

立石科学技術振興財団

# 助成研究成果集

【創刊号】

平成4年(1992)





# 人間と機械の調和を促進する助成研究成果集

創 刊 号

平成4年度9月(1992)

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ー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（創刊号発行にあたり）	2
3. 財団関係者寄稿（尾佐竹 徇 理事 東京大学名誉教授）	3
4. 第1回（平成2年度）助成課題一覧	4
(1) 研究助成（19件）	4
(2) 国際交流助成（8件）	5
5. 第2回（平成3年度）助成課題一覧	6
(1) 研究助成（19件）	6
(2) 国際交流助成（7件）	7
6. 第3回（平成4年度）助成課題一覧	8
(1) 研究助成（20件）	8
(2) 国際交流助成（9件）	9
7. 助成研究成果の掲載抄録一覧	10
8. 助成研究成果の抄録	12
9. 財団の概要	110
役員・評議員名簿（五十音順）	111
10. 平成5年度助成課題候補募集案内	112
11. 編集後記	113

## ごあいさつ

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、人間と機械の調和を促進することを趣意として、ご賛同いただいた多くの方々のご尽力とご協力により、平成2年3月6日に財団法人立石科学技術振興財団を設立いたしました。以来、時が経つのは早いもので、本年5月には、第3回目の助成金贈呈式をとり行なうことができました。又ここに成果集の創刊号を発行することができるようになりましたことは



誠に悦ばしく、財団関係者の皆様をはじめ多くの皆様の日頃のご支援に深く感謝申し上げます。

本成果集の発行は、助成研究の成果普及活動の一つとして行なうもので、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。今後毎年継続的に発行できるよう願っています。創刊号の発行にあたり、ご寄稿頂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。

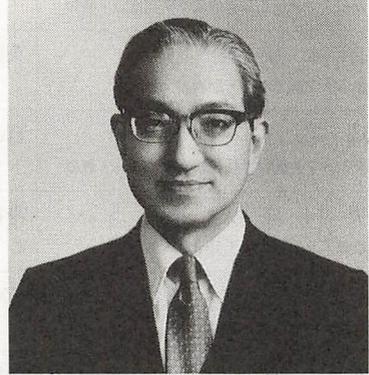
限りない情報化と科学技術の進歩の中で、豊かで健全な社会を創造するためには、科学技術と人間の調和の向上を求める努力も忘れてはならないことと考えています。本財団が、人間重視の視点にたって科学技術の健全な発展と最適化社会の創造の為にいささかでも寄与できますことを心から願っております。

今後の本財団の活動にたいし、引続き皆様の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 孝雄

## 寄稿：研究の質について

今から半世紀程前迄は、大陸間の通信は、短波無線が主流であったが、無線通信の需要の増大の予測から、より高い周波数を開拓する研究が始まった。また一方に於いてTVの実験も成功し、この信号の都市間伝送のための同軸ケーブル方式が開発され、またマイクロ波技術の完成と共に、TVまたは電話1,000回線を伝送する多重通信方式が完成した。このシステムは拡大されて、後に衛星中継方式にも使われた。また、光ファイバーケーブル技術の完成によって、同軸ケーブルはそれに置き換えられつつある。この間に、これらの通信方式を支えた基本的素子であり、研究社会を賑わせた真空管は、トランジスターによって置き換えられ、約半世紀の存在の後に、消えていった。



このように、電気通信関連技術は、4分の1世紀毎の変革と、半世紀毎の大きい転換をして、今日まで発展の歩みを続けてきた。現在話題になっている超LSI、コンピュータ・ソフト、超電導などの問題も、ほぼ同様な経過をたどっている。

上記のように、1つの方式が実用されるまでには、電磁波そのものから、物性の理論迄の実に広い分野の研究が必要であったし、その上に開発・実用化の多種多様の研究が必要であった。それらの中には、新しい考え方を提案したすばらしい研究もあったが、最終的に採用された研究結果は、多数の研究の中のごく限られたものになった。その理由は、実用化の時点での社会的ならびに製造・利用技術上の問題で、研究そのものの良否とは別次元の理由に拠るものであった。

しかし採用されなかったアイデアや研究結果は歴史の中に埋もれていったが、あるものは15年、20年後に取上げられている。このことは、すぐれた先を見通したアイデアの実用化には15年から25年、さらには半世紀の年限を必要としており、それが新しい時代を開き、人間社会の進展をもたらしているのである。

すなわち、研究に基本的に必要なものは、新しいものへの夢であり、未知の世界への挑戦であり、それに基づいた研究課題の選定と、研究に対する思考の広さと深さである。これが研究の質を決定する要因であると考えられる。

理事・東京大学名誉教授  
尾 佐 竹 洵

## 第1回（平成2年度）助成課題一覧

[研究助成]

(五十音順)

研究代表者氏名・所属機関・職名	研 究 課 題 名
有 川 節 夫 九州大学理学部基礎情報学研究施設・教授	計算論的学习理論とそのマンマシンインタフェースへの応用
有 木 康 雄 龍谷大学理工学部・助教授	英語連続音声の日本語音声への変換合成
岡 部 洋 一 東京大学先端科学技術研究センター・教授	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
黒 川 隆 夫 京都工芸繊維大学工学芸学部・教授	身振りのコード化とヒューマン・インターフェースへの応用
黒 田 晴 雄 東京大学理学部・教授	EXAFS解析手法の標準化に関する研究
榎 木 哲 夫 京都大学工学部・助手	制御戦略知識の獲得学習に基づく知的ファジー制御に関する研究
汐 月 哲 夫 熊本大学工学部・助教授	ディスクリプタ・システム理論の応用に関する研究
千代倉 弘 明 慶應義塾大学環境情報学部・助教授	コンピューター・グラフィックスを用いた手術シミュレーションシステムの開発
辻 毅一郎 大阪大学工学部・教授	エネルギー・データの視覚・情報化に関する研究
橋 本 正 治 摂南大学工学部経営工学科・助教授	CADシステムにおけるマン・マシンインターフェースに関する研究
原 民 夫 理化学研究所・研究員	X線用多層膜反射鏡を用いた軟X線増幅の研究
廣 田 薫 法政大学工学部計測制御教室・助教授	ファジィ・ニューラルネットによる線画像の認識
藤 居 仁 九州工業大学情報工学部・教授	レーザースペックル法による粘膜血流画像化装置の開発
藤 田 茂 夫 京都大学工学部・教授	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
辺 見 一 男 長崎総合科学大学情報科学センター・講師	手先の自然な動きを入力とするインターフェースの研究

研究代表者氏名・所属機関・職名	研 究 課 題 名
松 山 隆 司 岡山大学工学部情報工学科・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
森 島 晃 年 財団法人 京都高度技術研究所	広域ネットワークの研究
山 田 善 一 京都大学情報処理教育センター・センター長	初心者のための情報処理教育支援システムの開発
吉 井 博 明 文教大学情報学部・教授	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

研究助成総額 4,750万円

[国際交流助成]

各 (五十音順)

研究代表者氏名・所属機関・職名	派 遣 ・ 招 聘 機 関
井 口 征 士 大阪大学基礎工学部・教授	1. 第16回コンピューター・ミュージック国際会議 (ICMC) 2. フランス国立音響音楽研究所 (IRCAM)
魚 住 純 北海道大学電子科学研究所・助教授	1. 第15回国際光学会議—複合システムにおける光学— 2. 生命科学における光学に関するサテライト国際会議
岳 五 一 財団法人 京都高度技術研究所	中国上海復旦大学, 上海市交通運輸局
高 田 祥 三 大阪大学工学部電子制御機械工学科・助教授	40th CIRP GENERAL ASSEMBLY (第40回国際生産加工研究会総会)
滝 根 哲 哉 京都大学工学部数理工学教室・助手	14Th IFIP W.G. 7.3 INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON COMPUTER PERFORMANCE MODELLING, MESUREMENT AND EVALUATION
知 京 豊 裕 科学技術庁金属材料技術研究所・ 表面界面制御研究部第3研究室研究員	MRS学会 (MATERIAL RESEARCH SOCIETY)
水 本 雅 晴 大阪電気通信大学・教授	Sino-Japan Joint Meeting on Fuzzy Sets and System (中国と日本のファジイセット及びシステムに関する共同会議)
松 本 紘 京都大学超高層電波研究センター・教授	Mr. Roger Emile Gendrinの招聘 (フランス国立環境科学研究所顧問 理学博士 58才), 招聘機関 (第4回宇宙空間シミュレーション国際学校ISSS-4)

国際交流助成総額 385万円  
平成2年度助成総額 5,135万円

## 第2回（平成3年度）助成課題一覧

[研究助成]

(五十音順)

研究代表者氏名・所属機関・職名	研 究 課 題 名
阿 曾 弘 具 東北大学工学部・助教授	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
安 藤 繁 東京大学工学部・助教授	パターンの秩序性、無秩序性発見の原理に基づく触覚センサの研究
伊 藤 宏 司 豊橋技術科学大学情報工学系・教授	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
稲 崎 一 郎 慶應義塾大学理工学部・教授	加工プロセス最適化の為のファジイ理論の応用
岩 田 洋 夫 筑波大学構造工学系・講師	大規模仮想空間を歩行するための人工現実感
大 坪 順 次 静岡大学工学部・助教授	位相型空間光変調素子を使った実時間光処理の研究
河 口 英 二 九州工業大学工学部・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
好 田 正 紀 山形大学工学部・教授	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
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	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
関 口 芳 廣 山梨大学工学部・助教授	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
園 田 頼 信 熊本大学工学部・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
手 塚 慶 一 大阪大学工学部通信工学科・教授	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
登 尾 啓 史 大阪電気通信大学工学部・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
村 上 正 紀 京都大学工学部・教授	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
谷内田 正彦 大阪大学基礎工学部情報工学科・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

研究代表者氏名・所属機関・職名	研 究 課 題 名
山本辰馬 岡山大学工学部・教授	皮膚電気反射を用いた覚醒と睡眠の計測制御
吉澤 誠 豊橋技術科学大学知識情報工学系・助教授	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
米沢義道 信州大学工学部・教授	高分解能触覚画像表示装置の開発
渡辺富夫 山形大学工学部電子情報工学科・助教授	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

研究助成総額 4,725万円

[国際交流助成]

各 (五十音順)

研究者氏名・所属機関・職名	派 遣 ・ 招 聘 機 関
亀山 涉 早稲田大学理工学部・助手	ICC'91 (International Conference on Communication), IEEE Communication Society Sponsored
戸叶 一正 科学技術庁金属材料技術研究所 第1研究グループ第2サブグループ・リーダー	1991年度低温技術会議—国際低温材料会議 (CEC-ICMC'91)
内藤裕義 大阪府立大学工学部・助手	14th International Conference on Amorphous Semiconductors — Science and Technology —
西川進栄 千葉大学工学部・教授	International Conference on Computational Engineering Science ICES'91
花村 剛 早稲田大学理工学研究科・博士後期課程	ICC'91 (International Conference on Communication), IEEE Communication Society Sponsored
八木康史 大阪大学基礎工学部情報工学科・助手	IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition
渡辺秀行 北海道大学工学部・博士課程後期2年	IEEE 1991 International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)

国際交流助成総額 302万円  
平成3年度助成総額 5,027万円

### 第3回（平成4年度）助成課題一覧

[研究助成]

(五十音順)

研究代表者氏名・所属機関・職名	研 究 課 題 名
浅井 秀樹 静岡大学工学部光電機械工学科・助教授	並列処理指向型混合モード回路シミュレータに関する研究
浅田 稔 大阪大学工学部・助教授	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
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	最適化問題のニューラル解法システムの開発
江刺 正喜 東北大学工学部機械電子工学科・教授	集積化加速度センサの開発
江端 正直 熊本大学工学部・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
太田 道男 筑波大学構造工学系・教授	適応可能な論理演算 (Fuzzy <sup>2</sup> ) の開発
大西 昇 名古屋大学工学部電子情報学科・助教授	視覚障害者のための触覚と発声による図情報表現システムの研究
小林 広明 東北大学工学部機械知能工学科・講師	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
近藤 文良 滋賀大学教育学部・助教授	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
下澤 楯夫 北海道大学電子科学研究所・教授	生物神経系機能の情報処理技術への応用基盤の確立
中村 仁彦 東京大学工学部機械情報工学科・助教授	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
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	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
牧之内 顕文 九州大学工学部情報工学教室・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
松本 敏郎 信州大学工学部・助教授	境界要素法による設計感度解析手法を取入れたCAEシステムの開発に関する研究
三宅 洋一 千葉大学工学部情報工学科・教授	内視鏡画像のテキスチャー解析とその診断への応用に関する研究

研究代表者氏名・所属機関・職名	研 究 課 題 名
山 本 裕 京都大学工学部・助教授	デジタル制御系の最適化・知能化の研究
余 田 義 彦 東京家政学院筑波短期大学情報処理科・ 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
米 津 宏 雄 豊橋技術科学大学第3(電気・電子)工学系・ 教授	適応デバイスと自己組織化機能に関する研究
羅 正 華 大阪大学基礎工学部制御工学科・助手	柔軟多リンクロボットの歪フィードバック制御 —実用化をめざして—
渡 邊 一 央 北海道工業大学工学部電気工学科・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

研究助成総額 4,854万円

[国際交流助成]

各(五十音順)

研究代表者氏名・所属機関・職名	派 遣 ・ 招 聘 機 関
朝 田 洋 雄 航空宇宙研究所機体部実機強度研究室・室長	Prof. Masanobu Shinozuka Dept. of Civil Engineering and Operations Research Princeton University U.S.A.
梅 田 史 彦 東京都立大学工学研究科電気工学専攻・ 修士課程	Power Electronics Specialist Conference (PESC'92)
梅 津 光 生 早稲田大学理工学部・助教授	上海第2医科大学, 広州市霍英東 (Fok Y. T.) 心臓センター (中華人民共和国)
門 脇 和 男 科学技術庁金属材料技術研究所・ 第一研究グループ主任研究官	超伝導に関する国際ワークショップ
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	14th International Liquid Crystal Conference
辻 幹 男 同志社大学工学部電子工学科・助教授	1992 URSI INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ELECTROMAGNETIC THEORY
早 川 正 士 電気通信大学電気通信学部・教授	環境電磁工学に関する1992国際シンポジウム
小 林 尚 登 法政大学工学部電気工学科・助教授	IEEE International Workshop on Robot and Human CommunicationへDr.T.Govindarajを招聘
小 林 尚 登 法政大学工学部電気工学科・助教授	IEEE International Workshop on Robot and Human CommunicationへDr. David Zeltzerを招聘

国際交流助成総額 415万円  
平成4年度助成総額 5,269万円

## 助成研究成果の掲載抄録一覧 (年度別五十音順)

- ◆ 計算論的学習理論とそのマンマシンインターフェースへの応用 (901013) ..... 12  
 Algorithmic Learning Theory and Its Applications  
 有川 節 夫 九州大学理学部 (教授)
- ◆ 英語連続音声の日本語音声への変換合成 (901012) ..... 16  
 Production of Japanese Continuous Speech from English Continuous Speech  
 有木 康 雄 龍谷大学理工学部 (教授)
- ◆ 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) ..... 18  
 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)
- ◆ 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) ..... 22  
 Gesture Coding and Its Application to Human Interface  
 黒川 隆 夫 京都工芸繊維大学 (教授)
- ◆ CAD 技術の外科手術への応用 (901011) ..... 32  
 Application of CAD technology for Surgical Operation  
 千代倉 弘 明 慶應義塾大学環境情報学部 (助教授)
- ◆ エネルギーデータの視覚・情報化に関する研究 (901004) ..... 34  
 A Study on Visualization and Informative Processing of Energy Data  
 辻 毅一郎 大阪大学工学部 (教授)
- ◆ CAD システムにおけるマン・マシンインターフェースに関する研究 (901006) ..... 36  
 A Study of Man-Machine Interface in Computer Aided Design System  
 橋本 正 治 摂南大学工学部 (教授)
- ◆ X線用多層膜反射鏡を用いた軟 X線増幅の研究 (901007) ..... 38  
 Promotion of Soft X-ray Intensity by a Multilayer Mirror  
 原 民 夫 理化学研究所 (研究員)
- ◆ ファジィ・ニューラルネットによる線画像の認識 (901019) ..... 40  
 Line Drawing Image Recognition based on Fuzzy Neural Network Technology  
 廣田 薫 法政大学工学部 (教授)
- ◆ レーザースペckル法による粘膜血流画像化装置の開発 (901002) ..... 42  
 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)
- ◆ 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) ..... 44  
 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)
- ◆ 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) ..... 50  
 A Research of Man-computer Interface Using Natural Hand Movement  
 辺見 一 男 長崎総合科学大学 (講師)

◆ 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) .....	56
Color Design System Based on Constraint Propagation 松山隆司 岡山大学工学部 (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) .....	58
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)	
◆ 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) .....	62
Acceptance of New Telecommunication Media and Daily Communication Behavior 吉井博明 文教大学情報学部 (教授)	
◆ 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) .....	64
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 (教授)	
◆ 加工プロセスの最適化のためのファジ理論の応用 (911004) .....	66
Application of Fuzzy Theory for Optimizing Machining Process 稲崎一郎 慶應義塾大学理工学部 (教授)	
◆ 大規模仮想空間を歩行するための人工現実感 (911005) .....	72
Artificial Reality for Walking Through Large Scale Virtual Space 岩田洋夫 筑波大学構造工学系 (講師)	
◆ 位相型空間光変調素子を使った実時間光処理の研究 (911006) .....	76
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)	
◆ 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) .....	80
A Study on Advanced Algorithms for Large Vocabulary Speech Recognition 好田正紀 山形大学工学部 (教授)	
◆ 液晶非線形光学効果による疑生体視覚情報処理複合回路網に関する研究 (911009) .....	86
Simulation of Visual Excitation Using Nonlinear Optics of Liquid Crystals 杉村明彦 大阪産業大学工学部 (助教授)	
◆ 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) .....	90
Construction of Word Associative Processor for Speech Recognition System 関口芳廣 山梨大学工学部 (助教授)	
◆ 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) .....	96
Development of Construction Technology for Communication Networks in Manufacturing Systems 手塚慶一 大阪大学工学部 (教授)	
◆ 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) .....	100
Development of New Ohmic Contact Materials for VLSI GaAs Devices 村上正紀 京都大学工学部 (教授)	
◆ 皮膚電気反射を用いた覚醒と睡眠の計測制御 (911016) .....	102
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)	
◆ 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) .....	106
Study on Human Motor Control Characteristics in the Virtual Reality Space 吉澤誠 豊橋技術科学大学 (助教授)	
◆ 高分解能触覚画像表示装置の開発 (911018) .....	108
The Development of a High Resolution Tangible Display Screen 米沢義道 信州大学工学部 (教授)	

# 計算論的学習理論とそのマンマシン インターフェースへの応用

## Algorithmic Learning Theory and Its Applications

901013

研究代表者	九州大学 理学部 教授	有川 節夫
共同研究者	東京工業大学総合理工学研究科助教授	原 口 誠
	九州大学 理学部 助教授	宮野 悟
	九州工業大学 情報工学部 助教授	篠原 武

### [研究の目的]

人間と機械の間の高度なインターフェースを実現するためには、機械の側が固定されたものではなく、人間の様々な要求や個性に順応できる学習機能をもつことが不可欠である。本研究では、このような学習機能を計算論的観点から究明し、マンマシンインターフェースへ応用できる基礎理論を確立することを主な目的とした。

学習とは、経験したことを知識表現化すること、またはそれを改良することであるといわれている。エキスパートシステムや自然言語理解システム、各種推論システムに見られるように、人工知能システムは急速な進展を続けている。しかし、こうしたシステムは概して演繹的であり、与えられたデータやそれまでの経験から帰納的に推論したり、発見したり、改良したりする能力はもっていない。つまり、ほとんどのシステムは、学習能力をもっていないのが現状である。このことが人間の知能と人工の知能との大きな差異であり、人工知能システムに学習機能をもたせること

が重要な課題となっている。

### [研究の内容、成果]

本研究では、こうした学習機能に関して、マンマシンインターフェースへの応用を志向して、単なる方式の提案やシステムの実現だけでなく、計算量理論や各種の論理や推論の理論に立脚した、いわゆる計算論的アプローチにより学習理論を展開し、可能性と限界を見極め、効率化を追求し、以下の5つの成果を得た。

#### (1) 正データからの帰納学習

学習には正データ(正しい例)と負データ(正しくない例)からの学習とがある。マンマシンインターフェース等へ直接的に応用が利くのは、正データからの学習である。ここでは、申請者等が最近提案したEFSという新しい統一の枠組みを使い、正データから学習可能な族の拡大をはかり、効率化の研究を行った。EFSでは、文脈依存言語の族を定義する長さ限定EFSというクラスを極自然に設定す

ることができる。この長さ限定 EFS でルールの個数  $n$  を任意に指定すると、そうしたクラスの EFS で定義される言語は、正データから帰納推論可能であることを証明した。ルールの個数  $n$  を大きくすれば、言語族は限りなく文脈依存言語族に近づくから、正データからの帰納推論の能力はこれまでに信じられていたものより、はるかに強力であるという衝撃的な結論が得られたことになる。この研究に対して人工知能学会から研究賞が授与された。

1970 年に Plotkin によって提案された最小汎化の概念は、論理プログラミングや計算論的学習理論全般にわたって極めて重要な役割を果たしている。本研究では、この概念を一般化して、与えられた正データを複数のアトムに汎化する多項式時間アルゴリズムを考察して、それを正データからの論理プログラムの帰納推論に直接応用する新しい学習方式を提案した。この研究に対して人工知能学会から優秀論文賞が授与された。

#### (2) 教示を考慮した学習理論

学習は、教師の有無によっても分類される。しかし、学習における教師の役割に関しては、最近の研究分担者等による研究まで、放置されていた。そこで、この方式を定式化し、理論を展開して、学習に要する時間を考慮すれば教師付き学習の方が教師なしの自学自習よりも能力が高く、また最適な教材の作成には非常に時間を要するといった基本的な成果を得た。こうして、知的 CAI という一種のマンマシンインターフェースの基礎理論を構築した。この研究に対して人工知能学会より研究賞が授与された。

#### (3) 類推による学習

類推は人間の問題解決においては、その初期の段階で活用される推論である。こうした類推に関しては、数年前に定式化とシステム化を行っている。その研究をもとにして、最近演繹学習の手法として各方面から注目されている EBG を、類推理論を用いて一般化した。これにより不完全な理論を類推によって補えることになり、EBG の問題点の一つであった不完全理論の問題を EBG と類推理論と統合する形で解決し、またシステムも構築した。

さらに、このシステムとのユーザインターフェースを日英両言語を対象にして研究開発した。これは、システムでの表現言語であるホーン節と自然言語間のインターフェースであり、ユーザとの対話でもって構文や意味の曖昧さを除去する高速なものである。

#### (4) PAC 学習

帰納推論や MAT 学習等は、与えられた例を正しく説明するという意味で、exact 学習と呼ばれることもある。これに対して、そこそこの精度とそこそこの確率で、そこそこの時間内に学習を完了するという意味での近似学習、あるいは PAC 学習と呼ばれる方式が計算論的学習理論の中心的なテーマの一つになっている。この研究では、再び EFS を対象にして、それまで能力が小さいと信じられていた PAC 学習がやはり実は強力な能力をもつことを証明した。

#### (5) 計算論的学習理論の応用

本研究による理論的成果の応用としては、先に述べた類推による EBG システムの開発やそのためのマンマシンインターフェースの開発の他に、PAC 学習に関する (4) の成果の

応用がある。

最近活発に研究されている遺伝子情報解析に関連して、膜蛋白領域予測の研究を行い、従来分子生物学者によって得られていた予測の精度を大幅に向上させることに成功した。この研究に対して情報処理学会研究賞が決定している。

また、EFS の特殊な場合であるパターンを Quinlan の ID3 アルゴリズムにおけるノードに自動的に貼りつける新しいアルゴリズムを計算論的学習理論に基づいて開発して、上記の予測の精度をさらに向上させ、同時に極めて単純で重要な発見を行わせることに成功した。

#### [今後の研究の方向, 課題]

マンマシンインターフェース構築へ応用可能な計算論的学習理論を多方面から展開し、当初の計画以上の成果を得た。インターフェースからの応答が高速であること、すなわち学習が高速であることが要請されるが、本研究では、この問題を主に多項式時間学習という視点から追究してきた。しかし、この研究を通じてマンマシンインターフェースに学習機能をもたせるためには、学習に要する時間をユーザが画面の前で待ちうる程度にさらに高速化すること、すなわち多項式の次数をさらに下げる必要があることも判明した。また、自然言語インターフェースに関しては、ホーン節と日英両言語間の自動変換は実現したが、両言語間の学習による自動翻訳システムの開発は残されてしまった。さらに、遺伝子情報解析への応用に関しては、分子生物学者にとっても全く未知である領域へ適用して新しい機械発見を試みるという野心的な課題が浮上してきた。これらの課題については、

別の機会を得て解決したい。

なお、この研究では 1990 年に開催された計算論的学習理論国際会議 (ALT'90) への外国からの参加者を部分的にサポートし、そうした研究者と討議するという目的もあった。これに関しても十分な成果が得られた。

#### [成果の発表, 論文等]

- 1) S. Arikawa, S. Goto, S. Ohsuga, T. Yokomori (編): Algorithmic Learning Theory, Ohmsha and Springer-Verlag (1990)
- 2) T. Shinohara: Inductive Inference from Positive Data Is Powerful, Proc. COLT' 90, (1990) (to appear in Information and Computation)
- 3) A. Shinohara, S. Miyano: Teachability in Computational Learning, New Generation Computing, Vol. 8 (1991)
- 4) 有川節夫, 西野哲朗: 学習における計算論的アプローチ—機械学習に向けて—, 情報処理 32 巻 3 号 (1991)
- 5) 石坂裕毅, 有川節夫: モデル理論, 情報処理 32 巻 3 号 (1991)
- 6) 篠原歩, 宮野悟: PAC 学習—確率的で近似的に正しい学習, 情報処理 32 巻 3 号 (1990)
- 7) S. Arikawa, A. Maruoka, T. Sato (編): Proc. 2nd Workshop on Algorithmic Learning Theory, JSAI (1991)
- 8) T. Shinohara: Inductive Inference of Monotonic Formal Systems From Positive Data, New Generation Computing Vol. 8, No. 4 (1991)
- 9) S. Miyano, A. Shinohara, T. Shinohara: Which Classes of Elementary Formal Systems Are Polynomial-time Learnable?, Proc. 2nd Workshop on Algorithmic Learning Theory, JSAI (1991)
- 10) H. Arimura, T. Shinohara, S. Otsuki: Polynomial Time Inference of Unions of Tree Pattern Languages, Proc. 2nd Workshop on Algorithmic Learning Theory, JSAI (1991), (to appear in Transactions on IEICE, 1992)
- 11) M. Haraguchi: A Form of Analogy as an

- Abductive Inference, Proc. 2nd Workshop on Algorithmic Learning Theory, JSAI (1991)
- 12) S. Sakurai, M. Haraguchi: Towards Learning by Abstraction, Proc. 2nd Workshop on Algorithmic Learning Theory, JSAI (1991)
- 13) S. Furuya, S. Miyano: Analogy Is NP-hard, Proc. 2nd Workshop on Algorithmic Learning Theory, JSAI (1991)
- 14) H. Inoue, S. Arikawa, S. Takeya: A Simple Method of Mutual Translation between Japanese Sentences and Horn Clauses, Engineering Science Reports, Kyushu Univ., Vol. 13, No. 3 (1991)
- 15) 有川節夫, 久原哲, 宮野悟, 篠原歩, 篠原武: EFSの学習可能性と膜蛋白領域予測への応用, 情報処理学会研究会報告, 91-FI-23 (1991)
- 16) S. Arikawa, S. Kuhara, S. Miyano, Y. Mukouchi, A. Shinohara, T. Shinohara: A Machine Discovery from Amino Acid Sequences by Decision Trees over Regular Patterns, Proc. FGCS'92, ICOT (1992)
- 17) S. Arikawa, S. Kuhara, S. Miyano, A. Shinohara, T. Shinohara: A Learning Algorithm for Elementary Formal Systems and Its Experiments on Identification of Transmembrane Domains, Proc. HICSS-25, IEEE Computer Society (1992)
- 18) S. Arikawa, S. Miyano, A. Shinohara, T. Shinohara, A. Yamamoto: Algorithmic Learning Theory with Elementary Formal Systems, (to appear in Transactions on IEICE, 1992)
- 19) S. Arikawa, T. Shinohara, A. Yamamoto: Learning Elementary Formal Systems, Theoretical Computer Science, Vol. 95 (1992)
- 20) S. Arikawa, T. Shinohara, S. Miyano, A. Shinohara: More about Learning Elementary Formal Systems, (to appear in Proc. NIL, Springer-Verlag 1992)
- 21) H. Arimura, T. Shinohara, S. Otsuki: A Polynomial Time Algorithm for Finite Unions of Tree pattern Languages, (to appear in LNCS, Springer-Verlag, 1992)
- 22) E. Hirowatari, S. Arikawa: Explanation-based Generalization by Analogical Reasoning, Proc. 2nd ILP, ICOT, (1992)
- 23) H. Arimura, H. Ishizaka, T. Shinohara: Polynomial Time Inference of a Subclass of Context-free Transformations, (to appear in Proc. COLT'92, 1992)

## 英語連続音声の日本語音声への変換合成

### Production of Japanese Continuous Speech from English Continuous Speech

901012

研究代表者 龍谷大学工学部電子情報学科 教授 有木康雄

#### [研究の目的]

本研究は日本を観光している外国人に対して、外国語により京都観光案内を行ったり、日本人とのコミュニケーションを深めるために、音声言語変換システムを開発することを目的としてスタートした。具体的には、英語圏の外国人を対象に、連続発声した英語音声を理解し、日本語に翻訳して日本語音声として合成出力するシステムの開発である。この研究には、次の3つの段階が想定されている。

- (1) 連続的に発声した英語音声を理解し、
- (2) その内容を英文から日本語へ変換し、
- (3) 最後に日本語を日本語音声に合成して出力する。

このうち、現時点では、第1段階が達成されている。ここでは、この第1段階について報告する。

#### [研究の内容、成果]

第1段階は、次の4つの処理から成る。

##### (a) 英語音響の処理

音声スペクトルを最も忠実に抽出する手法としてLPC (Linear Predictive Coding) ケプストラム分析法を用いて英語音響から英語音声

の最も本質的な情報を圧縮して取り出す。実験では、16 KHz, 12ビットでサンプリングした98文の英語音声を音声資料とし、これに対して20次元のLPCケプストラム分析を行ない英文発話データベースとした。

##### (b) 英語音素の学習

英語44音素(母音20, 子音24)を英文発話データベースから自動学習する。具体的な学習手法としては、学習効果と認識効果の高いHMM (Hidden Markov Modelling) を用いた。HMMは、周波数空間内での音声の存在確率をマルコフ過程として統計的に学習し、周波数空間内での変動と時間軸上の変動の両者を吸収する方法である。HMMでは音素パターンを存在確率で表現しているため、その結合に不都合を生じない。従って、少数の認識単位で大語彙を表現できることから、大語彙連続音声認識の基本的手法となっている。

実験では、英文発話データベースに対して、まずベクトル量子化(VQ)を行い、離散型のHMMを用いて英語44音素を認識した。特定話者のオープンな実験により68%の認識率を得た。但し、通常用いられているHMMではなく、継続時間長をモデル化して、HMMのなかに埋め込んでいる。表1に音響分析、ベクトル量子化(VQ)、HMMの適用条件を示す。また表2に、本手法で認識した

表1 音響分析, VQ, HMMの仕様

音響分析	標本化周波数	16kHz
	高域強調	$x_t - 0.97x_{t-1}$
	特徴パラメータ	LPCケプストラム(20th)
	フレーム長	20 ms
	フレームシフト	5 ms
	窓タイプ	ハミング窓
V	コードブック	256コードワード
Q	距離尺度	ユークリッド距離
	データ量	100フレーム/音素
H	状態数	3状態
M	学習方式	EM アルゴリズム
M	認識方式	Viterbi アルゴリズム

表2 英語44音素の認識結果 単位(%)

音素	認識率		音素	認識率	
	継続時間長			継続時間長	
	なし	あり		なし	あり
@ (191)	53.4	60.2	n (111)	64.9	75.7
i (96)	34.4	83.3	l (80)	56.3	53.8
ii (68)	79.4	83.8	t (76)	84.2	89.5
ai (56)	73.2	91.1	m (72)	70.8	75.0
a (44)	31.8	50.0	r (58)	89.7	93.1
ei (43)	46.5	74.4	d (60)	60.0	56.7
uu (47)	72.3	76.6	w (53)	77.4	73.6
ou (38)	42.1	71.1	y (47)	91.5	72.3
e (38)	5.3	18.4	p (47)	91.5	78.7
uh (33)	36.4	30.3	z (41)	73.2	73.2
oo (32)	43.8	75.0	b (39)	89.7	82.1
o (21)	47.6	47.6	k (36)	61.1	66.7
aa (15)	20.0	33.3	s (29)	96.6	100.0
u (10)	10.0	0.0	ng (27)	25.9	33.3
au (8)	12.5	0.0	ch (27)	63.0	77.8
j@ (6)	66.7	50.0	jh (26)	61.5	76.9
@@ (5)	0.0	20.0	g (24)	45.8	54.2
u@ (3)	0.0	0.0	dh (23)	43.5	47.8
oi (2)	50.0	50.0	v (23)	56.5	69.6
e@ (3)	0.0	0.0	f (19)	89.5	84.2
			th (19)	73.7	84.2
			sh (18)	38.9	72.2
			h (17)	35.3	47.1
			zh (17)	23.5	11.8
Total (759)				59.8	68.0

英語音素の認識率を音素毎に示す。表には、継続時間長を用いない場合と用いた場合の二つの認識率を並記している。

(c) 英単語認識

英単語の綴りと、英語の発音記号がペアになって蓄えられている、2万単語の英語辞書を用いて、連続音声の中の単語認識を行なった。

この処理は、次の英文法による処理と密接に関連している。実験では、英語2万単語の辞書を用いて、英語音声単語の音響パターンを44の英語音素から自動作成している。このため、英語2万単語を英文発話データベースから直接学習する必要はなく、44の音素学習という最小コストで2万単語の学習という最大効果を得ることが可能となった。

(d) 英文理解

実験では正規文法で英文法を表現し、(a), (b), (c)の処理後、この正規文法を適用する方法を採用した。15英語連続音声に対して実験した結果、93%の認識率を得た。

この第1段階は、まだ実験レベルのプロトタイプであるが、処理を拡張することにより、英語音声による観光案内や各種データベースへの問い合わせを、実現することが可能であると思われる。

[今後の研究の方向, 課題]

第2段階の、英語から日本語への翻訳、第3段階での、翻訳された日本語を日本語音声として合成出力する段階は、まだ研究途中であり、将来的課題として残された。しかし、最近の人工知能技術、マルチメディア技術の発達により、英語から日本語への翻訳、その日本語での合成出力は、一部商品化のレベルに達しており、これを待って全体のシステム開発を達成することも可能と思われる。

[成果の発表, 論文等]

- 1) 有木康雄, "英語の音素認識とその実時間音声理解への応用", 平成2年度電気関係学会関西支部連合大会, s 14-3, 1990.
- 2) 有木康雄, "HMMによる連続音声の音素確率表現", 日本音響学会, 2-8-2, pp.49-50, 1990.
- 3) 有木康雄, "英語音声認識における時間長制限と特徴選択の効果", 電子通信学会, 音声研究会, SP 90-15, pp.49-56, 1990.
- 4) Y. Ariki and M. A. Jack, "Phoneme Probability Representation of Continuous Speech", ICSLP 90, pp.1193-1196, 1990.
- 5) Y. Ariki and M. A. Jack, "Optimisation in English Phoneme Recognition based on HMM", ICSLP 90, pp.369-372, 1990.

# 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

## Study on Neural Network Organizing Pattern Generation Circuit by Self-Organization

901001

研究者代表 東京大学先端科学技術研究センター 教授 岡部 洋一

共同研究者 東京大学先端科学技術研究センター 助手 北川 学

### [研究の目的]

次の世代の情報処理機械としてニューラルネットワークが期待されているが、極めて人工的な方法で経験を蓄積していくものが多い。われわれはこれに対し、実際の生物のように外界とのやり取りを通して応答の仕方を学んでいくニューラルネットワークを目的としている。従来、視覚系にからんで、空間パターン認識については多くの研究があるが、運動系の出力の強度配分の多くの決定回路、つまり、出力パターン生成回路の構成法についてはあまり発表がない。このためこの点を中心にすえて研究を遂行する。この結果、運動系の反射弓の形成などのメカニズムが説明できるようになる。

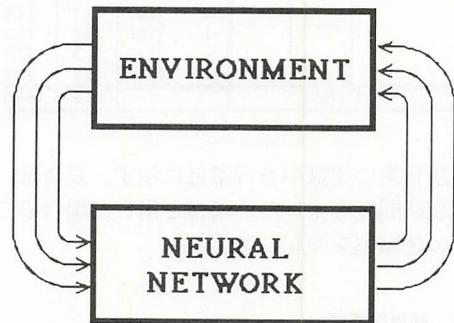
### [研究の内容、成果]

電子計算機は多量の情報を高速かつ正確に処理する反面、人間的な処理が苦手である。例えば、人間ならば「一を聞いて十を知る」といったことが容易であるが、計算機の場合は想定されるあらゆる例外処理に対し、あらかじめプログラムで対処しておくことが必要となる。このためソフトウェアに対する負担

が多大となってきた。このように、脳は汎化の概念を持ち、また文書化されたプログラムを必要とせずにより取りだけで応答を獲得していくことから、これに学ぼうということで、近年ニューラルネットワークの研究がさかんとなってきた。

### フィードバック学習

現在のニューラルネットワークの潮流は、「教師あり学習」と呼ばれる回路構成法が主流である。これはニューラルネットワークの外部に教師があり、時々刻々、回路の応答を観察しており、もし誤った応答をしていると判断すると、回路に対し誤りを指摘する。具



### FEEDBACK LEARNING

図1 フィードバック学習

体的には個々の出力の誤差量を知らせる。回路はこの要求があると、なるべく能率的に誤差がなくなるように回路を補正する。

しかし、実際の生物では、正しい応答を確保する際、必ずしも教師のような存在のない場合が多い。外界と触れ合っているうちに自然に正しい応答を確保していくものである。外界が教師の役割をしているのではないかといった指摘もあるが、現実の外界は特殊な信号線で誤りを伝えてくれることもなければ、個々の出力の誤差を教えてくれることもない。つまり、図1のように外界は生物に対するフィードバック回路になっていて、普通の入力を利用し、なんとなく誤りを指示してくれるだけである。われわれは、この生物のやり方をそのままニューラルネットワークに取り入れることを考え、それをフィードバック学習と名付けた。

このフィードバック学習は、教師なし学習という意味で、一種の自己組織化学習とも分類できよう。しかし、自己組織化というと、通常は入力からの情報だけを利用して回路を構成していき、外界からのフィードバック情報は利用しないものが多い。フィードバック学習はあくまでも外界に適応していく学習である点が異なっている。

入力を概念に結び付けるには従来からのいくつかの自己組織化学習が大変にうまくいく。しかし、概念を出力に結び付けるのは、教師あり学習ではうまくいくが、単純な自己組織化では大変に難しい。これをフィードバック学習で行う方法について検討した。

#### モデレーショニズム

若い生物はいろいろ誤った動作をおこなうが、誤ったことを自ら悟ると、その応答の仕方を変え、徐々に賢くなっていく。まず、生物は

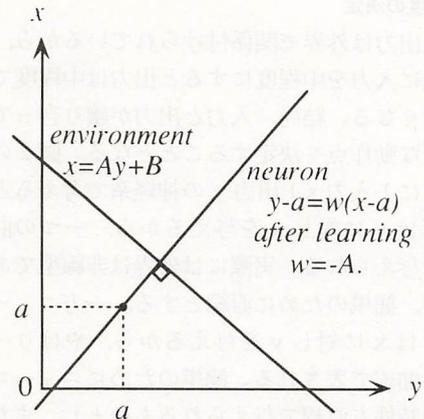


図2 1入力1出力系のニューロンと外界の関わり

どのような場合に自分の誤りに気付くのだろうかという点について考察した。生物は、痛い目を見ると多くの場合その行動の仕方を変える。また、何の刺激もないと、自ら刺激を求めようとする行動を開始する。このことから、生物は刺激のレベルが適切であると、その応答特性を変化しないが、強すぎる入力にも弱すぎる入力にもその応答特性を変え、行動様式を変化するという仮説を立てた。適度な刺激ということで、この仮説をモデレーショニズムと名付けた。

生物は適切な刺激を求めるために、努力してどんな強い出力でも出すかという点、必ずしもそうでないことから、出力にも最適な強度があるとして、モデレーショニズムの概念を拡張した。つまり、生物はあらゆるニューロンの興奮を最適にすべく努力し、それが最適に維持できないときには、出来る限りその最適値に近寄るように努力する。その努力の方法としてニューロン間の結合度を変化させるという仮説である。

結合度の決定

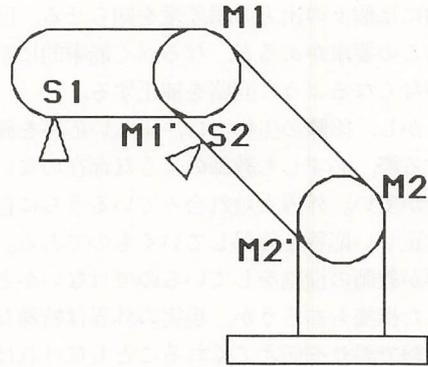
入出力は外界で関係付けられているから、一般に入力を中程度にすると出力は中程度ではなくなる。結局、入力と出力が譲り合って最適な動作点を決定することとなる。図2のように1入力x1出力yの神経系で考えると、外界はyに対しxを与えるから、一つの曲線で与えられる。実際には外界は非線型であるが、簡単のために直線とする。一方ニューロンはxに対しyを与えるから、やはり一つの曲線で表される。簡単のためにニューロンの特性も直線で与えられるものとし、また結合度が変わっても、適度な入力には必ず適度な出力を出すことが保証されているものとする。すると、ニューロンは、(a, a)を通る直線で与えられる。

最適動作点は外界の決定する入出力関係のうち最も(a, a)点に近い点になる。つまり、点(a, a)から外界を表す直線へ下ろした垂線がニューロンの特性になればよいことがわかる。このときの最適な結合度は丁度外界の利得を符号反転したものとなる。

同様に、2入力x, y1出力zの系についてしてみると、外界は1出力zから2入力を作り出すので直線を構成する。一方ニューロンは平面を構成する。この平面は(a, a, a)から最も近い点を通る必要があるが、回転の自由度が残る。これを外界直線と垂直になるように選ぶと、二つの結合度は、やはりそれぞれの外界の利得の符号反転したものとなる。さらに一般に、結合度を外界の利得の符号を変えたものにすれば、各ニューロンは可能な限り最適に興奮できることが導かれる。

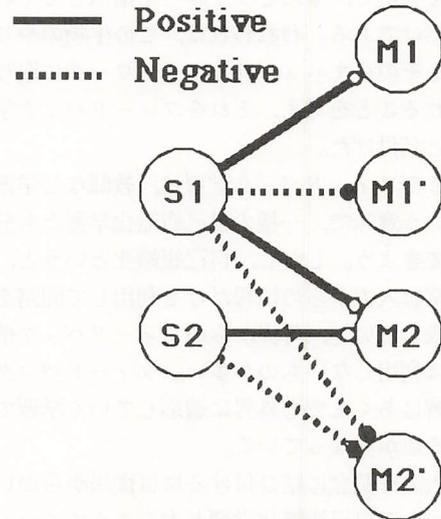
反射弓の形成

この原理を図3のような人工的な腕に適用してみた。M1, M1', M2, M2'はそ



Artificial Model

図3 腕のモデル



Formation of Reflex Arc

図4 得られた反射弓の回路

れぞれ第1関節と第2関節を動かす、互いに拮抗する筋肉を支配する運動ニューロンである。また、S1, S2は腕の先端および腕の中ほどにある触覚の感覚ニューロンである。

S1, S2からM1, M1', M2, M2'

への最適な結合度は、この回路の出力から外界を経て入力へ至る利得を求めその符号反転したもので得られる。例えば  $M2$  が基準レベルよりも興奮すると、腕は曲げが弱くなり、その結果両感覚ニューロンの興奮は基準よりも低下する。この低下量から外部の利得が分かり、回路内の結合も決定できる。具体的には  $M2$  と二つの感覚ニューロン  $S1$ ,  $S2$  との結合を正にすればよい。同様に、 $M1$ ,  $M1'$ ,  $M2'$  についても、探索を行うことにより、各感覚ニューロンとの結合を決定することができる。

図4はシミュレーションにより得られた最終的な結合である。このようにして得られた結合を固定し、続いて  $S1$  や  $S2$  をいろいろ変化してみると、図4の回路からも分かるように刺激に対し、それが最適値よりも強いとこれを回避するような運動を行う。例えば  $S1$  を刺激すると、 $M1$  と  $M2$  が収縮し、 $M1'$  と  $M2'$  が弛緩する。つまり、四つの筋肉が協力して、刺激から逃げるような運動を起こす。さらに、 $S2$  を強く刺激すると、 $M2$  と  $M2'$  だけが収縮、弛緩し不必要な筋肉の運動無くして、刺激から逃げようとする。

逆に、刺激を最適値より減らすと、丁度逆の運動をして、より刺激を強めようとすることも観測され、あたかも人間の腕のような運動をすることが示された。このように、ただ自然に働きかけ、自然からの応答を観察することで、腕の反射弓が形成できることが示された。

本研究は従来の教師あり学習ともまた単純な自己組織化とも異なる、より自然な外部探索の方法でニューラルネットワークが構成できることを示したものであり、少なくとも簡単な回路については生物らしい応答特性を獲得できたことを示すことに成功した。

#### [今後の研究の方向, 課題]

今回の研究では、結合が1段しかない、いわゆる2層のニューラルネットワークに対し、フィードバック学習法を適用した。しかし、現実のニューラルネットワークは多段であり、また回路内部にもいくつかのフィードバックループを有している。こうした複雑な回路で動作するフィードバック学習法を確立することが、今後のもっとも大きな課題である。

すでに今回の研究の終りの時点で、今回述べた外部の利得を探索する方法を単純に多段の回路に適用したところ、結合度が1段目と2段目で互いに悪い方へ影響し合い、全体としてうまく回路が構成できないことが判明した。しかし、今回述べた原理そのものはよい方向を向いているものと思われるので、なんらかの工夫によりこの障害を回避したいと思っている。

#### [成果の発表, 論文等]

1) T. Kouhara and Y. Okabe: Formation of Reflex Arc by Feedback Learning, submitted to IJCNN 92, (Beijin).

2) Y. Okabe and T. Kouhara: Feedback Learning by Self-Organization, to be submitted to NN.

#### 関連論文

1) H. Yamakawa, Y. Okabe: Self Organization of Secondary Values on a Neural Automaton, Proc. of IJCNN 91 (Seattle).

2) H. Yamakawa, Y. Okabe: A Recursive Neural System for Memorizing Systems ..., Proc. of IJCNN 91 (Singapore).

#### 参考文献

1) Y. Okabe, "Moderationism: Feedback Learning of Neural Networks", Proc. of IECON, Oct. 1988, p. 1028.

# 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

## Gesture Coding and Its Application to Human Interface

901015

研究代表者

京都工芸繊維大学 教授

黒川隆夫

### 【研究の目的】

情報機械は多様で高度な機能を備えつつあるが、人とのインタフェースが不十分なため機械と人の能力を結合して新しい地平を開くところまでには至っていない。本研究は人と機械のコミュニケーションを自然で直観的なものにするために、インタフェースにノンバーバル言語を導入することを提案し、一方方法として身振りをインタフェース言語として利用するために必要なコード化の手法を確立することを目的とした。また本手法応用の枠組について検討し、手話翻訳への適用を試みた。

### 【研究の内容、成果】

#### 1 ノンバーバル言語とインタフェース

人の対面コミュニケーションは音声言語で行われていると思われることが多いが、実際には音声によらない(ノンバーバル)コミュニケーションの割合の方がずっと大きい。ノンバーバル・コミュニケーションに利用される媒体には表情や身振り、髪型、衣服など多種あり、分節化が進んでいて顕著な言語的特徴をもつものも多いので、これらをノンバーバル言語と呼ぶことにする<sup>1),3),10)</sup>。

ノンバーバル言語は大量の情報を伝達するばかりか、ノンバーバル言語でなければ表現できない情報も多い。さらに音声が本質的に

1チャンネル性であるのに対し、ほとんどのノンバーバル言語は同時双方向性である。また人のコミュニケーションを円滑にする上で非常に重要な役割を担っていることも明らかにされてきた。

一方、コンピュータを始めとする情報機械が高次の情報空間を扱えるようになり、人と機械のコミュニケーションの幅は大きく広がろうとしている。しかし現時点での機械のインタフェースは、人と機械の能力に対比してチャンネル数が少ない上に帯域が狭く、人にとって不自然で、もどかしく、使い難い。その結果、人はコミュニケーションの内容を考えるよりもコミュニケーション法に認知的な努力を強いられるのが普通である。

これに対して、機械とのインタフェースにノンバーバル言語を導入すれば問題点の多くが解消し、人間的でしかも自然な対話が可能になると考えられている。特に姿勢や身振りは、人が誕生以来使い慣れており、認知的負担を軽減でき、肉体的拘束度も小さく、自然で直感的なインタフェース言語になると期待されている。また高次元のアナログ量を表現できるなど機械の新しい機能とも整合する性質を備えている。しかし記述法の確立していない身振り言語を機械が扱えるためには、言語のコード表現およびコードを通して言語を自然言語や画像など他の表現形態と結びつける機構が必要である。

## 2 身振りのコード化

### (1) 人体の仮想骨格モデル

身振り言語の媒体は身体そのものである。従って身振りを記述するベースとして人の形態モデルが必要である。骨格は200個以上の骨から成るが、外観形態に大きな影響を与える動きをする関節は少ない。また実際の骨格は裸体からでも認識し難く、まして着衣状態では確定が非常に困難である。そこで図1のような(a)全身と(b)手の仮想骨格を用いて身振り記述を行うことにする<sup>8),10)</sup>。

### (2) 手の形状のコード化<sup>10),14)</sup>

手は身振りにおいて独特の位置を占めている。手話が発達したのも、豊富な語彙を表現できる手の空間的分節の可能性に負うところが大きい。ただ手が取りうる3次元形状は無

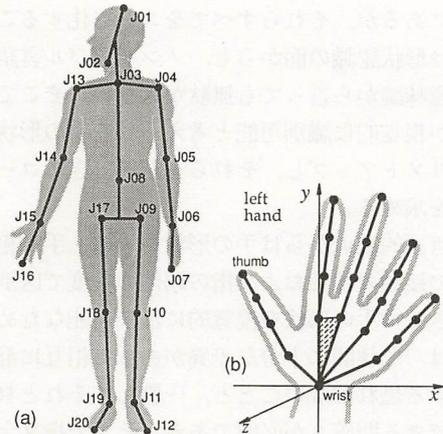


図1 身振りコード化のための身体形態モデル (a)全身, (b)手  
Fig. 1 Human body model for gesture coding. (a) whole body, and (b) hand

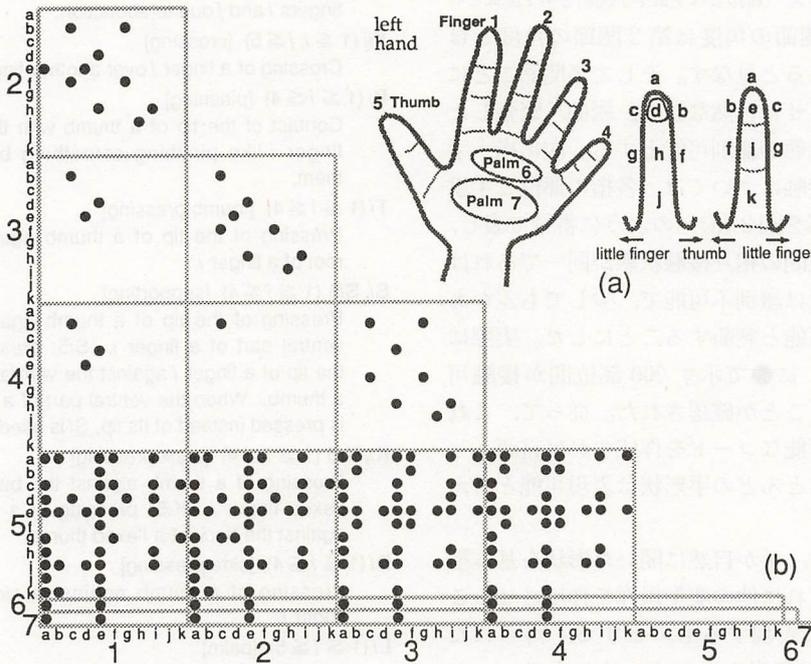


図2 手の部位の接触可能性 指番号と手の部位記号, 手の部位間の接触可能性  
Fig. 2 Contactability between hand parts. (a) finger numbers and hand part symbols, and (b) hand parts contactability

数にあるが、それらすべてをコード化することは形状認識の面からも、ノンバーバル言語の意味論から言っても無駄が大きい。そこで人が視覚的に識別可能と考えられる手の形状をリストアップし、それらを記述できるコードを求める。

言語的観点からは手の形状を、指・手掌相互の接触の状態および指の屈伸の程度で区別できる。手の形状を視覚的に識別可能なためには、形状間に十分な差異があって相互に混同する恐れがないことと、一瞥してそれと判別できる明確さが必要である。そこで指文字相互の形状の差異に基づき、次のような識別可能性条件を定めた。

まず指の屈伸に関しては、第1（中手指節）関節と第2（近位指節間）関節のみが独立に屈伸可能と考え（親指では手根中手指節を第1関節と呼ぶ）、第3関節の角度は第2関節の角度とほぼ同じになると見なす。そして各関節ごとに筋を弛緩させた自然な状態、屈曲、緊張した伸展の3状態が識別可能とする。次に指・手掌相互の接触については、各指の部位と手掌上部/下部を図2(a)のように番号で表し、これら部位間の相互接触状態が同一であれば手の2形状は識別不可能で、少しでも差があれば識別可能と判断することにした。実際には図2(b)に●で示す200部位間が接触可能性であることが確認された。従って、これらを区別可能なコードを作成すれば言語として必要なほとんどの手形状は表現可能と考えてよい。

コードは、手が自然に開いた形状を基本型と考え、これに他の変型操作を作用させることによって表現するものとする。得られた13のコードを表1に示す。これらのコードは相互に矛盾しない限り、1本の指にいくつについてもよい。コードの順序は見やすくする

表1 手の形状コード  
Table 1 Hand-shape code system

<b><u>H</u><i>i</i></b> ( $1 \leq i \leq 5$ ) [basic form of hand shape]	Natural extension of a finger <i>i</i> . Tense extension of a finger is expressed by <u>H</u> <i>i</i> and the finger is assumed to slightly abduct unless it accompanies C.
<b><u>B</u><i>i</i></b> ( $1 \leq i \leq 5$ ) [bending]	Bending of a finger <i>i</i> at its first joint. B5: a thumb standing opposite others. <u>B</u> <i>i</i> : tense extension at its first joint.
<b><u>R</u><i>i</i></b> ( $1 \leq i \leq 5$ ) [crooking]	Bending of a finger <i>i</i> at its second and third joints.
<b><u>F</u><i>i</i></b> ( $1 \leq i \leq 5$ ) [fist]	Flexion of a finger <i>i</i> like making a fist.
<b><u>N</u><i>i</i></b> ( $1 \leq i \leq 5$ ) [counting]	Flexion of a finger <i>i</i> over a bent thumb as Japanese people do so when counting.
<b><u>C</u><i>ij</i></b> ( $1 \leq i < j \leq 5$ ) [contacting]	Contact of a side of a finger <i>i</i> with that of another finger <i>j</i> . <u>C</u> <i>ij</i> : evident separation of fingers <i>i</i> and <i>j</i> due to abduction.
<b><u>X</u><i>ij</i></b> ( $1 \leq i, j \leq 5$ ) [crossing]	Crossing of a finger <i>i</i> over another finger <i>j</i> .
<b><u>P</u><i>i</i></b> ( $1 \leq i \leq 4$ ) [pinching]	Contact of the tip of a thumb with that of a finger <i>i</i> like pinching something between them.
<b><u>T</u><i>i</i></b> ( $1 \leq i \leq 4$ ) [thumb pressing]	Pressing of the tip of a thumb against the root of a finger <i>i</i> .
<b><u>S</u><i>i</i>, <u>S</u><i>i</i>/5</b> ( $1 \leq i \leq 4$ ) [supporting]	Pressing of the tip of a thumb against the ventral part of a finger <i>i</i> . S/5: pressing of the tip of a finger <i>i</i> against the ventral part of a thumb. When the ventral part of a finger <i>i</i> is pressed instead of its tip, <u>S</u> <i>i</i> is used.
<b><u>K</u><i>i</i>, <u>K</u><i>i</i>/5</b> ( $1 \leq i \leq 4$ ) [back pressing]	Pressing of a thumb against the back of a flexed finger <i>i</i> . K/5: pressing of a finger <i>i</i> against the back of a flexed thumb.
<b><u>D</u><i>i</i></b> ( $1 \leq i \leq 4$ ) [side pressing]	Pressing of a thumb against a side of a finger <i>i</i> .
<b><u>L</u><i>i</i></b> ( $1 \leq i \leq 5$ ) [palm]	Contact of a flexed finger <i>i</i> with the lower part of the palm.

Underlined letters indicate auxiliary codes.

ために、指番号の若い順に、同じ指についてはコードのアルファベット順に並べる。

(3) 形状コードからの冗長性除去<sup>10),14)</sup>

(2)で導出した手の形状コードはかなりの冗長性を含む。冗長性はコードの扱いを煩雑にするだけでなく、コンピュータに必要な容量も増加させる。コード化にあたってはこれらの冗長性を除去して、形状を比較的コンパクトに記述することが望ましい。

冗長性には、(a)手の解剖学のおよび生理学的特性に関連するもの、(b)コード体系そのものがもつ冗長性、(c)ノンバーバル言語としての意味論的冗長性の3種類が考えられる。意味論的冗長性に関しては、ノンバーバル言語辞書・手話解説書、ビデオ映像、漫画を対象として解析を行い、手形状のうち意味的に重要な点と意味の希薄な点を拾い出した。得られたコード化結果からこれらの冗長性を可能な限り除去するアルゴリズムを考案し、コード化・プログラムに組み込んだ。図3

(a) は(2)のコードによるコード化の結果、(b)はこれから冗長性を除去したものである。

(4) 全身形態のコード化<sup>8),10)</sup>

全身による身振りでは形態を手形状ほど細かく区分するコードを必要としない。これはノンバーバル言語としての身体姿勢と身体運動の分節化がそれ程著しくないことによる。全身形態のコード導出に際しても、手の形状と同様に、視覚的に判別できる形態を区別できることを第一義と考えた。

対象としたのは自発的に身体で表出される身振りであり、身体と外部環境との位置関係、左右の手の接触や他の事物との接触、操作、事物の指示などを除外した。コードは基本的に各仮想関節の回転角を表わすものとする。これは外部座標系に依存しない座標で全身形態を記述する方が、身振りのコンピュータ処理に有利なためであり、さらに全身中の1関節のみの変化がコードに及ぼす影響を最小限に抑えるには関節角度の採用が適当と考えら

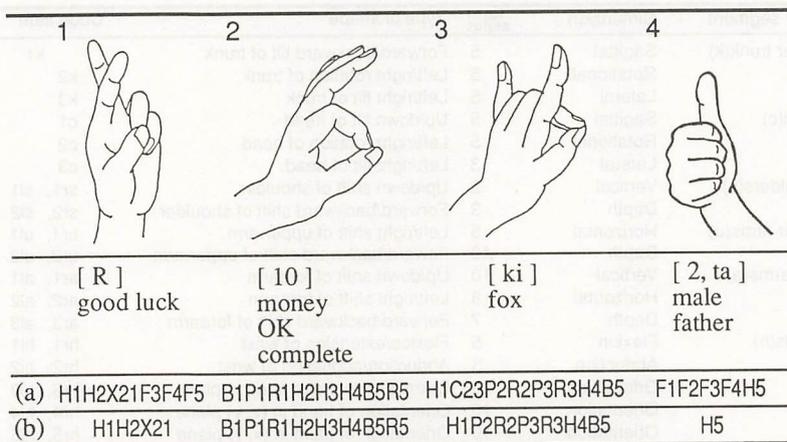


図3 手形状の自動コード化と冗長性除去 [・] は指文字

Fig. 3 Example of hand-shape coding. (a) automatically generated codes, and (b) redundancy elimination from codes in (a) by a computer. Brackets indicate Japanese finger alphabet

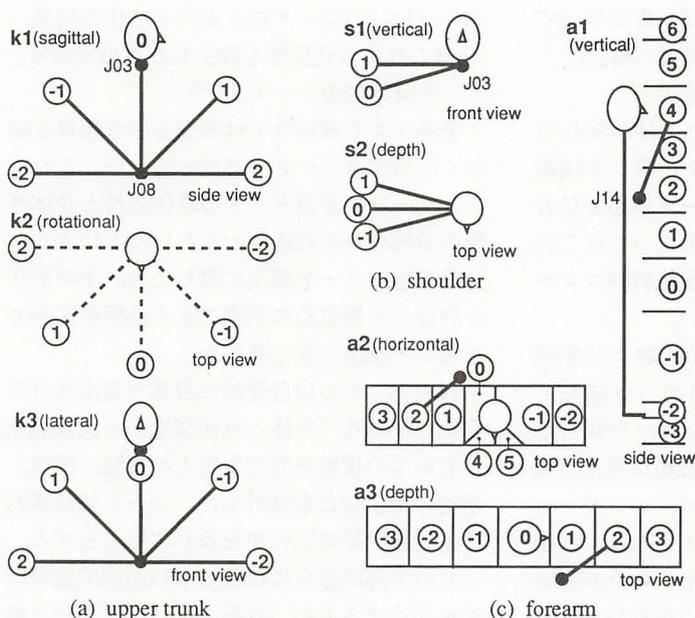


図4 身体形態コード化のための関節位置状態の例  
Fig. 4 Examples of positional states for body-shape coding

れるからである。図4はいくつかの関節について回転角の区分とそのパラメータ値を描いたものである。表2はこのような考え方で導出した全身形態のコード体系を要約したもので、いずれも対象となる関節の末梢セグメントを表わすコード名に形態(角度)を表現するパラメータが付加される。以上のコード化法は局所形状に基づいており、デコーディングの際には角度パラメータの誤差が累積して、身体末端部の位置と元の形態との間に差が生じる

表2 全身形態のコード  
Table 2 Body-shape code system

Body segment	Dimension	No of states	Type of shape	Code item
Upper trunk(k)	Sagittal	5	Forward/backward tilt of trunk	k1
	Rotational	5	Left/right rotation of trunk	k2
	Lateral	5	Left/right tilt of trunk	k3
Head(c)	Sagittal	5	Up/down tilt of head	c1
	Rotational	5	Left/right rotation of head	c2
	Lateral	3	Left/right tilt of head	c3
Shoulders(s)	Vertical	2	Up/down shift of shoulder	sr1, sl1
	Depth	3	Forward/backward shift of shoulder	sr2, sl2
Upper arms(u)	Horizontal	5	Left/right shift of upper arm	ur1, ul1
	Depth	10	Forward/backward shift of upper arm	ur2, ul2
Forearms(a)	Vertical	10	Up/down shift of forearm	ar1, al1
	Horizontal	8	Left/right shift of forearm	ar2, al2
	Depth	7	Forward/backward shift of forearm	ar3, al3
Hands(h)	Flexion	5	Flexion/extension of wrist	hr1, hl1
	Abduction	3	Abduction/adduction of wrist	hr2, hl2
	Orientation	10	Orientation of hand in (x, y) plane	hr3, hl3
	Orientation	10	Orientation of hand in (z, y) plane	hr4, hl4
	Orientation	10	Orientation of palm in (x, y) plane	hr5, hl5
Thighs(t)	Vertical	8	Up/down shift of thigh	tr1, tl1
	Horizontal	4	Left/right shift of thigh	tr2, tl2
Legs(l)	Horizontal	5	Left/right shift of leg	lr1, ll1
	Depth	5	Forward/backward shift of leg	lr2, ll2
Feet(f)	Flexion	4	Flexion/extension of foot	fr1, fl1
	Abduction	3	Abduction/adduction of foot	fr2, fl2

\* "r" and "l" in the code item column stand for "right" and "left", respectively

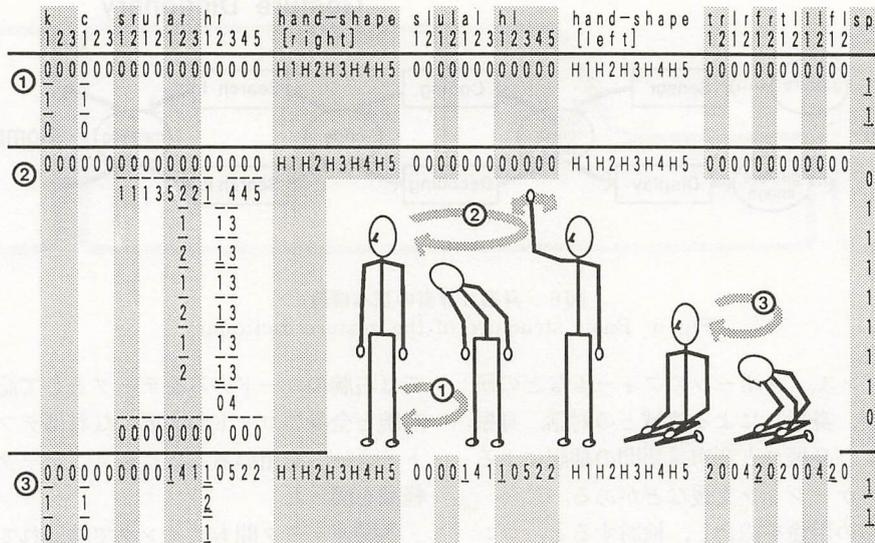


図5 身振りのコード化例  
Fig.5 Examples of gesure coding

可能性がある。そのため身振りで特に重要な動きをする前腕については、図4(c)のように身体を中心として手が届く空間を分割して、手首関節が入る位置をコード表現する。なおこのコード体系によって全身形態が正しくコード化、コード解読可能なことを実験的に確認している。

### (5) 身振りのコード化<sup>(8),(10)</sup>

身振り運動は静止形態と静止形態を滑らかに補間し、運動軌跡には意味がないと考え、身振りのコード化法を提案する。これまでに導いた手形状と全身形態のコードを利用し、さらに音声言語を記録する手段としての文字にみられる利点を兼ね備えた記述法になるように配慮した。特に、身振りの順序は重要であるが、時間は厳密に表現できる必要はないと考えた。

運動速度は身振りの重要な要素であるが、一般に関節の運動速度変化は単純なパターン

をもち、時間と同様に厳密性を要しないので、いくつかの速度パターンから1つを選ぶことでコード化する。

以上の方法によるコード化例を図5に示す。時間は上から下へ進行し、コード中の“-”は運動が行われているセグメントを表わす。

### 3 コンピュータ化身振り辞書

#### (1) 身振り辞書とその構造<sup>7-10)</sup>

身振りコードを広範囲に利用するにはコンピュータ化された身振り辞書が必要である。以下では全身形態のコードと運動生成機構を加えた身振り辞書について述べる。

辞書の本質的な機能は身振りの表現と意味の対応付けであるが、これに身振り入力やグラフィック表示など、人と機械の目的に適した各種インタフェース機能を付加することによって、各種の用途に応用できる。本研究で想定している用途としては、身振り(手話を含

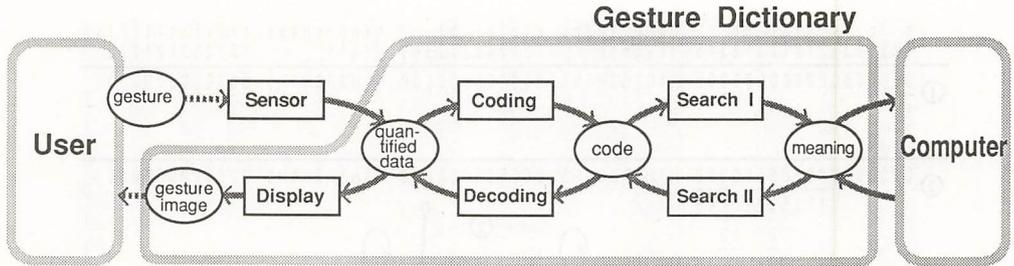


図6 身振り辞書の基本構造  
Fig. 6 Basic structure of the gesture dictionary

む) やダンス, スポーツのフォームなどの研究と教授, 身振りによる機械との対話, 身振り間および身振りと言声言語間の翻訳によるコミュニケーション支援などがある。

これらの用途を総合し, 検討すると, コンピュータ化した身振り辞書には図6のような基本機能と情報の流れが必要であることが判明した。ここで, コード化は身体形態とその動きの定量的記述から身振りコードを求める過程, コード解読(デコーディング)は逆に身振りコードから身体形態と動きを再構成する過程である。グラフィックスはコード解読の結果をグラフィック表示する。検索機能はコードから意味, あるいは意味からコードを求めるために利用する。

辞書データは身振りのコードと意味の2つである。辞書はコードと意味の両方から他方を検索できる必要があるので, 両者を別のデータとして扱い, ポインタによって関連づけた。ところで手形状のコードと全身形態コードを統一して扱うと, 手の身振りのみが意味をもつ場合にも全身形態を記述することになり, かなりの無駄を生じる。そこで, 右腕, 左腕, 両腕を除く全身の3部位に分割して身振りコードのデータ構造を構成した。さらに片手でなされる身振りは右腕のコードで表現する。従って, 右腕のみを用いる身振り

では右腕のコードのみをデータとして記述し, 左腕と全身のコードが必要になればデフォルト・コードを用いることにして, データ量の軽減を図った。

各関連データ間もポインタで結ばれており, 右腕から始めて左腕, 全身の順に形態コードを検索できる。図5では運動を“-”と速度によって表現したが, 実際のデータ構造では, 前述のデータを時間的順序で接続して表現する。

意味データは現時点では特に複雑な構造はもたない。各意味データはその意味を表わす身振りの先頭コード・データとポインタによって接続されている。1つのコードに対して複数の意味が対応する場合, 1つの意味に複数のコードが存在する場合も以上のデータ構造で容易に扱うことができる。

一般に, 身振り辞書はより大きいシステムに組み込まれ, その一部として機能することになる。この場合には, ビデオ映像やフィルム映像を取り入れて人体像を抽出・解析し, あるいは身体運動を直接センシングして, 身振りデータを辞書に送り込む入力部が不可欠である。本辞書では, 身振りの定量的表現として仮想骨格の各関節の角度や3次元座標を採用したが, 実際の身振りをこのような記述に変換する方法として, DataGroveやDataSuit

などの測定装置,あるいは2次元画像から3次元身体形状を再構成する方法などが利用できる。

## (2) コード解読 (デコーディング)<sup>7-10)</sup>

コード化機能はすでに述べた方法をプログラムしたものである,ここではコード解読法について説明する。コード解読はコード表現された身体形態を仮想骨格のパラメータ値へ変換する機能である。一定の意味ないしはコードに対応する身体形態は身振り空間のある領域を占め,そこには無数の形状が含まれる。しかしデータの冗長性を可能な限り減じることを方針とする本研究の趣旨からは,コード解読でこのような身振り空間を扱うことは無意味なので,標準形態というものを考へることとした。

手の標準形態を求めるには,手の形状コードから各指ごとのコードを抽出し,別に作成してあるコードと指の各関節角度の対応表を参照して,図1(b)の仮想骨格の関節角度を決定する。この際,コード化で用いた冗長性除去の手続きの一部を逆に辿り,指の形状コードを可能な限り補った後に指の関節角度を求める方法を用いた。例えば,図3(4)の“H5”では,指3~5に対してコードFを補い,“F1 F2 F3 F4 H5”としてからコード解読を実行する。全身形態についてもコードと関節角度の対応表に基づいて標準形態が求められる。従ってコード化では形態とコードの関係が多対1であるのに対し,コード解読では1対1の対応となる。

## (3) グラフィック表示<sup>8),10)</sup>

関節角度から図1の仮想骨格を図形として生成し,これを2次元ビューポートに投影することで身振りをグラフィック表示する。

2形態間の運動生成は次の方法による。運動によって関節角度が変化するものについて,

まずセグメントの移動軌跡を定めるために空間補間を行う。これは予め関節ごとに滑らかな運動を発生する軌跡生成規則を決めておき,運動前後の関節角度から途中の軌跡を求めることで行う。次にコードに記された速度パターンに従ってこの軌跡上にグラフィック表示点を求め,各時点ごとに仮想骨格図形を生成する。軌跡生成規則は前述した円滑な運動を生じる生理的機構に他ならないが,現在は単純な規則しか備えていない。この規則の拡充も今後の課題として残しておく。

## (4) 検索<sup>7-10)</sup>

検索は辞書の本質的機能であり,本辞書は身振りコードから意味を検索する場合と意味に対してコードを返す場合の2つの検索機能をもつ。しかしコード化,コード解読,グラフィックスの各機能と組み合わせれば,様々な検索が実現できる。例えばある意味に対応する身振りを図形表示したり,カメラを通して入力された身振りを機械語に変換して身振りが指示する作業を機械に実行させることなどが可能となる。

身振り辞書のデータ構造に対して検索を効率よく行うために本辞書ではチェイン法によるハッシュ検索を取り入れた。意味データ,左右の腕のコード,腕を除く全身形態コード,接続する形態の右腕のコードの5種類のハッシュ表を作成し,意味とコードを長さ $k$ の文字列 $s[i]$  ( $i=1, \dots, k$ )で表わすとき,ハッシュ関数 $h(s)$ を

$$h(s) = \sum_{i=1}^k (i \times s[i]) \bmod m \quad (1)$$

で定義した。 $m$ はハッシュ表のサイズである。腕のコードでハッシュ関数に代入されるのは手の形状コードである。つまり主として手の形態を手がかりとして検索を実行する。

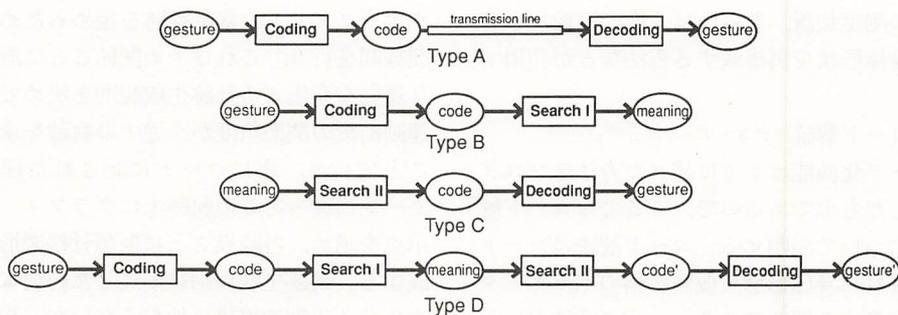


図7 身振り辞書の基本応用形態

Fig. 7 Four types of gesture dictionary applications

4 ヒューマン・インタフェースへの  
身振り辞書の応用

(1) 辞書の利用形態<sup>5),7-10)</sup>

ノンバーバル言語をヒューマン・インタフェースに導入することでインタフェースを自然で直感的なものにできる可能性があるが、そのうち身振り言語を用いることによりインタフェースにサイン、操作、指示、例示の4モードを充実させることができる。サインは文字でも表現可能なことを身振りで簡単に表わすこと、操作は情報機械が生成するオブジェクトのサイズや位置、方向、形など動的で連続性のある変数を身振りで操作すること、指示はオブジェクトの選択、仮想操作器の制御など離散変数をパターン化された身振りで指示すること、また例示はサイズ、形、リズムなど関心の対象の性状を機械に伝達することである。なおサイン、指示、例示は機械から人への情報伝達にも使われる。このうちすべてのサインと指示の一部は身振り辞書を組み込んだインタフェースによってサポートできる。

図7は身振り辞書を利用する場合の基本形態を描いたもので、Type Aは身振り通信への応用を示しており、身振りをコード化して送信し、受信端でデコードすれば、帯域幅や

転送レートが小さくても通信可能である。辞書は、通常BまたはC、あるいは両者の組み合わせの形式で使われると考えられる。コンピュータへの指示や身振り、点字、音声言語間の翻訳などがこれに相当する。異文化間での身振り翻訳はType Dで可能となる。この場合には両文化の身振りとその意味をデータとして保有しなければならない。

(2) 手話翻訳への応用<sup>7-10)</sup>

身振り辞書の有用性を評価することを目的として、日本語を手話単語と指文字に変換す

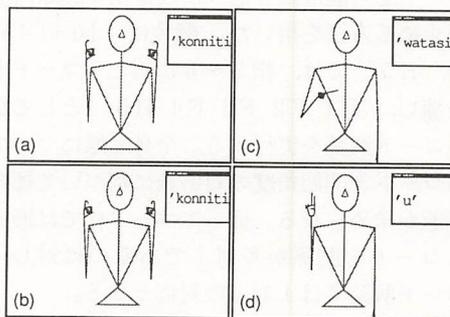


図8 手話を話すアクターの表示例

Fig. 8 Examples of graphic images of gesture. (a, b) two scenes from "konnichiwa (good afternoon)", (c) "watashi (I or me)" and (d) finger alphabet "u"

る簡単な翻訳システムを開発した。辞書には指文字、少数の手話単語、日常生活で頻出する身振りを登録した。キーボードから日本語を入力すれば、辞書上で意味からコードを検索し、さらに手話語と指文字と交えた仮想骨格の運動に変換して、アクターが話す手話としてグラフィックス表示することができる。図8はアクターが話す場面の例である。

このようなスティック・モデルでは身振りを読み取ることは難しいが、今後リアルな表示へ改善する必要がある。しかし、本システムにより辞書の基本構造の妥当性と基本機能の有効性を確認することができた。

#### [今後の研究の方向, 課題]

ノンバーバル言語で重要な役割を果たす身振りをコンピュータで扱えるようにするために、手形状と全身形態のコードを提案し、それを利用して身振り辞書の試作を行った。

現在は2.4(2)で述べた方法を手話全体に拡張して、日本語から手話へ、また手話から日本語への翻訳に関する研究を行っている<sup>12-13)</sup>。この場合の主要課題は、開発したコード体系を手話向きに改良すること、手話のセグメンテーション、手話を理解できるようにグラフィック表示を改善することなどである。さらに引き続いて、対象とする身振りの拡大、全身形態コードの言語的妥当性の検討、身振り入力部の開発、辞書に組み込んだ人体運動特性の拡張などにも取り組みたい。

#### [成果の発表, 論文等]

- 1) 黒川(1990) 身体言語による機械とのコミュニケーション, 知的情報通信第4回公開シンポジウム論文集, 15-22.
- 2) 黒川(1991) ノンバーバル・コミュニケーションと

ンとヒューマン・マシン・インタラクションへのその応用, Proc. SICE '91, 789-790.

- 3) 黒川(1991) 機械とのノンバーバル・コミュニケーション, Human Interface News and Report, 6, 4, pp. 341-354.
- 4) Kurokawa, T. (1991) Gestural modes in human-computer interaction, Proc. International Workshop on Next Generation Human Interface Architecture, I.1. 1-2.
- 5) 黒川(1992) 身振りによるコンピュータとの対話, 言語, 21, 1, pp. 74-80.
- 6) 黒川(1992) ノンバーバル言語とノンバーバル・インタフェースの枠組, 第3回ヒューマン・インタフェース・アドバンスト・シンポジウム資料, 1-2.
- 7) Kurokawa, T. (1992) Gesture dictionary and its application to Japanese-into-sign language translation, Proc. 3rd Advanced Symposium on Human Interface, 51-58.
- 8) Kurokawa, T. (1992) Gesture coding and a gesture dictionary for a nonverbal interface, IEICE Trans. Fundamentals E 75-A, 112-121.
- 9) 森地, 上田, 黒川(1992) コンピュータ化身振り辞書とその応用, 第8回ソフトウェアコンファレンスプロシーディングス, 341-344.
- 10) 黒川(1992) 身振りのコーディングとコンピュータ化身振り辞書の構築, 人間-機械・システム協調のための高次コミュニケーションに関する基礎的研究, 993-1013.
- 11) 黒川(1992) ノンバーバル・インタフェースの枠組とジェスチャー対話, 日本機械学会第2回デザイン・エンジニアリング・プラザ『ヒューマンインタフェース』資料, 13-22.
- 12) 森本, 井土, 藤重, 渡辺, 森地, 黒川(1992) 機械翻訳を目標とした手話の時空間構造の分析, 第8回ヒューマン・インタフェース・シンポジウム論文集, 予定.
- 13) 森地, 黒川(1992) 手話翻訳のための身振りコーディング法, 第8回ヒューマン・インタフェース・シンポジウム論文集, 予定.
- 14) 黒川, 紙谷 手形状コードの導出とそれを用いた身振り辞書, ヒューマン・インタフェース研究論文集 (投稿中).

## CAD技術の外科手術への応用

### Application of CAD Technology for Surgical Operation

901011

研究代表者 慶應義塾大学環境情報学部 助教授 千代倉 弘 明

#### 〔研究の目的〕

本研究の目的は、外科手術支援システム構築におけるCAD技術導入の有効性を示すことにある。

具体的には、CAD技術を導入することによって、(1)2次元/3次元表示、(2)手術シミュレーション、(3)実体モデルの作成といった様々な機能を同時に提供し、臨床において求められる形状の精度に対する要求をも満たし得るシステムの構築を試みた。

#### 〔研究の内容、成果〕

X線CTやMRIといった画像診断機器から得られた断層画像を、画像処理やコンピュータ・グラフィックスの技術を用いて処理することにより、臨床に役立てようという研究が盛んに行われて来た。2次元の画像データを3次元表示したり、コンピュータ上での手術シミュレーションを実現したりといった具合である。しかしながら、これらの技術がシステムの機能として相互に結びつき、統合的に臨床医を支援できるような医用システムに関する研究報告はこれまでに例がない。

この「統合的支援」の問題を考えるうち、我々は1つの非常に大きな糸口を見出した。それがCAD(Computer Aided Design)である。というのも、支援システムに求められる機能が、CADで実現されている機能に実に良く

対応するからである。「3次元表示」については、容易に察しがつく。多くのCADシステムが持っているレンダリング機能を使用することで実現可能であるからである。「手術シミュレーション」についても、設計済みの機械部品に対する加工修正に当てはめて考えれば良い。

そして、CAD技術導入による一番の効用は生体組織のモデリングにある。既存のシステムの多くは、ボクセル構成法を用いて生体組織のモデリングを行っている。これには以下に挙げる2つの大きな理由がある。

- ボリューム・レンダリングに応用でき、データを効果的に視覚化できる。
- 手術シミュレーションにおける形状変形などの実現が技術的に容易である。

たしかに、表示や手術シミュレーションだけを考えた場合には、ボクセル法によるモデリングで充分である。しかし、実体モデルの作成までを考慮に入れた場合、ボクセル構成では不十分である。なぜなら、CT画像は通常2mm程度の間隔で影響されており、ボクセル構成法によってそのまま再構成したデータを用いて作成した実体モデルでは、表面形状があまりに荒く、とても臨床では使用できないからである。そこで、CADシステムの持つ立体表現能力を利用して、面によって形状を表現するサーフェス構成法を用いれば、生体組織をより正確にモデリングすることができるとも、手術シミュレーション実現に伴

う技術的な困難さについても、CAD システムの形状加工能力を利用することにより克服できる。

以上のような考察に基づいて、形成外科における頭蓋形成手術の事例に対象を絞り、実際にシステムを実現し考察を行った。

そして、特に「実体モデルの作成」において、大きな成果を挙げることができた。「実体モデルの作成」については、CAD 技術に直結する光造形技術を用いることにより実現した。この光造形技術は NC 加工の一種であり、数値データに基づいてレーザー光を紫外線硬化樹脂に照射することによって、複雑な形状をも造形加工することができる。この技術を応用することで、より正確で実用面でも価値の高い、頭蓋骨の実体モデルを作成することができた。この樹脂モデルに関して、以下のような用途が見い出され、臨床医からも高い評価を受けることができた。

- 患者や家族への症状についての効果的説明
- 若い医師や学生向けの教育用
- 新しい症例の診療における、手術計画、最終確認の資料

単なるプレゼンテーション用だけでなく、樹脂モデルを用いた手術シミュレーションも試みられている。

#### [今後の研究の方向、課題]

本研究を通して、外科手術支援システムを構築する際に CAD 技術導入が有効となることが確認できた。

CAD 技術を導入することによって、1 つのデータ構造を中心に各機能が有機的に結びつき、システムの統合化を図ることができる。

それだけでなく各機能の実現についても、「骨を CAD における機械部品に置き換える」ことで、CAD システムの各種技術を応用することが可能となる。

しかしながら、完全実用化に向けては幾つかの課題がある。まず、データ量の問題がある。生体のように極めて複雑なものを CAD システムで扱おうとすると、データ量が膨大になってしまい、システムのパフォーマンスが落ちてしまうのである。

また現段階では、対象が骨のような均一な組織のみに限られているが、筋肉といった軟部組織についても同時に扱えるようなシステムを望む声の大きいことも見逃すことはできない。したがって、この点をも考慮したさらなる研究活動が必要である。

#### [成果の発表、論文等]

- 1) 1991. 11 NICOGRAPH '91 論文コンテスト
- 2) 1992. 6 CG International '92

# エネルギーデータの視覚・情報化に関する研究

## A Study on Visualization and Informative Processing of Energy Data.

901004

研究者代表

大阪大学工学部 教授

辻 毅 一 郎

### [研究の目的]

本研究では、エネルギー需要・供給関連の統計データをエネルギーフロー図のような図形で表示し（視覚化）、さらに各種社会経済指標と組み合わせて、分析上意味のあるものに変換する（情報化）機能を備えたエネルギーシステム分析専用のデータ処理システムを、ワークステーション上で実現することを目的としている。

### [研究の内容、成果]

#### データベース

エネルギーデータとは、エネルギーの需要・供給関連の統計データなど、エネルギーに関するデータの総称である。その特徴は、「地域・時間・エネルギー種・用途」を軸とした4次元構造をしているという点にある。エネルギー関連の分析や統計処理は地域を対象として行われることが多い。そこで、対象地域（地域軸）ごとにデータを分類し表1に示すようなデータベースを作成している。

表1 エネルギーデータベースの内容（一部）

データファイル群の名称	対象地域	年 度
近畿最終エネルギー需要	近畿全域	1976～2010
大阪市エネルギー需要	大阪市5地域	1974～2005
近畿府県エネルギー需給	近畿2府5県	1980
近畿エネルギー需給	近畿全域	1980～1989
日本エネルギー需給	日本全域	1980～1989
77カ国エネルギー需給	77カ国	1973～1985
社会経済指標	近畿118地区	1976～2010

### データ処理システムの構築

システム全体の構成図を図1に示す。本システムは、エネルギーデータベース上のデータファイルの登録・検索を行うデータベース管理部と、そこで選択されたデータファイルを図示するデータ表示部ならびに利用者とのインターフェイスを扱うインターフェイス部の3つに大きく分けられている。知識ベースには、地区コード、時間（年度、月など）コード、エネルギー種コード、地図座標データが含まれる。そのほかエネルギーフローを描く際に必要となるネットワーク（ノード・ブランチ）情報が含まれている。

本研究を通じて実現した主要な機能は以下のとおりである。

### エネルギーフロー図の自動作図

エネルギーフロー図は、一次エネルギーから様々なエネルギー変換プロセスを経て最終消費に至るまでのエネルギーの流れを視覚的

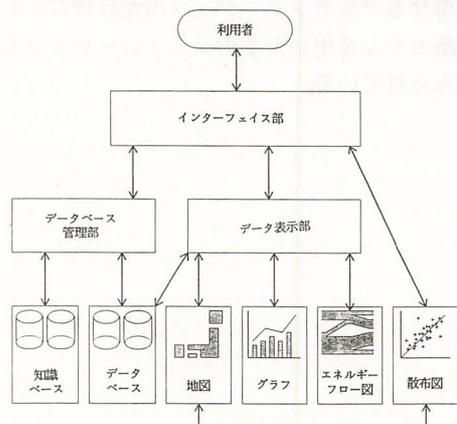


図1 システムの全体構成

に捉えることのできる表示方法である。通常は、一国のエネルギー需給状況を示すのに用いられるが、それ自体がデータの成り立ちを示しているともいえる。このようにデータがある種のネットワーク構造を持っていることは、エネルギーデータの大きな特徴である。

エネルギーフロー図の表示は必ずしも容易ではない。ネットワーク情報を与えても、ブランチはそれぞれ量に応じた太さを持たせることが必要で、高度な技術を要する。ここではネットワーク情報とデータ数値を分析し、できる限り自動的に作図するようなアルゴリズムを考案し実現している。しかし100%自動化されているわけではなく、ブランチのねじれを解消したり、ノードの位置を変更して、より見やすい形に整えるなどの処理を対話的に行える機能を備えている。(図2参照)

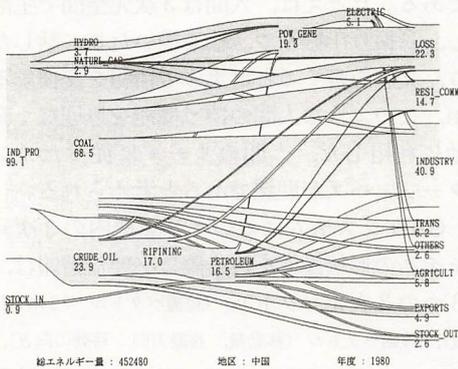


図2 エネルギーフロー図の表示

視覚を利用したデータ検索

データの属性の一部を用いて図形で表示し、その図形上で指定したデータに関してより詳しい属性表示を行う機能(ダイナミックグラフィックスと呼ぶことがある)を実現した。検索の仲介となる図形としては、従来からの散布図に加え、地図(データベースには近畿域内118ゾーンのように、マイクロな地域もある)およびエネルギーフロー図を考え、これらを仲介とするデータ検索を実現した。

マルチタスクを利用したデータ分析支援機能

インターフェイス部を、複数のコマンドを同時にウィンドウ上で実行できるように構成したので、互いに関連する複数のデータファイルについて、散布図と折れ線グラフ、あるいは、地図とエネルギーフロー図と棒グラフなど複数の表示を同時に行うことができる(図3参照)。これにより、データの多面的な分析を支援する表示機能が実現できた。

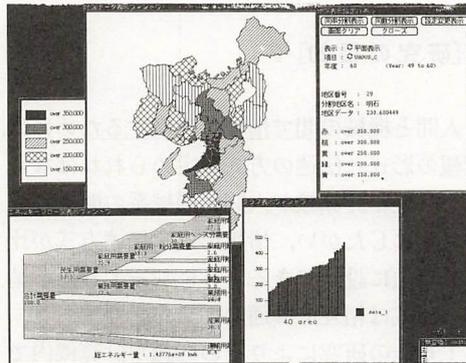


図3 データ表示画面例(地図表示を中心として)

[今後の研究の方向, 課題]

上述の諸機能を一応実現することができたが、プログラム自体が肥大化し、構造的に整理されていない部分があり、意図した機能を実現することが困難である部分も生じている。システム自体のイメージは明らかになったので、構造的な見直しを行い、一層効率的な使い勝手のよいシステムを実現したい。

[成果の発表, 論文等]

- 1) 富高, 宮本, 武仲, 川口, 辻: 近畿地域を中心としたエネルギーデータベースと表示・検索システム, エネルギー・資源第11回研究発表会講演論文集8-5, pp.336-342, 1992年4月

## CAD システムにおけるマン・マシン インターフェースに関する研究

A Study of Man-Machine Interface in Computer Aided Design System

901006

研究者代表 摂南大学工学部機械工学科 助教授 橋本 正 治  
共同研究者 大阪大学工学部電子制御機械科 助手 小野里 雅 彦

### [研究の目的]

人間と機械の間で情報を交換するためには、情報の形式と伝達の方式が定められねばならない。近年計算機が人間・機械系の間に導入されるにしたがい、情報形式・伝達方式が比較的自由に設計できるようになってきた。情報の形式は相互に共通の知識が必要であり、人工知能の研究によりその知識が計算機内で実現され、伝達の方式については疑似環境や人工現実感の研究により、人間の生活空間を計算機内でシミュレートし表現する装置が開発されつつある。

本研究では、計算機による援用システムとして、CAD/CAM システムを対象とする。CAD/CAM システムにおいて特に人間との間の情報交換が多く行われるのは、CAD における製品モデルの入出力部である。ところが現状の CAD システムでは、利用者がイメージした 3 次元情報と計算機が扱うイメージに大きなギャップがあり、情報の交換は容易ではなく、そのギャップを埋めるマン・マシンインターフェース開発への要求が高まっている。このため、本研究は CAD システムにおける入出力部を対象とし、理想的なマン・マシンインターフェースを構築することを目的とする。

### [研究の内容・成果]

理想的なインターフェースとは、計算機が扱う入出力の形式にあわせて、人間が情報を加工したり判断するのではなく、人間が馴染みやすい形式で、情報の入出力が行えるものである。たとえば、人間は 3 次元空間で生活し、身振り手振りや、絵を描いたり、話したり、文字を書くことによって情報を交換するが、このような人間の持つ機能を無理なく有効に利用した、人間のルールに従ったインターフェースが理想であると考えられる。

CAD システムにおいて計算機内の 3 次元モデルの形状操作を行う際に必要な情報は、3 つの 3 次元ベクトル (位置ベクトル (3 次元位置)、移動ベクトル (移動量, 移動方向, 移動の向き)、回転ベクトル (回転量, 回転軸, 回転の向き)) に分類できる。本研究では現在有効な入力手段を持たない回転ベクトルに注目し、入出力システムを試作し評価を行った。

計算機内の 3 次元モデルをあたかも手でつかんでいるかのように操作するには、(i) 手指の位置や姿勢を測定し、その動作を計算機内の 3 次元モデルの動きに反映させる方法と、(ii) 3 次元モデルに対応した物体を手で操作し、その物体の動きを測定する事で 3 次元の運動を得る方法が考えられる。手指の微妙な動作を非接触で測定することは困難であり、

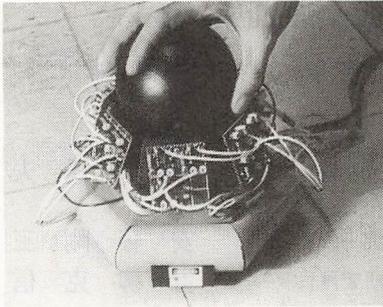


図1 非接触式回転ベクトル入力装置

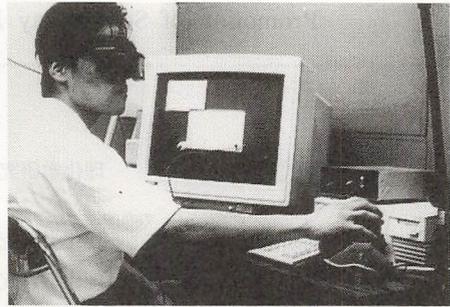


図2 機械式入力装置とシステム全景

測定装置を手指に装着する事による肉体的・精神的影響を考慮し、本研究では後者の方法を用いた。

回転軸と回転量に関する制限を排除するために物体を球体（ボール）とし、物体の回転ベクトルを求めるために、ボール表面の任意の2点の変位ベクトルの外積をとる方法を用い、非接触測定方式と機械式測定方式の2方式による入力装置の試作を行った。図1に非接触式による入力装置を、図2に機械式入力装置を用いた入力状態を示す。試作した各入力装置の精度と操作性に関する評価を行った結果、人間の意図に沿った自然な操作感覚が実現できている事が確認された。

これまで数多くの入力装置が研究開発されてきたが、共通の評価基準がないために個々の評価を直接比較する事が不可能であった。本研究では、2次元モデルの操作を評価する事のみを対象としたCADシステムをワークステーション（LUNA 88K）上で構築し評価に用いた。入力装置の評価は出力装置の違いによっても異なると考え、通常の3面図や透視図に加えて立体視による表示出力装置を新たに開発し用いた。図2に示すように、操作者は液晶シャッターを備えた眼鏡をかけることで3次元モデルを立体として容易に観察することが可能となる。さらに、評価課題の選定のために既存のCADシステムの入力要素の分類を行い、評価課題の提案を行った。

本入力装置評価用CADシステムを用いた評価の結果、開発した回転ベクトル入力装置

は立体視による表示装置を併用する事でよりその能力を発揮できる事が確認された。

#### [今後の研究の方向・課題]

本研究の成果の一つとして、入力装置は出力装置との組み合わせにより操作性に関する評価結果が左右されることが確認された。操作者に負担をかけずに3次元形状データの情報伝達を行うために、本研究でも開発した、立体視による表示装置に関する研究や利用が進められている。立体視の原理は、両眼視差・輻輳を利用したものが主であるが、水晶体調節について考慮されていない場合が多く、さらに装置の装着による肉体的・精神的不具合が考えられる。本研究ではこれらの不具合のない実体視による表示出力装置に関する研究を行い発表を予定しており、さらに、触覚や聴覚に関する入出力機器のCADシステムへの利用を考慮中である。

#### [成果の発表・論文]

- 1) CADにおける3次元入力システムに関する研究（回転ベクトル直接入力法）、精密工学会誌、9、5（1991）101-1062
- 2) CADにおける3次元入力システムに関する研究（第2報）（回転ベクトル直接入力型システム）、1991年度精密工学会秋期大会学術講演会講演論文集、10（1991）715-716
- 3) ピンアレイ法によるCAD用実体表示出力装置の研究、1992年度精密工学会秋期大会学術講演会、10（1992）（発表予定）

## X線用多層膜反射鏡を用いた軟X線増幅の研究

### Promotion of Soft X-ray Intensity by a Multilayer Mirror

901007

研究代表者	理化学研究所	研究員	原 民 夫
共同研究者	理化学研究所	研究員	安 藤 剛 三
	理化学研究所	主任研究員	青 柳 克 信

#### [研究の目的]

我々は従来より数百から千倍高い励起効率を持つ軟X線レーザーの実験に成功した。この研究を発展させるため、入力エネルギーが少ないにもかかわらず十分に高温のプラズマを生成できる理由、これに関する本質的な物理を実験的に明らかにする。さらに、X線レーザー発振器の開発の第一歩として、平面のX線多層膜反射鏡を開発し、これを使用することにより軟X線の増幅実験を行う。

#### [研究の内容、成果]

これまで2Jという少ない入力エネルギーで軟X線のレーザー作用を発生させることができたが、他の実験より格段と少ないエネルギーで何故十分な量の多価イオンが生成できるのか不明であった。一方、ストリークカメラによる観測から、我々の励起レーザーのパルス波形は通常用いられている滑らかな単一波形ではなく多数の短パルスからなる複雑な形を持っていることが判った。そこで多価イオン生成に対するパルス列波形の励起レーザーの有用性を調べるための実験を行った。モードロックレーザー発振器からパルス幅100 psの単一パルスを発生させ、これからパルス列発生器により200-800 psの間隔を持つ最大16個のパルスからなるパルス列を形成した。これをアルミニウムの平板ターゲットに照射してプラズマを生成した。短パルスの個数が4個以上になると、励起エネルギーが少ないにもかかわらず、レーザー媒質

となる $A 1^{9+}$ 、 $A 1^{10+}$ 等の多価イオンのスペクトル線が発光し始めた。そこでレーザーのパルス列波形の最適化研究を行った。パルス数を4個に保ち、パルス間隔を変化させたときの多価イオンの時間積分した発光強度の測定結果を図1に示す。この図からプラズマ加熱にとって最適なパルス間隔は200 ps付近であることが判る。次に、パルス間隔を200 psに固定し、パルス数を増やしたときの発光強度の変化を調べた。その結果を図2に示す。縦軸は1パルス当たりの発光効率を

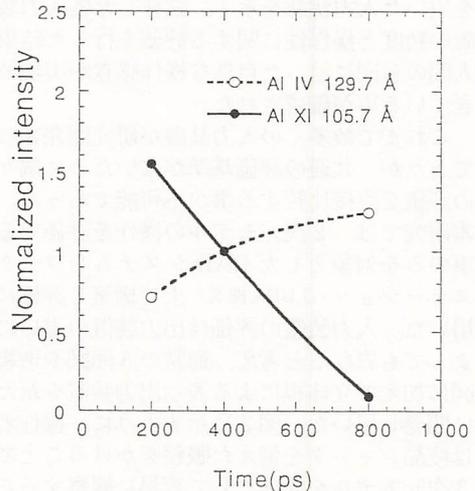


図1 時間積分されたX線強度のパルス間隔依存性。縦軸は400psのときの強度で規格化されている。

Time-integrated X-ray intensities (Al IV 129.7 Å and Al XI 105.7 Å) as a function of interpulse time of the pulse-train laser.

意味するように観測された強度をパルス数で割った値で表示してある。明らかにパルス数の増加と共にプラズマ温度が上昇するため多価イオンの発光量・効率が共に増えている。以上の結果からレーザーパルスを短い時間間隔で連続して照射すると、プラズマの加熱が継続的に効率よく進行することが判る。プラ

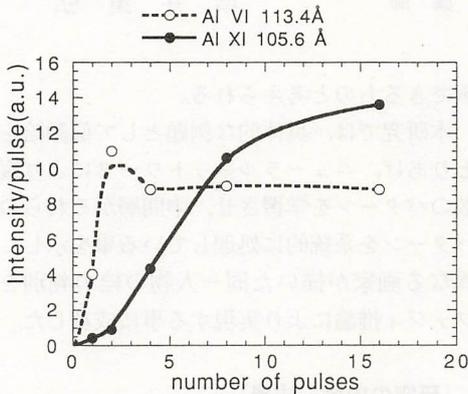


図2 X線発光効率のパルス数依存性  
Time-integrated X-ray intensities divided by the number of laser pulses as a function of the number of pulses.

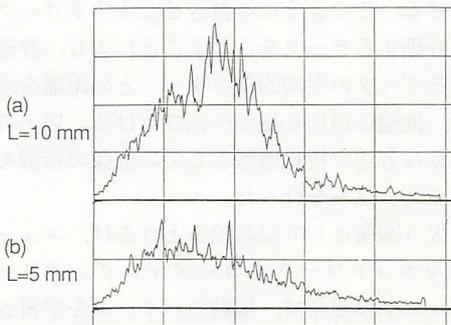


図3  $Al^{10+}105.7 \text{ \AA}$  の発光強度の時間変化。プラズマの長さは (a) 10 mm (b) 5 mm である。  
Time history of  $Al^{10+}105.7 \text{ \AA}$  line emitted from (a)  $L=10 \text{ mm}$  plasma and (b)  $L=5 \text{ mm}$  plasma.

ズマ加熱のための最適な波形として 200 ps のパルス間隔を持つ 16 個のパルス列が選ばれた。

この最適波形の励起レーザーを用いて、 $Al^{10+}$  イオンの軟 X 線レーザーの実験を行った。図3にプラズマ長  $L=10 \text{ mm}$  および  $L=5 \text{ mm}$  における  $Al^{10+}105.7 \text{ \AA}$  の時間変化を示す。 $L=10 \text{ mm}$  の場合、パルスの中央付近で強度が  $L=5 \text{ mm}$  に比べ3倍以上大きく、明らかに増幅効果を示している。この付近での最大利得は約  $2.5 \text{ cm}^{-1}$  であった。使用したガラスレーザーのエネルギーは今回も約  $2 \text{ J/cm}$  と非常に小さな値であった。これにより、我々の優れた実験結果はパルス列レーザーを用いることにより得られたことが確認された。

上記の実験と平行して、ニコン (株) と協力しながら軟 X 線ミラーの製作を進めた結果、レーザー作用が観測された遷移の一つである  $Al^{10+} 3d-5f$  に対応する  $154.7 \text{ \AA}$  において 20-36% の反射率を持つ Mo/Si 多層膜ミラー (積層数 50 組) の製作に成功した。さらに、この軟 X 線ミラーの保持装置の作成も行った。これらの準備のもとに、軟 X 線ミラーを使用した軟 X 線の増幅実験に着手したところである。

[今後の研究の方向, 課題]

X 線反射鏡を用いて軟 X 線の顕著な増幅作用を観測した後、凹面の共振器ミラーの開発を行い軟 X 線レーザー発振器の研究に進む。さらに、YAG レーザー励起による小型軟 X 線レーザーの実験に着手する予定である。

[成果の発表, 論文等]

- 1) Proceedings of SPIE's International Symposium on Lasers, Sensors, and Spectroscopy 1992.
- 2) Technical Digest of Quantum Electronics and Laser Science Conference 1992, pp. 20-21.
- 3) 理研シンポジウム「レーザー科学」(1992年2月2-3日)の予稿, pp. 4.
- 4) Proceedings of 3rd International Colloquium on X-Ray Lasers 1992 へ掲載予定。

## ファジィ・ニューラルネットによる線画像の認識

### Line Drawing Image Recognition Based on Fuzzy Neural Network Technology

901019

研究者代表  
共同研究者

法政大学 教授  
法政大学 講師

廣田 薫  
増井 重弘

#### [研究の目的]

線画像（直線や曲線で描かれた画像、例えば文字、設計図等）を、計算機で認識しようという試みは、1970年頃から始まり、米国 DARPA の Image Understanding（画像理解）プロジェクトなどが初期の研究としては良く知られている。これらの研究の最終目標は、人間が行うように画像の意味内容を実時間で瞬時に理解する事であるが、このような能力は人間の極めて優れた情報処理能力の1つであり、計算機による処理では、レベルはまだかなり低い。

具体的には、扱う対象画像に制約を加え、処理時間もある程度かけて実施するというのが現状である。また、その方法論としては、従来からの画像処理手法が基本的であった。しかし、1980年頃からは、いわゆる AI（人工知能）技術の普及により、知識処理的手法の導入もかなり検討されるようになった。そして、その流れの1つとして、ここ数年ニューラルネット技術とファジィ推論技術が注目されている。

ニューラルネット技術は、局所の特徴量を効率良く求めるのに適しており、それをファジィ技術によるルール型判断に持ち込めば画像認識における実時間処理と汎用性という、現状の2つの問題点を、かなりのレベル迄解

析できるものと考えられる。

本研究では、具体的な例題として似顔絵をとりあげ、ニューラルネットワークにより複数のパターンを学習させ、中間層がそれらのパターンを系統的に処理している事を示し、異なる画家が描いた同一人物の絵の判別をファジィ推論により実現する事に成功した。

#### [研究の内容、成果]

パターン変換的な課題（特徴抽出、概念形成）に対し有効であるニューラルネットワーク（パーセプトロン+バックプロパゲーション）を用いて、評価する対象の平均的なパターンの組を学習させる。このように学習させたネットワークに評価するデータをとおすことにより、評価するデータの平均的なパターンとの距離を求め、推論に適用し識別へ結びつける。以上のような方法で視覚情報としての画像の特徴をとらえる試みを行った。

扱う画像として似顔絵をとりあげ、ニューラルネットワークをコーディング、デコーディングの要領で、複数のパターンを学習させ、中間層がそれらのパターンを系統的に処理していることを示し、異なる人が描いた同一モデルの絵の判別への応用を行った。

我々は日常生活において視覚による認知、物の識別を行っている。その識別においては

無意識ではあるが特徴をとらえるという行為を伴う。

ここで識別を便宜上、大まかな識別と、細かな識別とに分けてみよう。

前者は例えば色や比較的単純な形状等の違いが決め手となり得る識別である。これに関しては、単純な言葉で他人に伝える事が可能である。例えば、黄色くて細長い果物—バナナ、赤く丸い果物—りんごなど。

後者は、前者が複雑に組合わさったもの、あるいはより感覚的な識別である。これは前述のような単純な表現を複数使うことで表すこともできるが、むしろ感覚的な一言で表現した方が他人に伝えやすい場合もある。

後者について考える。“不機嫌な顔”を例にあげる。これは、一般的に言うと、目がつり上がり、口が“へ”の字に曲がっている表情であるが、我々はその表情とその人の不機嫌な行為をペアで提示されるという経験を積むことで、それが、多くの表情のうちの“不機嫌な顔”というラベルのもとに含まれると判断することができるようになる。

本研究では、このように識別しようとする物の物理量を測るのではなく、学習によって物を識別することについて考え、同定へ適用することを目的とする。研究対象として似顔絵の識別をとりあげた。似顔絵を対象としたのは、描者により特徴が誇張されており、特徴について考える上で興味深いと思われたからである。

手法としては感覚的な情報処理にむいているニューラルネットワークを取り上げた。学習は考えられる様々な特徴について行うのではなく、特徴を平均的なパターンとのズレとしてとらえ、平均的なパターンについてのみ行った。このようにしてニューラルネットワークによって得られた平均的なパターンとの

ズレに対し、推論を用いることにより同定に結びつけた。

似顔絵の各部分パターンの特徴について考え、ニューラルネットワークにより各部分ごとの特徴を抽出し、2種類の推論法を用いて識別を行った。

パターンとして12点を使用した。物理量を測ることによる特徴抽出ではなくパターンへの提示による学習という方法で、各パターン別に人間が行う“類似している（あるいは類似していない）”というような認識に近い出力を得た。これらにファジィ推論をもちいることにより顔パターンとして異なる描者による同一モデルの絵を同定することを試みた。結果として、類似していることをとらえることができた。

#### [今後の研究の方向、課題]

本研究では識別の対象を構成する各パターン相互の関係については全く触れていない。人間がものを見る際、それを構成するパターンの違いに注目するマイクロな見方と、全体的にとらえるマクロな見方を並行して行う。これらをなんらかの形式でとりいれれば識別の幅が大きく広がることはあきらかである。本研究を始める前は、ニューラルネットワークというある種のブラックボックスにとにかくパターンを提示することで結果が得られるという気持ちで臨んだが、実際、もっと合理的にパターンの提示の方法、ニューラルネットワークの利用の形を変えることが必要である。

#### [成果の発表、論文等]

- 1) ニューラルネットワークとファジィ推論を用いた似顔絵の識別、平成2年度法政大学工学部卒業論文、松本 恵理子

## レーザースペックル法による粘膜血流画像化装置の開発

### Visualization of Blood Flow in Gastric Mucosa Using Laser Speckle Method

901002

研究代表者 九州工業大学情報工学部 教授 藤 居 仁  
共同研究者 滋賀医科大学第二内科 助教授 馬 場 忠 雄

#### 〔研究の目的〕

レーザーを生体組織に向けて照射すると、反射散乱光が干渉して観測面にランダムな斑点模様（スペックルパターン）を形成し、かつこの模様が組織内の血流により刻々形を変えていくことが知られている。本研究はこの模様の変化をイメージセンサーで検出し、その信号をコンピューター解析することにより消化管粘膜血流分布をカラー画像表示するシステムを新たに開発することを目的とする。

#### 〔研究の内容、成果〕

図1は本研究で開発した消化管粘膜血流画像化装置の概念図で、以下の順序で測定システムを開発した。

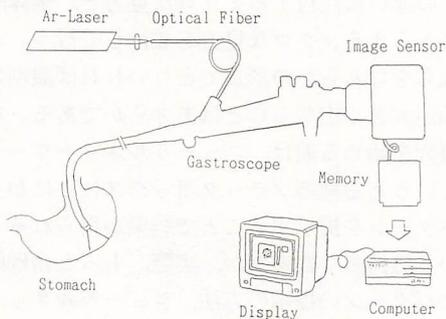


図1

- 1) アルゴンレーザーを光ファイバーに導光し、内視鏡鉗子孔を通して胃壁に向け照射させる。
- 2) 反射散乱光が生成するスペックル信号

を内視鏡観察系の接眼部に置かれたイメージセンサーで検出し、信号をコンピューターのメモリーに記録する

- 3) スペックルパターンの模様の変化率（以下AD値）が、対応する生体上の観測点における血流速度に比例することを利用して粘膜血流分布を算出し、カラーマップで表示するソフトウェアを開発する。
- 4) 多重散乱体を移動させながら、その速度と本装置による測定値の間に比例関係があることを確認する。
- 5) 測定システムの定量性をコンピューターシミュレーションにより検証する。

消化管粘膜の場合、蠕動運動により測定対象が移動するため、測定時間をいかに短縮できるかが成否の鍵になる。本研究では高速走査型（約500画面/秒、株Canon製、Basis型特別仕様品）のエリアセンサーを新たに導入し、測定時間を0.2秒まで短縮し、蠕動運動の影響をほぼ無視しうる測定システムを構成できた。

データ解析はA/Dコンバーター、画像メモリー、制御回路などをのせた基盤を設計・製作し、コンピューターの拡張バスロットに挿入した。

エリアセンサーの駆動回路は、基盤を新たに設計しなおし、S/N比の向上を図った。また得られた血流マップのデータは、ハードディスク上に順次記録し、CRT上に16画面を一度に表示して比較できるようにした。

図2は回転スリガラスの中心付近の速度分布を本装置によりマップ状に表示したものである（原図はカラー）。カーソルを移動すること

により XY 任意の断面や、ある面積にわたる平均血流値も読み取ることができる。回転スリガラスの中心付近で速度が遅い様子が明瞭に示されている。

また散乱特性の異なる 3 種類の散乱面について、速度に対する本システムの応答を調べた結果、図 3 を得た。このように AD 値は、散乱体の移動速度にある範囲内でほぼ直線的に比例し、その比例係数は被検物体の散乱特性に依存することが明らかになった。したがって本装置により、粘膜血流など多数の散乱粒子の移動速度の相対的変化がある速度範囲内において測定可能となった。但し生体の散乱特性は多種多様であり、図のように AD 値の変化がこれに依存することから、血流速度の絶対値測定はかなり困難であるといえる。

一方コンピューターシミュレーションを用いて散乱体の移動速度に対する AD 値の変化を求めた結果、図 3 と同様の比例関係があることが確認された。

現在滋賀医科大学（第二内科）において、実験動物（ラット）を用いて本粘膜血流画像化システムの特性評価を行っており、有効性を裏付けるデータが報告されつつある。

#### [今後の研究の方向、課題]

本研究を通して、粘膜血流分布画像化表示装置の基本構成ができ上り、内視鏡を經由した消化管血流分布測定が可能となった。これを将来臨床に用いるには、以下のような問題点があることが、共同研究者（滋賀医科大）から指摘されている。

鉗子孔経由でレーザー照射を行い、内視鏡観察系経由で信号を行うため、

- 1) 測定中に粘膜面の観察ができない。
- 2) 内視鏡先端を旋回すると、レーザースポットと観察視野がずれる。

これらの欠点を除くため、最近我々は極細径イメージファイバーとレーザー照射用ファイバーが同軸で鉗子孔を通るように一本のファイバースコープにまとめたものを試作中

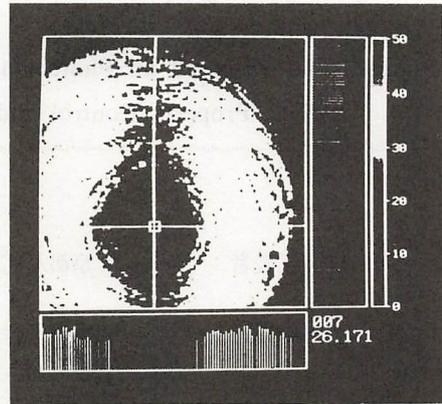


図 2

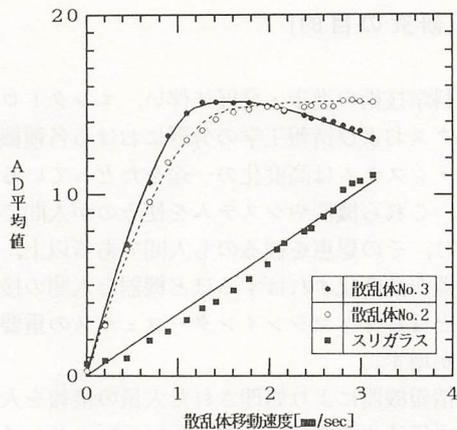


図 3

であり、これが成功すればかなり早い時点で臨床実験が可能となろう。

#### [成果の発表、論文]

- 1) 第 41 回日本消化器内視鏡学会総会（横浜，1991，5）
- 2) 第 52 回応用物理学会（岡山，1991，10）
- 3) 第 42 回日本消化器内視鏡学会総会（横浜，1991，11）
- 4) 光学連合シンポジウム京都（1992，9）及び
- 5) 第 13 回日本レーザー医学会大会（東京，1992，11）にて発表予定。

# 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

Fundamental Research on Photocatalytic Growth of II-VI Semiconductors for  
Their Property Control and Applications to Display Devices

901008

研究代表者	京都大学工学部	教授	藤田茂夫
共同研究者	京都大学工学部	助教授	藤田静雄
	京都大学工学部	助手	川上養一

## 【研究の目的】

科学技術の進歩・発展に伴い、エレクトロニクスおよび情報工学の分野における各種機器・システムは高度化の一途をたどっているが、これら機器やシステムを使うのが人間であり、その恩恵を被るのも人間である以上、機器が高度化すればするほど機器と人間の接点となるマンマシンインターフェイスの重要性が増す。

情報機器により処理された大量の情報を人間に伝達するのに最も望ましいマンマシンインターフェイスの一つがディスプレイである。とりわけ、長寿命かつ高輝度のディスプレイとして発光ダイオードディスプレイへの期待が強いが、その実現には高輝度青色発光ダイオードが大きな課題である。また、青色～紫外域におけるレーザーをはじめとする光素子の実現は、光情報処理の分野における伝送、記録の高密度化にもつながる。

本研究は、このような短波長領域の光素子材料として望ましい機能を持つ直接遷移型のワイドギャップ II-VI 族半導体 (ZnSe, ZnS など) を対象として、光触媒反応という結晶成

長における光照射の新しい効果を応用することによって、エピタキシャル成長層の高品質化、物性制御を達成することを目的として行なった。これにより、学問的には、光応用工学における新しい概念を確立すること、また応用上においては新しい光素子を用いたマンマシンインターフェイスへの展開により人間と機械との調和へとつながりうるところに本研究の意義がある。

## 【研究の内容、成果】

結晶成長は、有機金属気相法 (MOVPE) により行った。まず、新しい光触媒反応の機構に関する検討を行うために、ZnSe を対象として、原料の単独供給時および成長中の熱分解の様子を質量分析により調べた。照射光源はキセノンランプで、全照射パワーは  $180 \text{ mW/cm}^2$  である。装置の概略を図 1 に示す。

原料にはジアルキル亜鉛 ( $R_2Zn$ ) とジアルキルセレン ( $R_2Se$ ) の組合せを用いた ( $R=CH_3$  または  $C_2H_5$ )。その結果、(a) 光照射により  $R_2Zn$  の分解が促進される、(b) その効果は基板温度が  $200^\circ\text{C}$  以上で起こる、(c) 成長初期

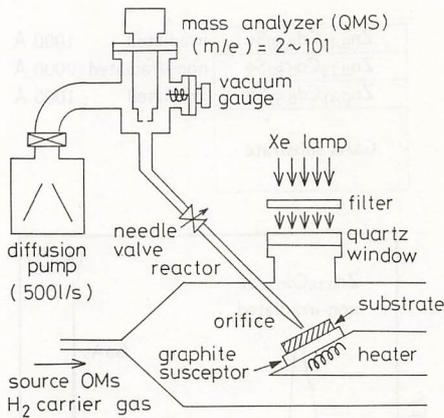


図1 質量分析実験装置の概略図。  
Fig.1 Experimental set-up for mass analysis experiments.

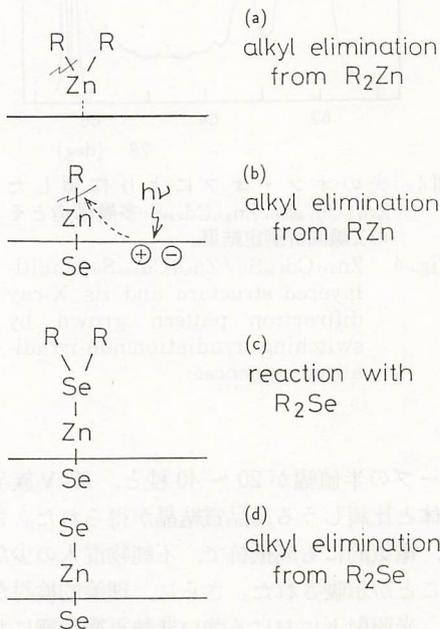


図2 光触媒反応によるZnSe成長のモデル。  
Fig.2 Schematic model for photocatalytic reactions in ZnSe growth.

には成長層の膜厚が数 100 Å になってからその効果が起こる, ということが明らかになり, 成長機構として図2に示すようなモデルを提案した。すなわち, (a)  $R_2Zn$  が気相中で熱分解して一部のアルキル基を失って表面に化学吸着する, (b) 照射によって成長層表面に生成されたキャリアが  $Zn-R$  結合に移動してアルキル基が脱離する, (c) そこに,  $R_2Se$  が吸着して, (d)  $Se-R$  結合と  $Zn-Se$  結合との間での電荷移動により  $Se-R$  結合からアルキル基が脱離して  $Zn-Se$  結合を生じる。

このように, 照射の効果は主としてII族原料の分解過程にあらわれてくると考えられる。よって, II族にCdを含む二元化合物( $CdSe, CdS$ )における照射効果を調べ, Znを含む二元化合物( $ZnSe, ZnS$ )における照射効果との比較を行った。その結果, (a) Cdを含む二元化合物には顕著な照射効果が現

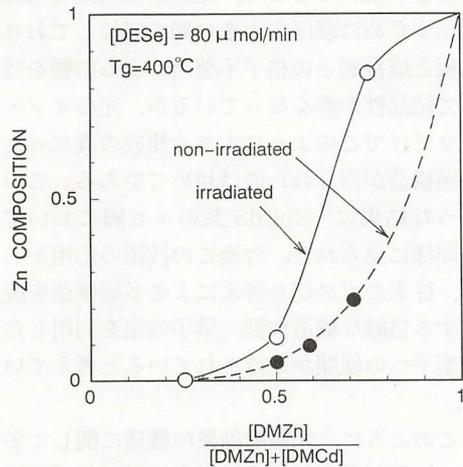


図3 ZnCdSe成長の照射, 非照射時における気相中組成と固相中組成との関係。

Fig.3 Relationship between gas-phase and solid compositions in the growth of ZnCdSe with and without irradiation.

れない, (b)それはCd原料 ( $R_2Cd$ ) が十分低温で熱分解可能なためである, という結果を得た。

そこでZnとCdの両方を含む三元混晶であるZnCdSeおよびZnCdSの成長において光照射を行い, 光照射と非照射時における組成および成長速度の変化を調べた。図3は, ZnCdSe成長における気相中組成と固相中組成との関係を示す。気相中の組成が同じであっても, 光照射時には非照射時と比べて固相中のZn組成が大きくなるのがわかり, 光照射がZn原料の分解を促進すると考えられる上記の結果を支持する。この効果に応用すれば, 原料流量を一定に保ったままで, 光のオン・オフにより組成の大きく異なる層を交互に成長することができる。図4は, このようにして成長した $Zn_{0.41}Cd_{0.59}Se/Zn_{0.18}Cd_{0.82}Se$ 多層構造とそのX線回折曲線である。現在のところ, 光照射の効果を明確に示すために膜厚の大きい層を成長しており, 基板と成長層との格子不整合による影響を受けて結晶性が悪くなっているが, 光のオン・オフだけでこのように大きく組成の異なった多層構造が得られたのは初めてである。このような結果は, ZnCdS系のエピ層においても同様に見られた。今後この技術の応用として, 従来のガス切り替えによる多層構造を凌駕する急峻な構造作製, 量子効果を利用した光素子への展開が期待されていると考えている。

このように, 光照射効果の機構に関して多くの知見が得られ, 成長温度の低温化が可能となったことをふまえて, 得られたエピ層の結晶学的, 光学的, 電気的特性を調べ, その高品質化と物性制御に向けた検討を行った。その結果, GaAsとほぼ格子整合した $ZnS_{0.07}Se_{0.93}$ において二結晶X線ロッキング

$Zn_{0.41}Cd_{0.59}Se$	irradiated	1000 Å
$Zn_{0.18}Cd_{0.82}Se$	non-irradiated	2000 Å
$Zn_{0.41}Cd_{0.59}Se$	irradiated	1000 Å
GaAs substrate		

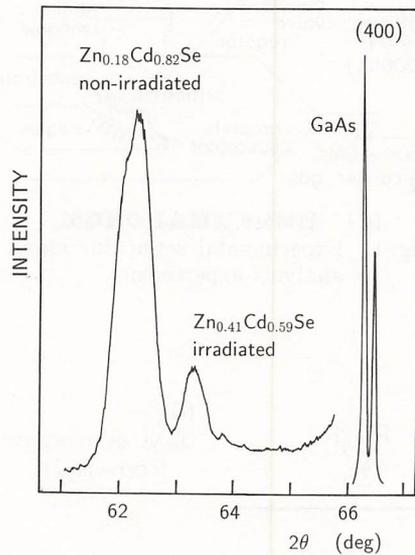


図4 光のオン・オフにより作製した $Zn_{0.41}Cd_{0.59}Se/Zn_{0.18}Cd_{0.82}Se$ 多層構造とそのX線回折測定結果。

Fig. 4  $Zn_{0.41}Cd_{0.59}Se/Zn_{0.18}Cd_{0.82}Se$  multi-layered structure and its X-ray diffraction pattern grown by switching irradiation/non-irradiation sequences.

カーブの半値幅が20~40秒と, III-V族半導体と比肩しうる高品質結晶が得られた。また, 電気的にも高抵抗で, 不純物混入の少ないことが示唆された。さらに, 理論的検討から, 光照射下における強い非熱平衡状態において空孔等の欠陥生成が抑制されることを導いた。図5は,  $N_a = 10^{17} cm^{-3}$ のアクセプタ添加時において, 光照射により生成された過剰

キャリア密度  $\Delta n$  に対する各種欠陥（空孔）密度  $V$  および正孔密度  $p$  を示す。 $\Delta n > 10^8 \text{ cm}^{-3}$  となる照射下で、欠陥密度が減少し、アクセプタの活性化率が大きくなって  $p$  が増すことがわかる。このように、結晶の高品質化と物性制御、伝導性制御にとって、本研究で行った光触媒反応が非常に有用であるとの知見を得た。

以上、本研究を通じて、光触媒反応の機構の検討によりその新しい概念の確立に寄与し、応用的には光触媒反応による結晶成長が青色～紫外域ディスプレイデバイスをはじめとす

る光素子の実現に対して有用であるという見通しが得られた。

#### [今後の研究の方向、課題]

短波長領域におけるレーザをはじめとする光素子の実現は、次世代光情報処理技術における基盤技術であるとの強い要望のもと、全世界的な研究開発の競争が繰り広げられている。1991年6月に、米国3M社が世界で初めて ZnCdSe/ZnSe 量子井戸構造による pn 接合半導体レーザの 77 K パルス発振を報告したことから、II-VI族半導体はこの分野におけるきわめて高いポテンシャルを持つものという認識が広まってきた。その後、新たにこの分野に参入した研究機関を数多く加えて研究の急速な進展を見、1年足らずのうちに室温パルス発振、高輝度発光ダイオードの報告に至っている。

このような成果は、結晶の成長方法で見れば分子線成長 (MBE) 法によりもたらされてきた。他方、薄膜多層構造の成長法として分子線成長法と並んで発展してきた有機金属気相成長 (MOVPE) 法では、原子層レベルで制御された多層構造の作製において MBE に遅れをとっているということと、良好な p 型が得られないという壁にあたっている。したがって、これらの問題を新しい技術によって克服し、MOVPE による光素子研究を一気に高めることは、単に MBE と同様のことが MOVPE でもできるという結果論以上の重要性を持っている。その理由の一つは、II-VI族半導体による光素子が実用的な素子技術として発展するためには、特定の成長方法に限らない普遍性を持つことが必要ためである。他の理由は、将来において、より短波長である紫外領域の光デバイスへと発展したと

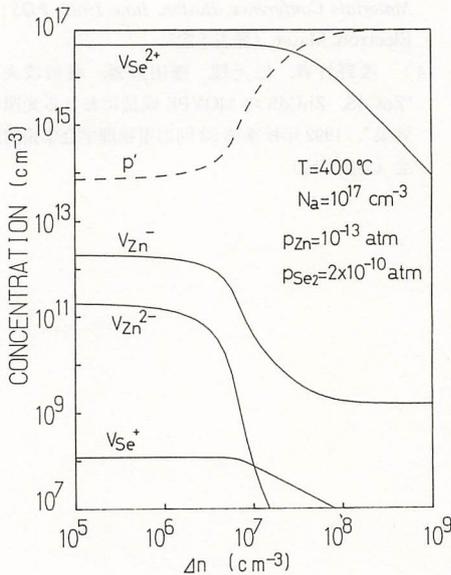


図5  $N_a=10^{17} \text{ cm}^{-3}$  のアクセプタ添加時において、照射により生成された過剰キャリア密度  $\Delta n$  に対する各種欠陥（空孔）密度  $V$  および正孔密度  $p$ 。

Fig. 5 Defects (vacancy) concentration  $V$  and hole concentration  $p$  versus excess carrier concentration generated by irradiation,  $\Delta n$ , under acceptor dopind concentration of  $N_a=10^{17} \text{ cm}^{-3}$ .

き、II-VI族半導体では硫黄の組成を増す必要があるが、MOVPEはこの問題に対してMBEよりはるかに容易に対応するという利点を持つためである。

今回の研究で対象とした光触媒反応は、MOVPEによるこれらの問題を打破する大きなbreakthroughを与えることが大いに示唆される。すなわち、本研究を通じて、光触媒反応による低温成長、欠陥生成の抑制によるp型伝導性制御、softな手法による原子層レベルでの構造制御など、現在の問題点の解決につながると考え得る多くの新しい知見が得られた。今後、この技術を核とした薄膜多層構造の構造制御、物性制御、伝導性制御に関する研究を発展させることにより、光素子への応用に向けた基盤技術としての展開が期待されるものと確信している。さらに、光照射下において欠陥の生成が抑制するという結果は、MBEにも適用が可能であり、さらに低抵抗のp型層の実現によるレーザの特性向上、室温連続発振へと向けた進展につながりうるであろうと考えている。

[成果の発表、論文等]

- 1) Sz. Fujita, S. Hirata, and Sg. Fujita: "Investigation of Photo-Induced Surface Reactions by Mass Analysis in OMVPE of II-VI Semiconductors", *J. Cryst. Growth* **115** (1991) pp. 269-273.
- 2) Sz. Fujita and Sg. Fujita: "Photo-Assisted Metalorganic Vapor Phase Epitaxial Growth of Wide-Gap II-VI Semiconductors", *J. Cryst. Growth* **117** (1992) pp.67-74.
- 3) Sz. Fujita, S. Matsumoto, and Sg. Fujita: "Composition Control by Photo-Irradiation in MOVPE of ZnCdSe and ZnCdS Alloy Layers and Multilayered Structures", *34th Electronic Materials Conference, Boston, June 1992, # Q5*; *J. Electron. Mater.* (発表予定)
- 4) 浅野竹春, 松元理, 藤田静雄, 藤田茂夫: "ZnCdS, ZnCdSのMOVPE成長における光照射効果", 1992年秋季第53回応用物理学会学術講演会 (発表予定)

# 手先の自然な動きを入力とするインタフェースの研究

## A Research of Man-computer Interface Using Natural Hand Movement

901009

研究者代表	長崎総合科学大学	講師	辺見 一 男
共同研究者	立 命 館 大 学	教 授	井 上 和 夫

### [研究の目的]

本研究は物を掴み、操作するという人間の自然な動作を画像処理を用いることにより非接触で入力できるインタフェースを構築することを目的とする。

### [研究の内容, 成果]

本研究は3次元空間において2指（親指と人差指）で行う自然な把握動作を入力とするインタフェースを構築しようとするものである。親指と人差指の指先に指輪状のマーカを装着し、マーカの重心座標をTVカメラを用いて非接触で追跡することにより、指先の動作を認識する。このとき、2つのマーカの幾何学的な位置関係より、2指の開閉、回転などの状態を認識し、リアルタイムで画面に表示する。このため、2つのマーカ座標より指の形状を再構成するための把握動作モデルを組み込んである。以下、本インタフェースの構築方法について述べる。

#### 1. 把握動作モデルの構築

ここでは、2指（親指と人差指）により物を掴む動作のモデル化方法について考える。2指の特徴点に円形のマーカを貼り、このマーカ位置をTVカメラで追跡すること

により把握動作を非接触で測定し、そのモデル化を行った。測定は汎用の画像処理装置(Nexus 6800)を用いて行った。

各マーカの装着箇所を図1に示す。このとき用いたマーカは白色で直径約6mmの円形である。1回の把握動作につき、14画面分の画像データを画像処理装置内のイメージメモリに取り込み、その重心座標を計算した。

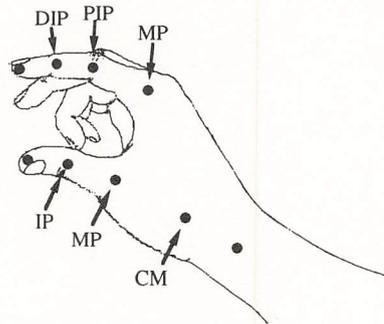


図1 円形マーカ装着位置

実験結果の一例を図2に示す。図中の黒点はマーカ座標を表わしている。このとき、マーカ座標 ( $J: i = 0 \dots 8$ ) と各関節間の角度 ( $\theta_i: i = 1 \dots 9$ ) を図3のように定義する。ここで、

$$l_0 = \sqrt{(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2} \quad (1)$$

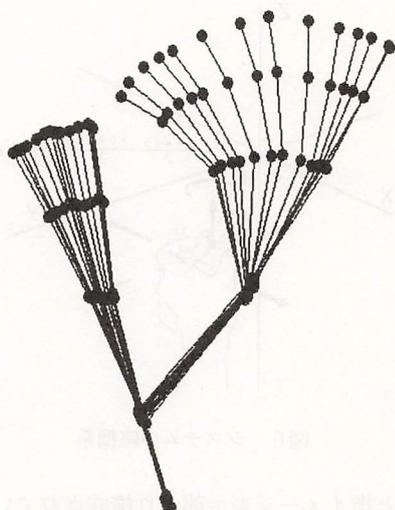


図2 把握動作の軌跡

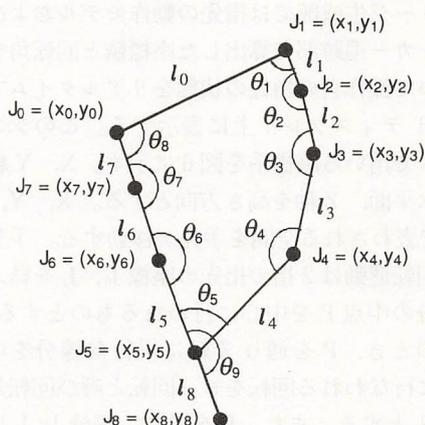


図3 特徴点を基準とした手先の表現

とすると、角度 $\theta_i (i=1 \dots 9)$ は $l_0$ の関数になるものと考えられる。そこで、 $\theta_i$ は(2)式で線形近似できると仮定し、最小2乗法を用いて定めた $a_i, b_i$ およびそのときの相関係数 $R$ を表1に示す。

$$\hat{\theta}_i = a_i \cdot l_0 + b_i, (i=1, \dots, 9) \quad (2)$$

表1 最小2乗法による近似結果

$i$	$a_i$	$b_i$	$R$
1	-0.51	112.9	0.99
2	0.07	167.9	0.93
3	0.24	143.8	0.98
4	0.46	115.5	1.0
5	0.12	56.6	0.99
6	0.09	171.5	0.98
7	0.04	177.6	0.85
8	-0.49	132.4	1.0
9	0.09	174.9	0.98

$R$  : Correlation coefficient

同表より、 $\theta_i$ は(2)式でほぼ近似できることがわかる。

(2)式より求まる $\hat{\theta}_i$ を用いて(3)式に示す2次元アフィン変換を $J_0, J_1$ に対して順次行うことにより手先の特徴点の座標 $J_i (i=2 \dots 8)$ が計算できるので、(3)式を2指による自然な把握動作を記述するモデルとして用いることにする。

$$\begin{aligned}
 & [x_{i+1} \quad y_{i+1} \quad 1] \\
 &= \frac{l_i}{l_{i-1}} \left[ x_{i-1} - x_i \quad y_{i-1} - y_i \quad \frac{l_{i-1}}{l_i} \right] \\
 & \begin{bmatrix} \cos \hat{\theta}_i & \sin \hat{\theta}_i & 0 \\ -\sin \hat{\theta}_i & \cos \hat{\theta}_i & 0 \\ x_i & y_i & 1 \end{bmatrix} \quad (i=1, \dots, 6)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & [x_8 \quad y_8 \quad 1] \\
 &= \frac{l_5}{l_8} \left[ x_6 - x_5 \quad y_6 - y_5 \quad \frac{l_5}{l_8} \right] \begin{bmatrix} \cos \hat{\theta}_9 & \sin \hat{\theta}_9 & 0 \\ -\sin \hat{\theta}_9 & \cos \hat{\theta}_9 & 0 \\ x_5 & y_5 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)
 \end{aligned}$$

ここで、 $l_i (i=1 \dots 8)$ は関節間の長さを表している。把握動作モデルの妥当性を検証するために(3)式より求めた $J_i$ を用いてシミュレーションを行なった。その結果を図4に示す。図2とほぼ同じように指の動きを再

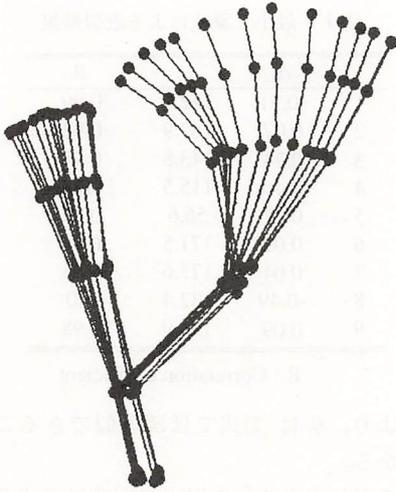


図4 把握動作のシミュレーション結果

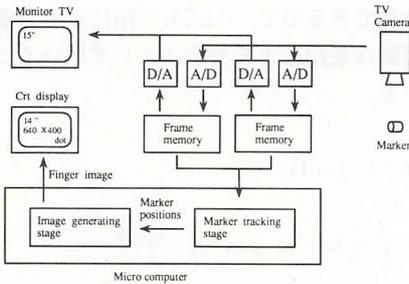


図5 システムの構成図

現することができた。シミュレーションは、 $J_0, J_1$  の座標を (3) 式に代入することにより行なった。

以上のことより、2指により自然な把握動作を行う場合、手先の形状は2指の指先の座標  $J_0, J_1$  のみにより再構成可能であるといえる。

## 2. 3次元インタフェースの構成

3次元インタフェースのシステム構成を図5に示す。本システムの処理部はマーカー追

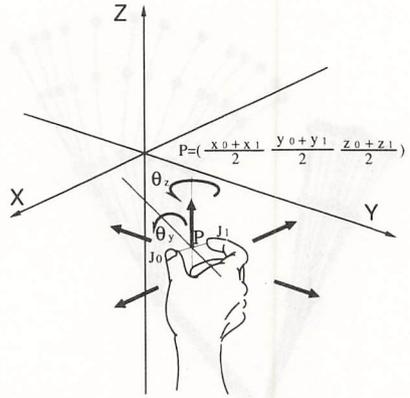


図6 システムの座標系

跡部と指イメージ表示部より構成されている。マーカー追跡部では2つのマーカーの3次元座標およびヨー角，ロール角を算出する。指イメージ生成部では指先の動作モデルおよび、マーカー追跡部で算出した座標値と回転角を用いて操作者の指先の状態をリアルタイムでCRTディスプレイ上に表示する。このシステムで用いる座標系を図6に示す。X, Y 軸を水平面，Z 軸を高さ方向とする。X, Y, Z で表わされる空間を手先が移動する。手先の回転運動は2指の指先の座標  $J_0, J_1$  を結ぶ線分の中点 P を中心に行われるものとする。このとき、P を通り Z 軸に平行な線分を中心に行なわれる回転をヨー回転と呼び回転角を  $\theta_y$  とする。また、P を通り、線分  $J_0, J_1$  に対する法線のうち X, Y 平面に平行な線分を中心に行なわれる回転をロール回転と呼び、このときの回転角を  $\theta_z$  とする。なお、回転角  $\theta_z$  の中心軸は常に X, Y 平面に平行であるものとする。すなわちロール回転は常に XY 平面と垂直な面内で行なわれるということである。

TV カメラの設定および操作可能な3次元領域を図7に示す。TV カメラは床面から

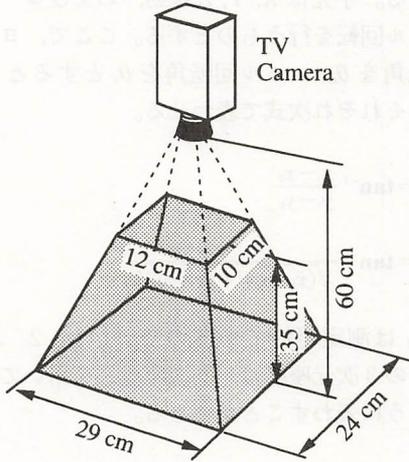


図7 操作領域

60 cmの高さに固定してある。入力可能な領域は、底面が29 cm×24 cm、上面が、12 cm×10 cmの角錐台の内部となる。

なお、処理の簡単化のため以下の拘束条件を加えた。

- 1) 2指(親指, 人差指)による自然な掴み動作のみを扱う。
- 2) 手先の回転運動は2指の指先を結ぶ線分の中点を中心として行なわれる。
- 3) ロール運動は垂直軸と平行な面内で行なわれる。

### 3. マーカー座標の検出

本システムでは2指の指先にマーカーを装着し、単眼視により、この3次元座標を追跡することによって指先の動作を認識している。ここで用いるマーカーは着脱が極めて容易で、かつ、マーカーを装着したままマウスやキーボードなどの操作も行うことができるように指輪状の物を用いた。指輪状マーカーを装着した様子を図8に示す。

マーカー追跡手順は図9に示すように大域

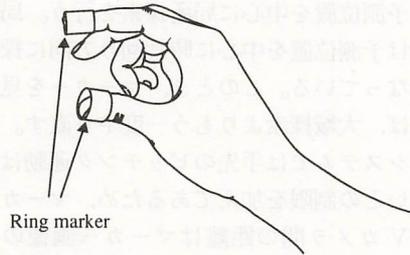


図8 指輪状マーカー装着図

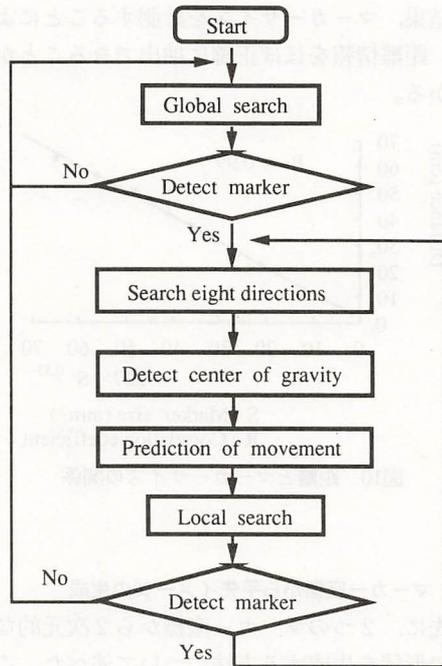


図9 マーカー追跡手順

探索、重心決定、マーカー位置予測、局所探索よりなる。まず最初にTVカメラの視野内全領域を探索し、局所探索のためのウィンドウをかける位置を決定する(大域探索)。次にこのウィンドウ内を探索し、マーカー位置を決定する。その後マーカーの移動速度を求め、この値より次のマーカー位置を予測し、

その予測位置を中心に局所探索を行う。局所探索は予測位置を中心に時計回り方向に探索を行なっている。このとき、マーカーを見失なえば、大域探索よりもう一度やり直す。

本システムでは手先のピッチング運動は行わないとの制限を加えてあるため、マーカーとTVカメラ間の距離はマーカー画像のサイズSの関数として表せる。図10にマーカーサイズと距離の実測値を示しておく。この結果、マーカーサイズを計測することにより、距離情報をほぼ正確に抽出できることがわかる。

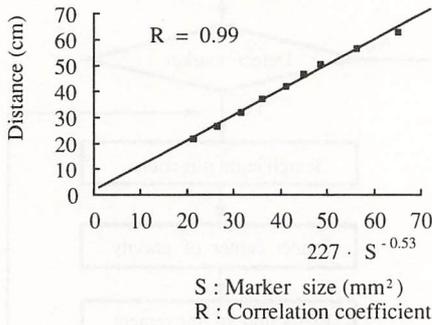


図10 距離とマーカーサイズの関係

#### 4. マーカー座標から手先イメージの生成

先に、2つのマーカー座標から2次元的な指の形状を生成する方法について述べた。ここでは、2次元平面上の手先イメージを3次元空間に拡張する方法について述べる。3次元空間での各関節の座標を

$$J_i = (x_i, y_i, z_i) \quad (i=0 \dots 8)$$

とすると  $l_0$  は

$$l_0 = \sqrt{(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2 + (z_1 - z_0)^2}$$

となる。手先はX, Y, Z移動, およびヨー, ロール回転を行うものとする。ここで, ヨー回転角を  $\theta_x$ , ロール回転角を  $\theta_y$  とすると  $\theta_x, \theta_y$  はそれぞれ次式で表わせる。

$$\theta_x = \tan^{-1} \frac{x_1 - x_0}{y_1 - y_0}$$

$$\theta_y = \tan^{-1} \frac{z_1 - z_0}{\sqrt{(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2}}$$

$J_0, J_1$  は測定可能であるので,  $J_i (i=2 \dots 8)$  の3次元座標は, 同次座標系を用いて次のように表わすことができる。

$$\begin{aligned} J_i &= [X_i \ Y_i \ Z_i \ 1] \\ &= [x_i \ y_i \ z_i \ 1] \cdot T \cdot R_x \cdot R_y \cdot R_z^{-1} \cdot T^{-1} \end{aligned}$$

ここで

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -x_c & -y_c & -z_c & 1 \end{bmatrix}$$

$$R_z = \begin{bmatrix} \cos \theta_z & \sin \theta_z & 0 & 0 \\ -\sin \theta_z & \cos \theta_z & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$R_y = \begin{bmatrix} \cos \theta_y & 0 & -\sin \theta_y & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin \theta_y & 0 & \cos \theta_y & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$R_z^{-1} = \begin{bmatrix} \cos \theta_z & -\sin \theta_z & 0 & 0 \\ \sin \theta_z & \cos \theta_z & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ x_c & y_c & z_c & 1 \end{bmatrix}$$

である。

なお、 $x_c$ 、 $y_c$ 、 $z_c$ は図6に示した回転の中心点Pの座標である。

手先の特徴点 $J_i$ ( $i=2 \dots 8$ )を結んだだけでは手先らしい感じが得られないので、臨場感を出すために各部に適当な肉付けを行ったものを手先イメージとしてディスプレイ上に表示するようにした。

## 5. 実行例

計算機内に3次元世界を仮想し、この中に置かれた立方体を操作するような環境を設定してある。CRTディスプレイには操作の対象物体と操作者の指の状態がワイヤーフレームのCGで表示される(図11参照)。このシステムの操作は、我々が日常生活で行なっている動作に合わしてある。このため、操作方法に習熟する必要もなく、操作者はCRTディスプレイを見ながらTVカメラの視野内で物体を掴み、移動、回転を行えばその動き

がダイレクトに計算機に入力され、非常に自然な感覚で操作を行うことができる。

## [今後の研究の方向・課題]

本システムで入力可能な自由度は5であるが3次元空間内での物体の自由度は6である。このため残りの1自由度(手先の上下方向への首振り運動)についても考慮する必要がある。また、2指の動作は自然に物を掴む動作のみに限定しているが回転などは指先でひねるように行うことが多い。このため、ひねり動作についても対応させていく必要がある。

## [成果の発表、論文等]

- 1) 「ディスプレイ上の像を把握操作できる3次元インタフェース(マーカー追跡による方法)」電子情報通信学会論文誌D-II, Vol. J74-D-II, No. 9, pp. 1264-1272 (1991)
- 2) 「自然な掴み動作を入力とする3次元インタフェースの提案」第7回ヒューマンインタフェースシンポジウム 2133
- 3) 「手掌部運動計測装置の試作とその評価」第35回システム制御情報学会研究発表講演会 4042
- 4) 「自然な掴み動作を入力とする3次元インタフェース」雑誌画像ラボ 1992年2月号

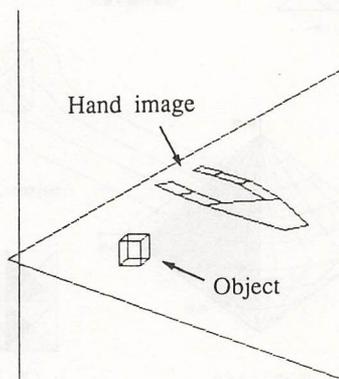


図11 画面表示の一例

# 制約伝搬計算に基づく配色支援システムに関する研究

## Color Design System Based on Constraint Propagation

201016

研究者代表 岡山大学工学部情報工学科 教授 松山 隆 司

### [研究の目的]

色はそれぞれ豊かな感性情報（人間の持つ感性を刺激する特性）を持っており、個々の色は周囲の色と互いに影響し合い、それらの色が単独で存在していたときには得られない新たな感性情報を持つようになる。本研究では、色の持つ多様な感性情報を計算機内で表現するための記述方式を検討し、デザイナーの表現したい感性情報を具体的な配色パターンとして実現する過程（配色デザイン）を支援するシステムの開発を目的としている。

### [研究の内容、成果]

本研究で提案した配色デザインモデル（図1）では、予め与えられた2次元平面上的の重なりのない領域集合の中からいくつかの領域を選び、領域の順序集合（複数）を構成する。次に、各順序集合に属す領域の持つ色をカラー空間中の線上（すなわち順序集合）に写像するような、領域の色属性の間の関係を代数的制約条件として記述する。こうした領域の順序集合の構成と制約条件を記述する過程が配色デザインの過程である。システムは指定された制約条件を満たす各領域の色を求め、画面にその結果を表示する。この配色デザインモデルでは、制約条件を追加、修正することによって同一の領域集合（空間構造）上に様々なカラーデザインが実現できる。

本研究では、配色デザインのためのカラー空間として、オストワルドのカラーモデルを基にして物理的に尺度付けされた、HLS カラーモデルを用いた。HLS カラーモデルでは、すべての色は図1下図のような複円錐体内の点として表現される。複円錐体の軸方向は明度（L: 0.0 ~ 1.0）、半径方向は彩度（S: 0.0 ~ 1.0）、円周方向は色相（H: 0° 方向が赤、180° 方向がシアン）を表す。

配色の対象となる（色を属性として持つことのできる）実体としては、

**領域:** 2次元平面上の連結領域で単一の均一色を持つ

**グループ:** 実体の順序集合

がある。この定義から分かるように、グルー

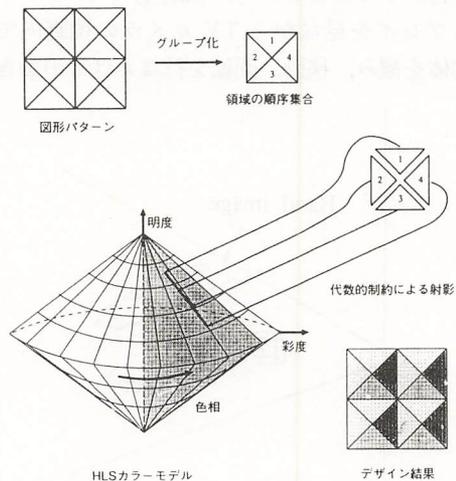


図1 配色デザインモデル

ブは再帰的に定義された階層構造を持つ。多くの場合、この階層構造は木構造となるが、グループ間で実体を共有することも可能であるため、一般にはラティス構造となる。

領域の色属性はカラー空間中の1点を表す(HLS)の組で表現される。グループの色属性は、そのすべての要素の色属性を包含するような区間を値として持つ(区間値)と考える。

本研究で試作したシステムでは、デザイナーは以下に示す制約記述子によってデザイン情報を表現する。指定された各制約記述子は、実体の色属性を変数とする代数的制約式に変換され、その制約式を充足させるような値を求めることにより、実体を構成する要素(最終的には領域)の色が決定され、領域群の配色デザインが実現される。

#### (1) グループ構成用の制約

- **grouping**: 複数の実体を要素とする順序集合を作り、それをグループとして登録する。
- **overlap**: 実体を共有する複数のグループを引数にとり、グループ間の空間的重なり、それによる色の混色の様子を表現する。

#### (2) グループの配色構造指定用の制約

- **grating**: グループ内の要素の持つ色属性が、カラー空間内の1つの調和配色系列上で等間隔に配置されるように制約する。

#### (3) 複数の実体の色属性の間の制約

- **comp**: 2つの実体の色がカラー空間の明度軸に対して対称となるように制約する。
- **e-equalize**: 2つの実体の色属性が同じ値となるように制約する。
- **g-equalize**: 2つのグループの対応する要素領域の色属性が等しくなるように制約する。
- **e-grouping**: 引数として与えられる実体の集合が互いにg-equalizeの意味で等しくなるように制約する。
- **set-color**: 領域の色属性の値を(HLS)によって直接指定する。

デザイナーがこれらの制約記述子を用いて表現した制約記述(群)は代数的制約式を経て制約グラフに変換され、そのグラフ上での制約伝搬アルゴリズムによって、各実体の色

属性が決定される。制約グラフのノードの種類には、実体の色属性を表す変数、代数オペレータ、オペレータのパラメータがある。アークはオペレータの入出力関係を表す。

試作システムでは、制約グラフのノードはすべてオブジェクト指向計算におけるオブジェクトとして実現されており、アークでつながれた他のオブジェクトに対してメッセージを送受信することによって、制約を満たす値が計算される。すなわち、変数オブジェクトやパラメータ・オブジェクトは、それが表す値をアークで結ばれたオペレータ・オブジェクトに伝える。一方、オペレータ・オブジェクトは、伝播されてきた値を利用して、それが表す代数演算子の意味に基づいて新たな値が計算できるかどうかを判定し、それをアークで結ばれている他の変数オブジェクトやパラメータ・オブジェクトに伝播する。こうした値の伝搬が繰り返され、制約条件が十分な場合には、全ての変数の値が決定される。

今回の研究では、以上述べた機能を持った配色デザインシステムをワークステーションを用いてインプリメントし、様々なカラーデザインが実現できることを実証した。

#### [今後の研究の方向、課題]

これまでは、色の空間的配置を中心に研究を行ってきたが、カラーデザインでは、領域の形状、それらの配置といった幾何学的構造のデザインも重要な要素となる。今後は、こうした領域の幾何学的構造と色の配置の両面から感性情報の表現を検討する予定である。

#### [成果の発表、論文等]

- 1) 松山, 秋山: 代数的制約記述に基づく配色デザインモデル, 1991年電子情報通信学会秋季大会, SA-5-1, 1991
- 2) 山口, 松山: 代数的制約記述に基づく配色デザインモデル(II), 1992年電子情報通信学会春季大会, A-303, 1992
- 3) 松山, 山口: 代数的制約記述に基づく配色デザインシステム, グラフィックシンポジウム, 1992

# 初心者のための情報処理教育支援システムの開発

## Development of a System for Beginner to Support an Information Processing Education

901003

研究代表者 京都大学情報処理教育センター センター長 山田 善一  
教授

共同研究者 京都大学工学部 助教授 八村 広三郎  
(前京都大学情報処理教育センター 助教)

京都大学情報処理教育センター 助教授 藤井 康雄

京都大学情報処理教育センター 助手 辻 斉

奈良女子大学理学部 講師 新出 尚之  
(前京都大学情報処理教育センター 助手)

### [研究の目的]

近年ワークステーション (以下WS) の発達  
は目ざましい。このようなWSは高い可能  
性を有しており、初心者・専門家教育ともに  
適していると考えられる。しかし現実には設  
計側・使用法とも専門家を対象としている。  
本研究では、初心者がWSに抱く敷居の高  
さを解明し、そのうえで、ユーザフレンドリ  
な初心者向きの情報処理教育支援システムを  
開発する。

### [研究の内容、成果]

本学での主たる情報処理教育は、情報処理  
教育センター (以下センター) を利用している。  
センターの月間の利用件数は図1に示すよう  
に72%がメインフレーム利用、22%がパソ  
コン(PC)利用、WSの利用は6%である。

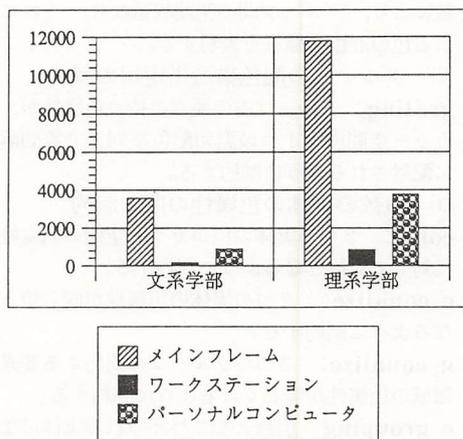


図1 情報処理教育センターの月間利用件数

設置台数は165台(WS)と250台(PC)であ  
り、その違い以上にWSの利用は文系理系  
を問わず少ない。

何故WSは利用されないのだろうか?  
WSに限らず一般にコンピュータは利用者に

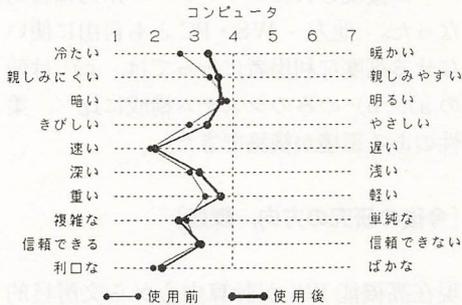


図2 SD法によるコンピュータのイメージ変化

とって取っつき難くみえるが使用中にイメージは変化する。それを定量的に調査したのが図2である。コンピュータにまったく触れたことのない学生(男25人, 女15人)を被験者とし, 学生がコンピュータに触れる前に抱いていたイメージが, 半年間の授業でコンピュータを使用した後にどのように変化したかをSD法で調査した。使用前にはコンピュータを冷たく厳しいと感じていたが, 使用后その程度は緩和される。コンピュータは使うことによって(広義の)ユーザフレンドリネスを増す。

これはWSについても同様である。WSも使用しなければ, いつまでたっても取っつき難く見え続けることになるのである。

WSはPCやメインフレームの汎用オペレーティングシステムに比べ, ユーザのカスタマイズの余地が大きく, これが専門家にとっては自由度が大きく使い易いと評価を受けている。こうしたWSがあまり使われない理由を明白にするため, WSの利用を試み挫折した人を電子掲示板を通じて調査した。その結果,

- (1) WS(のOSであるUNIX)はユーザのコマンドに対し応答メッセージが少ない寡黙なシステムであり, 成功しても何も

メッセージがないのはユーザのモチベーションの低下につながる。

- (2) コマンド名称が短く覚えにくい。
- (3) WSの起動に時間がかかりすぎ, 起動途中で機械が壊れていると解釈し, 触れるのを止めた。

等の問題があった。

現在の高機能WSを大学での情報処理教育で活用して行くには, 単に高機能であるだけでは不十分で, 初心者でも抵抗なく操作できるようなシステムとする必要がある。この目的のためのアプローチとして, 次の2通りが考えられる。

- a) WS上でユーザフレンドリなツールを開発し, WSを初心者にも使いやすくする。
- b) 一般に使いやすいと評価のあるPCの能力(演算速度, メモリ容量等)を高める。

本研究の対象として, a)のツールの開発はレンタル機器のため短期間で移植を繰り返していかねばならず, 限られた人数での管理には必ずしも向いていない。またb)はセンター側のみでは対応できない, などの理由により第3のc)の手法を取り入れ実験を開始した。

これは, ユーザフレンドリという定評のあるMacintosh PCを利用者のフロントエンドに位置づけ, 高機能WSをバックエンドとし, CPUとファイルのサーバに位置づけるアプローチを取った。

具体的には, まずMacintoshのネットワークであるローカルトークとUNIX WSのネットワークであるEthernetをGator-Boxゲートウェイで接続し, さらにMacintoshのCPUサーバとして同系列の高機能なCPUを使用しているWS(LUNA II)を採用し, 本研究のハードウェア環境を構築した。

本システム上で、

- 1) PC を WS の端末として使う。
- 2) PC のファイルサーバとして WS を使う。
- 3) PC の CPU サーバとして WS を使う。

という3つのレベルでユーザフレンドリと高機能の実現の評価を行った。結果は、

- 1) では、文字情報しか扱えず、マウスのボタンの違いやカットアンドペーストの概念の違いによる使い勝手の悪さがあり、ユーザフレンドリネスは高くなかった。
- 2) ではネットワークの転送速度が遅く、待ち時間が増加し、ユーザフレンドリネスは高くなかった。
- 3) では標準的なプロトコルが無く、実現が困難であった。

以上のいずれの実験レベルでも初心者が PC (Macintosh) から WS が使いこなせるようになったとはいえなかったが、副次的な結果として WS から PC (Macintosh) のローカル

トークに接続されたプリンタへの出力は容易になった。他方、WS・PCとも自由に使いこなせる高度な利用者にとっては、c) は前述の a), b) のみのシステム構成に比べ、柔軟性のある環境が構築できた。

#### [今後の研究の方向, 課題]

現在高機能 WS が計算中心から文房具的な使いやすさを、PC が逆の過程を辿っている時、幸い本研究の支援を受け、初心者教育には最低限何が必要なのかを解明する基礎的な研究を実施できたことに深く謝意を表する次第である。

#### [成果の発表, 論文等]

大学等における一般情報処理教育のための調査研究 (文部省: 情報処理学会委託) に反映, 情報処理教育研究集会 (文部省) に発表予定。

# 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

## Acceptance of New Telecommunication Media and Daily Communication Behavior

901018

研究者代表 文教大学情報学部 教授 吉井 博 明

### [研究の目的]

通信系ニューメディアは、1980年代に期待されたほどはユーザーに受け入れられず、伸び悩んでいる。この原因のひとつは、既存の通信メディア及びフェースツーフェースで行われているコミュニケーション行動の実態との不適合があるものと推察される。本研究では、コミュニケーション行動の実態調査等を通じて、この不適合の原因を分析すると共に、今後の普及可能性について検討する。

### [研究の内容、成果]

ビジネス活動と生活活動という2つの局面に分け、それぞれにおけるコミュニケーション行動と通信系メディアとの関連性を分析した。

ビジネス活動の中では、図1に示したように、1日の平均勤務時間(9時間29分)のうち、約44%(4時間9分)がコミュニケーション行動にあてられており、そのうちの約半分(1時間49分)が会議・打合せに、約1/3(1時間30分)が面談・対話に、約2割(50分)が電話に使われている。会議・打合せは、月平均で17.7回なされているが、このうち片道30分以上の移動時間をかけて出席しているものは、3.8回(21.5%)である。また、面談・対話でも片道30分以上の移動時間をかけるものが

かなりある。ビジネス用通信系ニューメディアが、第1に狙ったのは、このようなフェースツーフェース・コミュニケーションの通信による代替市場であった。この代替市場が実現するには、少なくとも、以下の2つの条件を満たす必要があると考えられる。

- 1) 移動時間節約の強いニーズの存在: 移動時間をムダと感じ、それを何とか節約したいという強いニーズがあること。
- 2) フェースツーフェースの会議・打合せとほぼ同等あるいはそれ以上の効果があること: 通信会議・打合せがフェースツーフェースの会議・打合せと同程度もしくはそれ以上の有効性をもつこと。

現実には、片道30分以上の移動時間を伴

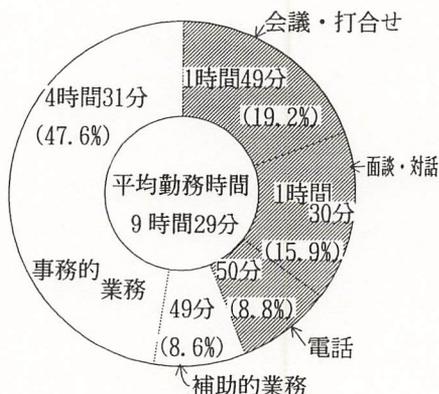


図1 ビジネス行動に占めるコミュニケーション行動の割合

う会議・打合せが月に4回弱と少なく、移動時間節約への強いニーズは、特定の人（月15回以上の移動会議・打合せを行っている3%前後の人）に限られており、1)の条件は満たされているとは言い難い。2)の条件は、テレビ会議システムを使用したことがある人へのアンケート調査結果からみると、「細かい文字や絵の資料がよく見えない」「相手の表情や反応の細かい所が伝わってこない」という不満が強く、フェースツーフェース会議より劣っていることは明らかである。この結果、テレビ会議システムは「中堅クラスの人が移動時間を節約するためのもの」という認識が定着しつつある。このような調査結果から、ビジネス領域で最も有望視されたテレビ会議システムは、離れた事業所間で頻繁に会議・打合せを行う必要がある企業に限って、中堅クラス以下の人々が移動時間の節約に使うものであり、それ以外への普及は遅れることが予想される。

次に、電話行動に着目してみると、音声もしくは音声+文書(FAX)では不十分で、画像があった方がよい電話は、「連絡・説明」「依頼・相談」といったビジネスの用件の中で19.2%ある。これは電話をしながら、「相手の顔や表情をみたい」時や「文書・図形・写真をみたい/みせたい」時があるからである。しかし、このニーズが電話の相手方にも同時になければ本当のニーズとは言えない所に問題がある。加えて、そのために支払うコストも高いとは言えないのが現実である。

次に生活場面におけるコミュニケーション行動の中で、特に電話行動に着目し、その実態を分析した。家庭の中で最も多く電話を利用しているヘビーユーザーに対してアンケート調査を行った所、電話利用には4つの段階があることがわかった(図2)。最も「進んだ」利用形態は「疑似環境」と呼ぶべきもので、あたかも一緒にいるような雰囲気をつくることを目的とした電話利用であり、「ながら電話」の中に潜在的にあるものである。若い人々の間で、このような利用形態が増大し

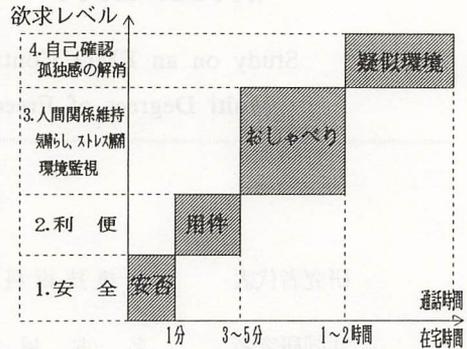


図2 電話利用の4段階

てきていることがわかった。このような利用形態は、音声のみという制約されたメディア特性をうまく活用しており、「気軽さ」がそのポイントになっている。相手の実生活に踏み込み過ぎず、自分の実生活にも深く立ち入れ過ぎることを嫌う精神とよくマッチしたメディアと言えよう。テレビ電話の拒絶は、このような深層心理に根差しているようにも思われる。

[今後の研究の方向, 課題]

ビジネス行動の領域においては、電子メールの導入による勤務形態やコミュニケーション・ネットワークの変化が新しい動きを示しており、この分野の調査研究に進みたい。また、生活行動の領域においては、移動体通信の普及による影響の分析が面白いと考えている。

[成果の発表, 論文等]

- 1) 「会議・打合せ行動の実態からみたテレビ会議の離陸可能性」情報通信学会誌平成4年度年報
- 2) 「家庭における電話利用の実態とヘビーユーザーの行動」文教大学情報学部報告書(平成4年2月)
- 3) 「ソフトウェア産業の実態と将来像」文教大学情報学部報告書(平成4年5月)

# 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

Study on an EMG Controlled Prosthetic Forearm with  
Multi Degrees of Freedom Using Neural Networks

911003

研究者代表	豊橋技術科学大学	教授	伊藤宏司
共同研究者	名古屋大学	教授	伊藤正美
	広島県立身体障害者リハビリテーションセンター	医務部長	黒瀬靖郎
	愛知工業大学	教授	加藤厚生
	愛知県心身障害者コロニー発達障害研究所	室長	三田勝巳
	広島大学	助手	辻敏夫

## 〔研究の目的〕

障害者は切断により効果器官としての筋や骨格を失うだけでなく、それが備えていた情報伝達的手段や制御機構をも失う。従って、残存の制御機能とのマッチングを考慮した人間-義肢系のインタフェースを再構築し、自然な操作感覚を与えない限り、たとえ義肢本体の機能が優れていても、その義手は使われない。これまで開発され、あるいは市販されている筋電動力義手（国内；WIMEハンド、国外；Utah Arm等）は、あたかも複数個のスイッチを切り換えているような操作感覚でしかなく、自然肢の運動感覚とは程遠いものになっている。

以上の観点から、本研究では、人間-義肢インタフェースを重視したニューラルネット制御による前腕筋電義手を開発することを目的とする。

## 〔研究の内容・成果〕

1) 幻肢感覚（大脳の運動野には欠損部位に対応するマップが切断後も存在する）を利用しているので、義手を制御するために特殊な訓練を必要とし

ない。数時間の訓練で十分制御可能である（Fig. 1参照）。

2) 前腕の回内・回外、手首の屈曲・伸展、指の握り・開きの動作の識別が可能で（Fig. 2参照）、被験者、電極装着位置にかかわらず90%以上の高い識別率を実現した（Table 1参照）。

3) 義手装着時に6動作を所定の順序で一度ずつ数秒間行ってもらい、そのデータを用いてニューラルネットを学習させる。この間、以下の処理を行う（Fig. 3参照）。

- ① 断端部の4ヶ所に取り付けた電極から採取したEMGを全波整流し、フィル

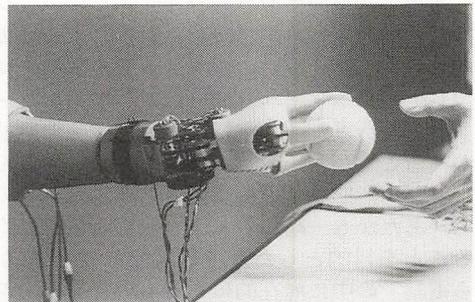


Fig. 1 Hand grasping

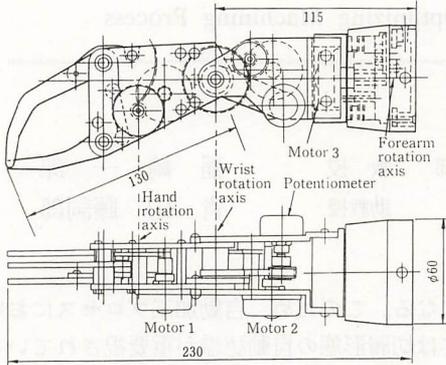


Fig. 2 Prosthetic forearm with three degree of freedom

Table 1 Motion discrimination rates

Experiment	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5
Subject	Normal A	Normal A	Normal B	Normal B	Amputee
Electrode locations					
Number of iterations	20.1	17.8	9.0	26.0	14.9
Success rates (%)	100.0	100.0	92.7	95.5	93.5
Undetermined rates (%)	3.6	5.7	8.7	12.0	13.4

(Average values for 10 kinds of initial values of the synaptic weight)

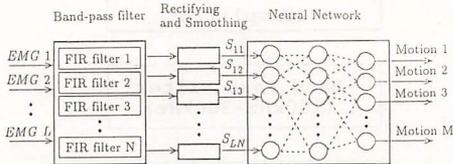


Fig. 3 A limb function discrimination method using neural networks

- ターで平滑化する。
- ② 各動作の EMG 間の群間分散と動作内の群内分散の比を最大とする変換行列を求め、EMG を前処理する。
- ③ 前処理後の EMG をニューラルネットに入力し、各動作のパターン識別を学習

させる。学習は数分で終了する。

- 4) 学習後、制御モードを切り換え、未知動作を識別し義手を制御する。義手動作中も、ニューラルネットにオンライン学習を行わせることで、発汗など環境条件の変化による EMG 特性の変動に適応可能である。
- 5) 実用化に耐え得る計算速度で実システムを構築できる見通しを得た (PC-9801 レベルで 0.1 秒以内)。

[今後の研究の方向, 課題]

今後は、ニューラルネットによる筋力の推定を検討するとともに、義手コントローラを可搬型にして切断者による制御実験を行い操作性を評価する予定である。

[成果の発表, 論文]

- 1) 森大一郎, 辻 敏夫, 伊藤宏司: ニューラルネットによる EMG パターン識別, 電子情報通信学会技術研究報告, MBE 91-34, pp. 5-12, 1991.
- 2) 森大一郎, 辻 敏夫, 伊藤宏司: ニューラルネットによる EMG パターンのベイズ識別, 第 1 回ニューラルネットワーク・シンポジウム論文集, pp. 101-108, 1991.
- 3) 伊藤宏司, 辻 敏夫, 加藤厚生, 伊藤正美: ニューラルネットによる前腕筋電義手の制御, 第 12 回バイオメカニズム学会学術講演会予稿集, pp. 151-152, 1991.
- 4) K. ITO, T. TSUJI, A. KATO & M. ITO: Limb-Function Discrimination using EMG Signals by Neural Network and Application to Prosthetic Forearm Control, Proceedings of International Joint Conference on Neural Networks, pp. 1214-1219, 1991.
- 5) 伊藤宏司, 永岡英明, 辻 敏夫, 加藤厚生, 伊藤正美: 超音波モータを用いた 3 自由度前腕筋電義手, 計測自動制御学会論文集, Vol. 27, No. 11, pp. 1281-1289, 1991.
- 6) K. ITO, T. TSUJI, A. KATO and M. ITO: EMG Pattern Classification for a Prosthetic Forearm with Three Degrees of Freedom, Proc. of IEEE Workshop on Robot and Human Communication, 1992 (to be appeared).
- 7) K. ITO, T. TSUJI, A. KATO and M. ITO: An EMG Controlled Prosthetic Forearm in Three Degrees of Freedom using Ultrasonic Motors, 14 th IEEE EMBS Conference, 1992 (Submitted).

# 加工プロセスの最適化のためのファジィ理論の応用

## Application of Fuzzy Theory for Optimizing Machining Process

911004

研究代表者 慶應義塾大学理工学部 教授 稲崎 一郎  
共同研究者 同上 助教授 青山 藤詞郎

### [研究の目的]

機械加工における技能者の不足は深刻な問題であり、FA（ファクトリーオートメーション）化の動きは将来益々激しくなると予想される。FA化の核となる加工プロセスの自動化、更に無人化は最も重要なキーテクノロジーである。1960年にすでに加工プロセスの適応制御なる概念が提案されていたが、自動監視技術が未熟であったために実用化には至らなかった。今日のセンサ技術の発展を考慮すると、これにAI技術を複合させることによって高度な加工プロセスの制御が可能になると考えられる。本研究は、加工プロセスの同定と制御にファジィ理論を応用する試みである。熟練技能者の経験に頼っていた加工作業は、ファジィ理論を応用するに最も適切な場の1つであると考えられる。具体的には、

- (1) 切屑形態の自動認識
- (2) エンドミル加工の拘束適応制御
- (3) ロボットによる金型の研磨

の3例にファジィ理論の応用を試みる。

### [研究の内容、成果]

#### (1) 切屑形態の自動認識

切削加工で生成される切屑は、これが連続的なものになると加工表面を損傷したり、工具や加工物にからみついて大きな事故の原因

になる。このため、自動加工プロセスにおいては切屑形態の自動認識が重要視されている。

本研究では小型、軽量で、価格も比較的安価なアコースティックエミッション（AE）センサを用い旋削加工における切屑形態の判別を試みた。AEセンサは図1に示したようにバイトシャンクに取り付け、100 KHz～300 KHzのフィルタを通した後、全波整流して

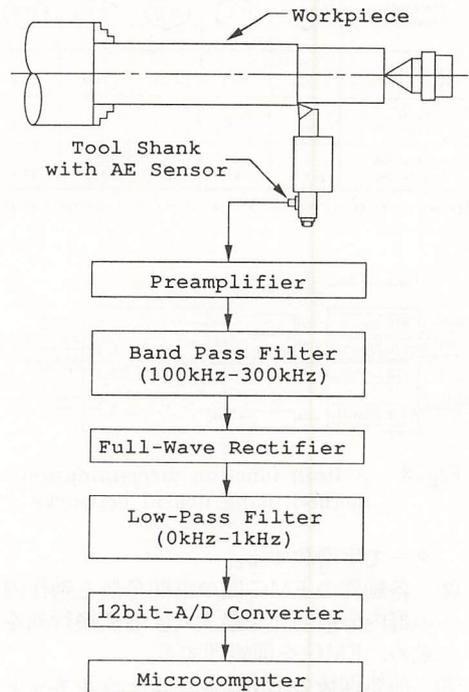


図1 実験装置の概要

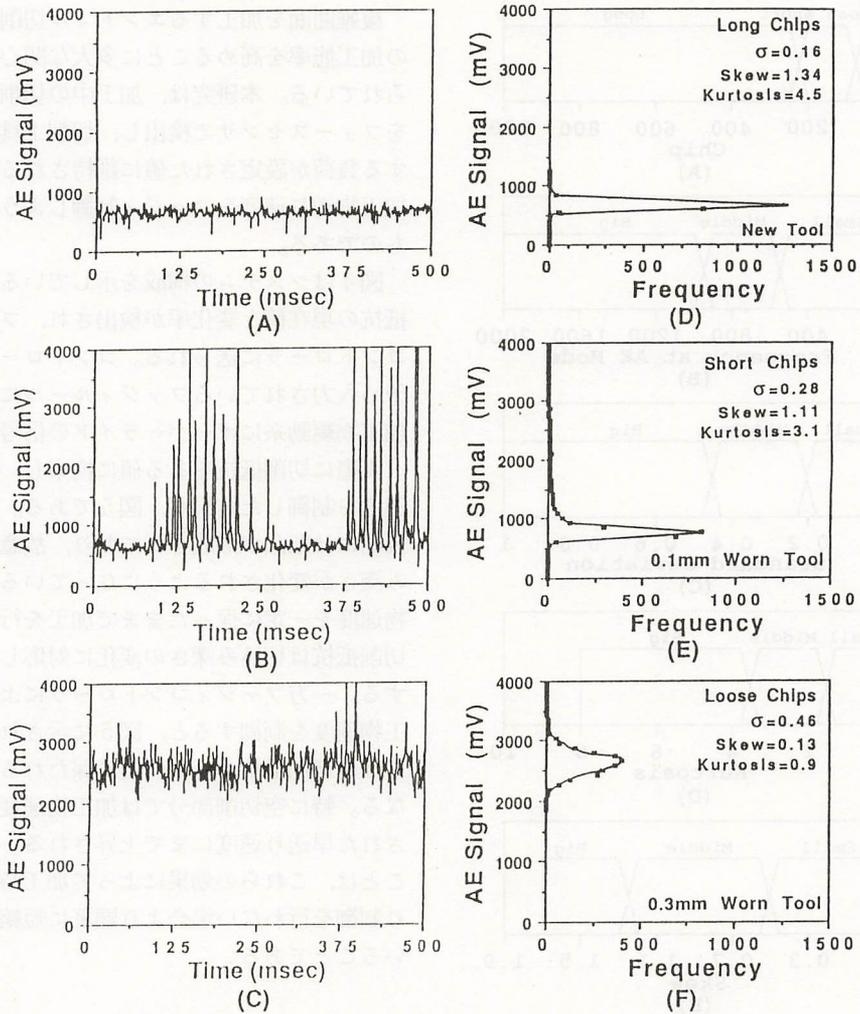


図2 測定したAE信号とその振幅分布

振幅変動の特徴を抽出することにした。切屑形態は図2に示したように3種類に分類した。典型的なAE信号とその振幅分布を図2に示した。振幅分布の確立密度関数を特徴づけるパラメータとして、標準偏差、歪度、尖度、モードにおける頻度の4つを採用した。

図3に示すように3種類の切屑形態と4つのパラメータに対して試切削を行ってメンバーシップ関数を作成した。IF-THENで記述されるルールを作成し、切屑形態のオンライン判別を可能にした。実際に使用したルールは20個であったが、これによって正しく切屑

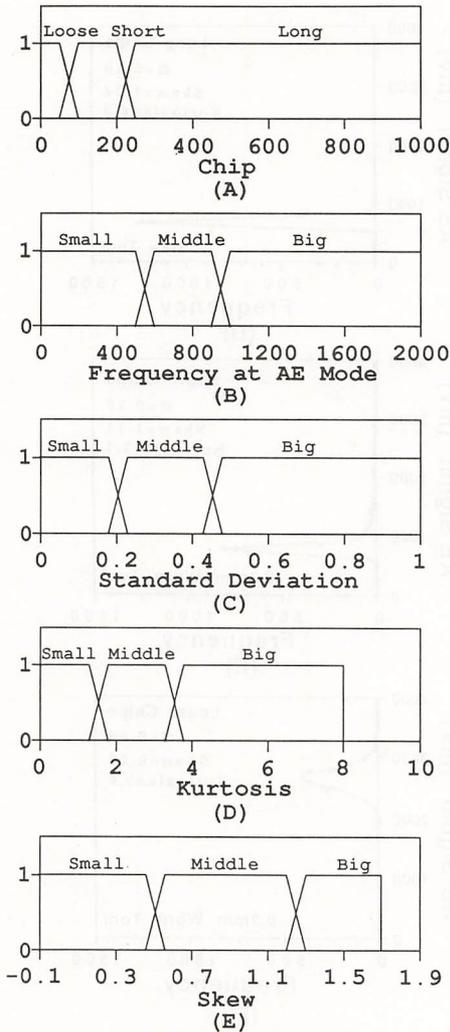


図3 切屑同定のためのファジーメンバーシップ関数

の形態が識別された確率は、90%以上であった。

本研究で提案した方法で切屑形態が識別された後は、送りを制御することによって連続切屑の生成を回避することができる。

### (2) エンドミル加工の拘束適応制御

複雑曲面を加工するエンドミル切削は、その加工能率を高めることに多大な関心が寄せられている。本研究は、加工中の切削抵抗力をフォースセンサで検出し、切削工具に作用する負荷が設定された値に維持されるように加工物送り速度をファジィ制御しようとするものである。

図4はシステムの構成を示している。切削抵抗の現在値と変化率が検出され、ファジィコントローラに送られる。コントローラは、予め入力されているファジィルールに従って加工物駆動系にオーバーライドの信号を送る。

実際に切削抵抗がある値に拘束し、加工物速度を制御した結果が、図5である。加工物表面には凹凸が形成されており、故意に切込み深さが変化されるようになっている。加工物速度を一定に保ったままで加工を行うと、切削抵抗は切込み深さの変化に対応して増減する。一方ファジィコントローラによって加工物速度を制御すると、図5に示されているように切削抵抗がほぼ一定に保たれるようになる。特に空切削部分では加工物速度は設定された早送り速度にまで上昇される。重要なことは、これらの効果によって加工時間が送り制御を行わない場合より顕著に短縮されていることである。

### (3) ロボットによる金型の研磨

複雑な自由曲面で形成されることが多い金型表面の研磨作業についてはいまだに手作業に頼る比率が高く、またその作業には熟練を要するため自動化が著しく遅れている。

本研究では、ロボットがその運動経路をあらかじめ教示されることなく、自律的に金型の3次元形状を判断しながら研磨を行う方法を考案した。使用した工具は、ハンドグライ

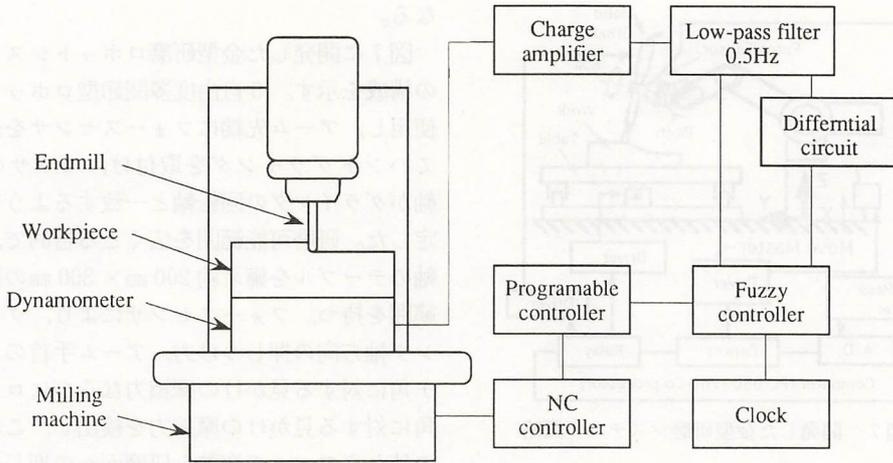


図4 切削力制御システムの構成図

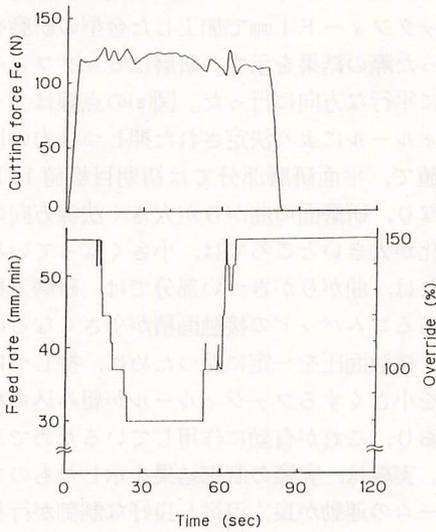


図5 切削力と送り速度の時間変化(制御有り)

ンダに紙やすりを接着したゴムパッドを取付けたものである。研磨の際に発生する力を6軸フォースセンサにより検出し、その大きさと方向から研磨面の法線方向を判断し、かつ研磨工具の押しつけ力を任意の値に保つための、力と方向の制御にファジィ理論を適用し

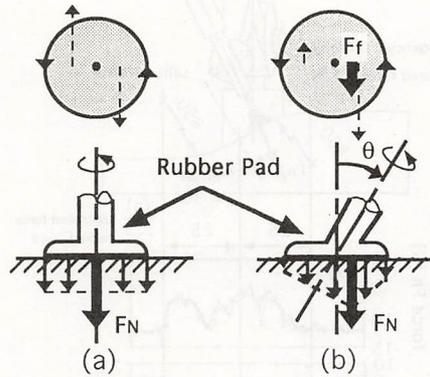


図6 ゴムパッドを用いた場合の研磨力の状態

た。

図6に研磨を行う際に発生する力をモデル化して示す。図(a)のように研磨パッドの軸線が面の法線方向と一致している場合は、軸線の周囲での接触圧力がほぼ対称になる。したがって、この時発生する研磨力も対称な偶力となるから、図に示すようにパッドの接線方向に力は検出されない。しかし同図(b)のように面に対して軸線が傾き、パッドや弾性変形した状態では、軸線回りの研磨力が非対称に

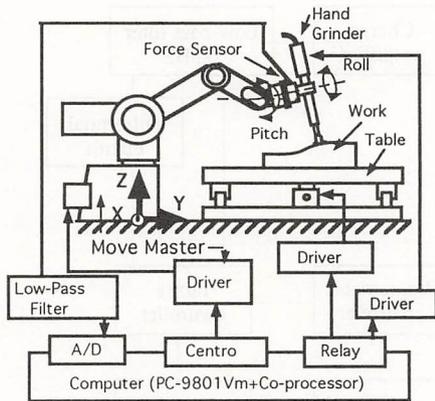


図7 開発した金型研磨システムの概略

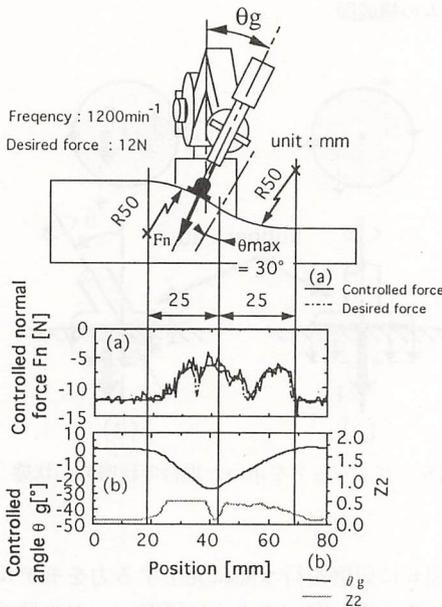


図8 2次元形状を有する金型の研磨制御結果

なるため接線方向の力  $F_t$  が検出される。このとき  $F_t$  の方向は研磨面の法線方向と傾いた工具の軸線が形成する面に対して垂直方向となる。そこで  $F_t$  が 0 となるように調整すると工具の軸線は面の法線方向を向くことに

なる。

図7に開発した金型研磨ロボットシステムの構成を示す。5自由度多関節型ロボットを使用し、アーム先端にフォースセンサを介してハンドグラインダを取付け、センサのX軸がグラインダの回転軸と一致するように固定した。研磨可能範囲を広くとる目的で、一軸のテーブルを備え約 200 mm × 300 mm の動作範囲を持つ。フォースセンサにより、グラインダ軸方向の押しつけ力、アーム手首のピッチ角に対する見かけの摩擦力ならびにロール角に対する見かけの摩擦力を検出し、これらの値からアームの姿勢と研磨面への押しつけ力を決定する過程にファジィ制御手法を適用した。図8に一方方向に一定の断面形状を持ちピックフィード 1 mm で加工した金型の研磨を行った際の結果を示す。研磨はピックフィードに平行な方向に行った。図(a)の点線はファジィルールにより決定された押しつけ力の目標値で、平面研磨部分では初期目標値 12 N になり、研磨面の曲がりが大きく法線方向の変化が大きいく所では、小さくなっている。これは、曲がりがつい部分では、研磨工具であるゴムパッドの接触面積が小さくなるので、接触面圧を一定に保つために、押しつけ力を小さくするファジィルールが組み込まれており、これが有効に作用しているためである。実線は、実際の制御結果を示したものでアームの運動が良く追従し良好な制御が行われていることがわかる。また同図(b)に示したロール方向制御についても、研磨面の方向変化に良好に追従した結果が得られている。

最終的に3次元自由曲面を持つ金型表面を研磨した結果、 $R_{max} = 0.3 \mu\text{m}$  の鏡面を得ることができた。

[今後の研究の方向, 課題]

本研究では、切削および研磨プロセスの3例に対してファジィ理論の応用を試みた。第一の切屑形態の判別に対してはニューラルネットワークの応用を試みたが、この課題に関してはニューラルネットワークの方が実用上有用であると判断された。一方、加工条件を変化させて連続切屑の生成を回避するための制御手段としては、ファジィ制御が有用であった。

第2のエンドミル加工への応用は、その最も基本的な部分を終了した段階であり、びびり振動発生回避や工具損傷の自動検出等、複数の現象の監視、診断および制御へと発展させないとファジィ理論を応用することの特徴を活かすことができない。

第3の金型研磨に関しては、研磨工具の改良というハードウェア上の最も基本的な部分が課題として残された。制御アルゴリズム自身はその原理がきわめて簡単で、実用性も高いと判断された。

以上3例の研究を通して共通して指摘される課題は、メンバシップ関数をいかに合理的にかつ簡便に決定するかという点に集約される。

本研究は、財団法人立石科学技術振興財団より助成を得て行われたものであり、ここに厚くお礼申し上げます。

[成果の発表, 論文等]

- 1) ファジィ理論を応用した金型磨きロボットの力制御, 日本機械学会通常総会講演会, 1991年3月, p. 486
- 2) Identification of Chip Form in Metal Cutting with an AE Sensor, 4th Meeting in an Acoustic Emission, 1991 September, Boston USA p. 80
- 3) エンドミル加工のファジィ制御, 日本機械学会通常総会講演会, 1990年9月, p. 285

# 大規模仮想空間を歩行するための人工現実感

## Artificial Reality for Walking Through Large Scale Virtual Space

911005

研究代表者

筑波大学構造工学系 講師

岩田 洋夫

### [研究の目的]

人工現実感とは、人間の五感を司る感覚器に対して、計算機による合成情報を提示することにより、仮想世界を疑似体験させる技術をさす。人間は生来、三次元空間の中で生活しているため、手で触れることのできる立体模型のような空間的な情報表現は直感的に理解しやすい。したがって、人工現実感の技術を用いて仮想の立体を表現し、それに対して直接操作を加えることができれば、人間と機械のコミュニケーションは飛躍的に円滑化されることが期待できる。従来の計算機と人間が対話を行う場合は、デスクトップメタファという言葉に代表されるように机の上という小さな空間であった。しかし、建物のように大きな空間的広がりをもつ対象の形状設計や設備設計を行う場合は、デスクトップの限られた空間では十分な感覚情報を得ることはできない。したがって、この問題を解決するためには、人工現実感の技術を用いて実際に建てる前に仮想の建物を表現し、その中を歩き回るといったことが必要になる。また、そのようなことが可能になれば、マルチメディア・データベースの検索を行う場合に、その内容を仮想の博物館に展示するといった新しいユーザ・インタフェースの形態を実現することもできる。

人間が外界を認識するための主たる感覚チャンネルは視覚であるが、対象物を操作した

り、歩いて移動したりする場合には体性感覚のフィードバックが不可欠である。本研究はこのような認識のもとに、大規模な範囲に表現された仮想立体の中を歩いたり、触れたりする感覚を表現する人工現実感呈示技術の開発を行うことを目的としている。

### [研究の内容、成果]

#### 1. 歩行感覚の合成

小型のディスプレイを頭部に装着し、頭の動きに合わせて映像の表示を行う頭部搭載型ディスプレイは、広範囲の視覚情報を表現できるため、自分が仮想空間の中に存在するという錯覚を与えるのに効果的である。しかし、計算機の表示する仮想空間が都市や建物といった大きな面積を持つものになると、その中に入って歩き回るということを疑似体験するためには、ディスプレイ装着者が歩き回るために必要な広大なスペースを用意する必要が生じる。これは、実世界の空間資源の制約上好ましいことではなく、また、センサ類のワイヤハーネスといったハードウェアの問題も考慮しなければならない。さらに、仮想空間内の階段を昇降するためには、実空間の床を上下させる動作を行わなければならない。以上のような諸問題に対応するためには、歩行者の位置を固定したままで歩行感覚を得られるような装着が必要になる。このような装置はウォークスルー・シミュレータと呼ば



図1 システム概観

れる。

本装置は、歩行者の上体をハーネスで固定し、床に対して任意の方向に足を滑らせる特殊なローラースケートを足に履かせる方法を採用している。このハーネスによって、歩行者の体の位置が実空間において固定されるため、歩行動作に合わせて映像を生成すれば、無限に広い仮想空間を歩くことが可能になる。方向を変えるときも足の踏み出しという自然な動作で行うことができる。また、階段等の段差を昇降する場合も実空間においては歩行者の体は上下しないため、任意の長さの階段を仮想空間に設定することができる。図1に本システムの概観を示す。

歩行者は頭部搭載型ディスプレイ (HMD) を装着し、仮想空間の映像を見る。このとき、頭の動きと両足の動きは超音波距離センサによって3次元位置計測される。これらの、計測結果に従って、仮想空間内における視点の

位置と方向に合致した映像を生成する。この映像はリアルタイムのコンピュータ・グラフィックスで描かれる。この映像はNTSCビデオ信号に変換され、HMDの液晶ディスプレイに表示される。HMDには、2つの液晶ディスプレイにそれぞれ鏡とフレネルレンズを組合せ、左右の目に別々の画面が見えるものを製作している。

仮想の階段の昇降時に足にかかる抗力は糸の張力を用いて呈示される。この糸は歩行者の体を外側から囲むように張られており、一端をモータで駆動されるプーリーで引くことにより、疑似的に足の裏の床を昇降させるものである。この装置が左右の足にそれぞれ1セット用意される。糸には木綿のものを用いているため、張力のかかっていない時にはほとんど抵抗がない。この性質は歩行者の自然な動作を実現する上で不可欠なものである。

実際に段差を昇る場合は、踏み出した足に抗力を受けながら上体が上昇する。しかし、仮想歩行を行う場合には、上体がハーネスで固定されているため、踏み出した足が抗力を受けながら下降するように糸の長さを制御する。この場合、グラフィックスで描かれた仮想空間の映像を体の上昇分だけ上に移動すれば、歩行者に段差を昇ったような錯覚を与えることができる。

## 2. 仮想立体の操作反力の合成

本システムは仮想建物の中でドアを押したり物を持つというような操作を行った時に、手に反力を与えるためのマニピュレータを組み合わせることができる(図1)。このマニピュレータは6つの自由度を持ち、各関節配置が人間の骨格に合わせて作られているため、人間の腕とほぼ同じ可動範囲を持つ。各軸はDCモータで駆動され400gの力を手にあた

えることができる。

### 3. 歩行感覚の効果

本システムによって合成される歩行感覚の効果を定量的に調べるために、距離感の評価実験を行った。これは、仮想の廊下を歩いた距離と、歩行者が主観的に感じた距離の関係を求めるものである。実際に歩いて移動する場合と、ジェスチャ入力で飛んで移動した場合を比較した結果、歩行感覚があったほうがより正確な距離感が得られることがわかった。

#### [今後の研究の方向, 課題]

現状における本システムの問題点は、歩行者の上体がハーネスで固定されるため、動的

な歩行ができない点にある。上体の前後の移動を許すようなハーネスの開発が必要である。また、仮想階段の昇降時に足が上下する過程において生じる不安定状態をいかにサポートするかという問題も残されている。

#### [成果の発表]

- 1) Haptic Walkthrough Simulator: Its Design and Application to Studies on Cognitive Map, Proceedings of the Second International Conference on Artificial Reality and Tele-existence (1992)

# 位相型空間光変調素子を使った実時間光処理の研究

## Real-Time Optical Information Processing by Using a Spatial Light Phase Modulator

911006

研究者代表

静岡大学工学部

助教授

大坪 順次

### [研究の目的]

光を使った並列演算処理により、画像のような大容量の情報を処理することができる。その鍵となる素子は、空間光変調素子とよばれる並列画像書き込みまたは並列画像読み出しのできる素子である。空間光変調素子としてはいろいろな素子が提案されているものの、現状では十分な性能のものはなく、また、素子自身の特性についても十分に明らかにされてはならず、このような素子は未だ開発段階にあるといえる。

本研究においては、ツイステッドネマチック (TN) 液晶テレビの空間光変調素子としての特性について、偏光解析に基づいた方法による理論的な検討と、実験による特性評価を行う。さらに、この素子を空間光位相変調素子として用い、光散乱パターンの相関測定のための光相関器について検討する。実際の相関測定においては、信号を非線形処理により位相パターンに変換し、空間光変調素子上に表示し処理を行う。このことにより、光の回折効率を大きくすることができるため、測定精度の向上が期待できる。実際の空間光変調素子を使うにあたって、どのような非線形処理が適当であるかの理論的な検討についても行う。

### [研究の内容, 成果]

本研究においては、最初に TN 液晶テレビの空間光変調素子としての特性評価を行った。液晶テレビの光に対する強度、位相変調度は、液晶層の前後の偏光子、検光子の偏光軸の方向の組合せに大きく依存する。実験および理論的検討から、偏光子の光軸を光の入射面において液晶分子の配向と同じ方向とし、検光子の光軸をそれに対して垂直とすることにより、光に対する位相変調度を最大とすることができることが分かった。図1に、実験で使用した液晶テレビの強度、位相変調特性の図を示す。この図では、印加電圧に対し光

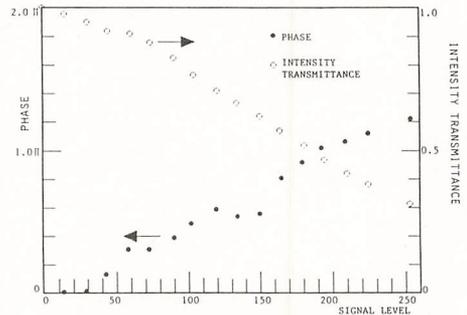


図1 液晶テレビの強度、位相変調特性  
Fig. 1 Intensity and phase modulation properties of LCTV

の位相が $0 \sim \pi$ 程度変化していることが分かる。この液晶モジュールは、制御回路の変更により、実際にはこの図での印加電圧の4倍まで加えることができるようになっており、 $0 \sim 2\pi$ の位相変調も期待できる。

しかし、この図からも分かるように、光に対する位相の変調と同時に強度の変調も起こる。したがって、このようなTN液晶においては、光の位相のみの変調を行うことはできない。光相関計の実験においては、現在入手可能なこのようなTN液晶テレビを使用した。ホモジニアス型のネマテック液晶を使うことにより、入射光に対し強度変調は行わずに、位相のみの変調を行う素子を実現することができる。そのような素子についての理論的な検討も行った。また、実際の使用状態におけるTN液晶素子のしきい値電圧やコントラスト比などの目安になる特性電圧パラメータなどの測定法などについても検討し、実験結果を理論的にうまく説明することができた。さらに、これらの理論的検討において、TN液晶のねじれ方向を調べる方法や、TN液晶の偏光による着色効果などについても成果を得ることができた。

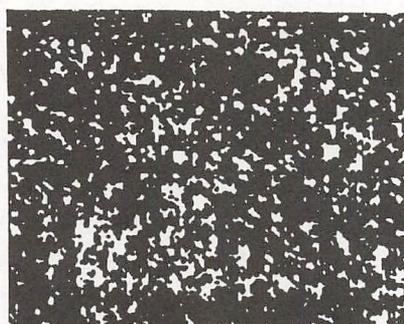
次に、液晶テレビを用いた光相関計の実験を行った。具体的には、光散乱パターンの相関測定のための光相関計を構成し、光散乱物体の速度、変位などを実時間で測定するための光システムについて検討した。本方法は、実時間アナログ光情報処理であるが、アナログ光情報処理において実際上大きな問題となる点は、回折の零次光が一般に大きくなる点である。この問題を解決するために、本研究においては、液晶テレビを位相型の空間光変調素子として用いた。

この位相型空間光変調素子において、画像信号を位相信号に変換する際に、信号の二値

化ないしは非線形処理することにより、光の回折効率を高めることができる。これまで、このような現象は定性的には知られていたが、実際の空間光変調素子を使うに当たって、どのような非線形処理が適当か、あるいは信号を位相分布としてどのように変換することが適当であるかの理論的な検討を行った。光散乱パターンのような統計的なパターンの場合には、信号の平均値に $\ln 2$ を掛けたレベルでしきい値処理を行い、 $0, \pi$ の二値化信号として位相パターンに変換することにより、光相関計における最大の光効率を得られることが分かった。

この結果に基づいて、画像の二値化検出と二重露光が可能な光RAM検出器と二枚の液晶テレビを用いて、光相関計の実験を行った。図2(a)は光RAM検出器で検出されたパターンである。光散乱物体の変移の前後のパターンを二重露光したものである。図2(b)は、(a)のパターンを二値化位相信号として液晶テレビに表示し、それを光学的にフーリエ変換したパターンであり、(a)のパワースペクトルに相当する。図2(c)は、さらに(b)のパターンをもう一枚の液晶テレビに表示し、光学的にフーリエ変換したもので、図(a)の相関パターンになっている。通常、光学的なアナログフーリエ変換においては、零次(図中央のスポット)が大きくなり、相関信号を検出することが難しくなる。しかし、本実験においては、光の回折効率を最大とするような条件に設定したために、図に示すように明瞭な相関スポットを得ることができた。

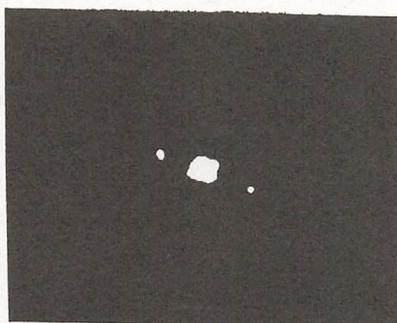
本実験は基礎実験であり、光検出器や二枚の液晶テレビなどを計算機制御により画像検出、表示を行ったため、一回の相関計算に0.5秒程度要しているが、専用の回路を組む



(a)



(b)



(c)

図2 光相関計の信号パターン  
(a)二重露光パターン (b)パワースペクトル  
(c)相関信号

Fig. 2 Signal of optical correlator.  
(a) double exposure pattern, (b)  
power spectrum, and (c) correlation pattern.

ことにより TV のフレームレートでの相関計算は容易であり、実時間光相関計を実現できる。

[今後の研究の方向, 課題]

高品位テレビの普及により、今後、液晶テレビの画素数が増大することが考えられ、画素数  $1000 \times 1000$ 、画素サイズも  $10 \mu\text{m}$  程度の超並列素子が期待できる。また、液晶テレビには他の空間光変調素子にはない光に対する位相変調の特性があり、他の光書き込み素子のように画像の書き込み光量を心配する必要がないなどの利点がある。これまで、液晶テレビは理想的な空間光変調素子が得られるまでの代用としての考え方が強かったが、この実験により、液晶テレビは他の素子が苦手とする位相変調という本質の特性を持っており、一つの空間光変調素子として今後も重要な役割を果たすであろうことが証明された。

本研究の結果、光の並列処理による光相関計を実証することができた。今後の展望としては、このような光処理システムを実際の測定に応用することがあげられる。そのためには、全体の光システムのハードウェアによる制御や、光相関計の演算部分のみでなく、相関ピークの検出において光位置センサ (PSD) などを使うことにより、全体の光システムを構築し、実時間での光処理システムを実際のものとする事ができる。

本研究においては、光処理の鍵となるデバイスとして液晶テレビ空間光変調素子を使ったが、このような光処理系における他の空間光変調素子の優劣についても検討する必要がある。また、液晶テレビを空間光変調として使う場合に、その位相変調特性に注目したが、本実験で用いた素子は TN 液晶素子で

あり、光の位相変調とともに、光の偏光状態も変化するものである。このため、光の位相のみの変調が可能なホモジニアス型のネマチック液晶の可能性について検討し、理論的に空間光位相変調素子として使えることが判明した。今後、そのような素子を作製し、光に対する回折効率をあげ、精度のよい光処理システムについて検討を行う必要がある。

[成果の発表, 論文等]

論文発表

- 1) A. Ogiwara and J. Ohtsubo, "Real-Time Non-linear Optical Correlator in Speckle Metrology," SPIE Proc. **1564** pp. 294 - 305 (1991).
- 2) A. Ogiwara and J. Ohtsubo, "Application of LCTV to nonlinear speckle correlator," Opt. Commun. **86** pp. 513 - 522 (1991).
- 3) A. Ogiwara and J. Ohtsubo, "LCTV based optical correlator for binary phase speckle-gram," Opt. Commun. to be published 1992.
- 4) K. Ohkubo and J. Ohtsubo, "Evaluation of LCTV as a spatial light modulator," submitted for publication.

口頭発表

- 1) 荻原昭文, 酒井宏明, 大坪順次, 「非線形検出器を用いたスペックル光相関計」第38回応用物理学関連学術講演会(1991. 3).
- 2) 荻原昭文, 酒井宏明, 大久保和展, 大坪順次, 「スペックルパターン計測への液晶TVの応用」第7回光波センシング技術研究会(1991. 5).
- 3) A. Ogiwara and J. Ohtsubo, "Real-Time non-linear optical correlator in speckle metrology," SPIE 36th International Symposium (1991. 7).
- 4) 荻原昭文, 大坪順次, 「液晶テレビを用いたスペックルパターン計測における回折効率の改善」第52回応用物理学学会学術講演会(1991. 10).
- 5) 大久保和展, 荻原昭文, 大坪順次, 「液晶テレビの空間光変調素子としての特性」第52回応用物理学学会学術講演会(1991. 10).
- 6) A. Ogiwara and J. Ohtsubo, "Optical speckle correlator using phase modulation property of liquid crystal television," OSA Annual Meeting (1991. 11).
- 7) 荻原昭文, 大坪順次, 「液晶TVを用いたスペックルパターン計測法におけるしきい値の影響」第39回応用物理学関連学術講演会(1992. 3).
- 8) 大久保和展, 荻原昭文, 大坪順次, 「空間光変調素子としての液晶テレビの特性評価」第39回応用物理学関連学術講演会(1992. 3).

# 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

## A Study on Advanced Algorithms for Large Vocabulary Speech Recognition

911008

研究代表者 山形大学工学部 教授 好田正紀

### [研究の目的]

大語彙・連続音声を対象とする音声認識では、必然的に膨大となる処理量に対して現実的な時間内で実行可能となるように、認識アルゴリズムをより高度化するための研究が本質的・潜在的に重要である。本研究では、音声認識のマッチング処理において、最適経路に関係しない無駄な経路の展開をできる限り早い段階で徹底的に排除し、真に必要な処理のみを残すための Strategy を確立して、より高度な音声認識アルゴリズムを実現する。

### [研究の内容、成果]

#### 1. まえがき

DTW (dynamic time warping) による音声認識をグラフサーチの問題とみなし、ビームサーチの技法による経路の展開について検討し、音声認識アルゴリズムを高度化する。

具体的には、当該入力フレームまでの VQ 累積歪に基づく入力フレーム同期の単語予備選択法、及び、当該入力フレームまでの DP 累積距離にそのフレーム以降の VQ 累積歪を加えたコスト関数を用いて、常に入力フレーム全体にわたるマッチングの評価値に基づく DP ビームサーチについて検討する。単

語音声認識実験によって、本方式は従来の DP ビームサーチに比べて計算量が  $1/4 \sim 1/5$  に低減することを示す。

#### 2. 単語予備選択

すべての単語に共通の符号帳を  $V$ 、単語  $n$  の符号帳を  $V_n$  とし、 $V_n$  は  $V$  の部分集合となるようにする。入力の第  $i$  フレームと  $V_n$  の各要素との距離の最小値を、 $V_n$  による第  $i$  フレームの VQ 歪といい、 $\Delta(i, n)$  で表す。第  $i$  フレームまでの VQ 累積歪は

$$D(i, n) = \sum_{k=1}^i \Delta(k, n)$$

となる。第  $i$  フレームにおいて VQ 累積歪の最小値を

$$Dmin(i) = \min_{n=1 \sim N} D(i, n)$$

とおく。予備選択では、閾値関数を

$$Td(i) = Dmin(i) + \theta$$

とおいて、

$$D(i, n) \leq Td(i)$$

を満たす単語  $n$  のみを残す。この処理を入力フレームに同期して行う。

### 3. DP ビームサーチ

#### 1 格子点の展開

入力第  $i$  フレーム、単語  $n$  の標準パターンの第  $j$  フレームを示す、DTW のマッチング領域内の格子点を  $(i, j, n)$  で表す ( $i=1 \sim I; j=1 \sim J_n; n=1 \sim N$ )、 $(i, j, n)$  で展開される子格子点を  $\{(i+1, k, n) \mid k=j \sim (j+2)\}$  とする。これは、図1に示すタイプのDPパスを用いることに対応する。

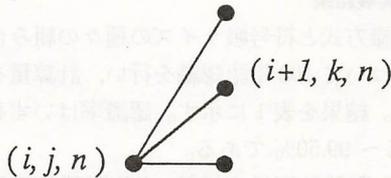


図1 DPパスのタイプ

#### 2 コスト関数

入力第  $i_1 \sim i_2$  フレームを  $A(i_1, i_2)$ 、単語  $n$  の標準パターンの第  $j_1 \sim j_2$  フレームを  $Bn(j_1, j_2)$  と表す。

格子点  $(i, j, n)$  におけるコスト関数を、

$$f(i, j, n) = g(i, j, n) + h(i, j, n)$$

とする。ここで、 $g(i, j, n)$  は  $A(1, i)$  と  $Bn(1, j)$  のマッチングにおけるDP累積距離である。また、 $h(i, j, n)$  は  $A(1+1, I)$  と  $Bn(j, J_n)$  のマッチングにおけるDP累積距離の推定値であり、以下では、推定コストと呼ぶ。

#### 3 DP ビームサーチの概要

第  $i$  フレームにおけるコスト関数の最小値を

$$f \min(i) = \min_{\substack{j=1 \sim J_n \\ n=1 \sim N}} f(i, j, n)$$

とおく。DP ビームサーチでは、閾値関数を

$$Tf(i) = f \min(i) + \alpha$$

とおいて、

$$f(i, j, n) \leq Tf(i)$$

を満たす格子点  $(i, j, n)$  のみを残す。この処理を入力フレームに同期して行う。

#### 4 VQ歪に基づく推定コスト

最も安直な推定コストは、

$$h(i, j, n) = 0$$

と設定することである。しかしながら、この推定コストは、多くの不要な経路が展開されて、計算量低減の効果が小さい。

そこで、VQ歪を利用して推定コストを

$$h(i, j, n) = \sum_{k=i+1}^I \Delta(k, n)$$

とおく。この場合のコスト関数は、第  $i$  フレームまでのマッチングの度合を時間軸の非線形伸縮を考慮して評価した値 (DP累積距離) と、第  $(i+1)$  フレーム以降のマッチングの度合を時間軸の順序関係を見捨てて評価した値 (VQの累積歪) の和になる。

#### 4. 単語予備選択とDPビームサーチの併用

予備選択の処理を入力最終フレームまで行い、残った単語候補のみを対象にDPビームサーチを行う。処理の流れを図2に示す。

予備選択の有無、及び、コスト関数の推定コストを0とおくかVQ歪に基づいて設定するかにより、次の4通りの方式が考えられる。

方式I: 予備選択なし,  $f=g$

方式II: 予備選択なし,  $f=g+h$

方式III: 予備選択あり,  $f=g$

方式IV: 予備選択あり,  $f=g+h$

方式Iは従来のDPビームサーチである。方式IIでは $h(i, j, n)$ ，方式IIIでは $D(i, n)$ を得るためにVQの距離計算を必要とする。方式IVでは、

$$h(i, j, n) = D(I, n) - D(i, n)$$

の関係を利用すると，VQに必要な距離計算は方式IIIと同じで済む。

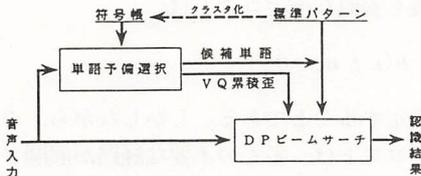


図2 予備選択を利用するDPビームサーチのブロック図

### 5. 特定話者単語音声認識の実験条件

#### (1) 音声資料

男女各1名が216単語を2回ずつ発声した音声資料を用いる。認識実験では，1回目を標準パターン，2回目を入力音声，及び，その逆の両方について行う。

標準パターンのVQは行わない。

#### (2) 音声分析

標本化周波数12kHzで16ビットに量子化し，フレーム長30ms，分析周期15msに設定し，ハミング分析窓を用い， $1-Z^{-1}$ の特性で高域強調したのち，1～16次のLPCケプストラム係数を抽出する。

#### (3) 符号帳のサイズ

符号帳は標準パターンと同じ音声資料から作成する。

共通の符号帳Vのサイズは64，128，256，512，1024の5通り，単語毎の符号帳Vnのサイズは4，8，16，32の4通りとする。

#### (4) 計算量の評価

DPビームサーチの計算量は，漸化式が計

算された $(i, j, n)$ 点の全 $(i, j, n)$ 点に対する割合で評価する。これはDPに必要な距離計算回数の全 $(i, j, n)$ 点に対する割合とみることにもできる。単語予備選択の計算量は，VQに必要な距離計算回数の全 $(i, j, n)$ 点に対する割合で評価する。こうすると，DPビームサーチの計算量と同等の基準で比較できる。

### 6. 実験結果

認識方式と符号帳サイズの種々の組み合わせについて100単語認識を行い，計算量を求めた。結果を表1に示す。認識率はいずれも，99.25～99.50%である。

VQ距離計算量を横軸，DP距離計算量を縦軸にとり，表1の結果をプロットすると図3になる。(VQ+DP)距離計算量が一定値となる図中の斜線は各方式の最小の計算量に対応する。方式I→II→III→IVにつれて図中の斜線が原点に近づき，計算量低減の様子がわかる。

認識方式I，II，III，IV，及び予備選択における処理例を図4に示す。

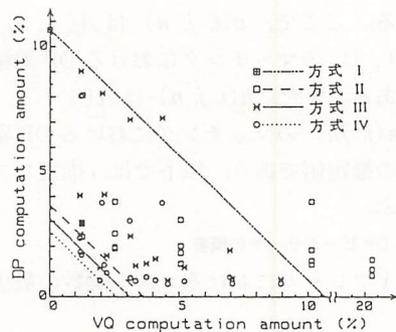


図3 VQ距離計算量とDP距離計算量の関係

表1 認識方式と符号帳サイズの種々の組み合わせにおける計算量

( ) 内の数字はDPビームサーチの閾値パラメータ $\alpha$ の値, [ ] 内の数字は予備選択の閾値パラメータ $\theta$ の値。単語候補量は予備選択の後で残った単語候補数の認識単語数に対する割合(%)

符号帳サイズ		計 算 量 (%)									
		予 備 選 択 な し					予 備 選 択 あ り				
		方式 I	方式 II		計	V Q	単語候補量	方式 III		方式 IV	
共通	単語毎	DP (G)	VQ	DP (G+D)				計	DP (G)	計	DP (G+D)
64	4	10.68 (18)	1.27	8.06 (24)	9.33	1.21 [28]	77.88	9.05 (18)	10.25	8.03 (24)	9.24
	8			2.89 (15)	4.16	1.18 [10]	25.99	4.03 (18)	5.21	2.32 (15)	3.50
	16			2.95 (14)	4.22	1.20 [6]	16.65	2.48 (16)	3.68	1.77 (14)	2.97
	32			2.38 (12)	3.65	1.24 [6]	20.93	2.94 (16)	4.18	1.66 (12)	2.90
128	4	10.68 (18)	2.54	3.79 (18)	6.33	2.03 [24]	64.08	8.13 (18)	10.16	3.75 (18)	5.78
	8			1.93 (13)	4.47	2.12 [11]	25.63	4.07 (18)	6.19	1.26 (11)	3.38
	16			1.91 (12)	4.45	1.96 [5]	8.55	1.15 (12)	3.11	0.64 (8)	2.60
	32			2.51 (13)	5.05	2.22 [5]	11.42	1.63 (14)	3.85	0.95 (10)	3.17
256	4	10.68 (18)	5.07	3.07 (17)	8.14	3.11 [21]	52.81	7.09 (18)	10.20	3.02 (17)	6.13
	8			1.75 (13)	6.82	3.14 [9]	15.42	2.40 (16)	5.54	0.75 (9)	3.89
	16			2.02 (13)	7.09	3.34 [6]	9.19	1.23 (12)	4.64	0.63 (8)	4.04
	32			1.32 (10)	6.39	3.75 [5]	8.45	1.32 (14)	5.07	0.79 (10)	4.54
512	4	10.68 (18)	10.14	3.80 (19)	14.04	4.35 [22]	53.92	7.15 (18)	11.50	3.75 (19)	8.10
	8			1.87 (14)	12.01	4.10 [8]	10.09	1.51 (14)	5.61	0.66 (9)	4.76
	16			1.29 (11)	11.43	4.57 [5]	5.21	0.65 (9)	5.22	0.51 (8)	5.08
	32			1.44 (11)	11.58	6.96 [7]	13.11	1.84 (14)	8.80	0.79 (9)	7.75
1024	4	10.68 (18)	20.28	1.48 (13)	21.76	5.21 [8]	8.68	1.17 (12)	6.38	0.62 (9)	5.82
	8			0.84 (9)	21.12	7.06 [6]	6.18	0.73 (9)	7.79	0.53 (8)	7.59
	16			1.09 (10)	21.37	8.95 [5]	6.06	0.70 (9)	9.65	0.52 (8)	9.47
	32										

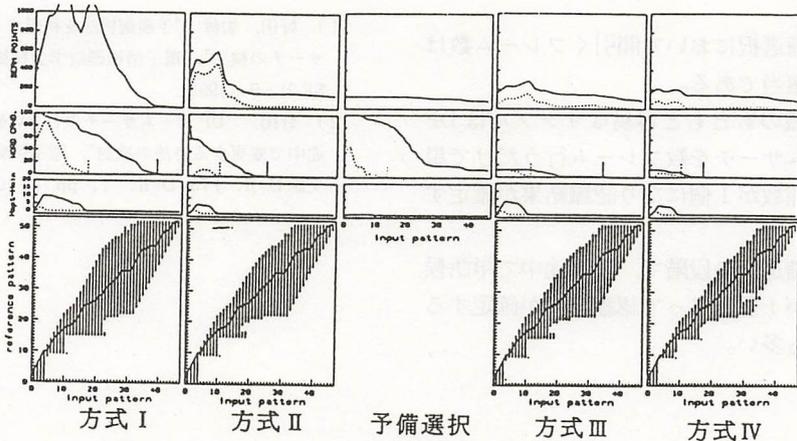


図4 処理例

上 段: DP+VQ (予備選択ではVQのみ) 距離計算量 (実線), DP距離計算量 (点線)。  
 中段上: 残っている単語候補数 (実線) と正解単語の順位 (点線)。  
 中段下: 正解標準パターンに対する最適DPパス上の累積距離と全体の最小値との差。  
 下 段: 正解標準パターンに対するビーム内の格子点の領域。

## 7. むすび

DP ビームサーチに予備選択の手法を有機的に組み込んで計算量低減の効果を高める音声認識方式を検討した。具体的には、当該入力フレームまでの VQ 累積歪に基づく入力フレーム同期の単語予備選択、及び、当該入力フレームまでの DP 累積距離にそのフレーム以降の VQ 累積歪を加えたコスト関数を用いて、常に入力フレーム全体にわたるマッチングの評価値に基づく DP ビームサーチを検討した。単語音声認識実験によって、次のことがわかった。

- (1) VQ 歪に基づく推定コストを利用する DP ビームサーチは、従来の DP ビームサーチに比べて計算量が 1/3 に低減する。さらに、予備選択を併用すると計算量が 1/5 に低減する。
- (2) 単語に共通の符号帳及び単語別の符号帳のサイズはそれぞれ 128,16 が適当である。
- (3) 予備選択において間引くフレーム数は 1 が適当である。
- (4) 認識のもとと容易なサンプルは DP ビームサーチを数フレーム行うだけで単語候補数が 1 個になり認識結果が確定する。
- (5) 予備選択の段階で、入力途中で単語候補数が 1 個になって認識結果が確定することも多い。

## [今後の研究の方向, 課題]

- (1) DTW による音声認識をグラフサーチの問題とみなし、ビームサーチの技法による経路の展開のみならず、best-first サーチによる経路の展開について検討する。
- (2) HMM (Hidden Markov Model) の Viterbi アルゴリズムによる音声認識をグラフサーチの問題とみなし、同様のビームサーチ及び best-first サーチによる経路の展開について検討し、認識アルゴリズムを高度化する。
- (3) 認識対象を連続音声に拡張し、文法等の言語モデルに関する知識を活用して、連続音声の認識アルゴリズム高度化に発展させる。

## [成果の発表, 論文等]

- 1) 好田, 加藤: “予備選択法を利用する DP ビームサーチの検討”, 電子情報通信学会技術研究報告, SP 91-9 (1991).
- 2) 好田: “DP ビームサーチのしきい値関数を入力途中で変更する方法の検討”, 電子情報通信学会論文誌 D-II, J75-D-II, 1, pp. 1-10 (1992).

# 液晶非線形光学効果による疑生体視覚 情報処理複合回路網に関する研究

Simulation of Visual Excitation Using Nonlinear Optics of Liquid Crystals

911009

研究代表者 大阪産業大学工学部 助教授 杉村明彦  
情報システム工学科

## 【研究の目的】

本研究の主目的は、生体系における情報伝搬・処理機能を液晶材料において実現することである。液晶は、情報表示素子や光情報変換素子としての研究・開発が盛んに行われている。しかし、生体機能素子としての光情報伝搬・演算回路網に関する研究は、未だ例が無い。本申請者により初めて観測された光刺激伝搬電流の存在は、液晶媒質内での生体情報処理と類似の機能性の存在を示している。媒質内での光刺激情報の発火・抑制効果と伝搬機構を明確にすることにより、ニューラルネットワークや光コンピュータ素子等の液晶擬生体機能性光情報伝搬・演算処理複合回路網を含めた新たな液晶の生体機能物性・応用の進展を図る。

## 【研究の内容、成果】

第一に、液晶異常過渡光電流（図1に基本特性を示す。液晶素子には一定の外部直流電圧を印加し、光パルス照射により、外部印加電圧と逆極性の異常電流が観測される）の発生原因は、次のように非線形光学効果により明確にした。異常過渡光電流の発生原因としては、焦電効果に基づくイオン性電荷のバルク内移動が最初に考えられるが、通常の液晶中でのイオン電荷の移動速

度（数ミリ秒以上）から、異常電流の発生時間の高速性（数マイクロ秒以下）は説明できない。また、イオン性電荷のバルク内走行時間は、液晶セルへの外部印加直流電圧の大きさに依存するが、異常電流の発生時間は、外部印加電圧に依存しない。以上の実験事実に基づき、異常電流の発生機構は、液晶の非線形効果に基づく光起電圧により説明される。ネマチック液晶は、通常巨視的な反転対称性を有する。このため、液晶は非線形性を示さない。しかし、電圧印加により液晶分子に歪が生じた（フレデリクス転移）場合、巨視的な反転対称性

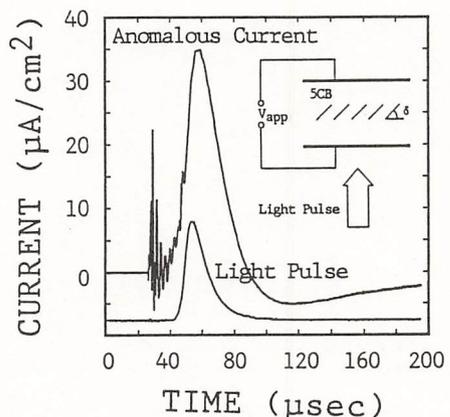


図1 異常過渡光電流の基本特性  
Anomalous photoinduced current transient, with inset schematically showing the measurement system.

が崩れ、非線形性を示す。この結果、液晶層からの第二高調波の発生や光整流効果の発生が考えられる。光整流効果は、液晶層への入射光の差周波数効果としてとらえられる（和周波数効果は、第二高調波の発生）。すなわち、光起電圧効果としての内部電圧の発生につながる。これが、液晶異常過渡光電流の発生機構である。実験的にも理論的にも、非線形光学効果により異常過渡光電流の発生機構を明確にした。異常過渡光電流の発生機構を明確にすることにより、さらに、過渡電流の増幅方法として、色素ドープ液晶の提案も行なった。

第二に、異常過渡光電流を用いた光情報処理回路に関する研究成果を示す。液晶の異常過渡光電流が生体系における刺激伝搬電流と類似の特性を有することは先に報告している。すなわち、異常電流の発生機構を明確にしたことにより、本効果の人工神経回路網への応用について検討した。異常電流の強さは、外部印加直流電圧が閾値以上のとき、外部刺激（照射光強度）の強さに対して比例関係を示す。一方、液晶セルへの外部印加電圧が閾値以下であれば、外部刺激の強弱に拘わらず、異常電流は発生しない。すなわち、ネマチック液晶素子は、神経素子特性（図2）を有する。多数個の液晶素子をマトリックス状に配置することにより人工神経回路網を形成すること

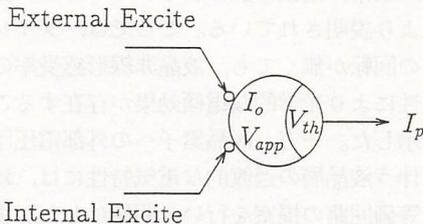


図2 液晶能動機能を用いた基本神経素子  
Elemental neuron in LC-SVE  
(Simulation of visual excitation  
by liquid crystals).

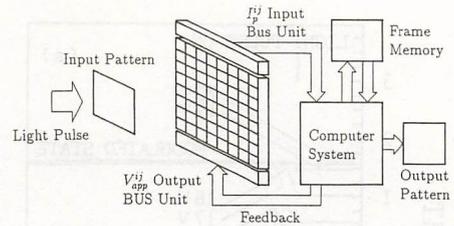


図3 液晶神経素子配列によるパターン認識  
Schematic configuration of pattern  
recognition by LC-SVE.

が可能である。本方式により能動的なパターン認識回路を形成できることを本研究成果の一つとして報告した（図3に能動的なパターン認識回路のモデルを示す）。

第三に、液晶セル界面での電気二重層に関する研究を行なった。光刺激に対するネマチック液晶の能動的特性を用いた光-光変調現象の実験的な報告（光-光変調効果の基本特性を図4に示す）を先に行なっている。この現象は、定常的に液晶素子（ポリイミド配向膜または絶縁性膜が基板上に形成されている必要がある）を透過する光は、他の変調用光パルスの照射により、その強度変調を受ける。増加変調または減少変調かは、液晶セルへの印加電圧により制御できる。この光-光変調効果の理論的な検討において、静特性（液晶セル透過光強度の印加電圧依存性）のみは、明確にすることができた。しかし、動特性（光パルス照射後の透過光強度の過渡変化）については、本研究成果に含まれていない。静特性は、ポリイミド配向膜界面での吸着電荷と、それを補償する空間電荷の競合により説明できることを、二種電荷モデルとして提案した。二種電荷モデルの基本概念を図5に示す。液晶素子基板表面での吸着電荷（第一種電荷）の存在に関しては、既に報告されている。液晶中の不純物イオンに基づく空間電荷が、吸着電荷を電氣的に補償すると仮定し、この補償電荷（第一種電荷）と吸着電

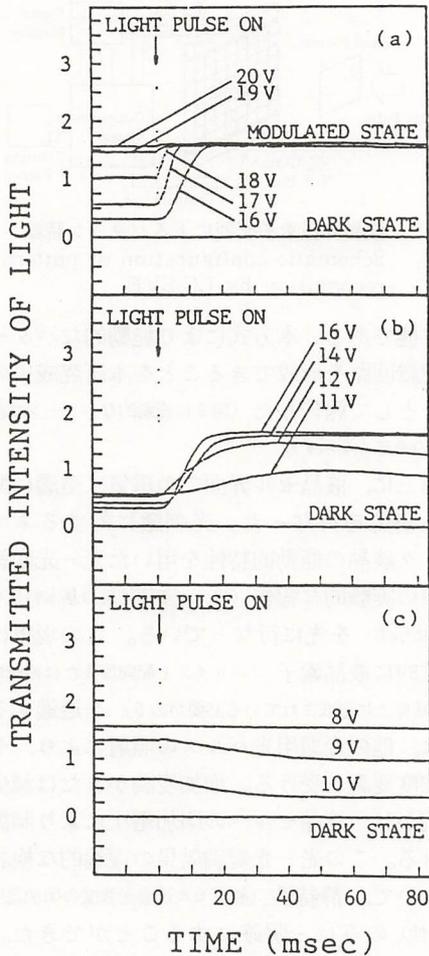


図4 光-光変調効果の基本特性  
Typical modulated waveforms of the transmitted intensity of light through the cell at various applied voltages.

荷の相互作用により、光-光変調効果の静特性を説明することができる。すなわち、吸着電荷は、熱的なエネルギーによってのみ基板表面から解離できる。空間電荷は、素子への外部電圧印加によりバルク内で分極が促進され、吸着電荷に捕獲され補償電荷として振

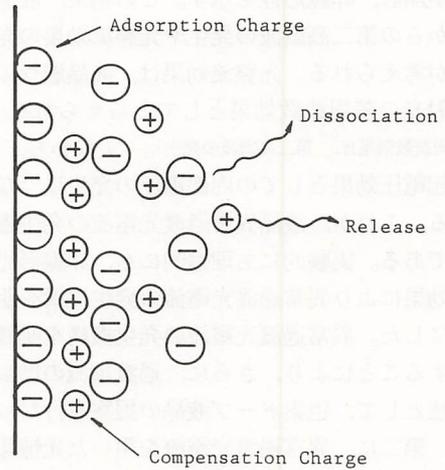


図5 二種電荷モデル  
Schematic representation of two kinds of charge model.

舞う。また、補償電荷は、素子の短絡または解放状態において、一定の離脱周波数に従い、液晶バルク中に離脱する。この二種電荷モデルは、通常のポリイミド配向膜を有する液晶素子の電気的な過渡応答を考える上でも重要であることを示した。

最後に、液晶非線形光学効果の生体情報処理への応用を考えて、従来から報告のある、液晶電傾効果について理論的な検討を加えた。ネマチック液晶において観測される電傾効果は、通常、電圧印加によるダイレクタの回転により説明されている。ここでは、ダイレクタの回転が無くても、液晶非線形感受率の異方性により光学的な電傾効果が存在することを示した。一方、液晶素子への外部電圧印加に伴う液晶層の過渡的な電気特性には、新たな等価回路の提案を行い、明確にした。また、ラビングによる液晶分子配向機構を明らかにするための一つの提案を行なっている。すなわち、ラビングにより基板上に表面摩擦電荷

が誘起される。この電荷が作る電界と液晶分子の双極子能率の相互作用により、分子配向が議論できる。

#### [今後の研究方向, 課題]

本研究課題の液晶非線形光学効果, 特に光整流性を用いた, 擬生体視覚情報処理回路網に関する研究は, 今開始されたばかりである。液晶光整流効果の基本的な機構の解明を踏まえ, さらに能動回路網の具体的な構築に向けた研究を推進して行く。

能動回路網の研究において, 素子内の電荷輸送機構や配向機構が重要な要素となることが予想される。これらの問題解決を目指すとともに, 生体機能性に関してもさらに詳細な研究が必要である。

一方, 液晶電傾効果は, 新たな液晶非線形光学効果の研究において, 今後さらに重要であると考えている。

#### [成果の発表, 論文等]

##### 論文

- 1) "Optical rectification of nematics by non-linear optical Pockel's effect and its enhancement by dyedoping", Journal of Applied Physics, **70**, 2599 (1991).
- 2) "Direct current screening effect on dip occurrence in nematic electrooptical modulation", Journal of Applied Physics, **70**, 5355 (1991).
- 3) "Liquid crystal optical rectification for simulation of visual excitation and potential application to pattern recognition", Artificial Neural Networks, edited by T. Kohonen et al., (Elsevier, Amsterdam, 1991), vol. 2, p. 1525).
- 4) "Anomalous photocurrent transients in nematic liquid crystals: The non-linear optical Pockel's effect induced by the Freedericksz transition", Physical Review A, **45**, 2439 (1992).

- 5) "Chiral order in uniform nematics: a third-rank pseudotensor associated with the linear electroclinic effect" submitted to Physics Letter.
- 6) "Study on dc and ac switching behavior in liquid crystal displays with polymer boundaries using 4-component circuit", submitted to Japanese Journal of Applied Physics.
- 7) "Molecular alignment of liquid crystals induced by surface friction charges and topology", submitted to Journal of Applied Physics.

##### 国際会議発表

- 1) 1991 International Conference on Artificial Neural Networks (ICANN-91), Espoo, Finland, 24-28 June, 1991. "Liquid crystal optical rectification for simulation of visual excitation and potential application to pattern recognition".
- 2) 14th International Liquid Crystal Conference, Pisa, Italy, 21-26 June, 1992. "Dynamic behavior of electric properties in liquid crystal cell with polyimide boundaries".
- 3) 14th International Liquid Crystal Conference, Pisa, Italy, 21-26 June, 1992. "Mechanism of nematic molecular alignment based on friction charges and surface topology by rubbing".
- 4) 14th International Liquid Crystal Conference, Pisa, Italy, 21-26 June, 1992. "Influence of impurity-ion displacement on transient current in nematic liquid crystals".
- 5) 14th International Liquid Crystal Conference, Pisa, Italy, 21-26 June, 1992. "Optical response of nematic liquid crystal cells with polymer layers excited by a short voltage pulse".
- 6) The 18th IUPAP International Conference on Statistical Physics, Berlin, Germany, 2-8 August, 1992, "Chiral order in uniform nematics: a thirdrank pseudotensor associated with the linear electroclinic effect".

# 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

## Construction of Word Associative Processor for Speech Recognition System

GIIOIO

研究代表者

山梨大学工学部

助教授

関 口 芳 廣

### [研究の目的]

人間がかなり曖昧な音声でも即座に聞き分けられるのは、それまでの話の内容から次に出現しそうな単語や文章を連想できるからである。この研究の目的は、人間のもつ連想に関する行動を調査、検討し、その結果から連続音声認識システムで利用できる単語等の連想機構を構築し、連続音声認識の認識率と処理速度の向上を目指すことである。

### [研究の内容、成果]

#### (1) 発声の曖昧さに関する検討

一般に、単語音声の認識に比べ連続音声の認識は格段に困難である。その原因の一つは、単語単位の発声に比べ、連続音声の発声が非常に曖昧になることによると言われている。そこで発声の曖昧さについて音声認識の立場から調査してみた。

6人の成人男性に「3匹のこぶた」の話を発声してもらい、その中から4文節で構成されている資料をそれぞれ12文ずつ取り出した。それらの文をこれまでに開発してある音素識別システムで処理した。文節の位置毎に識別率をまとめた結果を表1に示す。表1で文節位置2とは文の先頭から2番目の文節のことである。

表1から、最初と最後の文節の音素識別率

は比較的高いが、3番目の文節の平均識別率は他のものより低い傾向にあることがわかる。この結果は以下のように解釈できる。

- a. 文頭は主部が多く文末には述部があるので、この部分の発声は比較的丁寧になる。
- b. 前後の文節から発声内容を推測できる中ほどの文節は発声が曖昧になりやすい。

表1 文節位置と音素識別率の関係

アクセント型	話者	文節位置と識別率				平均 [%]
		1	2	3	4	
関西型	Kob	91%	87%	82%	90%	87.5
	Mat	81	81	74	87	80.7
	Nak	76	75	73	85	77.2
関東型	Fur	92	91	76	80	84.7
	Ito	88	88	80	90	86.5
	Sek	86	89	86	91	88.0
平均識別率		86	85	78	87	84.1

以上のことから、前後の関係から推測可能な文節は音響的に発声が曖昧になり音素の識別が困難なことがわかる。これは音声認識率を下げる原因になるが、意味や構文などの言語情報の助けを借りれば正しく認識できる可能性も強い。そこで、音声認識に意味情報や構文情報を利用することが考えられるが、音声は書かれた文章に比べ構文的にも意味的に

も曖昧な場合が多いので、この研究では単語間の連想情報を音声認識に利用する方法について考えている。

(2) 人間の単語連想に関する調査

現在開発している連続音声認識システムの語彙数は1,019である。これらの単語から助詞、助動詞、接続詞、特殊な固有名詞を除いた、892単語について、それぞれの単語から連想される単語の調査を行った。調査対象は大学3年生140名で、男女比はおよそ9:1である。

解答者に記入用の紙を渡し、まず20単語について連想できる単語を記入してもらう。しばらく休んでまた20単語、最後に約10単語（一つの単語を8人に提示したため人によって個数が若干異なる）と一人合計約50単語について調査した。調査の途中で時間を告げ、1単語30秒で解答するようにした。記入された連想単語の総数は約22,000個と多かったが、ある単語から連想される単語の種類はそれほど多くはない。表2に連想単語調査の結果の例を示す。

表2 連想単語調査の例（提示単語：かなづち）

提示単語	連想単語 [連想者人数(総数8)]		
	名詞	形容詞	動詞
かなづち	釘[6]	重い	打つ[2]
	大工[2]	[2]	直す[1]
	とんかち[1]	痛い	泳げない
	鋸[1]	[1]	[2]
	水泳[1]		溺れる
	海[1]		[1]

(3) 連想単語辞書の作成

連想された単語約22,000個の内、開発中の音声認識システムで使用できる単語は約

7,000個であった。これらの単語だけを残した連想単語辞書を作成した。表2の「かなづち」に対する連想単語辞書は表3のようになる。連想の強さを示す連想強度はその単語を連想した人の数で表すことにした。今回の実験では最高8である。

表3 連想単語辞書の例（単語：かなづち）

単語	連想単語 [連想強度]		
	名詞	形容詞	動詞
かなづち	釘[6] 鋸[1] 海[1]	重い[2] 痛い[1]	打つ[2] 泳げない[2]

(4) 連想単語類似度

ある単語Aから連想される単語群とその連想された単語からさらに連想される単語群を考える。別の単語Bについても同様にBから連想される単語群、さらにそれらから連想される単語群を考える。

これらの単語群を比較し、同じ単語が含まれている割合から単語Aと単語Bの連想単語類似度を求める。連想単語類似度は連想行動における単語間の近さを表していると考えられる。表4に連想単語類似度の例を示す。

表4 連想単語類似度の例

単語の組	連想単語類似度
(鬼) - (兄さん)	0.331
(鬼) - (桃太郎)	0.753
(学校) - (勉強)	0.388
(学校) - (金槌)	0.106
(釘) - (打つ)	0.639
(釘) - (降る)	0.047

類似度が 1.0 の場合、連想単語が全く一致していることを示し、0.0 の場合、連想単語のかさなりが全くないことを示している。表 4 から、例えば、(釘) と (打つ) の関係の方が (釘) と (降る) の関係より強いことが解る。他の単語間についても同様な傾向にあり、この尺度は人間の感覚に良く一致しているように思われる。

(5) 連想情報を使った後続単語予測

音声認識では後続単語の予測が重要である。構文情報、意味情報等を利用した後続単語の予測の他に、連想情報を利用した後続単語の予測を試みた。

具体的には、既に認識済みの単語と連想単語類似度が近い(類似度が大きい)単語を予測するようにしている。構文や意味の情報による単語予測がある程度論理的なものであるのに対し、連想による予測は感覚的な情報を利用していることになろう。そのため、類似度いくつ以上の単語を予測単語にするかの適当な値を見つけることはさらに深い考察を必要とする。ここでは例として、表 5 に単語「のこぎり」と連想情報が類似の単語の個数を示す。なお、以下の実験では、連想単語類似度 0.4 以上の単語を後続単語として予測している。

表 5 連想単語類似度の値と単語数(単語: 鋸)

連想単語類似度	類似単語の数/全単語数			
	名詞	動詞	形容詞	他
0.4~	23/535	7/70	8/244	3
0.3~	42/535	7/70	14/244	4
0.2~	99/535	15/70	54/244	11
0.1~	264/535	37/70	111/244	24

(6) 単語識別における連想情報の利用

連続音声の中の単語識別は、音響的な得点

AC と連想情報から得られる得点 AS を利用した下の式の SP の大小で行われる。 $\alpha$  は連想情報を加味する割合である。

$$SP = AC + \alpha AS$$

具体的には、AC は音素列の照合の度合いであり、AS は以下のようなものである。

$$AS = Af + Ab + Apf + Apb$$

ここで、

Af: 既に認識されている単語から候補単語が直接連想される場合の連想強度、既出の複数の単語から候補単語が連想される場合はその連想強度の和。(但し、 $Af > 8$  の場合  $Af = 8$ )。

Ab: 候補単語から既に認識されている単語が連想される場合の連想強度。

Apf: 既に認識された単語から出現しそうな述語を予測する(これを述語候補と呼ぶ)。候補単語から述語候補を連想できる場合の連想強度。  
 Apb: 述語候補の中に候補単語を連想できるものがあれば、その連想強度。複数の述語候補から候補単語が連想できる場合はその和。(但し、 $Apb > 8$  の場合  $Apb = 8$ )。

AC の値は 0 から 1 の範囲であり、AS の範囲は 0 から 32 の範囲である。例えば、 $\alpha = 0.01$  とすると、 $\alpha AS$  は 0 から 0.32 の範囲になり、連想による得点を、音響的な得点の 3 分の 1 くらい考慮していることになる。

(7) 連続音声認識実験と結果

成人男性 6 人が発声した表 6 の様な連続音声データについて認識実験をおこなった。各話者の平均音素識別率及び全体(72 文)の平均音素識別率は表 1 に示してある。

全体の 72 文に対して表 7 の様な認識結果が得られている。表 7 から、連想情報を単語識別、後続単語の予測の両方に利用することによりシステムの認識能力が向上したことがわかる。また、 $\alpha$  の値は 0.01 程度が適当で

表6 発声文章の内容

文	発声内容
01	三匹の子豚が家を作っています。
02	チムは板切れを鋸で切りました。
03	そして、金槌で釘を打ちました。
04	チムは木の家を建てました。
05	トムは煉瓦を一生懸命積みました。
06	三匹の子豚の家ができました。
07	藁の家はバラバラになりました。
08	タムはチムの家へ逃げました。
09	狼はトムの家も壊そうとしました。
10	そこで狼は屋根にのぼりました。
11	狼はそこへまっ逆さまに落ちてしまいました。
12	それから三匹で仲良く暮らしました。

表7 連続音声認識結果

条件	$\alpha$ の値	文認識率
連想情報未使用		34.7%
連想情報を単語の識別のみに使用	0.005	55.6
	0.010	61.1
	0.020	60.0
連想情報を単語識別・後続単語予測に使用	0.005	69.5
	0.010	70.8*
	0.020	44.5

\* : 認識率最高

表8 照合回数, 処理時間の比較

連想情報	文認識率	照合回数 [ /文 ]	処理時間 [ /文 ]
未使用	34.7%	42,560回	775秒
使用	70.8	10,481	411

あることも解った。

認識率が最高になった表7の\*印の場合について、処理時間と照合の回数を連想情報を使用しない時と比較して表8に示す。なお、処理には約10 MIPSの計算機を使用している。

発声された72文を音素の識別率により表9のような6ランクに分類した。各ランク毎の文認識率を表10に示す。

表9 音素の識別率によるランク付け

ランク	識別率	ランク	識別率
A	90%-	D	75%-80%
B	85%-90%	E	70%-75%
C	80%-85%	F	-70%

表10 音素識別率と文認識率の関係  
[ 正解文数 / 全文数 (文認識率) ]

連想情報	未使用	使用
ラ ン ク	A	14/17(82.4%) 17/17(100.0%)
	B	7/18(38.9%) 14/18( 77.8%)
	C	4/23(17.4%) 18/23( 78.3%)
	D	0/9 ( 0.0%) 1/9 ( 11.1%)
	E	0/4 ( 0.0%) 1/4 ( 25.0%)
	F	0/1 ( 0.0%) 0/1 ( 0.0%)

[今後の研究の方向, 課題]

連想情報の導入により、連続音声認識システムの性能の向上を果たせたが、さらに

- (1) 連想単語辞書を充実させ安定的なものにする。
- (2) 現在2単語間の連想のみしか考えていないが、複数単語間の連想も考える必要がある。

など、残された問題の解決に努力したい。

[成果の発表, 論文等]

- 1) 山口・関口・重永: 大語彙連続音声認識システムにおける連想単語情報の利用, 日本音響学会講演論文集, 3-5-9 (1991. 3)
- 2) 増田・関口・重永: 連続音声認識システムにおける音素出力傾向の利用. 日本音響学会講演論文集, 3-5-16 (1991. 3)
- 3) 川崎・関口・重永: 単語の出現率を考慮した連続音声の認識. 日本音響学会講演論文集, 3-5-18 (1991. 3)
- 4) Shigenaga M., Sekiguchi Y., Yamaguchi T. and Masuda R.: A large vocabulary continuous speech recognition system with high predictability, IEICE Trans. Vol. E 74, No. 7, pp. 1817-1825, (1991. 7)

- 5) 松本・神部・関口・重永: 単語予測機能を備えた不特定話者連続音声認識システム. 日本音響学会講演論文集, 1-5-18 (1991. 10)
- 6) 菊川・関口・重永: 連続音声認識のための韻律情報と文構造の関係調査. 日本音響学会講演論文集, 2-P-25 (1991. 10)
- 7) 石橋・関口・重永: 語句間の関係を考慮した大語彙連続音声入力システム. 電子情報通信学会技報, SP 91-92 (1991. 12)
- 8) 関口: 連続音声認識における言語情報の利用. IPAL シンポジウム論文集, pp. 25-28 (1992. 1)
- 9) 神部・松本・関口・重永: 単語予測機能を備えた不特定話者連続音声認識システム. 日本音響学会講演論文集, 3-1-4 (1992. 3)

# 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

## Development of Construction Technology for Communication Networks in Manufacturing Systems

911012

研究者代表	大阪大学工学部 (現) 関西大学工学部	教授 教授	手塚 慶一
共同研究者	大阪大学工学部 大阪大学工学部 詫間電波高専 (現) 信州大学経済学部	助教授 助手 助教授 助教授	岡田 博美 山本 幹 六浦 光一

### [研究の目的]

生産システムにおいて、CIM (Computer Integrated Manufacturing) ならびに FMS (Flexible Manufacturing System) と呼ばれる高度情報化生産技術の進展が大いに注目されている。そこでは制御やデータ処理のためのホストコンピュータと生産設備・機器の間を結ぶ高速、高機能かつ信頼性の高い通信ネットワークが必須となる。本研究は、この次世代生産システムに適した新しい通信ネットワーク技術の開発を目的とする。

### [研究の内容、成果]

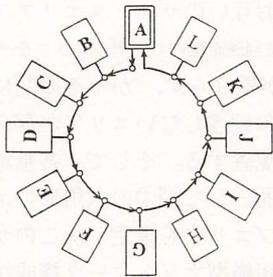
本研究は、光ファイバ通信技術とパケット無線技術をもとに次世代工場域環境に合致した高速かつ高信頼通信ネットワーク技術の開発を試みたものである。工場域内に光ファイバによるリングネットワークを敷設し、要所にリングノードを設けてリング/パケット無線ゲートウェイ機能を持った無線基地局とする。さらに数メートル～十数メートル程度の

通信範囲を有するマイクロセルラ型パケット無線方式により無線基地局-生産設備機器間を結び、工場域の過酷な通信環境を克服する通信ネットワークの構築を可能とする。本研究はこのような通信ネットワークを実現し、その有効性、効率性、機能性を高めるため、以下のような具体的な課題に対して研究を遂行した。①バックボーンネットワークとしての光リングネットワークの効率的な通信方式の開発。②マイクロセルラ型パケット無線を有効に実現する通信制御方式として時変出力制御方式の開発。③工場域内を自由に移動する機器や装置と、常に通信リンクを接続するための動的パケット無線ネットワーク構築方式の開発。以下、個々の研究課題に対して得られた成果について概説する。

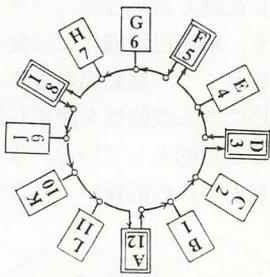
#### ① 光ファイバリングネットワーク

光ファイバリングネットワークにおける通信方式として、現在のコンテンツンリング方式に対しパケット衝突の出現形態の特殊性に着目した簡明なパケット衝突解決アルゴリズム (ReC-ring 方式) を提案した [1] [2] [3]。

ReC-ring においては、各局が伝送路上のフレーム伝送状況を観測し、その状況に応じて自局のフレーム伝送を制御するCモード（競合型制御モード）と、伝送路上のフレームの末尾を論理的トークンとしてトークンパッシング型の伝送制御が行われるTモード（トークン型制御モード）の2つの伝送モードから成る。図1に示すように、Cモードにおいて複数の伝送局の送出するフレームがリング上で衝突



(a) 伝送成功



(b) フレーム衝突

図1 Cモードにおけるフレーム伝送

表1 フレーム衝突解決例

Node	TNI	Relation	RNI
A	12	>	8
D	3	<	12
F	5	>	3
I	8	>	5

← Cardinal Node

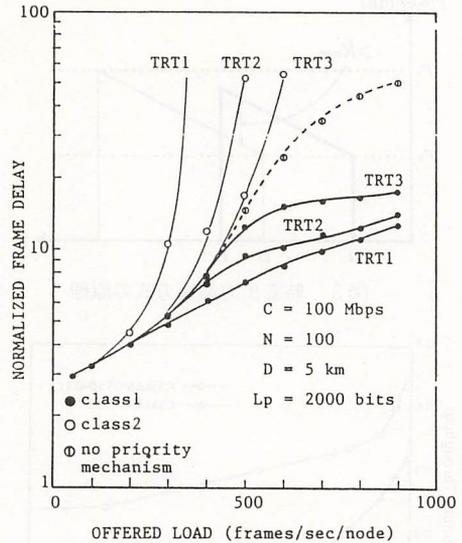


図2 負荷対遅延特性

する際には、リング形状における特殊性から表1に示すようにD局がTモード移行への制御を司る伝送局として選ばれる。ReC-ringにより、伝送局のフレーム伝送状況に応じて動的にかつ分散制御で、伝送制御モードの切り替えが実現され、リングネットワークのスループットの向上が実現される。

また、マルチメディア環境に対する適応性を向上させるために、効率的優先メカニズムを提案し、図2に示すようにパラメータTRTの設定により柔軟なネットワーク資源の配分が可能であることを明らかにした。

② 時変出力制御方式

生産システム内において散在する生産設備機器とバックボーンネットワークへのアクセス点との間の通信をサポートし、システム構成の柔軟性を大きく向上させるマイクロセルラ型パケット無線方式に適した、時変出力制御方式を開発した [4]。時変出力制御方式は、

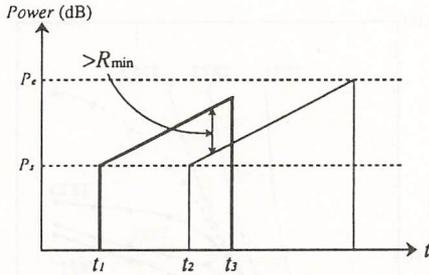


図3 時変出力制御方式の原理

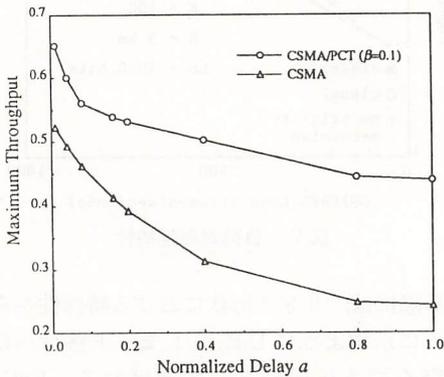


図4 正規化遅延  $\alpha$  に対する最大スループット

図3に示したように、パケット送出信号電力をパケット送出時間の経過に伴い増大させて、送出開始時点の異なるパケット間に一定の受信電力の差を生じさせ、捕そく効果を積極的に誘発することにより一方のパケットの受信を成功に導くものである。

本方式を、CSMA方式に適用したCSMA/PCT方式を提案し、その有効性を性能評価により明らかにした[5][6][7]。性能評価の一例として、図4に隠れ端末が存在する場合でのCSMA方式並びにCSMA/PCT方式の最大スループット特性を示す。従来のCSMA方式は隠れ端末が存在する場合にその特性が大きく劣化することが知られているが、本方式を用いることによりこの部分の特性劣化が大幅に改善されていることがわかる。

### ③ 無線リンク接続アルゴリズム

半径数十メートル程度の小さなエリアをもつパケット無線方式において、通信局間のリンク接続アルゴリズムを導入することにより、動的なネットワーク接続を可能とする、新しい動的なパケット無線ネットワーク構成法として、部分自己組織化方式を提案した[8][9][10][11][12][13][14]。

部分自己組織化方式とは、図5に示すように基地局をお互いのサービスエリア（本稿では各局からの電波到達距離内の円形のエリアをサービスエリアと呼ぶ）が重ならず、かつその間に基地局からの電波の到達しないエリアが存在するように、疎に配置する。そして、各基地局が制御すべき範囲として図中の六角形のエリアに相当するサブエリアを設定し、このサブエリア内で自己組織型ネットワーク構成法を適用する。本方式は、自己組織化方式を適用する範囲を、疎に配置した基地局の存在で限定することにより、網自己組織化に必要な時間を大きく低減させつつ、移動局のさまざまな位置関係に対応できる柔軟性を簡単な制御で実現させることを目的としている。本方式により、工場域などの比較的狭いエリア内を通信

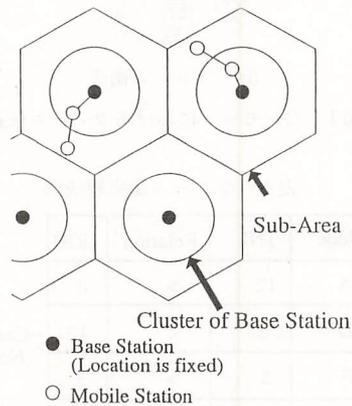


図5 部分自己組織化方式

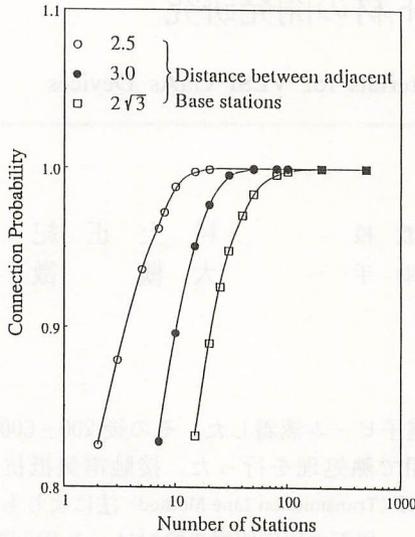


図6 接続確率特性

端末が自由に移動する環境において、少ない基地局により効率のよいリンク確立が可能となる。

本ネットワーク構成手法の性能を、シミュレーションを用いて解析した。図6にサブエリア内局数に対する接続確率特性を示す。ある程度の数の局がサブエリア内に存在する場合には、ほぼ1に近い接続確率が得られており、適切なネットワーク設計により本ネットワーク構成手法は高い性能を示す。

【今後の研究の方向、課題】

本研究においては、次世代生産システムに適した通信ネットワーク構成として、光ファイバリングネットワークとパケット無線ネットワークを統合したネットワークシステムを対象とし、各ネットワーク個々の高度化を目指して研究を遂行した。今後、さらに各ネットワークの生産環境での高機能化を目指した技術開発、並びに両ネットワークの相互接続

技術などのネットワーク統合化に対する研究の遂行が必要不可欠である。

【成果の発表、論文等】

- 1) S. Saekol, H. Okada, S. Maekawa, Y. Tezuka: "Priority Mechanism of Resolvable-Contention-Ring on High Speed Multi-Media Communication," Proc. of IFIP TC 6 International Conference on Local Area Network (INDOLAN'90), pp. 99-111 (Jan. 1990)
- 2) スウィボン, 岡田, 前川, 手塚: "優先機能を考慮した解決型コンテンツンリング方式," 電子情報通信学会論文誌, Vol. J 74-B-I, No. 6, pp. 435-444 (June 1991).
- 3) 石田, 山本, 岡田, 手塚, 六浦: "移動体パケット無線網における時変出力制御方式の適用," 第4回回路とシステム軽井沢ワークショップ資料, pp. 117-122 (April 1992).
- 4) 石田, 六浦, 山本, 岡田, 手塚: "パケット無線ネットワークにおける時変出力制御付きCSMA方式," 電子情報通信学会技術研究報告 IN 90-100 (March 1991).
- 5) 石田, 六浦, 山本, 岡田, 手塚: "時変出力制御付きCSMA方式の性能評価," 電子情報通信学会春季全国大会 B-607 (April 1991).
- 6) 石田, 六浦, 山本, 岡田, 手塚: "隠れ端末を考慮したCSMAパケット無線網における時変出力制御の基本特性," 電子情報通信学会論文誌, Vol. J 74-B-I, No. 9, pp. 707-710 (Sept. 1992)
- 7) 石田, 山本, 岡田, 手塚: "部分自己組織形パケット無線ネットワークの構成法," 電子情報通信学会技術研究報告, IN 90-78 (Jan. 1991).
- 8) 柳, 石田, 山本, 岡田, 手塚, 六浦: "部分自己組織形パケット無線網の網組織アルゴリズムの評価," 電子情報通信学会春季全国大会, B-606 (March 1991).
- 9) M. Yamamoto, A. Ishida, H. Okada, Y. TEZUKA: "Cluster Control on Self-Organized Packet Radio Networks" Technology Reports of The OSAKA University, Vol. 41, No. 2035, pp. 45-52 (April 1991).
- 10) A. Ishida, M. Yamamoto, H. Okada, Y. Tezuka: "Layered Self-organizing Method in Packet Radio Networks", Singapore International Conference on Networks '91, Singapore (Sept., 1991).
- 11) 石田, 柳, 山本, 岡田, 手塚, 六浦: "パケット無線網における部分自己組織形網構成法," 電子情報通信学会秋季全国大会, SA-1-7 (Sept. 1991).
- 12) 山本, 柳, 石田, 岡田, 手塚: "自律分散型パケット無線通信網における網自己組織化方式," 第3回自律分散システムシンポジウム (Jan. 1992).
- 13) 筒井, 柳, 石田, 山本, 岡田, 手塚: "自己組織型パケット無線網の動的網構成," 電子情報通信学会春季全国大会, B-663 (March 1992).

## 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

Development of New Ohmic Contact Materials for VLSI GaAs Devices

911014

研究代表者	京都大学工学部	教授	村上正紀
共同研究者	京都大学工学部	助手	大槻 徹

### [研究の目的]

GaAs 化合物半導体デバイスは通信用関連のデバイスとして過去 10 年来注目を浴びてきている。現在は AuGeNi 材が幅広く工業的 GaAs-IC デバイスのオーミック・コンタクト材として用いられている。このコンタクト材は低い接触抵抗率を有する熱安定性および表面形状が悪く、VLSI デバイスには用いることが出来ないという欠点がある。これはこのコンタクト材に Au が含まれている事に起因すると考えられてきている。今回の研究では Au を含まないコンタクト材を開発すると共に、「Au のみがコンタクト材劣化の原因か？」という問題に答えることに主力を置いた。そのため電極材と GaAs の界面反応に伴う電気的性質の変化を材料組織学的に明らかにする事を目的としている。

### [研究の内容、成果]

Au を含まないコンタクト材として Ni/Ge ならびに Ni/Si 系を取り上げた。Ge と Si は GaAs への n 型ドーピング元素として選ばれている。 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  濃度の Si がイオン注入された (001) GaAs 基板上にこれら

を電子ビーム蒸着した。その後 200-600°C の間で熱処理を行った。接触電気抵抗は TLM (Transmission Line Method) 法によりもとめた。界面の反応組織の検討は、X 線回折、断面透過電子顕微鏡観察、RBS (Rutherford Backscattering Spectroscopy) 法を用いて行った。

① これまで NiGe/n-GaAs 系において、オーム性が再現良く得られる Ni/Ge の組成比や、熱処理条件は求められていなかった。オーム性は組成 29-38 atom. %Ge および熱処理条件 500-650°C, 5 s-5 min の非常に狭い範囲でのみ発現することが明らかになった。NiSi/n-GaAs 系においても同様の狭い条件でのみオーム性が得られた。これらは世界で初めての結果である。

② 上記の条件で作製されたコンタクト材の熱安定性は Ni/Ge あるいは Ni/Si コンタクト材の組成に顕著に影響されることが明らかとなった。Fig. 1 は一例として Ni/Ge 系の 400°C における接触抵抗の時間による変化を示している。SAMPLE-5 (29 atom. % Ge) の値が 1 時間の熱処理により早くも上昇し始めるのに対し、SAMPLE-3 (38 atom. %Ge) ではほぼ 10 時間まで安定である。

③ 熱安定性は界面構造に依存し、組織的

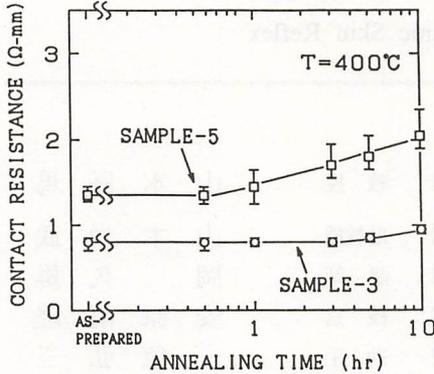


Fig. 1 Change of contact resistances during isothermal annealing at 400°C for NiGe contacts prepared at 600°C.

に安定な高融点の NiGe あるいは NiSi 化合物が界面に一様に形成されたときのみ、得られることが明らかとなった。これは GaAs 界面に形成された高濃度のドーピング層が、この層と反応しない安定な層によって保護されていることを意味している。Fig. 1 の例で述べると接触抵抗に殆ど変化のない SAMPLE-3 では、5 と違って高融点の NiGe 相が見られ、加えて組織的な変化も見られない。一方 5 では組織的に安定でなく接触抵抗の変化に合わせて 3 時間後に NiAs 相の出現が見られる。

④ 以上述べた様に Au を AuGeNi 材より取り除くことは熱安定性向上の必要条件であるが、十分条件でないことが明白となった。

#### [今後の研究の方向, 課題]

今回開発された NiGe ならびに NiSi 系コンタクト材は熱安定性に優れ、その他、滑らかな表面形状や GaAs との浅い拡散など多くの長所を持っているが、接触電気抵抗の値はまだ十分とは言えない。今後はこの改善をめざして GaAs へのより高いドーピング化と GaAs と、コンタクト材間の障壁高の低減の 2 つの面から検討を加える必要がある。

#### [成果の発表, 論文等]

- 1) K. Tanahashi, H.J. Takata, A. Otsuki, and Masanori Murakami, J. Appl. Phys., (in Press).
- 2) H.J. Takata, K. Tanahashi, A. Otsuki, and Masanori Murakami, J. Appl. Phys., (in Press).

# 皮膚電気反射を用いた覚醒と睡眠の計測制御

## Control and Estimation of Human Emotion and Drowsiness Using Galvanic Skin Reflex

911016

研究代表者	岡山大学工学部	教授	山本辰馬
共同研究者	岡山大学工学部	助教授	山本尚武
	岡山大学工学部	講師	岡久雄
	岡山大学工学部	技官	安原清隆
	舞鶴工業高等専門学校	助手	一色弘三

### 〔研究の目的〕

今日の急速な技術革新とそれに伴う生活様式の急変などのため国民の多くが過労と精神的な過剰ストレス状態にある。しかしながら、これらの問題に対する対策は立ち遅れている。ストレス、疲労、情動などの精神活動を反映する数少ない生体電気信号に皮膚電気反射 (Galvanic Skin Reflex: GSR) がある。この GSR を用いた人の覚醒および睡眠の制御方法の開発を目指す。これにより過酷な作業条件下での居眠り防止や快適な睡眠への導入を計ることが期待できる<sup>1)</sup>。

### 〔研究の内容、成果〕

#### (1) GSR の発現に関する基礎的研究

まず、GSR の発現について検討した。GSR は快適な温度域において手掌、足裏に出現するが、温度が高いとき、または低いときにどうなるかについては不明であった。また、一般体表部での様子もあまり知られていなかった。GSR の利用を考える場合、手掌以外の部位において検出できれば応用の範囲を拡大することが可能となる。そこで種々の

温度と部位における GSR の出現の様子を調べた。その結果を図 1 に示す<sup>2)</sup>。手掌においては温度によって GSR の振幅および出現回数に変化が現れるが、通常的生活温度域では GSR の測定は常に可能である。また、大体 25°C 以上においては手首、前腕などにおいても GSR を検出することが可能であることがわかった。したがって、作業内容によって手掌に電極を装着することが難しい場合には前腕に装着すればよい。また、人体に直接電極を着けることなく、ハンドルなどに着けた箔電極によっても GSR の検出が可能である。

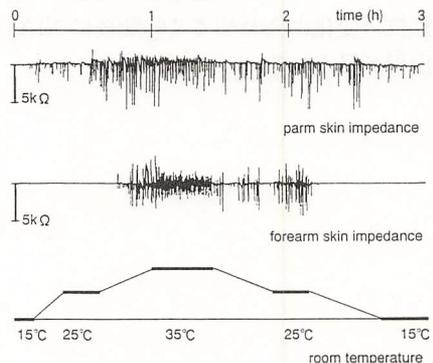


図 1 手掌および前腕における GSR  
Fig. 1 GSR in palm and forearm.

(2) 入眠抑制制御に関する研究

人の覚醒から入眠にかけてのGSR波形の一例を図2に示している。ここに明らかなように覚醒の前半部と入眠の後半部では顕著な差が見られる。運転手、パイロット、管制員、守衛など居眠りを回避しなければならない場合、GSRを用いて覚醒水準の低下を検出し、適当な合図なり警告を与えて、事故を未然に防いだり、当事者にかかる不要なストレスを軽減させるような装置とその適応場所を考えて2種類設計製作した。ひとつは非常に簡単なもので、覚醒水準の低下を検出する度に一定のブザー音を発する。図3にその装置のブロック図、図4にその動作のフローチャートを示している。また、図5に実施例を示しているが、これより警告によって居眠りが抑制されていることがわかる。このように装置はコンパクトに実現することが可能である<sup>3)4)</sup>。

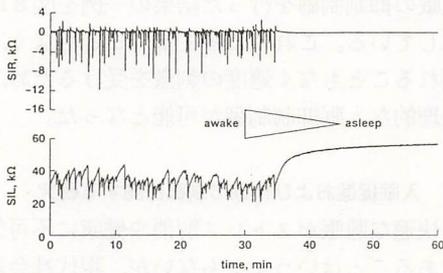


図2 覚醒から入眠にいたるGSR  
Fig. 2 GSR from awake state to sleep.

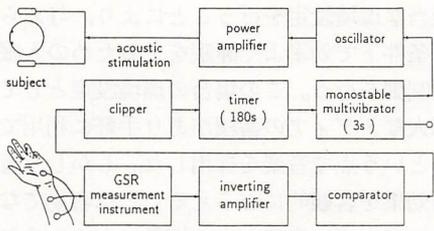


図3 居眠り防止装置のブロック図  
Fig. 3 Block diagram of control device.

いま一つはファジィ制御を取り入れた制御システムである。覚醒水準低下の特徴は、皮膚インピーダンスレベルの上昇とGSR発現間隔の増大に現れることが明らかになったの

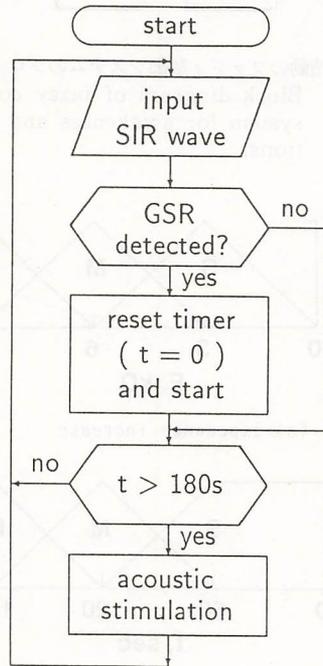


図4 制御方式のフローチャート  
Fig. 4 Flowchart of control process.

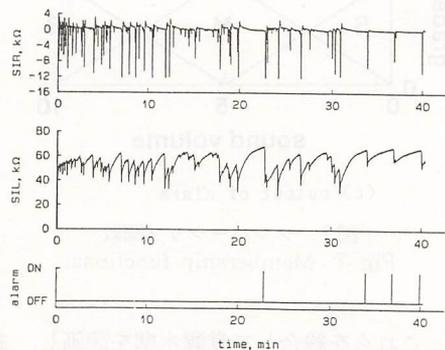


図5 居眠りの制御結果  
Fig. 5 Results of controlling drowsiness.

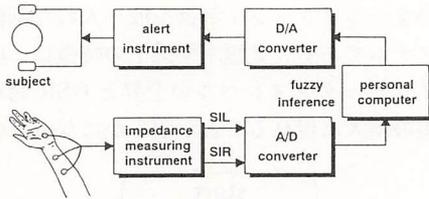
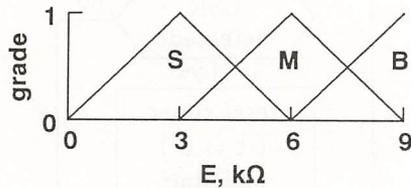
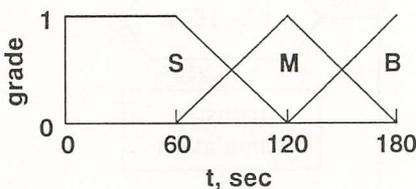


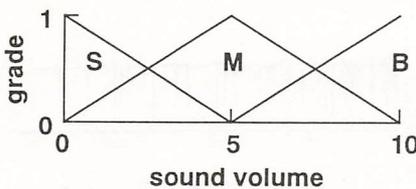
図6 情動のファジィ制御システムのブロック図  
Fig. 6 Block diagram of fuzzy control system for awakeness and emotions.



(a) impedance increase



(b) interval



(c) output of alarm

図7 メンバシップ関数  
Fig. 7 Membership functions.

で、これらを総合して覚醒水準を評価し、まず小さな警告音を発する。これに対する反応をみて次の警告音の大きさと長さを設定する。

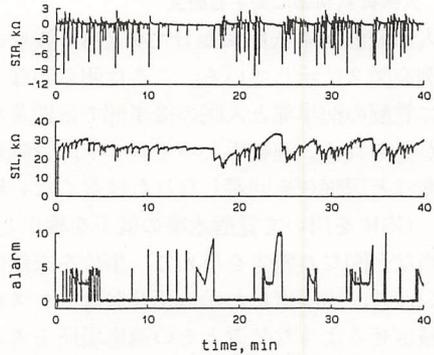


図8 入眠抑制のためのファジィ制御  
Fig. 8 Results of fuzzy control of awakeness.

すなわち、本人のそのときどきの状況に合わせた基準によって警告のための変化をもたせたブザー音を発する<sup>5)</sup>。

図6にシステムの構成図、図7にメンバーシップ関数を示している。またこれを用いて入眠の抑制制御を行った結果の一例を図8に示している。これによって驚くこともなく、馴れることもなく適度の刺激を受けるため、合理的な入眠抑制制御が可能となった。

### (3) 入眠促進および情動の制御に関する研究

快適な睡眠がストレス解消や健康に不可欠であることはいうまでもないが、現代社会において不眠を訴える人は多い。このような状況において入眠を自然に任せるだけでなく、適当な環境設定を行うことにより、与えられた条件下で効率よく睡眠をとるための入眠促進制御を行う。この場合の環境設定として、膨大なメディアの蓄積があり手軽に利用できるという点で音楽を採用した。しかし、音楽の効果を客観的にとらえることは容易でない。そこでまず、音楽が人の情動にどのような影響を与えるかについてGSRを用いて検討した<sup>6)</sup>。その結果、曲目の種類にもよるが音楽

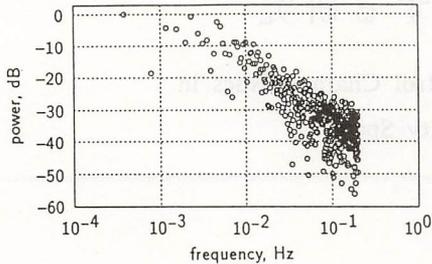


図9 GSRのゆらぎがホワイトノイズとなる場合

Fig. 9 Power spectrum of fluctuation in GRS, which are white distribution.

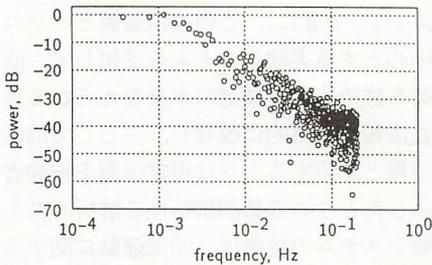


図10 GSRのゆらぎがホワイトノイズとならない場合

Fig. 10 Power spectrum of fluctuation in GRS, which are not white distribution.

は一時的に GSR 発現の増加をもたらすが継続的な鑑賞は GSR 低下を招くことがわかった。また GSR 発現間隔のゆらぎのスペクトルにも音楽の有無、曲目の好嫌による差異が認められた。GSR の発現間隔のゆらぎが、その主要周波数帯域において、ホワイトノイズとなる場合の例を図9に、そのようにならない場合の例を図10に示している。

これらの特徴をさらに詳しく分析すれば情動の様子が明らかとなり、それと環境設定制御の兼ね合いを工夫することにより、精神安定、入眠促進制御が可能となるであろう。音楽鑑賞の作用については本人の音楽に対する

感性とか、周囲の状況などにより大きく異なってくるものであるから、一律に適用したのでは効果が期待できない。各自がこのような点を理解した上で、それぞれの目的に対して適切なメディアを保有しておき使用すればよいであろう。

#### [今後の研究の方向, 課題]

以上のごとく本研究は人間の生活の基盤である覚醒および睡眠に工学技術の成果を取り入れ、それを可観測、可制御なものとして、技術革新時代における人間と機械（または社会）との調和を促進させようとするものであるが、一応初期の目標を達成することができた。入眠促進および情動の制御に関しては実的なものとなるまでに基礎的ないし関連のデータの収集と解析が必要である。

#### [成果の発表, 論文等]

- 1) 山本: 覚醒水準および情動の計測と制御, 第14回日本エム・イー学会中国四国支部大会講演抄録集, No. 13, p. 22 (平成3年11月)
- 2) 山本, 一色: 一般体表部における皮膚電気反射現象とその発汗検出への応用, 第31回日本エム・イー学会大会予稿集, J-8, p. 608 (平成4年5月)
- 3) 山本, 一色, 岡, 安原, 山本: 皮膚電気反射を利用した覚醒水準の計測制御, 電気学会全国大会講演予稿集, No. 441, p. 4-10 (平成4年3月)
- 4) Yamamoto, Isshiki: Control instrument for drowsiness using galvanic skin reflex, Medical and Biological Engineering and Computing, Vol. 30, No. 4 (平成4年7月掲載決定).
- 5) Yamamoto, Isshiki: Fuzzy control system for drowsiness using palm skin impedance (投稿予定)
- 6) Yamamoto, Isshiki: CONTROL OF HUMAN EMOTION BASED ON GALVANIC SKIN REFLEX PHENOMENON, 1991 Intern. Conference on Noise in Physical Systems and 1/f Fluctuations, pp. 723-726 (平成3年11月)

# 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

## Study on Human Motor Control Characteristics in the Virtual Reality Space

911017

研究代表者 豊橋技術科学大学知識情報工学系 助教授 吉澤 誠  
協同研究者 東北大学工学部電気工学科 教授 竹田 宏

### [研究の目的]

計算機によって人工的に作られる仮想的空間、すなわち計算機仮想空間は、原子炉・深海・宇宙などにおける移動ロボットの遠隔操作を行うための新しいマン・マシン・インタフェースとして注目されている。本研究は、計算機仮想空間における人間の運動制御特性、特に姿勢制御特性を解析することによって、計算機仮想空間のマン・マシン・インタフェースとしての最適化を図ることを目的とした。

### [研究の内容、成果]

計算機仮想空間のマン・マシン・インタフェースとしての最適化を図るためには、計算機仮想空間における人間の運動制御能力とその限界、空間知覚特性あるいは心理的影響などを解析する必要がある。本研究では、周囲空間の空間知覚特性に大きく依存する人間の姿勢制御特性に着目し、直立した被験者に呈示する視覚情報を、計算機仮想空間に基づいて人為的に改変し、このときの姿勢制御系の応答を解析した。

まず、頭部運動に依存する立体映像を被験者の両眼に呈示するための3次元バイザー・

ディスプレイと呼ぶ表示装置を開発した(Fig. 1)。つぎに、この表示装置とパソコンを中心とする実験システムを使用して、直立姿勢を維持する被験者に本来与えられるべき視覚情報を人為的に改変し、主として前庭感覚情報と矛盾するような視覚情報を被験者に呈示したときの姿勢制御特性を解析した。本実験システムの特徴は、頭部運動に関する視覚情報を、並進成分と回転成分に分離して改

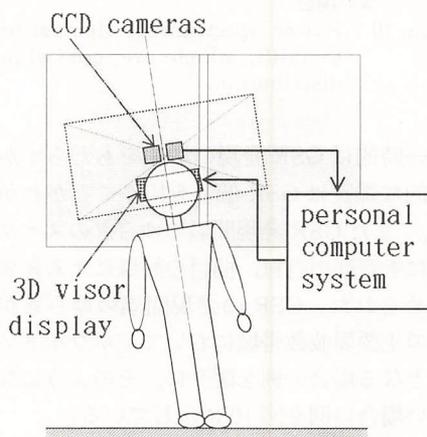


図1 3次元バイザーディスプレイを用いた実験システム

Fig. 1 Experimental configuration using the three dimensional visor display.

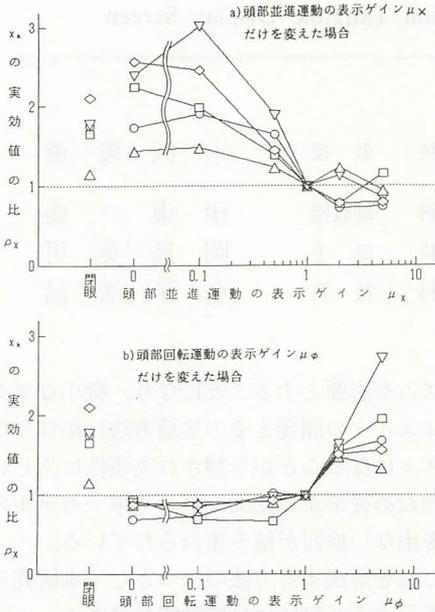


図2 表示ゲインの段階的変更実験の結果  
Fig.2 Results of the experiment in which the display gains were discretely changed.

変することができる点である。このため、3次元空間における多変数制御系としての姿勢制御系における視覚系と前庭系との間の協調特性を、より詳細に調べられる可能性がある。

以上のシステムを用いて2つの実験を行った。第1の実験では、被験者が静止直立し、頭部の回転運動を利用した追従動作を実行した。頭部運動の回転成分を逆転して呈示した場合、この成分を呈示しない場合より動揺量が増大した。これは、フィードバック情報の量よりも、むしろ視覚情報と前庭感覚情報の協調関係を正常に保つほうが姿勢制御系にとって重要であることを意味している。

第2の実験において、回転成分の表示ゲインを大きくすると、並進成分の場合に比較して動揺量がより増大した (Fig. 2)。これは、回転成分の表示ゲインが本来変化しないもの

である、という心理学的な恒常性に関係するものであると推察される。

[今後の研究の方向, 課題]

著者らが開発した3次元バイザー・ディスプレイには、1) 肉眼より視野が狭くて解像度が悪い、2) フレーム周波数 (30 Hz) で画像が時間離散化される、3) 頭部に重量が掛かり、拘束感がある、などの欠点がある。しかし、人工現実感を作り出すシステムは、商業分野で今後ますます改良されると考えられるので、表示装置としてこのような市販品を用いれば、上述の欠点を補うことが可能であると思われる。

また、本システムは、パソコンのプログラムを変えるだけで多種多様な実験ができるとともに、回転円筒のような機械的に駆動する部分を含まないため、耳鼻咽喉科学における新しい平衡機能検査装置としても応用することが可能であるばかりでなく、神経生理学においても、姿勢制御を司る大脳の運動野・基底核あるいは小脳に傷害を持つ患者に対する検査装置としても応用される可能性を持っている。

[成果の発表, 論文等]

- 1) 吉澤 誠, 竹田 宏, 小澤政広: 改変された視覚情報が姿勢制御に及ぼす影響, バイオメカニズム学会誌, Vol. 15, No. 2, pp. 65-71 (1991).
- 2) 川端 忍, 竹田 宏, 笹木義夫, 吉澤 誠: 人間の姿勢制御系における視覚情報の時間離散化と視野限定の影響について, 第6回生体・生理工学シンポジウム論文集, pp. 365-368 (1991).
- 3) 小澤政広, 吉澤 誠, 竹田 宏: 視覚情報と前庭感覚情報の矛盾が人間の姿勢制御特性に及ぼす影響について, 医用電子と生体工学, Vol. 30, No. 3 (1992) (掲載予定).
- 4) M. Yoshizawa, H. Takeda, M. Ozawa and Y. Sasaki: A hypothesis that explains the human postural control characteristics in the frequency domain IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine. Vol. 11, No. 3 (1992) (in press).

## 高分解能触覚画像表示装置の開発

### The Development of a High Resolution Tangible Display Screen

911018

研究代表者	信州大学工学部情報工学科	教授	米 沢 義 道
共同研究者	信州大学工学部情報工学科	助教授	伊 東 一 典
	信州大学工学部情報工学科	助 手	岡 島 英 男
	信州大学工学部情報工学科	技 官	金 子 浩 昌

#### [研究の目的]

現在視覚障害者にとってコンピュータ及びワープロは熟練によって、晴眼者と同等に扱える可能性を有する職業手段と考えられ、従来の鍼、灸に代わって新しい社会復帰の糸口ともなっている。しかし、それらのシステムの表示画面の認識手段としては音声及び電子式の点字表示があるのみで、視覚に対するCRTディスプレイのように任意画像を表示できる適当な装置はない。

本研究は、任意画像信号を触覚で認識できる画像として表示できる装置を開発して、視覚障害者の上記職域の拡大及び教育手段、戸外活動サポートなどに資するを目的とするものである。

#### [研究の内容、成果]

任意の画像を触覚表示して視覚障害者の画像情報把握を助ける試みは従来みられているが、成功したものはない。その原因は、一つに、表示点の表示機能を個々に持たせることにある。即ち、人の触覚は指先において約1～1.5 mmの分解能を持つが、このような密度で表示点を配列しようとするれば例えば数センチ角の表示面であっても数千個の微小表示メカ

ニズムを必要とすることになり、微小なアクチュエータの開発とその集積方法はかなりなコストになることが予想され実現性に乏しい。そのため従来から拡大モデルや単一モデルの域を出ない検討が積み重ねられている。

これを解決する方法の一つとして本研究では表示点それ自体には能動的なアクチュエータの機能を持たせず書き込みヘッドによる走査によって受動的に表示を行わせる方式について検討した。即ちこれは自らは発光機能を持たない表示点で構成されているブラウン管と同じである。

このためには、まず以下のような項目について検討することが必要であった。

#### (1) 基本メカニズムの検討

表示点に個々に表示機能を持たせないということは、表示点は表示平面からなにかの駆動機構によって出っ張ったり、引っ込んだりする微小物体があればよいことになる。この上下の移動のためには、種々のメカニズムが考えられるが、電磁気的な方式はメカニズムが簡単となる利点があるので数種試みた。図1はその内の代表的モデル2種である。

aは強磁性体で作成した表示点チップを表示面上空より微小電磁石により吸引して吊り上げるものであり、bは表示点チップを強磁

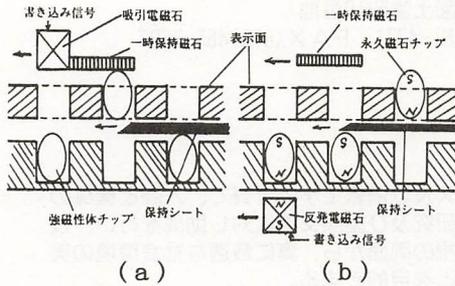


図1 受動型触覚表示点メカニズム

性体の永久磁石として、表示面の裏面から電磁石による反発力によって表示面に打ち出すものである。

このためには、微小な表示点が必要でありそれぞれ、ニードルベアリング(a)と特注のサマリウムコバルト製微小磁石(b)を用いた。駆動のためには微小電磁石を作成して1次元に配列した物を用いた。

この他、補助機能としての表示チップの機械的保持（保持シート）及び表示と保持までのバッファ機構（バッファ磁石）等の案出によって当初の目的の動作が確認された。

(2) 検討形態

検討モデルは以下のようにパラメータを設定して行った。

- 表示点数 16 × 16
- 表示チップ 2φ × 3 mmニードルベアリング及び永久磁石
- 表示点間隔 3及び5 mm
- 表示速度 10 ~ 100 ms./dot
- 制御方式 パーソナルコンピュータによるモデルパターン信号を発生して上記パラメータの試験を行った。
- 走査方式 16列1次元電磁石アレイによる等速走査

(3) 検討結果

表示方式(a)に比べて(b)について、良好な結

果が得られた。ドライブ電気信号の反発磁界の駆動により 10 ms./dot の書き込みも可能であることが示された。このことはテスト画面 (16 × 16) について 160 ms. で表示可能なことを示している。

(4) 考察

本検討は受動式表示点を用いてどのような書き込みができるかを検討したものである。触覚によって認識しやすい表示点は我々の別の検討結果があり、点字と同様に約 0.5 mm の高さ、1 mm の直径が良い。そして、表示点密度も指先の圧覚感覚点密度から 1 ~ 1.5 mm まで識別が可能である。これらの点から今回の検討は、実用装置の2倍程度のスケールのモデル実験であったが、十分にその機能の動作が確認された。このことは、この規模を 1/2 にすることは十分に可能であり、また、コストの点でも従来の個別点ドライブ方式に比べ遥かに低く、実用性がこの点からも示されたと言ってよい。

[今後の研究の方向、課題]

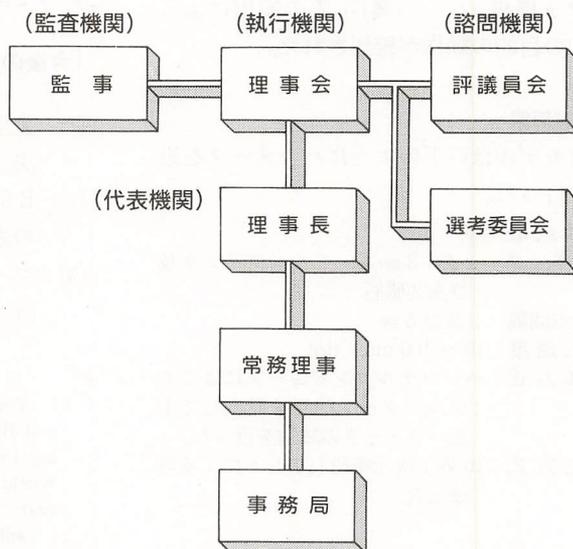
- (1) 表示点規模の縮小に伴う小諸問題の解決。
- (2) B5サイズの表示面を1 ~ 2 mmピッチの表示点で構成。
- (3) ユーザサイドからの感覚的な検討を行って実用機の最適仕様の検討。

[成果の発表、論文等]

- 1) Yoshimichi YONEZAWA, Kazunori ITOH, and Hideo OKAJIMA: Research on Touchreading Image Display System; Proceedings of 1st World Congress on Technology, 4, 448 - 454, 1991. (1991年12月)
- 2) 米沢義道: 画像データの触認識画像化; 日本機械学会第70期全国大会, 2518, (1992年10月)

# 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 孝雄
- 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。
  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。
  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。
  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8億円 株式1億3,125万円(額面)  
基本財産の現金は、オムロン株式会社により計画的に積み増しし、最終的に総額10億円となります。
- 財団の組織



役員・評議員

(1992-4-10 現在)

役員

理事長	立石孝雄	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	磯田一郎	株式会社住友銀行	相談役
理事	大澤弘之	科学技術会議議員	
理事	大野豊	立命館大学理工学部	京都市立命館大学名誉教授
理事	尾佐竹 洵	東京大学	名誉教授
理事	熊谷信昭	原子力安全システム研究所	社長・所長 大阪大学名誉教授
理事	黒田 眞	三菱商事株式会社	常務取締役
理事	立石義雄	オムロン株式会社	取締役社長
理事	盛田昭夫	ソニー株式会社	取締役会長
理事	山田 春	株式会社三菱銀行	相談役
監事	辻 敢	公認会計士	
監事	戸 倉 晴美	弁護士	

(50 音順)

評議員

評議員	相磯秀夫	慶應義塾大学環境情報学部	学部長
評議員	朝倉利光	北海道大学電子科学研究所	教授
評議員	荒卷 禎一	京都府	知事
評議員	岩田 一明	大阪大学工学部電子制御機械工学科	教授
評議員	立石信雄	オムロン株式会社	取締役副会長
評議員	寺野 寿郎	国際ファジィ工学研究所	所長 東京工業大学名誉教授
評議員	長柄 喜一郎	理化学研究所	理事
評議員	長谷川 利治	京都大学工学部数理工学科	教授
評議員	秦野 勲	オムロン株式会社	専務取締役
評議員	葉原 耕平	株式会社国際電気通信基礎技術研究所	取締役副社長
評議員	瀨 一博	財団法人 ICOT (新世代コンピュータ技術開発機構)	常務理事 研究所長
評議員	山崎 弘郎	東京大学工学部計数工学科	教授

(50 音順)

# 財団法人 立石科学技術振興財団

## 平成5年度 助成候補募集案内

財団法人立石科学技術振興財団においては、下記の通り平成5年度の研究助成及び国際交流助成を行なうことと致しましたので、お知らせ致します。

### 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 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為の研究活動。
- 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為の研究活動を行なう研究者の海外派遣又は招聘。

人間と機械の調和を促進することの内容とは、必ずしも、マンマシン・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をも含み、広義でとらえるものとします。

#### (2) 件数及び金額

- |           |                          |          |
|-----------|--------------------------|----------|
| ① 研究助成金   | 5千万円 (1件 250万円程度, 20件程度) |          |
| ② 国際交流助成金 | 5百万円 (1件 50万円程度, 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、個人又はグループを問いません。
- ② 同一内容で他の財団から既に助成を受けているか、又は受ける予定になっている個人又はグループはご遠慮下さい。
- ③ 当財団に、結果と収支の報告書提出が可能な方。

#### (4) 募集期間

平成4年9月1日～平成4年10月31日(郵便局消印まで)当財団の所定用紙に記入して応募して下さい。

#### (5) 助成金交付の時期

選考委員会での選定と理事会での決定後、平成5年5月の予定。

#### (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 (財)立石科学技術振興財団事務局

☎ (075) 461-4771, FAX. (075) 465-3697

申請書類のご請求は、ファックスにてお願い致します。

以上

## 編集後記

皆様のご協力で、創刊号を発行することができました。ご寄稿下さいました皆様、編集にご協力頂いた皆様、誠に有り難うございました。

最初は、成果の論文集のようなものを発行する案もあったのですが、ボリュームが大きくなり過ぎること、関係者の方々のご意見も、読み易いことに重点をおいて抄録集のようなかたちでまとめた方がよいのではないかというご意見が大勢をしめましたので、こんな形で創刊号をまとめさせていただきます。既に最終報告書をご提出いただいていた研究者の方々には再度お手間をおかけして申し訳ありませんでした。お詫びします。

今回の創刊号に掲載した研究課題の抄録は、第1回（平成2年度）と第2回（平成3年度）助成課題の中で、研究計画の終了したもののみを集録しています。配列は助成年度順の氏名五十音順です。国際交流助成につきましては、本誌発行の目的から巻初の年度毎助成課題一覧の中で、派遣・招聘の要点のみをご紹介しますにとどめました。

助成研究の成果普及活動の一つとして、今後継続的に毎年1回8～9月頃発行の予定です。人間と機械の調和を促進するという切り口でまとめたユニークな情報発信メディアの一つに育たいと思っています。よろしく申し上げます。ご意見、ご感想を頂けましたら幸いです。

（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 創刊号  
平成4年9月（1992）

発行 財団法人 立石科学技術振興財団 事務局  
〒616 京都市右京区花園土堂町10 TEL (075) 461-4771  
FAX (075) 461-3697  
印刷 ㈱中野新文社 TEL (075) 821-4466

（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。）