

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23年度報告書

平成24年4月

電気通信大学

大学院情報理工学部

知能機械工学専攻

目次

1. はじめに
2. MATLAB講義活用
 - 2.1 MATLAB 4日間セミナー概要
 - 2.2 制御編
 - 2.3 ロボット編
3. 実践的課題プロジェクト
 - 3.1 キングモンクット工科大(タイ)との国際的実践課題の取り組みについて 青山教授
 - 3.2 センサフュージョンによるロボットの制御に関するプロジェクト実験 明准教授
 - 3.3 災害弱者への情報伝達プロジェクト 小池教授
 - 3.4 ポストン大学 (アメリカ) との真剣研究交流プロジェクト 田中教授
4. 大学院生による企画提案型プロジェクト研究
 - *採択の方法と発表成果の概要*
 - 4.1 ヴィジュアルフィードバックトレーニングを用いた脳波識別精度の向上とロボット操作への応用
 - 4.2 パッシブ姿勢安定化機構を用いた自律飛行制御体の開発
 - 4.3 空中からの情報収集を目的とした飛行ロボット自律制御システムの開発
 - 4.4 超磁歪素子を利用した埋め込み型骨導補聴器の開発～遺体への埋め込みによる性能評価と効率化～
 - 4.5 センサフュージョンによるヒューマンアシストに関する研究
 - 4.6 ダイナミックヒューマノイドロボットの開発
 - 4.7 圧電繊維複合材料を用いた生物模倣型ソフトロボットの研究開発
 - 4.8 ニードル式微量液滴塗布機構におけるニードル振動を用いた液滴塗布量の制御
 - 4.9 Automatic surface investigation by micro robot with vision based navigation system
5. ショートトレーニング
 - 5.1 Global Leadership Training 青山教授, 三島望氏 ((独)産業技術総合研究所 先進製造プロセス研究部門システム機能設計研究グループ長)
『サステイナブルなものづくりシステムの設計と評価ショート・トレーニング』(Design and evaluation of sustainable “mono-dukuri (production)” system)
 - 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 明准教授
6. 特別講演会
 - 6.1 「不機嫌なモナ・リザ ～サイエンスとエンジニアリングの両面からアプローチするヒトの視覚のメカニズム～」 (早稲田大学理工学術院総合研究センター・清水創太先生 講演)
 - 6.2 「Real-Time Feedback Fuzzy Control of Mean Arterial Pressure in Postsurgical Patients at Cardiac Intensive Care Unit」 Department of Electrical and Computer Engineering Wayne State University, USA・Hao Ying先生講演)
 - 6.3 「ファジィモデルに基づく制御への誘い ～基礎から応用まで～」 (九州工業大学 大学院情報工学研究院 機械情報工学研究系・大竹博先生 講演)
 - 6.4 「グラスレス3DレグザTM商品化までの道のり」 ((株) 東芝 研究開発センター マルチメディアラボラトリー・福島 理恵子先生講演)

7. 活動の実績と成果

7.1 Robocup2011(サッカー小型リーグ)

7.2 Robocup2011(レスキューロボットリーグ)

7.3 つくばチャレンジ2011(Real World Robot Challenge)

7.4 第7回全日本学生室内飛行ロボットコンテスト

8. 大学院生による研究成果発表

9. 対外的情報発信

10. おわりに

1. はじめに

本報告書は「メカノインフォマティクス・カデット教育」の2011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。「メカノインフォマティクス・カデット教育」プロジェクトは文部科学省「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、その後、学内プロジェクトとして継続が認められている大学院生向け研究・教育プロジェクトである。

2011年度においても、2010年度までに拡充的かつ継続的に行われてきたプロジェクト内容を充実させることができた。具体的には、昨年度に開催した2日間セミナー「MATLABによるロボットアームのシミュレーション」を、本年度は「ロボット編」に「制御編」の内容を加え、2日間から4日間に拡大して、「MATLAB エリート学問塾 夏の学校 in UEC」として開催を実現した。また、ショートトレーニングについては、エコシステムやグリーンエネルギーなどと経済学を関連付けた分野に内容を一新した。加えて、ボストン大学との海外インターンシップを年2回に分けて本格に実施する計画を立案するなど、本年度はより一段階レベルアップした国際的実践教育活動を実現できた。

最近、日本の技術立国の地位が揺らいでいる。ガラパゴス化に代表されるような日本の技術開発の閉鎖的な状況は、鎖国から開国を迫られた江戸末期の時代背景に酷似している。今の日本に求められるものは、明治維新で志高く強烈なリーダーシップを持った若い先人の如く、「ものづくり」を国際的視野で実践できるリーダーシップを持った若い研究者、技術者の出現である。本教育プログラムは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イ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、国際的視野とリーダーシップに富んだ志高い学生「創造的ものづくりカデット」を育成することを目的としている。このように、本教育プログラムは明治維新ならぬ「平成維新型ものづくり」のための人材育成を目指しており、今年度もその趣旨に沿った活動を展開できたものと自負している。

これも一重に本学からの経費援助のお陰であり、この場をお借りして厚く御礼申し上げる。

2012年3月31日

電気通信大学大学院情報理工学研究科 知能機械工学専攻
統括責任者 田中一男

2. MATLAB 講義活用

2.1 大学院生向け MATLAB 4 日間セミナー

「MATLAB エリート学問塾 夏の学校 in UEC」

1. 概要

一昨年度までは大学院の講義の一部を利用し、MATLAB のプログラミングについての簡単な講義を行っていたが、多くの時間数を確保できず、また、プログラミングに必要な実習形式の実現には至らなかった。そこで、昨年度は大学院の講義と切り離し、

- ・十分な講義時間を確保
- ・プログラム実習形式の講義

を行うことを念頭に置き、MATLAB プログラミング講義の企画・立案を行った結果、夏休みを活用し、2 日間かけて MATLAB の講義を行うこととなり。その結果、MATLAB2 日間セミナーとしてリニューアルして開催した。さらに、プログラムの実習を取り入れるために、知能機械工学専攻の計算機室を活用することとなり、また、大学院生として相応しい高度でかつ実践的内容を実現するために、MATLAB プログラミングの第一人者である法政大学 小林一行教授を講師としてお招きし、「MATLAB によるロボットアームのシミュレーション」というタイトルで 2 日間セミナーを行った。

参加学生から大変好評な一方で、ロボット工学以外にも制御工学を対象とした同様なセミナーを行って欲しいという意見が寄せられた。そこで、本年度は「ロボット編」に「制御編」の内容を加え、2 日間から 4 日間に拡大して、「MATLAB エリート学問塾 夏の学校 in UEC」

として MATLAB セミナーを開催した。

講義内容は小林先生が執筆された「ロボットモデリング」(図 2.1-1) を題材とし、下記の要領で MATLAB セミナーを開催した。

主催：メカノインフォマティクス・カデット教育プログラム

講師：法政大学工学部システム制御工学科 教授 小林一行 氏

日時：制御編「MATLAB プログラミングの基礎と制御工学」

9 月 15 日 14 時～17 時 10 分

9 月 16 日 13 時～15 時 40 分

ロボット編「MATLAB によるロボットアームのシミュレーション」

9 月 20 日 13 時～16 時 10 分

9 月 21 日 13 時～16 時 10 分

場所：電気通信大学 東 4 号館 615 号室

参加人数：20 名前後



図 2.1-1 ロボットモデリング (法政大学工学部システム制御工学科・教授 小林一行 著)

2. 講義内容

今年度の MATLAB4 日間セミナー「MATLAB エリート学問塾 夏の学校 in UEC」の講義内容を簡単に紹介する。

制御編「MATLAB プログラミングの基礎と制御工学」

<一日目>

1. MATLAB 特有な演算子と効果的なプログラミング
2. ラプラス変換と逆ラプラス変換 Symbolic Math toolbox の活用
3. 電気・機械回路のモデリングと応答

<二日目>

4. Simulink による応答シミュレーション
5. MATLAB プログラミングによる Simulink シミュレーションの自動化
6. 補足および演習

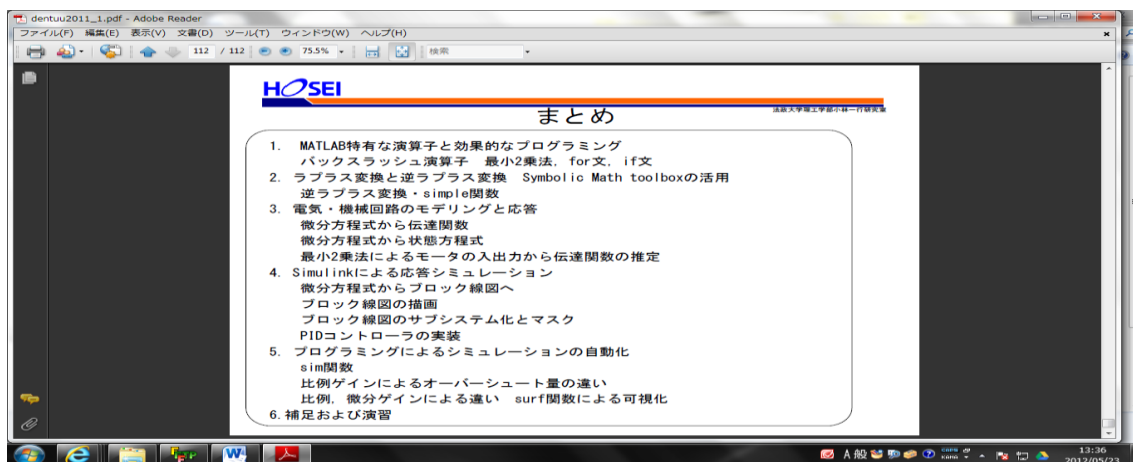


図 2.1-2 当日配布資料抜粋「まとめ」

ロボット編「MATLAB によるロボットアームのシミュレーション」

<一日目>

1. MATLAB の効果的なプログラミング HandleGraphics とアニメーション

- 1.1 3次元空間における図形表示
- 1.2 立方体の表示
- 1.3 Nanによる表示テクニック
- 2 MATLABによる3次元回転行列と同次変換行列
- 2.1 座標変換と同次変換行列
- 2.2 3次元座標空間の回転
- 2.3 スライダーによる3次元図形の回転
- 2.4 任意軸周りでの回転

<二日目>

- 3 MATLABによるロボットアームシミュレーション
- 3.1 回転行列, 同次変換行列を用いた, ロボットアームの絶対座標表現
- 3.2 同次変換行列による2次元2軸シリアルリンクのシミュレーション
- 3.3 同次変換行列を使った3次元ロボットアームシミュレーション
- 4 MATLABによるロボットアーム演習

補足および演習

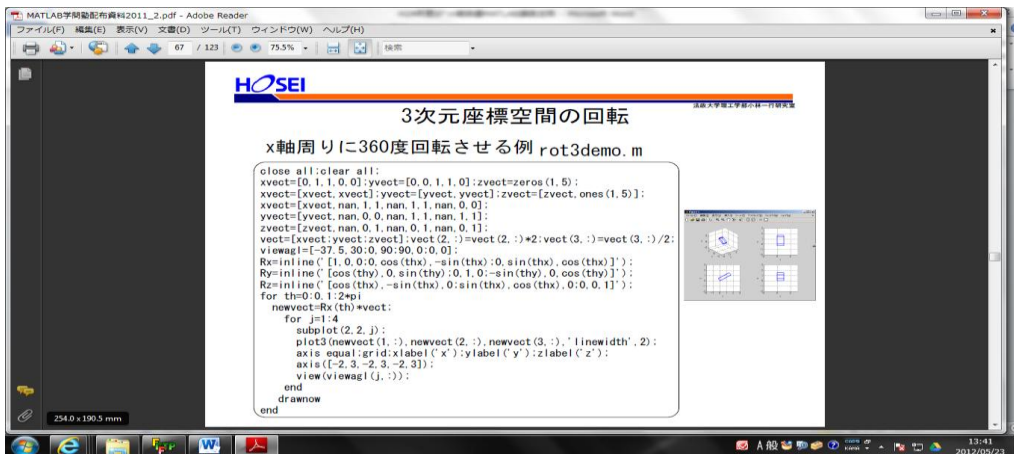


図 2.1-3 当日配布資料抜粋「2.2 3次元座標空間の回転」

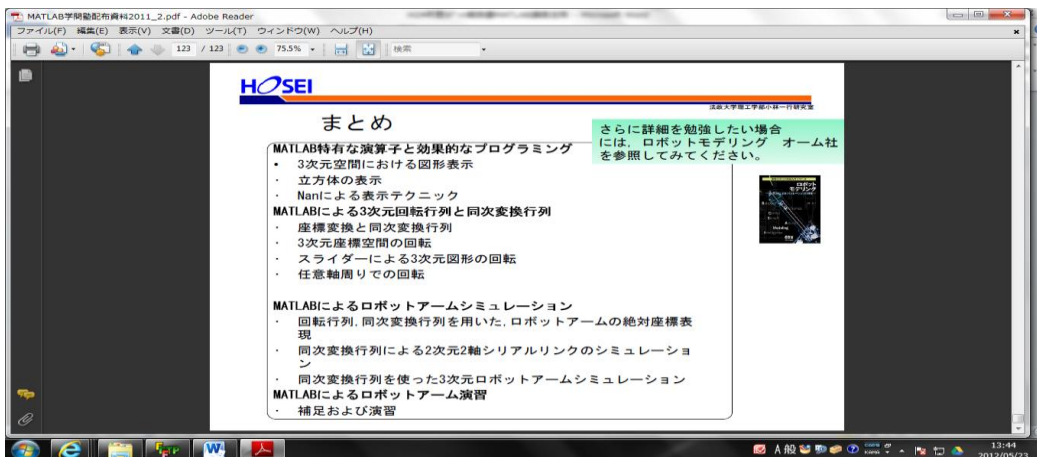


図 2.1-4 当日配布資料抜粋「まとめ」

4日間の講義風景について図 2.1-5～図 2.1-8 に示す。全体的な感想であるが、これらの図の講義風景からわかるように、小林先生が個人個人に丁寧に指導しているのが大変印象的であった。

受講者のアンケートの結果については次節で述べるが、本セミナーの受講者の評判は非常に好評で、講義内容が有用で役に立った、次年度以降も続けてほしい、などという要望を数多く寄せられた。



図 2.1-5 講義風景



図 2.1-6 講義を受ける参加学生たち



図 2.1-7 熱心に指導される小林教授



図 2.1-8 演習に取り組む学生

5. 参加者アンケートについて

参加学生 20 名のうち 17 名からアンケートを回収した。学生達の感想は好評であり、今後もこのような MATLAB セミナーを続けるべきか？という問いかけには全学生が「是非とも続けるべき」との回答であった。具体的なセミナーについての感想は以下にいくつかを抜粋する。

- ・初心者にも分かりやすかった。
- ・演習が多く、自分達で実践できる形式でよかった。
- ・バックスラッシュ演算子の使い方他が具体的に示れて有益だった。

最後になりますが、ご多忙な中、本学大学院生向け MATLAB 4 日間セミナー「MATLAB エリート学問塾 夏の学校 in UEC」の講師を快諾いただき、また、素晴らしい内容の講義をしていただいた法政大学工学部システム制御工学科 教授 小林一行 氏にこの紙面をお借りして、厚く御礼申し上げます。

3. 実践的課題プロジェクト

3.1 キングモンクット工科大(タイ)との国際的実践課題の取り組みについて

本報告書では、平成 24 年 2 月 21 日から 2 月 25 日まで、タイのキングモンクット工科大学ラカバン校 (KMITL) へ本学生を派遣し、現地でプロジェクトの指導を実施した内容を報告する。

派遣メンバー：知能機械工学専攻博士前期課程 寺崎，広瀬，重田，白取、渡部

本課題では本プログラムに参加する大学院生を中心に、キングモンクット工科大のグループとインターネットを介して遠隔制御するロボメカシステムを共同開発し、実際に双方向でそれらのメカトロシステムを遠隔制御させ、問題点の抽出と解決および自己評価と改善を検討させ、将来メカトロニクス of 設計開発および生産拠点において国際的にリーダーシップを発揮できる人材の育成を目標としている。図 1 に示すように昨年度(2011 年 2 月)にすでに現地と本学の間で構築していた共同実験用プラットフォームの動作チェックを行うとともに問題点などの検討を実施しており、本年度は本システムを用いて実際に競技を実施することが目的である。

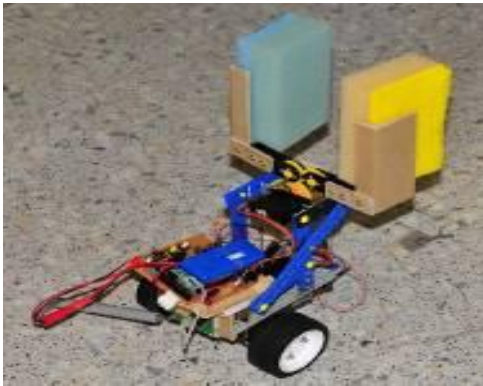


図 1 昨年度、両大学間で製作された遠隔制御可能なロボット
および参加した両大学の学生

3.1.1. 本年度の取り組み概要

図 2 に本取り組みの概念図を示す。

2 つの大学間でインターネット回線を利用し、双方向で遠隔制御するロボットシステムを共同開発し、その性能を評価する。

ここではインターネットプロトコルに制御信号を乗せるだけでなく、共同開発自体を Skype などのツールでルール、レギュレーションなどを英語で検討しながら進める。

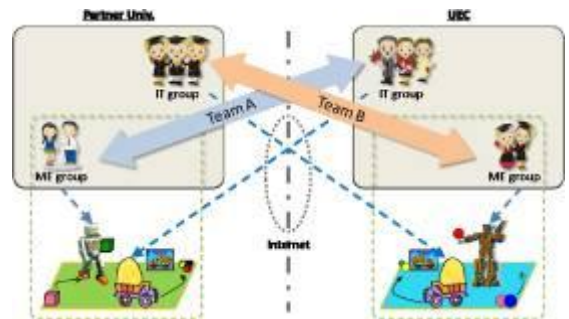


図 2 インターネットを組み込んだ
双方向同時遠隔制御システム

図3には本国際共同メカトロ開発システムのブロック線図を示す。それぞれ VPN サーバーを設置し、相手側からのインターネット回線を仮想プライベートとすることも、またグローバル IP による直接制御も可能になっている。回線速度とセキュリティーが相反する特性であるため、それぞれのチームのアイデアが重要になるが、インターネットに精通している電通大院生からの指導的なアイデアが中心となっている。

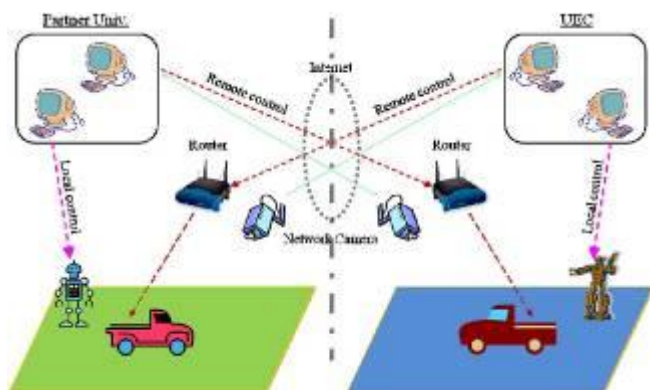


図3 双方向同時遠隔メカトロ制御システムのブロック線図



図4 複雑な遠隔制御システムを相互理解するために双方の教員も相手側の学生を指導する

またこれらの指導には学生だけでなく、教員らも密接に打ち合わせる必要があり、双方の担当教員も相手側の大学を訪問し、参加する学生とミーティングし、高い信頼に基づく実施を可能にしている。

3.1.2. 本年度の取り組み成果

本年度、電通大とキングモンクット工科大で導入・開発された各種機器を示す。図5は小型飛行ロボット AR.Drone である。無線コントロールユニットが取り付けられており、Wi-Fi 通信により iPod/iPad/iPhone などを用いてローカルで制御される。上部と下部にカメラが取り付けられており、作業内容のモニタが可能になっている。この画像情報はインターネットを介して海外の相手大学に配信し、競技上必要な情報の送信を可能にしている。また、下部には競技用に LED が搭載され、上方から投光することで後述のトラックロボのキャプチャを行なう。



図5 小型飛行ロボット AR.DRONE
Wi-Fi を用いてローカルに遠隔制御される

さらに図6に示すような VPN を利用した仮想プライベートネットワークにより、オリジナルの移動ロボ

ットを製作し、インターネットで遠隔制御できるようになっている。上部には受光ユニットが設けられ、AR.Drone がトラックロボと重なり合っている時間をマイクロコントローラを用いて計測できるようになっている。これはすべて自作によるものであり、それぞれの大学のグループのオリジナルな機構アイデアを相手側のプログラム開発グループに理解させ、ソフト開発をさせる必要があり、電通大側の院生の指導力が最も必要になる部分である。



図 6 オリジナル移動ロボット:VPN を利用した仮想プライベートネットワークを構成し、インターネット経由で遠隔制御可能である。AR.DRONE によるキャプチャリング時間を計測可能となっている。

図 7 はこれらの 2 種類のロボットを組み合わせ、1 台は自大学のメカグループ、もう 1 台は相手側のソフトグループが交差してチームを作り、それぞれが協力して、2 台のロボットを遠隔制御している様子を示す。



図 7 AR.DRONE およびトラックロボをそれぞれの大学側のグループがチームを構成し、インターネット遠隔制御により協調動作をさせることに成功している。その際の作業は俯瞰位置に設定したカメラと機体に搭載されたカメラの画像を確認しているがインターネットの遅延時間があるため、制御コマンドを生成するだけでなく、予測不能な状況にも相互連絡で対応することが余儀なくされている。

本年度は、5 名の学生をタイのキングモンクット工科大学ラカバン校 (KMITL) に派遣し、現地指導を行った。図 8 に示すように、実際にフィールドを設置し、相手側カメラを用いての動作実験を競技形式で

行った。この際のルールでは、AR. Drone によるトラックロボのキャプチャリング時間やペナルティーも考慮した得点・減点方法を大学間で検討している。



図 9 作業フィールドを設定し、達成時間やペナルティーも考慮した得点・減点方法を検討し、システムの評価を実施している。左は日本、右はタイ

3.1.3 まとめ

本年度は小型飛行ロボット AR. Drone およびオリジナルの VPN 経由のインターネット制御ロボットを組み合わせ、より複雑で高度な国際的ロボメカ共同開発を実施し、知的ロボメカに関する経験や知識を駆使し、国際的なチームを指導する力を参加した院生に授けることができたと評価できる。今後は環境問題、などを取り込み、総合コミュニケーション科学をベースとして国際社会で活躍できる人材の育成を実施する。

3.2 センサフュージョンによるロボットの制御に関するプロジェクト実験

3.2.1 目的

1) 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。

2) ヒューマノイドロボットを用いた授業を行い、センサの基本特性とセンサフュージョンを用いた簡単なフィードバック制御を学生に体験してもらう。

3.2.2 対応する大学院講義名

- ・ロボット工学特論(電気通信学研究科 下条・明)
- ・ロボット工学基礎(情報理工学研究科 明)
- ・制御システム論(情報システム学研究科 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) 移動マニピュレータシステム

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。

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と、3次元カメラおよび触覚センサを備えたアシストアームからなる。

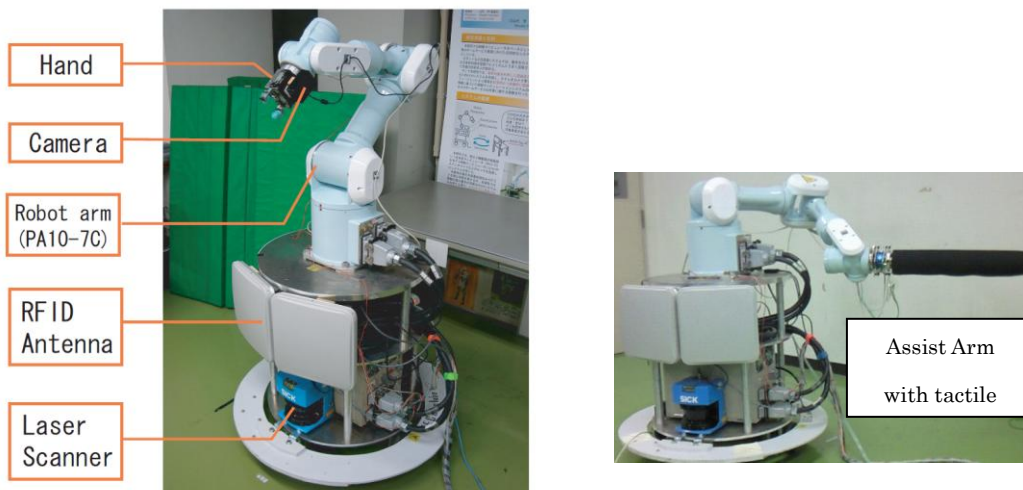


図1 システムの構成

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。

大学院講義「ロボット工学特論」「ロボット工学基礎」「制御システム論」の1回の講義時間を用いて、RFIDと3次元カメラなどのセンサによる認識実験、アシストアームに実装した触覚センサーによる制御実験を行った。参加学生は91名であった。



図2 移動マニピュレータシステムを用いた実験の様子

2) ヒューマノイドシステム

図3に示された自作のヒューマノイドロボットに3軸加速度センサと2軸ジャイロセンサを搭載した。

スペック

- 身長 320mm
- 体重 2.5kg
- 自由度 15
(足12 腕2 体1)
- 使用サーボ
 - ・RX-28 (Robotis社)
トルク38kgf・cm
- センサ
 - ・ジャイロセンサ
(ロール・ピッチ)
 - ・加速度センサ (XYZ)

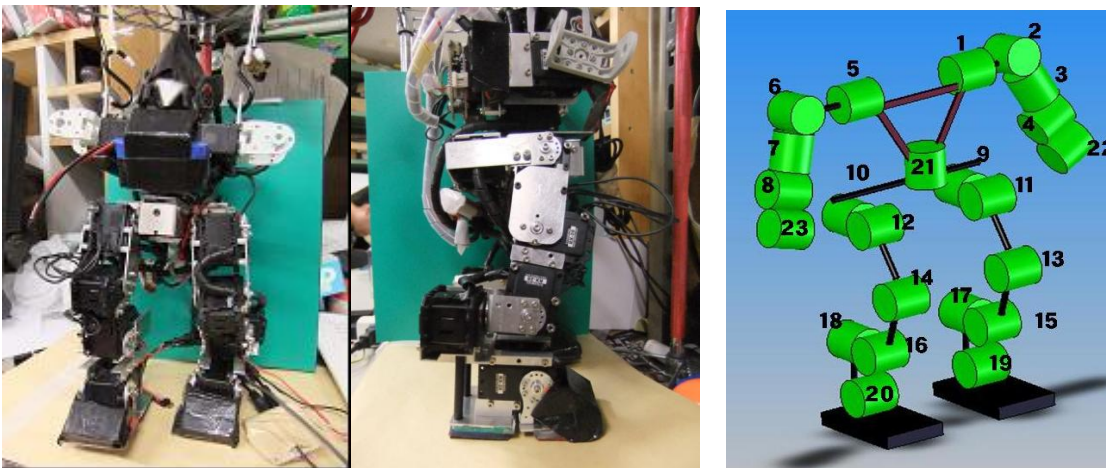


図3 実験用ヒューマノイド

自作した実験専用ソフトウェアのウィンドウを図4に示す。このソフトウェアはロボットからセンサの情報を受信、表示する。またジャイロセンサの値より機体にかかっている角速度を積分した値、積分値を加速度センサでキャリブレーションした値の2値を表示できる。

作成したロボットとソフトウェアを用いて、小型ヒューマノイドロボットに関する講義および簡単な実験を行った。まずロボットを实际手に取りながら要素やソフトウェア、制御方法、センサの利用法などを説明した。センサ説明時には加速度センサ、ジャイロセンサの値、角速度積分値（角度）とロボットの動きの関係を実際に動かしながら説明した。



図4 実験用インタフェース

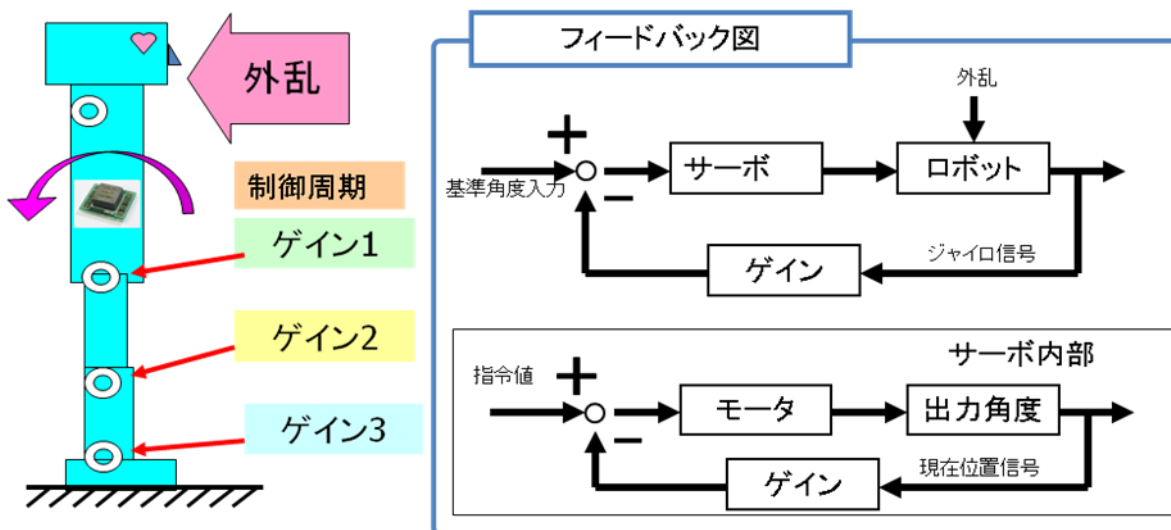


図5 ジャイロセンサを用いた制御方法

膝関節，股関節，足首関節のピッチ3軸に対するジャイロフィードバック制御実験を図5のような方法で行った。ゲインをロボットの動きを考慮して決定，導入させ，ロボットをつついたり傾けて倒したりし，外乱を与えその結果を体験させた。

さらに比較のためにセンサを用いずに，人間による手動制御による安定化実験も行った。



図6 ヒューマノイドを用いた実験の様子

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、触覚センサなど）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アプリケーションに関する実験を行った。また、小型ヒューマノイドを用いて加速度センサやジャイロセンサによるフィードバック制御実験を行った。実践プロジェクトを講義に導入することによって、学生の勉強に対するモチベーションと学習効果を高めることができた。今後、より実験内容の充実や改善を行っていく。

3.3 災害弱者への情報伝達プロジェクト

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。

本年度は、PVDF (Poly Vinylidene DiFluoride) フィルムを皮膚を伝わる音声計測用のセンサとして用い、最適な計測方法の検討を行い、騒音環境下での音声取得を実現するためのデバイス開発を行った。PVDF フィルムで計測した信号の音質を向上させるために、頭蓋骨を伝播する音声振動の伝達関数を用いた音声の明瞭化について検討し、前年度研究で作成したものよりも高性能なデバイスの開発を目指した。

3.3.2 試作した PVDF デバイス

PVDF フィルムとは、フィルムを変形させることにより、その表裏に電荷が発生する圧電素子の一種である。これを額に当てることで、発音によって額に生じる微小振動を計測することが可能である。これまでの研究において、様々な素材を PVDF に貼り付けたり、PVDF と PVDF を額に固定するためのゴムバンドの間に挟んだりすることにより、計測できる音声や侵入してくる騒音の周波数成分を変化させられることがわかっている。

今回は、PVDF (SDT1-028K、東京センサ、Fig. 1) に貼り付ける素材 (以下：貼り付け材) と PVDF と額の間に挟む素材 (以下：中間材) について、広範な周波数の音声を取得でき、かつ侵入する騒音が少ない組み合わせを検討し、貼り付け材にエチレンビニルアセテート (EVA)、中間材にセルスポンジを使用したデバイス (以下：PVDF デバイス) を作成した (Fig. 2)。

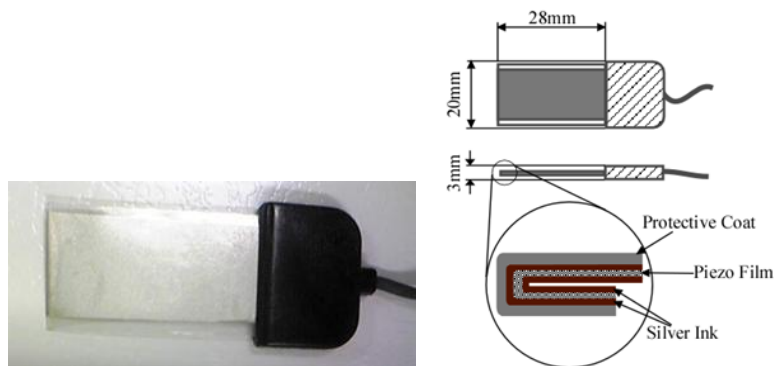


Fig. 1 PVDF film.

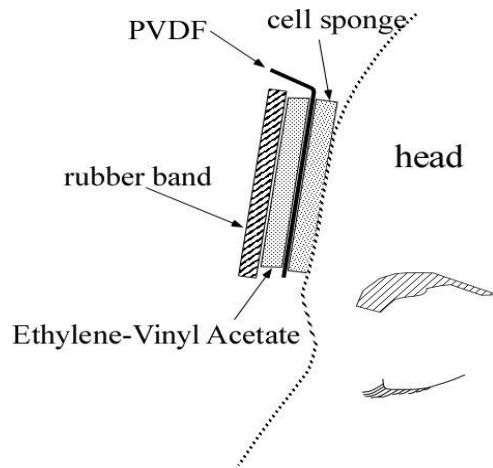


Fig. 2 Schema of the sensor.

3.3.3 逆伝達関数の個人差

静寂環境において気導マイクと PVDF デバイスで取得した音声から、周波数成分ごとのスペクトルの差を計算することで、皮膚を伝わる発声の伝達関数の逆関数（逆伝達関数）を求めることが出来る。この逆伝達関数を用いて、PVDF デバイスにより得られた信号を補正すれば、通常的气導マイクで取得した音声に近い信号が得られるはずである。この逆伝達関数が、話し方、朗読する文章の内容によって変化するか否かを検討し、実際に求めた逆伝達関数を元に音声を加工した。

昨年度の研究では、人によって逆伝達関数が異なるということがわかっていたが、逆伝達関数の個人差が骨導音から気導音を再現する際の再現性に及ぼす影響については明らかになっていない。そこである被験者の骨導音をその被験者自身の逆伝達関数で加工した場合と、別人の逆伝達関数で加工した場合に、気導音再現性にどれだけ違いが生じるのかを検証した。

〈実験方法〉

計測システムを Fig. 3 に示す。静寂環境下において発声することにより生じる骨導音と気導音を計測した。このとき PVDF は額に動かないようにゴムバンドとクリップで固定した。PVDF から発生する信号はチャージアンプ(研究開発アンプ：東京センサ)で電荷信号を電圧信号に変換し、オーディオインターフェース(Fireface 400、Synthax Japan)でデジタル変換、増幅し、PC に記録した。気導音は気導マイク(LA-5560、小野測器)で音を取得し、オーディオインターフェース(Fireface 400、Synthax Japan)でデジタル変換し、PC に記録した。このシステムを用いて、被験者に下記の(記事 1)を朗読してもらい、計測を行った。計測時間は 12 秒である。入出力の制御・データの解析にはオーディオ解析用ソフト Adobe Audition (ver. 3.0 : Adobe Systems) を使用した。このときサンプリング周波数は 44.1 kHz とした。またプログラムソフト LabVIEW を用いて気導マイクと PVDF で計測した信号の周波数成分ごとのスペクトル差を計算し骨導音に掛け合わせる逆伝達関数を求めた。またその逆伝達関数による音声の加工は Adobe Audition の Graphic Equalizer 機

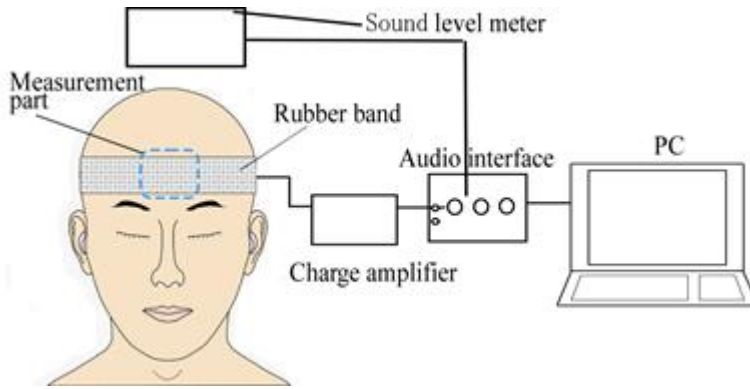


Fig. 3 Measurement system.

能を使用して行った。2名の男性、1名の女性の逆伝達関数を求めた。

(記事 1) 目覚まし時計代わりにセットした携帯電話のアラームで、倉田玲司は眠りから覚めた。部屋に備え付けの時計は、何日か前に壊れたままだ。

〈実験結果および考察〉

求めた 3 名の逆伝達関数を Fig. 4 に示す。黒線は男性被験者 A、青線は男性被験者 B、赤線は女性被験者 C を示す。被験者 3 名の逆伝達関数はおよそ 130 dB の範囲で変化した。また同一周波数における 3 名の被験者の逆伝達関数の振幅値の差は最大 20 dB であり、被験者 A と被験者 B 間の逆伝達関数の違いが大きかった。そのため、Fig. 5 に示すように、この 2 名の逆伝達関数を適用し、それぞれ被験者 A、B の骨導音を加工した。被験者 A の逆伝達関数で加工して得られた音を加工音 A、被験者 B の逆伝達関数で加工した音を加工音 B とした。

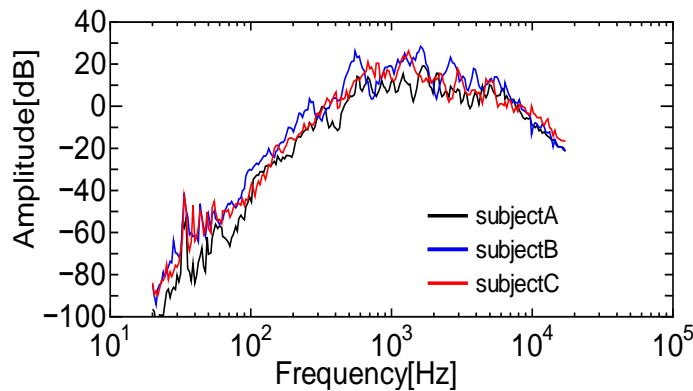


Fig. 4 Invers transfer functions (n=3).

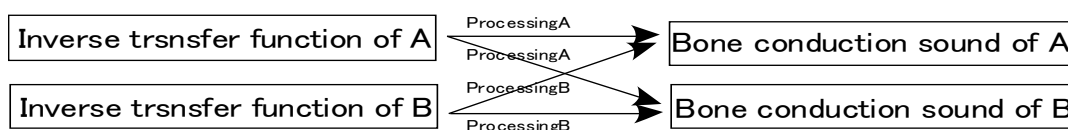


Fig. 5 Application of the inverse transfer functions to the measured sound.

被験者 A、被験者 B から得られた波形の周波数の解析結果(カラーマップ)をそれぞれ Fig. 6、Fig. 7

に示す。それぞれの結果は、(a)は骨導音、(b)は加工音 A、(c)は加工音 B、(d)は気導音を示している。また、Fig. 6、Fig. 7 より、強い信号が得られたときの周波数帯域を Table 1 に示す。Table 1 より、加工音 A に比べて加工音 B のほうが気導音に近い。

被験者 A と被験者 B の加工音 A と加工音 B の音声を実際に聞いたところ、どちらも気導音に近くなった。その中で、加工音 B に比べ、加工音 A のほうが音声をはっきり認識できたが、ノイズが強かった。逆に加工音 B のほうが、音声をはっきり認識できなかったが、ノイズも低かった。これより、逆伝達関数には、音声を鮮明にするもしくは不鮮明にする特性があり、ノイズを強くするもしくは弱くする特性があると考えられる。したがって、どちらの加工音にも利点、欠点があるため、どちらのほうが気導音に近づいたか断言できない。

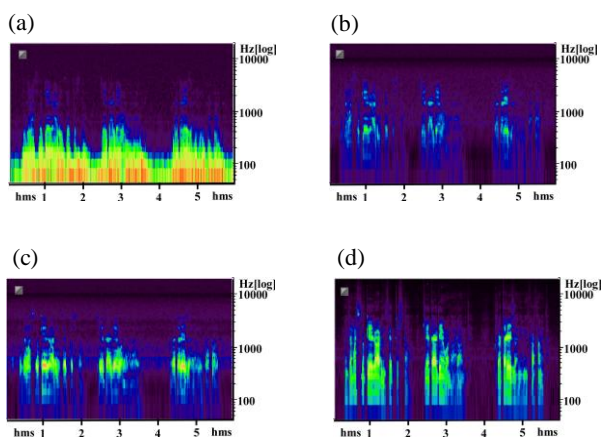


Fig. 6 Color map of subject A.
 (a) Bone conduction sound, (b) Processed sound A,
 (c) Processed sound B, (d) Air conduction sound

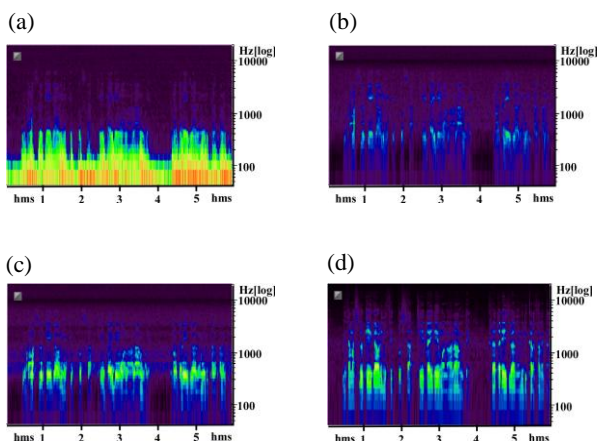


Fig. 7 Color map of subject B.
 (a) Bone conduction sound, (b) Processed sound A,
 (c) Processed sound B, (d) Air conduction sound

Table 1 Frequency range of strong signal

	(a)	(b)	(c)	(d)
Subject A	40~450 Hz	300~600 Hz	300~1000 Hz	100~2000 Hz
Subject B	40~500 Hz	200~400 Hz	200~800 Hz	100~1000 Hz

以上より、本人、別人関係なく、カラーマップに強い信号が得られたときの周波数帯域は、加工音 A と比べて加工音 B のほうが気導音に近づいたが、加工した音を聞くと、加工音 A と加工音 B は気導音の再現性は変わらないが、音声の鮮明度、ノイズの強弱に違いが見られる。

3.3.5 結言

本人と別人による逆伝達関数の違いは、その逆伝達関数を用いて加工することによって得られる気導音の再現性に変わりは見られないが、音声の鮮明度に違いが見られた。個人の逆伝達関数を利用するよりも適切な逆伝達関数が存在するものと思われた。

今後は、逆伝達関数を解析して、音声のみを鮮明化する逆伝達関数を作り出すなど Hi-fi 化に向けて最適な逆伝達関数を検討する必要がある。

3.3.6 本研究課題と講義との関連

本プロジェクトは、大学院の授業科目である生体計測工学特論と関連しており、ここ数年、生体計測工学特論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振動取得実験を体験することで、生体計測工学分野の実験の理解を促す試みをしている。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、生体を対象とした実験特有の特異性や注意点などを理解させることが出来た。今後も、座学だけではなく、実際の実験を多く講義に取り入れ、生体信号計測について、学生が深い理解を得ることが出来るよう努力、工夫していきたい。

3.4 ボストン大学（アメリカ）との真剣研究交流プロジェクト

1. 研究概要

近年の制御対象の複雑化・多様化に伴い、非線形システムに対する非線形制御手法の需要が高まっており、より保守性の緩い非線形制御手法の確立が重要である。

非線形制御手法の一つであるファジィモデルに基づく制御は、他の非線形制御手法に比べ、「簡単に・自然に・効果的に」非線形制御を実現できることが特徴である。近年、ファジィモデルに基づく制御をより一般化した、Sum of Squares (SOS)に基づく多項式ファジィ制御系設計手法が提案されている。SOSとは多項式の平方の和を意味し、多項式がSOSであるときその多項式は非負となる。SOSに基づく多項式ファジィ制御系設計手法は、このSOSの特徴とリアプノフ安定論を組み合わせることによって、制御系を設計する手法である。先行研究によって、連続システム、離散システムに対する安定解析条件、安定化条件、最適性を考慮した設計条件等が導出されている。

一方、実システムにおける制御系設計では必ずしも全ての状態量が観測できるとは限らないため、状態量を推測するオブザーバが必要となる場合がある。そのような場合、上記のような非線形制御手法に対応する、より保守性の緩いオブザーバが求められる。

本研究では、従来手法より保守性の緩いオブザーバ設計条件の導出を行なうと共に、従来の二次形式リアプノフ関数と異なったアプローチによって、より保守性の緩い制御系設計手法の設計条件の導出を目的とする。また離散系に対して、従来手法より保守性の緩い安定化条件および最適性を考慮した制御系設計条件も導出する。最後に、制御シミュレーションを通して本研究で提案する手法の有効性を示す。

1. 発表内容

田中研究室の主な研究テーマである「Sum of Squares に基づく多項式ファジィ制御系設計」について、以下の内容を発表した。

- ・モデルベースのファジィ制御について

田中研究室でどのような研究が今まで行われてきたかを説明した。

- ・SOSについて

(SOS)Sum of Squares がどのようなものなのか、また SOS を用いてどのように安定条件を表現するかを述べた。

- ・Sum of Squares に基づく多項式ファジィオブザーバ設計について

SOS に基づく多項式ファジィオブザーバ設計条件の導出の説明を行なった。また、おファジィオブザーバの設計に SOS を用いることで得られる有効性の検証を制御例題の制御シミュレーションにて行った。

- ・Sum of Squares に基づく離散多項式ファジィシステムの制御について

SOS に基づく離散多項式ファジィシステムにおける安定条件導出の説明を行った。また、従来手法と可解領域を比較して本手法の有効性を説明した。

- ・単調減少性が緩和されたリアプノフの安定定理について

本研究室がリアプノフの安定定理の緩和を研究していることを説明した。従来行ってきた緩和の手法と今後行う予定であるアイデアをここで説明した。

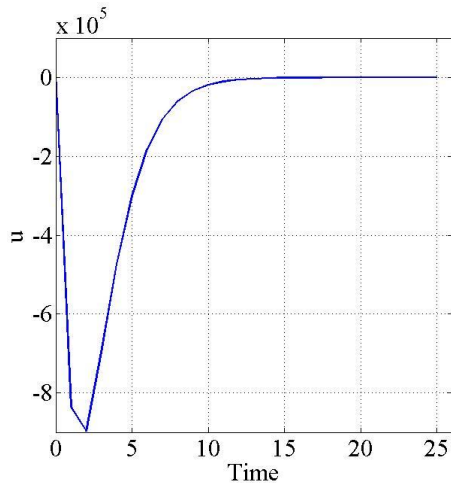
2. 発表風景と質疑応答

発表は Wang 先生と Wang 先生の研究室に在籍する二名の生徒の前で行った。

離散多項式ファジィシステムの制御についての例として示した設計例題の制御入力値が実システムに

は用いることのできない大きな値 (10^5 のオーダー) になっていることについて議論を行った。例として示した制御例題は従来手法では解を得ることができず本手法に拡張することによって解が得られるようになった領域の制御シミュレーションであった。

これは制御入力の最大値を設定できるような安定条件を加味させてやることで防ぐことができる。

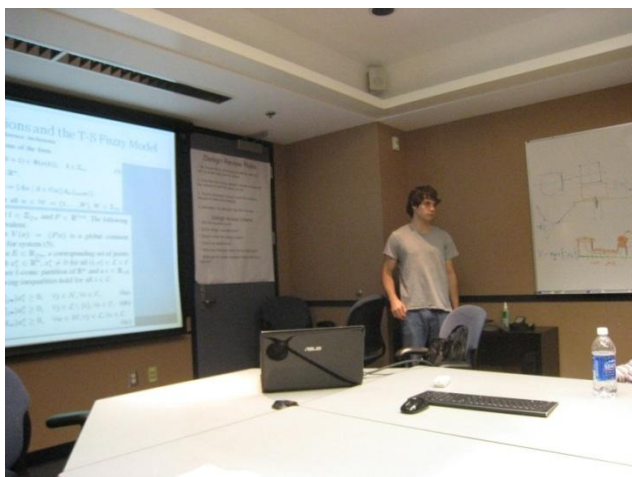


また、単調減少性が緩和されたリアプノフの安定定理についての説明の際に今後行う予定であるアイデアに対して議論を行った。



3. Wang 研究室の生徒が行った発表

研究交流として、Wang 研究室の研究のひとつである、「リアプノフ関数の拡張」について発表していただいた。我々の研究室でもリアプノフ関数の拡張について研究をしているが違ったアプローチからの研究を聞くことができた。この研究は無限大ノルムの考え方をリアプノフ関数の拡張に用いたものであった。次の発表者はカルマンフィルターをファジィ制御に用いた研究を行っていた。どちらの発表者もユニークな考え方で研究にアプローチしており今後の研究方針の考え方の参考になった。我々の課程では研究の中で基礎となる知識が特定の分野に固まってしまうがちである。特定の分野のみでなく幅広い分野から知識を得て研究に生かすということも研究方針の一つであると感じた。



4. 研究室見学

4 ロータヘリコプタに関する研究を行っている研究室を見学した。ロータのピッチ角を可変にする機構を紹介していただいた。一つのロータにつき一つのサーボを取り付けることによって可変翼を実現していた。



5. 現地での研究

現地では田中研倉持と PPG のファジィモデル化と制御について研究を進め最終日に Wang 先生と生徒の前でファジィモデル化の手順やファジィ制御機について解説を行った。PPG の物理モデル化は倉持が行いファジィモデル化は遠藤が行った。モデルは二次元モデルで制御目標を機体高度として、サーボ系のモデルを作成した。今回は Wang 研究室の生徒にプレゼンをするのを目的としているため、ファジィモデル化に際して影響が微小であると考えられる項は線形近似を行った。ファジィモデルが取り扱った非線形項は 2 項であった。このファジィモデルに対して安定条件を求めて、得られた解のシミュレーションを行った。



6. PPG についての発表

先ほど説明した現地での PPG の研究について発表した。

PPG の物理モデルを作成する際に行った近似とファジイモデル化する際に行う sector nonlinearity の違いについて議論を行った。制御機設計においては、定常飛行している場合を平衡点としているので、キャンピの迎え角を 0 と近似して考えた。これは物理的考察より導き出される近似である。次にファジイモデル化する際に行った sector nonlinearity はグローバルに非線形ダイナミクスを厳密に表現できる。



4. 大学院生による企画提案型プロジェクト研究

採択の方法と発表成果の概要

下記要領で大学院生による提案企画研究プロジェクトの公募を行ない、23年度は9件の応募があった。本メカノインフォマティクス・カデット教育プログラムの取り組み実施担当教員による提案内容審査の結果、下記のように予算配分を行い、各代表者のマネジメントの下、プロジェクト研究を開始した。研究結果は研究報告会で報告し、担当教員による質疑応答を行ない、今年度の進捗状況および次年度の課題を確認した。

平成 23 年度

提案・予算申請書提出期日： 平成 23 年 6 月 13 日（月）
研究提案ヒアリング： 平成 23 年 6 月 24 日（金） 9：00～11：15
電気通信大学 東 4 号館 8 階 AV 会議室
発表時間 1 件 15 分（8 分発表、7 分質疑応答）

提案プロジェクトタイトル・代表者・予算配分額：

1. 田中拓哉 田中研 修士 1 年 (41 万円)
ヴィジュアルフィードバックトレーニングを用いた
脳波識別精度の向上とロボット操作への応用
2. 奥村雅 田中研 修士 1 年 (36 万円)
パッシング姿勢安定化機構を用いた自律飛行制御体の開発
3. 倉持信行 田中研 修士 1 年 (31 万円)
空中からの情報収集を目的とした飛行ロボット
自律制御システムの開発
4. 田地良輔 小池研 修士 1 年 (23 万円)
超磁歪素子を利用した埋め込み型骨導補聴器の開発
～遺体への埋め込みによる性能評価と効率化～
5. 安藤健治 明研 修士 2 年 (36 万円)
センサフュージョンによるヒューマンアシストに関する研究
6. 梶原直喜 明研 修士 2 年 (34 万円)
ダイナミックヒューマノイドロボットの開発
7. 趙文静 明研 修士 2 年 (38 万円)
圧電繊維複合材料を用いた生物模倣型ソフトロボットの
研究開発
8. 広瀬一樹 青山研 修士 2 年 (25 万円)
ニードル式微少液滴塗布機構におけるニードル振動を
用いた液滴塗布量の制御

9. PAKKRATOKE Montree 青山研 博士1年 (38万円)
Automatic surface investigation by micro robot
with vision based navigation system

プロジェクト研究報告会：

下記の通り研究報告会を行った。なお、第1グループ(代表：田中拓哉)については、日程の調整がつかなかったため、2日目に発表を行った。

(1日目) 平成24年3月15日(木) 13:00～15:50

および

(2日目) 平成24年3月16日(金) 10:30～10:50

電気通信大学 東4号館8階 802AV会議室

発表時間 1件20分(10分発表、10分質疑応答)

4.1 ビジュアルフィードバックトレーニングを用いた脳波識別精度の向上とロボット操作への応用

1. メンバー構成

1.1. プロジェクトリーダー

田中拓哉 知能機械工学専攻博士前期課程 1 年田中研究室

1.2. プロジェクトメンバー

Mukul Manoj Kumar 知能機械工学専攻博士後期課程 3 年田中研究室

桑田智幸 筑波大学大学院リスク工学専攻博士後期課程 3 年佐藤研究室

市河拓 知能機械工学専攻博士前期課程 2 年田中研究室

三宅龍馬 知能機械工学専攻博士前期課程 2 年田中研究室

Yichuan Liu ボストン大学機械工学科修士 2 年 Wang 研究室

Kevin Windham オクラホマ大学工学部情報工学科 4 年

1.3. 指導教員

田中一男教授(知能機械工学専攻)

佐藤美佳准教授(筑波大学大学院リスク工学専攻)

水野佑治(理化学研究所)

2. 背景, 目的

近年, Brain-Machine Interface (BMI) の研究が盛んに行われている。これは, 脳波などの脳活動情報を用いて, コミュニケーションや機械の操作などを可能とする技術である。そのためには, 操縦者がどのようなイメージをしているか識別する必要がある。しかし, 複雑な生体データを扱う以上, すべての人に最適な方法を見つけ出すことは極めて難しい。その結果, 識別精度を向上させることに注力してしまい, 実用化を軽視したような研究が数多くあるのも事実である。一方, 本研究室では, イメージ脳波を用いて操作することのできる電動車椅子 BMI システムの開発を行っており, 特に, 「誰でも使えるシステム」[1] の開発を目標としている。被験者の右手, 左手, 足の運動想起とリラックス時の脳波を, それぞれ車椅子の右旋回, 左旋回, 直進, 静止の動作に割り当てることで, 直観的な操作を可能としている。しかし, 現状では運動想起の識別精度は高くないため, 実用化には至っていない。識別精度を改善するためには, 識別方法の提案と被験者トレーニングの 2 つの軸が存在すると考えられる。これまで, 本研究室では識別方法について研究を行ってきたが, 本研究では被験者トレーニングを大きな課題と考え, 初心者でも短時間で車椅子操作が可能となるような, 効率的なトレーニングシステムの開発を目標とした。本稿では, まず, 周波数フィルタと空間フィルタを用いた特徴抽出及び, 特徴選択を行う識別方法についてと, 2 クラス識別器を用いたマルチクラス識別の方法について提案する。また, 効率的なトレーニング方法として, オンラインフィードバックトレーニングについて, さらに識別器の更新を取り入れた方法について考察する。最後に, オフラインフィードバックトレーニングを取り入れた場合について評価する。

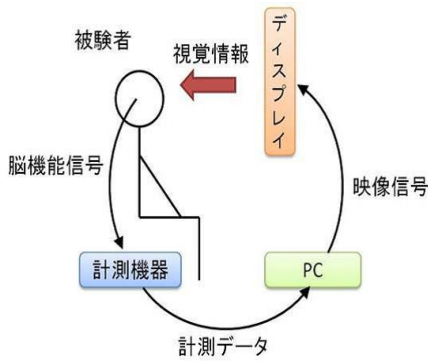


図 1 システム概要

3. フィードバックトレーニング

本研究で目指しているトレーニングシステムの概略図を 図 1 に示す。これは、識別に関する情報を被験者に視覚的に提示し、被験者自身が自分のイメージと識別結果との関連性を把握することで、イメージの再現性を高めることを目的とするシステムである。これまで、本研究室では識別方法の改良によって、識別率の改善を図ってきた。しかし、初めて運動想起する被験者にとっては、再現性のあるイメージを行うことは難しい。さらに、車椅子を操作する場合、リアルタイム性が重要になるため、短時間の脳波データで識別する必要がある。以上の理由により、識別方法の改良だけでなく、識別器と被験者の両側から識別率の改善を図るべきである。次節ではまず、本稿で用いている識別方法について記す。さらに、当研究室での車椅子 BMI の誤動作による危険を軽減する方法について説明し、提案方法によって、識別率が改善されたことを示す。それ以降は、本稿で扱うフィードバックトレーニングについて説明する。本稿では、被験者へのフィードバック方法と、識別器学習の有効性について検証している。被験者へのフィードバックのタイミングは、数トライアルを 1 セットとして、セット毎に行うか、1 トライアルずつオンラインで行うかの 2 種類について検証した。また、識別器の学習については、セット毎の識別器の更新による効果について検証を行った。

4. 識別方法

4.1. 前処理

本稿では、1 つのデータに対し、複数のフィルタを別々に施すことで、違う特徴を持ったデータを複数生成する方法をとっている。周波数帯域の異なる 5 つのバンドパスフィルタ ([1Hz 3Hz], [3Hz 7Hz], [7Hz 13Hz], [13Hz 30Hz], [30Hz 50Hz]) を用意し、それぞれ δ 波、 θ 波、 α 波、 β 波、 γ 波の成分のみを持つデータを生成している。このように、前処理として複数のフィルタを施し、1 つのデータから複数のデータを生成する場合、それらのフィルタ群はフィルタバンクと呼ばれる。

4.2. 特徴抽出

本研究では、Common Spatial Pattern (CSP) 特徴量 [4] を用いている。CSP とは 2 クラス間の脳波データの分散比に差が出るようにデータを変換し、その分散比を特徴量とするものである。クラス 1, クラス 2 について学習用データの各トライアルの分散共分散行列の平均をとったものを \bar{C}_1 , \bar{C}_2 とし、

$$S_1 = P\bar{C}_1P^T, S_2 = P\bar{C}_2P^T \quad (1)$$

を定義する。ここで、P は合成分散共分散行列、 $\bar{C}_C = \bar{C}_1 + \bar{C}_2$ の白色化変換行列である。 S_1, S_2 を対角化行列 B を用いて分解すると次式が得られる。

$$S_1 = B\lambda_1B^T, S_2 = B\lambda_2B^T \quad (2)$$

このことから、 S_1 の最大固有値に対し、 S_2 の最小固有値が対応していることが分かる。つまり、空間フィルタ $F = B^TP$ を用いて $\bar{X} = FX$ とすることで、クラス間で分散比に差が出やすいような \bar{X} を生成することができる。最終的な特徴量は、以下の式で求められる。

$$f_p = \log \frac{\text{var}(\bar{x}_p)}{\sum_i \text{var}(\bar{x}_i)} \quad (3)$$

4.3. Bayesian Logistic Regression (BLR)

本稿では、 [2] を参考に、事前分布を考慮したロジスティック回帰モデルを利用し、フィルタ帯域ごとに疎な識別モデルを学習することを試みた。まず、次式のようなロジスティック回帰モデルを定義する。

$$y = \sigma(\vec{w}^T \vec{x}) \quad (4)$$

ただし、 $\sigma(\cdot)$ はシグモイド関数である。次に、 $\vec{w} = \{w_m\} (m = \{1, 2, 3, \dots, M\})$ 、M は特徴量の次元数) について、

重みパラメータ w_m に超パラメータ α_m を用いて、以下のように 0 平均のガウス事前分布 N を用いる。

$$p(\vec{w}|\vec{\alpha}) = \prod_{m=1}^M \mathcal{N}(\{w_m\}|0, \alpha_m^{-1}) \quad (5)$$

α_m は重みの精度を表すパラメータであり、 α_m に関して周辺尤度を最大化すると、不要な次元に関わる α_m が極大となり識別に寄与しない特徴が自動的に識別関数から取り除かれる。この性質は自動関連度決定と呼ばれており、BLRの最大の利点である。これにより、識別器の学習と同時に特徴選択が行える。そこで、本研究では、次に説明する前処理と特徴抽出を行うことで、周波数的な特徴選択と空間的な特徴選択の両方を実現している。

4.4. マルチクラス識別

上記の識別器は、通常2クラス識別を行うためのものである。本研究室では、右手、左手、足の3つの運動想起とリラックスを、それぞれ車椅子の右旋回、左旋回、前進、静止の動作に割り当てているため、4クラスの識別を行う必要がある。そこで、2クラス識別器を用いてマルチクラス識別を行う方法として、図2のような構造を持つ識別方法を提案した。

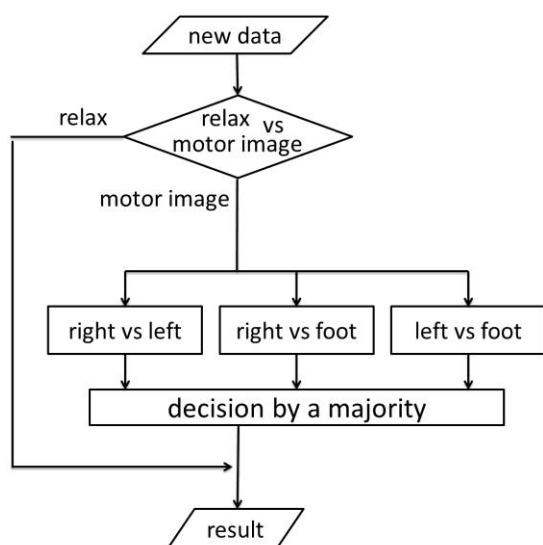


図2 提案方法

5. 判別実験

本稿では被験者の疲労を考慮し、右手・左手・リラックスの3クラス識別のトレーニングを行った。

5.1. 計測条件

イメージ 右手・左手・リラックス

被験者 健康な成人男性 5人

計測データ数 各思考5トライアルずつを1セットとし、

計6 セット計測

1 トライアル Rest6 秒, Act4 秒, Rest2 秒

アーチファクト検出 Act 中の脳波が閾値より大きい場合, 再計測

脳波計 polymateII

電極数 12 電極 (図3、Fp1 Fp2 F7 F8 Fz T3 T4 C3 C4 Cz P3 P4)

サンプリング周波数 1000Hz

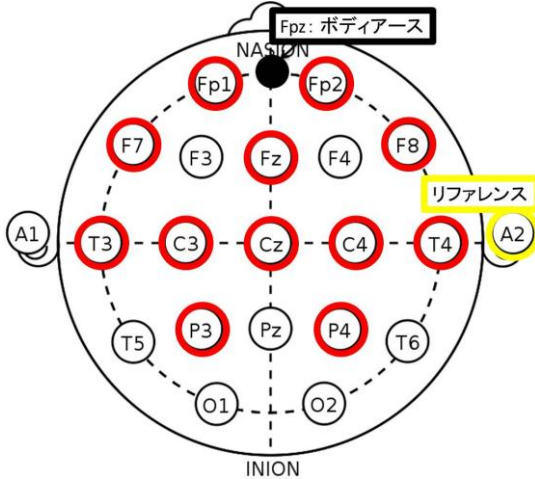


図 3 電極配置

5.2. 実験1: オンラインフィードバック

実験1では、オンラインフィードバックによる被験者トレーニングの効果について検証した。図4が実験1のトレーニングのGUIである。画面上部から降りてくるブロックに合わせてイメージを行うことで、ゲーム感覚でトレーニングを行えるようになっている。さらに、識別結果と各イメージの生起確率を、1トライアルごとに被験者にフィードバックすることで、識別率の改善を図った。表1が実験1の結果である。トレーニングによる識別率の上昇は確認できなかった。被験者調査では、トライアル毎に識別結果をフィードバックされる場合、「イメージと異なった結果がでると困惑する」という意見が挙がっているため、次のイメージに影響を及ぼしている可能性が考えられる。

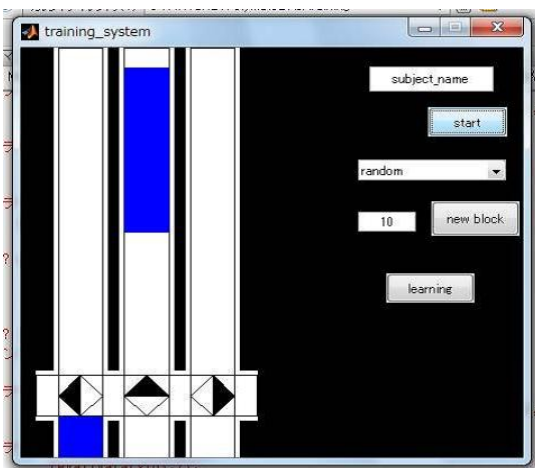


図 4 トレーニング GUI

表 1 実験 1(平均値)

set	right	left	relax	ave.
1-2	33	30	43	35
1-3	26	35	50	37
1-4	12	40	53	35
1-5	22	26	54	34
1-6	22	25	60	35

5.3. 実験 2：オンラインフィードバックと識別器の更新

実験 1 の結果を受け、セット毎に識別器の更新を行うことで、識別率の上昇が見られるか検証した。トレーニングにより、イメージ脳波に良い変化が生じるとすれば、識別器を更新していくことで、識別率は上昇していくと考えられる。表 2 が実験 2 の結果である。識別器の更新を行っても、識別率の上昇は見られなかった。このことから、オンラインフィードバックを行うと、1セット内でイメージの再現性が低下してしまうため、識別器を再学習しても識別率が上昇しないと考えられる。

表 2 実験 2(平均値)

set	right	left	relax	ave.
1-2	31	32	58	40
2-3	18	26	67	37
3-4	30	22	61	37
4-5	29	41	58	43
5-6	31	26	49	35

5.4. 実験 3：オフラインフィードバックと識別器の更新

実験 2 の結果を受け、オンラインではなく、オフラインでのフィードバックを行った。オフラインフィードバックとは、トライアル毎に識別結果をフィードバックするのではなく、1セット終了後にまとめてフィードバックする方法である。これにより被験者はイメージに集中することができ、なおかつ、そのセットがうまくイメージできていたかを知ることができる。イメージに集中することで、1セット内のイメージ脳波のばらつきが小さくなるとすれば、識別器を更新することで、識別率は上昇していくと考えられる。表 3 が実験 3 の結果である。表 1、表 2 ではトレーニング効果は確認できなかったが、表 3 では、トレーニングによって識別率が上昇していることがわかる。

表 3 実験 3(平均値)

set	right	left	relax	ave.
1-2	14	32	72	39
2-3	35	39	51	42
3-4	35	40	64	46
4-5	42	37	64	48
5-6	38	35	68	47

5.5. 実験結果の比較

図 5 は実験 1～ 実験 3 の識別率をまとめた結果である。黒が実験 1，緑が実験 2，赤が実験 3 の平均値，および標準偏差である。実験 1，実験 2 はほぼ横ばいだが，実験 3 は上昇傾向があると言える。t 検定を行った結果， $t = 3.29 > 2.776 = t_{0.05}$ となり，実験 3 の 2 セット目と 6 セット目の識別率に有意差が確認できた。

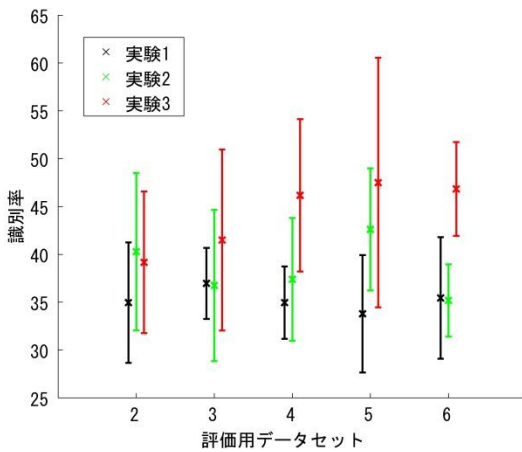


図 5 識別結果の推移

6. ビジュアルフィードバック

本節では，オフラインフィードバックトレーニングで利用したビジュアルフィードバックについて説明する。また，ある被験者の識別率が高い場合を例にとり，その効果について検証する。

6.1. 特徴量のフィードバック

特徴量をプロットすることで，視覚的に識別精度を提示できると考えた。しかし，識別器が必要とする特徴量の次元は一般的に 3 次元より高く，そのままでは視覚提示は困難である。そこで，高次元特徴量空間から，識別に最も重要であると判断された 2 つの特徴量を抜き出すことにした。さらに，各イメージについて色を変えることで，よりビジュアルフィードバックとして被験者にわかりやすい情報にした。トレーニング効果が表れた場合，それぞれ同色の特徴点がまとまっていくように変化する。図 6 はある被験者の平均識別率が 67 % での特徴量である。左の図が右手と左手の識別で，右の図が運動想起とリラックスの識別である。図 6 より，無理に 2 次元でプロットしているため，識別境界がずれてしま

っていることがわかる。また、識別は行えたとしても、2次元平面上では混ざって見える部分もあると考えられる。このように、特徴量をフィードバックとする場合は、初めから2次元特徴量を用いた識別を行うか、フィッシャーの線形判別分析のような特徴量次元の削減を行うような方法が適していると考えられる。

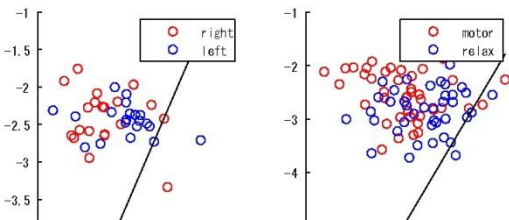


図 6 特徴量 (5 セット目)

6.2. スカルプマップを用いたフィードバック

本稿の識別方法では空間フィルタを用いているため、特徴量が電極の位置と直接一致することはない。また、識別に不要と思われる特徴量は削除されていくため、スカルプマップに特徴量に関する情報を描くことは難しい。そこで、特徴量とは別に各電極の周波数のパワーに関する情報をスカルプマップに表示するという方法を考えた。識別精度とは直接関係はないが、運動想起が行えているかの指針となるため、ビジュアルフィードバックトレーニングとしての効果は期待できる。1セット分の脳波の α 波、 β 波の各パワースペクトルを加算平均し、電極に対応付け、色で表示するようにした。まず、測定したデータから振幅スペクトルを計算し、それをトライアルについて加算平均を施したものを $\bar{F}_i(f)$ とする。 i は電極番号、 f は抜き出したい周波数帯である。ここで、 α 波と β 波の値から、 $p_i = \bar{F}_i([1, 13]) / \bar{F}_i([14, 50])$ を定義する。一般的に運動想起時には α 波(μ リズム)帯が減少し、 β 波帯が上昇することから、以下のように、リラックス時の脳波と運動想起との差を取った値に応じて色を変える。なお、 $-0.1 < 0$ 、 $0 < 0.1$ の間は線形的に色に割り当てている。図7は、図6におけるスカルプマップである。左の図が左手の運動想起、右の図が右手の運動想起を行っている図である。右手のイメージ時には脳の左側の運動野付近が、左手のイメージ時には脳の右側の運動野付近が赤くなるのが理想的である。この図では、理想通りとは言えないが、それぞれ脳の右側、左側が赤くなっていることが確認できる。この結果から、今回のような電極配置通りに周波数パワーに関連する情報をフィードバックすることは、被験者への運動想起を行うためのアナウンスとして有効的であると言える。

$$\begin{aligned}
 &> 0.1 : \text{赤} && (6) \\
 \frac{p_i^{\text{relax}} - p_i^{\text{motorimage}}}{p_i^{\text{relax}}} &= 0.0 : \text{白} && (7) \\
 &< -0.1 : \text{青} && (8)
 \end{aligned}$$

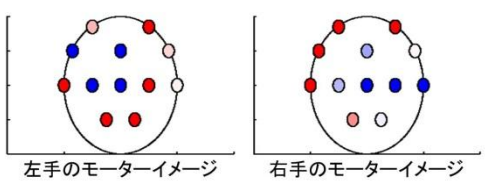


図 7 スカルプマップ (5 セット目)

7. 結論

2クラス識別器を用いたマルチクラス識別方法として、リラックスを優先的に識別する方法を提案した。被験者実験により、オンラインフィードバックが被験者のイメージに影響を及ぼす可能性があることが分かった。また、オフラインフィードバックと同時に識別器の更新を行うトレーニング方法によって、短時間で識別率が向上することが確認できた。今後さらに実験を重ね、他の視覚提示方法や学習方法を評価する必要がある。その後、被験者トレーニングを踏まえた電動車椅子 BMI システムの開発を行っていく。

8. 今後の展望

本研究では被験者への視覚情報提示が、トレーニングにどのような影響があるかを調査した。今後は、提示情報を本研究で試していないものについても検討していく必要があると考えられる。また、4クラスでのトレーニング効果の確認を行う。さらに識別可能なクラス数を把握し、被験者ごとに操作自由度を変えるような、トレーニングによる情報を組み込んだ電動車椅子 BMI システムの開発を行っていく。また、参考文献 [5] では、イメージの習熟度によって脳の活動箇所が変化することが報告されている。今後はこのような生理学的見地も加えてトレーニングの方法を考えていく必要があると考えられる。また、参考文献[5]より、習熟の度合いを脳の活動領域から判断することが可能であると考えられる。これより、トレーニングを継続するのかどうかの判断基準になると思われる。

参考文献

- [1] 坂本ほか, ” Training-Free BMI システムによる電動車椅子の自動操縦”, ロボット・メカトロニクス講演会 2010, 1A1-E29 in CD, 2010
- [2] 青木ほか, ” 脳波を利用した運動イメージの識別と外界センサを利用した電動車椅子制御” , ロボット・メカトロニクス講演会 2011, 2P1-H07 in CD, 2011
- [3] C. M. Bishop, “Pattern Recognition and Machine Learning”
- [4] H. Ramoser et al. , “Optimal Spatial Filtering of Single Trial EEG During Imagined Hand Movement” , IEEE TRANSACTIONS ON REHABILITATION ENGINEERING, VOL. 8, NO. 4, pp441-446, DECEMBER 2000
- [5] 橋本圭子 (2007). 運動スキル学習に関する考察——脳内経路の変化と記憶の固定をめぐる——新潟工科大学研究紀要, 12, 1334147

4.2 パッシブ姿勢安定化機構を用いた自律飛行制御体の開発

プロジェクトリーダー

奥村 雅 電気通信大学院 知能機械工学専攻 博士前期課程 1 年 田中研究室

プロジェクトメンバー

水野 正博 電気通信大学院 知能機械工学専攻 博士後期課程 1 年 田中研究室

大石 徹太郎 電気通信大学院 知能機械工学専攻 博士前期課程 2 年 田中研究室

ルエキアファインサン ナッチャポン 電気通信大学院 知能機械工学専攻 博士前期課程 2 年
明研究室

小澤 晃司 電気通信大学院 知能機械工学専攻 博士前期課程 1 年 田中研究室

町田 翔 九州工業大学 情報工学部 機械情報工学科 4 年 大竹研究室

指導教員：田中一男 教授

明 愛国 准教授

1. 研究目的

近年、無人航空機(UAV)の研究が盛んに行われている。しかし、飛行体は外乱や制御の困難性などにより振動しやすく、また、推進移動を行う際に急速な姿勢の変化を行うため、姿勢制御を行うことが難しい。

今までに、電気通信大学の田中研究室で、外乱による機体姿勢の変化を低減させ、内界カメラによる姿勢制御を目的とした、パッシブ姿勢安定化機構を搭載した飛行ロボットの研究、開発を行っている。

パッシブ姿勢安定化とは、機体が傾いた場合に、メカニカルな機構により機体を水平に戻そうとする復元力を発生させ、上昇および並進移動を行うこと以外のアクチュエータを用いずに機体の姿勢を安定化させることを意味する。この機構が実用化されれば、外乱に影響されることなく飛行する事ができ、姿勢制御を行う事が簡単になる。

そこで、本プロジェクトは、パッシブ姿勢安定化機構を搭載した自律型飛行体の研究・開発・改良を行い、自律制御による安定した自律飛行を実現させ、本研究により、より高度なパッシブ姿勢安定化機構の開発を行うことを目的とする。

2. 内界カメラを用いた軌道追従制御実験

本プロジェクトでは、前年度までに開発されたパッシブ姿勢安定化機構を備えた飛行ロボット(Fig.1)の視覚情報による自律軌道追従制御実験を行う。なお、視覚情報による位置・姿勢の推定には Visual SLAM システムの PTAM を用いた。



Fig.1: パッシブ姿勢安定化機構を搭載した飛行ロボット

PTAM による飛行ロボットの安定した軌道追従制御を実現するため、本プロジェクトではパッシブ姿勢安定化機構を搭載していない機体(同軸 2 重反転型ヘリコプタ)と、搭載した機体(同軸 2 重反転型ヘリコプタ+パッシブ姿勢安定化機構)の 2 種類の機体について実験を行い、PTAM の可能性および、パッシブ姿勢安定化機構の有用性を示す。

2.1. 実験概要

Fig.2 に本実験の概要を示す。本実験では、高さ 1000[mm]地点に幅 2000[mm]、奥行き 1500[mm]をとる 4 つのポイントを設置する。この時、Fig.2 が右手系であり A 地点を原点とすると、目標地点である 4 つのポイントは A(0mm,0mm), B(2000mm,0mm), C(2000mm,1500mm), D(0mm,1500mm)である。まず、手動で離陸を行い、yaw 角と x, y, z の位置の制御を自動制御に切り替える。その後、機体は、原点で 10 秒間のホバリングを行った後、各ポイントを直線で結んだ経路を A→B →C→D→A と移動する。なお、本実験では飛行速度に対する安定性および、気囊の影響を考察するため、移動速度 5[m/sec]および、10[m/sec]の 2 通りについて、それぞれ実験を行う。

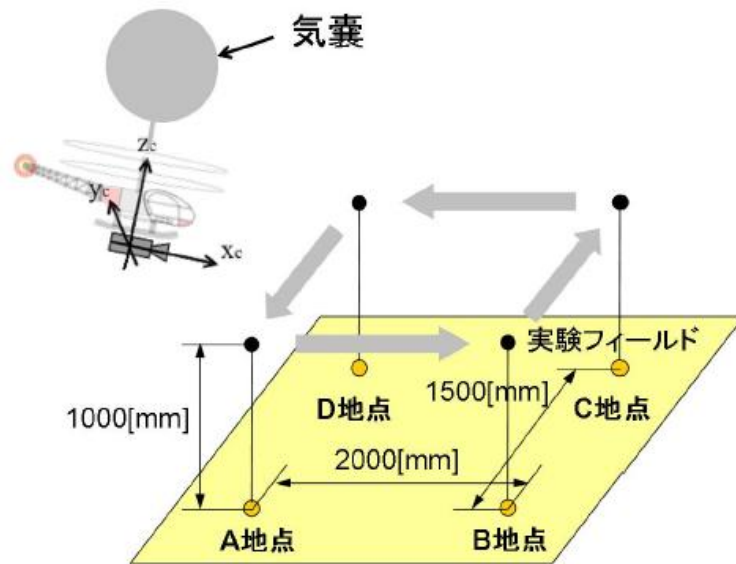


Fig.2：軌道追従制御実験の概要

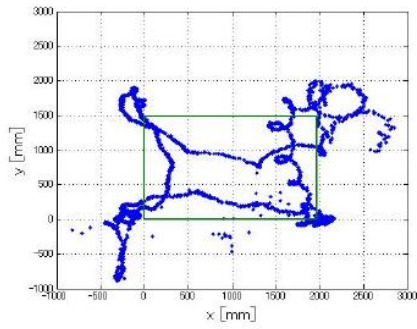
2.2. 同軸 2 重反転型ヘリコプタを用いた軌道追従制御

同軸 2 重反転型ヘリコプタ(パッシブ姿勢安定化機構を搭載していないヘリコプタ)を用いた視覚情報のみによる軌道追従制御実験を行った。実験結果を Fig.3, Fig.4 に示す。

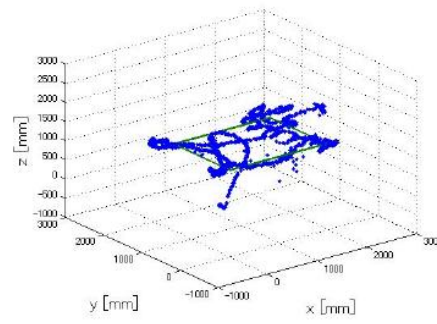
Fig.3 をみると、飛行速度 5[m/sec] の場合、目標地点に収束するように飛行している。また、目標地点では収束するようにホバリングをしているが、収束しきれておらず、ホバリングが出来ていない。さらに、目標地点を繋ぐ軌道追従においては、誤差が生じており、特に地点 C→D において、顕著に表れており、B→C においては、円を描くように飛行している。

Fig.4 をみると、飛行速度 10[m/sec] では、目標地点には向かっているが、目標地点でホバリングが全くできていない。また、目標地点を繋ぐ軌道追従においては、全ての段階で目標軌道追従が出来ていないことが見て取れる。特に、地点 D→A では左右に大きく振られるように飛行し、地点 C→D では、目標軌道から大きく逸れている。

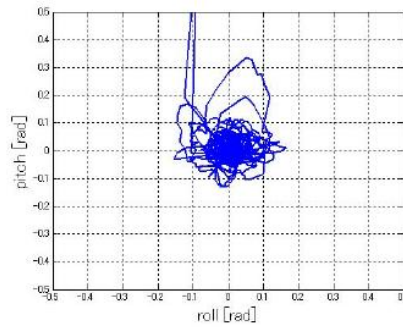
これらの結果から、視覚情報を用いた同軸 2 重反転型ヘリコプタの自動制御に PTAM を用いた場合、5[m/sec] の速度では、軌道追従に誤差は生じるものの、ある程度の軌道追従制御ができており、また、目標地点でのホバリングに対しては、収束するようにホバリングしているが、安定していないといえる。10[m/sec] の速度では、軌道追従に誤差が生じ、軌道追従制御ができていない。また、目標地点でのホバリングに対しては、ホバリングが出来ておらず、全く追従できていないといえる。



(1) x-y plot.

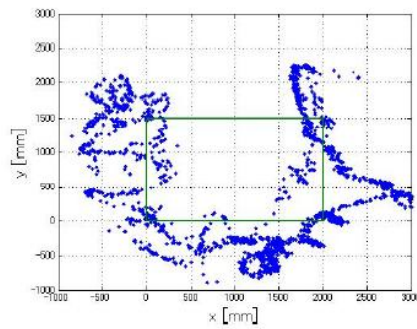


(2) x-y-z plot.

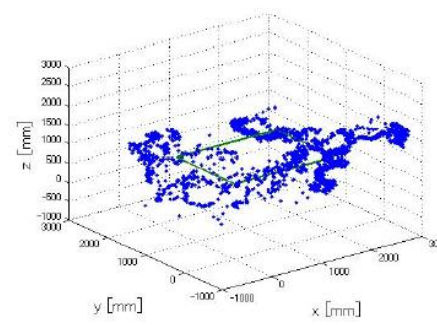


(3) roll and pitch plot.

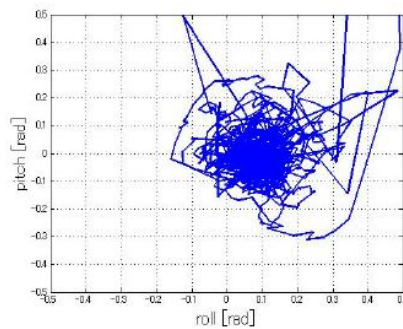
Fig.3: 同軸 2 重反転型ヘリコプタの軌道追従制御実験 (速度 5[m/sec])



(1) x-y plot.



(2) x-y-z plot.



(3) roll and pitch plot.

Fig.4: 同軸 2 重反転型ヘリコプタの軌道追従制御実験 (速度 10[m/sec])

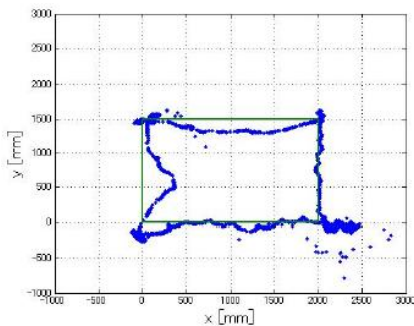
2.3. パッシブ姿勢安定化機構を搭載した機体を用いた軌道追従制御

パッシブ姿勢安定化機構を搭載したヘリコプタを用いた視覚情報のみによる軌道追従制御実験を行っ

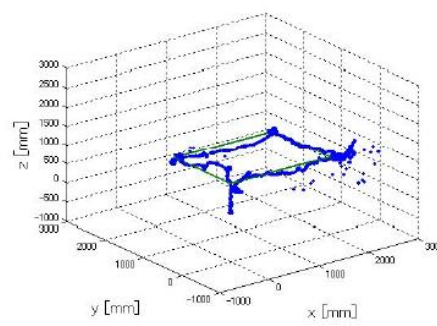
た。実験結果を Fig.5, Fig.6 に示す。

Fig.5 をみると、速度 5[m/sec] では、地点 B で誤差が生じているが、目標地点に収束するように飛行しており、目標地点でホバリングを行っている。また、目標地点を繋ぐ軌道追従においては、地点 C→D→A では誤差が生じているが、それ以外の部分では目標軌道に追従できているといえる。Fig.6 をみると、速度 10[m/sec] では、各地点で x 方向に誤差はあるが、目標地点に収束するように飛行しており、地点 A 以外では目標地点でホバリングを行っているといえる。また、目標地点を繋ぐ軌道追従においては、地点 D→A では大きく誤差が生じているが、それ以外の部分では多少の誤差はあるものの、目標軌道にほぼ追従できているといえる。

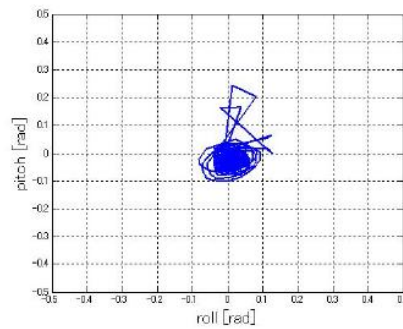
これらの結果から、視覚情報を用いたパッシブ姿勢安定化機構を搭載した機体の自動制御に PTAM を用いた場合、5[m/sec] の速度では地点間の移動での軌道追従および、目標位置でのホバリングにおいて、多少の誤差はあるものの、軌道追従制御ができていることがわかる。また、10[m/sec] の速度では、目標位置でのホバリングは x 方向に誤差が生じているもののホバリングできており、また、軌道追従においては、誤差は生じているが、ある程度の軌道追従制御ができているといえる。



(1) x-y plot.



(2) x-y-z plot.



(3) roll and pitch plot.

Fig.5: パッシブ姿勢安定化機構を搭載したヘリコプタの軌道追従制御実験 (速度 5[m/sec])

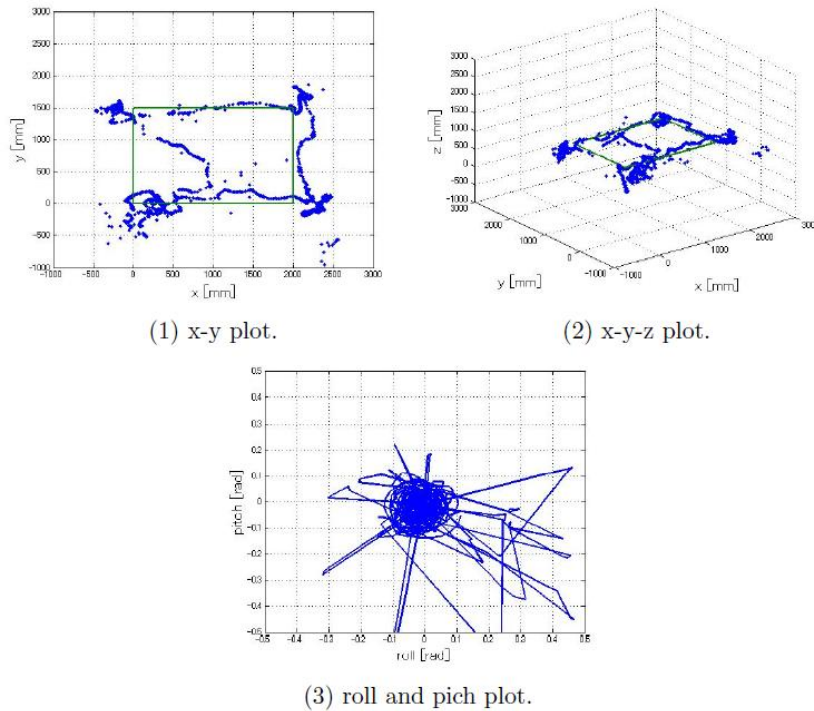


Fig.6：パッシブ姿勢安定化機構を搭載したヘリコプタの軌道追従制御実験（速度 10[m/sec]）

3. 考察

視覚情報のみによる軌道追従制御において、同軸 2 重反転型ヘリコプタに PTAM を用いた場合、全体的に追従誤差が大きく、特に、10[m/sec]の速度での飛行では、全く追従できていない。よって、同軸 2 重反転型ヘリコプタへの PTAM の適応は難しいといえる。

パッシブ姿勢安定化機構を搭載した機体に PTAM を用いた場合、5[m/sec]ではある程度の誤差はあるが追従制御ができており、PTAM による軌道追従制御ができていたといえる。また、10[m/sec]では、誤差が大きくなっており、PTAM の適応は難しいと考えられる。しかし、本プロジェクトで使用しているパッシブ安定化機構は、飛行速度の 2 乗に比例して気嚢部分の抵抗が大きくなるため、その影響で roll 角と pitch 角の振動が大きくなる。そのため、干渉系への影響が大きくなり、軌道追従誤差も大きくなったと考えられる。このことから、パッシブ姿勢安定化機構の形状を改良し、気嚢部分の抵抗を抑えることが出来れば、より早い飛行速度での安定性を得られると考えられる。

4. まとめと今後の課題

本プロジェクトは Visual SLAM システムである PTAM を用いた視覚情報のみによる飛行ロボットの軌道追従制御実験を行い、パッシブ姿勢安定化機構を搭載した機体に対してその有効性を示した。しかし、一定以上の速度での飛行では安定性、追従性が落ちていたことから機体、制御システムの改良を行い、より追従性の高い機体および制御システムを目指す。

4.3 空中からの情報収集を目的とした飛行ロボット自律制御システムの開発

1 プロジェクト概要

本プロジェクト名は「空中からの情報収集を目的とした飛行ロボット自律制御システムの開発」である。本プロジェクトに参加する学生は以下の6名である。なお指導教員を田中一男教授(知能機械工学科)と大竹博准教授(九州工業大学)をお願いをした。

プロジェクトリーダー：

倉持 信行 知能機械工学専攻 博士前期課程1年 田中研究室

プロジェクトメンバー：

上島 鷹之 知能機械工学専攻 博士前期課程2年 田中研究室

五十嵐 広希 知能機械工学専攻 博士後期課程3年 田中研究室

Dr.Ying-Jen Cheng Department of Electrical Engineering, National Central University, Taiwan (電気通信大学知能機械工学専攻特別研究員)

河合 大志 知能機械工学専攻 田中研究室 研究生

日當健士郎 九州工業大学 情報工学部 機械情報工学科 学部4年

指導教員：田中 一男 教授(知能機械工学科)，大竹 博准教授(九州工業大学)

2 研究目的

近年、自律型無人航空機 UAV(Unmanned Aerial Vehicle)の研究が盛んにおこなわれている。UAVとは無人で自律飛行する航空機の総称であり、遠隔地からの無線操縦を行う航空機や、GPSを搭載して位置情報をセンシングし完全に自律飛行する機体も存在する。無人で自律という特徴を持つ UAVは人間の活動が困難な極地における地上観測や偵察、輸送など様々な用途で実用化されている。その一方、現在研究・実用化されている UAVの多くは固定翼機及び回転翼機であり、コスト・制御の難しさ・機体の大きさ・安全性といった面での問題点が挙げられる。



図.1 ヒロボー製の PPG パラプレーン

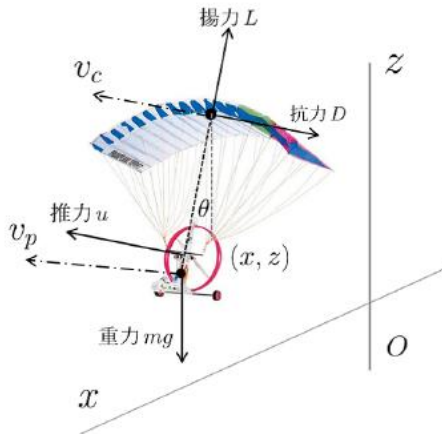
これらに対し、パラグライダーに動力を付加した動力付パラグライダー (Powered Paraglider, PPG)は、風の影響を受けやすいという難点はあるものの、小型・軽量で活動範囲も広く、携行性に優れ取り扱い

が容易である。また、機体の重心である胴体が揚力を生み出すキャノピーから離れているため、胴体が振り子状の運動をして常にキャノピーの真下に来ようとする。このことは、姿勢の制御をする必要が無く機体の制御が容易であることを意味する。さらに、雪上、荒地、傾斜地、船上、など滑走場所が十分に確保できない場所でも人間の軽い助走と手投げにより離陸が可能である。しかも、PPGは飛行中に何らかのトラブルで動力が停止した場合でも、滑空して目標地点に着陸することが可能になるなど、高い安全性と運用性を持ったシステムである。本プロジェクトでは、動力付きパラグライダーの簡易非線形モデルの構築を行い、そのモデルに対して軌道追従性を保証する制御器の設計を行う。動力付きパラグライダーについては、詳細な非線形モデルが構築されているが、制御系設計の観点ではなく、ダイナミクスの詳細な記述を目指しているものと思われ、制御系設計には言及がない。また、詳細で複雑なモデルゆえ、モデルベースで軌道追従性を保証する制御器の設計を行うのは非常に困難である。そこで、動力付きパラグライダーのダイナミクスの本質を残しつつも、制御系設計に有利な極力簡易な非線形モデルを構築する。本プロジェクトでは、その第一段階として、高度と水平位置の2次元平面内での3自由度モデルを構築し、主に、高度を制御する制御器設計を行った。また、この制御シミュレーションの結果を踏まえて北海道大樹町多目的航空公園にて実験を行ったことについても言及する。

3 研究報告

3.1 モデルの構築

PPGの運動方程式は、厳密には3次元の8自由度非線形モデルで表される。この自由度の大きい非線形モデルはシミュレーション上での計算量が大きいことや、制御器設計の困難さ等を考慮すると非常に扱いきにくい。そこで、本プロジェクトでは、動力付きパラグライダーのダイナミクスの本質を残しつつも、制御系設計に有利な極力簡易な非線形モデルを構築した。



$$m\ddot{x} = u\cos\theta - \frac{1}{2}\rho|v_p|^2 C_D S \cos\alpha_c - \frac{1}{2}\rho v_p^2 C_L S \cos\alpha_c - k\dot{x} \quad (1)$$

$$m\ddot{z} = u\sin\theta - \frac{1}{2}\rho|v_p|^2 C_D S \sin\alpha_c + \frac{1}{2}\rho|v_p|^2 C_L S \cos\alpha_c - k\dot{z} - mg \quad (2)$$

$$I_y\ddot{\theta} = ul - mgl\sin(\theta) - kl^2\dot{\theta} \quad (3)$$

図 2.PPG の 2 次元 3 自由度モデル

3.2 高度制御

Table 1: 変数定義 2D

x, z, \dot{x}, \dot{z}	機体の絶対座標, 速度
$x_c, z_c, \dot{x}_c, \dot{z}_c$	キャノピーの絶対座標, 速度
v_c, v_p	キャノピー, 機体の速度ベクトル
u	推力
θ	キャノピーと機体のなす角
α	迎え角

動力付きパラグライダーの制約上高度と速度の制御を独立に行うことはできない。パラグライダーへの入力変数はロータの発生する推力であるが、水平飛行の状態から推力を大きくすると、速度も大きくなり、機体は上昇する。一方で、推力を小さくすると速度も小さくなり下降する（下降時はポテンシャルエネルギーが運動エネルギーに変換されるため、一時的には速度が早まる）。言い換えれば、速度を落として上昇すること、また、その逆は原理的には不可能である。この特性から、実際の活用時には障害物の高さ以上に飛行することが要求される場面が多いことから、高度の制御をメインに行う。高度制御のためのサーボ系制御器を設計するために、目標誤差 e を以下のように定義する。

$$e = z - z_r \quad (4)$$

ただし、 Z_r は目標高度[m] であり、定数である。このとき、(2) 式は

$$m\ddot{e} = u \sin\theta - \frac{1}{2}\rho|v_p|^2 C_D S \sin\alpha + \frac{1}{2}\rho|v_p|^2 C_L S \cos\alpha - mg \quad (5)$$

のように書き換えられる。高度安定化のための推力への入力 u を決定する制御器として、以下のものを用いる

$$u = u_0 + (k_1 e + k_2 \dot{e}) \quad (6)$$

$$u_0 \sin\theta - \frac{1}{2}\rho\dot{x}^2 C_D S \sin\alpha + \frac{1}{2}\rho\dot{x}^2 C_L S \cos\alpha - mg = 0 \quad (7)$$

これらを(5)式に代入すると

$$m\ddot{e} = (k_1 e + k_2 \dot{e}) \sin\theta - \frac{1}{2}\rho S (C_D \sin\alpha - C_L \cos\alpha) \dot{e}^2 \quad (8)$$

となる。ここで、

$$\frac{1}{2}\rho S (C_D \sin\alpha - C_L \cos\alpha) = c_z(\alpha) \quad (9)$$

とし、 $\alpha \rightarrow 0$ と仮定すれば定数 C_z と置くことができ、

$$\ddot{e} = (K_1 e + K_2 \dot{e}) \sin\theta - C_z \dot{e}^2 - \frac{k}{m} \dot{e} \quad (10)$$

と表すことができる。

3.3 シミュレーション結果

シミュレーションに用いた機体パラメータは著者らが開発した機体[2] のパラメータを用いる。また、キャノピーの飛行時の翼形状として比較的形狀が似ており、一般的によく使われるNACA2412 [3] に対する揚力係数、抗力係数を採用した。Fig.3 にNACA2412 の揚力・抗力係数の値を示す。なお、シミュレーションで連続値を使用する必要から、 C_L と C_D 特性を以下の曲線で近似した。

Table 2: パラメータ定義

$\rho = 1.2250[kg/m^3]$	空気密度	$C_D = -6.8341 \cdot 10^{-7} \cdot \alpha^3 + 6.350 \cdot 10^{-4} \cdot \alpha^2 - 1.30 \cdot 10^{-3} \cdot \alpha + 1.610 \cdot 10^{-2}$
$S = 0.97[m^2]$	キャノピーの面積	
$m = 1.3[kg]$	PPG の質量	$C_L = -7.4339 \cdot 10^{-5} \cdot \alpha^3 - 1.5355 \cdot 10^{-4} \cdot \alpha^2 + 6.860 \cdot 10^{-2} \cdot \alpha + 1.591 \cdot 10^{-1}$
$l = 1.2[m]$	紐の長さ	
$r = 0.229$	全幅の半分	
$K = 6\pi r\mu$	粘性抵抗	

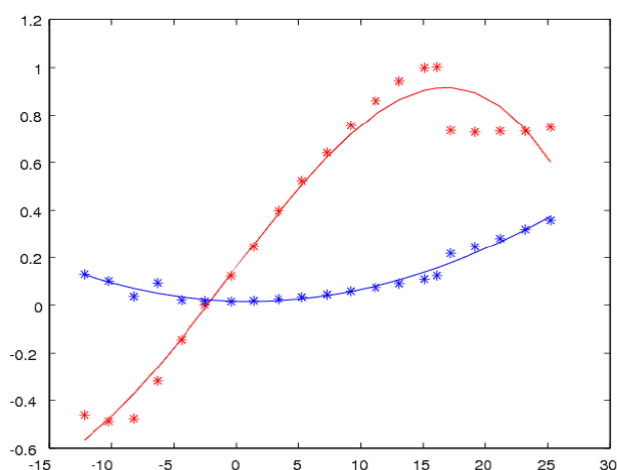


図 3.揚力抗力係数曲線

図4-図6 にシミュレーション結果を示す。目標高度 は30[m] - 50[m] - 40[m]である。この制御結果より、いずれの高度でも誤差なく機体が目標高度に追従しており、設計された制御器の有効性は明らかである。

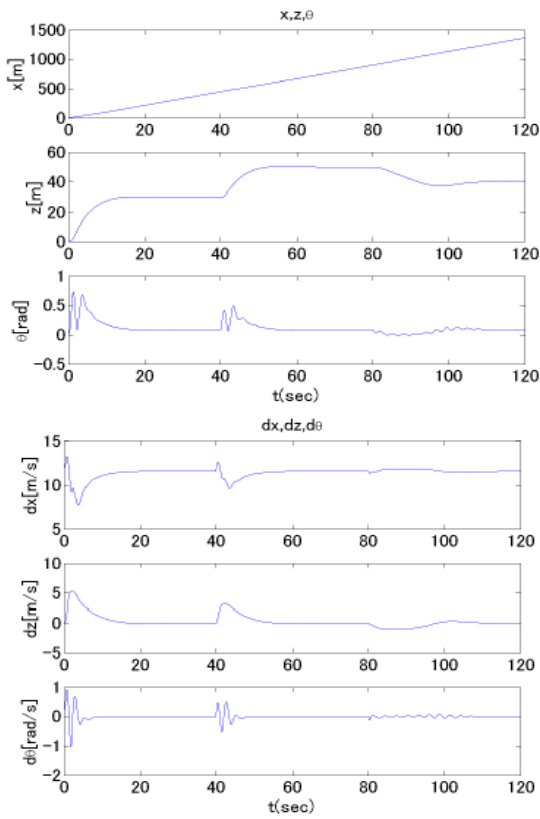


図 4. シミュレーション結果 1
状態量の応答結果

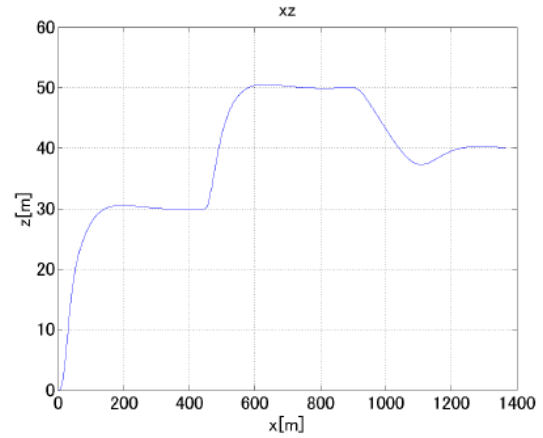


図 5. シミュレーション結果 2
XZ 平面上の軌跡

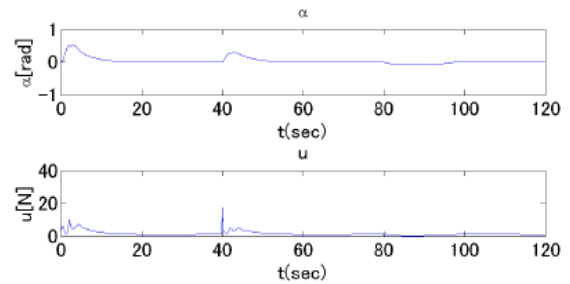


図 6. シミュレーション結果 3
迎え角、モータ出力結果

4. まとめ

本研究では、動力付きパラグライダーの軌道追従制御を目標として、パラグライダーの簡易な非線形モデルを導出し、そのモデルに対して安定性を保証した高度制御系を設計した。シミュレーション実験により、設計した制御器の有効性を検証した。今後の展望として、高度制御に続いて飛行方向の制御を行うために、 x - y 平面状での動力付きパラグライダーのダイナミクスのモデル化を行い、高度制御系と同様の方法により、安定性を保証する制御器の設計を行う。この両者を組み合わせることで、目標地点への飛行が可能になる。最終的には、我々が開発した機体にこれらの制御器を搭載し、自律飛行によるオートパイロットシステムの構築を行う。最後に、実験結果の一例と実験時の写真を添付する。



参考文献

- [1] 渡辺, 越智: “ 動力付パラグライダーの非線形モデル” , 日本航空宇宙学会論文集, Vol. 56 (2008), pp.499-509 .
- [2] 河合, 大竹, 田中, 空中からの情報収集を目的とした飛行ロボット自律制御システムの開発, Robomec2011, 1A2-O06 in CD, Okayama, May, 2011.
- [3] 岡本哲史, 福井悌吉: ”N.A.C.A.2412 翼型の風洞試験成績” 宇宙航空研究開発機構東京帝国大学航空研究所彙報250 巻, 1945
- [4] K. Tanaka and H. O. Wang. Fuzzy Control Systems Design and Analysis: A Linear Matrix Inequality Approach. JOHN WILEY & SONS, INC, 2001.
- [5] K. Tanaka, S. Hori and H. O. Wang, ”Multi-objective Control of a Vehicle with Triple Trailers”, IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, Vol.7, No.3, pp.357-368 (2002).
- [6] K. Tanaka, H. Ohtake and H. O. Wang, A Practical Design Approach to Stabilization for 3DOF RC Helicopter, IEEE Transactions on Control Systems Technologies, Vol.12, No.2, pp.315-325, March (2004).
- [7] K. Tanaka, H. Ohtake and H. O. Wang, A Sum of Squares Approach to Modeling and Control of Nonlinear

4.4 超磁歪素子を利用した埋め込み型骨導補聴器の開発 ～遺体への埋め込みによる性能評価と効率化～

[プロジェクトリーダー]

田地良輔 情報理工学研究科 知能機械工学専攻 1年 小池研究室

[プロジェクトメンバー]

大城越美 情報理工学研究科 知能機械工学専攻 2年 小池研究室

池尻恭介 情報理工学部 知能機械工学科 4年 小池研究室

渡部高久 慶應大・医 大学院 1年

本村朋子 慶應大・医 大学院 1年

[指導教員]

小池 卓二 教授, 神崎 晶 講師(慶應大・医)

1. 緒言

外界の音は、鼓膜、耳小骨、蝸牛へと伝達され、蝸牛内のリンパ液を振動させる。リンパ液の振動により、蝸牛内の感覚細胞が刺激され、電気信号が脳に伝えられることで音を感じる。この経路に何らかの異常が生じると難聴となる。難聴者への処置として、外科手術や補聴器の利用がある。補聴器は、気導音を利用する気導補聴器と、骨導音を利用する骨導補聴器に分類される。気導補聴器は、音質やハウリングの問題があり、補聴性能の向上と補聴器の小型化を両立させることが困難である。骨導補聴器は音質が良いとされるが、デバイス設置のための侵襲により患者の負担が大きい。また、気導補聴器は高周波域において出力不足が問題となっている。そこで本研究では、上記の問題点を克服する側頭骨の皮膚下に埋め込む骨導補聴器を提案する。本報告では、異なる形状の振動子用チタンケースを作成し、振動子を駆動させたときの外耳道内音圧の計測を行い、最適な形状の評価を行った。

2. 超磁歪素子を利用した埋め込み型骨導補聴器

本補聴器は、送信コイル、マイク、サウンドプロセッサからなる信号送信器（体外ユニット）と、受信コイル、小型振動子からなる骨加振器（体内ユニット）とで構成されている。本補聴器の構成を Fig. 1 に示す。体外ユニットと体内ユニットは、コイルの相互誘導により経皮的に信号伝送を行う。コイル間の信号伝送には、搬送波に音信号（正弦波）で変調をかけた AM 変調信号を用いる。小型振動子部分には、超磁歪素子（Giant Magnetostrictive Material, GMM）を用いている。GMM とは、外部磁界に応じて寸法を変化させる性質を持ち、圧電材料に比べ、変形率、応答速度ともに優れた素子である。GMM にコイルを巻き、そのコイルに音に応じた電流を流すことで、音に合わせて変形させることができる。GMM は、磁界－変形特性が非線形であるため、バイアス磁界を与え比較的線形な領域を利用する。GMM には、駆動コイルとして銅線を直接巻き、GMM 両端にはバイアス磁界を与えるネオジム磁石を設置し、受信コイルと駆動コイルは直列に接続されている。この GMM を用いた小型振動子を側頭骨の皮膚下に完全に埋め込む事で骨導補聴を行う。本補聴器は、既存の骨導補聴器よりも侵襲や埋め込み後の感染症へのリスクが小さく、患者の負担が軽減されるという利点がある。振動子は、銅線を 130 巻きした GMM ($\phi 2 \times 10$ mm) の両端にネオジム磁石 ($\phi 4 \times 1.5$ mm) を取り付けられたものをチタン製のケースに挿入することで試作した。今回試作を行った振動子の例を Fig. 2 に示す。図のように、チタン製のケースは、GMM を挿入する部分と、骨に固定する部分で構成されている。また、チタンケースにはスリットが入っていて、GMM が磁力の変化によって伸縮すると、図中の丸で示した部分を支点にして振動子が変位する。

3. 献体を用いた側頭骨加振時の外耳道内音圧計測実験

3.1 実験方法

本実験では、Fig. 3 に示すようにスリットの方向が異なるものを 3 類作成した。それぞれ、GMM の伸縮によって側頭骨表面と平行に変位するものを No.1、側頭骨表面と垂直、側頭骨と離れる方向に変位するものを No.2、側頭骨表面と垂直に側頭骨を押し込む方向に変位するものを No.3 とした。

振動子の固定方法は、遺体の耳介裏を切り、露出させた乳突部にステンレス製のタッピンネジ (M3×8mm) を用いて固定させ、その後、皮膚をかぶせ、振動子を駆動させたときの外耳道内音圧を測定した。側頭骨に振動子を固定した様子を Fig. 4 に示す。なお、振動子の GMM が露出している部分はシリコンゴムで覆い防水加工とした。

本補聴器は相互誘導を用いるため、送信コイルに対し、プログラムソフト LabVIEW によって作成した信号を PC から DAQ デバイス (NATIONAL INSTRUMENTS, NI USB – 6251)、アンプ (NF, HSA4011)、電流計 (YOKOGAWA, WT210) を介し入力し、加振することにした。信号は、40 kHz のパルス波を搬送波とし、0.125~8 kHz の正弦波で変調を加えた振幅変調波を整流したものをを用いた。送信コイルに流す電流値は 100 mArms とした。

外耳道内の音圧の測定には、外耳道内にプローブ型マイクロホン (ETYNOTIC RESEARCH, ER-7C) を挿入し、得られた電圧波形をオシロスコープ (LeCroy, DS-5524) により取得し、この電圧波形を FFT 解析し、変調成分に着目した電圧値から音圧に変換した。実験システムを Fig. 5 に示す。

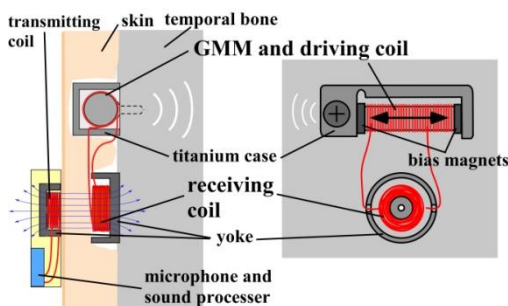


Fig. 1 Implantable hearing aid

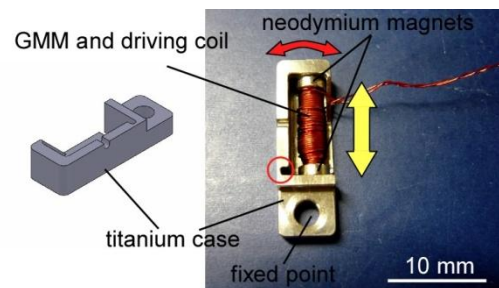


Fig. 2 Details of transducer.

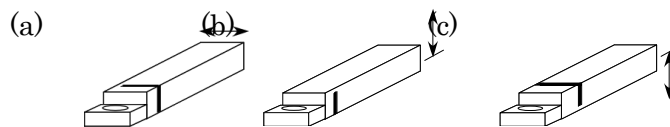


Fig. 3 Transducer

(a)No.1 (b)No.2 (b)No.3



Fig.4 Transducer installed in the cadaver.

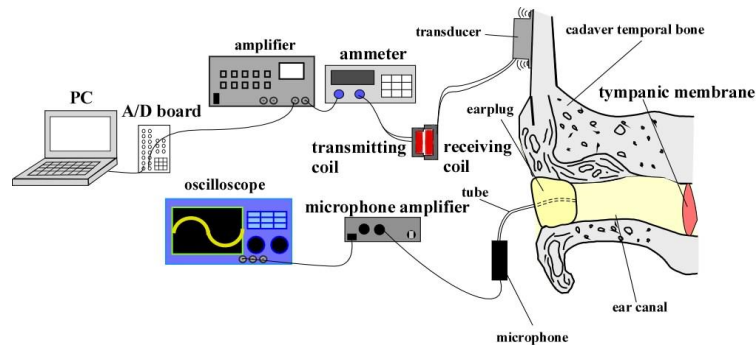


Fig. 5 Experimental setup for measuring the ear-canal sound pressure

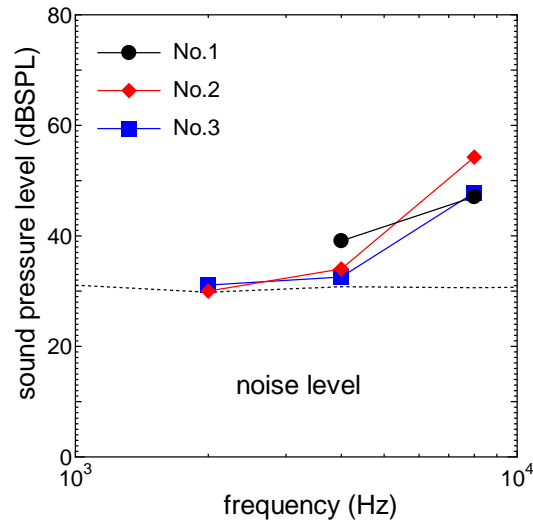


Fig. 6 Sound pressure in the external ear canal generated by the prototype transducer

4.2 結果・考察

外耳道内に発生した音圧の周波数変化を Fig. 6 に示す。グラフは縦軸が音圧レベルを、横軸が変調周波数を示す。図中の波線はノイズレベルを示している。なお、1kHz 以下でも計測を行ったが、いずれもノイズレベルを下回る結果となったので省略している。

No.1 は 4kHz において他のものよりも大きな音圧が得られた。一方、2kHz 以下ではノイズレベルを下回り、8kHz でも他のものに劣る結果となった。No.1 では側頭骨表面を伝わる振動は縦波が、No.2 と No.3 では横波が主となるものと考えられる。このことから、波の種類の違いにより外耳道に到達する音の周波数特性が変化することがわかる。

また、No.2 と No.3 の結果を比較すると、側頭骨垂直方向に振動するタイプの振動子は同様な傾向が見られることがわかる。しかし、わずかながら No.2 の方が大きい音圧が得られている。これは、計測時に振動子の上から皮膚をかぶせていたため、No.2 の振動子が側頭骨外側に変位することによって周辺の皮膚も振動させ外耳道内に伝達されたためではないかと考えられる。

日本語の 5 つの母音は、第一および第二フォルマント(0.1~3kHz)の周波数により区別することができる²⁾。よって、補聴器である本デバイスにはその周波数領域における利得が重要である。今回の実験で比較を行った 3 つの振動子の中では、No.2 と No.3 が 2kHz においてわずかにノイズレベルを上回ったので、No.1 よりは No.2、または No.3 が補聴器に適していると考えられる。また、本振動子は片側をネジで固定し、反対側の端面が変位することによって振動を伝えるが、このとき、この端面と側頭骨の接触具合により、音圧が変わってしまう。しかし、No.2 の加振方法ならば、より固定条件に影響されず、なおかつ、かぶさった皮膚を振動させることによって他のものよりも大きな音圧が得ることができると考えられる。よって、No.2 の振動子が、現段階では本補聴器として適していると判断できる。しかし、低周波数域の S/N 比が小さいことが課題である。

5. 側頭骨モデルを用いた加振力評価実験

前項より、低周波数域の S/N 比が小さいことが課題であることがわかった。そこで、本補聴器の経皮伝送用コイルを頭部に固定するために用いているネオジム磁石の振動を利用することで、低周波数域の出力不足を改善できるか実験を行った。

5.1 実験方法

受信コイルとネオジム磁石をアロンアルファで側頭骨モデル (OHNO CONSTRUCTION LTD, OmeR 9R02501) に固定した。送受信コイルの間には厚さ 3 mm のシリコンゴムシートを挟み、側頭骨モデルはマニピュレータで固定し、PC から送信コイルに信号を入力した。このとき、振動子は側頭骨モデルには取り付けず、離れた場所に置いた。送受信コイルおよび送受信コイル内に設置しているネオジム磁石の詳細を Table 1 に示す。なお、送信コイルは中心にネオジム磁石を設置し、シリコンゴムで固定したものを使用した。

実験に用いたシステムを Fig. 7 に示す。信号入力システムとして、PC, DAQ デバイス (NATIONAL INSTRUMENTS, NI USB - 6251), アンプ (NF, HSA4011), 電流計 (YOKOGAWA, WT210) を介し、送信コイルを接続した。また、振動計測システムとして、レーザードップラー振動計 (ONO SOKKI, LV-1720A, LDV), オシロスコープ (IWATSU, DS-5524) を接続した。PC からプログラムソフト LabVIEW によって作成した 125, 250, 500, 1 k, 2 k, 4 k, 8 kHz の正弦波を入力することによりネオジム磁石が振動し、側頭骨モデルが振動する。この振動を側頭骨モデル表面に張り付けたアルミホイルに LDV のレーザーを照射することで計測し、波形をオシロスコープにより 3 回記録した。この 3 回のピーク値を読み取り平均化した数値を結果として解析した。このとき、送信コイルに流す電流値は 100 mArms とした。LDV の計測点を Fig. 8 に示す。その後、受信コイルとネオジム磁石を取り外し、同じ位置に振動子をネジで固定し、同様に計測をおこなった。

5.2 結果・考察

ネオジム磁石と振動子それぞれで加振した場合の周波数と振幅のグラフを Fig. 9 に示す。表記されていない周波数のデータはノイズに埋もれて測定不能であった。

振動子で加振した場合は、1 k~8 kHz の信号を入力した際に大きな振動が得られた。また 1 kHz 以下では加振力が低下し、ノイズレベル以下となってしまうことが分かる。先行研究の結果と比較すると振幅値に違いはあるものの、ノイズに埋もれず加振できる周波数は同様の結果となった。一方、ネオジム磁石で加振した場合には、250 Hz~1 kHz の信号を入力した際に大きく振動し、振動子よりも大きな加振力を発揮していることが分かる。送信コイルの電磁誘導により発生した振動磁界によりネオジム磁石は外力を受け振動する。この振幅は周波数の上昇と共に低下した。これは、ネオジム磁石の慣性の影響と考えられる。

以上より、振動子のみでは出力不足であった低周波数域はネオジム磁石により改善できると考えられる。

Table 1 Details of coils and magnets

Transmitting coil Receiving coil	coil turns [turns]	54
	resistance [Ω]	5.5
	diameter [mm]	31
	inner diameter [mm]	30
	length [mm]	3
magnets	shape	circular cylinder
	diameter [mm]	8
	length [mm]	3
	magnetic flux density [mT]	325
	total magnetic flux [nWb]	16336

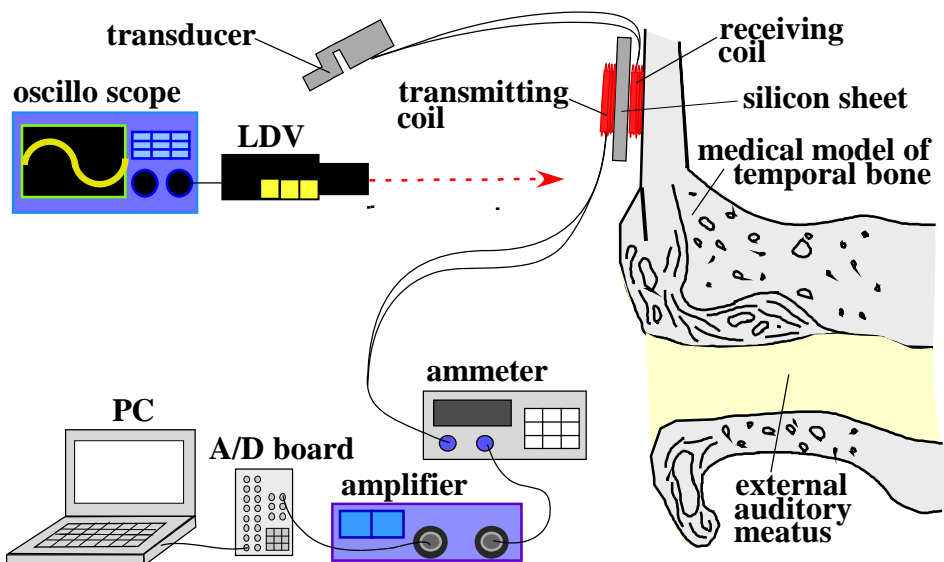


Fig. 7 Experimental setup for measuring the vibration generated in a medical model.

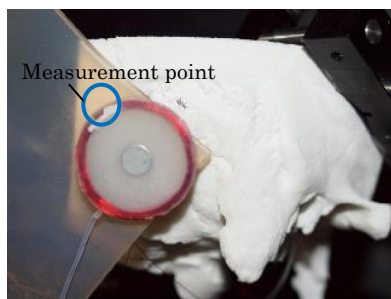


Fig. 8 Measurement point of the vibration generated on the medical model of the temporal bone.

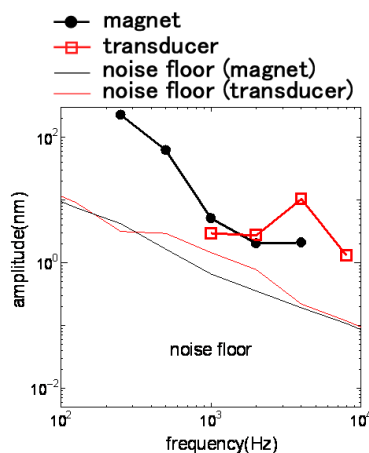


Fig. 9 Frequency response of the vibration generated on a medical model of the temporal bone.

6. 結言

チタン製のケースに GMM を取り付けけた振動子を 3 種類試作し, 遺体側頭骨の乳様突起表面に取り付け

駆動させ、外耳道内に発生する音圧を計測した結果、側頭骨と垂直、側頭骨と離れる方向に変位するものが本補聴器に適していることがわかった。また、磁石を振動子として用いることで低音域を補うことが出来ることがわかった。

7. 今後の展望

今回の結果を元に、引き続き超磁歪素子の振動子で高音域を補聴し磁石による振動子で低音域を補聴するようなシステムの開発を行っていく。また、動物実験による安全性の評価・補聴性能の評価を行っていく。

購入物品リスト 価格

申請予算

¥294,500

品名	単価	個数	項目価格
医療用側頭骨モデル	¥ 27,000	3	¥ 81,000
チタン加工物	¥ 16,000	9	¥ 144,000
3次元CADソフト(Solid Works)	¥ 10,500	1	¥ 10,500
超磁歪素子	¥ 5,000	15	¥ 75,000
合計			¥ 301,500

参考文献

- (1) 原島立成, 超磁歪素子を利用した埋め込み型骨導補聴器の加振力評価(生体振動計測とその応用(2)), 日本機械学会年次大会講演論文集, Vol. 6, (2009), pp. 217-218.
- (2) 「新版 聴覚と音声」工学博士三浦種敏著 社団法人電気情報通信学会.
- (3) A・E・クラーク, 江田弘, 超磁歪材料, 日刊工業新聞社.

4.5 センサフュージョンによるヒューマンアシストに関する研究

[プロジェクトリーダー]

氏名 学籍番号 所属

安藤 健治 1032010 知能機械工学専攻 博士前期課程2年 明研究室

[プロジェクトメンバー]

氏名 所属

謝 昭賢 知能機械工学専攻 博士後期課程3年 明研究室

曾根 聡史 知能機械工学専攻 博士前期課程2年 下条研究室

小倉 和也 知能機械工学専攻 博士前期課程1年 明研究室

江成 勇太 知能機械工学科 学部4年 明研究室

松崎 雄朗 知能機械工学科 学部4年 明研究室

[指導教員]

明 愛国 准教授

下条 誠 教授

1. 研究背景・目的

少子高齢化社会が問題視されている現在、肢体を満足に動かさない高齢者が増えてきており、それを支える介助者の負担が大きくなってきている。日常生活動作(ADL)の中でも椅子からの立ち上がり動作は、日常で多く行う動作の一つであり、下肢などの身体にかかる負担が大きいため、介助を必要とする高齢者が多い。この問題を解決するため、立ち上がり動作を支援するロボットの研究開発が行われている。しかし、先行研究の多くは、センサによるフィードバックや機構的な自由度が少ないため、あらかじめ適用身長や軌道が決められており、被介助者の動作や体格などの個人差に対応することが困難という問題点があげられる。

そこで、本研究では移動マニピュレータ(図1)によるホームサービスの一環として触覚センサと視覚センサのセンサフュージョンにより被介助者の個人差に応じた立ち上がり動作アシストの実現を目指している。触覚センサにより取得する加重情報と視覚センサにより取得する姿勢情報を統合することにより被介助者の個人差に応じたアシストができると考えている。

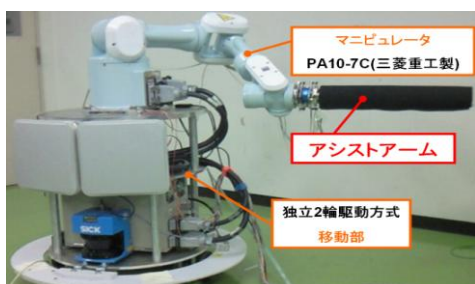


図1. 移動マニピュレータ

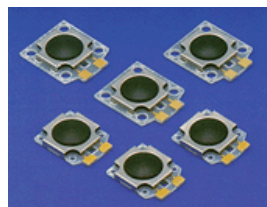


図2. 3次元カメラ



図3. 触覚センサ

2. 研究の独創性・有用性

人間の動作支援に必要な情報として触覚情報などのローカルな情報と全身の姿勢などのグローバルな情報が挙げられる。そこで本研究では、触覚センサと3次元カメラを用いる。

本研究では触覚センサに図2に示すCoPセンサを使用する。触覚センサは、人間共存ロボットにとって、安全機能や接触動作等には必要不可欠である。また、センサを使ったフィードバック制御を考える上でセンサの応答時間は重要である。通常のロボット制御に用いられる制御ループには1ms程度とされているが、CoPセンサは立ち上がり応答時間が0.1msであるのでフィードバック制御が十分可能である。その上、配線数が少なく触覚センサの接触面上にある荷重の中心位置を検出することができるという利点もある。

3次元カメラは図3に示すMesa社のSR-4000を使用する。このセンサは環境に左右されにくく、テクスチャなどの模様に関わらずリアルタイム（最高50fps）に距離画像が取得可能である。この距離画像を用いてアシスト時の人間の姿勢を認識し、フィードバックをする。

これらのリアルタイム性のあるセンサを連携して使用する事でより高速に人間の姿勢や動きを判別し、被介助者の個人差に応じたアシスト制御を行うことができると考えられる。

3. 研究成果

3.1 立ち上がり動作の姿勢推定

体格や動作に応じたアシストを行うためには、アシスト軌道を生成するための人体寸法や安定なアシスト動作を実現するための人の位置・姿勢情報のフィードバックが必要となる。そのため、視覚センサを用いて人体の立ち上がり動作の姿勢推定を取り上げる。

昨年度の研究で3次元距離測定カメラを用いて初期フレーム 3.7[fps]、2フレーム目以降 30 [fps]の速度、全関節位置の平均誤差 25[mm]、標準偏差 13[mm]の精度で被介助者の位置と姿勢の推定が可能となっている。しかし、推定結果の中には最大 100[mm]のずれや初期フレームの処理時間に改善の余地がある。

本提案手法では、図4に示すようなxy平面の人体モデルを定義する。人体を腕、体幹、大腿、下腿の4つの部位からなるモデルとする。モデルの各部位の寸法は限定しておらず、各部位の連結情報のみを持たせている。人体モデルの各部位の中心線(以下、骨格線と呼ぶ)上に関節が存在すると仮定し、人体モデルの連結情報と照合させることで各関節位置 $P_i(i=1, 2, 3, 4, 5)$ を推定する。

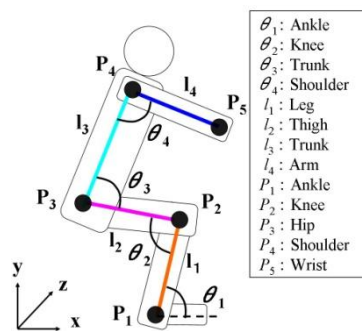


図4. 人体モデル

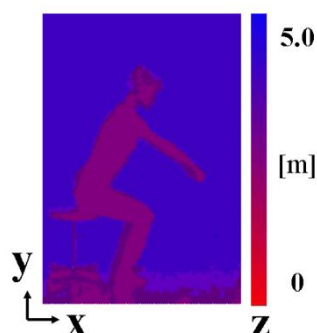


図5. 3次元距離データ

姿勢推定手法は、図5に示すような3次元距離カメラからデータ取得後に人体抽出，特徴点抽出，骨格線抽出，そして関節位置推定という流れで行われる．各処理結果を図6に示す．これらの処理を人体抽出から関節位置推定にかかる時間で割った割合を表1に示す．

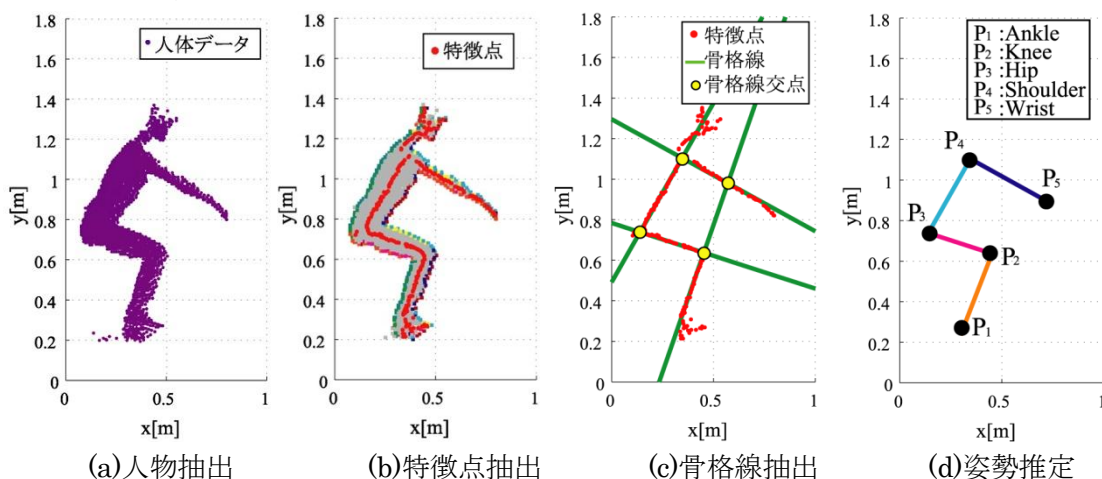


図6．推定手法

表1．処理時間の比率 [%]

人体抽出	特徴点抽出	骨格線抽出	関節位置推定
0.1	0.6	99.3	0.0

表1より骨格線の抽出が姿勢推定に要する時間の大部分であると言える．そのため，骨格線抽出処理の改善を行なった．

従来の手法では，LMedSハフ変換により骨格線抽出を行っていた．LMedSハフ変換は従来の標準的なハフ変換の直線決定原理に式(1)を用いることで，疎でばらつきのある点群でも抽出可能にしたものであるが，LMedS値の計算量が多いため処理時間がかかってしまう．そこで標準的なハフ変換を改良した手法として組合せハフ変換（以下，CHTと呼ぶ）がある．標準的なハフ変換の投票原理は図7のように1点につき $\frac{\pi}{\Delta\theta}$ 回投票されるが，CHTは投票操作を図8のように特徴点対に対し1点にのみ投票される．特徴点対の組合せを制限することで処理時間と検出精度について改善が図れるとされている．

$$LMedS(\rho, \theta) = med_i \{e_i^2(\rho, \theta)\} \quad (1)$$

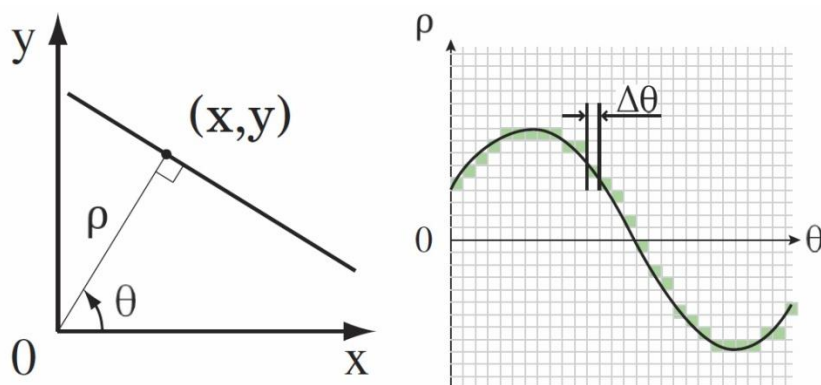


図7．標準的なハフ変換の投票

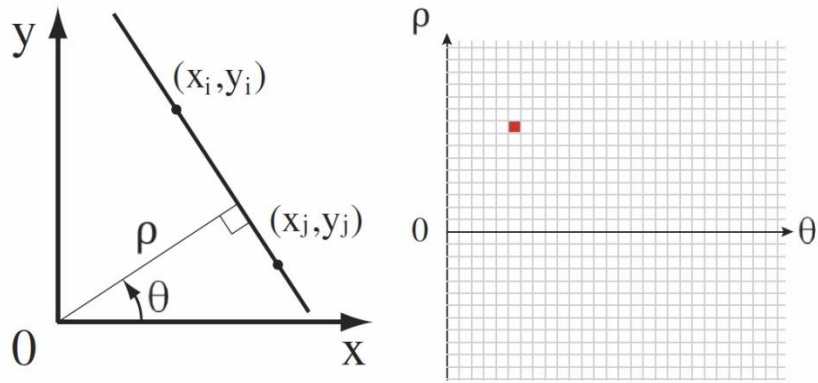


図 8. CHT の投票

組合せの対象として図 9 に示す小さい円より内側にある特徴点は特徴点同士が近すぎることによる精度低下の恐れがあり，図 9 に示す大きな円より外側にある特徴点は人間の体節の長さを考慮し，それ以上の範囲で検索しても精度低下や処理速度の低下が考えられるため，投票を行う特徴点对に制限を設けた。

CHTに基づく投票手順を以下に記述する。

- (i) ある特徴点とペアになる特徴点の距離 $diff$ を計算
- (ii) (i) で $\epsilon_{min} \leq diff \leq \epsilon_{max}$ のとき，式(2)，式(3) より ρ ， θ を計算し投票

$$\theta = -\tan^{-1}\left(\frac{-x_j}{y_i - y_j}\right) \quad (2)$$

$$\rho = x_i \cos\theta + y_i \sin\theta \quad (3)$$

- (iii) (i)，(ii) を他の組み合わせで繰り返す

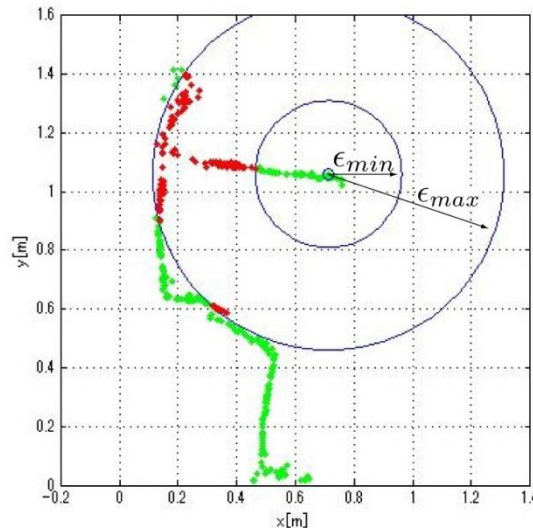


図 9. 投票有効範囲

提案した手法と従来の手法を同じ入力データによる処理時間を比較した。骨格線抽出する処理の手順として，投票，投票閾値処理，再投票，そして直線構成点除去という手順を踏んで行なっているので各処理にかかる時間を表 2 に示す。

表 2. LMedS ハフ変換と組合せハフ変換の処理時間比較

	投票	投票閾値処理	再投票	直線構成点除去
LMedS ハフ変換	0.0105	0.0000	0.6965	0.0053
組合せハフ変換	0.0156	0.0000	0.4690	0.0042

骨格線抽出のための各処理を見ると、投票処理に要する時間が従来の手法よりも多くかかっている。これは投票の有効・無効にかかわらず投票回数だけ時間がかかってしまうためである。しかしその後の処理ではCHTによって投票が集中化させたことにより、処理時間が短縮されている。そのため、骨格線抽出処理全体では、従来の手法で0.7123[s] かかっていたものが、CHTを組み込んだ提案手法では0.4888[s] となり約32%の処理時間の削減がされた。

3. 2 立ち上がり動作の安定性評価

CoPセンサを搭載したアシストアームを用いて、実際に人間の立ち上がり動作のアシスト実験を行ない、その際のCoPセンサの出力情報を計測した。

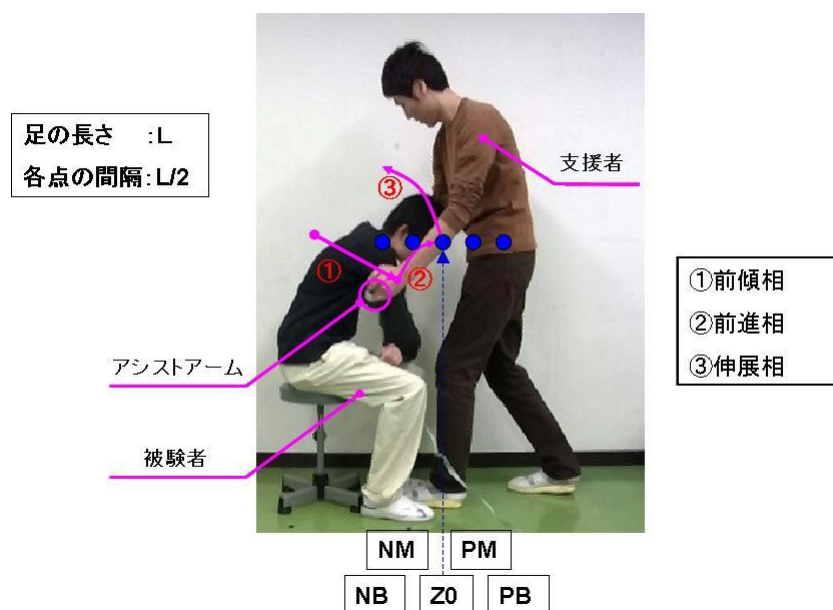
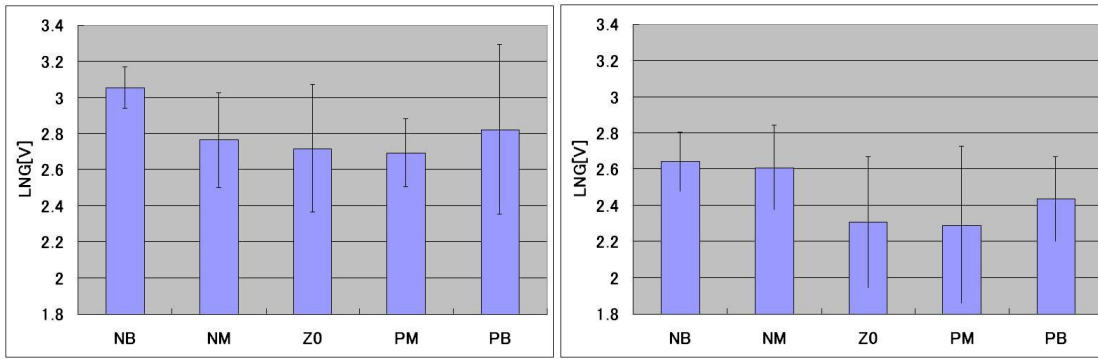


図10. アシストアームを用いた立ち上がり動作

ここで検出した荷重分布中心位置 (CoP) の軌跡を、立ち上がり動作の際の体幹の「ぶれ」と考えることにより、体幹の安定性評価を行うこと考えた。具体的には、図10にある②前進相から③伸展相に切り替わる地点を5ヶ所とり、ZOを通る軌道が最も自然で安定した立ち上がり動作と設定する。そしてZOよりも大きく前進するPM, PB, そして逆にほとんど前進しないNM, NBのそれぞれの地点における両腕部CoPから動揺解析を行うことを考えた。

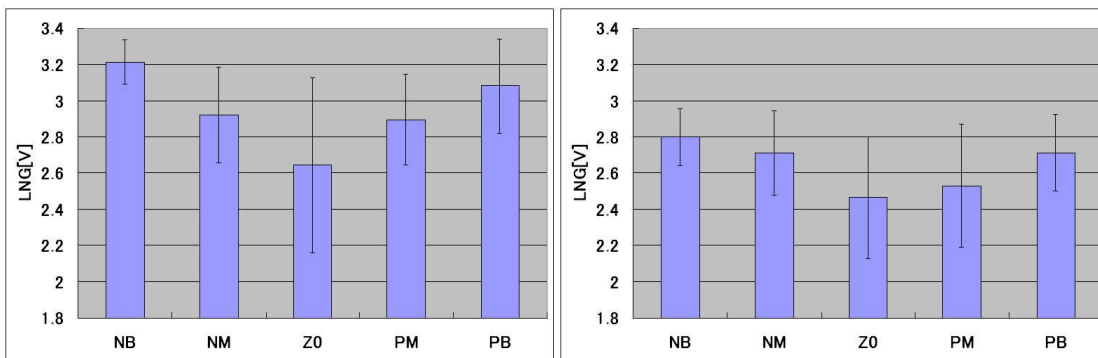
本研究では動揺解析に使う指標として、単位時間軌跡長を採用した。単位時間軌跡長とは、主に水平面上で単位時間における動揺軌跡距離であり、身体動揺の不安定さの指標とされている。この指標を用いて前傾相、前進相、伸展相における5地点の比較を行った。その結果を以下に示す。



(a) 左腕CoP

(b) 右腕CoP

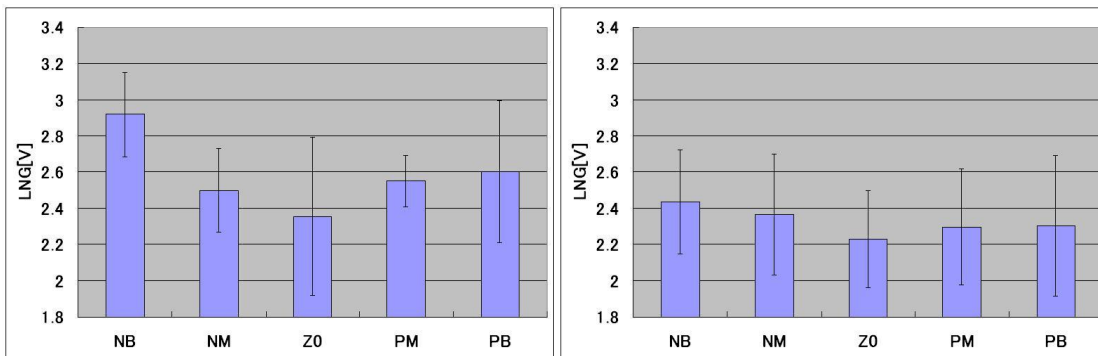
図11. 前傾相における単位時間軌跡長



(a) 左腕CoP

(b) 右腕CoP

図12. 前進相における単位時間軌跡長



(a) 左腕CoP

(b) 右腕CoP

図13. 伸展相における単位時間軌跡長

今回の実験では、ZO地点を通過する軌道において重心が支持基底面上に存在しており、最も安定であると考えている。

まず前傾相においては、各地点の軌跡長の差が小さく身体動揺による安定性にあまり違いがないように観られた。この理由として、前傾相では椅子に座っているため重心が常に支持基底面上に存在するからであると考えられる。

これに対し前進相と伸展相の単位時間軌跡長を見ると、安定姿勢ZOを離れるほど値が増加していることがわかる。これは前進相以降、椅子から腰が離れる際に支持基底面が減少し、不安定になったためであると考えられる。よって、前進相と伸展相においてはアシストアームのCoPセンサによる動揺解析によ

って立ち上がり動作の安定性を評価できると考えられる。

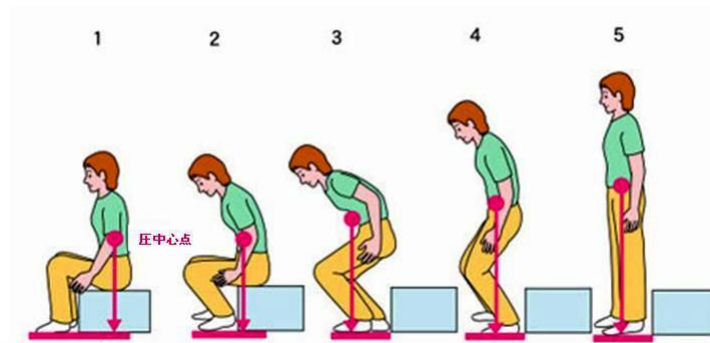


図14. 理想的な立ち上がり動作

3. 3 CoP センサを用いた立ち上がり動作制御の改善

これまでの研究において、図 10 にある人間による立ち上がり動作実験から立ち上がりの際の特徴を調査し、それを運動制御則に反映させた。

立ち上がり軌道の生成は基本軌道と、基本軌道を修正する修正軌道の2つから成り立っている。まず基本軌道は制御時間のみに依存し、前進相から伸展相における上体の伸展動作を考慮して、後半の3秒間のみ一定速度で上方へ移動させる軌道としている。これに対し、修正軌道は触覚情報に基づいて前傾・前進姿勢のための軌道を生成する。軌道は胴体とアシストアームの接触点に基づいて定められる「胴体 CoP 座標系」においてアームが動く速度 v とその方向 ϕ をファジィ制御によって求めることで生成される。

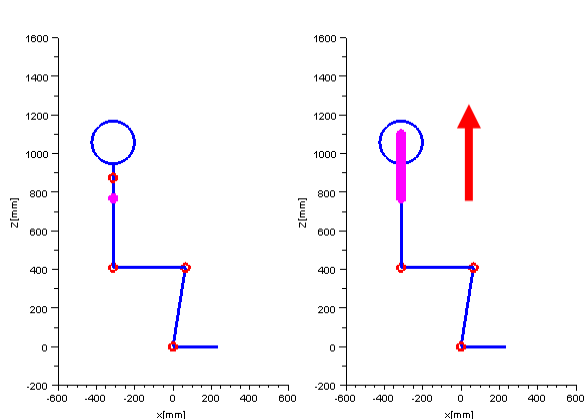


図15. 基本軌道

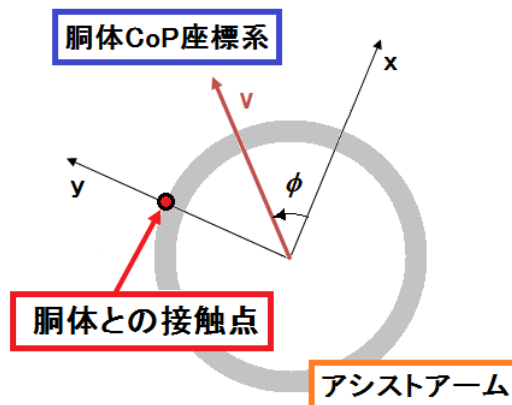


図16. 軌道の修正量と方向

設計したファジィ制御規則によって立ち上がり動作のための運動制御が可能であると実験から結論付けたが、問題点が一つ残されていた。それは図17からわかるが、伸展相において体幹の戻りがほとんど生成されていないため、前傾した状態で動作を終了している。このままでは立位姿勢に不安が残されている。

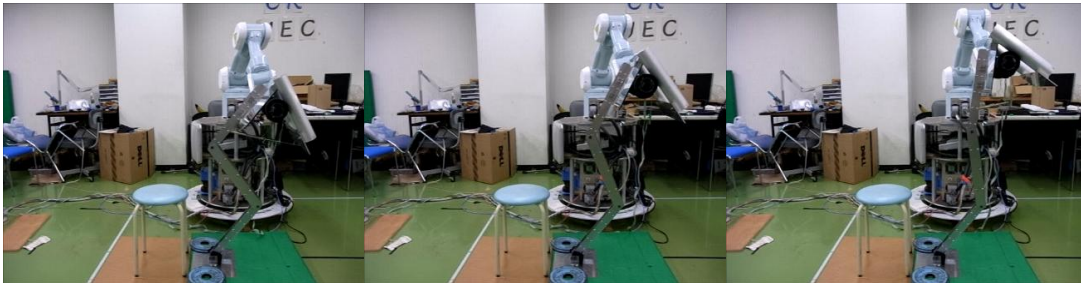
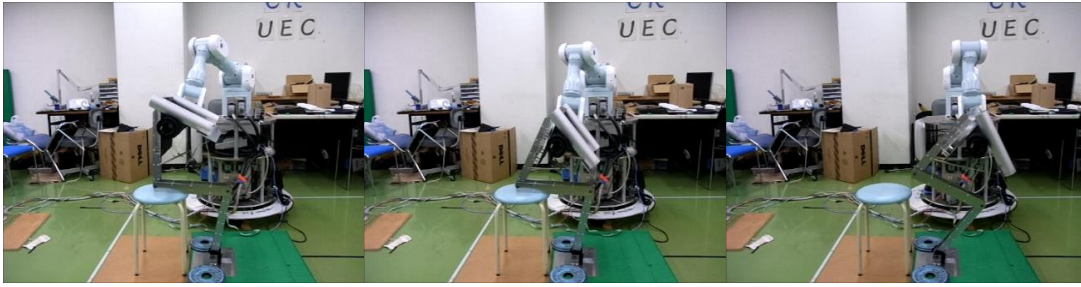


図 17. 軌道修正の実験風景（昨年度）

よってファジィ制御規則と基本軌道を修正することを考えた．説明の前に制御時間 t と修正速度 v のファジィ集合について以下の表に示す．

表 3. 制御時間 t のファジィ集合

集合名	内容
PH1	前傾相前半
PH2	前傾相後半
PH3	前進相
PH4	伸展相前半
PH5	伸展相後半

表 4. 修正速度 v のファジィ集合

集合名	内容
NB	負の方向に大きい
NS	負の方向に小さい
ZO	およそゼロ
PS	正の方向に小さい
PB	正の方向に大きい

今回修正する制御規則はこれらの集合から成り立っている．まず最大の問題である伸展相時の体幹の戻りを作成する．現在の制御規則において戻りの生成に最も関係する規則は，修正速度に関するファジィ制御規則にある

if " t is PH5" and " CoP is PB" then " v is PS"

である．このファジィ制御規則は「時刻が伸展相後半 (PH5) で CoP が正の方向に大きい (PB) ならば，修正速度を正の方向に小さく (PS) 出力せよ」という意味に等しい．逆に言えば CoP の値が PB に達していなければ戻りのための修正速度が出力されないということである．伸展相時に CoP の値が PB へ達していない場合を想定して，新たに戻りを生成する制御規則を追加するため，

if " t is PH5" and " CoP is PS" then " v is ZO"

を

if " t is PH5" and " CoP is PS" then " v is PS"

に修正した．この規則は簡潔に説明すると，「時刻が伸展相後半 (PH5) で CoP がある程度 (PS) あれば戻りの修正速度 (PS) を出力せよ」という意味になる．この二つの規則によって戻りの生成を行う．

次に過度に前進する可能性をなるべく小さくするために，

if " t is PH4" and " CoP is PS" then " v is NS"

を

if " t is PH4" and " CoP is PS" then " v is ZO"

に修正した。これまでの規則では伸展相前半においてCoP 値がPS であった時、前方へ修正速度が出力(NS)されてしまう。これは過度に前進してしまう要因になるので、出力しない(ZO)ように修正した。以上の修正を図18にまとめて示す。

		t				
		PH1	PH2	PH3	PH4	PH5
CoP	NS	NS	NB	NB	NS	ZO
	ZO	ZO	NS	NB	NS	ZO
	PS	ZO	NS	NS	NS	ZO
	PB	ZO	ZO	ZO	ZO	PS

➔

		t				
		PH1	PH2	PH3	PH4	PH5
CoP	NS	NS	NB	NB	NS	ZO
	ZO	ZO	NS	NB	NS	ZO
	PS	ZO	NS	NS	ZO	PS
	PB	ZO	ZO	ZO	ZO	PS

図18. 修正速度 v のファジィ制御規則の修正

また、基本軌道において立ち上がりの量が少なかったため、PA10 ベース座標系の z 方向に110[mm/sec] から125[mm/sec] に修正した。

以上の修正を行った制御規則を用いて運動制御実験を5回行った。実験風景を図19、実験結果の比較を図20, 21に示す。

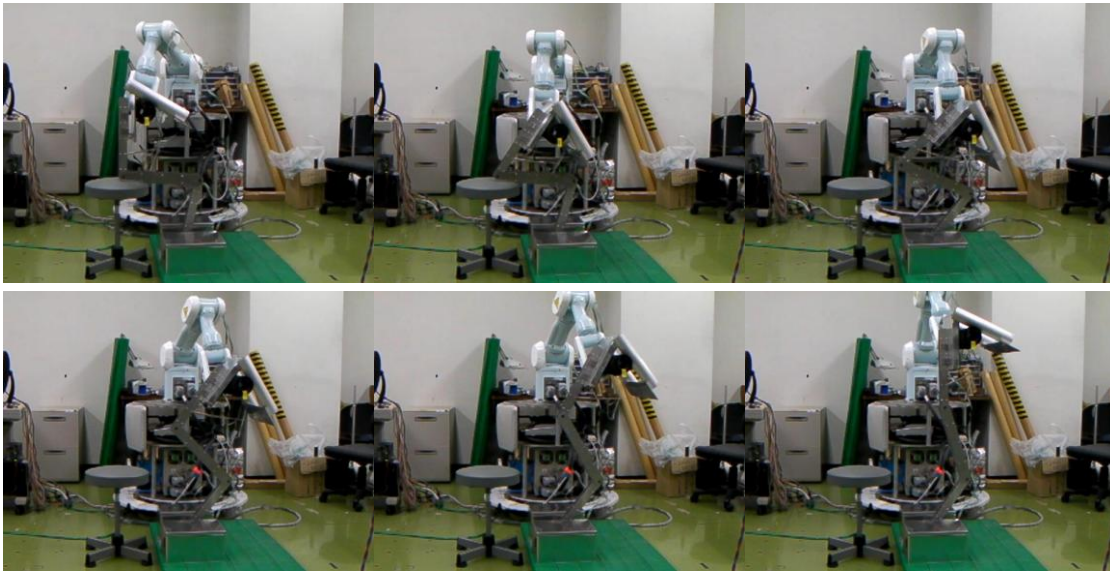


図19. 修正したファジィ制御による立ち上がり動作実験

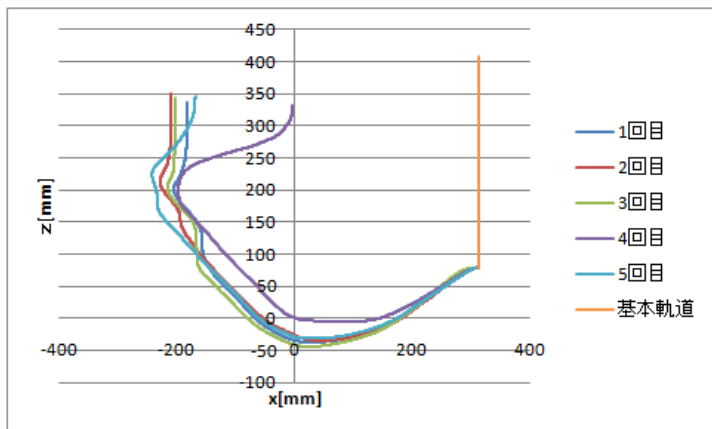


図20. 修正前のPA10軌道

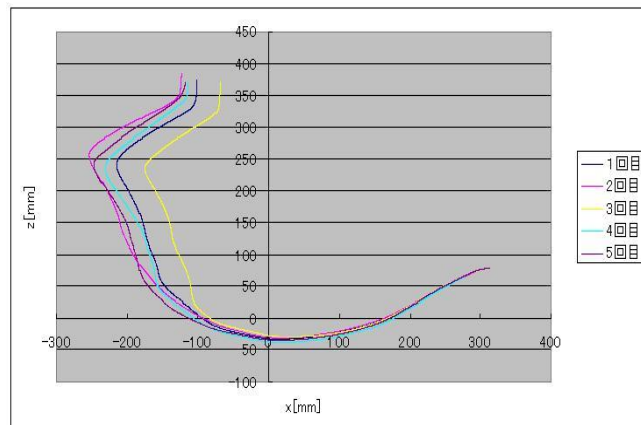


図21. 修正後のPA10軌道

比較結果からわかるように、5回の実験すべてにおいて戻り軌道を生成することができることを確認した。

また、この2つの実験とは別に被介助者が過度に前進してしまう立ち上がり軌道を生成し同様の実験を行った。この実験を危険姿勢における立ち上がり動作と設定し、修正前、修正後、そして危険姿勢における立ち上がり動作の動揺解析を行なって、それぞれの単位時間軌跡長を求めた。なお、第2.2節からCoPにより前進相以降の安定性を評価できると考えられるので、前進相と伸展相を一つの相にまとめている。図22に3つの実験におけるPA10の軌道を、図23に3つの実験から求めた単位時間軌跡長の結果を示す。

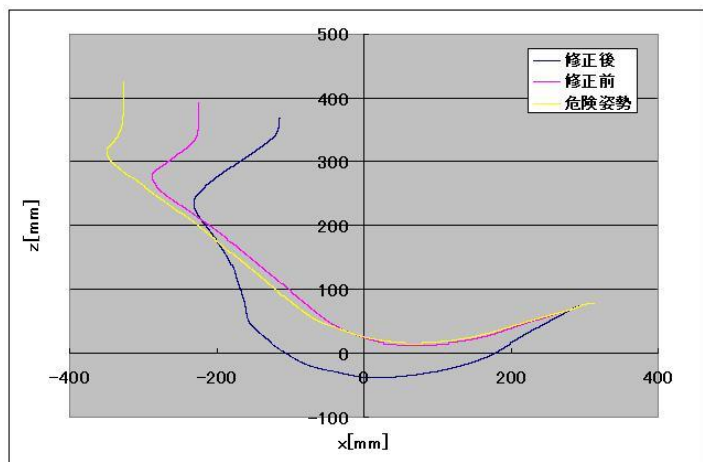


図22. PA10軌道の比較

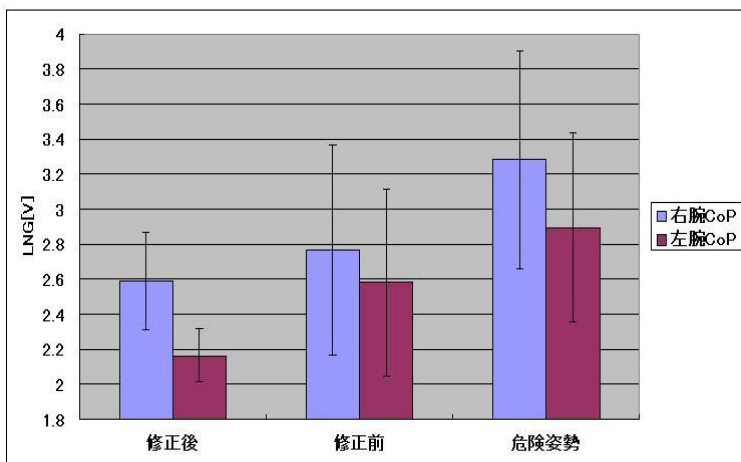


図23. 単位時間軌跡長の比較

以上の結果から、危険姿勢において単位時間軌跡長が最も大きく、続いて修正前、そして修正後が最も小さくなっていることがわかる。ここで右腕の値が左腕より大きくなっているのは、PA10がアシストアームの左端のみ片持ち支持しているため、アクリル製のアシストアームが動作中にたわんで右腕部に「ぶれ」が生じたためと考えられる。単純に単位時間軌跡長が小さくなった他、修正後では標準偏差も小さくなっている。つまり行った実験それぞれにおいて結果

にばらつきがあまりなかったと言える。以上を踏まえて、新しく作成した制御規則は修正前に対して改善されたと考えられる。

4.6 ダイナミックヒューマノイドロボットの開発

[プロジェクトリーダー]

梶原 直喜 情報メディアシステム学専攻 博士前期課程 2年 明研究室

[プロジェクトメンバー]

野澤 峻平 知能機械工学専攻 博士前期課程 1年 明研究室

新 雅裕 知能機械工学専攻 博士前期課程 1年 明研究室

佐藤 圭吾 知能機械工学科 学部4年 明研究室

田畑 利憲 知能機械工学科 学部4年 明研究室

[指導教員]

明 愛国 准教授

下条 誠 教授

1. 研究目的

近年、さまざまな機関でダイナミックな運動を行うヒューマノイドロボットの研究が盛んに行われている。

本研究室では、人間の高度な制御と機構を活かしたダイナミックな動作を解析することで、ロボットに応用しようと考えている。人間のゴルフスイングにおける、動的干渉駆動という制御法と、ストップという機構を模倣することで、人間同等のダイナミックなゴルフスイングが可能な、ゴルフスイングロボットを開発した。

近年では、ヒューマノイドロボットの運動性能向上を目的に研究を行っており、上記のゴルフスイングロボットに用いた2つのシステムを応用することで、運動性能の向上を図った。しかし、ヒューマノイドロボットに用いられているアクチュエータはその選定方法により高減速比なものが一般的である。そのため、バックドライバビリティが低下し同システムを用いた運動性能向上が困難である、という問題点が生じた。そのため、変減速機構という新たな機構を導入することで、バックドライバビリティの向上を図った。

これまでの研究で楕円歯車機構とリンク型変減速機構という2つの変減速機構を開発し、その有用性を確かめた。しかし、楕円歯車機構とリンク型変減速機構の比較を行っておらず、それぞれの有用性を確かめる必要があった。また、リンク型変減速機構へストップ機構を付加することでさらなる運動性能の向上が見込まれた。

そこで、本プロジェクトでは本年度、変減速比関節機構と題し、楕円歯車機構とリンク型変減速機構の比較を行った。また、小型ストップ機構を開発し、リンク型変減速機構への導入を行った。

2. 変減速比関節機構

2.1 研究背景

本研究室では、変減速機構として楕円歯車機構とリンク型変減速機構を開発し、それぞれの有用性を

確認した。しかし、それぞれの性能の比較を行っていないため、2つの機構それぞれのメリットを確認できていなかった。そのため、本研究では楕円歯車機構を搭載したロボットに取り付けるためのリンク型変減速機構を設計し、同一のロボット上で機構を変更して各種動作を行わせることで、各機構の性能比較を行った。

2.2 変減速リンク機構の設計

図1に非円型歯車機構を搭載した試作機の3DCADを示す。このロボット用の変減速リンク機構を新たに設計した。設計指針としては、楕円歯車機構とほぼ同様の減速比変化曲線が得られるようなリンクパラメータを用いた。この指針をもとに開発した変減速リンク機構の試作機を図2として示す。

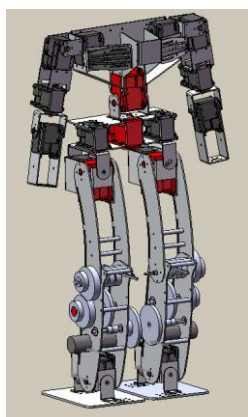


図1 試作機 3DCAD



図2 リンク型変減速機構の試作機

2.3 ロボットの試作

図3に試作機の外観を示す。このひざ関節部分の駆動に平歯車機構、楕円歯車機構、リンク型変減速機構をそれぞれ用いる。これら3つの関節駆動機構を図4～6に示す。

また、膝関節にはストップ機構が取り付けられている。このストップ機構を図7に示す。ねじりばねを3つ組み合わせ、作用が始まる関節角度を段階的に設定することで非線形な反力を疑似的に発生させている。



図3 ロボット試作機

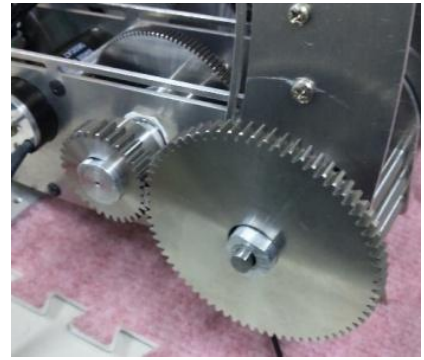


図4 平歯車機構



図5 楕円歯車機構

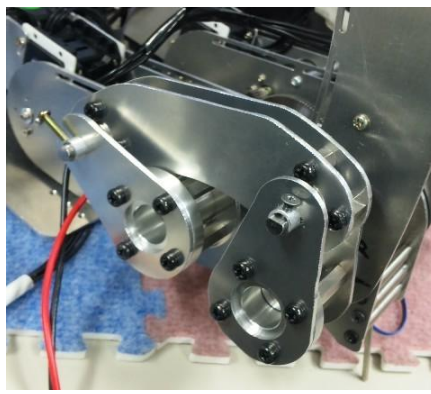


図6 リンク型変減速機構



図7 ストップ機構

2.4 キック動作実験

本研究の本目的である動的干渉駆動とストップ機構を用いた、ダイナミックな動作の実現を確認した。具体的には、3種類の関節機構の動的な特性の比較をするためにキック動作実験を行った。

図8に示すような運動軌道を描くキック動作を行わせ、3種類の関節機構を用いたときそれぞれにおける図8における右図の状態（インパクトポイント）での足先速度を測定した。

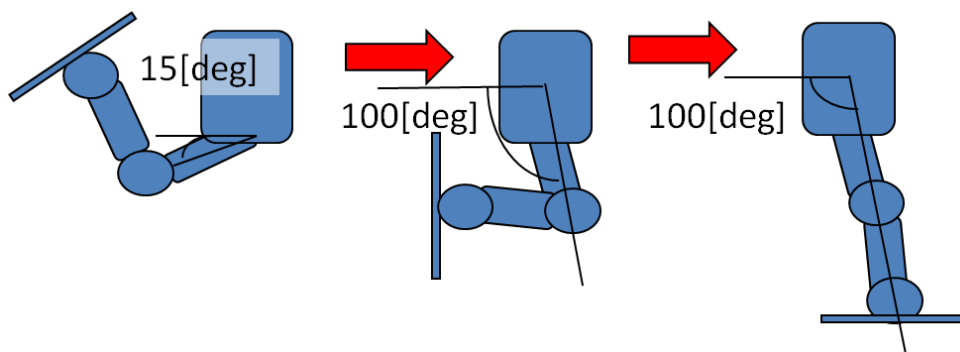


図8 キック動作の運動軌道

2.5 実験結果

図9にキック動作実験の結果を示す。

実験結果よりリンク型変減速機構搭載時が最も足先速度が速く、平歯車搭載時が最も足先速度が遅いという結果が得られた。平歯車機構に比べ、楕円歯車機構とリンク型変減速機構を用いたときのほうが、足先速度が上がっているため、変減速機構が外力を有効活用したダイナミックな動作に有効であることがわかる。

また、楕円歯車機構とリンク型変減速機構を比較する。リンク型変減速機構搭載時の方が、楕円歯車機構搭載時よりも2倍以上の足先速度を実現しており、キック動作に関する高い有効性が示された。これは、リンク型変減速機構が楕円歯車機構に比べ、機構自体の摩擦抵抗も低く、質量も小さいためだと考えられる。

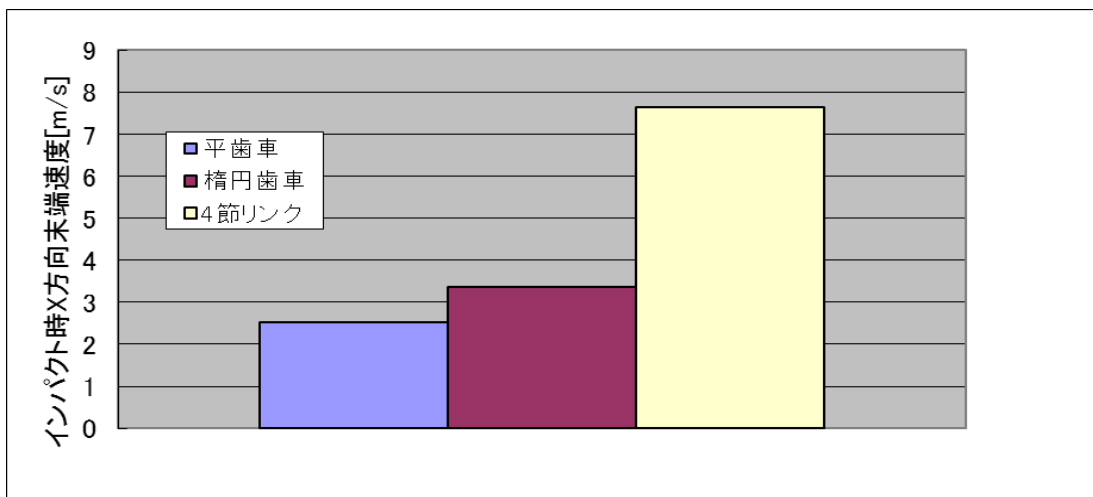


図9 キック動作実験結果

小型ストップ機構

3.1 研究背景

本研究室では、変減速機構としてリンク型変減速機構を開発し、その有用性を確認した。リンク型変減速機構はバックドライバビリティの低減を目的に開発されたが、機構を追加する形でストップを付加することで、ゴルフスイングロボットと同様に動的な干涉駆動とストップ機構を利用したダイナミックな動作が可能になると考えられる。

本研究では、既存のロボットに搭載可能な小型ストップ機構を開発し、実験によりその有用性を確認した。

3.2 小型ストップ機構の設計

図 10 に示す, 既存のリンク型変減速機構を搭載したロボットに搭載するため, 3DCAD を用いて干渉の発生しないように注意し, 小型ストップ機構を設計した.

本機構には, 省スペースで軽く設計が簡単に行えるという点から, 板ばねを用いることにした. 以下図 11 に本機構の 3DCAD を示す.

ストップ機構は非線形な反力を発生させる機構であり, 板ばね 1 枚では再現が不可能である. そのため, 作用開始関節角度の異なる板ばねを 2 枚重ねて配置することで, 非線形な反力を疑似的に再現した. 反力曲線の設計は, 人間の関節稼働可能域に近い可動域を持つこと, 反力を人間の関節受動抵抗に類似させること, という 2 つの条件のもと行った. 試作した小型ストップ機構を搭載したひざ関節部分を図 12 に示す.

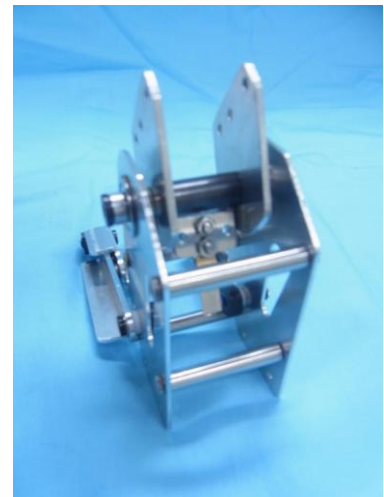
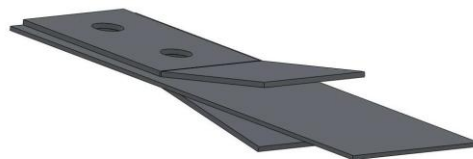
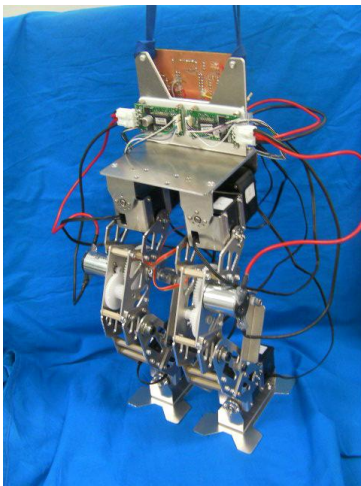


図 10 ロボット外観

図 11 板ばね 3DCAD

図 12 小型ストップ機構試作機

また, 実際に試作した機構が設計通りの反力を生じるかどうかの確認を行った. 図 13 に設計段階での反力曲線を, 図 14 に実際に測定した試作機の反力曲線を示す. 図 13, 14 よりほぼ設計通りの反力曲線が得られることが確認できた.

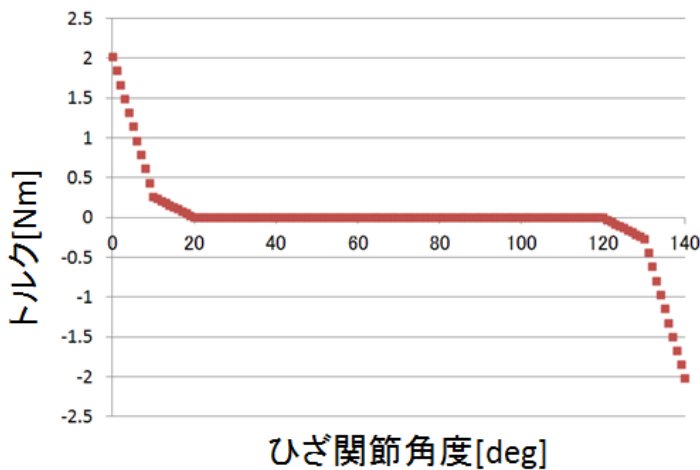


図 13 ストップ反力曲線：設計

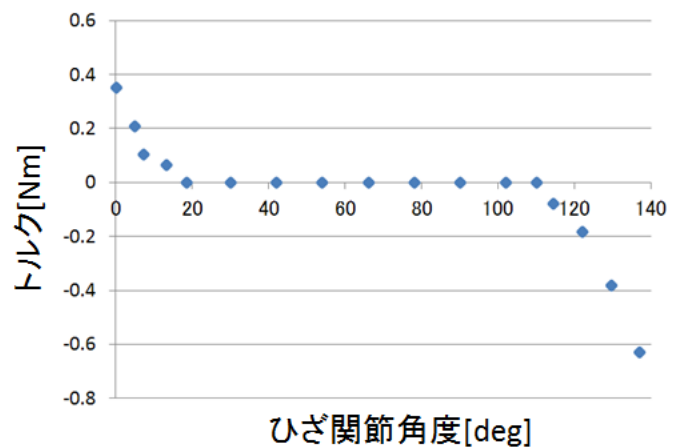


図 14 ストップ反力曲線：試作機

3.3 屈脚動作実験

試作した小型ストップ機構の基本的な機能を確認するため、屈脚動作実験を行った。ストップが作用しない中腰の初期状態からロボットを屈脚させ、動作中の膝関節角度と消費電流を測定し、消費電流よりアクチュエータのトルクを算出した。小型ストップ機構ありとなしの2パターンで測定を行った。

以下、図15に実験の運動軌道を示す。

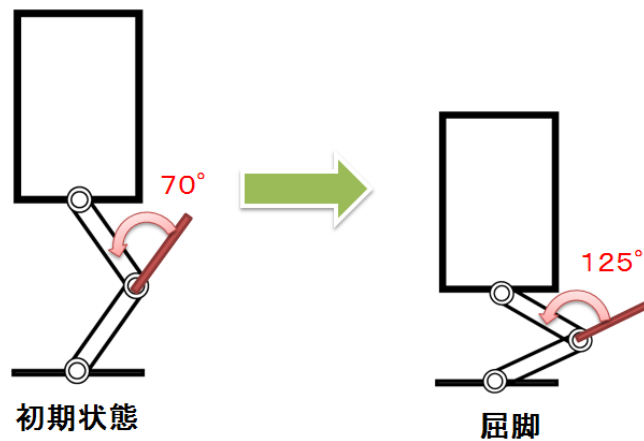


図15 屈脚動作実験の運動軌道

3.4 屈脚動作実験結果

図16, 17に屈脚動作実験の結果を示す。この結果より、ストップ機構により、屈脚時のひざ関節の重力補償が行われ、トルクが下がっていることがわかる。この実験により開発した小型ストップ機構の基本的な機能が確認できた。

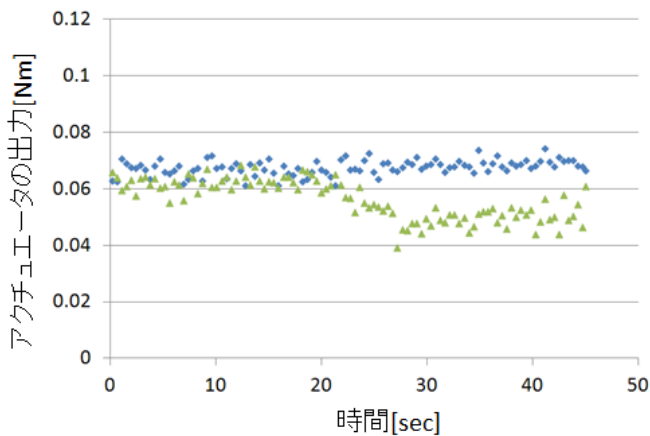


図16 屈脚動作実験結果：ストップなし

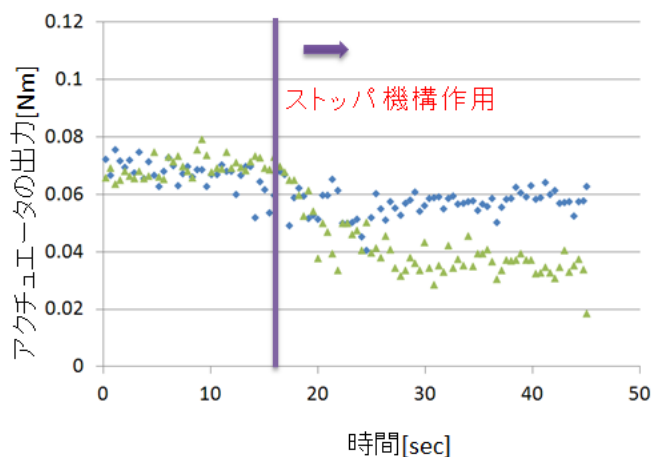


図17 屈脚動作実験結果：ストップあり

3.5 キック動作実験

次にキック動作実験を行った。これはストップ機構の動的な干渉駆動に対する有効性を確かめるための実験である。

キック動作では、足を振り上げたのち、膝関節を曲げたまま股関節を駆動し、その後ひざ関節を駆動するという、動的な干渉駆動に即した制御を行った。

キック動作はひざ関節をモータで駆動したものと、モータを駆動せず干渉駆動のみのもとの2パターンで行った。図18にその運動軌道を示す。

これらの運動制御を行った際の、インパクトポジション時の足先速度を計測した。

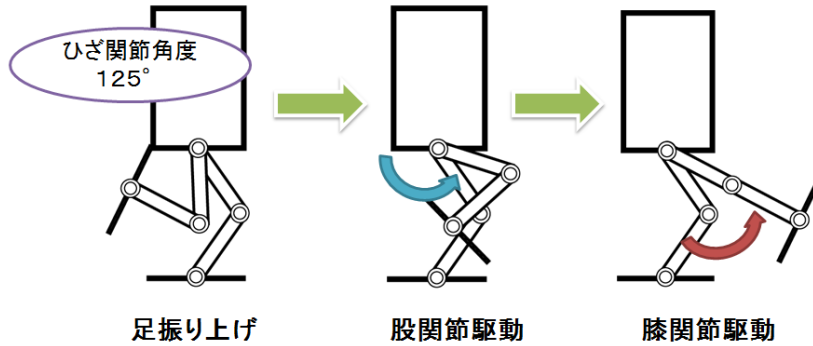


図18 キック動作実験運動軌道

3.6 キック動作実験結果

表1にキック動作実験の結果を示す。モータ駆動と干渉駆動ともにストップがあるときのほうが、足先速度が増加しているとわかる。これより、小型ストップ機構がモータ駆動を行ったときのキック動作に加え、本来の目的である動的な干渉駆動を用いたキック動作に有効に作用することがわかった。

表1 キック動作実験結果

駆動方法	速度 (m/s)	
	ストップなし	ストップあり
モータ駆動	2.16	3.23
干渉駆動	2.55	3.00

3. 結言

本プロジェクトはヒューマノイドロボットの運動性能の向上を目的に行われた。

楕円歯車機構とリンク型変減速機構の性能比較を行い、変減速機構自体の有用性を再確認したとともに、楕円歯車機構に比べ、リンク型変減速機構が有効であるという実験結果が得られた。

また、リンク型変減速機構を有するひざ関節に、小型ストップ機構を追加し、さらなる運動性能の向上を図った。この実験により、ストップ機構とリンク型変減速機構を併せて利用することの有用性が示された。

今後の予定としては、条件にあわせた変化をする変減速機構の開発などを行っていく予定である。

4.7 圧電繊維複合材料を用いた生物模倣型ソフトロボットの研究開発

[プロジェクトリーダー]

1142003 趙 文静 知能機械工学専攻 博士後期課程 1 年 明研究室

[プロジェクトメンバー]

1032104 L. NATCHAPON 知能機械工学専攻 博士前期課程 2 年 明研究室
1032050 妹尾 俊明 知能機械工学専攻 博士前期課程 2 年 田中研究室
1132011 大阪 拓真 知能機械工学専攻 博士前期課程 1 年 明研究室
0814057 仕舘 宗大 知能機械工学科 学部 4 年 明研究室
0814044 小松 優祐 知能機械工学科 学部 4 年 明研究室

[指導教員]

明 愛国、田中 一男、前川 博、黒田 成昭

[提出日]

2012 年 3 月 15 日

1. 研究目的

メカトロ機器を構成する要素としてアクチュエータ、センサ、動力源などが考えられる。アクチュエータではモータなどの回転動力が多く利用され、多様な特徴を持つように研究されてきた。このようなアクチュエータは大出力を得るために最適化されているが、使用目的によっては効率が悪くなる場合もあると考えられる。

センサはメカトロ機器においては必要不可欠なもので、何らかのタスクを行う際に基本的に必要となる要素である。このようなセンサには様々な種類があり、メカトロ機器が行うタスクの種類によって適切なものが選ばれる。

しかし、メカトロ機器において重要なのは製作及び作業における効率を向上させることである。従来のアクチュエータ、センサを組み合わせる事ではこのような効率向上が既に実現されており、その限界に至っている。

近年、センサ機能・アクチュエータ機能などを材料自体が併せ持つようないわゆるインテリジェント材料が様々な場面で注目されている。このようなインテリジェント材料としては形状記憶合金、IPMC(Ionic polymer-metal composite: イオン導電性高分子・貴金属接合体)、圧電繊維複合材料(Piezoelectric Fiber Composite)などが挙げられる。

本研究では、圧電セラミック繊維を利用したソフトな人工筋肉である圧電繊維複合材料: Macro Fiber Composite(以下 MFC、図 1) のアクチュエーション、センシング機能といった優れた特徴に注目し、MFC を利用したスマートメカトロ機器の研究開発を行う。

MFC は NASA のラングレー研究センターで開発された新しい圧電複合材料で、従来の圧電材料に比べて

図2のような構造をしており、柔軟性・耐衝撃性に優れた特性を持っている。柔らかいフィルム状のMFCに電圧を印加すると圧電繊維が伸縮し、MFC全体にかけて歪みが発生し、アクチュエータとして利用できる。また、外部から歪みを加えると圧電効果により電圧が発生するので、センサとしても利用することもできる。さらに、チャージ回路などを用いることより発電機能も期待されている。

その応用研究として、MFCの持つ構造的な材料特性より、MFCのセンサ及びアクチュエータとして利用することで、MFCを用いた生物模倣運動機構(羽ばたきロボットや水中ロボット)、インテリジェントクッション、アクティブダンピングへの利用などについて検討を行っている。

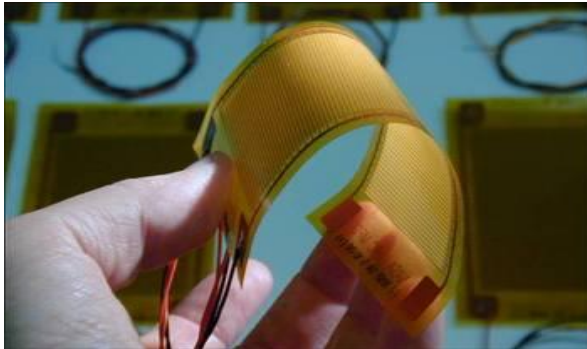


図1 MFCの外観

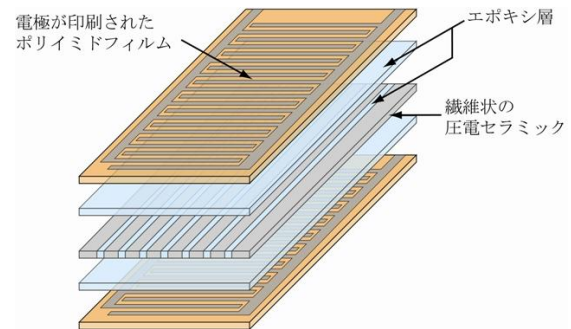


図2 MFCの構造

2. 研究の独創性と有用性

メカトロ機器である圧電繊維複合材料(MFC)を利用してソフトロボットを製作することにより、多くに用いられているモータなどで構成されるロボットに比べ、柔らかいフィルム状のアクチュエータであるので、アクチュエータ自身が柔らかく、アクチュエーション部は曲面構造など様々な構造物に接着する事が出来る。このため全体の構造を単純化する事が出来、比較的自由的な駆動が出来る。また、人工筋肉であるアクチュエータの中ではパワーやエネルギー変換効率が良いので、より運動性能の高いソフトロボットや、より高効率のソフトロボットに生かせる。

さらに材料と一体化させ骨格・アクチュエータ・センサ・エネルギー回収の多機能を付加する事が出来るので、メカトロアプローチに好都合であり、構造体の運動制御が直接的に出来る。このため、制御がしやすいため生物の模倣が可能である。また高感度歪センサとして用いる事も可能なので MFC 複合体における構造センシングが可能である。

MFCを用いた生物模倣の運動機構を製作する場合、MFCは直接リニア駆動が出来るアクチュエータであり、回転運動系のアクチュエータを利用するロボットより、簡単で効率的な構造に作り上げる事が出来る。さらに、将来的には実際の鳥・昆虫または魚のように翼全体をソフトな人工筋肉である MFC で構成する事でアクチュエーションとセンシングを一緒に行う事も出来ると考えられるので、簡単な運動制御ループを構成することが出来る。

3. 研究成果

3.1 羽ばたきロボット

近年、自然界の鳥や昆虫などの羽ばたき飛行の仕組みを解明し、その高い機動性を活かし、レスキュー探査、災害時における空撮、農薬散布や沿岸監視、テロ現場での情報収集等などに応用しようと羽ばたきロボットの研究が盛んに行われている。

現在の羽ばたきロボットの多くは、モータなどの回転型アクチュエータを利用し、回転動作をクランク機構または歯車などを通して羽ばたき動作に変換する方法が用いられている。この方法では羽への運動変換の際にエネルギーを消耗し、また変換機構が機体全体におけるスペースを占め、さらに重量が大きくなるといった問題がある。さらに、硬いアクチュエータや構造を持つロボットであるため、自然界の生物のような柔らかい動きの実現も困難になる。従って、飛行性能を向上するためには、飛行生物に近い動きの実現ができるソフトなロボットが必要とされている。

本研究では、ソフトアクチュエータとして近年開発された MFC を用いて、ソフトなロボットの研究開発を行っている。本年度では、羽ばたきロボットの研究開発は間接飛行筋型昆虫を規範とした羽ばたき機構の試作とトンボの翅形状を模倣した羽ばたきロボットが行われた。

3.1.1 間接飛行筋型昆虫を規範とした羽ばたき機構の試作

飛行する昆虫類は筋肉のつき方から大別して直接飛行筋型昆虫と間接飛行筋型昆虫の 2 種類に分けられる。本研究では共振現象を利用していると考えられている間接飛行筋型昆虫に着目した。

間接飛行筋型昆虫とは、筋肉が外骨格に接続され、筋肉の収縮により外骨格を変形させて間接的に翅を動かしている昆虫である。その昆虫の代表例としてハチ目とハエ目があげられる。外骨格に上下に走る筋肉と前後に走る筋肉が接続されており、対になっている翅を同時に動かすことで飛行する。上下に走る筋肉の収縮と前後に走る筋肉の弛緩によって、胸部の背板が下へ下がり、てこの原理で翅が打ち上げられる。また前後に走る筋肉の収縮と上下に走る筋肉の弛緩で胸部が前後に圧縮されて背板が跳ね上がり、翅が打ち下ろされる。

従来機

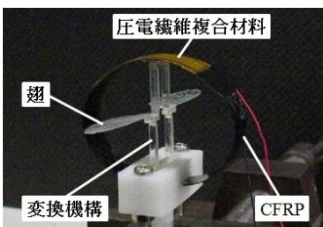


図3 従来機

図3に示す従来機は間接飛行筋型昆虫の構造や動作をもとに開発された。また、作成したリング状駆動モジュールの変位出力を羽ばたき動作に変換し、羽ばたき運動の実現に成功した。しかしながら、実際の間接飛行筋型昆虫より羽ばたき周波数が低く、羽ばたき角度が小さく、揚力と推力も非常に小さい。また、変換機構にはヒンジが損傷しやすいという問題があり、新たな機構を開発する必要がある。

新しい駆動モジュールの試作

上述した従来機の問題点を解決するため、MFCの枚数を増やしたり、より大きいMFC(大きい駆動面積)を使用したりすることで発生力を増加させる。また駆動モジュール全体が変形しやすいように、円形であった従来機

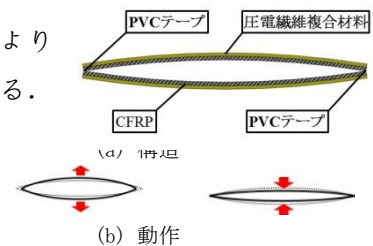
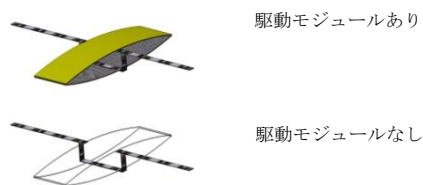


図4 提案した駆動モジュール

のリング状駆動モジュールに自由に回転できる結合部を導入する。提案した駆動モジュールは図 4(a)のように厚さ 0.2 [mm]の曲げたカーボンプレートに MFC をエポキシ樹脂で接着し、同じものを上下に合わせ、厚さ 0.2 [mm]のやわらかい PVC 製のテープで両端を結合した。-500~1500 [V]の正弦波駆動電圧で駆動し、図 4(b)のような上下変形が得られた。

駆動モジュールの大きさによる影響

駆動モジュールの大きさによる影響を調べるため、MFC M8507-P1, M4010-P1, M2807-P1 を用いた駆動モジュールの共振周波数、最大変位を測定した。測定結果は表 1 に示す。表 1 の結果により、駆動モジュールの長さが小さいほど共振周波数が高くなると分かった。



MFC	M8507-P1	M4010-P1	M2807-P1
長さ [mm]	101.05	47.85	37.00
幅 [mm]	16.00	13.20	12.80
高さ [mm]	19.50	6.75	4.40
内部高さ [mm]	19.20	6.35	3.90
重さ [g]	4.27	3.32	1.60
共振周波数 [Hz]	32	120	180
最大変位 [mm]	25.19	3.34	0.92

表 1 各駆動モジュールの寸法と駆動結果

ただし、変位が減少するということもある。実際の間接飛翔筋型昆虫の羽ばたき周波数が 45~600 [Hz]であるため、間接飛翔筋型昆虫の羽ばたき動作を実現するには、最も高い 180 [Hz]の周波数を発生する MFC M2807-P1 を用いた駆動モジュールが望ましいが、最大変位がわずか 0.92 [mm]しかないため、羽ばたき運動に変換する際には羽ばたき角度が小さくなるという問題が考えられる。従って、120 [Hz]の共振周波数と 3.34 [mm]の最大変位を発生した MFC M4010-P1 を用いた駆動モジュールの方が妥当だと考えられる。また、MFC M4010-P1 を用いた駆動モジュールの発生力を測定し、上方 534 [mN], 下方 196 [mN]の発生力が得られた。

羽ばたき機構の試作

従来機の変換機構では、使用できる材料の特性と試作精度の問題があり、損傷しやすかった。そこで、図 5 のような回転ヒンジがある変換機構を提案した。また、実際の間接飛翔型昆虫の羽ばたき角度は 35~60 [deg], 平均として 45 [deg]であるため、今回の羽ばたきロボットの羽ばたき角度が 45 [deg]になるように変換機構を設計した。

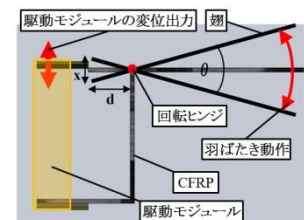


図 5 提案した変換機構の設計図

羽ばたき実験

間接飛翔筋型昆虫の羽ばたき周波数が 45~600 [Hz]であるため、それに適する翼長が 50 [mm]以下である。そこで、翼長による影響を調べるため、厚さ 0.2 [mm], 幅 4 [mm], 翼長 50~20 [mm]のカーボンプレート翼を羽ばたき機構に取り付け、各翼の羽ばたき実験を行った。

実験の結果より、翼長が短いほど羽ばたき周波数が増加することが分かった。また今回の実験機は 20 [mm]の翼長で最大約 102 [Hz]の羽ばたき周波数が得られた。

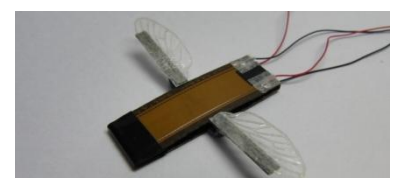
羽ばたきロボットの試作

図 6(a)の翅を模倣し、図 6(b)に示す 300 [mm²]の翼面積の翅を厚さ 0.2 [mm]の PET 材で作成した。この翅を図 7 のように羽ばたき機



(a) 昆虫の翅 (b) 作成した翅

図 6 ハエ目 Rhagionidae 種の翅

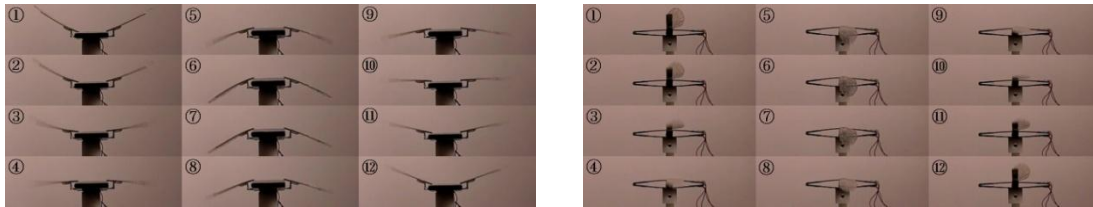


構の翼に取り付け、羽ばたきロボットが完成した。

揚力・推力の測定

羽ばたきロボットの動作確認および揚力・推力の測定を行うため、羽ばたきロボットをロードセルに固定し、揚力および推力を測定した。また、1200 [fps]の高速カメラで撮影した羽ばたき動作は図8に示す。

図7 羽ばたきロボット



(a) 正面

(b) 側面

図8 羽ばたきロボットの動作

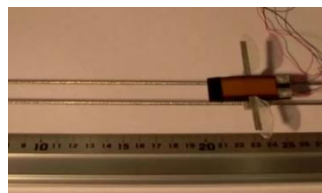


図9 動作実験

作成した羽ばたきロボットは 94 [Hz]の共振周波数の時に 36.67 [mN]の平均揚力と 37.48 [mN]の平均推力が得られた。また、フラッピング運動を実現し、70 [deg]の大きい羽ばたき角度が得られた。

しかしながら、大きなスケールの揚力・推力が得られたが、羽ばたきロボットの自重の 39.2 [mN]を超えるほどの平均揚力・推力を生み出すことができなかった。

ガイドワイヤを用いた動作実験

ガイドワイヤを用いて、羽ばたき動作による推進動作実験を行った。上述した揚力・推力の測定結果では、揚力・推力も自重を超える値にならなかったため、縦方向の動作実験が不可能と判断し、図9の横方向の動作実験のみで実験を行った。

実験の結果は 16 秒間で 10 [mm]の距離を進んだ。ただし、移動の際にスムーズな前進が出来ず、羽ばたきロボットに振動が生じ、翅によって発生する推力の方向が不規則だと考えられる。さらに羽ばたきロボットの固定台とガイドワイヤの接触面に摩擦が生じ、その摩擦力によって羽ばたきロボットが不安定な前進になってしまったと考えられる。

まとめ

作成した羽ばたきロボットは 94 [Hz]の羽ばたき周波数の時に 70 [deg]の羽ばたき角度を実現し、36.67 [mN]の平均揚力、37.48 [mN]の平均推力が得られた。従来機と比べて重量が 2.47 倍重くなったが、4.67 倍の羽ばたき角度、1.18 倍の羽ばたき周波数、59.59 倍の揚力重量比、13.94 倍の推力重量比となり、羽ばたき運動のパラメータおよび揚力・推力の向上に成功した。

3.1.2 トンボの翅形状を模倣した羽ばたきロボット

本研究では圧電繊維複合材料をアクチュエータとして使用した羽ばたきロボットに、トンボの近寄り

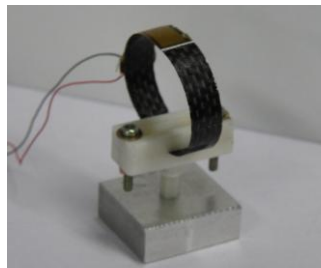
流れを揚力に効率的に変換する翅の機構を模倣して取り入れる。その性能を評価するために、簡易風洞装置を用いて等速飛行・加速飛行の羽ばたき時と非羽ばたき時における揚力の測定を行い、模倣して製作した翅がどれだけ揚力の上昇効果をもたらすのかを検証する。

トンボの翅形状とその特性

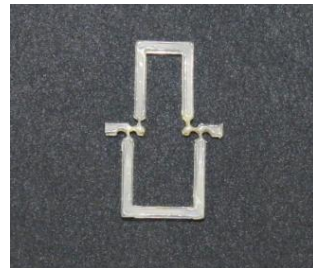
トンボの翅の形状は平坦ではなく、小さな凸凹を持っている。翅の凸凹形状により、トンボは飛行する上で近寄り流れを利用して、より大きな揚力を得ていると言われている。また、他昆虫と比べ細長い形状の翅を持ち、本来なら翅の剛性の低下を招くことになるが、凸凹形状により剛性の低下を防ぐ働きも持っている。

駆動機構

本実験では駆動機構として過去の研究で開発された図10に示すリング型駆動モジュールとヒンジ構造を用いたリンクを使用した。リング型駆動モジュールはカーボンプレートにアクチュエータとして圧電繊維複合材料をエポキシ樹脂(3M:DP-460)で貼り付け、それを曲げてリング形状としたものである。直径は35 [mm]にした。製作したリング型駆動モジュールはABS樹脂で挟み込み、水平な台に固定して使用した。ヒンジ構造を用いたリンクは厚さ2 [mm]のPETをレーザー加工機(AD-VD60100-60W)で加工した。



(a) リング型駆動モジュール



(b) ヒンジ構造を用いたリンク

図10 駆動機構

翅の作製

トンボの翅を規範とした翅の製作にあたって夏茜(*Sym-petrum arwinianum*)の翅を採取した。この翅を基に輪郭のデータを作製し、厚さ0.2 [mm]のPETでレーザー加工機(AD-VD60100-60W)で加工し、翅の輪郭を作製した。次にトンボの正確な凸凹形状は、今回作製するには実機が全長約35 [mm]と小型なものであったため、再現が難しかった。そのため以下の2つの方法により2種類の翅膜を試作した。翅膜の素材には雁皮紙を用いている。

・方法 1

レーザー加工機を用いて凸凹形状の型を作製し、型に雁皮紙を押し付けることで翅膜に凸凹形状を生成した。精度の問題で最小寸法は2 [mm]となっている。

・方法 2

他大学のトンボの翅の表面形状を測定したデータを用いて手作業で翅膜に凸凹形状を生成した。

作製した翅の性能と評価するため、平坦な翅も作製した。平坦な翅は雁皮紙を1枚貼っただけでは重量に差が出てしまうため、重量調節のために雁皮紙を2重に貼ったもの、3重に貼ったものを用意して実験を行なった。

実験と結果

実験は簡易型の風洞装置を用いて、擬似的に等速運動状態を再現し、各翅を用いて羽ばたき運動を行

なった際の揚力を測定した。各翅・各共振周波数の正味揚力/重量の値を求めたところ表2、表3のようになった。

表2 風速2.3 [m/s]における正味揚力/重量の値

	50Hz	61Hz	67Hz
翅膜2重	2.673	11.53	5.950
翅膜3重	2.704	6.891	6.516
方法1	4.700	13.27	7.185
方法2	5.049	18.43	6.671

表3 風速4.3 [m/s]における正味揚力/重量の値

	50Hz	61Hz	67Hz
翅膜2重	8.697	13.57	9.347
翅膜3重	5.701	13.34	8.030
方法1	7.822	15.06	12.24
方法2	13.45	24.24	11.80

正味揚力/重量の値を見ると周波数67 [Hz]駆動時を除いて方法2で作製した翅が最も高い値となっていた。これは翅膜及び翅の輪郭を凸凹形状にすることにより、近寄り流れの進行方向を曲げ、その時得られる反力を揚力に変換しており、また方法1の翅と比べ軽量だったためと考えられる。

しかし、周波数67 [Hz]で駆動の際は方法1で作製した翅が正味揚力及び正味揚力/重量の値では最も高い値となっており、方法2で作製した翅は翅膜2重・3重の翅と正味揚力でいえばほとんど変わらない値を示していた。これは方法2で作製した翅の剛性が低いことによるものと思われる。

まとめ

本研究では圧電繊維複合材料を用いて羽ばたきロボットの性能向上を目的に、トンボの翅の形状に着目し、凸凹形状を持つ翅を試作した。試作した翅を羽ばたきロボットへ実装し、実験による評価を行った。簡易型風洞装置を用いて擬似的な等速運動状態を再現し、その時の揚力を測定した。結果、過去に用いられていた平面状の翅よりも等速運動状態での揚力を向上させることができた。

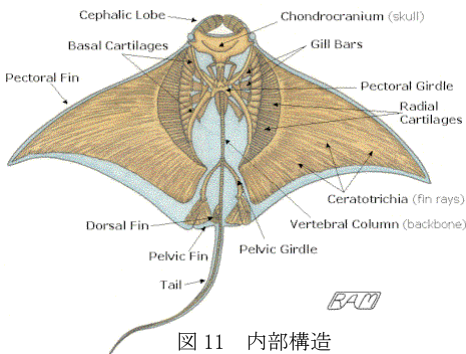


図11 内部構造

3.2 水中ロボット

3.2.1 マンタ型水中ロボット

羽ばたき動作を行う水中ロボットはエイ類の中でトビエイ科に分類されるが、本研究ではマンタを取り上げる。マンタは菱形に似た体型で、翼のように横に広がる胸ヒレを波打つように動かして遊泳することで、高効率で優れた安定性、さらには高い機動性といった特徴を持つ。マンタの内部構造を図11に示す。

胸ヒレの曲げ変位が推進力を発生させるのに非常に重要であると推測されるが、マンタのヒレの構造は非常に複雑であるため、胸ヒレの構造を完全に模倣するのは難しい。したがって、ヒレの動きは最小の自由度を持つモデルに簡素化されるべきであるといえる。

水中ロボットの試作

図12のマンタの体比率を参考に図13のようなマンタ型ロボットを試作した。

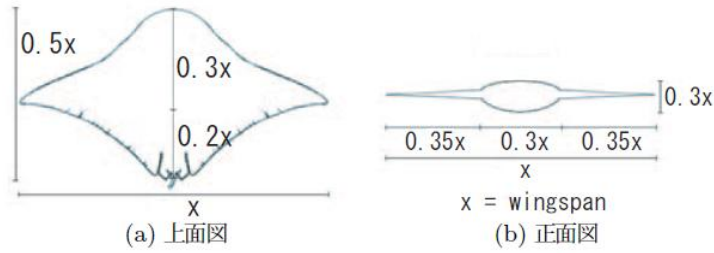


図 12 体比率

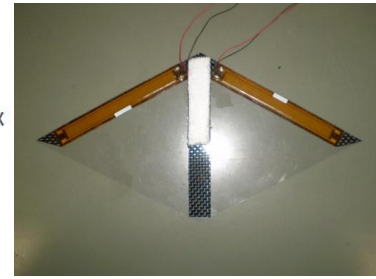


図 13 マンタ型ロボットの試作機

ロボットを構成する素材としてカーボンプレートを用い、支配的に駆動するヒレ前縁部に圧電アクチュエータを貼り付け、従属的に動く部分には柔軟な素材である PET を用いることで簡素化されたヒレの動きの実現を目指す。また浮力調整のため浮きを取り付けた。

性能評価実験

開発したロボットの性能を評価するため実験を行う。ヒレの軌跡また推進性能、旋回性能を実験により調査した。ヒレの軌跡について、液中でのヒレの軌跡を見るために浮きをはずしてロボットを沈め、ヘッド部を固定した状態で実験を行った。ヒレの軌跡が明確で変位量が大きい 2Hz の sin 波に関して検証した。図 14 が正面から見たロボットのヒレの軌跡、図 15 が側面から見たロボットのヒレの軌跡で、それぞれ羽ばたき動作においてヒレを打ち下ろした時を抽出しグラフ化した。また、実際のマンタの打ち下ろし時のヒレの軌跡を表し、これと測定結果を比較すると翼端にいくに従いヒレの変位量が大きくなっているの、大体ヒレの軌跡を模倣出来ているといえる。

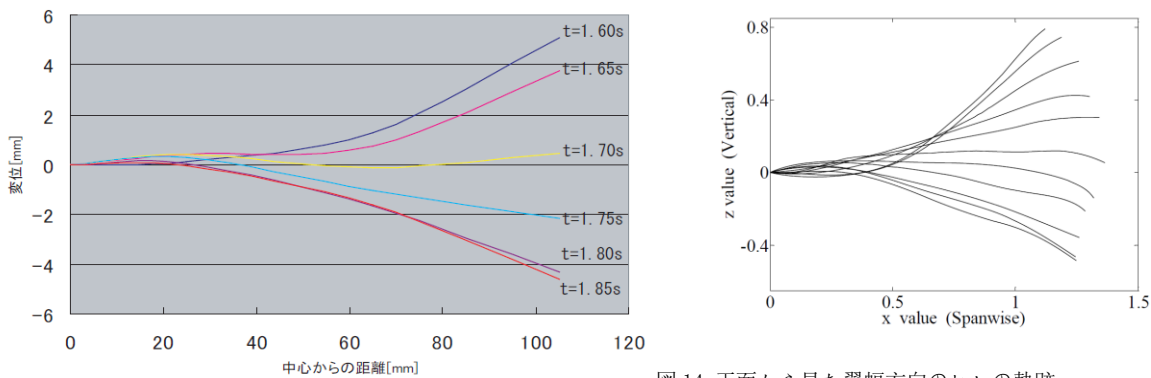


図 14 正面から見た翼幅方向のヒレの軌跡

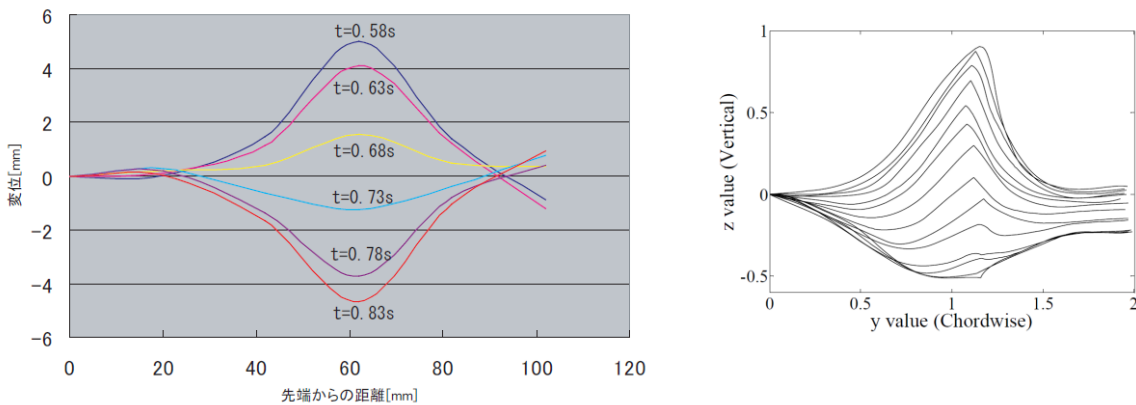


図 15 側面から見た翼弦方向のヒレの軌跡

推進速度について、同じ周波数でも sin 波より矩形波のほうが推進速度が速く、また、sin 波は低周

波では推進しないため、矩形波で実験を行った。図 16 に推進速度の測定結果を示す。測定可能範囲において、周波数が高くなると速度も早くなることがわかった。また、4 [Hz]においてピークが見られるのは、共振によりヒレの振幅が大きくなったからと考えられる。

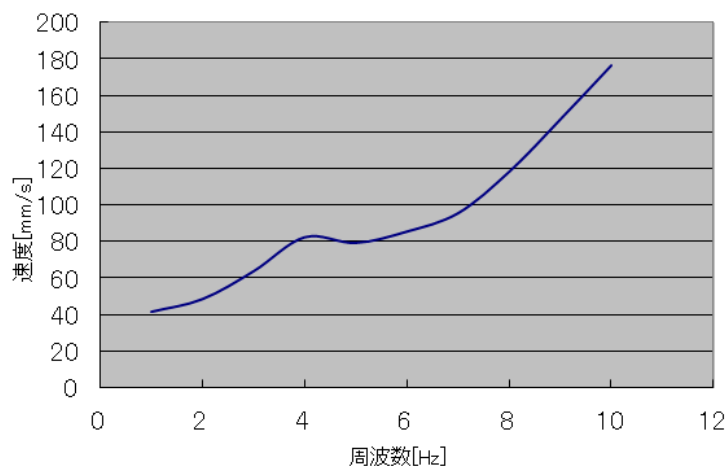


図 16 推進速度

一方、旋回運動は与える周波数によって旋回速度や旋回運動のモードが変わった。両方の MFC に sin 波を与え、旋回したい方向のヒレに位相差のオフセットをかけることで旋回動作を実現できた。周波数が低いと推進しないため旋回できず、周波数が高いと旋回中心方向よりも前進方向の推進が大きくなり、旋回半径が大きくなった。位相差が 120 [°] のとき旋回中心が翼端となり、最も旋回半径が小さい 115 [mm] となった。また、片方のヒレに矩形波を与え、パルスの周期を変化させることで斜め方向への推進も実現できた。与える波形や周波数またそれらの組み合わせにより、直進、旋回、斜め移動が実現できた。

まとめ

羽ばたき型推進を行うマンタの簡素化されたヒレの動きを模倣することで、羽ばたきによる推進を実現出来た。また与える波形や周波数によって振動モードが変化し、様々な運動を実現できた。今後は、浮力を調整し液中での動作の安定化を目指し、上下方向の制御を可能とすることで 3 次元運動を実現し複雑な動作が出来るロボットの開発を目指す。

3.2.2 胴体屈曲推進型水中ロボット

従来研究のロボットを参考に、胴体屈曲推進型水中ロボットを試作した。



図 17 作成したロボット

試作したロボットは頭部に ABS 樹脂，尾部に 0.5 [mm]CFRP プレート，胴体部に 0.2 [mm]CFRP プレートを使用している．また頭部と尾部の重量差によって進行波を発生させる運動を実現するため，頭部にボルトと板おもりを取り付けた．また，頭部及び尾部につけた浮きによって姿勢を保つようになっている．

連続出力による運動

次に，駆動信号(直進・旋回)の連続出力を使用しての実験を行った．まず直進 150 [mm]，右旋回 180 [°]，直進 150 [mm] を目標動作とする実験を行った．それぞれの出力時間は 5 [sec]，22 [sec]，5 [sec]である．その実験から得られた，ロボットの速度ベクトルと時間の関係を図 18 に示す．

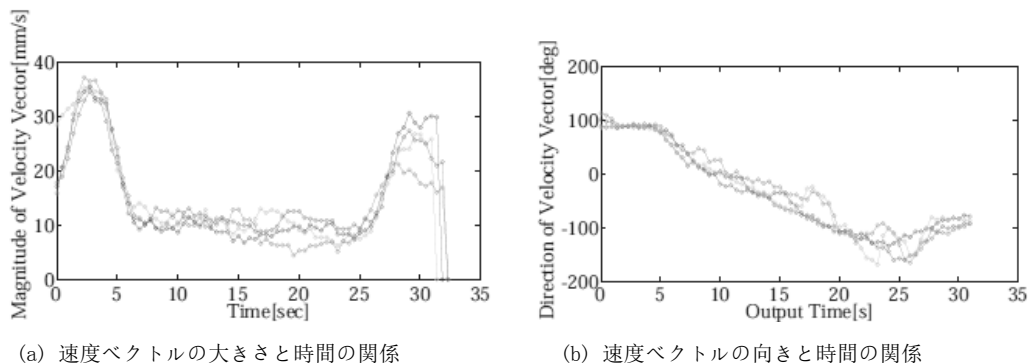


図 18 直進・右旋回・直進動作の結果

また，右旋回 45 [°]，左旋回 45 [°] を目標動作とする出力時間をそれぞれ 8 [sec]，8 [sec]と計算し，実験を行った．得られたロボットの速度ベクトルと時間の関係を図 19 に示す．

得られた結果から，単純動作と単純動作の間では一定の特性が現れていることがわかり，各部分について速度や旋回速度を詳しく見ることで前動作の慣性が影響していると考えられる傾向が見られた．この部分を取り出してデータを作成することで，制御時に単純動作の継部分で利用することができると考えられる．

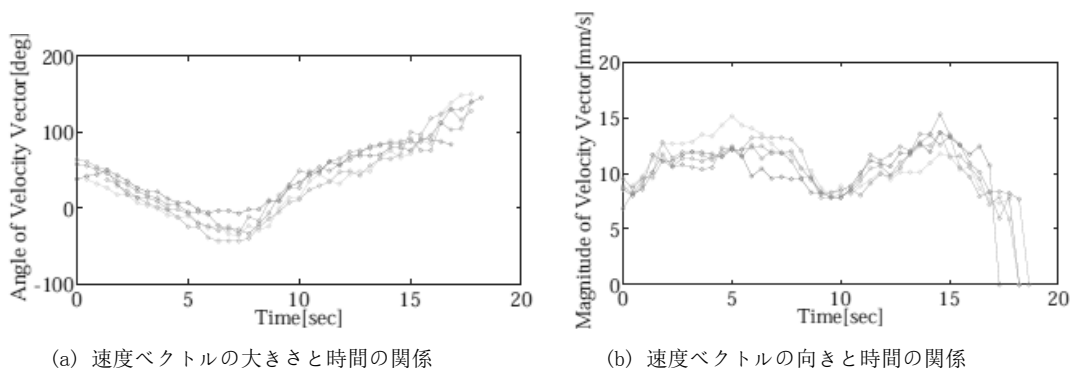


図 19 右旋回・左旋回動作の結果

PTP 制御実験

1) 制御方法

制御は以下のような流れで行う．

- (1) 始点と終点の座標，ロボットの単純動作実験の結果を基に経路を生成する．
- (2) 生成した経路を，ロボットの駆動パラメータ(波形，電圧，周波数，駆動時間)を逆算することで，ロボットを制御し，目標点へ移動する．

2) 実験結果

表 4 に示す 3 つの目標位置及び姿勢を設定し、始点(0, 0, 0)からの PTP 制御実験を行った。

表 4 目標地点

目標地点	(x [mm], y [mm], θ [deg])	経路
実験 1	(100, 300, -45)	直進→右旋回→直進
実験 2	(100, 300, -60)	直進→右旋回→直進
実験 3	(100, 300, -20)	直進→右旋回→左旋回→直進

各経路について 5 回の実験を行い、実際に到達した位置と姿勢の平均値を表 5 に示す。

表 5 到達地点

到達地点	(x [mm], y [mm], θ [deg])
実験 1	(88, 280, -49)
実験 2	(92, 284, -63)
実験 3	(78, 357, -20)

得られた結果を見ると、実験 1 と実験 2 では目標値に近い値が出ているのに対し、実験 3 では目標位置と到達位置の誤差が大きくなっていることがわかる。これは、実験 1, 2 では旋回動作 1 回で経路が生成されているのに対し、実験 3 では旋回動作 2 回で経路が生成されているため、経路生成の際行う図形的処理時に発生する誤差や、単純動作間の複雑な挙動を示す部分が増加によることによる誤差などが発生することが原因だと考えられる。

まとめ

単純動作を組み合わせて液体中で連続動作を行うことで、事前に行なっていた運動の慣性が大きく影響することがわかった。また、単純動作の組み合わせに、上記の運動間の慣性の影響を加えることで、PTP 制御を行うことができた。今後は運動誤差を少なくするために、経路生成・追従の精度向上や、フィードバック制御を加えることなどの検討を行う。

4.8 ニードル式微量液滴塗布機構におけるニードル振動を用いた液滴塗布量の制御

プロジェクトリーダー：

廣瀬一樹 知能機械工学専攻 博士前期課程 2年 青山研究室

メンバー：1. 入江優香 知能機械工学専攻 博士後期課程 3年 青山研究室

2. 重田琢也 知能機械工学専攻 博士前期課程 1年 青山研究室

3. 岸万理恵 知能機械工学科 4年 青山研究室

4. 篠崎高彰 知能機械工学科 4年 金森研究室

5. Pichaya Kietkaroon, 研究生(KMITL, Thai)

指導教員：平田慎之助助教、青山尚之教授、金森哉吏准教授

1. 緒論

近年、微量の液滴の生成・分注技術は、 μ TAS 分野などさまざまな分野で重要となっている。そこで、高粘度の液体を μ L オーダーで塗布することのできるニードル式微量液滴塗布機構が開発されている。微量液滴塗布機構は、ガラスピペット内を極細ニードルが貫通することで、微量液滴を塗布可能な装置である。ニードルと塗布面が非接触で液滴を塗布する際には、ニードル先端と塗布面との距離である塗布ギャップが生じる。塗布ギャップの変化により、塗布量にばらつきが生じてしまう。したがって、一定の塗布ギャップで、液滴を塗布することが求められている。

本研究では、ニードルに微小振動を与え、ニードル振動特性変化を用いて、ニードル先端の液滴と塗布面との接触・非接触を検知する手法を提案する。

2. ニードル振動特性変化を用いた位置決め手法

ニードル振動特性変化を用いた接触検知の原理を以下に示す。図 1 のように、積層型圧電素子と板ばねを用いて、ニードルに振動を与える。

ニードル先端に液滴が付着したとき、振動系の質量は液滴とニードルである。逆に、液滴が塗布面に接触したとき、振動系の質量は、ニードルのみとなる。また、液滴の粘性抵抗が増加する。ゆえに、液滴が塗布面と接触・非接触したときに、振動系の共振周波数は変化する。この振動特性変化を利用し、液滴と塗布面との接触検知を行う。

3. 液だめを追加したニードル振動機構の試作

ニードル振動特性変化を用いた接触検知手法の有用性を実験的に確認するために、タングステンニードル、圧電素子、板ばねを用いて図 2 に示すようなニードル振動機構を試作した。ニードルの振動変位を測定するために、ニードルが接合された板ばねの両面に 4 枚のひずみゲージを貼った。図 3 のような計測システムを用いて、ニードル振動特性変化の測定を行った。なお、これまで、ニードル振動機構のみによる測定では、液滴と塗布面との接触検知が可能であることが確認されている[1]。そこで、本年度は、ニードル振動機構に液だめを追加して測定を行った。

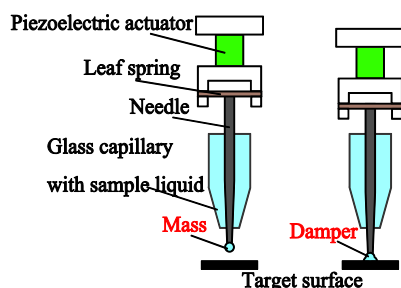
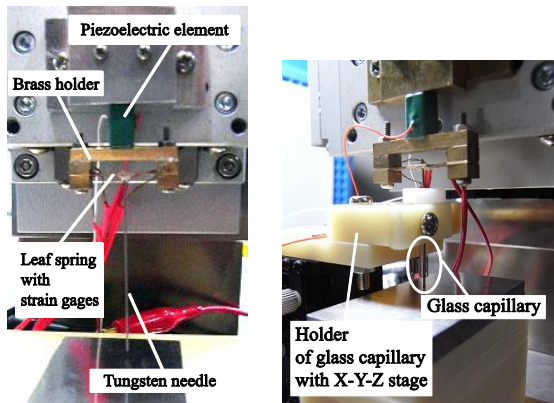


図 1 ニードル振動を用いた接触検知の概略図



(a) 全体図 (b) 液だめに挿入された状態
 図2 試作したニードル振動機構

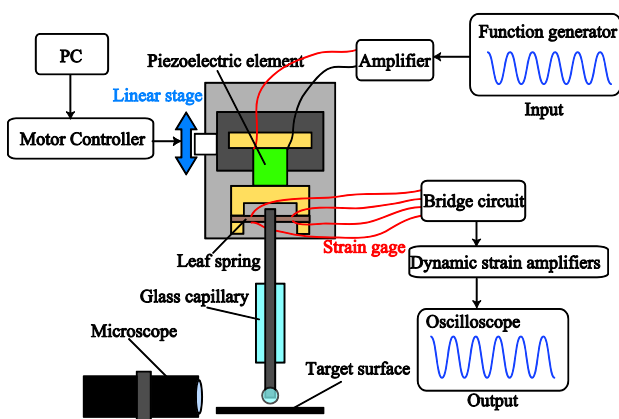


図3 計測システムの概略図

まず、図4のようにニードルの位置を6通りに変化させて、周波数特性の測定を行った。このとき、圧電素子の印加電圧を $8 V_{p-p}$ にした。試料液体は粘度 $5,000 \text{ cP}$ のシリコンオイルを使用した。測定結果を図5に示す。ニードルが下降するにつれて、共振周波数は増加し、ニードル振動変位は減少した。しかし、ニードルの位置が図4で示した4、5、6の状態では周波数特性に大きな変化が見られなかった。これらは、液だめの粘性抵抗の影響である。

そこで、圧電素子の印加電圧を $20 V_{p-p}$ に増加し、再度、周波数特性の測定を行った。測定結果を図6に示す。4.6 kHz 付近でニードル振動に依存しない共振が検知された。この不要な共振の影響により、液だめを追加したニードル振動機構の周波数特性を解析することができなかった。

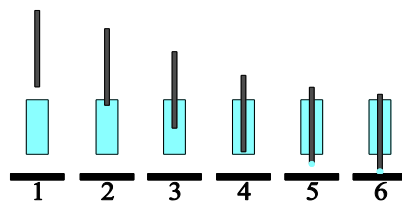


図4 ニードル先端の位置の概略図

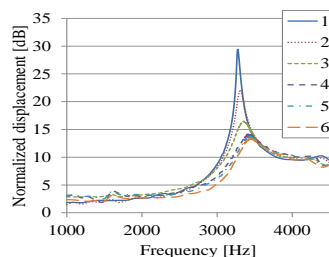


図5 ニードル先端の位置の違いによる周波数特性

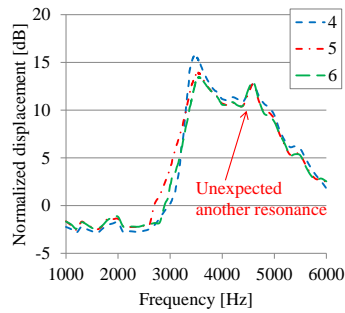


図 6 圧電素子の変位増大による周波数特性

4. ニードル振動機構における不要共振モードの除去

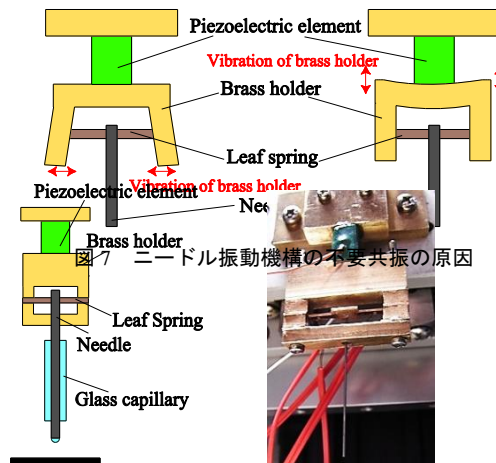
ニードル振動機構に液だめを追加することで、不要な共振が生じた。そこで、この不要な共振の原因を調査した。その結果、不要な共振が発生した時に、真鍮ホルダーの側面部と物体が接触すると、振動は減衰した。すなわち図 7 のように真鍮ホルダーの側面部が共振していた。また、真鍮ホルダーの上部も共振していることが確認された。

そこで、真鍮ホルダーの側面部と上部の共振を除去するために、図 8 のようにニードル振動機構を改良した。改良されたニードル振動機構を用いて、周波数特性の測定を行った。ニードルの位置が図 4 で示した 1 の状態では、 $2 V_{p-p}$ 、4、5、6 の状態では $10 V_{p-p}$ を圧電素子に印加した。試料液体は粘度 5,000 cP のシリコンオイルを使用した。測定結果を図 9 に示す。図 6 と図 9(a) の比較より、ニードル振動の共振時と真鍮ホルダーの共振時の周波数の差を大きくすることができた。また図 9(b) より、ニードル先端の液滴が接触・非接触する状態の違いによって、共振ピーク時のニードル振動変位が変化した。液だめの影響はあるが、改良されたニードル振動機構を用いることで、ニードル振動を用いた接触検知が可能である。

5. ニードル振動を用いた微量液滴塗布機構の評価

5.1 液体の粘度の違いによる振動特性

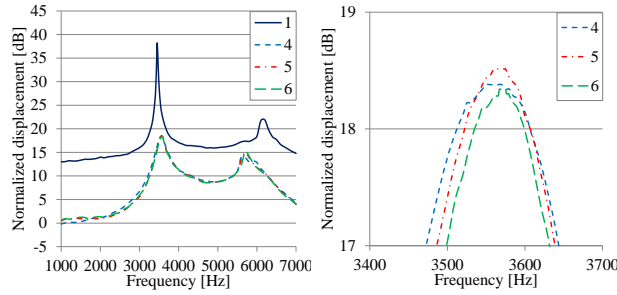
液だめの液体の粘度を変化させ、低粘度から高粘度までの液体を接触検知できるか確認した。試料液体はシリコンオイルを使用した。粘度は 100 cP~100,000 cP の範囲で変化させた。測定結果を図 10 に示す。図 10 より、100 cP~100,000 cP の範囲で接触検知が可能であることが確認された。



(a) 概略図

(b) 試作機

図 8 改良されたニードル振動機構



(a) 全体図 (b) 共振周波数付近
 図9 改良されたニードル振動機構の周波数特性

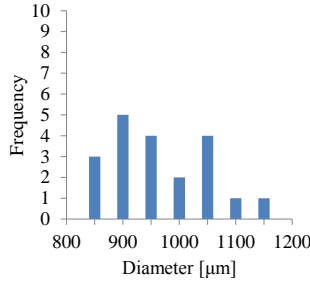


図9 改良されたニードル振動機構の周波数特性

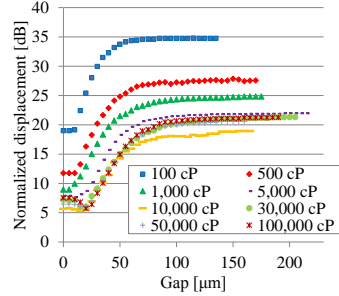
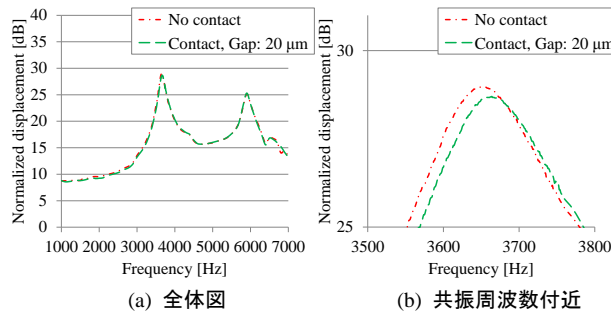


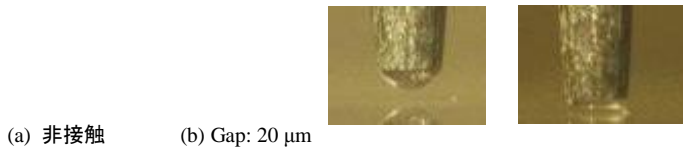
図10 液体の粘度の違いによる塗布ギャップとニードル振動変位の関係

5.2 ニードル先端直径 100 μm における振動特性

これまでの実験では、直径 500 μm のニードルを使用してきた。そこで、従来の微量液滴塗布機構で用いられている先端直径 100 μm のニードルを使用して、周波数特性の測定を行った。このとき、圧電素子に 4 V_{p-p} を印加した。試料液体は粘度 30,000 cP のシリコンオイルを使用した。測定結果を図 11 に示す。また、図 12 にニードル先端の液滴を示す。3.6 kHz 付近において、ニードル振動に依存する共振が確認された。ニードル先端の液滴が塗布面に接触・非接触することによって共振周波数、ニードル振動変位に変化が生じた。よって、ニードル先端直径が 100 μm



(a) 全体図 (b) 共振周波数付近
 図11 先端直径 100 μm のニードルによるニードル振動機構の周波数特性



(a) 非接触 (b) Gap: 20 μm
 図12 先端直径 100 μm のニードルに付着した液滴

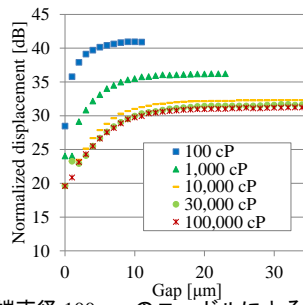


図 13 先端直径 100 μm のニードルによる塗布ギャップとニードル振動変位の関係

の場合においても、接触検知は可能である。

また、液体の粘度の違いによる塗布ギャップとニードル振動変位の関係を測定した。測定結果を図 13 に示す。ニードル先端直径が 100 μm の場合においても、100 cP~100,000 cP の範囲で接触検知が可能であることが確認された。

5.3 ニードル振動を用いた液滴塗布量の評価

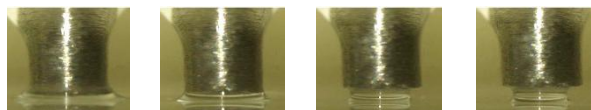
これまでの実験から、ニードル振動を用いた接触検知が有用であることが確認された。そこで、ニードル振動の有無による液滴塗布量のばらつきを評価した。試料液体は粘度 5,000 cP のシリコンオイルを使用した。

5.3.1 ニードル先端直径 500 μm における液滴塗布

まず、塗布ギャップの違いによる液滴塗布量の測定を行った。塗布ギャップを図 14(a)のように 0 μm 、50 μm 、100 μm 、ファーストコンタクトの 4 パターンで塗布を行った。塗布した液滴を図 14(b)に示す。各塗布ギャップについて 5 回ずつ塗布を行い、計 20 回の塗布を行った。20 回の塗布による塗布直径のヒストグラムを図 14(c)に示す。

次に、ニードル振動を用いた液滴塗布を行った。圧電素子の駆動周波数を 3480 Hz、印加電圧を 5 V_{p-p} にしたとき、ひずみゲージの出力値は、約 2.6 V_{p-p} だった。自動 Z ステージを 5 μm ずつ下降し、ひずみゲージの出力値が約 1.4 V_{p-p} 以下になった瞬間に、ステージの下降を止めた。このときのニードル先端の液滴を図 15(a)に、塗布した液滴を図 15(b)に示す。計 20 回の塗布による塗布直径のヒストグラムを図 15(c)に示す。

図 14(c)と図 15(c)の比較より、ニードル振動を用いることで、塗布量のばらつきを低減させることができた。



(a) ニードル先端の液滴:

左から塗布ギャップ 0 μm 、50 μm 、100 μm 、120 μm

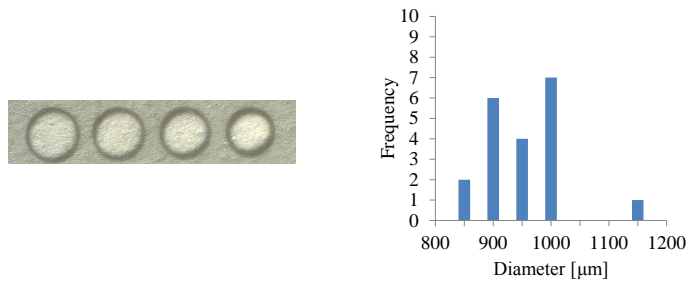


(b) 塗布した液滴 (c) 塗布直径のばらつき

図 14 先端直径 500 μm のニードルを用いた塗布ギャップの違いによる液滴塗布



(a) ニードル振動によるニードル先端の止り止め



(b) 塗布した液滴 (c) 塗布直径のばらつき

図 15 先端直径 500 μm のニードルによる
ニードル振動を用いた場合の液滴塗布

5.3.2 ニードル先端直径 100 μm における液滴塗布

同様に、先端直径 100 μm のニードルを用いて、塗布ギャップの違いによる液滴塗布量の測定を行った。塗布ギャップを図 16(a)のように 0 μm、10 μm、20 μm、ファーストコンタクトの 4 パターンで塗布を行った。塗布した液滴を図 16(b)に示す。各塗布ギャップについて 5 回ずつ塗布を行い、計 20 回の塗布を行った。計 20 回の塗布による塗布直径のヒストグラムを図 16(c)に示す。

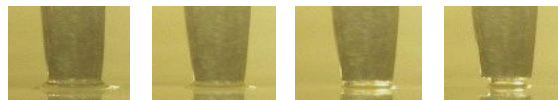
次に、ニードル振動を用いた液滴塗布を行った。圧電素子の駆動周波数を 3590 Hz、印加電圧を 0.8 V_{p-p} にしたとき、ひずみゲージの出力値は、約 1.7 V_{p-p} だった。自動 Z ステージを 1 μm ずつ下降し、ひずみゲージの出力値が約 1.1 V_{p-p} 以下になった瞬間に、ステージの下降を止めた。

このときのニードル先端の液滴を図 17(a)に、塗布した液滴を図 17(b)に示す。計 20 回の塗布による塗布直径のヒストグラムを図 17(c)に示す。

図 16(c)と図 17(c)の比較より、ニードル振動を用いることで、ニードル先端直径が 100 μm の場合においても、塗布量のばらつきは低減させることができた。

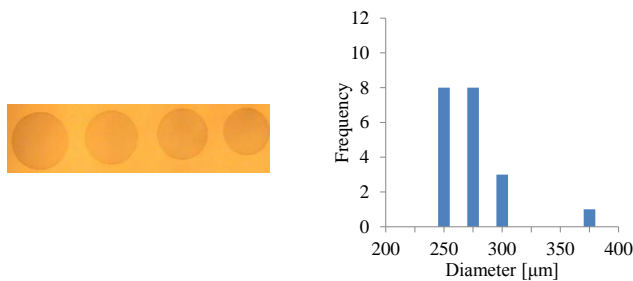
6. 結論

本研究では、微量液滴塗布機構における塗布ギャップのばらつきを問題点として挙げ、ニードル振動を用いて、ニードル先端の液滴と塗布面との接触・非接触を検知する手法を提案した。実験結果からニードル振動を用いた接触検



(a) ニードル先端の液滴:

左から塗布ギャップ 0 μm、10 μm、20 μm、30 μm

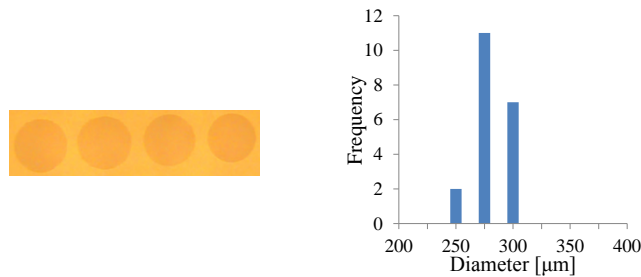


(b) 塗布した液滴 (c) 塗布直径のばらつき

図 16 先端直径 100 μm のニードルを用いた
塗布ギャップの違いによる液滴塗布



(a) ニードル振動によるニードル先端の寸止め



(b) 塗布した液滴 (c) 塗布直径のばらつき

図 17 先端直径 100 μm のニードルによる
ニードル振動を用いた場合の液滴塗布

知が可能であることが確認された。さらに、ニードル振動を用いることで、液滴塗布量の制御が可能であることを示した。今後は、ひずみゲージの出力値をフィードバックして、自動 Z ステージを制御し、液滴塗布量の制御を自動化する必要がある。

謝辞

本プロジェクトを進める上で、多大なご指導を頂きました平田慎之介助教、青山尚之教授、金森哉吏准教授には深く感謝申し上げます。

また、実験を進める上で必要な備品、ASPEN2011 の参加費に関して、カデット教育学生プロジェクトの支援を受けましたことに、感謝申し上げます。

最後に、本プロジェクトを進める上で、ご協力を頂いた入江優香氏、重田琢也氏、岸万里恵氏、篠崎高彰氏、Pichaya Kietkaroon 氏に感謝申し上げます。

参考文献

- [1] Kazuki Hirose, Yuuka Irie, Shinnosuke Hirata and Hisayuki Aoyama, “Micro Gap Measurement by Vibration Mode for Needle-type dispenser”, The 2011 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, Beijing Empark Grand Hotel,

4.9 Automatic surface investigation by micro robot with vision based navigation system.

Project leader: Mr. Montree Pakkratoke, Department of Mechanical engineering and Intelligent systems, Doctoral course 3rd years, ID: 0944005, Prof. Aoyama's laboratory.

Members:

1) Ms. Ruchaneeya Leepila, Department of Information and communications, Doctoral course 3rd years, ID: 0840008, Prof. Kishi's laboratory.

2) Mr. Hiroaki SHIRATORI, Department of Mechanical engineering and Intelligent systems, Master course 1st year, ID: 1132036, Prof. Aoyama's laboratory.

3) Mr. Satoshi WATANABE, Department of Mechanical engineering and Intelligent systems, Master course 1th years, ID: 1132089, Prof. Kanamori's laboratory.

4) Mr. Nguyen Ngoc Tu, Department of Mechanical engineering and Intelligent systems, Bachelor course 4th years, ID: 0614043, Prof. Aoyama's laboratory.

5) Mr. Natee THONG-UN, Department of Information Processing, Tokyo Institute of technology, Doctoral course 3rd years, ID: 11D55342, Prof. Kurosawa's laboratory.

Supervisor: Professor Aoyama Hisayuki and Professor Dr.Chisato Kanamori

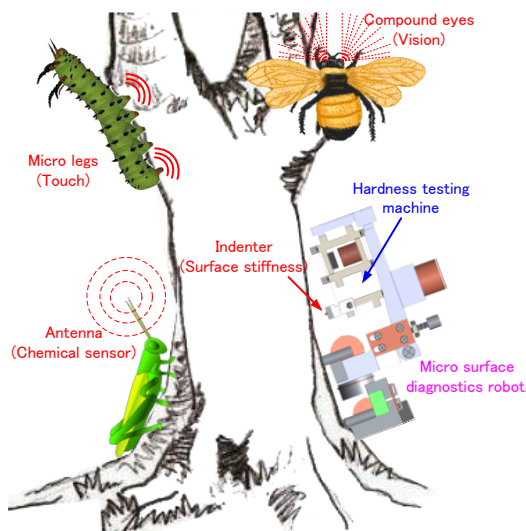


Fig. 1. Micro diagnostics robot with hardness and stiffness testing for

Abstract—The development of the instrumented indentation testing robot for bio materials with micro surface hardness and stiffness test is described. This micro surface measurement system is composed of the piezo-driven micro-robot with the indenter that can move to the measurement area precisely step by step with 1 μm per step on a metal plate and camera base coordinate measurement instruments. The position of the small robot can be controlled precisely by vision base navigation system. With the help of image processing technique, the coordination of the small robot can be identified precisely within $\pm 10 \mu\text{m}$ resolution.

Since the performance of micro hardness sensing is compared with the hardness standard block to certify its ability, the sensing head is implemented on a micro-robot. In the experiment results, the elasticity investigation with a human tooth is successfully checked by the indentation load-depth characteristics.

INTRODUCTION

Most of the insect species, like caterpillars or grasshopper are plants eaters. How can they find the right plants for eat? The answer is they have such kind of sense organs or sensory unit on their body. That allows them to see, smell, taste, hear and touch their environment. At the first, the compound eyes (ommatia) allow the insect to see in wide angle of view its function of searching for the green plant. The duo antennae (feelers) on insect head are using for smell, taste, detect sound and air movements. After land on target plants, the mechanoreceptors such as tactile receptors on their legs can detect movements, vibrations or other mechanical disturbances. Since these all sense organs of insect act like a sensor and transducers, to convert mechanical, chemical, and physical properties of their environment to electrical signal for their sensory neurons in their brain. These feedback signals allow insects to finding food or even avoiding dangerous conditions or predators. On the other hand if we want to select a material for an engineering application, a primary concern is to ensure that its properties are appropriate for the operation conditions. Just like the tactile receptors on insect legs, the hardness testing can determine strength of material under test. It has been widely used for nearly 100 years, due to the indentations are small and never destroy or effect to surface quality of material under test so that the hardness test are considered to be non-destructive test method. However, recently the size of materials and machined components are keeping decreasingly due to high density with down-sizing trends, meanwhile the region of bio material surface analysis is increasingly interesting. In term of traditional hardness testing methods, the indentation depth or the dimension size of the indenter imprint are used for calculate the hardness value. The accuracy of hardness value is depending on a measuring device. For bio or micro scale materials, the application force of hardness testing should be very low due to the stiffness of these materials are very low. So the traditional hardness testing method is difficult to obtain good accuracy of material properties. For this reason, the instrumented indentation testing is becoming very important for determining the mechanical properties of such bio materials and materials on the micro scales. The instrumented indentation testing method is similar to the traditional hardness test in that pressing an indenter of known geometry and mechanical properties under pre-defined conditions into the test material. It can provide a continuous record of the variation of a testing force as a function of the indentation depth of the indenter into the specimen, the slope of unload curve has commonly been used to calculate the elastic modulus [1, 2]. In order to achieve such micro hardness test, the loading force of the indenter should be precisely applied to the material without any shock or vibrations. There are a number of mechanisms and methods for a nano and micro range force generator such as applying force by

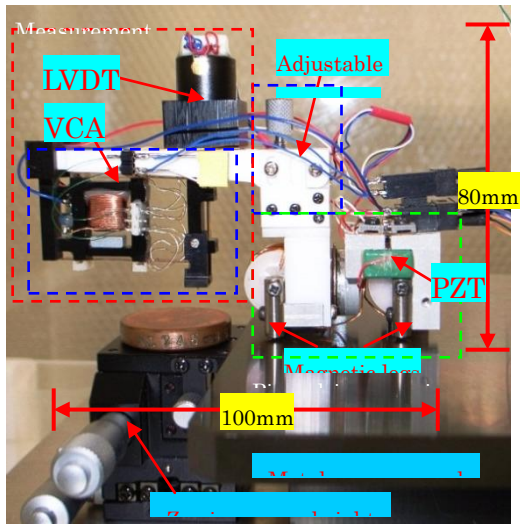


Fig. 2. The prototype of micro hardness investigator robot.

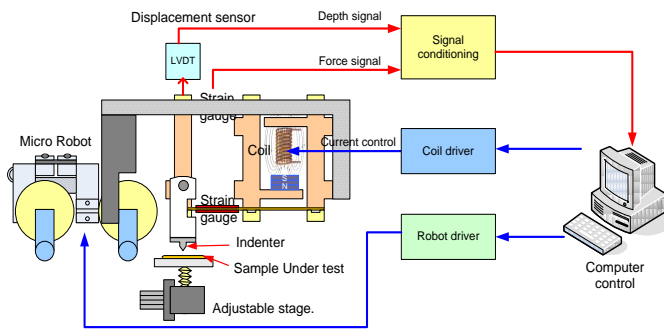


Fig. 3. Control block diagram of the micro hardness testing robot.

using a coil of wire were inserted into a cylindrical slot in a permanent magnet [3], electrostatic force [4], a spring method [5, 6]. We have been developing a new unique surface stiffness and hardness investigation system with insect mimics as shown in Fig.1. The down-sized instrumentation design micro hardness and stiffness measuring robot with the position controlled by multi vision images navigation is presented. Thus, the primary goal will be employed this measurement system to investigate a hardness/stiffness on a micro parts/BIO sample inside a special chamber with high precision position controlled.

This paper is organized as follows. Section 2 describes the combination of a micro-robot with micro surface stiffness/hardness measurement system. Section 3 introduces the robot position control using vision base navigation system, including an accuracy and repeatability of this navigation system. Section 4 presents the performance of the IIT robot via experiments on a human tooth inside a specified measurement area. The tooth surface stiffness characteristic can be identified by a series of indentation load-depth along the designed robot path. Finally, section 5 presents a research conclusion.

MICRO-ROBOT WITH SMALL FORCE INDENTER

The hardness and stiffness measurement robot, i.e., the combination of a piezo-driven micro-robot and the compact IIT hardness detecting mechanism is shown in Fig. 2,. The IIT measurement mechanism composes of the micro force generator and the LVDT displacement sensor. The micro force generator unit is made up from a voice coil actuator (VCA) technique supported by parallel leaf spring mechanism [8, 9]. There is a parallel mechanism force sensing structure embeds with four strain gauges on both of parallel spring is attached into an actuator body. Finally, at the end of pressure plate the micro indenter is attached. In operation, this micro actuator can generate displacement by supplying electric current to VCA. Then, the sensing part moves micro indenter down to make an indentation on the sample under test. When the indenter touches a sample surface, the bending action of sensing part can be interpreted as an indenting force. There is a LVDT displacement sensor placed on the top of the sensing part in the same direction as moving axis of

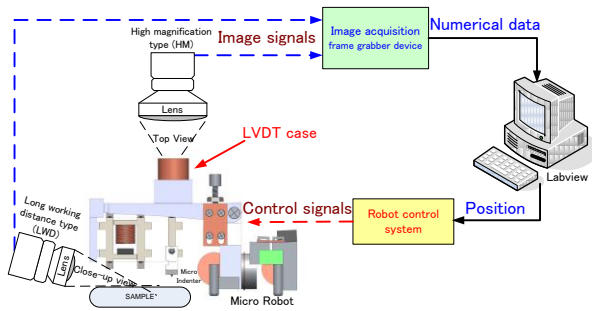


Fig. 4. Camera vision based coordinate system for robot

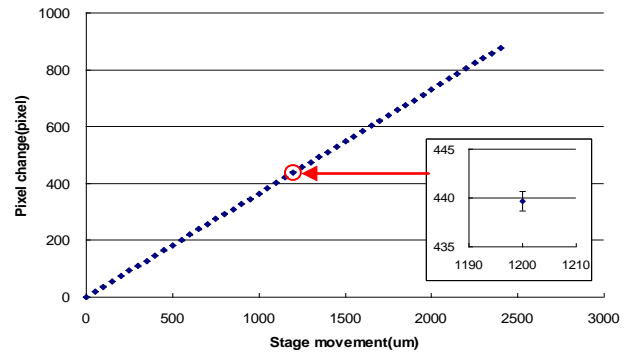


Fig. 6. Comparison results between actual movement of a marking and

a micro indenter can be monitored the indenter depth during whole dwell time. When testing force and indentation depth are combined together, the load-depth characteristics of an indentation can be obtained.

Next is the small footprint piezo-driven micro-robot[7], its dimension size is about 30 mm in width, 50 mm in length and 30 mm in height. The small robot consists of two front and rear electromagnetic legs connected with two piezo-actuators for providing the accurate inchworm locomotion on metal ground surface. The movement of a micro-robot can be controlled precisely by supplying the specified waveform to piezo-electric elements and the electric current to electromagnetic legs. Its locomotion movement is archived 1 μm per step for forward directions. Robot has good motion repeatability, although it is managed without any guidance or feedback control.

Finally, the IIT measurement mechanism is mounted onto the piezo-driven micro-robot using an adjustable cantilever mechanism. Such mechanism allows the control of an angle between indenter tip and surface under test precisely adjustment. Thus, the target sample to be measured is set on the height adjustable z-stage and the initial gap between the indenter tip and the surface of sample are positioned precisely. The control diagram of this system is shown in Fig. 3., the computer with several data acquisition (DAQ) boards are utilized to manage the hardness and stiffness testing process.

However, since the kinematic model of this robot is similar to the mobility of a car, which is very difficult to maneuver in limited space. The non-holonomic nature of the car-like robot is based on the assumption that robot wheels roll without slipping. Meanwhile our robot is carrying a hardness measurement mechanism, in addition its movement relies on the magnetic legs which walking on a metal plate. Therefore, IIT robot leads to the slipping movement inevitably. For these reasons a robot position tracking and control are very important to maneuver a robot to measurement target precisely. The position tracking system and robot path design are described in next section.

VISION BASE NAVIGATION SYSTEM

When the insect size robot is doing an indentation on the sample under test, the behaviour of the indentations is also monitored by the microscope. To identify the indentation position on target, the robot need the position feedback signal to archived high precision position control. In this section we described the robot position control system by using image processing technique. The block diagram of vision control system as shown in Fig. 4. There are two type of usb microscopes are used in this tracking system. One of them has high magnification lens (HM) and another has long working distance range lens (LWD) for top and side view respectively. The first HM type is setup for grab image from top view of the robot. This camera is focused on the red marking that placed on the LVDT case which is the same position with the indenter rod. The second camera LWD type is placed on the right side of a robot, for acquire the image of the indenter tip.

An image processing technique used in this tracking system is the IMAQ Vision from National Instruments corporations (NI). The IMAQ Vision software provides functionalities for machine vision and scientific image processing. Many features for example, gauging and measurement, edge detection and pattern matching etc. are available. The automatic colour pattern matching is used in this paper, thus a movement of small robot can be tracked and controlled. The colour pattern matching is able to accurately locate the object that the size of which is varying and rotating within 360°[10]. The colour pattern matching is composed of two important parameters, i.e., a marking and a template. Built up the template pattern of the marking, such template can be scanned in the image to get the matching position for shape and colour sensitivity. The matching score can be determined by a comparison of color and pattern between a marking and its template. Such a score of the match is related how accurate of the pattern model matches of the marking founded. The matched pattern can be marked and the position of a mark can be identified a coordinate pixel from the whole picture. Such coordination can be utilized as a representative of the marking position.

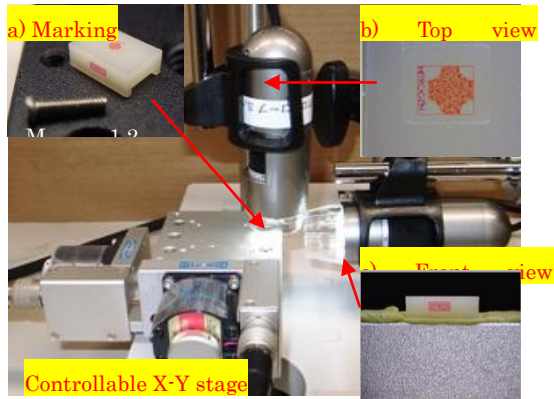


Fig. 5. Experiment setup for calibration of pixel change due to actual object movement. a) Marking, b) image from top view camera and c)

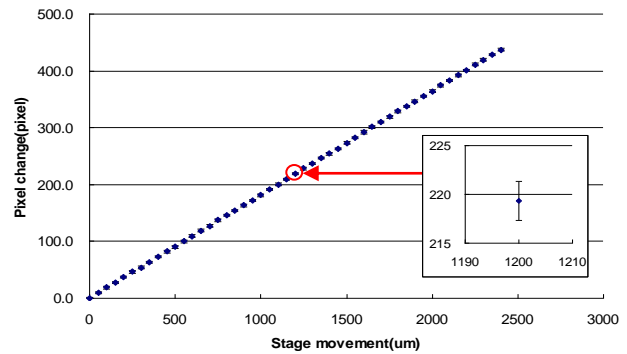


Fig. 7. Comparison results between actual movement of a marking and pixel

To ensure that the accuracy and repeatability of a vision tracking system are capable to control an IIT robot, an experiment with precision controlled X-Y stage is done as the experiment setup shown in Fig. 5. The custom made marking is placed on the X-Y stage, with two cameras, one focusing on the top (Fig. 5, b) and the other focus on the side (Fig. 5, c) of the marking. The marking that we used is the red plus shape for top view and square red shape for side view (Fig. 5, a). The focusing length of top view camera is fixed at 2.5 μm per 1 pixel. And for side view camera focus length also fix at 5 μm per 1 pixel. These two cameras has the same CCD effective range at 1280X1024 pixels, which means the operation range from this vision system is around 3.2X2.3 mm.. By moving the stage with 10 μm per step up from 0 to 2.5mm, then compare the pixel read out from software with the actual stage movement. The experiment results as shown in Fig. 6 and 7, for top view and side view camera respectively. It is obviously shown that the accuracy of this technique good within ± 1 and ± 2 pixels, it is around $\pm 5 \mu\text{m}$ and $\pm 10 \mu\text{m}$ for top view and side view respectively.

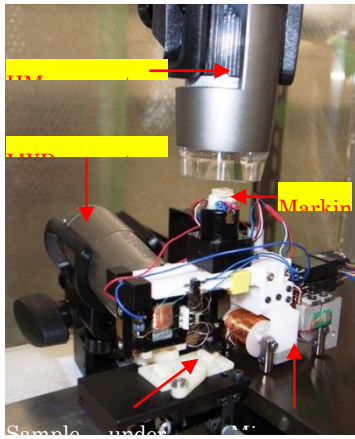


Fig. 8. The vision navigation system of tiny robot with two

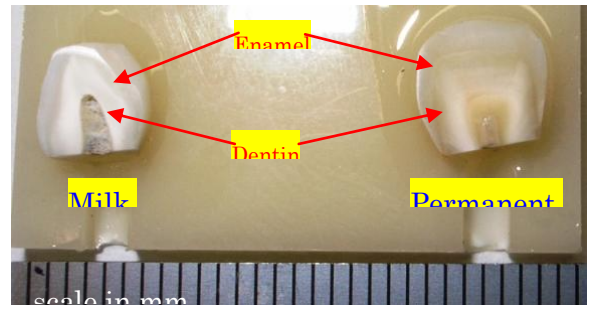


Fig. 10. two incisors teeth samples (milk teeth and permanent teeth).

The teeth were placed on substrate by epoxy composite glue with



Fig. 9. The tracking software, (left) top view camera focusing on the marking on the top of LVDT case, (right) side view camera focussing on the tip of indenter.

After we checked the accuracy of tracking system, then we implemented it into the small robot navigation as shown in Fig. 8, and the camera view point as shown in Fig. 9. When in actual the operation, the robot will move within the view point operation range of the top view camera (3.2X2.3 mm). At this moment although the tracking system is in the manual state not in full automatic control yet, but the combination between two view points can benefit for high precision position tracking. The full automatic tracking system will be the next goal.

EXPERIMENT ON BIO MATERIALS

To present the performance of our micro testing system with micro hardness test, surface stiffness investigation has done on several BIO materials [11]. In this experiment, we investigated the sample of the human teeth. The teeth samples were collected from the different age human source. By scanning over the sample surface, the distribution of stiffness/hardness with the dentine and the enamel region can be checked by our micro-robot testing.

Before make an experiment on bio samples to be realized and comparable with ISO standard, the machine needs verification. So, the certified hardness blocks will be the first materials for an investigation. In the experimental, 30HV and 100HV certified hardness blocks product from Yamamoto scientific tool laboratory are used as unit under test. By making a series of indentations with 15mN testing force on the surfaces of both hardness blocks, the elasticity of blocks were investigated by the indentation load-depth curves.

After the verification of the machine has done, the surface stiffness with human teeth has been measured. The human teeth are composed of four important parts, enamel, dentine, cementum and pulp. The Enamel is the hardest tissue in the human body and even stronger than bone. It is composed of inorganic substances (96%) and organic substances (4%). The next is the Dentine, its layer is similar to the bone, it composed of 35% organic and 65% inorganic matter. Inside the dentine the Pulp occupies at the center, it consists of soft connective tissue and blood vessels. Finally, the Cementum, it is a mineralized dental tissue which covers the roots of the tooth [12]. There are many researches about the tooth hardness investigations; due to the study of teeth hardness is very important for understanding, for example, how toughness of tooth is change due to age and sickness. The hardness of human tooth has been explored by many of methods including indentation hardness [13-15], scratch hardness [16], abrasion test [17] and the famous nano-indentation hardness [13]. From those of methods, the average hardness value of enamel is around 250 to 360 HV and for dentin is in the range from 30 to 60 HV [18]. It has founded that the hardness values, of tooth decrease from the outer surface to the enamel-dentin junction until inner of dentine [19, 20]. However, some other studies [13, 21] have

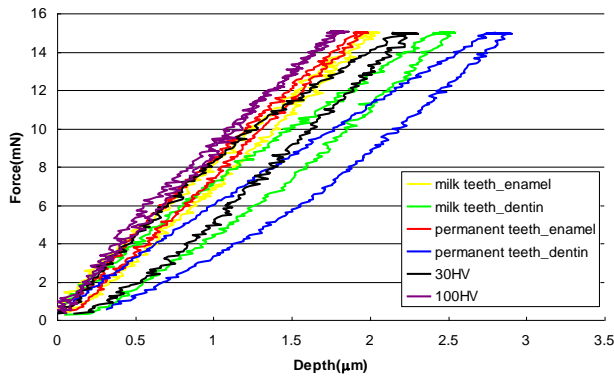


Fig. 11. Indentation load-depth curves from dentin and enamel of

found only slight indications that the enamel is harder in the outer surface than in the enamel-dentin junction, but the difference were less than the standard deviation. Thus the uniformity of teeth is dominated, rather than the experiment area.

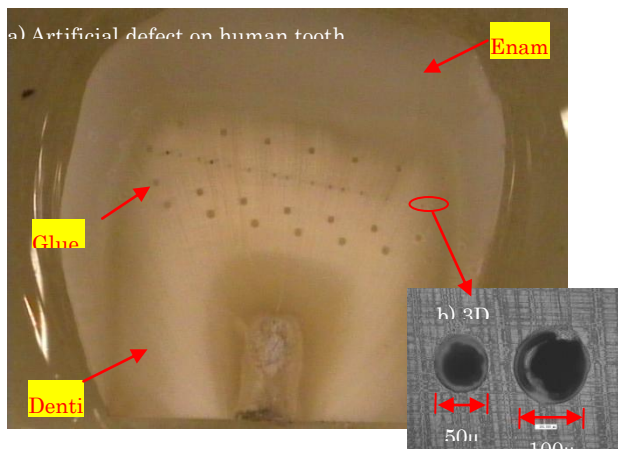


Fig. 12. a) The artificial defect on human tooth as a representative of unhealthy tooth made by 50 µm and 100 µm drill bits with 200 µm in

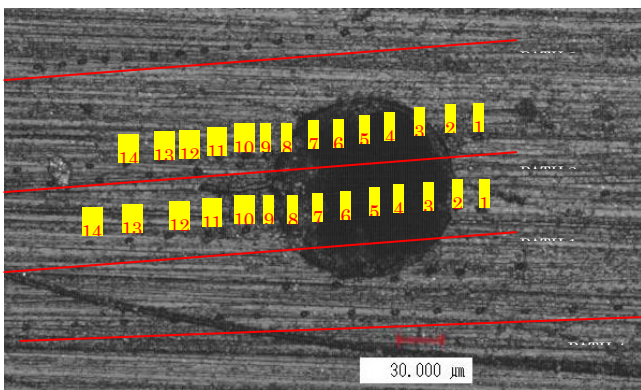


Fig. 13. The series of indentations scan pass through the glue hole on

In the experiment, two ages of incisors tooth were used as a sample under test. The teeth were cut vertically and placed both of them on the substrate with epoxy composite glue as shown Fig. 10. One of the influence factors that affect the hardness measurement is the specimen preparation. If there is any tilt or bumpy surface, it can cause the indentation problem. So the teeth were polished by silicon carbide paper No. 2000, in an increasingly way, with water. In transverse samples, the series of indentations were done from the enamel outer surface to dentin inner surface, going through enamel-dentin junction then dentin inner and enamel outer. The indentation force is 15mN with 10s holding time at the maximum force.

From the experiment results load-depth characteristic on each indentation area compare with certified hardness blocks is shown in Fig. 11. We can conclude that, the hardest zone is the enamel of permanent teeth, it is nearly 100HV. And the softest area is the dentine of permanent teeth, because the indentation depth is lowest from group. Both section of milk teeth hardness is stay close together and placed between enamel and dentine of permanent teeth which is quite different each other. It may because of the milk tooth life time is just 5-6 years old so each layer is almost the same stiffness, meanwhile the permanent life time is more than 50 years, so it apparently different for each area.

At this moment, our robot can show its performance to make a surface stiffness investigation on bio material decently. However the ability of vision navigation system is not present yet, due to the indentations are only along the one line robot path. Next experiment we built up the artificial bio sample to be representative of unhealthy tooth. By using the 50 µm and 100 µm drill bits, the series of holes on both enamel and dentine regions of permanent tooth has been made with 200 µm deep from the tooth surface (Fig. 12). After that insert the elastomeric glue in all of the holes, this glue is very soft and high elasticity. Thus when make an indentation pass through the glue hole, the indentation load-depth must be different from normal tooth surface. However as we mention before, the vision of sample during an indentation test is covered by the robot itself. The only way to control the robot path to be scan on the glue hole is the vision navigation system.

In this experiment, series of indentations with 30 µm and 15 µm separation on normal tooth surface and on glue surface respectively were done with 15 mN testing force, the close up picture around the experiment area as shown in Fig. 13. The 3D plots of indentation through the glue hole on human tooth is shown in Fig. 14. The micro-robot can give precise surface scan check with accurate 1 µm separation on the indentations along the robot path. Along the first indentation path there are some strange behaviour of the load-depth curves, obviously shows that the effect of a glue hole.

Then the robot was control to make the indentation in the second path start at the same position of position 1 on the first part and shift right 60 μm , after that continue in third and forth path respectively.

The experiment results of load-depth characteristic of the artificial unhealthy tooth are summarized in Fig. 14. Here the different degree of hardness on the different surface characteristic can be checked in this experiment and then the several load-depth curves can be given. It is clear that the vision base navigation of this robot can control the robot path precisely, so that it can check the target sample. These results indicate that this system can profile the micro surface stiffness to diagnose such bio samples including the inside defect identification.

CONCLUSION

The first prototype of micro surface testing robot with the combination of vision base navigation system has been constructed and described. Here the simple image processing technique can provide the benefit of micro positioning surface scan task. In the experimental, several results have shown the ability of the newly developed small robot with the micro force generator and the indenter that can investigate

the microscopic elastic behaviours of unhealthy human tooth by vision base position controlled. Thus this machine is available as the smallest micro hardness testing machine in the world.

In the future, the improvement with the hardness measurement performance will be conducted to verify with standard hardness testing machine. Furthermore the automatic small robot path control with visual coordinate measuring system will be the next goal.

ACKNOWLEDGMENT

I would like to express my deep and sincere gratitude to my supervisor, Professor Dr. Aoyama Hisayuki and Professor Dr.Kanamori Chisato. Their wide knowledge and logical way of thinking have been a great value for us. Their understanding, encouraging and personal guidance have provided a good basis for this research. I owe my most sincere gratitude to “Cadet project program”, who gave me the opportunity to use facilities in S.V.B.L building at The University of Electro-Communications and gave me a financial support budget to provide sensor and equipment use in this research.

And I wish to thank all members, Ms. Ruchaneeya Leepila, Mr. Hiroaki SHIRATORI, Mr. Satoshi WATANABE, Mr. Nguyen Ngoc Tu and Mr. Natee THONG-UN for their cooperation.

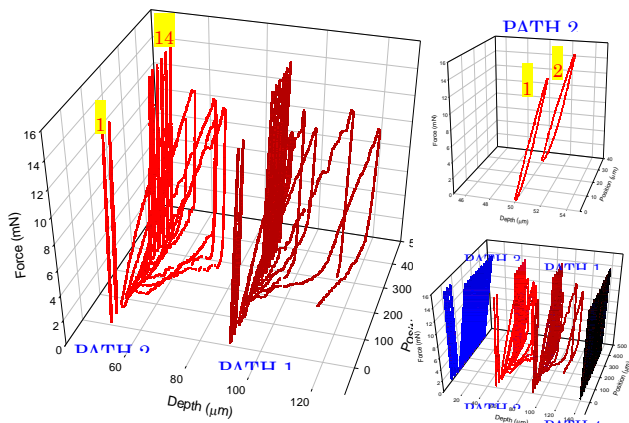


Fig. 14. 3D indentation load-depth curves present the problem area on human tooth with very deep indentation depth

REFERENCES

Pethica, J.B., Ion implantation into metals, Proceedings of the 3rd International Conference on Modification of Surface Properties of Metals by Ion Implantation, held at UMIST, Manchester, p. 147, (1981).

E.T. Lilleodden, W. Bonin, J. Nelson, J.T. Wyrobek and W.W. Gerberich, “In situ imaging of μN load indents into GaAs” Journal of Materials Research, Vol. 10, issue 09, p. 2162-2165, (1995).

- Burnham, N.A. and Colton, R.J., *Journal of Vacuum Science and Technology A*, Vol. 7, No. 4, p. 2906, (1989).
- T. J. Bell, A. Bendeli, J. S. Field, M. V. Swain, and E. G. Thwaite, "The determination of surface plastic and elastic properties by ultra micro-indentation", *Metrologia* 28 (6), 463-469 (1992).
- CSIRO Telecommunication & Industrial Physics, Lindfield NSW 2070 Australia, "Ultra-micro indentation system(UMIS)", unpublished.
- Hysitron company, "TI-series Tribolndenter", unblished.
- Fuchiwaki O and Aoyama H, "Piezo based micro robots for microscope instrument.", *Proceedings of the 6th international conference on mechatronics technology*, pp. 499–504.
- Montree P., Natchapon L., Aoyama H., "Combination of VCA based Micro Force Generator and Micro Robot for Micro Hardness and Stiffness Test", *SICE Annual conference 2010*, p. 3186, (2010).
- Montree P., Natchapon L., Aoyama H. and Tassanai S., "Compact micro force generator with tandem leaf spring and VCA on micro robot for micro hardness and stiffness test", *IMEKO2010 TC3, TC5 and TC22 conferences.*, 2010, pp. 355-358.
- IMAQ Vision concept manual, National Instruments, June 2003 Ed.
- Montree P., SMG Iroshana, Chisato K. and Aoyama H., "Development of micro hardness and stiffness testing system by micro robot for biomaterials", *Proceeding of 4th AISM2010*, 2010, pp. 206-212.
- James K. Avery, *Oral development and history* 3rd ed., Thieme medical publishers Inc., 2002, pp. 72-73
- Craig, R.G.; Peyton, F.A., "Microhardness Studies of Intact Surface Enamel", *J. Dent. Res.*, v. 37, p.661- 668, 1958.
- Caldwell, R.C.; Muntz, M.L.; Gilmore, R.; Pigman, W., "Microhardness Studies of Intact Surface Enamel", *J. Dent. Res.*, v. 36, p. 732-737, 1957.
- Sweeney, W.T., "The KNOOP Indentation hardness instrument as a tool in dental research", *J. Dent. Res.*, v. 21, p. 303-310, 1942.
- Victor P. Totah, "Increase in Hardness of Dentin On Drying", *J. Dent. Res.*, v. 21, p. 99-104, 1942.
- F. Taketa, H. S. Perdue, W. F. O'Rourke, H. W. Sievert, and P. H. Philips, "An abrasion method for determining the wear resistance of teeth I. Description of apparatus and variables", *J. Dent. Res.*, v. 36, 1957, pp. 739-742.
- Meredith, N.; Sherriff, M.; Setchell, D.J.; Swanson, S.A.V., "Measurement of the microhardness and young's modulus of human enamel and dentine using an indentation technique", *Archs. Oral Biol.* v. 41, 1996, pp. 539-545.
- Robinson, C.; Weatherell, J.A.; Hallsworth, A.S., "Distribution of magnesium in mature human enamel", *Caries Res.*, v. 15, 1981, pp. 70-77
- Kodaka, T.; Debari, K.; Yamada, M.; Kuroiwa, M., "Correlation between microhardness and mineral content in sound human enamel", *Caries Res.*, v. 26, 1992, pp. 139-141
- Maria D.P., Gutierrez-Salazar, Jorge R.G., "Microhardness and chemical composition of human tooth", *Mat. Res.*, v. 6, no. 3, 2003, pp. 367-373

5. ショートトレーニング

5.1 Global Leadership Training

5.1.1 はじめに

昨今地球規模で Sustainable Manufacturing(=地球環境を保全しつつ持続が可能な産業や開発)が環境、経済、政治に亘り、大きく世界的に注目されていることなどから、本年度はこの分野の専門家を招き、2回にわたり、英語による講演と演習を実施した。サステナブル・ディベロップメントが求められるようになった背景には、大量生産・大量消費・大量廃棄型社会による公害問題・環境問題への直面や、社会問題に対する認識の高まり等から、環境との共生、企業の社会的責任等が次第に求められるようになってきたことがあげられ、近年多くの国際会議などで取り上げられている。

5.2.2 実施概要

題目を『サステナブルなものづくりシステムの設計と評価ショート・トレーニング』(Design and evaluation of sustainable “mono-dukuri (production)” system)とし、(独)産業技術総合研究所 先進製造プロセス研究部門システム機能設計研究グループ長三島望氏(工学博士)を講師として招き、2011年11月04日(金) および2011年11月11日(金)の5時限に東4号館-222教室にて講演を実施した。参加者数は留学生を含め延べ約20名であった。



図1 サステナブル・マニュファクチャリングの基本概念

5.2.3 講演概要

本講演では次の内容について論じられた。近年のものづくり・メカトロシステム開発現場でも Sustainable Manufacturing (=地球環境を保全しつつ持続が可能な産業や開発)重要視されている。震災

以降の節電などの必要性から、エネルギー効率の良いものづくりやそのためのシステムの開発が以前にも増して注目されている。特に生産・製造の分野では従来の工業的な観点だけでなく、自然エネルギー、人工的農業、バイオ技術なども積極的に取り込み、サービス工学、価値工学などの視点も取り入れた、新たなものづくりパラダイムが展開しつつある。そこで本ショートコースでは従来型のものづくりシステムにおける問題点を設計工学的な観点から抽出するとともに、Sustainable Manufacturing システムを構築するための設計・評価手法について事例とともに講演する。またケーススタディとして実際の生産システムを題材として生産性やエネルギー消費などとの経済的を計算し、従来型とは異なる思想から提案された小型モジュール型のものづくりシステムの設計方法を紹介する。

Day1[2011年11月04日(金)]:

In recent years, in developing manufacturing and mechatronics systems, "sustainable manufacturing" which means industry and development satisfy preservation of environment simultaneously, is strongly focused on. After the earthquake disaster on March 11th, the necessity of energy reduction requires to focus on energy efficiency issue more than before. Thus, in this short course, problems in conventional manufacturing technologies are pointed by design engineering approaches along with lecture on design and evaluation method to establish sustainable manufacturing systems.

On the first day, the concept and some examples of sustainable manufacturing technologies that have been developed in AIST and were named "minimal manufacturing" were introduced. Then, a new evaluation method for "minimalness" of products which was proposed by the lecturer's research group was explained. The method which is called "Total Performance Analysis (TPA) can be an useful tool to evaluate and design sustainable manufacturing technologies.

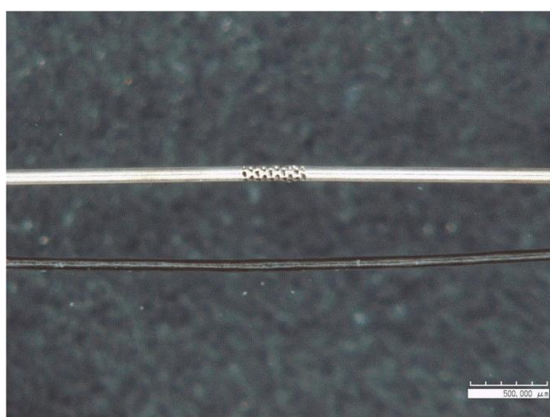
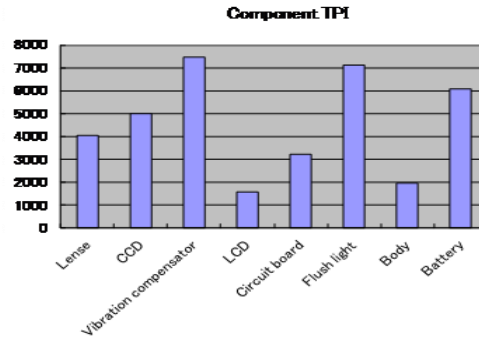


図2 Complex shape machining on a Ultra-thin tube



図3 Compact modular production system for MEMS device



Index	Value	Cost	Environmental impact	Improvement suggestions
Value engineering	○	○	×	△
LCA	×	×	◎	×
Eco-efficiency	△	×	◎	×
TPA	○	○	○	○

As for digital camera components, LCD and Body should be reused or recycled.

図 4 Features of TPA

図 5 Design suggestions by TPA

Day2 [2011 年 11 月 11 日(金)]:

On the second day, as a main topic of the lecture, the history of development of downsized and energy-efficient manufacturing systems has been explained, starting from "microfactory" which was prototyped in 1999 and continuing to "minimal fabrication of semi-conductors" which was proposed recently. Then, the application procedure and case studies of TPA which was introduced in the first day, to manufacturing systems and manufacturing processes were explained. Through the case study, the lecturer tried to show that such downsized and modular manufacturing system can be a solution to establish sustainable manufacturing. Using some extra time, another topic of the research group concerning design support of "eco-business" has been introduced briefly. Since eco-business can play a key role in establishing sustainable manufacturing, the research group is also trying to carry out a case-based approach.

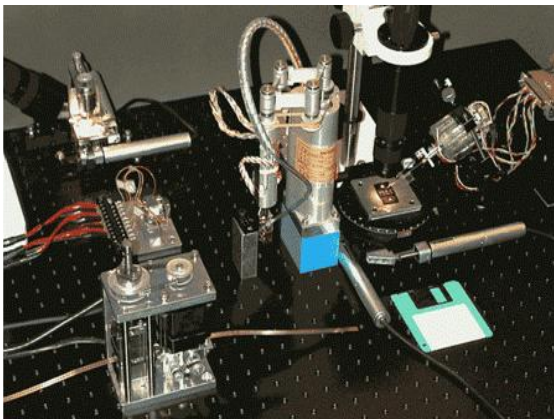


図 6 The first "Microfactory"



図 7 Minimal fabrication of semi-conductor

- 12 eco-business rules
 - Management of lifecycles
 - Expansion of the business scale
 - Reutilization of wastes / Use one more time
 - Utilization of knowledge and information
 - Linkage and cooperation among various industries
 - Combining various business values
 - Technological innovation
 - Outsourcing / Contracting for environmental loads
 - Servicizing
 - Timesharing
 - Management of hidden bottlenecks
 - Application of cleaner methods to satisfy customer needs

図 8 Twelve eco-business rules

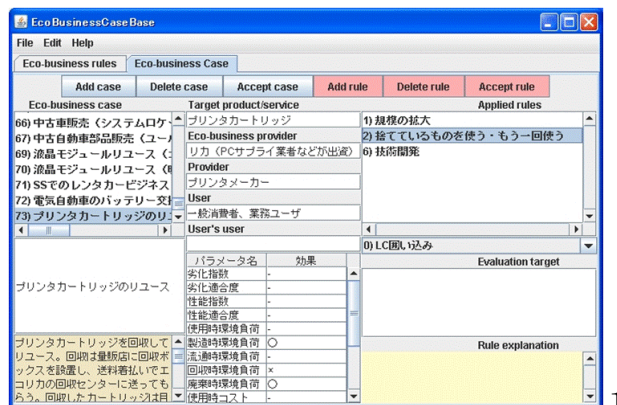


図 9 Eco-business case-base

5.2.4 まとめ

本ショートトレーニングでは通常の大学院の講義ではまだ取り上げられていない最近の世界的な話題として、Sustainable Manufacturing を取り上げ、専門家による英語による講演とケーススタディを行った。これに対し、活発な質疑応答がなされ、特に日本のものづくり技術や製造産業の将来のあり方について留学生を含めて議論がなされた。なお本講義の受講者には修了書が授与されている。

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

5.2.1 実施背景と目標

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、2009年度、2010年度、2011年度も引き続き機械加工トレーニングを実施した。

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

(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を行い、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：碓井）

実施期間 平成23年11月11日～12月14日

時間回数 90分×2回（1名）

参加者 4名（学部のロボメカ工房で同実習実施済の実習免除者なし）

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 5.2.1)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、学部生向けの特徴GP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

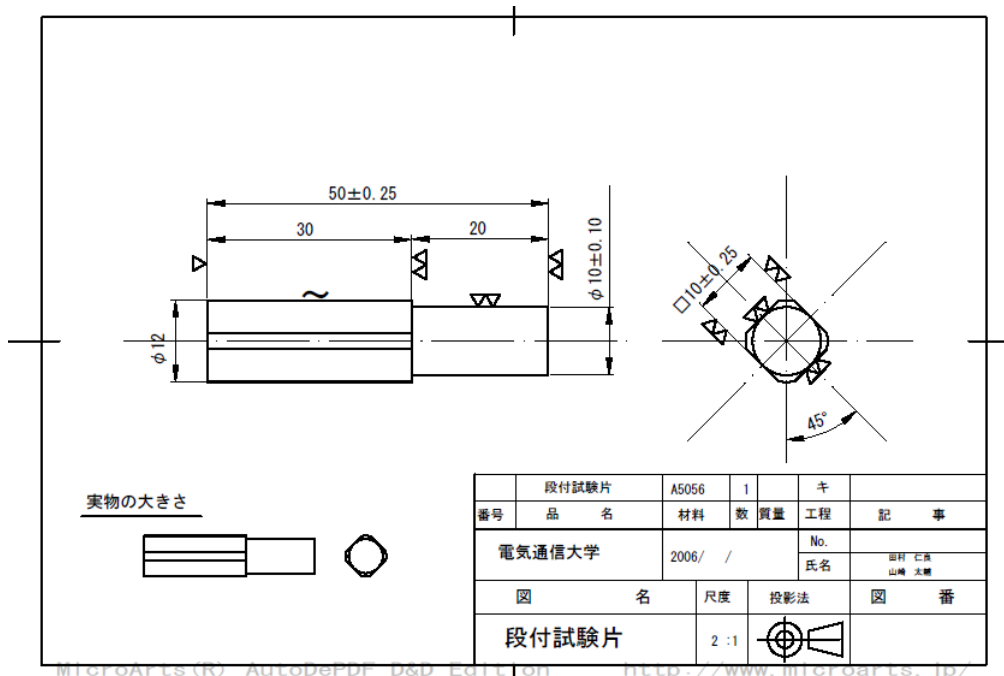


図 5.2.1 カデット教育機械加工実習初級課題：段付試験片

(3) 機械加工応用実習 (中級) (講師：碓井)

実施期間 実習：平成24年1月25日～3月30日

実習：自主製作課題とする。

時間回数 実習 180分×1回～3回 (1名)

参加者 2名

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 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ーすることを目的に、ミニ旋盤、卓上精密フライス盤やなどを使用、幾何公差を含む精密部品の製作を自主制作課題として製品を加工した。

使用機械等 ロボメカ工房の工作機械を使用

φ15リングゲージ

段付シャフト(A2017)

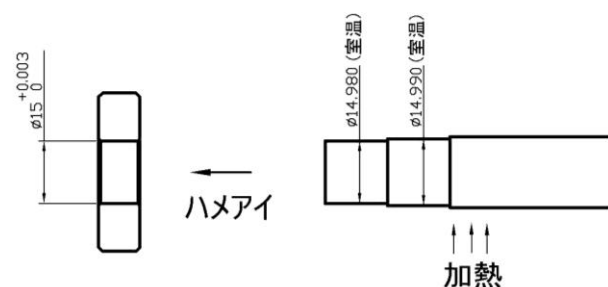


図 5.2.2 カデット教育機械加工実習1課題：リングゲージとシャフト

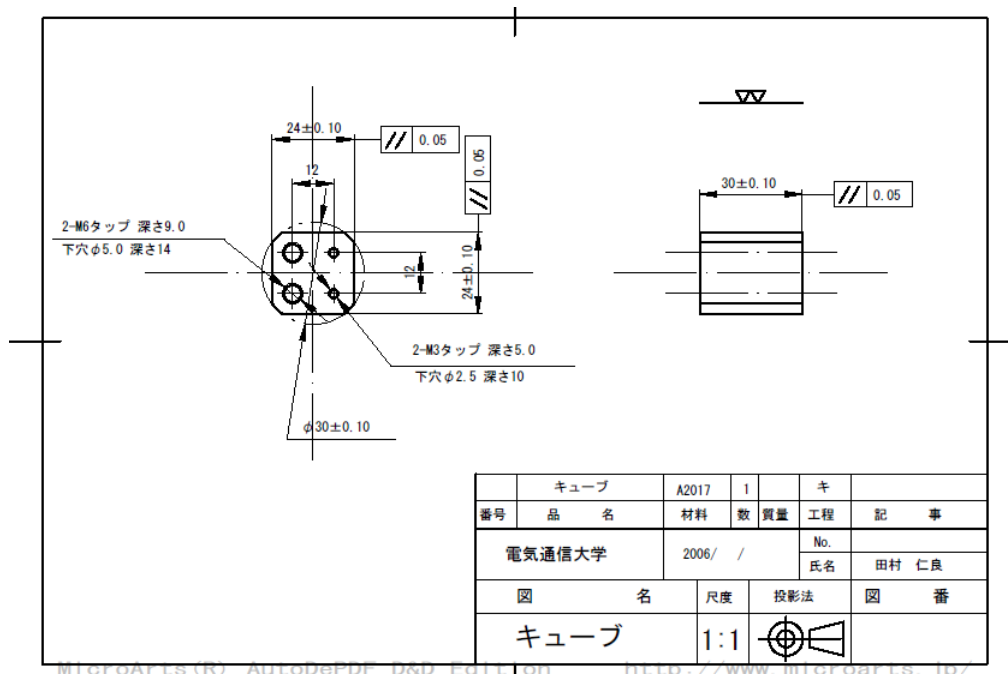


図 5.2.3 カデット教育機械加工実習 2 : キューブ



図 5.2.4 実習 1 で使用するマイクロメータ，温度計，リングゲージ，シャフトなど

5.2.3 効果と評価

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 24 年 3 月 30 日

免許授与者 D1: 望月 大二郎, M1: 酒井 康行, 岡部 大家, 4 年生 : 千葉 信一郎 以上 4 名

免許名 師範免許 (インストラクタ)

交付年月日 平成 24 年 3 月 30 日

免許授与者 D1: 望月 大二郎, 4 年生 : 千葉 信一郎 以上 2 名

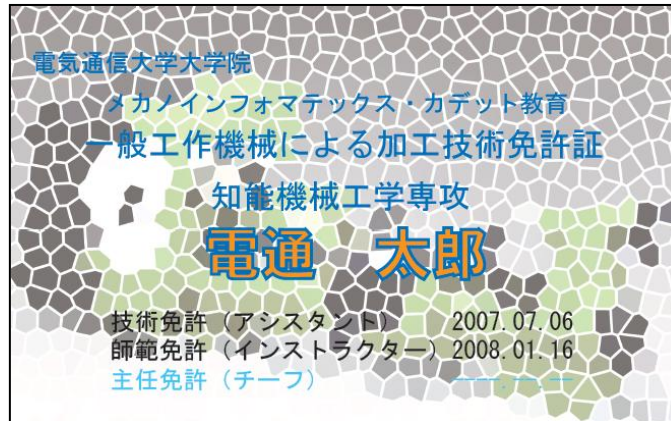


図 5.2.5 免許証の見本

5.2.4 今後の課題および提案

(1) 免許制度について (明)

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 (確井)

今回の実習では、下記の能力を中心に行ってきた。

- ① 図面 (フリーハンド・製図) が描ける
- ② 寸法・公差 (J I S) の理解
- ③ 工作機械の操作
- ④ 自主製作ができる
- ⑤ 測定器が使える

今後はさらに内容の充実と参加人数の拡大が必要である。

6. カデット講演会

6.1 清水創太先生 講演

早稲田大学理工学術院総合研究センター主任研究員・准教授である清水創太先生をお招きして、科学と工学の両面からアプローチするヒトの視覚のメカニズムについて、興味深いお話をいただいた。

日時： 5月24日(火曜日) 15時00分～18時00分

会場： 電気通信大学 東4号館8階 AV講義室

参加人数：50名

講演者：清水創太准教授

早稲田大学理工学術院総合研究センター

講演題目： 不機嫌なモナ・リザ ～サイエンスとエンジニアリングの両面からアプローチするヒトの視覚のメカニズム～

講演概要： 人間の眼は、単眼で左右120度の広い視野を有するとともに、中心窩と呼ばれる視野の中心近傍で最も高く視野周辺に行くに従って急激に低下する非一様な視力分布をもつ。すなわち、人間の眼は視野の中に明らかな注目点（詳細に見ることが出来る領域）をもつ有指向性の感覚器である。眼球運動により注視を行うことで、広視野かつ詳細な情報を極力少ない情報量で獲得することができる。しかし、このように機能美に溢れた感覚器でありながら、それが如何になんとも曖昧で心もとないものであるのか、ヒトの視覚のメカニズムを米国カリフォルニア工科大学生物学部でスタートさせた実験を通じて解説する。そして、改めてその利点を再認識し生物学的な知見からヒントを得、産業界のニーズに応じて試作した特殊な広視野視覚センサの技術開発についてトークする。

カメラの撮像素子の高精細化にともない、画像データ情報は膨大な量となっている。特に医療用、監視用カメラ等において「解像度」と「広い視野」は重要な要素であるが、両立が難しい。また、ある部分を拡大しようとするればレンズの向きを動かすために電力消費やカメラの大型化がネックとなる。清水創太先生は、外部印加電圧により屈折率を制御できる液晶材料を用いた素子を応用し、120度の広い視野を維持したまま、（単数～複数の）注目点の位置や拡大率を変化させることができる液晶広角中心窩レンズの開発に取り組んでいる。その応用分野は、医学や種々なカメラに応用されるべき基礎的で重要な分野であることがわかった。

6.2 Hao Ying先生 講演

Wayne State UniversityのHao Ying氏をお招きして、英語によるご講演をして頂いた。

その後、Ying先生は参加した複数の学生に彼らが現在携わっている研究について質問され、アメリカの大学教員の視点からご意見・ご助言をしてくださり、大変有意義な機会となった。

Ying先生はニトロプルシドナトリウム（血管拡張薬）の点滴静注を調整することによって、心臓外科集中治療室で手術後の患者の平均動脈圧の閉ループ制御（MAP）を提供するために、ファジィ制御システムを構築されている。臨床医学の現場で常にリアルタイムでファジィ制御を実践されているYing先生のご講演頂くことで、本学学生の自己啓発につながったと考えられる。

日 時： 7月11日(月曜日) 13時00分～16時00分

（講演時間は "60分" になります）

会 場：東4号館3F 315室

共 催：メカノインフォマティクス・カデット教育

講演題目：Real-Time Feedback Fuzzy Control of Mean Arterial Pressure in Postsurgical Patients at Cardiac Intensive Care Unit

講演者：Hao Ying, Ph.D. Professor, Department of Electrical and Computer Engineering, Wayne State University, USA

概 要：In this seminar, we present a fuzzy control system to provide closed-loop control of mean arterial pressure (MAP) in postsurgical patients in a cardiac surgical intensive care unit setting, by regulating intravenous infusion of sodium nitroprusside (a vessel dilation drug). The fuzzy controller was mathematically proved to be a nonlinear proportional-integral controller whose proportional gain and integral gain inherently adjusted continuously according to error and rate change of error of the process output (e.g., blood pressure). The gains became larger when the pressure was far from the desired pressure setpoint and smaller when it was close to the setpoint, resulting in more dynamic and stable control performance than the regular PI controller, especially when a linear process with time-delay or a nonlinear process was involved. Clinical trial results showed that the average percentage of time in which MAP stayed between 90% and 110% of the MAP setpoint was 89.31%, with a standard deviation of 4.96%, which were much better than manual control of the nurses. These were calculated based on 12 patient trials, with total trial time of 95 hours and 13 minutes. Accomplished in the late 1990's, this is the world's first real-time fuzzy control application in clinical medicine

「 Real-Time Feedback Fuzzy Control of Mean Arterial Pressure in Postsurgical Patients at Cardiac Intensive Care Unit 」 Department of Electrical and Computer Engineering Wayne State University, USA ・)



図 1. ご講演なさるYing先生と聴講する学生たち

6.3 大竹博先生 講演

九州工業大学院情報工学研究院機械情報工学研究系・准教授である大竹博先生をお招きして、先生の専門分野である非線形制御手法を基礎から応用まで解説していただくと共に、電通大学院 0B でもある大竹先生の研究に対する真摯な姿勢が後輩にあたる現大学院生により刺激になった。(大竹先生は平成 23 年 3 月末まで助教として本学で教べんを執られていた。)

日 時： 9月6日(火曜日) 15時00分～16時30分

会 場： 東4号館8階AV講義室

参加費： 無料

講 師：大竹 博 氏

九州工業大学 大学院情報工学研究院 機械情報工学研究系 准教授

講演題目：ファジィモデルに基づく制御への誘い ～基礎から応用まで～

概要：非線形制御手法の1つに、ファジィモデルに基づく制御がある。この制御手法は、制御系設計者や現場のプラントエンジニアにとっても直感的で理解しやすいという特徴を持つ。また、非線形な制御対象の安定性を保証し、同時に速応性やアクチュエータ出力の飽和防止など様々な制御性能を付加できる簡単かつ効果的な非線形制御手法である。本講演では、私がこれまで取り組んできたファジィモデルに基づく制御手法について、ファジィモデルの構築や制御系設計などの基礎的な部分から、サーボ制御やモデル追従制御、ロバスト制御などの応用分野まで分かりやすく解説する。



図1. ファジィモデリングについて説明される大竹先生

6.4 福島理恵子先生 講演

(株) 東芝研究開発センターマルチメディアラボラトリー 主任研究員の福島理恵子先生をお招きして、グラスレス3Dレグザ開発から商品化までの道のりについて、興味深いお話をいただいた。

日時：12月20日(火曜日) 15時00分～16時30分

会場：電気通信大学 B棟 202室

参加人数：40名

講演者：福島 理恵子 主任研究員

(株) 東芝 研究開発センター マルチメディアラボラトリー

講演題目：グラスレス3Dレグザ商品化までの道のり

講演概要：立体視の原理から、メガネ無しで立体視ができるための仕組みについて述べた上で、世界初で商品化したメガネのいらぬ3Dテレビの技術的特徴と今後の展開を述べる。さらに、商品化に至るまでの経緯を振り返り、製品を特徴づける技術であり、平成22年度の21世紀発明賞を受賞した“視域最適化技術”を始めとする基礎技術の考案から、量産化におけるマネジメントに至るまで、それぞれの時期に大切だったと考える取り組みについて説明する。最後に自身のワーク・スタイル・イノベーションについて触れる。

福島理恵子氏は、キャリアデザインCという学部科目のPBL教育に非常勤講師として、本学の教育にご協力いただいている方で、2010年12月下旬に東芝から発売された世界初のグラスレス3Dテレビの製品化にいたる主要技術を確立し、チームを率いて製品化を実現した方である。これにより、同氏は「ウーマン・オブ・ザ・イヤー2011」大賞をも受賞している。しかし、その道のりは平坦ではなく、20歳代では、研究開発で行き詰まりを感じていた。出産を契機に自分を見つめ直し、仕事を見つめ直し、会社に復帰してから本プロジェクトを任されたことがきっかけで大きく羽ばたいた。女性技術者の生き方として聴衆に大いに感銘をあたえた。講演に先立って、グラスレス立体視テレビのデモもやって頂き、実に分かりやすい講演会であった。惜しむらくは、もっと女子学生に来てほしかった。

7. 活動の実績と成果

7.1 ロボカップサッカー

7.1.1 RoboCup 2011 参加報告

2011年5月3～5日にインテックス大阪 2号館にてRoboCup Japan Open 2011が開催された。中野研究室(fWing207)では5台のロボットでサッカーを行う小型リーグ(Small Size League : SSL)に参加した。SSLには、昨年度は我々の研究室を含めて5チームがエントリーしていたが、今年度から新たに2チーム増え7チームのエントリーがあった。Japan Openでは大会初日および2日目に全チーム総当たり戦による予選リーグが行われ、3日目には予選を勝ち抜いた上位4チームによるトーナメント戦が行われた。

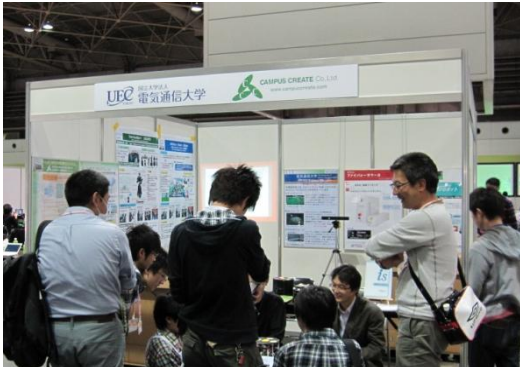


図1 大学紹介コーナーの様子



図2 試合風景(黄色が fWing207)

今年度はJapan Open 2010の反省から他チームと同じくブラシレスモータを搭載したロボットを新たに3台開発して大会に臨んだ。新たに開発したロボットは従来のロボットと比べて高い機動力を持っており、他チームのロボットと同等の性能を発揮できる。一方、戦略システムは今年度開発したロボットの性能を十分に生かすために大幅な改良を予定していたが、東日本大震災の影響により開発が間に合わせる事ができなかった。このため、昨年度まで使用していた戦略システムの修正を行って大会に出場することとなった。

今年度の大会では、他チームの傾向として昨年まで多く見られたロボット自体のスキルを活かした試合運びだけではなく、味方ロボット同士で協調動作をおこなって試合を進める場面が数多く見られた。たとえばフォワードは昨年までのようにゴールを直接狙う動き以外にも単独でゴールすることが難しい場合には味方にパスをしてから得点を決める場面が数多く見られた。ディフェンスもゴールの周りから離れてパスを防いだりする事が多くなった。

一方、我々の戦略システムではこのような協調動作に対応できず得点をあげることができなかった。また、我々のチームは他チームと比較するとボールを蹴るスピードが遅く、相手にシュートを防がれてしまうことも判明した。そのため、来年度に向けてシュートのスピードアップと地震の影響で間に合わなかった新戦略システムの構築が必要である。

また、大会期間中は競技以外にも大学紹介を行うブースを出展した。我々のブースでは過去の大会に参加したサッカーロボットや@Homeリーグに参加している長井研究室のロボットなどを展示し、併催されていたロボカップジュニアの選手たちから非常に好評であった。

7.1.2 キックデバイスの改良

SSLのロボットはソレノイドに瞬間的に大電流を流してボールをキックする。このボールをキックするため

の機構をキックデバイスと呼ぶ。SSLの2011年度ルールでは10[m/s]以内でボールをキックすることが許可されるため、国内の大半のチームは10[m/s]でボールを蹴ることができるキックデバイスを搭載したロボットを開発している。しかし今年度の大会で我々が使用したロボットは最高でも3.5[m/s]程度でしかキックすることが出来なかった。

そのため10[m/s]でボールを蹴ることができるキックデバイスの開発を行った。まず、キックデバイスを幾つか試作し、高速なキックが打てるサッカーロボットに適切なソレノイド形状と材質を調査した。次にキックデバイスのストロークや、構造を調整してロボットに搭載できるサイズの強力なキックデバイスを開発した。その結果、12[m/s]以上でボールを蹴ることが可能なキックデバイスを開発することができた。今後はソフトウェアの調整をおこない、ルールを厳守できるように調整する。

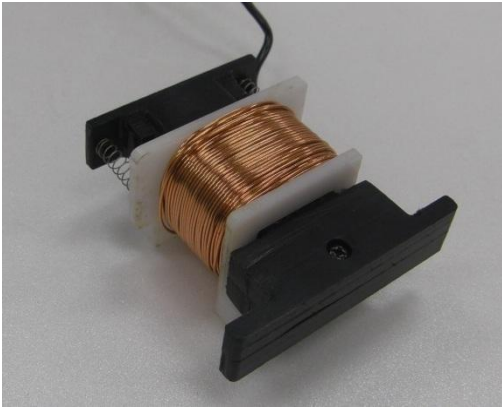


図3 2011年型キックデバイス
(3.5[m/s]でキック可能)

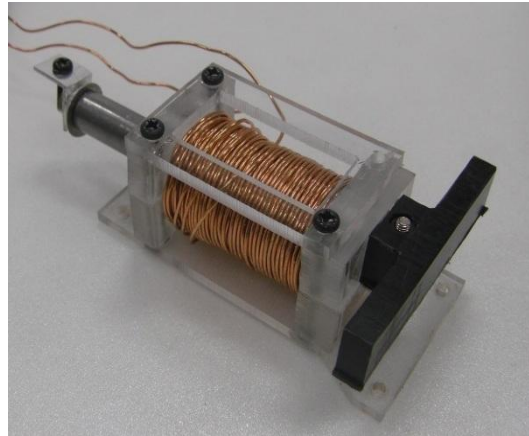


図4 2012年型キックデバイス
(12.4[m/s]でキック可能)

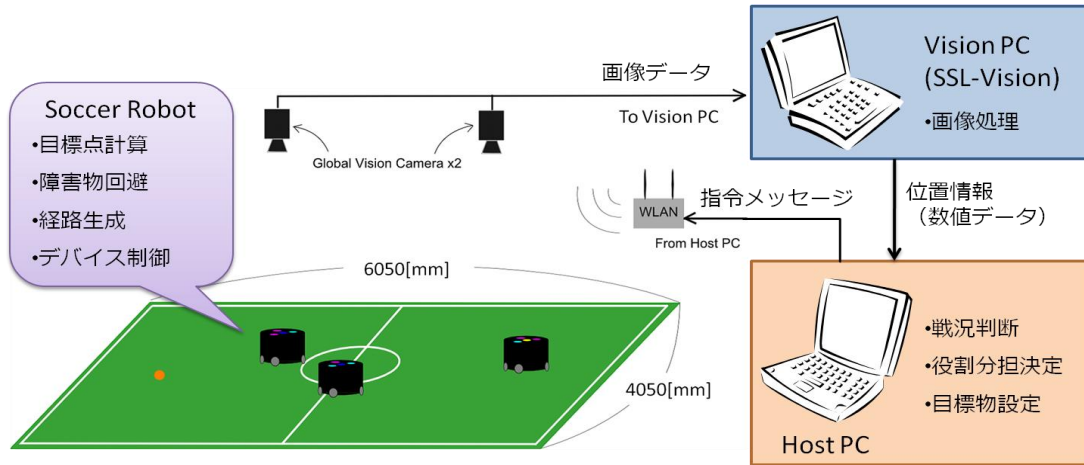
全てロボットに対して1つのプログラムのみ

なっていた。そのため、戦略プログラムサイズが肥大化したため全体の構成がわかりにくく、また1つの修正が全てのロボットに影響を与えるためバグが発生しやすいなどの問題を抱えていた。

このため新戦略システムでは個々のロボット制御とチーム全体の戦略のプログラムを分離して構築することで現在のシステムが抱える問題の解決を図った。新たに構築するシステムを図5に示す。ここでHost PCは全体の戦略のみを管理し、ロボットの姿勢制御などは個々のロボットに搭載された制御基板によって制御を行う。このように戦略と個々のロボット戦術を分離することにより、システム全体の詳細を把握していなくとも開発が可能なため従来の戦略システムと比べて開発速度やメンテナンス速度の向上が見込める。

7.1.3 新戦略システムの構築

今年度の大会使用する予定であった新たな戦略システムの構築を行う。現在の戦略システムでは、自チームの制御をおこ



来年度は参加台数の増加やディフェンスエリアの拡張，キックの制限速度の変更など大幅なルール変更が行われる．前述した改良を行ったシステムを用いて 2012 年度 RoboCup Japan Open にて勝利を目指す．

7.2 ロボカップレスキュー

7.2.1 概要

仮設の災害現場での災害対応ロボットによる災害救助活動のスピードと正確さを競う、「RoboCup Rescue Robot League (以下、レスキュー実機リーグ)」に電気通信大学 横井研究室・田中研究室, 京都大学 松野研究室の合同チーム「SHINOBI」で参加した。参加報告を以下に示す。

レスキュー実機リーグに参加しているロボットは、2001年9月11日のアメリカ同時多発テロ事件の際に、倒壊した世界貿易センタービルへの探索活動や、2011年3月に発生した東日本大震災による福島第一原子力発電所事故の探索活動で活躍するなど、社会性の高い活動である。2011年3月11日の震災直後ということもあり来場者の注目を集めた。

7.2.2 RoboCup Japan Open2011 OSAKA

2011年5月3日～5日にインテックス大阪(大阪市)にて、「RoboCup Japan Open 2011」が開催された。RoboCup Japan Open 2011にはロボットがサッカーを行う競技や、ホームロボットなどのリーグなど10個のリーグがあり、レスキュー実機リーグは災害対応ロボットの研究開発と評価を行うリーグである。RoboCup Japan Open 2011の概要を表7.2.2-1に示す。

Table 7.2.2-1 Abstract RoboCup Japan Opne2011 OSAKA

大会名称	RoboCup Japan Open 2011 Osaka ロボカップジャパンオープン 2011 大阪
開催期間	2011年5月3日(火)～5日(木)
会場	インテックス大阪2号館 大阪市住之江区南港北1-5-102
主催	ロボカップジャパンオープン 2011 大阪開催委員会
参加者	234 チーム 846 名
来場者数	合計 25,410 人
リーグ	10 リーグ (サッカーシミュレーション、サッカー中・小型リーグ、サッカーヒューマノイドリーグ、レスキュー実機・シミュレーションリーグ、@Home リーグ、ジュニアリーグなど)

レスキュー実機リーグでは、遠隔操作によるロボットと自動探索によるロボットが被災者を模したマネキン(要救助者)を探索し、その時間と精度を競う競技である。

今大会のレスキュー実機リーグには、海外チームは震災の影響から多くキャンセルが出ていたが、タイから1チームの参加を含め、10チームの参加があり、レベルの高い競技会となった。SHINOBIは遠隔操作型ロボットの「KOHGA3(こーがすりー)」, 自律型ロボットの「HIEI(ひえい)」の計2台のロボットで参加した。競技は全10チームで予選を行い、4チームで決勝を行う方式であった。SHINOBIは、予選3位で決勝に進

出したが、決勝ではトラブルに見舞われ優勝は逃した。しかし、総合力の高い探索ロボットシステムを開発したことが評価され、2010年の計測自動制御学会賞に続き、Best in Autonomyを受賞することができた。会場の様子や表彰式などの写真を Fig. 7.2.2-1～3 に示す。



Fig. 7.2.2-1 Opening Ceremony



Fig. 7.2.2-2 RoboCup Rescue Robot League Field (JapanOpne2011 Version)



Fig. 7.2.2-3 Commendation Ceremony (Team SHINOBI)

7.2.3 開発したロボットシステム

SHINOBI では、遠隔操作型ロボットと自律型ロボットを融合したシステムを開発し、同時刻に両ロボットが別々のタスクを行うことで効率的な探索活動を行った。今年度の大会への参加にあたり、遠隔操作型ロボット“KOHGA3” (Fig.7.2.2-4 左)では、複数カメラ画像の提示を可能とする画像転送システムの開発を行った。また、2011年に改修したクローラベルトのテストも兼ねており、従来は高額な市販ベルトを用いていたが、メンテナンス性やランニングコストなどが課題にあり、性能を落とさずにこれらの問題を克服するベルトの評価実験を実施した。評価の結果、ロボカップ実機リーグでも高い性能を発揮することが確認出来た。

自律型ロボット“HIEI” (Fig.7.2.2-4 右)では、地図作成精度の向上、被災者発見アルゴリズムの改良を行った。



Fig. 7.2.2-4 Team SHINOBI's Robots
(left : KOHGA3, Right: HIEI)



Fig. 7.2.2-4 RoboCup Rescue Robot League Group Photo



Fig. 7.2.2-5 left: SHINOBI's Operators, Right: Setup

7.2.4 まとめと今後の課題

JapanOpen2011 では自律型ロボットを投入したチームは何チームかあったが、多数の要救助者を発見できたのは、我々のチーム SHINOBI のみであり、「Best in Autonomy」を受賞することができた。また、競技を通じて様々な問題点が浮かび上がり、今後の改良の必要性とその改良の方針に関する知見を得ることができた。今後は、遠隔操作ロボットについては、今回は多くのマシントラブルに見舞われ、ハード面での課題点が浮かび上がった部分の改善が必要である。また、自律型ロボットは、研究・開発の効率化やメンテナンス性の向上のために機器の改修などが必要である。さらに、ロボカップに参加することにより工学教育を体験する場として、PBL(Project Based Learning)などにも注力をしていく。

8. 大学院生による研究成果発表

●論文誌＝国内＝

- 1) 桜間一徳、宮崎裕史、中野和司、細川嵩、マルチエージェントシステムによる逃避ターゲットの包囲と誘導，計測自動制御学会論文集（2012）（採択済み）
- 2) 小林允、中野和司、地中レーダ受信信号における反射波の強調手法，電気学会論文誌，Vol. 132-D, No. 4（2012）（採択済み）
- 3) 小林允、中野和司、地中レーダ受信信号のノイズ解析とその除去手法，電気学会論文誌，Vol. 132-D, No. 6（2012）（採択済み）
- 4) 田口哲也，明愛国，下条誠，金森哉史，梶谷誠，竹田龍平，超高精度歯車測定機の開発－直接駆動方式実験機の試作とその基本性能確認－，精密工学会誌，vol. 77, no. 3, pp. 327-332, 2011
- 5) H. Hasegawa, Y. Suzuki, A. Ming, M. Ishikawa, M. Shimojo, Robot Hand Whose Fingertip Covered with Net-Spaped Proximity Sensor /-Moving Object Tracking Using Proximity Sensing-, J. of Robotics and Mechatronics, vol. 23, no. 3, pp. 328-337, 2011
- 6) 寺田一貴，鈴木陽介，長谷川浩章，曽根聡史，明愛国，石川正俊，下条誠，全方位検出・高速応答可能なネット状近接覚センサの開発，日本ロボット学会誌，vol. 29, no. 8, pp. 683-693, 2011
- 7) 鈴木健治，鈴木陽介，長谷川浩章，明愛国，石川正俊，下条誠：ロボットハンド指先に付与したネット状近接覚センサ情報に基づく把持姿勢の決定；計測自動制御学会論文集，Vol. 48, No. 4（掲載予定）

●論文誌＝海外＝

- 1) Zhaoxian Xie, Masahito Tsukano, Hisashi Yamaguchi, Aiguo Ming, Makoto Shimojo, “Human Assist by a Mobile Manipulator System with High Speed Tactile Sensor”, International Journal of Information Acquisition, Accepted.
- 2) Takuji Koike, Chiaki Sakamoto, Tasuku Sakashita, Ken Hayashi, Sho Kanzaki, Kaoru Ogawa: Effects of a perilymphatic fistula on the passive vibration response of the basilar membrane, Hearing Research 283, 117-125 (2012)
- 3) Montree Pakkratoke, Shinnosuke Hirata, Chisato Kanamori and Hisayuki Aoyama, “Development of Microscopic Hardness and Stiffness Investigation System with Micro Robot,” Journal of Robotics and Mechatronics, Vol. 24, No. 1, Feb., 2012. (in printing)
- 4) Ying-Jen Chen, Hiroshi Ohtake, Kazuo Tanaka, Wen-June Wang and Hua O. Wang, Relaxed Stabilization Criterion for Discrete T-S Fuzzy Dystems by Minimum Type Piecewise Non-quadratic Lyapunov Function”, IET Control Theory & Applications, Accepted.
- 5) Ying-Jen Chen, Hiroshi Ohtake, Kazuo Tanaka, Wen-June Wang and Hua O. Wang, Relaxed Stabilization Criterion for T-S Fuzzy Systems by Minimum-type Piecewise Lyapunov Function based Switching Fuzzy Controller” (TFS-2011-0079.R1), IEEE Transactions on Fuzzy Systems. Accepted.
- 6) Kazuo Tanaka, Toshiaki Seo, Hiroshi Ohtake and Hua O. Wang, Polynomial Fuzzy Observer Designs:A Sum-of-Squares Approach, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics Part B, Accepted.
- 7) Xu, Chunquan; Yang, Zhizhen; Ming, Aiguo; Shimojo, Makoto, Motion planning of a golf swing

robot, MECHATRONICS, Vol. 22, No. 1, pp. 13-23, 2012.

- 8) Seiichi Teshigawara, Takahiro Tsutsumi, Yosuke Suzuki, and Makoto Shimojo: HighSpeed and High Sensitivity Slip Sensor for Dexterous Grasping; Journal of Robotics and Mechatronics, (掲載予定)

国際会議

- 1) Shu Hosokawa, Joji Kato, Kazushi Nakano: A reward allocation method for reinforcement learning in stabilizing control task: AROB 17th, International Symposium on Artificial Life and Robotics (2012)
- 2) Joji Kato, Shu Hosokawa, Kazushi Nakano: Acquisition of stationary behavior based on Multiagent Enforced SubPopulations: AROB 17th, International Symposium on Artificial Life and Robotics (2012)
- 3) Takuji Koike and Tasuku Sakashita: Modeling of the human cochlea using the finite element method, NSBN Symposium 2011, Shiga, Japan, December 2-3 (2011)
- 4) Takuma Sano and Takuji Koike: Effects of the shape of the basilar membrane on mechanical frequency discrimination in the cochlea, The 16th Auditory Research Forum, Shiga, Japan, December 3-4 (2011)
- 5) 1) Jun Shintake, Aiguo Ming, Makoto Shimojo: A Novel Propulsion Method of Flexible Underwater Robots, Proceedings of the 2011 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, San Francisco, USA, pp. 4735-4740 (2011. 9). (査読有)
- 6) 2) Masahiro Wada, Aiguo Ming and Makoto Shimojo: Motion Planning for a Dynamically-coupled Hyper-dynamic Manipulator by Reinforcement Learning, Proceedings of the 2011 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, Beijing, China, pp. 1822-1827 (2011.08). (査読有)
- 7) Wenjing Zhao, Takuma Osaka, Aiguo Ming, Makoto Shimojo: Development of a Soft Underwater Robot Mimicking Cow-nosed Ray, Proceedings of IEEE ROBOTICS 2011, Phuket, Thailand, pp. 1724-1729 (2011. 12). (査読有)
- 8) Montree Pakkratoke, Nguyen Ngoc Tu, Shinnosuke Hirata, Chisato Kanamori and Hisayuki Aoyama, "Micro Diagnostic by Micro Robot with Stiffness Indenter for BIO Materials," ROBOTICS 2011 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, Movenpick Resort and Spa Karon Beach, Phuket, Thai, Dec. 7-11, 2011. (with review, in printing)
- 9) Hiroaki Shiratori, Masato Takizawa, Yuuka Irie, Shinnosuke Hirata and Hisayuki Aoyama, "Development of the miniature hemispherical tilt stage driven by stick-slip motion using piezoelectric actuators," ASPEN 2011 4th International Conference of Asian Society for Precision Engineering and Nanotechnology, pp. 0118, Langham Place Hong Kong Hotel, Hong Kong, China, Nov. 16-18, 2011. (with review)
- 10) Kazuki Hirose, Yuuka Irie, Shinnosuke Hirata and Hisayuki Aoyama, "Micro Gap Measurement based on Needle Vibration for Nano liter dispenser," ASPEN 2011 4th International Conference of Asian Society for Precision Engineering and Nanotechnology, pp. 0056, Langham Place Hong Kong Hotel, Hong Kong, China, Nov. 16-18, 2011. (with review)

- 11) Kazuki Hirose, Yuuka Irie, Shinnosuke Hirata and Hisayuki Aoyama, “Micro Gap Measurement by Vibration Mode for Needle-type dispenser,” The 2011 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, Beijing Empark Grand Hotel, Beijing, China, pp. 555-560, Aug. 7-10, 2011. (with review)
- 12) Toshiaki Seo, Hiroshi Ohtake, Kazuo Tanaka, Ying-Jen Chen, Hua O. Wang, Mechanical Engineering A Polynomial Observer Design for a Wider Class of Polynomial Fuzzy Systems, 2011 IEEE International Conference on Fuzzy Systems, pp.1305-1311, Taipei, June, 2011.
- 13) Kazuo Tanaka, Hiroshi Ohtake, Toshiaki Seo and Hua O. Wang, An SOS-based Observer Design for Polynomial Fuzzy Systems, 2011 American Control Conference, pp.4953-4958, San Francisco, Sept. 2011.
- 14) Tadakuma, K. ; Tadakuma, R. ; Terada, K. ; Ming, A. ; Shimojo, M. ; Higashimori, M. ; Kaneko, M. ; The mechanism of the linear load-sensitive continuously variable transmission with the spherical driving unit, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), pp.4048-4053, 2011.
- 15) Teshigawara, S. ; Tsutsumi, T. ; Shimizu, S. ; Suzuki, Y. ; Ming, A. ; Ishikawa, M. ; Shimojo, M., Highly Sensitive Sensor for Detection of Initial Slip and Its Application in a Multi-fingered Robot Hand, 2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation pp.1097-102, 2011.
- 16) Terada, K. ; Suzuki, Y. ; Hasegawa, H. ; Sone, S. ; Ming, A. ; Ishikawa, M. ; Shimojo, M.. Development of Omni-directional and Fast-responsive Net-structure Proximity Sensor, 2011 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2011) pp. 1954-1961, 2011.
- 17) Shintake, J. ; Aiguo Ming; Shimojo, M., A novel propulsion method of flexible underwater robots, 2011 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2011) pp.4735-40, 2011.
- 18) Wada, M. ; Aiguo Ming; Shimojo, M., Motion planning for a dynamically-coupled hyper-dynamic manipulator by reinforcement learning, Proceedings of the 2011 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA 2011), pp.1822-7, 2011.

●解説 なし

●特許

1) 発明の名称：埋設物探査装置

発明者：中村泰之、小川智久、松山崇、千賀敦夫、中野和司、小林允

出願番号：特願 2010-123940

出願人：日本信号株式会社、（国立大学法人）電気通信大学

●招待講演：なし

●口頭発表

- 1) 鈴木学、桜間一徳、中野和司、レーザレンジファインダを用いたリーダ追従型隊列誘導，SCI’11 第55回システム制御情報学会研究発表講演会（2011）
- 2) 菅野真司、中野和司、ウェーブレットパケットによる削岩音の解析と地質変化の推定，平成23年電気学会産業応用部門大会（2011）

- 3) 中島慧、中野和司、桜間一徳、勾配を有する路面におけるアクロボックスの転がり移動の安定解析について、電気学会 産業計測制御研究会(2012)
- 4) 廣瀬勝弘、中野和司、大屋英稔、山口芳裕、宮内洋、ウェーブレット変換による状態遷移を含む心室細動の識別、電気学会 産業計測制御研究会(2012)
- 5) 須貝真也、中野和司、桜間一徳、相対角度情報を用いた分散制御器によるフォーメーションの大域定型性、第12回計測自動制御学会 制御部門大会(2012)
- 6) 鈴木学、中野和司、桜間一徳、隊列維持を考慮したリーダー追従型隊列誘導、第12回計測自動制御学会 制御部門大会(2012)
- 7) 田地良輔、藤井麻起子、小池卓二、小野倫嗣、池田勝久：体表振動を利用した内視鏡手術リスク低減装置の開発、日本機械学会 2011年度年次大会(2011.9)
- 8) 大城越美、田地良輔、小池卓二、神崎晶、羽藤直人：超磁歪素子を用いた埋め込み型骨導補聴器の開発：遺体加振時における骨表面の振動特性、第3回マイクロ・ナノ工学シンポジウム(2011.9)
- 9) 藤井麻起子、山中亮太、小池卓二、神崎晶：耳小骨可動性計測装置の開発：PVDFフィルムを用いた小型力センサの開発、第3回マイクロ・ナノ工学シンポジウム(2011.9)
- 10) 田地良輔、大城越美、小池卓二、神崎晶、羽藤直人：超磁歪素子を用いた埋め込み型骨導補聴器の開発：骨加振方法の違いによる補聴特性比較、第22回バイオフィロンティア講演会(2011.10)
- 11) 埜慎太郎、坂下輔、小池卓二、熊川孝三：内耳の振動挙動シミュレーション：人工内耳電極最適挿入位置の検討、第22回バイオフィロンティア講演会(2011.10)
- 12) 山中亮太、藤井麻起子、小池卓二、池田勝久、神崎晶：非接触型耳小骨可動性計測装置の開発、第22回バイオフィロンティア講演会(2011.10) 小池卓二、熊川孝三：人工内耳電極挿入時の基底板振動シミュレーション：残存聴力の保存を目指して、第56回日本聴覚医学会(2011.10)
- 13) 大城越美、田地良輔、小池卓二、神崎晶、羽藤直人：埋め込み型骨導補聴器の開発：補聴システムの高効率化、第24回バイオエンジニアリング講演会(2012.1)
- 14) 坂下輔、小池卓二：蝸牛の振動挙動シミュレーション：歪成分耳音響放射発生機序の理論的考察、第24回バイオエンジニアリング講演会(2012.1)
- 15) 田地良輔、藤井麻起子、望月秀行、小池卓二、小野倫嗣、池田勝久：両眼球振動差に着目した内視鏡下副鼻腔手術におけるリスク検知システムの開発、第24回バイオエンジニアリング講演会(2012.1)
- 16) 藤井麻起子、山中亮太、小池卓二、神崎晶：ヒト耳小骨の可動性計測、第24回バイオエンジニアリング講演会(2012.1)
- 17) 横井大介、小池卓二：内耳細胞間イオン流動ネットワークモデルの構築、第24回バイオエンジニアリング講演会(2012.1)
- 18) 1) 大阪拓真、新竹純、明愛国、下条誠：マンタの動きを模倣したソフト水中ロボットの開発、第17回日本IFTtoMM会議シンポジウム前刷集、pp.47-50(2011.07).
- 19) 2) 野澤峻平、丸山央、明愛国、下条誠：リンク型可変減速機構を導入した脚機構の開発、第17回日本IFTtoMM会議シンポジウム前刷集、pp.21-24(2011.07).
- 20) 3) 安藤 健治、塚野聖仁、明愛国、下条 誠：高速触覚センサを搭載した移動マニピュレータによる立ち上がり動作支援、計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 2011, 2N1-4(2011.12).

- 21) 4) Luekiatphaisan Natchapon, 明 愛国, 下条 誠: 圧電繊維複合材料を用いた羽ばたきロボットの研究開発, 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 2011, 1E4-1(2011.12).
- 22) 伊丹洋平, 平田慎之介, 青山尚之, “SEM内微細操作のためのマニピュレーションシステム-把持ツールの試作と評価-,” 2011年度精密工学会秋季大会 学術講演会講演論文集, pp. 561-562, 金沢大学, 金沢, Sep. 20-22, 2011.
- 23) 篠田昌宏, 入江優花, 平田慎之介, 青山尚之, “ワイヤ駆動式マイクロマニピュレータの開発-第二報 ひずみ検出による張力制御-,” 2011年度精密工学会秋季大会 学術講演会講演論文集, pp. 559-560, 金沢大学, 金沢, Sep. 20-22, 2011.
- 24) 寺崎清, 平田慎之介, 青山尚之, “微小エマルション生成機構の試作とマイクロカプセル生成法への応用,” 2011年度精密工学会秋季大会 学術講演会講演論文集, pp. 579-580, 金沢大学, 金沢, Sep. 20-22, 2011.
- 25) 豊島彩, 平田慎之介, 青山尚之, 黄維軍, 張勤, “対向微流動を用いた微小物体の非接触位置決めシステムの検討,” 2011年度精密工学会秋季大会 学術講演会講演論文集, pp. 577-578, 金沢大学, 金沢, Sep. 20-22, 2011.
- 26) 篠田昌宏, 入江優花, 平田慎之介, 青山尚之, “ワイヤ駆動式マイクロマニピュレータの開発-第一報 試作と基本性能-,” 2011年度精密工学会春季大会 学術講演会講演論文集, pp. 929-930, 東洋大学, 東京, Mar. 14-15, 2011.
- 27) 重田琢也, 平田慎之介, 青山尚之, “表面張力によるマイクロマニピュレーションを目的としたマルチニードル型キャピラリの開発,” 2011年度精密工学会春季大会 学術講演会講演論文集, pp. 867-868, 東洋大学, 東京, Mar. 14-15, 2011.
- 28) 河合 大志, 大竹 博, 田中 一男, 空中からの情報収集を目的とした飛行ロボット自律制御システムの開発, Robomec2011, 1A2-006 in CD, Okayama, May, 2011
- 29) 駒井 利之, 河合 大志, 大竹 博, 田中 一男, パッシブ姿勢安定化機構を備えた飛行ロボットの軌道追従制御, Robomec2011, 1A2-007 in CD, Okayama, May, 2011
- 30) 青木 治雄, 田中拓哉, 大竹 博, 田中 一男, 脳波を利用した運動イメージの識別と外界センサを利用した電動車椅子制御, Robomec2011, 2P1-H07 in CD, Okayama, May, 2011
- 31) 妹尾 俊明, 大竹 博, 田中 一男, Sum of Squares アプローチによる離散多項式ファジィシステムの制御, 第27回ファジィシステムシンポジウム, pp.444-447, 福井, Sept. 2011
- 32) 妹尾 俊明, 大竹 博, 田中 一男, Sum of Squares アプローチによる離散多項式ファジィシステムの制御, 第27回ファジィシステムシンポジウム, pp.444-447, 福井, Sept. 2011
- 33) Kohei Inoue, Toshiaki Seo, Ying-Jen Chen, Hiroshi Ohtake, Kazuo Tanaka, Thierry Marie Guerra, A Relaxation Approach of Lyapunov Functions to Guaranteed Cost Control of Discrete Fuzzy System, 第27回ファジィシステムシンポジウム, pp.448-453, 福井, Sept. 2011
- 34) 上島鷹之, 田中一男, 飛行体のパッシブ姿勢安定化機構に関する一考察, 第54回自動制御連合講演会, pp.870-873, 2011, 11, 20, 豊橋, 2011
- 35) 大石徹太郎, 田中一男, マルチ並行リンク機構型飛行体の安定化制御, 第54回自動制御連合講演会, pp.874-878, 2011, 11, 20, 豊橋, 2011
- 36) 小澤 晃司, 岩倉 裕也, 田中 一男, 大竹 博, マグナス効果を利用した飛行移動体の開発, 計測

自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, Kyoto, December, 2011.

37) 倉持信行, 河合大志, 大竹 博, 田中一男, 動力付きパラグライダーのモデリングと軌道追従制御, 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, Kyoto, December, 2011.

38) 田中 拓哉, 田中 一男, 大竹 博, 運動想起脳波識別における時間窓選択を用いた空間フィルタの設計, 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, Kyoto, December, 2011

39) 後藤清宏, 根和幸, 佐藤徳孝, 松野文俊: “乗り心地と速度制約を考慮した搭乗型自律移動ロボットの軌道計画”, 第 54 回自動制御連合講演会, 2011

40) 金 兌炫, 根 和幸, 安部 祐一, 新 隼人, 五十嵐 広希, 松野 文俊, 田所 諭, 高森 年, 齋藤 俊久: “自律と操縦に対応した移動ロボット用 RTC の開発 第 22 報 速度制約領域を考慮した軌道計画の改良と検証”, 第 12 回公益社団法人計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 103-5, 2011

41) 金兌炫, 根和幸, 新隼人, 五十嵐広希, 松野文俊, 田所諭, 高森年, 齋藤俊久: “自律と操縦に対応した移動ロボット用 RTC の開発”, つくばチャレンジ 2011 開催記念シンポジウム, つくばチャレンジ 2011 レポート集 No46, 2012

42) 新 隼人, 根 和幸, 五十嵐 広希, 金 テヒョン, 豊島 聡, 佐藤 徳孝, 亀川 哲志, 松野 文俊: “災害対応を想定した移動ロボットプラットフォームの開発 第 1 報: 開発コンセプトとハードウェア構成”, 第 12 回公益社団法人計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 1J4-3, 2011

43) 根 和幸, 金 テヒョン, 新 隼人, 安部 祐一, 花本 惣平, 山崎 隆太, 五十嵐 広希, 佐藤 徳孝, 亀川 哲志, 松野 文俊: “災害対応を想定した移動ロボットプラットフォームの開発 第 2 報: 遠隔と自律に対応したソフトウェアモジュールの開発”, 第 12 回公益社団法人計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 1J4-2, 2011

44) 金 兌炫, 根 和幸, 安部 祐一, 新 隼人, 五十嵐 広希, 松野 文俊, 田所 諭, 高森 年, 齋藤 俊久: “自律と操縦に対応した移動ロボット用 RTC の開発 第 22 報 速度制約領域を考慮した軌道計画の改良と検証”, 第 12 回公益社団法人計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 103-5, 2011

45) 竹内 栄二郎, 田中 一志, 廣 信利, 福井 貴久, 李 昭瞳, 菅原 直樹, 荒川 尚吾, 大野 和則, 田所 諭, 齋藤 俊久, 五十嵐 広希, 松野 文俊, 高森 年: “自律と操縦に対応した移動ロボット用 RTC の開発 第 23 報: 自律移動 RTC 群を用いた屋内外ナビゲーション”, 第 12 回公益社団法人計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 202-5, 2011

●受賞

・2011/12/25 大石千種君(博士後期課程 3 年)が計測自動制御学会 SI2011 優秀講演賞を受賞

・2011/12/1 勅使河原誠一 君(博士後期課程 3 年)が BEST STUDENT PAPER AWARD(ICMT2011)を受賞

・2011/05/27 清水智君(博士前期課程 H22 年度修了)が日本機械学会若手優秀講演フェロー賞を受賞

9. 対外的情報発信

展示会・競技会・デモンストレーション

- ・ロボカップジャパンオープン 2011

【場所】 インテックス大阪

【日時】 2011/5/3 -5/5

【内容】 サッカー小型ロボットリーグ出場、電気通信大学広報ブース運営協力

- ・2011 国際ロボット展

【場所】 東京ビッグサイト

【日時】 2011 年 11 月 9 日（水）～11 月 12 日（土）

【内容】 NEDO ブースにて RT ミドルウェアを用いたロボット研究開発の一例として、京都大学・電気通信大学でレスキューロボットとして開発した KOHGA3 の展示)

その他

- ・キングモンクット工科大学トンブリ校（タイ）夏期短期交換研修プログラム

【日時】 2011/10/3 - 11/6

【内容】 デジタル信号処理に関する研修、日本文化の案内 等

- ・高校生の電気通信大学見学

【日時】 2011/10/20

【内容】 埼玉県 私立 西武文理高校（高校生 17 名＋引率教員 2 名）の見学会、研究室公開 等

テレビ出演

- ・2012年1月9日 テレビ朝日スーパーJニュース「世界に誇る「日本の技術」最新“レスキューロボット”」
- ・2012年1月18日 NHK おはよう関西「実用化進む”災害ロボット”最前線」

WEB掲載

- ・2012年2月10日、日刊工業新聞(ロボナブル)「京大・松野研、災害対応向け移動ロボプラットフォーム公開、線量計測に活用」

<http://www.robodable.jp/news/2012/02/matoi-0210.html>

新聞報道

1. 十勝毎日新聞

”飛行ロボ実現へ実験 大樹拠点に電気通信大 被災情報収集用に開発”

田中一男教授（知能機械工学専攻）らが災害情報収集用に開発した飛行ロボット実験を北海道大樹町（JAXA 関連施設）で開始 2011 年 11 月 5 日

2. 北海道新聞

”被災地撮影、飛行ロボで 電通大、実用化へ実験”

田中一男教授（知能機械工学専攻）研究室チームが被災地の空中撮影を全自動で行う飛行ロボットを開発、大樹町多目的航空公園（北海道）で実験 2011年11月10日

10. まとめ

冒頭でも述べたが、日本の技術立国の地位が揺らいでおり、日本の技術者の技術開発力に対する自信の喪失も感じられる。ガラパゴス化に代表されるような日本の技術開発の閉鎖的な状況は、鎖国から開国を迫られた江戸末期の時代背景に酷似している。今の日本に求められるものは、明治維新で志高く強烈なリーダーシップを持った若い先人の如く、「ものづくり」を国際的視野で実践できるリーダーシップを持った若い研究者、技術者の出現である。本教育プログラムは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、国際的視野とリーダーシップに富んだ志高い学生「創造的ものづくりカデット」を育成することを目的としている。このように、本教育プログラムは明治維新ならぬ「平成維新型ものづくり」のための人材育成に少なからず貢献できると考えている。

平成 24 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とショートトレーニング(Global Leadership Trainingなど)を開講する。本年度に 4 日間に拡充したMATLABセミナーについては、さらに日数の拡大を図り、様々な企業での実際の活用事例紹介を取り入れたセミナー案を立案中である。ショートトレーニングについては、エコシステムやグリーンエネルギーなどの分野に特化したうえで、今年度の内容よりも一層の充実を図る。さらには、教員の共同研究先の技術者を招待し、「ものづくり最先端」セミナーを新たに企画する予定である。
- ・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。とくに、一昨年度にポストン大学との交流を開始したが、来年度は新たに、台湾のNational Central University（台湾内でTop5にランクされている大学）との交流を開始する。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。
- ・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
博士後期課程学生を中心に研究プロジェクトを提案させ、ヒアリングを実施したうえで、極めてすぐれた提案に対しては研究予算を配分する。プロジェクトリーダーの学生を中心に複数の学生による研究グループによりプロジェクトを推進させることで、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。年度末には成果報告を行い、プロジェクト参加者への評価のフィードバックを行う。
- ・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。

最後に、本プログラムは本学からの援助（事項名：メカノインフォマティクス・カデット教育、予算詳細コード：M0Q7、予算詳細名：メカノインフォマティクス・カデット教育）で行われたことを記し、ここに厚く御礼申し上げます。