

立石科学技術振興財団

助成研究成果集

【第15号】

平成18年(2006)



人間と機械の調和を促進する助成研究成果集

第 15 号

平成 18 年 9 月 (2006)

財団法人 立石科学技術振興財団

Tateisi Science and Technology Foundation

設 立 趣 意 書

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

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

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

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

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

助成研究成果集

目 次

1. 理事長挨拶	2
2. 財団関係者寄稿 (長谷川利治 評議員 南山大学 数理情報研究センター長・数理情報学部 教授)	3
3. 助成研究成果の抄録一覧	4
4. 国際交流報告の抄録一覧(平成 17 年度)	77
5. 平成 17 年度活動報告(業務日程・会計)	85
6. 平成 18 年度助成報告	86
7. 第 17 回助成金贈呈式	87
8. 受領者投稿	88
福本文代 山梨大学大学院医学工学総合研究部 助教授	88
和田親宗 九州工業大学大学院生命体工学研究科 助教授	89
9. 研究室訪問	90
金沢大学 工学部 人間・機械工学科 山越研究室	90
10. 第 17 回(平成 18 年度)助成課題一覧	92
11. 平成 18 年度研究助成課題の紹介	94
12. 平成 19 年度助成候補募集案内	97
13. 財団の概要	101
14. 役員・評議員	102
編集後記	103

ごあいさつ

このたび、助成研究成果集第15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17回目の助成金贈呈式をとり行うことができました。これも日頃からの皆様のご支援の賜と感謝いたすところでございます。



本成果集の発行は、助成研究の成果普及活動のひとつとして行うもので、助成対象となった研究課題の成果を、財団設立の趣意に沿って、方向を同じくする研究者・研究機関と共有することを目的とすると共に、研究者の相互交流の一助となることを願って、毎年継続的に実施しております。

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

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

今後も引き続き、ご支援ご鞭撻を賜りますようお願い申し上げます。

理事長 立石 信雄

科学技術と安全

安全という概念は極めて多岐多様にわたるため、一般的に述べることは殆ど不可能であると思われる。しかし、いくつかの大前提が存在することも事実であろう。たとえば、ある年代の日本人にとってはよく理解していることと思われるが、「色は匂えど散りぬるを我が世誰ぞ常ならむ……」が科学技術システム設計の大前提の一つであろう。端的に言えば、故障に至るまでの時間の問題はあるにせよ、故障は避けられない、と言うことである。



さらに、問題を複雑にしていることに、人間が犯す誤りがある。このように考えると、故障や誤りの発生を前提としないシステムが成り立つわけがないことがわかる。一方、多くの日本人は“risk taking”と言う概念を持っていないのではないかと疑われる。まさかの時は神風が吹くと期待して、危機感を持たないことにしているように思われてならない。これは明らかに不合理な態度である。

故障のないシステムを構成することは出来ないとしても、二値論理で構成されるシステムが危険側には決して壊れない、さらに入力いわゆる間違いが危険側には決して発生しないと仮定するいわゆる Fail-Safe 論理システムの構成については、“Basic Properties and a Construction Method for Fail-Safe Logical systems” by H. Mine U Y. Koga, IEEE Trans. Elec. Comp., E-16, 1967, pp. 1568 - 1575. に構成の困難さが詳しく報告されているとおり、一般的に構成できるとは言い難い。

このように考えると、システムの設計においては、考え得るあらゆる形の故障の生起を仮定せずに行ってはならないと考えられる。物事の実在は証明できても存在しないことの証明は不可能であるので、故障が起こらないことを仮定してはならない。「これで大丈夫。」と思った時が危機の始まりである。

評議員 長谷川 利治

(南山大学数理情報研究センター長 数理情報学部教授)

研究助成成果の抄録一覧

(年度順五十音順)

- ◆ 力・触覚ディスプレイ装置によるリハビリテーションに関する研究 (1041003) 6
A Study on Rehabilitation Using a Haptic-Tactile Display
大 岡 昌 博 名古屋大学大学院情報科学研究科 助教授

- ◆ 人間の制御行動支援を目的とした環境適応型コラボレータに関する研究 (1041004) 10
Research of Adaptive Collaborator Toward to Support the Control Action of the
Machine Operator
大 塚 弘 文 国立熊本電波工業高等専門学校 教授

- ◆ ナノマシン技術による細胞修飾（ナノ手術）に関する研究 (1041006) 15
A Study of Nano-Operation of a Cell Using Nanomachining
桑 野 博喜一 東北大学大学院工学研究科 教授

- ◆ 超リアルな顔表情ロボットによる感性豊かな言語・
非言語コミュニケーションの実現 (1041007) 20
Realization of Sensitive Verbal and Non-Verbal Communication by Using Realistic Face Robot
小 林 宏 東京理科大学工学部 助教授

- ◆ 機械系の位相特性に注目した人間－機械系の性能解析に関する研究 (1041009) 24
Performance Analysis of Man-machine System from the Viewpoint of the
Phase Property of Mechanical Systems
佐 藤 淳 岩手大学工学部 講師

- ◆ 流路を備えた柔軟神経プローブの開発 (1041012) 28
Development of a Flexible Neural Probe Integrated with Fluidic Channels
鈴 木 隆 文 東京大学大学院情報理工学系研究科 特任講師

- ◆ 人とロボットの協調のための柔軟触覚センサの開発 (1051001) 32
Development of Flexible Tactile Sensor for Human Robot Cooperation
新 井 史 人 東北大学大学院工学研究科 教授

- ◆ 偏極キセノン原子を用いた体にやさしい MRI 造影剤の開発 (1051002) 36
Hyperpolarized Xenon Solutions for Medical MRI with Spin Enhancement
石 川 潔 兵庫県立大学大学院物質理学研究科 助教授

- ◆ 運動機能障害者の二次障害を予防する在宅リハビリテーション支援装置の開発 (1051006) 40
Novel Home-based Care Equipment for Prevention of the
Secondary Disorders in Paraplegic Persons
河 島 則 天 芝浦工業大学先端工学研究機構 助手

◆ 統合的非侵襲脳機能計測に基づく視覚的気づきの脳内機構に関する研究 (1051007)	44
Integrated Noninvasive Neuroimaging Studies on Brain Mechanisms of Visual Awareness	
小林 哲 生 京都大学大学院工学研究科 教授	
◆ MRI を用いたハイパーサーミアを実現するための微小共振回路の設計試作 (1051010)	48
Fabrication of Resonant Circuit for Hyperthermia Using MRI	
竹 村 泰 司 横浜国立大学 助教授	
◆ 永久磁石を用いた生体内三次元位置センサの開発とその応用 (1051011)	52
Development of 3-D Position Sensor Using Permanent Magnet	
永 岡 隆 早稲田大学 助手	
◆ 機能性高分子膜に半導体加工技術を施した生体成分計測用 ウエアラブルセンサの開発 (1051016)	56
Development of Wearable Chemical Sensors with Functional Polymers for Physical Monitoring	
三 林 浩 二 東京医科歯科大学生体材料工学研究所 教授	
◆ インディペンデント・エージェントによる集団行動の学習 (1051017)	60
Learning of Group Behavior by Independent Agents	
森 亮 介 信州大学工学部機械システム工学科 助手	
◆ ひずみ尺度と擬似音声を用いた雑音環境下での音声認識率の推定に関する研究 (1051018)	64
Performance Estimation of Noisy Speech Recognition Using Distortion Measure and Artificial Voice	
山 田 武 志 筑波大学大学院システム情報工学研究科 助教授	
◆ 複数ルールを統合した状態行動地図によるロボットの知的動作生成 (1051019)	68
Robot Motion Planning by Integration of Multiple Rules	
新 井 民 夫 東京大学大学院工学系研究科 教授	
◆ マイクロマニピュレーション時の人の情報処理メカニズムの解明 (1051020)	72
Study on the Information Processing Mechanism of Human in a Micro Manipulation	
渡 辺 哲 陽 山口大学大学院理工学研究科 助手	

力・触覚ディスプレイ装置によるリハビリテーションに関する研究

A Study on Rehabilitation Using a Haptic-Tactile Display

1041003

研究者代表	名古屋大学大学院情報科学研究科 助教授	大岡 昌博
共同研究者	静岡理工科大学	教授 宮岡 徹

[研究の目的]

脳の機能回復のために、脳に適度な刺激を与えることを目的として、手先を使用する作業療法が広く実施されている。とくに、発達障害がある幼児に対しては、肩や肘を含めた手の巧緻運動機能の発達を促す作業が効果的であるとされている。そこでは、種々の手遊び道具が用いられ、遊びを媒介にして手の機能改善が図られている。しかし、障害の程度や種類は多様であるために、患者に最適な器具の製作は多大な時間と労力を要するだけでなく訓練の進み具合に対応するために器具を順次交換する必要がある。

そこで本研究では、穴にペグを差し入れるときなどの際に指先に生じる接触パターンの微細な動きを使用者は感じることができるよう、力覚だけでなく触覚呈示装置により圧力分布も指先に伝達できる装置を新しく開発する。

[研究の内容、成果]

〈圧覚・力覚複合ディスプレイ・システム〉 把持力ディスプレイと本研究で開発した圧覚・力覚複合ディスプレイ装置システムとその構成をそれぞれ図1に示す。本システムは、ディスプレイ装置、駆動回路、DIOボード（Interface社製、PCI-2466）、D/A・A/D変換ボード（Interface社製、PCI-3521）、エンコーダカウン

タボード（Interface社製、PCI-6204C）、コンピュータ（NEC社製、OS: Windows Me）により構成されている。ディスプレイ装置は、3リンクマニピュレータおよび圧覚呈示機構を搭載する把持力ディスプレイから構成されている。システムの制御は次のような手順で行われる。ディスプレイ装置のマニピュレータ部の各関節軸とハンド部のモータのエンコーダからの出力がエンコーダカウンタボードを介してコンピュータに取り込まれ、各関節の変位角が算出される。また、ハンド部に取り付けられたひずみゲージからの出力はA/D変換ボードを介して取り込まれ、これからの値から求まるハンド・アームの位置姿勢と仮想物体との干渉計算により指先に作用する力が算出される。

これらのコンピュータへの入力から仮想空間での指先と仮想物体または仮想物体同士の接触状態や接触力および指先の分布圧覚が後述のシ

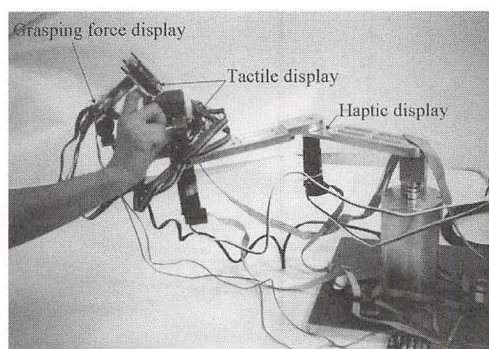


図1 圧覚・力覚複合ディスプレイ

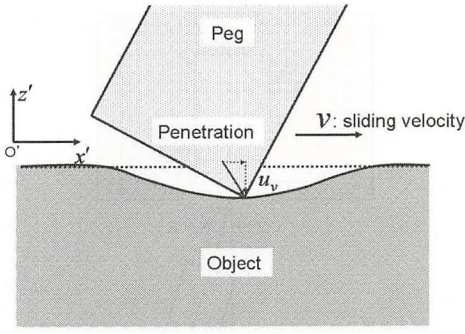


図2 仮想弾性領域への侵入

ミュレーションソフトウェアにより計算され、マニピュレータ部の各関節とハンド部に取り付けられたモータがD/A変換ボード、モータドライバを介して駆動されるとともにDIOボードと駆動回路を介して分布圧覚呈示機構の触知ピンが駆動される。

〈呈示方法〉 まず、ペグの先端が図2に示すように、物体表面に接触して反力が発生しているものとする。ペグ先端の垂直方向の食い込み量および仮想ばね定数をそれぞれ u_v および K とすると、反力の垂直成分 f_v は次式で計算できる。

$$f_v = Ku_v \quad (1)$$

反力接線方向成分 f_t は、垂直方向成分 f_v に動摩擦係数 μ_d を掛けて求めることができる。すなわち、

$$f_t = \mu_d f_v \quad (2)$$

摩擦力によって生じる接線方向の反力は、運動方向とは逆方向に働くため、合力 $\mathbf{f}$ は、接触点の移動速度 ν の方向を考慮して次式で計算される。

$$\mathbf{f} = -\text{sgn}(\nu) f_t \mathbf{i} + f_v \mathbf{k} \quad (3)$$

ここで $\mathbf{i}$ と $\mathbf{k}$ は、物体に設置された局所座標系 $O'-x'z'$ の正規直交規定ベクトルである。力覚ディスプレイの各関節で発生すべき関節トルクベクトル $\boldsymbol{\tau}$ はマニピュレータヤコビ行列 $\mathbf{J}$ と力-モーメントベクトル $\mathbf{F}$ から、静力学解析により次式で計算できる。

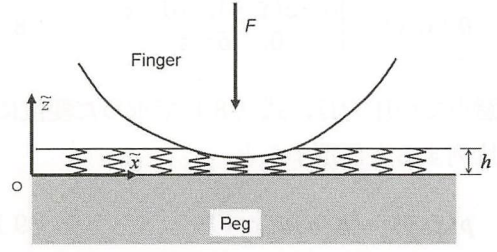


図3 指と仮想物体の間の接触解析

$$\boldsymbol{\tau} = \mathbf{J}^T \mathbf{F} \quad (4)$$

$$\boldsymbol{\tau} = \begin{pmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \\ \tau_3 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{F} = \begin{pmatrix} F_x \\ F_z \\ M_z \end{pmatrix} \quad (5)$$

ここで、 τ_1 、 τ_2 および τ_3 は、それぞれ関節1、2および3のトルクである。また、 F_x 、 F_z および M_z は、関節3で発生する x 方向と z 方向の力成分および z 軸周りのモーメントである。また、ヤコビ行列 $\mathbf{J}$ は次式となる。

$$\mathbf{J} = \begin{bmatrix} -l_1 S_1 - l_2 S_{12} - l_3 S_{123} & -l_2 S_{12} - l_3 S_{123} & -l_2 S_{123} \\ l_1 C_1 + l_2 C_{12} + l_3 C_{123} & l_2 C_{12} + l_3 C_{123} & l_3 C_{123} \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$C_1 = \cos \phi_1, \quad C_{12} = \cos(\phi_1 + \phi_2), \quad C_{123} = \cos(\phi_1 + \phi_2 + \phi_3)$$

$$S_1 = \sin \phi_1, \quad S_{12} = \sin(\phi_1 + \phi_2), \quad S_{123} = \sin(\phi_1 + \phi_2 + \phi_3)$$

また、 l_1 、 l_2 および l_3 はそれぞれリンク1、2および3の長さであり、 ϕ_1 、 ϕ_2 および ϕ_3 は関節1、2および3の関節角である。

指と物体との間の接触圧力を求めるために、ここでは、簡便な方法として、図3に示すように、物体表面に弾性体のマットが貼り付けられたとして接触圧を求める簡易法を採用する。押し込み形状 $\tilde{z}(\tilde{x}, \tilde{y})$ は、指形状 $\tilde{z}_{\text{finger}}(\tilde{x}, \tilde{y})$ と仮想物体の表面形状 $\tilde{z}_{\text{object}}(\tilde{x}, \tilde{y})$ の和として次のように計算される。

$$\tilde{z}(\tilde{x}, \tilde{y}) = \tilde{z}_{\text{finger}}(\tilde{x}, \tilde{y}) + \tilde{z}_{\text{object}}(\tilde{x}, \tilde{y}) \quad (7)$$

ここで $\tilde{x}$ と $\tilde{y}$ は、仮想物体表面に貼り付けた座標である。ばねの間の相互作用やせん断変形の効果を無視し、くい込み量を δ で表すと、垂直方向の変位分布は次式で計算できる。

$$\bar{u}_z(\bar{x}, \bar{y}) = \begin{cases} \delta - \bar{z}(\bar{x}, \bar{y}), & \delta > \bar{z} \\ 0, & \delta \leq \bar{z} \end{cases} \quad (8)$$

任意点での圧力は、式(8)で求めた変位にのみ比例すると仮定すると、

$$p(\bar{x}, \bar{y}) = (k/h)\bar{u}(\bar{x}, \bar{y}) \quad (9)$$

ここで k は仮想マットのばね定数である。
 〈ペグの太さ把握実験〉 作業中操作者は物体把握とリリースを繰り返すので、把握を開始するとき仮想物体と指が最初に接触する瞬間、あるいは把握物体を放すとき指から離れた瞬間を忠実に再現できていることが重要である。したがって、ペグ差し運動の実験に先立って、次の手順に従って、ペグの太さを感じる実験を行った。

- (1) 被験者の2つの指表面間の中心線とペグの中心線が一致するように、仮想ペグを生成する。
- (2) 被験者は、ゆっくりと指を閉じていき、最初に仮想ペグの表面を感じたところで、ただちに指を開く。
- (3) 上の操作を一人の被験者あたり10回行った。また、0.05, 0.1, 0.15 および 0.2 N/mm の仮想ばね定数を選定した。

以上の実験は、力覚と圧覚の複合呈示と力覚の単独呈示の二つの条件で実施した。

〈ペグ差し運動〉 被験者が仮想ペグを穴に差し入れる間中ペグの位置・姿勢が絶えず計算され、前述の手順に従って反力と圧覚が呈示される。この実験では、図4中のパラメータを次のように設定した。

$$\begin{aligned} D_h &= 40 \text{ mm}, \quad L_h = 65 \text{ mm}, \quad W_c = 6.5 \text{ mm}, \\ \alpha &= 45^\circ, \quad \varepsilon_0 = 0 \text{ mm}, \quad K = 0.9 \text{ N/mm}, \\ k &= 0.1 \text{ N/mm}, \quad \mu_d = 0.2 \end{aligned} \quad (10)$$

ペグと穴の間の隙間が挿入作業に及ぼす影響を調べるため穴の直径 D として47と43 mmを選定した(クリアランスは、それぞれ $C_r = 3.5$ と 1.5 mmとなる)。

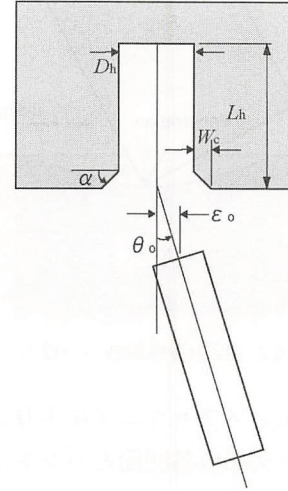


図4 ペグ差しの表記法

表1 仮想ペグの直径の識別結果

K_p (N/mm)	Haptic mode		Tactile-haptic mode	
	D (mm)	ΔD (mm)	D (mm)	ΔD (mm)
0.05	30.4	9.6	35.3	4.7
0.10	34.1	5.9	37.3	2.7
0.20	36.1	3.9	37.6	2.4
0.40	36.9	3.1	37.5	2.5

初期状態では、仮想ペグはペグと穴の中心線が一致するように設置される。最初の偏角として、 $\theta_0 = 5$ と 10° を選定した。各被験者は、一つの条件で4回ずつ実験を行った。この実験についても、力覚と圧覚の複合呈示と力覚の単独呈示の二つの条件で実施した。なお、被験者は男性2名および女性2名の4人(平均年齢23歳)であった。

〈実験結果と考察〉 ペグの直径 D と指の最小間隔 $\tilde{D}$ の差 $\Delta D = D - \tilde{D}$ を求め、表1に示す。力覚と圧覚の複合呈示の場合と圧覚のみの場合の ΔD を比較すると、力覚と圧覚の複合呈示により求まる ΔD のほうが、力覚のみの場合より明らかに小さい。とくに、この傾向は仮想ばね定数が小さい場合に顕著であり、 $K = 0.05$ N/mm のとき同定誤差は力覚と圧覚の複合呈示と力覚単独呈示それぞれに対して12と24%である。上述の結果から、直径の同定精度は力覚と圧覚の複合呈示のほうが高い。分厚い手袋をした状態でスポンジのようなやわらかい物体

の大きさを認識しようとした場合に、スポンジが押し返す反力だけの情報だけでは精度が高くなく、皮膚に触れた瞬間の情報が重要であることからこの結果の妥当性が理解できる。したがって、力覚と圧覚の複合呈示は、物体把握の場合に有効であり、その効果は対象物体がやわらかいほど顕著になる。

挿入時のペグの姿勢角の変化の経過時間により挿入作業の呈示性能を評価した。一人の被験者につき4回実験を行ったにもかかわらず、実験終了時間はほぼ一致した。そこで、終了時間がすべて一致するように横軸の目盛を調整するとともに、同一実験条件で姿勢角の平均をとって図5に示す。

図5では、初期の姿勢角 θ_0 を 10° としたので、すべての実験は 10° から開始している。時間経過とともに姿勢角は減少し0度となっている。これは、被験者が仮想ペグを穴へ挿入しようと試みていることを示している。

姿勢角の最終値について、力覚と圧覚の複合呈示と力覚単独呈示の場合を調べると、 $C_r = 3.5 \text{ mm}$ の場合についてそれぞれ -2.5° と -3.5° であった。また、 $C_r = 1.5 \text{ mm}$ の場合には、 -0.3 および 2.5° であり、複合呈示の方がより精度の高いはめあい作業ができた。

$\theta_0 = 5^\circ$ の場合については、クリアランスの大

きい $C_r = 3.5 \text{ mm}$ の時には、前述の $\theta_0 = 10^\circ$ の場合と同様に複合呈示のほうが精度の高いはめあい作業ができた。

[今後の研究の方向、課題]

本装置においてはペグの姿勢変化を刺激ピンの突き出し分布の回転情報で知るため、ペグと指の接触面間で生じる回転滑りを知覚することは必ずしも容易でなく、クリアランスが小さい場合で穴にペグを食い込ませてしまうケースがあった。この結果を踏まえて、今後せん段方向の触覚呈示を可能とするように改良を進める予定である。

[成果の発表、論文等]

- (1) M. Ohka, K. Kato, T. Fujiwara, Y. Mitusya, Virtual Object Handling Using a Tactile-haptic Display System, The Inter. Conf. on Mechatronics and Automation, pp. 292–297 (2005)
- (2) M. Ohka, K. Kato, T. Fujiwara, S. Matsukawa, Y. Mitusya, A Tactile-haptic Display System Using Micro-actuator Array, Proc. of the 2005 Inter. Sympo. On Micro-NanoMechatronics and Human Science (MHS 2005 Micro-Nano COE), pp. 23–28, (2005)
- (3) 大岡昌博, 古賀浩嗣, 宮岡徹, 三矢保永, 高密度ピンアレイ形触覚マウスによる格子状仮想テキスト呈示 (第1報: 高密度ピンアレイ形触覚マウスの試作と性能評価実験法の確立), 日本機械学会論文集 (C編), 71巻711号, pp. 3174–3180 (2005)
- (4) 大岡昌博, 古賀浩嗣, 宮岡徹, 三矢保永, 高密度ピンアレイ形触覚マウスによる格子状仮想テキスト呈示 (第2報: 触知ピン間隔, テキスチャ密度および敵高さの検討), 日本機械学会論文集 (C編), 72巻715号, 72巻715号, pp. 865–871 (2006)
- (5) M. Masahiro Ohka, T. Fujiwara, S. Matsukawa, K. Kato, Y. Mitsuya, A Tactile-haptic Display Display System Using Micro-Actuator Arrays, Actuator 2006
- (6) M. Ohka, Y. Sawamoto, S. Matsukawa, T. Miyaoaka and Y. Mitsuya, A Two-axis Bimorph Piezoelectric Actuator Controlled by a Multi-layered Neural Network, Actuator 2006

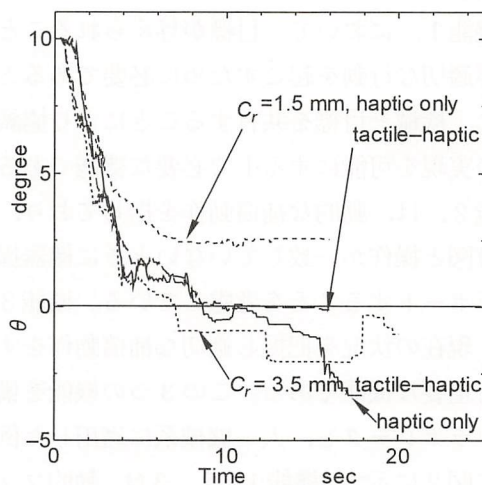


図5 ペグ差し実験中におけるペグの姿勢角の変化

人間の制御行動支援を目的とした環境適応型 コラボレータに関する研究

Research of Adaptive Collaborator Toward to Support the
Control Action of the Machine Operator

1041004

研究代表者	国立熊本電波工業高等専門学校 教授	大塚 弘文
共同研究者	国立熊本電波工業高等専門学校 助教授	柴里 弘毅

[研究の目的]

本研究の主目的は、人間を制御要素として含む人間－機械系において、操作者の技術不足に関わらず本来の制御目標を満足させるよう操作者の制御行動を補助する協調制御器（コラボレータ）の実現である。コラボレータに求める制御動作は、図1に示す自動車教習における教習者の運転支援行動に擬えられる。特に、個々人の操作技術（人間の制御動作特性）の相異や変動、さらに環境変化などに因る人間－機械系の動特性変動に対して、適応調整機能を持つコラボレータの実現が有用である。また、本研究によって、種々の人間行動支援システムと支援対象者との親和性が向上するという意味で人間と機械の調和を伸展させる波及効果が期待できる。

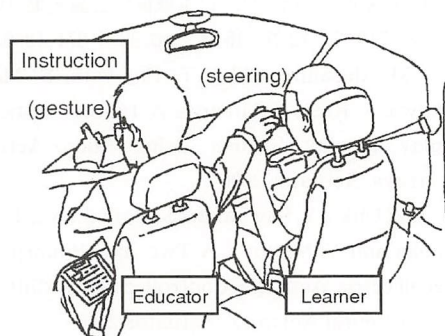


図1 コラボレータのイメージ

[研究の内容、成果]

1. コラボレータの定義

与えられた目標を実現するために人の行動決定や行動をサポートする機構をコラボレータと呼ぶ。ここで、コラボレータは人と機械の協調作業を実現する機構であり、単独で動作したりしないこと、人の操作を阻害しないことが求められる。コラボレータに要求される機能を、人－機械系の信号の流れとコラボレータの定義から整理すると、1) 目標の共有、2) 行動の補償、3) 行動の検出、4) 目標の判断と生成、5) 行動の予測・補完、6) 補償教示、という6機能になる。

機能1. において、目標が与えられることは人が適切な行動を起こすために必要であると同時に、機械と目標を共有することにより協調動作の実現を可能にする上で必要な機能である。機能2. は、動的な補償動作を指しており、人の意図と操作が一致していないときに機器操作をサポートすることを考慮している。機能3. は、現在の状況を把握し適切な補償動作をする上で重要な機能である。この3つの機能を備えたコラボレータを、人－機械系に適用した例として図2に示す。機能1, 2, 3は、動的フィードバック補償を行うコラボレータの基本機能となる。一方、機能4, 5, 6はコラボレータの

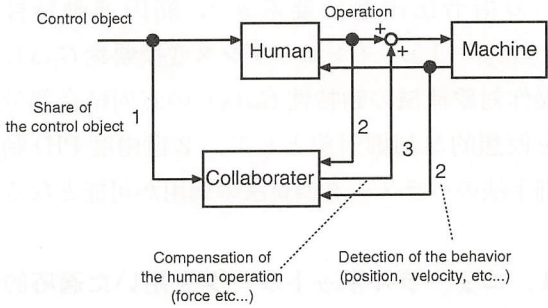


図2 コラボレータの基本機能

拡張機能である。広義の動作目標が与えられたときには、人と機械の共有可能な動作目標に分解することが求められる。また、具体的な動作目標がコラボレータに与えられないときに（機能1の欠如）、センシング情報から動作目標を生成する高度な知識情報処理によって実現される（機能4）。機能5. は、情報伝達に遅延や欠落等が発生する場合に、状態を予測することでサポートを円滑に行うことを目的とする。機能6. は、初心者に対して視覚、音声を利用した情報を提供し操作者に物理情報のフィードバックを行うことで、早期の熟練を目的とした機能である。

2. 人間-機械系モデル

2.1 人間の制御行動モデル

図3および表1に示すような人間の視覚-運動制御システムの数学モデルとして、むだ時間を含む Delayed Feed-Forward model (DFF モデル) が提案されている。DFF モデルでは人間の脳内で行われる操作量演算に該当する操作者の数学モデルは2自由度構造でモデル化される。本研究ではDFFモデルに基づき、図4に示すように、人間が操作する機械の伝達関数 $G_m(s)$ および、筋変位を力に変換する伝達要素（インピーダンス変換要素） $G_i(s)$ をDFFモデルに導入したモデルを人間-機械系のモデルとして用いる。

2.2 インピーダンス要素

従来のDFFモデルでは、手先位置 X を人間の出力としていた。本研究では、1軸アーム系

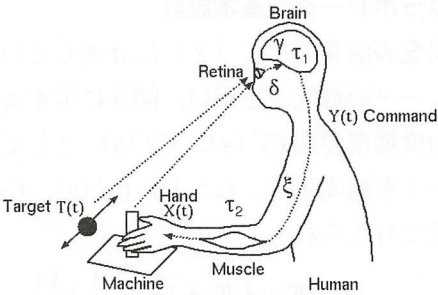


図3 視覚-運動制御システム

表1：DFFモデルのパラメータ

- T：ターゲットの位置
- X：手の位置
- Y：腕から腕の筋肉への神経伝達信号
- δ ：網膜からの脳内の運動指令決定部位間での信号伝達にかかるむだ時間
- ξ ：脳から腕までのむだ時間
- τ_1 ：脳内の運動指令決定の時定数
- τ_2 ：筋肉運動の時定数
- γ ：フィードフォワードループの結合強度

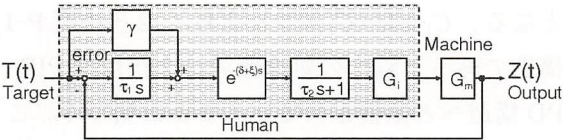


図4 改良DFFモデル

を操作対象の機械系として検討するが、この場合の機械系に印加される入力信号は回転力（トルク）であるので、主制御器となる人間は回転力を出力しなければならない。そのため、機械インピーダンス（力/速度）変換要素 $G_i(s)$ をDFFモデル出力部に導入する。すなわち、

$$G_i(s)=\eta s \tag{1}$$

($\eta>0$) と与えることとする。

目標値へ機械系出力の追従が達成された場合 (Error=0) を考えると、フィードフォワードループのために、従来のDFFモデルのままでは、人間の出力（機械系への入力）は定常値を発生することとなるが、実際には人間はそのような状態で定常的に力を加えることはない。これに対して（1）式のインピーダンス変換要素を導入した場合は、定常値は零となり上述の人間の制御動作と一致する。

3. コラボレータの基本設計

成果発表論文 [1], [2] に詳述しているコラボレータの構成法を用い, 図5に示すような2自由度補償要素 $C_1''(s)$, $C_2''(s)$ としてコラボレータを構成する。ただし, $C_1''(s)$, $C_2''(s)$ は次式で与えられる。

$$C_1''(s) = \frac{\eta s \left\{ K_D s + K_P + \left(K_I - \frac{1}{\tau_1} \right) \frac{1}{s} \right\}}{\tau_2 s + 1} e^{-(\delta + \zeta)s} \quad (2)$$

$$C_2''(s) = \frac{\eta s \{ \beta s + (\alpha - \gamma) \}}{\tau_2 s + 1} e^{-(\delta + \zeta)s} \quad (3)$$

図5のブロック線図は等価変換により図6と表すことができる。ここに, $C_1(s)$, $C_2(s)$ は

$$C_1(s) = K_D s + K_P + \frac{K_I}{s} \quad (4)$$

$$C_2(s) = \beta s + \alpha \quad (5)$$

となる。 $C_1(s)$, $C_2(s)$ により, 2自由度P-I構造であった脳内の処理部分が2自由度PID-PD構造へと拡張されていることに気づく。ここで, K_P , K_I , K_D はそれぞれ, フィードバック補償要素 $C_1'(s)$ (PID要素) の比例係数, 積分係数, 微分係数である。また, α , β は, フィードフォワード補償要素 $C_2'(s)$ (PD要素) の比例係数, 微分係数である。

これらのコラボレータ設計パラメータの選定においては, 図6に示すように, 脳内から筋肉

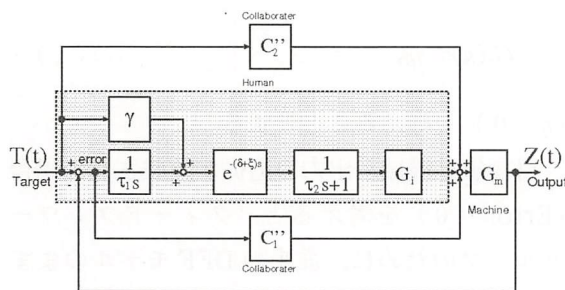


図5 コラボレータ設計

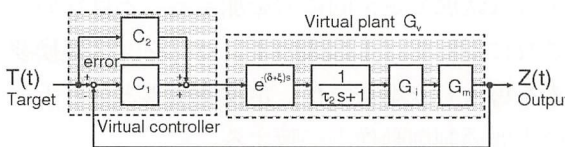


図6 コラボレータを含む人間-機械系

への指令伝達遅延要素 $e^{-\zeta s}$, 筋肉運動特性 $1/(\tau_2 s + 1)$, インピーダンス変換要素 $G_i(s)$, 操作対象機械の動特性 $G_m(s)$ の直列結合部分を仮想的な制御対象として, 2自由度PID制御手法のパラメータ調整法の適用が可能となる。

4. ニューラルネットワークを用いた適応的コラボレータ

人間は環境変化への優れた適応能力を持っているため, コラボレータを付加した人間-機械系においても制御動作の繰り返しによって徐々にその制御動特性を変化させることが考えられる。そこで, 人間の制御動特性変動を学習する適応的なコラボレータについて検討した。時間経過により最も変化量大きいことが明らかな時定数 τ_1 とフィードフォワードゲイン γ が制御動作ごとに変化する場合を想定し, 図7に示す適応的コラボレータを構成した。ここに, τ_1 および γ はニューラルネットワーク (以下NNと略記) により得られる推定値である。シミュレーションは2次振動系を制御対象機械系としている。NNは0[s]~0.25[s]のステップ応答値(目標信号, 人間が発生する力および機械の出力信号)を用いて学習することとした。各NNの中間層数は1としている。人間の制御動特性推定の結果は, 出力信号の2乗誤差は, NN1で 2.52×10^{-5} , NN2で 5.32×10^{-5} となった。また, 人間の動特性変動に対するNNのパラメータ推定性能を検証した結果, 図8に示すように τ_1 , γ に対してそれぞれ20%以下, 2%以下の推定誤差以内の推定精度を得た。 $\tau_1 = 0.1$, $\gamma = 1.5$ を初期パラメータとしてコラボ

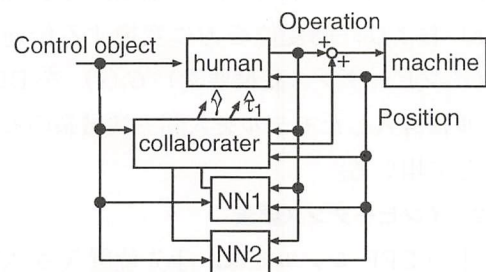


図7 適応的コラボレータの構成

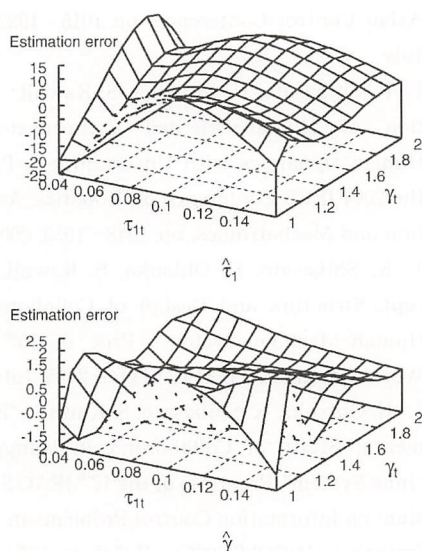


図8 NNによるパラメータ推定結果

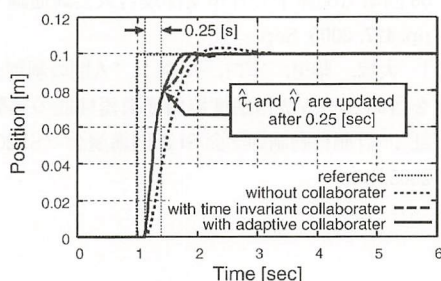


図9 適応的コラボレータの支援効果

レータを設計したが各々 $\tau_1 = 0.16$, $\gamma = 1.0$ と変動したという想定でのステップ応答シミュレーション結果の一例を図9に示す。時刻1[s]にステップ状目標値が設定され0.1[s]のむだ時間経過後に応答を始め、この時点から0.25秒間で適応的コラボレータのNNは学習とコラボレータパラメータの再設計している。この場合、NNの学習結果として $\tau_1 = 0.1494$, $\gamma = 0.9861$ を得るとともに、再調整前のコラボレータを用いる場合よりも制御性能が向上することを確認した。

5. コラボレータ性能実験

図10および図11に示す1軸アーム形実験装置を製作し、固定ゲインを用いるコラボレータの基本性能の検証実験を行った。コラボレータを用いず人間のみによる機械制御時と比較して

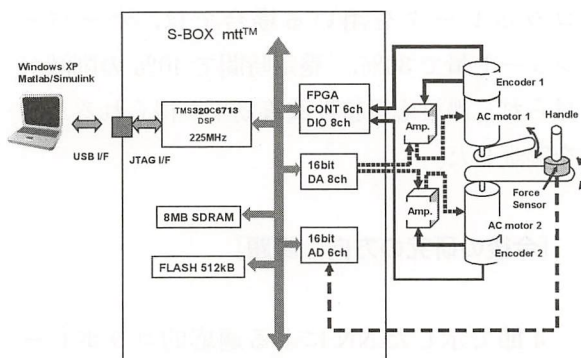


図10 実験システム構成

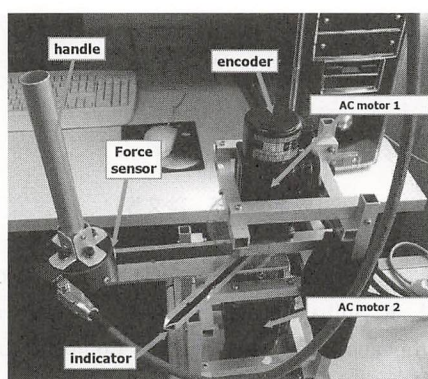


図11 実験システム概観

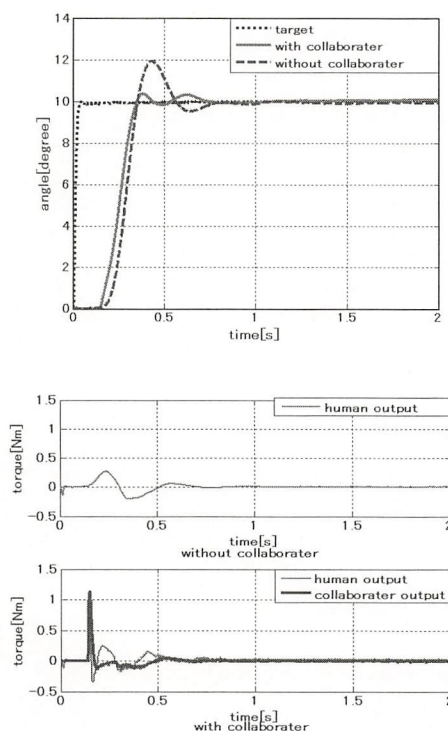


図12 実験結果

コラボレータを用いる場合では、オーバーシュート量が30%、整定時間で40%の削減が見られ、過渡応答特性改善効果が得られることを実証した。

[今後の研究の方向、課題]

4節で示したNNによる適応的コラボレータの制御支援効果の数値シミュレーションによる検証結果を踏まえ、制御実験により実証することが、第一の研究課題として残されている。最終目標としては、コラボレータのオンライン逐次再設計を行う適応的コラボレータへの改良と性能実証である。

[成果の発表、論文等]

本研究における成果発表、論文は以下のとおりである。

- [1] K. Shibasato, H. Ohtsuka, H. Uemura, and S. Kawaji: "Human-Oriented Compensator for Human - Machine System", Proc. of the 5th

Asian Control Conference, pp.1015 - 1022, 2004, July

- [2] K. Shibasato, H. Ohtsuka, S. Kawaji: "Function of Human-Oriented Compensator for Human Dynamics with Uncertainties", Proc. of the 2004 IEEE Conference on Robotics, Automation and Mechatronics, pp. 1048 - 1053, 2004, Dec.
- [3] K. Shibasato, H. Ohtsuka, S. Kawaji, "Concept, Structure and Design of Collaborator in Human-Machine System", Proc of 16th IFAC World Congress, Fr-M 16 -TO/1, 2005, July
- [4] H. Ohtsuka, K. Shibasato, S. Kawaji: "Experimental Study of Collaborator in Human-Machine System", Preprints of the 12th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing (INCOM' 2006), Vol. 2, pp. 155 - 160
- [5] 大塚, 柴里, 室口, 川路: "人間-機械系における協調制御器 (コラボレータ) の性能検証", 第58回電気関係学会九州支部連合大会講演論文集, pp. 427, 2005, Sep.
- [6] 大塚, 柴里, 室口, 川路: "人間の制御行支援を目的とする2自由度協調補償器性能の実験的検証", 計測自動制御学会 SI 部門講演会 (SI 2005), 2005, Dec.

ナノマシン技術による細胞修飾（ナノ手術）に関する研究

A Study of Nano-Operation of a Cell Using Nanomachining

1041006

研究代表者 東北大学大学院工学研究科 教授 桑 野 博 喜

共同研究者 東北大学大学院工学研究科 博士課程（前期） 高 山 洋 祐

[研究の目的]

生体細胞内の各組織（細胞膜，細胞質，ミトコンドリアなど）への力学的刺激や化学的刺激を与える細胞修飾（手術）は，病気の原因追及，創薬などにおいて，今後重要になるものと考えられる。このような細胞修飾を行う装置は現在入手することができず，簡便で経済的な細胞修飾（ナノ手術）装置が必要とされている。

生体細胞に力学的刺激と化学的刺激を複合的に加えてその反応を計測することができる装置を実現することが，本研究の最終目標である。本研究では第一段階として，それに用いる細胞手術用 MEMS のデバイス構成の考案と作製法の検討を行ったので報告する。

[研究の内容、成果]

1. 考案した細胞修飾用 MEMS

細胞の各部位に対して力学的刺激，化学的刺激を加えるには顕微鏡観察下で行うことが必要である。今回はそれに必要なデバイスとして，力を制御しつつ細胞に化学物質などを注入する事を目指し，細胞手術用 MEMS を考案，設計した。図 1 に考案したマイクロニードルが細胞に印加する負荷を測定するためのデバイスを示す。これはダイアフラム型圧力センサの中央に力印加用のニードルを作製したものである。ダ

イアフラム型圧力センサには歪みゲージ型のものや静電容量型が考えられるが，本研究では最終的な全マイクロ化を考慮し，中央にニードルを作製する事を前提として，プロセスの容易さの面から静電容量型を形成することを方針とした。

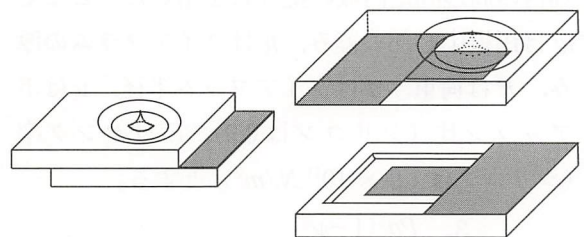


図1 デバイス模式図

2. 静電容量型力センサの動作原理

今回用いる静電容量型力センサによる測定原理を図 2 に示す。上部基盤に作製したニードルに負荷が掛かるにつれダイアフラム部分が撓み，それによって極板間距離が狭まり静電容量が増す。ニードルが細胞壁を貫通すると，掛かっていた負荷が消えるのでダイアフラムの撓みも消え，静電容量も元の値へと戻る。この時に最大となった静電容量を求める。あらかじめ測定前に既知の力をニードルにかけていった場合の静電容量をプロットし，校正曲線を作成しておくことでそれを用いて貫通力を決定することができる。

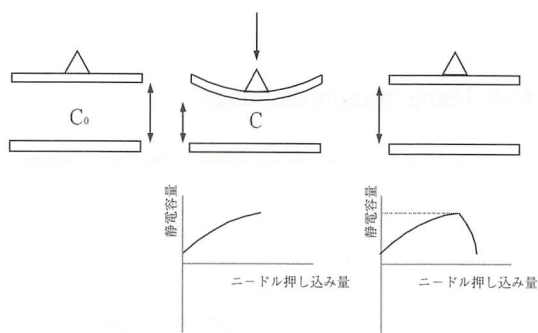


図2 センサ測定原理

3. 細胞修飾用 MEMS の設計

デバイスの寸法は図3のとおりである。この寸法においてニードル先端に仮に $10\mu\text{N}$ の力が掛かった場合、どの程度の静電容量変化を得ることができるのかを検討した。fF オーダー以下の容量変化の場合、測定が困難であることが予想されるためである。まずダイアフラムの撓みを求める。この際中心に集中荷重を受ける場合の周辺固定円板の撓み式を用いた。ここで w は円板中心部の撓み、 h はダイアフラムの厚み、 P は荷重、 a はダイアフラム半径、 ν はポアソン比（シリコンは0.9）、 E はヤング率（シリコンは $1.9 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$ ）とする。

$$w = \frac{3}{4} \cdot \frac{Pa^2(1-\nu^2)}{\pi Eh^3} \quad (1)$$

(1) 式より撓み w は

$$w = \frac{3 \times 10 \times 10^{-6} \times 0.001^2 \times (1-0.9^2)}{4 \times 3.14 \times 1.9 \times 10^{11} \times (5 \times 10^{-6})^3} \approx 20 \times 10^{-9} \text{ m} \quad (2)$$

となる。次にこの撓みを平行平板コンデンサ全体の極板移動距離と近似し、おおよその静電容量変化を求めた。(3) 式に静電容量変化を求める計算式を示した。

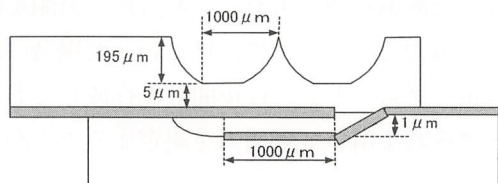


図3 デバイス断面図

$$\Delta C = C - C_0 = \frac{\epsilon \cdot S}{d} - \frac{\epsilon \cdot S}{d_0} \quad (3)$$

ここで C_0 および C はそれぞれ変化前後の静電容量、 d_0 および d は極板間距離、 ϵ は極板間の気体誘電率（空気とすると $\epsilon = 8.86 \times 10^{-12} \text{ F/m}$ ）、 S は極板面積（ $1,000 \mu\text{m} \times 1,000 \mu\text{m}$ ）とする。

(3) 式より求めると ΔC は

$$\Delta C = \frac{8.86 \times 10^{-12} \times 0.001^2}{10^{-6} - (20 \times 10^{-9})} - \frac{8.86 \times 10^{-12} \times 0.001^2}{10^{-6}} \approx 0.2 \text{ pF} \quad (4)$$

となる。これは十分測定できる値である。

4. 作製プロセス

上部基板には Si (P 型、 $2 \text{ cm} \times 2 \text{ cm}$ 、厚さ $200 \mu\text{m}$) を、下部基板には SiO_2 ($2 \text{ cm} \times 2 \text{ cm}$ 、厚さ $200 \mu\text{m}$) を用いる。工程は図4に示す。

本細胞修飾 MEMS は、図5に示すような倒立顕微鏡を改良した装置により細胞への力印加および観察を行うこととする。

4.1 上部作成

a) Si 基板上を Au でスパッタリング。

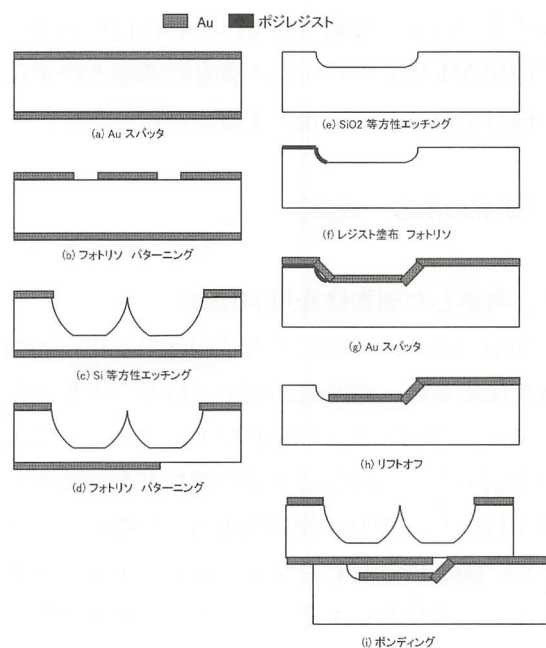


図4 デバイス製作工程

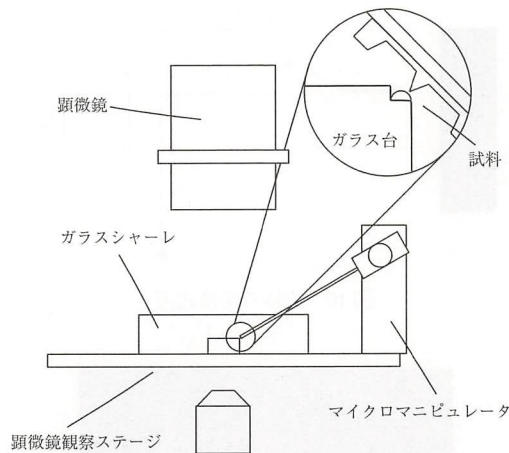


図5 実験装置

- b) マスクパターン転写, パターニング (Si 等方性ウェットエッチング用のマスクを形成)
- c) Si の等方性エッチング (エッチャント $\text{HF}:\text{HNO}_3:\text{CH}_3\text{COOH}=1:10:3$)
- d) マスクパターンを転写し, パターニング (コンデンサの極板, 配線取付け用の電極部の構築)

4.2 下部作成

- e) SiO_2 の等方性エッチング (エッチャント $\text{HF}:\text{NH}_4\text{F}=1:7$)
- f) ポジレジスト塗布, パターン転写
- g) Au スパッタ
- h) リフトオフ加工により余分な部分をレジストごと除去 (コンデンサの極板, 配線取付け用の電極部の構築)
- i) 陽極接合

5. ニードル (微小針) の作製

5.1 ニードルの設計と作製プロセス

細胞修飾に用いるニードルについて検討を行った。その形状を図6に示す。

ニードルはマイクロマシニング技術により行った。プロセスフローを図7に示す。

5.2 細胞への任意の箇所への力印加と測定装置の考案

細胞に印加した力を片持ち梁のひずみにより測定する図8に示すような装置を考案した。ア

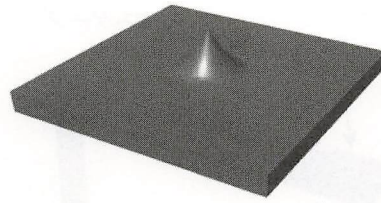


図6 ニードル模式図

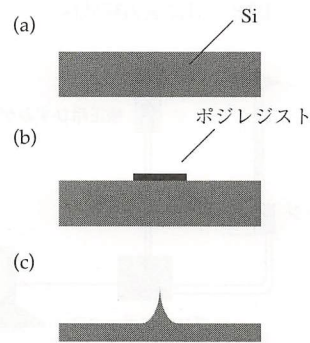


図7 ニードルのプロセスフロー。(a) シリコン基板 (厚さ $500\mu\text{m}$, 両面鏡面仕上げ), (b) ポジレジストパターニング, (c) ドライエッチング (等方性エッチング) レジスト除去

ルミニウム製の梁の両端にニードルと半導体ひずみゲージをそれぞれ取り付ける。梁は治具を通して水圧式マニピュレータに取り付け, 倒立顕微鏡下でニードル先端部を観察しつつ, 細胞に力を印加する。装置全体の構成を図9に示す。ひずみゲージはブリッジ回路を形成し, PCによりデータを出力できるよう構成している。

図10に示すように一端を固定し, 他端に荷重 W を加えた片持ち梁の表面にひずみゲージを1枚接着した場合のひずみゲージ接着箇所のひずみ ϵ_0 の計算式は

$$\epsilon_0 = \frac{6WL}{Eb^h^2} \quad (1)$$

E : ヤング率

b : 梁の幅

h : 梁の厚み

L : 荷重点からひずみゲージ中心までの距離

と表すことができる。

今回測定に用いる半導体ひずみゲージ (共和電業製 KSP-2-1 K-E4) では $1\mu\text{m}/\text{m}$ 以上のひずみを検出することが可能である。梁の材

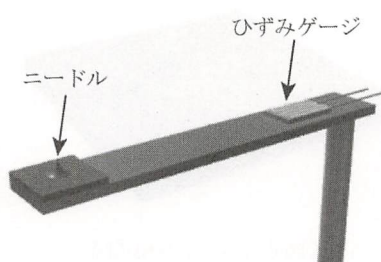


図8 計測装置模式図

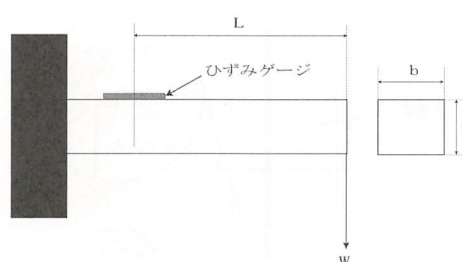


図10 片持ち梁模式図

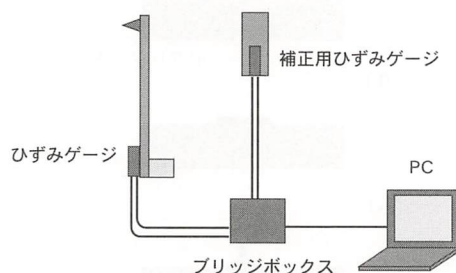


図9 実験装置構成

質はアルミニウムを用いるためヤング率 E は 7.03×10^{10} Pa である。

また、荷重 W の決定に際してはマウス卵細胞の細胞壁貫通に要する力が $10 \mu\text{N}^{[1]}$ である事を参考とし、今回の細胞への力印加実験に用いる試料（ミカンの粒）には 100 倍以上の力が必要とするものと仮定した上で W は 1 mN とした。以上の点を考慮に入れ、 b 、 h 、 L の各パラメータを $b = 5 \text{ mm}$ 、 $h = 0.3 \text{ mm}$ 、 $L = 90 \text{ mm}$ と決定してやると（1）式より

$$\begin{aligned} \varepsilon_0 &= \frac{6 \times 10^{-3} \times 90 \times 10^{-3}}{7.03 \times 10^{10} \times 5 \times 10^{-3} \times (0.3 \times 10^{-3})^2} \\ &= 1.7 \times 10^{-5} \end{aligned} \quad (2)$$

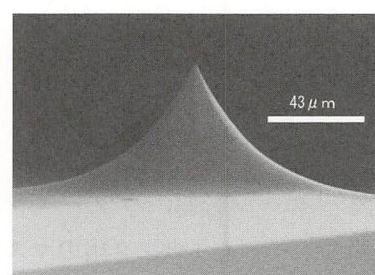
となり、半導体ひずみゲージ（共和電業製 KSP-2-1 K-E 4）によって十分測定できる範囲である。

6. ニードル作製と細胞への力印加

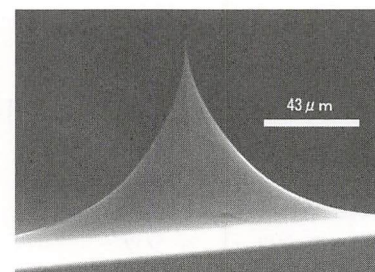
6.1 ニードル作製

マイクロシニングにより製造したニードルの電子顕微鏡画像を図 11 に示す。

図 11 (a)、(b) はレジストマスクの半径をそれぞれ $70 \mu\text{m}$ 、 $76 \mu\text{m}$ とした場合に、deep



(a) SEM 画像（レジストマスク半径 $70 \mu\text{m}$ ）



(b) 電子顕微鏡画像（レジストマスク半径 $76 \mu\text{m}$ ）

図 11 レジストマスク半径によるニードル形状の違い

RIE (STS) 装置を用いて SF_6 による等方性エッチングを 18 分間行ったものである。マスク半径 $76 \mu\text{m}$ のニードルの高さは $86 \mu\text{m}$ 、先端径は $0.65 \mu\text{m}$ であった。図 12 にその先端の拡大 SEM 像を示す。

半径 $76 \mu\text{m}$ のレジストマスクでは図 11 (b) の他に図 13 に示す形状を得る事もできた。このことよりニードルはマスク部分よりもいくらか下の部位において構築されるということが分かる。これはエッチングが進行するにつれてマスク部分下部周辺まで反応ガスが廻り難くなるために起こる現象と考える。

6.2 細胞への力印加実験

倒立顕微鏡観察下のもと、水圧マニピュレータによってニードルにより力を細胞へ加えた場

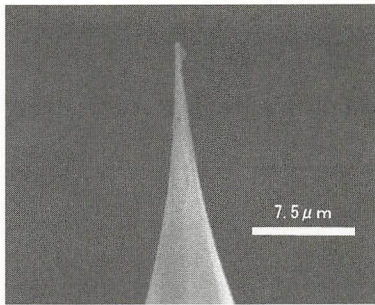


図12 電子顕微鏡拡大画像（ニードル先端部）

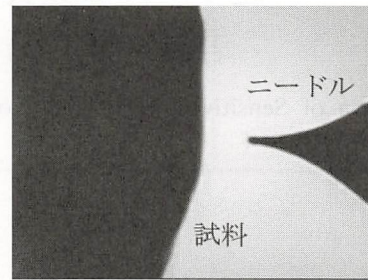


図14 細胞への力印加実験観察像

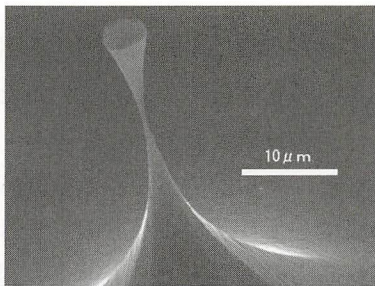


図13 電子顕微鏡画像（レジストマスク半径 76 μm）

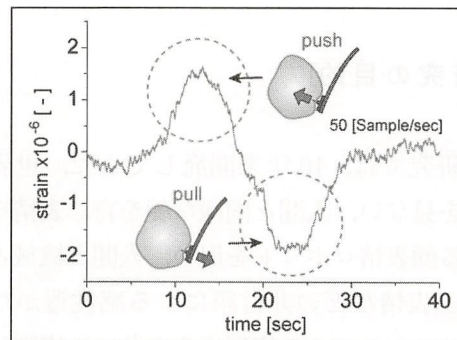


図15 細胞に力を印加した時の歪計測

合の細胞の変形について実験を行った。

試料としてミカンの粒を用いた。顕微鏡観察の様子を図14に示す。ミカンの粒に対し、ニードルを貫通させることはできなかったが、印加する力を測定することを可能とした。図15に加えた力と細胞の変形量と対応するひずみゲージの測定値を示す。図15からも細胞は変形のみを生じており、貫通には至っていないことがわかる。

【今後の研究の方向、課題】

本研究では細胞修飾用 MEMS の構造を考案し、その実現に向けた第一段階として、マイクロマシニングによる細胞への力印加用ニードルの作製と考案した力印加測定システムにより細胞へのマイクロ領域力印加実験を可能とした。ニードルは先端径が $0.65\mu\text{m}$ 、全長 $86\mu\text{m}$ であった。ミカンの粒を用いて細胞へのマイクロ領域力印加実験を行うことを可能とし、細胞変形に対応するひずみ量を測定できることを実証した。

今後は、種々の細胞について任意のマイクロ領域表面に力を印加し、その変形、貫通破壊、切断などの細胞修飾を行い、細胞の変化について観察することにより、細胞に対する修飾（ナノ手術）の効果を明らかにしていく。

【成果の発表、論文等】

- 1) Y. Takayama, S. Nagasawa, and H. Kuwano : "SHARP TIP FABRICATION PROCESS FOR CELL HANDLING", Proceedings of Int. Cont. on Nano Science and Technology 2006, to be published in August 2006.
- 2) 高山洋祐, 桑野博喜, 長澤純人 : 「細胞修飾用マイクロシステムの研究 —— コンセプトと微小針作製プロセス ——」, 日本機械学会平成 18 年度年次大会論文集, 9 月発行予定

【参考文献】

- [1] Sun Yu, K-T Wan, K. Roberts, J. C. Bischof, B. J. Nelson, Vol. 2, IEEE Trans. NanoBioscience, pp. 279 - 286 (2003)

超リアルな顔表情ロボットによる感性豊かな 言語・非言語コミュニケーションの実現

Realization of Sensitive Verbal and Non-Verbal Communication by Using Realistic Face Robot

1041007

研究代表者

東京理科大学工学部 助教授

小 林 宏

[研究の目的]

本研究では、10年来開発してきた、世界的に類を見ない、人間と同様な顔を有し表情を表出する顔表情ロボットを用い、人間と機械との音声と表情などの非言語による感性豊かなコミュニケーションを実現すると共に、実際に役に立つ統合ロボットシステムとして受付システム SAYA を完成させる。人間の顔表情は、他の生物に類を見ない最も進化したコミュニケーションツールであり、人間同士のコミュニケーションにおいて最も重要な要素であるため人間と機械の調和の促進には欠かせない。しかし、人間のようなリアルな顔表情を用いたロボットのコミュニケーション能力を追求する研究は世界的に皆無で、本研究は独創的・先導的で有意義な研究である。

[研究の内容、成果]

本研究ではまず、以前からの問題点であった

表情を表出するために皮膚の裏側から引っ張る点（制御点）の変位量不足を解決するため、アクチュエータを骨格表面上へと配置し、ワイヤのたるみなどによる変位量のロスを低減した。次に顔の表情をよりリアルなものにするため、実際の表情筋の役割を分析し、従来の制御点に改良を加えた。さらに、新たなまぶた機構、首機構を開発し、より人間に近い動きを実現した。くわえて、会話時のうなづきを人間を参考に実装すると共に、人間を視線で追う人物追跡機能も実現した。以下に詳細を述べる。

制御点に関して次の3点の改良を行った。まず、幸福の表情をよりよく表現するため、頬を上げる動作を追加した。人間には頬を上げる筋肉は存在せず、大頬骨筋により口角を上げると同時に頬も上がる仕組みになっている。それを再現すべく、口角のコネクタに薄い板を取り付け、コネクタを引くと同時に頬が上がるようにした（図1左）。次に、怒りの口（歯をむき出しにする）を表現するため、上唇挙筋の動きを追加した。さらに、下唇を上上げるオートガイ

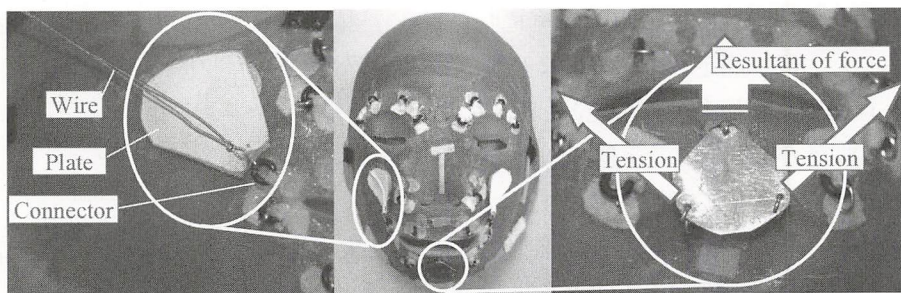


図1 制御点の改良

筋の動作を追加した（図1右）。

従来の顔ロボットでは、アクチュエータとして用いている McKibben 型人工筋肉を、後頭

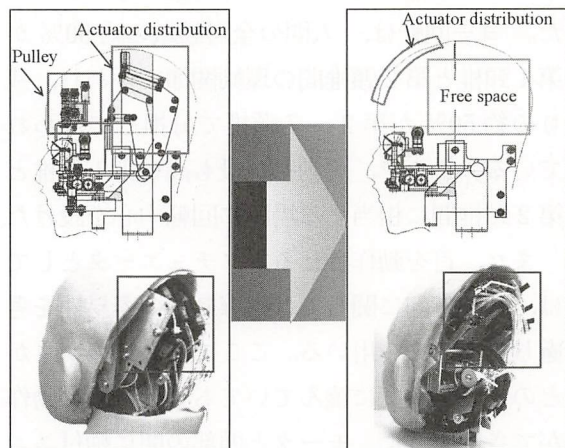


図2 アクチュエータ配置の新旧比較

部の骨格内に集中的に配置していた（図2左）。

このような配置ではワイヤにたるみが発生し、皮膚の変位量不足が問題となっていた。そこで今回は、人工筋肉を前頭部の骨格表面上に配置した（図2右）。こうすることでワイヤを短くでき、たるみも起きにくいため変位量不足が解消されると共に、滑らかな動作も実現できる。また、後頭部にスペースができたためメンテナンス性も向上し、部品数も大幅に削減できた（218部品→77部品）。図3に今回製作した顔ロボットのアクチュエータ配置と全体像を示す。

以上のように改良した結果、図4に示すような非常に豊かな表情表出が可能となり、その認識率は93%以上と非常に高い結果が得られた。

まぶた機構は図5のように設計した。顔口

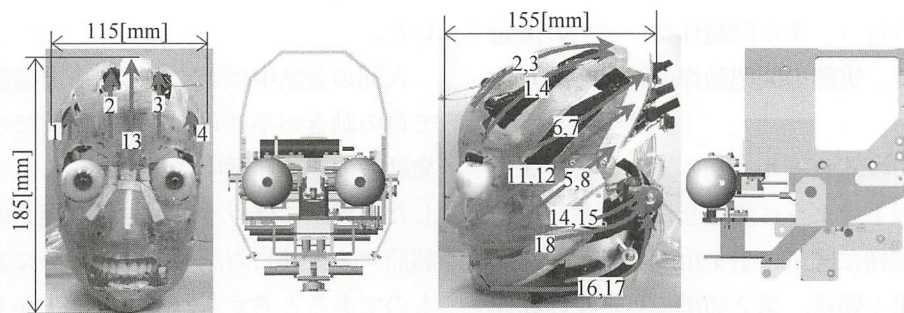


図3 新顔ロボットの構造

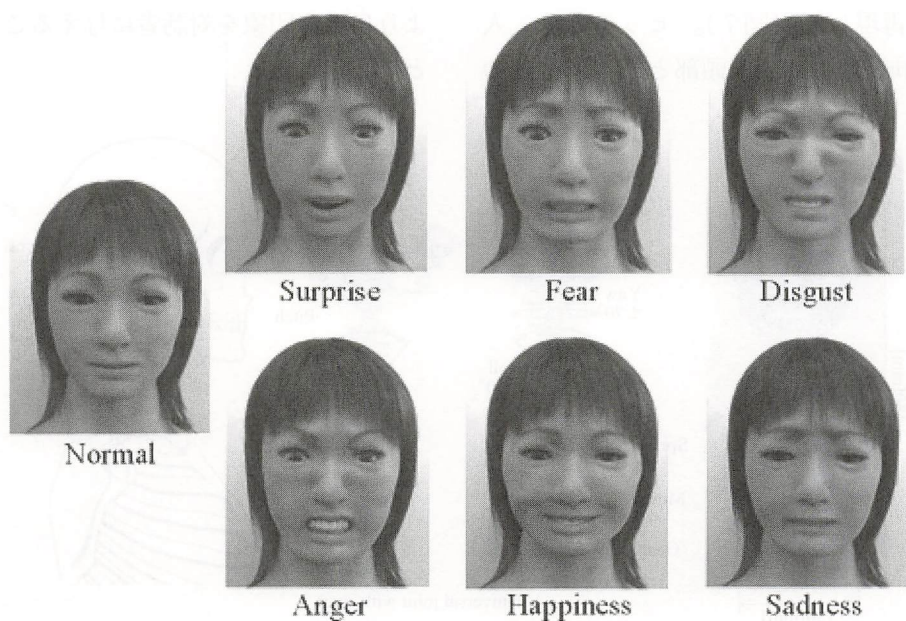


図4 表情表出例

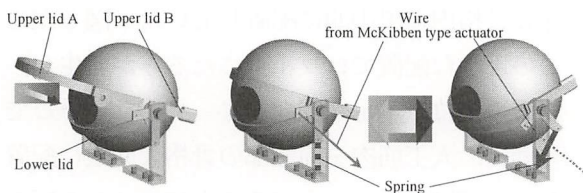


図5 まばたきのメカニズム

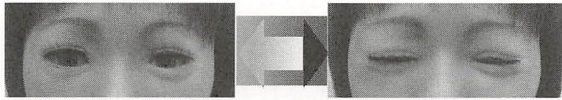


図6 まばたきの実現例

ボットは皮膚を取り外すことが多いため、上まぶたをA、Bの二つで構成し、Aを皮膚に取り付けたままの状態ですべて自由に取外せるようにすることで、メンテナンス性を向上させた。閉動作はMcKibben型人工筋肉で矢印方向に引くことにより行う。また開動作は、バネの復元力により行う。実際の開閉動作の結果を図6に示す。

首機構におけるロール、ピッチ、ヨー、3方向の動作を以下のように決定した。なお、可動域は人間と同様に図7に示す角度に設定した。

人間は、第1頸椎、第2頸椎でロールの動作は全くできず、第3～7頸椎で実現している。同様の機構を実現するため、第3～7頸椎の動きをバネで再現した（図7）。ピッチでは、人間の全可動域の約50%が頭部と第1頸椎間の

環椎後頭関節で行われ、残りの約50%が第2～7頸椎で分担している。これらを実現すべく、頭部と第1頸椎との間に回転中心を1つ設け、第2～7頸椎の動きはバネで再現することにした。ヨー回転は、人間の全可動域の約50%が第1頸椎と第2頸椎間の環軸関節で行われ、残りの約50%が第2～7頸椎で分担して行われている。そこで、可動率が最も高い第1頸椎と第2頸椎間に相当する場所に回転中心を設けた。

また、首を動作させるアクチュエータとしては、ヨー方向に関しては視線制御の容易性を考慮してモータを用いる。ここで、頸部のバネがどのような角度に撓んでいてもヨー方向の動作ができるように、モータと頭部の間に軸付ユニバーサルジョイントを採用した。ロール、ピッチ方向に関してはMcKibben型人工筋肉を用いた。

人間の会話中によく見られる非言語行動として首の動きが挙げられる。本研究では、特に、発話者のその発話中に見られるうなづきに注目した。発話に伴ううなづきは、発話のリズムを調節すると共に対話の調整のために表出されるものであると考えられ、人間同士が対話する場合にごく自然に表出される動作である。このようなうなづきをSAYAに実装することにより、より自然な印象を対話者に与えることができると考えられる。

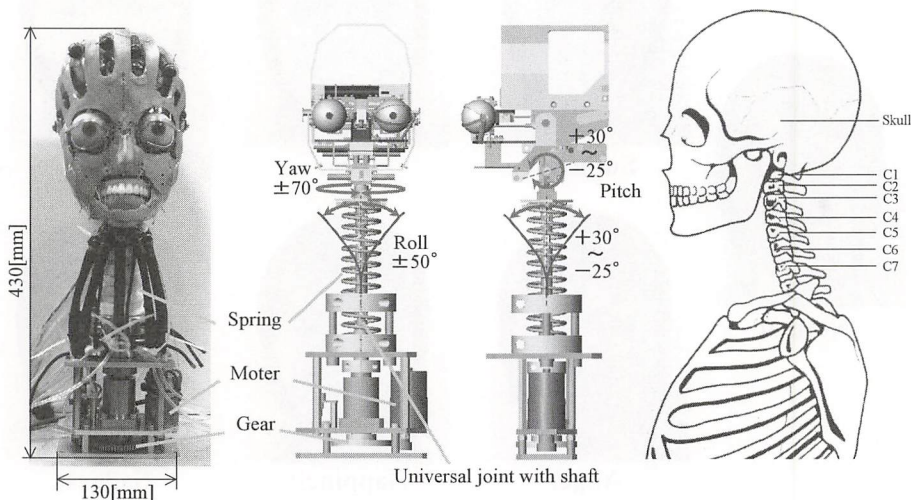


図7 首機構

うなづきを実装するにあたり、人間同士の対話を観察した結果、人間は、(1) 相手の発言を受けて話し始める場合、(2) 並列に言葉を並べる場合、(3) 相手に依頼・確認を行う場合、(4) 文章に直したときに句読点に当たる箇所、等であなづいていることが分かり、この結果を基に、SAYA に発話中のうなづき動作を実装した。

対面コミュニケーションに見られる非言語行動として、表情や首のうなづき以外に視線の動きが挙げられる。視線からもたらされる情報は非常に多く、人間は対話者の視線から意図や注意の対象を認識することができる。また、注視時間は対話者への注意や関心の度合いを示しているとも言われている。このことから、受付案内において、対話者に注意を向けて関心を示す行動は重要な動作であると考えられる。そこで本研究では、顔ロボットの左眼に内蔵されている CCD カメラから画像を取得し、2 値化処理により肌色領域の抽出を行い、近づいてくる対話者を認識して視線を向ける動きを実装した。

[今後の研究の方向、課題]

これまでは、主に機能の追求と動作量の実現を目指して開発を進めてきた。それぞれ目標は

達成したが、実際のコミュニケーションでは「動き」が重要となり、それが人間らしさを表現している。そこで今後は、速度、加速度に注目し、人間らしい動きを実現するための定量的な指針を明確にしていく。

[成果の発表、論文等]

原文雄, 小林 宏: “顔という知能 —— 顔ロボットによる「人工感情」の創発 ——”, (ISBN 4-320-12104-X), 共立出版, (2004)

橋本 卓弥, 千田 大, 山崎 洋一, 椎葉 太一, 小林 宏: “顔ロボットを用いたインタラクティブ受付システムの開発”, 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会 '04 講演論文集, 2A1-H-45 (1)-45 (3), 2004.6.18-20

2004 年 9 月 28 日 (火) - 30 日 (木) 東京国際フォーラムにおいて 「イノベーション・ジャパン」にマッスルスーツ、顔ロボット、Full Time 2WD バイク & 自転車を出展

T. Hashimoto, H. Kobayashi: “Development of the receptionist system with an anthropomorphism face” The 5th Asian Symposium on APPLIED ELECTROMAGNETICS AND MECHANICS, (2005-10-10 ~ 14)

小林宏 (東理大) 橋本卓弥 (東理大) 平松幸男 (東理大) “多様なノンバーバル機能を備えた受付ロボット SAYA の開発”, (社) 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, 2N3-2, 2005.12.16-18

機械系の位相特性に注目した人間－機械系の 性能解析に関する研究

Performance Analysis of Man-machine System from the Viewpoint of the
Phase Property of Mechanical Systems

1041009

研究代表者

岩手大学工学部 講師

佐 藤 淳

〔研究の目的〕

通常、自動制御においては制御対象とコントローラの双方とも何らかの自動装置であることが想定されている。一方、航空機、自動車などのビークルを決められた移動経路に沿って移動させることも一種の制御と考えられるが、この場合操縦者がビークルの運動を制御し経路への追従を達成するフィードバックコントローラの役割を果たしている。そのためビークルは操縦者と機械装置のダイナミクスが混在する「人間－機械系」の一種であると考えられる。

ビークルのような人間－機械フィードバックシステムの制御性能を解析する手法の一つとして、操縦者モデルを用いる手法が提案されている。これは操縦者のダイナミクスを適当な伝達関数などを用いてモデル化し、ビークルと操縦者モデル（コントローラ）からなる閉ループ系の制御性能により性能解析を行う手法である。

操縦者モデルに基づく性能解析手法は広く用いられているが、人間－機械フィードバックシステムの性能はビークルに依存することから、あらゆる操縦者モデルに対する人間－機械系の性能の上限を機械系（ビークル）の特性のみから評価できれば、ビークル設計を考える際に有用な性能評価基準となる。

そこで本研究課題では代表的な人間－機械フィードバックシステムであるビークルの運動制御について考える。まず人間－機械系の性能

解析と構造系－機械系同時最適化問題の関連に注目することで、機械系の周波数応答における位相特性という観点から性能解析を行う手法について検討する。次にこの結果に基づき、人間－機械フィードバック系を構成した際に達成される性能を向上させるための、内部コントローラ的设计手法を提案する。

〔研究の内容、成果〕

1. 構造系－機械系同時最適化問題の観点から見た人間－機械系の性能解析

人間－機械系としてのビークルの性能は、操縦者の制御操作を含むフィードバックシステムの制御性能で測られる。また操縦者は熟練の結果、制御目的に対しビークルの性能を最適とする制御則を構成するものと仮定し、操縦者を何らかの最適コントローラとしてモデル化したものを最適パイロットモデルと呼ぶ。この手法によれば、ビークル性能の指標は最適パイロットモデルを用いて構成したフィードバックシステムの最適制御性能で与えられる。

また人間－機械フィードバックシステムを構成した際の制御性能向上を目的としてビークルに搭載される内部コントローラを、本研究ではCAS (Control Augmentation System) と呼ぶ。今日 CAS は航空機、自動車などに広く搭載されている。

一般に CAS を搭載したビークルは操縦者と

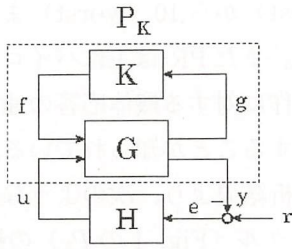


Fig. 1 人間-機械フィードバックシステム

共に Fig. 1 のようなフィードバックシステムを構成していると考えられる。

例えば航空機のピッチ角制御の場合、Fig. 1 の r , y はそれぞれピッチ角目標値、機体のピッチ角に対応し、 H , K はそれぞれ操縦者および CAS, G はエアフレーム（機体運動、センサ、アクチュエータなどのダイナミクス）から決まる適当なシステム、 P_K はビークル（すなわちエアフレームおよび CAS）に依存して決まる適当な拡大システムに対応する。

最適パイロットモデルは与えられたビークル P_K に対応して決まるため、パイロットモデルおよびビークル性能は CAS に依存する。そのため、操縦者および CAS の協調した制御により達成される人間-機械フィードバックシステムの性能解析はつぎの最適化問題に帰着される。

（CAS 設計問題）与えられたシステム G および定数 $\gamma_u > 0$ について、 H_2 最適追従性能 γ_e を最小化するような H , K を求めよ。

$$\gamma_e(\gamma_u) := \min_{H, K} \|T_e\|_2 \quad \text{s. t.} \quad \|T_u\|_2 < \gamma_u \quad (1)$$

ただし $\begin{bmatrix} e \\ u \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_e \\ T_u \end{bmatrix} r$ とする。

もし与えられた G , γ_u について CAS 設計問題が可解ならば、求まった K は最適 CAS であり、 H_2 性能 γ_e は性能の指標となる。ここで定数 γ_u は操縦者が発生可能な制御操作信号のパワーの上限に対応する。また求まった H は（最適 CAS を搭載し、拡大された）ビークル P_K に対する H_2 最適パイロットモデルとなる。

（1）式の最適化問題は一般に BMI 問題に帰

着される。そのためパイロットのダイナミクスを単純に H_2 最適コントローラで代表させ、Fig. 1 における各サブシステムを有限次元の LTI システムに限定した場合であっても、人間-機械フィードバックシステムの性能を妥当な計算コストで解析することは困難である。

一方、Fig. 1 のシステムは、 K をビークルの構造パラメータなどの受動的な要素に限定すれば、構造系と制御系の統合化設計におけるシステムの一般的な構成に類似する。Iwasaki らはこの問題に対し、フィードバックシステム全体が（準）最適な制御性能を達成するためには機械系（すなわち P_K ）の位相交差周波数が重要であることを指摘している。特に実用上重要なステップ参照入力に対する H_2 最適サーボ性能に関して、優れたサーボ性能が達成されるためには P_K の制御帯域における最大位相遅れが 180 [deg] 以下となること、すなわち P_K の位相交差周波数は要求される制御帯域より高いことが望ましいと結論づけている。

以上のような問題設定の類似性より、CAS を含む人間-機械フィードバックシステムの性能解析手法として、ビークル（機械系）の操舵応答（Fig. 1 の u から y までの応答）の位相交差周波数に注目することが有用と予想される。

2. 操舵応答の位相交差周波数に注目したビークルの最適操縦性能解析

前述の性能解析手法の有効性を検討するため、Neal らによる操縦性評価実験の結果を位相交差周波数に注目した新たな観点から解析し、人間-機械フィードバックシステムを構成した際に達成される性能との関係を明らかにした。

Neal らの飛行試験で用いられたものと同じ 52 通りの飛行形態（一つのエアフレームと 52 通りの CAS の組み合わせからなるビークル）について前述の CAS 設計問題を解き、 H_2 最適パイロットモデルに基づく航空機のピッチ角制御の性能解析を行った。

各飛行形態を $P_K^{(n)}(s)$, $n = 1, \dots, 52$ で表すと

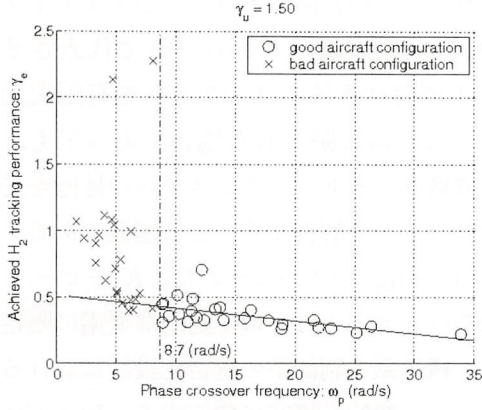


Fig. 2 各飛行形態ごとの閉ループ性能 (H_2 パイロットモデルによる評価)

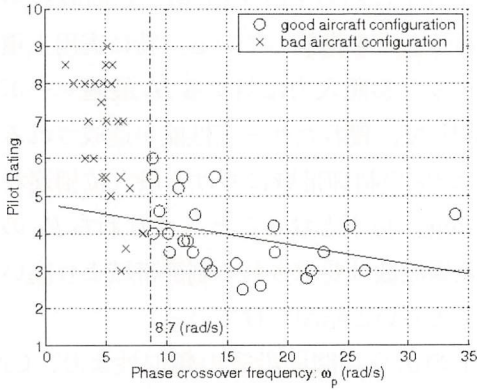


Fig. 3 各飛行形態ごとの閉ループ性能 (Pilot Rating による評価)

き、次の一般化プラント

$$\begin{bmatrix} e \\ u \end{bmatrix} = \hat{P}_n(s) \begin{bmatrix} r \\ u \end{bmatrix}, \quad \hat{P}_n(s) := \begin{bmatrix} 1/s & -P_K^{(n)}(s) \\ 0 & 1 \\ 1/s & -P_K^{(n)}(s) \end{bmatrix}$$

について (K を固定した) H_2 最適制御問題 (1) を解き、ステップ参照入力に対する H_2 最適パイロットモデルを求めた。各飛行形態ごとに達成された H_2 制御性能 γ_e を Fig. 2 に示す。その結果、位相交差周波数 ω_p が約 8.7 [rad/s] 以上となる飛行形態においては H_2 性能がほぼ最適化されることが観測された。

一方、Neal らは“Pilot Rating” (PR) に基づく性能解析を行っており、その結果を Fig. 3 に示す。PR はパイロットコメントに基づき系統的に決定される操縦性の評価指標であり、フローチャート (Cooper-Harper Scale) を用

いて 1 (best) から 10 (worst) までの数値で評価される。また PR は主にパイロットのピッチ角制御操作に対する機体応答の速応性と追従精度に依存することが知られている。

以上の解析結果より、次のような観測を得た。

- (1) ビークル (Fig. 1 の P_K) の操縦応答における ω_p が十分に高ければ、ビークル性能は PR および H_2 性能両方の意味で準最適。
- (2) 解析例のビークルについては、準最適性能基準は $\omega_p \approx 8.7$ [rad/s] 以上となる。

(1) の結果はビークルの操縦応答における位相交差周波数および人間-機械フィードバックシステムの性能の関係についての予想を裏付けるものである。また (2) の準最適性能基準はパイロットモデルに依存していないため CAS の設計仕様として扱いやすく、実用上好ましい。

3. 周波数重みを用いた有限帯域位相整形手法の提案

前述の結果より、 P_K の位相交差周波数は、人間-機械フィードバックシステムであるビークルの性能に支配的な影響を持つことが示された。

そこで更なる発展として、 P_K の位相交差周波数を整形するために有用な、フィードバック制御による有限帯域位相整形の新たな手法を提案する。この手法はモデルマッチングに基づくもので、位相整形のための重み関数を必要とするが、LMI 問題に帰着される利点がある。

与えられたプロパーな一入出力制御対象 $P(s)$ および適切な重み関数 $W_1(s)$, $W_2(s)$ について、次の H_∞ 制御問題を考える。

$$\|W_1(W_2^{-1}P_K - 1)\|_\infty < 1, P_K := (1 + PK)^{-1}PK$$

もし上式を満たすフィードバックコントローラ K が存在するならば以下が成立する。

- 任意の $\omega \in \Omega := \{\omega \in \mathbf{R} : |W_1| \geq 1\}$ について

$$\begin{aligned} |\angle P_K(j\omega) - \angle W_2(j\omega)| &< \arcsin |W_1(j\omega)|^{-1}, \\ 1 - |W_1(j\omega)|^{-1} &< |P_K(j\omega)| / |W_2(j\omega)| < 1 + \\ |W_1(j\omega)|^{-1} \end{aligned}$$

位相制約を表し、位相制約は指定した有限の帯域にのみ存在することがわかる。

• 任意の $\omega \in \bar{\Omega}$ について

$$|P_K(j\omega)| / |W_2(j\omega)| < 1 + |W_1(j\omega)|^{-1}$$

ここで整形帯域 Ω は重み W_1 により任意の区間にとることができる。また帯域 Ω において $|W_1| \gg 1$ ならば、 P_K の位相特性は W_2 の位相特性に十分近づくように整形されることがわかる。

Fig. 4 に、航空機のピッチ角制御における CAS 設計問題への応用例を示す。制御対象は小型航空機の縦運動短周期モデル (Neal ら, 飛行形態 '1F') を用いた。

図中破線は $P(s)$ の周波数応答を示し、位相交差周波数は約 2.6 [rad/s] である。そのため準最適性能基準 $\omega_p \geq 8.7$ [rad/s] を満たさない。一方実線は、提案手法を用いて設計された $P_K(s)$ の周波数応答を示す。また × 記号付きの一点鎖線は W_2 の周波数応答を示す。 $P_K(s)$ の位相交差周波数は約 20.9 [rad/s] であり、準最適性能基準を満たしていることがわかる。

また Fig. 4 における灰色の領域はゲイン /

[今後の研究の方向, 課題]

本研究では人間-機械フィードバックシステムの性能について、機械系の位相特性に注目した観点から解析を行った。今後は位相特性と人間-機械系のロバスト安定性の関係 (PIO 現象) について研究を進展させてゆく予定である。

[成果の発表, 論文等]

- 1) A. Satoh, M. Takei, and K. Sugimoto: Vehicle Control Augmentation Based on an Integrated Design Methodology, 16th International Symposium on Mathematical Theory of Networks and Systems (MTNS 2004), MA 10, Katholieke Universiteit, Leuven, Belgium, July 5-9 (2004)
- 2) 池田, 佐藤, 杉本: 位相整形による車両の横方向操縦性能向上に関する研究, 計測自動制御学会関西支部学生研究発表会 講演論文集, pp. 153-156 (2005)
- 3) 佐藤, 杉本: 構造系と制御系の統合化設計アプローチに基づくビークルの操縦性向上, システム制御情報学会論文誌, Vol. 19, No. 4, pp. 142-149 (2006)

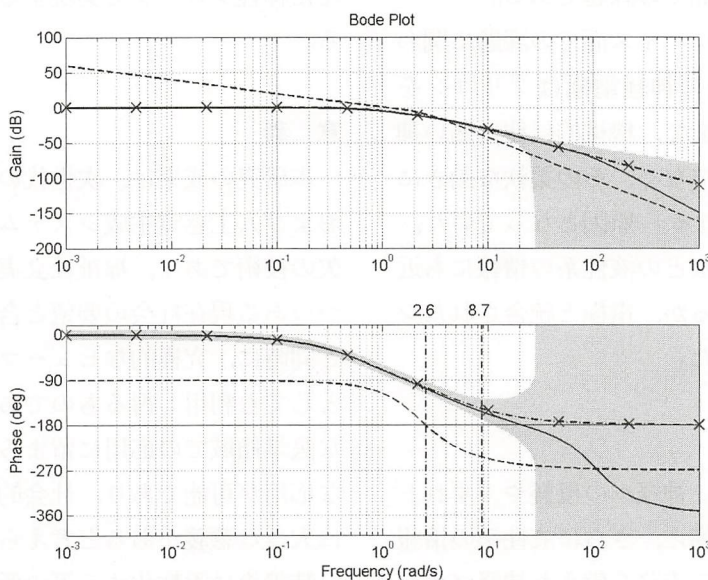


Fig. 4 航空機のピッチ角 CAS による位相交差周波数整形

流路を備えた柔軟神経プローブの開発

Development of a Flexible Neural Probe Integrated with Fluidic Channels

1041012

研究者代表

東京大学大学院情報理工学系研究科 特任講師

鈴木 隆 文

[研究目的]

背景

神経情報による義手等の制御や、人工視覚等のシステムを実現するための基盤技術として、神経系とのインタフェース技術が注目されている。神経インタフェース技術は、上記の補綴的な神経工学技術として、人間と機械の新しい調和関係を構築するためのみならず、脳科学の新しいツールとしての意義も大きい。

神経インタフェースの実現のためには大きく分けて二つの課題がある。それは、いかにして生体の神経系と人工機器とを接続するかというデバイス面での課題と、神経系の信号をいかに解釈し、逆に神経系にいかに情報を入力するかというコーディング面での課題である。

本研究は、前者のデバイス面での課題に関わるものである。従来の神経電極はシリコンをベースとした固い構造で、機械的侵襲に弱い神経組織を痛めるだけでなく、その柔軟な動きに追従できずに、「ずれる」原因となっていた。さらに神経修飾物質などの液性系の情報にも近年注目が集まっているが、電極と統合されたシステムは皆無であった。

研究目的

そこで本研究では、神経への侵襲や「ずれ」を防止する柔軟性を備え、さらに液性系の情報の入出力を可能とする流路を備えた神経プローブを開発することを目的とする。具体的には以

下の課題を遂行する。

- A) 流路による薬液注入・吸引（サンプリング）技術の確立
- B) 流路内外に配置した電極による神経信号計測技術の確立
- C) 流路への再生神経軸索の誘導の検討
- D) 流路を利用した刺入時硬化と刺入後の柔軟化方法の検討

さらに申請研究期間を超えた長期的な目標としては、柔軟な生体神経システムとの真に融合した神経インタフェースシステムの実現を考えている。このためには、例えば新たに接続した義手をすみやかに違和感なく制御するために必要な神経系の可塑性の促進等を、この流路を備えた神経プローブで実現することを目指している。

意義

本研究の成果は、次世代の人工肢・人工臓器および人工感覚生成システムの実現に必要不可欠の技術であり、福祉社会実現の要求が増大しつつある現在社会の要望と合致するものであると同時に、究極的なヒューマンインタフェースとしても利用し得るものである。また、補綴的な医学領域での応用に留まらず、非常に広範囲な応用が可能であり、社会的・産業的にも非常に大きな意義があると考えられる。

装着後に柔軟化する等の新しい装着方法を提案することで柔軟な神経電極を実現するという

点と、電極と流路とを多点で統合する点は大きな特色であり、神経電極分野だけでなく、マイクロマシン分野においても従来なかった新しいアイデアである。実現の暁には人工視覚などの神経インタフェース技術に大きく寄与するだけでなく、機械的な侵襲度の低減が求められる医療マイクロデバイス技術全体への寄与も非常に大きいと考えられる。

[研究の内容、成果]

以下に研究の内容、成果を記す。動物を対象とした実験については、全て東京大学動物実験実施マニュアルに基づいて行った。この中では、動物の苦痛の軽減などの原則に則って、麻酔薬の使用等について具体的に規定されている。

0) 電極の作成方法の確立

以下の各課題を遂行するために、各種の仕様の電極を再現性良く作成するための電極作成方法について条件出しを行った。特に流路構造の強化に関して検討を行い、上層のパリレンの形成の前に、下層のパリレンの表面を荒らす処理を行うことによって、流路を強化できることができた。また、さらに強化するために、炉の中で熱的に接着強化を図る方法も開発した。以降は、必要強度に応じて、これらの2つの方法を選択的に用いることとした。

A) 流路による薬液注入・吸引機能の確立

流路の形状を変更し、薬液の注入吸引能力について検討した。特に、吸引に際しては、流路が陰圧でつぶれてしまうことが予想されるため、流路内への「柱状構造」の構築を検討し、陰圧でつぶれにくい構造となることを示した。

B) 流路内外の電極による神経信号計測

流路内の電極による神経電位計測と、流路外の基板上に配置した電極による神経電位計測に関して、計測波形、長期間での影響等について

検討を行った。流路内の電極による神経電位計測評価は、ラット大脳皮質への刺入実験によって行った。流路内の電極によっても神経信号が計測可能であることが示された。

C) 流路への PEG 等の導入による刺入時の硬化と刺入後の溶解の確認

柔軟なプローブは、そのままでは神経組織に刺入できないことが予想される。その対策として、流路内に生体内で溶解する物質を注入することを検討した。ポリエチレングリコール (PEG) をはじめ、スクロース (ショ糖) など他の物質についても検討した。

この方法は、流路のない柔軟電極においても提案してきたものであるが、表面をコーティングする方法では、コーティング厚の再現性に課題があった。今回の流路を備えた柔軟電極においては、流路を利用することによって、この再現性の問題が解決されることを期待した。

まず、ポリエチレングリコール (PEG) による検討を行い、生理食塩水への浸水の数分後に PEG が溶解していることを、連続計測した電極インピーダンスが急激に低下することによって確認した。さらに、神経組織への刺入に必要な硬さが得られていることも確認した。PEG 以外の物質として、スクロース等も検討したが、流路への導入が PEG に比較して困難であった。

D) 流路への再生神経軸索の誘導

流路内に再生神経軸索を誘導し、神経再生型電極としての可能性について検討した。

再生型電極とは末梢神経の切断後の再生能力を利用した電極であり (図 1), 再生軸索を穴状の電極に誘導することによって、針状の電極で常に問題となる「ずれ」を防止し、また適切な穴径を選択することによって、1～数本の軸索とのインタフェースを実現することを目指すものである。

しかしながら、従来型の再生型電極は図 1 に

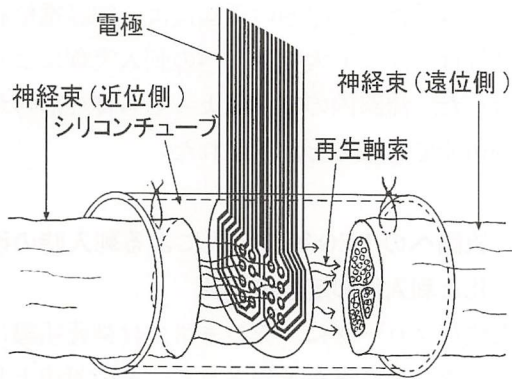


図1 従来型の神経再生型電極の原理図
切断した末梢神経から再生する軸索が穴上の電極を通過することによって、物理的に固定される。

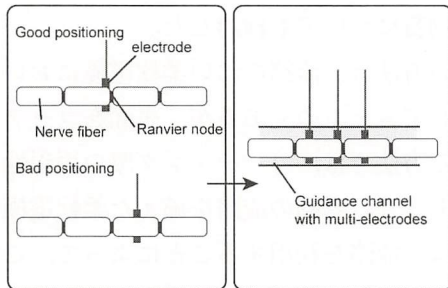


図2 従来の再生型電極の計測上の問題点。従来提案されてきた再生型神経電極はいずれも平面状の構造であり電極と神経線維とは1点でのみ接触するため、電極がランビエノードから遠い場合に計測できないことが考えられる。今回提案する再生型電極では、流路内に複数の電極を配置することによって、この問題の解決を図る。

示されるように、いずれも平面型の構造となっており、軸索に対して1点でしか接触できなかった。このため、ランビエノードから電極が遠い場合に穴の中を通過しているのにも関わらず、計測ができないという問題があった。そこで、流路を利用して、図2のように複数点で軸索と接触しうる新しい再生型電極を開発することを目指した。これによって、テトロード電極のように、計測した複数本の神経信号の弁別処理においても有利となることが期待される。

図3に概念図を示す。多数本並べた流路の中には電極を複数配置しておく。これを最終的に丸めていくことによって、ストローを束にしたような構造となる。作成方法(断面方向)を図4に示す。流路の高さは厚膜レジストの厚さ次第で決まる。このレジストは巻いたあとでアセ

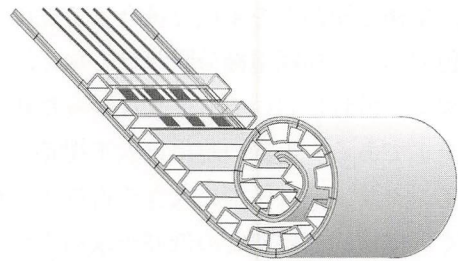


図3 今回提案する再生型電極。フィルム上に多数の流路構造を並べ、巻いて固定してから流路内の厚膜レジストを除去する。

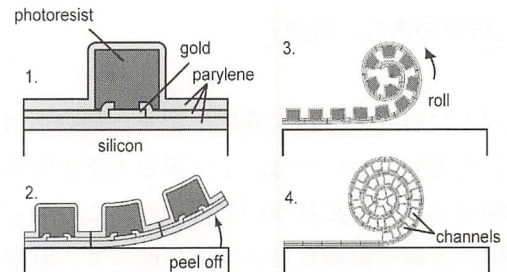


図4 提案する再生型電極の作成方法。フィルム上に多数の流路構造を並べ、巻いて固定してから流路内の厚膜レジストを除去する。

トンによって除去する。

試作版の製作に取り組んだ結果、設計通りのプローブを作成することに成功した(図5)。再現性良く流路構造を作成するために、レジストフィルムの利用などを検討したが、流路内へのフィルムの残留等が大きな問題となった。結果として液体型の厚膜レジストを使用し、コート条件等を工夫することで問題を解決した。

[今後の研究の方向、課題]

1) 流路による薬液注入・吸引の確認

今後は、さらに「弁」構造を付与することによって、注入吸引量のより正確な制御を実現することを検討中である。また、慢性的な薬液注入を実現するために、小型モータと組み合わせたシステムについても検討を行っている。

2) 流路内外の電極による神経信号計測

本研究においては、特に流路内の電極による神経電位計測機能について、ラットを用いた実験によって評価を行ったが、流路内の電解液を

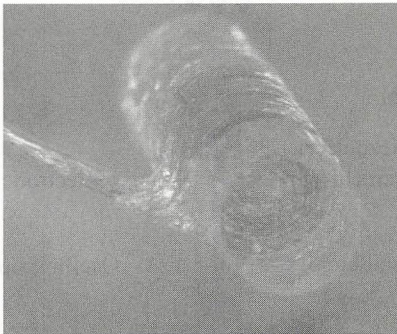
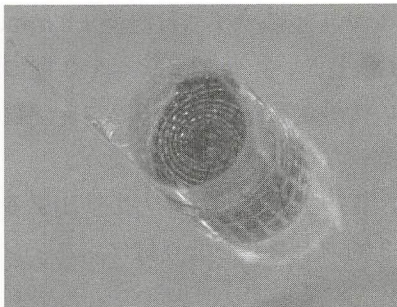
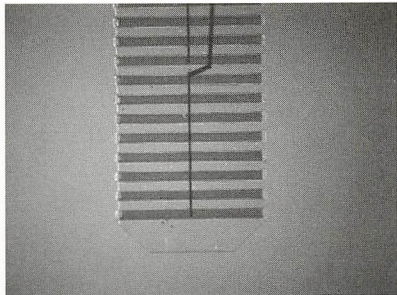
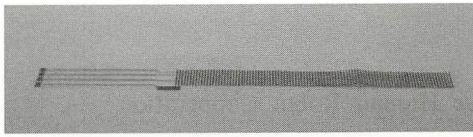


図5 試作した再生型電極の写真
流路は幅 $100\mu\text{m}$ 、高さ $40\mu\text{m}$ 、長さ 1.5mm 。これを
100本並べた構造を作成し、巻いた後で固定する。

安定させることによる、より安定した計測の実現を検討中である。

3) 流路への PEG 等の導入による刺入時の硬化と刺入後の溶解の確認

ポリエチレングリコールによる実験においては数分後に流路内の PEG が溶解することが確認されたが、この「数分間の溶解」が神経組織への侵襲の低減に与える影響について、より詳細な検討が必要である。PEG 以外の物質として、スクロースなどを検討してきたが、現段階では、PEG 以上の特性は得られていない。他の物質についても検討中である。

4) 神経再生型電極への応用の検討開始

流路に再生軸索を誘導することによる、再生型電極の検討を行った。今後、実際にラット坐骨神経等への埋め込み評価実験を行う予定である。

[成果の発表、論文等]

- 1) Takafumi Suzuki, Naoki Kotake, Kunihiro Mabuchi, Shoji Takeuchi: Flexible regeneration-type nerve electrode with integrated micro fluidic channels, Proceeding of International Conference on Micro technologies in Medicine and Biology, 303–305 (2006)
- 2) Takafumi Suzuki, Dominik Ziegler, Kunihiro Mabuchi, Shoji Takeuchi: Flexible neural probes with micro-fluidic channels for stable interface with the nervous system, Proceeding of 26th International Conference of the IEEE EMBS, 4057–4058 (2004)

人とロボットの協調のための柔軟触覚センサの開発

Development of Flexible Tactile Sensor for Human Robot Cooperation

1051001

研究者代表

東北大学大学院工学研究科 教授

新井 史 人

[研究の目的]

人と共存するロボットの実現のために、現在、人間の肌のように表面が柔軟な触覚センサが必要とされている。また、近年セルフセンシングの重要性が高まっている。セルフセンシングの利点は、センサが故障しているか否かを容易に把握できる事である。今後様々な機器が自動化される事を考えると、セルフセンシングはセンサの異常による暴走やシステムの不安定化を防ぎ、機器の安全性を高めると考えられる。そこで本研究ではセルフセンシング可能で、柔軟な触覚センサを開発し、ロボットへの適用を試みる。

[研究の内容、成果]

1. 圧電振動型センサを用いたロボットフィンガ

1.1 触覚センシングの原理

図1を用いて、この触覚センサの原理を説明する。両面に電極を蒸着した圧電素子の一方の電極に、圧電材料の共振周波数で交流電圧をかけて、逆圧電効果により素子を振動させる。もう一方の電極で圧電効果により、その信号を検知する。そして、皮膚のような柔らかい媒体を介して外力が加えられた時に、振動子の拘束条件が変化するので、出力信号にも変化が表れる。その変化を測定することによりその力を測定する。このセンサの原理は文献[1]で詳しく述べた。

1.2 設 計

設計したロボットフィンガの構造を図2に示す。センサ1本のサイズは直径1.0 mm、長さ5.0 mmと小さい。センサ9本を3列に配置し、物体との接触状態を認識する。フィンガ表面は非常に柔軟なポリウレタンで覆う。

また、指の根元にかかる力を検出するために市販の3軸力センサを取り付け、フィンガ全体

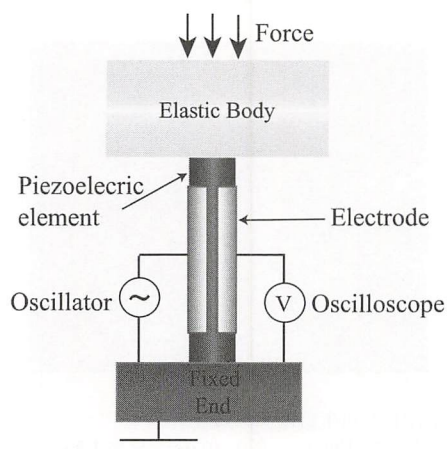


図1 圧電振動子を用いた触覚センサ

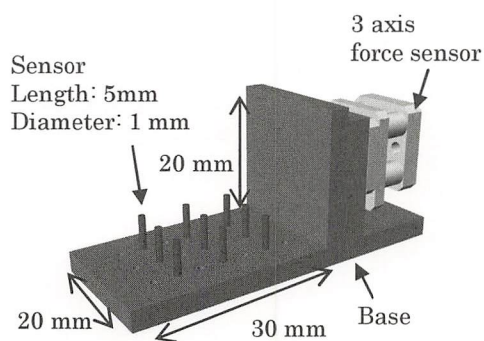


図2 ロボットフィンガの構造

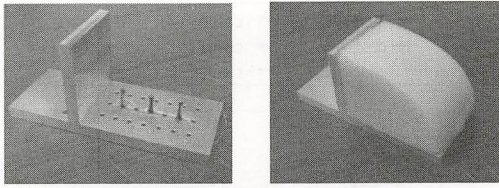


図3 ロボットフィンガの写真

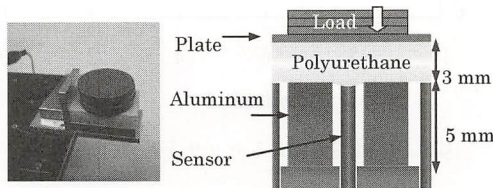


図4 センサの静加重測定実験の様子

にかかる力を測定できるようにした。

1.3 製作

以下の手順でフィンガを製作した。

- (1) 水熱合成法（文献〔2〕）を用いて直径 1.0 mm のチタン基板に PZT 薄膜を成膜する。
- (2) 長さ 8.0 mm に分割し、真空蒸着装置（JEOL, JEE-400）を用いてアルミニウム電極を両面に蒸着する。
- (3) センサを穴の空いた板厚 3.0 mm のアルミ板に差し込んで固定し、配線をする。今回は初期実験のためセンサ数を 3 本とした。
- (4) 人の指の形を模した柔軟なポリウレタン（エクシールコーポレーション（株）製、「人肌のゲル」）で覆う。

製作したフィンガの概観を図 3 に示す。

1.4 基礎実験

センサにかかる力と出力の関係を測定するために以下のような実験を行った。図 4 のように、厚さ 5 mm、直径 3 mm の穴の空いたアルミ板のフレームでセンサを囲い、その上に厚さ 3 mm のポリウレタンを載せる。さらに力がポリウレタンに均一にかかるように薄い板を載せ、さらにおもりを載せる。おもりの荷重によりポリウレタンは変形する。その変形により、センサの先端に力が加わり振動が弱まり、センサの出力が変化する。センサは 1 次と 2 次の振動

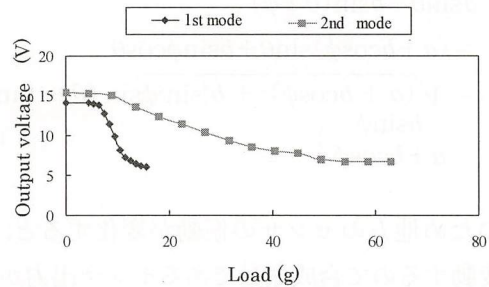


図5 おもりの重さとセンサの出力の関係

モードで共振させ、それぞれについて実験を行った。おもりの重さとセンサの出力の関係の結果を図 5 に示す。なおセンサの出力は 1,000 倍に増幅してある。また、センサの入力は 1 次モードで 5.0 V, 26.0 kHz, 2 次モードで 5.0 V, 143.5 kHz である。

実験結果より荷重が増えるにしたがってセンサの出力は下がっていき、一定荷重を過ぎるとセンサの出力も一定になる。また出力が 5 g 付近まで変化しないのはセンサとポリウレタンの間に 0.1 mm ほどの隙間がありポリウレタンの変形がセンサに伝わらなかったためである。またセンサの振動モードで比較すると、1 次モードでは非常に高感度で測定範囲が 5 g から 15 g の間で急激に出力が変化する。2 次モードでは 1 次モードより感度は下がるが、測定範囲 5 g から 55 g で広がっている。これによりこのセンサ振動モードを選定することで適切な感度、測定範囲を選ぶことができることが分かる。3 次以降のモードに関してはリーク電圧が原因で計測できなかった。

2. センサの集積化

本センサは振動型であるので、センサ同士の干渉が問題となる。センサ 2 本を同じ周波数で共振させるとセンサは入力電圧による振動（振幅 a ）と他方のセンサ振動によって起こる振動（振幅 b , 位相差 ϕ により式（1）に示すように振動が合成される。

$$\begin{aligned}
 & a\sin\theta + b\sin(\theta + \phi) \\
 &= (a + b\cos\phi)\sin\theta + b\sin\phi\cos\theta \\
 &= \sqrt{(a + b\cos\phi)^2 + b^2\sin^2\phi} \sin(\theta + \tan^{-1} \frac{b\sin\phi}{a + b\cos\phi}) \quad (1)
 \end{aligned}$$

このため他方のセンサの振動が変化すると、 b が変動するので合成振動であるセンサ出力が変化してしまう。この干渉の例を示す。センサ 1、2 とともに 5.0 V、共振周波数の 143.5 kHz の入力を与えて振動させる。そしてセンサ 2 に触れ、センサ 2 の振動を止める。するとセンサ 2 の出力が大幅に減るだけでなく、センサ 1 の出力もそれに応じて下がってしまう。この原因はセンサ 2 の振動で生じるセンサ 1 の振動も止まったためである。

この問題を式 (2) に示すようにセンサの入力の位相差を調整することで、合成された振動の振幅を入力による振動の振幅と同じにすることで解決を図った。

$$\begin{aligned}
 \sqrt{(a + b\cos\phi)^2 + b^2\sin^2\phi} &= a \\
 \cos\phi &= -\frac{b}{2a} \\
 \phi &= \cos^{-1}(-b/2a) \quad (2)
 \end{aligned}$$

上記の式のように位相差を決定すれば合成された振動の振幅と元の振動の振幅は同じになる。ここで、位相差 ϕ の違いによる干渉の影響を比較するため、入力電圧による振動の振幅 $a=20$ 、他方のセンサ振動によって起こる振動の振幅 $b=10$ として、他方のセンサ振動によって起こる振動の振幅 b の減少と合成された振幅 A の関係の計算結果を図 6 に示す。

図 6 より、位相差 ϕ を $\cos\phi = -b/2a = -1/4$ なるようにすれば他のセンサの振動状態によらず、センサ出力がほとんど変わらなくなる。つまりセンサの干渉をなくすることができる。またそれ以外の位相差では他のセンサの振動の減少に対し、センサ出力は変動するので正確な力計測ができない。

次に実際のセンサにおいて位相差の違いによ

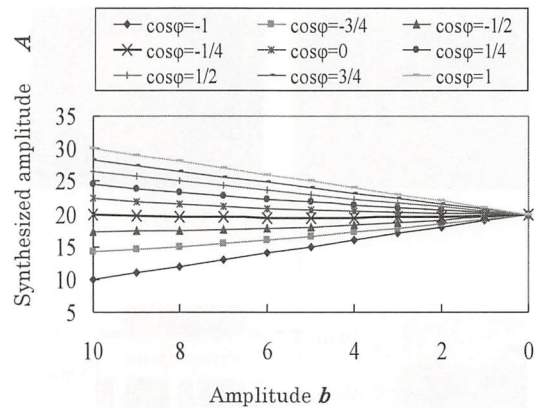


図 6 位相調整によるセンサ干渉の打消し

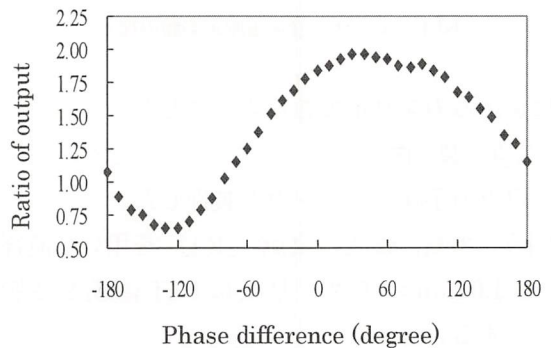


図 7 センサの干渉打消しの実験結果

る干渉量を測定するため、センサ 2 本に位相差を与えて振動させ、センサ 2 の振動を止める前と止めているときのセンサ 1 の出力比を測定した。測定結果を図 7 に示す。

測定結果より -80° と -180° 付近で出力比が 1.0 となり、干渉によるセンサ出力の変化がなくなった。位相差を調整すればセンサ 2 の出力の変動によらずセンサ 1 の出力の振幅は変動しないので干渉を抑えることができる事が分かる。今回はセンサ 2 本で実験を行ったが、センサを増やしていった場合は干渉による振動はその分増え、干渉を抑える位相差はそれぞれ違うのですべての干渉を抑えることはできない。ただし、位相差を調整することにより、その影響を小さくすることが可能である。

3. ロボットハンドへの応用

センサの動作確認をするため、製作したフィングをハンドアームに搭載して薄板を持ち上げ

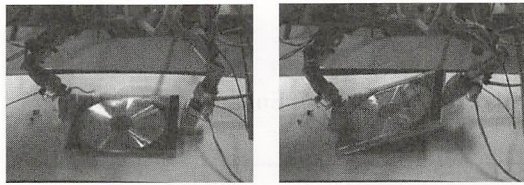


図8 ロボットによる持ち上げ動作の様子

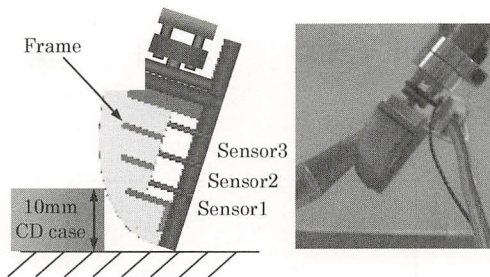


図9 指先の接触状態

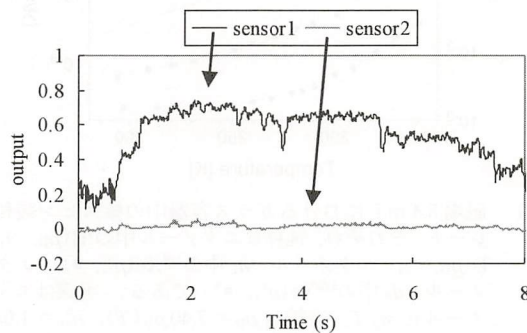


図10 触覚センサの出力

る動作を行う。

製作した圧電振動型センサを搭載したフィンガは人差し指に取り付けた。対象物としてCDケース（124 mm×142 mm×10 mm）を用いる。ロボットの手先に軌道を与えることにより持ち上げ動作を行った（図8）。指先の接触状態の様子を図9に示す。図10に指先がケースを把持する前後の触覚センサの出力状態を示す。この実験ではSensor 1のみが対象物と接触しているために、Sensor 1の出力だけが接触、把持後に大きくなっていることが確認できた。

初期実験として三つのセンサで実験を行ったが、さらなる集積化が課題となる。集積化においては、センサ間の干渉が最大の問題となるが、センサをゴムのような弾性体に固定すればセン

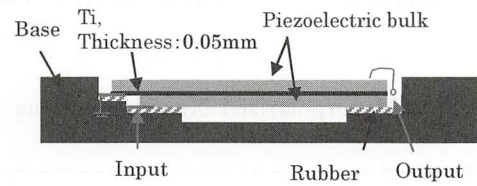


図11 集積化に向けた触覚センサの断面図

サ振動は干渉しない。そこで図11に示す構造の集積化圧電振動型触覚センサを考えた。土台の上にゴムのような振動吸収材を張る。その上に電極を蒸着し、センサ素子を固定することで干渉を防ぐことができた。この方法を用いると今後、更なる小型・集積化が可能になると考えている。

[今後の研究の方向、課題]

このセンサは小型で製作することが可能なので、集積化が容易であり、センサをハンド把握面全体に分布させることで、ハンド表面の対象物の把握力の検知や把握位置の確認、把握物体の形状認知が可能となる。今後の課題としてはセンサの構造や加工方法を見直し、センサをより集積化してロボットハンドに実装し、得られたセンサ出力をフィードバックしハンドの制御に応用することである。

[成果の発表、論文等]

- 1) 新井 他：圧電振動型センサの集積化とロボットハンドへの応用，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会，2A1-N-104，2005
- 2) 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 投稿予定

[参考文献]

- [1] K. Motoo, F. Arai, et al.: Proc. MHS 2004, p. 283, 2004
- [2] Y. Ohba, et al.: Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 32, p. 4095, 1993

偏極キセノン原子を用いた体にやさしい MRI 造影剤の開発

Hyperpolarized Xenon Solutions for Medical MRI with Spin Enhancement

1051002

研究代表者

兵庫県立大学大学院物質理学研究科 助教授

石川 潔

[研究の目的]

MRI 画像診断の造影剤を開発するため、半導体レーザーにより核スピン偏極したキセノン (Xe) 溶液のスピンドYNAMIXを調べた。造影剤として偏極 Xe 溶液が可能になれば、例えば、体に負担の少ない MRI による消化器系の検査が可能になる。放射線を使わない MRI 診断と金属を使わない造影剤。これら 2 つの組合せは、先端医療機器と人間の調和につながるアプローチである。以上のような夢を実現するため、本研究は、高偏極 Xe 原子を液体に溶かし、溶解度、化学シフト、偏極の持続時間などの温度・磁場依存性を調べ、Xe 溶液の造影剤としての性能を検討した。

[研究の内容、成果]

1. 研究背景

偏極 Xe 原子を気体として吸引すると、肺の画像診断ができる。当初、肺から血液に溶けて全身の循環系までも MRI 診断できると期待されたが、電解質溶液中のスピンの緩和時間が短く、全身にいきわたるには造影剤としての性能の大半を失う。そこで、溶液中の偏極 Xe 原子のスピンの緩和機構を詳しく調べ、濃くて長持ちする偏極溶液を開発できると、とても役に立つ。偏極 Xe 溶液を飲むことができれば、消化器系の MRI 診断も体にやさしいものになる。これまでの研究をまとめると、図 1 に示すようなス

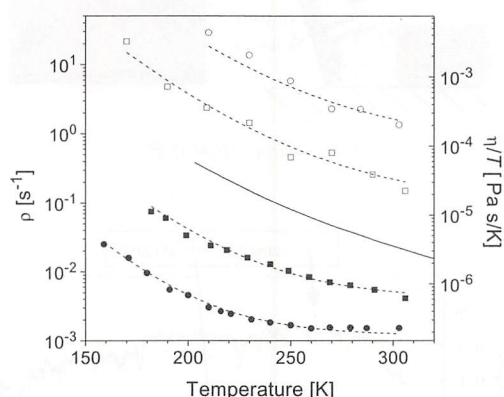


図 1 磁場 5.4 mT におけるガラス容器中の核スピン緩和レート。それぞれ、純粋なエタノール中の ^1H (ρ_{H} , $\square$), D (ρ_{D} , $\circ$), エタノール- d_6 中の ^{129}Xe ($\rho_{\text{Xe}}^{\text{A}}$, $\blacksquare$), エタノール- d_6 中の ^{129}Xe ($\rho_{\text{Xe}}^{\text{B}}$, $\bullet$) である。実線はエタノールの η/T , 破線は $\rho_{\text{D}} = 7.40 \rho_{\text{H}}(T)$, $\rho_{\text{Xe}}^{\text{A}} = 1.03 \times 10^{-2} \rho_{\text{H}}(T) + 2.87 \times 10^{-3}$, $\rho_{\text{Xe}}^{\text{B}} = 9.53 \times 10^{-4} \rho_{\text{H}}(T) + 1.06 \times 10^{-3}$ である。ここで, $\ln \rho_{\text{H}}(T) = 3.313 - 5.39 \times 10^{-2} (T - 158.5) + 1.4 \times 10^{-4} (T - 158.5)^2$ である。

ピン緩和レートの温度依存性が得られる。4 種の核スピン緩和レートと粘性率 η を比較すると、エタノール中のスピンの緩和の原因のほとんどが、Xe 原子とエタノール分子の磁気双極子相互作用であることがわかる。重水素化エタノール中では、偏極が約 10 分持続することが見て取れるが、室温付近で、ある下限値に漸近している。Xe 原子の偏極を長持ちさせるため、この下限値の原因について調べた。

2. 実験装置

気体を流しながら連続的に Xe 原子を核スピン偏極する装置を、図 2 に示す。特に、光ポンピングする容器の両側から高出力半導体レーザー光を照射したので、スピン偏極の効率がよ

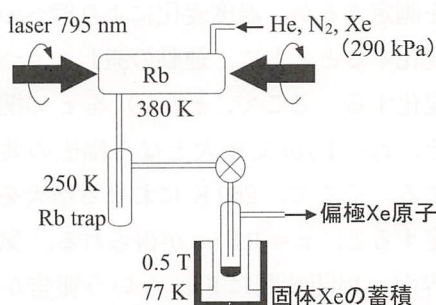


図2 Xe原子の核スピン偏極装置。緩衝ガスを除く場合、Xe原子を固体にする。混合ガスのまま使用する場合、連続的に偏極Xe原子を取り出すことができる。

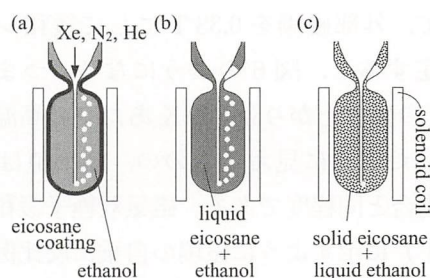


図3 くびれのあるガラス容器。Xe原子はエタノールに容易に溶け、液体だけでなく液相と気相を行き来する。くびれにより、Xe原子の移動を抑制する。容器の内径は9 mmで、長さは21 mmである。
(a) 容器の内壁を重水素化エイコサンでコートした。コートの平均的な厚さは0.16 mmである。
(b) エイコサンの融点より温度を上げると、エイコサンはエタノールに溶ける。あらかじめエイコサンを秤量し、均一なエタノール溶液を得る。
(c) 冷室素ガスでガラス容器を急冷すると、容器はエイコサンの微小な結晶でみたまされる。

い。まず、Xeガスに緩衝ガスであるヘリウムと窒素を加え、Rb金属を入れ暖めた容器に導く。Rb原子が吸収する波長の円偏光を照射すると、光からRb原子を経てXe原子に角運動量が移り、核スピンが偏極する。そのうち、氷点温度でRb原子を取り除き、液体窒素温度でXe原子を固体にすると、緩衝ガスを除くことができる。偏極Xe原子の固体を暖めて気体にし、実験で使用する。

図3に、核スピン緩和レートを測定するためのガラス容器を示す。偏極Xe原子がエタノールに溶解していくようすをMRI観測すると、Xe原子は、吹きつけるだけでエタノールに溶け、また、溶解した原子が容易に気相に戻ってくることがわかる。これは、偏極Xe溶液を作

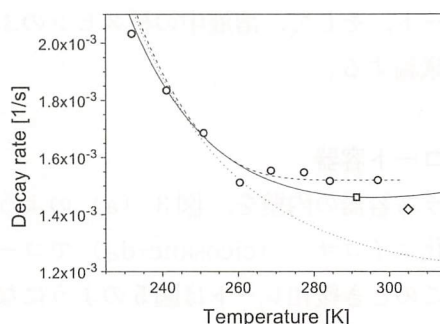


図4 コートのないガラス容器内における偏極Xeの重水素化エタノール中の核スピン緩和。容器の内径と外部磁場は、それぞれ、13 mmと5.4 mT(○)、18 mmと0.1 T(◇)、9 mmと0.1 T(□)である。破線は、磁場5.4 mTの観測値を内挿した曲線である。エタノール分子との磁気双極子相互作用による緩和レート ρ_{dd}^{st} は、260 Kで 4.7×10^{-4} 1/sである。点線は、 $\rho_{dd}^{st} + 1.06 \times 10^{-3}$ 、実線は、 $\rho_{dd}^{st} + 3.5 \times 10^{-6} T + 2 \times 10^{-4}$ である。

るのに適した性質である。しかし、Xe原子が、緩和時間内にさまざまな環境間を移動するので、スピン緩和の原因を調べるのには適さない。そこで、図3のようにガラス容器の上部にくびれを作り、Xe原子が長時間にわたり溶液中の観測領域にとどまるように工夫した。くびれによりXe溶液の対流を抑え、また、気-液境界面を観測領域内に存在しないようにできた。この容器によって、スピン緩和の舞台は、エタノール中または壁表面に限定される。

3. コートのない容器

図1に示すXe原子のスピン緩和レートの一部を拡大して描くと、図4のようになる。低温側の温度依存している部分は、エタノール分子(ethanol- d_6)との磁気双極子相互作用による緩和である。室温付近で、容器の内径を9 mm(□)から18 mm(◇)に変えると、容器が大きいほど緩和レートが小さくなっている。しかし、その変化はわずかなので、Xe原子が拡散で広がっているのではないことがわかる。磁場依存性が見られないのは、 $B_0 = 5.4$ mTと0.1 Tのどちらの共鳴周波数も、原子の運動による磁場揺動の周波数より小さいからである。以降では、内壁をコートしていないガラス容器中の緩和レートと比較しながら、コート容器中の緩

和レート，そして，溶液中の核スピンのふるまいを議論する。

4. コート容器

ガラス容器の内壁を，図3（a）のように重水素化エイコサン（eicosane-d₄₂）でコートした。このとき緩和レートは図5のようになり，どの温度でもコートした方が緩和が抑えられている。また，温度260 K付近では，緩和レートに極大が見られる。このような実験結果を説明するため，Xe原子とエタノール分子，Xe原子とエイコサン分子との磁気双極子相互作用について考察する。相互作用が球対称であると仮定し，磁気双極子緩和レートを次のように表わす。

$$\rho_{dd} = \left(\frac{\mu_0}{4\pi} \right)^2 \frac{2}{15b^6} \gamma_{Xe}^2 \gamma_D^2 \hbar^2 S(S+1) \tau_c \times [J(\omega_{Xe} - \omega_D) + 3J(\omega_{Xe}) + 6J(\omega_{Xe} + \omega_D)] \quad (1)$$

ここで， τ_c は揺動磁場の相関時間， $J(\omega) = 1/(1 + \omega^2 \tau_c^2)$ ， $\gamma_{Xe} (< 0)$ と $\gamma_D (> 0)$ は，それぞれ，キセノンと重水素核の磁気回転比， $\omega_i = \gamma_i B_0$ ， μ_0 は真空の透磁率， b はXeと重水素核の平均距離，そして S は重水素の核スピンである。実際に観測する緩和レートは，Xe原子が液体・界面それぞれのサイトに存在する確率で重みづけられる。実験では緩和レートの温度依

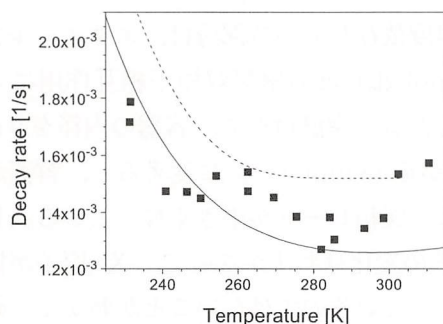


図5 磁場0.1 Tにおける偏極Xe原子のスピン緩和レートの温度依存性(■)。内径9 mmの容器の内壁を重水素化エイコサンでコートし，Xe原子を重水素化エタノールに溶かした。エイコサンの融点付近では緩和が速くなっている。破線は，図4（○）の磁場5.4 mTにおける緩和レートの内挿値，実線は $\rho_{dd}^0 + 3.5 \times 10^{-6} T$ である。

存性を測定するが，温度変化により壁への吸着量が変化するとともに，運動の激しさ，つまり τ_c が変化する。ここで， $\tau_c J(\omega)$ を τ_c の関数と見ると， $\tau_c = 1/\omega$ で極大となる幅広の共鳴が存在する。そこで，260 Kにおける増大を共鳴と仮定すると， $\tau_c = 0.3 \mu s$ が得られる。気体－固体界面の相関時間に $8 \mu s$ という報告があるが，我々のエイコサン表面に吸着したXe原子は，エタノール分子と頻繁に衝突している。したがって，得られた相関時間は妥当な値といえる。

さて，外部磁場を0.33 Tにして緩和レートを測定すると，図6のようになる。つまり，260 Kの盛り上がりは300 Kあたりの高温側へ移動したように見えるものの，極小値は，0.1 Tの場合と同程度である。磁気双極子緩和は，式（1）に示すように磁場の自乗に反比例して小さくなるはずである。コートにより緩和は多少抑えられたが，大部分は壁による磁気双極子緩和ではないことがわかった。また，磁場とともに緩和が速くならないので，溶液中の化学シフト異方性による緩和でもない。

5. 混成媒質中の緩和

図3（c）に示すような混成媒質に，偏極Xe原子を溶かし，緩和レートを測定した。この媒質の特徴は，微小結晶の集合体なのでエイコサンの表面積が，コート容器に比べ非常に大

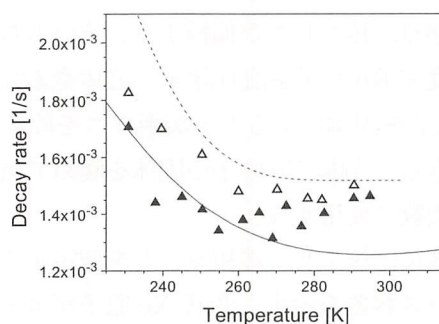


図6 外部磁場0.33 Tにおける内径9 mmのガラス容器内の重水素化エタノール溶液中Xe原子のスピン緩和レート。コートなし(△)とコートあり(▲)を比較した。破線は，図4（○）の磁場5.4 mTにおける緩和レートの内挿値，実線は $\rho_{dd}^0 + 3.5 \times 10^{-6} T$ である。

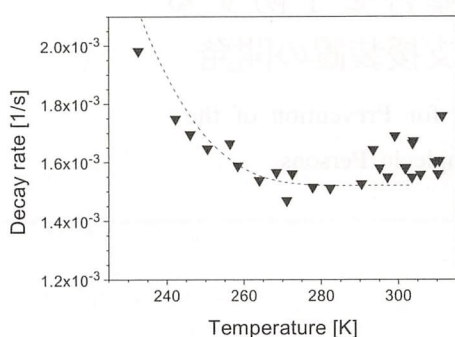


図7 外部磁場 0.1 T におけるエイコサン結晶とエタノールの混成媒質に溶けた偏極 Xe 原子のスピンの緩和レート(▼)。エイコサンの融点付近では緩和レートが大きい。破線は、図4(○)の磁場 5.4 mT における緩和レートの内挿値である。

きくなっていることである。また、壁のコートがはがれているものの、結晶の集合体により容器全体にわたる対流は減衰し、ガラスの壁による緩和は一部の Xe 原子にしか及ばない。この媒質の構造は、1回の測定に要する1時間程度では崩れない。以上のような特徴を持つ媒質中でスピン緩和レートを測定すると、図7のような温度依存性が得られる。つまり、エイコサンの表面積が格段に増加したにもかかわらず、緩和レートはせいぜい20%の増加である。したがって、緩和の大部分はエイコサンではなく、エタノール分子との相互作用によるものである。

図4に戻ると、緩和レートの温度依存性のうち室温付近の平坦な部分は、実は温度とともに増加する成分が隠れていると考えた方が、実験値をうまく説明できる。その成分は、スピンの回転緩和であると予想される。以上のような緩和レートの温度、磁場、容器サイズ、そして、表面積依存性を総合すると、有限サイズの容器をみたしたエタノール溶液中のスピンの緩和は、

$$\rho_{dd}^{et} + \rho_{sr}^{et} + \{\rho_{dd}^{ei}(\text{coat}) \text{ or } \rho_{glass}^{uncoat}\} \quad (2)$$

と表わすことができる。ここで、第1項はエタノール分子との磁気双極子緩和、第2項はエタノール分子とのスピンの回転緩和、第3項はコート剤のエイコサン分子との磁気双極子緩和、そして、第4項はガラス表面での緩和である。

[今後の研究の方向、課題]

エタノール溶液中の Xe 原子の核スピンの緩和は、主に、エタノール分子との磁気双極子相互作用とスピンの回転相互作用によって生じることがわかった。それに加え、壁をパラフィンでコートすることによりスピンの緩和を抑制できることを示した。また、溶媒分子との磁気双極子相互作用では高温ほど、スピンの回転相互作用では低温ほど、緩和レートが小さくなる。つまり、溶媒ごとに緩和レートが最小になる温度が異なることが予想される。しかし、本研究で使ったエイコサンの融点は約36℃なので、緩和レートを広い温度範囲で調べることはできなかった。今後、偏極 Xe 原子の保存に最適な温度を求めるため、エイコサンより融点の高い、分子量の大きな重水素化パラフィンでコートし、緩和レートを測定する。

[成果の発表、論文等]

- 1) K. Ishikawa, T. Yamamoto, and Y. Takagi: Surface relaxation of polarized Xe atoms dissolved in deuterated ethanol, J. Magn. Reson. 179/2, 234–240 (2006)
- 2) T. Yamamoto, K. Ishikawa, and Y. Takagi: Spin relaxation of polarized Xe atoms at the liquid–solid interface, The 8th International Conference on Magnetic Resonance Microscopy, p. 38 (2005)

運動機能障害者の二次障害を予防する 在宅リハビリテーション支援装置の開発

Novel Home-based Care Equipment for Prevention of the
Secondary Disorders in Paraplegic Persons

1051006

研究代表者	芝浦工業大学先端工学研究機構 助 手	河 島 則 天
共同研究者	お茶の水女子大学生生活科学部 助教授	太 田 裕 治
	国立身障者リハセンター研究所 室 長	中 澤 公 孝

[研究の目的]

脊髄損傷などにより下肢の運動機能に麻痺が生じると、多くの場合、車椅子での生活を余儀なくされる。ヒト本来の活動様式である立位・歩行から長期に隔離されると、麻痺領域に筋萎縮や関節拘縮、尖足などの廃用性変化が発現することが良く知られており、さらに不動化に伴う麻痺領域の慢性的な低循環状態は二次障害の原因となることから、これらを予防するための日常的なケアは極めて重要である¹⁾。最も基本的かつ効果的な予防策としてはストレッチや他動運動が奨励されるが、運動自体が面倒であることも手伝って、重要性は認識されているながらも習慣化に至らない場合が多い。これまで、麻痺領域の他動運動を実現する装置が幾つか開発されているが、機能面・費用面共に、障害者が在宅で実施できるように配慮したものは少ない。

本研究では、運動機能障害者の麻痺領域の廃用性変化、二次障害の発現を抑止し、在宅での日常的なリハビリテーション実施を可能にする他動運動装置を開発することを目的とした。開発にあたってのコンセプトは以下の諸点であった。

- (1) 在宅での使用を念頭に置き、装置の軽量化・簡便化を図る。

- (2) 車椅子との親和性を高め、日常的に実施可能な装置とする。

- (3) 評価実験を経て、生理学的根拠に基づく動作の設定を行う。

[研究の内容、成果]

1. 装置の設計・試作

1.1 基本設計

運動実施のために移乗や装具等の装着を要することは習慣化を妨げる要因となることから、本研究では車椅子のフットレスト部に動力装置を取り付け、可動化することで足関節の他動運動を実現する装置を設計・試作した(図1)。車椅子使用者は就寝時間を除く殆どの時間を車椅子上で過ごし、常時足部をフットレスト上に乗せていることから、フットレストを可動にすることで日常的な足関節への受動的運動が実施できるものと考えられる。

1.2 外 観

試作した装置の外観および構成を図1に示す。フットレスト部を可動化するための動力として直動型電動メカシリンダ(SCN 5-010-050-S03, Dyadic Systems製)を使用した。車椅子の座面の下に2本のメカシリンダを平行に並べ、シリンダの末端をフットレストの踵部と結

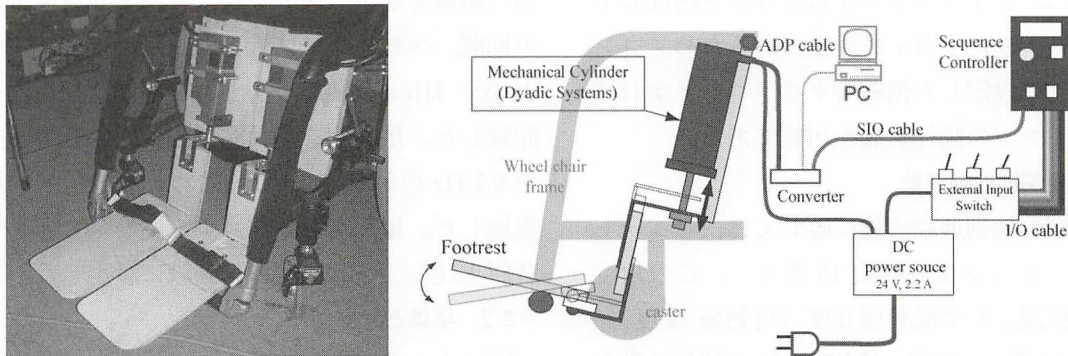


図1 試作した装置の外観（左），および装置の構成図（右）。下腿部の背面，座面の下部に2本の直動型シリンダを並列に配置し，フットレスト部の後方に繋げることで回転運動を実現。

表1 直動型およびシリンダフットレスト部の仕様

A Linear actuator	
Stroke length	50 mm
Maximal velocity	400 mm/sec
Minimum velocity	45 - 202 - 68 mm
size (dimension)	1.1 kg
Wight	± 0.01 mm
Accuracy of position	
B Foot resu	
Range of Motion	36 deg (88 deg- 124 deg)
Baximal velocity	288 deg/sec
Minimum velocity	0.72 deg/sec

合させる構造とした。すなわち，シリンダの長軸方向の運動が足底部の支柱を介することで回転運動に変換され，フットレスト部がシーソーのように運動し，受動的な足関節の底背屈運動が可能となる構造とした。シリンダの特性およびシリンダの動作によってもたらされるフットレストの動作特性を表1に示す。本装置では，左右のフットレストに対して各々独立のメカシリンダをあてがう構造としたため，左右の足関節動作は異なる位相での動作が可能であった。本装置は在宅での使用を念頭に置いていることから，動力源や周辺機器は車椅子の外形内に納まるように設計し，移動や日常生活には支障がないよう配慮した。

図中に示すように，メカシリンダにはパラレルインターフェース（PIO）接続ケーブルおよびADPケーブルの2本のケーブルが接続され，ADPケーブルはコネクタ変換器を中継してシリアルインターフェース（SIO）接続ケーブルからコントローラ（CTC-33, Dyadic Systems

製）に接続されている。またコントローラからは外部信号からの入力を行うためにI/Oケーブルを接続し，外部入力スイッチと連結させた。DC電源はコーセル社製24 V，2.2 Aを使用した。

1.3 動作と制御

シリンダの動作は位置制御で行った。シリンダ内の不揮発メモリには，位置と速度が16点まで記憶可能で，さらに動作工程は最大100工程まで設定可能であり，記憶されたこれらのパラメータは，コントローラを通してシリンダにコマンドされる。

コントローラに外部入力信号を用いることで，動作を最大8パターンまで拡大することが可能であるため，本装置では3つのトグルスイッチにより汎用条件入力信号0-2（IN 0-2）を切り替え，プログラムの選択を行うことにした。プログラムはスイッチを切り替えるだけで簡単に選択可能であった。またシリンダ動作のon/offはシーケンススタート指令信号を用いることとした。

位置と速度のポイントとシーケンスの設定は，メカシリンダに付属のソフトウェアCTC-Toolを用いてPC上で行った。PCとは，SIOケーブルからRS 232/485変換機を通してシリアル接続が可能であり，シリンダの位置と速度の入力，ポイントデータの決定・選択，順序指定を行うことで，様々な速度，可動域での動作が可能となる。作成された動作設定はコント

ローラに、ポイントデータはシリンダ内部の不揮発性メモリにそれぞれ記憶されるため、コンピュータで設定した情報をダウンロードすれば、オフラインでの動作実施が可能である。

1.4 足関節他動運動

足関節の他動運動実施に際しては、ニュートラルポジションを底背屈15度とし、この角度を開始位置として底背屈6度（可動域12度）、9度（18度）、12度（24度）の3種類の動作範囲が選択できるようにした。これらの動作はシリンダ内に記憶されており、トグルスイッチの切り替えによって動作を選択できる。動作の頻度は、健常者の歩行中の運動頻度を参考に、0.7 Hzで動作するように設定した。左右の動作は同位相・逆位相の両方の設定が可能であった。

2. 装置の評価 ～他動運動による効果～

本研究で試作した装置を用いて脊髄損傷者を対象とした足関節他動運動を行い、運動中の筋活動計測、代謝・循環計測によって生理学的効果を検証した。

2.1 実験方法

下肢運動機能に完全麻痺を持つ脊髄損傷者8名を対象として、右脚腓腹筋（Gas）、前脛骨筋（TA）の両筋に近赤外分光装置のプローブを、上記2筋に加えヒラメ筋（Sol）に筋活動計測

用の電極を貼付、運動開始より終了5分後までの期間、ヘモグロビン濃度（total Hb, oxy Hb, deoxy Hbの濃度変化）、および筋活動電位を記録した。足関節を他動的に底背屈させる運動を0.7 Hzの頻度で10分間にわたって継続的に実施した。足関節の動作は105度を基準として背屈12度、底屈12度の可動域に設定した。

2.2 結果と考察

図2 Aに腓腹筋の筋活動電位およびヘモグロビン濃度変化の典型例に示す。複数の被験者に運動開始後に痙性麻痺の発現を認めたが、装置の動作を妨げるものではなかった。痙性麻痺はその後の他動運動によって徐々に消失する傾向を示し、痙性麻痺や関節拘縮の程度に依らず、全ての被験者において安定した足関節への受動運動が実現された。興味深いことに、完全麻痺下にあいながらも足関節の運動感覚や運動後の感覚の変化を訴える被験者が多く認められた。

図2 Bに各下腿筋の筋活動電位とヘモグロビン濃度の変化を示した。特にヒラメ筋において運動位相に同期した反射性筋活動が認められ、筋活動の振幅は運動時間の延長に伴って徐々に小さくなる傾向を示した。内側腓腹筋についても複数の被験者に反射性筋活動が認められた。これらの結果は、麻痺筋であっても受動運動することで神経活動の喚起が可能であることを示している。組織中の血液量を反映するヘモグロビン濃度は運動周期に同調して変化したことか

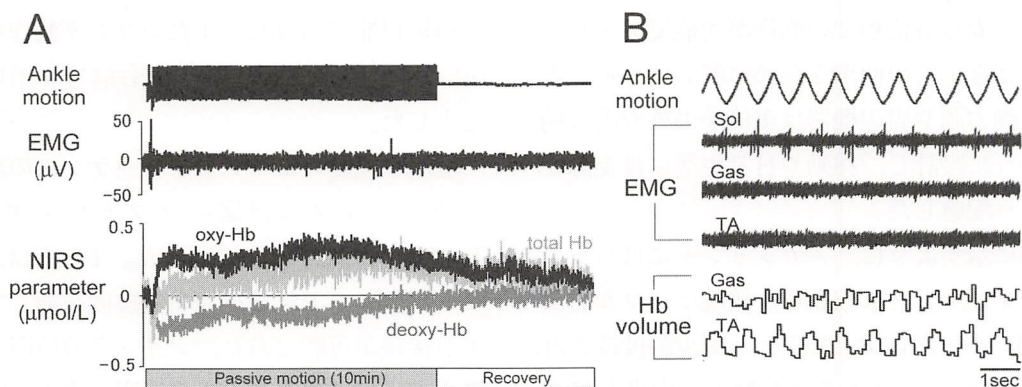


図2 A. 10分間の足関節他動運動中の筋活動および近赤外分光法によって計測した筋内酸素動態。B. 運動中の関節角度変化、下腿筋活動、ヘモグロビン量の変化。足関節動作に伴って筋活動が発現し、ヘモグロビン量（＝血液量）が変化していることがわかる。

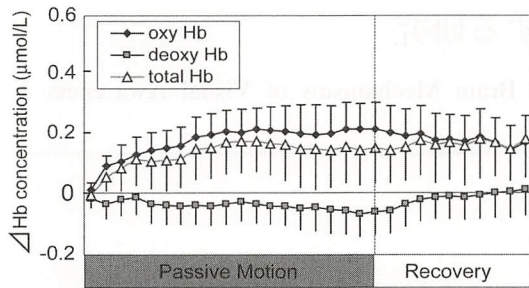


図3 10分間の足関節他動運動中筋内酸素動態

ら、受動運動による筋内圧の変化に伴って血管の収縮－拡張が生じているものと推察される。

図3は被験者8名のヘモグロビン濃度の平均値（30秒毎）を示す。運動開始後のoxy Hbの増加、運動中・後のtotal Hb濃度の上昇を認め、運動開始に伴う麻痺筋への酸素供給の増加、運動後の血液供給の亢進が示唆された。

[今後の研究の方向、課題]

我々の先行研究では、脊髄損傷者の麻痺筋を受動的に動作させた際に運動周期に同期した筋活動が発現すること²⁾、この筋活動に伴って筋酸素動態に変化が生じることを報告した³⁾。本研究で製作した装置による他動運動中にも同様に、完全麻痺下にある下腿筋に筋活動を認め、さらに運動の継続と共に筋酸素動態が変化することを確認した。これらの結果は、本装置で実現した足関節他動運動が、関節拘縮や尖足などへの効果に加え、麻痺領域の神経機能退行の抑止、さらには慢性的な低循環状態の改善等の生理学的効果をもたらす可能性を示す重要な証拠となる。

今回試作した装置は在宅でのリハビリテーション実施を念頭に置いたものであり、日常的な麻痺領域へのケアが実現できれば、QOL向上や医療費の削減にもつながるものと考えられる。

[成果の発表、論文等]

学会発表

- 1) 河島則天, 鈴木里江, 大塚博, 中澤公孝, 太田裕治: 運動機能障害者の二次障害を予防する在宅リハビリテーション支援装置の開発 (I) ～開発コンセプトと試作機の概要～ 第3回生活支援工学系学会連合大会 (三重): 2005. 12
- 2) 鈴木里江, 河島則天, 大塚博, 中澤公孝, 太田裕治: 運動機能障害者の二次障害を予防する在宅リハビリテーション支援装置の開発 (II) ～脊髄損傷者を対象にした評価実験～ 第3回生活支援工学系学会連合大会 (三重): 2005. 12
- 3) Jiggid E, Kawashima N, Nakazawa K, and Akai M.: Effects of passive leg motion on the muscle oxygenation in the chronic stroke patients. World Congress of Neurorehabilitation 2006. 2
- 4) Suzuki R, Kawashima N, Ohtsuka H, Nakazawa K, and Ohta Y.: Novel home-based care equipment for prevention of the secondary disorders in paraplegic persons. World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering 2006. 8

知的所有権

- 1) 足関節動力装置 (特許出願済: 特願 2005 - 308297)

[参考文献]

- 1) Noreau L, et al.: Secondary impairments after spinal cord injury. Am. J. Phy. Med. Rehabil., 79: 526 - 535, 2000
- 2) Kawashima N, Nozaki D, Abe OM, Nakazawa K, and Akai M.: Alternative leg movement amplifies locomotor-like muscle activity in spinal cord injured persons. J Neurophysiol 93: 777 - 785, 2005
- 3) Kawashima N, Nakazawa K, and Akai M.: Muscle oxygenation of the paralyzed lower limb in spinal cord injured persons. Med Sci & Sport Exerc 37: 915 - 921, 2005

統合的非侵襲脳機能計測に基づく視覚的気づきの 脳内機構に関する研究

Integrated Noninvasive Neuroimaging Studies on Brain Mechanisms of Visual Awareness

1051007

研究代表者

京都大学大学院工学研究科 教授

小 林 哲 生

[研究の目的]

医用画像診断機器をはじめ各種の臨床検査機器は現在の医療にとって欠かすことのできない重要なものである。コンピュータによる自動診断・検査機器開発の試みも進んでいるが、現段階では最終的に診断を下すのは観察者である医師、すなわち人間であり、人間の脳が病巣や異常に気づき適切な判断を下すことが必要である。しかし、この気づきの仕組みの詳細は未だに不明であり、その脳内機構を探ることには大きな意義がある。本研究では、計測原理の異なる非侵襲脳機能計測データを統合的に用い、この視覚的気づきの脳機構を調べることを目的として研究を行った。

[研究の内容、成果]

1. fMRI-MEG 統合解析法の開発

現在普及している脳機能計測法は、脳神経活動に伴う電磁気量を計測する方法と脳神経活動に伴って変化する血行動態を計測する方法に大別される。前者には脳波 (EEG) と脳磁界 (MEG)、後者にはポジトロン断層撮像法 (PET)、機能的磁気共鳴画像法 (fMRI)、近赤外分光法 (NIRS) がある。しかし、各計測法には計測原理に由来する避けられない弱点と限界があり、一つの計測法のみにより、時空間的に変動する脳機能の複雑な仕組みを解明することは困難である。

そこで、本研究では、時間分解能に優れる MEG と、空間分解能に優れる fMRI の各々の長所を相補的にいかした統合解析手法の開発を行った。MEG における信号源推定には、脳内の広がりを持つ活動を単一もしくは複数の等価電流ダイポール (ECD: equivalent current dipole) に集約して推定する ECD 法と脳内の電流源を微小な電流の集合として仮定し、その電流源分布を推定する手法がある。しかし、いずれの方法においても近接する複数の皮質領域が同時に活動する場合には推定が困難である。

本研究で開発を行った統合解析法においては、最初に fMRI データを統計解析することにより複数の活動領域を決定する。次に、この活動領域を ECD の空間的拘束条件として用い、ECD から発生する脳磁界分布 (リードフィールド) を計算によって求める。続いてリードフィールドと計測される脳磁界分布を各々単位ベクトルに規格化した上で両単位ベクトルの内積を最大化する操作により、ECD の最適な位置と方向を推定する。その後、最適化された ECD によるリードフィールド単位ベクトルに時系列計測信号を射影することにより、ダイポールモーメントの時間変化を求める。本解析手法を、第 1, 2, 5 次視覚野 (V1, V2, V5) といった複数の近接した視覚皮質を賦活することが知られている仮現運動視知覚課題遂行時の脳活動計測データに対して適用し、各視覚皮質における動的活動を捉えることが可能であることを実験的に検証した。

本研究では、さらに fMRI と MR 拡散テンソル (MR-DTI) の統合による脳活動領域解析に関しても検討を行った。MR-DTI とは、6 方向以上の異なる方向の拡散強調画像から水分子の拡散異方性を計測する手法である。従来の fMRI 解析においては、統計的处理に起因して実際より広く活動領域が抽出される、あるいはノイズの影響により誤って活動領域が抽出されるといった問題がある。ここで、高次脳機能に関わる皮質活動領域は他の機能部位との間の神経線維を介して情報を送受していると考えられるので、MR-DTI の計測により、fMRI より得られる活動領域近傍における拡散異方性を解析することにより信頼性の高い限局した皮質活動領域を描出することが期待でき、実際に計測・解析を試み fMRI と MR-DTI を統合的に用いた解析の有効性を確認した。

2. 視覚的気づきの脳内プロセスに関する検討

本研究では、両眼視野闘争と運動性多義図形知覚という視知覚現象に注目し、総合的に視覚的気づきに関連する中枢神経部位を調べることを目指した。

両眼視野闘争とは、左右の眼に異なる視覚刺激が独立に呈示される場合、それらが交互に知覚される現象である。Fig. 1 にその概念図を示す。一方、多義図形とは、一つの図形に複数の解釈が可能な図形であり、盃に見えたり向かい合った二人の横顔に見えたりするルビンの盃と呼ばれる図はその代表的なものである。本実験では、Fig. 2 A に示すような、運動性の菱形図形を用いた。この 2 つの現象はいずれも多安定知覚現象と呼ばれる。多安定知覚においては、物理的には視覚刺激が変化しないにも拘わらず、観察者には複数の異なる知覚が交互に繰り返し生ずる。

両眼視野闘争に関与する部位をブロックデザイン fMRI パラダイムにより調べた結果を Fig. 3 に示す。後頭葉の視覚系の背側経路 (Brodmann's Area (BA) 18, 及び BA 19),

第 4 次視覚野 (V4), 頭頂間溝近傍 (BA 7), 前頭前野 (BA 44, 9, 46, 10) において BOLD 信号の有意な上昇を捉えた。また、本研究では EEG と MEG の計測と解析によって、頭頂に至る視覚系の背側経路と前頭の関与を捉えている。一方、多義図形知覚状態と各々の対照状態である単安定知覚状態の活動の差をグループ解析し、統計的に BOLD 信号が有意に大きい部位 ($p < 0.001$, uncorrected) を求めた結果、多義図形知覚状態では、頭頂間溝近傍 (BA 7, 40), 前頭前野 (BA 44, 9, 8, 46, 10), 第 5

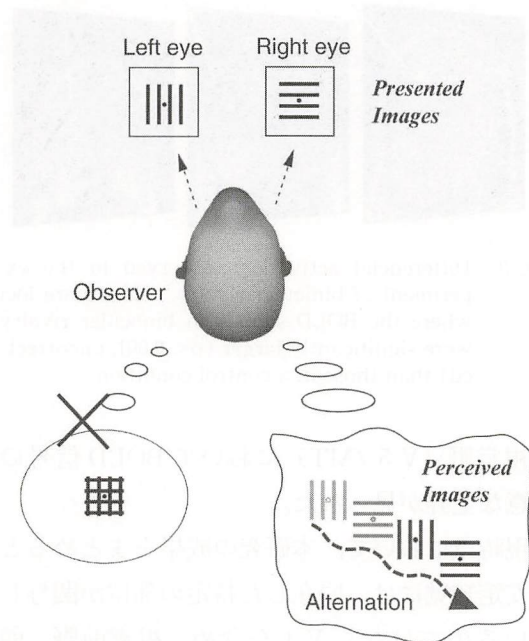


Fig. 1 Schematic view of binocular rivalry.

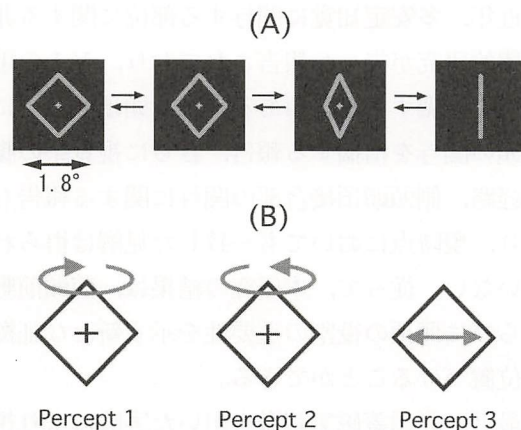


Fig. 2 (A) An diamond used in the experiment of ambiguous figures (B) Three different percepts experienced by the observers.

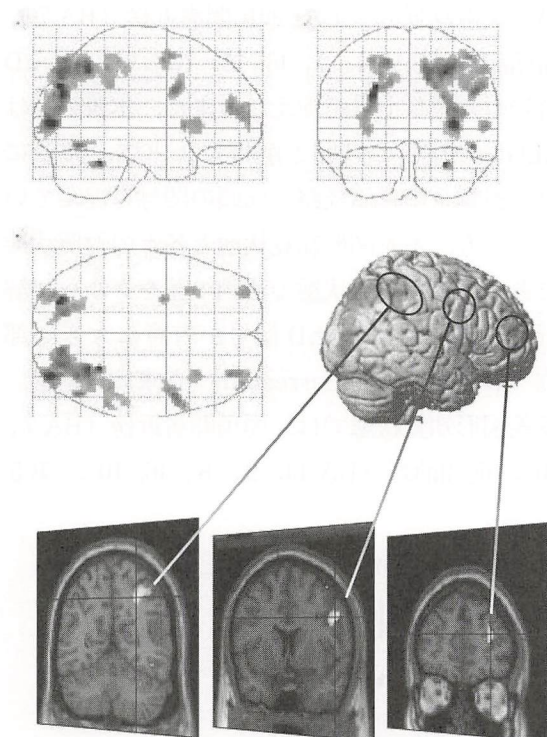


Fig. 3 Differential activations observed in the experiment of binocular rivalry. Shown are loci where the BOLD signals in binocular rivalry were significantly larger ($p < 0.001$, uncorrected) than those in a control condition.

次視覚野 (V 5 /MT) において BOLD 信号の有意な上昇が見られた。

現時点において、本研究の成果をまとめると、多安定知覚には、局在した特定の部位が関与しているのではなく V 1 を含め、視覚前野、頭頂、前頭前野といった複数の視覚関連領域並びに連合野が関与しているといえることができる。

近年、多安定知覚に関与する部位に関する非侵襲的研究が幾つか報告されており、V 1 の重要性を強調する報告がある一方、頭頂ならびに前頭の関与を指摘する報告、さらに視覚系の腹側経路、側頭頭頂接合部の関与に関する報告もあり、現時点においても一致した見解は得られていない。従って、本研究の結果は、前頭前野ならびに頭頂の役割の重要性を示す新たな証拠と位置づけることができる。

最近、経頭蓋磁気刺激を用いた実験により視覚的気づきにとって高次視覚野から V 1 へのフィードバックが必要であることが報告された。

この結果と本研究で得られた多安定知覚に関連する部位に関する知見、さらにこれまでの心理学的知見などを考慮すると視覚的気づきに関して次のようなメカニズムが仮説として導かれる。

すなわち、「視覚的気づきとは、眼という受容器から入る視覚刺激に関するボトムアップ的情報が、刺激の各属性に応じて異なる部位で直並列的に処理され、過去の視覚的体験等に基づく記憶と共に V 1 にトップダウン的にフィードバックされ、フィードバックに要した時間 Δt 遅れて V 1 に到達するボトムアップ情報と統合されるというプロセスである」ということになる。ここで、各属性を処理するのに要する時間には時間差があることが知られているが、それが実際には統合されているという事実を考慮すれば、統合できるか否かは、この Δt の間のボトムアップ情報の変化量に依存すると考えられる。この推論に基づき、さらに Δt の間にボトムアップ情報が無くなる、すなわち消える場合、トップダウン情報のみにより統合が起こることが予測される。ここで、刺激が 200 ms 以下の短時間呈示された場合には、両眼視野闘争が生じず融合図形が知覚されることが知られており、この予測と合致するのである。

[今後の研究の方向、課題]

統合的脳機能計測法に関しては、BOLD 法に代わる拡散 fMRI 法やアダプティブビームフォーマ法の適用といったさらなる高度化が課題である。一方、上記の視覚的気づきに関する仮説に関しては、いかにして情報統合が実現され得るのかという点が説明されなくてはならない。現時点における最も有力な候補は、約 40 Hz の神経発火の同期であり、これがマクロに観測されたものが EEG/MEG の γ バンドのリズムである。一方、情報統合に関しては量子論的機構も提唱されており、他の可能性も含めて、今後、実験による検証を行うことが課題である。

[成果の発表, 論文等]

[1] 論文ならびに著書

1. 隠浪康行, 小林哲生, 鄭 址旭, 他: 複数皮質活動の動的イメージングのための fMRI-MEG 統合解析法, 生体医工学, Vol. 43, No. 4, pp. 777-784 (2005)
2. 小林哲生: 両眼視野闘争から意識を探る, 作業の科学, pp. 48-64, 協同医学出版社 (2006)
3. 濱田昌司, 小林哲生: ボクセルデータ用高速多重極表面電荷法による低周波磁界誘導電界計算, 電気学会論文誌 A, Vol. 126, No. 5, pp. 355-362 (2006)
4. 小林哲生: 視覚的認知の脳機能イメージングから意識へ, 第 20 回生体・生理工学シンポジウム論文集, pp. 239-242 (2005)
5. Jiuk Jung, Shohko Tokita and Tetsuo Kobayashi: Brain activity in a similarity grouping task: A functional MRI study, Proc. of The First Inter. Conf. on Complex Medical Engineering, pp. 843-846 (2005)
6. 岡田雄介, 鄭 址旭, 大橋俊平, 小林哲生: 事象関連脳磁界計測における雑音成分の自動同定・除去手法, 第 1 回複合医工学シンポジウム論文集, pp. 144-147 (2006)
7. 井前直人, 小林哲生, 鄭 址旭, 東 高志, 堤 定美: MR-DTI の併用による fMRI 脳活動領域解析の精度向上に関する検討, 第 1 回複合医工学シンポジウム論文集, pp. 30-33 (2006)
8. 田中哲平, 小林哲生, 甲本亜矢子, 鄭 址旭, 東 高志, 堤 定美: サッカーに関わる脳活動領域の fMRI 計測: 多安定知覚時との比較, 第 1 回複合医工学シンポジウム論文集, pp. 48-51 (2006)
9. 折尾大樹, 小林哲生, 鄭 址旭, 井前直人, 東 高志, 堤 定美: 水分子 ADC 変化と BOLD 法に基づく示指伸展運動時の脳活動計測, 第 1 回複合医

工学シンポジウム論文集, pp. 40-43 (2006)

10. Jiuk Jung and Tetsuo Kobayashi: The analyses of brain functions based on wavelet coherence of EEG gamma-band activities: An application to a perceptual grouping task, Proc. of World Cong. on Medical Physics and Biomedical Engineering 2006, (in press)

[2] 国際会議発表 (国内学会発表は省略)

1. Tetsuo Kobayashi, Yasuyuki Innami, Jiuk Jung, Shunpei Ohashi, Shoji Hamada, Takashi Nagamine, Hidenao Fukuyama, Takashi Azuma and Sadami Tsutsumi: Development of an integrative fMRI-MEG technique for dynamic neuroimaging of multiple cortical activities, The 16th World Congress of the International Society for Brain Electromagnetic Topography, (Bern, Switzerland, 2005, 10)
2. Isamu Ozaki, Tetsuo Kobayashi, Hideo Eda, Rumi Yamauchi: Functional brain mapping of voluntary finger movements by multimodal methods. A comparison of MEG, fMRI and NIRS, The 16th World Congress of the International Society for Brain Electromagnetic Topography, (Bern, Switzerland, 2005, 10)
3. Tetsuo Kobayashi, Yasuyuki Innami, Jiuk Jung, Shunpei Ohashi, Shoji Hamada, Takashi Nagamine, Hidenao Fukuyama, Takashi Azuma and Sadami Tsutsumi: Development of a dynamic neuroimaging technique based on fMRI-MEG integration, 12th International Conference on Functional Mapping of the Human Brain, (Florence, Italy, 2006, 6)

MRI を用いたハイパーサーミアを実現するための 微小共振回路の設計試作

Fabrication of Resonant Circuit for Hyperthermia Using MRI

1051010

研究代表者

横浜国立大学 助教授

竹 村 泰 司

[研究の目的]

人工心臓に代表されるように、電気回路や電子回路を伴う人工物を体内に装着するといった治療行為は、生活・健康を維持するための技術として重要なものである。がん治療における外科療法、放射線療法、抗がん剤療法では傷跡や副作用など患者の負担が甚大であり、人間に安全でやさしい新しい治療法の開発が急務である。本申請では先端エレクトロニクスを適応した新しいがん治療技術を実現することを研究目的とする。具体的には外部磁界により発熱する微小共振回路を体内に装着し、その熱によりがん細胞を選択的に死滅させる温熱治療（ハイパーサーミア）に着目する。副作用もなく、治療効果を確認しながら繰り返し治療が行えることなどが利点である。

微小なコイルとコンデンサから構成される共振回路（図1）を体内に入れるインプラント（挿入具）として用いて、外部磁界により発熱させることを提案している。このインプラントはカテーテル（医療用の細管）を通して、腫瘍の近傍まで輸送される（腫瘍は血流のあるところにしやすい）。そのために共振回路のサイ

ズは1 mm 径以下にすることを目標としている。

また、後述のような利点を生かすために、診断装置として普及しているMRI（磁気共鳴画像診断装置）の微弱高周波（RF）磁界を利用するが、微弱な磁界においても、がん細胞殺傷に十分な発熱を確保することが第二の目標である。コイル径を小さくすると誘導起電力も減少してしまうために、コイルの設計や共振周波数を決定するコイル、コンデンサの素子パラメータの最適化により、本申請課題の研究期間内にRF 磁界で10℃ 以上の発熱をする1 mm 以下の共振回路を実現することを目指している。

マイクロ波領域の電磁波を利用する誘電式・誘導式ハイパーサーミアが臨床レベルで確立されているが、局所加温が不可能なために正常細胞へのダメージがあり、皮膚の火傷も大きな問題である。磁性体を用いるインプラント式局所加温が提案されているが、外部磁界に対する発熱効率率は低く、十分な加温を得るには強い磁界が必要などの欠点を有する。本申請は外部磁界を高効率で発熱に変換するための共振回路を設計試作する基礎研究と位置づけられ、具体的には、コイル、及びコンデンサの素子最適化や、カプセル装着を含めた試作、MRI 装置内での加熱実験などを研究の骨子とした。

インプラントの加温には外部から電磁波を投入する必要がある。インプラントの発熱効率が高ければ、投入エネルギーは抑制できる。共振回路では極微な磁界でも十分な加温が得られる。

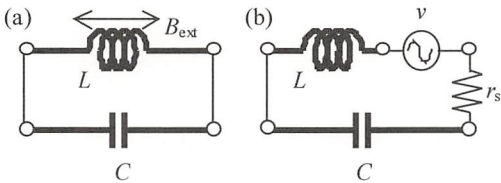


図1 共振回路 (a) と交流磁界印加時の等価回路 (b)

そのために MRI 診断において発生する微弱 RF 磁界の利用が可能である。即ち MRI により周辺温度や治療効果を確認しながら、繰り返し治療が実現される。MRI は診断装置として病院に広く普及しており、新規の設備導入が不要で経済効果も甚大である。MRI の RF 磁界は地磁気 ($\sim \mu\text{T}$: マイクロテスラ) 程度の微弱信号であり、人体への電磁波影響を考慮した規制が存在する。素子設計最適化に加え、その規制範囲以下で、RF 磁界の波形パターン (シーケンス) を工夫するなどの課題により、加温技術を確立することは重要である。

〔研究の内容、成果〕

コイルとコンデンサから構成される共振回路が周波数 100 ~ 300 kHz の外部交流磁界に対して大きな発熱効果を示すことを既に確認している。このときのコイル径は 12 mm, 発熱は 10°C 以上であった。コイルに発生する誘導起電力はコイルの鎖交磁束と磁界周波数に比例するために、磁界周波数を増加させれば、その分コイルの直径を小さく設定できる。この予測に基づき、MRI (静磁場 1.5 T 装置) の RF 磁界 (63.8 MHz) において約 6°C の温度上昇を検証したことから、MRI と共振回路の組み合わせによるハイパーサーミア治療技術の提案に至った。MRI では人体の断層像を得るために、傾斜静磁場が印加されており、そのプロトン周波数に対応させた RF 磁界を発生させる。そのために RF 磁界の周波数は一定ではなく、 ± 0.2 MHz 程度の分散を有する。また duty 比の低いシンク波であることに加え、人体への影響を考慮した SAR 値 (比吸収率) の規制があるために、MRI の RF 磁界の強度は μT オーダーに抑制されている。

図 2 は臨床診断用 MRI (通常の一般病院で患者診断に使用されている装置にて実験した) に設置した共振回路の温度上昇を測定した結果例である (IEEE Transactions on Magnetics,

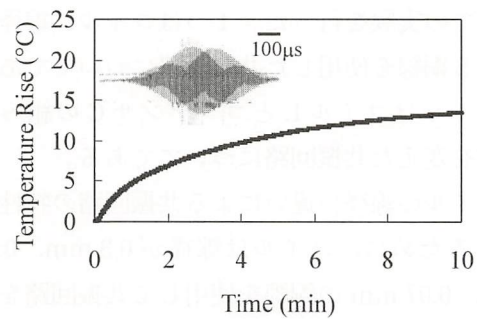


図 2 臨床診断用 MRI で励磁した共振回路の温度特性 (挿入図は実測した MRI の RF パルスのシンク波形)

Vol. 41, Issue 10, pp. 3673–3675, 2005. からの引用)。ここでは通常の診断シーケンスを用いており、共振回路に印加される磁界強度や duty 比を増加させるなどの措置はとっていない。それにも関わらず、人体への影響がないような環境においても、共振回路の発熱が確認された。同図に挿入した波形は、MRI シーケンスにおいて発生される RF 磁界 (RF パルス) のシンク波形である。このように連続波と比較すると duty 比が小さいことが理解される。

地磁気程度の小さい磁界を如何に発熱に変換するかが鍵となる。高周波等価回路解析を行った結果、実際に発熱するのはコイルの残留抵抗が支配的であることがわかった。残留抵抗を最小にし、かつ誘導起電力を確保するためのコイル形状 (直径, 長さ, 巻数, 巻線径) の設計を行った。

現在、使用している高周波発生電源は周波数 100 kHz までのものである。MRI 装置での発熱実験に先立ち、共振回路の発熱特性を (病院に行かなくても) 実験室にて測定することが可能であれば、設計試作のサイクルが短くなり、回路の最適化が効率よく実施できる。そのために MRI 周波数の 63.8 MHz を帯域に含む高周波電源を助成金により購入した。これにより連続波ではあるものの、MRI の RF 磁界と同一の周波数に対して、実験室において共振回路の特性評価、最適化が可能となった。

小型化へ向けての回路パラメータの最適設計として、本研究では大きく分けて 2 つの項目に

ついでの実験を行った。1つはコイルに線径の異なる銅線を使用した共振回路についてであり、もう1つはコイルLとコンデンサCの組み合わせを変えた共振回路についてである。

コイルの線径の違いによる共振回路の特性を調べるために、コイルは線径が0.3 mm, 0.16 mm, 0.07 mmの銅線を使用して共振回路を作製した。コイルはインピーダンス・アナライザを用いて $L = 0.97 \text{ mH}$ となるように調整した。外部磁界を印加した際にコイルに誘起される起電力を一定にするために、コイル径は12 mm一定とし、形状も同じとした。またコンデンサには可変コンデンサを使用し、共振周波数63.87 MHzの共振回路とした。ここで設計共振周波数の63.87 MHzは、実際の治療に用いられている1.5 Tの臨床診断用MRIのRF周波数である。

コイルLとコンデンサCの組み合わせの違いによる共振回路の特性を調べるために、 $C = 10 \text{ pF}$, 3 pF , 2 pF , 1 pF , 0.5 pF のコンデンサを用いた。コイルは線径が0.16 mmの銅線を使用し、上記と同様の理由からコイル径(12 mm)や形状は一定とした。共振周波数63.87 MHzの共振回路とした。

本研究では、ハイパーサーミア用共振回路インプラントの小型化のために、線径の異なる銅線を用いた共振回路及びLC値の組み合わせを変えた共振回路について、温度上昇の周波数特性と回路のQ値についての実験を行った。

作製した共振回路の並列インピーダンスをインピーダンス・アナライザを用いて測定した。また共振回路の抵抗値や、共振回路に用いたコイルやコンデンサのインダクタンス、コンダクタンスなどの各回路パラメータの測定はすべてインピーダンス・アナライザを用いて測定を行った。

共振回路の温度特性を測定するための励磁装置として高周波信号を発生できる任意信号発生器(発振器)を用いて、所望の連続波交流磁界を供給した。共振回路はウレタン質媒体により

簡易的に断熱し、印加磁界が共振回路のコイルに鎖交するような向きで励磁コイル内に挿入した。この状態で実効値 $3.4 \mu\text{T}$ 一定の連続波交流磁界を供給し、10分間温度の測定を行った。この実効値0.034 Oeという磁界強度は、MRIのRF磁界と同等の大きさである。温度測定には光ファイバ温度計を用いており、温度計のプローブ先端を共振回路のコイル部分に設置することで温度を計測した。

磁界印加時間に対する各共振回路の温度上昇を測定したところ、印加磁界周波数が設定共振周波数である63.87 MHz近傍、最大の温度上昇が得られた。共振周波数から離れるにつれて温度上昇は小さくなり、どの周波数においても磁界印加時間の増加に伴い温度上昇の度合い(時間変化率)が鈍くなった。また磁界を印加し回路の温度が上昇すると、回路パラメータが変動して共振周波数がシフトしていることも明らかとなった。このことを利用すれば、温度上昇の最大値を制御することが可能であり、がん組織を 42.5°C 以上 44°C 以下で加温する上で有用であると言える。

得られた温度上昇の実験結果から、温度上昇と発生電力が比例すると仮定し、発生電力の理論式(等価回路における実効電力の計算)に各パラメータを代入してフィッティングを行った。その結果、回路の残留抵抗の値は、 $5 \sim 30 \Omega$ 程度に設定したときに、実際の温度上昇と最も良い一致が見られた。

これらの実験やLCパラメータの組み合わせを変化させた実験から、以下のような知見を得た。

- 同一のLC値を利用した場合においては、回路の残留抵抗の小さい方が消費電力、即ち発熱が大きいことが理論式から予測されるが、この線径依存を検証することができた。
- 異なるLC値を用いた場合には、残留抵抗とQ値は相反する関係にあるために、LとCの組み合わせにおいて最適な組み合わせがあること、またそのためにQ値が大きい回路

において必ずしも大きな温度上昇がみられるとは限らない、ということの確認ができた。
以上のことから、ハイパーサーミア用共振回路インプラントの小型化のための、回路パラメータの最適化の基本的な要素を確立できたと考える。

[今後の研究の方向，課題]

今後の展望としては、実際に小型化した共振回路を作製し、温度特性や回路のQ値などの測定を行った後、MRIでの励磁実験やマウスなどでの動物実験を通じて、ハイパーサーミア

用インプラントとして実用可能であるかの検証を行うことが挙げられる。

[成果の発表，論文等]

現在、以下の国内学会、国際学会に投稿を予定しており、準備中である。

- (1) 平成18年8月：IEEE International Conference of the Engineering in Medicine and Biology Society
(アメリカ電気電子学会主催のバイオ・医用工学の国際会議)
- (2) 平成18年9月：日本応用磁気学会第30回学術講演会
- (3) 平成18年9月：日本ハイパーサーミア学会第23回大会

[成果の発表，論文等]

現在、以下の国内学会、国際学会に投稿を予定しており、準備中である。
(1) 平成18年8月：IEEE International Conference of the Engineering in Medicine and Biology Society
(アメリカ電気電子学会主催のバイオ・医用工学の国際会議)
(2) 平成18年9月：日本応用磁気学会第30回学術講演会
(3) 平成18年9月：日本ハイパーサーミア学会第23回大会

永久磁石を用いた生体内三次元位置センサの開発とその応用

Development of 3-D Position Sensor Using Permanent Magnet

1051011

研究代表者	早稲田大学 助手	永 岡 隆
共同研究者	早稲田大学 教授	内 山 明 彦

[研究の目的]

低侵襲治療や患者生活レベル向上の観点から、カプセル型内視鏡をはじめとするカプセル型医療機器に対する期待は大きい。しかしカプセルの生体内での正確な位置を計測することはまだ実現していない。そこで本研究では永久磁石を用いたカプセルの生体内位置計測を行う。永久磁石が作る磁場を体外のセンサで計測し、数学的手法を用いて位置を求める。カプセルに電子回路を搭載する必要が無いため、大幅な小型化が期待できる。本研究で開発したセンサの臨床応用例として、消化管内出血部位検出センサの開発を行う。カプセルに出血検知センサと永久磁石を搭載し、位置情報を同時計測することで、消化管内での出血部位を正確に検知する。

本研究では研究目標として、具体的な数値目標を定めている。まず、患者が飲み込む際に一番大きな問題となる、カプセルのサイズとして、一般的な薬品のカプセルに使われているサイズで最大程度である直径 10 mm 以下、長さ 15 mm 以下とし、精度に関しては既存の有線式三次元位置センサと同様の精度である磁場発生装置より 1 m の範囲内での計測誤差が 1 mm 以下、駆動時間は排泄までの平均的時間である 20 時間以上の安定動作を目指す。この目標仕様は現在市販されているカプセル内視鏡 M2A の性能を参考に設定している。M2A は直

径 11 mm、長さ 26 mm と大型で飲み込みにくく、連続動作時間も 8 時間であり、消化管末端では計測できない可能性が高い。また位置も計測することができない。最終的にはこの M2A に我々が開発した位置センサを付着させ、同時に計測することでより有用な消化管内の映像を取得するシステムの開発を行う。

[研究の内容、成果]

開発した三次元位置センサの概観を図 1 に示した。本研究ではカプセルに内蔵された永久磁石の作る磁場を生体外のセンサで受信し、得られた磁場の強さからカプセルの位置・姿勢を計測する。永久磁石の任意の点における磁場の強さは式 (1) のように求めることができる。

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \left\{ \frac{3(\vec{M} \cdot \vec{R})\vec{R} - \vec{M}|\vec{R}|^2}{|\vec{R}|^5} \right\} \quad (1)$$

ただし $\vec{R} = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}, \vec{M} = \begin{pmatrix} M_x \\ M_y \\ M_z \end{pmatrix} = |\vec{M}| \begin{pmatrix} \sin\varphi\cos\theta \\ \sin\varphi\sin\theta \\ \cos\varphi \end{pmatrix}$

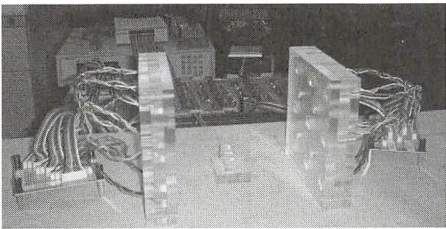


図1 三次元位置センサの概観

μ_0 は真空の透磁率を示し、 R は磁気双極子からの距離、 M は磁気双極子ベクトルを示している。式 (1) より、磁場の強さは原点からの距離の 3 乗に逆比例していることがわかる。静磁場を検出する方法として、ホール素子など様々なセンサが挙げられるが、本研究では小型・高感度という特徴を持つフラックスゲート磁気センサを採用した。また後述する通り、本研究の位置計測アルゴリズムでは計測値と理論値を比較するため、センサがある点での磁場の強さの 3 直交軸方向の成分を正確に計測する必要がある。フラックスゲート磁気センサは素子を垂直に貫く磁場成分のみを検出するため、1 つだけでは磁場の強さの 3 直交軸方向の成分を計測することはできない。そこで本研究では 3 つのフラックスゲート磁気センサが互いに直行し、かつ原点が一致するように配置した。このように配置することで、各フラックスゲート磁気センサが検出する磁場の強さから、センサの原点を通る磁場の強さの 3 直交軸方向の成分を得ることができる。

3 次元の位置を計測する場合、未知数となるのは空間位置ベクトル (3 次元) と、空間座標系に対するセンサの角度 (2 次元) の計 5 次元であり、式 (1) に示した x, y, z, θ, ϕ である。センサの存在する点での磁場ベクトルの絶対値 $|B|$ と適切な x, y, z, θ, ϕ を式 (1) に代入して求めた同じ点での磁場ベクトルの絶対値の理論値 $|B'|$ は式 (2) に示す通り、一致するはずである。

$$|B| - |B'| = 0 \quad (2)$$

そこで、これらの 5 変数を求めるために、既知の異なる 5 か所の位置にセンサを配置し、磁場 $|B_1| \sim |B_5|$ を計測する。得られた $|B_1| \sim |B_5|$ を式 (2) に代入し、同様に磁場の大きさの理論値 $|B'_1| \sim |B'_5|$ も式 (2) に代入する。できた 5 つの方程式を前述したガウス・ニュートン法を用いて未知変数の数値解を求めると、センサの位置・姿勢を計測すること

ができる。実際には式 (3) に示す δ が最小となるように処理を続け、一定以下の誤差に収束した結果を計測値としている。

$$\delta = \sum_{n=1}^5 (H_n - H'_n) \quad (3)$$

また、本研究で開発したセンサは静磁場を用いているため、周囲の磁性金属等の存在による磁場の歪みが位置検出に大きな影響を及ぼす。本研究で開発したセンサは最終的にカプセル型内視鏡などのカプセル型医用機器での利用を想定しているため、手術室のような周囲に多数の磁性金属が存在する環境での使用に対応する必要がある。そこで、歪んだ磁場環境でも計測が可能な補正アルゴリズムを採用し、計測値から真値に近い補正值を得た。

磁界は距離の 3 乗で急激に減衰するため、十分な検出範囲の確保が困難である。永久磁石を用いた位置計測システムの検出限界は、使用する永久磁石と磁気センサによってほぼ決定されてしまう。先行研究においても、永久磁石を用いた場合の計測範囲は数 cm から十数 cm であることが多い。

本研究では生体内全体を計測できるように、1 m を計測範囲の目標として設定している。しかしながら後述するとおり、本研究で開発したセンサでは、250 mm が計測の限界であった。そこで計測範囲を狭め込むように 2 つのセンサアレイを配置して、精度を保ったまま検出範囲拡張に関する検討を行った。本来であれば 250 mm が計測限界であるセンサを 2 つ正対させれば、倍の 500 mm まで計測が可能となるが、そのように配置すると、計測誤差が最大となる領域が計測空間の中心部となってしまう、計測能力を有効に活用することができない。そこで本研究では 2 つのセンサアレイを 300 mm の間隔で正対させ、精度検証を行った。

センサアレイが 2 つに増えることで、3 軸センサの数も倍に増える。全ての計測値を用いて式 (3) をガウス・ニュートン法を用いて収束させると、それぞれの 3 軸センサの誤差がオフ

セットとして影響してしまい、誤収束や発散が増加してしまう恐れがある。そこで直前に得られた計測値から永久磁石の位置と各3軸センサとの立体角を求め、立体角が60度を越える場合には収束に用いる計測値の対象から外す処理を加えた。

さらなる計測範囲の拡大には、SQUID などさらに微小な磁場を計測することができる磁場センサを併用することで、計測範囲の拡大は可能であると考えるが、患者をシールドルーム内に留める必要がある。患者のQOL向上の目的からは、利便性の低下を招くセンサの選択は現実的ではないと考える。

本研究で用いた永久磁石は表面磁束密度が約0.5 Tの希土類ネオジウム磁石（NEOMAX 社製）を採用した。本研究で開発した磁場受信センサを図2に示した。磁場の受信にはフラックスゲート磁気センサ（NEOMAX 社製）を用いた。長さは3.0 mm、高さは0.5 mm であり、1 mG から 100 mG までの磁場を計測することができる。3 軸センサは11.5 mm 角の亚克力立方体から7.5 mm 角の立方体を削り取って作られた3面にフラックス磁気ゲートセンサを設置している。3軸センサの原点は3面の交点とし、3つのフラックス磁気ゲートセンサは原点から0.75 mm ずれた位置に設置した。3軸センサはユニバーサル基板上にそれぞれの中心が40 mm ずつ離れた3 x 3の格子状に配置され、信号処理装置と接続している。センサが受信した信号の処理にはPC（Dimension 530, デルコンピュータ社製）を用いた。位置の表示にはOpenGLを利用した表示系を構築し、リアルタイムで三次元位置の追跡を可能にした。信号の入力制御と演算には、LabVIEW（National Instruments 社製）を用いた。センサの時間波形はA/D変換（分解能16 bit, サンプリング周波数2 kHz）され、信号処理プログラムに送られる。各センサから受信した磁場強度に比例した出力電圧値を連続的に計測し、得られた計測値からセンサの位置・姿勢を計測・

表示した。ただし地磁気やセンサ特性のばらつきによる影響をキャンセルするために、まず永久磁石が存在しない状態での各センサの出力値をオフセットとして計測し、位置計測中は常に出力値からオフセット分を減算した。

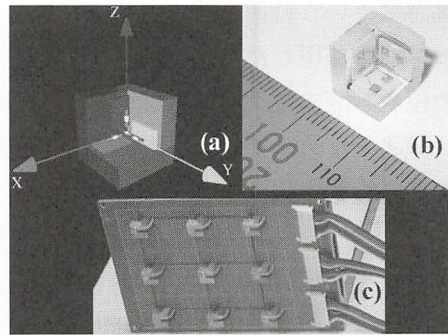


図2 磁場受信センサ

方眼紙上に磁石を置き、方眼紙の値とセンサの出力値を比較することで、精度検証を行った。その結果を図3に示した。磁気センサから約300 mmの範囲内での誤差は 5.5 ± 3.2 mm（平均±標準偏差）であった。生体内で同様の実験を行ったが、差異は認められなかった⁽²⁾。

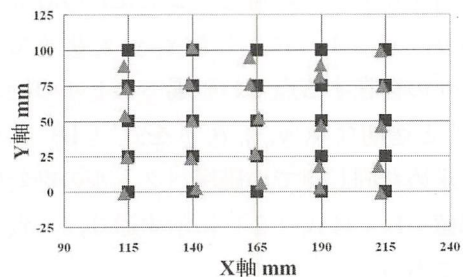


図3 精度検証実験の結果

また、開発したセンサはフラックスゲート素子を採用していたが、計測可能な最小磁界が10 mGと大きいため、システムの計測範囲が狭いことが問題であった。そこで、1 mG～2 Gまでの測定が可能であるAMR素子（Honeywell 社製）を採用し、センサ変更に伴う駆動回路やプログラムの改良を実施した。磁気センサの感度軸方向について測定した結果、7

mG 付近までは計測電圧と真値との誤差が 10% を下回った。

[今後の研究の方向、課題]

開発したシステムでは、2 枚の磁気センサアレイを計測空間を挟み込むように設置したが、この方法だと計測空間の中心部で誤差が大きくなることや、永久磁石がセンサアレイに対して平行になると誤差が拡大する問題点が判明した。そこで図 4 に示したコンピュータシミュレーションプログラムを開発し、磁気センサの配置の検討を行った。その結果、図 4 に示したように計測空間全体を円柱状に包む形状のときに最も誤差が少なく計測できることが分かった。磁気センサの間隔については今後さらに検討を加える予定である。

AMR 素子を利用して、フラックスゲート素子により構築したシステムと同じシステムを構

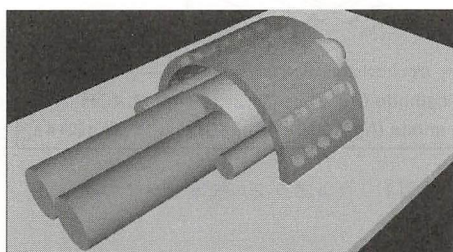


図 4 コンピュータシミュレーションによる磁気センサの最適配置の検討

築する場合、計測範囲を 400 mm まで広げることが可能となる。また、駆動回路の改良により計測可能な最小磁界をさらに小さくすることを予定している。しかし、計測可能な最小磁界を下げることで相対的に地磁気の変動幅が大きくなることが問題であり、その対策が今後の課題である。

[成果の発表、論文等]

- (1) 永岡 隆, 市川大輔, 内山明彦: “永久磁石を用いた三次元位置センサの開発とその応用”, 生体医工学, Vol. 42, No. 4, pp. 300–306 (2004)
- (2) 市川大輔, 永岡 隆, 武田 朴, 内山明彦: “永久磁石を用いた位置検出システムの開発 (第三報)”, 第 44 回日本生体医工学会大会論文集, Vol. 43, Suppl. 1, pp. 412 (2005)
- (3) Nagaoka Takashi: “DEVELOPMENT OF 3-D POSITION SENSOR BY USING PERMANENT MAGNETS IN THE DIGESTIVE TRACT”, The 3rd European Medical and Biological Engineering Conference EMBEC '05 (2005)
- (4) 永岡 隆: “永久磁石を用いた三次元位置センサの開発と評価”, 電子情報通信学会 2005 年ソサイエティ大会 (2005)
- (5) 市川大輔, 永岡 隆, 武田 朴, 内山明彦: “永久磁石を利用した三次元位置センサの応用”, 電気学会研究会資料 (医用・生体工学研究会), MBE-05 巻 1～6 号, pp. 7–12 (2005)

機能性高分子膜に半導体加工技術を施した
生体成分計測用ウェアラブルセンサの開発

Development of Wearable Chemical Sensors with Functional Polymers for Physical Monitoring

1051016

研究代表者	東京医科歯科大学生体材料工学研究所 教 授	三 林 浩 二
共同研究者	東京医科歯科大学生体材料工学研究所 助 教 授	大 塚 公 雄
	東京医科歯科大学生体材料工学研究所 助 手	工 藤 寛 之
	東京医科歯科大学生体材料工学研究所 教務職員	斉 藤 浩 一

[研究の目的]

呼吸機能が不完全な未熟児における低酸素による障害と逆に血中酸素が高すぎることによる網膜症の予防をはじめとして、血中酸素濃度モニタリングに対するニーズが存在する。新生児医療に既に実用化されている経皮的血中酸素計測法では、硬いプローブを皮膚に固定し、加温する必要があり、擦過傷や低温火傷などが生じる原因となっているため、非侵襲的なモニタリング方法の開発が求められている。一方、近年の機能性高分子材料や半導体加工技術の発達により、微小で高感度であるばかりでなく、生体に装着が容易な柔らかいセンサの開発が可能となってきた。本研究では、機能性高分子膜に半導体加工技術を施した、生体成分計測用ウェアラブル酸素センサを開発し、血中酸素の経皮による非侵襲モニタリングを可能とすることを目的とした。

[研究の内容、成果]

1 生体成分計測用ウェアラブル酸素センサの作製

図1に作製したウェアラブル酸素センサの構

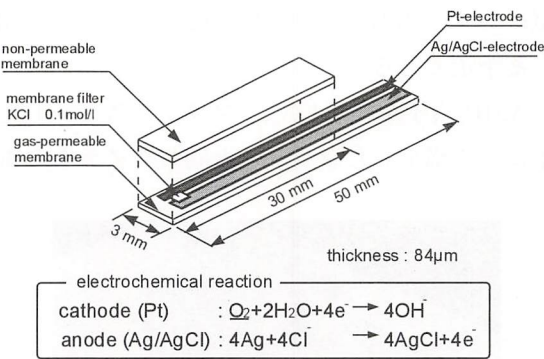


図1 ウェアラブル酸素センサの構造図

造を示す。ウェアラブル酸素センサは機能性材料であるガス透過性膜の柔軟性に着目し、この膜を構造部材として用いた薄い膜状のクラーク型酸素センサである。

センサの作製ではまず、ガス透過能を有する機能性材料であるガス透過性膜（FEP 膜、膜厚：25 μm）上に半導体技術であるフォトリソグラフィ法を用いてレジストパターン層を形成し、スパッタリング法にて作用電極として白金電極（2000 Å）を、対極・参照電極として銀電極（3000 Å）をそれぞれパターン形成し、その後、銀電極に塩酸による塩化処理を施し、銀 / 塩化銀電極（対極・参照電極）とした。次に、メンブレンフィルタと金属溶着性膜（膜厚：50 μm）を積層し、KCl 電解液（0.1 mmol/l）

を包含するように全端部を熱溶着し、短冊形状とした。

本センサの動作原理は、図1の下部に示したような電極反応によって、封入した電解液に溶け込んだ酸素の濃度を検出するものである。ここで、酸素が供給されるのは、図1の下側にある、ガス透過性膜からのみであることから、このセンサの一方の側のみの酸素濃度を選択的に測定することができるという特徴を持つ。

本センサは、全体の厚さが84 μm と大変薄く、基板としたガス透過性膜が持っていた柔軟性を保った柔らかいセンサである(図2)。

2 *in vitro* における評価

本センサを経皮血中酸素濃度計測に適用する前に、*in vitro* における特性評価を行った。まず、サイクリックボルタムグラフィによって、本センサを用いた酸素濃度計測は、Ag/AgCl電極に対して-600 mVの電圧を与える低電圧測定法で行うこととした。

次に、本センサの応答性を調べるために、酸素飽和状態とした蒸留水に市販の酸素センサと作製したセンサの感応部を浸し、亜硫酸ナトリウム水溶液を溶液全体の最終濃度が0.1 mmol/lとなるように滴下して、亜硫酸ナトリウムによる脱酸反応時のセンサ出力を調べた。ポテンシオスタットを用いてAg/AgCl電極に対して-600 mVの電圧を供給し、センサの出力は、ポテンシオスタット(Potentiostat, Model 1112, BAS Inc., Tokyo, Japan), A/D変換器(A/D converter, ADC-16, Pico Technology Co., Ltd., United Kingdom)を介し

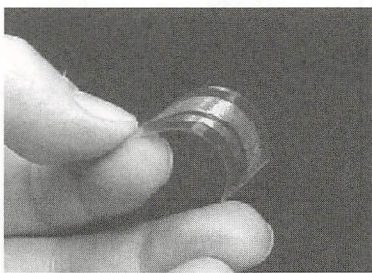


図2 ウェアラブル酸素センサの概観写真

てPCに記録し、結果を表示すると共に、ハードディスクドライブに保存して、その後の解析に用いた。さらに、様々な酸素濃度において、出力電流を計測した。

この際、市販の酸素電極(Clark-type dissolved oxygen electrode; Able Co., Ltd.)による計測を同時に行い、両者の応答を比較した。

図3は亜硫酸ナトリウム滴下に対する応答の例である。亜硫酸ナトリウムによる脱酸反応に伴う出力の低下が観察され、最終的に出力がほぼ0となった。この濃度の亜硫酸ナトリウムの存在下では水溶液中の酸素濃度は0となることが知られており、この結果は本センサの出力が溶液中の酸素濃度をよく反映していることを示している。このとき、定常値の90%に達するまでに要する時間は48秒であった。また、図4に示すように、溶存酸素濃度とセンサの出力電流との間には非常に高い相関(相関係数0.999)があり、下記のような回帰式が得られ、酸素濃度を0.01 - 8.00 mg/lの範囲で定量が可能であることがわかった。

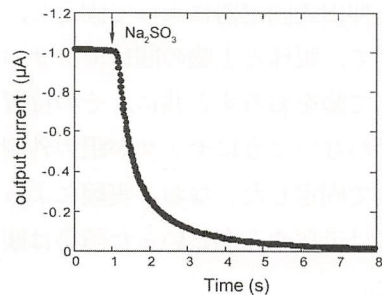


図3 亜硫酸ナトリウム滴下に対する出力応答

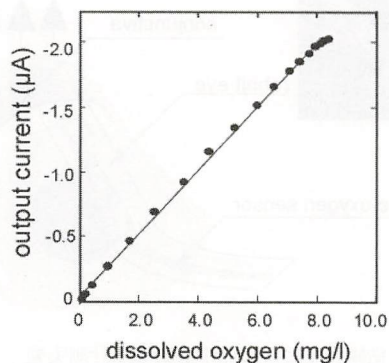


図4 ウェアラブル酸素センサの定量特性

$$\text{センサ出力}(\mu\text{A})=0.04+0.02\times[\text{溶存酸素}(\text{mg/l})]$$

以上より、本研究で開発したウェアラブル酸素センサは、市販のクラーク型酸素センサとほぼ同様な特性を持つことがわかった。

3 *in vivo* における評価

本研究により作成したウェアラブル酸素センサを生体計測に応用するにあたり、計測場所として眼瞼裏側の結膜を選んだ。この部位を計測位置に選んだのは以下の理由による。1) 結膜は薄い粘膜の下に血管が多く分布して角膜を養うための酸素を供給していることから、この位置における酸素濃度が血中酸素濃度をよく反映していると考えられること、2) 結膜が非常に薄いために、腕などの皮膚における経皮酸素計測では必須であった加熱が不要になると期待できること、さらに、3) 本研究で作成した酸素センサが非常に薄くて柔軟であるために結膜に接するように眼に装着することが可能であると期待できる。

実験では、図5に示すように、実験用の白色ウサギを押田式固定器によって固定し、上瞼を持ち上げて、眼球と上瞼の間にセンサの感応部を挿入して瞼をおろすと共に、その位置からセンサが動かないようにセンサが眼の外側に出ている部分で固定した。なお、実験によってウサギの眼には炎症や充血といった障害は観察されなかった。

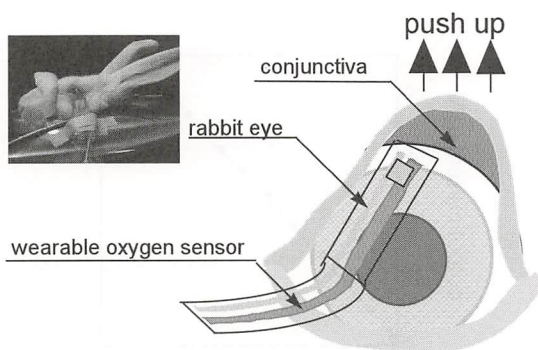


図5 結膜経皮による血中酸素濃度計測実験
左上：ウサギによる実験の外観写真
右：ウェアラブル酸素センサの固定の模式図

実験では、血中酸素濃度の変化を起こさせるため、ウサギに60% O₂ もしくは95% O₂ の高濃度酸素ガスを適宜吸引させてセンサの出力を観察した。計測にあたっては、*in vitro* における実験と同様、ポテンシオスタットを用いて、Pt電極にAg/AgCl電極に対して-600 mVの電圧を供給し、出力電流をポテンシオスタット・A/Dコンバータを介してPCに保存、データ処理を行った。なお、ウサギの眼部に装着する前と、結膜における計測実験後のウェアラブル酸素センサに大気(20% O₂)と60% O₂ガスを負荷してその応答を確認した。

実験結果の一例を図6に示す。瞼の下にウェアラブル酸素センサを設置し出力値が安定した後に、ウサギに60%あるいは95%の酸素を含む空気を吸入させたところ、図6のようにセンサの出力が増加した。高濃度酸素の吸引をやめて大気での呼吸に戻したところ、センサ出力はほぼ元に戻った。また、95% O₂吸入時のセンサ出力の上昇は60% O₂を吸入した場合より明らかに大きく、本センサによって加熱によらずに血中酸素濃度を経皮的に測定することが可能であることを強く示唆している。

以上により、機能性高分子膜に半導体加工技術を施すことにより、当初の目的通り極めて薄く柔軟なウェアラブル酸素センサを開発するこ

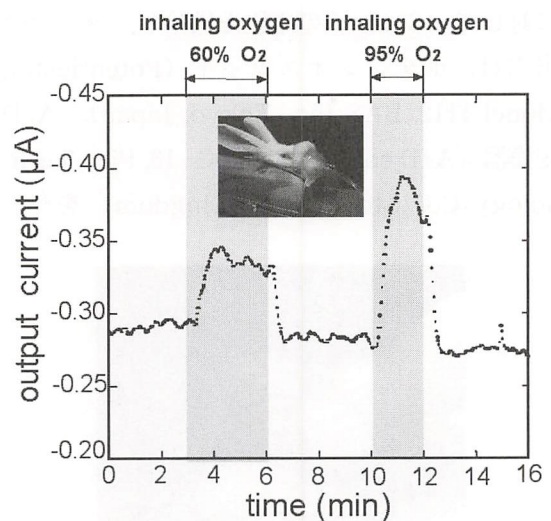


図6 ウサギ結膜における経皮血中酸素の計測結果

とができた。また、この酸素センサが市販のクラーク型酸素電極と同等の応答性と検量特性を持つことが確かめられた。また、このセンサは薄いばかりでなく、大変柔軟であることから、ウサギの眼部に装着しても障害を起こすことなく計測が可能であり、結膜において経皮血中酸素濃度の定量的な計測が可能であることが示唆された。

[今後の研究の方向、課題]

本研究により、機能性高分子膜であるガス透過性膜を用いて半導体加工技術を施してウェアラブル酸素センサを開発することができた。今後はこのセンサの改良と評価と共に、この酸素ウェアラブル酸素センサを元にした各種バイオセンサの開発を進めていきたい。

まず、センサの改良については、今回確認された血中酸素濃度の変化に伴う出力電流値の変化と実際の血中酸素濃度との対応を調べて、結膜において経皮的血中酸素濃度計測を定量的に行えるようにしたい。また、センサの材料加工法についての検討も進めてセンサ自体の特性と柔軟性・耐久性を高めていくとともに小型化を進め、将来的にはコンタクトレンズのような形状の酸素センサとしたい。また、現在の装置では眼部に装着したセンサから導線がつながっているため、ウェアラブル酸素センサの装着中は眼を完全に閉じることができないという問題があるが、人体通信などの技術と融合することで、この問題を解決することができると考えている。

さらに、ウェアラブル酸素センサをベースとした様々な生体計測用化学センサを開発していきたい。バイオセンサに用いられている酵素の中には、カタラーゼのように反応の結果酸素が生じるものや、グルコースオキシダーゼやモノアミン酸化酵素のように、酸素を用いる反応を触媒するものが多数存在する。これらの酵素と基質が存在すると溶存酸素濃度が変化するため、



図7 ウェアラブルセンサの応用例

ウェアラブル酸素センサと組み合わせることで、酵素の基質の量を計測する各種のバイオセンサの製作が可能となる。これによって各種の生体情報を無侵襲にモニタリングできる生体情報計測用ウェアラブルバイオセンサの開発を進めていきたい(図7)。

[成果の発表、論文等]

- 1) Iguchi S, Mitsubayashi K, Uehara T, Ogawa M: A wearable sensor for conjunctival oxygen monitoring. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 108 (1-2): 733-7, 2005.
- 2) Mitsubayashi K. "Wearable oxygen sensor for conjunctive transcutaneous measurement" *PIT-TCON (Orange County Convention Center in Orlando, Florida, February 27 through March 4, 2005)*, *ABSTRACT*, 10-16P.
- 3) Sawada T, Iguchi S, Saito T, Ogawa M, Otsuka K, Mitsubayashi K. "A conjunctiva oxygen sensor for transcutaneous blood gas monitoring". *Proceedings of the 6th International Conference on Intelligent Materials and Systems (ICIM '05)*, pp. 323-324, from 4th to 6th July 2005 in Tokyo (Ichigaya).
- 4) Sawada T, Iguchi S, Saito T, Kudo H, Funakubo A, Ogawa M, Mitsubayashi K. "A wearable conjunctival oxygen sensor by using functional polymers" *Pacificchem (Hawaii, Dec. 16, 2005)*, *Abstract Program No. 252*

インディペンデント・エージェントによる集団行動の学習

Learning of Group Behavior by Independent Agents

1051017

研究代表者	信州大学工学部機械システム工学科 助手	森 亮 介
共同研究者	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、インディペンデント・エージェントとして、単眼視覚をもつ移動ロボットを用い、集団による協調タスク、例えば、飛来するボールを打ち上げ続けるタスクを考える。ヒトに置き換えるとバレーボールのようなタスクであり、このタスクの実現にはヒトが長年の練習の成果として身につけるスキルを、いかにロボットに学習させるかを考える必要がある。ボールの動きと個々のロボットの動きという変動する状況に応じて目標のタスクを実現するための行動決定アルゴリズムを構築する。人間と同等あるいはそれ以上に優れた集団行動を生成することが可能な知能ロボットシステムを開発し、ヒトの高度なスキルをロボットで実現するだけでなく、ヒトがスキルを獲得するまでの過程についても検討することを目的とする。

[研究の内容、成果]

本研究の目的である複数台の知能ロボットによる協調動作（集団行動）を実現するためには、まず、高度なタスクを実現可能な知能ロボットの開発が重要である。そこで、本稿では、ヒューマンスキルの一例として、ボールリフティングタスクの実現に向けた知能ロボットの開発について述べ、本研究の目的を実現するた

めに、検討すべき課題や問題点を明らかにする。

1 研究の背景、目的

近年のロボットの研究は、手足や目などの個々の機能システムの開発から、それらを統合したシステムを構築し、さらに具体的なタスクの実現をめざす段階にある。例えば、移動機構にマニピュレータを搭載し、移動しながら何らかの作業を行うことや、複数台のロボットで協調して作業を行うことなど、より高度なタスクの実現に向けてさまざまな研究が行われている。このような高度なタスクを実現するためには、ロボットの知能化が重要であり、センサで得られた動的な環境の変化に応じて、目標のタスクを実現するために、適切な行動を決定し、動作を生成することが可能な知能ロボットの開発が必要である。そこで本研究では、知能ロボットの開発の一例として、ヒューマンスキルを実現する知能ロボットシステムの開発を目的として研究を行う。

本研究で考えるヒューマンスキルとは、野球やサッカー、テニスなどの球技において、初心者練習を重ね、熟練者にいたる過程において身につける「コツ」のようなものであり、運動時の人の動作をロボットにあてはめ、目標とするタスクを実現するために必要なシステムを構築し、「コツ」を身につけるまでの過程をロボットを通して明らかにするというのが本研究

の目的である。

本研究では、目標とするタスクとして、ボールリフティングを考える。ボールリフティングは、テニスやサッカーのようなボールを用いる球技において基礎的な練習に位置づけられる。初心者がボールの扱いに慣れるために、ボールを連続して打ち上げ（蹴り上げ）ることによって、ボールを適切な軌道に打ち上げ、さらに次の落下地点にラケット（足）を正しく位置決めするというような、視覚情報に基づく運動制御を行う。この基本動作を繰り返すことによって、ボールを思い通りに操ることが可能となる。このボールリフティングタスクをロボットに行わせることによって、ヒトが基礎的なタスクを実現するためのスキルを身につけるまでの学習過程を明らかにすることが本研究の目的である。

2 ボールの追跡捕獲戦略

本研究で行うボールリフティングタスクは視覚情報に基づく運動制御という点で、まさしく視覚フィードバックの基本例題に位置づけられる。図1に単眼視覚をもつ移動ロボットによるボールリフティングタスクの概略図を示す。

ボールリフティングタスクは、打ち上げたボールの次の打撃点にラケットを位置決めする移動ロボットの軌道制御と、目標の軌道にボールを打ち上げるためのラケットの打撃速度と角度の制御の2つのフェーズに分けられる。3次元的に移動するターゲットを追跡し、その落下位置に素早く到達する必要があるため、できる限りシンプルなシステム構成にすることが重要となる。そのため、画像処理システムには単眼視覚を用い、さらにターゲットの軌道を捉える

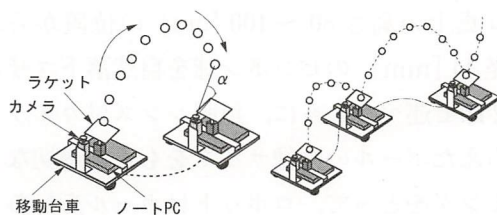


図1 ボールリフティングタスクの概略図

ためにカメラの方向の制御を必要としない魚眼レンズを用いることにする。これにより、移動ロボットに搭載する画像処理システムはシンプルかつ軽量となり、移動ロボットの走行性能の低下を引き起こすことはない。

上記のような単眼視覚による画像システムを用いて、3次元的に移動するターゲットを追跡するために、ターゲットの3次元位置情報を必要としない追跡方法を考える。図2に示すように鉛直上向きにロボットに搭載したカメラから見たボールの仰角を、ヒトから見たボールの仰角 α と考え、この正接 $\tan\alpha$ が有限の時間変化率で増加し続けるように移動することによってターゲットを追跡することができる。この動作戦略は、実験心理学におけるヒトのボール捕獲時の動作戦略に基づいており、本研究の単眼視覚をもつ移動ロボットによる3次元移動物体の追跡タスクに非常に適している。

3 ボールリフティングロボットのシステム構成

前節で述べた追跡理論を制御則の形で具体化し、単眼視覚をもつ移動ロボットに適用した（詳細については論文2）を参照）。本節では、本研究で開発したボールリフティングロボットのシステム構成について述べる（図3）。制御対象を移動ベースと打撃機構、制御部をノートPC、検出部をカメラとする。移動ベースのサイズは全長と全幅が300 [mm] であり、直進時の最高速度は1.2 [m/sec] である。各部で行われる処理については、ボールの追跡のための移動ロボットの軌道制御と、ボールの打ち上げのための打撃機構の制御に分けて述べる。

魚眼レンズ付IEEE 1394カメラで得られたボールの画像を2値化し、ボールの重心位置を

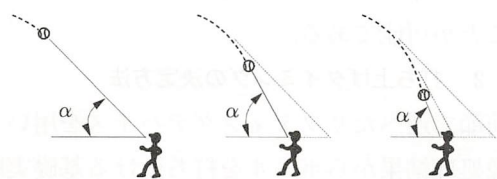


図2 ボール捕獲戦略モデル

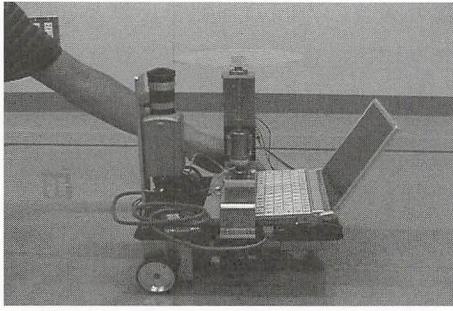


図3 ボールリフティングロボット

求め、ヤコビ行列から移動ロボットの左右の車輪速度を計算する。つづいて、左右の車輪の速度指令を RS-232C を介して移動ベースに通信し、ボールの追跡のための軌道制御を行う。また、ボールの画像上の面積（画素数）からボールの打ち上げタイミングを求め、ソレノイドからなる打撃機構により、落下してくるボールをタイミングをあわせて打ち上げる。以上の処理が行われ、リフティング動作を行うことが可能となる。

3.1 リフティングデバイスの構成

移動ロボットに搭載するために、ソレノイドと1軸のモータからなるシンプルな打ち上げ機構を製作した。ソレノイドに電流を流す時間を変化させることによって、大、中、小の3段階の打ち上げ速度を得ることが可能であり、ヒトがリフティングタスクを行う場合と同様にボールの軌道に合わせて、打ち上げ速度を調節することができる。さらに、ラケットの傾きを変えることで、目標の軌道にボールを打ち上げることも可能である。このリフティングデバイスを用いることで、ボールの軌道が低い場合は打ち上げ速度を大きくすることで高く打ち上げたり、ボールを前方に打ち上げすぎた場合は、ラケットを後方に傾けてボールを後方に打ち上げたりというようなボールの軌道のコントロールを行うことが可能である。

3.2 打ち上げタイミングの決定方法

前節で述べたリフティングデバイスを用いて、画像処理結果からボールを打ち上げる基礎実験を行い、打ち上げタイミングの決定方法を検討

した。今回の実験で使用したカメラのフレームレートは 30 [fps] である。画像上のボールの画素数 $N = 100$ を打ち上げのタイミングをとるための閾値として、 $N > 100$ となったサンプリング時にソレノイドに打撃の指令を与える。また、打ち上げのタイミングを決めるためには、ボールの落下速度を考慮する必要がある。画像上のボールの画素数はボールの速度が大きいほど、変化が大きくなる傾向があるので、これを出力関数として、打撃のタイミングを決定する。画素数が 100 を超えたときの N に対してその直前の画素数 N_{old} として、次式より、打撃指令を与えるサンプリング時間遅れ T_s を計算する。

$$T_s = K / (N - N_{old})$$

ただし、 K は実験結果をもとに適当な値を用いている。この方法を用いることで、例えば 100 cm の高さから自然落下させた場合と比べて、60 cm の高さの場合に、タイミングが 4×33 [msec]（カメラのサンプリングレート）分遅れているにもかかわらず、適切に打ち上げることが可能となった。

ただし、照明条件やラケット面上のボールの打撃位置などの影響で、この簡便な方法による打撃成功確率は現状では 7 割程度であるため、ボールリフティングタスクを実現する上ではよりロバストな打撃動作生成のアルゴリズムが必要と考える。

4 ボールリフティングタスクの実験結果

ボールリフティングタスクの実現を目的に開発したリフティングロボットを用いて実験を行った。実験の手順を以下に示す。ロボットのほぼ真上の高さ 80 ~ 100 [cm] の位置から、直径 44 [mm] のピンポン球を自然落下させる。3.2 節で述べたように、魚眼レンズ付カメラでとらえたボールの画像サイズをもとに適切なタイミングをとって、ロボットはボールを打ち上げる。つづいて、打ち上げたボールの軌道にし

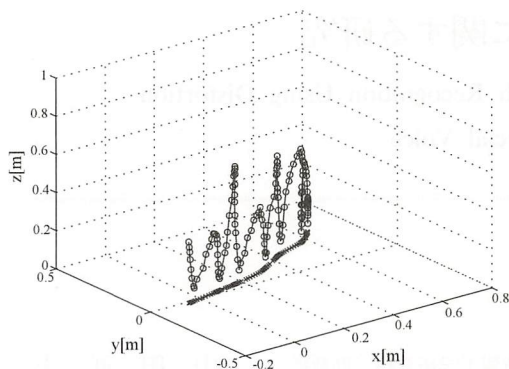


図4 ボールリフティングタスクの実験結果

たがって、2節で述べたように次の打撃地点に向かって追跡動作を行い、さらに落下してくるボールを打ち上げることによって、ボールリフティングタスクを行う。

図4にボールリフティングの実験結果を示す。図で、○印で打ち上げられたボールの軌道を示し、×印でロボットの追跡軌跡を示している。

この結果から、ボールの軌道に対して、適切に落下位置に到達し、落下してくるボールに対して適切にタイミングをとって、ボールを打ち上げることによって連続してボールを打ち上げるリフティングタスクを実現していることがわかる。(実験結果の動画については 3) のHPを参照。)

実験結果を詳しく見てみると、打ち上げられたボールの軌道から、打ち上げ高さが多い場合は弱く打ち上げ、小さい場合は強く打ち上げるというように、打ち上げの強弱を適切に調整し、リフティングを行っていることがわかる。さらに、打ち上げはじめの段階では、前方にボールが打ち上げられているが、移動距離にしたがって、後方にラケットを傾けてボールを打ち上げることによって、最終的にはほぼ真上にボールを打ち上げるリフティングを行っていることもわかる。以上の結果から、現状のロボットのシステムでボールリフティングタスクを行うのに必要な性能を備えていることがわかる。

[今後の研究の方向、課題]

本稿では、複数台の知能ロボットによる集団行動の実現に向け、その基礎となる知能ロボットの開発を行った結果について述べた。現状では、1台のロボットによるボールリフティングという、カメラで捉えた動的な環境の変化に応じて、適切に目標とするタスクを実現するための行動を生成することが可能な知能ロボットを開発し、実験によりその性能と改善点を評価したところである。今後は、本研究課題の目指すところである集団行動の実現に向けて以下の点について、研究を行っていきたいと考える。

- ・1台のロボットによるリフティングタスクを実現したものの、現状の1軸のみのラケットの角度調整では、思い通りに打ち上げたボールの軌道を制御することは難しいので、2軸の角度調整機構の開発を行う（これについては、すでにリフティングデバイスは開発済であるが、ボールの軌道に対する角度調整のアルゴリズムがまだ不十分であるため、本稿では結果を割愛した）。
- ・集団行動の基礎として、まずは2台のロボットによるパスタタスクを行い、協調動作における適切な行動生成のためのアルゴリズムを構築する（こちらについても、すでに2台のロボット間でのパスタタスクの実現にむけて、基礎的な性能評価実験、およびシミュレーションによる検討を行っており、結果については、国際会議等にて報告する予定である）。

[成果の発表、論文等]

- 1) R. Mori, F. Takagi and F. Miyazaki: Development of Intelligent Robot System Realizing Human Skill — Realization of Ball Lifting Task Using a Mobile Robot with Monocular Vision System —, Proceedings of International Conference on Robotics and Automation, pp. 1280–85, 2006.
- 2) 森, 高木, 宮崎: 単眼視覚をもつ移動ロボットによるボールリフティングタスクにおけるスキル獲得, 第48回自動制御連合講演会予稿集, pp. 757–762, 2005
- 3) <http://chida-lab.shinshu-u.ac.jp/mori/mobrobo.html>

ひずみ尺度と擬似音声を用いた雑音環境下での 音声認識率の推定に関する研究

Performance Estimation of Noisy Speech Recognition Using Distortion
Measure and Artificial Voice

1051018

研究代表者 筑波大学大学院システム情報工学研究科 助教授 山田 武志

[研究の目的]

現在の音声認識技術では、雑音が混入した音声进行正しく認識することは困難である。よって、音声認識サービスを提供する際には、対象とする環境でどの程度の認識率が得られるのかを事前に調べる必要がある。最も確実な方法は、対象とする環境で大量の音声データを収録し、認識実験を行うことである。しかし、その実行には専門的な知識や技術に加えて、膨大な労力、時間、費用を要するという問題がある。

以上から、本研究では、雑音環境における認識率を、容易かつ短時間に推定することを目的とする。一般に、認識率に影響を与える要因は多岐に渡っており、例えば雑音の特性や音声認識と併用する雑音抑圧アルゴリズムの性質によって認識率は大きく変動する。このことから、本研究では、これらの要因に左右されない頑健な推定を目指す。

[研究の内容、成果]

従来、音声のひずみ尺度を用いて認識率を推定するというアプローチが提案されている。図1にこのアプローチの概要を示す。

原音声（雑音が重畳していない音声）と認識対象である劣化音声（雑音が重畳している音声、あるいはそれに対して雑音抑圧処理を適用した後の音声）を入力とし、劣化音声のひずみを計

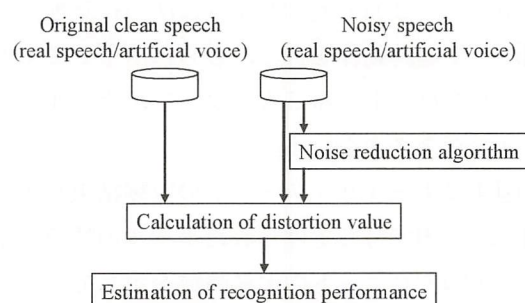


図1 ひずみ尺度を用いた認識率の推定

算する。そして、あらかじめ実験的に求めておいた推定式に、このひずみの大きさを代入することにより認識率を得る。

このアプローチには認識実験と比べて計算コストが小さいという利点があることから、これまでに種々のひずみ尺度を用いた手法が提案されてきた。しかし、これらの手法には、次のような課題がある。

- (1) 音声認識の前処理として雑音抑圧アルゴリズムを用いることを想定していない。そのため、雑音抑圧アルゴリズムによっては十分な推定精度が得られない。
- (2) 認識率を推定するために大量の音声データを必要とする。よって、データ収録のコストは依然として大きい。

著者らは、(1)の課題に対処するために、ITU-Tにより P. 862 として勧告されている PESQ (参考文献 [1]) をひずみ尺度に用いた手法を提案し、雑音抑圧アルゴリズムを用いたときでも高い精度で認識率を推定できることを示

した（参考文献 [2]）。しかし、雑音抑圧アルゴリズムの種類毎に推定式を用意せねばならず、雑音抑圧アルゴリズムが新規に開発された場合や雑音抑圧アルゴリズムの制御パラメータが変更された場合にはその都度推定式を求める必要がある。本研究では、この問題の解決を図る。

また、(2) の課題に対しては、大量の音声データの代わりに数秒程度の擬似音声（ITU-T 勧告 P.50（参考文献 [3]））を用いた手法を提案し、その有効性を示した（参考文献 [2]）。しかし、実音声を用いた場合と比べて推定精度に低下が見られたので、この問題の解決を図る。

I. 推定式の変動の問題への対処

現状では、雑音抑圧アルゴリズムの種類毎に推定式を用意せねばならない。そこで、次の 2 通りのアプローチにより、この問題の解決を目指す。

- (A) あらゆる雑音抑圧アルゴリズムに対して適用可能な推定式を 1 つだけ用意する。すなわち、PESQ のひずみ算出アルゴリズムを改良することにより、雑音抑圧アルゴリズムの違いに頑健なひずみ尺度を開発する。
- (B) 類似した推定式をクラスタリングし、クラス毎に代表推定式を用意する。ここで、ひずみ尺度としては現状の PESQ をそのまま用いる。認識率の推定の際には、対象となる雑音抑圧アルゴリズムがどのクラスに属するのかを判定し、そのクラスの代表推定式を用いる。

本研究では、後者のアプローチについて検討を行った。クラスタリングの方法は次の通りである。まず、N 個の雑音抑圧アルゴリズムを用意し、その各々に対応する推定式を求める。次に、最も距離に近い 2 つの推定式を同じクラスに属するものとし、このクラスの代表推定式を求め直す。以上の処理を所定のクラス数になるまで繰返す。

提案法の有効性を評価するために認識率の推定実験を行った。認識実験には、雑音下連続数

表1 実験に用いた AURORA-2J のデータセット

学習・テストセット	雑音	チャンネル	SNR
Clean training	なし	G.712	Clean
テストセット A	Subway Babble Car Exhibition	G.712	Clean 20 ~ -5dB
テストセット B	Restaurant Street Airport Station	G.712	同上
テストセット C	Subway Street	MIRS	同上

字認識タスクである AURORA-2J（参考文献 [4]）を用いた。実験に用いたデータセットを表 1 に示しておく。

本実験では、次の 5 つの雑音抑圧アルゴリズムを用いた。

- ベースライン（雑音抑圧を行わない場合）
- SS-SMT 法（スペクトルサブトラクション法）（参考文献 [5]）
- 時間領域 SVD に基づく音声強調
(参考文献 [6])
- GMM に基づく音声信号推定
(参考文献 [6])
- ピッチ同期 KLT（参考文献 [7]）

さらに、各アルゴリズムの制御パラメータ（雑音成分を減算するときの減算重みパラメータ）を変更したものを用意した。つまり、雑音抑圧アルゴリズムの総数は延べ 16 個である。本実験では、テストセット A~C の実音声データを用いて推定式を求め、同データセットの認識率を推定した。以下、実験結果について述べる。

まず、PESQ スコアと単語正解精度 (%Acc) の関係を図 2 に示す。図中の点は雑音条件毎の関係を、実線は雑音抑圧アルゴリズム (16 個) 毎に求めた推定式を表す。図より、点のばらつきがかなり大きく、あらゆる雑音抑圧アルゴリズムに対して適用可能な推定式を求めるのは難しいことが分かる。一方、類似した推定式が多く存在することから、推定精度を大きく低下させることなく、推定式の数減らすことができ

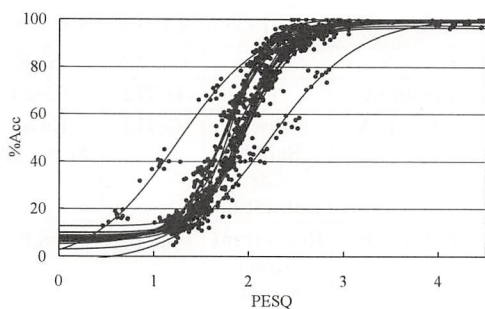


図2 PESQ スコアと単語正解精度の関係

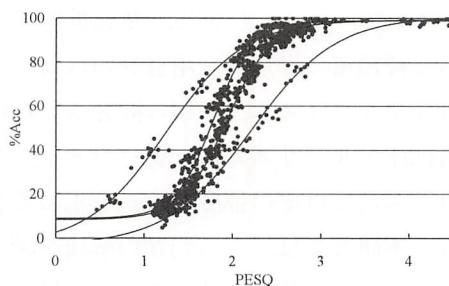


図4 クラス数が4のときの代表推定式

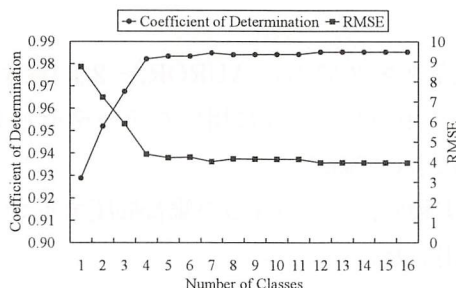


図3 クラス数と推定精度の関係

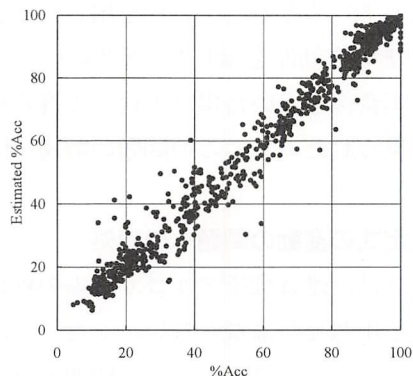


図5 クラス数が4のときの真の単語正解精度と推定した単語正解精度の関係

ると期待できる。

次に、クラスタリングを適用した結果について述べる。図3は、クラス数（代表推定式の数）と推定精度の関係を表す。図中の決定係数とRMSEは、真の単語正解精度と推定した単語正解精度の関係から求めた。各雑音抑圧アルゴリズムに対して適用する推定式は、各々が属するクラスの代表推定式である。図3より、クラス数が4以上のときに推定精度はほぼ一定となっていることが分かる。これより、クラス数は4まで削減できると考えられる。

クラス数が4のときの代表推定式を図4に示す。

図2と比較することにより、類似した推定式を統合するように効率良くクラスが形成されていることが分かる。この4つの推定式を用いて単語正解精度を推定した結果を図5に示しておく。

以上より、(B)のアプローチの有効性が確認された。今後は対象とする雑音抑圧アルゴリズムがどのクラスに属するのかを判定する手法を開発すると共に、(A)のアプローチについて検討する予定である。

II. 擬似音声の問題への対処

ITU-T 勧告 P. 50 の擬似音声は、音声の平均的特性を有する合成信号である。これは、符号化音声の客観品質評価のためのテスト信号であることから、発話内容や言語に依存しない幅広い特性を持つように設計されている。しかし、音声認識では、語彙セットは制限されており、また言語は普通一つである。よって、音声認識において発話が想定される語彙セットの特性を持つ擬似音声を生成することにより、認識率の推定精度を改善できると考えられる。

擬似音声の生成過程を図6に示す。擬似音声は、有声音と無声音の音源に相当する2種類の三角波を組合せた励起信号を、PARCOR 係数をパラメータとする時変係数のスペクトル整形フィルタに通すことにより生成される。ここで、スペクトルの変化パターンは、ベクトル量子化された16個の短時間スペクトルパターンをランダムに選択して与える。また、パワーの変化特性は、無声音と有声音の組合せによる4種類のパターンをランダムに選択して与える。さら

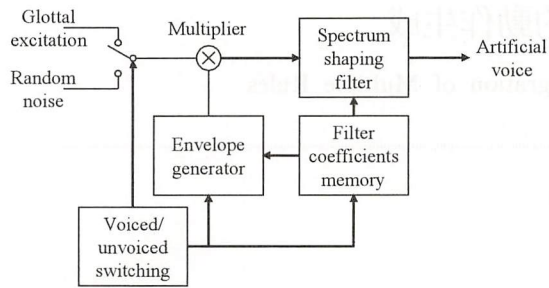


図6 擬似音声の生成過程

に、有声音の場合には、人間の声の高さの変化に対応して、ピッチ周波数を変化させる。生成された擬似音声は、長時間平均スペクトル特性、短時間スペクトル変化特性、瞬時振幅レベル分布特性、長時間パワー累積分布特性などが、実音声の特性に最適近似されている。

今回は、擬似音声の特性のうち、短時間スペクトル特性を音声認識の語彙セットに合わせることを試みる。P. 50 の擬似音声では、20 言語の音声データベースから求めた短時間スペクトルパターンをクラスタリングし、16 個の代表パターンを求めている。一方、本研究では、音声認識の学習に用いる音声データベースを用いて 16 個の代表パターンを求めることとした。

先の実験と同様に AURORA-2 J を用いて認識率の推定実験を行った。ここでは、雑音抑圧アルゴリズムを適用しない場合のみを考える。なお、本実験では、テストセット A のデータを用いて推定式を求め、テストセット B の認識率を推定した。

実験結果を表 2 に示す。表 2 より、提案擬似音声を用いることにより、P. 50 と比べて RMSE が 0.2 改善されたことが分かる。このことから、短時間スペクトル特性を音声認識の語彙セットに合わせることの効果が確認された。今後は、擬似音声の他の特性についても最適化していく予定である。

表 2 実験結果

	決定係数	RMSE
実音声	0.97	8.2
P. 50	0.97	9.5
提案擬似音声	0.97	9.3

[今後の研究の方向、課題]

今後は、推定精度のさらなる改善を目指し、雑音抑圧アルゴリズムが属するクラスを判定する手法の開発、ひずみ尺度と擬似音声の改良を行う予定である。また、本研究の成果は、上述した目的のみならず、雑音抑圧アルゴリズムの性能評価や性能比較に応用することができる。現在、複数の雑音抑圧アルゴリズムの中から最適な雑音抑圧アルゴリズムを逐一選択する手法の開発などを行っている。

[成果の発表、論文等]

本研究の成果については、以下の学会などで発表予定である。

- ・日本音響学会 2006 年秋季研究発表会
- ・情報処理学会音声言語情報処理研究会

また、推定精度のさらなる改善を達成し次第、国内外の論文誌に投稿予定である。

[参考文献]

- [1] ITU-T Rec. P. 862, Feb. 2001.
- [2] T. Yamada et al., "A PESQ-based performance prediction method for noisy speech recognition," Proc. ICA 2004, Vol. II, pp. 1695 – 1698, Apr. 2004.
- [3] ITU-T Rec. P. 50, Sep. 1999.
- [4] S. Nakamura, et al., "AURORA-2 J: An evaluation framework for Japanese noisy speech recognition," IEICE Transactions on Information and Systems, Vol. E 88 – D, No. 3, pp. 535 – 544, Mar. 2005.
- [5] N. Kitaoka et al., "Evaluation of spectral subtraction with smoothing of time direction on the AURORA 2 task," Proc. ICSLP 2002, pp. 465 – 468, 2002.
- [6] M. Fujimoto et al., "Combination of temporal domain SVD based speech enhancement and GMM based speech estimation for ASR in noise – evaluation on the AURORA 2 task –, " Proc. EUROSPEECH 2003, pp. 1781 – 1784, 2003.
- [7] S.-J. Park et al., "Improvement of the ASR robustness using combinations of spectral subtraction and KLT based adaptive comb-filtering," IPSJ SIGNotes, SLP- 44 – 3, pp. 13 – 18, 2002.

複数ルールを統合した状態行動地図による
ロボットの知的動作生成

Robot Motion Planning by Integration of Multiple Rules

1051019

研究代表者	東京大学大学院工学系研究科	教授	新井民夫
共同研究者	東京大学大学院工学系研究科	博士課程	山野辺夏樹

[研究の目的]

近年、ロボットの多機能・高機能化が進み、多様で複雑な作業を実現することが可能となってきた。しかしその一方で、動作設計はきわめて手間の大きい困難なものとなってきている。ロボットは教示動作の正確な繰り返しは得意であるが、環境や作業内容等の変化に対処することができないため、少しの状況変化に対しても毎回動作を設計しなおす必要がある。これらが、現在ロボットの利用が単純な繰り返し作業に限定されている一因であると考えられる。

一方、人は類似作業における経験等、対象作業に有効な様々な知識を利用して作業達成可能な動作を容易に実現することができる。ロボットの動作設計を行う場合を考えると、既存の動作プログラムや人の実演作業データ、設計者が持つ対象作業に対する Know-how 等の様々な知識が存在し、これらの知識の利用は非常に有効と考えられる。しかしながら、知識全体が必ずしも対象作業に有効に働くとは限らず、部分的に不都合な状態が生じたり、知識間で競合が生じたりする可能性がある。またプログラムや言葉ベースの Know-how 等、知識は様々な形態で存在し得るという問題もある。

本研究では、このような適用条件の不確実さや相互に競合が存在し得る複数の知識を適切に統合することにより、複雑作業を実現する動作

を効率的に生成することを目的とする。ここで、本研究では作業に適用する知識を「ルール」と呼ぶこととする。

これまでにルールを利用した動作設計に関してはいくつか研究がなされているが、適用可能なルールが限定されている、不適切なルールへの対処がなされていない等、既存の多様なルールを有効に利用することができていなかった。

本研究では、多様な形態のルールを利用可能とするため、状態行動地図（離散化された各状態における行動を記述したルックアップテーブル）を用いてロボットの動作を表現する。複数のルールを状態行動地図上に表現し重ね合わせていき、不都合の生じる部分についてのみ行動方策の修正を行うことで、全体として整合性のとれた教示動作を生成する。

[研究の内容、成果]

1. 問題設定

本研究で取り扱う作業を以下の変数を用いて定式化する。

- 離散状態集合 $S = \{s_i \mid i=1, \dots, N_s\}$: ロボットはある時点において S 中のある状態 s_i に属する。 S 中には作業の達成状態 s_{goal} が存在する。
- 行動集合 $A = \{a_j \mid j=1, \dots, N_a\}$: ロボットはこの集合から行動を選択し続けて作業を行

う。

- 状態遷移確率 $P_{ss'}^a$: 状態 s で行動 a を行い、次状態 s' に遷移する確率。
- 報酬 $R_{ss'}^a \in R$: 状態 s において行動 a を行い、次状態 s' に遷移した場合の評価。

作業は状態集合 S 中のある状態 s から作業の達成状態 s_{goal} に遷移することと定義する。また、行動設計の目的は作業を効率よく達成することであり、行動を選択した際に行動に要した時間に応じた負の即時報酬を与える。

2. 複数ルール統合による状態行動地図作成

作業達成に有効と考えられる様々なルールを適切に統合し、状態行動地図として表現することでロボットの動作設計を行う (Fig. 1)。ここでルールは、ある状態 s における行動 a を決定する “if s then a ” という形の行動方策として表現する。適用ルール選定までもロボットが自律的に行うことが望まれるが、作業目的の理解や類似作業の認識等の非常に困難な問題が存在するため、本研究ではルールは設計者が与えるものとする。

複数のルールを地図上に表現した場合、

- ルールが重複して適用されている状態
- ルールが適用されていない状態
- ルールの適用のみでは作業を達成することができない状態 (タスク失敗範囲)

が存在する。そのため、適用されたルールを利用して、作業を達成する適切な状態行動地図を作成するためには、

1. ルールを利用した行動方策の探索

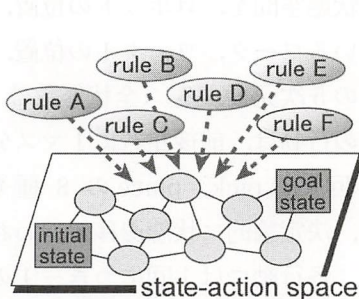


Fig. 1 State-action map obtained by integration of multiple rules effective in task achievement

2. タスク失敗範囲の選定

3. タスク失敗範囲での行動方策の部分的修正を行う必要がある。以下、それぞれの方法について説明する。

〈ルールを利用した行動方策の探索〉

ルールが適用されている状態 s_{rule} において取り得る行動の集合 $A(s_{\text{rule}}) \subset A$ を、ルール k に則した場合に s_{rule} において取り得る行動集合 $A^k(s_{\text{rule}})$ の集合として、

$$A(s_{\text{rule}}) = \{A^k(s_{\text{rule}}) \mid k=1, \dots, N_r(s_{\text{rule}})\} \quad (1)$$

と表現する。ここで、 $N_r(s_{\text{rule}})$ は状態 s_{rule} に適用されているルール数を表す。一方、ルールが適用されていない状態 $\overline{s_{\text{rule}}}$ において取り得る行動は、ロボットの取り得る全行動 A とする。

このように、ルールが適用されている状態において選択し得る行動を限定した上で行動方策の探索を行う。作業定義域全体に対して適切な行動を設定する必要があるので、行動方策の探索には最適制御問題の手法の1つである動的計画法を利用することとする。

〈タスク失敗範囲の選定〉

タスク失敗状態 s_{fail} は、ルールに則した行動を選択するだけではタスク失敗範囲を遷移するだけでタスク達成状態 s_{goal} に到達することができない状態として定義できる (Fig. 2)。ここで状態遷移を繰り返す場合、毎回の行動に負の即時報酬が与えられるため、その状態の価値関数の値は小さくなっていく。失敗範囲の選定はこの価値関数の減少を利用して行う。具体的

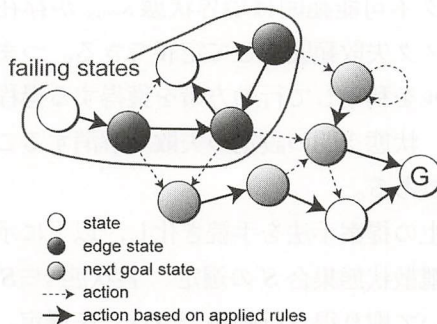


Fig. 2 Failing states

には、状態価値関数 $V(s)$ が閾値 $V_{\min}$ よりも小さな値となった場合に、状態 s および s からルールに則した行動によって遷移することが可能な全ての状態をタスク失敗状態 s_{fail} として選定する。

〈行動方策の部分的修正〉

タスク失敗範囲内における状態遷移の無限ループを解消するために、行動方策の修正を行う。ここで、効率良く行動方策を獲得するため、最小限の修正を行うこととする。

具体的には、失敗範囲の境界状態 s_{edge} (Fig. 2 黒色ノード) において選択し得る行動集合 $A(s_{\text{edge}})$ を、ルールに則したものからロボットの取り得る全行動集合 A へと変更する。ロボットが選択し得る行動 $a \in A$ により状態 s からの状態遷移が存在する状態、すなわち $\sum_{a \in A} P_{ss'}^a > 0$ である状態 s' の集合を、状態 s の隣接状態集合 $S_{\text{adj}}(s)$ とすると、境界状態 s_{edge} は以下のように定義することができる。

$$S_{\text{edge}} = \{s_{\text{edge}} \in S_{\text{fail}} \mid S_{\text{adj}}(s_{\text{edge}}) \not\subset S_{\text{fail}}\} \quad (2)$$

境界状態 s_{edge} と隣接し、かつ失敗範囲に含まれない状態 (Fig. 2 灰色ノード) を新たなゴール状態とし、タスク失敗範囲においてのみ行動方策の探索を行う。失敗範囲が存在しなくなるまでこれを繰り返すことにより有益な行動方策を獲得する。

ここで、境界状態 s_{edge} を選定する際に、その状態からはどのような行動を選択したとしても作業を達成することのできないタスク不可能状態 s_{imp} を選定することができる (Fig. 3)。タスク不可能範囲は境界状態 s_{edge} が存在しないタスク失敗範囲として定義できる。つまり、ルールを利用して行動方策を獲得する過程において、状態空間の設定の失敗を解消することも可能である。

以上の提案手法を手続き化し、以下に示す。

1. 離散状態集合 S の選定。各状態 $s \in S$ において取り得る行動集合 $A(s)$ を選定。
2. 状態価値関数 $V(s)$ が $V(s) < V_{\min}$ となる

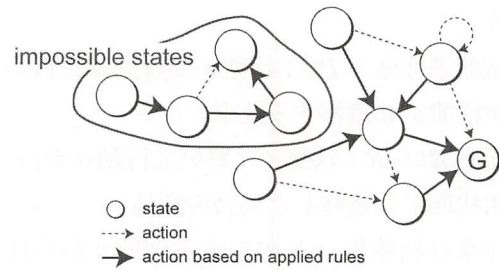


Fig. 3 Impossible states

状態 s が存在しない限り、状態価値関数 $V(s)$ の推定を行う。最適行動方策が獲得できれば終了。 $V(s) < V_{\min}$ となる状態 s が存在すれば 3. へ。

3. タスク失敗範囲 $S_{\text{fail}} \subset S$ を探索。 S_{fail} は 2. で選択された状態 s および s から 1. で選定した行動によって遷移可能な状態の集合である。
4. 境界状態 s_{edge} を選定し、 $A(s_{\text{edge}})$ をエージェントの取り得る行動集合 A へと変更する。ここで、タスク不可能状態 s_{imp} を検出したら S_{fail} から s_{imp} を除く。
5. ゴール状態集合 $S_{\text{goal}} \subset S$ を選定する。 S_{goal} は境界状態 s_{edge} と隣接し S_{fail} に含まれない状態の集合である。
6. $S = \{S_{\text{fail}}, S_{\text{goal}}\}$ として 2. へ。

3. 複数物体搬送問題への適用

提案手法の検証を行うために、Fig. 4 に示す複数物体の搬送問題についてシミュレーションを行った。三角印はロボットであり、対応する番号が示されている位置にワークを配置することが作業である。環境は 1×1 の格子状に離散化し、状態空間を、ロボットの位置、姿勢、把持しているワーク、ワーク 1 の位置、ワーク 2 の位置の 5 次元とする (全状態数は 11960)。ロボットの行動は、前後左右に 1 マス分進む、左右 90° 回転、pick, place の 8 種類 (Fig. 4) とし、決定論的に状態遷移が行われるとする。また、各行動には 1 回につき -1 の即時報酬を与えることとする。

ルールは以下の 3 種類を適用した。

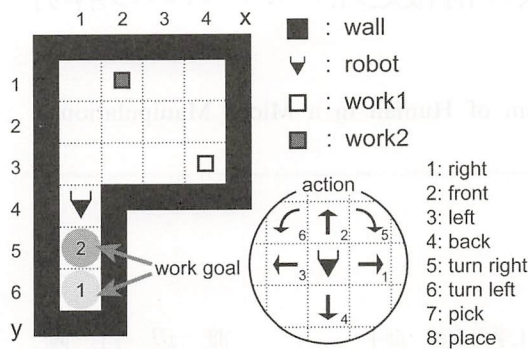


Fig. 4 Rearrangement task with multiple objects

- ワーク 1 個を搬送するためのルール（類似作業のプログラム）

Rule 1 : $(x, y) = (1, 6)$ に搬送するための行動方策

Rule 2 : $(x, y) = (1, 5)$ に搬送するための行動方策

- 作業工程に関するルール

Rule 3 : ワーク 1 → ワーク 2 の順番で搬送

上記の 3 種類のルールを統合し、失敗範囲の選定および行動方策の部分的修正を 4 回繰り返すことにより整合性のある状態行動地図が作成された。Table 1 に、地図作成時に検出されたタスク失敗状態 s_{fail} 、境界状態 s_{edge} および不可能状態 s_{imp} の数を示す。この作業の全状態数は 11960 であるので、1 回目の失敗範囲選定の際に約半数の状態が失敗状態として選定され、 $1/4$ の状態において行動の修正が行われている。失敗範囲の行動方策は部分的に修正されており、ルールを可能な限り利用しながら効率よく適切な動作が得られたことが確認できる。適用したルールはワーク 1 個に関するものであり、他のワークを考慮していない。そのため他のワークと接触する状態やその状態に関連する状態が失敗状態 s_{fail} として選定され、境界状態 s_{edge} の行動は、増加したワークに対処する行動（つまり他のワークを回避する行動）へと修正された。また、タスク不可能状態は 92 状態検出された。全状態を確認したところ適切に不可能状態が検出されており、ルールの統合と同時に準備時における状態空間の設定の失敗を解

Table 1 Number of s_{fail} , s_{edge} and s_{imp} detected through the process of policy decision for rearrangement task. s_{fail} includes s_{edge} and s_{imp} .

	1 st	2 nd	3 rd	4 th
# of s_{fail}	5074	41	41	41
# of s_{edge}	3033	6	7	0
# of s_{imp}	51	0	0	41

消できることも確認した。

[今後の研究の方向、課題]

本研究では、作業達成に有効な様々なルールを統合し、ルールの適用のみでは不都合が生じる状態において行動方策の部分的な修正を繰り返すことにより、作業達成可能な動作を効率的に生成する手法を提案した。提案手法では、ロボットおよび作業環境のシミュレータを用いてルールを利用した行動方策の探索を行うことで、人の感覚で記述されたルールに関しても、ロボットの身体性を考慮して評価し修正を行うことが可能である。また可能な限り適用ルールを利用することで、予測不可能な動作を減らし、安全・安心な動作を実現する。

既存知識の利用が必要とされる作業としては、様々な要素を考慮する必要のある組立作業が考えられる。本年度はその段階まで進めることはできなかったが、今後は一般的な組立作業に提案手法を適用し、計算量等の検討、実用性の検証を行っていく予定である。現在は、人の実演作業データのルール表現に取り組んでいる。

[成果の発表、論文等]

- 1) 山野辺夏樹, 新井民夫, 上田隆一: タスク達成に有効な複数の独立ルールの統合によるロボットの動作計画, 日本ロボット学会学術講演会予稿集, 1 D 23 (2005)
- 2) 山野辺夏樹, 新井民夫, 上田隆一: 適用条件の不確かさや相互に競合が存在する複数ルールの統合による動作設計, 第 11 回ロボティクスシンポジウム予稿集, pp. 234 - 239 (2006)

マイクロマニピュレーション時の人の情報処理メカニズムの解明

Study on the Information Processing Mechanism of Human in a Micro Manipulation

1051020

研究代表者	山口大学大学院理工学研究科 助手	渡 辺 哲 陽
共同研究者	山口大学大学院理工学研究科 教授	江 鐘 偉

[研究の目的]

小型電子部品組立、医療、生物、製薬など多岐に渡る分野において、人の手を介さずに、大量処理、繰り返し処理、高速・高精度処理を可能にする微小物体操作手法の開発が望まれている。現在、空気中での微細操作は、顕微鏡を通して得られる歪んだ視覚情報をもとに人がロボットを操作することで行う。マイクロ領域における物理現象には不明な部分が多く、湿度などの環境に大きく影響を受けるため予め事を予測し難いためである。また、限られた、現実とはスケールの異なる画像から状況を判断し、高精度が要求される作業を行わなければならないため、操作者には大きな負担となっている。

そこで本研究では、操作者の負担を軽減するため、操作性がよいマイクロマニピュレーションシステムの開発を目指す。

[研究の内容、成果]

エンドエフェクタを高周波振動させながら、テーブル（基盤）上にある対象物に接触させる（近づける）と、テーブル（基盤）と対象物の間に比べ、エンドエフェクタと対象物の間の凝着力が小さくなる。このため、エンドエフェクタを対象物から容易に引き離すことができる。この手法を応用し、図1に示すようなシステム

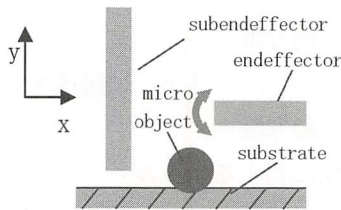


図1 Target system

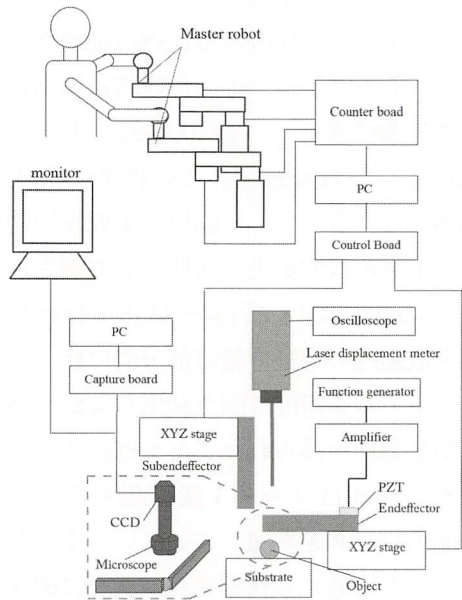


図2 Overview of the experimental setup

において、マイクロマニピュレーションを行う。実験システムを図2に示す。この際、1) 振動と押し付け力の関係、2) 凝着力緩和メカニズム、3) 操作時の情報処理メカニズムに関して解析を行う。以下では各々の詳細について述べる。

1. 振動と押し付け力の関係

図3に示すようなシステムを用いて、高周波振動させたエンドエフェクタを基盤上の対象物に近づけたときのエンドエフェクタの先端変位を計測する。微小対象物には粒径200 [μm] のガラス球を使用する。入力電圧は振幅5 [V]、周波数の3.171 [kHz]（4次モード）sin波である。図3に示すようにエンドエフェクタと微小対象物の距離を y [μm] で表し、エンドエフェクタと基盤の距離が、微小対象物の直径に相当する200 [μm] の位置を原点とする。エンドエフェクタを $y = -3$ から $y = 8$ まで1 [μm] ずつ微小対象物に近づけていく。 $y = 0$ 以降でエンドエフェクタと微小対象物は接触する。結果の一例を図4に示す。左側の図はエンドエフェクタの先端変位の推移を、右側の図は、そのFFT解析の結果を示している。 $y = 0$ から7では振幅は接触前の振幅より大きくなり、4次モードに加え下位のモードが見られる。 $y =$

8では、接触前の振幅よりも小さい振幅になる。この際、 y の各値において、それぞれ10回ずつエンドエフェクタを基盤から離すという実験を行った。結果を表1に示す。 $y = 0$ から7の範囲では凝着力が緩和でき、微小対象物がエンドエフェクタに付着することはなかった。しかし、 $y = 8$ の場合、微小対象物がエンドエフェクタに付着する現象が4回ほどみられた。結果から $y = 0$ から7の場合、エンドエフェクタに微小対象物が凝着することなく、微小対象物からエンドエフェクタを引き離すことができていると考えられる。また、 $y = 8$ の状態では、振幅が小さく、振動による効果を十分に得ることができないと考えられる。入力電圧振幅を2.5 [V] にした場合、微小対象物を銅球（粒径152 [μm]）にした場合においても、同様の実験を行った。結果より、振幅を小さくしても、また、異なる材料の対象物（凝着力：大）に対しても有効であることが判明した。ただし、2.5 [V] の場合、振幅が小さくなるまでの y の値が、5 [V] のときと比べ短くなった。このことから、振幅を大きくすることで凝着力緩和可能な押し付け力を増加させることが可能であ

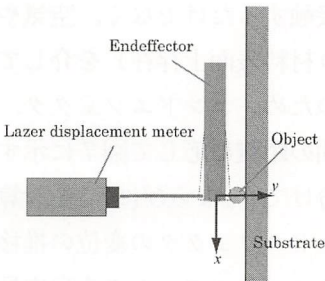


図3 Coordinate frame in the experiment

表1 The relation between y and the frequency of adhesion to the endeffector

y [μm]	Frequency of adhesion/Number of trial times
0 ~ 7	0 / 10
8	4 / 10

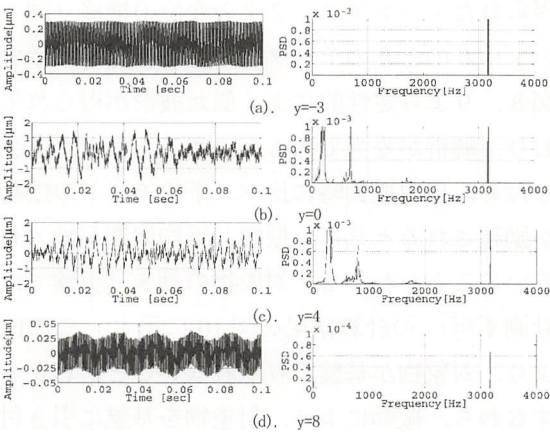


図4 Experimental results for glass (5 [V])

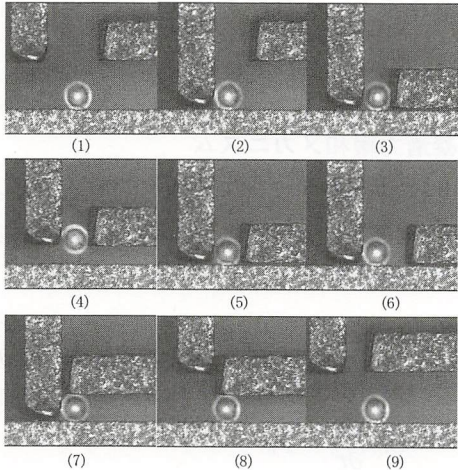


図5 Experimental results of pick&place operation

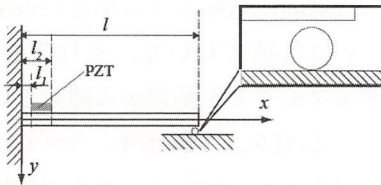


図6 Target system for analysis

表2 nomenclatures for analysis

y_b	Tip position of the endeffector in y direction
y_o	Position of the center of the object in y direction
ρ	Density of the endeffector
$A(x)$	Cross section area of the endeffector
$E(x)$	Young's modulus of the endeffector
$I(x)$	Geometrical moment of inertia of the endeffector
C	Coefficient of structural damping of the endeffector
M_p	Bending moment produced from piezocell
l_1	Length from the root of the beam to piezocell
l_2	Length of piezocell plus l_1
l'	Length from the root of the beam to the contact point with the object
m_o	Mass of the object
F_b	Force applied to the beam resulted from the interaction between the endeffector and the object
F_o	Force applied to the object resulted from the interaction between the endeffector, the object, and the substrate

ることがわかった。

以上の知見をもとに、マイクロマニピュレーションを行った結果を図5に示す。操作中、エンドエフェクタは振動させている。また、その振動をレーザー変位計により確認し、振幅が小さい場合は印加電圧を大きくするか押し付け量を小さくする。これにより操作の確実性が向上した。

2. 凝着力緩和メカニズム

図6に示すようなシステムを対象とする。エンドエフェクタならびに対象物の運動方程式は以下のように表される。

$$\begin{aligned} \rho(x)A(x)\frac{\partial^2 y_b}{\partial t^2} + \frac{\partial^2}{\partial x^2}[E(x)I(x)(1+C\frac{\partial}{\partial t})\frac{\partial^2 y_b}{\partial x^2}] \\ = M_p[\delta'(x-l_1)-\delta'(x-l_2)] + F_b\delta(x-l') \\ m_o\frac{\partial^2 y_o}{\partial t^2} = F_o \end{aligned}$$

式中の記号は表2を参照されたい。この運動方

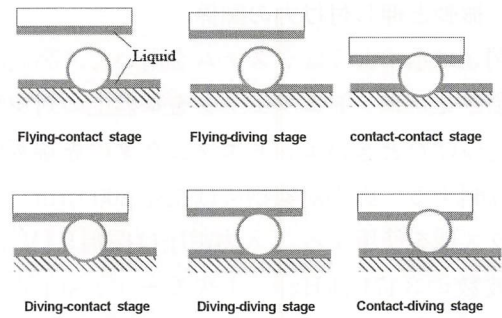


図7 Six stages for interaction

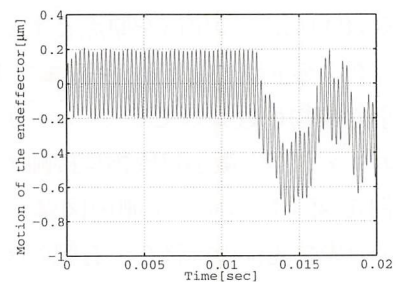


図8 Endeffector motion for 5 [V] (simulation)

程式において、問題となるのが F_b ならびに F_o である。エンドエフェクタ、対象物、基盤は互いに直接接触するだけでなく、空気や水（表面張力により材料表面上存在）を介して相互作用する。このため、エンドエフェクタ、対象物、基盤の各間の距離に応じて図7に示すような6ケースに分けて F_b ならびに F_o を計算する。計算したエンドエフェクタの変位の推移を図8に示す。始めエンドエフェクタを自由振動させた後で、0.0121 [sec] において微小対象物に近づけた場合の結果である。比較のため実験により得られたエンドエフェクタの変位の推移（図4の $y = 0$ のときのデータに対応）を図9に示す。図8、9より定性的によく似た波形が得られており、解析が妥当であるといえる。また、衝突のため、自由振動時に比べ、下位モードの振動が励起されると共に、振幅、平均周期が増大していることがわかる。対象物の動き（実験では計測不可）の計算結果を図10に示す。この図より、対象物が基盤より離れないことがわかる。すなわち、振動により、対象物を基盤に引き付けつつ、エンドエフェクタ対象物間の凝着力を

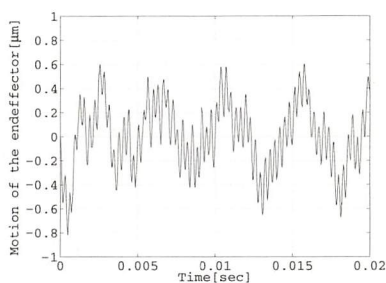


図9 Endeffector motion for 5 [V] (experiment)

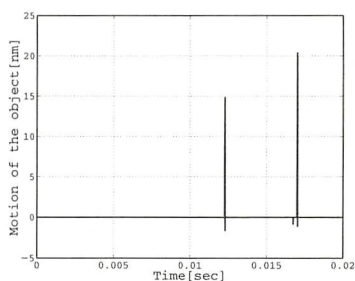
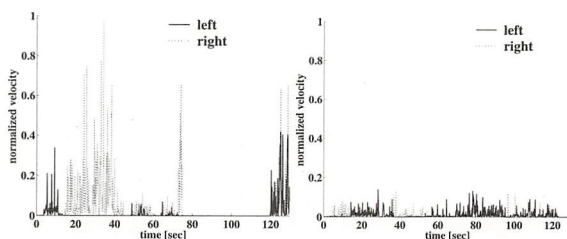


図10 Object motion for 5 [V] (simulation)



(a) Dexterous person data (b) Awkward person data

図11 Transition of human command velocity

緩和することが可能であることがわかった。

3. 操作時の情報処理メカニズム

図2に示すシステムを用い、人がマイクロマニピュレーションを行う際の人のマニピュレータへの指令データを計測した。指令データ（速度）の一例を図11に示す。(a)は器用な、(b)は不器用な被験者のデータである。

器用な人の場合、自分の指の動きとモニタ上のマニピュレータの動きのマッチングができていたため、必要に応じて大きな速度を発生させつつ、不必要な場合はあまり動かさないといった操作ができていた。これに対し不器用な人の場合、自分の指の動きとモニタ上のマニピュレータの動きのマッチングができていないため、

小さな速度を用いて段階的に連続的に操作を行っている。結果、器用な人は微小物体把握に成功しているのに対し、不器用な人は把握に失敗している。視覚情報のみを用いて行う本操作では、自分の指の動きとモニタ上のマニピュレータの動きのマッチングが重要であることがわかった。

[今後の研究の方向、課題]

操作性のよい微細操作システム開発のため、以下のような課題が挙げられる。器用な人、不器用な人に関してより多角的な実験データを増やし、より詳細な解析を行う必要がある。本解析より、指の動きとマニピュレータの動きのマッチング精度を高めるシステムの開発が操作性向上に有効と考えられる。このようなシステムとして視覚以外の触覚情報提示を利用したシステムなどが考えられる。今後はこのようなシステム開発が課題である。また、本研究で行った物理現象解析と人間解析を組合せ、微細操作を自動化することも今後の大きな課題である。

[成果の発表、論文等]

- 1) 渡辺哲陽, 江 鐘偉: マイクロマニピュレーションにおけるエンドエフェクタ対象物間のメカニズム, 日本ロボット学会学術講演会予稿集, 2 A 16, 2005.
- 2) 岩崎 誠, 工藤壮大, 渡辺哲陽, 江 鐘偉: 振動を用いた凝着力緩和とそのマイクロマニピュレーションへの応用, 日本機械学会中国四国学生会 第36回学生員卒業研究発表講演会講演論文集, pp. 285, 2006.
- 3) T. Watanabe and Z. Jiang: Mechanism of Micro Manipulation using Oscillation, Proc. of the IEEE Int. Conf. on Robotics & Automation, pp. 661–668, 2006.
- 4) 渡辺哲陽, 岩崎 誠, 工藤壮大, 江 鐘偉: 振動を用いた凝着力緩和とその微細操作への応用, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会予稿集, 1 A 1–C 33, 2006.

国際交流報告の抄録一覧

(平成 17 年度)

〔派遣〕

- ◆ 第 16 回国際自動制御連盟世界会議 (1052001) 78
飯 間 等 京都工芸繊維大学 工学学部 電子情報工学科 助手
- ◆ コンピューター支援放射線学・外科手術学会 19th 国際学会・展示 (1052002) 78
田 中 利 恵 金沢大学大学院 医学系研究科 助手
- ◆ 第 20 回国際機械振動と騒音に関する隔年大会
第 3 回回転機械の安定制御の国際大会 (1052004) 79
劉 軍 名古屋大学大学院 工学研究科 機械理工専攻 助手
- ◆ システム・人・人口頭脳に関する国際会議 (1052101) 79
残 間 忠 直 三重大学 工学部 助手
- ◆ 2005 年非線形理論とその応用に関する国際集会 (1052103) 80
薄 良 彦 京都大学大学院 工学研究科 電気工学専攻 助手
- ◆ 2005 環太平洋国際化学会議 (1052104) 80
手 老 龍 吾 独立行政法人自然科学研究機構 分子科学研究所 研究技官
- ◆ The Second International Joint Conference on Natural Language Processing (1052105) ... 81
永 田 亮 兵庫教育大学 情報処理センター 助手
- ◆ 44th IEEE Conference on Decision and Control (CDC)
and European Control Conference (1052106) 81
畑 中 健 志 京都大学大学院 情報学研究科 数理工学専攻 博士課程
- ◆ The Society for Neuroscience Annual Meeting (1052107) 82
船 瀬 新 王 名古屋工業大学 しくみ領域 助手
- ◆ The 31st Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (1052108) 82
李 微 東京大学 生産技術研究所 大学院生
- ◆ 計算及び実験による工学と科学に関する国際会議 2005 (1052109) 83
松 本 龍 介 京都大学大学院 工学研究科 機械理工学専攻 助手

〔特別招聘〕

- ◆ 第 19 回人工知能学会全国大会 国際ワークショップ (1053001) 84
和 泉 潔 産業技術総合研究所 情報技術研究部門 主任研究員

〔派遣〕

派遣研究者	京都工芸繊維大学 工芸学部 電子情報工学科 助手 飯間 等	1052001
研究集会名	第16回国際自動制御連盟世界会議 (16th IFAC World Congress)	
出張期間	平成17年7月3日～10日	
開催場所	チェコ共和国・プラハ市	
発表論文	遺伝アルゴリズムによる並列機械工程の多目的再スケジューリング (Genetic Algorithm Approach to Multiobjective Rescheduling on Parallel Machines)	

概要：

国際自動制御連盟が主催する世界会議は、3年に1度開催され、システム・制御の分野において最も権威のある国際会議である。本会議はチェコ共和国プラハ市の Prague Congress Centre で開催され、17 個程度のセッションが並列開催され、参加人数は大学からの研究者 2,099 名、企業から 363 名の計 2,462 名で、参加国は 70 カ国であり、これらの数字より、この会議が大変重要な会議であることがわかる。

私の発表は7月7日13時～15時の間に Production Planning and Scheduling-II で上記タイトル研究を発表した。本研究では実際に作業する作業者の負担を考慮し、スケジュール変更もなるべく少なくなるような再スケジュール問題を定式化し、この問題に対する解を得るための遺伝アルゴリズムの構成法を提案した。発表の最後に質疑応答の時間が有り、多くの質問が寄せられた。多くの質問があるということはそれだけ本発表が聴衆者の関心を引くことができたのではないかと考えられる。また、セッション終了後も他の研究者と個別に本発表の議論をし、さらに良い遺伝アルゴリズムの個体表現法のヒントをつかむことができた。

このような重要な会議に参加して非常に充実した成果が得られ、今後の研究をますます進展させるための原動力となったことを確信する。

派遣研究者	金沢大学大学院 医学系研究科 助手 田中 利恵	1052002
研究集会名	コンピュータ支援放射線学・外科手術学会 19th 国際会議・展示 (CARS 2005 Computer Assisted Radiology and Surgery 19th International Congress and Exhibition)	
出張期間	平成17年6月21日～27日	
開催場所	ドイツ国・ベルリン市	
発表論文	胸部呼吸動態画像診断のための表示システム (Functional chest radiography combined with computer analysis of respiratory kinetics)	

概要：

医学における生体情報技術に関する学会として1983年に始まった学会で、コンピュータ支援放射線学会・コンピュータ支援外科手術学会・コンピュータ支援診断学会・心血管撮像や PACS 関係の学会と共同で開催されました。世界各国からコンピュータ技術の医療応用を専門とする研究者（放射線科医、外科医、歯科口腔外科医、医学物理士、医療機器開発者、コンピュータ科学者）が45カ国から1,000人以上集まり、およそ250演題の研究発表が行われました。

私は上記タイトル研究を発表しました。具体的内容としては、呼吸過程を撮影した胸部 X 線動画像を対象に画像解析を行い、横隔膜移動量や換気量を取得した後に、それらを CT 画像上に重ね合わせて表示するソフトウェアで、ユーザーである呼吸器内科医や放射線科医の意見を取り入れながら開発したシステムです。“機能情報”をターゲットとした CAD システムの必要性が議論される場面もあり、動態撮影法および動態解析法の開発をしている本研究の頑張り時のように感じました。

様々な職種が集う今回の学会では、人との出会いに恵まれ、普段あまり接する機会がない外科の先生からは、最先端の手術手技のお話を伺うことができました。また、我々の研究についても第一線の外科医の視点から様々なアドバイスをいただくことができ、国際会議の一番の魅力は、そこに集う「人」だと改めて実感した学会になりました。

派遣研究者	名古屋大学大学院 工学研究科 機械理工学専攻 助手 劉 軍	1052004
研究集会名	1. 第20回国際機械振動と騒音に関する隔年大会 ASME主催 (The 20th Biennial Conference on Mechanical Vibration and Noise) 2. 第3回回転機械の安定制御の国際大会 ISCORMA主催 (The 3th International Symposium on Stability Control of Rotating Machinery)	
出張期間	平成17年9月18日～10月1日	
開催場所	米国・ロサンゼルス市 / クリーブラント市	
発表論文	1. 外乱オブザーバを用いた非線形回転軸系の振動制御と不つりあい推定 (Vibration Control and Unbalance Estimation of a Nonlinear Rotor System Using Disturbance Observer) 2. 不連続ばね特性を利用した回転機械の制振 (Vibration Suppression of Rotating Machinery Utilizing Discontinuous Spring Characteristics)	

概要：

1. の ASME-IDETC 計算処理国際大会は世界で最も科学技術の影響のある米国機械協会主催の工程技术・管理の大会で、今回は米国ロサンゼルス市で第20回機械振動と騒音に関する隔年大会と第5回複雑システム・非線形ダイナミクス及び国際大会と合わせて開催されました。600部論文、90個のセッションがあり、世界中の振動・制御に関連する有名な教授たちがこの大会に出席し、毎日世界的に有名な教授の特別講演も行われ、各分野の研究の最先端について教えてもらいました。私の論文も本大会で発表し、最後には貴財団に対する感謝のスライドを表示させていただきました。

2. の ISCORMA 会議は回転機械に対する専門の国際会議で、今回はオハイオ州クリーブランド市で開催されました。世界20カ国から80名の回転機械専門の学者や技術者が今回の大会に参加しました。大会では27個のセッションがあり、毎日3つの会議室で論文発表が行われ、私の論文が紹介されました。また、貴財団に対する感謝のスライドも表示させていただきました。毎日会場で他の学者たちの発表を聞いたり議論したりし、回転機械の振動制御に対して関連分野の発展を提案しました。

今回の大会参加は、私にとって非常によい勉強の機会であり、今後の研究および教育前線の発展に繋がっていると思います。

派遣研究者	三重大学 工学部 助手 残間 忠直	1052101
研究集会名	システム・人・人口頭脳に関する国際会議 (International Conference on Systems, Man and Cybernetics/IEEE)	
出張期間	平成17年10月9日～13日	
開催場所	アメリカ合衆国・ハワイ州	
発表論文	未知の切換点を伴う切換システムの同定とその応用 (Identification of Switched Systems with Unknown Switched Points and Its Application)	

概要：

SMCとは、システム・ヒト・人口頭脳部会の略語で、IEEEの一つの国際会議であり、世界中から最先端の研究者が集う会議として広く知られており、SMCの話題は機械やロボットなどに制限されず、生産システムの最適化などの経営工学の分野も含んでおり、他分野からの有用な知見が各自の研究の刺激になることもあり、権威ある大規模な大変価値ある国際会議であるといえる。たとえば、システムモデリング、制御、ソフトコンピューティング、画像処理、ロボット工学、生産システム、パターン認識、自律システム、マルチエージェントシステム、人間機械相互作用、大規模システム、高度道路交通システム、データマイニング、意思決定支援などはすべて本会議の範疇に入る。今回の参加国はアフリカ、アジア、オーストラリア、ヨーロッパ、北米及び南米大陸からで、参加人数も700人程度の会議となった。

自分の論文発表は会議終了日の12日に System Identification のセッションの3番目に行い、本発表に対し、「使用した運転データは、熟練者のものか」など質疑応答がなされた。同セッションは、合計6つの発表があり本発表における自動車の運転技術に関する内容と近いこともあり、筆者らと発表者の間で、車両台数が増えた場合の拡張や、マルチエージェントシステムなどの適用について議論を交わした。

懇親会は会期2日目に開催され、野外で盛大に行われた。学生優秀論文賞が容易され、SMC 2005では最終5名の中に日本の学生3名が残った。次回 SMC 2006は台北にて開催される予定である。

派遣研究者	京都大学大学院 工学研究科 電気工学専攻 助手 薄 良彦	1052103
研究集会名	2005 年非線形理論とその応用に関する国際集会 (2005 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications)	
出張期間	平成 17 年 10 月 17 日～ 23 日	
開催場所	ベルギー国・ブルージュ	
発表論文	ハイブリッドシステム理論の電力系統安定性解析への適用 (Application of hybrid system theory to power system stability analysis)	

概 要：

私が参加した国際集会は、電子情報通信学会・非線形理論とその応用サブソサイエティが主催し毎年開催され、非線形理論とその工学・科学への応用に関する新規の研究成果が、フルペーパーの論文査読を経て同集会で発表されるため、当該研究分野において重要な位置づけにある。

本年度はベルギー国・ブルージュで開催され、集会の規模としては、論文数が約 190、参加人数は約 220 名、参加国は日本・スイス・ベルギー・オランダなどであった。国際集会の状況としては、ほぼ 5 つのセッションが並列に開催され、3 件の招待講演も含めて、多数の集会参加者が集まり大変盛況であった。

私は集会最終日の午後のセッションにおいて口頭発表を行った。聴講頂いた関連分野研究者より質問を受けるとともにディスカッションの機会を得て、ハイブリッドシステムおよび制御理論の専門家の観点から当該研究分野の動向など貴重なコメントを頂戴することができた。

なお、本集会では当該研究分野に関する多数の興味深い結果やアプローチが報告されており、本国際集会への出席と聴講は私にとって大変貴重な勉強の機会となり、今後の研究において示唆を与えるものであった。

派遣研究者	独立行政法人自然科学研究機構 分子科学研究所 助手 手老 龍吾	1052104
研究集会名	2005 環太平洋国際化学会議 (Pacifichem 2005)	
出張期間	平成 17 年 12 月 16 日～ 21 日	
開催場所	アメリカ合衆国・ハワイ州ホノルル	
発表論文	平面脂質二重膜の形成過程および性質への表面親水性の影響 (Effect of surface hydrophilicity on the formation process and characteristics of lipid bilayer membranes)	

概 要：

本会議は環太平洋諸国の化学会が主催する国際会議であり、有機・無機化学、物理化学、生化学などほぼ全ての化学分野についてセッションが設けられている。参加者は環太平洋諸国に加えてヨーロッパ・南米など世界から 70 カ国から集まり、今回は口頭・ポスター発表を合わせて 11,501 件の発表が行われた。

私は、“Frontier of colloid and Interface Chemistry” セッションでポスター発表を行った。私の発表に対し、日本、アメリカ、カナダなどからの多くの研究者が話を聞きに来てくれて、2 時間の発表時間はほとんど聴衆が途切れることがなかった。質問の内容も多岐にわたり、界面活性剤などコロイド分野の専門家からは膜形成のメカニズムについて、プロテインチップなどを作製しているグループからは脂質膜アレイの形成法について質問を受けた。専門の異なる様々な分野の研究者たちと議論できたことが大変有意義であったことに加え、supported membrane という研究対象への関心の高さを感じることができた。

また物理化学や生化学分野の最新の研究についての多くの講演を聴く機会に恵まれた。中でも脂質膜中のリン脂質分子の構造と状態を物理化学的手法で調べた W. Pohle 教授（Jena 大、ドイツ）の発表と、導電性ポリマーコートした電極表面上に脂質膜と膜タンパク質を堆積させたバイオ分子センサーについての S. Saavedra 教授（アリゾナ大、アメリカ）の発表が興味深かった。

本会議に参加することで今後の研究に役立つ情報を知ることができただけでなく、研究活動へのモチベーションを高めることができました。

派遣研究者	兵庫教育大学 情報処理センター 助手 永田 亮	1052105
研究集会名	第2回自然言語処理に関する国際合同会議 / アジア自然言語処理連盟 (The 2nd International Joint Conference on Natural Language Processing/the Asian Federation of Natural Language Processing)	
出張期間	平成17年10月10日～14日	
開催場所	韓国・済州市	
発表論文	可算 / 不可算に基づいた冠詞誤り検出 (Detecting Article Errors Based on the Mass Count Distinction)	

概要：
私が参加した国際会議は、人間の言葉を理解する機械の実現を目標とした自然言語処理に関する国際会議である。その規模は大きく、今回の会議では32カ国300人以上の研究者が参加し、4セッションの特別講演、27セッションの一般講演、4セッションのポスター・デモ発表が行われた。各講演はどれも盛況であり、会場に使用された大ホール内の机・椅子が足りなくなり、急遽追加されるセッションも存在した。
一般講演には290の論文投稿があり、その内92論文が、ポスター発表に対しては295中62論文が採択された国際会議であった。
発表した研究の最終目的は、人間の言葉を理解して、文章の添削を行ったり、言語を教えたりする機械の実現にある。特に、今回の発表目的は、英文を自動添削する新しい手法を提案し、国際会議で活発な議論と意見交換を行うことにあった。当該国際会議は「人間の言葉を理解する機械の実現」を目標とした学会であるので、本研究を発表し意見交換を行う場所としては最適であった。
発表時間は20分、質疑応答5分の計25分間で上記論文に関して発表を行った。質疑応答では、冠詞研究で有名な“F. Bond氏”、“T. Baldwin氏”更に議長からも質問がだされた。また、発表終了後も他の参加者と意見交換を行った。
本国際会議への参加は、研究発表の面からも研究調査・情報収集の面からも、非常に充実したものとなった。この参加結果を今後の研究活動に反映させ、更なる研究の発展を目指したい。

派遣研究者	京都大学大学院 情報学研究科 数理工学専攻 博士課程 畑中 健志	1052106
研究集会名	第44回 米国電気電子学会の決定と制御に関する国際会議とヨーロッパ制御会議 (44th IEEE Conference on Decision and Control (CDC) and European Control Conference)	
出張期間	平成17年12月10日～19日	
開催場所	スペイン国・ゼヴィリア市	
発表論文	非線形システムに対する出力フィードバック型目標値整形機構 (Output Feedback Reference Governor for Nonlinear Systems)	

概要：
本会議は、制御システム理論の分野における最大規模の会議である米国電気電子学会（IEEE）の主催する「決定と制御に関する国際会議（CDC）」とヨーロッパ連盟制御協会（EUCA）の主催する「ヨーロッパ制御会議（ECC）」の共催で、CDC-ECC 2005として開催された。アメリカ合衆国、フランス、イタリア、オランダ、日本をはじめとし、計50カ国から総勢約1800人の参加があり、会議は非常に盛大に行われた。発表件数は全体で1470件、セッション数は204と、その規模は他に類を見ない大規模なものであり、常時20前後ものセッションが同時進行で行われた。講演の分野は多岐にわたるが、私の専門とする制御理論、およびそれを含むシステム理論が中心であり、どれをとっても非常にレベルの高い最先端の内容であり、いくつかの講演から私も大いに刺激を受けた。私の研究の新規性を認識することができたり、今後の研究を進める上で非常に有意義であったのも成果の一つであると考えている。
最終日には、“Constrained Control I”のセッションにおいて口頭発表を行った。本発表は他の発表に比べても、非常に多くの方に聴衆していただき、参加者数名の意見からも発表論文の意義を認められたと考えている。“拘束システムの制御”に対する注目度の高さを感じることができ、さらに他の発表から本研究の今後の動向を推測することもできた。
ランダム化アルゴリズムの研究の権威であるMarco Campi教授（イタリア・Brescia大学）と話すことができた研究論文を渡す機会に恵まれ、帰国後に共同研究の構想が持ち上がり、現在その実現に向けて話し合いをすすめている。

派遣研究者	名古屋工業大学 しくみ領域 助手 船瀬 新王	1052107
研究集会名	The Society for Neuroscience Annual Meeting	
出張期間	平成 17 年 11 月 11 日～ 18 日	
開催場所	アメリカ合衆国・ワシントン DC	
発表論文	(Saccade-related independent components in visually guided saccade task and auditorily guided saccade task)	

概要：

本会議は、11 月 12 日から 5 日間の会期で延べ人数 5 万人が参加する、神経に関連する世界最大の学会である。本学会は、神経科学に関連するすべての分野の研究者が一堂に会する学会であるために自分の研究において有意義なコメントを得ることができる学会であり、なおかつ、研究分野の最新の動向を確認することにより新たな自分の研究の発展につながる学会である。

本学会で、自分のポスター論文発表を行ってきた。ポスター発表の内容は、脳波を使用したマシン・ヒューマンインタフェース構築のための新しい信号処理方法の提案とその使用例についてである。脳波を使用したマシン・ヒューマンインタフェースは、考えただけでマシンに入力を行なえる究極のインタフェースである。しかしながら、脳波はマイクロボルトオーダーの信号であり商用電源ノイズや筋電によるノイズにより S/N 比が悪いことが知られている。このために、脳波インタフェースを構築するためには信号処理が必要となってくる。本研究では、独立成分解析と呼ばれる信号処理方法を使用して計測脳波のノイズを除去し、眼球運動に関連する脳波を抽出する手法を提案した。

近年、ブレインマシンフェースと呼ばれる脳内に直接電極を埋め込むことによりマシンを動作させるインタフェースが一大ブームとなりつつある。しかしながら、脳内の電極から抽出した信号の信号処理においては、いまだ手探りの状態である。本研究は、それらの研究者達から特に注目を集めることのできた発表となった。

派遣研究者	東京大学 生産技術研究所 大学院生 李 微	1052108
研究集会名	The 31st Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society	
出張期間	平成 17 年 11 月 2 日～ 11 日	
開催場所	アメリカ合衆国・ノースカロライナ州ローリー市	
発表論文	Prevention of Overturn of Power Assisted Wheelchair using Novel Stability Condition	

概要：

本会議は、米国電気電子技術者協会（IEEE）の傘下にある工業電気会（IES）が主催する国際会議で今年で 31 回目を迎える。今回は 6 部門と 12 のスペシャルセッションに分かれ、357 論文はオーラルセッションで発表され、110 論文はポスターセッションであった。参加者はアメリカ、アジア、ヨーロッパなどの 52 カ国から 1,378 人にもものぼり、内容としては人間親和型次世代ロボットの開発や知能空間における障害物回避など制御技術に関する論文中心の学会であった。

私の発表は、パワーアシスト車いすと後方転倒現象の紹介、システムモデリング、及び提案したモーメント、ZMP、ラグランジュ方程式による安定指標の説明と実験結果などの 4 段構えとなっており、発表後の質疑応答も活発に実施した。

私が聴講した発表の中で紹介したいものは、初日に全員参加のセッションにおける原島文雄教授の人間親和型次世代ロボットに関する発表、そして慶應大学の学生で学生論文賞を取った発表などが挙げられる。

アメリカでの 1 日目では、研究室の他の 3 人と一緒に、MIT の知能ロボット研究室を見学し、会議の 3 日目の夕方の空き時間には、NC 州立大学の Chow 先生の研究室見学をする機会を得た。Chow 研究室の学生はみんな研究に対するモチベーションが高く、彼らと研究や生活の話を直接する機会を得られたので、彼らと交流でき本当に良かったと思う。

派遣研究者	京都大学大学院 工学研究科 機械理工学専攻 助手 松本 龍介	1052109
研究集会名	計算及び実験による工学と科学に関する国際会議 2005 (ICCES '05: International Conference on Computational and Experimental Engineering and Sciences 2005)	
出張期間	平成 17 年 12 月 1 日～9 日	
開催場所	インド国・チェンナイ市	
発表論文	分子動力学シミュレーションによるアモルファスとナノ結晶からなるナノ複合構造の力学特性予測 (Prediction of Mechanical Property of Nano-Composite Structure Composed of Amorphous and Nano-Crystals by Molecular Dynamics Simulation)	

概 要：

ICCES は、計算機工学、実験力学、MEMS、情報工学などの分野を含む、機械工学の広範な分野を含む国際会議である。本年度は、12 件の Plenary Lecture を含む 573 件の研究発表が行われた。参加者の国籍は、アメリカ、インド、中国が多く、日本からの参加者は 86 名であった。

私は、研究者として若輩であるが大きな経験になると考え、思い切ってオーガナイズドセッション Plasticity; Steel Structures; Computational & Experimental Aspects のサブテーマ Micro/Mesoscopic Mechanics of Materials; Strength and Deformation を企画し、10 件以上の講演者を集めることができた。

会議初日の午前中には、厳戒な警備のもとインド大統領の特別講演が行なわれた。大統領は元エンジニアであり、科学技術と災害対策の関わり、インドにおける技術協力の必要性が述べられた。

私の発表は会議 5 日目に行った。発表はキーノート講演に選ばれたため発表時間が 25 分と一般発表より 10 分長く、慣れない英語での発表で大変であったが、一般講演では省略せざるを得ない部分まで、満足のいく発表ができ、発表後には多数の研究者と討論することもでき、研究の新たな方向性、現手法の問題を見出すことができた。また、6 日目には私の企画したセッションでチェアマンを担当し、研究発表者と密接な討論を行なうことができた。

研究発表とは別であるが、会議の 2 日目の晩には、サイクロンが直撃し大荒れの気象となり、河川が氾濫し大洪水になったため、翌日には多くの悲惨な風景を目の当たりにした。また、スマトラ沖地震の爪痕が所々に残っており、大統領の防災に関する技術協力の講演が何度も頭をよぎった。

今回、本国際会議に参加できたことで大変貴重な様々な経験をすることができました。

[招 聘]

招 聘 者	産業技術総合研究所 情報技術研究部門 主任研究員 和泉 潔	1053001
会 議 名	第 19 回人工知能学会全国大会 国際ワークショップ (Agent Network Dynamics and Intelligence (ANDI '05))	
出 張 期 間	平成 17 年 6 月 11 日～ 15 日	
開 催 場 所	北九州国際会議場	
被 招 聘 者	米国 ヒューレットパッカード 情報ダイナミクス研究所 Lada Adamic 研究員	

概 要：

本国際会議の母体となる人工知能学会全国大会は、毎年参加者数 500 人以上、発表件数 150 件以上の規模で開催されており、人工知能分野では国内最大規模の会議である。本国際会議は人工知能学会全国大会の併設ワークショップという形で開催され、5 つある併設ワークショップのうち最大規模となった。発表件数は、投稿された論文から査読で選ばれた 20 件となり、出席者は 2 日間で 85 名、参加国は米国、台湾、インドネシア、パキスタン、日本の 5 カ国であった。本国際会議がネットワーク理論とエージェント研究の接点をテーマとした世界的にも最初の会議であり、本分野で日本が国際的なイニシアチブを取るためにも今回の国際会議の開催は非常に重要であった。

招聘者である Lada Adamic 氏は、「Information Dynamics in a Networked World」というタイトルで招待講演を行い、情報のネットワーク理論という情報工学や社会科学まで含む革新的な新理論の最新動向について話し、会議参加者と活発な討論が行われた。

Lada Adamic 氏は、会議中の 2 日間を通して他の会議参加者の発表にも積極的に参加し、本分野に興味のある研究者間でお互いに多くの刺激となった。

なお、Lada Adamic 氏には、国際会議前日には大阪大学産業科学研究所栗原研究室（大阪大学吹田キャンパス）においても講演および研究室メンバーとの討論も実施して頂いた。

-
- 平成 17 年度活動報告
 - 平成 18 年度助成報告
 - 第 17 回助成金贈呈式
 - 受領者投稿
 - 研究室訪問
 - 第 17 回（平成 18 年度）研究助成課題一覧
 - 第 16 回（平成 17 年度後期）国際交流助成課題一覧
 - 第 17 回（平成 18 年度前期）国際交流助成課題一覧
 - 平成 18 年度研究助成課題の紹介
 - 平成 19 年度助成候補募集案内

平成 17 年度活動報告

(1) 主要業務日程

平成 17 年	4 月 1 日	平成 17 年度後期国際交流助成の申請応募受付開始
	5 月 13 日	第 16 回（平成 17 年度）助成金贈呈式及び懇親交流会開催
	6 月 17 日	第 34 回理事会、第 34 回評議員会開催
		・平成 16 年度事業報告および決済報告の承認
		・平成 18 年度助成課題募集方法の承認
	6 月 30 日	平成 17 年度後期国際交流助成課題の申請締切
	8 月 1 日	平成 18 年度助成課題募集のための公募案内発送
		財団ホームページでの募集案内開始
	8 月 5 日	平成 17 年度夏季選考委員会開催
		・平成 17 年度後期国際交流助成課題候補の選考
	9 月 1 日	平成 18 年度研究助成課題の申請応募受付開始
	9 月 30 日	助成研究成果集第 14 号発行
	10 月 1 日	平成 18 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 18 年度研究助成課題の申請締切（129 件受付）
	12 月 31 日	平成 18 年度前期国際交流助成の申請締切（21 件受付）
平成 18 年	1 月 10 日	各選考委員による応募課題の書面審査完
	1 月 18 日	第 18 回選考委員会開催
		・平成 18 年度研究助成課題候補の選考
		・平成 18 年度前期国際交流助成課題候補の選考
		第 35 回理事会・第 35 回評議員会開催
		・平成 18 年度事業計画及び収支予算案の承認
		・平成 18 年度助成課題の承認
	3 月 13 日	

(2) 会計報告

収 支 計 算 書		貸 借 対 照 表	
(自 平成 17 年 4 月 1 日 至 平成 18 年 3 月 31 日)		(平成 18 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	81,516	流動資産	現金 112
寄附金収入	10,000		普通預金 18,707
雑収入	1		有価証券 0
助成事業引当金取崩収入	0		助成事業引当預金 77,500
前期繰越額	17,834	固定資産（基本財産）	
合 計	109,351		有価証券 1,131,250
支出の部			定期預金 10,000
事業費	55,220		その他固定資産 150
管理費	12,811	資産合計	1,327,720
助成事業引当金支出	22,500	負債の部	負債合計 0
合 計	90,531	正味財産の部	正味財産 1,327,720
次期繰越金	18,820	負債および正味財産合計 1,327,720	

平成 18 年度助成報告

本年は、第 17 回目の助成となる平成 18 年度助成課題に対し、平成 18 年 5 月 18 日、第 17 回助成金贈呈式を開催し、次の助成を行った。

研究助成	22 件	5,137 万円
国際交流助成（前期）	6 件	193 万円
合 計		5,330 万円

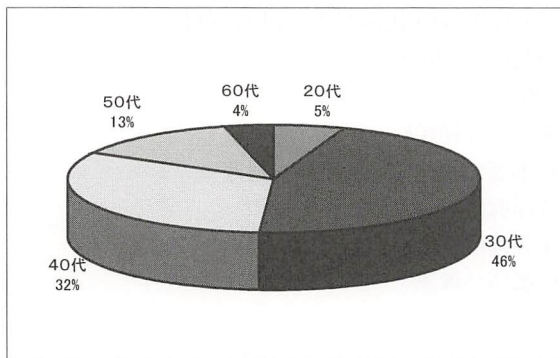
なお、後期国際交流助成は平成 18 年 10 月に実施する。

この結果、財団設立以来の助成事業は、研究助成 343 件、交際交流助成 161 件、助成総額約 8 億 6,550 万円となった。

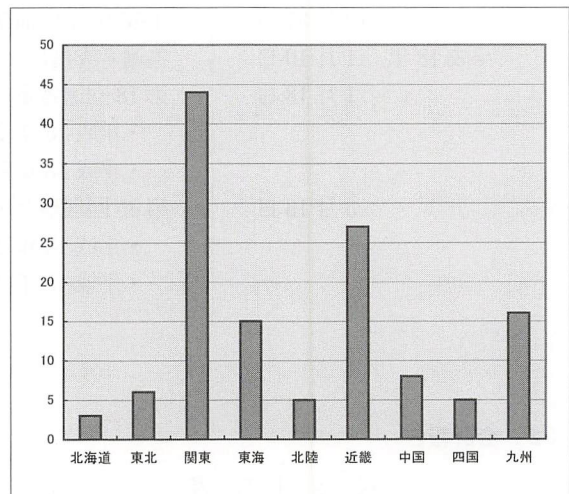
● 平成 18 年度助成の応募状況

（１） 研究助成（平成 18 年度）

① 年令別

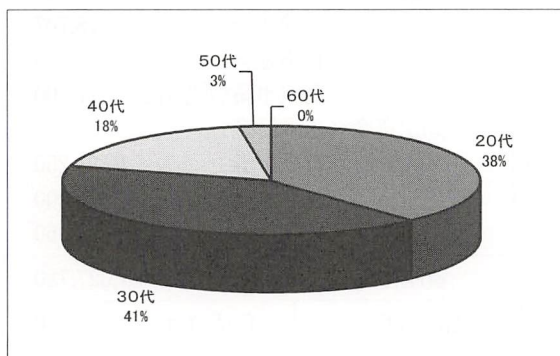


② 地域別

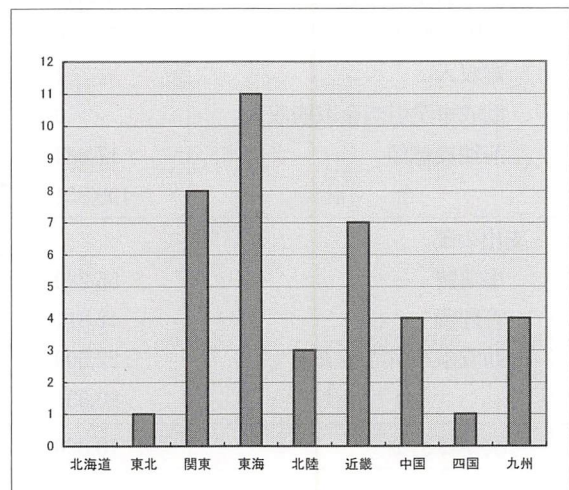


（２） 国際交流助成（平成 17 年度後期～平成 18 年度前期）

① 年令別



② 地域別



第17回助成金贈呈式

日 時：平成18年5月18日（金）

場 所：京都宝ヶ池プリンスホテル

第17回助成金贈呈式は、来賓の文部科学省大臣官房審議官 藤田明博様、京都府商工部理事 山下晃正様はじめ、平成18年度研究助成金受領者、財団関係者等約90名の出席のもとに開催し、立石理事長より受領者に助成金目録贈呈を行い、記念撮影ののち、引き続き懇親交流会を行った。



贈呈式会場



立石理事長挨拶



目録贈呈

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



助成課題発表

※ 課題発表 OHP は、94～96 頁に掲載

受領者投稿

研究の方向性と研究助成

山梨大学大学院医学工学総合研究部 助教授 福本文代
(第11回受領者)

私は大学卒業後、これまで自然言語処理の研究に携わってきました。自然言語処理は、人間の意思を伝える手段として最もよく用いられている「言葉」を計算機で処理・理解させる技術です。計算機を用いて自然言語を処理するためには、処理対象となる分野において利用される形態や構文、意味といった大量の知識を計算機が蓄えていることが大前提となります。私は平成9年に電子化されたデータから単語の意味に関する知識（語彙知識）を自動的に獲得する手法を提案し、博士号を取得しました。その後、研究の次のステップとして、獲得した知識の実用面での応用を模索すべく、言語知識獲得分野で先端的な研究を行っているニューヨーク大学のProf. Grishmanらの自然言語処理グループへの参加を希望しておりました。ちょうどその折、平成10年に国際交流という形で立石科学技術振興財団より援助いただきました。1ヵ月の滞在の後、実用面への応用の一つとして、語彙知識を複数文書要約へ利用してみるという研究の方向性が得られたことは、貴財団からのこの援助のおかげです。Grishmanらとの議論を通して、帰国した後はぜひこの研究を実施したいと考えておりました。平成12年度に「統報情報に基づく複数文書の要約技術に関する研究」というテーマで貴財団より再度助成をいただけたことは本当に幸運であったと思っております。助成金贈呈式の懇親交流会では、財団関係者の方々と提案研究について具体的にお話する機会がありました。その時、実際に説明することで何をしたいのか理解してもらえたこと、申請書における提案は少々難解であったことなど伺いました。改めて提出した申請書を読んで

みると、確かに専門的な用語が多く難しい、自然言語処理に携わる者がこのような文章を書くとはと、我ながら恥ずかしい思いをしたことを憶えております。



1年間の研究の結果、出来事に関する一連の報道記事から、筆者が読者に伝えたいことだけを示す文を抽出する手法を提案し、関連研究との比較を含めていくつかの論文としてまとめることができました。その後、財団の懇親交流会でお会いしたオムロンソフトウェア株式会社の方々と改めて言語処理研究に関する意見交換を行う機会がありました。この貴重な機会を通して、人間の高度な知識能力を規範にした技術の確立が必要とされていること、その実現のためには、大規模かつ不均質で流動的なデータに対しても精度・速度面で十分実用性に耐え得る汎用的な枠組みを提案する必要があることなど再認識しました。これが今の私の研究に繋がっています。

立石科学技術振興財団からの2度に亘る支援は、今考えると研究資金はもちろんのこと、研究計画書の記述方法、研究の方向性、研究実施後の改良、さらには次なる目標をも示唆していただけたように思います。最後になりましたが、財団の関係者の皆様に改めて感謝すると同時に貴財団の益々のご発展をお祈り申し上げます。

受領者投稿

助成によって広がる研究

九州工業大学 大学院生命体工学研究科 助教授 和田 親 宗
(第11回受領者)

私は平成12年度に、「触覚を用いた視覚・聴覚重複障害者のための音響情報呈示装置の基礎研究」というテーマで、助成をいただいた。研究目的は、周囲環境の様々な情報を取得できない視覚聴覚重複障害者（盲ろう者）に対して、音に関する情報を触覚を利用して伝えるというものであった。例えば、少し離れたところから話し声がするとか、呼びかけに対しどの方向から返答が戻ってきているか、などがわかれば、たとえ介助者がすぐそばにいても誰かが近くにいることがわかるのではないかと考えたためである。

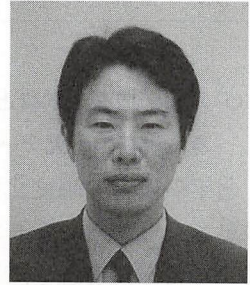
研究では、腰回りに着けた振動子によって音源方向や距離感を呈示するデモ装置の試作および、盲ろう者による評価をおこなった。当時、私は北海道大学・電子科学研究所の助手で、所属講座の研究費ではなく自分自身の研究費を、しかもかなり多額の研究費を持てたことで、自分自身に対し自信を持つことができた。

その後、新設された大学院生命体工学研究科の現職に、平成13年度から就くこととなった。生命体工学とは、文字通り生命体に関わる研究をおこなう目的で、従来の生体工学や生物工学・環境工学・神経科学などを含む広範囲の研究領域を包含するべく創設された。

私は、その中で、ヒトの機能を工学的に代行する手法の研究開発をおこなっている。具体的には、障害者や高齢者のできないことを代行する装置を開発するために、ヒトに関する感覚特性や運動特性についての調査をおこなっている。

財団から助成をいただいた研究テーマは、直接ではないものの、現在おこなっている二つの研究へとつながっている。一つ目は、視覚障害

者に、障害物方向や障害物までの距離を触覚刺激を用いて知らせる研究である。二つ目は、手のひらの触覚を使って盲ろう者に情報提供をおこなう研究である。



私の夢は、当事者が一人ではできないことを、工学的手法により少しだけ手伝うことで、自分の力のできるようにすることである。この夢の実現のために、財団が私に対し、助成という投資をしてくださったのだと思っている。夢を実現し、社会に貢献することが、助成に対する感謝の具現になるのではないかと考えている。

研究室訪問

金沢大学 工学部 人間・機械工学科 山越 憲一 教授 訪問記

(第 11 回受領者)

7 月 20 日、梅雨前線がまだ日本に停滞する中、片井 修選考委員（京都大学大学院 情報学研究科教授）に同行いただき、オムロン株式会社より若手研究者 1 名と当財団の中塚常務理事と共に、古都金沢の金沢大学 工学部 山越教授の人間適応制御研究室を訪問いたしました。先生やスタッフの方々には過密スケジュールの中で、我々の研究室訪問のために時間を取っていただき、新しい生体計測法・制御法の各種研究テーマについて詳しくご説明をいただき、興味深く聞かせいただきました。

○ 人間・機械工学科とはどのような学科かをご紹介いただき、現在の研究テーマなどについてお聞かせください。

近年の技術の高度化は、私たちの人間生活に物質的な豊かさをもたらしましたが、その一方で、効率・性能重視の考え方に専念してきた結果として、時には個々の人間性を喪失させ、地球環境問題、資源枯渇などさまざまな社会問題を引き起こしていると言えます。人間・機械工学科は、このような問題に対処すべく、また、近づく福祉・高齢社会を迎えるにあたって、「人間との適合／支援」、「自然との調和」、「社会との共生」を合言葉に、『人、社会および地球に優しい技術』を目指す新しい機械工学科です。



ご説明される山越教授

私の研究室は『人間適応制御研究室』で、心臓・血管系や身体運動系などの研究対象に、新しい生体計測や制御法を最新の電子・機械工学的技術を駆使して考案・開発し、これらを用いて生体機能の解析、特に生体固有の高度な適応制御機能と自律調節機能、あるいは身体運動制御機能などをバイオメカニク的に解析する研究を行っております。さらにこれらから得られた知見を、基礎・臨床医学分野はもとより福祉工学や今後の在宅医療支援システムに役立てることも大きな研究目標のひとつにしております。

研究室の構成は、私と助教授、講師、助手、研究員を含めスタッフ 10 名、ドクターコース 5 名、マスターコース 13 名、学部学生 11 名の総勢 39 名の大所帯です。

最近の研究課題は研究領域で大まかに分類すると以下の 3 つになります。

1. 生体工学分野

①力学刺激を利用した骨折治癒促進法に関する実験的研究、②力学刺激を利用した培養再生骨形成能の促進に関する研究、③単調運転時における生理的活性度指標の解析評価とその低下抑制法の研究など、生体計測制御技術に基づく生体機能解析と診断・治療のバイオメカトロニクス的研究。

2. 医療工学分野

①容積補償法による非観血的手首連続血圧計測法の開発研究、②容積補償型連続血圧計測のためのサーボ目標値瞬時決定法に関する研究、③近赤外光を利用した無侵襲局所組織酸素代謝計測、およびヘマトクリット計測に関する研究、④近赤外光を利用した無侵襲血糖値計測システムの開発研究、⑤近赤外光を利用した骨密度計測法の開発研究、⑥マイクロ針による無痛自動採血と自己血糖モニター開発に関する研究、⑦手術支援のための血管内可視化技術の開発研究など、生体計測制御技術の基礎・臨床医学への応用研究。

3. 健康・福祉工学分野

①近赤外分光法によるトイレ内蔵型尿酸成分計測システムの基礎研究、②無意識自動計測技術に基づく在宅ヘルスケアモニタリングシステムの開発研究、③日常生活活動性評価のためのウェアラブル計測装置の開発など、健康管理・支援のための福祉機器工学的研究。

立石財団から研究助成を頂いたテーマはこの分野での②番の研究の基礎的研究で、トイレの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進めました。その後本システムを発展させ、無意識に体重・排泄量・排尿速度・脈拍数・脈波間隔・血圧・心臓血液駆出情報などの同時計測を可能とする研究を継続しております。立石財団から助成を受けた時は、試作費を確保でき、その後大きく進展したことにより助成の意義は大きかったと思っております。

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

私は早稲田大学の機械工学科を卒業しましたが、学部の4年生の時に東京女子医大と(株)東芝との共同研究で人工心臓関係の研究をやり、動物実験で心臓補助循環(カウンターパルセーション)の実験に成功し、世界で初めての臨床試験成功で大きな話題になりました。学部を卒業し就職も内定しておりましたが、当時の担当教授であった故土屋喜一教授から『就職内定会社へは断りを入れておいたから、君はマスターへ進みなさい』と言われマスターに進むことにしました。マスターの1年の終わり頃、土屋教授から、『東京女子医大へ行くように』と言われ、医大で生体関係の研究を本格的にやっていこうと決意するようになりました。その後は東京医科歯科大学・北海道大学・金沢大学と一貫して生体関係の研究にかかわって来ました。

○ 研究室の皆さんは生き生きと遣り甲斐をもって研究されているように見受けられますが、先生の研究に対するマネジメントで大切にされているものは何でしょうか。

私は、研究を行なっていく上で、『先生も学生も同一の立場で研究を行なう』という考え方がベースにあります。ただ、先生の方が経験を多少多く持っていることのみが違っていると学生に話しております。研究とは基本的にハングリーでなければなりません。今の学生は、遠慮したり、満たされすぎることによる問題意識の不足があるように思われます。そこで、育成のためにも毎日10分～30分程度ゼミを実施しております。ゼミは3人一組となり各人の役割は、司会者・発表者・質問者となりローテーションし若手育成に努めております。

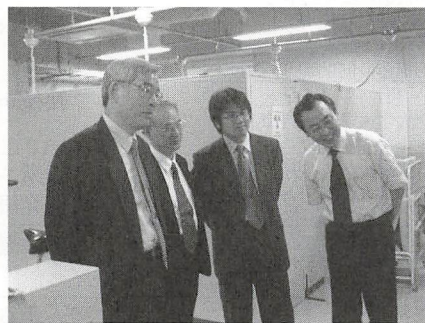
○ 当財団へのご要望などありましたらお聞かせください。

貴財団から研究助成をいただく事は、若い研究者にとって認められ・モチベーションも上がります。今後とも若い研究者に対し、立石財団の助成活動を望みます。

また、成果が出そうな研究テーマに対しては、申請があれば財団からの継続的なテーマ支援をお願いできればと思っております。

また、助成していただいた研究助成金の使途については、研究範囲で研究者の自主性に任せるように考慮をお願いしたい。

立石財団の趣意は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することですので、私の研究室の研究テーマはその趣意に沿っており、若手研究者に対し、今後どしどし応募・申請するよう指導しますので宜しくお願いします。



右から 山越教授、田崎さん、片井選考委員、中塚常務理事

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

第 17 回（平成 18 年度）助成課題一覧

〔研究助成〕 (五十音順)

申請者氏名・所属機関・職名	申 請 課 題 名
石 原 康 利 長岡技術科学大学 工学部 電気系・助教授	集束電界を利用した非侵襲がん治療装置の開発
江 崎 修 央 鳥羽商船高等専門学校 制御情報工学科・講師	視覚障害者のための環境内文字情報読み上げシステムの開発
岡 田 有 策 慶應義塾大学 理工学部 管理工学科・助教授	網膜走査ディスプレイの現実場面への応用に関するヒューマンファクター的研究
加 藤 康 広 東京大学大学院 工学系研究科 先端学際工学専攻・博士課程	ドラックデリバリーシステム機能を有する生分解神経プローブの開発
久米村 百 子 東京大学 生産技術研究所・研究機関研究員	マイクロ・ナノマシーニングを用いた生体単分子マニピレーション法の開発
小 坂 洋 明 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科・助手	車内表示機器の視認負荷とドライバー運転行動の関係
阪 本 邦 夫 島根大学 総合理工学部・助教授	ホログラム立体映像表示を利用した計装システム用複合現実感インタフェースの研究
渋谷 雄 京都工芸繊維大学大学院 工芸科学研究科・助教授	メディアコミュニケーションにおける遅延時間の影響に関する研究
杉 浦 彰 彦 豊橋技術科学大学大学院 工学研究科 知識情報工学系・助教授	顔画像通信技術を応用した知能発達障害児の早期検出
高 橋 悟 香川大学 工学部 知能機械システム工学科・助教授	レスキュー支援のための移動ロボットシステムに関する研究
竹 村 研治郎 東京工業大学 精密工学研究所・助手	電界共役流体（ECF）を利用したマイクロ人工筋セルの開発とその集積化
田 畑 修 京都大学大学院 工学研究科 マイクロエンジニアリング専攻・教授	長距離および短距離力制御を用いたマイクロシステム用ナノアSEMBル技術の開発
鳥 居 修 一 熊本大学大学院 自然科学研究科・教授	ナノダイヤモンドを用いたナノ流体による消音冷却システムの開発
中 西 英 之 大阪大学大学院 工学研究科 知能・機能創成工学専攻・助教授	避難誘導のためのロケーションアウェアシステムの研究
中 山 良 平 三重大学 医学部 附属病院 中央放射線部・助手	乳房 X 線写真における構築の乱れを対象としたコンピュータ支援診断システムの開発
馬 場 俊 彦 横浜国立大学大学院 工学研究院 知的構造の創生部門・教授	スーパープリズム光学系による超小型分光システム
波 部 齊 京都大学大学院 工学研究科 電子工学専攻・助手	映像からの移動対象検出のための適応的背景映像モデリング
廣 瀬 明 東京大学大学院 工学系研究科 電子工学専攻・助教授	複素ニューラルネットワークに基づくプラスチック地雷探知システムの開発研究
房 安 貴 弘 長崎総合科学大学大学院 新技術創生研究所・助手	低被爆 X 線撮影装置の開発研究
前 泰 志 福井大学 工学部 知能システム工学科・助教授	人からの作業指示を利用した知識の自動獲得と環境への知識埋め込みに関する研究
的 場 修 神戸大学 工学部 情報知能工学科・助教授	大画面ナチュラル 3 次元ホログラフィックディスプレイ
矢ヶ崎 一 幸 岐阜大学 工学部 機械システム工学科・助教授	ゲル微粒子を用いたマイクロアクチュエータの開発

研究助成件数 22 件 合計 5,137 万円

第 16 回（平成 17 年度後期）助成課題一覧

〔国際交流（派遣）〕 (五十音順)

申請者氏名・所属機関・職名	派遣先研究集会・主催名
残 間 忠 直 三重大学 工学部・助手	International Conference on Systems, Man and Cybernetics (主催：IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers))
薄 良 彦 京都大学大学院 工学研究科 電気工学専攻・助手	2005 年非線形理論とその応用に関する国際集会 (主催：電子情報通信学会・非線形理論とその応用サブソサイエティ)
手 老 龍 吾 (独) 自然科学研究機構 分子科学研究所 極端紫外 光科学研究系反応動力学研究部門・研究技官	2005 環太平洋国際化学会議 (主催：the American Chemical Society, the Chemical Society of Japan 他)
永 田 亮 兵庫教育大学 情報処理センター・助手	The Second International Joint Conference on Natural Language Processing (主催：Robert Dale, Macquarie University, Kam-Fai Wong, Chinese University of Hong Kong)
畑 中 健 志 京都大学大学院 情報学研究科 数理工学専攻・博士課程	44th IEEE Conference on Decision and Control (CDC) and European Control Conference (主催：米国電気電子学会, ヨーロッパ連盟制御会議)
船 瀬 新 王 名古屋工業大学 しくみ領域・助手	the Society for Neuroscience Annual Meeting (主催：Society for Neuroscience)
李 微 東京大学 生産技術研究所・大学院生	The 31st Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (主催：IEEE Industrial Electronics Society)
松 本 龍 介 九州工業大学 情報工学部 機械情報工学科・助手	International Conference on Computational and Experimental Engineering and Sciences 2005 (主催：ICCES Organizing Committee)

〔国際交流（特別招聘）〕 なし

〔国際交流（一般招聘）〕 なし

助成件数 8 件 助成額総額 179 万円

第 17 回（平成 18 年度前期）助成課題一覧

〔国際交流（派遣）〕 (五十音順)

申請者氏名・所属機関・職名	派遣先研究集会／主催者名
荒 田 純 平 山梨大学 医学工学総合研究部・助手	2006 IEEE International Conference on Robotics and Automation 主催：IEEE Robotics and Automation Society
北 原 鉄 朗 京都大学大学院 情報学研究科 知能情報学 専攻・博士課程/日本学術振興会特別研究員	International Conference on Acoustic, Speech and Signal Processing 主催：The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. (IEEE) signal Processing Society
佐 藤 孝 雄 兵庫県立大学大学院 工学研究科 機械系工学専攻・助手	IFAC International Symposium on Advanced Control of Chemical Processes (ADCHEM 2006) 主催：Prof. Frank J. Doyle III
松 本 倫 子 埼玉大学大学院 理工学研究科 情報数理学専攻・博士課程	ACM 21st annual Symposium on Applied Computing 主催：Association of Computing Machinery
村 岡 哲 郎 早稲田大学 先端科学健康医療融合研究機構 生命医療工学研究所・助手	The XVI Congress of the International Society of Electrophysiology and Kinesiology 主催：The International Society of Electrophysiology and Kinesiology
森 亮 介 信州大学 工学部 機械システム工学科・助手	2006 IEEE International Conference on Robotics and Automation 主催：IEEE Robotics and Automation Society

〔国際交流（特別招聘）〕 なし

〔国際交流（一般招聘）〕 なし

助成件数 6 件 助成額総額 合計 193 万円

平成 18 年度研究助成課題の紹介

掲載順は、助成課題一覧〔研究助成〕の掲載順

第17回 助成金贈呈式

研究助成課題の紹介

平成18年5月18日
(財)立石科学技術振興財団

集束電界を利用した非侵襲がん治療装置の開発(1年間)

長岡技術科学大学 工学部 電気系
助教授 石原康利

【がんの温熱治療】
従来法:
・誘電加熱: 局所的な加熱が困難
・組織内加熱: 侵襲性が高い
本研究:
・空洞共振器を利用した加熱アプリケーション
+ 加熱源となる電界分布の局在化
= 非侵襲・局所加熱が可能

【電界分布を局在化するための課題・対策】
・加熱電極の小型化による電界集中: 共振周波数の増大による加熱特性の劣化
・誘電体の特性を利用した電界集束: 形状・寸法・性状の最適化
→ 数値シミュレーションによる加熱アプリケーションの解析
→ 試作機による実験的な有用性確認

治療効果の改善と患者QOL向上を両立するがん治療装置の確立

視覚障害者のための環境内文字情報読み上げシステムの開発(2年間)

鳥羽商船高等専門学校・制御情報工学科
講師・江崎 修矢

【環境内に含まれる文字情報の読み上げによるガイドシステム】
・GPSを利用したヒューマンナビゲーションや電子タグによる建物案内などの併用

・パンチレスズーム機能付きカメラの利用により文字領域候補を自動探索
・文字領域抽出の高精度化、文字認識処理、読み上げ情報・方法の検討
【申請期間内での目標】
・レストランメニューの読み上げ機能実装(読み上げ情報のデータベース化)

網膜走査ディスプレイの現実場面への応用に関するヒューマンファクター的研究(1年間)

慶應義塾大学理工学部管理工学科 助教授 岡田 有策

研究概要
網膜走査ディスプレイ(Retinal Scanning Display: RSD)
・人間の網膜に低出力の光線を直接当て、それを高速に走査することによって映像を視覚に認識させる
・人間の視野内に電子的情報を重ね合わせて見せることを可能にする
RSDによるAugmented Reality(人間の現実世界を増強する技術)
→ 作業の効率化、認知活動の円滑化、心理的側面の充足化を促進する応用指針の提案

研究計画
人間の行動・認知・心理特性を実験的に調査・検討
手続的作業において、従来の紙媒体のマニュアルを用いた場合
・RSDによる情報提示を利用した場合を比較検討
RSDの現実場面への応用に関するガイドラインの作成
・種々の作業に対して想定されるRSD応用のメリット
・各作業に適したRSDによる情報提示の方法に関しての指針
フィールド実験による評価
ヘリコプター工場(組立、点検作業)、病院(看護業務)などを対象に、
・RSDの適用効果の評価
・各場面でのアプリケーション作成
・作業による試用評価

ドラッグデリバリーシステム機能を有する生分解神経プローブの開発(1年)

東京大学大学院 工学系研究科 先端学際工学専攻
博士課程3年 加藤 康広

【従来の神経プローブの問題点】
大きなプローブの刺入と長期埋込
→ 脳組織を損傷
→ 脳組織が回復せず死滅
→ 計測対象の神経が消失
→ 長期間の神経活動計測が困難

【本研究の神経プローブの特徴】
① 生分解し、生体吸収するプローブ基板
→ 脳組織の損傷を軽減
② ドラッグデリバリーシステムによる薬剤投与
→ 損傷した脳組織の回復

脳組織に対する神経プローブの低侵襲化
長期安定した神経活動の計測実現

マイクロ・ナノマシーニングを用いた生体単分子マニピュレーション法の開発(研究期間:1年)

東京大学生産技術研究所
研究員・久米村 百子

ナノメートルオーダーの生体分子
マイクロ・ナノマシーニング技術によって初めて可能となる
単分子の自由なマニピュレーション
単分子の解析→生化学材料の提供→電気・機械

三次元マイクロ・ナノフルイドクスデバイス
特徴
・マイクロ・ナノ構造による分離
・エレクトロウェディングによるチャネル開閉
操作
微小ピンセット
機能分子を利用した高機能性微細構造デバイスの可能性
特徴
・分子の直接的な捕獲
・選択的化学反应による分子の捕獲

車内表示機器の視認負担とドライバー運転行動の関係(1年間)

奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科
助手 小坂 洋明

背景
ヘッドアップディスプレイ: 前方を見る時とディスプレイを見る時の視線角度差が小さい
→ 連続しながらディスプレイを見ても前方確認可能
従ってドライバーへの負担が小さい
→ 車載表示装置として有利
課題
ドライバーはスイッチ操作しながら前方を確認しているつもりになっていないか?
→ 実際には見落としや認知の遅れがあるのでは?
→ ペダル操作などに遅れが発生することはないだろうか?
→ 負担の減少が、逆にドライバーの運転に対する注意力を減少させることはないだろうか?

図1 実験風景(先行研究)

「人にやさしい」を意図したヒューマンインタフェースが実際の使用環境において本来のタスク(安全な運転)に悪影響を及ぼすことは無いかを調べる

ホログラム立体映像表示を利用した計装システム用複合現実感インタフェースの研究(1年間)

島根大学 総合理工学部 数理・情報システム学科
助教授・阪本 邦夫

【3次元空間情報メディアシステム】
コンピュータで扱う情報などを、ヒトが生活している3次元の空間へ表示し、実空間に存在する物体と情報を融合することにより、ユーザによって自然に使いやすき情報システムを構築する。
形のないコンピュータ(情報アクセス端末)?
現在: キーボード・マウス(入力装置)、モニター(出力装置)
机の上などに置かれている → 実際にモノが存在する
→ 部屋には端末装置がない、何も身につけず状態で情報へのアクセスを実現
ユーザのいる場所、どこでも情報アクセスポイント
→ ユーザの体勢に合わせた映像情報の提供
3次元空間上への映像情報の展開(投影配置)
・メタ着用品なし、どこでも、その場にあるように
実際の立体映像表示法 → ホログラム(ホログラム)を使う
動画(電子)ホログラムは未だ不完全 → ホログラムの立体映像は遅れている
再生光学系の工夫 → ホログラム映像の切替 → いろいろな情報の提示
立体映像 計測・検知
認識・理解 インタフェース
融合

立体映像表示による3次元空間情報システムの構築

平成 18 年度研究助成課題の紹介

メディアコミュニケーションにおける遅延時間の影響に関する研究(研究期間:1年間)

京都工芸繊維大学 大学院 工学科学研究科
助教授・渋谷 雄

音声チャットにおける遅延の影響を分析

問題解決手法の提案・評価へ

相手側での音声再生状況提示

1. 他者の発言への意図せぬ割り込み
2. 遅い応答への不快感
3. 相槌のタイミングずれ
4. 会話順の乱れ

1. 再生終了まで返答を待つ
2. 遅延による不要な間を感じにくくなる
3. 相手の発言のタイミングを把握できる

研究成果を他のメディアコミュニケーションに応用

快適なメディアコミュニケーション環境の構築

顔画像通信技術を用いた知能発達障害児の早期検出(1年間)

豊橋技術科学大学大学院 工学研究科 知能情報工学系
助教授 杉浦 彰彦

【小児の知能発達検査】
従来:検査室・検査場所の制限、長時間、乳児に未対応、質疑応答中心
本研究:フィードバック映像を有する小児の反応解析(円検知式の自動化)
→従来の知能発達検査の問題点を解消

マルチメディア情報通信技術を用いた小児の発達検査は遠隔の医療上での実施

【小児の反応評価】
反応内容の評価:興味、確認、笑顔
時間評価:反応時間、注視時間

図1 顔画像通信技術を用いた小児の発達検査のシステム構成

図2 顔画像通信技術を用いた小児の発達検査の結果

レスキュー支援のための移動ロボットシステムに関する研究(研究期間:1年間)

香川大学工学部知能機械システム工学科
助教授 高橋 悟

【研究目的】
移動ロボット搭載のCCDカメラとレーザーの情報を用いて
目的1 移動ロボット周りの環境地図作成アルゴリズム
目的2 移動ロボットの最適経路計画アルゴリズム
の研究開発を行い、その成果を統合し
目的3 自律型の移動ロボットシステムの構築を目指す。

【研究課題】
課題1 オプティカルフローおよび距離データを用いた移動ロボット周りの3次元環境地図生成法の確立
課題2 最適経路計画のアルゴリズムを適用した移動ロボットの最適経路生成法の確立
課題3 ビジュアルフィードバックに基づく移動ロボット制御系の構築

【研究成果の意義・応用】
災害地や宇宙空間といった未知環境下において、既存の環境地図に頼らない完全自律型の移動ロボットシステムが活用可能となる

未知環境や危険地域における迅速なレスキュー支援ロボット

図1 自律型移動ロボット

図2 スプライン関数による最適経路の例

電界共役流体(ECF)を利用したマイクロ人工筋セルの開発とその集積化(1年間)

東京工業大学 精密工学研究所
助手 竹村 研治郎

【背景および目的】
マン・マシンインタラクションの機会が増大し、ソフトアクチュエータの実現が期待される

【基本原理】
電界共役流体(ECF)
高電圧の印加によって
ジェット流を生じる機能性流体
ECF jet

【期待される効果】
生物の筋肉のような集積化により、任意のストローク・発生力を持つ人工筋を構成できる
← 3×4の集積化の例
直列化 → ストロークの増加
並列化 → 発生力の増加

長距離および短距離力制御を用いたマイクロシステム用ナノアセンブル技術の開発(研究期間:1年間)

京都大学大学院工学研究科マイクロエンジニアリング専攻
教授・田畑 修

新規ナノアセンブル技術開発→次世代MEMS・MS実現の基盤技術

半導体微細加工技術でターゲットシリコン基板上に製作されたMEMS・MSチップに大きさが数ミクロンからサブミクロンの機能部品を組立て順序に従ってセルフアセンブルする技術の開発

システム構成と機能

- (1) 光誘起誘電力制御による光照射パターンへの機能部品の閉じ込め
- (2) 光照射パターンの動的制御による機能部品の搬送
- (3) DNAを利用した機能部品の組立て順序が制御されたセルフアセンブル
- (4) ポテンシャル場制御による機能部品のアライメント

図1 システム構成と機能

図2 ターゲットSi基板

ナノダイヤモンドを用いたナノ流体による消音冷却システムの開発(1年間)

熊本大学大学院自然科学研究科・教授・鳥居 修一

【電子機器の放熱】
従来:ファン・ポンプ→音が発生(作業効率の低下)
本研究:ナノ流体による冷却システム
(要素技術:ナノダイヤモンドを使用(著しく高い熱伝導率、銅の約5倍))
マイクロチャンネルを使用し、自然対流によってナノ流体を駆動

【基礎データの構築】
・マイクロフィン加工による放熱面積の最適設計
・マイクロチャンネル内の伝熱測定
・マイクロチャンネル内の温度・速度分布の測定

マイクロチャンネル、マイクロフィン、ナノ流体を用いた伝熱促進効果によって外部駆動力のない消音冷却システムの開発を目指す

ナノ流体が薄層によって流動

マイクロフィンによる放熱量の促進

・静寂のある居住
・環境と機械の調和

避難誘導のためのロケーションウェアシステムの研究(1年間)

大阪大学大学院 工学研究科 知能・機能創成工学専攻
助教授 中西 英之

【避難誘導システムの開発】
従来:全避難者と同じ情報を一斉に流す構内放送
本研究:各避難者の周囲の状況に応じた情報を携帯電話に送るロケーションウェアシステム

【仮想都市シミュレータを用いた実験】
都市の公共空間をスマート環境化:
被験者実験の実施が困難 → 多数の避難者をエージェントでシミュレート
位置検出センサーにもとづきコミュニケーション
避難者の位置が分かると何が可能か → 実世界コンテキストの影響を分析

仮想都市シミュレータを用いたロケーションウェアコミュニケーションの分析

図1 3D/2D環境モデル

図2 位置検出センサー:カメラ、GPS、無線LAN、RFID等

図3 避難現場

乳房X線写真における構築の乱れを対象としたコンピュータ支援診断システムの開発(研究期間:2年)

三重大学医学部附属病院 中央放射線部 助手・中山 良平

【本研究の目的と意義】
構築の乱れの位置を医師に提示するコンピュータ支援診断システムを開発することにより、検出率向上と読影不足の解消に貢献する

【研究目標と研究方法】
構築の乱れ自動検出法を開発し、地域医療展開することにより、その有用性を正確に実証する

- 1) 構築の乱れ自動検出法を、正常乳腺の直線性と左右乳房の比較に基づいて開発
- 2) 自動検出法を組み込んだコンピュータ支援診断システムを地域医療ネットワークに導入することにより、その有用性や課題点を徹底的に検証

図1 コンピュータ支援診断システムによる構築の乱れの検出

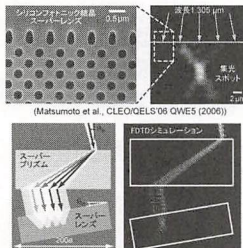
図2 地域医療機関

平成 18 年度研究助成課題の紹介

スーパープリズム光学系による超小型分光システム(1年間)
横浜国立大学 大学院工学研究院 知的構造の創生部門
教授 馬場俊彦

【スーパープリズム光学技術の確立】
フォトニック結晶の特異な分散特性機能
○ スーパープリズム：超高度回折格子
○ スーパーレズ：負の屈折率を用いたシリコン系材料での作製プロセスと分光集光特性評価技術の確立

【超小型分光システムの実証】
従来の分光器の限界を超える分解能と小型化を理論予測
理論性能の実証を目指す
(500 μm 角で分解能0.4nm@波長1.5 μm)
簡易な分光センサーとしての利用を追求
(気体・液体の屈折率・吸収を検出評価)



(Matsumoto et al., CLEO/QELS'08 QWES (2008))
(Matsumoto et al., Opt. Exp. 13, 16708 (2005))

映像からの移動対象検出のための適応的背景映像モデリング(1年)
京都大学大学院工学研究科 電子工学専攻
助手 波部 齊

目的 動的環境での映像からの移動対象検出
→機械的視覚情報処理の基本技術

アプローチ
①階層的に設けた画像ブロックの包含関係を記述
②動的変化モデルで各ブロックの変化を記述

人物・車両・障害物などの移動対象の検出
→機械的視覚情報処理の基本技術

問題点
ブロック内の明度パターンの時間変動をモデル化
処理対象ブロックの大きさや解像度を定める基準がない
背景シーンの変動を記述するにはどの大きさか？

③動的変化モデルの有効度と二つの動的変化モデル間の類似度を用いて最適な処理単位と、ブロック間の空間的な共起関係を求める
有効度が低い(ランダムな変動に近い)画像ブロック→異なる大きさのブロックを用いる
類似している(同じような変化をする)画像ブロック→共起性を考慮して対象検出を行う
処理対象映像に応じたモデリングにより移動対象検出精度の向上を目指す

$X_{t+1} = FX_t$

複素ニューラルネットワークに基づくプラスチック地雷探知システムの開発研究(1年間)
東京大学 大学院工学系研究科 電子工学専攻 助教授・廣瀬明

Imaging C-SOM image segmentation Landmine-class identification
Complex-valued image
Display Antennas Handset
Landmine found

地雷領域クラスの同定・可視化
class 8 (R)
class 5 (R)
class 4 (R)
class 3 (R)
class 2 (R)
class 1 (R)
class 0 (R)
class 9 (R)
class 6 (R)
class 7 (R)
class 10 (R)
class 11 (R)
class 12 (R)
class 13 (R)
class 14 (R)
class 15 (R)
class 16 (R)
class 17 (R)
class 18 (R)
class 19 (R)
class 20 (R)
class 21 (R)
class 22 (R)
class 23 (R)
class 24 (R)
class 25 (R)
class 26 (R)
class 27 (R)
class 28 (R)
class 29 (R)
class 30 (R)
class 31 (R)
class 32 (R)
class 33 (R)
class 34 (R)
class 35 (R)
class 36 (R)
class 37 (R)
class 38 (R)
class 39 (R)
class 40 (R)
class 41 (R)
class 42 (R)
class 43 (R)
class 44 (R)
class 45 (R)
class 46 (R)
class 47 (R)
class 48 (R)
class 49 (R)
class 50 (R)
class 51 (R)
class 52 (R)
class 53 (R)
class 54 (R)
class 55 (R)
class 56 (R)
class 57 (R)
class 58 (R)
class 59 (R)
class 60 (R)
class 61 (R)
class 62 (R)
class 63 (R)
class 64 (R)
class 65 (R)
class 66 (R)
class 67 (R)
class 68 (R)
class 69 (R)
class 70 (R)
class 71 (R)
class 72 (R)
class 73 (R)
class 74 (R)
class 75 (R)
class 76 (R)
class 77 (R)
class 78 (R)
class 79 (R)
class 80 (R)
class 81 (R)
class 82 (R)
class 83 (R)
class 84 (R)
class 85 (R)
class 86 (R)
class 87 (R)
class 88 (R)
class 89 (R)
class 90 (R)
class 91 (R)
class 92 (R)
class 93 (R)
class 94 (R)
class 95 (R)
class 96 (R)
class 97 (R)
class 98 (R)
class 99 (R)

Instances memorized in 1st stage AM

低被爆X線撮影装置の開発研究(1年間)
長崎総合科学大学 新技術創成研究所
助手 房安 貴弘

【GEMを用いたX線検出器】
GEM → 放射線信号を増幅することにより、線量が少なくても検出可能。

従来のデータ読み出し：扱うデータ量が大きく大型化
→ データ処理システムの小型化を実現

本研究では：フロントエンドでデータ量を圧縮
→ データ処理システムの小型化を実現

【ポイント】
・データをアナログ的に処理するためのアナログバイパス。
・高度なシステムLSI技術を用いて、読み出し系をチップ化。

LSI技術を駆使し、小型かつ低被爆のX線撮影装置を開発

人からの作業指示を利用した知識の自動獲得と環境への知識埋め込みに関する研究(1年間)
福井大学大学院工学研究科 応用理工部門 知能システム工学専攻
助教授 前 泰志

生活支援ロボットの問題点：
人がロボットを操作する → 操作が煩雑
ロボットの自律動作 → 技術的に実現困難

研究の目的と意義：
人に頼む時のような簡単な指示によるロボットの操作
介護者や要介護者の負担軽減。

具体的研究方法：環境への知識埋め込み法
(1) ロボットは、人からの作業指示から得られる知識を、物体に添付したRFIDタグに蓄えていく。
(2) 人からの指示やRFIDタグから得られる知識が作業に不足な場合には、人に詳細な指示を指示する。
(3) 新たに得た知識をRFIDタグに蓄えながら作業を行う。

本研究の目標
ロボットが人からの簡単な指示と環境に添付したRFIDタグから得られる知識をもとに行動できるようになることを実験実証により示す。

人からの簡単な指示だけでロボットが作業できる環境の構築

大画面ナチュラ3次元ホログラフィックディスプレイ(1年間)
神戸大学 工学部 情報知能工学科
助教授 約場 修

研究目標：大画面ホログラフィックディスプレイ用薄型面光源の開発
特長：従来技術にない新規な高空間コヒーレンス面光源

研究課題
1. 集積化3次元分岐導波路の設計・試作
2. 2次元高空間コヒーレント面光源の作製
3. 3次元ホログラフィックディスプレイの実験 面光源

応用
・人間の3次元情報処理能力の向上
・ナチュラビジョン
・美術品・博物館等の鑑賞
・アミューズメント

集積化3次元分岐導波路レイ

ゲル微粒子を用いたマイクロアクチュエータの開発(1年)
岐阜大学工学部機械システム工学科
助教授 矢ヶ崎 一幸

マイクロアクチュエータ
異なる符号の電荷をもつ、ゲル微粒子(直径10 μm 程度)を用いて作製

【特徴】
・電気駆動 → 取り扱いが容易
・柔らかい → ゲルを使用
・変形スピードが速い → 微粒子を使用
・加工が容易

【研究内容】
・ゲル微粒子単体の電気応答特性
・数学モデルの構築
・制御実験

電極間距離変化によりアクチュエータとして動作
印加電圧をゼロとすれば元の状態に戻る

人工筋肉 マイクロマシン(カテーテル、細胞・DNA操作、感覚器代行等)

財団法人 立石科学技術振興財団 平成 19 年度 研究助成候補募集案内

財団法人立石科学技術振興財団においては、下記の通り平成 19 年度の研究助成の候補募集を行いますので、お知らせいたします。(さらに詳細については募集要項をご覧ください)

記

(1) 助成対象

研究助成

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

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

(2) 金額および件数

研究助成金

1 件 250 万円以下

20 件程度

(3) 応募資格

- ① 日本国内に居住する研究者であれば、個人またはグループを問いません。
- ② 類似内容で現在、他の財団等から既に助成を受けているか、或いは受ける予定になっている個人またはグループは、ご遠慮下さい。

(4) 募集期間と助成対象期間および助成金交付時期

募集期間：平成 18 年 9 月 1 日～平成 18 年 10 月 31 日（郵便局消印有効）

助成対象期間：平成 19 年 4 月 1 日～原則 1 年

助成金交付時期：平成 19 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 19 年度前期 国際交流助成候補募集案内

財団法人立石科学技術振興財団においては、下記の通り平成 19 年度前期の国際交流助成の候補募集を行いますので、お知らせいたします。(さらに詳細については募集要項をご覧ください)

記

(1) 助成対象

国際交流助成（派遣と招聘）

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

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

(2) 金額および件数

国際交流助成金（派遣と招聘）	派遣	1 件	40 万円以下	} 平成 19 年度助成件数 合計 10 件程度
	特別招聘	1 件	50 万円以下	
	一般招聘	1 件	30 万円以下	

(3) 応募資格

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

(4) 募集期間と助成対象期間および助成金交付時期

募 集 期 間：平成 18 年 10 月 1 日～平成 18 年 12 月 31 日（郵便局消印有効）

助成対象期間：平成 19 年 4 月 1 日～平成 19 年 9 月 30 日です。

助成金交付時期：平成 19 年 4 月の予定

(5) その他

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

(6) 申請書類請求および問合せ先

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

〒 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 19 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 19 年度後期の国際交流助成の候補募集を行いますので、お知らせいたします。(さらに詳細については募集要項をご覧ください)

記

(1) 助成対象

国際交流助成（派遣と招聘）

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

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

(2) 金額および件数

国際交流助成金（派遣と招聘）	派遣	1 件	40 万円以下	} 平成 19 年度助成件数 合計 10 件程度
	特別招聘	1 件	50 万円以下	
	一般招聘	1 件	30 万円以下	

(3) 応募資格

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

(4) 募集期間と助成対象期間および助成金交付時期

募 集 期 間：平成 19 年 4 月 1 日～平成 19 年 6 月 30 日（郵便局消印有効）

助成対象期間：平成 19 年 10 月 1 日～平成 20 年 3 月 31 日です。

助成金交付時期：平成 19 年 10 月の予定

(5) その他

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

(6) 申請書類請求および問合せ先

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

〒 616-8236 京都市右京区鳴滝春木町 5 番地 20

財団法人 立石科学技術振興財団 事務局

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

E-mail tateisi-f@omron.com

募集要項、申請書類に関しては当財団ホームページをご覧ください。

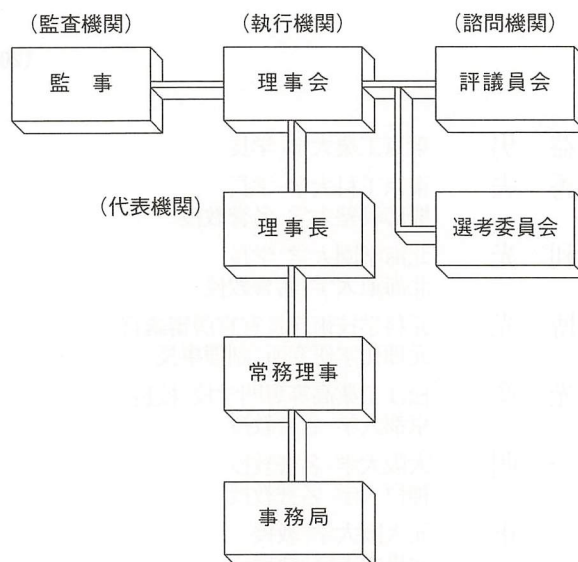
URL : <http://www.tateisi-f.org/>

■ 財 団 の 概 要

■ 役 員・評 議 員

財 団 の 概 要

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



役員・評議員

(2006 年 4 月 1 日現在)

役員

理事長	立石 信雄	オムロン株式会社 相談役
常務理事	中塚 弘	オムロン株式会社
理事	伊夫伎 一雄	株式会社三菱東京 UFJ 銀行 特別顧問
理事	大澤 弘之	財団法人リモート・センシング技術センター 理事長 元科学技術事務次官
理事	大野 豊	京都大学 名誉教授
理事	熊谷 信昭	兵庫県立大学 学長 元大阪大学 総長
理事	黒田 眞	財団法人世界経済情報サービス 理事長 元通商産業審議官
理事	立石 義雄	オムロン株式会社 代表取締役会長
理事	棚橋 祐治	石油資源開発株式会社 代表取締役社長 代表執行役員
理事	長尾 眞	独立行政法人情報通信研究機構 理事長 前京都大学 総長
理事	森川 敏雄	株式会社三井住友銀行 名誉顧問
理事	諸井 虔	太平洋セメント株式会社 相談役
監事	尾尻 哲洋	辻・本郷税理士法人 理事
監事	中川 朋子	イリス法律事務所（弁護士）

(2006 年 4 月 1 日現在)

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 慶応義塾大学 名誉教授
評議員	朝倉 利光	北海学園大学 学長 北海道大学 名誉教授
評議員	雨村 博光	元科学技術庁長官官房審議官 元理化学研究所 副理事長
評議員	荒木 光彦	松江工業高等専門学校 校長 京都大学 名誉教授
評議員	岩田 一明	大阪大学 名誉教授 神戸大学 名誉教授
評議員	末田 正	元大阪大学 教授 元摂南大学 教授
評議員	立石 峯子	財団法人京都能楽養成会 理事 財団法人楽美術館 評議員
評議員	長谷川 利治	南山大学数理情報学部 教授 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	山下 牧	オムロン株式会社 専務取締役
評議員	山田 啓二	京都府 知事

(50 音順)

編 集 後 記

本助成研究成果集は、当財団の助成研究成果普及事業の一環として毎年秋に継続発行して、助成研究者の皆様、国立国会図書館、全国主要大学・研究機関ならびに同図書館等の400ヵ所に拝送させていただいておりますが、今号で第15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16回（平成17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16回（平成17年度）に助成いたしました成果報告の抄録を収録しております。

ご寄稿いただきました長谷川評議員様、投稿文をお寄せいただきました山梨大学医学工学総合研究部 福本 文代助教授、九州工業大学大学院生命体工学研究科 和田親宗助教授、事務局取材に快く応じていただきました金沢大学工学部人間・機械工学科 山越 憲一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19年度の助成候補の募集期間になっていますので、当財団ホームページをご覧くださいと思います。また、国際交流助成については前期と後期の2回に助成期間を分けて募集いたしておりますので合わせてご覧いただければと思います。

当財団の活動ならびに本誌に関する皆様のご意見などお待ちしております。

財団法人 立石科学技術振興財団 事 務 局

財団法人 立石科学技術振興財団
Tateisi Science and Technology Foundation
助成研究成果集 第15号
平成18年9月(2006)

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。)