

平成18年度 文部科学省「魅力ある大学院教育」イニシアティブ
採択プログラム

メカノインフォマティクス・カデット教育

(「楽力」によって実践力を磨く創造的ものつくりエリート教育)

平成 20 年度報告書

平成 21 年 4 月

電気通信大学

大学院電気通信学研究科
知能機械工学専攻

1. はじめに

本報告書は、文部科学省による「魅力ある大学院教育」イニシアティブに2006年度から2年間採択された「メカノインフォマティクス・カデット教育」の継続が本学で認められ、2008年度に実施したプログラムの取組み内容と成果などを報告するものである。

本学は「ものづくり」に貢献できる人材育成を目指し「実践的教育」を重視することを教育理念の柱としている。従来の大学院教育課程では各教員の指導の下、修士論文、博士論文のテーマに関する研究活動を重視してきた。しかし、最近の大学院生は、各人の研究テーマのみに固執する傾向にあり、幅広い知識を必要とする実践的課題に対して、自ら主体的に発想しそれを解決する能力が希薄な者が少なくない。そのため教育課程本来の効果が得られず、真の実践力を身につけた人材の育成が困難になりつつあった。本大学院教育プログラムの目的は、このような認識に基づき、インターデスプリナリな知識を集約し実践的な問題を設定・解決する能力をもち、世界で通用する人材「創造的ものづくりエリート（カデット）」を育成するために、学習意欲・効果を高めることを可能とし、研究活動の楽しさを実感できるような新しい教育課程パラダイムを構築することにある。

本学では平成15年度に採択された文部科学省の特色ある大学教育支援プログラム（特色GP）『「楽力」によって拓く創造的ものづくり教育』の実績を踏まえて、学部教育からのシームレスな大学院教育を実践すべく「ものづくり」に関する教育研究活動を行っている。これの実績を基に、本学の理念である「コミュニケーションに関わる総合的科学技術の創造と人材育成」に則りメカノインフォマティクス・カデット教育プログラムを実施している。

日本が世界の最先端の研究開発のポテンシャルを有しているロボティクス・メカトロニクス分野は機械と電気電子の融合分野である。ここではさらに情報技術(IT)をカバーし、この分野で国際的に活躍できるような英語力を有する真のエリート研究者（産学官を通じた研究・教育機関の中核を担う研究者や大学教員）を育成する大学院メカノインフォマティクス・カデット教育プログラムを実施する。本プログラムから、次世代の実践的ものづくり工学分野の創成およびそのブレークスルーをもたらす人材を輩出することを目指している。

2009年3月31日

電気通信大学大学院 電気通信学研究科 知能機械工学専攻

2. MATLAB オープンセミナー（木田・田中・松野・長塩・福島・桜間）

2.1 目的と意義

制御工学はダイナミクスの解析や制御系設計が主なテーマであるが、設計技法の観点からみれば、学部で講義では、線形システムを対象とし、簡単な代数的計算、行列計算、ベクトル軌跡やボード線図の作図にとどまっている。これは手計算で行うということが前提にあるためである。しかし、多くの企業の研究開発、研究所・大学では MATLAB をはじめとした制御系設計 CAD を用いている。本セミナーの目的は、科学技術計算の標準的なソフトである MATLAB を用いて演習を行い、制御工学に関する理解を深めるとともに MATLAB の基本操作を修得することである。便利なツールの使い方を覚えるだけでなく、その基本となる設計・解析理論を理解してもらうことを目的として、従来の座学による講義と組み合わせる形式で実施する。

本年度は、昨年度と同様に以下の 3 つの講義の中で実施した。

- ・制御系設計論（木田）

学部で学習した古典制御・現代制御の復習と大学院でのロバスト制御について

- ・知的制御システム特論（田中）

Lyapunov の安定論と線形行列不等式を用いた制御系設計

- ・人間機械システム基礎論（松野・福島・桜間）

- ・非線形系に対する制御系設計，Simulink を使った計算機シミュレーション

- ・xPC Target を用いた機械システムへの実装方法

2.2 実施内容

2.2.1 制御系設計論（木田・長塩）

15 回の講義のうち、4 回において例題をもとに MATLAB の使用法について講義を行い、それ以外は従来の座学とした。講義の内容は以下のようになっている。

(1) MATLAB の使い方と基本的なコマンド

(2) 根軌跡・ボード線図を用いた設計・解析

(3) 最適レギュレータと極配置を用いた状態フィードバック・オブザーバの設計・解析

(4) ロバスト制御の設計・解析

また、上記の 4 項目についてレポートを課した。履修学生はそれぞれについて、解析・設計結果と m-ファイルをメール添付で提出した。TA 学生の協力を得て、m-ファイル全てを審査した。結果は、履修者は 66 名であった。

2.2.2 知的制御システム特論（田中）

非線形システムの解析や設計の拡張性までを考慮し、Lyapunov の安定論と多様な安定性定義の理解を講義の第一目的としている。さらに、安定解析、制御系設計問題を線形行列不等式（Linear Matrix Inequality）条件として導出するテクニックを学ぶことを第二の目的とし、さらには、その線形行列不等式を LMI solver を用いてプログラミングにより数値的に解くことを第 3 の目的としている。また、各回の講義の理解度を深めるため、毎回 homework を課している。最後に講義内容に関するレポートを提出させている。なお、

MATLAB（または Scilab）の使い方は基本的には自己学習としている。

2.2.3 人間機械システム基礎論（松野・福島・桜間）

1月9日、23日、30日の3回にわたり、以下の内容で実施した。

第1週（福島）：ロボットマニピュレータを例とした制御系設計と数値シミュレーション

MATLAB の基本的な操作について説明した後、1リンクマニピュレータのPD制御という簡単な例題に取り組みせながら、Runge-Kutta 法を使って制御系の応答を計算する方法について説明した。講義の後半では、座学の講義で導出させた2リンクマニピュレータの運動方程式を使って、PD制御と重力補償に基づいて関節角を制御する補償器の設計と数値シミュレーションを行う課題を与えた。

第2週（福島）：描画の基礎とアニメーションの作成

MATLAB でグラフを作成する際に必要な知識について説明した後、1リンクマニピュレータの例題に取り組みせながら、簡単なアニメーションで応答を確認する方法を説明した。講義の後半では、2リンクマニピュレータに対してフィードバック線形化を用いて関節角を制御したり、手先座標を円軌道に追従させる補償器を設計させ、時間応答をアニメーションで表示させる課題を与えた。



図 2-1 計算機室を使った演習

第3週（桜間）：xPC Target を用いた機械システムへの実装（桜間）

制御理論の応用として、Acrobox（図 3-2 参照）と呼ばれる実験機を制御するコントローラの設計と実装についての講義を行った。モータから円盤にトルクを加え、その回転の反作用でボックスに力を加え運動させる。モータの制御によってアルミ版の角で倒れないように実験機のバランスを取ることが制御目的である。このようにバランスを取ることが人間がモータを操作しても簡単にできることではなく、コンピュータによるモータの絶妙なコントロールが必要である。一般的な制御系設計の手順では、制御対象のモデル化、コントローラの設計、シミュレーション、実験機への実装を経て、実際に実験を行う。本講義ではこのうち、主にシミュレーションと実装を MATLAB を用いて行う方法について解説を行った。シミュレーションには Simulink という視覚的に制御系設計を行うツールボッ

クスを、実装には xPC Target という Simlink で設計したコントローラをそのままコンピュータに実装して実験を行うことのできるツールボックスを用いた。

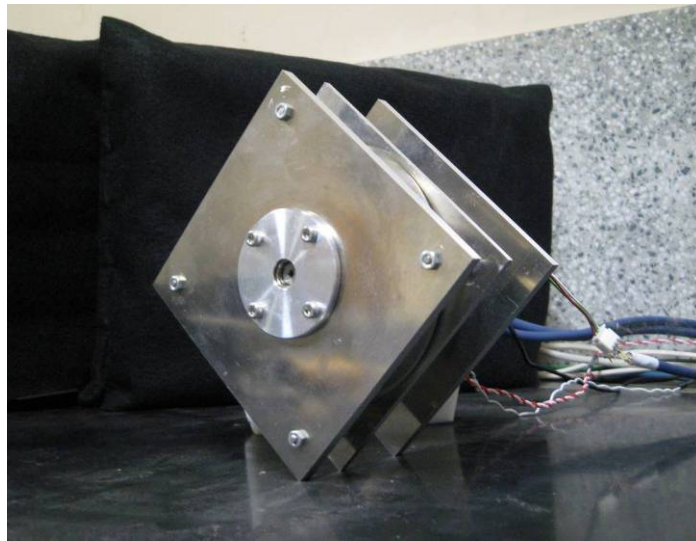


図 2-2 講義に用いた実験機 Acrobox



図 2-3 実験のデモンストレーション

3. 実践的課題プロジェクト

3.1 インターネットを利用した国際メカトロ遠隔制御実験演習と院生による国際共同開発の指導者教育

(担当 青山教授、下条教授、金森准教授)

この実践的課題ではロボットメカトロシステムをインターネットを介して遠隔制御する技術の習得を目標として、遠隔制御対象側にも CPU やセンサを搭載し、ネットワーク回線の情報遅延や切断にも対応できるような仕組みを作り込み、情報化機械システム設計開発の実践的教育の実現をねらいとしている。

さらにここでは得られた基礎知識を応用して、院生が中心となって、海外協定校(タイ・キングモンクット工科大ラカバン、台湾・淡江大からの留学生)と電通大の学生の混成グループが協力して、インターネット双方向遠隔制御システムを構築し、実際にコンテストを実施することを課題として 国際的なメカトロ指導能力を身に付けさせている。

またここでは下記のような大学院の担当講義科目と対応させ、大学院の基礎教育と密接に関連付け、効果的に学習できる体制を整えた。

- | | |
|-------------------|----------------|
| (a)メカトロニクス特論(下条) | 内容： 組み込みマイコン周辺 |
| (b)マイクロシステム特論(青山) | 内容： インターネット応用 |
| (c)機械要素設計特論(金森) | 内容： メカ・機構要素設計 |

クロスオーバーインターネット国際遠隔メカトロ制御実験の取り組みでは、これらの講義科目で得られた基礎知見を駆使し、また他の国際化のショートコースでの英語コミュニケーションおよびリーダーシップの取り方などを参考にしながら、海外の協定校との間で国際共同開発演習を実施した。

- ・相手校、自校の双方にソフト開発チームとメカ開発チームを構成する。
- ・相手校のソフト開発チームと自校のメカ開発チームが インターネットを用いた国際遠隔ロボメカシステムを共同開発する。この逆の組み合わせでも同様に開発して、競技する
- ・それぞれのチーム同士がインターネットを利用して海外の相手チームと英語でコミュニケーション(テキストチャットや Skype)しながら、ソフト・メカ開発を進める。

システム構成と機材

図 3.1.1 に昨年度開発した国際共同開発演習のためのインターネットを利用した国際遠隔メカトロ制御プラットフォームに、本年度は 2 足歩行ヒューマノイド型のロボットを追加したシステムを示す。ここでは既存のインターネットインフラを利用して、双方に共通のテストベンチを設置し、通信機器や Web カメラを配置して、双方から同じ条件で学生グループのペアが構成できるようになっており、あらたに 2 足歩行ヒューマノイド型ロボットを組み込んだ高度なシステムになっている。

いずれにせよ、各チームの院生は必要な課題、機材とルールを相手側と相談しながら、取り決めて、学部生を指導しながら、所定の遠隔制御可能なメカトロシステムを設計開発し、実際にコンテストさせてその性能の優劣や問題点を検討させることができた。

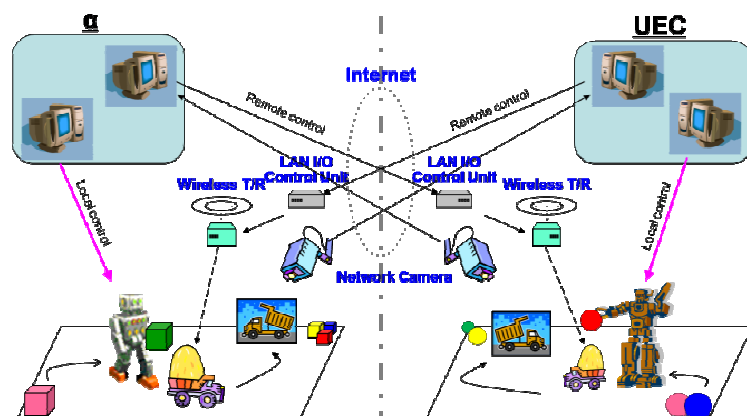


図 3.1 1 2 足歩行ヒューマノイド型のロボットを組み込んだインターネット遠隔ロボメカ制御国際演習プラットフォーム

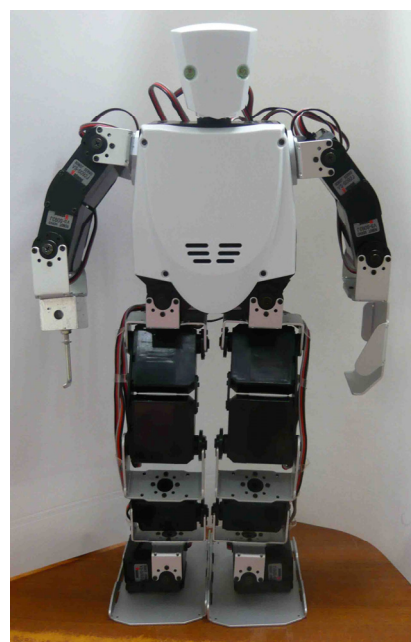
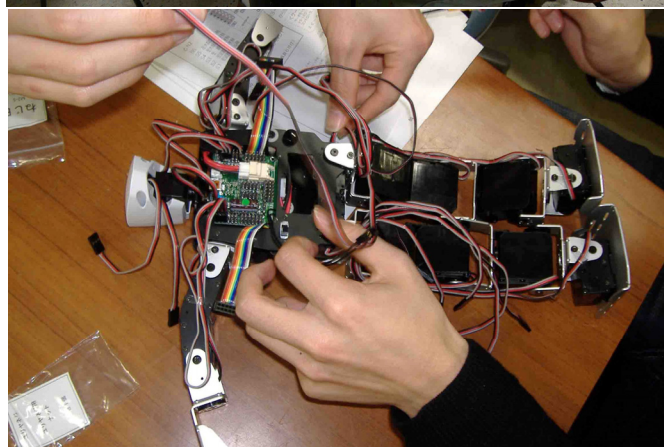


図 3.1.2 タイ、台湾および電通大の学生で構成される各グループに院生が配置され、2 足歩行ヒューマノイド型ロボットの組み立て、制御プログラムなどの指導を英語で説明指導している。

3.2 移動ロボットマニピュレータプロジェクト

(担当者：明准教授)

3.2.1 目的

移動マニピュレータと各種センサ（ステレオカメラ、レーザレンジセンサ、RFID など）からなる移動マニピュレータシステムを構築して、ホームサービスなどにおける作業を実現するために、センサフュージョンと移動マニピュレーションの制御を融合した方法とアルゴリズムの提案と実装を行う。このプロジェクト実験により、実際の問題設定と解決の能力、センシングとロボットの制御のような幅広い知識の集約力およびグループ間の協調性を養うことを目的とする。

3.2.2 対応する大学院講義名

- ・ロボット工学特論(下条・明) ----- プロジェクトの実施
- ・知能機械構成特論(下条・明)----- プロジェクト研究の提案、評価

3.2.3 プロジェクトの詳細

1) 具体的なねらい

ホームサービスへの移動マニピュレータの応用を研究目的とし、そのためのセンサフュージョンによる効率のよい環境認識と環境認識の結果を活用した効率のよい移動マニピュレーションを実現する。

2) 実験システムの構成

本システムは、図 1 のように、移動マニピュレータ、スキャン式レーザレンジセンサ（以降レーザスキャナ）、カメラ、遠距離用の RFID からなる。

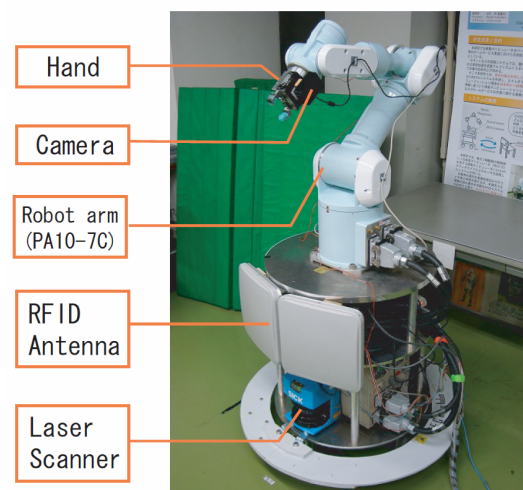


図 3.2.1 システムの構成

3) 本研究の注目点とアプローチ

ホームサービスにおいて、人間を含み、椅子、食器などの場所固定でないものと壁などの固定しているものからなる環境を認識する必要がある。移動マニピュレータの移動及び

マニピュレーションにこれらの情報を把握する必要があるし、また人間との密なインターアクションもサービス作業をスムーズに行うには不可欠である。これについてのアプローチとして、従来のステレオカメラやレーザスキャナによる認識方法に、人間、ロボット、そして家具などのすべてに **RFID** を導入して、各 **RFID** に付帯するデータベースも活用して、これらの認識を素早く、効率よく行う。

一方、移動マニピュレーションの対象は茶碗などの小物から椅子などの大きなものまで、さまざまな形状をしている。従来はさまざまなハンドなどで対応しているが、本研究はセンサの情報を活用しながら、簡単なハンドで複雑なマニピュレーションができるようにする。

3.2.4 本年度の実施内容

1) 実験システムの完成

図2のようなセンシング・制御システムを完成させた。各センサの動作確認を行い、コンピュータによる情報獲得ができるようになった。さらに移動マニピュレータの制御システムの改造を行い、システムの各種動作が可能となった。

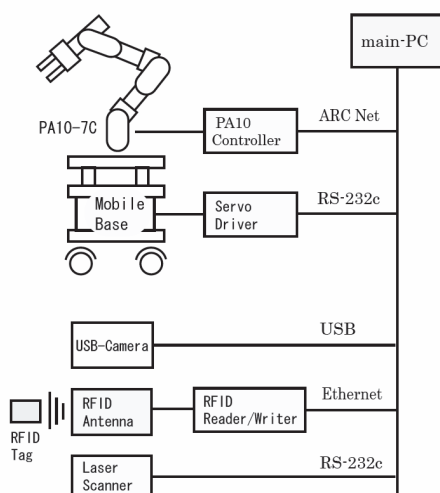


図 3.2.2 センシング・制御システム

2) RFID とカメラによる認識実験

図3のように、**RFID** とステレオカメラによる椅子の認識を行い、移動マニピュレータによるマニピュレーションに必要なハンドリング位置・姿勢情報を得ることができた。

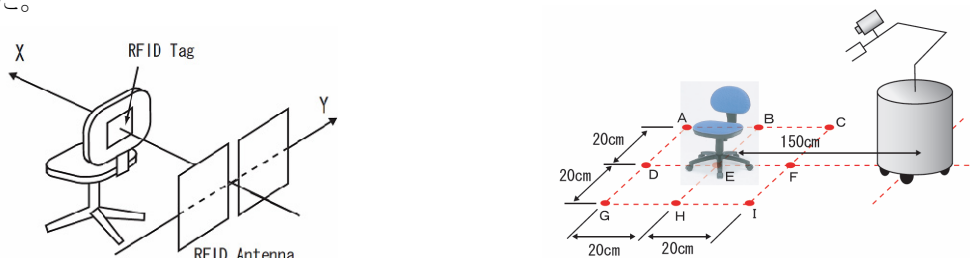


図 3.2.3 椅子の認識

3) 椅子の認識と移動マニピュレーション実験

各種椅子について、椅子の認識方法と移動マニピュレータによる移動マニピュレーションの制御方法を考案し、実験によりその有効性を確認した。一例として折りたたみ椅子の折りたたみ動作の様子を図 3.2.4 に示す。

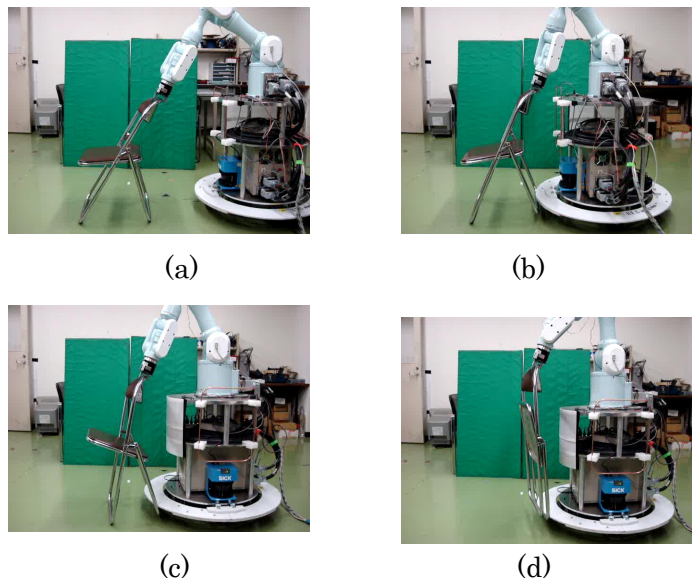


図 3.2.4. 折りたたみ椅子の移動マニピュレーション

4) 大学院講義「ロボット工学特論」への導入

大学院講義「ロボット工学特論」の2回の講義時間を用いて、RFID による環境認識とカメラによる対象物の認識に関する講義を行い、その応用として RFID とカメラによる椅子の認識と移動マニピュレーション実験を行った。



図 3.2.5 実験の様子

3.2.5 まとめ

移動マニピュレータと各種センサ（カメラ、レーザレンジセンサ、RFID など）からなる移動マニピュレータシステムにより、ホームサービスなどにおけるさまざまな作業の実現を目指している。本年度は、システムの完成とセンサフュージョンと移動マニピュレータの制御による椅子移動マニピュレーションの可能性を示す実験を中心に行ってきた。今後、大学院講義で使用しやすいように新しいセンサの導入とインターフェースの改善などを行っていく。

3.3 災害弱者への情報伝達プロジェクト(P5) (小池准教授)

3.3.1 目的、目標および本プロジェクトの位置づけ

生体情報計測手法を習得するとともに、生体における情報伝達の仕組みを学習し、感覚器の機能が一部欠損している場合でも、効率的に情報伝達を行える手段を検討することで、災害弱者への情報伝達手法を開発するとともに、マンーマシンシステム構築の基礎を確立することを目的とする。具体的には「感覚器機能低下の克服」、「聴覚障害、視覚障害などの災害弱者を対象とした情報伝達手法の確立」、「感覚や生体情報の定量的評価」についての実験・検討を行い、それらを通して、ヒトを対象とした実験の作法の理解、実験結果における個人差の影響の理解、ノイズに埋没した微弱信号の取得・解析方法の習得、およびコンピュータ制御による迅速な繰り返し計測の自動化の実践を目標とする。

3.3.2 実施内容

PVDF を用いた脈拍計測システムの開発

「感覚や生体情報の定量的評価」の一環として、生体の振動に着目し、脈拍振動を計測するために、PolyVinylidene DiFluoride(以下、PVDF)と呼ばれる圧電素子を用いた計測システムを提案した。PVDF は、圧力を加えると分極が起こり、電荷を生じる特性があり、更にセンサ自体に電源を使用しないなどの利点がある。また薄く柔らかい素材であり、小型なデバイスを開発するにあたって適していると考えられる。本研究では、まず PVDF の特性を調べ、脈拍計測に最適なシステムを確立し、周囲の騒音環境や被験者の状態が変化した場合等、様々な状態を想定して脈拍振動計測実験を行った。

計測方法と条件

PVDF を用いて脈拍振動を計測するシステムとして、PVDF フィルムを体表に接触させ、体表面の振動により PVDF に発生した電荷をチャージアンプ(MODEL-4035:昭和測器株式会社)で電圧に変換・増幅し、ADコンバータでPCに取り込むシステムを用いた。

まず、この実験で使用する PVDF を決めるために、デバイスの検討を行った。この計測では、脈拍の計測箇所において、PVDF を一定の押し付け力で安定した環境で計測することが望ましいため、PVDF のフィルム1枚にコネクタがついているもの DT1-028K/L (東京センサ)を用いた(図 3.3.1 参照)。DT1-028K/L は、 piezofilm に電極を銀インクスクリーン印刷し、薄いアクリルコーティングを施してある。わずかなひずみでも数 mV の電圧を発生し、一般的なストレインゲージよりも 60dB も大きな値を得ることができる。この PVDF をプラスチック板に固定したデバイスを用いて、そのプラスチック板をゴムバンドで全体的に締めて固定させた。またゴムで締める際に、PVDF フィルムが歪んでしまう可能性があったため、PVDF フィルムをまっすぐに固定し、かつ計測できる周波数範囲を広げることができる中間材を挟むこととした。この中間材は、化粧品のパフスポンジを使用した。このデバイスを図

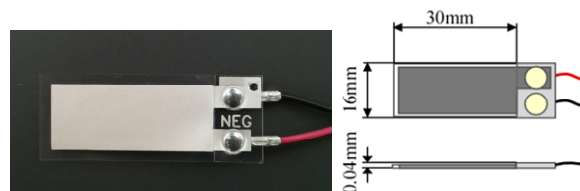


図 3.3.1 計測に用いた PVDF フィルム

3.3.2 に、その固定した様子を図 3.3.3 に示す。計測箇所は頸動脈と橈骨動脈で行い、ま

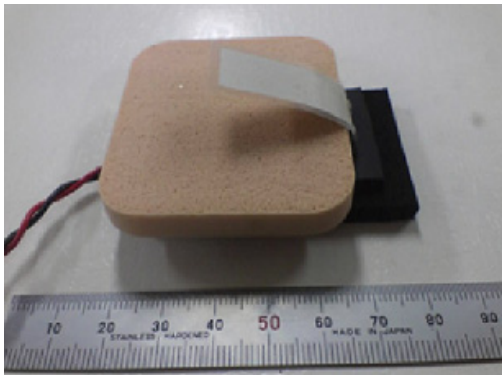


図 3.3.2 計測に用いたデバイス



図 3.3.3 計測の様子

た、静寂環境下に対して騒音環境下、被験者が発声する場合と発声無しの場合についても検討するため、以下の四つの条件で計測を行った。

- (a) 頸動脈—静寂環境—発声無し
- (b) 橈骨動脈—静寂環境—発声無し
- (c) 頸動脈—静寂環境—発声有り
- (d) 頸動脈—騒音環境—発声無し

(a)は頸動脈にセンサを固定し、等価騒音レベルで 60dB 程度の環境で、被験者は発声せず、できるだけ体を固定した状態である。(b)は(a)と異なる点として、橈骨動脈にセンサを固定した。(c)は(a)と同様に頸動脈にセンサを固定し、静寂環境下での計測であるが、被験者が計測時間 15 秒間に、あ行・か行・さ行・た行の計 20 音を発声した。(d)は、周囲の環境を等価騒音レベル 85dB の均一な周波数成分を持つホワイトノイズを流した状態で、他の条件は(a)と同様で計測を行った。

実験の周囲環境については、騒音環境を再現するために、防音室 (UVA13-18/05L : カワイ音響システム) 内に任意の騒音環境を再現し、仮想的な騒音環境の中で計測を行った。図 3.3.4 に騒音システムの構成図を示す。

防音室内は、三つのスピーカー (PS-S202B : Victor) とウーファー (SP-DW103 : Victor) で騒音を流し、騒音計 (LA-5560 : 小野測器) で防音室内の音声を計測する。防音室の外は、PC、で音声の制御を行い、アンプ (PS-A254B : Victor) で騒音の出力を増幅する。出力機構は、PC からの出力信号がアンプで増幅され、スピーカー・ウーファーから音として出力されるように接続されている。入力機構は、騒音計の信号が PC に入るように接続した。

今回、実験の効率化・自動化のために PC を用いて制御を行った。その際、National Instruments 社製のプログラムソフト LabVIEW を用いた。LabVIEW とは、G 言語と呼ばれるグラフィカルなプログラミング言語で、オシロスコープや信号発生器などの装置を PC の中に仮想的に作り上げることができ、低コスト・短時間でアプリケーションを作ることができる。また、データの加工や処理も行うことができる。本実験では、出力する騒音の制御、

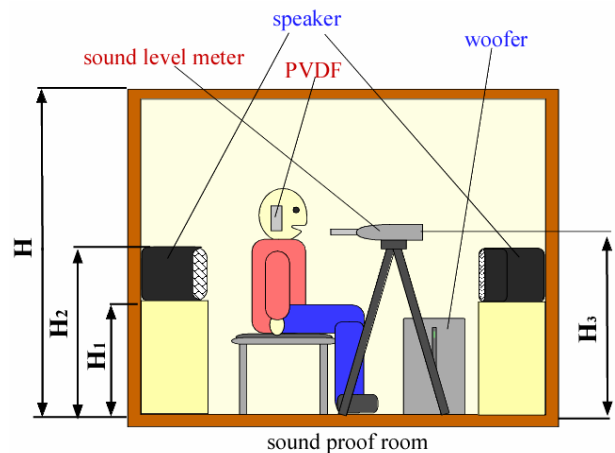


図 3.3.4 騒音システムとその内部配置
H=195, H₁=60, H₂=75, H₃=90 [cm]

生体振動の計測・保存、計測結果の解析、解析結果のグラフ化をすべて LabVIEW で行った。このシステムを用いて騒音環境の構築を行うが、今回は騒音の音圧成分に着目し、任意の騒音の音圧に近づけることで騒音環境の再現とした。

実験条件の(a)～(c)の静寂環境下は、15秒間の等価騒音レベルを60dBとし、騒音環境下は、ホワイトノイズを防音室内に流し、等価騒音レベルを85dBと設定した。ちなみに等価騒音レベル60dBとは普通の話し声程度のレベルであり、85dBとは騒々しい工場の中程度のレベルである。

計測結果

それぞれの実験条件での PVDF の計測結果を図 3.3.5(a)～(d)に示す。計測結果の電圧波形を上段に、またその計測結果を短時間 F F T 解析し、周波数ごとのパワーをカラーマップ表示したものを下段に示す。

(a) 頸動脈—静寂環境—発声無しの場合

PVDF で計測した波形には周期的なピークが現れた。評価のために、被験者が15秒間手首で脈拍を数えたところ、計測波形のピークが、その回数が一致したため、PVDF センサで脈拍を計測できると言える。また、ピークが明確に現れており、この条件下での脈拍計測は可能であると思われ、またカラーマップにおいても脈拍と思われる周波数が現れていた。

(b) 橈骨動脈—静寂環境—発声無しの場合

Fig. 3.3.5(a)よりも脈拍による振動の振幅が小さく、S/N比が悪いが、脈拍のピークが現れていた。これは、橈骨動脈の振動を拾いづらく、脈拍による振動の大きさは頸動脈の方が大きいからであると思われる。

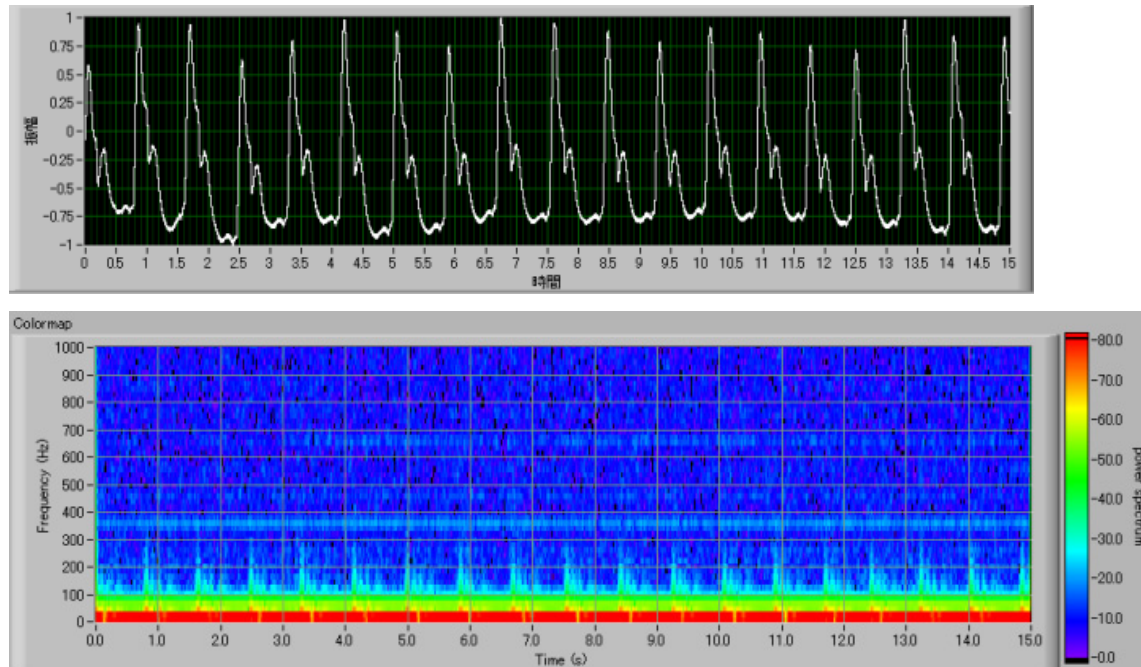


図 3.3.5(a) 頸動脈—静寂環境—発声無しの場合（上段：計測波形、下段：短時間 FFT）

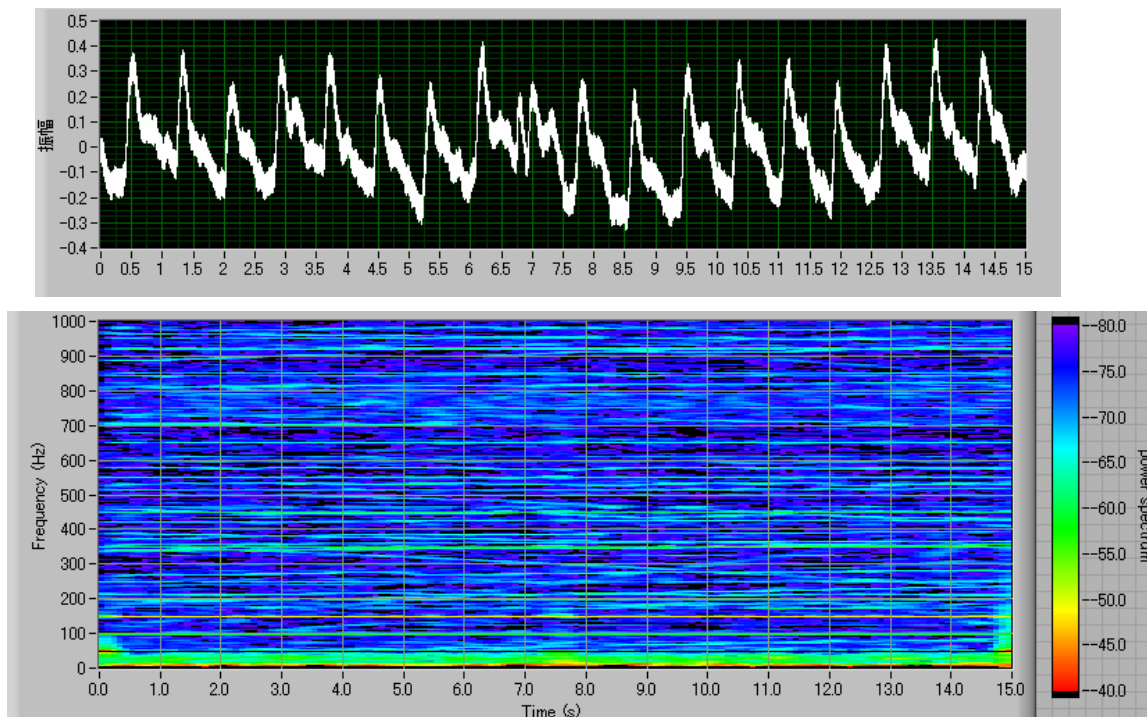


図 3.3.5(b) 橈骨動脈—静寂環境—発声無しの場合（上段：計測波形、下段：短時間 FFT）

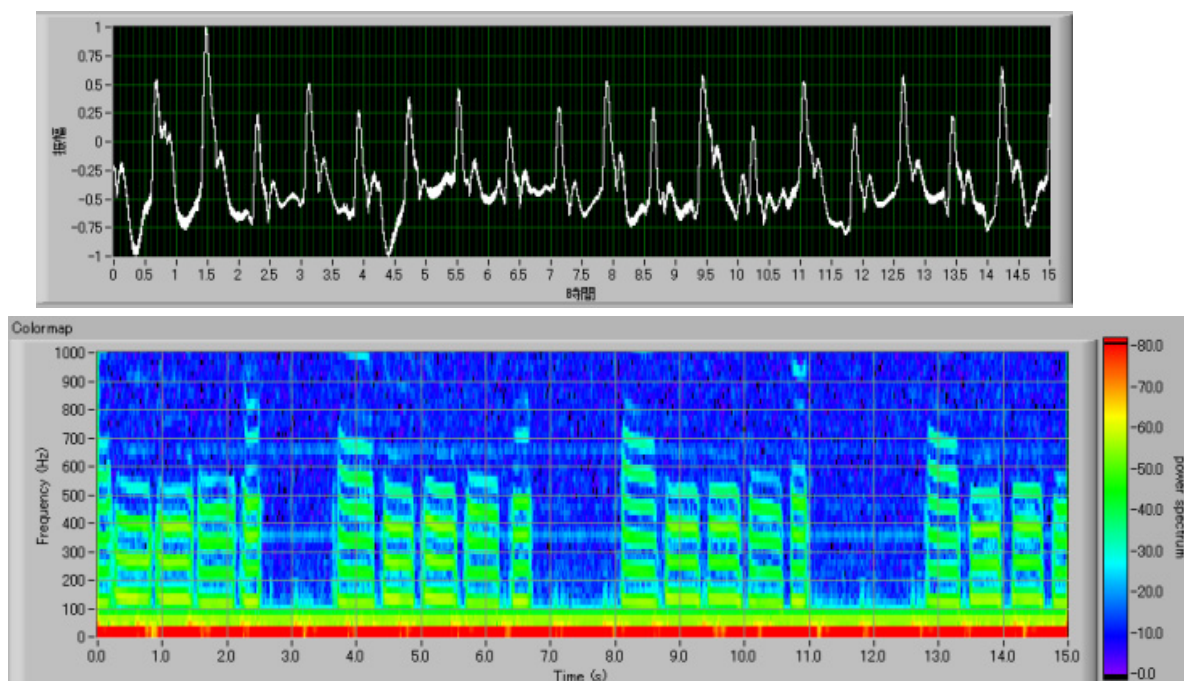


図 3.3.5(c) 頸動脈—静寂環境—発声有りの場合（上段：計測波形、下段：短時間 FFT）

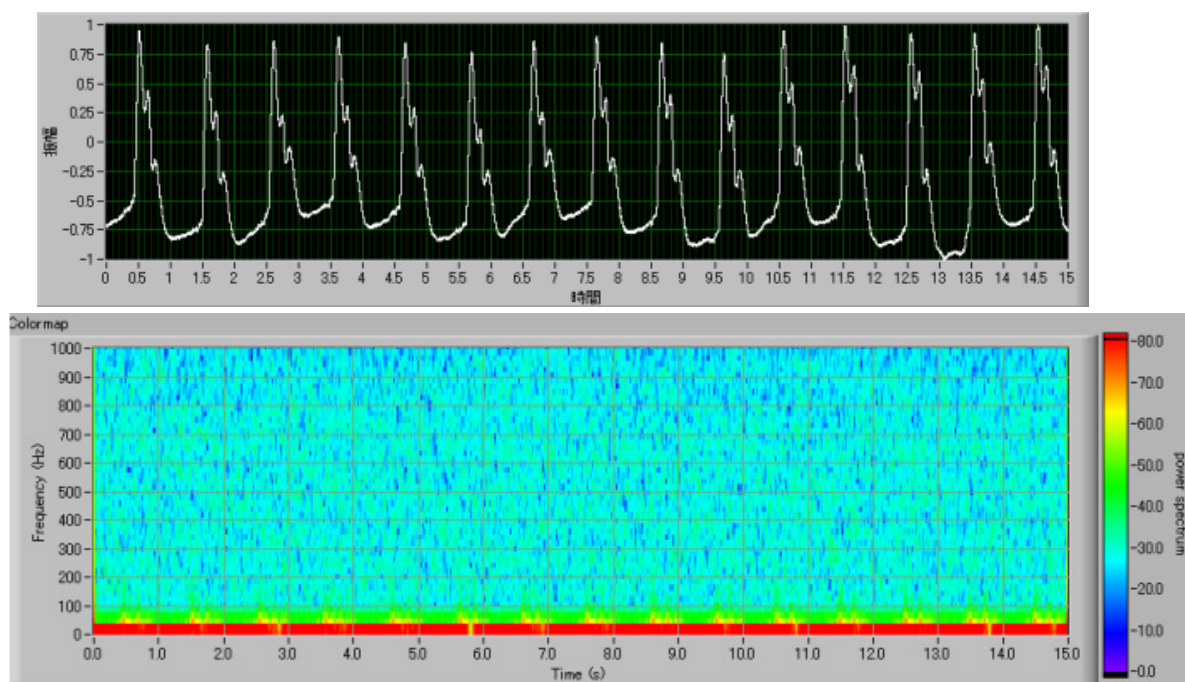


図 3.3.5(c) 頸動脈—騒音環境—発声無しの場合（上段：計測波形、下段：短時間 FFT）

(c) 頸動脈—静寂環境—発声有りの場合

カラーマップより 700Hz 付近まで声の成分と思われる周波数が見られた。最大約 60dB 程度の声の成分が混入しているが、出力波形を見るとピークが明確にあり、声の振動が混入しても脈拍を計測できたと考えられる。電圧波形を拡大すると、発声による細かな振動が脈拍の大きな振動に含まれており、またそれぞれの周波数帯域が異なるために、発声の振動と脈拍の振動を計測できたと考えられる。

(d) 頸動脈—騒音環境—発声無しの場合

出力波形においては騒音の影響をあまり受けず、脈拍の振動によるピークが明確に現れていた。カラーマップを見ても静寂環境に比べて、100Hz 以上が全体的に 20dB 程度上昇 (10dB→30dB) しているが、脈拍の周波数を多く含む 100Hz 以下は騒音環境下でもあまり影響がないため、脈拍を比較的明確に計測できたと考えられる。

考 察

以上の結果から、本研究によって検討・開発したデバイスで、心臓の拍動によって振動する動脈付近で脈拍を計測することが可能であることが分かった。更に、周囲の環境が騒音環境でも計測に影響を及ぼさず、また頸動脈といった発声により振動しやすい箇所、被験者が発声しても計測に影響がないことも分かった。しかし、被験者が静止している状態での計測である点や、被験者を拘束して計測しなければならないなど、被験者に対して様々な制限が必要となる問題点が浮かんた。これを解決するためには、計測したデータの無線伝送法の開発やチャージアンプの小型化などのポータブルに適した改良が求められる。また微小振動の計測であるため、ノイズの低減の検討も必要とされる。本実験では、比較的脈拍による振動の振幅が大きい箇所での計測を行ったため、あまりノイズの影響がなかったが、被験者動作時や電源ノイズの大きい環境での計測では影響を及ぼしかねないので、今後検討の余地がある。

3.3.3 問題点と今後の課題

昨年度まで行った、音声信号の取得・伝達手法とは別に、新たに生体信号の計測法の開発を行った。上述のように、学生は、ヒトを対象とした実験に対して理解を深める事が出来、デバイスの試作を通して、ものづくりの一端も経験でき、実践力をある程度養う事が出来たと思われる。しかし一方で、昨年度から継続している問題点であるが、自発的なアイデアの創出や、それに対する学生間での議論の機会が少なく、教員による誘導や鞭撻が必要なケースも依然として見られた。

また、本年度もプロジェクト参加者が特定の研究室の学生に限られてしまい、広い領域から様々な知識を持った学生が集い、新たな価値を生み出していく体制とはなっていなかった。これに対しては、プロジェクト担当教員に依る学生へのさらなる広報や積極的な勧誘が必要と思われる。

本プロジェクトは、大学院の授業科目であるバイオメカニクス特論と関連しており、受講学生が、本プロジェクトで使用する実験設備の一部を用い、実際にヒトを対象とした実験を行うことで、生体工学分野の実験に、実践的に取り組ませる試みを行っている。当講義には、普段生体を取り扱わない学生も受講しており、ヒトを対象とした実験を通して、新たな知見が得られたようである。ただ、本年度は、昨年度に比べて受講生が増加したため、時間や機材の制約により、十分な研修が行えなかった面もあった。この点については、受講者を班分けして異なる実験を行わせるなど、今後講義の進め方を工夫する必要がある。

4. 大学院生による企画提案型プロジェクト研究

4.1 フェロモン・コミュニケーションを用いるロボット群の動的環境におけるフェロモン濃度依存性に関する研究

プロジェクトリーダー	藤澤隆介	知能機械工学専攻	博士3年	松野研究室
プロジェクトメンバー	今村光	知能機械工学専攻	修士2年	松野研究室
	古平晃洋	電子工学専攻	修士2年	河野研究室
	清水裕亮	知能機械工学専攻	修士1年	松野研究室
	土畑重人	東京大学 教養学部	博士3年	嶋田研究室

指導教員： 松野 文俊， 長谷川 晶一

研究目的

フェロモン・コミュニケーションには、フェロモンの揮発時間を制御することが重要であることが以前の研究から既知であった。そのため、本プロジェクトではフェロモン（水・エタノールの混合液）の揮発時間を自律的に決定可能なロボットの開発を行うことを目的とする。

4.1.1. 序論

群れとフェロモン

群れは自律分散系である。そして、一般的に以下のような特徴を有していることが知られている。

- 群れは自律的なエージェントで構成され、中央制御システムを持たない。
- エージェントは大域的情報を持たず、環境中の局所的情報のみで活動する。

群ロボット系において無線通信を用いると広域通信を行うことができ、環境中の全エージェントが情報を共有することができる。しかし、群行動とは局所的な情報の相互作用によって全体の行動が創発される現象である。そのため、全個体が情報を共有できることを前提とすると群行動は創発されない。社会性昆虫は高度な組織を構築する上でこのような通信方法を用いていない。真社会性昆虫と呼ばれる蟻・ハナバチ・狩バチ・白蟻は、フェロモン(Pheromone)を用いて群れの仲間と情報伝達を行うことで高度な群行動を実現している[1]。彼らは、フェロモンによって環境に情報を付加している。この情報は、環境に様に分布しておらず、生物にとって意味のある箇所に適切に付加される。このフェロモンを用いて環境に付加された情報分布を「フェロモン場 (Pheromone field)」と定義する。

フェロモントレイルについて

フェロモンとは、生物が体内で生成して体外に分泌後、同種の他個体に一定の行動や発育の変化を促す化学物質の総称である[2]。フェロモンは、



リリーサ・フェロモンとプライマフェロモンの2種類に大別される[3]。本研究では、リリーサ・フェロモンである「道標フェロモン」に注目して研究を行う。群れは多数の個体から構成され、広大な空間を探索し複数の対象物を収集することが可能である。蟻は道標フェロモンを用いることで群れで効果的に採餌する。道標フェロモンには、化学・可塑・間接・局所的な特徴がある。道標フェロモンは、化学物質で揮発性物質であり時間と共に蒸散する。また、個体は環境中のすべての他個体と通信するわけではなくフェロモン・トレイル (Pheromone trail, 道標フェロモンが敷設された経路) 上を通過する個体にのみ情報伝達が行われる (図 4.1.1 参照)。

本プロジェクトでは、フェロモンの代用に水とエタノールの混合液を用いていた。この組み合わせでは、水の比率を高くすると水素結合によりエタノールが揮発し難くなってトレイルの持続時間が長くなるという特徴があった。しかし、フェロモンの混合比は完全に固定されており、環境に応じてロボットがフェロモンの持続時間を決定することが不可能な機構であった。

関連研究

本研究の最終目標は、群れによる物体の運搬である。このとき、エージェントには以下の機能が必要である: (1)物体の探索と他個体の誘引, (2)運搬対象物体や他個体との力学的干渉。エージェントは運搬に必要なエージェント数を Prey 周辺に呼び集める必要がある。この目的に対して、蟻が採餌時に用いている道標フェロモンという通信方法は非常に有効な手段である。蟻は、道標フェロモンを使うことによって自己の知能を高度に発達させることなく、環境に情報を付加することによって問題を解決している。

(1)の研究として、仮想的にフェロモン場を実現した研究と現実のフェロモンを用いた研究がある。仮想的なフェロモンを用いた研究として、Sugawara ら[4]や Nishinari ら[5]によるプロジェクターでフェロモン場を投影し、スクリーン上でロボット群の採餌行動を実現している研究がある。これらの研究では、ロボット群は現実の化学物質を用いてコミュニケーションしていない。また、実際のフェロモンを用いたロボット研究として、下山ら[6]は実際の昆虫の触覚とフェロモンを用いてフェロモン追従行動を単体のロボットで実現した。しかし、群行動については考察されておらず、また群ロボットにおいて生体材料を用いることには限界がある。Purnamadjaja ら[7]は、2種類の化学物質を用いて群ロボットを誘引させることに成功している。しかし、残念ながらリーダー・ロボットがフェロモンを発し、スレイブ・ロボットがそのフェロモンをトリガーに行動するという機能分化されたシステムであり、単一の個体で構成される群がフェロモンによるコミュニケーションを行い相互作用するという機能を有していない。

(2)の研究として、ロボット群による協調運搬の研究として、Gross ら[8]や Kube ら[9]による研究がある。しかし、これらの研究では、運搬対象物体やロボット群が発光し、ロボット群は光通信によって相互にコミュニケーションを行い、フェロモン場のような化学物質を用いて間接的にコミュニケーションする通信方法をとっていない。

これまでに、本プロジェクトではフェロモン・コミュニケーションを行うロボット群に関する研究を行ってきたが、トレイルの持続時間を自律的に決定する機構を備えていなかった。そのため、本プロジェクトでは、フェロモンの混合比を可変にする機構を備えたロボットの開発に着手する。

4.1.2 フェロモンの混合比による群れの振る舞いの変化

本プロジェクトでは、フェロモンの混合比を変えることによって、群れの挙動が変化することを実証するために予備実験を行った。

計算機シミュレーション

実機による検証を行う前に、計算機シミュレーションによる検証を行った。シミュレーションにおける実験環境は、 180×360 [cm]とし、Nest（目的地）、Prey（餌）をそれぞれ1つとした。また、投入個体数は5体とし、フェロモン濃度を0, 10, 20, ..., 100%として実験を行った。

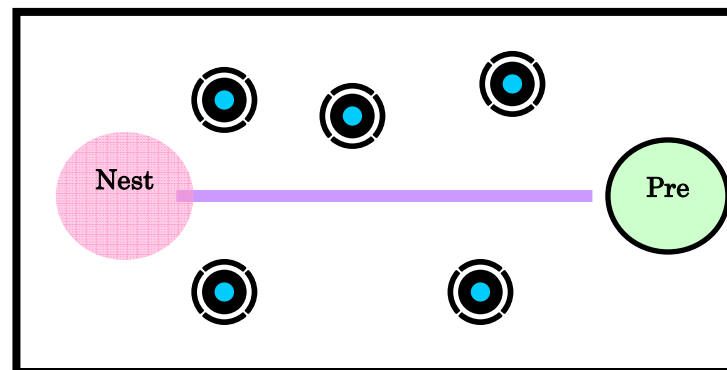


図4.1.2.: Simulation setting of field and robots

実験結果を以下に示す（図 4.1.3 参照）。図 4.1.2 は、フェロモン濃度と群れの挙動の関係を示す。横軸はフェロモン濃度を示し、縦軸は「敷設」と「強化」回数を示す。敷設とはロボットがランダムウォークしているときに Prey を発見した行動であり、強化とはフェロモン・トレイルを追従して Prey を発見した回数を示す。

図 4.1.3 に示すように、フェロモンの濃度が高くなると、敷設回数よりも強化回数の方が

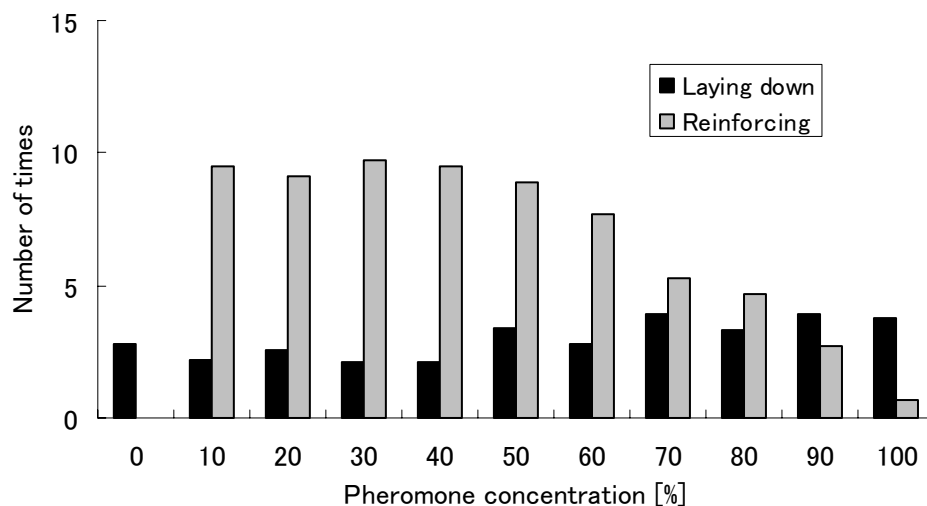


図4.1.3: Simulation result of relationship between pheromone concentration and swarm behavior

多くなっていることがわかる。この事実は、トレイルの持続時間が短くなると、群れは個体採餌から集団採餌へと採餌戦略を変換させていることを意味する。

実機実験

計算機シミュレーションと同じ条件でロボット群を用いて実験を行った。実験環境は 180×360 [cm] とし、Nest（目的地）、Prey（餌）をそれぞれ 1 つとした。また、投入個体数は 5 体とし、フェロモン濃度を実験回数の問題から、0、25、50、75、100% として実験を行った。Fig. 3 に

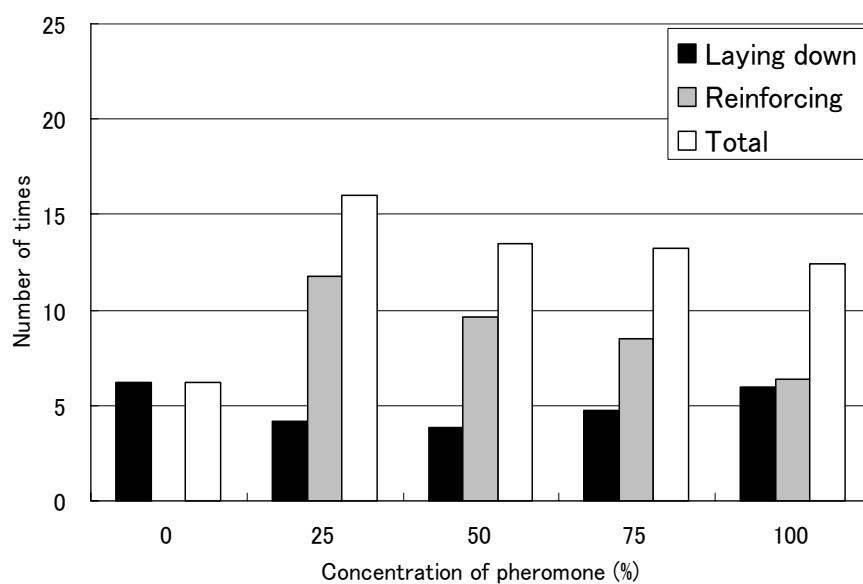


図4.1.4: Experimental result of relationship between pheromone concentration and swarm behavior

図 4.1.4 の縦軸と横軸は、図 4.1.3 と同様である。図 4.1.4 に示すように計算機シミュレーションと同様にフェロモン濃度が高くなると敷設回数は増加し、強化回数は減少する振る舞いが見られた。この結果は、トレイルの持続時間がフェロモン・コミュニケーションを行う上で重要な要素になっていることを示す。

上記の予備実験の結果に基づいてフェロモン濃度を自律的に決定するための機構を有するロボットの開発を行った。

4.1.2. フェロモン濃度可変機構を搭載したロボットの開発

前述の予備実験の結果から、フェロモン濃度が群れの振る舞いに大きな影響を与えることがわかった。そこで、水・エタノール混合液（フェロモン）の混合比を可変にする機構をロボットに搭載した（図 4.1.5、4.1.6 参照）。

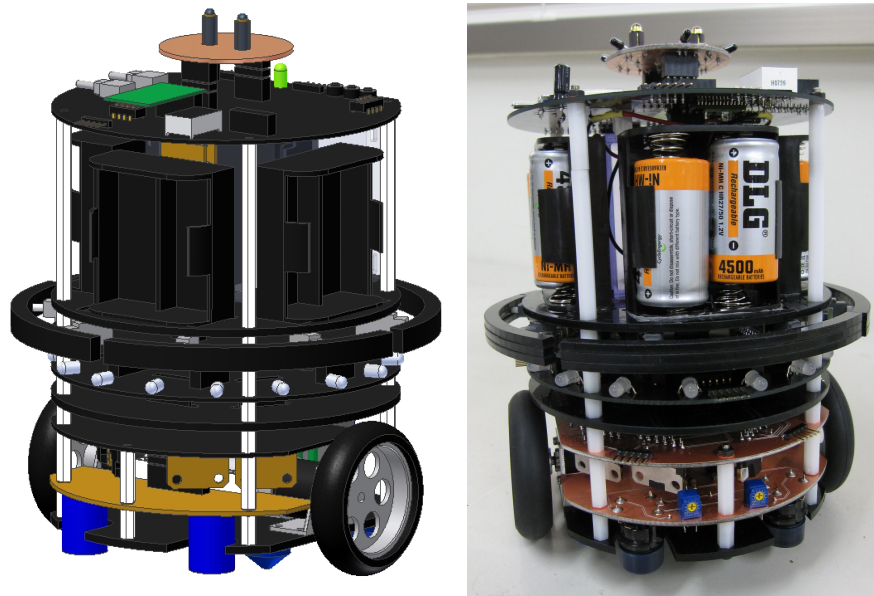


図4.1.5: Robot configuration

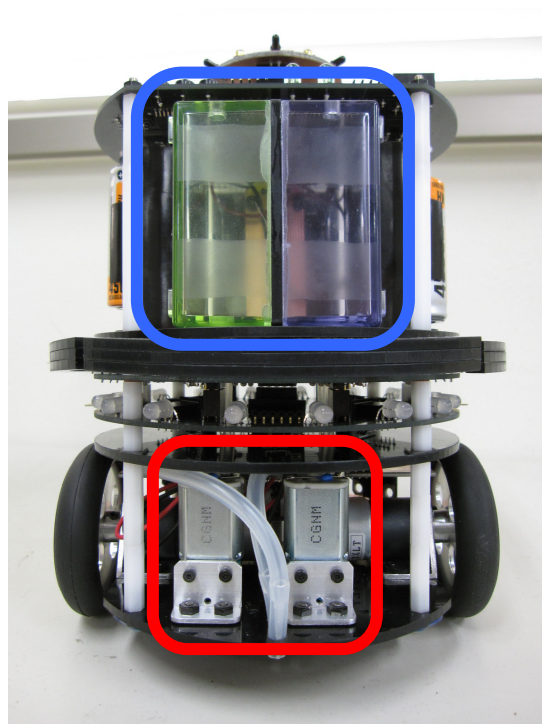


図4.1.6: Robot configuration

昨年度のカデット・プロジェクトにおいてつという構成であった．本年度開発した機タンク2つという構成になっている．このぜることが可能になった．また，それぞれ2種類のフェロモンを環境に塗布可能な機

開発した機体には，ポンプ1つ，タンク1体は，図4.1.6に示すようにポンプ2つ，ため，水とエタノールを任意の混合比で混のタンクに異なる科学物質を入れることで体になっている．

上述のロボットのシステム図を示す（図 4.1.7 参照）。

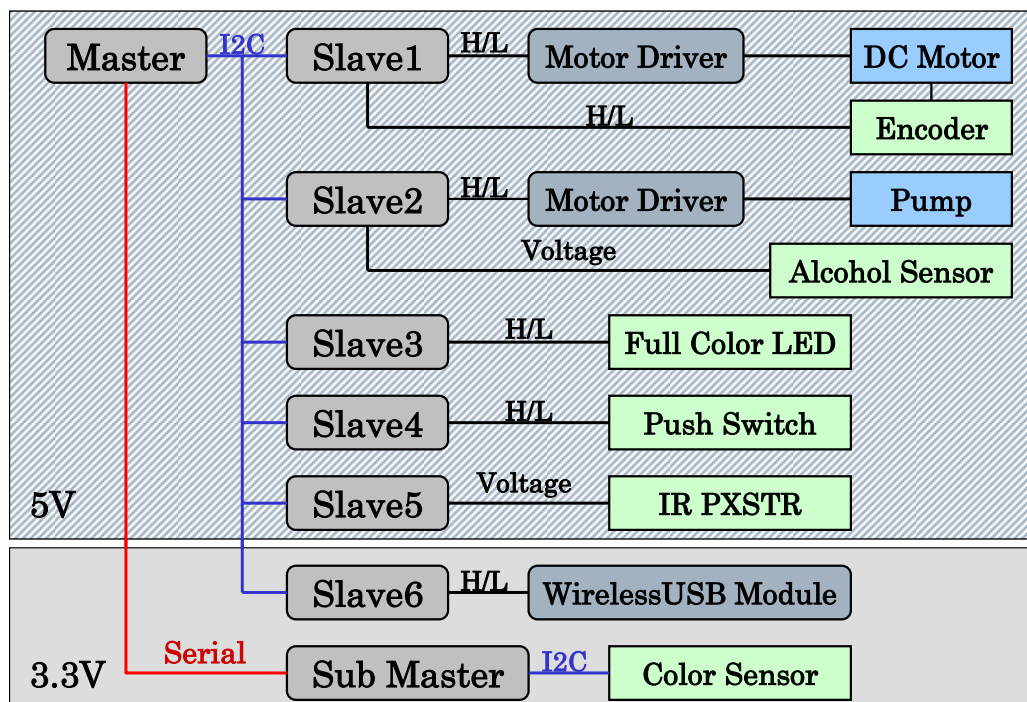


図4. 1. 7. : System of robot

マスタ IC にスレイブ IC が 6 個接続されている。また、システム上の都合からサブ・マスタが存在している。他個体の識別のためにカラーセンサを新たに搭載し、このセンサのためにフルカラーLED を搭載している。

4.1.3. まとめ

本プロジェクトは、魅力ある大学院プログラム「カデット教育」にプロジェクトを提案し、3 年目であった。初年度には、ロボティクスにおいてフェロモン・コミュニケーションが可能であるかを検討し、次年度には初年度の研究成果に基づいて新たに機体の再設計を行い、計算機シミュレーションとロボット群実験を用いてフェロモン・コミュニケーションの諸性質について検討を行った。しかし、これらの実験は静的な環境下を想定したものであり、実世界とは異なる。そのため、本年度は実世界の動的な環境下でフェロモン・コミュニケーションを行うロボット群を運用するための機体の開発を行った。本年度開発した機体に基づいてシミュレーション上でのモデル化を行い、大規模・動的な環境下でのシミュレーション実験を行った後、ロボット群実験を行うことで、実環境でのフェロモン・コミュニケーションを行うロボット群を運用するための知見を蓄積していく。

参考文献

- [1] エドワード・O・ウィルソン, 社会生物学, 新思索社, 1999.
- [2] P. Karlson, A. Butenand, Pheromones (Ectohormones) in Insects, *Annual Review of Entomology*, vol. 4, pp. 39-58, 1959.
- [3] 松香光夫, 大野正男, 北野日出男, 後閑暢夫, 松本忠夫, 昆虫の生物学, 玉川大学出版部, 1992.
- [4] K. Sugawara, T. Kazama, T. Watanabe, “Foraging behavior of interacting robots with virtual pheromone”, *Intelligent Robots and Systems*, vol. 3, pp. 3074-3079, 2004.
- [5] K. Nishinari, K. Sugawara, T. Kazama, A. Schadschneider, D. Chowdhury, “Modeling of self-driven particles: Foraging ants and pedestrians”, *Physica A*, vol. 372, pp. 132-141, 2006.
- [6] 下山勲, 神崎亮平, “生物型マイクロマシン”, *バイオメカニズム学会誌*, No. 4, vol. 22, pp. 152-157, 1998.
- [7] A. H. Purnamadjaja, R. A. Russell, “Guiding robots' behaviors using pheromone communication”, *Autonomous Robots*, No. 2, vol. 23, pp. 113-130, 2007.
- [8] R. Gross, E. Tuci, M. Dorigo, M. Bonani, F. Mondada, “Object transport by modular robots that self-assemble”, *Proc. of the 2006 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 2558-2564, 2006.
- [9] C. R. Kube, E. Bonabeau, “Cooperative Transport by Ants and Robots”, *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 30, No. 1-2, pp. 85-101, 2000.
- [10] M. Dorigo, E. Bonabeau, G. Theraulaz, “Ant Algorithms and Stigmergy”, *FUTURE GENERATION COMPUTER SYSTEM*, vol. 16, No. 8, pp. 851-871, 2000.
- [11] R. Fujisawa, H. Imamura, T. Hashimoto, M. Fumitoshi,
- [12] 車谷浩一, 蟻コロニーにおける協調採餌行動のマクロモデル (1) -単純モデルにおけるシミュレーションとモデル生成, *人工知能学会誌*, vol. 15, No. 5, pp. 829-837, 2000.
- [13] 車谷浩一, 蟻コロニーにおける協調採餌行動のマクロモデル (2) -外界からの刺激に対する不応期メカニズムの導入に関する分散制御, *人工知能学会誌*, vol. 15, No. 5, pp. 837-843, 2000.

4.2 撫でられる感覚伝送装置

プロジェクトリーダー：古川 正紘 知能機械工学専攻 博士2年 松野・長谷川研究室

プロジェクトメンバー：永谷 直久 知能機械工学専攻 博士2年 松野・長谷川研究室

指導教員：松野文俊・下条 誠

4.2.1 プロジェクトの目的

本プロジェクトでは、「撫でる」という行為を知覚的に等価な再現を行う触覚提示装置を提案することを目的とする。

4.2.2 研究の背景

近年、エンタテインメント分野ではゲーム内容拡充の一環として「体感できること」が貴重な付加価値持つようになってきた。体感できるゲームとは、従来の画面を注視し指でボタンを押すだけではなく、手などに触覚提示がなされる、もしくは体全体を動かすことを前提にデザインされたゲームのことである。すでに広く普及した多くのゲーム機の特徴として、コントローラが当たり前のように触覚提示機能を持つようになった点が挙げられる。特にここ数年で爆発的な普及を遂げたゲーム機任天堂社製「Wii」は、ゲームに慣れ親しんでいない未体験者層の興味を惹きつけることに成功した点で特筆に価する。これは直感的なユーザインタフェースの研究成果が、広く家庭に広まりつつあることを予感させる。

しかしながら、ユーザインタフェースとして非常に高い完成度を持つコントローラが多い一方、入力に対し出力の帯域の狭さが課題点として指摘されている。例えば、時には体を大きく動かして操作するなど情報量が多い入力が可能な一方で、コントローラから出力される情報は未だに振動子からの単調な振動などに限られる。近年このような課題を、高品位触覚提示という概念を用いて解決を試みる報告がなされている[1][2]。従来の触覚提示装置では提示が難しかった生き物のような触覚や、体をばっさり切られる感覚の提示を試みている。これらは、情動に訴えかけることのできる情報量の多い触覚提示手法ということができる。そこで本プロジェクトでは情動へさらに働きかけることが可能な「撫でる」という行為に着目し、これを入出力可能な触覚提示装置の開発を試みる。

4.2.3 本プロジェクトの有用性・独創性

撫でるという行為は、親しい関係の間で一般的にコミュニケーションの一環として行われる行為である。対人関係を築くにあたり有効に作用するだけでなく、特に幼少期にスキンシップとして人間形成に重要な役割を果たす。つまり、撫でる行為を工学的に再現可能であるならば、その有用性は多くの分野にわたると考えられる。すなわちエンタテインメント分野における付加価値向上、バーチャルリアリティ分野の遠隔地コミュニケーション・ノンバーバルコミュニケーションだけでなく、心理治療そのものに大きな貢献を果たすことが可能であると思われる。

先行研究として、Lee らは遠隔地のペットの世話を支援するための技術としてペットとのコミュニケーションに着目し、ペットを撫でる行為の伝送にも取り組んでいる[3]。しかし、ペットへの触覚提示は複数の振動モータを用いたものに限られている。

4.2.4 撫でる行為の分解と定義

撫でる行為は、例えば手で弱い圧力を加えながら相手の体に手を這わせることで成立する。そこで図1に示すように撫でる行為を定義する。コミュニケーションとしての撫でる行為に着目したとき、これは撫でる側と撫でられる側との二者間相互作用と捉えることができる。本稿ではこの撫でる行為を工学的に再現するために、撫でられる感覚伝送装置を設計する。

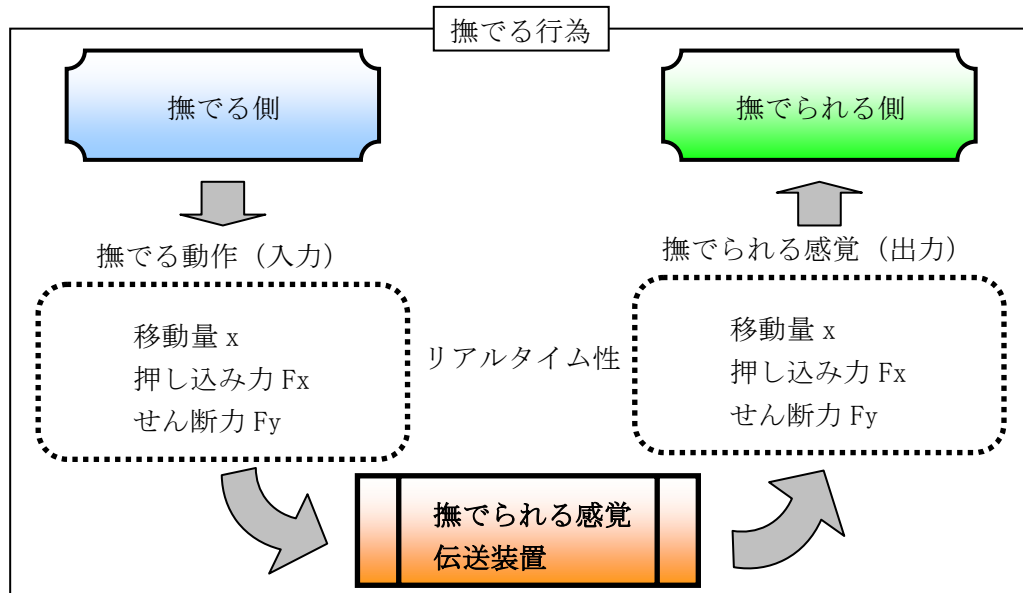


図 4.2.1 撫でる行為の分解と構成

図 4.2.1 は、撫でる側と撫でられる側で力を介したコミュニケーションが行われることを示している。その間に撫でられる感覚伝送装置が介在し、撫でる行為の取得と再生を実現する。このとき、本稿で提案する撫でられる感覚伝送装置に対し撫でる動作は入力に、撫でられる感覚は出力に相当する。またリアルタイム性を維持し、装置に撫でる行為が入力されると直ちにこれを出力側が再現する。

4.2.4.1 撫でられる感覚の定義

次に撫でられる感覚を詳細に定義する。本稿では撫でられる感覚を力により記述することを試みる。そこで人間の感覚である触覚に対してアプローチを行う。この触覚は表在感覚という皮膚表面で取得される感覚の一つに分類される。表在感覚には、触れられた感覚である触覚、暖かさもしくは冷たさを感じる感覚である温覚、冷覚などが分類される。

ここで撫でられる感覚が生起される過程を図 4.2.2 に示す。図 4.2.2 はヒトの皮膚表面 (Skin) 付近に物体 (Obj.; Object) が非接触状態で静止していることを示している。右に進むに従い、撫でられる過程は次のように定められる。同図 4.2.2 では、物体が皮膚表面に接触し押し込み力 F_y が生じた状態である。次に同図 4.2.3 はこの押し込み力を維持したまま右方向に物体が移動し、摩擦力に起因するせん断力 F_x が生じたことを示している。図 4.2.4 では物体が皮膚表面から離脱し、 F_x および F_y が 0 となる状態である。ここで皮膚と物体の接点の状態に注意する必要がある。この接点では接触するのみであり、図 4.2.2 から図 4.2.3 へ至る過程ですべりを生じる必要がある。このときスティックスリップ現象の発生、もしくは動摩擦係数により定まるせん断力 F_x が提示され続ける状態を期待する。

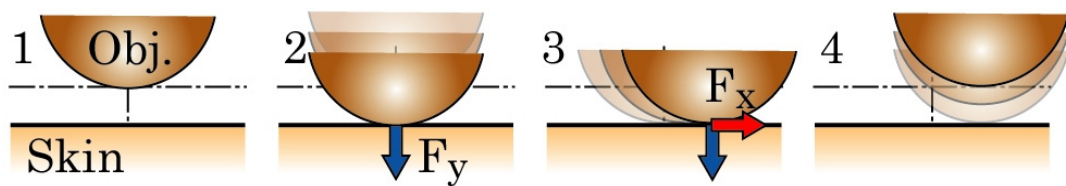


図 4.2.2. 撫でられる感覚生起過程

さらに、この F_x , F_y を一時的に生成するだけでなく、これらの力が維持されたまま空間方向に移動していく感覚を生成する．この現象により生じる感覚を、撫でられるという触覚体験と定義する．本稿ではこの押し込み力 F_y , せん断力 F_x , スティックスリップ現象、提示部位の移動の再現を目標とする．

4.2.4.2 撫でる行為の定義

撫でる行為の入力を、撫でる行為とは主に掌を撫でる対象に触れさせた状態を維持したまま移動させる動作を指すと定義する．従って、上述の F_y および F_x を計測可能な2軸の力センサを撫でられる対象表面に分布させることで、撫でる行為の入力部を構築可能である．

4.2.4.3 撫でる部位と撫でられる感覚提示部位

本稿で提案する提示装置は、将来的に遠隔地での双方向コミュニケーションの実現を目指している．従って、軽量且つ使用が容易な装着型の提示装置を目標とする．さらに撫でることも撫でられることも容易である感覚提示部位を考えたとき、上腕部が妥当であると思われる．頭部は撫でられる感覚を提示する部位としては適している．しかし遠隔地にいる相手を思い描きながら頭を撫でるために、マネキン人形の頭を用いることは望ましいとはいえない．一方で、自分の上腕を相手の上腕であると想定し、その上腕を撫でるという使用例はより実用的であると思われる．これらの条件を満たす触覚提示装置を図 4.2.3 に示す．

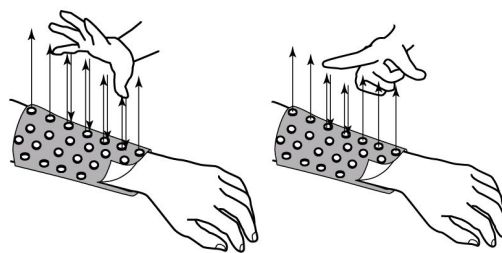


図 4.2.3 提案する触覚提示装置

撫でられる感覚提示面と撫でる動作取得面は、一対一対応関係に保たれることが望ましい．なぜならば、相手の撫でたい部分を容易に自分の上腕に投射可能となるからである．しかし図 4.2.3 の設計は、撫でる動作を入力するために提示装置に直接接触すると、これにより生じる力自体が装着者自身に提示されてしまうという欠点をもつ．そこでこの問題を回避するために、撫でる動作は光学式距離センサを用い非接触で取得することとする．

4.2.4.4 撫でられる刺激の工学的な再現

図 4.2.2 に示す原理を応用し、本稿では図 4.2.3 に示す分散型押し込み原理による連続的なせん断力提示方法を用いる。装着型の様な限られた実装空間内で連続的な物体の移動を表現するために、図 4.2.2 に示した移動物体(Obj.)を分散させることを考える。この利点は、図 4.2.4 に示すような曲率半径の異なる物体を介した感覚の提示が可能になるだけでなく、上述の提示部位の移動が実現できることにある。

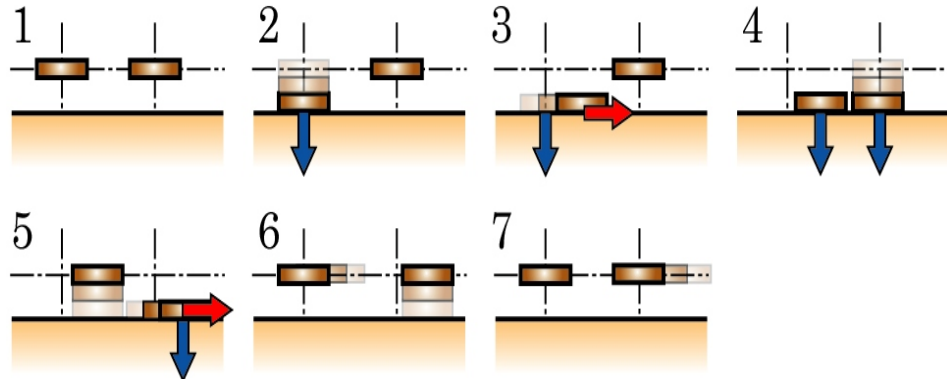


図 4.2.3 分散型押し込み部による連続的なせん断力提示方法

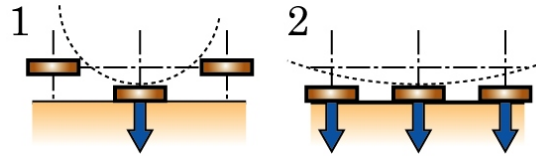


図 4.2.4 通過物体のもつ曲率半径の違いによる提示面積の変化

これを図 4.2.5 に示す機構により実現する。提示装置は 10 自由度 $\{\theta_1 \sim \theta_5, \phi_1 \sim \phi_5\}$ を持つ 5 本の指形状をした可動部を持ち、サーボモータによりこれを制御する。垂直方向 ϕ_n は腕に指を押し付ける方向であり、触覚は生じるが痛覚の生じない強度で力が提示される。水平方向 θ_n は腕を撫でる方向である。撫でる動作の入力に伴い、サーボ角度 θ_n および ϕ_n を図 4.2.3, 4.2.4 の制御側に従って制御する。

図 4.2.6 に提示装置制御系ブロック図、図 4.2.8 に製作した提示装置、図 4.2.9 に腕に装着した様子を示す。提示装置には 5 本の指形状部全てにそれぞれ距離センサ (SHARP GP2D120XJ00F) が合計 5 個分布しており、撫でる動作を取得する。マイコンボード (Pirkus RE00V) はサーボモータ (コロナ DS-929MG) の制御およびセンサアナログ出力の AD 変換を担当する。上腕への提示可能範囲は約 20cm、重量は 300g 前後である。

センサ i から時刻 t に得た距離情報 $L_i(t)$ はマイコン内で正規化された後、図 3 に示す動作シーケンスの駆動条件として参照される。駆動条件は下記の通りである。

$$\phi_i = AL_i, A \text{ is const.}$$

$$\theta_i = \text{if}(AL_i(t-1) > AL_{i-1}(t-1) \text{ and } AL_i(t) = AL_{i-1}(t-1)) \text{ then } BL_i \text{ else } 0, B \text{ is const.}$$

(式 1)

$$\theta_i = \text{if}(AL_i(t-1) < AL_{i-1}(t-1) \text{ and } AL_i(t) = AL_{i-1}(t-1)) \text{ then } -BL_i \text{ else } 0, B \text{ is const.}$$

式 1 は離散系における時空間微分を条件とした制御則を表している．この式により定まる制御側を用いることにより，2 軸の力センサを用いることなく光学式距離センサにより撫でる動作を取得することが可能となる．

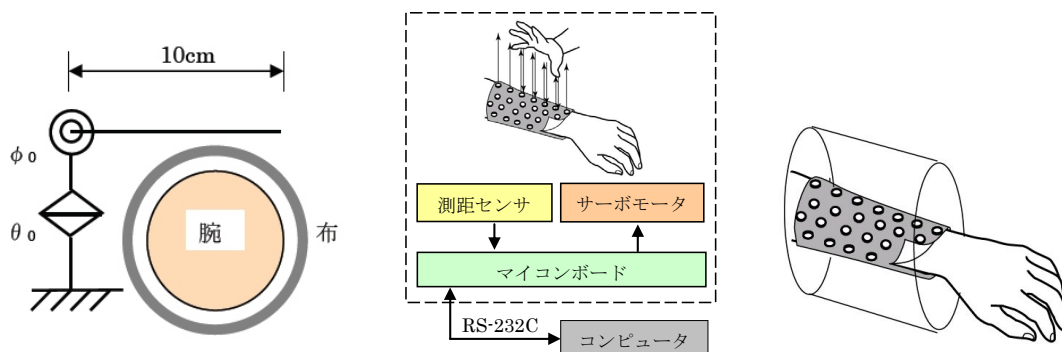


図 4.2.5 刺激機構の自由度 図 4.2.6 制御系ブロック図 図 4.2.7 皮膚感覚の外化

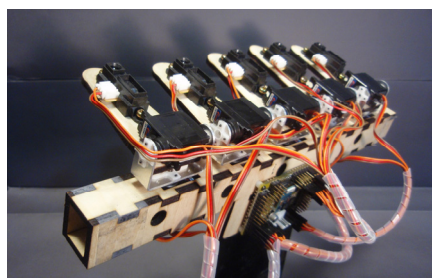


図 4.2.8 撫でられる感覚提示装置

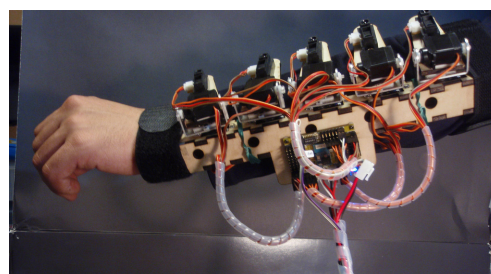


図 4.2.9 提示装置を装着した様子

4.2.3 評価実験

製作した提示装置が撫でられる感覚を生起可能であることを示すために，評価実験を実施した．評価項目は下記の3種類である．

評価 1：通過物体の大きさ識別

評価 2：せん断方向自由度の効果確認

条件 1 垂直方向のみ

条件 2 せん断方向のみ

条件 3 垂直+せん断方向のみ

評価 3：主観的な皮膚表面感覚の外化

主観的な皮膚表面感覚の外化とは図 4.2.7 に示すように，皮膚表面が外部に拡張されたかのように錯覚する現象である．

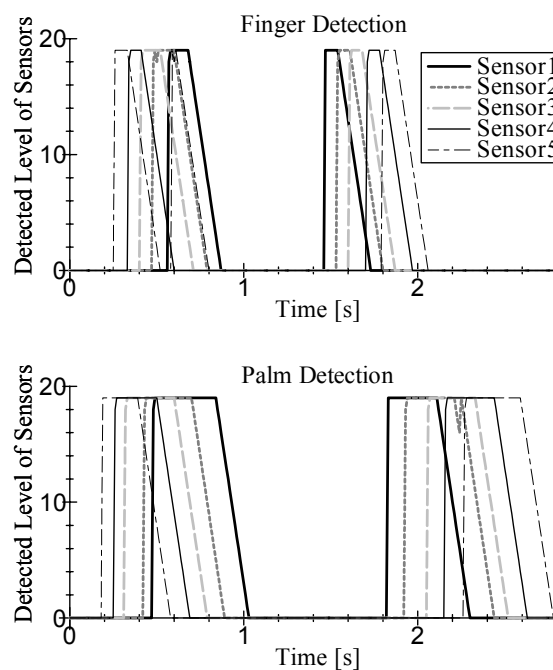


図 4.2.10 異なる大きさの物体検出結果

4.2.4 結果と考察

全ての実験は、化学繊維素材の布を上腕部に着用した上で提示装置を装着し実施された。また撫でる動作の入力は距離センサの正面で手をかざしたまま移動させることにより行なった。評価1の結果を図10に示す。これは提示装置上に配置したセンサを用いて指と掌を検出した際のマイコンの内部状態 $L_i(t)$ を示した結果である。図上が指、図下が掌である。直径約2cmの指に対し大きい直径約10cmを持つ掌を検出した場合に、時間軸方向に幅の広いパルスとして検出されていることがわかる。また、図4に示す曲率半径の異なる物体に応じた押し込み力提示については、指検出時には1つの、掌検出時には3つの ϕ_n が押し込み方向に動作した。また装置を腕に装着し指および掌の通過を主観的に区別することができた。

評価2において、まず(1) 水平 θ_n 方向を固定し垂直 ϕ_n 方向のみ動作させた場合、指程度の大きさのものに叩かれている感覚が連続的に腕を移動していく感覚を生起した。撫でられる感覚は生起しなかった。次に(2)垂直 ϕ_n 方向を固定し θ_n 方向のみを動作させた場合、くすぐられた感覚を生じることがあったが、撫でられる感覚は生起しなかった。最後に、(3)水平 θ_n 方向および垂直 ϕ_n 方向両方を制御則図3に従い動作させた場合、上述の条件(1)における衝突感覚の連続、もしくは条件(2)で生じたくすぐられた感覚が再現した。その後センサ入力量に対する角度出力量を決定付ける式1におけるゲインA、Bを調整した。その後再度実験を行ったところ、撫でられる感覚が生起した。その際、サーボ角が式2の条件を満たす場合に高い確率で撫でる感覚を生起できることが示唆された。

$$\text{せん断方向移動量 } \theta_i > \text{垂直方向移動量 } \phi_i \quad (\text{式2})$$

評価3は、本稿で提案する装置の持つ構造に起因する2次効果の確認のために実施された。本装置は光学距離センサにより皮膚表面に対して突出した外界を観測可能なため、これに応じた触覚提示は主観的な皮膚表面感覚の外化が生じる可能性が指摘された。しかし装着し主観的体験を経た実験の結果、期待した感覚を生起することはできなかった。十分な訓練時間を設けた順応時間が確保されなかったためであると思われる。

4.2.5 まとめ

本稿では、撫でられる感覚を工学的に再現可能な触覚提示装置を提案した。本提示装置は10自由度を有する装着型機械的圧迫手法を用いたものである。評価実験の結果、太さの異なる物体の通過を識別可能であることを確認し、せん断方向の移動感提示が撫でられる感覚の生起に有効であることが示唆された。

4.2.6 今後の課題

今後の課題は、主観的な感覚を客観的な物理量に落とすための心理物理実験、撫でる動作から撫でられる触覚提示へ変換するための最適ゲインの導出、複数台を用いた双方向遠隔地伝送実験などが挙げられる。

参考文献

- [1] Y. Hashimoto, H. Kajimoto: A Novel Interface to Present Emotional Tactile Sensation to a Palm using Air Pressure, in Proceeding of the 26th annual CHI conference, pp.2703-2708, Firenze, Italy, April, 2008.
- [2] S. Ooshima, Y. Hashimoto, H. Ando, J. Watanabe, H. Kajimoto: Simultaneous presentation of tactile and auditory motion on the abdomen to realize the experience of “being cut by a sword”, in

Proceeding of the 6th International Conference, EuroHaptics 2008, pp.681-686, Madrid, Spain, 2008.

- [3] Shang Ping Lee, Adrian David Cheok, Teh Keng Soon James, Goh Pae Lyn Debra, Chio Wen Jie, Wang Chuang and Farzam Farbiz, A mobile pet wearable computer and mixed reality system for human!! poultry interaction through the internet, Personal and Ubiquitous Computing, Springer London, Vol.10, No.5, pp. 301-317, 2006

4.3 複数台レスキューロボットを柔軟に操縦できる操縦インタフェースの開発

(1) プロジェクトメンバー

知能機械工学専攻博士前期過程 1年 水本尚志

知能機械工学専攻博士後期過程 3年 佐藤徳孝

知能機械工学専攻博士後期課程 2年 根 和幸

知能機械工学専攻 特別研究学生 青木孝文

電子工学専攻博士前期課程 1年 鈴木 学

人間コミュニケーション学科 4年 岡野 裕

(2) 指導教官

知能機械工学専攻 松野文俊

電子工学専攻 桜間 一徳

(3) 研究背景

1995 年に発生した阪神淡路大震災では、多くの被災者が倒壊した建物の下敷きになり、尊い命を失った。被災者（要救助者）が生き埋めになった場合、災害発生から遅くとも 7 2 時間以内に救出されることが必要とされている[2] (図 4.3.1)。要救助者の救助活動をより迅速に行うために、レスキュー活動を支援する「レスキューロボット」の必要性が高まっている。要救助者を迅速に救出するためには、まず要救助者を発見する必要がある。しかし、災害現場には有害なガスや高温、倒壊の可能性等人間にとって非常に危険な場所も多く(図 4.3.2)、重機で倒壊した建物の瓦礫を取り除くには時間がかかる上に 2 次災害の危険もある。そこで、瓦礫や倒壊した家屋に入り込んで要救助者の探索を行うレスキューロボットの開発が進められている。

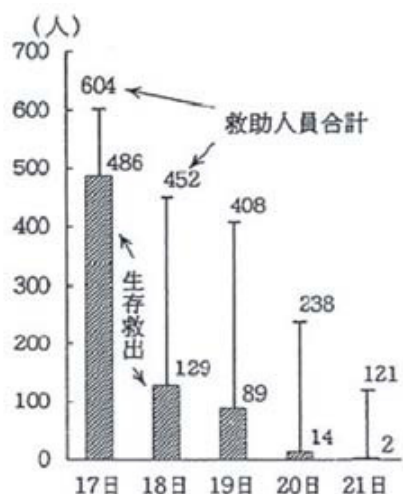


図 4.3.1 生存者の日別推移



図 4.3.2 震災で倒壊した家屋

(4) レスキューロボット操縦インタフェース

これまで開発されてきたレスキューロボットには、主に遠隔で操縦するものと、自律で探索を行うものがある。遠隔で操縦する場合は、一般的にロボットに搭載されたカメラから無線を通して送られた映像を見ながら、ジョイパッドやキーボード等を用い

て前進，後退，旋回等の指令を行うが，このようなインタフェースでは複数台のロボットを一人の操縦者が遠隔操作することは難しい．そこでジョイパッド等よりもより直感的に操縦するための方法として，タッチパネルを用いた地図入力インタフェースが用いられている[3]．操縦者は地図上にあるロボットの移動目標地点を指定したり，そこまでの経路を入力することによってロボットの周囲の環境を把握しながら広域的な視野でロボットを操縦することができる(図 4.3.3)．また，移動目標点を与えた場合，ロボットは自律で走行しその目標点まで移動する．

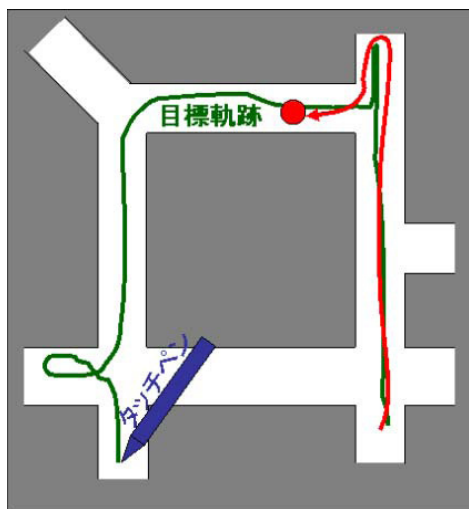


図 4.3.3 地図上での目標点・軌道入力

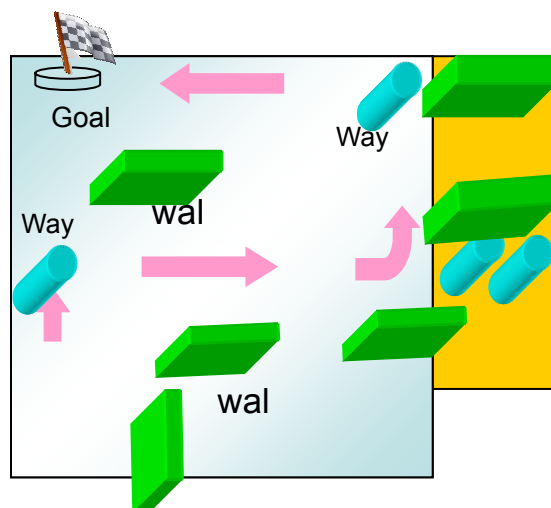


図 4.3.4 囲い込みによるロボット操作

(5)従来の複数ロボット操縦インタフェースの問題点

複数ロボットの移動指令を与える手段の一つとして，移動目標の軌道を地図上に描く方法がある．ロボットが忠実にその軌道を追従した場合，地図上では安全に走行しているように見えても，実世界ではわずかな誤差やロボットの形状からロボット同士や，壁に衝突する場合がある．その様な事態を回避するために，移動目標の軌道を障害物に合わせて補正する手法も多数存在する[4]が，環境が複雑になり・ロボット台数が多くなるにつれ対応できない場合もある．また災害現場での突発的な環境の変化への対応が難しい．その様な問題に対処するため，複数台のロボットを移動させる際にはロボットを自律的に走行させ，移動の目標地点を与えてその地点まではロボットに自律的に衝突回避をさせながら走行させる方法もある[5]．しかし，未知環境の探索においてはロボットが意図している方向と違った方向に移動してしまったり，移動方針が立てにくいいため操作が煩雑になってしまう．

(6)研究内容

実物体を用いたロボットの囲い込みによる誘導

本研究では，ロボットを「囲い込んで」誘導することにより複数台ロボットのナビゲーションの問題を低減する手法を提案する．

図 4.3.4 に示す赤い点をロボット，灰色のエリアを障害物とする．これらは画面上で描画されている．その画面上にロボットにとって仮想の壁として認識させる緑の実物体，目標点を表す緑の実物体を置く．システムによって物体の位置・姿勢が認識され，ロボットに仮想の壁と目標点を与える．このようにして複数のロボットを任意の場所へと誘導する．壁と目標点は実物体であるため，手ですばやく移動・姿勢の変更を行うことができる．特

に災害現場では、突発的に環境の状態が変化することが考えられるのが、その様なときも即座に環境の変化に合わせてロボット集団の動きを調整することができると考えられる。これにより自律で移動するロボットは環境必要のない角で曲がったり、遠回りすることなく効率よく目的地にたどり着くことができる。オペレータは細かい指令を与えることなく、最低限の条件を与えるのみで探索を行わせる。ロボットが通過し終わった場所については随時設置した物体を除去することができる。

このことにより、最低限の移動条件を入力して細かな移動はロボットの自律走行アルゴリズムに任せ、人間は最低限進入して欲しくないエリアと向かって欲しい地点を入力するシンプルな操作で複数のロボットを同時に操作できる。また実物体によって操作するため、壁・目標点をすばやく直感的に敷設でき、座標や姿勢の変更をすばやく行うことができる。

(7)提案時の今年度目標

(実物体) 操作用実物体 (壁・目標点) の作成

(実物体操作用ディスプレイ) 実物体操作用ディスプレイの作成

(アプリケーション) 操作用 GUI・実物体認識アプリケーション・ロボット走行シミュレータの作成・統合

(自律走行アルゴリズム) 左手法・先頭追従アルゴリズムの作成・実装

(動作実験・改良)

(8)今年度の成果

(実物体) 操作用実物体 (壁・目標点) の作成



図 4.3.5 作成した操作用実物体 (上面)



図 4.3.6 作成した操作用実物体 (裏面)

「操作用実物体 (壁・目標点) の作成」と題して、ロボットを囲い込んで誘導するための壁・目標点を入力するための実物体デバイス (図 4.3.5, 図 4.3.6) を作成した。このデバイスは底面に赤外線 LED を複数個取り付けており、ディスプレイのミラー越しに CCD カメ

ラに向かって赤外線を放射する。赤外線 LED は壁とする実物体には 5 個直線状に、目標点とする実物体には 3 個三角形上に配置し、この形状と個数を認識アプリケーションで読み取ることによってそれぞれの座標・姿勢を求めることができた。

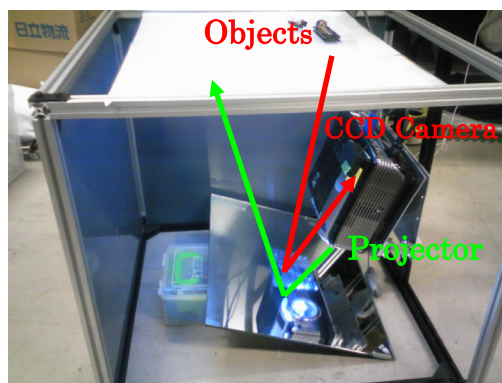
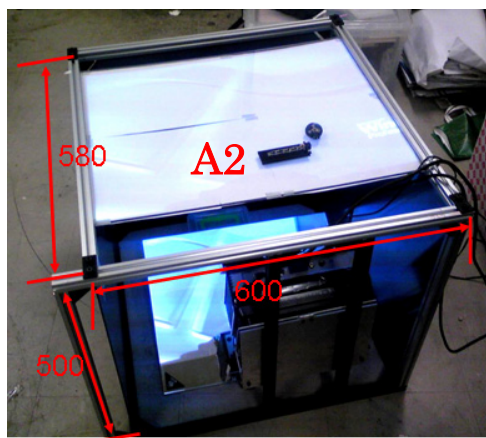


図 4.3.7 実物体操作ディスプレイ (実物体操作ディスプレイ) 図 4.3.8 投影・赤外光読み取りのしくみ

「実物体操作ディスプレイの作成」と題して、実物体からの赤外光を CCD カメラで読み取り、同時にプロジェクターを用いて映像を投影するディスプレイ (図 4.3.7) を作成した。ディスプレイはアルミフレーム・アクリル板・ミラー・CCD カメラから成り、図 4.3.8 に示すようにミラーを用いて投影・赤外光の読み取りを行った。プロジェクターから投影される操作 GUI の映像は十分な光路長を保つためにミラーで反射されアクリル板の裏面に投影紙に投影された。実物体から放出された赤外光は投影紙を透過してミラーで反射し、プロジェクターと同じ光軸・位置に取り付けてある CCD カメラで読み取ることで実物体からの位置・姿勢情報を得ることができた。

(アプリケーション) 操作 GUI・実物体認識アプリケーションの作成・統合

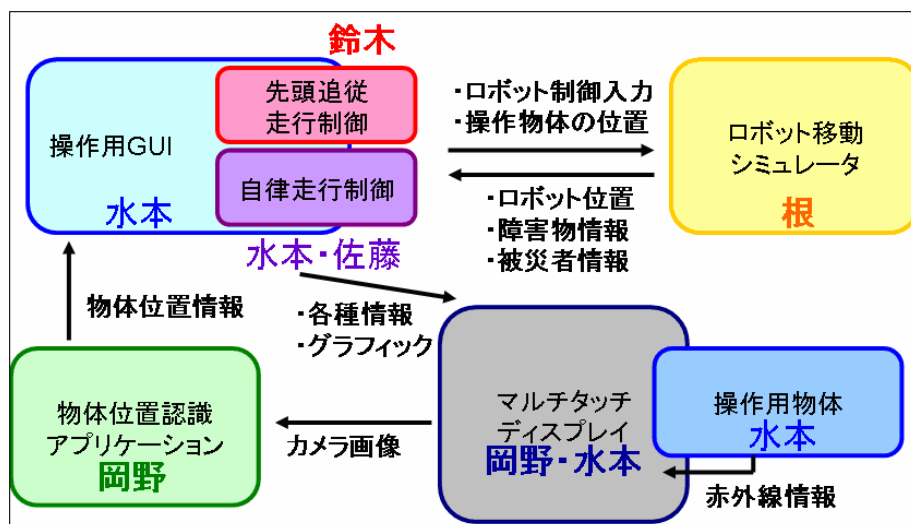


図 4.3.9 ソフトウェアのシステム構成図

「操作 GUI・実物体認識アプリケーション・ロボット走行シミュレータの作成」と題し

て、図 4.3.9 に示すシステム構成の下操作 GUI、物体位置認識アプリケーション、ロボット移動シミュレータを作成した。各アプリケーション同士はリアルタイムに UDP 通信でデータの送受信を行った。

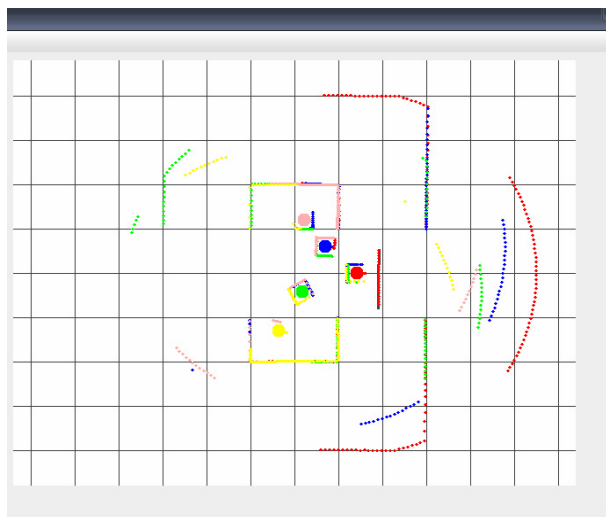


図 4.3.10 操作 GUI の外観

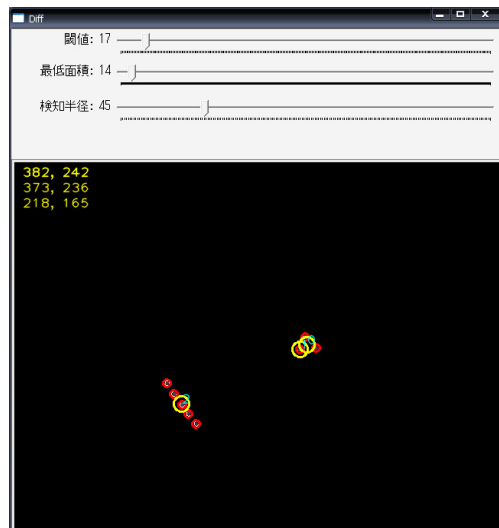


図 4.3.11 実物体認識アプリケーションの外観

・ 操作 GUI

操作地図・ロボット情報の表示として、GUI を作成した。プログラムは OS を選ばないという汎用性の高さと、画像処理系の API 群が充実していることから、J A V A を用いて記述した。図 4.3.10 に操作 GUI の外観を示す。この GUI は作成したディスプレイ上で表示され、実物体を画面上に置くために認識プログラムと同じスケールサイズとした。また、同じソフトウェア内に走行アルゴリズムも実装しており、障害物情報、物体の位置情報を元に作成された仮想情報から走行パラメータを算出し、ロボット移動シミュレータに情報を送信する。

・ 物体位置認識アプリケーション

配置された実物体の認識は次のような手順で行われる。実物体を配置する前の CCD カメラの画像を予め取得しておき、その画像と、現在のカメラ画像との差分をとる。結果、配置された LED の光のみが画像に残る。この画像を白黒 2 値化した後、輪郭を抽出する。この各輪郭の中心点を各々計算することで、各 LED の中心座標がわかる。実物体の裏面には複数の LED が取り付けられており、それら座標を平均することで、複数の中心座標が認識される。次にこれらの認識点がどの実物体のものを識別する必要があるが、これは各認識点間の距離を判断材料とした。それぞれの認識点間の距離をすべて算出し、一定の値よりも近いもの同士を同じ実物体の構成物として認識した。これら各認識点の座標と認識点の個数、そしてこれらの認識点の中心点座標を、カメラによる認識プログラムから GUI を担当するプログラムに UDP 通信で送信することで操作 GUI 画面上に認識結果を出力する。認識点の個数と実物体の認識の関係は Table. 1 に示すとおりである。また図 4.3.11 に CCD

カメラによる認識プログラム単体で実行した際の結果を示す。図 4.3.11 において、赤い丸は認識した LED を示す。黄色い丸は、赤い点それぞれが近隣にあり 1 つの実物体の構成物であると認識できた各点の中心を示す。

Table. 1 認識点の個数と GUI 上で表示すべき物体との対応関係

検出プログラムでの認識	想定される実際の LED 個数	GUI で認識する物体の種別
0～1	0	誤認識なので無視
2～3	3	目的地
4～5	5	壁
6 以上	エラー	誤認識なので無視

・複数台移動体走行シミュレーション

複数台ロボットの実験・デバッグは時間・ロボット実験スペース面で厳しいため、シミュレータを作成し、仮想空間内で走行実験を行った。

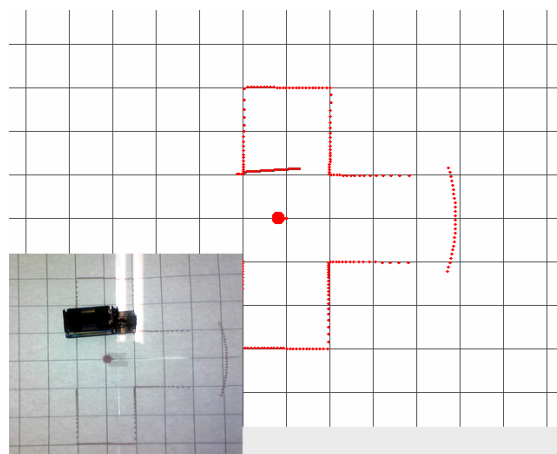
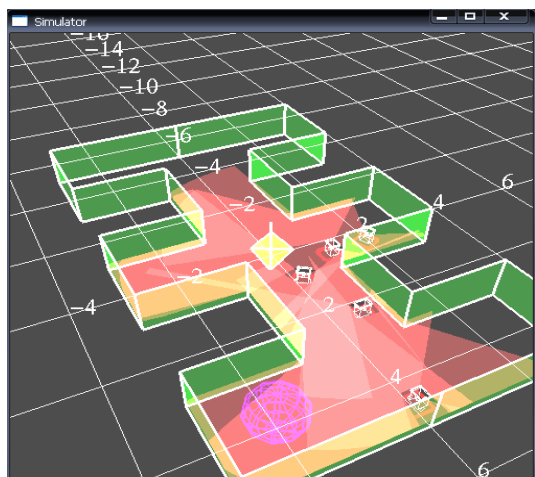


図 4.3.12 複数台ロボットシミュレータの外観 図 4.3.13 実験の様子
および実験環境

シミュレータは 2 輪移動体にレーザレンジセンサ（北陽電機 URG）を搭載したロボットモデルとしており、ロボットは移動しながら、中心部分からレーザを水平面に前方を中心として 270 度の方向に放射し、これにより半径約 4 m 以内の距離にある障害物の距離情報を得ることができる。操作用 GUI から受信した走行パラメータを元にロボットは走行し、得た周囲の障害物情報とロボット位置を返すことができた。描画系は OpenGL を用いた。

（自律走行アルゴリズム）左手法・先頭追従アルゴリズムの作成・実装

「左手法・先頭追従アルゴリズムの作成・実装」と題して、操作用 GUI から与えられたロボット位置、障害物情報を元に左手法、先頭追従アルゴリズムを作成した。詳細は付録 1

を参照.

(動作実験)

今年度作成したシステムの動作実験として、まずはロボット1体、壁1個の状態で作成したシステム内での動作実験を行った。シミュレータ上には図 4.3.12 で示すようないくつも枝分かれした廊下状の障害物を設置し、左手法にて自律で走行させた。その結果実物体はシステム内で壁として認識され、ロボットは壁となる物体で妨げた場所には行かなかった。また目標となる廊下の端まで到達するには左手法のみで走行させた場合2分必要だったが、加えて実物体の壁を用いたナビゲーションを行った場合には、約1分で目的地に達することができた。実験時の実際の実物体を用いたディスプレイの画面と、GUI 上の表示(図 4.3.13)より、実物体を置いたところをシステムが認識し、ロボットが壁と判断して避ける行動が見える。

(9) 考察と今後の課題

(実物体) 操作用実物体(壁・目標点)の作成

今年度は壁・目標点としてシステムに正しく認識させることができた。ただし、試作のため大型となってしまう、使用時に実物体の奥のディスプレイ映像が見えないという難点があった。また壁の長さ、目標点の大きさについても最適なものを実験によって求め、今後改良していく必要がある。まずはチップ抵抗・LED を用いて小型化を試みる予定。

(実物体操作用ディスプレイ) 実物体操作用ディスプレイの作成

映像の投影・物体の認識共に良好におこなうことができた。ただ CCD カメラの視野とディスプレイの投影面とを一致させるキャリブレーションが面倒だったため、最適な位置を見つけて固定する必要がある。プロジェクターとミラーの位置を変えれば更なる小型化が可能である。

(アプリケーション) 操作用 GUI・実物体認識アプリケーション・ロボット走行シミュレータの作成・統合

各アプリケーションの統合が終わり、ひとつの壁で1台のロボットを操作する事までが可能となった。今後は複数のロボットと、複数の壁で操作を行えるように実装し、次に目標点を持ちて複数のロボットを誘導する。複数の壁と複数の目標点で複数台のロボットが操作できる状態にした後、従来手法との比較実験を行って今年度提案した「実物体を用いた囲い込み」によるナビゲーションの有用性を検証していく予定。

(自律走行アルゴリズム) 左手法・先頭追従アルゴリズムの作成・実装

今回は左手法による自律走行アルゴリズムを実装し、実験をおこなった。結果良好に動作し、ローカルな自律走行アルゴリズムとしては有用であると感じた。ただしロボットの台数が増えた場合、互いが干渉して渋滞を起こすことが時折あった。今年度作成した先頭追従アルゴリズムを適用し目標点を与えたときの複数ロボットの振る舞いと操作性を検証し、複数台自律探索に最適な走行アルゴリズムを模索していく予定。

一通りの要素について検証を行う事ができたら、次は実機を用いて実際にロボットを走行させる実験を行っていきたい。

【参考文献】

[1] Han, J. Y. 2005. Low-Cost Multi-Touch Sensing through Frustrated Total Internal Reflection. In Proceedings of the 18th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology

[2] 朝日新聞大阪本社（朝日新聞社）：阪神・淡路大震災誌—1995年兵庫県南部地震（1996）

[3] ※Noritaka Sato, Hisashi Mizumoto, Naoji Shiroma, Masahiko Inami and Fumitoshi Matsuno: "Touchpen interface with local environment map for mobile robot navigation", SICE Annual Conference 2008, Chofu, Aug, 2008 (Interactive Organized Session Paper Award)

[4] 障害物回避を含む機械システムの軌道追従制御桜間一徳, 中野和司 システム制御情報学会論文誌[19] 2006/12

[5] 衝突回避を考慮した複数ロボットのオンライン目標軌道修正—ロボット間の相対角度を用いた手法—桜間一徳, 中野和司計測自動制御学会論文集 [43] 2007/11

【付録】

リーダー追従隊列移動

1. 軌道パラメータの設計

リーダーの通る軌道 $\phi(\sigma(t))$ が与えられたとき，フォロア i の追従する軌道

を， $\phi(\sigma(t - \tau_i))$ とする． τ_i ($i \neq 0$) は設定した遅れ量である．この場合，フォロアロボット

はリーダー軌道を離脱せずに移動できるが，遅れ量やリーダー軌道によっては衝突してしまう．

よって衝突しやすさと軌道パラメータの偏差の評価を考慮した，新しい軌道パラメータ

$\dot{S}$ を以下のように設計する．

$$\dot{s} = \dot{\sigma}_\tau - k_1 J(s - \sigma_\tau) - k_2 J\left(\frac{\partial F^T}{\partial s}\right) \quad (1)$$

$$\frac{dF}{ds_i} = \sum_{i \neq j} f_{ij} \frac{\phi(s_i)^T - \phi(s_j)^T}{\|\phi(s_i) - \phi(s_j)\|} \dot{\phi}(s_i) \quad (2)$$

$$\sigma_\tau(t) = [\sigma(t - \tau_0), \dots, \sigma(t - \tau_n)]^T$$

$$J = \text{diag}(0, I_{n-1}), \dot{\phi}(s_0) = 0 \rightarrow k_1 = 0$$

設計パラメータとして k_1, k_2 はパラメータ s の σ_τ への戻りやすさ， f_{ij} は正の単調減少関

数でロボット i, j の衝突しにくさを調節する．この軌道パラメータ s を実際に用いた場合，

初期状態で $\sigma_\tau < 0$ に対応した τ_n 間のリーダー軌道が必要となる．そのためロボットの初期

位置から軌道 $\psi(s_i)$ を作成し， τ_n リーダー軌道とする．

2. 初期状態

$n+1$ 台あるロボット i の座標と向きが与えられている．

$$q_i(x_i, y_i, \theta_i) \quad i = 0, 1, \dots, n$$

$$x_n < x_{n-1} < \dots < x_0, -\frac{\pi}{2} < \theta_i < \frac{\pi}{2}$$

$i=0$ がリーダーロボット， $i=1, 2, \dots, n$ がフォロアロボットなる．

3. スプライン関数の係数 a_i の計算

全ての q_i を通るスプライン関数 (C^1 級以上) は以下の式になる．

$$\begin{aligned}\psi(x_j) &= \sum_{j=0}^{2n+1} a_{j-1} \cdot x^j \\ &= y\end{aligned}\tag{3}$$

式(3) の $a_0, a_1, \dots, a_i$ を求めるための式は以下のようになる.

$$y_i = \psi(x_i)\tag{4}$$

$$\tan\theta_i = \frac{d\psi(x_i)}{dt}\tag{5}$$

式(5) は式(1) を時間微分し,

$$\Leftrightarrow \frac{\frac{d\psi(x_i)}{dt} \cdot \dot{x}}{\frac{d\psi(x_i)}{dt}} = \frac{\dot{y}}{\dot{x}}$$

ここで, $\frac{\dot{y}}{\dot{x}} = \tan\theta$ より

$$\tan\theta_i = \frac{d\psi(x_i)}{dt}$$

よって式(5) が求まる. 式(4)(5) を連立方程式として解き, $a_0, a_1, \dots, a_i$ を求める.

4. q_i から q_0 までのスプライン曲線上の長さ l_{i0} と V で進んだ場合の時間 $\hat{t}_i$

ここで $\psi(x)$ を

$$\Psi(x) = \begin{pmatrix} x \\ \psi(x) \end{pmatrix}$$

とする. また, リーダロボットは等速で進み, その速度 V とする.

フォロア初期位置 q_i からリーダ初期位置 q_0 までのスプライン曲線上の長さ l_{i0} を以下の式で計算する.

$$l_{i0} = \int_{x_i}^{x_0} \|\Psi(x)\| dx \quad (6)$$

$$i \neq 0$$

これより，フォロア i がリーダーの初期位置 q_0 までのスプライン曲線を等速度 V で移動した場合にかかる時間 $\hat{\tau}_i$ は，

$$\tau_i = \frac{l_{i0}}{V} \quad i \neq 0 \quad (7)$$

$\hat{\tau}_i$ を新たな τ_i とする．

5. V によるスプライン曲線の刻みの計算

スプライン曲線を V で等間隔に刻むために， $\psi(x)$ 上の点 $\hat{q}_j(\hat{x}_j, \hat{\psi}_j(\hat{x}_j))$ から $\hat{q}_{j+1}(\hat{x}_{j+1}, \hat{\psi}_j(\hat{x}_{j+1}))$ までの距離を V とするような $\hat{x}_j \in x$ と $\hat{\psi}_j \in y$ を以下のように新たに設計する．

$$\begin{aligned} \hat{\Psi}_j(\hat{x}_{j+1}) &= \Psi_i(\hat{x}_j) + \int_{\hat{x}_j}^{\hat{x}_j+dx} \dot{\Psi}_i(x) \frac{V}{\|\dot{\Psi}_i(x)\|} dx \\ \hat{x}_0 &= x_n, j = 0, 1, \dots, t_a, \quad t_a = \frac{\hat{\tau}_i}{dx} \end{aligned} \quad (8)$$

式(10) で得られた $\hat{\psi}_i(\hat{x}_j)$ がスプライン曲線を V で刻んだ場合の各点となる．

最終的なロボット i の軌道 Φ は，

$$\Phi(s_i) = \begin{cases} \phi(s_i) & t \geq 0 \\ \hat{\Psi}(\hat{x}) & t < 0 \end{cases} \quad (9)$$

5. ショートトレーニング

5.1 他の研究室でのショートトレーニング

本プログラムの目的は、他の研究室で研究に関するショートトレーニングを受講することにより、研究室の枠にとらわれることなく、幅広い専門知識を習得する機会を与えることにある。今年度は、修士課程 1 年の学生が九州工業大学に 1 週間滞在し、田川善彦教授にリハビリテーションの手法に関する研究と装置の開発についてトレーニングを受けた。以下に、その報告を記す。

九州工業大学 田川研究室訪問

修士課程 1 年 岩切 淳

1) 始めに

九州工業大学の田川研究室（図 5.1.1 参照）は、田川善彦教授のもと、ロボットなどのメカトロニクス機構の力学と制御に対する教育研究及び、リハビリテーションの手法に関する研究と装置の開発を研究概念としている。

2) 内容

田川教授の論文「異常歩行のシミュレーションの一方法 ゼロモーメント関節の歩容への影響」の理解を深め、シミュレーションを独自に行えるようになることを目的とし、2008 年 11 月 25 日より 12 月 1 日まで田川研究室を訪問した。

この論文は、片脚のある 1 つの関節に異常が生じ、トルクがゼロとなってしまった時に、正常に足の運びができると仮定し、正常な関節への負担がどうなるのか、また上体の動きによりそれらの負担を軽減できるかをシミュレーションにより検証したものである。

私の研究目的である「異常な内部状態に適応できる 2 足歩行ロボットの制御系アルゴリズムの開発」の異常歩行時の補償動作の参考になるのではないかと考える。

3) 成果及び反省点

田川教授の上記の論文、他の論文、および教授の研究ノートを使用し、論文中の運動方程式を実際に導出、また他の事項に関しては質疑応答形式で授業が進められた。特に下記の項目に関しての理解に重点を置いた。

- 正常歩行時の上体、腰、及び下肢の運動方程式の導出方法
- 正常歩行時の上体、腰、及び下肢の運動（位置、角度、角速度）の決定方法
- 下肢の異常をゼロモーメント関節とした理由及び、異常時でも正常な下肢の運びを可能と仮定した理由
- 異常歩行時の上体、腰、及び下肢の運動方程式の導出方法
- 異常歩行時の補償動作の導出方法及び、その補償動作の評価方法

これらの理解を深めたことによって、私の研究を進める上での参考となった。

教授の研究はヒトを規範としているため、ヒトの研究から得られたデータを元にして動作を決定している。一方、私の研究では、ロボットを規範としてとしているため、教授の研究をそのまま応用することは難しいと思われが、今後の展開に大きなヒントを得ることができた。



図 5.1.1 九州工業大学 機械知能工学科

5.2. 機械加工トレーニングと安全管理教育・免許制度について（下条・金森・田村）

5.2.1 実施背景と目標（金森）

カデット教育における技術分野は、1) 機械設計・工作・加工技術分野、2) 電子回路設計・製作技術分野、3) プログラミング技術、の3つに大別される。

カデット教育では各技術分野および技術の内容に沿った講習会と免許制度を企画・運営する。講習会とは、上級者が持っている知識や技術を講義、演習、実験形式で未修得者に教育するシステムである。また、免許制度とは、学生の能力に応じた責任と権限を与える制度である。希望者に講習会を受講させ、審査の後に免許を与える。免許取得者に対して設備の使用権、実施権等を与える。2006年度は、講習会と免許制度を企画運営するための枠組みと手順を決定し、各担当教員に向けて立ち上げの準備を依頼した。講習会の企画から免許付与までの流れを下記に示す。

- ① 講習会の企画提案（必ず安全講習・倫理講習を入れる）
- ② 技術免許・師範免許・主任免許の審査基準の検討
- ③ 講習会開催の具体案策定（募集期間、実施期間）
- ④ 技術免許・師範免許の付与（主任免許は次年度以降でもよい）

また、主催者は学生に対して師範免許の取得を推奨し、次年度以降の講習会実施の補助者を養成することとした。

2007年度には2006年度に企画された機械加工トレーニングについて講習会を開催し、表5.2.1の免許制度仕様書に基づいて審査し免許を交付した。2008年度も機械加工トレーニングについて実施した。

表 5.2.1 カデット教育機械加工免許制度仕様書

名称：一般工作機械による加工技術免許

■レベル1：技術免許（アシスタント）

講習目的：所定の技術レベルを習得し、単独で作業できるものを養成する。

審査対象：講習を受講した初心者

審査基準：

安全面：安全確保（服装ほか）、環境整備（工具・用具の準備、清掃、メンテナンス）

技術面：技術習得、機械操作技術、加工技術

教育面：文書作成、図面作成（寸法、公差、仕上げ、指定）

技術免許：設備の使用権を与える。ただし夜間、休日の時間外使用は禁止する。

■レベル2：師範免許（インストラクター）

講習目的：講習会において受講者を指導することができるものを養成する。

審査対象：技術免許保持者または同等の技術レベルを持つ認定されたもの

免許取得後、一定期間後。

免許取得後に製作したものが一定の技術レベルにあるもの

審査基準：

安全面：安全監視が行えること、適切な指示が出せること。

技術面：課題に取り組み審査に合格したもの、製作物を提出し、審査に合格したもの。

教育面：指導方法についての審査に合格したもの。

師範免許：講習会において受講者を指導することができる。装置の保守管理を担当できる。時間外でも単独で作業できる

■レベル3：主任免許（チーフ）

講習目的：保守管理から技術伝承の主力となるもの

取得技術の内容：未設定

審査基準：未設定

5.2.2 実施内容（下条、田村）

(1) 安全管理教育

機械加工上の注意事項として、実習を通して次の事項について指導を行った。

① 安全作業心得（安全第一）

A 共通事項

- ・ 実習開始5分前までに所定の場所に集合待機すること
- ・ 作業衣は長袖を着用し、袖口のボタンはしっかりかけること
- ・ 履物は、サンダル、スリッパ等で作業してはならない
- ・ 機械加工中、一切手袋は着用しないこと
- ・ 工作物及び工具の着脱または測定する時は、回転を止め主電源を切って行うこと
- ・ 決して回転体には、手を近づけないこと
- ・ 切り粉は直接手で取り除いてはいけない、手箒か切り粉かき棒等を使用すること
また、工作物あるいは工具が回転中に切り粉を取り除いてはいけない
- ・ 切り粉が大量に飛散する場合は、保護メガネを着用すること
- ・ 切削油を刷毛等でつける場合は、巻き込まれない様注意すること
- ・ 加工時に発生するカエリ、バリ及び機械の遊び（ガタ）バックラッシュ等を認識することによって、製品精度の向上はもちろん安全作業に努めること

B 旋盤作業の場合

- ・ 加工物及びバイトの取付けは確実にいき、危険なので必要以上に長く突き出さないこと
- ・ チャック回転中は、チャックの円周方向位置に体を置いてはならない
- ・ チャックを手で押さえて回転を止めてはならない

C フライス盤作業の場合

- ・ 加工物は、切削中飛ばないように確実に取り付けること
- ・ 加工仕上げ面の段差等を指先の感触で見るときは、必ず回転を止めてから触れること
- ・ エンドミルの側面で加工する場合、工作物の送り方向は、安全を考慮してアップカット削り（上向き削り）とする

② 機械の保守および整理整頓

- ・ 作業後は機械、工具等の清掃、手入れ、点検を十分に行い、工具は定められた場所に整頓すること
- ・ 切削により発生した切り粉は、材質別に分別して片付けること
- ・ 使用した機械周辺床面の清掃を行うこと

(2) 械加工基礎実習（初級）（講師：田村）

実施期間	平成20年8月26日～12月2日
時間回数	180分×1回（1回2名以内）
参加者	8名（ただし、学部ロボメカ工房で同実習実施済の3名は実習免除）
目的目標	安全作業を通して、小型工作機械の操作、測定器の使い方及び図面の読み方など、機械加工の基礎について習得する。

実施内容 段付試験片（図 5.2.2）の製作を行った。卓上旋盤、卓上立フライス盤による基礎的切削加工を通して、工作機械の安全で効率的な操作法を習得することを目的として指導した。また、その中で図面の読み方、ノギス、マイクロメーター、ダイヤルゲージなど測定器の使い方についても指導を行った。ただし、学部生向けの特色 G P 教育において、すでに履修している者については免除した。

付与免許 技術免許（アシスタント）

使用機械等 ロボメカ工房の工作機械を使用

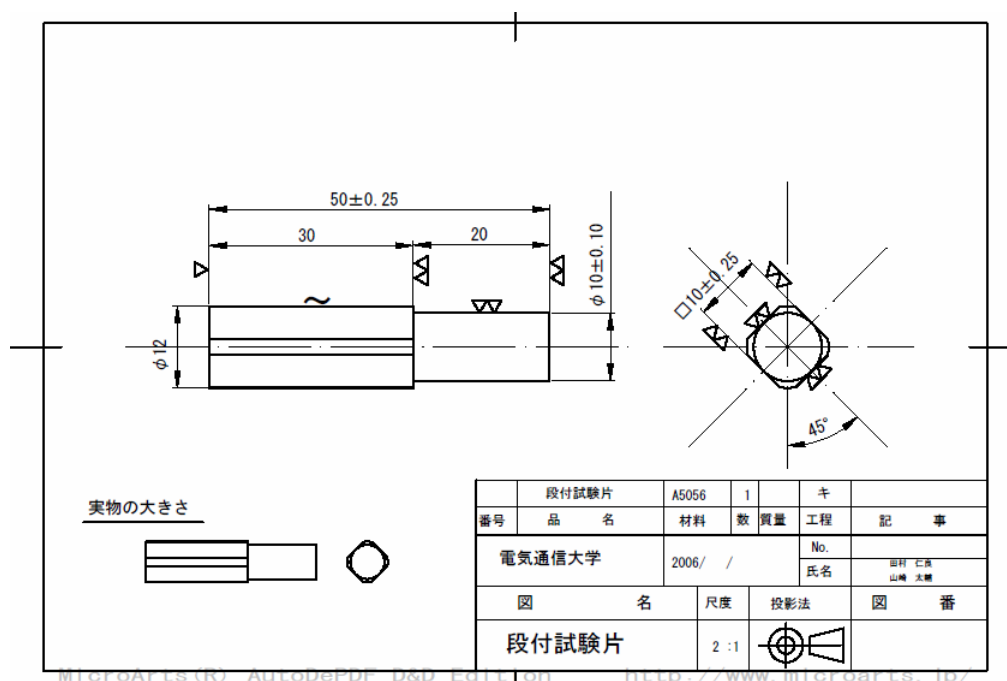


図 5.2.2. カデット教育機械加工実習初級課題：段付試験片

5.2.3 機械加工応用実習（中級）（講師：田村）

実施期間	実習1：平成20年9月30日～12月18日 実習2：平成20年10月16日～平成21年1月29日
時間回数	実習1 180分×1回（1回2名以内） 実習2 自主製作課題とする。
参加者	8名（実習1，2共）
目的目標	技術免許（アシスタント）取得者で、更に高度な知識と技術・技能を修得することによって、初級者を指導できること。
実習1	高精度な装置・機械を設計製作する場合、直面する最大の課題は「ハメアイ」についてである。また、ハメアイ状態は部材の熱変形によっても変化するため、設計者にはある程度の経験が要求される。そこで本実験では、図2に示すようなφ15の精密リングゲージとハメあう数種類の径の段付シャフトを製作して、シャフトを熱変化させた場合にハメアイ状態がどのように変化するかを体得した。併せてジュラルミンの線膨張係数が約 $23.6 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ であることも確認した。
実習2	初級者に指導できるレベルまでの技術・技能と安全作業をマスタすることを目的に、基礎実習時よりも大型で強力なミニ旋盤、卓上精密フライス盤やボール盤、タップなどを使用して、図5.2.3に示す幾何公差を含む精密キューブを製作した。
付与免許	師範免許（インストラクター）
使用機械等	ロボメカ工房の工作機械を使用

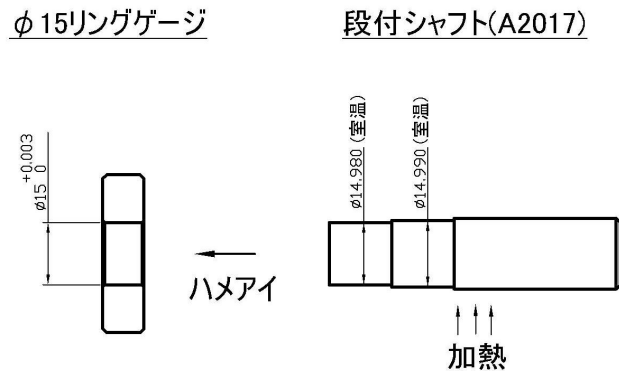


図 5.2.3 カデット教育機械加工実習 1 課題：リングゲージとシャフト

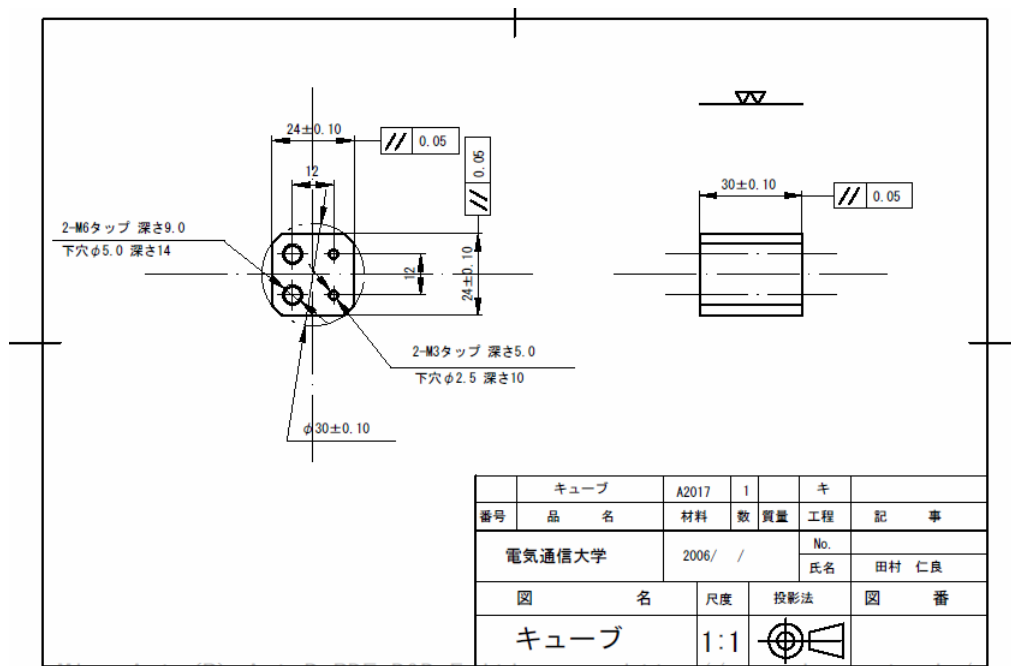


図 5.2.4 カデット教育機械加工実習 2：キューブ



図 5.2.5 実習 1 で使用したマイクロメータ，温度計，リングゲージ，シャフトなど



図 5.2.6 実習 1 の実施状況（ヒートガンで加熱中）

5.2.4 効果と評価（田村、金森）

講習会終了後、製作物および提出されたレポートを審査し、下記の免許証を交付した。

免許名 技術免許（アシスタント）

交付年月日 平成 20 年 12 月 2 日

免許授与者 M2: 有田 浩之(2008/8/26)、
M1: 大友 隆行、山崎 暁、滝 直也、宮下 拓巳、
上村 敦史、千葉 寛幸、秦 直哉
以上 8 名

免許名 師範免許（インストラクタ）

交付年月日 平成 21 年 2 月 5 日

免許授与者 M2: 有田 浩之、
M1: 大友 隆行、山崎 暁、滝 直也、宮下 拓巳、
上村 敦史、千葉 寛幸、秦 直哉
以上 8 名



図 5.2.7 免許証の見本

5.2.5 今後の課題および提案（金森、田村）

（１）免許制度について（金森）

今後も参加教員への協力要請を行い、機械技術分野の充実と共に、それ以外の分野についても、講習会と免許制度の拡充に努めたい。

（２）機械加工トレーニングについて（田村）

- ・今年度の反省点としては、講習会開催通知が徹底しなかったため、開始時期が遅れロボメカ工房実習と重なり、結果として実習機械の調整が大変であった。今後はこのようなことがないようにしたい。

- ・今後の予定としては、ねじの締め付け時、殆どの学生がオーバートルクになっているので、適正締付トルクについても実習テーマに加え、体得させたい。

6. ハンド講演会

6.1 対向型5指ハプティックインターフェイス

最近のヘビ型ロボットの研究紹介

岐阜大学の遠藤孝浩氏、岡山大学の亀川哲志氏をお招きし、それぞれ多指触覚インターフェイス、ヘビ型ロボットに関して大学院生向けに平易に解説して頂いた。講演内容は以下のようになっている。

日時： 12月10日(水) 10時～12時

会場： 電気通信大学 東4号館 802室

参加人数：32名

講演者／講演題目／講演概要：

遠藤孝浩氏 岐阜大学工学部

「対向型5指ハプティックインターフェイス」

対向型5指ハプティックインターフェイスロボット：HIRO IIIは、臨場感あるバーチャルリアリティ環境を実現するために開発された、多点力覚提示可能な汎用ハプティックインターフェイスロボットです。人間の複数の指や掌に力覚を提示できる触覚インターフェイス技術の確立により、ヒューマノイドロボットの遠隔操作、製造業における触感3次元CAD、製造現場における熟練技能の記録と伝達、医学教育における触診訓練システム、医療における遠隔検診・治療、福祉における遠隔介護と様々な分野で応用が期待できます。本講演では、多指触覚インターフェイスについて紹介します。



遠藤孝浩氏

亀川哲志氏

亀川哲志氏 岡山大学大学院自然科学研究科

「最近のヘビ型ロボットの研究紹介」

足がないのになぜ蛇は移動できるのかという疑問から始まったヘビ型ロボットの研究は日々進歩しており、現在では2次元平面上の移動から3次元空間内での移動へと行動範囲が拡張され、その工学的な応用への期待はますます大きくなっている。本講演では、講師の最近のヘビ型ロボットの研究事例を紹介する。具体的には、円柱にまきついて登るヘビ型ロボットの実機実験の様子と、CPG ネットワークにより移動するヘビ型ロボットのシミュレーション結果を紹介する。

6.2 没入感の高いゲーム構築のための方法論

株式会社ゲームリパブリック企画推進室長、ゲームデザイナー/シナリオライターの築瀬洋平氏をお招きし、没入感の高いゲームを作るための方法論を技術、デザイン、コンテンツの視点から解説いただいた。築瀬氏は、電気通信大学電気通信学部電子情報学科を経てメサイヤ、ソニーコンピューターエンタテインメント、アトラスを経て株式会社ゲームリパブリック入社。参加作品はグローランサー、ワンダと巨像、フォークスソウルなど。講演内容は以下のとおり。

日時： 11月18日(火) 10:40～12:10

会場： 電気通信大学 東4号館 315室

参加人数：約40名

講演者／講演題目／講演概要：

築瀬洋平氏

「没入感の高いゲーム構築のための方法論」

本講演では、没入感の高いゲーム構築のための方法論として、グラフィック、技術、シナリオおよび設定の3つの観点から解説があった。まず、ゲームをVRの視点から見て、感覚提示の内容や対話性について分析し、限られた提示手段の中で没入感を得る方法についての解説した。次にゲームの要素を分析し、プレイヤーを没入させるために必要な要素の分析を考えた上で、キャラクタの動作生成、シナリオの進行、対戦相手の戦略（AI）について、具体的な方法が示された。

6.3 社会性昆虫における集団的意思決定システム：生物学からのアプローチ

簡単な動力学特性をもつ自己駆動粒子系の群行動

東京大学の土畑重人氏、東北学院大学の菅原研氏をお招きし、生物の群れの振る舞いに関してご講演頂いた。土畑氏には生物学の観点から社会性昆虫の振る舞いについて、菅原氏には力学的な観点から群れの数理モデルについて平易に解説して頂いた。講演内容は以下のようにになっている。

日時： 3月16日（月） 13時30分～16時30分

会場： 電気通信大学 東4号館 802室

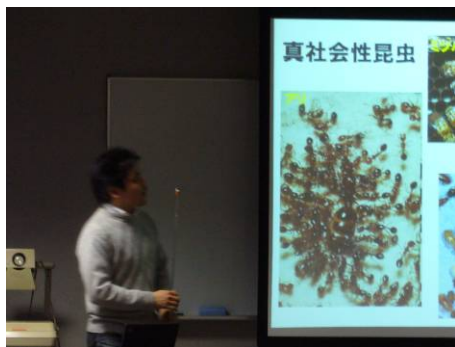
参加人数：20名

講演者／講演題目／講演概要：

土畑 重人 氏 東京大学大学院総合文化研究科

「社会性昆虫における集団的意思決定システム：生物学からのアプローチ」

アリやミツバチ、シロアリなどに代表される社会性昆虫は、コロニーの中にいる多くの個体が「協力」することで、子育てや餌運び、複雑な構造を持つ巣の構築など、単独では実現困難なさまざまなタスクを解決している。行動生態学者たちは、かれらの行動を詳細に追いかけることで、それぞれの個体は比較的単純なルールと局所的な相互作用に基づいて行動しているにもかかわらず、集団全体としては非常に適応的な機能を発揮していることを明らかにしてきた。社会性昆虫のコロニーが示すこれらのふるまいはまた、自己組織化や創発の典型例として、複雑系科学や工学などの分野の研究者たちの関心を惹きつけてきた。本講演では生物学の側から、社会性昆虫がいかにして集団的意思決定を行っており、またそれがどのように進化してきたかについての研究を概観する。社会性昆虫の研究はすぐれて領域横断的な素地を持っており、本講演が異分野の研究者との交流が活性化するきっかけとなれば幸いである。



土畑 重人氏



菅原 研氏

菅原 研 氏 東北学院大学教養学部

「簡単な動力学特性をもつ自己駆動粒子系の群行動」

鳥、魚、昆虫などの動物には多数の個体が集まり、群れとして行動するものがある。このような集団が行動をするときには、往々にして様々な振る舞いやパターンを形成する。例えば、イワシのように互いに向きを揃えて同一方向に遊泳する群れ行動や、渡り鳥におけるV字型編隊飛行やスズメなどの複雑な迷走行動、限られた空間の中で各個体が不規則に飛び回っている蚊柱などがあげられる。このように群れとその集団運動には様々な形態と

特徴があるが、物理的な観点から捉えるとこれらの”群れ”としての行動には動物の種によらない共通した力学的規則があるようにも見える。そこで、できるだけ最小限の力学的仮定から出発して様々な群れのパターンと運動を構成するモデルについて述べる。また、そのモデルを拡張することで特定の形状を生み出す方法についても述べ、群れロボットへの適用可能性について論じる。

7 活動の実績と成果

7.1 ロボカップサッカー（中野）

7.1.1 目的・目標および本プロジェクトの位置づけ

この活動は、防災、レスキューをメインフィールドとするロボットの基盤技術となる

■ 群ロボット協調システム

をターゲットとした学生参画プロジェクトで、動的環境下での群ロボット協調システムの開発を行い、創造的・実践的人材の育成を目指す。

7.1.2 実施内容

動的環境下での群ロボット協調システムの例題として、ロボカップ小型ロボットリーグを取り上げ、ビジョンシステム、ロボット作成を行い移動障害物回避の実験を行った。また、ロボカップ小型ロボットリーグの試合にも参加した。開発したシステムの全体構成は図 7.1.1 の通りである。

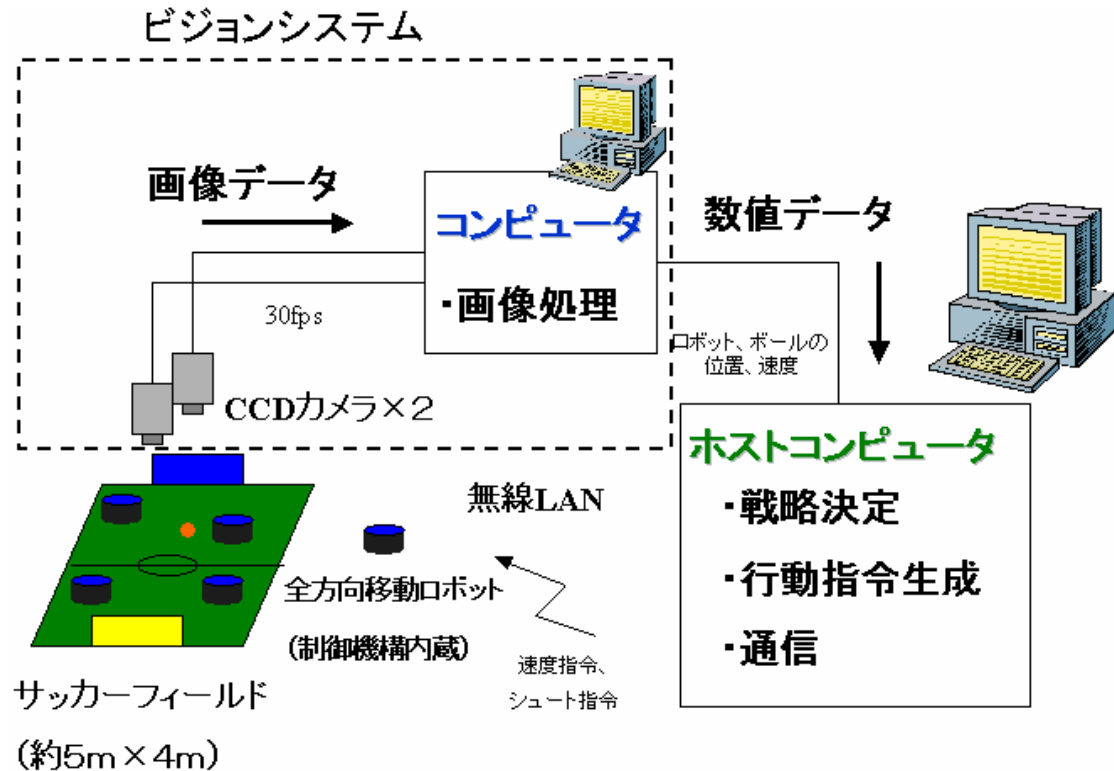


図 7.1.1 システム構成

- ビジョンシステム：

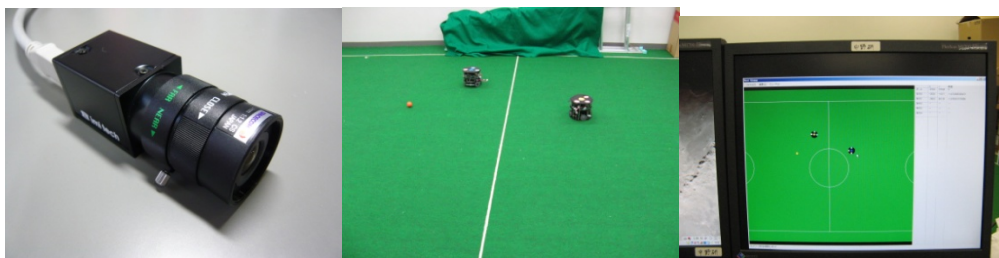


図 7.1.2 作成されたビジョンシステム

ロボカップ小型ロボットリーグにおいては、サッカーフィールド上部に取り付けた CCD カメラからの情報をベースに各ロボットの行動を決定する方式が、一般に用いられている。しかし、この方式ではカメラと PC のケーブルが長くなってしまったため、アナログの画像データではノイズなどの影響により「にじみ」などが発生していた。本プロジェクトでは画像認識の精度を上げるため、2 台の CCD カメラの交換などのビジョンシステムの改良を行った。改良したビジョンシステムは画像データをデジタル信号で伝送するため、より詳細に敵味方ロボットやボールの位置情報を送信することが可能となった。

● ロボット：

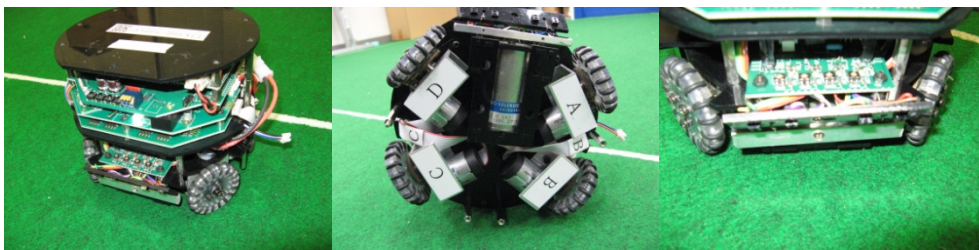


図 7.1.3 作成されたロボット

現在、ロボカップ小型ロボットリーグで主流となっている、オムニホイールと呼ばれる特殊な車輪を用いた、4 車輪型の全方向移動ロボットの改良・作成をおこなった。作成したロボットは、前方にシュート機構を持ち、ジャイロを用いて姿勢制御を行いながら、最大 2[m/s]程度の速度で移動することができる。また、無線通信に IEEE802.11a を採用することで、安定した通信環境を確保することができた。

● 障害物回避実験：

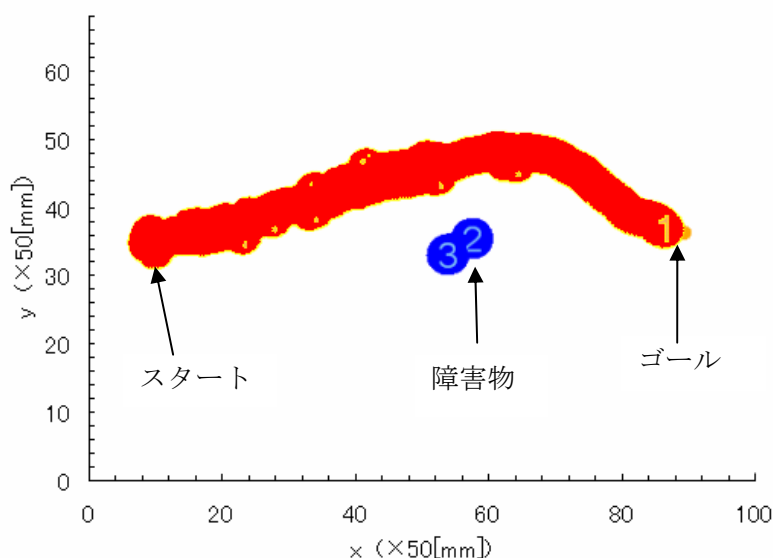


図 7.1.4 移動障害物回避実験の結果

作成したロボットおよびビジョンシステムを用いて、障害物の回避実験を行った。図 7.1.4 に示すように作成したロボットは、移動する障害物を回避しながら目的地に到達することが可能であった。これにより、作成されたロボットおよびビジョンシステムは正しく機能していることが確認された。

7.1.3 結果と評価

動的環境下での群ロボット協調システムの開発においては、ロボカップジャパンオープン 2008 沼津大会に参加し、作成システムの評価を行った。結果は予選を勝ち抜いたが、参加チーム 6 チーム中 4 位であり、ロボットの動作精度やビジョンシステムの遅延問題など、課題も多く見つかった。しかし、個々の局面では優れた性能を発揮する場面も見られ、今後の改良により大きな性能の改善が見込まれる。

なお、モータのデジタル制御においては、大学院科目「システム制御基礎論」に反映させた。

7.1.4 問題点と今後の課題

動的環境下での群ロボット協調システムの開発においては、作成したビジョンシステム、ロボットともに性能改善の余地が大いにあるため、その改善が必要である。また、群ロボット協調行動の観点からは、現時点では各ロボット個々に役割をこなす「疎な協調」の段階にとどまっているため、例えばパス行動など、2 台のロボットが連携してある一つの作業を行う「密な協調」にも取り組んでいきたい。

7.3 SIGGRAPH 2008 Emerging Technologies

SIGGRAPH とは毎年夏に ACM (米コンピュータ学会) が主催する世界最大の CG とインタラクティブ技術の国際会議である。2008 年度は 8 月 11 日から 8 月 15 日までの 5 日間、米国カリフォルニア州ロサンゼルス・コンベンションセンターで行われた。学会が主催するイベントではあるが、論文発表の場としてだけでなく Apple や Google, Adobe などの企業展示、CG アート作品の上映、著名人の講演などが行われ、毎年多数の来場者がある。

35 回目を迎えた今年の SIGGRAPH は、

87 の国から 28,400 人もの参加者が集まり、34 の Classes (チュートリアル)、至上最多となる 114 の論文 (28 セッション) が発表された。

例年 “Emerging Technologies” と呼ばれる世界各国の大学や研究機関などの最先端のインタラクティブ技術展示を行うセクションは “New Tech Demos” と改名された。New Tech Demos による発表は講演形式とは異なり、来場者が研究成果に直接触れ体験できるところに特徴があり、特に一般来場者に人気を博している。同時に、専門家ではない一般来場者に対し、最先端技術が社会へ貢献しうるものであることを問いかける重要な機会を研究者に与える場でもある。

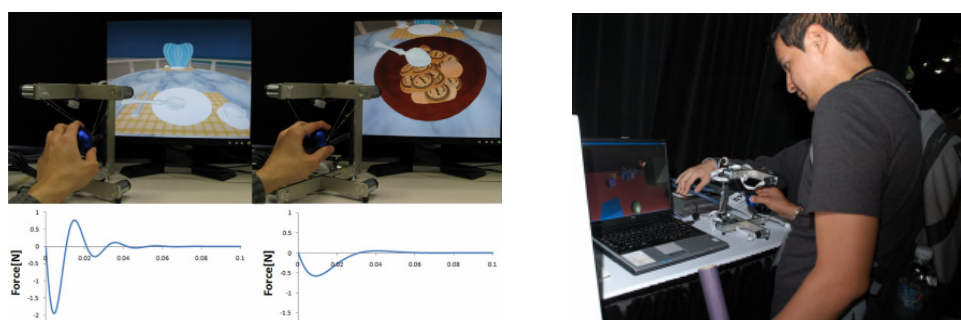
展示には、従来のように公募によるものと、Chair による招待のものがあり、全体の応募数が 180 件以上である中の採録件数は、全体で 44 件の展示のうち公募が 25 件、残りの 9 件が招待であった。

SIGGRAPH2008 では、第 15 回 IVRC 優勝作品「虫 How? (採録名: Ants in the Pants)」が展示をしたほか、修士 1 年の須佐育弥、池田有冬が中心に行った研究 “Perception-Based High-Definition Haptic Rendering” もカデット教育プログラムの支援を受けて展示を行った。

日時： 2008 年 8 月 11 日 (月) ～ 8 月 15 日 (金) (SIGGRAPH2008)

会場： Los Angeles Convention Center, Los Angeles, California, USA

関連 URL： <http://www.siggraph.org/s2008/>



Perception-Based High-Definition Haptic Rendering

EuroHaptics 2008 Demo Session

EuroHaptics は、近年進歩の著しい力触覚に関する中心的な国際会議である。力触覚に関する国際会議は、米国が中心の Symposium on Haptics がもっとも古い、近年は欧州を中心とした EuroHaptic の充実ぶりが目を引く。EuroHaptics2008 には 300 人以上の参加者があった。本学では、修士 1 年学生の大島沙也佳らによる “Simultaneous presentation of

tactile and auditory motion on the abdomen to realize the experience of “being cut by a sword” ”、橋本悠希らによる “Straw-like User Interface (II): a new method of presenting auditory sensations for a more natural experience” による発表があった。

また、力触覚は、実際に触れてみる以外につたえることが難しいため、EuroHaptics でも実際に装置を展示し来場者に体験してもらう Demo Seesionが充実している。EuroHaptics 2008 では査読を経た 17 件の展示が採択された。本学では、卒業生の松江里佳らによる “Hanger reflex – a reflex motion of a head by temporal pressure for wearable interface –” が展示を行った。また、修士1年の須佐育弥が中心となって研究を進めている “Haptic Rendering for Rigid Body Simulator based on Analytical Methods” が採択され、カデット教育プログラムの支援を受けて展示を行った。



Euro Haptics 2008 のデモセッション

8. 大学院生による研究成果発表

論文誌

1. Mami Nishida, Kazuo Tanaka and Hua O. Wang, Development and Control of a Small Biped Walking Robot using Shape Memory Alloys, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.20, No.5, pp.793-800, Nov. 2008
2. 田中一男、大竹 博、坂本 博一、脳波による車椅子の自動操縦実現のための2つの試み、計測自動制御学会論文集, Vol.44, No.12, pp.1006-1008, Dec. 2008
3. Naohiro Hara, Kazuo Tanaka, Hiroshi Ohtake and Hua O. Wang, Development of a Flying Robot with Pantograph-based Variable Wing Mechanism, IEEE Transactions on Robotics, Vol.25, No.1, pp.79-87 Feb. 2009.
4. Kazuo Tanaka, Kenji Yamauchi, Hiroshi Ohtake and Hua O. Wang, Sensor Reduction for Backing-UP Control of a Vehicle with Triple Trailers, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol.59, No.2, pp.497-509 Feb. 2009
5. 大竹 博、飯村 健, 田中 一男, 同軸反転型マイクロヘリコプタの飛行安定化制御, 日本知能情報ファジィ学会誌, vol.21, No.1, pp.100-106, Feb. 2009
6. J. Ito, K. Nakano, K. Sakurama and *S. Hosokawa*: Adaptive Immunity based Reinforcement Learning, Artificial Life and Robotics, Vol.13, No.1, pp.188-193 (2009)
7. T. Suzuki, J. Ito, K. Nakano, K. Higuchi and T. Miki: "New Insight for Robust IP Traffic Control Based on Network Behavior Knowledge, ISAST Trans. on Communications and Networking, Vol.2, No.1, pp.92-101 (2008)
8. 伊藤順吾, 中野和司, 桜間一徳: 獲得免疫系の免疫反応を基にした強化学習機構の構築, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J91-D, No.10, pp.2487-2496 (2008)
9. 鈴木忠道, 伊藤順吾, 中野和司, 三木哲也: IP トラフィック制御の解析とモデリング, 電気学会論文誌, Vol.128-D, No.4, pp.529-536 (2008)

学術雑誌

1. Noritaka Sato, Naoji Shiroma, Fumitoshi Matsuno, "Development of a High Mobility Wheeled Rescue Robot with a 1-DOF Arm", International Journal of Advanced Mechatronic Systems, Vol. 1, No. 1, pp.10-23, 2008
2. 田中基康, 松野文俊, 平面を移動する3次元ヘビ型ロボットの協調制御, 日本ロボット学会誌, Vol.26, No.6, pp.493-501, 2008.
3. 田中基康, 松野文俊, 3次元ヘビ型ロボットの冗長性を利用した制御, 計測自動制御学会論文集, Vol.44, No.12, pp.970-978, 2008.

4. Ryo Miyauchi, Naoji Shiroma and Fumitoshi Matsuno, Compact Image Stabilization System Using Camera Posture Information, Journal of Field Robotics, Vol. 24, No. 4-5, pp. 268-283, 2008

5. 藤澤隆介, 今村光, 橋本敬, 松野文俊, フェロモン場を用いて誘引を行うロボット群の開発, 情報処理学会論文誌 数理モデル化と応用 (TOM) 採録決定

国際会議

1. Kazuo Tanaka, Takamichi Komatsu, Hiroshi Ohtake and Hua O. Wang, Micro Helicopter Control: LMI Approach vs SOS Approach, 2008 IEEE International Conference on Fuzzy Systems, pp. 347 -353, Hong Kong, June (2008)
2. Shin Hasegawa, Kazuo Tanaka and Hiroshi Ohtake, Development of a Multiple Parallel Link Rotor for Flying Robots, SICE Annual Conference 2008, pp.164-167, August, 2008.
3. Taku Ykoyama, Kazuo Tanaka and Hiroshi Ohtake, Development of a Variable-Wing Mechanism based on Flapping Motion of Birds, SICE Annual Conference 2008, pp.168-173, August, 2008.
4. Hiromasa Ueno, Hiroshi Ohtake and Kazuo Tanaka, Autonomous Flight Control of Flapping-of-Wings Robot using GPS, SICE Annual Conference 2008, pp.174-178, August, 2008.
5. Masahiro Mizuno, Hiroshi Ohtake and Kazuo Tanaka, Passive Dynamic Walking with Elastic Energy, SICE Annual Conference 2008, pp.3224-3228, August, 2008.
6. Satoshi Kobayashi, Hisayuki Aoyama, Ohmi Fuchiwaki, Piezo driven micro robot with precise height adjustable four points contact legs, Proc. of 24th ISPE International Conference on CAD/CAM, Robotics & Factories of the Future, do-102(2008)
7. Masahiro Taguchi, Naoya Hata, Hisayuki Aoyama, Ohmi Fuchiwaki, Precision Distance-Measurement of Versatile Piezo Driven Micro Robot Movement, Proc. of 24th ISPE International Conference on CAD/CAM, Robotics & Factories of the Future, do-104(2008)
8. Toshio Koizumi, Shunsuke Kanegae, Naoya Hata, Hidehiro Nomura, Hisayuki Aoyama, Yuka Irie, Ohmi Fuchiwaki, Nano control for micro tilting semispherical stage supported by three piezo elements, Proc. of 24th ISPE International Conference on CAD/CAM, Robotics & Factories of the Future, do-105(2008)
9. Yuuka Irie, Junichi Kubo and Takahiro Fujioka, Hisayuki Aoyama, Takashi Usuda, Micro lens positioner composed of inertially actuated XY stage and precise sample holder, Proc. of 24th ISPE International Conference on CAD/CAM, Robotics & Factories of the Future, do-101(2008)

10. Yutaka Adachihara, Tomoyuki Ekko, Hisayuki Aoyama, Ohmi Fuchiwaki, Yuuka Irie, Shuichi Dejima, Takashi Usuda, Development of Sub-pico Litter Dispensing Mechanism with Precise Automatic Optical Positioning System, Proc. of 24th ISPE International Conference on CAD/CAM, Robotics & Factories of the Future, do-124(2008)
11. Kotaro Ueda, Hisayuki Aoyama, Ohmi Fuchiwaki, Image Based Automatic Navigation with Three Micro Robots for Precise Operation, Proc. of 24th ISPE International Conference on CAD/CAM, Robotics & Factories of the Future, do-103(2008)
12. Shunnsuke Kanegae, Hiroyuki Chiba, Yuka Irie, Hisayuki Aoyama, Futoshi Iwata and Tatsuro Ushiki, Development of of Micro Walking XY Stage with Piezo Elements, Proc. of 3rd Int. Conf on Positioning Technology, pp. 43-44(2008)
13. Kaori Koga, Hisayuki Aoyama, Ohmi Fuchiwaki, Sadayuki Takahashi, Piezo Driven Micro Robot with Displacement Amplification Mechanism, Proc. of 3rd Int. Conf on Positioning Technology, pp. 45-46(2008)
14. Takumi Miyahsita, Hisayuki Aoyama, Design and Develolment of Wire Connected Micro Manipulation Mechanism, Proc. of 3rd Int. Conf on Positioning Technology, pp. 99-100(2008)
15. Naoya Hata, Masahiro Taguchi, Hisayuki Aoyama, Ohmi Fuchiwaki, Feedback Nano Position Control for Micro Robot in XY θ Directions, Proc. of 3rd Int. Conf on Positioning Technology, pp. 101-102(2008)
16. Hiroyuki Chiba, Shunnsuke Kanegae, Hisayuki Aoyama, Futoshi Iwata and Tatsuro Ushiki, Development of piezodriven small X-Y stage and micro tool turret with acoustic modulated micro force display for SEM operation, Proc. of 3rd Asia International Symposium on Mechatronics, pp. 344-349(2008)
17. Yuuka Irie, Hisayuki Aoyama, Junichi Kubo, Takahiro Fujioka, Takashi Usuda, Piezo Impact Driven X-Y stage for Accurate Micro Lens Alignment, Proc. of 3rd Asia International Symposium on Mechatronics, pp. 176-180(2008)
18. Shunsuke Kanegae, Chiba Hiroyuki, Hisayuki Aoyama, Yuka Irie, Futoshi Iwata, Tatsuo Ushiki, Piezo Drive XY Stage with Nano-Mamipulators for SEM Operation, Proc. of 23rd Annual Meeting of ASPE, pp. 154-157(2008)
19. M. Osake, K. Nakano: On Input-Output Relation of Linear Systems by Use of PTI Complex Wavelet Packet, 2008 Int. Conf. on Wavelet Analysis and Pattern Recognition, Hong Kong, pp. 611-616, Aug 2008
20. Ikumi Susa, Yuto Ikeda, Takashi Tokizaki, Hironori Mitake, Makoto Sato, Shoichi Hasegawa : 'Perception-Based High-Definition Haptic Rendering', 'SIGGRAPH 2008 new tech demos', 2008 8 .
21. Ikumi Susa, Yuto Ikeda, Takashi Tokizaki, Hironori Mitake, Shoichi Hasegawa : 'Haptic Rendering for Rigid Body Simulator based on Analytical Methods', 'EuroHaptics 2008', 2008
22. Jun Kitawaki and Chisato Kitawaki: Development of Intelligent Encoder , Proceedings of The Twenty-third Annual Meeting of The American Society for

- Precision Engineering and the Twelfth ICPE (CD-ROM), #2639(4p), Portland, USA (21 Oct. 2008).
23. Zhijun Li, Zhaoxian Xie, Aiguo Ming: Simultaneously firing sonar ring based high-speed navigation for non-holonomic mobile robots in unstructured environment, International Journal of Vehicle Autonomous Systems (IJVAS), Volume 6, No. 1/2, pp. 172 – 185(2008.1).
 24. Aiguo Ming; Zhaoxian Xie; Yoshida, T.; Yamashiro, M.; Chao Tang; Shimojo, M.: Home service by a mobile manipulator system –System configuration and basic experiments–, Proceedings of IEEE International Conference on Information and Automation, 2008. ICIA 2008, pp.464 – 469(2008.06)
 25. Hiroaki Fukushima, Motoyasu Tanaka, Tetsushi Kamegawa and Fumitoshi Matsuno, Path-Tracking Control of a Snake-like Robot using Screw Drive Mechanism, Proc. of 2008 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.1624–1629, Sep/2008
 26. Tomoyasu Konno, Hiroaki Fukushima, Fumitoshi Matsuno, Hiroki Tanabe, Shigeho Sakoda and Hidetoshi Ishigami, AFR Control for Motorcycle Engine using Smith Predictor and H^∞ Control, Proc. of SICE Annual Conference 2008, pp.1368–1373, Aug/2008
 27. Yong Gao, Motoyasu Tanaka, Hiroaki Fukushima and Fumitoshi Matsuno, Singular Configuration Avoidance of a Snake-like Robot with Screw Drive Units, Proc. of SICE Annual Conference 2008, pp. 3080–3085, Aug/2008
 28. Noritaka Sato, Kazuyuki Kon, Hiroaki Fukushima and Fumitoshi Matsuno: "Map-based Navigation Interface for Multiple Rescue Robots", Proc. IEEE Int. Workshop on Safety, Security, and Rescue Robotics, pp.152–157, Sendai, Oct, 2008.
 29. Noritaka Sato, Hisashi Mizumoto, Naoji Shiroma, Masahiko Inami and Fumitoshi Matsuno: "Touch-pen interface with local environment map for mobile robot navigation", Proc. SICE Annual Conference 2008, pp.1632–1637, Chofu, Aug, 2008 (Interactive Organized Session Paper Award)
 30. Masataka Ito, Noritaka Sato, Maki Sugimoto, Naoji Shiroma, Masahiko Inami and Fumitoshi Matsuno, A teleoperation interface using past images for outdoor environment, SICE Annual Conference 2008, pp. 3372–3375, Tokyo, Japan, August, 2008
 31. Katsunori Miyazawa, Yojiro Uo, Mitsunori Fujita, Fumitoshi Matsuno, "Visualization System of Channel Availability in Wireless LAN using a Mobile Robot", Proc. of SICE Annual Conference 2008, pp. 997 – 1001, Aug, 2008.
 32. Shinsuke Oh-hara, Tomoya Itoh and Fumitoshi Matsuno, The Driving Control System for Articulated Mobile Robots, Proceedings of the SICE Annual Conference 2008, pp. 2410–2413, August/2008.
 33. Hayato Mano, Kazuyuki Kon, Noritaka Sato, Masataka Ito, Hisashi Mizumoto, Kiyohiro Goto, Ranajit Chatterjee, Fumitoshi Matsuno, Treaded Control System for Rescue Robots in Indoor Environment, WeA6.2 Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Biomimetics, February/2009
 34. Motoyasu Tanaka and Fumitoshi Matsuno, Modeling and Control of a Snake Robot with Switching Constraints, Proc. SICE Annual Conference 2008, pp.3076–3079,

Aug/2008.

35. Motoyasu Tanaka and Fumitoshi Matsuno, Control of 3-dimensional Snake Robots by Using Redundancy, Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp.1156-1161, May/2008.
36. Hisashi Mizumoto, Noritaka Sato, Hidekazu Iwaki, Seiji Oomura, Shingo Tsukui and Fumitoshi Matsuno: "Development of Intuitive Operation Interface for Underfloor Inspection Robot", Chofu, SICE Annual Conference 2008, Aug/2008
37. Hisashi Mizumoto, Noritaka Sato, Kazuyuki Kon, Hayato Mano, Hayato Shin, Ranajit Chatterjee, Fumitoshi Matsuno: "Flexible Interface for Multiple Autonomous and Teleoperated Rescue Robots", Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Biomimetics, WeA6.3, Feb/2008.
38. Ryusuke FUJISAWA, Shigeto DOBATA, Daisuke KUBOTA, Hikaru IMAMURA, Fumitoshi MATSUNO, Dependency by Concentration of Pheromone Trail for Multiple Robots, Proceedings of Sixth International Conference on Ant Colony Optimization and Swarm Intelligence, pp. 283-290, 2008.
39. Ryusuke FUJISAWA, Hikaru IMAMURA, Takashi HASHIMOTO, Fumitoshi MATSUNO, Communication Using Pheromone Field for Multiple Robots, Proceedings of IEEE/RSJ 2008 International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2008.
40. Hiroki Igarashi, Toshihisa Saito, Takaya Kinjyo and Fumitoshi Matsuno, "Development of an autonomous inverted pendulum mobile robot for outdoor environment", Proc. SICE Annual Conference 2008, Aug/2008
41. Jorge Ivan Medina Martinez, Kazushi Nakano, Umerujan Sawut, "Vibration Supression Control of a Flexible Arm using Non-linear Observer with Simultaneous Perturbation Stochastic Approximation, " International Symposium on Artificial Life and Robotics (AROB) (2009)
42. Jorge Ivan Medina Martinez, Kazushi Nakano, Umerujan Sawut, "Cascade Lattice IIR Adaptive Filter Structure using Simultaneous Perturbation Method for Self-Adjusting SHARFAlgorithm, " SICE Annual Conference (2008)
43. Jorge Ivan Medina Martinez, Kazushi Nakano, Umerujan Sawut, "Application of Non-linear Observer with Simultaneous Perturbation Stochastic Approximation Method to Single Flexible Link SMC, " SICE Annual Conference (2008)
44. Jorge Ivan Medina Martinez, Kazushi Nakano, "A Fast Converging and Self-Adjusting SHARF Algorithm using Simultaneous Perturbation Method, " 3rd KMUTT-UEC Workshop (2008)
45. Jorge Ivan Medina Martinez, Kazushi Nakano, Umerujan Sawut "Vibration Control of a Flexible using Non-linear Observer with Simultaneous Perturbation Stochastic Approximation Method," 3rd KMUTT-UEC Workshop (2008)

特許

1. 発明の名称：埋め込み型骨導補聴器

発明者：小池卓二，羽藤直人，山本顕生

出願人：国立大学法人 電気通信大学

出願番号：特願 2008-246342

出願人：(国立大学法人) 電気通信大学、愛媛大学

2. 発明の名称：遠隔操作システムおよび遠隔操作装置

発明者：伊藤誠崇，杉本麻樹，松野文俊，木戸徹，竹原悦秀

出願人：国立大学法人 電気通信大学

出願番号：特願 2008-304655

出願人：(国立大学法人) 電気通信大学、ヤマハ発動機株式会社

3. 発明の名称：遠隔操作システムおよび遠隔操作装置

発明者：伊藤誠崇，杉本麻樹，松野文俊，木戸徹，神谷剛志

出願人：国立大学法人 電気通信大学

出願番号：特願 2008-304706

出願人：(国立大学法人) 電気通信大学、ヤマハ発動機株式会社

解説

伊藤誠崇，城間直司，松野文俊，“屋外環境におけるシーン複合画像を用いた移動体の遠隔操作”日刊工業出版「画像ラボ」第20巻第1号 pp.6-10

9. 対外的情報発信

マスコミ取材

1. テレビ朝日 近未来予測ジキル&ハイド
近未来の驚嘆の Brain-Machine Interface 技術として本研究室の
脳波で動く車椅子が紹介（取材日 2008 年 1 月 17 日）2008 年 3 月 9 日
2. 2008 年 3 月 25 日 東京MXテレビ 「ガリレオチャンネル」
Brain-Machine Interface 技術として
本研究室の脳波で動く車椅子が紹介
（取材日 2008 年 4 月 18 日）
3. ”ロボット科学最前線 「脳で操作する車いす」、「さまざまなタイプの飛行ロボット」、
「不思議な飛行機構 サイクロジャイロ」”
知能機械工学科 田中研究室（田中一男教授）の内容を 3 号にわ
たって紹介
【’08.08.05/ 08.26/ 09.02 週刊 ROBOZAK 第 78 号, 80 号, 81
号 デアゴスティーニ・ジャパン刊】
4. 2008 年 5 月 16 日 産経新聞科学欄「すごいぞ日本：念じれば動くロボット」
Brain-Machine Interface 技術として
本研究室の脳波で動く車椅子が紹介
5. 2008 年 10 月 8 日 日経 NET 新番組 の取材
NIKKEI NET 「IdenTity」 第 4 回（番組ホームページ）
脳波で動く車椅子を紹介
【日時】 ’08 年 11 月 18 日(火) 配信開始
6. 2008 年 10 月 28 日北日本新聞 「小型風車発電を開発」
知能機械工学科 田中一男研究室
飛行ロボットのオリジナルな飛行原理を活用した
垂直軸型風力発電の新聞記事が掲載
7. 2008 年 10 月 29 日 米国ヒストリーチャンネルドキュメンタリー番組
“Science: Impossible 「Robot Revolution」 ” 取材
脳波で動く車椅子
暫定放送日：2009 年 2 月～3 月の間
視聴者： 全世界 1800 万人
(初回放送分だけで 400 万人の視聴者を見込む)
8. 2009 年 3 月 19 日 フジテレビ ザ・ベストハウス 123 取材
「最先端実験（施設）BEST3」として脳波で動く車椅子
暫定放送日： 2009 年 5 月上旬

見学対応

1. 2008 年 5 月 24 日
入試広報課主催 高校教員招待キャンパスツアー研究室見学 対応
2. 2008 年 7 月 28 日
世田谷教育委員会主催の世田谷区中学生講座サイエンスドリーム大学見学会
対象者 世田谷区内中学生
3. 2008 年 9 月 11 日
神奈川県産業技術センター大学見学会における田中研究室の見学
対象者 神奈川県内の地場産業のエンジニア

展示会・競技会。デモンストレーション

1. RoboCup Japan Open 2008 in Numazu, 小型ロボットリーグ決勝進出（4 位）

10. まとめ

10.1 本事業の総括および目標達成に対する自己評価

近年、情報通信技術(ICT)と設計・生産技術との融合による大規模な設計・生産方式の革新が起こっている。例えば、従来 5 年かかっていた乗用車の新車体開発が、ICT の活用により 2 年まで短縮されている。一方、日本国内の生産拠点がアジア各国に移転しており、国内の技術の空洞化の危機が叫ばれている。また、情報通信技術の産業分野は 21 世紀においても長期的活況が予見され、博士号取得学生が活躍する場が十分にある。これらの分野では、国益を左右する技術標準化会合の舞台等で海外からは博士の肩書き持つ技術者が多数参加している。日本でも国際社会においてリーダーシップを発揮できる博士号を所持する技術者の活躍が強く望まれている。ところが現実には、産業界から博士号取得者で、即戦力を発揮して、プロジェクトを牽引するようなリーダーシップを持った人材がいないといわれている。このような状況の中で 21 世紀に我国が技術立国として生き残るためには、情報通信技術と設計・生産技術を高度に統合・発展させた、ものづくりのための新産業基盤技術の構築が必要不可欠であり、これらを担うことのできる人材の育成・供給が急務である。

このような認識に基づき、インターデスプリナリな知識を集約し、容易に解決できない実践的な問題をブレークダウンして解ける問題として設定・解決する能力をもち、アジアから世界に情報発信をし、国際競争力高揚の担い手となるベンチャーマインドに富んだ、危機危険管理能力を持つ学生「創造的のものづくりカデット」を育成することが本教育プログラムの目的である。

この目的達成のため、以下の項目を実施した。

- ・分野横断型の教育を実施するために、実践的課題プロジェクトを設定し、講義の中での実験演習を充実させ、より実践的な知識を習得できるプログラムとする。
- ・博士前期課程 1 年次において通年のプロジェクト実験で、他研究室の学生とチームを組み、研究者を対象とした国際的競技会や競争的展示会に参加することを目標に活動させる。学生は博士前期課程 2 年次に国際的競技会・競争的展示会に参加することを目標として、学生主導でグループを構成させ活動させる。このように多様な研究活動の場を提供し、能力を研鑽する場を与える。
- ・主に博士後期課程の学生には前期課程の学生を含むグループによる企画提案型プロジェクト研究を企画提案させ、プレゼンテーションによりその内容を評価し、そのうち優秀なものを採択し、研究費を配分する。そのプロジェクトを推進していく過程で学生のプロジェクトを運営管理する能力を育成しており、学生の想像力、自立力を磨き、プロジェクト管理能力を高める教育課程を実施する。
- ・学部教育（特色 G P）プログラムにも指導者として大学院生が参画し、一貫教育を実現する大学院教育を実践しており、学部と大学院との接続を考慮した教育課程とする。
- ・海外に実践の場（研究者を対象とした国際的競技会・競争的展示会への参加）や国際連携教育プログラム（協定大学との交換留学制度を利用）を設定し、社会や他の大学院との連携プログラムを設定する。

これまでの各章に述べてきたように、目標は達成できたと自負している。本プログラムでは問題解決能力だけでなく、問題設定能力をもった研究者を育成することを目指しており、実践的問題設定・解決能力をもつ真のエリート技術者や研究者が輩出する基盤が確立できたと考えている。輩出される人材「創造的ものづくりカデット」は、活躍する場が情報化が著しい学際領域であり、幅広い知識と柔軟な発想を持ち、問題解決能力が高く、学会のみならず産業界におけるニーズにも応えられる。ひいてはオーバードクター問題の一つの解決策ともなりえると考えている。

現状では、博士課程前期・後期課程を一貫した教育プログラムになっており、博士課程前期課程で修了する学生にはコースの修了資格を与えることはできない。今後、前期課程に対応するカデット教育修了資格・要件を考えていきたい。また、大学院生による企画提案型プロジェクト研究、ショートトレーニングなどの実施を通じて、他専攻や他研究室の学生同士の共同研究や、専攻や研究室の枠を越えた教員による指導の実施を行なったが、その効果をどのように評価するのかを明確にする必要があると考えられる。

10.2 今後の展開

本メカノインフォマティクス・カデット教育に対して、平成21年度以降も、以下の取組みを継続して実施していく予定である。

- ・オープンセミナーおよびショートトレーニングの実施
講義科目と連動したオープンセミナー(MATLABオープンセミナーなど)とショートトレーニング(Global Leadership Trainingなど)を開講する。
- ・機械加工トレーニングおよび免許制度の実施
安全管理教育をも含んだ機械加工トレーニングを実施し、学生の能力に応じた責任と権限を与える免許制度を推進していく。
- ・実戦的課題プロジェクトの実施
分野横断的なテーマを複数の教員が指導する実戦的課題プロジェクトを講義科目と連動させて実施する。
- ・企画提案型プロジェクト研究の実施
博士後期課程学生に研究プロジェクトを提案させ、ヒアリングを実施し、良い提案に対しては予算を配分し学生をプロジェクトリーダーとしてプロジェクトを推進させ、研究能力だけでなくプロジェクトマネジメント能力を養う。
- ・国際共同教育プログラムと国際的活動の実施
海外協定校などとの連携を深め、大学院学生の国際交流の促進をさらに推進する。また、研究者を対象とする国際的競技会や競争的展示会への参加を奨励する。

なお、平成21年度は田中一男教授が本プログラムの取り組み責任者となることがカデット運営員会で決定されている。