

立石科学技術振興財団

助成研究成果集

【第9号】

平成12年(2000)



人間と機械の調和を促進する助成研究成果集

第 9 号

平成 12 年 10 月 (2000)

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拠出資金により「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（雨村博光 評議員（助）リモート・センシング技術センター 専務理事）	3
3. 10 周年特別寄稿（葉原耕平 評議員・選考委員長（株）国際電気通信基礎技術研究所 顧問）	4
4. 助成研究成果の抄録一覧	5
5. 国際交流報告の抄録一覧（平成 11 年度）	102
6. 平成 11 年度活動報告（業務日程・会計）	109
7. 平成 12 年度助成報告	110
8. 財団設立 10 周年記念講演会	111
9. 第 11 回助成金贈呈式	111
10. 受領者投稿	112
都甲 潔 九州大学大学院 システム科学研究院 教授	112
山本 透 広島大学 教育学部 技術・情報教育学講座 助教授	113
11. 研究室訪問	114
北海道大学 電子科学研究所 下澤研究室	114
北海道工業大学 工学部 渡邊研究室	116
12. 第 11 回（平成 12 年度）助成課題一覧	118
13. 平成 12 年度研究助成課題の紹介	120
14. 平成 13 年度助成候補募集案内	123
15. 財団の概要	125
16. 役員・評議員	126
編集後記	127

ごあいさつ

このたび、助成研究成果集第9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3月設立10周年を迎え、5
月には記念講演会と第11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、財団設立の趣意に添って、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
なることを願って発行するものです。これからも毎年継続的に発行できるよう考
えております。

第9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。

限りない情報化と科学技術の進歩の中で、豊かで健全な最適化社会を創造する
ためには、科学技術と人間の調和の向上を求める努力も忘れてはならないことと
考えております。

21世紀に向け、人と機械がより高次元で調和し、人間重視の視点に立った最適
化社会の創造のための、より高度な科学技術の発展に、いささかでも寄与できれ
ばと願っております。

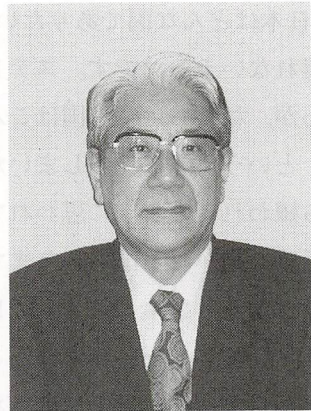
今後も引き続き、ご支援ご鞭撻を賜りますようお願い申し上げます。

理事長 立 石 信 雄

20 世紀終わりの雑感

20 世紀もあと僅か。今年は 20 世紀最後の年ということで、多彩な行事が世界各地で行われています。

私が趣味としている切手の世界では、千年紀（ミレニアム）を記念した切手が各国から数多く発行されています。わが国からは実に 170 種類の 20 世紀デザイン切手が発行されており、アメリカやイギリスでも負けず劣らずという状態です。沢山の美しい切手を眺めるのは大変楽しいことなのですが、それを洩れなく集めるのは懐具合に大きく影響し、頭の痛いところです。



さて、この 20 世紀は科学技術の進展が目覚しく、我田引水かもしれませんが、「20 世紀は科学技術の時代であった。」といっても過言ではありません。科学技術のお陰で生活が豊かになり、そして地球は狭くなり、宇宙は小さくなりました。科学技術が、経済社会の発展と生活の向上に貢献したことは論を待ちません。

ところが、20 世紀が将に終わろうとしているこの 1～2 年、科学技術に対する信頼を失墜させるような出来事が続出しました。「もんじゅ」のナトリウム流失、核燃料施設の臨界事故、H-2 及び M-V ロケットの打ち上げ失敗、新幹線トンネルのコンクリート落下、そしてコンコルドの墜落。これら一連の事故についての原因は、それぞれ厳しく糾明されるべきですが、全体として先端技術システムに対する信頼性（システムに関わる人間性を含めて）を著しく低下したことは否めません。

私達、科学技術の仕事に携わるものは、この信頼性の維持向上のために不断の努力を傾注してきました。しかし、現在、今一度立ち止まってシステムの再検討をすべき時にあると思います。科学技術に対する信頼性を回復し、失敗のリスクを最小にする努力を再スタートさせねばなりません。ただ、懸命の努力にも拘わらず、リスクは決して 0 にはならないことも事実です。科学技術は、過ちを侵さない絶対者のものではなく、常に過ちを繰り返す人間のものである、ということを銘記しなければなりません。この事実を社会に対し謙虚に訴えることにより、21 世紀における科学技術の復権と社会における受容が獲得されることとなるのではないのでしょうか。

評議員・雨 村 博 光

（㈱リモートセンシング技術センター・専務理事）

世界から尊敬される国のいしずえを目指して

「日本はどんな国でありたいか?」これは常に私の頭から離れないテーマです。ステレオタイプはよくはありませんが、私たちは〇〇国はこんな国だ、△△国人はこうだ、というように見てしまいがちです。そして、世界中から嫌われ者のように思われている国もあれば何となく親近感を抱かれる国もあります。

ひるがえって、たとえば21世紀をとおして（本当は第3ミレニアムといたいところですが）日本は世界の人々からどんなことで尊敬されたいでしょうか。今、日本はその哲学を求められているように思います。たとえば軍事大国でありたいでしょうか。あるいは経済一辺倒の国と思われたいでしょうか。もちろん経済的基盤はすべてのベースではありません。しかし、多くの人の願いは恐らくこのようなイメージではありません。そして、世界から尊敬されるひとつの方向は、ただ乗りや後追いではない、人類全体の未来のための科学技術面での貢献でありましょう。これは言うは易く行うは難し、です。しかし、だからこそ大変でも苦しくてもやって行かねばならないと思います。

当立石財団の助成の姿勢は、まさに根っこのところでこの精神につながっているように私には思えます。だからこそ、財団発足時にお手伝いのご依頼を受けた時、微力ですがお引受けしたのです。当財団に対する私の考えは、十年を経た今、決して間違っていなかったことをますます強く感じております。当財団のように、萌芽期の研究を助成し若手のエンカレッジに務めるというのは、その結果が表れるのはずっと先かもしれませんし、確率も必ずしも高くないかもしれません。しかしそれは間違いなく世界から尊敬される国に向かう路線にあると思います。しかも、その理念とする「人と機械の調和」は広く言えば「人類と文化・文明の関わり」という高邁で永遠の重要課題でもあります。

私はこのような思想を軸にこれまでの十年間、当財団の活動を暖かく長い目で支援してこられたオムロン(株)をはじめとする関係者に選考委員長として心から敬意を表します。また、贈呈式での受領者の喜んでおられる姿、さらにその後の活躍の様子、それに至る選考委員の先生方、事務局のご尽力、それがなければ、私にはとても勤まらない十年間だったことを白状して筆を置くこととします。



選考委員長 葉 原 耕 平

(株)国際電気通信基礎技術研究所・顧問 東京大学客員教授)

研究助成成果の抄録一覧

(年度順五十音順)

- ◆ ソフトテレロボティクスの研究 (971002) 8
 Study of Soft Telerobotics
 内 山 勝 東北大学大学院工学研究科 教授
 航空宇宙工学専攻

- ◆ 色彩画像の快適色変換に関する研究 (971006) 12
 Study on Pleasant Color Mapping for Image
 小 寺 宏 曄 千葉大学工学部 教授

- ◆ 多国語文書閲覧ツールを利用したデジタル図書館のための情報アクセス支援環境 (971008) 20
 Information Access Support Environment for Digital Libraries based on
 a Multilingual Document Browsing Tool
 杉 本 重 雄 図書館情報大学図書館情報学部 教授

- ◆ 蓄積型情報ネットワークにおけるオーディオ情報のブラウジング環境に関する研究 (971009) 26
 Audio Browsing Environment for Information Network with Distributed Storage
 武 田 一 哉 名古屋大学工学研究科 助教授
 電子情報学専攻

- ◆ 大規模リアルタイムプロセスシミュレーションを用いた
 機械操作技能習熟支援のための拡張現実感システムの開発に関する研究 (971011) 30
 Development of Augmented Reality System for Operator's Skill Acquisition based on
 a Large-scale Real-time Process Simulation
 寺 本 孝 司 大阪大学大学院工学研究科 助手

- ◆ システムオンチップ化による極小規模のインターネット用ノードシステム (971021) 34
 System-on-a-chip Node Systems in an Access Network for the Internet
 山 田 喬 彦 立命館大学理工学部 教授

- ◆ 観察者及び対象の運動が複数の情報源からの奥行き知覚とその感性要因に与える効果 (981001) 40
 How Does the Movement of Observer and Observed Object Affect the Depth Perception
 and Impressive factors from Multiple Cues?
 一 川 誠 山口大学工学部感性デザイン工学科 助教授

- ◆ 機械製品の概念設計を支援するシミュレーションシステムの開発 (981002) 46
 A Physically-Based Method for Assisting Conceptual Mechanical Design
 乾 正 知 茨城大学工学部 助教授

- ◆ パフォーミングアートにおける意図伝達の物理的・生理的・心理的研究 (981007) 52
 A Study on Intension Transfer in Interactive Art
 ——From Physical, Physiological and Psychological Approach——
 片 寄 晴 弘 和歌山大学システム工学部 助教授
- ◆ 患者の負荷モニタリングに基づく構音障害用リハビリテーション支援システムの開発 (981011) ... 56
 Development of Rehabilitation System for Disarthria with Stress Monitoring
 平 井 重 行 (財)イメージ情報科学研究所 研究員
- ◆ 超音波による骨弾性定数計測システムの開発 (991001) 60
 An Equipment for Nondestructive Evaluation of Bone Stiffness by Ultrasound
 浅 井 仁 東北文化学園大学科学技術学部 講師
 応用情報工学科
- ◆ 上肢麻痺者の手先作業の補助手段の開発 (991002) 64
 Development of an Upper Limb Support System for Disabled People
 to do the Manual Work on a Table
 泉 隆 北海道東海大学工学部 助教授
- ◆ 非同期動作ビジョンチップに関する研究 (991003) 68
 Asynchronously Operated Vision Chips
 太 田 淳 奈良先端科学技術大学院大学 助教授
 物質創成科学研究科
- ◆ 単分子凝着法による超高感度ガスセンサーに関する研究 (991006) 71
 Study of High Sensitive Gas Sensor based on Monolayer Molecular Adsorption
 河 合 晃 長岡技術科学大学工学部 助教授
- ◆ 高分解能4次元胸部CT像による微小肺がんの質的診断に関する研究 (991008) 75
 Computer Aided Diagnosis of Small Lung Cancers using Four-Dimensional Thoracic CT Images
 河 田 佳 樹 徳島大学工学部光応用工学科 講師
- ◆ 低コヒーレンス光のコヒーレント関数を媒介とした
 3次元画像情報のアナログ変換伝送と像再生 (991009) 79
 Analog Transmission and Image-Reconstruction of Three-Dimensional Image
 Information via Coherent Functions of Low-Coherent Light
 神 成 文 彦 慶応義塾大学理工学部 教授
- ◆ 三次元距離センサを用いた自由曲面物体の自動モデリングに関する研究 (991012) 83
 Automatic Modeling of Free-Form Objects by Using 3-D Range Sensors
 查 紅 彬 九州大学システム情報科学研究院 助教授

- ◆ 医療用マイクロ化学物質分析システム (μ TAS) の研究 (991013) 87
 Development of a Micro Total Analysis System (μ TAS) for Medical Applications
 鈴木 博 章 筑波大学物質工学系 助教授
- ◆ 人工心臓駆動用骨格筋ポンプ開発のための
 広背筋収縮挙動シミュレーションモデルの作成 (991015) 91
 Computational Simulation of Latissimus Dorsi Muscle Contraction Model
 for Developing Skeletal Muscle Pump System as Cardiac Assist Device
 堤 定 美 京都大学再生医科学研究所 教授
- ◆ 生活習慣病の関連因子である筋の有酸素代謝能の無侵襲計測法と評価法の開発 (991018) 95
 Noninvasive Measurement and Evaluation of Muscle Oxidative Capacity
 Relating to the Life-Style-Related Diseases
 浜 岡 隆 文 東京医科大学衛生学公衆衛生学教室 講師
- ◆ 遺伝情報発現における生物分子モーターの1分子メカニズム (991019) 99
 Single Molecule Mechanism of Biomotor in Gene Expression
 原 田 慶 恵 慶應義塾大学理工学部 専任講師

ソフトテレロボティクスの研究

Study of Soft Telerobotics

971002

研究代表者

東北大学大学院工学研究科 教授
航空宇宙工学専攻

内 山 勝

〔研究の目的〕

本研究では、柔軟なロボットアームの設計、制御、およびこれを遠隔操作するための人間機械インターフェースの研究を行う。柔軟なロボットアームとは、粘弾性体、可撓体などの柔軟な材料により作られたロボットアームである。このロボットアームは、人間に優しく、安全であるのみならず、柔軟性と器用さの実現に適する。ハードウェアの柔軟性を生かしつつ、高性能の遠隔操作を実現するための制御方式を研究する。また、バーチャルリアリティの技術を活用することにより、人間に自然な操作感を与える制御方式を研究する。

〔研究の内容、成果〕

柔軟なロボットアームの設計、制御、それに対する遠隔操作システムの構築と評価実験の順に、研究を進めた。本研究では、柔軟なロボットアームをソフトロボットと呼ぶ。以下、各段階の成果について述べる。

1. ソフトロボットの設計、制御

関節に弾性要素を組み込んだ2自由度関節モジュールを設計、試作した。この関節モジュールの設計を図1に示す。また、試作した関節モジュールの外観を図2に示す。図に示すように、この関節モジュールは、2個のモータにより駆動され、差動ギア機構により、屈曲と回転の2

自由度を実現している。モータの出力軸と差動ギア機構の間には、ばねが挿入されている。これにより、モータを固定した場合でも、コンプライアンスを発生させることができる。

関節モジュールには、ばねの両側、すなわち、モータ側と差動ギア側に、それぞれポテンシオメータが付いている。これにより、モータの回転角と差動ギア機構の入力軸の回転角を精度良く測定することができる。差動ギア機構の入力軸の回転角は、関節の回転角と一対一に対応する。

関節モジュールの機構特性を調べ、従来フレキシブルマニピュレータに適用していた振動抑制制御が有効に働くことを確認した。なお、関

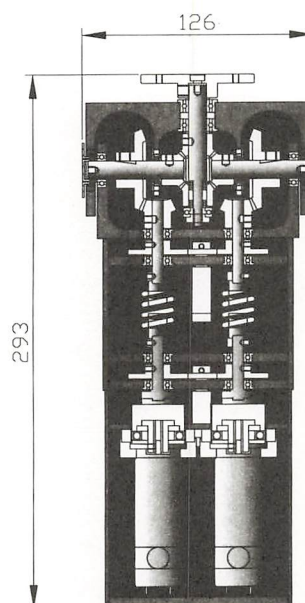


図1 柔軟な関節モジュールの設計

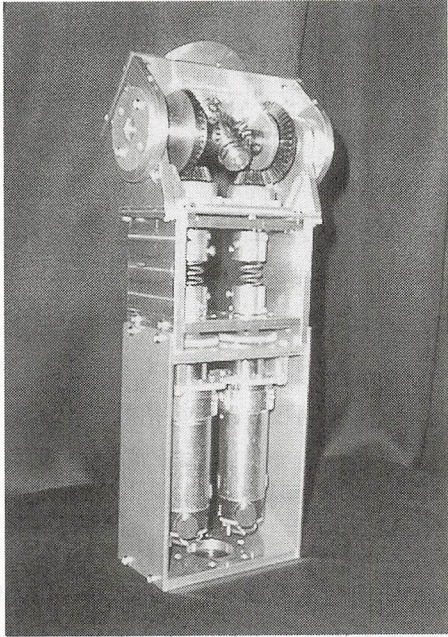


図2 試作した柔軟な関節モジュール

節の回転角を厳密に制御しようとする、機構の柔軟性を制御で殺してしまうことになる。そこで、モータの回転角を制御することで、機構の柔軟性を生かす制御システムを構築した。この制御システムでは、関節の回転角に対して、振動抑制制御、重力補償などを適用し、位置精度を向上させている。

基本モジュールは計3台製作した。この3台を組み合わせることで、6自由度のロボットアームを構成することができた。

2. 遠隔操作システムの構築

力覚提示が可能な人間機械インターフェースを実現するために、平行機構を用いた小型の6自由度ハプティックインターフェースを開発した。これを図3に示す。

このハプティックインターフェースを人間機械インターフェースとし、ロボットの遠隔操作システムを構築した。ハプティックインターフェースおよびロボットアームの制御には、リアルタイムOSであるVxWorksを用いる。画像提示には、グラフィックワークステーションを用いる。これらをネットワーク結合し、遠隔操作シ

ステムを構築する。現時点では、遠隔操作するロボットアームには、通常の産業用ロボットを用いているが、将来、本研究で開発したソフトロボットアームを使用する予定である。

一方、安全で作業性の高い遠隔操作システムの実現には、効果的なオペレータ支援が必要である。このためには、直感的に容易に理解できる情報提示の機能が重要な役割を果たすと考えられる。そこで、本研究では、バーチャルレーダとバーチャルグリップという二つのオペレータ支援法を開発した。

オペレータがロボットアームの手先に注意を集中すると、ロボットアーム全体の衝突情報を把握することが困難になる。そこで、手先レベルでロボットアーム全体の衝突情報をグラフィックスにより提示するオペレータ支援法が考えられる。このような考え方に立ち、本研究では、バーチャルレーダと呼ぶオペレータ支援法を開発した。具体例については、次節で述べる。

バーチャルグリップは、ハプティックインタフェースによる効果的な遠隔操作を実現するために考案されたオペレータ支援ツールである。ハプティックインタフェースのグリップを仮想環境内に提示することで、オペレータに仮想世界とハプティックインタフェースの関係を容易

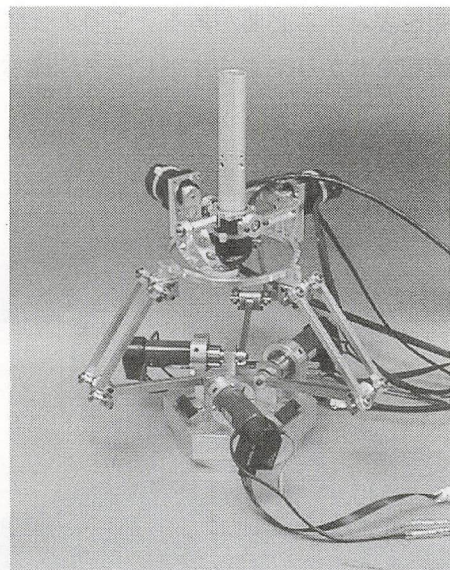


図3 ハプティックインターフェース

に認識させることができる。この仮想環境内のグリップをバーチャルグリップと呼ぶ。視点が変更されても、オペレータとハプティックインタフェースとの相対姿勢が維持されるため、バーチャルグリップは画面上に固定される。これにより、効果的な遠隔操作が可能となる。

3. 遠隔操作評価実験

構築したシステムの性能評価のため、遠隔操作実験を行った。研究室だけでなく、研究室外の遠隔操作実験も行った。実験により、構築したシステムにより、円滑な遠隔操作が実現できることが実証された。バーチャルレーダおよびバーチャルグリップは、共にその効果を発揮した。

適用したバーチャルレーダの様子を図4に、実験の様子を図5に示す。バーチャルレーダ表面には、ロボットの手先の姿勢に関して安全な領域が、色分けして表示されている。このようなバーチャルレーダシステムを導入することにより、オペレータはロボットの手先の動きに集中しながらも、ロボットアーム全体の衝突情報を直感的に認識することができ、安全で効率的な遠隔操作が実現できる。

ロボットアームは、一般に、6自由度を有し、したがって、バーチャルレーダは、6次元の衝突情報を表示する必要がある。このような高次元の情報をわかりやすくオペレータに提示する

ことは難しい。そこで、衝突情報により形が変化する球とその表面に提示する模様とにより、バーチャルレーダを構成することとした。すなわち、手先の位置に関する安全な領域を球の形状により提示し、姿勢に関して安全な領域を球の表面の模様により提示する。手先の姿勢は、手先から伸びる仮想ビームと球との交点により表す。

なお、この方法では、ロール角とピッチ角に関してのみ、衝突情報を提示することが可能となる。ヨー角に関しては衝突情報を提示することができない。しかし、ヨー角は、通常、ロボットアームの最終軸と一致しており、大きなリンク変動は伴わないことが多い。また、球の時間的な形状変化を見ることで、ヨー角に関する衝突情報を得ることが可能であり、本手法で十分と考えられる。

【今後の研究の方向、課題】

テレロボティクスは、人間が近づくことが困難な、危険な環境下での作業に、その応用が期待されている。宇宙など、遠隔地でのロボットの使用においては、システムのフォールトトレラント性（故障に強い性質）および安全性が極めて重要となる。本研究で目標としたソフトテレロボティクスは、まさに、このような要求にぴったりの技術であり、この方面への応用が期

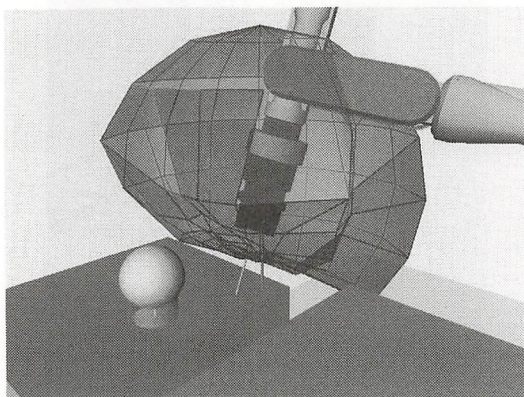


図4 バーチャルレーダ

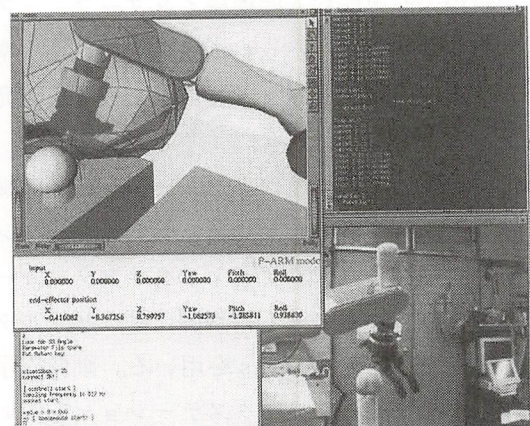


図5 遠隔操作実験

待される。

本研究では、ソフトロボットのプロトタイプ設計、制御、および遠隔操作システムの構築、実験を実施したが、設計、試作したソフトロボットを遠隔操作システムに組み込み、実験を行うには至らなかった。

関節に柔軟性を持つソフトロボットの遠隔操作では、柔軟関節に振動が発生する問題が生じる。この解決には、人間が生成する操作コマンドをロボットの特性に合わせて処理することが必要となる。この問題は、軽量、柔軟なロボット、すなわち、フレキシブルロボットの分野では、コマンドのプリシェーピング問題として研究されている。この手法を取り入れ、人間の意図を確実に伝えつつ、人間の操作コマンドをプリシェーピングする手法の開発が望まれる。

[成果の発表、論文等]

- 1) Y. Tsumaki, H. Naruse, D. N. Nenchev and M. Uchiyama: Design of a Compact 6-DOF Haptic Interface, Proc. 1998 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, Leuven, Belgium, pp.

2580-2585, 1998.

- 2) 山野光裕, 川口順央, 近野 敦, 内山 勝: リンクの歪み情報を利用した3次元フレキシブルマニピュレータのコンプライアンス制御, 第16回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp. 81-82, 1998.
- 3) 高橋三恵, 妻木勇一, 内山 勝: 遠隔操作マニピュレータの障害物情報提示システム, 第16回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp. 997-998, 1998.
- 4) 桂島 航, 川口順央, 阿部幸勇, 内山 勝: 6自由度柔軟関節ロボットアームの開発及び評価, ロボティクス・メカトロニクス講演会'99講演論文集, 2A1-47-073, 1999.
- 5) 内山 勝: ソフトロボティクス, 日本ロボット学会誌, vol. 17, no. 6, pp. 756-757, 1999.
- 6) 川口順央, 阿部幸勇, 内山 勝: 6自由度柔軟関節ロボットアームの高精度高速位置決め制御, 第17回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp. 189-190, 1999.
- 7) 尹 祐根, 木南匡敬, 妻木勇一, 内山 勝: ハプティックインタフェースを中心とした人間・テレロボットインタフェースの構築, 第17回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp. 821-822, 1999.
- 8) W. K. Yoon, Y. Tsumaki and M. Uchiyama: An Experimental System for Dual-Arm Robot Teleoperation in Space with Concepts of Virtual Grip and Ball, Proc. Ninth Int. Conf. on Advanced Robotics, pp. 225-230, 1999.

色彩画像の快適色変換に関する研究

Study on Pleasant Color Mapping for Image

971006

研究代表者

千葉大学工学部 教授

小 寺 宏 暉

[研究の目的]

現在、個々のデバイスの特性に依存しない色情報の交換を目的として、機器独立（Device-independent）の色管理システムの標準化と実用化が進みつつある。しかし、色再現の目標は、目的により様々である。Hunt は目標を6つに分類し、Fairchild はこれを5つに再分類している。Hunt の第6の目標：Preferred color reproduction や、Fairchild の第5の目標：Color-preference reproduction は、原画に忠実になくとも、メディアの可能性を最大限に引き出し顧客が求める主題を表現すること、すなわち、「好ましい色再現」を最終目的としている。これには、色の見えモデルや異種メディア間の色域圧縮等の導入以外に、画像を構成する色要素の考慮も必要と思われる。

本研究では、画像の構成要素に立ち入った快適な画像再現を目指して、機器独立の概念から一歩進んだ、画像依存（Image-dependent）の概念に基づく色変換方式の構築を目的としている。

[研究の内容、成果]

1. システムの概念

従来は画像全体に単一の色変換やテーブルを操作して色再現を行うのが一般的であったが、顔の肌色、赤い花、緑の芝生等を識別してそれぞれに適した色変換を施せば、より快適な色再

現が可能となる。ここでは、画像を構成する色領域毎に原画と複製との自動カラーマッチングを行う場合を取り上げる。図1に基本的な概念を示す。

まず原画と複製を共通のカラーキャナで読み取り、CIELAB空間における色分布から、複数の主要な色領域をオブジェクトとして抽出する。次に各色領域の主成分分析を行い、対応する色領域を共通の固有ベクトル空間に写像する。そこで、複製の主成分を原画のそれに一致させるように、領域毎の色変換行列を求める。最後に、色領域毎に色変換行列を操作して、各オブジェクト間で複製の色を原画に合わせるように自動修正する。

2. 色領域の自動分割

色領域の分割には、CIELAB空間において次の3つの統計的なクラスタリング法を適用した。

- [1] ユークリッド距離
- [2] マハラノビス距離
- [3] 最尤法（ベイズ識別規則）

図1に例示するように、LAB空間での画素の色分布は、物体色毎にクラスタを形成する。いま、あるクラスタに属する画素のLABベクトル値を X 、平均ベクトルを μ

$$X = [L^*, a^*, b^*]^t \quad (1)$$

$$\mu = E\{X\} = [\bar{L}^*, \bar{a}^*, \bar{b}^*]^t \quad (2)$$

で表せば、クラス k の中心とのユークリッド

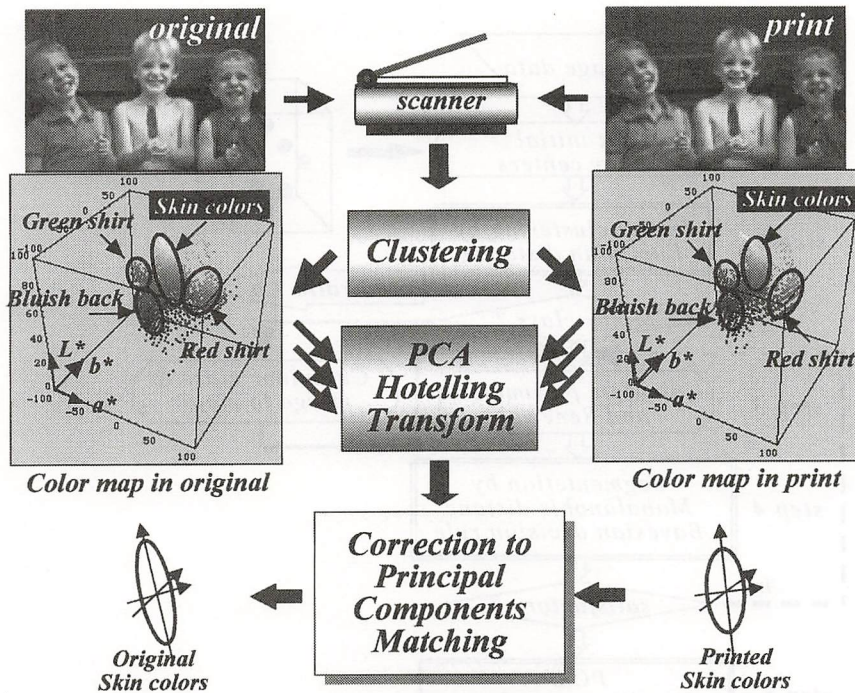


図1 色領域分割による快速色変換システムの概念

距離は次式で定義される。

$${}_k d(\text{Euclid}) = \|X - {}_k \mu\| = \{(L^* - {}_k \bar{L}^*)^2 + (a^* - {}_k \bar{a}^*)^2 + (b^* - {}_k \bar{b}^*)^2\}^{1/2}$$

${}_k \mu$: クラス k の平均ベクトル (3)

X が多次元正規ガウス分布に従う場合、統計的な距離尺度として知られるマハラノビス距離は

$${}_k d(\text{Mahalanobis}) = \{(X - {}_k \mu)^t {}_k \Sigma_X^{-1} (X - {}_k \mu)\}^{1/2}$$

(4)

$${}_k \Sigma_X = E\{({}_k X - {}_k \mu)({}_k X - {}_k \mu)^t\}$$

(5)

で与えられる。 ${}_k \Sigma_X$ はクラス k の共分散行列を表す。一方、最尤法であるベイズ識別規則では、次の識別関数を用いる。

$${}_k d(\text{Bayes}) = -\log\{p(k)\} + \frac{1}{2} \log(|{}_k \Sigma_X|) + \frac{1}{2} (X - {}_k \mu)^t {}_k \Sigma_X^{-1} (X - {}_k \mu)$$

$p(k)$: クラス k の事前生起確率 (6)

以上の各距離尺度において、ベクトル X は最小距離

$$\min\{{}_k d(\text{method})\}_{k=1 \sim K} = {}_c d(\text{method}) \quad (7)$$

を与えるクラス $k=c$ に識別される。

図2に領域分割から色変換までの全体処理の流れを示す。ベイズ法等の統計的手法を用いて識別を行うためには、各クラスの平均ベクトル μ 、共分散行列 Σ 、事前生起確率 $p(k)$ 等のパラメータを必要とするが、事前にこれらを知るには教師ありの学習を必要とする。一方、ユークリッド距離法は平均ベクトル μ のみを与えられればよい。そこで教師なしの自動識別を行うことを意図して初期分割をユークリッド距離法で行った。画像のCIELAB色域内に均等に種子点を平均ベクトル μ として発生させる。種子点は初期段階における仮のクラス中心を与えるもので、 $3^3 = 27 \sim 5^3 = 125$ 色程度を分布させた。

一旦、第1段階の初期分割が済むと、第2段階として必要な統計的パラメータを算出し、続いて第3段階で統計的識別法を適用する。必要に応じて、第2段階以降の過程を繰り返すことにより識別精度が向上する。また、画像中の主要色のみを効果的に抽出するために、勢力をもつ色領域を面積率 α によって判定し、 α が閾値 $\alpha_{\min}$ 以下となるクラスは、勢力の大きいクラスにマージした。

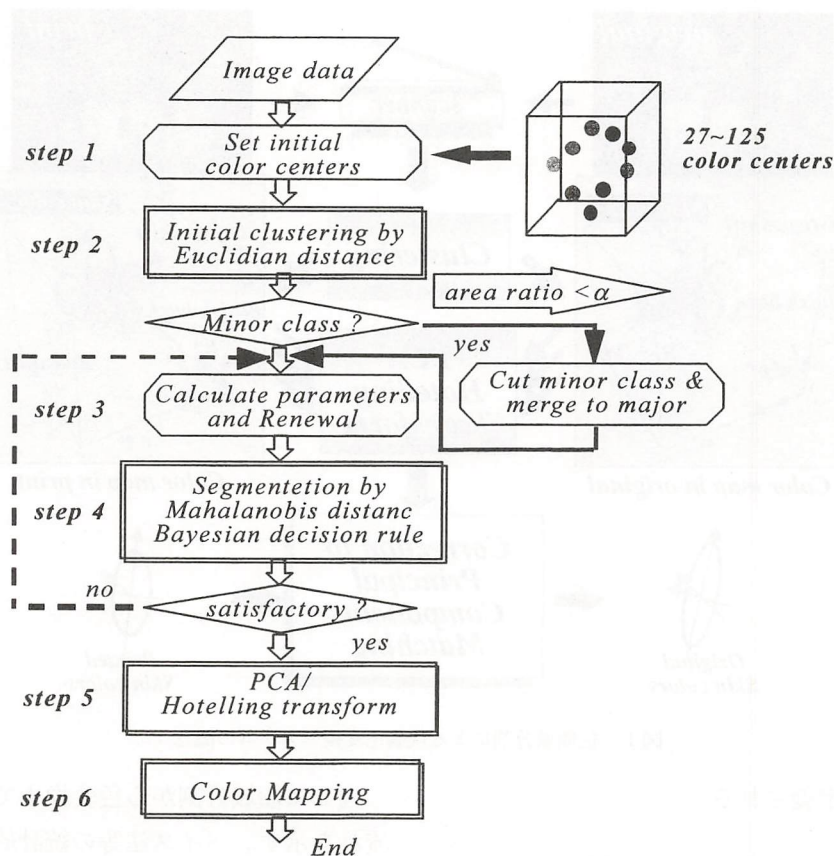


図2 色変換処理の流れ

3. 主成分分析によるカラーマッチング

次に、分割された色領域毎に目的とする色変換を行う。ここでは、原画と複製の主成分を一致させるような色変換を考える。クラス k に属する色ベクトル ${}_k\mathbf{X}$ を次の Hotelling 変換により主成分空間のベクトル ${}_k\mathbf{Y}$ に写像する。

$${}_k\mathbf{Y} = {}_k\mathbf{A}({}_k\mathbf{X} - {}_k\boldsymbol{\mu}) \quad (8)$$

ここで ${}_k\mathbf{A}$ は、共分散行列 ${}_k\boldsymbol{\Sigma}_X$ の固有ベクトル $\{{}_ke_1, {}_ke_2, {}_ke_3\}$ を要素とする次の固有行列

$${}_k\mathbf{A} = [{}_ke_1, {}_ke_2, {}_ke_3]^t \quad (9)$$

を表す。 ${}_k\mathbf{Y}$ の共分散行列 ${}_k\boldsymbol{\Sigma}_Y$ は、 ${}_k\mathbf{A}$ および ${}_k\boldsymbol{\Sigma}_X$ によって対角化され次式のように ${}_k\boldsymbol{\Sigma}_X$ の固有値を要素にもつ。

$${}_k\boldsymbol{\Sigma}_Y = {}_k\mathbf{A}({}_k\boldsymbol{\Sigma}_X){}_k\mathbf{A}^t = \begin{bmatrix} {}_k\lambda_1 & 0 & 0 \\ 0 & {}_k\lambda_2 & 0 \\ 0 & 0 & {}_k\lambda_3 \end{bmatrix} \quad (10)$$

固有値 ${}_k\lambda_1 \geq {}_k\lambda_2 \geq {}_k\lambda_3$ は主成分軸上での色成分の分散を表す。

以上の操作を原画および複製の各クラスに施して得られた変換ベクトル ${}_k\mathbf{Y}_{ORG}$ および ${}_k\mathbf{Y}_{PRT}$ は、共通の固有ベクトル空間にある。

$${}_k\mathbf{Y}_{ORG} = {}_k\mathbf{A}_{ORG}({}_k\mathbf{X}_{ORG} - {}_k\boldsymbol{\mu}_{ORG})$$

$${}_k\mathbf{Y}_{PRT} = {}_k\mathbf{A}_{PRT}({}_k\mathbf{X}_{PRT} - {}_k\boldsymbol{\mu}_{PRT}) \quad (11)$$

そこで、複製の $\{{}_k\mathbf{Y}_{PRT}\}$ を修正して $\{{}_k\mathbf{Y}_{COR}\}$ とし、これを原画の $\{{}_k\mathbf{Y}_{ORG}\}$ に一致させるには

$${}_k\mathbf{Y}_{COR} = {}_k\mathbf{S}{}_k\mathbf{Y}_{PRT} = {}_k\hat{\mathbf{Y}}_{ORG} = {}_k\mathbf{A}_{ORG}({}_k\hat{\mathbf{X}}_{ORG} - {}_k\hat{\boldsymbol{\mu}}_{ORG}) \quad (12)$$

$${}_k\mathbf{S} = \begin{bmatrix} \sqrt{{}_k\lambda_{1ORG}/{}_k\lambda_{1PRT}} & 0 & 0 \\ 0 & \sqrt{{}_k\lambda_{2ORG}/{}_k\lambda_{2PRT}} & 0 \\ 0 & 0 & \sqrt{{}_k\lambda_{3ORG}/{}_k\lambda_{3PRT}} \end{bmatrix} \quad (13)$$

ここで、 ${}_k\mathbf{Y}_{COR}$ が修正画像、 ${}_k\mathbf{S}$ は変換後の主成分軸の標準偏差を一致させるように働くスケーリング行列である。

上式より原画と複製のマッチング方程式

$${}_k\hat{X}_{ORG}-\hat{\mu}_{ORG}={}_kM_C({}_kX_{PRT}-\mu_{PRT}) \quad (14)$$

を得、次の色変換行列 ${}_kM_C$ が求められる。

$${}_kM_C=(A_{ORG}^{-1})({}_kS)(A_{PRT}) \quad (15)$$

4. 実験結果

4.1 色領域の自動分割

具体的な応用に入る前に、前述の3つのクラスタリング法による実画像の色領域分割性能を試験した。図3は画像“Boys”を赤シャツ、緑シャツ、青色背景、肌色、その他、の主要5色に分割した一例である。この例は色分布が比較的明瞭なクラスタを形成しており、(a)のEuclid距離法は一見すると良好な領域識別能力を示している。しかしながら詳細に観察すると、少年の金髪の一部とアイスクャンデーが肌色領域に誤識別されていることがわかる。Euclid距離法では多次元空間を識別超平面で分割するために、曖昧な色境界の分離精度が問題となる。一方、(b)のMahalanobis距離および(c)の最尤法では、統計的距離尺度を用いることにより、金髪とアイスクャンデーの肌色への混入が除かれている。しかしながら(b)は複数のクラスタ間の境界領域で混色が生じている。これらに対し、最尤法は平均的に誤識別率を最小とするように働き、本例では最良の結果を示した。各識別法の性能には対象画像によって差異が見られたが、種々の画像での試験結果を総合すると、最尤法がベストであった。

図4(a)は、ピンク系の類似色からなる標準画像“Bride”を、最尤法により次の6つの主要色領域に分割した例である。

- #1 : whitish pink, #2 : greyish pink,
- #3 : yellowish pink, #4 : pinkish skin,
- #5 : pink flower, #6 : yellow flower

ここでは、面積率が $\alpha_{\min}=0.04$ 以下の勢力の弱い色領域は、最も距離に近い上の主要色に吸収した。ピンクの肌色とピンクの花は分離が難しいが、ここでは#4 : pinkish skin と#5 : pink flower の2つに分類されている。図4(b), (c)は先のクラスタリング法によるこの2つのクラスの識別結果を比較したものである。(c)の



図3 色領域の分割例〈画像“Boys”〉

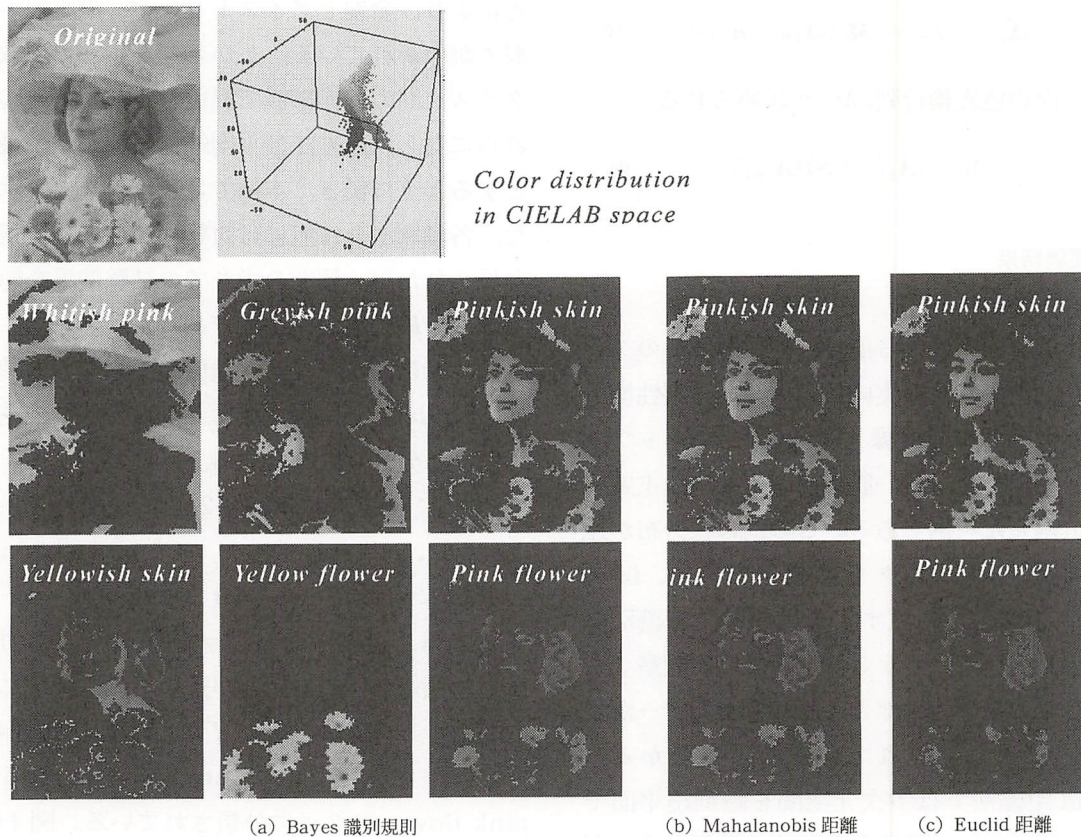


図4 色領域の分割例〈画像“Bride”〉

Euclid 距離法では#3の顔の一部や#5の花の一部が他の領域に誤識別されて欠落しているのに対し、(a)および(b)の統計的距離尺度では、これらがよりの確に抽出されている。

4.2 自動色修正への応用

本研究の具体的応用として、カラープリント画像の自動色修正を試みた。原画像をインクジェットプリンタを用いて出力し、プリント画像をフラットベッドスキャナで再び取込み修正対象とする。プリント画像は、プリンタドライバの色管理ソフトにより色修正が施されているが、実際には色再現はなお不完全である。図4の画像“Bride”を例にとれば、分割された色領域それぞれに対して、プリントの対応する主成分を原画のそれに一致するように、 $k=1\sim 6$ の各クラスについて変換行列 $\{M_c\}$ を求め、各領域の画素に色修正を施す。

図5(a)に#3 : pinkish skin, (b)に#6 : yellow flower についての色修正効果を (a* -

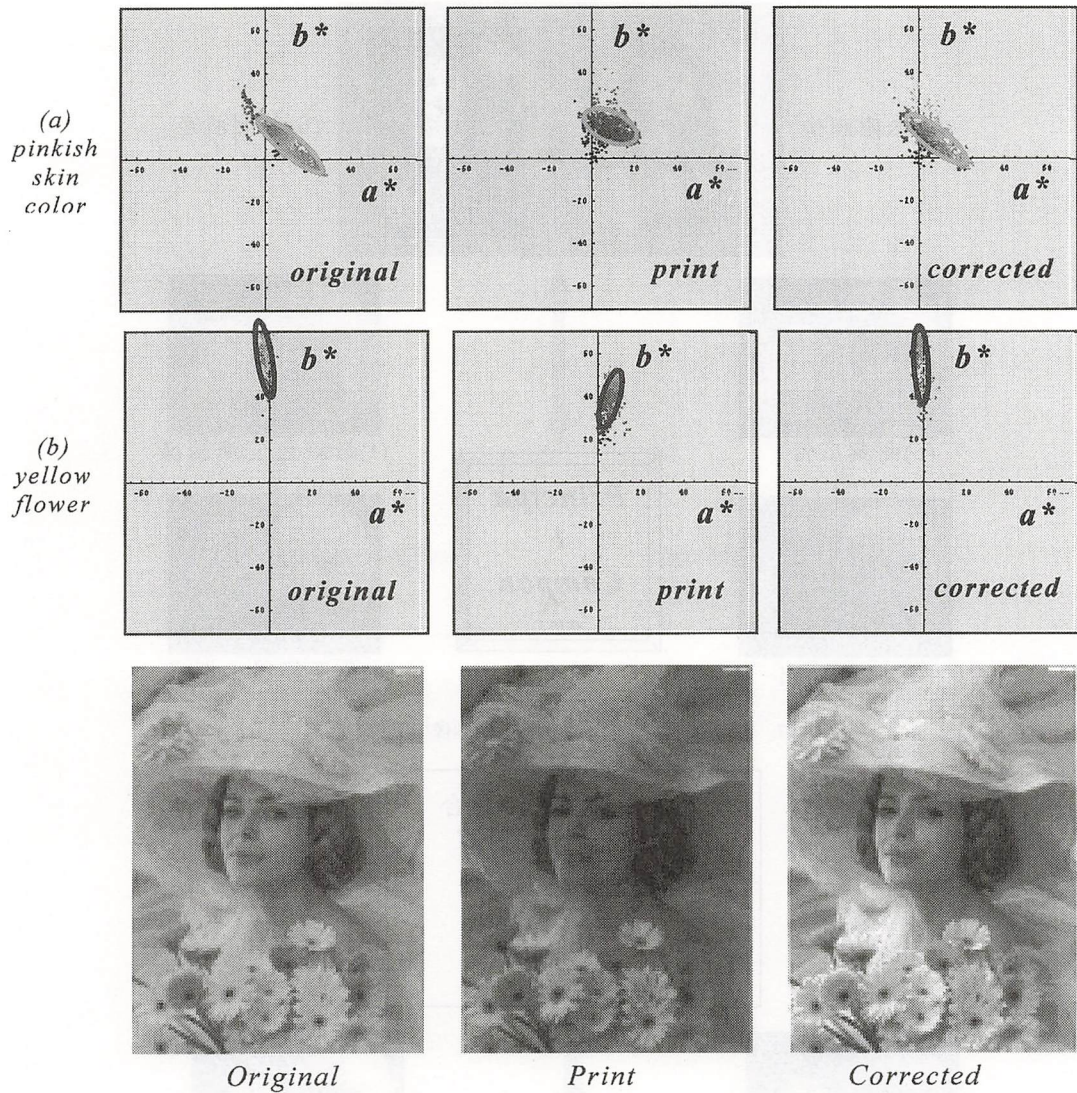
b*) 色度面の色分布に示す。プリントの色度中心、色相角度、分散の全てのずれが原画に一致するよう自動修正をされている。修正するために用いた変換行列 M_c は例えば次のとおりである。

$$M_c(\text{pinkish skin}) = \begin{bmatrix} 1.192, 0.217, -0.108 \\ -0.582, 1.114, -0.030 \\ 0.133, 0.123, 1.187 \end{bmatrix}$$

$$M_c(\text{yellow flower}) =$$

$$\begin{bmatrix} 0.694, -0.184, 0.013 \\ 0.379, 1.631, -0.023 \\ -0.177, -0.563, 1.490 \end{bmatrix} \quad (16)$$

(c)は6つの色領域の修正結果を総合した最終画像を示す。



(c) 色領域毎の主成分マッチングを総合した最終色修正画像
図5 プリント画像の自動色修正への応用例

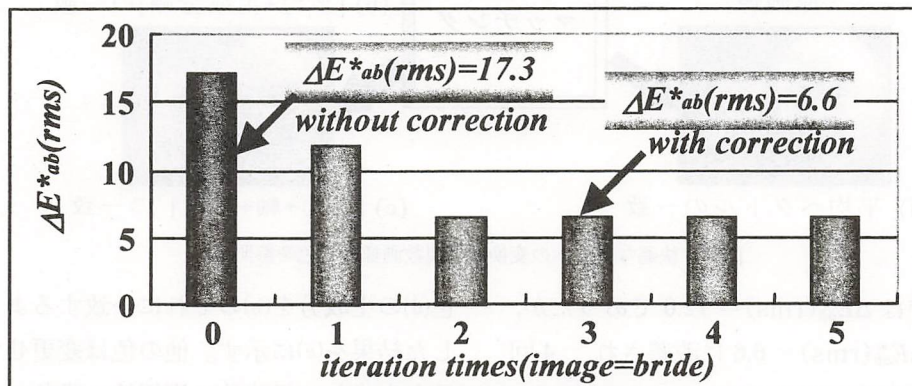


図6 領域分割の繰返しによる色再現性の改善効果

4.3 色再現誤差と繰返し効果

図2の処理では領域分割後に統計的パラメータが更新されるので、第2段階以降の処理を繰

り返すことにより色再現精度の向上を期待できる。図6に画像“Bride”の繰返し効果を掲げる。色修正前の色差 $\Delta E^*_{ab}(rms) = 17.3$ は1

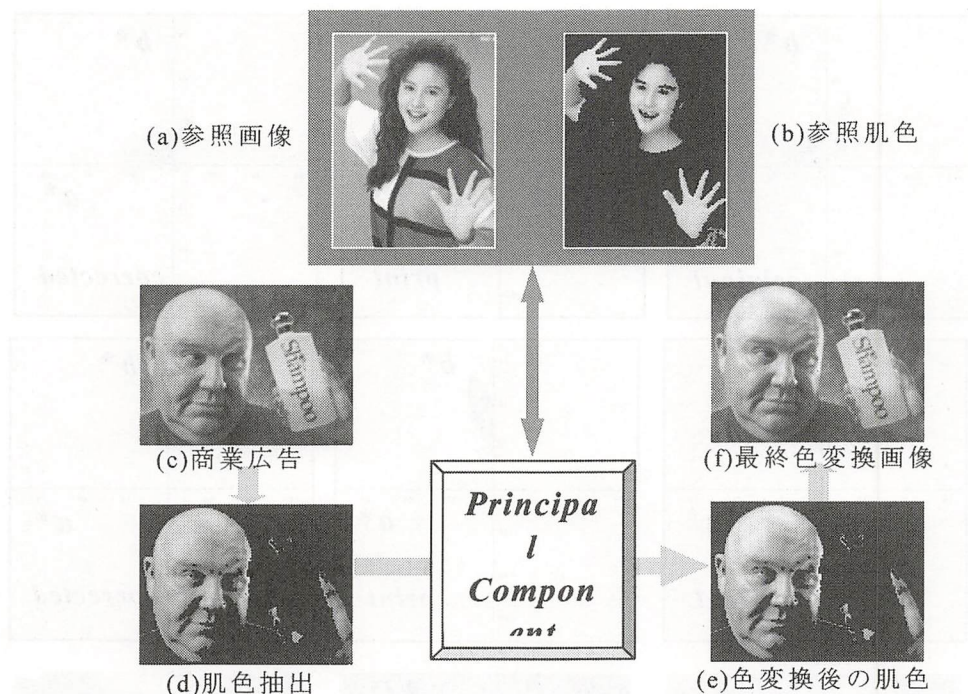


図7 快適な肌色への変換例（特定画像の肌色を参照）

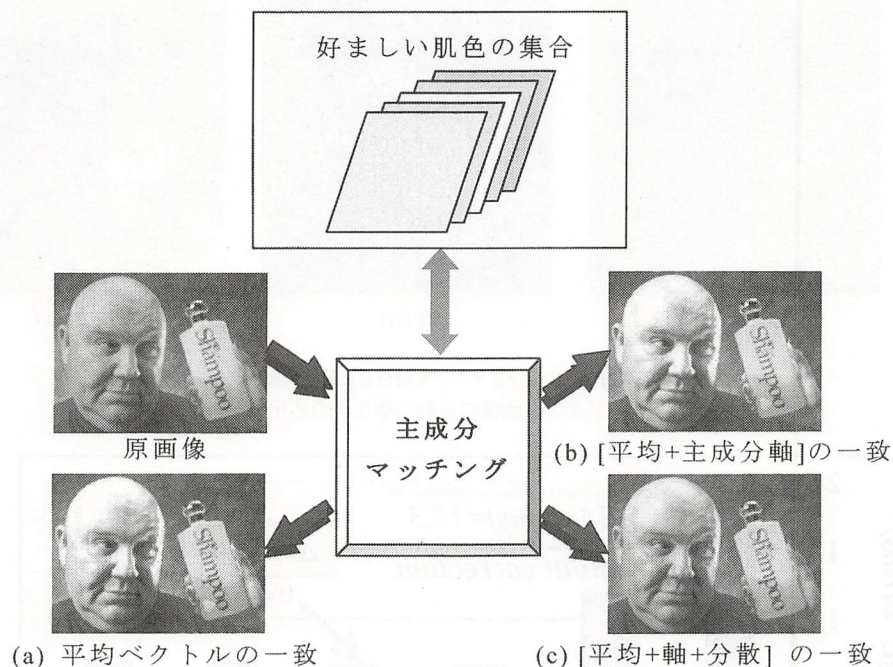


図8 快適な肌色への変換例（複数画像の肌色を参照）

回目の修正では $\Delta E_{ab}^*(\text{rms}) = 12.0$ であったが、3回目には $\Delta E_{ab}^*(\text{rms}) = 6.6$ に改善され、4回目以降はほぼ収斂した。

4.4 好ましい肌色再現への応用

第2の応用として、好ましい肌色への変換を試みた。図7は標準画像(a)から抽出した肌色(b)を目標色として、商業広告(c)から抽出した肌

色(d)の主成分を(b)のそれに一致するように変換した結果を(e)に示す。他の色は変更せずに元の色と合成して最終的に選択的に肌色のみを目標色に変換した画像(f)を得た。図8は目標色を特定の画像ではなく多数の好ましい肌色画像から集め、統計的平均値として与えた例である。ここでは、3種の異なった色変換結果が示されて

いる。(a)は主成分の内の平均ベクトルのみの一致、(b)は平均ベクトルと固有ベクトルの方向の一致、(c)は(b)に固有値(分散)までを加えて全主成分の一致を図った結果である。これらの色変換結果のいずれが最も好ましいかは、主観的な評価に依存するが、この例では(b)が好評を得た。

5. ま と め

本研究では、画像の構成要素に立ち入った領域適合型の色変換に取り組み、画像の色分布に注目して構成要素への分解を試みた。主要色が明瞭なクラスタをなすときは、領域分割によりプリンタの色修正やスキャナの色校正に従来にない適応的な自動化に成功した。一方、複雑に混色したクラスタを形成する画像に対しては、色分布のみでの領域分割は困難であり、形状や位置等の幾何学的特徴を併用する必要がある、さらに研究を要する。

好ましい色再現は Hunt の第 6 番目に分類される究極的な目標であるが、理想とする参照画像や記憶色を適切に提示すれば、本研究の成果を効果的に応用できるものと期待される。

[今後の研究の方向、課題]

様々なデジタルメディアが新しい情報の世界を創出しつつあるが、色再現は古くて新しい永遠のテーマである。色再現問題は、これまで写真や印刷等の個々のメディアの閉じた世界で追求されてきたが、インターネットや電子出版の普及により情報流通のオープン化が進むにつれて、新たな課題が生じてきている。色の見えモデルの導入や異種メディア間の色域マッピング等といった課題である。機器独立 (Device-independent) の概念から画像依存 (Image-dependent) への流れは、より快適な画像情報環境を創造するための新しい方向の一つと考えている。

今後はさらに、色の見えモデルや色域変換に

画像依存の概念を融合していくことが、より快適かつ人に優しい色彩画像を提供するための重要な研究課題となろう。

[成果の発表、論文等]

- 1) A. Ishige, H. Kotera and Chen Hung-Shing: High Precision Color Masking in Sub-divided CIELAB Polar Coordinate Spaces, *Proc. IS&T's NIP 14*, pp. 198 – 201, Oct. 21, 1998
- 2) H. Kotera, T. Morimoto, N. Yasue and R. Saito: Adaptive Color Correction based on Objects' Color Classification, *Proc. SPIE*, 3409, pp. 277 – 285, 1998
- 3) H. Kotera, T. Morimoto, N. Yasue and R. Saito: Adaptive color correction based on objects color classification, *Proc. SPIE, 3409, EUROPTO, Electronic Image Capture and Publishing*, pp. 278 – 285, 1998
- 4) H. Kotera, T. Morimoto and R. Saito: Object to Object Color Matchings By Image Clustering, *Proc. IS&T's NIP14*, 1998
- 5) H. Kotera, T. Morimoto and R. Saito: "Object-Oriented Color Matching By Image Clustering", *Proc. 6th CIC*, 1998
- 6) H. Kotera, Chen Hung-Shing and T. Morimoto: Object-to-object color mapping by image segmentation, *Proc. SPIE*, vol. 3648, pp. 148 – 157, 1999
- 7) H. Kotera, A. Ishige, Chen Hung-Shing and R. Saito: High Precision Scanner/Printer Calibration in Sub-divided Color Spaces, *Jour. Imaging Sci. & Tech.*, 43, 2, Mar./Apr., pp. 178 – 186, 1999

多国語文書閲読ツールを利用したデジタル図書館のための 情報アクセス支援環境

Information Access Support Environment for Digital Libraries based on
a Multilingual Document Browsing Tool

971008

研究代表者	図書館情報大学図書館情報学部 教授	杉 本 重 雄
共同研究者	図 書 館 情 報 大 学 副 学 長	田 畑 孝 一
	図書館情報大学図書館情報学部 助 教 授	阪 口 哲 男
	共立女子大学文芸学部 専任講師	藤 田 岳 久
	図書館情報大学図書館情報学部 助 手	永 森 光 晴

[研究の目的]

デジタル図書館 (Digital Library) は国際的情報基盤の重要な応用分野であると広く認められている。デジタル図書館を国際間で利用可能なものにするには、多国語文書を編集、蓄積、検索、提供、利用するための環境が必要である。本研究は、我々が開発してきた多国語文書閲読ツール Multilingual HTML (MHTML) を利用してデジタル図書館への国際的な情報アクセスと情報発信を支援するソフトウェア技術の開発を目指すものである。具体的には、WWW 上にある多様な言語で記述された文書へのアクセス支援をするゲートウェイ機能の開発、多言語で記述した電子テキストコレクションの開発を進めることを中心として研究を進めた。

[研究の内容、成果]

1. 概 要

1990 年代にはインターネットが爆発的に普

及し、それに伴ない様々な分野で情報資源の電子的な出版と蓄積が普及するとともに、それらの効率的な発見と利用が求められることとなった。こうした背景の下、デジタル図書館 (電子図書館, Digital Library) は世界情報基盤 (Global Information Infrastructure, GII) における重要な分野と認められ、世界各国で、情報技術、図書館、教育と文化など多様な視点から熱心に研究開発が進められている。

デジタル図書館は非常に大きな応用分野であり、そこで必要とされる情報技術も様々である。その中でも多言語情報アクセスは重要な分野と認められている。たとえば、NSF と EU はデジタル図書館に関する研究戦略を議論するワーキンググループを共同して組織し、1997 年から翌年にかけて (1) 大規模な情報空間の中での効率的な情報資源の発見、(2) デジタル図書館間の相互利用性、(3) メタデータ、(4) 知的財産権および経済モデル、(5) 多言語情報アクセスの 5 分野を重要な研究領域であると位置付け議論をしている^(*)。

デジタル図書館が世界規模での知識と情報

の基盤となるにはことばの壁を越えた情報アクセスが求められることは明らかである。一方、インターネット上での多言語情報アクセスを考えると、昨今 Unicode がかなり広まってきたとは言え、文字コードやフォントのレベルでさえ多言語による情報の提供やアクセスに十分対応できているとは言えない。図書館の観点から見ると、外国語の本を1冊も所蔵しない図書館を想像することができないことから理解できるように、デジタル図書館にとって多言語情報を扱うことは基本的な要求である。加えて、図書館が利用者に提供する情報アクセス環境（すなわち、端末機器やその上で利用する閲覧ソフトウェア（WWW ブラウザ）など）は一般的な安価なものである必要があり、特殊で高価なものは実質的には利用性が低い。こうした観点に基づき、本研究では一般的な WWW ブラウザ上で、エンドユーザが新たにソフトウェアやフォントを組み込むことなく利用することのできる多言語文書の閲覧ツールの開発を進め、それをいくつかの応用に適用した。以下の節では、多言語ブラウザ Multilingual HTML (MHTML) ブラウザの機構、それを利用した応用システム（MHTML ゲートウェイ、日本昔話の多言語デジタル文庫、Dublin Core の多言語レジストリ）について述べる。

2. 多言語文書閲覧ツール Multilingual HTML (MHTML) とその応用

2.1 MHTML 技術の概要

現在広く利用されている WWW ブラウザでは同時に複数の言語のテキストを表示することは容易ではない。最近 Unicode が広まりつつあり、文字コードのレベルでは多言語テキストが利用できるようになってきているようにも考えられるが、実際には利用者の環境では多言語に対応するフォントが用意されていることは稀であり、まして多言語のテキストを入力するツールが用意されていることは期待できない。また、一般的なエンドユーザにとってフォント

を用意したり、入力ツールを用意したりすることは容易なことではない。また、一般の利用者は図書館等が用意する端末に自分用のソフトウェアを組み込むことは許されない。

こうした問題に対応するため、我々は下記の点が必要条件であると考えた。

- (1) インターネット上で利用する文書閲覧ツールであること
- (2) 一般的 WWW ブラウザ上で利用できること
- (3) 利用者がソフトウェアを端末にダウンロードしインストールすることなく使えること
- (4) 原理的には任意の言語のテキストに対応することができること
- (5) 日本語のように大きな文字セットを持つものの場合、文字セットに含まれる全ての文字のフォントをロードしなくても使えるようにすること
- (6) 外字を利用できること
- (7) 表示だけでなく、入力にも対応できること

MHTML では、元のテキストを図1に示すような文字テキストと、その文字を表示するために最低限必要なフォントグリフをカプセル化してつくったオブジェクト（MHTML 文書オブジェクト、もしくは単に MHTML オブジェクトと呼ぶ）として表現する。このオブジェクトをクライアントマシン上の WWW ブラウザで

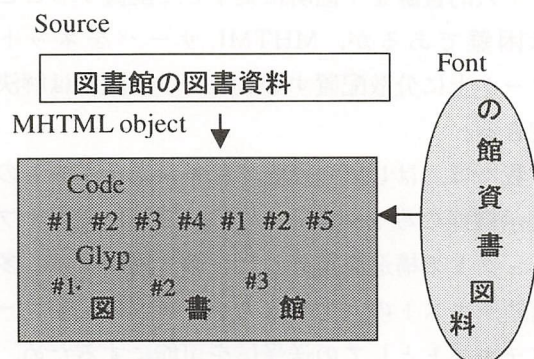


図1 MHTML 文書オブジェクト

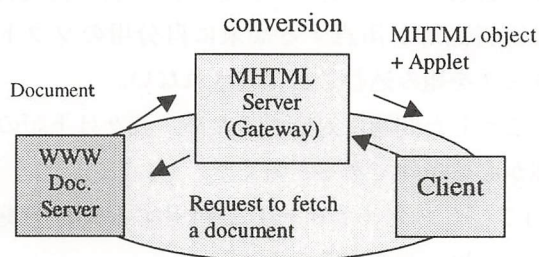


図2 MHTML の基本概念

表示する機能を持つソフトウェアを、Java を用いて applet (MHTML applet と呼ぶ) として実現した。また、図2に示すように、利用者から指定された URL を用いて WWW 文書 (HTML テキスト) を取り出し、その HTML テキストを MHTML 文書オブジェクトに変換し、MHTML applet とともにクライアントに送信する機能を持つサーバ (MHTML サーバと呼ぶ) を実現した。

MHTML applet は HTML の基本的なタグを解釈することができ、いわば「ブラウザ上で動くブラウザ」である。また、MHTML applet は基本的に MHTML オブジェクトに含まれるフォントグリフのみを用いるのでクライアント上には一切多言語フォントを用意する必要はない。一方、MHTML サーバには多言語のフォントを用意する必要がある。一般に、多言語のフォントを維持管理するには、それぞれの言語のためのソフトウェアツール、さらに重要な点としてそれぞれの言語を理解できる人的資源が必要である。多数の言語のためのソフトウェア・人的資源を1箇所に集中して配置することは困難であるが、MHTML サーバをネットワーク上に分散配置することでこの問題は解決できる。

我々は、はじめの段階では多言語テキストの表示機能のみを対象として MHTML 文書オブジェクトの構造を定義した。第2段階では、多言語テキストの入力や入力テキストの文字コードテキストとしての送受信を可能にするため、MHTML オブジェクトの構造を拡張した。拡

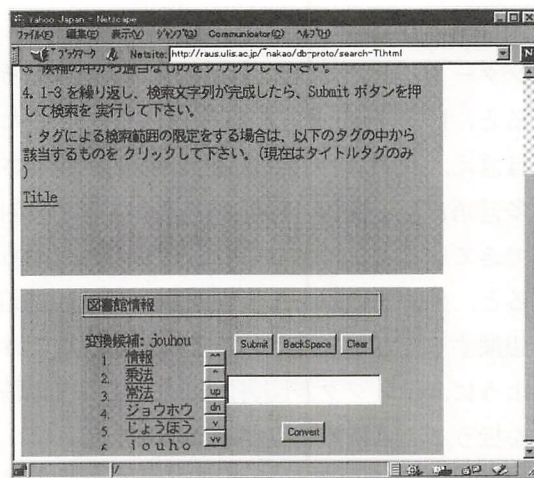


図3 日本語入力アプレット

張したオブジェクトでは、元の文字コードをオブジェクト中に埋め込み、オブジェクトの内部コードからもとのコードが復元できるようにした。同様に applet の機能を拡張しテキスト入力のための applet を作成した。図3に日本語テキスト入力のための applet を示す。この applet はネットワーク上に置かれた日本語変換サーバと通信し、変換結果を日本語表示するものである。

日本語入力機能を持たないクライアントを利用しているユーザは、applet 上においてアルファベット (ローマ字) で語句を入力する。Applet は入力されたテキスト (ASCII 文字列) を変換サーバに送り、変換結果を受け取る。一般に入力と変換結果は1対多の関係であるので、applet は変換結果の語句のリストを表示する。この際、語句のリストは MHTML オブジェクトとして構成されるので、クライアント上には日本語のフォントを用意する必要はない。日本語以外の言語に関しても同様の入力方法を実現することが可能であるので、クライアント上に多言語の入力機能が一切なくとも MHTML を利用することで多言語入力が可能である。さらに、入力された語句をアプリケーション (たとえば、検索システム) に送ることによってアプリケーション上での多言語サービスが容易に行える。

なお、現在までに実現したシステムではフォントはビットマップフォントを用いている。また、著作権上の問題から、ネットワーク上で自由に利用できるものを得てサービスに利用している。

2.2 多言語文書アクセスの支援

我々は、前節で述べた MHTML 技術を利用して以下のような応用システムを開発した。次にそれぞれについて概説する。

(1) MHTML Gateway

先に述べたように MHTML サーバを介することで原理的には任意の言語の文書を表示することができる。多言語フォントを持たない利用者がこのサーバを介して文書にアクセスすることで、自身のクライアントマシン上で多言語文書を閲覧できることになる。したがって、MHTML サーバを多言語文書アクセスのためのゲートウェイとして位置付けることで、エンドユーザにとって、特に多言語を扱うための技術や資金を持たない利用者にとって有効なサービスが実現できると考え、そのためのサーバを公開した (<http://mhtml.ulis.ac.jp/>)。図4にゲートウェイサービスの画面イメージを示す。このサービスを実現する際、我々は横書きで左から右方向に記述される言語のうちフォントを手に入れることのできるものを選んだ。残念な

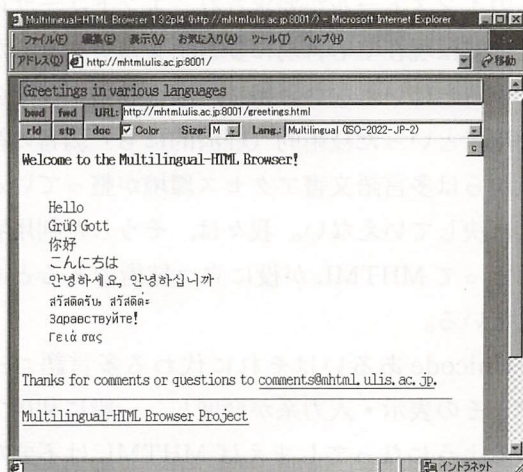


図4 ゲートウェイのイメージの例 (多言語による greeting page)

がアラビア語等、右から左に書くものの試作はしたが公開にはいたっていない。また、縦書きに関しては将来への課題として残されている。

MHTML applet や MHTML サーバのソフトウェアはネットワーク上で公開されており、現在まで多数がダウンロードされている。特に、アメリカ合衆国のバージニア工科大学では我々と同様にゲートウェイサービスを公開している (<http://www.vt.edu/misc/publish/mhtml.html>)。

(2) 多言語による日本昔話のデジタル文庫

MHTML ゲートウェイでの経験を基に、我々は日本の昔話をいくつかの言語に翻訳し、それを電子テキストとして蓄積し、MHTML を利用して公開することで、日本からの情報発信、大きく言えば日本の文化の紹介にも役立つのではないかと考えた。そこで、はじめに良く知られている昔話 10 編を選び、それを我々自身で書き下した。この 10 編を、はじめに英語とフランス語に翻訳し、MHTML を利用して公開した。また、子供向けということを考え、挿絵も加えることで、いわば絵本としても読むことができるように考慮した。この公開時に、日英仏以外のことばへの翻訳を進めるため、ネットワーク上で翻訳ボランティアを募った。その結果、現在では 11 編の話を (全てではないが)

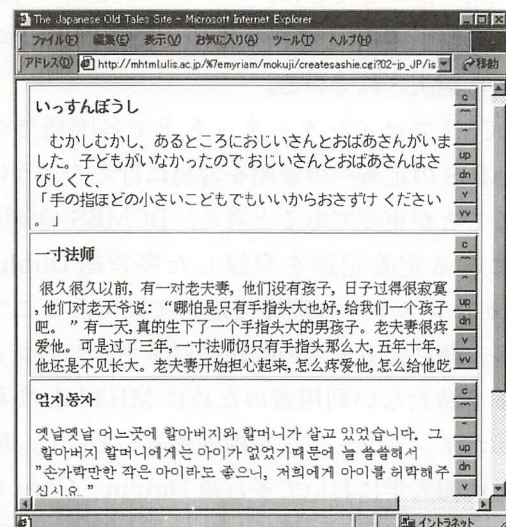


図5 日中韓3言語による表示例

11ヶ国語で提供するにいたっている。図5に「いっすんぼうし」の日中韓3ヶ国語による表示例を示している。

(3) 多言語全文検索ツール

SGML テキストを対象とする多言語対応の全文検索エンジンを開発した。このシステムは、先に述べた多言語入力機能の実現方式に基づく多言語入力機能を持つもので、各国語の入力変換サーバがあれば多言語に対応するテキスト入力インタフェースをもつことができる。実際に試作したシステムでは日本語入力のためのインタフェースを持っている。

(4) Dublin Core 多言語メタデータ

レジストリ

Dublin Core Metadata Element Set (DCMES) はインターネット上の情報資源の発見を目的として開発が進められているメタデータ記述方式である。現在までに基本15要素からなるエレメントセットの標準化がほぼ終了している(*2)。

DCMESの開発はOCLCを中心とするDublin Core Metadata Initiative (DCMI) によって進められている。この開発には世界各国からの参加者があり、DCMESの利用も世界中に広がっている。DCMIでは早くから世界での利用を進めるために、メタデータ規則の各国語への翻訳を行ってきており、現在20以上の言語に翻訳されている。

DCMIではインターネット上で各国語でのDCMESの定義への参照を容易に行えるようにすることが重要であると考え、DCMESの各国語による定義記述を登録した多言語Dublin Core レジストリの開発を進めている。ここでも多言語による表示の問題に対処するためフォントを持たない利用者のためにMHTMLを利用したインタフェースを提供することにし、図書館情報大学において多言語Dublin Core レジストリを実現し、提供している。図6にその一部を示す。このシステムは特定の言語でメタ

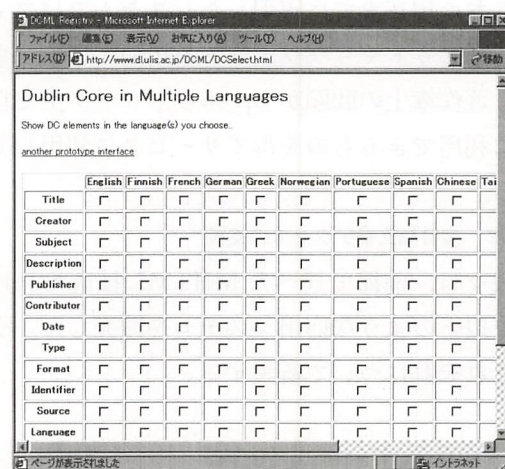


図6 Dublin Core Metadata Element Set
の多言語レジストリ

データ要素の定義の一覧を見ることができるとともに、あるメタデータ要素の定義をいくつもの言語で並列表示することも可能である。

[今後の研究の方向、課題]

MHTMLに関する研究は1995年ごろから開始したものであり、かなり長い期間にわたって進めてきたものである。その間、インターネットの環境やWWW文書の作り方も大きく変化してきた。たとえば、Unicodeの利用が1995年当時と比べると広がってきている。その一方で、多言語文書を表示したり、テキストを入力したりするには、やはりソフトウェアやフォントのインストールが要求され、エンドユーザにとっては現在でも容易に多言語文書アクセスができるとはいえない。特に、図書館およびその利用者といった技術的(経済的にも)弱者の視点からは多言語文書アクセス環境が整っているとは決していえない。我々は、そうした利用者にとってMHTMLが役に立つ技術であると考えている。

Unicodeあるいはそれに代わる多言語コードとその表示・入力系が発展し、一般に利用できるようになってしまえばMHTMLは不要な技術になるといえよう。しかしながら、現時点ではまだそこまでには利用者の環境がいたって

おらず、当面 MHTML のような技術が必要とされると考えている。右書きや縦書きへの対応、よりいろいろな字体や表示形式への対応、さまざまな応用への組み込みやすさをより進めることなどが将来への課題として残されている。

[参考資料 (URL)]

- (* 1) Schauble 他編, Summary Report of the Series of Joint NSF-EU Working Groups on Future Directions for Digital Libraries Research, 1998. 10

<http://www.iei.pi.cnr.it/DELOS/NSF/Brussrep.htm>

- (* 2) Dublin Core Metadata Initiative,

<http://purl.org/dc/>

[成果の発表, 論文等]

- 1) Dartois, M., et al.: Building a Multi-lingual Electronic Text Collection of Folk Tales as a Set of Encapsulated Document Objects: an Approach for Casual Users to Browse Multi-lingual Documents on the Fly, Research and Advanced Technology for Digital Libraries (ECDL '97 論文集), Lecture Notes in Computer Science, No. 1324, Springer, pp. 215 - 231, 1997.9
- 2) Dartois, M. et al.: A Multilingual Electronic Text Collection of Folk Tales for Casual Users

Using Off-the-Shelf Browsers, D-lib Magazine, URL: <http://www.dlib.org/dlib/october 97/sugimoto/10 sugimoto.html>, 1997. 10

- 3) 前田亮, 他: クライアントにフォントを必要としない多言語 HTML ブラウジングシステム, 情報処理学会論文誌, vol. 39, no. 3, pp. 802 - 809, 1998.3
- 4) Maeda, A., et al.: Viewing Multilingual Documents on Your Local Web Browser, Communications of the ACM, ACM, Vol. 41, No. 4, pp. 64 - 65, 1998. 4
- 5) 中尾茂岳, 他: WWW ブラウザからアクセス可能な多言語全文データベース構築システム, 情報知識学会第 6 回研究報告会講演論文集, pp. 61 - 64, 1998.5
- 6) Sugimoto, S. et al.: Extension of MHTML to Text Input and Text Search Functions in Multiple Languages on Off-the-shelf Browsers, International Joint Workshop on Digital Libraries 1998 論文集 (ディジタル図書館, No. 12) pp. 75 - 82, 1998. 9
- 7) Sugimoto, S. et al.: Experimental Studies on an Applet-Based Document Viewer for Multilingual WWW Documents-Functional Extension of and Lessons Learned from Multilingual HTML, Research and Advanced Technology for Digital Libraries (Second European Conference, ECDL '98 論文集), LNCS 1513, Springer, pp. 199 - 214, 1998.9
- 8) 永森光晴, 他: Dublin Core Metadata Element Set における多言語への対応, 情報処理学会情報学基礎研究会, 56-1, pp. 1 - 8, 1999. 11

蓄積型情報ネットワークにおけるオーディオ情報の ブラウジング環境に関する研究

Audio Browsing Environment for Information Network
with Distributed Storage

971009

研究代表者

名古屋大学工学研究科 助教授
電子情報学専攻

武 田 一 哉

〔研究の目的〕

人間にとって音声は最も自然な情報伝達手段であり、音楽が最も親しみの深い芸術であることは、携帯電話やウォークマンの普及やその利用形態からも、明らかである。インターネット環境下では、他のメディア同様、蓄積・検索・要約閲覧に基づく新しいオーディオデータの利用形態が普及して行くことが予想されるが、音声言語の性質から、オーディオ特に音声データの閲覧を実現するには様々な信号処理が不可欠である。本研究の目的はそれらの信号処理手法を発展させることが目的である。

〔研究の内容、成果〕

本研究では、オーディオ信号のブラウジングに不可欠な1)音響信号の自動分類,2)混合音の自動分離,の2点に関する検討を行った。自動分類では、テレビやラジオの放送音のように様々な種類の音を含むオーディオ信号を、音声・音楽・環境音、などに適切に自動分類する技術である。一方自動分離は、日常会話音声のように、複数の音声や音楽が重畳する信号から個々の音源に関する信号を分離抽出する技術である。本研究ではこれらの基礎的なアルゴリズムを用いて、実環境における音響信号がどの程度の精度で分類、分離可能であるかを実験的に検討し、個々の技術を応用しうる範囲を明らかにした。

1. 放送音の自動分類

放送音の自動分類は、VQ歪に基づくクラスタリング手法により行う。予め用意された学習データを受聴・目視により表1に示す8つのクラスの音に分類した後、それぞれK-meansアルゴリズムを用いてクラスタリングし、クラス毎にK個の代表点(セントロイド)を定める。ここでクラスタリングを行う単位は、30msの分析区間(フレーム)で求められたスペクトル概形パラメータ(MFCC)であり、入力音10ms毎に求められる。クラスタリング距離にはMFCC空間上のユークリッド距離すなわちケプストラム距離を用いた。分類は、入力音を分析して得られたフレーム毎のMFCCと全てのクラス全ての代表点との間の距離を求め、連続するKフレーム(ブロック)にまたがり累積した距離が最も小さいクラスを分類結果とする。

$$C(X)=\arg \min _C\left\{\sum _{k=1}^K\min _i d\left(\boldsymbol{x}_k,\boldsymbol{g}_i\right)\right\}$$

ただし、 $d(\boldsymbol{x},\boldsymbol{g})$ は入力フレーム $\boldsymbol{x}$ と代表点 $\boldsymbol{g}$

表1 音クラスの種類と実験データにおける構成比

ク ラ ス	構 成 比 [%]
無音	12.85
音楽	2.12
音声と音楽の混合	1.75
音声のみ	49.04
音声と環境音の混合	24.48
環境音	9.54
電話音声	0.06
電話音声と環境音	0.17

との距離を、 k は入力フレームの番号を、 c は音のクラス番号を表し、 i は当該クラスにおける代表点の番号を表す。

2. 分類実験

表 2 に示す実験条件により分類実験を行った。実験に用いたデータは、NHK のニュース番組 5 日分（2 時間 30 分）であり、最初の 4 日分のデータを代表点の学習に使い、残りの 1 日分で性能の評価を行った。結果を表 3 に示す。

ブロック長が 0.3 秒程度までは、ブロック長が長くなるに従い分類性能が向上し、0.35 秒付近ではほぼ最高の性能が得られた。クラス当たりの代表点の数が 1024、ブロック長が 0.35 秒の時に最高分類性能である、76.99% が得られた。このときの音響セグメント毎の分類正解率を表 3 に示す。主たる分類誤りは、音声以外の音を音声に誤分類する誤りであった。これは、音声に比べて音楽や環境音は様々なバリエーションが存在するため、学習データに出現しないパターンが、テストデータに含まれるためと考えられる。今後、音声と非音声とをより一般的な特徴を用いて分類する手法を確立する必要がある。

表 2 実験条件

標準化周波数	16 kHz
フレーム長	30 ms
フレーム周期	10 ms
スペクトル分析窓	ハミング窓
MFCC フィルタバンク数	12
MFCC 次数	10 次

表 3 自動分類結果

セグメント種類	分類率 [%]
無音	73.51
音楽	83.48
音声+音楽	63.76
音声	92.15
音声+その他	53.29
その他	60.68

3. 情報量に基づく混合音の自動分離

日常環境には様々な音があふれており、我々が日常接している音はほとんどの場合複数音の混合である。したがって、音信号を効果的にブラウジングするためには、混合音を分離することが必要である。近年 ICA (Independent Component Analysis) の規範に基づき非常に広いクラスの混合信号の分離を行う方法が報告されている。いわゆる、ブラインド信号分離である。A. J. Bell らにより提案された、相互情報量最小化に基づく信号分離方式は以下の手順による。線形行列 A により確率的な信号 s を $s = Ax$ すなわち

$$\begin{bmatrix} x_1[n] \\ x_2[n] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1[n] \\ s_2[n] \end{bmatrix}$$

と混合して得られる確率的な信号 s に対して、適当な行列 W を作用させ、推定分離信号 $\hat{x} = Ws$ を得る。このとき $\hat{x}_1, \hat{x}_2$ 間が統計的にどれだけ独立であるかを判定する基準として相互情報量 $I(\hat{x}_1, \hat{x}_2)$ に着目し、これを最小化する行列 W を A の逆行列とみなすことにより、信号の分離を行う。ここで、

$$I(\hat{x}_1, \hat{x}_2) = H(\hat{x}_1) + H(\hat{x}_2) - H(\hat{x}_1, \hat{x}_2)$$

より、相互情報量の最大化は、 $\hat{x}_1, \hat{x}_2$ に関するエントロピー（第1, 2 項）の最大化、結合エントロピーの最小化として実現される。ただし、連続的に定義された確率変数である $\hat{x}_1, \hat{x}_2$ のエントロピーは振幅とともに無限に増大しうるため、適当な非線型関数 $y = g(\hat{x})$ を用いて、振幅を飽和させることでエントロピーの項の変化を無視する。したがって、最終的に信号 y に関する結合エントロピーの最小化問題として信号の分離の問題を解くことが可能である。非線形関数には $\tanh(x)$ やシグモイド関数が使われる。

本手法が計算機上での信号混合のような、理想的な条件で非常に高い音分離性能を持つことはよく知られているが、実際の環境下での分離性能の評価は行われていない。また、分離結果

得られた音声の品質を定量的に評価する研究も行われていない。そのため、以下では実際の環境下で録音された重畳音声（2人以上の音声を重ねた音声）の分離実験を行うとともに、その結果を音声認識に適用する。

4. 混合音声の分離実験

実験データは以下の手順により作成した。図1に示すように、広単一指向性を持つ2つのマイクロフォン（SONY ECM 66 B）を互いになす角が90度となるように配置する。一方、ラウドスピーカーを、両マイクロフォンに対して0度及び90度方向に配置した。マイクロフォンの持つ指向特性のために、2つのラウドスピーカーからの出力音は、両マイクロフォンにおいて異なる混合比で混合される。ラウドスピーカーから再生する信号には、日本音響学会連続音声データベースに含まれる音素バランス文を用いた。さらに室内の音響特性の影響を調べるため、実験は無響室、比較的残響時間の短い防音室、残響時間が長い通常の実験室、の3つの部屋で行った。

図2に、それぞれの部屋における重畳音の分離実験結果を示す。実験において、分離により得られた信号の品質は、以下のSDR（Signal Deviation Ratio）尺度により評価した。

$$SDR = 10 \log_{10} \frac{\sum_{n=0}^{L-1} y^2[n]}{\sum_{n=0}^{L-1} \{y[n] - \beta \hat{y}[n]\}^2}$$

ここで y , $\hat{y}$ はそれぞれ、元信号と推定分離信号であり、SDR は分離前後の信号間の差信号と元信号とのパワー比に対応している。 β は推定信号の振幅調整項である。（相互情報量が振幅に依存しないことから、推定分離信号の振幅は、一般的に元信号とは異なる。）図中横軸に示されるのは、混合信号のSDRと推定分離信号の差であり、分離の性能に対応する。図から、発声者の性別にかかわらず、常に品質改善が常

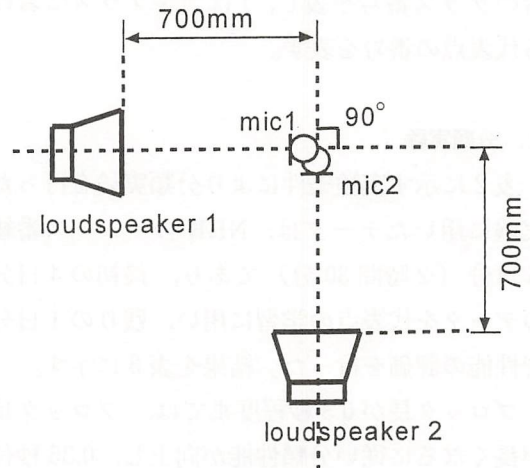


図1 マイクロフォンの配置

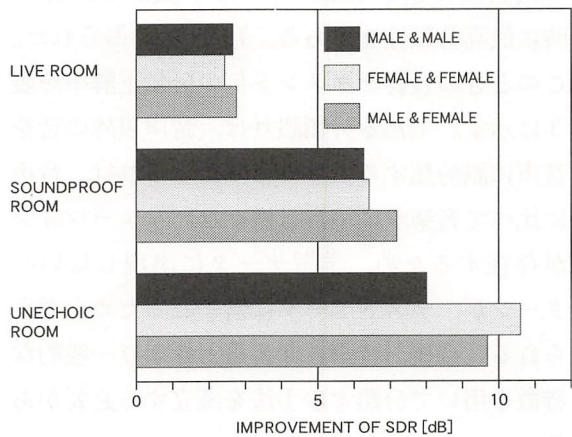


図2 音声品質の改善

に得られることがわかる。しかし品質改善の程度は音響環境に大きく依存しており、最も品質改善が大きい無響室内では10 dB程度である一方、通常の実験室では3 dB程度に留まっている。これは、信号の混合課程に時間のずれが考慮されていないため、残響の付加を扱うことができないためである。

本手法により音源分離を行った結果を、音声認識に適用しさらにその性能を評価した。ここでは、スピーカー1では男性1名の音声を再生し、スピーカー2では1人から256人の音声をランダムに重畳して作成した雑音（Human Speech Like Noise）を再生した。HSLNは重畳回数が増えるにつれて、スペクトルの概形が人間の音声と類似した定常雑音に近づく。図3

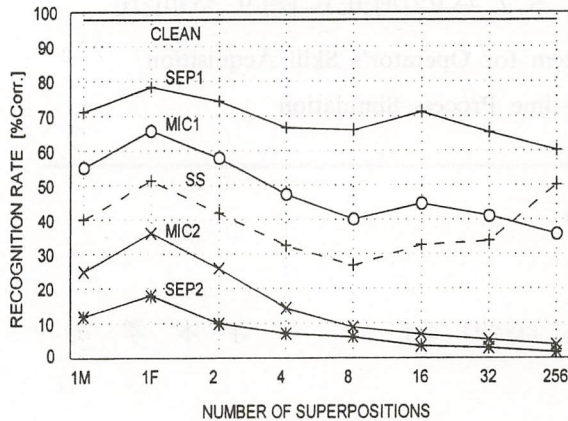


図3 音源分離による認識性能の改善

では、重畳回数を変化させて分離前後の音声認識性能を比較している。図中 SEP1 とあるのは、分離の結果取り出された認識対象音声の認識結果を、SEP2 は分離の結果取り出された雑音の認識結果をそれぞれ表す。MIC1, MIC2 はそれぞれ重畳音声の認識結果を表していることから、音源分離によって認識性能の改善が得られることがわかる。

図中 SS とあるのは、定常雑音の除去処理法として最も一般的な、スペクトルサブトラクション処理を行った結果である。スペクトルサブトラクション法は、雑音の定常性を仮定した処理手法であることから、重畳回数が少ない、すなわち非定常な雑音である HSLN に対してはその効果がない。スペクトルサブトラクション法が効果を示すのは、重畳回数が 256 回程度の定常な雑音に対してのみである。この結果からも、情報量基準に基づく音源分離手法の有効性が確認された。

[今後の研究の方向, 課題]

本稿では、オーディオ情報のブラウジングのための基礎技術である、放送信号の自動分類と重畳音の自動分離、について述べた。両技術の基本的な性能は確認できたが、今後はこれらの要素技術を有機的に組み上げるための制御機構と、テキスト処理のバックエンド、情報呈示機構に関する研究を行う必要がある。

[成果の発表, 論文等]

- 1) 河地ほか「VQ 歪に基づく放送音の自動分類」信学技報 SP 97-50 (1997-09)
- 2) 武田一哉「インターネット環境下の知的オーディオ閲覧技術」1998 電気関係学会東海支部連合大会, S5-3
- 3) 武田一哉, 板倉文忠, 「音源分離による音声認識性能の改善」日本音響学会誌 Vol. 53, No. 2 (1998. 11) pp. 883-888
- 4) T. Taniguchi, S. Kajita, K. Takeda and F. Itakura, "Blind Signal Separation for Recognizing Overlapped Speech", The journal of the Acoustic Society of Japan(E), Vol. 19, No. 6 (1998. 11) pp. 385-390

大規模リアルタイムプロセスシミュレーションを用いた機械操作技能 習熟支援のための拡張現実感システムの開発に関する研究

Development of Augmented Reality System for Operator's Skill Acquisition
based on a Large-scale Real-time Process Simulation

971011

研究代表者

大阪大学大学院工学研究科 助手

寺 本 孝 司

[研究の目的]

近年、自動化システムにおける準備作業の負担の大きさや高度な作業の自動化の困難さに対する問題が顕在化している。また、技術革新におけるインキュベータとしての熟練技能の役割についても重要性が認識されはじめている。そこで、本研究は、人間の機械操作技能の習熟を効果的に支援する拡張現実感システムを構築するための基礎技術を確立することを目的とする。

[研究の内容、成果]

拡張現実感技術においては、オーバーレイに代表される情報の提示手法に関する検討が多く行われている一方、表示すべき内容に関する議論は少ない。本研究では、機械加工作業を例に、習熟支援のために必要な機能として、加工状態提示と作業設計案の提示とをとりあげ、これらについて基礎となる技術の開発を行った。加工状態提示については、状態提示の枠組みについて考察した後、多様な視点からの加工状態提示の基礎となる多相性を考慮した加工対象モデリングについて検討を行った。さらに、加工状態提示システムの試作を行った。また、作業設計案の生成に関しては、工作物把持を含めた一貫した作業設計問題に関して作業設計案を求める方法に関して検討を行った。以下では加工状態提示に関する研究結果を要約する。

1. 加工状態提示の枠組み

小ロット化・複雑化が顕著な加工作業において高精度加工を実現するためには、作業者が加工状態を適切に把握することが必要である。近年、安全性などの面から加工プロセスの密閉化が進行している機械加工においては、作業者への加工状態提示は重要な課題である。

加工状態を適切に作業者に提示するための枠組みとして、図1に示す状態提示の枠組みの提案をおこなった。これは、多様な側面からの加工プロセスシミュレーションと計測情報を併用した高精度な状態推定をもとにしている。

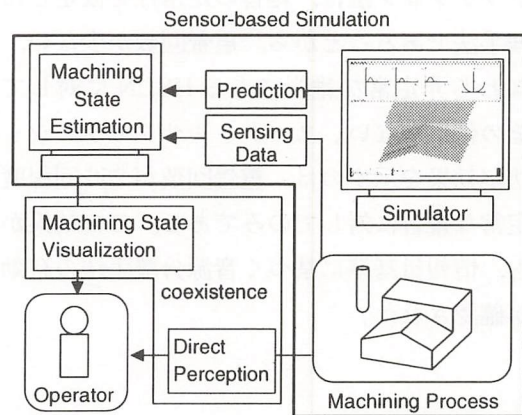


図1 加工状態提示の枠組み

提案した状態提示の枠組みを実現するための基礎技術として、以下の2点に関する検討を行った。

- ・断片的なシミュレーションを統合するための対象モデリング手法として多相加工状態

表現の提案。

- 加工状態を高精度に認識するための状態推定手法の提案。

以下では、これらについて概要を述べる。

2. 多相加工状態表現

従来、加工状態のモデリングは、弾性変形、熱変形、振動といった個別の相ごとでのモデル化が行われてきた。そして、個別の現象記述をもとに現象の予測や推定を行ってきた。しかしながら、作業者が加工状態を深く理解するためには、多面的な側面からの加工状態の認識が必要であり、支援システムにおいても加工状態を総合的に表現することが求められる。そこで、本研究では、対象物の幾何表現を中心にして各相間での相互作用を管理するための状態表現を提案した。

図2はエンドミル加工を例に幾何、弾性変形、熱伝導、振動の各相における加工対象モデルを整理したものである。この枠組みでは、幾何モデルでの対象表現とその他の相での対象表現が個別に関連付けられている。そして、加工シミュレーションは幾何モデルにおける状態の更新ごとに他の相での状態評価を行い、その結果を幾何モデルと関連付けて記録する。このよう

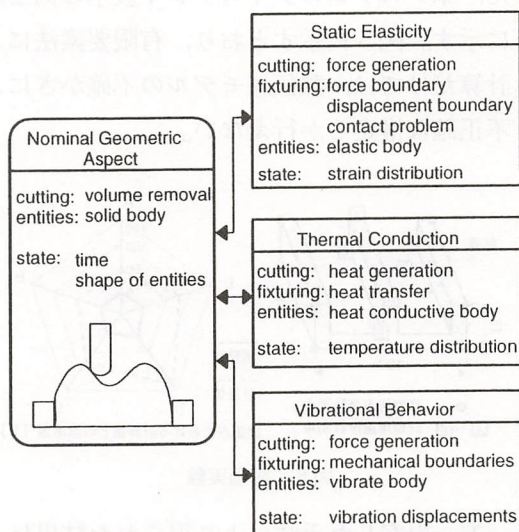


図2 多相性を考慮した対象モデリング

な方法でシミュレーションを行うことにより、個別の相ごとに作成された既存の加工シミュレーション手法を適用することが可能となる。

3. 加工状態推定の枠組み

加工プロセスのシミュレーションは、切削力、弾性変形、熱変形、振動などさまざまな物理現象に関して研究が行われてきた。しかしながら、実加工中での個別加工状態の推定という観点からみた場合、加工シミュレーションによる予測をもとにした加工状態推定に関しては以下のような問題点がある。

1. 個別加工事例ごとの対象のばらつきに対応できない。
2. 加工プロセスモデルに含まれる経験的パラメータの適用範囲が明確でない。
3. 多くの場合、評価を行う物理現象が限られている。

これらは、個別事例ごとのばらつきのモデル化が困難である、加工プロセスのモデル化のための作業コストが大きい、多様な物理現象が関与する加工プロセスの複雑さ、といったことに起因する。

最初の2つの問題に対しては、事例ごとの状態計測 (Calibration) や適応的モデルの導入 (Adaptation) といった取り組みにより予測結果の信頼性の向上を計ることが可能である。しかしながら、第3の問題点に関しては個別のシミュレーションプロセスの改善だけでは対応が困難である。

そこで、本研究では得られた予測結果が有する構造に着目する。加工シミュレーションでは、加工プロセスの大域的かつ概略的な特徴を推定することは可能であると考えられる。そこで、シミュレーションによって求められた加工状態を、大域的な傾向を維持したまま計測情報をもとに調整する (Adjustment) ことにより推定精度を向上させることを試みる。以上述べた計測情報の利用形態を整理すると図3のようになる。

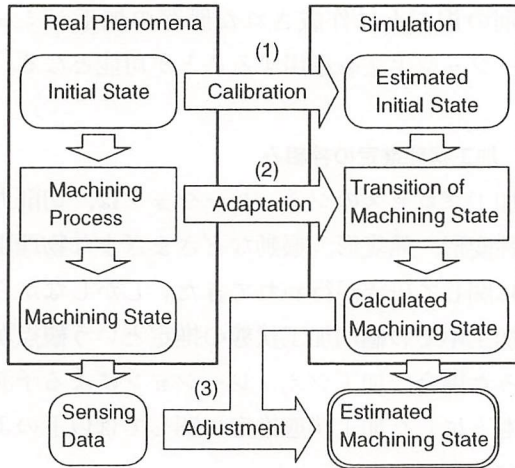


図3 計測情報の利用形態

従来、このような実世界情報をもとにした、シミュレーションの調整は明示的に取り扱われることはなく、システム開発時での予備実験として開発者により暗黙のうちに実施されてきた。しかしながら、多様な作業対象に対して、複数の相からの総合的な対象把握のためには、計測情報と加工シミュレーションを併用してシミュレーションの高精度な状態推定を行うことが必要である。

4. 試作システムの概要

エンドミル加工などの切削加工において発生する物理現象のなかで、工作物の熱変形解析は乾式切削の普及により重要性が高まっている。切削加工中の工作物の熱変形に関する研究としては、従来から有限要素法を用いた解析が行われてきた。しかしながら、切削熱の工作物への流入割合や熱伝達率といった、工具の摩耗状態や切屑の排出状況などの加工状況に大きく影響を受ける物理パラメータが存在する。その結果として、十分な作業環境の整備を行わない場合には、作業ごとに加工状態が大きくばらつき、事前の評価が困難になることがある。そこで、以下では特に加工熱による工作物温度分布に関する加工状態の可視化について検討を行った結果を示す。

試作した工作物温度提示システムの構成を図

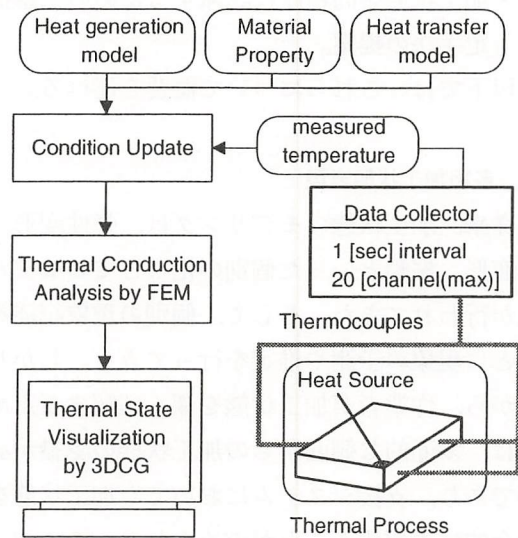


図4 加工状態提示システムの構成

4に示す。本システムは、熱電対から得られた工作物の温度を制約条件として熱伝導解析を行なうことにより、現在の状況を適切に反映した状況の推定を行うことが可能である。このシステムの検証を行うため工作物の加熱実験を行った。実験の概要は、まず、熱電対を工作物に取付けた後、熱源からの加熱を開始する。温度計測命令を与えると、その時点での温度を反映した熱伝導解析を行いディスプレイに表示する。図5に熱伝達実験での本手法の温度推定結果と有限要素法のみを用いた推定結果の比較を示す。また、本システムのディスプレイ表示の例を図6に示す。図5に示すとおり、有限要素法による計算だけでは、熱伝達モデルの不確かさにより不正確な推定しか行えない。

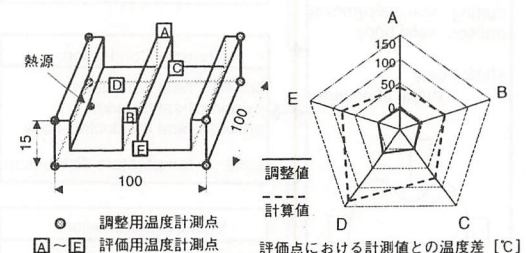


図5 評価実験

一方、提案した手法により得られた結果は、計測した温度を適切に反映しており、妥当な加

工状態推定が行われていると考えられる。このような状態提示システムにより作業者が適切に加工状態を把握することが可能となると考えられる。

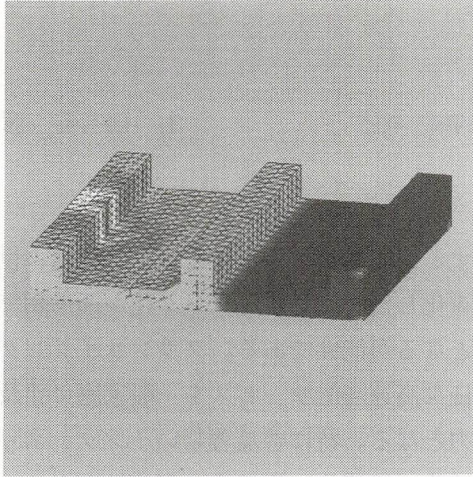


図6 工作物温度場の提示例

[今後の研究の方向，課題]

今後は、振動や摩耗といったより複雑な現象への対応が必要となる。さらに、マルチモデルな提示への拡張を行い、より高度な支援を実現させたい。また、支援システムの評価手法の確立も重要な課題であり、作業者への表現方法の心理・生理学的な側面からの評価についても研究を行いたい。

[成果の発表，論文等]

- 1) 寺本，他：機械システムを媒体とした技能・技術の伝承——技能メディアとしての熟達マシン——，日本機械学会講演論文集 No.984-1，9-15-9-16，1998. 3
- 2) Teramoto, K., *et al.*: Coordinative generation of machining and fixturing plans by a modularized problem solver, Annals of the CIRP, Vol. 47, No. 1, 437-440, 1998. 8.
- 3) 寺本，他：計測情報とシミュレーションを併用した加工状態提示に関する研究，1998年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集，55，1998. 9.
- 4) 寺本，他：計測情報とシミュレーションを併用した加工状態推定の高精度化，1999. 9.
- 5) 金子，寺本，小野里：物理現象の多相性を考慮したプロセスシミュレーションに関する研究，1998年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集，31，1998. 9.
- 6) 寺本，他：工作物形状の変化を考慮したエンドミル加工誤差推定に関する研究，日本機械学会講演論文集 No. 994-1，8-43-44，1999. 3.
- 7) 金子，寺本，小野里：仮想生産のための総合的加工対象モデルとその形状表現に関する研究，日本機械学会講演論文集，1999. 7.

システムオンチップ化による極小規模の インターネット用ノードシステム

System-on-a-chip Node Systems in an Access Network for the Internet

971021

研究代表者

立命館大学理工学部 教授

山 田 喬 彦

〔研究の目的〕

インターネット利用者の増大が言われて久しくなる。パーソナルコンピュータの普及と共に、企業や研究機関に留まらず、一般家庭においても利用の伸びを示している。しかし、一般社会の通信網としてはまだまだ未熟である。LANでは100 Mbpsが常識化しつつあるが、公衆網を経由するインターネット利用は64 kbpsのデジタル電話程度の速度である。CATVや無線LAN等、公衆網以外の独自のアクセス網が発展を見せているが、非常時の信頼性、品質保証など一般社会のインフラとして機能しえない。

一般利用者が利用する公衆網が強化されず、多様なアクセス手段の速度のみが強調され、高速化されると真のマルチメディアネットワークが将来も存在し得なくなる。CATVなどによる高速化が浸透すると加入者宅までの光ファイバを導入する必然性を利用者は感じなくなり、導入が進まない。一方で、社会インフラである公衆網が非常時の通信手段としてのみ期待されると公衆網の維持が経済的に困難となり、生活の利便性や安全性が損なわれる。

研究の目標はアクセス網ノードシステムアーキテクチャの確立である。これは一般利用者へのマルチメディア通信の早期普及を目標としている。近年、システム規模のLSI化が可能となり、小型性、経済性、機能完結性すなわちモジュラー性が今後の通信網の革新化に有効に機

能する可能性があると考ええる。計算機の世界で常識化したダウンサイジング化が通信網でも有効となる可能性である。ダウンサイジング化は高価な高速通信サービスを一般家庭に普及させる力となる。特に普及著しいインターネットの高速化、快適化に貢献する可能性がある。

本稿では交換機のダウンサイジング化とPON (Passive Optical Network) への適用に関する研究結果を報告する。本研究ではシステムオンチップ化を有効とする各種方式を検討したが、光技術との融合が今後の通信網には重要である。極小規模の分散ノードと光ファイバ技術を結び付け、公衆網とインターネットの融合を促す方式を報告する。

〔研究の内容、成果〕

1. アクセス網の必要性

従来、通信網には万能性が必要と考えられ、これを達成するISDNが広く受け入れられてきた。しかし、パソコンの高性能化と普及はこの要求条件を大きく変えつつある。今後の通信には、万能性よりも電話を中心とする低速の等時性通信と高速IP通信への二極化が進行すると考えられる。コミュニケーションの原点である人間の対向通信が依然として重要である。一方で、情報社会を支え、通信の利便性を支えるコンピュータ通信がインターネット通信に収束していく。

二極化の動向からはアクセス網の重要性が増

大する。高額な設備費を支払う先進利用者には光ファイバがユーザまで到達すると考えられるが、全家庭への浸透には時間がかかる。すべての家庭への光ファイバの到達は不可能かも知れない。これを考えるとメタリック線による高速化が必須であり、この場合はアクセス網によるメタリック線の短縮が必要となる。また、IP通信の高速化、経済化が必要であるが、これには複数の加入者による高速IP通信設備の共用化をより推進する必要がある、アクセス網が必須となる。

2. アクセス網としてのPON

アクセス系技術としてPON技術が進展している。通信業者のビル設備としてOLT (Optical Line Unit) がある。このOLTに接続された幹線光ファイバのもう一方の端点には光スプリッタが配される。光スプリッタ内受動素子によって複数の支線ファイバと幹線光ファイバとの間で信号交流がなされる。支線ファイバのもう一方の端点にはONU (Optical Network Unit) が位置し、光信号と電気信号の変換を行う。幹線光ファイバを複数の支線光ファイバが共用して経済性を高める。また支線光ファイバにも光ファイバ速度を備えている。以上のようにPONは加入者設備として広帯域性と高経済性を併せ持つ。

既存加入者線の代替技術としてのPONは図1のような構成で既に実用化されている。加入者線幹線部分をPONとし、分配系をメタリック加入者線とした低速STM型のPONはメタリック加入者線の更改、新規設置用に既に実用化されている。先進ユーザ宅にONUを配し、

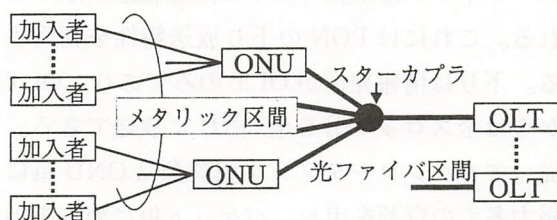


図1 現状のPON

ユーザ宅まで光ファイバとATM高速転送の導入を可能とするATM-PONも既に実用となっている。

ただし、現在実用化されているPONは需要の二極分化に対応した構成とはなっていない。デジタル線路の段階で止まっている。いかなる要求にも応える万能性を指向している。万能性を保証した結果、サービスに依存する高位レイヤ機能を転送手段に付加することは出来ない。したがって、この段階ではIP通信の普及に機能面で応えることは出来ない。

3. ONへの極小規模ノードの適用

本稿で検討するPONは分散ノードにオンチップシステム化による交換機を分散配置し、低速の等時性通信とIP通信の高速化、効率化を行うものである。交換機のダウンサイジング化とも言える。図2に基本構成を示す。

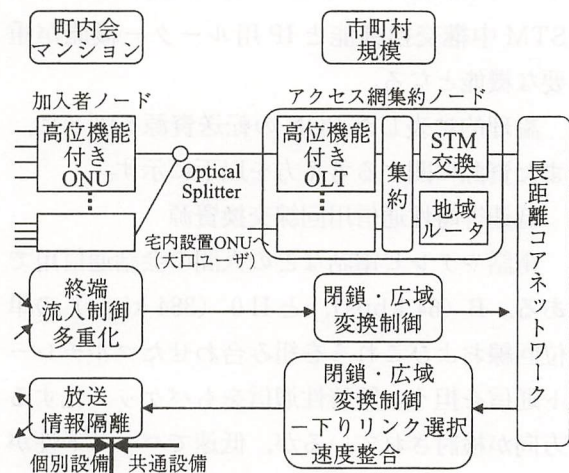


図2 検討対象のPONの基本構成

PONのONUの位置に高位レイヤ機能を配置し、PONの高付加価値化を図り、需要の二極分化に応える。公衆網を構成するには膨大な数のONUが必要であり、高位レイヤの付加は経済性の低下を招くことが懸念される。しかし、既存のONUでも線路多重用電子回路を備えており、回路規模を増やしてもオンチップ化可能な範囲であれば経済性が損なわれることはない。

加入者線にはSTM-PONと同じくIインタ

フェース加入者線を想定する。ただし、一次群速度を超え、10 Mbps 規模の nB + D インタフェースとする。加入者ノードを分散したことにより高速の ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) が利用できる。また、集線可能な高機能ノード機能を配置することから PON の回線資源を有効に利用して高速化が可能となる。各 ONU は集合住宅や町内会規模で配置されるものとする。

4. 極小規模ノード構成法の検討

4.1 PON の転送資源

需要の二極化動向にあわせ、PON の転送資源も低速等時性通信資源と IP 通信資源を付加する必要がある。大きな機能構成として、加入者ノードとなる ONU には STM 時間スイッチと IP 終端機構が必要となる。OLT は多数の光ファイバ及び ONU を集約し、上位中継ネットワークのゲートウェイとなる。OLT では STM 中継交換機能と IP 用ルーター機能が重要な機能となる。

論理的に表した PON の転送資源を図 3 に、また資源に関する考え方を以下に示す。

低速等時性通信用回線交換資源

電話やテレビ電話などの人間の会話通信用である。B (64 kbps), と H0 (384 kbps) の単位回線およびこれらを組み合わせたマルチレート通信を担う。等時性通信をもパケット化する方向が検討されているが、低速でバースト性が

低い会話情報をパケット化すると遅延の増大となる。しかも統一したパケット転送処理が複雑になる。一方パケット化が望まれる長距離コアネットワークでは、将来は多数の回線が集合化されて集合化パケットとして転送される。長距離網ではパケットによる効率化が図られる。

制御信号資源

回線交換呼や次に述べる IP パケット通信のコネクション設定や ONU 間の資源分配制御に関する通信を行う。パケット通信のリンク内の一つの論理チャンネルであるが、最優先で処理される。

IP 用通信資源

上り用資源と下り用資源の分離が必要である。下りダウンロード回線を高速にする必要がある。一般利用者は情報の発信よりも情報の入手にネットワークを利用する。発信用に WWW サーバを自宅に配置するのは問題が大きいからである。高速では動作し得ない個々の加入者設備、加入者線に情報発信元を設けると、利用者からは反応の遅い情報として敬遠される。またアクセスが集中した場合には網に輻輳が生じる。ユーザが情報の発信を希望する場合はネットワーク内の高速サーバに委託することが一般化すると考えられる。

加入者からの IP 通信要求は一旦 ONU で終端され、OLT に向けて複数加入者からの IP 通信要求のパケット多重化を行う。この場合の上りスロットは個々の ONU 間で情報が重ならないようにスロットに分離して制御する必要がある。その後 IP パケットは OLT に位置する上位コアネットワークの広域バックボーン網のエッジルータに収容される。一方下りダウンロードは上記のように高速転送が求められる。これには PON の下り放送特性を利用する。下りは情報発信が OLT のみであり、OLT からは全スロット分を全 ONU に放送できる。従ってダウンロード用資源は ONU 毎に極力多くの資源を束ね、パケット毎に宛先を指示し、ONU に送りこむ。ONU は必要なパ

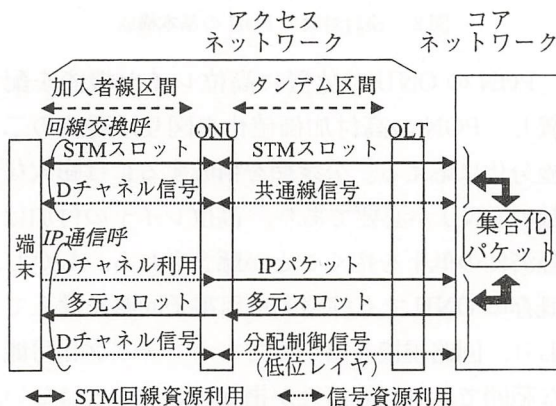


図3 検討対象のPONの転送資源

ケットのみを取りこむ。

4.2 PON フレームの構成

極小規模ノードのアーキテクチャを規定する大きな要因はフレーム構成である。PON フレーム構成の概念図を図4に示す。要求の二極化にあわせて等時性通信スロットとIP通信スロットを設ける必要がある。両者を一体化構成とした場合、資源分配の融通性向上とスロット間のガードタイムを削減できる効果がある。しかし、後で述べるレンジングが出来ない。図4に示すように両者の分離が必要になる。支配的要因はIPスロットにある。等時性スロットは低速用であり、量も少なく、PCMフレームにあわせて必要スロットを備えれば良い。

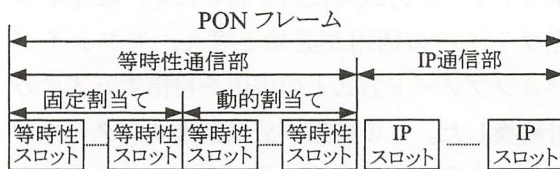


図4 検討対象のPONのフレーム構成

PON フレーム構成には二つの条件がある。一つはSTM部からの条件である。STM部は時間スイッチにより加入者間多重化を行うためフレーム長は125 μ sの整数倍の時間となる。もう一つはレンジングから来る条件である。各ONUへ到る支線ファイバ長は異なる。このため共通のタイミングで資源割り当てをすると幹線光ファイバ上で情報が重なる。位相整合が必要であり、各ONUとOLT間の伝播時間を測定するレンジングが必要になる。

IP通信部はレンジングを保証する最低限以上の幅が必要である。フレームを長くするとフレーム当りの転送スロット数が増大し、ONUへの割り当てスロット数に幅ができ、木目細かいトラフィック対応化が可能となる。しかし、PONフレーム当りのPCMフレーム数が増大し、時間整合のための回路が増大し、複雑化する。しかもPONでの遅延が増大するという問題がある。長くするには欠点の方が大きく、レ

レンジングを保証する範囲で極力フレームを短くするべきである。

IPスロット長は短くするとガードタイムの割合が増加し、長くすると無効帯域の割合が増加する。ONUの最大スループットに着目し、IPスロット長との関係を算出すると図5のようになり、IPスロット長は100～200byte程度が最適と考えられる。

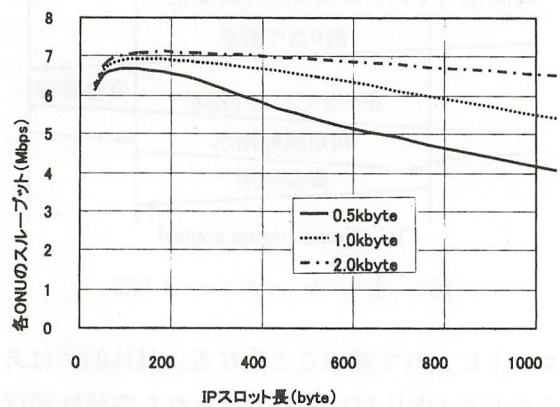


図5 IPスロット長とスループット

4.3 上りIPスロット割り当て制御

上りスロットの割り当てはONUからの負荷状況報告、OLTからの割り当て報告、ONUからの割り当てに応じたIPパケットの送り込みとなる。制御法の対案はどのレイヤで制御し、どのように制御情報の交信を行うかにある。案として高位レイヤである呼制御レイヤで行うか、低位伝送制御レイヤで行うかとなる。高位レイヤで行う案では交信には共通線信号を用いることになる。低位レイヤで行う案では交信にはス

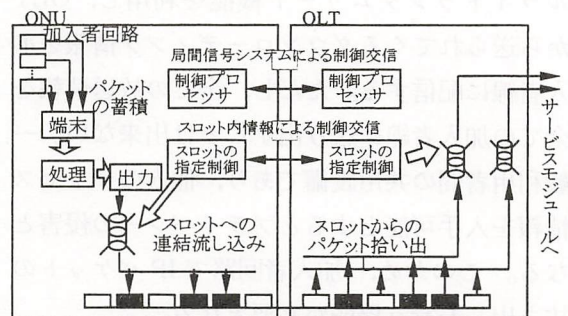


図6 上りパケットのスロット制御機構

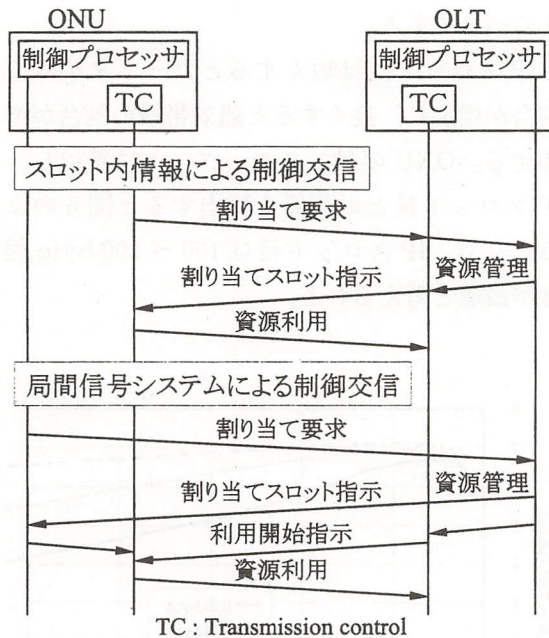


図7 上りパケットのスロット制御

ロットに入れて運ぶことになる。具体的にはあらかじめ ONU 毎に割り当てられた等時性通信用スロットを用いることになる。

上りスロットの割り当て制御は低位レイヤによる制御とならざるを得ない。高位レイヤで信号方式を利用して豊富な情報を送りあっても図6、図7に示すようにスロット割り当ての変化の有効タイミングを低位レイヤでも送らざるを得ない。

4.4 下りダウンローディング情報の転送

下り情報は放送形式で送り出す。ただし、図8に示すように ONU 以下の個々の加入者線への送り出しが必要である。これには ONU 内の STM 時間スイッチを利用する。シーケンシャルライトランダムリード機能を利用し、OLT から送られてくるダウンローディング情報を加入者線に配信する。ただし、全ての放送情報を全ての加入者線に送り出すことは出来ない。一般利用者間の共用設備であり、他人のアクセス情報を入手可能とするとプライバシーの侵害となる。このため、加入者回路で IP パケットの抜き出しを行う機能が必要となる。

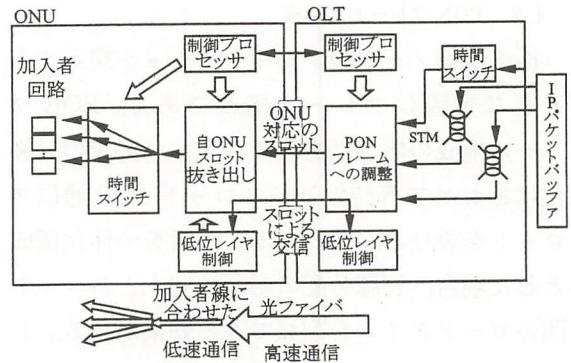


図8 下りパケットのダウンローディング機構

5. アーキテクチャ検討のまとめ

通信網の革新化を目標にアクセス網極小規模のノードシステムの検討を進めた。当初はアクセス網ノード全体をLSI化するアクティブネットワーク方式の検討を進めたが、途中から光ファイバの活用が必須と考え、光ファイバパッシブノード方式との併用を目指す方式に方針転換した。この結果、公衆網とインターネットの融合化を図る方式、及びアーキテクチャの提案が出来た。

通信網の革新化に向けて B-ISDN をはじめ、多くの研究、プロジェクトが実行されたが普及に至るものは無かった。転送性能の向上の研究が多くなされ、サービス実現の技術に関する革新が無かったことが一つの要因と考えられる。極小規模ノード、交換機のダウンサイジング化、システム規模の LSI の通信網への活用が今後の進展の鍵をにぎるであろう。

[今後の研究の方向、課題]

通信網の将来の方向が混沌としてきた。インターネットの大衆化によって公衆網が追及してきた万能性はもはや無意味なものになってきた。インターネットが他のすべての通信を排除してインターネットへの統一が進むという意見もある。しかし、これも公衆網が進み、挫折した万能化の道にいたる。技術よりも経済原則だという意見もある。しかし、これは技術の進展が停

止したという宣言になってしまう。

混沌の時代にこそ新しい技術が創生されるべきである。インターネットを排除した通信網はもはやありえない。一方で、インターネットは信頼に足る低位レイヤ通信機能が不足している。従って、高位レイヤ通信サービスとしてのインターネットと、信頼に足る低位レイヤ通信を備えた公衆網が融合し、新たな通信網を創生する必要がある。

筆者等は本研究を通してコネクション化に統一したインターネットの着想に至った。多くの一般利用者が利用する TCP レイヤでの互換性を維持しつつ、低位レイヤまでのコネクション化と、コネクション化による低位レイヤ軽量化である。これには本研究での小規模オンチップノード化の研究が有効に働く。今後は TCP レイヤでの互換性を維持するコネクション化通信網に重点化した研究を進める。

[成果の発表, 論文等]

- 1) T. Yamada: "A micro-switching access network accelerating network evolution", Networks '98 (1998. 10)

- 2) T. Yamada and M. Goto: "Cell-based signaling system for a micro-switching access network", APCC '98 (1998. 9)
- 3) G. Lambertsen and T. Yamada: "Reservation of radio resources for fast mobile terminals in a micro-switching mobile network", APCC '98 (1998. 9)
- 4) G. Lambertsen and T. Yamada: "A Scalable Mobile Network with Distributed Micro-Switches in the Base Stations", ICPWC '99 (1999. 2)
- 5) 山田喬彦: "PON-ONU への高位通信機能埋め込みの効果に関する考察", 電子情報通信学会技術研究報告 SSE 98-222, IN 98-194 (1999. 3)
- 6) 山田喬彦, 花本裕治: "PON における IP パケットの加入者間多重転送法に関する一検討", 電子情報通信学会技術研究報告 SSE 99-22 (1999. 5)
- 7) 山田喬彦, 水野貴文: "公衆網とインターネットの融合を目指すアクセス論理機構の一検討", 電子情報通信学会技術研究報告 IN 99-116 (2000. 2)
- 8) T. Yamada: "New Public Network Including IP Communications as a Universal Service", Networks 2000 (2000. 9)

観察者及び対象の運動が複数の情報源からの奥行知覚と その感性要因に与える効果

How does the Movement of Observer and Observed Object Affect the Depth Perception
and Impressive Factors from Multiple Cues ?

981001

研究代表者	山口大学工学部感性デザイン工学科 助教授	一 川 誠
共同研究者	山口大学工学部感性デザイン工学科 教授	三 池 秀 敏
	山口大学工学部感性デザイン工学科 助 手	長 篤 志

[研究の目的]

従来の立体画像提示システムの多くでは両眼視差（両眼非対応 binocular disparity）を主な情報源としており、観察者運動は厳密に制約されてきた。しかしながら、近年進展の著しいバーチャルリアリティーシステム開発でのように、提示画像と観察者の動きを交互作用させるような新たな立体画像提示システムが提案されている。本研究では、多様な情報源からの奥行知覚とその感性要因に観察者と対象の運動がそれぞれどのように関与しているのかを明らかにすることにより、観察者の負担の少ない、観察者の動きを考慮した「インタラクティブ」な立体画像提示システムの開発に資することを目的とした。

バーチャルリアリティーやテレプレゼンス技術において効果的な立体画像提示を行うには、複数の手がかりからの奥行情報の統合過程を理解する必要がある。特に、観察者が自ら移動することによって提示画像と相互作用する状況での奥行情報統合過程の解明は、効果的かつ安全な立体画像提示システム開発に不可欠である。

観察者は身体運動に伴う視点移動から運動視差（motion parallax）手がかりを奥行情報源として用いることができる。本研究では、この

運動視差を、他の手がかりと組み合わせて提示し、奥行情報統合の仕方、奥行知覚感度、見えの奥行量や観察時の疲労度といった心理・感性指標が速度や距離、頻度等の観察者運動要因とどう関連しているか調べた。

[研究の内容、成果]

1. 一般的方法

装置と刺激

コンピュータディスプレイと顎台（頭部固定での観察用）もしくは頭部運動ガイド（頭部移動しながらの観察用）はそれぞれ位置決めモジュール上に固定された（Figure 1）。両眼視差手がかり提示を行う実験では、時分割式液晶

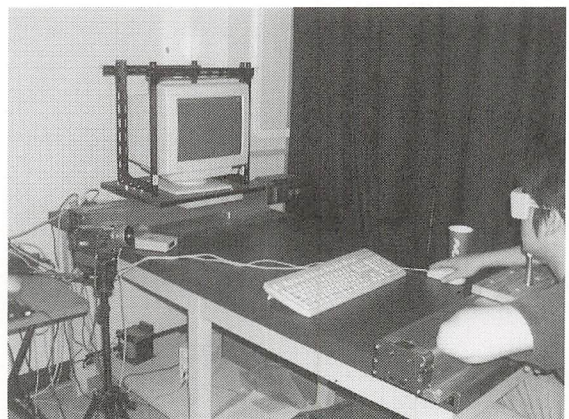


Figure 1 実験装置

シャッターゴーグルが用いられた。実験中の観察者の頭部はビデオ録画された。コンピューターディスプレイ上に、正弦波格子4つからなる刺激を提示した。上から2番目と3番目の格子の間に、注視点として一辺約10 min of arcの赤い正方形を示した。上から数えて奇数番目の格子と偶数番目の格子はそれぞれ逆方向に動いた。奇数番目の格子と偶数番目の格子の運動速度は、観察者の持つコンピューターマウスによって調整された。

観察者は、頭部を移動させる条件では、顎の下の頭部運動ガイドの動きに合わせながらディスプレイ面に平行な軌道で頭部を6.5 cm水平移動させ、頭部を固定する条件では、ディスプレイ正面に固定された顎台上に頭部を固定させた。

ディスプレイ内の正弦波格子刺激内の運動はそれぞれの観察条件において頭部運動ガイド、ディスプレイ、もしくは刺激全体の運動と同期していた。運動視差を用いた奥行シミュレーションにおいては、頭部運動ガイド、ディスプレイ、刺激全体の運動と同じ方向に動く正弦波格子はディスプレイ面より奥、反対方向に動く正弦波格子はディスプレイ面より手前の奥行に対応した。

2. 頭部運動と運動視差からの奥行知覚感度と知覚奥行量

実験1では、観察者の頭部運動有無と頭部運動速度が運動視差からの奥行知覚の閾値（感度の逆数）と見かけの奥行量にどのように影響するのか検討した。頭部運動の有無の効果を検討するために、運動視差の提示の仕方の異なる3つの観察条件を設けた。すなわち、頭部運動条件では、固定したディスプレイ内に提示された刺激内相対運動を頭部運動に同期させた。ディスプレイ運動条件では、往復運動するディスプレイ内に提示された刺激内相対運動をディスプレイ全体の運動に同期させた。ディスプレイ内運動条件では、固定したディスプレイ内に提示

された刺激の全体運動と刺激内相対運動を同期させた。これら3つの条件では、運動視差の提示の仕方は異なる（頭部運動条件でのみ、提示画像と観察者との関係がインタラクティブであった）が、刺激の網膜像はほぼ同一であった。速度（頭部運動速度、あるいは、ディスプレイ運動速度、刺激全体運動速度）条件として、0.5, 2.0, 4.0, 8.0, 16.0, 32.0 cm/secの6段階が設けられた。

閾値測定セッションにおいては、観察者はマウスを使って奥行が見えなくなる運動視差量（等価視差量。同じ奥行量をシミュレートする両眼視差量に換算したもの）を調整した。また、別のセッションにおいて、奥行知覚閾値測定と同様の手続きによって、0.5 cmと2.0 cmの大

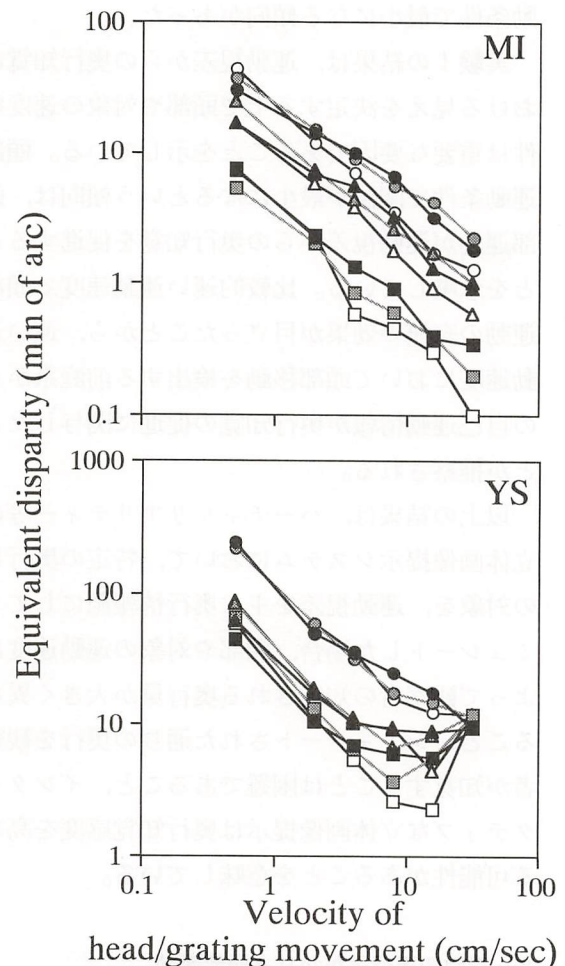


Figure 2 頭部運動条件（白）、ディスプレイ運動条件（灰）、ディスプレイ内運動条件（黒）の結果を表す。正方形は閾値、三角形は2.0 cm、円は0.5 cmの奥行量に対応した視差量を示す

きさの奥行量の知覚を成立させる運動視差量を測定した。観察は単眼のみで行われた。

どの観察条件でも速度（頭部運動速度、ディスプレイ運動速度、刺激全体運動速度）の上昇にしたがって、奥行知覚の閾値が10倍以上変化することが見い出された（Figure 2）。ただし、最速の32.0 cm/secの条件では、個人差があり、閾値が上昇する被験者もいた（Figure 2のYS）。閾値は、4.0 cm/secよりも速い速度条件では、ディスプレイ内運動条件、ディスプレイ運動条件、頭部運動条件の順に低くなることが認められた。

0.5, 2.0 cmの大きさの奥行を知覚させるのに必要な運動視差量も速度条件によって10倍以上変化した。3つの観察条件の中では、頭部運動条件で最小になる傾向があった。

実験1の結果は、運動視差からの奥行知覚における見えを決定する上で頭部や対象の速度条件は重要な要因であることを示している。頭部運動条件で閾値が最小になるという傾向は、頭部運動が運動視差からの奥行知覚を促進することを示唆している。比較的速い運動速度で頭部運動の有無の効果が目立ったことから、速い運動速度において頭部移動を検出する前庭系からの自己運動情報が奥行知覚の促進に関与したことが推察される。

以上の結果は、バーチャルリアリティー等の立体画像提示システムにおいて、特定の奥行量の対象を、運動視差を主な奥行情報源にしてシミュレートした場合、頭部や対象の運動速度によって観察者の知覚される奥行量が大きく異なること、シミュレートされた通りの奥行を観察者が知覚することは困難であること、インタラクティブな立体画像提示は奥行知覚感度を高める可能性があることを意味している。

3. 複数の奥行手がかりと頭部運動

実験2では、実験1と同様の刺激において運動視差と両眼視差とを組み合わせ提示し、頭部運動速度によって奥行知覚閾値がどのように

変化するか検討した。刺激条件として、運動視差のみを提示する運動視差条件、両眼視差のみを提示する両眼視差条件、これら2つの手がかりを提示する統合条件の3つを設けた。観察者頭部の運動と刺激内相対運動を同期させることによって運動視差を提示した（実験1の頭部運動条件と同じ方法）。頭部運動速度条件として、0.5, 4.0, 8.0, 16.0 cm/secの4段階が設けられた。

運動視差条件では、頭部運動速度にしたがって奥行知覚閾値が10倍程度減少した（Figure 3）が、両眼視差条件では速度条件による奥行知覚閾値の変化は認められず、どの速度条件でも運動視差条件よりも奥行知覚閾値が低かった。統合条件でも、速度条件により奥行知覚閾値の変化は認められず、その値は両眼視差条件での奥行知覚閾値とほぼ同じであった。

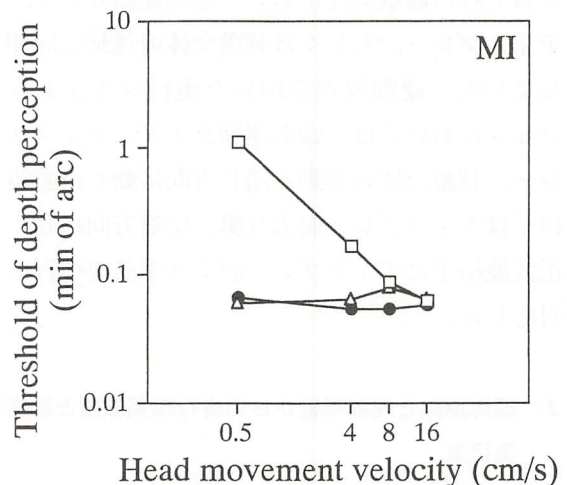


Figure 3 運動視差条件（正方形）、両眼視差条件（三角形）、統合条件（黒円）、の結果を示す

以上の結果は、立体画像提示システムにおいて、頭部や対象の運動速度が様々に変化する事態でも、運動視差以外の手がかり（たとえば両眼視差）を加えることが、シミュレートした通りの安定した奥行を観察者に知覚させるために有効であることを示唆している。

4. 運動視差からの奥行知覚の安定性

実験2では、運動視差単独で奥行をシミュ

レートした場合、頭部運動速度にしたがって奥行知覚感度が増加するものの、両眼視差を加えると奥行知覚感度が安定することが見いだされた。実験2では、運動視差と両眼視差はともに同じ奥行をシミュレートしており、2つの手がかりの間には情報の矛盾はなかった。では、これらの手がかりが相互に矛盾する場合、どのような奥行知覚が成立するのであろうか？これは立体画像提示において用いられる奥行情報源が一貫していない事態に対応している。他と一致しない手がかりは無視されるなどして安定した奥行知覚が成立するのか？この問題を検討するため、実験3では、奥行情報を混乱させるような光学の変換が長期間持続した場合に、運動視差（頭部運動によって生じさせた）と両眼視差からの奥行知覚がどのような影響を被るのかを検討した。

30日間以上の期間にわたって両眼視差の方向を逆転させる光学装置（シュードスコープ、左右反転眼鏡）を連続装着する4名の被験者について、奥行の見えに運動視差と両眼視差がそれぞれどのように影響するかを検討した。10 min of acrの大きさの運動視差と両眼視差を組み合わせて提示する正弦波格子刺激を観察者に提示した。運動視差が両眼視差と同じ奥行を提示する条件（一致条件）と両眼視差と反対の奥行を提示する条件（不一致条件）とを設けた。

光学装置の装着中、両眼視差のみを提示した条件で、視差とは反対の奥行が知覚される頻度が高くなった。他方、光学装置の装着開始後4日めまでの観察では、4名中3名の被験者において、運動視差から安定した奥行知覚が成立することはなかった。また、その後の装着期間中も、運動視差のみを提示した条件で、視差と反対の奥行方向が知覚されたり、不規則な奥行知覚が成立する頻度が高くなった。運動視差と両眼視差を同時に提示した条件のうち一致条件では、装着期間中、それぞれの手がかりを単独で提示した条件よりは安定した奥行知覚が得られた。不一致条件では、装着前のほとんどの観察

では両眼視差にしたがった奥行が知覚されたが、装着期間中は運動視差にしたがった奥行知覚が成立する頻度が高くなった。装着除去後40日では、どちらの手がかりを提示した場合も、手がかり通りの知覚が成立していた。

以上の結果は、立体画像提示システムにおいて、両眼視差を他の奥行情報源と矛盾させた場合、両眼視差の処理系だけではなく、運動視差の処理系も障害を被ること、その障害は1ヶ月間以上の長い学習期間を経ても解消されないことを意味している。立体画像提示システムにおいて、異なる情報源の間の一致をはかることは、安定した奥行知覚を成立させるために不可欠であると考えられる。

5. 3Dシミュレーションにおける頭部運動と疲労度

実験4では、運動視差を提示する2つの方法である頭部運動と対象運動とで観察者の疲労度が異なるか検討した。正弦波格子刺激を用い、運動視差と両眼視差の情報が一致した条件、不一致であった条件を設けた。被験者は、各条件の刺激を6分間観察し、マウスを使って見かけの奥行量が0.5 cmもしくは2 cmになるよう、視差量の調整を行った。主観的な見易さの指標として、疲労度、見易さ、課題の難易、3D映像のリアルさ、心地よさについての5段階評価、疲労の整理指標として瞬目回数をを用いた。瞬目回数は、各条件の6分間の観察のうち、最後の5分間でカウントした。

Figure 4に、各心理指標の評価値と瞬目回数の8名の被験者の平均値を示す。主観的評価、瞬目回数のいずれの疲労度の指標においても、観察条件、刺激条件による統計的に有意な差は認められなかった。また、課題の難易度、シミュレーション画像のリアルさ、観察における心地よさにも、頭部運動の有無による統計的に有意な違いは認められなかった。

Figure 5に各条件での調整値の8名の被験者の平均値を示す。不一致条件の方が一致条件

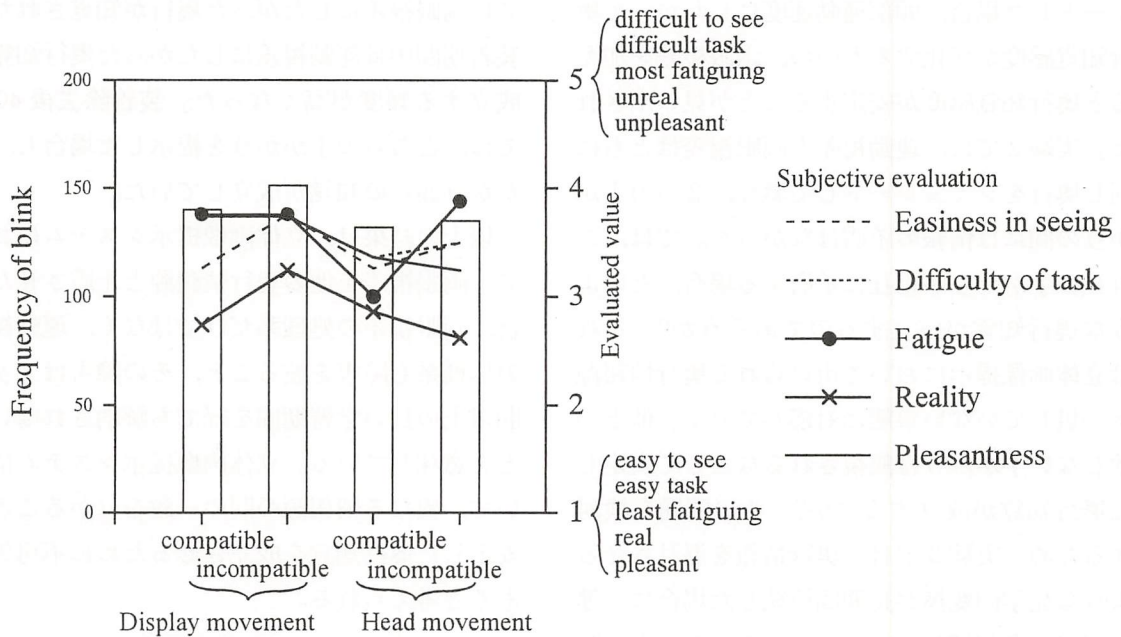


Figure 4 3D シミュレーション画像観察における疲労度

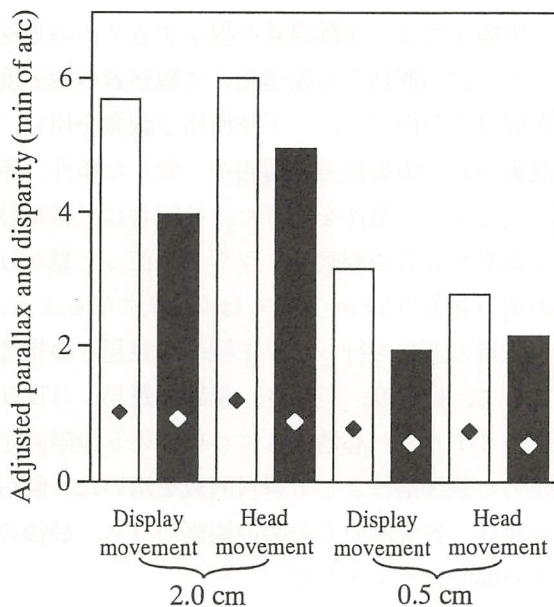


Figure 5 調整された運動視差量と両眼視差量の値。白は一致条件、黒は不一致条件の結果を示す。菱形は各条件に対する調整値の8名の被験者のsdを示す

よりも小さな視差量でそれぞれの奥行量の知覚を成立させた。調整値においては、頭部運動の有無による一貫した効果は認められなかった。また、調整の安定性を反映すると考えられる個々の被験者のsdの平均値においても、頭部運動の有無による一貫した効果は認められな

かった。

以上の実験4の結果は、頭部運動の有無によって見かけの奥行量、心理的および生理的疲労度の指標、および見た目のリアルさ等のシミュレーション画像の印象に差異がないことを示唆している。

4つの実験結果をまとめる。観察者の運動と提示画像が対応しているようなインタラクティブな立体画像提示システムにおいて、正確な奥行シミュレーションを要求されるような場合においては、頭部や対象の運動速度によって見かけの奥行量や奥行の見易さが大きく変化する運動視差のみを用いるべきではない。安定した奥行をシミュレートするためには、両眼視差のように、頭部運動要因に依存しない手がかりを運動視差と同時に提示することが有効であると考えられる。ただし、この場合、提示する手がかり間の情報が一致していないと、見かけの奥行は安定しない恐れがある。シュードスコプの長期装着被験者についての実験結果を鑑みると、手がかり間の情報の不一致があるような立体画像システムでは、観察者の慣れによって安定し

た奥行知覚が成立することは困難である。手がかり間の一致をできるだけはかることが安定した奥行知覚を成立させるのに必要であると言える。立体画像の提示が観察者とインタラクティブである（頭部運動条件）か否か（対象運動条件）によって立体画像観察中の疲労度や見えの印象が大きく変わることはなさそうである。ただし、比較的早い頭部運動条件では頭部運動条件で奥行知覚感度が高くなる傾向があったことから、インタラクティブな（観察者頭部が移動し得るような）立体画像提示の方がそうでないものよりも微小な奥行シミュレーションに適していると言える。

[今後の研究の方向、課題]

本研究では、単純な正弦波格子刺激を用いて、立体画像提示システムにおける頭部運動の効果、および観察者頭部運動によって成立する運動視差からの奥行知覚の特性が検討された。今後、

より複雑な自然画像を提示した場合にも、単純な正弦波格子刺激を用いた場合と同様の傾向があるのか検討する必要があると考えられる。

今回の研究では、観察者の頭部運動は、能動的であったとは言え、頭部運動ガイドにしたがって運動距離や運動周期が決定されていた。観察者に自由な頭部運動を許すような状況では、立体画像提示が観察者とインタラクティブであるか否かによる疲労度や奥行の見えの印象の違いが認められる可能性が残されている。

[研究成果発表、論文等]

- 1) 一川誠，斎田真也：運動視差，両眼視差，輪郭の手がかりからの奥行情報統合， Vision, 11, 3, 149 (1999).
- 2) 一川誠：運動視差からの奥行知覚と頭部移動，日本心理学会第63回大会発表論文集，382 (1999).
- 3) 渡辺広明，一川誠：運動視差からの奥行知覚の感度と頭部もしくは刺激の運動速度， Vision, 12, 3, 168 (2000).

機械製品の概念設計を支援するシミュレーションシステムの開発

A Physically-Based Method for Assisting Conceptual Mechanical Design

981002

研究代表者

茨城大学工学部 助教授

乾 正 知

[研究の目的]

日本の機械製造業がこれからも優位を保ち続けるためには、高品質の製品を短期間かつ低コストで設計する技術の確立が重要である。特に、設計初期の概念設計の計算機化が強く望まれている。われわれは、高品質の概念設計を短期間に行なうためには、新しい着想の機械を容易に作成し、その挙動を簡単に実験・評価できる環境を設計者に提供することが、有効であると考えている。

本研究では、そのような環境の実現手法として、力学法則に基づくモデリング技術に基づく機械シミュレーションシステムの利用を提案する。このシステムでは、幾何モデルとして表現された部品を計算機内で組み立てるだけで、機械の運動などの物理的な挙動を計算機実験できる。したがって設計者は、アイデアを即座に評価できるので、概念設計を効率的に進められる。

[研究の内容、成果]

1 機械システムの概念設計支援

機械製品の最大の特徴は、部品が互いに接触することで運動を伝達し、機能を実現する点にある。したがって機械製品の概念設計を支援するためには、製品を構成する部品の形状や接触状態(=対偶)を容易に設定できること、そしてその設定に基づく機械挙動が即座に評価できること、さらに設定を変更したときには、その

結果が自動的に機械の挙動に反映されること、などの条件を満たす機械シミュレーションシステムが望まれる。

設計の初期段階では、正確さよりも、設計者の思いつきが面倒な準備なしに評価できる利便性や軽快さが重視される。この段階では、部品形状の詳細(寸法や公差など)や材質、部品間の位置関係などが不確定なことも多い。そのような状態でも作業が進められるように、不明な情報は適切なデフォルト値で補ってくれる手法が望ましい。

このような要求に応えられる概念設計の支援システムとして、計算機画面上で自由に図形が定義でき、それらをマウスで動かし平面領域内に配置すると、自然にそれらの間に対偶関係が定義され、機械としての挙動を発現するシステムの構築を行うことにした。

このシステムは、計算機内に組み立てられた部品の幾何モデルを動かすと、部品間の接触の生成や消失を自動的に検出し、それらの間の力の作用を力学法則モデリングにより導出する。次に得られた力に基づいて速度を算出し、部品の新しい状態を決定することで、機械の挙動をシミュレーションする⁶⁾。

2 基本手法

本研究では、多角形状の平面領域 S の内部に、機械部品の形状を表す n 個の多角形 P_i を一つずつ対話的に配置し、仮想的な機械を作成する作業を考える。 S 上の任意の位置に、基準

となる座標系 F_S を与える。また各多角形 P_i の重心に、多角形の位置姿勢を代表する座標系 F_{P_i} を定義する。このとき S における P_i の位置姿勢は、 F_S における F_{P_i} の原点の位置を表すベクトル x_i と、 F_{P_i} の軸の傾きを表すパラメータ θ_i の組により表現できる。 $[x_i, \theta_i]$ を P_i の配位とよぶ。

2.1 寸法制約と領域的な制約

設計中には、非干渉関係や接触に関する制約など、部品の位置や姿勢に関する様々な条件が P_i の配位に指示される。これらを全て体系的に整理し、対応する評価手法を用意することは難しい。

設計の結果は、通常、機械図面の形で出力され製造側に受け渡される^{*}。したがって機械図面には、配置設計の際に考慮された部品の位置姿勢に関する制約が、全て埋め込まれていると考えられる。このような観点から調べてみると、機械部品の配置に関する制約は、以下の2種類に分類できる⁵⁾。

寸法制約：部品間の距離や同軸関係、整列関係など、部品の位置や姿勢を定義する際に用いられる制約 (Figure 1 (a) 参照)。

領域的な制約：部品間の非干渉関係や包含関係など、部品の存在可能な領域を表す制約 (Figure 1 (b) 参照)。

2.2 対話的な配置設計

設計の最初の段階では、 P_i の配位はこれらの制約を満たしていない。そこで設計者は、マウスを用いて P_i を選択し、ドラッグ操作により、制約の一つを満たす配位へ P_i を移動する。以後 P_i は、この制約の許容する範囲しか移動できなくなる。このドラッグ操作による制約の付加作業を、 P_i に指示されたすべての制約が満たされるまで繰り返す。全多角形に対して制約の付加が完了した時、許容できる図形配置 (= 機械製品) が一つ得られたことになる。

^{*} 近年は CAD モデルで受け渡すことが一般化しているが、設計者と製造技術者のコミュニケーションの媒体として図面は大きな役割を果たしている。

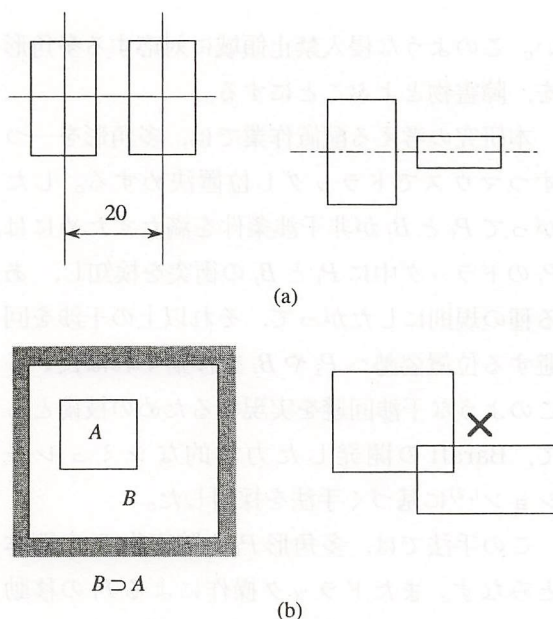


Figure 1 Examples of dimensional constraints (a) and regional constraints between polygons (b)

指示されている制約が緩い場合には、すべての制約を満たしても、まだ部品の配位を変更する余裕が残されている。このような時には、可能な配位のなかで操作性などが最も優れたものを選ばばよい。逆に過剰な制約が指示されている場合には、作業中にそれ以上の制約の付加が困難な状態に陥ってしまう。このようなときには、設計者の判断で幾つかの制約を緩めるなどの処置を行う。

3 力学的なシミュレーションによる領域的な制約の評価

本研究では、寸法制約を仮想的なリンク機構として表現する。リンク機構は、幾つかの領域的な制約に置き換えられ、力学的なシミュレーション技術により処理される。そこでまず領域的な制約の扱いについて説明する。

3.1 非干渉条件による評価

領域的な制約は、多角形 P_i の存在可能な範囲を表している。そこで本研究では、存在可能な領域の補集合にあたる、 P_i の侵入を禁止する領域 B_j を考え、 P_i と B_j の非干渉条件により、領域的な制約を評価する。ただし B_j は多角形として表現できるものとし、その変形は考えな

い。このような侵入禁止領域に対応する多角形を、障害物とよぶことにする。

本研究の考える配置作業では、多角形を一つずつマウスでドラッグし位置決めする。したがって P_i と B_j が非干渉条件を満たすためには、 P_i のドラッグ中に P_i と B_j の衝突を検知し、ある種の規則にしたがって、それ以上の干渉を回避する位置姿勢へ P_i や B_j を移動すれば良い。このような干渉回避を実現するための技術として、Baraff の開発した力学的なシミュレーション^{1,2)}に基づく手法を採用した。

この手法では、多角形 P_i や障害物 B_j を剛体とみなす。またドラッグ操作による P_i の移動を、マウスの移動方向へ仮想的な力を作用させ、 P_i を動かす作業と考える。そして移動中に P_i と B_j の衝突を検出すると、多角形間に仮想的な反発力を作用させ、多角形の運動を力学的に変更することで干渉を回避する。

3.2 疑似的な力学モデル

力と加速度が比例する力学的に「正しい」モデルでは、外力が加えられていない図形は、(摩擦の影響を無視すれば) 慣性の法則にしたがい等速運動を続ける。これはドラッグしている図形を放すと、図形がそのまま動き続けることを意味しており、図形を希望する位置姿勢に配置することが難しい。そこで文献⁶⁾にしたがい、ここでは力と速度が比例する疑似的な力学モデルを採用する。

時刻 t において多角形 P_i に作用する合力を $\mathbf{F}_i(t)$ 、 P_i の重心周りのトルクを $\tau_i(t)$ とする。力と速度が比例する力学モデルでは、このときの P_i の運動を以下のように定める。

$$\begin{aligned} m \frac{dx_i(t)}{dt} &= \mathbf{F}_i(t) \\ I \frac{d\theta_i(t)}{dt} &= \tau_i(t) \end{aligned} \quad (1)$$

ただし m と I は、 P_i の仮想的な質量と慣性モーメントを表す。この関係式により、合力 $\mathbf{F}_i(t)$ とトルク $\tau_i(t)$ が分かれば、 t における P_i の速度

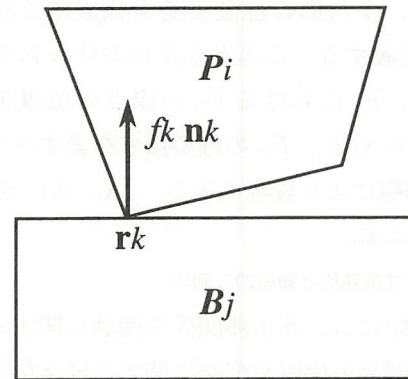


Figure 2 Repulsive force acting between P_i and B_j at r_k

と重心周りの角速度が決まり、さらにそれを積分することで P_i の位置と姿勢が決まることになる。

3.3 接触モデル

配置対象の多角形 P_i と障害物の間に接触がない場合には、マウスのドラッグに対応する外力のみが P_i に作用しているので、式 (1) に基づいて P_i の運動を容易に決めることができる。そこで P_i と障害物が、 m 個の点で接触している場合を考える。なお以下の説明は、文献⁶⁾に基づく。

接触点 $\mathbf{r}_k$ は、片方の多角形の頂点と他方の多角形の辺の接触に対応する。そこで接触している二つの多角形の、 $\mathbf{r}_k$ における相対的な速度のうち、接触している辺と直交する方向の成分を v_k とする。二つの多角形が互いに離れていく方向を正、逆に近付いていく方向を負と定めると、非干渉条件を満たすためには、 $v_k \geq 0$ が成り立つ必要がある。接触点に摩擦が作用しないと考えると、頂点には接触している辺と直交する方向に接触力が作用する。接触辺に垂直な外向きの単位ベクトルを $\mathbf{n}_k$ 、接触力の大きさを f_k とすると、接触力は $f_k \mathbf{n}_k$ となる。接触力が反発力であることから、 $f_k \geq 0$ が成り立つ (Figure 2 参照)。

$\mathbf{r}_k$ において非干渉条件が満たされる状態としては、
接触を維持する状態：すなわち $v_k = 0$ 。この

とき接触点には反発力が作用するので、 $f_k > 0$ が成り立つ。

しだいに離れていく状態：すなわち $v_k > 0$ 。

接触が解消されると反発力は作用しないので、 $f_k = 0$ が成り立つ。

が考えられる。したがって $f_k v_k = 0$ が成り立つ必要がある。

3.4 反発力の算出法

m 個の全接触点に関して相対速度 v_k と反発力 f_k を考え、それを列ベクトル $\mathbf{v}$ と $\mathbf{f}$ にまとめると、以下の関係が成り立つ。

$$\mathbf{v} = \mathbf{A}\mathbf{f} + \mathbf{b} \quad (2)$$

ただし $\mathbf{A}$ は $m \times m$ の行列で、各要素 A_{ij} は接触点 $\mathbf{r}_j$ での反発力 f_j が、接触点 $\mathbf{r}_i$ での相対的な速度 v_i に与える影響を表す。また列ベクトル $\mathbf{b}$ は、マウスのドラッグに対応する仮想的な外力の、相対的な速度 v_i に与える影響をまとめたものである。

式 (2) を用いて $v_k \geq 0$, $f_k \geq 0$, $f_k v_k = 0$ を表現すると、線形相補性問題と呼ばれる、下記の連立方程式が得られる。

$$\mathbf{A}\mathbf{f} + \mathbf{b} \geq 0, \mathbf{f} \geq 0, \mathbf{f}^T(\mathbf{A}\mathbf{f} + \mathbf{b}) = 0 \quad (3)$$

この連立方程式より各図形に作用する反発力を算出し、外力と反発力の合力と重心周りのトルクを計算し式 (1) に代入すれば障害物と干渉を生じない多角形の運動を決めることができる。Baraff は、この線形相補性問題を解析的に解くアルゴリズムを開発している¹⁾。

4 寸法制約の領域的な制約への置換

本章では、寸法制約を評価できるように、領域的な制約の評価手法を拡張する。具体的には、図形間の距離や姿勢の関係を拘束する寸法制約の意味を、仮想的なリンク機構として表現する手法と、リンク機構を等価な領域的な制約へ置き換える手法について説明する。

4.1 基本的な寸法制約の表現

機械図面で用いられる寸法は、点や線分など

の二つの図形間の距離を規定する寸法と、交差する2直線間の角度を規定する寸法の2種類に分類できる。文献⁴⁾に述べられているように、これらは図形間の距離や相対的な姿勢を拘束する、仮想的な平面リンク機構として扱うことができる。

例えば図形間の距離に関する寸法は、Figure 3 (a) に示したように、それぞれの図形に仮想的なリンクを固定し、平行関係を維持するようにこれらを滑り対偶で結合したときの、リンク間の距離の制約と見なせる。図形間の角度に関する制約も、Figure 3 (b) に示したように、各図形を滑り対偶を介して仮想的なり

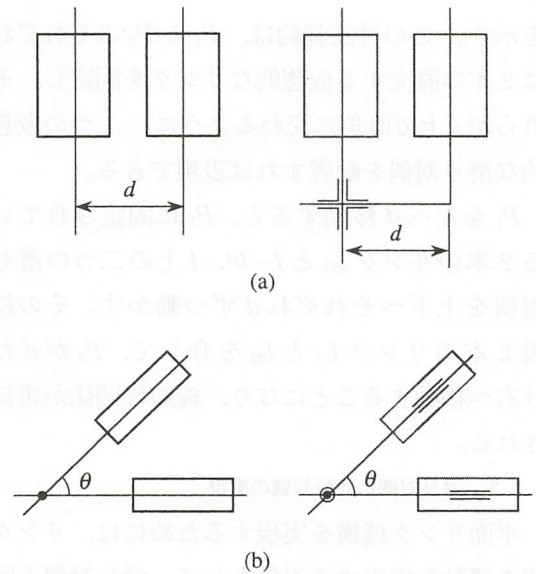


Figure 3 Virtual sliding and rotational joints for representing simple dimensional constraints

リンクに結合し、さらにこれらのリンクを回転対偶で結合したときの、リンク間の角度の制約と見なせる。

4.2 複雑な寸法制約の扱い

配置設計では、図形の整列や対称な位置への図形の配置など、より複雑な寸法制約の処理が必要となる。これらの制約も、幾つかの平面リンク機構を組み合わせることができる。Figure 4 には、二つの長方形 P_1 と P_2 を、直線 l に関して線対称の位置に配置する制約の例

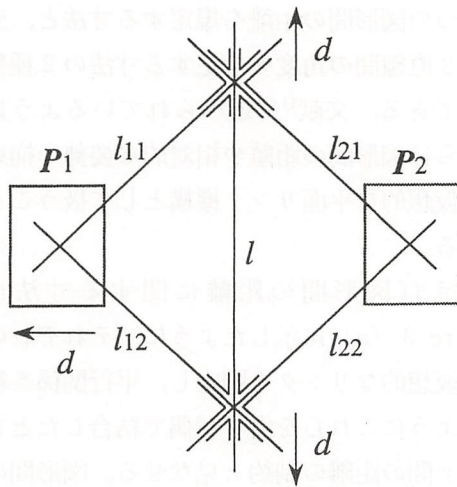


Figure 4 Virtual linkage structure for treating a symmetrical placement of P_1 and P_2 with respect to a line l

を示す。この寸法制約は、 P_1 と P_2 のそれぞれに 2 本の直交する仮想的なリンクを固定し、それらが l 上で直角に交わるように、二つの仮想的な滑り対偶を配置すれば表現できる。

P_1 を左へ d 移動すると、 P_1 に固定されている 2 本のリンク l_{11} と l_{12} が、 l 上の二つの滑り対偶を上下へそれぞれ d ずつ動かす。その結果 2 本のリンク l_{21} と l_{22} を介して、 P_2 が d だけ右へ移動することになり、線対称関係が維持される。

4. 3 滑り対偶と回転対偶の実現

平面リンク機構を実現するためには、リンク間の運動を拘束する対偶として、滑り対偶と回転対偶の二つを用意すれば十分である。これらの対偶のリンクの運動に及ぼす影響は、以下に示すような領域的な制約により表現できる。

滑り対偶の扱い 滑り対偶を扱うためには、図形 P_1 上の点 p が、図形 P_2 に固定された直線 l 上を移動するという制約が扱えればよい。これは l を中心とする微細な溝にはめ込まれた、 p を軸とするピンの運動を考えれば、領域的な制約としてモデル化できる (Figure 5 参照)。したがって力学的なシミュレーション技術を用いて、点 p と溝の壁面間の非干渉条件を評価すればよい。

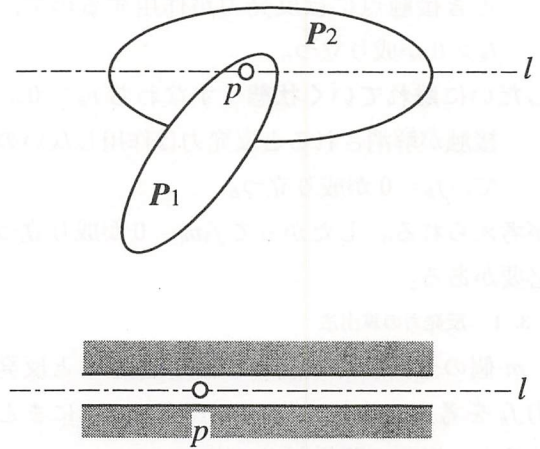


Figure 5 Virtual sliding joint with a point p on P_1 and a slot l on P_2

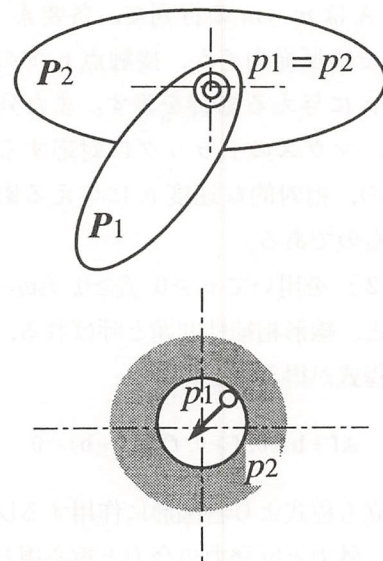


Figure 6 Virtual rotational joint with a pin p_1 on P_1 and a hole p_2 on P_2

回転対偶の扱い 図形 P_1 上の点 p_1 と図形 P_2 上の点 p_2 が回転対偶を構成する場合には、 p_2 を軸とする微細な穴に、 p_1 を軸とするピンがはめ込まれた場合の図形の運動を考えればよい。そこで力学的なシミュレーション技術を用いて、点 p_1 と穴の壁面間の非干渉条件を評価する。穴の壁面は円筒面のため、多角形間の衝突を仮定している前述の手法は、そのままでは利用できない。そこで P_1 と P_2 に関する仮想的な反発力とトルクを計算する際に、以下の二つの条件を考慮する。

1. p_1 が穴の壁面に接触したとき, p_1 には壁面の法線方向に反発力が作用する (Figure 6 参照)。
2. p_1 と p_2 の位置は常に一致する必要がある, 2 点間の相対的な速度は 0 となる。

[今後の研究の方向, 課題]

本論文では, 力学的なシミュレーション技術を利用した, 機械製品の概念設計の支援手法について議論した。まず部品配置に関する制約を, 領域的な制約と寸法制約の 2 種類に分類し, 力学的なシミュレーション技術を用いて, 領域的な制約を対話的に充足させる手法を示した。次に寸法制約の多くが, 図形間の距離や姿勢を拘束する平面リンク機構と見なせることを説明し, 同じシミュレーション技術により, 寸法制約の図形の位置姿勢に及ぼす影響が, 適切に評価できることを示した。

提案した手法に基づいて, 領域的な制約と寸法制約の両方が扱える実験的な概念設計支援システムを, C 言語と Tcl/Tk を用いて UNIX ワークステーション上に実装した。部品配置に関する様々な制約の評価実験を行い, 処理速度と配置精度に関して満足できる結果を得た。作成したシステムは実験的なものであり, 実用化のためには, (1) より多彩な図形配置操作³⁾, (2) 自然な図形入力インターフェイス, (3) より高速な力学シミュレーション技術などの問題を解決する必要がある。システムの 3 次元化も進める必要があるが, その場合には柔軟かつ自然なインターフェイスの実現に注意する必要がある。

[参考文献]

- 1) D. Baraff: Fast Contact Force Computation for Nonpenetrating Rigid Bodies, *Proc. SIGGRAPH '94*, (1994) 23.
- 2) D. Baraff: Interactive Simulation of Solid Rigid Bodies, *IEEE Computer Graphics & Appl.*, May (1995) 63.
- 3) M. Harada, A. Witkin and D. Baraff: Interactive Physically-Based Manipulation of Discrete/Continuous Models, *Proc. SIGGRAPH '95*, (1995) 199.
- 4) R.C. Hillyard: Characterizing Non-ideal Shapes in terms of Dimensions and Tolerances, *Proc. SIGGRAPH '78*, (1978) 234.
- 5) H. Suzuki, T. Ito, H. Ando, K. Kikkawa and F. Kimura: Solving Regional Constraints in Components Layout Design based on Geometric Gadgets, *Journal of AIEDAM*, 11, 4, (1997).
- 6) 武田捷一, 丸山 稔, 亀井克之: 物理法則に基づく剛体運動のシミュレーション手法, *グラフィクスとCAD 研究会資料*, 73, 4, (1995) 25.

[成果の発表, 論文等]

- 乾正知: 機構シミュレーション技術を利用した機械製品の公差解析, *日本機械学会茨城講演会講演予稿集* (1999) 505.

パフォーミングアートにおける意図伝達の 物理的・生理的・心理的研究

A Study on Intension Transfer in Interactive Art
— From Physical, Physiological and Psychological Approach —

981007

研究代表者	和歌山大学 システム工学部 助教授	片 寄 晴 弘
共同研究者	マリ子ダンスシアター	高 安 マリ子
	(財) イメージ情報科学研究所	金 森 務

〔研究の目的〕

本研究では、意図や感性を伝えるための身体表現として、パフォーミングアートを取り上げ、演じ手の意図、その身体表現、それがどのように伝わったかを三つの視点（生理的 / 物理的 / 心理的視点）から観測し、感性情報伝達に関する基礎的な知見の獲得、さらには、感性情報伝達のモデル化を行う。今後のヒューマンインタフェース技術の基礎研究の一つとして社会に貢献することを目指す。

〔研究の内容・成果〕

1 ジェスチャを介した意図伝達の実験

主としてダンスに関連した動作を対象とし、形容詞として表現される意図がどのようにジェスチャとして実体化され、それが、どのように（形容詞として）受け止められるかの研究を実施した。まず、ジェスチャを客観的に捕らえるために、装着型小型センサユニットの開発を行った。センサユニットを図1に示す。

ジェスチャの伝達ということに関して、表現しようとする内容、また、ジェスチャの行為者によって、どのような差異が見られるかに関する基礎実験を実施した。ここでは、形容詞を提

示し、表現者にその形容詞を自由に表現してもらおうという形で実験を行った。この結果、1) ダンス経験者の方が、未経験者に比べて、若干、ジェスチャに関する識別能力が高いこと、2) 形容詞の中にも「型」と密接な関係を持ったものがあることが確認された。

松本らの先行研究（松本千代栄：舞踊研究：課題設定と課題解決学習Ⅱ，日本女子体育連盟紀要' 87-1, pp. 53-89）を追試する形で、代表的とされる「躍動的な」「鋭い」「厳かな」「自然な」「寂しい」「流れるような」「楽しい」

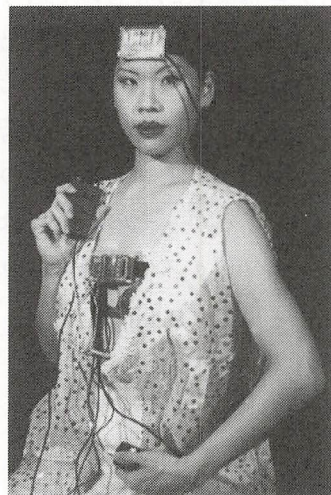


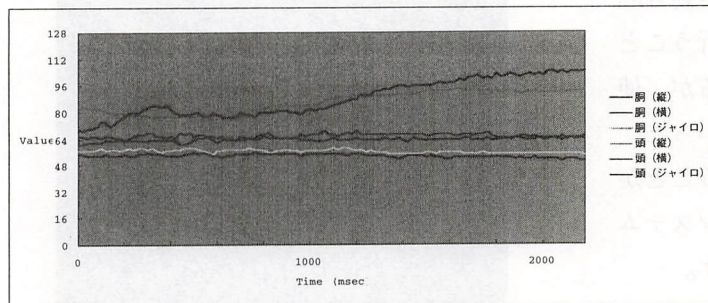
図1 ジェスチャセンサ
頭部、胸部の姿勢角、水平方向の角速度の計測を行うセンサ（無線タイプ）

のモチーフをもった7つのジェスチャをダンス経験者に実施してもらい、その受け止められ方を調べてみた。その結果、「厳かな」と「鋭い」の一部のタイプが誤ってとらえられる場合が多かった。「流れるような」が、一部、「寂しい」「自然な」と認識されたことを除けば、残りは、概ね、正しく伝達されていた。

「厳かな」と「鋭い」に関するジェスチャセンサの出力とシンボルの伝達度（同じ形容詞群に評価された割合）振付師のコメントを図2に

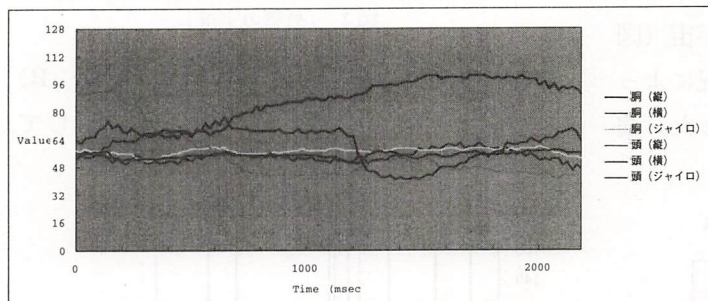
示す。

「厳かな」については、ゆっくりとした動きが観測されていることがわかる。この特徴が、「流れるような」という印象につながったものと思われる。「厳かな」という表現は、宗教的な意味として理解されることがある。今回の実験において、表現者があえて、シンボリックな表現をさせていた。このことも「厳かな」と認識されなかった要因の一つと解釈される。「鋭い」については、「間」や「止め」を強調する



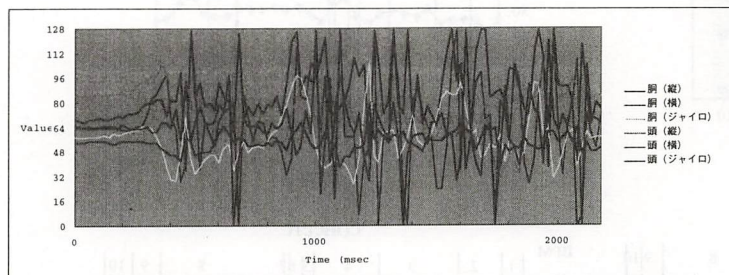
ダンサー A:
〈伝達度〉 0.15

シンプルにゆっくりとシンボリックに開いていく感じが神聖さとなって表れているものの、「流れるような」という印象でうけとめられる。



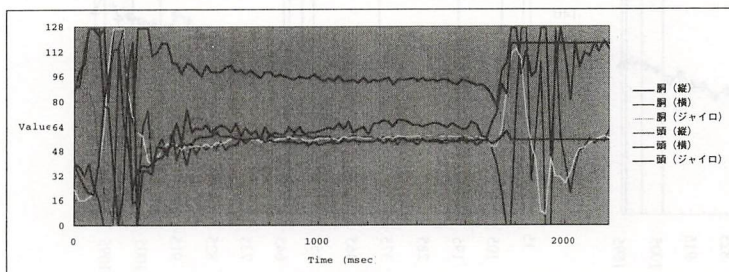
ダンサー C:
〈伝達度〉 0.18

内的には表現されているが、動きが直接的ではないので、見ている人にはわかりづらかった。



ダンサー A:
〈伝達度〉 0.85

直接的に分かりやすい直線的な動きである。



ダンサー C:
〈伝達度〉 0.57

エネルギーが力強く出ているので、迫力とかエネルギーというイメージで伝わった。

図2 ダンサー A, C による「厳かな」「鋭い」の表現

タイプとそうでないタイプが存在していた。このタイプの差が伝達に影響を与えているようである。

2 緊張感センサの実装とパフォーマンスアートにおける緊張感の計測

本研究では、複数の人間がインタラクションを行うというごく一般的な環境下でストレスや緊張感を生理指標（心拍数・皮膚インピーダンス）として計測することを目的の一つにあげた。この用途では、被験者（測定対象者）が動き回り、かつ、複数人に対して同時計測を行うことを想定したシステムの構成が必要となるが、使用可能な市販システムは存在していなかった。そこで、複数人に対して同時計測を行うことが可能な小型・無線多重化生理指標計測システムの開発を行った。システムを図3に示す。

このシステムを用いて、インタラクティブコンピュータミュージック作品「竹管の宇宙（図4）」を対象に、演奏者の緊張感が状況によってどのように変化するかを計測を行った。演

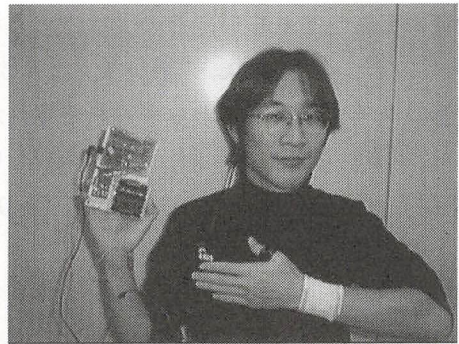


図3 多重無線化生理指標計測センサ

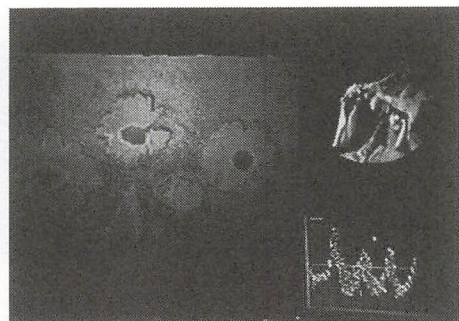


図4 「竹管の宇宙」

奏者の生理指標を図5に示す。A) 練習, B) リハーサル, C) コンサート本番に関して、

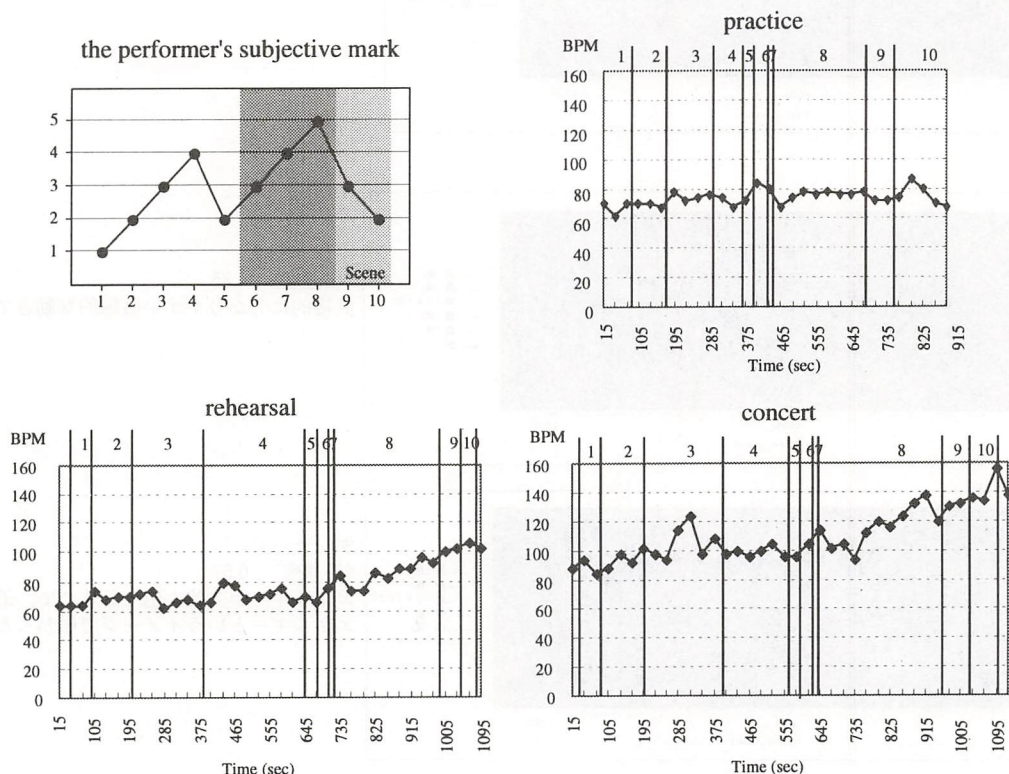


図5 演奏者の生理指標と主観評価

B), C) ではインテンシティレベルに差が認められるものの概ね同様の傾向が見られること、A) は B), C) に比べて後半に指標（緊張感）の増加があまり認められないなどのデータが得られた。

演奏を聞いた視聴者の生理指標を図6に示す。今後、より多くのデータを集積・解析していく必要があるが、図6からは、演奏者と視聴者の生理指標が、演奏の後半で同調傾向が見られる。興味深い結果である。

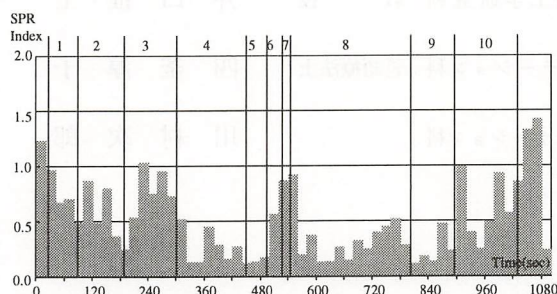


図6 視聴者の生理指標

【今後の研究の方向、課題】

本研究では、大きくわけて、1) ジェスチャを介した意図伝達、2) パフォーマンスにおける緊張感の計測を実施するための環境開発、ならびに基礎的な実験を行ってきた。環境開発という面においては、ほぼ目標を達成することができた。

1) に関しては先行研究を追試する形で実験

を行ってきた。いくつかの興味深い結果も得られたが、先行研究が提示したモチーフの選定を「意味論」という点で再考する必要がある。

「アクセントのある」という表現については、リズムやその崩しなど、時制に関連した興味深い要素を含んでいる。今後は、この形容詞に絞りこんで、データを収集し、計算機によるジェスチャ理解（程度を含む）の代表例として、実装を進めていきたい。

一方、パフォーマンスアートにおける緊張感の計測、特に、演奏者と聴取者との緊張感の共有に関しては、引き続き、コンサート本番での実験データを蓄積してゆく予定である。また、被計測者の負担が少ない複数人同時生体情報計測システムの特徴を生かした応用研究を実施していきたい。

【成果の発表・論文等】

- 1) 片寄他：ダンスにおける意図伝達の物理的・心理的計測，信学技報 HIP 98-27, pp. 39-38 (1998)
- 2) H. Katayose et al.: Physiological Measurement of Performer's Tension and its Utilization for Media Control Proc. Intl. Computer Music Conf., pp. 476-478 (1998)
- 3) H. Katayose et al.: A study of Interactive Art-Environment and Physiological Measurement, Proc. Intl. Conference on Virtual Systems and Multimedia (to appear 1999)
- 4) Proc. Intl. Computer Music Conf., pp. 173-176 (1996)



経系生理指標を計測することで、システム利用時の負荷モニタリングを行うことができる。システム自身は Macintosh 上で実装されている。

2. システムの機能説明

2.1 生理指標計測

利用者の負荷モニタリング機能として、自律神経系生体信号を計測するセンサ（図2）を開発した。これを用いて生理指標を抽出し、各リハビリ時の負荷を随時記録する。現在のところ、計測する生体信号は、脈波と皮膚アドミタンスの2つである。

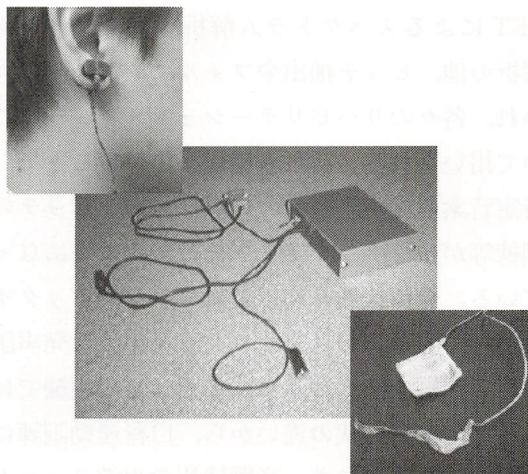


図2 生体信号センサ

左上：脈波ピックアップ（耳用）
右下：ステンレスメッシュ電極

脈波の生理指標

耳朶もしくは指尖部において光電容積脈波を 30 Hz サンプルングで計測する。生理指標としては瞬時脈拍数と脈波振幅が抽出される。瞬時脈拍数は平静時より上昇しつづける事で負荷が高いと判断し、振幅は安静時より小さくなり続けることで負荷が高くなっていると判断する。

皮膚アドミタンスの生理指標

皮膚電気活動の一つである皮膚アドミタンスの計測には、ステンレスメッシュ電極を手の親指手首に装着し、両電極間に 5 Vp-p の矩形交流電圧をかけることで計測する。皮膚電気活動

は精神性発汗活動を計測するものであり、発汗が多くなると負荷が高いと解釈できる。生理指標としては、0.1 Hz 以上の変化を皮膚アドミタンス反応として短期的な負荷の変動として捉え、0.1 Hz 以下の変動である皮膚アドミタンス水準を長期的な負荷として捉える。

実際のリハビリテーションにおける計測例

実際に大阪労災病院のリハビリテーション現場において、リハビリシステムを用いずに生理指標の計測を行った。その例を図3に示す。この場合の脈波は指尖部で計測を行った。

この例の場合、脈波振幅に関して、本人が苦手とする訓練の場合に振幅が有意な差として認められる部分があり、負荷モニタリングとして十分に判断できる結果が得られている。脈拍数に関してはその他の人の場合でも有意差も確認されている。しかし計測した被験者は老人のみであり精神性発汗活動があまり顕著に現れないということから、皮膚アドミタンスに関しては

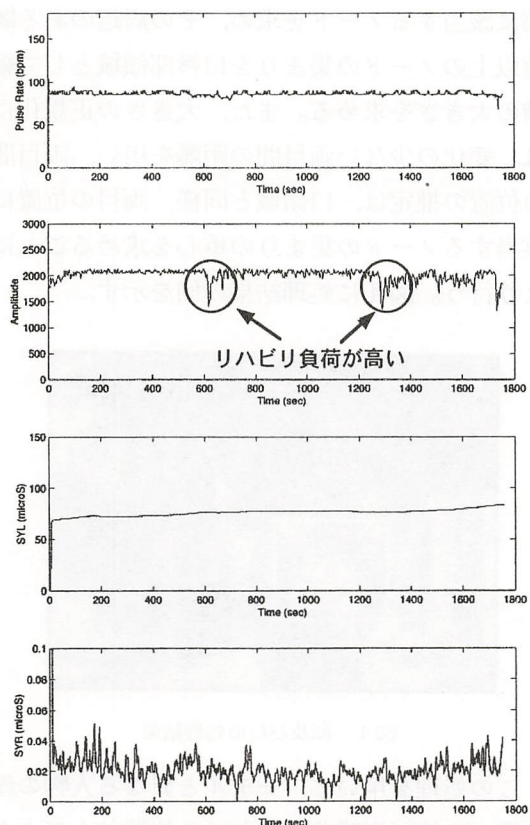


図3 リハビリ時の生理指標

現在のところ有意な差が認められていない。

2.2 画像処理

リハビリの訓練メニューとして、口唇部や舌の運動練習が行われる。それらに対する運動の計測や各部認識のため、CCDカメラで入力された顔画像から口唇部の抽出を行い、その動作量を計測する。口唇部の抽出には我々が提案したポテンシャルネットを用いている。

ポテンシャルネットは2次元グリッド状のノード間をバネで結合した物理モデルである。各ノードは微分画像をぼかした画像から受ける力とバネの弾性力で移動し、この変形特徴(ノードの変位ベクトル)を顔領域のテンプレートマッチングおよび口唇部領域の大きさの推定に用いる。

あらかじめ用意された顔テンプレートネット(顔領域用のモデルとなるテンプレート)と入力画像から得られたポテンシャルネットのマッチングを行い、得られた顔領域から口唇部領域の大きさの推定を行う。顔テンプレートの口唇部に該当するノードを求め、その周辺のある閾値以上のノードの集まりを口唇部領域として縦横の大きさを求める。また、大きさの正規化には、変化の少ない両目間の距離を用い、両目間の位置の推定は、口領域と同様、両目の位置に該当するノードの集まりの重心を求めることにより行う。図4に処理結果の例を示す。

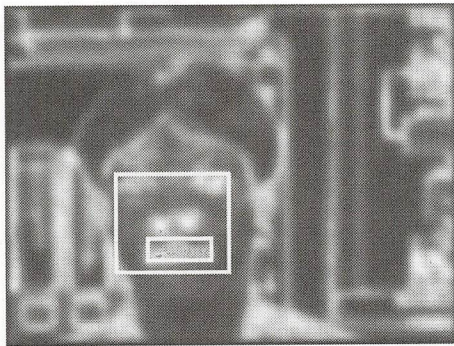


図4 顔及び口の処理結果

この処理を用いて、モデルと異なる人物の顔画像113枚(複雑背景における位置および大きさが様々)を用いて処理を行ったところ、顔領

域の探索で約91%の成功率が得られている。しかし、口唇部の大きさの推定については、高い精度が得られていない。これは、両目の位置の推定誤差が影響していると考えられる。

また、現在これら処理は約3fpsで可能となっているが、リアルタイム処理として実利用するには15fps程度必要であろうと思われる。これは計算機能力の問題であるため、近い将来解決すると考えられる。今後は舌部の運動計測のための舌部の認識等の処理を行う必要がある。

2.3 音声信号処理

マイクで入力された音声をリアルタイム処理による音響解析を行う。音響信号は16bit, 22kHzでサンプリングされる。解析としては、FFTによるスペクトラム解析、ケプストラム解析の他、ピッチ抽出やフォルマント抽出が行われ、各々のリハビリテーションメニューにおいて用いられる。これら機能を用いることで、特定音素の発声訓練や、発音リズム、ピッチの訓練等がインタラクティブに行えるようになっている。発声状態を利用者にフィードバックする例として母音のフォルマントを用いた発声訓練の両面例を図5に示す。また、この訓練では母音毎の口唇形状の違いから、口唇運動訓練にも用いることができ、音響情報の視覚フィードバックにより口唇運動訓練を行うという新しいリハビリ方法の可能性が見いだされた。

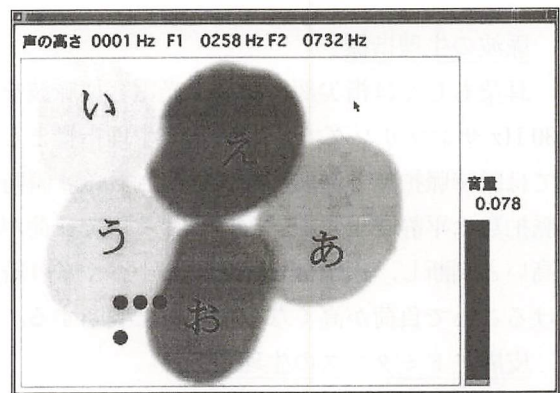


図5 母音マップによる発声訓練

2.4 アニメーションキャラクタによるガイド

利用者が楽しみながら、かつ対話的にインタ

ラクションを行いながらリハビリが行えるよう、キャラクターアニメーションが登場しガイドを行う。画面例を図6に示す。

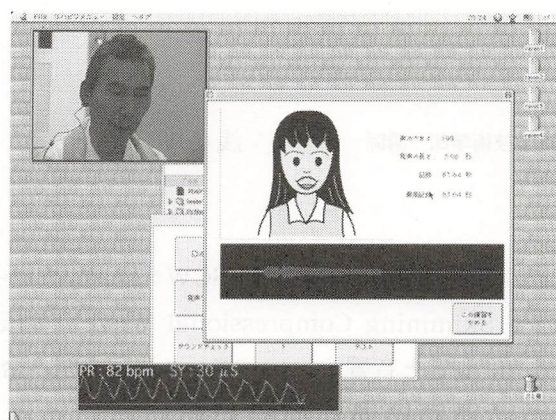


図6 キャラクタアニメーションによるガイド

3. システムの利用例とその考察

大阪労災病院にて実際にシステムを利用している状況を図7に示す。現在のところ、評価者として利用してもらった患者のほとんどが老人であり、パソコンを使用したことがない人となっている。そのため、システムの利用に関しては積極的でないという状況も見られるが、図5の訓練等では、積極的に発声しようとする人も見られた。これはインタラクティブなリハビリシステムがうまく利用者の気を引くいい例であると考えられる。

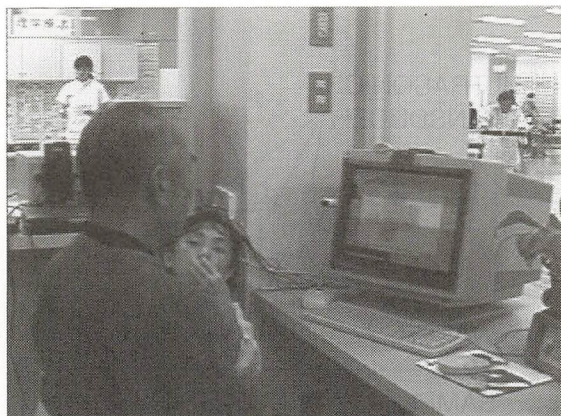


図7 病院による利用場面

〔今後の研究の方向、課題〕

構音障害者向けのシステムとして、負荷モニタリングが可能で、画像や音声をリアルタイム処理を行うインタラクティブなリハビリテーションシステムの構築を行った。独自に製作したセンサを用い、自律神経系生理指標を抽出することで、脈波に関してはリハビリ中の負荷の確認をすることができた。しかし、皮膚アドミタンスに関しては老人を対象とする場合等は信号が計測されにくいこともあり、利用に関して考察が必要と思われる。また、今後は負荷に応じたりハビリメニューの制御を行い、負荷モニタリングを行うシステムとしての評価を行っていく必要がある。加えて、画像処理については口唇部の運動計測精度を挙げ、舌部の運動計測まで行えるようにすること、音声信号処理については音声の明瞭度の診断機能等を処理として付加することで、より本格的にリハビリシステムとして充実させて行くことが今後の課題だと言える。

〔成果の発表、論文等〕

- 1) 平井重行, 片寄晴弘, 金森務, 井口征士: 携帯型生理信号センサの開発とその応用, 電子情報通信学会総合大会講演論文集 D-I, pp. 105 (1998)
- 2) 平井重行, 橋本賢一郎, 別所弘章, 井口征士: 構音障害者向けリハビリテーションシステムの開発, 電子情報通信学会総合大会講演論文集 D-II, pp. 222 (2000)
- 3) 橋本賢一郎, 平井重行, 井口征士: 構音障害音声の評価手法に関する一検討, 電子情報通信学会総合大会講演論文集 D-II, pp. 305 - 306 (2000)

超音波による骨弾性定数計測システムの開発

An Equipment for Nondestructive Evaluation of Bone Stiffness by Ultrasound

991001

研究代表者

東北文化学園大学科学技術学部 講師
応用情報工学科

浅井 仁

【研究の目的】

骨粗鬆症の診断に主として用いられている放射線による骨塩定量法は骨中のミネラル量の変化を評価するもので、骨折のリスクに関連した骨の質について評価するのは困難である。一方、超音波による骨の診断装置は、骨の強度に関連した弾性的な性質の面から骨の質を評価できる可能性があると言われている。

市販されている骨の超音波診断装置の大部分は、伝搬速度、減衰を測定して診断を行うものである。しかし、伝搬速度や減衰定数の変化は骨の状態の変化と明確に関連づけることが困難であり、診断の根拠があいまいである。著者らは、伝搬速度や減衰定数に比較してより基本的な物理量である弾性定数に着目し、その非侵襲的計測システムの開発と骨粗鬆症診断への応用について検討を進めてきた。本研究では、これまでの基礎研究の成果を元に、骨弾性定数計測システムのプロトタイプを作成に向けてシステムを改良することを目的とする。

【研究の内容、成果】

1. 原 理

超音波を用いて骨の弾性定数と密度を測定するには、同一の測定部位について伝搬速度 ($\sqrt{\text{弾性定数} / \text{密度}}$) と音響インピーダンス ($\sqrt{\text{弾性定数} \times \text{密度}}$) とを測定すれば良い。本研究では、この原理に基づく具体的な測定方法とし

て、漏洩表面擬似縦波 (LSSCW: Leaky Surface Skimming Compressional Wave) の伝搬速度測定と音響インピーダンス測定を組み合わせた測定法を取り上げている。

漏洩表面擬似縦波は、物質の表面を縦波の伝搬速度とほぼ等しい伝搬速度で伝搬する弾性表面波で、物質の表面に臨界角と呼ばれる角度で縦波を入射することによって励振することができる。漏洩表面擬似縦波を利用すれば、従来の透過法による伝搬速度測定法とは異なり、骨の表面に対して斜め方向から超音波を送受信するので、垂直に送受信する音響インピーダンス測定と組み合わせるのに都合が良い。

図1に漏洩表面擬似縦波による伝搬速度測定と音響インピーダンス測定を組み合わせた弾性定数と密度の測定システムの超音波送受信部を示す。漏洩表面擬似縦波の伝搬速度は、送波用のトランスジューサ(A)と、受波用のトランスジューサ(B)の2つの集束トランスジューサを

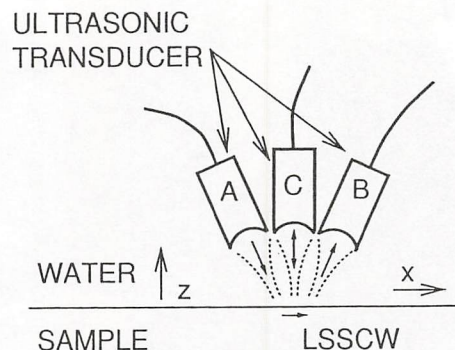


図1 超音波送受信部

用いて、マイクロフォーカス法により測定する。すなわち、超音波トランスジューサ対(A)(B)を移動させて漏洩表面擬似縦波の伝搬路長を変化させ、この時の受信信号の位相変化率を測定して算出する。一方、音響インピーダンスは、送受兼用の集束トランスジューサ(C)を用いて、超音波の反射率を測定し、水の音響インピーダンスを既知として求める。

2. 骨の弾性定数を非侵襲的に測定する装置の高精度化ならびに高効率化

位相測定に基づいたマイクロフォーカス法による漏洩表面擬似縦波伝搬速度測定においては、トランスジューサの移動精度が重要である。本研究では、測定を精度よく行うために、超音波トランスジューサーを精密に移動するための自動ステージを導入し、これをワークステーションによって制御し測定を自動化した。また、音響インピーダンス測定において、多重反射による不要信号を除去するのに、ワークステーション上で信号処理をしていたが、これをステップレスゲート回路を組み入れることにより処理時間の短縮を図った。

図2に試作した骨弾性定数の非侵襲計測システムを示す。トランスジューサの動作中心周波数は、(A)、(B)、(C)いずれも1 MHzで、焦点距離は95 mmである。

体外から骨周りの軟組織を介して漏洩表面擬

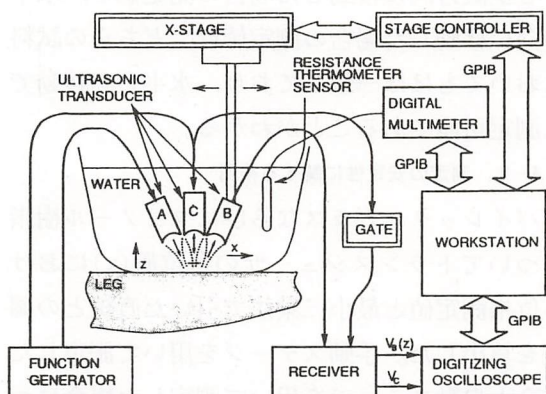


図2 試作した骨弾性定数の非侵襲計測システム

似縦波の励振ならびに検出を行う場合には、図3に示すような水/軟組織境界における屈折が問題になる。トランスジューサ(A)(B)を垂直方向(z)に移動した場合の漏洩表面擬似縦波信号の位相の距離 z に対する変化率 ξ_z は次のように表される。

$$\xi_z = \frac{4\pi f}{\nu_w \sqrt{1 - \left(\frac{\nu_w}{\nu_{LSSCW}}\right)^2}} - \frac{4\pi f}{\nu_{LSSCW}^2 \sqrt{1 - \left(\frac{\nu_t}{\nu_{LSSCW}}\right)^2}} \quad (1)$$

ただし、 ν_w 、 ν_t はそれぞれ、水中ならびに軟組織中の縦波伝搬速度である。また、 f は超音波周波数である。(1)式は漏洩表面擬似縦波伝搬速度 ν_{LSSCW} について解くことが困難なため、繰り返し計算によって解を見つける必要がある。また、軟組織の音速については、測定ま

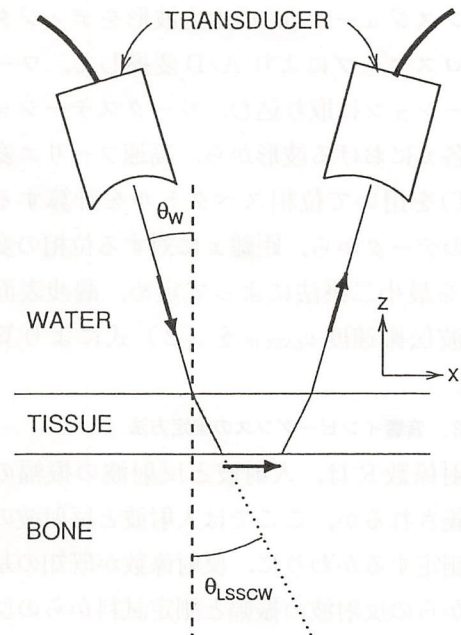


図3 屈折のモデル

たは仮定する必要がある。

そこで本研究では、マイクロフォーカス法における超音波トランスジューサの移動を自動化するに当たり、移動方向を従来の垂直移動から水平移動に変更した。トランスジューサ(A)を図1の水平方向(x)に移動させた場合の漏洩表面擬似縦波検出信号の位相の距離 x に対する変化率 ξ_x は、漏洩表面擬似縦波の波数 k_{LSSCW}

に等しくなる。したがって、受信信号の位相の変化率 ξ_x を求めれば、漏洩表面擬似縦波伝搬速度 ν_{LSSCW} を次式により決定できることになり、屈折の影響が軽減される。

$$\nu_{LSSCW} = \frac{2\pi f}{\xi_x} \quad (2)$$

3. 実験方法

3-1. 漏洩表面擬似縦波伝搬速度の測定方法

図2において、トランスジューサ(A)に周波数1 MHz、パルス幅50 μ sのRFバーストパルスを加え、試料表面に漏洩表面擬似縦波を励振する。漏洩表面擬似縦波は、水中に漏洩波を再放射しながら試料表面を伝搬する。自動ステージを用いてトランスジューサ(B)を水平方向(x)に0.2 mmずつ移動しながら、各xにおけるトランスジューサ(B)の出力波形をデジタルオシロスコープによりA/D変換して、ワークステーションに取り込む。ワークステーションでは各xにおける波形から、高速フーリエ変換(FFT)を用いて位相スペクトルを計算する。一連のデータから、距離xに対する位相の変化率 ξ_x を最小二乗法によって定め、漏洩表面擬似縦波伝搬速度 ν_{LSSCW} を(2)式により算出する。

3-2. 音響インピーダンスの測定方法

反射係数Rは、入射波と反射波の振幅の比で定義されるが、ここでは入射波と反射波の振幅を測定するかわりに、反射係数が既知の基準試料からの反射波の振幅と測定試料からの反射波の振幅を測定して、比較法により反射係数を測定した。なお、基準試料としてはパイレックスガラスを用いた。

集束トランスジューサ(C)より中心周波数1 MHzの超音波パルスを放射させ、同じトランスジューサ(C)で検出した測定対象物からの反射波 $y(t)$ をデジタルオシロスコープによりA/D変換してワークステーションに転送する。 $y(t)$ は、測定装置の周波数特性と伝搬媒質の音響特性の周波数依存性で決められるある周波数

帯域に分布した周波数成分を含んでいるため、各周波数ごとに反射係数が既知の基準試料からの反射波と測定試料からの反射波のパワーを比較し、S/Nの良好な周波数帯域に関してパワー比の平方根の平均値を求めて反射係数Rを決定する。使用したトランスジューサの中心周波数は1 MHzであり、反射係数Rの決定に用いた周波数帯域はほぼ1 MHz $\pm$ 0.2 MHzである。

水の音響インピーダンス Z_w を水温から求め、測定試料の音響インピーダンス Z を次式により求める。

$$Z = Z_w \frac{1+R}{1-R} \quad (3)$$

4. 実験ならびに結果

4-1. 水平移動システムの検証

パイレックスガラスならびにフェノール樹脂

表1 水平移動と垂直移動における漏洩表面擬似縦波伝搬速度測定結果

	z-scan m/s	x-scan m/s
Pyrex	3,167	3,229
Phenol resin	3,514	3,570

について試作システムにより漏洩表面擬似縦波伝搬速度を測定し、垂直移動の場合と比較した。移動の方向は、試料表面での伝搬距離を減少させる方向で行った。漏洩表面擬似縦波伝搬速度を算出した結果を表1に示す。トランスジューサを垂直方向に移動した場合の測定値と、水平方向に移動した場合の測定値は、どちらの試料においてもほぼ一致しており、水平方向移動でも測定可能であることがわかる。

4-2. 測定の安定性に関する検討

パイレックスガラスならびにフェノール樹脂についてトランスジューサの各位置(x)における位相測定値と最小二乗法で引いた直線との偏差を算出した。手動ステージを用いて測定した場合と自動ステージを用いて測定した場合について一例を図4に示す。手動ステージによる測

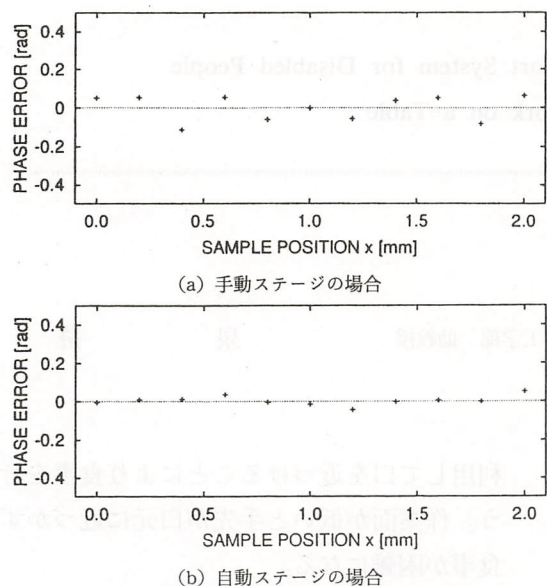


図4 各測定点における位相測定値の最小二乗直線からのずれ

定における標準偏差が0.06 rad(3.4度)であるのに対し、自動ステージ導入後では0.02 rad(1.1度)に縮小し、測定のばらつきが小さくなっている。これは、ステージ移動の正確さが増したことで、測定時間の短縮によって水温の変化が小さくなり、水中での位相回転の変化が小さくなったためと考えられる。

4-3. 軟組織の影響に関する検討

試料としてフェノール樹脂を用いて漏洩表面擬似縦波伝搬速度測定と音響インピーダンスの測定を行い弾性定数と密度を算出した。さらに、これらの試料について軟組織を模擬してシリコンゴムをのせた試料についても測定を行った。結果を表2に示す。シリコンゴムをのせた試料の音響インピーダンスについては、シリコンゴム表面における反射損ならびに伝搬損を補正してある。漏洩表面擬似縦波伝搬速度は、シリコンゴムをのせた試料の方が大きく測定されてい

る。また、音響インピーダンスでもシリコンゴムをのせた試料の方がやや小さく測定されている。従って、ヒトの骨に対して応用する場合についても軟組織の影響を十分に考慮する必要があると考える。

[今後の研究の方向、課題]

本システムをヒトの骨の測定に応用するには、軟組織の測定への影響についてさらに検討を加え、有効な補正法を導入する必要がある。

トランスジューサの移動方向を水平方向にした場合、垂直方向移動の場合に比較して漏洩表面擬似縦波伝搬速度がやや小さく測定される傾向が見られた。これは、水平移動の場合は移動の方向が漏洩表面擬似縦波の伝搬方向に正確に一致していないと位相の変化が少なくなり、その結果位相の変化率が小さく測定されてしまうためと考えられる。従って、今後ヒトの骨の測定を進めていくためには、容易にかつ正確にトランスジューサならびに自動ステージの位置合わせを行うための工夫が必要であると考え

[成果の発表、論文等]

1) 浅井 仁：“骨の超音波診断を目指した漏洩表面擬似縦波速度測定法に関する検討”，日本音響学会講演論文集，pp. 907-908, 2000.

表2 弾性定数と密度の測定結果

	Velocity m/s	Impedance kgs/m ²	Stiffness Gpa	Density kg/m ³
Phenol resin	3,570	5.36×10^6	19.1	1.50×10^3
Sillicone/Phenol resin	3,773	5.07×10^6	19.1	1.34×10^3

上肢麻痺者の手先作業の補助手段の開発

Development of an Upper Limb Support System for Disabled People
to do the Manual Work on a Table

991002

研究代表者

北海道東海大学工学部 助教授

泉

隆

[研究の目的]

筋ジストロフィー（以下筋ジス）などの神経筋疾患に罹患すると手足の麻痺が進行する。末梢部位の麻痺の回復が困難な疾患では、手足の動作を外部から補助することが生活の質を改善するための有効な手段となる。本研究では、筋ジス者の腕や手指の動作を補助するために、上肢の姿勢を外部から安定に支持する手段を開発することを目的として、患者の上肢機能の解析、補助装置の設計・試作および、装置の臨床評価を行った。

[研究の内容、成果]

1. 患者の日常生活における上肢機能の解析

筋ジス者は、筋萎縮により肩や腕の随意動作が次第に困難になる。特に腕の上げ下げなど重力に逆らうような動作を行うことはできない。他方で、残存する機能を利用して代償動作を巧みに行っている。本項では、まず、筋ジス者の日常生活を想定して、書字や食事など具体的な動作を残存機能により行わせ、患者に特徴的な姿勢を明らかにした。その結果、筋ジス者は、作業内容に応じて表1のような特徴的な作業姿勢をとることが明らかになった。

(1)の姿勢：前腕の手関節に近い部位を作業面の縁に当て支点とし、手先を机の手前の縁の上方にかかけ、この手先に体幹の前傾を

利用して口を近づけることにより食事を行う。作業面が低いと手先が口元に近づかず食事が困難になる。

(2)の姿勢：作業を行わない腕で作業を行う手の高さを調節する。歯磨きの場合は、作業面の高さが口元に近い必要がある。絵画の色塗りの場合は、対象の全体を見渡す必要があるため作業面の高さは腹部あたりが好ましい。

(3)の姿勢：手先を作業面に接触させるため、作業面と手先の間に距離を必要としない。細かい作業の場合は対象物を目に近づけて作業を行い、全体を見渡す場合には顔から遠ざけて行う。

表1 筋ジス者の日常作業姿勢

	上 肢 の 姿 勢	作 業
(1)	前腕を机の縁に当て体幹の前傾を支持しながら作業を行う	食事
(2)	作業を行う手を反対側の腕に重ね手先の高さを変える（図1）	絵画 歯磨
(3)	作業面に手先を接触させ、作業を行う	書字

これらの代償動作を行うためには、作業内容に応じて作業面と手先の高さをそれぞれ適切に設定する必要がある。しかし、一般の住宅や施設ではこれらの位置を任意に変えることはできず、高さの異なる机を使い分けているのが現状である。筋ジス者には体格や筋萎縮の進行程度に違いがある。また、使用する車椅子の形状も

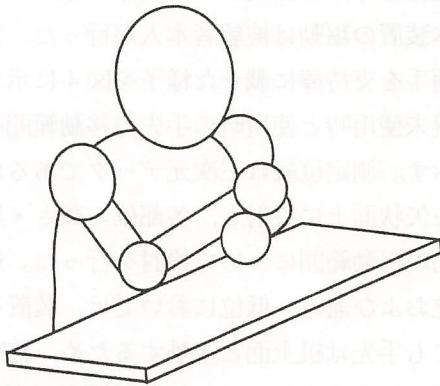


図1 反対側の手を支えとして作業を行う姿勢

一様ではない。これらを勘案すると、手先作業時に本人の意思によって作業面と手先の高さを任意に設定できる装置の有用性が示唆される。

2. 上肢姿勢を支持する装置の設計と試作

筋ジス者の残存機能による代償動作が行いやすい姿勢を作り出すために、作業を行う腕を任意の高さで保持し、保持した腕の位置を本人の意思により自由に変えることができる装置の設計と試作を行った。具体的には、机の縁を模して前腕を支持する水平棒を用意し、その支持棒に前腕を載せる。この棒を高さ・奥行き方向に駆動することで、手先の作業範囲を広く確保することができるというものである。

装置の主な仕様を表2に、構成を図2に示す。机上作業の妨げにならないように、装置は机の縁に装着する。装置から水平に伸びた支持棒で

前腕を支える。前腕支持棒のどの部分に前腕を置くか、また、前腕のどの部位を当てるかは使用者が自由に決める。筋ジス者が前腕を通じて体重の一部を本装置にかけて作業姿勢の保持を行えるように、装置は高さ・奥行き方向の位置を決めた後、任意の位置で固定される。手先作業は筋ジス者の手指の残存機能によって行う。装置を必要としないときは、机上面より20 mm下げ、机の一部として収納される。

装置の駆動には可変速モータを使用し、筋ジス者の意志により装置の速度を変えることができる。支持棒にかかる負荷が、直接モータにかからないようにするため、直動レールによって負荷を受け、ボールネジによって支持棒の位置を決める機構を採用した。

装置の制御は、上下・前後方向に対応する4つの押しボタンスイッチにより行う。使用者が視覚や体性感覚を利用して支持棒の高さと奥行きを確認しながら任意の位置に設定することが可能である。また、押しボタンを離すと支持棒は任意の位置で固定され、装置に載せた上肢の荷重が安定に支持される。

表2 試作装置の主な仕様

駆動範囲	高さ 300 mm, 奥行き 300 mm
駆動速度	高さ 43 mm/s, 奥行き 50 mm/s
支持棒径	太さ 20 mm, 左右長 470 mm
耐 荷 重	10 kg 重まで
本体重量	約 20 kg

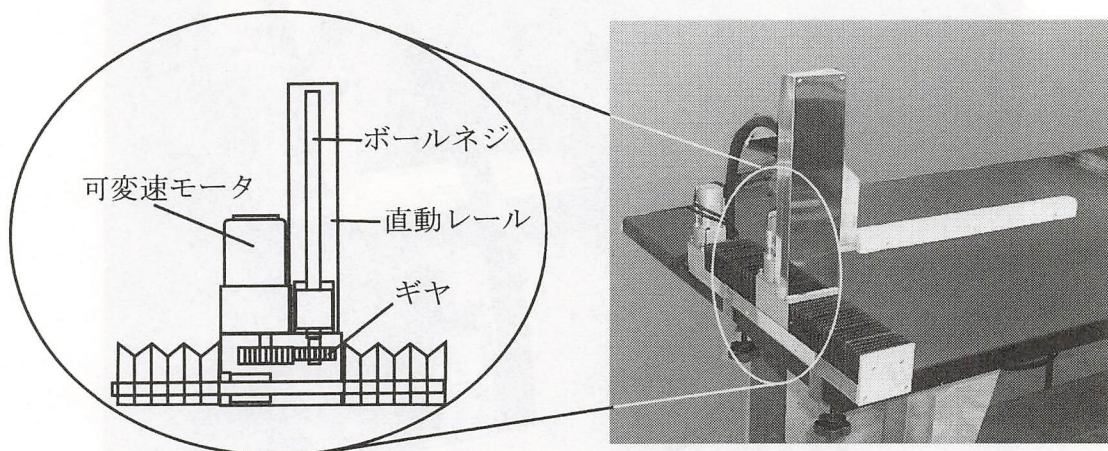


図2 上肢姿勢支持装置の外観と構造

3. 試作装置の臨床評価

筋ジス被験者1名について、代償動作による作業姿勢と本装置を使用した姿勢を磁気コイルを用いた三次元位置測定装置を用いて測定した(図3)。まず、装置を用いずに作業を行う際の机上での上肢姿勢を測定した。被験者は机上において利き腕である右手の手先が「近方一低位」「近方一高位」「遠方一低位」「遠方一高位」の4種類の姿勢を取るよう努力した。このときの肩・肘・手首の位置を被験者が座る車椅子の座面と背もたれの位置を基準として測定した。次に、本装置に右手を載せて手先を高

さ・奥行き方向に移動させて同様の測定を行った。本装置の駆動は被験者本人が行った。実験中に両手を支持棒に載せた様子を図4に示す。

装置未使用時と使用時の手先の移動範囲を図5に示す。測定位置は三次元データであるが、これを矢状面上に投射し、各部位の高さ・奥行き方向の可動範囲について検討を行った。近方一低位および遠方一低位においては、装置を使用しても手先は机上面と接触するため、移動範囲に違いは見られない。しかし、近方一高位では装置を使用することにより、使用しない場合と比べ150 mm手先を高く保持することができた。また、遠方一高位においては、装置を使用しない場合より奥行き方向で290 mm、高さ方向では60 mm程度離れたところまで手先を移動することができた。以上のように、筋ジス者の前腕を下から支え、支えた前腕を高さ・奥行き方向に駆動することによって、特に高さ方向において手先の作業可能範囲が顕著に拡大されることが見出された。

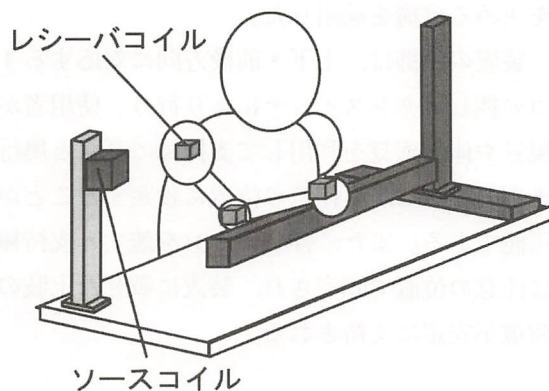


図3 上肢姿勢の測定系

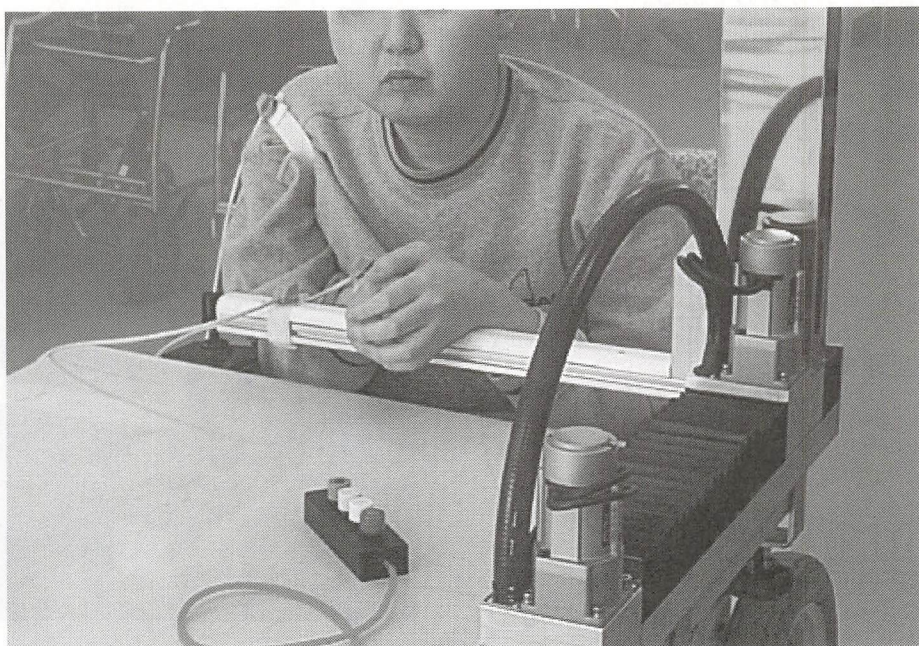


図4 上肢麻痺者による試作装置の評価

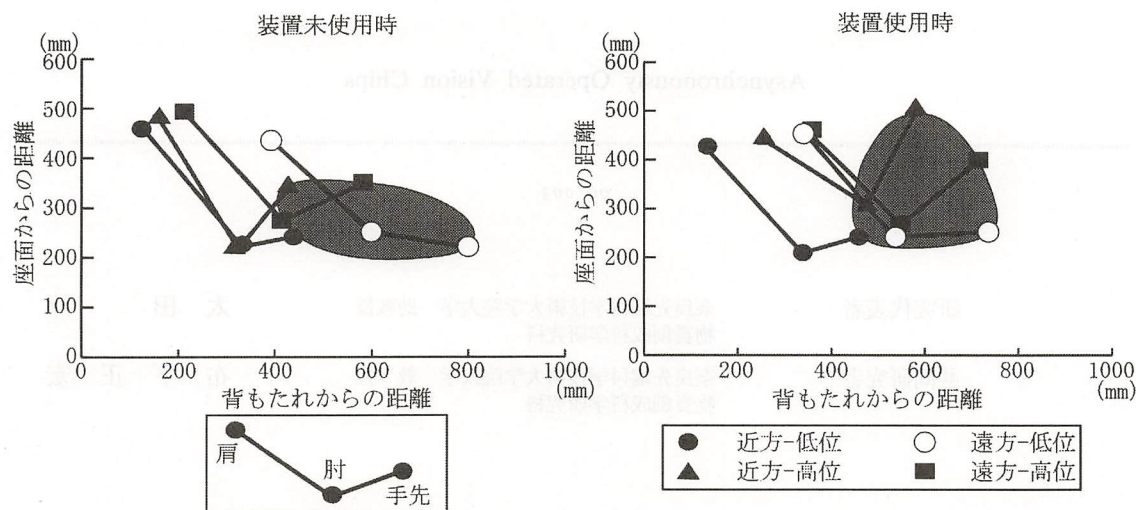


図5 装置の使用による手先の移動範囲の拡大

[今後の研究の方向, 課題]

本装置によって、筋ジス者が机上で手先の高さを確保しながら行う作業において、本人の望む手先の高さが得られることが確認された。しかし、手先が高く上がり肘が机上面より離れると、上肢の姿勢が不安定になる傾向が見られた。この場合、前腕だけでなく、肘や上腕も支持することで、上肢の作業姿勢の安定化が図れるものと推察される。さらに、体幹を含めた上肢全体の姿勢補助も今後の課題である。また、本装置を小型化し車椅子に搭載することにより、机を用いなくても着座中にさまざまな上肢作業が行える可能性も示唆された。

本研究で提案された上肢動作補助装置の考え方は、普段、患者が使用している車椅子と机の機能を自然に拡張するものであり、特別な装具を腕に装着するものではない。したがって、不自然さや違和感が少なく、臨床的な導入が容易なものであることも確認された。

[成果の発表, 論文等]

- 1) 山本, 森, 荏原, 泉, 田中, 佐久間, 井野, 伊福部: 筋ジストロフィー者のための上肢作業補助装置, 信学技報 MBE 99-35, pp. 83-88, 1999.
- 2) 山本, 森, 荏原, 泉, 田中, 佐久間, 井野, 伊福部: 筋ジストロフィー者のための上肢作業姿勢補助装置の提案, 信学技報 MBE 99-169, pp. 49-54, 2000.
- 3) 佐久間, 敦賀, 奈良, 井野, 伊福部, 森, 荏原, 山本, 泉: 肘関節補助装置の追随性の改善, 信学技報 MBE 99-170, pp. 55-60, 2000.

非同期動作ビジョンチップに関する研究

Asynchronously Operated Vision Chips

991003

研究代表者	奈良先端科学技術大学院大学 助教授 物質創成科学研究科	太 田 淳
共同研究者	奈良先端科学技術大学院大学 教 授 物質創成科学研究科	布 下 正 宏

〔研究の目的〕

現行の画像処理システムは撮像素子である CCD (Charge Coupled Device) で画像を取得し、その画像データを全て後段の処理系に送り、前処理や高次処理を行う逐次集中処理方式を基本としている。これに対して、生物の視覚情報処理機能は、網膜上で画像の特徴量をとらえる前処理を行いその処理結果を脳に送る分散処理を特色としている。

このような生体の視覚情報処理機能の工学的な実現を目指すのがビジョンチップである。ビジョンチップはイメージセンサの各画素に処理機能回路を付加することでオンチップ画像処理を実現しており、よりコンパクトな構成で高速かつ柔軟な画像情報処理が可能であり、マルチメディア機器におけるキーデバイスとして内外の様々な研究機関で活発に研究が行われている。

生体系における情報処理の特徴の一つに非同期動作がある。各センシング部が非同期に動作することにより、外界からの入力に対して応答特性を局所的に変化させることが可能となり、柔軟かつ高速な処理が実現できる。また、生体神経系ではパルス信号により情報が表現されており、このパルス信号により非同期処理が可能になると共に、一種のアナログ・デジタル融合が実現され、柔軟かつノイズ耐性が高いシステムが可能となっている。

これに対して現行の CCD を始めビジョンチップのほとんどは、クロックに同期して全ての画素が一様な応答特性で出力をするため、外界環境変化への追従に後れが生じたり、場合によっては追従が不可能であったりする。またその信号処理形態はほとんどがアナログかデジタルのいずれかである。

このような生体の視覚情報処理方式の概念を応用したパルス変調法をビジョンチップに導入することで、従来にない非同期方式に基づく柔軟で知的な処理機能の実現が可能になると期待される。

本研究では、まず非同期方式の基本となるパルス変調方式を検討し、パルス幅変調方式を導入したビジョンチップについての研究を行った。

パルス変調方式は受光素子からのアナログ出力値をパルス列に変換して出力するもので、図 1 に示すようにパルス強度変調 (PAM) (図 1 (a)), パルス幅変調 (PWM) (図 1 (b)), パルス周波数変調 (PFM) (図 1 (c)), パルス位相変調 (PPM) などがある。実際にこれらの方式をイメージセンサ内に構築する方式とその基本動作原理を図 2 に示す。この中で PAM 以外はデジタル値で表現されている。従って、デジタル信号の利点である耐雑音性が向上するとともに、ロジック回路との親和性が良くなる。特に、PFM は生体神経細胞の出力形式であり、生理学的面とハードウェア面からの研究が精力的に

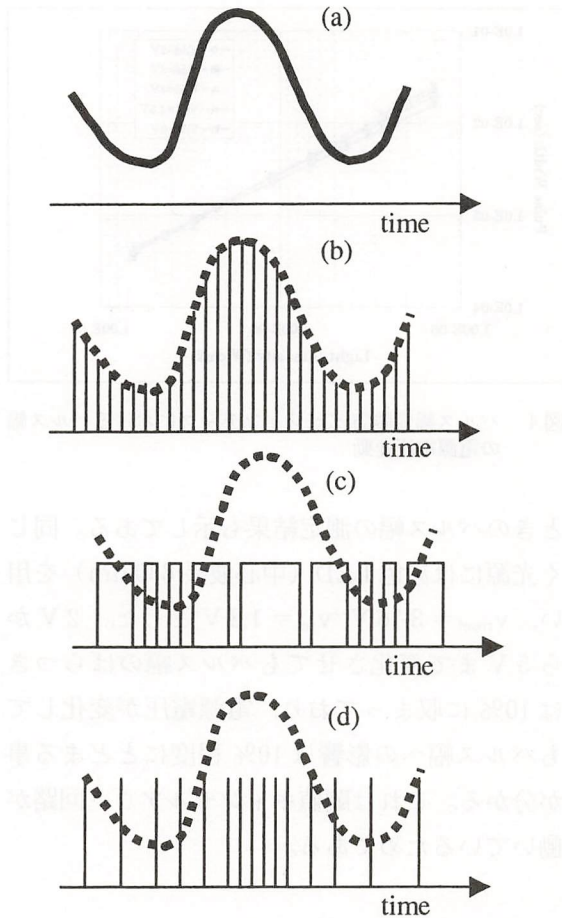


図1 パルス変調方式, (a) 元信号, (b) パルス強度変調 (PAM), (c) パルス幅変調 (PWM), (d) パルス周波数変調 (PFM)

行われている。このような特徴は画素内に信号処理回路を内蔵するビジョンチップには非常に有益といえるが、画素間相互作用、例えば興奮性・抑制性結合などをパルス形式で実現する方式が重要である。以下ではこのパルス幅変調方式を用いたビジョンチップについて特にその画素間結合に関して本研究で得られた成果を中心に述べる。

【研究の内容, 成果】

パルス幅変調方式を実装したビジョンチップの回路構成図を図2に示す。 V_{reset} ONにより V_{dd} 近くまで充電された後 V_{reset} OFF によりフロート状態のフォトダイオード PD の電位 V_{PD} は、フォトキャリアによる放電量に応じて減少する $V_{PD} < V_{ref}$ になった時点 $t=t_0$ でコンパレー

タ COMP が ON する。この時間の間パルスを出力していれば、パルス幅が入射光量を表す事になる。従来のビジョンチップは一定時間 (= フレーム時間) 後に V_{PD} の電位を検出することで入射光量を出力しているのに対して、本方式は電圧値を基準にしている事に相当する。従って規準電圧値に達した画素から処理が終わるた

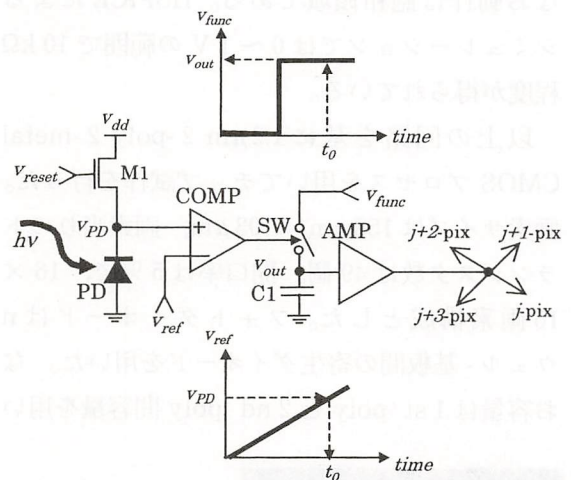


図2 パルス幅変調方式ビジョンチップの画素回路構成

め、非同期処理に呈しているといえる。

ここではコンパレータ COMP の出力によりスイッチ SW を制御し、任意の関数変換を実現している。COMP が HI の時 SW は ON 状態にあり、コンデンサー C1 は V_{func} に充電されている。 $t=t_0$ で $V_{PD} < V_{ref}$ となり、COMP 出力が LO となると SW は OFF し、 V_{out} は $t=t_0$ での V_{func} となる。図2挿入図では、 V_{func} をステップ関数としており、2 値化を実現している。 V_{func} の関数形を選ぶ事で任意の入射光量対出力電圧を得る事ができる。なおコンパレータは閾値キャンセル型のインバータ回路を用いており、容量値は 320 fF とした。この時 V_{ref} はインバータの電源電圧の約 1/2 となる。

画像処理には近傍画素間演算が多用されるのでビジョンチップでの近傍画素間演算の実装は非常に重要な課題である。パルス幅変調出力はそのままでは近傍画素間演算は困難であるため、一度コンデンサーに蓄積しアナログ値に変換した後に、バッファアンプ AMP を通して水平

抵抗ネットワークによる近傍画素間結合を実装した。変換容量は図2の C_1 であり、容量値は220 fF である。

この受光回路を水平抵抗により4近傍画素と結合した。水平抵抗はトランジスタで実現した。コンデンサはゲート電位をソース電位に対して一定にし、線形性を向上させるためである。なお動作は飽和領域である。HSPICE によるシミュレーションでは0～1 V の範囲で10 kΩ 程度が得られている。

以上の回路を基に1.2 μm 2-poly 2-metal CMOS プロセスを用いてチップ試作を行った。画素サイズは158 μm × 103 μm、画素当りのトランジスタ数は49個、開口率は5%で、16 × 16画素構成とした。フォトダイオードはnウェル-基板間の寄生ダイオードを用いた。なお容量は1st poly と2nd poly 間容量を用い

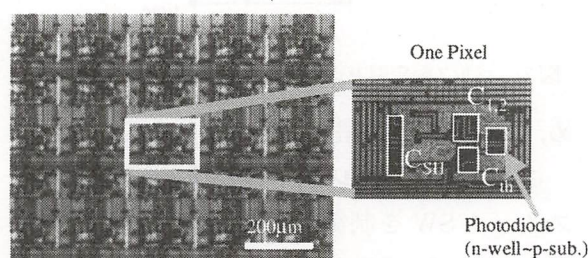


図3 試作 PWM チップと1画素分の顕微鏡写真

た。図3に試作チップの顕微鏡写真を示す。

図4に光強度に対する出力パルス幅の測定結果を示す。パルス幅 T はフォトダイオードの容量を C_{PD} 、光電流を I_{ph} とすると、

$$T = C_{PD} \cdot (V_{res} - V_{ref}) / I_{ph} \quad (1)$$

となり、光強度に反比例して出力パルス幅が変化する。実験結果は光強度に反比例して減少していることが分かる。光源には赤色LED（中心波長630 nm）を用い、 $V_{reset} = 3.16$ V、 $V_{ref} = 1.8$ V とした。ここでは4画素分に対する測定結果を示しており、パルス幅の相対ばらつきは5%以内である。

図4には、パラメータとしては論理インバータの電源電圧を2 V から5 V まで変化させた

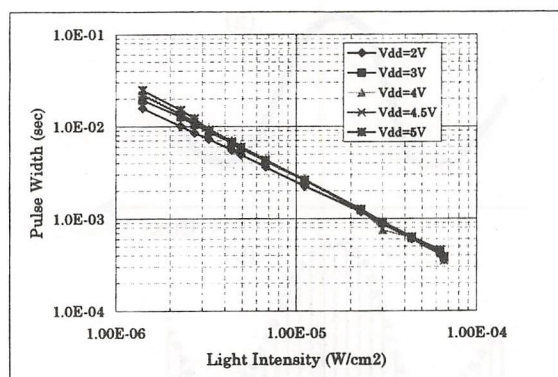


図4 パルス幅変調方式ビジョンチップにおけるパルス幅の電源電圧変動

ときのパルス幅の測定結果も示してある。同じく光源には赤色LED（中心波長630 nm）を用い、 $V_{reset} = 3.16$ V、 $V_{ref} = 1.8$ V とした。2 V から5 V まで変化させてもパルス幅のばらつきは10%に収まっており、電源電圧が変化してもパルス幅への影響は10%程度にとどまる事が分かる。これは閾値キャンセルアウト回路が働いているためである。

[今後の研究の方向、課題]

現在この試作チップを用いて関数変換回路及び近傍画素間演算回路の動作実証を行う予定である。またこれまでの成果でパルス値変調方式の動作をほぼ実証することができ、今後はアレイ化を図り非同期動作に関する実験を行うことが必要である。そして非同期方式の優位性を実証する実験を行うことが重要な課題といえる。

[成果の発表、論文等]

- 1) 上原昭宏, 太田 淳, 布下正宏, ネットワーク回路を組み込んだアクティブピクセルセンサー, 1999年映像情報メディア学会年次大会講演予稿集, p. 226.
- 2) 上原昭宏, 阪田裕彦, 徳田 崇, 太田 淳, 布下正宏, パルス動作ビジョンチップの試作, 2000年春季応用物理学会, 29 p-S- 16, p. 1023, 2000.
- 3) J. Ohta, A. Uehara, T. Tokuda, and M. Nunoshita, "Pulse-Modulated Vision Chips with Versatile-Interconnected Pixels," 5th Workshop on Optics and Computer Science (WOCS), Cancun, Mexico, May, 2000.

単分子凝着法による超高感度ガスセンサーに関する研究

Study of High Sensitive Gas Sensor based on Monolayer Molecular Adsorption

991006

研究代表者

長岡技術科学大学工学部 助教授

河 合 晃

【研究の目的】

センサー機能の多様化および性能改善は、将来の高度制御システム研究の中核を成す基礎研究である。また、そのセンサーの良し悪しが全体に及ぼす影響は計り知れない。特に、大気中に存在する極微量なガス分子の検出は、人間社会における医療、安全、高機能化の面において重要度を増している。本研究では、生命体に有毒なガスの早期検出、あるいは、可燃性ガス漏れの早期発見などを目指したカンチレバーセンサーの基礎特性を解析し、システムの構築を検討する。

【研究の内容、成果】

1 表面処理層におけるファンデルワールス相互作用解析

本研究の目指すセンサーにおいて、ガス分子の吸着現象の解析は、センサー動作に直接大きく影響するものである。一般に、ガス吸着などの現象は、ファンデルワールス相互作用を主体とした物理吸着として考えることができる。そこで、カンチレバー検出部の動作感度を定量化するために、カンチレバーと固体表面とのファンデルワールス相互作用の測定を行った。対象とする固体表面は、単分子の吸着形態をとると考えられる HMDS（ヘキサメチルジシラザン）処理によるシランカップリング表面である。この表面は、純水の接触角で 100 度程度を示す疎

水化表面である。また、酸素プラズマ処理を施した Si 基板も用いている。この処理は、純水の接触角が 0 度を示す極端な親水化表面である。よって、これらの基板を用いることにより、カンチレバーと疎水化および親水化表面との相互作用力を解析することができる。図 1 には、各固体表面との相互作用力の解析結果を示している。

このように、レナード・ジョーンズポテンシャルカーブに基づき、相互作用力は、互いの距離が短くなるにつれて、引力から斥力へと変化する様子が明確に検出できている。また、これらの相互作用曲線において、疎水化および親水化処理の影響が顕著に現われているのが分かる。これらの相互作用は、各固体の表面エネルギーの相互作用として定量解析できる。一般に、

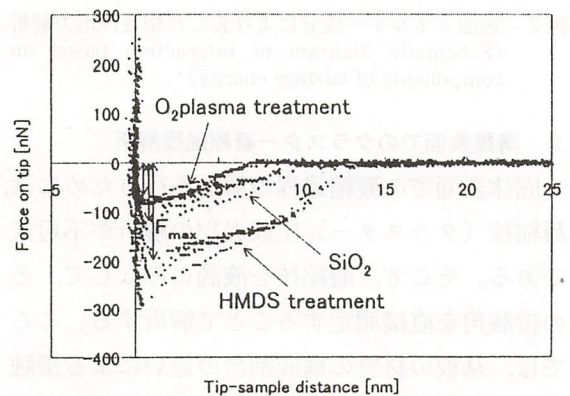


図 1 カンチレバーセンサーと親水化および疎水化表面間でのファンデルワールス相互作用 (Analysis of van der Waals interaction between cantilever sensor and hydrophobic/hydrophilic substrate based on Lenard-Jones potential)

表面エネルギー γ は分散成分 γ^d と極性成分 γ^p との和として表すことができる。また、固体間の相互作用エネルギー W は、以下の式のような各成分の二乗平均で表される。

$$W = \frac{1}{2}(\gamma_1^d \gamma_2^d)^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{2}(\gamma_1^p \gamma_2^p)^{\frac{1}{2}}$$

ここで、HMDS 単分子膜による疎水処理は、 γ^d を増加させる効果があり、酸素プラズマによる親水化処理は γ^p を増加させる効果がある。これらをもとに、得られた相互作用をまとめると図2のようになる。

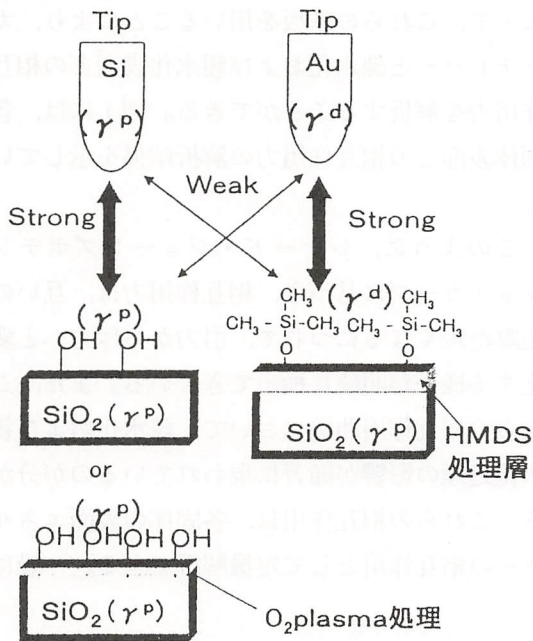


図2 表面エネルギー成分により表した相互作用力解析 (Schematic diagram of interaction based on components of surface energy)

2 薄膜表面でのクラスター凝縮過程解析

固体表面での凝縮過程の解析を行うためには、凝縮核（クラスター）生成過程の解析が不可欠である。そこで、凝縮核を液滴にみなして、その接触角を直接測定することで解析する。ここでは、基板の材質の構成割合の違いによる接触角変化に注目した。図3のような幾何学的形状をリソグラフィー技術を用いて基板表面に形成した。この基板の上で、選択的なクラスター凝縮現象を解析する。この解析結果は、カンチレ

バーセンサー表面に2種類以上の官能膜を幾何学的に配置することで、吸着感度および選択性等を高めることの妥当性を与える。

図4には、この基板において、2種類の異なる材質を用いて、その構成比と純水の接触角との関係を示している。このように、構成面積割合に忠実かつ明確に、凝縮核の大きさ（接触角）が変化することが分かる。これらの結果には、以下の関係式が存在することを新たに見出した。

$$\cos \theta' = (2\sigma - 1) \cos \theta$$

ここで、 σ は材質の構成比、 θ' は加算則が成り立たない領域での補正後の接触角、 θ は加算則

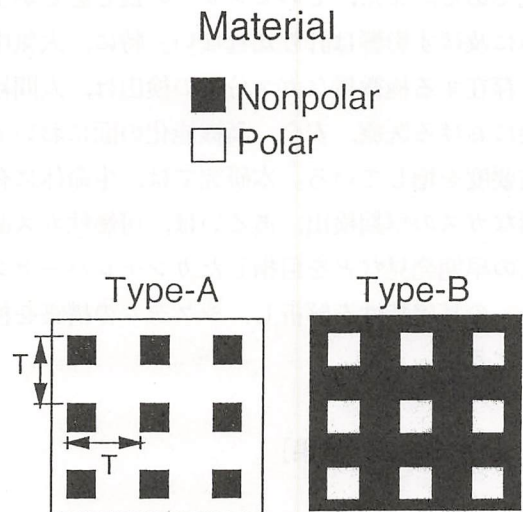


図3 幾何学的に配置されたクラスター凝縮現象解析用の基板 (Geometrical fabricated substrate used for analysis of cluster condensation phenomenon)

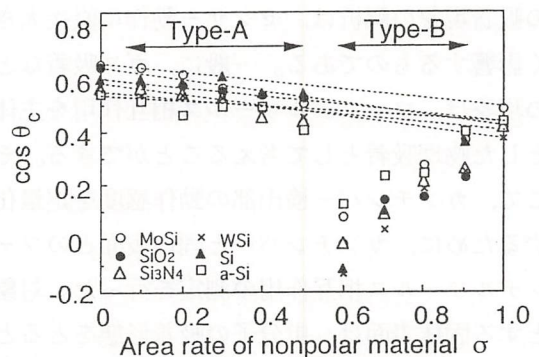


図4 センサー表面の官能膜の構成割合と凝縮クラスターのサイズ(接触角)との関係 (Correlation between area ratio of component material on sensor and condensed cluster size (contact angle).)

が成り立つ場合のクラスターの接触角である。よって、カンチレバーセンサー表面での凝縮核の不均一性が、その後の凝縮層全体の核形成に与える影響を定量化することができる。

3 微細カンチレバーの微小変位解析

本研究におけるセンサー母体であるカンチレバー表面に凝縮膜が形成された場合、膜張力のバランスに基づいてレバーが変位する。ここでは、レバー変位とその検出系の定量化のモデル研究を行い、ナニュートンといった極低張力の検出技術の高精度化を試みる。具体的には、図5にあるように、数100ナノクラスの微細凹凸形状をリソグラフィ技術を用いて形成し、ここにレバーを走査させて、その時の変位を検出し、レバーのばね定数を用いて力に換算する。この手法によれば、カンチレバー先端に吸着した微小固体の付着力の定量化も可能になる。

この手法を用いて、微小固体のサイズとレ

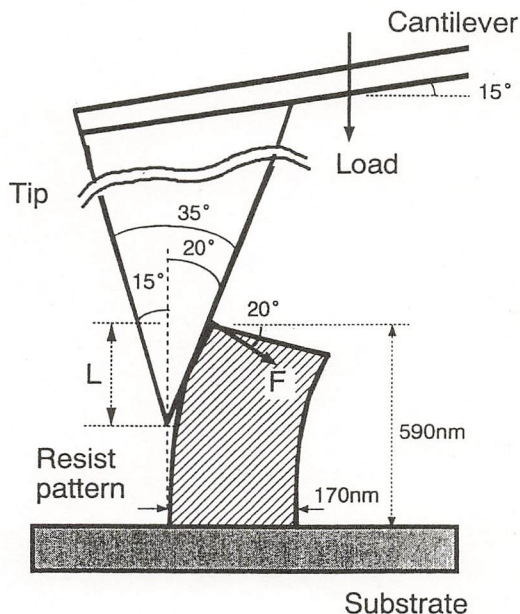


図5 カンチレバーの張力補正 (Correct of cantilever displacement in tension mode)

バーの張力との関係を求めたものが、図6の結果である。

これらの結果より、カンチレバーセンサーの検出感度として、0.01 nNの張力を検出することが可能である。これは、数層の分子吸着に

よってカンチレバーに働く張力と同レベルの敏感度な値である。

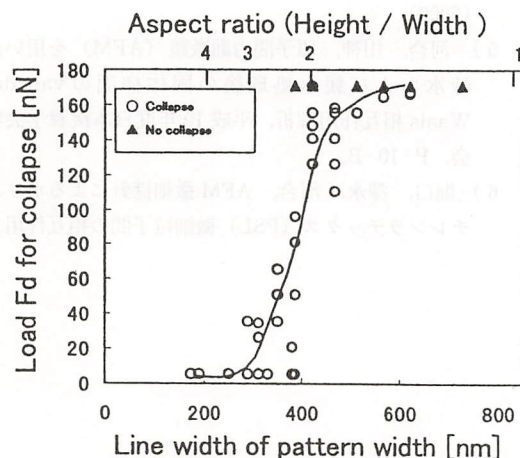


図6 微小固体の吸着に伴うカンチレバー変位および張力との相関 (Relationship between microsolid adsorption and cantilever displacement)

[今後の研究の方向、課題]

本研究により、微細カンチレバー上での単分子層の凝縮過程を解析し定量化することができた。また、センサーとしての基本となる検出感度、および、再現性などの基本的評価ができた。今後、センサーとして機能性を高めるためには、カンチレバーの変位における応答速度、増幅機能等を解析する必要がある。また、寿命、および繰り返し信頼性についても、検討する必要がある。

[成果の発表、論文等]

- 1) 河合, マイカへき開表面での微細探針の摩耗に伴う吸着力変化, 日本接着学会誌, vol. 36, No. 5, 172-175 (2000).
- 2) A. Kawai, Wetting property of a liquid drop on a geometrical micro substrate composed with different surface energy materials, International conference of ECS, Hawall, in press (1999).
- 3) A. Kawai, Y. Kaneko, Analysis of resist pattern collapse by direct peeling method with atomic force microscope tip, Jpn. J. Appl. Phys.,

vol. 39, No. 3 A, 1426-1429 (2000).

- 4) A. Kawai, Collapse behavior of organic dot pattern analyzed by the tip indentation method, J. Adhesion Soc. Japan, vol. 36, No. 1, 23-27 (2000).
- 5) 河合, 川神, 原子間力顕微鏡 (AFM) を用いた疎水および親水処理後の固体様面の van der Waals 相互作用解析, 平成 10 年度日本接着学会年会, P-10-B.
- 6) 堀口, 澤永, 河合, AFM 微細探針によるポリスチレンラテックス (PSL) 微細粒子間の相互作用力

解析, 信学技報, CPM 99-99, p. 75 (1999-10).

- 7) 金子, 森池, 河合, AFM 微細探針によるレジストパターンの破壊メカニズムの解析, 信学技報, CPM 99-98, p. 69 (1999-10).
- 8) 森池, 河合, AFM 微細探針による KrF エキシマレーザー用化学増幅型レジストの付着力解析法, 信学技報, CPM 99-97, p. 63 (1999-10).
- 9) 澤永, 河合, 原子間力顕微鏡の微細探針を用いた誘電体薄膜への局所帯電, 日本接着学会, 投稿済み (2000)

高分解能 4 次元胸部 CT 像による 微小肺がんの質的診断に関する研究

Computer Aided Diagnosis of Small Lung Cancers
using Four-Dimensional Thoracic CT Images

991008

研究代表者

徳島大学工学部光応用工学科 講師

河 田 佳 樹

共同研究者

徳島大学工学部光応用工学科 教授

仁 木 登

〔研究の目的〕

近年の CT 像の時空間的な分解能の急速な向上によって画像診断による微小肺がんの信頼度の高い非侵襲・非観血的な質的診断技術が強く望まれているが、CT 像における微小肺がんの客観的な診断法はまだ十分に確立されていない。本研究は、高分解能 4 次元胸部 CT 像による早期肺がん候補の質的診断支援技術の開発を目的とする。この診断技術は従来の画像診断を用いた診断能より優れた鑑別精度を目指すものであり、十分な医学的評価の後に早期肺がん候補の信頼度の高い非侵襲・非観血的な質的診断技術として臨床現場で活用できることを目標とする。

〔研究の内容、成果〕

本研究では、(1) 3 次元胸部 CT 像による肺野小型腫瘍の良悪性判別、(2) 4 次元胸部 CT 像による腫瘍時系列画像の解析に関する手法を検討した。以下にこれらの内容と成果について述べる。

1. 肺野小型腫瘍の良悪性判別

肺野小型病変の良悪性を判別する質的診断において、病変の内部構造、辺縁の性状、肺血管及び気管支などの既存構造の関与形態に関する

特徴が重要となる。病変内部の濃度パターンには、辺縁不鮮明な低濃度タイプや辺縁鮮明な充実タイプなどの種々のパターンが存在することが観察され、良悪性判別に有効な病変内部の画像特徴は、内部濃度パターンによって異なると考えられる。そこで、病変内部の CT 値を用いて腫瘍を 2 クラスに大分類した後、各クラスで選択した病変部の内部を 3 次元曲率に基づく特徴量によって良悪性に判別する手法を開発した。この処理手順を図 1 に示す。腫瘍 3 次元画像は、胸部 3 次元 CT 像から腫瘍を含む関心領域を抽出し、この関心領域から deformable surface model を用いて抽出したものとする。まず、腫瘍内の中心部、中心部以外の領域、腫瘍周辺部の平均 CT 値を計算し、K-means 法

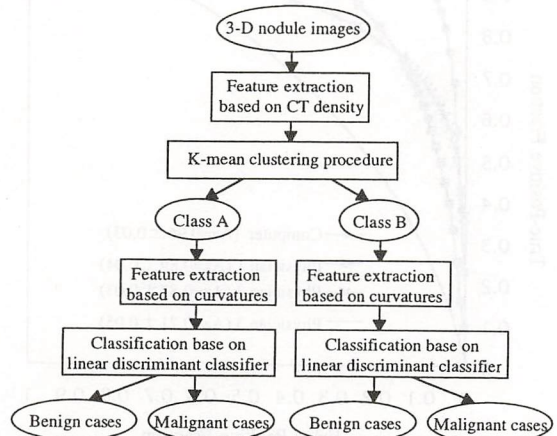


図 1 良悪性判別の処理手順

を用いて腫瘍を2つのクラスにクラスタリングする。次に、腫瘍内部をCT値と3次元曲率から得られる shape index と curvedness の分布から腫瘍内部の特徴量を計算する。この特徴量は、腫瘍内部のCT値, shape index, curvedness の頻度から得られるヒストグラム特徴, 腫瘍内部の shape index 値の分布形状から得られるトポロジカルな特徴と形態特徴からなる。最後に、各クラスで選択した腫瘍内部の特徴量から設計した線形判別関数を用いて腫瘍の良悪性を判別する。

2 cm 以下の 210 症例（良性 69 例, 悪性 141 例）に対して良悪性の判別実験を行った。判別能力を医師の診断能と比較した結果の ROC 曲線を図 2 に示す。ROC 曲線は、判別のためのしきい値を変化させたときの True Positive Fraction (TPF) と False Positive Fraction (FPF) の変化を表すものであり、曲線が左上隅に近づくほどその判別能力は高いとされる。判別能力の評価値として ROC 曲線下の面積によって示されるパラメータ A_z ($0 \leq A_z \leq 1$) を用いる。 A_z 値は 1 に近いほど高い判別能力をもつものとする。医師 1, 2, 3 の胸部放射線医師としての経験年数はそれぞれ、12 年, 15 年, 1 年である。本手法によって専門医より優れた ROC 曲線の特性を示し、 A_z 値も高い値を示し

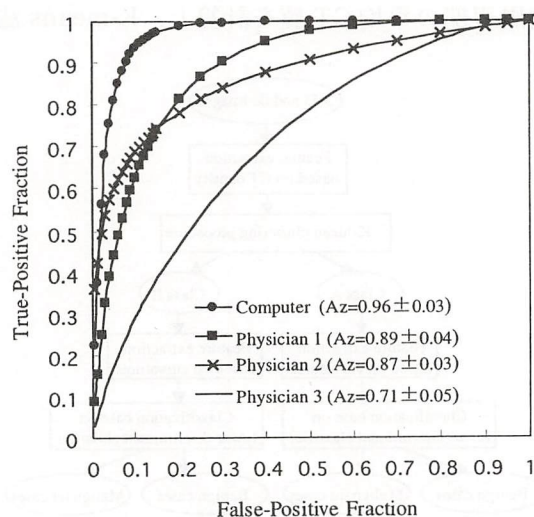


図2 医師と計算機の判別結果の ROC 曲線

た。これらの結果より、本手法の有効性が確認できる。

2. 腫瘍時系列画像の解析

CT 像の時空間的な分解能の急速な向上によって、腫瘍時系列画像の解析が臨床現場で可能となりつつある。画像診断において病変候補の経過を追跡する比較読影が用いられる。ここでは、同一被検者の撮影時間の異なる 3 次元胸部 CT 像の集合を 4 次元胸部 CT 像とし、腫瘍の良悪性判別や進行度を評価することを目的とした 4 次元胸部 CT 像による解析手法の開発を行った。この処理手順は、(1) 各計測時間における腫瘍を含む関心領域の抽出、(2) 関心領域の位置合わせ、(3) 3 D deformable surface model による肺野小型腫瘍の抽出、(4) 経時変化の定量化、からなる。計測時間が異なるために呼吸、体位の違いによって生ずる関心領域間の位置ずれを補正するために (2) では位置合わせを行う。これは、計測時間 T_0 の関心領域を参照画像として、計測時間 T_1 の関心領域を 3 次元的回転、移動の組み合わせによって T_0 の参照画像に合わせるもので、3 次元画像の一致度の評価量として相互情報量を用いた。(4) では、 T_0 の腫瘍領域と位置合わせ後の T_1 における腫瘍領域の差分処理による CT 値の濃度変化の強調、腫瘍内部の平均 CT 値, shape index 値, curvedness 値の変化、腫瘍領域の体積の変化を数値化した。

良悪性の 2 症例に適用した結果を示す。図 3 と図 4 それぞれ、良・悪性症例の T_0 の関心領域のスライス像、 T_1 の位置合わせ後の関心領域のスライス像、 T_0 と T_1 の位置合わせ後の関心領域の差分結果を示す。良性症例は時間経過に伴って腫瘍領域が縮小し、悪性症例は時間経過に伴って腫瘍領域が拡張していることが分かる。また、CT 撮影時に造影剤を注入して造影剤の染まり方の画像解析法の開発を行い、造影効果の良悪性判別への寄与について評価することを検討している。

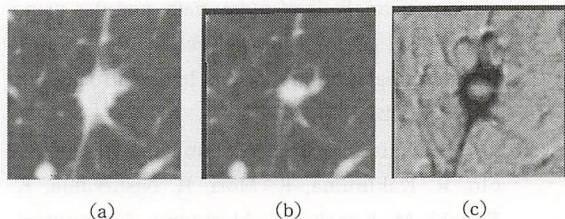


図3 良性症例の適用結果 (a) 関心領域のスライス像 (撮影日: 1995. 6. 15) (b) 位置合わせ後の関心領域のスライス像 (撮影日: 1995. 11. 15) (c) 差分画像のスライス像

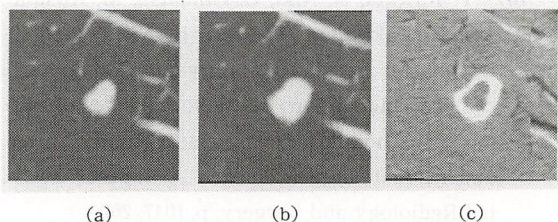


図4 悪性症例の適用結果 (a) 関心領域のスライス像 (撮影日: 1995. 10. 12) (b) 位置合わせ後の関心領域のスライス像 (撮影日: 1995. 11. 12) (c) 差分画像のスライス像

[今後の研究の方向, 課題]

時間分解能の高いイメージング技術の進歩によって、これらを効率よく効果的に活用した早期肺がんの非侵襲・非観血画像診断技術の開発が求められている。ここでは、4次元胸部CT像による早期肺がん候補の質的診断支援に関する手法について述べた。今後、この診断支援技術を臨床現場で評価するために、各手法を統合した質的診断支援システムの開発を行う予定である。

本研究を遂行するにあたり、御教示賜った国立がんセンター中央病院森山紀之部長、金子昌弘医長、国立病院四国がんセンター江口研二副院長、社会保険中央総合病院西山祥行部長、栃木県立がんセンター森清志医長、国立がんセンター東病院柿沼龍太郎医長、国立がんセンター中央病院楠本昌彦医員、国立がんセンター東病院大松広伸医員に感謝の意を表する。また、読影実験に協力して頂いた先生方に深謝する。

[成果の発表, 論文等]

- 1) 河田佳樹, 仁木 登, 大松広伸, “ヘリカルCTによる肺病変の発見と診断・治療—肺野小型病変の質的診断におけるコンピュータ支援システム—”, 癌の臨床, 45, 10, pp. 1111–1118, 1999.
- 2) Y. Kawata, N. Niki, O. Ohmatsu, M. Kusumoto, R. Kakinuma, K. Mori, H. Nishiyama, K. Eguchi, M. Kaneko, N. Moriyama “Potential usefulness of curvature based description for differential diagnosis of pulmonary nodules”, Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention, Cambridge, Lecture Notes in Computer Science, Springer, vol. 1679, pp. 386–393, 1999.
- 3) A. Tanaka, T. Tozaki, Y. Kawata, N. Niki, H. Ohmatsu, R. Kakinuma, M. Kaneko, K. Eguchi, N. Moriyama, “Pulmonary organs analysis method and its evaluation based on thoracic thin-section CT images”, Medical Image Computing and Computer Assisted Intervention, Lecture Notes in Computer Science, Springer, vol. 1679, pp. 394–401, 1999.
- 4) Y. Kawata, N. Niki, O. Ohmatsu, M. Kusumoto, R. Kakinuma, K. Mori, H. Nishiyama, K. Eguchi, M. Kaneko, N. Moriyama, “Computer aided differential diagnosis of pulmonary nodules using curvature based analysis”, International Conference on Image Analysis and Processing, Venice, pp. 470–475, 1999.
- 5) Y. Kawata, N. Niki, O. Ohmatsu, M. Kusumoto, R. Kakinuma, K. Mori, H. Nishiyama, K. Eguchi, M. Kaneko, N. Moriyama, “Classification of pulmonary nodules in thin-section CT images by using multi-scale curvature indexes”, IEEE International Conference on Image Processing, Kobe, vol. 2, pp. 197–201, 1999.
- 6) A. Tanaka, T. Tozaki, Y. Kawata, N. Niki, H. Ohmatsu, R. Kakinuma, M. Kaneko, K. Eguchi, N. Moriyama, “Pulmonary organs analysis method and its evaluation based on thoracic thin-section CT Images”, IEEE International Conference on Image Processing, Kobe, vol. 3, pp. 421–425, 1999.
- 7) N. Takagi, Y. Kawata, N. Niki, K. Mori, H. Ohmatsu, M. Kusumoto, R. Kakinuma, M. Kaneko, K. Eguchi, N. Moriyama, “3D analysis of solitary pulmonary nodules based on contrast enhanced dynamic CT”, IEEE International Conference on Image Processing, Kobe, vol. 3, pp. 416–420, 1999.

- 8) 河田佳樹, 仁木 登, 大松広伸, “胸部3次元CT像による肺野小型腫瘍の3次元曲率を用いた内部構造の解析”, 電子情報通信学会論文誌, vol. J 83-D-II, pp. 209-218, 2000.
- 9) N. Takagi, Y. Kawata, N. Niki, K. Mori, H. Ohmatsu, M. Kusumoto, R. Kakinuma, M. Kaneko, K. Eguchi, N. Moriyama, “Computerized characterization of contrast enhancement patterns for classifying pulmonary nodules”, SPIE Medical Imaging, vol. 3978, pp. 84-93, 2000.
- 10) A. Tanaka, T. Tozaki, Y. Kawata, N. Niki, H. Ohmatsu, R. Kakinuma, M. Kaneko, K. Eguchi, N. Moriyama, “Quantitative analysis for differential diagnosis of lung cancer on blood vessels connectivity using thoracic 3D CT images”, SPIE Medical Imaging, vol. 3978, pp. 94-101, 2000.
- 11) Y. Kawata, N. Niki, O. Ohmatsu, M. Kusumoto, R. Kakinuma, K. Mori, H. Nishiyama, K. Eguchi, M. Kaneko, N. Moriyama, “Quantitative analysis of internal texture for classification of pulmonary nodules in three-dimensional thoracic images”, SPIE Medical Imaging, vol. 3979, pp. 863-871, 2000.
- 12) Y. Kawata, N. Niki, O. Ohmatsu, M. Kusumoto, R. Kakinuma, K. Mori, H. Nishiyama, K. Eguchi, M. Kaneko, N. Moriyama, “Tracking interval changes of pulmonary nodules using a sequence of three-dimensional thoracic images”, SPIE Medical Imaging, vol. 3979, pp. 86-96, 2000.
- 13) Y. Kawata, N. Niki, O. Ohmatsu, M. Kusumoto, R. Kakinuma, K. Mori, H. Nishiyama, K. Eguchi, M. Kaneko, N. Moriyama, “Internal structure analysis of pulmonary nodules in topological and histogram feature spaces”, IEEE International Conference on Image Processing, vol. 1, pp. 168-171, 2000.
- 14) Y. Kawata, N. Niki, O. Ohmatsu, M. Kusumoto, R. Kakinuma, K. Mori, H. Nishiyama, K. Eguchi, M. Kaneko, N. Moriyama, “Surrounding structures analysis of pulmonary nodules using differential geometry based vector fields”, IEEE International Conference on Image Processing, vol. 3, pp. 424-427, 2000.
- 15) Y. Kawata, N. Niki, O. Ohmatsu, M. Kusumoto, R. Kakinuma, K. Mori, H. Nishiyama, K. Eguchi, M. Kaneko, N. Moriyama, “Computerized analysis of pulmonary nodules in topological and histogram feature spaces”, International Conference on Pattern Recognition, vol. 4, pp. 332-335, 2000.
- 16) Y. Kawata, N. Niki, O. Ohmatsu, M. Kusumoto, R. Kakinuma, K. Mori, H. Nishiyama, K. Eguchi, M. Kaneko, N. Moriyama, “Computerized characterization of interval changes of pulmonary nodules using sequential three-dimensional thoracic images”, Computer Assisted Radiology and Surgery, p. 1047, 2000.
- 17) Y. Kawata, N. Niki, O. Ohmatsu, M. Kusumoto, R. Kakinuma, K. Mori, H. Nishiyama, K. Eguchi, M. Kaneko, N. Moriyama, “Analysis of differential geometry based vector fields for characterizing surrounding tissues of pulmonary nodules”, Computer Assisted Radiology and Surgery, p. 1048, 2000.
- 18) Y. Kawata, N. Niki, O. Ohmatsu, M. Kusumoto, R. Kakinuma, K. Mori, H. Nishiyama, K. Eguchi, M. Kaneko, N. Moriyama, “Computerized characterization of contrast enhancement patterns for classifying pulmonary nodules”, Computer Assisted Radiology and Surgery, p. 1046, 2000.
- 19) Y. Kawata, N. Niki, O. Ohmatsu, M. Kusumoto, R. Kakinuma, K. Mori, H. Nishiyama, K. Eguchi, M. Kaneko, N. Moriyama, “Computer aided diagnosis of pulmonary nodules using topological and histogram features”, Computer Assisted Radiology and Surgery, p. 1045, 2000.

低コヒーレンス光のコヒーレント関数を媒介とした 3次元画像情報のアナログ変換伝送と像再生

Analog Transmission and Image-Reconstruction of Three-Dimensional Image
Information via Coherent Functions of Low-Coherent Light

991009

研究代表者

慶応義塾大学理工学部 教授

神 成 文 彦

[研究の目的]

光の広帯域性とアナログ性を考えたとき、通常のデジタル変換伝送とは異なる情報伝送方式が、超短パルスレーザのようなスペクトルの広い光源の周波數位相に並列に情報を載せることで可能となる。このとき、情報は時間域の振幅と位相に載せられて単一モードファイバを伝送できる。この方式は、時系列の同期信号を伝送するファイババンドルのある時刻の出力を空間パターンとしてとらえたとき、これらを一括して時系列パターンに変換して1伝送路で伝送する光インターコネクションであるとか、さらに高密度高精度伝送が可能となれば高分解ダイナミックホログラムの単一モードファイバ伝送と3-D空間像再生、また時系列信号を一旦空間情報に変換して並列演算処理した後に再び時系列信号に戻す信号処理等への応用が期待できる。

送信器（空間-時間変換）は4-f光学系を用いたFourierパルス整形器であり、空間情報のホログラムが位相マスクとなって時間波形に空間情報を載せる。受信器（時間-空間変換）は周波数域ホログラムであり、単一波長光で空間パターンとしてホログラムを読み出す。高繰り返し信号に対しては、これらのホログラムを高速に書き換える必要があるが、フェムト秒レーザの光非線形効果を用いれば可能である。同様の方式は、低コヒーレンス光のコヒーレンス関数に空間情報を載せることで可能となるが、

ファイバ中での非線形効果がない一方で、高速フォトリフラクティブ効果の出現に頼らなくてはならないという欠点がある。

本報告では、まず低コヒーレンス光を用いた1次元空間情報の伝送実験を報告し、続いて、本方式を2次元に展開する方法として、符号化多重方式（CDMA）を併用し、理論モデルによってその可能性を考察する。

[研究の内容、成果]

1. コヒーレンス関数整形を用いた空間情報伝送

実験システムは、コヒーレンス関数整形器を用いて低コヒーレンス光に空間-時間変換を施すことで空間情報を載せる「送信器」；長さ20 mの単一モード光ファイバを用いた「伝送路」、そしてホログラムを利用して光学的に情報を取り出す時間-空間変換を用いた「受信器」からなる（図1）。光源には、中心波長680 nm、帯域幅9.4 nmのスーパーluminescent diode (SLD)を用いた。受信器においてスペクトラルホログラムを書き込むために、参照光と同時に送信する。この時、送信器にて参照光と信号光の間にコヒーレンス関数の整形域よりも長い時間遅延をつけた状態で重ね合せ、受信器にてこの時間遅延を補償することで、目的のコヒーレンス関数を再生する手法を提案する。同一伝送路に信号光と参照光を送信することで、光ファイバ中で信号光が受ける波長分散や、2

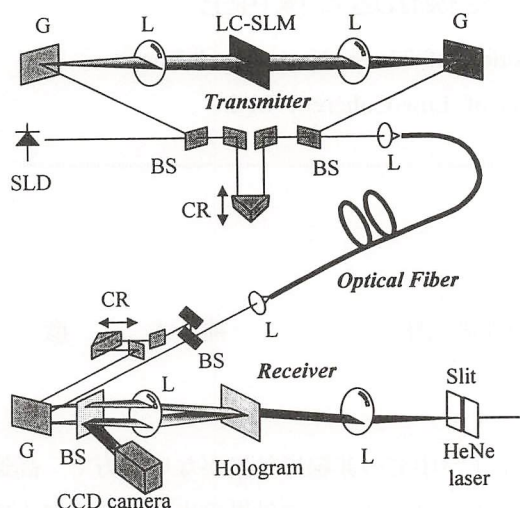


図1 コヒーレンス関数整形と周波数域ホログラフィを用いた、空間情報のアナログ並列伝送システムのセットアップ

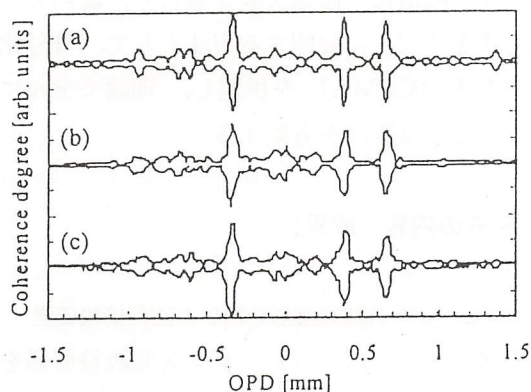


図2 コヒーレント関数。(a) ファイバ直前 (計算値), (b) ファイバ伝送直前 (測定値), (c) ファイバ直後 (測定値)。OPD: 干渉計での光学遅延

つの光の間でつけられる時間遅延よりも遅いノイズは、再生の際にキャンセルされる。また、超短パルスを用いた場合に起こる非線形光学効果は、光のピーク強度が低いために起こりにくく、伝送中の歪が非常に小さくできる。

実験では、まず特定の1次元空間パターンに対応する位相マスク (kinoform) を simulated annealing 法で設計し、液晶空間光変調器 (SLM) で実現した。整形されるコヒーレンス関数のシミュレーション結果および実験結果を図2 (a)(b)に示す。この波形と、光ファイバ透過後のコヒーレンス関数を示す図2 (c)を比較すると、ほとんど歪むことなく情報が伝

送されていることがわかる。次に、光ファイバから出射した光を2つに分け、送信器で付加された時間遅延を打ち消すように調整して、スペクトルホログラムを乾板に書き込んだ。現像処理後、HeNe レーザを用いてオリジナルの空間パターンと同様な空間パターンが伝送後も再生されることが確認された。

2. 時間遅延分割多重方式

フェムト秒レーザと低コヒーレンス光はほとんど同様に本方式で利用できるが、多重化を考えたとき、パルス光ではパルスの繰り返し間隔内での時間分割が多重化の限界である。しかし、低コヒーレンス光伝送では、もともと連続光でありコヒーレンス時間以上の遅延をつければ干渉しない光を同時に伝送することが可能であるので、式の上では遅延時間で多重した無数のチャンネルを同時に1本の光ファイバで伝送し、欲しいチャンネルのみ受信器で遅延時間を調整して取り込むことが可能となる。2次元空間情報の各行をひとつの遅延時間に対応させて伝送すれば、2次元情報を1本の単一モードファイバで伝送可能である。

3. CDMA 併用時空間変換伝送方式

次に、CDMA を適用することで2次元空間情報を一括伝送できるシステムを提案する。図3 (a)のように、送信器側のフーリエ変換面に空間情報に相当する2次元位相情報を配置し、これによって入力パルスの周波数成分に変調を加える。周波数成分は、x方向に分布しているのでx方向に関しては周波数でエンコードされる。y方向には、y座標に対応した拡散符号を割り当てる。したがって、2次元情報は疑似雑音化されたパルスの重なりとして単一モードファイバを伝送される。図3 (b)の受信器ではまず位相共役の拡散符号によってy方向が複号化され、続いてスペクトルホログラフィによって2次元の干渉パターンが形成され、単色光によって回折光を空間情報として読み出す。

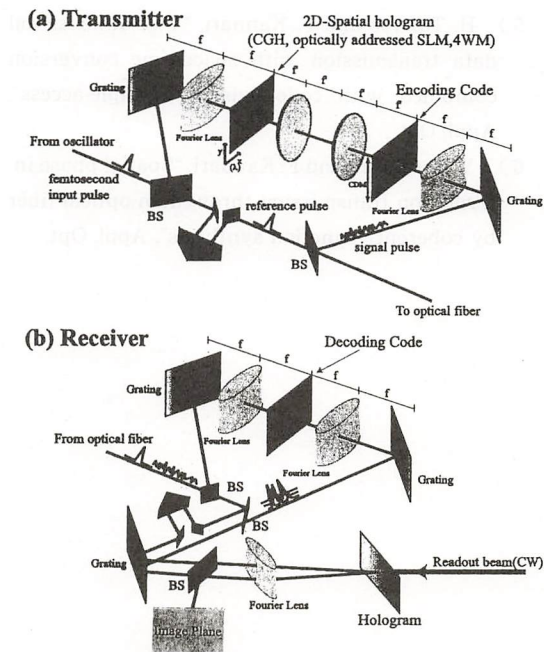


図3 提案する CDMA 併用時空間変換伝送方式のセットアップ図

計算例として、2 値情報の伝送結果を示す。デジタルデータのように受信器側でしきい値デバイスによって雑音成分を取り除くことができるので、本方式には適用しやすい。送信情報として、16 pixel×16 pixel の J, A, L の文字を送信する計算を行った。それぞれの文字に相当する大きさ 128 (100[$\mu\text{m}/\text{pixel}$])×16(50[$\mu\text{m}/\text{pixel}$])で位相変調度の階調度は $-\pi$ から π ま

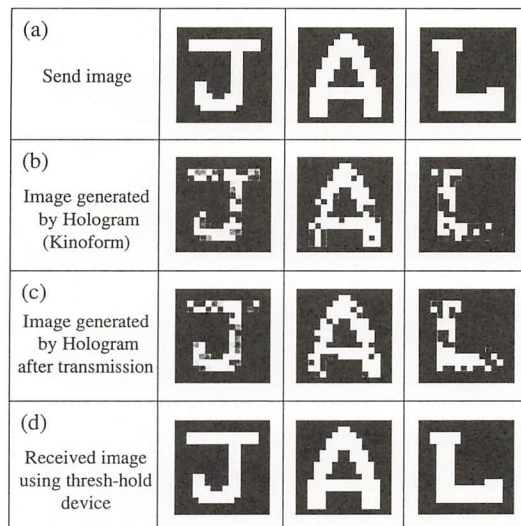


図4 2値2次元振幅情報を伝送した際の理論モデル結果。元となる各文字は、16×16のマトリックスで表現され、M系列符号長は2048

での間で連続の値をとるようなキノフォルムを作製して伝送した。

結果を図4に示す。この計算では拡散符号の系列長2048 (6.25[$\mu\text{m}/\text{element}$])のM系列を用いた。

4. 結 論

SLDを光源とした空間-時間-空間変換を利用して、一次元位相情報が光ファイバ伝送できることを、20 mの単一モード光ファイバを用いた実験により実証した。また、フーリエ変換面における時空間結合変換効果が、一度に伝送できる情報容量の限界を決めていることを示し、シミュレーションにより確かめた。さらに、この時空間変換法を2次元空間情報に拡張する手法として、低コヒーレンス光の時間遅延で多重化する手法、CDMAで多重化する方法を提案した。

[今後の研究の方向、課題]

3次元画像の伝送には、位相・振幅情報の2次元ホログラムの伝送と再生が必要となる。各行を走査する形で伝送するか、提案したCDMAあるいは遅延多重方式を用いるかであるが、いずれも実験での性能評価が必要である。一方、静止画ではなく動画像伝送が目的であるので、高速のホログラフィ技術の開発と、本システムとの融合が大きな課題である。

[成果の発表、論文等]

- 1) Y. Teramura, A. Shirakawa, and F. Kannari, "Spatial information transmission through single-mode fibers by coherence function shaping of low coherent light", Jpn. J. Appl. Phys. 38, L 1416 (1999)
- 2) Y. Teramura, A. Shirakawa, and F. Kannari, "Spatial phase information transmission via coherence function of low coherence light", CLEO/Pacific Rim '99, Seoul, Aug. 30-Sep. 3 (1999)
- 3) Y. Teramura, H. Tanabe, and F. Kannari,

"Image transmission through single-mode fibers via shaped coherence functions of low coherent light". Conference on Optical Fiber Communication, TuN4, Baltimore, Mar. 5-10 (2000)

- 4) H. Tanabe and F. Kannari, "A multiplexed ultrafast CDMA system for direct 2-D image transmission", The 6th International Workshop on Femtosecond Technology, Chiba, July 13-15 (1999)

- 5) H. Tanabe and F. Kannari, "Two-dimensional data transmission with space-time conversion combined with code-division multiple-access", Appl. Opt. .

- 6) Y. Teramura and F. Kannari, "Spatial phase information transmission through an optical fiber by coherence function synthesis", Appl. Opt. .

三次元距離センサを用いた自由曲面物体の 自動モデリングに関する研究

Automatic Modeling of Free-Form Objects by Using 3-D Range Sensors

991012

研究代表者	九州大学システム情報科学研究所 助教授	査 紅 彬
共同研究者	九州大学システム情報科学研究所 教授	長谷川 勉

[研究の目的]

物体表面形状の計測法は長年研究されており、それにより獲得される物体の3次元モデルは、幅広い分野で利用されつつある。モデル生成法は、大まかに、1) 物体を幾つかの基本要素に分解してから記述する手法と、2) センサを用いて複数の方向から取得した物体の形状データを統合する能動型モデリング法に分類される。前者の場合は物体を基本要素に分解することができなければ、そのモデルは生成不可能であるが、後者の手法は複雑な形状をもつ物体に対しても適用できる。本研究では、後者を利用して物体の形状モデルを生成する。

能動型モデリング法は、一般に、複数の方向からの物体距離画像の取得、距離画像間の位置合せ及び画像データの統合といったステップから構成されている。このうち、画像間の位置合せとデータ統合の手法は今まで数多く提案されているが、画像取得の計画に関する研究は少ない。

モデル生成に必要な距離画像を取得するとき、システムの効率の観点から、取得する距離画像の枚数をできるだけ少なくすることが重要となる。しかし一方、モデルの精度を考えた場合、画像の位置合せに必要なデータの重複部分をも十分に保証しなければならない。この問題を解決する手法として、画像統合と視点計画を同時に行うオンライン視点計画法がある。これにより、物体の正確な3次元モデルをより高速に獲

得できることから、工業のみならず多方面での応用を可能にすると期待される。しかしながら、この画像統合と視点計画とを定量的に扱う手法が存在せず、経験則に頼ったあいまいなものとなっていた。

本研究では、この問題を物体全体の距離画像を効率良く取得するための最適視点(NBV: Next Best Viewpoint)決定問題と定義し、それを解決するための新しいNBV計画法を提案する。

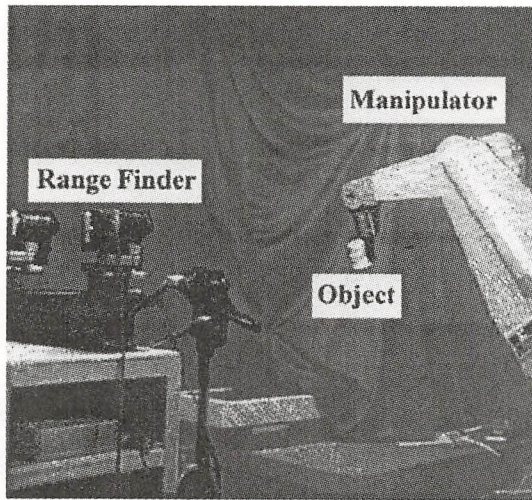
[研究の内容、成果]

1. 本モデリングシステムの概要

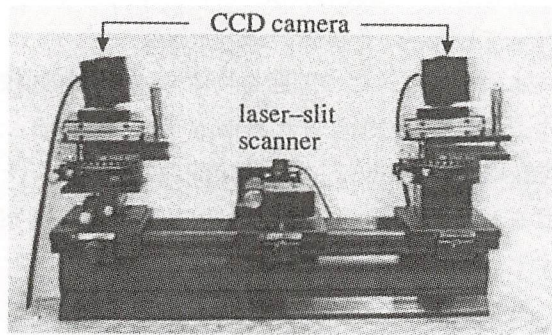
図1(a)に、実験に用いる3次元モデリングシステムの構成を示す。本システムでは、図1(b)に示す2台のCCDカメラとレーザスリット投光器からなるレンジファインダを用いて物体の距離画像を取得する。

固定式のレンジファインダは物体のある一方方向からの距離画像しか取得できない。このため、物体全体の3次元データを取得するためには、センサ自体あるいは物体を動かす必要がある。

この問題を解決する手法として、一般にターンテーブルによる物体姿勢変化や、小型センサを搭載したハンドアイシステムなどが挙げられる。これに対し、本研究では、6自由度のロボットアームを用いて物体を把握し、その姿勢を変えながら異なる視点を実現することにした。この考え方は、主に次のような理由による。1)



(a) system setup



(b) range finder

図1 モデリングシステムの設置状況

現時点においては、高精度の小型レンジファインダはまだ入手されにくい。2) センサを移動させる場合、カメラシステムのパラメータに誤差が生じやすく、その結果計測された距離データの精度が著しく低下する場合がある。3) ターンテーブルによる手法に比べると、視点空間の自由度が一つ増え、複雑な形状をもつ物体にも対応できる。

本モデル生成法の流れを図2に示す。まず、初期画像を取得し、それを三角パッチを用いて記述する。この画像を初期の部分モデルと呼ぶ。その後、1) 次のNBVを決定し、カメラの位置がその視点位置となるように物体の姿勢を変化させる；2) 新たに距離画像を取得し再び三角パッチにより記述する；3) 入力画像と部分モデルとの位置合わせを行う；4) 対応がとれた画像をモデルデータに統合する。そして、完

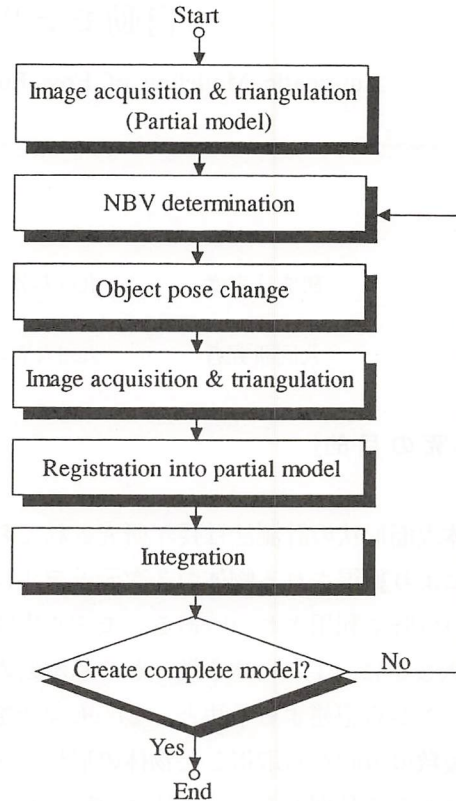


図2 モデル生成法の流れ

全なモデルを生成するまで1)～4)を繰り返す。

2. 解決すべき問題点

本研究では、1) 対象物の形状を考慮した適応型オンラインNBV計画；2) そのNBV計画のための効率的な視点空間表現と視点計算を主要な問題として取り上げ、その解決策を考案した。以下、それぞれについて簡単に述べる。

・オンラインNBV計画法

本論文が提案するNBV決定アルゴリズムは、以下に挙げる二つの条件に対する評価に基づく。

1) 全周走査条件：本手法では、取得した距離画像を部分モデルに加えることで完全なモデルを次第に生成していく。物体全体の距離画像を効率良く取得するためには、物体表面のうちまだ走査していない未測定領域と、データの計測精度が悪い領域の距離画像をできるだけ多く見える視点が望ましい。2) 平滑条件：ここで用いられる改良ICPアルゴリズムは基本的に制御点の対応関係に基づくことから、新たに取得

する画像内には制御点がある程度含まれることが前提条件の一つである。つまり、部分モデルと重複する領域内に平滑点を多く含む距離画像を用いれば、改良 ICP アルゴリズムの実行が容易となり、部分モデルと画像との位置関係の信頼性も改善される。

最終的に、望ましい NBV の系列は、この二つの条件を最大限に満足できるような最適過程によって求められる。

・効率的な視点空間表現と視点計算

上の計画法では、球面の代わりに離散化された近似球面を用いるので、球面分割及び計算機内での球面表現が問題となる。その際、本視点計画法では既に走査した物体表面を球面へ投影した領域を抽出することと、その計算コストは画像枚数に比例し増加することをも考慮する必要がある。

この膨大な計算量を抑えるために、離散化された球面表現法、およびその表現法を利用した視点評価アルゴリズムを新たに開発しなければならない。ここで、我々の基本的な考え方は、測地ドーム分割法により得られる近似球面を展開し、それを 2 次元配列で表現することである。視点位置を表す 3 次元ベクトルから対応する配列のインデックスを求めるために、従来の方法と異なる近似変換式を導入しているが、その影響は少なく、次に挙げる処理時間を大幅に短縮することができる：1) 部分モデルに含まれる各三角パッチの可視領域の抽出；2) 新たに取得した画像に影響を受けるパッチのみを用いた可視度関数値の更新。

3. 実験結果

本論文で提案した物体モデル生成法の実用可能性を確認するために、シミュレーションと、実物を用いた実験を行った。

まず、本論文で提案した視点計画法の有効性を示す実験として、視点を均等に配置して物体を走査する手法との比較を行うシミュレーションを実行した。いろいろな形状での比較をする

ために、シミュレーションデータを容易に生成することができる 2 次元形状を用いることにした。ただし、本研究で用いるレンジファインダの精度を考慮して、距離データの理論値に白色雑音（分散値：1.00）を付加した。また、このモデリングが 2 次元形状の記述問題に簡単化されたため、視点空間は物体を取り巻く円周となる。

図 3 (a) は、ここで使う凹形をもつ 2 次元物体の形状を示している。それに対し、本論文で提案した画像取得法を適用すると、どの視点位置から物体を走査し始めても、約 5～7 回の画像取得で物体の全周記述を完成している。その一例における視点配置を、図 3 (b) に示す。各 NBV 位置は、円周上の×によって表示され、その隣の数字は NBV の順番を表す。一方、円周視点空間を均等に分割して七つの視点を配置して同じ物体をモデリングする実験も行ってみた。この場合、これらの視点をどのように配置しても物体の全周形状を得ることができない。図 3 (c) は、その中で比較的良い形状走査が得られた視点配置例を示し、図 3 (d) は、その結果として生成した不完全形状を示す。これは、凹形の多い物体に対し、我々の視点計画法が均等な視点配置より優れていることを示している。

他にもさまざまな形状をもつ実物を対象として実験を行った。図 4 は、その中から比較

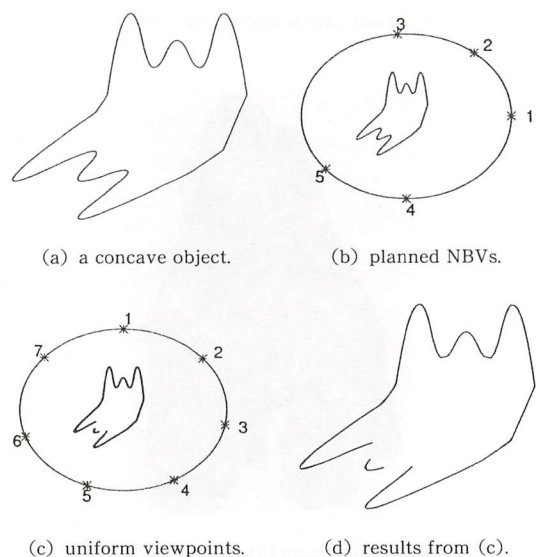
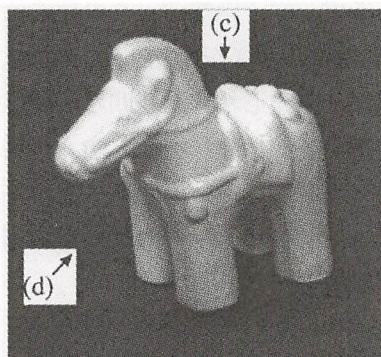
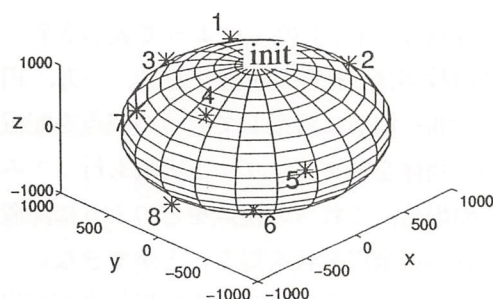


図3 シミュレーション実験

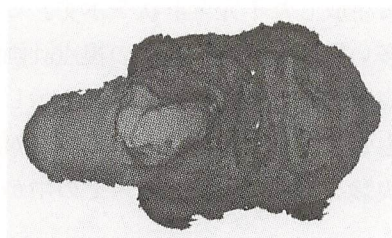
的凹形部分が顕著な馬の人形を用いた結果を示す。図4 (a) は、その人形の濃淡画像を、図4



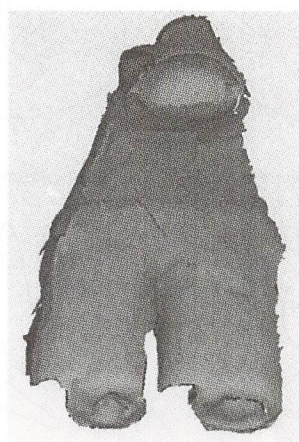
(a) a doll horse



(b) NBVs at the viewpoint space



(c) final partial model (top view)



(d) final partial model (bottom-right view)

図4 馬の人形のモデル

(b) はそのときの NBV 配置を示している。この座標系に人形を配置した場合、馬の顔が $-x$ 軸方向、背中は z 軸方向となる。図に示されている初期視点 (init) から始まりモデリング過程が終了するまで計九つの視点を用いた。図4 (b) から見られるように、馬の顔の部分に視点が集中している。これは、特に馬の喉の部分凹部であり、複数の方向からその部分を走査しなければならないからである。図4 (c), (d) は、生成したモデルを、図4 (a) に示してある方向から表示したものである。

[今後の研究の方向、課題]

上の結果で見られるように、今回の実験では画像の後頭部の距離画像が取得できなかった。これは、ロボットアームの可動範囲を超えるような対象物体の姿勢変化が不可能なこと、及びロボットハンドによる対象物体の隠れが原因となっている。この問題を解決するためには、ハンド把持位置の変更を行わなければならない。今後は、このハンド把持位置変更問題について検討し、アーム動作時の拘束をも考慮に入れた NBV 決定法を開発することが必要となろう。

[成果の発表、論文等]

- 1) 諸岡, 查, 長谷川: “複数の距離画像による三次元物体モデル生成のための視点計画”, 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol. J 82-D-II, No. 3, pp. 371-381, 1999
- 2) K. Morooka, H. Zha, T. Hasegawa: “Computations on a Spherical View Space for Efficient Planning of Viewpoints in 3-D Object Modeling”, Proc. Int. Conf. 3 DIM'99, Ottawa, Canada, pp. 138-147, 1999
- 3) 查, 光富, 長谷川: “全周型距離データを記述する多重解像度物体モデリング”, 第17回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp. 475-476, 1999
- 4) H. Zha, M. Ikuta, T. Hasegawa: “Registration of Range Images with Different Scanning Resolutions”, to appear in Proc. 2000 IEEE Int. Conf. SMC, Nashville, USA, 2000

医療用マイクロ化学物質分析システム (μ TAS) の研究Development of a Micro Total Analysis System (μ TAS) for Medical Applications

991013

研究代表者

筑波大学物質工学系 助教授

鈴木 博 章

[研究の目的]

化学物質の分析で一般的な方法は、分光器によるものである。この方法は信頼性が高いが、装置は比較的大型になり、サンプルは分析室に持ち込んで測ることになる。近年、医療・福祉の重要性の高まりとともに、生体関連物質を、その場で、迅速に、かつ簡便に測定したいという要望が強まりつつある。例えば、一刻を争う救急医療の分野では、瀕死の重傷患者の血液成分を調べるのに、分析室に持ち込んでいては、あまりにも時間のロスが多すぎる。また、健康管理に関連して、尿・血液検査等を自宅で、気軽に、簡便にできるようになれば、成人病の予防上重要な意義があると思われる。

微小化学物質分析システム (μ TAS: Micro Total Analysis System) は、このような期待に応えうる極めて斬新で高度な技術である。これを一言で言い表せば、1台の分析装置あるいは実験室の機能を、1 cm 角程度の微小なシリコン等のチップ上で実現するものである。 μ TAS では、シリコンチップ上に、微小なセンサ、バルブ、ポンプ、校正液、周辺回路等を集積化する。作製には半導体関連の微細加工技術を用いる。

本研究では、 μ TAS の一つの重要な応用として、救急医療への適用を目的に、酸素、二酸化炭素、pH のいわゆる血液ガスをその場で簡便に測定できるシステムを目指した。人体に異常が生じた場合の血液ガスの変化は急激であり、

サンプル量が微量で済み、その場で迅速に測定が可能な μ TAS は、その真価を十分に発揮できると考えられる。

本研究の期間内においては、上記の3種のマイクロセンサを1チップ上に集積化したセンシングモジュールを試作し、個々のセンサの特性を評価した後、実際に血液サンプルを用いて測定するところまでを行った。以下、得られた研究の成果について述べる。

[研究の内容、成果]

1. センシングモジュールの構造と試作

Fig. 1 に試作したセンシングモジュールを示す。チップサイズは 17.0 mm × 19.2 mm である。ガラス基板上に酸素電極、二酸化炭素電

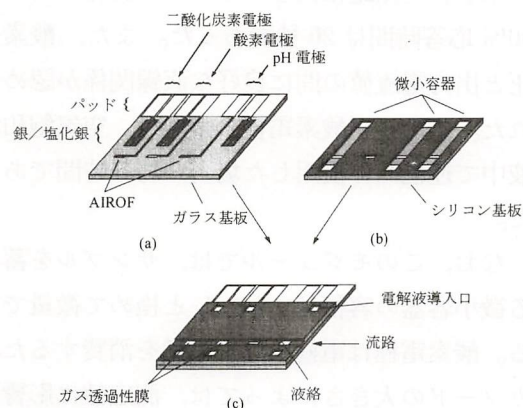


Fig. 1 試作した pO_2 , pCO_2 , pH 測定用微小センシングモジュール (a): 電極パターンを形成したガラス基板, (b): 容器と流路を形成したシリコン基板, (c): 完成したモジュール

Table 1 センシングモジュールの構成要素

	カソードまたは指示電極	ガス透過性膜	電解液
酸素電極	銀	KE-42-TS*	0.1 M KCl/ 0.1 M Tris-HCl (pH 8.5)
二酸化炭素電極	イリジウム酸化膜	KE-42-TS	0.1 M KCl/ 20 mM NaHCO ₃
pH 複合電極	イリジウム酸化膜	—	飽和 KCl/AgCl

*: 信越化学製

極，pH 複合電極のパターンを図のように形成した。内部電解液用の容器は，シリコン基板上に異方性エッチングにより形成した。その両端には，電解液注入口を設けた。シリコン基板の裏面には，サンプルを貯留するために，容器パターンと直交する微小流路（容積：4.6 μ L）を設けた。基板両面のこれら直交する凹部の交差部は貫通孔になり，ここに酸素電極と二酸化炭素電極についてはシリコンゴムのガス透過性膜を形成し，pH 測定用の参照電極については液絡を形成した。2 枚の基板を接着して，モジュールを完成させた。個々の電極の構成要素は Table 1 に示した。

2. モジュール上の各電極の特性

2.1 酸素電極の特性

酸素電極では，カソード上で酸素が電気化学的に還元される際に発生する電流値が酸素分圧に比例するので，これを指標として酸素分圧を求める。

酸素電極の検量線および応答曲線を Fig. 2 に示す。空気飽和状態から 0 への変化に対する 90% 応答時間は 20 秒であった。また，酸素分圧と出力電流値の間に良好な直線関係が認められた。この小型酸素電極の寿命は，空気飽和溶液中で連続的に使用した場合，約 5 時間であった。

なお，このモジュールでは，サンプルを蓄える微小容器の容積は，4.6 μ L と極めて微量である。酸素電極は電極反応で酸素を消費するため，カソードの大きさによっては，測定値に影響が出ることが予想される。そこで，上記の特性評価に用いた 0.2 mm $\times$ 1.2 mm のカソードの他に，25 μ m $\square$ のカソードを有する同じ酸素電極

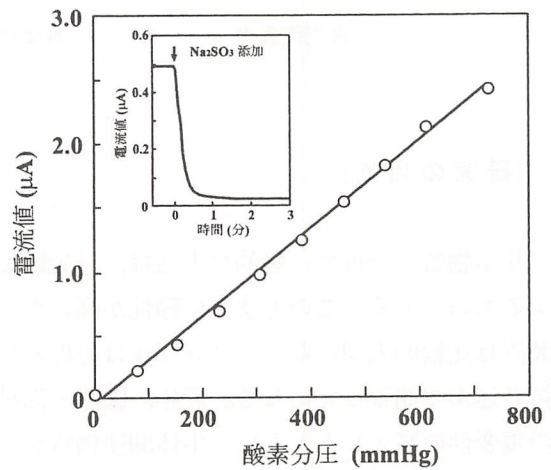


Fig. 2 酸素電極の応答曲線と検量線（25℃）
カソードは 0.2 mm $\times$ 1.2 mm

を用い，その特性を比較した。その結果，前者では 15 ～ 20% 程度の流速依存性が認められたのに対し，後者ではそれは 1 ～ 2% 程度に減少した。カソードの微小化により，酸素の消費量が減少するだけでなく，酸素のカソード面への輸送の変動が小さくなり，滞留した微量サンプルの測定が精度良く行えるようになった。そこで，後に述べる全血サンプルの測定では，25 μ m $\square$ のカソードを有する酸素電極を使用した。

2.2 二酸化炭素電極の特性

この二酸化炭素電極では，二酸化炭素が感応部に浸入した際の pH 変化を調べ，二酸化炭素分圧を求める。pH 検出素子としては，イリジウム酸化膜を使用した。

二酸化炭素電極の出力電位と二酸化炭素分圧の対数との間には直線的な関係が認められ，Henderson-Hasselbalch の式より予想される傾向と一致した（Fig. 3）。希硫酸中に 2 mM の NaHCO₃ の添加により CO₂ を発生させた時の 90% 応答時間は，2 分 30 秒であった。また，

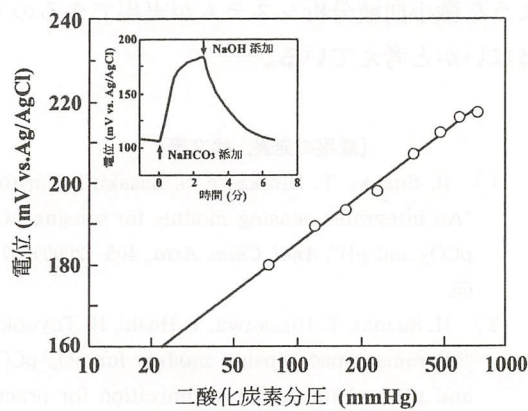


Fig. 3 二酸化炭素電極の応答曲線と検量線 (25℃)

逆方向の変化に対する応答時間は、3分30秒であった。

2.3 pH 複合電極の特性

pH 複合電極を用いるにあたっては、pH 検出素子であるイリジウム酸化膜の電位をチップ上の参照極を基準に測定する。ここで問題となるのは、電位基準となる参照極の微小化・集積化である。本研究では、内部電解液に飽和 KCl を用い、液絡で外部と接続した汎用的な参照極を初めてチップ上に集積化した。イリジウム酸化膜 pH 指示電極電位の pH 依存性を、チップ上の液絡付き参照極と市販のマクロな参照極を基準として調べ、比較した (Fig. 4)。これら 2 つの参照極を基準とした電位は非常に良い一致を示し、チップ上の参照極を用いることにより、問題なく pH 測定が行えることが明らかになった。なお、研究の過程で、参照極中で用いている薄膜状銀 / 塩化銀や液絡構造についても検討を行い、最終的に寿命を 18 時間まで延ばすことができた。これにより、実サンプ

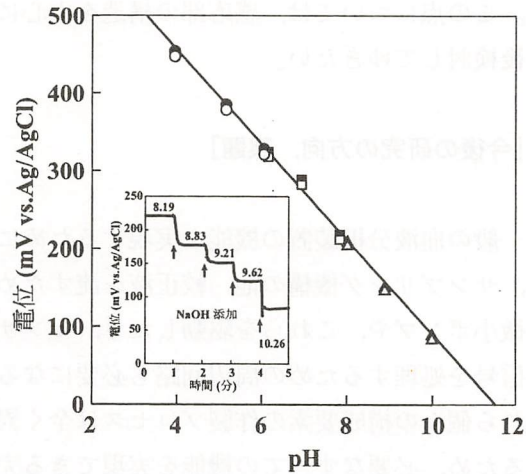


Fig. 4 pH 複合電極の応答曲線と検量線 (25℃)
○, □, △: モジュール上に集積化された参照電極を使用した場合
●, ■, ▲: 市販の参照電極を使用した場合
シンボルの違いは、使用した緩衝液の違いを表す

ルを用いて測定を行う場合でも、余裕をもって測定が行えるようになった。

3. 全血ガス分圧測定への応用

このモジュールを用いて全血中の血液ガスの測定を試みた。動脈血あるいは静脈血をあらかじめ市販の血液分析装置 (CIBA-CORNING 製 860) で測定し、各センサの校正後、すみやかにこのモジュールにて測定を行った。結果を Table 2 に示す。その精度はセンサにより大きく異なった。pH については小数点以下 2 桁目までの範囲まで良い一致を示し、酸素についても比較的良い一致を示した。しかし、二酸化炭素については、2 つの測定値の間に大きなずれが認められた。これは、サンプル内部電解液間の二酸化炭素の流入、流出の影響と考えられ

Table 2 血液ガスの測定値の比較 (37℃)

Sample	pO ₂ (mmHg)		pCO ₂ (mmHg)		pH	
	a	b	a	b	a	b
1	135.5	120.4	32.7	39.7	7.49	7.47
2	150.0	150.2	51.1	36.5	7.48	7.49
3	45.0	45.2	57.4	46.4	7.41	7.42
4	126.5	120.2	62.1	35.7	7.41	7.47
5	161.8	158.2	15.9	33.7	7.50	7.50
6	—	—	10.3	47.8	7.36	7.39
7	—	—	5.8	35.1	7.48	7.44

a: モジュールによる測定値, b: 血液分析装置による測定値

る。この点については、感応部の構造を中心に今後検討してゆきたい。

[今後の研究の方向, 課題]

一般の血液分析装置の機能を実現するためには、サンプリング機構の他、校正液を流すための微小ポンプや、これらを駆動したり、センサの信号を処理するための周辺回路も必要になる。これら個々の構成要素の作製プロセスは全く異なるため、必要なすべての機能を実現できる完全なシステムを1チップ上に実現するのは容易なことではない。一つの現実的な解決策として、全体のシステムを幾つかのモジュールに分け、これを組み立てるという方法が考えられる。今回の研究では血液ガスをセンシングするモジュールを考えたが、この研究と並行して、血液電解質やグルコース、尿素、尿酸等の重要な検査項目を測定するためのセンシングモジュールや、サンプリング、送液のためのアクチュエータモジュールも試作評価中である。近い将来、これらをすべて一体化し、手のひらにのる

ような微小血液分析システムが実現できるのではないかと考えている。

[成果の発表, 論文等]

- 1) H. Suzuki, T. Hirakawa, S. Sasaki, I. Karube, "An integrated sensing module for sensing pO_2 , pCO_2 , and pH", *Anal. Chim. Acta.*, 405 (2000) 57 – 65.
- 2) H. Suzuki, T. Hirakawa, T. Hoshi, H. Toyooka, "Micromachined sensing module for pO_2 , pCO_2 , and pH and its design optimization for practical use", *Sensors and Actuators*, in press.
- 3) 平川大志, 鈴木博章, 佐々木聡, 軽部征夫: 「 pO_2 , pCO_2 , and pH 測定用微小集積化モジュールの試作」, 第28回化学センサ研究発表会講演要旨集, pp.106 – 108.
- 4) H. Suzuki, T. Hirakawa, "Micromachined sensing module for pO_2 , pCO_2 , and pH and its design optimization for practical use", Abstract Book of the 8th International Meeting on Chemical Sensors, July 2 – 5, Basel, Switzerland, p. 188.
- 5) 鈴木博章, 平川大志, 星 拓男, 豊岡秀訓: 「微小センシングモジュールによる血液ガスの測定」第31回化学センサ研究発表会講演要旨集, pp. 67 – 69

人工心臓駆動用骨格筋ポンプ開発のための 広背筋収縮挙動シミュレーションモデルの作成

Computational Simulation of Latissimus Dorsi Muscle Contraction Model
for Developing Skeletal Muscle Pump System as Cardiac Assist Device

991015

研究代表者

京都大学再生医科学研究所 教授

堤 定 美

共同研究者

愛知県立看護大学 講師

箕 浦 哲 嗣

【研究の目的】

心不全患者の治療法として人工心臓が実用化の途にあるが、その駆動力として、患者自身の背中の筋肉である広背筋の収縮エネルギーを用いる骨格筋ポンプというデバイスが考案されている。本研究は広背筋の収縮挙動をコンピュータ上に再現し、患者の個体差を考慮した最適なポンプデバイスの大きさ、形状、埋入位置等を解析し、臨床治療の指針となる数値シミュレーション技術の開発を目標としている。

【研究の内容、成果】

心疾患患者に対する治療方法の一つとして、骨格筋である広背筋を心臓の周囲に巻き、心臓の補助をさせる心筋形成術が海外で試みられている。また、人工心臓によって心機能の一部を補助させたり、心臓そのものと完全に置換しようという研究も開始されている。しかしながらそれら人工心臓のための駆動力に関しては、モーターやコンプレッサーといった体外装着器具、あるいは体外からのエネルギー供給が不可欠であり、患者の負担が軽減される要素は低い。

そこで、患者自身の筋肉の収縮力で人工心臓を駆動する「骨格筋ポンプ」と呼ばれる駆動概念を用いて、外部からのエネルギー供給無しで長期間安定に稼働するデバイスの開発が進めら

れている。本方法にはいくつかの試みがなされているが、本研究では広背筋と胸膜の間にバルーンを挟み込み、広背筋の収縮力を最大限に生かしてバルーンを圧縮しその圧力を人工心臓の駆動力とする compressive type と呼ばれるものを扱っている。Fig. 1 は概念図である。

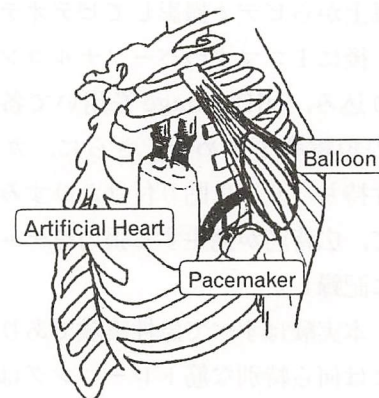


Fig. 1 The skeletal muscle pump system

現在まで行われて来た研究は、すべて動物実験における計測に終始しており、バルーンの最適形状、材料特性もさることながら、広背筋と胸膜の間の最適挿入箇所さえも導かれていない。そこで力学的見地に立ち、広背筋の収縮挙動や最適な使用法、バルーンに用いる材料、バルーンに充填する気体あるいは液体の物性等をコンピュータシミュレーションによって解析するシステムを構築した。

方 法

シミュレーションのための広背筋各部位毎の収縮挙動データは、全身麻酔下の雑種成犬 5 頭 (11 ~ 24 kg) を用いて得た。左広背筋を丁寧に露出し、胸部から剥離した後、停止部である近位側を上腕骨ごと切り取り、カンチレバー式張力測定器に再固定した。筋収縮は日本光電社製 SEN-3301 により電気刺激を与えて得た。

Table 1 にそのパラメータを示す。

Table 1 Stimulating Parameters

Duration	300 msec
Frequency	25 Hz
Width	300 μ sec
Amplitude	2 volts

収縮張力の測定は、広背筋を生体長から徐々に伸張し、その各場合における等尺性収縮について行った。また同時に、広背筋の長軸を 8 セグメントに分割してマーカーを取り付け、収縮運動を真上からビデオ撮影してビデオテープに記録し、後に 1 コマずつパーソナルコンピュータに取り込み、NIH-image を用いて各セグメント間の短縮率を求めた。さらに、カンチレバー (片持ちバリ) に貼り付けたひずみゲージによって、広背筋が発生する張力をチャートレコーダに記録した。

なお、本実験はすべて急性実験であり、使用した犬には何ら特別な筋トレーニングは行わなかった。また測定データはすべて、初期長と各条件における最大発生収縮力を用いて規格化した。

動物実験での測定結果をもとに、広背筋を粘弾性物質と見立て、材料定数や収縮特性値を決定した。この際、筋の特性方程式である A. V. Hill の実験式の筋発生張力と短縮速度の関係を満たし、等尺性のみならず等張性収縮をも満足するように筋収縮有限要素モデルを構築した。

Fig. 2 にその概念図を示す。

さらにこのモデルに、大 (45 ml) ・ 中 (38 ml) ・ 小 (30 ml) の容量の半球形バルーンを、

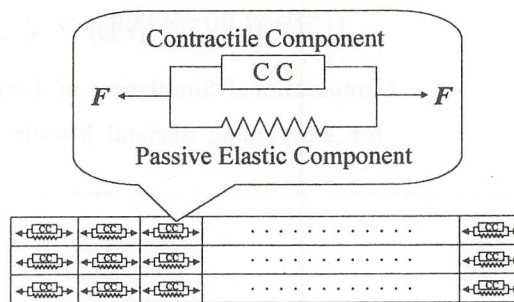


Fig. 2 The finite element muscle model

それぞれ近位・中位・遠位に組み込んだ場合を想定した 120 要素からなる二次元有限要素モデルを作成し、FORTRAN 77 で作成した有限要素法プログラムを用いて解析を行った。計算機には Pentium III 550 MHz を 2 個搭載した PC サーバー機を、OS には Linux version 2.2.13 を SMP に対応させたものを、コンパイラには MPICH-1.1.2 を介して並列計算可能にした GNUF 77 version 2.95.2 を用いた。

結 果

動物実験から次のようなデータが得られた。まず、広背筋に何ら電気刺激を与えず、その生体長より徐々に伸長した場合の、各セグメントにおける伸び率を測定した結果を Fig. 3 に示す。どの場合も中位部やや遠位側に最大約

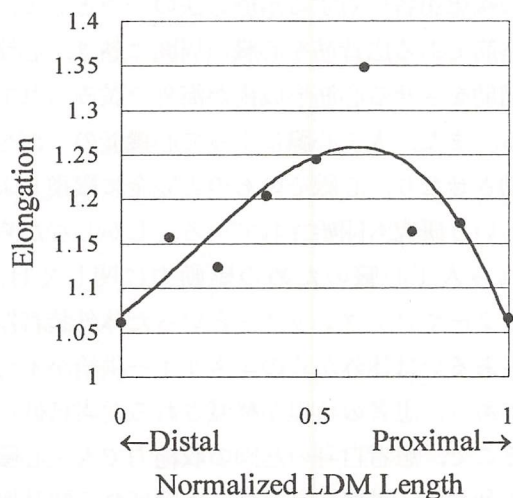


Fig. 3 Expanded ratio of each segments in the initial length of Latissimus Dorsi Muscle (LDM) at resting tension was determined.

35%の伸長が見られた。

次に初期長を固定したまま電気刺激を与え、広背筋に等尺性収縮をさせた場合の各部位別の短縮率をFig. 4に示す。初期長がいずれの場合でも同じような傾向を示し、近位では約10%引き伸ばされ、同様に遠位でも数%伸ばされていることが見て取れる。逆に中位やや遠位よりにおいて最も収縮し、最大約15%短縮することが分かった。

最後に、広背筋の初期長と発生張力との関係をFig. 5に示す。生体長より約15%引き伸ばした時の収縮力が、生体長で発生する張力に比

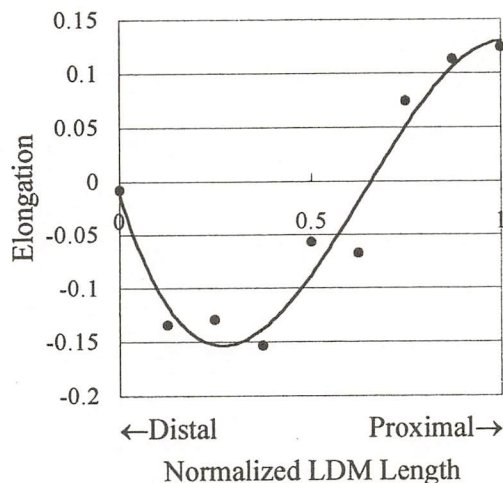


Fig. 4 Stretched ratio of the each segments. Resting tension was raised step by step, and the isometric contraction of LDM was performed by burst stimulation.

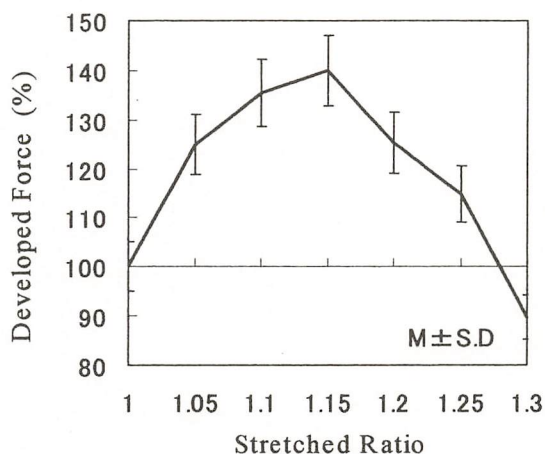


Fig. 5 Relationship between the contraction force of the LDM and resting length.

べて40%増加しており、それ以上初期長を伸張させても発生張力は逆に減少してゆくことが分った。

これらのデータを元に、パラメータを各有限要素に位置に対する近似関数として代入し、最大収縮時におけるバルーン内圧を計算した。結果をFig. 6に示す。バルーンの大きさに関わらず、遠位よりも近位ならびに中位に挿入した場合の方が良好な結果であった。また、38 ml容積のバルーンを中位に挿入した場合に、最も高出力が得られることがわかった。

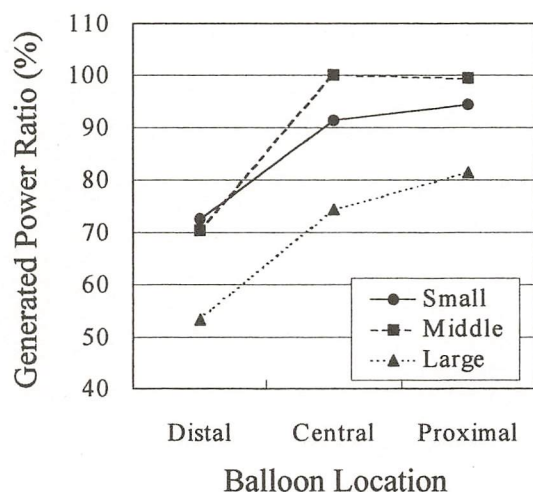


Fig. 6 The generated power ratio computed for the nine different conditions, compared with the power for the middle size balloon inserted at the central location of LDM.

[今後の研究の方法, 課題]

本研究では、動物実験より得たデータを二次元有限要素モデルに組み込み、PCサーバー機上で数値シミュレーションを行った。今後は三次元モデルに拡張することを目指す。

従来から人工臓器の開発では、人工臓器システム全体を力学的に捉える作業はほとんど行われず、臨床の場が先行するのが常であった。コンピュータの計算能力が格段に高まってきた今日、数値シミュレーションはオーダーメイド的な人工臓器製作には不可欠なものになると考えられる。しかしながら、計算機で筋をはじめとする生体軟組織を取り扱うには、筋の収縮原理

など、根本的に解明されていないことが多く、
数学モデル化には時間が掛かると思われる。

今後、本研究のように動物実験の結果をパラ
メータとして利用する方法も有効な手法の一つ
になると考えられるため、さらに汎用性に富ん
だ解析モデルの構築と他領域への応用を課題と
している。

[成果の発表, 論文等]

- 1) T. Minoura, H. Mizuhara, S. Tsutsumi, K. Nishi-
mura and T. Ban, "A Computer Simulation
Study of Isometric Contraction of Latissimus
Dorsi Muscle Used for Cardiac Assistance",
ASAIO Journal 43: M 781-M 786, 1997
- 2) 箕浦哲嗣, 堤 定美, 坂井信幸, 永田 泉:
Laser Doppler 計測法による生体軟組織弾性情報収
集システム, 第26回日本臨床バイオメカニクス学
会, 1999. 11. 6-7. 京都

生活習慣病の関連因子である筋の有酸素代謝能の 無侵襲計測法と評価法の開発

Noninvasive Measurement and Evaluation of Muscle Oxidative Capacity
Relating to the Life-Style-Related Diseases

991018

研究代表者	東京医科大学衛生学公衆衛生学教室 講師	浜 岡 隆 文
共同研究者	コペンハーゲン大学医学部医科生化学研究室 講師	水 野 眞佐夫
	北海道大学大学院工学研究科 教授	山 本 克 之
	東京医科大学衛生学公衆衛生学教室 教授	勝 村 俊 仁

〔研究の目的〕

高齢化および生活スタイルの変化に伴って、高血圧や糖尿病といった生活習慣病が増加し、生活の質や保健財政の面から社会問題となっている。生活習慣病の最終病変として心臓冠動脈病変や脳血管障害は、直接生命をおびやかすために、その治療をはじめ予防のための研究はめざましい進歩をとげてきた。しかし、その前段階つまり、糖尿病や高血圧のリスクファクターとして、筋の代謝能力の低下が指摘されている^{1,2)}。

しかし、骨格筋の代謝能力の評価や筋線維タイプ（速筋、遅筋）分類は、痛みを伴う筋生検^{3,4)}が必須であり、一般には使えなかった。本研究では、生体での透過性が高い近赤外光^{5,6)}を用い、ヘモグロビンの酸素化、脱酸素化を非侵襲的に測定し、筋の代謝や有酸素能力を評価する方法を開発するものである。無痛、簡便な計測手段と評価方法を開発する点で独創的である。

従来から、我々は近赤外分光法（NIRS）を応用し、活動筋内のヘモグロビンの酸素化、脱酸素化をモニターする方法を開発し、筋代謝の

基礎研究を行ってきた^{7,8,9)}。ヒト骨格筋を対象とした測定では、皮下脂肪層の個体差が光路長を変化させ、単純には個体間の酸素化状態を比較できない¹⁰⁾。従来は、動脈の血流を遮断し、筋組織の酸素を枯渇させる方法により、筋の酸素化状態を規格化し、個体間の比較を行ってきた。しかし、この方法もある程度痛みを伴い、広く一般の人に用いることは困難であった。そこで、多点計測（共同研究者山本分担）を用いることにより動脈血流遮断なしに、個体間の比較を行うシステムを開発する。

本研究は、生活習慣病の重大要因である筋の代謝能力を、非侵襲的に計測し、筋の状態を評価する方法を開発することを目的とした。

〔研究の内容、成果〕

1 近赤外分光装置

近赤外分光装置のプロープには、2波長発光ダイオード（760 nm, 840 nm）と8個のフォトダイオードを配置した。測定開始時の反射光強度を R_0 、開始後の強度を R とし、 $\ln(R_0/R) = \Delta OD$ となる吸光度変化を観察する。次に、Beer-Lambert 則にしたがい $\mu_a = \Delta OD/L$ (μ_a ,

吸光係数：L, 平均光路長)により, μ_a を算出する。ここで用いる2波長において, $\Delta\mu_a$ を測定することにより酸素化, 脱酸素化ヘモグロビンの濃度変化 ΔHbO_2 , ΔHb を算出する。

また, $\Delta\mu_a = \varepsilon_1 \cdot \Delta\text{HbO}_2 + \varepsilon_2 \cdot \Delta\text{Hb}$ (ε_1 , ε_2 はそれぞれの分子吸光係数) から2波長の $\Delta\mu_a$ から ΔHbO_2 , ΔHb を求める。脂肪層の補正については, Niwayama ら¹¹⁾の式を用いた。

2 被検者および測定プロトコール

10名の健常男性を被検者として, Yamamoto ら¹⁰⁾の脂肪層の補正式を用いることにより安静時の酸素摂取量(代謝量)の測定を行った。測定には, 前腕部の15分間の動脈血流遮断を行い, NIRSによる酸素消費量と磁気共鳴分光法(MRS)による酸素消費量(代謝量)を比較した。安静時代謝量の定量値は, MRSで測定したクレアチニン酸(PCr)の低下率から求めた⁹⁾。

また, 運動時の筋酸素摂取レベルについてもNIRSを用いて測定した。運動は, 10名の健常男性を用いて最大随意筋力の10%(10% MVC)と30%(30% MVC)のグリップ運動とし, 収縮の頻度は, 4秒に1回, 時間は2分間とした。運動時の筋酸素摂取量の測定は運動直後に動脈血流を遮断して, その時の筋酸素化レベルの低下率を求め, これを運動時酸素消費量とした。

さらに, 被検者9名を対象として, 腓腹筋外側頭を対象とした筋生検により, 組織生化学的に筋の有酸素能力を評価した。指標としては, ST線維とFTa線維の割合を用いた。NIRSによる筋有酸素能力は, 50% MVCの間欠的足底屈運動(7秒収縮/3秒弛緩)の開始初期の酸素化ヘモグロビンの低下率を用いた。

3 結果および考察

図1には, 安静時の骨格筋酸素摂取量の測定例を示した。前腕への酸素供給遮断により筋酸素化レベルは最初の約3分間は直線的に低下し,

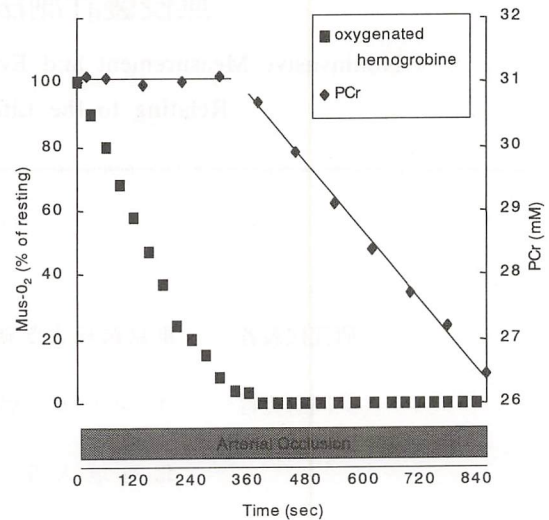


図1 安静時筋酸素活動量の測定例
Mus-O₂: 筋内酸素化ヘモグロビン量
PCr: クレアチニンリン酸量

約6分でほぼ一定となり, このあたりからPCrが分解し始めた。このPCrの分解率から求めた基礎代謝率は平均7.3 $\mu\text{M}/\text{sec}$ となり, リン酸/酸素(P/O_2)比を6とすると, 筋の安静時酸素消費量は平均1.2 $\mu\text{M O}_2/\text{sec}$ と算出された。

図2には, 安静時の酸素摂取量を本NIRS装置とMRS装置により測定した結果を示す。図中には, 脂肪層を補正する前後の酸素消費量をプロットし比較した。脂肪層の補正前には, 相関係数が $r = -0.25$ と一定の傾向はみられなかったが, 補正後は, $r = 0.61$ と有意な相関を示した。本来的には, この両測定値は一致するはずであるが, 脂肪層の補正前に相関が見られなかった理由として, 脂肪厚の違いによる測定感度の相違が考えられる。脂肪層は, 筋に比べて光の吸収が10分の1程度, 散乱は2倍程度大きいので, 皮下脂肪が厚い場合には皮膚上から入射した光はほとんど脂肪層内で散乱し, ほとんど筋に達しないで受光部に到達する。この場合には測定される変化量(測定感度)は小さくなる。

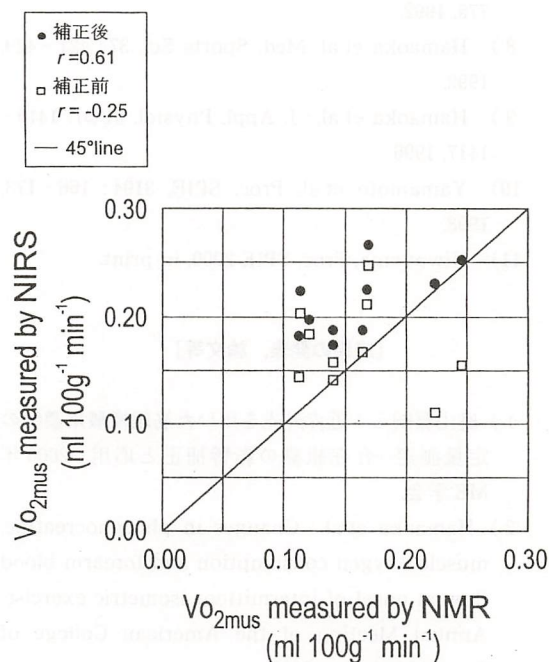


図2 近赤外分光法 (NIRS) により求めた筋酸素摂取量 (VO_{2mus}) と磁気共鳴分光法により求めた VO_{2mus} との比較

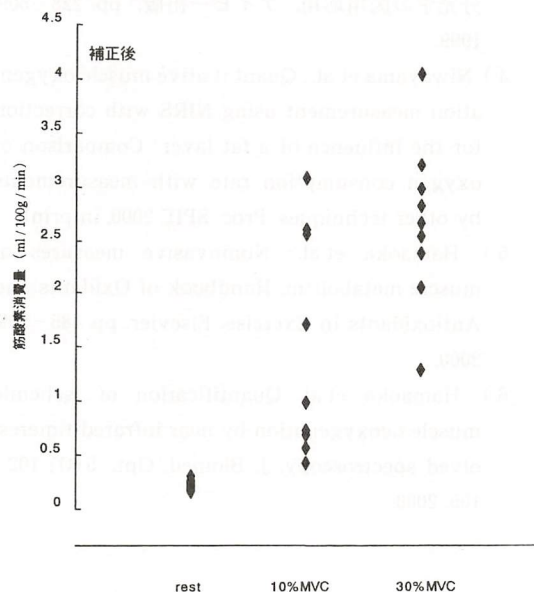


図3 脂肪層の補正後の安静, 10% MVC, 30% MVC 運動時の筋酸素消費量

図3には、脂肪層の補正後の安静, 10% MVC, 30% MVC 運動時の筋酸素消費量を示した。運動により筋酸素消費量が高まっている様子が観察される。筋酸素消費量は安静時 0.22 ± 0.74 ml/100 g/min (平均 $\pm$ 標準偏差), 10% MVC 時 1.40 ± 1.00 ml/100 g/min, 30% MVC 時 2.71 ± 0.74 ml/100 g/min であった。

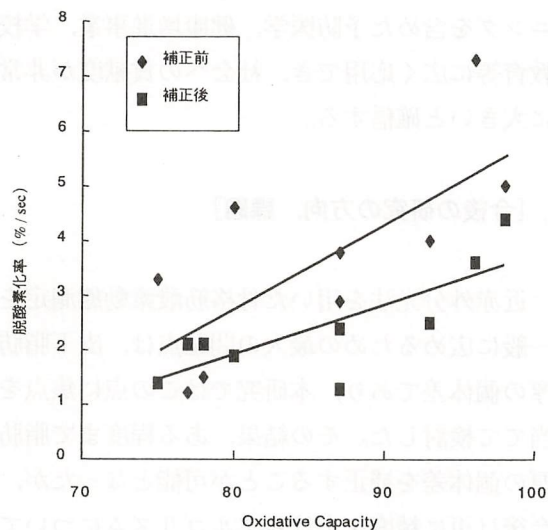


図4 筋生検により得られた筋有酸素能と運動初期の脱酸素比率の関係

図4には、筋生検により得られた筋有酸素能と運動初期の脱酸素比率の関係を表示した。ここで、脂肪厚の補正をしない方が結果的には相関係数が高くなったことは、予想外であった。脂肪厚を補正した場合の脱酸素化率はある程度、筋の有酸素能を反映する指標であるが、特異的ではない。一方、脂肪層を補正する前には、脱酸素化率に脂肪層の影響が加わる。有酸素能が高くても脂肪層がうすくても脱酸素化率は増加する。一般に両指標はトレーニング習慣のある対象者において共存すると思われる。したがって、脂肪層を補正する前には、この両者の要因が加算され、より鋭敏に筋生検により得られた有酸素能と高い相関が見られたものと推測される。場合によっては、補正前の指標の方が実用的に対象者の筋有酸素能を評価する指標として利用できる可能性もある。

4 ま と め

骨格筋代謝の簡便な測定法として注目される近赤外分光法においても、個体間の比較には疼痛を伴う動脈血流遮断が必要であった。本研究では、この血流遮断なしに、個体間の筋内酸素化状態の比較ができる指標を確立した。本研究の成果は、近赤外分光法の応用範囲が学術研究

のみならず一般臨床，生活習慣病疾患スクリーニングを含めた予防医学，健康増進事業，学校教育等に広く応用でき，社会への貢献度が非常に大きいと確信する。

[今後の研究の方向，課題]

近赤外分光法を用いた骨格筋酸素動態測定を一般に広めるための最大の問題点は，皮下脂肪厚の個体差であり，本研究ではこの点に焦点を当てて検討した。その結果，ある程度まで脂肪厚の個体差を補正することが可能となったが，今後は更に精度を上げるアルゴリズムについて検討する必要がある。また一方で，生活習慣病のリスクファクターと筋代謝能との関連についても平行してデータ収集を行う必要があると考える。本研究に助成いただいた立石科学技術振興財団に対し深謝致します。

[関連文献]

- 1) Wade et al. Lancet 335: 805-808, 1998.
- 2) Shono et al. Metabolism 48 (10): 1267-1271, 1999.
- 3) Mizuno et al. Am. J. Physiol. 267: 408-414, 1994.
- 4) Mizuno et al. J. Appl. Physiol. 76 (2): 531-538, 1994.
- 5) Jobsis. Science 198: 1264-1267, 1977.
- 6) Chance et al. Anal. Biochem. 174: 698-707, 1988.
- 7) Chance et al.: Am. J. Physiol. 262: C 766-C

775, 1992.

- 8) Hamaoka et al. Med. Sports Sci. 37: 421-429, 1992.
- 9) Hamaoka et al.: J. Appl. Physiol. 81 (3): 1410-1417, 1996.
- 10) Yamamoto et al. Proc. SPIE, 3194: 166-173, 1998.
- 11) Niwayama, Proc. SPIE 2000, in print.

[成果の発表，論文等]

- 1) 庭山雅嗣ら：近赤外光を用いた筋組織酸素濃度の定量測定—介在組織の影響補正と応用，2000年ME学会.
- 2) Hamaoka et al.: Changes in phosphocreatine, muscle oxygen consumption and forearm blood flow at onset of intermittent isometric exercise. Annual Meeting of the American College of Sports Medicine, 2000.
- 3) 勝村俊仁ら：近赤外分光法による筋内ヘモグロビン・ミオグロビン動態の測定，実用分光法シリーズ分光学の医用応用，アイピー出版，pp. 223-509, 1999.
- 4) Niwayama et al.: Quantitative muscle oxygenation measurement using NIRS with correction for the influence of a fat layer: Comparison of oxygen consumption rate with measurements by other techniques. Proc. SPIE 2000, in print.
- 5) Hamaoka et al.: Noninvasive measures of muscle metabolism. Handbook of Oxidants and Antioxidants in Exercise. Elsevier. pp. 485-509, 2000.
- 6) Hamaoka et al. Quantification of ischemic muscle deoxygenation by near infrared time-resolved spectroscopy. J. Biomed. Opt. 5 (1): 102-105, 2000.

遺伝情報発現における生物分子モーターの1分子メカニズム

Single Molecule Mechanism of Biomotor in Gene Expression

991019

研究代表者

慶應義塾大学理工学部 専任講師

原 田 慶 恵

[研究の目的]

DNA に書き込まれている遺伝情報は生物分子モーターによって、タンパク質という機能分子に翻訳される。遺伝情報発現の第1段階はRNAポリメラーゼによる転写である。RNAポリメラーゼはDNA上の転写すべき部位を探し出し、その後2本鎖のDNAをこじ開け、片方の鎖を鋳型として、その塩基配列と相補的なリボヌクレオシド3リン酸をホスホジエステル結合でつなげていく。RNAポリメラーゼは転写によって各々のヌクレオチドを付加することによって平均1塩基対の距離(0.34 nm)ずつDNAをたぐり寄せる。このとき、RNAポリメラーゼがどのようなメカニズムで機能しているかを、光学顕微鏡下で1分子の転写中の動きを可視化することによって明らかにしようというのが本研究の目的である。

[研究の内容、成果]

まず、顕微鏡下で転写を行わせることができるような系を作らなければならない。顕微鏡で動きを観察するためには試料を固定しなければならない。DNAとRNAポリメラーゼの動きは相対的なものなので、RNAポリメラーゼを基板に固定して、DNAの動きを検出する方法と、DNAを固定してRNAポリメラーゼの動きを検出する方法の2通りが考えられる。これまでの経験から、技術的にはDNAに付けたタ

グの動きをモニターして、RNAポリメラーゼの動きを検出する方が現実的である。そこで、DNAの片端に直径1 μ mのプラスチックビーズを結合させ、RNAポリメラーゼが転写を行っているとき、ビーズがどのような動きをするのかを検出する系を開発することにした。

具体的には以下のように進めた。

1. RNAポリメラーゼの調製

大腸菌からRNAポリメラーゼを調製した。調製後、顕微鏡下で転写反応を観察するのと同じ条件下で、RNAポリメラーゼの活性測定を行った。

2. DNAの調製

非常に強力なプロモーターとして知られているT7 A1プロモーターを唯一の大腸菌RNAポリメラーゼのプロモーターとする欠失突然変異T7ファージを鋳型に、合成オリゴヌクレオチドをプライマーとして、A1プロモーターを含む、長さ約1.5マイクロメートルの鋳型DNAをPCR法を用いて合成した(図1)。



図1 鋳型DNAの配列模式図

3. DNA の標識

PCR を行うとき、プライマーをあらかじめビオチン化しておくことによって、DNA の片端をビオチン化した。

4. 転写複合体の形成

合成した DNA ポリメラーゼを RNA ポリメラーゼと ATP, GTP, CTP, ApU 存在下で 37 度, 20 分程度処理すると RNA ポリメラーゼは A1 プロモーター部位から転写を開始し, 20 番目の A のところで転写を休止し, いわゆる stalled complex を形成する。

5. 転写中の動きの観察

この転写複合体をガラス基板上に固定し, ビオチン化した DNA の片端に, ストレプトアビジンを表面に付着させた直径 $1\mu\text{m}$ のプラスチックビーズを結合させた。ATP, GTP, CTP, UTP の 4 種類の基質すべてを含む緩衝液を環流し, 転写を再開させた。DNA に標識したビーズのブラウン運動を観察した (図 2)。

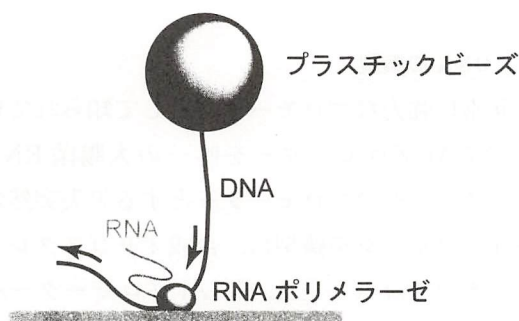


図 2 実験系の模式図

6. 結果および考察

ビーズのブラウン運動の範囲はビーズに付着させた DNA の長さによって制限されている。RNA ポリメラーゼが転写を再開し, 徐々に DNA をたぐり寄せていくと, ビーズのブラウン運動の範囲が狭まっていく (図 3)。顕微鏡下で, 初めビーズは激しくブラウン運動しているが, 時間が経っていくと, ビーズのブラウン

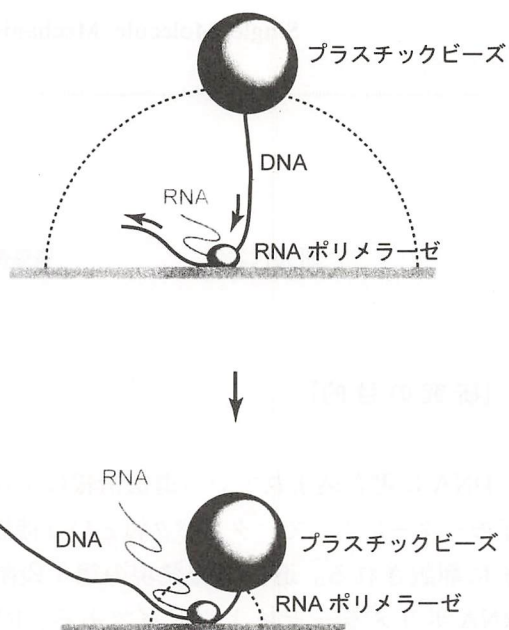
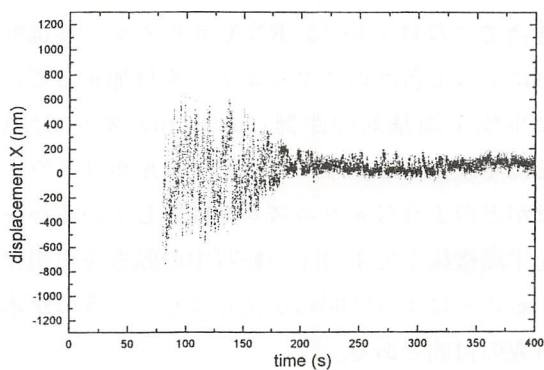
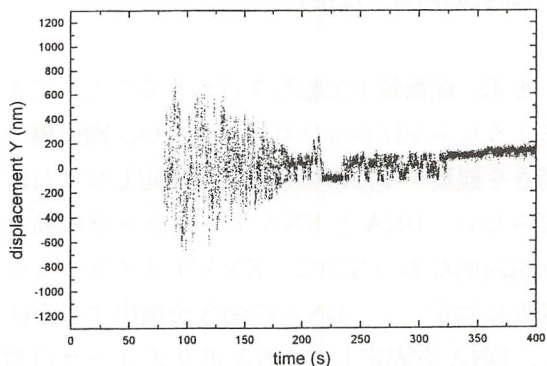


図 3 ビーズのブラウン運動範囲の変化の模式図



ビーズの X 方向の変位の時間変化



ビーズの Y 方向の変位の時間変化

図 4 ビーズの変位の時間変化

運動がしだいに小さくなり、最後には DNA が完全にたぐり寄せられてしまいビーズのブラウン運動が停止するのが観察できた (図 4)。これは、RNA ポリメラーゼ 1 分子の転写過程を実時間で観察することができたことを示している。このブラウン運動の範囲が狭まっていく様子を解析すると、RNA ポリメラーゼの転写の速度を見積もることができる。転写速度の見積もりは次に述べる 2 つの方法で行った。第 1 の方法は、転写を再開させてから、ブラウン運動が完全に停止するまでの時間を、鋳型 DNA 全長を転写するのに要する時間と考える。第 2 の方法は、ビーズの重心の最大変位の時間変化から求める方法である。転写しうる DNA の長さは、4500 bp, 約 $1.52 \mu\text{m}$ である。ビーズのブラウン運動が停止するまでに要した時間の平均は 200 秒すなわち転写速度は平均 20 nt/s であった。一方、第 2 の方法で求めるには DNA が長いほど、DNA の柔らかさによる誤差が大きくなるので、転写の終わる直前の傾きから求めることにした。この方法から求めた転写速度の平均値は 20 nt/s だった。違う方法によって求めた転写速度は、よい一致をした。また、この速度は同じような条件下で、生化学的方法で求めた転写速度ともよく合っている。

[今後の研究の方向、課題]

RNA ポリメラーゼは DNA の遺伝情報を mRNA に転写するとき、各々のヌクレオチドを付加するごとに 1 塩基対の距離ずつ DNA をたぐり寄せる。いい方を換えれば、DNA に沿って滑り運動する。生体内ではこの動きは粘性抵抗や他の外力に対して機械的な仕事をしておこる。RNA ポリメラーゼは、RNA の生合成を触媒する時に得た化学自由エネルギーを、DNA に沿った滑り運動という力学エネルギーに変換している生物分子モーターである。また、DNA がらせん構造をしていることから、RNA ポリメラーゼはらせんに沿って、回転しながら

DNA の情報を読み、RNA を合成していくと考えられている。そこで、今回の実験系を發展させて、1 分子の RNA ポリメラーゼが転写を行っているとき、DNA が回転している様子を検出する事を試みる。回転の検出がうまくいけば、DNA のらせんのピッチが 1 回転およそ、10 塩基対であることから、素反応を 36 度の回転として検出することが可能になるかもしれない。RNA ポリメラーゼが個々のヌクレオチドを付加していく素反応の検出ができるようになれば、顕微鏡下で塩基配列を読みとったりすることも可能である。また、RNA ポリメラーゼの生物分子モーターとしての性質について研究することも非常に興味深い。例えば筋肉タンパク質で研究されているような、化学エネルギーから力学エネルギーに変換するメカニズムの研究をおこなうこともできる。さらにリボソーム上でのタンパク質の合成を直接観察する系へ發展させることも可能である。

[成果の発表、論文等]

- 1) Yasuharu Arai, Ryohei Yasuda, Ken-ichirou Akashi, Yoshie Harada, Hidetake Miyata, Kazuhiko Kinoshita Jr. & Hiroyasu Itoh, Tying a molecular knot with optical tweezers. *Nature*, 399 446–448 (1999)
- 2) 原田慶恵：エバネッセント波を用いた DNA-RNA ポリメラーゼ 1 分子相互作用のイメージング 精密工学会誌 65, 205–208 (1999)
- 3) 原田慶恵：分子のひもを結ぶ 三田評論 1015, 68–69 (1999)
- 4) 原田慶恵, 木下一彦：DNA 分子に結び目をつくる 遺伝 53 巻 10 号 10–12 (1999)
- 5) Yoshie Harada, Nobuo Shimamoto & Kazuhiko Kinoshita, Jr., Direct observation of rotational motion of DNA during transcription by *E. coli* RNA polymerase, *Biophysical J.* 446 A (2000)
- 6) Kengo Adachi, Ryohei Yasuda, Hiroyuki Noji, Hiroyasu Itoh, Yoshie Harada, Masasuke Yoshida & Kazuhiko Kinoshita, Jr., Stepping rotation of F1-ATPase visualized through angle-resolved single-fluorophore imaging *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 97, 7243–7247 (2000)

国際交流報告の抄録一覧

(平成 11 年度)

〔派遣〕

- ◆ 第 32 回自動車の技術と自動化に関する国際シンポジウム (992001) 103
内 村 圭 一 熊本大学工学部 教授
- ◆ 第 2 回流れの可視化と画像処理に関する太平洋シンポジウム (992002) 103
小 山 忠 勇 航空宇宙技術研究所空力特性研究部 主任研究官
- ◆ 人工および現実のニューラルネットワークに関する国際ワークコンファレンス (992003) 104
篠 本 滋 京都大学大学院理学研究科 助教授
- ◆ 1999 IEEE 制御応用に関する国際会議 (992004) 104
陳 新 開 東京電機大学理工学部 助手
- ◆ 第 5 回原子制御された表面, 界面, ナノ構造に関する国際会議 (992005) 105
奈 良 純 金属材料技術研究所計算材料研究部 研究員
- ◆ 1999 年度ロボットと自動化に関する IEEE 国際会議 (992006) 105
山 本 佳 男 東海大学工学部 助教授
- ◆ 第 8 回国際ファジィシステム学会世界会議 / 第 8 回米国電気電子学会ファジィシステム国際会議
(992007) 106
吉 川 歩 岡山大学教育学部 講師
- ◆ 知識発見とデータマイニングに関する第 3 回太平洋・アジア会議 (992008) 106
吉 田 哲 也 大阪大学大学院基礎工学研究科 助手

〔招聘〕

- ◆ 第 9 回 II-VI 族化合物半導体国際会議 (993001) 107
田 口 常 正 第 9 回 II-VI 族化合物半導体国際会議 論文委員長
(山口大学工学部 教授)
- ◆ 第 15 回ファジィシステムシンポジウム / 日本ファジィ学会 (学会設立 10 周年記念大会)
(993002) 107
水 本 雅 晴 日本ファジィ学会 会長
(大阪電気通信大学 教授)

〔派遣〕

派遣研究者	熊本大学工学部 教授 内村 圭一	992001
研究集会名	第32回自動車の技術と自動化に関する国際シンポジウム (32nd International Symposium on Automotive Technology and Automation/ISATA)	
出張期間	平成11年6月12日～18日	
開催場所	オーストリア・ウィーン	
発表論文	階層的公共システムにおける車両の経路・スケジューリング	

概要：
平成11年6月14日～18日に開催された上記国際会議に参加し、研究発表を行った。本国際会議は、1972年から毎年開催されているもので、自動車技術と自動化に関して8つの大きな分科会に分かれて、総計800編以上の技術論文が発表される、この分野の国際的発表の場として最も大きな会議の1つである。
受領者は、15日午前に“Surface Transportation Advances and Intelligent Transportation Systems”分科会で研究発表を行った。発表に対していくつかの基本的な質問およびコメントを受けることができた。本国際会議への参加を通して、他の研究者との有意義な討論を行うことができたことは、非常に有意義であった。

派遣研究者	航空宇宙技術研究所空力特性研究部 主任研究官 小山 忠勇	992002
研究集会名	第2回流れの可視化と画像処理に関する太平洋シンポジウム (The 2nd Pacific Symposium on Flow Visualization and Image Processing)	
出張期間	平成11年5月15日～21日	
開催場所	アメリカ・ハワイ州 ホノルル	
発表論文	赤外線サーモグラフィによる熱伝達分布測定における3次元マッピング技術の開発	

概要：
平成11年5月16日から19日まで上記シンポジウムに参加した。同シンポジウムは1997年に第1回が開催され、今回が2回目となり、今後も2年に一度開催される予定である。
今回のシンポジウムは13ヵ国から19分野、104編のレポートが提出され盛大に開催された。
私は、17日に「Heat Transfer」分野において「Development of Three Dimensional Mapping Technology in Heat Transfer Distribution Measurement on Models by Infrared Thermography」と題して研究発表し、意見交換を行った。さすがに画像処理分野の専門家だけあり、その意見は大いに参考になった。
また、各開催日の最初のセッションは「Key Technology」という特別講演で、これまでの可視化の歴史と原理、現状等をわかりやすく説明され、初心に返る思いがした。
同シンポジウムは同じ分野の研究者が集ったこともあり、終始なごやかで、friendlyなムードがただよっていて、国際シンポジウムに初めて参加した私でも、すぐにいろいろな研究者と交流することができた。今回、同シンポジウムに参加できたことは私にとって研究分野の視野を広げるうえで、大変役立った。今後もこの成果を生かして一層研究活動に励みたい。

派遣研究者	京都大学大学院理学研究科 助教授 篠本 滋	992003
研究集会名	人工および現実のニューラルネットワークに関する国際ワークカンファレンス (International Work-conference on Artificial and Natural Neural networks/IWANN '99)	
出張期間	平成 11 年 5 月 30 日～6 月 8 日	
開催場所	スペイン・アリカンテ市	
発表論文	大脳皮質ニューロンのスパイク間隔統計	

概 要：

平成 11 年 6 月 1 日より 4 日までスペイン・アリカンテ市にて開催された上記国際ワークカンファレンスに出席し、「大脳皮質ニューロンのスパイク間隔統計 (Inter-spike interval statistics of cortical neurons)」という題名で講演を行い、さらにはセッションの座長も務めた。

このワークカンファレンス IWANN は国際的にもよく名を知られた会議で、ヨーロッパ、米国、日本など多数の国から約 200 名の参加者を集めた。

私の講演については、この分野で最前線を行く研究者が興味をもって活発な議論を行った。議論はセッションの後まで続き、また会議の会食などを通して親睦を深めることができたのは最高の喜びである。また他の参加者の講演も刺激になった。特にモシェ・アベレス教授の講演はたいへんすばらしいものであった。彼の講演の後、個人的に詳しく議論することができたのは大きな成果だった。ピーター・ランスキー教授は予想したとおりの頭脳明晰な研究者で、ユーモアも通じる。今回の滞在を通して友情を深めることができた。

ちなみに、この会議では、科学技術交流の場としてのみならず、地域文化の紹介にも配慮が行き届いているので感心した。というのは、スペインならではのもてなしがなされたからである。

派遣研究者	東京電機大学理工学部 助手 陳 新開	992004
研究集会名	1999 IEEE 制御応用に関する国際会議 (1999 IEEE International Conference on Control Applications (CCA '99))	
出張期間	平成 11 年 8 月 20 日～28 日	
開催場所	アメリカ・ハワイ	
発表論文	スライディングモード制御法を用いたフレキシブルアームの振動抑制制御	

概 要：

CCA'99 は制御応用に関する最大規模の国際会議で、産業界および研究機関から有力な学者が一堂に集まり、研究発表及び討論を通して情報交換を行い、新たな発想と応用を直に肌で感じ取れる会議である。

今回の CCA'99 には、米国、日本などをはじめ、数十か国から 600 人の研究者が参加し、400 件の論文が発表された。制御理論から最先端の応用まで幅広く報告された。特に、非線形制御法の応用が注目された。

私は、“Vibration Control and Input Shaping”というセッションで、スライディングモード制御法を用いたフレキシブルアームのロバスト制御に関する研究“Vibration Suppression Control of Flexible Arms by Using Sliding Mode Method”を発表した。本研究は、スライディングモード等価入力制御法を理論的に解析し、そのフレキシブルアームへの応用を考察した。今回の会議は、多くの質問とコメントを頂き、非常に有意義な交流でした。

派遣研究者	金属材料技術研究所計算材料研究部 研究員 奈良 純	992005
研究集会名	第5回原子制御された表面，界面，ナノ構造に関する国際会議 (The 5th International Conference on Atomically Controlled Surfaces, Interfaces and Nanostructures/ACCIN-5)	
出張期間	平成11年7月5日～11日	
開催場所	フランス・エクサンプロヴァンス	
発表論文	水素終端 Si (001) 表面における島形成に関する理論的研究	

概要：
本会議は、平成11年7月6日から9日まで開催され、参加人数は300名以上が世界中から集まった。現在のこの分野の進展，方向性についての情報を得るには十分な規模であったと思われる。会議は口頭発表とポスター発表が行われた。口頭発表は2部屋でのパラレルセッションであった。1時間半毎にコーヒープレイクがあり、緊張感を保つのによかった。ポスターセッションでは、120件以上の発表があった。このセッションの時間は2時間程度だったのだが、件数が非常に多いため、予め目星をつけていた発表ですら十分に聞けないような状況であった。これは非常に残念であった。

7月8日、私は「水素終端 Si (001) 表面における島形成に関する理論的研究」について発表したが、この理論予測には多くの反響があった。今後の実験的研究との相互作用をととして更なる理解が期待できると思われた。私の専門は半導体表面での原子レベルでの構造や反応過程であるが、この会議ではそのような原子レベルでの構造的安定性，反応過程に関する発表が多数あり、非常に興味深かった。それらの発表を聴講することや、討論することは現在の自らの研究内容を深めるばかりでなく、今後の研究の指針にも影響を及ぼす可能性もあり、非常に有意義であった。

派遣研究者	東海大学工学部 助教授 山本 佳男	992006
研究集会名	1999年度ロボットと自動化に関するIEEE国際会議 (1999 IEEE International Conference on Robotics and Automation)	
出張期間	平成11年5月10日～17日	
開催場所	アメリカ・デトロイト	
発表論文	移動マニピュレータの機動性と可操作性に関する統合的解析	

概要：
平成11年5月12日から14日に開催された上記国際会議に出席し、口頭発表を行い、関連分野の研究者らとの意見交換を行った。

本会議は、ロボットおよび自動化技術に関する名実ともに最大規模の国際会議であり、世界各地より第一線の研究者が集まるため情報発信ならびに情報交換の場として最適な会議である。

今回は、移動マニピュレータによる重量物の搬送を想定して、移動ロボットの機動力とロボットアームの操作性の両者を、運動学および動力学的観点から統合的に解析する手法について発表を行い、出席者との質疑を通じて有意義な意見交換が行われた。

国際会議出席後は、自分の出身校でもあるペンシルバニア大学のグラスプ研究所 (GRASP LAB) を訪れ、移動ロボットやコンピュータビジョンを始め、最近の研究活動の紹介を受けた後、当方の研究紹介も行い、貴重な情報交換の場を持つことができた。

派遣研究者	岡山大学教育学部 講師 吉川 歩	992007
研究集会名	第8回 国際ファジィシステム学会世界会議 (The Eighth International Fuzzy Systems Association World Congress) 第8回 米国電気電子学会ファジィシステム国際会議 (The Eighth IEEE International Conference on Fuzzy Systems)	
出張期間	平成11年8月16日～20日 / 8月22日～26日	
開催場所	台湾・台北 / 大韓民国・ソウル	
発表論文	・主観的な間の判断を反映したファジィ概念間の間の演算 ・主観的な類似・一致の判断を反映したファジィ概念間の類似性・一致性指標	

概要：
標記の国際会議はいずれもファジィ理論およびソフトコンピューティングの分野では最も権威ある会議である。前者は隔年、後者は毎年開催されている。今回の会議にも世界各国からファジィ理論、ソフトコンピューティングに関する著名な研究者が多数参加していた。
IFSA '99では、「ファジィ数学Ⅲ」のセッションで「主観的な間の判断を反映したファジィ概念間の間の演算」に関する発表を行った。また FUZZ-IEEE '99では、「データ解析と意思決定解析Ⅰ」のセッションで「主観的な類似・一致の判断を反映したファジィ概念間の類似性・一致性指標」に関する発表を行った。
また特別講演や関連するセッションを聴講し、関連する研究者と意見交換を行った。特にアジアで同様の研究を行っている研究者と交流を深めることができたことは、今後の研究に大きなプラスとなった。
両会議に連続して参加する研究者が多かったため、移動日はそれらの研究者と研究などに関する情報交換を行えたことも有意義であった。

派遣研究者	大阪大学大学院基礎工学研究科 助手 吉田 哲也	992008
研究集会名	知識発見とデータマイニングに関する第3回太平洋・アジア会議 (The Third Pacific-Asia Conference on Knowledge Discovery and Data Mining/ PAKDD '99)	
出張期間	平成11年4月25日～5月2日	
開催場所	中華人民共和国・北京	
発表論文	多様な構造化に基づく複数の人間の間の概念相違発見	

概要：
本出張の目的は、データベースに内在する概念相違を検出することで整合性のあるデータベースを提供する方法論について発表し、またその手法について議論を行うために会議に参加した。本国際会議は、最近注目を浴びつつある大規模データベースからの知識発見に関して太平洋・アジア地域の研究者が集まって最新のデータマイニング技術等に関して発表・議論を行うものであり約200人ほどの研究者が参加し、活発な議論を行った。
1日目午前、午後とそれぞれチュートリアルがあり、またこれと平行してKDD '99 (Knowledge Discovery from Advanced Databases) というワークショップも開かれ、会議だけでなくワークショップへの参加者も活発な議論を行った。3日目の会議で、上記研究内容を発表した。私の発表に対してのいくつかの質問は、今後の研究に対して有意義な論議ができた。今後は、本会議での議論をもとにさらに研究を進めていく予定である。4日目、精華大学の Lizhu Zhou 教授の招聘を受けて精華大学を訪問し、精華大学の大学院の学生を交えて活発な議論を行った。その後、精華大学、北京大学それぞれの研究設備を見学し、またそれぞれの研究室を訪問して研究内容の紹介やデモンストレーション等を見学した後、ディスカッションを行った。

〔招 聘〕

招 聘 者	第 9 回 II-VI 族化合物半導体国際会議 論文委員長 田口 常正 (山口大学工学部 教授)	993001
会 議 名	第 9 回 II-VI 族化合物半導体国際会議 (The Ninth International Conference on II-VI Compounds)	
出張期間	平成 11 年 10 月 28 日～11 月 7 日	
開催場所	京都市 (国立京都国際会館)	
被 招 聘 者	ドイツ連邦共和国ブレーメン大学 D. Hommel 教授	

集会の概要：

平成 11 年 11 月 1 日から 5 日までの 5 日間、国立京都国際会館（京都市）において開催された本会議は、赤外から紫外域におよぶ光機能を持つ II-VI 族化合物半導体を対象に、その結晶成長、物性、デバイス応用にわたる最新の研究成果を報告し討論を行うことを目的とするもので、1982 年に英国 Durham で第 1 回が開催されて以来、ほぼ隔年に開催されているこの分野では世界最大規模の国際会議である。

招聘したドイツ・ブレーメン大学の D. Hommel 教授は、II-VI 族化合物半導体の基礎分野からレーザ構造等のデバイス作製までの幅広い研究を行っており、欧州を代表する研究者である。II-VI 族化合物半導体の応用分野としては、短波長（緑色より短波長）レーザが注目をあびているが、結晶成長上の多くの問題点が残っている。本会議では、この分野における最新の研究成果と問題点の解決方法について同教授から講演をいただくことが、会議参加者にとってきわめて有意義で今後の研究の進展に高い示唆が与えられるとの観点から、論文委員会において同教授の招聘を提案し、“Homoepitaxial ZnSe Laser diodes – a comparison to the heteroepitaxial approach” と題した招待講演を行っていただいた。講演後、表面処理の手法やレーザ特性に関する参加者からの熱心な質問があり、活発な質疑応答がなされた。参加者にとって、レーザへの応用に向けた問題点とその解決方法が明確にされ、招聘による効果がきわめて大きかったものと確信する。なお、Hommel 教授は、会議前に東京理科大学、会議後に京都大学を訪問し、この分野の研究者および学生と研究討論を行った。

招 聘 者	日本ファジィ学会 会長 水本 雅晴 (大阪電気通信大学 教授)	993002
会 議 名	第 15 回ファジィシステムシンポジウム / 日本ファジィ学会 (学会設立 10 周年記念大会)	
出張期間	平成 11 年 6 月 1 日～4 日	
開催場所	大阪府大阪市 (大阪工業大学)	
被 招 聘 者	アメリカ カリフォルニア大学 Lotfi A. Zadeh 教授	

集会の概要：

ファジィ理論の産みの親であるザデー教授を、6 月 2 日から 5 日の 4 日間、大阪工業大学・60 周年記念館にて開催された日本ファジィ学会主催の第 15 回ファジィシステムシンポジウムに招聘した。本大会は学会設立 10 周年にあたる記念すべき大会であり、ザデー教授の他、長尾真京大総長、桜井良文大阪工業大学学長らに特別講演を行っていただいた。

ザデー教授には、Evolution of Fuzzy Logic – A Personal Perspective と題する 10 周年記念特別講演を行っていただいた。ファジィ集合が誕生した頃（1965 年）のエピソードや、最近ザデー教授が提唱している Soft Computing の包括的概念まで幅広く、1 時間にわたって講演していただいた。その後、これまでのファジィ理論とその応用に対する貢献に対して、水本学会長から「特別功績賞」が贈呈された。

ザデー教授の講演を通じて、学会参加者は今後のファジィ技術やソフトコンピューティングのあり方や確立に対して大いに得るところがあった。

-
- 平成 11 年度活動報告
 - 平成 12 年度助成報告
 - 第 11 回助成金贈呈式
 - 受領者投稿
 - 研究室訪問
 - 第 11 回（平成 12 年度）助成課題一覧
 - 平成 12 年度研究助成課題の紹介
 - 平成 13 年度助成候補募集案内

平成 11 年度活動報告

(1) 主要業務日程

平成11年	5月11日	第10回(平成11年度)助成金贈呈式及び懇親交流会開催
	5月13日	特定公益増進法人の認可証明書受領
	6月23日	第21回理事会・第21回評議員会開催 ・平成10年度事業報告及び決算報告承認 ・平成12年度助成課題応募方法承認
	8月1日	「平成12年度助成候補募集案内」発送
	9月1日	「平成12年度助成課題」応募受付開始
	9月10日	第22回理事会・第22回評議員会開催 ・寄附行為の一部変更の承認
	9月20日	助成研究成果集(第8号)発行
	10月22日	寄附行為の修正認可証受領
	10月31日	「平成12年度助成課題」応募締切
	12月末日	選考委員による応募課題書面審査完
平成12年	1月21日	第12回選考委員会開催 ・平成12年度助成課題候補選考
	2月28日	オムロン(株)より運用財産2,000万円の寄付金受領
	3月14日	第23回理事会・第23評議員会開催 ・平成12年度事業計画及び収支予算案承認 ・平成12年度助成課題承認

(2) 会計報告

収 支 計 算 書

(自 平成11年4月1日 至 平成12年3月31日)
(単位:千円)

収入の部	
基本財産運用収入	44,417
寄附金収入	20,203
雑収入	494
基本財産収入	100,000
前期繰越額	73,596
合 計	238,710
支出の部	
事業費	53,015
管理費	14,891
特定預金支出	100,000
合 計	167,906
次期繰越額	70,804

貸 借 対 照 表

(平成12年3月31日)
(単位:千円)

資産の部	
流動資産	現金 186
	普通預金 20,384
	定期預金 0
	有価証券 50,234
固定資産(基本財産)	
	定期預金 200,000
	投資有価証券 1,031,250
その他固定資産	150
資産合計	1,302,204
負債の部	負債合計 0
正味財産の部	正味財産 1,302,204
負債及び正味財産合計	1,302,204

平成 12 年度助成報告

本年は、第 11 回目の助成となる平成 12 年度助成課題に対し、平成 12 年 5 月 26 日、第 11 回助成金贈呈式を開催し、次の助成を行った。

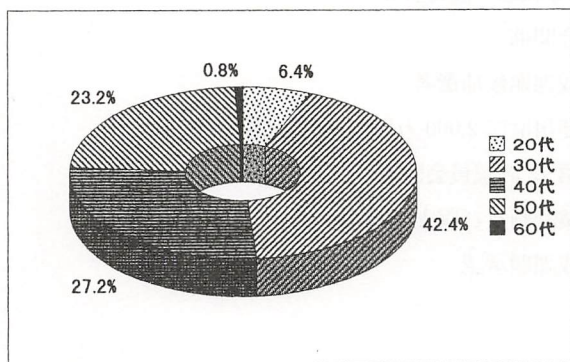
研究助成	19 件	4,175 万円
国際交流助成		
研究者海外派遣助成	4 件	155 万円
外国人研究者招聘助成	4 件	185 万円
合 計	27 件	4,515 万円

この結果、財団設立以来の助成事業は、研究助成 221 件、国際交流助成 107 件、助成総額約 5 億 7 千 415 万円に達した。

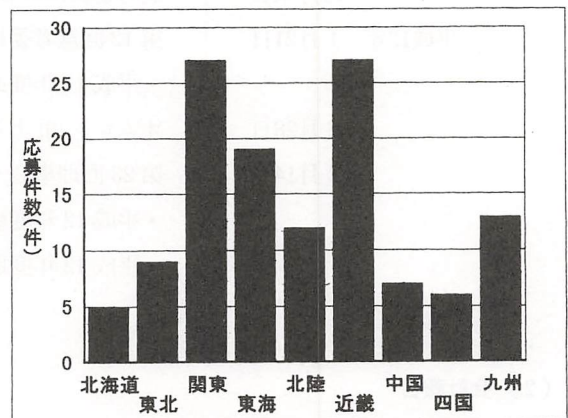
● 平成 12 年度助成の応募状況

(1) 研究助成

① 年令別

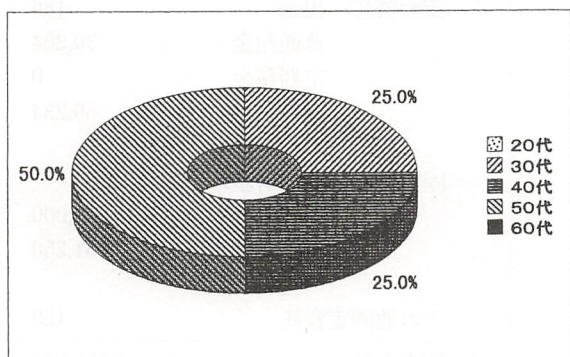


② 地域別

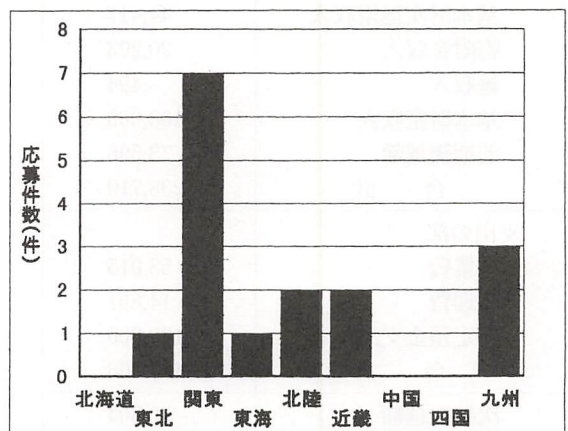


(2) 国際交流助成

① 年令別



② 地域別



財団設立 10 周年記念講演会

日 時：平成 12 年 5 月 26 日（金）
場 所：京都宝が池プリンスホテル

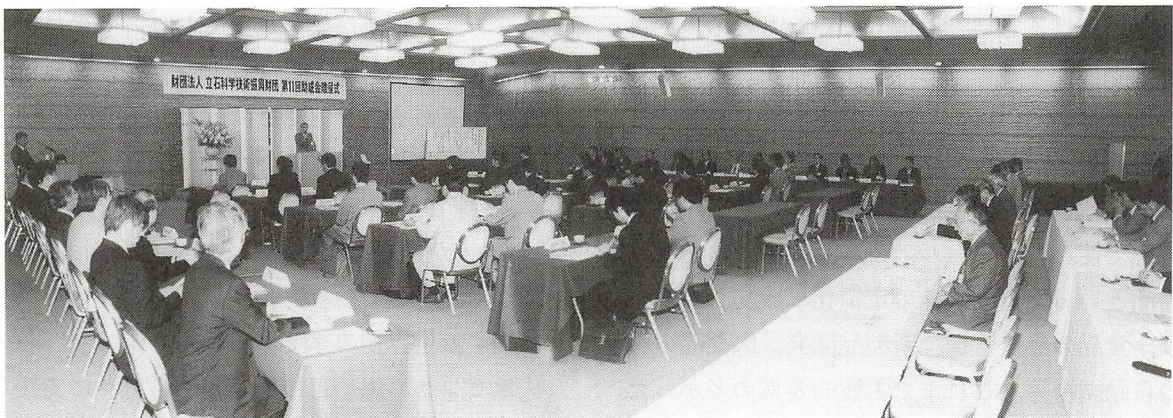
記念講演会は、在京企業や財団関係者約 100 名のご出席のもと、講師に NHK 解説委員小出五郎氏を迎え、“科学技術と「豊かさ」”と題して記念講演をいただいた。



記念講演会

第 11 回助成金贈呈式

記念講演に引き続き、第 11 回助成金贈呈式を、来賓の科学技術庁長官官房審議官 小中元秀様、京都府商工部次長 井上正嗣様はじめ、平成 12 年度助成者、財団関係者等約 80 名の出席のもとに開催し、立石理事長より受領者に助成金目録贈呈を行い、記念撮影ののち、懇親交流会を行った。



贈呈式会場



立石理事長挨拶



目録贈呈

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

※ 課題発表 OHP は、160 ～ 163 頁に掲載

受領者投稿

その後の味覚センサ

九州大学大学院システム科学研究所 教授 都 甲 潔
(第4回 受領者)

平成5年度に「味覚・嗅覚系を模したマルチチャンネル脂質膜型の生物化学感覚認識システムの開発」というテーマで立石科学技術振興財団より研究助成を戴いた。それは7年前のことであり、当時の味覚センサの状況はというと、共同研究を行っている企業から試作機として味認識装置 SA 401 が出て、本当に味を測れるのかな(?)という疑問符付きでいくつかの食品メーカーの方が購入されたように思える。私自身も基本理念は正しいと確信していたものの、やはり実際に使えるようになるまではまだまだかな、と思っていたのは否めない。それが、味認識装置 SA 402 を発表するに至り、現在では国内で50社を越す民間企業、公設の研究機関、農水省等で使われ、ビール、日本酒、米、スープ、醤油といった食品の味の定量化に成功しつつあり、食品の品質管理、新製品開発、医薬品の味の自動調合等、これまで主観的要素の多かった世界に初めて客観的・定量的尺度を持ち込むものとして期待されている。

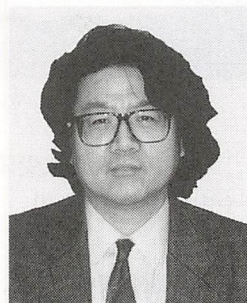
今年8月には、世界で初めての味と匂いのセンサに関する学会が開催され(現実には海外からの発表もあるので、国際的ではある)、大学研究者、メーカーやユーザーの方々三百名弱が参加した。すでに欧米では匂いセンサに関する国際学会が年に何度か開かれており、今後、日本での味覚センサの発展を鑑み、数年後には日本で味と匂いの国際学会を開く予定である。

実際、日本における味覚センサ技術は世界随一のものであり、昨年日本で開かれた、センサ関係で最も大きな国際学会である Transducers では、新たに味覚センサのセッションが創られた。一般に欧米では、味覚センサのことを

Electronic tongue と言う。これは匂いセンサを Electronic nose と言うのと対応している。しかしながら日本では、味覚センサのことを Taste sensor と言っているため、このセッション名は Taste sensor とされた。なお、欧米では、味を測るというより(味を呈する)溶液を識別するという点に主眼がおかれており、この点は文化の違いを反映しているようで興味深い。

また、味覚センサ技術を基礎としていくつかのベンチャー創業が検討されており、今後は世界に向けて日本が産んだ味覚センサ技術を発信する計画である。ごく最近 Cambridge University Press から Biomimetic Sensor Technology なる味と匂いのセンサに関する本を発刊した。日本人が発見した味であるうま味(Umami)も詳しく説明しており、化学感性のバイオセンサに関する世界初の本である。

味覚センサの思想と技術が多くの方々に支援され、ここまで発展していることは驚きと共に感謝に堪えない。まだ7年前に海のものと山のものともつかない味覚センサなるテーマを採択された貴財団に厚くお礼申し上げる次第である。



受領者投稿

研究推進の活力となる研究助成

広島大学教育学部 技術・情報教育学講座 助教授 山 本 透
(第4回 受領者)

私はこれまでセルフチューニング制御の研究に携わってきました。セルフチューニング制御は、システムの特性に応じて、制御パラメータを自動調整する手法で、ある意味で究極の制御手法と言っても過言ではありません。ところが、対象とするシステムの次数やムダ時間の大きさに応じて、自己調整される制御パラメータの個数が増えるため、制御系が不安定に陥ることがあり、なかなか現場では使ってもらえない制御法になっていました。

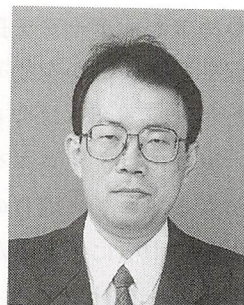
一方、化学プロセス等を扱う現場では、PID（比例＋積分＋微分）制御が主流で、このP・I・Dの3つのパラメータをどのように調整すればよいかということが今なお検討されている状況にあります。高々3つのパラメータでさえも調整するのが難しいわけですから、セルフチューニング制御により10個前後の制御パラメータを自己調整することは、そもそも現実離れしており、また、逆にPIDの3つのパラメータを自己調整することができれば、セルフチューニング制御が広く現場で用いてもらえるようになるのではないかと思います。「PID制御系設計の高度化と知能化」についての研究を始めるようになったのが平成5年のことです。ちょうどその折に、立石科学技術振興財団から研究助成を頂き、この研究助成のおかげで今日までこの研究を進めてくることができました。平成5年といえば、まだ私が大阪大学で助手をしていた折りで、研究費も十分でなく、なかなか思うように研究を進めることができない状況にありました。おかげさまで、企業の方や海外の研究者との共同研究を進める機会にも恵まれ、実システムへの応用なども含め、いくつかの研究

成果を発表することができました。その研究成果をまとめたものが、下記文献(1)として発表されています。

ここ数年の間に進められる国立大学の独立法人化に伴い、大学の様子が大きく変わろうとしています。これにより、ますます研究費の確保が厳しい状況になると考えられます。

財団からの研究助成は、私たちに研究を進める活力を与えるものとなり、財団の果たす役割は今後より一層大きくなるものと思います。最後になりましたが立石科学技術振興財団のますますのご発展を心よりお祈り申し上げます。

- (1) 山本：PID 制御系設計の高度化と知能化，システム・制御・情報（システム制御情報学会誌），Vol. 44, No. 9, pp. 483 - 491（2000）



研究室訪問

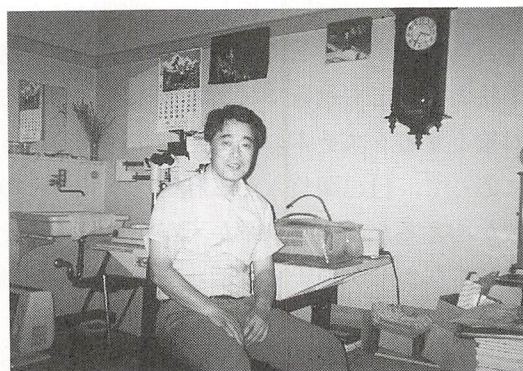
北海道大学 電子科学研究所 下澤 楯夫 教授 訪問記

(第3回受領者)

昨年からはじめた研究助成受領者の研究室訪問、今年も葉原選考委員長に同行いただき、北海道にまいりました。例年になく猛暑で自然エアコンはいささかこたえましたが、先生方のお話はそれを補ってあまりある、興味深くまた自然で本質的な内容でした。

○ 電子科学研究所についてご紹介下さい。

当研究所は、平成4年に旧応用電気研究所から電子科学研究所に改組転換しました。既成の学問分野を超えて融合した新しい領域の研究を推進する組織です。現在は電子材料物性、電子機能素子、電子計測制御、電子情報処理の4部門合計16研究室と1開発施設、1客員研究分野で構成されています。また大学附置研究所として、100名を超える大学院生の教育にも力を注いでいます。



○ 先生のお都屋にくるまでに生物とか生体に関係した研究室が多く見受けられますが。

そうなんです。私は昆虫の神経系を調べていますが、レーザー光学や信号処理など全く別の分野の人との共同研究をいつでも組める。そういう意味では、物理・化学・数学など基礎的な硬い部分から生き物まで、非常に幅の広い分野の設定ができて、これらの相互作用から新しい研究領域を生みだせる環境だと言えます。このようなユニークな環境が出来たのは、歴史的な遺産のおかげです。前身は超短波の人体への生理作用を調べる超短波研究室です。昭和18年に医学部から2講座、工学部の電気から2講座、それに物理、化学、数学を加えて超短波研究所となっています。想像に過ぎないのですが、当時の文部大臣が棒田邦彦で、生物の仕組みを解き明かすには全ての科学を総合してあたらなければ出来ないという信念の生理学者、初代の所長がそのお弟子さんということが関係しているようです。ということでもともとそういう素地があったわけです。今から9年前になりますが、これからの電子科学には生き物のことが絶対必要となるということで生物系を正面に出しまして、現在16研究室のうち7研究室が生物を扱っています。

○ 助成を受けられた当時のご研究と、その後のご研究を含めてお話をお聞かせ下さい。

私はもともと電気系で、昆虫の神経系での情報処理を調べており、いただいたお金でレーザーを買いました。中枢の神経細胞に蛍光色素を注入し、レーザーで光らせると、神経細胞を顕微鏡で確かめながらデータを採れるようになり、どの神経細胞がどの感覚細胞から信号を受取り、どんな処理をしているかを効率よく測定できるようになりました。その後、感覚器を調べることに移りましたが、レーザーは今も使っています。

実験にはコオロギを使っていますがコオロギには気流を測る感覚器があります。体表から細い毛が立っていて、周りの空気が動くと粘性力で倒される。どれ位空気が動いたら感覚細胞がパルスを出して中枢に伝えるかというレベル、いわゆる閾値を測定できる。そのとき感覚細胞が受け取るエネルギーを計算すると、感覚細胞は常温の kT つまり熱雑音レベルの非常に低いエネルギーを検出

できることが分かってきました。この感覚器は熱雑音に曝されながら動作しているわけです。しかも面白いことに感覚細胞は熱雑音で揺すられている、さらに驚いたことに、感覚細胞はこの熱雑音を利用していることも見えてきました。信号が閾値より小さくとも、適当な雑音に乗っかると、時々閾値を越えてパルスを出す。もちろん雑音の中に埋もれているのだけれど、2つ以上の感覚器の間で相関をとると共通成分を抜き出せる。この場合、雑音は互いに無相関であることがキーです。神経系は、ただで手に入る無相関な雑音源として分子熱運動を利用して弱い信号を検出し、中枢で統計計算して、外の世界を再構成しているわけです。

雑音で引っ掛けて信号を送るというのはすでに世の中にあって、CDMA なんかで使っている周波数拡散変調と同じで、バラバラに分解して送って後でかき集めれば、少しくらいなくなっているも何とか元の形にはなるというやり方です。それにはたくさんに分解することが重要で、今調べているコオログは、片方に 500 本あります。たくさん使えるというのは大事なことなのです。雑音ギリギリまで追い込まれたらたくさん並べる。そうすれば何とかなる。神経系のことを、そう理解したらと思っています。

○ 生き物の世界を見ていると、いろいろな面で将来が見えるのでは。

これまででは、感覚細胞が進化と共に感度を良くして熱雑音レベルにまでたどり着いたと思っていました。しかし今は、進化のごく初期の細胞になる段階のことを考えると、 kT 程度のエネルギーのやりとりが生命の起源だったのではないかと考えています。目や耳、神経系というのは、熱雑音から逃れられないという宿命の上で作り上げられた情報系なのです。そういう意味では、将来電子デバイスが小さくなって 1 ビットを表すエネルギーが熱ゆらぎのオーダーに近づいたとき、熱雑音とうまく付き合った経験者としての生き物に教えてもらうことが多くなると思います。

○ 分かって見れば極めて自然な考えですね。先生のご研究の源に、もし財団の最初のレーザーで色素で染めて検出するということがなかつたら、10 年後こういう本質的な知見につながったかどうかは、また判らないのでは。

はい、神経系の構造と動作をまともに測るということを基本としていますので、財団の助成はそのスタートで大変役立ちました。勿論それ以外のこともやっていますが、中枢の細胞の戸籍調査のためにお金を使いました。つぎに感覚細胞の性能を測っていたら雑音の項が出てきて、神経 1 本が運べる情報量は非常に少ないことが分かってきた。そうすると、最初に手がけた中枢の細胞に情報量がちゃんと集まっているのかということが問題になって、またレーザーを使う仕事に戻ってしまいました。感覚細胞の熱雑音の話は、生物物理 40 巻 3 号 156-161 (2000) に載せていただいています。



実験設備の前で（研究室の中で、無造作にコオログが飼われているのがとても印象的でした。向かって左から下澤教授、葉原委員長、渡辺）

研究室訪問

北海道工業大学 工学部 電気工学科 渡邊 一央 教授 訪問記

（第3回受領者）

○ 北海道工業大学と先生のお仕事の概要の紹介をお願いします。

ちょうど創立 30 周年を過ぎたところで、2001 年から現在の機械工学、経営工学、電気工学、応用電子工学、土木工学、建築工学の 6 学科を、これからの時代に即するように、環境デザイン・情報デザイン・福祉生体工学という人間科学系 3 学科、建築学科・社会基盤工学科・機械システム工学科からなる基盤工学系 3 学科、情報ネットワーク工学科・電気・電子工学科の先端工学系 2 学科、併せて 8 つの学科に再編成しようとしています。大学院は旧構成で修士課程が 5 専攻その上に博士後期課程が 4 専攻あります。総学生数は 3,500 人位、北海道では 2 番目に大きい、単科大学では一番大きい私立大学です。



私は今情報ネットワークの取りまとめをしていますが、デジタルコンテンツやインターネットビジネスのデザイン、言い換えれば人間と機械のインタフェースを主領域とする情報デザイン学科と、情報ネットワークを介してコンピュータとコンピュータのインタフェーシングを主領域とする情報ネットワーク工学科とが連携をとりながら、両学科でいわゆる IT をカバーしようという考え方でやっています。

○ ネットワークというと、助成対象は人間の認知機能とそのニューラルネットの構成のご研究でしたか、成果報告では新しいご提案も含まれておりました。そのあたりの経過をお聞かせ下さい。

人間とシステムのインタフェースは基本的には鏡像関係にあるべきだということを提唱し、その実現手法が認められて助成をいただきました。応募した時の鏡像関係のイメージですが、基本的に人間の情報受容や情報表現を機能階層的にいくつかの層（レイヤ）に区切って、どこか 1 個でも狂ったら人間とインタフェースが非常にとりにくいマシンになってしまうのではないかというのがポイントでした。

レイヤ構造とその機能構成に関しては、当時、「ヒューマンインタフェースアーキテクチャ」というのを提唱してしまて、5 層構造が簡潔でシステム化に適しているのではないかと考えていました。情報受容系に関していえば、耳などで音圧や振動を感じたりする感覚レイヤ、それを音素とかに分解する知覚レイヤ、各種の知覚要素群から情報要素を合成して情景とか背景を理解する理解・表現レイヤ、さらに最高位のレイヤは理解・表現レイヤからの入力要素群とこれまでに獲得した知識要素群から新たな意図要素を生成する意志レイヤの 5 階層という考え方です。情報の表現系も受容系と鏡像関係にある 5 階層、さらには、同一レイヤ上の受容系モジュールと表現系モジュールの間、各階層相互間も鏡像関係、そして人間の相手方のシステムはそれぞれのレイヤで人間と鏡像関係になっていなければおかしい、そんなモデルでした。

この初期の頃の鏡像関係はまだスタティックなイメージで考えていましたが、知的システムに必要な学習機能の鏡像関係について検討している際に、学習中には人間の各階層における機能や性能は常にダイナミックに変化しているのだから、鏡像関係もダイナミックであるべきで、ダイナミックにマシンの諸特性を変動させながら鏡像関係の程度を高めていくのが学習の本質ではないか？

学習能力を失ったり完全に学習が終了したもののみがスタティックな鏡像関係で十分であるのではないか、と気づいたのです。

当時のニューラルネットワークの研究、ことにその核とも言うべき学習法にはアメリカのルーメルハートが発明した誤差逆伝搬法（BP 法）を使用していました。しかし BP 法は今振り返れば固定した学習法だったと言えます。一方、人間の神経細胞は絶対に揺らいでいるはずで、真剣に考えたり学習している時ほど揺らぎ強度は大きいと想像できる。このことをヒントに、ニューラルネットワークの各ニューロンのしきい値にランダムな揺らぎを導入し、自分としては新しい学習法を見つけたと思っています。それを「ゆらぎ駆動学習法」と呼びました。学習にも鏡像関係が存在し、それはダイナミックに動いている部分のところの鏡像関係が学習なんだろうと気が付いたのがすごく印象に残っているんです。それを助成成果報告書のむすびにも書かせていただきました。

○ 助成が研究のキッカケとなったということで財団としてうれしいことですが、報告書以降も随分進展があったのでしょうか。

ダイナミックな鏡像関係に気づいた当初は、摂動法と言うか微小の近似解析に基づく学習理論で、本格的なダイナミックな学習法とはいえないものでしたが、それを大振幅理論にまで拡張できたのは、その2～3年後だったと思います。近似理論ではなく、大振幅理論による揺らぎ駆動学習法であるため、各レイヤで、かなり大きな揺らぎにより広範囲な鏡像関係を探索できるようになりました。ダイナミックな鏡像関係は、平均値と分散により評価できます。平均値と分散が合っていれば、ほとんど目的通りの学習が達成可能であることを、その後見つけて、いろんな実験で検証できました。例えば、アクセルとギヤシフトによる自動車の自動走行制御学習。連続量であるアクセルだけによる制御学習でしたら従来の BP 法によっても可能ですが、ギヤシフトを含む場合は不連続量の制御学習課題を含みますので、従来の BP 法では解けなかった。揺らぎ駆動学習法を用いれば、連続ニューロン群と離散ニューロン群が混在するニューラルネットワークモデルでギヤシフトとアクセルで自動車の目的に合った速度に合わせる学習シミュレーションも可能となった。このようなニューラルネットによる微分不可能なシステムの制御学習には関係者は関心をもってくれたんじゃないかなと思っています。基本概念がはっきりしているので、アプリケーションは無限といいいます。

○ これから単に技術だけではなくてますます大きく揺らぎそうな混沌の時代的基本概念の一つかも知れないですね。

揺らぎ強度を大きくとればとるほど、大局的で大まかな最適状態が見えてきます。その大まかな最適状態周辺で揺らぎを小さくしていくと、その周辺での局所的な微細構造、すなわち最適点も見えてくるという特徴をもっています。揺らぎ強度のコントロールによって、大局的構造と局所的な最適解の両方が見られるような学習法で、他の学習法とは異質な特徴を有していると関係者に訴えているところです。



研究室の前にて（上部の看板が象徴的で、つよく印象に残りました。向かって左から、葉原選考委員長、渡邊教授、渡辺）

両先生の訪問を通して、お二人とも極めて自然な、それだけに本質的な発想の研究を進められていることを改めて感じました。その根底には北海道の自然という土壤があるように思われてなりません。

（レポーター：事務局長 渡辺太郎）

第 11 回（平成 12 年度）助成課題一覧

〔研究助成〕

（五十音順）

研究代表者氏名・所属機関・職名	研 究 課 題 名
荒 木 雅 弘 京都工芸繊維大学工芸学部 電子情報工学科・助教授	XML と対話ライブラリを利用した汎用音声対話インタフェースの開発
植 田 一 博 東京大学大学院情報学環・学際情報学府・ 助教授	コミュニケーションの観点からみた適応的インターフェース設計と評価
大 田 一 郎 熊本電波工業高等専門学校 情報通信工学科・教授	集積回路に内蔵可能な超小形電源の研究開発
奥 村 学 東京工業大学精密工学研究所・助教授	音声ブラウザにおける知的情報提示のためのテキスト処理に関する研究
窪 野 隆 能 静岡大学工学部電気・電子工学科・教授	継電器電気接点でのスイッチングアークの分光計測と転移突起に関する研究
小 濱 剛 愛知県立大学情報科学部・地域情報科学科 助手	視覚的注意の影響を考慮した不随意性微小眼球運動モデルとそのシミュレーション解析
笹 田 一 郎 九州大学大学院総合理工学研究院 融合創造理工学部・教授	線形勾配磁界を用いた物体の 3 次元位置・姿勢の高速検出法の研究
高 間 康 史 東京工業大学大学院総合理工学研究科・ 助手	免疫系アプローチによる文書集合中の話題分布構造可視化に関する研究
中 内 茂 樹 豊橋技術科学大学工学部情報工学科・講師	多重画像統合に基づく視覚情報抽出および画像再現に関する研究
西 田 正 吾 大阪大学大学院基礎工学研究科・教授	複数の人間の知識・技能の協調的獲得機能の研究
萩 原 朋 道 京都大学大学院工学研究科 電気工学専攻・助教授	デジタル制御系の高度利用・高信頼化技術の構築に関する基礎研究
深 尾 隆 則 京都大学大学院情報学研究科 システム科学専攻・助手	状況変化に対応可能なアクティブステアリング技術に関する研究
福 田 永 室蘭工業大学工学部電気電子工学科・ 助教授	地球環境汚染ガス計測用超高感度知能化シリコンガスセンサに関する研究
福 本 文 代 山梨大学工学部 コンピュータ・メディア工学科・助教授	続報情報に基づく複数文書の要約技術に関する研究
藤 本 晶 和歌山工業高等専門学校電気工学科・教授	臭い識別センサの基礎的研究
松 本 佳 宣 慶應義塾大学理工学部物理情報工学科・ 講師	シリコン静電容量式 3 軸加速度センサの高感度化に関する研究
山 越 憲 一 金沢大学工学部人間・機械工学科・教授	トイレに設置するヘルスケアのための生体情報自動計測システムの開発研究
湯 浅 哲 也 山形大学工学部応用生命システム工学科・ 助教授	スペクトル線幅を投影とする光 CT 法の開発
和 田 親 宗 北海道大学電子科学研究所・助手	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

研究助成件数 19 件 合計 4,175 万円

第 11 回（平成 12 年度）国際交流助成課題一覧

〔派 遣〕 (五十音順)

研究者氏名・所属機関・職名	派遣先研究集会／主催者名
岡 田 徳 次 新潟大学工学部福祉人間工学科・教授	装置と計測技術に関する会議 IMTC/ 2000 主催：IEEE 装置と計測に関する分科会
能 見 公 博 香川大学工学部知能機械システム工学科・助教授	世界自動化会議 2000 主催：自動制御技術 NASA センター
平 岡 和 幸 埼玉大学工学部情報システム工学科・助手	IEEE-INNS-ENNS ニューラルネットワーク国際共同会議 主催：IEEE ニューラルネットワーク協議会, 国際ニューラルネットワーク学会, ヨーロッパニューラルネットワーク学会
古 林 孝 夫 金属材料技術研究所第 4 研究グループ・主任研究官	2000 磁性国際会議 主催：国際純粋及び応用物理学連合

(派遣助成件数 4 件 小計 155 万円)

〔招 聘〕 (五十音順)

招聘代表者氏名・所属機関・職名	招聘研究集会または機関名 / 被招聘者名
江 端 正 直 熊本大学工学部数理情報システム工学科・教授	第 7 回西太平洋地区音響学会議にオーストラリア国立大学ネヴィル フレッチャー教授を招聘
河 田 聡 大阪大学大学院工学研究科 応用物理学専攻・教授	第 12 回共焦点顕微鏡と 3 次元画像処理国際会議にイギリス・オックスフォード大学トニー ウィルソン教授を招聘
柴 田 義 孝 岩手県立大学ソフトウェア情報学部・教授	マルチメディア・ネットワーキングに関する国際会議に台湾・淡江大学チモシ K. シ教授を招聘
山 川 烈 九州工業大学情報工学部・教授	第 6 回ソフトコンピューティングに関する国際会議にニュージーランド・オタゴ大学ニコラ カサボフ教授を招聘

(招聘助成件数 4 件 小計 185 万円)
国際交流助成件数 8 件 合計 340 万円

平成 12 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11回助成金贈呈式

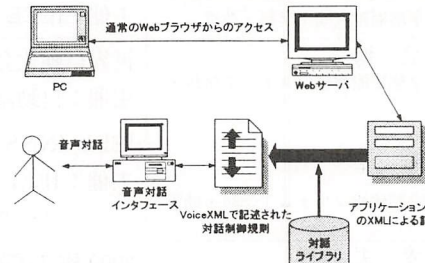
研究助成課題の紹介

(財)立石科学技術振興財団

XMLと対話ライブラリを利用した汎用音声対話インタフェースの開発 (1年間)

京都工芸繊維大学 工学部 電子情報工学科

助教授 荒木 雅弘

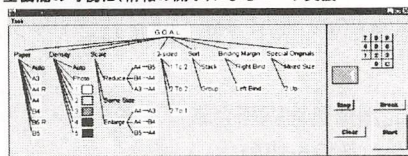


コミュニケーションの観点からみた適応的インタフェースの設計と評価(2年間)

東京大学 大学院情報学環・学際情報学府

助教授 植田 一博

- インタフェース操作の困難: ユーザと設計者のコミュニケーションの困難
- コピー機を例に「機械音痴」の困難: 課題分割の欠如
→ 全機能の可視化(情報の開示)によるユーザ支援

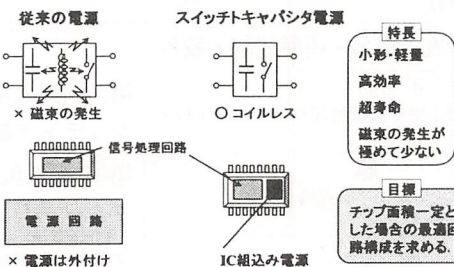


- アナログコピー機からデジタルコピー機へ
- ・デジタルコピー機の機能の可視化による設計と評価
- ・対話型インタフェースの導入 ・ユーザモデルを用いた適応インタフェースの導入

集積回路に内蔵可能な超小形電源の研究開発(1年間)

熊本電波工業高等専門学校 情報通信工学科

教授 大田 一郎



音声ブラウザにおける知的情報提示のためのテキスト処理に関する研究 (1年間)

東京工業大学 精密工学研究所

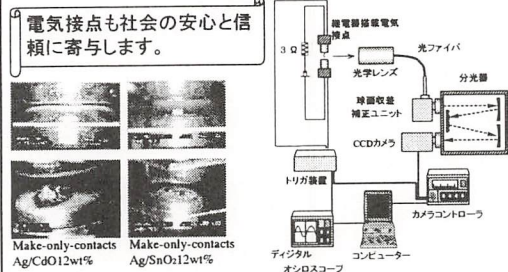
助教授 奥村 学

- ・音声として聞かずに分かりやすい形式へのテキストの変換
- ・音声のみでの情報取得がより効率的, 容易に
- ・音声によるナビゲーション(可視化技術の音声版)
- ・テキスト自動要約技術の一種の応用
- ・複数テキスト, 1テキスト, 1文を対象とした自動要約技術を元にした情報提示技術の開発

继电器電気接点でのスイッチングアークの分光計測と転移突起に関する研究(1年6ヶ月)

静岡大学 工学部 電気・電子工学科

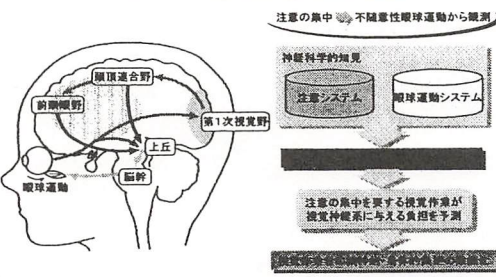
教授 窪野 隆能



視覚的注意の影響を考慮した不随意性微小眼球運動モデルとそのシミュレーション解析(1年9ヶ月)

愛知県立大学 情報科学部 地域情報科学科

助手 小濱 剛

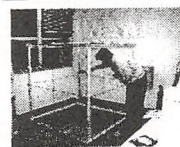


線形勾配磁界を用いた物体の3次元位置・姿勢の高速検出法の研究(1年間)

九州大学大学院 総合理工学研究院 融合創理工学部門

教授 笹田 一郎

	従来	本研究
磁気ソース	ダイポール磁界	互いに直交する二つの極磁界(姿勢計測用) + 線形勾配磁界(位置計測用)
磁気センサの位置・姿勢の算出	複雑な非線形計算	簡単な線形計算



高速モーションのトラッキングが可能に!

応用例

- 仮想現実空間における人と機械のインタラクティブインターフェイス
- 映画・ゲーム等のアミューズメント分野
- 医療分野

平成 12 年度研究助成課題の紹介

免疫系アプローチによる文書集合中の話題分布構造可視化に関する研究(3年間)
東京工業大学 大学院総合理工学専攻 知能システム科学専攻
助手 高間 康史

目的: 情報検索作業を通じた話題分布構造可視化

- クエリー集団のネットワークとして表現
- 検索結果文書と検索履歴を考慮した漸進的情報

WWW情報空間研究の新パラダイム提案

- 従来: 特定ページ検索 → 検索対象領域全般に渡る知識獲得の支援

免疫ネットワークモデルの工学的応用

- 多様性維持、履歴の記憶、漸進的自己組織化

User

WWW

Query Network

多重画像統合に基づく視覚情報抽出および画像再現に関する研究(1年間)
豊橋技術科学大学 情報工学系
講師 中内 茂樹

目的: 画像の自然な再現

- 狭ダイナミックレンジ → 撮影パラメータの異なる複数の画像を統合
- 情報欠落、違和感のある見え
- 広ダイナミックレンジ
- 観察条件の変化

知覚的に等価!

1. 正確な物理情報の抽出

ダイナミックレンジの確保、光源情報の抽出、等

2. 視覚特性を考慮した画像再現

色調、コントラスト補正、色恒常性、等

展望: 新しいデジタルコンテンツ作成法

複数の人間の知識・技能の協調的獲得機能の研究(1年間)
大阪大学大学院基礎工学研究科
教授 西田 正吾

目的: 大規模システムの設計や診断・運転ノウハウ獲得など 複数の人間からの知識・技能の協調的獲得機能

実現機能: 概念相違の検出

意味的矛盾の検出

統計的不都合の検出

(グループ知識獲得の要素技術)

インタラクティブなシステム

デジタル制御系の高度利用・高信頼化技術の構築に関する基礎研究(2年間)
京都大学 大学院 工学研究科
助教授 萩原 朋道

モデル化誤差・非線形性

ロバストなデジタル制御例

連続 ⇄ 離散インターフェース

有界実性ならびに正実性アプローチ

高性能・高信頼デジタル制御系

構築システム

理想システム

制御システム

コンピュータ

コンピュータ

世界のためのシステムの設計

状況変化に対応可能なアクティブステアリング技術に関する研究(1年間)
京都大学大学院 情報学研究科 システム科学専攻
助手 深尾 隆則

研究目的

- コーレート特性を状況の変化によらず一定に
- タイヤの非線形特性を考慮した制御系設計

特徴・期待される効果

- 人間の制御系への組込み
- 限界性能の向上
- 未熟技術による事故の減少
- 自動走行(ITS)の意思決定システムの簡素化

地球環境汚染ガス計測用超高感度知能化シリコンガスセンサに関する研究(1年間)
室蘭工業大学工学部電気電子工学科
助教授 福田 永

知能化ガスセンサ

目的

- 地球規模の大気汚染(CO, NO_xなど)
- 身の回りにある危険ガスを検出
- 老人福祉・介護への応用

Source

金属酸化物の触媒作用

MOSFET構造

特徴

- 高感度検出(ppmレベル)
- ガス選択性(知能化)
- 高集積化が可能

読報情報に基づく複数文書の要約技術に関する研究(1年間)
山梨大学 工学部 コンピュータ・メディア工学科
助教授 福本 文代

電子化された大量の文書

検索

検索結果

自然言語処理技術統計手法による

- 照応解析
- 語義の曖昧さ解消

要約文書

臭い識別センサの基礎的研究(1年間)
和歌山工業高等専門学校 電気工学科
教授 藤本 晶

研究動機・背景

蜜柑の熟した臭いと腐った臭いを識別できないか?

予備検討の結果

ガスセンサの過渡応答、定常応答は臭いの種類によって異なる。→ 臭いの識別が可能。

進め方

臭いの識別には、センサ表面での反応の解析が必要 → クラスタによる反応のシミュレーションを進める。

簡単な臭いの識別を進め、臭いの分類を目指す。

財団法人 立石科学技術振興財団

平成 13 年度 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 13 年度の研究助成及び国際交流助成の候補募集を行っておりますので、お知らせいたします。

記

(1) 助成対象

助成金の交付対象は、次に掲げるものとします。

① 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

② 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招聘

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

(2) 金額及び件数

- | | | |
|------------------|----------------|-----------|
| ① 研究助成金 | 1 件 250 万円以下 | 20 件以下 |
| ② 国際交流助成金（派遣と招聘） | 派遣 1 件 40 万円以下 | |
| | 招聘 1 件 50 万円以下 | 合計 10 件程度 |

(3) 応募資格

- ① 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

平成 12 年 9 月 1 日～平成 12 年 10 月 31 日（郵便局消印有効）

当財団の所定用紙に記入して応募して下さい。

(5) 助成金交付の時期

平成 13 年 5 月の予定（選考委員会と理事会で決定後）

(6) 申請書類請求及び問い合わせ先

〒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 URL <http://www.tateisi-f.org/>

※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。なお、直接ご請求される場合は、応募の種類（研究助成、国際交流助成・派遣、国際交流・招聘）をご指定のうえ、ファックスあるいは E-mail でお願いいたします。

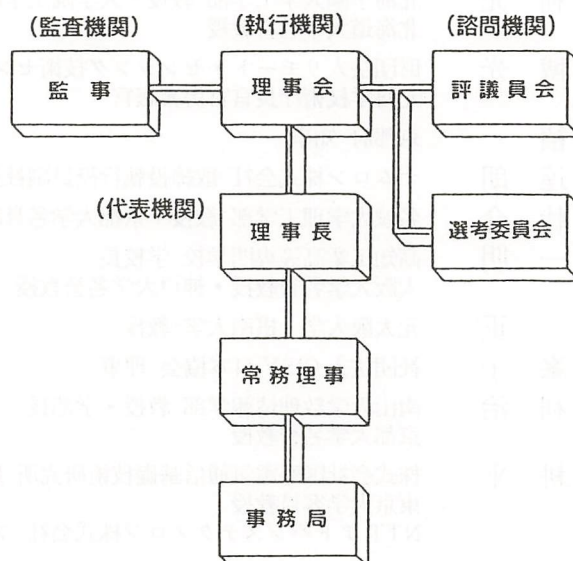
以上

■ 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@omuron.com.
- 理 事 長 立石 信雄
- 設立年月日 1990 年 3 月 6 日
- 目 的 エレクトロニクス及び情報工学の分野で、人間と機械の調和を促進する研究及び国際交流に対し助成を行い、技術革新と人間重視の両面から真に最適な社会環境の実現に寄与することを目的とする。
- 事 業 内 容
 1. エレクトロニクス及び情報工学の分野で、人間と機械の調和を促進するための研究に対する助成。(研究費助成 20 件以下 / 年, 250 万円以下 / 件)
 2. エレクトロニクス及び情報工学の分野で、人間と機械の調和を促進するための国際交流に対する助成。
(研究者の海外派遣及び外国人研究者の招聘, 助成 10 件程度 / 年, 50 万円以下 / 件)
 3. エレクトロニクス及び情報工学の分野で、人間と機械の調和を促進するための研究成果の普及。(助成した研究結果を年間 1 回発行)
 4. その他、本財団の目的を達成するために必要な事業。
- 基 本 財 産 現金 11 億円 株式 1 億 3,125 万円 (額面)
- 財団の組織



役員・評議員

(2000-9-1 現在)

役員

理事長	立石 信雄	オムロン株式会社 取締役会長
常務理事	小野田 裕一	オムロン株式会社 参与
理事	伊夫伎 一雄	株式会社東京三菱銀行 相談役
理事	大澤 弘之	宇宙開発事業団 顧問・元科学技術事務次官
理事	大野 豊	関西 TLO 株式会社 取締役社長 京都大学名誉教授
理事	尾佐竹 徇	東京大学名誉教授
理事	熊谷 信昭	科学技術会議議員・大阪大学名誉教授
理事	黒田 眞	財団法人 2005 年日本国際博覧会協会 事務総長 元通商産業審議官
理事	立石 義雄	オムロン株式会社 取締役社長
理事	棚橋 祐治	財団法人新エネルギー財団 会長 同志社大学 教授・日本興業銀行 顧問
理事	森川 敏雄	株式会社住友銀行 取締役会長
理事	諸井 虔	太平洋セメント株式会社 相談役
監事	辻 敢	公認会計士
監事	戸 倉 晴美	弁護士

評議員

評議員	相澤 益男	東京工業大学副学長
評議員	相磯 秀夫	東京工科大学 学長・慶應義塾大学名誉教授
評議員	朝倉 利光	北海学園大学工学部 教授・大学院工学研究科長 北海道大学名誉教授
評議員	雨村 博光	財団法人リモート・センシング技術センター 専務理事 元科学技術庁長官官房審議官
評議員	荒巻 禎一	京都府 知事
評議員	市原 達朗	オムロン株式会社 取締役執行役員副社長
評議員	岩井 壮介	名城大学理工学部 教授・京都大学名誉教授
評議員	岩田 一明	高知工業高等専門学校 学校長 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・摂南大学 教授
評議員	立石 峯子	社団法人 CISV 日本協会 理事
評議員	長谷川 利治	南山大学数理情報学部 教授・学部長 京都大学名誉教授
評議員	葉原 耕平	株式会社国際電気通信基礎技術研究所 顧問 東京大学客員教授 NTT アドバンステクノロジー株式会社 フェロー

(50 音順)

編 集 後 記

お陰様で、今年も助成研究成果集（第9号）を発行することが出来ました。

第9号は主として、当財団が第8回（平成9年度）～第10回（平成11年度）に研究助成いたしました研究課題の中で、研究計画の終了した研究成果報告を集録しています。国際交流助成（派遣，招聘）につきましては、第10回目（平成11年度）に助成いたしました成果報告書の抄録を集録しております。

また、財団設立10周年を機に、さらに読みやすさ、見やすさを考慮し、A4サイズに改訂いたしました。

ご寄稿いただきました雨村評議員様・葉原選考委員長様、ご投稿いただいた九州大学大学院 都甲教授、及び広島大学 山本助教授、事務局取材に快く応じていただいた北海道大学 下澤教授、北海道工業大学 渡邊教授の各位をはじめ、編集にご協力いただい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、助成研究者の皆様、国立国会図書館、全国主要大学・研究機関並びに同図書館等400ヶ所に拝送させていただいております。

本誌に関する皆様のご意見、ご感想等をお待ちしております。

（財）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9号
平成12年10月(2000)

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
印 刷 (株) 中 野 新 文 社
〒604-8832 京都市中京区西新道通松原上ル東側
TEL (075) 314-6161

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