

# 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24年度報告書

平成25年5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 淡江大学（台湾）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 ボストン大学（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 野澤峻平 明研 修士1年 :ダイナミックヒューマノイドロボットの開発
  - 4.2 小倉和也 明研 修士2年 センサーフュージョンによるヒューマンアシストに関する研究
  - 4.3 河合大志 田中研 修士1年 動力付きパラグライダーを用いた低コスト・レスキューロボットの開発
  - 4.4 奥村 雅 田中研 修士2年 冗長多リンクロボットによるマッサージシステムの開発
  - 4.5 田中拓哉 田中研 修士2年 BMIシステムを用いた身体麻痺障害者に向けての娯楽提供
  - 4.6 小澤晃司 田中研 修士2年 マグナス効果を利用した飛行移動体の開発
  - 4.7 田地良輔 小池研 修士2年 超磁歪素子を利用した埋め込み型骨導補聴器の開発  
～ラットへの埋め込みによる補聴性能評価・安全性評価～
  - 4.8 重田琢也 青山研 修士2年 マルチニードル型キャピラリによる表面張力を用いた微小自在操作システム
  - 4.9 白取寛章 青山研 修士2年 22万円圧電素子を用いた全方位回転機構を有する小型半球ステージの回転制御
  - 4.10 Sungwan Boksuwan 青山研 博士1年 Optimal Steering of Micro Magnetic Manipulators
  - 4.11 Wenjing Zhao 明研 博士2年 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
5. ショートトレーニング
  - 5.1 Global Leadership Training 青山教授, 天沼光太郎氏（アズビル(株)安全審査部技術開発リーダー）『グローバル機械安全マネジメントに関するショート・トレーニング』
  - 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 「組込みソフトウェア事情～需要増に伴う組込みソフトウェアの重要性と内在リスクおよび対応」（一般社団法人日本組込み技術教育協会 理事長 上島康男氏 講演）
  - 6.2 「国際救助隊サンダーバード構想 –阪神淡路・東日本大震災の経験から–」（京都大学 大学院工学研科機械理工学専攻 教授 松野文俊先生 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

「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年間採択された大学院生を中心にした教育・研究プロジェクトである。その後、学内プロジェクトとして継続が認められ、今日に至っている。本報告書は「メカノインフォマティクス・カデット教育」において2012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。

2012年度においても、2011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。とくに、大学院生が自ら企画立案したプロジェクトに予算を配分する「学生プロジェクト」の申請が11件（例年の2倍の申請数）にも上り、活気あるプロジェクトの展開や非常に興味深い研究プロジェクト成果が報告されたことは、今年度の多いなる成果の一つである。これらの詳細な内容については、本報告書をご覧ください。

このグローバル化の時代において、今の理工系教育に求められているものは、「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、技術者の育成である。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で出現した強烈なリーダーシップと国際的視野を持った若い世代の人材に習った「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ます。

2013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 エリート学問塾 夏の学校 in UEC 報告書

### 2.1 概要

本書は、9月3、7、10、11日に行われた「MATLAB エリート学問塾 夏の学校 in UEC」に関する報告書である。このMATLABセミナーには、講師に、「MATLAB ハンドブック」の著者である法政大学の、小林一行先生をお招きした。講義内容としては、MATLAB の基本的な使い方の説明を、「MATLAB プログラミングの基礎と制御工学(制御編)」と、「MATLAB によるロボットアームのシミュレーション(ロボット編)」の2つに分け、1日目と2日目は制御編、3日目と4日目はロボット編の2部編成で講義が行われた。以下に、その日ごとの詳細な講義内容を記述する。なお、図1、2は実際の講義風景である。



図1 講義風景 1



図2 講義風景2

## 講義内容

### 2.2 制御編

#### (1)1日目 (9月3日)

1日目は、MATLABの基本的な使い方や特徴について学んだ。具体的な講義内容は以下の通りである。

- MATLAB特有の演算子
- CやJavaとの類似点、相違点
- ラプラス変換
- モータのモデル化

MATLAB特有の演算子は、コロン演算子、配列演算子、バックスラッシュ演算子などいくつかあるが、特に1日目では、MATLABでのプログラミングの際により汎用性のある、バックスラッシュ演算子について詳しい説明を受けた。バックスラッシュ演算子の特徴を概説すると、ある行列の逆行列(inverse)を計算するための演算子である。この演算子の最大の特徴は、正方でない行列の逆行列も擬似的に計算できてしまう点である。これは、最小二乗法の計算メソッドと同じ原理を用いることで実現している。よって単純に、最小二乗法を使って直線を求める際も、この演算子を用いることでスクリプトの行数を大幅に減らすことができる。

次に、CやJavaといった他言語との比較を行った。講義中に取り上げられたのは、for文、if文などである。相違点はいくつかあるが簡単なもので言うと、Cシステムの言語ではfor文、if文のかたまりを{}(中括弧)で囲う必要があるが、MATLABでは、かたまりの最後にendを使用する点である。またfor文、if文の条件式が、行列に対応しているのもMATLABの特徴であると言える。

また、MATLABにおけるラプラス変換の記述法について学んだ。この時に、Symbolic Math toolboxという未知変数定義法について説明を受け、ラプラス変換の際に使用した。

最後に、初めに習ったバックスラッシュによる解を求めるノウハウと、MATLABにおけるラプラス変換の記述法を組み合わせることで、モータのモデル化を行った。

#### (2)2日目 (9月7日)

2日目は、Simulinkの基本的な使い方を学んだ。概説すると、以下の5点に沿って講義は進んでいった。

- 電気・機械系のモデリングを想定し、Simulinkに実装
- モデルのサブシステム化
- モデルブロックのマスク化

- 1 のモデルに PID コントローラを追加

- シミュレーションの自動化

まず、想定したモデルにおいて成立する微分方程式を、Simulink のブロック線図で表した。ここで各ブロックの持つ意味やパラメータの確認などを行った。そして、実際にシミュレーションを行い、スコープで時間応答やその他出力結果を確認した。

次に、モデルのサブシステム化の方法について説明を受けた。

そして、モデルブロックのマスクの作成方法について、式を与えて plot 関数で描画する方法と、figure 上にマウスを使って描画する方法の 2 通りを学んだ。

次に、最初に作成したモデルを PID コントローラで制御することを想定し、モデルに PID 制御用のブロックを追加した。

最後に、作成したモデルを MATLAB から呼び出して、シミュレーションの自動化を行った。ここでは、MATLAB から Simulink のモデルを呼び出す方法を学び、PID の各ゲインを変化させていった時に、オーバーシュート量がどのように変化するかを推移を、自動で描画するプログラムを作成した。

以上のように、ブロック線図の作成から出力結果の確認、そしてより利便性を図るための方法など、一連の流れを追うことで、Simulink の基本的な使い方・仕様を把握することが 2 日目の目的であった。

## 2.3 ロボット編

### (3)3 日目 (9 月 10 日)

第 3 回の講義では第 1 回、第 2 回の講義の復習とその応用を初めに行った。MATLAB 特有な演算子を用いて効果的なプログラミングについて説明を受けた。講義で説明されたものは以下のものである。

- ベクトル、行列
- コロン演算子
- 配列演算子
- バックスラッシュ演算子
- plot 関数 関数の多重定義
- for 文、if 文

この中でもコロン演算子、配列演算子、plot 関数について特に取り上げていた。コロン演算子に関しては第 1 回、2 回の講義の復習をした上でその応用について学んだ。配列演算子は第 1 回、第 2 回の講義で概要の説明だけされていたので、今回の講義で詳細な説明を受けた。plot 関数は基礎的な 2 次元での図形表示から学び、応用的な 3 次元での図形表示や回転行列、同時変換行列などについて学んだ。そして、第 4 回のロボットアームのシミュレーションのための基礎を学んだ。

### (4)4 日目 (9 月 11 日)

4 日目は、以下に示すような前後半の 2 部構成になっていた。

- 3 日目のお復いおよび MATLAB によるロボットアームシミュレーション
- MATLAB によるロボットアーム演習

3 日目のお復いの内容としては、主に MATLAB の handle graphics についてのものであった。具体的には、get および set 関数の使い方を復習した。

また、MATLAB によるロボットアームシミュレーションで学んだのは以下 3 つである。

- 回転行列および同次変換行列を用いたロボットアームの絶対座標表現
- 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
- 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

ロボットアームシミュレーションにおいて、ローカル座標、グローバル座標系への変換は、回転行列、同次変換行列を使用し、立てた運動方程式に関してはラグランジュ方程式を用いて解くのが一般的である。本講義では、同次変換行列およびラグランジュ方程式の MATLAB におけるソースコードの書き方を学んだ。

また後半の、MATLAB によるロボットアーム演習では、前半の補足および演習を行った。ここでは、3 日目および 4 日目の時点で、まだよく理解していなかったことについて随時説明を受け、また先生が作ったソースコードを編集することで、多リンクのモデルを構築する演習を行った。

## 1. 良かった点・改善すべき点

良かった点としては、先生が分かりやすく教えてくださった点である。具体的には、説明の途中でも分からないことがあれば説明を遮って質問しても良い、というようなラフな雰囲気を作り出してくださったこと

である。これは、先生の力量もさることながら、参加人数がある程度少なかったからこそできたことであるように思う。

改善点としては、少し時間が短いように感じた点である。具体的には、説明の時間自体は十分にとってあり、分かりやすかったのだが、その学んだことを演習する時間が短いように思う。この時間を講義内で設けるのは難しいことだと思うのだが、学んだことを即座に演習に移さないとなかなか身につかないのも事実である。

また、講義自体には関係ないことであるが、プロジェクターのリモコンが 615 室には無かったので、プロジェクター本体側部についている電源スイッチを直接押して電源を入れていた。これは不便であるので、できればリモコンを用意してもらいたい。

### 3. 実践的課題プロジェクト

#### 3.1 淡江大学（台湾）との国際的実践課題の取り組みについて

本課題では本プログラムに参加する大学院生を中心に、淡江大学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の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(2012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

#### 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。

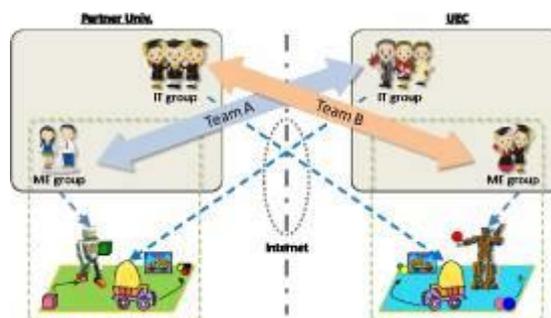


図2 インターネットを組み込んだ双方向同時遠隔制御システム

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

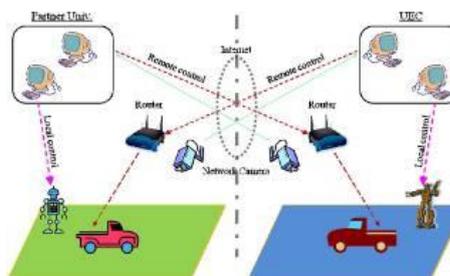


図3 双方向同時遠隔メカトロ制御システムのブロック線図

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、電通大と淡江大学で導入・開発された各種機器を示す。図4左はロボットアームである。市販されているロボットアーム（MR-999）に独自の改良を加えたもので、VPNを利用した仮想プライベートネットワークによりインターネットで遠隔制御できる物とローカルでコントロールする物の計2台を用意した。また図4右に示すようにオリジナルの移動ロボット（トラックロボット）を製作した。ロボットアームを遠隔で操作するために、カメラを2台用いて回線をつなぐことにより、遠隔操作を可能にする環境を構築した。図5に示すように、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。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4 左：ロボットアーム 右：オリジナルの移動ロボット（トラックロボ）  
ロボットアームは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制御可能である。



図5 ロボットアームを操作するために構築されたシステム。カメラ2台からの映像で死角をなくしている。

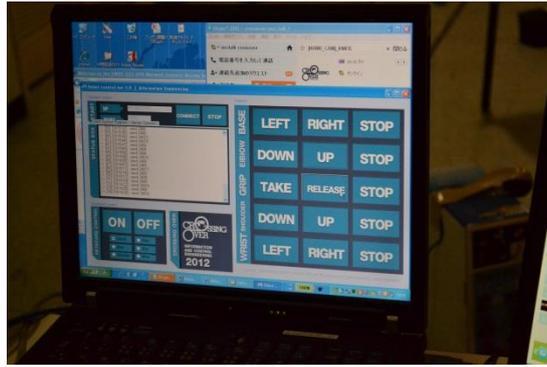


図6 はこれらの2種類のロボットを組み合わせ、2台は自大学のメカグループ、もう1台は相手側のソフトウェアグループが交差してチームを作り、それぞれが協力して、3台のロボットを制御している様子を示す。

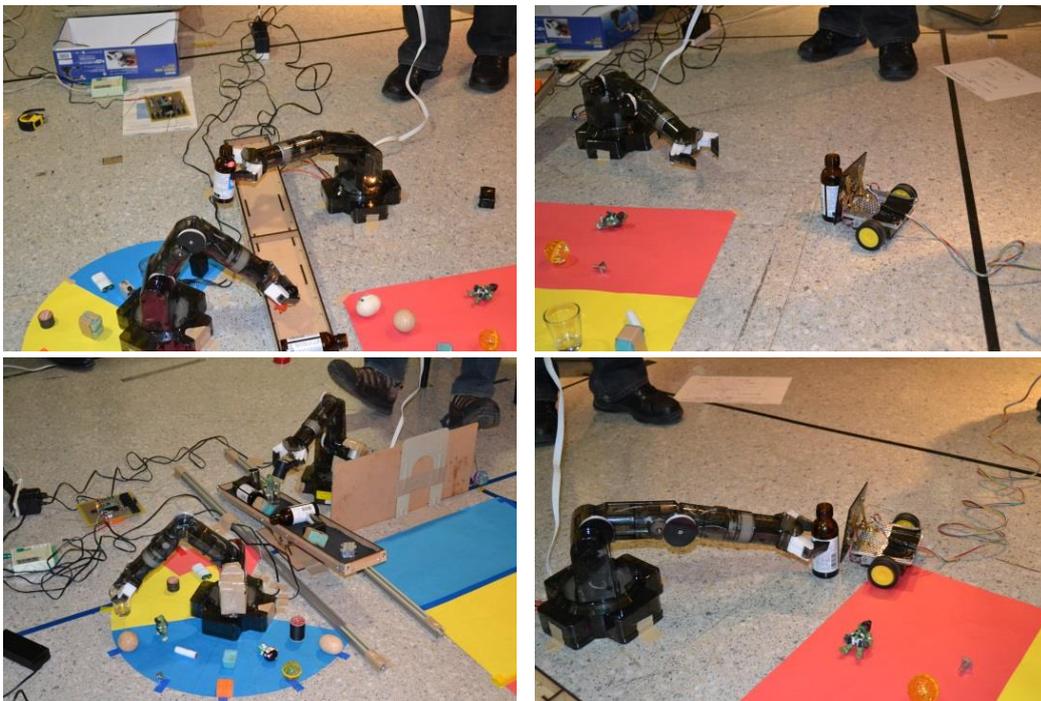


図6 ロボットアームおよびトラックロボをそれぞれの大学側のグループがチームを構成し、インターネット遠隔制御により協調動作をさせることに成功している。その際の作業は俯瞰位置に設定したカメラと機体に搭載されたカメラの画像を確認しているがインターネットの遅延時間があるため、制御コマンドを生成するだけでなく、予測不能な状況にも相互連絡で対応することが余儀なくされている。

本年度は、2名の学生を台湾の淡江大学（TKU）に派遣し、現地指導を行った。図7に示すように、フィールドでの各機器の配置や、競技ルールの詳細を詰める議論を行った。この際のルールでは、遠隔操作におけるロボットアームの動作遅延や操作の難易度を考慮して各機器の配置を大学間で検討している。



図7 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。

### 3.1.3 まとめ

本年度は VPN 経由のインターネット制御ロボットアームとローカルでコントロールするロボットアームおよび移動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

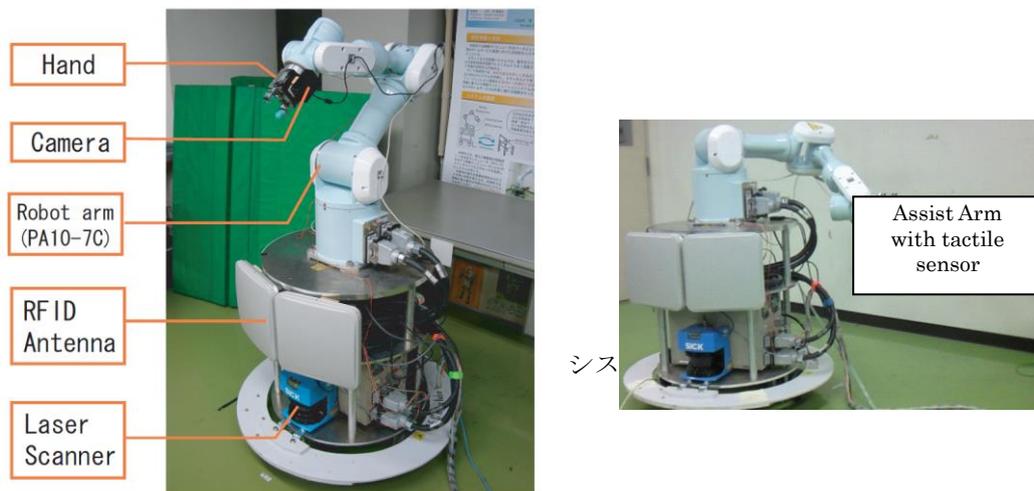
- ・ロボット工学特論(電気通信学研究科 下条・明)
- ・ロボット工学基礎(情報理工学研究科 明)
- ・制御システム論(情報システム学研究科 明)
  - プロジェクトの実施
- ・知能機械構成特論(下条・明) ----- プロジェクト研究の提案、評価

### 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。



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。

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による制御実験を行った。

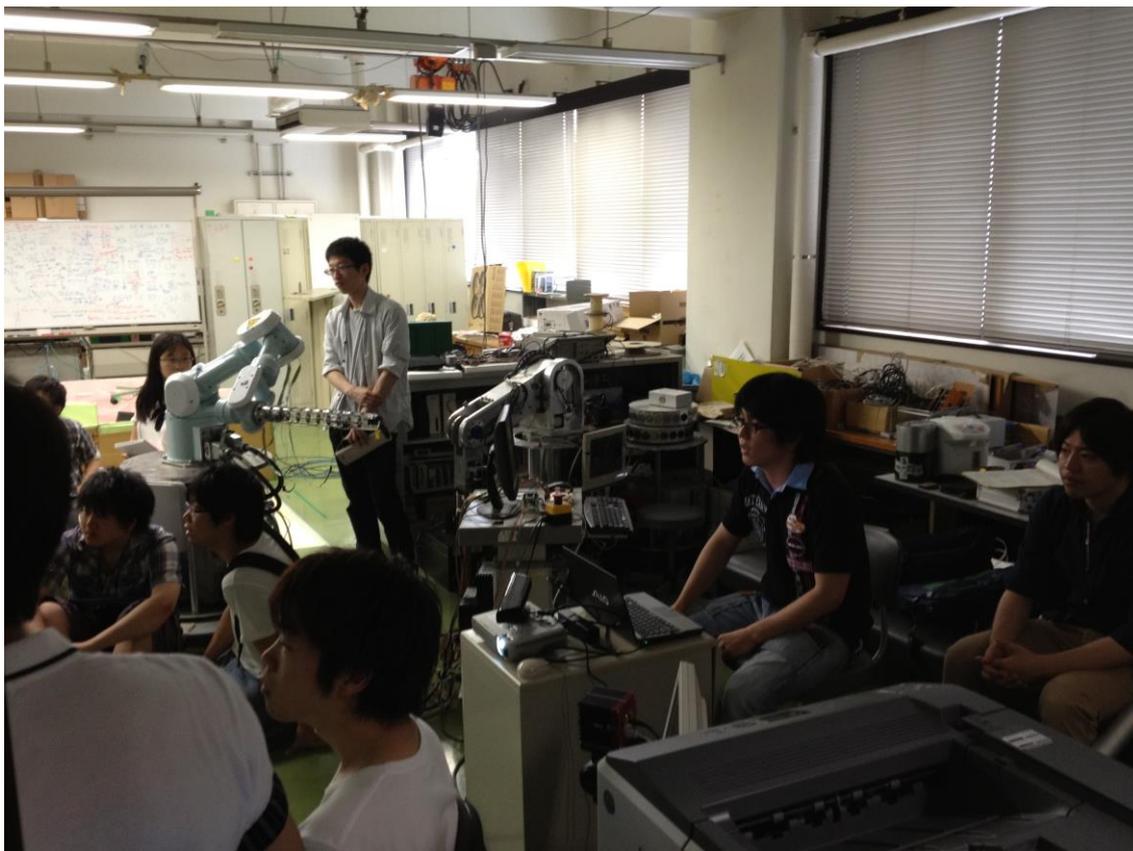


図2 移動マニピュレータシステムを用いた実験の様子

## 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)

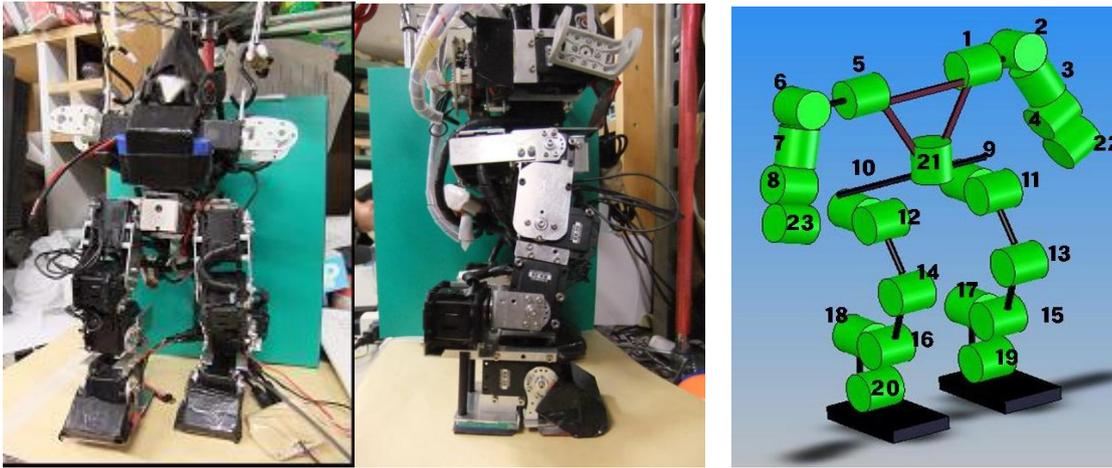


図3 実験用ヒューマノイド

自作した実験専用ソフトウェアのウインドウを図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

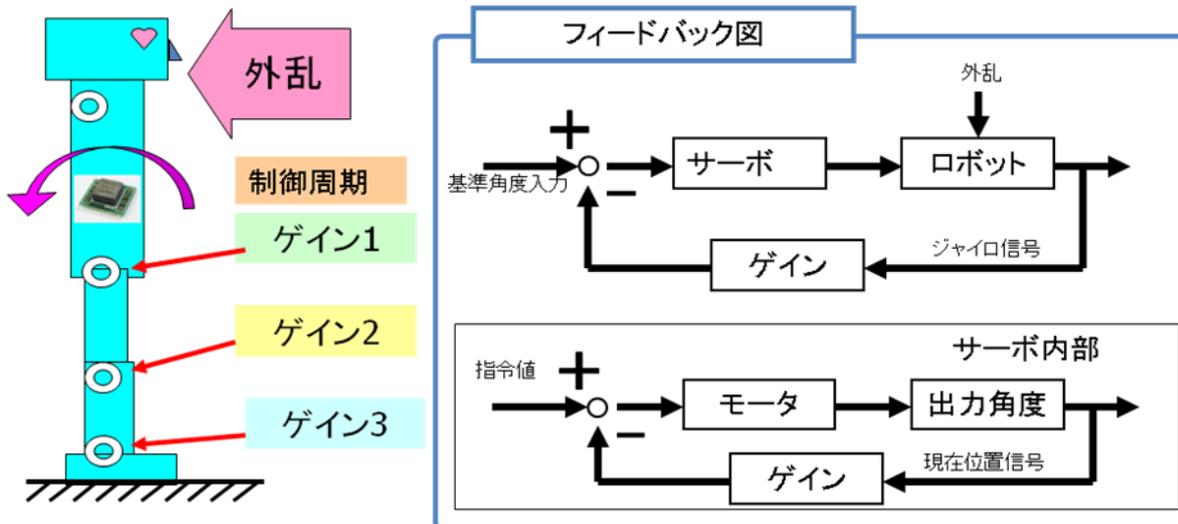


図5 ジャイロセンサを用いた制御方法

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

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2回の講義時間を用いて，各実験について45分ずつを行った。計107名の学生が4グループに分けられて，各実験に参加した。

### 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。

昨年度までは、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。今年度は、この PVDF フィルムによる振動計測の医用応用の一環として、医療用骨削開デバイスが発生する振動の聴覚器に対する安全性評価を試みた。

#### 3.3.2 背景

これまで中耳・側頭骨手術は顕微鏡下に施行され、ドリルを用いた側頭骨削開を行って病変部へアプローチしていた。しかしながら近年、低侵襲で死角が少なく安全性が高いという利点から、経外耳道的内視鏡下中耳手術 (endoscopic ear surgery, EES) が行われている。EES では、骨削開の器具としてドリルの代わりに超音波手術器 (SONOPET, 日本ストライカー株式会社) が用いられている。この超音波手術器は、回転部がないため周囲組織の巻き込みが起こらないという特徴を有しており、既に脳外科領域や耳鼻咽喉科領域で臨床応用されている手術機器であるが、骨削開時に発生する超音波振動が内耳に及ぼす影響については、詳細な検討はなされていない。

そこで本研究では、回転式ドリルと超音波手術器における内耳蝸牛機能への影響を比較検討するため、微小な振動が計測できる PVDF (PolyVinylidene DiFluoride) フィルムを患者の額に取り付け、ドリルと超音波手術器を使用した際に頭蓋骨に生じる振動を計測した。

#### 3.3.3 手術器具について

本研究では、以下の3種類の器具の比較を行った。いずれも骨削開に用いられる。

**SONOPET (日本ストライカー)** : 25 kHz の周波数で振動するチップを組織に直接接触させることで、その組織を破砕吸引する。

**OSTEON (ジンマー)** : 圧縮空気が動力源である回転式ドリルで、回転数は 20000 rpm (333 Hz) に設定されている。

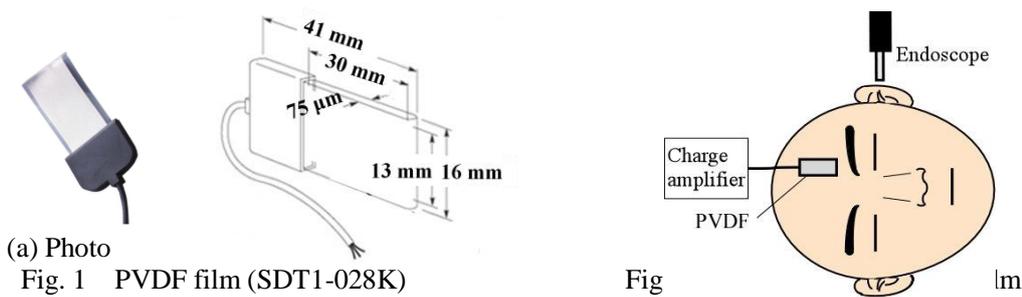
**VISA0 (日本メドトロニック)** : モーターが動力源である回転式ドリルで、回転数は 80000 rpm (1333 Hz) に設定されている。

#### 3.3.4 計測方法

本研究では、振動センサとして Fig. 1 に示すような PVDF フィルム (SDT1-028K, 東京センサ) を使用した。PVDF とは、ひずみが生じると分極が起こる強誘電性のポリマーであり、PVDF から作られた PVDF フィルムは歪みを加えると電荷が生じる特性がある。この PVDF フィルムを Fig. 2 のように患者の額の上に乗せ、その上からガーゼをかぶせテープでとめ、固定した。計測システムを Fig. 3 に示す。PVDF フィルムで計測した振動を、チャージアンプ (MODEL-4035, 昭和測器株式会社) で増幅し、オーディオインターフェース (Fire face 400, Synthax Japan) で AD 変換し、PC に取り込んだ。内視鏡または顕微鏡の映像はビデオキャプチャー (GB-USB, I-O DATA DEVICE) を介して PC に取り込んだ。波形確認および振動集録には、Adobe Audition (Ver. 3.0, Adobe Systems) を使用し、映像データ集録ソフトには Power Producer (Ver5.0, Cyber Link) を用いた。

集録したデータの中から各手術器具で骨削開が行われている際に集録したデータを LabVIEW (Ver. 8.6, National Instruments) にて FFT 解析した。

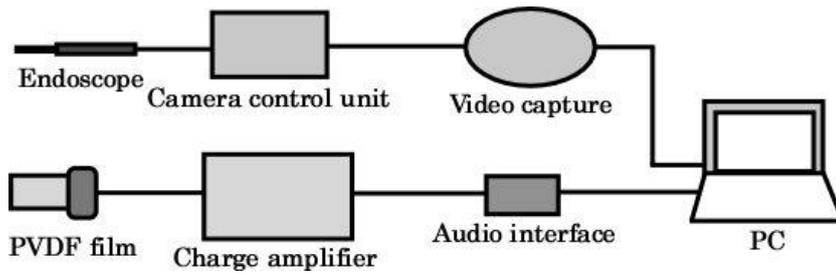
計測は、山形大学医学部附属病院にて8名、年齢42歳から74歳（平均57.1歳）、男性4名、女性4名に対して行い、いずれも症例は真珠種性中耳炎であった。



(a) Photo

Fig. 1 PVDF film (SDT1-028K)

Fig



### 3.3.5 結果および考察

#### 各手術器具の周波数解析：

Fig. 4に、骨削開が行われている際に集録したデータのFFT解析結果を手術器具ごと示す。ここでは、一患者（42歳、女性）のデータを例として示す。SONOPET使用時は、25 kHzで大きなピークが確認できる。OSTEONドリル使用時は、0.2-8 kHzという広い帯域で

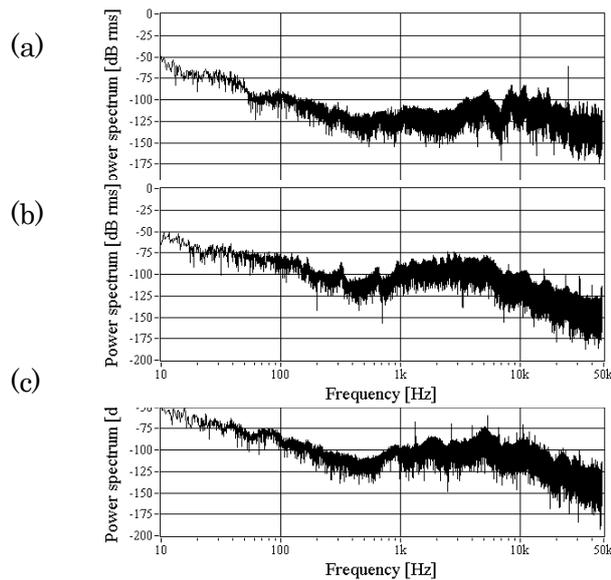


Fig. 4 FFT analysis result for each surgical instrument

(a) SONOPET (b) osteon drill (c) VISAO

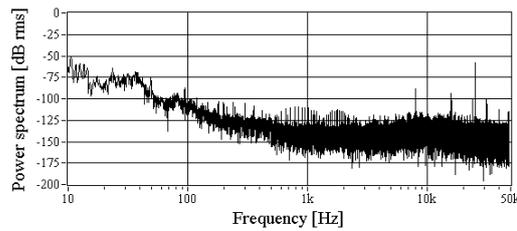


Fig. 5 FFT analysis result when SONOPET is running

SONOPET に比べ大きい振幅が得られている。VISAO 使用時は、1.3 kHz 付近およびその倍音においてピークが見られた。これは設定された回転数によるものと考えられる。

Fig. 5 に、SONOPET は駆動しているが、骨削開は行っていないときの FFT 解析結果を示す。骨削開を行っているときと同程度のピーク値が 25 kHz で確認できる。このことから、25 kHz のピークは、SONOPET の振動が骨など生体内部を伝播して PVDF フィルムに伝わっているのではなく、SONOPET の機器から発せられる音波を直接 PVDF フィルムが検出しているものと考えられる。したがって、この 25 kHz の振動は患者だけでなく、術者および周辺の人にも伝わっていると思われる。よって、この振動はローパスフィルタとして機能する中耳を通る際に、減衰してしまうと考えられる。しかし、今回検出された 25 kHz 成分には、骨削開により患者頭蓋骨に発生した振動も含まれている可能性がある。

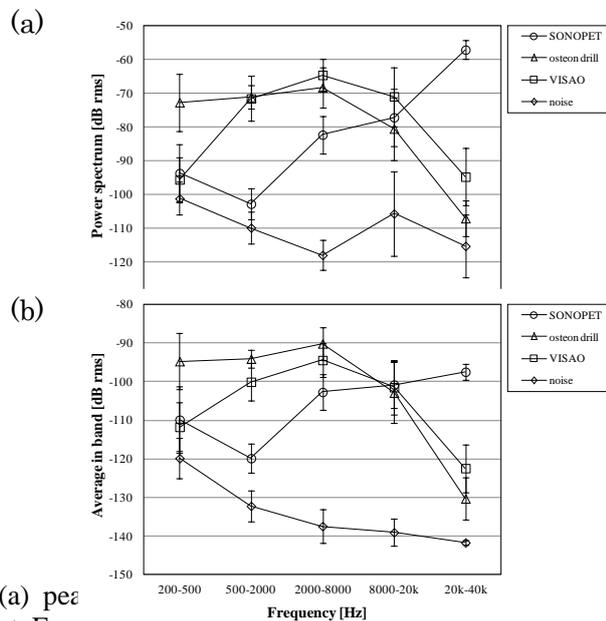


Fig. 6 (a) peak values and (b) average values for each surgical instrument. Error bars represent standard deviation.

ency bands for each surgical

### 周波数帯域内におけるピーク値および平均値の比較：

前節では、各手術器具の周波数特性がわかった。ここでは、音域別に詳細に検討を行った。周波数を 1) 0.2-0.5 kHz、2) 0.5-2 kHz、3) 2-8 kHz、4) 8-20 kHz、5) 20-40 kHz の 5 つの帯域に分け、その帯域内における FFT のピーク値および平均値を器具ごとに算出し、比較した。

Fig. 6 に、器具ごとの各周波数帯における FFT のピーク値および平均値を示す。PVDF フィルムが患者に装着された状態で手術動作がない時に計測した結果をノイズとして示している。Fig. 6 をみると、全体として各帯域におけるピーク値と平均値の傾向は同様であることがわかる。超音波手術器である SONOPET は、0.5-2 kHz、2-8 kHz の周波数帯で OSTEON ドリルや VISAO といった回転式ドリルに比べて値が小さい。0.2-0.5 kHz では、OSTEON ドリルが最も高く、VISAO と SONOPET は同程度である。8-20 kHz

では、3つの器具で大きな違いは見られない。ヒトの可聴域は、20 Hz から 20 kHz といわれているが、この帯域内では、SONOPET は回転式ドリルと同等またはそれ以下の値を示した。特に会話音域である 0.5-2 kHz では、回転式ドリルの値を大きく下回っており、この帯域では SONOPET の患者への影響はより小さいと考えられる。一方、可聴域を超えた 20-40 kHz では、SONOPET の値は回転式ドリルに比べ大きく、特にピーク値については、全ての値の中でもっとも大きい。前述したように、この周波数帯では、SONOPET の場合、空気中を伝わる音波が多いと考えられる。しかし、この周波数帯には計測値を下回るものの比較的大きな振動が生じ、その振動が、中耳を経由することなく内耳へ到達している可能性がある。したがって、SONOPET の使用が聴力へどのような影響を与えるかをみるには、頭蓋骨に発生した 25 kHz の振動が内耳蝸牛へどのような影響を及ぼすかを調べる必要がある。

### 3.3.6 結言

回転式ドリルおよび超音波手術器である SONOPET で骨削開が行われている際に集録したデータを FFT 解析した結果、0.5-2 kHz、2-8 kHz の周波数帯では、SONOPET は回転式ドリルに比べ低いレベルの振動が計測された。よって、可聴域内においては、SONOPET は回転ドリルに比べ骨削開時に発生する振動が内耳に及ぼす影響は小さいといえる。

### 3.3.7 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体表振動計測、脳波計測、音波計測など、振動波形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多く受講しており、ヒトを対象とした実験を通して、生体対象実験特有の注意点などを理解させることが出来た。来年度は本講義の担当教員の交代により多少内容を変える予定であるが、引き続き、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

国際的に活躍できる若い人材の育成を目指し、ボストン大学機械工学科ロボティクス・制御研究室と研究交流を行った。本年度はアメリカのボストン大学を10月、3月の計2回訪問し、学生による研究発表、講義の体験受講、研究室見学を行った。

#### 第1回（2012/10/23～11/1）

派遣メンバー： 知能機械工学専攻博士前期課程 遠藤隆宏，河合大志

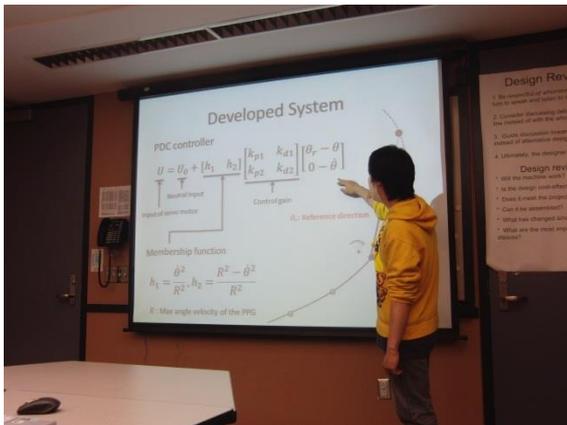
#### 1. 研究発表

知能機械工学専攻の博士前期課程1年，河合大志と遠藤隆宏がボストン大学の Wang 教授と彼の研究グループの学生に対して，各自が進めている研究の発表を行った。

##### 1.1 動力付パラグライダーを用いた情報収集システムの開発と制御

知能機械工学専攻の河合が，研究テーマである「動力付パラグライダーを用いた飛行ロボットによる情報収集システムの開発と制御」について発表を行った。本研究は，従来のほとんどの無人航空機がとる形態である，固定翼機や回転翼機とは異なる特徴・利点を持つ飛行体である動力付パラグライダー（PPG）を用いて，災害時や緊急時の情報収集に活用できる飛行ロボットの開発を行っている。田中研究室ではこれまでに，開発した飛行ロボットに非線形制御理論を適用し，複数の実験によってその効果を検証してきた。

今回の発表では，開発した飛行ロボットの概要と制御システムの概要，そして2012年9月に実施した飛行経路制御実験及び自動離着陸実験の成果と今後の課題について，実験の動画を交えつつ発表を行った。



その後の質疑応答では、4ロータヘリコプタに対してPPGが持つアドバンテージについての質問を受けた。4ロータヘリコプタは、ホバリング飛行が可能で高い機動性を持つことから、近年活発な研究がおこなわれている。この質問に対しては、PPGが4ロータヘリコプタと比較して高い安定性を持つことが利点であると回答したが、今後の研究でも、4ロータヘリコプタや他の飛行体に対するアドバンテージを獲得することが大きな課題になることが予想される。

## 1.2 不確かさを含む Sum of Squares に基づく多項式ファジィ制御系設計

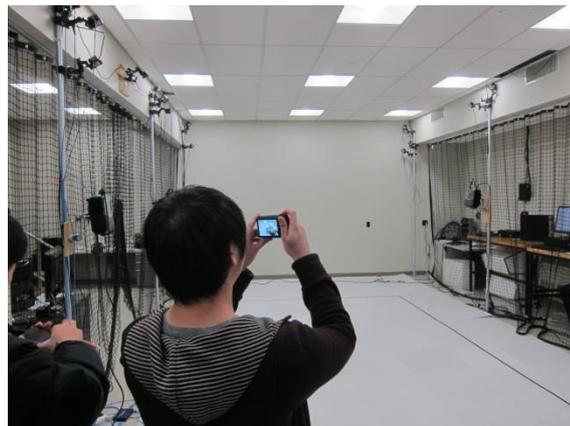
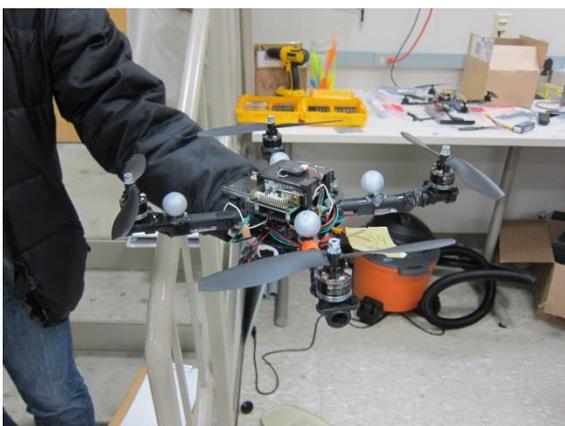
知能機械工学専攻の遠藤が、当研究室が進めるSOSTOOLS, SeDuMiなどを利用した非線形制御理論の拡張に関するについて発表を行った。非線形制御手法の一つであるファジィモデルに基づく制御は、他の非線形制御手法に比べ、「簡単に・自然に・効果的に」非線形制御を実現できることが特徴である。近年、ファジィモデルに基づく制御をより一般化した、Sum of Squares (SOS)に基づく多項式ファジィ制御系設計手法が提案されている。先行研究によって、連続系システム、離散システムに対する安定解析条件、安定化条件、最適性を考慮した設計条件等が導出されている。一方、実システムにおける制御系設計ではモデル誤差に対してロバスト性を有する制御系設計が求められる。今回は不確かさを含む多項式ファジィ制御系設計手法を提案し小型ヘリコプタの例題にて有効性を示した。その後の質疑応答では、今後の研究の課題や方向性について意見をいただくことができた。現在進めている理論の前段階としてモノミアルベクトルという理論とリアプノフ関数の多項式化の2つの手法を取り入れるべきとの意見であった。提案された手法を取り入れることにより、より理論の一般性を高めることができると考えられる。また本理論の定義方式について議論をし、意見をいただくことができ有意義であった。



## 2. 研究室見学

ボストン大学の Wang 教授の研究グループと、知能ロボット、制御に関する研究グループの見学を行った。

4ロータヘリコプタに関する研究を見学した。このヘリコプタは外界カメラを用いて機体の位置姿勢をセンシングして制御しており、モーショントラッキングのために機体に4つのマーカーを装備し、実験フィールドには多数のカメラが設置されていた。また、興味深い点として、実験フィールドに複数のプロジェクタが設置されており、実験フィールドの床面に地形を投影することで、任意の環境でシミュレーション実験を行うことが可能となっていた。

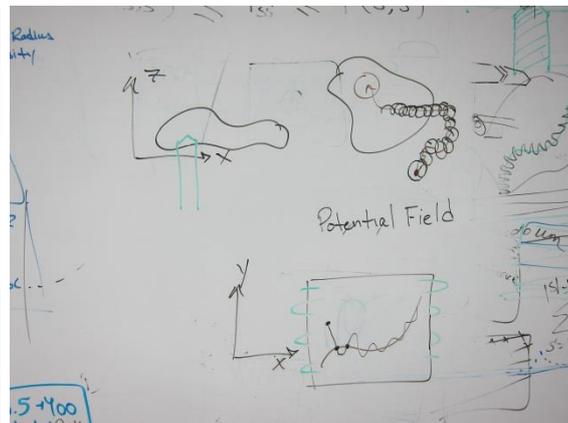
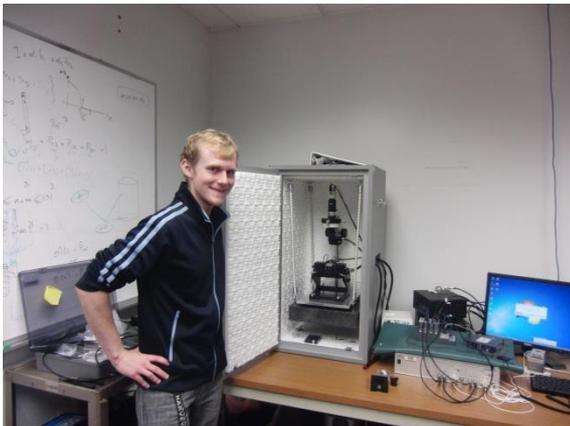


人間と協調してダンスを模倣した運動を行うことのできるロボットの研究について説明を受けた。人間のダンスの動きをパターン化して、Kinect を用いて人のダンス映像を画像処理し、ダンスパターンに対応した運動をロボットに行動させることができる。

スマートパーキングシステムの研究を見学した。このシステムは、自動車利用者に対して近くにある駐車場の空き情報を検索して提示し、さらに駐車スペースを予約することが可能である。また、このシステムの検証をするために、道路と信号、駐車場を模した実験フィールドを作成しており、自律走行するロボットを利用してシステムの検証を行うことが可能となっていた。



ナノスケールの物体を計測する測定器の研究を見学した。この測定器は、接触式の測定ヘッドを持ち、微小な高低差を検出することで物体を計測する。この測定ヘッドの移動経路を物体に沿って作成することによって、測定時間を短縮することが可能となる。



### 3. 講義の聴講

ボストン大学大学院の制御工学の2つの講義を聴講させていただいた。講義の内容は線形制御、適応制御の2つであった。線形制御では IEEE の Control Systems Society で Vice-President である John Baillieul 教授の講義を聴講した。本講義では時変システムの可制御性、可観測性の証明について詳細に説明しており、制御理論に関する知識を深められた。適応制御では Mac Schwager 教授の講義を聴講した。ボストン大学大学院の学生が自身の研究に適応制御をどのように利用したかを発表するプレゼン形式の講義であった。発表内容はパラフォイル、クワッドロータヘリコプタ等当研究室が研究課題として取り組んでいる飛行ロボットへの適用も多く今後の研究を進める上でも参考になった。



## 第2回 (2013/3/1~3/10)

派遣メンバー： 知能機械工学科4年 菊島達也, 佐藤順亮, Radian Furqon (本学大学院への進学内定)

### 1. 研究発表

ボストン大学の Wang 先生と学生数名に対して発表を行った。発表はテーマ別に分かれ、計6回行った。

#### 1.1 Visual Image Reconstruction from EEG for BMI

##### 1.1.1 研究概要

従来の Brain-machine Interface (BMI) では、定常状態視覚誘発電位 (SSVEP) や P300 事象関連電位といった、時間的特性によるインタフェースの構築が主で、空間的特性を利用したものは殆どみられない。これらのインタフェースの多くには、計測器の中でも小型化に成功し、利便性に長けた脳波 (Electroencephalogram: EEG) が用いられる。また空間的特性を用いた脳情報デコーディングの手法として、Miyawaki らの視覚像再構成に関する研究がある。こちらの研究では、計測器に functional magnetic resonance imaging (fMRI) を用いている。このように脳活動の計測方法は、1種類ではなく多種多様に存在する。これは計測器ごとにある特筆すべき特徴に由来する。具体例として EEG は時間分解能が高く (0.001[s]), 空間分解能が低い (20~30[mm])。しかし比較的安価かつ簡便な装置で計測可能というメリットから BMI の中枢を担う計測方法の一つとなっている。一方で fMRI は、非侵襲式では最高峰の空間分解能を誇り (1~3[mm])、脳の深部の信号も得られるという絶大なメリットを持つ。しかし装置が大型というデメリットも存在する。本研究では脳波を用いての視覚像再構成を試みることで、その可能性を明らかにする。そして空間的特性を利用した、従来の手法にはなかった新しいインタフェースの開発を目指す。

##### 1.1.2 発表内容

「BMI のための脳波による視覚像再構成」の研究成果について発表を行った。

##### 1.1.3 発表風景と質疑応答

質疑応答では、学習セッションにおける提示画像と評価セッションにおける再構成画像の違いについて質問を受けた。これは、本研究の特徴の1つとして挙げられる、少ない学習サンプルでより多くのクラスを判別することが起因している。通常のパターン認識では、例えば4クラスの識別を行う場合、学習により4クラス識別モデルを1つ作成する。しかし本研究では、学習により2クラス識別モデルを9つ作成する。前者では、1回の入力に対し4パターンの出力がされるのに対し、後者は、1回の入力に対し9つの識別モデルが同時に識別を行うことで  $2^9 = 512$  パターンの出力が期待できる。これにより、少ない学習サンプルで多くのクラス判別を実現している。発表を通じて学んだことは、当然のことではあるが、聞き手にとって分かりやすい説明や工夫が要求される、ということである。英語での発表の経験を経て、表現力の欠如を痛感した。工夫としては、動画を多く使用する、スライド1枚当たりの情報量を少なくする、また細かな設定まで正確に伝えることは逆に混乱を招くので抽象的に説明する等が考

えられる。



図1 Visual Image Reconstruction from EEG for BMI の発表風景

## 1.2 Redundant Multi-link Robot Massage System

### 1.2.1 研究概要

近年、少子高齢社会の到来とともに薬による副作用の恐れがないマッサージの需要が高まっている。しかしながら、人間が行うマッサージには施術者の負担、施術者の不足、時間的制約、施術者の技術不足といった問題がある。これらの問題を解決するため、人間に代わってマッサージを行うマッサージロボットに関する研究が盛んに行われている。人間が行うマッサージでは同時に多点を刺激するため、マッサージロボットは多点を同時に接触する多点同時接触制御が必要となる。従来のマッサージロボット研究としては、冗長マニピュレータの手先で対象物に接触を行う研究がある。これは対象物との接触箇所が1点であるため、多点同時接触を行うためには複数の冗長マニピュレータを用意する必要があり、システム全体としてはコスト増加と装置サイズの大型化が問題となる。これに対し、ロボットハンドの複数の指の先端で対象に接触することにより、多点同時にマッサージ動作を行う研究がある。しかしながら、ロボットハンドでは同時に接触できる範囲が狭い領域に限られてしまう。以上の課題に対し、本研究では冗長多リンクロボットを用いて多点接触させることでマッサージ動作を行うことを考える。細長い冗長多リンクロボットの末端部分だけでなく、体幹における複数の部分を対象物に接触することで、より広い領域に対して多点同時接触を行うことができる。また、用いるロボットが冗長多リンクロボット1体であるため、複数の冗長マニピュレータを用いる場合よりも装置を小型化できると考えられる。冗長多リンクロボットによる多点接触制御の例として包み込み把握がある。この手法は大きく分けて、接触位置を既知とする場合と、接触位置を検出する場合とに分けられる。前者は包み込み把握の安定性、対象物の持ち上げ、離脱の解析が目的であり、接触位置の制御を目的としていない。包み込み把握は対象物との接触をリンクの腹で行うため、後者に関しても接触位置を直接制御するものはない。本研究では多様なマッサージ動作を行う新たなマッサージシステムの実現を目指し、冗長多リンクロボットを用いたマッサージシステムの開発と多点同時接触位置制御方法の提案を行う。具体的には、制御が容易になるロボット機構の提案、2つの接触点の位置制御および冗長性を利用した干渉回避方法の提案を行い、シミュレーションおよび実機実験により制御則の有効性を検証する。

### 1.2.2 発表内容

研究テーマである「多点同時接触」について以下の内容を発表した。

- ・制御が容易になる機構の提案
- ロボットと対象物の接触制御が容易になる機構を提案し、従来の機構と比較について説明した。
- ・位置・姿勢制御

ロボットが対象物と接触する位置とロボットの姿勢の制御則の導出について説明を行った。また、評価関数を用いることで、ロボットと対象物の干渉リスクの低減を行っていることを説明した。制御則の有効性をシミュレーションと実機実験にて示した。

- ・力制御

ロボットが対象物に押し付ける力の制御則の導出について説明を行った。制御則の有効性をシミュレーションと実機実験にて示した。制御則と実験環境に今後の課題があることについても説明した。

### 1.2.3 発表風景と質疑応答

ロボットが対象物との干渉回避を行う必要性について議論を行った。ロボットは対象物と2点で接触し、それ以外は対象物と接触(干渉)しないように制御則を設計した。マッサージシステムを実現するために干渉回避を行わせる必要性は、局所的に刺激することがマッサージには必要であり、被制御量以外が接触するのは望ましくないことを説明した。制御の目的も聞き手にとって重要な要素であることを学んだ。



図2 Redundant Multi-link Robot Massage Systemの発表風景

## 1.3 Proposing New Stimuli for SSVEP-based BMI

### 1.3.1 研究概要

科学技術の発展に伴い、手足の運動や言語機能に重篤な障害を持つ患者が直接脳活動を測定することにより、他者と円滑に意思疎通を行えるようにする議于術、ブレイン・マシン・インタフェース(BMI)技術が現在注目を浴びている。その中でも識別が容易と言われる視覚誘発電位(VEP)、特に定常状態視覚誘発電位(SSVEP)によるインタフェースが盛んになっている。SSVEPとは周期的に点滅する視覚刺激(フリッカ刺激)を観察中に誘発される脳波成分のことであり、フリッカ刺激の周波数に同期した正弦波の成分を得られる。一般的にSSVEPで用いられる刺激は点滅する発光ダイオード(LED)と液晶モニター(LCD)上で点滅する単一図形および反転するチェッカーボードの3つである。BMIを開発する際に、LCDを用いるとハードウェアの改造が不必要なため、LCDを用いるインタフェース開発が行われている。しかし、LCDを用いると、LEDを用いるより提示可能な刺激の周波数が限られている。それは、LCDが1秒間に何個の画面(frame)を提示できるLCDの垂直リフレッシュレート(R)が普段だと100[Hz]より低いためであり(一般的には60[Hz])、 $R/2$ 以下の周波数の刺激のみ提示することができる。また、LCDの垂直リフレッシュレート(60[Hz])の約数(周期:2, 3, 4, ..., 60 frame)を周波数の刺激として用いると、安定した刺激が提示できる。本研究では、LCDを用いると提示可能な刺激が限られるため、限られた周波数の中で脳波(EEG)の識別が可能な刺激の数を増加させるように、新しい刺激を提案し、検証を行う。

### 1.3.2 発表内容

LCDを用いたSSVEPによるBMIのための新しい刺激の提案について、以下の内容を発表した。

- ・ BMI  
BMI, EEG および EEG による BMI について紹介した。
- ・ SSVEP  
SSVEP, LCD の制約およびその制約がどう SSVEP によるインタフェースに影響するかについて説明した。
- ・ 提案した刺激  
本研究で提案した刺激を示し、刺激の詳細および検証の結果を述べた。

### 1.3.3 発表風景と質疑応答

今後提案した刺激がどういう風に使うのかの説明が求められた。現時点では提案した刺激が従来の刺激より、空間的な性質に関しては劣るが、リアルタイム性に関しては優れていることまで証明した。この特徴を今後どう生かすのかについて今後の課題となっている。



図3 Proposing New Stimuli for SSVEP-based BMI の発表風景

## 1.4 Powered Paraglider

### 1.4.1 研究概要

近年、無人で自律という特徴を持つ自律型無人航空機(Unmanned Aerial Vehicle, 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を目的として研究・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。これらに対し電動パラグライダー(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、機体姿勢の制御が容易、携行性に優れ、高い安全性と運用性を持ったシステムである。このことは PPG が、低速飛行が難しく滑走距離が比較的長い固定翼機や制御が難しい回転翼機の欠点を補完できる飛行体であることを示す。このように、他の飛行体と異なる特徴を持つ PPG は特に情報収集において、有利なシステムであり、現在までに多くの研究が行われている。しかしその内容は、ダイナミクスモデル化および解析、機体の開発、簡易な PID 制御器の設計、線形化を施したモデルに対する制御器の設計に留まっている。このような PPG 研究の現状に対し、非線形成分の強い飛行体である PPG の制御器設計には、非線形モデルに対して直接制御器設計を行う必要がある。そこで本研究では、まず PPG 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。高度制御・方向制御について、それぞれ独立な 2次元平面内での 3自由度モデルを構築し、そのモデルに基づくファジィ制御器の設計を行う。また、制御シミュレーションの結果を踏まえて、実機による実験システムの構築及び実験結果についても言及する。

### 1.4.2 発表内容

本研究室で行われている Powered ParaGlider(PPG)の研究について、以下の発表を行った。

- 高度制御，方向制御を用いた広域情報収集  
各ファジィ制御器を設計し，PPG の飛行を実現した。これを利用し広域情報収集実験を行った。この実験の説明を行った。
- 自動離陸  
手動入力を一切行わずに自動で，PPG の離陸を行った。この実験の説明を行った。
- HILS  
フィードバック制御系のシミュレーションにおいて，システムの構成要素のうち 1部を実機，他をシミュレータで構成したものである。HILS の具体的な構成について説明を行った。

### 1.4.3 発表風景と質疑応答

議論の中心となったのは，制御ソフトウェアの検証シミュレータ HILS(Hardware In the Loop

Simulator)に関するものであった。本研究室の HILS は、飛行環境(位置、姿勢等)を仮想的に実現することで PPG の制御が機能しているかを検証する。この飛行環境の仮想的実現に関して、風外乱を考慮しているか等の質問を受けた。



図 4 PPG の発表風景

## 1.5 AR Drone

### 1.5.1 研究概要

近年、飛行ロボットを用いた情報収集を行う研究は数多くなされており、特に、災害現場等の様々な情報が必要となる場所においては、多機能な飛行ロボットの活躍が期待される。しかし、機体が大型化しやすく、飛行領域の縮小を招く。そのため、機体を小型に保ちつつ、様々な情報を取得できる飛行ロボットの開発が必要となる。本研究では、汎用性があり、小型かつ安価で購入できる屋内型飛行ロボットに着目した。これには内蔵カメラが搭載されており、内蔵カメラによるマーカの追従制御を行うことが可能である。これにより、被数台の飛行ロボットによる追従制御システムを構築し、様々な情報を収集することが可能な飛行ロボット群システムを構築する。このメリットとしては、使用する飛行ロボットに元から内蔵されているため、追従制御を行う上で新たに機能を増設する必要が無いこと・さらに、もし、タスク中にリーダー機が故障し墜落した場合でも、フォロワー機がリーダー機として、司令部に映像を供給することが可能になるため、システム全体として故障しにくくなることが挙げられる。このシステムのメリットとして、単機では多くの機能を搭載すること、多くの情報を収集することが不可能な小型、軽量の機体に対し、群システムを適用することで、システム全体として多くの情報を収集することが可能になる。また、個体に搭載する機能を少なくすることで操体を小型に保つことが可能となる。これは、高機能・高性能ではあるが、単体として高価な機体よりも、機能・性能は劣るが非常に安価であるため、コストメリットに優れる。さらに、ある機体が故障などの事故に遭遇した場合においても、その機体が目的としていたタスクが実行不可能になるだけでよく、残りの機体により、システム全体として目的としたタスクの多くを実行することが出来る可能性を有するなど、単機の場合と比較して、優れた対故障性を有する。また、機能を拡張する場合においても、単機では許容重量等の問題のために、機体設計の見直し等が課せられる場合であっても、本システムは新たに新機能を搭載した個体をシステム内に増設するだけでよく、現在までのシステムにはほとんど干渉しない。また、縮小する場合においても同様であるため、非常に優れた拡張性を有する。本研究では、まず、本システムのモデル化、制御則の導出を行う。さらに、実機を用いて屋内での機体追従制御実験および、自動帰還制御実験を行い、本システムの、有効性を示す。

### 1.5.2 発表内容

「ビジュアル情報を用いた小型ヘリコプタの追従制御とその応用」について以下の内容を発表した。

- ・研究背景  
群制御の先行研究との比較を説明した。
- ・追従制御

フォロワー機がリーダー機を追従するシステムの構築，制御則の導出について説明を行った．制御則の有効性を実機実験にて示した．

- ・進路切替制御

リーダー機が進路を変更した場合でもフォロワー機が壁と衝突することなく，リーダー機を追従するシステムの構築，制御則の導出について説明を行った．制御則の有効性を実機実験にて示した．

- ・自動帰還制御

機体が自動で目標地点まで帰還するシステムの構築，制御則の導出について説明を行った．制御則の有効性を実機実験にて示した．

### 1.5.3 発表風景と質疑応答

三つの制御則の特徴について議論した．追従制御ではフォロワー機の操縦は一切行っておらず，進路切替制御ではリーダー機に取り付けたマーカのビジュアル情報を用いて壁との衝突を回避しており，自動帰還制御では機体の操縦を一切行っていないことを説明した．また，視覚的にわかりやすい発表資料の要点についても学んだ．



図 5 AR Drone の発表風景

## 1.6 Magnus Effect-based Aerial Vehicle

### 1.6.1 研究概要

災害現場での情報収集を想定した飛行体として，滑走距離が短く，かつ，低速でも空中移動可能なマグナス効果を利用した飛行体の提案と開発が行われている．固定翼機の場合，その特性上，滑走距離の短縮や飛行速度の低速化のためには翼面積を確保する必要があり，それは機体の大型化につながってしまうという問題がある．我々の提案しているマグナス効果を利用した飛行体は，機体を大型化させることなく，これらの利点を達成できる飛行体として期待される．本研究では，マグナス効果が発生する円柱回転翼（以下，マグナス翼）を開発し，本体の左右に設置した飛行体を試作した．マグナス効果の揚力利用を狙った円柱回転翼を有する飛行体はいくつか開発されているが，開発された機体は円柱回転翼と固定翼を組み合わせたものであり，円柱回転翼のみで空中移動を実現する移動体は我々の知る限り存在しない．本研究では，この機体のピッチ方向の簡易モデルを導出し，これらのモデルと機体の大きさや重量などを制約条件としたマグナス翼の設計（サイズ決定）のための最適化シミュレーションを行い，シミュレーションで決定された最適パラメータを用いてマグナス翼機を開発した．さらに，滑走距離が短く，低速でも飛行可能であることを実験より検証した．

### 1.6.2 発表内容

マグナス効果を用いた飛行ロボットについて発表し，研究室の飛行ロボットを紹介した．内容としては以下となる．

- ・マグナス効果とは
- ・モデル化および設計手順
- ・実験および飛行ロボット大会の動画

### 1.6.3 発表風景と質疑応答

発表を聞いていただいたボストン大の学生達はマグナス効果というのが初耳だったため、マグナス効果の解説に時間を要したが、Wang 先生に一般的な固定翼についてわかりやすく説明していただけたため、最終的には学生達にもマグナス効果を理解してもらうことができた。



図 6 Magnus Effect-based Aerial Vehicle の発表風景

## 2. 講義参加

ボストン大学で以下 3 つ、世界的に有名な先生方による大学院の授業に参加させていただいた。

1. Prof. Hua Wang : Nonlinear Control Systems (図 7)
2. Prof. C. G. Cassandras : Discrete Event/Hybrid Systems (図 8)
3. Prof. John Bailleul : Vision Robotics and Planning (図 9)

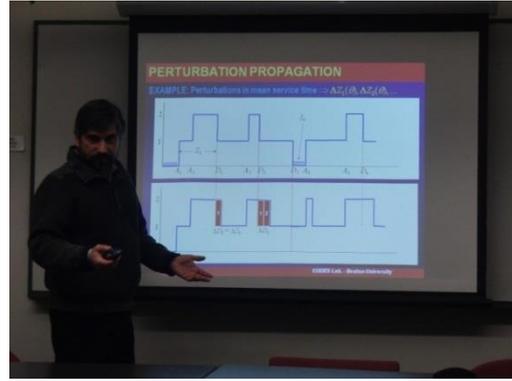
参加した全ての授業の人数は 10 人前後であり、静香で集中しやすかった。そして、授業時間が 2 時間であり、殆ど休憩が無く、我々には大変だった。しかし、向こうの学生を注目すると、それが当たり前であり、2 時間ずっと集中し続けることができた。また、授業でボストン大学の大学院生の発表(図 8a)を聞くことができ、大変わかりやすかった。以上のように、アメリカの大学院の授業で新しいことを体験し、大変貴重な経験だった。



図 7 Nonlinear Control Systems



a. 学生の発表



b. 先生の説明

図 8 Discrete Event/Hybrid Systems



図 9 Vision Robotics and Planning

### 3. 研究室見学

モーションキャプチャを用いたロボットの移動経路に関する研究を行っている研究室を見学した。ロボットの経路を作成し、8つのモーションキャプチャから得られた位置情報のフィードバックを行っていた。ロボットの移動を三次元に拡張することが今後の課題であることを説明していただいた。



図 10 研究室見学

## 4. 大学院生による企画提案型プロジェクト研究

### 4.1 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、24年度は11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、各代表者のマネージメントの下、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24年度

提案・予算申請書提出期日： 平成24年5月25日（金）  
研究提案ヒアリング： 平成24年6月4日（月） 13:15～16:15  
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：

- |    |                  |          |      |   |
|----|------------------|----------|------|---|
| 5  | 野澤峻平             | 明研 修士1年  | 29万円 | ダイナミックヒューマノイドロボットの開発                                  |
| 6  | 小倉和也             | 明研 修士2年  | 27万円 | センサーフュージョンによるヒューマンアシストに関する研究                          |
| 7  | 河合大志             | 田中研 修士1年 | 31万円 | 動力付きパラグライダーを用いた低コスト・レスキューロボットの開発                      |
| 8  | 奥村 雅             | 田中研 修士2年 | 31万円 | 冗長多リンクロボットによるマッサージシステムの開発                             |
| 9  | 田中拓哉             | 田中研 修士2年 | 28万円 | BMIシステムを用いた身体麻痺障害者に向けての娯楽提供                           |
| 10 | 小澤晃司             | 田中研 修士2年 | 33万円 | マグナス効果を利用した飛行移動体の開発                                   |
| 11 | 田地良輔             | 小池研 修士2年 | 19万円 | 超磁歪素子を利用した埋め込み型骨導補聴器の開発<br>～ラットへの埋め込みによる補聴性能評価・安全性評価～ |
| 12 | 重田琢也             | 青山研 修士2年 | 27万円 | マルチニードル型キャピラリによる表面張力を用いた微小自在操作システム                    |
| 13 | 白取寛章             | 青山研 修士2年 | 22万円 | 圧電素子を用いた全方位回転機構を有する小型半球ステージの回転制御                      |
| 14 | Sungwan Boksuwan | 青山研 博士1年 | 27万円 | Optimal Steering of Micro Magnetic Manipulators       |
| 15 | Wenjing Zhao     | 明研 博士2年  | 27万円 | 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                         |

#### 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。

平成25年3月14日（木）13:00～16:00

電気通信大学 東4号館8階 802AV会議室  
発表時間 1件15分(10分発表、5分質疑応答)

#### 4.1 [プロジェクト名] 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]

1132058 野澤 峻平 知能機械工学専攻 大学院博士前期課程 2年 明研究室

##### [プロジェクトメンバー]

1132001 新 雅裕 知能機械工学専攻 大学院博士前期課程 2年 明研究室  
1232035 佐藤 圭吾 知能機械工学専攻 大学院博士前期課程 1年 明研究室  
1250024 田畑 利憲 情報システム学専攻 大学院博士前期課程 1年 明研究室  
1250040 宮本 一郎 情報システム学専攻 大学院博士前期課程 1年 明研究室  
0914034 阪根 嘉成 知能機械工学科 学部 4年 明研究室  
0924009 植木 公威 知能機械工学科 学部 4年 明研究室

[指導教員] 明 愛国・下条 誠・鈴木 陽介

### 1. 研究目的

本研究室では、4 節リンク機構を用いた変減速リンク機構を開発し、2 足歩行ロボットの膝関節静トルクを補う研究を行った。この研究で変減速リンク機構を用いて 2 足歩行ロボットの関節減速比を変化させることが可能であり、また有効であることが分かった。

しかし、変減速リンク機構は 2 足歩行ロボットの基本的動作である歩行動作には適していない。歩行動作には、立脚相と遊脚相が存在し、変減速リンク機構の持つ減速比変化は立脚相に対応可能であるが、遊脚相には適用できないためである。

そこで、歩行動作の立脚相、遊脚相の両方に対応できる機構を開発する。そのために、一つの機構で 2 種類の減速比変化を有するシステムを提案する。変減速機構に含まれる 4 節リンク機構を応用し、歩行動作中に 4 本のリンク長の組み合わせを 2 パターンに変化させることで、2 種類の減速比変化を実現する。

このシステムの実現には、リンク長を変化させる必要があるが、遊脚相と立脚相間で変化する機構に加わる負荷を利用する。ねじりばねと 2 本のリンクで構成される疑似リンク長が、機構に加わる負荷によってねじりばねが伸び縮みすることで変化する。

実機を用いた実験により、本機構の効果を検証する。

また、人間の膝関節構造を模倣し、変減速機構の機能を有する変減速交差リンク機構を開発した。

変減速交差リンク機構は、人間の膝関節のようなロールバックの運動をヒントにして設計することにより、膝関節アクチュエータのトルクの平滑化に加え、膝関節の可動域の広範囲化を実現する。

変減速リンク機構は、機構を搭載するための大きなスペースが必要であり、パーツ同士の干渉により、膝関節の可動範囲を狭めるといった問題があった。しかし、変減速交差リンクは、小スペースに搭載可能であり、可動範囲が大きいため、これらの問題点を解決することができる。

この変減速リンク機構を用いて、可動域の広範囲化と運動性能の向上を図る。

新たな研究テーマとして、ヒューマノイドロボットの不整地安定化に関する研究を行った。

ヒューマノイドロボットを坂・階段・砂地・砂利道等の一般的な環境で動作させることは困難である。そのため、それらの地面に対応した脚機構、制御法を開発し、歩行の安定化を図る様々な研究が行われており、そのひとつとして人間の足構造を参考にした脚機構が開発されている。それらの中でも、本研究室では人間足部のアーチ構造の再現に注目した。

アーチ構造を用いたロボットの開発はいくつか行われているが、これらの研究で人間のアーチ構造の有効性が十分実現されたとは言えない。その理由として、生体には弾性、粘性要素が含まれており、解析が難しいということがあげられる。

その点に加え、単一のアーチについての検証は行われてきているが、複数のアーチがある場合の効果の検証は十分に行われていない。そのため、複数アーチを持った足裏の不整地での歩行安定性について検証する必要がある。

本研究では、2足歩行ロボットに人間のアーチ構造を取り入れ、従来行われてきた歩行安定に対する単一のアーチでのみの検証ではなく、複数のアーチの効果の検証を行う。

## 2. 負荷感応変速リンク機構の研究結果

### 2.1 負荷感応変速リンク機構の概要

図1のように、4節リンク機構のうち入力軸と出力軸を設定すると、4本のリンク長を様々に変化させることで、出力軸の角速度変化に対する入力軸の角速度変化、つまり減速比を変化させることができる。

図2に機構の簡易モデルを示す。変減速リンク機構を応用し、4本のリンクのうち1つのリンクを2本のリンクとねじりばねを用いて代用する。図2上での軸Aと軸D間を疑似リンクとして、図1上のLink Dと同様に考える。

遊脚相において図2上の軸Aを回転させると、ねじりばねにはほとんど力が加わらないため、反力によって自然長を保ち、膝関節が膝をのびす方向に回転する。一方、立脚相において軸Aを回転させると、ねじりばねを縮ませる向きに力が加わり、疑似リンク長が変化した状態で膝関節が駆動される。この疑似リンク長を遊脚相、立脚相で2パターンに変化させることで、遊脚相、立脚相それぞれに適した減速比変化を実現する。

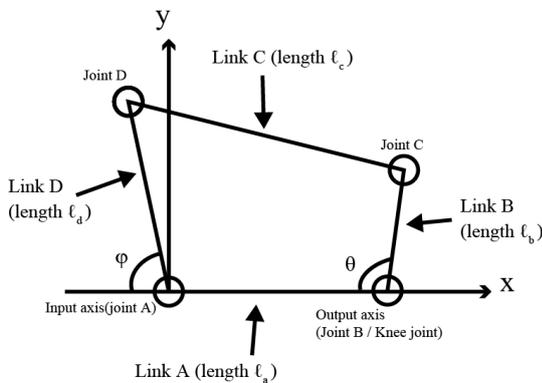


Fig.1 4 link mechanism

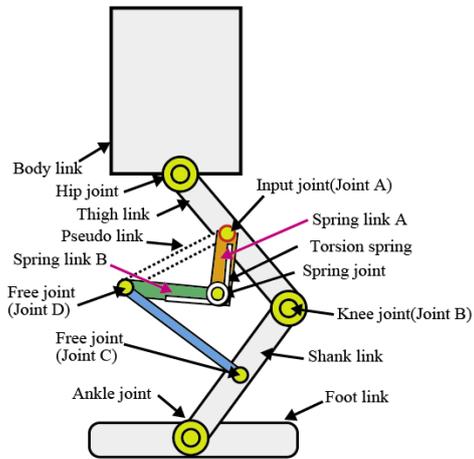


Fig.2 Mechanics model

### 2.2 減速比設計とシミュレーションによるばね定数の検討

歩行動作における膝関節静トルクの変化から、遊脚相、立脚相それぞれに適した減速比を設計する。人間の歩行軌道を参考に、足先の軌道が楕円軌道の際の膝関節静トルクを算出した。静トルクから各条件を設定し、遊脚相、立脚相それぞれに適した減速比変化を生じる、リンク長の組み合わせを算出した。

以下に、算出したリンク長の組み合わせを表1に示す。また、表1のリンク長の組み合わせを用いたときの、膝関節静トルクの変化を機構があるときとないときそれぞれについて図3に示した。また、その時の減速比変化を図4に示す。

Table.1 Link parameter (Swing Phase)

Table.2 Link parameter(Stance Phase)

Link	length[m]
$\ell_a$	0.05
$\ell_b$	0.05
$\ell_c$	0.068
$\ell_d$	0.05

Link	length[m]
$\ell_a$	0.05
$\ell_b$	0.05
$\ell_c$	0.068
$\ell_d'$	0.018

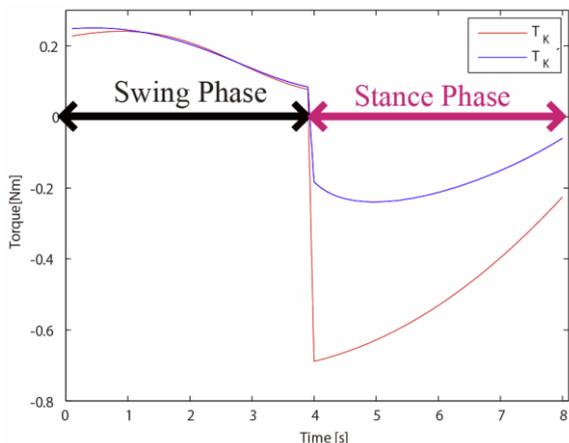


Fig.3 Knee joint static torque

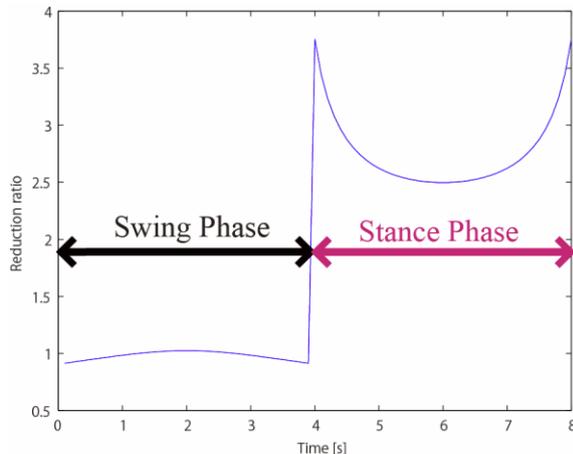


Fig.4 Reduction ratio

図 4 より、立脚相の減速比は、遊脚相にくらべ、約 2.5~3.7 まで高減速比化していることがわかる。図 3 より、表 1 と表 2 のようにリンク長が変化すれば、立脚相での静トルクの低減が可能になることがわかる。

## 2.2 シミュレーション

また、シミュレーションを用いて、本機構の重要な構成要素であるねじりばねのばね定数を選定した。シミュレーションで用いたモーションは、一般的な歩行モーションとは違いがあり、機構の入力軸のみを駆動する時間を設定した。これは、確実にねじりばねの変化が行われてから、歩行動作に移行するのが望ましいためである。この時の、ねじりばねの伸び縮みに要する時間と足を一步出す時間をそれぞれ設定し、ばね定数と同様に検証を行った。

## 2.3 実機製作

減速比設計とシミュレーション結果を用いて、実機的设计，製作を行った。

図 1 に試作機の外觀を示す。図 2 に機構部を拡大したものを示す。

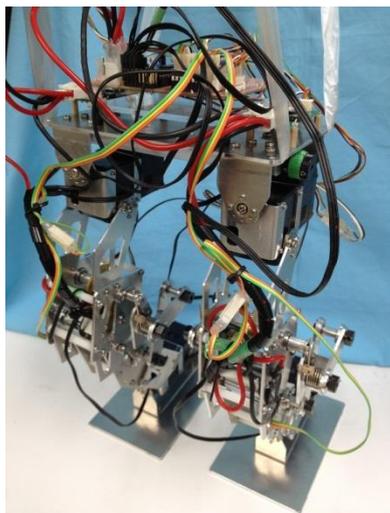


Fig.5 Prototype



Fig.6 Mechanism

## 2.4 実験

試作機を用いた実験を行った。実験は2種類の制御法を用いて行った。機構入力軸角度フィードバック制御によるものと、膝関節角度フィードバック制御の2つである。

### 2.4.1 機構入力軸角度フィードバック制御による歩行動作実験

まず、機構入力軸角度フィードバック制御による歩行動作実験を行った。

この制御は、機構の入力軸角度を目標角度にして、入力軸を駆動する方法である。歩行動作のモーションはシミュレーションと同様の歩行モーションである。この実験では、入力軸が理論値通りの動作をしたとき、減速比の切り替えが可能かどうかを検証するために行った。

本研究での実験では、膝関節アクチュエータトルク、膝関節角度、入力軸角度を取得し、実験結果として検証に使用した。

### 2.4.2 実験結果

以下に、膝関節アクチュエータトルク、膝関節角度、それぞれの時間に対する変化を図7、図8にそれぞれ示す。図7には実験値に加え、機構がないときの膝関節アクチュエータトルクを示した。また、図8には実験値に加えて理論値を示した。足を一步出すときとばねの伸び縮みをさせるときの切り替わるタイミングを縦線であらわした。

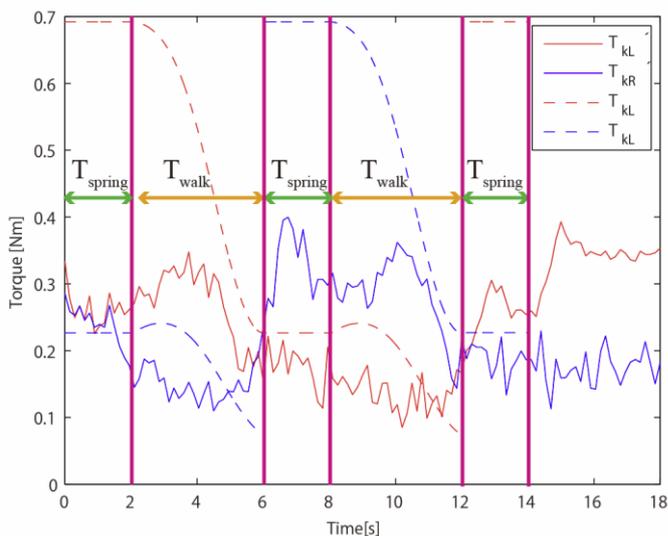


Fig.7 Knee joint actuator torque

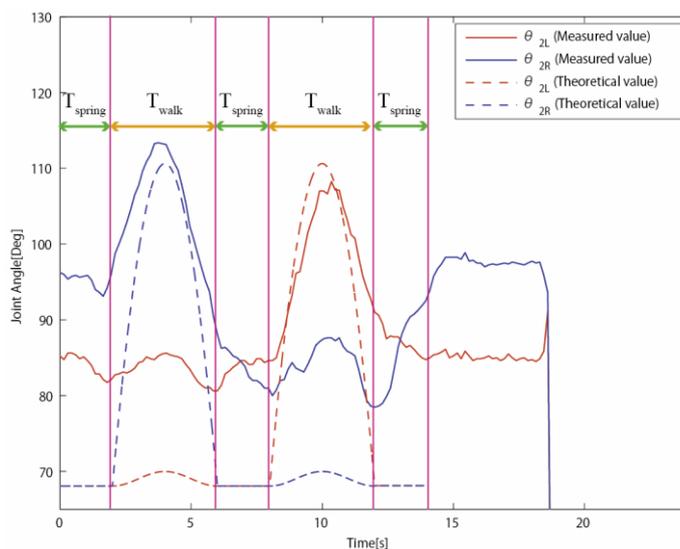


Fig.8 Knee joint angle

図7より、左右の足ともに、立脚相での膝関節アクチュエータ静トルクが、減速比計算のものよりも減少していることがわかる。減速比設計通りの結果ではないが、機構の減速比変化が行われたことが確認できる。

また、図8では、実験値と理論値に大きく差が生じている。初期状態で、理論値より実験値のほうが大きく膝関節が曲がってしまっている。これは、ねじりばねが自然長を保てず、すこしたわんだ状態で直立を維持しているためである。これは、歩行動作中でも同様の変化が見られている。しかし、歩行動作自体は可能であった。ねじりばねがたわんでしまう問題は、歩行動作は同様に可能であるが、ばね定数の大きなねじりばねを用いることで解決できると考えられる。

### 2.4.3 膝関節角度フィードバック制御による歩行動作実験.

機構入力軸角度を目標値とした制御では、入力する角度の数値を膝関節やリンク長の変化に合わせて変化させなければならないため、計算の手間が増える。また、ねじりばねを曲げ伸ばしするための時間を設けており、自然な歩行に遠い動作になってしまう。

一般的なロボットでは、膝関節角度を目標値とした動作を行うべきであり、受動的にねじりばねが曲がる動作が好ましい。この条件を満たすために膝関節角度フィードバック制御による歩行動作実験を行う。

ロボットのモーションは、2.4.2 で示したものと違い、ねじりばねの曲げ伸ばしの時間を伴わない自然な歩行動作である。この実験では、膝関節角度フィードバック制御により、受動的なねじりばねの変化を伴う歩行が可能かどうかを検証する。

### 2.4.4 実験結果

以下に、膝関節アクチュエータトルク、入力軸角度、膝関節角度、それぞれの時間に対する変化を図9、図10、図11にそれぞれ示す。図9には実験値に加え、機構のないときの膝関節アクチュエータトルクを示した。また、図10、図11には実験値に加えて理論値を示した。足を一步出すときとばねの伸び縮みをさせるときの切り替わるタイミングを縦線であらわした。

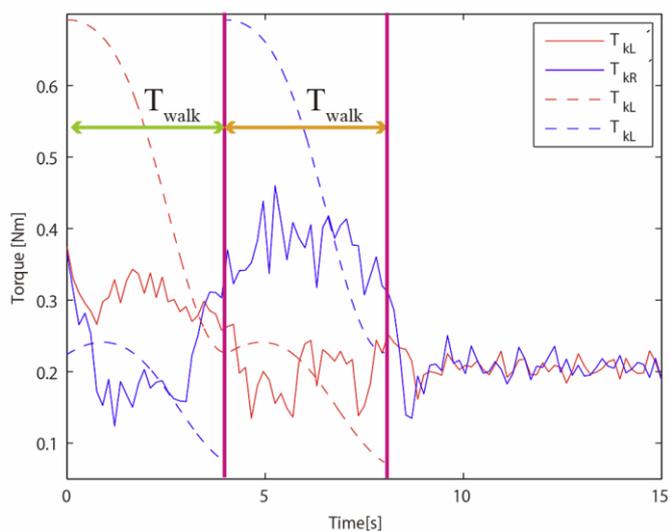


Fig.9 Knee joint actuator torque

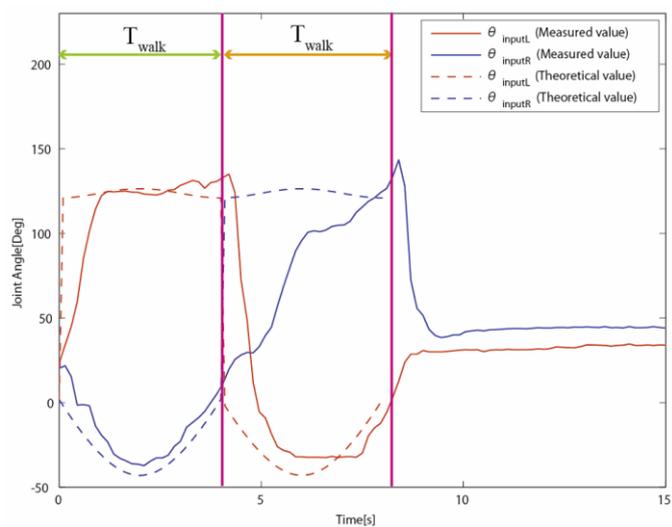


Fig.10 Input joint angle

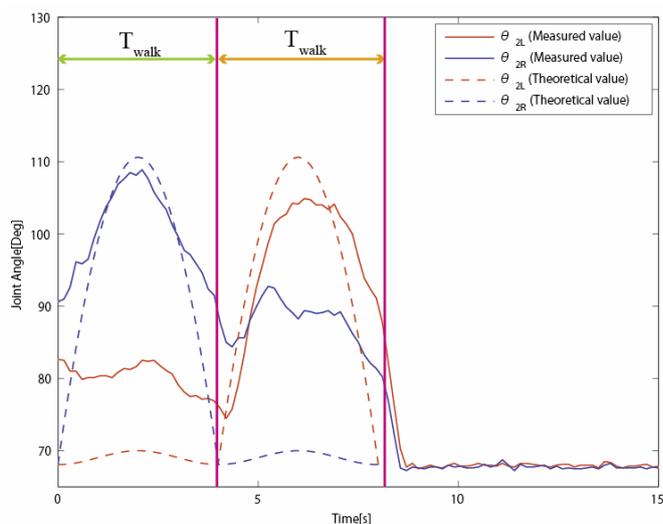


Fig.11 Knee joint angle

図 9 より、左右の足ともに、立脚相での膝関節アクチュエータが、機構がないときのものよりも減少しているがわかる。減速比設計通りの結果ではないが、機構の減速比変化が行われたことが確認できる。

図 10 より、遊脚相においては、理論値と実験値がほぼ等しくなっている。しかし、立脚相では実験値が理論値に差が生じている。これは、立脚相が移行しながらねじりばねが曲がり切っていることを表している。理論値通りの変化は実現できなかったが、歩行動作は可能であった。

また、図 11 より一歩目の膝関節角度変化は実験値と理論値の差が大きいものの、近い変化をしていることがわかる。しかし、二歩目に関しては、右足に関して理論値と実験値に大きな差が生じている。これは、ねじりばねの変化に由来すると考えられる。ねじりばねが即座に曲がりきることなく、立脚相に移行したため、理論値に到達できずに歩行が行われたのである。ねじりばねが曲がり切ったあとは膝関節が伸びていることがわかる。

この問題は、歩行軌道や歩行モーションの改良によって改善できると思われる。立脚相に移行した際、急に膝関節を伸ばそうとするような歩行動作を行えば、機構入力軸も急速に回転するため、ねじりばねが即座に曲がり切った状態で立脚相に移行可能ではないかと考えられる。

## 2.5 結言

本研究では、歩行動作における遊脚相と立脚相間での静トルクの大きな変化に対応可能な負荷感応変速リンク機構を提案した。

機構入力軸角度フィードバック制御による歩行動作実験によって、機構の減速比変化システムが実現可能であると確認できた。

また、膝関節角度フィードバック制御による歩行動作実験によって、ねじりばねの受動的変形を用いた歩行動作が可能であることが確認できた。

今後の課題としては、本機構と共に、股関節や足首関節にもフィードバック制御を用いることで、さまざまな環境での歩行動作が可能かどうかの確認を行うこと、一般的なロボットへの適用の検証などが挙げられる。

## 3.変減速交差リンク機構の研究成果

### 3.1 変減速交差リンク機構の概要

本研究は、膝関節における動作の高速化および可動域の広範囲化を目的とし、変減速が可能でコンパクトな新機構を考案した。

交差リンク機構モデルを図 13 に青、黄、緑、赤の線で示す。軸 O を入力軸、軸 R を出力軸とすると、入力トルク  $\tau_i$  と出力トルク  $\tau_o$  の関係は式(1)となる。

$$\tau_o = \frac{d \sin \alpha_Q}{b \sin \alpha_P} \tau_i \quad (1)$$

各リンク長を  $a=40\text{mm}$ ,  $b=35\text{mm}$ ,  $c=35\text{mm}$ ,  $d=30\text{mm}$  としたときの交差リンクの減速比を図 12 に示す。一般に膝関節アクチュエータに必要な静トルクは、伸展時に小さく、屈曲時に大きい。そのため、減速比も伸展時に小さく、屈曲時に大きくすることで、入力軸における静トルクの平滑化を可能とする。

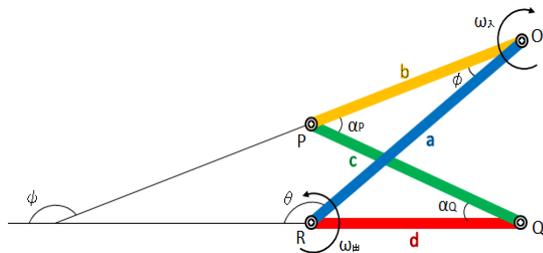


Fig.12 Cross link model

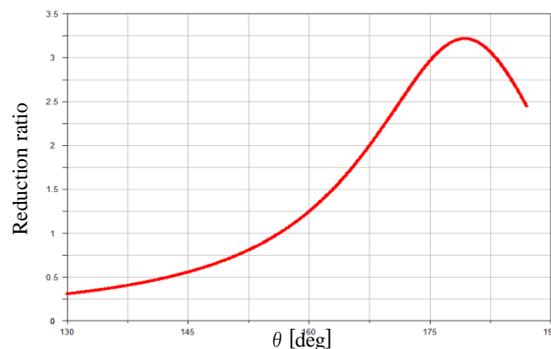


Fig.13 Change of reduction ratio

### 3.2 ロボットの試作

図 14 の(a), (b)に試作したロボットの外観と変減速交差リンク機構部を拡大した写真を示す。青、黄、緑、赤の直線部分が変減速交差リンク機構である。向かい合った 2 辺の黄色と赤色のリンクを上腿部と下腿部のパーツとして構成することで、コンパクトな機構で可動域の広範囲化を図る。

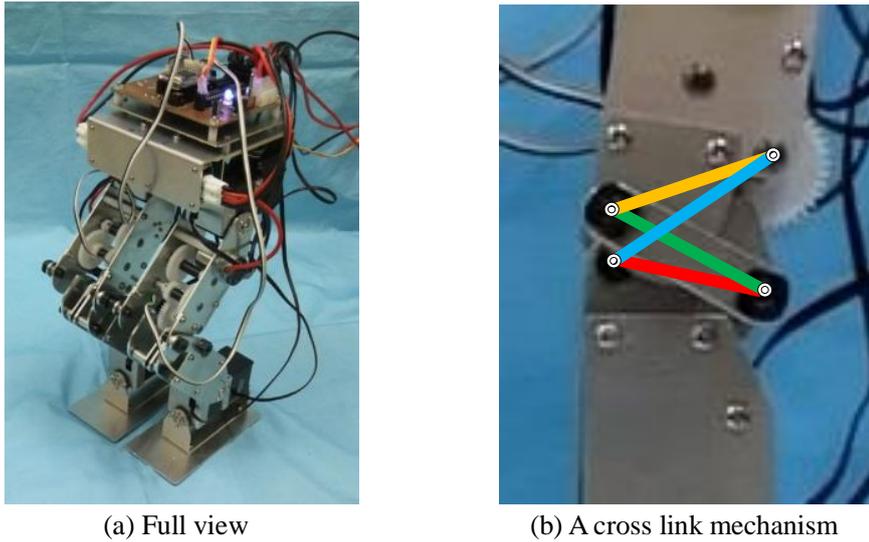


Fig.14 Prototype of robot

### 3.3 実験

#### 3.3.1 屈曲実験

静的動作における検証として、低速の屈曲動作で実験を行った。伸展状態（膝関節角度 0deg）から屈曲状態（膝関節角度 140deg）まで 45 秒間、位置制御を用いて等角速度で屈曲を行い、モータの出力するトルクを測定した。

測定は、DC モータの消費電流値をサンプリング周波数 66Hz で取得し、取得した消費電流値とトルク定数、減速比の積から膝関節アクチュエータのトルクを算出した。

#### 3.3.2 実験結果

歯車機構と交差リンク機構をそれぞれ搭載した時の実験結果を図 15、図 16 に示す。これらのグラフは、経過時間に対する膝関節アクチュエータの出力トルクの変化を表したものである。また、歯車機構搭載時において、実験途中で膝パーツが干渉したため、干渉したことを確認した後、強制的にデータ取得を終了し、それまでの取得したデータをグラフに載せた。

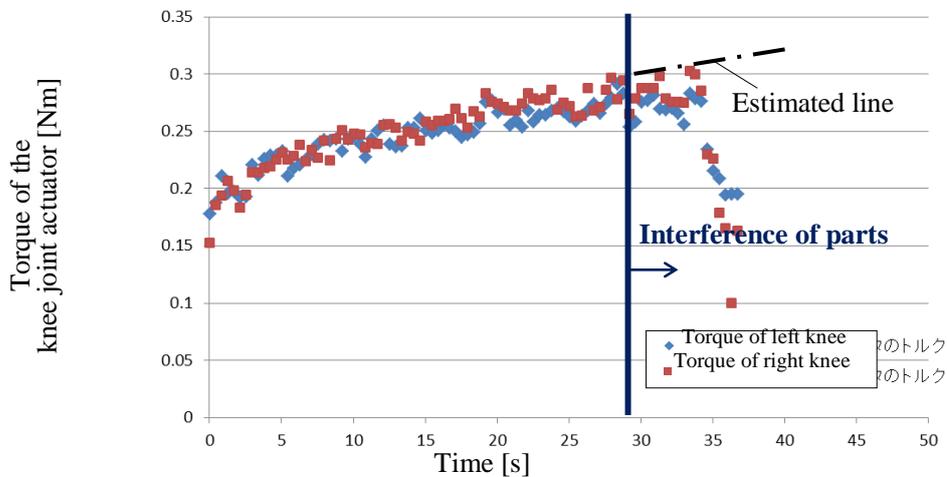


Fig.15 Torque for flexion motion with gear mechanism (Constant reduction ratio)

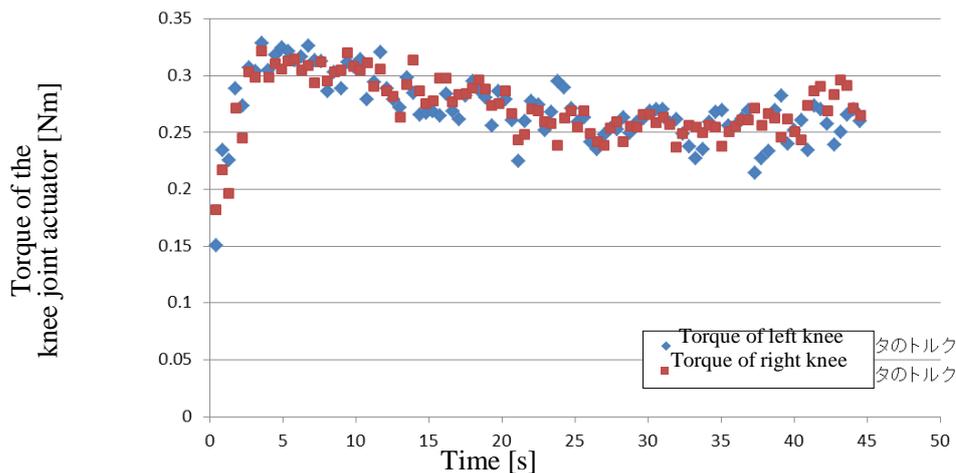


Fig.16 Torque for flexion motion with cross link mechanism (Variable reduction ratio)

歯車機構搭載時では動作途中で膝パーツが干渉し膝関節角度が 122deg までしか曲がらなかったのに対し、交差リンク機構搭載時には干渉することなく目標値の 140deg まで屈曲運動が可能であった。また、交差リンク機構搭載時にはトルクの平滑化を実現した。歯車機構搭載時では、途中でパーツの干渉が生じ、それ以上の測定は不可能であったが、交差リンク機構搭載時と同様、45 秒間屈曲し続けたと仮定すると、トルク増加の形状から約 0.32 Nm まで推測できる。一方、交差リンク機構搭載時においても最大トルクは 0.32 Nm であることがわかる。したがって、交差リンク機構の導入により膝関節アクチュエータに必要なトルクを増加させることなく伸展時におけるトルク余裕を解消できた。

### 3.3.3 立ち上がり実験

立脚時における高速運動の検証として、高速な立ち上がり動作の実験を行った。中腰状態（膝関節角度 90deg）から伸展状態（膝関節角度 0deg）まで、最大トルクで膝関節を駆動し、モータの出力トルクを測定した。また、膝関節角度が目標角度に達成したらモータの電源を落とし脱力するようにした。

測定は、DC モータの消費電流値をサンプリング周波数 2kHz で 0.3 秒間取得し、屈曲実験と同様、膝関節アクチュエータの出力トルクを算出した。

### 3.3.4 実験結果

歯車機構、交差リンク機構を搭載したロボットの立ち上がり動作をそれぞれ図 17、図 18 の(a)~(d)に示す。写真は動作開始から 0.06 秒間隔での様子である。

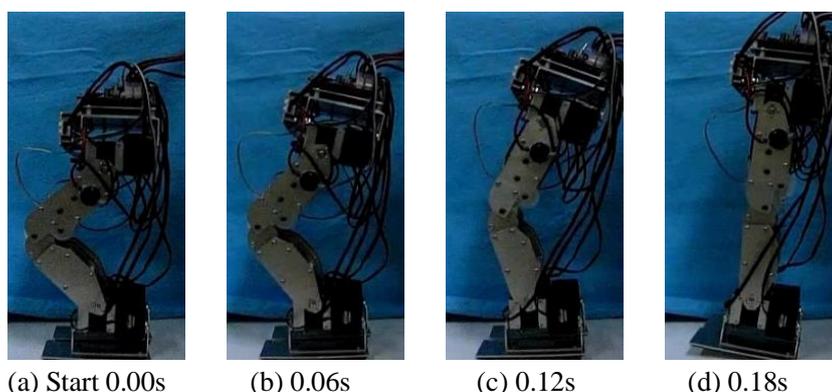


Fig.17 Extension motion with gear mechanism (Constant reduction ratio)

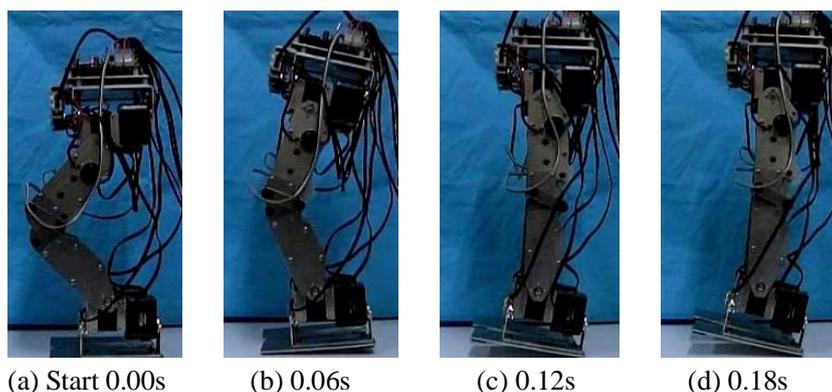


Fig.18 Extension motion with cross link mechanism  
(Variable reduction ratio)

算出した電力量と立ち上がりにかかった時間を表 3 に、重心の垂直方向における平均速度と膝関節の平均角速度を表 4 に示す。

Table 3 Power amount and extension time

	Power amount [Ws]	extension time [s]
Gear mechanism	2.81	0.22
Cross link mechanism	2.53	0.13

Table 4 Velocity and angular velocity

	Velocity [m/s]	Angular velocity [rad/s]
Gear mechanism	0.23	7.20
Cross link mechanism	0.32	11.72

図 17, 図 18 から, 0.18 秒時において歯車機構搭載時では未だ膝が伸びきっていないのに対し, 交差リンク機構搭載時にはすでに膝が伸びきっていることが確認できる. したがって, 変減速交差リンク機構の導入により, 重心の垂直方向における速度と膝関節の角速度を向上させることに成功した. そして, 動作時間が短くなることで消費電力量の削減が可能であることがわかった.

### 3.4 結言

本研究では, 変減速交差リンク機構の導入により, 二足歩行ロボットの運動性能の向上を試みた. 膝関節に変減速交差リンク機構を搭載したロボットを試作し, その効果を実験により検証した. その結果, 膝関節アクチュエータの静トルクの平滑化および膝関節の可動域の広範囲化が確認でき, より高速な動作の実現が可能となった. したがって, 変減速交差リンク機構の有用性を示すことができた.

## 4.複数アーチを導入した二足歩行ロボットの研究成果

### 4.1 足裏アーチの概要

ヒトの足裏アーチ構造は、主に図 19 のように内側縦足弓、外側縦足弓、横足弓の 3 つのアーチからなる。3 つのアーチの中では、内側縦足弓は、アーチは高く、柔らかく、歩行時の衝撃の吸収に寄与し、ばねとしての役割がある。また、外側縦足弓は、アーチは低く、硬く、歩行時・立位時に体重を支える役割がある。さらに、横足弓は地面の起伏に追従するために常に柔らかい。これらの特徴が異なるアーチの組み合わせの構造により、ヒトは二足歩行でありながら不整地においても安定した歩行ができるようになっている。

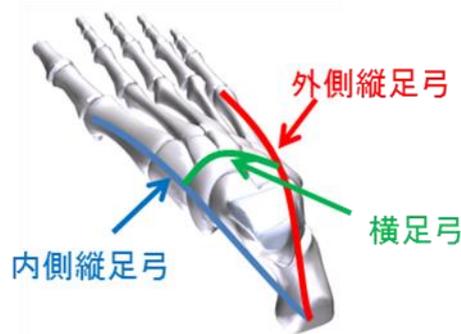


Fig.19 arch of the foot

### 4.2 足裏アーチ構造のモデリング

ヒトの足部は 28 の骨からなり 54 箇所で関節を構成する複雑な構造体である。したがって、足裏アーチ構造も複数の関節の動きの結果であるが、それぞれの関節について骨格と筋構造を全て解析するのは困難である。また、アーチは歩行周期によって硬さが変化することも知られている。そこで、内側縦足弓、外側縦足弓、横足弓の 3 つのアーチを図 20 のような 2 リンクの簡易モデルを作成した。



Fig.20 two links models of each arch

### 4.3 片足立ち実験

作成したモデルについて片足立ちの状態での zmp の挙動を比較した。

#### 4.3.1 実験条件

作成したモデルについて、アーチの有効性を検証するため、

1. 内側縦足弓
2. 内側縦足弓+外側縦足弓
3. 内側縦足弓+外側縦足弓+横足弓

の 3 つの状態について比較を行った。使用しない部分については 2 リンクモデルの回転ジョイント部を固定しアーチとして機能しないようにした。

そして、不整地歩行を想定し、踵・母指球・小指球のそれぞれがある高さを持つ障害物を踏んだ時の安定性を比較した。簡単のため足裏が地面と踵・母指球・小指球の 3 点で接地する場合を考えると、接地状態の組み合わせとしては、

- (1) 障害物がない場合
  - (2) 母指球の下に障害物がある場合
  - (3) 小指球の下に障害物がある場合
  - (4) 母指球と小指球の下に障害物がある場合
  - (5) 踵の下に障害物がある場合
  - (6) 踵と母指球の下に障害物がある場合
  - (7) 踵と小指の下に障害物がある場合
- の7つの状態が考えられる。

これらの状態について、安定性の指標として図 21 のような安定余裕を定義し比較した。

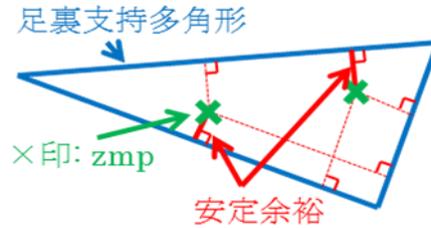


Fig.21 stability margin

### 4.3.2 実験結果

各場合の zmp 位置とそのときの安定余裕を図 22, 表 5 にそれぞれ示す。

(内側+外側+横アーチ) の場合に安定余裕が大きくなり転倒しにくくなっていることが分かる。また、障害物が(1)~(7)の各状態のときの標準偏差が小さくなっていることから、アーチの変形によって地面の起伏の変化による影響が軽減されていることが分かる。

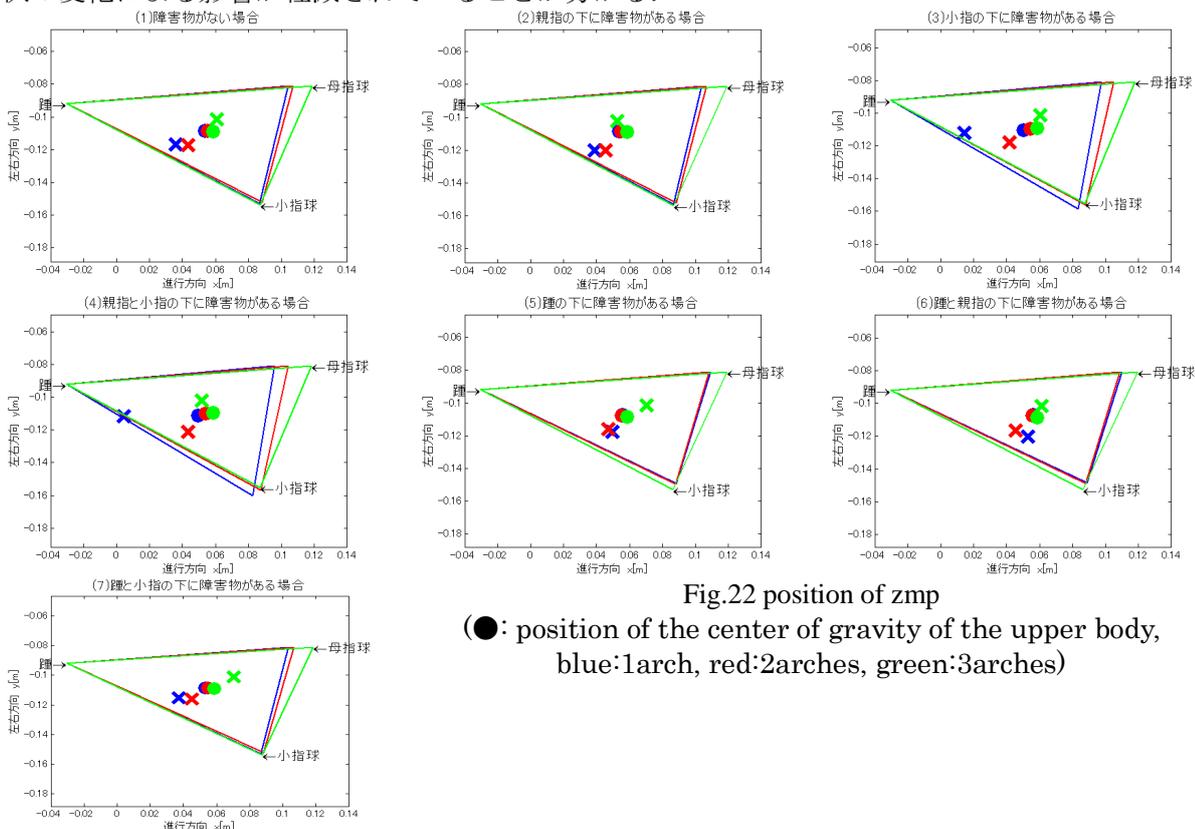


Fig.22 position of zmp

(●: position of the center of gravity of the upper body, blue:1arch, red:2arches, green:3arches)

Table 5 stability margins in one leg standing [mm]

	内側 アーチ	内側+外側 アーチ	内側+外側+横 アーチ
(1)障害物がない場合	8.9	11.1	16.2
(2)親指の下に障害物がある場合	7.2	9.5	16.5
(3)小指の下に障害物がある場合	5.4	11.5	15.9
(4)親指と小指の下に障害物がある場合	1.2	10.0	16.2
(5)踵の下に障害物がある場合	11.7	12.4	16.8
(6)踵と親指の下に障害物がある場合	10.2	10.8	16.4
(7)踵と小指の下に障害物がある場合	10.8	12.7	16.5
標準偏差	3.4	1.1	0.3

### 4.3 歩行実験

作成したモデルについてかたあしだちの歩行時の zmp の挙動を比較した。

#### 4.3.1 実験条件

アーチの有効性を検証するため、片足立ち実験と同様に、アーチの状態に関して 3つの状態、地面の障害物の状態に関して 7つの状態についてそれぞれ安定余裕を比較した。

#### 4.3.2 実験結果

各場合の zmp の挙動と安定余裕の変化を図 23, 図 24 にそれぞれ示す。

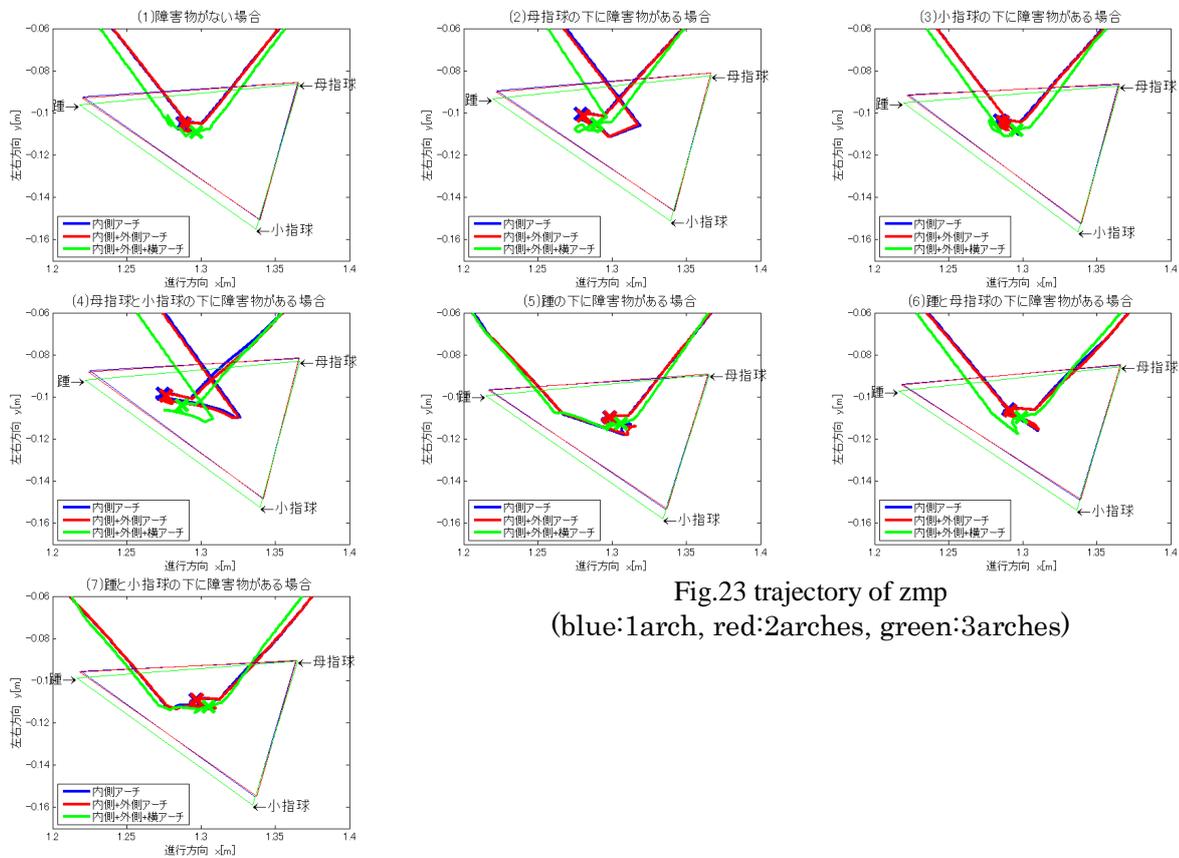


Fig.23 trajectory of zmp  
(blue:1arch, red:2arches, green:3arches)

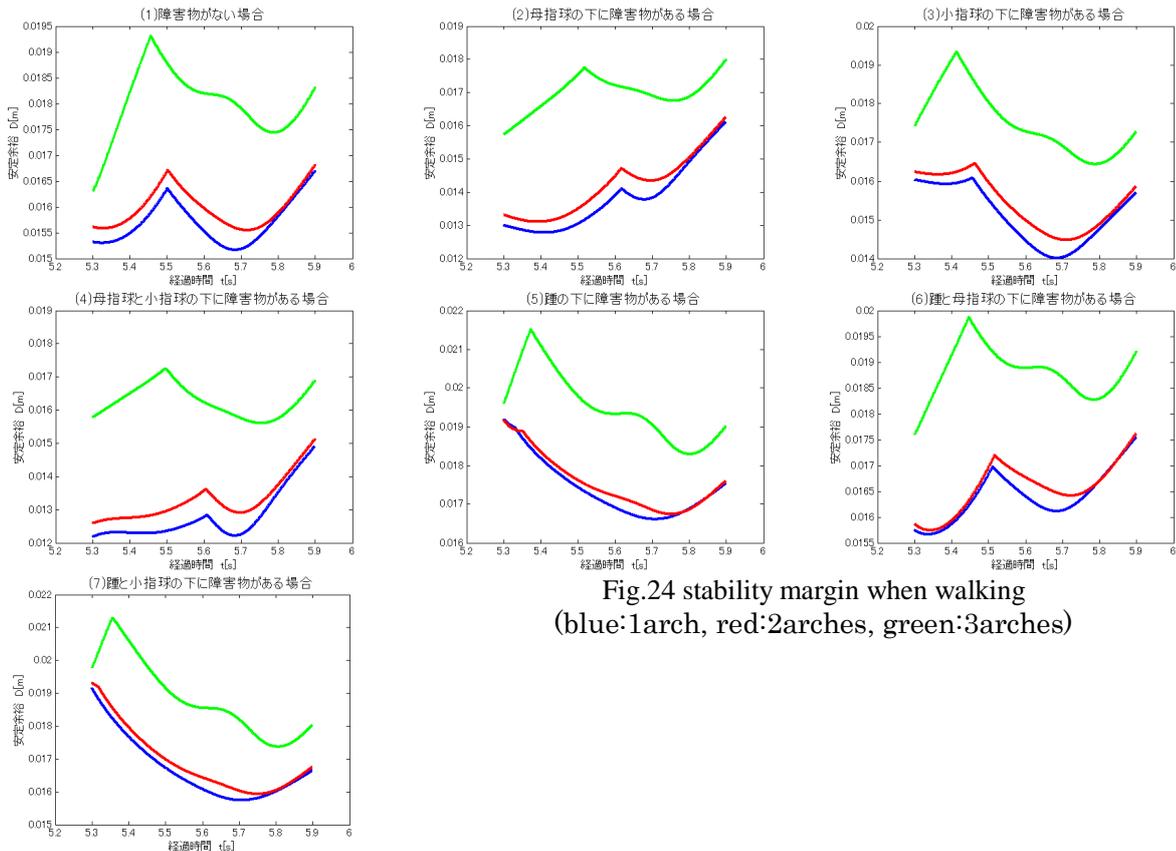


Fig.24 stability margin when walking  
(blue:1arch, red:2arches, green:3arches)

zmp の軌跡について比較すると,(内側+外側+横アーチ) の場合はアーチが柔らかいことにより, 軌跡がより足の内側を通りようになっている.このときの安定余裕の時間変化は, アーチが増えるほど大きくなり,特にアーチが2つから3つに増加するときに安定余裕が大きく変化していることが分かる.

### 3.4 結言

今まで十分に検証されていなかった複数のアーチを持った足裏構造が不整地での歩行安定化にどのように貢献しているかを検証するため,足裏アーチを簡単なリンクモデルで表し,内側縦足弓,外側縦足弓,横足弓の3つのアーチを持った足裏モデルを作成し,片足立ち実験と歩行実験により有効性を検証した.

片足立ち・歩行のどちらにおいても単一のアーチより複数のアーチを持つ足裏機構の方が歩行の安定性に効果があることが分かった.特に,内側縦足弓と外側縦足弓だけではなく,そこに横足弓が加わることによって,大きく歩行安定性が増すことが分かった.

## 4. プロジェクトの成果

負荷感応変速リンク機構の研究では,歩行動作実験により,遊脚相・立脚相それぞれに対応した減速比変化を実現し,歩行動作が可能であることを確認できた.

また,変減速交差リンク機構を用いた屈脚実験と立ち上がり実験により,変減速交差リンク機構が,高速な動作が可能であり,コンパクトかつ広範囲の可動域という利点を持つことを確認できた.

複数アーチを導入した二足歩行ロボットの研究では,アーチの数を徐々に変える片足立ち・歩行実験により,単一のアーチより複数のアーチを持つ足裏機構のほうが,安定性に効果があることが分かった.

#### 4.2[プロジェクト名]

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

小倉 和也 1132016 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

羽石 雅貴 知能機械工学専攻 博士前期課程2年 下条研究室

篠崎 瑞生 知能機械工学科 学部4年 明研究室

江成 勇太 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

現在我が国では、総人口の減少と高齢化社会という問題を抱えているため、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。介助士の負担軽減のために、ホームサービスロボットの研究は行われているが、まだ開発段階であり、実用化には至っていないのが現状である。本研究室でもホームサービスの研究を行っており、現在は立ち上がり動作支援ロボットの研究を行っている。立ち上がり動作は、種々ある高齢者介助の中でも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。介助士にとっても、立ち上がり動作支援は高齢者の体を支えるため、体に大きな負担がかかる介助になる。しかし、立ち上がり動作支援をロボットに行わせるには、人によって体格が異なり、立ち上がり動作速度も一定ではないため、被介助者の体格や動作などの個人差に対応する必要がある。

そこで、本研究では図1に示す移動マニピュレータ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。触覚センサから取得する触覚情報と、視覚センサから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。

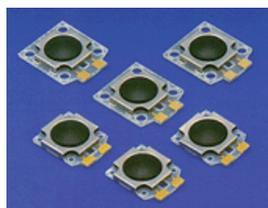


図  
1. 移動マニピュレータ  
図2. 触覚センサ  
図3. 視覚センサ

### 2. 研究の独創性・有用性

個人差に応じた人間の立ち上がり動作支援に必要な情報として、ロボットと人間の接触状態などのローカルな情報と人間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、触覚センサと視覚センサを用いる。

本研究では接触状況を検出する触覚センサに図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程度と言われているが、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。

視覚センサは図3に示す3次元距離測定カメラを使用する。本研究において、被介助者の姿勢認識は重要な課題の一つである。そこで、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、図3(a)に示すSR-4000を用いる。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。また、近年発売された図3(b)に示すKinectを新たな視覚センサとして、使用することも試みる。Kinectの特徴は、OpenNIライブラリを使用することで簡易に3次元骨格情報が推定できることである。そこで、KinectとOpenNIによる立ち上がり動作時の骨格情報推定精度について実験的に明らかにし、有用性について検討する。

これらのセンサを連携して使用する事で、人間の姿勢や動きを判別し、適切なアシスト制御を行うことができると考えられる。

3次元距離測定カメラで人体の姿勢を把握し、触覚センサでアームにかかる力の荷重中心位置と力覚の情報により、立ち上がり動作の各過程に応じた制御を行い、適切なアシスト動作を行う。

### 3. 研究成果

#### 3.1 SR-4000を用いた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。

本研究室ではこれまでに、各画素で3次元距離を最高50[fps]で取得できる3次元距離測定カメラSR-4000を用いて、被介助者の姿勢推定手法が提案されている。本研究室で提案された姿勢推定法は、マーカーレスで約39[fps]という高速な推定が可能となっている。しかし、立ち上がり動作支援に応用するには、関節位置が認識されないことや、連続したフレーム間で推定関節位置の急激な変化などの問題点を改善する必要がある。

そこで、立ち上がり動作支援ロボットのための姿勢推定手法の改善を行い、姿勢推定の性能向上を図る。

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  $P_i (i=1\sim5)$  を推定する。

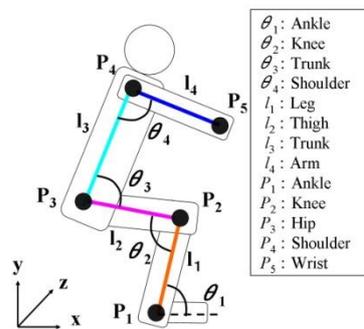


図4. 人体モデル

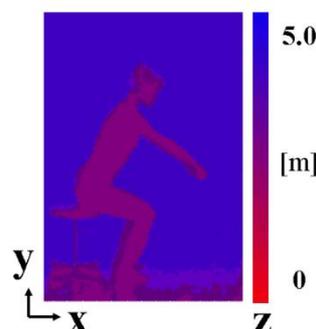
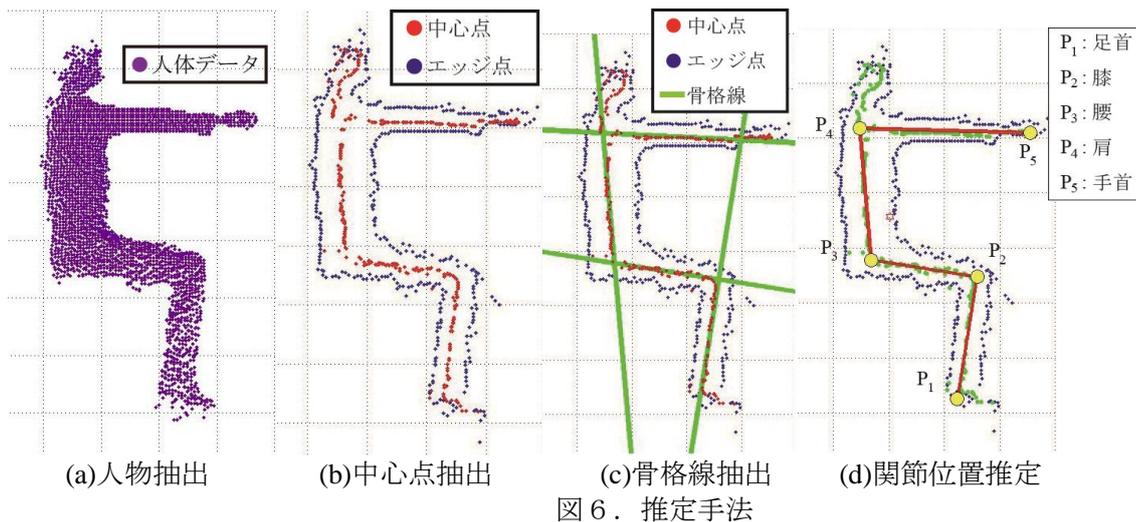


図5. 3次元距離データ



姿勢推定手法は、図5に示すようなSR-4000で取得した3次元距離データを人体抽出、中心点抽出、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。

従来手法による姿勢推定を行った結果、初期フレームでは、各骨格に1本の骨格線が抽出された確率（以下、認識率）が約27[%]となり、多くは図7のように頭部や局部に集中した中心点に影響され一つの骨格に複数の骨格線が抽出された。関節位置の平均誤差が60.8[mm]、体節長の平均誤差が45.5[mm]であり、良い精度であるとは言えない。2フレーム目以降の高速化処理では、約39[fps]で高速に推定でき、平均誤差25.3[mm]、標準偏差13.3[mm]も初期フレームから改善されている。しかし、肩位置の推定では図8のように急激に大きな誤差を示すことがある。つまり、この推定手法を、立ち上がり動作アシストに応用する上で、下記の問題を改善する必要がある。

- ・初期フレームの認識率が低い。
- ・初期フレームの繰り返し精度が低い。
- ・高速化手法の安定性が低い。
- ・立位姿勢に近づいたときの認識率が低い。

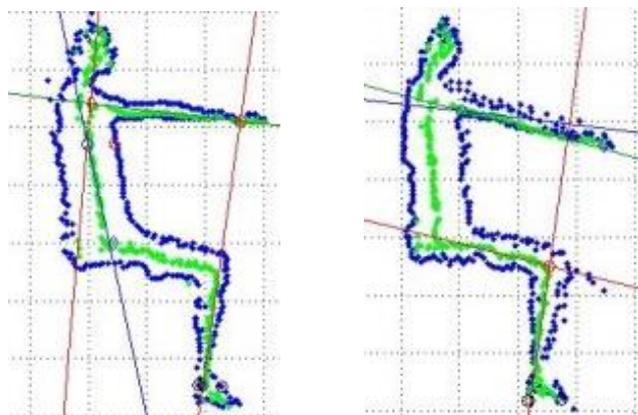


図7. 初期フレームの誤認識例

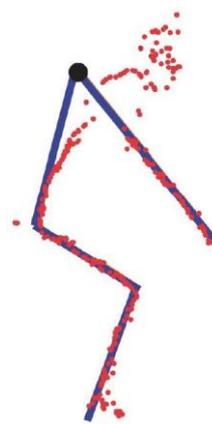


図8. 肩推定位置のずれ

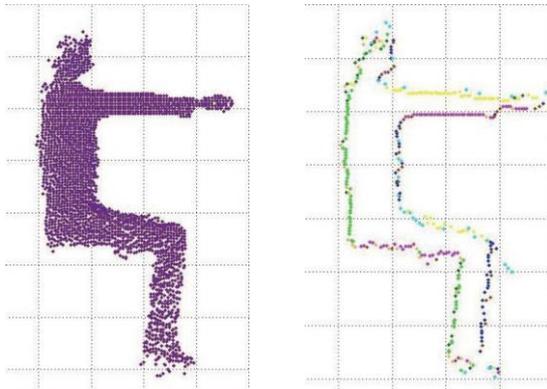
### 3.1.1 初期フレームの姿勢推定精度の改善

初期フレームの姿勢推定では、認識率が低いことと、繰り返し精度の問題を改善する。それらの問題は、骨格線抽出処理で頭部などの局所に中心点が集中していることが影響している。そのため、骨格線抽出前に頭部の中心点を削除することと、体節長の精度も骨格線抽出手法の改善を行うことで精度の向上を図る。

#### ○頭部中心点の削除

まず、骨格線抽出前に行う頭部中心点の削除では、人体データのエッジ情報から頭部を推定し、推定

した頭部内にある中心点を削除した。人体データのエッジは、各画素の4近傍画素の人体データの有無によって、図9(b)のように8つのエッジパターンに分けている。そのため、人の頭部が他の部位に比べて、丸く、大きく、人体の末端に位置するという特徴から、エッジパターンを用いることで、エッジの配置が円に近くなること、エッジ点数が多くなること、様々なエッジパターンが含まれることが、画像上での特徴となる。



(a)人体データ (b)エッジパターン

図9. エッジ抽出

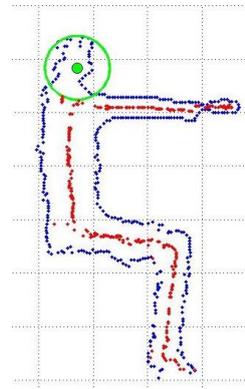


図10. 頭部中心点削除結果

推定手順は大きく分けて2つのステップで行った。大まかに頭部の含まれる範囲を決めるステップと、頭部の位置を推定するステップである。まず、初めのステップでは、ある範囲内にあるエッジ点数とエッジパターンの種類から頭部を含む範囲を特定する。頭部範囲特定時の評価値には、エッジ点数とエッジパターンの標準偏差を用いた。頭部は形状が丸いため、エッジパターンは他の部位よりも平均的に分布されるため標準偏差を評価値とした。この2つの評価値の重みは同じとしており、これらの評価値の合計値を最終的な評価値としている。頭部を含む範囲の基準とした大きさは、人間の頭部の大きさから一辺30[cm]の正方形とした。続いて、頭部の位置を決定する。ここでは頭部のエッジ形状が丸いということを利用する。設定した円内に多くのエッジ点を含むもので、かつ半径 $r$ が小さいものを抽出することで頭部の位置を検出する。評価は半径 $r$ 内に含まれるエッジ点数が円の面積に占める割合とし、その割合が大きい位置を頭部とした。半径 $r$ は人間の頭部の大きさから10~15[cm](1[cm]刻み)とした。頭部中心点の削除結果を図10に示す。

#### ○骨格線抽出手法の改善

従来の骨格線抽出手法では、図10の赤色の点に示す中心点からLMedSハフ変換を用いて骨格線を抽出していた。画像上の点群から直線を得るためにハフ変換がしばしば用いられるが、LMedSハフ変換はハフ変換の直線決定の原理を、直線付近にある点群のばらつきから評価したものになる。そのため、LMedSハフ変換は点群が集中しているところに直線が抽出されやすい。そこで、あらかじめ評価する直線を絞り込むため組合せハフ変換を適用した。提案する骨格線抽出手法は、無駄な直線候補を少なくするために、組み合わせハフ変換によって投票処理を行う。次に、より多くの中心点を含む直線を抽出するため、投票後に骨格線の候補とする直線を投票数が多い10組のみに絞り、その中からLMedS値が最小である直線を骨格線として抽出した。

#### ○初期フレームの改善結果

評価実験は、椅子に座っている人物を横からSR-4000で取得したデータを、従来手法と提案手法の各処理で推定した。データ取得条件は、カメラと人物までの距離を2.7[m]とし、被験者の姿勢は椅子に座っている状態から両腕を前方に出す姿勢とした。被験者は3名で、先述の姿勢で各人2回ずつ姿勢推定を行った。取得したデータは全585フレームであった。

各手法での推定結果を表1に示す。骨格線を推定する前に頭部の中心点を削除することと骨格線の評価方法を改善することで、局所における中心点の集中に影響されずに認識することが可能であることを確認した。その結果、頭部の影響を受けず、一つの体節に複数の骨格線が抽出されない推定が可能となった。繰り返し精度も局所に集中した中心点の影響を抑えたことにより、向上が確認された。

表 1. 初期フレームの推定結果

	従来手法	提案手法
認識率[%]	27.2	100.0
関節位置標準偏差[mm]	67.2	17.7

### 3.1.2 高速化後の姿勢推定精度の改善

高速化後の姿勢推定精度の改善では、高速化手法の安定性が低いことと、立位姿勢に近づいたときの認識率が低いことを改善する。その原因の一つとして、従来の手法では、直前フレームの体節角と体節位置のみを利用し、姿勢推定を行っていたことにある。この手法では、直線上にある点群を一つの体節として認識してしまうため、体節間に角度差がないと推定されなかった。そこで、各体節で姿勢推定を行うために、前フレームまでに推定されている体節長も用いて、姿勢推定を行う。

#### ○提案手法

中心点の抽出処理までは初期フレームと同様に行い、抽出された中心点に骨格線をフィッティングしていくことで、骨格線を抽出する。まず初めに、直前のフレームで推定された足首の位置を基準に足首位置の候補を5箇所設定する。次に、足首位置の候補と下腿部の体節長、体節角を用いて、膝の位置を推定する。この時足首の候補位置は5箇所あり、各足首位置の候補に膝の候補位置が11箇所あるため、5×11個の組み合わせの中でLMedS値が最小である直線を下腿として抽出する。足首の候補位置は、直前のフレームの足首位置を基準として、横方向の位置を、SR-4000が距離の1%の誤差が含まれるというセンサであることから、SR-4000から足首までの距離の1%、0.5%だけずらした位置とする。高さは足が動かないという仮定から固定している。もう一方の膝の位置は、直前のフレームで推定された下腿長、足首の候補位置、そして下腿の体節角から求まる位置を基準に、下腿角を2[[deg]]刻みで、 $-10[[deg]]$ の範囲でずらした位置を候補位置とした。以降の大腿、体幹、そして腕も同様である。但し、大腿を求めるときの膝位置の候補は同フレームで求めた下腿の延長線上に候補点を置く。

#### ○高速化後の姿勢推定精度の改善結果

評価実験は、立ち上がり動作中の人物を横からSR-4000で取得したデータを、提案手法で推定した。データ取得条件は、カメラと人物までの距離を2.7[m]とした。

図11のように体節間の角度差がなくても関節位置推定できることも確認した。そして、図12に示すように、改善前のような、連続したフレーム間で関節位置誤差が大きく変化することはなかった。

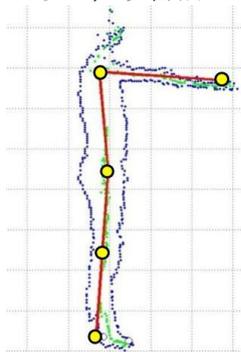
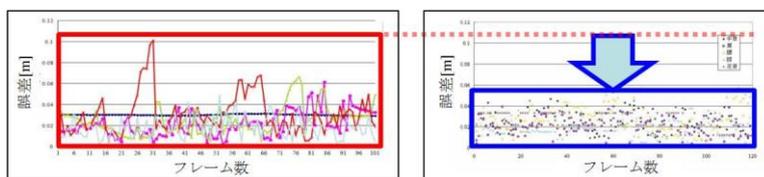


図 1 1. 立位姿勢時の推定



(a)従来手法による推定

(b)提案手法による推定

図 1 2. 高速化後の姿勢推定精度

### 3.1.3 マニピュレータのフィードバック実験

3次元距離測定カメラからの姿勢情報をマニピュレータにフィードバックし、立ち上がり動作支援に応用することを目的として基礎実験を行った。マニピュレータへのフィードバック情報として被介助者の重心位置と体節長を用いる。

実験は、被介助者の重心がくるぶし上に来るまで、アシストアームを被介助者の前方へ移動し、その後、被介助者の下腿長、大腿長、体幹長の合計した高さにアシストアームが来るように、リアルタイムで重心位置と体節長のフィードバックを行った。

結果を図13に示す。この結果から重心位置と体節長をマニピュレータへフィードバックすることで、立ち上がり動作支援終了後の姿勢が直立となるように立ち上がり支援が出来ることを確認した。

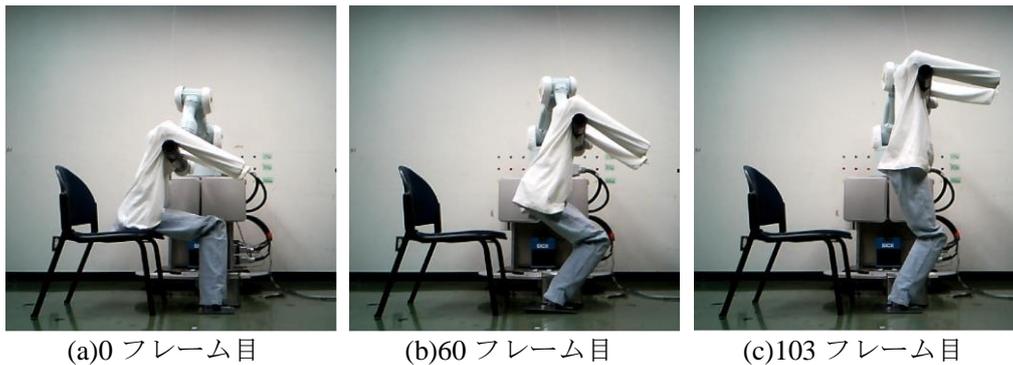


図 1.3. 姿勢情報のフィードバック実験

### 3. 2 Kinectを用いた立ち上がり動作の姿勢推定

KinectとはRGB画像，距離画像，音声情報を取得できるデバイスである． KinectとOpenNIライブラリを使用することで，簡便に骨格情報の推定が行える． 特徴としては，最高30[fps]のフレームレートとマーカーレスで骨格情報の推定が行えるということである． 初めにKinectとOpenNIによって得られる骨格情報の精度を実験的に明らかにし，その後得られた骨格情報から，人間の椅子からの立ち上がり動作中の姿勢推定を行う．

#### ○Kinectの骨格情報推定精度の実験

実験は図 1.4 のように， Kinectの撮影角度 $\theta=0[\text{deg}]$ (側面)，  $30[\text{deg}]$ ，  $60[\text{deg}]$ ，  $90[\text{deg}]$ (正面)の4方向から行い， Kinectから得られる骨格情報の比較値として用いるWebカメラは $\theta=0[\text{deg}]$ で固定した． Kinectの設置高さは $0.9[\text{m}]$ ， 椅子の高さは $0.4[\text{m}]$ とした． 被験者身長は $1.7[\text{m}]$ であった． 結果を表 2～4 に示す．

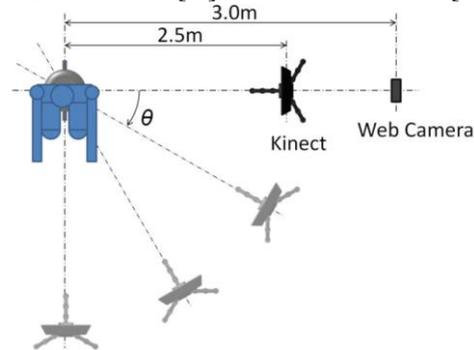


図 1.4. 実験配置

表 2. 座位における関節位置の絶対誤差( $\theta=90[\text{deg}]$ )

		頭部	左肩	左手	左腰	左膝	左足
誤差 [mm]	平均	93	93	54	123	123	172
	最小	72	81	34	107	107	156
	最大	118	102	76	133	165	186
	標準偏差	18.92	7.93	18.40	8.75	21.62	10.78

表 3. 座位における体節角度の誤差( $\theta=90[\text{deg}]$ )

		左肩	左腰	左膝
誤差 [deg]	平均	3.5	-3.3	13.3
	最小	2.3	-6.6	8.4
	最大	5.1	-1.5	16.9
	標準偏差	1.14	2.05	2.83

以上の結果より， 絶対関節位置の絶対誤差ではおおよそ $100[\text{mm}]$ 程度の誤差があり， 標準偏差の値は最大で $22[\text{mm}]$ 程度ある． 体節角度においては， 左肩の誤差平均が $3.5[\text{deg}]$ ， 左腰の誤差平均が $-3.3[\text{deg}]$ ， 左膝の誤差平均が $13.3[\text{deg}]$ と左膝に誤差が大きくみられた． また， 標準偏差は $3[\text{deg}]$ 以下となった． Kinectによる骨格情報推定を行った場合， 誤差， ばらつきがあることが分かった． このように， 推定精度に誤差やばらつきがあるKinectを用いて， どのような情報から， 立ち上がり動作中の姿勢推定を行うことが有効であるか検討する．

まず， 重心を使った安定性の評価について考える． 安定した立位状態では， 重心が足の範囲に入っている． そこで， 重心-足の距離を用いて安定性の評価をすることを考えた． ここで， 表 4 の結果を見てみると標準偏差が $11.71\text{mm}$ で， 図 1.5 の踵-踝間の距離の約 $1/5$ 倍となった． 他の手法として， 体節角度を用いて立ち上がり動作の状態を判別することを考えた． この場合， 体節角度は表 3 より膝の位置で最も標準偏差が大きく $2.83\text{deg}$ となるが， 図 1.5 に示す膝の可動範囲の約 $1/52$ 倍の値となる． また， そのほかの体節角度においても約 $1/50$ 倍となった．

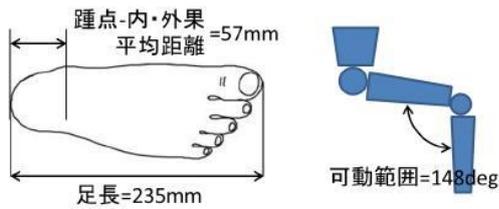


図 1.5. 身体情報

表 4. 重心位置の誤差( $\theta = 90[\text{deg}]$ )

		重心位置		重心-足
		X方向	Y方向	X方向
誤差 [mm]	平均	45	64	-67
	最小	35	50	-84
	最大	59	82	-51
	標準偏差	7.74	12.14	11.71

以上のことから、重心-足を用いた安定性評価を行うにはKinectの骨格情報の精度を向上させる必要があると考えられる。しかし、体節角度を用いて立ち上がり動作の相を推定することには有用であると考えられる。

### ○立ち上がり動作の姿勢推定

立ち上がり動作は図 1.6 のように4つの相に分類することができる。座位は座った状態、屈曲相は座位の状態から体幹を前傾させ、前方へと移動するとともに臀部を離床させる段階、伸展相は重心を上方に持ち上げる段階、そして立位は立ち上がった状態となる。これらの相によって、被介助者の体を前方に移動させるべきか、上方へ持ち上げるべきか支援方法が異なる。しかし、これらの相は立ち上がり動作の段階を示しているため、明確な閾値で区分することは難しい。また、KinectとOpenNIによる骨格情報の推定では誤差、ばらつきがある。以上のことを考慮して、曖昧さをあつかえるファジィ推論により、立ち上がり動作の相を推定する。ファジィ推論の特徴は、曖昧さを扱うことが出来、人間の判断アルゴリズムを反映しやすく、ロバスト性が高いことである。よって、今回のようにあいまいな条件でも推定することができる。



図 1.6. 立ち上がり相

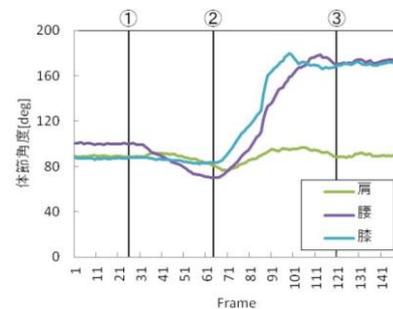


図 1.7. 体節角度の変化

まず、基礎実験として実際の立ち上がり動作の様子をKinectとOpenNIによって測定した。測定する検出値は相変化に大きくかわる体節角度を対象とする。実験条件は、図 1.4 のKinect設置位置を被験者の全身の情報が分かりやすい $\theta = 90[\text{deg}]$ (正面)とした。この測定値をもとにして、ファジィ推論の作成をすることとした。結果を図 1.7 に示す。図中の①は前傾開始時、②は臀部離床時、③は伸展終了時を意味している。この図より、前傾開始より腰の体節角度が小さくなっていき、臀部離床後に腰と膝の体節角度が大きくなっていくことが分かる。さらに、①は前傾開始時、②は臀部離床時、③は伸展終了時であるので、①以前がおおよそ座位に相当し、①から②開始後少しの間が屈曲相、②開始後から③までが伸展相、そして③以降がおおよそ立位に相当すると言える。よって、これらの判断条件に基づいてファジィ推論の規則を作成する。なお、体節角度は、立ち上がり動作と関わりの強い、腰、膝の体節角度をファジィ推論に使用する。

ファジィ推論の入力に相変化に大きくかわる腰、膝の体節角度を使用し、出力として座位、屈曲相、伸展相、立位への適合度を得る。よってメンバーシップ関数は6つ定義し、計64のファジィ関係を定義した。

### ○評価実験

設計したファジィ推論を用いて、立ち上がり動作の姿勢推定を行い、評価する。実験条件は、Kinectの設置位置 $\theta = 90[\text{deg}]$ (正面)で行った。実験結果を図 1.8 に示す。図 1.8 では、左上のグラフが入力値、右上のグラフが推定結果、下の写真は実際の姿勢を示す。これらの結果から、腰と膝の体節角度の2入

力を用いて立ち上がり動作の相について推定した場合、実際の写真と比較して各相を示す値が強く検出されることが分かった。図中①の前傾開始時では、座位の適合率が0.8以上となり、屈曲相の適合率は0.3～0.4程度である。その他の伸展相、立位の適合率は0.1程度で、これはファジィ集合の定義上の最小値にほぼ等しい。やがて②の臀部離床時には、座位が0.3～0.4と低下し、屈曲相が0.8程度に上昇する。②と③の間では、伸展相が支配的で若干の屈曲相、立位がみられる。最後に③では、立位が支配的でその他の値はほぼ0.1となる。以上のような結果となっており、推定が正確に行えていると考えられる。

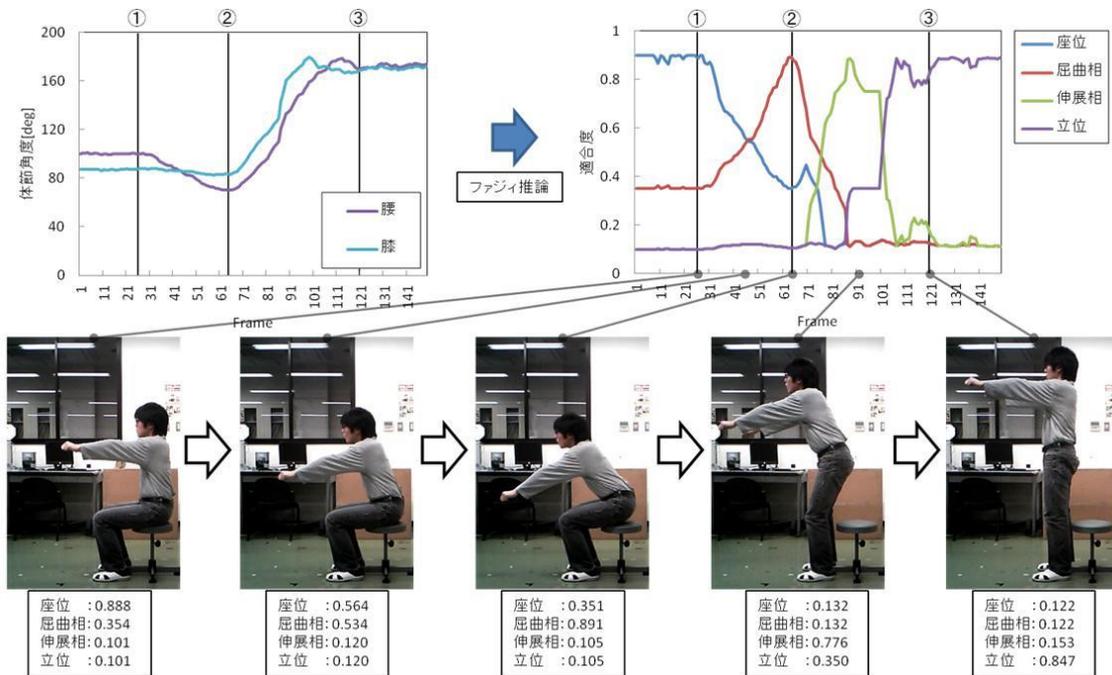


図 18. 立ち上がり動作の相推定結果と実際の姿勢

#### 4.3 動力付きパラグライダーを用いた低コスト・レスキューロボットの開発

報告者

学籍番号：1232021

氏名：河合 大志

指導教員

田中 一男 教授

大竹 博准教授（九州工業大学）

### プロジェクト報告書

#### ～ 動力付きパラグライダーを用いた低コスト・レスキューロボットの開発 ～

#### 1 プロジェクト概要

本プロジェクト名は「動力付きパラグライダーを用いた低コスト・レスキューロボットの開発」である。本プロジェクトに参加する学生は以下の 8 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：

河合 大志 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：

倉持 信行 知能機械工学専攻 博士前期課程 2 年 田中研究室

耿 昊天 知能機械工学科 学部 4 年 田中研究室

關 靖史 知能機械工学科 学部 4 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

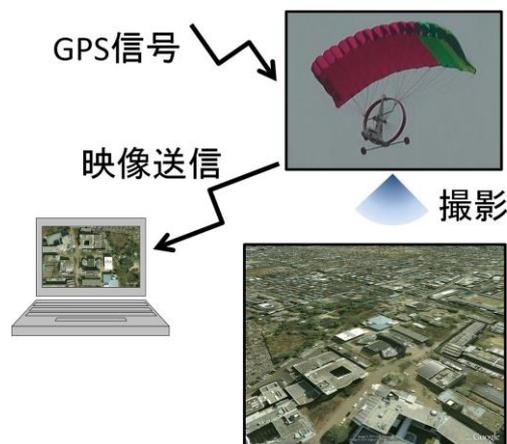
Dr.Ying-Jen Cheng Departmento of Electrical Engineering, National Central University, Taiwan

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

本研究では取り扱いが容易である小型の動力付きパラグライダーを用いて、低コストで実現可能な自律飛行ロボットによる地上観測システムの開発を行う。既存の UAV と比較して、使い捨てが可能なレベルの安価な UAV を開発し、災害救助に役立てることを目的とする。



## 動力付パラグライダー — Powered Para-Glider, PPG



- 重心が常に翼の下
- 操作はスロットルと方向舵のみ
- 小型・軽量
- 飛行速度が小さい
- 旋回半径が小さい
- 無動力でも滑空可能

現在実用化されている UAV の多くは固定翼機あるいは回転翼機である。これらの飛行体は制御が難しく、目視での無線操縦ならともかく目の届かないような遠隔地での無線操縦や、人の手を借りずに自律飛行させるような場合、機体の制御のために高性能で高価なセンサが必要となる。また、それらセンサを搭載するためにペイロードを確保しようとするると機体が大型化し、取り扱いや携行が難しくなる。大型の機体は電動機ではなくエンジンを搭載するのも取り扱いしにくい理由の一つである。以上から、このタイプの UAV は高価になりやすく、機体を損失したときの予算的リスクも大きい。

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 Para-Glider, PPG) というものがある。この 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 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なため、高い安全性を持ったシステムでもある。地上観測を目的とした場合、飛行速度が小さいため狭い領域での滞空飛行が出来るという利点がある。これらの特徴を持った PPG は、小型で安価な UAV の構築が可能である。

本プロジェクトではこの PPG という、回転・固定翼機と異なる特徴を持った飛行体を制御対象とする。そして機体の状態、外環境等を考慮できる制御器を設計し、自律飛行を可能とし、PPG ならではの安全・低コストな地上観測システムを構築することを目指す。この点を本プロジェクトの独創性と有用性をみることができる。

### 3 研究報告

#### 3.1 システムの構築

本研究で開発した機体およびシステム構成図を図 1 に示す。機体には GPS 受信機と、3 軸ジャイロセンサ、3 軸加速度センサ、3 軸地磁気センサからなる姿勢センサが搭載されており、機体の経度・緯度と高度の 3 次元座標および姿勢角の測定に用いる。自律飛行時は GPS 受信機と姿勢センサで測定した位置姿勢情報を用いて、機体の高度・飛行方向を制御する。また、上空からの撮影のために小型の無線カメラを搭載しており、リアルタイムで遠隔地の情報収集を可能とする。GPS 受信機と姿勢センサで測定した機体の位置姿勢情報と操作量は、機体に搭載された記録装置に保存されるほか、無線通信モジュールを用いて地上の PC に送信され、リアルタイムにこれらの機体情報をモニタリングすることが可能である。

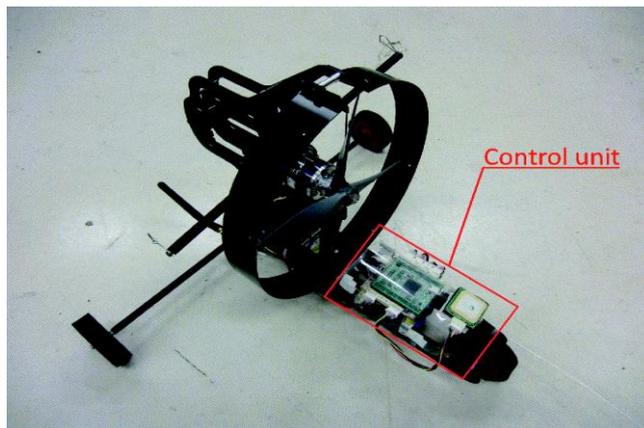


図 1 開発した機体

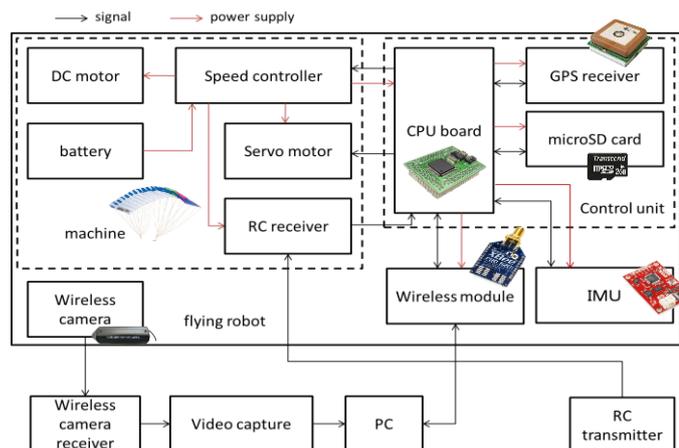


図 2 システム構成

#### 3.2 実験

文献[1]で構築した飛行高度の制御器と飛行方向を制御する PID 制御器を用いて、自律飛行実験を行った。実験の結果を図に示す。

実験の結果、風の影響を多少受けたものの、一定の高度を保ち約 1km の長距離を往復する自律飛行に成功した。

次に、約 1km 先の海上まで自律飛行させて、機体に搭載したカメラで海上を撮影する情報収集実験を行った。実験の結果を図に示す。

実験の結果、自律飛行で 1km 先の海上を撮影して帰還することに成功した。しかし、現在の制御方法では遠方の 1 点を目標地点として与えているため、図 3 のように飛行軌跡が大きく遠回りしてしまうことが起こり得る。

よって、最短距離で飛行させるためには、目標点ではなく目標経路や目標軌道として目標値を与える必要がある。

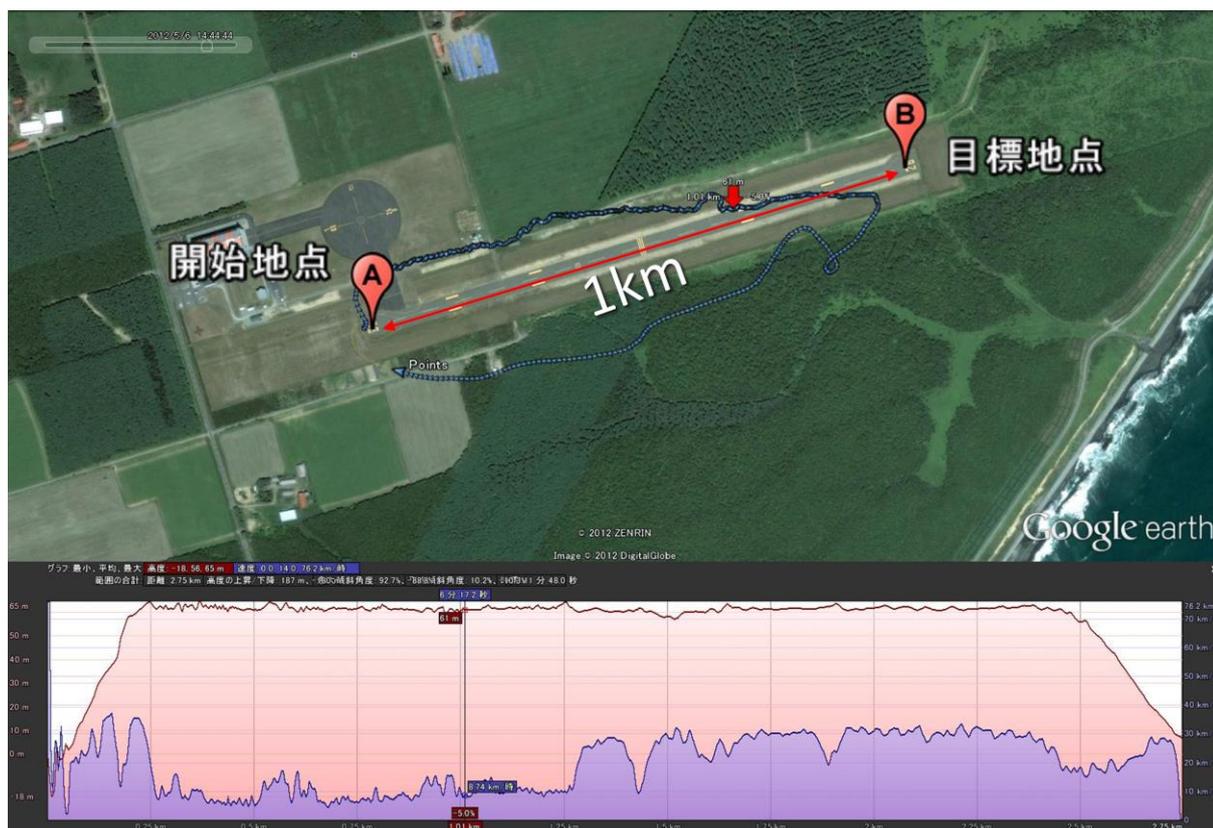


図 自律飛行実験の飛行奇跡と高度履歴



図 情報収集実験の飛行軌跡と機体に搭載したカメラの映像

#### 4 まとめ

本研究では、文献[1]で構築した飛行高度の制御器と、飛行方向の制御器を用いて、完全な自律制御でキロメートルスケールの飛行実験に成功した。今後は風の影響を考慮した、外乱に強い制御器を設計する。また、最短距離を飛行するように目標値を決定する制御方法を構築する。これらを実験によって検証し、風外乱に強く、長距離での安定した飛行を実現する。

#### 5 予算執行

予算

¥310,000

備品	270000
地上管制用 PC と予備バッテリー	120000
飛行体本体及びパーツ類	80000
カメラ・無線送受信機・GPS など	30000
マイコン・画像処理ボード・センサなど	40000
消耗品	40000
材料	10000
加工具 (エンドミル, ドリル等)	10000
バッテリー・充電器 等	20000
合計	310000

### 参考文献

[1] 河合, 倉持, 田中, 大竹, 田中, 飛行ロボットの軌道追従制御系設計と飛行実験による検証, Robomec2012, 2A2-K09 in CD, Hamamatsu, May, 2012.

#### 4.4 学生プロジェクト研究成果報告会

##### 冗長多リンクロボットによるマッサージシステムの開発

報告者

学籍番号：1132015

氏名：奥村 雅

指導教員

田中 基康 助教

松野 文俊 教授(京都大学)

#### 4.4~ 冗長多リンクロボットによるマッサージシステムの開発~

### 6 プロジェクト概要

本プロジェクト名は「冗長多リンクロボットによるマッサージシステムの開発」である。本プロジェクトに参加する学生は以下の4名である。なお指導教員を田中 基康助教(知能機械工学科)と松野 文俊教授(京都大学)にお願いした。

プロジェクトリーダー：

奥村 雅 知能機械工学専攻 博士前期課程2年 田中研究室

プロジェクトメンバー：

有泉 亮 京都大学 工学部 機械理工学専攻 博士後期課程1年

渡邊 雄介 京都大学 工学部 機械理工学専攻 博士前期課程1年

佐藤 順亮 知能機械工学科 学部4年 田中研究室

指導教員：

田中 基康 助教(知能機械工学科)

松野 文俊 教授(京都大学)

### 7 研究目的

近年、少子高齢社会の到来とともに薬による副作用の恐れがないマッサージの需要が高まっている。しかしながら、人間が行うマッサージには施術者の負担、施術者の不足、時間的制約、施術者の技術不足といった問題がある。これらの問題を解決するため、人間に代わってマッサージを行うマッサージロボットに関する研究が盛んに行われている[1-7]。人間が行うマッサージでは同時に多点を刺激するため、マッサージロボットは多点を同時に接触する多点同時接触制御が必要となる。従来のマッサージロボット研究としては、冗長マニピュレータの手先で対象物に接触を行う研究がある[1, 2]。これは対象物との接触箇所が1点であるため、多点同時接触を行うためには複数の冗長マニピュレータを用意する必要がある。システム全体としてはコスト増加と装置サイズの大規模化が問題となる。これに対し、文献[3-7]ではロボットハンドの複数の指の先端で対象に接触することにより、多点同時にマッサージ動作を行っている。しかしながら、ロボットハンドでは同時に接触できる範囲が狭い領域に限られてしまう。

以上の課題に対し、本研究では冗長多リンクロボットを用いて多点接触させることでマッサージ動作を行うことを考える。細長い冗長多リンクロボットの末端部分だけでなく、体幹における複数の部分を対象物に接触することで、より広い領域に対して多点同時接触を行うことができる。また、用いるロボットが冗長多リンクロボット1体であるため、複数の冗長マニピュレータを用いる場合よりも装置を小型化できると考えられる。

冗長多リンクロボットによる多点接触制御の例として包み込み把握がある。この手法は大きく分けて、

接触位置を既知とする場合[8] と、接触位置を検出する場合[9]とに分けられる．前者は包み込み把握の安定性，対象物の持ち上げ，離脱の解析が目的であり，接触位置の制御を目的としていない．包み込み把握は対象物との接触をリンクの腹で行うため，後者に関しても接触位置を直接制御するものはない．本研究では多様なマッサージ動作を行う新たなマッサージシステムの実現を目指し，冗長多リンクロボットを用いたマッサージシステムの開発と多点同時接触位置制御方法の提案を行う．具体的には，制御が容易になるロボット機構の提案，2つの接触点の位置制御および冗長性を利用した干渉回避方法の提案を行い，シミュレーションおよび実機実験により制御則の有効性を検証する．

## 8 研究報告

### 3.1 機構の提案

冗長多リンクロボットに対して，包み込み把握[8, 9]と同様にリンクの任意の中間点で接触する場合，Fig.1(a)に示すように，接触を維持するためにはリンクの位置と姿勢を連動させて転がり接触させる必要がある．これは，接触点位置とリンク姿勢を独立に制御することができないことを意味する．対象物への干渉の問題を考えると，接触点位置とリンク姿勢は独立に制御できることが望ましい．

そこで，Fig.1(b)に示すように冗長多リンクロボットの関節の同軸上に車輪を設置する機構を提案する．この機構により，接触位置およびリンク姿勢を独立に制御することができる．

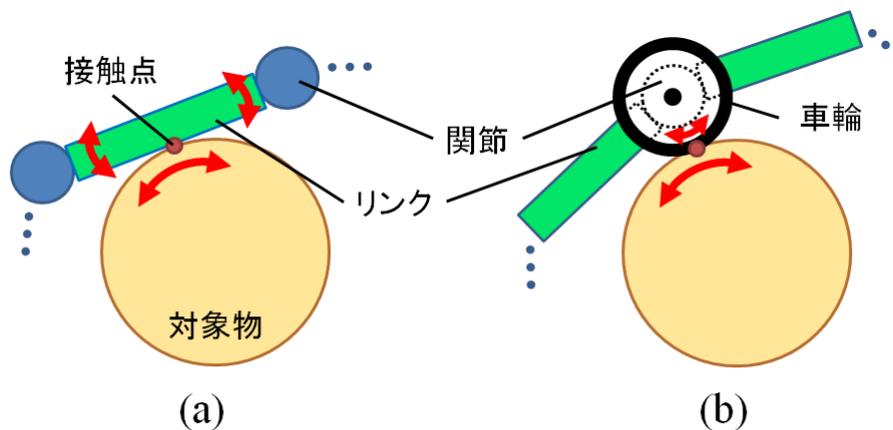


Fig.1: 冗長多リンクロボットの接触点

### 3.2 モデル化

本研究では，Fig.2に示すようにリンク数が  $n$  リンクからなる 2次元冗長多リンクロボットが円形の対象物に 2箇所接触する場合について考える．対象物の位置および大きさは既知であるとする．対象物と接触する車輪を接触車輪，接触車輪の間にある車輪を接触間車輪，先頭側の接触車輪を第  $n$  車輪，ベース側の接触車輪を第  $m$  車輪とする．第  $i$  関節の  $x, y$  座標位置を  $x_i, y_i$ ，絶対角を  $\theta_i$  とし，接触車輪である第  $n, m$  車輪の位置・姿勢を  $\mathbf{w} = [x_n, y_n, \theta_n, x_m, y_m, \theta_m]^T$ ，関節角を  $\mathbf{q} = [q_1, q_2, \dots, q_n]^T$  とすると，幾何学関係より，

$$\mathbf{w} = f(\mathbf{q}) \quad (1)$$

となる．(1)式を時間微分することで，運動学モデルは次式のように求められる．

$$\dot{\mathbf{w}} = \mathbf{J}(\mathbf{q})\dot{\mathbf{q}} \quad (2)$$

ここで，ロボットを冗長システムとするために行列  $\mathbf{J}$  は横長，すなわち  $6 < n$  とする．また，ベースから第  $m$  車輪までの関節数および第  $m$  車輪から第  $n$  車輪までの関節数は十分大きい数であるとする

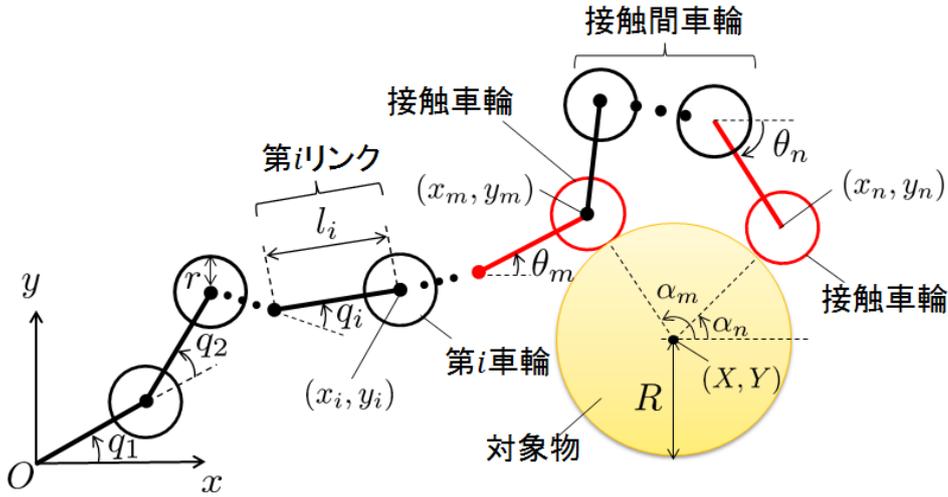


Fig.2: 2次元冗長多リンクロボットと対象物

### 3.3 制御設計

#### 位置制御

2つの接触車輪の中心位置と姿勢  $\mathbf{w}$  を制御することをメインタスクとし、サブタスクは対象物と接触間車輪の干渉回避とする。制御入力  $\dot{\mathbf{q}}$  を次式のように設定する。

$$\dot{\mathbf{q}} = \mathbf{J}^\dagger \left( \dot{\mathbf{w}}_d + \mathbf{K}_P \mathbf{w}_e + \mathbf{K}_I \int \mathbf{w}_e dt \right) + (\mathbf{I} - \mathbf{J}^\dagger \mathbf{J}) \mathbf{K}_V \left( \frac{\partial V}{\partial \mathbf{q}} \right) \quad (3)$$

ここで、 $\mathbf{w}_d$  は被制御量  $\mathbf{w}$  の目標値、 $\mathbf{w}_e$  は被制御量の偏差 ( $\mathbf{w}_e = \mathbf{w}_d - \mathbf{w}$ )、 $\mathbf{K}_P$ 、 $\mathbf{K}_I$  は比例ゲインおよび積分ゲイン、 $\mathbf{K}_V$  は冗長性に関するゲイン、 $\mathbf{J}^\dagger$  は  $\mathbf{J}$  の疑似逆行列、 $\mathbf{I} \in \mathbb{R}^{n \times n}$  は単位行列、 $V$  は評価関数である。入力を(3)式のように与えることで  $\mathbf{w}$  は  $\mathbf{w}_d$  に収束する。入力(3)式における右辺第2項は運動学的冗長性に起因する項であり、被制御量の運動には影響を与えない。

サブタスクである対象物と接触間車輪の干渉回避を行うため、評価関数は次式のように設定する。

$$V = \sum_{i=m+1}^{n-1} \frac{1}{(x_i - X)^2 + (y_i - Y)^2 - (R + r)^2} \quad (4)$$

ここで、 $X, Y$  は対象物の中心位置、 $R, r$  は対象物および接触車輪の半径である。 $V$  は対象物と接触間車輪の距離が小さいほど大きな値をとる。 $V$  の時間微分は

$$\begin{aligned} \dot{V} &= \left( \frac{\partial V}{\partial \mathbf{q}} \right)^\top \dot{\mathbf{q}} \\ &= \left( \frac{\partial V}{\partial \mathbf{q}} \right)^\top \mathbf{J}^\dagger \left( \dot{\mathbf{w}}_d + \mathbf{K}_P \mathbf{w}_e + \mathbf{K}_I \int \mathbf{w}_e dt \right) + \left( \frac{\partial V}{\partial \mathbf{q}} \right)^\top (\mathbf{I} - \mathbf{J}^\dagger \mathbf{J}) \mathbf{K}_V \left( \frac{\partial V}{\partial \mathbf{q}} \right) \end{aligned} \quad (5)$$

となる。ここで、 $(\mathbf{I} - \mathbf{J}^\dagger \mathbf{J}) > 0$  である。よって、 $\mathbf{K}_V < 0$  とすることで(5)式の右辺第2項が常に負となり  $V$  が減少化され、干渉リスクを低減できる。

#### 力制御

力センサの値に応じて位置制御の目標値と目標速度を修正することで力制御を行う。制御則には位置制御ベースの力制御であるアドミッタンス制御を用いる。力制御全体の構成を Fig.3 に示す。力のPI制御は次式のように設定する。

$$\Delta \mathbf{r}_{Pii} = \mathbf{K}_{Pfi} + \mathbf{K}_{Ifi} \int \mathbf{f}_{ei} dt \quad (6)$$

ここで、 $\mathbf{K}_{Pfi}, \mathbf{K}_{Ifi}$  は比例ゲインおよび積分ゲイン、 $\mathbf{f}_{ei}$  は力目標値  $\mathbf{f}_{ref}$  と力センサから得た値  $\mathbf{f}_{exti}$  との偏差であり、添え字  $i = m, n$  は接触車輪である第  $m, n$  車輪を表している。目標機械インピーダンスの運動方程式は次式のように設定する。

$$\mathbf{M}_i \Delta \ddot{\mathbf{r}}_i + \mathbf{D}_i \Delta \dot{\mathbf{r}}_i + \mathbf{K}_i (\Delta \mathbf{r}_i - \Delta \mathbf{r}_{Pii}) = \mathbf{f}_{exti} \quad (7)$$

ここで、 $\mathbf{M}_i$  は慣性定数、 $\mathbf{D}_i$  は粘性定数、 $\mathbf{K}_i$  は剛性定数、 $\Delta \mathbf{r}_i$  は位置修正量である。(7)式を数値積分

することで求めた位置修正量と速度修正量をそれぞれ(3)式の目標値、目標速度に加えることで、力制御を含めた位置制御を行う。

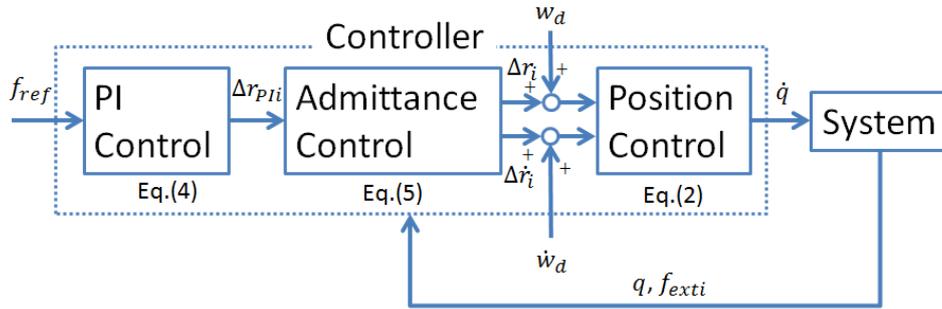


Fig.3: 位置制御ベースの力制御の構成

### 3.4 シミュレーション

#### 位置制御

制御則の有効性を検証するため、シミュレーションを行う。ロボットに関するパラメータは後述する実験と合わせ、 $n = 16$ ,  $m = 6$ ,  $l_i = 0.067[\text{m}]$  とした。干渉回避の検証を行うため、評価関数を使用した場合(case1,  $K_V \neq 0$ )と評価関数を使用しなかった場合(case2,  $K_V = 0$ ) についてシミュレーションを行った。

case 1 および case 2 における接触車輪の位置・姿勢の時間応答を Fig.4 に示す。ここで、実線は時間応答、破線は目標値を表している。Fig.4 より、接触車輪の位置・姿勢が目標値に収束していることがわかる。なお、被制御量の運動に影響を与えない冗長性を利用して干渉回避を行っているため、シミュレーションにおいては干渉回避の有無に関わらず被制御量  $w$  は同じ応答となる。また、シミュレーションにおけるロボット動作の様子を Fig.5 に

示す。赤色の“+”は目標位置、赤い車輪は接触車輪、青い車輪は接触間車輪を表している。case 2 では接触間車輪である第 7 車輪と対象物との間に干渉が生じているのに対して、case 1 では干渉を回避していることがわかる。

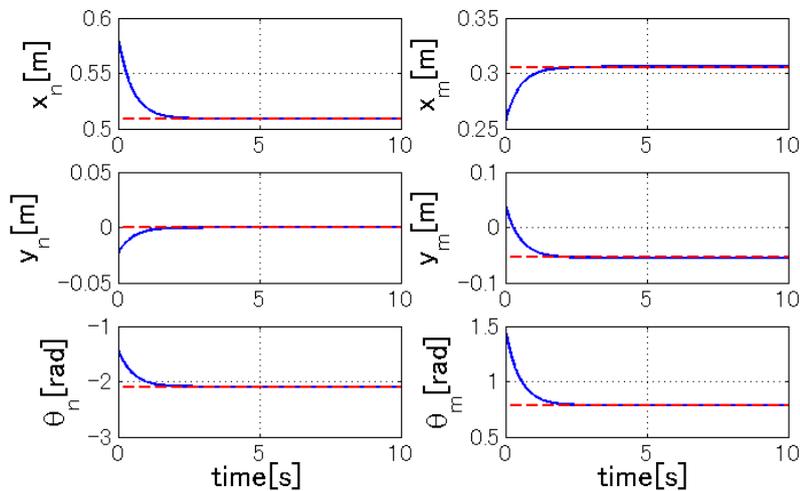


Fig.4: 位置・姿勢の時間応答(シミュレーション, case 1)

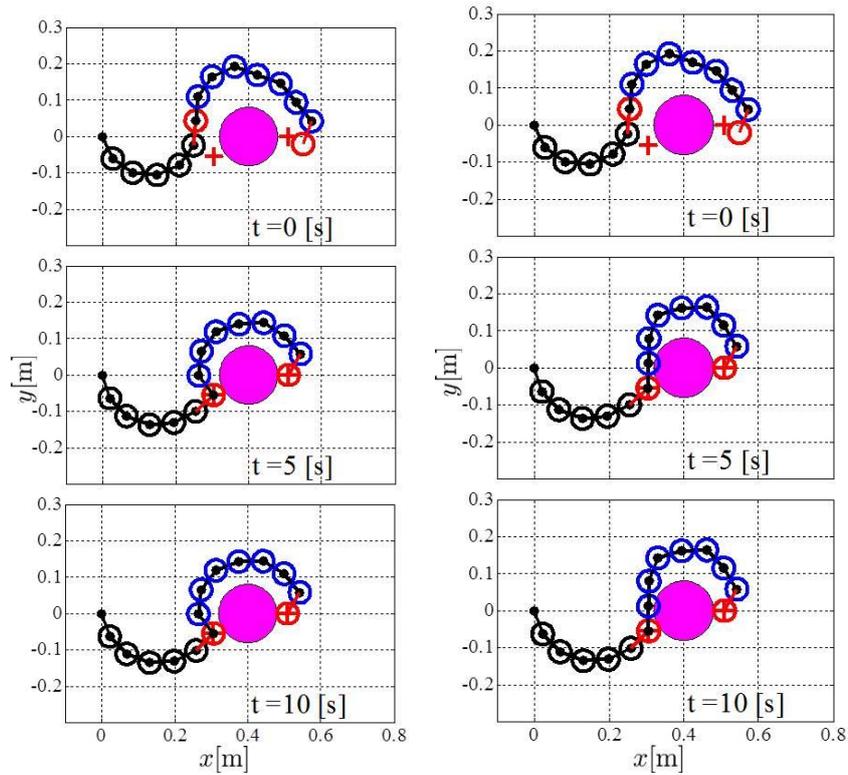


Fig.5: 干渉回避の検証(シミュレーション)

### 力制御

力制御シミュレーションにおける case 1 の接触力の時間応答を Fig.6 に示す．ここで，実線は接触力の時間応答，破線は目標値を表している．接触力が目標値に収束していることがわかる．

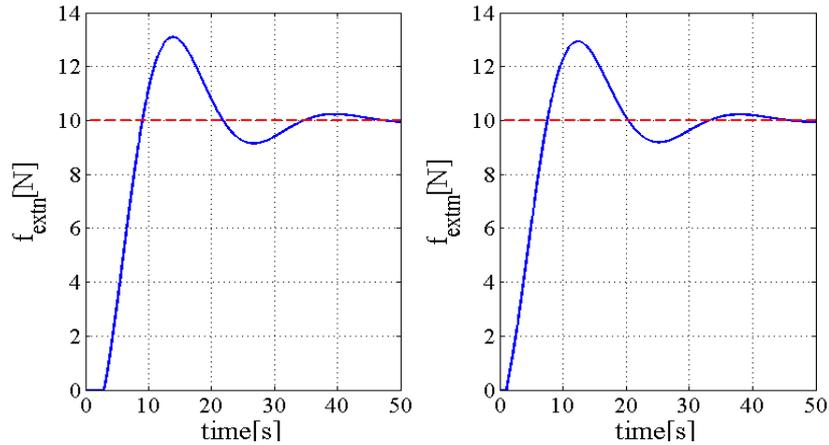


Fig.6: 接触力の時間応答(シミュレーション, case 1)

### 3.5 実機実験

制御則およびシミュレーション結果の妥当性を検証するため，実機を用いた実験を行う．実験環境を Fig.7 に示す．シミュレーションと同様にリンク数は  $n=14$ ，各リンク長さは  $l_i = 0.067[m]$ ，ロボットの全長はおよそ  $1[m]$  であり， $m=6$  とした．アクチュエータは ROBOTIS の Dynamixel AX-18A, 18A，力センサはテック技販の USL06-H5-200N を使用した．なお，現在値  $\mathbf{w}$  は内界センサにより検出された関節角  $\mathbf{q}$  を幾何学関係式(1) に代入することで算出した．

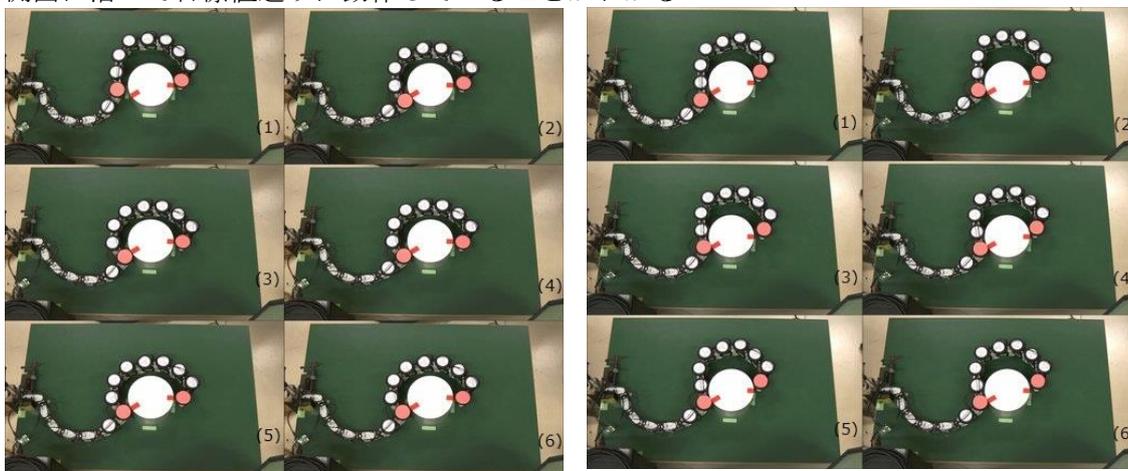


Fig.7: 実機実験環境

### 位置制御

シミュレーションと同様に、評価関数を使用した場合(case 1,  $KV \neq 0$ ) と評価関数を使用しなかった場合(case 2,  $KV = 0$ ) で実験を行った。ロボットの動作の様子を Fig.8 に示す。評価関数を使用しなかった case 2 ではロボットの第 7 車輪と対象物が干渉しているのに対し、case 1 では干渉を回避できていることがわかる。case 1 の接触車輪の位置・姿勢の時間応答を Fig.9 に示す。ここで、実線は位置・姿勢の時間応答、破線は目標値を表している。接触車輪の位置・姿勢が目標値に収束していることがわかる。しかしながら、実世界における目標位置には収束していないことを目視にて確認した。本実験ではサーボの内界センサから受信した関節角の値から幾何学的に各車輪の位置を求めており、角度誤差の累積によって実世界との間に誤差が生じたことが原因であると考えられる。

さらに case 3 として、評価関数を使用し、目標値を時間変化させた場合のロボットの動作の様子と被制御量の応答を Fig.10,11 に示す。時変の目標値に対しても、接触車輪が干渉回避しながら対象物の側面に沿って目標値通りに動作していることがわかる。



(b) case 2

Fig.8: 干渉回避の検証(実機実験)

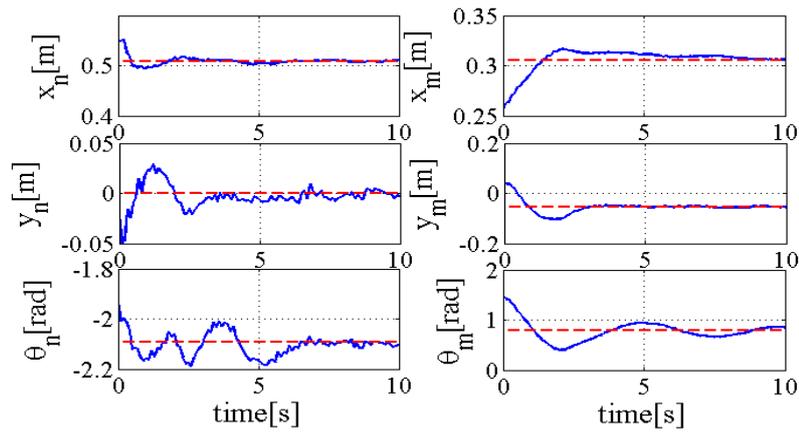


Fig.9: 位置・姿勢の時間応答(実機実験, case 1)

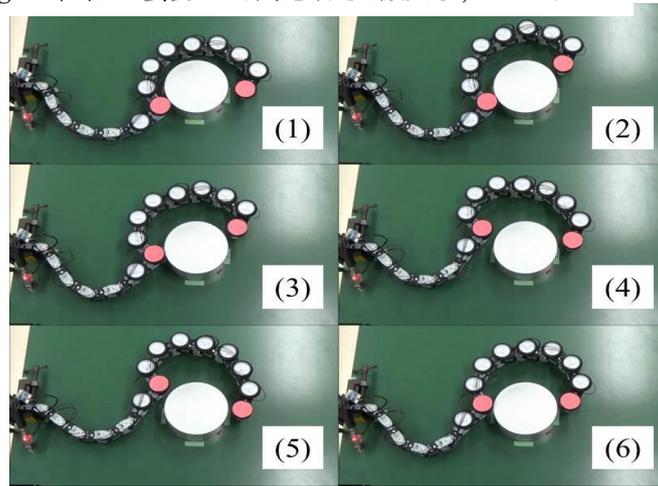


Fig.10: 時変目標値の実験結果(実機実験, case 3)

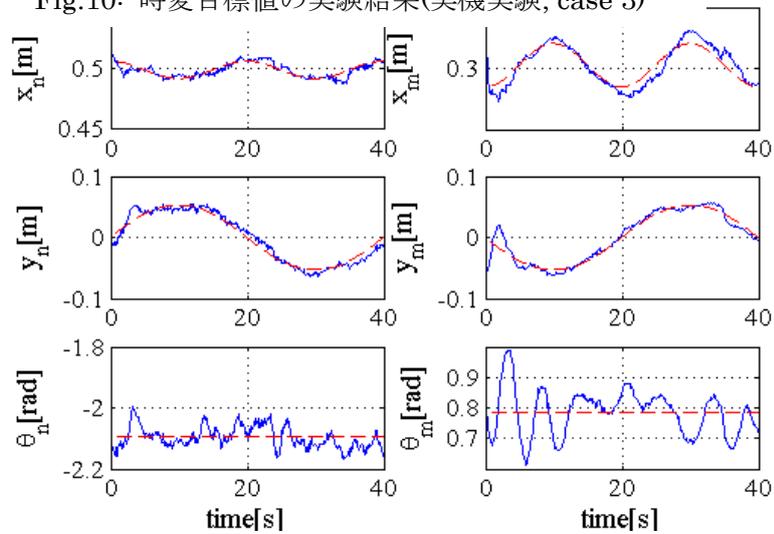


Fig.11: 位置・姿勢の時間応答(実機実験, case 3)

## 力制御

力制御実験における case1 の接触力の時間応答を Fig.12 に示す. ここで, 実線は接触力の時間応答, 破線は目標値を表している. 振動はしているものの, 接触力が目標値である 4[N] に近い値になっている

ることがわかる。振動の原因はサーボの内界センサの角度誤差と最小分解能、力センサのノイズなどが考えられる。また、第  $m$  車輪より第  $n$  車輪の振動が大きい原因は、第  $m$  車輪はベース部に直接連結しているのに対し、第  $n$  車輪はベース部までに接触車輪である第  $m$  車輪が中間にあり、第  $m$  車輪の振動が第  $n$  車輪に影響するためと考えられる。

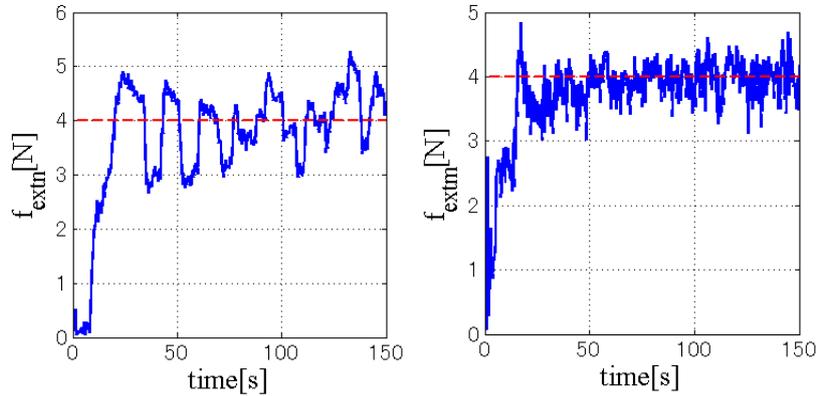


Fig.12: 接触力の時間応答(実機実験, case 1)

## 9 まとめ

本研究では多様なマッサージ動作を行う新たなマッサージシステムの実現を目指し、制御が容易になるロボット機構の提案、2つの接触車輪の位置制御と冗長性を利用した干渉回避方法の提案、アドミッタンス制御による接触力制御の適用を行い、シミュレーションおよび実機実験により制御則の有効性を確認した。ロボットの関節の同軸上に車輪を設置する機構にすることで、多点の接触位置の直接制御が可能であることがわかった。

今後はモーションキャプチャ等の外界センサを用いた制御、ロボットの特異姿勢回避、対象を人にした場合の実機検証、マッサージ動作の実現を行う。

## 10 予算

購入物品	費用
ロボット用アクチュエータ	¥200,000
ロボット制御用PC	¥100,000
ロボット用消耗品	¥10,000
合計	¥210,000

## 参考文献

- [1] J.Wang and Y.Li, "Massaging Human Feet by a Redundant Manipulator Equipped with a Tactile Sensor," Proc. IEEE/ASME Int. Conf. on Advanced Intelligent Mechatronics, pp.7-12, 2010.
- [2] K.C.Jones and W.Du, "Development of a Massage Robot for Medical Therapy," Proc. IEEE Int. Conf. on Advanced Intelligent Mechatronics, Vol.2, pp.1096-1101, 2003.
- [3] P.Min Yong, K.Mouri, H.Kitagawa, T.Miyoshi and K.Terashima, "Hybrid Impedance and Force Control for Massage System by Using Humanoid Multi-fingered Robot Hand," Proc. IEEE Int. Conf. on Systems, Man and Cybernetics, pp.3021-3026, 2007.
- [4] R.C.Luo and C.C.Chang, "Electromyographic Evaluation of Therapeutic Massage Effect Using Multi-finger Robot Hand," Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp.2431-2436, 2011.
- [5] M.Kume, Y.Morita, Y.Yamauchi, H.Aoki, M.Yamada and K.Tsukamoto, "Development of a

Mechanotherapy Unit for Examining the Possibility of an Intelligent Massage Robot,” Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, Vol.1, pp.346-353, 1996.

[6] Y.Xiaoqin and X.Yonggen, “Design and Simulation of Chinese Massage Robot Based on Parallel Mechanism,” Proc. Int. Conf. on Mechanic Automation and Control Engineering (MACE), pp.2512-2512, 2010.

[7] K.Mouri, K.Terashima, P.Min Yong, H.Kitagawa and T.Miyoshi, “Identification and Hybrid Impedance Control of Human Skin Muscle by Multi-fingered Robot Hand,” Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, pp.2895-2900, 2007.

[8] 金子真, 東森充, 辻敏夫, “包み込み把握の遷移安定性”, 日本ロボット学会誌, No.16, No.5, pp.712-720, 1998.

[9] K.Harada and M.Kaneko, “A Sufficient Condition for Manipulation of Envelope Family,” IEEE Trans. on Robotics and Automation, Vol.18, No.4, pp.597-607, 2002.

#### 4.5 BMI システムを用いた身体麻痺障害者に向けての娯楽提供

報告者  
学籍番号： 1132047  
氏名： 田中拓哉

指導教員  
田中一男教授（知能機械工学科）  
佐藤美佳准教授（筑波大学大学院リスク工学専攻）

## プロジェクト提案・予算報告書 BMI システムを用いた身体麻痺障害者に向けての娯楽提供

### 1. プロジェクト概要

本プロジェクト名は「BMI システムを用いた身体麻痺障害者に向けての娯楽提供」である。本プロジェクトに参加する学生は以下の5名である。なお指導教員を田中一男教授（知能機械工学科）と佐藤美佳准教授（筑波大学大学院リスク工学専攻）をお願いをした。

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2年 田中研究室

プロジェクトメンバー：

- ・ 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
- ・ Yichuan Liu，ボストン大学機械工学科修士2年 Wang 研究室
- ・ Radian Furqon，知能機械工学科4年 田中研究室
- ・ 菊島達也，知能機械工学科4年 田中研究室

指導教員：

- ・ 田中一男教授（知能機械工学科）
- ・ 佐藤美佳准教授（筑波大学大学院リスク工学専攻）

### 2. 背景および目的

脳と機械やコンピュータを直接つなぐインターフェース技術として、Brain-Machine Interface (BMI) に関する研究が現在注目を浴びている。手や足などの運動器官を介すことなく脳活動情報から直接的に機械の操作を可能にするBMIは、筋委縮性側索硬化症 (amyotrophic lateral sclerosis) など重度の身体麻痺障害者への応用が期待されている。

近年では、携帯型の脳波計も発売されており、医療の目的以外に娯楽の目的にも使用され始めている。代表的なものとしては、emotiv EPOC (図1) や Mindflex (図2) 等が挙げられる。しかし、今提供されているシステムは健常者向けである、重度の身体麻痺障害者用システムの提供が必要と考えられる。

BMIの中で、識別が容易と言われる視覚誘発電位 (VEP)、特に定常状態視覚誘発電位 (SSVEP) によるインタフェースが盛んになっている。SSVEPとは周期的に点滅する視覚刺激 (フリッカ刺激) を観察中に誘発される脳波成分のことであり、フリッカ刺激の周波数に同期した正弦波の成分を得られる。本プロジェクトではSSVEPによるBMIを用いた重度の身体麻痺障害者用システムとして、emotivの特徴である多クラス判別と、Mindflexの特徴である実際のものを動かすこと、この2つの融合により新しいシステム構築、提供を考えている。また、重度の身体麻痺障害者がターゲットであるので、手などの身体を使わずに、脳波操作システムを構築する。

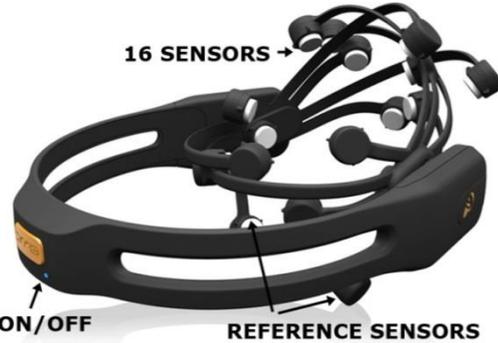


図1 emotiv EPOC



図2 Mindflex

### 3. システム提案およびプロジェクトの流れ

本プロジェクトで提案したシステムは図3となる。老若男女問わず愛されるラジコン（今回は飛行ロボットラジコンを対象とする）を重度の身体麻痺障害者でも遊べるようにすることが本プロジェクトの目的である。ここで、コントローラの代わりにヘッドマウントディスプレイ(HMD)のインターフェースを用いるが、HMDでのインターフェースは図4のように構築する予定である。図4に表示される矢印または四角は点滅する刺激であり、一つの刺激が一つのタスクに対応する。ユーザーが特定の刺激を注目することで、飛行ロボット操作する。

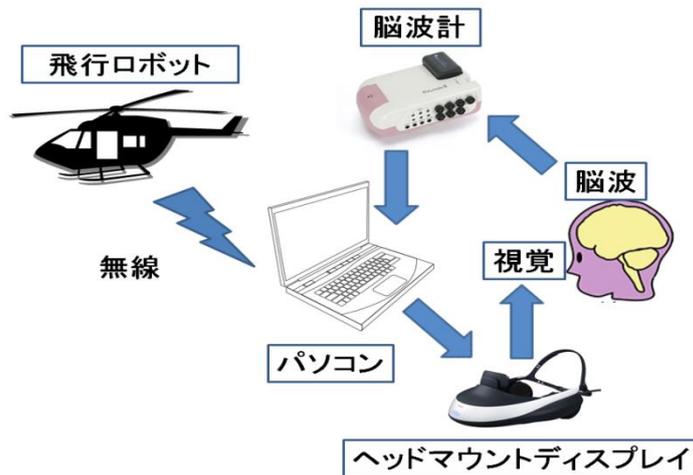


図3 提案したシステム

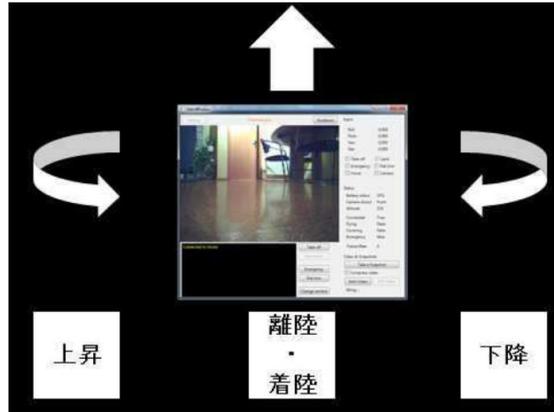


図4 HMDでのインターフェース

上記のシステムを実現するために、本プロジェクトは以下の流れで実行される。

1. LEDを用いたSSVEP実験
  2. SSVEPによるインターフェース構築
  3. 液晶モニタ(LCD)を用いたSSVEPによるBMIに関する問題
  4. 提案した刺激の有用性の検証
  5. ヘッドマウントディスプレイ(HMD)を用いたSSVEPによるインターフェース構築
- 現時点では1～4まで行った。

#### 4. LEDを用いたSSVEP実験

SSVEPに関する知識を深めるために、SSVEPが現れやすいと言われる刺激、点滅しているLEDを用いて、健康な一人の男性に対して実験を行った。

##### 使用機器

脳波計：Polymate 2, 12個のアクティブ電極（図5）

刺激提示機器：SSVEPボックス, 周波数が異なった点滅している4つ(7, 8, 9, 10 [Hz])のLED（図6）



図5 Polymate 2



図 6 SSVEP ボックス

### 実験内容

- 本実験は 4 クラス識別実験である。
- 被験者に国際 10-20 法に従って、視覚野辺りに 12 電極を貼付けた(図 7)。

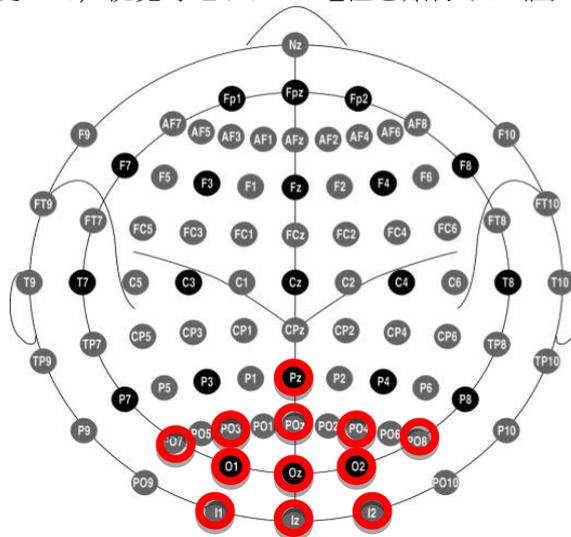


図 7 電極の位置

- 被験者に各刺激を 20 回(4 クラス・20 回 = 80 トライアル)注目させ、刺激を注目している被験者の脳波を測定する。
- 1 トライアルには 6 秒間刺激に注目した後、6 秒間休憩し、こちらのプロセス繰り返し、20 トライアル毎に 2 分間休憩する。

### 特徴量抽出

まず、前処理は論文[1]を参考にして、以下の前処理  $X$  を生データに適用した。次に、

$$X = 40z - (O1 + O2 + PO4 + PO3) \quad (1)$$

$X$  に FFT をかけて、各刺激の周波数成分(パワー)を特徴量 **A** とし、倍周の成分(パワー)を特徴量 **B** とする。

### 識別結果

特徴量に対して、パワー比較を行った。パワーが最も大きい周波数(または倍周)が識別結果とする。6 秒のデータおよびリアルタイム性を考慮して、3 秒(6 秒のデータを 2 分割し、オーバーラップなし)のデータの各刺激に対する識別の正答率を表 1 に示す。

表 1 各刺激の識別の正答率

データの長さ(秒)	特徴量	7 [Hz]	8 [Hz]	9 [Hz]	10 [Hz]	平均
6	A	100 %	90 %	100 %	100 %	97.5 %
	B	100 %	95 %	95 %	100 %	97.5 %

3	A	95 %	90 %	90 %	95 %	92.5 %
	B	95 %	90 %	95 %	100 %	95.0 %

## 結論

以上の結果から、SSVEP ボックスの刺激に対して、識別がうまくできたと考えられる。そのため、SSVEP ボックスを用いて、4クラス識別のインタフェースを構築することが可能だと考えられる。

## 5. SSVEP によるインタフェース構築

実験でSSVEPボックスの刺激に対して識別ができたため、4クラス識別のインタフェースを構築する。構築したのは図8のようにSSVEPによるBMIを用いた小型飛行ロボットを操作するシステムである。ユーザにコントローラの代わりにSSVEPボックスを提供した。ユーザが注目した刺激によって、小型飛行ロボットが前後左右に進むようなシステムである。

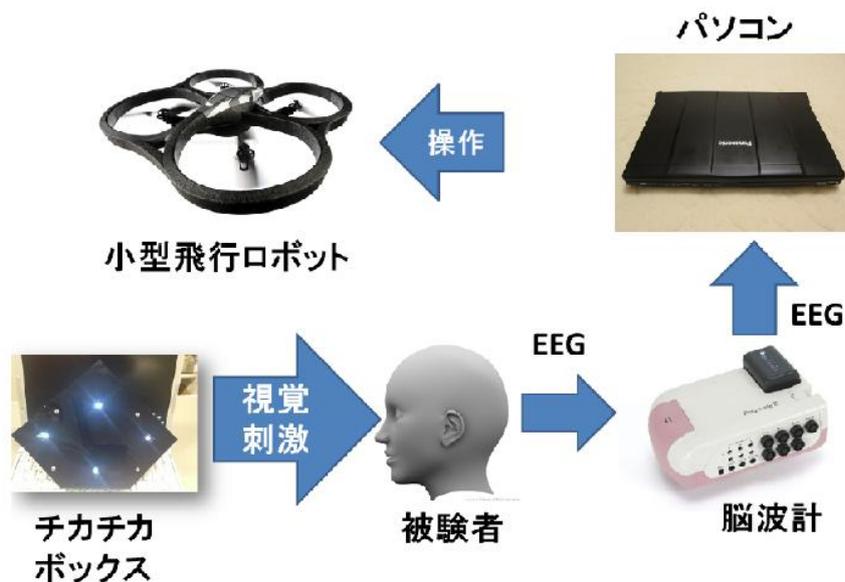


図8 小型飛行ロボットを操作するシステム

本システムで小型飛行ロボットとして、世界的に人気なParrot社のAR Droneを使用する。世界中のみんながAR Droneを使用して遊んでいるため、AR Droneのシステムを重度の身体麻痺障害者用システムにすることができるのが本プロジェクトの最終目的とする。

また、本システムを用いて、大学のオープンキャンパスやテレビの取材等でデモ活動を行っています(デモの風景は図9に示す)。



図9 デモの風景

## 6. LCD を用いた SSVEP による BMI に関する問題

本プロジェクトで提案されたシステムでは(図3)視覚刺激をHMD上で提示するため、SSVEPボックスの代わりにHMDを使用する必要がある。一般的に発売されているHMDはHDMIでパソコンと接続されており、LCDと同じようなりフレッシュレートを持つ。そのため、HMDをシステムに適用する前に、LCDを用いたSSVEPの実験が必要である。しかし、LCDを用いると、LEDを用いるより提示可能な刺激の周波数が限られている。それは、LCDが1秒間に何個の画面(frame)を提示できるLCDの垂直リフレッシュレート(R)が普段だと100[Hz]より低いためであり(一般的には60[Hz])、R/2以下の周波数の刺激のみ提示することができる。また、LCDの垂直リフレッシュレート(60[Hz])の約数(周期: 2, 3, 4, ..., 60 frame, 表2を参照)を周波数の刺激として用いると、安定した刺激が提示できるので、表2の刺激を使用するのが望ましい[3]。

表2 Rの約数と刺激の周波数(f)の関係

R=60[Hz]	R/2	R/3	R/4	R/5	R/6	R/7	R/8	R/9	R/10	...
f [Hz]	30	20	15	12	10	8.57	7.5	6.67	6	...

このように前後左右(4クラス)の識別が必要となるため、4種類の刺激が必要なことは自明である。しかしながら、小型飛行ロボットに他のタスク(旋回、離陸、着陸等)を追加する場合、限られたSSVEPが現れやすい周波数の中から(表2の6[Hz]以上かつ10[Hz]付近)従来の方法(点滅する単一図形, 図10)を用いるとクラス数を増やすのに困難である。本プロジェクトは以上の問題の解決として新しい刺激を図11のように提案した。提案する刺激について以下に述べる。注目している刺激が中心窩(fovea)に投影するような設定にした場合、foveaの距離が視野角5度以内に他の刺激が存在すると、刺激の干渉が起こっているため、注目している刺激に対するSSVEPの特徴が現れにくくなるとKianら[2]が主張した。そこで、本プロジェクトでは注目している刺激に対するSSVEPの特徴が現れにくくなるとともに、干渉している視野角5度以内に存在する刺激にも脳は反応し、SSVEPの特徴が現れる可能性があると予想し、二つの刺激を組み合わせることができるのではないかと考えた。

以上を用いて、提案した刺激は図11のように、二つの独立している刺激、円(中心)と輪(周辺)を組み合わせ、円と輪の距離は視野角5度以内刺激と設定する。この組み合わせ方法では周波数の異なった二つの視覚刺激( $f_1$ と $f_2$ )を用いて、4つの異なった視覚刺激(円-輪:  $f_1-f_2$ ,  $f_2-f_1$ ,  $f_1+f_1$ ,  $f_2+f_2$ )を生成することが可能となる。従って、提案した刺激を用いると、クラスの数が増える提示周波数の数の2乗となる。

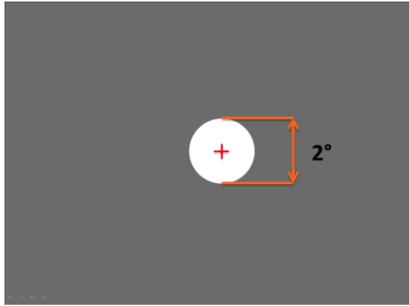


図10 従来の刺激

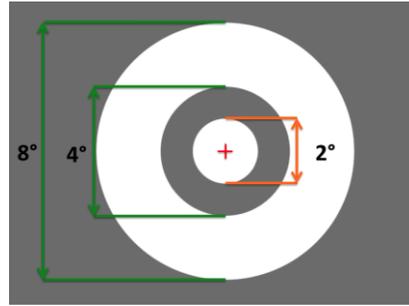


図11 提案した刺激

## 7. 提案した刺激の有用性の検証実験

上記で提案した刺激の有用性を検証するために、提案した刺激(図10)と従来の刺激(SSVEP 刺激:単一図形の点滅, 図11)について実験を行い, 比較した.

### 実験概要

被験者の眼球から約60[cm] の距離に設置したLCD 上で刺激を提示する. 実験を行う際は, アゴ台を用いて被験者の眼球とモニタの距離を固定し, 筋電からのノイズの影響を削減する. 各トライアルに全クラスの刺激がランダムな順番で提示される. 刺激の提示法は2 秒のスタート画面から, 赤い十字線(fixation cross) 画面になり, 待機状態になる. ここで被験者がスペースキーを押すと, 6 秒間の刺激が提示され, 4 秒の休憩画面となり, また2 秒のスタート画面に変わる. 刺激を提示するLCDの性能は応答速度が3.4[ms] であり, 垂直リフレッシュレートが120[Hz] である. 実験の風景は図12(従来の刺激)および図13(提案した刺激)となる.

脳波計測はPolymate2(アクティブ電極×12, REF×1, E×1) を用いた. 電極の位置は国際10-20 法(5%) に従い, 後頭部の視覚野辺り(Pz, POz, Oz, Iz, P03, P04, O1, O2, I1, I2, P07, P08) につけた(図7). また, サンプリング周波数は1000[Hz] とし, ノッチフィルタ(50[Hz]) およびローパスフィルタ(60[Hz]) を適用する.



図12 実験風景(従来の刺激)



図13 実験風景(提案した刺激)

### 実験内容

本実験では提案した刺激が4クラス識別インタフェース上で提案した刺激の有用性を検証する実験である. 各刺激に対して, 40トライアル分のデータを計測する. 本実験で使用される刺激は表2 となる. 6人の被験者に対して実験を行った. 被験者は全員健康な男性, 20代前半, 右利きである. SSVEP刺激の実験を行ってから, 提案した刺激の実験を行ったが表3での提案した刺激の $f_1$ と $f_2$ はSSVEP刺激の実験で最も識別しやすいと思われる二つの周波数である.  $f_1$ および $f_2$ を選択するのに, SSVEP刺激の実験のEEGデータから, SSVEPが現れやすいと言われる電極Ozでの各刺激周波数のパワーを特徴量とする. 各EEGデータの特徴量からパワーが最も大きな周波数の成分が該当刺激の周波数と仮定し, 識別を行い, 識別率が最も高い二つの周波数を $f_1$ および $f_2$ とする. 各被験者の $f_1$ および $f_2$ は表4に示す.

表3 実験で使用される刺激

刺激番号	従来の刺激(SSVEP) [Hz]	提案した刺激 [Hz]
1	6.67	円: $f_1$ 輪: $f_1$
2	7.5	円: $f_1$ 輪: $f_2$

3	8.57	円: $f_2$ 輪: $f_1$
4	10	円: $f_2$ 輪: $f_2$

表4 被験者による提案した刺激の周波数

被験者	$f_1$ [Hz]	$f_2$ [Hz]
KI	7.5	8.57
SE	7.5	8.57
TA	7.5	10
FA	7.5	10
RA	6.67	7.5
RO	8.57	10

### 特徴量抽出および実験結果

抽出されたEEGに式(2)の様な前処理を適用した.

$$Y = 4Oz - (P03 + P04 + I1 + I2) \quad (2)$$

この前処理の手法はSSVEPが現れやすいと言われるOzの信号を強調するために、Oz信号とOz周辺の4つの電極の信号との差を算出した。そして、Yに高速フーリエ変換を行い、パワースペクトルを作成した。各視覚刺激の周波数および2倍の周波数のパワーを特徴量とする。SSVEPの実験だと4種類の周波数を用いるため、特徴量の次元が8となる。また、提案した視覚刺激の実験だと2種類の周波数のみを用いるため、特徴量の次元が4となる。各実験データ(特徴量)に対して、二次判別分析(QDA: Quadratic Discriminant Analysis)による4クラス識別を用いた10-分割交差検証(10-fold cross validation)を行った。従来の刺激(SSVEP)の実験結果および提案した視覚刺激(Proposed Stimuli)の実験結果(平均正答率±標準偏差)を図14となる。

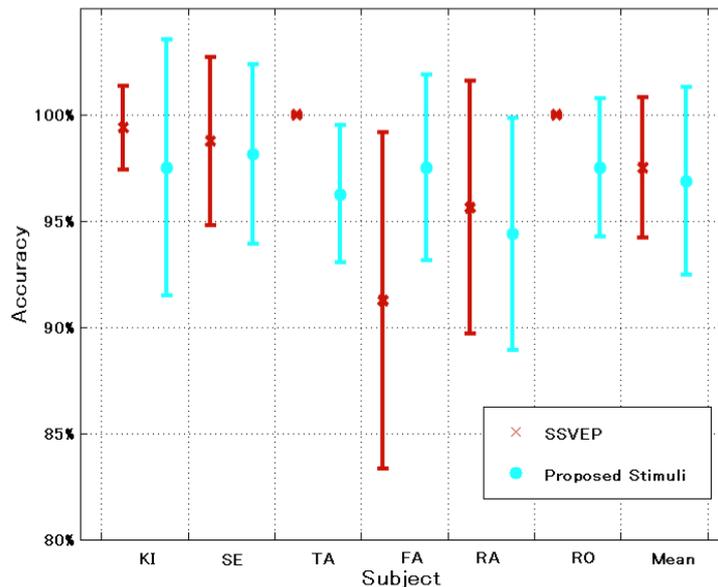


図14 実験結果

図14に示すように、SSVEP および提案した視覚刺激の実験結果の平均はそれぞれ97.50%±3.30% および96.88%±4.43%である。また、各実験結果(被験者の正答率)についてt検定(自由度=10, 有意水準=5%,  $t_{0.05} = 2.228$ )を行い、各実験結果には差がないという結果が得られた( $|t| = 0.4107 < t_{0.05}$ , P値:  $0.69 > 0.05$ )。

## 8. 結論

本プロジェクトで提案した視覚刺激はSSVEPと比較した結果、正答率に有意差が無いことを検証した。従って、視覚刺激をLCDで提示する際、4クラス識別のインタフェースの構築に本プロジェクトで提案した視覚刺激は利用可能である。

今回の実験では周波数が異なった2つの視覚刺激を用いて、4クラス識別を行えることを証明したところまでできた。これからは、周波数が異なった2つ以上の視覚刺激について検証し、今回提案した視覚刺激を用いて、本プロジェクトのシステムに適用する。

## 9. 予算および支出

大学からいただいたプロジェクト費で以下のような支出を行った。

予算：¥ 280,000

支出

◇ ヘッドマウントディスプレイ (HMD)	: ¥ 80,000
◇ 液晶モニター (LCD)	: ¥ 40,000
◇ アゴ台	: ¥ 120,000
◇ 小型飛行ロボット (AR Drone)	: ¥ 40,000

## 参考文献

1. B. Hjorth, "An on-line transformation EEG scalp potentials into orthogonal source derivations," *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 39(5): 526-530, 1975.
2. Kian B. Ng, Andrew P. Bradley, and Ross Cunnington, "Effect of competing stimuli on SSVEP-based BCI," *IEEE EMBS*, 6307-6310, 2011.
3. I. Volosyak, H. Cecotti, and A. Graser, "Optimal visual on LCD screens for SSVEP based Brain-Computer Interfaces," *Neural Engineering, 2009, NER '09, 4th International IEEE/EMBS Conference on*, pp.447-450, 2009.

#### 4.6 マグナス効果を利用した飛行移動体の開発

報告者

学籍番号：1132017

氏名：小澤 晃司

指導教員

田中 一男 教授

大竹 博准教授（九州工業大学）

#### 4.6 マグナス効果を利用した飛行移動体の開発 ~

### 11 プロジェクト概要

本プロジェクト名は「マグナス効果を利用した飛行移動体の開発」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：

小澤 晃司 知能機械工学専攻 博士前期課程2年 田中研究室

プロジェクトメンバー：

水野 正博 知能機械工学専攻 博士後期課程2年 田中研究室

仕舘 宗大 知能機械工学専攻 博士前期課程1年 明研究室

田中 雄将 情報理工学部 知能機械工学科4年 田中研究室

稲益 脩士 情報理工学部 知能機械工学科4年 田中研究室

町田 翔 九州工業大学 機械情報工学専攻 博士前期課程1年 大竹研究室

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）

### 12 研究目的

現在、災害現場での情報収集を想定した無人航空機(Unmanned Air Vehicle : UAV)に関する研究が数多くなされている。災害現場での情報収集においては、短距離離陸、低速飛行、携帯容易性(小型サイズ機体)が満たされる UAV が必要である。しかし、固定翼を持つ UAV は、その翼の特性上、高速域でなければ安定して飛行できない。そのため、滑走距離を短くしたり、低速で飛行させたりするには翼面積を確保する必要がある、それは機体の大型化につながってしまうという問題がある。そこで、小型のままでも短距離離陸や低速飛行が可能で、かつ携帯容易な小型の飛行移動体の開発が必要である。本研究では、滑走距離を短くし、かつ、低速で飛行するための新しい飛行移動体として、マグナス効果を利用した小型飛行移動体を開発するとともに、高度制御のための制御器を設計し、シミュレーションによりその有効性を確認する。

本プロジェクトでは、昨年度までの研究結果を基に、まず、マグナス翼および飛行移動体のモデル化と詳細な最適化による飛行移動体の設計を行う。昨年度までに行ったものは、簡易的に行ったものである。実際、実験を通して、理論値と実験値に誤差が認められた。そこで、空力特性や考慮した数式モデルを構築し、それを利用した機体パラメータの最適化設計を行う。最適化の際にも、昨年度を基に新たな条件を追加する。その後、最適なパラメータを持ち、昨年度よりも剛性の高い飛行移動体を開発する。昨年度までは、室内での使用を考えていたため、それほど飛行移動体の強

度に関しては気にせず、軽い飛行移動体を製作することに注力した。しかし、レスキューでの利用を考えると、室外での使用も考えられるため、飛行移動体の強度は考慮すべき点であるため、今年度は、より剛性の高い飛行移動体を開発する。また、開発した飛行移動体に姿勢センサを搭載し、姿勢の安定化にも取り組む。

## 13 研究報告

### 3.1 揚力モデルの改善

より詳細なマグナス翼の揚力の数式モデル（以下、揚力モデル）を構築する。昨年度までの研究において、昨年度の揚力モデルによる揚力と揚力測定実験で測定した揚力の間に誤差があることが分かった。この原因は、昨年度の揚力モデルが理想状態で計算していることであると考えた。そこでより実際の値に近づけるため、揚力測定実験の揚力を利用した揚力モデルを構築する。この際、文献[1,2]のように同様な実験を行っていたものがあつたため、そこで使用されている式を新たな揚力モデルとした。その揚力モデル $L_m$ を以下に示す。

$$L_m = \frac{1}{2} \rho V^2 S C_L \quad (1)$$

ここで、 $\rho$ は空気密度、 $V$ は風速、 $S$ はマグナス翼の断面積、 $C_L$ は揚力係数である。揚力係数は、実験値から求められる係数である。この揚力モデルは、揚力測定実験の実験値を利用するので、昨年度の揚力モデルよりもよくなるのは明らかである。そのため、実験値の妥当性を確認する必要がある。今回は、文献[1,2]の実験値と比較する。本研究で行った揚力測定実験と同条件のものは見つからなかったため、近しい条件のものと比較する。本研究の風速が約 1.9[m/s]であったことから、文献[1]より風速 0.56[m/s]、文献[2]より 7.1[m/s]のデータと比較する。実際に比較した結果を図.1に示す。

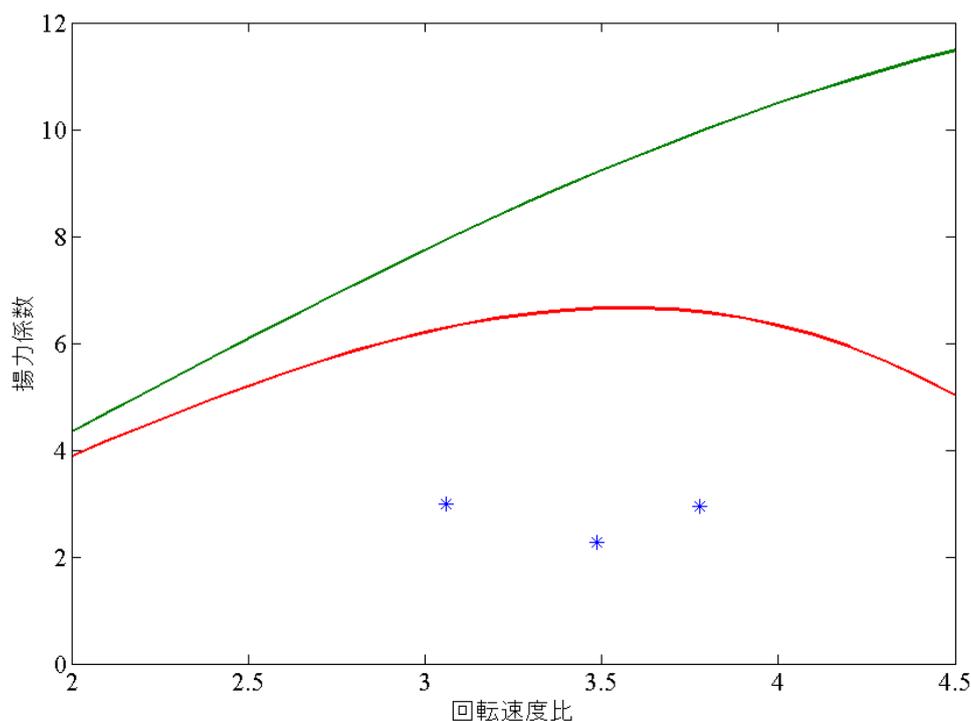


図.1 各実験値の比較  
(青：本研究，緑：文献[1]，赤：文献[2])

文献では、縦軸に揚力係数、横軸に回転速度比を取っていたことから、本研究の実験値も同様にした。ここで回転速度比とは、回転速度と風速の比である。図.1を見ると、本研究の実験値は文献の値よりも低い値となっている。文献[1,2]を見ると、速度が大きくなると揚力係数は小さくなっているのがわかる。そのため、風速で考えると本研究の実験値は参考にした文献[1,2]の実験値の間にあることが考えられる。以上のことから、本研究の実験値は妥当でない可能性がある。しかし、文献[1,2]の実験では、剛体の円柱を用いている。当研究室の実験では、マグナス翼は剛体ではないといった違いがある。この違いにより文献の実験値に比べ本研究での実験値が下がっているのであれば、誤差ではなく、真の値であることも考えられる。今後も検討の必要があると考える。

### 3.2 最適化設計の追加条件

昨年度の研究でも最適化設計を用いて、マグナス翼の直径と翼幅を決めていた。しかし、より詳細な設計をするには、マグナス翼以外にも設計する必要があり、そのためには条件を追加する必要がある。今回から新たに追加する条件は、水平・垂直尾翼容積比とマグナス翼のたわみである。

まず、水平・垂直尾翼容積比とは、ピッチ・ヨーの静的安定に重要なパラメータである。一般的に、水平・垂直尾翼容積比は、それぞれ 0.30~1.0, 0.030~0.10[3]の値を取り、値が大きいほど静的安定性が良い。最適化では、静的安定性を良くするため、水平・垂直尾翼容積比は、それぞれ 1.0, 0.10 を条件として設定し、水平・垂直尾翼の面積を最適化する。

つぎに、マグナス翼の直径と翼幅の最適化の追加条件として、マグナス翼のたわみを考える。マグナス翼飛行移動体は、機体の構造上、マグナス翼が片持ち梁になっており、翼がたわんでいることが考えられる。揚力を維持するためには、翼の回転を一定に保つ必要があるが、たわみが発生すると、回転に影響が出ると考えたため、翼の材料によるたわみを条件に追加した。たわみの上限値には、現在飛行が確認できているマグナス翼のたわみの値を設定した。

以上のように、新たに水平・垂直尾翼容積とマグナス翼のたわみを条件として設定し、ペイロードの最適化を行ったところ、図.2 のようになった。

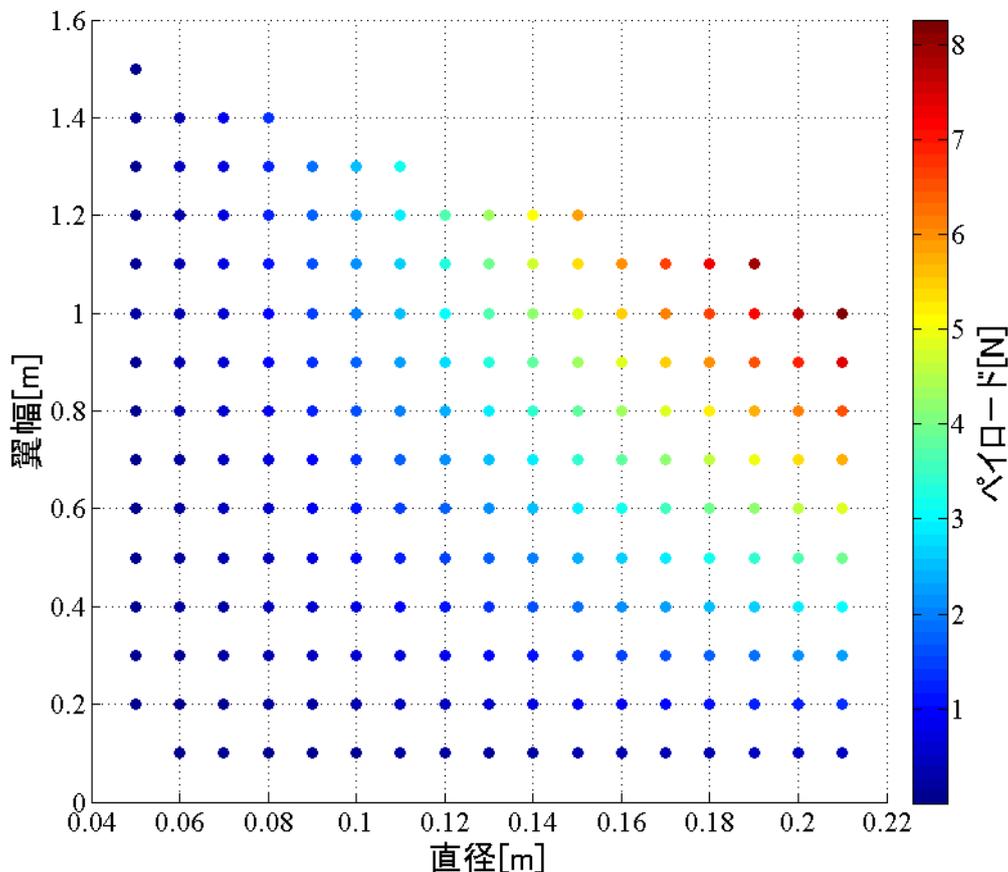


図.2 ペイロードの最適化

今回の最適化において、揚力の計算は、(1)式を利用し、その際揚力係数は文献[1]のデータを用いた。図.2を見ると、今回の最適化における最大ペイロードは、8.3「N」であった。この時のマグナス翼の大きさは、直径0.21[m]、翼幅1.0[m]である。また、追加条件により、水平尾翼面積が0.084[m<sup>2</sup>]、垂直尾翼面積が0.040[m<sup>2</sup>]となった。以上より、追加条件を付すことでマグナス翼以外のパラメータの決定ができるようになった。

### 3.3 高度制御シミュレーション

今後、実際のレスキュー等で使用する際には、飛行移動体の自律飛行制御が必要になってくる。そこで今回、シミュレーションを用いて、マグナス翼飛行移動体がマグナス翼の回転数やプロペラの推力を用いて制御が可能であることを確認する。

自律飛行制御の初期段階として、高度制御に取り組んだ。まず、高度方向の2次元3自由度の運動を考え、マグナス翼飛行移動体の運動方程式を導出した。導出した運動方程式を以下に示す。

$$m\ddot{x} + m\dot{\theta}\dot{z} = T\cos\theta - (L_m + L_h)\sin\theta - (D_m + D_h)\sin\theta \quad (2)$$

$$m\ddot{z} - m\dot{\theta}\dot{x} = T\sin\theta + (L_m + L_h)\cos\theta - (D_m + D_h)\sin\theta - mg \quad (3)$$

$$I_y\ddot{\theta} = -(l_m L_m + l_h L_h)\cos\theta - (l_m D_m + l_h D_h)\sin\theta \quad (4)$$

導出した運動方程式は、多くの非線形項があるため、テイラー展開による線形化を行い、高度制御器設計を行った。まず目標高度と現在の高度との高度誤差を考え、これを先ほどの運動方程式に代入する。制御器は、最適レギュレータ制御を用いて設計した。目標高度を5[m]に設定して行ったシミュレーションの結果を図.3に示す。

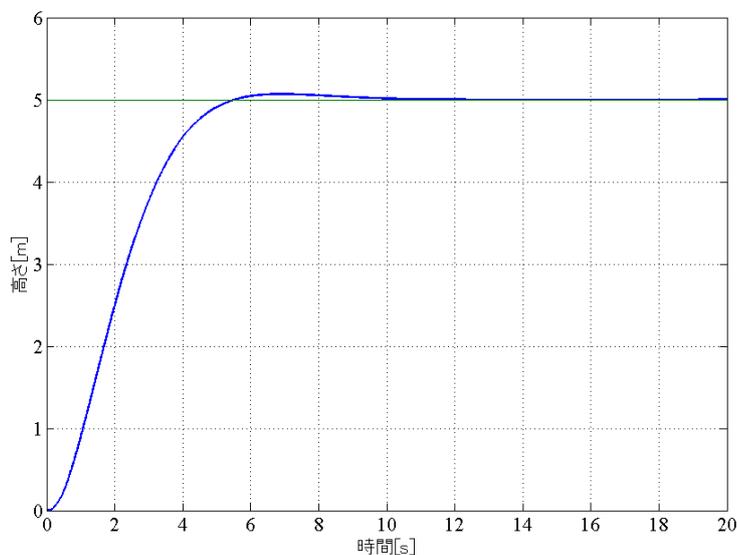


図.3を見ると、目標高度で安定化しているのがわかる。以上より、回転数と推力により制御が可能であることが分かった。

図.3 高度の時間変化

### 3.4 姿勢制御の実験環境構築

シミュレーションにより、回転数により機体の制御が可能であることが分かった。そこで、実際の機体を使つての姿勢制御実験を行うための実験環境の構築に取り組んだ。シミュレーションでは高度制御を行っているが、現在の機体の完成度であると飛行状態での制御は難しいため、一点支持で機体の姿勢角の回転数による安定化を確認するような実験環境を構築する。図.4に構築中の実験環境を示す。



図.4 姿勢安定化実験の実験環境

機体を傾けた状態を初期状態として、機体に取り付けた姿勢センサの値を PC に取り込み、必要な入力(マグナス翼の回転数)を計算する。その値を実際にモータに出力し、姿勢が水平状態(ピッチ角度  $0[^\circ]$  )になるように制御を行う。

簡単な動作確認をしたが、十分なモーメントが発生していないせいか初期状態から動かなかった。そのため、よりモーメントが得られるような実験環境を構築していく必要がある。

#### 4. まとめ

本研究では、マグナス効果を利用した飛行移動体の開発を目標として、昨年度発覚した問題点である揚力の実験値と理論値の差の改善、より詳細な機体の設計のための条件の設定、回転数による制御の確認に取り組んだ。揚力の差に対して、実験値を利用する式を導入することで改善できることが分かった。追加条件により、マグナス翼以外のパラメータを決定することができた。また、シミュレーションにより回転数の制御が可能であると確認できたが、実機での確認はできなかった。今後の展望は、まず揚力モデルにおけるマグナス翼の揚力係数を決定するためにより多くの揚力測定が必要である。この後、最適化を再度行い、実際に製作し、最適化の検証を行う。また、制御に関してもまず実験環境の改善を行い、実機による検証を行う。

#### 参考文献

- [1] 田中英穂，永野進，”回転円柱まわりの流れに関する研究”，日本機械学会論文集，38(310)，1343-1352，1972-06-25
- [2] TOKUMARU.P. T, DIMOTAKIS.P.E，”The lift of a cylinder executing rotary motions in a uniform flow”，J. Fluid Mech, 1993, vol. 255, pp. 1-10
- [3] 牧野，”航空力学の基礎”，産業図書，1980

## 4.7[プロジェクト名]

### 超磁歪素子を利用した埋め込み型骨導補聴器の開発 ～モルモットへの埋め込みによる補聴性能評価・安全性評価～

#### [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 2年 小池研究室

#### [プロジェクトメンバー]

田中絵里 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 2年

本村朋子 慶應大・医 大学院 2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、また、外耳道閉鎖症等の症例では使用することができない。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。これらの問題を解決するため、頭蓋骨を直接加振して補聴する Bone Anchored Hearing Aid (BAHA)が開発され、普及してきている。しかし、BAHAにも、高音域における利得が低いことや、装着部周辺の炎症発生等の問題がある。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。骨導音の定量的な評価法は確立されておらず、これまで献体の外耳道内音圧や骨表面の振幅を計測することで評価を行ってきたが、直接的な評価ではない。また、献体と生体の伝音特性の違いも影響すると考えられる。本報告では、モルモットに本補聴器の振動子と受信コイルを埋め込み、聴性脳幹反応(auditory brainstem responses, ABR)を計測することによって、本補聴器の生体における加振力の評価を行う。

### 2. 超磁歪素子を利用した埋め込み型骨導補聴器

本補聴器の構成を Fig. 1 に示す。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)とで構成している。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。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、駆動するための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ウム磁石を設置し、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。

今回実験に用いた補聴器を Fig. 2 に、振動子部分を Fig. 3 に、送受信コイルの詳細を Table 1 に示す。振動子のチタンケースにはスリットが入っており、超磁歪素子が伸縮すると側頭骨に対して垂

直に変位するようになっている。振動子に用いる超磁歪素子は直径 2mm, 長さが 10mm のものを用いている。また, 駆動させるためのコイルは直径 0.2mm で 130 巻きとした。送受信コイルにはヨーク(送信コイル: PC40P9/5Z-52H, 受信コイル: PC40P11/7Z-52H)を用いている。モルモットに埋め込む振動子と受信コイルは, シリコンによって防水加工を行った。

Table 1 Detail of coils

Transmitting coil	coil turns [turns]	100
	resistance [ $\Omega$ ]	3.1
	diameter [mm]	5.2
	inner diameter [mm]	3.9
	length [mm]	1.6
Receiving coil	coil turns [turns]	66
	resistance [ $\Omega$ ]	2.7
	diameter [mm]	6
	inner diameter [mm]	4.7
	length [mm]	1.6

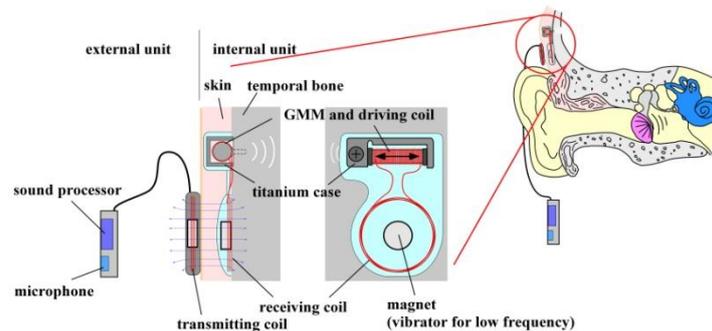


Fig. 1 Implantable hearing aid

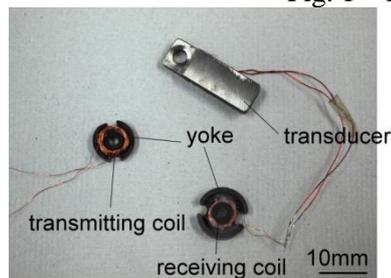


Fig. 2 Prototype of bone-conduction artificial middle ear for guinea pigs

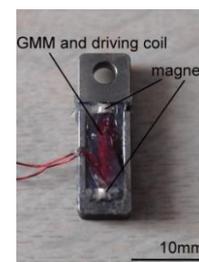


Fig. 3 Transducer

### 3. モルモットの ABR 計測による加振力評価

#### 3.1 聴性脳幹反応<sup>(2)</sup>

脳の表面や頭皮状に装着した電極から誘導される音刺激に対応した脳波変動を聴性誘発反応 (auditory evoked response) という。聴性誘発反応には様々な形の波があるが, 現在では潜時から速反応, 中間反応, 緩反応, 後反応に分類されている。速反応は潜時が 1.5~6.0msec と短く, その起源は脳幹にあり, 聴性脳幹反応 (auditory brainstem responses, ABR) という。ABR は, 睡眠の深さに関係なく乳児から成人まで短時間に記録できるので, 1970 年代後半から急速に普及し, 客観的聴力検査, 脳幹障害の程度や部位の検索, 臓器移植の条件である脳死の判定などに応用される。ABR は, 記録電極として脳波誘導用皿電極を額に, 不関電極として同じく皿電極を側頭部乳様突起か耳垂に, そして接地電極として鼻尖に接着することで容易に誘導記録できる。このため広く臨床応用されてい

る。

典型的な波形を Fig. 4 に示したが、一般に V 波、I 波、III 波の順に判定しやすいので、臨床的にはこれらの波形が参考とされる。なお、Fig. 4 に描かれた ABR の各波と脳幹聴覚路の中継核とは厳密に 1 対 1 に対応するものではない。しかし、各波の起源はそれぞれの脳幹中継核に大まかに由来している。

聴性脳幹反応は音刺激(クリック音など)によって誘発される  $0.1\sim 0.5\mu\text{V}$  程度のきわめて微弱な電位変動である。耳垂と頭皮上に接着した電極によって導出された反応電位は、頭皮あるいは耳垂で記録される平均  $20\sim 30\mu\text{V}$  の脳波電位(以下、背景脳波)の中に埋もれた電位である。よって、背景脳波の中に埋もれている微弱な電位変化のみをコンピュータによる同期加算平均法によって検出する過程が必要である。

### 3.2 実験方法

計測システムを Fig. 5 に示す。モルモットの電極装着図を Fig. 6 に示す。2 匹のモルモットに振動子および受信コイルを埋め込んだ。今回は動物に固定するため、実験には 1 点固定のチタンケースの振動子を用いた。体重  $300\text{g}$  のモルモットを #1、 $430\text{g}$  のモルモットを #2 とする。予め刺激音に気導音を用いて 2 匹モルモットの ABR 計測を行い、閾値を求めたところ、 $12\text{kHz}$  での閾値は #1 が  $30\text{dB}$ 、#2 が  $35\text{dB}$  であった。

モルモットに麻酔を投与し眠らせた後に、針電極を頭頂部、耳垂、額に電極を装着し、振動子を駆動させ骨導音を刺激音として用いた場合の ABR の計測を行った。PC 上で周波数  $12\text{kHz}$ 、バースト音の持続時間  $1\text{ms}$ 、バースト間隔約  $20\text{ms}$  のバースト音を生成し、アンプ (エヌエフ回路設計ブロック, HSA4011)、電流計 (YOKOGAWA, WT210) を介し、送信コイルに入力した。電流値は  $60, 40, 20, 15, 10, 0\text{ mArms}$  に設定し、それぞれ計測を行った。モルモットの ABR は装着した電極で計測され検査機器 (日本光電, MEB-9102) によって刺激音入力時から  $10\text{ms}$  までの波形を計測し、 $1000$  回加算平均を行い、記録される。PC と検査機器はトリガ信号によって同期されている。入力信号、トリガ信号の生成にはプログラムソフト LabVIEW を用いた。刺激音の設定条件は日本マウスクリニックの標準操作手順<sup>9)</sup>を参考にした。

### 3.3 結果・考察

振動子による ABR の計測結果を Fig. 7(a)(b) に示す。結果から、第 I 波とみられるピークやその後のノッチの出方に着目すると閾値は  $10\text{mA}$  以下にあると判断できる。仮に、閾値が  $10\text{mA}$  だった場合、気導音との結果と照らし合わせると、本補聴器は  $10\text{mA}$  入力時に  $30\sim 35\text{dB}$  程の出力があることになる。また、この結果を元に  $100\text{mArms}$  入力時の骨導音の音圧を推測すると  $50\sim 55\text{dB}$  である。骨導音での  $50\sim 55\text{dB}$  という大きさの音は、頭部から離れた場所では気導音として確認できない程の大きさであることが想定できる。しかし、実際には献体実験で  $100\text{mArms}$  の電流を入力した際、出力の大きさは周波数によっては離れた所からでも気導音として確認できるほどの大きさであった。そのことを考慮すると今回推測された  $50\sim 55\text{dB}$  という数値は実際よりも小さい結果であることが考えられる。今回の実験では小さい電流値での制御が行えなかった関係で  $10\text{mA}$  より低い電流値での計測を行っていない。よって骨導音の閾値が  $10\text{mA}$  より低い可能性があり、再度実験を行い、電流値が  $0\sim 10\text{mA}$  の間でさらに細かく計測を行い、判断する必要があると言える。

### 4. 結言

モルモットに骨導音を与えた時の ABR の計測を行った。その結果、本補聴器で骨導音を与えた時に、ABR の波形が確認でき、生体において補聴が可能であることが示された。閾値は入力電流値で  $10\text{mA}$  にあり、仮に  $100\text{mA}$  入力した場合は  $50\sim 55\text{dB}$  の出力があると推測されたが、 $10\text{mA}$  以下の領域でより細かく実験を行う必要がある。

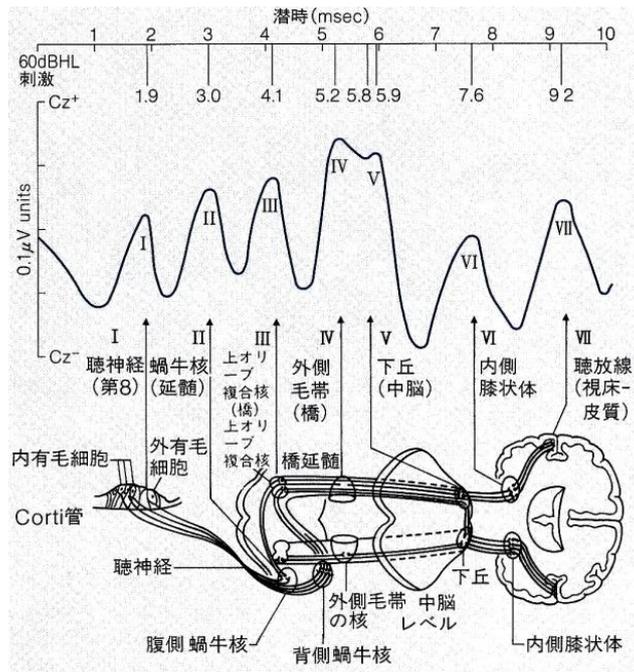


Fig. 4 Example of ABR<sup>(2)</sup>

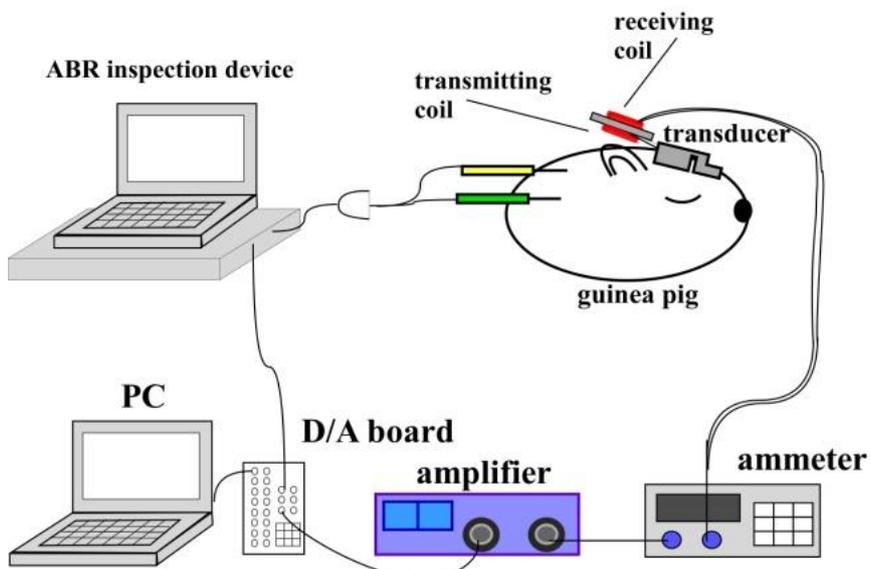


Fig. 5 Measurement system

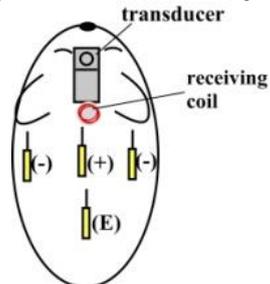


Fig. 6 Fixed position of electrode

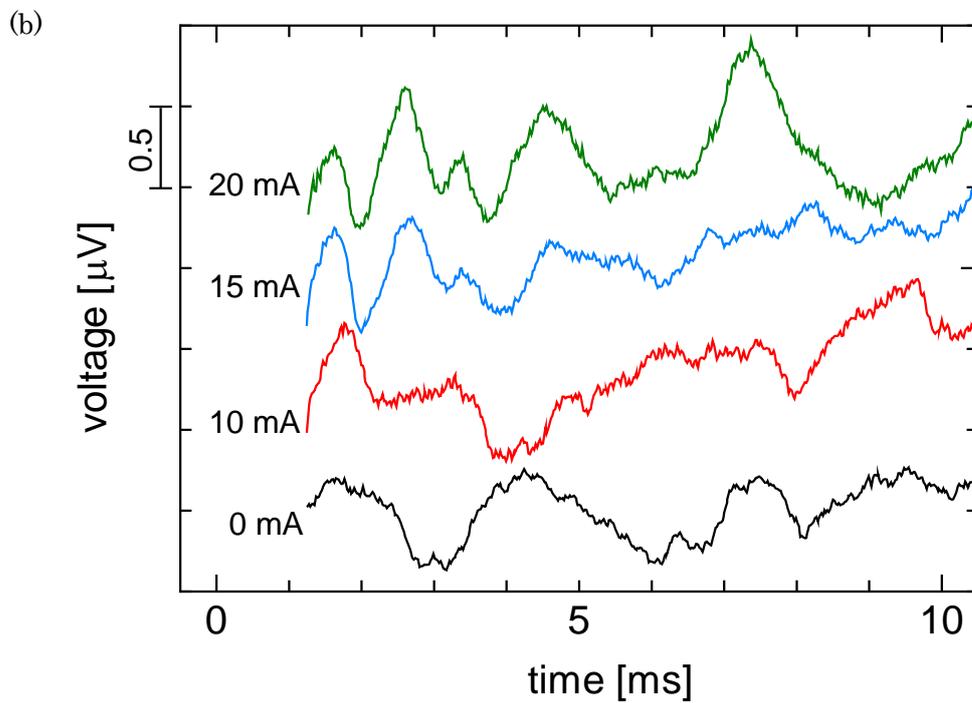
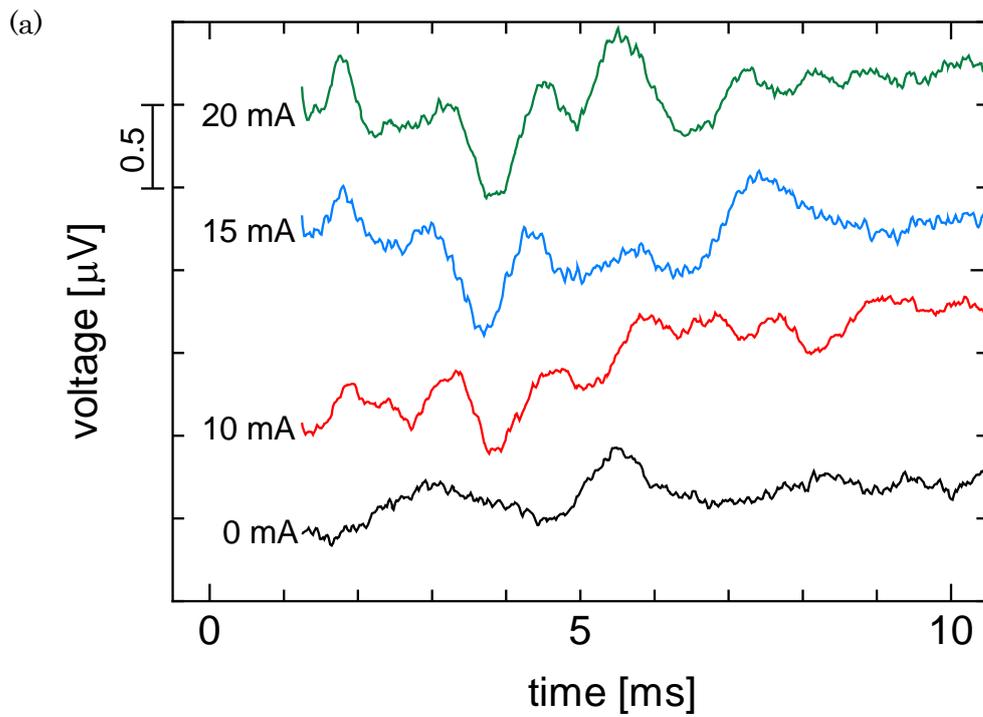


Fig. 7 Measuring result of ABR

(a)Guinea pig #1 (b) Guinea pig #2

購入物品リスト 価格

申請予算

¥294,500

使用日	品名	金額
6月14日	チタン切削加工部品	47,250
7月12日	超磁歪素子	43,050
8月16日	アルミ材使用補聴器アダプタ	45,150
10月12日	ネオジム磁石	2,650
10月17日	圧縮コイルばね	1,312
1月25日	学会参加	50,588
合計		190,000

#### 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) 「聴性脳幹反応ガイドブック」船坂宗太郎, 橋本勲, 矢野純, メジカルビュー社
- (3) The Standard Operation Procedures (SOPs) of the mouse phenotyping platform in RIKEN Japan Mouse Clinic :  
[http://www.brc.riken.jp/lab/jmc/mouse\\_clinic/](http://www.brc.riken.jp/lab/jmc/mouse_clinic/)

## 4.8 マルチニードル型キャピラリによる表面張力を用いた微小自在操作システム

学籍番号：1132032

氏名：重田 琢也

指導教員：青山尚之教授、金森哉史准教授

### プロジェクトリーダー：

重田琢也 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. 劉俊 華南理工大 博士前期課程 2年

2. 張勤 華南理工大 教授

3. 平田慎之介 東京工業大学 機械制御システム専攻 助教

4. 田邊幸大 知能機械工学科 4年 青山研究室

### 1. 諸言

近年、電気機器などの小型化に伴いそれらを構成するチップ部品などの小型化が進んでいる。そのため、微小な部品の配置や組み立てを目的としたマイクロマニピュレータへの要求が高まっている。しかしこれまでのような対象物の把持・操作方法では、対象物とマニピュレータが直接接触し、対象物またはマニピュレータ自体を傷つけてしまう恐れがある。また表面張力によるマニピュレーション手法では、キャピラリで形成した液滴で対象物を把持するものがあり、キャピラリと対象物の間には物理的な接触はなく、対象物を傷つけることなく操作することが可能である。しかし従来の表面張力によるマニピュレーション手法では、対象物の傾斜や回転動作といった多自由度の操作が困難であった。そこで本研究では複数本の極細ニードルから構成される多自由度操作可能な表面張力マイクロマニピュレータとして、マルチニードル型キャピラリを提案し、その開発と評価を行う。

### 2. マルチニードル型キャピラリの原理

マルチニードル型キャピラリとは複数本のニードルを円筒状に配置し仮想的にキャピラリを形成したものである。円筒状に配置したニードルが崩れないように中心に軸を挿入している。またガイドとして外側には管を取り付ける。それぞれのニードルを上下に動かすことによりキャピラリの端面形状を自在に変形させることができる。キャピラリ先端に液滴を形成し、その状態で端面形状を変化させることにより液滴に吸着させた対象物の多自由度<sup>o</sup>の操作を可能にする。図1にマルチニードル型キャピラリの原理を示す。図1(a)はすべてのニードルの高さをそろえ、その端面を平らにしているところである、この状態からそれぞれのニードルを上下に動かした状態が図1(b)である。このように端面を傾斜させることによって、キャピラリ先端の端面形状を変え、液滴の形状も変化させることができればその先に取り付けた対象物も液滴の形状に沿った操作をすることができる。

### 3. リニアステッピングモータを用いた

#### マルチニードル型キャピラリの製作

#### 3.1 マルチニードル型キャピラリの製作

マイクロリニアアクチュエータ「MUED01」6つを用いてマルチニードル型キャピラリを製作した。製作したマルチニードル型キャピラリを図2に示す。直径 300  $\mu\text{m}$  のタンゲステンニードル6本がアダプタを介してアクチュエータの移動体に接続され、円筒状に配置されている。マルチニードル型キャピラリの操作は以下に示す方法で行った。パソコン上の LabVIEW で入力信号を生成し、ナショナルインスツルメンツ社のアナログ出力モジュールから信号を出力する。その信号は増幅回路を経由してマルチニードル型キャピラリの各アクチュエータに入力され動作する。液滴はマイクロシリンジより手動で供給する。使用したアナログ出力モジュールは NI cDAQ-9178

CompactDAQ 8 スロット USB シャーシに NI 9263 アナログ出力モジュールを 3 つ差し込んだものである。

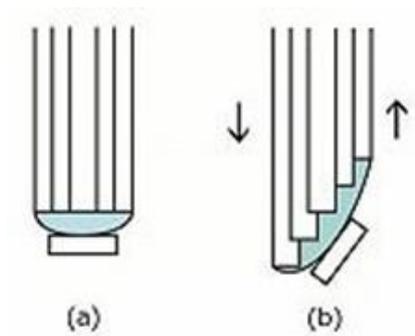


図 1. マルチニードル型キャピラリの原理

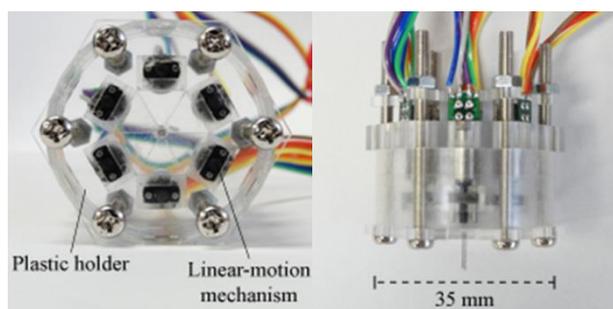


図 2. 製作したマルチニードル型キャピラリ

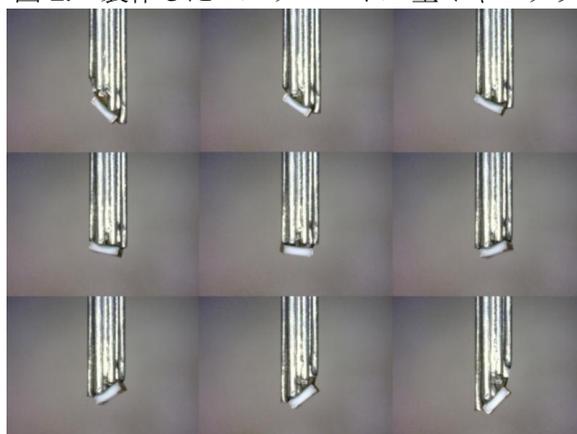


図 3. 60° から-60° まで 15° ごとの傾斜

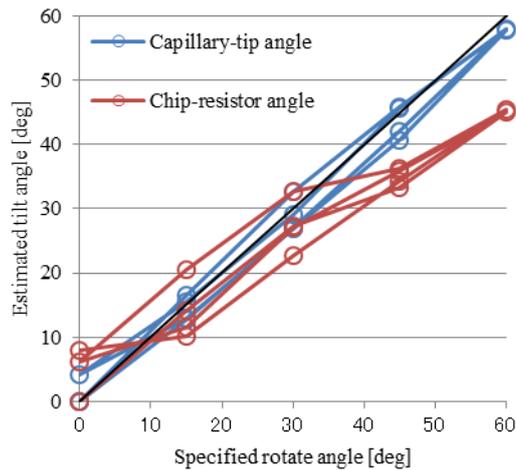


図 4. 60° から-60° まで 15° ごとのキャピラリ端面とチップ抵抗の角度

### 3.2 マルチニードル型キャピラリの動作実験

製作したマルチニードル型キャピラリを用いてチップ抵抗の操作実験を行った。使用したのは 1005 型チップ抵抗で大きさは 1.0 mm×0.5 mm である。

傾斜実験を行っている様子を図 3 に示す。0° から 60° まで 15° ずつ変化させたときの実際のキャピラリ端面と把持しているチップ抵抗の傾斜角度を測定し、その結果を図 4 に示した。指令角度と実際の角度には若干のずれが発生した。これはマルチニードル型キャピラリの構造上の問題で、アクチュエータの移動体の中心とニードルの中心が異なるためニードルとガイドとの摩擦で移動体が傾き、ニードルが指令した移動量に達しない現象が生じていると考えられる。チップ抵抗の傾きはニードルの傾斜に伴うように増減するが安定的ではなかった。これはチップ抵抗の傾きはニードルの傾斜角度よりも液滴の量に依存するためだからである。

回転実験を行っている様子を図 5 に示す。図 6 に示したのは傾斜角度 60° での回転動作である。傾斜角度が 30°、45°、60° での回転動作を行ったが傾斜角度が 60° の時のみ回転動作が可能

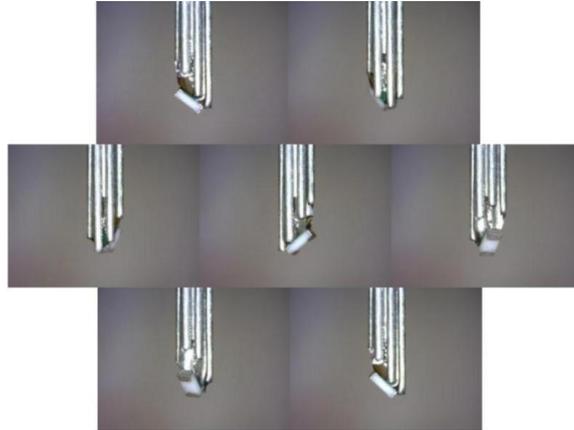


図 5. チップ抵抗の回転動作

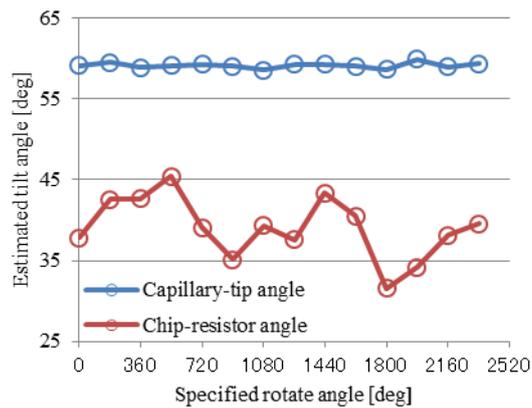


図 6. 回転動作における 180° ごとのキャピラリ端面とチップ抵抗の角度

であった。キャピラリ先端で生成する液滴の量が多くなればその分だけ把持したチップ抵抗の傾斜角度はキャピラリ端面の傾斜角度よりも低くなる。そのためキャピラリ端面の傾斜角度が低い場合、チップ抵抗の傾斜角度が十分得られず回転動作が行えないことが考えられる。また生成した液滴の量を少なくするとキャピラリ端面とチップ抵抗が接触し、姿勢が維持できなくなってしまう。このことから回転動作を行う場合はある程度の傾斜角度で行わなければならないことがわかる。傾斜角度を 60° にした時の回転動作において、回転角度が 180° 毎のキャピラリ端面の角度とチップ抵抗の角度を計測し、その結果を図 6 に示した。傾斜動作と同じようにキャピラリの傾斜角度に比べ、チップ抵抗の傾斜角度は不安定であった。この結果も液滴の量によるところが大きいといえる。

#### 4. 対象物解放機構の設計

これまでに制作したマルチニードル型キャピラリでは対象物の傾斜や回転動作などの操作ができることを確認したが、解放動作を行うことはできなかった。そこで対象物を解放するため、マルチニードル型キャピラリに使用するニードルの新しい配置による対象物解放機構を提案する。

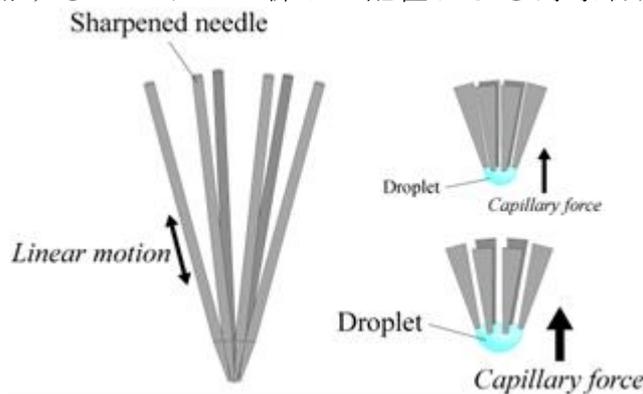


図 7. 対象物解放機構の原理図

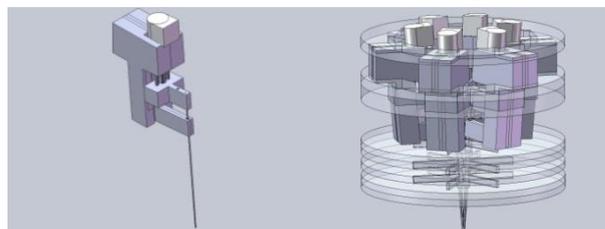


図 8. 設計した直動機構と装置

対象物解放機構として提案するのは、図 7 に示した各ニードルを斜めに配置したものである。このような配置にすることで、全てのニードルを上方向に動作させて先端径を大きくしたり、全てのニードルを下方向に動作させて先端径を小さくしたりと、キャピラリ端面の径の大きさを変化させることができる。これによって、先端径の大きさの変化に伴い生成した液滴で把持できる重さが変わり、先端径を小さくした際に把持した対象物を解放することが期待できる。使用するニードルの直径は  $300 \mu\text{m}$  とし、それらのニードルを  $5^\circ$  傾け、円周上に  $60^\circ$  間隔に 6 本配置する構成とした。設計した直動機構を図 8 に示した。ニードルはアクチュエータの移動体に固定されている。またニードルの横揺れや縦揺れを抑制するため、アクチュエータを固定しているケースにガイドを作成しニードルを通してある。試作した装置にはこの直動機構を 6 つ円形に配置してある。設計した装置を図 9 に示した。

## 5. 対象物解放機構の動作実験

### 5.1 対象物解放機構の解放実験

製作した対象物解放機構を用いて解放実験を行った。キャピラリの先端径の変化に伴う把持力の変化を調べる。実験方法はキャピラリ径が  $1.25 \text{ mm}$ 、 $1.05 \text{ mm}$ 、 $0.85 \text{ mm}$  の場合に 1608 型チップ抵抗 1 つを把持させ液滴を供給し、チップ抵抗と液滴が解放されるまで液滴を供給し続け、解放されたらその液滴とチップ抵抗を電子天秤で計るというものである。実験の結果径が  $1.25 \text{ mm}$  における解放時の把持力の平均は  $0.1048 \text{ mN}$ 、径が  $1.05 \text{ mm}$  における解放時の把持力の平均は  $0.0862 \text{ mN}$ 、径が  $0.85 \text{ mm}$  における解放時の把持力の平均は  $0.0823 \text{ mN}$  となり、径が小さくなるにつれ把持力が下がることが確認できた。しかし対象物の体積に比べて解放した液滴の体積が大きくなりすぎることも分かり、実際のアセンブリ作業などに適用する場合は解放先の場所に何らかの液体をあらかじめ塗布しておくことや、表面張力の低い液体を把持に用いることが考えられる。

### 5.2 対象物解放機構の回転実験

ニードルの配置を変更したことにより、対象物を把持・操作する際に影響がないか、対象物を回転動作させて確認した。操作対象として 1608 型チップ抵抗と 1005 型チップ抵抗を用いた。1005 型チップ抵抗を回転動作させている様子を図 9 に示した。 $60^\circ$  の傾斜動作を 6 方向へ行うことで回転動作を行っている。このように対象物解放機構のマルチニードル型キャピラリでも、対象物の回転動作が行えることを確認した。

### 5.3 対象物解放機構のアセンブリ動作

これまでの実験より対象物解放機構のみでの解放動作では多量の液滴も対象物と同時に開放してしまうことが分かっている。そこでこの実験では対象物の解放先にあらかじめ他の液体を塗布し、対象物を吸着させる手法でアセンブリ作業を行った。対象物のピックアンドプレースを行う台の上にはラップが敷いてあり、その上には 5000CS のシリコンオイルを塗布してある。アセンブリ作業は 1005 型チップ抵抗 2 つと、1608 型チップ抵抗 1 つを組み合わせた橋の構築を行う。操作するチップ抵抗の初期位置にはシリコンオイルは塗っていないので装置で吸着することができる。まずキャピラリ径を  $0.85 \text{ mm}$  にした状態で 1005 型チップ抵抗 2 つを移動し、シリコンオイル塗ってある面に開放する。その後キャピラリ径を  $1 \text{ mm}$  に変化させ、1608 型チップ抵抗 1 つを把持し 1005 型チップ抵抗 2 つの上部へ移動させる。そして把持している 1608 型チップ抵抗を半回転させ向きを変える。最後にキャピラリ径を  $0.85 \text{ mm}$  に戻し、1005 型チップ抵抗 2 つの上に開放する。アセンブリ作業の様子を図 10 に示す。アセンブリ作業を行えたことが確認できた。

## 6. 結言

本研究では表面張力を利用したマイクロマニピュレータとしてマルチニードル型キャピラリを開発した。繰り返し動作の再現性の良くなかった従来機に比べ、安定した繰り返し動作の行えるマニピュレータとなった。また対象物解放機構を提案し、実際のアセンブリ作業において、その場

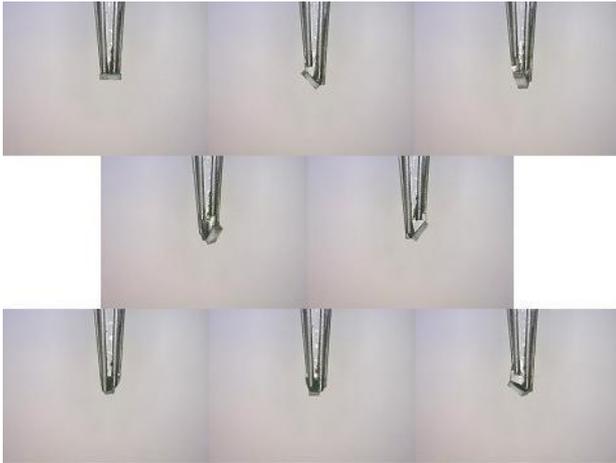


図 9. 1005 型チップ抵抗の回転動作

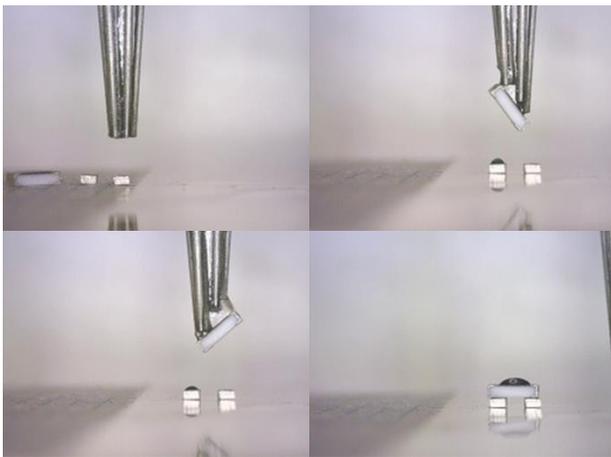


図 10. チップ抵抗のアセンブリ作業

での回転動作が行えるなどの利点を発揮することができた。今後の課題としてはより精密な液滴量の調整を行うため、キャピラリ先端から液体を押し出すシリンジまでを完全に密閉し、圧力で液滴の大きさを制御できるようにしなければならない。

### 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、ICIMA2012 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、ご協力を頂いた劉俊氏、張勤氏、平田慎之介氏、田邊幸大氏に感謝申し上げます。

### 参考文献

- [1]伊藤暁, 淵脇大海, 青山尚之, 見崎大悟, 臼田孝, “小型自走機械群による超精密生産機械システム第 97 報 マイクロピンセットの開発,” 2005 年精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, pp. 967-968.
- [2]高木浩, 水野毅, 高崎正也, 石野裕二, “表面張力を利用したマイクロアセンブリに関する研究,” 日本機会学会論文集 (C 編), vol. 74, no. 741, pp. 273-277, 2008.
- [3]廣瀬一樹, “微少液滴塗布機構におけるニードル振動を用いた液滴と塗布面との接触検知,” 電気通信大学大学院修士論文(平成 23 年度)

#### 4.9 圧電素子を用いた全方位回転機構を有する小型半球ステージの回転制御

学籍番号：1132036

氏名：白取寛章

指導教員：青山尚之教授、金森哉吏准教授

#### プロジェクトリーダー：

白取寛章 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. 入江優花 知能機械工学専攻 博士後期課程 3年 青山研究室  
2. 平田慎之介 東京工業大学 機械制御システム工学科 助教  
3. 何小可 電子科技大学  
4. 渡部聡 知能機械工学専攻 博士前期課程 2年 金森研究室

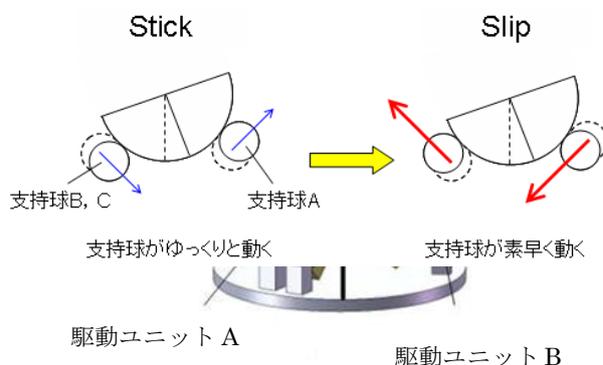
### 1. 研究背景

近年、バイオテクノロジーの発展に伴い、ナノメートルオーダーでの対象の観察技術が必要とされている。走査型電子顕微鏡(Scanning Electron microscope : SEM)は、光学顕微鏡と異なり電子線を用いて観察を行うため、サブナノメートルオーダーの高い分解能が得られる。SEM は焦点深度が光学顕微鏡の数十倍あるため、広範囲に焦点の合った立体的な像を得ることができる。そのため、SEM 内における対象の微細操作を行うマニピュレーション技術が様々な研究者によって研究されている。

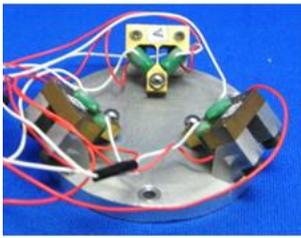
本研究室では、観察対象物を様々な角度から観察しつつ、SEM 内微細操作システムにより自由度の高いマニピュレーションを行うため、図 1 に示すような観察対象物のみを傾斜、回転させる小型半球ステージを試作した[1]。この小型半球ステージは、小型および非磁性という要件を満たすためにアクチュエータに非磁性、小型でかつ、数 nm の分解能を持つ積層型圧電素子を使用しており、これまでに回転及び傾斜動作の評価を行った。しかし、開発した小型半球ステージは傾斜センサを搭載しておらず、角度情報が得られないために目標角度の維持および補正をすることが困難であった。そのため、垂直軸に対する回転動作を行う際、180° 回転するまでに 1° 以上回転中心がぶれてしまっていた。また、全方位への回転動作が可能なステージでありながら、あらかじめステージを傾斜させた状態からの傾斜、回転動作の評価は行われていなかった。

そこで本研究では SEM 内試料搭載用ステージとして開発された小型半球ステージの精度向上と機能拡張を目的として、4 分割フォトダイオードを用いた傾斜センサを搭載することで回転中に角度情報を取得し、目標値との誤差を補正するシステムの開発を行う。また、小型半球ステージにおいて測定評価がなされていない部分の評価を行う。

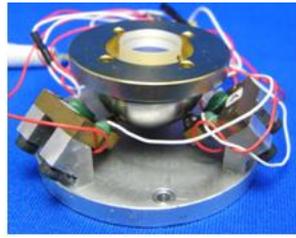
### 2. 小型圧電半球ステージの回転機構



本研究室ではこれまでに、観察対象物のみを傾斜、回転させることを目的としてスティックスリップ駆動方式を用いた小型半球ステージの開発を行った。開発した半球ステージは、ステージ半球、3つの駆動ユニット、及びそれら



駆動ユニットおよび土台



小型半球ステージ

図 1 これまでに開発された小型半球ステージ

を取り付ける土台によって構成されている。駆動ユニットは圧電素子、保持ホルダ、支持球という 3 つの要素から構成されており、左右の圧電素子の伸縮動作によって支持球を  $xy$  方向に駆動させる。3 つの駆動ユニットは  $45^\circ$  傾けた状態で  $120^\circ$  間隔で土台に設置している。駆動ユニット内の支持球によって半球を支える構造になっている。資料搭載用半球を載せた状態のステージのサイズは、直径  $43\text{ mm}$ 、高さ  $20\text{ mm}$  となっている。支持球を緩急 2 種類の速度で駆動させることにより、静止摩擦力を利用したスティックスリップ駆動を用いて半球を傾斜・回転させることが出来る。傾斜動作の原理図を図 2 に示す。図 3 のように、ステージ半球の資料搭載平面が水平状態の時の半球の平面上を  $XY$  平面とし、駆動ユニット A の中心を通る直線を  $Y$  軸、半球の中心を通り  $Y$  軸に垂直な直線を  $X$  軸とし、土台の垂線を  $Z$  軸とする。小型半球ステージは、 $XY$  平面上の傾斜角度  $\phi$  と  $Z$  軸からの傾斜角度  $\theta$  で表される直線を回転軸とし、 $\phi$ 、 $\theta$  を任意に設定することで全方位の回転が可能である。

### 3. 駆動ユニットの支持球を任意の方向に移動させた場合の動作解析

小型半球ステージは、3 つの駆動ユニット内の支持球をそれぞれ適切な方向へ駆動させることで、半球を目的の

図 2 小型半球ステージにおける傾斜の原理

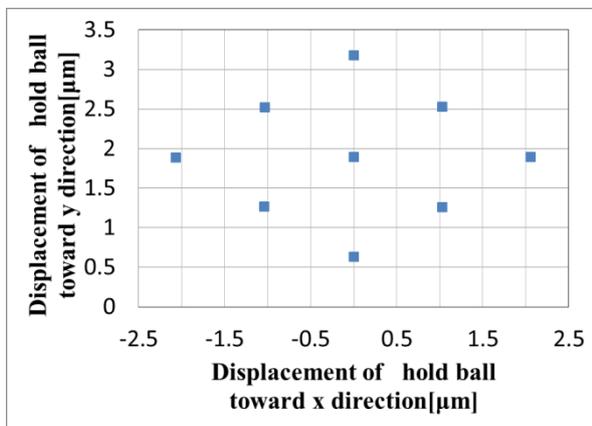


図 3 小型圧電半球ステージの座標系

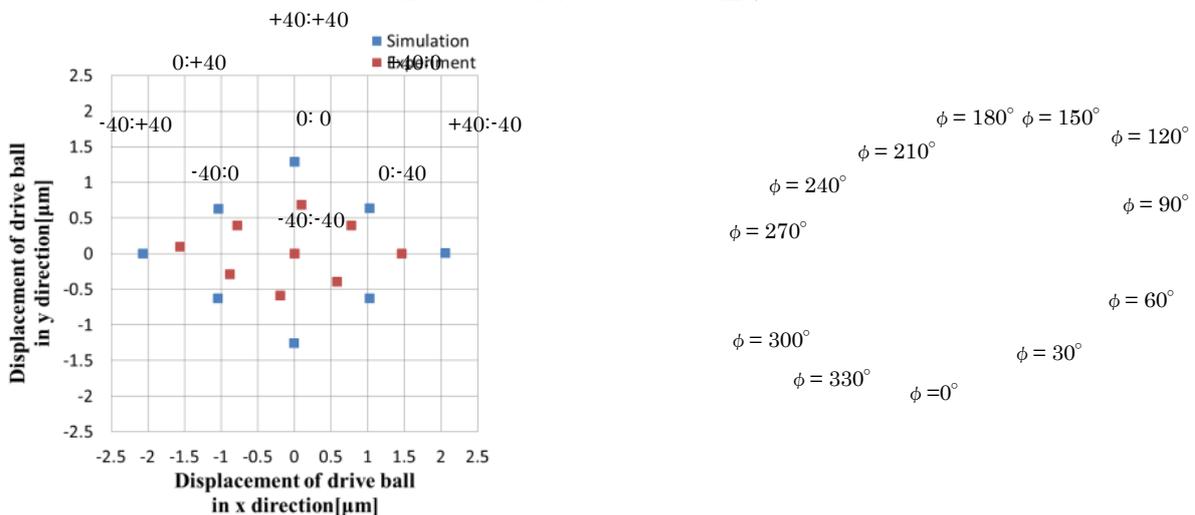


図 4 支持球変位のシミュレーション結果

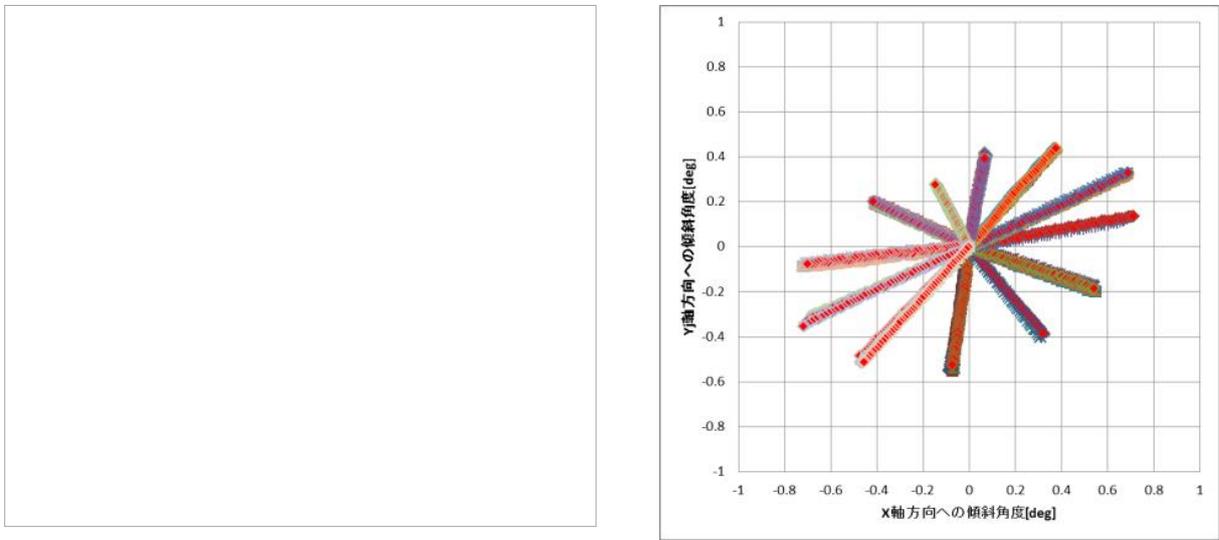


図5 支持球の変位量におけるシミュレーションと  
実測値の比較

回転軸に対して回転させている。そこで、目的の方向へ支持球が駆動していることを確認するため、駆動ユニットの動作解析を行った。まず、任意の電圧を印加した場合の支持球の移動距離・方向を計算機シミュレーションによって求めた。シミュレーションでは、SolidWorksによる有限要素法解析を行い、支持球の変位を計測した。左右の圧電素子に60Vずつ印加した場合の支持球の位置を初期位置として、それぞれの圧電素子の印加電圧を変化させた時の支持球の変位を図4に示す。左右の圧電素子に-40~+40Vの電圧を印加した場合、支持球はx軸方向に-2.067~2.059μm、y軸方向に-1.256~1.289μmの範囲で移動することができる。

次に小型半球ステージの駆動ユニットを取り出して圧電素子に任意の電圧を印加し、デジタルマイクロスコープ(KEYENCE, VW-6000)を用いて支持球の変位を計測した。実験では、5000倍のズームレンズで撮影した画像から支持球の変位を計測する。シミュレーションと同様に、左右の圧電素子に60Vずつ印加した場合の支持球の位置を初期位置として、それぞれの圧電素子の印加電圧を変化させて計測した支持球の変位を図5に示す。計測した支持球の変位は、シミュレーションと比較して全ての方向における支持球の移動距離が0.3~0.5mm減少していた。これは圧電素子を接着する際に使用したエポキシ樹脂によって圧電素子の変位が吸収されたためと考えられる。また、支持球の移動方向に関しては、シミュレーションと比較して-6~5.67degの誤差が生じた。これは圧電素子の個体差による伸縮率の違いによるものだと考えられる。本研究で取り扱う小型圧電半球ステージに用いられている圧電素子は図6 斜めからの傾斜動作の角度測定結果

NEC/TOKIN製積層圧電アクチュエータAE0203D04であり、標準品の変位量は推奨駆動電圧100Vで $3.0 \pm 1.5 \mu\text{m}$ である。従って、左右の圧電素子の伸縮率が異なるため駆動方向の誤差が生じたと考えられる。装置が試作される際に各圧電素子の伸縮率は測定されなかったため、個体差は不明であった。そこで、伸縮率の違いを補正するため、左右の圧電素子に加える電圧に補正值を加えた状態で印加し、再度支持球の変位の計測を行った。その結果、左の圧電素子への印加電圧を97%、右の圧電素子への印加電圧を103%にすることで駆動ユニットAの上下方向の駆動方向のずれを補正することができた。同様に、左の圧電素子への印加電圧を131%、右の圧電素子への印加電圧を69%にすることで駆動ユニットBの、左の圧電素子への印加電圧を79%、右の圧電素子への印加電圧を121%にすることで駆動ユニットCの駆動方向のずれを補正することができた。

#### 4. 小型圧電半球ステージの動作解析

小型半球ステージにおける、半球が任意の方向に傾斜している状態での微動傾斜動作の評価を行った。ステージの回転角度は対象平面の傾斜を計測することができるレーザーオートコリメータ(駿河精機, H250R)を用いて計測した。XYZ空間におけるZ軸上の鉛直上方向に設置したレーザーオートコリメータは、X軸、Y軸周りの回転角度を $\pm 1^\circ$ の範囲で計測することができる。そのためX軸、Y軸回りのステージ半球の回転角度からXY平面上におけるステージの傾斜方向を求めることができる。

実験は、ステージ半球とオートコリメータをZ軸からY軸の方向へ $15^\circ$ 傾けた状態で行い、微動傾斜動作と回転動作の2つの実験を行った。微動傾斜動作では $\phi$ を $0^\circ$ から $330^\circ$ まで $30^\circ$ ずつ変化させた場合のステージ半球の回転角度を計測した。各方向に対しスティックスリップ駆動を200サイクル行い、500msおきに計測したX方向、Y方向のステージ半球の回転角度を図6に示す。グラフには5回分の測定データを色別に載せている。X方向、Y方向のステージ半球の回転角度に対して最小二乗法による回帰曲線を求め、得られた回帰曲線の傾きをステージの傾斜方向、回帰曲線の直線性を傾斜動作の直線性とした。測定した傾斜方向と想定した傾斜方向との間には最大で $12.60^\circ$ の誤差が生じていた。

これまでの研究で行われた、ステージ半球が水平状態からの傾斜動作時の傾斜方向の標準偏差が $0.723^\circ$ 、直線性が0.011%だったのに対し、本実験では、標準偏差 $1.031^\circ$ 、直線性は0.021%であり、

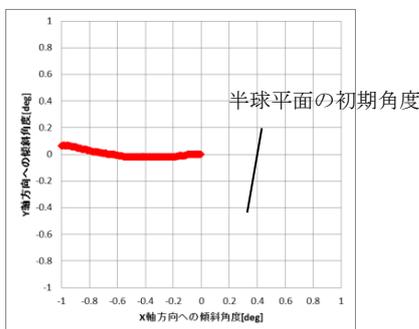


図7 斜めからの回転動作の角度測定結果

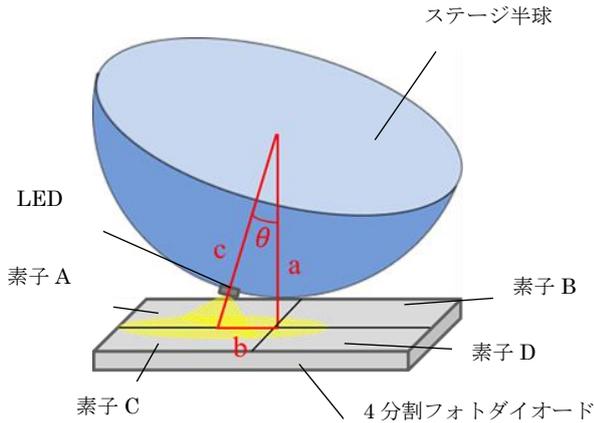
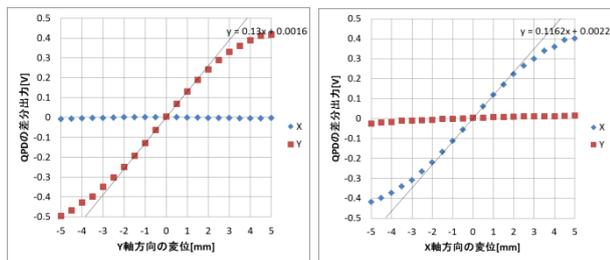


図8 フォトダイオードおよびLEDの設置概念図

標準偏差は  $0.308^\circ$  , 直線性は  $0.010\%$  増加した。繰り返し精度が高い一方で傾斜方向の誤差が大きいため、スティックスリップ動作による摩擦駆動ではなく駆動ユニット A, B, C 上の支持球の移動方向に含まれる誤差が原因と考えられる。また、もう一つの大きな原因として、ステージ半球とオートコリメータを Z 軸から Y 軸の方向へ  $15^\circ$  傾けた際の傾斜角度の誤差が考えられる。本実験での回転軸の設定値は  $15^\circ$  を想定して入力しており、実験開始時の傾斜角度に誤差があると、想定した方向とは異なる方向に傾斜することになる。第 2 象限と第 4 象限の変位量が小さく、第 1 象限と第 3 象限の変位量が大きいというように方向によって変位量に差があることから、入力した値が想定している  $15^\circ$  という傾斜方向とずれた方向から測定を行っている可能性が大きいと考えられる。

回転動作では、 $15^\circ$  傾斜している半球の垂線方向を回転軸として回転動作を行った際の傾斜角度をオートコリメータにより測定した。図 7 に測定結果の一つを示す。回転動作のみが行われている状態では傾斜は生じないと予測されるが、測定結果では回転動作中に傾斜が生じ、半球を約  $90^\circ$  回転させた時点で傾斜角度がオートコリメータの測定範囲である  $\pm 1^\circ$  よりも大きくなり、測定不能となった。この原因は、微動傾斜時と同様に、想定しているステージ半球の傾斜角度と実際の角度との誤差にあると考えられる。このことから、小型半球ステージによる回転動作をオープンループで行うことは不適切であると考えられる。



X 方向移動時

Y 方向移動時

図9 XY 方向へ 4 分割フォトダイオードを平行移動させた際の差分出力

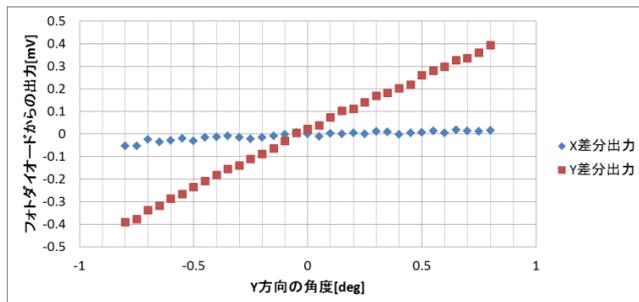
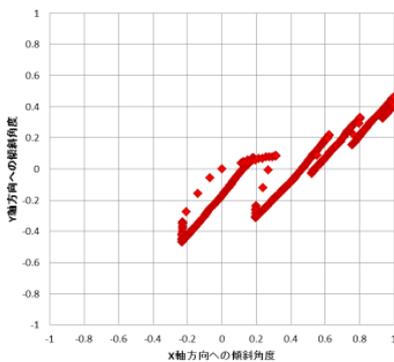


図10 半球の角度と QPD の出力の関係



## 5. 4分割フォトダイオードを用いた傾斜角度検出機構の試作

小型半球ステージにおいて微動傾斜角度情報を得るため、4分割フォトダイオードを用いた傾斜角度検出機構の試作を行った。4分割フォトダイオードでは、4つの素子に当たる輝点の面積によって出力が変化するため、各素子の差分出力を取ることで輝点のXY方向変位量を得ることが出来る。本研究では、図8に示すようにステージ半球の底面にLED、土台部分に4分割フォトダイオードを設置することで、フォトダイオードの中心からステージ半球の回転中心までの高さa、フォトダイオードで検出した

LEDの輝点の二次元変位量bから逆正接関数により半球の傾斜角度 $\theta$ が求められる。

まず、輝点の変位によるフォトダイオードの差分出力の変化傾向を測定するため、LEDを4分割フォトダイオード上で平行移動させた際の輝点のxy方向変位に対するフォトダイオードの差分出力の測定を行った。スタンドに取り付けたLEDの光点を4分割フォトダイオードに垂直に照射させ、xyステージ上に設置した4分割フォトダイオードをx方向およびy方向に $\pm 5\text{ mm}$ ずつ移動させ、その際の4分割フォトダイオードの各素子の差分出力をPCで測定した。ステージのY方向を0に固定し、X方向に $-5\text{ mm}$ から $5\text{ mm}$ まで変位させた際のフォトダイオードの差分出力の測定結果およびステージのX方向を0に固定し、Y方向に $-5\text{ mm}$ から $5\text{ mm}$ まで変位させた際のフォトダイオードの差分出力の測定結果を図9に示す。X方向へステージを動かしたときは、Y方向変位に対応する差分出力が $-0.50\sim 0.42\text{ V}$ まで変化した。また、Y方向へステージを動かしたときは、X方向変位に対応する差分出力が $-0.42\sim 0.40$ まで変化した。多分割フォトダイオードでは、素子上に当たる輝点が素子間の境界から輝点の半径の1/2を超えた距離だけ離れると差分出力が線形性を失うことが計算により求められる。図8の測定結果においては $\pm 1.5$ 以上原点から離れた箇所では出力の値が線形性を失うことを確認した。

次に、実際に小型半球ステージに傾斜角度検出機構を組み込んだ状態で傾斜動作に対する輝点変位の測定を行っ

図11 フィードバックを含んだ回転動作の  
傾斜角度測定結果

た。ステージ半球の底面に赤色LED(京セラ, KED661T2),

土台に4分割フォトダイオード(浜松ホトニクス, S5981)を設置した。オートコリメータによる角度情報を基に、ステージ半球を水平状態からX方向変位を0に保ってY軸方向に $\pm 0.8^\circ$ 半球を傾斜させた。傾斜角度検出機構の目標角度分解能を $0.05^\circ$ と設定し、 $0.05^\circ$ 傾斜する毎にフォトダイオードの差分出力を測定した結果を図10に示す。ステージ半球の傾斜に応じて、フォトダイオードの出力が $\pm 0.8^\circ$ の範囲で線形的に得られた。グラフより、 $2.042\text{ deg/mV}$ で角度情報が得られることを確認した。

## 6. 傾斜角度検出機構を用いた傾斜角度制御

### 6.1 回転軸を鉛直方向に設定した場合の回転動作

傾斜角度検出機構により得られる角度情報を基にフィードバックを行い、回転動作の精度向上を試みた。角度情報検出機構を組み込んだ小型半球ステージの回転軸を鉛直方向に設定し、回転動作時の傾斜角度をオートコリメータにより測定した。スティックスリップ駆動100サイクル行うごとにフォトダイオードから得られる原点からの傾斜を $0^\circ$ に戻す方向へ傾斜を行い、原点付近に戻ったのちに次の100サイクルを行うことを繰り返した。傾斜角度の測定結果を図11に示す。回転し始めは原点付近に移動しているものの、その後原点に戻らず傾斜角度が原点から離れていき、約 $45^\circ$ 回転させた時点で傾斜角度がオートコリメータの測定範囲である $\pm 1^\circ$ よりも大きくなり、測定不可能となった。これは、半球ステージの中心軸とLEDの光軸のずれが大きすぎるためだと考えられる。半球ステージの中心軸とLEDの光軸が異なっているために、回転した際に原点の位置がずれ、傾斜角度検出機構による情報

では角度を原点に戻していても、実際の半球の傾斜角度とは異なるという現象が起きていると考えられる。これにより、回転制御を行うためにはステージ半球に取り付けるLEDの設置精度を上げることが必要だと判断できる。LEDを取り付ける際には、ステージ平面との並行が保たれるように設置しなければならない。また、LEDの光軸とステージの中心軸が一致するように設置する必要がある。

### 6.2 フィードバック制御を用いた傾斜動作の測定

傾斜角度検出機構により角度情報が得られることが可能となったため、小型半球ステージを用いて目標角度への

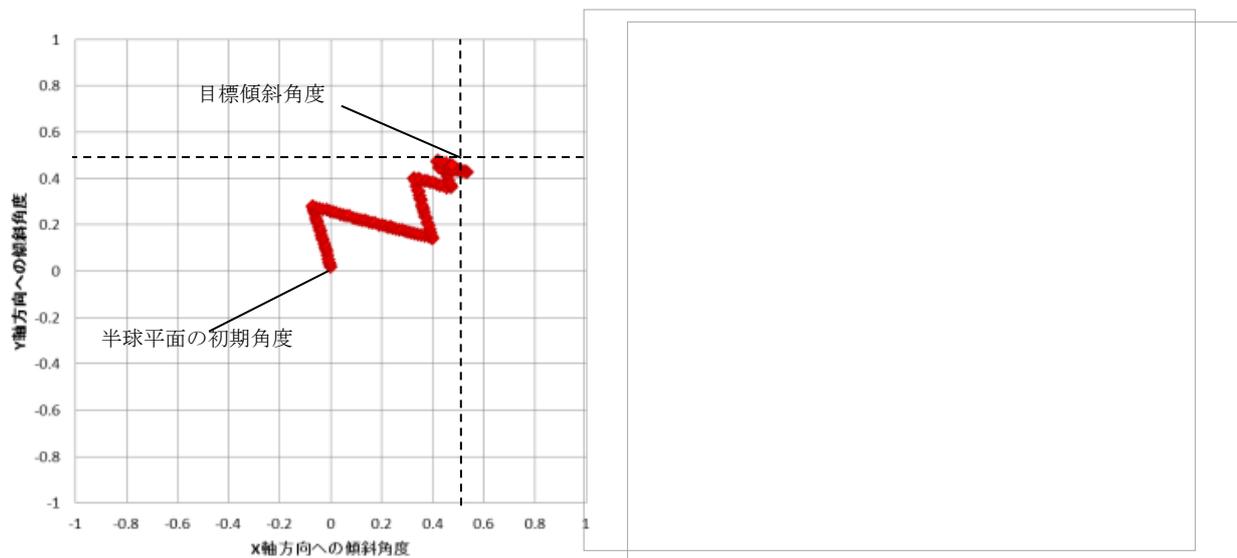


図 12 目標角度への傾斜角度

傾斜動作を行わせ、動作の評価を行った。角度情報検出機構を組み込んだ小型半球ステージのステージ半球を水平状態にし、目標傾斜角度を  $\phi=45^\circ$  方向へ  $0.71^\circ$  と設定して傾斜動作を行い、傾斜角度をオートコリメータにより測定した。測定結果を図 12 に示す。目標角度との誤差は  $0.05^\circ$ 、傾斜方向の誤差は  $1.35^\circ$  であった。目標に近い角度で傾斜することが出来たことを確認した。

## 7. 結論と今後の課題

本研究では、SEM 内試料搭載用ステージとして開発された小型半球ステージの精度向上と機能拡張を目的として、傾斜センサを搭載することで角度情報を取得し、目標

値との誤差を補正するシステムの開発を行った。まず駆動ユニットの動作解析を行い、左右 2 つの圧電素子の伸縮率の違いによる駆動方向の誤差の補正を行った。ステージ半球が任意の方向へ傾斜している状態からの微動傾斜動作・回転動作の測定では、水平状態からの傾斜動作よりも傾斜方向の誤差が大きい結果となった。このことから、想定しているステージ半球の傾斜角度と実際の角度との誤差の影響が大きく、小型半球ステージによる回転動作をオープンループで行うことは不適切であると考えた。そこで、4 分割フォトダイオードを用いた傾斜角度検出機構の試作を行い、鉛直方向を回転軸とした回転動作を行った。また、目標角度への傾斜動作を行った。回転動作では、角度情報によるフィードバック動作を行った状態でも回転動作中に半球の傾斜が生じ、 $360^\circ$  回転させる前に傾斜角度がオートコリメータの測定範囲である  $\pm 1^\circ$  を超えた。目標角度への傾斜動作では、角度誤差  $0.05^\circ$ 、方向誤差  $1.35^\circ$  で傾斜動作を行うことが出来た。

今後の課題としては、LED の設置精度を向上させることで、傾斜角度検出機構の精度を向上させることが挙げられる。ステージ半球の中心軸と LED の光軸のずれを  $\pm 1^\circ$  以内にすることで、フィードバック動作により  $360^\circ$  の回転動作を行うことが出来ると期待される。

## 参考文献

[1] 滝澤 将人, 入江 優花, 平田 慎之介, 青山 尚之: 積層型圧電素子を用いたスティックスリップ駆動による小型半球ステージの駆動特性評価, 2010 年度精密工学会秋季大会, 名古屋大学, (2010)pp.849-850

#### 4.11 プロジェクト名]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 2年 明研究室

##### [プロジェクトメンバー]

1132011 大阪 拓真 知能機械工学専攻 博士前期課程 2年 明研究室  
1232013 遠藤 隆宏 知能機械工学専攻 博士前期課程 1年 田中研究室  
1232031 小松 優祐 知能機械工学専攻 博士前期課程 1年 明研究室  
0914073 西村 冬威 知能機械工学専攻 学部 4年 明研究室  
0914005 石部 溪太 知能機械工学専攻 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]

2013年3月14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べられる。

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。

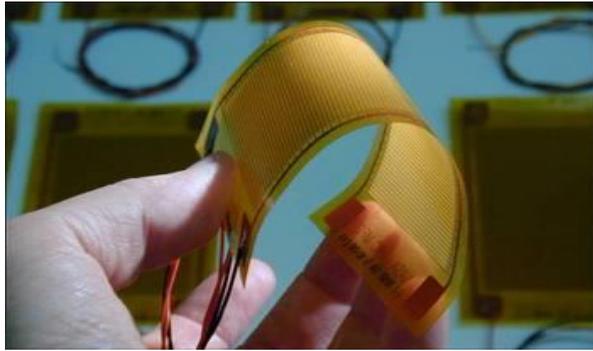


図1 MFCの外観

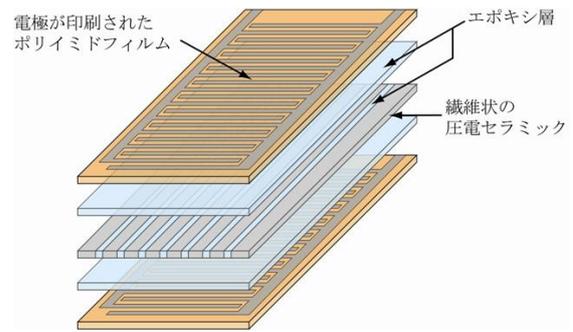


図2 MFCの構造

## 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、比較的に自由な駆動が出来る。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。

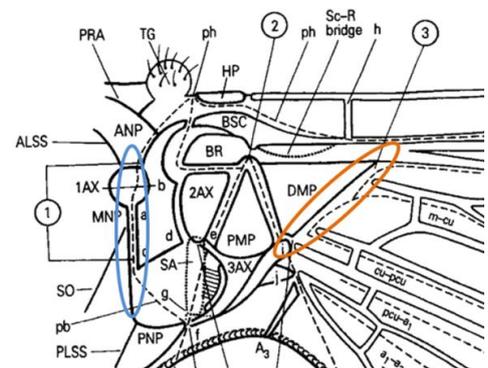
本研究では、ソフトアクチュエータとして近年開発されたMFCを用いて、ソフトなロボットの研究開発を行っている。

#### 3.1.1 羽ばたき運動変換機構の改良

本研究では昆虫の翅の付け根部に存在するヒンジ構造を模倣した新しい羽ばたき運動変換機構を、圧電繊維複合材料を使用した羽ばたきロボットに組み込むことで大きな羽ばたき(フラッピング)動作とフェザリング動作(翅の長軸周りに翅が捻じれ、翅の向かい角が周期的に変化する動作)の実現を目的とする。

#### 昆虫の翅の付け根の構造と機能

図3に昆虫の翅の付け根の詳細図を示す。図のように翅の付け根は多数の腋節片と呼ばれる硬化した骨格部分やひだなどで構成されている。本研究では付け根に複数存在するヒンジ構造



に注目する。図3の①から③で示された箇所は回転自由のヒンジ(蝶番)として機能する部分である。①のヒンジは翅の水平面に対して垂直な上下運動を可能にするもので、翅のフラッピング動作に対応している。③のヒンジは翅の長軸に沿った捻じれ運動を可能にしておりフェザリング動作に対応している。本研究ではこの①と③のヒンジを模倣した新しい羽ばたき運動変換機構を試作した。

### 翅の作製

図3のヒンジ構造を参考に、図4のような翅の付け根にヒンジ構造を持った翅を試作した。翅の形状は過去研究で用いられたハエ目 Rhagionidae の翅を参考にしており、翅は厚さ 0.2[mm] の PET をレーザー加工機で加工して作製し、ヒンジ機構部分は PET の粘り強い特性を生かしてレーザー加工機の出力と送り速度を調整して切れ目を入れることで作製した。全体は2つの翅が中央の長方形の駆動部との接着部分にヒンジで接続されている構造をとり、これが図3における①のヒンジに相当する。また翅の前縁部と細い翅脈の間のヒンジは図3における③のヒンジに相当する。



(a) 全体図

(b) 根元拡大図

図4 試作した翅

### 羽ばたきロボットの作製

本研究では駆動機構として過去研究で開発された駆動モジュールを使用した。駆動モジュールの外観を図5に示す。この駆動モジュールは曲げたカーボンプレートに圧電繊維複合材料である MFC をエポキシ樹脂(3M : DP-460)で貼り付け、それを2枚作製した後厚さ 0.2[mm] の柔らかい PVC 製のテープで両端を固定して作製された。

この駆動モジュールとてこの支点となるカーボンプレートで作製した支点部を図6のように組み立てて羽ばたきロボットを作製した。作製した羽ばたきロボットを図7に示す。

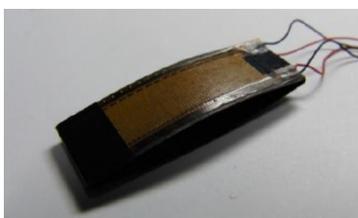


図5 駆動モジュール

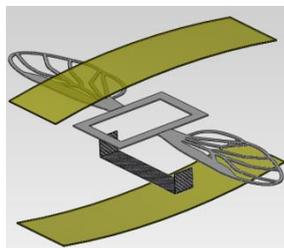


図6 ロボットの構造

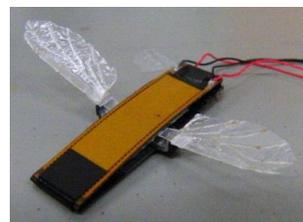


図7 ロボットの外観

## 実験と結果

実験は駆動させたロボットを正面・側面の2方向からハイスピードカメラで撮影することでフラッピング角度とフェザリング角度を測定した。

測定結果を図8, 図9に示す。

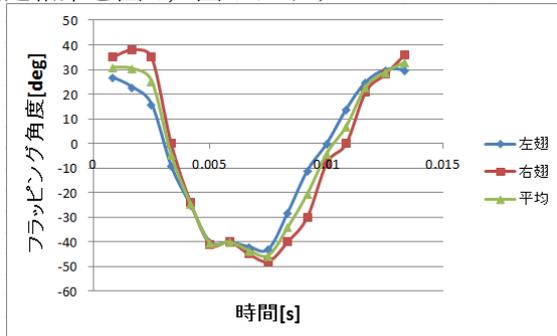


図8 フラッピング角度

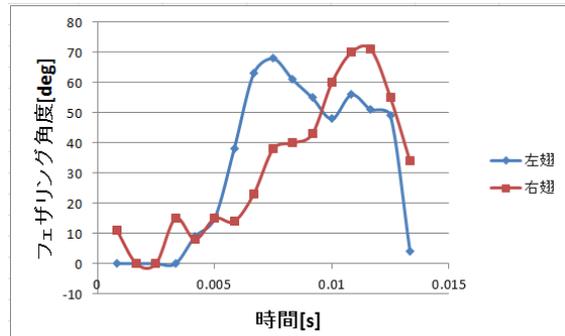


図9 フェザリング角度

過去に試作された羽ばたきロボットは、共振周波数 94[Hz]でフラッピング角度が最大 70[°]という結果だった。今回の試作機は共振周波数 75[Hz]で最大フラッピング角度が左翅で86[°], 左右の翅で平均して 76[°]という結果となった。これは過去の試作機は翼部分にカーボンプレートを用いていたのに対し、今回の試作機は PET の翅の翅脈のため翅にたわみが生じ、その結果共振周波数が減少しフラッピング角度が上昇したと考えられる。また左右の翅で最大 19[°]のフラッピング角度のずれが生じ、非対称な運動となってしまった。これは羽ばたき変換機構と翅を接着する際の組み立てによる誤差が原因と考えられる。

フェザリング角度に関しては、最大で 0[°]から 71[°]までのフェザリング角度を達成することが出来たが、左右の翅で大きな誤差を生じさせてしまった。これはフェザリングのためのヒンジ機構部分によって疲労し、回転しやすさに差が生じてしまったためと思われる。フェザリングのためのヒンジは非常に短く、少しの力を回転しやすさに大きく影響を与えると考えられるため、安定したヒンジ機構を作製するための対策を考える必要がある。

### まとめ

本研究では圧電繊維複合材料を用いた羽ばたきロボットの運動性能向上を目的に、昆虫の飛行器官である腋器具に着目し、腋器具に存在するヒンジ機構を模倣した翅の試作と羽ばたき運動変換機構の改良を行った。改良した羽ばたき運動変換機構を羽ばたきロボットへ実装し、駆動実験を行なった。

その結果、大きなフラッピング角度とフェザリング角度を実現することが出来た。しかし左右の翅で大幅に非対称になるという問題点があり、さらなる改良が必要である。

## 3.2 水中ロボット

近年、水産資源や海底鉱物資源、海底油田など、海洋開発の必要性が大きくなっている。そのため、海洋開発や水産資源の持続的有効利用を図る観点から、魚類の行動や海底付近の様子などの把握を目的に、水中ロボットが水産調査分野においても頻繁に利用されている。

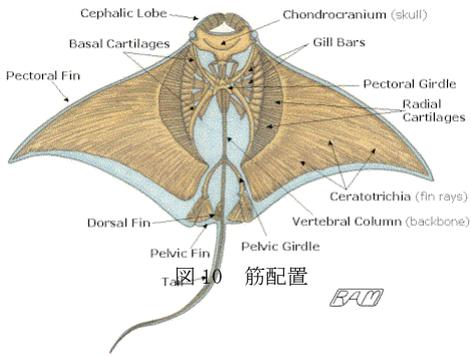
魚類は、水中での高い運動性能を有するものも多く、生息する環境に応じて様々な形態を持つため、魚類の運動機構を基に設計を進めることは、水中での高度な運動性能を実現するために有効な方法であるといえ、柔軟性を有する新しいアクチュエータを利用した水中ロボットの開発が進められている。

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、水棲生物の遊泳方法を模倣したソフト水中ロボットの研究開発を行っている。

### 3.2.1 マンタ型水中ロボットの性能向上

水生生物はそれぞれの生活に適した遊泳を行い、その推進方法はいくつか分類できる。本研究では、その中でも羽ばたき型推進により高い機動性能で安定した遊泳が可能なマンタの体構造を模倣したロボットの開発を目指して、シミュレーションソフトを用いた性能向上のための構造を検討し、新しいマンタロボットの開発及び性能評価を行う。

## マンタの体構造



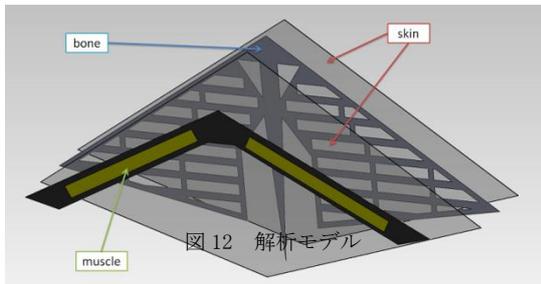
マンタは羽ばたき駆動を図 10 に示すような平らな胴体の両側から伸びるように広がる対となった胸ヒレを用いて行っている。また、薄く長い筋肉は胴体中心部から翼端方向に向かって放射状に広がりヒレ全体を覆っている。

こういった筋配置のように機構全体にアクチュエータを組み込むことは困難であるため特に翼弦方向に最も長く支配的に動作すると思われる胴体中心から翼先端に伸びる筋肉部分にアクチュエータを組み込むことで羽ばたき駆動を再現できないか考慮する。

うに胸ヒレの骨は胴体中心部から小き弦方向に連なって伸びて出来ている。軟骨は石灰化組織で覆われ剛性を向上に隣接する骨同士を連結させて格子状格構造によりヒレ全体の剛性を確保し

この骨格構造を骨に当たる材料に切込みを入れることで、適度な柔軟性を得て全体の剛性を下げながらも翼弦方向と翼幅方向に異なる剛性を持たせることで羽ばたき駆動が行える構造を再現できないか考慮する。

### シミュレーションによる構造の検討



込数を増やしたモデル C でそれぞれ比較した。実機開発の参考とした。



図 13 各骨格モデル

### 実機開発

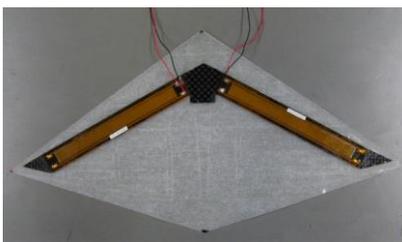


図 14 開発したロボット  
表 1 水中ロボットの仕様

全長	125mm
翼幅	250mm
胴体幅	40mm
重さ	15.8g
MFC 種類	M8507P1 d33
MFC 外形	110mm × 15mm
MFC 駆動部	85mm × 7mm
貼り付け材料	0.2mm カーボンプレート
骨格部材料	0.2mmPET
柔軟部材料	0.1mm 塩ビシート
接着方法	3M DP-460 エポキシ系接着剤

マンタの体構造を考慮し図 12 に示すように各部のモデリングを行った。内部に挟み込む骨格にあたる部分をいくつか考案した各骨格モデルと入れ替えてモーダル解析を行うことで羽ばたき駆動に適した構成を検討した。

骨格モデルは図 11 の骨格構造から切込間隔や切込幅等を簡略化し図 13 に示すような切込のない骨格部のみのモデル A, 切込を実生物の骨格形状に近づけたモデル B, 実生物の骨の数に近づけ解析可能な限界まで切

各次数での周波数やモード形状からモデル B を採用し

解析結果をもとに図 14 に示すロボットを開発した。骨格構造にあたる部分にある程度の剛性と柔軟性が必要のため 0.2mm の PET を使い、全面を覆う皮膚にあたる部分に波を伝えられるよう柔軟な 0.1mm の塩ビシートを用いた。また MFC の貼り付け部材の CFRP は左右のヒレを接続することで翼先端変位量を発生しやすくしてある。

具体的な構成材料は表 1 のようになっている。開発したロボットを駆動させ動作を確認した。またそれぞれの挙動に関してデータを測定し、評価を行った。

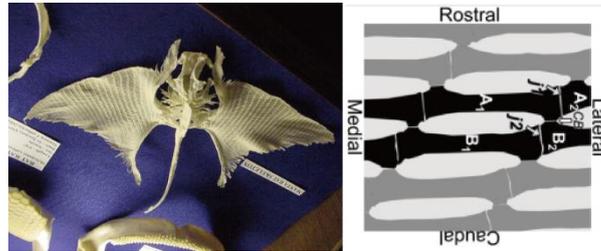
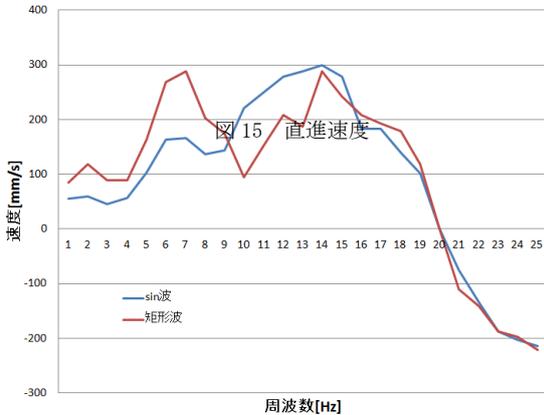


図 11 骨格構造

また、図 11 に示すような軟骨が翼それぞれのさせ、さらに組んだ骨

## 実験結果

図 15 に示すように左右のアクチュエータに同周波数を印加することで直進運動を、特に 21~34Hz の sin 波を印加することで後進運動が確認できた。7Hz 及び 14Hz を印加した時に直進速度が向上したのは直進に適したモードが励振されたためと考えられる。また、5Hz を印加し片側のヒレに位相差を与えることで旋回を確認出来た。位相差を 45[deg]~165[deg] で位相差を与えた側への旋回が、195[deg]~300[deg] で逆側への旋回が可能であった。位相差 90[deg] のときが最も旋回速度が早く 33.21[deg/s] でその場旋回が可能となった。



## 性能評価

得られた測定データから振幅対体長比、泳動数、体長倍速度を用いて開発したロボットの性能を評価する。体長に対する駆動部の変位量を評価する振幅対体長比は開発したロボットは 0.046 という結果でマンタの 0.2 や旧マンタロボットの 0.095 と比較して小さな値しか出なかった。一方で、駆動部の 1 周期ごとの対体長比である泳動数に関して比較すると矩形波での泳動数は 0.68 であることからマンタの 0.6 や旧マンタロボットの 0.19 よりも大きく、大きく遊泳性能が向上したといえる。また、1 秒間に体長の何倍移動するかを表す体長倍速度では 0.44 という結果となりマンタの 0.2 や旧マンタロボットの 0.19 よりも大きく速度が向上しているのが確認できた。

## まとめ

マンタの体構造を模倣することを考え解析ソフトを用いてモード形状やその周波数から羽ばたき駆動に最適な構成を検討することで、直進や旋回、後進などといった多様な運動を実現し、モーダル解析により推測された特徴的な動作の確認も行えた。生物の運動性能の評価に用いられる泳動数、効率、推進速度、翼端変位量などを用いて開発したロボットの性能を評価することで、既存のロボットよりも機動性能に加え推進性能も向上し、実生物に近い遊泳性能を実現出来ていることを確認できた。

### 3.2.2 中空構造マス型水中ロボット

本研究では、マスを規範とした中空構造を有するソフト水中ロボットの開発を行った。中空構造マス型水中ロボットは、従来の平板形状をもつソフト水中ロボットに対し、より魚に近い流線形状を有し、さらに将来的な機能拡張のための内部空間を備える。

#### 中空構造マス型水中ロボットの試作

試作機は図 16 に示すように、圧電繊維を CFRP (0.2mm 厚) に張り付けた 2 つのユニモルフ型アクチュエータから構成される。圧電繊維複合材料に電圧を印加することで、本体から尾鰭にかけて屈曲運動を行い、準アジ型推進を実現する。駆動体の曲率については、マスの流体特性を模倣するために、マスの流れに対して平行な、鉛直面形状と水平面形状を参考に設計した。ロボットの外形を図 17 に示す。

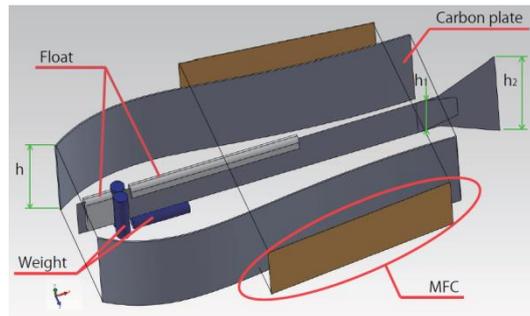


図 16 中空型水中ロボットの構造



図 17 試作した中空型水中ロボット

### 推進速度の評価

ロボットの推進速度を測定した。測定対象を今回作成した中空構造型と、既存機中で最高の推進速度をもつ平板構造型である。入力は電圧範囲を+150V~-500V とした矩形波を用いた。その上で駆動周波数を 1~25Hz まで 1Hz 刻みに変化させて、ハイスピードカメラを用いて、その時の推進速度を測定した。結果を図 18 に示す。

中空構造型の最大推進速度は 22Hz 時の 0.49m/s，平板構造型は 20Hz 時の 0.60m/s であった。

中空構造型と平板構造型は，16Hz までは，ほぼ同様の推進速度を示すが，平板構造型は 14Hz から速度上昇率が上がるのに対し，中空型の上昇率は緩やかに減少し，22Hz を境に急激に速度下降する。また，22Hz 以上で見られる急激な速度降下は，22Hz 以降，頭部が励振され始め，

前進運動が阻害されたためであると考察した。実際に 35Hz では頭部の共振に起因する後退運動を始めたことからその事が伺える。

### 泳動数の評価

実際の魚類の遊泳能力を評価する際に用いられる泳動数を求める。泳動数  $Sw$  は，尾鰭一振りあたりに進む体長比距離を表す指標であり，遊泳動作の効率を評価することができる。多くの魚類の泳動数は種類によらず 0.6 付近に集中することが知られており，対水速度  $V$ ，遊泳周波数  $f$ ，体長  $L$  を用いて  $Sw = V/fL$  と表される。測定結果を元に計算した各機体の泳動数を図 19 に示す。

図 19 より中空構造型は平板構造型と，ほぼ等しい効率で推進していることが分かる。しかし，低周波数域では他に比べ著しく速度が低いため下から漸近する様な振る舞いを示した。

### 遊泳モードの評価

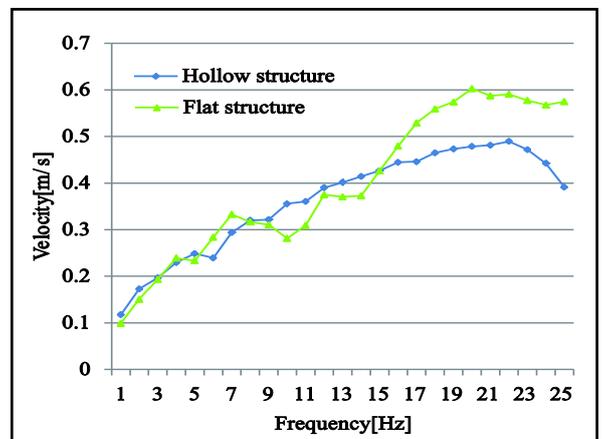


図 18 各周波数における推進速度

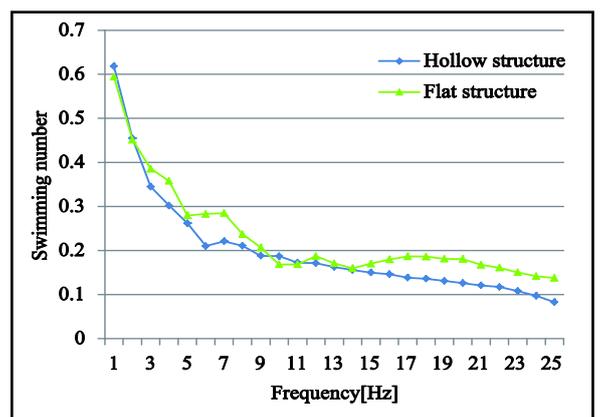


図 19 各周波数における泳動数

水中ロボットの中空構造型と平板構造型について遊泳形状を測定した。すべての特徴点を時刻ごとに座標抽出しグラフ化した。各折線は、ある時刻のロボットの形状を示している。その結果を図 20 に示す。

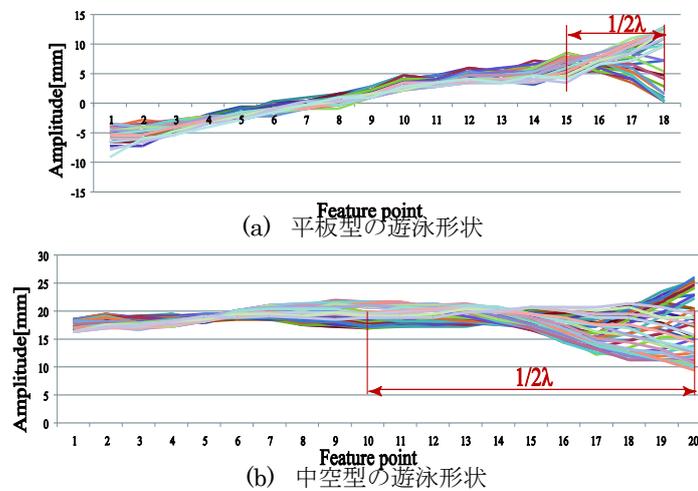


図 20 水中ロボットの遊泳形状

図 20(a) より、平板構造型は体長の後方  $1/4$  を主に振動させておりマグロ型遊泳に近いことが分かる。一方、図 20(b) 中空型は体長の  $2/3$  を振動させている。

従って、中空構造型は、設計段階で意図していた準アジ型遊泳を再現できたといえる。また、中空構造型の波長は 20cm 程度であり、実際のマスの遊泳時の波長も 20cm 程度であることから、中空構造型はマスに非常に近い遊泳を行っていることが分かる。

#### まとめ

内部空間を保有した上で、最高速度こそ劣るものの、駆動周波数 1Hz~16Hz 区間において、本研究室の最高速度を記録している平板型ロボットと同等の性能を実現した。

また、最高効率では実際の魚に匹敵する泳動数を実現し、平板構造型ロボットと同等の推進効率を得られた。これにより、圧電繊維を用いた中空構造のソフト水中ロボットの有効性が確認された。

新たに試作した中空構造型の機体では準アジ型遊泳を模倣する事に成功し、平板構造型がマグロ型遊泳を行っていることを明らかにした。

## 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、国内のさまざまな分野のものづくり技術の海外移転が盛んになり、すでに中国を含む東南アジアに生産拠点を移す企業も多くなっている。しかし、これらの生産現場では機械装置や設備の安全運用に関する知識を有するグローバルな人材が不足しており、この分野のエキスパートが求められている。今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。グローバル・セーフティーに関する人材が求められるようになった背景には、生産現場で高い品質の製品を製造する場合、そこに従事する労働者の安全保安に対する認識の高まり、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。特に、近年、民主化が進んできた東南アジア諸国で安全に関する人材が求められている。

#### 5.2.2 実施概要

題目を『グローバル機械安全マネジメントに関するショート・トレーニング』(Global Machinery Safety Management)とし、アズビル株式会社 安全審査部 技術開発リーダー(社)日本電気制御機器工業会 制御安全委員会委員 基準認証研究開発プロジェクトリーダー天沼 光太郎氏を講師として招き、2013年1月08日(火)および2013年1月15日(火)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40名であった。

#### 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。昨今、日本の製造業の多くは国内に留まることができず、中国を含む東南アジアに生産拠点を移している。これは安価な人件費、低コストな電力、輸送コストだけでなく、巨大な潜在的マーケットが近くに存在しているためである。この結果、現地に多くの日本企業の工場が進出し、それに伴いさまざまな基盤設備、周辺機器およびシステムも付随している。このような状況において、世界的に機械安全に関する認識も高まり、労働者の健康と安全を重視することが求められており、機械設計、システム設計と言う要素技術だけでなく、さらに広範囲な視点から機械安全を管理する技術と人材が求められている。ISOなどの国際標準においても安全に関する定義や規則が設定されているが、日本の工学系大学院ではまた一部しか取り扱われておらず、将来、国際社会で活躍する工学技術者を育成する観点では、このような分野の知識を有することは極めて重要であると言える。

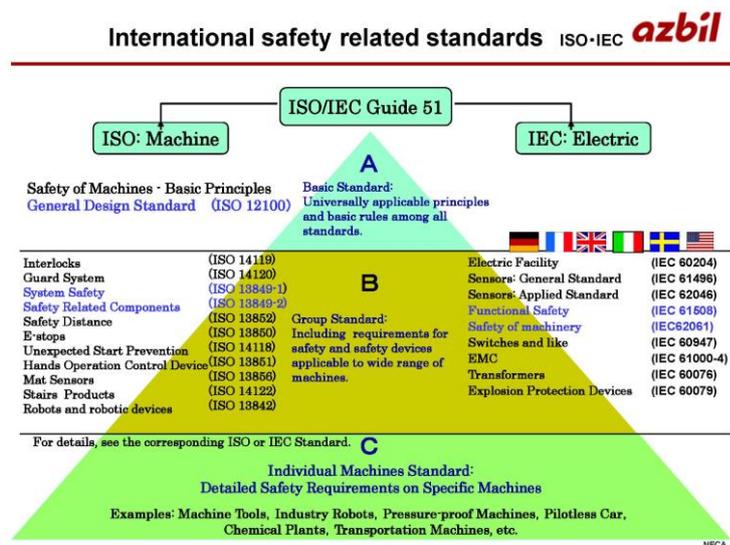


図1 グローバル機械安全の基本的な考え方 ISO/IEC

Day1[2013年1月07日(火)]:

Global trend of safety management and engineering technique are discussed. The demand of safety engineers and safety officer are globally increased, not only in industries but also public sectors, due to reinforcing the industrial safety and health law, and product safety regulations. For public demands and ethical aspect of engineers and suppliers, study of safety engineering has become increasingly important. Holding knowledge of machinery safety, from engineering view point, are essential for the engineers developing machine tools, robots, control systems, and other devices now. This lecture gives you the fundamental knowledge of global trend of safety, machinery safety and risk assessment technique conforming to international safety standard.



図2 近年の機械安全の考え方

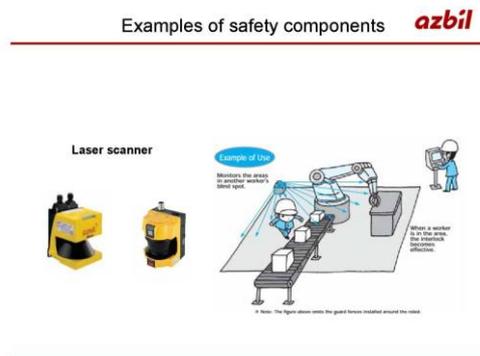


図3 安全要素の一例

Day2 [2013年1月15日(火)]:

General principles for machinery safety and risk assessment procedure, corresponding to Seminar 1, are discussed. This lecture gives you the knowledge of the general principles for machinery safety, and of how to design safer machines through processes of risk assessment and risk reduction, defined in international standard. By this lecture, you are more familiar with the globally well-known machinery safety engineering, through a simple practice of risk assessment and reduction.

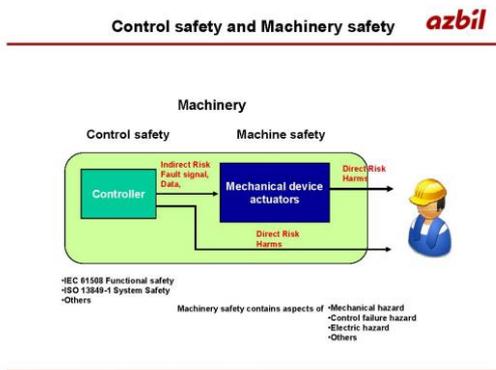


図4 制御安全と機械安全

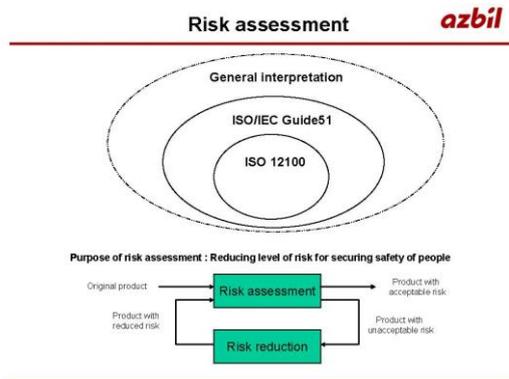


図5 リスクアセスメントと危険の低減化

#### 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、『グローバル機械安全マネージメント』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、特に海外に移転した多くの製造現場において、現在、急務となっている安全管理のあり方、考え方および最近の動向について留学生を含めて議論がなされた。

## 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、2012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いき、危険なので必要以上に長く突き出さないこと
- ・ チャック回転中は、チャックの円周方向位置に体を置いてはならない
- ・ チャックを手で押さえて回転を止めてはならない

##### C フライス盤作業の場合

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

#### ② 機械の保守および整理整頓

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

### (2) 機械加工基礎実習（初級）（講師：武井）

実施期間 平成24年11月11日～12月14日

時間回数 90分×2回（1名）

参加者 なし（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、学部生向けの特色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

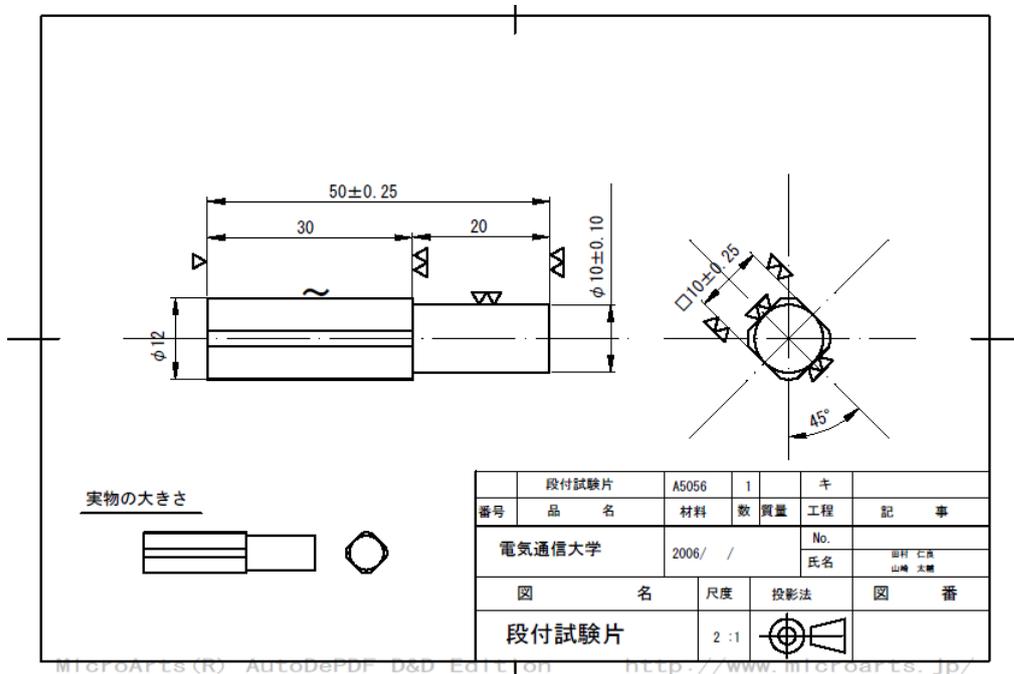


図 5.2.1 カデット教育機械加工実習初級課題：段付試験片

### (3) 機械加工応用実習（中級）（講師：武井）

実施期間 平成 25 年 3 月 3 / 12 (火) ~ 3 / 14 (木) の 3 日間 13 : 00 ~ 16 : 00

実習 : 自主製作課題とする。

時間回数 実習 180分×3回 (1名)

参加者 1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、ミニ旋盤を使用、幾何公差を含む図 5.2.2 のような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

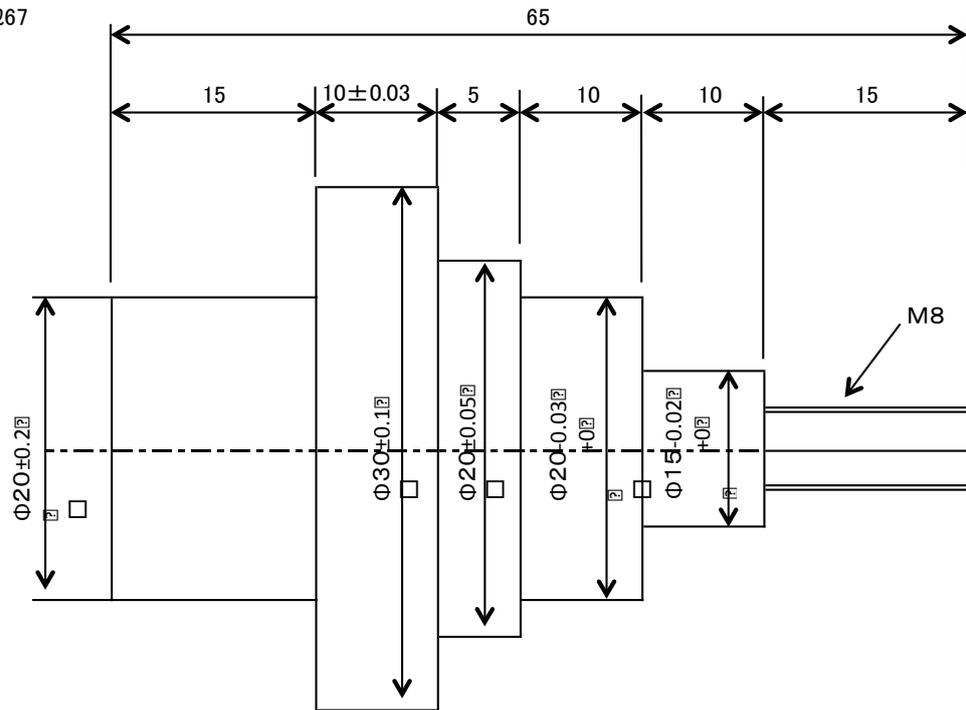
使用刃物

- ・片刃バイト (左右勝手各 1)
- ・剣バイト (面取り用)
- ・穴グリ用片刃バイト
- ・突っ切りバイト

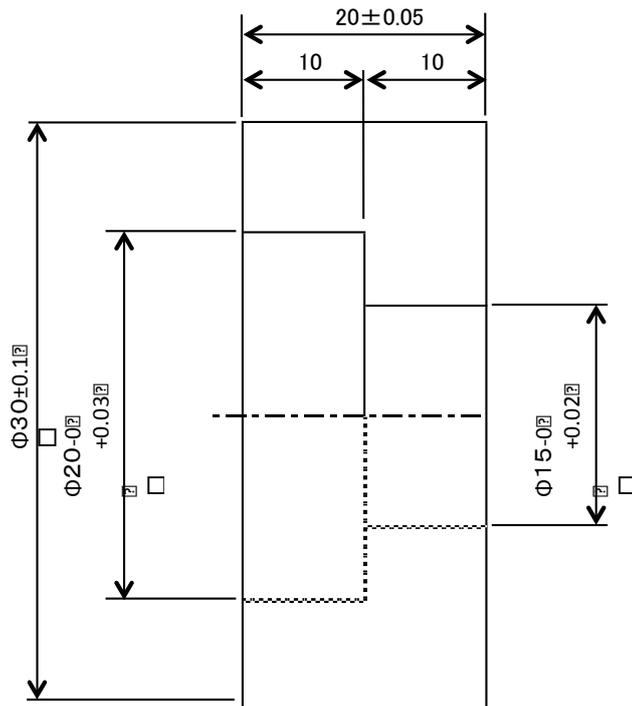
使用測定器

- ・アナログノギス
- ・デジタルノギス
- ・アウトサイドマイクロメーター (0 ~ 25、0 ~ 50 デジタルマイクロ)
- ・インサイドマイクロメーター (5 ~ 25)
- ・デプスマイクロメータ (0 ~ 25)
- ・スケール (150mm)

① A2017  
 $\Phi 32 \times \varnothing 67$



② A2017  
 $\Phi 32 \times \varnothing 27$



### 図 5.2.2 カデット教育機械加工実習 1 課題：ハメアイ

#### 実施結果

下記の採点基準に基づき採点した結果、「優良」との好結果を残すことが出来た。

#### 課題 ①

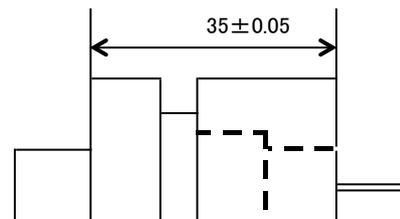
	測定基本値	公差	配点	実測値	得点
1	Φ 20	±0.2	5		
2	Φ 30	±0.1	5		
3	Φ 25	±0.05	10		
4	Φ 20	0 -0.03	10		
5	Φ 15	0 -0.02	10		
6	10	±0.03	5		
7	M8の出来映え	良否	5		

#### 課題 ②

8	Φ 30	±0.1	5		
9	Φ 20	±0.03 -0	10		
10	Φ 15	+0.02 -0	10		
11	20	±0.05	5		

#### 組合せ

12	35	±0.05	10		
組合せ見映え		良否	10		
			100		



#### 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 師範免許（インストラクタ）

交付年月日 平成25年3月30日

免許授与者 M1: 蔡 孝棟



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 (武井)

今回の実習では、下記の能力を中心に行ってきた。

- ① 図面を解読し、使用する刃物・測定器の選定が出来る
- ② 寸法・公差 (J I S) の理解
- ③ 工作機の保守点検、及び操作と機能の有効活用 (機械目盛など)
- ④ 自主製作ができる
- ⑤ 最適な測定器を選定し、正しく使えること

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。



## 6.2 松野先生 講演

京都大学大学院工学研究科機械理工学専攻・教授である松野文俊先生をお招きして、阪神淡路大震災を契機にレスキュー工学の研究を始められた松野先生が、同じ震災ではあるが、タイプの異なる被害をもたらした東日本大震災におけるロボットによる災害対応支援活動を報告し、今後の研究の方向性や現在取り組んでいる課題について、貴重なお話を頂いた。

日 時： 1月17日（木曜日）14時40分～17時10分

会 場： 東4号館8階802AV講義室

参加費： 無料

講 師：松野 文俊 氏

京都大学 大学院 工学研科機械理工学専攻 教授

講演題目：

国際救助隊サンダーバード構想 ―阪神淡路・東日本大震災の経験から―

概要：日本におけるレスキュー工学は阪神淡路大震災を契機として萌芽し、大都市直下型の地震やNBCテロ災害などを想定して、多くの研究成果が発表されている。しかし、今回の東日本大震災は地震動による直接的な災害だけでなく、それに起因する津波、原子力発電所の事故が複雑に折り重なった複合災害であり、新たに多くの課題が突きつけられた。

阪神淡路・東日本大震災による尊い多くの命やかけがえの無いものを失った経験をどのように受け止め、次の世代にどのようにつなげていくかを真剣に考える必要がある。

レスキュー工学は災害の被害を軽減化し、災害から人を護り人を助けるといった明確な目的を持った、「目的達成型」の研究分野である。この目的を達成するためには、様々な分野

の最先端技術をインテグレートし、システムを構築しなければならない。さらに、工学に留まらず、医学やメンタルケアを行う心理学、社会学や政治学や経済学などあらゆる分野

との連携が実現して、はじめて「レスキュー」が完了すると考えている。講演者は、2050年までにロボット技術と情報技術を基盤とした「サンダーバード」のような国際救助隊を実現することを、大きなグランドチャレンジとして掲げている。

レスキューの問題は産官学の連携と民による理解と協力が必要で、安全で安心して暮らせる世の中は皆で作るものであると考えている。本講演では、講演者がレスキュー工学を始めたきっかけから、東日本大震災でのロボットを用いた災害対応活動について報告し、国際救助隊サンダーバードを実現するための今後の方向性や課題を紹介する。



図1. 情報化について説明される松野先生



図2. 原子力発電所内での実験の様子について説明される松野先生

## 7.1 オープンキャンパス（研究室の紹介）の報告書

### 1. 概要

本イベントは2012年7月15日に開催された電気通信大学のオープンキャンパスの一つの行事として、午後1時から午後4時まで3時間、研究室の紹介をしました。本研究室は東4・5の2階の玄関の近くに設置しました。紹介の内容は飛行ロボット、蛇ロボット、脳系、日野自動車の共同研究でした。

### 2. 準備

午前11時に研究室に集合して、30分程、展示するものを415号室に集めます。展示するものは以下のようになります。

- 大きいモニター2台
- 真っ黒レッツ
- 脳波計2台（g.tec および emotiv）
- 蛇ロボット
- 蛇ロボット用デスクトップ
- 飛行ロボット2台

朝の準備が終わりましたら、12時20分ぐらいまでに、食事のために休憩をとりました。12時20分から、415号室に集められた展示品を2階に運び、机を機械工学科事務室から運び、決められた場所で机および展示品をまとめました。

### 3. 実施

研究紹介は主に4つに分けられ、飛行ロボット、蛇ロボット、脳系、日野自動車の共同研究でした。研究紹介の流れはお客さんに研究室のチラシを配布し、「本研究室はロボットの制御の研究を行っている」のような全体的な紹介をしてから、お客さんから具体的な指示がなければ、各研究の紹介を次々と行いました。各研究紹介内容は以下のようになります。

#### ● 飛行ロボット

最初に飛行ロボットの研究の動画を見せ、2台の飛行ロボットをお客さんに見せます。そして、デモはスペースの関係で行わないということと言って、普段はグラウンドおよびJAXAの飛行場等を利用して実験を行うことを伝えます。また、研究の具体的な説明は以下のようになります。

「震災時などにおける人が立ち入ることが困難となった地域の迅速な情報収集を可能とする無人小型飛行レスキューロボットの開発を行っています。現在のところ、搭載GPSから得られる現在の位置と目標地点から最適な経路を計算しそれに従い自動航行を行い、さらに風の影響に応じた経路選択を行えるような研究をしています。」

#### ● 蛇ロボット

本研究の紹介は、動画を見せながら、実際の蛇型ロボットのデモをb4佐藤が行いました。お客さんには最初に蛇型ロボットの特徴を次のように説明します。蛇型ロボットは関節が多く、前進するのに各関節がどのように動けばいいのかの計算が大変です。また、頭部にロボットハンドおよびカメラを設置し、カメラ視線で操作する場合、頭部をあげて、進む方向に固定することで、ロボットの操作がしやすくなります。そして、蛇型ロボットは細くて、瓦礫等のような場所での探索に適するレスキューロボットであることを主張しました。最後にお客さんも実機の操作をさせました。実機があるおかげで、お客さんの好奇心をひくことができ、来てくれたお客さんが多かったです。

#### ● 脳系

最初にブレイン・マシン・インタフェース（BMI）の概念から説明します。脳と機械のシステムをつなぐインタフェースの開発のような説明でした。そして、お客さんに脳系の動画を見せながら、流れた動画の説明をしました。動画の説明が終わりましたら、お客さんからの質問に答えます。今回よく聞か

れた質問は「この研究を行う上で、脳科学の勉強は必要ですか」と「本研究を行う上で何が一番難しいですか」の二つです。一つ目の質問に対して、自分の答えは「研究を進める時に、必要なものだけを勉強する。要するに脳科学を全て勉強するのではなく、自分の研究に必要とする脳科学の知識を本および論文等で調べる」。二つ目の質問に対して、自分の答えは「本研究で最も厄介なのは、脳波データだけを取ることです。脳波を脳波計で取る際に、筋電等のようなノイズが乗るため、自分が観察し、解析したい脳波はほとんど見えない。そのため、扱いたい脳波データを抽出するのにうまくやらないと脳波の解析は難しいです」。

#### ● 日野自動車の共同研究

日野自動車共同研究班は2テーマあったので、それぞれのテーマをそれぞれの担当が説明しました。以下に各々の説明の流れを記述します。

##### ・道路勾配予見による大型HV車燃費向上の研究

このテーマはb4田中が対応しました。まず先にHV車を知っているかどうかの質問をしました。そこで知っていると答えてくれれば、説明しやすくなるのですが、程度にもよりますが、意外にも知らない人が多いようで、1からHV車について説明しました。「HV車とは、普通車はエンジンで発生するエネルギーで車を動かしています。HV車はそのエンジンのエネルギーに、モータのエネルギーを補助的に追加し、なるべく燃料を使わないように、という考えで考案された車です」というような説明をしました。その説明が終わると、今度は本題に入ります。「モータを使うにはもちろんエネルギー(電池のようなもの)が必要です。本研究は大型トラック用のバッテリーマネジメントについて研究しています。普通バッテリーを充電するのはストップ&ゴーですが、大型トラックでは行路のほとんどが高速道路を占めているため、ストップ&ゴーでの充電は期待できません。ですが長い下り坂があるので、そこでエンジンブレーキなどを利用し回収できます。その回収や放電を効率よく行うことを研究のテーマにしています」といったようなことを説明しました。お客さんの反応としては、「回生ブレーキでしか回収できないんですか？たとえばトラックは空気抵抗が多いですよね？ファンなどはつけられたいのですか？」と聞かれました。それに関しては「現在の大型トラックはさまざまなユニットを積んでいますので、レイアウト上このようなシステムになってしまいます」と答えました。他には特筆すべき反応はありませんでした。

##### ・大型車向けCVT開発のための変速時シミュレーションプログラムの開発

このテーマはb4稲益が対応しました。研究内容の説明としましてはまずCVTの仕組みや利点などから説明に入りました。「CVTというのは連続的に変速比が変わる無段変速機のことです。従来のMT、ATに代わる変速機のことです。利点としましてはMTでいうシフトショックがほとんどなかったり、変速比を連続的に変えることができるため、エンジンの回転を大きく変えることなく、車両の速度を連続的に変えることができます。そのため燃費や動力性能の良い運転が実現しやすいんです。」というような説明です。次に本題に入ります。「本研究の狙いとしてしましては、ハードウェアの試作やそれを用いたベンチ実験を行わずに、コンピュータシミュレーションによって構成要素の解析を行うことで省コスト、省工程化が期待できます。本研究ではCVTユニットの機械的構造をブロック化して表現しMATLAB/Simulinkを用いたシミュレーションを行っております。」といった説明をしました。

#### 4. オープンラボ風景

実施の雰囲気は図1および図2のようになります。



図 1 研究紹介の雰囲気その①



図 2 研究紹介の雰囲気その②

#### 4. 片づけ

16:10 頃に片づけを初めて、全ての物を元の位置に戻す作業でした。研究室の物は一回 415 号室に集めてから、元の場所に戻しました。借りられた机もスタッフの指示に従って、事務室の隣の部屋に戻しました。

#### 5. まとめおよび感想

今回のオープンキャンパスはいろいろな年代の人が来てくれました。人によって、説明を合わせないといけないのが大変でしたが、いい練習になったと思います。また、蛇型ロボットは実機があるので、お客さんに魅力となり、紹介された研究の中で最も人気な研究でした。スペースが狭い割に沢山のお客さんが来てくださって、満足でもあり、勉強にもなりました。

問題点もいくつかありますが、圧倒的にこれに限ります。展示品の割にスペースが狭いことです。大型液晶テレビ、蛇ロボット、液晶モニターがある中で幅 3m くらいの通路に展示しましたところ、非常に狭くなり、奥に行きたい人もなかなか身動きとれずに滞っていました。そのため繁盛期には詰まってしまい、奥の研究室の説明に行くのを、断念した人も見受けられました。これもスペースが狭いことに尽きるのですが、実機が蛇ロボットしかないのも、残念でした。

説明の人が多いうのも通行を妨害しているようで、申し訳なかったです。人数が多いチームはローテーションで説明する人を分けるのが賢明かと思います。

## 7.2【報告】調布市科学センター講座「電気工作Ⅱ：ロボットを作ろう」

2013年01月18日

本学では、教職課程を履修している学生が、ほぼ毎月ボランティア活動として調布市科学センターの主催する小学校5・6年生を対象とした理科系の講座に、指導補助という形で参加しています。

12月15日に第12回講座「電気工作Ⅱ：ロボットを作ろう」では、教職課程の学部生12名に加えて、「魅力ある大学院教育イニシアティブメカノインフォマティクス・ガゼット教育」プログラムの一環として知能機械工学専攻の大学院生7名が参加し、ともに企画、運営、指導を行いました。

今年は、倉持信行さん(知能機械工学専攻博士前期2年)が考案したロボット『ワイパーくん2号』を教材に使用しました。開講にあたって教職課程の学部生たちは、事前に田中研究室(知能機械工学専攻)の大学院生から回路の説明やハンダ付けの指導を受けるとともに、小学生にわかりやすいようにマニュアルを作成し、講座当日に臨みました。

当日は、抽選に選ばれた調布市内の児童48名が参加し、早朝から学生たちが準備した電子工作の部品や工具を使って、全員がロボットを完成させることができました。完成後、児童らは自らの手で実際にロボットを動かし、歓声を上げていました。

本学学生の企画する講座は、同センターの中でも一番の人気講座となっています。また、調布市教育委員会および同センター指導員からは、1テーブル3名の児童に学生1名が付いて指導しながら一緒にロボットを作成することは、児童たちにとって良い教育効果があると高く評価されているとともに、参加児童やその保護者からも好評を博しています。



倉持さんの説明を聞く参加児童



本学学生が参加児童を指導



完成したロボット「ワイパーくん2号」

## 8.1 ロボカップサッカー

### 8.1.1 RoboCup 2012 参加報告

2012年5月3～5日に大阪工業大学 大宮キャンパスにてRoboCup Japan Open 2012が開催された。中野研究室(fWing207)では6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7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9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 予選の様子(黄色が我々)



図2 敗者復活戦の様子(黄色が我々)

今年度はJapan Open 2011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ようにした。一方、戦略システムは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した。

今年度の大会では、小型ロボットリーグの世界チャンピオンであるSKUBAも参加しており、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。たとえばオフェンス側からのゴールが難しい場合には一度ディフェンス側にいる味方にボールを戻してから攻撃する、ループシュートを蹴って相手の頭上を超えたパスをするなどの高度なプレーが例年以上に多く見られた。

一方、我々チームは昨年度と比べロボット自体の性能が向上したため、試合内容は昨年度までと比べ改善されたが、ロボットが高速で移動する際に問題となるロボットの自己位置推定やボール認識などの処理などについての詰めが甘く、このような協調動作などの高度なプレーに対応できず得点をあげることができなかった。さらにロボット自体の安定性が低く安定した動作が難しい事も判明した。そのため、今後センサの改良と新たな戦略システムの構築が必要であることが判明した。

戦略システムの改良が間に合わなかったことが要因となり試合結果は予選リーグは1勝2敗で3位、敗者復活戦敗退となった。

### 8.1.2 ロボットの改良

昨年度まで開発していたロボットにはいくつかの問題があった。そこで今年度は以下に示す4点について重点的に開発を行うことでロボットの基本的な性能の向上を図った。

1. 金属やポリカーボネイトなどの強い材料を多用することで耐故障性を向上させた
2. 回路を小型化して機構要素の搭載面積を大きくした
3. 機構配置を大幅に見直して整備を行いやすくした
4. ボールセンサを変更することでボールの認識能力を高めた

昨年度までのロボットは樹脂材料を主に使用して構造を構成していたため、試合中の相手との接触などの激しいプレーを通して破損してしまうことが頻発していた。そこで、衝撃や負荷の大きな部分にはアルミニウムやポリカーボネイトを使用することで耐衝撃性を高めて故障しにくくした。ポリカーボネイトは機動隊の盾にも使用されるような強い樹脂材料である。実際にJapanOpen2012ではすべてのロボットが全試合を通して壊れることなく戦い抜くことに成功しており、2012年版ロボットの信頼性の高

さがよくわかった。

次に回路について述べる。我々のロボットには役割に合わせて 5 枚の基板が搭載されており、そのうち 4 枚の基板は自作基板である。昨年度まで使用していた基板のうちモータを駆動するためのモータドライバとボールを蹴る際に使用する昇圧回路は面積が大きく、直径 180mm という狭いスペースに搭載することが難しかったため新たに基板を設計しなおした。回路の小型化は機構要素の搭載面積を広げるだけでなく、機構の配置を変更して整備性を向上させることにもつながった。

最後にボールセンサについて述べる。ロボットがボールの保持の有無を確認するために各ロボットにはボールセンサが搭載されている。従来はスペースや構造上の問題があったため反射型のボールセンサを使用していたが、構造的な余裕が生まれたため今年度から透過式のボールセンサを搭載することにした。これによりボールの認識能力が向上してボールを蹴りやすくなった。これらの改良を行った 2012 年版ロボットを図 3 に示す。

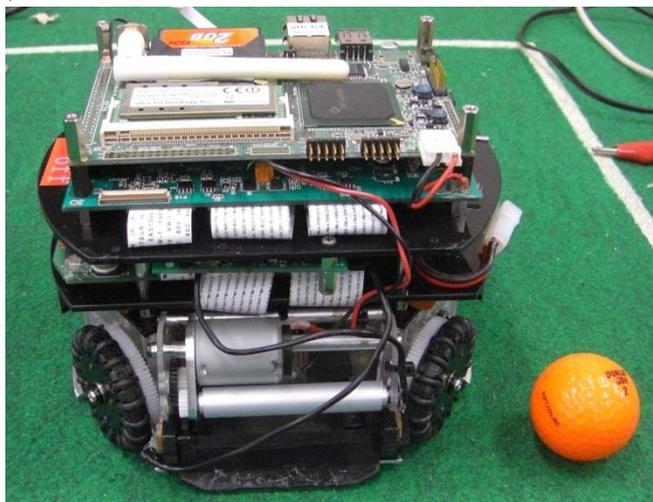


図 3 2012 年型ロボット

### 8.1.3 研究室見学，オープンキャンパスへの参加

9 月 6 日に IEEE Fellow の Wen-June Wang 教授と Suen-Fen Su 教授が来校された。これにあわせて我々のサッカーロボットもデモを行った。また、10 月 18 日には埼玉県の西武文理高校の生徒が研究室見学のために来校した。これらの研究室見学では我々の研究室ではサッカーロボットをメインにして制御や研究に関する説明を行なった。サッカーロボットに搭載されている技術や機構の説明の際には真剣な眼差しで生徒たちが話を聞いてくれた。また、調布祭では研究室公開のデモンストレーションとしてサッカーロボットをディフェンスとした PK 戦を行った。参加者は幼稚園児から受験生、年配者の方と幅広い年齢層の方々に、我々の研究について興味を持って頂く良い機会となった。



図 4 西武文理高校研究室見学の様子



図 5 調布祭 研究室公開の様子

## 8.2 ロボカップレスキュー

田中(一)研究室

### 8.2.1 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 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の捜索活動や, 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.

### 8.2.2 RoboCup Japan Open2012 OSAKA

2012年5月3日~5日に大阪工業大学にて, 「RoboCup Japan Open 2011」が開催された. RoboCup Japan Open 2012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 2012の概要を表8.2.2-1に示す.

Table 8.2.2-1 Abstract RoboCup Japan Opne2011 OSAKA

大会名称	ロボカップジャパンオープン 2012 大阪 RoboCup Japan Open 2012 Osaka
開催期間	平成24年5月3日(木)~5日(土) (5月2日は設営) 10:00~18:00(最終日は16:30まで)
会場	大阪工業大学 大宮キャンパス 総合体育館 (大阪市旭区大宮5-16-1)
主催	ロボカップジャパンオープン 2011 大阪開催委員会 (大阪工業大学, 特定非営利活動法人ロボカップ日本委員会から構成)
共催	(社)計測自動制御学会システムインテグレーション部門 (社)人工知能学会 (社)日本ロボット学会
後援	文部科学省, 経済産業省, 大阪府, 大阪市, 大阪商工会議所 (社)関西経済連合会, (社)日本ロボット工業会
参加者	73 チーム 456(シニア部門のみ ジュニア部門は別日程開催) 外国参加チーム:タイ4チーム(28名) 台湾4チーム(23名)
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)を捜索し, 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, 海外チームはタイから1チームの参加を含め, 9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3)」, 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9チームで予選を行い, 4チームで決勝を行う方式で, SHINOBIは総合部門で見事優勝することができた. 会場の様子や表彰式, リーグ参加者集合写真などを Fig. 8.2.2-1~3に示す.



Fig. 8.2.2-1 RoboCup Rescue Robot League Field (JapanOpne2011 Version)



Fig. 8.2.2-2 Commendation Ceremony (Team SHINOBI)



Fig. 8.2.2-3 RoboCup Rescue Robot League Group Photo

### 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.8.2.2-4 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実施した。また、システムを NEDO「次世代知能化技術開発プロジェクト」の成果の一部を流用し、システムを RT ミドルウェアに実装した。これにより、開発効率を促進することが期待でき、今回のロボカップ実機リーグでも有用性を確認することが出来た。自律型ロボット“HIEI”(Fig.8.2.2-4 右)では、2011 に引き続き地図作成精度の向上、被災者発見アルゴリズムの改良を実施した。



Fig. 8.2.3 Team SHINOBI's Robots  
(left : KOHGA3, Right: HIEI)

#### 8.2.4 まとめと今後の課題

開発プラットフォームに RT ミドルウェアを活用することで効率的に開発を行うことが出来、2009 年ぶりに優勝をすることが出来た。しかし、自律移動ロボットは 2011 年大会に比べ得点が少なく、昨年度以上に研究・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。また、ロボカップに参加することにより工学教育を実践する場として、PBL(Project Based Learning)などにも注力をしていく。

#### 8.2.5 成果

- ・ RoboCup Japan Open 2012 Rescue Robot League 「優勝」

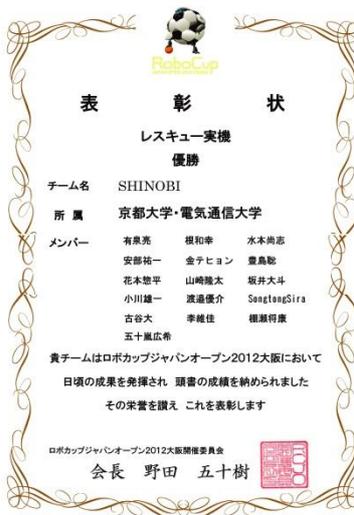


Fig. 8.2.5 Award 「Best in Autonomy」

## 9. 大学院生による研究成果発表

ジャーナル論文：

- 1) 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)
- 2) 小池卓二, 坂下 輔, 埜慎太郎, 熊川孝三：有限要素法による蝸牛基板振動シミュレーション：人工内耳電極挿入時の基板振動挙動変化, *耳鼻臨床*, 補 132, 24-31 (2012)
- 3) 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退避ターゲットの包囲と誘導, *計測自動制御学会論文集*, Vol. 48, No. 4, pp. 224-231 (2012)
- 4) Manabu Suzuki, Kazunori Sakurama, Kazushi Nakano: Online Leader-Following Formation Navigation with Initial Movements of Followers and Its Experimental Verification: *SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration (SICE JCMSI)*, Vol. 5, No. 5, pp. 304-310 (2012)
- 5) 鈴木 学、桜間 一徳、中野 和司、ロボット群移動のための隊列維持を考慮したリーダー追従型隊列誘導, *計測自動制御学会論文集特集号「社会のなかの制御理論・社会のための制御技術」*, Vol. 49, No. 2, pp. 302-309 (2013)
- 6) 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)
- 7) Kazuo Tanaka, Hiroshi Ohtake, Toshiaki Seo, Motoyasu Tanaka and Hua O. Wang, Polynomial Fuzzy Observer Designs: A Sum of Squares Approach, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B*, Vol. 42, No. 5, pp. 1330-1342, Oct. 2012.
- 8) 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, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol. 20, no. 6, pp. 1166-1173, 2012.
- 9) Ying-Jen Chen, Hiroshi Ohtake, Kazuo Tanaka, Wen-June Wang, and Hua O. Wang, “Relaxed stabilisation criterion for discrete T-S fuzzy systems by minimum-type piecewise non-quadratic Lyapunov function,” *IET Control Theory Appl.*, vol. 6, no. 12, pp. 1918-1925, 2012.
- 10) Seiichi Teshigawara, Takahiro Tsutsumi, Yosuke Suzuki, and Makoto Shimojo: High Speed and High Sensitivity Slip Sensor for Dexterous Grasping; *Journal of Robotics and Mechatronics*, vol. 24, no. 2, pp. 298-310, 2012
- 12) 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, pp. 232-240, 2012

国際学会論文：

- 1) Aiguo Ming, Natchapon Luekiatphaisan and Makoto Shimojo: Development of Flapping Robots using Piezoelectric Fiber Composites - Improvement of Flapping Mechanism Inspired from Insects with Indirect Flight Muscle -, *Proceedings of the 2012 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation*, Chengdu, China, pp. 1880-1885 (2012.08).
- 2) Wenjing Zhao, Jun Shintake, Aiguo Ming, Makoto Shimojo: Structural Design and Dynamic Analysis of Robotic Fish with Piezoelectric Fiber Composite, *Proceedings of 9th France-Japan Congress on Mechatronics*, Paris, France, pp. 161-168 (2012, 11)
- 3) Natsumi Tsukada, Kazuya Ogura, Aiguo Ming and Makoto Shimojo: Posture Estimation using a 3D Range Camera for Standing-Up Motion Assist Robot, *Proceedings of 2012 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO 2012)*, Guangzhou, China pp. 968-973 (2012.12).
- 4) Maia Okayasu and Takuji Koike: Development of measurement system for object velocity mimicking echolocation, *The 17th Auditory Research Forum* (2012.12.8-9, Shiga)

- 5) Kazuki Etou and Takuji Koike: Vibration analysis of basilar membrane in cochlea of horseshoe bat, The 17th Auditory Research Forum (2012.12.8-9, Shiga)
- 6) Shu Hosokawa, Kazushi Nakano: A Reward Allocation Method for Reinforcement Learning in Stabilizing Control of T-inverted Pendulum: ECTI-CON 2012 (2012)
- 7) Mai Thong Duc, Kazushi Nakano, Yukihido Toyoda: On The Relative Power Contribution Between Process Variables of SCR Control: Systems for ST-GT Combined Cycle Power Plants, ECTI-CON 2012 (2012)
- 8) Tomohiro Uchikado, Makoto Kobayashi, Kazushi Nakano, Seiichi Shin: Emphasis of GPR Signals Reflected from Buried Pipes Using Statistical Clustering Techniques: Proc. of 2012 Int. Conf. on Wavelet Analysis and Pattern Recognition (ICWAPR) (2012)
- 9) Makoto Kobayashi, Tomohiro Uchikado, Kazushi Nakano: Wavelet-based Position Detection of Buried Pipes from GPR Signals by Use of Angle Information: Proc. of 2012 Int. Conf. on Wavelet Analysis and Pattern Recognition (ICWAPR) (2012)
- 10) Shu Hosokawa, Kazushi Nakano: A Reward Allocation Method for Human Immunity - based Reinforcement Learning in a Stabilizing Control Problem: IWMST 2012 (2012)
- 11) Mai Thong Duc, Kazushi Nakano, Yukihido Toyoda: Analysis of Relationship between Process Variables of Selective Catalyst Reduction Control System, IWMST 2012 (2012)
- 12) Manabu Suzuki, Ryo Kobayashi, Kazushi Nakano: Leader - Following Formation Navigation with Extension by Virtual Trajectories: IWMST 2012 (2012)
- 13) Manabu Suzuki, Ryo Kobayashi, Kazushi Nakano: Multirate Sampling - Based Leader-Following Formation Navigation with Relative Information: SICE Annual Conference 2012 (2012)
- 14) Satoshi Shintaku, Kazushi Nakano: On inhibition of premature convergence in genetic algorithms for mobile robot control: AROB 18<sup>th</sup>, International Symposium on Artificial Life and Robotics (2013)
- 15) Montree Pakkratoke, Nguyen Ngoc Tu, Shinnosuke Hirata, Chisato Kanamori and Hisayuki Aoyama, "Micro Diagnostic by Micro Robot with Stiffness Indenter for BIO Materials," ROBIO 2011 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, Movenpick Resort and Spa Karon Beach, Phuket, Thai, Dec. 7-11, 2011. (with review, in printing)
- 16) 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)
- 17) 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)
- 18) 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)
- 19) Hiroshi Ohtake, Sho Machida, Kazuo Tanaka, Hua O. Wang, A Descriptor System Approach to Servo Control for Nonlinear Systems, 2012 IEEE World Congress on Computational Intelligence, pp.1597-1602, Brisbane, Australia, June, 2012.
- 20) Tadakuma, K.; Tadakuma, R.; Aigo, M.; Shimojo, M.; Higashimori, M.; Kaneko, M., "ldquoOmni-Paddlerdquo: Amphibious spherical rotary paddle mechanism, 2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2011), pp.5056-62, 2011
- 21) Wenjing, Zhao, Osaka, T., Aiguo, Ming, Shimojo, M., Development of a soft underwater robot mimicking cow-nosed ray, 2011 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO), pp. 1724-9, 2011

- 22) Xu, C., Ming, A., Shimojo, M., A unified framework for virtual passive bipedal gait generation, 2012 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), pp. 3141-3146, 2012
- 23) Aiguo, Ming, Luekiatphaisan, N., Shimojo, M., Development of flapping robots using piezoelectric fiber composites - Improvement of flapping mechanism inspired from insects with indirect flight muscle, 2012 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA), pp. 1880-5, 2012

国内学会講演論文：

- 1) 小松優祐、大阪拓真、橋本一慶、趙文静、明愛国、下条誠：胴体屈曲推進型水中ロボットのPTP 制御に関する研究，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2012，2A2-G10 (2012.05)。
- 2) 小倉和也、塚田夏美、明愛国、下条誠：3次元距離測定カメラを用いた立ち上がり動作支援ロボットのための姿勢推定法，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2012，2A2-K01 (2012.05)。
- 3) 野澤峻平、明愛国、下条誠：負荷感応無段変速機構を膝関節に搭載した脚機構の開発，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2012，2A2-V01 (2012.05)。
- 4) 橋本一慶、趙文静、明愛国、下条誠：圧電繊維複合材料を用いた生物模倣型ソフト水中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，2012，3C2-5 (2012.12)。
- 5) 望月秀行、坂下輔、小池卓二：外有毛細胞の能動的な働きを考慮した蝸牛振動解析，第23回バイオフロンティア講演会(2012.10.5-6)
- 6) 埜慎太郎、坂下輔、小池卓二、熊川孝三：人工内耳電極挿入による基底板振動挙動変化，第23回バイオフロンティア講演会(2012.10.5-6)
- 7) 田地良輔、田中絵里、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：モルモットのABR計測による補聴性能評価，第23回バイオフロンティア講演会(2012.10.5-6)
- 8) 埜慎太郎、小池卓二、坂下輔、熊川孝三：人工内耳電極挿入時における蝸牛の振動挙動シミュレーション，日本機械学会2012年度年次大会(2012.9.9-12)
- 9) 田地良輔、池尻恭介、小池卓二、神崎晶、羽藤直人：超磁歪素子と磁石振動子を用いたハイブリッド埋め込み型骨導補聴器の開発，日本機械学会2012年度年次大会(2012.9.9-12)
- 10) 佐野拓真、小池卓二：基底板形状が周波数弁別能に及ぼす影響，日本機械学会2012年度年次大会(2012.9.9-12)
- 11) 田地良輔、田中絵里、小池卓二、神崎晶、羽藤直人：超磁歪素子を利用した埋め込み型骨導補聴器の開発：実使用に近い状態における補聴性能評価，第24回バイオエンジニアリング講演会(2013.1.9-11)
- 12) 埜慎太郎、坂下輔、小池卓二、熊川孝三：人工内耳電極挿入時における基底板振動挙動解析，第24回バイオエンジニアリング講演会(2013.1.9-11)
- 13) 山中亮太、小池卓二：非接触型耳小骨可動性計測装置の加振能力評価，第24回バイオエンジニアリング講演会(2013.1.9-11)
- 14) 望月秀行、坂下輔、小池卓二：PVDFフィルムを用いた中耳手術における体表振動計測，第24回バイオエンジニアリング講演会(2013.1.9-11)
- 15) 和田 恵、石井 達哉、川崎 雄介、新宅 啓志、森本 純平、Mass Flow Linerに関する基礎研究，第40回

ガスタービン学会定期講演会 講演論文集 (2012)

- 16) 仲嶺 真文、中野 和司、入力制限を考慮した二輪車両ロボットの障害物回避軌道の生成に関する研究, 計測自動制御学会 第 13 回制御部門大会 (2013)
  - 17) 廣瀬 勝弘、中野 和司、大屋 英稔、田中 航介、山口 芳裕、宮内 洋、玉田 尚、岡井貴之、ウェーブレット変換を用いた状態遷移を含む心電図波形の識別, 電気学会産業計測制御研究会 (2013)
  - 18) 内門 知博、中野 和司、中村 泰之、小川 智久、地中レーダ信号におけるノイズ除去および埋設管反射波の検出, 電気学会産業計測制御研究会 (2013)
- 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.
- 19) 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.
  - 20) 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.
  - 21) 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.
  - 22) 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.
  - 23) 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
  - 24) 大竹博, 日當健士郎, 田中一男, サーボモータを用いた羽ばたき飛行ロボットの開発, ロボットメカトロニクス講演会 2012, 2A2-K07, 浜松, May 2012
  - 25) 河合大志, 倉持信行, 田中基康, 大竹博, 田中一男, 飛行ロボットの軌道追従制御系設計と飛行実験による検証, ロボットメカトロニクス講演会 2012, 2A2-K09, 浜松, May 2012
  - 26) 岩倉裕也, 小澤晃司, 田中基康, 大竹博, 田中一男, マグナス翼飛行移動体のモデル化と飛行実験による検証, ロボットメカトロニクス講演会 2012, 2A2-K10, 浜松, May 2012
  - 27) 遠藤隆宏, 田中基康, 大竹博, 田中一男, 多項式ファジィシステムのロバスト設計条件の導出, 第 28 回ファジィシステムシンポジウム, 名古屋, Sept. 2012
  - 28) Ken Yamaguchi, Takahiro Endou, Motoyasu Tanaka, Hiroshi Ohtake, Kazuo Tanaka, T-S Fuzzy Modeling and PDC Approach to Control of Nonlinear F16 Aircraft Model, 第 28 回ファジィシステムシンポジウム, 名古屋, Sept. 2012
  - 29) 倉持信行, 河合大志, 田中基康, 田中一男, 電動パラグライダーのモデルパラメータ同定と安定化制御器の設計, 第 55 回自動制御連合講演会, p682-p687, 1K105, 京都, November 2012

特許：  
なし

招待講演

- 1) 中野 和司、小林 允、内門 知博、地中レーダによる埋設管の位置標定の現状と課題, ウェーブレット理論と工学への応用プログラム, 大阪教育大学 (2012)

## 受賞

1) 中島 慧 (平成 24 年 3 月修了)、中野 和司、桜間 一徳、勾配を有する路面におけるア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 優秀論文発表賞、横浜国立大学 (2013)

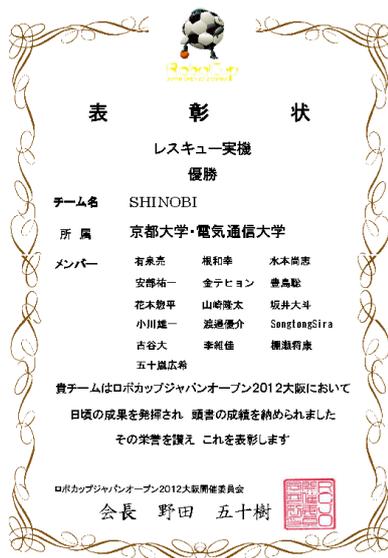
2) 2012 年 5 月 5 日「ロボカップジャパンオープン 2012」レスキュー実機リーグにて優勝

### ■「ロボカップ ジャパンオープン 2012 大阪大会」開催概要

期間 : 2012 年 5 月 3 日～5 日

会場 : 大阪工業大学 (大阪府 大阪市) 参加 : 12 リーグ合計 73 チーム、約 450 名 (ジュニアリーグ除く)

URL : <http://www.robocup-japanopen.org/>



3) IEEE Computational Intelligence Society Japan Chapter Young Researcher Award を受賞

【受賞論文】 A Sum of Squares Approach to Control System Design for Discrete Polynomial Fuzzy Systems.

【著者】 Toshiaki Seo, Hiroshi Ohtake and Kazuo Tanaka

【発表】 27th Fuzzy System Symposium, Fukui University, September 12-14, 2011

4) 計測自動制御学会 SI2012 優秀講演賞を受賞

【受賞論文】 義手のためのすべり覚センサの研究開発と実装

【著者】 羽石雅貴 (博士前期課程 2 年), 關達也, 鈴木陽介, 横井浩史, 下条誠

【発表】 SI2012, 福岡, December 18-20, 2012

5) 計測自動制御学会 SI2012 優秀講演賞を受賞

【受賞論文】 赤外線反射型センサアレイの発光位置制御による物体の質点モデル化

【著者】 国府田直人 (博士前期課程 2 年), 鈴木陽介, 明愛国, 石川正俊, 下条誠

【発表】 SI2012, 福岡, December 18-20, 2012

## 10. 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 2012

【場所】大阪工業大学

【日時】2012/5/3 - 5/5

【内容】サッカー小型ロボットリーグ出場/レスキュー実機リーグ出場

### 新聞報道・マスコミ

- ・2012年5月2日 十勝毎日新聞

「災害用飛行ロボットの開発実験」

知能機械工学専攻の田中 一男教授, 田中 基康助教,

博士前期課程の河合 大志君, および, 4年生の耿 昊天さん, 關 靖史君が北海道大樹町多目的航空公園(JAXA 大樹航空宇宙実験場)にて4月27日から5月7日まで行った飛行ロボットによる災害レスキューミッション実験に関する記事が掲載されました.

- ・2012年6月24日 BS-TBS

ニュース少年探偵団

「探偵団は見た

これは欲(ほ)しい…

科学(かがく)がつくる夢(ゆめ)の近未来(きんみらい)アイテムを体験(たいけん)」

で脳波で動かすラジコンヘリコプタの研究成果が放映されました.

### 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への対応

【日時】2012/4/16 - 5/2

【内容】群ロボット隊列制御, 日本文化の案内 等

- ・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による留学

【日時】2012/8/26 - 9/30

【内容】Parameter Estimation of Lithium Polymer Battery 等

- ・IEEE Fellow の Wang 教授, Su 教授の研究室見学

【日時】2012/9/6

【内容】研究室見学, 実験機のデモンストレーション 等

- ・高校生の電気通信大学見学

【日時】2012/10/18

【内容】埼玉県 私立 西武文理高校 (高校生 30 名 + 引率教員 2 名) の見学会, 研究室公開 等

## 10. まとめ

昨年度の報告書でも述べたが、日本の技術立国の国際的地位は下落の一途をたどっており、その傾向は昨年よりも強まっているように見受けられる。日本の技術者の技術開発力に対する自信の喪失が次世代を担う理工系学生の自信喪失へも繋がっていると感じられる。

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、技術者の育成である。本教育プログラムは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おり、今年度の活動を通して、本教育プログラムの目指す「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たと考えている。平成 25 年度以降も今年度までの活動を充実・拡大すべき積極的に活動を行っていく予定である。

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：MQQ7、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。