

立石科学技術振興財団

# 助成研究成果集

## 【第12号】

平成15年(2003)





# 人間と機械の調和を促進する助成研究成果集

第 12 号

平成 15 年 9 月 (2003)

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

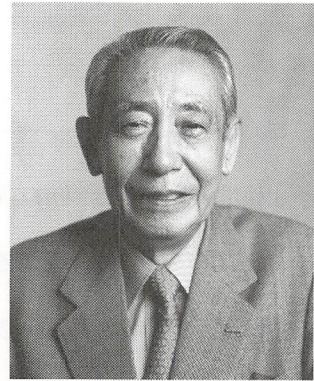
|                                      |     |
|--------------------------------------|-----|
| 1. 理事長挨拶 .....                       | 2   |
| 2. 財団関係者寄稿（相澤益男 評議員 東京工業大学・学長） ..... | 3   |
| 3. 助成研究成果の抄録一覧 .....                 | 5   |
| 4. 国際交流報告の抄録一覧（平成 14 年度） .....       | 97  |
| 5. 平成 14 年度活動報告（業務日程・会計） .....       | 103 |
| 6. 平成 15 年度助成報告 .....                | 104 |
| 7. 第 14 回助成金贈呈式 .....                | 105 |
| 8. 受領者投稿 .....                       | 106 |
| 菅野重樹 早稲田大学 理工学部 機械工学科 教授 .....       | 106 |
| 白鳥世明 慶應義塾大学 理工学部 物理情報工学科 助教授 .....   | 107 |
| 9. 研究室訪問 .....                       | 108 |
| 九州工業大学大学院 生命体工学研究科 金藤研究室 .....       | 108 |
| 10. 第 14 回（平成 15 年度）助成課題一覧 .....     | 110 |
| 11. 平成 15 年度研究助成課題の紹介 .....          | 112 |
| 12. 平成 16 年度助成候補募集案内 .....           | 115 |
| 13. 財団の概要 .....                      | 119 |
| 14. 役員・評議員 .....                     | 120 |
| 編集後記 .....                           | 121 |



## ごあいさつ

このたび、助成研究成果集第12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14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12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。

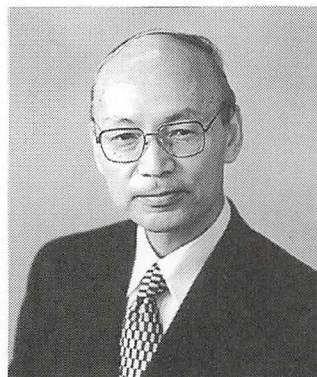
21世紀を迎えた今日、情報化と科学技術の進歩がさらに加速し発展する中で、忘れてならないのは人間が主人公の社会の回復、すなわち人間と科学技術の高次元での調和だと考えております。この人間重視の視点に立った豊かで健全な最適化社会の創造に向けて、私ども財団の助成活動がいささかでも寄与できればと願っております。

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

## 生命情報の時代を迎えて

ワトソンとクリックが、DNAの二重らせん構造を“*Nature*”に発表したのは、1953年であった。遺伝情報が分子に蓄えられることが見出され、「情報と分子」が初めて結びつけられた意義は大きい。さらに“情報”という視点で生命を捉える端緒を開き、分子生物学、遺伝子工学の発展をもたらした。発見者も自ら関わりをもちながら、20世紀最後の重要課題とされていた“ヒトゲノム解析”が、50周年の節目に完結したことも意義深い。そして、今まさに“生命情報の時代”である。



20世紀後半のバイオサイエンスは、情報システムとしての生命体の本質を分子レベルで解明することに輝かしい成果を挙げ、生命体にくまなく広がる驚異的な“生命情報ワールド”に対する理解を飛躍的に向上させた。とくに、ナノテクノロジーを駆使したナノバイオ、ヒトを始めとする各種生物種についてのゲノム解析は、“生命情報ワールド”の本質に肉迫する勢いであり、エレクトロニクス系で構築された人工設計系ともいえる“電子情報ワールド”との本質的差異が明確になってきた。端的に表現すれば、「分子情報と電子情報の違い」である。この二つの情報ワールドの密接な連携によって、新しいフロンティアが切り拓かれる期待が大きい。

ソフトウェアからの生命情報ワールドへのアプローチも急速に進展している。“遺伝アルゴリズム”、“免疫アルゴリズム”、“神経アルゴリズム”などの展開も注目されよう。一方、細胞内の分子情報ネットワークをシミュレートした“人工生命”と称するバーチャルな生命を実現するチャレンジも活発化している。生命情報ワールドが“分子基盤の実世界”と“シリコン基盤の仮想現実”の両面で捉えられるようになった。

21世紀の初頭、“生命情報の時代”を迎えて、生命情報の科学技術が開花しようとしている。1) 生命情報の解析技術、2) 生命情報の制御技術、3) 生命情報の利用技術、4) バイオ・インフォマティクス、5) システムバイオロジー、6) 人工生命など、生命情報に関わる諸領域の研究が進展するにともない、人と人工システムの調和の道が拓かれることを期待したい。

評議員 相澤 益 男  
(東京工業大学・学長)



# 研究助成成果の抄録一覧

(年度順五十音順)

- ◆ 免疫系アプローチによる文書集合中の話題分布構造可視化に関する研究 (1001008) ..... 8  
 Research on Visualizing Topic Distribution over Document Space based  
 on Immunological Approach  
 高 間 康 史      東京都立科学技術大学 助教授
  
- ◆ デジタル制御系の高度利用・高信頼化技術の構築に関する基礎研究 (1001011) ..... 12  
 Fundamental Research on the Development of Technologies for Advanced Utilization  
 and Enhanced Reliability of Digital Control Systems  
 萩 原 朋 道      京都大学大学院工学研究科 教授
  
- ◆ トイレに設置するヘルスケアのための生体情報自動計測システムの開発研究 (1001017) ..... 17  
 Fully Automated Vital Sign Monitoring System Installed in a Lavatory for Health-care  
 — Development of Blood Pressure Monitoring from a Toilet-seat —  
 山 越 憲 一      金沢大学大学院自然科学研究科 教 授
  
- ◆ スペクトル線幅を投影とする光 CT 法の開発 (1001018) ..... 22  
 Development of Transillumination Laser CT Using Spectral Linewidth Broadening  
 湯 浅 哲 也      山形大学工学部 助教授
  
- ◆ 動脈圧反射失調による起立性低血圧を克服するバイオニック動脈圧反射システム  
 の開発 (1011008) ..... 28  
 A Novel Therapeutic Strategy Against Central Baroreflex Failure  
 佐 藤 隆 幸      高知医科大学循環制御学 教授
  
- ◆ 並列集積化フォトニックデバイスを用いた超高速 3 次元マイクロイメージング技術 (1011012) ..... 32  
 Confocal Micro Imaging Using Massively Parallel Integrated Photonic Devices  
 成 瀬 誠      独立行政法人通信総合研究所情報通信部門 研究員
  
- ◆ 通信時間遅れの力感覚表示による力覚フィードバック遠隔操作手法に関する研究 (1011013) ..... 36  
 Study on Force Feedback Teleoperation by Force Display of Time Delay  
 能 見 公 博      香川大学 助教授
  
- ◆ 超音波モータを用いた歩行支援システムの開発 (1021003) ..... 40  
 Development of Walking Assistance System using Ultrasonic Motor  
 Eko Purwanto      東京農工大学工学部 助手

- ◆ SQUID 磁気センサを用いた超高感度免疫反応検出システムの開発 (1021004) ..... 45  
Ultra Sensitive Immunoassay Utilizing Magnetic Marker and SQUID Sensor  
円 福 敬 二 九州大学大学院システム情報科学研究院 助教授
  
- ◆ 動脈硬化性粥腫の非観血的電子染色のための血管壁生体顕微計測に関する研究 (1021005) ..... 49  
Electronic Staining by Noninvasive Measurement of Visco-elasticity of Atherosclerosis  
金 井 浩 東北大学大学院工学研究科電子工学専攻 教 授
  
- ◆ 動作補助用外骨格型ロボットと人間との知的インターフェースの研究 (1021006) ..... 53  
A Study of Intelligent Interface between Human Users and  
Exoskeletal Robots for Motion Assist  
木 口 量 夫 佐賀大学大学院工学系研究科 助教授
  
- ◆ 個人適応型運動負荷制御法設計アルゴリズムに関する研究 (1021007) ..... 58  
Study on Algorithm for Personally Fitted Workload Control of Cycle Ergometer System  
木 竜 徹 新潟大学大学院自然科学研究科 教 授
  
- ◆ 層構造体を伝搬する弾性波を用いたバイオセンサの研究 (1021008) ..... 63  
Study of Biosensor Using Acoustic Wave in Layered Structure  
近 藤 淳 静岡大学工学部 助教授
  
- ◆ 超音波弾性映像法による触力覚センシングに関する研究 (1021009) ..... 68  
Tactile Sensing Based on Ultrasonic Elasticity Imaging  
椎 名 毅 筑波大学電子・情報工学系 教 授
  
- ◆ 視覚的注意の捕獲現象の研究 (1021010) ..... 72  
Capture of Visual Attention  
塩 入 諭 千葉大学工学部 助教授
  
- ◆ アクティブ固定機構をもつカフ型神経インターフェースの研究 (1021011) ..... 76  
Study on a Cuff Type Neural Interface with an Active Attaching Mechanism  
竹 内 昌 治 東京大学生産技術研究所 助教授
  
- ◆ 知識情報処理を用いた痴呆症の統合診断支援システムの開発 (1021016) ..... 80  
Assistance of an Integrated Diagnosis for Dementia Patients Using  
a Knowledge Information Processing Methods  
日比野 新 名古屋市総合リハビリテーションセンターリハビリテーション工学技師
  
- ◆ 筋電信号に基づく次世代携帯端末用インタフェースの研究 (1021018) ..... 84  
New Interface for Portable Terminal Based on EMG Signals  
福 見 稔 徳島大学工学部・助教授



|                                         |    |
|-----------------------------------------|----|
| ◆ 真空圧で駆動する生活支援柔軟ロボットの開発 (1021019) ..... | 88 |
|-----------------------------------------|----|

Development of Livelihood Support Robots with Flexibility Driven by Vacuum Pressure

満 田 隆 立命館大学理工学部 助教授

|                                            |    |
|--------------------------------------------|----|
| ◆ 人間と機械のダイナミックな協調タスクに関する研究 (1021020) ..... | 92 |
|--------------------------------------------|----|

Dynamic Cooperation Task of the Human and the Machine

宮 崎 文 夫 大阪大学大学院基礎工学研究科 教 授

## 免疫系アプローチによる文書集合中の 話題分布構造可視化に関する研究

Research on Visualizing Topic Distribution over Document Space based  
on Immunological Approach

1001008

研究代表者

東京都立科学技術大学 助教授

高 間 康 史

### [研究の目的]

WWW 情報検索過程において、検索文書集合における話題分布構造を抽出、視覚化する方法を提案・開発する。情報検索作業を通じて得られた文書集合に対し、これらをバランス良くカバーするクエリー集団のネットワークを漸進的に生成する事により、検索効率の向上だけでなく、検索対象分野に関する概念体系獲得過程を支援する効果も期待できる。免疫ネットワークの持つ多様性、記憶能力を応用したネットワーク生成機構を提案し、その特性を明らかにした後情報検索支援システムを構築して評価実験を行う。

### [研究の内容、成果]

本研究では、文書クラスタリングとキーワードマップにおけるランドマーク抽出は表裏一体の問題と考える。すなわち、同一キーワードを含む文書集合をクラスタ候補とし、文書全体のほとんどをカバーし、互いにオーバーラップしないクラスタ集合を求めることでクラスタリングを行う。各クラスタに対応するキーワードがランドマークとなる。k-means などと異なり、クラスタ境界がキーワードの有無で厳密に決まるため、全ての文書が必ず一つのクラスタに属する事を保証できないが、異なる検索結果間の対応付けが容易であり、さらには WWW 上で

実運用されているサーチエンジンのほとんどで採用されている、ブーリアンモデルとの相性がよいなどのメリットがある。

互いにオーバーラップしないクラスタ集合を抽出するだけであれば、組み合わせ最適化問題の一種として定式化でき、GA などにより準最適解を効率的に求めることが期待できる。しかし、各クラスタの持つ意味（概念・話題）や、キーワードマップ上でのランドマークとしての観点からは、他の評価基準も要求される。すなわち、キーワードマップ上で近くに配置されている（出現文書集合が類似の）キーワード集合から、それぞれ代表となるものをランドマークとして抽出することが望ましい。本研究では、キーワード間の局所的相互作用に基づきキーワードの活性値を計算し、これに基づいてランドマーク（クラスタ中心）となるキーワード集合を抽出する。相互作用モデルとしては以下に示す免疫ネットワークモデルを採用する。

免疫ネットワークモデルは、免疫システムの多様性、記憶能力などを説明するために Jerne によって提案された仮説であり、個々の抗体が互いに認識しあってネットワークを構成し、一度経験した抗原に対しては、抗原が消滅した後も対応する抗体およびそれを産生する B 細胞が、他抗体・B 細胞と刺激を与えあう事によって長く体内に留まる事ができ、結果として免疫の記憶、多様性が保たれるとしたものである。免疫ネットワークに関しては、抗原・抗体濃度



変化を微分方程式で表す数理モデルなどが提案されており、本研究では以下に示す比較的簡単なモデルを採用する。

$$\frac{dX_i}{dt} = s + X_i(f(h_i^b) - k_b) \quad (1)$$

$$h_i^b = \sum_j J_{ij}^b X_j + \sum_j J_{ij}^g A_j \quad (2)$$

$$\frac{dA_i}{dt} = (r - k_g h_i^g) X_i \quad (3)$$

$$h_i^g = \sum_j J_{ji}^g X_j \quad (4)$$

$$f(h) = p \frac{h}{(h + \theta_1)} \frac{\theta_2}{(h + \theta_2)} \quad (5)$$

ここで、 $X_i$  が抗体濃度、 $A_i$  は抗原濃度をそれぞれ表す（初期濃度  $X_i(0)$ 、 $A_i(0)$ ）。 $s$  は抗体の補充率、 $r$  は抗原の再生率、 $k_b$ 、 $k_g$  はそれぞれ、抗体、抗原の死滅率である。 $h_i^b$ 、 $h_i^g$  は field と呼ばれ、認識可能な抗原、抗体からの影響は式 (5) より、field の対数を横軸とするベル型の関数により定義される。 $J_{ij}^b$  は、抗体  $i$ 、 $j$  間の親和度、 $J_{ji}^g$  は抗体  $i$  と抗原  $j$  間の親和度を表す。式 (5) より、抗体は他抗体、抗原を認識して活性化するだけでなく、影響が強すぎる場合には抑制される。抗体活性に関するこのような非線形により、自己由来の細胞は攻撃しない免疫寛容や、類似抗体間の競合による多様性の維持が説明できる。

免疫ネットワークモデルの安定性、ダイナミクスについて、ネットワーク構造やトポロジーを固定することにより解析が行われているが、本研究では次節で示すように文書集合中のキーワード分布に基づいてネットワークを構築するため、上記の解析手法を適用する事は困難である。しかし、接続されたノード（抗体）間で、安定してとりうる活性状態の組み合わせについての考察により、以下の様な制約が示されている。

- 抗体のとりうる活性状態は、初期状態、抑制状態、弱活性状態、高活性状態の 4 通りである。
- 接続された抗体がともに高活性化する状態

は不安定である。

- 同一の高活性抗体と接続する抗体が複数存在する時、強接続の抗体は抑制され、弱接続の抗体は弱活性化する。

## 1. キーワードの活性度計算アルゴリズム

本研究では、キーワードを抗体、文書を抗原と見なすことにより、免疫ネットワークモデル（式 (1)–(5)）に基づいてキーワードの活性値を計算する。実際の免疫システムでは、侵入抗原に応じて抗体の構造（認識対象）が変化するが、提案アルゴリズムでは文書集合に応じてリンク関係が変化することがこれに対応する。具体的な処理手順は以下の通りである。ここで、ネットワークの定常状態とは、高活性化するキーワード集合が一定となった状態を指すものとする。

1. 文書集合から、出現文書数（document frequency） $DF$  が  $TH_1$  以上のキーワードを抽出し、ノードとする。出現文書集合が等しいキーワードについては一つにまとめる。
2. キーワード間接続強度（親和度）( $J_{ij}^b$ ) の設定
  - 強接続（SC）……共起文書数  $CDF_{ij} \geq TH_2$
  - 弱接続（WC）……  $1 \leq CDF_{ij} < TH_2$
3. キーワード・文書間接続強度 ( $J_{ij}^g$ ) の設定
  - 強接続（SC）……文書  $j$  中のキーワード  $i$  の頻度  $TF_{ij} \geq TH_2$
  - 弱接続（WC）……  $1 \leq TF_{ij} < TH_2$
4. キーワード、文書の活性値計算  $X_i$ 、 $A_i$  を式 (1)–(5) に基づき、ネットワークが定常状態になるまで繰り返す。

## 2. 実験結果

本節では、提案クラスタリング手法について、代表的なクラスタリング手法であり、有効性が実応用において広く認められている、k-means と比較した結果について示す。k-

means は対象データ（文書）全てをクラスタリングするのに対し、提案手法で生成するクラスタ構造は必ずしも全文書をカバーするとは限らないが、様々な内容、サイズの文書集合に適用した結果、60-80% の文書をカバーするクラスタを生成可能であることを実験的に確認している。

生成されたクラスタの結束性、理解容易性については、アンケート調査により有効性を確認した。Yahoo! Japan News<sup>1)</sup> や Lycos Japan<sup>2)</sup> などのオンラインニュース記事を収集し、提案手法と k-means によるクラスタリング結果それぞれについて、大学の研究者および学生 9 人に、各文書クラスタの結束性（話題に関するまとまり）を評価してもらった。具体的には、各クラスタ内の文書について、「互いに深く関連している」（評価点 5）から「関連していない」（評価点 1）まで、5 段階で評価してもらった。この結果、多くの場合提案手法の方がよい評価が得られることを確認している。

k-means と提案手法で、同じ文書クラスタが生成されることも比較的多かった。また、クラスタサイズの分散が大きい事からもわかるように、k-means は一つの大きなクラスタを作る傾向があるため、提案手法で生成したクラスタがそれらの部分集合となる場合も多かった。そこで、k-means と同じクラスタ (KMEANS)、部分集合、その他に分けて、評価点の分布を見た結果を表 1 に示す。これより、k-means と異なるクラスタであっても、十分よい評価が得られていることがわかる。

表 1 k-means 生成クラスタとの対応と評価点の分布

| クラスタ区分 | 1 | 2 | 3 | 4  | 5  | 計  |
|--------|---|---|---|----|----|----|
| KMEANS | 0 | 2 | 0 | 7  | 6  | 15 |
| 部分集合   | 2 | 1 | 0 | 6  | 0  | 9  |
| そ の 他  | 3 | 2 | 0 | 11 | 4  | 20 |
| 計      | 5 | 5 | 0 | 24 | 10 | 44 |

1) <http://news.yahoo.co.jp/>

2) <http://www.lycos.co.jp>

### 3. 情報可視化インタフェース

文書集合中に含まれる話題を可視化するために、本研究ではキーワードマップと呼ばれる可視化手法を採用する。キーワードマップ上では、キーワード間の類似度（通常共起関係に基づき計算）に基づき、類似するキーワードほど近くに配置されるようにしたものである。

キーワードマップは、配置されたキーワードの分布から、文書集合中の話題分布を把握することができる点で有効であるが、キーワードマップにおける理解の手がかりは基本的にキーワード間の距離情報だけであり、ユーザの主観やキーワードマップ表示に対する習熟度に大きく依存する。特に、一般ユーザが利用する Web インタフェースに適用するには、可読性の更なる向上が重要であると考ええる。

また、本質的に多次元なキーワード間の関係を二次元のキーワードマップに写像する際に、代表的なキーワード配置方法であるバネモデルや多次元尺度構成法などの局所最適解を求める手法では実行毎に異なる配置が得られてしまう可能性がある。この問題も、適切な可視化メタファの導入によって解決できると考える。

キーワードマップ生成の観点から本提案手法を考えると、ランドマークは関連の強いキーワードを抑制するため、強接続キーワードを近傍に配置した場合、ランドマークとその周囲に存在する、抑制されたキーワードの塊が、文書集合中の話題の一つに対応する事になる。したがって、これらの関係を強調してキーワードマップ上に表現することにより、可読性の向上が期待できる。また、ランドマーク・関連キーワード間の関係を強調・優先してキーワード配置を行うことにより、実行の度に安定した配置を得ることもつながる。

図 1 は、提案手法で発見したランドマークを強調して配置したキーワードマップであり、話題クラスタの発見が容易になっていることがわかる。ここではオンラインニュース記事に適用した結果を中心に示したが、検索エンジンなど



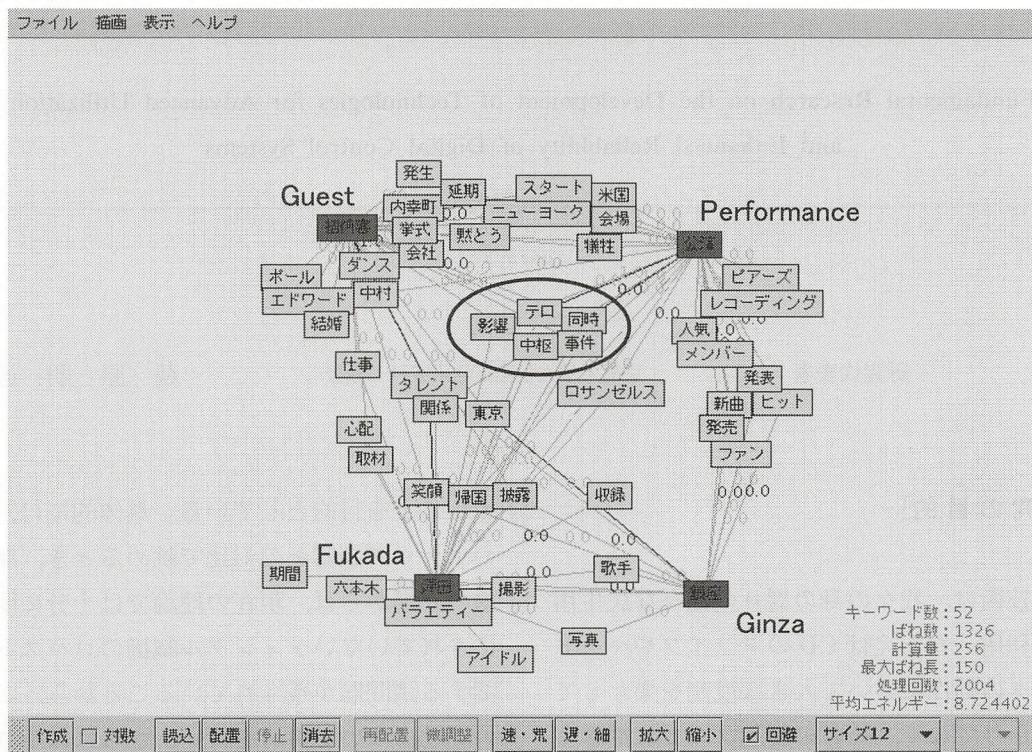


図1 提案手法を導入したキーワードマップ

の検索結果を収集・解析し、提案手法を適用してキーワードマップを生成することも可能である。

#### [今後の研究の方向、課題]

WWW などから収集可能な情報を考えた場合、オンラインニュースは日々更新・発信されること、検索エンジンを用いた情報検索においても、ある検索要求のもとに数回検索作業を繰り返すのが普通である。これら時系列的関連を持った文書集合族から各文書集合間の対応を考慮し、話題ストリームを抽出することが重要であり、今後の研究の方向として挙げられる。この点に関して、免疫記憶細胞モデルの導入により有効な結果が得られることが示されつつあり、今後も本研究で得られた成果をベースに、研究・改良を進めていく予定である。

#### [成果の発表、論文等]

- 1) 高間康史, 廣田 薫: 免疫ネットワーク・メタファに基づく Web 情報可視化手法, 日本ファジィ学会誌, Vol. 14, No. 5, pp. 472–481 (2002)
- 2) Y. Takama and K. Hirota: Web Information Visualization Method Employing Immune Network Model for Finding Topic Stream from Document-Set Sequence, J. of New Generation Computing, Vol. 21, No. 1, pp. 49–59 (2003)
- 3) Y. Takama and K. Hirota: Visualization of Topic Distribution from Document Sequence on Web, in P. Sincak et al. Ed., Intelligent Technologies — Theory and Applications — New Trends in Intelligent Technologies, IOS Press, pp. 189–195 (2002)
- 4) 日本ファジィ学会奨励賞受賞 (2002)

他, 国際会議, 国内会議・研究会など発表あり



## ディジタル制御系の高度利用・高信頼化技術の構築に関する基礎研究

### Fundamental Research on the Development of Technologies for Advanced Utilization and Enhanced Reliability of Digital Control Systems

1001011

研究代表者

京都大学大学院工学研究科 教授

萩原 朋道

#### [研究の目的]

制御技術は、我々の身の周りの様々な民生用機器の利用、たとえばCDのドライブやハードディスクの動作において大きな役割を果たしているばかりでなく、その製造プロセスやさらにはそれらの部品、ひいては原料の製造プロセスにおいても大きな役割を果たしている。半導体ステップや鉄鋼プラントなどはその代表的な一例といえよう。あるいはまた、電力システムの安定な運用や航空機から宇宙開発といった広い分野に至るまで、幅広く利用されており、今世紀はさらにその応用分野をエネルギー、環境、食糧、医療などとも密接に関連した分野へと発展させていくことが期待される。そのような中、制御技術のさらなる進展なくしては、今後の人間社会の調和ある発展は困難であるといっても過言でない。

ディジタル技術ならびにコンピュータ技術がここまで発展した昨今、制御系の実装はほとんどディジタル化しているといえる。その背景には、ディジタル機器を用いた制御では従来のアナログ実装に比べて、高精度、高信頼かつ柔軟な制御系が安価に達成できるという事実がある。このような背景から、ディジタル制御系は、今後ますます重要となるが、本研究は、ディジタル制御がもち得るこれらの特徴を十分に活かし、ひいてはディジタル制御本来の性能を完全に引き出すことができるような基礎技術の確立に資

することを目的としている。具体的には、従来のアナログ制御との対比で眺めるとき、制御理論の立場からは、現在の理論では十分に明らかにされていないディジタル制御のロバスト性に関する諸問題が残されていることから、これらの問題について検討を行い、さらにはそれらの解析のための計算機ソフトウェア環境を整えることにより、ディジタル制御系のさらなる高度利用と高信頼化を可能とすることを目的とする。

#### [研究の内容・成果]

##### 1. ディジタル制御系のLFT表現

上記の目的を達成するために考察すべき問題は、基本的に、ディジタル制御系のロバスト性であるということが出来る。その際、ディジタル機器のパラメータの精度は極めて高いと考えられることから、とくに制御対象のパラメータの不確かさに対して制御系のロバスト性を確保するようにディジタル制御装置を設計することが重要である。この不確かさを $\Delta$ で表すとき、不確かさを含む制御対象は図1のように表現される。ここで、 $u, y$ はそれぞれ制御対象の入出力を表しており、とくに $\Delta = 0$ であるときの $u, y$ 間の入出力特性を持つシステムは、ノミナル制御対象と呼ばれる。通常は、このノミナル制御対象がさまざまな理論的考察や実験的測定等を通して求められるが、それは一般に不正確なモデルに過ぎない。この不正確さ、すなわち、



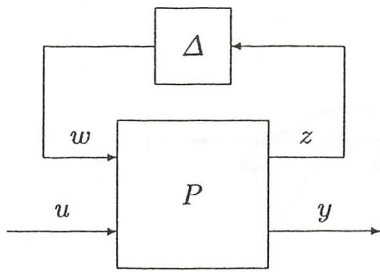


図1 不確かさを含む制御対象

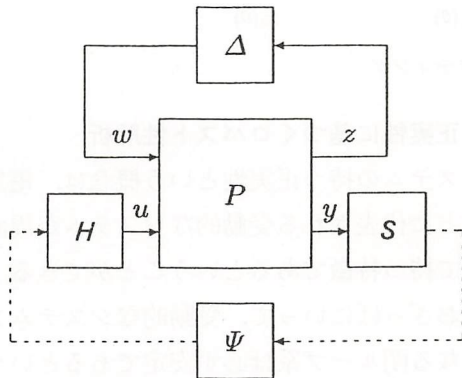


図2 不確かさを含む制御対象のデジタル制御

ノミナル制御対象と実際の制御対象とのずれを  $\Delta$  によって表現したものが図1であるといえ、 $\Delta$  はその正確な値は未知であるが、ある程度の見積もりが可能と考えられる量となる。

このような不確かさを持つ制御対象をデジタル制御装置により制御する様子を表すと、図2のようになる。これをデジタル制御系のLFT表現と呼ぶ。ここで  $\Psi$  がデジタル制御装置を表しており、 $S$  は制御対象の出力である連続時間信号をサンプリング周期  $h$  ごとにサンプリングするサンプラである。また、 $H$  は周期  $h$  ごとにデジタル制御装置から出力される制御入力指令値を連続時間信号に変換して制御対象に加えるための装置であり、ホールド回路と呼ばれる。 $S, H$  はそれぞれ A/D および D/A 変換器をモデル化したものといえる。以上のことから明らかな通り、図2において、実線は連続時間信号、破線は離散時間信号を表している。

我々が考えるべき問題は、 $\Delta$  が、不確かさの程度を表すある既知の範囲内に存在することが

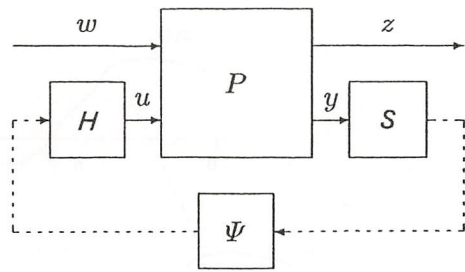


図3 ノミナル制御対象に対するデジタル制御系

わかっているということを除けば、いかなる値をとるのが不確かであるという状況において、 $\Delta$  の値によらず図2のシステムの制御性能を保証するようにデジタル制御装置を設計することである。

図2は、 $\Delta$  ともうひとつ別のシステム、すなわち、図3に示すシステムとからなる閉ループ系であるとみることができることから、このような問題を扱うためには、図3の形のデジタル制御系の性質を十分に調べるのが大切である。しかし、図3は、内部にデジタル制御装置を含むという意味では離散時間系的な性質を持つ一方、その入力と出力自体は連続時間信号であるため連続時間系的な性質をあわせ持っており、従来の制御理論により取り扱いの可能な連続時間系、離散時間系のいずれの範疇にも属さないシステムとなっている。そのため、その厳密な扱いのためには新たな工夫を要することになる。次項ではそのために用いられている基本的な考え方を紹介する。

## 2. デジタル制御系のリフティング表現

上記の難点を回避する方法として、リフティングと呼ばれる方法がある。この方法は、図3のシステムの入出力をサンプリング周期ごとに切り取り、時間区間  $[0, h)$  上で定義された関数からなる列 (sequence) とみることで、このシステムを見掛け上、離散時間システムとして眺めるという方法である (図4)。ただし、入出力をサンプリングしてある瞬間の値を取り出すのではなく、すべての時刻における情報をそのまま保持していることに注意された

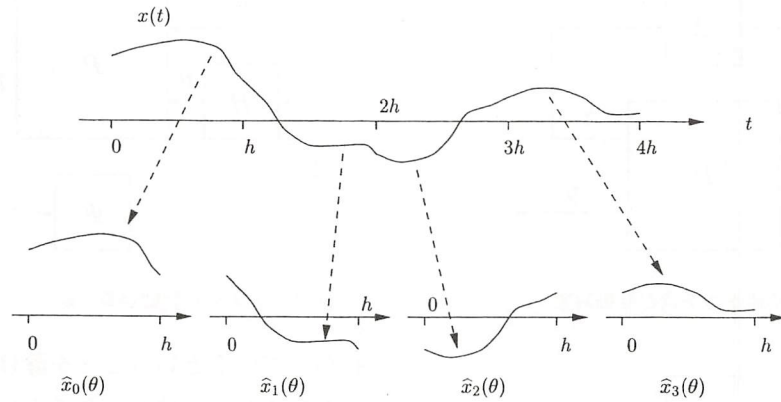


図4 連続時間信号のリフティング

い。したがって、この見掛け上の離散時間システムの入出力は関数空間上に値を取ることとなり、結果として以下のように表現されることになる。

$$x_{k+1} = Ax_k + B\hat{w}_k, \quad \hat{z}_k = Cx_k + D\hat{w}_k \quad (1)$$

ここで、 $\hat{w}_k, \hat{z}_k$  はそれぞれ連続時間信号  $w, z$  をリフティングすることにより得られる関数列であり、 $A, B, C, D$  は、これらの関数列間の写像を表現する、図3のシステムから定まる適当な作用素である。

### 3. 周波数応答作用素としての表現

リフティングの結果として、図3のシステムは伝達作用素表現  $\hat{G}(z) = C(zI - A)^{-1}B + D$ 、あるいは、さらにこれを用いた周波数応答作用素表現  $\hat{G}(e^{j\varphi h})$  により扱うことができる。ただし、 $\varphi$  は、サンプリング角周波数を  $\omega_s = 2\pi/h$  として  $[-\varphi/2, \varphi/2]$  の区間に値をとる各周波数を表している。とくに、 $\hat{G}(e^{j\varphi h})$  は、図3のシステムにおいて、それに含まれるサンプラや離散時間システムに起因して発生するエイリアシングの影響を完全に考慮に入れた意味での周波数応答を表しており、図2のシステムのロバスト性を周波数領域での議論により考察する上で極めて重要な役割を果たす量となる。これを用いた解析法に関する成果について以下述べる。

### 4. 正実性に基づくロバスト性解析

システムの持つ正実性という概念は、電気回路などに代表される受動的なシステムが周波数領域で持つ特徴であるということが出来る。少しおおざっぱに言って、受動的なシステム2つからなる閉ループ系は必ず安定であるという性質があり、この性質は、図2のシステムのロバスト性を考察する上でも大いに利用する価値のあるものといえる。この節では、この考え方に基づく図2のデジタル制御系のロバスト性解析に関する成果について述べる。

周波数伝達作用素  $\hat{G}(e^{j\varphi h})$  は、

$$\hat{G}(e^{j\varphi h}) + \hat{G}(e^{j\varphi h})^* \geq 0 \quad (2)$$

が任意の  $\varphi$  に対して成り立つとき、正実であるといわれる。ただし、 $(\cdot)^*$  は共役作用素を表す。すでに述べたことから、もし図3のシステムの周波数伝達作用素が正実であれば、図2のデジタル制御系は任意の正実な  $\Delta$  に対して安定ということになり、これは制御系のロバスト性能という視点からは極めて強い性質を保証することになる。しかし、残念ながら、一般に図3のシステムの周波数伝達作用素が正実となるようにデジタル制御装置を設計することは難しい。そこで、正実性の持つ上記の性質を活かすためには、次のような修正が考えられる。すなわち、適当な正の数  $\rho$  を導入し、修正された周波数伝達作用素  $\hat{G}(e^{j\varphi h}) + \rho I$  を考え、できるだけ小さな  $\rho$  に対してこれが正実となる



ようにデジタル制御装置を設計するという問題である。できるだけ小さな $\rho$ で設計できれば、より大きなクラス $\Delta$ に対して図2のデジタル制御系のロバスト性が保証されることになる。

ここでは、簡単のため、デジタル制御装置を固定したとき、修正された周波数伝達作用素 $\hat{G}(e^{j\omega h}) + \rho I$ が正実になるための最小の $\rho$ を求める問題に限り、その研究成果をもう少し詳細に述べることにする。この問題は、与えられたデジタル制御装置に対して、どのような範囲の不確かさに対してデジタル制御系がロバストであるかを知る上で重要である。

上記の最小の $\rho$ を求める問題は、作用素に関する合同変換の理論を用いると、ある有限次元行列ともう1つ別の作用素（無限次元行列）に対する（一般化）固有値を解くことで、2分法を通して任意の精度で求めることができる。この値を $\rho_{\min}$ と表すことにすると、図2のデジタル制御系は、セクタ $[0, 1/\rho_{\min}]$ に属する任意の非線形要素 $\Delta$ に対してロバストに安定であるという重要な帰結を得ることができる。

以上の意味で、 $\rho_{\min}$ の値の計算は極めて重要であるが、上記のような複雑な（無限次元の）固有値問題を介して2分法により計算されるため、その計算を容易に行えるようにすることが重要である。現在、この計算ルーチンは、MATLABのmファイルの形で整備されており、これにより、極めて容易に $\rho_{\min}$ が計算できる。

このように、 $\rho_{\min}$ の値の計算が容易になったことから、一連の異なるデジタル制御系（すなわち、デジタル制御系の何らかの系列）に対して対応する $\rho_{\min}$ の値をそれぞれ求めることも難しくない。そこで、図2のデジタル制御系をもとに、デジタル制御系の系列をある適切な方法で生成していくという繰り返し計算を行うことにより、制御対象のパラメータの不確かさに対する許容範囲を正確に求めることが

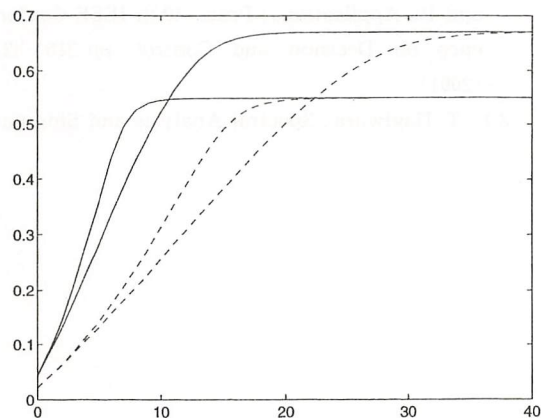


図5 不確かさ許容範囲の計算例

できる。図5はあるデジタル制御系中のある物理パラメータを対象として、閉ループ系が安定となるために許容される不確かさの範囲（基準値からの増加・減少に関してパーセント表示したもの）を繰り返し計算により求めたものであり、横軸が繰り返し回数を表している。実線が本研究成果によるものであり、従来の結果による破線と比べて、増加側で67%、現象側で55%の不確かさが許容されることが速く計算できていることがわかる。

#### [今後の研究の方向、課題]

デジタル制御系の伝達作用素表現や周波数応答作用素表現は、従来のアナログ制御装置をデジタル制御装置に置き換えたときに引き起こされるさまざまな問題を厳密に取り扱う上で極めて有用なものである。これらの作用素のスペクトル解析に基づくロバスト安定解析や、制御装置の離散化などの問題につき、引き続き研究を行う予定である。

#### [成果の発表、論文等]

- 1) T. Hagiwara: Nyquist Stability Criterion and Positive-Realness of Sampled-Data Systems, *Systems & Control Letters*, Vol. 45, No. 4, pp. 283–291 (2002)
- 2) T. Hagiwara and T. Mugiuda: Positive-

Realness Analysis of Sampled-Data Systems and Its Applications; Proc. 40th IEEE Conference on Decision and Control, pp.316-321 (2001)

3) T. Hagiwara: Spectral Analysis and Singular

Value Computations of the Noncompact Frequency Response and Compression Operators in Sampled-Data Systems; SIAM J. Contr. Optim. (to appear)



## トイレに設置するヘルスケアのための 生体情報自動計測システムの開発研究

Fully Automated Vital Sign Monitoring System Installed in a Lavatory for Health-care  
— Development of Blood Pressure Monitoring from a Toilet-seat —

1001017

研究代表者 金沢大学大学院自然科学研究科 教授 山 越 憲 一  
共同研究者 金沢大学自然計測応用研究センター 助教授 田 中 志 信

### 【研究の目的】

21世紀における我が国の超高齢社会では、国民医療費の国家予算に占める割合が増大することは避けられない状況であり、在宅での疾病予防・健康管理に対する自助努力が今後の医療体制の一方策とされている。大学病院などの限られた医療施設では、高度技術を駆使した医療が行われているにも拘わらず、一步院外に踏み出るとその医療技術は貧弱で、工学技術を十分に在宅生体計測に活用しているとは言い難い<sup>1-3)</sup>。

このような社会情勢と自己健康管理の要請を踏まえて在宅生体計測を考えた場合、普段健康と思っている人が、市販されている体重計や体温計、電子血圧計などME機器を家庭内に置き、定期的に自分で計測し、生体情報の履歴観察の必要性から、結果を記録していくことは極めて面倒であり、長期間に渡る計測を期待することは困難であろう。健康で長生きしたいという気持ちは、万人の共通した願いであろう。しかし、そのために常に時間と労力を費やして、疾病の兆候やリスクファクタを気にしながら生活を送ることは、かえって精神的苦痛を伴い、ストレスの増加を来たしてあまり意味がないであろう。

本研究はこのような観点から、センサ類を一

切身に付けず、測定のための操作も被測定者に行わせることなく、家庭内で生体情報を簡易かつ全自動的に計測し、データ収集可能なホームヘルスケアシステムを開発することを目指したものである<sup>3)</sup>。

これを実現するため、我々は在宅で必ず繰り返すヒトの活動に注目し、家庭の調度にセンサや計測器を組み入れることを考え、特にトイレは生体情報を取得するのに好適な場所であることに着目して、これまで体重や排泄量、排尿速度、心臓の血液駆出に伴う体重の微小振動（バリストカーディオグラム）から脈拍数や心臓血液駆出機能などのバイタルサインをモニタするシステムについて研究開発してきた<sup>4-6)</sup>。今回、システムをさらに発展させ、特にトイレ便座から自動的に臀部血圧を計測するシステムの開発を目指すことを目的として研究開発を進めた。被験者による実使用を通してシステムの性能評価を行い、その有効性を確認したので、今後の課題についても触れながら、研究成果の概要を報告する。

### 【研究の内容と成果】

#### 1. 血圧計測システムの構築と概要

血圧計測部位は、トイレ使用時において、圧迫用カフやセンサを身に付けず、血圧計測とい

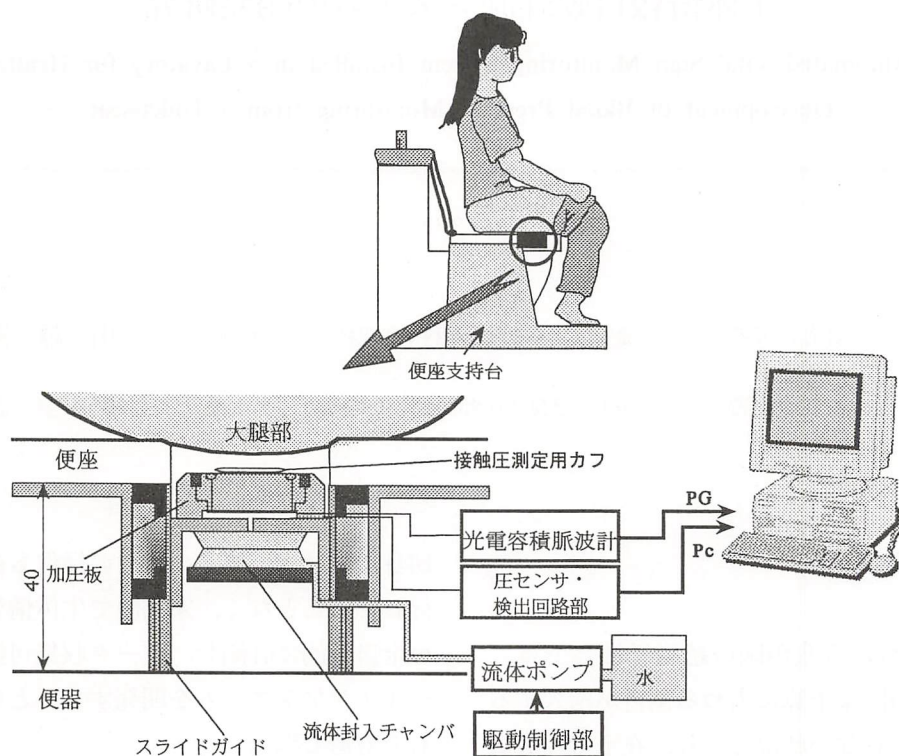


図1 トイレ便座からの血圧計測システムの全体概要（説明本文参照）

う一連の操作とデータの記録までを自動化するには、便座と接触する大腿部後面が計測部位として唯一の箇所であり、今回構築したシステムについても当該箇所を採用した。この部位には、解剖学的に比較的表層付近に走行する貫通動脈血管床があり、この血管内圧が計測対象となる。また、血圧計測法は著者らが開発した容積振動法<sup>7)</sup>を採用し、大腿部への加圧方式は局所加圧法とした。容積振動法における容積脈波の検出には、指向性が広く、受光面積の広い反射形近赤外光電容積脈波センサ（光源；高輝度LED、TLN 102×6個、ピーク波長940nm、東芝(株)；光検出器；高感度Siフォトダイオード、S1337-16BR×3個、浜松ホトニクス(株)）を用いた。

システムは図1に示すように、大腿部局所圧迫用カフユニット、ギア型流体ポンプを用いた加減圧制御部、光電容積検出回路部、圧センサ・検出回路部、および汎用パーソナルコンピュータから構成されている。大腿部と接触す

る便座には42φの開放口を設け、便座への座位時に大腿部後面がこの開放口の中央に位置するようにした。

カフユニットは、開発済のトイレ設置型体重関連・心機能情報モニタシステム<sup>4-6)</sup>に組み込むよう設計試作した。本ユニットは、反射形光電センサを内蔵した加圧板（加圧有効径40φ；塩化ビニル樹脂製で、大腿部と接触する面は球状（R150）とし、表面は弾性薄膜コーティングを施したもの：図2参照）、接触圧計測用空気封入カフ（ポリプロピレン製：ポリエチレン製導圧管によりカフ圧（ $P_c$ ）を導出し、圧センサにより計測）、およびウレタン製液体封入チャンバ、から構成され、加圧板が大腿部長軸方向に対して垂直に押し上げるようにスライドガイドを設けて、安定した圧迫ができるように製作した。カフ圧の加減圧制御は、ギアポンプ（TG-47A-PU-CB-B 603、ツカサ電工(株)；24V、定格吐出圧力0.5kgf/cm<sup>2</sup>、定格吐出流量230ml/min）により流体（水）をチャンバに



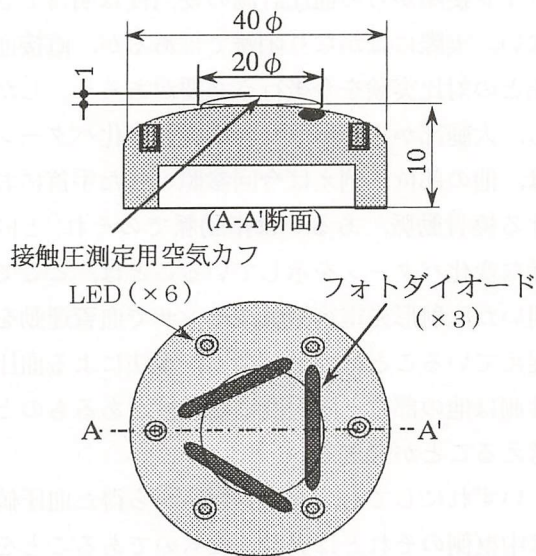


図2 光電容積脈波検出用センサ内蔵型加圧板の概要

流入あるいは流出させることにより行った。カフ圧 ( $P_c$ ) および光電センサからの容積脈波信号 ( $PG_p$ ) は 100 Hz のサンプリング周波数により A/D 変換 (12 bit) してパソコンに取り込み、データ処理・解析を行った。

## 2. 実験方法

試作システムの使用性能を評価するため、健康男子大学生 15 名に対し、実験主旨を説明、承諾を得られた後に、計測実験を行った。被験者には、普段の日常生活でトイレ使用する自然な状態で便座に座ってもらい、血圧計測を行った。計測は、同一位置・姿勢で 2～3 分間隔で 3 回、引き続き立ち上がってから便座に座り直してから同様に 3 回の計測を行い、合計 90 回の計測を試行した。このとき、参考までに手首部で容積振動法による血圧計測を行い、大腿部血圧との比較資料とした。

## 3. 実験結果

全ての被験者に対し、加圧に伴う容積脈波信号 ( $PG_p$ ) は、便座と大腿部後面が密着した通常の座位姿勢において、容積振動法で典型的に観測される脈波振幅変化パターンが良好かつ安定して得られた (図3 参照)。しかし、便座と

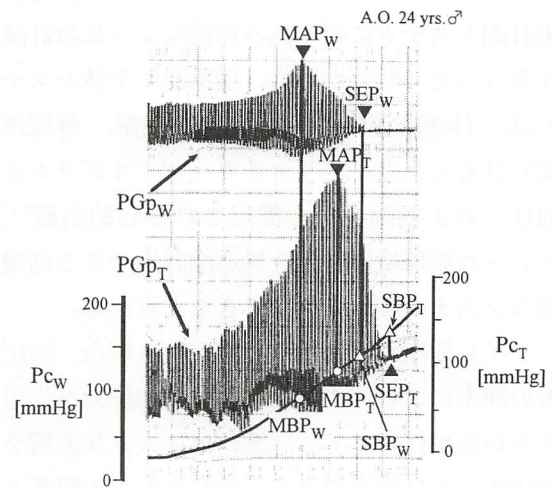


図3 カフ圧 ( $P_c$ ) と光電容積脈波 ( $PG_p$ ) の同時記録例。図中の記号および説明は本文参照。

大腿部接触面とに隙間が生じるような座り方の場合、大腿部の加圧が有効に組織に伝達されず、血圧計測が困難となる場合もあった。

図3 は、カフ圧 ( $P_c$ ) と光電容積脈波 ( $PG_p$ ) の同時記録例である。図中の記号の添字 T と W は、それぞれ大腿部および手首部を表す。カフ圧の軸は心臓レベルに補正した値を示し、MAP および SEP は、それぞれ脈波振幅最大点および消失点を示している。したがって、MAP および SEP に対応したカフ圧が、それぞれ平均 (MBP) および最高血圧 (SBP) となる。同図記録例で示されるように、容積脈波振幅は、血管の力学的非線形弾性特性<sup>7)</sup>に対応した変化パターンを示し、容積振動法に基づく血圧値決定が容易に行えることが判る。

手首 ( $SBP_w$ ) と大腿部最高血圧 ( $SBP_t$ )、および手首 ( $MBP_w$ ) と大腿部平均血圧 ( $MBP_t$ ) の差 ( $SBP_w - SBP_t$ ;  $MBP_w - MBP_t$ ) と標準偏差は、それぞれ  $-2.5 \pm 6.4$  mmHg および  $3.0 \pm 5.0$  mmHg であった。

### 【今後の研究の方向、課題】

本研究では、実際使用を想定したトイレ便座からの血圧計測システムの構築を行った。構築に際し、大腿部圧迫用カフユニットは、すでに

開発したトイレ設置型体重関連・心機能情報自動計測システムに組み込み可能なように設計試作を行った。したがって、構築した全体システムは、体重関連情報（体重、排泄量、排尿速度）はもとより、バリストカーディオグラムと血圧、および両者から推定される心拍出量<sup>4-6)</sup>といった循環機能情報を無意識計測できる高機能なシステムとして構築できたと言える。

トイレ便座からの血圧計測を行う場合、加圧板の押上により、大腿部に有効に加圧力が作用するか否かによって、計測結果に大きな影響を及ぼすことは事実である。すなわち、大腿部と便座との間に隙間が生じるような座り方であれば、加圧力は有効に大腿部に伝達されず、良好な血圧計測が困難となる。また、座り方により、便座と大腿部の相対的位置関係に偏りがあったり、表層部において小動脈血管床の存在が少ない臀部が便座開放口に位置した場合、当然容積脈波の検出は困難となり、血圧計測は良好に行われない。さらに、今回対象としている貫通動脈の血管走行にも個人差があると考えられ、実用的には、便座開放口を便座長手方向に最低2箇所設けるなどの工夫も必要となろう。なお、大腿部は比較的単純な組織構成となっているため、大腿部の三次元有限要素モデルを構築し、局所加圧に伴う大腿組織内圧力分布を解析し、より有効な局所加圧法を見出すことも今後重要な課題であろう。

しかし、一方において、便座と大腿部後面が密着した通常の座位状態では、図3に示すように、容積振動法で観測される典型的な容積脈波振幅変化パターンが得られ、血圧計測が良好に行われることが判る。大腿部血圧は中枢側血圧と比べ、差異が生じることは生理学的に不可避と思われる。しかし、基準血圧として手首血圧値とした場合、大腿部血圧と比較的良好一致を見た。しかし、全体的に最高血圧にはバラツキが大きく、大腿部最高血圧はピーキング現象と思われる高値を示した。

さて、大腿部での真の血圧値は不明であり、

トイレ便座からの血圧計測の妥当性は明言できない。実際にはかなり困難ではあるが、直接血圧との対比実験を今後行う必要があろう。しかし、大腿部から得られた容積脈波変化パターンは、他の部位、例えば今回参照とした手首における撓骨動脈、あるいは指動脈でのそれ<sup>7)</sup>と同様な変化パターンを示していることは、ここで用いた反射形光電容積脈波センサで血管運動を捉えていることは間違いなく、本法による血圧計測は他の部位と同程度に妥当性があるものと考えることができる。

いずれにしても、トイレ便座から得た血圧値は中枢側のそれとは異なったものであることを念頭に置いて本システムを利用していくことが必要であろう。しかし、当該血圧と中枢血圧とに差異があったとしても、毎日の血圧トレンドが捉えられれば、ヘルスケアの面からの血圧情報としては十分な有用性があるものと思われる。今後、さらに被験者数を増やししながら、本法で得られた最高/平均血圧と従来法で得たそれらとの同時対比実験を行い、本法の精度評価を進めて行くことが現実的であり、また重要であろう。

以上、これまでのトイレ設置型生体情報モニタリングの高度化を目指す一端として、健康管理に不可欠な血圧情報を取り上げ、実際場面を想定した血圧計測システムの構築を行った。また、被験者による実際使用を通し、その使用性能を実験的に検討し、本法の有用性が示された。トイレ便座からの血圧計測の具現化は国内外を見ても皆無であり、本研究を通してその基本システムを開発できた意義は非常に大きい。

今後、本研究で得たシステムに基づき、上述した諸課題を検討しながら、血圧値決定の自動アルゴリズムの開発を行い、血圧計測の全自動化を進めながら、すでに開発を行ったトイレ設置型体重関連・心機能情報計測システムに本法を組み込んだ総合システムの構築を行う予定である。そして、心拍出量や血圧情報、更に尿成分などの生化学情報を無意識自動計測できる次



世代のトイレ設置型生理機能インテリジェント  
モニタシステムの研究開発をさらに推進してい  
くことが重要である。

#### [参考文献]

- 1) 戸川達男：無拘束計測の展望，BME，Vol. 4, No. 8, pp. 1-6 (1990)
- 2) 山越憲一：無侵襲・無拘束生体計測，病態生理，Vol. 10, No. 6, pp. 477-487 (1991)
- 3) 山越憲一：無侵襲，無拘束，そして無意識計測へ，精密工学会誌，Vol. 62, No. 11, pp. 1525-1529 (1996)
- 4) 山越憲一：トイレに設置するモニタリングシステム，BME，Vol. 10, No. 5, pp. 30-38 (1996)
- 5) K. Yamakoshi, et al: Non-conscious and automatic acquisition of body and excreta weight together with ballistocardiogram in a lavatory, Proc. 18th Ann. Conf. IEEE EMBS, 1.1. 6-4 (1996) (CD-ROM)
- 6) 大嶋章寛，山越憲一，中川原実，黒田真朗，川原田淳：トイレを利用した体重関連・心機能情報の在宅無意識計測システム，信学技報，MBE-90, pp. 15-21 (1998)
- 7) K. Yamakoshi, et al: New oscillometric method for indirect measurement of systolic and mean arterial pressure in the human finger, Med. & Biol. Eng. & Comput., 20, pp. 307-313 & 314-318 (1982)

#### [成果の発表，論文等]

##### 学会 / 講演会発表

- 1) 前田剛宏，大嶋章寛，岡本明男，中川原実，田中志信，山越憲一：トイレ便座を利用した血圧計測システムに関する実験的検討，第39回日本ME学会大会（東京），医用電子と生体工学，38巻（特別号），p. 478 (2000)
- 2) 前田剛宏，岡本明男，野川雅道，中川原実，田中志信，山越憲一：無意識生体情報計測システムを備えたヘルスケアユーティリティの開発——トイレ便座を利用した血圧計測法に関する基礎的検討——，平成12年度日本ME学会北陸支部大会

(2000)

- 3) 前田剛宏，岡本明男，野川雅道，中川原実，田中志信，山越憲一：トイレ便座を利用した容積振動型血圧計測に関する検討，第40回日本ME学会大会（名古屋），医用電子と生体工学，39巻（特別号），p. 349 (2001)
- 4) Yamakoshi K.: New attempts of local pressurization method for non-invasive measurement of arterial blood pressure, 5<sup>th</sup> Japan-Polish Seminar on Biomedical Measurements, (Zakopane, Poland), Abstracts, p. 9 (2001)
- 5) 宇城大介，前田剛宏，野川雅道，岡本明男，田中志信，山越憲一：トイレを利用した無意識生体情報計測システムの開発研究——トイレ便座を利用した血圧計測システムの改良——，第41回日本ME学会大会（京都），生体医工学，40巻（特別号），p. 110 (2002)
- 6) Yamakoshi K.: Recent advances in unconstrained healthcare monitoring during daily living, Japan-Korea Symposium on e-Healthcare, (Seoul, Korea), Proc., pp. 31-32 (2002)
- 7) Yamakoshi K., Nogawa M. and Tanaka S.: Fully automated blood pressure monitoring from a toilet-seat based on the volume-oscillometric method, World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering, Sydney, (2003)

##### 論文等

- 1) Yamakoshi K.: Unconstrained physiological monitoring in daily living for health care, Front. Med. & Biol. Eng., Vol. 10, No. 3, pp. 239-259 (2000)
- 2) 田中志信，中川原実，山越憲一：生理機能の在宅モニタ技術，BME，Vol. 14, No. 2, pp. 8-17 (2000)
- 3) 前田剛宏，大嶋章寛，岡本明男，中川原実，田中志信，山越憲一：トイレを利用した無意識生体情報計測システムの開発研究，信学技報，MBE-27, pp. 41-46 (2000)
- 4) 山越憲一，田中志信：高齢者支援のためのセンサ技術，計測と制御，Vol. 40, No. 5, pp. 343-350 (2001)

## スペクトル線幅を投影とする光 CT 法の開発

### Development of Transillumination Laser CT Using Spectral Linewidth Broadening

1001018

研究代表者

山形大学工学部 助教授

湯 浅 哲 也

#### 【研究の目的】

生体は可視から近赤外領域において光に対する著しい散乱媒質として振舞うため、内部情報の収集や可視化は非常に困難である。この困難を克服するために、さまざまな光学的原理に基づいた撮像方式が提案されている。我々はその打開策として、光ヘテロダイン検出法に基づく Coherent Detection Imaging (CDI) 法を提案し、X 線 CT と同様のアルゴリズムで再構成を行う光 CT 撮像法の研究に取り組み、これまでにさまざまな生体試料について、*in vivo* あるいは *in vitro* 計測を行ってきた。

一般に、生体からの光信号は、細胞や体液の流動により、著しい擾乱を受ける。従来のほとんどの光画像撮像法においては、安定した画像を取得するために、集合平均により擾乱を緩和する手法を取っていた。しかしながら、撮像対象の有する動的特性は、これまで平均操作により捨て去られてきた擾乱の中にある。以前、我々は透過光強度の振幅を用いる代わりに透過光のスペクトル線幅が動的散乱媒質により広がることに着目し、線幅値を投影とする光 CT 法を提案した。この方法によって得られた光 CT 画像では、1) 透過光強度を用いた光 CT 画像で生じる空気と物体との境界部やその周辺部のアーチファクトは見られず、2) スペクトル線幅は、透過光強度の振幅に比べ散乱に対して感度が優れているため、再構成された光 CT 画像から定量的な散乱係数が推定できる、という特

長も見い出された。これらの事実を踏まえて実験を続けていたところ、サンプリング間隔を従来の 100 倍程度 ( $10\mu\text{s}$  から  $0.1\mu\text{s}$ ) 短くすることで、これまでとは別の構造のスペクトル密度関数が得られるという現象を発見した。本研究では、得られた実験結果を報告するとともに、定性的にはあるが、現象を理解するための理論的考察を行う。最後に、これらの現象を用いた断層撮像方法の可能性について示唆する。

#### 【研究の内容、成果】

測定対象が生体である場合には、被射体の光透過性が悪く、信号光が各種の攪乱を受けやすいため得られる信号光の強度は通常極めて微弱なものとなる。また生体に入射できる光パワーにも当然上限があり、このため検出系にはきわだった高感度性と広いダイナミックレンジが要求される。

本撮像システムの基礎となっているのは、光ヘテロダイン検出法に基づくコヒーレント検出イメージング (CDI) 法である。光ヘテロダイン検出法とは、検出しようとする信号光に所定の周波数だけずれた局部発振光 (局発光) を重ね合わせて、その差周波数に対応する中間周波数を有する信号光成分を選択的に検出する方式である。光ヘテロダイン検出法では、信号光に対し重ね合わせる局発光の強度は受信側で任意に制御・調整が可能であり、その強度を最適化することにより光検出器のショット雑音がほか



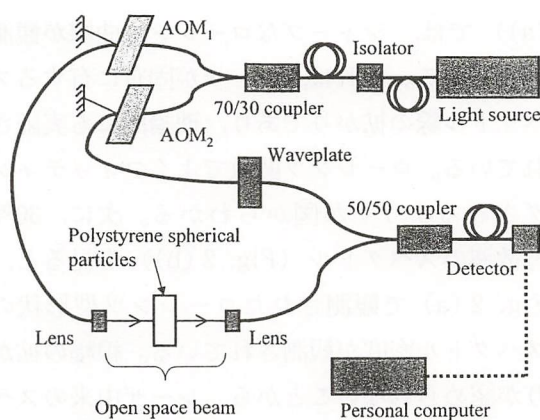


Fig. 1 Experimental setup

の雑音成分を上回るような最適動作状態が得られる。計測に用いた光ファイバ方式透過型光CT撮像システムのブロック図を Fig. 1 に示す。光源として連続発振 (CW), 単一周波数で長いコヒーレンス長を持つ Nd:YAG レーザ (波長:  $1.319\mu\text{m}$ ) を用いた。光源からのレーザー光は光アイソレータを透過した後, 70/30 分岐カップラにより信号光と局発光に分けられ, それぞれ音響光学変調器 (AOM) により信号光と局発光の差周波数が 2 MHz になるように周波数シフトを与える。信号光は, 被射体上流でファイバコリメータにより平行ビームが射出され, 被射体へ入射する。被射体を透過した光は, 受光側のファイバコリメータにカップリングされる。その後偏光カップラにより局発光と波面整合され, 光検出器で受光する。光検出器は InGaAs PIN フォトダイオードを用い, AOM によって周波数シフトを受けた 2 MHz に対応した中間周波 (IF) 信号が検出される。信号は時系列データとして取得され, FFT 処理を施される。今回の計測では, サンプリング周波数が IF 信号の周波数に対応できる高速サンプリング対応可能な A/D 変換ボードを用い, 計測時間の高速化が実現可能となるようにシステムに改良を加えた。その結果, サンプリング間隔を従来の  $10\mu\text{s}$  から  $0.1\mu\text{s}$  へ短くすることが可能である。

光源から光検出器までの光軸は被検体を配置する計測ユニット内部以外すべて光ファイバあ

るいは光ファイバ用光学素子を用いた。光ファイバは曲がり損失や偏波面の乱れの影響をできる限り低減するため, 偏波面保持 (PM) ファイバを用い, 光学素子は  $1.319\mu\text{m}$  の AR コーティングが施されているものを使用した。本撮像システムにおいて, ダイナミックレンジは約 110 dB, 最小検出可能光信号入力  $10^{-14}\text{W}$  以上である。

ここまでの測定過程を明らかにする。信号光を,  $E_{\text{Signal}}(t) \exp(i\omega_{\text{Signal}}t)$ , 局発光を  $E_{\text{Local}} \exp(i\omega_{\text{Local}}t)$  とする。ここで,  $\omega_{\text{Signal}}, \omega_{\text{Local}}$  はそれぞれ信号光と局発光の振動数,  $E_{\text{Signal}}(t), E_{\text{Local}}$  はそれぞれ信号光と局発光の複素振幅とした。ここで, 信号光は被射体により擾乱をうけるため, 時間の関数として表している。また, 以下では偏光については考慮しない。検出器 (2 乗検波) からの出力電流は,

$$\begin{aligned} & |E_{\text{Signal}}(t) \exp(i\omega_{\text{Signal}}t) + E_{\text{Local}} \exp(i\omega_{\text{Local}}t)|^2 \\ &= |E_{\text{Signal}}(t)|^2 + |E_{\text{Local}}|^2 \\ &\quad + 2\text{Re}[E_{\text{Signal}}^*(t)E_{\text{Local}} \exp\{i(\omega_{\text{Local}} - \omega_{\text{Signal}})t\}] \end{aligned} \quad (1)$$

に比例する。この信号をフーリエ変換後, その 2 乗和すなわちスペクトル密度を計算機に取り込む。(1) 式より, スペクトル密度は, 直流成分と差周波数にピークを有する成分とからなる。従来の我々の撮像方式では, 差周波数のピーク値, すなわち透過光の振幅の 2 乗値を投影データとしてきた。一方, 考察で述べるように, 差周波数近辺のスペクトル密度の形状は, 被射体により生ぜられた位相ゆらぎを反映した情報を与える。また, よく知られているようにスペクトル密度の逆フーリエ変換は信号の自己相関関数となる。したがって, スペクトル密度の形状を解析することは, 被射体のもつ動的な特性を解析することにはほかならない。

本実験では, 生体軟部組織に光散乱特性が近く, 光学特性の計算が可能である球形微粒子分散液を測定対象にし, 散乱光特性の基礎的検討を行った。試料として, 直径  $1.588 \pm$

0.025  $\mu\text{m}$  のポリスチレン球形微粒子 (Duke Scientific Corporation 製, 型番 4016) を蒸留脱イオン水中に分散し, 光路長 2 mm の石英セルに入れたものを用いた。ポリスチレン球形微粒子の数密度を変えながら, 透過光のスペクトル密度をサンプリング間隔 0.1  $\mu\text{s}$  で測定した。測定は 31 種類の濃度の異なるポリスチレン微粒子試料をほぼ同一室温の環境下で行った。ここで一例として, Fig. 2 (a) に水のみの場合 (0%), (b) に試料濃度を 30%, (c) 54%, (d) 60% とした場合のそれぞれの透過光スペクトル密度を示す。横軸は約 9.5 Hz 間隔で測定値をプロットし, スペクトル中心周波数を 0 Hz とした。これらの測定値は, ノイズやスペckルの影響を減らすため, 256 回の集合平均を行った。

水のみを透過した光のスペクトル (Fig. 2

(a)) では, シャープなローレンツ曲線が観測されている。これは, レーザが固有に有するスペクトル線の広がりであり, 理論的にも実証されている。ローレンツ関数でよくフィッティングされるようすが図からわかる。次に, 30% 分散液のスペクトル (Fig. 2 (b)) を見ると, Fig. 2 (a) で観測されたローレンツ型形状のスペクトル密度が観測されている。線幅の広がりが認められないことから, レーザ由来のスペクトル線広がりが観測されていると結論づけられる。次に, 54% 分散液のスペクトル (Fig. 2 (c)) を見ると, Fig. 2 (a) と (b) で観測されたローレンツ曲線とガウス関数が重ね合されている形状のスペクトル密度が観測されている。ローレンツ関数は, Fig. 2 (a) と (b) のものと広がりがほとんど等しいので, レーザ由来のスペクトル線の広がりと解釈してよいで

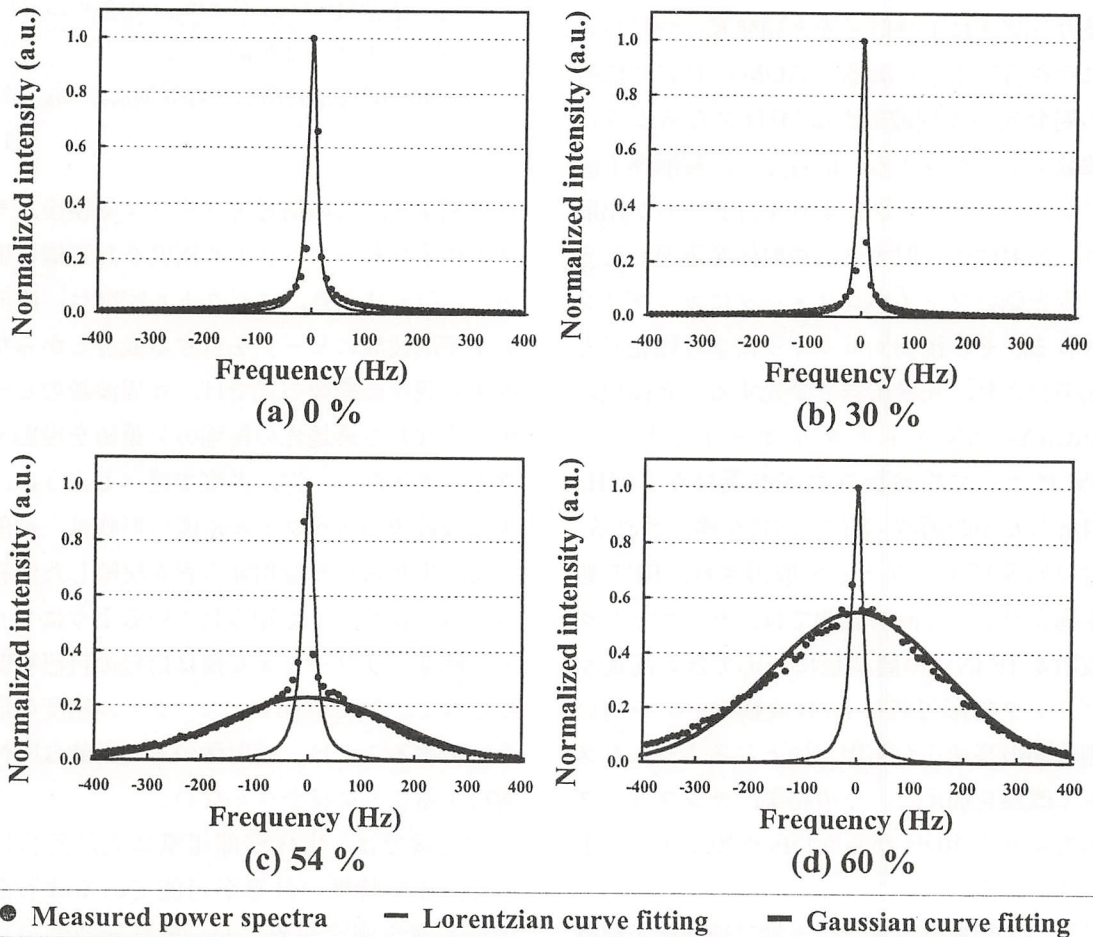


Fig. 2 Measured spectra



あろう。一方、ガウス関数の中でブラウン運動をしているポリスチレン微粒子に由来するものと考えられる。さらに、60% 分散液のスペクトル (Fig. 2 (d)) も同様にローレンツ曲線とガウス曲線の重ね合わせが観測されている。ただし、ここではガウス関数の分散が Fig. 2 (c) に比べて広がっていることに注意する。

ここまでの実験結果をまとめると、(1) 希薄な数密度では、レーザ由来のローレンツ型スペクトル密度関数が観測される、(2) ある数密度を越えるとスペクトル形状はローレンツ型とガウス型の重ね合わせになる、(3) 閾値以上の数密度では、数密度が増加するにつれガウス関数の分散は増加する。

上記実験事実 (3) を検証するために前述のポリスチレン球形微粒子の各数密度における測定データに、低濃度ではローレンツ理論曲線を、高濃度ではガウス理論曲線を当てはめて求めたスペクトルの半値半幅の変化を、Fig. 3 に示す。この結果、低数密度の領域ではスペクトル線幅の広がり、水の場合とほぼ一致している。しかし、閾値を越えた数密度の場合、ガウス理論曲線を当てはめて求めたスペクトルの半値半幅は、密度の増加にほぼ比例して広がっていくことがわかる。高分子溶液の物性を解析するために広く用いられる散乱計測法に Dynamic Light Scattering (DLS) 法がある。DLS 法では、ある角度方向に散乱された光を検出して、散乱波数ベクトルをパラメータとし、線幅の広がりから粒子の大きさや数を評価することができる。DLS の原理によれば、散乱光スペクトル線幅の広がり、微粒子のブラウン運動に帰せられる。しかし、本実験においては、検出している光の散乱角は  $0^\circ$  であり、DLS 法とは異なる現象を観察していることに注意する。ここで先の実験で得られた 3 つの事実を説明するための理論的考察を行う。実験結果から検出される光子には、2 種類のタイプが存在することが予想される。すなわち、一方はレーザ由来の線幅を保持しながら、被射体を透

過してくるもの、他は被射体中に存在する動的散乱媒質に影響を受けたものである。前者の複素振幅を  $E_{Laser}(t)$ 、後者のそれを  $E_{Medium}(t)$  とおく。すなわち、信号光の複素振幅を

$$E_{Signal}(t) = E_{Laser}(t) + E_{Medium}(t) \quad (2)$$

と表す。スペクトル密度と自己相関関数はフーリエ変換で結びつけられるので、以下の議論では自己相関関数について考察する。 $E_{Laser}$  と  $E_{Medium}$  には相関がないとすると、信号光の自己相関関数は、

$$\begin{aligned} E[E_{Signal}(0) E_{Signal}^*(t)] \\ = E[E_{Laser}(0) E_{Laser}^*(t)] \\ + E[E_{Medium}(0) E_{Medium}^*(t)] \end{aligned} \quad (3)$$

と表される。ここで、信号は定常過程と仮定した。右辺第一項は、レーザ理論により指数関数的な減衰を示すことが知られている。すなわち、スペクトル密度はローレンツ曲線となる。したがって、われわれの関心は第二項を解析することにある。ここで、複素振幅を極形式で

$$E_{Medium}(t) = E_0 \exp\{i\phi(t)\} \quad (4)$$

と表す。ここで、第二項は、

$$\begin{aligned} E[E_{Medium}(t_1) E_{Medium}^*(t_2)] \\ = |E_0|^2 E[\exp\{i\phi(t_1) - i\phi(t_2)\}] \end{aligned} \quad (5)$$

と表せる。 $\Gamma_\phi(t_1 - t_2) = E[\exp\{i\phi(t_1) - i\phi(t_2)\}]$  に着目する。 $\phi(t)$  が平均値 0 の定常ガウス過程であり、分散が非常に大きいと仮定すると、

$$\Gamma_\phi(\Delta t) = \exp\left\{-\frac{1}{2}\sigma^2(\Delta t)^2\right\} \quad (6)$$

と表せることが知られている。ここで、 $\sigma^2$  は  $d\phi/dt$  の分散である。したがって、スペクトル密度はガウス関数となる。ここまでの考察により、スペクトル線がローレンツ曲線とガウス曲線の重ね合わせになることがわかった。

次に、位相シフト  $\phi(t)$  の原因について考える。位相シフトは屈折率の変化により引き起こされる。任意の時刻  $t$  の屈折率を  $n(t)$  とおくと、

この時刻における位相シフトは、

$$\phi(t) = \frac{2\pi}{\lambda} \{n(t) - 1\} L \quad (7)$$

と表せる。ここで、 $L$  は光路長とした。我々の実験においては、屈折率  $n(t)$  はポリスチレン微粒子の数密度に依存している。また、ガウス型スペクトルの線幅は  $n(t)$  の時間微分に依存した量である。したがって、数密度が増加するにつれ、 $n(t)$  の時間変化率が大きくなるのは、十分に予想されることである。これにより、数密度が増加するにつれ、ガウス関数の分散が広がると推測される。

#### [今後の研究の方向、課題]

光ヘテロダイン検出システムを用いて、ポリスチレン球形微粒子分散液を散乱体とした基礎実験により、数密度が高い領域で特異なスペクトル線幅の広がりを観測したことを報告し、その定性的な理論的検討を行った。

本研究では、スペクトル線幅に関する基礎的な検討に終始したが、Fig. 3 で得られた実験事実は、ある閾値以上の数密度では、断層撮像のために必要な投影データとなり得ることを示唆している。なぜなら、光路長が増大するにつれ、線幅が増大している。すなわち、スペクトル線の広がりは位相シフトの線積分を示していることにほかならない。この事実に基づけば、

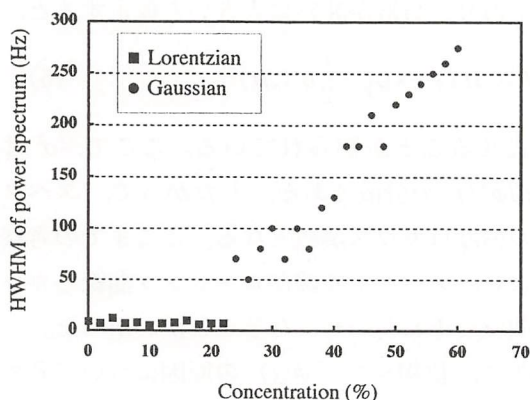


Fig. 3 Linewidth of spectrum from transmitted light vs. scattering concentration

各方向から投影を取得することで、断層画像を取得できる。得られた画像は、被射体内部の屈折率のゆらぎを反映した量である。現在、断層画像を得るためにシステムの調整を進めている。本撮像法が実現されれば、生体内のゆらぎを反映した情報を無侵襲で観測する新しい撮像モダリティになるであろうと期待している。

#### [成果の発表、論文等]

- 1) Y. Sasaki, S. Tanosaki, J. Suzuki, T. Yuasa, M. Takagi, H. Taniguchi, B. Devaraj and T. Akatsuka: Fundamental Imaging Properties of Transillumination Laser CT Using Optical Fiber Applicable to Bio-Medical Sensing, IEEE Sensors Journal (in print)
- 2) S. Tanosaki, Y. Sasaki, M. Takagi, A. Ishikawa, H. Inage, R. Emori, J. Suzuki, T. Yuasa, H. Taniguchi, B. Devaraj and T. Akatsuka: In Vivo Laser Tomographic Imaging of Mouse Leg with Coherent Detection Imaging Method, Optical Review (in print)
- 3) Y. Sasaki, J. Suzuki, H. Inage, R. Emori, S. Tanosaki, T. Yuasa, A. Ishikawa, M. Takagi, H. Taniguchi, B. Devaraj and T. Akatsuka: Transillumination Laser CT System with Fiber-Optic-Based Optical Heterodyne Method — High Spatial-Resolution and Quantitative Tomographic Imaging of Highly Scattering Objects —, Optical Review (in print)
- 4) Y. Sasaki, S. Tanosaki, M. Takagi, A. Ishikawa, J. Suzuki, R. Emori, H. Inage, T. Yuasa, H. Taniguchi, B. Devaraj and T. Akatsuka: Prototype System of Laser Transillumination Computed Tomography for Early Diagnosis of Rheumatoid Arthritis, Proc. of SPIE (in print)
- 5) S. Tanosaki, Y. Sasaki, M. Takagi, A. Ishikawa, J. Suzuki, R. Emori, H. Inage, T. Yuasa, H. Taniguchi, B. Devaraj and T. Akatsuka: Finger Joint Imaging by Laser Transillumination Computed Tomography Based on Coherent Detection Imaging Method, Proc. of SPIE (in print)
- 6) Y. Sasaki, R. Emori, H. Inage, T. Yuasa, M. Takagi, A. Ishikawa, H. Taniguchi, B. Devaraj and T. Akatsuka: Preliminary Image Experiment Using Near-Infrared Optical Computed Tomography for Early Diagnosis of Rheumatoid Arthritis, Proc. of IEEE/EMBS Asia-Pacific



- Conference on Biomedical Engineering (to be presented)
- 7) Y. Sasaki, J. Suzuki, H. Inage, R. Emori, S. Tanosaki, T. Yuasa, M. Takagi, A. Ishikawa, H. Taniguchi, B. Devaraj and T. Akatsuka: Transillumination Laser CT System with Optic-Fiber-Based Coherent Detection Imaging Method — The High Spatial Resolution and Quantitative Tomographic Imaging of Highly Scattering Objects —, Proc. of BOPM, pp. 270 – 271 (2002)
  - 8) S. Tanosaki, M. Takagi, Y. Sasaki, A. Ishikawa, H. Inage, R. Emori, J. Suzuki, T. Yuasa, H. Taniguchi, B. Devaraj and T. Akatsuka: In Vivo Laser Tomographic Imaging of Mouse Leg with Coherent Detection Imaging Method, Proc. of BOPM, pp. 194 – 195 (2002)
  - 9) T. Yuasa, S. Tanosaki, Y. Sasaki, M. Takagi, A. Ishikawa, H. Taniguchi, B. Devaraj and T. Akatsuka: Fundamental Imaging Properties of Transillumination Laser CT Based on Coherent Detection Imaging Method, Analytical Sciences, Vol. 18, pp. 1329 – 1333 (2002)
  - 10) T. Yuasa, S. Tanosaki, M. Takagi, Y. Sasaki, H. Taniguchi, B. Devaraj and T. Akatsuka: Transillumination Optical Sensing for Biomedicine and Diagnostics: Feasibility of Early Diagnosis for Rheumatoid Arthritis, Analytical Sciences, Vol. 17, pp. 515 – 518 (2001)
  - 11) T. Yuasa, B. Devaraj, S. Tanosaki, H. Taniguchi and T. Akatsuka: Reconstruction Method for Compensation of Surface Effects in Transillumination Laser CT, Proc. of IEEE Int'l Conf. on Image Processing, Vol. I, pp. 341 – 344 (2001)
  - 12) 田野崎真司, 佐々木芳彰, 高木理彰, 石川 朗, 鈴木上太, 稲毛弘樹, 江森亮太, 湯浅哲也, 谷口 宏, B. Devaraj, 赤塚孝雄: コヒーレント検出法によるヒト指のレーザ光 CT 撮像, 信学技報, MI 2002 – 120, pp. 47 – 52 (2003)
  - 13) 佐々木芳彰, 鈴木上太, 江森亮太, 稲毛弘樹, 田野崎真司, 湯浅哲也, 谷口 宏, B. Devaraj, 赤塚孝雄: 透過型レーザ光 CT における不規則信号の観測, 信学技報, MI 2002 – 121, pp. 53 – 58 (2003)
  - 14) 田野崎真司, 佐々木芳彰, 湯浅哲也, 高木理彰, 谷口 宏, B. Devaraj, 赤塚孝雄: 透過レーザ光 CT における入射パワーの最適化, 信学技報, MI 2001 – 93, pp. 83 – 88 (2002)
  - 15) 佐々木芳彰, 田野崎真司, 鈴木上太, 湯浅哲也, 高木理彰, 谷口 宏, B. Devaraj, 赤塚孝雄: 光ファイバ方式レーザ光 CT 撮像システムの試作, 信学技報, MI 2001 – 92, pp. 77 – 82 (2002)



動脈圧反射失調による起立性低血圧を克服する  
バイオニック動脈圧反射システムの開発

A Novel Therapeutic Strategy Against Central Baroreflex Failure

1011008

研究代表者

高知医科大学循環制御学 教授

佐藤 隆 幸

【研究の目的】

中高年を好発年齢とする進行性の神経変性疾患、例えば、シャイ・ドレーガー症候群・パーキンソン病などでは、生命維持に極めて重要な血管運動中枢が侵され、動脈圧受容器を介した交感神経系による血圧調節機能が廃絶するため、重度の起立性低血圧や起立性失神発作をおこすようになる。そして最期には、寝たきり状態となり（全面介助率45％、平成9年度療養生活実態調査）、生活の質が著しく障害される。さらに、嚥下性肺炎や尿路感染症を繰り返し（入院率60％）死にいたることが多いが、現在のところ治療の手だては全くない。本研究では、2年間の実験的臨床研究により、起立性低血圧を克服するための機能再建装置「バイオニック

動脈圧反射装置」を開発する。バイオニック動脈圧反射装置の動作原理は、図1のように、「血圧を常時監視しながら、実時間演算で交感神経の電気刺激頻度を決定する」というものである。すなわち、本装置は、圧センサー→人工的血管運動中枢→電気刺激装置→交感神経→血管床からなるフィードバック血圧制御装置である。

【研究の内容、成果】

1. 動脈圧反射の開ループ伝達関数の推定

機能再建にあたっては、まず、正常機能を定量し、ついで、それを手本として機能を模倣する装置を開発しなければならない。研究対象となる動脈圧反射の機能は、起立などの外乱による動脈圧変動を速やかに抑制し、安定化させることである。それゆえ、圧反射の機能評価には動特性すなわちダイナミクスの定量的評価がきわめて重要である。平成13年度はヒト動脈圧反射機能の正常なダイナミクスの同定を行った。

【対象および方法】

自律神経失調患者3例と健常成人男子20例を対象とした。健常者の圧反射系が正常に機能している場合は、圧反射が閉ループであるため、動脈圧変動  $SAP_1(f)$  は、外乱を  $P_d(f)$  とすると  $SAP_1(f) = P_d(f) / \{1 - H(f)\}$  となる。ここで、 $H(f)$  は圧反射の開ループ伝達関数である。一方、自律神経失調群の場合は、圧反射が開ループ状態であるので、動脈圧変動  $SAP_2(f)$  を観

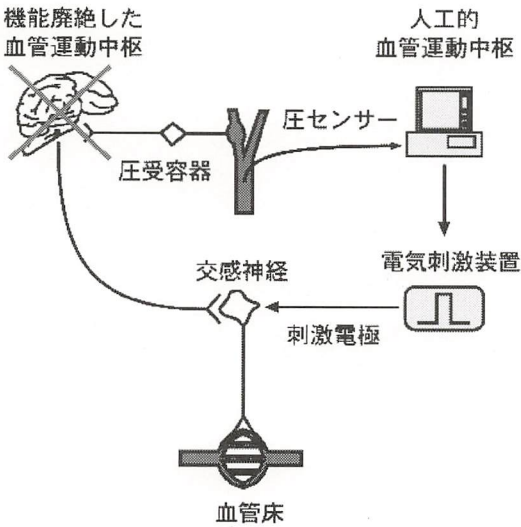


図1 バイオニック動脈圧反射装置



察すれば、外乱  $P_d(f)$  が推定可能である。したがって、図2より圧反射の開ループ伝達関数  $H(f)$  は、 $1 - \text{SAP}_2(f) / \text{SAP}_1(f)$  となる。

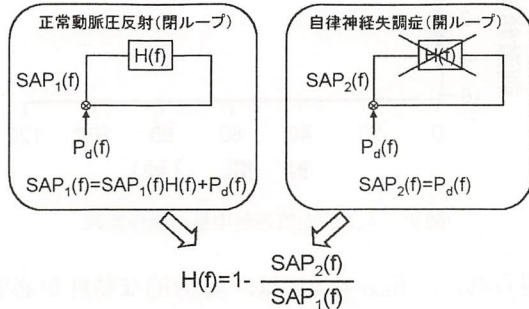


図2 開ループ伝達関数同定法

そこで、起立角度が任意に制御できる電動傾斜ベッドを用いて、最大起立角を30度とし、10分間の不規則な傾斜角変動負荷を加え、角度から動脈圧変動への伝達関数を両群で算出した。ついで、各群の平均的伝達関数を用いて、 $H(f)$ 、すなわち正常圧反射機能を示す伝達関数を推定した。

#### 【結果および考察】

図3に示すように、健常成人では、動脈圧の変動は小さく、一方、シャイ・ドレーガー症候群では大きい。伝達関数法により求められたステップ応答は、臥位から立位への体位変換という外乱が、動脈圧をいかに速く、どれだけ低下させるかを、また正常圧反射機能により、この

外乱がいかに速やかに効果的に抑制されるのかを定量的に表している。すなわち、健常例では、体位変換にともない、動脈圧が急激に低下するが、10秒程度でその低下がくい止められ、その後20秒以内に動脈圧が回復し、定常偏差は10ないし15 mmHgとなった。一方シャイ・ドレーガー症候群では、体位変換にともない、動脈圧が急激に70 mmHgも低下した。

図2にしたがって、 $H(f)$  を推定したところ、図4のような伝達関数が得られた。すなわち、ヒト動脈圧反射の機能を記述する伝達関数の同定に世界で初めて成功したと考えられた。

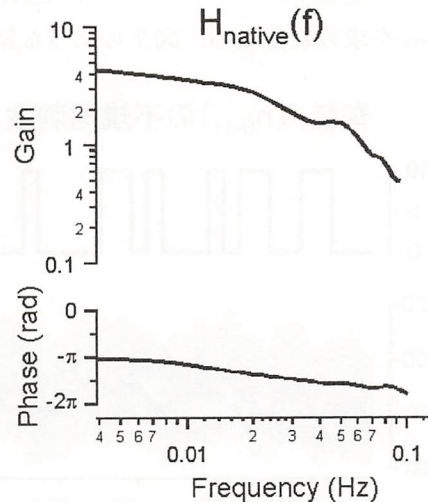


図4 ヒト開ループ伝達関数

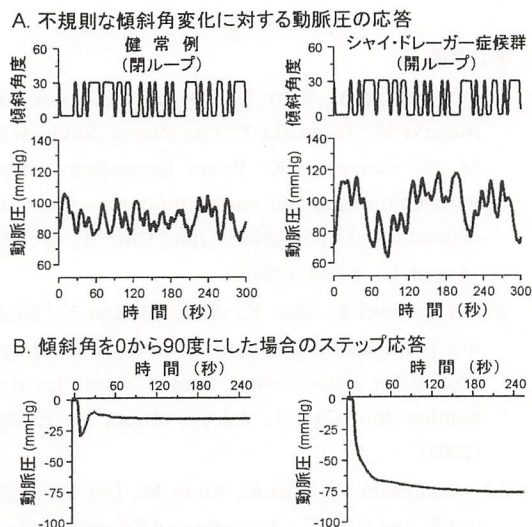


図3 不規則な傾斜角変動負荷試験

## 2. 人工的血管運動中枢の開ループ伝達関数 ( $H_{\text{SAP-STM}}$ ) の決定

生体本来の健常な動脈圧反射の開ループ伝達関数 ( $H_{\text{native}}$ ) と交感神経の電気刺激頻度変化から動脈圧変化までの開ループ伝達関数 ( $H_{\text{STM-SAP}}$ ) の比、 $H_{\text{native}} / H_{\text{STM-SAP}}$  から人工的血管運動中枢の開ループ伝達関数 ( $H_{\text{SAP-STM}}$ ) を決定し得る。本研究では、 $H_{\text{STM-SAP}}$  の同定を行った。

#### 【対象および方法】

頸髄症などの脊髄・脊椎疾患の重症度判定や術中モニタリングを目的として硬膜外カテーテル検査を受ける患者を対象とした。これらの患

者では脊髄を電気刺激し誘発電位の記録を行うことが術中のルーチン検査となっている。学内の倫理委員会の承認を受けた後に行った。

# 【結果および考察】

図5のごとく、硬膜外カテーテル電極を用いた電気刺激によりきわめて速やかに動脈圧を上昇させることが可能であった。

脊髄交感神経刺激から動脈圧応答までの伝達関数  $H_{STM-SAP}$  は、図6のごとく推定された。

$H_{STM-SAP}$  は、図4の  $H_{native}$  に比べ、高域周波数での減衰がより強いことが推測された。

$H_{native}/H_{STM-SAP}$  から人工的血管運動中枢の開ループ伝達関数  $H_{SAP-STM}$  を決定し、その逆フーリエ変換によりインパルス応答関数  $h_{SAP-STM}$  を求めたところ、図7のような結果が

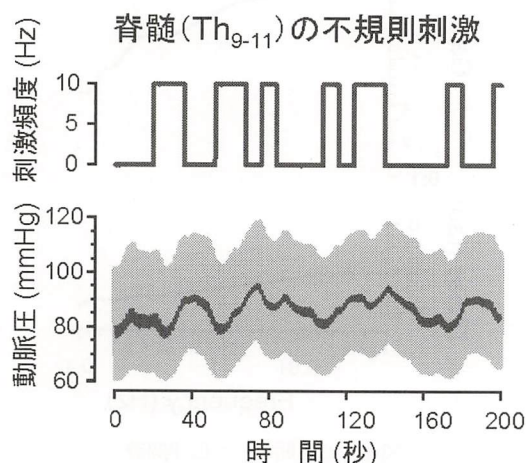


図5 脊髄交感神経刺激に対する動脈圧応答

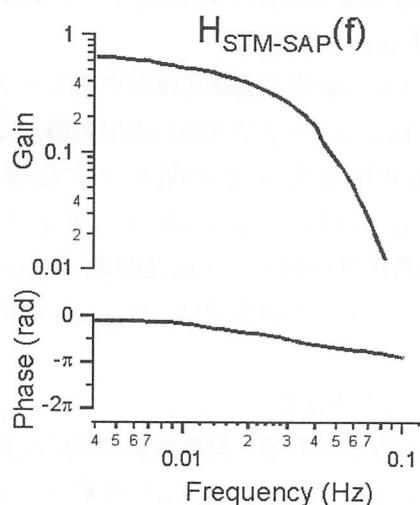


図6 脊髄刺激から動脈圧応答までの伝達関数

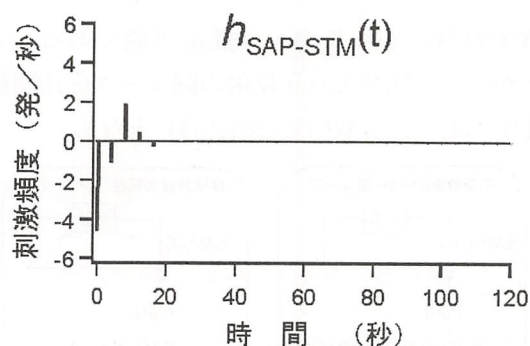


図7 人工的血管運動中枢の動作原理

得られた。 $h_{SAP-STM}$  には、微分的な特性が必要であることが示唆された。

# 【今後の研究の方向、課題】

今回、立石科学技術振興財団の研究助成金による支援を受けて、世界で初めて、ヒト動脈圧反射の開ループ伝達関数の同定に成功した。また、脊髄交感神経の刺激法として硬膜外カテーテル電極が有用であることもあきらかとなった。さらに、人工的血管運動中枢の機能同定にも成功した。

今後は、これらの成果を基盤として、重症な起立性低血圧患者を対象とした圧反射の機能再建装置「バイオニック動脈圧反射装置」を開発したい。

# 【成果の発表、論文等】

## 学会発表

- 1) Yanagiya Y., Sato T., Kawada T., Takaki H., Inagaki M., Tatewaki T., Can Zheng, Sugimachi M. and Sunagawa K.: Bionic baroreflex system with epidural spinal cord stimulation prevents orthostatic hypotension, Jpn. Circ. J., Vol. 67 (Suppl. I), p. 101 (2003)
- 2) Yamasaki F., Sato K., Ando M., Doi Y., Sugiyura T. and Sato T.: Integrative and open-loop approach for estimation of human baroreflex dynamics, Jpn. Circ. J., Vol. 67 (Suppl. I), p. 339 (2003)
- 3) Yamasaki F., Sato K., Ando M., Doi Y., Sugiyura T. and Sato T.: Analytic and integrative framework for human sympathetic baroreflex con-



- trol: Equilibrium diagram of arterial pressure (AP) and plasma norepinephrine level (PNE), Jpn. Circ. J., Vol. 67 (Suppl. I), p. 380 (2003)
- 4) Sato K., Yamasaki F., Furuno T., Hamada T., Sato T., Sugiura T. and Doi Y.: Power-law slope in heart rate (HR) fluctuation as a predictor of cardiovascular events in chronic atrial fibrillation (AF), Jpn. Circ. J., Vol. 67 (Suppl. I), p. 384 (2003)
  - 5) Yamasaki F., Sato K., Ando M. and Sato T.: New potential interface for revitalization of baroreflex function: Epidural catheter approach in humans, Jpn. Circ. J., Vol. 67 (Suppl. I), p. 546 (2003)
  - 6) Ando M., Yamasaki F. and Sato T.: Dynamic modulation of cardiac booster effect: Transfer function analysis from central venous pressure (CVP) to systemic arterial pressure (SAP), Jpn. Circ. J., Vol. 67 (Suppl. I), p. 546 (2003)
  - 7) Yamasaki F., Sato K., Ando M., Doi Y., Sugiura T. and Sato T.: Estimation of human baroreflex dynamics comparing between normal and baroreflex failure, Jpn. Circ. J., 67 (Suppl. I), p. 573 (2003)
  - 8) 佐藤隆幸, 安藤元紀: ヒト動脈圧反射の平衡線図解析法: 圧反射失調症例における臥位高血圧をともなう起立性低血圧のシステム生理学的理解, 第80回日本生理学会大会, 日本生理学会大会予稿集, p. 142 (2003)
  - 9) 安藤元紀, 山崎文靖, 湯藤 潤, 佐藤隆幸: マウス・ラットの動脈圧受容器反射の動特性の推定, 第80回日本生理学会大会, 日本生理学会大会予稿集, p. 214 (2003)
  - 10) 張 冬梅, 安藤元紀, 山崎文靖, 佐藤隆幸: 開ループ条件下でのラット体温の動脈圧反射性調節, 第80回日本生理学会大会, 日本生理学会大会予稿集, p. 215 (2003)
  - 11) 柳谷雄介, 佐藤隆幸, 川田 徹, 杉町 勝, 砂川賢二: 脊髄電気刺激によるバイオフィック圧反射システム, 第80回日本生理学会大会, 日本生理学会大会予稿集, p. 215 (2003)
  - 12) Sato T., Ando M. and Yamasaki F.: New potential interface of bionic system for revitalization of baroreflex function: Epidural catheter approach in humans, 75th Scientific Sessions (Chicago, USA), American Heart Association, Circulation, Vol. 106 (Suppl.), p. II-110 (2002)
  - 13) Yamasaki F., Sugiura T., Sato K., Doi Y., Inagaki M., Sunagawa K. and Sato T.: Quick and effective stabilization of arterial pressure against orthostatic stress: Different roles of vagal and sympathetic systems in dynamic baroreflex, Jpn. Circ. J., Vol. 66 (Suppl. I), p. 204 (2002)
  - 14) Yamasaki F., Sugiura T., Sato K., Doi Y., Inagaki M., Sunagawa K. and Sato T.: Human baroreflex dynamics: White-noise system identification during random head-up tilting (HUT), Jpn. Circ. J., Vol. 66 (Suppl. I), p. 204 (2002)
- ### 論文
- 1) Sato T., Kawada T., Sugimachi M. and Sunagawa K.: Dynamics of sympathetic baroreflex control of arterial pressure in rats, Am. J. Physiol., Vol. 285, R 262-R 270 (2003)
  - 2) Sato T., Kawada T., Sugimachi M. and Sunagawa K.: Bionic technology revitalizes native baroreflex function in rats with baroreflex failure, American Heart Association, Circulation, Vol. 106, pp. 730-734 (2002)
  - 3) Uemura K., Sugimachi M., Shishido T., Kawada T., Inagaki M., Zheng C., Sato T. and Sunagawa K.: Convenient automated conductance volumetric system, Jpn. J. Physiol., Vol. 52, pp. 497-503 (2002)
- ### 著書
- 1) Sato T., Diedrich A. and Sunagawa K.: Bionic Baroreflex in PRIMER ON THE AUTONOMIC NERVOUS SYSTEM Second Edition, edited by Robertson D., et al., Elsevier Science (USA), 2003 (in press)
  - 2) 山崎文靖, 佐藤隆幸, 奥宮清人, 土居義典: 起立性低血圧の病態生理を識る, Heart View, 6, pp. 1152-1158 (2002)
  - 3) 佐藤隆幸: 橈骨動脈と大動脈の脳波の比較——伝達関数の意義, 「脈をどう診るか——新しい脈波の臨床応用」, (臨床動脈波研究会 小澤利男, 増田善昭, 山科 章 編) メジカルビュー社, pp. 48-55 (2003)
- ### 新聞報道
- 高知新聞掲載「手術中血圧を自動管理」平成14年9月28日朝刊記事

## 並列集積化フォトニックデバイスを用いた 超高速3次元マイクロイメージング技術

Confocal Micro Imaging Using Massively Parallel Integrated Photonic Devices

1011012

研究代表者 独立行政法人通信総合研究所情報通信部門 研究員 成瀬 誠

### [研究の目的]

レーザ共焦点顕微鏡は、測定対象の断層像や標高を高い分解能で計測することを可能としたが、通常、単一のレーザ光を観測領域内で逐次走査する必要、あるいは受光素子からデータ処理用コンピュータに至る信号伝送のボトルネックのため、計測システム全体のスループットには自ずと上限がある。一方で、近年の光エレクトロニクス技術の著しい進歩に伴い、多数の光源や受光素子、さらにはコンピューテーション機能を集積した光デバイスが開発されてきた。例えば、垂直共振器型面発光レーザ（VCSEL）アレイやビジョンチップ等の機能的受光素子アレイは代表的な超並列光半導体デバイスである。このような超並列の光源や受光素子を用いれば、同時に極めて多数点を計測可能なレーザ共焦点顕微鏡が検討でき、バイオイメージング、3次元光メモリアクセス、DNA マイクロアレイの計測・評価など、様々な応用システムにおいて、計測及びデータ処理のスループットを飛躍的に

高めることが期待される。図1に並列デバイスを用いた共焦点顕微鏡の概要を示す。

### [研究の内容、成果]

#### 1. 面発光レーザアレイを用いた並列マイクロイメージングアーキテクチャ

共焦点顕微鏡において測定点数を並列化する方法には、ニポウディスクと呼ばれるピンホールアレイを用いる方法が従来知られている。これに対して、面発光レーザアレイを用いる手法には幾つかの顕著な特徴が指摘できる。まず、面発光レーザ自身が円形のビームを高密度に出射するデバイスであり、デバイス自身で超並列の光源が構成されるため、光源の光学システムを簡素化することができる。また、ニポウディスク方式では、光の利用効率が悪く、またディスク面での光の反射が受光器に回り込み、S/N比の低下に繋がる可能性がある。これに対し、光源そのものをアレイ化した本方式では、光源の利用効率には光源だけに着目すれば100%であり、S/N比低下は構造上問題にならない。また、ニポウディスク方式では、受光側のピンホール径を計測される光量や対物レンズの性能に合わせて再構成可能とすることは事実上不可能であるが、本研究では、受光側と発行側が光学的に分離されているため、ピンホール径を適宜変更することは容易である。また、面発光レーザアレイの個々のチャンネルの光量を個別に制御することも可能であることから、対象物

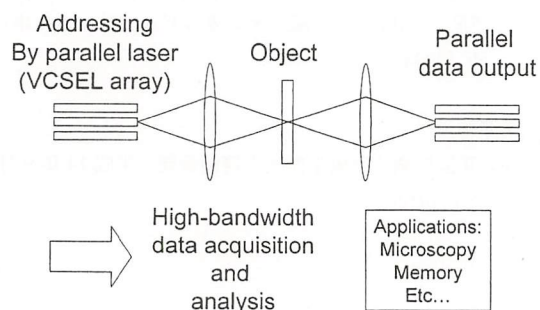


図1 並列共焦点イメージングシステムの基本構成と応用例



の各測定点でのダイナミックレンジに応じて、最適なプローブ光量を調整することができる。

## 2. 超並列光デバイスに対応したマイクロイメージング光学系

超並列光デバイス技術の高度化に伴って、より大規模なアレイサイズの光デバイスが利用可能になることから、測定点数の増大によるスループットの向上が期待されるが、これに対応してイメージングの光学系には、すべてのチャンネルに対して一様な光学的性質を準備する必要から、厳しい条件が課せられることになる。特に、ディストーション、像面湾曲、球面収差がアレイ全体に渡って十分低減されなければならない。また、面発光レーザアレイから出射した各々の光線の主光線は、受光面に対して垂直に入射しなければならない。

ところが、従来の顕微鏡光学系では VCSEL アレイのような超並列の光源の性質を踏まえて設計されていないため、光軸外からの光は適切に受光面に到達しない。通常の顕微鏡光学系での、光源アレイから受光素子アレイまでの光線追跡のシミュレーションを図 2 (a) に示す。同図では、光軸上の光線、光軸から 5 mm 及び 10 mm 離れた点から出射した光線が示されている。同図から容易に分かるように、軸外から出射した光線は適切に受光面に至らず、例え

ば光軸から 5 mm 離れた点から発した光線は、受光面において光軸から 6.39 mm 離れた点に結像している。すなわち、発光面及び受光面では、超並列に多数の信号を同時に扱う潜在能力があるにも係わらず、従来の光学系に従った場合には、光軸外の測定点については適正な結像関係を実現することができない。

そこで本研究では、2次元アレイ状に構成された並列の光出力面が、これに対応した受光面に対して、光軸からの距離が 10 mm 以内の領域において均一に結像する光学系を設計した。図 2 (b) に設計したレンズの光線追跡のシミュレーション結果を示す。発光面からの光線は、いずれも受光面に対して垂直に、また位置ずれなく入射している。すなわち、超並列測定の本来のメリットが生かされることになる。また、図 2 (a) 及び (b) に示された構成の光学系のそれぞれについて、ディストーションおよび像面湾曲を評価した (図 3)。像高によらず一様な性能が得られており、空間的超並列性を有する光源のアレイと受光素子のアレイを用いた顕微鏡において、光学的性能が空間的に一様とされていることがわかる。

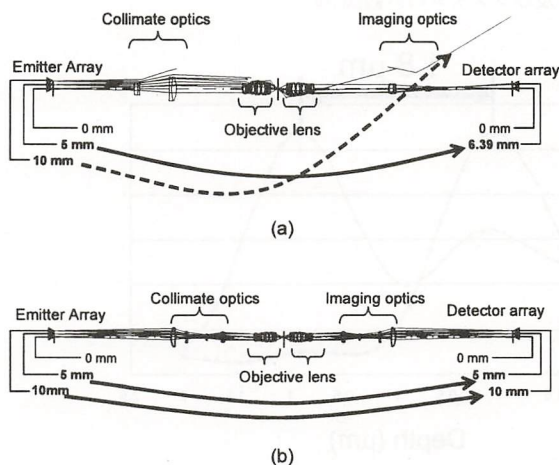


図 2 超並列 VLSI の性質を考慮したイメージングシステム  
(a) 通常の共焦点顕微鏡光学系における光線追跡  
(b) 最適設計された光学系

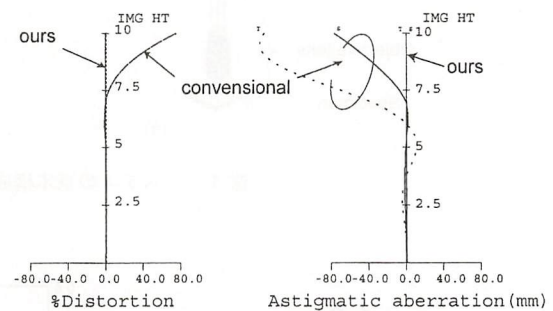


図 3 収差の評価：図 2 (a) 及び図 2 (b) のそれぞれの光学系に関するディストーション及び非点収差の比較

## 3. 実験

超並列共焦点イメージングを実験的に検証するために、2章で議論した光学系を含め、面発光レーザアレイを用いた共焦点顕微鏡システムを構築した。面発光レーザアレイのアレイサイズは  $8 \times 8$ 、ピッチは  $250 \mu\text{m}$ 、波長は  $850 \text{ nm}$  である。対物レンズは、10 倍、20 倍、50 倍の

3種類を利用できる。NAはそれぞれ0.2, 0.4, 0.75である。図4(a)にシステムの構成図, 図4(b)にシステムの外観図を示す。

本システムでは, 発光側, 受光側のそれぞれにおいて複数種類の発光デバイス及び受光デバイスを利用可能とするために, 受光面及び発光面に対して機械的な可動部を設け, デバイス間のアライメントや様々の性能評価実験に対処可能とした。また, 受光面前面に対してペリクルミラーを設置し, 受発光素子間の結像関係をほとんど損なうことなく, 光線のアライメントを観測・評価できるようにした。

次に本システムの性能評価のためのいくつか

の実験結果を示す。共焦点イメージングの代表的特徴である深さ方向の分解能を, 測定物を平面ミラーとし, 受光面に直径 $30\mu\text{m}$ のピンホールを接続した光マルチメータを用いて評価した。50倍(NA 0.75)の対物レンズを用いたとき半値幅は $1.2\mu\text{m}$ であった。また, 図5(a)に示されるような $1.8\mu\text{m}$ の段差を有する高さ標準器(VLSI Standard社製SHS-1.8 QC)を対象として計測を行った。二つの異なる高さが, 図5(b)のように適正に区別された。また, 軸外チャンネルに渡る光学的性質の一樣さを評価するために, 面発光レーザアレイを意図的に軸外に移動させ, 軸外の各位置にお

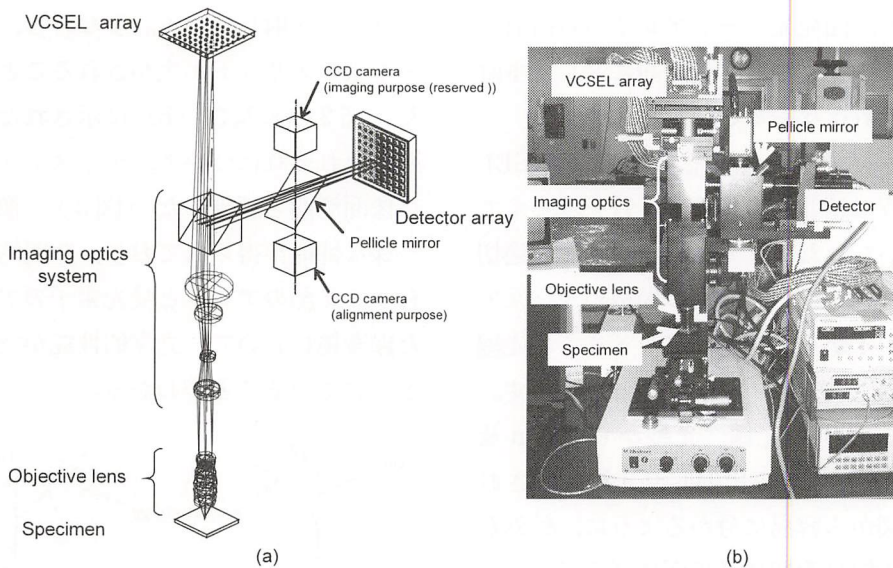


図4 システムの基本構成図(a)及びシステムの外観図(b)

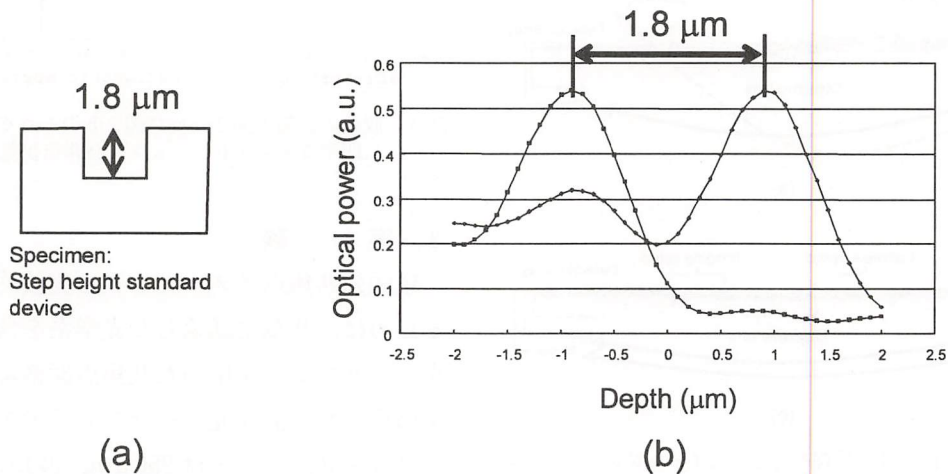


図5 高さ標準器(VLSI Standard社SHS-1.8 QC)の仕様(a)と計測結果(b)



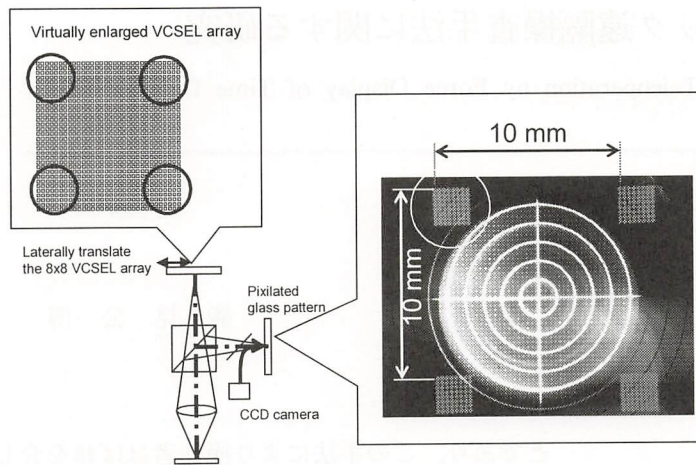


図6 軸外におけるイメージング性能

いて、受光面で観測される画像を評価した。受光面には、一定の微細パターンを有するガラス基板を設置した。図6は、面発光レーザを縦横10 mm ずつ動かし、4つの角で観測される画像を重ね合わせたものを示す。同図より分かるように一様なビームスポットが観測されていることが分かる。なお、本システムでは光軸から半径10 mm の範囲内での光学的性能を一様であるため、例えば一辺の長さが $10\sqrt{2}$  mm である正方形のデバイスアレイを設置することが可能である。仮に、アレイデバイスのピッチが $250\mu\text{m}$ であればチャンネル数は約3,200、ピッチが $125\mu\text{m}$ であれば約12,800の測定点を

設けることができる。

#### 4. まとめ

面発光レーザアレイを用いた共焦点顕微鏡について、超並列性を踏まえた3次元マイクロイメージングのための光学系を含めて特徴を論じ、実験システム及び実験結果を示した。

[今後の研究の方向, 課題]

光メモリアクセスやマイクロイメージング等の具体的アプリケーションから求められる要件を踏まえながら、従来システムにない機能、あるいは従来システムの性能を格段に凌駕する性能を引き出すために、アルゴリズムや制御アーキテクチャの開発が重要課題のひとつと思われる。

[成果の発表, 論文等]

- 1) M. Naruse, Y. Ide, T. Iino and F. Kubota : Parallel VCSEL microscope: optimal design and instrumentation, 3<sup>rd</sup> International Conference on Optics-photonics Design & Fabrication (Tokyo, 2002/ 11/ 1)/Technical Digest PD 06

# 通信時間遅れの力感覚表示による 力覚フィードバック遠隔操査手法に関する研究

Study on Force Feedback Teleoperation by Force Display of Time Delay

1011013

研究代表者

香川大学 助教授

能 見 公 博

## [研究の目的]

安全性・作業性の面からロボットの活躍が望まれる場面は多いが、完全自律型ロボットの実現は困難であり、遠隔操作技術の向上が望まれる。本研究は、通信時間遅れを伴う遠隔操作において、操作者が時間遅れを力感覚として認識することにより、力覚フィードバックを可能とする手法を提案し、システムの操作性向上を目指す。

提案する遠隔操作手法は、通信時間遅れがある状態でリモートサイトにおける力実測値フィードバックを可能とする斬新な手法である。時間遅れのある遠隔操作における力覚フィードバックは困難であるとされているが、時間遅れを力感覚により表示し、力実測値とあわせて触覚から操作者へ認識させることにより、時間遅れ問題を解決している。力覚情報の通信処理技術を確立することは、操作性向上を中心とした遠隔操作の発展へと繋がる。

## [研究の内容、成果]

### 1. はじめに

遠隔操作に関する研究では、通信時間遅れをいかに克服するかが問題とされている。本研究ではリモートサイトの力覚情報を、通信時間遅れを考慮して、操作者に反力としてフィードバックする手法を提案する。その手法とは、通信時間遅れを力感覚として操作者に提示するこ

とであり、この手法により操作者はばねを介してマニピュレータを動かす感覚で、操作することが可能となる。さらに、マニピュレータに作用する外力は、この時間遅れを提示する力感覚に足し合わせる。その結果、ばねに繋がれたマニピュレータに力が作用すると、ばね力が変化することにより操作者はその現象を認知できることとなる。このような遠隔操作手法は、人間の感覚によるところが大きいいため、実験検証が不可欠であり、本研究においても実験による評価を行う。

### 2. 力感覚遠隔操作手法

提案する遠隔操作手法は、リモートマニピュレータがコンプライアンス制御機能を有しており、操作者はマスターアーム、ジョイスティックなど、反力を感じさせることができる力感覚入力装置により、操作を行うシステムを用いる。遠隔操作サイトでは、ある時間において、操作者が入力する指令値  $x_c$  (コマンド) と通信時間遅れ分前に送信された指令値に対する結果であるコンプライアンス参照点  $x_r$  およびマニピュレータ位置姿勢  $x_t$  (テレメトリ) が存在する。これらの値を用いて力感覚入力装置に与える力  $F$  を次式より計算する。

$$F = k_t(x_r - x_c) + k_c(x_t - x_r) \quad (1)$$

第一項は「時間遅れ力感覚表示」を表し、通信時間遅れを力感覚に変換したもの、第二項は「接触力力感覚表示」を表し、マニピュレータ



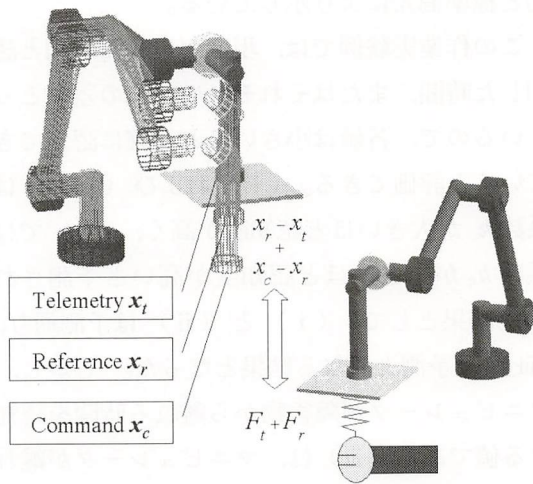


Fig. 1 Operation feeling with vertical spring

に作用する外力を力感覚に変換したものである。これらの大きさは、係数  $k_t$  および  $k_c$  の値により決定され、その関係により操作者が感じる接触時の力感覚変化が設定できる。 $k_c$  を相対的に大きく設定すると、接触の認識は容易となるが、通信時間遅れの認識度が弱くなるため、必ずしも操作性が向上するとはいえない。

本手法により、操作者はばねを介してマニピュレータを動かす感覚で、遠隔操作を行うことができる。Fig. 1 にイメージを示す。接触力が発生しない場合、 $x_c$  と  $x_t$  の差を力感覚として操作者に認識させると、あたかもばねを介してマニピュレータを操作する感覚となる。すなわち、コマンド入力開始と同時に操作者は反力を感じ、コマンド入力完了後、マニピュレータが停止するまで反力を感じ続ける。そして、接触力が発生すると力感覚が不連続的に変化することとなり、接触を認識することができる。通信時間遅れを伴う遠隔操作であるため、操作者がリモートサイトの状態を認識するのは時間遅れ後であるが、「ばねを介した操作感」により操作者は時間遅れ後の現象であることを感覚的に理解できる。

### 3. 遠隔操作実験

#### 3.1 押し付け作業

提案している遠隔操作手法の適用例として、

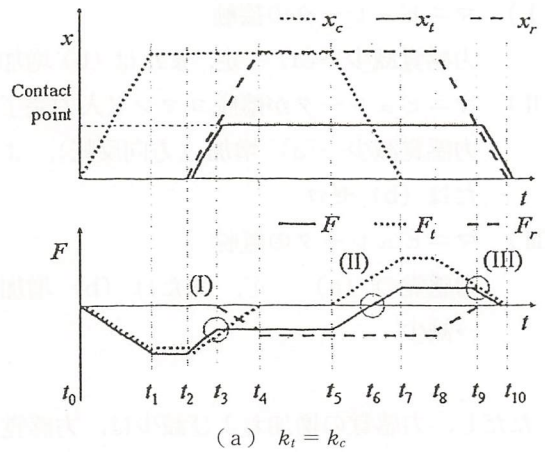
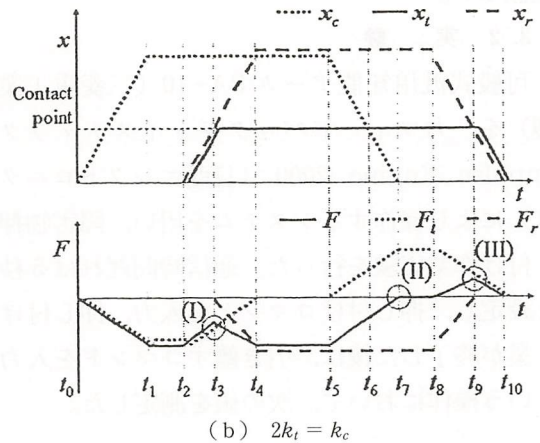
(a)  $k_t = k_c$ (b)  $2k_t = k_c$ 

Fig. 2 Manipulator motion and force reflection

押し付け作業を考える。操作者は、障害物（壁、床等の対象物）と離れた位置からマニピュレータを動作させ、障害物に接触、その後に障害物から離す、という作業である。Fig. 2 に押し付け作業を行う場合の、各位置  $x_c$ 、 $x_r$ 、 $x_t$ 、各力感覚成分  $F_t$ （時間遅れ）、 $F_c$ （接触力）、および操作者への力感覚  $F$  を表す。ここで、送信コマンドによる一回のマニピュレータ動作時間は、通信時間より小さい場合を想定している。

各図は「時間遅れ力感覚表示」と「接触力力感覚表示」の係数設定を、(a)  $k_t = k_c$ 、(b)  $2k_t = k_c$  とした場合を示す。図において力感覚は、作業開始から作業終了まで常に変化している。とくに図中に示す次の三点は、操作者が確実に感じることができる力感覚変化が発生する。

### (I) マニピュレータの接触

力感覚減少→(a) 一定, または (b) 増加

### (II) マニピュレータが離脱コマンド入力完了 力感覚減少→(a) 増加 (方向反転), または (b) ゼロ

### (III) マニピュレータの離脱

力感覚の (a) 一定, または (b) 増加  
→減少

ただし, 力感覚の増加および減少は, 力感覚の大きさ  $|F|$  に対する表現であり, 方向には関係ない。

## 3.2 実験

可般式汎用知能アーム PA-10 (三菱重工業製) を, 力フィードバックジョイスティック Impulse Engine 2000 (日商エレクトロニクス) により操作するシステムを用い, 障害物押し付け作業実験を行った。通信時間遅れは 5 秒と設定し, 押し付けコマンドを入力, 押し付け作業が終了した後に, 引き離すコマンドを入力, という操作において, 次の値を測定した。

- (i) マニピュレータが障害物に接触した時間とその状態を操作者が認知した時間の差
- (ii) 最終状態におけるマニピュレータ手先位置と障害物との距離
- (iii) マニピュレータが障害物から離れた時間とその状態を操作者が認知した時間の差

(ii) に関しては, 引き離すコマンド入力において障害物から離れる位置の入力完了を認知することを評価しており, 認知が遅れれば最終状態におけるマニピュレータ手先位置と障害物との距離が大きくなる。力感覚を求める式 (1) のパラメータとして,

$$k_t = 1, k_c = 1.0, 1.5, 2.0$$

の場合について, 被験者 4 人が 10 回ずつ操作を行った。Fig. 3 ~ Fig. 5 に実験結果を示す。それぞれの  $k_c$  設定について, 40 回の結果を平

均と標準偏差により示している。

この作業実験例では, 現象が生じた時間と認知した時間, またはそれぞれの位置の差をとっているので, 各値は小さいほどの確に認知できていると評価できる。(i) および (iii) では係数  $k_c$  が大きいほど認知度が高く, (ii) では係数  $k_c$  が小さいほど認知度が高いと予測される。結果として, (i) と (ii) は予測通り, (iii) は予測と異なる結果となった。しかし, マニピュレータが障害物から離れる時間を認知する値である (iii) は, マニピュレータが離れるコマンド入力完了を認知する値である (ii) と密接に関係しており, (ii) の認知が的確で

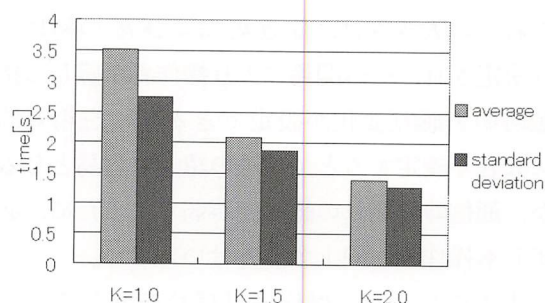


Fig. 3 Notification time for contact (i)

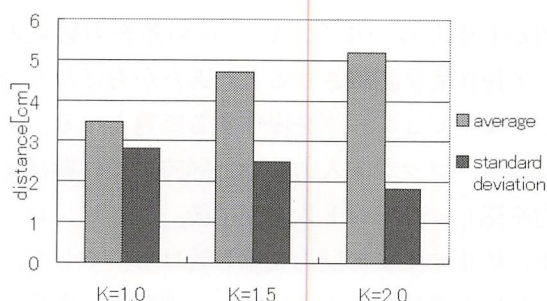


Fig. 4 Notice of distance for detach command (ii)

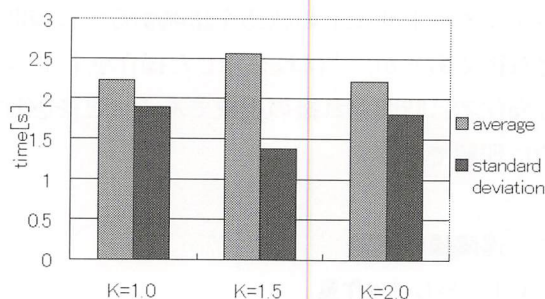


Fig. 5 Notification time for detach (iii)



あると (iii) の認知も的確になるといえる。このような理由により、この実験例の結果が予測と異なる結果となったことには説明がつく。

#### 4. おわりに

本研究では、通信時間遅れのあるマニピュレータ遠隔操作において、リモートサイトで発生する力覚情報を、時間遅れを考慮して操作者にフィードバックする手法を提案した。操作者が感じる力感覚は、「時間遅れ力感覚表示」に「接触力力感覚表示」を足し合わせたものであり、それぞれの力感覚表示係数設定による力感覚の変化が、操作者の認知度に影響することを実験的に確認した。

#### [今後の研究の方向、課題]

本研究成果における実験は、マニピュレータの直線動作を対象としている。また、押し付けで離す断続的な作業である。実用化するためには、三次元的な動作、連続的な作業について提

案する手法をどのように応用するか検討し、実験評価をしていく必要がある。また、視覚・聴覚を含めて遠隔操作手法を開発していくことにより、人間の技能を引き出すことができるインタラクティブで高度なリアリティを実現できると期待される。

#### [成果の発表、論文等]

- 1) 特許出願：通信時間遅れを伴う遠隔操作における動作・接触の力感覚表示方式、出願番号：特願2002-248215、出願人：科学技術信仰事業団、(2002. 8. 28)
- 2) 能見公博：マニピュレータ遠隔操作における通信時間遅れの力感覚表示、第45回自動制御連合講演会、2A1-B3、仙台、(2002. 11)
- 3) 能見公博：通信時間遅れの力感覚表示によるマニピュレータの遠隔操作、日本機械学会論文集 (C編)、第69巻、第682号、pp.1626-1632 (2003)
- 4) M. Nohmi: Space Teleoperation Using Force Reflection of Communication Time Delay, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Las Vegas, U. S. A., (October, 2003) (to be presented)



## 超音波モータを用いた歩行支援システムの開発

### Development of Walking Assistance System using Ultrasonic Motor

1021003

研究代表者

東京農工大学工学部 助手

Eko Purwanto

#### [研究の目的]

現在, 日本において下肢に障害を持つ人々は約 30 万人いると言われている。障害ほどではなくても, 階段の上り下りのような軽い負荷にも痛みなどを感じる人は高齢者を中心に 200 万人いるとも言われている。QOL の維持と寝たきり生活を予防するために, 本研究開発ではこのような人々を対象に人間と機械の調和の促進が実現できる超音波モータを用いた歩行支援システムの開発を目的とする。

#### [研究の内容, 成果]

##### 1. システムの概要

いままでの歩行支援システムは, アクチュエータとして従来技術の油空圧や電磁モータと減速機を使っているためアクチュエータ自身や駆動源が非常に大きくなり, 在宅の利用でさえきわめて難しく, 屋外での活動は不可能である。一方, 本研究ではアクチュエータに, 長年独自に開発してきた強力超音波モータを利用するため, 高出力トルクでありながら小型化・軽量化は容易にできる。そしてさらに, アクチュエータにセンサー等から得られる運動パターンによる負荷制御機能を持たせることによって人間と機械の調和が最も期待できるコンパクトな歩行支援システムになると考えている。

本研究は以下の研究内容で実施する。

- ・本システムに組み込まれるアクチュエータの

高出力トルク, 小型化・軽量化の再検討

- ・歩行支援システムの構築
- ・運動パターンのデータベース化

##### 2. 基本原理

超音波モータは図 1 に示すような原理で直接負荷を駆動することができるので, コンプライアンス制御が容易にできる他に構造が簡単で変換機構が不要となり動きがソフトとなる。円環状のステータに圧電素子をはり, 位相がずれた 2 種類の電圧を圧電素子に印加することによりステータ表面に機械的な振動による進行波が生成される。この進行波によってステータ表面上の点が楕円運動を行い, 適当な力でステータに押し付けたロータを摩擦駆動で動かす。

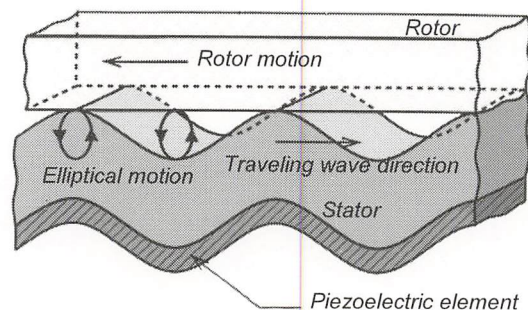


図 1 超音波モータの基本原理

##### 3. 超音波モータの開発

本システムに組み込まれる超音波モータアクチュエータは基本的に図 2 に示すような構造を持ち, 2 枚のステータで 1 枚のロータを挟み込む構造になっているので, サンドイッチ型超音



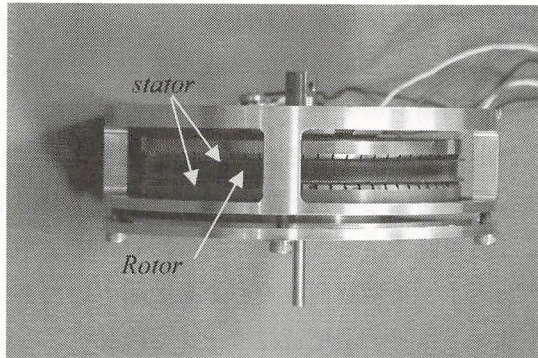


図2 サンドイッチ型超音波モータ

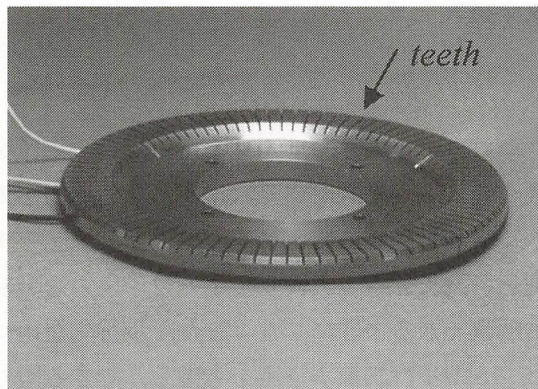


図3 ステータの櫛歯

波モータという名称で紹介している。本モータはトルクの向上を図るため、ステータの櫛歯による検討と多層サンドイッチ型構造による検討を行う。

### 3.1 ステータの櫛歯の数による検討

圧電素子に入力をした時にステータ表面に励起される振動について有限要素法解析を用いて評価できるので、本研究ではステータに刻まれた櫛歯の数（図3を参照）による違いがステータの上面に励起される振動にどう影響を及ぼすのかについて確認するために2つの解析モデルを構築し、検討する。この2つのモデルは櫛歯が1波につき8個で計72個のステータと1波につき櫛歯10個で計90個のモデルである。これらのステータに対し、固有モード解析を行い、9波発生する振動モードが得られる共振周波数を求め、この周波数において過度応答解析を行った。この過度応答ではステータ上面に仮想の進行波を発生させるため、圧電素子に  $F_1 =$

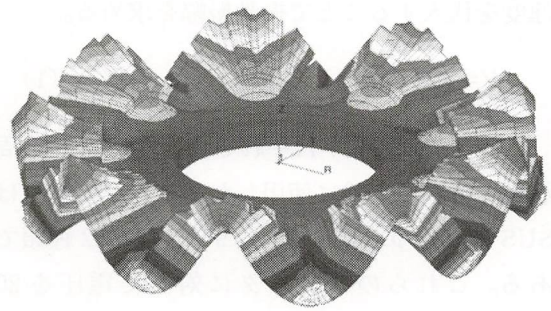


図4 ステータのFEM解析結果

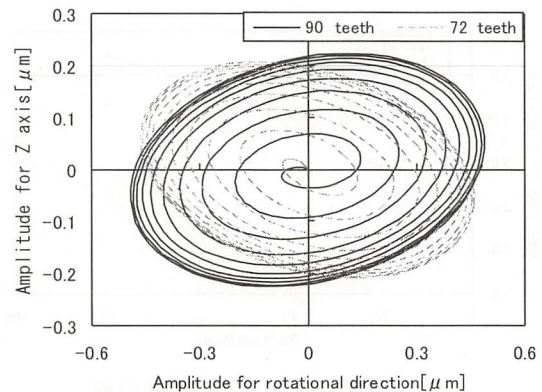


図5 櫛歯数による振幅の比較

$\sin(2\pi ft)$  と  $F_2 = \cos(2\pi ft)$  で示される力を周期的に入力し、波を励起させた ( $F$ : 外力,  $f$ : 共振周波数,  $t$ : 時間)。解析によりステータに励起される波の共振モードを図4に示し、各ステータ外周部の任意の点における円周方向と  $z$  軸方向の振動状態を図5に示す。図5の結果より外周部の任意の点において櫛歯数90のステータの方が櫛歯数72のものに比べて  $z$  軸方向では8%, 円周方向では5%の振動振幅の増加が確認された。よって、櫛歯数90のステータモデルの振動振幅の方が大きくなると予想され、高トルク化への望みがあると推測される。以上より、実機を製作し、このステータについて検証する。

超音波モータの出力トルクはステータ表面に励起される波の振幅に大きく影響する。そこで櫛歯数が72個のステータと90個の物に対し、電圧を印加し、励起した波の振動振幅を測定する。この実験において励起した波の振動速度をレーザドップラ振動計により測定し、(1)式に



速度を代入することで振動振幅を求める。

$$V = A \cdot 2\pi f \quad (1)$$

ここで、 $V$ 、 $A$ 、 $f$ はそれぞれ速度、振幅、周波数であり、実験に使用したステータの材質は SUS で外径  $\phi 100$ 、櫛歯数 90 と 72 の 2 種類である。これらのステータに対して電圧を 20 Vpp から 80 Vpp の範囲で印加した結果を図 6 に記す。

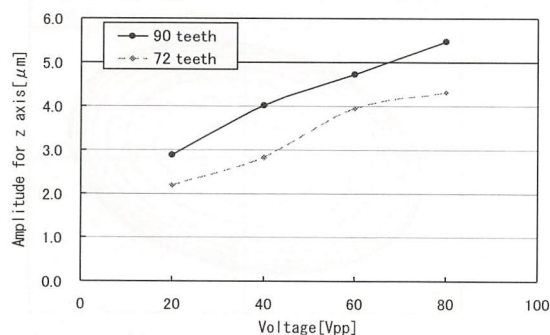


図6 櫛歯数の違いによる振幅の比較

実験結果よりどのステータにおいても印加電圧の上昇に伴い、振動振幅がほぼ比例的に増加することが分かる。また、櫛歯数 90 のステータは櫛歯数 72 のものに比べて等電圧下で約 30% の振幅増加が確認された。これは櫛歯数を増加した結果、櫛歯部の剛性が下がったため、振動が大きくなったと考えられる。以上より、櫛歯数を増加することで振幅を拡大でき、高トルク化に適したステータであると考えられる。また、低い電圧においても大きな振動振幅を発生していることから低電圧化への期待も持てる。

### 3.2 多層サンドイッチ型構造による検討

我々は超音波モータの高出力化を目的として 2 枚のステータで回転子のロータを挟む構造（サンドイッチ型）をした超音波モータを開発してきた。このサンドイッチ型超音波モータではステータ 1 枚の時に比べておよそ 1.5 倍のトルクを発揮できる。しかし、更に大きなトルクを得ようとした場合、減速機等を使用することで出力トルクの増加は可能であるが速度が犠牲になってしまう。そこで、速度を犠牲にせずに

出力トルクを増加する方法としてサンドイッチ型超音波モータを多段に構成することを見出した。この構造のモータでは段数に応じてステータの出力を設定できるため、目標トルクに応じた設計が可能となり、無限の出力トルクを得ることも可能であると考えられる。そこでまず、サンドイッチ型超音波モータを 2 組用いたダブルサンドイッチ型超音波モータを設計し、このモータについて研究を進めた。ここで、1 枚のステータにおけるトルク  $\tau$  は予圧力  $\mu$ 、ステータ半径  $R$  とすると次式によって表現される。

$$\tau = \mu NR \quad (2)$$

これにより大きなトルクを得る場合、電圧を高くすると同時にそれに応じた予圧力も大きくする必要があるため、ダブルサンドイッチ型超音波モータを設計する上では予圧力を容易に調整できるようにした。また、歩行支援用ロボット型歩行訓練器搭載を考慮し、できる限り軽薄なものとした。以上より製作したモータを図 7 に示す。

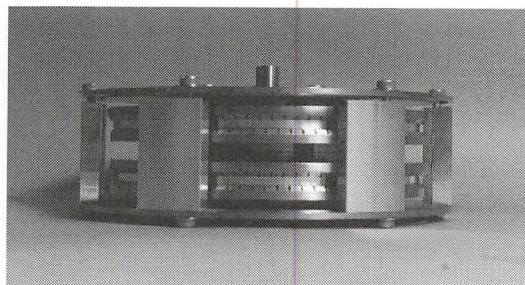


図7 ダブルサンドイッチ型超音波モータ

本研究で試作したサンドイッチ型超音波モータを 1 組で駆動した場合と 2 組で駆動した場合について回転速度と起動トルクを測定した。入力各ステータへ同じ周波数、同位相の電圧下で 120 Vpp から 240 Vpp の範囲で試験を行い、各電圧において 35 rpm から 45 rpm の速度で駆動するように超音波モータを構成する予圧力を調節しながら実験を行った。この実験の結果を図 8 に示す。電圧の上昇に伴い比例的に起動トルクが増加することが確認された。また 2 組



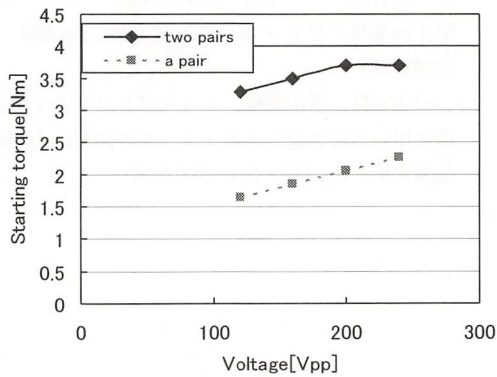


図8 駆動試験によるトルクの比較

で駆動したモータは1組で駆動したモータのおよそ1.7倍の起動トルクを得ることができた。

4. 歩行支援システムの構成

歩行を再現するために歩行パターンを把握し、モータの駆動方法を確立する必要がある。歩行パターンの取得にはモータの駆動回路と一体型のドライバを使用して膝関節角度、床接地判定が可能なシステムを構築した。膝関節角度にはポテンショメータを使用し、床反力には踵部にスイッチを取り付けることにより接地の判断を行う。

補装具を下肢に装着し、膝関節にはポテンショメータ、足にはデジタルスイッチを搭載したスリッパを履き、通常歩行を行った。実験概略図を図9に示し、得られた歩行データを図10に示す。

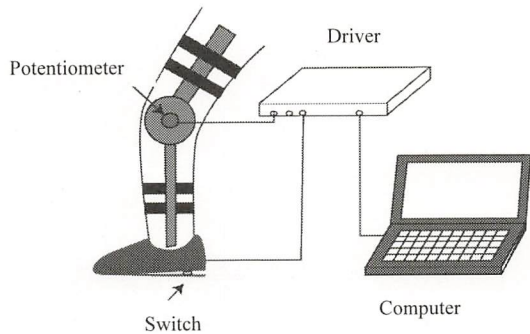


図9 歩行支援システム構成図

まず、左足踵が接地してから徐々に膝関節が屈曲し始めていることが分かる。この時期は床

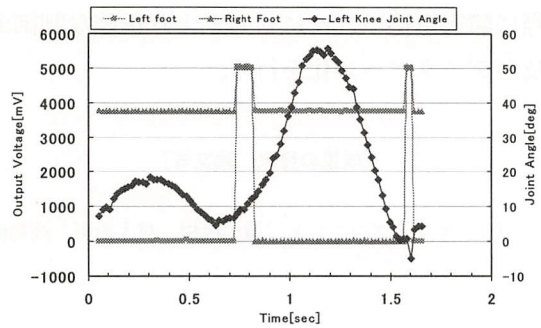


図10 膝関節角度と接地判定

反力ベクトルが膝関節の後方を通るため、膝の屈曲方向のモーメントが働くことと、接地時に生じる衝撃の吸収をしているためこの屈曲が起こる。足裏面全体が接地する頃になると膝関節は屈曲から伸展に移行するようになる。これは右足が接地する準備のために左足は前進方向から引かれるような状態になり、アキレス腱が持ち上げられ、左足踵が地面から離れるようになる。0.7 secに左足踵と右足踵の電圧値は5Vを示しているがこれは右足が接地する直前で、左足の踵のみが地面から離れ、爪先部はまだ接地している状態である。

右足が接地すると左足の爪先は地面から離れ、左足は大腿四頭筋により持ち上げられ、膝関節は屈曲を始める。膝関節が一番高い位置まで持ち上がった後は膝関節より足部は振り子のような動作をするため、自然と伸展を始める。膝関節が0 degに近づくと左足は接地、右足は遊脚期へと移行し、この動作を繰り返す。

このデータは3次元動作解析により得られる歩行データとほぼ類似の波形を示しており、この波形に合わせた動きを実現することで歩行を再現できると言える。

[今後の研究の方向、課題]

本研究では、歩行支援システムのアクチュエータとして超音波モータを用い、モータのトルク向上により結果が得られた。また、本システムは健常者に対するデータベース化を行い、

有効性を確認した。今後は商品化に当たって実際に障害を持つ人々に対してより正確な制御則及びデータベース化を行う。

[成果の発表、論文等]

- 1) エコ・プルワント, 遠山茂樹, 村上宏彰, 高見直

輝: 超音波モータを用いた歩行支援システムの開発, 第2回福祉工学シンポジウム論文集, pp. 265-268 (2002. 11)

- 2) 村上宏彰, 遠山茂樹, エコ・プルワント: 歩行支援に用いる超音波アクチュエータの開発, 山梨講演会論文集, pp. 143-144 (2002. 10)



# SQUID 磁気センサを用いた 超高感度免疫反応検出システムの開発

Ultra Sensitive Immunoassay Utilizing Magnetic Marker and SQUID Sensor

1021004

研究代表者 九州大学大学院システム情報科学研究院 助教授 円 福 敬 二

## [研究の目的]

免疫反応は、病原菌・ガン細胞の検出、DNA 遺伝子解析、環境有害物質の検出、等のバイオ計測の広い分野で用いられている。この免疫反応は被測定物質（抗原）とこれに選択的に結合する検査試薬（抗体）との結合を測定し、抗原の種類と量を検出するものである。近年、微量な反応を高感度で高速に検出する要求が非常に高まっているが、従来用いられてきた光学的な手法ではこの要求を満たせなくなっている。このため本研究では、磁気マーカーと超高感度な磁気センサ（SQUID）を用いた磁気的な免疫反応検出法を新たに開発することを目的としている。また、本システムにより従来の光学的方法に比べて 10 倍以上高感度に免疫検査が可能であることを示す。

## [研究の内容、成果]

### 1. 磁気的免疫反応検出

図 1 に磁気的手法による免疫反応の検出の模式図を示す。抗原が検出すべきバイオ物質であり、この抗原に選択的に結合する抗体を用いて、抗原と抗体を結合させる。この際に抗体は磁気微粒子で標識されており、この標識された抗体を磁気マーカーと呼ぶ。抗原と抗体の結合反応は、磁気マーカーからの磁気信号を用いて検出する。なお従来の光学的手法では、抗体を蛍光酵素などで標識し、光信号により結合の検出を

行っている。

磁気信号の大きさは抗原に結合した磁気マーカーの量に比例するため、微量の結合反応を検出するためには微弱な磁気信号を測定しなければならない。SQUID は超高感度な磁気センサとして知られており、ピコテスラ以下の磁界まで検出できる。従って、SQUID を用いることにより、極めて微量な反応の検出が期待できる。

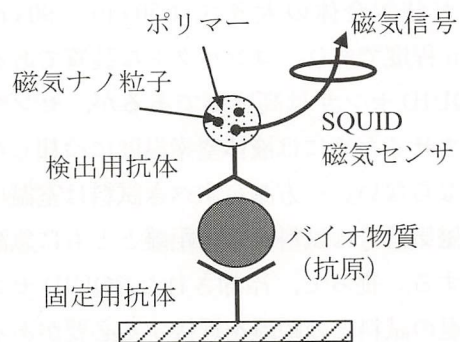


図 1 磁気的手法による免疫反応の検出

### 2. SQUID センサシステム

図 2 に SQUID センサを用いた免疫反応検出

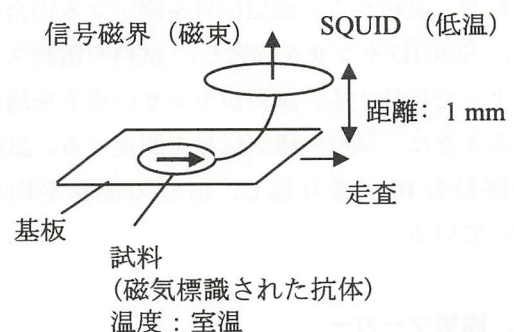


図 2 SQUID 免疫検査の概略

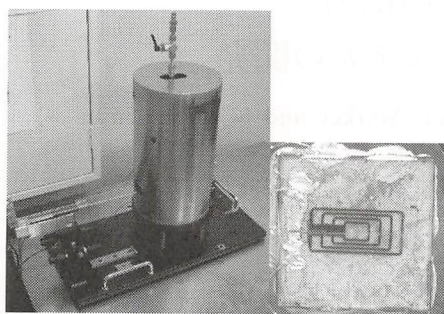


図3 試作した SQUID センサと免疫検査装置

システムの概略図を示す。図で試料は抗原に結合した磁気マーカーであり、これからの磁気信号を測定する。図3に試作した装置と SQUID の写真を示す。SQUID の検出コイルの大きさは  $6\text{ mm} \times 3\text{ mm}$  であり、試料の大きさと同程度である。SQUID は YBaCuO 超伝導薄膜により作製されており、液体窒素温度で動作させる。また、環境磁気雑音を遮蔽するため、簡易な円筒型磁気シールド内に SQUID を設置している。試料を走査するための XYZ ステージを含んだ装置全体の大きさは  $50\text{ cm} \times 90\text{ cm} \times 50\text{ cm}$  程度であり、コンパクトな装置である。

SQUID センサは高感度であるが、センサを動作させるためには液体窒素温度に冷却しなければならない。一方測定すべき試料は室温にあり、磁気信号は試料からの距離とともに急激に減少する。従って、冷却された SQUID センサと室温の試料との距離を近接する必要がある。このため、両者の距離を  $1\text{ mm}$  程度に近接できる冷却装置（いわゆる SQUID 顕微鏡）を開発した。これにより、試料からの磁気信号を高感度に検出することが可能となった。

なお、試料からの磁気信号を測定する場合には、SQUID センサを固定し、試料を電動スライダーで移動する。試料がセンサの真下を通過するときに、試料の磁気信号を測定する。試料の移動を10回繰り返し、信号の加算平均を取っている。

### 3. 磁気マーカー

抗原—抗体の結合反応を高感度に検出するた

めには、磁気マーカーから発生する磁気信号が大きいたことが望ましい。これまでに、市販の磁気マーカーとしては抗原の磁気分離や精製のためのものが開発されている。この磁気マーカーを免疫検査に代用した場合には磁気信号が小さいという問題がある。従って、免疫検査用の磁気マーカーを新たに開発した。

図4に新たに開発した磁気マーカーの模式図を示す。磁気微粒子としては直径が  $25\text{ nm}$  の  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  を用いており、この磁気微粒子を高分子で包みその表面にカルボキシル基（ $\text{COOH}$ ）を結合させている。抗体はカルボキシル基と結合し、磁気マーカーが形成される。なお、市販の磁気マーカーでは直径が  $15\text{ nm}$  の  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  微粒子が用いられていた。磁気微粒子の磁気特性はその体積に非常に強く依存するため、直径を  $25\text{ nm}$  と大きくすることにより、磁気信号を10倍程度大きくすることが出来た。

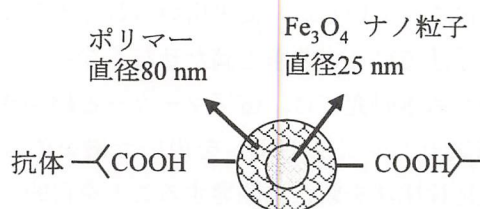


図4 免疫検査用磁気マーカー

また、本磁気マーカーは残留磁気を保持できるという特徴を有する。市販の磁気マーカーでは磁気微粒子の直径が小さすぎるため熱雑音の影響により残留磁気を保持できない。このため、市販の磁気マーカーを使用する場合には測定装置が複雑になるという問題もあった。本磁気マーカーでは残留磁気を保持できるため、システムを簡単に出来る。すなわち、SQUID システムの外で残留磁気を発生させ、残留磁気を SQUID で測定するという簡単な構成を取ることが出来る。これによりシステム雑音を改善することも可能となった。

なお、磁気マーカーとして使用する場合には、その磁気特性だけでなく、凝集や沈殿が発生し



ない等の、溶液中での分散性の良さも重要となる。今回開発した磁気マーカーはこれらの点も満足している。

#### 4. 免疫反応検出実験

磁気マーカーと SQUID センサを用いた、磁気的な免疫実験を行った。抗体としては、ガンなどの診断の際に用いられる IL 8 と呼ばれる蛋白質を用いた。図 5 に免疫実験の模式図を示す。

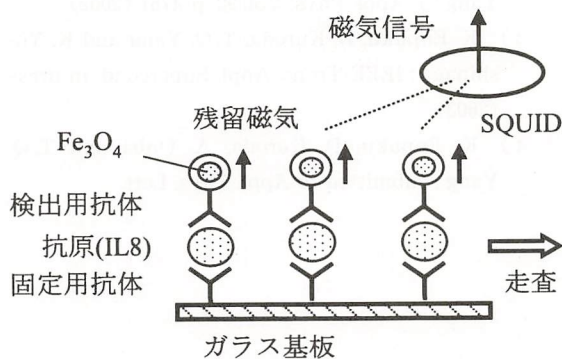


図5 免疫検査実験

実験の手順は以下の通りである。最初にガラス基板に固定用の抗体（MAB 208）を結合する。この後に、抗原（IL8）を固定用抗体と結合させる。さらに、磁気標識された MAB 208 を検出用抗体（磁気マーカー）として使い、抗原に結合させる。なお、結合反応が終了した後に未結合の磁気マーカーは洗い流す。この結合反応の後に、永久磁石により磁気マーカーを磁化し、マーカーに残留磁気を発生させる。この残留磁気を SQUID センサにより測定し、抗原に結合した磁気マーカーの量を検出する。

図 6 に抗原（IL8）の重さが 1 pg の時の、検出波形の例を示す。SQUID を固定し、試料を移動して計測しており、図の横軸は移動中の時間を表す。また縦軸は磁気信号であり、磁気信号は SQUID センサで検出した磁束  $\Phi_s$  で表している。これは、試料からの磁界が空間的に大きく変化するため、磁界よりは磁束で表した方が信号の大きさを正確に表せるためである。

図に示すように、試料が SQUID の真下を通過するとき大きな磁気信号が得られている。図では信号の振幅として  $9\text{ m}\Phi_0$  が得られており、この信号振幅が、磁気マーカーの量に比例することになる。なお、 $\Phi_0 = 2.07 \times 10^{-15}\text{ Wb}$  は磁束量子である。

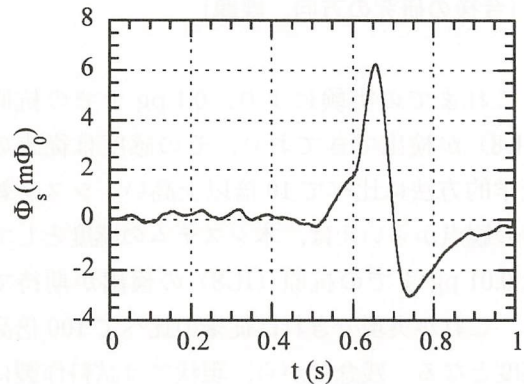


図6 抗原（IL8）が 1 pg の時の信号波形。SQUID を固定し、試料を移動している。試料が SQUID の下を通過するときピーク信号が得られる

図 7 に抗原（IL8）の重さを変化したときの、重さと磁気信号  $\Phi_s$  の関係を示す。両者には良い相関関係が得られており、この実験では 0.1 pg までの抗原（IL8）が検出できている。この結果は、本システムが従来の光学的方法に比べて 10 以上高感度であることを示している。

図 7 の中の□印は、正常人の血清 200  $\mu\text{l}$  中に含まれる IL8 の量を、本システムにより測定した結果である。この場合には血清中に 1.5 pg の IL8 が含まれることが分かる。この値は

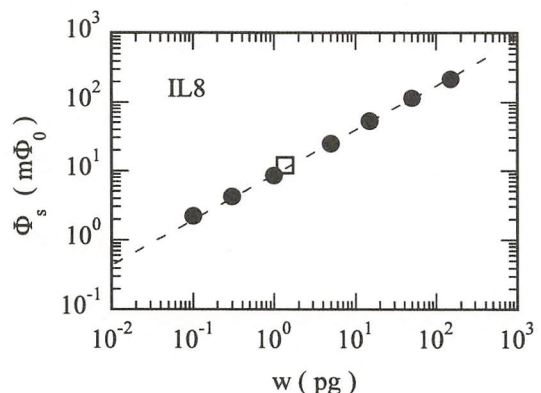


図7 抗原（IL8）の重さと信号磁束の関係。□印は、正常人の血清 200  $\mu\text{l}$  中に含まれる IL8 を測定した結果

正常人としては妥当な値であり、この結果は、本システムの妥当性を示している。

なお、システム感度としては本システムにより  $0.4 \text{ m}\Phi_0$  までの磁束信号の検出が可能である。図 7 の結果を外挿すると、本システムにより  $0.01 \text{ pg}$  までの抗体の検出が期待できる。

#### [今後の研究の方向, 課題]

これまでの実験により、 $0.1 \text{ pg}$  までの抗原 (IL8) が検出できており、その感度は従来の光学的方法に比べて 10 倍以上高い。システム雑音の観点からいえば、本システムの感度としては  $0.01 \text{ pg}$  までの抗原 (IL8) の検出が期待でき、これが実現できれば従来の比べて 100 倍高感度となる。残念ながら、現状では試料作製に

用いる基板等に含まれる磁気不純物や極微量試料の調整の問題のため検出限界が  $0.1 \text{ pg}$  に制限されている。極微量の抗原を検出するためには磁気不純物の少ない基板の選定や、実験手順の確立が必要である。

#### [成果の発表, 論文等]

- 1) K. Enpuku, D. Tokimizu, D. Kuroda and S. Hijiya: IEICE Trans. Electron. Vol. E 85-C, p. 681 (2002)
- 2) K. Enpuku, D. Kuroda, D. Tokimizu and T. Q. Yang: J. Appl. Phys. Vol. 92, p. 4751 (2002)
- 3) K. Enpuku, D. Kuroda, T. Q. Yang and K. Yoshinaga: IEEE Trans. Appl. Supercond. in press (2003)
- 4) K. Enpuku, D. Kuroda, A. Ohba and T. Q. Yang: submitted to Appl. Phys. Lett.



## 動脈硬化性粥腫の非観血的電子染色のための 血管壁生体顕微計測に関する研究

Electronic Staining by Noninvasive Measurement of Visco-elasticity of Atherosclerosis

1021005

|       |                        |         |
|-------|------------------------|---------|
| 研究代表者 | 東北大学大学院工学研究科電子工学専攻 教授  | 金 井 浩   |
| 共同研究者 | 東北大学大学院工学研究科電子工学専攻 助手  | 長谷川 英 之 |
|       | 東北大学大学院医学系研究科医科学専攻 助教授 | 小 岩 喜 郎 |

### [研究の目的]

心筋梗塞・脳硬塞などの発症は、脂質に富んだ粥腫の壁が破裂し、血栓形成による血管内腔の一時的な狭窄／閉塞に起因すると考えられており、粥状動脈硬化症の治療では、粥腫の壁の易破裂性／安定性を非侵襲的に評価する方法の開発が重要である。動脈壁の病変部の安定性評価には、壁の弾性特性の計測が必要であるが、従来、動脈壁の弾性特性を局所領域ごとに計測できなかった。我々は、超音波を用いて経皮的に弾性率断層像の空間分布を描出できる手法を開発する。

### [研究の内容、成果]

#### 1. 弾性率断層像計測と電子染色の方法

計測手法は基本的に文献<sup>1)~5)</sup>に基づく。一拍内での血圧変化に伴って、動脈の内径変化は変化し、従来この内径変化は計測されてきた。この変化において、壁組織の体積は変わらないと仮定すると、内径の増加に伴って、壁の厚みは減少する。そこで、厚さ1 mm前後の頸動脈壁に発生する僅か数十ミクロンの厚み変化を超音波を用いて経皮的に計測し、動脈硬化症の病変部位での、数百ミクロンごとの局所弾性率を算出し、粥腫の壁や脂質層の弾性率に関する

断層像描出を行う。拍動に伴う動脈壁の微小な厚み変化の計測法における空間分解能と精度に関する実験的検討から、血管壁上で半径方向に75ミクロン、軸方向に300ミクロンの大きさの局所領域ごとに、一拍内でのその領域の厚み変化を0.5ミクロンの精度で計測できることを確認している。

さらに、病理染色した結果を参照して、上の超音波で計測された弾性率断層像上に、脂質、膠原線維・平滑筋からなる組織に関する領域を指定し、各々の弾性率の範囲をライブラリとして登録することによって、血管壁と血管壁病変部内部を、脂質、膠原線維・平滑筋からなる組織・それ以外の組織に分類する経皮的な組織検査“電子染色”を行うことができる。

#### 2. 弾性率断層像計測と電子染色の成果

図1は、高脂血症患者の総頸動脈粥腫付近の通常の超音波断層像(上)、上記手法で得られた弾性率断層像(中)、下段は電子染色によって分類した脂質(黄色)、膠原線維・平滑筋からなる組織(青色)である。

#### 3. 壁粘弾性特性計測を目指した外部加振法の検討

上記のように、動脈壁の弾性特性を計測することで、平滑筋・線維組織・脂肪組織等、弾性

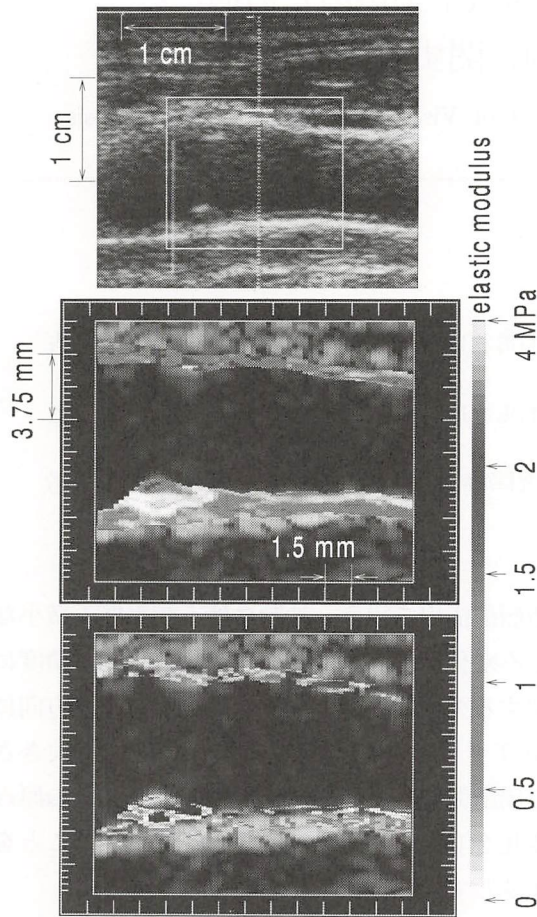


図1 高脂血症患者の総頸動脈粥腫付近の通常の超音波断層像（上）、本手法で得られた弾性率断層像（中）、下段は電子染色によって分類した脂質（黄色）、膠原線維・平滑筋からなる組織（青色）

率の大きく異なる組織の分類は可能であると考えられるが、血栓と脂肪組織等、弾性率のあまり変わらない組織の分類は難しい等の限界があると考えられる。そこで、より高精度な組織性状診断を目指して、計測部位近傍の動脈を外部から加振することにより内圧変化を発生させ、それに伴う動脈壁の厚み変化を計測することにより弾性率の周波数及び内圧依存性について基礎的に検討した<sup>6)</sup>。

管壁の粘弾性モデルとして、Voigt モデルを仮定すると、加振周波数を  $f_{ac}$  [Hz] として、その複素弾性率  $E^*$  は弾性率  $E_s$  と粘性率  $\eta$  を用いて次式で示される。

$$E^* = E_s + j2\pi f_{ac}\eta \quad (1)$$

したがって、Voigt モデルが仮定できる場合、

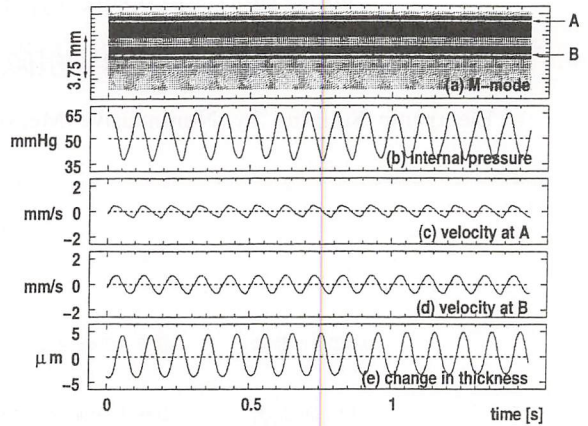


図2 (a) M モード像, (b) 内圧波形  $p(t)$ , (c) 前壁外側の振動速度  $v_{ad}(t)$ , (d) 前壁内側の振動速度  $v_{in}(t)$ , (e) 前壁の厚み変化  $\Delta h(t)$

厚み変化を用いて算出される複素弾性率の絶対値  $|E^*|$  は、加振周波数  $f_{ac}$  とともに増加すると考えられる。

#### 4. 模擬血管による粘弾性特性計測の成果

シリコンゴムチューブを用いた基礎実験を行った。超音波による振動計測部位から約 20 cm 離れた部位に加振器を用いて振動を加えた。また、超音波による振動計測時には、圧力センサを用いて内圧も同時に計測している。図2に加振周波数 10 Hz 時の振動の計測結果を示す。図2(a)のMモード像の時刻0のタイミングにおいて、シリコンゴムチューブ前壁の外側と内側に点を設定し、それぞれの点の速度  $v_{ad}(t)$ ,  $v_{in}(t)$  を算出した結果が図2(c)と2(d)である。さらに、それらの速度の差をとって時間積分することにより算出した厚み変化  $\Delta h(t)$  を図2(e)に示す。図2(e)から、図2(b)に示す内圧の上昇に伴い、壁の厚さが薄くなることが分かる。

加振の周波数  $f_{ac}$  を変化させ、それぞれの周波数において弾性率の絶対値  $|E^*|$  を算出した結果を図3に示す。図3において、プロットは計測値を、実線は(1)式を計測値にフィッティングした結果を示す。図3から、周波数の増加に伴い  $|E^*|$  が大きくなる傾向がある。また、直流付近では、準静的に計測した内圧－壁厚変化関係(図4)から算出した弾性率に近



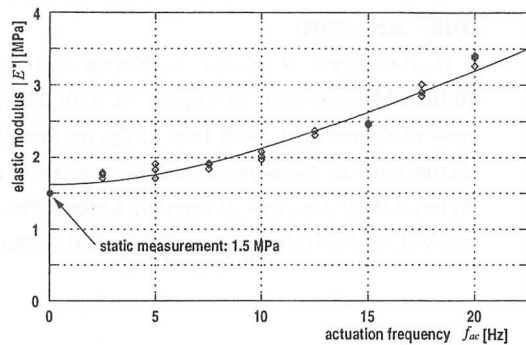
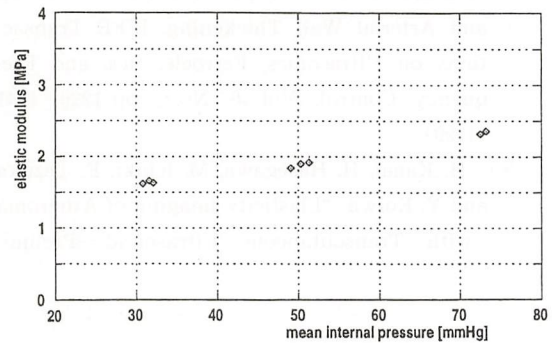
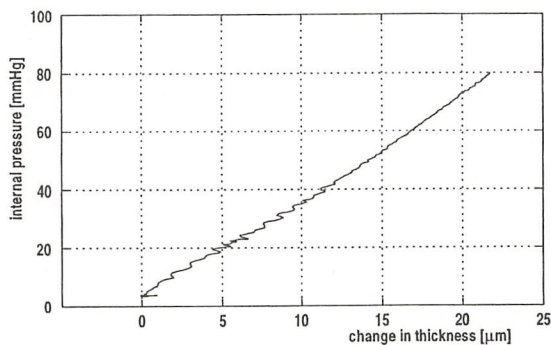
図3 複素弾性率の絶対値 $|E^*|$ の周波数特性図5 複素弾性率の絶対値 $|E^*|$ の平均内圧依存性

図4 準静的な内圧－壁厚変化関係

づく。これらのことから、図3の周波数特性は、粘弾性特性によるものであると考えられる。

また、図4において、内圧－壁厚変化関係は完全な線形ではない。このことは、壁弾性率が内圧依存性を有することを示す。また、別途各内圧レベルにおいて算出した弾性率から、内圧の上昇に伴い、弾性率が増加していることが分かった。そこで、平均内圧を変化させて加振を行うことにより、弾性率 $|E^*|$ の内圧依存性を計測できる可能性がある。平均内圧を変化させて、 $|E^*|$ の平均内圧依存性を計測した結果を図5に示す。加振周波数は7.5 Hzである。図5から、平均内圧の上昇に伴う弾性率の増加が計測できることが分かる。動脈の内圧は一心周期内に70 mmHg程度から120 mmHg程度まで変化するため、収縮期と拡張期において外部加振に伴う壁厚変化を計測することにより、壁弾性率の内圧依存性を計測できると考えられる。

### [今後の研究の方向、課題]

本報告では、シリコンゴムチューブの弾性率の周波数特性を計測したところ、周波数と共に上昇する傾向が見られた。さらに、弾性率の平均内圧依存性の計測可能性を示した。この生体顕微計測法は、重篤な患者でも安全に繰り返し計測し得るものであり、この計測法によって粥腫内物性が簡便にかつ短時間で定量的数値として得られることは、『現在行っている治療法が果たして粥腫を安定化させ、線維層優位にしているのか否か』という問いに対する知見を加え得るものである。現在、ライブラリの充実と、粘性情報を含めることによる高精度化を目指している。

### [成果の発表、論文等]

- 1) H. Kanai, H. Hasegawa, N. Chubachi, Y. Koiwa and M. Tanaka: Noninvasive Evaluation of Local Myocardial Thickening and Its Color-Coded Imaging, IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, Vol. 44, No. 4, pp. 752 – 768 (1997)
- 2) 長谷川英之, 金井 浩, 中鉢憲賢, 小岩喜郎: 動脈壁厚変化の非侵襲的高精度計測による動脈壁弾性率の評価, 超音波医学, Vol. 24, No. 6, pp. 851 – 860 (1997)
- 3) 長谷川英之, 金井 浩, 星宮 望, 小岩喜郎: 不均一な壁厚を有する管の局所壁弾性率の計測法, 超音波医学, Vol. 28, No. 1, pp. J 3 – J 13 (2001)
- 4) H. Kanai, Y. Koiwa and J. Zhang: Real-Time

Measurements of Local Myocardium Motion and Arterial Wall Thickening, IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, Vol.46, No.5, pp.1229-1241 (1999)

- 5) H. Kanai, H. Hasegawa, M. Ichiki, F. Tezuka and Y. Koiwa: "Elasticity Imaging of Atheroma with Transcutaneous Ultrasound —Prelimi-

nary Study—," *Circulation* Vol.107, No.24, pp. 3018-3021 (2003)

- 6) H. Hasegawa, H. Kanai, Y. Koiwa and J.P. Butler: Measurement of Change in Wall Thickness of Cylindrical Shell Due to Cyclic Remote Actuation for Assessment of Viscoelasticity of Arterial Wall, Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 42, Part1, No. 5 B, pp. 3255-3261 (2003)



## 動作補助用外骨格型ロボットと人間との 知的インターフェイスの研究

A Study of Intelligent Interface between Human Users and  
Exoskeletal Robots for Motion Assist

1021006

研究代表者

佐賀大学大学院工学系研究科 助教授

木 口 量 夫

### 〔研究の目的〕

高齢者等の体力の衰えた人の自立生活を支援するため、人間の動作を補助する外骨格型ロボットの実現を目指している。本研究では、ロボット装着者（被験者）とロボットの知的インターフェイスを研究開発し、装着者の生体信号により直接ロボットの駆動を行うことで、ロボットを装着者との調和を実現させる。

本研究では、ロボット装着者（被験者）とロボットとの知的インターフェイスを実現することで、自然にロボットによる動作補助が得られるようになっており、従来のように装着者がロボットを操縦する必要がなく、高齢者等でも特別な訓練なしで容易に使用できる。知的インターフェイスの実現には、近年注目を集めているソフトコンピューティング技術（ファジィ推論および人工ニューラルネットワーク）を用い

るものとする。本研究により、高齢者等の体力が衰えた人の日常生活での自立を支援することが期待できる。本研究で用いた外骨格型ロボットの例を図1に示す。

### 〔研究の内容、成果〕

装着者と外骨格型ロボットの知的インターフェイスを実現させるためには、まずロボットの操作信号である筋電信号と装着者の動作意思との関係を明らかにする必要があるため、人間の主な関節の内、主に上肢関節（肘，肩，手首等）の動作とその動作を生成する筋肉の筋電信号との関係を予備実験により解析した。本研究では、肩垂直屈曲伸展運動，肩水平屈曲伸展運動，肩内旋外旋運動，肘屈曲伸展運動，および手首回内回外運動に対する筋電信号の解析を行うものとした。解析した筋肉を図2に示す。これらの筋肉は、上肢運動補助用の外骨格型ロボットを装着者の筋電信号を基に制御するために必要な筋肉である。予備実験では、数人の被験者が同じ姿勢で同じパターンの上肢運動を行った際の各筋肉の筋電信号を記録した。全ての実験において、サンプリング周波数は2 kHzとした。

次に、予備実験結果を基に解析した筋電信号と装着者の動作との関係を基に、ソフトコンピューティング技法を用いることにより、人間の経験的な知識を反映し、かつ柔軟で優れた適

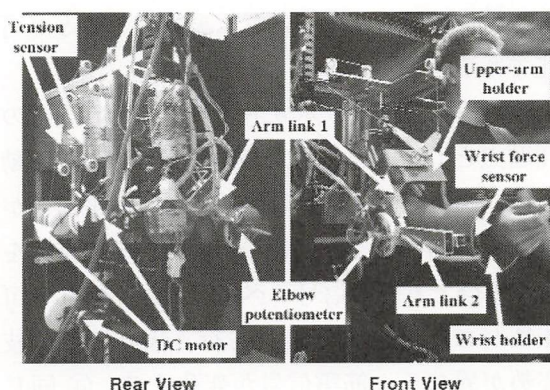
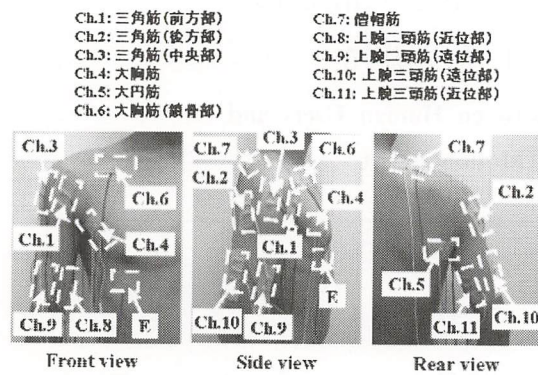
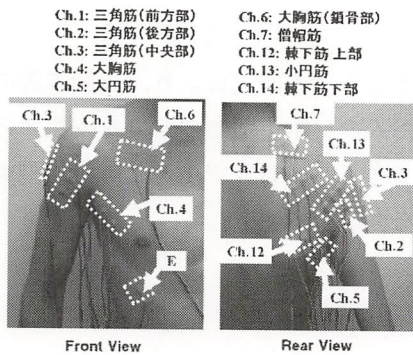


図1 外骨格型ロボット例（上肢運動補助用）

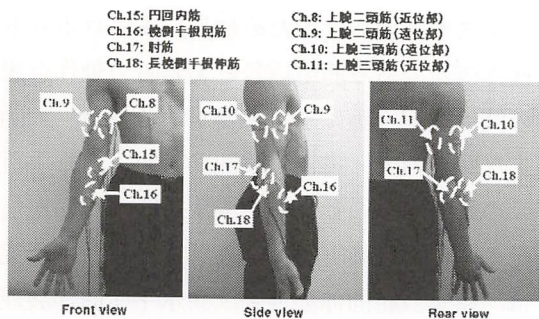




(a) 肩垂直・水平屈伸および肘屈伸運動用



(b) 肩内外旋運動用



(c) 手首回内外運動用

図2 解析した筋肉

応能力を有する知的インターフェイスを実現させるものとした。本研究では、生の筋電信号をそのまま取り扱うことは困難であるため、次式で示される RMS (Root Mean Square) を用いて特徴抽出を行った。

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N v_i^2} \quad (1)$$

ここで、 $v_i$  は  $i$  サンプルングでの電圧 (アンペアイン: 20,000),  $N$  はセグメント数である。

本研究では、予備実験を基に解析した筋電信号と装着者の動作との関係から、筋電信号を入

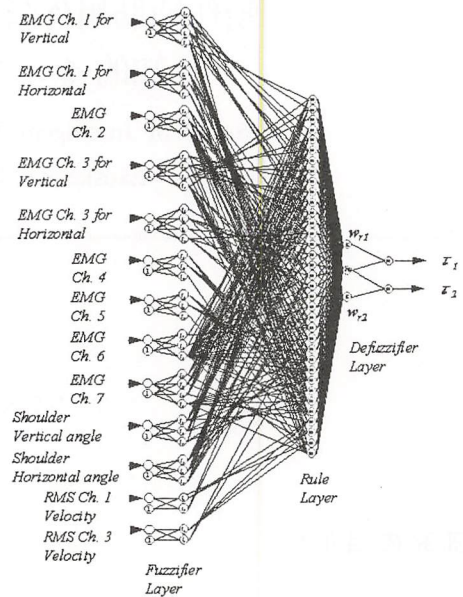


図3 肩垂直・水平屈伸運動補助用ファジィ・ニューロ制御器

力情報とし、その際の装着者の動作を補助するための力を出力する IF-THEN ファジィ制御ルールを構築した。構築したファジィ制御ルールを人工ニューラルネットワークの構造に変換し、ファジィ・ニューロ制御器とすることにより適応能力を有することが可能となる。例として、肩垂直・水平屈伸運動補助用外骨格型ロボットのファジィ・ニューロ制御器を図3に示す。本ファジィ・ニューロ制御器は、7種類の筋電信号に加え、肩垂直・水平屈伸角度を入力情報とし、外骨格型ロボットの目標肩関節トルク (装着者の運動補助のための目標力) を出力するものである。誤差逆伝播法を用いて運動誤差と筋電位レベルを下げるように本制御器を調整することにより、外骨格型ロボットによる動作補助レベルを任意に調整することが可能である。

筋電信号を基にロボットの制御を行う場合の問題点として、① 同じ装着者により同じ運動を行う場合でも装着者の体調により筋電信号が若干異なる、② 装着者が異なると同じ運動を行う場合でも筋電信号レベルが大きく異なる可能性がある、③ 同じ運動を行う場合でも上肢姿勢が異なると筋電信号が変化する、④ 同じ運動を行う場合でも関節インピーダンスが異なる



ると筋電信号が変化する等が挙げられる。このうち、①に関しては柔軟なファジィ制御ルールを適用することにより対応でき、また②に関してもファジィ・ニューロ制御器の適応能力により解決できる。

本研究では、③の問題に対し、まず上肢姿勢変化による筋電信号への影響（肩垂直・水平屈曲伸展運動時および肘屈曲伸展運動時）を調べる実験を行った。肘関節運動は一軸運動であり、運動時の筋肉の使い方が比較的単純であるため、実験により得られた上肢姿勢変化の筋電信号への影響の個人差は少なかった。一方、肩関節運動は多軸運動であり、多くの筋肉の協調により生成される運動であるため、上肢姿勢変化の筋電信号への影響も肘関節と比較すると複雑である。そのため、肩関節の実験では、上肢姿勢変化の筋電信号への影響の個人差が少なくない場合も見られた。これは、同じ運動を行う場合においても人により筋肉の使い方が異なる場合があるためと思われる。本研究では、実験により得られた結果を基に、上肢姿勢変化の筋電信号への影響を人工ニューラルネットワークでマッピングし、補償する方法を用いた。上肢姿勢変化の筋電信号への影響例（肩垂直角：60度、肩水平角：0度、手首回内角：0度での肘屈曲角と肩内旋角の大胸筋への影響）を図4に示す。

知的インターフェイスの有効性を確認するため、外骨格型ロボットによる運動補助実験を

行った。ここでは例として、健常な被験者3名（22歳男性2名、23歳男性1名）で行った外骨格型ロボットによる肩垂直・水平屈曲伸展運動補助の実験について報告する。

本実験では、パソコンのディスプレイに目標肩屈伸角（水平・垂直）被験者の肩屈伸角（水平・垂直）、目標との誤差を表示し、被験者はそれらを見ながら自分の肩関節角度を目標軌道に追従させる軌道追従実験を行った。各実験において、それぞれ5分程度の補助レベル調整を行った。

各実験は、それぞれ外骨格型ロボットによる動作補助を行った場合と行わなかった場合で行った。ここでは、同じ動作時の筋電信号レベルが低いほど、ロボットによる補助レベルが大きいことを意味する。したがって、ロボットによる動作補助を行った状態で、目標軌道に追従でき、かつその際の筋電信号レベルが低下していれば知的インターフェイスが有効に機能していることが証明できる。

実験結果の例として被験者Aの結果（三角筋前方部および三角筋中央部）を図5に示す。これらの結果より、外骨格型ロボットによる動作補助を行った場合では、同一動作において動作補助を行わなかった場合に比べ筋電信号レベルが大幅に減少していることが確認でき、知的インターフェイスが有効に機能していることがわかる。

#### [今後の研究の方向、課題]

今後は上肢以外の運動でも動作補助ができるよう、装着者－外骨格型ロボット知的インターフェイスを拡張したい。また、上肢運動補助用の装着者－外骨格型ロボット知的インターフェイスにおいては、上肢姿勢変化による筋電信号への影響についての解析はほぼ終了し、人工ニューラルネットワークを用いて上肢姿勢変化を補償したが、今後の研究において、関節インピーダンス変化による筋電信号への影響も解析

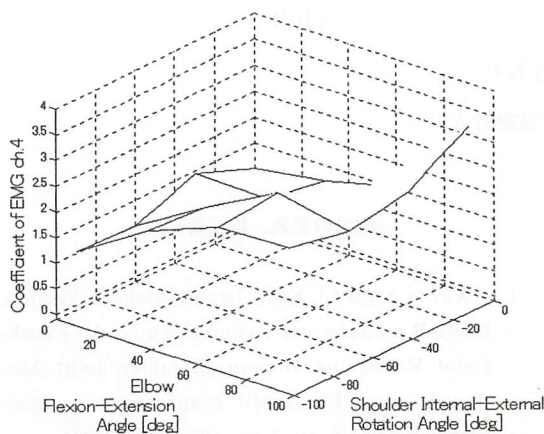
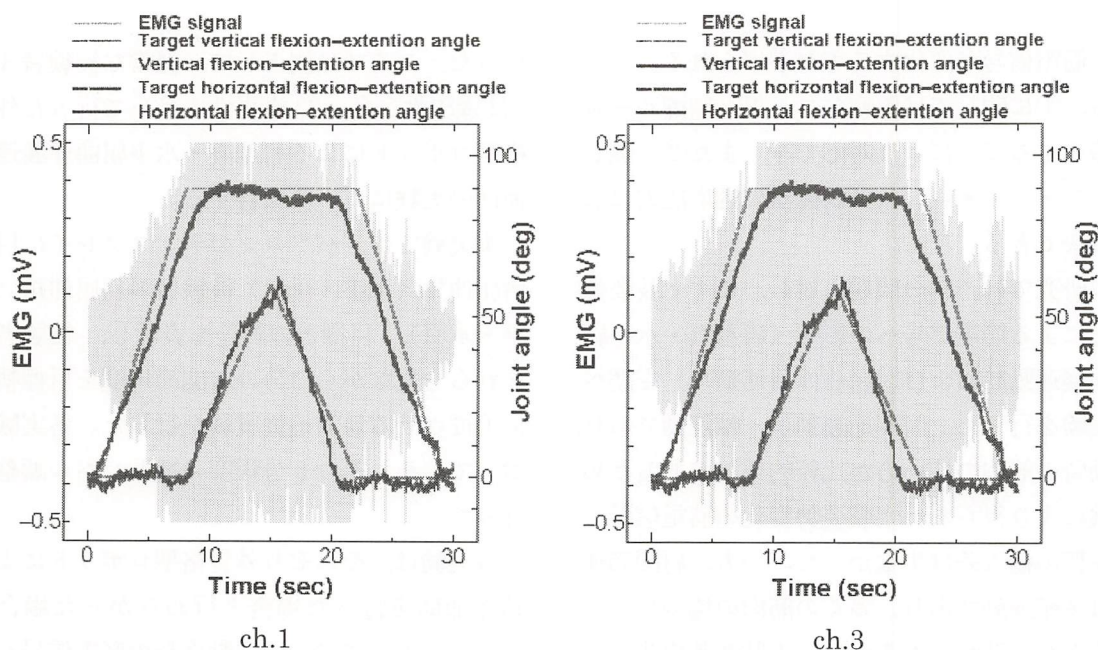
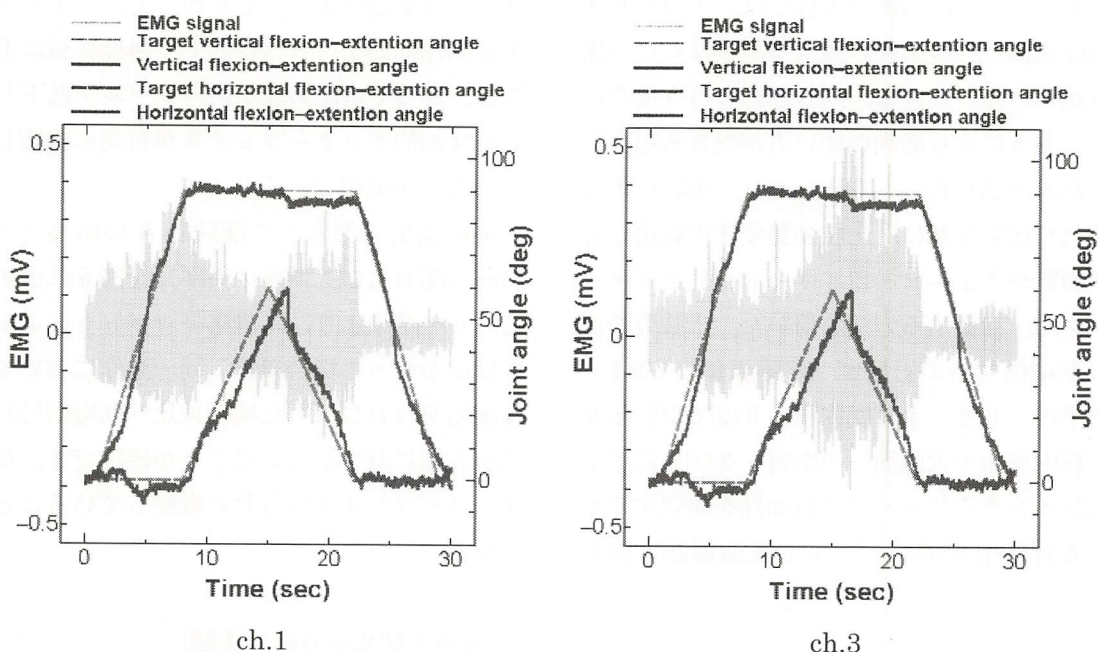


図4 上肢姿勢変化の筋電信号への影響例



(a) 動作補助なし



(b) 動作補助あり

図5 実験結果例 (被験者 A)

し、補償する必要がある。また、ロボットに関しては、動作補助の対象を全身の運動補助へと広げると共に、軽量化を図る必要がある。ロボットの軽量化では、特にアクチュエータの軽量化が重要であるため、人工筋肉等の次世代アクチュエータの研究開発も進めたい。

[成果の発表、論文等]

- 1) Kazuo Kiguchi, Koya Iwami, Makoto Yasuda, Keigo Watanabe and Toshio Fukuda: An Exoskeletal Robot for Human Shoulder Joint Motion Assist, IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, Vol. 8, No. 1, pp. 125 – 135 (2003)
- 2) Kazuo Kiguchi, Ryo Esaki, Takashi Tsuruta



- and Keigo Watanabe: An Elbow Joint Motion Support System for Rehabilitation, Proceedings of International Congress on Biological and Medical Engineering, Singapore, Dec. 4–7, No. 360 (2002)
- 3) Kazuo Kiguchi, Koya Iwami, Keigo Watanabe and Toshio Fukuda: An Assist Level Adjustment Method of an Active Shoulder Orthosis, Proceedings of the 8th International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR 2003), pp. 147–150, KAIST, Daejeon, Korea (2003) (Awarded for Excellence for Oral Presentation in the Session)
  - 4) Kazuo Kiguchi, Koya Iwami, Keigo Watanabe and Toshio Fukuda: An Assist Level Adjustment Method of an Active Shoulder Orthosis, International Journal of Human-friendly Welfare Robotic Systems, Vol. 4, No. 2, pp. 8–12 (2003) (Selected from the Proceedings of the 8th International Conference on Rehabilitation Robotics)
  - 5) Kazuo Kiguchi, Takakazu Tanaka, Keigo Watanabe and Toshio Fukuda: Exoskeleton for Human Upper-Limb Motion Support, Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation, Taipei, Taiwan, 2003 (accepted)
  - 6) Kazuo Kiguchi, Koya Iwami, Keigo Watanabe and Toshio Fukuda: A Shoulder Joint Motion Support System for Rehabilitation, Proceedings of the 11th International Conference on Advanced Robotics, pp. 11–16, Portugal, June 30–July 4, 2003
  - 7) Kazuo Kiguchi, Takakazu Tanaka, Keigo Watanabe and Toshio Fukuda: Design and Control of an Exoskeleton System for Human Upper-Limb Motion Assist, Proceedings of 2003 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM 2003), pp. 926–931, Kobe, 2003
  - 8) Kazuo Kiguchi, Ryo Esaki, Takashi Tsuruta, Keigo Watanabe and Toshio Fukuda: An Exoskeleton System for Elbow Joint Motion Rehabilitation and Daily Activity, Proceedings of 2003 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM 2003), pp. 1228–1233, Kobe, 2003



## 個人適応型運動負荷制御法設計アルゴリズムに関する研究

### Study on Algorithm for Personally Fitted Workload Control of Cycle Ergometer System

1021007

研究代表者

新潟大学大学院自然科学研究科 教授

木 竜 徹

共同研究者

筑波大学体育科学系 助教授

田 中 喜代次

#### [研究の目的]

最近、中高年者を中心に運動によって健康を維持しようとする意識（ウェルネス）が高まっている。中高年者の特徴は大きな個人性にある。これに応える健康支援システムはいつでも、どこでも、だれでも自分の調子にあった支援を受けられるものでなければならない。この際、ハード的な側面としてのシステムIT化と、ソフト的な側面としての適度な運動負荷のパーソナルフィッティング（個人適合）が欠かせない。しかし、現状ではメーカー毎に健康支援機器の運

動プログラム、データ管理プログラム等を開発しており、このようなシステム開発は立ち遅れている。そこで、IT化によって様々な機器と様々な運動プログラムの組み合わせを実現し、多様な要求にすばやく応えられるようにすれば、中高年者の要望に叶ったシステムが可能になると考えている。

図1はWeb-based健康増進支援システムの概念を表したものである。このようなITシステムでは、様々な健康支援機器、様々な運動プログラムの組み合わせを実現できる。その結果、ひとりひとりにあった、適度で、無理のない運

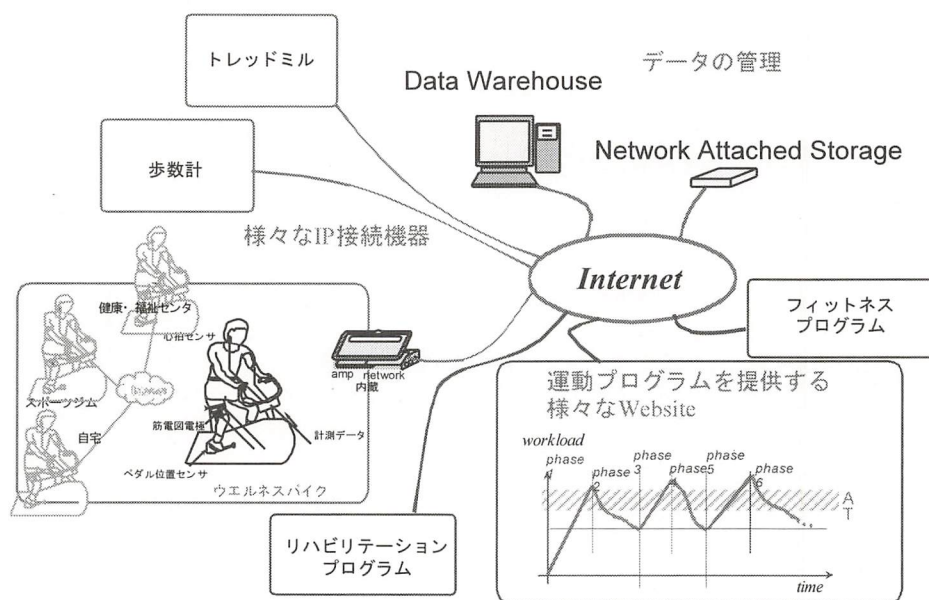


図1 Web-based健康増進支援システム



動を継続的にこなせる環境を提供できるようになるだろう。これによって、加齢による変化にも適応する運動負荷制御が可能となり、健康維持を目的とした適度な運動を個人向けに持続的に提供できる具体的な環境が明らかになることを期待している。

## 【研究の内容、成果】

### 1. はじめに

個人適応型（パーソナルフィット）設計アルゴリズムの開発では、運動のきつさを自覚する部位、特徴的な変化を示す客観データの種類、そしてその時間変化の特徴をどのようにとらえるかが研究のポイントとなる。予備実験によれば、やや強めの運動後に暫く客観的データから自覚的運動強度をうまく表現できなくなる（誤差が大きくなる）ことが多い。この場合、客観的データの特性だけでなく運動の自覚に対する個人個人のダイナミックレンジ等も関係しそうである。この関係を調べた。

また、適時、運動による効果を評価しながら、運動メニューのパーソナルフィッティングを実現するプロセスを研究する上で、基盤となるウェルネス支援 IT システムの設計・開発を進めた。ここでは、これまでの解析結果の履歴データベース化、Web-based 健康増進支援システム、携帯型計測・制御ユニットとの設計・開発経過についても報告する。

### 2. 個人適応型負荷制御法

開発してきている自転車エルゴメータでは、中高年者の運動体力を反映できるよう、心拍数だけでなく筋活動を加えてファジィ負荷制御を行っている<sup>4)</sup>。具体的には、耳朶から光学式センサにより心拍数（HR）、下肢の外側広筋から表面筋電図により筋活動を計測した。また、同時に Borg の自覚的運動強度（RPE）を脚、心肺、全身で計測した。なお、半年に1回ほど漸増負荷テストを実施し、血液中乳酸濃度、呼

気ガスから基礎体力データの変化を探り、心拍数と筋疲労評価指標の変化の様子から負荷制御パラメータ（メンバシップ関数とファジィルール）を更新する。

個人適応型負荷制御法における負荷制御パターンでは、一時的な漸増負荷を加えることにより、曖昧になった負荷に対する認識を再確認させることを試みた。この際、被験者の客観的な生理指標だけでなく、主観的指標も参照にした。なお、漸増負荷テストでの基礎体力データから、負荷の上限やファジィ負荷制御方針などを定めた。すなわち、漸増負荷では身長、体重などの体格データを計測し、Wasserman の式に基づき負荷の増減幅（ $\Delta WL$ ）を決定した。負荷（WL）が極大値に達した後はファジィ推論により推定された総合的疲労度  $\sigma$  と  $\Delta WL$  を用い、 $n$ -th frame における WL を決定した。運動開始期での漸増負荷と、ファジィ負荷制御中に一時的に加える漸増負荷の強度に最大値、最小値の基準を設けた。 $WL_{\max}$  は漸増負荷テストにおいて無酸素性作業閾値（AT）に達したときの WL（ $WL_{AT}$ ）とした。一方、ファジィ負荷制御時に WL が低下しすぎることを防止するための  $WL_{\min}$  を  $WL_{AT}$  の 70% と定義し、WL が極度に低下しないようにした。

ここで、どの程度の強度の一時的な漸増負荷をどのようなタイミングで加えるのかを調節することで、個人適合プロセスを検討した。また、逐次的に、一時的な漸増負荷を加えるタイミングを判断する手段として、客観的な基礎データから主観的な自覚的運動強度を推定する人工ニューラルネットワーク（ANN）を用いた<sup>1,2)</sup>。ANN の構造は入力層、中間層、出力層からなる 3 層構造のフィードフォワード型とし、学習アルゴリズムはバックプロパゲーション法とした。ここで、入力を筋疲労指標、心拍数、負荷、負荷の増減幅とし、RPE を教師信号とした。これによって、漸増負荷テスト時の客観的生理指標と RPE との関係を ANN の重み係数として保持した。個人適合の目安としては、 $n$ -th

frame における推定誤差  $\varepsilon$ , を

$$\varepsilon(n) = RPE(n) - \hat{RPE}(n) \quad (1)$$

とし, 推定誤差の振る舞いから判断した。

## 2. フィールド実験

実験は東取手病院フィットネス教室で実施し, 今回は平成 11 年度からの実験を通じて継続実験データの蓄積がある 3 名の被験者 (70 歳代) に対し, 平成 14 年度の研究期間内に 5 回計測した。なお, ここ数年の計測データはデータベース化されており, 数回にわたる漸増負荷テストによって, 心拍数と筋疲労評価指標の散布図が歳につれて変化し, 散布図から運動体力に関する情報が得られることが明らかとなっている。なお, 散布図からファジィ負荷制御のために 30 分ほどの運動を通じて複数のメンバーシップ関数を用意したが, 主に運動中期のメンバーシップ関数が機能しており, さらに, 一時的な漸増負荷を加えた際の客観的指標と主観的表現との関係が重要であった。

### 2.1 生体情報計測上の留意点

最初に, 客観的データのみによって生体情報が得られるわけではなく, 自覚的運動強度のような主観的データの重要性を意識する必要がある。実際, 日常の運動で用いられている客観的データは心拍数が一般的である。しかし, 中高年者の場合, 心拍数のみでは不十分であり, 少なくとも下肢の筋疲労をモニターすべきである。

ここでは, 表面筋電図を有効に活用するために, 16 チャンネルのアレイ電極によって運動時の表面筋電図パターンを一括して計測し, 最適な電極貼付位置を決定する方式をみだした。これによって, 市販の電極 (金属線を一定間隔で平行に並べたバタイプが好ましい) でも筋疲労を的確に計れる表面電極貼付ポイントを簡単に定めることができるようになった。

なお, 実験プロトコルや計測方法の詳細については文献 4) を参照のこと。

### 2.2 負荷制御パターン

個人適合型負荷制御では, 漸増負荷テストによって, 心拍数と筋疲労評価指標の散布図が年齢につれて変化し, 散布図から運動体力に関する情報を得た。なお, この散布図からファジィ負荷制御のためのパラメータを設計している。これまでの結果より, 一時的な漸増負荷を加えた際の客観的指標と主観的表現との関係が重要である事が分かっている。そこで, どの程度のレベルの一時的な漸増負荷をどのようなタイミングで加えるのかを調節することで, 個人適合のプロセスを検討した。ここでは, 履歴データベースから 5 名の中高年の被験者 (63 ~ 73 歳, 男性 2 名, 女性 3 名) に対して 2 週間おきに 2 ヶ月間の継続実験を行って計測したデータを選択し, 客観的指標の経時変化や ANN を用いた主観的表現との差などを解析した。その結果, ユーザーが自覚できる一時的漸増負荷を加えた時点では, 客観的指標と主観的表現での差が少なくなることが多かった。ただし, 筋活動と心拍数の変化, および心拍数との関連が強い  $RPE$  との時間スケールの違いを考慮すべきであると考えられた。

## 3. 実験結果

図 2 にパーソナルフィットが比較的うまくいった例を示す。  $WL_{\min} = 70\%$   $WL_{AT}$  とし,  $WL$  が  $WL_{\min}$  に達した時点で一時的な漸増負荷を加えた。最初のピークでの  $WL$  は 108 W となり, この漸増負荷により  $HR$  は 105 bpm まで上昇した。筋疲労指標 ( $\gamma_{ARV-MPF}$ ) は運動開始とともに増加して phase 1 では約 0.8 となり, phase 2 に向けて -0.5 まで低下した。また, 人工ニューラルネットワークで客観的データから自覚的運動強度 ( $RPE$ ) を推定した際の誤差 ( $\varepsilon$ ) は phase 2 の開始から 37 frame (約 3 分) で最大 3.9 となった。  $T_2$  では  $WL$  が 108 W となり,  $HR$  は一時的漸増負荷開始時から約 10 bpm 上昇して 108 bpm となった。筋疲労指標は一時的漸増負荷開始後, 0.1 付近ま



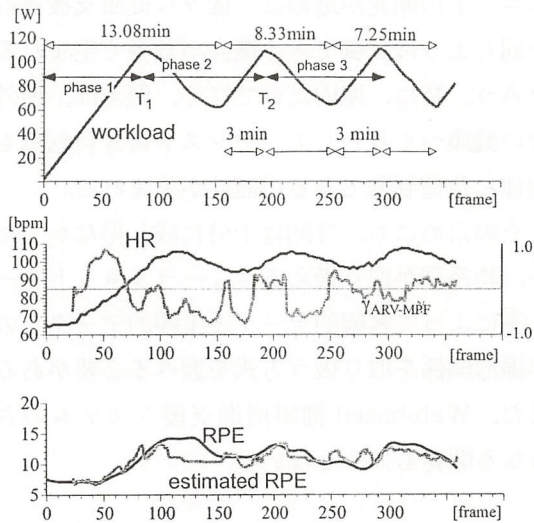


図2 負荷制御パターンと指標の変化。上段より負荷、心拍数と筋疲労指標、自覚的運動強度 (RPE) と RPE の推定値

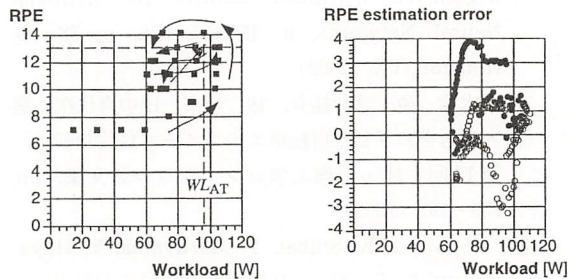


図3 WL に対する RPE および誤差 ( $\epsilon$ ) との関係

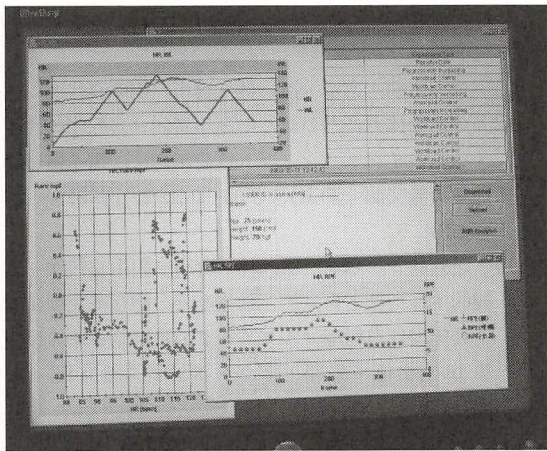


図4 Java による履歴データベース表示例

で上昇するが、phase 3 で約  $-0.7$  まで低下した。また、phase 2 から phase 3 において、誤差が特に大きくなることはなかった。運動終了後の被験者の主訴は、「とてもスムーズに

運動が行えた」であった。

その後の実験でも、一番目のピークから2番目のピークまでの対応が重要であり、心拍数や筋疲労度から判断して運動になった時点で2番目のピークを加えることが好ましい運動との評価を得た。

図3は、図2の結果をWLに対するRPE、および $\epsilon$ との関係を散布図として示したものである。すなわち、客観的なWLの変化を主観的なRPEがどの程度のレベルでとらえているかを調べた結果である。その結果、WLに対するRPEの関係は非線形となっており、負荷のレベルの高い位置ではヒステリシスのような様相が見られた。一方、WLに対する誤差は前半の負荷の変化よりも後半の負荷の変化に対して減少した。しかし、負荷の増減が少なかったり、負荷を加えるタイミングが近すぎたりした場合、誤差は大きくなった。

#### 4. 健康増進支援システムに向けた開発

##### 4.1 Web-based システム

これまでに蓄積された履歴データベースに基づき負荷制御パターンの設計を支援するITシステムをJavaによって実現した。このITシステムはWeb-based 健康増進支援システムの一部として開発したものである。すなわち、Webを介して個人認証から負荷制御プログラムの設定、データの閲覧までを行うものであり、Windowsに限定されないマルチOSに対応できるシステムである。

現在までに、計測データの履歴データベースへの登録、履歴データベースの呼び出し、計測データの表示(散布図あるいは時系列)がJavaアプレットとして可能となっている(図4)。なお、開発にはJClass Chartを用いた。

##### 4.2 携帯型計測・制御ユニットの開発

Web-based 健康増進支援システムでは、いつでもどこでも健康増進のための運動支援を受けられるようにすることを目的とする。現在までの自転車エルゴメータでは生体情報の計測シ

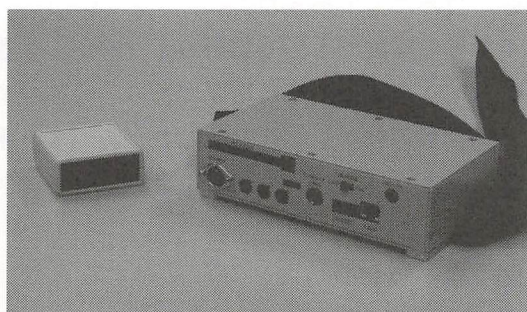


図5 開発中の携帯型計測・制御ユニット  
左：近赤外通信ポート，右：ユニット本体

システムを内蔵するように開発したが、この仕組みではユビキタス環境への対応は困難である。そこで、自転車エルゴメータに計測機器を内蔵するのではなく、ユーザー側に生体情報計測ユニットを携帯させ、自転車エルゴメータ以外の健康機器でも負荷制御ができるような仕組みを開発中である。これは生体情報を計測すると共に計測データや制御データを無線 LAN による通信形式で自転車エルゴメータや PC とやり取りする仕組みである。

これによって、ユーザーはウェアラブルな生体情報計測・制御ユニットを利用することで、様々な健康支援機器を利用する際に、これまでの履歴データベースに基づく負荷制御を実現できることとなる。

現在、ハードウェアは完成しており、Linux 上でデータの流れをコントロールするドライバソフトウェアを開発中である。

#### [今後の研究の方向，課題]

個人適応型運動負荷制御法は自転車エルゴメータ運動に限ったものではない。今後、ユビキタスな環境と携帯型生体情報計測・負荷制御

ユニットの開発が進めば、様々な健康支援機器を同じように制御できる機会が数多く生まれるだろう。特に、屋内だけでなく、例えば、屋外での健康づくりとして、アシスト付き自転車も同様に負荷制御できる可能性が生まれる。

そのためにも、今回は十分に成し得なかったが、時系列が取り扱えるニューラルネットワーク等によって客観的データと主観的データとの非線形関係を取り扱う方式を調べる必要がある。また、Web-based 健康増進支援システムのさらなる開発も欠かせない。

#### [成果の発表，論文等]

- 1) T. Kiryu, K. Shibai, Y. Hayashi and K. Tanaka: Personal Fitting Procedure For Cycle Ergometer Workload Control By Artificial Neural Networks, in IEEE-EMBS, pp.38-39, Houston, TX (2002)
- 2) 木竜 徹，芝井桂介，林 容市，田中喜代次：個人適合をめざした自転車エルゴメータ負荷制御法，第17回生体・生理工学シンポジウム論文集，pp.139-142 (2002)
- 3) T. Kiryu, K. Shibai, Y. Maruyama, Y. Hayashi and K. Tanaka: Internet-Based Cycle Ergometer Supporting A Personal Fitting Process For The Elderly, in the first Japan-Korea Symposium on e-Healthcare, Seoul, Korea, pp.49-50 (2002)
- 4) 佐々木績，木竜 徹，林 容市，田中喜代次：個人の運動体力にあわせた中高年者向け自転車エルゴメータのインテリジェント負荷制御法，電子情報通信学会論文誌 (D-II)，J 85-D-II, 2, pp.329-336 (2002)
- 5) 芝井桂介，木竜 徹，林 容市，田中喜代次：客観的生理指標と自覚的運動強度との相互補完による中高年向け自転車エルゴメータの負荷制御法の検討，第16回生体・生理工学シンポジウム論文集，pp.381-384 (2001)



# 層構造体を伝搬する弾性波を用いたバイオセンサの研究

## Study of Biosensor Using Acoustic Wave in Layered Structure

1021008

研究代表者

静岡大学工学部 助教授

近 藤 淳

### [研究の目的]

抗原抗体反応を検出する高感度バイオセンサの実現は、医療分野や環境計測など様々な分野へ適用が可能である。現在、蛍光体などで標識した抗体を利用しない、高感度かつ小型なバイオセンサが望まれている。本研究では、層構造体を伝搬する横波型弾性波を用いた高感度バイオセンサの実現を目指す。

### [研究の内容、成果]

#### 1. はじめに

圧電結晶表面を伝搬する弾性表面波(SAW)は、伝搬面に波のエネルギーを集中して伝搬する波である。このため、伝搬面と接する媒質の物性値が変われば、SAWの伝搬特性も変化する。したがって、伝搬特性変化を検出することにより、SAWセンサが実現できる。特に、すべり弾性表面波(SH-SAW)を利用すると、液相系センサが実現できる。我々は、36度回転Y板X伝搬 $\text{LiTaO}_3$ を伝搬するSH-SAWセンサを用いて液体の物性値の検出を行っている。液体の様々な物性値(粘度、密度、導電率、誘電率)を単一のセンサで簡単かつ高精度で測れるのがSH-SAWセンサの長所である。一方、SH-SAWセンサの短所は、伝搬面表面で生じる物質の堆積(または脱離)、すなわち質量負荷効果に対する感度が低いことである。

Fig. 1は、各種弾性波センサの質量負荷に

対するセンサ感度を周波数に対して表した結果である。Fig. 1の中で、R-SAW以外はすべて液相系に適用可能である。我々は通常50 MHzのSH-SAWセンサを利用している。この周波数におけるセンサ感度は他と比べて低いことが分かる。センサ感度を高くするためには、励振周波数を高くすれば良いことが分かる(感度 $\propto$ 周波数の2乗)。しかしノイズも周波数に比例する。また、周波数増加により波長は短くなり、結果として素子サイズが小さくなる。SAW素子をフィルタなど回路素子として利用する場合、素子の小型化は好ましい。しかしセンサ应用の場合、素子の小型化はセンシング領域の縮小につながる。特に、免疫センサの応用を考える場合、素子の小型化によりセンシング領域に固定

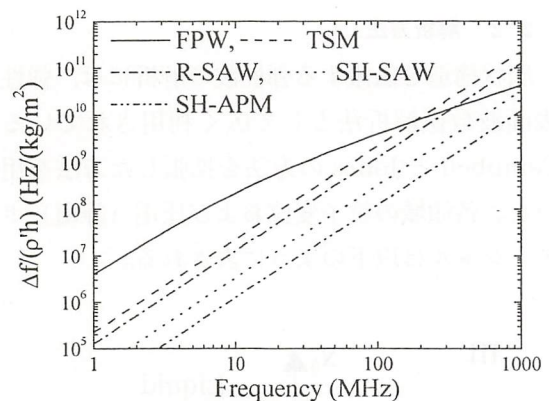


Fig. 1 Comparison of frequency shift for mass loading effect of acoustic sensors. FPW: Flexural Plate Wave, TSM: Thickness shear mode (QCM), R-SAW: Rayleigh-SAW, SH-SAW: shear horizontal surface acoustic wave, SH-APM: SH acoustic plate mode,  $\Delta f$ : frequency shift,  $\rho'$ : density of mass layer,  $h$ : thickness of mass layer

化可能な抗体（または抗原）の数が少なくなる。そこで、我々は、周波数を高周波化しないでセンサの高感度化を実現できないかと考え、層状構造を伝搬する横波型弾性波の利用と言う着想に至った。本研究は、層状構造を伝搬する横波型弾性波を用いた高感度バイオセンサを実現するための第一歩の研究であり、数値解析により高感度構造を見出すことを目的とした。

## 2. 数値解析法

### 2.1 座標系

解析に用いた座標系を Fig. 2 に示す。弾性波の伝搬方向を  $x_1$  とする。深さ方向  $x_3 < 0$  は圧電結晶、 $0 < x_3 < h$  は導波路用等方性膜である。Fig. 2 の場合、 $x_3 > h$  は液体である。なお、弾性波は平面波として扱い、 $x_2$  方向は一様とした。

実際の研究では、初めに  $x_3 > h$  が空気の場合についての解析を行い、導波モードについての検討を行った。具体的には、種々の圧電結晶および等方性膜について解析を行った。その結果、圧電結晶として 36 度回転 Y 板 X 伝搬  $\text{LiTaO}_3$  (36YX.LT) を利用したときが最も感度が高くなることが分かった。そこで、本稿では、紙面の都合上、圧電結晶として 36YX.LT を用いた場合の数値解析結果について報告する。

### 2.2 解析方法

層状構造を伝搬する弾性波の解析には、弾性表面波数値解析法として広く利用されている Campbell と Jones の方法を拡張した方法を用いた。各領域の粒子変位および圧電（静電）ポテンシャルは以下のように表される。

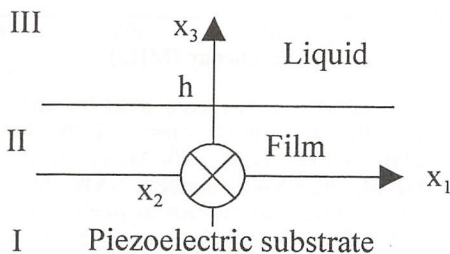


Fig. 2 Coordinate system in this study

圧電結晶（領域 I）中の SAW の粒子変位  $u$  とポテンシャル  $\phi$  を式 (1) で表す。

$$\begin{aligned} u_{II} &= \sum_{n=1}^4 A_{II}^{(n)} \gamma_{II}^{(n)} \exp\left(-\Omega_{II}^{(n)} \frac{\omega}{V} x_3\right) \exp\left\{j\omega\left(t - \frac{1}{V} x_1\right)\right\} \\ \phi_I &= \sum_{n=1}^4 A_{II}^{(n)} \gamma_{II}^{(n)} \exp\left(-\Omega_{II}^{(n)} \frac{\omega}{V} x_3\right) \exp\left\{j\omega\left(t - \frac{1}{V} x_1\right)\right\} \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、 $i=1, 2, 3$  であり、図 2 の各方向の変位である。ここで、 $A$ : 振幅係数、 $\Omega$ : 規格化減衰係数、 $\omega$ : 角周波数、 $V$ : SAW の伝搬速度、 $t$ : 時間、 $\gamma$  は係数である。等方性膜中（領域 II）は式 (2) で表す。領域 II の等方性膜は非圧電体と仮定する。その結果、変位とポテンシャルは式 (2) で表される。

$$\begin{aligned} u_{III,3} &= \sum_{n=1}^4 A_{II}^{(n)} \gamma_{II,3}^{(n)} \exp\left(-\Omega_{II}^{(n)} \frac{\omega}{V} x_3\right) \exp\left\{j\omega\left(t - \frac{1}{V} x_1\right)\right\} \\ u_{II,2} &= \sum_{n=5}^6 A_{II}^{(n)} \gamma_{II,2}^{(n)} \exp\left(-\Omega_{II}^{(n)} \frac{\omega}{V} x_3\right) \exp\left\{j\omega\left(t - \frac{1}{V} x_1\right)\right\} \\ \phi_{II} &= \sum_{n=7}^8 A_{II}^{(n)} \gamma_{II}^{(n)} \exp\left(-\Omega_{II}^{(n)} \frac{\omega}{V} x_3\right) \exp\left\{j\omega\left(t - \frac{1}{V} x_1\right)\right\} \end{aligned} \quad (2)$$

領域 III の液体中では、粒子変位およびポテンシャルは式 (3) のように表される。

$$\begin{aligned} u_{III,3} &= \sum_{n=1,3} A_{III}^{(n)} \exp\left\{-\Omega_{III}^{(n)} \frac{\omega}{V} (x_3 - h)\right\} \exp\left\{j\omega\left(t - \frac{1}{V} x_1\right)\right\} \\ u_{III,2} &= A_{III}^{(2)} \exp\left\{-\Omega_{III}^{(2)} \frac{\omega}{V} (x_3 - h)\right\} \exp\left\{j\omega\left(t - \frac{1}{V} x_1\right)\right\} \\ \phi_{III} &= A_{III}^{(4)} \exp\left\{-\frac{\omega}{V} (x_3 - h)\right\} \exp\left\{j\omega\left(t - \frac{1}{V} x_1\right)\right\} \end{aligned} \quad (3)$$

実際の解析では、SH-SAW の伝搬速度を仮定し、各領域の変位成分およびポテンシャルを決定する。得られた式 (1)～(3) を境界条件に代入する。境界条件が満たされていれば計算を終了する。境界条件を満たさない場合は、伝搬速度を変化させ、境界条件を満足するまで計算を行う。なお、周波数は 50 MHz とした。

## 3. 水 / 等方性膜 / 圧電結晶構造の解析結果

本研究の最終目的は、液体中で生じる質量負荷効果を検出する高感度センサを実現すること



である。このため、基礎特性となる液体（水）/等方性膜 /36YX.LT 構造の解析を行った。等方性膜材料として、金、高分子（PMMA を想定）、 $\text{SiO}_2$  を選択した。

Fig. 3 に伝搬速度 (a) および損失 (b) の計算結果を示す。金を装荷した場合、他と比べると薄い膜厚から速度変化が生じている。これは、3 種類の膜材料の中で金の密度が最も大きいことが原因である。 $\text{SiO}_2$  膜の場合、図からは伝搬速度は膜厚に依存しないように見える。しかし、開放の場合には伝搬速度は増加しその後減少する。短絡の場合、速度は減少する。高分子膜の場合、ある膜厚で急激に速度が変化する。このときの傾きは他と比べると最も大きい。

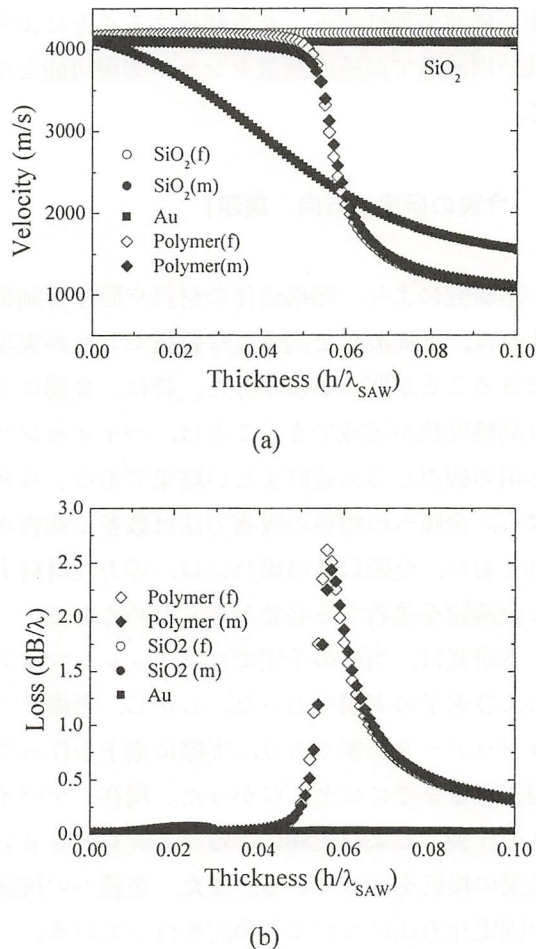


Fig. 3 Calculation results of velocity (a) and loss (b) in water as a function of layer thickness. In the figures, f and m mean the electrical free or metallized condition at  $x_3 = 0$

このような特徴は、領域Ⅲを空気として計算した場合も同様であった (Fig. 4)。縦軸の左側が伝搬速度、右側が損失である。図より空気の場合にも水中と同じような速度特性となっている。高分子膜がこのような速度特性になるのは、他と比べてスチフネスが小さい、すなわち柔らかいことが原因であると考えている。一方、損失 (Fig. 3 (b)) に対する計算結果より、高分子膜は他と比べて大きな損失となっている。高分子膜の空气中および水中それぞれの損失特性を比較すると、水中の損失の方が大きくなっていることが分かる。また、空气中では損失がピーク値となった後、急激に減少してほぼ 0 となっている。これに対し、水中ではピーク後も損失は 0 となっていない。空气中の解析結果では高分子膜 / 圧電結晶構造が質量負荷に対して最も高感度となった。しかし、液体中では損失が大きいため、高分子膜厚 0.05 波長以上ではセンサとして使えない。

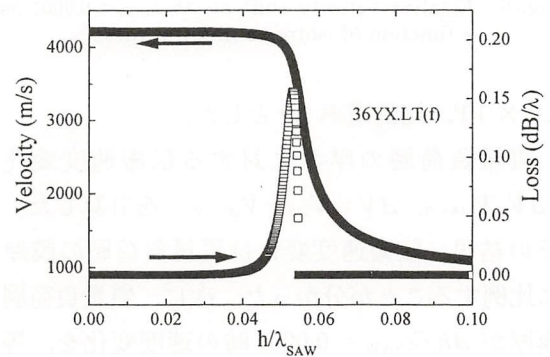


Fig. 4 Calculation results of velocity and loss for polymer in air as a function of layer thickness

#### 4. 質量負荷層 / 等方性膜 / 圧電結晶構造の解析結果および検討

液体 / 等方性膜 / 36YX.LT 構造の基本特性が分かったので、液体中での質量負荷についてシミュレーションを行った。Fig. 5 に解析する構造を示す。等方性膜上に質量負荷層（等方性、厚さ  $\Delta h = h' - h$ ）が存在する。質量負荷膜を水と密度が等しい柔らかい膜と仮定し、膜の物性値を密度  $1.0 \text{ g/cm}^3$ 、ラメ定数  $\lambda = \mu =$

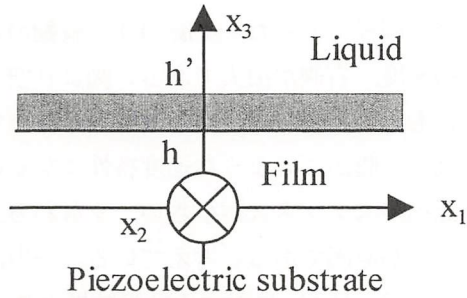


Fig. 5 Additional mass layer is loaded on the isotropic film. Thickness of mass layer is  $\Delta h = h' - h$

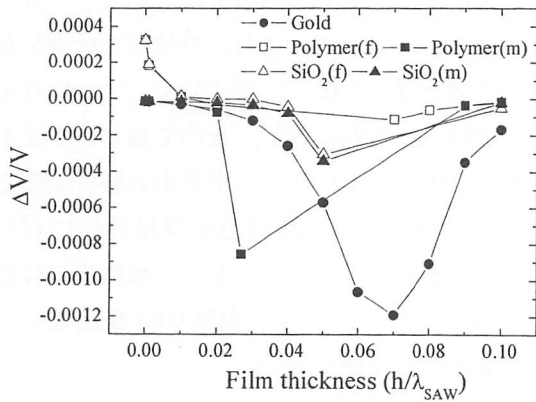


Fig. 6 Relative velocity shift at  $\Delta h/\lambda_{SAW} = 0.0001$  as a function of isotropic film thickness

$1.0 \times 10^9$ , 比誘電率 1.0 とした。

質量負荷層の厚さに対する伝搬速度変化 ( $\Delta V/V_{\Delta h=0}$ ,  $\Delta V = V_{\Delta h} - V_{\Delta h=0}$ ) を計算した。その結果、伝搬速度変化は質量負荷層の膜厚に比例することが分かった。次に、質量負荷層膜厚が  $\Delta h/\lambda_{SAW} = 0.0001$  時の速度変化を、等方性膜の膜厚に対してプロットした。結果を Fig. 6 に示す。速度変化は等方性膜の膜厚に依存し、膜厚と速度変化の関係は線形でないことが分かる。すなわち、速度変化が最大となる最適膜厚が存在する。金の膜厚が  $h/\lambda_{SAW} = 0.07$  のとき、速度変化の絶対値が最大となる。したがって、この膜厚が質量負荷効果に対する最適値となる。

次に、質量センサとして広く利用されている 10 MHz の TSM (水晶振動子) センサと比較する。TSM センサの質量負荷に対する近似解は、次式のように質量負荷層の密度  $\rho'$  と膜厚

$\Delta h$  で表される。

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{\Delta V}{V} = -2.26 \times 10^{-7} \rho' \Delta h \cdot f \quad (4)$$

$\Delta h/\lambda_{SAW} = 0.0001$  に 36 YX. LT の SH-SAW の波長を代入して質量負荷層の厚さを求め、密度および周波数 (10 MHz) を式 (5), (6) に代入した結果、 $|\Delta V/V| = 1.86 \times 10^{-5}$  となり、 $1.2 \times 10^{-3}$  と比べると 2 桁低い感度である。この値は、金の膜厚が  $h/\lambda_{SAW} = 0.001$  時の速度変化に相当する。また、Fig. 6 の  $|\Delta V/V|$  の最大値 ( $1.2 \times 10^{-3}$ ) と等しい周波数変化を TSM センサを用いて実現するには、式 (5) から基本周波数を 640 MHz としなければならないことがわかる。これに対し、本稿で示した解析結果は、周波数を 50 MHz として計算した。したがって、等方性膜/圧電結晶構造を伝搬する横波型弾性波センサを利用することにより、低い周波数で高感度質量センサが実現可能となる。

#### [今後の研究の方向, 課題]

本研究により、層構造体の材料や膜厚を制御すれば、低周波数で高感度な質量センサが実現できることが明らかになった。特に、金膜により高感度化が達成できることは、バイオセンサ応用の観点から大変好ましい結果である。なぜなら、金膜への物質の吸着方法は数多く報告されており、金膜以外の場合には、等方性材料上に金薄膜を蒸着する必要があるためである。

本研究は、当初の予定ではシミュレーションおよび素子の実現であった。しかし、考慮すべきパラメータが多くあり、実際に素子を作って報告するまでには至らなかった。現在、デバイスの作製、および実験によるシミュレーション結果の検証を行っている。また、金膜への抗体の固定化方法についても検討を行っている。



## 「世田の巻」 論文等

- 4) 近藤 淳, 塩川祥子: 等方性膜 / 圧電結晶構造を伝搬する横波型弾性波を用いた高感度化学センサの研究, 電子情報通信学会超音波研究会, US 2002-70, pp. 13-18 (2002)
- 5) J. Kondoh and S. Shiokawa: Shear horizontal acoustic waves in Layered structures for high sensitive immunosensor, 4<sup>th</sup> Acoustic Wave Sensor Symposium, Abstract, pp. 73-77 (2003)

## 超音波弾性映像法による触力覚センシングに関する研究

## Tactile Sensing Based on Ultrasonic Elasticity Imaging

1021009

研究代表者

筑波大学電子・情報工学系 教授

椎 名 毅

## [研究の目的]

遠隔医療、手術支援ロボット、仮想現実感の分野で、触覚や力覚の検出は重要であるが、従来の圧力センサによる手法では、人体組織のように弾力があり不均一な構造をもつ場合、正確な触覚情報の把握には限界がある。本研究では超音波を用いて、このような対象に対しても微妙な触力覚の情報を正確に検出できる手法を開発する。

人体組織のように弾力があり内部で硬さの分布を持つ対象に対し、超音波を用いて表面から内部の弾性の分布を画像化することで、触診で得られるような微妙で複雑な触力覚情報を得ることを目指す。遠隔医療や手術支援ロボット等で必要とされながら、圧力センサで表面での反力を計測する従来法では困難であった、微妙で複雑な触力覚情報を得ることができ、また小型、簡便で実時間計測可能であるため、様々な分野での利用が期待される。

## [研究の内容、成果]

これまで、がん組織が硬くなることに着目し、乳癌の検診を目的として、医療用のアレイ型超音波プローブを用いて、体内組織の弾性（硬さ）の分布を画像化する手法を検討しており、2 mm 程度の空間分解能で、十数 cm までの深さの硬さの分布像を得ている。これは、体表を僅かに（1 mm 程度）圧迫した際の体内組織

の各点での変形率（歪み）の分布を得、それをもとに弾性係数（ヤング率）の分布像を得るものである。

本研究はこの原理を利用して、アクチュエータの先端に小型の超音波プローブを取り付け、人が手で触れるように、対象に僅かに押し付けながら表層近くの弾性像（歪み分布）を得、それにより触力覚情報を得る手法を開発する。

## 1 小型超音波プローブによる弾性分布の計測

小型の超音波プローブとして曲率半径 10 mm のコンベックス形プローブを利用した。これは、経直腸により前立腺の断層像を得るのに用いられるが、ここではこの経直腸プローブにて、前立腺の弾性像を得ることを試みた。従来より、前立腺癌の診断の手法として直腸から指にて触診する手法が知られている。このため、本研究の成果となる触力覚センシングの応用例としても適切と思われる。

組織の弾性分布計測の原理について概説する。まず簡単な場合として図1のように、組織が一次元的に圧縮または伸張される場合を考える。ここで歪み  $\varepsilon$  とは、単位長さ当たりの伸縮、つ

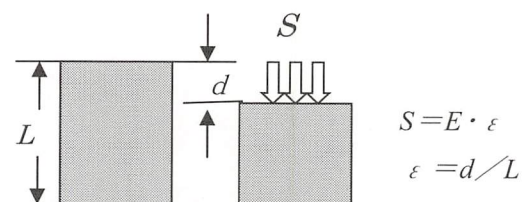


図1 組織弾性と歪み



まり変形率を意味する。

$$\varepsilon = d/L \quad (1)$$

この歪みと単位面積当たりの力である応力  $S$  とは次式のように比例関係にあり、その比例係数が弾性係数になる。

$$S = E \cdot \varepsilon \quad (2)$$

これから、応力が一定の場合、歪み  $\varepsilon$  が小さい程、弾性係数  $E$  が大きい、つまり硬い組織を表す。実際の組織は3次元的に変形するが、

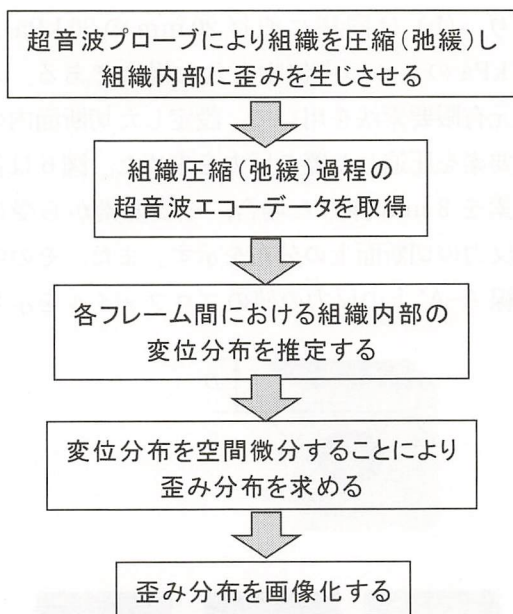
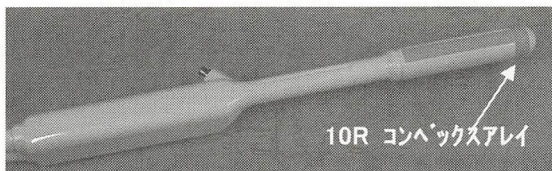
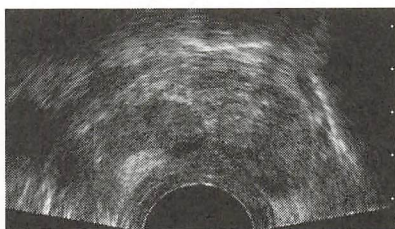


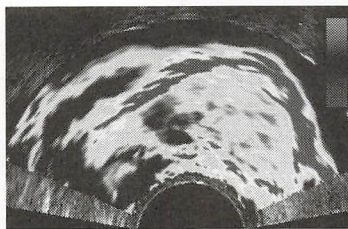
図2 歪み分布像の計測法



(a) 経直腸超音波プローブ



(b) 前立腺の超音波像 (Bモード)



(c) 組織弾性 (歪み) 像

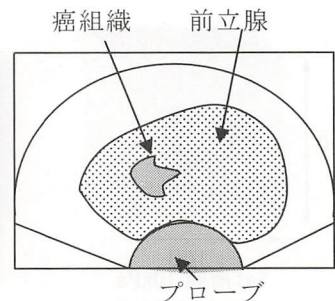


図3 小型 (経直腸) プローブによる前立腺組織の弾性分布の計測

歪みが1%程度とごく僅かあり、接触面がある程度広く、かつ体表面に垂直に圧迫する場合は、1次元的な変化で近似できるとして良い。

この歪み分布の計測は図2に示す手順で行われる。まず、触診のように超音波プローブを体表に押し当てて、圧縮または弛緩しながら、組織内部に歪みを生じさせる。その前後の2断面において超音波エコーデータを計測する。2つのフレームデータを比較し、断面内の各点における変位分布を得る。その変位を空間微分することにより歪み分布が求まる。

図3(a)は、前立腺診断に用いる経直腸の超音波プローブである。先端に中心周波数7.5MHz、10Rのコンベックスアレイ振動子がついている。図3(b)は扇状の断層面内に捉えられた前立腺の横断面である。僅かな輝度の変化から、内部の様子を識別するのは必ずしも容易ではない。一方で、図3(c)は歪み分布として捉えた組織弾性像であり、軟らかい部分は赤、硬い部分は青でカラー化して表示したものである。(印刷ではグレースケールで表示している) 前立腺の中央の左よりに青く染まっているのは癌腫瘍であり周囲組織に比べて硬くなっていることが良く分かる。

この歪み像は、相対的な硬さを示すものであるが、このような腫瘍の検出には有効である。さらに、圧力センサにより圧迫の強さを計測しておけば、絶対量としての弾性計数の分布を得ることが可能である。

触力覚センシングを実用化するには、結果を

リアルタイムでフィードバックする必要があるが、我々は現在 20 フレーム / 秒の速度で歪み像が得られるシステムを開発した。このため、ほぼリアルタイムでの計測が可能となっている。

また、これは 2 次元断面での分布を得るものであるが、断層面に垂直にスライドさせることにより 3 次元の分布を得ることが可能である。

## 2 弾性分布から触力覚情報への変換

組織弾性計測で得られた情報をもとに、触力覚情報へ変換する手法について検討した。これは、触力覚呈示の方法をどのようにするかに依存するが、次の 2 つの場合を想定した。一つは、面状の呈示システムで、これは手でシートを圧迫するとその下に数 mm 間隔で格子点に配置された多数のピンがあり、それが上下することにより硬さを表現するものである。もう一つは、1 点型の呈示システムで、弾性像の任意の点を押すことにより、その点での硬さに応じた反力を返す方式である。前者は空間的な把握に適しているが、後者は高精度に検知できる利点がある。3 次元の物体を知覚する方法としては、図 4 のように組織弾性係数の空間分布が得られている場合、仮想的にある深さの切断面を押した

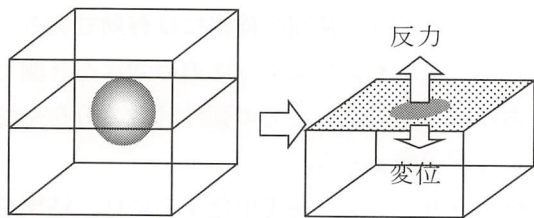


図 4 面状の触力覚呈示のための切断面での変位と反力

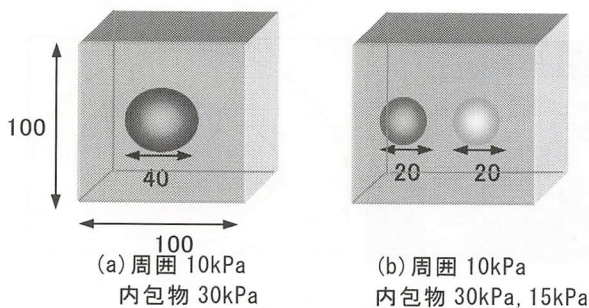


図 5 組織モデル

場合の触力覚を呈示することを考える。そこで徐々に深さを変えていくことにより、腫瘍の位置や硬さを知覚できる。また、弾性係数の分布からその切断面を圧迫した際に生ずる微小変位の関数として反力が得られれば、それを呈示することで仮想的な触力覚が得られる。

この手法について、シミュレーション解析を行った。図 5 (a) は一辺が 100 mm、ヤング率 10 kPa の立方体内に、直径 40 mm、ヤング率 30 kPa の球状の内包物を含むモデルの場合であり、(b) は同様に直径 20 mm の 30 kPa と 15 kPa の 2 つの内包物を含む場合である。3 次元有限要素法を用いて、設定した切断面内の各要素を圧迫した際の反力を求めた。図 6 は各要素を 3 mm 押した場合、その要素から受ける反力の切断面上の分布を示す。また、その中心線 A-A' 上の反力の値のプロファイルを示し

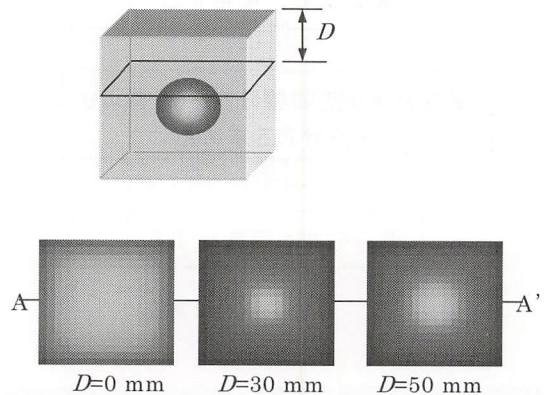


図 6 組織モデル (a) について、各深さ  $D$  の仮想切断面内で変位 3 mm を与えた場合の断面上の反力の分布

反力値(mN)

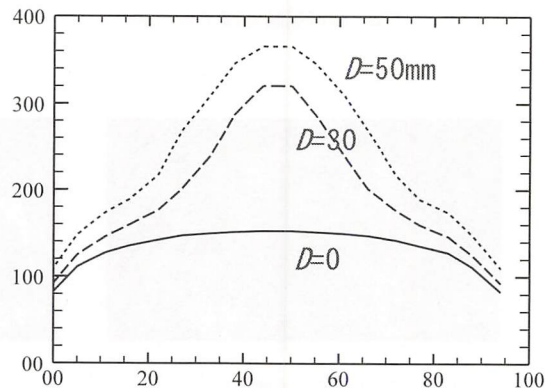


図 7 図 6 の中心線 (A-A') 上の反力の分布



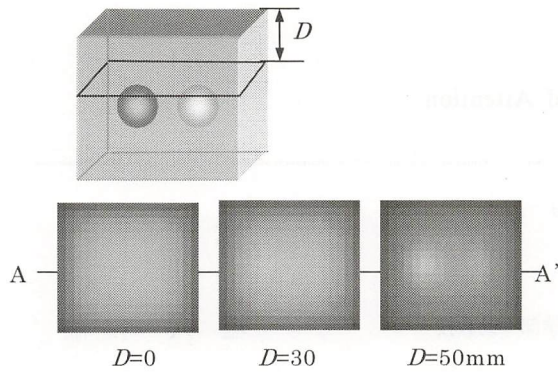


図8 組織モデル (b) について、各深さ  $D$  の仮想切断面内で変位 3 mm を与えた場合の断面上の反力の分布

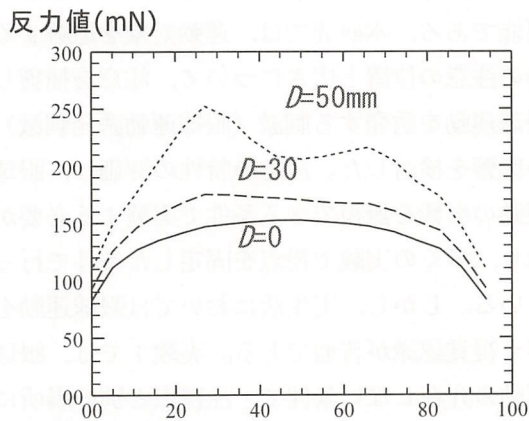


図9 図8の中心線 (A-A') 上の反力の分布

たのが図7である。これらを見ると、反力（縦軸）の値から、 $D$ が増加するにつれて内包物の硬さが確認できる様子がわかる。

図8、図9は同様に組織モデル (b) について解析した結果である。 $D=50$  mm の場合は、グラフの山が2つ確認でき、特に左側の反力が大きく、これから2つの内包物の存在と左がより固いこと呈示される。これらは、面状の呈示システムを想定したものであるが、1点型の呈示システムでも垂直に押した場合の反力としては、同様の結果になる。現在、1点型の触力覚呈示装置は市販のものがあるので、それを導入して、実際にどのように知覚できるかについて主観評価を試みている。

### 3. ま と め

小型の超音波プローブを用いて、前立腺組織内部の弾性分布が得られることを示した。また、

触力覚の研究における、変位と反力の関係の解析を行った。組織モデルの表面を押しただけでは分からないような内包物の形状や硬さも、切断する深さを変えることによりその把握が容易になることを示した。

### [今後の研究の方向, 課題]

今回は、弾性分布の計測と触力覚情報への変換を試みた。今後、1点型の呈示システムによる主観評価を試みると同時に、臨床データに対し、実際に触力覚情報を呈示する実験を行う予定である。また、遠隔診断における触診や、ロボット支援による手術時のモニタなどのように、弾性の分布像としてそのまま有用な場合も考えられるが、ロボットの指の先端につける場合などは、触力覚情報として数値化し、制御信号として利用する必要が想定される。今後は、そのような場合への応用についても検討していきたい。

### [成果の発表, 論文等]

- 1) T. Shiina, N. Nitta, E. Ueno and J. C. Bamber: Real Time Tissue Elasticity Imaging Using the Combined Autocorrelation Method, J Med Ultrasound, Vol. 29, Autumn, pp. 119–128 (2002)
- 2) M. Yamakawa, N. Nitta, T. Shiina, T. Matsumura, S. Tamano, T. Mitake and E. Ueno: High-speed Freehand Tissue Elasticity Imaging for Breast Diagnosis, Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 42, Part 1, No. 5 B, pp. 3265–3270 (2003)
- 3) N. Nitta and T. Shiina: Estimation of Nonlinear Parameter of Tissues by Ultrasound, Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 41, Part 1, No. 5 B, pp. 3572–3578 (2002)
- 4) 新田尚隆, 椎名 毅: 生体組織の非線形弾性パラメータの抽出 —— 臨床における新たな組織性状診断のための定量的イメージング法 ——, 超音波 TECHNO, Vol. 14, No. 6, pp. 106–109 (2002)
- 5) 椎名 毅: 手術・治療支援のための超音波技術の現状と展望, Medical Imaging Technology, Vol. 21, No. 3, pp. 183–188 (2003)

授 賞

平成 14 年度 日本超音波医学会技術賞受賞

# 視覚的注意の捕獲現象の研究

## Capture of Visual Attention

1021010

研究代表者

千葉大学工学部 助教授

塩 入 論

### [研究の目的]

我々は、膨大な視覚情報から必要な情報を注意によって選択している。注意は効率のよい情報選択に欠かせないが、予期しない対象物の出現は、注意を捕獲しそれまでの処理を中断する。本研究の目的は注意の捕獲現象を調べることである。注意の捕獲現象はその捕獲刺激への眼球運動を伴うことが予測されることから、眼球運動の影響についても調査する。注意および視線の移動に関連する特性評価は、運転時の安全性やインターネットなどで適切な映像呈示を行う上で重要である。

### [研究の内容, 成果]

#### 1. 注意によるコントラスト感度の変化

注意の空間特性を測定するために、注意を向けた位置のコントラスト感度を測定する方法がある。ある位置に注意を向けている場合に、その周辺に呈示された刺激に対する検出感度を測定すると他の領域に比べて高い値が得られることがわかっている。様々な領域に検査刺激を呈示することで、感度の空間分布を得ることができ、それが注意の分布に対応すると考えられる。つまり、注意を向けた位置をピークとし距離が遠くなるほど感度が低くなる (Fig. 1)。

この手法では、感度の中心が注意の位置の移動に伴って変化することはわかっている。また測定に用いるテスト刺激の呈示範囲が感度の広

がりに影響することから、注意の広さの推定も可能である。本研究では、運動対象を追跡する時の注意の位置と広さについて、注意を捕獲し眼球運動を誘発する刺激（眼球運動誘発刺激）の影響を検討した。注意の特性の評価は、眼球運動の影響を無視できる条件で実験する必要がある、多くの実験で視点を固定した条件で行っている。しかし、実生活においては眼球運動を伴う視覚認識が普通である。実験1では、眼球運動の介在しない条件で、注視点と別の場所に注意を向ける条件を測定し、刺激による注意の移動の効果を調べた。これは、現在注意を向けている対象に注意を向けつつ、別の位置に注意を向ける必要がある場合の特性を調べるためである。実験2では、眼球運動の介在する条件で、眼球運動誘発刺激（及び眼球運動そのもの）が注意対象から注意を引き寄せる効果について検討する。

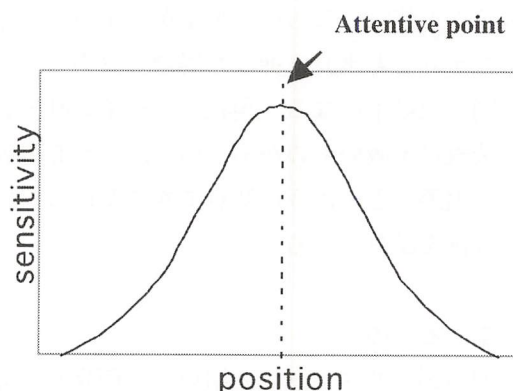


Fig. 1 Distribution of contrast sensitivity



## 2. 実験 1

実験 1 の目的は、まず注意により運動対象を追跡する時に、その周囲で感度が上昇することを確認することである。それにより手法の有効性が保証される。次に、検査刺激の呈示範囲を注意位置と独立に変化して、その効果を測定する。もし注意を分割することが出来なければ、Fig. 2 (a) に示すように、検査刺激の呈示範囲の影響を受けずに常に注意対象の位置を中心に感度のピークを持つことになる。もし分割できれば Fig. 2 (b) のように検査刺激の呈示範囲の中心に感度のピークを持つような分布となるはずである。

注意のみによる追跡効果を実現するために、ここではあいまい運動刺激を用いた。この刺激は、6 枚の白色円盤を固視点を中心とする円周上に、 $0^\circ$  から  $60^\circ$  毎に配置したフレーム A と、それを  $30^\circ$  回転させたフレーム B を空白フレームを挟み交互に呈示するものである (Fig. 3)。これを観察すると、時計回りか反時計回りのいずれかの回転運動が知覚される。被験者は中心の点 (固視点) を固視し、フレーム内の 1 枚のディスクを注意で追跡することで、一定方向に連続的な運動を知覚することができる。物理的な運動信号はあいまいなため、この追跡は注意によって決定されることになる、このことは、注意の位置が追跡円盤の位置にあるとみなすことができることを意味する。

各試行で、追跡すべき円盤は、赤色のマーカーで示され、マーカーは 1 回転した後消える。その後被験者は追跡をつづけ、ある空白フレーム中に検査刺激が短時間呈示 (1 ビデオフレーム) され、被験者は検査刺激が見えたか否かを応答する。コントラストを変化させて検出率を測定することから、コントラスト閾値を測定し、その逆数をコントラスト感度とする。

検査刺激は円盤の回転軌道の上に呈示される  $0.32 \text{ deg}$  の円で、呈示位置は呈示直前フレームの追跡円盤に対する相対位置で表される。検査刺激は空白フレームの呈示時間の中央のタ

イミングで呈示するため、 $15^\circ$  の位置が追跡刺激の位置であるとみなせる。セッション毎に設定された複数の呈示位置の中から、試行毎にランダムに選択、呈示される。

検査刺激呈示位置を横軸に、コントラスト感度を縦軸にプロットすることによりコントラスト感度の空間分布が得られる。

検査刺激の呈示範囲は、6 種類の範囲とした。

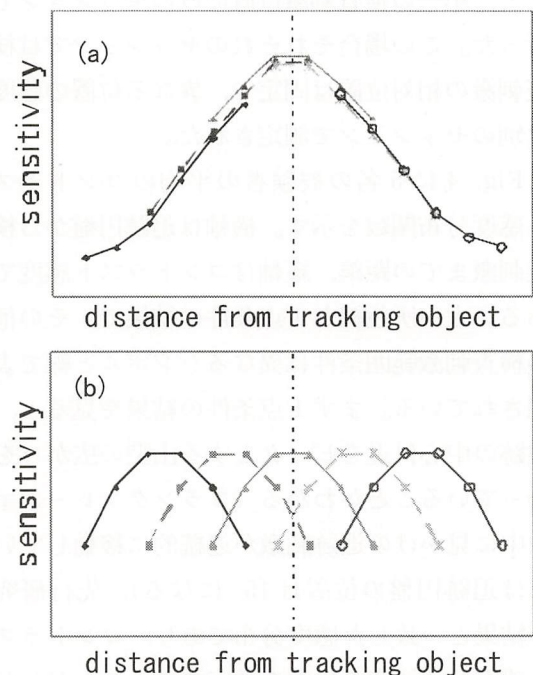


Fig. 2 No division of attention (a) and division of attention into the center of possible probe positions and the tracked object (b)

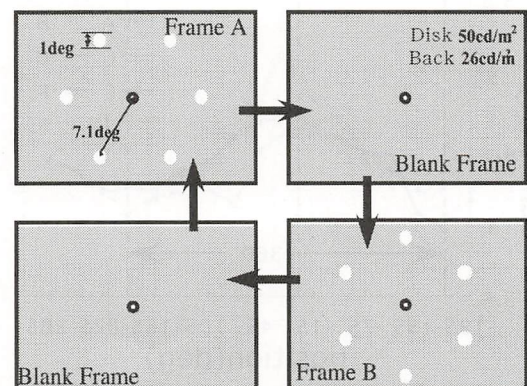


Fig. 3 Ambiguous motion display. Alternating frames A and B generates motion perception which direction can be controlled by the observer's attention

- A :  $-165^{\circ} \sim -15^{\circ}$   
 B :  $-105^{\circ} \sim 45^{\circ}$   
 C :  $-45^{\circ} \sim 105^{\circ}$   
 D :  $15^{\circ} \sim 165^{\circ}$   
 E :  $75^{\circ} \sim 225^{\circ}$   
 F :  $135^{\circ} \sim 285^{\circ}$

これらは、異なるセッションで設定されるため、被験者は各セッションでどの範囲から検査刺激が選ばれるか推定できる。この6条件に加えて、単一の検査刺激位置のみのセッションも行った。この場合それぞれのセッションでは検査刺激の相対位置は固定で、異なる位置の感度は別のセッションで測定された。

Fig. 4 に5名の被験者の平均のコントラスト感度分布関数を示す。横軸は追跡円盤から検査刺激までの距離、縦軸はコントラスト感度である。太い灰色線が1点条件の結果で、その他の検査刺激範囲条件は異なるシンボルと線で表現されている。まず1点条件の結果を見ると、追跡の中心付近をピークとする山型の広がりを持っていることがわかる（ブランクフレーム呈示中に見かけの追跡刺激が連続的に移動していれば追跡円盤の位置は  $15^{\circ}$  になる）。先行研究の結果と一致した感度分布であり、コントラスト感度から注意の位置を推定できることがわかる。

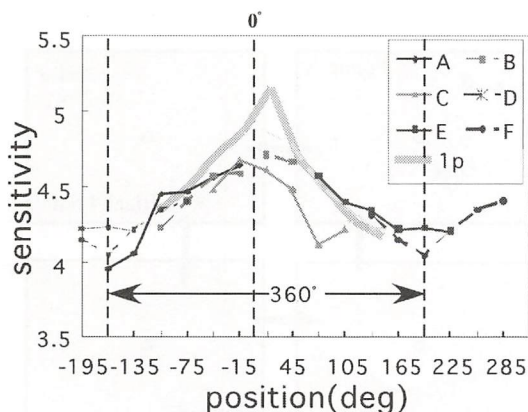


Fig. 4 Contrast sensitivity function as a function of location. Different symbols represents different sets of probe locations. From A to F indicates each of the 6 positions sessions and 1p indicates 1 position sessions

次に6点の各条件の結果を見ると、1点条件と比べ感度が低下している。しかし追跡の中心付近で感度が高くなる傾向は同様である。各条件について見ると、1点条件の示す感度の空間分布に比べて、追跡中心の影響がやや小さい。

1点条件の結果と比較すると、感度が検査刺激呈示範囲の中央で高い傾向があるが、同時に検査刺激の範囲の影響もみられる。これらの結果は、追跡刺激の位置と検査刺激の位置に注意を分割することは出来ず、その広がりを変化して検査刺激に対応していると考えられる。ただし、被験者による差は小さくなく、 $15^{\circ}$  付近に明確なピークを示した被験者と、各範囲の端の呈示位置で、コントラスト感度の低下を示す傾向を示す被験者がいた。被験者によってあるいは条件によって、注意の分割が出来る可能性を否定はできない。

## 2. 実験2

実験2では、眼球運動を誘発する刺激を呈示し、その結果が注意に及ぼす影響について検討する。多くの注意測定実験では視点を固定した条件で行っているが、実生活においては眼球運動を伴う視覚認識が普通である。周辺に突然呈示された刺激に対しては、サッカーボールが目に生じそこに視線が向けられる。ここでは、サッカーボールが介在する条件での注意の働きについて検討する。

もし、サッカーボールすることによって注意が移動する必要があるれば、サッカーボールの誘発刺激の呈示位置に依存して感度に変化することになる。逆に感度の変化からサッカーボールに関連する注意の移動を推定できることになる。

追跡刺激は、実験1と同様で、被験者は指定された円盤を注意で追跡する、あるタイミングで眼球運動誘発刺激が呈示され、そこにサッカーボールをする。その後、ブランクフレーム中に検査刺激が呈示され、被験者は検査刺激が見えたか否かを応答する。

誘発刺激は、6枚の円盤のうちの1枚で、一



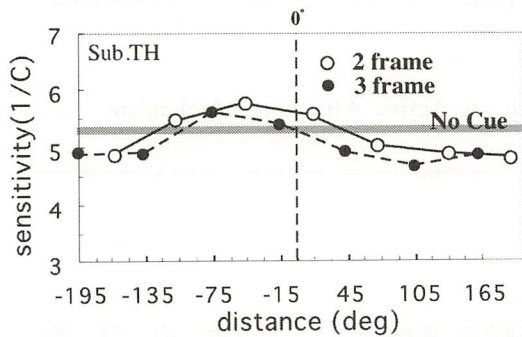


Fig. 5 Contrast sensitivity function as a function of saccade cue locations. Horizontal gray line represents sensitivity in the condition without saccade cue

瞬（1ビデオフレーム）黒くなる。呈示タイミングは、検査刺激呈示の2フレーム（175 msec）あるいは3フレーム（287.5 msec）前のいずれかである。被験者はこの刺激が現れた位置にサッカードを行う。

検査刺激は実験1と同様に円盤の回転軌道上に呈示される0.32 degの円で、呈示位置は常に呈示直前フレームの追跡円盤から回転角15°の位置である。誘発刺激としては6枚の円盤のいずれかがランダムに選択された。

Fig. 5に被験者1名のコントラスト感度分布を示す。横軸はサッカード誘発刺激呈示位置から検査刺激までの距離、縦軸はコントラスト感度である。2フレーム前と3フレーム前のどちらの呈示タイミングにおいても、検査刺激に近い場所にサッカードする時に感度が高い山型の分布になった。これは視点を固定するときと同様に、サッカードを伴う場合も注意は距離の影響を受けるということを示している。またピークを示す2フレーム前の-45°と3フレーム前の-75°は追跡円盤に誘発刺激が現れた時に対応し、追跡円盤に対する注意が強められた可能性もある。

コントラスト感度の測定後に、別のセッションで眼球運動を測定した。その結果、実際に誘発刺激の位置に対してサッカードが行われること、またサッカード刺激が呈示される前の注意追跡中には視線は注視点に固定されていたことを確認した。サッカード誘発刺激の位置に関わ

らず全ての条件で400 ms以上の時間が掛かっていることが明らかにされた。これは一般的なサッカード潜時が200 ms程度であることと比べるとかなり遅いといえる。注意による移動物体追跡中にサッカードを行うことが困難であるためとも考えられる。注意の捕獲という視点からみると、注意によって追跡を行っている場合は、捕獲がされにくい条件であることを示唆する。

#### [今後の研究の方向、課題]

現在眼球運動のデータが不十分であり、さらに多くの条件での測定が必要である。特に、注意によって運動対象を追跡しているときにサッカードの開始までの時間が遅れることは、様々な課題遂行時の緊急事態への対応を考える上で重要な特性といえ、詳細な検討が必要である。

#### [成果の発表、論文等]

- 1) 濱高志, 松原和也, 塩入諭, 矢口博久: 追跡対象への注意と検査刺激への注意, 日本視覚学会冬季大会, 東京, 1月20日, p. 49 (2003)
- 2) K. Matsubara, M. Nakazawa, T. Hama, S. Shioiri and H. Yaguchi: Control of the location and extent of visual attention, Vision Sciences Society, Sarasota, FL, USA, May 12, p. 203 (2003)
- 3) 田中ひろみ, 松原和也, 塩入諭, 矢口博久: フラッシュラグ効果への予期の効果, 日本視覚学会冬季大会, 東京, 1月20日, p. 48 (2003)
- 4) 松原和也, 濱高志, 塩入諭, 矢口博久: 注意追跡時の感度変化と眼球運動の影響, 映像情報メディア学会ヒューマンインフォメーション研究会, 滋賀県, 7月11日 (2003)
- 5) S. Shioiri, K. Yamamoto and H. Yaguchi: Effect of attention on flash lagging, Vision Sciences Society, Sarasota FL, USA, May 10, p. 15 (2002)
- 6) K. Matsubara, M. Nakazawa, S. Shioiri and H. Yaguchi: Controlling the spatial extend of visual attention, Second Asian Conference on Vision, Gyeongju, Korea, July 24, p. 113 (2002)

## アクティブ固定機構をもつカフ型神経インターフェースの研究

### Study on a Cuff Type Neural Interface with an Active Attaching Mechanism

1021011

研究代表者

東京大学生産技術研究所 助教授

竹内 昌治

#### 〔研究の目的〕

本研究では、微小径の神経に容易に固定可能な、カフ型微小電極を開発する。生体と機械を結ぶインターフェースとしての役割を持ち、神経を包むカフ構造により、低侵襲で、生体信号計測や機能的電気刺激を行うことができる。機能障害をもつ組織への擬似感覚刺激や自律神経のモニタなど医療・生物科学への幅広い応用が期待できる。

#### 〔研究の内容、成果〕

これまでに、マイクロマシン技術を用いた微小電極は数多く報告されている。これらは、神経再生型電極と、刺入型電極の2つに大きく分けられる。前者は、神経を一度切断し、その切口間に電極を挿入後、電極を通して神経が再生する現象を利用して組織に固定する。このとき、再生する神経に接触する部分から電位を記録できる。後者は、先端を尖らせた電極を用いて神経に刺入する電極である。刺入された部分から神経電位を記録する。これらのマイクロ電極は広く応用が期待されているが、行動中の生体への埋め込みを対象とした実験に応用しようとした場合、たとえば、神経再生電極は、再生するまでに、数ヶ月を要す上、一度切断し、再固定するという複雑な作業が必要となってくる。また、刺入電極は、刺入の際の細かな振動などで神経にダメージを与えやすく、また神経に固定

する機構がない。このように、行動下での電位計測には、神経を切断したり刺したりせず、神経に低侵襲な電極が必要である。さらに電極は、取り付け時に、体が激しく動いても、神経から外れない構造を持たなければならない。そこで、本研究では、このような電極を実現するために、電極材料として形状記憶合金（SMA；shape memory alloy）薄膜に注目し、これを利用して能動的に神経に取り付け可能な微小電極を検討した。

SMA は、金属の中でも、特に柔軟性に富み、数%のひずみを与えても破断することはない。また、比抵抗が高く、通電加熱によって駆動させることができるため制御性も良い。その柔軟性により、神経などの生体組織にダメージを与える可能性は低く、操作中に誤って構造を変形させてしまっても、加熱することで形状を回復することができる。また、動作は一方向だけに限定すれば、従来問題であった反復応答性の悪さの問題を回避できる。実際、微小電極の場合、一度クリップしてしまえば離す必要はないので、一方向のクリップ動作でも十分に要求を満たすことができる。ここではSMAを用いてFig. 1のようなクリップ機構を持つ電極を考案した。常温で構造を予め変形させ、電極に開口部を作り（Fig. 1の3）、そこから神経を挿入する（同4）、その後通電加熱によって形状を回復させると神経をクリップし固定できる（同5）。下部に設置された2本のプローブの電位差を計測することで神経電位を計測する仕組みである。



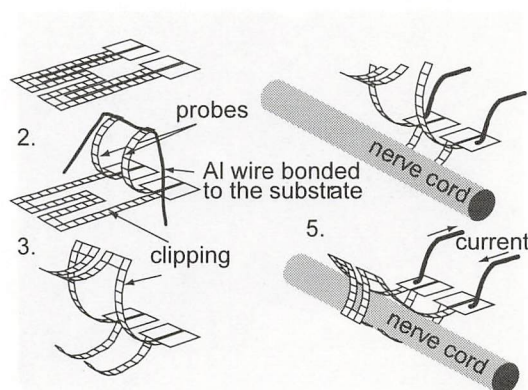


Fig. 1 本研究で用いた、形状記憶合金薄膜を利用した微小電極の概念図

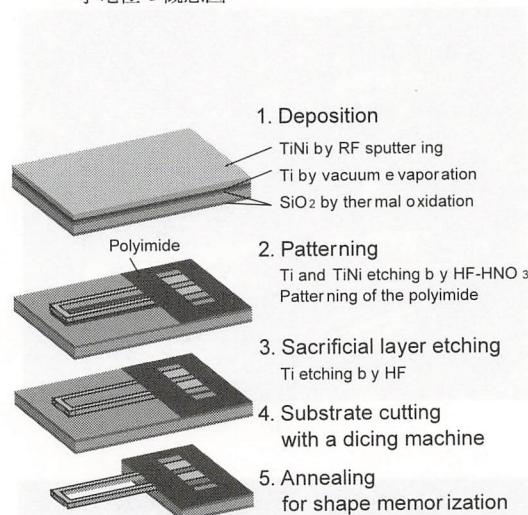


Fig. 2 形状記憶合金薄膜を利用した微小構造の製作プロセス

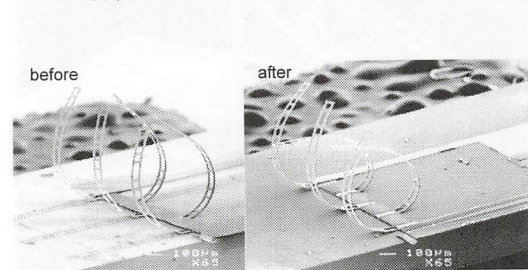


Fig. 3 上記プロセスで製作した、カフ型構造。通电することで形状を回復する

ここで用いた SMA 薄膜構造には、TiNi 薄膜を用いた。絶縁のために熱酸化したシリコン基板上に、犠牲層となる Ti を真空蒸着、構造体となる TiNi を RF マグネトロンスパッタにより堆積させ、フッ硝酸でパターニングした (Fig. 2)。薄膜化した状態で、熱処理を行うことによって、形状を記憶させることができる。Fig. 3 は、曲線状に記憶させ、常温で、開口

部を作らせた後、通电加熱によって、その開口部を閉じたときの写真である。このように、形状記憶合金薄膜によって、神経をつかむ構造が実現できる。

TiNi 薄膜の性質は、スパッタおよび熱処理の条件によって大きく変化する。例えば、酸化や窒化など、薄膜に汚物が混入すると、膜は脆くなる。これを防ぐため真空容器はスパッタ及び熱処理前に高真空中に排気する必要があった。また、スパッタされた TiNi 薄膜の組成は、使用したターゲットの組成とは異なり Ni 過多となる。これは、合金ターゲットでは、構成元素の軽いものほどスパッタ中に散乱しやすく、基板から外れるからであるが、ここでは、ターゲット上に Ti の網 (メッシュ) を載せて組成を制御する方法を用いた。

熱処理装置には赤外線ランプヒータ (ULVAC: MILA-3000) を使用した。急激な温度上昇を防ぐため、100℃ 10 分、150℃ 5 分、400℃ 5 分、600℃ 20 分の順に段階的に行った。また、剥離防止のため構造と基板との密着部をポリイミドで覆った。一般に SiO<sub>2</sub> と TiNi の密着性は悪いが、ポリイミドを用いることで擬似的に密着性を高めることができる。熱処理後、ポリイミドは熱分解し脆くなるが、空気中で熱処理したときに比べ、酸化による劣化は避けられる。また、空気中で処理した場合と比較して基板との密着性も優れていた。

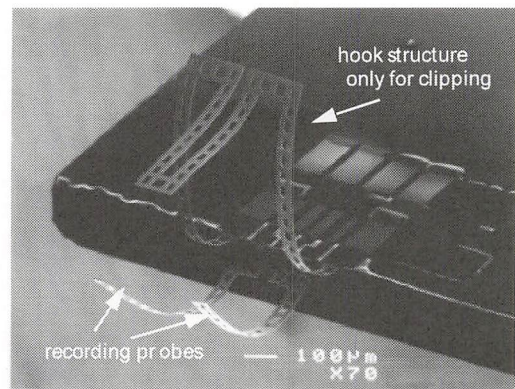
スパッタによって得られた薄膜の組成はエネルギー分散型 X 線分析装置 (EDX; energy dispersive X-ray detector: KEVEX 7000) を用いて計測した。その結果、メッシュを置いた場合は Ti-48 at.%Ni で、置かなかった場合は Ti-54 at.%Ni であった。メッシュを置いた場合、約 15 時間のスパッタ後も組成の変化はそれほど観察されなかった。

また、形状記憶合金としての変態温度の測定には示差走査熱量計 (DSC; differential scanning calorimetry, 島津: DSC-50) を用いた。3 つのタイプの薄膜について測定を行っ

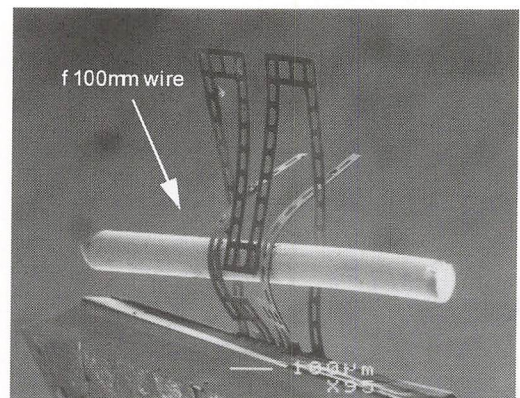


た。その結果、マルテンサイト変態のピーク時の温度 ( $M^*$ ) に関しては、Ti-48 at.%Ni 薄膜の方が、同温度で熱処理した Ti-54 at.%Ni 薄膜よりも高く室温以上であることが分かった。 $M^*$  が室温以上であれば、室温で膜はマルテンサイト相にあり、容易に変形可能であるため、この薄膜を用いれば、冷却設備なしに SMA 薄膜を駆動させることができる。したがって、電極の構造として、Ti-48 at.%Ni 薄膜を使用することにした。これはスパッタの時に、3 インチターゲット上に 35 mm × 30 mm 10 mesh/inch の Ti メッシュを載せて成膜することで得られた。一方、マルテンサイト逆変態のピーク時の温度 ( $A^*$ ) は形状を回復する時の温度であるが、生体にダメージを与えない程度の温度でなければならない。これは主に熱処理の温度に依存し、Ti 過剰の TiNi 薄膜の場合、温度が高いほど  $A^*$  は上昇する。実験の結果、750°C で熱処理した膜の  $A^*$  (約 80°C) よりも 600°C で処理した膜の方が低温 (約 50°C) であった。50°C は生体には限界の温度と思われるが、実際は組織との接触面積は少なく、しかも間に体液などが介在するため、組織表面の温度は 50°C 以下になる。実際、電位を計測するためのプローブ部は加熱されないため、神経電位記録には問題ない。

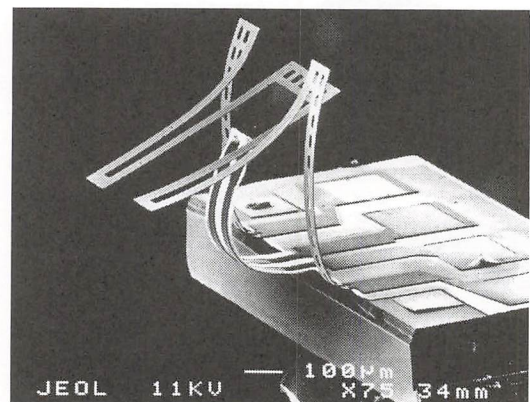
Fig. 4 a は製作した SMA 微小電極である。電極は通電加熱によって動作する駆動部 ( $720\ \mu\text{m} \times 480\ \mu\text{m}$ ) と 2 本の C 字型のプローブ ( $600\ \mu\text{m} \times 70\ \mu\text{m}$ ) からなる。この 2 本のプローブの電位差を測定することで神経電位を記録する。この電極を使用して、径 100  $\mu\text{m}$  のワイヤをクリップする実験を行った。ワイヤはプローブと駆動部によってしっかりとクリップされた (Fig. 4 b)。駆動部のクリップ構造によって神経を両側から挟み、写真 (Fig. 4 b) 上側及び右側に平行移動して抜け外れることを防いでいる。また C 字型に記憶された 2 本のプローブによって、写真左側へ抜け外れにくくしている。Fig. 4 c は、計測部を神経に接触す



(a)



(b)



(c)

Fig. 4 (a) 本研究で製作した、形状記憶合金薄膜微小電極  
(b) 直径 100 ミクロンのワイヤをクリップした様子  
(c) プローブをポリイミドで絶縁したタイプの電極

る部分以外をポリイミドで被覆した電極である。これによって、体内中においても、体液から電極部を絶縁した状態で使用できる。

次に、製作した電極を用いて神経電位の記録を行った。昆虫 (ワモンゴキブリ) の腹髄神経索 (VNC; ventral nerve cord) をクリップし



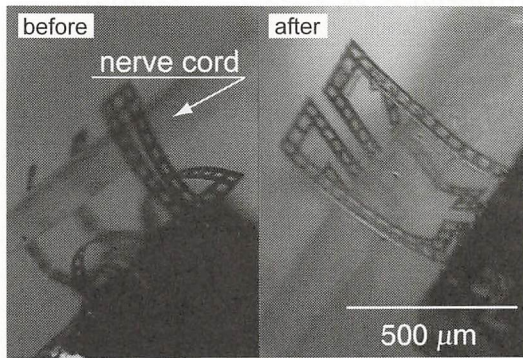


Fig. 5 昆虫の神経をクリップした様子

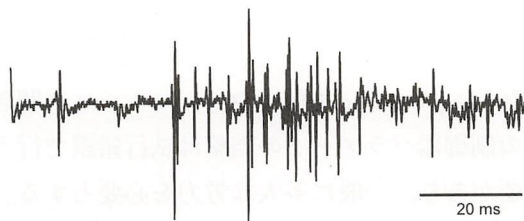


Fig. 6 製作した電極を利用して計測した昆虫の神経活動電位

た (Fig. 5)。クリップ時に若干の乾燥は観察されたが、生体内に戻すと体液を吸収し、活動電位を計測することができた。結果を Fig. 6 に示す。神経の興奮がインパルスとなって、鮮明に観察できる。一般に細胞外誘導に用いられる 2 本の金属線を使ったフック電極を使用するときと比べて、活動電位波形に特に雑音が入るなどの現象は観察されなかった。構造は柔軟性に富んでおり、生体組織に衝突しても組織がダメージを受けることはなく、継続して電位を計測することができた。

#### [今後の研究の方向, 課題]

本研究で実現した、カフ型電極は、体内に埋め込んだ状態で神経電位を計測することに成功

した。今後は、このような電極を生体と機械とを結ぶインターフェースとして用いる。たとえば、ヤギなどに人工心臓を埋め込み、その心臓神経に電極を取り付け、活動電位をモニタすることによって、人工心臓の制御性を向上させる実験に応用することを検討している。

#### [成果の発表, 論文等]

- 1) Shoji Takeuchi and Isao Shimoyama: A Radio-telemetry System with a Shape Memory Alloy Microelectrode for Neural Recording of Freely Moving Insects, IEEE Transaction on Bio-medical Engineering. (in press)
- 2) 竹内昌治, 下山 勲: 微小電極によるバイオテレメトリー, 計測自動制御学会, Vol. 42, No. 1, pp. 38-41 (2003)
- 3) 竹内昌治: マイクロ電極を用いたバイオテレメトリー, 生産研究, Vol. 54, No. 2, pp. 28-34 (2002)
- 4) 赤松直樹, 鈴木隆文, 満洲邦彦, 藤田博之, 金範垓, 竹内昌治: 神経電位計測用フレキシブルシリコンプローブアレイ, 生産研究, Vol. 55, No. 2, pp. 158-162 (2003)
- 5) 三井美絵, 鈴木隆文, 満洲邦彦, 大倉典子, 竹内昌治: 長期計測のためのフレキシブル神経束内電極, 生産研究, Vol. 55, No. 2, pp. 163-166 (2003)
- 6) Takafumi Suzuki, Kunihiro Mabuchi and Shoji Takeuchi: A 3D flexible parylene probe array for multichannel neural recording, IEEE Neural Engineering, March 20-22, pp. 154-156 (2003)
- 7) Mie Mitsui, Shoji Takeuchi, Takafumi Suzuki, Michiko Ohkura and Kunihiro Mabuchi: Flexible intra-fascicular nerve electrodes for the recordings of autonomous nerves, IEEE Neural Engineering, March 20-22, pp. 67-70 (2003)

## 知識情報処理を用いた痴呆症の統合診断支援システムの開発

### Assistance of an Integrated Diagnosis for Dementia Patients Using a Knowledge Information Processing Methods

1021016

研究代表者 名古屋市  
総合リハビリテーションセンター リハビリテーション工学技師 日比野 新

#### [研究の目的]

近年、高齢化の進行とともに増加の傾向にある痴呆症患者の診断では、介護保険の導入にもなってより客観的・定量的な指針が求められている。痴呆症の診断に際しては各種の心理テスト、生理検査のほかに脳波検査や、CT (computed tomography)・MRI (magnetic resonance imaging) などの画像診断が行われるが、最終的な重症度の診断は主に医師の経験にもとづくところが大きく、定性的なものとなっているのが現状である。そこで、本研究では人工ニューラルネットワーク (ANN: artificial neural network) などの知識情報処理手法を用いて、脳波およびMRIの検査結果から痴呆症の重症度を定量的に推定し、痴呆症に関する医師の診断を支援することを目指した。

#### [研究の内容、成果]

#### 1. Fuzzy Neural Network (FNN) および Flexible Bayesian Modeling (FBM) を用いた脳波からの痴呆症重症度の推定

##### 1.1 方法

ファジィ推論は、人間の主観的であいまいな推論アルゴリズムを if-then 形式のファジィルールにより言語形式で記述できるため、厳密な数学モデルを必要としないという特徴を持つ。

しかし、ファジィルールやメンバーシップ関数等の制御器パラメータの調整は試行錯誤で行う必要があり、一般に多大な労力を必要とする。

一方、ANN は人間の脳の構造を簡略的にモデル化した情報処理機構であり、バックプロパゲーション法などの学習法を用いることで任意の入出力関係を自動的に同定することができるが、学習により獲得した入出力関係の知識がネットワークの結合荷重に分散的に記憶されるため、この知識を定性的に把握するのが難しいという欠点がある。そこで、これらを組み合わせた FNN を用いることにより、複雑な入出力関係の知識を学習により自動的に獲得し、かつその知識を言語形式で記述することを目指した。

本研究では、堀川ら (1992) の FNN Type I を用いている。FNN Type I は、ファジィルールの後件部が定数で表される簡略化ファジィ推論を実現する簡単な構成の FNN である。これは簡略化ファジィ推論の計算課程を ANN の構造によって実現したもので、簡略化ファジィ推論で同定または調整すべきパラメータを結合荷重に対応づけ、バックプロパゲーション法により更新するものである。

しかし、一般的なニューラルネットワークを用いる場合、モデルのパラメータ数 (複雑度) の最適値は、学習用データの数や、モデル化したい入出力関係の複雑度に依存する部分が大きく、最適な構造の決定は難しいとされている。



そのため、本研究において FNN の構造を決定する際には、入力を small, big の 2 つにファジィ分割した場合に、ファジィルールの数が学習用データの半分程度になるよう入力変数を制限することとして、変数増加法によって二乗誤差が最小となる入力変数を 1 つ選択し、つぎにこの変数に新たに一つの入力変数を加え、二乗誤差が最小となる入力変数を選択する。この手順により入力変数を逐次増加し、新たな入力変数を加えても評価規範が減少しなくなるまで繰り返した。

また、この問題を解決するもう一つの方法として、ベイジアンアプローチを用いた FBM (Neal 1996) の導入を試みた。FBM では、ANN の構造を決定する結合荷重とユニットのバイアス値をグループ化し、ある入力から隠れ層ユニットへの結合荷重や、隠れ層ユニットのバイアスといったパラメータのグループごとに、その値を制御するハイパーパラメータと呼ばれる高次のパラメータを導入しており、ある入力から出る結合荷重の大きさを制御するハイパーパラメータを入力変数の数だけ用意し、その値を変えることで、出力と関連のない不必要な入力からの結合荷重の値を小さくすることができ、入力の数を制限していることと同じ効果が得られるようになっている。

FBM ではすべての未知量は確率分布としてモデル化され、ベイズの定理を用いて、仮定した事前確率と与えられた学習データから、推定値に対する事後確率分布を求めることが可能である。そのため、従来の ANN で問題となっていた推定値に対する信頼性の評価に関して、確率にもとづいた分類を行うことや、推定値の分布の広がりを知ることが可能となっている。

学習データ  $(x^{(1)}, y^{(1)}), \dots, (x^{(n)}, y^{(n)})$  が与えられたときの、新たな入力  $x^{(n+1)}$  に対する出力  $y^{(n+1)}$  の予測分布は、ネットワークのパラメータを  $\theta$  とすると次式のようになる。

$$P\{y^{(n+1)} | x^{(n+1)}, (x^{(1)}, y^{(1)}), \dots, (x^{(n)}, y^{(n)})\}$$

$$= \int P(y^{(n+1)} | x^{(n+1)}, \theta) P\{\theta | (x^{(1)}, y^{(1)}), \dots, (x^{(n)}, y^{(n)})\} d\theta$$

通常の ANN のように一つの値を推定値として出力する場合は次式のように変形できる。

$$\hat{y}^{(n+1)} = \int f(x^{(n+1)}, \theta) P\{\theta | (x^{(1)}, y^{(1)}), \dots, (x^{(n)}, y^{(n)})\} d\theta$$

ここで、 $\hat{y}^{(n+1)}$  は分布の平均値、 $f$  は ANN の出力関数である。この手法ではすべてのパラメータに関して積分を行うことで、一つのネットワーク構造に偏らない推定が可能となり、モデルの過学習が回避できるとされるが、この積分は解析的に解くことが困難なため、マルコフチェインモンテカルロ法を用いて近似される。

$$\hat{y}^{(n+1)} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N f(x^{(n+1)}, \theta^{(i)})$$

FBM の欠点としては、仮定する事前確率分布の形状パラメータや、マルコフチェインモンテカルロ法の計算条件を試行錯誤的に決定する必要があること、その収束が遅いため計算時間が長くなることにある。

これら 2 つの手法を用いて、被験者の脳波データから痴呆症の診断、およびその重症度判定を行うことのできるシステムの構築を目指した。

## 1.2 対象

被験者は名古屋市総合リハビリテーションセンター附属病院の外来患者でアルツハイマー型痴呆症 (dementia of the Alzheimer type: DAT) と診断された患者 72 例 (男性 22 例, 女性 50 例) と健常者 24 例 (男性 10 例, 女性 14 例) のデータを使用した。

## 1.3 痴呆症の評価法と脳波記録法

本研究では、被験者の認知機能の評価に Mini-Mental State (MMS) を使用した。MMS は国際的に広く用いられており、見当識、記憶の確認、作文や図形描画などの項目を含む 30 点満点のテストであるが、検査を行っていない健常者は一律に満点として取り扱った。脳

波は国際 10-20 法に基づいて頭皮上に配置した 15 電極で記録し、サンプリング周波数 256 Hz で A/D 変換して、高速フーリエ変換を用いて計算したパワー値を 3 ~ 25 Hz の 9 帯域 ( $\delta$ ,  $\theta 1$ ,  $\theta 2$ ,  $\alpha 1$ ,  $\alpha 2$ ,  $\alpha 3$ ,  $\beta 1$ ,  $\beta 2$ ,  $\beta 3$ ) に分け、各周波数帯において 9 帯域の合計パワー値を 100 とした相対パワー値を解析に使用した。

#### 1. 4 結 果

まず、FNN と FBM で DAT 患者と健常者の分類を行った結果を次に示す。

学習に用いたデータ (学習用データ) 64 個と、学習に用いず、モデルの評価のみに用いたデータ (評価用データ) 32 個の平均正答率は FNN で 95.8%, FBM では 90.6% であったが、FBM で分類が間違っていたデータと、分類確率が低かったものを調べたところ、脳波のパターンが反対の群に近い場合があったことから、FNN ではモデルのオーバーフィットも考えられた。

MMS の得点推定に関しては、図 1、図 2 に FNN と FBM によって推定された MMS 得点の教師値と推定値のグラフを示す。

FNN では推定誤差は平均 3.0 点であるが、全体的にばらつきが大きくなった。FBM においては、平均 1.6 点の推定誤差となったが、評価用の一部には非常に大きな誤差が見られ、FBM でもモデルのオーバーフィットが起きう

ると見られる。これらの手法により、脳波からは定性的な診断しかできていなかった痴呆症の重症度を詳細に推定できた。

## 2. FNN を用いた MRI 画像からの MMS 得点の推定結果

### 2. 1 方 法

脳波は、空間解像度が悪いことや被験者の状態による変動を受けやすいことから、DAT 患者では MRI 画像で主に海馬、側頭葉などに脳の萎縮が見られるという知見を用い、MRI 画像から MMS 得点を推定することを試みた。

撮影装置には Philips Medical System 社製 Gyroscan NT (1.5 テスラ) を用い、DAT 患者および健常者の水平断 T1 強調画像 (Spin Echo 法, TR 540, TE 15, スライス間隔 6.6 mm,  $256 \times 256$  ピクセル, 20 スライス) から画像処理によって頭蓋内面積および脳実質面積を求め、頭蓋内で脳実質のしめる割合を計算し、脳の萎縮率とした。

画像処理は NIH-image を用いて手作業で頭蓋内面積を測定した後、2 値化処理を行って脳実質に相当する部分を抽出した。また、抽出した部分について、各スライスの重心を中心にソフトウェアのマクロ機能を用いて図 3 のように前後左右の 4 つに画像を分割し、それぞれ 1 区画ずつのデータと、前+右+左、後+右+左の

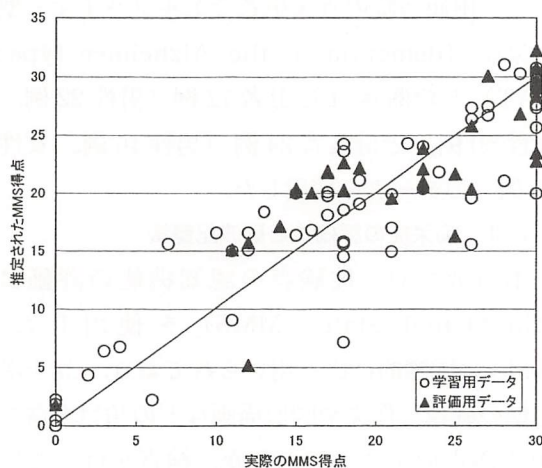


図 1 FNN による脳波からの MMS 得点の推定結果

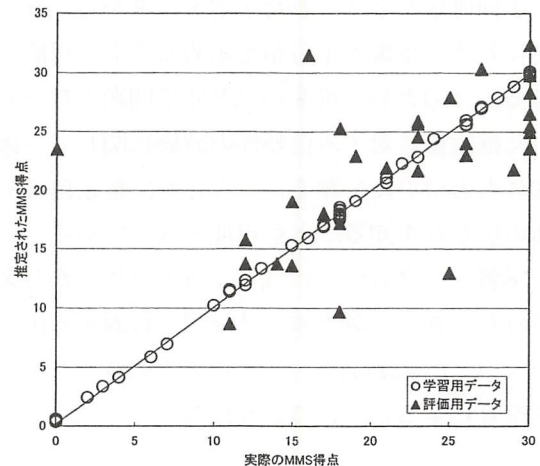


図 2 FBM による脳波からの MMS 得点の推定結果



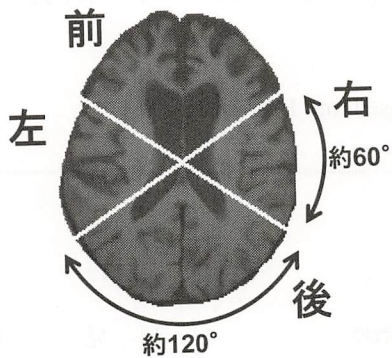


図3 MRI画像の分割法

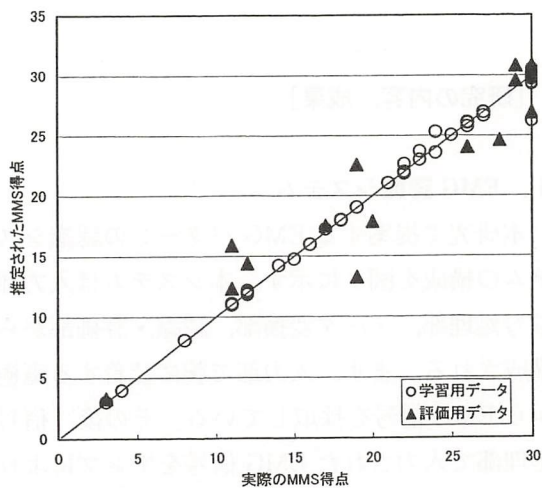


図4 FNNによるMRIからのMMS得点の推定結果

3つの区画を用いたデータを各スライスについて作成した。被験者ごとの撮像位置の違いを考慮して、被験者の視床が含まれるスライスを基準とし、その下1スライスと上7スライスを加えた9スライスの面積と体積から脳の萎縮率を計算し、FNNへの入力とした。

## 2.2 対象

名古屋市総合リハビリテーションセンター附属病院の外来患者でDATと診断された患者患者47例（男性12例，女性35例），健常者19例（男性6例，女性13例）の計66例から，学習用データ49個，評価用データ17個を使用した。

## 2.3 結果

推定結果のグラフは図4のようになっている。推定誤差は平均1.2点となっており，従来の知見では重症例でしか萎縮が見られないとされて

いたMRIのデータから，軽症でもMMSの得点が精度良く推定できることがわかった。

## 3. 脳波とMRIのデータを用いた統合診断に関する検討

### 3.1 方法

脳波とMRIのデータから個別に被験者の認知機能の程度をMMS得点の形で知ることができるようになったが，どちらのモデルでも推定誤差のばらつきがあることから，双方のデータを加えることで，より推定精度を高めることが可能であるか検討した。対象は，前の実験から脳波とMRIの検査を同時期に行っていたDAT患者23例を取り出し，脳波とMRIのデータをFNNに入力して，MMS得点を推定させた。

### 3.2 結果

23例について脳波のみからMMS得点を推定した場合，推定誤差は平均1.7点，MRIのデータを加えた場合には平均1.4点となり，誤差の分散も2.6から1.3に低下していることから，脳波とMRIのデータを利用することでより精度の高い痴呆症の診断が可能と考えられる。

## [今後の研究の方向，課題]

今後はデータ数を増やすことで実用性の評価を行うとともに，MRIの構造情報と脳波との対比を探ることで，DATと脳血管疾患によって引き起こされる痴呆との判別を自動的に行うことのできるシステムを構築することや，痴呆症の早期診断を行うことを目指している。

また，同一人物について定期的に記録した継続的データを解析することで，痴呆症の予後予測し，治療や介護の指針として利用することも検討している。

## [成果の発表，論文等]

本研究の成果に関しては，日本エム・イー学会等で発表を行っていく予定である。

## 筋電信号に基づく次世代携帯端末用インタフェースの研究

### New Interface for Portable Terminal Based on EMG Signals

1021018

研究代表者

徳島大学工学部・助教授

福 見 稔

共同研究者

岡山大学工学部・講 師

満 倉 靖 恵

#### 〔研究の目的〕

本研究では、筋電に基づいて次世代携帯端末用の入力装置（ポインティングデバイス）を開発するための基礎研究を行った。

近年、携帯電話を代表とした携帯情報端末機器の急速な普及に伴い、Bluetoothなどの無線通信規格が整備されつつある。このような規格を用いれば、様々な機器の操作インタフェース、例えば、携帯電話をマナーモードにする、音楽プレーヤの音量を調節するといった操作を1つの装置で集約して行うことが可能になると考えられる。現在、このような各機器の操作のみを独立した機能として持ち、携帯機器のネットワークをコントロールする装置（総合操作装置と略称）はまだ提供されていない。そのため、被験者の随時運動に伴い発生する生体信号である筋活動電位（ElectroMyoGram：EMG）を総合操作装置の操作信号として検討した。また、総合操作装置は操作性の点より腕時計型が望ましいと考えられている。このことより、手首のEMGで制御するシステムを構築するために、本研究では手首のEMGを採取し、高速フーリエ変換（Fast Fourier Transform：FFT）とニューラルネットワーク（Neural Network：NN）を用いることによりEMG認識を行い、その有効性を検証する。

#### 〔研究の内容、成果〕

##### 1. EMG 認識システム

本研究で提案するEMGパターンの認識システムの構成を図1に示す。本システムは入力部、信号処理部、データ変換部、認識・評価部から構成される。まず、入力部で腕に装着する電極からEMG信号を採取している。その後、信号処理部で入力されたEMG信号をアンプにより増幅後A/D変換を行い、計算機に取り込む。そして、計算機内の筋電出力プログラムにより時系列データを生成する。更に、データ変換部で時系列データはFFTにより特徴を抽出され、FFTデータを生成する。最後に、学習・評価部で様々なデータの評価を行う。また、システム全体の概観を図2に示す。

図3に手首EMGの計測システムの外観を示す。

本研究では携帯などの情報端末の操作機器、入力装置として実用化を考慮し電極には表面電極を用いる。表面電極は更に湿式（電解クリー

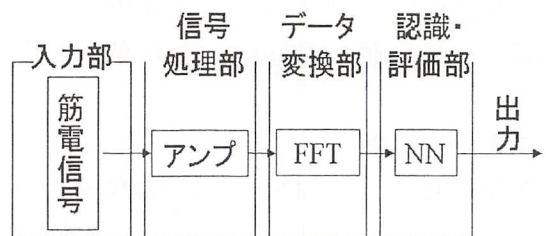


図1 システム構成



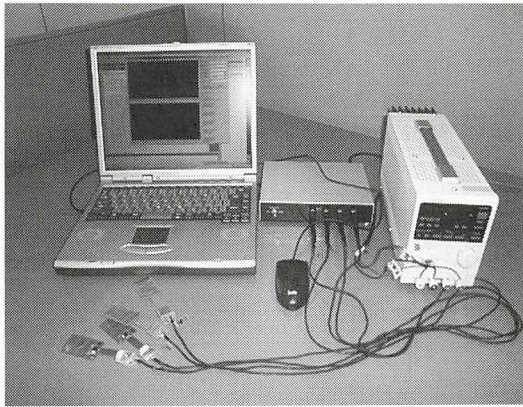


図2 システム概観

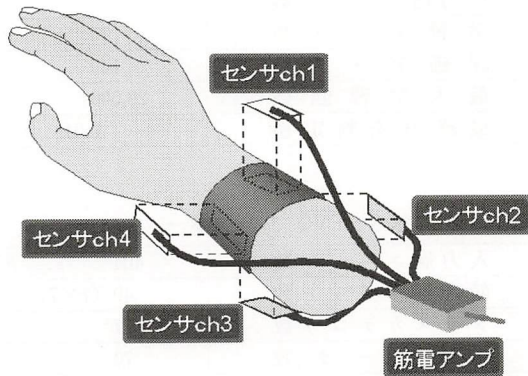


図3 計測装置

ムを使用)と乾式(電解クリームを非使用)に分類されるが、扱い易さの点より乾式を採用する。図3の計測装置を用いて、ニュートラル、上、下、右、左、回内、回外の7パターンの動作を採取する。

## 2. 信号処理部

EMG信号の主な周波数は、表面電極で測定した場合、数Hz(2, 3 Hz)～2 kHzと報告されている。商用周波数ノイズ(50, 60 Hz)の影響を避けるため、EMG信号のうち70 Hz～2 kHzを抽出する。また、アンプの筐体はアルミ製である。これは電磁波ノイズの影響を軽減するためである。

## 3. データ変換部

筋電出力プログラムでは1 ch毎に2.048秒間、20,480個の時系列データが出力される。こ

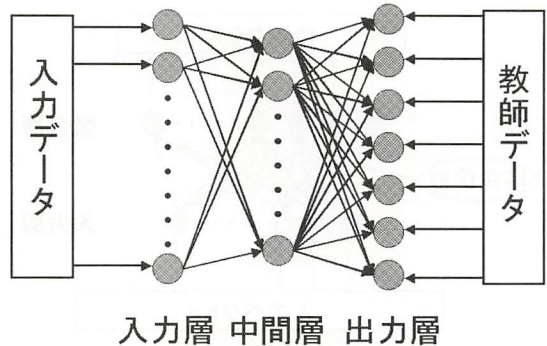


図4 BP ネットワークモデル

れを1秒後、つまり、各ch毎に10,000個のところから1024点FFTを行い、それを512点ずつずらしながら10回連続したものの平均値を学習・評価データとして使用する。

## 4. 学習・評価部

学習、評価部ではニューラルネットワーク(以後NN)を用いて学習・評価を行っている。本研究で用いた学習法は階層型BPネットとLVQである。

### 4.1 BP ネット

BPネットは入力層、中間層、出力層の3層からなる一般的なNNで教師信号とニューロン出力の誤差が各結合係数を出力層、中間層、入力層の順に更新、つまり入力した順番と逆に更新されるために誤差逆伝播法とも呼ばれている。ネットワークモデルを図4に示す。

### 4.2 学習ベクトル量子化 (Learning Vector Quantization : LVQ)

LVQはKohonenの自己組織化マップ(Self-Organizing Map: SOM)を教師あり学習に変えたものである。ベクトル量子化(Vector Quantization)とは、連続量のベクトル、あるいは取り得る値の非常に多いベクトルを、比較的少ない個数の代表ベクトルで近似することによりデータ圧縮を行うものである。LVQアルゴリズムにはLVQ1, LVQ2, LVQ3があり、以下順を追って説明する。また、ネットワークモデルを図5に示す。

学習アルゴリズムは紙数の都合で省略する。

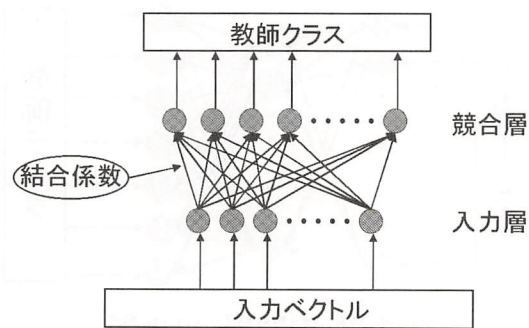


図5 LVQ ネットワークモデル

5. 認識実験

本研究では、被験者 A (30 歳, 男性), 被験者 B (22 歳, 男性), 被験者 C (21 歳, 男性) から採取したデータを用いて手首動作認識実験を行った。また、被験者は右腕の脇を締め、手を軽く握り、腕を 90 度に曲げた状態で手首をニュートラル (N), 上, 右, 下, 左, 回内, 回外に曲げ、EMG 信号を採取した。学習に用いたデータは 30 (試行) × 7 (動作) × 3 (人) = 630 (個) である。ただし、あくまでパーソナルなものを最終目標としているために学習、評価には同一被験者のデータを用いることとし、更に、入力に使用する FFT パワースペクトルは先に行った実験結果より、周波数成分 1 kHz 以下のもののみとした。

5.1 実験 1

まず、BP 法と LVQ との性能比較実験を行なった結果を表 1 に示す。表 2、表 3 に BP 法、LVQ の実験条件を示す。

結果を見ると、BP 法の方が優れた認識結果となった。これは、BP 法が 1 回の学習で全てのユニットを更新するのに対し、LVQ は 1 回の学習で特定のユニットのみを更新するといった手法であるために、認識パターン数が増えることにより、良く似た動作同士が誤認識を起こしあったのではないかと考えた。

5.2 実験 2

実験 1 では、LVQ 認識実験において認識パターン数が多すぎて誤認識を起こしてしまうという結果となった。ということは、1 度に認識

表 1 実験結果 (認識率)

|    | 被験者 A |       | 被験者 B |       | 被験者 C |       |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|    | BP 法  | LVQ   | BP 法  | LVQ   | BP 法  | LVQ   |
| 上  | 77.67 | 90.00 | 67.33 | 65.00 | 56.67 | 93.33 |
| 右  | 81.67 | 75.00 | 82.67 | 61.67 | 56.67 | 56.67 |
| 左  | 84.00 | 76.67 | 97.00 | 83.33 | 87.00 | 55.00 |
| 下  | 94.33 | 81.67 | 85.33 | 98.33 | 86.00 | 85.00 |
| N  | 75.00 | 96.67 | 82.33 | 83.33 | 63.33 | 68.33 |
| 回内 | 73.00 | 78.33 | 73.00 | 70.00 | 74.67 | 41.67 |
| 回外 | 74.67 | 28.33 | 50.33 | 30.00 | 85.00 | 26.67 |
| 総合 | 80.05 | 74.72 | 76.86 | 70.24 | 72.76 | 60.96 |

表 2 BP 法でのパラメータ

|          |        |
|----------|--------|
| 入力層ユニット数 | 404    |
| 中間層ユニット数 | 20     |
| 出力層ユニット数 | 7      |
| 学習データ数   | 70     |
| 評価データ数   | 140    |
| 最大学習回数   | 20,000 |
| 最終誤差判定値  | 0.01   |

表 3 LVQ でのパラメータ

|            |            |
|------------|------------|
| 入力層ユニット数   | 404        |
| 競合層ユニット数   | 49 (7 × 7) |
| クラスカテゴリ数   | 7          |
| 学習データ数     | 70         |
| 評価データ数     | 140        |
| LVQ 1 学習回数 | 1,000      |
| LVQ 3 学習回数 | 1,000      |
| LVQ 1 学習係数 | 0.1        |
| LVQ 3 学習係数 | 0.01       |

を行う際の認識パターン数を減らすことでその問題は回避できるのではないかと考えた。そこで、互いに誤認識し合うのが多かった回外とニュートラルを 1 つのパターンとしてまとめ、まず BP 法で 6 パターン認識 (大分類) を行い、次いで、回外とニュートラルの 2 パターン認識 (小分類) を LVQ で行う BP & LVQ を提案した。

上記で述べた BP & LVQ を用いて認識実験を行なった。実験条件を表 4 に示す。

表 4 より、被験者 A、C では BP 法のみでの認識よりも BP & LVQ での認識の方が高い認識率を得ることができた。これにより、ネットワークを分散させることが認識率を向上させる 1 手法となるのではないかと考えられる。しか



表4 実験条件 (BP & LVQ)

|    | 被験者 A |        | 被験者 B |        | 被験者 C |        |
|----|-------|--------|-------|--------|-------|--------|
|    | BP 法  | BP&LVQ | BP 法  | BP&LVQ | BP 法  | BP&LVQ |
| 上  | 77.67 | 90.00  | 67.33 | 79.67  | 56.67 | 74.67  |
| 右  | 81.67 | 83.33  | 82.67 | 86.00  | 56.67 | 62.33  |
| 下  | 84.00 | 85.67  | 97.00 | 95.33  | 87.00 | 88.67  |
| 左  | 94.33 | 97.33  | 85.33 | 76.33  | 86.00 | 81.00  |
| N  | 75.00 | 95.00  | 82.33 | 63.66  | 63.33 | 96.67  |
| 回内 | 73.00 | 70.33  | 73.00 | 78.67  | 74.67 | 77.00  |
| 回外 | 74.67 | 60.00  | 50.33 | 68.00  | 85.00 | 84.00  |
| 総合 | 80.05 | 83.09  | 76.86 | 78.23  | 72.86 | 80.62  |

し、被験者 B においては BP & LVQ を用いた結果の方がやや高いものの BP 法のみを用いた結果と似た結果となってしまった。この理由としては、現在使用中の被験者 B の学習・評価データに一部ノイズが混入している可能性があるためにあいまいなデータとなり、その結果、間違った学習・評価を行っているのと予想される。

[今後の研究の方向、課題]

本研究では、手首で計測された EMG を認識するための基礎研究を行った。しかし、実用化のためにはさらに精度を上げる必要があり、現在その方法を検討している。一つは周波数分布の中から真に必要な成分だけを抽出することが

考えられる。このためには、進化手法に基づく特徴選択が有効と考えられる。さらに、抽出された特徴成分間の関係を生成することにより、さらに精度改善される可能性があり、これらを検討中である。また、独立成分分析等によるノイズと信号の分離を検討することも重要であろうと思われる。

一方、実用化のためには、DSP による携帯化が必要不可欠であり、この方向での検討も現在行っている。

[成果の発表、論文等]

1) Y. Matsumura, M. Fukumi, Y. Mitsukura and N.Akamatsu: Recognition of EMG Signal Patterns by Neural Networks, CD-ROM Proc. of ICONIP '02 Conference, Singapore, pp. 1-5 (2002. 11)

2) Y. Matsumura, M. Fukumi, Y. Mitsukura, N. Akamatsu, Y. Yamamoto and K. Nakaura: Recognition System of EMG patterns by Neural Networks, SICE Annual Conference, Osaka, pp. 1977-1981 (2002. 8)

3) 松村悠司, 福見稔, 山本祥弘, 中浦一浩: ニューラルネットワークを用いた筋活動電位パターンの認識システムの構築, 電子情報通信学会総合大会, 東京, p.216 (2002. 3)

## 真空圧で駆動する生活支援柔軟ロボットの開発

Development of Livelihood Support Robots with Flexibility Driven by Vacuum Pressure

1021019

研究代表者

立命館大学理工学部 助教授

満 田 隆

### 〔研究の目的〕

本研究は、家庭や病院などの生活空間において、人間が重量物体を持ち運ぶ動作を補助するロボットの開発を目的とする。

人間を支援するロボットにとって安全性は最も重要な課題であり、軽量かつ柔軟なロボットが求められている。金属製の電気モータにより駆動される従来のロボットは、軽量化が難しい。また、モータ暴走時には人間を傷つける危険性がある。

これらの問題に対して本研究では、アクチュエータによる力の発生を最低限に抑え、受動的な方法で物体の支持または運搬を行うロボットを開発する。従来のロボットは、物体を空中に静止させたり、下方へ移動させるなど本来エネルギーを必要としない動作に対しても、常に力を発生していた。開発するロボットは、ロボット全体の剛性を高めて一本の木のように物体を空中に静止させたり、剛性を調節しながら（少しずつ柔らかくしながら）物体の重力で下方へ移動させる。ロボットは最小限の力のみを発生し、剛性を変化させるだけの受動的な方法で物体を運搬、または人間を支援するため、従来のロボットに比べて安全である。また、ロボットの剛性調節機能は、ロボットが能動的に動作する際の振動抑制にも利用できる。

### 〔研究の内容、成果〕

#### 1. 生活支援柔軟ロボットの構造

生活支援柔軟ロボットの構造を図1に示す。本ロボットは図1(b)に示すリンクモジュールを直列に接続した構造で、各モジュールは中央に配置した剛性調節要素と周囲に配置した3本のジャバラで構成される。各リンクモジュールは曲げ、捻り、圧縮の方向に対して柔軟性を有し、ジャバラへ加えた空気圧によって曲げ2自由度と上下方向に変形する。各ジャバラはそれぞれ剛性調節機能を持ち、ジャバラの剛性と重力のバランスによってもモジュールは変形する。各ジャバラの空気圧は、モジュールに内蔵した電磁バルブによって制御し、各モジュールの駆動力または剛性を制御することで、ロボットアーム全体を象の鼻のように曲げ変形させる。以下、このロボット実現のために開発した要素技術を個別に説明する。

#### 2. 粒子内蔵型機械拘束要素の構造と機能

ロボットのリンクモジュール中央に配置する剛性調節要素を図2に示す。粒子内蔵型機械拘

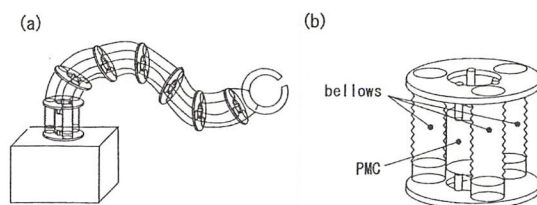


図1 生活支援柔軟ロボットアームの構造



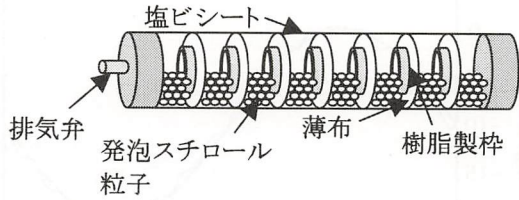


図2 粒子内蔵型機械拘束要素の構造

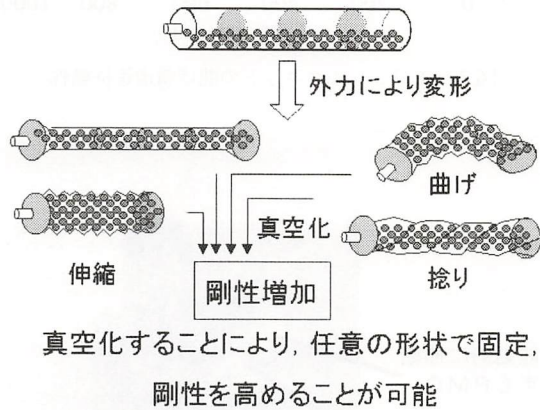


図3 粒子内蔵型機械拘束要素の機能

束要素（PMC）と呼ぶこの要素は、発泡スチロール粒子を塩化ビニルチューブに封入したもので、排気弁が開いた状態のときには、図3に示すように要素は柔軟に曲げ、ねじり、圧縮、伸展などの変形を行うことができる。排気弁より空気を排出して内部を真空化すると、大気圧によってチューブが押しつぶされ、内部の粒子が凝縮することによって要素全体の剛性が大きくなる。変形剛性は内部真空圧にほぼ比例するため、真空圧制御によって要素の剛性を調節することができる。粒子内蔵型機械拘束要素は樹脂材料のみで構成されるため、軽量かつ柔軟である<sup>1)</sup>。

粒子内蔵型機械拘束要素の剛性調節速度は、真空化に要する時間に等しく、真空圧発生源の空気排出能力と要素の空気容積に依存する。そこで、要素の剛性調節速度改善を目的として図4に示す新しい構造の要素を開発した。この要素は半球状の発泡スチロール2つを要素の両端に固定した構造で、空気容積が従来型要素の約半分となり、応答速度は約2倍に改善された。また、要素が曲げ変形したときには、図4に示

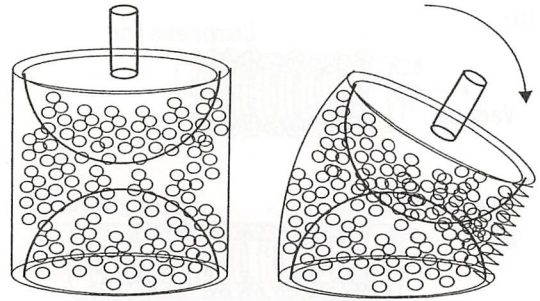


図4 応答速度と曲げ剛性を改善した粒子内蔵型機械拘束要素

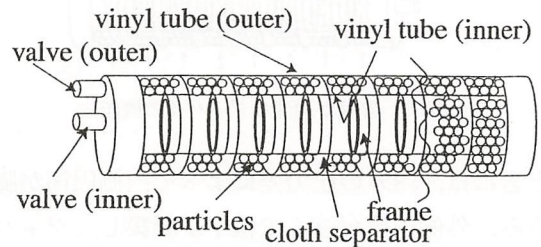


図5 剛性が可変なジャバラの構造

すように粒子が半球状発泡スチロールの空隙に入りこむため、従来型要素に比べて要素表面に深い皺が生じにくくなった。このため、従来の粒子内蔵型機械拘束要素に比べて、大きく変形した場合でも安定して剛性が発揮されるようになった<sup>3)</sup>。

### 3. 剛性が可変なジャバラの構造と機能

剛性調節可能なジャバラとして開発した要素の構造を図5に示す。この要素は大小2つの塩化ビニルフィルム製チューブによって内側と外側に気密性を有する空間が構成されている。それぞれの空間は、円筒の一端に取り付けられたバルブによって外気に通じている。内室には樹脂製の枠が取り付けられ、空気の出し入れによって従来のジャバラのように短縮、伸長する（図6(a)）。外室には発泡スチロールビーズが封入され、ビーズが常に均一に分布するように外室は薄布によって小部屋に仕切られている。内側と外側のバルブが開くときは、外気が自由にそれぞれの空間を出入りするため、ジャバラの剛性は低く、短縮伸長に加えて、曲げ、捻りなど自由に変形可能である。外室を真空化した

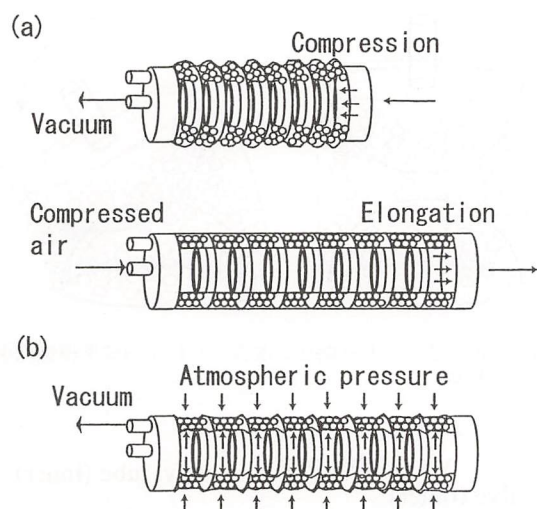


図 6 剛性が可変なジャバラの機能

ときには、内外の圧力差によって内側円筒が膨らみ、外側円筒が縮んで粒子が凝集し、ジャバラの剛性が増す（図 6 (b)）。以上のように、このジャバラは内側の空気圧で能動的に短縮伸長し、外側の真空圧で剛性が調節できる<sup>4)</sup>。

#### 4. モジュールユニットの動作実験

以上の各要素技術を用いて図 1 (b) に示すロボットの 1 モジュールを試作し、1 自由度曲げ運動の軌道追従制御を行った。今回は基礎実験として、中央に配置した粒子内蔵型機械拘束要素のみで剛性調節を行った。試作モジュールの直径は 10 cm、高さ 8 cm、最大曲げ角度 40 deg、重量は 285 g である。ジャバラは軽量かつ柔軟である反面、空気圧で位置制御を行う際には振動が生じやすい。そこで、目標各速度に反比例するよう剛性を制御しながら目標角度との差により加圧、減圧を切り替えるフィードバック制御（P 制御）を用いて軌道追従させた結果を図 7 に示す。剛性調節により振動が抑制されるため、単純な P 制御であっても軌道追従が可能であることがわかる。

#### 5. 上肢作業補助装具

本研究で開発した能動的に伸縮する粒子内蔵型機械拘束要素の応用として、上肢作業補助装具を開発した。現在、工事現場において、天井

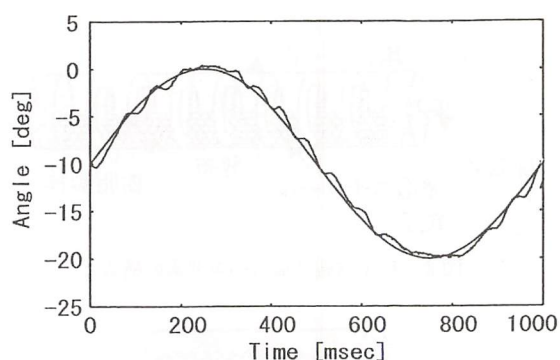


図 7 モジュールユニットの曲げ軌道追従動作



図 8 上肢作業補助装具

板の取り付け作業など重量物を頭上に支えて行う作業時の上肢や肩への負担が問題となっている。開発した装具を図 8 に示す。本装具は、図 2 に示した粒子内蔵型拘束要素と図 5 に示した能動的に伸縮する粒子内蔵型機械拘束要素を直列に接続して、胴体装具と肘あて部に固定した構造で、重量物を支える際には粒子内蔵型拘束要素を真空化して剛性を増し、さらに伸展させることによって前腕を上方に押し上げて補助を行う。粒子内蔵型機械拘束要素の柔軟性によって、補助を行うとき以外は上肢動作を妨げることがない。

#### [今後の研究の方向、課題]

以上、生活支援ロボット開発の基礎となる要素技術とモジュールユニットの制御実験結果を示した。また、この要素技術を応用して開発し



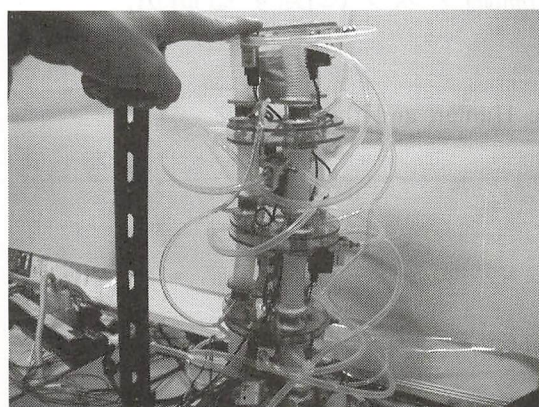


図9 開発中の4モジュールロボット

た天井作業補助装具を紹介した。今後は、上述したロボットの各技術要素を用いて複数のモジュールを組み合わせたロボットアームの開発を進める。図9に現在開発中の4つのモジュールを組み合わせたロボットアームの写真を示す。剛性調節による軌道追従制御，変形量を計測する小型センサの開発，空気圧配管と空圧機器配線の削減などの課題に取り組み，実用化を目指したい。本研究は，多岐にわたる機械材料の調

達を必要としたため，立石科学技術振興財団のご助成なしには成り立ちませんでした。心より御礼申し上げます。

[成果の発表，論文等]

- 1) T. Mitsuda, S. Kuge, M. Wakabayashi and S. Kawamura: Wearable force display using a Particle Mechanical Constraint, Presence, Vol.11, No.6, pp. 569-577 (2002)
- 2) T. Mitsuda, S. Kuge, M. Wakabayashi and S. Kawamura: Haptic displays implemented by controllable passive elements, Proc. of the IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation (CD-ROM) (2002)
- 3) 満田 隆，川村貞夫：可変粘弾性要素を用いた柔軟ロボットアームの開発，計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会論文集（Ⅲ），pp. 79-80 (2002)
- 4) 満田 隆，若林将人，川村貞夫：能動性を付加した粒子内蔵型拘束要素による力覚呈示，計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会論文集（Ⅲ），pp.119-120 (2002)

## 人間と機械のダイナミックな協調タスクに関する研究

## Dynamic Cooperation Task of the Human and the Machine

1021020

研究代表者

大阪大学大学院基礎工学研究科 教授

宮崎 文夫

## [研究の目的]

本研究では、操作対象のダイナミックな運動を認識して、ロボットの動作計画に反映させることにより実現されるダイナミックマニピュレーションの一例として卓球タスクを取り上げた。卓球タスクとは、「飛来するボールを相手コートに打ち返す事を繰り返すタスク」である。これは外界からのダイナミックな刺激に適切に対応する必要のあるタスクであり、ボールをラケットに当てるだけでなく、適切な速度を与えて打ち返さなければならないという複数の制御問題を含んでいる。

ボールを相手コートに意図通り打ち返すためには、打撃の瞬間に適切な力をボールに与えなければならない。このタスクを実現するためには、打ち返しの為のストローク動作を、相手コートから打ち出されたボールが自コートに到達するまでのわずかな時間内に計画し、開始する必要がある。人間は、複雑な物理モデルを考へることなく、練習を繰り返すことによる知識ベースの学習により、できるだけ早い段階での予測精度を高めると共に様々な動作パターンを身につけることで、多様な状況に応じた適切な打撃動作を選択し実現できると考えられる。

我々は、このタスクを実現するために認識した操作対象の動作から適切な対応動作を決定するための学習と正確にその動作を行うための学習の2種類のメモリベースの学習を用いた新しい制御手法を提案する。

## [研究内容, 成果]

## 1. 卓球ロボットシステム

対戦相手から打ち出されたボールは必ず自陣でバウンドするため、一定の水平面を必ず通過する。そこで、我々は卓球台と平行な平面上の移動2自由度とラケット角度2自由度を持つ卓球ロボットを用いて、我々の提案した制御手法の有効性を確かめた。

我々の開発した卓球ロボットを図1に示す。モータ1, 2が水平面上の移動, 3, 4がラケット角度を制御する。一辺が155 [mm] の長方形のラケットが卓球台から195 [mm] の水平面上を移動する。

## 2. 1 ストロークの動作

卓球タスクは、図2に示すように、3つのサブタスクに分類される。A: 飛来するボールを打ち返す打撃タスク, B: ラケットを初期位置に戻す帰還タスク, C: 動作は行わず、次の打撃に備える待機タスクである。

待機タスクCは、さらに3つに分けられる。C<sub>0</sub>では、入出力マップの更新と、相手の打撃によってボールが相手コートに設定した仮想平

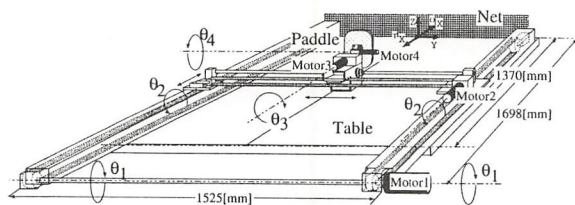


図1 Table tennis system



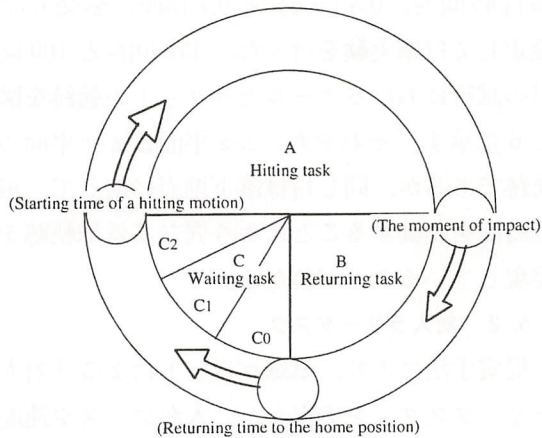


図2 One stroke movement

面を通過するまで監視し続け、仮想平面を通過したボールの状態をもとに  $C_1$  において打撃位置や時刻、打撃動作など打撃に必要な値をすべて予測する。そして、 $C_2$  では計画した動作軌道を正確に実現するための入力コマンドを生成する。

### 3. ラケット動作の生成

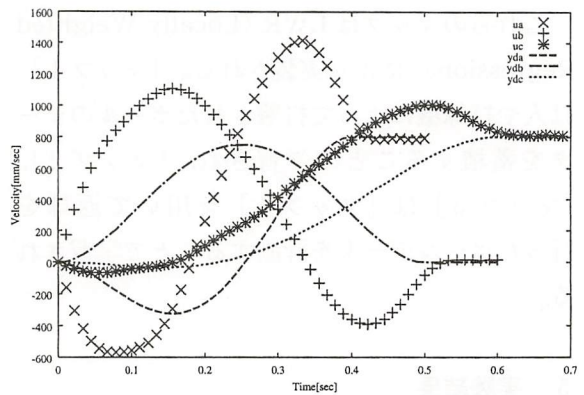
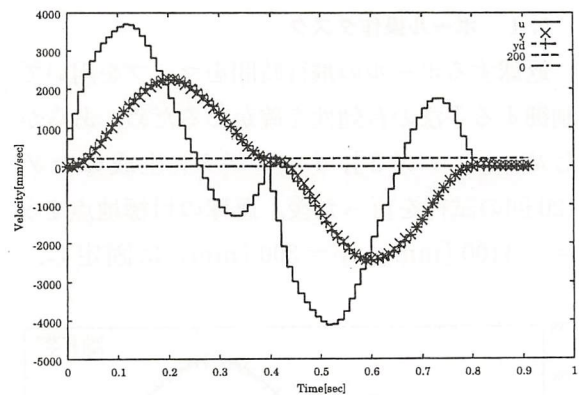
卓球タスクを実現するためには、特定の時刻に特定の位置と速度を満たす動作軌道を正確に実現しなくてはならない。我々は、すでに学習した幾つかの軌道の入出力パターンを線形に重ね合わせることによって、未学習の動作パターンを実現する入力を得る学習制御の新しい手法を提案した。

提案手法は、学習制御により獲得した入力自体に制御対象のダイナミクスに関する情報が含まれているという発想と、軌道を時間の多項式で設定することにより軌道を数学的に扱うことができるという点に注目した手法である。

システムの1軸を用いて、図3に示した3つの学習済み動作パターンから生成した打撃、帰還動作を図4に示す。任意の経由点を設定した目標軌道に精度よく追従していることがわかる。

### 4. LWR 学習による打撃時ラケット状態の決定

打撃時刻とその時のラケット位置および速度

図3 Patterns A, B and C ( $u_i$ : Learned input.  $y_d$ : Desired output.)図4 One stroke movement (an actual input/output ( $u, y$ ) corresponding to a desired output  $y_d$ )

の決定は、卓球タスクを行う上でもっとも重要であり、この決定はボールが打撃位置に到達する前に終了していなければならない。我々はタスクや環境を表すモデルを作成せずに、入出力マップを用いてこの決定を経験的に行う方法を採用した。

入出力マップは、以下に示すタスク中のボールやラケットの状態の関係を示すものである。

[マップ1] —— 飛来するボールの状態を入力とし、打撃時刻とその時のボールの位置および速度を予測するマップ。

[マップ2] —— 打撃直前直後のボールの状態変化とラケット角度および速度の関係を表すマップ。

[マップ3] —— 返球するボールの飛行時間および飛距離と打撃直後のボール状態の関係を示すマップ。

これらのマップはLWR (Locally Weighted Regression) により実装される。[マップ1] は人や打球機によって打撃されたボールのデータを蓄積することで学習され, [マップ2], [マップ3] は[マップ1] を用いて返球を行ったボールデータを計測することで学習される。

## 5. 実験結果

ここでは, 提案手法の有効性を確かめるために行った卓球ロボットによる実験の結果を示す。

### 5.1 ボール操作タスク

返球するボールの飛行時間をマップを用いて制御する手法の有効性を確かめるため, あらかじめ, [マップ2], [マップ3] 生成のため120回の試行を行った後, 返球の目標地点を  $x = -1100$  [mm],  $y = 300$  [mm] に固定し,

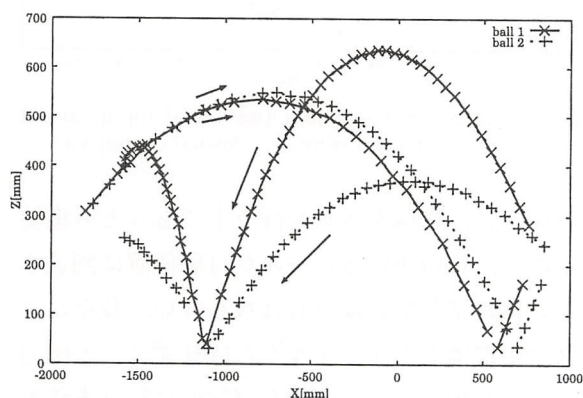


図5 Ball trajectory in x-z plane (179th and 180th trial)

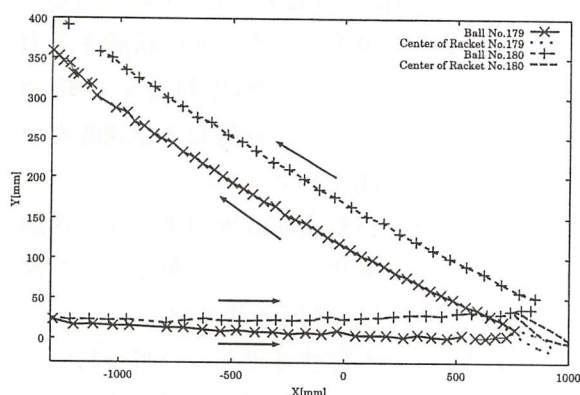


図6 Ball and paddle trajectory in x-y plane (179th and 180th trial)

飛行時間を, 0.5 [sec] と 0.7 [sec] を交互に設定して打撃実験を行った。179回目と180回目の試行におけるボールとラケットの軌跡を図5, 6に示す。それぞれ, x-z平面とx-y平面の軌跡であるが, 同じ目標落下地点に対して, 飛行時間を制御することにより異なる返球軌跡を実現していることがわかる。

### 5.2 対人ラリータスク

提案手法により, 卓球ロボットによる「対人ラリータスク」を実現した。人がコースや速度を(通常のラリー程度に)ランダムに変えて打球し, ロボットはボールの飛行時間を固定 ( $dt = 0.55$  [sec]) し, 人が打ちやすいように, 人の付近で台の中央を通るように, 目標落下位置を設定した ( $p_x = 1550$  [mm],  $p_y = 0.3 \times v_{p_{bhy}}$ )。そのときのボールとラケットの軌跡を図7に示す。打撃位置が前後左右に変化しても, ロボットが人の打ちやすい位置に返球し, ラリーが続いている様子がわかる。

## 6. まとめ

本研究では, ロボットが人間とのダイナミックな協調タスクとしての卓球タスクを実現するための新しい制御手法を提案した。提案手法は, ラケットの打撃動作を正確に実現するための学習制御と, 返球するボールの飛行時間と落下位置を適切に操作するラケット状態を決定するためのマップを用いたLWR学習の2種類のメモリベース学習を用いた手法である。ロボットを

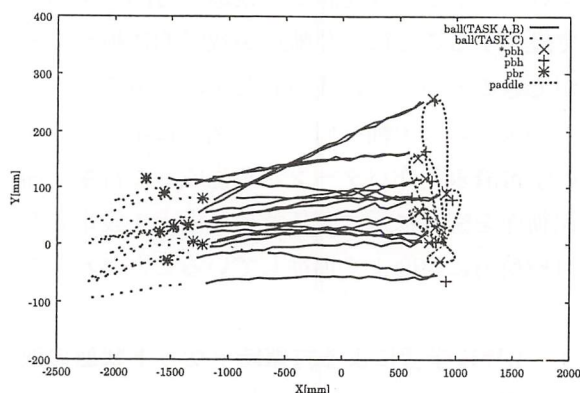


図7 Ball trajectory x-y in the "rally task"



用いたボール操作タスクと対人ラリータスクの実験によって、この提案手法の有効性を確かめた。

#### [今後の研究の方向, 課題]

本研究により、ダイナミックに変化する操作対象を扱う手法の有効性が確かめられた。自由度の数を最低限に抑えたシステムで、返球の軌道を制御する柔軟性を実現したが、今後は自由度を増やした冗長性のあるシステムにおいて、より柔軟な対応を目指す。特に、人間の動作パターンや学習過程を参考にして動作計画に反映

させるような制御システムの開発を目指す。

#### [成果の発表, 論文等]

- 1) M. Matsushima, T. Hashimoto and F. Miyazaki: Learning to the Robot Table Tennis Task — Ball Control & Rally with a Human —, 2003 IEEE International Conference on Systems, Man & Cybernetics Proceeding, Washington D. C., USA, 2003
- 2) M. Matsushima, T. Hashimoto and F. Miyazaki: Memory-Based Learning for Dynamic Manipulation: Ball Control and Rallying with a Human by a Table Tennis Robot, IEEE Transactions on Robotics & Automation, 2003 (査読中)

# 国際交流報告の抄録一覧

(平成 14 年度)

## 〔派遣〕

- ◆ 第 4 回バイオメカニクス世界会議 (1022001) ..... 102  
                                 川 上 泰 雄      早稲田大学  
                                                         スポーツ科学部 / 大学院人間科学研究科 助教授
  
- ◆ 2003 国際耳鼻咽喉学会議 (1022101) ..... 102  
                                 川 島 尊 之      東京大学  
                                                         インテリジェントモデリングラボラトリー 研究員
  
- ◆ 2002 年度秋季視覚学会 (1022102) ..... 103  
                                 堺        浩 之      理化学研究所 脳科学総合研究センター 研究員
  
- ◆ 2002 電気電子工学者学会国際超音波シンポジウム (1022103) ..... 103  
                                 新 田 尚 隆      筑波大学 電子・情報工学系 準研究員

## 〔招 聘〕

- ◆ 第 8 回国際ヒト脳機能マッピング (1023001) ..... 104  
                                 アンドレアス    イオアニデス  
                                                         第 8 回国際ヒト脳機能マッピング  
                                                         シンポジウム・オーガナイザー  
                                                         (理化学研究所 脳科学総合研究センター  
                                                         脳機能ダイナミクス研究チーム チームリーダー)
  
- ◆ 第 6 回自律分散型ロボットシステムに関する国際シンポジウム (1023002) ..... 104  
                                 長谷川        勉      第 6 回自律分散型ロボットシステムに関する  
                                                         国際シンポジウム 組織委員長  
                                                         (九州大学大学院 システム情報科学研究院 教授)
  
- ◆ 第 5 回チェコ・日本セミナー (1023003) ..... 105  
                                 和多田    淳 三      第 5 回チェコ・日本セミナー  
                                                         大会委員長および実行委員長  
                                                         (早稲田大学大学院 情報生産システム研究科 教授)
  
- ◆ 第 2 回日中最適化会議 (JSOM 2002) (1024001) ..... 105  
                                 福 島 雅 夫      第 2 回日中最適化会議  
                                                         組織委員長兼プログラム委員長  
                                                         (京都大学大学院 情報学研究科 教授)



〔派遣〕

|       |                                                                                                                                                |         |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| 派遣研究者 | 早稲田大学 スポーツ科学部 / 大学院人間科学研究科 助教授 川上 泰雄                                                                                                           | 1022001 |
| 研究集会名 | 第4回バイオメカニクス世界会議<br>(IV World Congress of Biomechanics)                                                                                         |         |
| 出張期間  | 平成14年8月1日～11日                                                                                                                                  |         |
| 開催場所  | カナダ・カルガリー市                                                                                                                                     |         |
| 発表論文  | 伸張性収縮の繰り返しによるヒト前脛骨筋の機械的特性の変化<br>(Changes in mechanical properties of human tibialis anterior muscle following repeated eccentric contractions) |         |

概要：

本会議は、世界バイオメカニクス協議会の主催で、4年に1回の頻度で開催され、バイオメカニクスに関連したすべての分野（解剖学、生理学、工学、整形外科学、リハビリテーション医学、スポーツ医学など）を包含する大規模な会議である。今回は北米を中心として世界各国から1574名の参加者が訪れた。当初、一般発表のカテゴリーにおいて研究発表を行う予定であったが、事務局よりシンポジウムの企画を依頼され、私を含む5名のセッションを企画した。テーマは、「生体における骨格筋動態」とし、動物や人間について骨格筋動態の生体観察を試みている研究者に声をかけ、カナダ、オーストラリア、フィンランド、アメリカと国際色豊かなセッションとなった。私は、司会と「伸張性収縮の繰り返しによるヒト前脛骨筋の機械的特性の変化」という演題で発表を行った。本会議は、今回の主催者の研究分野を反映してか、骨格筋に関する多数の発表があり、各国から研究者が訪れていたため、議論も白熱したものになった。他のセッションも、研究の着眼点や方法論など、数多くの示唆を得ることができ、連日朝8時から夕方6時までというタイトなスケジュールにも係わらず、楽しく参加することができた。また同会議に先だって、バンフ市で開催されたバンフ骨格筋シンポジウムにも参加し、研究発表を行った。質疑応答も研究内容に深くつっこんだものであり、今後の研究につながる充実したものであった。

|       |                                                                     |         |
|-------|---------------------------------------------------------------------|---------|
| 派遣研究者 | 東京大学 インテリジェントモデリングラボラトリー 研究員 川島 尊之                                  | 1022101 |
| 研究集会名 | 2003 国際耳鼻咽喉学会議<br>(ARO 2003 Midwinter Meeting)                      |         |
| 出張期間  | 平成15年2月21日～27日                                                      |         |
| 開催場所  | アメリカ・デイトナビーチ市                                                       |         |
| 発表論文  | 複数同時音源の定位モデルの検討<br>(Latelization models for multiple sound sources) |         |

概要：

本会議は、臨床医学に加え、心理学、生物工学、生理学など様々な背景を持つ2000名程度の発表者が参加する比較的規模の大きいものであり、1990年代半ばからは、基礎、応用の両面を含む音響科学の関係者が一堂に会する、当該分野の代表的な学会の一つとなっている。24日、私は音源定位に関する研究が集まったポスターセッションにおいて発表を行った。ある音の位置の聞こえが、他の音が存在することでどのように変化するかという点について、直接的に検討した他の報告は見られなかった。しかし定位を専門とする他の研究発表者と、実験結果の解釈とモデルについて有益なディスカッションを交わすことができた。特に、先行音効果と複数音源知覚との関係に関して、質問者から与えられた洞察と議論は有意義であった。さらに、多くの講演の中でも、26日に行われた聴覚における知覚学習に関するシンポジウムでは、聴覚系の可塑性に関する最新の実験データと理論に触れることができ、今後の研究方向に関して有益な示唆を得た。例えば、他の音の存在がある音の位置を変化させる現象は、聴覚系のごく短期的な可塑性を反映している可能性がある。その後、同じシンポジウムで報告された論文の著者らと夕食をとり、ポスドク研究者のポジションに関して情報交換などを行った。

|       |                                                                                                          |         |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| 派遣研究者 | 理化学研究所 脳科学総合研究センター 研究員 堺 浩之                                                                              | 1022102 |
| 研究集会名 | 2002 年度秋季視覚学会<br>(Fall Vision Meeting 2002)                                                              |         |
| 出張期間  | 平成 14 年 10 月 24 日～ 30 日                                                                                  |         |
| 開催場所  | アメリカ・サンフランシスコ市                                                                                           |         |
| 発表論文  | 眼球の屈折状態が輝度－瞳孔径関係に与える影響<br>(Influence of the eye refraction on the luminance-pupil diameter relationship) |         |

概要：  
私が参加した国際会議は、Optical Society of America（OSA）が主催する視覚および色彩科学に関する研究集会である。OSA の総会に比べれば小規模ではあるものの、対象分野を特定しているぶん専門性が高く、特に眼光学に関する研究者が多く参加するという特徴がある。会議では、眼光学系の屈折異常を補償するように瞳孔の対光反射特性が適応的に変化するという我々の研究成果を報告した。眼科学、心理物理学および生体工学など、幅広い分野の研究者たちと有意義な議論を交わすことができた。なかでも、眼光学系の結像性能に関する研究で著名なインディアナ大学の L. N. Thibos 教授には特に高い評価を受け、帰国後共同研究を行うことになった。また、関係する分野の研究発表を聞き、今後の研究を進めていく上で有益な情報が数多く得られた。特に眼屈折状態の計量である波面収差の表記法や評価法などを標準化しようという動きが強く感じられた。

会議終了後は、生体工学の先駆者のひとりであるカリフォルニア大学 Berkeley 校の L. Stark 教授を尋ねた。研究成果について議論したあとには、キャンパスや研究室を案内してもらえ、非常に印象深い思い出が得られた。

|       |                                                                                                         |         |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| 派遣研究者 | 筑波大学 電子・情報工学系 準研究員 新田 尚隆                                                                                | 1022103 |
| 研究集会名 | 2002 電気電子工学者学会国際超音波シンポジウム<br>(The IEEE International Ultrasonics, Ferroelectrics Symposium)             |         |
| 出張期間  | 平成 14 年 10 月 6 日～ 12 日                                                                                  |         |
| 開催場所  | ドイツ・ミュンヘン市                                                                                              |         |
| 発表論文  | 軟組織の粘弾性特性の定量的な評価と画像化<br>(Quantitative Assessment and Imaging of Viscoelastic Properties of soft Tissue) |         |

概要：  
本会議は、初日の 8 日、学会の専門的教育セッションに相当する Short course が専門別に 9 コースで開催され、残りの 3 日間は、5 つの会場に分かれた口頭発表とポスター発表がそれぞれ独立して行われた。3 日間の演題数は 532。年々増加している医用超音波関連の演題数は全体の約 3 割を占め、内、私の演題が属する「組織弾性（硬さ）計測」関連のセッションは新たに創設されたこともあって最も演題数が多く、世界的な関心の高さが伺えた。

私自身は、上記の論文を発表した。英語にて行われた本発表では、新たに考案した超音波による組織の粘弾性特性の定量的映像化法を乳房腫瘍に適用した臨床例を提示し、本手法により腫瘍を的確に検出できることを示した。質疑では、3 つの質問があったが、すべての的確に回答することができた。またセッション終了後に質問にくる人もおり、持参した 10 部の preprint を希望者にすべて配布した。さらに後日 E メールでの問い合わせもあり、本発表の反響が大きかったものと理解された。実際、本学会で組織の粘弾性評価による診断を目的とした演題は本発表だけであり、今回の出張によりこのテーマにおける優位性をアピールできた。

また、他分野の先端技術に関する情報を多く得ることができた。特に、米の研究グループが行った招待講演で、心臓の動きを三次元的に実時間で画像化を行っていることは印象的であった。



〔招 聘〕

|         |                                                                                                         |         |
|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| 招 聘 者   | 第 8 回国際ヒト脳機能マッピング シンポジウム・オーガナイザー<br>アンドレアス イオアニデス（理化学研究所 脳科学総合研究センター<br>脳機能ダイナミクス研究チーム チームリーダー）         | 1023001 |
| 会 議 名   | 第 8 回国際ヒト脳機能マッピング<br>8 <sup>th</sup> International Conference on Functional Mapping of the Human Brain) |         |
| 出張期間    | 平成 14 年 5 月 29 日～6 月 6 日                                                                                |         |
| 開催場所    | 宮城県仙台市（仙台東急ホテル）                                                                                         |         |
| 被 招 聘 者 | カリフォルニア大学大学院 ウォルター・ジャクソン・フリーマン教授                                                                        |         |

概 要：

本会議は、脳の画像化技術、この技術を駆使した脳の基礎研究、神経外科・脳病理学・精神医学といった臨床への応用を研究している専門家が集まる、毎年恒例の会議である。今年は 6 月 2 日から 6 日まで、初めて日本で開催され、世界中から 1400 余名の専門家が集った。発表が優れていたのも、これまでで最高の会議であったといえる。方法論の分野のみならず、認知神経科学研究や臨床応用の分野でも、例年に比べて多くの画期的な報告がなされた。世界規模の会議であることもあり、分野を超えた国際的なコラボレーションを育む場となった。私が主催したダイナミックな脳活動を理解することを趣旨としたシンポジウムは、講演者 3 名が発表を行った。被招聘者のカリフォルニア大学大学院ウォルター・ジャクソン・フリーマン教授は、「電磁気ポテンシャル上に認められるローカルミーンフィールドのニューロダイナミクスを用いた行動下大脳血流の空間パターンの理解」という、シンポジウムの中核となる講演を行った。講演の中で教授は、生物では一般的であり、特に人間では顕著である、反応時間が不定な反応を含めて、計測内容の全情報を処理することの必要性などを強調した。参加者の関心は高く、著名な研究者の発表に対して、活発な質疑応答が行われた。シンポジウム後にも多くの研究者が意見を交換したので、今後の共同研究につながっていくだろう。日本と海外の研究機関の有益な交流を促進することができた。

|         |                                                                                                       |         |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| 招 聘 者   | 第 6 回自律分散型ロボットシステムに関する国際シンポジウム 組織委員長<br>長谷川 勉（九州大学大学院 システム情報科学研究院 教授）                                 | 1023002 |
| 会 議 名   | 第 6 回自律分散型ロボットシステムに関する国際シンポジウム<br>(International Symposium on Distributed Autonomous Robotic Systems) |         |
| 出張期間    | 平成 14 年 6 月 23 日～30 日                                                                                 |         |
| 開催場所    | 福岡県福岡市（福岡 AI ビル）                                                                                      |         |
| 被 招 聘 者 | スイス チューリッヒ大学 ロルフ・ファイファー教授                                                                             |         |

概 要：

今シンポジウムのキーノート・スピーカーとして招聘したロルフ・ファイファー教授は、認知科学、人工知能、ロボティクス、人工生命などの学際的研究を進めておられ、特にロボットの知能に関しては、知覚と行動の結びつきに関する先端的研究で著名である。本会議で同教授は「認知の発現における形態、材料および制御の関連について：発達ロボット学と人工的形態形成」を講演された。参加者数 89 名、うち海外からは 8 カ国 25 名が参加し、講演論文数 46 件、招待講演 2 件が発表された。また、今回、同時期にロボットサッカーの世界大会 Robocup が開催された。そこで 6 月 25 日午後、Robocup 国際シンポジウムと共催して同一会場ですれぞれ招待講演を行い、双方の参加者が聴講できるよう計画した。Robocup 側の招待講演は、米国オークリッジ国立研究所およびテネシー大学のリン・パーカー教授。両教授の講演に対し、参加者約 200 名の聴衆から種々の質問がなされ、きわめて活発で有意義な討論となった。この企画は、広範な研究者に意見講演の場を提供し、引き続いて行われた合同懇親会でも活発な交流を可能にし、非常に効果的であった。ファイファー教授は、26 日、27 日の今シンポジウムの一般講演に参加し、研究討論を行った。また 28 日には、理化学研究所を訪問し見学と講演を行うとともに、今後のシンポジウムのテーマなどについても有益な助言を行った。本招聘は、研究分野の推進に役立つことができた。

|         |                                                                 |         |
|---------|-----------------------------------------------------------------|---------|
| 招 聘 者   | 第5回チェコ・日本セミナー 大会委員長および実行委員長 和多田 淳三<br>(早稲田大学大学院 情報生産システム研究科 教授) | 1023003 |
| 会 議 名   | 第5回チェコ・日本セミナー<br>(The 5th Czech-Japan Seminar 2002)             |         |
| 出張期間    | 平成14年9月13日～20日                                                  |         |
| 開催場所    | 和歌山県伊都郡(高野山大学・高野山金剛身峰寺)                                         |         |
| 被 招 聘 者 | チェコ プラハ経済大学 ラディム・エローチェック教授                                      |         |

## 概 要：

この国際ワークショップは、主としてチェコ共和国と日本との研究者が集い、計画数学、データ解析学、ファジィ理論、確立論に関して参加者がここ1年間に行った研究の成果を公表し、分野の境界を超えて相互の意見の交換を行うことにより共通の課題や問題点を議論し、関連する分野の今後の発展に寄与することを目的に'98年から毎年開催している。特に参加者数を両国の第一線の研究者に限定することで、親密で内容の豊かな議論を行うことを可能にすることを目指している。今回もそういった観点から参加者を35名と制限し、「不確実状況下におけるデータ解析と意思決定に関するセミナー」を開催した。被招聘者のラディム・エローチェック教授は、「On Compositional Procedure for Probabilistic Compositional Models」と題して特別講演を行った。内容は、確率モデルであるベイジアンモデルを拡張し、そのモデルの合成方法を説明するものであった。これは、証拠理論などを含む非常に汎用性のある方法で、参加者から多くの質問が出され、熱心な討議がなされた。本ワークショップにより、計画数学、データ解析学、ファジィ理論、確率論などの境界分野に関する共通の課題が見出されるとともに、2国間の共同研究が活発化し、新たな方向が与えられ、双方からの理論展開や理論の応用が期待できる。また、開催場所を高野山にし、全員が同じ宿坊で食事をとることで、親密で意義深い議論が可能となる場を提供することができた。

|         |                                                        |         |
|---------|--------------------------------------------------------|---------|
| 招 聘 者   | 第2回日中最適化会議 組織委員長兼プログラム委員長 福島 雅夫<br>(京都大学大学院 情報学研究科 教授) | 1024001 |
| 会 議 名   | 第2回日中最適化会議 (JSOM 2002)                                 |         |
| 出張期間    | 平成14年9月24日～10月1日                                       |         |
| 開催場所    | 京都府京都市(リーガロイヤルホテル京都)                                   |         |
| 被 招 聘 者 | 中華人民共和国 湖南大学 李董輝教授                                     |         |

## 概 要：

本会議は、2000年10月に香港において開催された第1回日中最適化会議の後を受け、日本・中国および東アジア地域における最適化分野の研究者の密接な情報交換と研究のより一層の充実を図ることを目的として開催されたものである。第1回会議では、日本からの参加者30名を含む105名の出席者のもと、約100件の研究発表が行われた。今回は、研究発表は101件と前回とほぼ同じであったが、出席者数は130名(うち海外の出席者30名)と前回は大きく上回った。会議の期間を通して、最適化の理論や応用の様々な問題に対して興味深い研究発表と活発な意見交換が行われ、この分野における東アジア地域の研究者が交流を図る会議として大きな収穫をえた。

被招聘者である李董輝教授は、本会議において「Deflation Technique in Global Optimization」と題する講演を行った。内容は、一般の多峰性関数の大域的最適化という非常に難しい問題に対して deflation technique という新しい手法に基づくアルゴリズムを提案し、その理論的正当性を明らかにしたものであり、その成果は多くの聴衆の関心を集めた。

また、李教授は会議終了後も3日間京都に滞在し、京都大学を訪問して学術交流を行うなど、精力的に日程をこなした。末筆ながら、李教授の招聘を可能にいただいた貴財団のご援助に厚く御礼申し上げます。



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

平成 14 年度活動報告

(1) 主要業務日程

|       |        |                                                                                                                            |
|-------|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 平成14年 | 4月1日   | 平成 14 年度後期国際交流助成候補の追加募集開始                                                                                                  |
|       | 5月16日  | 第 13 回（平成 14 年度）助成金贈呈式及び懇親交流会開催                                                                                            |
|       | 6月19日  | 第 28 回理事会，第 28 回評議員会開催 <ul style="list-style-type: none"><li>・平成 13 年度事業報告及び決算報告の承認</li><li>・平成 15 年度助成課題募集方法の承認</li></ul> |
|       | 6月28日  | オムロン(株)より運用財産 19,000,000 円の寄付金受領                                                                                           |
|       | 6月30日  | 平成 14 年度後期国際交流助成課題の申請締切（9 件受付）                                                                                             |
|       | 8月1日   | 平成 15 年度助成課題募集のための公募案内発送<br>財団ホームページでの募集案内開始                                                                               |
|       | 8月6日   | 平成 14 年度夏季選考委員会開催 <ul style="list-style-type: none"><li>・平成 14 年度後期国際交流助成課題候補の選考</li></ul>                                 |
|       | 9月1日   | 平成 15 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 11 号）発行                                                                                                          |
|       | 10月1日  | 平成 15 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 15 年度研究助成課題の申請締切（115 件受付）                                                                                               |
|       | 12月31日 | 平成 15 年度前期国際交流助成の申請締切（16 件受付）                                                                                              |
| 平成15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24日  | 第 15 回選考委員会開催 <ul style="list-style-type: none"><li>・平成 15 年度研究助成課題候補の選考</li><li>・平成 15 年度前期国際交流助成課題候補の選考</li></ul>        |
|       | 3月19日  | 第 29 回理事会，第 29 回評議員会開催 <ul style="list-style-type: none"><li>・平成 15 年度事業計画及び収支予算案の承認</li><li>・平成 15 年度助成課題の承認</li></ul>    |

(2) 会計報告

| 収 支 計 算 書                              |         | 貸 借 対 照 表          |                 |
|----------------------------------------|---------|--------------------|-----------------|
| (自 平成 14 年 4 月 1 日 至 平成 15 年 3 月 31 日) |         | (平成 15 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                               | 44,376  | 流動資産               | 現金 163          |
| 寄附金収入                                  | 19,000  |                    | 普通預金 14,171     |
| 雑収入                                    | 6       |                    | 有価証券 0          |
| 前期繰越額                                  | 68,237  |                    | 助成事業引当預金 48,000 |
| 合 計                                    | 131,619 | 固定資産（基本財産）         | 有価証券 1,231,250  |
| 支出の部                                   |         |                    | その他固定資産 150     |
| 事業費                                    | 54,634  | 資産合計               | 1,293,734       |
| 管理費                                    | 14,651  | 負債の部               | 負債合計 0          |
| 助成事業引当金支出                              | 48,000  | 正味財産の部             | 正味財産 1,293,734  |
| 合 計                                    | 117,285 | 負債および正味財産合計        | 1,293,734       |
| 次期繰越額                                  | 14,334  |                    |                 |



## 平成 15 年度助成報告

本年は、第 14 回目の助成となる平成 15 年度助成課題に対し、平成 15 年 5 月 19 日、第 14 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 | 4,211 万円 |
| 国際交流助成（前期） | 4 件  | 121 万円   |
| 合 計        | 24 件 | 4,332 万円 |

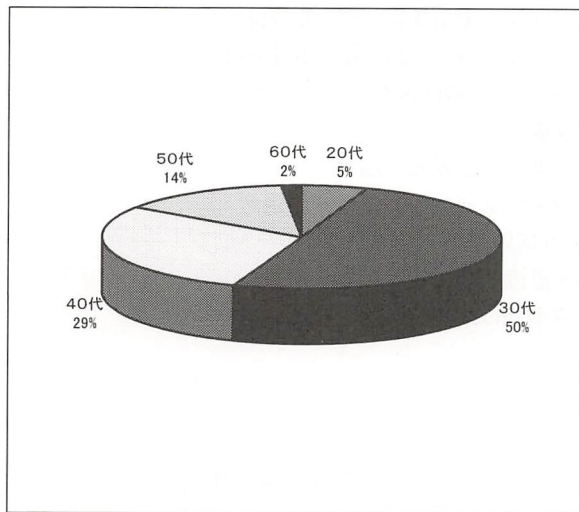
なお、後期国際交流助成は平成 15 年 10 月に実施する。

この結果、財団設立以来の助成事業は、研究助成 281 件、交際交流助成 126 件、助成総額約 7 億 1,503 万円となった。

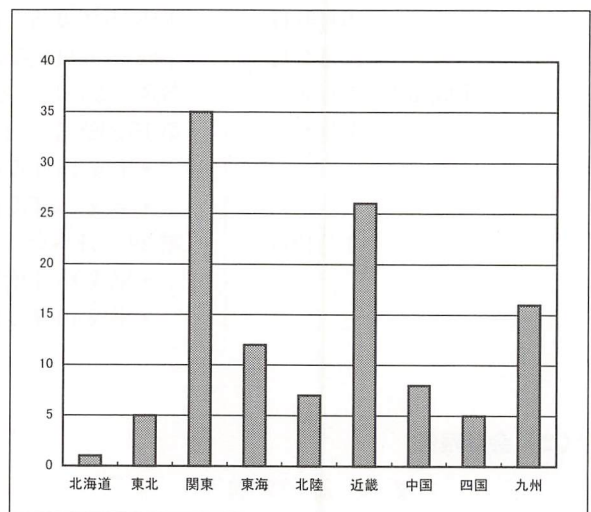
### ● 平成 15 年度助成の応募状況

#### （１） 研究助成

##### ① 年令別

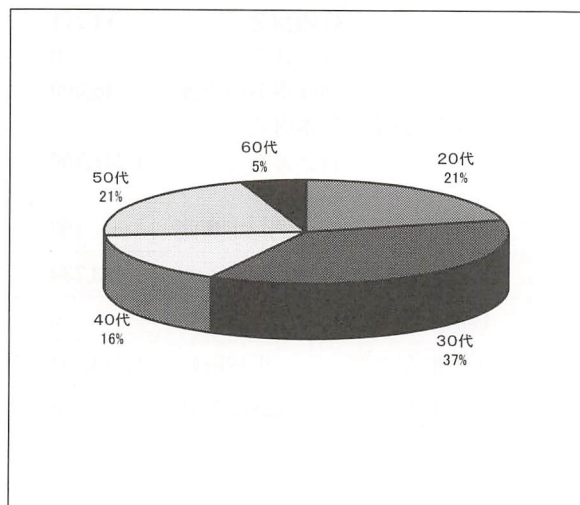


##### ② 地域別

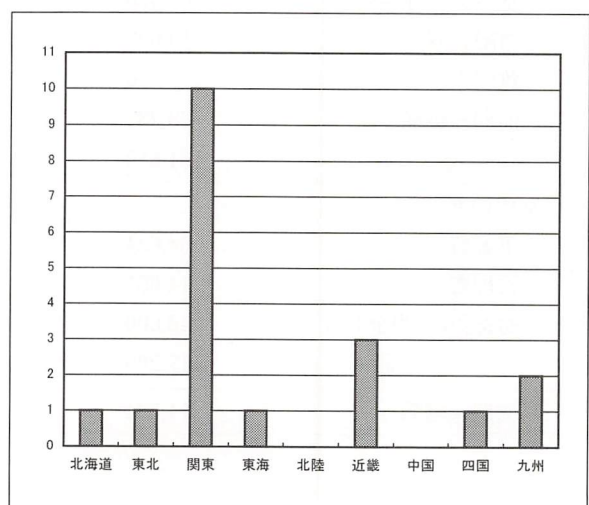


#### （２） 国際交流助成

##### ① 年令別



##### ② 地域別



## 第14回助成金贈呈式

日 時：平成15年5月19日（月）  
場 所：京都宝が池プリンスホテル

第14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、京都府商工部参事 家次昭様はじめ、平成15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。

※ 課題発表 OHP は、116 ～ 117 頁に掲載



助成課題発表



受領者投稿

## 役に立つロボット研究を目指して

早稲田大学理工学部機械工学科 教授 菅 野 重 樹  
(第9回受領者)

ロボット研究は年々盛んになり、いくつかの企業が新しいロボットの製品化やヒューマノイドロボットの試作を始めている。レスキューや地雷除去など、社会貢献が期待されるロボット開発も政府支援によりスタートした。毎年開催される日本ロボット学会の学術講演会では、研究の発表件数が増え続け、研究者の人口も増えている。しかし残念ながら、新しく製品化されているロボットはほとんどがエンタテインメント指向であり、そのままでは大きなマーケットには成り得ない。学会の講演会も、ほとんどが大学からの基礎研究発表であり、実用化と関連する報告は少なく、企業からの発表も減少してきているのが実態である。

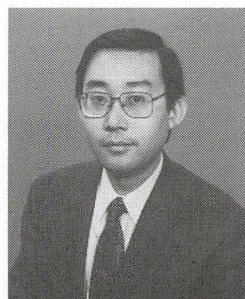
これから大きなマーケットになると予測されているロボットは、超高齢化社会に入った我々の社会や新しいライフスタイルを支援するロボットである。この役に立つロボット実現のためには、より実際的な開発研究が求められており、産学官の新たな連携による開発も望まれている。

ところで、今年は鉄腕アトム誕生年であり、ロボットのイベントが多数開催され、多くの親子連れで賑わっている。大学でも、学生に研究希望分野の調査をすると、ロボット研究はいつも上位にランクされる。やはり人間に似た機械であるロボットへの夢・憧れは強いものがある。この夢を大切にしつつも、現実に関に立ち、新しいマーケットを切り拓けるロボット開発に力を注ぐことを、我々はもっと意識すべきであろう。

私が大学の専任教員となったのは平成2年である。当時はとにかく役に立つロボットの開発

研究を目指し、生活支援でも産業用でもこれからは人間共存の技術が必須であると考え、人間とロボットとの協調をテーマに設定した。しかし夢も追いたいという気持ちも強かった。始めの数年間はかなり試行錯誤であったが、結果として研究室のテーマを、できるだけ早期に実用化できる生活支援用人間共存ロボットの開発研究、かなり未来志向で人間の心（知情意）と同等のロボットの心を実現する試行的研究、これらを応用した産業用の人間支援システムの開発、の3つの方向性に定めることができた。夢も追いかけるが実用化も強く意識するという贅沢？なテーマ設定である。このうちの産業応用のテーマに関連して、平成10年度に「人間共存ロボットにおける視覚を用いた協調作業者の意図理解」で助成金を頂いた。この助成金により、ラックの組立作業をしている人間をロボットが見ていて、手助けが必要だと判断すると手を差し伸べて、必要な部材を取ったり、支えてくれたりする機能が完成できた。この研究はその後、生活支援ロボット研究と合体し、さまざまな場面で人間を支援できるロボットの実現へと発展しつつある。

ぜひ、ロボット分野への研究助成では、基礎研究だけでなく、実際への応用という役に立つロボット技術の開発研究テーマを重視して頂きたいと、強くお願いしたい。



## 受領者投稿

## 有機薄膜のガス・においセンサへの応用

慶應義塾大学理工学部物理情報工学科 助教授 白鳥世明

(第7回受領者)

近年、生活環境の悪化と共に大気中の悪臭が問題とされている。例えば、空港、駅、列車、オフィスなどの公共の場において、禁煙地域の増加や徹底した分煙化が急ピッチで進められている。また、人と地球に優しい環境を維持し、クリーンな生活環境を構築することが求められている。

クリーンな生活環境を維持するためには、環境をモニタリングし、適切に定量することが必要不可欠である。さらに、連続自動測定ができる化学センサが求められている。

小形で安価なセンサがあれば、煙・ガスなどをセンシングし、そのセンサ出力を空気清浄機にフィードバックすることにより、より快適かつ省エネタイプの空気清浄システムを構築することが可能である。現在ガスセンサにおいてその多くは、数百度での高温動作が必要である。

一方、水晶振動子式ガスセンサは常温での動作を基本とし、作製が簡単で安価なセンサシステムを容易に構築できるため、広範囲な応用が期待されている。しかし、現状では経験的なキャスト法が主体であり、かならずしも再現性に優れた感応膜の作製方法が確立されていないため、優れた有機センサ材料が求められている。

筆者らは、悪臭の原因となるガス分子に、タバコの煙をセンシングするための水晶振動子ガスセンサの感応膜を交互吸着法により作製し、従来のキャスト方法より高感度なセンサを報告した。ガス流量の違いはQCMの周波数に影響が出るため希釈ガスの濃度を一定とし、恒温層

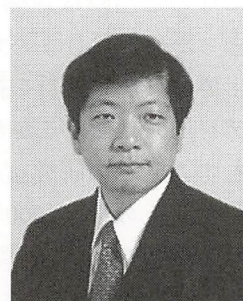
の温度を変化させることによりガス濃度を変化させた。

直方体のセンサセルに濃度1～30 ppmのアンモニアガスを流速1.5 L/minで流し、QCMの共振周波数の変化を測定した。感応膜による応答の差を調べ、高分子酸は高分子塩基であるPAHよりもアンモニアを吸着する能力が高いことがわかった。このようにして、センサ感応膜の組成を決定した。

このように感応膜の最適化により、アンモニアなどの特定ガスに対する選択性を高めたり、タバコや様々な有害ガスに対する選択性を高めるセンサ感応膜設計が可能である。

電解質ポリマー交互積層膜を水晶振動子基板上に累積することにより、アンモニアガスなど特定のガスに対して高選択性を示すセンサが設計できる。また、センサ感応膜は常温、常圧で容易に累積でき、構造の最適化も可能であるため、安価で再現性、応答性に優れたセンサが期待できる。感応膜材料及び構造の最適化により、ガスセンサのみならず液体系の化学センサへも応用可能であろう。

この度いただきました助成金がハンディタイプのアンモニアガスセンサ作製までの足掛かりとなりました。  
(財)立石科学技術振興財団ご関係者の方々に深く感謝申し上げます。



〈事務局より〉 白鳥先生は、ナノスケールの交互吸着膜による臭いセンサを臭い吸着シートに応用されて、環境にやさしい材料を用いた野菜の鮮度を保つ鮮度保持シート「やさシートの開発」で平成15年度産学官連携功労者表彰 文部科学大臣賞を受賞されておられます。



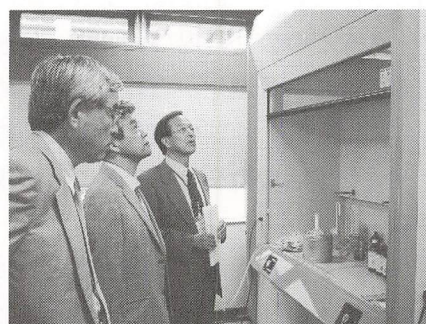
## 研究室訪問

九州工業大学大学院 生命体工学研究科 金藤 敬一 教授 訪問記  
(第7回受領者)

8月の始め、川路 茂保選考委員（熊本大学大学院 教授）に同行いただいて当財団の中塚常務理事と共に、金藤研究室を訪問いたしました。先生からは導電性高分子のお話の中に有機材料の名前が次々に出て来まして久しぶりに化学の授業を思い出しながら、ソフトアクチュエータなど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、ソフトアクチュエータとプラスチックエレクトロニクスの2つの大きなテーマを研究しています。いずれも材料は導電性高分子です。この導電性高分子は、白川英樹先生がノーベル化学賞を受賞されたことによつてご存知の方も多いと思いますが、当研究室ではいろいろな新しい電子デバイスの材料の可能性を研究しています。



右奥より、金藤教授、川路選考委員、中塚常務理事

「プラスチックアクチュエータに関する研究」で貴財団から助成を受け、当時の研究に弾みがつき大変助かりました。その成果もあって導電性高分子の可能性を高める研究を進めて来ましたが、現在はメーカーとも共同研究も行っている段階にあります。人工筋肉とかソフトアクチュエータの研究は学生にも人気があり、助手、ポスドク、学生6名が研究を継続しています。他には、導電性高分子を使ったバイオセンサの研究も実施しています。

このアクチュエータ関係は、国際会議での招待講演の依頼も多くありますし、また世界的にも良いものを手がけているということでよく引用もされています。ただ、研究の段階としてはプロトタイプができていて面白いのですが、事業として成長するにはもう一息の感があります。人工筋肉なども人間の筋肉というイメージよりもロボットに組み込んだ利用の方が良いように考えています。

○ 導電性高分子のご研究に長年にわたって培われ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。

20年ほど前の阪大に在席していた頃に、ペンシルベニア大学の MacDiarmid 先生の研究室に1年あまりお世話になりました。ちょうど白川先生が帰国されて2年ほど経った頃です。そこでは、白川先生が作られたポリアセチレン薄膜を使った電池に取組みました。ポリマのような材料が電池になると当時は話題になったところです。この時の体験が導電性高分子の研究を永く続けて行くきっかけとなりました。というのは、新しい電子デバイスの材料として、有機質の導電性高分子は半導体に無い性質を持っていて、シリコンで実現できない部分でどのような機能が有りどのようなデバイスに使えるかなど具体的な用途面や応用面の研究に興味がありました。当時、Heeger 先生もすぐ近くの研究室におられて、MacDiarmid 先生と私と3人で同じ研究テーマに取組んでいました。その後、2000年に、白川先生と両先生がノーベル化学賞を受賞されましたのもうれしいニュースでしたし、導電性高分子がノーベル賞に値する材料であることに意を強くもしています。

○ 導電性高分子はノーベル化学賞で有名になったということですが、どのような特長があるのでしょうか。

導電性高分子は、有機材料でありながら、無機材料の半導体の性質も併せ持っていて、一方では電気を通す材料にもなり得ることからいろいろな用途の可能性あります。例えば、曲げられるフレキシブルなプラスチックであること、製作するのにコストを抑えられる可能性があることが大き



な特長ですし、原理的には分子材料なので後工程でドーピング、脱ドーピングなどの酸化・還元反応を行うことができる点がユニークで、これらの性質を積極的に使うことを考えています。電池の次に、色スイッチを研究しました。これは電気化学の方法になりますが、電圧をプラスからマイナスまで変化させると酸化還元反応で色が赤から青に連続的に変えられます。

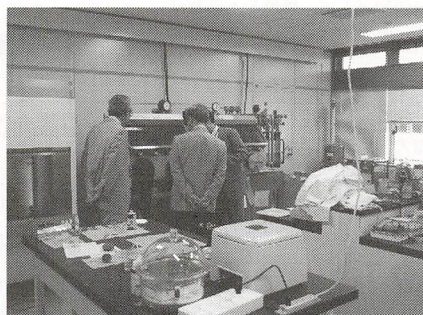
もう一つは、半導体としての性質を使います。例えば、導電性高分子の $\pi$ 電子が励起する光吸収スペクトルのエネルギー帯が普通の半導体と同じ2 eVくらいにあるので、光電効果を利用してオプトエレクトロニクス材料として使えます。また、半導体ですからポリマフィルムの上にコーティングしたり電極をつければ、フレキシブルな特長を持つ太陽電池やダイオード、トランジスタ(FET)が製作できます。この方面の研究も最近では世界的に活発になってきており端的には有機ELの研究発表が活発です。電流を流すと光る性質を使って無機材料で行っているようなデバイスの機能を有機材料でも実現して大面積でフレキシブルな表示パネルの実用化が期待できます。

○ お話を伺っていると、導電性高分子のご研究も応用面、実用面を視野にいられて取組まれておられるように思いますが、どのような利用が期待されているのでしょうか。

アクチュエータは共同研究しているメーカで事業開発しています。一つはイオン伝導性高分子です。ナフィオン関係の材料を使った装飾品の筋魚(金魚)は面白い動作をします。もう一つの柱は、導電性高分子アクチュエータです。“ねじり”のような複雑な動作も容易に実現でき、腕くらいの大きさで人の筋肉の100倍程度の収縮力を発揮します。“筋肉”としては、伸縮率、収縮力、応答速度の3つの要素から観ると動作速度が1秒くらいかかっているなど収縮率(ストローク)と応答速度が今一步です。人工筋肉は、日本だけでなく米国、韓国、スウェーデンなどでも手がけられており、これからいろいろな場面で使われて行くと思います。アクチュエータ関係の他の材料としてハイドロゲル、エラストマーのような誘電体、形状記憶合金などもあり、それぞれに研究は進んでいくと思いますので、これからが楽しみな分野です。

先ほど電池と大面積での表示装置としての色スイッチはお話しましたが、電池はすでに充電可能なボタン電池として実用化されました。その他にも、導電性高分子にはセンサとしての使い方があります。センサの研究はこれからの分野ですが、感度が高いことを生かして福祉ロボット用のセンサなど研究を続けていきます。導電性高分子材料の実用化が最近進んでいるのは、ポリマを使ったコンデンサです。体積比の電気容量が大きくとれることから携帯電話の普及に大きく貢献しています。将来は、自動車用のキャパシタとしても有望です。

導電性高分子は一般に寿命の点を言われますが原因は精製の純度の問題だと考えています。反面でプラスチックチップのカードやバーコードなどで寿命をそれほど議論しないでもよい使い方があれば面白いと思っています。10年、20年前には研究の成果が出ていなかったものも、新しいきっかけで急速に立ち上がる事例が多くあるように、導電性高分子も今はちょうどそういう時期にあると思っています。MacDiarmid先生がノーベル賞受賞講演で「21世紀はプラスチックの時代」と言われていますように、導電性高分子関係の研究はこれからも息長く続けていきます。



北九州学術研究都市内の新しい建屋に昨年12月に移られた金藤研究室を訪問いたしました。先生のお話を伺って、当財団が助成した導電性高分子関係の技術は、白川先生のノーベル化学賞とも根元は一つでつながっていることに感銘を受けうれしく思いました。陶芸にも優れた技術をお持ちの先生からお土産にいただいた陶器を手にしなが、これからの導電性高分子関係の発展を期待する帰りの車中でした。

レポーター：事務局長 加藤 裕



第 14 回（平成 15 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                               |
|---------------------------------------|-----------------------------------------|
| 天 尾 豊<br>大分大学 工学部 応用化学科・助教授           | 呼吸モニター用蛍光式炭酸ガスセンサーの開発                   |
| 江 口 啓<br>熊本電波工業高等専門学校 情報工学科 助教授       | 言語障害者のための会話補助システムの開発                    |
| 岡 田 英 史<br>慶應義塾大学 理工学部 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        |
| 奥 乃 博<br>京都大学大学院 情報学研究科 知能情報学専攻・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研究          |
| 郭 書 祥<br>香川大学 工学部 知能機械システム工学科・助教授     | 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           |
| 片 平 和 俊<br>理化学研究所 中央研究所 素形材工学研究室・研究員  | 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          |
| 式 田 光 宏<br>名古屋大学 難処理人工物研究センター・講師      | 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          |
| 庄 司 英 一<br>福井大学 工学部 知能システム工学科 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         |
| 染 谷 隆 夫<br>東京大学 先端科学技術研究センター 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             |
| 田 中 利 恵<br>金沢大学 医学部 保健学科 放射線診療学講座・助手  | 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        |
| 玉 置 久<br>神戸大学 工学部 情報知能工学科 助教授         | 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  |
| 妻 木 勇 一<br>弘前大学 理工学部 知能機械システム工学科・助教授  | 可動範囲に限界が無い球状ハプティックインタフェースの開発            |
| 長 山 格<br>琉球大学 工学部 情報工学科・助教授           | 超高速高精度競合学習ニューラルネットワークによる画像データマイニング技術の研究 |
| 滑 川 徹<br>長岡技術科学大学 機械系・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             |
| 西 山 清<br>岩手大学 工学部・助教授                 | H $\infty$ 学習理論の確立と柔らかな学習システムの開発        |
| 野 方 誠<br>立命館大学 理工学部 ロボティクス学科 助教授      | 看護介護支援を念頭においた人共存ロボット用高機能デバイスの開発         |
| 比 嘉 充<br>山口大学 工学部 応用化学工学科 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  |
| 三 浦 麻 子<br>大阪大学大学院 人間科学研究科・助手         | 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 |
| 矢 入 健 久<br>東京大学大学院 工学系研究科 航空宇宙工学専攻・講師 | 人間とロボットの協調的環境空間モデル構築に関する研究              |
| 山野辺 貴 信<br>北海道大学大学院 医学研究科 統合生理学講座・助手  | 生物における低エネルギー高信頼性情報符号化メカニズムの解明           |

第 14 回（平成 15 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                              |
|-----------------------------------------------|-------------------------------------------|
| 北 村 喜 文<br>大阪大学大学院 情報科学研究科<br>マルチメディア工学専攻・助教授 | 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<br>主催：ACM |
| 黄 獻 鋒<br>東京大学大学院 医学系研究科<br>医用生体工学講座・客員研究員     | 第 40 回 IEEE 国際応用磁気会議<br>主催：IEEE 磁気国際委員会   |
| 小 橋 昌 司<br>姫路工業大学大学院 工学研究科・助手                 | ヒト脳機能マッピング国際会議<br>主催：ヒト脳機能マッピング学会         |
| 不動寺 浩<br>物質・材料研究機構 材料研究所・研究員                  | 2003 春期 MRS 会議<br>主催：米国材料学会主催             |

第 13 回（平成 14 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                                                 |
|--------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| 川 島 尊 之<br>東京大学<br>インテリジェントモデリングラボラトリー・研究員 | 2003 国際耳鼻咽喉学会議<br>主催：耳鼻咽喉学研究連合                               |
| 堺 浩 之<br>理化学研究所 脳科学総合研究センター<br>研究員         | 2002 年度秋季視覚学会（Fall Vision Meeting 2002）<br>主催：アメリカ光学会        |
| 新 田 尚 隆<br>筑波大学 電子・情報工学系・準研究員              | 2002 電気電子工学者学会（IEEE）国際超音波シンポジウム<br>主催：IEEE 超音波・強誘電体及び周波数制御学会 |



## 掲載順は、助成課題一覧〔研究助成〕の掲載順

[illegible]

# 平成 15 年度研究助成課題の紹介

**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(1年間)**  
 福井大学 工学部 知能システム工学科  
 助教授 庄司 英一

人が感じにくい空気の汚れ... 例え

無香料の殺虫剤や防虫剤  
 燃焼装置からの排ガス  
 建材、家具、接着剤や合成樹脂  
 アレルギーや発がん性疑いのある物質  
 (ホルムアルデヒド、芳香族化合物、窒素化合物)  
 導電性化合物、  
 polyanilines

ニオイ分子

ニオイアレイセンサー

マッピング

知能処理

物質の認識

導電率、化学電位変化

データロガー

機械・装置の制御

ヘルンスト式、導電率、高感度に電気化学的に検出する方法

人間と機械の調和、ロボティクスのための新しいインターフェース:ニオイ探索

導電性高分子を利用したニオイセンサーの開発とロボティクスへの応用

深刻な問題

世界的に報告・開発例極めて少ない。  
 (例) 爆発臭、地雷探査ロボット...

**情報活社会に整合するプラスチック高集積回路の試作研究(1年間)**  
 東京大学・先端科学技術研究センター  
 助教授 染谷 隆夫

新技術

プラスチックシートを貼り合わせるだけで、高性能な有機トランジスタの作製に成功(特許出願中)。

新プロセスでプラスチック回路を実現

貼り合せ法に改良を加え、プラスチック高集積回路に最適な新プロセスを開発する。

プラスチック回路の設計手法を開拓

低コストを生かすつつ、高度な機能を実現する回路設計スキームを確立する。

期待される成果

① 高性能なプラスチック高集積回路を低コストに作製できる。  
 ② シール・トナー・リールのプロセスに展開して容易に工業化できる。  
 ③ シートコンピュータなどへの道を拓き、人間本位の情報活用社会に対応できる。

**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(研究期間1年)**  
 金沢大学医学部保健学科 放射線技術科学専攻  
 助手 田中利恵

【研究の背景】  
 呼吸器疾患の罹患率が世界的に上昇  
 人体内部の画像化技術が重要  
 X線動画像の取得が可能な  
 半導体X線検出器に注目  
 形態情報に動態情報を付加するアプローチでスクリーニング検査で得られる診断情報を増加を検討

【システムの開発】  
 撮影システム・呼吸動撮影法  
 【呼吸性動態定量解析法の開発】  
 呼吸動撮影装置・検出器の呼吸性移動ベクトル  
 肺野内局所的X線透過率の変化量  
 【コンピュータ支援診断システムの開発】  
 定量化した呼吸性動態情報を最大吸気時画像とともに医師に提示する。この際、システムはデータベースを参照して異常の有無をも示唆する。医師は必要に応じて動画像を参照して診断を下す  
 新規検査およびコストは従来の胸部単純X線撮影の1.5倍に相当し、簡便かつ低コストに動態情報の取得が可能となる。

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

Dynamic chest radiograph obtained by a Dynamic DR

Quantitative respiratory state

For example: Diaphragm, Pulmonary markings, Clinical density, Heart wall

What's? ...

不要な精密検査数を減少するため医療費削減につながる

http://www.samadaiab.com

**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(1年間)**  
 神戸大学工学部情報知能工学科  
 助教授 玉置 久

問題解決の過程において、考慮すべき影響や人間の嗜好などを対話的・適応的に引き出すためのインタラクションを内蔵化した創発的問題解決アプローチを展開し、人間と計算機(モデル・解法)の共通・共通化による問題解決の方法論を構築

① 双方向インタラクションを実現する情報場(人間の内的情報と計算機に蓄積・保持される情報)を設計・実現  
 ② 情報場におけるインタラクションを通して、有望な代替案を探索するとともに人間の望む状況をモデル設定できる創発的計算アプローチの再構築

対象システム

認識・抽出・モデリング・表現

人間

インタラクティブ情報場

モデル・解法

計算機

システム情報・知能情報ベースの  
 双方向インタラクション(相互作用)

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

**可動範囲に境界が無い球状ハプティックインタフェースの開発(2年間)**  
 弘前大学・理工学部・知能機械システム工学科  
 助教授 菱本 勇一

研究の背景

これまで小型自由度ハプティックインタフェースを開発してきた。図1参照。  
 しかし可動範囲が不十分

研究の目的

球面を利用した球状ハプティックインタフェースの開発 図2参照

特徴

- 可動範囲に制限がない。
- 3軸周りの回転を提示。
- 握むだけでなく、転がすなど新しい感覚を提示可能。
- 空室部と組み合わせることでより高度な感覚を提示可能。図3参照。

本研究により、機械システムに対する新しいヒューマンインタフェースを開発し人と機械の調和を促進する。

図1

図2

図3

**超高速高精度競合学習ニューラルネットワークによる画像データマイニング技術の研究(2年間)**  
 琉球大学工学部情報工学科 助教授 長山 格

【データマイニング】  
 従来:テキスト・数値データ + 統計的解析 → データ処理と集約  
 本研究:数千枚の画像データ群 + マイニング技術→規則性・知識・法則の発見

【競合学習ニューラルネットワーク】  
 ・高速かつ高精度な追加学習  
 ・膨大な画像特徴を分類・予測

・画像特徴解析と相関・傾向・類似性・組合せ・依存性・規則性等の分析  
 ・PCクラスタと競合学習ニューラルネットワークを用いた画像データマイニング

明示的でない知識や法則を発見・抽出!

【目標】(絵画画像DB・電子部品故障画像DBなど)  
 ・作品群の描画傾向から、作者や製作年代を推定  
 ・未知の異常や故障の発見、原因の推定など

**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(1年間)**  
 長岡技術科学大学 機械系  
 助教授 清川 徹

1. 研究の目的と意義

人と機械の調和を目指した安全で信頼性を有するメカトロニクスシステムの構築

2. 研究の位置付け

期待される性能

- 故障発生時の制御系のロバスト安定性。
- 故障(異常)検出
- 故障診断。
- 電気的/機械的な故障隔離。
- 制御系の再構成

故障検出に関する世界的レベルでの研究状況と問題点

研究状況: 数値モデルに基づくパラメータ推定、状態推定/オブザーバ etc  
 問題点: ノイズ、外乱、モデルの不確かさ、多様な種類の故障に弱い

3. 研究の目標

外乱、モデルの不確かさ、多様な故障を包括的に捉える故障検出法の構築

4. 具体的研究方法

- 構造化特異値を用いたモデル検証理論を故障検出に活用
- メカトロニクスシステム(電気系/流体系)を用いた制御実験による理論検証

**H $\infty$ 学習理論の確立と柔軟な学習システムの開発(2年間)**  
 岩手大学工学部情報システム工学科  
 助教授 西山 清

【H $\infty$ 学習の要諦】

【学習システムの構成図】

図1: 振動曲面上におけるH $\infty$ 学習の要諦

図2: 音声から動作への適応制御



## 平成 15 年度研究助成課題の紹介

看護介護支援を念頭においた人共行ロボット用高機能デバイスの開発  
立命館大学 理工学部 ロボティクス学科 (1年間)  
助教授 野方 誠

先端機械技術を人間社会へ調和→対象者の内面状態の解明と向上支援  
研究対象分野・・・医療福祉分野  
機械技術によって患者・高齢者を見守る

患者  
高齢者

の情報を獲得する  
・高フレームレート・ビジョンセンサユニット  
・体の状態変化を嗅ぎ取る匂いセンサ

の状態を把握する  
・高齢者歩行動作の解明と安全性評価  
・人為的ミスの発生要因の解明

を手助けする  
・移動型身体サポートロボット  
・機器の身体適合手法の考案

ハイブリッド中空系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 (1年)  
山口大学 工学部 応用化学工学科、山口大学大学院 医学研究科 応用医学専攻  
助教授・比嘉 克

現状の人工アクチュエータ  
●モータ、ソレノイド  
●圧電素子  
●高分子ゲル  
●静電モータ  
●形状記憶合金  
●熱/空気圧

生体筋  
発生応力: 応答速度、  
収縮率、制御性  
パワーウエイト比  
の条件のどれかが欠ける

本研究のゲルモジュール  
発生応力: 0.2MPa以上  
応答速度: 0.1秒以内  
収縮率: 30%

ゲル構造: 高収縮率、高発生応力  
中空系: 高応答速度  
モジュール化: 高パワーウエイト比  
ハイブリッド化: 制御性向上

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 (1年間)  
大阪大学大学院 人間科学研究科 助手 三浦麻子

認知的負荷  
「発泡水は老廃物を排出すると聞いたことがあります」

認知的負荷の差異  
・チャットスキルの有無  
・STI  
・印象形成  
への影響

チャット場面  
STI (自動的な特性の推測)  
認知資源を節約するための方略

人間とロボットの協調的環境空間モデル構築に関する研究 (研究期間: 1年)  
東京大学 大学院工学系研究科 航空宇宙工学専攻  
講師・矢入 健久

【研究のねらい】  
人間とロボットが協力して(知識を出し合って)一つの環境地図モデルを作成  
□ 人間-機械協調における知識共有と意思疎通(コミュニケーション)を促進

【実現のポイント】  
人間-ロボットが提供する空間情報の  
1)異種性、2)不完全・不正確性、  
3)身体性・文脈依存性をどう克服するか

【解決法】  
・三層環境地図モデルによる異種空間情報の統合  
・抽象化・詳細化機構による異種空間情報の相互変換  
・確率的状態遷移・観測モデルによる身体性・文脈依存性の吸収

人間とロボットの共有環境地図モデル 構築  
物体配置関係モデル 三層モデル  
物体座標地図 抽象化 (定量化)  
グリッド地図 詳細化 (定量化)

生物における低エネルギー高信頼性情報符号化メカニズムの解明 (1年間)  
北海道大学大学院医学研究科統合生理学講座  
助手 山野 貴信

【神経系における情報符号化】  
従来: 内在性ノイズ・LSIのような符号化不可能  
新しい知見:  
入力変動が大きければ大きいほど1つの入力パターンに対し1つの出力パターンが対応!

【本研究】  
神経細胞の電気生理学的特性と対応がつくモデル (1次元写像) を構築し、そのシステムとしての特性から情報符号化メカニズムを調べる。

大きなエネルギーを使い高信頼性を実現  
小さなエネルギーで高信頼性を実現

大きなエネルギーをつぎ込むことなしに内在性ノイズの影響を克服し信頼性の高い符号化を行うメカニズムの解明を目標とする。

## 財団法人 立石科学技術振興財団

### 平成 16 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 16 年度の研究助成の候補募集を行いますので、お知らせいたします。

#### 記

#### (1) 助成対象

##### 研究助成

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

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

#### (2) 金額及び件数

研究助成金

1 件 250 万円以下

20件以下

#### (3) 応募資格

- ① 日本国内に居住する研究者であれば、個人またはグループを問いません。
- ② 類似内容で現在、他の財団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 15 年 9 月 1 日～平成 15 年 10 月 31 日（郵便局消印有効）

助成対象期間：平成 16 年 4 月 1 日～原則 1 年

助成金交付時期：平成 16 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 16 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 16 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 16 年度助成件数<br>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 15 年 10 月 1 日～平成 15 年 12 月 31 日(郵便局消印有効)

助成対象期間：平成 16 年 4 月 1 日～平成 16 年 9 月 30 日

助成金交付時期：平成 16 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 16 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 16 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 16 年度助成件数<br>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 16 年 4 月 1 日～平成 16 年 6 月 30 日(郵便局消印有効)

助成対象期間：平成 16 年 10 月 1 日～平成 17 年 3 月 31 日です。

助成金交付時期：平成 16 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/>



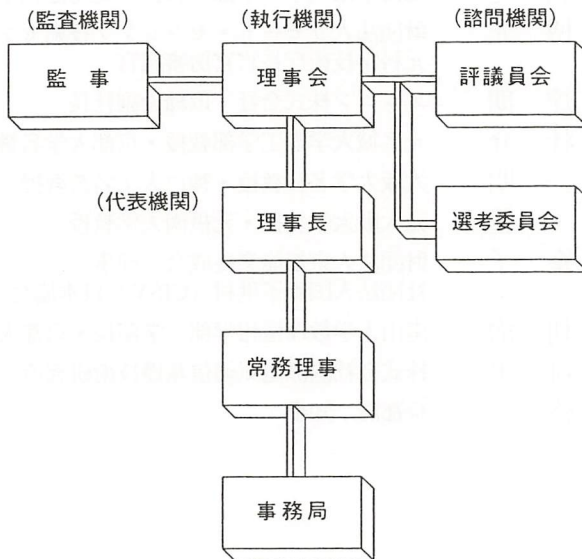
---

■ 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](mailto: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

(2003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<br>元科学技術事務次官 |
| 理事   | 大野豊   | 関西 TLO 株式会社 取締役社長・京都大学名誉教授            |
| 理事   | 熊谷信昭  | 元大阪大学総長・大阪大学名誉教授                      |
| 理事   | 黒田眞   | 財団法人世界経済情報サービス 理事長・元通商産業審議官           |
| 理事   | 立石義雄  | オムロン株式会社 取締役会長                        |
| 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   | 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  | 北海学園大学工学部 教授・北海道大学名誉教授                     |
| 評議員 | 雨村博光  | 財団法人リモート・センシング技術センター 専務理事<br>元科学技術庁長官官房審議官 |
| 評議員 | 市原達朗  | オムロン株式会社 取締役副社長                            |
| 評議員 | 岩井壮介  | 元名城大学理工学部教授・京都大学名誉教授                       |
| 評議員 | 岩田一明  | 大阪大学名誉教授・神戸大学名誉教授                          |
| 評議員 | 末田正   | 元大阪大学教授・元摂南大学教授                            |
| 評議員 | 立石峯子  | 財団法人京都能楽養成会 理事<br>社団法人国際子供村（CISV）日本協会 理事   |
| 評議員 | 長谷川利治 | 南山大学数理情報学部 学部長・京都大学名誉教授                    |
| 評議員 | 葉原耕平  | 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12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13回（平成14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13回（平成14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相澤評議員様、投稿文をお寄せいただきました早稲田大学菅野教授、慶應義塾大学白鳥助教授、事務局取材に快く応じていただきました九州工業大学大学院金籐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16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ければと思います。また、国際交流助成については前期と後期の2回に助成期間を分けて募集いたしておりますので合わせてご覧くださいければと思います。

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12号  
平成15年9月(2003)

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

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

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