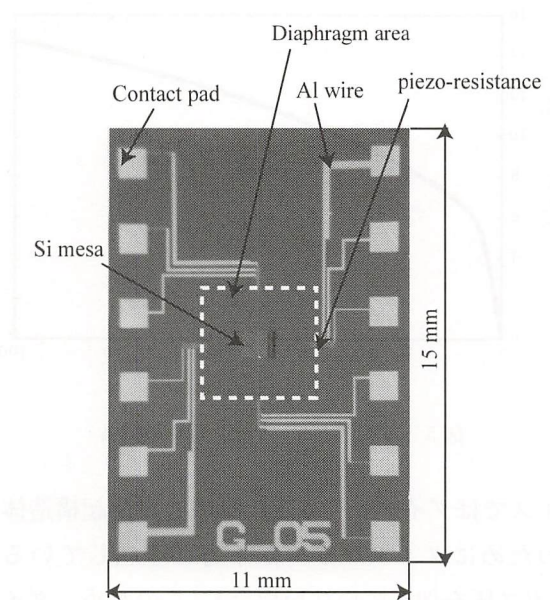


図3 製作した触覚センサ（センシング部）

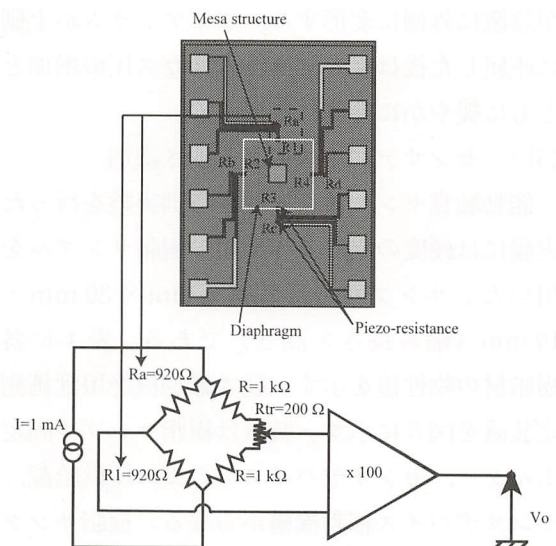


図4 センサデバイス出力回路図

らダイアフラム下に圧力空気を導入し，その際のダイアフラムのたわみとピエゾ抵抗素子の出力電圧を計測した。なお，ダイアフラムのたわみはレーザ変位計で，そして加えた圧力はチャンバークに設けた圧力計で測定した。ピエゾ抵抗素子の抵抗変化はブリッジ回路にて計測した（図4参照）。ブリッジ回路の抵抗には $1k\Omega$ のものを用い回路には $1mA$ の定電流源を印加した。

ダイアフラムにガス圧を加えたときのピエゾ抵抗素子の出力電圧を図5に示した。現行デバ

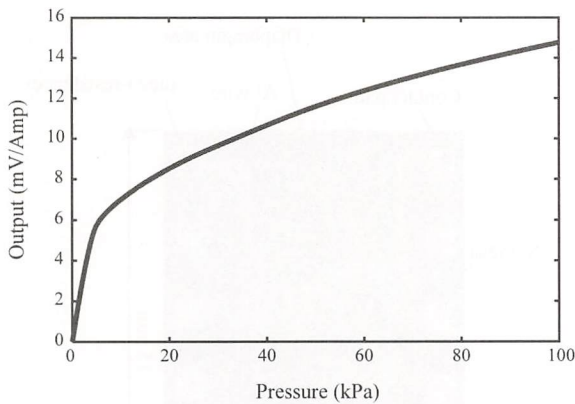


図5 ガス圧とセンサ出力電圧の関係

イスではダイアフラム上に形成した突起構造体のためにダイアフラムが下方に座屈している（ガス圧を加えていない場合）。このため、ダイアフラムに加えるガス圧を 0 kPa から徐々に高くしていくと、5 kPa 付近でダイアフラムが急激に外側に変形する。ダイアフラムが上側に座屈した後はダイアフラムはガス圧の増加とともに緩やかに上側に変形する。

(ii) センサデバイスによる硬さ識別

能動触覚センサによる硬さ識別実験を行った。実験には硬度の異なる 4 種類の樹脂サンプルを用いた。サンプルの形状は 5 mm × 30 mm × 10 mm（幅×長さ×高さ）である。表 1 に各樹脂材の物性値を示す。硬さ識別機能用評価測定装置を図 6 に示す。装置は樹脂サンプル固定ホルダー、センサデバイスへのガス圧供給源、センサデバイス移動機構からなる。樹脂サンプルをホルダーに固定した後、センサデバイスを固定したステージを移動させ、ダイアフラム上に設けた突起とサンプル表面を接触させる。その後、ガス圧印加によりダイアフラムを対象物である樹脂サンプルの方向に移動させ硬さ識別

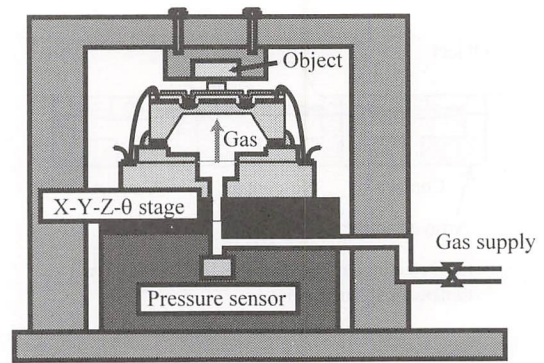


図6 硬さ識別機能評価用装置

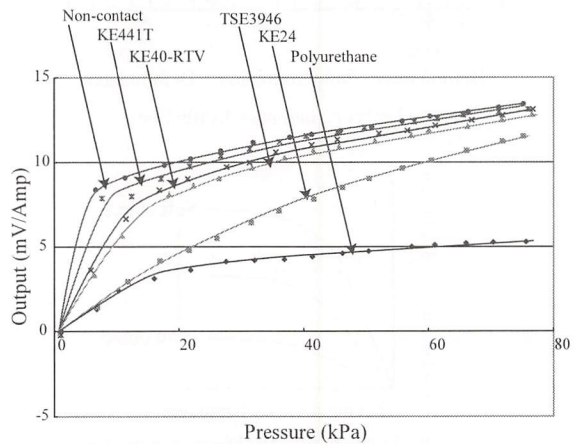


図7 硬さ識別機能評価実験結果（ガス圧に対するセンサ出力電圧の変化）

を行った。なお、接触によるダイアフラムの初期変位はダイアフラム周辺に設けたピエゾ抵抗素子の出力電圧から求めた。

図 7 に印加したガス圧に対するセンサ出力変化を示す。硬さの異なる 4 種類の樹脂を比較してみると樹脂の硬さに応じて出力電圧に差があることがわかる。

図 7 の結果を用いて硬さとセンサ出力電圧の関係を求めた（図 8）。図より今回製作したデバイスでは硬さ感度が $K_s = 10^4$ N/m 付近にあり、 $K_s = 10^3 \sim 10^4$ N/m の硬さを有する対象物の硬さ検出が可能であることがわかる（注：ここでいう「硬さ」とは、ダイアフラム中央に設けた 0.8 mm × 0.8 mm の大きさの突起が対象物に進入するさいの反発力（バネ定数）で定義した）。しかしながらこの値は設計した値より 2 桁ほど大きい値である。原因は対象物の硬

表 1 硬さ識別評価用樹脂サンプルの物性値

Object	Material	Hardness	Young's modules (MPa)	Spring constant K_s (kN/m)
KE441T	Si rubber	A 20	0.77	1.02
KE40RTV	Si rubber	A 60	3.82	5.09
TSE3946	Si rubber	A 70	5.85	7.08
KE24	Si rubber	A 80	9.91	13.21
Polyurethane	Polyurethane	D 70	548	687.1

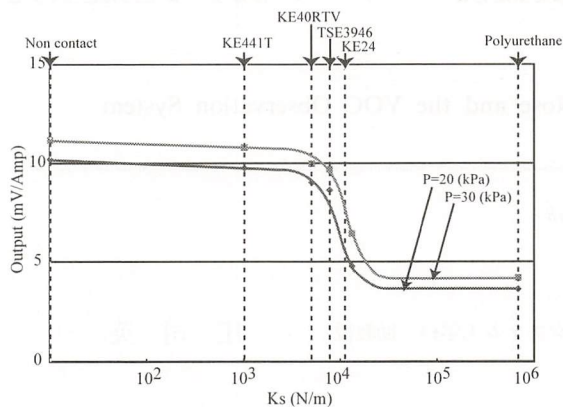


図8 能動型触覚センサによる樹脂サンプルの硬さ識別

さ検出をダイアフラムの座屈変形後（ガス圧の印加によりダイアフラムが対象物の方向に座屈する）に行ったためである。本センサデバイスではダイアフラム変形量0付近で対象物に対する硬さ検出の感度が最も高くなるように設計してある。したがってダイアフラムが対象物方向に80 μ m程度座屈をおこした後に硬さ検出を行おうとすると、ダイアフラムにおける等価的な硬さが設計値以上に大きくなり、その結果、検出感度の位置が相対的に硬い対象物の方向にシフトしてしまう。本問題は座屈状態にないダイアフラム構造を実現することで克服できると考える。

[今後の研究の方向、課題]

今後の研究で究明すべき課題は以下の通りである。

- ① 硬さ識別機能評価
 - ・ サンプル数増加によるセンサ感度曲線の確認
 - ・ 静的・動的モードによる対象物の粘性評価
- ② センシング機構と駆動機構との一体化

[成果の発表、論文等]

- 1) Y. Hasegawa, M. Shikida, T. Shimizu, T. Miyaji, H. Sasaki, K. Sato and K. Itoigawa: A micromachined active tactile sensor for hardness detection, Sensors and Actuators A, in print.
- 2) Y. Hasegawa, H. Sasaki, M. Shikida, K. Sato and K. Itoigawa: Magnetic actuation of micro-diaphragm structure for the purpose of active tactile sensor, to be presented in "2004 International Symposium on Micro/Nanomechatronics and Human Science".
- 3) Y. Hasegawa, H. Sasaki, M. Shikida, S. Kuriyama, K. Sato and K. Itoigawa: Magnetically driven active tactile sensor for hardness detection, to be presented in "The 21 st Sensor Symposium on Sensors, Micromachines, and Applied Systems".

ニオイアレイセンサーと有害化学物質監視システムに関する基礎研究

A Fundamental Study on the Electronic Nose and the VOC Observation System

1031008

研究代表者

福井大学工学部知能システム工学科 助教授

庄 司 英 一

〔研究の目的〕

ヒトが感じにくい空気の汚れには、近年普及している無香料の殺虫剤や防虫剤の化学物質を始めとして、燃焼装置からの排ガス、建材、家具や接着剤など身の回りのものから発生する有害揮発性（有機）化合物（VOC）などの拡散があり、これらの中にはアレルギー性や発がん性の疑いのある危険・危惧物質が含まれている。近年、省エネルギーの観点から住宅の気密化と断熱効果の向上が急速に進んだ反面、例えば化学物質過敏症（chemical sensitivity）がシックハウス症候群として深刻な問題となっている。ホルムアルデヒドなどの指定有害化学物質を使用していない、あるいはその発散を極めて抑ええた建材などが近年出回ってはいるが、現在も完全に全ての製品・部材がそうした基準となっていないし、また本質的な問題として、これまでに部分的にも使用されてしまった材料などへの対策を考えなければならない。こうした既に建設済みの建物への問題は依然として深刻な問題として残っており、例えば、VOCを発生している問題の箇所を突き止める様な科学的方法の検討は急務である。現在の最も効果的な対策は換気と言われているが、換気を行う時点で既にヒトはVOCに暴露されているわけで極めて問題である。通常の建物内に存在しうる可能性のあるVOCの種類は分かっているので、こうした特定物質群を選択的に迅速かつ簡便に物質の特定と濃度の計測のできる、例えば、電子

ノーズ（ニオイセンサ）によって制御される換気システムがあれば、ヒトの意志にかかわらず健康維持に役立つはずである。本研究は、ヒトが感じにくいニオイを重要な情報として利用するという発想から、それを可能とするセンシング法（Electronic Nose）の検討とその応用について考える。

〔研究の内容、成果〕

本研究で考えている電子ノーズ（Electronic Nose）とは、単チャンネルの機能性センサが集合した多チャンネルのセンサ（センシングエレメント）群によって、それぞれのチャンネルからの情報をパターンとして情報処理をして解析を行うことで、どのような化学物質がどの程度の濃度で存在しているかを分析するものである。予想していなかった化学物質が基質となっている場合でも各エレメントの応答パターンとして解析できるので、このアプローチは、ヒトの嗅覚系の情報処理と基本的に類似した方法となっている。本研究では最初のステップであるので、まずは、1つのセンシングエレメントに焦点を絞り、そのエレメントと計測系の構築においての基礎的手法の確立を目標とした。

1. センシングエレメントの検討

基質との分子間相互作用から、電子的物性（電位、電流、抵抗値）の変化が起こるような導電性化合物側の分子構造として、ポリアニリ

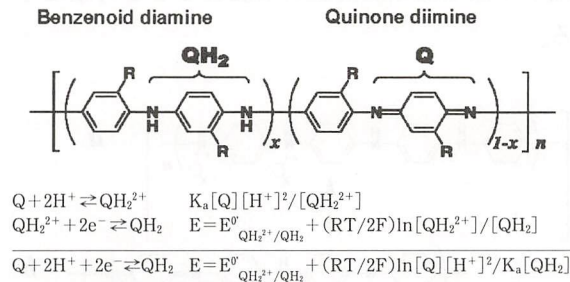


図1 ポリアニリン類のレドックス電位の置換基効果

ン構造を検討した。

ポリアニリンはジアミンとジイミン構造が分子内に存在し（図1），その割合 X は置換基 R の構造などによって変化する。基質が置換基と何らかの相互作用をした場合，その置換基 R の電子状態変化が X に影響を与える。ここで，置換基の電子状態（構造）の変化は，その置換基の pK_a に変化を与える。つまり， pK_a の変化がポリアニリンの化学電位あるいは，電気伝導度に大きな影響を与えることが図1の式から考察できる。この考えから，図2のようなポリアニリン構造をベースとしたセンシングエレメントを考えている。

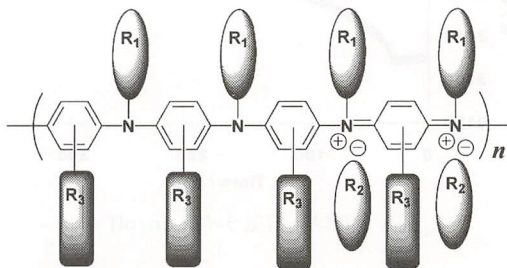


図2 ポリアニリン構造によるセンシングエレメント

電気伝導度の安定性や溶解性の理由などから，エレメントとしてドデシルベンゼンスルホン酸をドーパントとしたポリアニリン（PANI-DBS）を検討した。基質としてはポリアニリンと強く相互作用し，システムを高感度で評価する目的で有害なトリエチルアミン（TEA）を検討した。TEAの25℃における飽和蒸気圧（68 mmHg）から濃度を算出した。

2. 計測系の構築

センシングエレメントを固定するための電極として，Interdigitated Array（IDA）マイクロ金電極を用いた（フィンガーギャップは25 μm ）。PANI-DBSをDMFに溶解させた後，IDA電極上に滴下させて乾燥後，エレメントとした。

基質の濃度を定量的に制御し，エレメントの応答を安定に評価するためのチャンバーを設計した。構造は，内容量3Lのガラス容器内に強制攪拌用の羽根を装備したものとなっている（図3）。

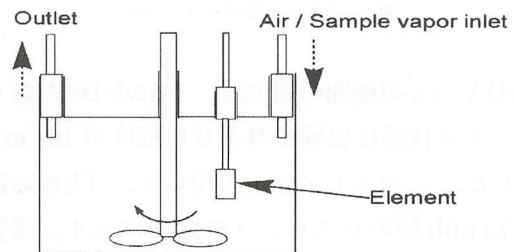


図3 チャンバー

基質をシリンジで注入するためのポートと，計測の前後で内部の空気を入れ換えるための入出力ポートを備えている。実際の空気の入れ換えはダイヤフラムポンプを利用して行った。排気速度は25 mL/sec程度とした。計測は25℃にて行った。

IDAのフィンガー間にはPANI-DBSが塗布された状態となっている。2電極間に定電位を印加した際の電気抵抗値の変化を高感度で安定に追跡可能なシステムを検討した。ソースメータ（KEITHLEY Model: 236）を GPIB インターフェースを介してパーソナルコンピュータと接続し，リアルタイムな電気抵抗値の経時変化を記録できるシステムをLabView（Ver. 7）を用いて作成した。ソースメータの設定もLabViewからコントロールできるように設計した。

3. 結果と考察

PANI-DBSはドデシルベンゼンスルホン酸

の存在下、アニリンを過硫酸アンモニウムを酸化剤として重合し、単離後、真空乾燥により得た。DMF に溶解後、IDA 上に滴下して、風乾によりエレメントを作成した。

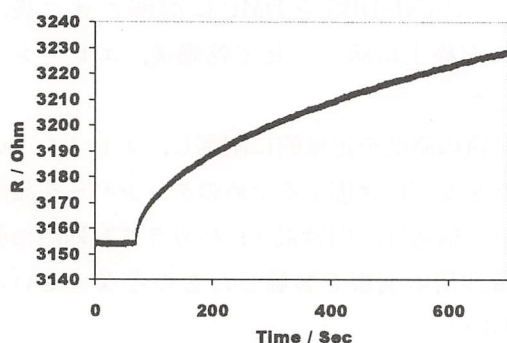


図4 TEA, 排気ライン off

IDA の 2 電極間の電位は、PANI-DBA のレドックス状態に影響を与えない程度の 100 mV とした。このエレメントを用いた、TEA の濃度 75 ppb 時のレスポンスを図 4 に示す。基質による連続的な電気抵抗値の上昇が認められた。

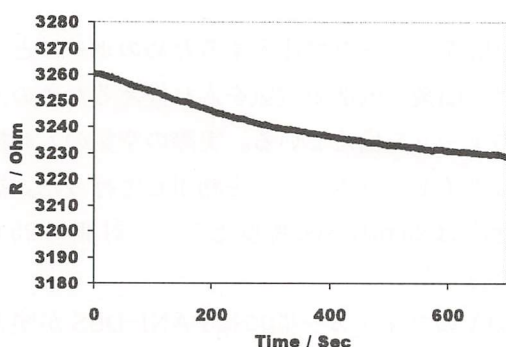


図5 TEA, 排気ライン on

排気ラインを off としているので、外部からの空気の流入がないため、基質のエレメントへの連続的な吸着反応が示唆される。30 分間連続的な抵抗値の上昇を確認した後、排気ラインを on にした応答を図 5 に示す。抵抗値の連続的な減少が確認された。基質である TEA は塩基性物質であり、これが酸性のポリアニリンと接触した場合、TEA へのプロトン交換反応によって 4 級塩 (Et_3NH^+) が生成する (図 6, b→c)。このカチオン種の生成により、脱プロトン化されたポリアニリンは導電性が低下するため

図 4 の様な電気抵抗値の増加となると考察できる。

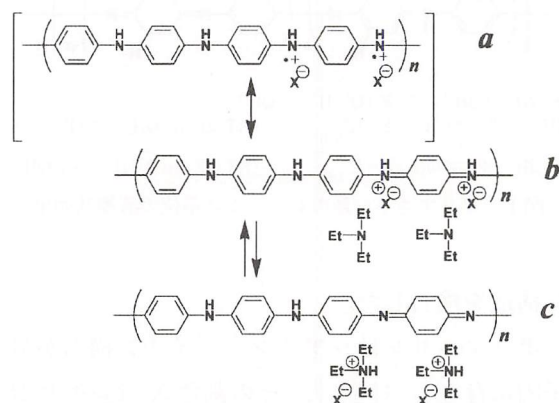


図6 PANI と TEA のプロトン交換反応

排気過程では 4 級塩と PANI とのプロトン交換反応 (図 6, c→b) における TEA の気化によって、次第に PANI 側へプロトンが移動した結果、電導度が増加 (電気抵抗値の減少) したと考えられる。

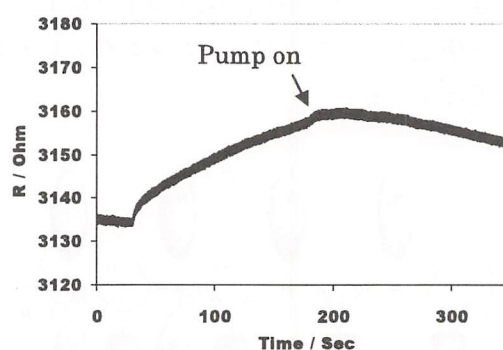


図7 TEA, 排気ライン on/off

排気を 1 分間のみ行った結果を図 7 に示すが、排気後も連続的に電気導電性が増加 (抵抗値が減少) していることから、エレメントからの TEA の脱離はかなり遅く進行している。以上の結果から、PANI-DBA と TEA の相互作用においてはチャンバー内を一定の流動速度でクリーンな空気をフラッシュしながら計測する必要があることが分かった。特にエレメントと基質との相互作用が強い場合はこうした工夫が必要であると考えられる。

これらの知見に基づいて、流動速度を一定に

保ちながら TEA を 75 ppb インジェクトした。可能となっている。
図 8 に示すような良好な応答が得られた。

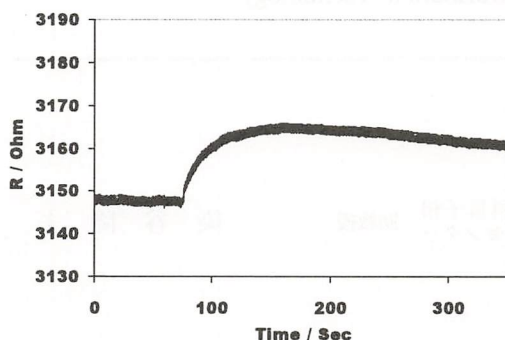


図 8 TEA, 排気ライン on

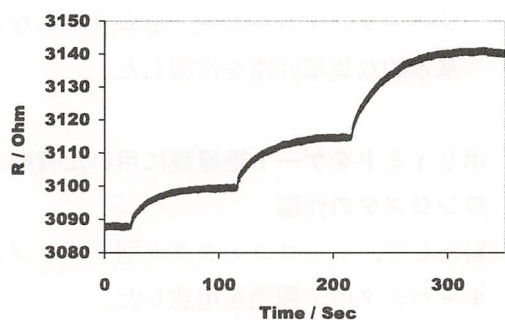


図 9 TEA, 排気ライン on

さらに、75, 75, 150 ppb で連続的にインジェクトした結果を図 9 に示す。現時点でのエレメントの感度を考えると、数 ppb 程度の検出まで可能である。通常の 2 端子法などで行った場合の抵抗値の変化は数 100 キロから数メガオームで変化する。このレベルでは電流値が pA ~ fA オーダーで変化するのでノイズと静電的な影響が深刻な問題となる。本研究では、IDA マイクロ電極を利用することで観測する電流値を増加させ、この結果ノイズを抑えたりアルタイムな直流抵抗値の変化を連続計測することが

[今後の研究の方向, 課題]

本研究では電子ノーズ設計の最初のステップとして基礎的手法を確立することができた。改善すべき重要なポイントが明確となり、問題点と具体的研究方向を整理することができた。有害化学物質を高感度で監視することが可能である知見を得た。センサーのアレイ化による物質の特定を可能とする方法の検討が次のステップとなる。今後の研究の予定としては、センシングエレメントの感度向上の工夫、ポリアニオン構造の多様性を利用したエレメントのアレイ化の工夫、そしてこれを利用したニューラルネットワークやファジー推論法との連携による物質推定技術の検討を考えている。これらを搭載した移動ロボットの設計も同時に進める予定である。こうした化学をベースとするロボット工学の新しい展開によって、生活を豊かにする技術が今後一層具体化しその重要性が認識されていくのは明らかである。食品製造、食品衛生管理、健康管理、医療診断、医療福祉、安全管理、災害救助、テロ対策や地雷除去作業などに貢献できる方法となる。本システムは将来の拡張性を考慮して設計しているので、以降の研究継続として発展させるつもりである。

[成果の発表, 論文等]

- 1) 206 th Meeting of The Electrochemical Society (米国電気化学会), (2004. 10) などで発表

情報活用社会に整合するプラスチック高集積回路の試作研究

Plastic Integrated Circuits for Information Technology

1031009

研究代表者

東京大学工学系研究科量子相
エレクトロニクス研究センター 助教授

染 谷 隆 夫

[研究の目的]

本研究は、有機半導体を活用して、人間本位の情報活用社会に整合するフレキシブルかつ軽量ウェアラブルなプラスチック高集積回路を低コストで実現することを目的とする。この柔軟な高集積回路によって、人に優しいユビキタス通信型モバイル機器など新デバイスが創製され、多様化するライフスタイルに対応できる。

[研究の内容、成果]

本研究では、有機トランジスタを活用した無線回路の実現に向けて、高性能な有機トランジスタの作製技術を確認するための研究を推進した。その結果、以下の特筆すべき成果を挙げることができた。

- 1) ポリイミドをゲート絶縁膜としたフレキシブルな有機トランジスタの作製法を確立し、高分子ゲート絶縁膜を利用してプラスチックフィルム上に形成された有機トランジスタとしては、世界最高の移動度 ($1.4 \text{ cm}^2/\text{Vs}$) を達成した。
- 2) 有機トランジスタと有機トランジスタのインターコネクションを実現するために不可欠なビアプロセスとして、レーザー加工を用いた新手法を世界に先駆けて開発した。
- 3) これらの技術を融合し、実際に有機トラ

ンジスタ回路に適用することによって、インバータ、デコーダー、セクターなど基本的な集積回路を作製した。

1. ポリイミドをゲート絶縁膜に用いた有機トランジスタの作製

試料として、トップコンタクト型トランジスタ、キャパシタの2種類を用意した。

まず、ポリイミドの絶縁特性を評価するためにキャパシタ構造を作成した。まず、厚さ $125 \mu\text{m}$ のポリエチレンナフタレート (PEN) フィルム (帝人デュボン, Teonex Q 65) を基板として、Cr を 5 nm , Au を 150 nm 基板全面に真空蒸着した。Cr は接着層として用いている。その後、低温で硬化可能なポリイミド前駆体溶液 (京セラケミカル, KEMITITE CT 4112) をスピコートした。スピコート時の回転数によって絶縁膜の膜厚を変えることができる。ここでは $1,500 \text{ rpm}$ で 120 秒 スピコートしたもの、 $3,000 \text{ rpm}$ で 120 秒 スピコートしたもの、 $6,000 \text{ rpm}$ で 120 秒 スピコートしたものの3種類を用意した。スピコート後、ハーフキュアとして、窒素雰囲気にしたクリーンオープン (クラス 100) に入れ、 90°C で 10 分 ほど溶媒を蒸発させ、その後 120°C で 1 時間 , 150°C で 1 時間 , 180°C で 1 時間 ベークしてポリイミド前駆体を硬化させた。ベーク後、 100°C 以下に温度が下がるまで 1 時間 ほど待った後、クリーンオープンから取り出し、最後に

260 μm 角のメッシュ状に Au を 60 nm 真空蒸着した。これらの行程はすべてクリーンブース（クラス 1000）内で行った。

また、ポリイミドゲート絶縁膜の有機トランジスタへの適応性を調べるためにトップコンタクト型有機トランジスタを作製した。基板として厚さ 125 μm の PEN（帝人デュポン，Teonex Q 65）フィルムを用いて、まず，Cr 5 nm/Au 150 nm をゲート電極として真空蒸着法により成膜した。このときメタルマスクを用いて幅 1.5 mm のすだれ状にパターニングを施した。この上にポリイミド前駆体をスピコートにより塗布した。スピコートの回転数について 3,000 rpm で 120 秒のものと 6,000 rpm で 120 秒間の 2 種類の試料を用意した。スピコートの後，クリーンオープンで 90°C 5 分ハーフキュアしてある程度溶媒をとばし，120°C で 1 時間，150°C で 1 時間，180°C で 1 時間ベークしポリイミドを硬化させた。その後，100°C までさまし，クリーンオープンから取り出した。チャンネル層として，精製していないペンタセン 50 nm（Aldrich 製）を常温でフィルム全面に $1 \sim 5 \times 10^{-5}$ Pa の真空中で蒸着速度 ~ 1 nm/min で成膜した。最後にゲート電極とは直角に，幅 50 μm ，間隔 50 μm のすだれ状のソース・ドレイン電極 Au 60 nm を蒸着した。これらの行程はすべてクリーンブース内で行った。

完成した有機トランジスタの有機チャンネル部分をプローバーで削り取ることによって素子分離を施した。素子分離後，プローバーステーションおよび半導体パラメータアナライザによりトランジスタ特性を測定した。図 1 にここで作製した有機トランジスタのトランジスタ特性（ $V_{\text{DS}}-I_{\text{DS}}$ ， $V_{\text{GS}}-I_{\text{DS}}$ ）のグラフを示す。チャンネル長 1,560 μm ，チャンネル幅 50 μm であった。キャパシタンスとして先の実験で求められた 6 nF/cm² を用いて，移動度を算出すると 6,000 rpm で 1.4 cm²/VS と求まる。これはフィルム基板上の有機トランジスタとしてはかなりよい

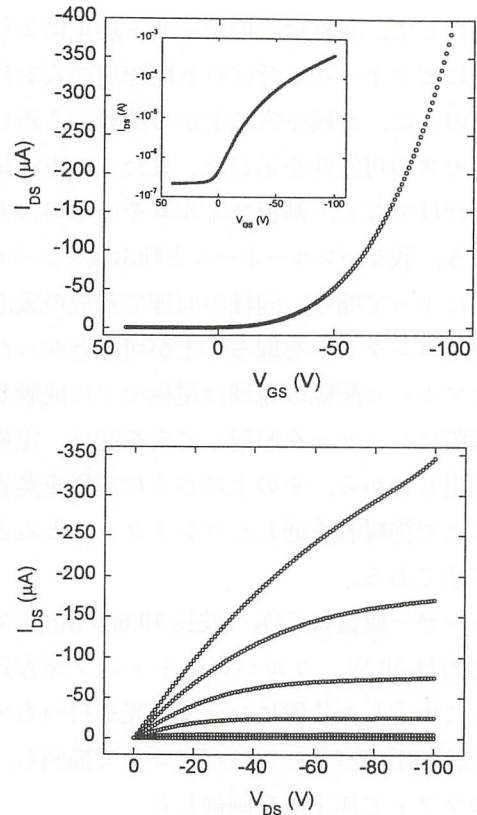


図 1 有機トランジスタのトランジスタ特性
チャンネル幅 1560 μm ，チャンネル長 50 μm

移動度であるといえる。また，ゲート絶縁膜を薄くすることで高移動度が得られた。On/Off 比は 10^3 程度であった。

2. レーザー加工によるビア作製とインバータ回路への応用

我々はレーザー加工を利用して，ポリマー絶縁膜の上下の層をつなぐビアホールと呼ばれる配線を作製した。有機トランジスタのデバイス応用の可能性を広げる上で，絶縁膜の材料にポリイミドをはじめとするポリマーを用いることが基板のフレキシビリティを活用する上で重要である。一方でデバイス作製には必須である絶縁膜のパターニング・加工のプロセスというのは限られている。絶縁膜を溶かす薬品をインクジェットで滴下しパターニングを行った報告があるが，この方法は絶縁膜材料によっては用いることができない。レーザー加工は正確なアライメントが可能で，多くのポリマー絶縁材料に適用できるという利点を持ち汎用性も高いこと

に注目して、我々はこのレーザー加工により絶縁膜にビアホールと呼ばれる配線用の穴を作製したのちに、金属を穴の上から蒸着する新しいプロセスの可能性を示した。またこの方法は絶縁膜だけでなく、基板フィルムそのものにも適用でき、我々がスルーホールと呼ぶ穴をレーザー加工によって開け、同様の原理で基板の表面と裏面のコンタクトを取ることが可能となった。

ビアホール配線の原理は電極の上に成膜した絶縁膜にレーザーを照射して穴を開け、電極をむき出してから、その上にさらに電極を蒸着することで絶縁膜を通したコンタクトをとるという方法である。

レーザー媒質は CO_2 (波長 10,600 nm) で最大出力は 30 W、カルパノスキャニング方式によって指定した位置にレーザー光を打つものである。加工のパターンはパソコンで描画し、付属のソフトで加工機を制御した。

基板フィルムとして宇部興産のポリイミドのフィルム UPILEX-75 S を用い、絶縁膜下層の金電極との密着性を良くするためにクロムを 5 nm の厚さになるようにフィルム全面に蒸着する。この後、絶縁膜下層の金を 150 nm の膜厚で基板全面に蒸着した。この後、KEMITITE CT 4112 を絶縁膜としてスピコート法 (3,000 rpm で 120 秒間) によって 1 μm ほどの膜厚に成膜した。絶縁膜成膜後に、絶縁膜の上からレーザーのパワーを変えて複数の点に照射し、ビアを作成した。ビアの典型的な穴径は 150 μm 程度であった。この後ビアを覆うように 250 μm 角の正方形パターンの金電極を蒸着して、ビア評価用のサンプルとした。サンプル作製全般にわたっては、ビア加工以外のリークを極力減らすようにクリーンな環境で作製を行った。測定時に絶縁膜が破れて、導通がリークによるものなのか加工によるものなのか分からなくなることがあるので、クリーンブースで作業を行い、クリーンオープンを使ってハーフキュア・ベークを行ってリークを減らす努力をした。またリークは面積に比例すると

考え、上側の電極パターンを 250 μm の正方形に小さくすることでリークの影響を確率的に減らすことで、ビアホールの評価を行った。絶縁膜のリークは 100 個に 1 個以下にまで減らせることが出来た。

完成したサンプルのコンダクタンスを測定した。絶縁膜に照射したレーザーのパワーとビアのコンダクタンスの関係を図 2 に示す。結果として、レーザーの出力が 7.5 mJ になるあたりを閾値として、コンタクトの取れ方が劇的に変化した、高い出力によってビアが確実にあいている。理想的には抵抗が 0 Ω に近いほうが望ましいが、実際には回路に他の素子に含まれる抵抗と比較して十分に小さい抵抗であればよい。有機トランジスタ回路においてはチャンネル部分の抵抗が数 M Ω の大きさを持っているので、実用上は穴の部分の抵抗が数 k Ω 程度でも問題ないと考えている。二端子法では穴の部分の抵抗が小さいときに接触抵抗が影響するが、配線として使用するにあたって十分なコンタクトが取れたという以上は追求しないことにする。レーザーの照射エネルギーを大きくすると、コンタクトを取るには十分であるが、実際には基板を焦がしてごみが絶縁膜表面に飛び散るのでデバイス作製には望ましくない。デバイス作製においては、確実にコンタクトが取れてごみが少ない領域であるところ、つまりレーザーの照射エネルギーをできるだけ小さいものにすることが重要である。

我々はレーザー加工によるビアホール作製技

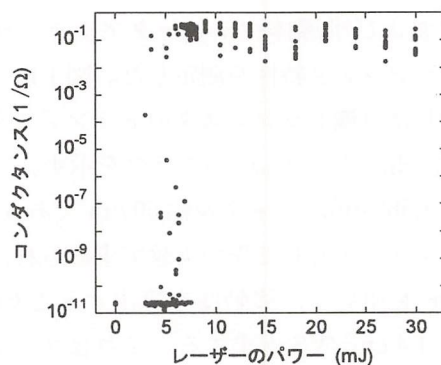


図2 レーザービア

術を利用してインバータを作製した。

基板フィルムにはポリイミドフィルム UPILEX 75 S を用いた。絶縁膜はポリイミド樹脂 CT 4112 をスピコートしたのちにベークを行った。レーザー加工によるビアホールを作製した。次は有機層の蒸着である。まずマスクのフレームをのせる。ゲート層を蒸着したときにフレームのヌケの部分に金が蒸着されているので、これと重なるようにマスクのフレームをゲート層蒸着と同じ位置になるようにのせて、このフレームにはまるように有機層用のマスクをそっとのせ、サンプルを傷めることなく正確にアライメントが出来た。位置あわせをおこなったあとは、真空蒸着装置に入れて真空引きをして、ペンタセンを 50 nm 蒸着した。有機層の蒸着の後にはソース・ドレイン層の蒸着をした。

完成したインバータの写真を図 3 に示す。作製したインバータを構成するトランジスタの特性とインバータ特性を測定したところ良好な特性を得ることができた。インバータを構成する Tr 2 の 3 つの端子電極は全て絶縁膜上にあるのでトランジスタ特性が可能である。トランジスタ特性は、移動度は $0.2 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ 、ON/OFF 比は 5000 程度となりレーザー加工を伴わないプロセスで得られる特性と極端な差がないことがわかり、ビア加工プロセスによるトランジスタの劣化がないことがいえる。また入力電圧に対して出力電圧がどのように変化するかを記述するインバータ特性も測定した。理想的なインバータ特性は、入力電圧が 0 から閾値電圧のときに出力は V_{DD} 、入力が閾値電圧から V_{DD} のときには出力が 0 になるような特性である。一般には特性曲線の入力と出力を読み替えて書いたものともとの特性曲線の間にくぼみが生じるとき、これをインバータのめがねといい、めがねが厚いほうがインバータとしてよい性能であることがわかる。我々の作製したインバータの特性は図 4 のようになり、良好なインバータ特性がえられた。

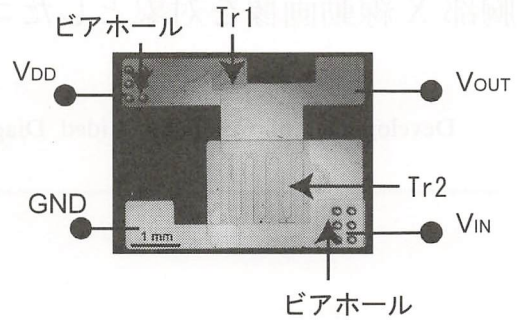


図 3 作製したインバータの写真

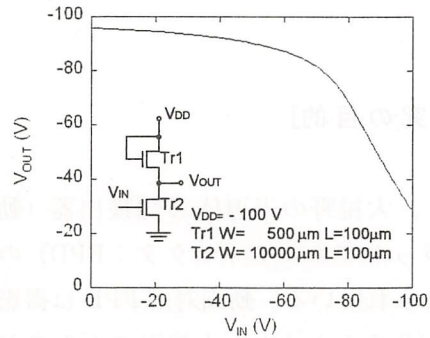


図 4 作成したインバータの入出力特性

[今後の研究の方向、課題]

ビアホール作製に成功し、絶縁膜をはさむ上下の電極を電気的につなぐことに成功した。

良好で確実なコンタクトを得るにはレーザーの照射エネルギーを上げればよいことがわかったが、同時に絶縁膜・基板を焦がしてごみも多く作ってしまうので、コンタクトを得ることができて、ごみの少ない領域を使うことが望ましいとわかった。この配線法を利用してインバータを作製したところ、特に目立つトランジスタへの影響はなく、レーザー加工によるビアホール作製は良い方法であることがわかった。

[成果の発表、論文等]

- 1) T. Someya, et al.: 2004 IEEE International Solid-State Circuits Conference (ISSCC 2004), San Francisco, CA, February pp. 288–289 (2004)
- 2) T. Someya and T. Sakurai: 2003 IEEE International Electron Devices Meeting (IEDM), Washington D. C., December pp. 203–206 (2003)
- 3) T. Someya, et al.: 2003 Materials Research Society (MRS) Fall Meeting, Boston, MA (December, 2003)

胸部 X 線動画像を対象としたコンピュータ支援診断システムの開発

Development of Computer Aided Diagnosis System for Dynamic Chest Radiographs

1031010

研究代表者

金沢大学医学部保健学科 助手

田 中 利 恵

[研究の目的]

近年、大視野の半導体 X 線検出器（動画対応フラットパネルディテクタ：FPD）の開発が進められている。動画対応 FPD は撮影間隔の短縮化をもたらし、大視野で歪みのない X 線動画像の取得を可能にした。この動画対応 FPD で呼吸過程を X 線撮影することで、呼吸動態機能情報を簡便かつ低コストに取得することが可能となる。そこで我々は、動画対応 FPD を用いて呼吸過程を撮影し、取得した胸部 X 線動画像を対象に横隔膜や肺紋理の呼吸性動態と肺野内局所の呼吸性濃度変化のコンピュータ定量解析を行った。また、本法により得られた解析結果と呼吸機能検査の結果とを比較し、本法の有用性を検討した。本研究の目的は、近年増加傾向にある慢性閉塞性肺疾患などの呼吸器系疾患をターゲットに低コストかつ簡便に動態情報を取得するコンピュータ支援診断システムを開発することである（図1、2）。

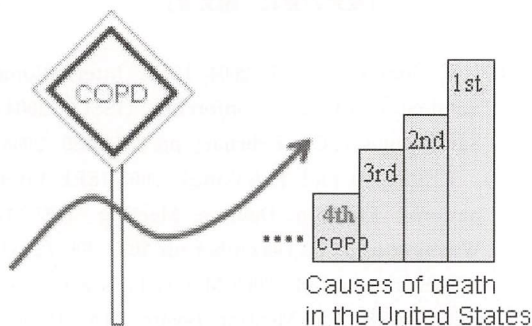


図1 背景

Quantitative Analysis of respiratory kinetics and Computer-Aided Diagnosis System for a screening examination.

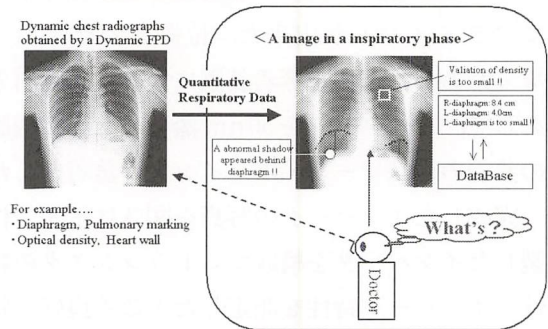


図2 システム構想 定量化した呼吸性動態データは最大吸気静止画像とともにモニタに表示する。動態データに異常がある場合はその旨を示し、医師に動画像の読影を促す。医師はボタン操作1つで動画像にアクセスし最終診断を下す。

[研究の内容、成果]

1. 方 法

1.1 画像の取得

キャノン社製 CXDI-40 G 改造機で、正常症例（30 名）および何らかの呼吸器系疾患を患っている症例（6 症例）の最大努力吸気→最大努力呼気→最大努力吸気（下線部撮影）の過程を 10 秒間で 30 フレーム撮影した（撮影条件：110 kV, 80 mA, 3.2 msec, 3 fps, 撮影体位：立位正面背腹方向）（図3）。これは従来の胸部単純 X 線撮影（自施設：120 kV, 200 mA, 26 msec）の約 1.5 倍以下の被曝線量である。再現性を高めるために、撮影時の合図は X 線曝射と同期させた自作オートボイスシステムを利用した。撮影された画像はデジタルデータと

して解析用コンピュータ（OS：Windows 2000，開発環境：C++Builder）に転送して解析を行った。なお，本研究は金沢大学医学部附属病院倫理委員会の承認を得て行った。また，撮影に際しては，被検者に撮影に対する十分な説明を行い書面により同意を得た。

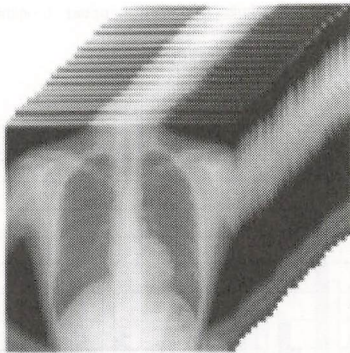


図3 胸部 X 線動画像

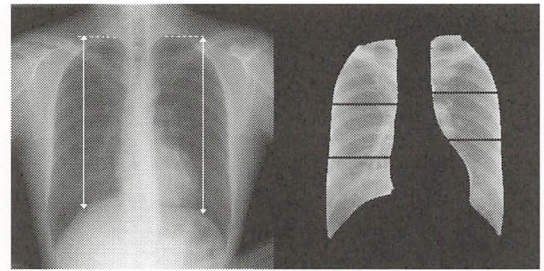
1.2 呼吸機能検査

正常症例（10 名）と何らかの呼吸器系疾患症例（6 名）の肺活量と 1 秒量を CHESTAC-9800（CHEST 社製）によって計測した。

1.3 画像の解析

横隔膜移動量計測：胸部画像において肺尖部および横隔膜は，縦方向に大きな濃度勾配をもつ。そこで，1 フレーム目を対象にコンピュータで縦方向の濃度勾配を計測して，左右の肺尖部と横隔膜の位置を計測点として自動的に決定した。2 フレーム目以降は，残差逐次検定法（SSDA 法）により 1 フレーム目で決定した計測点を追跡した。そして肺尖部から横隔膜までの距離を計測した（図 4 (a)）。また，距離の変化量と呼吸機能検査結果との相関性を調べた。

肺野内局所の X 線透過性の変化：大きな濃度勾配を検出して，検出点を繰り返し平滑化することで肺野領域を自動認識した。コンピュータ自動認識した肺野領域を 3 等分して，肺野領域ごとのピクセル値の平均値を算出した（図 4 (b)）。そして，横隔膜レベルから推測した呼吸位相との関係性を評価した。また，呼吸性変化量を肺野領域ごとに比較した。



(a) 肺尖部から横隔膜までの距離 (b) 肺野領域における X 線透過性の変化量

図4 解析対象

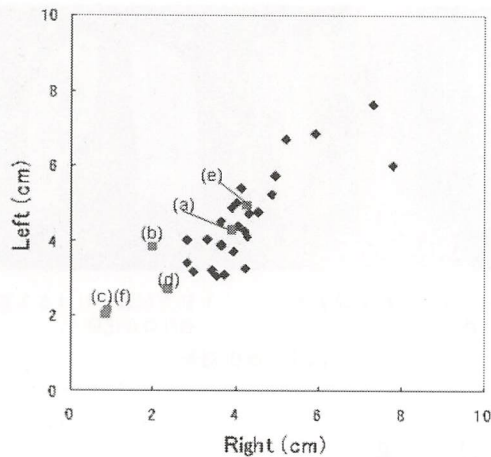
2. 結 果

横隔膜移動量の計測結果を示す（図 5）。正常症例の計測結果にも大きな幅があるため，今回は正常と異常の基準値を算出することができなかった。しかし，正常症例では左右の横隔膜移動量はほぼ等しいのに対して，間質性肺疾患症例や肺繊維症症例では大きな左右差が見られた。一方，呼吸機能検査によって得られた肺活量と本法によって計測された横隔膜移動量には高い相関性が見られた。

肺野領域ごとの平均ピクセル値の変化量を示す（図 6）。正常症例は左右共に上肺野→中肺野→下肺野の順に変化量が大きくなるのに対して，呼吸器系疾患症例の中にはある特定の領域の変化量が極端に少ないケースが見られた。例えば，肺気腫症例において変化量が少ない部分（左中・下肺野）は CT 画像上で大きな Air trapping が確認できる部分と一致した。

3. ま と め

呼吸過程を撮影した胸部 X 線動画像を対象に横隔膜の動きや肺野内局所の X 線透過性の変化を定量解析した。計測された横隔膜移動量と肺活量には相関性が見られた。また，胸部 X 線動画像と定量化した呼吸性動態データが臨床において実際に有用であった症例も複数見られた。左右の肺機能を比較できる点や，局所領域で比較できる点が本法の大きな特徴である。一方，従来は精密検査や研究目的でしか得られていなかった呼吸動態機能データが多数の正常



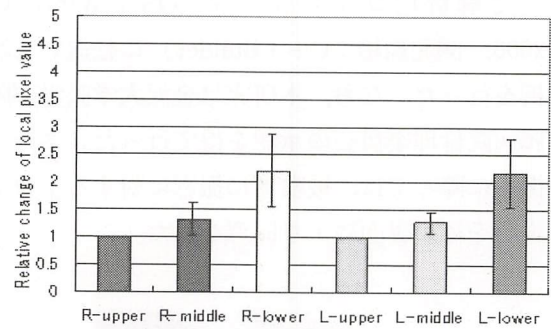
- Normal subjects (n=30)
Average Right 4.3 ± 1.2 cm
Left 4.6 ± 1.2 cm
- Subjects with pulmonary disease (n=6)
(a) Pneumonia 59 M
(b) Pneumonia 63 F
(c) Fibrous Lung 75 F
(d) Bronchial Asthma 56 M
(e) Emphysema 31 M
(f) Pneumonia 63 M

図5 横隔膜移動量

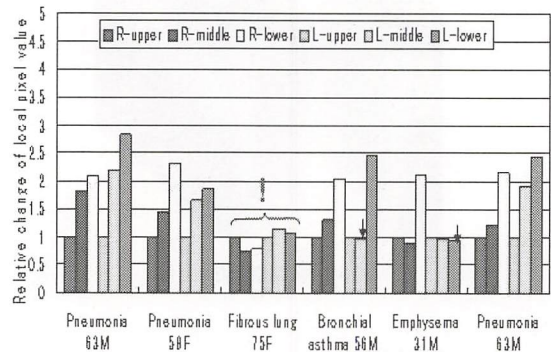
人から得られるために、新たな医学的知見が見出される可能性もある。

[今後の研究の方向、課題]

現在、国内および国外の病院における画像診断支援部門（放射線部）では大きな革命が起きている。シャウカステンにX線フィルムをかけて医師が読影するというスタイルから、サーバーから病院内ネットワークを介して画像を取得し、モニタ上で読影するというスタイルに移行が進んでいる。本研究はモニタ診断への移行を視野に入れて行っている。本研究の最終目標は呼吸性動態を対象としたコンピュータ支援診断システムの開発である。今回は呼吸過程を対象とした胸部X線動画をコンピュータ解析して、呼吸性動態情報を定量化するところまで達成した。本手法により得られたデータの呼吸生理学的裏付けを行うことが今後の課題である。



(a) 正常症例 (n=30)



(b) 呼吸器系疾患症例 (n=6)

図6 平均ピクセル値の変化量

[成果の発表、論文等]

学会発表

- 1) 田中利恵, 真田 茂, 鈴木正行, 他: フラットパネルディテクタによる胸部動態画像診断のための撮影法の開発, 日本放射線技術学会第59回総会学術大会, 横浜 (2003)
- 2) 田中利恵, 真田 茂, 鈴木正行, 他: 胸部X線動画を対象としたコンピュータ解析法の臨床試験報告, 日本放射線技術学会第59回総会学術大会, 横浜 (2003)
- 3) Rie Tanaka, Shigeru Sanada, Masayuki Suzuki, et al.: Automated analysis for the respiratory kinetics with the screening dynamic chest radiography using a flat-panel detector system. CARS 2003, London (2003)
- 4) Rie Tanaka, Shigeru Sanada, Masayuki Suzuki, et al.: Respiratory kinetic imaging technology for screening examination using a dynamic flat-panel detector (FPD) system. RSNA 2003 89th Scientific Assembly and Annual Meeting, Chicago (2003)
- 5) Rie Tanaka, Shigeru Sanada, Masayuki Suzuki, et al.: Computerized methods for analysis of respiratory kinetics in breathing chest

- Radiographs obtained by a dynamic flat-panel detector (FPD) System. RSNA 89 th Scientific Assembly and Annual Meeting, Chicago (2003)
- 6) 田中利恵, 真田 茂, 小林 健, 他: 胸部 X 線動画画像を対象とした呼吸位相解析アルゴリズムの開発, 日本放射線技術学会第 60 回総会学術大会, 横浜 (2004)
 - 7) Rie Tanaka, Shigeru Sanada, Takeshi Kobayashi, et al.: Sequential Dual-Energy Subtraction Imaging Technique using a Dynamic Flat-Panel Detector during Respiration. CARS 18 th International Congress and Exhibition, Chicago (2004)
 - 8) Rie Tanaka, Shigeru Sanada, Takeshi Kobayashi, et al.: Computerized methods for determining respiratory phase on dynamic chest radiographs obtained by a dynamic flat-panel detector (FPD) system. AAPM 46 th Annual meeting. Pittsburg (2004)
 - Vol. 59, No. 8, pp. 423 - 431 (2003)
 - 3) Rie Tanaka, Shigeru Sanada, Takeshi Kobayashi, et al.: Sequential Dual-Energy Subtraction Imaging Technique using a Dynamic Flat-Panel Detector during Respiration. Pro-Computer Assisted Radiology and Surgery 2004 Proceeding. (In Press)
 - 4) Rie Tanaka, Shigeru Sanada, Masayuki Suzuki, et al.: Breathing Chest Radiography using a Dynamic Flat-Panel Detector (FPD) with Computer Analysis for a Screening Examination. Medical Physics 31 (8). 2254 - 2262 (2004).
 - 5) Rie Tanaka, Shigeru Sanada, Takeshi Kobayashi, et al.: Computerized methods for determining respiratory phase on dynamic chest radiographs obtained by a dynamic flat-panel detector (FPD) system. J. Digit. Imaging. (2004). (Submitted)

論文発表

- 1) Rie Tanaka, Shigeru Sanada, Masayuki Suzuki, et al.: Automated analysis for the respiratory kinetics with the screening dynamic chest radiography using a flat-panel detector system. Pro-Computer Assisted Radiology and Surgery 2003 Proceeding, pp. 179 - 186 (2003)
- 2) 田中利恵, 真田 茂, 鈴木正行, 他: 胸部動態画像診断のための X 線撮影法の開発: 撮影時の合図の出し方についての検討, 日本放射線技術学会雑誌,

技術報告

- 1) 田中利恵, 真田 茂: VI 新たな FPD システムの研究・開発動向短時間時系列画像の撮像システムの開発, INNERVISION Vol. 18, No. 4, pp. 79 - 83 (2003)

受賞

- 1) 日本放射線技術学会 技術新人賞画像分野
- 2) 医用画像情報学会 内田論文賞

情報場を介したインタラクションに基づく創発的問題解決 システムに関する基礎研究

Emergent Systems Approach for Problem-Solving Based on Interactive Information Fields

1031011

研究代表者

神戸大学工学部 助教授

玉置 久

共同研究者

神戸大学国際文化学部 助教授

村尾 元

〔研究の目的〕

人工システムの運用・管理等に関連する複雑な問題解決を対象とし、問題解決の過程において考慮すべき影響や利用者の選好等を適応的・対話的に引き出し得る創発的問題解決の方法論を開発することを目的とする。これにより、人間のもつ創造性を最大限に援用する形での柔軟かつ効果的な意思決定支援が期待される。

〔研究の内容、成果〕

1. 研究の概要

上記目的を踏まえ、(1) 情報場を用いた創発システム・シミュレーションによる問題解決の枠組み構築、(2) 学習を通じての創発的計算論(環境に関する情報が完全でない問題への強化学習の適用)、(3) インタラクションを通じての創発的計算論(環境や目的があいまいな問題への進化的計算の適用)をサブテーマとして研究を進めた。それぞれのサブテーマで得られた成果の概要を以下にまとめる。

(1) 創発システム・シミュレーションに基づく問題解決の枠組み：一般に、工学的問題解決の過程、すなわち(i)問題の認識・抽出、(ii)問題の定式化(モデリング)、(iii)求解、という三つのステップにおいて、これまでの多くのアプローチでは、(i)および(ii)を人

間が行い、その上で(iii)に最適化手法などのアルゴリズムが適用されてきた。しかし、現実の問題は、アルゴリズム化された手法が素直に適用できるように定式化することが容易ではない。ここでは、この難点を克服すべく、二つの異なるレベルのダイナミクス：(a)素要素とその結合による解の生成(局所的ダイナミクス)、および(b)解の評価(ボトムアップ)と評価に基づいた解の生成ダイナミクスの変更(トップダウン)という作業の繰り返し(大域的ダイナミクス)を含む枠組み、すなわち創発システム・シミュレーションに基づく問題解決の枠組みを図1のように構成した。ここで、(a)の過程には、マルチエージェントシステムや強化学習、進化型計算、自己組織化など柔軟な手法を用いることも可能であり、また古典的な最適化手法やシミュレーテッド・アニーリングなどのモダンヒューリスティクスを用いることもできる。さらに、特に(b)の過程において人間が積極的に関与することにより、初期の段階では定式化できないような問題についても、求解の過程において定式化・形式化を進めることが期待される。

(2) 学習を通じての創発的計算論：強化学習は、状態が曖昧なく観測できる理想的な環境下において、環境に関する先験的な知識なしに、あらゆる状態における(適当な評価指標を最大化するという意味で)最適な行動を獲得する方

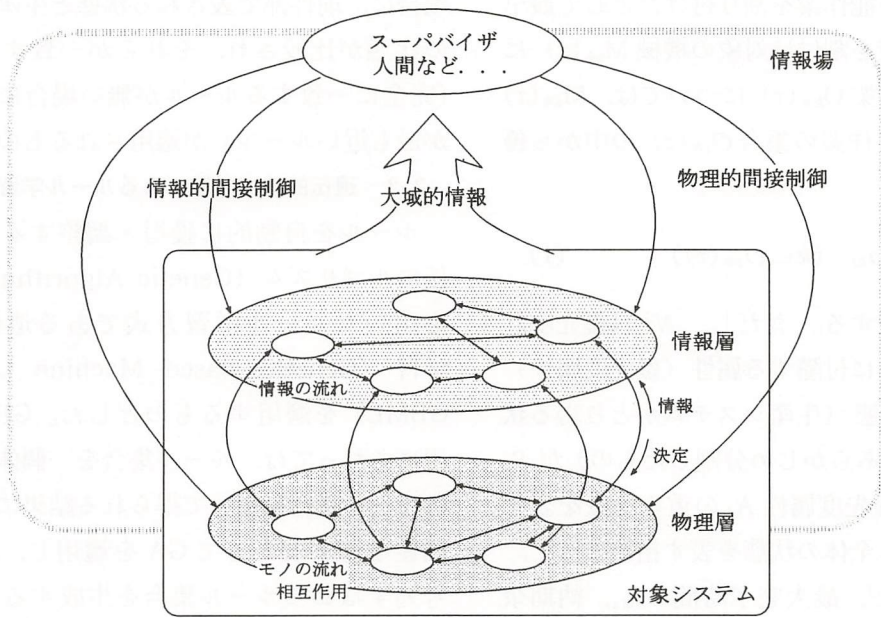


図1 創発システム・シミュレーションに基づく問題解決の枠組み

法である。しかしながら、環境中に人間のように動的かつ予知不能なシステムが含まれる場合には、状態の特定は困難なものとなり、学習が進まない。ここでは、獲得した報酬に応じて行動の生起確率を変化させるという従来の強化学習法に加え、報酬に応じて状態そのものを適応的に推定する手法を示した。ロボット・ナビゲーション問題に対する計算機実験などにより、環境の特徴に応じた状態空間が適応的に構成され、一様な状態空間を用いるという一般的な強化学習に比べて、速やかに学習できることが確認された。また、遺伝的機械学習によるリアルタイム・スケジューリングのためのルール獲得を構成するとともに、計算機実験を通して、環境変動にロバストなルールを学習することができることを確認した。これらにより、工学的問題解決に対する機械学習方式の構成に関して、有用な知見を得ることができた。

(3) インタラクシオンを通じての創発的計算論：進化的計算手法における問題は、遺伝子を解候補に変換する写像と、解候補に対する評価関数によって特徴付けられる。特に、遺伝子から解候補への写像は、解空間の構造を知らずには設計不可能である。そこで、ビルディング

ブロック仮説に基づいた指標を用いて、解候補から遺伝子への写像を自動的に求める共進化型の進化的計算手法として、性淘汰の概念を遺伝的アルゴリズムに導入した計算モデルを構成し、簡単な例題への適用実験を通して、その探索能力や従来手法に対する優位性を確認した。この結果より、写像獲得の指標に意思決定者の判断を埋め込む、すなわちインタラクティビティを積極的に利用することで問題に適した進化的計算手法を構成できると考えられる。

これらのサブテーマのうち、以下では、(2)における遺伝的機械学習によるリアルタイム・スケジューリングのためのルール獲得法について報告する。

2. 遺伝的機械学習によるルール獲得法

フレキシブルショップ・スケジューリング問題（目的関数は最大完了時間 $C_{\max}$ と納期遅れ和 T_{sum} の和）に対し、ディスパッチング・ルールを用いたリアルタイム・スケジューリングの枠組みをベースとして、そこで用いられるルールの学習方式について検討した。

2.1 優先ルールに基づくスケジューリング

いずれかの機械で仕事が完了する時刻を τ と

し、処理開始可能作業を割り付けたとして最早に完了する機械を割り付け対象の機械 $M_{i*}(\tau)$ に選ぶ。割り付け作業 $O_{k*}(\tau)$ については、 $M_{i*}(\tau)$ 上で処理可能な作業の集合 $O_{i*}(\tau)$ の中から優先度 ϕ_{uk} :

$$\phi_{uk} = \sum_{l=1}^{N^A} w_{ul} a_{kl} \quad (k \in O_{i*}(\tau)) \quad (1)$$

に基づいて決定する。ただし、 N^A は優先度計算のための作業に付随する属性（優先度属性）の数、 w_{ul} は状態（生産システムがとり得る状態（空間 S ）をあらかじめ分割したもの）が S_u である場合の優先度属性 A_l の重み係数を表す。

生産システム全体の状態を表す指標として、仕事の完成率 c^j 、最大完了時間 $C_{\max}$ 、納期余裕時間 D_{sum} を考え、この三つの指標値の直積空間 S により状態空間を定義した。優先度属性としては、作業に付随するものとして A_1 : 処理時間、 A_2 : 処理可能機械台数、 A_3 : 納期余裕時間、 A_4 : 残りの工程数、 A_5 : 段取り替え時間を考えた。

前件部と後件部からなる一般的な構成のルールを用いた方法を考え、前件部において、システムの状態に関する条件、すなわち時刻 τ における状態がどの部分状態 S_u に属するかということを書述する。後件部は、部分状態 S_u に対する重み w_{ul} を並べたものとする。

ルールの適用については、 N_r 個のルールから成る集合 $\{r_1, r_2, \dots, r_{N_r}\}$ が与えられている

場合に、前件部で表される状態と生産システムの状態が比較され、それらが一致するルール（完全に一致するルールが無い場合には、両者が最も近いルール）が適用されるものとする。

2.2 遺伝的機械学習によるルール学習

ルールを自動的に獲得・調整するために遺伝アルゴリズム（Genetic Algorithms: GA）を用いたルール学習方式である遺伝的機械学習（Genetics-based Machine Learning: GBML）を適用するものとした。GBML の適用にあたっては、ルール集合を一個体とみなし、各ルール集合を用いて得られる結果に対する評価値を適応度として GA を適用し、新しい記号列すなわちルール集合を生成する Pitt アプローチの構成を考える（図2）。

このような構成によるルール学習法を、現実的な問題例に対して適用した結果を表1に示す。表には、獲得されたルールによるスケジュールの評価値を、納期余裕が小さい作業を優先するヒューリスティック・ルール（ H_1 ）、汎用スケジューラ（ H_2 ）および、汎用スケジューラの結果をエキスパートにより改良した（ H_3 ）結果と合わせて示す。

表1より提案手法による結果は、 H_3 によるものとほぼ同等であることが分かり、良いスケジュールが得られていると評価できる。

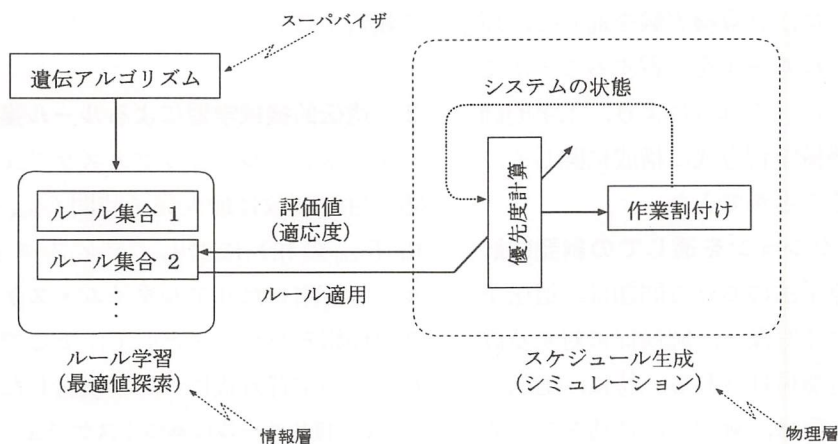


図2 遺伝的機械学習によるルール獲得の枠組み

表1 計算結果

	Objective	C _{max} [min]	T _{sum} [min]
GBML	23415.0	41570	5260
H ₁	32277.5	46250	18305
H ₂	27328.5	45430	9227
H ₃	22339.5	42360	2319

[今後の研究の方向、課題]

本研究の目標・目的である「人間のもつ創造性を最大限に援用する形での柔軟かつ効果的な意思決定支援」に向け、創発システム・シミュレーションに基づく問題解決の枠組み構築、および進化・学習アルゴリズムをベースとした創発的計算論の構成・適用という点においては一定の成果が挙げられたと考えられる。しかしながら、人間との直接的・効果的なインタラクションの場を検討するところまでは、研究を進めることができなかった。本研究の今後の展開として、この点が中心的な課題である。

[成果の発表、論文等]

1) 玉置 久, 諏訪晴彦: オンライン・スケジューリングのためのインタラクティブ情報場の設計, 第46回自動制御連合講演会, CD-Paper (2003)

2) 永吉雅人, 村尾 元, 玉置 久, 北村新三: 状態のフィルタリングを考慮した強化学習方式, 第48回システム制御情報学会研究発表講演会論文集, pp.607-608 (2004)

3) Hisashi Tamaki, Kazutoshi Sakakibara, Hajime Murao and Shinzo Kitamura: Rule Acquisition for Production Scheduling — A Genetics-Based Machine Learning Approach to Flexible Shop Scheduling, Proc. of the SICE Annual Conference 2003, pp.252-257 (2003)

4) 榎原一紀, 玉置 久, 村尾 元, 北村新三: フレキシブルショップ問題への遺伝的機械学習アプローチ—リアルタイム・スケジューリングのためのルール獲得法—, 情報処理学会論文誌: 数理モデル化と応用, Vol.45, No.SIG2, pp.91-98 (2004)

5) 大森清博, 玉置 久, 村尾 元, 北村新三, 前川聡: 性淘汰遺伝的アルゴリズムの並列化, 電気学会論文誌 (電子・情報・システム部門誌), Vol.123, No.11, pp.2020-2027 (2003)

安全で信頼性を有するメカトロニクスシステムに関する研究

Safety and Reliable Mechatronics Systems

1031014

研究代表者

長岡技術科学大学工学部機械系 助教授

滑 川 徹

[研究の目的]

産業製品や生産現場の制御システムは大規模化、複雑化が進み、制御対象に接続される多数の制御デバイスの一部が故障するという事は避けられない。本研究ではロバスト制御からのアプローチにより、安全で信頼性を有するメカトロニクスシステムの制御工学的な構築を目指す。

メカトロニクスシステム安全性・信頼性を具体的に「耐故障性」という観点からアプローチする場合には、以下の2つの要素技術が必要不可欠である。

- ・ 故障発生時のフィードバック制御系の過渡的なロバスト安定性の保証
- ・ 故障検出とフィードバック制御系の再構成

また、これらのアプローチを理論だけではなく、実際のメカトロニクスシステムによって検証することが極めて重要である。

- ・ 実応用を目指した耐故障性検証用メカトロニクス制御実験装置の構築

上記の3つの目的の実現を目指し、本研究で取り組んだ3つの具体的なテーマを以下に掲げる。

1. 過渡応答性能に優れたロバスト補償器の設計に関する研究
2. 耐故障性を有する制御系に関する研究
3. 多変数不安定制御実験システム（鋼板磁気浮上システム）の構築

[研究の内容、成果]

1. 過渡応答性能に優れたロバスト補償器の設計に関する研究

ロバスト制御の中核である $\mathcal{H}_\infty$ 制御問題の枠組みでは制御対象の初期状態はゼロと仮定して理論展開されてきたが、実際に実システムにおいては初期状態は不確かでゼロである保障がない。初期状態が非零である場合にはその影響で過渡応答特性が劣化する場合がある。特に本研究のように過渡的に制御系に故障が生じる場合には、極めて重要な問題である。

これに対して、外乱と初期状態の不確かさの混合減衰 $\mathcal{H}_\infty$ 制御問題は従来の $\mathcal{H}_\infty$ 制御に比べて良好な過渡特性を付加し、制御系に故障が生じた瞬間の安定性・性能を向上させることに役立つと期待される。

本研究では従来の結果から直交条件を外して、外乱と初期状態の不確かさの混合減衰無限時間区間 $\mathcal{H}_\infty$ 制御問題を定式化し、可解条件の必要十分条件を導出した。

制御対象が以下の線形時不変システムで与えられるとする。

$$\begin{aligned} \dot{x} &= Ax + B_1 w + B_2 u, & x(0) &= x_0 \\ z &= C_1 x + D_{12} u \\ y &= C_2 x + D_{21} w \end{aligned} \quad (1)$$

ここで $x \in R^n$ は状態で $x_0 = x(0)$ は初期状態； $u \in R^r$ は制御入力； $y \in R^m$ は観測出力； $z \in R^q$ は被制御量； $w \in R^p$ は外乱、 $A, B_1, B_2, C_1, C_2,$

D_{12} , D_{21} は定数行列であり, x_0 は初期状態の不確かさとして扱うことが出来る。

システム (1) に対して, フィードバック系を内部安定化する許容制御則 $u(t)$ が以下で与えられるものとする。

$$\begin{aligned} u &= J\zeta + Ky \\ \dot{\zeta} &= G\zeta + Hy, \quad \zeta(0) = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

ここで $\zeta(t)$ はコントローラの状態であり, J , K , G , H は定数行列である。与えられたシステムと上記の許容制御則に対して, 以下の制御問題を設定した。

問題 1 $\mathcal{H}_\infty$ DIA 制御問題

与えられた $N > 0$ に対してすべての外乱 $z \in L^2[0, \infty)$ と不確かな初期状態 x_0 に対して被制御量 z が以下を満たすような許容制御則 u を見つけよ。この条件を満たす許容制御則を $\mathcal{H}_\infty$ DIA 制御 (Disturbance and Initial state uncertainty Attenuation control) と呼ぶ。

$$\|z\|_2^2 < \|w\|_2^2 + x_0^T N^{-1} x_0 \quad (3)$$

本研究では, 無限時間区間における外乱と初期状態の不確かさの混合減衰 $\mathcal{H}_\infty$ 制御問題を直交条件を課さない場合について定式化し, その問題に対して可解条件の必要十分条件を導出し, さらに解の構成法の一つを示した。

また得られた外乱と初期状態の不確かさの混合減衰 $\mathcal{H}_\infty$ コントローラを磁気浮上システム・磁気軸受に応用し, 従来の最適制御 (LQ 制御) とステップ目標値応答・外乱応答を比較することにより, 提案法の良いロバスト性能と過渡応答性能を確認した。結果を Fig. 4-7 に示す。ここで縦軸はローターの変位であり, Fig. 4-5 では $t=0[s]$ でステップ状に応答することが目的である。一方 Fig. 6-7 は外乱応答であり, 変位の変化が小さいことがロバスト性能が良好であることを示す。これより, 提案法である $\mathcal{H}_\infty$ DIA 制御の有効性が検証できた。

さらにこの $\mathcal{H}_\infty$ DIA 制御法を構造化特異値 μ

を用いることによりロバスト性能を改善した結果が得られたことを付記する。

2. 耐故障性を有する制御系に関する研究

本研究では一般化内部モデル制御 (GIMC : Generalized Internal Model Control) を用いて耐故障性を有する制御系を設計した。これは故障を検出した際にフリーパラメータ Q を使用する事により, ロバスト安定性とロバスト性能を保証するものである。まず, P_0 を制御対象 P の公称モデル, K_0 を P_0 に対する安定な補償器とし, P_0 と K_0 が以下で与えられるとする。

$$P_0 = \tilde{M}^{-1} \tilde{N}, \quad K_0 = \tilde{V}^{-1} \tilde{U} \quad (4)$$

P_0 に対する全て安定化コントローラ K_0 は $Q \in H_\infty$ を用いて以下で与えられる。

$$K = (\tilde{V} - Q\tilde{N})^{-1}(\tilde{U} + Q\tilde{M}) \quad (5)$$

GIMC コントローラの構造を Fig. 1 に表す。ここで q は予想出力と真の出力の誤差 p をフィルタ Q に入力したものである。 $p=0$, つまりモデル中に故障がない場合には, 制御系は高性能なコントローラ $K_0 = \tilde{V}^{-1} \tilde{U}$ のみによって制御される。一方, センサやアクチュエータの故障のいずれかによって $p \neq 0$ となる場合には, ロバストコントローラ Q が動作して安定化を行う。

本研究では, この制御系設計手法を磁気浮上系に応用し, 制御シミュレーションによりその有効性を検証した。その際にセンサとアクチュエータの故障をそれぞれシステムの加法的な不確かさとして表現し, モデルの摂動として扱った。

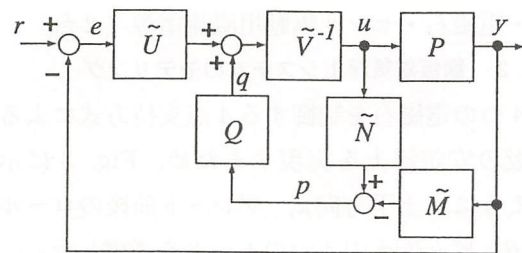


Fig. 1 GIMC 制御構造

3. 多変数不安定制御実験システム（鋼板磁気浮上システム）の構築

製鉄プロセスでの鋼板の搬送方式として、磁気浮上技術による非接触浮上・搬送させる技術が注目されている。鋼板を安定に電磁力により浮上させるには、複数の電磁石による多入出力制御による安定化、モデルの不確かさや外乱に対するロバスト性が必要であり、さらにはセンサやアクチュエータなどの耐故障性が期待される。

本研究では故障検出と制御系の再構成の研究のための多変数不安定制御実験システムとして、鋼板磁気浮上システムを構築した。

3.1 鋼板磁気浮上システムの構成

多出力鋼板磁気浮上システム“Bleuler”のシステム構成を Fig. 2 に示し、構成要素を以下に列挙する。

鋼板磁気浮上システムの構成要素

- ・ フレーム（1 式）
- ・ 電磁石（4 台）
- ・ 非接触光反射型変位センサ

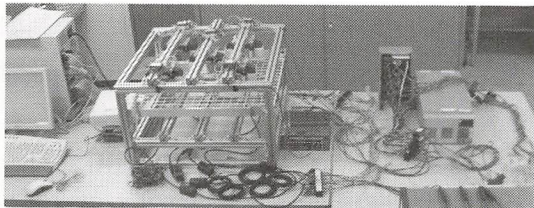


Fig. 2 多変数不安定制御実験システム

(OMRON ZX-LD 40 L: 4 台)

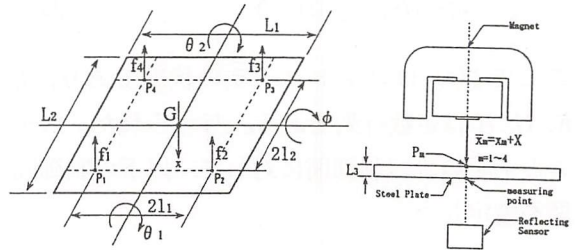
- ・ アンプ (Copley JSP-090-10: 4 個)
- ・ ホストコンピュータ（1 台）
- ・ 実時間高速デジタル信号処理装置 (dSPACE DS 1104: 1 台)
- ・ 電磁石・センサ駆動用直流電源（2 台）

3.2 鋼板磁気浮上システムのモデリング

4 つの電磁石を制御する 4 点支持方式による鋼板の安定浮上を実現するため、Fig. 3 に示すように、上下方向 x 、プレート前後のロール θ_1, θ_2 、ピッチ ϕ の 4 つのモードを考慮した。

制御系設計とシミュレーションのため、シス

テムの数学モデルを導出した。シミュレーション用に複雑な非線形モデルを、制御系設計用にシステムの動作点近傍で線形化した線形近似モデル（状態方程式）を導出した。またシステム同定により制御対象の各モデルパラメータを決定した。



G	重心
$P_1 \sim P_4$	電磁石 1～4 による作用点
$f_1 \sim f_4$	作用点 ($P_1 \sim P_4$) に働く電磁力
L_1	横（電磁石 1～2）方向の鋼板長
L_2	縦（電磁石 1～4）方向の鋼板長
L_3	鋼板の厚さ
l_1	作用点と重心との横方向の距離
l_2	作用点と重心との縦方向の距離
$\bar{x}_m$	各電磁石と鋼板とのギャップ長
x_m	ギャップ長の変化分
X	定常ギャップ長

Fig. 3 4 点支持式鋼板磁気浮上システム

3.3 鋼板磁気浮上システムの H_∞ DIA 制御

導出したモデルを使用して、外乱とモデル化誤差を減衰させる H_∞ DIA コントローラを設計し、シミュレーションにより良好な過渡応答特性を検証した。

【今後の研究の方向、課題】

本研究目的の 1 については理論的にも制御実験的にも有効性が確認されているが、2 については制御実験による検証が必要である。今後、3 で作成した多変数不安定制御実験システムに 2 の制御系設計手法を応用し制御実験的に提案法について検討を行う。現状では、最終目標である「安全で信頼性を有するメカトロニクスシステム」の実現にはまた至っていないが、1～3 の各項目を発展・融合させることにより目標にアプローチする予定である。

また 1～2 の研究と関連の深い研究として、より複雑なメカトロニクスシステムに対する故

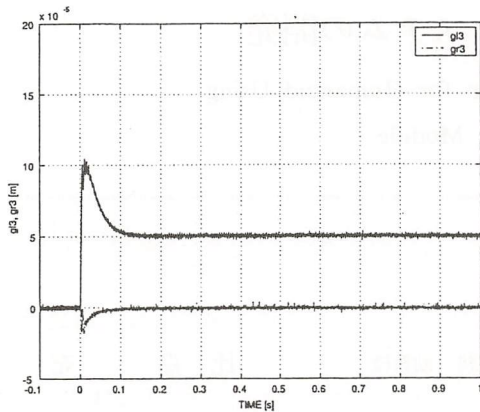
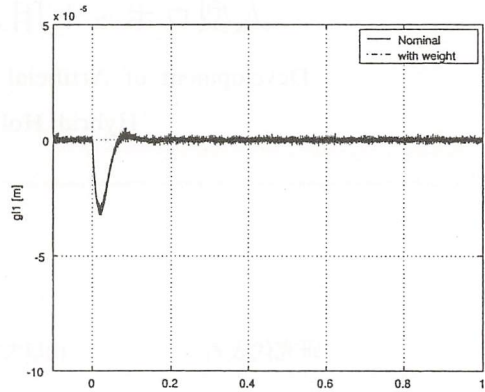
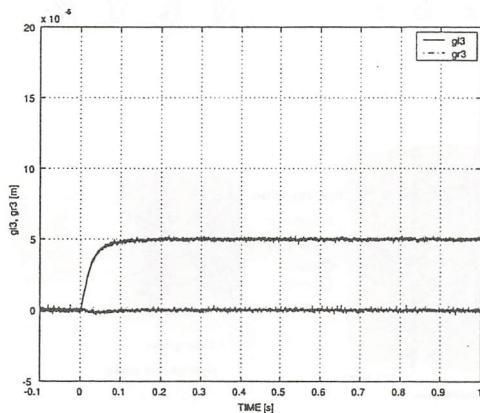
Fig. 4 $\mathcal{H}_\infty$ DIA コントローラのステップ応答Fig. 6 $\mathcal{H}_\infty$ DIA コントローラの外乱応答

Fig. 5 LQ コントローラのステップ応答

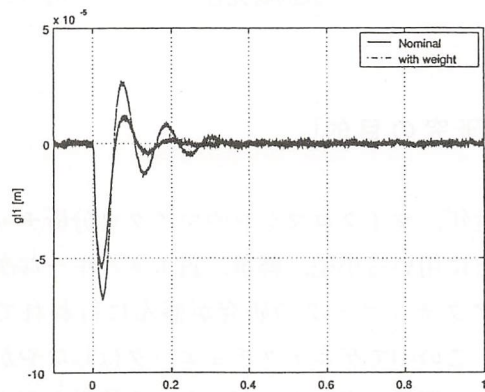


Fig. 7 LQ コントローラの外乱応答

障検出機構を構造化特異値 μ を用いて構築する予定である。

[成果の発表, 論文等]

- 1) T. Namerikawa, M. Fujita, R. S. Smith and K. Uchida: On the $\mathcal{H}_\infty$ Control System Design Attenuating Initial State Uncertainties, Trans. of the Society of Instrument and Control Engineers, Vol. 40, No. 3, pp. 307–314 (2004)
- 2) T. Namerikawa and M. Fujita: $\mathcal{H}_\infty$ Control System Design of the Magnetic Suspension System Considering Initial State Uncertainties, IEEJ Trans. EIS, Vol. 123, No. 6, pp. 1094–1100 (2003)
- 3) T. Namerikawa and W. Shinozuka: $\mathcal{H}_\infty$ Control of the Magnetic Bearing Considering Initial

State Uncertainties, Proc. of The 8th Int. Workshop on Advanced Motion Control, pp. 275–280, Kawasaki, Japan, Mar. 25–27 2004.

- 4) T. Namerikawa and H. Seto: $\mathcal{H}_\infty/\mu$ DIA Control of the Magnetic Suspension System, Proc. of The 8th Int. Workshop on Advanced Motion Control, pp. 281–286, Kawasaki, Japan, Mar. 25–27 2004.
- 5) T. Namerikawa and M. Fujita: $\mathcal{H}_\infty$ DIA Control of Magnetic Suspension Systems, Proc. of the 2004 IEEE Conf. on Control Applications, Taipei, Taiwan, Sep. 2004. (in press)
- 6) H. Seto and T. Namerikawa: Robust Performance and Transient Response of the $\mathcal{H}_\infty/\mu$ DIA Control for Magnetic Suspension Systems, Proc. of the 2004 IEEE Conf. on Control Applications, Taipei, Taiwan, Sep. 2004. (in press)

ハイブリット中空糸ゲルモジュールを用いた 人型ロボット用人工筋肉システムの開発

Development of Artificial Muscle System for Humanoid Using
Hybrid Hollow Fiber Gel Module

1031017

研究代表者	山口大学大学院医学研究科 助教授	比 嘉 充
共同研究者	山 口 大 学 工 学 部 教 授	松 崎 浩 司
共同研究者	山 口 大 学 工 学 部 助 手	遠 藤 宣 隆

〔研究の目的〕

近年、マイクロマシンやマイクロ分析チップなどに用いる小型、軽量、省エネルギーな次世代アクチュエータの研究が盛んに行われている。この中でゲルアクチュエータはしなやかであり、軽量、省エネルギーという特徴を有するため、次世代アクチュエータ用材料として期待されている。これまで溶媒組成、電場、光、温度などにより駆動するゲルアクチュエータの研究が行われているが、その中でも温度駆動型ゲルアクチュエータは長さ変化率が大いことから最も有望であると考えられる。これまで、多くの温度応答性ゲルが報告されているが、高速応答性ゲルにおいても、収縮過程が20分、膨潤過程は約24時間以上も必要とされてきた。またその機械的強度が低いため、アクチュエータへの応用は困難であった。そこで本研究で、結晶性高分子であるポリビニルアルコール (PVA) 存在下で温度応答性を有する *N*-isopropylacrylamide (NIPAAm) を重合することでは、図1に示すような高い機械的強度と速い応答性を有する温度応答性ゲル (PVA-PNIPAAm ゲル) を作製する。またそのゲルを用いたアクチュエータシステムの開発を行う。

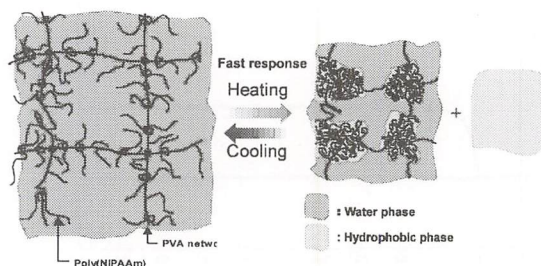


Fig. 1 Schematic diagram of swelling and shrinking behavior of a temperature-responsive gel.

〔研究の内容、成果〕

1. 温度応答性ゲル膜の作製

PVA のジメチルスルホキシド (DMSO) 溶液中で NIPAAm をラジカル重合して温度応答性ポリマーを合成した。そのポリマーを DMSO に溶かし、キャスト、乾燥することでフィルムを得た。このフィルムを減圧乾燥機により 160℃, 20 分間、熱処理し、イオン交換水に浸漬することでゲル膜とした。また繊維状ゲルは重合したポリマーを DMSO に溶解し、シリンジを用いてこのポリマー溶液をメタノール溶液中に押し出して、凝固させることで繊維状に沈殿させ、室温で乾燥することにより作製した。その後、10本の繊維状ゲルの両端を PVA 膜で固定して測定用モジュールとした。このゲルモジュールを 160℃, 20 min 熱処理して、

25℃ のイオン交換水に一晩浸漬させた。このゲル膜、及びゲルモジュールの写真を図 2 に示す。

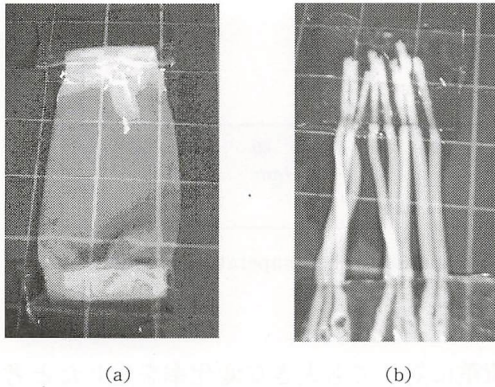


Fig. 2 Photograph of (a) a gel membrane and (b) a gel module prepared from PVA-PNIPAAm polymer.

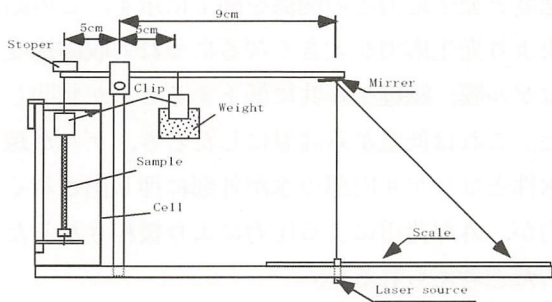


Fig. 3 Apparatus for swelling/deswelling behavior measurement of the gels.

2. 含水率の測定

膨潤時および収縮時の含水率 (H) は乾燥重量と 20℃ または 40℃ に浸漬させた後の湿潤重量から算出した。

3. 機械的強度の測定

ゲルの強度はゲルの一端を固定し、他端を一定速度 (10 mm/min) で引っ張り試験を行い、応力-歪曲線から、最大破断強度、ヤング率を求めた。

4. 膨潤収縮挙動の測定

ゲルの膨潤収縮は図 3 に示す測定システムを用いて測定した。試料ゲルに所定の荷重をかけ

た状態でゲルをイオン交換水に浸漬させ、このイオン交換水の温度を 15℃ から 50℃、または 50℃ から 15℃ に変化させたときのゲル長さの時間変化をレーザー距離計により測定した。

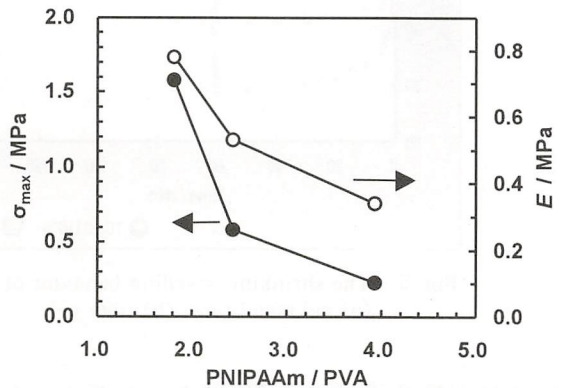


Fig. 4 Tensile strength as a function of PNIPAAm / PVA ratio in the gels.

●: Maximum tensile strength, $\sigma_{\max}$ and ○: Young's modulus, E .

5. ゲルの機械的強度とポリマー組成との関係

ゲルの機械的強度を検討するために、最大破断強度 ($\sigma_{\max}$)、ヤング率 (E) とゲルを構成する PNIPAAm / PVA 比と関係を図 4 に示す。最大破断強度、ヤング率共に PNIPAAm / PVA 比が大きくなるに従い低下した。これはゲル内の PVA 含有量の減少に従い、熱処理により形成される PVA の物理的架橋が減少し、ゲルの弾性率が減少しているためであると考えられる。しかし、PNIPAAm / PVA が 1.8 のゲルにおいては最大破断強度 1.58 MPa と高い強度を示した。

6. 荷重下におけるゲルの膨潤収縮挙動

荷重下におけるゲルの膨潤収縮挙動を検討するために、種々の荷重下におけるゲルの膨潤収縮挙動を測定し、その結果の一例を図 5 に示す。図 5 (a) がゲル膜、図 5 (b) がゲル繊維モジュールの結果である。2つのゲルは共に温度を 15℃ から 50℃ にすると、PVA / PNIPAAm ポリマーの NIPAAm セグメントが親水性から疎水性となり、ゲル内の水がゲル外部に吐き出されるために急激に収縮した。一方 50℃ から

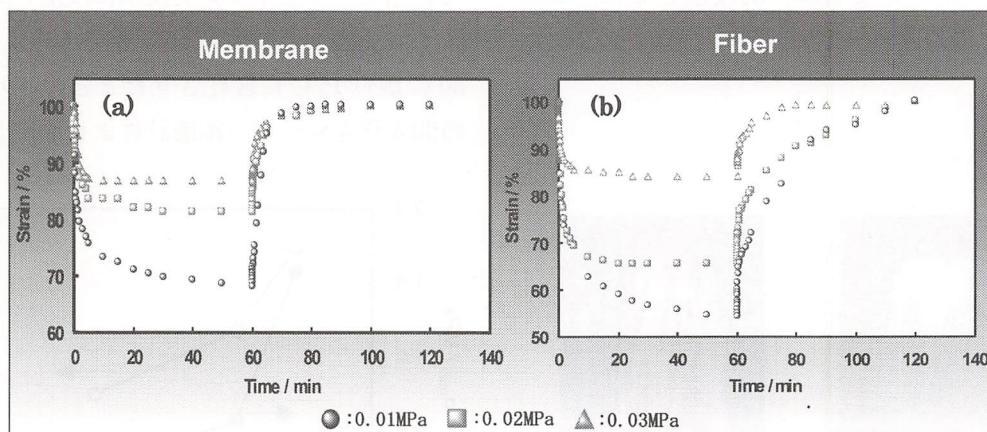


Fig. 5 The shrinking/swelling behavior of the gels in response to the temperature change. (a) gel membrane, (b) fiber gel

15℃ に温度を下げると NIPAAm セグメントが再び親水性となるために急激に膨潤した。この膨潤・収縮挙動における最大変位と発生応力との関係を図 6 に示す。ゲル膜、繊維ゲル共に発生応力が増加すると最大変位は低下した。また 0.01 MPa の応力下においてはゲル膜の最大変位が 32%，繊維ゲルが 45% の値を示し、繊維ゲルがゲル膜よりも高い最大変位を示した。これらの値は今までのゲルアクチュエータと比較して非常に高い値を示している。また、ここではデータを示していないが PVA 含有量が多くなるに従い、発生応力が増加しても最大変位の減少が少なくなった。これは、PVA 含有量が多いほど、ゲルの弾性率が向上し、より大き

な荷重に対しても大きな変化率を生じたと考えられる。

次に収縮過程と膨潤過程の初期 1 分間の平均速度と発生応力との関係を図 7 に示す。この結果より発生応力が大きくなるにつれて収縮速度はゲル膜、繊維ゲル共に低下することが判明した。これは低温から高温にしたとき、ゲルが疎水性となりゲル内部の水が外部に押し出される力が、外部荷重による圧力により緩和されるためだと考えられる。

一方膨潤過程においては発生応力が高いほど、その速度は大きくなった。これは高温から低温にすることで PNIPAAm 鎖が急激に親水性に変化し、ゲルが膨潤する際に、外部荷重が高分

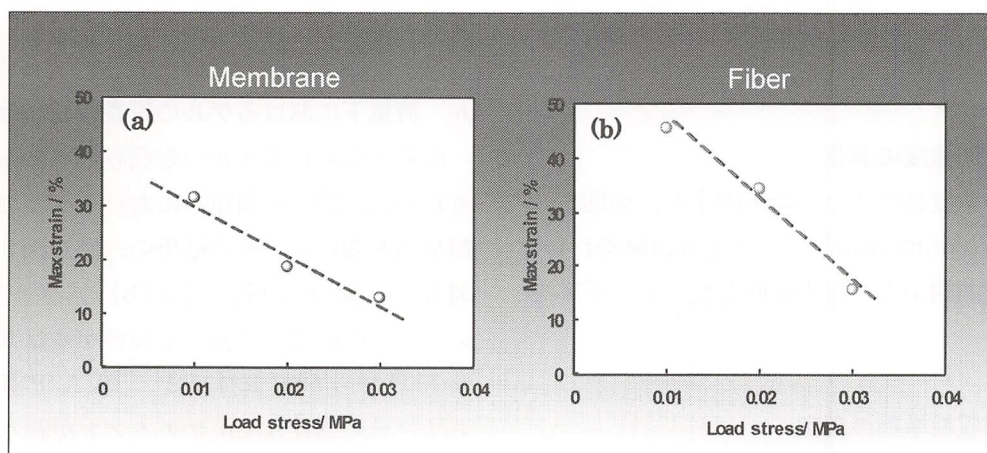


Fig. 6 The relationship between the length change of the gels between at 15℃ and at 50℃ and load stress. (a) gel membrane, (b) fiber gel

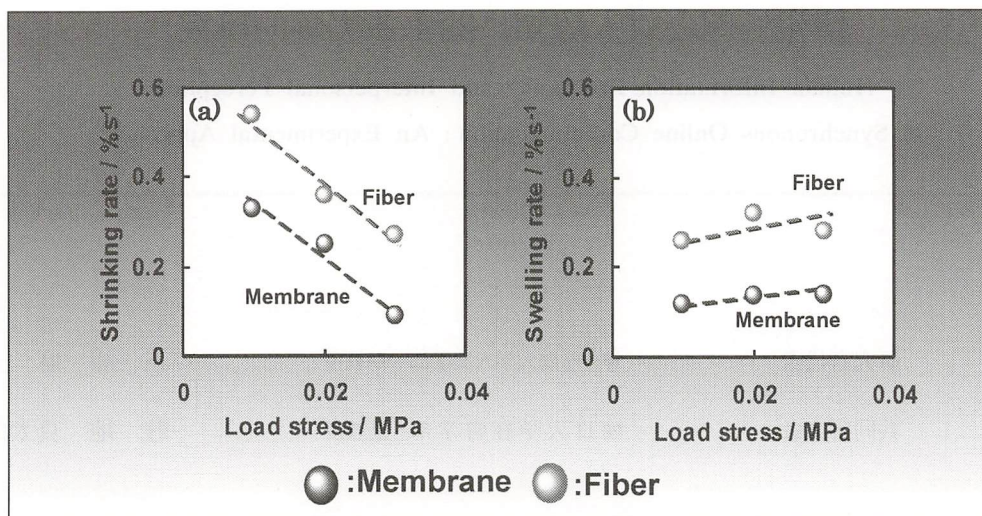


Fig. 7 The rate in the shrinking/swelling process of the gels as a function of load stress.
(a) in shrinking, (b) in swelling

子網目を伸ばす方向に作用するためであると考えられる。

[今後の研究の方向, 課題]

今回作製したゲルモジュールは温度変化により最大 45% の変位を行い, また発生応力も最大 0.1 MPa を示した。また 1 分間の平均速度は最大 0.6%/s であるが, 初期速度は 10%/s 以上という高い値を示した。これらの結果より, より数多くのゲルモジュールを束にして, 導電性高分子や, カーボンブラックを有する心材を用いたハイブリッド化することにより, より高速なゲルゲルアクチュエータの構築が期待される。

[成果の発表, 論文等]

- 1) 松岡 歩, 比嘉 充: 高速な温度応答性荷電ゲルの作製条件と膨潤・収縮挙動との関係, Polymer

Preprints, Japan, Vol. 52, No. 4, p. 780 (2003)

- 2) 黒瀬陽平, 松岡 歩, 羽手村建太郎, 比嘉 充: 温度応答性ポリマーを用いた人工筋肉ゲルの構造と膨潤収縮特性との関係, Polymer Preprints, Japan, Vol. 52, No. 12, p. 3611 (2003)
- 3) 羽手村建太郎, 黒瀬陽平, 比嘉 充: 高分子ゲルアクチュエータの作製時における架橋条件と膨潤収縮との関係, 第 18 回中国四国高分子若手研究会講演要旨集, p. 64 (2003)
- 4) 黒瀬陽平, 橋口朋実, 松岡 歩, 比嘉 充: 温度応答型ポリマーアクチュエータの作製と特性評価, 繊維学会予稿集, Vol. 58, No. 2, p. 58 (2003)
- 5) Tomomi Hashiguchi, Ayumu Matsuoka, Youhei Kurose and Mitsuru Higa: Design and Preparation of Temperature Responsive Gels for Polymer Actuators, Trans. Mat. Res. Soc. J., Vol. 28, No. 3, pp. 821–824 (2003)
- 6) Youhei Kurose, Ayumu Matsuoka, Tomomi Hashiguchi and Mitsuru Higa: Preparation and Characterization of Temperature-responsive Gel Actuators by in situ Polymerization of *N*-isopropylacrylamide and Poly (vinyl alcohol), Trans. Mat. Res. Soc. J., (2004). (in press)

同期的オンラインコミュニケーションにおける 情報処理と対人認知に関する実験的研究

Human Information Processing and Interpersonal Perception
in Synchronous Online Communication : An Experimental Approach

1031018

研究者代表

神戸学院大学人文学部 助教授

三 浦 麻 子

共同研究者

朝日大学経営学部 助教授

畦 地 真太郎

〔研究の目的〕

本研究の目的は、同期的オンラインコミュニケーションの主要形態であるチャット場面における人間の情報処理と対人認知について、認知社会心理学的な側面から実証的に解明することである。具体的には、文字ベースのチャット・コミュニケーションにおいて、ユーザがチャット相手の属性をどのような感性情報を用いて推論しているのかについて、自動的特性推論(STI)理論の観点から分析する。特に、本助成研究においては、この目的を実現するために、1) チャットによるコミュニケーションをおこなう際の対人認知において重視される個人特性を特定し、2) チャット場面においてユーザの特性推論がどのようにおこなわれるかを実験的に検証可能なチャットシステムを作成することを試みた。

チャット・コミュニケーション

電子コミュニティを形成するコミュニケーション・メディアには、さまざまなものがあるが、本研究で注目するチャットは、参加者同士がネットワーク上でリアルタイムに会話をおこなうシステムである。インターネットに接続できる環境があれば、複数の参加者が同時に会話することが可能であり、また1人の発言は参加者全員にモニターされる。つまり、同期的であ

り、なおかつ匿名性を保持しうる環境でおこなわれるオンラインコミュニケーションであると定義することができる。同期的である点で非同期的な電子会議室(BBS)やフォーラムとは異なり、ほぼ完全な匿名性を保持しうる点でメーリングリスト(ML)とは異なっている。また、対面コミュニケーションと比較すると、同期的である点が共通しており(これは電話会話とも共通している)、相手への伝達手段が文字をタイプすることに限られる点が異なっている。

三浦・篠原(2002)は、商用サービスのチャット場面の観察研究において、チャットによるコミュニケーションは、多くの人が同期的に参加しているような状況であっても、複数の話題が同時に進行している場合が多いことを明らかにしている。また、それぞれの話題は、ある程度の重なりと独立性を同時に保ちながら進行している「話題の輻輳」状況が生じることがチャットの特徴であるとしている。対面コミュニケーション場面では関心のない話題は「聞かない」ことが普通だが、チャット場面ではすべての会話が全参加者に同じように、かつ同期的にさらされる。このことがコミュニケーション状況にもたらす影響は、チャットを特徴づけるコミュニケーション特性の一つである。

「chat」は、「世間話、おしゃべり」という意味をあらわす英語である。コミュニケーション

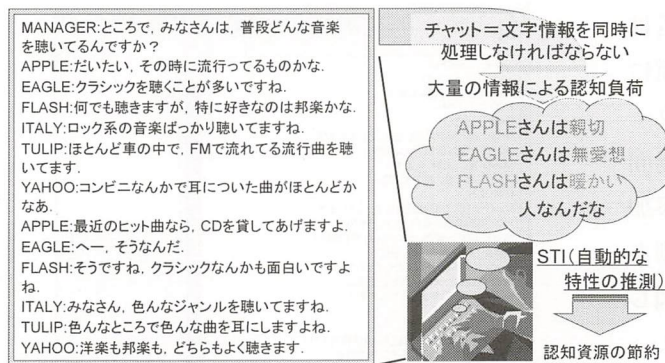


図1 チャット場面における対人認知へのSTI理論の適用

ンの質的な意味を考慮するならば、インターネット上のコミュニケーション・メディアの中でも、(本来は)特定のテーマに関して議論を戦わせるといった色彩の濃い会議室(BBS)やフォーラムと比較すると、よりカジュアルで、その内容よりも「会話」する行為そのものを楽しむ場として位置づけることができる。チャットでは、実社会では一度も対面したことのない、あるいは対面する可能性すらほとんどない人々がバーチャルな空間でのみおしゃべりを楽しむという場面が頻繁に展開される。では、先に挙げたチャットのコミュニケーション特性を考えた場合、チャット場面では、コミュニケーション主体はどのようにして相手の人となりや推測し、会話を円滑に進める手がかりとしているのだろうか。

自動的な特性の推測

Spontaneous Trait Inference (STI; 自動的な特性の推測)とは、人間の社会的な情報処理メカニズムの一つであり、主に Uleman らが中心となって研究されている、(Uleman et al., 1996)。日常生活において、人間が他者の行動に関する情報を見聞きしたときに、その行動を本人が意図することなく、自動的に特性語に変換して記憶するというモデルである。例えば、人が「Aさんは、ダンスの間中、相手の足を踏んでばかりいた」という分が提示された場合、人は分の内容を記憶すると同時に、Aさんについて「ドジである」という特性を無意図的に推測し、同時に記憶する。これによって、

その人がAさんの行動や文を忘れてしまっても、特性語「ドジである」を提示されることによって、容易に再生することが可能となる。

人が持つこのような社会的認知のメカニズムは、人が本質的に「認知的儉約家 (Cognitive Miser)」(Fisk et al., 1991)であるという考え方に基いている。人の認知能力には限界があるために、人は可能な限り少ない労力

で、外界の情報を把握しようとする。そのために、より多くの労力(認知資源)を必要とする、他者の行動をそのまま記憶する方法ではなく、特性語へ変換し、情報を圧縮して記憶しているのだと考えられる。STIは、認知負荷が高い、すなわち多くの情報が一気に押し寄せるような状況でも、一貫しておこなわれる傾向にあることが知られている。他者の行動から意図を推測したり、その原因を状況要因に求めるメカニズムに比べ、STIはより認知資源を節約する便法になっていると考えられる。

以上のことから、チャット場面のように、多くの社会的情報が一度に、しかも複数人のものが同時進行で得られる場面においては、人は社会的情報処理に特にSTIを利用し、認知資源の節約を図っているのではないかと考えられる。特に、人がSTIをどの程度利用するかについては個人差があることが知られており(Uleman et al., 1986)、この差異がチャット場面における人の情報処理能力とスキルの差に、大きな影響を与えているという可能性が考えられる。チャット場面における対人認知にSTI理論を適用したモデル図を図1に示す。

[研究の内容、成果]

システムの構築

まず、チャット・コミュニケーションにおいて、コミュニケーション主体がどのように相手の特性を推測しているかを検証する実験をおこ

なうためのシステムを構築した。実験参加者は、実験室に設置された PC とディスプレイの前に着席して、チャット・アプリケーションのウィンドウ内に呈示されるコミュニケーション場面を注視することが求められる。なお、実験参加者がチャット参加者の発言と、そこから推測される個人特性への注目度を高めることを意図して、表示される発言を一定時間注視した後に、そのチャット・コミュニケーションに参加してもらう旨を教示する。コミュニケーション場面の注視が終了した後、実験参加者は手がかりつき再生課題と印象評定をおこなう。特性語に関連する発言がどの程度再生されているかと、対象人物にどのような印象を抱いているかの関連を検討することで、特性推測の際にどの程度 STI がおこなわれており、またそれが対人印象にもたらす影響を検証することができる。

チャット・コミュニケーション場面を呈示するアプリケーションは、Visual Basic によって独自のものを作成した。画面例は図 2 に示しておりであり、発話内容が表示されるメインウィンドウ（左）と、参加者一覧が表示されるサブウィンドウ（右）、そして下部の入力ウィンドウから成る。実験者と実験参加者の 2 台以上の PC で同じプログラムを起動させ、適切な設定をおこなうことで、前者がチャットのサーバ、後者がクライアントとして機能する。サーバでは、テキスト形式により作成される発言内容ファイル、およびそれらの発言の表示間隔を msec 単位で指定することが可能である。加えて、より自然なチャット場面を再現するため、発言は前記で指定した表示間隔を基準とした ± 5 sec のランダムな間隔で表示されるようにした。

刺激材料の作成

次に、実験参加者に呈示する刺激材料となるチャット・コミュニケーション内容を作成した。まず、対人相互作用を円滑におこなう上で重視されやすい特性語の抽出をおこなった。

まず、Gough & Heilbrun (1973) にもとづいて、特性語の候補となる 24 個の特性形容詞

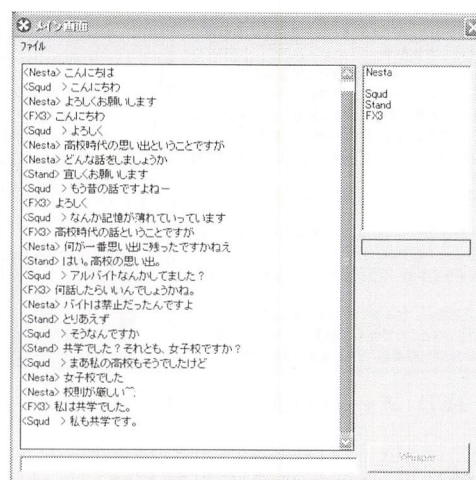


図 2 チャット場面を呈示するアプリケーションの画面例

（陽気な、無愛想な、おだやかな、内気な、など）を用意した。その際、一般的にポジティブとされる特性とネガティブとされる特性が同数となるよう配慮した。これらの特性形容詞をランダムな順序に並べ替えた質問紙を作成し、各特性の「あるグループに新しく入る際に、そのグループの他のメンバーが持っている程度」を 5 段階リッカート法により評定させた。回答者は 18 歳～23 歳（平均年齢 19.54 歳；男性 35 名、女性 43 名）の学生 78 名であり、2 つの私立大学で別々にデータが収集された。

重視されやすい特性語の算出は次のような手続きでおこなった。まず、各特性形容詞について男女別に平均値と SD を算出し、有意差のあるものを除外した。加えて、中央値から ± 1 SD 以内の範囲を S とし、「標準偏差が全データ標準偏差の半分以下の項目」と「平均値が S の範囲から外れている項目」をピックアップした。これらの形容詞は、望ましい／望ましくないという反応が極端で、しかも被験者ごとの反応差が小さい（誰もが望ましい（望ましくない）と回答している）とみなすことができるため、除外することとした。これらを基準として、「陽気な」「冷たい」「親切な」「親しみにくい」「親しみやすい」「あたたかい」「無愛想な」「暗い」の 8 つの特性形容詞を選定した。

次に、研究者が合議の上で、予備調査でピックアップされた特性形容詞を想起することがで

きるような刺激材料（チャットにおける参加者の発言内容）を作成した。その後、心理学の専門的な教育を受けた独立した評定者により、刺激文によって想定された特性語が推測されうることを確認した。完成した刺激材料を表1に示す。

表1 刺激材料（カッコ内は当該発言が示す特性形容詞）

それではよろしくお願ひします。 こんにちは。 どうも～。 こんにちははー。 よろしく～。 よろしくお願ひします。 どもー。
ところで、みなさんは、普段どんな音楽を聴いてるんですか？ だいたい、その時に流行ってるものかな。 クラシックを聴くことが多いですね。 何でも聴きますが、特に好きなのは邦楽かな。 ロック系の音楽ばかり聴いてますね。 ほとんど車の中で、FMで流れてる流行曲を聴いてます。 コンビニなんかで耳についた曲がほとんどかなあ。
最近のヒット曲なら、CDを貸してあげますよ。（親切） へー、そうなんだ。（無愛想） そうですね、クラシックなんかも面白いですよね。（暖かい） みなさん、色んなジャンルを聴いてますね。 色んなところで色んな曲を耳にしますよね。 洋楽も邦楽も、どちらもよく聴きます。
そういう音楽って、どんな時によく聴くんでしょうか？ 暇なときにボーッと聴くことが多いですね。 仕事しながらヘッドホンで聴いてることが多いです。 だいたいににかしながらですね。 仕事しながらはマズいんじゃないですか。（冷たい） へー、みなさん、色んな時に音楽を聴いてるんですね（^^）。（陽気な） でも結局、音楽なんて何の役にも立ちませんよね。（暗い）
SONYが最近、音質のいいヘッドホンを出しましたね（親切） ふーん、そう。（無愛想） ああ、私も仕事しながらヘッドホンというのが多いです。（暖かい） ヘッドホンがあれば、いつでもどこでも聴けますね。 人がいるところでは、どうしても音量が気になりますね。 スピーカーで聴く方が、開放感があるような気がします。
では、あなたにとって音楽とはいったい何ですか？ 常に身近にある存在、かなあ。 なくてはならないものだと思います。 あると楽しいけど、なければいけないかもかわないかな。 そんなこと話してなんになるんですか？（冷たい） 楽しい気分の時は楽しい音楽がいいですね（^^）。（陽気な） 落ち込んだときに、もっと落ち込むために聴いてます。（暗い）
音楽のない生活って、ちょっと想像できない。 自分の時間の一部分を占めてるのが音楽です。 まあ、音楽がないよりある方がいいかな。 今日は、勉強になりました。 音楽っていいものですね。 なるほど、色んな意見があるんですね。

[今後の研究の方向、課題]

本助成研究によって構築されたシステムと刺激材料を用いて、同期的オンラインコミュニケーションの一形態であるテキストチャットにおいて、ユーザがチャット相手の属性をどのような感性情報を用いて推論しているのかを自動的特性推論理論の観点から検討するため、実験

室実験をおこなう。現在は、第1実験として、被験者がチャットへ参入することを前提とした、チャット画面の印象評定や主観的認知を測定する評定実験の準備中である。動画として呈示されるチャット画面の表示間隔（間）を様々に統制し、効果を測定する。事後のチャット内容に関する手がかりつき再生検査によって、STIの生起を確認し、他者の属性推測についての個人差を算出する。第1実験の結果をふまえた第2実験では、数パタンの表示間隔（間）を持つチャットに被験者を実際に参入させる実験を行う。実験1と同様の測定を行い、STIとチャットスキルの関連を検討する予定である。

本研究の成果は、心理学研究としての意義だけでなく、情報学への積極的な貢献、すなわち従来のCMCツールのシステム・インタフェース設計の際に看過されがちであった、ユーザの行動に関する実証的な知見を提供することが期待できる。

チャット場面では、コミュニケーションを行う相手が見えず、感性情報が相互に伝達されにくい。このことは、円滑な情報処理を妨げたり、新規参入を阻害したりする。この点について、実際にチャット・コミュニケーションにおいて人間がどのような情報処理を行い、それらを理解しているかに関する認知社会心理学的な実証的知見を提供することで、システム構築に有意義な指針を与えることができる。例えば、テキストマイニング技術を用いたチャットログからのユーザに関する特性語の抽出・呈示は、人工知能領域にとってチャレンジングなテーマであると同時に、その実現によってユーザの情報処理は容易になり、コミュニケーションの円滑化が期待できる。

[成果の発表、論文等]

本助成研究の成果については、今後実施する実験の結果を合わせて、関連する心理学・情報学関連の国際会議や国内学会大会での発表、あるいは論文投稿によって成果を発表する予定である。

国際交流報告の抄録一覧

(平成 15 年度)

〔派遣〕

- ◆ コンピュータシステムにおけるヒューマンファクタに関する国際会議 (1032001) 90
北 村 喜 文 大阪大学大学院 情報科学研究科 助教授
- ◆ 第 40 回 IEEE 国際応用磁気会議 (1032002) 90
黄 獻 鋒 東京大学大学院 医学系研究科 客員研究員
- ◆ ヒト脳機能マッピング国際会議 (1032003) 91
小 橋 昌 司 姫路工業大学大学院 工学研究科 助手
- ◆ 米国材料学会 2003 年度春期会議 (1032004) 91
不動寺 浩 物質・材料研究機構 主任研究員
- ◆ 2003 年知能ロボットとシステムに関する国際会議 (1032102) 92
中 内 靖 筑波大学 機能工学系 助教授
- ◆ 2003 年知能ロボットとシステムに関する国際会議 (1032103) 92
能 見 公 博 香川大学 工学部 助教授
- ◆ 国際ワークショップ MoMuC 2003 第 8 回大会・第 3 回 mCASET 国際会議 (1032104) 93
針 尾 大 嗣 早稲田大学 国際情報通信研究科 博士課程

〔招 聘〕

- ◆ IEEE EBES Asian-Pacific Conference on Biomedical Engineering 2003 (1033101) 94
千 原 國 宏 IEEE EBES Asian-Pacific Conference on
Biomedical Engineering 2003 副大会長
(奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科長)

〔派遣〕

派遣研究者	大阪大学大学院 情報科学研究科 助教授 北村 喜文	1032001
研究集会名	コンピュータシステムにおけるヒューマンファクタに関する国際会議 (Conference on Human Factors in Computing Systems)	
出張期間	平成 15 年 4 月 2 日～12 日	
開催場所	アメリカ・フロリダ	
発表論文	人が新しい道具を使用する際に脳の中で起きていること (Things Happening in the Brain while Humans Learn to Use New Tools)	

概要：
本会議は、コンピュータ・ヒューマン・インタラクションの分野では最も権威がある会議で、論文発表だけでなく、デモンストレーション、パネル、チュートリアルなど多岐にわたるプログラムで構成されている。会議には、計算機科学の研究者だけでなく、認知・心理学・社会学の分野の研究者やプログラム技術者、デザイナーなど幅広いバックグラウンドの人が世界中から集まる。今年は 36 カ国、1652 名の参加だった。論文は、私の分を含めて 75 件で採択率は 16% であった。この他に 100 件を超えるポスター、300 件を超える Short Talks などがあり、これらを含めた全投稿数は 1000 以上を超えていた。私の発表内容は、人が新しい道具を与えられたとき、最初は使いにくい徐々に慣れて使えるようになってくるという学習の過程について、従来のヒューマンインタフェース評価の手法と、脳機能計測装置を用いた脳活動の観察結果とを比較し議論したもので、ヒューマンインタフェースを研究と脳科学の研究分野をつなぐ先駆的な研究として評価された。この会議に先立ち、カナダのトロント大学を訪問。Paul Milgram 教授らと、ヒューマン・コンピュータ・インタラクション全般に関して意見交換をするとともに、特に今回発表のヒューマンインタフェースの認知的な評価法に関して、今後の研究の打ち合わせを行った。他にも、ヨーク大学・Stuerzlinger Wolfgang 教授を訪問し、意見交換を行った。いずれの大学でも講演会を聞くと同時に、私の研究内容を紹介した。

派遣研究者	東京大学大学院 医学系研究科 客員研究員 黄 獻鋒	1032002
研究集会名	第 40 回 IEEE 国際応用磁気会議 (INTERMAG 2003)	
出張期間	平成 15 年 3 月 23 日～4 月 8 日	
開催場所	アメリカ・ボストン市	
発表論文	パターン認識に関連する視覚誘発脳磁界の計測 (Measurement of Visually evoked Magnetic Fields Associated with Pattern Recognition)	

概要：
本会議は、磁気関連最大の国際機関である IEEE 磁気国際委員会が、1 年毎にその活動の集大成として開催する最大規模の定期大会である。同大会では主に、磁性関連研究を始め、磁化動力、磁気抵抗、形状記憶効果、ナノ粒子、生体磁気などの科学技術を振興すること、それに関心のある機関や研究者が国際レベルで交流を行う場を提供することを目的としている。またこの大会は、各加入国の持ち回りで開催されており、参加者は約 1200 名が見込まれ、日本における磁気関連研究の発展に大きく寄与することが期待されている。
4 月 3 日、私は今年度増設された磁気と生物医学と結合するセッション（Biomagnetism）において、口頭発表を行った。研究成果を交えて熱烈的な議論を引き起こした。また、他の発表においても、外国の専門家と議論し、非常に大きい利益を受け、たくさんの貴重な情報を獲得した。
今回の派遣では、会議に参加するだけでなく、米国国立衛生研究所・国立眼研究所の彦坂興秀博士の研究室を訪問して大脳基底核を中心に、高次脳機能に関する最もホットなテーマを見学し、アドバイスをいただいた。また、会議終了後には、ハーバード大学医学部・孫艶萍博士、同 MIT 合同医療化学技術部・林發暄博士、コロンビア大学医学部放射線科 MR センター・Ed X. Wu 教授の研究室を訪問、関連施設を見学。全般的な活動においても、内容の濃い非常に充実したものとなった。

派遣研究者	姫路工業大学大学院 工学研究科 助手 小橋 昌司	1032003
研究集会名	ヒト脳機能マッピング国際会議 (Human Brain Mapping 2003)	
出張期間	平成 15 年 6 月 16 日～ 23 日	
開催場所	アメリカ・ニューヨーク	
発表論文	ER-fMRI に対するヘモダイナミック解析法 (HAW 法) の性能評価と SPM 99 との比較 (Evaluation of ER-fMRI Analyzing method based on Wavelet and comparison with SPM)	

概 要：

本会議は、脳画像解析で最も使われているソフトウェア (SPM) の開発者である Friston をはじめ、脳機能に関する研究者が、医学、工学を問わず一斉に参加する脳機能における最も権威ある国際会議である。本会議はポスター発表が主で、その内容は画像解析、言語、行動、感情など、様々なセッションに分かれている。今回合計 2000 件程度の発表があり、6000 名が参加した。また各セッションから 5 件程度のポスターがピックアップされ、講演会場において 30 分程度の口頭発表も行われた。多くの興味深い研究があったが、特に Barkai らの発表は参考になった。彼らの研究は、加齢による前頭葉の萎縮度合いの定量評価を行ったもので、従来は脳全体の萎縮評価しか行っていないのに対し、部分的な萎縮評価を行うことで、他の症例との鑑別診断や、萎縮、疾患などの進行状況の数値化を、より高精度に行う非常に先進的なものであった。また、報告者の発表内容であるヘモダイナミクス解析に関する研究も非常に多く、ヘモダイナミクスが、疾患、性別、加齢などでどのように変動するかを調べていた。これらは、我々の研究結果の応用例となるべきもので、我々の発表内容も非常に興味をもたれた。質問の多くは、提案する方法論によって得られる結果の正当性に関するものであった。今回の発表は、特に提案法の評価を行ったものであり、そのコンピュータシミュレーションによる統計的評価を詳細に説明することで、彼らの質問に答えることできた。

派遣研究者	物質・材料研究機構 主任研究員 不動寺 浩	1032004
研究集会名	米国材料学会 2003 年度春期会議 (2003 MRS Spring meeting)	
出張期間	平成 15 年 4 月 20 日～ 5 月 1 日	
開催場所	アメリカ・サンフランシスコ市	
発表論文	ストップバンドの移動位置の制御と初期位置に回復できるコロイド結晶 (Colloidal Crystals with reversibly Tunable Stop Bands)	

概 要：

米国材料学会は、米国の最先端材料に関する学際的・国際的な学術団体で、春秋の年 2 回の定期会議と各種学術印刷物の出版を行っている。春はサンフランシスコ、秋はボストンで会議が開催され、米国内外を含め数千人の参加者が集まる巨大な会議となっている。今回は、韓国及び中国人の発表者及び参加者が割合に多く、特にポスドクなどで米国の大学や各種研究機関に所属する若い研究者が多いことが印象的だった。

発表は、ポスター形式で行った。約 3 時間の発表時間中、途切れることがなく関心をもった研究者と議論し、その数は少なくとも 20 名以上にのぼった。またその多くがこの研究成果の印刷物を希望し、手応えを感じることができた。私が主に参加したシンポジウムは、化学分野のナノテクノロジー分野の新進気鋭の若手研究者によって組織され、30 名ものこの分野の著名な研究者を招待講演者として招き、150 を超える一般講演が行われた。今回の会議中、最も発表者・参加者が多く、マテリアル・サイエンスの最先端の研究話題が報告・議論された最もホットなものであった。

会議終了後、ワシントン大学・Xia 教授を訪問した。私は 2002 年から 1 年間同研究室に留学しており、今回の発表もこの留学期間に行った研究成果に関するものであった。そして留学中に行っていた研究成果の論文執筆に関すること、帰国後の経過報告そして今後の研究計画に関する 3 点を打ち合わせた。

派遣研究者	筑波大学 機能工学系 助教授 中内 靖	1032102
研究集会名	2003 年知能ロボットとシステムに関する国際会議 (2003 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems)	
出張期間	平成 15 年 10 月 27 日～ 11 月 2 日	
開催場所	アメリカ・ラスベガス	
発表論文	Vivid Room：ユビキタス・オートノミのための人の意図認識と活動支援環境に関する研究 (Vivid Room: Human Intention and Activity Support Environment for Ubiquitous Autonomy)	

概要：
本会議は、知能ロボットとコンピュータ・システムに関する世界最大、かつ最も質の高い国際会議である。主催者は本分野において世界最大かつ最も権威のある IEEE ならびに国内で最も権威のある日本ロボット学会である。本年は、42 カ国から 1042 件の論文投稿があり、1 件あたり 2 名以上の査読を受け、623 件が採択されている。採択率は 60%。例年通り質の高い会議となっており多くの興味深い発表があった。なお、参加人数は約 900 名。
10 月 28 日、私は、Sensory Systems I というセッションで研究発表を行った。本セッションには、専門を同じにする研究者が多数出席しており、我々の研究成果を披露できるよい機会となった。また、発表後の質疑応答においても、研究の新規性を讃えられ、今後研究を発展させていく上で参考となる貴重な意見をいただいた。私の研究は、部屋を構成する引き出し、椅子などにセンサを仕込み、人の行動状況を非拘束的に把握し、それを支援するユビキタス・コンピューティングに関するものであるが、会議における聴講において非常に参考となる研究発表が多数あった。特に、キッチンカウンターにセンサを配し、ヒトの調理活動にあわせてカウンターの高さを昇降する研究など数点が大いに参考になった。また基調講演では、ヒトの脳の中でどのように映像や音声情報がセンサ融合されているかについての大変興味深い発表があった。

派遣研究者	香川大学 工学部 助教授 能見 公博	1032103
研究集会名	2003 年知能ロボットとシステムに関する国際会議 (2003 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems)	
出張期間	平成 15 年 10 月 27 日～ 11 月 1 日	
開催場所	アメリカ・ラスベガス	
発表論文	通信時間遅れの力感覚表示による宇宙遠隔操作 (Space Teleoperation Using Reflection of Communication Time Delay)	

概要：
本会議は、1042 の論文が 42 カ国より申し込まれ、最終的に 623 の発表論文を採択し、105 のテクニカルセッション、13 のチュートリアル/ワークショップを設けた。基本的なロボットのセンサ、制御、運動学、動力学をはじめ、ヒューマノイド、歩行、画像、モバイル、マイクロなどを中心とし、医学関係、バイオ、レスキューなどのアプリケーションを目的としたものに分類されたセッション構成であった。とくに研究分野と関係深いものに、テレロボティクスと宇宙ロボットのセッションがあった。テレロボティクスでは、地上マニピュレータ操作を目的とした手法が中心であり、宇宙ロボットでは軌道上サービスを中心としたものであった。発表論文は、新しい遠隔操作手法として、通信時間遅れを力感覚として操作者に提示する手法を提案した。提案手法は、操作者がバネを介してマニピュレータを動かす感覚で操作することを可能とし、マニピュレータ手先力はばね力が変化することにより操作者はその減少を認知できる。質疑応答では操作する時刻、マニピュレータが動作する時刻、動作結果を操作者に表示する時刻についての関係を指摘されたが、本手法では、マニピュレータが動作する時刻はとくに気にする必要がないことなどを説明した。さらに「通信時間遅れ」と「マニピュレータ手先力」の同時表示は混乱するのではないかとの議論があり、将来的に視覚支援を有効に利用することが重要であることを認識した。

派遣研究者	早稲田大学 国際情報通信研究科 博士課程 針尾 大嗣	1032104
研究集会名	1. 国際ワークショップ MoMuC 2003 第8回大会 The 8 th International Workshop on Mobile Multimedia Communications 2. 第3回 mCASET 国際会議 Mobile- Contents, Applications, Services and Enabling Technologies Project meeting	
出張期間	平成15年10月3日～13日	
開催場所	ドイツ (Munich 及び Erlangen)	
発表論文	日英のヘルスケアにおけるモバイルアプリケーションとサービスに関する需要分析 (Demand Analysis of Mobile Applications & Service in Healthcare-Comparative Study of Japan and the UK) 人的および制度的要素からみるモバイルヘルスケアアプリケーションに関する研究 (Mobile Healthcare applications from a Human and Institutional Perspective-Comparative Study of Japan and the UK)	

概要：

2つの会議に参加した。1つは移動体情報通信に関連した国際会議で、今回のドイツ大会で8回目を迎える。またもう一方は、次世代移動体情報通信サービスに関する国際プロジェクトである。両会議で、平成14年度に日本、イギリスの医療従事者に対して行ったデルファイ法に基づくインタビュー調査から得られた将来の両国医療現場において必要となるモバイルアプリケーションとその違いについて発表した。

10月9日、GPSを利用した高齢者向け位置情報支援プログラムを進めているドイツのErlangen Universityを訪問。同プロジェクトは、現在、スペイン、イスラエル、イギリス、ドイツの4カ国共同プロジェクトとして進められており、同大学は高齢者向けサービス実験の実証実験を行っている。11日には、Gesundheit Scout 24社（欄）、Twente University（欄）を視察。両機関は、UMTS、GPRSを利用した遠隔モニタリングに関するプロジェクトに取り組んでおり、現在、第三世代携帯電話を利用した患者の遠隔モニタリング実験を行っている。これらの実験は、院外患者向けの治療や、救命救急、スポーツ、医学研究向けのサービスを目指しており、現在は、高リスク妊婦の遠隔モニタリング実験が行われている。将来的には、こうした遠隔モニタリングをコールセンターに結びつけ、ユーザーの日常の健康管理サービスの展開を考えている。

[招 聘]

招 聘 者	IEEE EBES Asian-Pacific Conference on Biomedical Engineering 2003 副大会長 千原 國宏 (奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科長)	1033101
会 議 名	IEEE EBES Asian-Pacific Conference on Biomedical Engineering 2003	
出 張 期 間	平成 15 年 10 月 18 日～ 25 日	
開 催 場 所	京都府相楽郡	
被 招 聘 者	アメリカ合衆国 ダートマス大学 Metin Akay 助教授	

概 要：

本研究集会は、世界最大規模の電気学会（IEEE）の医用電子工学分野におけるアジア・オセアニア地域における国際会議である。本学会には内外から若手の研究者が多数出席したが、この会議において最先端の研究を行う研究者によって教育講演を行い、日本及びアジア太平洋地区の若手研究者の知見の充実、レベルの向上を行うことが本招聘の目的である。被招聘者のアカイ教授は、数学的手法を用いた生体信号の解析及び解釈に関する第一人者で、これまでに時間周波数解析を生体信号に応用し、神経活動と筋活動の関係を明らかにされている。これまでも世界各国において 35 回にのぼる教育・特別講演に招聘されており、その先見性と理解しやすい講義内容から高い評価を受けている。さらに医用電子工学分野における信号解析及び解釈に関する著書 14 冊を手がけていることより、本研究集会における教育講演の演者にふさわしいと考え招聘した。講演の内容は、呼吸における受容器と中枢神経との関係や、筋収縮パターンと筋電図信号の時間周波数解析を目的とし、実験用ブタを用い、低酸素状態からの回復過程において横隔神経の発火パターンを計測、その信号に対し、周波数解析手法の 1 つであるマッチングパースーツ法を用いて解析を行った。実験の結果、低酸素状態からの回復期において、安静時のパターンと喘ぎ状態のパターンが重畳されたパターンが確認されたという。この講演に対し、特にマッチングパースーツ法が計算に時間を有する方法であることから、その計算方法、実装の方法などに対して質問が集中した。

-
- 平成 15 年度活動報告
 - 平成 16 年度助成報告
 - 第 15 回助成金贈呈式
 - 受領者投稿
 - 研究室訪問
 - 第 15 回（平成 16 年度）研究助成課題一覧
 - 第 14 回（平成 15 年度後期）国際交流助成課題一覧
 - 第 15 回（平成 16 年度前期）国際交流助成課題一覧
 - 平成 16 年度研究助成課題の紹介
 - 平成 17 年度助成候補募集案内

平成 15 年度活動報告

(1) 主要業務日程

平成15年	4月1日	平成 15 年度後期国際交流助成候補の募集開始
	5月19日	第 14 回（平成 15 年度）助成金贈呈式及び懇親交流会開催
	6月17日	第 30 回理事会，第 30 回評議員会開催
		・平成 14 年度事業報告及び決算報告の承認
		・平成 16 年度助成課題募集方法の承認
	6月30日	平成 15 年度後期国際交流助成課題の申請締切（25 件受付）
	7月7日	平成 15 年度夏季選考委員会開催
		・平成 15 年度後期国際交流助成課題候補の選考
	8月1日	平成 16 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 16 年度研究助成課題の申請応募受付開始
	9月27日	助成研究成果集第 12 号発行
	10月1日	平成 16 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 16 年度研究助成課題の申請締切（115 件受付）
	12月31日	平成 16 年度前期国際交流助成の申請締切（16 件受付）
平成16年	1月8日	各選考委員による応募課題の書面審査完
	1月23日	第 16 回選考委員会開催
		・平成 16 年度研究助成課題候補の選考
		・平成 16 年度前期国際交流助成課題候補の選考
	3月15日	第 31 回理事会，第 31 回評議員会開催
		・平成 16 年度事業計画及び収支予算案の承認
		・平成 16 年度助成課題の承認

(2) 会計報告

収 支 計 算 書		貸 借 対 照 表	
(自 平成 15 年 4 月 1 日 至 平成 16 年 3 月 31 日)		(平成 16 年 3 月 31 日)	
(単位：千円)		(単位：千円)	
収入の部		資産の部	
基本財産運用収入	43,674	流動資産	現金 46
寄附金収入	0		普通預金 10,518
雑収入	1		有価証券 0
助成事業引当金取崩収入	48,000		助成事業引当預金 30,000
前期繰越額	14,334	固定資産（基本財産）	
合 計	106,009		有価証券 1,231,250
支出の部			その他固定資産 150
事業費	51,955	資産合計	1,271,964
管理費	13,490	負債の部	負債合計 0
助成事業引当金支出	30,000	正味財産の部	正味財産 1,271,964
合 計	95,445	負債および正味財産合計 1,271,964	
次期繰越額	10,564		

平成 16 年度助成報告

本年は、第 15 回目の助成となる平成 16 年度助成課題に対し、平成 16 年 5 月 19 日、第 15 回助成金贈呈式を開催し、次の助成を行った。

研究助成	20 件	4,440 万円
国際交流助成（前期）	5 件	158 万円
合 計	25 件	4,598 万円

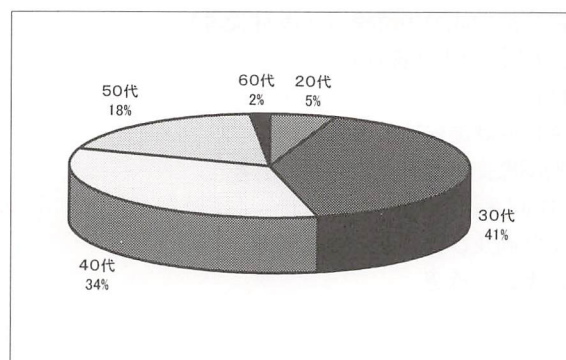
なお、後期国際交流助成は平成 16 年 10 月に実施する。

この結果、財団設立以来の助成事業は、研究助成 301 件、交際交流助成 135 件、助成総額約 7 億 6,221 万円となった。

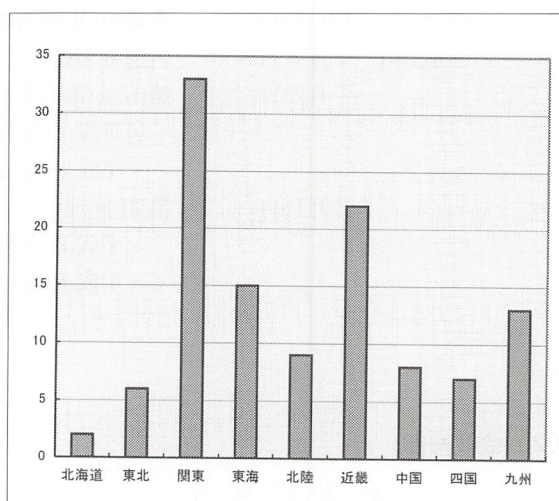
● 平成 16 年度助成の応募状況

（１） 研究助成（平成 16 年度）

① 年令別

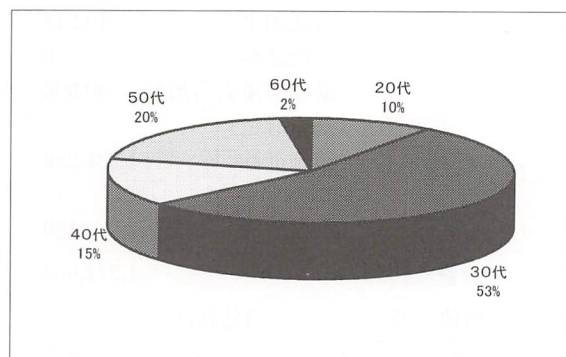


② 地域別

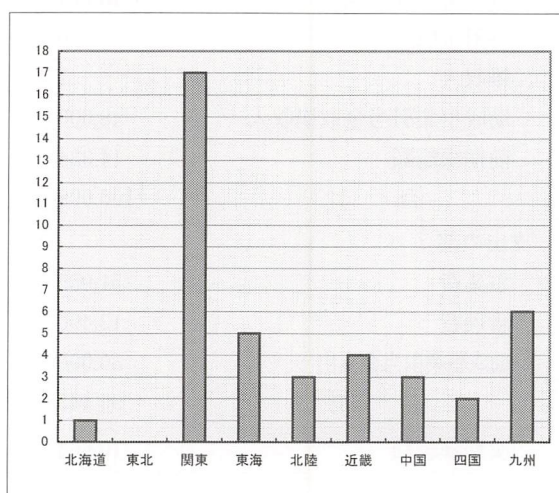


（２） 国際交流助成（平成 15 年度後期～平成 16 年度前期）

① 年令別



② 地域別



第15回助成金贈呈式

日 時：平成16年5月19日（水）

場 所：京都宝が池プリンスホテル

第15回助成金贈呈式は、来賓の文部科学省大臣官房審議官 丸山剛司様、京都府商工部理事 山下晃正様はじめ、平成16年度研究助成金受領者、財団関係者等約80名の出席のもとに開催し、立石理事長より受領者に助成金目録贈呈を行い、記念撮影ののち、引き続き懇親交流会を行った。



贈呈式会場



立石理事長挨拶



目録贈呈

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



助成課題発表

※ 課題発表 OHP は、104～106 頁に掲載

受領者投稿

ナノの世界を光で捉える

京都大学工学研究科電子工学専攻 助教授 川 上 養 一
(第9回受領者)

近年、窒化物半導体の開発が急速に進展し、ガラス管方式の電球や蛍光灯から窒化物半導体発光素子をベースとした固体照明への時代へ移行しようとしている。その効率、電球をはるかに凌駕し蛍光灯と肩を並べるレベルに到達している。しかしながら現状の効率は、世界最高レベルの青色発光ダイオード(LED)をもってしても、要した電力の40%を光に変えることができるが、残りの60%は熱になってしまっており、発光効率の向上が重要な課題となっている。

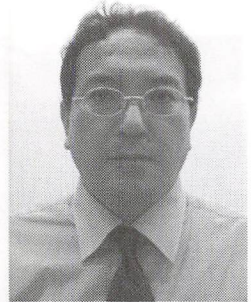
筆者らは、①半導体中で何故光が発生するのか、あるいは何故光らずに熱が発生するのかという基礎光物性を明らかにすることと、②①で得られた知見をもとに究極の100%に近づけるための材料・デバイス構造にフィードバックさせるという手法によって研究を進めており、1997年には、窒化ガリウム青色LEDの新しい発光機構について報告した。すなわち、窒化インジウムガリウムを活性層に用いると量子ドットが自然と形成されており、そこに電子と正孔が落ち込むことによって欠陥が多いにもかかわらず比較的高い発光効率が実現しているという機構である。

上記のような光の波長の何十分の一という世界を光プローブで把握することは容易なことではない。そのため、とくに短波長域で測定可能な近接場光学顕微鏡を開発した。この手法は、光ファイバーの先端を針のように尖らせ、光の波長よりも小さな穴からエバネッセント光と呼ぶ光をしみ出させ、このエバネッセント光と対象物を相互作用させることによるものであり、1ミクロンの50分の1程度の構造からの発光

を把握することが可能となった。しかも、励起する光を超短パルスとし、測定する近接場光の測定モードを工夫することで、半導体ナノ構造中で生じている発光と非発光の過程を時間的・空間的にマッピングすること(筆者らは、“マルチモード近接場光学顕微鏡法”と名付けている)に成功し、提唱したモデルの妥当性とより詳細な機構が明らかにされた。

現在、量子ナノ構造の人為制御により、目的に応じた光の波長を高効率に発生させるための研究を進めているが、開発した測定装置は、それを検証・理解するための必須のツールとして役立っている。時間的・空間的なダイナミクスを可視化して測定する技術は、窒化物半導体半導体のみならず、種々の光機能性材料や生体細胞などの機能性発現機構解明にも有用であると考えており、装置のさらなる開発と適応分野の開拓が今後の課題である。

研究は現在も進行中であるが、ここまでに至るには、平成10年度に勸立石科学技術振興財団からいただいた助成が萌芽となっている。ご援助いただきました財団の関係各位の方々に感謝申し上げます。



受領者投稿

新しい発想を潤う泉

和歌山大学システム工学部デザイン情報学科コンピュータ支援設計講座 助教授 陳

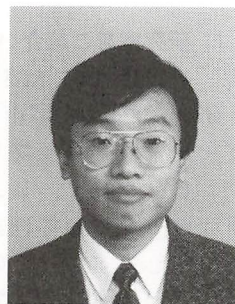
謙
(第8回受領者)

研究者にとって、新しい発想は命である。新しい発想は、ある研究課題について時間をかけて専念して研究を行う過程において生まれることが多いのだが、時には今までの研究分野を離れて、まったく新しい研究を始めるときに生まれることも少なくない。筆者は平成9年度に「仮想現実感技術を用いた破片からの遺物の復元」という課題で助成いただいた。それはちょうど奈良先端科学技術大学院大学に転任して2年たったときだった。転任前は主に、動画像処理、ヒューマンインタフェースと顔画像処理に関する研究を行っていたが、新しい研究室では、初めてVR、コンピュータグラフィックスと3次元計測に実際に携わった。当時、同研究室のある研究者が文化財のデジタル保存に関する研究を行い、博物館や考古学研究所に行き、データの採集で忙しい毎日だったが、筆者は3次元コンピュータグラフィックスとVRを使いこなすために猛勉強していた。ちょうどその時期に、大学院時代の先輩に会い、彼も考古遺物のデジタル保存に興味があり、VRを使って何かできないか二人で雑談をした。そこからCGで仮想破片を合成するアイデアが生まれ、VR技術で破片の接合作業を行う可能性について考え始めた。一人の修士学生と一緒に予備実験を行い、簡単なデモプログラムを作成した。研究を更に進展させるために、精密な3次元形状計測、視点を追従する立体映像の提示などの難題を解決しなければならず、そのために数多くの研究機材が必要であった。そのとき、貴財団の助成をいただき、研究を立ち上げることができて非常に助かった。

名実ともに研究者であり続けるために、新し

いものを常に追い求めなければならない。

あれからもう7年の歳月が流れたが、筆者の場合、転勤、昇進などの機に新しい研究をやり始めてきた。すべては興味があるから始めたのではなかったが、結果的には自分の視野を広め、新しい発想が生まれるという良い結果となっていた。



一つの研究分野に専念し、その分野の最先端を追いつけていたら、研究の一貫性が保たれ、関連する研究実績が残るのであろう。そうすると、文部科学省の科学研究費などの助成をえられるような研究にもつながっていくと思う。一方、研究の新規性、有意義性を重視する貴財団は、新しい分野に踏み入れる勇気のある研究者にとって、非常に有難い存在である。研究助成の目的の一つは新しい発想を育てることだと思う。貴財団の益々のご発展を祈りするとともに、今後も新しい発想を発芽させるための泉でありつづけることを心よりお願いするしだいである。

研究室訪問

東北大学大学院 工学研究科 航空宇宙工学専攻 内山 勝 教授 訪問記

(第8回受領者)

7月の終わり、阿草 清滋選考委員(名古屋大学大学院 教授)に同行いただいて当財団の中塚常務理事と共に、杜の都の緑の中、ちょうどオープンキャンパスで賑わう内山研究室を訪問いたしました。先生からは多岐にわたってご研究されているロボットのお話を興味深くお聞かせいただきました。

○ 研究室をご紹介いただき、現在の研究テーマなどについてお聞かせください。

研究室では、宇宙遠隔操作システム、パラレルマニピュレータ、ハイブリッドシミュレータ、フレキシブルマニピュレータ、ヒューマノイドロボット、などを主な研究テーマにしています。各研究テーマの概要は順次お話いたしますが、その前に研究室のメンバーを紹介いたします。教職員として教授の私と近野助教授、助手、技官の4名、研究員にはエジプト、韓国、ウガンダ、スウェーデン出身の4名、博士課程3名、修士課程13名の陣容です。

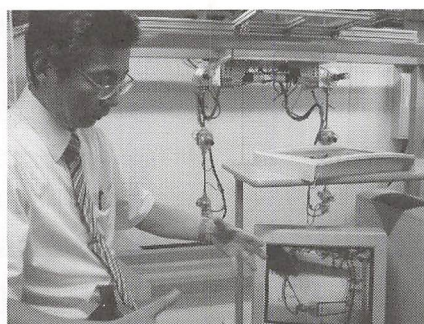


写真1 フレキシブルマニピュレータのご説明をされる内山教授

宇宙遠隔操作システムは、当専攻の名称通り当研究室の基本とする研究で、衛星との交信に通信網の関係で5～6秒の時間遅れが間々発生します。この問題を解消するためにテレロボティクスの技術を開発して、ドイツ航空宇宙研究所(DLR)との共同実験、宇宙開発事業団(NASDA)のETS-VIIを利用した実験を行ってきました。単腕のものはNASDAの衛星を使って地上から動作させることができました。現在は、双腕タイプで衛星の捕獲実験などを目指しています。

パラレルマニピュレータというのは、重量のあるアクチュエータを固定台にまとめて配置し、動作部分のアームを、軽量化した複数のリンクで構成することで高速動作、高剛性の確保を可能にしたマニピュレータです。アームの共振点に近い周波数で動作しますので、加速度40Gまで達成しています。

ハイブリッドシミュレータは、数値シミュレーションとハードウェアシミュレーションを組み合わせることで宇宙ロボットの運動を模擬するシミュレータです。数値シミュレーションには、模擬対象の運動方程式を解くために必要なパラメータ(質量、慣性モーメントなど)からなるソフトウェアモデル(数値モデル)を使用します。

ハプティックインタフェースというのは、パラレル機構をシリアルに結合したハイブリッド型パラレル機構によって構成する6自由度を持つ操作インタフェースで、これにより宇宙にあるロボットを遠隔操作する時の操作感覚(力情報と触感)を地上で体感することができます。小型で作業領域も広く高速動作も可能という特徴があります。

フレキシブルマニピュレータは、宇宙に持って行くのにロボットにも軽量化が求められますので、剛性は低くなりますが、アームを細いリンク構造にしたマニピュレータです。これを実用化するために、アームの位置とか姿勢の状態に応じた振動制御法を開発しました。実際には、アームリンクの姿勢位置を計算で求めて、その姿勢位置に応じた制御方法になります。

ヒューマノイドロボットは人間の形態を模倣したロボットで、多くの研究機関で研究が進められていますが、制御対象となる作業がいろいろ変化していくのでそれに応じたソフトが必要になります。当研究室ではリアルタイムUNIXを利用し、かつソフト動的再構成という機能を実現し、動作中にソフトモジュールの組み替えを行えるように工夫しています。

○ 長年にわたってロボットのご研究を続けて来られたわけですが、取組まれるきっかけなどについてお話を聞かせてください。

最初にロボットの研究を始めたのは、大学院生の時で、修士論文にまとめました。ほぼ30年前

になります。当時は人間の手作業がコンピュータで自動的にできたらなと思いましたし、何かひとつできるようになればどんどん進歩すると思っていました。ところが、自分で設計してみるとそんなに簡単ではないということがすぐに分かりました。その後、一時は油圧サーボとか管内流体の研究に携わりロボットの研究は中断しましたが、5年くらいして助教授時代にロボットの研究を再開しました。10年ほど前に航空宇宙工学専攻の教授となってから、ロボットの研究が本格化しました。今では宇宙だけでなくロボット全般にわたっての研究に広がっています。

ロボットの研究は試作が重要で、「ソフトテレロボティクスの研究」で立石財団から助成を受けた時は、「柔らかい」という新しいコンセプトのロボット研究の試作費を確保できて、大きな支援となりました。この研究助成から一連のロボット研究につながり、さらに一連のロボット研究の成果から、科研費とか別の費用を確保できるようになって、研究シーズを大きく伸ばす意味で助成の意義は大きかったと思っています。

「ソフト」というのは「柔らかい」という意味で、宇宙にあるロボットを遠隔操作して安全なシステムにする狙いがありました。ロボットが柔らかいことと制御システムが柔らかいことから人間と共存できるロボットにできると思います。助成研究では、バネによって柔らかい関節モジュールを実現しようとしていました。先ほど紹介しましたその後の研究では、リンク自体が変形する機構で柔らかさを実現していますが、柔らかさを追求してきたのは共通するテーマでした。その意味では助成研究の成果は今につながっていると言えます。

○ お話を伺っていると、ロボットの開発にはソフトをはじめとする総合的な技術が必要になるように感じます。

この研究室では「柔らかさ」を追求していますので、柔らかいが故に振動を止める振動制御の技術が必須になります。ロボットが姿勢を変えることで質量の位置関係、慣性モーメントが都度異なります。この振動制御のために、集中バネ質量モデリング手法によって質量の位置関係や慣性モーメントを求めたりしています。このような動作をシミュレーションする技術、歪みゲージや力覚センサ、レーザ変位センサ、カメラなどのセンサを駆使する技術も必要になります。ロボットの機械設計だけでなく、どうしてもコンピュータ、ソフト、センサ、リアルタイムOS、動力学シミュレータのための数値計算などの技術が求められます。これらを理解しているキーマンと個々の技術を熟知している研究者のチームの総合力で研究を進めるのが良いと思います。当研究室でもこれらの条件面に恵まれて、ヒューマノイドロボットの開発などもスムーズに進んできました。しかし、長く研究を続けていますと学校の場合、担当する研究者が卒業して順次かわっていきますので、それまでの研究成果の継続性、特にソフトの継続性の確保が現実の問題として出てきます。そのためにもキーマンは絶対に必要だと感じます。

○ 今後のロボット研究はどのような方向にいくのでしょうか。

ロボットの研究を開始した当初はモータがかなり大きくて重く、その割にはパワーが出ないという問題がありました。したがって、機械系が大きく重くなってしまい満足に動かせない状況が続きました。最近のヒューマノイドロボットをみますと格段の違いです。モータの進歩が大きいと感じています。先ほどお話いたしましたように、ロボットの研究はコンセプトを明確にして試作してみることが重要で、理論に基づいてロボットを実現するよりも実際にロボットを動かして問題点等を確認し解決して理論化していく方法が実際のだと思っていますし、何よりもロボットが動いていることを目の当たりにすることが次のステップに進める原動力だと思っています。

ロボットの研究は、誰かが新しい方法・手段で一步を踏み出すと、それをベースに次には多くの研究成果が出てきます。最近のヒューマノイドロボットに多くの方が興味を持っておられるのが良い例ですし、学生もロボットの研究に興味を示していますので、間違いなく多方面に向かって大きく発展していくものと信じています。



写真2 左から、内山教授、阿草選考委員、中塚常務理事

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

第15回（平成16年度）助成課題一覧

〔研究助成〕 (五十音順)

研究代表者氏名・所属機関・職名	研 究 課 題 名
栗 辻 安 浩 京都工芸繊維大学大学院 工芸科学研究科 情報・生産科学専攻・助手	並列デジタルホログラムによる生体3次元瞬時顕微鏡に関する研究
石 黒 章 夫 名古屋大学大学院 工学研究科 計算理工学専攻・助教授	制御系と身体系の有機的調和設計—多脚歩行ロボットを用いた事例研究—
大 岡 昌 博 名古屋大学大学院 情報科学研究科 複雑系科学専攻・助教授	力・触覚ディスプレイ装置によるリハビリテーションに関する研究
大 塚 弘 文 熊本電波工業高等専門学校・助教授	人間の制御行動を支援する環境適応型コラボレータに関する研究
小野里 雅 彦 北海道大学大学院 情報科学研究科 システム情報科学専攻・教授	デジタルヒューマンモデルを用いた人間—機械融合型の生産システムの評価
桑 野 博 喜 東北大学大学院 工学研究科 機械電子工学専攻・教授	ナノマシン技術による細胞修飾（ナノ手術）に関する基礎研究
小 林 宏 東京理科大学 工学部・助教授	超リアルな顔表情ロボットによる感性豊かな言語・非言語コミュニケーションの実現
坂 口 浩 司 静岡大学 電子工学研究所・助教授	単一分子を挿入する極微ギャップ電極の開発と超高感度バイオセンサへの応用
佐 藤 淳 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科・助手	機械系の位相特性に注目した人間—機械系の性能解析に関する研究
島 谷 祐 一 東京女子医科大学 第一生理学教室・助手	Sieve 電極を用いたマン・マシンインターフェイスの研究
菅 野 公 二 京都大学大学院 工学研究科 機械工学専攻・助手	異種材料微粒子アセンブル技術による卓上型シンクロトロンのための軟X線源の開発
鈴 木 隆 文 東京大学大学院 情報理工学系研究科 システム情報学専攻・特任講師	流路を備えた柔軟神経プローブの開発
長 崎 康 子 公立はこだて未来大学 システム情報科学部・助手	感情認知の手がかりとしてのパラ言語情報—基本周波数と音圧の効果
新 田 尚 隆 産業技術総合研究所 つくば東事業所 人間福祉 医工学研究部門 医用計測グループ・研究員	準静的加圧による生体組織の粘弾性分布映像システムの開発
羽多野 正 俊 富山大学 工学部・助手	次世代型レスキューロボットによる瓦礫撤去作業に関する研究
原 隆 浩 大阪大学大学院 情報科学研究科・助手	高度モバイルアプリケーションのための効率的な情報共有機構に関する研究
平 田 泰 久 東北大学大学院 工学研究科・助手	人間の操作性を考慮した運動特性可変型パッシブ移動台車システム
平 田 豊 中部大学 工学部・教授	運動の学習と記憶に関する神経情報工学的研究
政 二 慶 東京大学大学院 総合文化研究科 生命環境科学系・助手	機能的電気刺激法を用いた脊損患者の静的立位機能補償機構開発のための基礎研究
森 島 泰 則 国際基督教大学 教養学部・助教授	社会的知性を備えたマルチ・エージェント・システムによる語学学習環境の構築

研究助成件数 20件 合計 4,440万円

第 14 回（平成 15 年度後期）助成課題一覧

〔国際交流（派遣）〕 (五十音順)

研究者氏名・所属機関・職名	派遣先研究集会／主催者名
中 内 靖 筑波大学 機能工学系・助教授	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)
能 見 公 博 香川大学 工学部・助教授	／主催：IEEE Robotics and Automation Society, Robotics Society of Japan (電気電子技術学会ロボットと自動化部門，日本ロボット学会)
針 尾 大 嗣 早稲田大学 国際情報通信研究センター・ 客員研究助手	①国際ワークショップ MoMuC 2003 & 研究集会／次世代モバイルネッ トワークサービスに関する研究会 ②：mCASET 会議

〔国際交流（特別招聘）〕

招聘代表者氏名・所属機関・職名 (招聘機関での役割)	招聘研究集会または機関名／被招聘者
千 原 國 宏 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科長 (IEEE EMBS Asian-Pacific Conference on Biomedical Engineering 2003・副大会長)	IEEE EMBS Asian-Pacific Conference on Biomedical Engineering 2003/ アメリカ合衆国ダートマス大学 Metin Akay 助教授を招聘／特別講演： Neural Engineering：Dynamics of Respiratory Patterns during Maturation (神経工学：成熟期における呼吸パターンのダイナミクス)

助成件数 4 件 小計 120 万円

第 15 回（平成 16 年度前期）助成課題一覧

〔国際交流（派遣）〕 (五十音順)

研究者氏名・所属機関・職名	派遣先研究集会／主催者名
片 平 和 俊 理化学研究所 中央研究所 素形材工学研究室・研究員	国際生産技術者会議 2004 年通常総会／主催：CIRP (International Institution for Production Engineering Research)
曲 雯 毓 北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科・博士課程	アーキテクチャーやアルゴリズムやネットワークなどに関する国際シ ンポジウム／主催：香港大学
ジョナ・ガンバ 埼玉大学大学院・博士課程	2004 年回路とシステム国際シンポジウム／主催：米国電気学会
末 廣 純 也 九州大学大学院 システム情報科学研究院・ 助教授	第 7 回生体電気インピーダンスに関する国際会議 ／主催：グダンスク工科大学，バイオ医療工学科

〔国際交流（特別招聘）〕

招聘代表者氏名・所属機関・職名 (招聘機関での役割)	招聘研究集会または機関名／被招聘者
片 山 徹 京都大学大学院 情報学研究科・教授 (国際自動制御連盟 (IFAC) 統括委員会日 本代表委員)	①「制御と信号処理における適応と学習」に関する国際ワークショッ プおよび②「周期制御システム」に関する国際ワークショップの同時 開催／フランス国 ロメオ・オルテガ教授 (49 才) を招聘／プレナリー 基調講演：安定なモデル規範型適応制御に正規化が必要か

助成件数 5 件 合計 158 万円

平成 16 年度研究助成課題の紹介

単一分子を挿入する極微ギャップ電極の開発と
超高感度バイオセンサへの応用 (1年間)

静岡大学 電子工学研究所 助教授・坂口浩司

[極微電極の作成]
微細加工技術と電気化学を組合わせて、単一分子が挿入できる極微なギャップ電極対を構築する。

[分子の挿入]
作成した極微ギャップ電極に有機分子やタンパク質分子を挿入する。挿入した素子の電気的・光学的物性を明らかにする。これらの基礎的知見を利用して高感度バイオセンサへの応用を図る。

光合成細菌から反応中心のクロロタンパクを取り出す
1個のクロロタンパク分子に電気配座する
13nm
タンパク質電極
集積した分子を電圧化する
タンパク質電極の構造
タンパク質電極の応用

機械系の位相特性に注目した人間—機械系の性能解析に関する研究
(研究期間:1年)

奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科
助手・佐藤 淳

□ 人間—機械系の制御性能解析
従来: 操縦者モデルを用いた解析
操縦者のモデル化は容易でない
本研究: 操縦者モデルを用いない
操縦者を除いた
機械系の特性に注目

□ 機械系の位相特性に注目した性能解析
■機械・制御系統最適化設計
■システム構造の類似性
■自動制御系の性能解析、設計

機械系の最大位相遅れは 180°
広いサーボ帯域、優れた制御性能の達成

位相特性に注目した人間—機械系の性能解析

Sieve電極を用いたマン・マシンインターフェイスの研究 (1年間)

東京女子医科大学 第一生理学
助手・島谷祐一

[マン・マシンインターフェイス]
神経系と機械を結びつける技術の開発。
自分の意思通りに動く義肢、自律神経で制御される人工臓器などへの応用。

[Sieve電極]
マイクロマシン技術で製作した微小電極アレイ。
末梢(運動)神経に手術で埋め込み、神経信号を慢性的に記録する。

[研究の目標]
Sieve電極で取り出した神経信号を用いて、外部機器の駆動、コントロールを試みる。ラットを用いた動物実験。

Brain
Sieve Electrode
Interface Circuitry
Prosthetic Arm
Tactile Sensor

異種材料微粒子アセンブル技術による卓上型シンクロトロンのための軟X線源の開発 (研究期間:1年)

京都大学 工学研究科 機械工学専攻 助手・菅野 公二

卓上型シンクロトロン「MIRRORCLE-20」

電子軌道 軟X線放射
($r = 0.15\text{ m}$)
電子(20MeV)
AI 軟X線源
遷移放射が発生する点
Al層間隔(0.3 μm)
Si層⇒真空層
Al層(0.3 μm)×10層

ノズル
懸濁液
AI微粒子(0.3 μm)
Si微粒子(0.3 μm)
AI/Si微粒子混合懸濁液
支柱
堆積後XeF₂により除去

流路を備えた柔軟神経プローブの開発 (研究期間:1年)

東京大学大学院 情報理工学系研究科 システム情報学専攻
特任講師・鈴木 隆文

神経インタフェース: 生体神経系との直接入力—人工感覚生成運動野情報による機器制御 etc.

次世代の神経インタフェースデバイス
(多機能、長期安定、低侵襲)
→ 多点電極、多点流路、柔軟構造
従来のガラス管電極を柔軟化、多数配置可能

目標
①A) 流路による薬液注入・吸引
②B) 流路内外の電極による神経電位計測
③C) 流路へのPEG等の導入による刺入時の硬化和刺入後の溶解
④D) 流路への再生神経軸索の誘導

流路入口 電極 マイクロ流路
パルス 流路出口
流路内部
流路外部
流路内部で電極
流路外部で電極
流路内部で電極
流路外部で電極

感情認知の手がかりとしてのパラ言語情報 (研究期間:1年)

公立はこだて未来大学
助手・長崎康子

話者音声の「基本周波数」と「音圧」とが、聞き手の感情認識にどのような影響を与えるのか?

【昨年度まで】
ふつうの三角波 (F0曲線・平板)
F0(基本周波数・ピッチ)を変化
実験刺激: 三角波 (F0曲線・多様)

【平成16年度本研究では...】
ふつうの三角波
音圧を変化
実験刺激1: 三角波 (音圧包絡・多様)
さらにF0を変化
実験刺激2: 三角波 (音圧包絡×F0曲線・多様)

heep
hesitation
disagreement
agreement

準静的加圧による生体組織の粘弾性分布映像システムの開発 (1年間)

(独)産業技術総合研究所 人間福祉工学研究部門 医用計測グループ
研究員・新田 尚隆

[生体組織の粘弾性計測の必要性]
○ 医師の診断支援 (触診の定量化)
○ 診断能向上に寄与

[従来] 加圧による粘弾性計測、モデル化
× 患者への負担大 (苦痛を与える)
× 結果がモデルに依存

[本研究] 準静的加圧による粘弾性計測、粘弾性現象のパラメータ化 (モデル化なし)
○ 患者への負担小
○ 結果がモデルに依存せず、安定

※粘弾性現象=ヒステリシス、クリープ、リラクゼーション...

[研究の手順・目標]
① 粘弾性パラメータの確立
② 粘弾性パラメータ計測法の確立
③ 粘弾性パラメータ映像システムの試作

準静的な加圧(ゆっくりと加圧)
超音波信号
超音波プローブ
超音波上コー
圧センサ
数値圧力 + 3次元有限要素法 + 内部応力推定
相関法によるエコーシフト推定 = 内部変形推定
点Aでのヒステリシスループ (粘弾性現象)
粘弾性(ヒステリシス/パラメータ)分布の映像化

次世代型レスキューロボットによる瓦礫撤去作業に関する研究 (研究期間:1年間)

富山大学・工学部
文部科学教官助手・羽多野正俊

[本研究の目的と意義]
災害現場で瓦礫撤去を行うレスキューロボットの実現を目指し、その中でも特に重要な転倒防止制御法を構築する。

従来の重機による非転倒姿勢は主に静的な重力の釣り合いで計算されており、被災地での未処理の瓦礫の撤去作業時に転倒する危険性がある。

[目標・方法]
ロボットの駆動輪軸に配置した圧力センサにより路面からの抗力を測定し、ロボットに加わっている内力を直接計測し安定判別および転倒防止制御を行う手法を提案する。この手法は広く一般の重機にも適用できると考えられる。

図 これまでに製作した小型レスキューロボット
これまでの研究で図に示すような小型のモータ駆動型レスキューロボットの試作を行ってきたが、本助成により中型の油圧駆動型レスキューロボットを製作し、提案した手法の検証と実用性の検討を行う。

平成 16 年度研究助成課題の紹介

高度モバイルアプリケーションのための効率的な情報共有機構に関する研究 (研究期間:1年)
大阪大学大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻 助手・原 隆浩

1. 研究目的
移動体のみで構成されるアドホックネットワーク環境において、様々な高度アプリケーションを支援するための快適な情報共有機構を実現する。

2. 研究内容
(1) データ更新を考慮した複製配置方式の提案
データ更新頻度を複数的に計算し、更新頻度の低いデータの複製を優先的に配置する。
周辺情報や中継メッセージからネットワークポロジを推測し、分析されやすい箇所の複製を配置する。
(2) 複製の一貫性管理方式の提案
アプリケーションの要求に応じて、複製間の一貫性をネットワーク全体で厳密に管理する方式や、部分ネットワーク(特定領域)内だけで管理する方式、更新後の経過時間で管理する方式などを提案する。
(3) 効率的なデータアクセス方式の実現
複製の効率的な位置管理方式と、それに基づくアクセス方式を提案する。

人間の操作性を考慮した運動特性可変型パッシブ移動台車システム(1年間)
東北大学 大学院工学研究科 助手・平田 泰久

パッシブシステム

- 利用者の力が駆動力
- シンプル
- 軽量

ロボット技術(RT)

- 運動制御技術
- センシング技術
- 環境適応技術

パッシブロボティクス

パッシブシステムの利点を生かした、高機能・多機能なシステム

高い安全性 高い操作性

ブレーキの制御に基づいたパッシブ移動台車システムの研究開発

運動の学習と記憶に関する神経情報工学的研究 (研究期間:1年)
中部大学 工学部 教授・平田 豊

前庭動眼反射(VOR)学習・記憶システム

頭部運動 → 運動学習 → 運動指令 → 眼球運動

運動学習: 生理・解剖学的手法 + 制御・情報論的手法(システム同定、計算機模擬等)

学習・記憶メカニズムの工学的理解

ロボットへの実装

人間機械協調系としての評価

機能的電気刺激法を用いた脊損患者の静的立位機能補償機構の開発のための基礎研究 (研究期間:1年)
東京大学大学院総合文化研究科 助手・政二 慶

目的と意義
・機能的電気刺激法(FES法)により、SCI患者の静的立位を補償する方法を開発することを目的とする。

現状と課題
現状
・全身を1セグメントとし、脚のstiffnessを高めることで制御している。
課題
・実際の生体の制御にそぐわず、疲労が早すぎる。
・生体の制御を模したFES法を開発する必要がある。

本研究の内容
【研究1】 被刺筋と制御側の同定・健康者を対象とした基礎資料の収集
【研究2】 FES法の開発・生体の制御機構をもとに、計算機シミュレーションでの検討
【研究3】 FES法の試作検討・SCI患者に実際に応用しつつ開発

社会的知性を備えたマルチ・エージェント・システムによる語学学習環境の構築 (研究期間:1年5ヶ月)
国際基督教大学 助教授・森島 泰則 金城学院大学 助教授・牛田 博英

研究目標
擬人化エージェントを活用し、社会的知性を適用した教育システムの開発・理論構築

研究課題
1) 評価実験可能な語学学習システムの開発
2) 評価実験による社会的知性の諸要件の抽出
3) 人と機械の社会的インタラクションの理論化と社会的知性の理論モデル構築

社会的知性(Social Intelligence)の構築
パーソナリティ・モデル
感情モデル
対人行動ルール・モデル

社会的インタラクションの実現
協力・競争・相互利用
他者観察による学習
教えることによる学習

Media Equation理論の適用
「人間は機械を人間と同様に扱う」
パーソナリティ、感情、人間関係と
インタラクションの相互関係構築

語学教育システムの開発
学習者・アドバイザー
仲間学習者・エージェント

評価実験
この教育システムは学習効果を高めるか? どのように?

理論化
人と機械の社会的相互作用理論
社会的知性の理論モデル
人と機械との調和

財団法人 立石科学技術振興財団 平成 17 年度 研究助成候補募集案内

(財)立石科学技術振興財団においては、下記の通り平成 17 年度の研究助成の候補募集を行いますので、お知らせいたします。(さらに詳細については募集要項をご覧ください。)

記

(1) 助成対象

研究助成

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

「人間と機械の調和を促進する」とは、人間重視の視点に立った科学技術の健全な発展に寄与したい、という願いからきているものです。上記の範囲で、科学技術を人間にとって最適なものとするための、若手研究者による萌芽的な基礎研究活動も歓迎します。

(2) 金額及び件数

研究助成金

1 件 250 万円以下

20件以下

(3) 応募資格

- ① 日本国内に居住する研究者であれば、個人またはグループを問いません。
- ② 類似内容で現在、他の財団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 16 年 9 月 1 日～平成 16 年 10 月 31 日（郵便局消印有効）

助成対象期間：平成 17 年 4 月 1 日～原則 1 年

助成金交付時期：平成 17 年 5 月の予定

(5) 申請書類請求および問合せ先

当財団の所定様式（なるべくホームページからのダウンロードをご利用下さい）に記入して応募して下さい。

〒616-8236 京都市右京区鳴滝春木町 5 番地 20

財団法人 立石科学技術振興財団 事務局

TEL (075) 461 4771 FAX (075) 465 3697

E-mail tateisi-f@omron.com

募集要項、申請書類に関しては当財団ホームページをご覧ください。

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

財団法人 立石科学技術振興財団 平成 17 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 17 年度前期の国際交流助成の候補募集を行いますので、お知らせいたします。(さらに詳細については募集要項をご覧ください。)

記

(1) 助成対象

国際交流助成(派遣と招聘)

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

「人間と機械の調和を促進する」とは、人間重視の視点に立った科学技術の健全な発展に寄与したい、という願いからきているものです。上記の範囲で、科学技術を人間にとって最適なものとするための、若手研究者による萌芽的な基礎研究活動の一環としての国際交流を歓迎します。ことに、渡航経験の少ない若手からの応募を期待します。

(2) 金額及び件数

国際交流助成金(派遣と招聘)	派遣	1 件	40 万円以下	} 平成 17 年度助成件数 合計 10 件程度
	特別招聘	1 件	50 万円以下	
	一般招聘	1 件	30 万円以下	

(3) 応募資格

- ① 派遣の応募は、日本国内に居住する研究者であれば、国籍・所属機関を問いません。
- ② 招聘の応募は、日本で開催される学会・研究集会の関係者であれば、国籍・所属機関・団体または個人のいかんを問いません。
- ③ 類似内容で現在、他の財団等から既に助成を受けているかまたは受ける予定になっている個人またはグループは、ご遠慮下さい。

(4) 募集期間と助成対象期間および助成金交付時期

募集期間：平成 16 年 10 月 1 日～平成 16 年 12 月 31 日(郵便局消印有効)

助成対象期間：平成 17 年 4 月 1 日～平成 17 年 9 月 30 日

助成金交付時期：平成 17 年 4 月の予定

(5) その他

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

(6) 申請書類請求および問合せ先

当財団の所定様式(なるべくホームページからのダウンロードをご利用下さい)に記入して応募して下さい。

〒616-8236 京都市右京区鳴滝春木町 5 番地 20

財団法人 立石科学技術振興財団 事務局

TEL (075) 461 4771 FAX (075) 465 3697

E-mail tateisi-f@omron.com

募集要項、申請書類に関しては当財団ホームページをご覧ください。

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

財団法人 立石科学技術振興財団

平成 17 年度後期 国際交流助成候補募集案内

(財)立石科学技術振興財団においては、下記の通り平成 17 年度後期の国際交流助成の候補募集を行いますので、お知らせいたします。(さらに詳細については募集要項をご覧ください。)

記

(1) 助成対象

国際交流助成（派遣と招聘）

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

「人間と機械の調和を促進する」とは、人間重視の視点に立った科学技術の健全な発展に寄与したい、という願いからきているものです。上記の範囲で、科学技術を人間にとって最適なものとするための、若手研究者による萌芽的な基礎研究活動の一環としての国際交流を歓迎します。ことに、渡航経験の少ない若手からの応募を期待します。

(2) 金額および件数

国際交流助成金（派遣と招聘）	派遣	1 件	40 万円以下	} 平成 17 年度助成件数 合計 10 件程度
	特別招聘	1 件	50 万円以下	
	一般招聘	1 件	30 万円以下	

(3) 応募資格

- ① 派遣の応募は、日本国内に居住する研究者であれば、国籍・所属機関を問いません。
- ② 招聘の応募は、日本で開催される学会・研究集会の関係者であれば、国籍・所属機関・団体または個人のいかなを問いません。
- ③ 類似内容で現在、他の財団等から既に助成を受けているか、または受ける予定になっている個人またはグループは、ご遠慮下さい。

(4) 募集期間と助成対象期間および助成金交付時期

募 集 期 間：平成 17 年 4 月 1 日～平成 17 年 6 月 30 日（郵便局消印有効）

助成対象期間：平成 17 年 10 月 1 日～平成 18 年 3 月 31 日です。

助成金交付時期：平成 17 年 10 月の予定

(5) その他

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

(6) 申請書類請求および問合せ先

当財団の所定様式（なるべくホームページからのダウンロードをご利用下さい）に記入して応募して下さい。

〒616-8236 京都市右京区鳴滝春木町5番地20

財団法人 立石科学技術振興財団 事務局

TEL (075) 461 4771 FAX (075) 465 3697

E-mail tateisi-f@omron.com

募集要項、申請書類に関しては当財団ホームページをご覧ください。

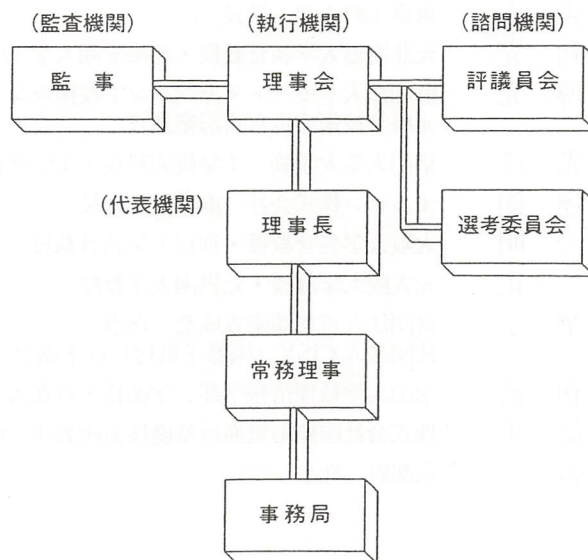
URL: <http://www.tateisi-f.org/>

■ 財 団 の 概 要

■ 役 員・評 議 員

財 団 の 概 要

- 名 称 財団法人 立石科学技術振興財団
(英文名 Tateisi Science and Technology Foundation)
- 所 在 地 〒616-8236 京都市右京区鳴滝春木町5番地20
TEL. (075) 461 4771 FAX. (075) 465 3697
URL. <http://www.tateisi-f.org/> E-mail. tateisi-f@omron.com.
- 理 事 長 立石 信雄
- 設立年月日 1990年3月6日
- 目 的 エレクトロニクス及び情報工学の分野で、人間と機械の調和を促進する研究及び国際交流に対し助成を行い、技術革新と人間重視の両面から真に最適な社会環境の実現に寄与することを目的とする。
- 事 業 内 容
1. エレクトロニクス及び情報工学の分野で、人間と機械の調和を促進するための研究に対する助成。(研究費助成 20 件以下 / 年, 250 万円以下 / 件)
 2. エレクトロニクス及び情報工学の分野で、人間と機械の調和を促進するための国際交流に対する助成。
(研究者の海外派遣及び外国人研究者の招聘, 助成 10 件程度 / 年, 50 万円以下 / 件)
 3. エレクトロニクス及び情報工学の分野で、人間と機械の調和を促進するための研究成果の普及。(助成した研究結果を年間 1 回発行)
 4. その他、本財団の目的を達成するために必要な事業。
- 基 本 財 産 現金 11 億円 株式 1 億 3,125 万円 (額面)
- 財団の組織



役員・評議員

(2004年7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	中塚弘	オムロン株式会社 参与
理事	伊夫伎一雄	株式会社東京三菱銀行 特別顧問
理事	大澤弘之	財団法人リモート・センシング技術センター 理事長 元科学技術事務次官
理事	大野豊	関西 TLO 株式会社 取締役社長・京都大学名誉教授
理事	熊谷信昭	兵庫県立大学 学長
理事	黒田眞	財団法人世界経済情報サービス 理事長・元通商産業審議官
理事	立石義雄	オムロン株式会社 取締役会長
理事	棚橋祐治	石油資源開発株式会社 取締役社長・元通商産業事務次官
理事	長尾真	独立行政法人情報通信研究機構 理事長・前京都大学 総長
理事	森川敏雄	株式会社三井住友銀行 特別顧問
理事	諸井虔	太平洋セメント株式会社 相談役
監事	辻敢	辻・本郷税理士法人 会長（公認会計士）
監事	中川朋子	イリス法律事務所（弁護士）

評議員

評議員	相澤益男	東京工業大学 学長
評議員	相磯秀夫	東京工科大学 学長
評議員	朝倉利光	元北海道大学名誉教授・北海学園大学工学部 教授
評議員	雨村博光	財団法人リモート・センシング技術センター 専務理事 元科学技術庁長官官房審議官
評議員	荒木光彦	京都大学大学院 工学研究科長・工学部長
評議員	市原達朗	オムロン株式会社 取締役副社長
評議員	岩田一明	大阪大学名誉教授・神戸大学名誉教授
評議員	末田正	元大阪大学教授・元摂南大学教授
評議員	立石峯子	財団法人京都能楽養成会 理事 社団法人 CISV（国際子供村）日本協会 理事
評議員	長谷川利治	南山大学数理情報学部 学部長・京都大学名誉教授
評議員	葉原耕平	株式会社国際電気通信基礎技術研究所 顧問
評議員	山田啓二	京都府 知事

(50音順)

編 集 後 記

本助成研究成果集は、当財団の助成研究成果普及事業の一環として毎年秋に継続発行して、助成研究者の皆様、国立国会図書館、全国主要大学・研究機関ならびに同図書館等の400ヶ所に拝送させていただいておりますが、今号で第13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14回（平成15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14回（平成15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長尾理事様、投稿文をお寄せいただきました京都大学大学院工学研究科 川上 養一助教授、和歌山大学システム工学部 陳 謙助教授、事務局取材に快く応じていただきました東北大学大学院工学研究科 内山 勝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17年度の助成候補の募集期間になっていますので、当財団ホームページをご覧くださいと思います。また、国際交流助成については前期と後期の2回に助成期間を分けて募集いたしておりますので合わせてご覧いただければと思います。

当財団の活動ならびに本誌に関する皆様のご意見などお待ちしております。

財団法人 立石科学技術振興財団 事 務 局

財団法人 立石科学技術振興財団
Tateisi Science and Technology Foundation
助成研究成果集 第 13 号
平成 16 年 9 月 (2004)

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

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

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