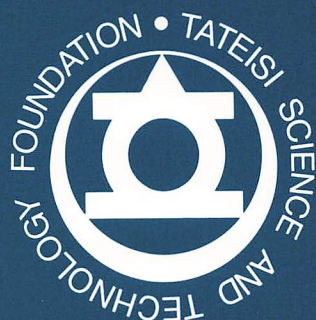


立石科学技術振興財団

# 助成研究成果集

## 【第5号】

平成8年(1996)



# 人間と機械の調和を促進する助成研究成果集

第 5 号

平成 8 年度 9 月 (1996)

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. 設立趣意書                                |     |
| 2. 理事長挨拶 .....                          | 2   |
| 3. 財団関係者寄稿（相磯秀夫 評議員 慶應義塾大学大学院 教授） ..... | 3   |
| 4. 第 7 回（平成 8 年度）助成課題一覧 .....           | 4   |
| (1) 研究助成（20 件） .....                    | 4   |
| (2) 国際交流助成（10 件） .....                  | 5   |
| 5. 助成研究成果の掲載抄録一覧 .....                  | 6   |
| 6. 助成研究成果の抄録 .....                      | 8   |
| 7. 索 引（掲載号） .....                       | 112 |
| 8. 財団の概要 .....                          | 122 |
| 役員・評議員名簿（五十音順） .....                    | 123 |
| 9. 平成 9 年度助成課題候補募集案内 .....              | 124 |
| 10. 編集後記 .....                          | 125 |

## ごあいさつ

このたび、助成研究成果集第5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5月には第7回目の助成金贈呈式  
をとり行なうことができました。



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願っております。

第5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



## 寄稿：教育・研究環境と国際化

大学の改革が叫ばれているが、その鍵を握るものは、第一に教職員が意識を変え、どこまで改革に情熱を傾けるかである。次に重要なことは、学生の個性・独創性・国際性を育む“教育・研究環境”を学生に提供することである。双方とも当然のことに思われるが、意外と難しい問題を含んでいる。前者においては、未来の大学の理念とビジョンをもち、その実現のための計画を立てる必要があるが、そのために時間と労力を惜しんではならない。また、計画実践段階で的確なリーダーシップと実行力が問われる。後者に関しては、わが国の大学はその対応に遅れている。ここでいう“教育・研究環境”とは、図書館やコンピュータセンターの充実だけを意味する訳ではない。入学試験から始まり、カリキュラム・教授法・教材・教室・キャンパス運用管理など総合的な環境である。そのような環境が整備されれば、間違いなく学生は意欲的に変わると確信している。学生は授業だけのために大学に通うのではなく、その環境を活かして、自ら設定した問題の解決に挑戦してほしいものである。



教育・研究環境の一つにインターネットの重要性が指摘されているが、インターネットが教育・研究に与えるインパクトは測り知れないほど大きい。最近、外国の大学からの訪問者との話合いで気づくことは、インターネットを介した遠隔討論や共同研究の提案が多く、本格的に大学の教育・研究の“国際化”が始まった感がある。どの大学にも“国際化”のために国際センターが常設されているが、現在の役割は留学生や交換プログラムの面倒をみるくらいで、新しい動きに対応できていない。正に先端情報技術に対応した“国際化”への対処が急務である。

本財団においても、かかる情勢をふまえて“国際化”についてより積極的に取り組む時期にきているように思う。

評議員 相 磯 秀 夫

(慶應義塾大学大学院 教授

政策・メディア研究科委員長)

## 第7回（平成8年度）研究助成課題一覧

[研究助成]

(五十音順)

| 研究代表者氏名・所属機関・職名                           | 研究課題名又は派遣先研究集会 / 機関名                                |
|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| 飯 國 洋 二<br>大阪大学工学部通信工学科・助教授               | 事例ベース推論に基づく非線形適応信号処理                                |
| 稲 葉 毅<br>東京工業大学工学部<br>制御システム工学科・助手        | バイラテラル制御系における人間の自動操作特性とそれを考慮した人間指向のバイラテラル制御系設計      |
| 大 田 友 一<br>筑波大学電子情報工学科・教授                 | 受け手の動きに適応した運動視差を再現できる高臨場感3次元画像伝送システムの開発             |
| 岡 本 正 宏<br>九州工業大学情報工学科<br>生物化学システム工学科・助教授 | ナチュララインテリジェンスに学ぶ知的通信技術：生体内代謝経路を用いた情報通信ネットワークの構造デザイン |
| 金 藤 敬 一<br>九州工業大学情報工学科<br>電子情報工学科・教授      | プラスチックアクチュエータに関する研究                                 |
| 黄 瀬 浩 一<br>大阪府立大学工学部情報工学科・講師              | マルチメディア文書の統合理解によるハイパーテキストの自動生成                      |
| 清 田 公 保<br>熊本電波工業高等専門学校<br>情報通信工学科・講師     | マルチメディアの相互補完的利用による障害者の感覚代行支援に関する研究                  |
| 斉 藤 光 徳<br>龍谷大学理工学部電子情報学科・教授              | 磁性流体を利用した見やすいディスプレイの開発                              |
| 白 鳥 世 明<br>慶應義塾大学理工学部計測工学科・助手             | 人工生体膜型LB膜を用いた感性化学センサの構築                             |
| 竹 村 治 雄<br>奈良先端科学技術大学院大学<br>情報科学研究科・助教授   | 情報の3次元可視化・操作手法に関する研究                                |
| 田 所 嘉 昭<br>豊橋技術科学大学工学部情報工学科・教授            | 視覚障害者歩行支援システム用地磁気センサの集積化に関する研究                      |
| 富 田 豊<br>慶應義塾大学理工学部<br>物理情報工学科・助教授        | 機能的電気刺激による麻痺肢の機能再建                                  |
| 西 谷 紘 一<br>奈良先端科学技術大学院大学<br>情報科学研究科・教授    | プラント運転制御システムのヒューマンインタフェースに関する研究                     |
| 早 川 義 一<br>名古屋大学大学院工学研究科<br>電子機械工学専攻・教授   | 人間と知能機械（ロボット）のインテリジェント・コミュニケーションに関する基礎的研究           |
| 藤 村 貞 夫<br>東京大学大学院工学系研究科<br>計数工学専攻・教授     | 動画像による手話自動通訳システムの開発研究                               |
| 前 谷 俊 三<br>京都市大学生体医療工学研究センター・教授           | 無出血・無輸血手術のための低血圧循環制御システムの開発と臨床応用                    |
| 三 浦 純<br>大阪大学工学部電子制御機械工学科・助手              | 熟慮プランナと即応プランナの並列処理による知能自動車の制御                       |

| 研究代表者氏名・所属機関・職名                           | 研究課題名又は派遣先研究集会 / 機関名                     |
|-------------------------------------------|------------------------------------------|
| 三 井 石 根<br>国立国際医療センター・厚生技官                | 宇宙科学における人体生理機能の計測装置の開発                   |
| 満 渕 邦 彦<br>東京大学先端科学技術研究センター<br>生体計測分野・助教授 | 人工生体機構における神経系マンマシンインタフェースの開発とその応用研究      |
| 油 田 信 一<br>筑波大学電子情報工学系・教授                 | 複数の自律ロボットが知的に協調行動をして、人間の活動を援助するシステムの開発研究 |

研究助成総額 4,947 万円

[国際交流助成]

(五十音順)

| 研究代表者氏名・所属機関・職名                                               | 研究課題名又は派遣先研究集会 / 機関名                                                                                                            |
|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 川 上 養 一<br>京都大学大学院工学研究科<br>電子物性工学専攻・助手                        | 第 23 回半導体物理に関する国際会議                                                                                                             |
| 貫 井 昭 彦<br>科学技術庁無機材質研究所<br>第 9 研究グループ・総合研究官                   | 環太平洋セラミックス協会による第 2 回国際会議 スポンサー：豪州セラミックス協会，日本セラミックス協会，環太平洋諸国セラミックス協会                                                             |
| 古 屋 一 夫<br>科学技術庁金属材料技術研究所<br>精密励起場ステーション<br>高分解能励起場研究ユニットリーダー | 電子顕微鏡に関する第 6 回アジア太平洋会議 スポンサー：電子顕微鏡学会国際会議，アジア・太平洋電子顕微鏡学会                                                                         |
| 宮 本 伸 一<br>大阪大学工学部通信工学科・助手                                    | 1996 IEEE International Conference on Communications (ICC '96) スポンサー：IEEE Communications Society                                |
| 森 竜 雄<br>名古屋大学工学部電気工学科・助手                                     | 8 th International Workshop on Inorganic and Organic Electroluminescence                                                        |
| 森 勇 介<br>大阪大学工学部電気工学科・助手                                      | Conference on lasers and electro-optics (CLEO '96)                                                                              |
| 山 本 透<br>岡山県立大学情報工学部<br>情報通信工学科・助教授                           | (1) 13 th IFAC World Congress スポンサー：国際自動制御連盟 (IFAC) (2) 1996 Japan-USA Symposium on Flexible Automation スポンサー：米国機械学会・システム制御情報学会 |
| 臼 井 支 朗<br>豊橋技術科学大学工学部情報工学系・教授                                | 1996 年 IEEE 信号処理ソサイアティ，信号処理のための神経回路網に関するワークショップ (NNSP 96) に，プリンストン大学 Kung, Sun-Yuan 教授を招聘                                       |
| 杉 江 俊 治<br>京都大学工学部<br>応用システム科学教室・助教授                          | 第 35 回 IEEE Conference on Decision and Control 及び京都大学にテキサス大学 Cheril B. Schrader 助教授を招聘                                          |
| 鈴 木 務<br>日本工業大学工学部・教授<br>電気通信大学・名誉教授                          | 第 6 回国際地中レーダ会議に，オハイオ州立大学電気科学研究所 Jonathan D. Young 副所長を招聘                                                                        |

国際交流助成総額 442.2 万円  
平成 8 年度助成総額 5,389.2 万円



## 助成研究成果の掲載抄録一覧 (年度順五十音順)

- ◆ 国際協同による多点オーロラステレオ観測と画像の計算機トモグラフィ解析による  
3次元発光構造の復元手法の研究 (941001) ..... 8  
International collaboration on the multi-point aurora stereo observation and a study on the  
reconstruction of 3-dimensional auroral luminous structure by the computed tomography method  
麻 生 武 彦 京都大学大学院 工学研究科・助教授
- ◆ 主観的感性語彙を用いた自然語文による画像データベースの対話的検索 (941003) ..... 14  
Interactive Image Retrieval by Natural Language including Subjective Expressions  
伊 東 幸 宏 静岡大学 情報学部・助教授
- ◆ シリコン薄膜ジャイアントマイクロデバイスの研究 (941005) ..... 20  
Giant Microdevices Based on Silicon Thin Films  
小 田 俊 理 東京工業大学 量子効果エレクトロニクス  
研究センター・教授
- ◆ 超高速二次元アレイ光双安定素子の研究 (941008) ..... 26  
Study on ultrafast two-dimensionally arrayed optical bistable devices  
河 口 仁 司 山形大学 工学部電子情報工学科・教授
- ◆ 動画像からの手指の姿勢・運動認識を用いたマンマシンインタフェース (941009) ..... 30  
Man-Machine Interface Using Hand Gesture Recognition in Dynamic Image Sequences  
久 野 義 徳 大阪大学 工学部・助教授
- ◆ 有機超格子薄膜および革新の電子機能デバイス創製に関する基礎研究 (941017) ..... 36  
Basic Research on Creation of Organic Superlattice Films and Novel Electronic Functional Devices  
松 重 和 美 京都大学大学院 工学研究科電子物性工学教室・教授
- ◆ 画像理解のための並列協調型アルゴリズムの研究 (941020) ..... 42  
Study on Cooperative Algorithms for Image Understanding  
横 矢 直 和 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科・教授
- ◆ ヒトの手の運動制御機能を取り入れた筋電義手の開発 (951002) ..... 46  
Development of myoelectric prosthetic hand by simulating motor control mechanism of human hand  
赤 澤 堅 造 神戸大学 工学部・教授
- ◆ 細胞の生理反応を利用したマイクロセンサーの開発と局所環境モニタリングへの応用 (951003) ... 52  
A Microsensor Utilizing a Physiological Reaction of a Living Cell and  
its Application for Environmental Monitoring in Micro Space  
荒 木 勉 徳島大学 工学部・教授
- ◆ マルチメディア情報の並列処理とその知能化プログラムに関する研究 (951005) ..... 58  
An Intelligence Programming for a Parallel Processing of Multi Media Information  
伊 藤 英 則 名古屋工業大学・教授
- ◆ 身障者にやさしい情報処理作業環境に関する調査・研究 (951006) ..... 66  
An Investigation on the Information Processing Operations and Improvements of the  
Circumstance for Physically Disabled Subjects  
尾 崎 俊 治 広島大学 工学部・教授
- ◆ 仮想現実システムのためのオブジェクト指向プロダクションシステム (951007) ..... 70  
Object-Oriented Production System for Virtual Realty Systems  
碓 崎 賢 一 九州工業大学 情報工学部・助教授

- ◆ 自己説明を用いた知的学習環境の構築に関する研究 (951010) ..... 74  
A Study on Self-Explanation for Development of Interactive Learning Environment  
金 西 計 英 四国大学 短期大学部・講師
- ◆ 生体内環境における材料表面と生体との反応に伴う電気信号の検出に関する研究 (951011) ..... 80  
Study on detection of electric signal from surface reaction of material in the in vivo circumstance  
桑 原 秀 行 財団法人応用科学研究所第1研究室・室長
- ◆ アレルギー関連免疫細胞の情報変換機能の電気化学刺激制御に関する研究 (951013) ..... 86  
Electrochemical Control of Information Transduction Function of Mast Cells  
篠 原 寛 明 岡山大学 工学部生物機能工学科・助教授
- ◆ 音声入力を核としたマルチモーダルなマン・マシンインタフェース (951015) ..... 90  
Multi-modal man-machine interface based on speech input and others  
中 川 聖 一 豊橋技術科学大学 情報工学系・教授
- ◆ 人工知能モデルを用いた交通制御システムの高度化に関する研究 (951016) ..... 96  
A New Approach for Sophisticating Traffic Control Systems Using Artificial Intelligence Models  
中 辻 隆 北海道大学 工学部・助教授
- ◆ 移動体計算環境におけるデータベースシステム構築に関する研究 (951018) .....102  
Design and Implementation of a Database System in Mobile Computing Environments  
西 尾 章治郎 大阪大学大学院 工学研究科  
情報システム工学専攻・教授
- ◆ 柔らかい物体のマニピュレーションにおける技能移植に関する研究 (951019) .....108  
Transplantation of human skillful motion to manipulators in insertion of deformable objects  
平 井 慎 一 大阪大学 工学部電子制御機械工学科・助教授

# 国際協同による多点オーロラステレオ観測と画像の計算機 トモグラフィ解析による3次元発光構造の復元手法の研究

International collaboration on the multi-point aurora stereo observation  
and a study on the reconstruction of 3-dimensional auroral  
luminous structure by the computed tomography method

941001

|       |                       |         |
|-------|-----------------------|---------|
| 研究者代表 | 京都大学大学院工学研究科 助教授      | 麻 生 武 彦 |
| 共同研究者 | 京都大学大学院工学研究科 教 授      | 安 陪 稔   |
|       | 京 都 大 学 工 学 研 究 科 助 手 | 橋 本 岳   |
|       | 国 立 極 地 研 究 所 教 授     | 江 尻 全 機 |
|       | 国 立 極 地 研 究 所 助 教 授   | 宮 岡 宏   |

## 〔研究の目的〕

本研究は、スウェーデン・キルナにおいて  
同国スペース物理研究所のALISシステムと  
の国際協同によりオーロラ・単色光・多点観  
測を実施し、世界で初の多点・トモグラフィ  
画像を取得するとともに、得られた観測画像  
から、オーロラの3次元構造の復元のための  
計算トモグラフィ（CT）解析とそのアルゴ  
リズムについての研究を行い、オーロラトモ  
グラフィ手法の確立に寄与することを目的と  
する。これは、画像計測の重要な手法である  
CTの応用面の開拓であるとともに、得られ  
たオーロラの3次元発光構造は、地球磁気圏  
における大規模なルミネッセンス現象である  
オーロラの成因とそのダイナミックスの解明

に資するものである。

## 〔研究の内容、成果〕

### 1. 逆変換アルゴリズムの研究

本課題研究においては従来検討してきたモ  
デル関数フィッティング法に加えて、代数的  
手法として3次元空間に設定した各セルの発  
光強度値を推定するMART (Multiplica-  
tive Algebraic Reconstruction Tech-  
nique) 法、あるいは複数の視線の画素濃度  
値を同時に用いてセル値を更新するSIRT  
(Simultaneous Iterative Re-construction  
Technique, 同時逐次近似) 法等の応用に  
ついて計算機シミュレーションにより検討を  
行った。



いまオーロラ発光領域を多数のセルに分割しセル  $j$  の単位時間当りの放射光子数を  $L_j$  [photons/s] とすると画像の視線  $i$  に対応した画素の濃度値  $g_i$  は大気による散乱や吸収による減衰を無視して次式で表される。

$$g_i = \sum_{j \in i} \frac{A_{ij} L_j}{r_j^2} = \sum_{j \in i} w_{ij} L_j \quad (1)$$

但し総和は画素の張る立体角の中に含まれるセルすべてについて取り  $r_j$  はセル  $j$  までの距離、 $A_{ij}$  は  $L_j$  が濃度値  $g_i$  に寄与する幾何学的因子を表す。(1) 式により計算される復元値  $g_i$  が観測値  $\tilde{g}_i$  とほぼ等しくなるまで繰り返しセルの値を更新してゆくが、MART 法では

$$L_j^{(k+1)} = L_j^{(k)} \left( \frac{\tilde{g}_i}{g_i} \right)^{\lambda w_{ij} / \max(w_{ij})} \quad (2)$$

( $\lambda$  は緩和パラメータ) のように  $\tilde{g}_i/g_i$  の比の値に荷重  $w_{ij}$  をかけ乗法的にセルの値を変更していく。SIRT 法では 1 つのセルが寄与するすべての投影値を同時に用いて修正するが、収束を速めるために我々は次のような修正した式を用いている。

$$L_j^{(k+1)} = L_j^{(k)} \prod_i \left( \frac{\tilde{g}_i}{g_i} \right)^{\lambda w_{ij} / \sum_i w_{ij}} \quad (3)$$

SIRT 法はセル値の更新に際して平均化された情報を用いていることにより画素濃度値に含まれる雑音成分に対して強いアルゴリズムであり、オーロラ画像のトモグラフィ逆変換に有用であることが示される。

さらに、一般に画像数の多くないオーロラトモグラフィに対してのラドン変換を基礎とする解析的手法の応用、特にフーリエ変換法およびフィルター逆投影法につき数値シミュレーションによる考察を行った。

## 2. 第 1 回多点国際共同観測とその画像解析

本研究課題の主たる事業として、京都大学

および国立極地研究所とスウェーデン王国キルナ市にある同国立スペース物理研究所の国際協同によるオーロラ多点トモグラフィ観測が 1995 年 2 月 24 日～3 月 31 日の期間にわたって行われた。多点観測は、同研究所において建設中の大規模オーロラ撮像ネットワークシステム “ALIS” (Auroral Large Imaging System) に日本側のステレオ観測装置を加えた形で行われた。例年になく天候に恵まれず、オーロラ出現時に各点が同時に晴れの場合に限られるという CT 観測の困難さの故に約 4 週間の期間で得られたデータは十分でなかったが、3～4 点での貴重なトモグラフィ画像が得られた。

### 2.1 観測の概要

ALIS はキルナを中心におよそ 200～300 km の範囲に最終的には 14 点の無人観測点

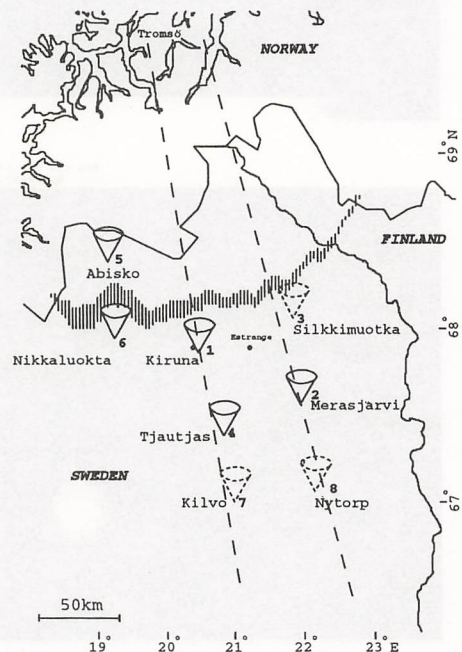


図 1 オーロラトモグラフィ観測ネットワーク

が計画されている多点観測ネットワークであり、図1に示すように、この時点でスウェーデン側は1.のキルナと2.のメラシャルビ、4.のチャウチャスの3点を、日本側は京大と極地研からそれぞれ2名がキルナの西北西100 kmにある5.のアビスコ科学研究ステーションおよび西66 kmのところに位置する6.のニカロクタの2地点を担当し、計

5ヶ所での同時観測を行なった。コントロールセンタとなるキルナと各観測サイトはすべて電話回線を用いた計算機ネットワークで接続され、交信とクイックルック画像の転送を行いながら観測が進められた。

カメラ方向はキルナの真上（コア方向）、南、北およびEISCATレーダとのキャンペーンのための更に北のあらかじめ定めた4

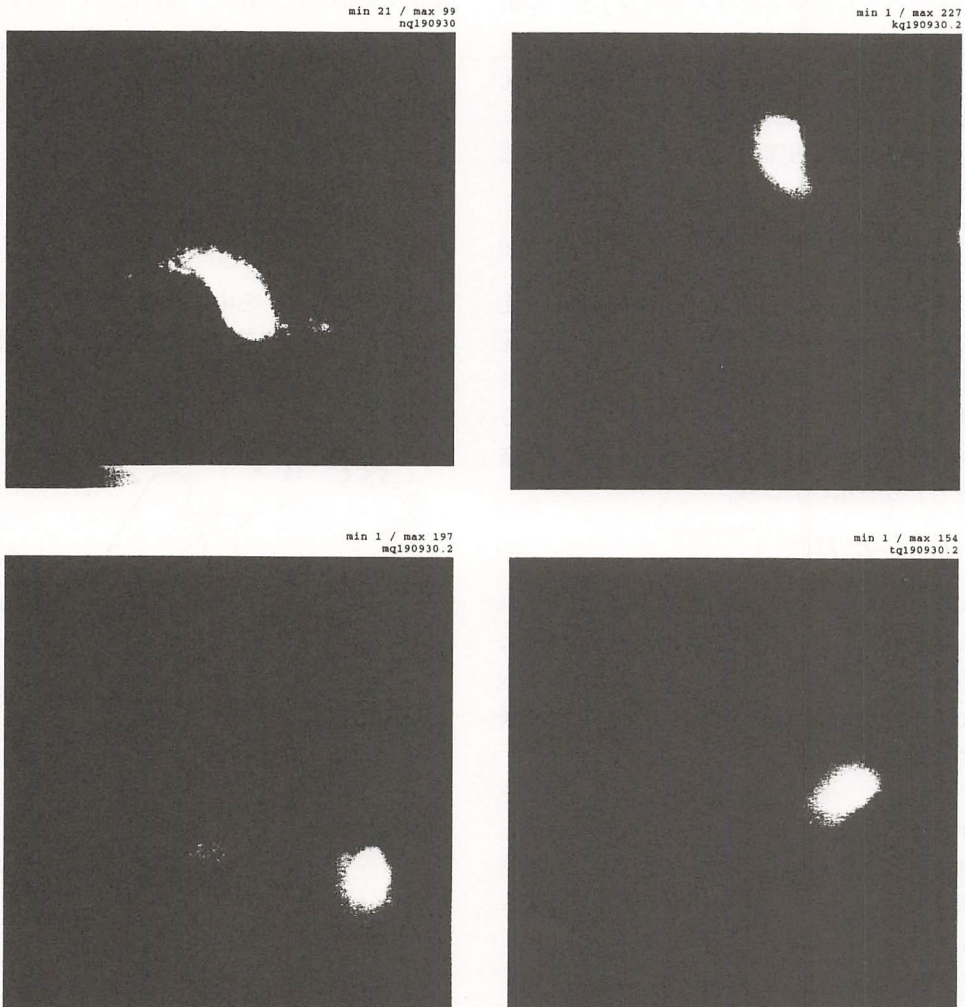


図2 1995年3月26日19時09分30秒に出現した4枚のオーロラのとモグラフィ画像組



方向のうちからオーロラの活動度等を考慮して選び、単色光の観測波長はもっとも普通に見られる酸素原子の緑白色の発光である 557.7 nm とした。

## 2.2 データ解析とその結果

解析に先立って各画素の視線方向を定めるカメラモデルを星を用いた較正画像から作成するとともに画像濃度とオーロラのブライトネスを結びつけるカメラ感度の補正を行う必要がある。ここでは標準光源を用いたカメラの較正データを用い、さらにもっとも良好な再構成が得られる相対感度を推定して解析を行っている。SIRT 法による解析結果の一例として、図 2 に示す 3 月 26 日 19 時 09 分 30 秒に出現したオーロラの 4 枚の画像を用いた復元結果について以下に述べる。

いずれの画像もともにカーテンオーロラの局所的に明るい部分を画像内に捉えており、エピソード制約でサンプルされる画像濃度値はすべてオクルージョンのない対象全体から

の寄与と考えられる。逆変換においてはオーロラが観測点群の北側に位置することから、オーロラが磁力線に沿って出現するという性質を解析の途中でのセル値の分布に課する。この場合、セルのサイズと数は高度方向に 2 km × 70, 厚み方向に 2 km × 45, ほぼ東西に広がる方向には 4 km × 50 である。図の解析では、厚み方向に ± 8 セル, 東西方向に ± 4 セルについて磁力線に沿うプロファイルを平均し、この平均プロファイルに一致するような沿磁構造を持つようにセル値を再配分する。これは、オーロラ構造が沿磁力線と水平の構造について局所的に分離形であることを仮定していることになる。この後再び SIRT での再構成を行いこれらを  $\hat{g}_i$  と  $g_i$  の差が十分小さくなるまで繰り返している。

再構成結果の鉛直及び水平面でのコントアを Vis 5 D (Dr William L. Hibbard 作成) により描いたものを図 3 に示す。高度範囲は 80 ~ 220 km で、発光強度が高度 120 km 付近で極大となり、東西方向に S 字型に折れ曲がった構造を与えている。オーロラの厚み

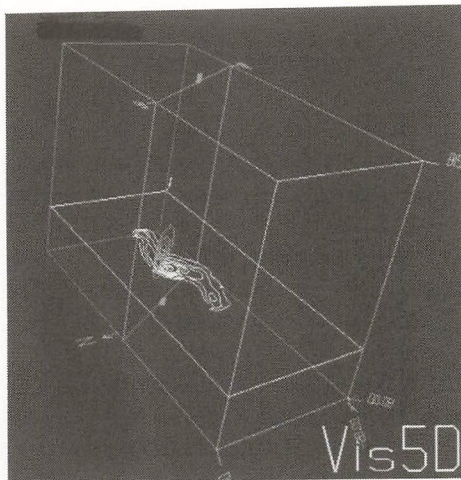


図3 3月26日19時09分30秒に観測されたオーロラの再構成結果のコントア表示

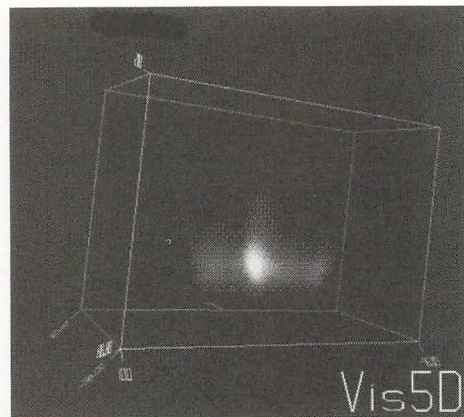


図4 1995年3月26日19:09:30に観測されたオーロラカーテンの再構成結果のビジュアライゼーション



はほぼ 10 km 程度となっているが、薄い初期値を仮定した解はニッカロクタからの観測画像値に収束せず、ディフュースグローのような比較的厚いカーテン状となっている。図 4 は同じく Vis 5 D により、復元結果を南南西の方位から視覚化したもので、オーロラカーテン中の明るいフォールド部が復元されている様子が見て取れる。

### 3. 第 2 回多点国際共同観測

その後、図 1 の 3. シルクモトカの整備が完了し、1995 年 12 月に、計 6 点での観測が京大から 2 名が参加して約 3 週間行われた。12 月 21 日には強いオーロラブレイクアップが多点観測網に捉えられ、現在これらの画像は解析中であるが、特徴ある構造が見られ、その解析は極めて興味深いものである。

#### 【今後の研究の方向、課題】

本研究助成ならびに国立極地研究所の協力により、初めて多点でのオーロラトモグラフィ観測を実現することができた。とくに、ドイツのマックスプランク研究所が 2 点でのオーロラステレオ観測を始めたり、米国で超高層観測用光学トモグラフィック撮像網 (COTIF) なるものがごく最近設置されるなど光学トモグラフィ技法の地球環境探測応用への重要性が認識されて来た趨勢のなかで、他に先駆けた研究を推進できたことはまことに意義深いことであった。現時点ではオーロラの構造がやや複雑で、その復元に必要な観測点数に到らない場合や、オーロラの出現位置が観測点配置に対して適切でない場合、復元においてその構造に制約を課することが避けられない。しかし、ALIS は今後も観測点数を増やしてゆく予定であり、我々も継続し

て国際共同研究を推進し、広い範囲にわたる多くの地点での同時観測画像からのより制約の少ない再構成を実現して行きたい。また、地上のみならずロケットや科学衛星などの飛翔体による高々度のプラットフォームからの画像が同時に得られればさらに精確な再構成が可能となる。今年初めに打ち上げられた POLAR 衛星は可視領域の極域放射の撮像カメラを搭載しており、視野領域は大きく異なるが、ALIS との共同でのオーロラ同時観測による感度やアルベドの光学的計測が予定されており、将来の同時 CT 観測へのステップと考えられる。このような観測点の拡がりの増加に伴って、逆問題手法として代数的手法 (ART) に加えて、フィルタ逆投影等の解析的手法が適用可能となり、より詳細な復元が期待される。また、我々は逆問題へのニューラルネットの応用、オーロラ構造検出のためのフラクタル解析の適用など関連する項目についても研究を始めており、今後も画像トモグラフィ手法の確立を目的として研究を進めて行きたいと考えている。

#### 【成果の発表、論文等】

- 1) 麻生武彦, 浦島智, 橋本岳他, オーロラトモグラフィと国際協同多点立体観測, 第 18 回極域における電離圏磁気圏総合観測シンポジウム講演予稿集, 19, 1994.
- 2) 麻生武彦, 浦島智, 藤田淳文他, オーロラ画像トモグラフィへの MART/SIRT 法の応用, 第 1 回画像センシングシンポジウム講演論文集, 161-162, 1995.
- 3) Takehiko Aso, Akira Urashima, Masaki Ejiri et al., One analysis of auroral tomography based on the ALIS-Japan multi-point observation in March, 1995, Abstract for the 22nd Annual European Meeting on Atmospheric Studies by Optical Methods, Helsinki, Finland,

Aug 28-Sept 1, 1995.

- 4) 麻生武彦, 浦島智, 江尻全機他, 多点オーロラ  
トモグラフィ国際協同観測, 第98回地球電磁気・  
地球惑星圏学会講演予稿集, 1995.
- 5) 麻生武彦, オーロラのトモグラフィ計測技術,  
システム/制御/情報, 39(7), 310-315, 1995.
- 6) 麻生武彦, 浦島智, 藤田淳文他, オーロラトモ  
グラフィの第一回多点国際協同観測, 第19回極域

における電離圏磁気圏総合観測シンポジウム講演予  
稿集, 1995年11月.

- 7) Takehiko Aso, Akira Urashima, Masaki Ejiri  
et al., First results of the auroral tomography  
from the ALIS-Japan multi-station observations  
in March, 1995, Submitted to Geophysical Re-  
search Letters., 1996.

# 主観的感性語彙を用いた自然語文による 画像データベースの対話的検索

Interactive Image Retrieval by Natural Language  
including Subjective Expressions

941003

研究者代表

静岡大学情報学部 助教授

伊 東 幸 宏

共同研究者

静岡大学情報学部 教 授

中 谷 広 正

## [研究の目的]

本研究の目的は、一般のユーザにとって使いやすい画像データベースの検索に自然言語が用いられるように言語情報と画像情報とのマッチング手法について考察することにある。

一般のユーザには、データベースの取り扱いに関する専門的知識、データベースに格納されているデータに関する専門的知識を期待することはできない。そのようなユーザに対して、画像データベース検索システムを構築する際に、次のことを考慮に入れなければならない。1) 検索要求はできるだけ制限のない語彙および文体で行えること。2) 検索したい対象物の漠然としたイメージを表現するのに、主観的な印象を用いることができること。3) 検索がシステムと対話的に進めていけること。

そのため、自由な文体・語彙を用いた日本語文入力を受け付け、画像解析結果と照らし合わせて検索を行うシステムを、椅子の電子化カタログを題材として検討を行った。

## [研究の内容、成果]

### 1. 視覚と言語のマッチング

画像と言語とを対応付けようとするとき、次のことに注意しなければならない。1) 両者の形態が大きく異なっていること。2) 自然言語には数多くの同義な言い換え表現が許されること。そのため、両者の媒介となる表現が必要である。この媒介表現について、画像との接続・言語との接続という2つの側面から検討する。

画像との接続から考えた場合、言語と結び付けるためには画像情報から画像解析によりなんらかの情報(特徴)を得る必要がある。そのため媒介となる表現には次のことが要求される。1) 比較的容易に抽出し得る特徴概念を基本要素としていること。2) 画像解析アルゴリズムが前提としている画像的特徴の階層構造と、媒介表現を構成する階層構造とが一致していること。そこで、画像よりの媒介表現として、「椅子—背—色」、「椅子—脚—形」といった階層構造を持ち、さらに各々の属性は画像から直接抽出しうる物理的特徴



空間上での範囲指定という形で構成される表現（以下、中間表現と呼ぶ）を定義し用いた。

自然言語には、異なる言い方ではあるが、同義の意味を有する同義文が多数存在する。もちろん、受理可能な入力文に、語彙や文体の面での制約をなるべく無くすため、多様な文体の文に対しても対応していかなければならない。しかし、同義文に対して、文体ごとに個別に処理を行っていたのでは、合理的でない。したがって、言語との接続を検討した場合、媒介となる表現は次のようなものが望ましい。1) 同義文に対して、その意味の同等性が容易に判定できるような定式化された表現であること。2) 文体が異なっても、同義文の媒介表現が一定のアルゴリズムで処理できること。そのため、言語よりの媒介表現として同義文に対する柔軟性を特徴とする高木・伊東の意味表現を用いることにした。この意味表現は、各々の文の構文的差異を的確に表現していると同時に、両者の意味の同等性も表現している。また、この意味表現を構文構造の差異にかかわらずに、均一に読み取って意味処理を行う基本アルゴリズムも既に提案されている。

以上のように媒介となる表現を、「画像との接続」、「言語との接続」、といった側面から考察したが、両者から得られる媒介表現の形態は異なっている。そのため、2層構造の媒介表現を用いてマッチングを行うことにした。次に、中間表現に用いる特徴、ならびに、意味表現から中間表現への変換方法（解釈方法）を検討する必要がある。

## 2. 感性語句の解釈

椅子の設計者であれば、椅子の画像の検索の際、客観的基準が存在する語彙だけを用いて検索要求を書くこともできるが、素人には

無理である。普通は、「かわいい椅子」、「地味な色の椅子」のような表現が用いられる。この場合、椅子の「かわいさ」、色の「地味さ」と言ったものを客観的に定義することが難しい。感性語句とは、このように客観的な基準がはっきりしておらず、個人の感性に依存するような、直感的印象を表す語句のことを指す。自然言語により画像データベースを検索する場合、感性語句を取り扱うことが極めて多くなる。そのため、感性語句に対する解釈方法を検討することが必要である。

検索に多く使用されと思われる感性語句は、客観的な解釈はできないが、ある程度、各人の評価尺度を表明することは可能である。例えば、物体の「かわいさ」であれば、「全体的な大きさが小さい」、「形状が丸みを帯びている」、「色合いがピンクのようなもの」が「かわいい」というように表明できる。そこで、感性語句に対する意味表現として、例えば、「地味な」の内部意味構造は、感性的属性概念「地味さ」を用いて定義し、その感性的属性概念ごとに中間表現で表される特徴の範囲指定といった対応つけルールを用いることにした。

また、感性語句の解釈の仕方は人によって異なる。そのため、感性語句への対応は、個人差を考慮しなければならない。その対応の一つとして、ユーザが比較表現を用いて対話的に検索を行えるようにした。それにより、たとえ1回の要求で希望する画像が検索できなくても、「もっとかわいい椅子」といった比較表現を用いて、最終的にはユーザの希望する画像を検索することができる。

次に中間表現に用いる特徴について考察する。画像から得る特徴は、言語とマッチングを行うため、1) 人間の直観的な印象を反映し、言語と結び付けやすいといったことが必

画像解析部では、蓄積されている画像を順に解析し、中間表現で指定されている条件とマッチングを行う。そこで、マッチした画像

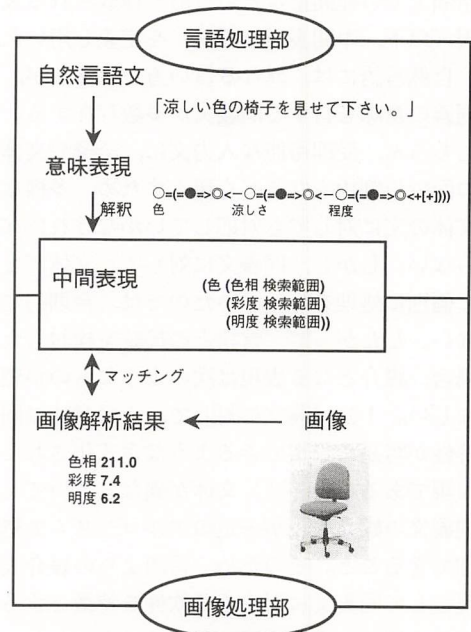


図1 システム構成

のデータを言語処理部へ受け渡す。次の入力文が「もっと赤いものを探して。」などの比較表現であるときに、その画像のデータが用いられる。ある画像に対して、一回解析を行うと、その解析結果を原画像と対応づけて蓄積し、次回からの解析の手間を省くようにしている。

感性語句の具体的な解釈方法を「暖かい色」、「もっと明るい色」、「暖かくて地味な色」という表現、つまり、通常表現、比較表現、複数の語で修飾される表現のそれぞれを例にとって説明する。各々の表現は、例えば、「地味さ」といった感性属性概念に対する、HSV空間における領域、ならびに、最もその印象を示すと思われるピーク点といった予め定義された対応付けルールを用いて解釈される。

「暖かい色」のように、程度が特に指定さ



れてない場合は、「暖かさ」に対応する物理的特徴空間上の領域をそのまま検索範囲とする(図2)。「かなり」、「ちょっと」といった程度を表す副詞は、その程度の強いと思われるものから順に1から5までのレベルに振り分けており、それらの程度副詞の修飾を受ける場合は、そのレベルに応じて図2に示すようにピークに近い範囲、遠い範囲を検索範囲として解釈している。

「もっと明るい色」のような比較表現の場合、比較対象の特徴点と感性的属性概念「明るさ」に対応する物理的特徴空間上のピーク点、ならびに、副詞句のレベルをもとに決定される。例えば、「もっと明るい色」といった表現の場合、対象の特徴点からピーク点に近づけたところを検索範囲としている(図3)。また、これらの近づけ方は修飾される副詞句のレベルに応じてより近づけた範囲、

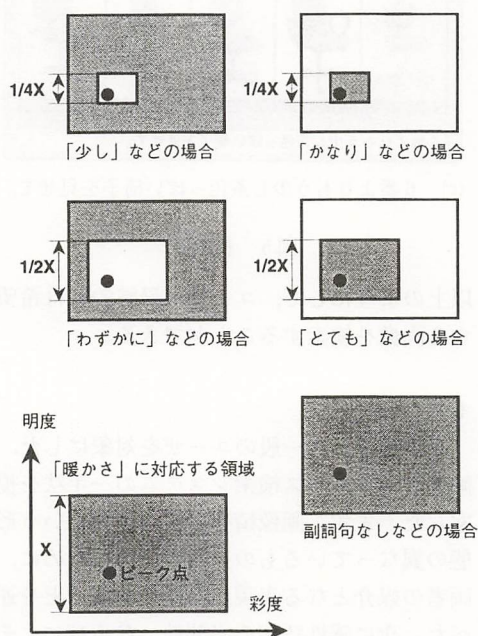


図2 通常表現の検索範囲

やや近づけた範囲といったように解釈し分けており、例えば、「わずかに明るい色」といった場合には図3に示すように比較対象の特徴点付近の「明るさ」のピーク点寄りの範囲を検索するようにしている。

最後に、「暖かくて地味な色」のように複数の感性語句で色を修飾している場合について説明する。基本的に対応付けルールで示される範囲を組み合わせているが、組み合わせる検索条件が各空間の軸(色相, 彩度, 明度)でピーク点を持つ場合と持たない場合によって異なる。両方にピーク点がある、もしくは、両方ない場合、例えばこの場合では、明度と彩度軸に関しては各々の検索範囲の中間を検索の範囲としている。例えば、明度の検索範囲の下限は、「地味さ」の検索範囲の下限と「暖かさ」の下限の中間にしている(図4)。また、片方にピーク点がある場合は、ピーク点を持つ方の検索範囲を統合した検索範囲としており、この例では色相は「暖かさ」の検索範囲を統合した検索範囲としている。

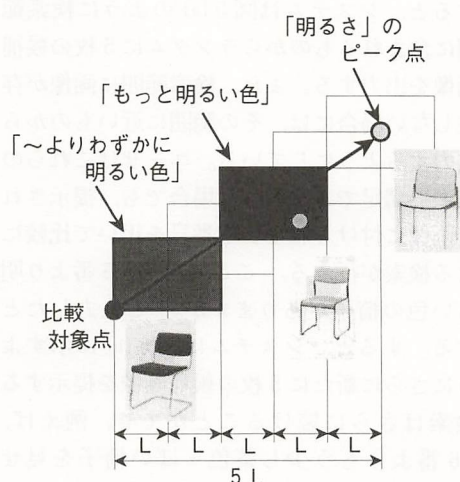


図3 比較表現の検索範囲



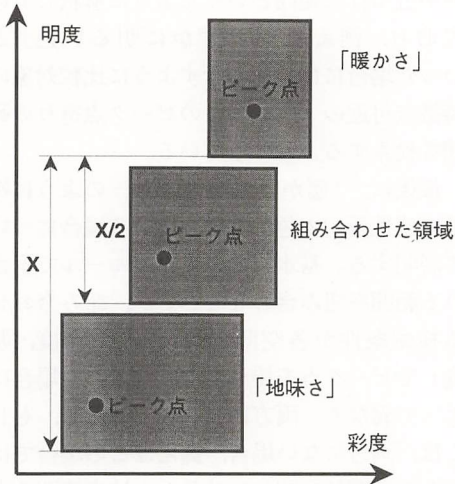
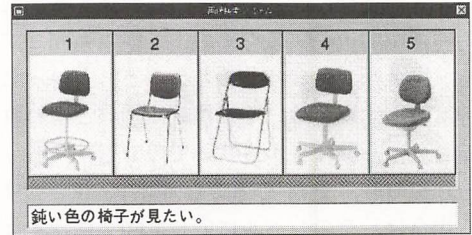
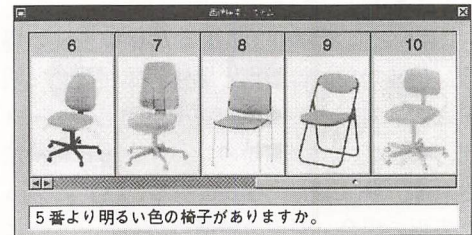


図4 複数修飾表現の検索範囲

以上のように検索システムの実装を行った。今のところ、取り扱える特徴は、椅子の背の色に限られているが、感性語句を用い、比較表現や複数修飾による表現を用い比較的自由に検索条件の指定が可能になっている。図5に簡単な検索例を示す。例えば、ユーザは、「鈍い色の椅子が見たい。」と入力したとする。すると、システムは図5(a)のように検索範囲に含まれるものからランダムに5枚の候補画像を出力する。また、検索範囲に画像が存在しない場合には、その範囲に近いものから出力するようにしている。ユーザはこれらの画像で満足できなかった場合でも、提示された画像に付けられている番号を用いて比較による検索が行える。ここでは、「5番より明るい色の椅子がありますか。」と入力したとする。すると、システムは図5(b)に示すようにさらに新たに5枚の候補画像を提示する。検索はさらに続けることができ、例えば、「6番よりもう少し茶色っぽい椅子を見せて。」と入力したとすると、システムはさらに新たに5枚の画像を提示する(図5(c))。



(a) 鈍い色の椅子が見たい。



(b) 5番より明るい色の椅子がありますか。



(c) 6番よりもう少し茶色っぽい椅子を見せて。

図5 検索例

以上のようにして、ユーザは最終的には希望する画像を検索することができる。

#### 4. まとめ

本研究では、一般のユーザを対象にした、画像データベース検索システムの一手法を提案した。まず、画像情報と言語情報という形態の異なっているものを対応づけるために、両者の媒介となる表現が必要であることを述べた。次に感性語句の必要性、ならびに、その解釈方法を示した。

以上により、画像やデータベースの検索に対する知識を持たないナイーブなユーザに対しても、感性語句を含む自然言語を用いて円滑に検索を行うことができ、さらに、1回で希望する画像の検索ができなくても、比較表現を用いて対話的に検索することができ、最終的には希望する画像を検索できるようになっている。

#### [今後の研究の方向、課題]

今後の課題として、形状特徴や値段、用途といったシンボリックな情報などを言及するような表現についての取り扱い方法の検討がある。形状特徴に関しては、色特徴におけるHSV空間のように一般的な特徴空間がないため、その形状特徴空間の構築することから検討を行っている。また、感性語句の解釈には個人差が存在するため、もうひとつの課題として個人毎に解釈し分ける手法の検討が挙げられる。

#### [成果の発表、論文等]

- 1) 杉浦, 原田, 中谷, 伊東: “自然言語による画像データベース検索”, 電子情報通信学会技術研究報告 Vol. 94 No. 51, pp. 55-62 (1994年).
- 2) Y. Itoh, S. Harada, H. Sugiura and H. Nakatani: “On interpreting Subjective Expressions in Image Data Retrieval”, 1994 Intn'l Conf. of Comp. Proc. of Oriental Languages, pp. 157-162 (1994).
- 3) S. Harada, H. Sugiura, H. Nakatani and Y. Itoh: “On constructing pictorial feature space for image retrieval,” IJCAI-95 Workshop Notes on Representation and Processing of Spatial Expressions, pp. 103-117 (1995).
- 4) S. Harada, H. Tanaka, H. Nakatani and Y. Itoh: “Evaluation of a natural language interface for image retrieval,” Second Joint Workshop on Multimedia Communications, pp. 1-3-1-1-3-8 (1995).
- 5) 原田, 田中, 伊東, 中谷: “画像検索のための形状特徴空間の構築”, 電子情報通信学会技術研究報告 Vol. 95, No. 320, pp. 7-12 (1995年).

# シリコン薄膜ジャイアントマイクロデバイスの研究

## Giant Microdevices Based on Silicon Thin Films

941005

研究者代表

東京工業大学量子効果  
エレクトロニクス研究センター 教授

小田 俊理

### [研究の目的]

シリコン集積回路技術をコンピュータの周辺大面積デバイス（画像センサー，表示デバイス）に応用する技術をジャイアントマイクロデバイスと呼ぶ。本研究ではプラズマ分解ガスをパルス制御するデジタルプロセスを提案して，非晶質基板の上に微結晶シリコン薄膜を堆積し，量子効果物性により新しいジャイアントマイクロデバイスのブレイクスルーを探索することを目的とする。

### [研究の内容，成果]

#### 1. 微結晶シリコン薄膜の作製

微結晶シリコン薄膜の作製は，アモルファスシリコンを水素ラジカル作用により結晶化する固相核形成法とプラズマセル内でシリコン超微粒子を形成する気相核形成法の2通りを行った。

##### 1.1 固相核形成：結晶成長における水素ラジカル役割

本研究でオリジナルに提案したデジタルプラズマプロセスは，図1に示すように，核形成，薄膜堆積，結晶成長，界面準位制御，エネルギー障壁形成，多層膜粒径制御の6つの

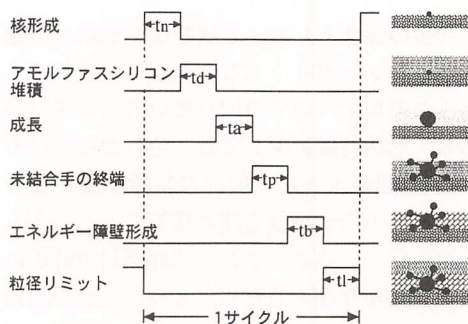


図1 デジタルプロセスの概念図

パルスから成る。微結晶寸法を制御するために重要なことは，核形成と結晶成長を分離することである。界面制御や障壁形成は電子輸送特性を良好にするために必要になる。従来のプラズマプロセスと比較して，パルス時間という確実に制御できる新しいパラメータの自由度を獲得した点が重要である。図2に示

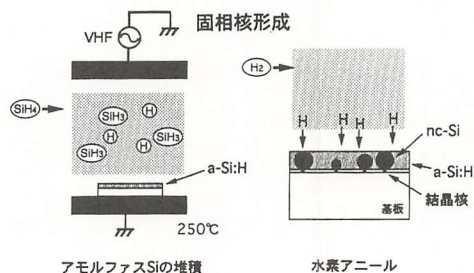


図2 固相核形成プロセス



すように、 $\text{SiH}_4$  ガスがプラズマ中で分解して生成するラジカルによりアモルファスシリコン膜が堆積する。水素ラジカルの化学作用により、 $250^\circ\text{C}$  という低温にも拘わらず、結晶化を起こす。結晶化の過程で水素ラジカルの拡散が起こっていることは、赤外吸収スペクトルの測定により確かめられた。驚いたことには、結晶化だけではなく、核形成にも水素ラジカルが重要な役割を果たしていることが分かった。図3の高分解能 TEM（透過型電子顕微鏡）写真では、直径 5 nm の領域にシリコン結晶による格子像を観測することができる。

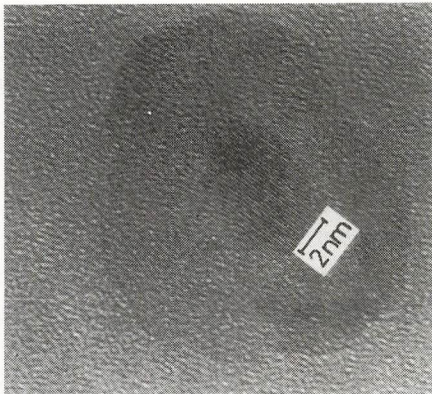


図3 微結晶シリコンの高分解能 TEM 写真

## 1.2 気相核形成：プラズマセルによる超微小シリコン結晶球の作製

プラズマセルで  $\text{SiH}_4$  ガスの分解によりシリコン超微粒子を形成し、図4のようにオリフィスを通して超高真空チャンバ内の基板上に堆積すると、図5の AFM（原子間力顕微鏡）像のように、シリコン微小球を得ることができる。図6に示すように、超高分解能 TEM 観測により、シリコン微小球は単一ドメインの単結晶であることが分かる。周囲に

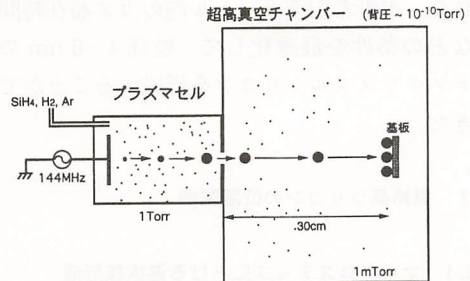


図4 気相核形成微結晶シリコン作製装置

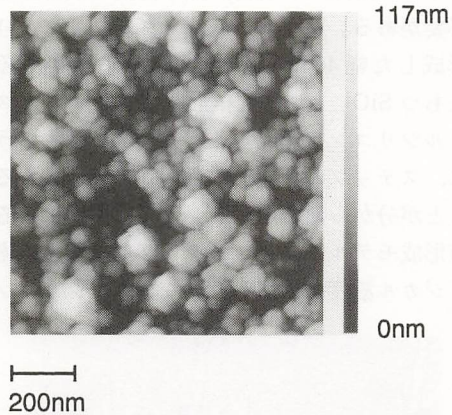


図5 シリコン超微粒子の AFM 像

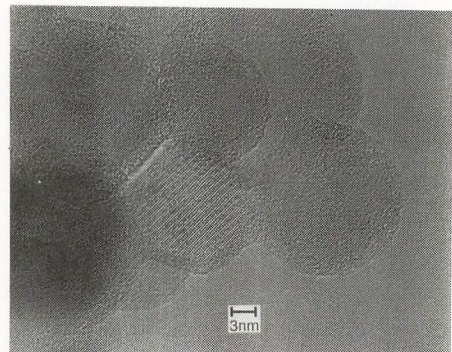


図6 シリコン超微粒子の TEM 像

は酸化膜が形成されている。粒径が 20 nm を越えるとファセット（結晶面）が明瞭に現

れた。水素希釈濃度，セル内のガス滞在時間などの条件を最適化して，粒径 4–6 nm のナノクリスタルシリコンを形成することができた。

## 2. 微結晶シリコンの位置制御

### 2.1 マイクロステップにおける選択核形成

微結晶シリコンをジャイアントマイクロデバイスに应用する場合，粒子位置を制御する必要がある。電子ビームリソグラフィにより形成した幅 40 nm，高さ 20 nm の微小段差をもつ  $\text{SiO}_2$  上に固相核形成法でナノクリスタルシリコンを形成すると，図 7 に示すように，ステップの上端部に選択的に核形成することが分かった。水素ラジカルの拡散による核形成モデルにより，ステップ上端部の水素ラジカル濃度は平坦部分より高く，シリコン

結晶化のしきい値を超えることができるといふ機構を考えれば，この選択核形成現象を説明できる。

### 2.2 AFM による粒子配列操作

プラズマセルにより形成したシリコン超微粒子は基板上にはファンデアワールス力により弱く付着しているだけなので，コンタクトモード AFM で表面像を観察しようとするとき粒子が移動してしまい像は流れてしまう。この現象の発見から，AFM のプローブを接触することによりシリコン超微粒子を基板上で移動させることができることを思いついた。STM（走査型トンネル顕微鏡）による個々の原子の移動操作は最近多くの報告があるが，本研究のように，AFM による粒子の操作は極めて珍しい。また，シリコン超微粒子は酸化処理により，基板上に固着させることができることを見いだした。

## 3. 微結晶シリコンの量子効果物性

プラズマセルにより形成した微結晶シリコンの量子効果物性をフォトルミネッセンスおよびクーロンブロッケード特性により室温で観測し，ジャイアントマイクロデバイスのブレークスルーをもたらす新機能特性を確認した。

### 3.1 フォトルミネッセンス

室温で微結晶シリコンに紫外線レーザーを照射したところ赤外光のフォトルミネッセンスを観測した。800°C ドライ酸化を行ったところ，図 8 に示すように，酸化時間を延長することにより，発光は可視光領域に入り，スペクトルはブルーシフトすることが分かった。これは，酸化処理により実効的に結晶粒径が減少することに伴うもので，量子効果により

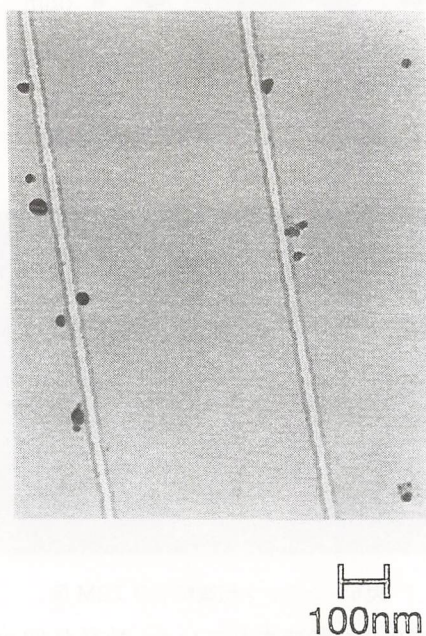


図 7 微小段差上の選択核形成



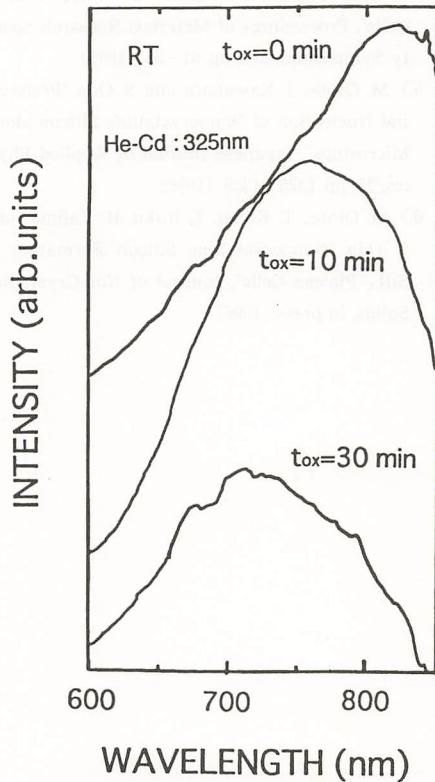


図8 室温フォトルミネッセンス

説明することができる。シリコンは間接遷移型半導体であり従来は発光は観測されていなかった。最近、電気化学的方法により作製したポーラスシリコンからの可視光発光が報告されて、シリコンによる発光デバイスへの期待が高まっている。本方法はドライプロセスであり、大面積デバイスへの応用可能性が高いが、粒子密度を高くすることが課題である。

### 3.2 クーロンブロッケード

電子ビーム露光と ECR エッチングによりポリ結晶シリコンの微小電極（間隔 25 nm）を形成し、この上に堆積した微結晶シリコン擬 1 次元アレイを流れる電流電圧特性を測定

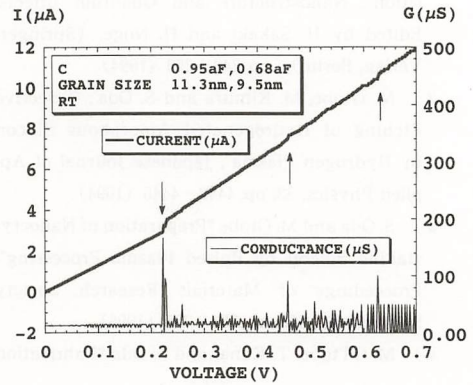


図9 室温電流電圧特性

した。図9に示すように、室温の測定で、微小接合容量に特有なクーロンブロッケードとクーロン階段現象によるコンダクタンスのピークを観測できた。将来の超高密度集積回路用デバイスとして期待できる特性である。この技術を大面積デバイスへ応用するためにはさらに微結晶の精密形成技術を高度化する必要があるが、大きなブレイクスルーの可能性を示している。

### [今後の研究の方向、課題]

本研究では、低温で非晶質基板上に微結晶シリコン薄膜を形成する技術を開発し、結晶粒径や位置の制御法は格段に進展した。室温フォトルミネッセンスやクーロンブロッケードなどの興味ある量子効果物性も観測できた。今後は、画像センサーや表示デバイスなどのコンピュータ入出力デバイスへの応用を検討することが必要である。

### [成果の発表、論文等]

- 1) S. Oda and M. Otobe "Preparation of Nanocrystalline Silicon by Digital Chemical Vapor Depo-



- sition", Nanostructure and Quantum Effects, Edited by H. Sakaki and H. Noge, (Springer-Verlag, Berlin), pp. 248-253 (1994)
- 2) M. Otobe, M. Kimura and S. Oda: "Selective Etching of Hydrogenated Amorphous Silicon by Hydrogen Plasma", Japanese Journal of Applied Physics, 33, pp. 4442-4445 (1994)
- 3) S. Oda and M. Otobe "Preparation of Nanocrystalline Silicon by Pulsed Plasma Processing", Proceedings of Materials Research Society Symposium, 358, pp. 721-731 (1995)
- 4) M. Otobe, T. Kanai and S. Oda "Fabrication of Nanocrystalline Silicon by  $\text{SiH}_4$  Plasma Cells", Proceedings of Materials Research Society Symposium, 377, pp. 51-56 (1995)
- 5) M. Otobe, J. Kawahara and S. Oda "Preferential Nucleation of Nanocrystalline Silicon along Microsteps", Japanese Journal of Applied Physics, 35, pp. 1325-1328 (1996)
- 6) M. Otobe, T. Kanai, T. Ifuku, H. Yajima and S. Oda "Nanocrystalline Silicon Formation in  $\text{SiH}_4$  Plasma Cells", Journal of Non-Crystalline Solids, in press (1996)



# 超高速二次元アレイ光双安定素子の研究

## Study on ultrafast two-dimensionally arrayed optical bistable devices

941008

研究者代表

山形大学工学部電子情報工学科 教授

河 口 仁 司

### 【研究の目的】

全光型の超高速光論理・記録素子を面発光半導体レーザを用いて実現することを目的とする。直交する二つの発振偏波間で生ずる双安定スイッチングを用い、10 Gbit/s 以上の動作をめざす。面発光半導体レーザは二次元アレイ化に適した構造をもち、この素子が実現されれば超高速・並列で信号処理が可能となり、光交換や光コンピューティング等、光の新しい応用分野が開けるものと期待できる。

### 【研究の内容、成果】

#### 1. 面発光半導体レーザの偏波面双安定特性

図1に実験に用いた面発光半導体レーザの構造を示す。活性層は  $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}$  であり、

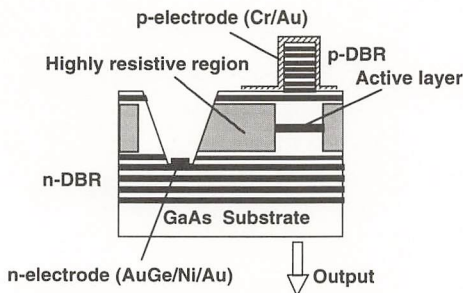


図1 面発光半導体レーザの構造

AlAs/GaAs の DBR（分布反射型）ミラーで共振器が形成されている。半導体レーザの活性領域は  $6\mu\text{m}$  角と小さいため、実験を行った動作電流の範囲では、安定な単一横モード発振を示した。実験では、図1に示した半導体レーザが80個（ $10 \times 8$ ）並んだ二次元アレイ素子を用いた。それぞれの素子を独立に動作することができる。

回折格子で外部共振器を形成した半導体

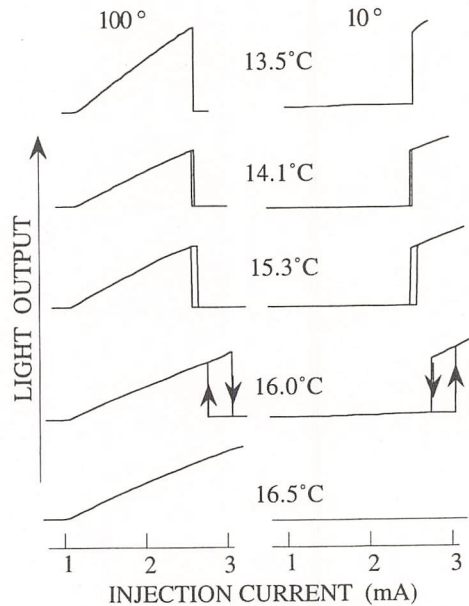


図2 偏波面で分解した電流-光出力特性の温度依存性

レーザを用いて、外部から注入するトリガ光を発生させた。回折格子を回転することにより、注入光波長を自由に選択することができる。注入光は光アイソレータとポラライザを通して面発光半導体レーザに注入され、ポラライザを回転することにより注入光の偏光を自由に変えることができる。

図2に偏波面で分解した電流－光出力特性の温度依存性の一例を示す。注入電流約1 mAで $100^\circ$ 方向の偏波面をもつ直線偏光で発振する。動作温度が $16^\circ\text{C}$ 以下では、2.5

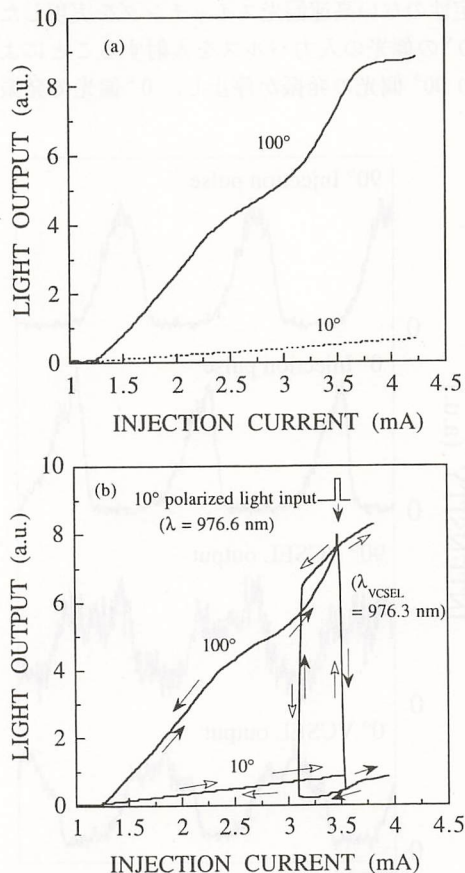


図3  $10^\circ$  偏光注入によるピッチフォーク型偏波面双安定特性

mA から 3.1 mA の間で、これに直交するモード ( $10^\circ$ ) にスイッチする。図に示すように、偏波面で分解した電流－光出力特性には明瞭な S 字型の双安定が観測される。

図3には別の形態（ピッチフォーク型）の偏波面双安定特性の実験結果を示す。動作温度を  $18.5^\circ\text{C}$  に設定すると、面発光半導体レーザは  $100^\circ$  の直線偏波で発振し、動作電流が 4.3 mA 程度までの測定範囲では偏波面はスイッチしない（図3(a)）。図(b)に示すように、動作電流を 3.52 mA に設定し、発振光の偏波と直交する偏波 ( $10^\circ$ ) をもつ光を外部から注入すると、面発光半導体レーザの発振偏波は入射光と同じ  $10^\circ$  になる。光入力を切っても  $10^\circ$  偏波での発振が続く。その後動作電流を 3.9 mA まで増加しても発振偏波は  $10^\circ$  であり、一方、3.1 mA まで下げると偏波面スイッチングが生じ  $100^\circ$  となる。

2つの状態間 ( $10^\circ$  偏波発振と  $100^\circ$  偏波発振) のフリップ・フロップ動作を  $10^\circ$  偏波トリガー光と  $100^\circ$  偏波トリガー光を用いて実現した（図4）。初め、面発光半導体レーザは  $100^\circ$  偏波発振している。 $10^\circ$  偏波トリガー光を入力すると、 $10^\circ$  偏波で発振するよ

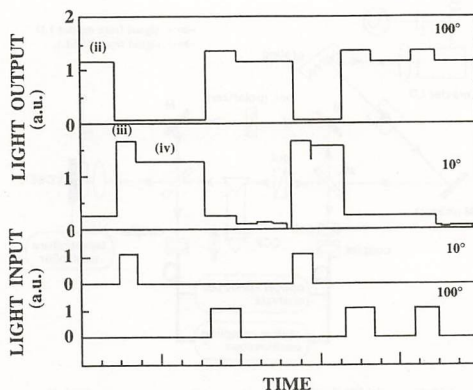


図4 全光型フリップ・フロップ動作



うになり、 $100^\circ$  偏波モードの発振は停止する。 $10^\circ$  偏波トリガー光入力がなくとも半導体レーザはそのまま  $10^\circ$  偏波モード発振を持続する。その後  $100^\circ$  偏波トリガー光が入射されると、 $100^\circ$  偏波モードが発振する。 $100^\circ$  偏波トリガー光入力がなくとも、 $100^\circ$  偏波での発振が持続する。又、 $100^\circ$  偏波で発振している場合に  $100^\circ$  偏波トリガー光を入力しても面発光半導体レーザの発振偏波は変化しない。

## 2. 高速全光型フリップ・フロップ動作

図5に高速の全光型フリップ・フロップ動作を測定するための実験配置を示す。面発光半導体レーザの動作温度は精密に制御し、半導体レーザには直流バイアス電流を加える。回折格子で外部共振器を形成した半導体レーザから、パルス光を発生し、外部から注入するトリガー光として用いた。注入光は光アイソレータを通した後、ビームスプリッターで2つの光路に分岐し、それぞれの光路に挿入したポラライザで注入光の偏光が互いに直交するように設定する。

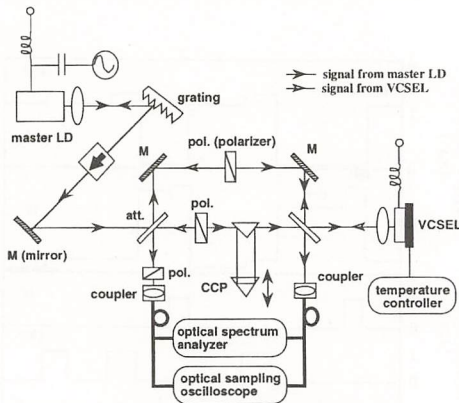


図5 高速全光型フリップ・フロップ動作の測定系

1.2 GHz の高速全光型フリップ・フロップ動作の実験結果を図6に示す。面発光半導体レーザの発振偏光はトリガー入力と同一になり、その偏光が持続する。これまでに5.3 GHzまでの高速応答を確認している。これは、半導体レーザをベースとしたものでは、現在世界最高速のフリップ・フロップ動作である。

一層の高速性を実証するため、トリガー入力としてモード同期チタンサファイアレーザで発生した約3.5 psの光パルスを用いた。面発光半導体レーザの動作温度を変化し、双安定性のない高速偏光スイッチングを実現した。 $0^\circ$ の偏光の入力パルスを入射することにより  $90^\circ$  偏光の発振が停止し、 $0^\circ$  偏光で発振

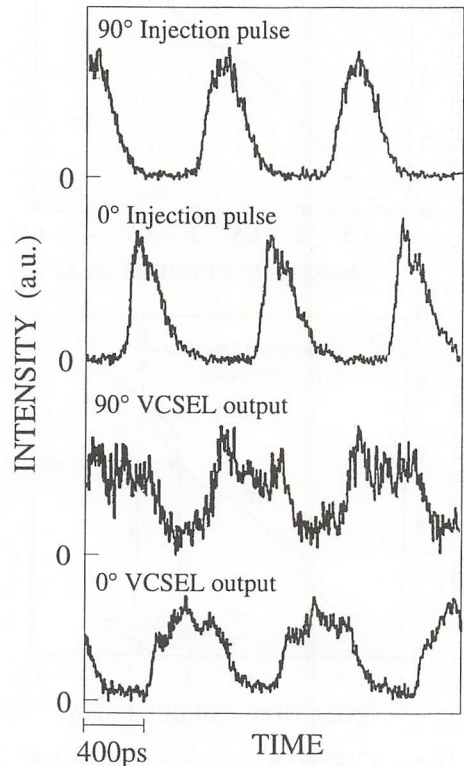


図6 1.2 GHz 全光型フリップ・フロップ動作

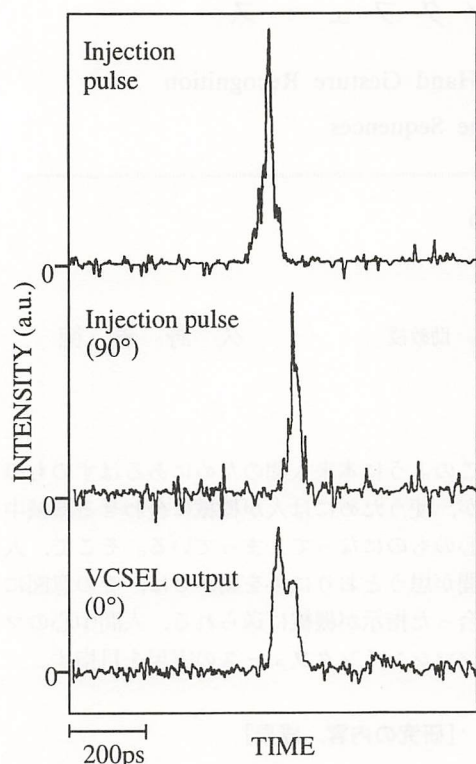


図7 ピコ秒トリガ入力による偏光双安定スイッチング

するようになる。そのスイッチング速度は20 ps以下であるが、測定系の分解能で制限されており、実際にはより高速でスイッチしているものと思われる。

双安定状態では図7に示すように、 $0^\circ$ 偏光のトリガ入力により $0^\circ$ 偏光で発振し、そのまま $0^\circ$ 偏光の発振が持続する。次に $90^\circ$ 偏光のトリガ光が入射されたとき、 $90^\circ$ 偏光へスイッチする。ストリークカメラを用いた最新の測定結果では、スイッチング速度は約7 psであることがわかった。この様なピコ秒トリガ光によるフリップ・フロップ動作でも、発振偏光はスイッチした後の偏光を長時間にわたって安定に持続することがわかった。

#### [今後の研究の方向, 課題]

本研究では、半導体レーザの発振偏光にピッチフォーク型双安定という新しい形態の双安定性が存在し、光入力により極めて高速、高くり返しの光フリップ・フロップ動作が可能なることを明らかにした。又、面発光半導体レーザを用いて世界最高速である約7ピコ秒の超高速双安定スイッチングを実証した。今後この超高速非線形光素子を組み合わせたアド・ドロップ回路や光直接 DEMUX 回路などの新機能光回路ブロックを実現していきたい。

#### [成果の発表, 論文等]

- 1) H. Kawaguchi, I. S. Hidayat, Y. Takahashi, and Y. Yamayoshi, "Pitchfork bifurcation polarization bistability in vertical-cavity surface-emitting lasers," *Electron. Lett.*, 31 (1995) 109.
- 2) H. Kawaguchi, I. S. Hidayat, Y. Takahashi, and Y. Yamayoshi, "All-optical flip-flop operation of polarization bistable vertical-cavity surface-emitting lasers," *CLEO '95, CTuQ 2* (1995) 151.
- 3) H. Kawaguchi, I. S. Hidayat, Y. Takahashi, and Y. Yamayoshi, "Polarization bistability in vertical-cavity surface-emitting lasers," *IOOC '95, TuB 1-4* (1995) 33.
- 4) H. Kawaguchi and I. S. Hidayat, "GHz all-optical flip-flop operation of polarization-bistable vertical-cavity surface-emitting lasers," *Electron. Lett.*, 31 (1995) 1150.
- 5) I. S. Hidayat and H. Kawaguchi, "High speed all-optical flip-flop operation using a vertical-cavity surface-emitting laser," *CLEO/Pacific Rim'95, Postdeadline PaPers 2.9* (1995).
- 6) 河口仁司, "面発光半導体レーザの偏光双安定動作 (招待講演)," 電子情報通信学会フォトニクススイッチング研究会資料, PS 96-11 (1996).
- 7) H. Kawaguchi, I. S. Hidayat, and J. Inoue, "Ultra-fast polarization bistable switching in a vertical-cavity surface-emitting laser," *IQEC '96, TuD 4* (1996).
- 8) H. Kawaguchi, "Polarization bistability in vertical-cavity surface-emitting lasers (invited paper)," *Photonics West '97*, (1997) to be presented.



# 動画像からの手指の姿勢・運動認識を用いた マンマシンインタフェース

## Man-Machine Interface Using Hand Gesture Recognition in Dynamic Image Sequences

941009

研究代表者

大阪大学工学部 助教授

久野 義徳

### [研究の目的]

人にやさしい機械の実現のために、マンマシンインタフェースの重要性が高まっている。その一つとして、見ぶりや手ぶり等のジェスチャをテレビカメラの画像から認識して、人間の指示を機械が理解する研究が注目されている。従来の研究としては、ステレオ視で手の3次元位置を求め利用する方法等があるが、ステレオ視では、手のかかるカメラのキャリブレーションが必要である。これも大きな問題だが、根本的な問題は、従来の研究は人間のためのマンマシンインタフェースなのに、機械の方が中心であったという点である。例えば、人間が手先の動きで空間の位置を示す場合、状況によっては人間は自分を中心にして前後左右を考える。その場合でも、機械の方はいつでもカメラに固定された座標系で手の位置を計測しているので、両者にズレが生じる。すなわち、人間が身体を動かすと、人間にとっての前方が機械にとっての前方ではなくなってしまう。そこで、人間は機械の座標系を意識して使わなければならない。また、使う際には手や身体がカメラの視野にきちんと入っているか気をつけなければならない。

このように本来人間のためにあるはずのものが、使うためには人が機械に合わせる機械中心のものになってしまっている。そこで、人間が思うとおりに手を動かせば、その意図に合った指示が機械に送られる、人間中心のマンマシンインタフェースの実現を目指す。

### [研究の内容、成果]

#### 1. マンマシンインタフェースの問題点

本研究では、手を動かすことによって、コンピュータグラフィックス像のような計算機内の物体やロボットのような実際の物体を、その動きに応じて操作することのできるシステムを検討する。

このように、人間が手の動きによって空間的な指示をする場合、その人がどのような座標系を意識して指示を行うかが問題になる。例えば、遠隔地にあるマスタースレーブ型のロボットを、ロボットに搭載されたビデオカメラの映像を見ながらオペレーションする場合、ロボットに対する指示はそのロボットを基準とする座標系で解釈されるのが自然である。それとは別に、ユーザが自分のそばにいるロボットに部屋の片隅に置いてある物を



とってこさせるような場合には、ロボットに対する指示は部屋を基準とする座標系で解釈されるのが自然である。前者では、ロボットと自分を同一視して操作を行うので、ユーザは自分を中心にした座標系で指示を与えていると考えられる。後者の場合は、固定した周囲世界の中での絶対的な位置や運動を考えていると見なせる。ここでは、両者をそれぞれユーザ中心、世界固定（絶対）座標系での操作と呼ぶことにする。

使いやすいマンマシンインタフェースを実現するためには、この両者が状況に応じて使い分けられる必要がある。それに、カメラキャリブレーションのような調整が不要なことが望まれる。さらに、ユーザがカメラの視野を意識しないで済むことが重要である。視覚を用いたシステムでは当然のことだが、カメラの視野に対象が入っていなければ動作しない。しかし、ユーザが常に自分の手が視野に入っているか意識しなければ使えないのでは、使いやすいとは言えない。本研究では複数視点からの不変量を用いて、以上の問題を解決したシステムを提案する。

## 2. 複数視点不変量による3次元情報の獲得

本システムでは、ユーザの手の位置および手（指先）の方向を用いて対象物を操作する。ここでは、従来、物体認識への応用が研究されていた複数画像からのアフィン不変量を用いて、それらの情報を求める。

図1に示すように、3次元空間上に5点  $X_i, i \in \{0, \dots, 4\}$  があると仮定する。それらのうち同一平面上にない4点を用いて、 $X_0$  を原点とする基底ベクトル

$$E_i = X_i - X_0 \quad (i \in \{1, 2, 3\}) \quad (1)$$

を設ける。この基底ベクトルを用いると、第

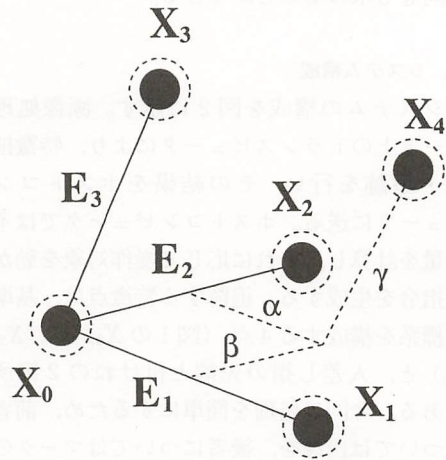


図1 アフィン不変量

5点  $X_4$  は  $\alpha, \beta, \gamma$  を適当に選ぶことにより、次のように表すことができる。

$$X_4 = X_0 + \alpha E_1 + \beta E_2 + \gamma E_3 \quad (2)$$

カメラの投影を weak perspective と近似して、 $X_0 \dots X_4, E_1 \dots E_3$  を画像上に投影し、投影された座標をそれぞれ  $x_0 \dots x_4, e_1 \dots e_3$  とする。weak perspective は線形変換なので、以上で述べたことは異なる位置から観測された2枚の画像それぞれについて式(2)と同様の関係が成り立つ。すなわち、次式が成立する（2枚目の画像に関するものについては、' を付けて示す）。

$$\begin{cases} x_4 - x_0 = \alpha e_1 + \beta e_2 + \gamma e_3 \\ x'_4 - x'_0 = \alpha e'_1 + \beta e'_2 + \gamma e'_3 \end{cases} \quad (3)$$

式(3)では、それぞれが2次元ベクトルの方程式であるので、未知数3に対して、式の数4である。これを最小二乗法により解いて、基準座標系に対する3次元座標ベクトル  $[\alpha \beta \gamma]^T$  を得ることができる。

以上の3次元位置情報を用いて、指の示す

方向等も求めることができる。

### 3. システム構成

システムの構成を図2に示す。画像処理ボード上のトランスピュータにより、特徴抽出・追跡を行い、その結果をホストコンピュータに送る。ホストコンピュータでは不変量を計算し、それに応じて操作対象を動かす指令を生成する。追跡する特徴点は、基準座標系を構成する4点（図1の $X_0$ ,  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ ）と、人差し指の先端と付けねの2箇所である。今回は処理を簡単にするため、前者については白球を、後者についてはマークのついた手袋を用いた。

また、特徴点が、常にカメラ視野内にとらえられているように、計算機制御でパン、チルトが制御できるカメラ台を動かすようになっている。提案の手法ではカメラキャリブレーションが不要なので、カメラパラメータを知ることなく、カメラを動かすことができる。これにより、ユーザはカメラ視野に必要

部分が入っているかを気にせず可以使用できる。

式(1)における基準座標系のとり方には2つの方法がある。ユーザ中心座標系を用いるならば、図3(a)のようにユーザの身体に特徴点を設けてこれを基準とする。ユーザが自分の身体を基準に操作を行う場合、身体上に基準点を設けることにより、常に基準座標系をユーザの身体に固定することができる。次に、世界固定座標系を用いるならば図3(b)に示す物体を視野内に置き、これを基準とする。

本システムは、不変量を用いているのでステレオ視のようなカメラキャリブレーションが不要であり、上に述べた点と合わせ、最初にあげたマンマシンインタフェースの問題点を解決していることが分かる。

このシステムでは、ユーザは、ディスプレイに表示されたCGモデルか、実際に床を移動するロボットの、2つのうちから操作対象を選択することができる。CGモデルは仮想3次元空間上においてあらゆる位置、方向を

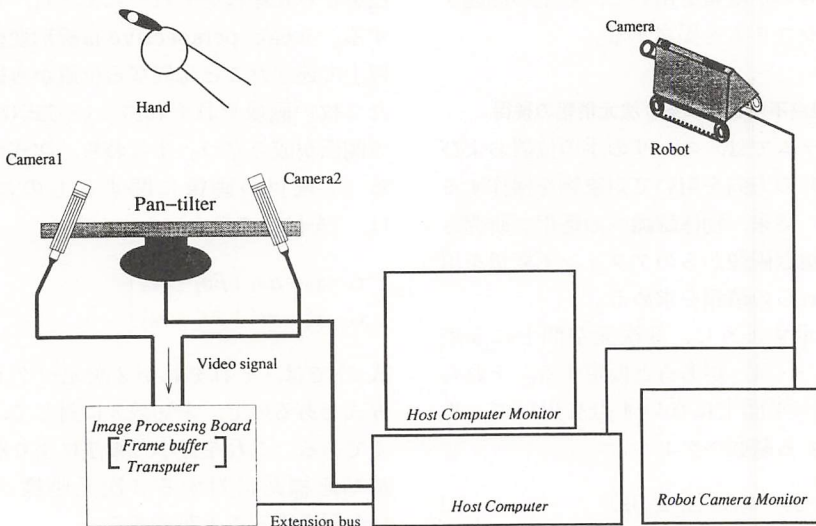
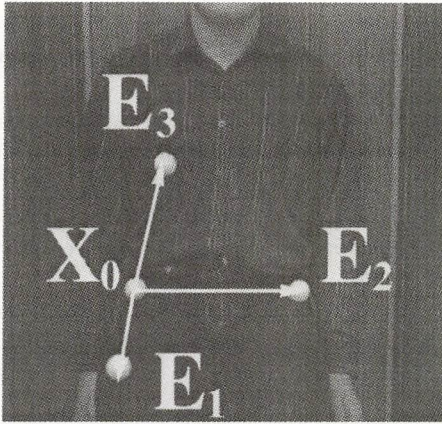
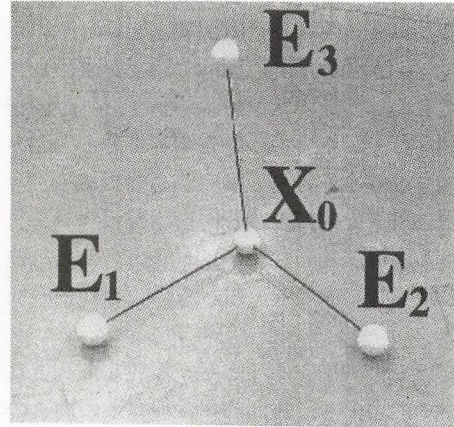


図2 装置構成





(a) 身体上の特徴点



(b) 世界固定座標系用参照物体

図3 ユーザ中心および世界固定座標系

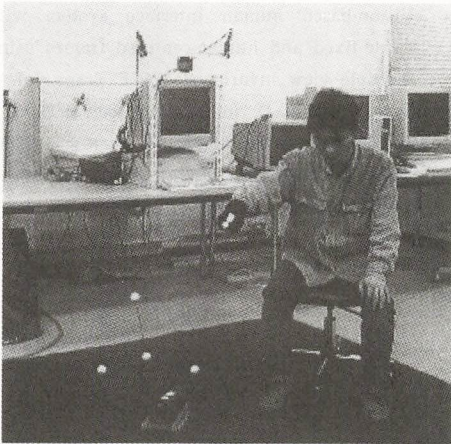


図4 ロボットの操作

とることができる。また、ロボットは床面に拘束された平面上で、停止、前進、後退、右折、左折を行うことができる。

システムの概観を図4に示す。これは、世界固定座標系でロボットを操作しているときのものである。ユーザは直接目視によりロボットの位置と方向を確認して操作できる。

ユーザ中心座標系では、ロボットに搭載されたビデオカメラからの映像を見ながらロボットの位置と方向を把握して操作を行う。

実験の結果、システムは毎秒9回程度の速度で手の位置を認識し、ユーザ中心および世界固定座標系の両方で、CGモデルやロボットを手の動きで操作できることが確認できた。

これまでに述べてきたシステムでは、簡便な計算機システムで高速・確実に視覚情報処理を行うために、検出対象に特徴となるマークを付けている。現在、トラッキングビジョンを用いて、手および目口等の顔の特徴を検出・追跡し、マークを用いなくて済むシステムを開発している。基本動作の確認は完了し、追跡の安定性の向上を検討中である。

#### [今後の研究の方向、課題]

今回のシステムでは、手の動きはすべて対象を操作する意図があるものとして理解される。従って、対象を操作するとき以外は、ユーザは手を握っている等して、特徴点が見



えないようにしておく必要がある。このような限定はもちろんない方が望ましい。そのため、人間の手の外面的な動きを求めるだけでなく、前後の状況や手の動き以外の情報も利用して、その手の動きの中にある人間の意図を理解する方法の研究が必要である。今回は位置や方向等の空間的指示を示すジェスチャしか扱っていないが、ジェスチャには他の意味を持つものもある。このような多様なジェスチャを認識してマンマシンインタフェースに利用することも、検討して行きたい。この場合も、表面的には似た手の動きの中にある意図を理解する必要が生じる。このような意図理解の研究に加え、コンピュータビジョンの技術として、安定に特徴点を検出し追跡する方法も検討しなければならない。

[成果の発表、論文等]

- 1) Y. Kuno, M. Sakamoto, K. Sakata, and Y. Shirai: Vision-based human interface with user-centered frame, Proc. Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, pp. 2023-2029, 1994.
- 2) Y. Kuno, K. H. Jo, K. Hayashi, and Y. Shirai:

Human-centered human-computer interface using multiple view invariance, Proc. Int. Workshop on Automatic Face- and Gesture-Recognition, pp. 266-271, 1995.

- 3) K. H. Jo, Y. Kuno, and Y. Shirai: Vision-based human interface system with world-fixed frame and human-centered frame, Y. Anzai, K. Ogawa, and H. Mori (Editors), Symbiosis of Human and Artifact, Elsevier, pp. 193-198, 1995.
- 4) Y. Kuno, K. Hayashi, K. H. Jo, and Y. Shirai: Human-robot interface using uncalibrated stereo vision, Proc. Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, pp. 525-530, 1995.
- 5) K. H. Jo, Y. Kuno, and Y. Shirai: Invariance based human interface system using realtime tracker, Proc. Second Asian Conference on Computer Vision, pp. II-22-26, 1995.
- 6) K. H. Jo, K. Hayashi, Y. Kuno, and Y. Shirai: Vision-based human interface system with world-fixed and human-centered frames using multiple view invariance, IEICE Trans. Inf. & Syst., Vol. E 79-D, No. 6, pp. 799-808, 1996.
- 7) 久野義徳: コンピュータビジョンによる人間の指示行動の理解, 第1回JSMEロボメカ・シンポジア講演論文集, pp. 138-142, 1996.

# 有機超格子薄膜および革新の 電子機能デバイス創製に関する基礎研究

Basic Research on Creation of Organic Superlattice Films  
and Novel Electronic Functional Devices

941017

研究代表者

京都大学大学院工学研究科  
電子物性工学教室 教授

松 重 和 美

## 〔研究の目的〕

次世代の電子・機能・情報素子の候補材料の一つに有機分子がある。有機分子の多様な(エネルギー)状態・機能を利用した「分子電子素子」(MED; Molecular Electric Device)の実現には、ナノレベルでの分子操作・構造制御を含む種々の基盤技術の進展と革新的なアイデアの創出が必須である。例えば、高密度化の手法として、これまでの無機半導体に対して行われた「微細化」の技法とは異なり、個々の機能を有す分子群を意図した高次構造に「組織化」する手法の開拓が不可欠である。また、ナノスケールでの機能評価・入出力方法についても解決すべき問題がある。

本研究では、有機分子を対象に真に分子レベルでの構造制御、構造・分子配向評価、および新規の発現機構を有する革新の分子電子機能素子創製の為の先導的基礎研究を推進することを目的とした。

## 〔研究の内容、成果〕

### 1. STMによる分子凝集状態の観測と分子操作

有機分子の凝集状態を分子・原子レベルで直接観測方法として、最近ではSTM(走査型トンネル顕微鏡)およびAFM(Atomic Force Microscope; 原子間力顕微鏡)がある。大半が絶縁性である有機物を観測するにはAFMが優れているが、導電性基板状の極薄膜(単層または数層)の試料の場合は、より高分解能のSTMが適用可能である。

まず、最も簡単な直鎖状分子パラフィン( $n\text{-C}_{33}\text{H}_{68}$ )のSTM観測例をFig. 1に示す。パラフィン分子はグラファイト(HOPG: Highly Oriented Pyrolytic Graphite)基板上では、通常のパルク結晶とは非常に異なる形態を示す。また、観測場所によっては二次元結晶への各成長段階を示唆すると考えられるSTM像や、約 $60^\circ$ の角度で交差したドメイン境界を示す像も得られており、基板のHOPGとのエピタクシャル結晶成長を強く示唆している。このように、有機分子の平滑表面における凝集構造は、分子のもつ熱・運動エネルギーの他、分子相互および基盤原子



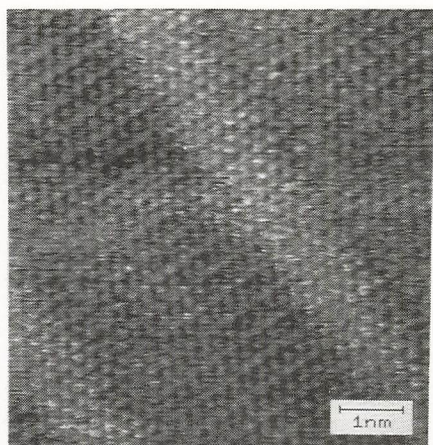


Fig. 1 パラフィンの STM 像

との相互作用に依存して構成されることが強く示唆される。

STM により分子（原子）分解能像が観測できる事実は、STM 探針は有機分子の各構成分子（原子）の位置をサブ nm レベルで正確に同定できることを意味する。従って、もし STM 探針を利用して原子操作が出来、分子構造を改造できれば、興味ある電子物性を示す有機構造体を創製できる可能性がある。Fig. 2 に従来より示唆している分子操作法の一例を示す。もし導電性基盤上に配列制御したパラフィン分子（エチレン構造）に探針パルス状電圧を印可することにより選択的にしかも規則的な配列で水素原子を脱離させることが出来れば、アセチレン構造に転換させることが出来る。エチレン構造での炭素における 4 つの結合手は全て  $sp^3$  混成軌道で電子は局在化しているが、水素原子の脱離により余った結合手は  $\pi$  電子となり、電子は非局在化するものが出てくる。それに伴い、電気的性質も絶縁性から導電性に大きく変化する。もし、こうした分子ナノ構造制御・操作によって分子改造が可能となれば、ナノレベ

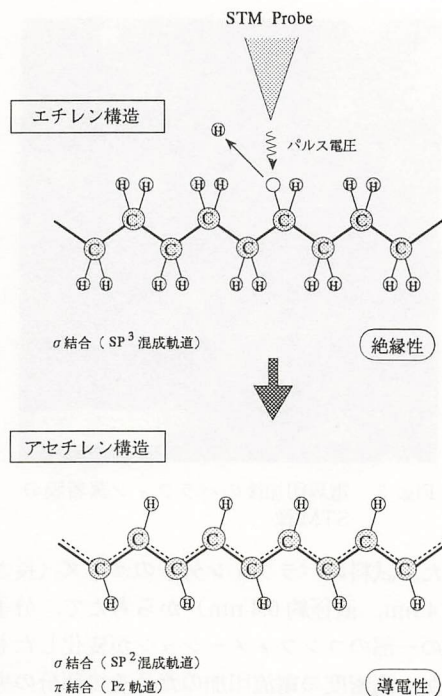


Fig. 2 STM の探針を利用した分子改造方法

ルの任意の間隔で導電部、絶縁部を構成することが出来、電子の閉じ込め、量子井戸、超格子構造を形成でき、また最近話題の単原子トンネル素子特性など、従来にない興味ある電子物性の発現が期待される。

上記の考えに基づき、パラフィン蒸着超薄膜にパルス印加条件（パルス電圧、持続時間等）や膜厚性状を変えて実験を行った。原子レベルでの構造変化は未だ達成されていないが、操作後の STM 像には分子（群）での形状またはトンネル物性変化が認められている。Fig. 3 にパルス処理後に観測した STM 像の一例を示す。パルスは 0.5 V のバイアス電圧に重畳する形でパルス幅 0.3  $\mu$ s、パルス電圧 2.0 V で印加した。その結果、直径 0.5 ~ 1.0 nm、高さ 1.5 nm 程度の盛り上りを生





Fig. 3 電界印加後のパラフィン蒸着膜のSTM像

じた。試料のパラフィン分子のサイズ（長さ約4 nm，直径約0.4 nm）から考えて，分子鎖の一部のコンフォメーションが変化したものか，高密度の電流印加のためその部分の導電率の変化が生じたものと判断される。この変化はSTM像に於て明瞭に識別でき，逆極性のパルス電圧の印加や熱処理等により分子形状を元に戻すことも可能と考えられることから，ある意味での再書き込み可分子メモリと考えることが出来る。現在のCDのビット形状が幅0.45  $\mu\text{m}$ ，長さ0.9～3.3  $\mu\text{m}$ であることから，断面積比は（約  $1.2 \times 10 \text{ nm}^2 / 0.95 \mu\text{m}^2 =$ ） $1.3 \times 10^{-6}$  となり，約百万倍の超高密度の記録素子に対応する。

ところで，対象が極性を有する分子の場合，STM探針との電氣的相互作用を利用した種々の分子個別操作が考えられる。こうしたアイデアの一例をFig. 4に示す。任意の場所への分子移動，局所回転による強誘電分子素子の作製や電界による分子配向，更には，光やパルス電界の印加によるナノスケールの分子パターンニングなどの可能性が考えられる。

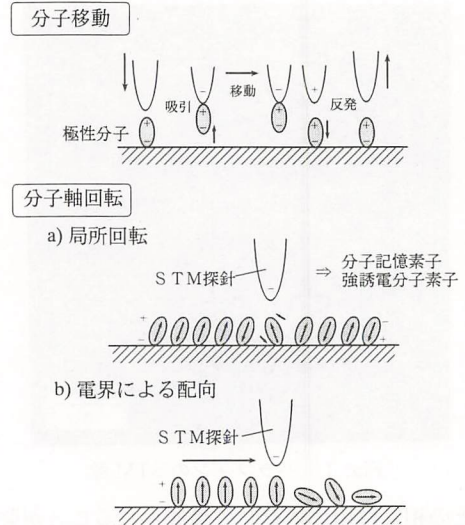


Fig. 4 STM探針を利用した分子個別操作と分子パターンニングの可能性

こうした分子操作を実現するには，STM装置の性能の向上は勿論，極性分子の分子レベルでの凝集構造およびそれを支配している要因の解明等の基礎情報の集積が必要と考えられる。

## 2. 多機能全反射X線回折計の開発とエピタキシャル成長による有機蒸着薄膜の構造制御の可能性

機能性有機薄膜を作成する方法として種々の方法が提案されている。LB膜に代表される湿式法その他，真空蒸着などの乾式法がある。報告者らは後者の方法による有機分子超構造の作製に取り組んだ。ここでは，nmオーダーの超薄膜形成時の有機分子の構造，特に分子配向の評価は特に重要となる。無機物の超格子構造の観測などには通常電子線を用いたRHEED等が採用されるが，電子線の場合，有機物に対する損傷の問題がある。そこで，X線の全反射現象を利用して基板から

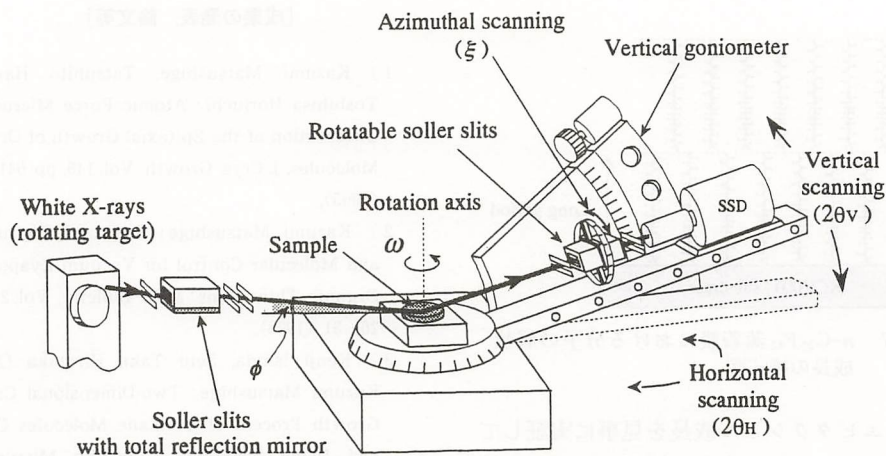
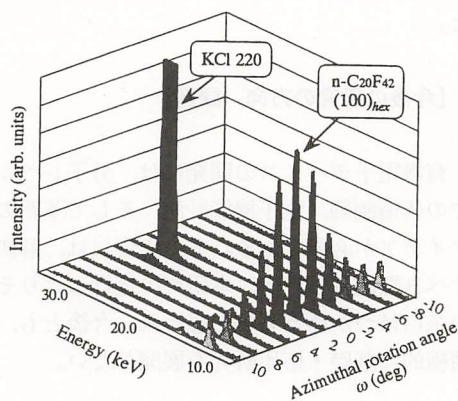


Fig. 5 エネルギー分散型全方位全反射 X 線回折計装置の構成図

の散乱 X 線を極力抑えた「全反射 X 線回折装置」を開発し、有機超薄膜の観測に適用した。更に、この X 線回折系を真空蒸着装置に組み込む事により、蒸着法での有機分子の構造形成過程の“その場”観測が可能となった。また、X 線を原子に照射すると蛍光 X 線が放出されるため、全反射 X 線測定に於て、結晶構造解析と共に元素分析およびその存在量の計測も同時に行うことが可能である。例えば、光導電性等の興味ある電子物性を示す銅フタロシアニン (CuPc) の蒸着薄膜作製時における構造と電子物性の相関性が初めて議論できるようになった。

ところで、基板に KCl 等のイオン結晶の劈開面を使用すると、分子は基板の結晶場に影響されて、通常の結晶構造・配向とは異なるエピタクシャル成長することが知られている。そこで、X 線で基板の結晶との方位関係も同時に観測可能なエネルギー分散型全方位全反射 X 線回折計を製作した。Fig. 5 に装置の構成図と入射、回折 X 線のベクトル関係を示す。

Fig. 6  $n\text{-C}_{20}\text{F}_{42}$  蒸着膜における面内構造を示す回折 X 線プロファイルの回転角依存性

実際、上述の装置を用いてパーフルオアルカン分子 ( $n\text{-C}_{20}\text{F}_{42}$ ) の蒸着膜における分子構造の解析した。Fig. 6 は  $2\theta=0^\circ$  の条件下で測定した面内構造を示す回折 X 線プロファイルの回転角依存性を示す。分子は Hexagonal 構造を取ること、基板に用いたイオン結晶の KCl の (110) 結晶軸と相関のある回折強度変化を示しており、有機分子に



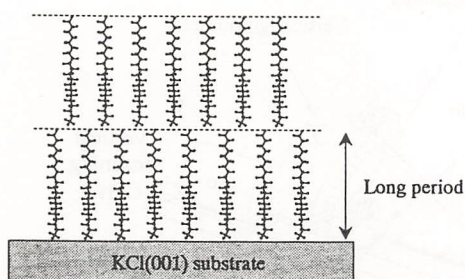


Fig. 7  $n\text{-C}_{20}\text{F}_{42}$  蒸着膜における分子の層状成長の模式図

におけるエピタクシャル成長を見事に実証している。さらに、積層方向の観測データから判断して、Fig. 7 に示すよう分子は基板に垂直方向に立った層状成長をすることが判明した。

#### [今後の研究の方向、課題]

有機電子デバイスの開発には、分子レベルでの構造制御、電子機能計測、そして革新のアイデアが必要である。その実現には、解決すべき課題は多いが、本研究の遂行によりその糸口はつかめたものと思われ、今後とも、積極的に基礎・応用研究を展開したい。

#### [成果の発表、論文等]

- 1) Kazumi Matsushige, Tatsuhito Hamano, Toshihisa Horiuchi: Atomic Force Microscopy Observation of the Epitaxial Growth of Organic Molecules, J. Cryst. Growth, Vol. 146, pp. 641 - 644 (1995).
- 2) Kazumi Matsushige: Structural Evaluation and Molecular Control for Vacuum Evaporated Organic Thin Films, MRS Bulletin, Vol. 20, pp. 26 - 31 (1995).
- 3) Kenji Ishida, Seiji Taki, Hiroataka Okabe, Kazumi Matsushige: Two-Dimensional Crystal Growth Process of  $n$ -Alkane Molecules Observed Using Scanning Tunneling Microscope, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 34, pp. 3846 - 3851 (1995).
- 4) Kenji Ishida, Toshihisa Horiuchi, Shouichi Kai, Kazumi Matsushige: Formation of Epitaxial Twins by Perfluoro- $n$ -Alkane Evaporated on Alkali Halide Crystal, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 34, pp. L 240 - L 243 (1995).
- 5) Kouichi Hayashi, Toshihisa Horiuchi, Kazumi Matsushige: Simultaneous Analysis of Total Reflection X-Ray-Diffraction and Fluorescence from Copper-Phthalocyanine Thin Films during Evaporation Process, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 34, pp. 6478 - 6482 (1995).



# 画像理解のための並列協調型アルゴリズムの研究

## Study on Cooperative Algorithms for Image Understanding

941020

研究代表者

奈良先端科学技術大学院大学  
情報科学研究科 教授

横 矢 直 和

### [研究の目的]

視覚機能の工学的実現を目指して、画像理解の計算モデルを追求し、超並列、超分散、協調型の計算を基本とした画像理解アルゴリズムの開発を目的とする。画像理解における問題は、画像からシーンの物理的な構造を推定するという意味で画像生成系の逆問題であり、数学的には不良設定であることが多い。画像理解における不良設定問題を解くためには、センサ系のモデルと観測された画像データの他に、対象シーンの一般的な性質を制約条件として付加した最適化問題として捉える必要がある。以上の観点から本研究では、画像理解の基本的な問題（対象の分節、奥行き知覚、動きの検出）について、最適化原理に基づく問題の定式化を図り、その解法として具体的な並列協調型アルゴリズムを開発するとともに計算機シミュレーションにより有効性を検証する。

### [研究の内容、成果]

本研究では、具体的な問題として、(1) 画像からの対象物領域の抽出、(2) 両眼ステレオ画像からの奥行き知覚、(3) 動画画像からの動きの検出、の各問題を取り上げた。また、

対象シーンについては、特定の形（多角形、多面体、2次曲面など）や限定された動き（剛体運動）を仮定するのではなく、より一般的な性質として、

- ・対象物体の輪郭の連続性、滑らかさ
- ・シーンの奥行き（区分的な）連続性
- ・物体の動きの連続性

を考える。これらの仮定から、問題の解に対する数量化された制約条件を導き、画像理解の問題を、制約条件を付加したエネルギー関数の最小化問題として定式化した。そして、エネルギー最小化の解法として、局所並列演算に基づく協調計算アルゴリズムを開発した。以下では、上記の3つの問題に対する具体的なアプローチと成果を簡単に紹介する。

#### 1. 分裂型輪郭モデルによる複数物体の抽出

動的輪郭モデルは、画像平面  $(x, y)$  上で媒介変数表現された閉曲線  $\mathbf{v}(s) = (x(s), y(s)) (0 \leq s \leq 1)$  で表され、曲線の連続性や滑らかさを表す内部エネルギー  $E_{int}(\mathbf{v}(s))$ 、画像の輝度勾配の大きさ等を表す画像エネルギー  $E_{image}(\mathbf{v}(s))$  および外部強制力を表す外部エネルギー  $E_{ext}(\mathbf{v}(s))$  により次式で定義されるエネルギー関数を最小化するように変形し、エネルギーの極小状態として形状が決まる輪郭抽出の枠組である。

$$E = \int_0^1 \{E_{int}(\mathbf{v}(s)) + E_{image}(\mathbf{v}(s)) + E_{ext}(\mathbf{v}(s))\} ds \quad (1)$$

動的輪郭モデルにおける従来の問題は、

- あらかじめ対象物の近傍に概略の輪郭を初期輪郭として与えなければならない
- 複数の対象物を独立して抽出することができない

の2点に要約される。本研究では、これらの問題を解決するアプローチとして分裂型の輪郭モデルを提案した。

分裂型輪郭モデルでは、外部エネルギーとして面積項（輪郭モデルが囲む閉領域の面積）を用いる。面積項の導入により初期輪郭の内部に抽出すべき領域が複数存在すると輪郭の自己交差が生じることを利用し、自己交差を検出することによって輪郭を逐次分裂させる（図1参照）。なお、面積項は次式で与えられる。

$$E_{area} = \frac{1}{2} \int \{(x(s)y_s(s) - x_s(s)y(s))\} ds \quad (2)$$

具体的な実装では、エネルギー関数の離散化を行い、グリーディー・アルゴリズムによりエネルギー最小化を実現する。分裂型動的輪郭モデルは、輪郭上の離散点に関する反復局所並列演算を基本とする細粒度協調計算アルゴリズムとして実現される。提案手法を実画像に適用し、有効性を確かめた結果を図2に示す。同図は、顕微鏡写真（640 × 486画素、256階調）から細胞（ヒトの上皮細胞）の輪郭を抽出した例である。細胞の集合全体を包含した初期輪郭（220の離散点からなる630 × 476の長方形）が変形にともなって逐次交差・分裂し、最終的に11個の細胞を独立して抽出している。このように、提案手法では、画像の枠に相当する初期輪郭から複数

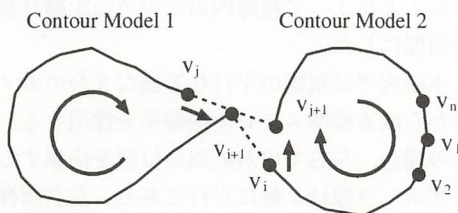


図1 輪郭の交差による分裂

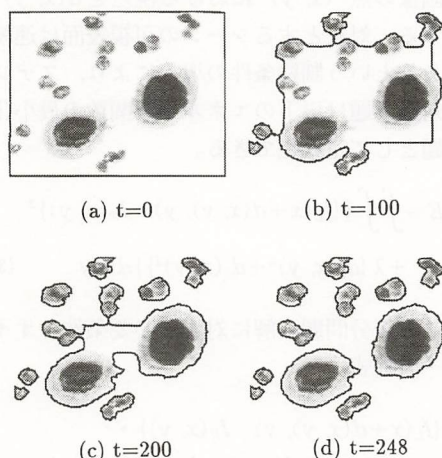


図2 顕微鏡画像からの細胞の輪郭抽出結果

の対象物領域を容易に抽出できる。

## 2. 正則化による両眼ステレオ画像からの奥行き知覚

両眼ステレオは、両眼ステレオ画像における左右の像のずれ（視差）から対象までの絶対距離を得る方法であり、対象に対して何ら影響を与えない受動的な3次元計測手法である。問題は如何にして左右画像間での対応を見つけるかであり、従来の手法では明るさや色の特徴が変化している特徴点でしか距離が求まらないという問題を抱えていた。本研究では、正則化の枠組により、ステレオ画像の対応問題を、対応点での特徴値の類似性と視差の連続性に基づく最適化問題として定式化



することによって視野内の全点での距離計算を可能にした。

本研究では視線の平行な等価な 2 台のカメラから成る標準ステレオ撮像系を採用する。この場合、左右での対応点の位置を拘束するエピポーラ線は  $x$  軸に平行である。左右画像をそれぞれ  $I_L(x, y)$ ,  $I_R(x, y)$  で表す。また、右画像の点  $(x, y)$  における視差を  $d(x, y)$  とする。対象とするシーンの可視表面は連続であるという制約条件の導入により、ステレオ対応問題は以下のエネルギー関数の最小化問題として定式化できる。

$$E = \int \int \{ \{ I_L(x+d(x, y), y) - I_R(x, y) \}^2 + \lambda \{ d_x(x, y)^2 + d_y(x, y)^2 \} \} dx dy \quad (3)$$

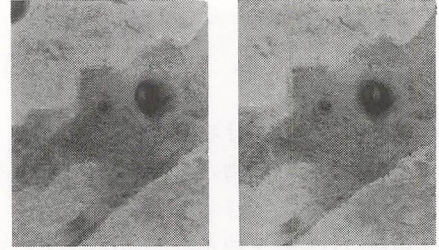
この変分問題の解に対する必要条件はオイラー方程式

$$\{ I_L(x+d(x, y), y) - I_R(x, y) \} \cdot \{ I_{Lx}(x+d(x, y), y) - \lambda \{ d_{xx}(x, y) + d_{yy}(x, y) \} \} = 0 \quad (4)$$

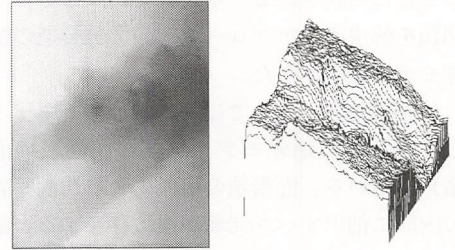
である。視差推定は画像の全点についての式 (4) の連立方程式を解くことに帰着された。式 (4) の離散化の後、右画像の各画素  $(i, j)$  での視差に関して次の Gauss-Seidel 型の反復推定式を得る。

$$d^{(k)}(i, j) = \frac{1}{4} \left[ \{ d^{(k-1)}(i+1, j) + d^{(k)}(i-1, j) + d^{(k-1)}(i, j+1) + d^{(k)}(i, j-1) \} - \frac{t^2}{\lambda} \{ \{ I_L(i+d^{(k-1)}(i, j), j) - I_R(i, j) \} \cdot I_{Lx}(i+d^{(k-1)}(i, j), j) \} \right] \quad (5)$$

適当な初期値を用いた式 (5) の反復演算では、エネルギー関数の極小解に収束し正しい



(a) 遺跡発掘現場のステレオ画像



(b) 視差画像 (c) 復元された 3 次元構造

図 3 ステレオ画像からの 3 次元構造の復元

視差が求まらないことが多い。そこで、本研究では、ピラミッド型画像データを用いた多重スケール処理によりこの問題を解決した。図 3 に、遺跡発掘現場のステレオ画像から提案手法によって 3 次元構造を復元した例を示す。

### 3. 正則化による動画画像からの動きの検出

動画画像を用いた運動解析では、画像上での見かけの動き（オプティカルフロー）を如何に抽出するかが重要な課題である。これは、2 つ（以上）の画像について、一方の画像の各点が他方の画像のどの点に対応しているかを決定する問題である。本研究では、対応の空間的な連続性を仮定することによって、この密なマッチングの問題を、両眼ステレオと同じ枠組で次のように定式化した。

第 1 画像を  $I_1(x, y)$ , 第 2 画像を  $I_2(x, y)$



とし、第1画像の点  $(x, y)$  における視差（速度ベクトル）を  $(u(x, y), v(x, y))$  と表すことにする。すなわち、第1画像の点  $(x, y)$  は、第2画像の点  $(x+u(x, y), y+v(x, y))$  に対応するとする。このとき、(1)対応点では画像の明るさが似ている、(2)視差は空間的に連続的に変化する、という2つの制約条件から、対応問題をエネルギー関数

$$E = \int \int [ \{ I_1(x, y) - I_2(x+u(x, y), y+v(x, y)) \}^2 + \lambda \{ u_x(x, y)^2 + u_y(x, y)^2 + v_x(x, y)^2 + v_y(x, y)^2 \} ] dx dy \quad (6)$$

の最小化問題として定式化した。

この最適化問題についても前節と同様に、必要条件であるオイラー方程式を求め、その離散式から弛緩法の反復演算式を導出した。実際に動画像から速度ベクトル場（オプティカルフロー）を計算した結果を図4に示す。

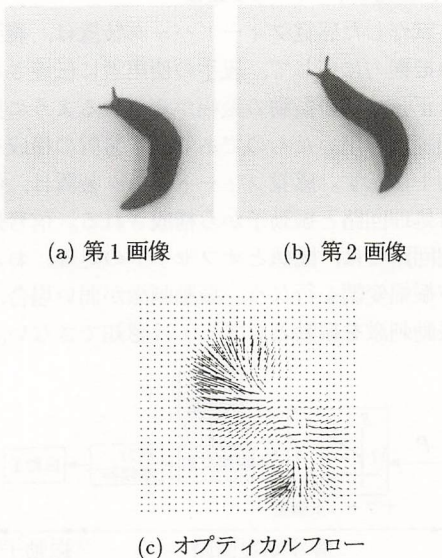


図4 動画像からの速度ベクトル場の計算

### [今後の研究の方向、課題]

本研究で開発したアルゴリズムは、多数の変数（画像の各画素における量）間の相互作用に基づく制約伝播を基本とする漸近的な協調計算が中心となる。逐次計算機上でのシミュレーションを通して、対象物抽出、両眼ステレオ、オプティカルフロー計算の3つの問題を統一的な枠組で扱えることが明らかになった。しかし、現状の逐次計算機では多くの計算時間を要し、実時間処理は難しい。

今後は、同一の枠組で画像理解における多くの問題を解決するとともに、アルゴリズムの並列化を図り、超並列計算機の実機を用いた実験により実時間処理について検討する必要がある。

### [成果の発表、論文等]

- 1) 横矢直和：“コンピュータビジョンの最近の話題”，システム制御情報学会誌，Vol. 38, No. 8, pp. 436-441, 1994.
- 2) 田村洋，横矢直和：“ステレオ動画像からの運動予測に基づく物体の追跡”，情報処理学会第49回全国大会講演論文集，No. 1F-4, 1994.
- 3) N. Yokoya: “Dense matching of two views with large displacement”, *Proc. 1st IEEE Int. Conf. on Image Processing*, Vol. I, pp. 213-217, Austin, Texas, 1994.
- 4) 阿部恭一，横矢直和：“探索平面での動的輪郭モデルを用いたステレオマッチング”，第25回画像工学コンファレンス論文集，pp. 57-60, 1994.
- 5) 荒木昭一，横矢直和：“交差判定により分裂する動的輪郭モデル”，1995年電子情報通信学会総合大会講演論文集，No. D-598, 1995.
- 6) 荒木昭一，横矢直和，岩佐英彦，竹村治雄：“交差判定により分裂する動的輪郭モデルとその応用”，電子情報通信学会パターン認識・理解研究会，信学技報 PRU 95-21, 1995.
- 7) S. Araki, N. Yokoya, H. Iwasa, and H. Takemura: “A new splitting active contour model based on crossing detection”, *Proc. 2nd Asian Conf on Computer Vision*, Vol. II, pp. II-346-350, Singapore, 1995.

# ヒトの手の運動制御機能を取り入れた筋電義手の開発

## Development of myoelectric prosthetic hand by simulating motor control mechanism of human hand

951002

|       |             |         |
|-------|-------------|---------|
| 研究代表者 | 神戸大学工学部 教授  | 赤 澤 堅 造 |
| 共同研究者 | 神戸大学工学部 助教授 | 吉 田 正 樹 |
|       | 神戸大学工学部 助 手 | 内 山 孝 憲 |

### [研究の目的]

筋電義手の研究開発とともに、義手の把握力や開閉角度などの情報を使用者に伝達するための感覚フィードバックの研究も盛んに行われてきた<sup>1-3)</sup>。しかし、未だ感覚フィードバックの機能を備えた筋電義手は実用化されていない。その要因の一つとして、筋電義手の制御機能が低いレベルに留まっていることが挙げられる<sup>2)</sup>。我々は、義手としては元の手と同じように動作することが望ましいという観点から、手の運動制御機構の動特性を取り入れた新しいタイプの筋電義手を開発してきた。この筋電義手に感覚フィードバックの機能を備えることで、従来の義手では困難であった壊れやすい物体の把握などの作業もより容易に行えることが期待される。

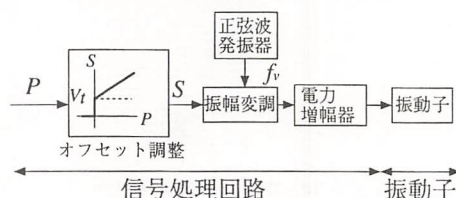
このような観点から、本研究では振動刺激を用い、義手の把握力を使用者にフィードバックする感覚フィードバック装置を試作し、義手の操作性に対するその効果を示すことを目的とする。まず、振動感覚の閾値の周波数特性を測定し、被験者に提示する振動刺激の

振動周波数を決定する。次に、健常者を用いた物体把握実験を行い、義手の操作性に対する感覚フィードバックの効果を確認する。

### [研究の内容、成果]

#### 1. 感覚フィードバック装置

試作した感覚フィードバック装置は、義手の把握力に応じて、義手の使用者に伝達される正弦波状の振動の振幅が変化するように振幅変調を用いたものである。本装置の構成を図1に示す。感覚フィードバック装置は、信号処理回路と振動子から構成される。信号処理回路では、閾値とオフセットの処理、および振幅変調を行なう。振動刺激が弱い場合、振動刺激を振動としてヒトは認知できない。





認知できる最小の振動刺激の強さを振動感覚の閾値という。義手の把握力が微小な時にも振動刺激として使用者に伝達するために、振動感覚の閾値に相当するオフセットを加算する。本感覚フィードバック装置では、まず、義手の把握力  $P$  に対して閾値とオフセット調整の処理を行なう。 $P$  が負の値ないし零の時、つまり、義手の指の外側から力が加わった時や義手が物体を把握していない時には、出力電圧  $S$  の値を  $0$  [V] とする。 $P$  が正の値の時、つまり、義手が物体を把握した時には、 $P$  にオフセット  $V_t$  を加算した  $S$  を出力する。次に、 $S$  に対して振幅変調を行う。発振器より出力された振動周波数  $f_v$  の正弦波信号の振幅を、 $S$  に比例して変化させ、そして、電力増幅した後、振動子を駆動する。なお、本研究では振動刺激の強さとして  $S$  (単位は電圧 [V]) を用いる。振動子の振動振幅で表示することが望ましいが、皮膚に固定した状態での変位の測定は極めて困難であるからである。なお、外力がない状態ときの  $S = 1$  [V] は、振動子の  $0.15$  [mm] に対応する。

皮膚振動刺激を用いた感覚フィードバック装置においては、振動感覚の閾値が最低の振動周波数  $f_v$  を用い、かつオフセット  $V_t$  を振動感覚の閾値以上に設定することが望ましい。そこで、 $V_t$  および  $f_v$  を振動感覚の閾値の測定の結果より決定する。また、 $P > 0$  では、振動刺激  $S$  は、把握力  $P$  に比例して変化する。この  $P$  と  $S$  の比例係数は、後述の筋電義手を用いた制御実験において決定する。

## 2. 振動感覚の閾値の測定

### 2.1 測定方法

本研究で試作した感覚フィードバック装置

のオフセット  $V_t$  および振動周波数  $f_v$  を決定するため、振動感覚の閾値の測定を行なった。種々の  $f_v$  において  $S$  の大きさを変化させ、被験者が振動刺激を認知した時の振動刺激の大きさを振動感覚の閾値として測定した。被験者は健常者 (成人男子) 1 名である。振動刺激の提示位置は左腕前腕屈側中央部とした。なお、被験者が他の刺激の影響を受けないようにするため、被験者に目隠しをさせ、ヘッドホンを用いてランダムノイズを聞かせた。

以下の手順で測定を行った。

- (1) 被験者に振動刺激を提示した。振動周波数  $f_v$  を一定とし、振動刺激の振幅  $S$  を一定の割合 ( $0.3$  [V/sec]) で大きくした。
- (2) 被験者には、あらかじめ、振動刺激を認知した時、実験者に対し、認知できたことを申告するように指示した。
- (3) 被験者が振動刺激を認知した時の、振動刺激の大きさを記録した。

(1)～(3)の手順で、10 回測定を行った。ただし、各測定の間には 10 秒の休息時間を被験者に与えた。本測定を、 $f_v = 100, 200, 250, 350, 500, 700$  [Hz] について行った。この一連の測定を 1 日につき 1 回、3 日連続して行なった。測定は各振動周波数につき合計 30 回であった。

### 2.2 測定結果

図 2 に振動感覚の閾値測定の結果を示す。図中の黒点は、各振動周波数での振動感覚の閾値の測定結果の平均値である。本研究で試作した感覚フィードバック装置において、振動周波数  $f_v$  が  $350$  [Hz] のとき、最も振動感覚の閾値が小さかった。この結果より、本研究では、 $f_v$  を  $350$  [Hz] とし、 $V_t$  を  $0.7$  [V] とした。



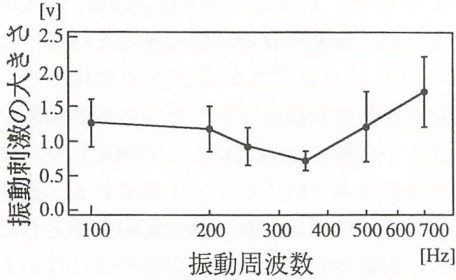


図2 皮膚振動感覚の閾値の測定結果

### 3. 物体把握実験

#### 3.1 筋電義手

本研究で用いた筋電義手は、筆者らが開発したヒトの神経-筋制御系の動特性を取り入れた新しいタイプのものである<sup>4)</sup>。筋電義手の構成を図3に示す。本義手は表面筋電図の処理部分、DC モータの制御を行うデジタルサーボ機構、1自由度（開閉動作）の機構部分から構成される。本義手は屈筋群、伸筋群の表面筋電図を全波整流・平滑化して得た積分筋電図（収縮トルクの推定値）に比例して義手の柔らかさ（スティフネス）が変化するように設計したものである。

#### 3.2 実験方法

義手の操作性に対する感覚フィードバック

の効果を検討するため、筋電義手を用いた物体把握実験を行った。実験に用いた物体は、アルミの円筒管（直径 67 [mm]，高さ 30 [mm]）である。この円筒管に歪みゲージを貼付し、物体を把握した時に物体の直径方向に生じる変位（変形量）を計測できるようにした。なお、被験者は、振動感覚の閾値の測定を行った被験者と同一である。義手の制御信号には、右腕の手根屈筋群および手根伸筋群の表面筋電図を用いた。

まず、予備実験を行い、物体を把握する際の目標となる変形量（目標変形量）を設定した。被験者に目で物体の変形を確認しながら義手を用いて物体を把握させた。このとき、被験者が物体を最小の変形量で把握したときの変形量を計測した。その結果、変形量は 4.3 [mm] であった。本研究では、この変形量を目標変形量として用いた。また、被験者が最も義手の把握力の変化を認識できるように、感覚フィードバック装置の比例係数を被験者の主観に基づき決定した。

次に、義手を用いて物体を把握する練習を行なわせた。被験者に目標変形量と同じ変形量で物体を把握する練習である。CRT 上に目標変形量と物体に生じた変形量を輝線で表示した。被験者には、CRT を見ながら、物体の変形量と目標変形量が一致するように物

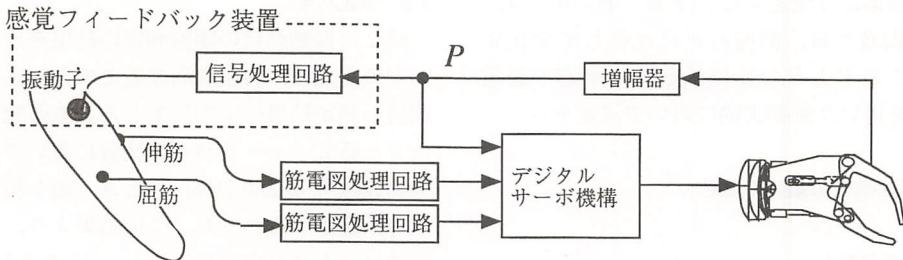


図3 筋電義手の構成

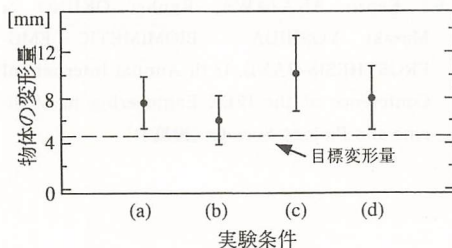
体を把握させた。目標変形量で把握した際、視覚によって確認できる物体の変形や、感覚フィードバック装置によって提示される振動刺激の大きさを記憶するように指示した。

評価のための4通りの実験を行なった。被験者に、目標変形量と同じ変形量で物体を把握し、放すように指示した。この時、CRTによる変形量の提示は行なわないものとした。被験者は、目標変形量と同じ変形量で物体を把握したと感じたとき、実験者に申告した。実験者は、その時、物体に生じた変形量を計測した。実験は、視覚によるフィードバックの有無と試作した感覚フィードバック装置の有無による計4通りの実験条件で行なった。

なお、被験者には、他の条件による影響を避けるため、ヘッドホンでランダムノイズを聞かせた。一つの実験条件につき、5回の測定を連続して行った。日を変えて、各実験条件につき25回の実験を行った。

### 3.3 実験結果

図4に各実験条件(a)(b)(c)(d)での物体に生じた変形量の平均値を示す。変形量は視覚



|               | (a) | (b) | (c) | (d) |
|---------------|-----|-----|-----|-----|
| 振動刺激感覚フィードバック | 無し  | 有り  | 無し  | 有り  |
| 視覚フィードバック     | 有り  | 有り  | 無し  | 無し  |

図4 筋電制御実験の結果

によるフィードバックの有無にかかわらず、感覚フィードバックがある方(b)(d)が目標変形量に近い。このことは、本感覚フィードバックにより、開閉角度の操作性が向上したことを示している。また、視覚によるフィードバックのみによる場合(a)と本感覚フィードバック装置のみによる場合(d)の物体の変形量はほぼ同じである。このことは、視覚によるフィードバックの効かない場所での作業において、視覚による機能を本感覚フィードバック装置により補うことが可能であることを示唆している。

### 4. 成果のまとめ

本研究では、皮膚振動刺激を用いた筋電義手感覚フィードバック装置を試作した。正弦波振動の振幅を義手の把握力に応じて変化させる方式である。

本研究で得られた結果を以下に要約する。

1. 皮膚振動感覚の閾値を、振動周波数 100 ~ 750 [Hz] の範囲で測定した。その結果、約 350 [Hz] の振動周波数において、閾値が最小となった。
2. 閾値の測定結果を基に、感覚フィードバック装置を試作した。本装置は、信号処理回路および振動子から構成される。
3. 健常者を用いた義手による物体把握実験を行い。義手制御に対する本感覚フィードバック装置の有用性を示した。

### [今後の研究の方向、課題]

振動刺激を用いた感覚フィードバック装置は作製が容易であるが、振動周波数が可聴域の範囲内においては、音が生じる。このことは、日常生活での使用において、使用者に不快感を与える。今後、振動周波数の切り替え



が可能な感覚フィードバック装置を検討する必要がある。すなわち、日常生活の動作では、可聴域以下の振動周波数を用いることで、情報量は少ないものの、音を発生させることなく振動刺激を提示する。また、壊れ易い物の、把握の様な、注意を払わなければならない作業では、使用者に刺激のダイナミックレンジを多くするため、最も振動感覚の閾値が低くなる振動周波数を用いるものである。

本研究では、試作した感覚フィードバック装置を用いて、ヒトの振動感覚の閾値を測定した。その結果、被験者の体調により、振動感覚の閾値が異なった。このことは、日常生活での使用を考えた際、大きな問題となると考えられる。今後、これらの影響についても検討を行う必要がある。

#### [参考文献]

- 1) D. S. Childress : Closed-loop control in prosthetic systems: Historical perspective, Ann. Biomed. Eng., vol. 8, 293/ 303 (1980)
- 2) P. Heberts, et al. : Ideas on sensory feedback in hand prosthesis, Prosthet. Orthot. Int., vol. 3, 157/ 162 (1979)
- 3) 末田統 : 皮膚振動感覚による情報伝達—義手の感覚装置とその効果, 大阪大学博士論文 (1972)
- 4) 吉田正樹, 奥野竜平, 赤澤堅造, 加藤和範, 松村雅史, 西原一壽 : 手の運動制御機構を取り入れたデジタル制御方式による筋電義手の開発, バイオメカニズム 12, 303/ 311, 東京大学出版会 (1994)

#### [成果の論文, 発表]

##### 学術論文

- 1) 奥野竜平, 吉田正樹, 内山孝憲, 赤澤堅造 : 皮膚振動刺激による筋電義手感覚フィードバック装置の検討, 電気学会論文誌 [印刷中]

##### 口頭発表

- 1) 山本祥弘, 奥野竜平, 吉田正樹, 内山孝憲, 赤澤堅造 : 筋電義手のための皮膚振動刺激を用いた感覚代行システムの基礎的検討, 平成 7 年電気関係学会関西支部連合大会, 1995 年 11 月
- 2) 奥野竜平, 山本祥弘, 吉田正樹, 内山孝憲, 赤澤堅造 : 筋電義手のための振動刺激を用いた感覚フィードバックの基礎的検討, 第 16 回バイオメカニズム学術講演会, 1995 年 11 月
- 3) 奥野竜平, 山本祥弘, 吉田正樹, 内山孝憲, 赤澤堅造 : 小型振動子を用いた筋電義手感覚フィードバックの基礎的検討, 第 10 回生体・生理工学シンポジウム, 1995 年 11 月
- 4) Ryuhei OKUNO, Masaki YOSHIDA & Kenzo AKAZAWA : Development of Biomimetic Prosthetic Hand Controlled by Electromyogram, 4th International Workshop on Advanced Motion Control, Mar. 1996
- 5) 奥野竜平, 吉田正樹, 内山孝憲, 赤澤堅造 : 皮膚振動刺激を用いた義手感覚フィードバックの効果, 第 35 回日本 ME 学会大会, 1995 年 11 月
- 6) Kenzo AKAZAWA, Ryuhei OKUNO & Masaki YOSHIDA : BIOMIMETIC EMG-PROSTHESIS-HAND, 18th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society [投稿中]

# 細胞の生理反応を利用したマイクロセンサーの開発と 局所環境モニタリングへの応用

A Microsensor Utilizing a Physiological Reaction of a Living Cell  
and its Application for Environmental Monitoring in Micro Space

951003

|       |            |         |
|-------|------------|---------|
| 研究代表者 | 徳島大学工学部 教授 | 荒 木 勉   |
| 共同研究者 | 鳴門教育大学 助教授 | 近 森 憲 助 |

## [研究の目的]

生物は外界の環境変化をすばやく認識して、適切な行動をとる。単細胞生物であってもその認知能力は多細胞動物に勝るとも劣らない。そこで、1個体の生細胞を用いて環境に対する細胞の生理活性反応を視覚化して検出し、マイクロセンサーとして利用することを考えた。このようなセンサーは次のような利点を持つ。

- (1) 細胞が微小であるため、微細な局所環境のモニタリングができる。
- (2) 細胞の持つすぐれた分子識別能力により、特定の物質に対する選択性を持つ。

本研究では、環境に対して細胞が起こす生理的变化を検出するための信号検出・処理方法を検討し、環境計測に対する細胞センサーの適応性を考察する。

## [研究の内容、成果]

### 1. 方針

提唱する細胞センサでは細胞の選択が重要

であるが、今回は繊毛虫の代表であるゾウリムシを使用した。1個体のゾウリムシの運動速度、ミトコンドリアの状態変化、核の形態などを顕微鏡下において光電測定し数値化することにより、ゾウリムシをマイクロセンサーとして利用することが出来るのではないだろうか。これらの可能性を確かめるために、ミトコンドリア活性および運動量の変化を測定した。問題はこれらの反応を検出する方法であるが、今回は膜電位依存性蛍光プローブによりミトコンドリア膜電位を測定する方法と、ゾウリムシの運動速度を測定することにより活性を判断する方法を選んだ。ここで外液の酸性度が高くなればミトコンドリア内膜を挟んで存在するpH勾配が小さくなり、その結果ミトコンドリアの活性が低下して繊毛運動にも影響がでるはずである。また $\text{Ni}^{2+}$ を含む溶液中ではその繊毛運動が停止することが知られている。このときミトコンドリア活性が通常の状態と変わらないのであれば、繊毛運動器官は $\text{Ni}^{2+}$ に対する特異的な選択性を持っていることになり、細胞センサのもつ選択性確認のモデルになりうる。



これらの信号検出技術に加えて細胞を移動・操作できれば、センサとしての可能性は広がる。そこで細胞の操作技術を確立するために、レーザーマニピュレーション法を用いて細胞の捕捉・移動を行った。この場合ゾウリムシは大きすぎて ( $100\mu\text{m} \sim 200\mu\text{m}$ ) レーザーマニピュレーション法では掴むことが出来ない、酵母菌 (約  $5\mu\text{m}$ ) を用いてトラッピングを行った。しかしレーザーによって細胞が損傷してはならない。そこでミトコンドリア膜電位蛍光プローブを用いてレーザー捕捉した細胞の蛍光から影響を調査した。

## 2. 試料と装置

### 2.1 センサー細胞

ゾウリムシは  $25^\circ\text{C}$  の培養液中で飼育した。Rhodamine 123 (Rh 123) は蒸留水で  $100\mu\text{g/ml}$  に溶解後、ドリル液で  $10\mu\text{g/ml}$  に希釈した。ゾウリムシを含む培養液は3分間遠心した後、上清を取り除いてドリル液を加えて懸濁し、再び遠心した。底に沈んだゾウリムシ塊を壊さないよう上清を取り除き、Rh 123 の溶液を加えて30分間、 $37^\circ\text{C}$  でインキュベートした。インキュベート後、ドリル液を加えて遠心→上清除去を3回繰り返す。最後に得られたゾウリムシ塊をドリル液に懸濁し、サンプルキュベットに注入して測定を行った。酵母菌は市販の乾燥酵母を用いた。 $0.3\text{g}$  の蔗糖を含有した  $10\text{ml}$  のドリル液に適量の酵母を加え、 $40^\circ\text{C}$  で12時間インキュベートした。その後のRh 123染色はゾウリムシと同じである。

### 2.2 環境汚染物質

酸性雨を想定して酢酸を、金属としてNi

イオンを、また農薬として有機リン系の除草剤をそれぞれ適宜ゾウリムシ懸濁液へ加えた。

### 2.3 測定システム

Fig. 1 に顕微蛍光画像測定システムの構成を示す。このシステムは落射型蛍光顕微鏡をベースとしており、Nd-YAG レーザー (波長  $1064\text{nm}$ , 最大出力  $30\text{W}$ ) による光マニピュレーション機能を付加している。蛍光励起光源である高圧水銀ランプ ( $100\text{W}$ ) からの光はダイクロイックミラー (DM; Violet) によって反射され、対物レンズ ( $\times 10$ ) によって試料面に集光・照射される。励起波長は  $546\text{nm}$ , 蛍光波長は  $580\text{nm}$  である。試料から出た蛍光はDM, バンドパスフィルター (long path  $580\text{nm}$ ) を透過してイメージインテンシファイアで増強され、光ファイバ窓 CCD カメラにて蛍光画像として検出される。検出された蛍光動画はビデオテープに記録しておき、測定終了後にパーソナルコンピュータ (PC 9801 DX) にて解析を行った。マニピュレーションのための

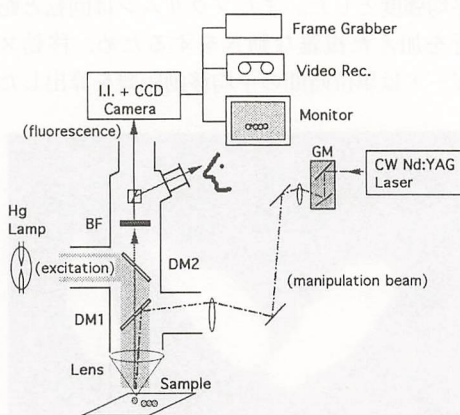


Fig. 1 Block diagram of experimental set up. GM; garvano mirror, DM; dichroic mirror, I.I.; image intensifier, BF; band-pass filter.

レーザービームは約  $1\mu\text{m}$  に集光され細胞に照射される。ガルバノ・ミラーを駆動することによりレーザービーム集光点が移動され、細胞の位置が制御される。試料キュベットを Fig. 2 に示す。測定中試料の温度を一定に保つため ( $30^\circ\text{C}$ )、顕微ステージ上にマイクロウォーマーを設置している。

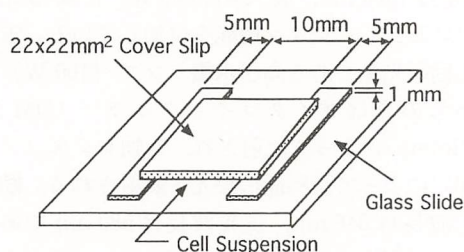


Fig. 2 Construction of the sample cuvette.

### 3. 結果

Fig. 3 に R 123 で蛍光染色されたゾウリムシの蛍光画像を示す。励起光強度が大きいと蛍光がすぐに退色するので、励起照射強度をできるだけ小さくした。蛍光強度は画像の平均強度とした。またゾウリムシは回転と蛇行を加えた複雑な動きをするため、移動スピードは単位時間の平均移動距離を算出した。



Fig. 3 Fluorescence image of *Paramecium caudatum* stained with rhodamine 123.

測定は 50 個体について行い、値を平均化した。環境汚染物質の濃度とゾウリムシの動きおよび蛍光強度の関係を Fig. 4 にまとめる。Ni イオンが繊毛の動きを抑制することが知られているが、今回の実験でもこれが確かめられた。しかし Ni によって蛍光強度は変化

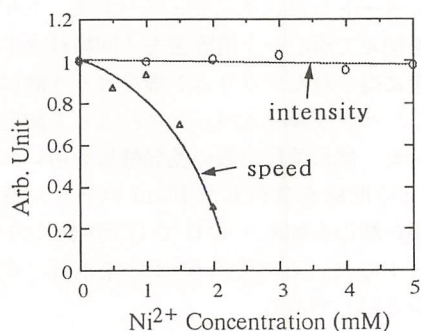
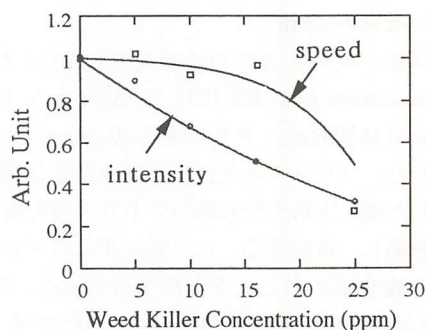
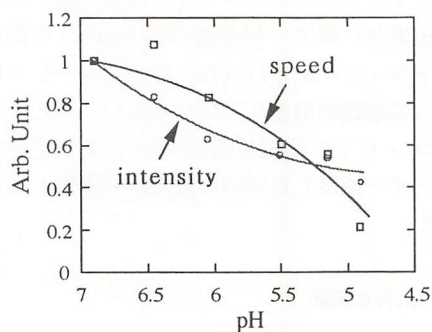


Fig. 4 Moving speed and fluorescence intensity of the cell sensor with respect to cellular pollutants.



せず、膜電位に影響を与えないこともわかった。一方、除草剤はミトコンドリア膜電位に直接作用するため、蛍光強度が濃度の上昇とともに低下するが、繊毛運動はそれほど低下しないことがわかった。しかし、20 ppm では繊毛運動が停止した（注：除草の使用濃度は10 ppm である）。外液の酸性度が高くなればミトコンドリアの活性が低下して繊毛運動も抑制される。さらに蛍光強度が低下する。以上のように3種の汚染物質モデルでゾウリムシの生理反応をモニターしたが、それぞれ特徴あるパターンを示し、3つが分離できることがわかった。

つぎに酵母菌を用いたモデルでレーザービームによる移動を試みた。Fig. 5 に移動の様子を示す。この時のレーザーパワーは細胞上で80 mW である。このパワーで細胞を100  $\mu\text{m/s}$  の速度で移動できた。80–120 mW の範囲では蛍光強度は低下しなかったが、120 mW を越えるとマニピュレーション光が細胞の生理活性に影響を及ぼし蛍光強度が低下した。

#### [今後の研究の方向、課題]

細胞をマイクロセンサーとして用いる試みを行ったが、ゾウリムシのような活発な運動細胞は、運動に個体差が大きいため、1個体だけを用いて得たデータの信頼性が欠けることがわかった。今回は50個体の平均をとったが、測定と処理に時間がかかる欠点がある。この克服が実用へ向けてのポイントである。今回、運動と蛍光という2つのパラメータを用いたが、特異性を向上させるにはさらに多くのパラメータを組み合わせる必要がある。今後、形態変化などの情報を組み合わせたい。一方、酵母菌の取り扱いにはゾウリムシに比べて容易であった。また移動もスムーズにいった。Rd 123 蛍光はミトコンドリア活性の指標となるため、酸素濃度のモニターに有効と思われる。この場合個体差が少ないので、数  $\mu\text{m}$  の大きさのマイクロセンサーが実現する。しかし、ここで提唱する細胞センサーを実用するためにはさらに基礎的研究が必要である。工学と生物学の知識を融合させ、合理的なセンサーを完成させたい。

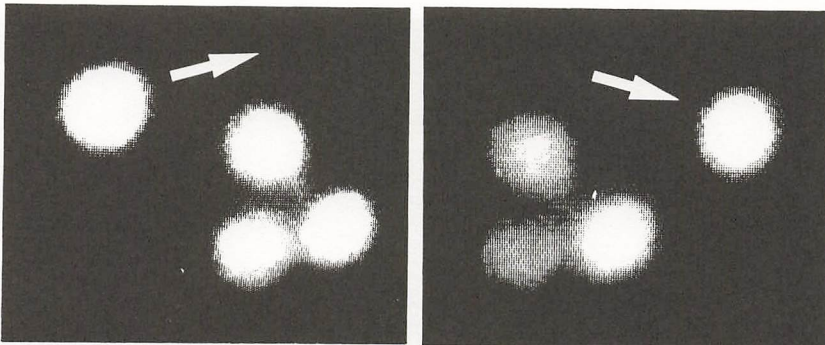


Fig. 5 Transfer of a cell by laser manipulation. The cell pointed with an arrow in the left figure was manipulated and transferred to the right direction.

[成果の発表, 論文など]

- 1) T. Araki, H. Misawa and K. Chikamori, "A Biological-sensor Utilizing a Living Cell for Environmental Monitoring in Micro Space", Proc. Intl Symp. Microsystems, Intelligent Materials and Robots, pp.301-304 (Sendai, Sep. 1995).
- 2) S. Itami and T. Araki, "An intense, broad

band emission spectrum, thyatron-gated nano-second light source using a commercially available Xe short-arc lamp", Rev. Sci. Instrum., Vol. 67, No. 9 (in press 1996).

- 3) 三品賢二, 荒木 勉:細胞の生理活性を利用したマイクロセンサの基礎研究, 機械学会第74回全国大会講演(1996年9月)





## マルチメディア情報の並列処理と その智能化プログラムに関する研究

An Intelligence Programming for a Parallel Processing of Multi Media Information

951005

|       |             |         |
|-------|-------------|---------|
| 研究代表者 | 名古屋工業大学 教授  | 伊藤 英 則  |
| 共同研究者 | 名古屋工業大学 助教授 | 世 木 博 久 |
|       | 名古屋工業大学 助 手 | 山 田 雅 之 |

### 〔研究の目的〕

我々はこれまで、交通流シミュレーションの高速化、および広域にわたる大規模なシミュレーションの実現のために、交通流シミュレーションを並列計算機を用いて処理する手法についての研究を行ってきた<sup>4,6)</sup>。並列処理において、ハードウェアの性能を十分に引き出すためには、各 PE (processing element) の負荷を均一にすることが重要である。交通流シミュレーションのような負荷が動的に変化する処理では、その負荷変動に応じた負荷分散を行う必要がある。また、分散メモリ型並列計算機では、負荷分散のための処理量の均一化は処理を行なう各 PE のメモリ使用量を均一化することでもあり、負荷分散によってメモリ資源を最大限に使った処理が可能となる。一方で、カオスの時系列の短期予測手法を、高速道路のある一地点の交通量の予測に適用することによって良い結果が得られたという成果が報告されている<sup>7)</sup>。本論文では、都市部における車両交通流についてその特徴の定量的な解析を行い、都市部の

道路のある地点を通過する車両台数(交通量)の時系列がカオス的に変動することを明らかにする。この結果はまた、交通流シミュレーションの処理の負荷がカオス的に変動することも示している。そこで、カオスの時系列の短期予測手法を用いて負荷変動を予測し、その予測値に基づいて負荷分散を行う手法を述べる。さらに、いくつかのシミュレーション実験の結果を示し、本手法の効果を確認する。

### 〔研究の内容、成果〕

#### 1. 交通量のカオス的な変動について

##### 1.1 カオスとその判定方法

カオスとは、比較的簡単な規則に支配された非周期的で不規則な振動のことである。

カオス的な系列の例には logistic map がある。logistic map は次の写像で表される。

$$x_{n+1} = kx_n(1 - x_n) \quad (1)$$

不規則な振舞を生じるこの写像の特徴とし

て、極めて近い値を持った2つの初期値から始めた数列の値が急速に離れていくことがあげられる。これは初期値敏感性とよばれ、カオス現象の大きな特徴の一つである。

次に、与えられた実際の時系列がカオスのかどうかを判断する方法を述べる。ここでは、ある時系列がカオスのかどうかを与える指標としてリアプノフ数を用いる。接近した2点が指数関数的に大きくなってゆくことをカオスの生ずる基準とする。その指数の平均を軌道について十分に長い時間とったものを $\lambda$ とし、これをリアプノフ (Lyapunov) 数と呼ぶ。結果としてはリアプノフ数が正であることが観測可能なカオスをもたらす。

$$\lambda = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} \log |f'(x^i)| \quad (2)$$

先ほどの logistic map では  $|f'(x)| = 2$  であるので  $\lambda = \log 2$  となる。  $\log 2 > 0$  であるので logistic map はカオス的である。

## 1.2 交通流におけるカオス

この節では、都市部の道路のある地点を通過する車両台数の時系列の特徴を詳細に解析し、それがカオス的に変化しているということを定量的に示す。与えられた時系列がカオスのかどうかを判別するために、リアプノフ数を用いる。

ここで取り上げる観測点は愛知県南部の国道23号線の1地点である(図1)。この地点を通過した車両台数の23日間の統計データを、3次元空間に表したのが図2左下である。この図は埋め込み(後述)と呼ばれる操作によって構成されており、この時系列のもつアトラクタと呼ばれる特徴を保存している。

リアプノフ数は相空間の次元の数だけ存在しており、その中で最大のもの(最大リアプ

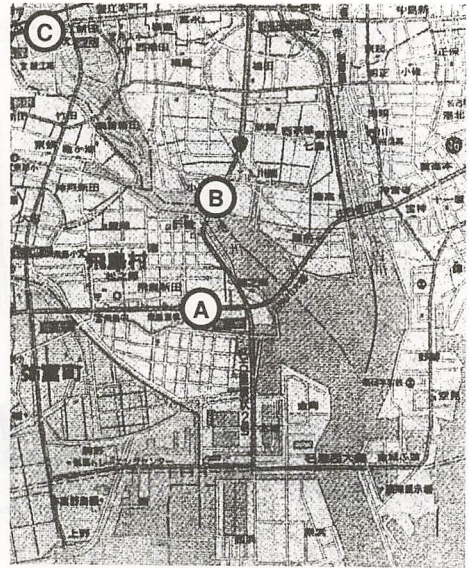


図1 交通量の観測点

ノフ数)が指標として用いられる。ある時系列の最大リアプノフ数が、相空間の次元に依存しない絶対的な特徴と見なされるためには、埋め込み操作の次元を十分に大きくしなければならない。

一般的に埋め込みにあたっては、時系列の相関次元 (correlation dimension)  $D_c$  に対して  $2D_c + 1$  以上の次元に埋め込めば十分であるとされている。相関次元の導出方法は省略するが、この時系列の相関次元は  $D_c = 2.4$  であった。したがって、7次元以上に埋め込めば十分である。

通常、最大リアプノフ数を求めるには、徐々に埋め込み次元を上げながらリアプノフ数の収束を観測する手法がとられる。この時系列について次元を2から9まで上げながら最大リアプノフ数を求めたのが図3である。このグラフによれば、7次元以上でもリアプノフ数が正になっているので、この時系列は明らかにカオス的である。また、他の地点の



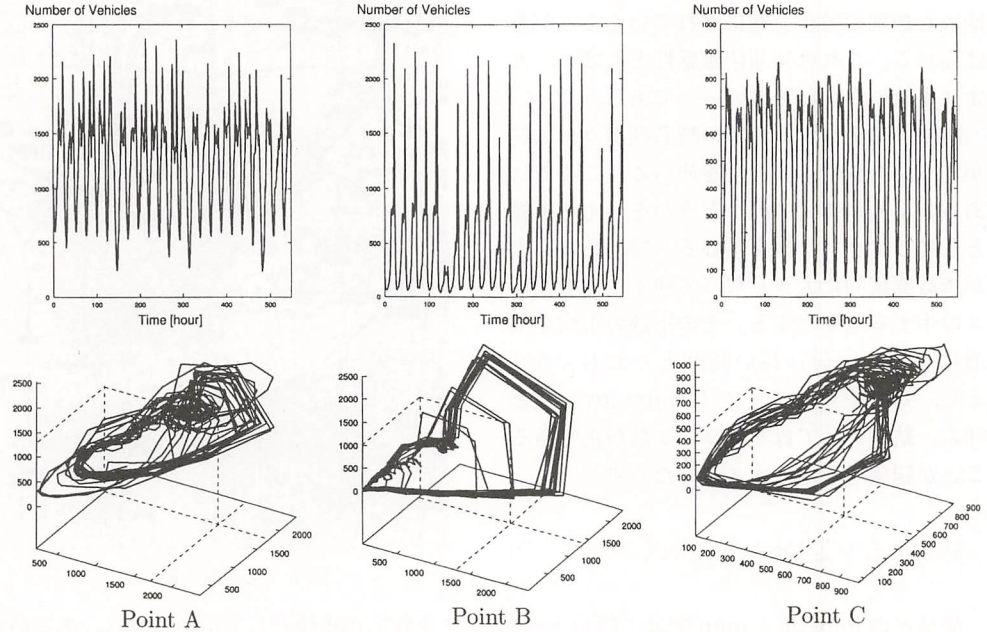


図2 各地点における時系列とそのアトラクタ

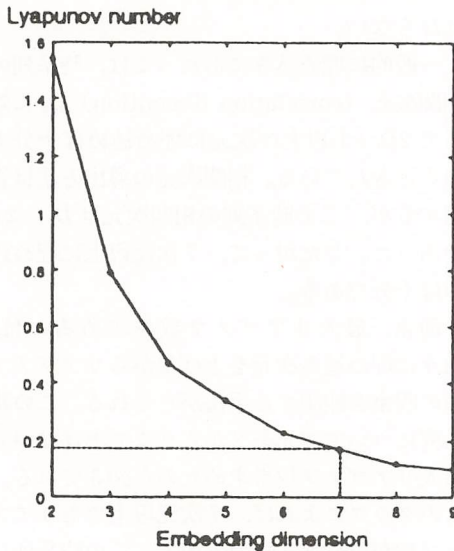


図3 リアプノフ数

時系列に対しても同様にリアプノフ数が正になるという結果が得られている。これは、一般的に交通量の変化という現象がカオス的な法則に支配されていることを示していると考えられる。

## 2. シミュレーションモデル

### 2.1 モデルの詳細

本研究で用いるモデルは、多数キューの間でデータのやりとりを行うものであり、これは交通流モデル<sup>6)</sup>を簡略化したモデルである。つまり、本モデルでは、交通流の車線をキューで、走行する車両をキューのもつオブジェクトとしている。

キュー  $Q$  はデータのオブジェクトであり、オブジェクトはカウンタと呼ばれる属性デー



タをもつ。ここでいうオブジェクトとは、交通流での車両にあたるものである。キューに対する操作は *Enqueue*, *Shift*, *Generate* の3つがある。

*Enqueue*( $Q$ ,  $O$ ) は、 $Q$  の最後尾にオブジェクト  $O$  を追加する操作である。このとき  $O$  のカウンタを  $C_O = C_Q$  ( $C_Q$  はキューに固有の定数) にセットする。

*Shift*( $Q$ ) は、 $Q$  のもつすべてのオブジェクトのカウンタをデクリメントする (1 減らす) 操作である。このとき、カウンタの値が 0 になったオブジェクトは消滅もしくは他のキューに *Enqueue* される。どのキューに *Enqueue* されるかは、それぞれの  $Q$  がもつキューの名前リスト  $E_Q = \langle q_1, q_2, \dots, q_{mq} \rangle$  からランダムに選ばれる。

*Generate*( $Q$ ) は、複数回の *Enqueue*( $Q$ ,  $O$ ) 操作を行う。操作回数はカオス系列によって与えられる。この系列は、例えば先ほど述べたような logistic map によって与える。

本モデルでのシミュレーションは、すべてのキューに対して *Shift* 操作と *Generate* 操作を行うことによって実現される。

## 2.2 並列シミュレーション

先ほど述べたモデルに従って分散メモリ型の並列計算機を用いてシミュレーションを並列に行う方法について述べる。この計算機は T-Net, B-Net, S-Net の3種類のネットワークを持つ。<sup>11)</sup> まず、与えられた多数のキューは、ホスト計算機から読み込まれる。次に、各セル当たりのキューの数が均等になるように割当を決定し、B-Net で全セルに分配する。

全セルにキューが渡ったら、次に、実際のシミュレーションのフェーズに入る。シミュ

レーションのフェーズは次の2つのステップに分けられる。

**Step 1** すべてのキューに対して *Shift* 操作を行うというメッセージを、全セルに放送する。メッセージを受け取ったセルは、セル内にあるすべてキューに対して *Shift* 操作を行う。

**Step 2** すべてのキューに対して *Generate* 操作を行うというメッセージを、全セルに放送する。メッセージを受け取ったセルは、セル内にあるすべてキューに対して *Generate* 操作を行う。

この2つのステップを繰り返すわけであるが、それぞれのステップでは、全てのセルの処理が終了するまで、次のステップには進まない。このとき、全セルが各ステップの処理を終了したかどうかは S-Net のステータスを用いて判断している。

キューに対する3つの操作のうち *Shift* 操作では、その操作によって別のキューにデータがやりとりされる場合がある。データのやり取りを行う2つのキューが別のセルに割り当てられているときには、T-Net を用いたメッセージ通信を用いてデータを送信する。

## 3. 負荷制御

### 3.1 カオス的系列の短期予測

本システムでは、カオス的に負荷が変動する並列処理において負荷分散処理を行う場合に、カオス的な時系列の短期予測性を用いる。ここでは、そのカオス的な時系列の短期予測手法について説明する。

カオス的な時系列を予測する手法の一つとして局所ファジィ再構成法<sup>7)</sup>が提案されているが、本研究ではこれを簡略化した手法を用

いる。

カオス的な時系列は一見不規則ではあるが、ある決定論的な法則にしたがっていると考えられる。カオス的な挙動は、初期条件に敏感に依存する性質をもつ<sup>9)</sup>ために長期的な予測は不可能であるが、決定論的な法則を見出すことにより短期的な予測は可能である。

カオス的な挙動の性質は、相空間におけるアトラクタと呼ばれる構造によって表すことができる。カオス的な時系列  $f(t)$  から式3のようなベクトル  $z(t)$  をつくと、これは  $n$  次元空間における1点になる。(なお、 $u$  は単位時間である)

$$z(t) = (f(t), f(t-u), \dots, f(t-(n-1)u)) \quad (3)$$

この操作を時系列の  $n$  次元への埋め込みと呼び、 $n$  を埋め込み次元と呼ぶ。もとの時系列の各点に対応するベクトルはある軌道を描く。埋め込み次元  $n$  を十分に大きく取れば、この軌道はアトラクタの位相構造を保存したものとなる。

ある時刻  $t=T$  までの  $f(t)$  の時系列が与えられたときに、 $t=T+u$  における予測値  $\hat{f}(T+u)$  を導出することを考える。 $n$  次元空間において、ベクトル  $z(t)$  ( $(n-1)u \leq t < T$ ) のうち、 $z(T)$  の  $k$  個の近傍点を  $z(T_i)$  ( $i=1, \dots, k$ ) とする。このとき、それぞれの近傍点  $z(T_i)$  について、 $f(T_i+u)$  を  $z(T)$  からの距離に応じて加重平均をとった値を予測値  $\hat{f}(T+u)$  とする。

### 3.2 負荷制御のインプリメント

本システムでは、セルの負荷をセル内で処理しているキューがもつデータの総数とする。各々のデータに対する処理時間と、データを格納するためのメモリ量を考慮すれば、デー

タの総数は時間的、空間的な負荷と考えられるからである。したがって、以後、負荷と言えば上記のものを指し、プロセッサ内の処理の全てに対する一般的なものを意味しない。

我々の手法では、セル内の負荷を単位時間ごとにセル内で集計している。図4の各々のグラフは、セルの負荷の時間変動を表している。

ホスト計算機は全セルに対して Step 1, Step 2 をある一定回数行う毎に負荷の短期予測値を回収するためにメッセージを放送する。時刻  $t$  にメッセージを受信した各セルは、時刻  $t+u$  ( $u$  は定数) における負荷の予測値を前節で述べた方法によって求め、ホスト計算機に送信する。

ここで、セルの台数を  $n$ 、セル  $i$  ( $1 \leq i \leq n$ ) の負荷の予測値を  $L_i$  とする。移動すべき負荷は、送り先セル  $c$  と移動負荷量  $l$  のペア  $\langle c, l \rangle$  のリスト  $I_i$  によって表される。

ホスト計算機では、回収した負荷の予測値から、各セルの負荷を均一化するために、各々のセル  $i$  に対して他のセルに移動すべき負荷の量を求める。この量の求める際に、本システムでは比較のために2つの方法を用い

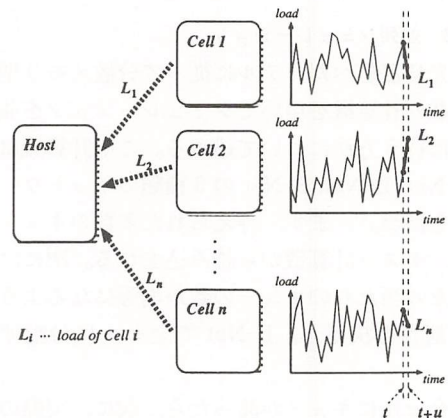


図4 予測値の収集



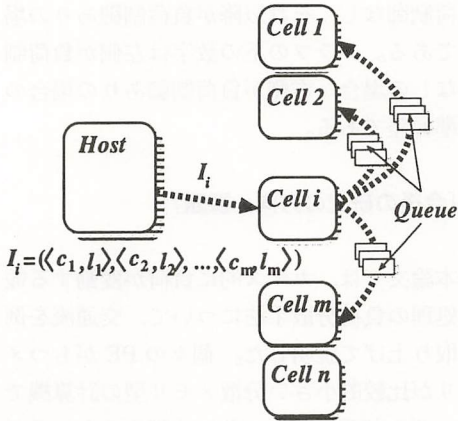


図5 ホストからセルへの移動負荷量の伝達

る。一つは、移動先に任意のセルを選択可能な方法、もう一つは、移動先を隣接セルに限定する方法である。

#### Load Balancing Method 1

移動先に任意セルを選択可能な方法。

ホスト計算機は  $I_i \neq \phi$  であるセル  $i$  に対して  $I_i$  を送信する (図5)。セル  $i$  では、受信した  $I_i$  にしたがって、移動すべき負荷 (オブジェクト数) に相当する数のキューを該当セルに送信する。

#### Load Balancing Method 2

移動先を隣接セルに限定する方法では、 $L_i > (\text{負荷の平均値})$  を満たすセル  $i$  の上下左右のセルを  $i_1, i_2, i_3, i_4$  とし、それら4つの負荷予測値から移動すべき負荷の量を求める。負荷の移動対象になるのは  $L_{in} < L_i (n = 1, 2, 3, 4)$  となっているセルに限られる。

#### 4. 実験と評価

実際に方法1, 2のそれぞれの方法についてシミュレーションを行い、その結果を示す。

キューにデータを発生 (Generate operation) するときに、カオスの時系列を用いる。この実験では Logistic Map と Urban traf-

fic data の2つの時系列を用いる。シミュレーション実験では、16台のPE構成の分散メモリ型の並列計算機を用いて624個のキューの処理を行った。3000stepのシミュレーションのうち、1000step以降から各セル内で負荷を集計し、2000step以降から負荷分散処理を開始した。このとき、負荷制御を行わない場合と行った場合とで、負荷変動の標準偏差を求めた。

先ほど挙げた2つのカオスの系列を用いて発生させたデータによるシミュレーションに、Method 1の負荷制御を加えたときの負荷変動の標準偏差を表1に示す。なお、このときの時系列短期予測に用いた埋め込み次元は3である。

Logistic Map のような定式化されたカオスの系列では同様の効果が得られている。さらに実際の現象である交通流統計データの数値系列でも若干の効果は見られた。

また、1680個のキューの処理においてロジスティックマップによるデータ発生を用いた場合の Method 1, Method 2 の効果の違いを表2に示す。また、このときの負荷変動の様子を図6に示す。なお、このときの時系列短期予測に用いた埋め込み次元は3である。

表1 シミュレーション結果 (Method 1)

| Type of Time-Series | Standard Deviation of Load Amplitude |         |
|---------------------|--------------------------------------|---------|
|                     | without control                      | control |
| Logistic Map        | 49.6                                 | 38.1    |
| Urban traffic data  | 50.3                                 | 47.5    |

表2 シミュレーション結果

| Balancing Method | Standard Deviation of Load Amplitude |         |
|------------------|--------------------------------------|---------|
|                  | without control                      | control |
| Method 1         | 69.3                                 | 48.5    |
| Method 2         | 69.3                                 | 53.7    |



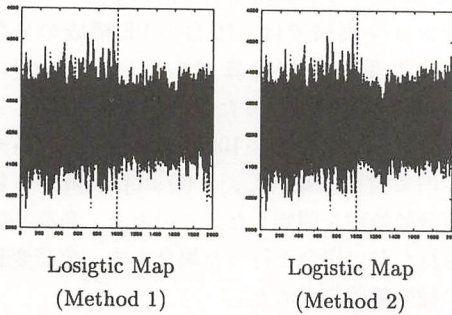


図6 実験結果

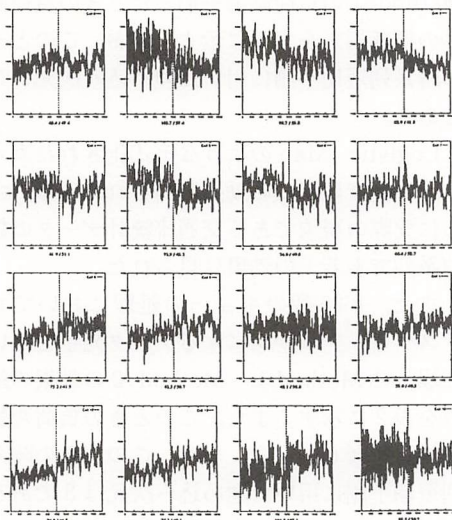


図7 16台のセルの負荷の変動 (Urban Traffic Data)

これは、Method 1 に比べ Method 2 では、負荷の移動対象に制限を加えているために Method 2 の効果が低くなる。しかし、Method 2 では Method 1 の処理に比べメッセージ通信量を押えることができるため、一概に効果が薄いとは言えない。また交通量データを Method 1 を用いてシミュレーションした場合の各セルの負荷変動の様子を図7に示す。中間の破線を境に、それ以前が

負荷制御なし、それ以降が負荷制御ありの場合である。グラフの下に数字は左側が負荷制御なしの場合、右側が負荷制御ありの場合の標準偏差である。

#### [今後の研究の方向、課題]

本論文では、カオス的に負荷が変動する並列処理の負荷分散手法について、交通流を例に取り上げて説明した。個々の PE がもつメモリが比較的小さい分散メモリ型の計算機では、単に処理を PE の数に分割するというだけでなく、各 PE での消費メモリ量が同じになるように工夫する必要がある。そこで、負荷というものを時間的な観点だけでなく、空間的なものとして考察した。今回取り上げた、キューによるデータ送受モデルでは、データを格納するメモリ量を比較的计算しやすい。したがってメモリ消費量の観点での負荷分散の効果は、その負荷変動をいかに的確に予測できるかということに依存する。このモデルでは、負荷がカオス的に変動するために長期的な負荷の予測は不可能である。しかし、負荷分散処理のインターバルを適切にとることにより、短期予測値を用いた処理でも十分に効果が得られることが確かめられた。しかしながら、現在の方式では、負荷分散処理が通常の処理に完全に割込んでしまうので、時間的な観点では無駄が多い。実際に、今回の実験でもシミュレーションにかかる時間は多くなった。

ただし、メモリを均一化することは、シミュレーション可能な問題の規模を大きくすることにもつながるため、大規模な処理をする際には場合によっては時間的に損失があったとしても、メモリを有効に利用することが重要になる場合もあるだろう。

今後は、時間的な負荷に対しても効果を上げるために、シミュレーションを中断せずに負荷分散処理を行う方法や、ホスト計算機を使わずに分散計画を行う方式を考えてゆきたい。また、個々のカオス的な系列の性質に合わせて予測のためのパラメータを柔軟に変化させるなどして、予測の質を向上させる必要もある。

[成果の発表, 論文]

- 1) Ajay K. Rathi and Alberto J. Santiago, The new NETSIM simulation program, Traffic Engineering + Control, Vol. 31, No. 5, pp. 317 - 320, 1990.
- 2) A. Messmer and M. Papageorgiou, MET-ANET: a macroscopic simulation program for motorway networks, Traffic Engineering + Control, Vol. 31, No. 9, pp. 454 - 459, 1990.
- 3) K. Wood and R. T. Baker, Using SCOOT weightings to benefit strategic routes, Traffic Engineering + Control, Vol. 33, No. 4, pp. 226 - 235, 1992.
- 4) Ken-ichi Tsukamoto, Yasuhiro Matsuoka, Hirohisa Seki and Hidenori Itoh, A Parallel Program for an Urban-Traffic Analization and its Evaluation, Computers ind. Engng, Vol. 27, Nos 1 - 4, pp. 233 - 236, 1994.
- 5) Ken-ichi Tsukamoto, Yoshitomi Nakagawa, Masashi Yamada, Yoshimi Fukumura, Hirohisa Seki and Hidenori Itoh, A Load Balancing Technique for Parallel Processing in Chaotic Urban Traffic Behavior, Proc. of the Fourth International Parallel Computing Works hop, pp. 363 - 367, 1995.
- 6) Yasuhiro Matsuoka, Hidenori Itoh and Hirohisa Seki, A Traffic Simulation System and Its Parallel Implementation, Proc. of 16 th International Conf. on Computers & Industrial Engineering, pp. 122 - 125, 1994.
- 7) Tadashi Iokibe and Naomi Mochizuki, Short-term Prediction Based on Fuzzy and Chaos, Proc. of 4 th Intelligent System Symposium, pp. 77 - 82, 1994.
- 8) Tadashi Iokibe, Masayasu Kanke, Yasunari Fujimoto and Shingo Suzuki, Local Fuzzy Reconstruction Method for Short-term Prediction on Chaotic Time-Series, Journal of Japan Society for Fuzzy Theories and Systems, Vol. 7, No. 1, pp. 186 - 194, 1995.
- 9) Nicholas B. Tufillaro, Tyler Abbott and Jeremiah Reilly, An Experimental Approach to Non-linear Dynamics and Chaos, Addison-Wesley, 1992.
- 10) カオス入門, 長島弘幸, 馬場良和, 倍風館
- 11) Fujitsu Limited, FUJITSU AP 1000 Hardware Manual, pp. 7 - 19, 1993.

## 身障者にやさしい情報処理作業環境に関する調査・研究

### An Investigation on the Information Processing Operations and Improvements of the Circumstance for Physically Disabled Subjects

951006

|       |                   |       |
|-------|-------------------|-------|
| 研究代表者 | 広島大学工学部教授         | 尾崎俊治  |
| 共同研究者 | 広島大学工学部助教授        | 土肥正   |
|       | (株)広島情報シンフォニー 相談役 | 三谷喜八郎 |

#### [研究の目的]

本研究では、コンピュータアクセス機器に関するポインティング実験を実施することによって、身障者がアクセス機器を用いる場合の操作性に影響を与える要因を統計的に分析する。特に、身障者、健常者間のデータを比較することによって実験結果を整理し、身障者がコンピュータにアクセスする環境を改善するための提言を行う。

#### [研究の内容、成果]

##### 1. 序 論

今日、各種コンピュータ機器の発達に伴い、身障者が比較的容易に情報処理業務に従事する機会が増えている。特に、コンピュータへのアクセス機器の開発はめざましく、マウス、ジョイスティック、ジョイパッドなどの間接型アクセス機器や、ライトペンやタッチスクリーンのような直接型アクセス機器が実用化されている。このように多種多様なアクセス

機器が開発される中、アクセス機器の使いやすさを実験的に評価することは極めて重要である。

コンピュータアクセス機器の操作性は、カーソルを移動させてクリックするまでのポインティング時間やターゲットのクリック成功回数を表す精度等の観点から評価される。しかし、従来の研究において行われたポインティング実験はすべて健常者を対象にした実験であり、必ずしも身障者にこのデータや結果がすべてあてはまるとは限らない。これに対して井手（信学技報，R 93-34，pp. 49-54 [1993]）は、脳性麻痺、頸髄損傷などの障害をもつ重度肢体不自由者 31 名によるポインティング実験を行っている。この実験の結果から、脳性麻痺者に対しては十字キーのようにマウスカーソルをコントロールするステップキーがよい結果を示し、頸髄損傷者にはジョイスティックが使いやすいという結果が報告されている。一方で、重度肢体不自由者にとってマウスは決して最も操作性の高いアクセス機器ではないことが指摘されている。しかしながらこれらの結果は、測定データの



みに基づいて結論づけられたものであり、実験因子間の交互作用等はまったく考慮されていない。

身障者に優しい情報処理技術を考える上で、コンピュータへのアクセス機器の操作性に関する研究は重要である。しかしながら、コンピュータへのアクセス機器は、通常、健常者を対象に設計されており、身障者に対してはあまり考慮されていないのが現状である。そこで本研究では、身障者が実際に数種類のコンピュータアクセス機器を使用する場合において、それらの操作性に影響を与える要因を統計的に分析する。これらの評価結果を基に身障者のコンピュータアクセス環境を設計するための提言を行う。

## 2. 実験方法

### 2.1 実験装置

ポインティング実験で使用される装置は以下のものである。

- (i) パーソナルコンピュータ (NEC 製 PC-9801 FA)
- (ii) CRT (Cathode Ray Tube) 画面 (NEC 製 PC-KD 882)。解像度は 640 × 400 ドット。
- (iii) コンピュータアクセス機器 (カウント切り換え方式バスマウス (NEC 製 PC-9872 R), ジョイスティック (マイコンソフト社製 XE-1 PRO), ジョイカード (SHARP 製 CZ-8 NJ 1))。

ポインティング実験で使用する実験プログラムは、PC 9801 FA 上で C 言語を用いて作成した。ポインティング実験では、被験者がマウスを左クリックすると同時に画面の中央にカーソルが現れ、ターゲットが 1 つ表示される。被験者がそのターゲット内にカーソル

を移動させて右クリックすると、カーソルの水平方向と垂直方向の移動距離、ならびにポインティングに要した時間が計測される。一方、ターゲットの外で右クリックすれば、操作は失敗とみなされ、ポインティング時間は 0 になるように設定されている。

### 2.2 ポインティング実験における実験因子

評価する実験因子は以下の通りである。

A：障害の有無 (身障者，健常者)

B：移動距離  $d(B_1: 100, B_2: 200, B_3: 300 \text{ ドット})$

C：ターゲットの大きさ

$a(C_1: 30, C_2: 50, C_3: 70 \text{ ドット})$

D：ミッキー / ドット比

$(D_1: 4, D_2: 8, D_3: 12)$

E：ターゲットの形状 ( $E_1: a \times a$  正方形,

$E_2: a/\sqrt{2} \times \sqrt{2}a$  縦長長方形,  $E_3: \sqrt{2}a \times a/\sqrt{2}$  横長長方形)

F：コンピュータアクセス機器 ( $F_1$ : マウス,  $F_2$ : ジョイスティック,  $F_3$ : ジョイカード)

ここで、ミッキー / ドット比とは、カーソルをディスプレイ上において 8 ドット動かすために、マウスをマウスパッド上で何ミッキー (1 ミッキーは約 0.26 mm) 動かす必要があるかを示す指標である。

上述の実験因子は以下のように解釈することが可能である。因子 B は移動距離による操作性への直接的な影響を検討する要因である。因子 C と E は、ターゲットの大きさや形状による影響を、操作性と心理的な観点から検討する要因である。因子 D と F は、入力機器の操作性の違いから受ける影響が、被験者の操作性と心理に如何に影響をおよぼすかについて特徴づける要因である。

### 2.3 実験手順

健常者と身障者双方によるポインティング作業に影響を与える要因を比較するために、まず最初に健常者を対象にした参考実験を行った。参考実験の手順について説明する。因子 B～E の組み合わせからなる 81 条件を、各条件ごとにランダムに 10 回ずつポインティングする。各条件はソフトウェア上でランダムに組み合わせるものとする。これを、マウス、ジョイスティック、ジョイカードについてすべて行う。

ポインティング作業中に被験者が座る椅子は、背もたれのある移動可能なものとし、被験者が作業しやすいよう CRT 画面の中心と目の位置がほぼ一致し、視距離が約 60 cm になるように調節する。実験室では、直射日光が CRT 画面に当たらぬようカーテンを閉め、蛍光灯のみの明るさを保つものとする。室内の温度は約 25 度に調節し、その他の実験環境（体の位置やマウスパッドの向きなど）は本人が最もポインティングしやすいように設定する。特に、マウスの分解能は分解能切り換えボタン（100, 200, 400 の 3 種類）によって、被験者がポインティングしやすい分解能に設定する。参考実験の被験者は、コンピュータを日常的に使用している男子大学生 3 名である。

次に、身障者によるポインティング実験について説明する。今回の実験では、身障者雇用企業の協力により、身障者の日常業務に差し障りのない範囲で実験に協力して頂いた。参考実験と同様に、因子 B～E の組み合わせからなる 81 条件を、各条件ごとにランダムに 3 回ずつポインティングする。ここでは、身障者の疲労が実験結果に影響をおよぼさないよう、ポインティング回数は健常者よりも少な目に設定している。マウスの操作スペー

ス、分解能、体の位置などの条件は、制限してしまうとかえってポインティングしにくくなったり時間がかかってしまうという意見を参考に、各個人が最もポインティングしやすい条件に設定した。以上を要因 F についてすべて行う。被験者は、視覚障害者 1 名と手腕障害者 2 名の合計 3 名であり、日常的にコンピュータを使用している情報処理技術者である。

### 3. 実験結果および考察

平均正解率に関する分散分析の結果、障害の有無（要因 A）（ $F(1, 4) = 124.256, n < 0.01$ ）と移動距離（要因 B）（ $F(2, 8) = 24.568, n < 0.01$ ）に関して有意差が認められるものの、その他の要因 C～F では有意差が認められなかった。この結果より、カーソルの移動距離が強く正解率に影響をおよぼしていることがわかる。交互作用に関しては、 $A \times B$  のみで有意差（ $F(2, 8) = 8.926, n < 0.01$ ）が認められた。

ポインティング時間に関する分析の結果、有意差が認められた要因は障害の有無（要因 A）（ $F(1, 4) = 6.758, n < 0.01$ ）、移動距離（要因 B）（ $F(2, 8) = 7.676, n < 0.05$ ）、ターゲットの大きさ（要因 D）（ $F(2, 8) = 18.125, n < 0.01$ ）であり、これらの要因がポインティング時間に強く影響をおよぼしていることがわかる。交互作用に関しては、 $A \times B$ （ $F(2, 8) = 8.336, n < 0.01$ ）と  $A \times D$ （ $F(2, 8) = 6.437, n < 0.01$ ）で有意差が認められた。

実験データの分析により、健常者と身障者の違いが次のように明らかになる。身障者ほど移動距離が正解率におよぼす影響が顕著である。ポインティング時間に関しても同様に、健常者に比べて身障者の方が  $d$  の影響が顕著である。また、健常者では、要因 D（ター



ゲットの大きさ)のポインティング時間への影響はあまり認められないが、身障者では、ターゲットの大きさのポインティング時間への影響が大きくなる。

実験終了後にアンケート調査を行った結果、身障者にとって最も疲労感を感じるアクセス機器はジョイカードであった。また、マウスは比較的使いやすいにもかかわらず指先の細かな動きを必要とするため、長時間のポインティング作業には不向きであり、特に手腕障害者にとっては使いづらいという意見が強かった。しかし、本研究の範囲では、要因F(アクセス機器)がパフォーマンスにおよぼす影響は認められず、これらのアンケート結果がパフォーマンスに現れてこなかった。

以上のように、本研究の結果から、ポインティング作業における身障者と健常者のパフォーマンスの違いには、要因B(移動距離)とD(ターゲットの大きさ)が大きく関わってくることが指摘された。これより、身障者がコンピュータにアクセスする環境改善のための提言を次のように行うことができる。カーソルからターゲットまでの距離を短く設定し、ターゲットを大きくすることによって、健常者に対する身障者の正解率およびポインティング時間に関するハンディキャップは解消できるものと考えられる。身障者にとって作業しやすい環境を構築するためには、ターゲットを大きくし、移動距離を短くしたソフ

トウェアシステムが必要になると思われる。

#### [今後の研究の方向、課題]

本研究では、身障者と健常者を対象にポインティング実験を行い、障害の有無、移動距離、ターゲットの大きさ、ミッキー/ドット比、ターゲットの形状、アクセス機器の要因が如何に操作性に影響をおよぼすかについて調査した。その結果、健常者に比べて身障者では移動距離とターゲットの大きさがパフォーマンスにおよぼす影響が顕著であることが示唆された。

今後の課題としては、本実験で使用しなかった操作スペースやマウスの分解能等の要因を考慮し、より多くの被験者を対象にしたポインティング実験を実施することが必要だと思われる。その際、障害の種類および度合いを医学的に分類することによって、大規模な調査研究が行われることが期待される。また、本研究で得られた知見により、実際に身障者が行うポインティング作業をどの程度説明できるかについて、パイロット実験によって検証する必要があるものと考えられる。

#### [成果の発表、論文など]

- 1) 中野正一、村田厚生、土肥正、尾崎俊二、“身障者のポインティング作業に影響する要因の検討”，電子情報通信学会論文誌（投稿中）。



# 仮想現実システムのための オブジェクト指向プロダクションシステム

## Object-Oriented Production System for Virtual Realty Systems

951007

研究者代表

九州工業大学情報工学部 助教授

碓 崎 賢 一

### [研究の目的]

コンピュータの性能向上を背景とした、仮想現実技術の発達には目覚ましいものがあり、特にネットワーク上で仮想環境を共有する分散仮想環境技術が注目されている。分散仮想環境は、場所や時間に制約を受けない体験型のサービスを提供できるという特徴がある。我々はこのような特徴を利用して、臨場感のあるコミュニケーション支援や、エージェントによる対話的なサービスなど、新しい世代のユーザインターフェースの実現手法を明らかにしたいと考えている。

一般的にコミュニケーションは、単に話者間の関係だけではなく、周囲の雰囲気の影響を受ける。したがって、仮想環境におけるコミュニケーションを促進させるためには、活気のある生き生きとした環境を構築する必要がある。このような環境は、多数のエージェントや動物などの活発な活動によって得られ、これらの個体群の自律的な動作は、プロダクションシステムによって実現できる。しかしながら、多数の自律的な個体を実時間で高速にシミュレーションするためには、仮想現実システムにおける個体群の特性を考慮した、効率の良い推論方式が必要となる。

また、コミュニケーションの臨場感を向上させるためには、各利用者の特徴付ける個性を、利用者の3次元モデルに付与できることが重要となる。個人の特徴はジェスチャーなどの動作によって表現することができ、ジェスチャーが行なえるようになると、指示動作などにより仮想環境中の情報を視覚的に伝えることも可能となる。このようなジェスチャーを会話内容に合わせて利用者の3次元モデルに行なわせるためには、会話内容を分析し、その内容と環境に対応したジェスチャーを選択、生成する処理方式が必要となる。

さらに、ネットワーク上に構築した仮想環境を利用した商店街などのサービスの高度化をはかるためには、能動的なサービス主体としてのエージェントの利用が望まれる。このようなサービスとしては、仮想環境の3次元性と対話性を利用したものが効果的であり、我々はエージェントを用いたサービスとして、仮想環境におけるプレゼンテーションに着目し、ジェスチャーを含めた説明動作などの実現方式を明らかにしようとしている。

## 〔研究の内容、成果〕

前述の研究目的に基づき、以下の研究を実施した。本報告では、1. に重点を置いて報告を行なう。

1. 個体の共通性に着目したプロダクションシステム
2. 利用者の3次元モデルのジェスチャー制御
3. エージェントのプレゼンテーション動作の生成

### 1. 仮想現実用のプロダクションシステム

仮想環境内に存在するエージェントや動物などを、利用者の指示や環境の変化に基づき適切に動作させるための推論機構には、プロダクションシステムを利用することができる。多数のエージェントや動物などが活発に活動している状況を想定すると、大量の知識源に対する推論処理を実時間で高速に行なうことが必要となる。

多数の人間のように同種類のエージェント群について考えてみると、その知識は個人によって異なる部分がある一方で、手足の動かし方や反射的な動きなどの共通部分が多数ある。このように共通部分を持つエージェントが多数存在することを前提として、仮想現実などの実時間処理を対象とした高速推論方式を提案する。提案方式は、知識源のコンパイル時にプロダクションルールの左辺解析によって状態空間を作成する。推論サイクルでは、ワーキングメモリの要素値の量子化、状態空間の移動という簡単な操作によって、照合と競合解消を一括して高速に行なっている。

### 2. 処理方式への要求

仮想現実システムにおけるエージェントは、

自分の動作や環境の変化によって、推論の基礎となる外部状況データが時々刻々と変化するという特徴がある。このため、その推論システムには、データの変化頻度が高い場合でも高速に推論可能な方式が必要となる。さらに、毎秒10回以上の頻度で推論を行なうと、推論毎に外部状況データが異なるものの、その差異は微小で推論結果に影響を与えない変化が非常に多くなると考えられる。したがって、このような外部状況データの微小変化時の推論コストを低く抑えられる推論方式が必要である。

仮想空間内でエージェントを動作させるためには、反射的な動作を含め、その種類のエージェントに必要と考えられる多数の基本的な知識を組み込む必要がある。この場合、エージェントの知識の多くを占める基本的な知識には一般性があるため、高い割合で多数のエージェントで共通性が生じるものと考えられる。このような共通性を積極的に利用し、処理速度とメモリ効率を向上させる推論方式が必要である。

### 3. 知識源の構成

エージェントの知識はその処理内容によっていくつかに分類できる。例えば人間であれば、「手足を動かすための知識源」、「数学の問題を解くための知識源」といったように、エージェントは、問題に対して分担して解決法を求める複数の知識源から成り立っていると考えられる。各知識源はIF～THEN～の形のプロダクションルールの集合(PM)で記述する。推論機構は各知識源のPMとワーキングメモリと呼ばれる状況要素の集合を参照・比較しながら推論を進めていく。

このように知識源を対象ごとに分割すると、



そのエージェントの知識を単純な定義の複合体として記述することができ、知識を構造化することができる。これによって知識の記述性を向上させることができる。また、複数の種類の知識源を用意しておくことによって、知識源の組合せによってエージェントの多様性を実現することや、多数のエージェントが基本的な知識源の多くを共有することも可能になる。

#### 4. 処理方式

提案方式では、推論サイクルの実行に先立って、各知識源のコンパイル時にプロダクションルールの解析を行ない、知識源毎に状態空間の生成を行なう。この際、ワーキングメモリの要素値を量子化し状態空間の大きさを特定するとともに、その増大を抑制する。プロダクションシステムの推論サイクルは、照合部、競合解消部、実行部の3つの処理に分けられる。本処理方式では、推論サイクルの処理時間の90%以上を占めるといわれる照合部の処理と競合解消部の処理を一括して行なっているため、推論を高速に行なえるという特徴がある。本方式の処理は大きく次の3つに分けられる。

- ・ワーキングメモリ値の量子化
- ・量子化値を変化させた値の抽出
- ・知識源の状態空間への配置

ある知識源で選択されるルールの実行部は、その知識源を持つエージェントの状態によって決まる。またエージェントの状態は、ワーキングメモリの要素数および各要素の取り得る値によって決まる。従って、知識源に関係するワーキングメモリの要素数とその要素の取り得る値がわかればその知識源の状態空間が定まる。状態空間上の各状態をノードと呼び、ノードにはその状態で選択されるルール

を関係付ける。提案方式では、各知識源の照合操作および競合解消は、それぞれが参照するワーキングメモリによって定められる状態空間上のノードに移動させることによって行なう。

ワーキングメモリ要素を量子化する際の閾値はルールの条件部を解析することによって求めることができる。本方式では、知識源毎にルールの条件部を解析して量子化のための閾値を求める。また、知識源が参照するワーキングメモリの要素数を $n$ とした場合には、 $n$ 次元の状態空間を作成する。状態空間は知識源ごとに生成することにより、対象となる変数を限定し、抽出される閾値も少なくすることができる。このため、状態空間の次元数と各次元の要素数を少なくし、状態空間の構築に要するメモリ使用量を抑制することができる。

照合処理および競合解消は、知識源をその状態に応じて空間上に位置付けることによって行なう。ルールの照合操作は、変化したワーキングメモリの値に影響を受けるもののみを対象に行ない、処理速度を向上させる。変化したワーキングメモリの要素のうち連続値をとるものに関しては量子化を行なう。量子化された値が前と同じであれば、状態空間上の位置は変わらず選択されるルールも変化しないため、照合処理を省略できる。

ワーキングメモリの値による状態空間は、メモリ上に多次元配列として実現される。各知識源には、状態空間を示す配列の開始位置を示す番地と、その状態空間における各自の位置を示す変移が指標として記録されている。同一の知識源を複数のエージェントが持っているとき、それらの知識源の状態は同じ状態空間内に配置される。各ノードには、知識源がその状態の時に起動されるルールを記録し



た配列の指標が記されている。ノードに記されている指標の0は、選択されるルールがないことを意味している。

ワーキングメモリの量子化値が変化した時には、状態空間を示すメモリ上に配置されているそのエージェントの知識源を移動する処理を行なう。知識源の移動は、その要素の量子化値の変更分の値だけ、状態空間のそのワーキングメモリ要素が表している軸に向かって行なう。状態空間は配列で実現されているため、簡単な演算によって移動することができる。

ある状態を満たすルールが複数ある場合、競合解消が必要となる。条件部の制約の強いものを選択するなどの静的な競合解消規則の場合には、競合解消の結果選択されるルールは、状態空間の作成時に解る。従って、ノードが指すルールを一個に限定して記録できるため、知識源の状態空間中の移動によって照合と競合解消が一括して行なわれたことになる。このため、プロダクションシステムにおける照合処理と競合解消を高速に処理することができる。

## 5. 評価

評価システムにより、提案方式は最適化された Rete に対して 167 倍の処理速度が得られることを確認し、仮想現実システムにおいて 1 万個程度のエージェントの実時間推論が可能であることを示した。また、メモリ効率に関しても、知識源の分割により従来方式と同等の効率を維持できることと、エージェント数が多い場合には、従来方式よりもメモリ

効率が高くなることを確認した。

## [今後の研究の方向、課題]

今後の課題としては、提案した推論方式を仮想現実システムに実際に組み込み、推論の高速性とそれに基づく個体群の活動により、活気のある仮想空間を実現できることを実証することが挙げられる。また、仮想現実に対応した視覚的なプロダクションルールの定義システムや、個体と知識源、手足などの稼働部分との結合編集方式などの研究を進めていこうと考えている。

## [成果の発表、論文等]

- 1) 碓崎賢一、清水浩：個体群の共通性に着目したルールベース・マルチエージェントシステムの高速処理方式、人工知能研究会資料 95-AI-98-6、情報処理学会 (1995)。
- 2) 松並勝、碓崎賢一：Virtual Community の提案、グループウェア研究会資料 95-GW-13-5、情報処理学会 (1995)。
- 3) 古野文一、松並勝、碓崎賢一：多人数チャットシステムにおける人物モデルのジェスチャー機能、グループウェア研究会資料 95-GW-13-6、情報処理学会 (1995)。
- 4) 碓崎賢一：チャット入力による人物モデルのジェスチャー制御、自然言語処理の応用に関するシンポジウム論文集、pp. 25-32、情報処理学会 (1995)。
- 5) 赤嶺義寿、碓崎賢一：仮想環境における自動プレゼンテーションシステム、マルチメディア通信と分散処理研究会資料 96-DPS-74-16、情報処理学会 (1996)。

# 自己説明を用いた知的学習環境の構築に関する研究

## A Study on Self-Explanation for Development of Interactive Learning Environment

951010

研究代表者

四国大学短期大学部 講師

金 西 計 英

### 【研究の目的】

人間の学習にとって、何かの知識を教えてもらうことは重要なことではあるが、第三者に何かを教えるという行為も、また重要であることに気付くことがある。我々は、この第三者に何かを説明するという行為、とくに自分自身についての説明、自己説明に着目し、この自己説明を利用する学習環境を計算機上で実現することを目指して研究を行った。

そこで、本研究の大きな目的は、自己説明を用いた学習環境を作ることである。しかし、この学習環境を構築するという目的を実現するためには、さらに基礎的な部分の研究を行う必要がある。例えば、自己説明とは何かを明らかにする、といったことが挙げられる。教育システム構築のために必要となる、基礎的な部分の研究を行うことも、本研究の目的の一部として挙げておきたい。

### 【研究の内容、成果】

学習者と計算機のインタラクションを実現するため、本研究ではまず、自己説明とその働きについて調べ、自己説明のモデルを提案した。そして、自己説明を実際の教育の中で

どのように用いることができるか、説明洗練という自己説明を制御する方式を提案した。さらに、我々のインストラクションデザインの有効性を確かめるために、プロトタイプを作成し評価を行った。

研究成果を、以下にまとめる。

#### 1. 自己説明と学習

##### 1.1 自己説明過程

自己説明とは、学習者が自分自身の内的な現象、例えば、問題解決について記述する行為であるを、とする。そこで、学習者が予め問題を解き、その解法を他の学習者や教師に向かって説明する。このような種類の説明を自己説明と呼ぶ。自己説明は、自分自身についての記述という点が、他の説明に比べて特異な説明である。

我々は、自己説明を幾つかの独立したモジュールの相互作用としての表象活動であると考え。そこで、我々は、自己説明を、説明(1)計画、(2)内省、(3)説明生成の3種類のモジュールから成ると考える。自己説明の様子をモデル化したものを図1に示した。

##### 説明計画 (Explanation planning module)

説明計画モジュールは、自己説明という行



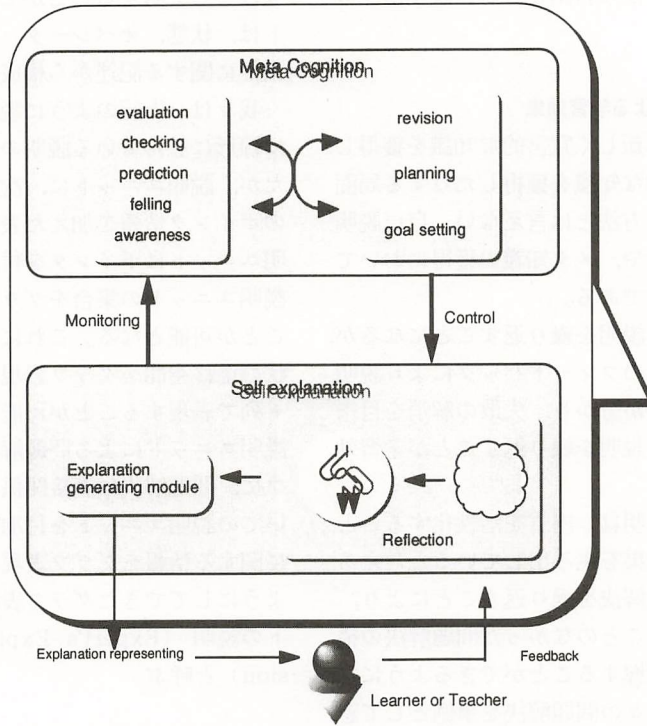


図1 自己説明の過程のモデル

為を成立させることを目的としている。そこで、目標として与えられた説明が完結するように、説明に関係する他のモジュールの制御をおこなう。説明として何を、どのように説明すればよいのか、といった説明の戦略に関するメカニズムを管理していると考えられる。

#### 内省 (Reflection module)

内省モジュールでは、学習者の問題解決過程の再現がおこなわれている。内省は、問題解決そのものではなく問題解決の再現である、という点が重要である。内省は自己記述的な行為であり、自らの内的な現象を外在化させる働きを持つ。そのため、学習者は明確に意識することのなかった、自分自身の問題解決で何がおこなわれたのか、を理解できるよう

になる。言い換えれば、内省を繰り返すことにより、学習者は問題解決過程がグラフ構造をしていることに気付く。その結果、グラフのノードが状態であり、問題解決が初期状態から目標状態へとグラフに沿って遷移することも理解できるようになる。また、内省は、問題解決の外在化を進めると考えられることから、メタ知識の獲得とも関わっていると考えられる。

#### 説明生成 (Explanation generating module)

説明生成モジュールでは、内省からの情報に基づいて説明を生成する。自己説明は、人間の表象活動であり、内省からの情報といっても言語化された情報を得ているわけではない。そこで、説明生成モジュールでは、非言

語的なイメージから言語化された説明が生成される。

## 1.2 自己説明による学習効果

自己説明は、新しく宣言的な知識を獲得したり、手続き的な知識を獲得したりする局面では有効な教育方法とは言えない。自己説明は、知識の定着や、メタ知識の獲得において有効な教育手法である。

自己説明時に説明を繰り返すことになるが、それは相手からのフィードバックにより説明が失敗したことが分かり、失敗の解消を目指すためである。説明を繰り返すことが学習効果を高める。

また、自己説明は、内省を活性化することにより、教育効果を生み出していると言える。学習者は、問題解決を繰り返すことにより、初めは意識することのなかった問題解決の構造を、明確に把握することができるようになる。そして、個々の問題解決を事例として意識することができるようになり、こうした事例の蓄積の中からメタ知識が汎化されることになる。

## 2. 説明洗練

### 2.1 問題解決過程の説明構造

地理の演習問題の解法についての説明は、問題解決過程の説明になっている。我々は、高校生を対象におこなったアンケートを基に問題解決過程の説明に典型的な構造を認めることができた。

説明は、幾つかの意味のまとまりの集合として捉えることができる。この意味のまとまりのことを、説明ユニットと呼ぶ。説明ユニットは、説明の中に現われる意味的な最小単位である。説明は、説明ユニットの線形な

並びとして考えることができる。説明ユニットは、状態、オペレータ、オペレータの適用条件に関する記述から構成される。

我々は、上記のように説明ユニットが単純に線形に並んでいる説明の表現モデルを考えたが、説明ユニットに、次の説明ユニットへのポイント情報を加えた表現を提案する。説明ユニットにポイントを付加することにより、説明ユニットの集合をグラフとして表現することが可能となる。これにより、問題解決の状態遷移空間をグラフ表現された説明ユニット列で表現することが可能となる。さらに、説明ユニットによる問題解決を表現したグラフに、問題解決に直接関係ない背景知識についての説明ユニットを付加し、説明の詳細化に関する情報をグラフ表現に追加する。このようにしてできたグラフ表現を、エキスパートの説明 (Expert's Explanation Expression) と呼ぶ

### 2.2 説明の洗練化の概要

教育現場で問題解決の説明を学習者におこなわせる場合、暗黙裏に「期待される説明」が存在している。教師は、学習者の説明を「期待した説明」に誘導する。我々は、教師による説明の誘導をモデル化し、これを説明の洗練化と呼ぶ。

ある問題解決の説明は、問題解決グラフ上の一つのパスに対応している。一般に、グラフ上で、初期状態から目標状態までのパスは複数存在することから、説明も複数存在する。「期待される説明」は、グラフ上のあるパスと対応している。我々が提案したEEEは、問題解決過程を表現するグラフである。その中には、「期待される説明」に対応した説明ユニット列が存在する。EEEのある説明ユニットの列にマークを振ることにより、「期



待される説明」をEEE内に明示することができる。

自己説明を用いた教育では、学習者は自らの説明と、期待される説明との差分を小さくする作業を繰り返すことになる。この差分を小さくする作業を、説明の洗練化と呼ぶ。

計算機上で説明の洗練化をおこなう場合、まず学習者の説明と、システムに用意された説明との差分をとり、学習者の説明を評価する。差分は、二種類の評価（構造に関する評価と、内容に関する評価）をおこなうことにより求める。そして、構造に関する洗練化（REM-S）と、内容に関する洗練化（REM-C）をおこなう。その結果、学習者は説明を繰り返すことになる。

### 3. 自己説明学習環境

本章では、我々が試作した自己説明環境について述べる。地理の自己説明環境 GELEN の外観を図2に示した。

GUIを用いて開発したため、アイコンやウィンドウを利用したインタフェースの実現により、学習者が理解し易く、親しみやすい画面構成が採れたと考えている。また、自己説明環境での学習者のオペレーションを、マウスを用いたダイレクトマニピュレーションとしたため、操作が容易となった。自己説明環境は、以下の4種類のウィンドウから構成されている。

- (1) メインウィンドウ
- (2) 説明表示ウィンドウ
- (3) アドバイスウィンドウ
- (4) システム応答ウィンドウ

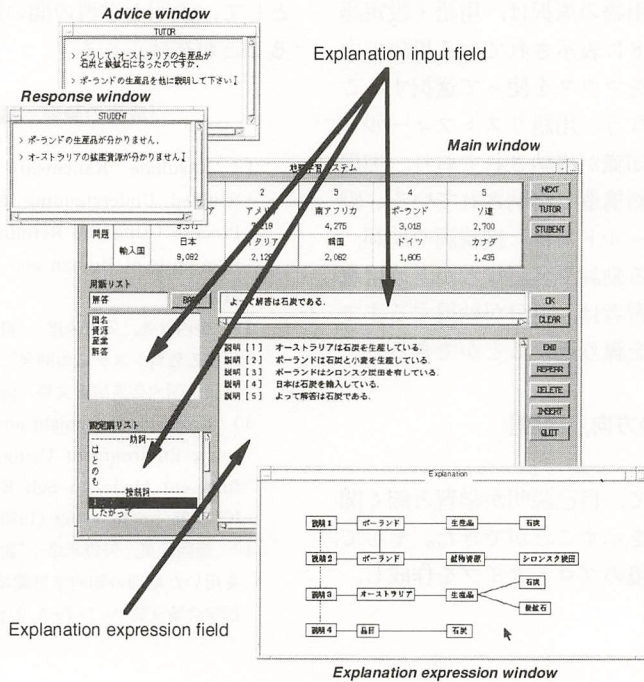


図2 説明支援学習環境 (GELEN) の外観

学習者の自己説明は、メインウィンドウ上でおこなわれる。説明を行なうための機能が実現されており、説明を入力するための入力フィールドと、説明表示フィールドが用意されている。また、説明を入力する以外の、機能も実現されている。例えば、メインウィンドウ上には、“NEXT”や“END”といったシステムが必要とする基本機能を表したボタンが用意されている。また、演習問題も表示されている。

学習者は、メインウィンドウ上で説明の入力・編集をおこなう。説明の入力は、まず用語リストフィールドと、設定語リストフィールドから語句を入力し、語句の組み合わせで文を作成することから始め、複数の単文を入力することによっておこなう。学習者の入力の結果は、説明表示フィールドに、1文ごとに表示される。用語の選択は、用語・設定語リストフィールドに表示されている単語の中から適当な単語をマウスを使って選択することによっておこなう。用語リストフィールドには地理の領域知識が格納されており、地理の専門用語が階層構造で格納されている。設定語リストフィールドには、接続詞や助詞、地理で用いられる動詞や名詞などが予め用意されている。学習者は、自分が納得するまで説明の編集作業を繰り返すことができる。

#### [今後の研究の方向、課題]

本研究を通じて、自己説明が学習と深く関わっていることを示すことができた。そして、自己説明学習環境のプロトタイプを作成し、評価を行った。

今回の、我々の開発したプロトタイプシステムを用いた評価の結果から、我々の提案する説明洗練による自己説明の有用性を示すことができた、と我々は考えている。今後の研究の方向として、基本的には、学習システムの完成度を上げるための研究を引き続き進めていく予定である。例えば、自己説明環境のグラフィカルな環境への適応を一層進める必要がある。何かの説明を行う場合、単に言葉だけではなく、図示することにより、説明が分かり易くなることは明白であり、こうした技法をシステムに応用しようとすることは、自然な欲求だといえよう。

また、我々は人間の自己説明のメカニズムについてのモデルを提案した。しかし、自己説明のメカニズムは、まだ仮説の段階であり、今後一層の明確化が求められる。今後の課題として、説明と学習の間の関係を明らかにすることが挙げられる。

#### [成果の発表、論文等]

- 1) Kazuhide Kanenishi and Yoneo Yano: "Guided Understanding for Problem Solving Process Using the Refining Self Explanation", *Symbiosis of Human and Artifact*, pp.97-102 (1995).
- 2) 金西計英, 矢野米雄: "自己説明の教育効果を利用する教育システムの開発", 1995年度日本認知科学会全国大会講演論文集, pp.128-129 (1995).
- 3) Kazuhide Kanenishi and Yoneo Yano: "Learning Environment Using an Explanation Refinement Model in Self Explanation", *Proc. of ICCE 95*, pp.182-189 (1995).
- 4) 金西計英, 矢野米雄: "説明洗練による自己説明を用いた地理の知的学習環境の構築", *電子情報通信学会論文誌 (A)*, J-79 A, 2, pp.227-240 (1996).



# 生体内環境における材料表面と生体との反応に伴う 電気信号の検出に関する研究

Study on detection of electric signal from surface reaction  
of material in the in vivo circumstance

951011

|       |                           |         |
|-------|---------------------------|---------|
| 研究代表者 | 財団法人応用科学研究所第1研究室 室長       | 桑 原 秀 行 |
| 共同研究者 | 京都市大学生体医療工学研究センター 教授      | 堤 定 美   |
|       | 長 浜 赤 十 字 病 院 形 成 外 科 部 長 | 黒 川 正 人 |

## 〔研究の目的〕

高齢化社会の到来を考えると、高齢者が活動できる社会を創出する必要があることは論を待たない。このためには、加齢に伴う骨や関節の劣化を放置することはできない。また、若年者でも各種事故による骨や関節の損傷を放置することは活動に制限を受けることになる。このような問題を人工骨や人工関節の施術によって解決する必要がある。我国においてもその事例は今後ますます増加することが予測される。これらの人工骨や人工関節に用いられる材料として、現在、セラミックス（アパタイト等）や金属（Co-Cr 合金、Ti 及びその合金等）がある。特に、チタンは生体親和性に優れた金属であり、比強度も高く、強度の信頼性や生体安全性から、今後ますます人工骨用材料としての使用量が増加すると予測される。

一方、顔面骨骨折の整復用のチタン製ミニプレート表面に從來全く報告例のない反応生

成物（ $\text{Na}_2\text{Ti}(\text{PO}_4) \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  や  $\text{NaHTi}(\text{PO}_4) \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ）の存在が報告されている<sup>1,2)</sup>。これらの反応生成物と臨床的な治癒との関係や反応生成物の安全性などについては現在のところ不明である。事故や加齢に伴い人工骨を生体内に埋入した場合、人工骨の生体に対する異害作用や生体との反応によって十分な強度を維持できなくなることが予測される。

そこで、人工骨材料として今後益々の役割が期待されているチタンの生体内での表面反応を検討し、これに伴う電気信号の検出の可能性についての知見を得ることを目的として本研究を行う。このために形成外科で抜去されたチタン製ミニプレートと生体と類似する環境中での超高純度チタンの表面反応を検討する。

## 〔研究の内容、成果〕

### 1. 実験方法

形成外科において骨折の整復後に抜去され

たチタン製ミニプレート表面の分析を行い、反応生成物（結晶性物質）の有無を調べた。

体液は電解質であり、チタンを生体内に埋入することによってチタン表面は電気化学的反応を生じることが予測される。そこで、人工体液、塩化ナトリウム水溶液、及びリン酸塩水溶液とチタンの反応挙動を検討した。

生体内におけるチタンの表面反応開始時間に及ぼす埋入後の経過時間の影響を検討するために、超高純度チタンプレートを兎の前頭蓋骨に埋入して一定時間経過後に抜去して、チタンプレートの表面層のNa, Mg, Ca, P及びOの濃度分布を分析した。

臨床に用いられたチタンプレートを含めてそれぞれのチタン材を薄膜X線回折装置（以下GIXDと略す）と光電子分光分析装置（以下XPSと略す）を用いて分析した。

## 2. 結果と考察

チタンは骨との親和性が優れ、従来チタン表面にはアパタイトが付着することが予測された。しかし、顔面骨骨折の整復術後7ヶ月後に抜去されたチタン製ミニプレートの表面を蒸留水で洗浄後XPS分析した結果、Naの濃度が高く検出された。そこで、このチタン製ミニプレートの表面から内部に向かってNaとPの濃度分布をXPSによって分析した結果を図1に示す。

図から内部深くまでNaやPが浸透していることが判る。しかしOは、高純度チタンにも含まれており、生体内での反応とは識別することはできない。粒径 $0.05\mu\text{m}$ の $\text{Al}_2\text{O}_3$ で鏡面にした超高純度のチタンプレートを兎の前頭蓋骨に1時間～6ヶ月間埋入後に抜去して同様に分析した。この場合にも図1と同様にNa、Pと共にOも内部まで分布する傾向を示した。即ち、図1に示した

NaやPの濃度分布は生体内でのチタンの表面反応による結果であるといえる。

生体内物質がチタン製ミニプレート表面に付着しているのか、あるいはプレート表面が生体内で反応して反応物を生成しているのかを検討するために集中法によるX線回折を行った。その結果を図2に示す。明らかに $\text{Na}_2\text{Ti}(\text{PO}_4) \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ や $\text{NaHTi}(\text{PO}_4) \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ の錯塩を生成していることが判る。

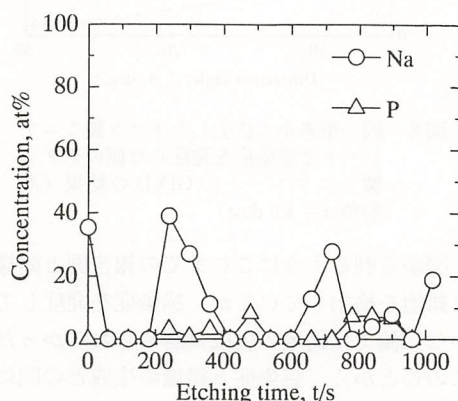


図1 生体内から抜去したチタンミニプレート表面から内部へのNaとPの濃度分布

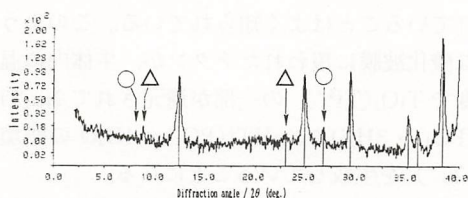


図2 顔面骨骨折の整復術後7ヶ月後に抜去したチタン製ミニプレートのXRD

これら生体反応生成物は全ての患者に見られるものではなく、またチタン製ミニプレートを抜去する原因も複数の因子（感染症、違和感、疼痛など）によっているため、上記錯塩の生成原因を推定することはできなかった。

上記の症例に対して、同一患者で感染症を



発症した部位と発症していない部位から抜去したチタン製ミニプレートをそれぞれ GIXD で回折した。その中の感染症を発症した部位から得た結果を図 3 に示す。

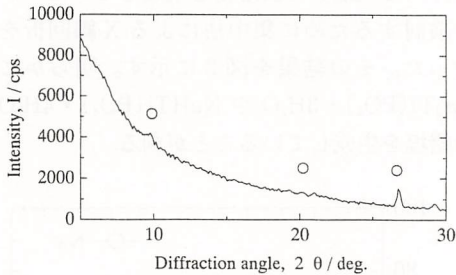
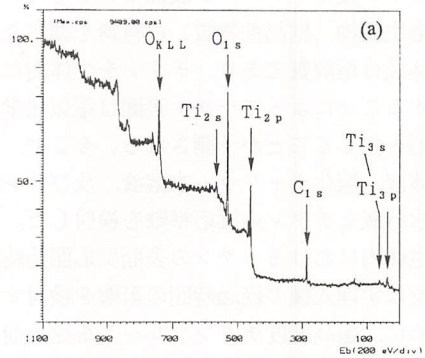


図 3 同一患者から抜去したチタン製ミニプレートで感染症を発症した側のチタン製ミニプレートの GIXD の結果 (入射角  $\alpha = 1.0$  deg)

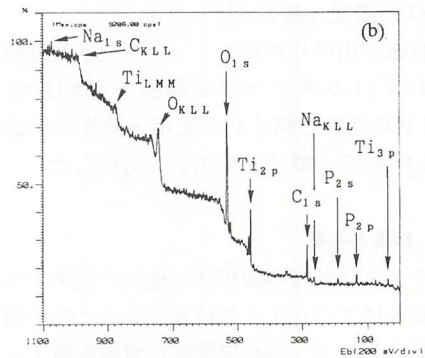
図から判るようにこれまでの報告例と同様に錯塩を検出しているが、感染症を発症していない側では錯塩の生成は認められなかった。このことから、感染症と錯塩の生成との間に何らかの因果関係があることが推測される。

ところでチタンは酸素との結合力が強く、その表面は通常極めて安定な酸化被膜で覆われていることはよく知られている。このような酸化被膜に覆われたチタンが、生体内の温度で  $\text{TiO}_2(\text{Ti}^{4+})$  の一部が還元されて  $\text{Na}_2\text{Ti}(\text{PO}_4) \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  や  $\text{NaHTi}(\text{PO}_4) \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  の錯塩 ( $\text{Ti}^+$ ) を生成していることになる。

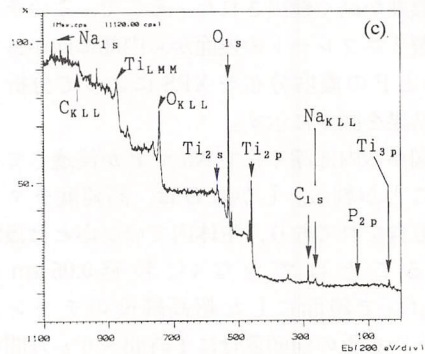
チタン製ミニプレートを囲む生体内の環境は種々の物質で構成されており、体温での  $\text{TiO}_2(\text{Ti}^{4+})$  の還元反応を理解するためには複雑である。そこで、超高純度チタンを電極とし、人工体液を電解液としてチタン表面の生体内反応を検討した。この時、電極間に 90 mV を印加した場合と無電界の場合について試料を作製した。作製した試料の表面と内部において XPS によって元素分析した。



(a) 試験前のチタン内部の XPS 分析結果



(b) 人工体液中で 90 mV 印加したチタン電極内部の XPS 分析結果



(c) 人工体液に無電界で浸漬したチタン内部の XPS 分析結果

図 4 試料チタン内部の XPS 分析結果

図4は、試料表面から2 keVの $\text{Ar}^+$ イオンで15秒間スパッタした試料内部の分析結果を示す。(a)は未処理の試料の内部を、(b)90 mVの電位を印加した電極試料の内部を、(c)は無電界の試料の内部をそれぞれ示している。

試料チタンはNaやPを含んでいないことが明らかである((a)参照)が、人工体液に浸漬しただけでもNaが内部まで浸透していることが判る((c)参照)。

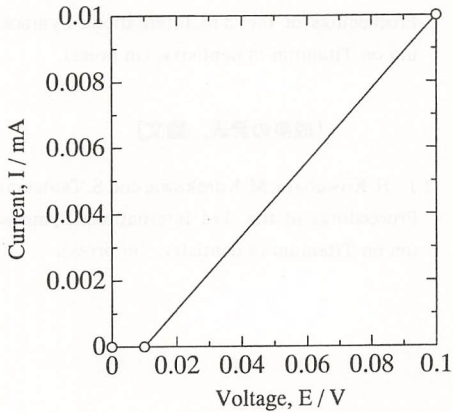


図5 1 N-NaCl 水溶液に対するチタン電極の電圧—電流特性 (液温: 12 ~ 15°C)

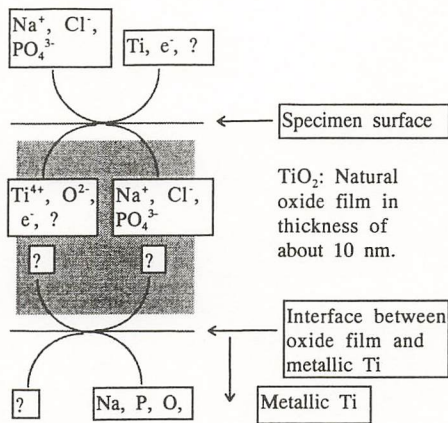


図6 生体内環境におけるチタンの表面反応機構の模式図

チタンの生体内での反応を推測するために、各種電界液中でチタンの挙動を検討した。印加電圧90 mVで5  $\mu\text{A}$ 程度の電流が流れたのに対して、1 N-NaCl水溶液では図5に示すように約9  $\mu\text{A}$ の電流が流れた。これは、図4(b)に示した場合に相当する。即ち、この程度の条件で $\text{Na}^+$ はチタン酸化膜の内部へ浸透することを示唆していると考えられる。

既述の臨床的分析結果などからチタンの生体内における表面反応機構を模式的にまとめると図6に示すようになると考えられる。

最表面での反応、チタン酸化膜中での反応及び金属チタン中での反応との3領域での反応として理解される。しかしながら、未だ不明な部分が多くあり今後の詳細な研究を必要としているが、これらの反応に伴う信号の検出を行うことによってチタン製人工骨の生体内における変質を予知することを可能にするものとする。このために今後、動物実験による検証などを通して本研究の精緻化を図る必要がある。

### 3. 結 言

生体内でのチタンの表面反応に伴う電気信号の検出についての知見を得るために、チタン製ミニプレート表面層の分析や人工体液などを用いた電気化学的検討を行い主として以下のような結論を得た。

1. 生体内でのチタン表面反応に $\text{Na}^+$ が一定の役割を果たしている可能性を指摘した。
2. 生体内でのチタンの表面反応機構を示し、これより信号検出を行える可能性を示した。



[今後の研究の方向, 課題]

人工骨や骨折の整復用としてのプレートに用いられるチタンの生体内における安定性を向上させるために, 以下の方法を検討する。

(1) チタンの表面改質

例えば, TiN あるいはより安定な  $\text{TiO}_2$  の被膜形成

(2) 生体内でのチタンの表面反応に伴う特性変化の検出

例えば, チタン表面に  $\text{Na}_2\text{Ti}(\text{PO}_4) \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  や  $\text{NaHTi}(\text{PO}_4) \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  が生成することによるチタンの弾性率の変化を超音波により検出する方法の開発

謝 辞

薄膜 X 線回折の一部は滋賀県立大学

工学部菊池潮美教授と同宮村弘助教授のご協力によった。記して謝意を表する。

[参考文献]

- 1) 黒川正人, 堤 定美, 桑原秀行: 日形会誌, 14 (1994), 238-243.
- 2) 桑原秀行, 黒川正人, 堤 定美: 日本金属学会 春期第 114 回講演大会概要集 (1194), 86.
- 3) 黒川正人, 堤 定美, 桑原秀行: 未発表.
- 4) H. Kuwahara, M. Kurokawa, and S. Tsutsumi: Proceedings of the 3rd International Symposium on Titanium in dentistry, (in press).

[成果の発表, 論文]

- 1) H. Kuwahara, M. Kurokawa, and S. Tsutsumi: Proceedings of the 3rd International Symposium on Titanium in dentistry, (in press).

## アレルギー関連免疫細胞の情報変換機能の 電気化学刺激制御に関する研究

Electrochemical Control of Information Transduction Function of Mast Cells

951013

研究代表者 岡山大学工学部生物機能工学科 助教授 篠原 寛 明

### [研究の目的]

我々は、これまでに導電性基板上で動物細胞株の培養を行い、その増殖能、分化能、蛋白産生能を通電刺激により制御し得ることを明らかにし、またその効果が細胞膜の流動性への影響と関連する結果を得てきた。一方近年種々の細胞の細胞膜における分子情報変換のメカニズムが急速に明らかにされてきた。こうした背景のもとで細胞への電気化学刺激が、情報分子に対するレセプターやG-蛋白質の細胞膜における動きやエキソサイトーシスなどの過程に効果を及ぼし、その結果細胞の情報変換機能を制御できるのではないかと期待するに至った。そこで本研究では、生体内における情報システムを担う細胞のうちの免疫細胞、特に花粉症など近年多くの人を悩ませているアレルギーに関わる肥満細胞の細胞膜における情報変換機能に対して通電刺激が及ぼす電気化学効果と作用機構を検討することを目的とした。

### [研究の内容、成果]

本研究ではアレルギーに関与する肥満細胞のモデルとしてラット好塩基性白血病細胞で

あるRBL-2H3細胞（以下RBL細胞と略す）を用い、この細胞を導電性基板上で培養し、IgEとアレルギーを投与した際の細胞からの化学伝達物質の放出が、直流低電圧の印加刺激によってどのように影響を受けるかを調べた。またその電気化学効果が細胞膜における情報変換過程に及ぶものであるかを明らかにするために細胞膜のIgEレセプター蛋白質の動きについて蛍光抗体法を用いて検討した。

#### 1. 電気化学刺激用培養チャンバーの作製とRBL細胞の培養

RBL細胞の培養状態および蛍光抗体染色を顕微鏡観察でき、しかも通電刺激を行えるような導電性の培養基板としてITO (Indium Tin Oxide) 蒸着ガラス板を用いた。図1に示すようにこのITO基板上にシリコン製ウェルを設置して培養チャンバーとし、ディッシュに入れ、銅板でコンタクトを取れるようにした。さらにディッシュの蓋に白金線電極を取り付け、チャンバー内で2電極系での通電ができるようにした。RBL細胞の培養は、5%FBS, 10% DHSを含むDMEM培地を用いて37℃, 5%CO<sub>2</sub>条件下で行った。無電圧印加下ではRBL細胞はこのITO基板



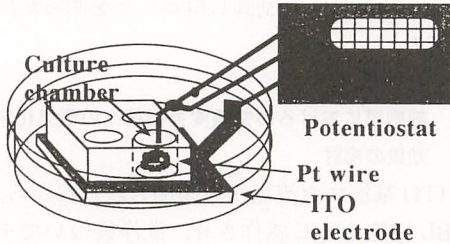
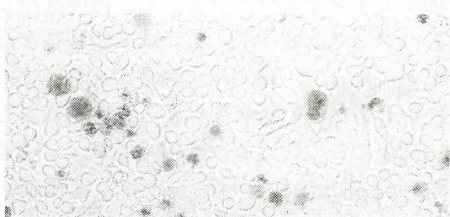
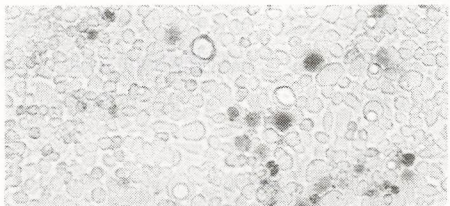


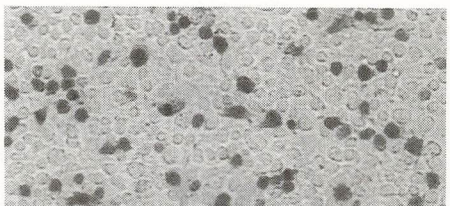
図1 通電刺激用培養チャンバー



Voltage off (Control), 3hrs



0.62 V, 3hrs



0.78 V, 3hrs

図2 ITO基板上で培養したRBL細胞の電圧印加後のトリパンブルー染色結果

上で形態的にも倍加時間的にも通常の培養フラスコ中と同様に付着増殖することが確かめられた。次いで細胞がITO基板電極の底面いっぱい増殖したところで培地を生理的平

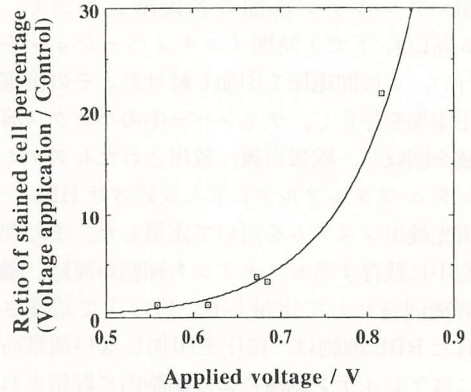


図3 直流低電圧印加のRBL細胞の生死への効果

行塩類溶液のハンクス溶液に換え、ポテンシオスタットを用いて白金電極側を基準として水の電気分解が起こらないような低電圧を3時間印加し、その後トリパンブルー染色を行う方法で、細胞の生死への電圧印加効果を検討した。電圧を印加しないとき、0.62 Vを印加したとき、0.78 Vを印加したときのトリパンブルー染色結果を図2に示す。また図3には、青く染色された死細胞の全細胞数に対する割合の印加電圧依存性を示す。この結果およそ0.7 V以上の電圧を印加すると死細胞数が急増し、細胞膜にもダメージが及ぶものと考えられた。

## 2. アレルゲン感作時のヒスタミン放出に及ぼす電気化学刺激効果の検討

細胞をITO電極基板の全面に成長するまで増殖させた後、培地をハンクス溶液に置換し、白金電極を溶液中にセットして2電極系で直流電圧を印加しながら、マウスIgE（モノクローナルアンチジニトロフェニル溶液）、続いてアレルゲン（アルブミンヒューマンジニトロフェニル溶液）を順次添加してアレルゲン刺激を行った。ハンクス置換、IgE添

加, アレルゲン添加の各段階とも 37℃, 5%CO<sub>2</sub> 下で 1 時間インキュベーションを行い, この間電圧を印加し続けた。その後電圧印加を停止し, チャンバー中のハanks 溶液を回収し, 除蛋白後, 放出されたヒスタミンを o-フタルアルデヒドと反応させ HPLC-蛍光検出システムを用いて定量した。また細胞中に残存するヒスタミンも細胞の凍結, 融解後同様にして定量した。ITO 上で培養された RBL 細胞は, 電圧を印加しない通常時にはアレルゲン刺激により細胞内に貯留されているヒスタミンのおよそ 30% を放出したが, 種々の電圧を印加した時のヒスタミン放出% (V) と電圧を印加しなかった時の放出% (C) の比を図 4 に示す。この図よりわかるように 0.6 V 付近の電圧印加下では, わずかながらヒスタミン放出が抑制される傾向が示された。一方 0.7 V の電圧印加時には, 通常よりヒスタミンの放出率が增大する傾向が得られたが, これは細胞膜にダメージが及び細胞内部のヒスタミンが流出したのではないかと推察される。以上の結果, 期待したほど大きい抑制ではないが, RBL 細胞のアレルゲン応答による化学伝達物質の放出を直流低

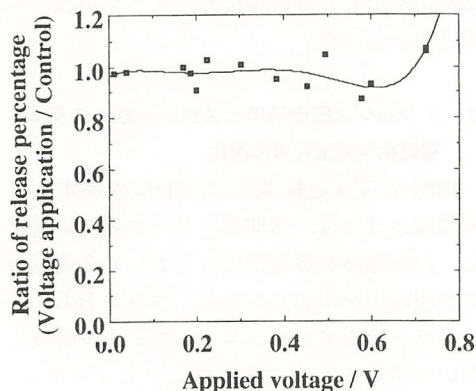


図 4 アレルゲン刺激による RBL 細胞からのヒスタミン放出に及ぼす電圧印加効果

電圧の印加により制御し得ることを明らかにできた。

### 3. 細胞膜におけるの情報変換機構への電気化学効果の検討

ITO 基板に直流電圧を印加し続けながら, RBL 細胞を IgE 感作させ, 洗浄後ついでモデルアレルゲンとして FITC 標識した抗 IgE を加えてインキュベーションし, 再度洗浄した後ハanks 溶液中で, 蛍光顕微鏡観察を行うことによって, 電気化学刺激が細胞膜上の IgE レセプターの会合に与える影響を検討した。図 5 にこの観察原理を模式的に示す。通常ならば抗 IgE を介して IgE 間の架橋反応が起こり, IgE が結合している膜レセプターの会合が進み, 抗 IgE に標識した FITC の蛍光も局所的に強く見られるはずであるが, 一方電圧印加により細胞膜流動性の低下が生ずれば IgE レセプターの会合が抑制され,

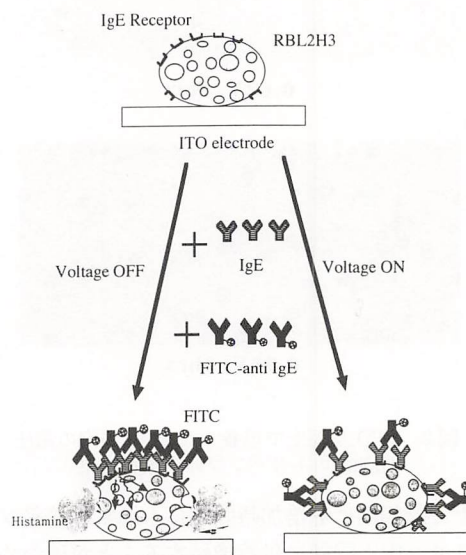
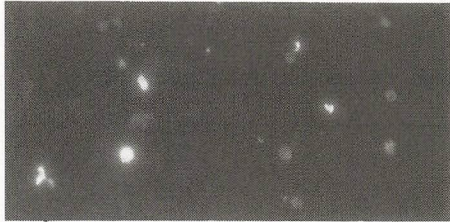
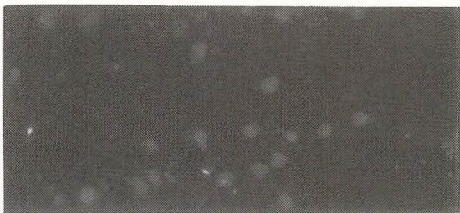


図 5 IgE レセプターの動きに及ぼす電圧印加効果を蛍光観察する原理 (予想図)





no voltage application



at 0.57V

図6 電圧を印加しない場合及び約 0.6 V の電圧印加下で IgE と FITC 標識抗 IgE を感作させた RBL 細胞の蛍光顕微鏡観察像

FITC 標識抗 IgE の蛍光は細胞膜全体に渡って均一に観察されるのではないかと予想した。実際に電圧を印加しない場合（コントロール）と 0.6 V の電圧を印加したときの蛍光観察像を図 6 に示す。ヒスタミン放出が抑制される傾向が示された 0.6 V の印加時には、確かにコントロールとは異なり、抗 IgE の FITC 蛍光は細胞膜全体に渡って薄く広がって観察された。またこの電圧印加下での蛍光像観察の後、細胞のトリパンブルー染色を行ったが、染色率はコントロールとほぼ同じ

であった。この結果 0.6 V 付近の電圧印加下では、細胞膜にダメージは及ばないが、IgE レセプターの会合が抑制されており、膜流動性が低下しているのではないかと考察された。

#### [今後の研究の方向, 課題]

本研究では細胞が破壊されないような直流低電圧の印加によってアレルギーに関与する免疫担当細胞のアレルゲン応答を抑制できる可能性を示すことができた。今回は直流印加効果の検討で終わったが、交流や矩形波などの印加によって細胞膜の情報変換能をより効率的に制御できるか今後検討したい。本研究はアレルギー反応の新しい抑制治療法の基礎につながるだけでなく、神経系を始めとする生体情報系における細胞の情報変換機能のエレクトロニクスシステムによる支援や抑制を実現する基礎として大きな意義を持つものと期待している。

#### [成果の発表, 論文等]

- 1) 篠原寛明, 皆木里枝, 出口常夫, 穴戸昌彦, 1995 年電気化学協会秋季大会 (1995 年 9 月), 講演要旨集 p. 102, 1 F 25.
- 2) 篠原寛明, 出口常夫, 穴戸昌彦, 日本化学会第 70 春季年会 (1996 年 3 月), 講演予稿集 II p. 913, 1 E 428.



## 音声入力を核としたマルチモーダルな マン・マシンインタフェース

Multi-modal man-machine interface based on speech input and others

951015

研究代表者

豊橋技術科学大学情報工学系 教授

中 川 聖 一

### 〔研究の目的〕

音声認識技術、及び、これを支援する言語処理技術の向上により、ユーザがより自然な言い回しで対話を行なえる音声対話システムが実現されてきている。また、音声対話システムの対話を支援し、ユーザに使い勝手のよいマン・マシンインタフェースを提供することを目的として、「音声入出力」以外に「ポインティングジェスチャ入力」や「画像による出力」などの複数の入出力手段（モダリティ）を相補的に統合し、同時あるいは逐次に用いるマルチモーダルインタフェースの研究も近年盛んに行なわれるようになってきている。

我々の研究室では、「富士山観光案内日本語音声対話システム」の開発を行なってきた。しかし、マン・マシンインタフェースを音声のみで提供していた従来のシステムでは、システムからの応答が音声のみで行なわれるために、ユーザに不安や負担を与えることがあった。そこで、「システムとの対話の途中経過表示」や「タッチ入力、及び、指示詞や指示代名詞（以降は、これらをまとめて「指示語」と呼ぶ）を含んだユーザ発話の許可」といった、マルチモーダルインタフェースの

実現を行なった。特に本研究では、同システムについて、「システムの使い勝手の良さ」や「マルチモーダルインタフェース化の効果」に着目して評価実験を行なった。

### 〔研究の内容、成果〕

従来の「富士山観光案内日本語音声対言語システム」

「富士山観光案内日本語音声対話システム」は、富士山周辺の観光案内をタスクとしており、ユーザの発声する音声を入力とし、その発話内容に対する観光案内を合成音声で応答する。現在のシステムでは、普段我々が使用しているような話し言葉に近い『自然な発話 (Spontaneous Speech)』を理解することが可能になっている。ここでいう『自然な発話 (Spontaneous Speech)』とは、発話文中に「関投詞」「未知語」「助詞落ち」「言い淀み・言い直し」「倒置」といった話し言葉特有の現象を含んだ発話のことである。

従来の「富士山観光案内音声対話システム」は、「入力音声認識部」「対話理解・管理部」及び「応答音声合成部」の3つの部分から構成されている。

認識に用いる HMM (Hidden Markov

Model) には、日本語の 113 音節を単位とする音節 HMM で、5 状態 4 出力分布の単一連続分布を持つ、離散継続時間制御 HMM (DDCHMM) を用いている。(しかし、後述するように、オンラインでの評価実験では認識速度を上げるために、継続時間等は使用していない。) 更に、HMM は話者適応化を行なって、認識率の向上をはかっている。この音節 HMM、文脈自由文法の構文解析法、音声の「取り込み」「分析」「認識」を同時に行なう並列化アルゴリズム、及び、One Pass Viterbi サーチアルゴリズムに基づいたフレーム同期型の連続音声認識の統合アルゴリズムを基礎として、ユーザの発話を認識する「入力音声認識部」は構成されている。更に「問投詞」や「言い淀み・言い直し」の部分には、未知語処理に基づいた処理を施している。文脈自由文法は自然な対話音声を認識するために、助詞落ちや倒置を含む文も受理できるように記述している。

ユーザの発話は「入力音声認識部」で認識され、「対話理解・管理部」に送られる。この認識結果を文字列に変換し、変換した文字列に対して「形態素解析」「文節解析」「構文解析」「意味解析」「文脈解析」を行い、続いて、富士山周辺の観光地データベースの検索を行なうことによって、応答文の文字列を生成する。「構文解析」及び「意味解析」においては、助詞落ち、助詞誤り、倒置に対応するためにいくつかのヒューリスティックスを用いて解析を行っている。

「応答音声合成部」は、対話システムが生成する応答文の文字列をワークステーション上で動作する音声合成サーバに送り、音声を出力している。

#### 従来のシステムの問題点

従来のシステムでは、マン・マシンインターフェイスとして音声のみを用いているため、以下のような問題点が生じてくる。

1. システムからの応答文が多くの内容を含んでいる場合、システムの発話は長くなり、応答内容の一部を聞き逃す可能性がある。
2. 応答された観光地名、施設名等の漢字表記がわからないことがある。
3. ユーザはシステムと対話を行う際に、システムから得られる情報をメモを取る等の手段で記録しながら、対話を進めていかなくてはならない。

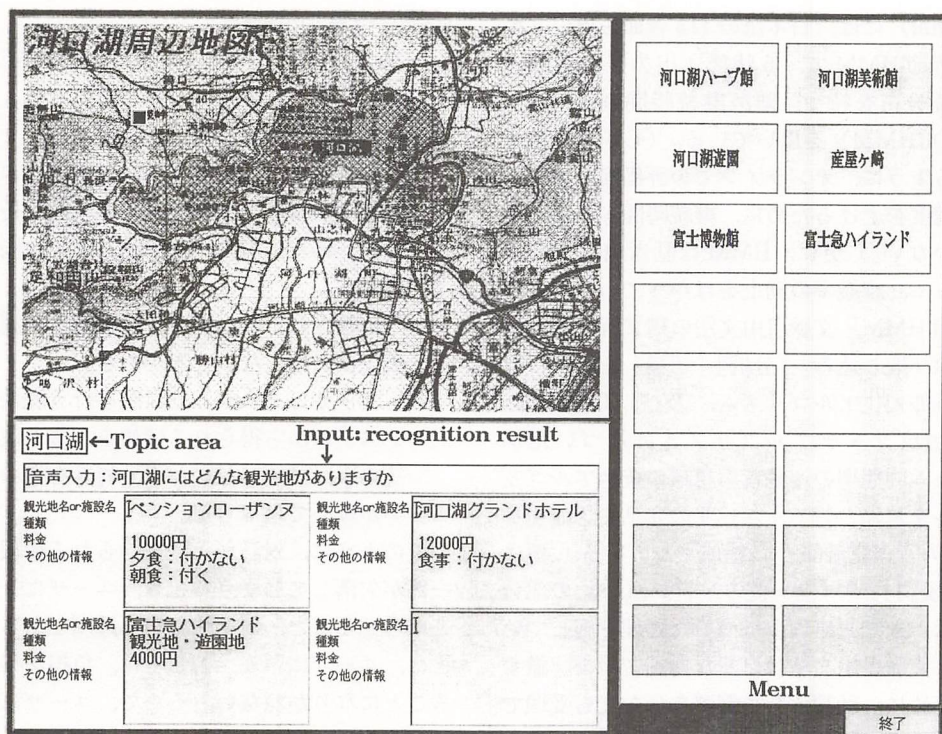
このように、対話によって得られる情報の一部が欠落してしまうことや、ユーザにメモを取らせること、対話状況が不透明であることは、ユーザに不安、若しくは、負担を与えることになりかねない。そこで、ユーザに余計な不安や負担を与えないようにすることを目的として、従来のシステムに改良を加えた。

#### ディスプレイ上への情報表示

システムからの応答や過去の対話で得られた情報を記憶し、ユーザが必要とする情報を、対話の途中経過表示として、以下の 3 種類の手段によって画面上に表示する。

- ・現在の対話内容に対応する場所の地図 (富士山、河口湖、山中湖、西湖、精進湖 & 本栖湖、のいずれか) 及び現在のトピックを表示。
- ・システムからの応答文が多く (今回の改良においては 5 個以上) の項目を含んでいる場合に、これらをメニューとしても表示。
- ・システムとの対話から得られた情報の内、各観光施設の (名称、種類、料金や食事、





（左上：地図，左中央：現在のトピックと入力音声の認識結果，左下：対話履歴，右：応答文のメニュー）

図1 画面表示の例

駐車場の有無といったその他の情報は、対話履歴として随時表示。  
これらをディスプレイ上に表示した画面の例を図1に示す。

### タッチスクリーン入力法

ユーザがシステムからの応答文の一部を聞き逃してしまった場合にも、以降の対話で聞き逃した観光地名等を対象とする質問を行なえるようにメニューが表示される。このメニュー内の項目、若しくは、地図上の位置や地名等に指を触れながら（タッチ入力）、これを指示語で言い表すことによって、システ

ムとの対話を行えるタッチスクリーン入力法を実現した。指示語を含んだユーザの発話とタッチ入力を組み合わせたシステムへの入力は、例えば次のようになる。

ユーザ動作：メニュー内の項目「富士急ハイランド」にタッチする。  
↓  
ユーザ発声：この入場料金はいくらかかりますか。

今回の実現では、「入力音声認識部」の認識結果が指示語を含んでいるか否かを調べ、含んでいる場合に、指示語とタッチ入力で指し示したものを表す単語とを入れ換えるだけ

の処理しか行っていない。

#### システムの評価について

マルチモーダルインタフェース化を行なった「富士山観光案内日本語音声対話システム」について、「システムの使い勝手の良さ」や「マルチモーダルインタフェース化の効果」に着目して、評価実験を行なった。

実験は、被験者らに「1泊2日の富士山周辺への研究室旅行」を、システムとの対話で得られる情報を元に計画してもらうという形式で行なった。決定してもらう内容は、1、2日目の目的地とそこでのプラン、及び、宿泊先の施設の所在、種類、料金、宿泊施設名の計8項目である。被験者は、音声対話システムにある程度慣れている研究室の学生4人である。この4人のタスクの達成率（必要な8項目を決定できた割合）は、いずれも100%であった。

システムとの対話は、以下の3種類の形式で行なった。括弧内の記述は、それぞれの対話形式の表における記述を表している。

1. 従来の音声のみを用いた対話（音声入出力）
2. 対話の途中経過表示の情報を与えるマルチモーダル出力を用い、入力には音声のみとした対話（音声入力・マルチ出力）
3. タッチスクリーンによる入力も許したマルチモーダル入出力による対話（マルチ入出力）

被験者らには、これら3種類の対話形式によるシステムとの対話を4回行ってもらい、それによって計画を4案立ててもらい、その際、1回目と4回目は同じ対話形式で、システムとの対話を行ってもらい、システムに慣れていない状態とある程度慣れた状態とで、対話の進み具合にどのような違いが出てくる

かを見る。今回の実験では、被験者Aには対話形式1→2→3→1、被験者Bには、対話形式2→3→1→2、被験者C & Dには、対話形式3→1→2→3の順で対話を行ってもらった。

#### 評価結果

各被験者のタスクの全発話数と対話時間を表1及び表2に示す。ここでいう対話時間とは、各被験者が対話を開始してから、課題が達成されるまでの時間であり、被験者が次の質問を考えたり、メモを取ったりしている時間も含まれている。尚、認識器の処理時間は実時間の数倍である。

表1 課題達成のために費やされた発話の数  
(括弧内：タッチ入力を用いたユーザ発話の数)

| 対話形式<br>使用順     | 被 験 者   |         |         |        |
|-----------------|---------|---------|---------|--------|
|                 | A       | B       | C       | D      |
| 音声入出力           | 47      |         |         |        |
| ・音声入力・<br>マルチ出力 | 22      | 42      |         |        |
| マルチ入出力          | 25 (25) | 42 (24) | 23 (9)  | 43 (6) |
| 音声入出力           | 23      | 29      | 16      | 8      |
| ・音声入力・<br>マルチ出力 |         | 30      | 16      | 14     |
| マルチ入出力          |         |         | 23 (13) | 16 (7) |

表2 課題達成にかかった対話時間（分秒）

| 対話形式<br>使用順     | 被 験 者   |         |         |         |
|-----------------|---------|---------|---------|---------|
|                 | A       | B       | C       | D       |
| 音声入出力           | 29' 7"  |         |         |         |
| ・音声入力・<br>マルチ出力 | 14' 17" | 31' 3"  |         |         |
| マルチ入出力          | 14' 12" | 27' 30" | 26' 49" | 29' 9"  |
| 音声入出力           | 14' 20" | 19' 18" | 11' 46" | 7' 50"  |
| ・音声入力・<br>マルチ出力 |         | 21' 32" | 12' 6"  | 11' 19" |
| マルチ入出力          |         |         | 12' 16" | 12' 55" |

各被験者の4回の対話の内、1回目の対話に時間がかかったり、発話数が多くなっているのは、システムに慣れていないためだと思



われるが、それを除いた2, 3, 4回目の対話の時間及び発話数には、顕著な違いは見られない。むしろ、マルチモーダル化したシステムとの対話の方が、音声のみのシステムとの対話より時間がかかったり、発話数が多かったりする傾向が見られる。画面表示が加わったのに、対話時間が短くならない理由としては、画面から得られる情報量が多いために、次の質問を決定しにくいためや対話内容が豊富になったためと思われる。被験者Bの発話数が多く、対話時間が長いのは、「システムの正しい応答率」（ユーザ発話を正しく理解し、データベースから有用な結果を検索・出力できた割合）が低いからである。

「システムのユーザ発話理解率」は、システムと対話を交わす際に、課題の達成等の要因を考慮せず、システムがユーザの発話に対し、どれだけ正しく理解できたか（正しく意味ネットワークへ変換できたか）を表しており、次のように定義する。

$$\text{ユーザ発話理解率} = \frac{\text{正しく理解できたユーザ発話数}}{\text{ユーザ全発話数}}$$

各被験者の対話における「システムのユーザ発話理解率」を表3に示す。

表3 システムのユーザ発話理解率 [%]

| 対話形式<br>使用順 | 被 験 者 |      |      |      |
|-------------|-------|------|------|------|
|             | A     | B    | C    | D    |
| 音声入出力       | 25.5  |      |      |      |
| 音声入力・マルチ出力  | 36.4  | 28.6 |      |      |
| マルチ入出力      | 36.0  | 28.6 | 47.8 | 37.2 |
| 音声入出力       | 43.5  | 31.0 | 31.3 | 75.0 |
| 音声入力・マルチ出力  |       | 36.7 | 37.5 | 35.7 |
| マルチ入出力      |       |      | 43.5 | 56.3 |

また、システムの文法で受理できる文をユーザが発声した割合は、約90%であった。

つまり、文法で受理されるユーザ発話に対しては、約45%が正しく理解できたことになる。精度がまだ不十分な理由は、実験で使ったシステムの「入力音声認識部」の認識条件が、システムの応答時間短縮を優先したために、継続時間制御を使用しておらず、音声の動的特徴パラメータとして回帰係数も使用せず、さらにビームサーチの幅も5と狭くしたこと、更に音声区間の切り出し誤りを含んでいるためと考えられる。この高速化によって、実時間の数倍で認識できるようになった。一方、継続時間制御と回帰係数を使用し、ビームサーチ幅を20とすると、認識時間は数倍に増大するが、文認識・理解精度は60%程度に向上する。

#### アンケートによる考察

この評価実験では、以上に示したような客観的かつ定量的な評価の他に、アンケート調査による、システムの使用感といった主観的な評価も行なった。アンケートは、「対話の途中経過表示は役に立ったか」とか「タッチ入力は使いやすかったか」のような質問に答えてもらうものであったが、「タッチ入力が使いにくい」という意見が被験者4人の内3人から得られた。理由としては、「タッチ入力の精度が悪い」「指示語を含んだ発話の認識精度が悪い」といったことがあげられている。この意見は、タッチ入力を実現しているプログラムがまだ不完全であることや、指示語を含んだ文に対応する文法規則がないことを示している。今後、正式な評価実験をするために、プログラムの改良や文法規則を追加する必要がある。

#### 対話例

図2に、本システムを用いた対話例を示す。

SYS：がシステムからの応答，USR：がユーザの入力を示す。間投詞や倒置を含む発話の入力，画面にタッチしながらの音声入力が可能ながわかる。

SYS：富士山観光案内システムです。ご用件をお願いします。  
 USR：えーと，河口湖にはどんな観光地がありますか。  
 SYS：河口湖には河口湖美術館や河口湖遊園や産屋ヶ崎や富士博物館や富士急ハイランドがあります。  
 (河口湖の地図，及び，5箇所の観光地名がメニューとして表示される)  
 USR：あの一，いくらかかるんでしょうか。富士急ハイランドの入場料って。  
 SYS：4000円かかります。  
 (富士急ハイランドの画像が表示される)  
 USR：(地図上の湖の位置に指で触れて)この周辺にはどんな宿泊施設があるんですか。  
 SYS：河口湖にはホテルやペンションや旅館があります。  
 USR：どんなペンションがありますか。  
 SYS：河口湖にはペンションローザンヌやペンションクレヨンがあります。

図2 対話例

#### [今後の研究の方向，課題]

本研究では，従来音声のみをマンマシンインターフェースの入出力の手段としていた音声対話システムに対し，「対話の途中経過のディスプレイ上への表示」及び「タッチ入力と，指示語を含んだユーザ発話を組み合わせ

た入力」を実現したマルチモーダル化の改良を行なった。また，今後のシステムの改良のための評価実験も行なった。

今後は，現在のシステムに対し，文法や辞書へ単語を追加すること，加えて，データベースの充実をはかることを行ない，更に，システム全体の不備な点の改良を行なった後に，高速なワークステーションを導入し，音声認識部の認識条件をより精密なモードにして，正式なシステムの評価を行なう予定である。

#### [成果の発表，論文等]

- 1) S. Nakagawa, J. X. Zhang and W. Chengcharoen: A multi-modal interface with speech and touch screen, Proc. Sixth Int. Conf. HCI, pp. 213-218 (1995. 7)
- 2) M. Yamamoto, T. Koike, S. Nakagawa: A menu-guided spoken dialog system and its evaluation, Proc. Sixth Int. Conf. HCI, pp. 547-552 (1995. 7)
- 3) 傳田明弘，中川聖一：「日本語音声による観光案内システムのマルチモーダルインターフェース化」，情報処理学会第52回全国大会(2)，4 D-3，pp. 167-168 (1996. 3)
- 4) 山本，伊藤，肥田野，中川：「人間の理解手法を用いたロバストな音声対話システム」，情報処理学会論文誌，Vol. 37, No. 4, pp. 471-482 (1996. 4)
- 5) 傳田明弘，伊藤敏彦，中川聖一：「マルチモーダルインタフェースを備えた観光案内対話システムの評価」，人工知能学会第10回全国大会論文集，15-09，pp. 431-434 (1996. 6)



# 人工知能モデルを用いた交通制御システムの 高度化に関する研究

## A New Approach for Sophisticating Traffic Control Systems Using Artificial Intelligence Models

951016

|       |                |                    |
|-------|----------------|--------------------|
| 研究代表者 | 北海道大学工学部 助 教 授 | 中 辻 隆              |
| 共同研究者 | 北海道大学工学部 助 教 授 | 萩 原 亨              |
|       | 北海道大学工学部 助 手   | 藤 原 隆              |
|       | 北海道大学工学部 博士課程  | 渋谷 秀 悦             |
|       | 北海道大学工学部 博士課程  | Pourmoallem Nasser |

### [研究の目的]

都市内街路網の交通制御システムにおいて、時々刻々変化する交通状況に応じてその信号制御パラメータを設定したり、あるいは渋滞やインシデントの発生を迅速に検知・判別することによって、交通渋滞を軽減し車の流れを円滑にしようとする試みが数多くなされている。交通流の現象が非線形、非定常な特徴を有することから、ニューラルネットワークモデルや遺伝的アルゴリズムなどの人工知能(AI)モデルがその高度化に大きな役割を果たすと期待されている。本研究では、ニューラルネットワークモデルなどの人工知能モデルを用いて交通流シミュレーションモデルの精度向上を図るとともに、最適な信号制御パラメータを推定することを試み、学習能力に優れた交通制御システムの確立を図ることを

目的としている。

### [研究の内容と成果]

本研究では、交通制御システムの高度化に関して以下の3つの問題を取り扱った。

#### 1. 交通変量のマクロ表現

交通状態を表現する密度、交通量、および平均速度の相互間の関係は、交通流の基本特性を分析するためだけでなく交通流のマクロモデルにおける特性方程式として重要である。従来これらの関係は、線形、あるいは非線形の回帰式を用いて解析的に記述されてきたが、渋滞時、あるいは自由流と渋滞流との遷移時の非線形な挙動を充分表現出来なかった。本研究では、多層階層型のニューラルネットワーク(NN)モデルを用いてこれらの間の

関数関係を表現し従来までの回帰式との比較を行った。

Fig. 1 は、首都高速道路横羽線のある 1 地点 (1201) で 1993 年 10 月に計測された車両感知器データを用いて、時間占有率と地点平均速度の関係を非線形式と NN モデルによって回帰表現させた結果を表している。さらに、NN 回帰モデルにおいては、原データをそのまま用いた場合とコホーネンの Feature Map (KFM) モデルを用いて、より少ないデータに変換した場合とを比較している。すなわち、計測された (交通量, 占有率, 速度) の 3 次元データを入力信号、変換後のデータセットを出力信号とする KFM モデルを作成しデータのマッピングを行った。これによって、限られた領域に数多く分布する特性を有する交通変量データを、広範な交通状態領域に一樣に分布するデータに変換することができる偏りのない回帰表現を得ることができる。実際の計算では、120 個 (2 時間) のデータを 20 個のデータに縮合した。占有率 (Occupancy) が 40% 以下の領域にデータが集中しているために、非線形回帰式や KFM のない NN モデルでは 40% 以上の領域での回帰に大きな差を生じているが、KFM によってデータの縮合を行うことに

Table 1 Comparison of Multiple Correlation Coefficients on Occupancy-Speed Curve

| Detector Point | Non-linear Equation | Neural Network |             |
|----------------|---------------------|----------------|-------------|
|                |                     | with KFM       | without KFM |
| 1,009          | 0.94                | 0.97           | 0.97        |
| 1,011          | 0.87                | 0.92           | 0.94        |
| 1,103          | 0.91                | 0.94           | 0.95        |
| 1,201          | 0.88                | 0.91           | 0.92        |
| 1,203          | 0.92                | 0.96           | 0.97        |

よって平均的な状態を再現していることが分かる。Table 1 は、他の 4 地点も含めて回帰式の重相関係数の値を比較したものである。NN モデル、さらには KFM モデル導入の効果を確認できる。

同様の分析を、占有率—交通量曲線、あるいは交通量—速度曲線についても行い、同様な結果を得た。さらには、3 変量を同時に用いて 3 次元の回帰式の作成も行い NN モデルの有用性を確認した。

## 2. ニューロ・カルマン交通流モデル

大規模な道路網における迂回制御を行う時に、交通流を流体として表現したマクロ交通流モデルは重要な役割を果たす。Cremer モデルは、マクロ交通流モデルにカルマンフィルタを組み合わせ、車両感知器によって計測される交通変量データ利用し交通状態をリ

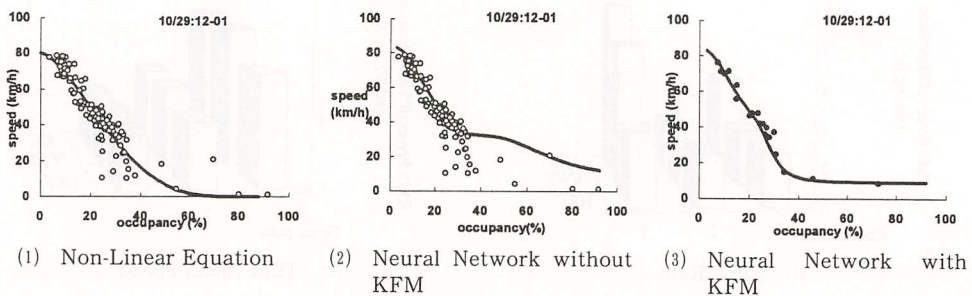


Fig. 1 Comparison of Neural Network Models with Non-Linear Equations on Occupancy-Speed Curve.



リアルタイムにフィードバック的に推定しようとする手法であるが、観測方程式が線形構造をしているため、あるいはモデルに含まれるいくつかのパラメータが交通状態量に依存するために、複雑な実交通状態を表現するのに限界があった。本研究では、観測方程式、および状態方程式をニューラルネットワークモデルによって表現することによって、上記の問題に対処するとともに、交通状態の推定精度の向上を図った。

いま、道路のある区間の時刻  $k$  の密度  $c(k)$  と空間平均速度  $v(k)$  を状態変数  $x(k)$  と定義するとき、交通流の保存法則から

$$x(k) = f[x(k), u(k)] + \varepsilon(k) \quad (1)$$

の状態方程式を定義できる。これをマクロ交通流モデルという。また、道路上の車両感知器によって計測される交通量  $q(k)$  と地点平均速度  $w(k)$  を観測変数  $y(k)$  と定義するとき、状態変数  $x(k)$  との間に

$$y(k) = g[x(k)] + \eta(k) \quad (2)$$

なる観測方程式が成立する。 $\varepsilon(k)$  と  $\eta(k)$  は誤差項を表している。式(1)(2)は、カルマンフィルタを構成するので、計測変数  $y(k)$

が得られると状態変数  $x(k)$  がリアルタイムに推定できることを表している。

一般的に  $g$  の関数に理論式は存在しない。Cremer は、線形式に基づく関数の提案を行っている。ここでは、 $f$  と  $g$  の関数を多層階層型ニューラルネットワークを用いて表現した。このモデル化によって、

- 1) 実交通データに適合した非線形な観測方程式を作成できる。
- 2) 交通状態に依存したモデルパラメータを導入できる。
- 3) 拡張カルマンフィルタにおける係数行列を容易に導出できる。

などの特徴を有している。

ニューロ・カルマン交通流 (NKF) モデルを首都高速道路横羽線の道路区間に適用し、区間途中 3 カ所に設定したチェックポイント (CP) において、推定した交通量と速度を実測値と比較した。Fig. 2 は、推定値の RMS 誤差を表している。図中において、OC は原 Cremer モデルを、VWF は OC モデルに交通状態に依存したパラメータを導入したモデルを表している。CP 2 の交通量を唯一の例外として、OC モデルより VWF モデル、さらには NKF モデルの誤差が小さくなっている。

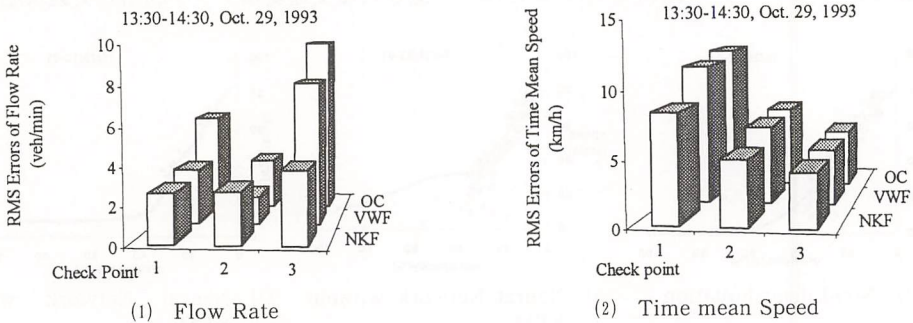


Fig. 2 Comparison of average RMS errors of flow rate and time mean speed evaluated by original Cremer (OC), variant-weighting factor (VWF), and neural-Kalman filtering (NKF) models.

### 3. 最適制御パラメータの推定

街路交通における最適な信号制御パラメータを推定するため、制御パラメータと交通状況データを入力信号とし、最適制御の目的関数を出力信号とする多層階層型のニューラルネットワークモデルを用いた手法の開発を行った。本手法は大きく学習過程と最適過程の2つの過程から構成されている。

学習過程においては、交通状況に応じたクラスごとに制御変量と目的変量の間に入出力関係を形成することを目的としている。まず、コホーネンの Feature Map (KFM) モデルに交通量と時間占有率の組み合わせデータをランダムに与えて交通状況のクラスター化を行う。次に各クラスごとに、そのクラスに属する交通状況データと制御変量データを与え逆伝搬法を用いてシナプス荷重の調整を行う。Fig. 3 は、未学習の 100 組の交通状況データに対して、目的変量 (PI 値：遅れ時間と停止回数の加重和) の RMS 誤差を KFM モデルによってクラス分けした場合としない場合とを比較したものである。クラス分けにより 4% 未満の誤差となる頻度が増加し 4% 以上の誤差となる頻度が減少している。

最適過程は、任意の交通状況に対して最適な制御パラメータを推定する。まず、その交通状況データを KFM モデルに入力して交通

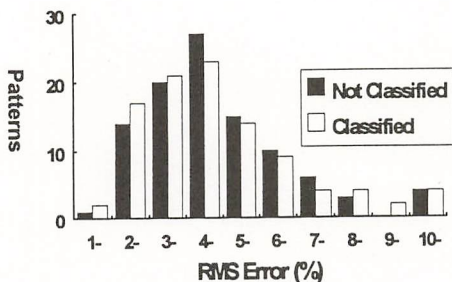


Fig. 3 RMS Errors for Checking Patterns.

状況がどのクラスに対応するかを判別する。次に、そのクラスの学習済みの NN モデルを用いて最適値の調整を行う。交通制御パラメータ、特にオフセットは制御の目的関数に対して著しい多峰性を示すと言われている。制御変量の最適化を行うにあたり、ローカルミニマムへの収束を避けるために、ここでは2つの人工知能手法の適用を試みた。1つがコーシーマシンに基づく確率的な手法と最急勾配法に基づく確定論的な手法を組み合わせた方法 (SW 法) であり、他の1つは多峰性問題に対して有効であるとされている遺伝的アルゴリズム (GA) である。

本手法を  $2 \times 2$  の 4 交差点からなる道路網に適用し、スプリットとオフセットの最適化を行い、従来の代表的な手法である TRANSYT 解との比較を行った。Fig. 4 は、各交差点 (Node) におけるスプリットを表している。総じて 3 手法とも類似した解を与えているが、特に交差点 2 と 4 において、人工知能モデルを用いた解と TRANSYT 解との差異が若干見られているが、目的関数の値から人工知能モデル解の方が妥当であることが確認している。

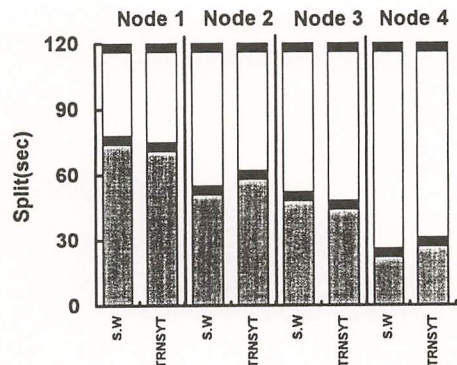


Fig. 4 Comparison of Split Lengths.



[今後の方向性, 課題]

交通変量のマクロ表現に関しては, 解析事例を増やすこと, 交通流シミュレーションモデルに組み込むこと, 交通流特性を分析する手法を確立することが必要である。

ニューロ・カルマン交通流モデルに関しては, NN モデルの構造, 入力信号として取り込む交通変量の範囲を明らかにするとともに, 大きな道路網への適用を図るために効率的な学習法の検討を行う必要がある。

制御パラメータの最適化に関しても, 大規模道路網への適用を可能とするために, 初期学習に要する演算時間の改善, 教師信号を作成するための交通流シミュレーションモデルの精度向上, あるいはオフセットの最適化の見直しなどが検討されなければならない。

[成果の発表, 論文等]

- 1) 中辻, 渋谷他: 人工知能手法を応用した交通制

御手法に関する研究, システムと制御情報学会論文誌, Vol. 7, No. 11, pp. 470-478, 1994

- 2) T. Nakatsuji and Pourmoallem N.: Description of macroscopic Relationships Between Traffic Flow Variables Using Neural Network Models, Transp. Research Record, 1510, pp. 11-18, 1995
- 3) Pourmoallem N., 中辻: 高速道路における交通状態を推定するための多重区間モデル, 第15回交通工学研究発表会論文報告集, pp. 13-16, 1995
- 4) 渋谷, 中辻: ハイブリッド型交通流シミュレーションモデルのパラメータ最適化, 土木計画学研究・講演集, 18 (2), pp. 189-192, 1995
- 5) T. Nakatsuji and S. Shibuya: Neural Network Models Applied to Traffic Flow Problems, Neural Network Applications in Transport, Vol. 2, 1996
- 6) Pourmoallem, 中辻: A Multiple Section Method for Estimating Real-time Traffic States on Freeway, 土木計画学研究論文集, 1996 (投稿中)
- 7) Pourmoallem N., 中辻: A Neural-Kalman Filtering Method for Estimating Traffic States on Freeway, 土木学会論文報告集, 1996 (投稿中)

# 移動体計算環境における データベースシステム構築に関する研究

## Design and Implementation of a Database System in Mobile Computing Environments

951018

研究者代表

大阪大学大学院工学研究科  
情報システム工学専攻 教授

西 尾 章治郎

### [研究の目的]

無線通信技術および計算機ハードウェア技術の急速な発展により、移動ホストと呼ばれる無線通信機能を備えた携帯端末を用いることで、場所を固定せずにネットワーク上のさまざまなサービスを利用できるようになった。この新しい計算環境は移動体計算環境とよばれ、この環境においてデータ管理を行うことに対する要求が増加しつつある。しかし、これまでの分散データ管理技術はサーバやクライアントがネットワークの定位置に固定されていることを前提としており、このような要望に応えるためには、新たなデータ管理技術が必要となる。本研究では、このような新しい移動体計算環境におけるデータ管理を支援する基盤システムを構築し、高度情報化社会のデータベース利用における人間と計算機の新たな調和を実現することを目的とする。

### [研究の内容、成果]

移動体計算環境でのデータ管理を支援するための基盤を構築するために、以下の3つの

テーマを設定した。まず第1に、移動体計算環境におけるデータの表現方式および管理方式の方法論を確立し、新たなデータベースモデルを提案する。さらに、それに基づいたデータベースシステムの構築方法を開発する。第2に、提案したデータベースモデルに基づいて、効率的な問合せ手法を検討する。さらに、ネットワーク環境の各要素をパラメタとして定性的な評価を行う。第3に、開発したデータベースの有効性を検証するために、移動型の携帯端末が保持するデータの統合化を実現する応用システムの開発を行い、その構築法に関する一般的な方法論を確立する。

本稿の以下の部分では各々のテーマについての成果をまとめる。

#### 1. 移動体計算環境のためのデータベースモデル

移動体計算環境を構成する計算機が保持するさまざまなデータを有効に利用するアプリケーションを実現するには、移動ホスト（以下MH）のネットワークへの接続・切断、データの収集、データベース問合せなどを行う機構が必要になる。しかし現状では、アプリケーションごとにこのような機構を実現し



なければならず、これらを自動的に処理できるデータベースモデルの提供が望まれている。そこでそのようなデータベースモデルとして AMDS (Active Mobile Database System)<sup>9)</sup> を提案した。AMDS は、移動体計算環境における MH のネットワークへの接続・切断といった非同期な事象に関連するさまざまなデータ操作の記述を容易にするために、イベント駆動型データベースであるアクティブデータベースを拡張したデータ管理基盤である。

AMDS の実現のためには、ECA ルールの記述方法や MH の接続・切断、およびデータベースへの問合せやデータ受信などのイベントを処理する機構、イベントに対応する ECA ルールの検索や処理の機構などが必要となる。そこで本テーマでは、AMDS の ECA ルールの言語仕様を設計し、AMDS の設計と実装を行った<sup>8)</sup>。図 1 に ECA ルールの記述構文を、図 2 に実装した AMDS シス

```

create rule   ルール名
on           イベント記述
[where       コンディション記述]
then do      アクション記述
  
```

図 1 AMDS における ECA ルール記述構文

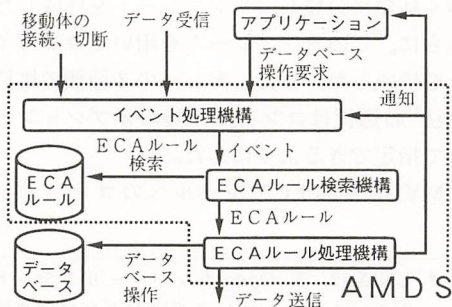


図 2 AMDS の構成

テムの構成図を示す。図 2 において、イベント処理機構は、MH の接続・切断検出や他の AMDS とのデータ通信、そしてアプリケーションが必要とするデータベース内のデータ変化の通知、イベントの検出を行う。ECA ルール検索機構は、検出されたイベントに対応した ECA ルールの検索を行う。ECA ルール処理機構はアクションの実行を行う。

また、ECA ルールは連鎖的に実行されるために、実行順序にループなどが生じると実行が停止しないなどの問題があるため、その検出方法も提案した<sup>10)</sup>。

## 2. 効率的な問合せ方式とその評価

前節で述べたようなデータベースシステムを用いて相互にデータを交換するようなアプリケーションを作成する場合には、MH に対してデータの問合せを効率良く行うことが重要となってくる。このテーマでは、最初に MH に対する 5 種類のデータ問合せ手法を提案した。以下では提案した手法について、簡単に説明する。

**BN (Broadcast Notification)** : 移動ホストサーバ (以下 MHS) は MH の移動を検知する度に位置情報をブロードキャストする。この MH の所在通知方式も BN と呼ぶ。問合せを発行するホストは、自分のもつ MH の位置情報をもとに問合せを行う。

**DQ (Default Query)** : MHS は MH の移動を検知する度に位置情報をデフォルトサーバ (DS) に通知する。この所在通知方式を DN (Default Notification) と呼ぶ。問合せを発行するホストは、DS のもつ MH の位置情報をもとに問合せを行う。

**DF (Default Forwarding)** : 所在通知方式に DN を用いる。問合せを発行するホストは、DS に問合せを依頼する。DS は自分の

もつ MH の位置情報をもとに依頼された問合せを行う。

**BQ (Broadcast Query)** : MH の移動時に位置情報の通知を行わない。この所在通知方式を NN (No Notification) と呼ぶ。問合せを発行するホストは、ブロードキャストを用いて位置の問合せを行う。その後、得られた回答をもとに問合せを送信する。

**BF (Broadcast Forwarding)** : 所在通知方式に NN を用いる。問合せを発行するホストは、ブロードキャストを用いて問合せを行う。

これらの手法について、問合せの種類、ネットワークの形状、MH の移動頻度、問合せの発生率、問合せの対象となる MHS の数などをネットワーク・パラメータとして、問合せ対象となる MH が単一である場合<sup>4)</sup>と MH が複数である場合<sup>3,5)</sup>に関して定性的な評価を行った。

さらに、問合せ処理に深く関わるトランザクション管理の問題を移動体計算環境において考え、いくつかの管理手法<sup>1,2)</sup>を提案した。

### 3. データの統合化を目的とした AMDS の応用システム

移動体計算環境において分散したデータベースを統合的に利用したいという要求に応えるために、移動体ビューと呼ぶデータベースビューの機構に基づく動的なデータ管理の枠組、および移動体ビューを定義するための言語である移動体ビュー定義言語 (MVDL: Mobile View Definition Language)<sup>11)</sup>を提案した。MVDL は、(1) 管理情報の定義、(2) 対象となるデータベースの指定、(3) データベース中のデータを取出すためのクラス定義、の 3 つの部分から構成される。また移動体ビューは、対象となるホストの指定法に

よって 3 種類に分類できる。

システムの開発は 2 段階に分けて行った。まず第 1 段階としては、プロトタイプシステムとして、UNIX<sup>†</sup> および C 言語を用いて移動体ビューを実装した<sup>6)</sup>。しかし、移動体ビューの実現は複数のシステムの複雑な相互動作が必要となるために、移動体計算環境におけるデータ管理基盤のない状態では移動体ビューの一部分の機能しか実装できなかった。

次に第 2 段階として、移動体ビューを実現するために、MVDL を 1 節で示した AMDS の動作記述言語である ECA ルールに変換する MVDL コンパイラの設計および実装を行った。生成する ECA ルールは、上位層から下位層へと、(1) ビュー構築、(2) データベース操作、(3) 移動体通信プロトコル、(4) MH の動作、の四つの階層でモジュール化した。ここで、(2)、(3)、(4) の 3 階層は MVDL の記述によらないルールとなっているため、実装するコンパイラは MVDL に関連する最上層のルールを生成する。

ルールを、

1. 接続時のビューへの新規情報の挿入
2. 断線時のビューからのデータ削除
3. ビュー構築時の対象 MH 情報の収集
4. MH でのデータ更新に伴うビューの更新

の 4 種類に分類し、テンプレートを作成した。さらに、このテンプレートを用いてコンパイラを構成した。また、ビューの 3 種類の維持手法<sup>7)</sup>の選択はコンパイル時のオプションとして指定できるようにした。

MVDL から ECA ルールへのコンパイラ

† UNIX は、X/Open カンパニーリミテッドがライセンスしている米国ならびに他の国における商標です。



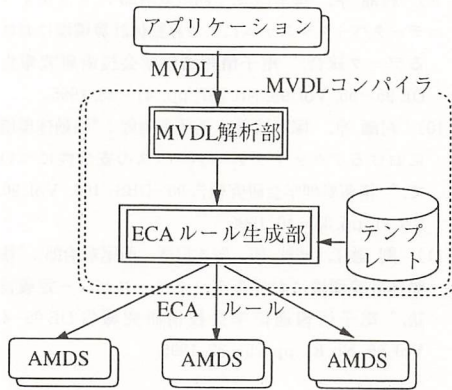


図3 MVDL コンパイラの構成

の動作は、まずMVDL解析部においてMVDLを読み込んで各部分に分類して解析し、ECAルール生成部では解析結果をもとに、テンプレートを用いてルールの生成を行うという流れで行われる（図3）。

MVDL コンパイラはUNIX上で開発を行った。また実際に、スケジュール情報を表示するためのMVDLをコンパイルし、赤外線で通信するノート型PC間において正常に動作することを確認した。実装したMVDLコンパイラによって、ユーザの要求やネットワークの状態に最適な手法でビューが構築できるようになった。

#### [今後の研究の方向、課題]

まず第1のテーマである移動体計算環境のデータベースモデルに関しては、ECAルールの記述能力の向上および応用アプリケーションの開発が課題である。第2のテーマである効率的な問合せ方式とその評価に関しては、ネットワーク構造およびネットワーク・パラメータをより現実に近い評価ができるように工夫していくことが課題である。第3の

テーマであるデータの統合化を目的としたAMDSの応用システムに関しては、MVDLコンパイラの生成するルールが多分な冗長性を含む場合には、選択したビュー維持手法の利点を活かさない場合がある。そのため、その対策としてルールの冗長性を省くような最適化を行うことが今後の課題である。

移動体計算環境では無線通信の不安定さ、MHの移動性から、環境内に分散して存在するデータの一貫性を保ちながら、利用しやすい形でデータを提供することはまさにトレードオフの関係にあるといえる。今回のデータベースモデルでは、環境内の分散データの一貫性はさらに一つ上位の階層で行うこととなっているが、使いやすい形でデータの一貫性をデータベースモデルに組み込むことが全体の課題である。

#### [成果の発表、論文など]

- 1) Budiarto, 春本 要, 塚本昌彦, 西尾章治郎: “移動体計算環境におけるトランザクション制御方式,” 電子情報通信学会技術研究報告 DE 95-51, Vol. 95, No. 87, pp. 9-16, 1995.
- 2) Budiarto, K. Harumoto, M. Tsukamoto, and S. Nishio: “Replica Allocation Strategies in Mobile Computing Environment,” Proc. of ITC-CSCC '96, Vol. II, pp. 99-102, 1996.
- 3) 柴田 一, 塚本昌彦, 西尾章治郎: “複数の移動体に対する問合せ処理方式について,” 電子情報通信学会技術研究報告 DE 95-53, Vol. 95, No. 287, pp. 25-32, 1995.
- 4) 柴田 一, 塚本昌彦, 西尾章治郎: “移動体に対する適応型問合せ処理方式について,” 情報処理学会研究報告 96-DBS-106-4, Vol. 96, No. 11, pp. 25-32, 1996.
- 5) 柴田 一, 塚本昌彦, 西尾章治郎: “移動体環境における複数の移動ホストに対する問合せ処理方式,” 電子情報通信学会総合大会講演論文集, pp. 313-314, 1996.

- 6) 白井博章, 仲秋 朗, 劉 渤江, 塚本昌彦, 西尾章治郎: “移動型データベースのためのビュー機構の設計および実装,” 電子情報通信学会技術研究報告 DE 95-27, Vol. 95, No. 148, pp. 1-8, 1995.
- 7) 仲秋 朗, 劉 渤江, 塚本昌彦, 西尾章治郎: “移動体環境における位置依存データベースビューの維持手法,” 情報処理学会研究報告 96-DBS-106, Vol. 96, No. 11, pp. 41-48, 1996.
- 8) 成田藤智, 村瀬 亨, 塚本昌彦, 西尾章治郎: “移動体環境におけるアクティブデータベースの設計と実装,” 電子情報通信学会総合大会講演論文集, pp. 315-316, 1996.
- 9) 村瀬 亨, 塚本昌彦, 西尾章治郎: “アクティブデータベースシステムによる移動体計算環境におけるデータ統合,” 電子情報通信学会技術研究報告 DE 95-55, Vol. 95, No. 287, pp. 41-48, 1995.
- 10) 村瀬 亨, 塚本昌彦, 西尾章治郎: “移動体環境におけるアクティブデータベースの安全性について,” 情報処理学会研究報告 96-DBS-106, Vol. 96, No. 11, pp. 33-40, 1996.
- 11) 劉 渤江, 仲秋 朗, 塚本昌彦, 西尾章治郎: “移動体計算環境におけるデータベースビュー定義言語,” 電子情報通信学会技術研究報告 DE 95-4, Vol. 95, No. 81, pp. 25-32, 1995.



# 柔らかい物体のマニピュレーション における技能移植に関する研究

## Transplantation of human skillful motion to manipulators in insertion of deformable objects

951019

研究代表者 大阪大学工学部電子制御機械工学科 助教授 平井 慎一

### 〔研究の目的〕

実世界には、柔らかく変形しやすい物体を対象とするさまざまなマニピュレーション作業がある。たとえば、生産現場では、板金、コード、皮革などを扱う工程が多く存在している。食品作業や農業では、生地や食品、肉類など、医療分野では、筋肉や血管などの軟組織を扱う作業が見受けられる。また、人間の生活環境においても、紙や衣料など、柔らかく変形しやすい物体を扱うことは少なくない。このようなマニピュレーション作業は、人間の巧みさに頼っているところが多い。したがって、柔らかい物体のマニピュレーション作業をロボットに実行させるためには、作業における人間の技能を解明することが重要である。

本研究の目的は、柔らかい物体のマニピュレーションにおける技能を解明し、柔らかい物体を扱う技能をロボット上に実現することである。特に本研究では、変形しやすい管状部品を蛇口に挿入する作業を対象とし、人間の運動および作業状態遷移の認識則をマニピュレータに移植することを試みる。この作業は、1) 物体の初期形状のばらつきが大き

い、2) 作業中に物体が変形しやすい、などの点で、マニピュレーション技能を要する作業の一つである。

### 〔研究の内容、成果〕

#### 1. 柔らかい部品の挿入過程

人間がホースを蛇口に挿入する作業を行うときには、ホースを蛇口に接触させ、手指で力を感じ、ホースの差し込み具合や曲がり方を推測するとともに、ホースの接触状態に合わせて、ねじる、押す、引くといった動作を行い、作業を進める。ホースの挿入作業を達成させるには、図1に示すような、(a) 接近状態、(b) 接触状態、(c) 挿入状態、の3つの状態を経ることが必要である。人間が作業を

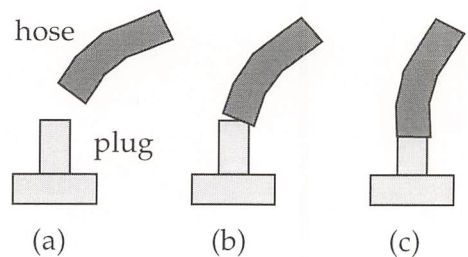


図1 蛇口へのホースの挿入過程

進めるときは、作業状態の遷移を認識しつつ、個々の状態に適した制御則を用いている。接近状態においては、おもに視覚を用いて適切な接触状態においてホースと蛇口とを接触させ、力覚により接触状態に達したことを認識する。接触状態では、ホースが折れたり蛇口から外れたりしないように力覚を用いて運動を制御し、力覚によって挿入状態に達したことを認識する。挿入状態においては、力覚によって運動を制御しつつあらかじめ定められた深さまでホースを差し込む。以上のように、人間の作業制御則は、個々の作業状態において運動を制御するループと、状態の遷移を検知し、制御則を切り換えるループとから成る。

## 2. 人間による挿入作業の計測

本研究では、ホースを操作する手先の位置と姿勢、ならびに手に作用する力とモーメントを計測し、人間の運動と感覚との関係を調べる。そのために、図2に示すような装置を構築した。ホースの手元の位置・姿勢、そこに作用する力とモーメントをそれぞれ、3次元ディジタイザと小型6軸力覚センサにより計測する。被験者は力覚センサを持ち、テーブル上に固定された蛇口にホースを挿入する。力覚センサの重量は70[g]程度と軽く、被験者は、ホース先端に作用する力を感知することができる。作業時の各計測値は、リアル

タイムOSが制御する、MC 68040 ベースのリアルタイムコントローラに送られる。さらに、各計測値は、ethernetを通してワークステーション上に取り込むことができる。力・モーメント信号のサンプリングレートは40 [Hz] であり、位置・姿勢信号のサンプリングレートは22 [Hz] である。計測を開始する時刻は、クロックボードにより制御される。また、ホースの変形、動作を確認するために、作業状況をビデオに録画する。使用したホースの内径は1.5 [cm]、長さは15 [cm]、蛇口の外径は1.6 [cm] である。図2に示すように、座標原点と  $x$ ,  $y$ ,  $z$  軸を設定する。手元の位置と姿勢は、この座標系で表す。手元位置に座標系  $C-x_f y_f z_f$  を設定し、各軸方向の力と各軸まわりのモーメントを計測する。これらの値はすべて、3次元ディジタイザと力覚センサの計測値から、計算することができる。

まず、人間がホースに与える運動と、力覚との関係を明らかにするために、被験者の視覚を遮断し、ホースを挿入してもらう実験を行なった。作業開始時には、ホース先端が蛇口から2 [cm] 程度離れた、任意の位置および姿勢まで移動し、そこから視覚を遮断し作業を実行してもらう。そのときの計測値の一例を図3に示す。この計測では、ほぼ8 [s] で作業を終了している。また、図3から、被験者の動作がA, B, Cの3段階に分かれていることがわかる。段階A, B, Cはそれぞれ、接近状態、接触状態、挿入状態に対応している。

作業状態の変化と力覚との関係を調べるために、 $z_f$  軸方向の力の変化を計算したところ、図4に示すようになった。図4において、力が急激に変化した時間を前から2つ選び、それぞれ  $t_1$ ,  $t_2$  とする。時刻  $t_1$ ,  $t_2$  を図3に示す。

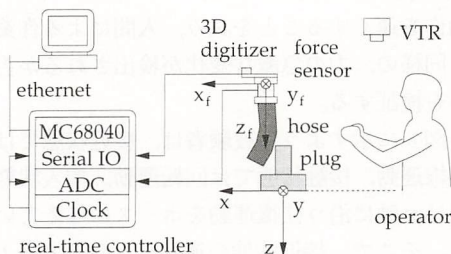


図2 計測装置の構成



これより、力が急激に変化した時点が、作業状態が遷移する時点にほぼ対応していること

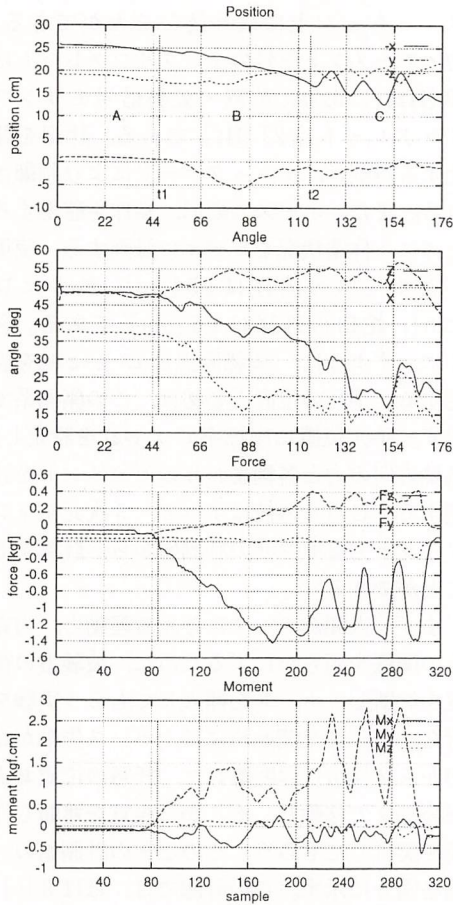


図3 人間による作業の計測例

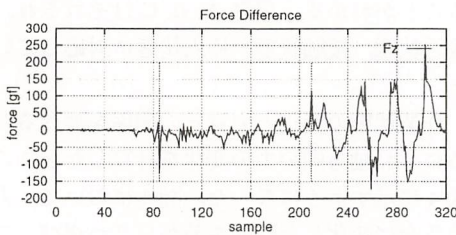


図4 力信号の時間差分

がわかる。また、ビデオを分析したところ、時刻  $t_2$  の直前では、ホース先端が蛇口上面に引っかかっている状態であったが、 $t_2$  の時点で引っかかりがとれると同時にホースが挿入されていることがわかった。

### 3. 人間運動のマニピュレータへの移殖

マニピュレータによる作業で、作業状態の遷移が識別可能か否かを、実験的に検証する。位置制御マニピュレータの先端には、6軸力覚センサが取り付けられており、そこにフランジを取り付けてホースを固定する。力覚信号は、リアルタイムOSを通して、サンプリングレート 30 [Hz] で取り込むことができる。リアルタイムOSで作成された軌道は、シリアルラインでマニピュレータのコントローラに送信される。

まず、人間の動作軌道を、直接マニピュレータに移植して挿入作業を行なわせる。作業時の力とモーメントを計測し、解析した結果、接近状態から接触状態への遷移、接触状態から挿入状態への遷移とともに、人間の場合のような、ホースの軸方向の力の変化は検出できないことが判明した。力の変化が検出できない原因として、1) マニピュレータの動作が遅く、ホースの変形がゆっくり生じる、2) 位置制御マニピュレータであるため、人間の場合と類似の挙動が得られない、という点が挙げられる。そこで、マニピュレータの動作を速くすることを試み、人間による作業と同様の、力の急激な変化が検出されるか否かを検証する。

図3に示すように被験者は、接近状態では直線運動、接触状態では回転運動、挿入状態ではx軸に沿う往復運動をホースに与えている。そこで、接近状態の運動を、時刻0と $t_1$ における位置・姿勢を結ぶ直線で近似する。

接触状態の運動は、時刻  $t_1$  と  $t_2$  における位置・姿勢を結ぶ直線により近似する。また、挿入状態において、位置  $x$  が極大値あるいは極小値を取る位置・姿勢を抽出し、それらを順次直線近似することにより、挿入状態における軌跡を近似する。以上の近似により得られた軌跡を、マニピュレータに実行させた際の力とモーメントの計測値を、図5に示す。この場合、作業を達成するために要する時間は、約40[s]であり、直接移植した場合の1/4程度に短縮された。

図5(a)に示す力  $F_z$  の時間差分を、図5(b)に示す。図5(b)に示すように、時刻18[s]

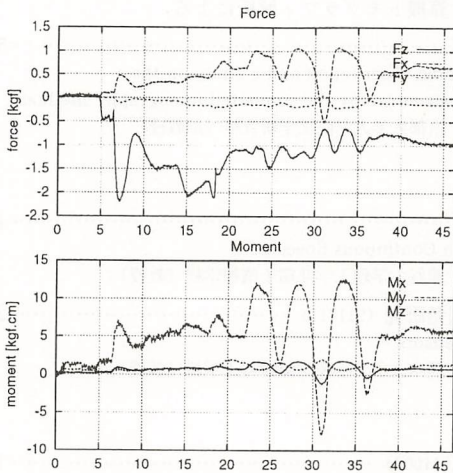
において、力差分のピークが現れる。作業を録画したビデオを分析した結果、この時刻で、接触状態から挿入状態への遷移が生じていることが判明した。動作開始位置を、人間による作業の開始位置から2[mm]ずらして実行させた場合においても、同様のピークが観察された。したがって、人間による作業と同様に、マニピュレータによる挿入作業においても、力差分のピーク値を観察することにより、接触状態から挿入状態への遷移が検知できることがわかる。

#### [今後の研究の方向、課題]

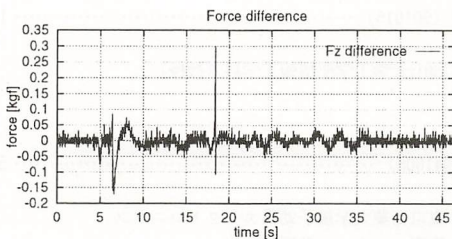
現在、状態遷移則の抽出は、経験的に行なっている。今後は、系統的な状態遷移則の抽出に関する研究が必要である。また、人間の力制御則、あるいはその他のセンサフィードバック則の抽出、ならびに抽出した制御則の力制御型マニピュレータへの移植も課題としてあげられる。

#### [成果の発表、論文等]

- 1) Hirai, S., Noguchi, H., and Iwata, K., *Transplantation of Human Skillful Motion to Manipulators in Insertion of Deformable Tubes*, Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, Vol. 2, pp. 1900–1905, 1995
- 2) 野口, 平井, 岩田, 変形しやすい管状部品の挿入作業における作業状態の認識, ロボティクス・メカトロニクス'95 講演会予稿集, pp. 161–164, 1995
- 3) 野口, 平井, 岩田, 柔らかい管状部品の挿入作業における人間の運動・認識則のマニピュレータへの移植, 第13回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp. 491–492, 1995
- 4) Hirai, S., Noguchi, H., and Iwata, K., *Human-demonstration Based Approach to the Recognition of Process State Transitions in Insertion of Deformable Tubes*, Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, 1996



(a) 力とモーメントの計測値



(b) 力の差分

図5 マニピュレータによる作業の計測結果



# 索引 (掲載号)

(職名は成果報告時のものを使用)

## 007 (人間工学)

掲載号

- ◆ 音声対話時の引き込み現象の解明とそのヒューマン・インタフェースへの応用 (911019) ..... 2  
Analysis of Entrainment in Interpersonal Communication and Its Application to Human Interface  
渡 辺 富 夫 山形大学工学部電子情報工学科 (助教授)
- ◆ 自動車内空調装置による生体に及ぼす影響 (931017) ..... 3  
Thermal effects of automatic air conditioner on human performance in closed space  
宮 崎 正 己 早稲田大学人間科学部 (教授)
- ◆ 体内時計ホルモン用センサーの開発と応用 (941012) ..... 4  
Development and Application of the Sensor Electrode for the Time-Keeping Hormone  
田 畑 満 生 西東京科学大学理工学部バイオサイエンス学科 (教授)

## 5 (自然科学, 宇宙科学, 気象学)

- ◆ 国際協同による多点オーロラステレオ観測と画像の計算機トモグラフィ解析による  
3次元発光構造の復元手法の研究 (941001) ..... 5  
International collaboration on the multi-point aurora stereo observation and a study on the  
reconstruction of 3-dimensional auroral luminous structure by the computed tomography method  
麻 生 武 彦 京都大学大学院工学研究科 (助教授)

## 534 (振動, 超音波, 音響, 音声物理)

- ◆ 英語連続音声の日本語音声への変換合成 (901012) ..... 1  
Production of Japanese Continuous Speech from English Continuous Speech  
有 木 康 雄 龍谷大学理工学部電子情報学科 (教授)
- ◆ 磁気センサを用いた調音器官の運動計測システムの開発研究 (911011) ..... 2  
Articulatory Measuring System Using Magnetometer Sensors  
園 田 頼 信 熊本大学工学部電気情報工学科 (教授)

## 535 (光学, 光学部品, 機器, 色彩)

- ◆ 位相型空間光変調素子を使った実時間光処理の研究 (911006) ..... 1  
Real-Time Optical Information Processing by Using a Spatial Light Phase Modulator  
大 坪 順 次 静岡大学工学部 (助教授)
- ◆ 制約伝搬計算に基づく配色支援システムに関する研究 (901016) ..... 1  
Color Design System Based on Constraint Propagation  
松 山 隆 司 岡山大学工学部情報工学科 (教授)

## 539 (物性論, 固体論, 薄膜)

- ◆ シリコン薄膜ジャイアントマイクロデバイスの研究 (941005) ..... 5  
Giant Microdevices Based on Silicon Thin Films  
小 田 俊 理 東京工業大学量子効果エレクトロニクス  
研究センター (教授)
- ◆ 有機超格子薄膜および革新の電子機能デバイス創製に関する基礎研究 (941017) ..... 5  
Basic Research on Creation of Organic Superlattice Films and Novel Electronic Functional Devices  
松 重 和 美 京都大学大学院工学研究科電子物性工学教室 (教授)

## 548 (結晶学, 液晶)

- ◆ 液晶非線形光学効果による擬生体視覚情報処理複合回路網に関する研究 (911009) ..... 1  
Simulation of Visual Excitation Using Nonlinear Optics of Liquid Crystals  
杉 村 明 彦 大阪産業大学工学部情報システム工学科 (助教授)
- ◆ コレステリック液晶の複合化による偏光板不要の液晶光シャッターの  
開発に関する研究 (931003) ..... 3  
Research on the Development of New Liquid Crystal Optical Shutter without Usage of  
Polarizers by Utilizing Cholesteric Liquid Crystals and Polymer Complexes  
浅 田 忠 裕 京都大学工学部 (助教授)
- ◆ 液晶における電気伝導メカニズムの解明 (941016) ..... 4  
Electric Conduction Mechanism in Liquid Crystals  
間 多 均 帝京大学理工学部 (助教授)

## 57 (生物科学, 生体科学, バイオテクノロジー)

- ◆ 生物神経系機能の情報処理技術への応用基盤の確立 (921010) ..... 3  
Functional Formulation of Biological Neuron Network as A Basis of  
Information Processing Technologies  
下 澤 楯 夫 北海道大学電子科学研究所 (教授)
- ◆ 人工神経による昆虫の行動の解明と制御 (931010) ..... 4  
Analysis and Control of Insect Behavior Using Artificial Neural Networks  
下 山 勲 東京大学工学部機械情報工学科 (助教授)
- ◆ 香りの与える心理的影響の評価システムに関する研究 (941013) ..... 4  
The Study of the Evaluation System of the Emotion Evoked by the Odor  
辻 本 浩 章 大阪大学基礎工学部 (講師)
- ◆ アレルギー関連免疫細胞の情報変換機能の電気化学刺激制御に関する研究 (951013) ..... 5  
Electrochemical Control of Information Transduction Function of Mast Cells  
篠 原 寛 明 岡山大学工学部生物機能工学科 (助教授)

## 61 (医学, 医用電子機器, 安全工学)

- ◆ CAD 技術の外科手術への応用 (901011) ..... 1  
Application of CAD Technology for Surgical Operation  
千代倉 弘 明 慶応義塾大学環境情報学部 (助教授)
- ◆ 皮膚電気反射を用いた覚醒と睡眠の計測制御 (911016) ..... 1  
Control and Estimation of Human Emotion and Drowsiness Using Galvanic Skin Reflex  
山 本 辰 馬 岡山大学工学部 (教授)
- ◆ 肺癌早期発見を目的とした専用 X 線 CT システムにおける  
診断支援サブシステムの開発 (931018) ..... 3  
Computer Aided Diagnosis for the Lung Cancer X-ray CT Screening System  
山 本 眞 司 豊橋技術科学大学知識情報工学系 (教授)
- ◆ 重度身体障害者介助システムに用いる非接触注視点検出法の研究 (941004) ..... 4  
A Study on a Non-Contact Eye-Gaze Detection Method Used on  
Support Systems for Handicapped Persons  
海老澤 嘉 伸 静岡大学工学部 (助教授)

## 621.315 (電子材料, 半導体, 超電導)

- ◆ VLSI GaAs デバイスの新しいオーミック・コンタクト材の開発研究 (911014) ..... 1  
Development of New Ohmic Contact Materials for VLSI GaAs Devices  
村 上 正 紀 京都大学工学部 (教授)



- ◆ マイクロアクチュエータ用形状記憶合金薄膜の開発 (931016) ..... 3  
Development of Shape Memory Alloy Thin Films for Microactuators  
宮 崎 修 一 筑波大学物質工学系 (助教授)
- 621.318 (磁気材料, 永久磁石, 電磁石)**
- ◆ 高温超伝導体による高感度磁束センサー (941014) ..... 4  
High Sensitive Magnetic Sensors using High Critical Temperature Superconductor  
中 根 英 章 室蘭工業大学電気電子工学科 (助教授)
- 621.35 (電気化学, 電池, 電気めっき)**
- ◆ 生体内環境における材料表面と生体との反応に伴う電気信号の検出に関する研究 (951011) ..... 5  
Study on detection of electric signal from surface reaction of material in the in vivo circumstance  
桑 原 秀 行 財団法人応用科学研究所第1研究室 (室長)
- 621.375.8 (レーザ, 半導体レーザ, レーザ装置)**
- ◆ レーザスペckル法による粘膜血流画像化装置の開発 (901002) ..... 1  
Visualization of Blood Flow in Gastric Mucosa Using Laser Speckle Method  
藤 居 仁 九州工業大学情報工学部 (教授)
- 621.38 (半導体素子, 光電素子, X線装置)**
- ◆ X線用多層膜反射鏡を用いた軟X線増幅の研究 (901007) ..... 1  
Promotion of Soft X-ray Intensity by a Multilayer Mirror  
原 民 夫 理化学研究所 (研究員)
- ◆ 光触媒反応によるII-VI族半導体の物性制御とディスプレイデバイスへの  
応用に関する基礎研究 (901008) ..... 1  
Fundamental Research on Photocatalytic Growth of II-VI Semiconductors  
for Their Property Control and Applications to Display Devices  
藤 田 茂 夫 京都大学工学部 (教授)
- ◆ 超高速二次元アレイ光双安定素子の研究 (941008) ..... 5  
Study on ultrafast two-dimensionally arrayed optical bistable devices  
河 口 仁 司 山形大学工学部電子情報工学科 (教授)
- 621.39 (電気通信工学, 通信理論, 情報理論)**
- ◆ コミュニケーション行動の実態と通信系ニューメディアの受容性に関する研究 (901018) ..... 1  
Acceptance of New Telecommunication Media and Daily Communication Behavior  
吉 井 博 明 文教大学情報学部 (教授)
- ◆ 広域ネットワークにおけるマルチキャスト技術の研究 (901010) ..... 2  
Study on Multicasting Technology in Wide Area Networks  
森 島 晃 年 財団法人京都高度技術研究所 (研究員)
- ◆ 高度情報化生産システムにおける通信ネットワーク構成技術の開発 (911012) ..... 1  
Development of Construction Technology for Communication Networks  
in Manufacturing Systems  
手 塚 慶 一 大阪大学工学部通信工学科 (教授)
- ◆ 身障者にやさしい情報処理作業環境に関する調査・研究 (951006) ..... 5  
An Investigation on the Information Processing Operations and Improvements of the  
Circumstance for Physically Disabled Subjects  
尾 崎 俊 治 広島大学工学部 (教授)

## 656 (交通, 交通管制, 交通制御)

- ◆ 人工知能モデルを用いた交通制御システムの高度化に関する研究 (951016) ..... 5  
A New Approach for Sophisticating Traffic Control Systems Using Artificial Intelligence Models  
中 辻 隆 北海道大学工学部 (助教授)

## 681.3 (情報処理, データの自動処理, 計算機)

- ◆ 自己組織により空間パターン生成回路を構成するニューラルネットワークの研究 (901001) ..... 1  
Study on Neural Network Organizing Pattern Generation Circuit by Self-Organization  
岡 部 洋 一 東京大学先端科学技術研究センター (教授)
- ◆ 人間の脳の記憶系と計算機ネットワークとの共生進化についての数理的研究 (931006) ..... 3  
Mathematical Study on Symbiotic Evolution of Memory System for the  
Human Brain and Computer Network  
宇佐見 義 之 神奈川大学工学部物理学教室 (助手)
- ◆ マルチメディア情報の並列処理とその知能化プログラムに関する研究 (951005) ..... 5  
An Intelligence Programming for a Parallel Processing of Multi Media Information  
伊 藤 英 則 名古屋工業大学 (教授)
- ◆ 自己説明を用いた知的学習環境の構築に関する研究 (951010) ..... 5  
A Study on Self-Explanation for Development of Interactive Learning Environment  
金 西 計 英 四国大学短期大学部 (講師)
- ◆ 音声入力を核としたマルチモーダルなマン・マシンインタフェース (951015) ..... 5  
Multi-modal man-machine interface based on speech input and others  
中 川 聖 一 豊橋技術科学大学情報工学系 (教授)

## 681.301 (情報処理の理論)

- ◆ 適応可能な論理演算 (Fuzzy<sup>2</sup>) の開発 (921006) ..... 2  
On an Adaptive Logic (FUZZY<sup>2</sup>)  
太 田 道 男 筑波大学構造成工学系 (教授)

## 681.302 (情報処理システム, データベース, 構成, 装置, 要素)

- ◆ エネルギー・データの視覚・情報化に関する研究 (901004) ..... 1  
A Study on Visualization and Informative Processing of Energy Data  
辻 毅一郎 大阪大学工学部 (教授)
- ◆ 初心者のための情報処理教育支援システムの開発 (901003) ..... 1  
Development of a System for Beginner to Support an Information Processing Education  
山 田 善 一 京都大学情報処理教育センター長 (教授)
- ◆ 並列処理アルゴリズム開発の自動化を指向する設計支援システム (911001) ..... 2  
Design Support System for Developments of Algorithms in Parallel Processings  
阿 曾 弘 具 東北大学工学部情報工学科 (教授)
- ◆ 最適化問題のニューラル解法システムの開発 (921003) ..... 2  
Neural Solution Systems for Optimization Problems  
浦 浜 喜 一 九州工業大学情報工学部電子情報工学科 (助教授)
- ◆ 広帯域信号の効率的圧縮への応用を考えた聴覚モデルの構成に関する研究 (921005) ..... 2  
Modeling of Auditory System for Data Compression of Wideband Audio Signal  
江 端 正 直 熊本大学工学部 (教授)
- ◆ 英日会話文データベースの構築とこれに基づく会話文の翻訳と  
慣用表現検索システムの研究 (911007) ..... 2  
English-Japanese Conversational Text-base Construction and Study on Conversational Text  
Translation System with Idiomatic Expression Retrieving  
河 口 英 二 九州工業大学工学部 (教授)



- ◆ EXAFS 解析手法の標準化に関する研究 (901005) ..... 2  
Standardization of the Data Analysis of EXAFS  
黒 田 晴 雄 東京理科大学総合研究所 (教授)
- ◆ 境界要素法による設計感度解析手法を取り入れた CAE システムの  
開発に関する研究 (921014) ..... 3  
Development of CAE Systems Based on Boundary Element Design Sensitivity Analysis Approach  
松 本 敏 郎 信州大学工学部生産システム工学科 (助教授)
- ◆ 学習中の学習者の発話分析にもとづく教育用ソフトの評価手法の開発 (921017) ..... 3  
Protocol Analysis: An Alternative Approach to the Evaluation of Educational Software  
余 田 義 彦 東京家政学院筑波短期大学情報処理科 (助教授)
- ◆ 人間—機械間会話性向上に関する高次認知機能とそのための  
ニューラルネットの構成法の研究 (921020) ..... 3  
Study on Higher Cognitive Functions and Artificial Neural Networks for Human-Machine Interaction  
渡 邊 一 央 北海道工業大学工学部 (教授)
- ◆ 三次元オブティカルフローの高速処理に関する研究 (931008) ..... 4  
High Speed Analysis of a 3-D Optical Flow Problem  
近 江 和 生 大阪産業大学工学部情報システム工学科 (助教授)
- ◆ 主観的感性語彙を用いた自然語文による画像データベースの対話的検索 (941003) ..... 5  
Interactive Image Retrieval by Natural Language including Subjective Expressions  
伊 東 幸 宏 静岡大学情報学部 (助教授)

#### 681.306 (ソフトウェア, OS, 言語, 開発手法)

- ◆ 音声認識アルゴリズムの大語彙向き高度化に関する研究 (911008) ..... 1  
A Study on Advanced Algorithms for Large Vocabulary Speech Recognition  
好 田 正 紀 山形大学工学部 (教授)
- ◆ 高並列計算機に於ける単一仮想空間上の並列オブジェクト指向  
プログラミング言語の研究 (921013) ..... 2  
Studies on the Parallel Object-Oriented Programming Language with Shared Virtual  
Space for Massively Parallel Computers  
牧之内 顕 文 九州大学工学部情報工学教室 (教授)
- ◆ フリーハンド図面の自動認識に関する研究 (941006) ..... 4  
Study on Automatic Recognition Method of Freehand Drawings  
加 藤 博 一 大阪大学基礎工学部システム工学科 (助手)
- ◆ 設計候補補創出による概念設計支援 (941007) ..... 4  
A Method of Creating Candidates for Computer Aided Conceptual Design  
川 上 浩 司 岡山大学工学部 (助手)
- ◆ 仮想現実システムのためのオブジェクト指向プロダクションシステム (951007) ..... 5  
Object-Oriented Production System for Virtual Reality Systems  
碓 崎 賢 一 九州工業大学情報工学部 (助教授)
- ◆ 移動体計算環境におけるデータベースシステム構築に関する研究 (951018) ..... 5  
Design and Implementation of a Database System in Mobile Computing Environments  
西 尾 章治郎 大阪大学大学院工学研究科  
情報システム工学専攻 (教授)

#### 681.306.1 (AI, ファジイ)

- ◆ 加工プロセス最適化のためのファジイ理論の応用 (911004) ..... 1  
Application of Fuzzy Theory for Optimizing Machining Process  
稲 崎 一 郎 慶応義塾大学理工学部 (教授)

- ◆ 制御戦略知識の獲得学習に基づく知的ファジィ制御に関する研究 (901017) ..... 2  
Development of Intelligent Fuzzy Control Systems with a Learning Capability of  
Strategic-Skill Acquisition  
榎 木 哲 夫 京都大学工学部 (助手)
- ◆ 計算機の援用によるファジィ範疇法の測定精度と使いやすさの改善 (941021) ..... 4  
Improvement on Accuracy and Usability of the Method of Fuzzy Categories Using Computers  
吉 川 歩 京都工芸繊維大学工学部電子情報工学科 (助手)

## 681.306.2 (画像処理, 人工現実感)

- ◆ 大規模仮想空間を歩行するための人工現実感 (911005) ..... 1  
Artificial Reality for Walking Through Large Scale Virtual Space  
岩 田 洋 夫 筑波大学構造工学系 (講師)
- ◆ ファジィ・ニューラルネットによる線画像の認識 (901019) ..... 1  
Line Drawing Image Recognition based on Fuzzy Neural Network Technology  
廣 田 薫 法政大学工学部計測制御教室 (教授)
- ◆ 計算機仮想空間における人間の運動制御特性に関する研究 (911017) ..... 1  
Study on Human Motor Control Characteristics in the Virtual Reality Space  
吉 澤 誠 豊橋技術科学大学知識情報工学系 (助教授)
- ◆ 作業空間の形状情報を高速に獲得するロボットビジョンシステムの検討 (911013) ..... 2  
On a Vision System for Shape Construction of 3D Robotic World  
登 尾 啓 史 大阪電気通信大学工学部精密工学科 (助教授)
- ◆ 内視鏡画像のテクスチャー解析とその診断への応用に関する研究 (921015) ..... 3  
Texture Analysis of Endoscopic Image and Its Application to Diagnosis  
三 宅 洋 一 千葉大学工学部情報工学科 (教授)
- ◆ 画像時系列からの動きの検出と評価の研究 (931002) ..... 3  
Detection of Movement of Living Organs and their Evaluation from Image Sequences  
赤 塚 孝 雄 山形大学工学部 (教授)
- ◆ ファジィ・インターフェースをもつニューラル画像処理回路 (931005) ..... 3  
Neural Image Processing Circuit Having Fuzzy Interface  
上 野 文 男 熊本電波工業高等専門学校 (校長)  
(元熊本大学工学部 教授 工学部長)
- ◆ 立体仮想臓器を用いた人工現実感を伴う解剖シミュレータの開発 (931021) ..... 4  
Development of Simulator for Anatomy with Attendance to  
The Reality Using Stereoscopic Virtual Internal Organs  
若 松 秀 俊 東京医科歯科大学医学部保健衛生学科 (教授)
- ◆ 新しいサブバンド方式による超高精細画像情報圧縮の研究 (941011) ..... 4  
Studies on New Subband Schemes for Data Compression of Super High-Definition Images  
谷 本 正 幸 名古屋大学工学部 (教授)
- ◆ ヴァーチャル・リアリティ (仮想現実感) の医療への応用のための基礎研究 (941019) ..... 4  
An Application of Virtual Reality to Medical Care  
山 口 隆 美 東海大学開発工学部医用生体工学科 (教授)
- ◆ 画像理解のための並列協調型アルゴリズムの研究 (941020) ..... 5  
Study on Cooperative Algorithms for Image Understanding  
横 矢 直 和 奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科 (教授)

## 681.32 (ハードウェア, 電子計算機, ASIC)

- ◆ 4次元コンピュータグラフィックスのための超並列計算機  
アーキテクチャに関する研究 (921008) ..... 2  
A Study on Massively Parallel Processing Systems for 4-Dimensional Computer Graphics  
小 林 広 明 東北大学大学院情報科学研究科 (助教授)



- ◆ 超高速通信マルチポートメモリ構造・高並列処理コンピュータの試作研究 (921012) ..... 2  
Massively Parallel Computer Based on High-Speed Communication by Multi-port Memory  
堀 口 進 北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科 (教授)
- ◆ 適応デバイスと自己組織化機能に関する研究 (921018) ..... 2  
Research on Adaptive Devices and Self-organization Function  
米 津 宏 雄 豊橋技術科学大学電気・電子工学系 (教授)
- ◆ 混合モード回路シミュレータの開発 (921001) ..... 3  
Development of Mixed-Mode Circuit Simulator  
浅 井 秀 樹 静岡大学工学部光電機械工学科 (助教授)

## 681.327 (入出力装置, マンマシンインタフェース, 照合, 認識装置)

- ◆ 計算論的学習理論とそのマンマシンインタフェースへの応用 (901013) ..... 1  
Algorithmic Learning Theory and Its Applications  
有 川 節 夫 九州大学理学部基礎情報学研究施設 (教授)
- ◆ 身振りのコード化とヒューマン・インタフェースへの応用 (901015) ..... 1  
Gesture Coding and Its Application to Human Interface  
黒 川 隆 夫 京都工芸繊維大学工学部 (教授)
- ◆ 連続音声認識のための単語連想機構の構築に関する研究 (911010) ..... 1  
Construction of Word Associative Processor for Speech Recognition System  
関 口 芳 廣 山梨大学工学部 (助教授)
- ◆ CAD システムにおけるマン・マシンインタフェースに関する研究 (901006) ..... 1  
A Study of Man-Machine Interface in Computer Aided Design System  
橋 本 正 治 摂南大学工学部機械工学科 (教授)
- ◆ 手先の自然な動きを入力とするインタフェースの研究 (901009) ..... 1  
A Research of Man-computer Interface Using Natural Hand Movement  
辺 見 一 男 長崎総合科学大学情報科学センター (講師)
- ◆ 高分解能触覚画像表示装置の開発 (911018) ..... 1  
The Development of a High Resolution Tangible Display Screen  
米 沢 義 道 信州大学工学部情報工学科 (教授)
- ◆ 重度障害児のメンタルリハビリテーションのための図形表現システムの開発 (921009) ..... 2  
A Study on Cognitive Rehabilitation of the Handicapped Children by Computer Based Drawing System  
近 藤 文 良 滋賀大学教育学部 (助教授)
- ◆ 視覚障害者のための触覚と音声による図情報表現システムの研究 (921007) ..... 3  
A Study on a Diagram Acquisition and Generation System for Visually Handicapped  
Persons Using Tactile and Auditory Senses  
大 西 昇 名古屋大学 (教授)
- ◆ 人間と機械の知的コミュニケーションに関する研究  
多指ロボットハンドの知能化を具体例として (921011) ..... 3  
Study on Intelligent Man-Machine Communication Focusing on Multi-Fingered Robot Hands  
中 村 仁 彦 東京大学工学部 (助教授)
- ◆ 調音結合処理のための文脈効果モデルに関する研究 (931001) ..... 4  
A study on contextual effect models dealing with co-articulation  
赤 木 正 人 北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科 (助教授)
- ◆ 自然な握み動作を入力とする3次元インタフェースに関する研究 (931004) ..... 4  
A study on 3-D Natural Interactive Interface by Handling Motion  
井 上 和 夫 立命館大学理工学部 (教授)

- ◆ 音声認識における聴感特性に基づく隠れマルコフモデルの耐雑音性の改善に関する研究 (941018) … 4  
A Robust Hidden Markov Model for Noisy Speech Recognition  
by Incorporating Auditory Characteristics  
松 本 弘 信州大学工学部電気電子工学科 (教授)
- ◆ 動画像からの手指の姿勢・運動認識を用いたマンマシンインタフェース (941009) … 5  
Man-Machine Interface Using Hand Gesture Recognition in Dynamic Image Sequences  
久 野 義 徳 大阪大学工学部 (助教授)

#### 681.5 (制御工学, 制御理論)

- ◆ ディスクリプタシステム表現によるシステムの解析 (901014) … 3  
Systems Analysis via Descriptor Systems Approach  
汐 月 哲 夫 熊本大学工学部 (助教授)
- ◆ デジタル制御系の最適化・知能化の研究 (921016) … 3  
Intelligent Control and Optimization of Digital Control Systems  
山 本 裕 京都大学工学部 (助教授)
- ◆ ニューラルネットワークによるインテリジェント制御系の  
設計に関する基礎的研究 (931007) … 3  
Fundamental Study on the Synthesis of Intelligent Control Systems by Neural Networks  
大 松 繁 徳島大学工学部知能情報工学科 (教授)
- ◆ 複数台マニピュレータによる組立作業の自動化に関する研究 (931013) … 3  
A Study on Automatic Assembly with Multiple Manipulators  
長 田 正 九州大学工学部情報工学科 (教授)
- ◆ ロバスト制御理論に基づく伝達関数に着目した 人間指向のマン・マシン制御系設計法 (931015) … 4  
Operator-Oriented Design of Manual Control Systems Based on Robust Control Theory  
松 尾 芳 樹 東京工業大学工学部 (助教授)
- ◆ ヒトの手の運動制御機能を取り入れた筋電義手の開発 (951002) … 5  
Development of myoelectric prosthetic hand by simulating motor control mechanism of human hand  
赤 澤 堅 造 神戸大学工学部 (教授)

#### 681.532 (機械的量の制御, ロボット, 数値制御)

- ◆ ニューラルネットによる多自由度前腕筋電義手の制御法に関する研究 (911003) … 1  
Study on an EMG Controlled Prosthetic Forearm with Multi Degrees  
of Freedom Using Neural Networks  
伊 藤 宏 司 豊橋技術科学大学情報工学系 (教授)
- ◆ 動的立案機能を有する能動視覚による幾何モデリングシステム開発に関する研究 (921002) … 3  
Geometric Modeling System by Active Vision with Reactive Planning  
浅 田 稔 大阪大学工学部電子制御機械工学科 (助教授)
- ◆ 柔軟多リンクロボットアームの歪みフィードバック制御 —実用化をめざして— (921019) … 3  
Strain Feedback Control of Flexible Multi-link Robot Arms —Toward Practical Applications—  
羅 正 華 長岡技術科学大学 (助教授)
- ◆ 人間と協調しやすい移動ロボットの開発 (941002) … 4  
Development of mobile robots that can cooperate with humans  
新 井 民 夫 東京大学工学系研究科 (教授)
- ◆ 1 Bit phase-only synthesis を利用した対称点・対称軸の高速検出法 (941010) … 4  
Symmetrical point and axis determination method using 1 Bit phase-only synthesis  
近 藤 浩 九州工業大学工学部 (助教授)
- ◆ 柔らかい物体のマニピュレーションにおける技能移植に関する研究 (951019) … 5  
Transplantation of human skillful motion to manipulators in insertion of deformable objects  
平 井 慎 一 大阪大学工学部電子制御機械工学科 (助教授)



### 681.53 (物理的量の制御, 計測制御, 計装)

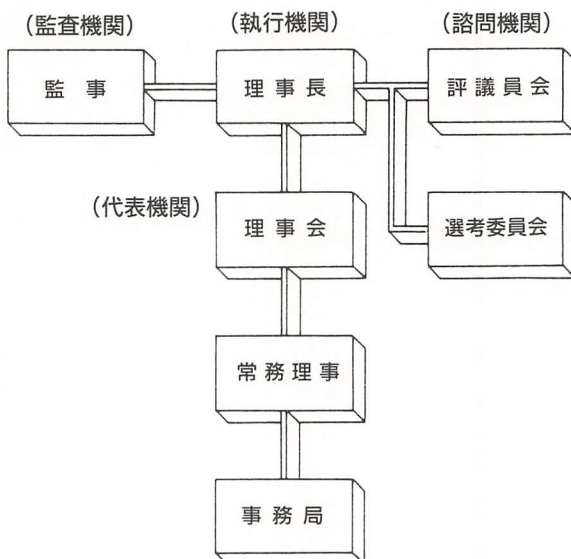
- ◆ ニューラルネットワークを用いたインテリジェントチューニングPID制御系の設計 (931019) ..... 4  
A Design of Intelligent Tuning PID Control Systems Using Neural Networks  
山 本 透 岡山県立大学情報工学部 (助教授)  
(元大阪大学基礎工学部 助手)

### 681.58 (自動制御システム構成機器, サーボコンボ)

- ◆ 集積化加速度センサの開発 (921004) ..... 2  
Development of Integrated Accelerometer  
江 刺 正 喜 東北大学工学部機械電子工学科 (教授)
- ◆ ヒューマンインタフェースにおける環境世界のモデル構築に関する研究 (911015) ..... 2  
Generation of Environmental Map for Human Interface  
谷内田 正 彦 大阪大学基礎工学部情報工学科 (教授)
- ◆ 超音波輻射触覚センサと触覚テンソルセル  
— 弾性場の秩序性に基づく新しい触覚センシング原理 — (911002) ..... 3  
Ultrasonic Emission Tactile Sensor and Tactile Tensor Cell  
— New Tactile Sensing Principles Based on Orderness of Elastic Fields —  
安 藤 繁 東京大学工学部計数工学科 (教授)
- ◆ 味覚・嗅覚系を模したマルチチャネル脂質膜型の  
生物化学感覚認識システムの開発 (931011) ..... 3  
Development of taste/smell-recognition system using multichannel lipid membranes  
都 甲 潔 九州大学工学部電子工学科 (助教授)
- ◆ 3次元形状計測用高速高機能複合画像センサの研究 (931014) ..... 3  
High-Speed Image Sensor for Three Dimensional Shape Measurement  
馬 場 充 岡山大学工学部 (助教授)
- ◆ 電池駆動が可能な圧電式回転モータ / 直線モータの体系的研究 (931012) ..... 4  
Systematic Studies of Ultrasonic Rotary Motors and  
Linear Motors Piezoelectrically Driven with Dry-Cell Battery  
富 川 義 朗 山形大学工学部電子情報工学科 (教授)
- ◆ 非線形応答の高次元情報を活用した化学センシング (931020) ..... 4  
Chemical Sensing Utilising Higher Order Information Deduced from Nonlinear Responce  
吉 川 研 一 名古屋大学大学院人間情報学研究科 (教授)
- ◆ 細胞の生理反応を利用したマイクロセンサーの開発と局所環境モニタリングへの応用 (951003) ..... 5  
A Microsensor Utilizing a Physiological Reaction of a Living Cell and  
its Application for Environmental Monitoring in Micro Space  
荒 木 勉 徳島大学工学部 (教授)

# 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 京都市右京区花園土堂町10番地  
TEL.(075)461-4771 FAX.(075)465-3697
- 理 事 長 立石 信雄
- 設立年月日 1990年3月6日
- 目 的 エレクトロニクス及び情報工学の分野で、人間と機械の調和を促進する研究及び国際交流に対し助成を行い、技術革新と人間重視の両面から真に最適な社会環境の実現に寄与することを目的とする。
- 事業内容
  1. エレクトロニクス及び情報工学の分野で、人間と機械の調和を促進するための研究に対する助成。  
(研究費助成20件程度/年、250万円以下/件)
  2. エレクトロニクス及び情報工学の分野で、人間と機械の調和を促進するための国際交流に対する助成。  
(研究者の海外派遣及び外国人研究者の招聘、助成10件程度/年、50万円以下/件)
  3. エレクトロニクス及び情報工学の分野で、人間と機械の調和を促進するための研究成果の普及。  
(助成した研究結果を年間1回発行)
  4. その他、本財団の目的を達成するために必要な事業。
- 基本財産 現金10億円 株式1億3,125万円(額面)
- 財団の組織





# 役員・評議員

(1996-4-1 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 | 三笠薫     | オムロン株式会社 常勤顧問        |
| 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    | 科学技術会議議員・元科学技術庁事務次官  |
| 理事   | 大野豊     | 京都大学名誉教授・立命館大学客員教授   |
| 理事   | 尾佐竹 洵   | 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    | 三菱商事株式会社 顧問・元通産産業審議官 |
| 理事   | 巽 外夫    | 株式会社住友銀行 取締役会長       |
| 理事   | 立石義雄    | オムロン株式会社 取締役社長       |
| 理事   | 諸井 虔    | 秩父小野田株式会社 取締役会長      |
| 監事   | 辻 敢     | 公認会計士                |
| 監事   | 戸 倉 晴 美 | 弁護士                  |

## 評議員

|     |         |                           |
|-----|---------|---------------------------|
| 評議員 | 相磯秀夫    | 慶應義塾大学大学院 政策・メディア研究科委員長   |
| 評議員 | 朝倉利光    | 北海道大学電子科学研究所 所長           |
| 評議員 | 雨村博光    | 理化学研究所 副理事長・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 | 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  | 大阪大学工学部 教授                |
| 評議員 | 立石 峯 子  |                           |
| 評議員 | 寺野 寿 郎  | 東京工業大学名誉教授                |
| 評議員 | 長谷川 利 治 | 京都大学大学院工学研究科 教授           |
| 評議員 | 秦 野 勲   | オムロン株式会社 取締役副社長           |
| 評議員 | 葉 原 耕 平 | 株式会社国際電気通信基礎技術研究所 顧問      |
| 評議員 | 瀧 一 博   | 慶應義塾大学理工学部 教授             |

# 財団法人 立石科学技術振興財団

## 平成9年度 助成候補募集案内

(勘) 立石科学技術振興財団においては、下記の通り平成9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いうことは、必ずしも、マンマシーン・インターフェースに関する狭義の科学技術のみを意味するものではなく、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地道な草の根的基礎研究活動も含み、広義でとらえるものとします。

#### (2) 金額及び件数

① 研究助成金 5千万円 (1件 250万円以下, 20件程度)

② 国際交流助成金(派遣と招聘) 5百万円 (1件 50万円以下, 10件程度)

総額 5千5百万円

#### (3) 応募資格

① 研究者であれば、個人、グループを問いません。

② 当財団に、成果報告書と収支報告書の提出が可能な方。

③ 同一内容で他の財団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8年9月1日～平成8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ください。

#### (5) 助成金交付の時期

平成9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 京都市右京区花園土堂町10番地 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

※申請書類のご請求は、応募種類(研究助成、国際交流助成・派遣、国際交流・招聘)をご記入のうえ、ファックスでお願いいたします。

以上

## 編 集 後 記

昨年に引き続き、お陰様で今年も助成研究成果集（第5号）を発行することができました。

ご寄稿いただきました相磯評議員様はじめ研究者の皆様、また編集にご協力くださいました関係各位に紙面をお借りしてお礼申し上げます。

第5号は主として、当財団が第5回目（平成6年度）及び第6回目（平成7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ものを集録しています。国際交流助成につきましては、本誌発行の目的から巻頭の助成課題一覧の中で、派遣、招聘の要点のみを紹介するにとどめました。

本号も前号同様、研究成果の抄録集とすることを継承し、巻末の索引で科学技術要素分類別に既刊号の集録研究課題を掲載していますので、ご利用ください。

本助成研究成果集は、当財団の研究成果普及事業の一環として、発行しておりますが、お陰様で本号を含め、これまでに88件の助成研究成果論文を掲載させていただき、助成させていただいた研究者の皆様、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約400ヵ所に拜送させていただいております。

本誌は毎年9月に継続発行してまいりますので、皆様のご意見・ご感想など頂ければ幸甚です。

(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5号  
平成8年9月(1996)

発行 財団法人 立石科学技術振興財団  
〒616 京都市右京区花園土堂町10 TEL (075) 461-4771  
FAX (075) 465-3697

印刷 (株) 中野新文社  
〒604 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。)