

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づくりエリート教育)

平成 22 年度報告書

平成 23 年 4 月

電気通信大学

大学院情報理工学部
知能機械工学専攻

目次

1. はじめに
2. MATLAB講義活用&セミナー
 2. 講義活用
 - 2.1 MATLAB2日間セミナー「MATLABによるロボットアームのシミュレーション」
(小林一行 氏/法政大学工学部システム制御工学科 教授)
 - 2.2 セミナー 「制御理論」 桜間助教授
3. 実践的課題プロジェクト
 - 3.1 キングモンクット工科大(タイ)との国際的実践課題の取り組みについて 青山教授
 - 3.2 センサフュージョンによるロボットの制御に関するプロジェクト実験 明准教授
 - 3.3 災害弱者への情報伝達プロジェクト 小池准教授
 - 3.4 ポストン大学(アメリカ)との真剣研究交流プロジェクト 田中教授・大竹助教授
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 BMI システムを用いた重度身体麻痺者の QOL の向上
 - 4.2 バクテリオロドプシンの光反応を利用した視覚センサの開発とロボットへの応用
 - 4.3 視覚情報を用いた自律飛行制御を目的とした様々な飛行体への PTAM システムの適用
 - 4.4 圧電繊維複合材料を用いた羽ばたきロボットの研究開発
 - 4.5 ダイナミックヒューマノイドロボットの開発
 - 4.6 センサフュージョンによるヒューマンアシストに関する研究
 - 4.7 Automatic surface investigation by micro robot with micro indenter
5. ショートトレーニング
 - 5.1 Global Leadership Training 青山教授, 史教授
 - 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 金森准教授
6. 特別講演会
 - 6.1 工学のための確率・統計的な考え方
(町田 元也氏 Tennessee Technological University/Associate Professor)
 - 6.2 モデルベース制御のためのシステム同定と適応制御技術
(楊 子江氏 茨城大学工学部/知能システム工学科 教授)
7. 活動の実績と成果
 - 7.1 Robocup2010(サッカー小型リーグ)
 - 7.2 Robocup2010(レスキューロボットリーグ)
 - 7.3 つくばチャレンジ 2010(Real World Robot Challenge)
 - 7.4 SIGGRAPH2010
 - 7.5 ロボコンプロデュースコンテスト
8. 大学院生による研究成果発表
9. 対外的情報発信
10. おわりに

1. はじめに

本報告書は「メカノインフォマティクス・カデット教育」の2010年度に実施したプログラムの取組み内容と成果などを報告するものである。「メカノインフォマティクス・カデット教育」プロジェクトは文部科学省による「魅力ある大学院教育」イニシアティブに2006年度から2年間採択され、その後、学内プロジェクトとして継続が認められている大学院生向け研究・教育プロジェクトである。本プロジェクト（プログラム）は、日本が世界最先端の研究開発ポテンシャルを有しているロボティクス・メカトロニクス分野（機械と電気電子の融合分野）に、さらに情報技術(IT)をカバーし、この分野で国際的に活躍できるような英語力を有する真のエリート研究者（産学官を通じた研究・教育機関の中核を担う研究者や大学教員）を育成することを理念として実施されている。本プログラムから、次世代の実践的ものづくり工学分野の創成およびそのブレークスルーをもたらす人材を輩出することを目指している。

本学では平成15年度に採択された文部科学省の特色ある大学教育支援プログラム(特色G P)『「楽力」によって拓く創造的ものづくり教育』の実績を踏まえて、学部教育からのシームレスな大学院教育を実践すべく「ものづくり」に関する教育研究活動を行っている。従来の大学院教育課程では各教員の指導の下、修士論文、博士論文のテーマに関する研究活動を重視してきた。しかし、最近の大学院生は、各人の研究テーマのみに固執する傾向にあり、幅広い知識を必要とする実践的課題に対して、自ら主体的に発想しそれを解決する能力が希薄な者が少なくない。そのため教育課程本来の効果が得られず、真の実践力を身につけた人材の育成が困難になりつつあった。本大学院教育プログラムの目的は、このような認識に基づき、インターデスプリナリな知識を集約し実践的な問題を設定・解決する能力をもち、世界で通用する人材「創造的ものづくりエリート（カデット）」を育成するために、学習意欲・効果を高めることを可能とし、研究活動の楽しさを実感できるような新しい教育課程パラダイムを構築することにある。

2010年度は2009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たことは勿論のこと、さらに、ボストン大学との海外インターンシップの本格交流の実施、学外の著名な先生を招いてのMATLAB2日間セミナーの企画の成功など、本年度はより一段階レベルアップした国際的実践教育活動を実現できた。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。

2011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

2. MATLAB 講義活用

2.1 大学院生向け MATLAB 2 日間セミナー

「MATLAB によるロボットアームのシミュレーション」

1. 概要

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

- ・十分な講義時間を確保
- ・プログラム実習形式の講義

を行うことを念頭に置き、MATLAB プログラミング講義の企画・立案を行った。その結果、夏休みを活用し、2 日間かけて MATLAB の講義を行うこととなり、MATLAB2 日間セミナーとしてリニューアルすることになった。さらに、プログラムの実習を取り入れるために、知能機械工学専攻の計算機室を活用することとなり、また、大学院生として相応しい高度でかつ実践的内容を実現するために、MATLAB プログラミングの第一人者である法政大学 小林一行教授を講師としてお招きした。講義内容は小林先生が執筆された「ロボットモデリング」(図 1.1) を題材とし、下記の要領で MATLAB セミナーを開催した。

主催：メカノインフォマティクス・カデット教育プログラム

講師：法政大学工学部システム制御工学科 教授 小林一行 氏

日時：9月6日(月) 13時から16時10分

9月7日(火) 13時から16時10分

の2日間

場所：電気通信大学 東4号館 615号室

参加人数：25名



図 1.1 ロボットモデリング (法政大学工学部システム制御工学科 教授 小林一行 著)

2. 講義内容

今年度の MATLAB2 日間セミナー「MATLAB によるロボットアームのシミュレーション」の講義内容を簡単に紹介する。2 日間のセミナーは以下に示す 4 つの部分で構成されていた。

- 1 MATLAB 特有な演算子と効果的なプログラミング
- 2 MATLAB による 3 次元回転行列と同次変換行列
- 3 MATLAB によるロボットアームシミュレーション
- 4 MATLAB によるロボットアーム演習

以下、この 4 つの講義内容について簡単に述べる。

1 MATLAB 特有な演算子と効果的なプログラミング

- 1.1 3 次元空間における図形表示
- 1.2 立方体の表示
- 1.3 Nan による表示テクニック

MATLAB 特有のコマンド・演算子 (例: シングルコーテーション、plot 関数、コロン演算子、配列演算子、バックスラッシュ演算子) を用いた行列の内部記憶順序の学習、連立方程式の解法、および、グラフの表示法による講義が行われた。また、行列を用いた if 文・for 文の条件判断、正方体の描写方法、行列、および、Nan を用いた立方体の plot3 関数による表示テクニックについても詳細な解説がなされた。

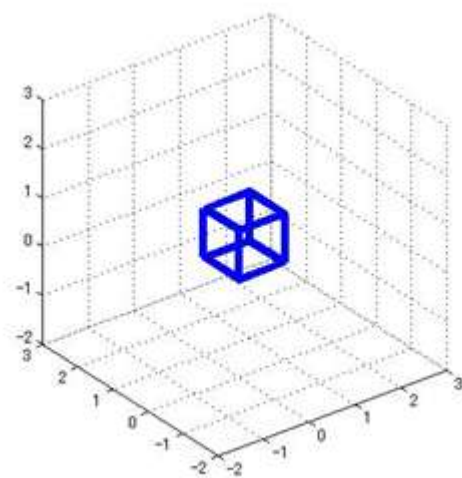


図 1.1 行列及び Nan による立方体の表示法

2 MATLAB による 3 次元回転行列と同次変換行列

- 2.1 座標変換と同次変換行列
- 2.2 3次元座標空間の回転
- 2.3 スライダーによる 3次元図形の回転
- 2.4 任意軸周りでの回転

2次元の図形に回転行列を適用することで、アニメーションを表示する方法が解説された。3次元の場合には、x軸を中心にした回転、y軸を中心にした回転、z軸を中心とした回転に分けて考えるように助言があった。また、3次元座標空間の回転についてのいくつかのMATLABプログラミング用演習問題が用意されていた。3次元空間での回転、移動に対して、行列指数関数を使って同次変換行列に入れることで、並進運動と回転運動の両方を1つの行列として記述することができるという剛体運動実装のための同次変換行列を学び、受講者にはロケットを模した図形を移動、回転表示させるプログラムを作成させることで、理解を深めるような工夫がなされていた。このプログラムの作成にあたっては、1章で学んだNanのテクニックを使うことが推奨され、このテクニックにより3次元空間での任意な移動、回転を実現可能であることが述べられた。このように、本講義では、学習した内容を演習で繰り返すという構成のため、受講者の理解を深めるのに非常に効果的であった。

さらに、unicontrol関数によるラジオボタンの実装についての講義が行われた。具体的には、unicontrol関数を使い、グラフのサイン曲線の色を変更するラジオボタンの例などの実習を行った。

3 MATLAB によるロボットアームシミュレーション

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

MATLABによるロボットアームシミュレーションでは、まず、シミュレーションを単純化するためにローカル座標系、グローバル座標系への変換が必要となること、そのため回転行列、同次変換行列を用いることが述べられた。これらの行列は乗算によるチェーンルールが適用できるので、システムティックに計算可能で、MATLABのプログラミングに適していることが強調されていた。

続いて、同次変換行列を用いて、直感的に理解しやすい簡単な2次元2軸シリアルリンクのシミュレーションのデモを行った。これを基に複雑な3次元ロボットアームシミュレーションへの拡張を行った。

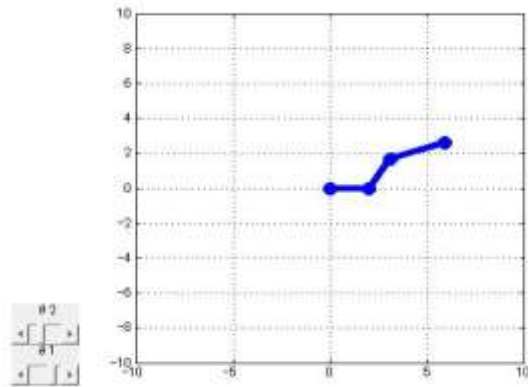


図 3.1 ロボットアーム

4 MATLAB によるロボットアーム演習 補足および演習

今回の講義内容の理解を深めることを目的に、本セミナーで配布された toolbox の demo プログラム(図 4.1, 図 4.2)に、 x, y, z 空間で動けるようなスライダを追加する演習に取り組んだ。最後に、本セミナーにおいて、重要な部分に関して、再度説明を加えたり、質疑応答の時間を設けてより理解を深める対応がなされていた。

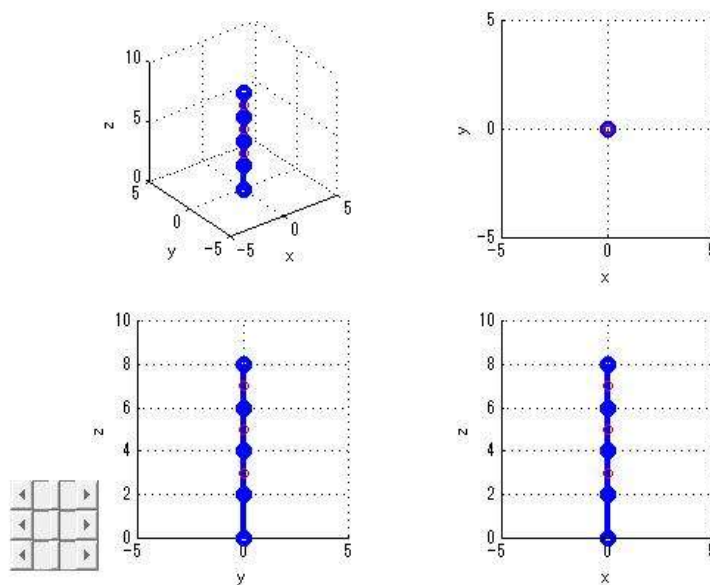
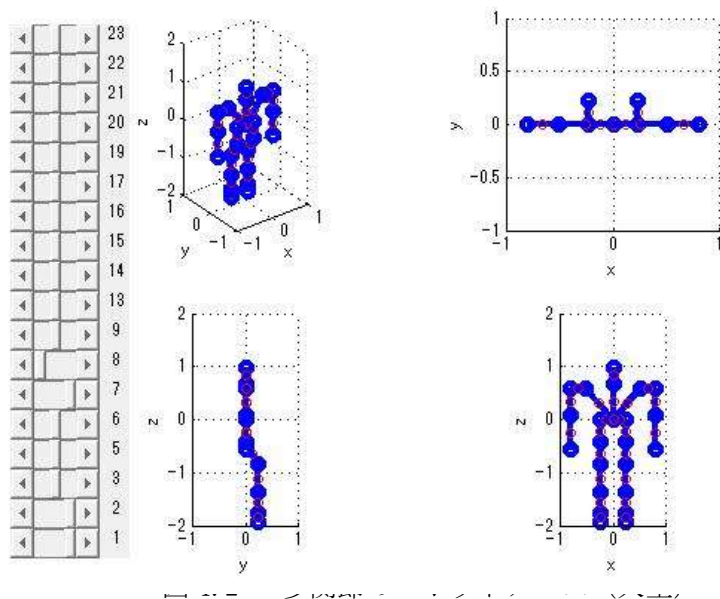


図 4.1 多関節のロボットアーム



2日間の講義風景について図 4.3—図 4.6 に示す。全体的な感想であるが、これらの図の講義風景からわかるように、小林先生が個人個人に丁寧に指導しているのが大変印象的であった。

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



図 4.3 講義風景



図 4.4 講義を受ける参加学生たち



図 4.5 熱心に講義される小林教授



図 4.6 演習に取り組む学生

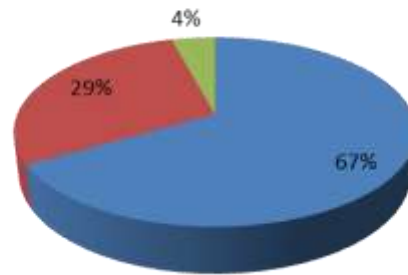
5. 参加者アンケートについて

参加学生 25 名のうち 24 名からアンケートを回収した。学生達の感想は概ね好評であり、今後もこのような MATLAB セミナーを続けるべきか？という問いかけにはほとんどの学生が「是非とも続けるべき」との回答であった。具体的なセミナーについての感想は以下に表す通りである。



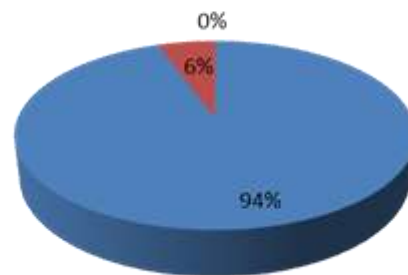
講義資料

■ 大変良い ■ 普通 ■ 大変良いとは思わない



全体の感想

■ 大変良い ■ 普通 ■ 大変良いとは思わない



最後に、大学院生向け MATLAB 2 日間セミナー「MATLAB によるロボットアームのシミュレーション」の講師を快諾いただき、また、素晴らしい内容の講義をしていただいた法政大学工学部システム制御工学科 教授 小林一行 氏にこの紙面をお借りして、厚く御礼申し上げます。

2.2 Matlab 実験セミナー

2.2.1 目的と意義

Matlab による制御器実装のセミナーとして、Acrobox と呼ばれる実験機を制御対象としたコントローラ的设计と実装についての講義を行った。この実験機の概観を Fig. 2.2-1 に示す。論とその実装方法を学ぶことが本講義の狙いである。



Fig. 2.2-1 Photo of Acrobox

2.2.2 実施内容

コントローラ設計のための Acrobox のモデル化に関する解説を行った。このシステムの運動方程式は Euler-Lagrange の方程式で記述することが可能である。このシステムは入力の数
が座標の数よりも少ないメカニカルシステムであり、劣駆動システムと呼ばれ、制御が困難
であることが知られている。ここでの制御目的は Acrobox をボックスのある角で静止させ
るためにシステムを安定化させることである。安定化コントローラについては例えば LQ
(Linear Quadratic) 制御法が代表的であるが、非線形性が強い
ため本実験機には適していないため非線形コントローラを用いた。この制御システムのシミュレーションを Simulink
によって行い、その後、実験機による検証を行った。実験機の構成は Fig. 2.2-2 のよう
である。Acrobox の本体にはモータと内蔵エンコーダ、およびジャイロセンサが取り付けられ
ており、モータは専用ドライバを通して制御されている。PC は設計用と実時間制御用の 2
台があり、それぞれを Host PC と Target PC と呼ぶことにする。Target PC で実装される
コントローラは Host PC 上の Simlink で設計され、xPC Target を用いて LAN を通して
Target PC に転送される。Target PC は IO ボードとして、AD/DA ボードと Counter ボー
ドを実装している。Target PC からは適当なトルクが計算され、DA ボードを通してアナロ

グ信号へと変換された後に、モータドライブに入力される。これによって、モータはその信号に比例したトルクで駆動する。モータによって Acrobox の円盤が回転し、その反動でボックスの姿勢に変化が起きる。モータの内蔵エンコーダから回転角度の信号が送られ、モータドライブを通して Target PC に送られる。その信号は PC 上で Counter ボードを通して円盤の回転角度となる。一方、ジャイロセンサはボックス角速度を検出し、AD ボードを通して PC 上にデジタル信号として角速度を Target PC に与える。これらの信号から、Target PC 上で、モータへ入力すべきトルクが計算され、その結果がモータドライブへ出力される。このような信号のやり取りからも、本システムがフィードバック機構になっていることがわかる。この際 Host PC で設計したトルクを計算するコントローラのブロック線図を Fig. 2.2-3 に示す。以上の実験機によって実験デモを行い、設計したコントローラの有効性を確認した。

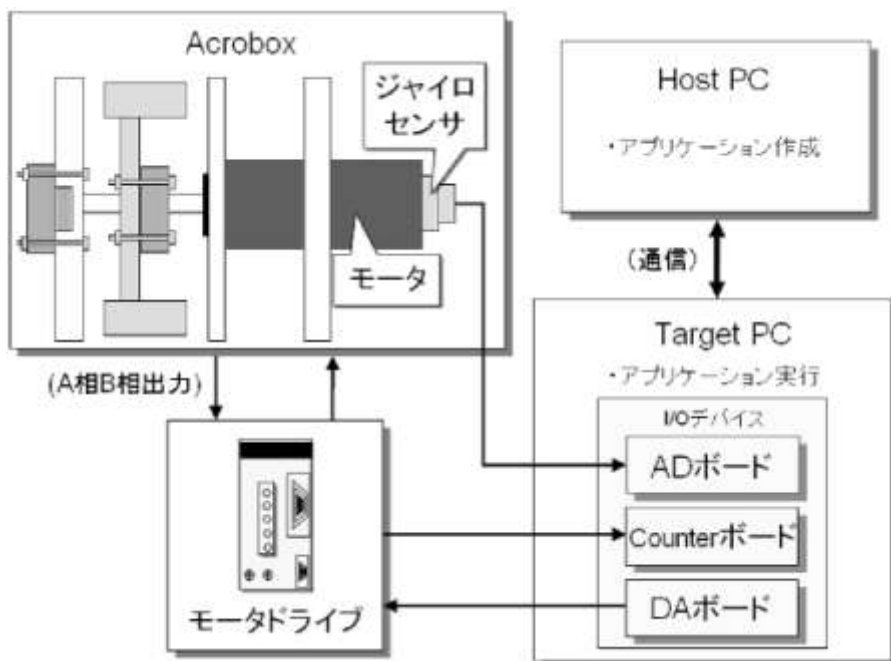


Fig. 2.2-2 Experimental setup

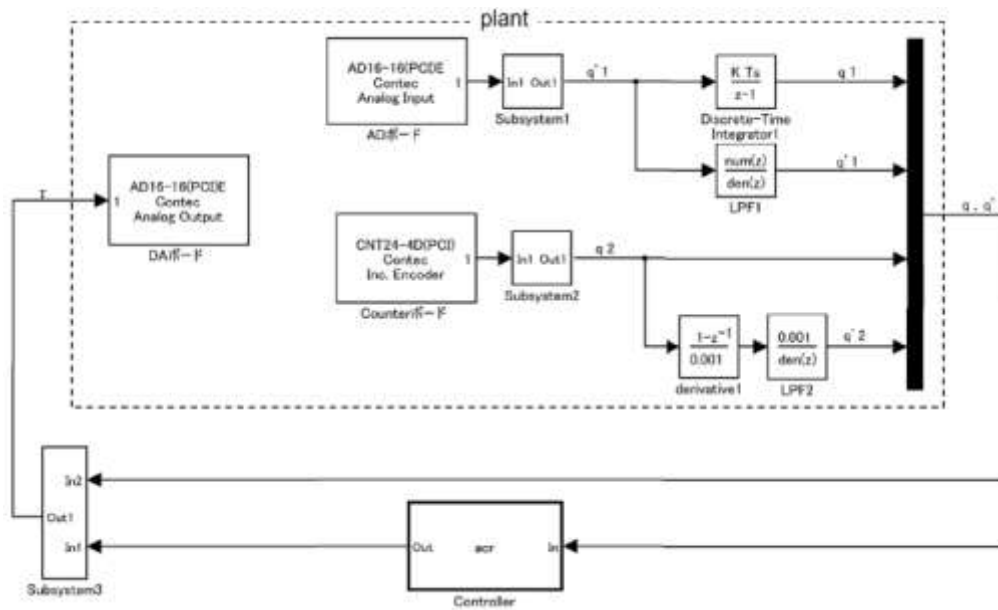


Fig 2.2-3 Block diagram designed in Host PC

2.2.3 効果および評価

これまで学習した制御理論および Matlab が実際に使われている様子を知る良い機会になった。また、制御システムの一例として実験機の構成を学習することができた。実験の様子を Fig. 2.2-4 に示す。学生の反応も良く、興味を引く実験デモができた。



Acrobox とは正方形の筐体（ボックス）とその中心を軸に回転する円盤、および円盤を回転させるモータ、および姿勢を計るジャイロセンサで構成される実験機である。モータから円盤にトルクを加え、その回転の反作用でボックスに力を加え運動させることになる。このモータの制御によってアルミ版の角で倒れないように実験機のバランスを取ることが、制御目的である。このようにバランスを取ることが人間がモータを操作しても簡単にできることで

はなく、コンピュータによるモータの絶妙なコントロールが必要である。一般的な制御系設計の手順では、制御対象のモデル化、コントローラ的设计、シミュレーション、実験機への実装を経て、実際に実験を行う。本講義ではこのうち、主にシミュレーションと実装を Matlab を用いて行う方法についての解説を行う。シミュレーションには Simulink という視覚的に制御系設計を行うツールボックスを、実装には xPC Target という Simlink で設計したコントローラをそのままコンピュータに実装して実験を行うことのできるツールボックスを用いる。以上の内容で、Matlab を用いて制御理

Fig. 2.2-4 Demonstration of the experiment

2.2.4 問題点と今後の課題・改善項目

実際に学生がコントローラを設計しそれを実装して実験することができれば、さらに学習効果のある実習となるであろう。これには、実験機の数と安全性の問題を解決しなければならない。

3. 実践的課題プロジェクト

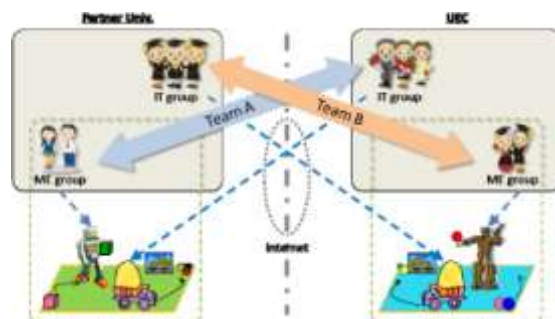
3.1 キングモンクット工科大(タイ)との国際的実践課題の取り組みについて

本課題では本プログラムに参加する大学院生を中心に、キングモンクット工科大のグループとインターネットを介して遠隔制御するロボメカシステムを共同開発し、実際に双方向でそれらのメカトロシステムを遠隔制御させ、問題点の抽出と解決および自己評価と改善を検討させ、将来メカトロニクス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(2010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。また2010年8月にキングモンクット工科大にて同大の創立50周年記念式典が開催され、本学からは福田理事(国際交流センター長)らも出席し、さらに8月24日の記念式典および研究成果公開ではマハ・チャクリー・シリントーン王女が臨席され、本プログラムの紹介と進捗状況などがデモされた。



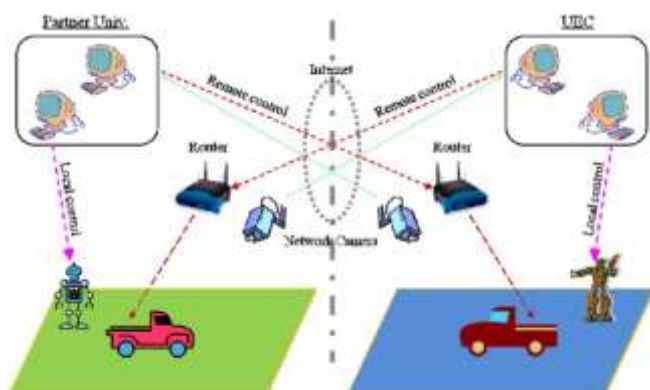
3.2 本年度の取り組み概要

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



ンなどを英語で検討しながら進める。

図3には本国際共同メカトロ開発システムのブロック線図を示す。それぞれVPNサーバーを設置し、相手側からのインターネット回線を仮想プライベートとすることも、またグローバルIPによる直接制御も可能になっている。回線速度とセキュリティーが相反する特性であるため、それ



ぞれのチームのアイデアが重要になるが、インターネットに精通している電通大院生からの指導的なアイデアが中心となっている。



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。

3.3 本年度の取り組み成果

本年度、電通大とキングモンクット工科大で導入・開発された各種機器を示す。図5は2足歩行ロボット KHR-3 であり、日本で実施されているロボコンに多用されているものであり、無線コントロールユニットが取り付けられており、ローカル遠隔で制御される。また図6は ER-1 であ

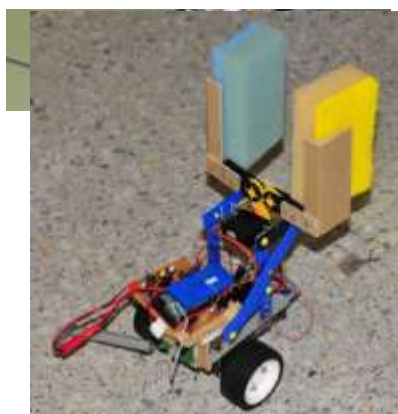
り、移動シャーシとノート PC から構成され、インターネットプロトコルで遠隔操作させることが可能である。それぞれカメラが取り付けられており、作業内容のモニタが可能になっており、この画像情報をインターネットを介して海外の相手大学に配信し、遠隔制御を可能にしている。



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

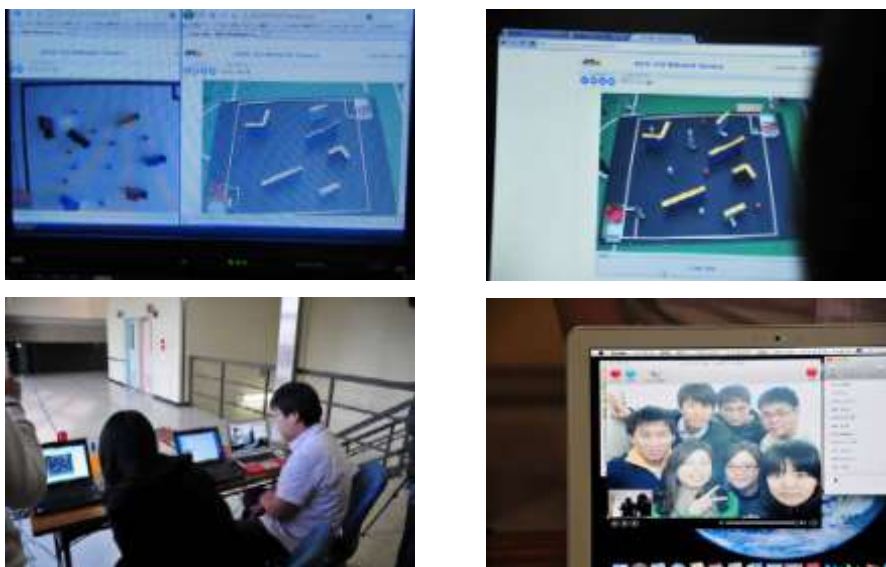


さらに図 8 に示すような VPN を利用した仮想プライベートネットワークにより、オリジナルの作



業ロボットを製作し、ターゲットを把持し、移動させる作業をインターネットで遠隔制御できるようになっている。これはすべて自作によるものであり、それぞれの大学のグループのオリジナルな機構アイデアを相手側のプログラム開発グループに理解させ、ソフト開発をさせる必要があり、電通大側の院生の指導力が最も必要になる部分である。

図9に実際に作業フィールドに障害物を設置し、この情報をカメラで相手側に送り、移動計画や作業手順を検討し、動作させている様子を示す。ここでは達成時間やペナルティーも考慮した得点・減点方法も大学間で検討されている。



このような国際的なユニークな取り組みは相手大学でも注目されており、キングモンクット工科大にて同大の創立50周年記念式典が2010年8月に開催され、本学からは福田理事(国際交流センター長)らも出席し、図10に示すように記念式典および研究成果公開ではマハ・チャクリー・シリントーン王女が臨席され、本プログラムの紹介と進捗状況などが派遣された院生らにより紹介・デモされた。



3.4 まとめ

本年度は無線ユニットを付加した2足歩行ロボット KHR-3 と遠隔制御ビークル ER-1 およびオリジナルの VPN 経由のインターネット制御ロボットを組み合わせ、より複雑で高度な国際的ロボメカ共同開発を実施し、知的ロボメカに関する経験や知識を駆使し、国際的なチームを指導する力を参加した院生に授けることができたと評価できる。今後は環境問題などを取り込み、国際社会に有益な課題を与える予定である。

3.2 センサフュージョンによるロボットの制御に関するプロジェクト実験

3.2.1 目的

1) 移動マニピュレータと各種センサ（ステレオカメラ、レーザレンジセンサ、RFID など）からなる移動マニピュレータシステムを構築して、ホームサービスなどにおける作業を実現するために、センサフュージョンと移動マニピュレーションの制御を融合した方法とアルゴリズムの提案と実装を行う。

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

3.2.2 対応する大学院講義名

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

3.2.3 プロジェクトの詳細

1) 移動マニピュレータシステム

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

本システムは、図1のように、移動マニピュレータ、スキャン式レーザレンジセンサ（以降レーザスキャナ）、カメラ、遠距離用のRFID と、3次元カメラおよび触覚センサを備えたアシストアームからなる。



図1 システムの構成

ホームサービスにおいて、人間を含み、椅子、食器などの場所固定でないものと壁などの固定しているものからなる環境を認識する必要がある。移動マニピュレータの移動及びマニピュレーションにこれらの情報を把握する必要があるし、また人間との密なインターアクションもサービス作業をスムーズに行うには不可欠である。これについてのアプローチとして、従来のステレオカメラやレーザスキャナによる認識方法に、人間、ロボット、そして家具などのすべてに RFID を導入して、各 RFID に付帯するデータベースも活用して、これらの認識を素早く、効率よく行う。

大学院講義「ロボット工学特論」「ロボット工学基礎」「制御システム論」の1回の講義時間を用いて、RFID と 3次元カメラなどのセンサによる認識実験、触覚センサによるアシストアーム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。

ヒューマノイドの仕様

自由度数	13 (脚部 6×2, 腰 1)
体重	2.5kg
身長	33cm(頭頂部)
バッテリー	マイコン動作用リチウムポリマー電池 (11.1V-1100mAh) RX 動作用 AC アダプタ (16.3V-6.4A (3.2A 並列仕様))
CPU	16bit CISC-CPU H8-3052F (内部周波数 25MHz)
OS	なし

外部通信 RS-232C 調歩同期シリアル通信
必要機材 Windows がインストールされたパソコン (専用ソフト)
シリアル通信ポート

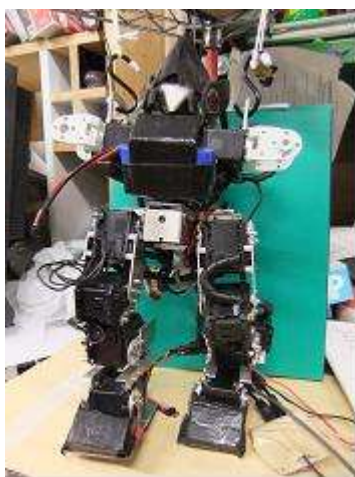


図 3 実験用ヒューマノイド

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



図 4 実験用インタフェース

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。

さらに実験として膝関節、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ゲインをロボットの動きを考慮して決定、導入させた。そして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。



図5 ヒューマノイドを用いた実験の様子

3.2.5 まとめ

移動マニピュレータと各種センサ（カメラ、レーザレンジセンサ、RFID、触覚センサなど）からなる移動マニピュレータシステムにより、ホームサービスなどにおけるアプリケーションに関する実験を行った。また、小型ヒューマノイドを用いて加速度センサやジャイロセンサによるフィードバック制御実験を行った。実践プロジェクトを講義に導入することによって、学生の勉強に対するモチベーションと学習効果を高めることができた。今後、より実験内容の充実や改善を行っていく。

3.3 災害弱者への情報伝達プロジェクト

3.3.1 目的、目標および本プロジェクトの位置づけ

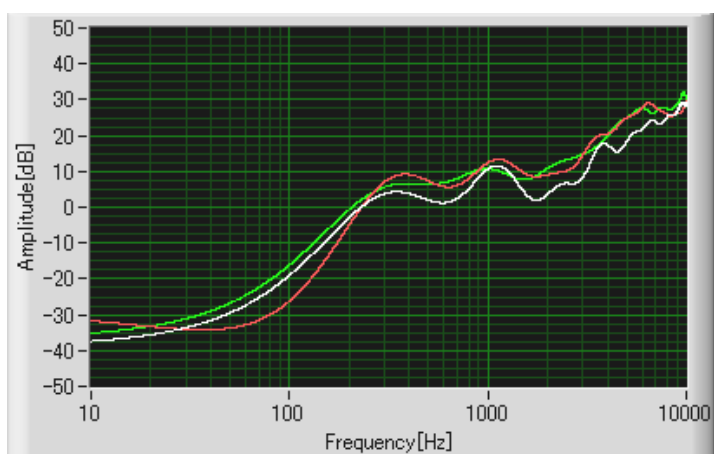
生体情報計測手法を習得するとともに、生体における情報伝達の仕組みを学習し、感覚器の機能が一部欠損している場合でも、効率的に情報伝達を行える手段を検討することで、災害弱者への情報伝達手法を開発するとともに、マンーマシンシステム構築の基礎を確立することを目的とする。具体的には「感覚器機能低下の克服」、「聴覚障害、視覚障害などの災害弱者を対象とした情報伝達手法の確立」、「感覚や生体情報の定量的評価」についての実験・検討を行い、それらを通して、ヒトを対象とした実験の作法の理解、実験結果における個人差の影響の理解、ノイズに埋没した微弱信号の取得・解析方法の習得、およびコンピュータ制御による迅速な繰り返し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

本年度は、高騒音下においてコミュニケーションを行うことのデバイスの開発及び評価を行った。PVDF (PolyVinylidene DiFluoride) フィルムを皮膚を伝わる音声取得用のセンサとして用い、高騒音下において音声の取得を試みた。

3.3.2 試作した PVDF デバイス

昨年度の研究において、様々な素材を PVDF に貼り付けたり、PVDF と PVDF を額に固定するためのゴムバンドの間に挟んだりすることにより、計測できる音声や侵入してくる騒音の周波数成分を変化させられることがわかっている。

そこで、PVDF (SDT1-028K、東京センサ) に貼り付ける素材 (以下: 貼り付け材) と PVDF と額の間に挟む素材 (以下: 中間材) について、広範な周波数の音声を取得でき、かつ侵入する騒音が少ない組み合わせを検討し、貼り付け材にエチレンビニルアセテート (EVA)、中間材にセルスポンジを使用したデバイス (以下: PVDF デバイス) を作成した (Fig. 1)。また、PVDF デバイスには、入力電荷を電圧信号に変換するために、増幅度が 100 倍の自作したチャージアンプを接続している。



3.3.3 逆伝達関数による音声の加工

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

<実験方法>

PVDF デバイスと気導マイク（LA-5560、小野測器）を用いて、雑誌の記事をそれぞれ普段通り、できるだけ高い声、できるだけ低い声の3種類の話し方で朗読したときの音声を、防音室（UVA13-18/05L、カワイ音響システム）内の静寂環境で取得した。PVDF デバイスと気導マイクは、オーディオインターフェース（Fireface 400、Synthax Japan）を介し防音室外の PC へ接続しており、入出力の制御・データの解析にはオーディオ解析用ソフト Adobe Audition (ver. 3.0、Adobe Systems) を使用した。被験者は被験者 A、被験者 B、被験者 C の三名で行った。

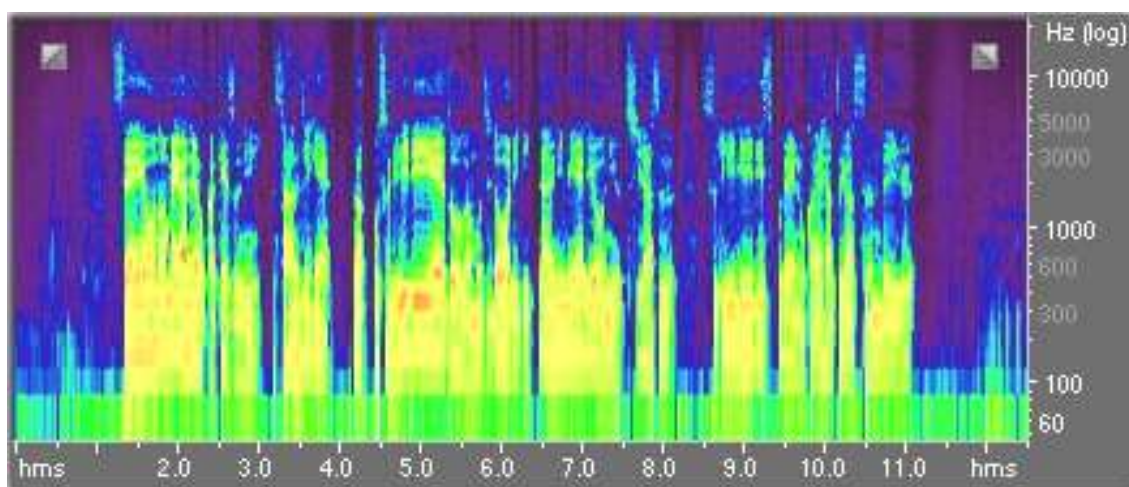
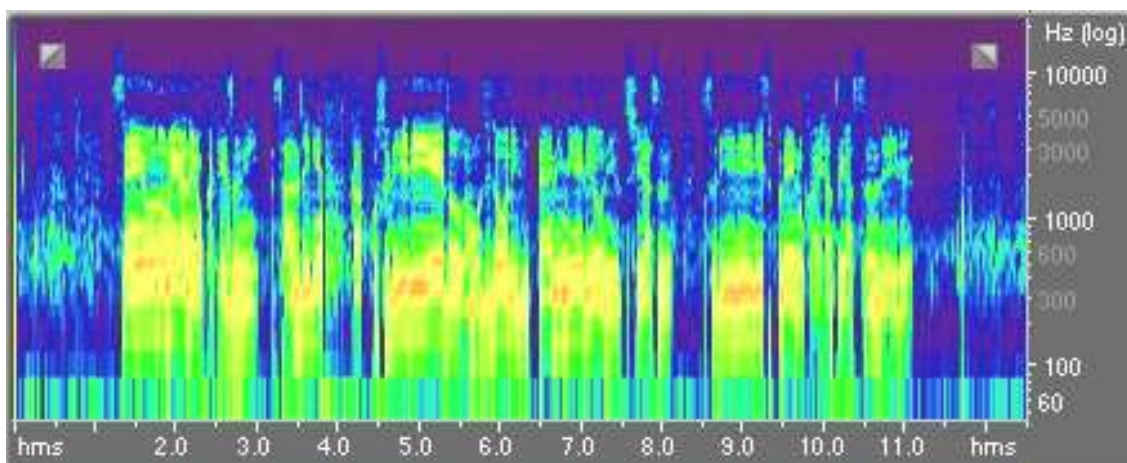
次に、プログラムソフト LabVIEW (ver. 8.6、NATIONAL INSTRUMENT) を用いて作成したプログラムを使用し求めた逆伝達関数を参考に、PVDF デバイスで取得したそれぞれの音声を、Adobe Audition の Graphic Equalizer 機能を使用して加工した。また、このように、求めた逆伝達関数を参考に Graphic Equalizer 機能で作成したフィルターのことを、本稿では ITF (Inverse Transfer Function) フィルターと呼ぶことにする。

<実験結果・考察>

それぞれの被験者において、朗読する内容と話し方の違いにより、求めた逆伝達関数（補正量）に差異が生じるかどうかを検討した。最も補正量の差が大きかった、被験者 B が話し方を変えたときの音声から求めた逆伝達関数をまとめた結果を Fig. 2 に示す。Fig. 2 より、朗読する内容や話し方による逆伝達関数の補正量の差は、最大で 10 dB であることがわかる。全体の補正量の幅はおよそ 60 dB であるので、一部で 10 dB 程度の補正量の差が生じるとしても、常に同一の逆伝達関数を元に音声を加工することにより、加工前よりも大幅に音質を向上させることができると考えられる。

被験者 A の、静寂環境下で普段どおりに雑誌の記事を朗読したときの、加工した音声と気導マイクで取得した音声のカラーマップを Fig. 3 に示す。Fig. 3 より、加工した音声は、200 Hz 以下の成分が気導音に比べて約 10 dB 少ない区間があることがわかる。この理由は、逆伝達関数を求める際の音声に、脈動や首を振るなどの筋肉の動きによる、生体信号が混入しているからであると考えられる。逆伝達関数の算出に使用する周波数スペクトルには、声の信号の他に平均化された生体信号の成分が含まれている。逆伝達関数は、気導マイクと PVDF デバイスで取得した音声のスペクトル差より求めるので、生体信号の入っている周波数では、実際よりも補正量が小さくなる。

以上より、ITF フィルターを使用した音声をより気導音に近づけるために、以下の実験では 80~200 Hz 以下の成分を一律に 10 dB 増幅するフィルターを使用する。人の発する声は低い人でも約 80 Hz 以上とされているので、80 Hz 以下の信号は増幅しないことで生体信号の増幅を抑える。



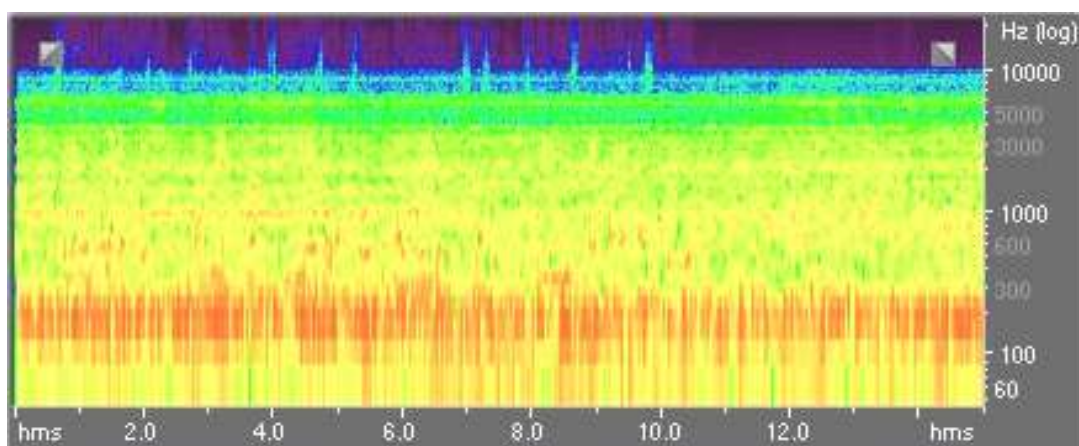
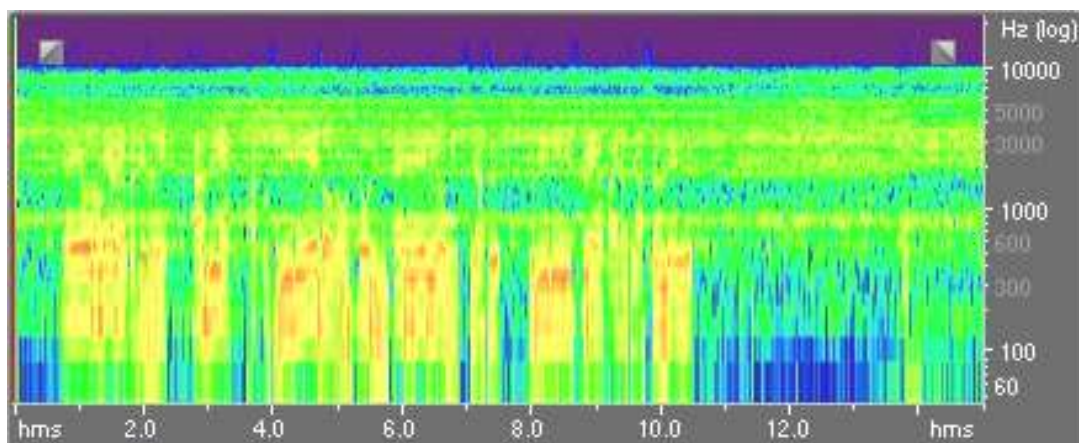
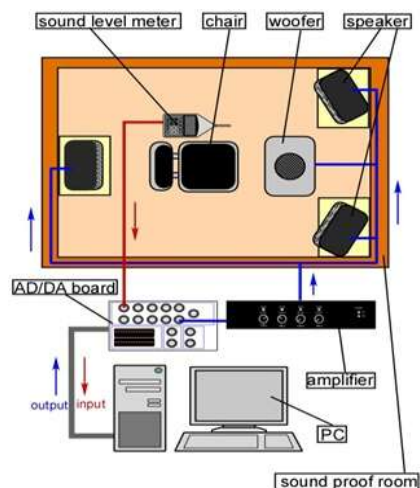
3.3.4 高騒音下における音声情報取得実験

防音室内に騒音環境を再現し、音声の取得実験を行った。

<実験方法>

3 項と同様のシステムを用いて、雑誌の記事を朗読したときの音声を、PVDF デバイスと気導マイクを用いて取得した。実験は、静寂環境と騒音環境で行った。騒音環境の再現には

Fig. 4 に示すシステムを用いた。防音室内に騒音出力用のスピーカー (PS-S202B、Victor) 三台とウーファー (SP-DW103、Victor) を設置し、パワーアンプ (PS-A254B、Victor) およびオーディオインターフェースを介し防音室外の PC へ接続している。騒音として、人ごみの騒音 (70 dBLEq)、電車内の騒音 (86 dBLEq)、飛行場の騒音 (85 dBLEq)、工事現場の騒音 (85 dBLEq) の 4 種類を用いた。



次に、静寂環境で PVDF デバイスと気導マイクで取得した音声を元に作成した ITF フィルターと 80~200Hz を 10 dB 増幅させるフィルターを用いて、PVDF デバイスで計測した全ての音声を加工した。

<実験結果・考察>

飛行場の騒音下で、PVDF デバイスを用いて取得した音声を加工したものと、気導マイクで取得した音声のカラーマップを Fig. 5 に示す。実際に加工した音声を聞いてみると、他の騒音環境下の音声に比べて高い周波数の騒音が大きく目立っており、最も聞き取りづらかった。ヒトの声の認識に必要な周波数は 5000 Hz までと言われているので、5000 Hz 以上の成分を減衰させるフィルターをかけることにより、音質をできるだけ落とさずに騒音を減らすことができる。

3.3.5 結言

PVDF デバイスの改良、ITF フィルターおよび 80~200 Hz を増幅させるフィルターを用いることにより、音質を大幅に向上させることができた。

今後は、5000 Hz 以上の成分を減衰させるフィルターの他に、さらに騒音の増幅を抑制する仕組みの開発、また、音声の認識に必要な周波数成分に混入する、生体信号の除去方法の検討が必要である。

3.3.6 本研究課題と講義との関連

本プロジェクトは、大学院の授業科目である生体計測工学特論と関連しており、受講学生が、本プロジェクトで使用する実験設備の一部を用い、実際にヒトを対象とした実験を体験することで、生体計測工学分野の実験の理解を促す試みをしている。当講義には、普段生体を取り扱わない学生も受講しており、ヒトを対象とした実験を通して、生体を対象とした実験特有の特異性や注意点などを理解させることが出来た。今後も、座学だけではなく、実際の実験を多く講義に取り入れ、生体信号計測について、学生が深い理解を得ることが出来るよう努力、工夫していきたい。

3. 4 ポストン大学（アメリカ）との真剣研究交流プロジェクト

3. 4. 1 はじめに

カデット教育の目的は、研究者(エンジニア)としてのリーダーシップを発揮できる学生を育成することにある。本学の学生がアメリカの大学で、アメリカの大学院生と真剣に研究交流できる体験は、非常に貴重なものとなる。また、アメリカの大学との真剣交流はカデット教育にとっても非常に有意義なものとなる。交流相手校は、ポストン大学機械工学科である。先方の複数の研究室は、以下のように錚々たるメンバーが所属する。

- ・ John Baillieul、 IEEE Fellow、 IEEE CSS 元 President、 IEEE 元 Vice-President
IEEE Control Systems Society' s 2011 Hendrik W. Bode Lecture Prize 受賞
- ・ David A. Castanon、 IEEE Fellow、 IEEE CSS 前 president
- ・ Hua O. Wang、 IEEE Senior Member、 かの O. Hugo Schuck Best Paper Award 受賞
昨年度のプレ研究交流に引き続き、本年度は非線形制御理論と Brain Machine Interface (BMI) に関する研究をメインに最新研究の動向調査およびディスカッションを行った。また、ポストン大学機械系の講義聴講、研究室の見学、ポストン大学学生との交流を行った。

3. 4. 2 交流日程

田中一男（知能機械工学専攻、教授）、大竹博（知能機械工学専攻、助教）、妹尾俊明（知能機械工学専攻博士前期課程1年）、田中拓哉（知能機械工学科4年、次年度大学院進学）、鄭穎仁（非常勤研究員）の5人で、3月2日から3月7日に以下の日程でポストン大学機械工学科を訪問した。

3月2日（水）：田中拓哉くんの研究紹介およびBMI研究に関するディスカッション
ポストン大学 Department of Cognitive and Neural Systems の見学

3月3日（木）：妹尾俊明くんの研究紹介および非線形制御に関するディスカッション
「Nonlinear Systems」の講義を受講。講義内で妹尾くんと鄭くんの非線形制御に関する研究を紹介

鄭くんの研究紹介および非線形制御に関するディスカッション

3月4日（金）：ポストン大学機械工学科研究室見学
機械工学科セミナー「Multi-robot systems for monitoring and controlling large scale environments」(Mac Schwager 博士) を聴講

青木治雄くんの研究紹介、ポストン大学 劉くんの研究紹介
BMI研究に関するディスカッション

3月5日（土）：マサチューセッツ工科大学およびハーバード大学の見学

3月7日（月）：大竹博助教による飛行ロボットに関する講演
フリーディスカッション

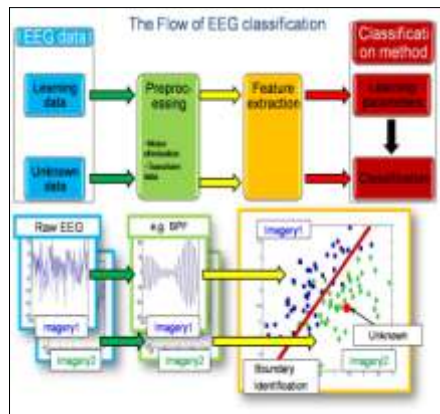
3. 4. 3 参加学生の報告（田中拓哉）

ボストン大学訪問記

知能機械工学科 田中 拓哉

自身の研究について：

まず私の研究について説明する。私はBrain-Machine Interface (BMI)の研究を行っている。具体的には、あるカテゴリー内で任意のイメージを行っている際の脳波からどのイメージを行っているかの推定、また、運動を行っているイメージをしている際の脳波からどのような運動をイメージしているかを推定するという研究を行っている。

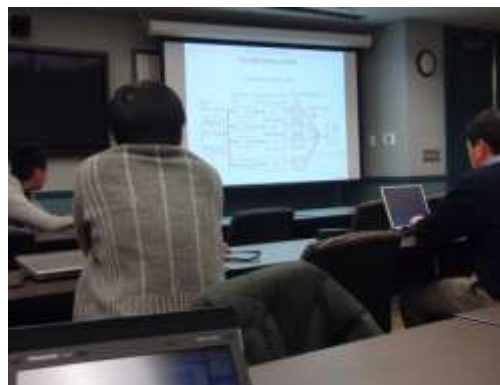
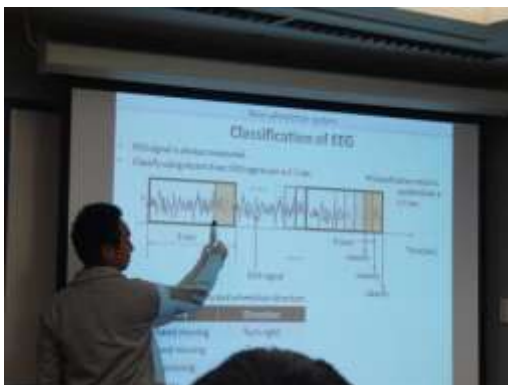


ボストン大学での研究紹介について：

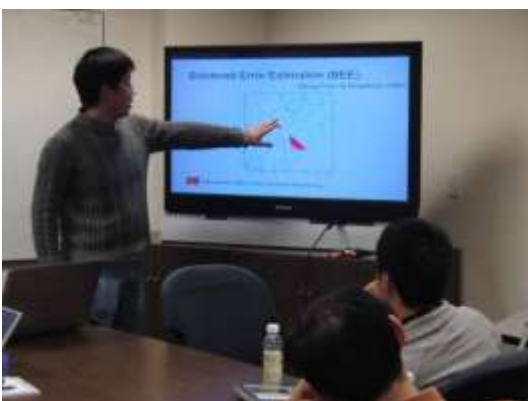
3月2日に私が田中研究室のBMIに関するこれまでの研究について紹介を行った。この研究紹介では、田中研究室で行われている研究の3つの方向性について述べ、また、新たに開発した車いす用BMIシステムの説明とそれを用いた実験について説明を行った。ボストン大学のWang先生より、新たに開発した車いす用BMIシステムに関して、センサ情報を用いた車いすの制御において、廊下をセンサ情報のみで走行したときの挙動についての質問があった。また、Wang先生と田中先生にプレゼンテーションの方法、スライドの作り方についてアドバイスを頂いた。



また、3月4日に電気通信大学博士前期課程2年の青木治雄さんが、新たに開発した車いす用 BMI システムの説明を行った。ボストン大学の大学院生の Liu さんより、車いすの進行方向ポテンシャルの生成について質問があり、青木さんは混合ガウス分布を用いている、という回答を行っていた。また、Liu さんより、脳波識別の結果からどのように被験者の望む任意の進行方向を決定しているかという質問があった。これに対して青木さんは、脳波識別の結果と時間遅れ要素を組み合わせていると回答した。



次に Liu さんの研究についての紹介が行われた。彼の研究は、脳波の識別方法に関して、特徴抽出とイメージ選択に関してのものであり、特徴抽出に関してはエントロピーが、イメージ選択に関しては Bolstered Error Estimation (BEE) を用いて識別を行っているというものであった。



ボストン大学での討論について：

今回のボストン大学訪問中に何度かボストン大学の大学院2年のLiuさんとBMIの研究について討論を行った。最初に3月3日に行った討論について述べる。Liuさんより、なぜ学習用データを測定データ前半の30個としたのかと質問され、以前の手法と比較するためだと回答した。また、田中研では脳波データや特徴量のブレインイメージ（脳の活動情報等を可視化したもの）を行っているかという質問があった。これに対して現在の学生で行っている人はいないと回答した。この時EEGLABという機関がブレインイメージを描写するソフト

を公開していると紹介して頂いた。こちらから脳波解析について、脳波は時間によって分布が変化する共変量シフトという現象があるということを紹介し、それに関する論文を提供した。また、何故特徴量としてエントロピーを用いたのかという私の質問に対し、エントロピーを特徴量とした方が良いという別の研究があるからだという回答を得た。

次に3月4日に行った討論について述べる。この日は電気通信大学博士前期課程2年の青木治雄さんも参加して、今後の研究についての討論を行った。また、Liuさんの脳波識別方法を我々のBMIシステムに実装する場合のプログラミング方法についての議論も行った。結論として、識別の部分に関して共通のフォーマットを使用するという事になった。



3. 4. 4 参加学生の報告 (妹尾俊明)

ポストン報告書

知能機械工学専攻 妹尾俊明

研究概要：

近年の制御対象の複雑化・多様化に伴い、非線形システムに対する非線形制御手法の需要が高まっており、より保守性の緩い非線形制御手法の確立が重要である。非線形制御手法の一つであるファジィモデルに基づく制御は、他の非線形制御手法に比べ、「簡単に・自然に・効果的に」非線形制御を実現できることが特徴である。近年、ファジィモデルに基づく制御をより一般化した Sum of Squares (SOS) に基づく多項式ファジィ制御系設計手法が提案されている。SOS とは多項式の平方の和を意味し、多項式が SOS であるときその多項式は非負となる。SOS に基づく多項式ファジィ制御系設計手法は、この SOS の特徴とリアプノフ安定論を組み合わせることによって制御系を設計する手法である。先行研究によって、連続系システム、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必ずしも全ての状態量が観測できるとは限らないため、状態量を推測するオブザーバが必要となる場合がある。そのような場合、上記のような非線形制御手法に対応する、より保守性の緩いオブザーバが求められる。

私は、従来手法より保守性の緩いオブザーバ設計条件の導出に関する研究、従来の二次形式リアプノフ関数と異なったアプローチによって、より保守性の緩い制御系設計条件の導出に関する研究、さらに、離散系に対して、従来手法より保守性の緩い安定化条件および最適性を考慮した制御系設計条件の導出に関する研究を行っている。

発表内容：

ボストン大学において、私の研究テーマである「Sum of Squares に基づく多項式ファジィ制御系設計」について、以下の内容を発表した。

- ・ SOS はどのようなものかと、SOS を用いてどのように安定化条件を表現するかについて発表した。

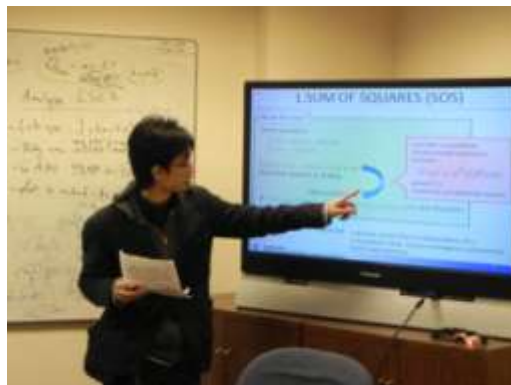
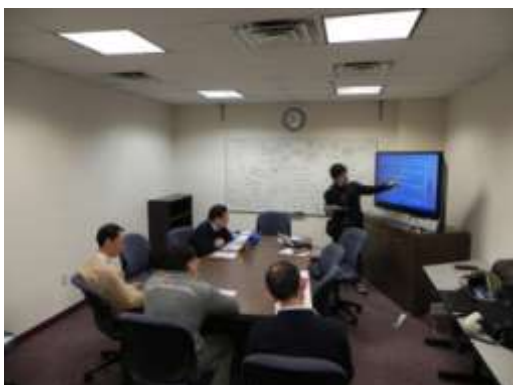
- ・ 3 種類の多項式ファジィモデル (Case1~3) に対する多項式ファジィオブザーバ設計条件について説明を行った。また、これらの条件を用いて安定化させた設計例題の制御シミュレーション結果のグラフにより、その有効性を示した。

- ・ 新たに導出した離散系における従来手法よりも保守性の緩い安定化条件と、最適性を考慮した制御系設計条件を示した。

- ・ SOS 制約条件を扱うことのできるツール、SOSOPT について説明を行った。SOSOPT には 4 つのファンクション (SOS test、SOS feasibility、SOS optimization、Generalized SOS optimization) があることと、SOS feasibility のプログラムの書き方の例とその解説を行った。また、SOSTOOLS とプログラムの簡単さや可解領域の得やすさを比較することで、SOSOPT の有効性を示した。

発表風景と質疑応答：

発表は 2 度行った。ボストン大学の Wang 先生に対する発表と、Nonlinear Systems class の学生に対する発表である。まず、Wang 先生にプレゼンテーションを行った。



Case1~3 の設計条件のそれぞれの違いと、何処が良いのかについて質問を受け、以下のように回答した。Case1 では分離定理が成り立つので、フィードバックゲイン F とオブザーバゲイン L を別々に設計することが出来る。Case2 ではシステム行列 A を変形することにより分

分離定理が成り立ち、フィードバックゲインFとオブザーバゲインLを別々に設計することが出来る。Case3では分離定理が成り立たないので、まずフィードバックゲインFを決定し、それを既知としてオブザーバゲインLを設計する。Case3が最も広いクラスに対応する多項式ファジィオブザーバ及び多項式ファジィ制御器の設計条件である。

Wang先生とのディスカッションで学んだことは、研究内容を説明する上で、概要や結果を説明するだけでなく、その研究の良さを理解してもらえそうなプレゼンテーションが求められるということである。また、SOSOPTの作者について質問を受けた。作者はミネソタ大学のPete Seilerである。ツールについて誰が作ったかはプレゼンの聞き手にとって重要であるということを知った。

次に、Nonlinear Systems classの学生に対する発表を行った。

Wang先生へのプレゼンテーションの際の指摘を踏まえ、3つのクラスの違いとそれに対する手法の違いについての説明や、SOSOPTの作者についての説明も盛り込んだ。また、離散系における設計条件と、SOSOPTとSOSTOOLSの比較については、時間の都合上省略した。



MEセミナーに参加：

ボストン大学機械工学科主催のセミナーに参加した。テーマは群ロボットの配置の最適化についてであった。自然界にロボットを放って生物と同じように情報収集や集団形成、淘汰をさせることが目標であった。Sensor cost、Mixing function、Potential field cost function、Inter agent functionから重み関数を作成し、一般化コスト関数として活用する。Mixing functionは、2台のロボットのセンシング領域の重なりが最適となる配置を計算するために活用されていた。1つの配置に収束させるために、非線形制御手法であるラサールの定理とリアプノフの安定論を用いていた。この適用例として、インフォメーションドリフトコントロールや輸送システム、工場での組み立てシステム、バイオモデリングに応用できる。

研究室見学：

ボストン大学の様々な研究室を訪問し、研究室見学を行った。

はじめに、Department of Cognitive and Neural Systemsを訪問した。ここでは、モリス

の水迷路を用いたラットの海馬機能に関する研究とそのモデル化について説明を受けた。円形のプールに一定の大きさの足場を沈め、海馬を取り除いたラットを浮かばせる。プールの



壁面に描いたランドマークとなる星と月の絵を基に、ラットが足場まで辿りつくまでの時間を複数回測定することで、空間認識の記憶学習に関する実験を行っている。動物の記憶学習メカニズムを解明することで、ロボットの視覚情報の記録と活用に応用できる可能性がある。

次に、機械工学科の研究室を訪問した。4ロータヘリコプタに関する研究を行っていた。センシングには、加速度センサ、GPS、Kinectを用いていた。印象的だったのはKinectを用いていたことで、4ロータヘリコプタ本体に搭載し、実験フィールドの天井にも設置していた。また、4ロータヘリコプタ本体にASUS・EeePCのマザーボードとCPU、メモリを搭載し、Kinectで得た画像データを処理していた。EeePCの基盤は軽くてコンパクトなので、4ロータヘリコプタへの搭載に適しており、オンボードのグラフィックチップがとても役に立つということだった。



人のダンスを模倣した協調運動を行うことのできるロボットについて説明を受けた。人のダンス映像を画像処理し、4パターン以上の運動をロボットに行動させることができる。

白紙のマップに対して最小限の探索回数で高低差を描き入れていくゲームについても説明を受けた。



ロボットの自動走行システムについての説明を受けた。ロボットは、近くを走行するロボットや信号機、駐車場と通信ができる。また天井に埋め込まれた2つのカメラ情報から位置も把握することができる。このカメラはGPSの代替である。自動車の自動走行システムに応用できる。



Wang先生の居室にて、Brain Machine Interfaceを用いた玩具を体験した。BMIの商用展開についての兆しを垣間見た。ゲームによる商用展開は、Kinectのように、新たな技術が世間に広く認知される点において、有効な手段の一つである。



BMIに関するディスカッション：

田中君が研究概要の発表を行った。田中研究室のBMI研究における脳波判別手法の説明と現状での判別率、車いすシステムの概要の説明があった。レーザーレンジファインダーと脳波の情報を組み合わせて車いすの進行方向を決定するシステムにおいて、レーザーレンジファインダーの情報による進路はどのような経路が選択されるのかということについて議論が

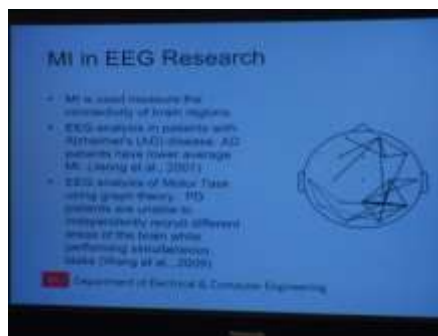


行われた。

青木先輩がプレゼンを行った。BMI とレーザーレンジファインダーを用いた車椅子の走行システムについてのプレゼンが行われた。レーザーレンジファインダーを用いることで、より安全で実用的なシステムとなる。レーザーレンジファインダーの情報からどのようにして走行する方向を決定しているかについて詳しい解説がなされた。



ボストン大学のリュウさんが研究についてプレゼンを行った。各イメージから判別しやすいイメージを選び出す手法と、そのイメージから最適な特徴量を抽出する手法についてのプレゼンがなされた。エントロピー、BEE を用いると精度が上昇するという報告があった。



3. 4. 5 今後の取り組みについて

アメリカの大学院生と真剣に研究交流できたことは、当該学生にとって非常に貴重な体験であったと考えられる。昨年度よりもディスカッションを多く行うことができ、共同プロジェクトの足がかりを構築することができた。また、ボストン大学機械工学科の多くの研究室ではMITやハーバード大学との交流も積極的に行われており、世界最高水準の学府との交流を実現していきたい。

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、22年度は7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 22 年度

提案・予算申請書提出期日： 平成 22 年 5 月 17 日（月）
研究提案ヒアリング： 平成 22 年 6 月 4 日（金） 14：00～16：20
電気通信大学 東 4 号館 8 階 AV 会議室
発表時間 1 件 20 分（10 分発表、10 分質疑応答）

提案プロジェクトタイトル・代表者・予算配分額：

1. 三宅龍馬 田中研 修士 1 年 (44 万円)
BMI システムを用いた重度身体麻痺者の QOL の向上
2. 市河 拓 田中研 修士 1 年 (43 万円)
バクテリオロドプシンの光反応を利用した視覚センサの開発とロボットへの応用
3. 上島鷹之 田中研 修士 1 年 (41 万円)
視覚情報を用いた自律飛行制御を目的とした様々な飛行体への PTAM システムの適用
4. 皆川賢太郎 明研 修士 2 年 (41 万円)
圧電繊維複合材料を用いた羽ばたきロボットの研究開発
5. 丸山 央 明研 修士 2 年 (43 万円)
ダイナミックヒューマノイドロボットの開発
6. 塚田夏美 明研 修士 2 年 (41 万円)
センサフュージョンによるヒューマンアシストに関する研究
7. Montree Pakkratoke 青山研 博士 2 年 (43 万円)
Automatic surface investigation by micro robot with micro indenter

プロジェクト研究報告会：

下記の通りに開催予定であったが、東北関東大震災のため中止した。

報告書を提出し、研究実施状況の確認を行った。

平成 23 年 3 月 14 日（月） 13：00～15：20
電気通信大学 東 4 号館 8 階 802AV 会議室
発表時間 1 件 20 分（10 分発表、10 分質疑応答）

4.1 BMI システムを用いた重度身体麻痺者の QOL の向上

<プロジェクト概要>

本プロジェクト名は「BMI システムを用いた重度身体麻痺者の QOL の向上」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）と本多中二教授（システム工学科）、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：三宅龍馬 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：青木治雄 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：Mukul Manoj Kumar

知能機械工学専攻 博士後期課程 2 年 田中研究室

プロジェクトメンバー：尾崎新斗 システム工学専攻 博士前期課程 2 年 本多研究室

プロジェクトメンバー：張替裕矢 筑波大学大学院 システム情報工学研究科
リスク工学専攻 博士前期課程 2 年 佐藤研究室

プロジェクトメンバー：桑田智幸 筑波大学大学院 システム情報工学研究科
リスク工学専攻 博士前期課程 2 年 佐藤研究室

指導教員：田中一男教授（知能機械工学科） 本多中二教授（システム工学科）
佐藤美佳准教授（筑波大学大学院リスク工学専攻）

<研究目的>

近年、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) や Brain-Computer Interface (BCI) に関する研究が注目を浴びている。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者への応用が期待されている。

本プロジェクトは、BMI という技術を用いて、重度の身体麻痺者の生活の質、QOL (Quality of Life) を向上させることを目的とする。

1. 背景, 目的

近年, 脳活動情報を用いて機械を操作する BMI (Brain-Machine Interface) に関する研究が注目を浴びており, 様々な研究機関で, 車椅子や, バーチャルリアリティなどがその対象とされてきた. 特に最近では, 身体に不自由がある方達のコミュニケーションツールとして期待されており, 実用化を目指し, 製品化をしようとしているところもある.

今回, 私達は, 身体に不自由があり, 気軽に外に出歩けない方々の QOL (Quality of life) の向上を目的として, 使用者の代わりとなって動きまわり, 外の世界を見ることが出来る BMI システムを提案する.

2. システム概要

本研究では, 使用者の代わりとなってロボットが外を動きまわるシステムを構築した.

使用者は, ロボットに取り付けられたカメラの映像を見て無線操作することで, ベッドにいながら外の世界を見る事ができる. 以下がシステムの構成である.

- ・脳活動情報計測器
- ・無線通信機
- ・ワイヤレス小型カメラ
- ・小型移動ロボット
- ・ディスプレイ

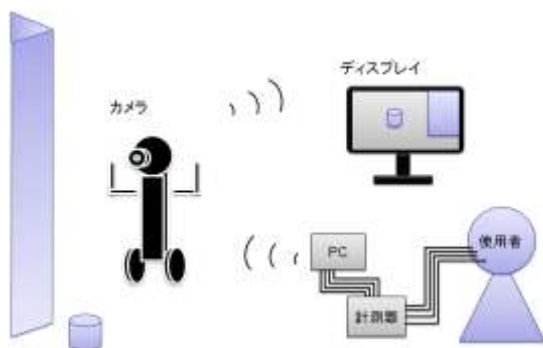


図1. システム概要

3. 脳活動情報

本研究では, 小型ロボットを操作するために利用する脳活動情報として, NIRS (near-infrared spectroscopy) と EEG (electroencephalogram) について検討した.

(ア) NIRS (近赤外分光法)

NIRS とは, 近赤外線領域での分光法の事である. 測定対象に近赤外線を照射し, 吸収度の変化によって成分を算出する. 近赤外線は, 透過力が他に比べ高く, 頭皮や頭蓋骨を容易に透過する. その反射光を頭皮上で計測し, その吸収度合いからヘモグロビンの増減を計算することで, 脳内の血流量を観測することができる. 言語機能の診断など, 脳神経外科領域では試験的に臨床応用されているが, 実用化には至っていない. 現段階ではベッドサイドでの簡便な方法で脳リハビリテーションのモニターや, 一般的な人の脳研究に利用されている.

(イ) EEG

脳波は人や動物の脳から生じる電気活動を, 頭皮上, 脳表, 脳深部などに置いた電極で記録したものである. 本研究では, 頭皮上で計測を行った. 個々の神経細胞の発火を観察する単一細胞電極とは異なり, 電極近傍あるいは遠隔部の神経細胞集団の電気活動の総和を観察する. 非侵襲であることと安価であることから, 広く利用されているが, 短所として, 導電率の異なる脳・硬膜・脳脊髄液・頭蓋骨・皮膚などを通して観測することによる空間分解能の低さ, 頭皮との接触不良によるノイズの混入, 筋電図の混入などが挙げられる.

4. 判別実験

実際に数人に被験者になってもらい, NIRS と EEG についてデータを計測した. 被験者の負担や, 計測装置の利用スケジュールの関係を考慮し, 今回は, NIRS については 2 人, EEG については 5 人分のデータを計測した. 計

測したタスクは、右手の運動想起、左手の運動想起、足の運動想起である。さらに、これらの運動想起をしていない状態の4パターンを用いて、ロボットの、右旋回、左旋回、前進、停止の操作を行うこととした。

(ア) NIRS : 測定条件

被験者は2人。各タスクについて、トレーニング用に15個、テスト用に15個を運動野を覆うように、全部で20チャンネル(図3)計測した。データ数としてはかなり少ないが、一つのデータを計測するために図2のように時間がかかる。それは、イメージ開始から脳血流に変化が現れるまで時間がかかる事と、次のイメージをする前に、脳血流を落ち着かせるために時間を置かなければならない事の2点が理由である。これ以上長時間計測しようとする、被験者に対する負担が大きくなってしまう。

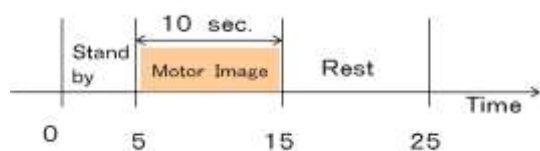


図2. NIRS 測定スケジュール

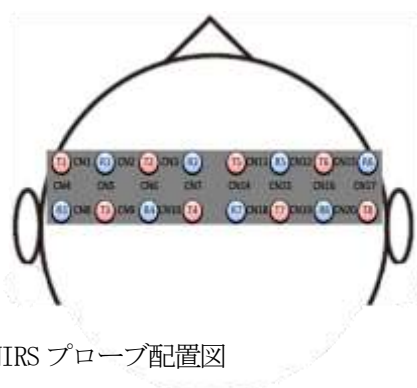


図3. NIRS プローブ配置図

(イ) NIRS : 判別

NIRS は EEG と違い、その周波数に重要な意味は

ないと考えられている。また、使われている部位の血流量が増加すると考えられるため、次のような特徴量を用いることで、イメージ開始による血流量の変化をくみ取れるのではないかと考えた。全体の血流量と、ある時間幅の血流量の比である。

$$f = \frac{\int_{T1}^{T2} x(t)dt}{\int_0^T x(t)dt}$$

今回は $T2-T1=5\text{sec}$. として、 $T1=\{1, 2, 3, 4, 5\}$ の6パターンについて判別結果を計算した。その結果が表1,2である。どちらも平均して約50%であった。表を縦に見ても、横に見ても特に平均判別率が高いことはない。そのことから、判別しやすいタスクの組み合わせや、判別しやすい時間幅があるということは確認できなかった。

この結果から、現段階では3択以上のマルチクラス判別は不可能であると考えられる。判別率がチャンスレベルと同程度だった理由としては、やはり、トレーニングに使えるデータの数少なすぎるという問題が挙げられる。事実、テストデータの判別を行う前の、トレーニングデータだけでの評価では90%以上できれいに分けられている。次に、特徴量の改善点として、還元ヘモグロビンの有効的な利用法は無いかと検討している。現在、特徴量として利用しているデータは酸化ヘモグロビンだけである。それは、酸素を運ぶ役割があるのが酸化ヘモグロビンであり、何かを考える際にはその酸化ヘモグロビンの量が増加すると考えているからである。

(ウ) EEG : 測定条件

被験者は5人。NIRS に比べ装置が扱いやすく、また当研究室で所持しているため、被験者数がNIRS よりも多い。各タスクについて、トレーニ

ング用に30個、テスト用に30個のデータを計測した。EEGもNIRSと同様に運動野を覆うように、全部で12チャンネル(図5)測定した。図4の通り、NIRSに比べ、1つのイメージに必要な時間が短いため、NIRSの倍のデータを計測することができた。

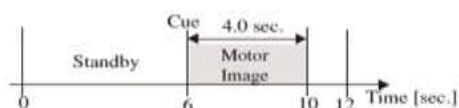


図4. 脳波測定スケジュール

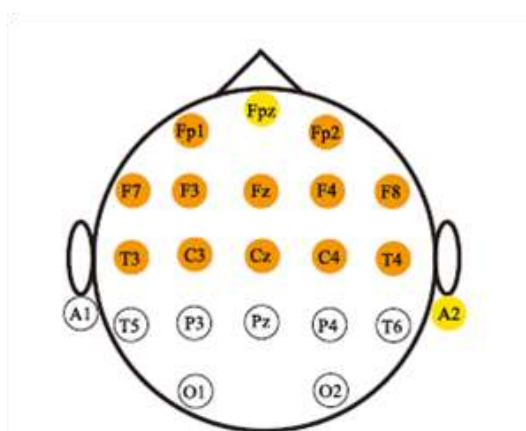


図5. 電極配置図

(エ) EEG : 判別

田中研究室のこれまでの研究結果から2択判別について70%以上の判別率が得られているため、今回は4択判別について検討した。被験者5人についての判別結果を表(3)に記載する。判別方法は、計測した脳波データに対し様々な周波数帯のバンドパスフィルタを施し、それぞれについて判別器を学習させる。さらにそれらの判別器の結果に重みづけをしていき、総合的に最終的な判別を行うというものである(図6)。。詳細については、文献[4],[7]をご参照いただきたい。全被験者全タスクの平均として45%の判別率が得られた。4択の場合、チャンスレベルは25%であるため、それなりに良い結果である。特にタスク間を比べると、休みの時の判別

率が他に比べてかなり高いことが分かる。このことから、実際にロボットを動かすことを想定すると、比較的安定して静止しており、運動想起を行うと、ある程度の確率でロボットが動く、といった具合になるだろう。また、今回、計測時には4秒間脳波測定を行っているが、実際にはこれを分割し、1秒間で一つのデータとして学習、判別しているため、ロボットをほとんどリアルタイムで操縦することができる。

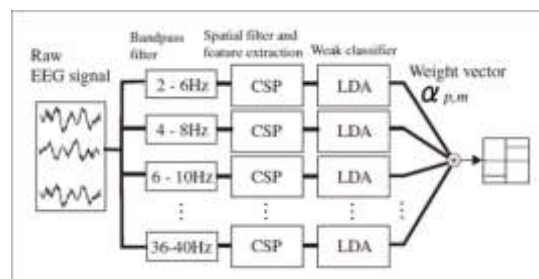


図6. 脳波判別方法概要

5. ロボット

無線で操作できる小型移動ロボットを製作した。胴体や顔らしき物を取り付け、かわいらしくする予定であるが、現段階では、足まわりだけ完成している。しかし、必要なものは全て搭載しているため、実際に、カメラ映像を無線でディスプレイに映し、それを見ながら、脳波で無線操作することのできるシステム自体は完成している。図7がロボットである。また、機体前方にセンサを取り付けており、ある程度の距離であれば、障害物を感知できるようにした。これは、カメラ映像からだど、機体幅がわからず、壁に激突してしまうという問題が起きたためである。

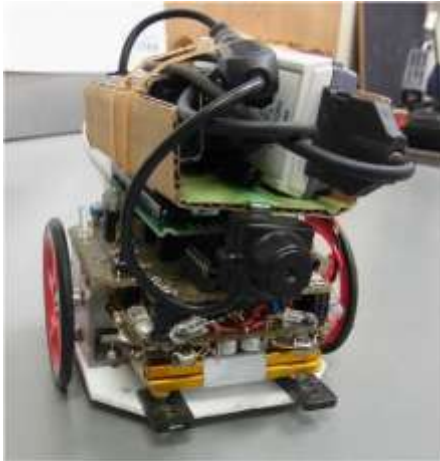


図7. 小型移動ロボット

6. 結論

身体の不自由な方々が自由に外を見れるようなシステムを提案した。実際に、ロボット目線の映像を見ながら、考えるだけで、移動ロボットを無線操縦できるシステムは完成した。また、NIRSやEEGについてその判別方法については検討したが、あまりよい結果は得られなかった。そのため、実際に、念じるだけでロボットを動かすという実験まですることができなかった。

7. 今後の課題

今後の課題としては、まず、判別率を上昇させることである。NIRSについては、還元ヘモグロビンの効果的な利用法について検討してみる事と、日を分けて計測した場合でも、うまく判別できるのかを検討してみる事の2点、EEGについては、判別法としてはある程度の物ができているため、次は効果的なトレーニング方法について検討してみようと考えている。また、ロボットに関しては、見た目をきれいにするために、外装を考えようと思っている。さらに、まだ、センサを上手く利用できていないため、使用者の補助となるような効果的な制御を考案したい。

Table 2: NIRS データの判別, 被験者 B

時間幅	右手, 左手	右手, 足	右手, 休み	左手, 足	左手, 休み	足, 休み
t=0- 5	0.53	0.57	0.57	0.60	0.57	0.60
t=1- 6	0.50	0.50	0.53	0.50	0.50	0.47
t=2- 7	0.67	0.47	0.40	0.53	0.37	0.63
t=3- 8	0.57	0.40	0.43	0.57	0.43	0.53
t=4- 9	0.43	0.57	0.53	0.57	0.43	0.47
t=5- 10	0.43	0.57	0.33	0.40	0.47	0.53

Table 1: NIRS データの判別, 被験者 A

時間幅	右手, 左手	右手, 足	右手, 休み	左手, 足	左手, 休み	足, 休み
t=0- 5	0.33	0.57	0.5	0.37	0.50	0.53
t=1- 6	0.50	0.43	0.40	0.57	0.53	0.60
t=2- 7	0.50	0.67	0.47	0.53	0.27	0.67
t=3- 8	0.40	0.53	0.57	0.43	0.53	0.47
t=4- 9	0.50	0.43	0.50	0.40	0.37	0.63
t=5- 10	0.50	0.57	0.57	0.53	0.37	0.60

Table 3: EEG データの判別

被験者	右手	左手	足	休み	平均
1	0.03	0.30	0.23	0.59	0.29
2	0.17	0.68	0.43	0.47	0.43
3	0.40	0.37	0.47	0.83	0.52
4	0.23	0.43	0.20	0.74	0.40
5	0.33	0.33	0.53	0.86	0.51
平均	0.26	0.46	0.40	0.66	0.45

参考文献

- [1] 櫻井ほか, “ブレイン-マシンインタフェース最前線”, 工業調査会, 2007.
- [2] 坂本ほか, “Training-Free BMI システムによる電動車椅子の自動操縦”, ロボット・メカトロニクス講演会 2010, 1A1-E29 in CD, 2010.
- [3] 田中ほか, “脳波による車椅子の自動操縦実現のための2つの試み”, 計測自動制御学会論文集, Vol. 44, No. 12, pp. 1006-1008, 2008.
- [4] 青木ほか, “脳波信号の特徴選択と機械学習による思考判別”, 第25回ファジィシステムシンポジウム, 1B1-03 in CD, 2009.
- [5] 坂本ほか, “携帯型 BMI システムの改良と車椅子自動操縦タスクの多様化”, 第27回ロボット学会学術講演会, 2L2-06, 2009.
- [6] 原, 脳の地図帳, 講談社, 2004
- [7] 青木, “脳波のマルチクラス識別と電動車椅子制御への応用”, 平成22年度修士論文

(cast, spin-coat 2000, 3000 rpm) 依存性を測定した。その結果を表 1 に示す。

表 1 光電流の成膜法依存性

	光電流 [nA]		立ち上がり時間 [ms]		立ち下がり時間 [ms]	
	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF
cast	-39.2	40	2.4	3.4	480	350
spin(2000)	-136	96	2.5	3.8	450	370
spin(3000)	-186	134	2.4	3.6	400	340

照射開始時は spin-coat3000 が 186 nA を示し、照射終了時における応答も 134 nA と高い出力を得た。時間応答特性はシャッターを用いて照射する時間を 10、100、1000 ms と変化させ、照射開始-終了時の応答波形を観測した。照射開始-終了時の立ち上がり時間は 4 ms 以下、立ち下がり時間は数百 ms を確認したが、照射時間が 10ms では、終了時の応答が追従できない結果となった。入射光強度を 5~40[mW/cm²] で変化させ、出力される光電流を測定した。キャスト法による入射光強度依存性は確認されているため、スピニング法によるセルの測定を行った。結果として、光強度の増加につれて光電流も増加し、飽和していないことがわかった。

また、ロボットへの適用に関しては出力の増強が大きな課題となる。このことから出力の増強としてセルを電流源と考え、光軸上に 2 枚のセルを並列接続する方法を提案した。ワニ口を使用したことによるノイズや ITO による吸収、反射によって光強度が減少するという問題点はあったが、得られた出力電流は加算される結果となった。

5. ロボットへの実装

試作した光センサーの応用としてマイクロマウスロボット(図 2) への実装を試みた。マイクロマウスロボットとは正方形のマス目からなる迷路を、センサーの情報を頼りに探索する競技である。

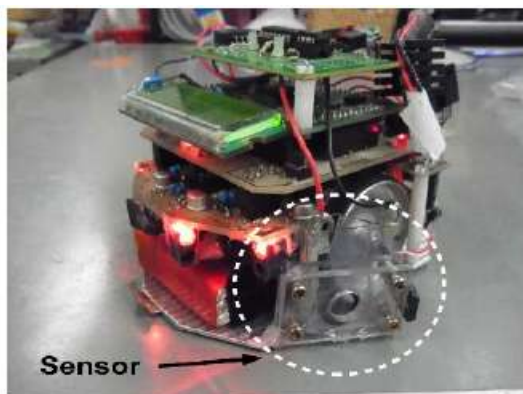


図 2 光センサーを搭載したマイクロマウス

当初は、メインのセンサーとして使用する予定であったが、感光面積の大きさと、出力が問題となった。そのため、サブのセンサーとして搭載した。センサーが反応すると、姿勢のずれを検出して進行方向を制御するように設定し、その動作を確認した。マイクロマウス大会では、完走はできなかったが、新奇性と、環境に無害な生体を用いた点が評価され、特別賞を受賞できた。

6. まとめ

本研究では、バイオ光センサー機能を 4 項目の測定によって評価した。成膜法依存性ではキャストに比べ、スピニングセルにより最大で 5 倍の出力を得ることに成功した。センサーの応答時間は 10 ms 以下

の終了時応答が追従しなかったが、本目的であるヒトの視覚応答時間(200 ms) よりも十分に速いことを確認した。

さらに試作したセンサーをマイクロマウスロボットに搭載し動作確認を行った。今回は視覚機能すなわち動画センサーとして利用できなかったが、新奇性、環境に無害な生体を用いた点がマイクロマウス大会で評価された。

また、出力増加のためセルの積層を提案し、予備実験として 2 枚のセルを並列接続した結果、出力が増加した。

今後はより透明、かつ自由な形状に変化させられるプラスチック電極を用いてセンサーの感度向上を目指す。

参考文献

[1] T. Miyasaka, et al., Science 255, 342 (1992).

[2] 浅野元博他, "バイオ光センサーのロボットビジョンへの適用", 第 58 回応用物理学会 2011 年 3 月発表予定.

4.3 視覚情報を用いた自律飛行制御を目的とした様々な飛行体への PTAM システムの適用

<プロジェクト概要>

本プロジェクト名は「視覚情報を用いた自律飛行制御を目的とした様々な飛行体への PTAM システムの適用」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、指導教員を大竹 博助教（知能機械工学科）と明愛国准教授（知能機械工学科）にお願いをした。

プロジェクトリーダー：上島 鷹之 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：大石 徹太郎 知能機械工学専攻 博士前期課程 1 年 田中研究室

駒井 利之 知能機械工学専攻 博士前期課程 2 年 田中研究室

五十嵐 広希 知能機械工学専攻 博士後期課程 3 年 田中研究室

ルキアファインソ ナツキボソ 知能機械工学専攻 博士前期課程 1 年 明研究室

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

指導教員：大竹 博助教（知能機械工学科）と明愛国准教授（知能機械工学科）

1, 背景・目的

近年、航空機の研究としてオペレータを必要としない無人航空機に関する研究が盛んに行われている。無人航空機の実現により、火災などの災害現場や地雷地域などの有人機では進入ができない危険地帯での情報収集や、有視界外での飛行が可能になるため、その多様な用途への応用が期待されている。また、有人航空機のオペレータ操作による飛行には長期の訓練期間を要するため、無人航空機のための自動制御技術にはこの訓練期間を必要としないというコストパフォーマンスの点でも利点がある。

そこで本プロジェクトは、搭載されたカメラの視覚情報のみを用いて既存の物体の特徴点を抽出し、機体の位置・姿勢の推定を行う Visual SLAM システム PTAM をパッシブ姿勢安定化機構を備えた同軸二重反転型ヘリコプタやマルチロータヘリコプタ、水平軸型回転翼機など様々な飛行体に適用し、PTAM システムの適用機体の拡張を目的とする。そのために、これらの機体の自律飛行実現を目標とした PTAM を用いたシステムの構築を行う。

2, PTAM の概要

PTAM は Oxford 大学の Active Vision Laboratory の Georg Klein が開発したソースコードが開示された独自ライセンスのソフトウェアである。特徴としては動画像を用いた Visual SLAM であり、トラッキング（位置・姿勢の推定）とマッピング（地図作成）を並列動作させリアルタイムでの処理が可能となっている。

動画像を用いた Visual SLAM である。時間毎にフレームの特徴点の抽出を行い、その特徴点を用いてトラッキングとマッピングを並列動作させている画像処理ソフトである。

ここでトラッキングとは、Fig.1 に示すように、フレーム間での特徴点の距離及び特徴点の周辺の類似度から対応付けをする処理である。そして、マッピングとは、Fig.2 に示すように、特徴点の対応付けから 8 点アルゴリズムを用いて、マップを更新する処理である。

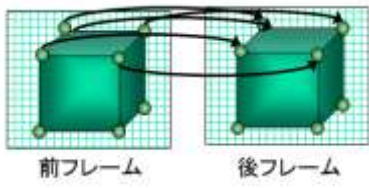


Fig. 1 : トラッキング

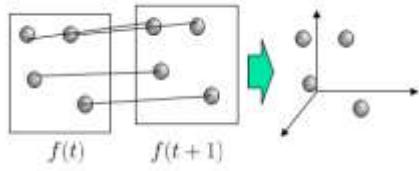


Fig. 2 : マッピング



Fig. 3 : パッシブ姿勢安定化機構を備えた
同軸二重反転型ヘリコプタ

3, パッシブ姿勢安定化機構を備えた飛行体

小型の同軸二重反転電動ヘリコプタの機体上部に空気より軽い気体であるヘリウムを充填した気嚢を剛体で固定し、機体の roll 角と pitch 角が受動的に安定化する飛行体である。実際に使用した実機を Fig. 3 に示す。なお、この機体は屋内向けであり、風などの外乱には弱い、姿勢の安定性は非常に高い。

3-1, システム構成

今回使用したシステム構成を Fig. 4 に示す。機体は、無線カメラ一台を装着しており、システム全体の流れは以下ようになる。

- ① 機体に搭載された無線カメラからのアナログ映像を受信
- ② コンピュータで PTAM を用いた特徴点の抽出、対応付けを行う
- ③ 得られた情報から位置・姿勢の算出、制御器を用いた制御入力値の演算を行う

制御入力値の演算については、この機体が、roll 角と pitch 角は本機構でパッシブに安定化されることから、本研究では、yaw 角と x, y, z の位置の制御を Fig. 5 に示す独立した PID 制御器を用いる。Yaw 角と位置の誤差にゲインをかけ、制御入力とする。

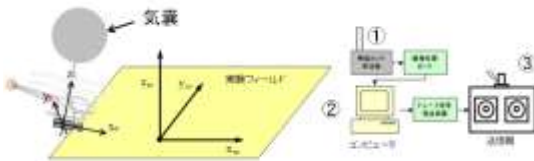


Fig. 4: システム構成

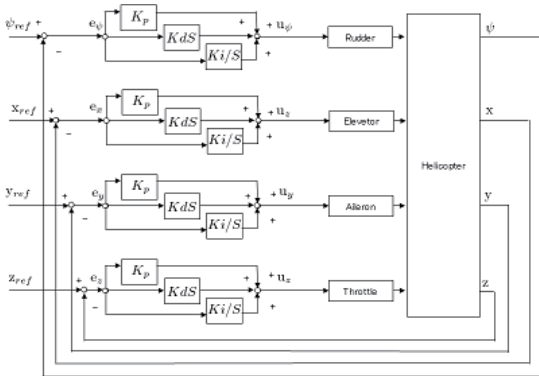


Fig. 5: P I D制御

3-2, ホバリング飛行実験

3-2-1, 実験概要

本実験では、 z の目標値は 1000[mm]、 x, y の目標値は初期位置、yaw 角の目標値はゼロとした。またこの実験では、最初に手動で機体を上昇させた後に、yaw 角と x, y, z の位置のみを自動制御に切り替えた。

3-2-2, 実験結果

この実験結果を、Fig. 6 に示す。このグラフから roll 角と pitch 角ほぼゼロであり、また位置である

x, y, z もゼロ近傍であることから、安定したホバリング自律飛行が実現できていることがわかる。

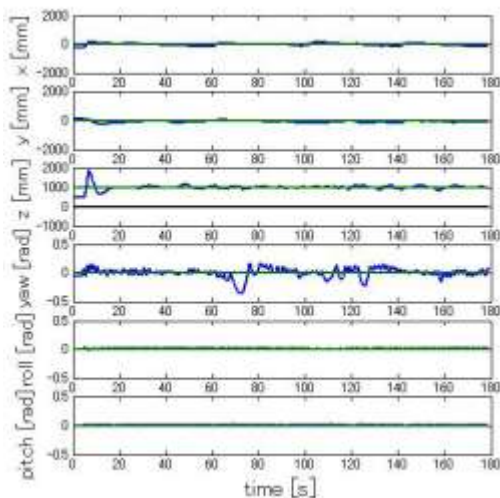


Fig. 6 : ホバリング飛行実験 実験結果

3-3, 軌道追従制御実験

3-3-1, 実験概要

本実験では、高さ1000[mm]地点において幅2000[mm],奥行き1500[mm]となる4つのポイントを設置し、各ポイントを直線で結んだ経路を移動させる。この時、Fig.7が右手系でありA地点を原点とすると、目標地点は(0mm, 0mm)→(2000mm, 0mm)→(2000mm, 1500mm)→(0mm, 1500mm)→(0mm, 0mm)の順に移動する。軌道追従制御実験においても、ホバリング飛行実験と同様に、最初に手動で機体を上昇させた後に yaw 角と x, y, z の位置のみを自動制御に切り替えた。ここでの飛行タスクは、10秒間各目標地点でホバリングし、次の10秒間で次の目標地点まで一定速度で移動する軌道に沿っての飛行である。そして、これを4つの目標地点で繰り返す。なお、移動速度については、5秒間で次の目標地点まで移動する場合についても行った。

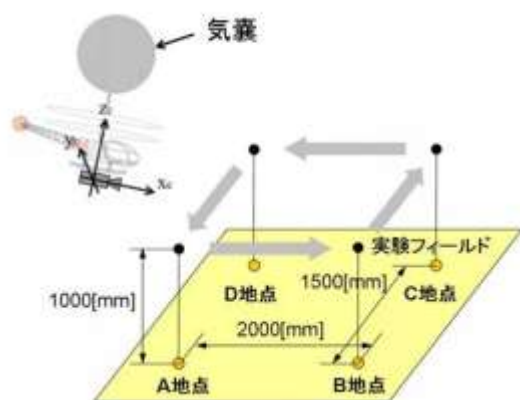
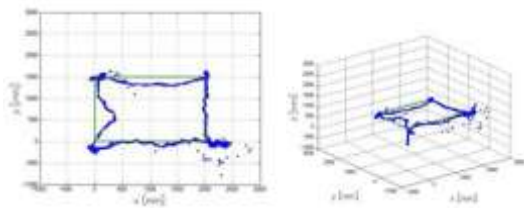


Fig. 7 : 軌道追従制御実験の経路

3-3-2, 実験結果(移動速度 標準)

目標地点の間を10秒間で移動する場合の結果をFig.8に示す。一部を除いてほぼ軌道追従しているといえる。



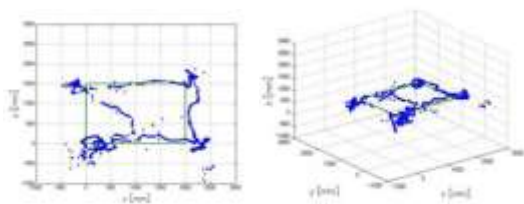
(a)xy 平面プロット (b)右 次元プロット

Fig. 8 : 軌道追従制御実験(移動速度 標準)

3-4-2, 実験結果(移動速度 2倍)

目標地点の間を 5 秒間で移動する場合の結果を Fig. 8 に示す. おおよそ目標地点には辿りつけていることがわかる. しかし, 軌道追従という点では, 移動速度を 2 倍にする前と比べ, 目標との差が大きくなっている. これは移動する際に, roll 角と pitch 角が不安定になっているため, yaw 角と x, y, z をそれぞれ独立としていたのが, 干渉系になったためだと考えられる.

よって, PID 制御器において PTAM をこの機体で使用する場合は, roll 角と pitch 角が不安定にならない範囲が良いといえる.



(a)xy 平面プロット (b)右 次元プロット

Fig. 9 : 軌道追従制御実験(移動速度 2倍)

4, マルチロータヘリコプタ

浮上用ロータとして4発, 推進用ロータとして4発を搭載したヘリコプタである. 特徴として, roll 角と pitch 角回りの慣性モーメントが大きいため, 縦ゆれと横ゆれに強い. また, 推進用を別に取り付けているため, 姿勢制御と位置制御が独立にでき, 姿勢を変えずに移動できる. 機体の Fig. 10 に CAD の図を, Fig. 11 に実機の写真を示す. 現在は, システム構築の段階であり, それについて次の項目に記す.



Fig. 10 : マルチロータヘリコプタ (CAD)



Fig. 11 : マルチロータヘリコプタ (実機)

4-2, システム構成

今回使用したシステム構成を Fig. 12 に示す. 機体は, 無線カメラ一台を装着しており, システム全体の流れは以下ようになる.

- ① 体に搭載された無線カメラからのアナログ映像を受信
- ② コンピュータで PTAM を用いた特徴点の抽出, 対応付けを行い, 得られた情報から位置・姿勢を算出し, 無線(blueetooth)で送信
- ③ マイコンで制御入力を算出

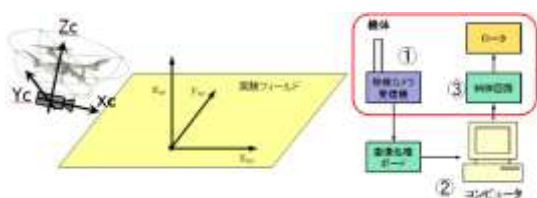


Fig. 12 : システム構成

(マルチロータヘリコプタ)

制御入力値の演算については, 姿勢の roll 角 pitch 角 yaw 角と位置の z で一つの制御器, そして x, y の位置をもう一つの制御器で行う. まず, 一つ目の制御器は重力補償器と姿勢制御の PD 制御器で構成し, これは浮上用の 4 つのロータの出力が対応する. 次にもう一つの制御器は x, y の位置を PD 制御器で制御し, 推進用の 4 つのロータの出力が対応する.

4-3, 現状

現段階では, システム構築をしている段階であり, それが出来次第ホバリング飛行実験を試みる.

5, 水平軸型回転翼機

一般の回転翼機は軸が地面に対し垂直であるのに対し、サイクロジャイロ翼を用いることにより軸が地面に対し水平である機体である。これにより、機体を傾けた状態でのホバリングと水平状態での移動が可能となる。

5-1, 現状

実機のイメージを Fig. 13 に示す。実機はサイクロジャイロ翼を2機とテールロータを2発有する。現在は、機体作成の段階であり、現段階ではサイクロジャイロ翼が一機のみ完成している。また、テールロータについてはまだ選定中である。

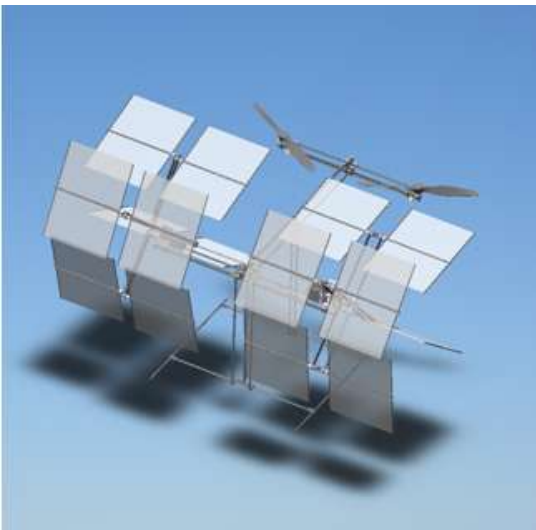


Fig. 13 : 水平軸型回転機 CAD

6, まとめ

パッシブ姿勢安定化機構を備えた同軸二重反転ヘリコプタに対して PTAM を適用し、ホバリング飛行実験と軌道追従飛行実験をした。マルチロータヘリコプタに PTAM を適用する際のシステム構築案を考案した。結論として、位置の x, y, z が独立である場合については、問題なく軌道追従することが分かった。ただし、軌道追従の際に roll 角と pitch 角が不安定である場合は、軌道がずれる。そのため、制御器を独立を前提とした PID 制御器から変更する必要がある。また、今回 roll 角と pitch 角の姿勢制御は行えなかったため、PTAM が姿勢情報算出する速度が姿勢制御に対応できるかどうかは検証できなかった。

7, 今後の予定

- ・ マルチロータヘリコプタでの PTAM の適用システムの構築案の実現とホバリング飛行実験実験
水平軸型回転翼に PTAM を適応する際のシステム構成および制御器の設計

4.4 圧電繊維複合材料を用いた羽ばたきロボットの研究開発

[プロジェクトリーダー]

学籍番号	氏名	所属
0934062	皆川 賢太郎	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]

学籍番号	氏名	所属
0544012	竹川 孝幸	知能機械工学専攻 博士後期課程 3年 明研究室
0714069	豊岡 慎一	知能機械工学科 学部 4年 明研究室
0934028	猿木 恭文	知能機械工学専攻 博士前期課程 2年 田中研究室

[指導教員]

明 愛国	准教授
田中 一男	教授
前川 博	教授
黒田 成昭	教授

[提出日]

2010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修不可欠なもので、何らかのタスクを行う際に基本的に必要となる要素である。このようなセンサには様々な種類があり、メカトロ機器が行うタスクの種類によって適切なものが選ばれる。しかし、メカトロ機器において重要なのは製作及び作業における効率を向上させることである。従来のアクチュエータ、センサを組み合わせる事ではこのような効率向上が既に実現されており、その限界に至っている。

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

本研究では、圧電セラミック繊維を利用した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 を利用した生物模倣型、メカトロ的アプローチで全体の小型・軽量・多機能な飛行ロボットの研究開発を行う。

研究の目標としては「生物模倣ロボットの研究」と「生物を超えるロボットの研究」の2つがある。



図1 MFCの概観

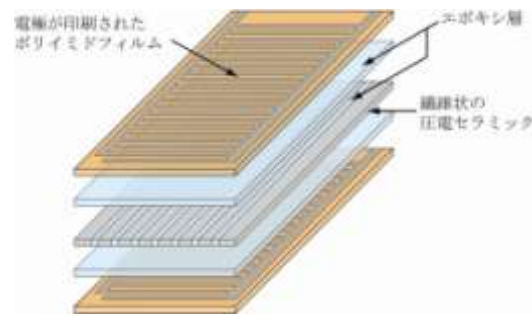


図2 MFCの構造

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。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。

2. 研究の独創性・有用性

メカトロ機器MFCを利用して製作することにより、従来のモータなどで構成されるものに比べ、全体の構造の単純化が出来る。さらに、フィルム状のアクチュエータなので、アクチュエータ自身が非常に軽く、アクチュエーション部は接着部材の構造や面積などにより決められるので、比較的自由に駆動させることができる。そして、材料と一体化して駆動するので構造体の運動制御が直接にできる。また、高感度歪センサとして用いることが可能なので、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ものより、簡単で効率的な構造に作り上げることが出来る。さらに、センシングも一緒に出来るので簡単な運動制御ループを構成することが出来る。

このように1つの構造体がアクチュエーションやセンシングなど複数の機能を併せ持つことから、この特徴を活かしてロボットへの適用することで、構造の簡易化や軽量化を実現できると考えられる。

3. 研究成果

3.1 能動翼の羽ばたきロボット

圧電繊維複合材料を羽ばたきロボットの翼の一部として扱い、翼そのものを変形させ羽ばたき動作をするものである。今回は翼の機構や駆動方法の改善によりロボットの性能を向上させることを目的とする。

新しい翼構造の提案と羽ばたきロボットの試作

正の平均揚力を発生させるために、打ち上げ時に発生する負の揚力を減らし、打ち下ろし時に発生する正の揚力を増やすことが必要である。そこで、平均揚力を改善するための方法として図3のようなフェザリング運動をさせることを考えた。

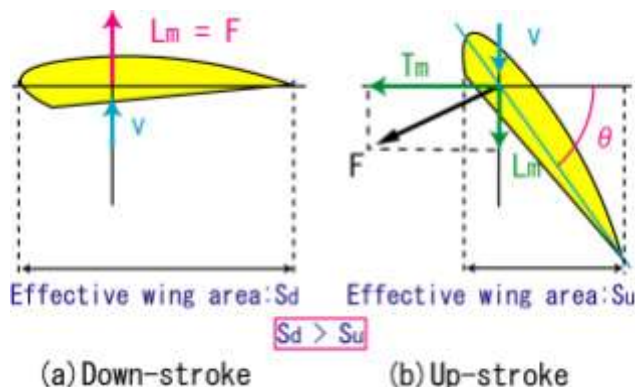


図3 揚力を改善させるフェザリング運動方法(翼幅方向)

これは、ピッチ角 θ を変える事によって振り上げ中の有効翼面積 S_d よりも振り下ろし中の有効翼面積 S_u を大きくする事で得られる揚力を増加させようという考えである。この方法を取り入れた翼幅方向の翼構造を図4に示す。

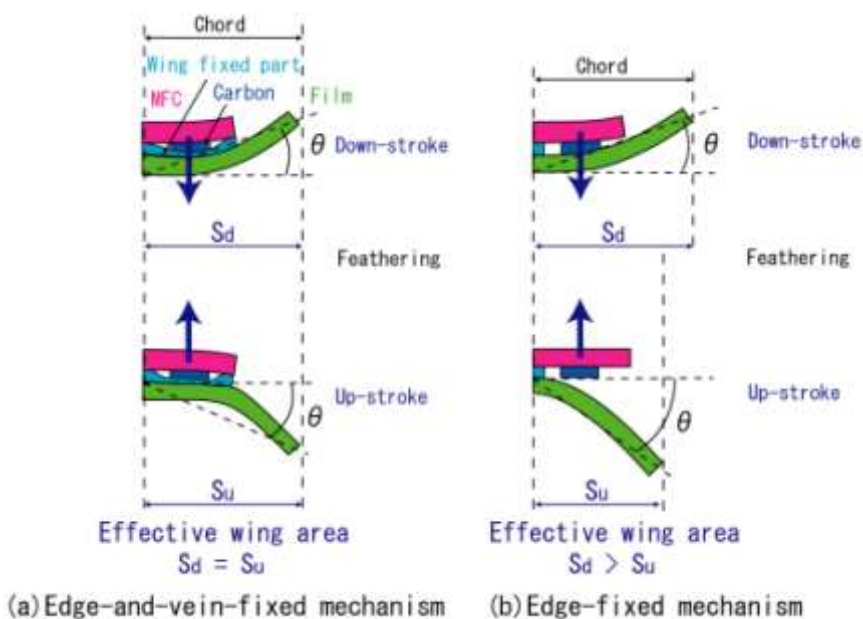


図4 翼幅方向における翼構造の概念図：(a)全面部固定構造(b)前縁部固定構造

(a) 全面部固定構造は MFC 部の領域全ての羽部を固定している構造になっているため、フラッピング運動以外に柔軟翼は振り上げと振り下ろしのフラッピング運動に対して対称的にフェザリング運動を行う。よってわずかに平均揚力が発生する構造になっている。(b) 前縁部固定構造は新しい翼構造で MFC 部の領域の中で羽先端部のみが固定された構造になっているため、フラッピング運動の振り上げ時におけるフェザリング運動は振り下ろし時のフェザリング運動よりも簡単であり、図4に示された揚力を改善させるフェザリング運動方法に近い運動を実現できると言えるので平均揚力を改善できるのではないかと考えられる。

また、鳥の翼は2点ヒンジ構造により振り下ろし時に翼を広げて大きな有効翼面積を得て、振り上げる時に翼をたたむことで小さな有効翼面積を得ている。翼を広げる運動と翼を折りたたむ運動は手関節の

動きによって実現され、基本的なフラッピング運動は肩関節の動きによって実現される。また、肩関節と手関節の間にある位相変動は打ち上げ時に有効翼面積を減らし、打ち下ろし時に有効翼面積を増やす事に非常に重要な要素である。すなわち、肩関節と手関節の間における運動の同期が平均揚力を改善する為に必要になってくる。上記の内容に基づいて考えた翼弦方向による翼構造を図5に挙げる。

前縁部固定構造を用いた試作機を図6に示す。また試作機の仕様を表1に示す。この試作機はMFC部の領域の中で羽先端部のみ接着している。従って打ち下ろし時のフェザリング運動は図3(a)に近い状態でMFCに制止され、打ち上げ時のフェザリング運動は図3(b)に近い状態で簡単である。また翼弦方向で羽先端部は翼フレームのみで構成されているので図5に示めされる2点ヒンジ構造による受動的な曲げ動作が可能である。

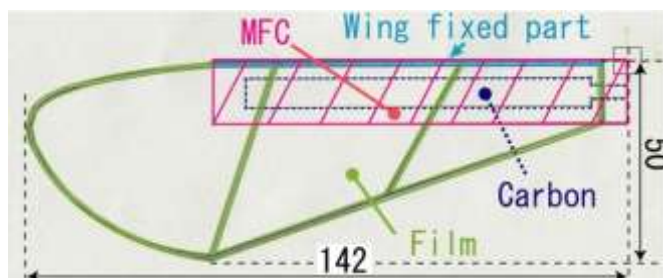
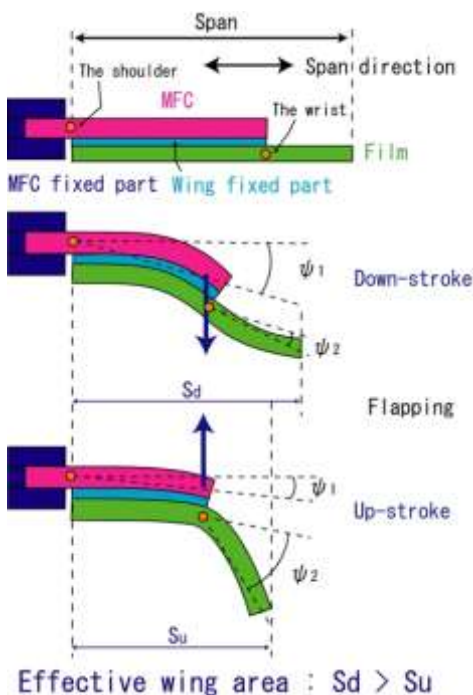


図6 前縁部接着翼の詳細図

表1 前縁部接着翼の仕様

翼の重さ (片側)	1.67g
翼面積 (片側)	5000mm ²
翼幅 (片側)	142mm
翼弦 (片側)	50mm
共振周波数	12Hz

図5 翼構造の

弦方向における翼概念図

駆動方法の提案と実験結果

圧電繊維を使用する構造は、フラッピング運動とフェザリング運動に対して大きい運動を実現する為に共振状態で駆動させるべきであり、羽ばたきロボットは最大性能を得るために共振状態で駆動させるべきである。その上、提案された翼構造は2自由度以上で非線形構造なので理想的な位相差で各モードによる共振状態を与える駆動方法は非常に重要なものである。例えば、図5は2個の関節により各運動が理想的に組み合わさる事で形成されるフラッピング運動の1つであると言える。このような構造の運動解析は非常に難しいので、理想的な位相差による多重モードの駆動に必要な最適駆動信号を探すのはとても難しいと言える。そこで実験による方法としては、翼構造を駆動するために sin 波形と飽和 sin 波形(詳細は次に示す)を使用し、性能評価で適切駆動信号を探す事にした。

前縁部接着翼で sin 波形を用いても平均揚力は微小であった。上記で説明したように理想的な位相差により駆動部と羽先端部を共振振動させる駆動調整が必要になる。様々な駆動波形により予備試験を繰り返し行った。その1つとして矩形波はMFCへ最も電力を与えられると分かっているが、平均揚力を減少させる高周波成分が含まれていた。最終的に、図7に示される飽和した sin 波形を用いた。この飽和 sin 波形は通常の sin 波形よりMFCへ電力を与える事が出来、sin 波形の基本周波数の1, 3, 5...

の倍数波形を含んでおり、翼構造にある複数の共振モードで駆動できると考えられるので、目的に向け有効的であると言える。

この飽和 sin 波形を前縁部接着翼に与え、得られた平均揚力と平均推力を測定した。前縁部接着翼の駆動周波数による sin 波形と飽和 sin 波形を与えた際の比較による揚力測定結果を図 8、推力測定結果を図 9 に示す。

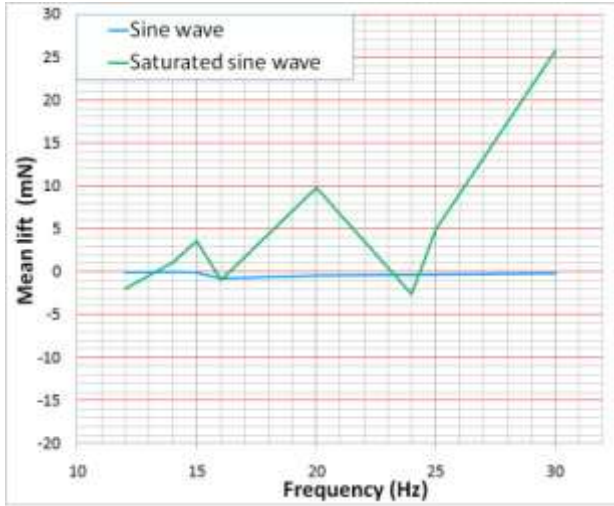
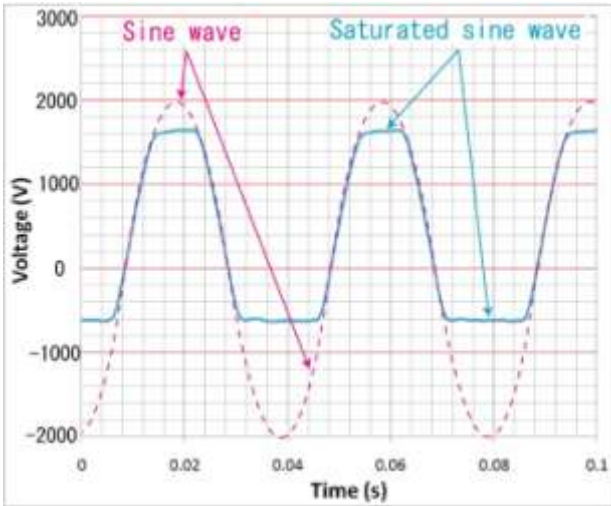
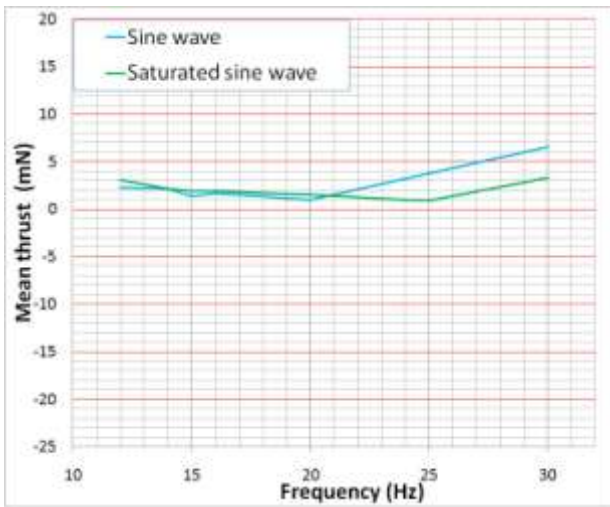


図 7 飽和 sin 波形
図 8 前縁部接着翼による各波形

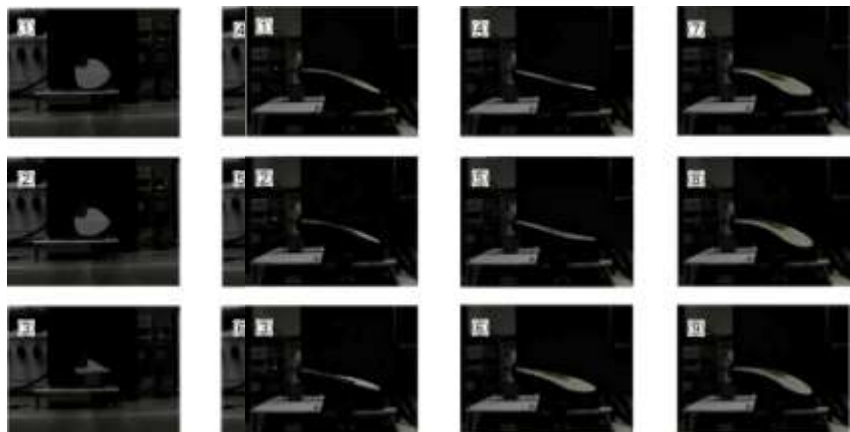
の平均揚力



図から平均揚力は 15 Hz や 20 Hz、30 Hz の周波数で大きく向上している事が分かり、平均推力は 30 Hz 時で sin 波形の平均推力より低くなっているが平均揚力は大きく向上していると言える。30 Hz 時は揚力と推力に対してトレードオフの関係が成り立っている。図 10 と図 11 にハイスピードカメラで撮影した 30 Hz 時の翼の様子を示す。これらの図から 30 Hz の飽和 sin 波形によって図 4 で説明した理想的なフェザリング
図 9 前縁部接着翼による各波形の平均推力
図 5 で説明した理想的なフラッピング運動をしている

ることが分かる。

図 10 30 Hz 時のフェザリング運動(翼幅方向)
図 11 30 Hz 時のフラッピング運動(翼弦方向)



まとめ

圧電繊維複合材料を用いたフラッピング運動とフェザリング運動が出来る羽ばたきロボットの性能向上を目的に、打ち下ろしと打ち上げ

時に異なる剛性を持つ特殊な翼構造と飽和 sin 波形を用いた新しい駆動方法を提案した。この翼構造と駆動方法を用いる事によって平均揚力に関する性能を大きく向上させる事が出来た。

3.2 リング型駆動モジュールによる羽ばたきロボット

翼に圧電繊維複合材料を適用する能動翼に代わる機構として、新たに昆虫を規範とした羽ばたきロボットを開発した。昆虫の体内構造は図 1 2 のようになっており、この構造を模した機構として図 1 3 のようなリング状駆動モジュールを製作した。

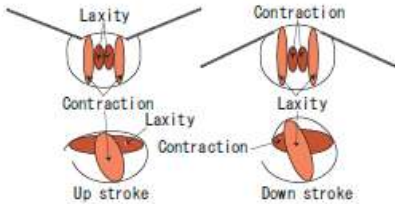


図 12 関節飛翔筋型昆虫の構造

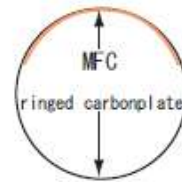
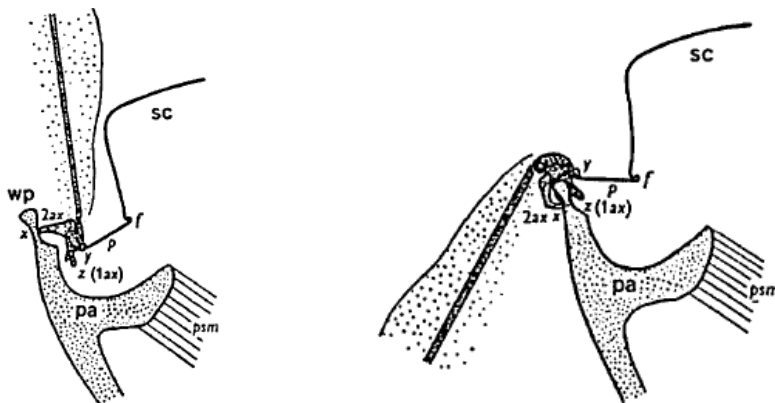


図 13 リング状駆動モジュール

間接飛翔筋型昆虫のクリック機構

昆虫の飛翔筋は単縮の持続時間や短縮速度はほぼ等しく、毎秒 30～50 回の刺激で強縮状態へと至る。つまり筋肉の力だけでは翅は毎秒 30 回以上動かす事はできないことになる。しかし、現実の間接飛翔筋型昆虫は 50Hz 以上の羽ばたき周波数をもって飛ぶ事ができている。これを可能にしているのがクリック機構である。クリック機構とは、間接飛翔筋型昆虫が背板の動きを翅に伝える際に用いる機構のことである。図 1 4 に昆虫のクリック機構を示す。



(a) 振り上げ時の翅の基部横断面

(b) 振り下ろし時の翅の基部横断面

図 14 昆虫のクリック機構

図 1 4 (a)において背部縦走筋ははじめ収縮状態にあるため f 点に反発力を生み出す。この力は p 点を通り y 点(翅の節片)を通して硬皮に伝えられるが、側腹筋が収縮する場合その動きは反発される。この場合翼の動きは、両者の力が y 点にかかるために xyf の 3 点を外に押し出す動きになる。同時に硬皮の運動は z 点を押し上げる動きとなる。この力によって少しずつ y 点がせり上がっていき、x と y-f のラインが揃う時、背板にためられた弾性エネルギーは急速な回転として解放され図 1 4 (b)の位置になる。図 1 4 (b)において xf の作るラインよりも上に y 点があるため、動きは少しずつしか起きない。背部縦走筋と側腹筋の反発力によって、硬皮の運動は z 点を押し下げる動きとなる。翼のクリックが後退する臨界値に達した時、再び急速な回転として解放され図 1 4 (a)の位置になる。

クリック機構を用いる事で昆虫は、本来筋肉のみの動きでは起こす事のできない高い羽ばたき周波数を、

あえて筋肉に高い周波数をかけて完全強縮状態にしたうえで筋肉の最大限の力を発揮できるようにし、その上で筋肉の動きによらない半自動的な羽ばたき機構を用いる事で生み出しているのである。また、完全強縮状態では筋肉は最大の力を常に維持できる事を利用して、筋が疲労しきるまで羽ばたきを安定して維持し続ける作用も持つ。昆虫の筋肉と違い応答性が高く安定した動きを行う事ができる MFC の場合、急速な回転として力を解放する点に注目し揚力と推力の向上を目指す。

クリック機構を導入した羽ばたきロボットの試作

クリック機構の構造を模倣し、図 15 のようなヒンジ機構を考案した。リング状駆動モジュール(以下リング)では、MFC を上部に取り付ける関係上、主に上部に対して力がかかる。リングによって引っ張る力が加わったとき、翅は打ち上げ動作を行う。しかし、中央のクリック機構部分と翅の根元が接触するとその動きが阻害される事となる。リングの引っ張り上げる力がクリック機構と翅の根元の摩擦力を超えたとき、翅は急速に跳ね上げられる。リングによって押し込む力が働いたとき、翅は打ち下ろし動作を行う。打ち上げ時と同様に中央のクリック機構部分と翅の根元が接触し、押し込む力がクリック機構と翅の根元の摩擦力を超えたとき翅は急速に打ち下ろされる。

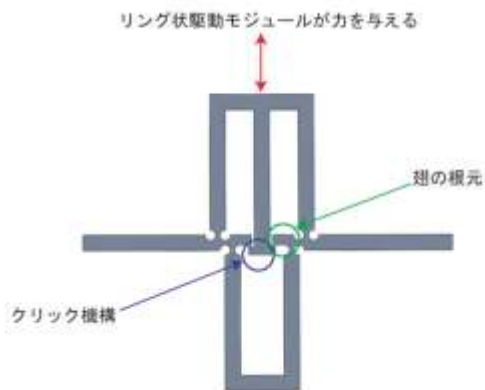


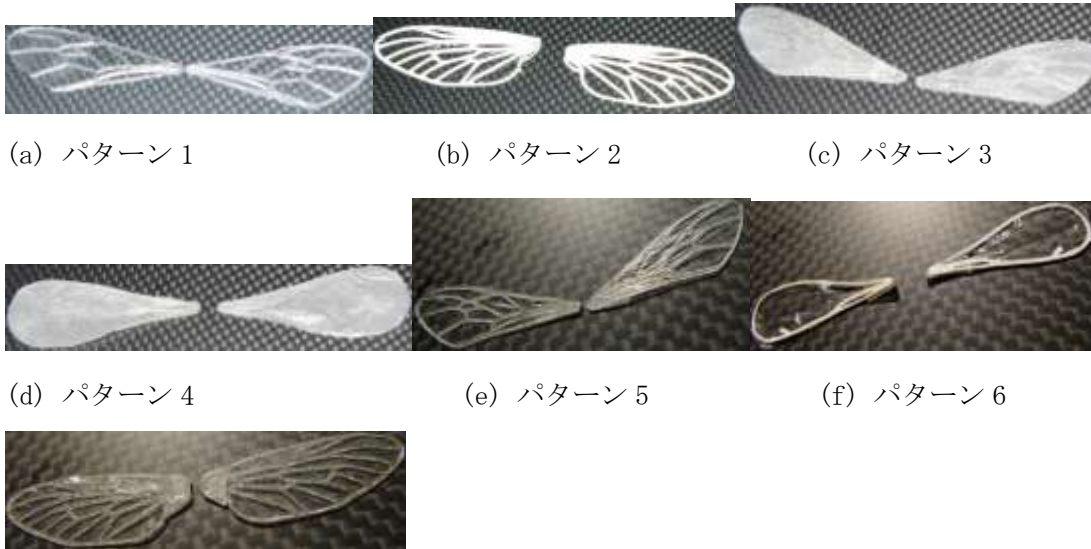
図 15 クリック機構を取り入れたヒンジ機構

羽ばたき実験と結果

圧電繊維複合材料を取り付けたリング型駆動モジュールにクリック機構を取り入れたヒンジ機構と翅を組み合わせると図 16 のような羽ばたきロボットを試作した。残念ながら前述のような理想的なクリック機構の動きを行うことはできなかったが、MFC の共振周波数において翼が羽ばたき運動を行うのがわかった。そこで MFC に sin 波形をかけて複数の羽を用いて駆動し、ロードセルを用いてその時の揚力と推力をクリック機構有無の変化を調べた。この実験で用いた羽を図 17 に示す。



図 16 リング型モジュールとクリック機構による羽ばたきロボット



(a) パターン 1

(b) パターン 2

(c) パターン 3



(d) パターン 4



(e) パターン 5

(f) パターン 6



(g) パターン 7

図 17 実験で使した羽

得られた平均揚力及び推力を表 2 にまとめる. 表 2 より, クリック機構がある場合では平均揚力, 平均推力ともにすべての結果において改善が見られた. 特に平均推力はクリック機構がない場合に比べて大幅な改善が見られた. その原因について考察する. 急激な解放が行われず, 弾性変形によってエネルギーがロスしているにもかかわらず全体として性能が向上したことにはいくつかの可能性がある. その中で最も影響があったと思われるものはリング状駆動モジュールのひねりの解消である. 共振周波数を用いるリング状駆動モジュールは単純な上下運動だけでなく左右へのひねりの運動も行う. クリック機構と翅が接触状態にあったため従来ひねりによって同期させづらかった左右翼の動きが揃い, 性能向上につながった可能性がある.

表 2 平均揚力及び推力

パターン	クリック機構	羽ばたき周波数 [Hz]	平均揚力[mN]	平均推力[mN]
パターン 1	有	11	1.16	29.90
	無	17	-0.02	2.51
パターン 2	有	22	8.51	40.14
	無	17	0.90	-15.35
パターン 3	有	18	5.31	12.64
	無	17	3.65	10.84
パターン 4	有	22	4.63	8.82
	無	17	-0.61	-1.67
パターン 5	有	48	3.43	46.28
	無	74	0.01	-0.90

パターン6	有	50	5.09	60.41
	無	74	-3.03	5.51
パターン7	有	48	2.20	51.50
	無	79	-2.89	2.42

昆虫の羽ばたき運動を分解した場合、フラッピング動作は翼を水平面に対して上下に動く動作であり、翼弦に対して垂直方向運動であるヒービング運動（対軸に対しての回転運動）と体軸に水平な軸まわりの回転運動であるピッチング運動の組み合わせ運動であると言える。この中で推力に関係が深いのはピッチング運動である。平均推力が上がった原因として、クリック機構がないヒンジ機構では、一点を保持する形態でありながら、鳥型の場合とは異なり翼の前縁部と後縁部とで剛性の差が少ないなどの原因からフェザリング運動の中でピッチング運動はほとんど起きていなかった。クリック機構を導入する事で、引っかかり部分と接触する事になり翅にねじりの動きが加えられたため、クリック機構がない場合と比べてピッチング運動がより大きく表れたのではないかと思われる。これにより推力が向上したのではないかと考えられる。

まとめ

本研究では間接飛翔筋型昆虫特有のクリック機構を、リング状駆動モジュールを用いた羽ばたきロボットへ適用する事で揚力と推力の向上を目指した。今回の実験では理想的なクリック機構の導入はできず自重を超える揚力を生み出す事はできなかったが、揚力と推力の向上を行う事ができた。今後本研究で得られた結果を活用し、より昆虫に近い羽ばたきロボットを実現して、最終的に圧電繊維複合材料を用いた羽ばたきロボットの飛行の実現に向けて、性能を向上させる必要がある。

4.5 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]

丸山 央 情報メディアシステム学専攻 博士前期課程 2年 明研究室

[プロジェクトメンバー]

梶原 直喜 情報メディアシステム学専攻 博士前期課程 1年 明研究室

野澤 峻平 知能機械工学科 4年 明研究室

大石 千種 知能機械工学専攻 博士後期課程1年 下条研究室

[指導教員]

明 愛国

下条 誠

鈴木 陽介

1. 研究目的

近年様々な機関でダイナミックな運動を行うヒューマノイドロボットの研究が盛んに行われている。白田らはロボットの遊脚期と接地期のトルクの変化を利用して、支持脚期に脚部モータが上半身の質量を支えるために必要なトルクの一部をバネの復元力を用いて補償するように設計されている才華4を開発した。

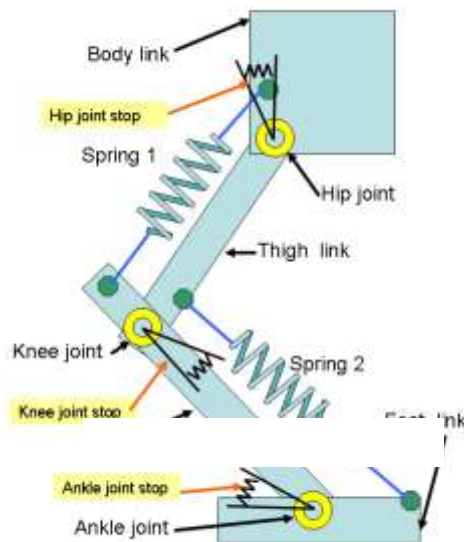
また本研究室では一般的な小型ヒューマノイドロボットにストッパ機構を取り付けて跳躍動作を実現させる研究を行ってきた。このロボットはモータの速度が足りないために高い跳躍が実現できないことがわかった。ヒューマノイドロボットは状態によって脚に必要な静止トルクが大きく変動し、一般的なロボットではその最大が満たせるようにロボットの設計が行われる。そのためロボットは高減速比となり、関節の最大角速度が低下するため素早い運動が困難になる。また高減速になることで関節のバックドライバビリティが減少し、重力や慣性力といった外力の有効利用ができないという問題も生じる。そこで本研究ではロボットのダイナミックな運動の実現のために必要静トルクにあわせて各関節間でトルクを相互利用可能な機構と関節の角度に合わせてモータの減速比が変化する機構を考案した。この機構を搭載することで必要な静トルクを平滑化し、特異点近傍での減速比を低下させることができると考えられる。最終的には2つの機構を搭載したダイナミックな動作が可能なヒューマノイドロボットの開発を目指す。

2. 研究の独創性・有用性

①トルク相互利用機構

この機構は単純な引っ張りバネ機構をヒューマノイドの脚部に下肢と上肢に1本ずつ2関節にまたがる形で計2本取り付ける (Fig. 1)。上肢側のバネは股関節の屈曲、膝関節の伸展方向に作用する。また下肢側のバネは膝関節の屈曲、足首関節の伸展方向に作用する。従来のヒューマノイドロボットでは関節のトルクはその関節に搭載されているモータと減速機によってのみ与えられるが、本機構を用いること

で負荷の少ない関節から負荷の大きな関節にトルクさせることができ、関節間の負荷トルクの平滑化なる。また従来の重力補償機は接地時には負荷ト減に大きな効果をもたらすが、遊脚期には負荷ト大という影響があった。しかし本機構では遊脚期の低減方向に作用させることができるといったつ。この効果で関節にかかる最大負荷トルクを低減ことができ、関節機構の減速比を下げる事が可



クを影響が可能にトルクの低減にもトルク特徴を持減させる能になる。

②減速比可変型ヒューノイドロボット

ヒューノイドロボットは接地時に膝の屈曲と

にかかる重力からの負荷トルクが増大する。従来のヒューノイドでは関節トルクの設定は最大の負荷トルクを満たせるように設計が行われる。即ち膝が最大に屈曲した状態を保持可能なトルクを関節を満たすように減速比とモータを決定する必要がある。このときモータの質量とトルクの関係から高い減速比(200:1程度)が用いられることが多い。この場合ロボットが直立に近い状態(特異点付近)では必要なトルクに対して関節が出力可能なトルクは非常に大きくなる。また減速比が高いことによって関節の速度低下やバックドライバビリティの低下といった問題が生じる。そのため本研究では膝の角度に対して関節の減速比が可変可能な機構を用いて特異点付近では低減速を満たしつつ、屈曲時には高い減速比をもつ機構の開発を目指す。具体的な機構としては非円形歯車を用いる形と4節リンク機構を用いる形の2パターンを現在検討している。

共に関節

3. トルク相互利用機構の研究成果

3.1 トルク相互利用機構の設計の最適化

本機構の設計上の問題として様々なパラメータが本機構の特性を左右するということが考えられる。そこで本機構の設計パラメータを最適化する計算手法の導出を行った。

まずロボットのフレームの設計を行い、各リンク重心や重量を計算した。そしてこれらにあわせてトルク相互利用機構の設計の最適化を行った。最適化を行うパラメータは各リンクのバネの取り付け位置座標(7つ)、バネの自然長(2つ)、バネ定数(2つ)である。これらの11のパラメータに関してそれぞれ4通りの値を用意し、すべての組み合わせに関して 4^{11} 通り(4194304)のトルク余裕に関する計算を行う。その後すべての組み合わせ内で基準値が最適となるパラメータの組み合わせを選び出す。

3.1.1 最適化計算の評価軌道

評価する軌道にはヒューノイドロボットの基本的な運動である立ち上がりと歩行に関して行う。立ち上がり軌道は状態を垂直に保ちながら立ち上がる運動で評価には式(1)を用いて算出したトルク余裕を用いる。これはアクチュエータの定動トルクから静トルクを引いたもので動的に利用可能なトルクを示す。歩行には足先が三角形軌道を描く歩幅35mmの単純な歩行を用い、評価には必要静トルクを用いる。

$$T_{margin} = T_{stalling} - T_{static} \quad (1)$$

$T_{stalling}$: アクチュエータの定動トルク T_{static} : 関節が必要な静止トルク

3.1.2 最適化の条件

すべて角度においてトルク余裕がモータの定動トルクの 2 倍を超えず、かつ全関節でトルク余裕が 0 を下回らないパラメータの組み合わせのみを考慮する。また最適化の基準として以下の 2 つの条件を考えた。

- ①歩行運動に関してすべての関節の静トルクが常にモータの連続トルク内に収まる。
- ②立ち上がり運動に関して各関節間のトルク余裕の差の積分値が最小になる。

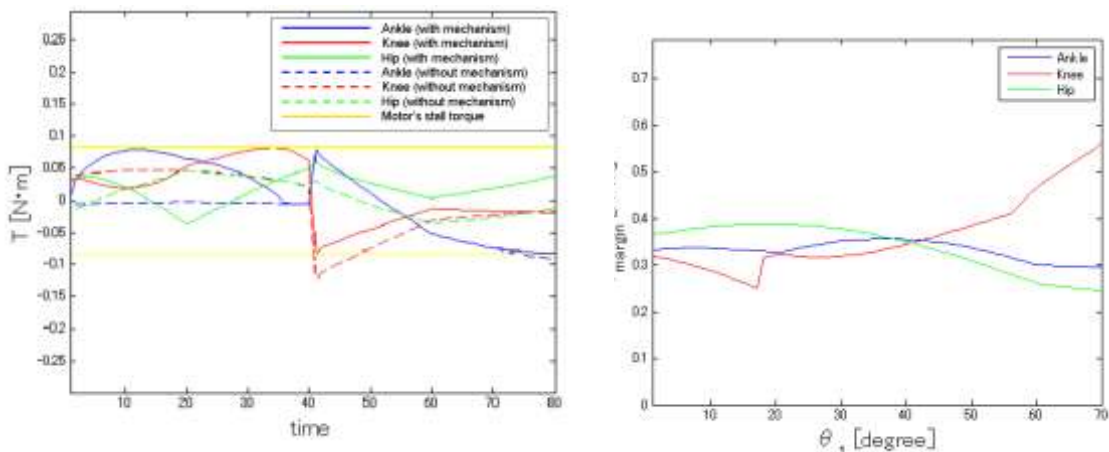
歩行軌道にはトルク相互利用機構がなかった場合には条件①を満たすことができない軌道を用いる。条件②は立ち上がり運動時の全関節の必要トルクの平滑化を基準にしたものである。

3.1.3 最適化計算の方法

最適化計算にはまず評価するパラメータを設定し、歩行トルクを算出する。そして①の条件を満たした組み合わせの中で②の条件を満たすものを採用する。この方法をとることで遊脚および接地脚ともに考慮したパラメータを設定することができる。

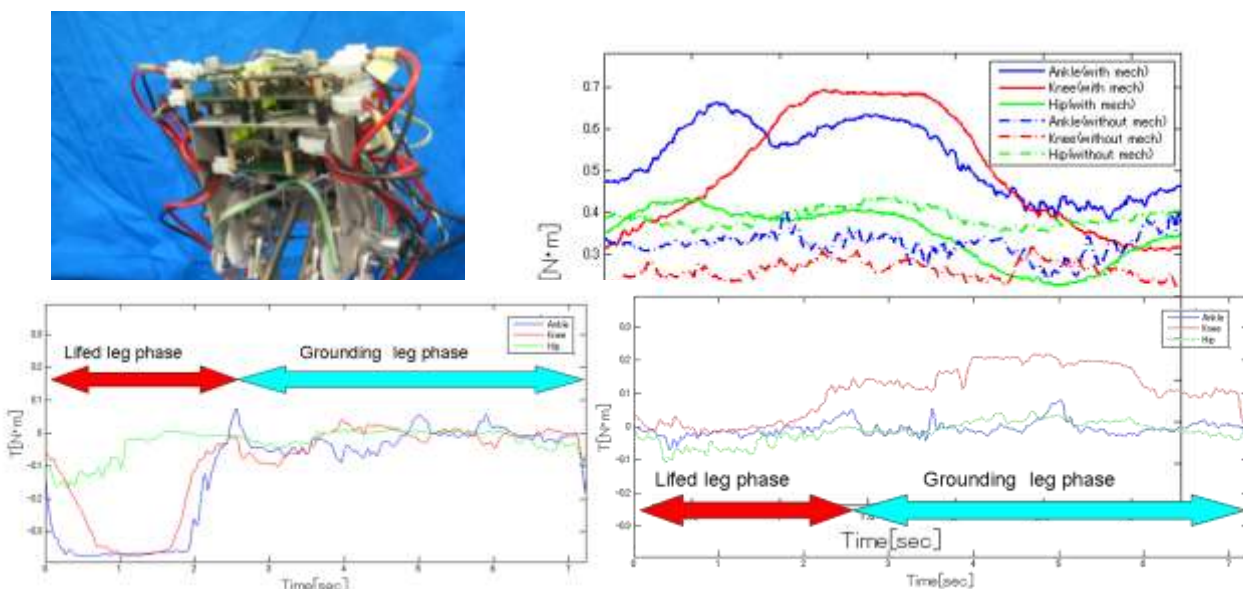
3.1.4 最適化計算の結果

上記の計算より算出したパラメータの歩行トルクと機構がなかった場合の歩行トルクを比べたものを図 2 に示す。これより遊脚および接地脚ともにトルクの平滑化ができていていることがわかる。



3.2 トルク相互利用機構の実験

最適化計算より算出したパラメータを用いて実機を製作し実験を行った。実際に完成した実機を図 3 に示す。



3.2.1
屈伸実験
ロボットの基本的な

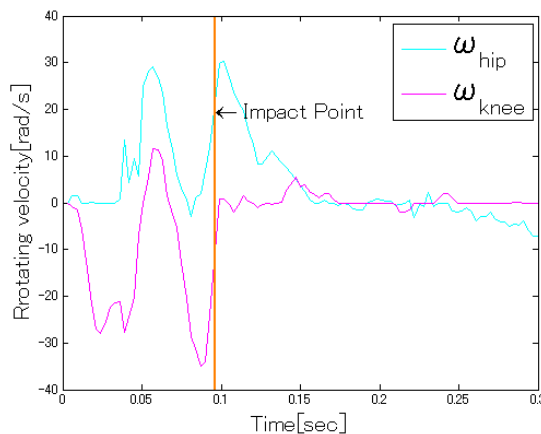
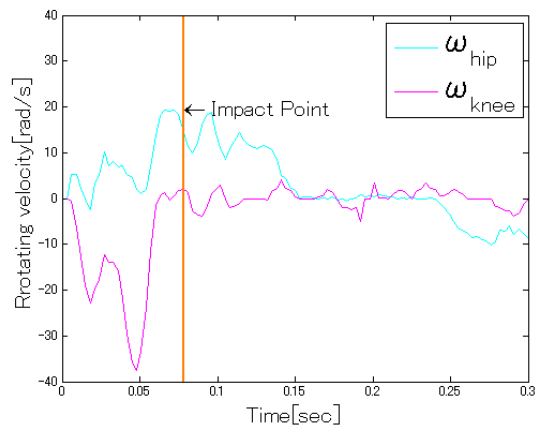
運動である屈伸運動に関してトルク相互利用機構をつけた場合とはずした場合とで比較実験を行った。このときの計測したトルク余裕を図4に示す。この結果より機構があった場合の方が無い場合より Knee, および Ankle のトルク余裕の向上と Hip のトルク余裕の低下を確認した。よって機構の本質であるトルクの相互利用可能ができたと考えられる。

3. 2.2 歩行実験

歩行軌道には様々な軌道に関して最大歩幅になるものをシミュレーションで算出した。結果はトルク相互利用機構があったものは三角軌道で最大は 35mm, 相互利用機構をはずした場合では三角軌道で 11mm が最高の歩幅であった。これらの結果を元に実機に導入して実験を行ったものを図5に示す。これらの結果よりロボットは接地脚においては消費トルクの平滑化ができていたことがわかった。しかし遊脚においては負荷が増えている。これは単純に歩幅が違う以外に構造上関節が屈曲するとバネ反力が軸に対してラジアル方向に大きくかかり、関節の負荷になってしまっていると考えられる。

3. 2.3 外力の利用に関する実験

動的な外力の利用に関してキック動作において動的な干渉駆動を用いた軌道とテイクバックから単純に全力で動かした軌道に関して評価を行う。初期の足首関節の高さは同じとし、ポテンシャルをそろえる。そしてインパクトポイント（足首関節がちょうど体幹の真下になる瞬間）までのエネルギー(E_{end}), 関節速度($\dot{\omega}_{knee}, \dot{\omega}_{hip}$), 足先の速度(\dot{x})を比べた。得られた関節速度を図6に示す。またインパクトポイントでの各パラメータの結果を表1に示す。これらの結果より本ロボットは干渉駆動を利用してより少ないエネルギーで高いインパクト速度を出せることがわかった。動的に外力を利用することが可能であるとわかった。



Parameter	Coupled drive	No coupled drive	Unit
E_{end}	3.0995	3.1388	J
V_x	4.2383	2.684	m/s
ω	29.799	18.9401	rad/s
ω_{hip}	603	383	rad/s
ω_{knee}	700	76.2	rad/s

3.3 トルク相互利用機構の結果

二関節間の駆動トルクの相互利用機構を用いることで関節間のトルクの差をなくすることができることがわかった。また減速比を押さえることで外力を有効に生かした運動が可能であり、ヒューマノイドロボットの運動能力の向上の可能性があることが証明できた。しかし遊脚においては構造により負荷が大きくなってしまったので屈曲時にもバネの反力が回転方向にのみ作用できるような工夫が今後は求められる。また制御面に関してもバネ反力を保証し、より有効にトルク負荷を分散させるような制御法の開発が必要になると考えられる。

4. 減速比可変型ヒューマノイドロボットの研究成果

4.1 可変減速リンク機構およびロボット本体の設計

図 1 に示すような簡易ロボットモデルを用いた屈脚運動のシミュレーションを行い、可変減速リンク機構の設計、および、アクチュエータの選定をした上で、ロボット下半身の設計を行った。屈脚運動では式(2)に示す各関節角度の関係が常に満たされるとする。

$$\theta_2 = 2\theta_1 = 2\theta_3 \quad (2)$$

また、図 2 に 4 節リンクのモデルを示す。この 4 節リンクは、各リンク長のパラメータが等しくないため、入力軸と出力軸の角速度が常に一定ではなく、入力軸の角度が増加するに伴い、出力軸に対する入力軸の角速度比、つまり減速比が変化する。図 2 の軸 A を

入力軸、軸 D を出力軸としたときの出力トルクと入力トルクの関係は式(3)で求められる。

$$T_{出力} = \frac{d \sin(\alpha_2 + \alpha_4)}{b \sin(\alpha_3 + \alpha_4)} T_{入力} \quad (3)$$

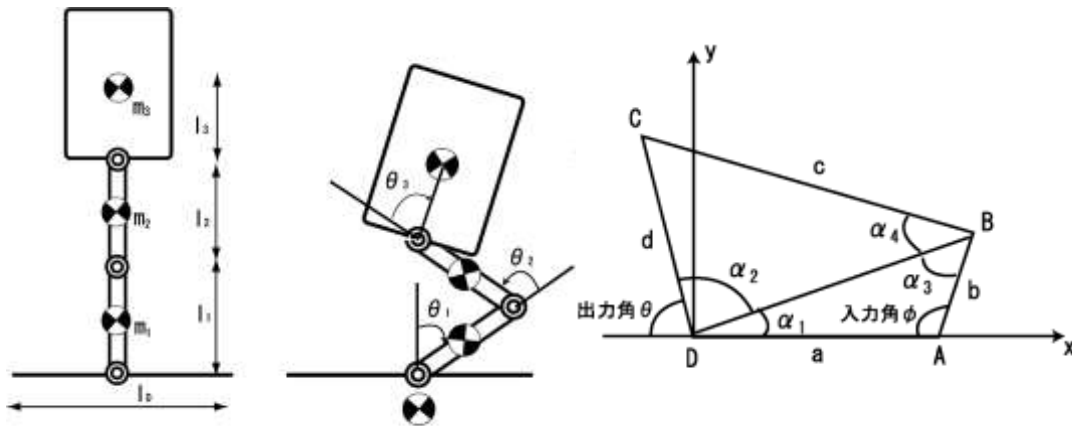
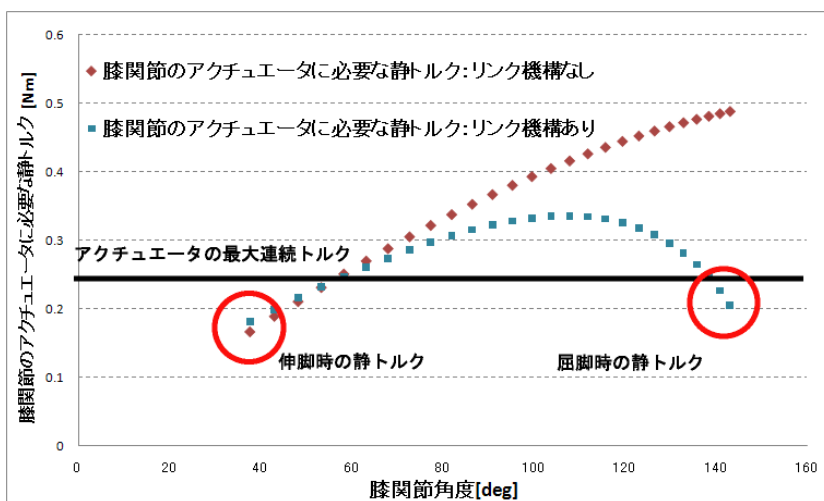
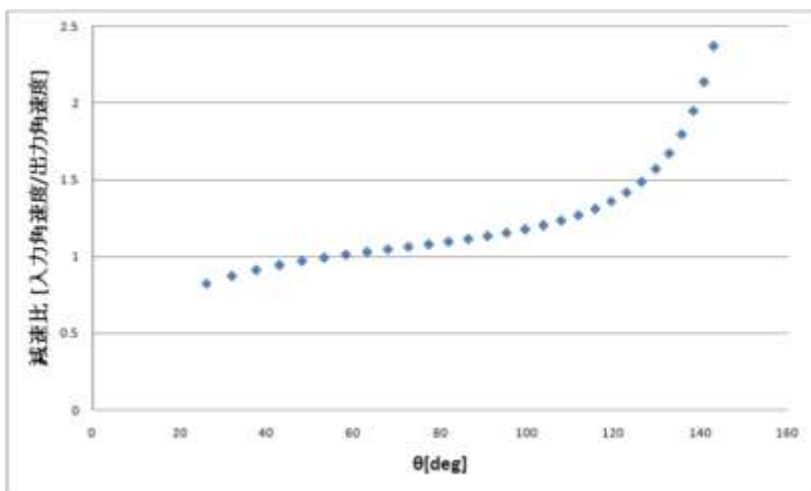


図 9 の各リンク長を $a=55\text{mm}$, $b=40\text{mm}$, $c=65\text{mm}$, $d=45\text{mm}$ とした時の減速比の変化を図 9 に示す。このパラメータを用いると、減速比が約 2.5 倍変化することが分かる。

4.2 4 節リンク機構のロボットモデルへの導入

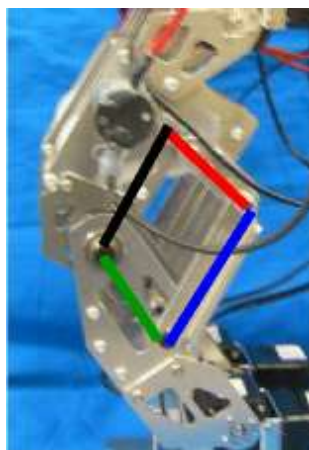
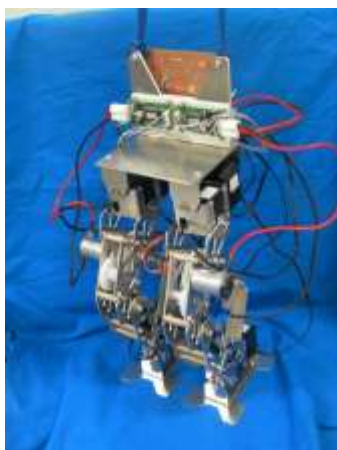
図 8 の 4 節リンクを、可変減速リンクとしてロボットの膝関節を駆動する形でロボットモデルに導入した。図 8 のシミュレーションに用いたものと同様のリンク長パラメータを用いた時の屈脚運動時の膝関節のアクチュエータに必要な静トルクの計算結果を図 9 に示す。低減速比を重視するため、減速機の

減速比は一般的なヒューマノイドロボットに用いられる減速比よりも低い20とし、以下、DCモータと減速機を組み合わせたものをアクチュエータと示す。これらの結果より、可変減速リンク機構を用いることで膝関節のアクチュエータに必要な最大静トルクの低減化が可能だとわかる。アクチュエータの最大連続トルクが、ロボットの直立時とロボットの屈脚時の静トルク(図10上の赤丸印)を満たすという条件のもとDCモータの選定を行った。具体的なアクチュエータの最大連続トルクはグラフの黒いラインであり条件を満たす。選定したアクチュエータを用い、可変減速リンク機構部、続いてロボットの下半身の設計を行った。



4.3 ロボット製作

図11の(a), (b)に試作したロボットの外観と可変減速リンク機構部を拡大した写真を示す。図11の(b)の赤、青、緑、黒の直線部分が可変減速リンク機構である。



4.4 実験

4.4.1 実験方法

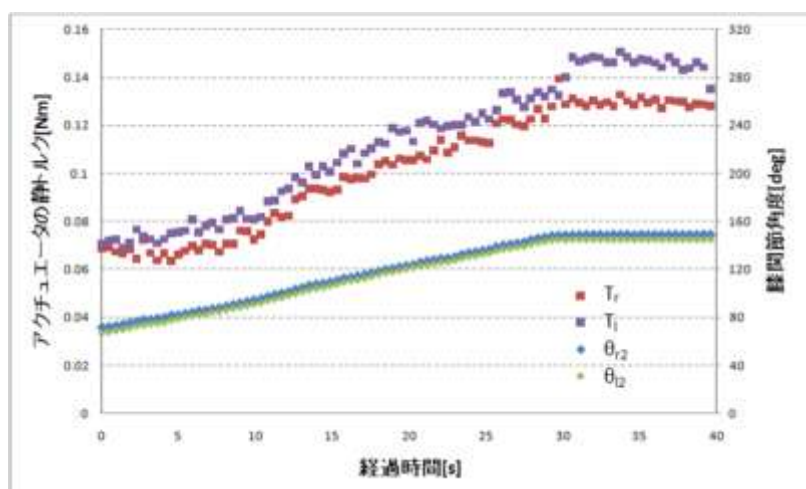
はじめに、平行リンクをロボットのリンク機構に乾燥し、屈脚運動を行わせる。以下、右膝関節角度を θ_{r2} 、左膝関節角度を θ_{l2} 、右膝関節アクチュエータ静トルクを T_r 、左膝関節アクチュエータ静トルクを T_l 、とする。

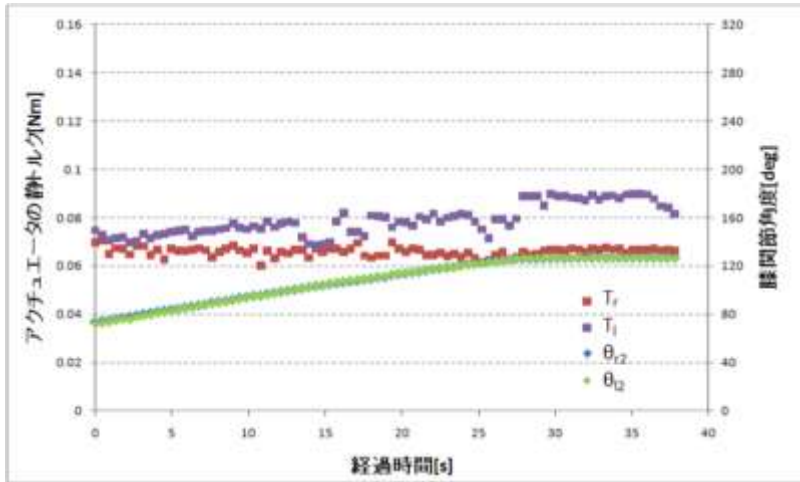
まず、電源投入時には half-sit (中腰) の状態 ($\theta_{r2} = \theta_{l2} = 70[\text{deg}]$) にする。その後、 $\theta_{r2} = \theta_{l2} = 130[\text{deg}]$ へと等角速度で屈脚させる。

この屈脚運動をしている間、左右の膝関節角度と DC モータの消費電流値をサンプリング周波数 66[hz] で 45 秒間取得する。次に可変減速リンク機構に乾燥し、上記と同様の操作を行う。取得したデータは電流値のため、DC モータのトルク定数とギアボックスの減速比との積を求めアクチュエータの静トルクを算出している。

4.4.2 実験結果と考察

平行リンク機構時と可変減速リンク機構時の実験結果についてそれぞれ図 12, 図 13 に示す。このグラフは経過時間[s]に対する、アクチュエータの静トルク[Nm]および膝関節角度[deg]の変化を表したものである。





まず、平行リンクの場合、half-sit 時の T_r , T_l は、ともに約 0.07 [Nm] であり、 θ_{r2} , θ_{l2} の増加に伴い T_r , T_l は最大値がそれぞれ約 0.13 [Nm], 約 0.15 [Nm] まで上昇していることがわかる。

次に、可変減速リンクの場合、実験開始直後 half-sit 時の T_r , T_l は約 0.07 [Nm] である。 θ_{r2} , θ_{l2} が増加しても T_r はほとんど増加することなく最終的に約 0.07 [Nm] の値のまま平滑化が行われるとわかる。 T_l は θ_{r2} , θ_{l2} の増加に伴い若干の上昇がみられるものの、最大値が 0.09 [Nm] で上昇が停止しており、平行リンク時と比べるとアクチュエータの最大静トルクの低減化が行われたといえる。

また、図 10 に示すアクチュエータに必要な静トルクと、図 13 に示すアクチュエータの静トルクに大きな差がある。これは実機を用いた実験の際、安全率を大きくとったためロボットの上半身の代わりとなる重りの質量を図 4 のシミュレーションに用いた上半身のパラメータよりも軽くしたからである。

4.5 可変減速リンク機構の結果

本研究では、可変減速リンク機構を用い、ヒューマノイドロボットの屈伸運動における膝関節のアクチュエータの最大静トルクの低減化を試みた。可変減速リンク機構を搭載した実機の製作を行い、2 つの膝駆動機構について屈伸運動の実験を行った。平行リンク時に比べ、可変減速リンク機構を用いた時は膝関節アクチュエータの最大静トルクの低減化が行われ、可変減速リンク機構の有用性を示すことができた。今後の課題として、可変減速リンク機構の屈脚運動以外の動的な動作への効果の検証や、動的な運動を考慮した最適化計算によるリンク長の検討が挙げられる。

5. 結言

本研究では、ヒューマノイドロボットのアクチュエータを低減速化し、外力の有効活用を行うことで、運動性能の向上を図った。そのアプローチとして 2 つの手法を用いた。1 つめの手法が、二関節間の駆動トルクの相互利用機構を用いることで関節間のトルクの差をなくすものである。この研究で、トルク相互利用機構による関節間のトルクの差の低減が可能だとわかった。また、低減速比の特長を活かした運動実験により、本機構を用いた場合の外力の有効活用が可能であることも分かった。

2 つ目の手法が、可変減速リンク機構を用いた減速比可変型ヒューマノイドの開発である。この研究で、可変減速リンク機構によりヒューマノイドロボットの屈脚運動における膝関節アクチュエータに必要な最大静トルクの低減化が可能であるとわかった。

今後は、上記 2 つの手法で用いた機構を複合させた新機構の検討、開発などを行う予定である。

4.6 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 所属

塚田 夏美 知能機械工学専攻 博士前期課程2年 明研究室

[プロジェクトメンバー]

氏名 所属

謝 昭賢 知能機械工学専攻 博士後期課程3年 明研究室

清水 智 知能機械工学専攻 博士前期課程2年 下条研究室

安藤 健治 知能機械工学専攻 博士前期課程1年 明研究室

小倉 和也 知能機械工学科 学部4年 明研究室

塚野 聖仁 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、少子高齢化社会の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。日常生活動作(ADL)の中でも椅子からの立ち上がり動作は、日常で多く行う動作の一つであり、下肢などの身体にかかる負担が大きいため、介助を必要とする高齢者が多い。この問題を解決するため、立ち上がり動作を支援するロボットの研究開発が行われている。しかし、先行研究の多くは、センサによるフィードバックや機構的な自由度が少ないため、被介助者の動作や状況への対応が困難であるという問題点があげられる。

そこで、本研究では移動マニピュレータ(図1)によるホームサービスの一環として触覚センサと視覚センサのセンサフュージョンにより被介助者の動作や状況に応じた立ち上がり動作アシストの実現を目指している。触覚センサにより取得する触覚情報と視覚センサにより取得する姿勢情報を統合することにより被介助者の動作や状況に応じた支援が可能であると考えられる。

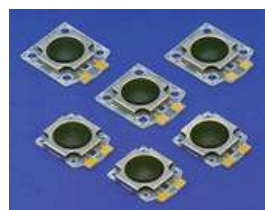


図1. 移動マニピュレータ
図2. 3次元カメラ
図3.

触覚センサ

2. 研究の独創性・有用性

人間の立ち上がり動作支援に必要な動作は2つある。ロボットが人間に近寄り、動作支援の準備をするアプローチ動作と動作支援を実行するアシスト動作である。

これらの動作に必要なものとして全身の姿勢などのグローバルな情報と触覚情報などのローカルな情報を見て制御する必要がある。そこで、本プロジェクトでは、3次元カメラ(図2)と触覚センサ(図3)を用いることを提案する。

3次元カメラは Mesa 社の SR-4000 を使用する。このセンサはリアルタイムに3次元距離データが取得可能である。この3次元距離データを用いて、アプローチ動作のための認識や被介助者がどのような姿勢でアシストを受けながら立ち上がり動作を行うのかを認識し、フィードバックを行う。

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1[ms]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0.1[ms]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。従って、本研究では触覚センサに CoP センサを使用する。

これらのリアルタイム性のあるセンサを連携して使用する事で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。

アプローチ動作では3次元カメラを用いて椅子に座っている被介助者の脇下にアームを移動させる。

アシスト動作では3次元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、常に人間の脇下にアームがあるように制御しつつ、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 アプローチ動作のための人間認識

移動マニピュレータによる立ち上がり動作アシストの準備として、アシストの際被介助者につかまってもらう移動マニピュレータの先端に搭載されたアシストアームを脇下まで入れるための人間認識を行う。

移動マニピュレータを被介助者の脇下まで動かすには人間からある一点を抽出し、その結果に基づいて動かす必要がある。そのため約2万5000画素の3次元距離データを高速に取得可能であり、距離の1%という精度を持っている3次元カメラを用いて行った。

被介助者の意思により呼ばれた移動マニピュレータがアシスト開始姿勢になるために被介助者の位置検出、向きの検出、そして被介助者の脇下の検出という処理を行うことを考案し、実験を行った。

被介助者の位置検出では、3次元カメラにより被介助者の正面から取得した画像から被介助者の胸を検出することで被介助者の位置とした。位置検出の流れは、3次元カメラにより得られた3次元距離データを利用してエッジを検出し、図4に示す被介助者の中心線と図5に示す脇を通る直線を得て、図6に示すようにそれらの交点にあるデータを被介助者の位置とした。

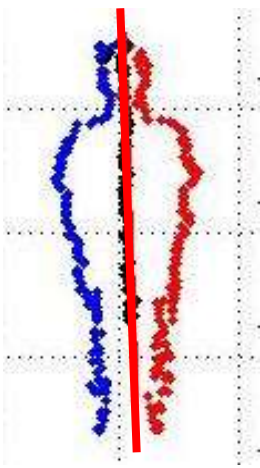


図4. 中心線

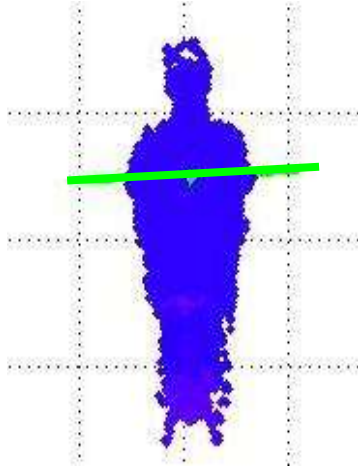


図5. 脇を通る直線

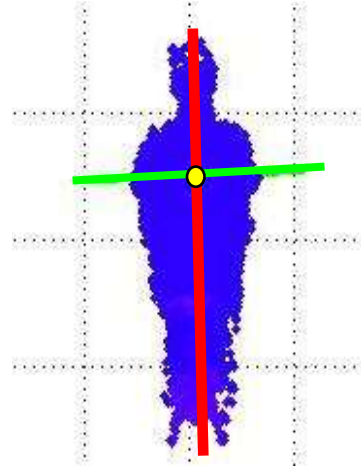


図6. 被介助者の位置

検出したエッジの各行で体幹の2点を検出することにより向きの検出を行う。

被介助者の脇下の検出では、被介助者に近づき被介助者を横から撮影し、腕の位置を検出することにより脇の位置を検出した。その結果、図7のようにアシストアームを被介助者の脇の下まで移動できることを確認できた。



図7. 検出後のアシストアーム位置

3. 2 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。そこで、視覚センサを用いた人体の立ち上がり動作の姿勢推定を取り上げる。

人の立ち上がり動作の姿勢推定を行うために3次元距離データを取得可能な3次元カメラを用いる。3次元カメラを用いることで、マーカースレスで高速に人の3次元距離データを取得可能となる。本研究では、立ち上がり動作の姿勢推定システムの開発を目指し、3次元カメラを用いたマーカースレスの関節位置推定法の提案を行う。

本提案手法では、図8に示すようなxy平面の人体モデルを定義する。人体を腕、体幹、大腿、下腿の4つの部位からなるモデルとする。モデルの各部位の寸法は限定しておらず、各部位の連結情報のみを持たせている。人体モデルの各部位の中心線(以下、骨格線と呼ぶ)上に関節が存在すると仮定し、人体モデルの連結情報と照合させることで各関節位置 P_i ($i = 1, 2, 3, 4, 5$) を推定する。

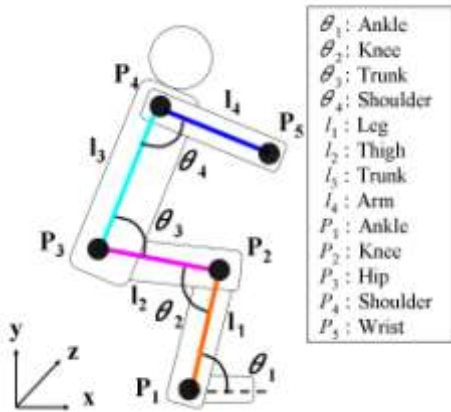
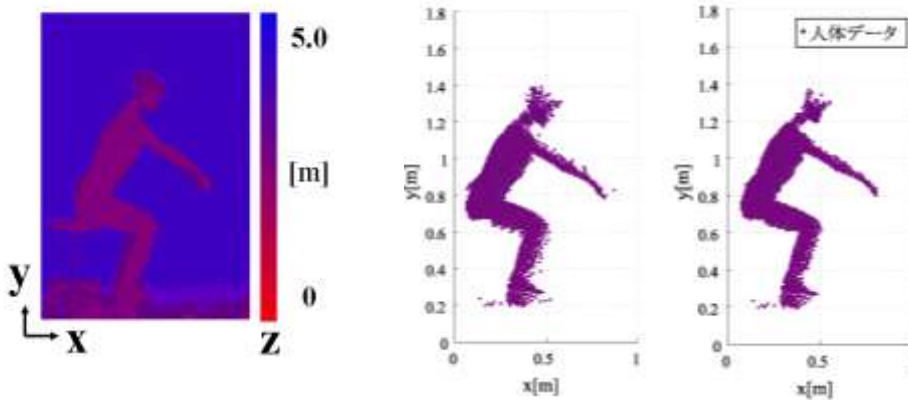


図8. 人体モデルの設定

3次元カメラから取得した3次元距離データから人体抽出を行う。図9(a)に3次元カメラにより取得した3次元距離データを示す。横軸をx, 縦軸をy, 奥行きをzとして、奥行きを色の違いで表現している。背景差分により椅子や壁などの背景除去を行う。取得した3次元距離データと背景データとの奥行きデータの差分が閾値以上であった場合、人体データとして抽出する。図9(b)に背景差分後のデータを示す。基準となる奥行きデータとその4近傍の奥行きデータの差分をとり、差が閾値以上であった場合、ノイズであると判断し、除去する。人体抽出の結果を図9(c)に示す。



7

(a) 3次元距離データ

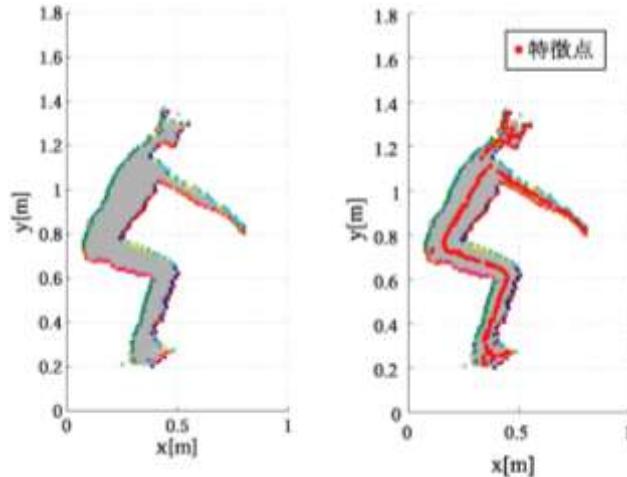
(b) 背景差分後

(c) 人体抽出

図9. 人体抽出

抽出した人の3次元距離データから形状を考慮した特徴点を抽出する。特徴点の抽出方法として、図10(a)に示すエッジパターン検出を考案した。基準とする人体データとその4近傍のピクセルに人体データが存在するか否かで、人体データのエッジを8つのパターンに分け検出する。図10(a)では、基準とする人体データを黒色で示しその近傍の人体データを灰色で表している。また、背景差分とノイズ除去により現在はデータが0となっているデータを背景データと定義し、白色で表示している。図9(c)に対してエッジパターン検出を行った結果を図10(b)に示す。

8つのパターンのうち対称的なエッジをペアとしペアとなる点同士の中でも3次元距離が最も短いものを最終的なペアとし、その中点を導出する。その中点は人体の中心にあると捉え、その中心点を特徴点として抽出する。特徴点抽出後の結果を図10(c)に示す。すべての部位において、特徴点がほぼ各部位の中心に抽出されていることが確認できる。



(a) エッジパターン
(b) エッジパターン検出
(c) 特徴点抽出
図10. 特徴点抽出

抽出した特徴点の直線近似により、骨格線を求める。本研究で抽出した特徴点は、データ数が疎でばらつきがあるため、データ数が疎でばらつきがあるデータに対しても直線を抽出可能なLMedSハフ変換を用いた。図10(c)の特徴点にLMedSハフ変換を適用し、骨格線を抽出した結果を図11に示す。2フレーム以降は、前フレームで抽出した骨格線を指標にLMedS値を算出する範囲を限定し高速化を行っている。緑色の線が骨格線である。図より特徴点の直線近似により骨格線が抽出できていることが確認できる。

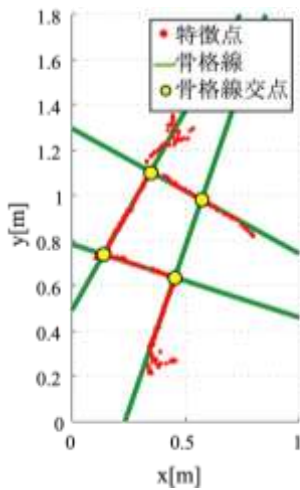


図11. 骨格線抽出

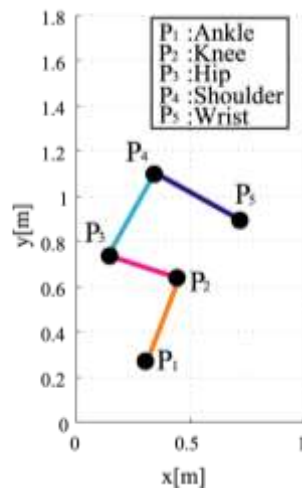


図12. 関節位置推定

抽出した特徴点の配置と抽出した骨格線の交点、人体モデルの部位の連結情報を用いて関節位置 P_i ($i = 1, 2, 3, 4, 5$) を推定する。図11に示す黄色の点が骨格線交点である。特徴点の配置が最小となる骨格線から P_1 を推定し、 P_2, P_3, P_4, P_5 という順番で推定する。図12に関節位置推定結果を示す。

提案手法を実装し、処理速度の検証を行った結果、初期フレームは3.7[fps]で2フレーム以降は30[fps]で処理が可能であることが確認できた。この結果より、高速処理が可能であることが確認できた。

提案手法と画像解析による関節位置推定の比較することで評価実験を行った。立ち上がり動作において

図 13(a)に示す 3次元距離データと図 13(b)に示す画像データを同時に取得する。提案手法によりマーカーレスで、データ取得から関節位置推定までの一連の処理を行う。一方、画像解析は、画像データ取得後にマーカーを指標として関節位置推定を行う。画像解析と提案手法による関節位置推定結果を比較する。

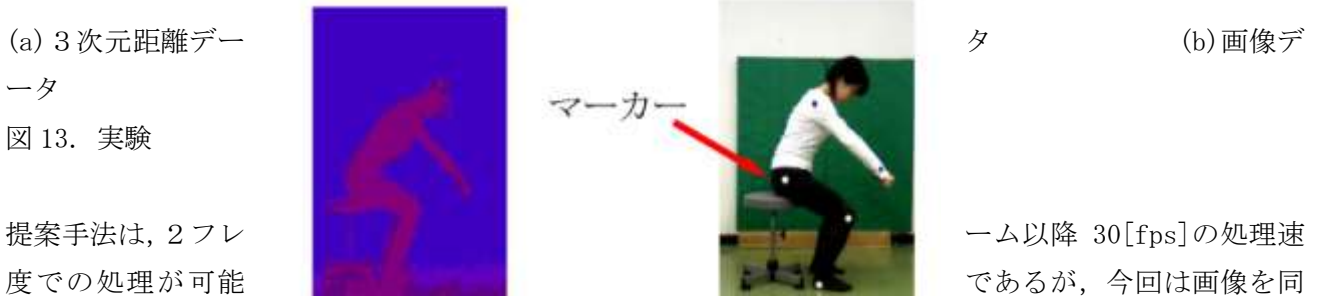


図 13. 実験

提案手法は、2フレーム程度の処理が可能であるが、今回は画像を同時に取得するため、16[fps]の処理速度で行った。図 14 に一連の立ち上がり動作の代表的な姿勢における実験結果を示す。上に画像データ、下に推定した関節位置を結んだスティックピクチャを示す。提案手法と画像解析による関節位置推定の結果、関節位置の差の平均は 25[mm]、標準偏差は 13[mm]で、推定できることが確認できた。

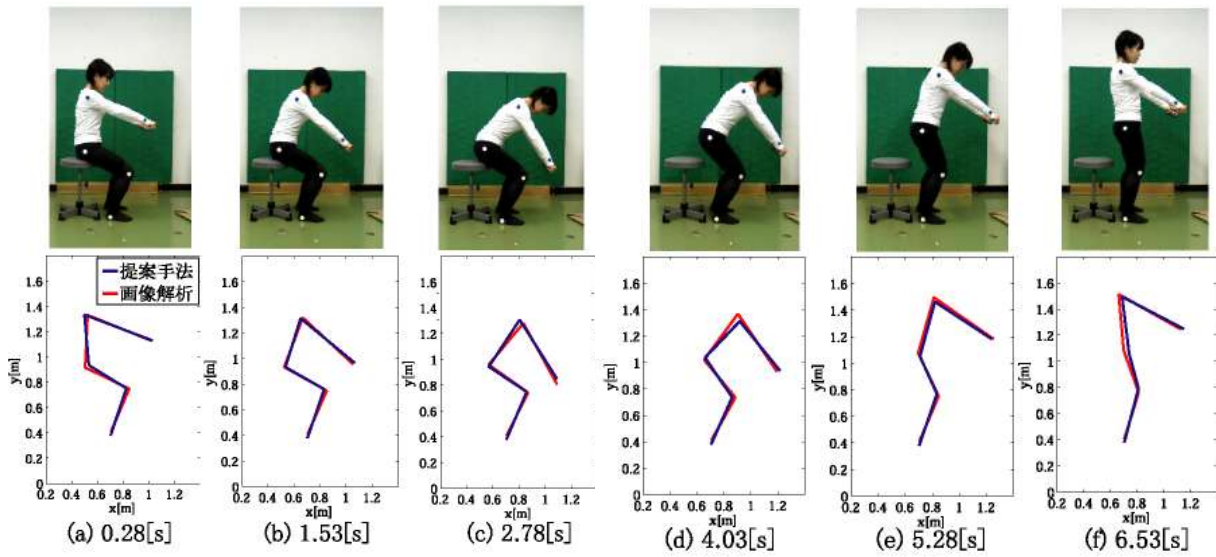


図 14. 一連の立ち上がり動作の実験結果

3. 3 立ち上がり動作の運動制御

触覚センサを用いて立ち上がり動作の運動制御を行う。触覚センサを用いることで触覚状況を考慮した運動の生成が可能となる。



運動制御を行うためには立ち上がり動作中にセンサの検出値がどのように変化するかを調査し、得られた特長を制御則に反映させる必要がある。そこで図 15 のようにアシスト

アームを用いて立ち上がり動作を行い被介助者とアシストアームの接触状況が立ち上がり軌道の違いに対してどのように変化するか調べた。実験結果のうち胴体とアシストアームの接触状況を示すアーム円周方向の荷重分布中心位置を図 16 に示す。

図 15 . 実験の様子
16. 荷重分布中心位置

この値は上半身が前方へ前進する前進姿勢時に最大値をとる。前傾姿勢が不足した場合この最大値が減少する傾向があった。そこで前傾・前進姿勢を全く生成し基本軌道を作成し、この軌道を触覚情報が

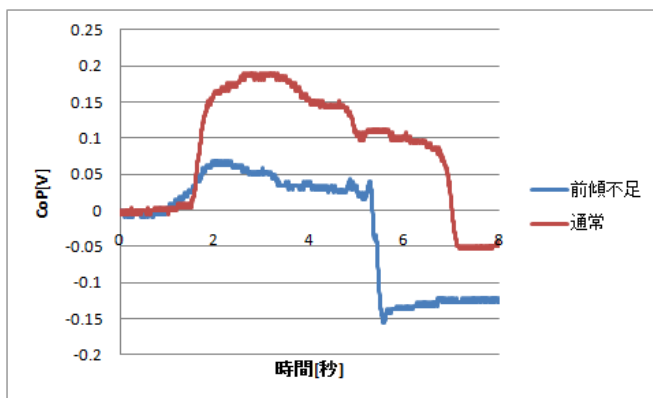


図 16. 荷重分布中心位置
勢の合に、分かないら修

正することで運動制御を行うことにした。ブロック線図を図 17 に示す。基本軌道は図 18(a)に示すように 3 秒間停止した後、図 18(b)に示すように一定速度で上方へ移動する軌道とし、軌道の修正は PA10 が動作する速度とその方向をアシストアームからのセンサフィードバックと制御時間からファジィ制御によって行う。

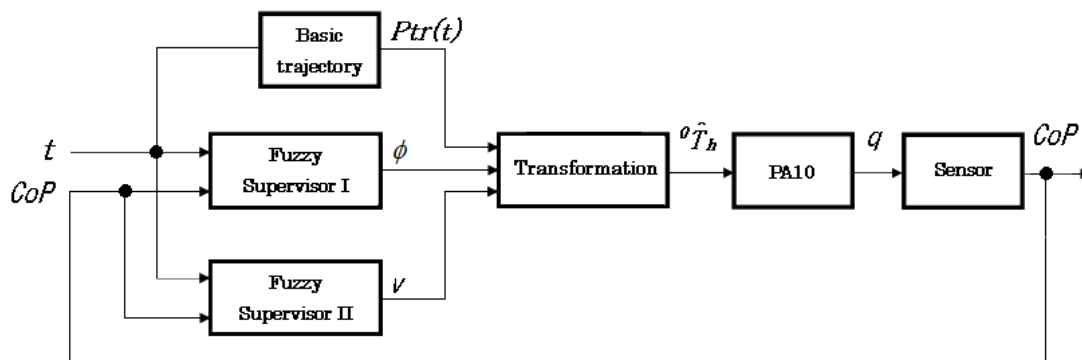
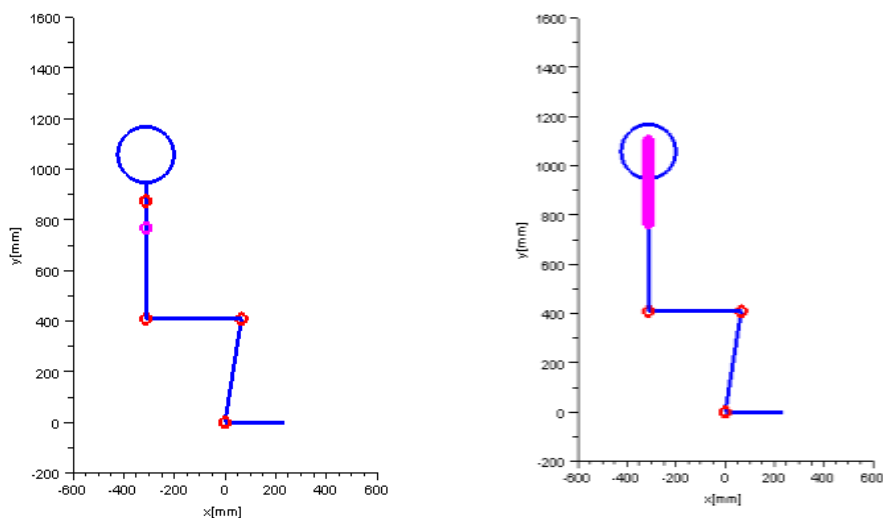


図 17. ブロック線図



(a)

(b)

図 18. 基本軌道

設計したファジィ制御規則とファジィ集合により立ち上がり動作のための運動制御が可能であるか実験を行った。実験には高齢者の平均身長に合わせて設計した実験器具を使用し、初期姿勢は膝関節が80[deg]になるように設置した。実験は5回行い基本軌道のみによる立ち上がり動作も行った。図19に軌道修正の実験の様子、図20にアームの軌道、図21 触覚センサ検出値を示す。

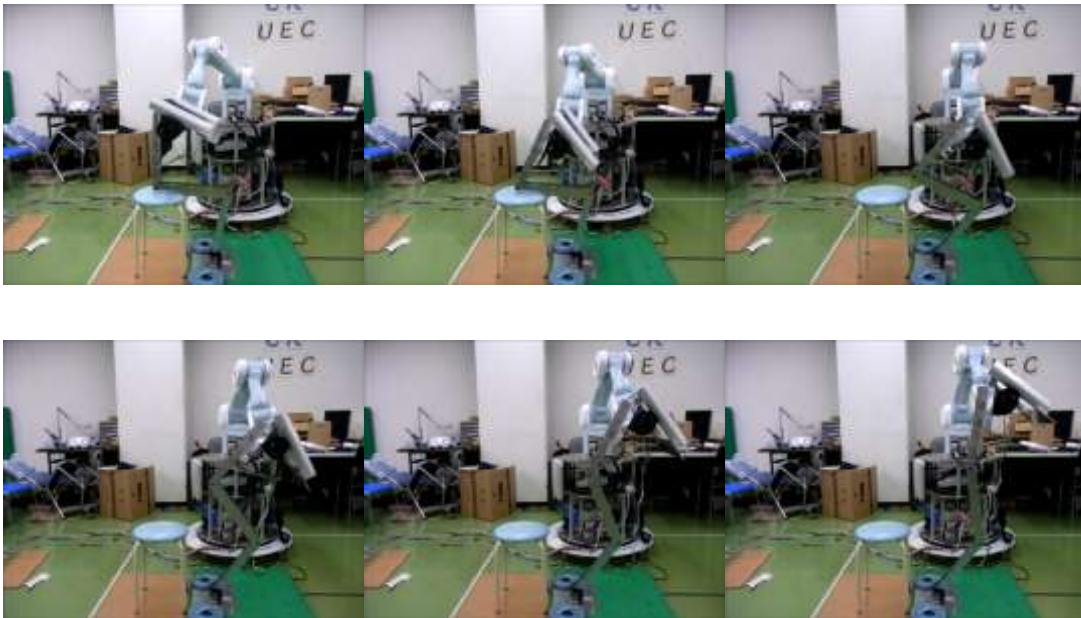


図 19. 軌道修正の実験の様子

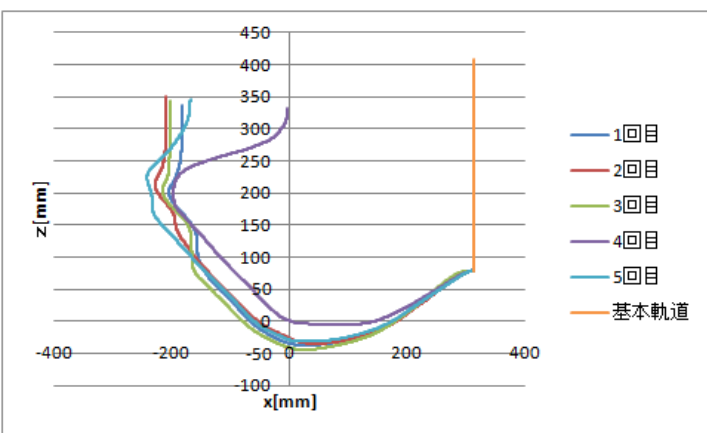


図 20. アームの軌道

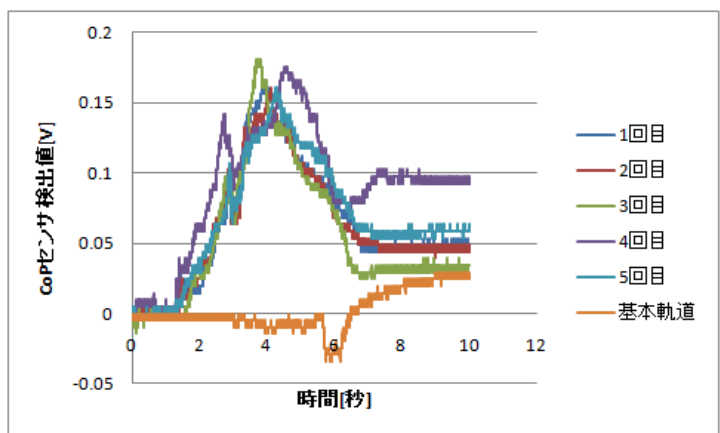


図 21. 触覚センサの検出値

図 20 より基本軌道は上方にアームが移動するだけであるため、実験器具は後方へそり返るような姿勢で立ち上がり動作を終了することがわかる。一方でファジィ制御を加えた場合は前傾・前進姿勢を生成するために軌道が x 方向に大きく修正されている。また図 21 では、基本軌道のための立ち上がり動作ではセンサの出力がほとんど得られないのに対し、ファジィ制御を用いた場合は 0.15[V]程度の出力が得られ、基礎実験で得られた結果と比較すると前傾姿勢を十分にとった時に得られるセンサ出力であることが確認できた。

4.7 Automatic surface investigation by micro robot with micro indenter.

Project leader: Mr. Montree Pakkratoke Department of Mechanical engineering and Intelligent systems, Doctoral course 2nd year, Prof. Aoyama' s laboratory.

Member: 1. Mr. Nattapong Kitsuwat Department of Information and communications, Doctoral course 4th year, Prof. Kishi' s laboratory.

2. Mr. HIROSE Kazuki Department of Mechanical engineering and Intelligent systems, Master course 1st year, Prof. Aoyama' s laboratory.

3. Mr. CHINO Kota Department of Mechanical engineering and Intelligent systems, Bachelor course 4th year, Prof. Kanamori' s laboratory.

4. Mr. SMG. Iroshana Department of Mechanical engineering and Intelligent systems, Bachelor course 4th year, Prof. Aoyama' s laboratory.

Supervisor: Professor Dr. HISAYUKI Aoyama and Professor Dr. CHISATO Kanamori

1. Background

Regarding to our last years research, the first prototype of micro hardness machine was constructed. It was described that the simple mechanical structure of parallel leaf spring mechanism and small voice coil actuator can generate force in micro newton range. The force machine can give the best resolution of generated force at 50 μN per step with good linearity, less vibration and less hysteresis up to maximum range 20 mN. The micro robot stage carrying can provide the benefit of easy control with higher positioning resolution. In the experimental results has shown ability of machine that it can investigate the elastic behavior of several material by the indentation load-depth curve. Even though this machine has a good performance on surface analysis, but the overall construction still bigger to put inside SEM chamber or set up on micro robot as our main propose. The most problem is depth measuring device (the KEYENCE laser displacement sensor is used as depth measuring sensor) it has dimensioned about 82mm length, 76mm width and 33mm depth. Due to tiny size of micro force machine, it is possible to set up on micro robot, but we need another depth measuring device that small enough to put on micro robot. In this year we would like to propose research topic on "Automatic surface investigation by micro robot with micro indenter" .

2. Objectives

We would like to approve depth measuring device of micro force machine, to make it smallest as it can. By using linear variable differential transformer technique (LVDT), the dimension size should be reduced but still remain good resolution up to 0.01 μm and best accuracy at 0.05 μm . Then after finished on depth sensing part, the overall measurement systems will be implementing on micro robot. Finally we will get micro robot hardness testing system, that small and flexible in application use. This robot should be provide generated force from range 50 μN up to 20 mN with 50 μN resolution and 0.5% accuracy. The controller program can be controlled its position

and indicated force and depth value during whole operation time. After finished this robot, it will be use in BIO cell application such as BIO cell micro surface analysis.

3. Micro force Generator Machine

A. Design and concept

As shown in Fig. 1, the micro displacement generator machine consists of two L-bars and two parallel leaf springs and these are assembled as a frame. There is a solenoid coil on the top side of the frame and permanent magnet on the down side. This layout is well known as the “voice coil actuator (VCA)” . It is used as the displacement actuator in this machine. The magnetic fields are produced by electric current, which electric current carrying conductor in a magnetic field will be produces a force perpendicular to the direction of the electric current and the magnetic field. The magnitude of force depends on length of the conductor in the magnetic field and electric current supply. In this mechanism, the solenoid coil fabricated from copper wire with 0.2mm diameter in 200 turns wired, that can generate force enough to activate the parallel spring with the smallest size. The magnetic field sources are essentially dipolar in nature, having a north and south magnetic pole. In this machine, the action between permanent magnet and solenoid coil is repelling (North Pole to North Pole, South Pole to South Pole). It is possible to control the magnetic force produced by changing the amount of the electric current applied to the coil. Programmable power supply (HP-6632A) is used as a current control source. The electric current supplied was limited in 0.5A, due to temperature product from high current supply that may cause significant effect to another sensing part. Its magnetic field will push the coil (and the attached VCM arm) outward if the north and south poles of the two magnetic fields are lined up together (north to north, and south to south), or pull the voice coil inward if they are lined up oppositely (north to south, and south to north). The phosphor bronze 50 um thin plate is used as leaf springs. This simple parallel leaf spring mechanism can produce rectilinear displacement of the platform. Even though the rotation of cantilever and bending moment of platform effect the position of the generated displace, this error can be compensated by limit displacement of moving arm. As the movements are very small displacements, we could neglect this problem [1].

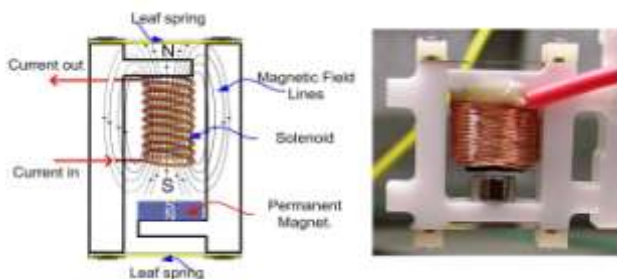


Fig.1 Structure of micro displacement generator.

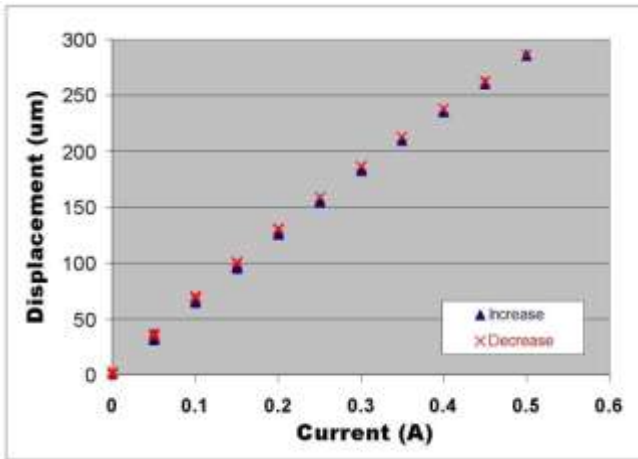


Fig. 2 Experiment results with the displacement of the paralleled spring driven by VCA.

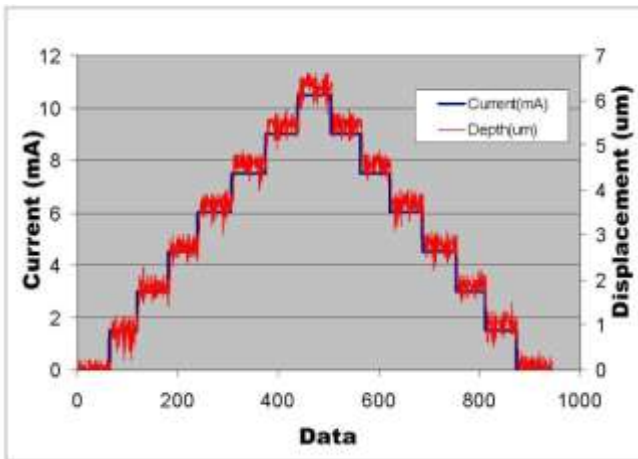


Fig. 3 Experiment results with the step response to the input current.

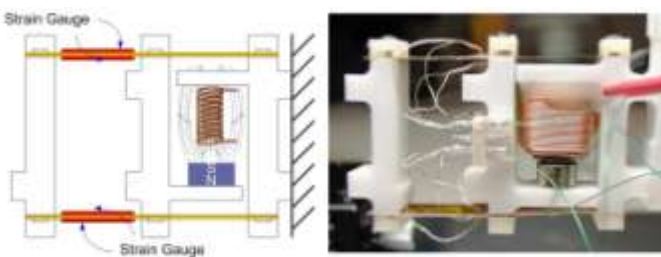


Fig. 4 Force sensing element attached on leaf spring.

B. Displacement generated performances test

In the experiment, when DC current was supplied to the coil at 0.5mA per step, the VCA has response to current at 1.5mA step. Then current step input was limited at 1.5mA per step as the smallest

current supplied that can move L-bar arm or best resolution of this machine. This performance test was supplied DC current 1.5mA per step increase from 0A until 0.5A after that decrease 1.5mA per step down to 0A. The behavior of moving L-bar arm as a consequence of current supplied was investigated by laser displacement sensor (Keyence LK-G3000V). Then resolution, linearity and operation range of micro displacement generator machine was checked precisely as shown in Fig. 2 and Fig.3. From the experiment, it is clear that this machine can generate displacement up to 280um with 0.5A current supply. The resolution result shows displacement 1um can be given with 1.5mA step current supply. The linearity graph shows the completely same behaviour for increase and decrease of generated displacement. And it is found that it can provide good linearity and repeatability with the range of displacement.

4. MICRO FORCE GENERATOR MACHINE

A. Force sensing element

In Fig. 4, shows the sensing part that composed of the force sensing element, which is attached on the leaf spring, attached to the actuator part. The full bridge four strain gauges (model: KSPH-4-2K-E4) has been bonded on both sides of parallel leaf spring, the bending action of parallel leaf springs can be monitored. Resistance change of sensing part due to bending action of leaf spring was magnified 200 times by bridge amplifier (KYOWA DA-710A). Then voltage output from the amplifier circuit is measured by six and a half digits multi meter (Agilent 34411A). The force sensor element work as a feed back signals, the force value can be generated from displacement change of L-bar arm of force generator machine. The expected force can be measured and controlled by the force sensing feed back signal. After the strain gauge force sensors are attached, and then the displacement generated performance can be checked by using a laser displacement sensor. Meanwhile, the generated force can be measured simultaneously by using 50mN standard load cell. Hence the machine calibration and adjustment were done in this section. The experiment results on Fig. 8 shows the generated force in the both ways (increase and decrease direction) have a good linearity with less hysteresis at the maximum current supply at 0.5 A.

The experiment results on Fig. 5 shows the generated force in both ways (increase and decrease direction) have good linearity with less hysteresis at maximum current supply at 0.5 A. In this case output from force sensing element is the voltage was compared with milli-Newton force value from load cell. From Fig. 6, it is clear that the resolution of generated force is approximately 50µN and has a good repeatability with 20mA step current supply over the range. And also there is a very little noise signal of generated force, even at one resolution (50µN).

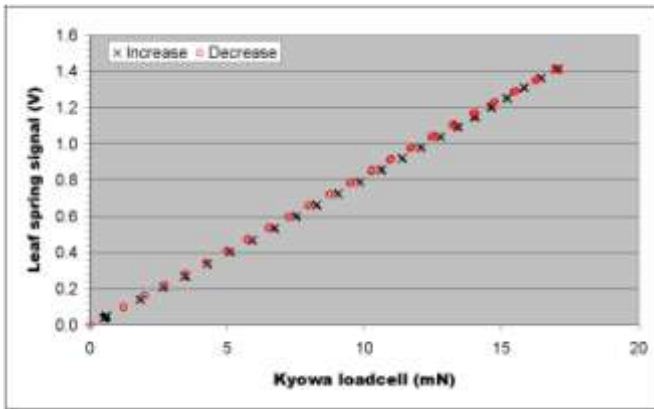


Fig. 5 Experiment results with the relation between the generated force and the displacement.

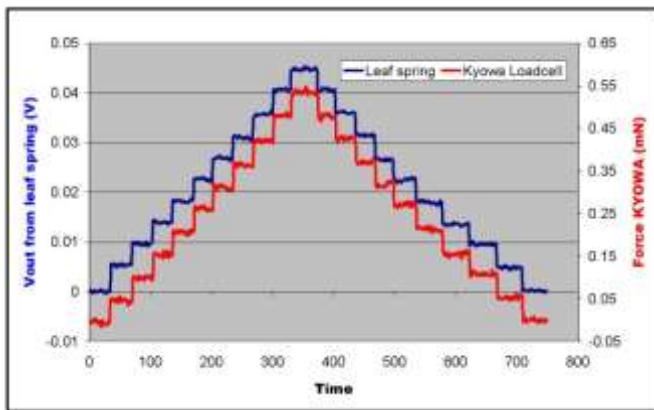


Fig. 6 Experiment results with the resolution of the generated force.

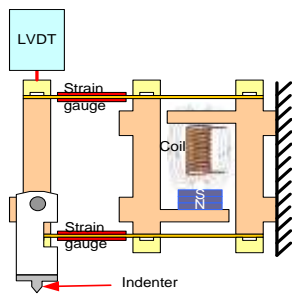


Fig. 7 Layout of micro hardness machine.

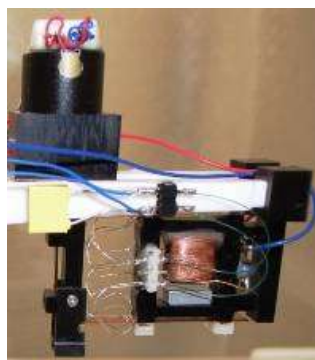


Fig. 8 Fabricated of the prototype micro hardness machine.

This means the micro force machine has shown a good ability to generate soft load controlled without any shock or impulse attack. Thus the force generating mechanism is possible to be employed for the force generator in micro hardness and stiffness testing.

B. Micro Hardness Machine

Now, the machine can be implemented into a micro hardness machine. In Fig. 7 and 8, shows the layout and the fabricated of the prototype micro hardness measurement machine. Regarding martens hardness [2], it is measured under applied test force, which defined for pyramidal indenter and not defined for the Knoop indenter or ball indenter. But in case of this mechanism, due to small size and light weight of the surface roughness stylus tip (cone angle 60°, tip radius 2µm), it is attached at the top of pressure plate as the indenter of hardness machine. The linear variable differential transformer (LVDT) displacement sensor is used as a depth measuring device. This prototype version of micro hardness machine can be generated force by voice coil actuator up to 20mN and control generated force set point by using feedback signal from strain gauge on tandem leaf spring. The LVDT displacement sensor can be monitored the indentation depth during whole dwell time. The control sequence of this system is managed by PC with LabView.

C. Analysing contact stress using Hertzian theory.

Because of our machine operation have the contact area under the load deform between indenter tip and surface under test, to verify the performance of this machine the Hertzian contact stress is required. In our research the type of contact point is sphere and plane, so the Hertz equations to analysing the stress in contact point as equation (1). Sphere in contact with a plane ($d_2 \cdot \infty$) by a force F such that their point of contact expands into a circular area of radius a , given as:

$$\dots \quad a = \left(\frac{3FR}{4E^*} \right)^{1/3}$$

Where:

$$R = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)^{-1}$$

$$E^* = \left(\frac{1 - \nu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \nu_2^2}{E_2} \right)^{-1}$$

$$P_{\max} = \left(\frac{6FE^{*2}}{\pi^3 R^2} \right)^{1/3}$$

ν_1, ν_2 = poissos' s ratio

$$\nu_{\text{diamond}} = 0.2, \quad \nu_{\text{gold}} = 0.44$$

E_1, E_2 = elastic modulus

$$E_{\text{diamond}} = 1.22\text{GPa}, (1.22 \times 10^9 \text{ N/m}^2)$$

$$E_{\text{gold}} = 70\text{GPa}, (70 \times 10^9 \text{ N/m}^2)$$

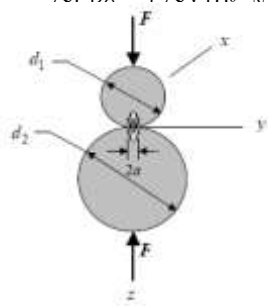


Fig. 9 Analysing contact stress using Hertzian theory.

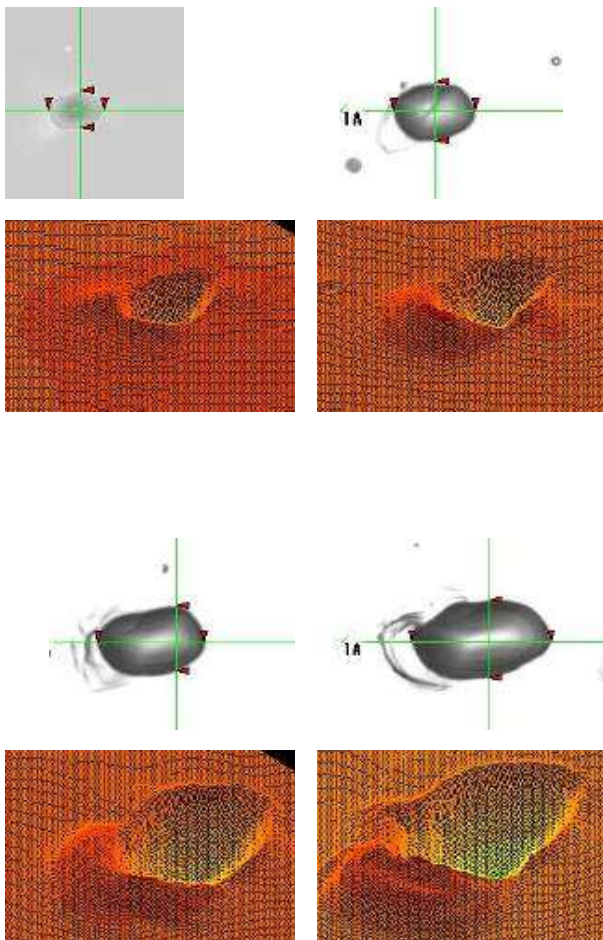


Fig. 10 Indentations 3D profile on hardness block surface by 5mN, 10mN 15mN and 20mN testing force.

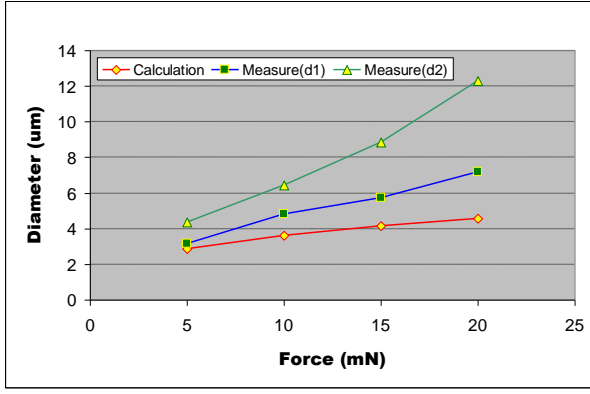


Fig. 11 Comparison results between Hertzian contact calculation and dimension of the indentations by machine.

$d_1, d_2 =$ diameter

$$d_{\text{diamond}} = 2\mu\text{m} (0.000002\text{m})$$

$$d_{\text{gold}} = \infty \text{ m (plane surface)}$$

$F =$ applied force (5, 10, 15, 20 mN)

$P_{\text{max}} =$ maximum contact stress

Then:

$$a = \left(\frac{3F \times 0.000001\text{m}}{4 \times 1.25435 \times 10^9 \text{ N/m}^2} \right)^{1/3} \text{ (m)}$$

$$a = \left(\frac{3 \times 10^{-6} \times F}{5.01741 \times 10^9} \right)^{1/3} \text{ (m)}$$

In order to verify the indentation performance of this machine, the indentation operation test were done on 30HV hardness block by 5mN, 10mN, 15mN and 20mN testing force. Then each testing force indentation was measured by the 3D measurement microscope, as shown in Fig. 10. The calculation results at each testing force and the dimension of indentations of each force as shown in table 1 and Fig. 11.

Table I. Hertzian contact stress calculation results and the measurement results on indentations.

Force(mN)	Hertzian contact diameter, 2a (um)	Measurement result		Error			
		d1 (um)	d2 (um)	d1 (um)	d2 (um)	d1 (%)	d2 (%)
5	2.881	3.142	4.377	0.261	1.496	9	52
10	3.630	4.818	6.426	1.188	2.796	33	77
15	4.155	5.725	8.847	1.570	4.692	38	113
20	4.574	7.19	12.292	2.616	7.718	57	169

From the comparison result has shown that, the calculation values from Hertzian theory and the measurement results of machine operation have an extreme deviation about 7 μm or 170%. The tandem mechanical can provide good repeatability and good linearity of movement, but the angle of indentation action made astigmatic indentation occurred. Due to the rotation of cantilever and bending angle of platform affect to the indentation position, this error described on next section.

D. Effect of displacement between indenter tip and surface under test to indentation shape.

The rotation of cantilever of the tandem structure affect to the indentation shape due to the bending angle of platform made changes to the distance of cantilever. In case of a single spring cantilever structure, it can be calculated the displacement change due to rotation angle by simple trigonometry theory. But, in our case, the machine structure is very complicated to describe by normal way. So, the Solid work, which is well-known finite element analysis (FEA) software, is used to describe effect of moving part. By made a drawing the machine structure with same size and put in the same material parameters, then made the simulation process in the motion term.

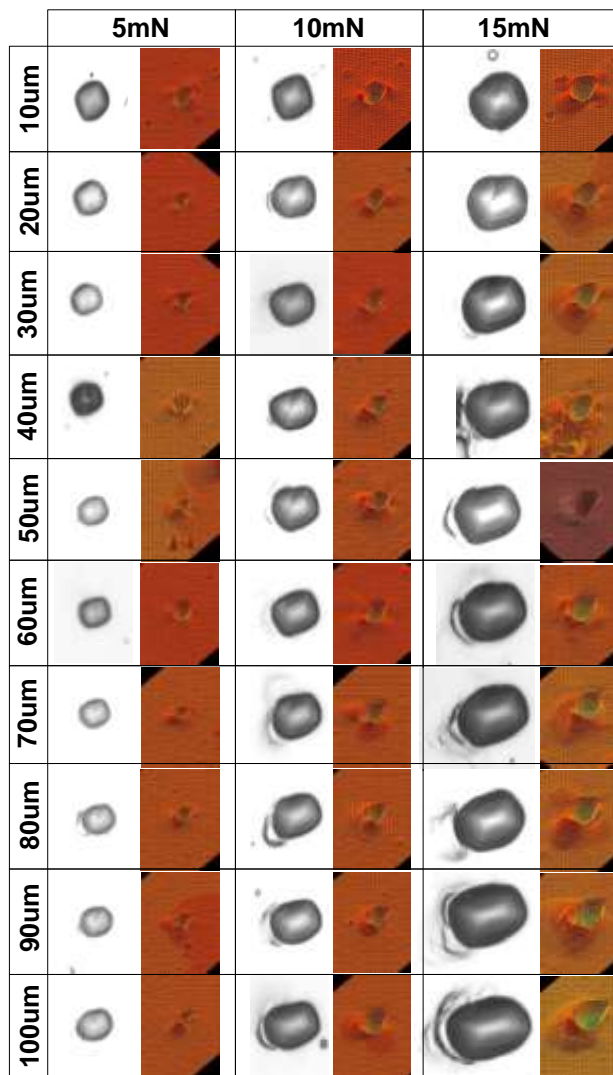


Fig. 12 Indentation on 30HV block with various indentation levels.

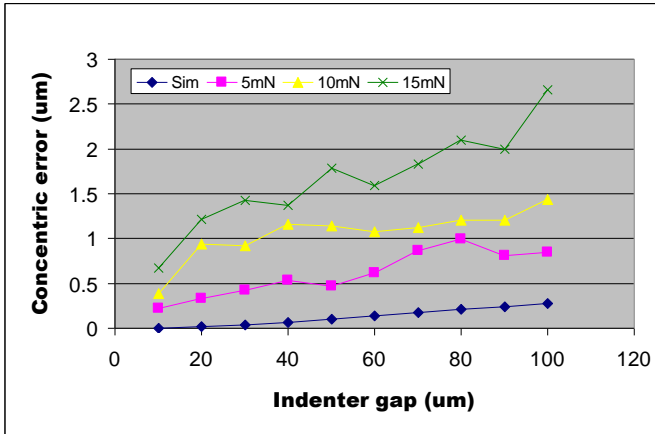


Fig. 13 Concentric error of indentations due to cantilever range change.

The gap between indenter tip and surface under test was separated into 10 sections, starting at 10µm up to 100µm each gap is 10 µm. Meanwhile, the experimental by machine was done with the same procedure of the simulation process. Except in case of simulation process the smallest force that can move the cantilever is 1N but for the experimental by machine the testing forces are 5mN, 10mN and 15mN respectively. After the indentation process finishing, the indentation is measured by the 3D microscope as shown in Fig. 12.

From the experiment results in Fig. 13. It shows that, the testing force 1N in the simulation software made the concentric error of the indentation rising from zero up to the maximum error at the level 100µm is less than 0.5µm. And for the experimental results by machine, the error is growing up related with the testing force. At 5mN testing force the error started from 0.2µm up to 0.8µm at the 100µm indenter gap.

At 10mN testing force the error started from 0.4µm up to 1.45 µm. The worse case is belonging to 15mN testing force, the error rising from 0.7µm up to 2.6µm. From the simulation results and the operation of machine, it can conclude that, the rotation of a cantilever affect to the indentation shape. To reduce this effect, the gap between the indenter and surface under test should be less than 40µm.

E. Experiment on certified hardness blocks.

After find the limitation and the performance of this machine out, the experiment of indentation is carried out on certified hardness block. In the experimental, 30HV and 100HV certified hardness block product from Yamamoto scientific tool laboratory is used as unit under test. These two hardness blocks were certified by lowest force at 10gf (testing forces were 1kgf, 0.1kgf and 0.01kgf). By making an indentation with three levels of testing force (5mN, 10mN and 15mN) on the surfaces of both hardness blocks, the elasticity of blocks were investigated by the indentation load–depth curves. The testing cycle in this experiment, as time for control force application and force removal is 30 s. and holding time at maximum force is 30 s. The experiment results on Fig. 14 and Fig. 15 shows the indentation load–depth curves on 30HV and 100HV respectively. By using

3D colour laser interference microscope (Keyence model VK-8510), the indentation 3D profiles were investigated as shown in Fig. 16.

Diameter of each indentation on each force was measured and compared with the maximum depth from the load-depth curve as shown in table 2. From 3D profile of indentation on 100HV with 10mN testing force shows the elliptic print dimension, which limited performance by machine performance. Because of this tiny machine uses 50 μ m phosphor bronze sheet as the leaf-springs supports all structure together, this leaf-springs might be cause of the problem. The main structure cannot withstand 10mN reaction force from the harder surface. Then the geometric of indentations is changed due to the rotation of the cantilever when the indenter cannot penetrate in harder surface. So, from this issued we make a decision to limit the operation range of this machine at 10mN test force on the surface that softer than 30HV, to avoid damaging of the moving part of this machine. Because of using non-standard indenter, testing cycle and testing force; even certified hardness blocks were used as reference material, but the results can not compare the load-

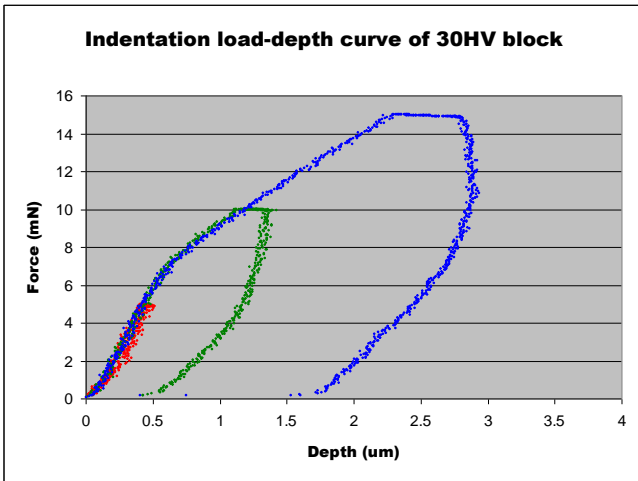


Fig. 14 Indentation load-depth curve of 30HV certified block at 5mN, 10mN and 15mN testing force.

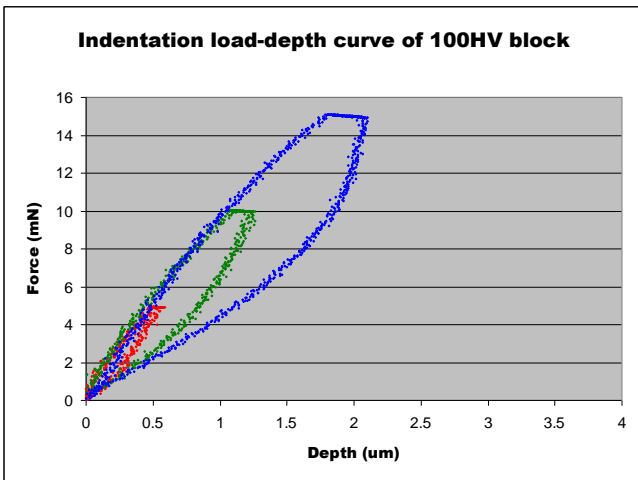


Fig. 15 Indentation load-depth curve of 100HV certified block at 5mN, 10mN and 15mN testing force.

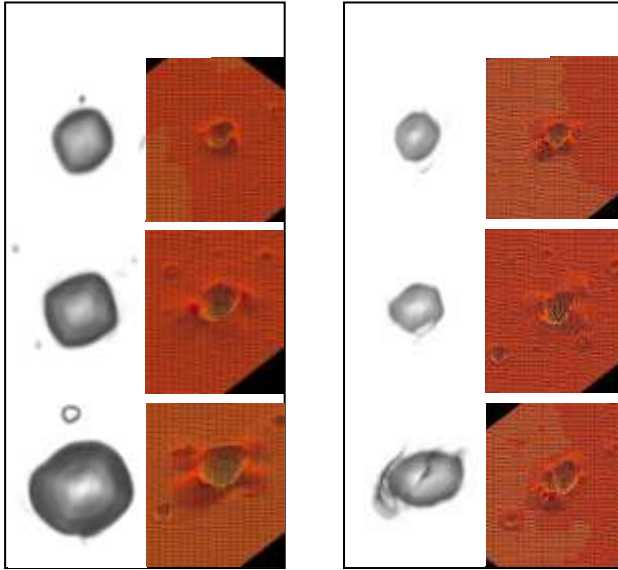


Fig. 16 Indentation 3D profile of 30HV compare with 100HV.

Table II. Diameter of indentation compare with maximum depth from load-depth curve.

Test force (mN)	100HV block			30HV block		
	d1(μm)	d2(μm)	Depth(μm)	d1(μm)	d2(μm)	Depth(μm)
5	3.24	3.59	0.50	4.18	4.63	0.90
10	3.49	4.53	1.20	4.80	5.56	1.50
15	3.85	5.83	2.00	6.49	7.83	3.00

-depth curve directly with load-depth curve that come from standard machine.

Regarding to research on the effect of indenter shape by N. Chollacoop, M. Dao and S. Suresh[3], the 60° cone indenter and Berkovich indenter were used to compare load-depth curve. Their results have shown $0.25\mu\text{m}$ maximum depth from load-depth curve of Berkovich indenter and $0.37\mu\text{m}$ from 60° cone indenter at hardness about 100HV by 10mN test force. For 60° cone micro indenter as conform to standard, it should have tip radius less than $0.3\mu\text{m}$. This is very sharp when compare with our stylus tip indenter ($2\mu\text{m}$ tip radius). This evident has shown that our machine should get the maximum depth on 100HV at 10mN test force lower than $0.3\mu\text{m}$. But from our results on table 2 shows result at 10mN test force on 100HV block has a maximum depth at $2\mu\text{m}$, which five fold deeper than a commercial machine.

However, our tiny machine is capable to evaluate the degree of hardness that clearly shows in the results of 30HV and 100HVs standard blocks, although the load-depth curve from our machine is different from the results of standard machine.

F. Micro hardness and stiffness testing robot.

The unique small robot driven by the piezo elements is capable of work even in the vacuum SEM chamber with the length of micro meter positioning resolution. It is developed by Fuchiwaki o. and Aoyama H. in 2000 [4]. On Fig. 20 shows the prototype of micro hardness and stiffness testing robot. The micro robot has dimension 30 mm wide 100 mm long and 80 mm height. It is composed of

two piezo elements and four electro magnetic legs can be provided the accurate inch-worm locomotion. This micro robot can control step movement by supply AC voltage to piezo element simultaneously with magnetic legs coil current control. For xxVAC/xxHz voltage supplied to piezo element; the locomotion movement has step response about 1 μ m per step for forward directions and about 3.5 μ m per step for reverse directions. It has a good repeatability although for movements without guidance or feed back control. The repeatability of movement of a robot depends on ground surface and carrying weight. Regarding to effect of cantilever arm range, the robot should have a mechanism that can adjust the displacement between indenter tip and surface under test. So, the adjustable z-stage must be used in the measurement system. The design of this robot as shown in Fig. 17, it has a hanging part that can adjust the elevation angle of the whole measurement part. A micro robot which has a flexible joint between front and rear legs, when the hanging part which attached with the whole measurement part was set up on a robot, weight of these parts may be causing the flexible joint fall down.

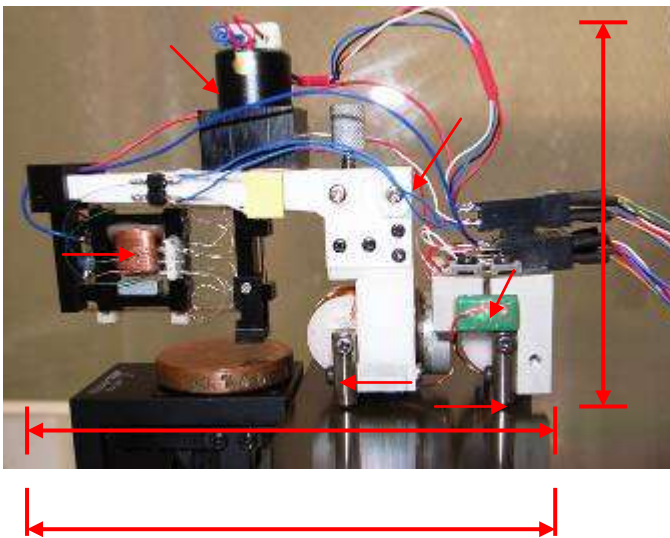


Fig. 17. The prototype of micro hardness robot.

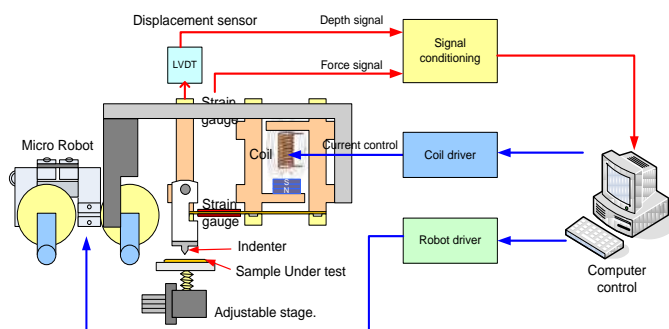


Fig. 18. Control block diagram of The micro hardness robot.

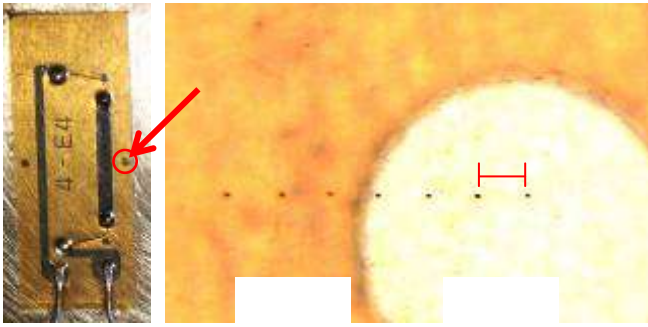
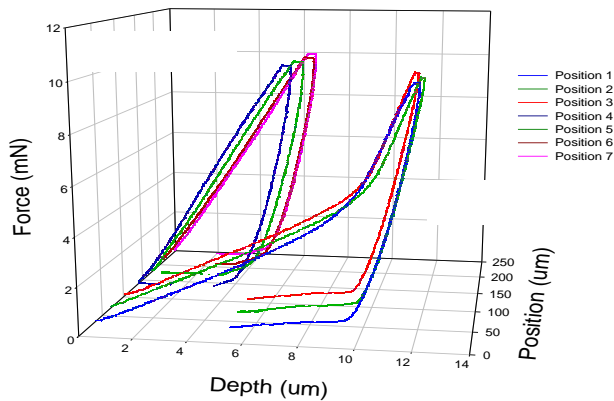


Fig 19. Left side is the experiment area on strain gauge that bonded on hard metal plate. Right side picture is zoom in series of indentations.



The main propose of this design is the adjusting the angle of elevation of the measurement part to be the perfect position.

The control system of this machine as shown in Fig. 18. The data acquisition (DAQ, ni-pci 6259) card and computer are used for a robot controlling. At the first, a computer will send the controller signal to robot driver. Which this robot driver amplifier can control the piezo actuators and the magnetic legs simultaneously. The input signals is analog signal from DAQ card, then it is changed into current output to control the magnetic legs and high AC voltage output to control piezo elements. After a robot moved to the measurement area, then the gap between indenter tip and surface under test have to decrease within $40\mu\text{m}$ by adjusting the z-stage that carries the sample under test. Now a robot is ready to make an indentation on surface of a sample under test. The voice coil actuator is controlled by programmable power supply (HP3055), will push the sensing part which is attached with an indenter goes down to the sample. During the indentation process which controls the testing cycle, the behaviour of the indenter, including testing force and indentation depth is observed by force sensing part and LVDT pass trough DAQ and computer. When the indentation process has finished, computer will show a load-depth characteristic of the measurement point automatically, then the robot will move to another position manually.

5. Experiment on sevarial samples.

A. *Indentation on composite material.*

After confirmed that this machine can show a reasonable indentation load-depth curve from the experiments on certified hardness block, then will make an experimental on another samples. At the first a strain gauge that bonded on hard metal plate was used as unit under test as shown in Fig. 19. Due to the strain gauge is composed of many layers of polyimide and copper, assume that this strain gauge sheet is a composite material. By A zone does not have the copper inside and B-zone has the copper inside, then seven indentations were done with 10 mN testing force on both non metal area together with metal area. The micro robot can give precise distance between the indentations as shown in Fig. 19. And the experiment results load-depth characteristic of each measurement area as shown in Fig. 20.

The elasticity of the composite material with such polymer and copper metal were checked in this experiment and then the several load -depth curves can be given. It is clear that the distribution of surface elasticity can be detected and it can be given us the potential performance to investigate the surface micro characteristics of the sample including the micro inside defect identification.

B. Experiment on human nails

As mentioned on the experimental on certified hardness block, require the appropriate sample which softer than 30HV. So, the biomaterials seem to meet our requirements. In 1971, J.R.K. Robson and H.D.EL-Tahawi had investigated hardness on human nails by using Knoop hardness [5].

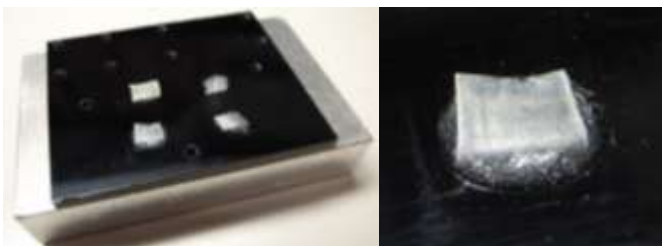


Fig. 21 Finger nail sample were clipped by 2X2 mm size, and place on plastic plate by epoxy glue on micro robot.

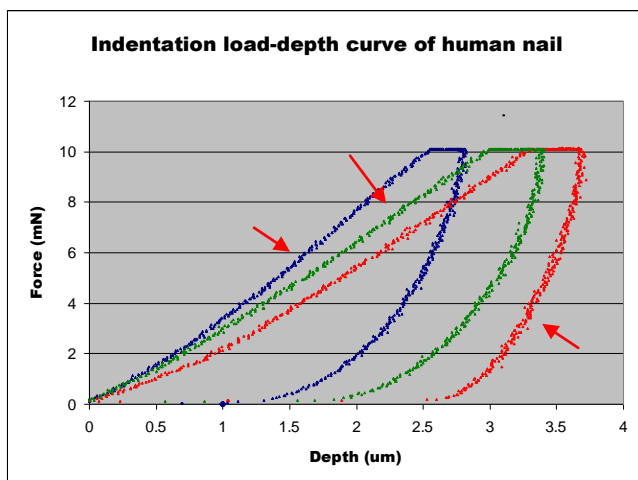


Fig. 22 Average value indentation load-depth curve of three groups of human finger nails.

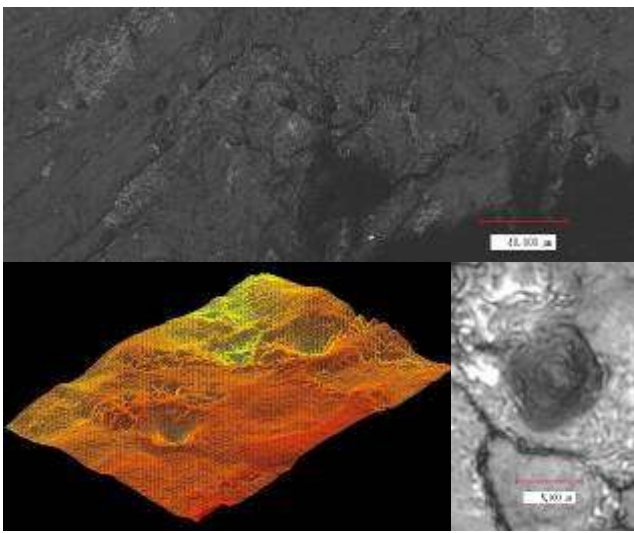


Fig.23 Example of indentation 3D profile of human finger nails.

Their results have shown harder nails and more hardness distribution range on the malnourished group. So, from their ideas, the first sample bio-material of our experimental is fingernails were collected from three age's human sources. The first was a group of five children lower than five years old. The second was a group of adults 20-40 years old. And the last was a group of people over 60 years old.

Free edge finger nail clippings at least 2mm X 2mm and fixed on a plastic plate by epoxy glue as shown in Fig, 21. These nail samples have not done the polishing process; due to it hardly to control polish surfaces within 3 μ m indentation depth. Twenty indentations by 10mN testing force were done on each sample. The average value of indentation load-depths on each group as shown in Fig. 22. Here the nail samples are transported with the accurate interval distance with the small inchworm robot. Then the multiple indentations were applied along the robot path as shown in Fig. 23.

The 3D profile of the nail indentation shows very rough surface, some of the indentation was indented on crack or hole and some of them indented on pile up surface. These bumpy surfaces have effect to distribution of load-depth curve stiffness value. Some of the strange load-depth curve was deleted before doing average section. The nail is actually similar in structure to the hair which made of keratin, which is a tough protein. So, the growth rate of human nail not only depended on age, but it is depends on many factors, such as nutritional status, the season and activities [6]. From load-depth curve results as shown in Fig. 22, we might be able to say that the group of 5 years old child has high stiffness of nail rather than another group. It may because of the kids have nail repairing process or nail growing rate faster than adult and older people. So, their nail surfaces have less scratch and minor pore when compare with another group.

The lowest stiffness of nail is belonging to group of older people who have age over than 60 years. From the surface scan by the 3D microscope found that nails surface of older people have many scratches due to, they use fingers for many actions in their everyday life. Moreover, the nail repairing process or growth rate of older people seems too behindhand than other groups [6]. On the other hand, the load-depth curves show that babies' (or children) nails are harder than adults and older people nails. This data is amazing, as we know that infant nail is the most soften when compare with teenager or young man, but these experiment results are only surface indentation, the indentation depth is not over than 5 μ m. The load-depths show high stiffness on babies' nails

means, the indenter cannot penetrate in to nail surface due to it is very high-density surface. Moreover, for low stiffness and the soften load-depth curve of older people nail means, the rough and less density surface is very easy to indent. By the way, it is obviously shows that human nail has hardness level lower than 30HV when compare load-depth curve with last experiment results on the certified hardness block. From this experiment, the elasticity of human nails was checked and then the several load-depth curves can be given. It is clearly that the distribution of surface elasticity can be detected, and it can give us the potential performance to investigate the surface micro characteristics of the sample, including the micro inside defect identification.

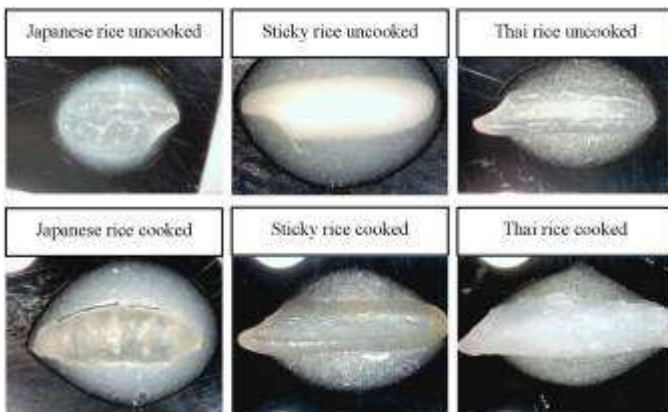


Fig. 24 white rice sample under test on measurement area.

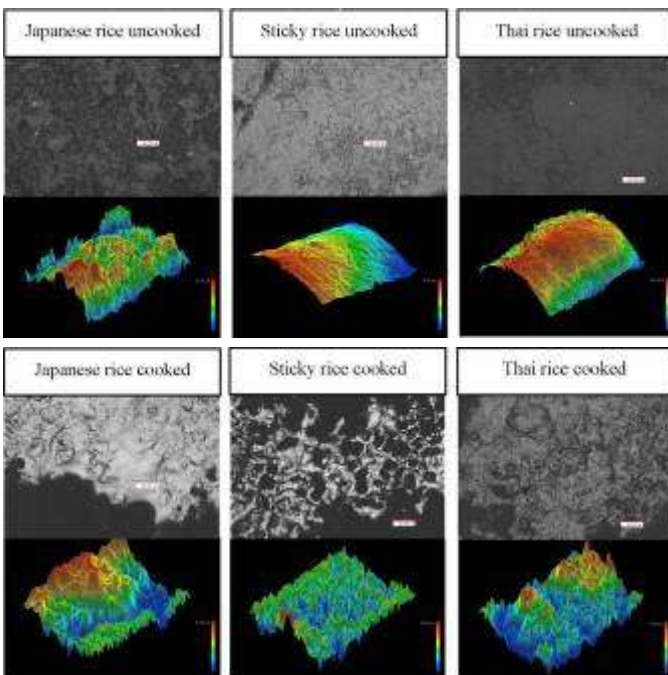


Fig. 25 Rice grain surface 3D scanned image.

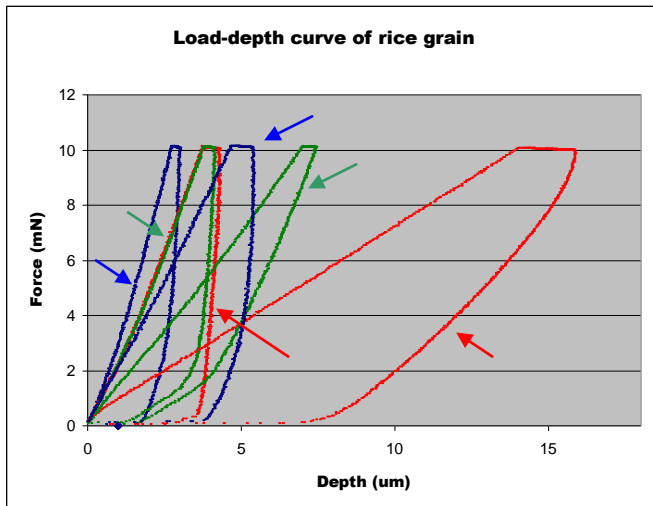


Fig. 26 Load-depth characteristics of rice grain, here the letter R is the representative of “raw or uncooked” , the letter C means “cooked”

C. Experiment on rice grains

The rough rice consists of an outer protective covering, hull, bran (pericarp, seed-coat and nucellus), aleurone layer and the endosperm. After removing the outer husks of the grain by rice huller, it becomes to a brown rice if continue milling process to removing the bran, thereby creating a white rice.

In this experiment three types of white rice grain are used as a sample; the Japanese rice that has short grain rice, the Thai rice and the sticky rice, which is medium and long grain rice respectively. Each kind of rice is divided into two categories, cooked and uncooked state. The Japanese rice and Thai rice were cooked by boiling process, but for sticky rice was cooked by steamer. Then the stiffness of rice grain is determined by series of indentation up on a rice grain surface with 10mN test force. The rice grain was fixed on a plastic plate by epoxy dry fast glue as shown in Fig. 24. All measurement process must be finished within one hour after glue dried, because of humidity inside the seed also desiccated to depend on time. By using laser interference micro scope, the 3D profile surface of each grain is illustrated as shown in Fig. 25.

The surface of rice grain before and after cooked fairly different, especially sticky rice surface before cooked its surface very smooth but after cooked it became to very rough surface. The series of indentations on each grain produce series of indentation load-depths which the load-depth results in Fig. 26 shows the average value.

From load-depth results on Fig. 26, shows that the uncooked sticky rice is harder than another type. The stiffness on each uncooked rice not to different, Thai rice and Japanese rice seem similar stiffness behaviour except the sticky rice, it looks harder than the other. However, obviously noticed that, after cooked all of them become softer and the most soften cooked rice is Thai rice. These experiment results were done only on the surface of rice grain; the indentation depth is

not deeper than 5 μ m for uncooked rice and 18 μ m for cooked rice. That means only the aleurone layer was investigated not the endosperm layer. The stiffness and hardness value of rice depends on many factors such as effect of moisture content, milling process or environment effect. So, these results just present an idea that the ability of this machine can be estimated stiffness of biomaterial in degree of hardness or stiffness value.

6. CONCLUSIONS

The first prototype of micro hardness testing robot has been constructed and described that the simple mechanical structure of parallel leaf spring mechanism and small voice coil actuator can generate force in micro Newton range. This machine can give the best resolution of generated force at 50 μ N per step with good linearity, less vibration and less hysteresis up to maximum range 20mN. The micro robot stage carrying can provide the benefit of easy control with higher positioning resolution. In the experimental results, it has been shown the ability of this machine that it can show reasonable hardness result when compare between 30HV and 100HV. In the experimental results has shown ability of this robot, that it can investigate the elastic behaviours of composite material by the indentation load-depth curve has been showed different results between two area. And also investigate of rice grains and human nails elastic behaviour by the indentation load-depth curve show logical results. However, the operation range of this machine was bound by its little structure. The experimental has shown that main structure can not endure for material that harder than 30HV. In the future, first of all improving the hardness measurement performance of machine to be complying or realize with world wide standard or well known commercial type machine. The robot path control automatic mapping surface investigation might be possible to apply in the robot control system. Then improving the other performance test such as the stiffness application for another bio-cell will be our next goal.

7. Acknowledgment

I would like to express my deep and sincere gratitude to my supervisor, Professor Dr. Hisayuki AOYAMA and Professor Dr. CHISATO Kanamori. His wide knowledge and his logical way of thinking have been a great value for us. His understanding, encouraging and personal guidance has provided a good basis for this research.

I owe my most sincere gratitude to "Cadet project program", who gave me the opportunity to use facilities in S. V. B. L building at The University of Electro-Communications and gave me financial support budget to provide sensor and equipment use in this research.

And I wish to thank all members, Mr. Nattapong Kitsuwat, Mr. HIROSE Kazuki, . Mr. CHINO Kota and Mr. SMG. Iroshana for their cooperate.

References

- R. V. Jones, " Instruments and Experiences Papers on measurement and instrument design" , pp. 105-115
ISO/DIS 14577, Instrumented indentation test for hardness and materials parameters.
- N. Chollacoop, M Dao and S. suresh, " Depth-sensing instrumented indentation with dual sharp indenters" , available online st www.sciencedirect.com, March 2003.
- Fuchiwaki O and Aoyama H, "Piezo based micro robots for microscope instrument." , Proceedings of the 6th international conference on mechatronics technology, pp. 499-504
- J. R. K. Robson and H. D. EL-Tahawi, " Hardness of human nail as an index of nutritional status" British journal of nutrition, 1971.
- Norman O, Jules M. and Joseph H. "The effect of aging on the rate of linear nail growth" The journal of investigative dermatology, Vol. 73, pp.126-130, 1979.

5. ショートトレーニング

5.1 Global Leadership Training Short Program

Annual Report

2010 年度大学院イニシアティブ・カデット教育

Global Leadership Training Short Program (GLSTP)

“世界で通用する・指導的立場になれる日本の人材を育てる”

電気通信大学 総合文化部会 英語教室

Prof.SHI Jie (史 傑 教授)



Seminar 1

Intra-Asian Communication:

How to succeed in working with the “New Chinese”

November 4, 2010

Abstract:

This seminar first introduces the modern and contemporary history of China from the viewpoint of the relationship with other Asian countries. It will proceed to the key turning points of the recent decades in various aspects such as Chinese society, politics, economy and culture. It will then focus on the impact of those changes on the Chinese people, the so-called “New Chinese”, who obviously have drastically different characteristics from one or two generations before them. In particular, the varied communication patterns in business, social, culture, language and personal lives will be discussed and analyzed. Participants of this seminar will have the opportunities to actively participate in synthesizing simulated real-life scenarios, dealing with conflicts, managing stereotypes and preconceptions, and working in small groups towards smoother communication and efficient collaboration with the “New Chinese”.

I. 日本国の貿易相手国上位 3 カ国の推移(輸出入総額：年ベース)

	2007 年&2008 年	2009 年
中華人民共和国	17.7-17.4%	20.5%
アメリカ合衆国	16.1% - 13.9%	13.5%
大韓民国	6.1% - 5.8%	6.1%

<http://www.customs.go.jp/toukei/suii/html/data/y3.pdf>

II. **Technology transfer from higher education institutions (HEIs) to industry in China**

Hong Liu^a and Yunzhong^b Jiang (2001)

^a China Business Centre, Manchester Business School, Booth Street West, Manchester, UK

^b Office of International Co-operation and Exchange, Tsinghua University, Beijing, China

Main Points:

1. Technology development and transfer and the economic system

- Technology development and transfer and the government
- Technology development and transfer and constraints
- Obstacles from an enterprise perspective
 1. Lack of strategic perspectives
 2. Lack of R&D capabilities
 3. Lack of financial resources
 4. Lack of effective communication with HEIs

2. Impetus to technology transfer

- Recognition and non-financial rewards
- Financial rewards
- Networking

3. Methods of technology transfer at Tsinghua University:

Establishment of the University–Industry Co-operation Committee of Tsinghua University (UICCTU)

- Technology transfer through collaboration with local governments
- Establishment of high technology companies in partnership with enterprises
- Building-up a Science and Technology Co-operation Network of Chinese Universities (UNITECH)
- Collaboration with enterprises

III. **China's New Development Strategy: Environment and Energy Security**

Khan, Haider (2008)

Main Points:

1. One aspect of China's development strategy focuses on both global and regional approaches to solving problems of energy security and ecological imbalance.
2. PRC's growing energy dependence has become a major concern for both economic and national security policymakers in China. The ambitious goal of modernization of the economy along the lines of the other newly industrialized economies (NIEs) of Asia has succeeded only too well, and it is difficult to reorient economic priorities.
3. China seems to be firmly committed to the creation of a largely self-sustaining innovation system as part of a knowledge-based economy of the future. Such innovation systems, called positive feedback loop innovation systems

or POLIS have been created by advanced countries, and NIEs such as South Korea and Taiwan are proceeding to create these as well.

4. Time is of the essence and the stakes are very high. A strategic engagement with the alternative strategy begun within the next five years may well be too late.

5. The preliminary results of some recent studies showed that achieving the twin goals of energy security and ecological balance are challenging but not impossible for China.

6. The goal of regional cooperation is also achievable if patient negotiations in good faith can start in earnest. In particular, cooperation with other Asian economies, particularly Japan, Indonesia, Viet Nam and India will be crucial. The complexities of cooperation and conflict between China and Japan are to be taken seriously.
(<http://mpira.ub.uni-muenchen.de>)

Seminar 2

Changes in the US: how to succeed in perceiving the American society and Communicating with the Americans

November 11, 2010

Abstract

The component of this seminar asks students to examine the recent changes in the US in the various aspects in the society: trends in demography, language shift, economy, finance, immigration, technology, and science. The second component highlights the characteristics of communication styles of Americans in general and at workplaces. Finally, the students will discuss the connection between the changes in the US and globally and the changes in the communication strategies of the Americans with the rest of the world.

I. Impacts of the Financial Crisis: The U.S. Is Becoming an Impoverished Nation

by Richard C. Cook, Center for Research for Globalization

Main Points:

1. Efforts of the US government trying to save the self-destructing US financial system are “locking the barn door after the horse”.
2. The real causes for the financial crisis are not subprime mortgage lending and not the lax regulation.

3. The FD's (Federal Reserve) putting more "liquidity" into the system causes more treasury debt and covers up the bankruptcy of the entire US economy.
4. The so-called "Wall Street", i.e. financial institutions such as Fannie Mae, Freddie Mac, Bear Stearns, Lehman Brothers, Merrill Lynch, Morgan Stanley, Washington Mutual, AIG, is either partially gone or in deep trouble along with the banks who are the next to go. 97% of funding by investment banks is credit self-created by the banks themselves.
5. Part of the US federal budget, e.g. interest on the national debt, is around \$500 billion a year and growing which is not enough to stopgap the bailouts. This is not socialism where government owns the means of production. This is the debt-based monetary system.
6. The real problem: the debt pyramid in the tens of trillions of dollars coupled with the dysfunctional societal purchasing power due to outsourcing. Ordinary people are being blamed for living beyond their means, but they may not have other choices. Keeping borrowing until the loans dry up (happening now). The US is becoming an increasingly impoverished nation, bringing its people with it.

II. **Wouldn't It Be Great If...**

By Jacob Young from Reader's Digest January 2004

The RD's version of what the Americans could get fast actions on if they put their backs to it:

Main Points:

1. **"Ask not what your country can do for you..."**

Whether you're a liberal or a conservative, a Republican or a Democrat, there's one thing we can all agree on—each of us owes it a great debt. At some point between the ages of 18 and 25, everyone should give up to a year to America. Join the military or ROTC, teach in a poor school, suit up with a disaster relief team, work in the forests or national parks, help elderly shut-ins or the handicapped. About four million people turn 18 every year. Think of everything they could accomplish. In return they'd get a stipend for living expenses and a college-tuition credit.

Obviously this isn't a new idea; JFK's "Ask what you can do for your country" speech was over 40 years ago. And more than 80 million Americans already do volunteer work. Civil libertarians would likely sue to overturn any mandatory service requirement. Fiscal conservatives would complain about the cost, which could certainly run to \$20 billion or more a year. And as one critic puts it, "Involuntary voluntarism is like hot snow." Sure, but... An analysis of AmeriCorps, a volunteer program with a broad spectrum of political support, estimated that every dollar invested returned \$1.66 in benefits.

2. **Stop the Lawsuit Insanity**

Unprovable pain and suffering awards that medical malpractice juries hand out cost society billions in the long run, and often reward lawyers more than the victims. Adding insult to injury, the awards drive huge premiums for malpractice insurance, contributing to the spiral of health care costs. In some high litigation states, such as Illinois and Pennsylvania, doctors are moving elsewhere, or simply quitting.

Much of this would go away if the states all put caps on pain and suffering awards. California has had a \$250,000 cap since 1975 — and stable malpractice insurance rates. The point is to set limits on the noneconomic losses due to medical injury or malpractice.

After all, it's a few bad doctors who make things worse for everyone. In New York, for instance, 68 percent of malpractice payouts are attributable to a mere 7 percent of the state's physicians.

3. Reverse a Shameful Trend

It's one of the most stupid problems we have — drunk driving is actually on the rise. Each year it kills 17,000 people, and is the No. 2 cause of accidental death.

The nine states that haven't done so should adopt Administrative License Revocation (ALR) statutes. If you're arrested for drunk driving — or refuse to take a sobriety test — your permanent license gets confiscated. At the police station you'll be issued a temporary, limited driving permit. If you're found guilty at an administrative hearing, you could lose your license for up to a year.

4. Get 'Em While They're Still Young

Want to know why Johnny and Susie can't read, don't graduate and wind up losers? In part it's because 34 percent of children enter kindergarten without knowing their letters, and 42 percent can't count to 20. States and the federal government spend about \$10 billion annually on early education, but the average U.S. preschool doesn't even get a "good" rating on a scale used by teachers worldwide. "It's not at a level that's detrimental to children — their brains aren't melting — but it doesn't assure kids are cared for in an optimal way," says Amy Wilkins, executive director of the nonpartisan Trust for Early Education.

We've got to do better than that, and make quality preschool available to every family who wants it. A study at a top Chicago program for at-risk children showed its graduates were 40 percent less likely to fail a grade, had a 33 percent lower juvenile arrest rate and were 29 percent more likely to graduate from high school by age 20. How to replicate this nationwide? For starters, fix Head Start. Each year the groundbreaking program serves 900,000 children ages 3 to 5, but it needs a new academic focus and national performance standards.

5. Leave the Car at Home — and Shake Loose Our Oil Dependence

Despite the lessons of the Arab oil embargo of the '70s, we still import 58 percent of our oil. And given the pace of industrialization, especially in China and India, supplies are likely to get tighter and tighter.

There are 130 million drivers on the road in the United States. A typical person drives 32 miles in a day, getting 22 MPG. Just one gallon from each of us would add up to 6.7 million barrels of crude oil — more than we import from Kuwait in a month.

6. Strike a McTreaty With Fast Food

Here's the problem. We've heard so often that two-thirds of Americans are overweight or obese that those once shocking stats now seem almost normal. While it's true that the food industry hasn't done us any favors, what with giant portions and monstrous calorie counts, we're the ones who bought the food and ate it. All of it. "The restaurants are good at what they do, and they'll give us what they know we'll buy," says Penn State nutritionist Barbara Rolls. "If they put healthy foods out there and the consumer doesn't buy them, then they'll say, 'I told you so.' "

We'd like to see both sides wise up and reach a peace — a McTreaty, if you will. The food industry should make good on its promises to serve healthier food. At the very least the chains should put calorie counts where we can see them, not hidden on a website, or in teeny type on a poster by the restroom. Consumers have responsibilities too. If restaurants serve food that's better for us, we have to order the good stuff, not the triple burger and fries. That's the only way to stop the cycle, and finally begin to drop those fast-food pounds.

=====

Seminar 3

“Galapagosed Japan?”

How to succeed in strategizing Japanese economy

December 2, 2010

Abstract

This seminar first asks students to creatively define the term of “Galapagos Phenomenon” and challenges students to argue for or against the viewpoint that Japan is being “Galapagosed” with valid evidences. Debating skills will be introduced to support students’ arguments along with selected English language expressions. After the debate, students will work in small groups and analyze the possible aspects of Japanese economy with emphasis on the development of technology that may be

moving towards a Galapagosed direction. Finally, students will strategize policies, systems, and tactics to redirect and lead Japanese economy to a more favorable direction.

I. World market share of mobile phones in 2009 (NRI) 携帯出荷台数シェア:

Nokia (Finland)	30.9%
Motorola (USA)	18.1%
Samsung (South Korea)	11.8%
All Japanese makers combined	9%

1. 2009年第3四半期の国内携帯電話市場、8四半期連続のマイナス成長

IDC Japan は 12 月 24 日、国内携帯電話市場について、2009 年第 3 四半期の実績と今後の見通しを発表した。同発表によると、同期の携帯電話の国内出荷台数は前年同期比 12.8%減減の 732 万台で、8 四半期連続のマイナス成長となった。[12/24/2009]

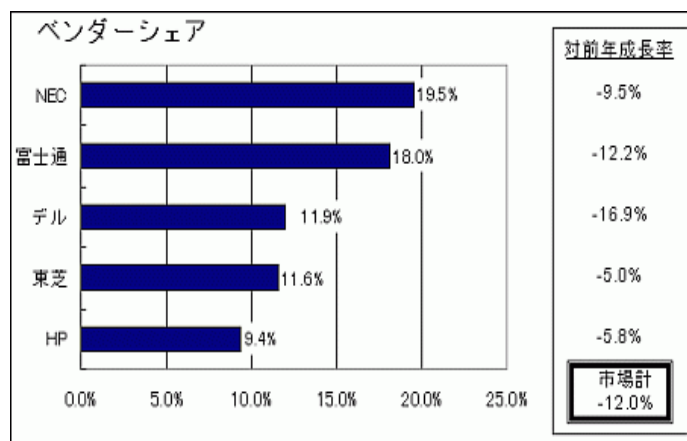
2. 2009 年、iPhone がもっとも伸びた国は日本

AdMob Network の計測結果によれば、iPhone および iPod touch ユーザは日本、フランス、オーストラリアで高い成長率を見せている。特に日本は 350%近い成長をみせ、2009 年で大きくシェアを増やしたことになる。成長率は 100%を越えているものの、米国とカナダは 100%強といった成長率に止まっている。米国は iPhone/iPod touch ユーザは世界シェアの 50%。成長率が低いのはすでに大きなユーザーベースを確保していることに関係があるとみられる。[12/22/2009]

II. The Competitiveness of Japanese Companies

3. 上場企業の海外売上高比率は製造業では全業種平均 20.2%、非製造業では 10.6 に過ぎず、非製造業のグローバル化の遅れは顕著

2009 third quarter shares of PC in Japan (CNET Japan)



2. Asus breaks into PC makers' Top 5

by Erica Ogg Read more: http://news.cnet.com/8301-31021_3-20010590-260.html#ixzz1FA986UCF

The maker of the tiny Eee PC Netbook has joined the giants of computing. For the second quarter of 2010, Asus shipped 4.3 million PCs, good enough for 5.3 percent of the worldwide market, according to IDC. The Taiwanese manufacturer's PC shipments grew 84 percent during the quarter, allowing it to pull into a dead-even tie with Toshiba for the very first time: the two are tied, that is, for fifth-most PC sales during the quarter behind usual suspects Hewlett-Packard, Dell, Acer, and Lenovo.

CONCLUSION **of Global Leadership Training Short Program (GLTSP)**

The main purposes of the short training program, Global Leadership Training Program (GLTP), are threefold. First, the seminars aimed to provide students with thought-provoking facts, statistics and arguments of the selected topics that students are usually not concerned with in their usual study and research; Secondly, the seminars aimed to involve students to actively in critical evaluation of the present contribution that Japan and Japanese people make to the world in various aspects such as economy, politics, intercultural communication and other international affairs; Thirdly, the seminars aimed to foster an international vision and perspectives in students so that they could lead their research and/or companies successfully in international competition, i.e. “世界で通用する・指導的立場になれる日本の人材を育てる”, as the title of the program says. Finally, the lecturer argued that following shifts need to be made in Japan for stronger competitiveness.

- From cutting-edge to competitive edge
- From convergence to integration
- From institutional change to individual change
- From domestic view to Asian and international view
- And from crisis to chances

本ショートトレーニングは昨今、政府も力を入れ始めた「将来、国際社会で活躍できる人材の育成」や本学の中期中間目標での国際化の一環として、その意義は重要であると言える。また技術系の偏重の知識や経験だけでなく、本学の外国国籍の教員によりその経験に基づくコースが提供されたことは高く評価できる。機械情報工学分野を修めた学生が、将来、異文化と葛藤する場面において、この研修内容を役立てることが期待される。

5.2. 機械加工トレーニングと安全管理教育・免許制度について

5.2.1 実施背景と目標

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

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

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

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

2007年度には2006年度に企画された機械加工トレーニングについて講習会を開催し、表5.2.1の免許制度仕様書に基づいて審査し免許を交付した。2008年度、2009年度、2010年度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
- ・ 切削油を刷毛等につける場合は、巻き込まれない様注意すること
- ・ 加工時に発生するカエリ、バリ及び機械の遊び（ガタ）バックラッシュ等を認識することによって、製品精度の向上はもちろん安全作業に努めること

B 旋盤作業の場合

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

C フライス盤作業の場合

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

② 機械の保守および整理整頓

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

(2) 械加工基礎実習（初級）（講師：田村）

実施期間 平成22年7月8日～7月27日

時間回数 180分×1回（1回2名以内）

参加者 4名（学部のロボメカ工房で同実習実施済の実習免除者なし）

目的目標 安全作業を通して、小型工作機械の操作、測定器の使い方及び図面の読み方など、機械加工の基礎について習得する。

実施内容 段付試験片(図 5.2.1)の製作を行った。卓上旋盤、卓上立フライス盤による基礎的切削加工を通して、工作機械の安全で効率的な操作法を習得することを目的として指導した。また、その中で図面の読み方、ノギス、マイクロメーター、ダイヤルゲージなど測定器の使い方についても指導を行った。ただし、学部生向けの特徴GP教育において、すでに履修している者については免除した。

付与免許 技術免許（アシスタント）

使用機械等 ロボメカ工房の工作機械を使用

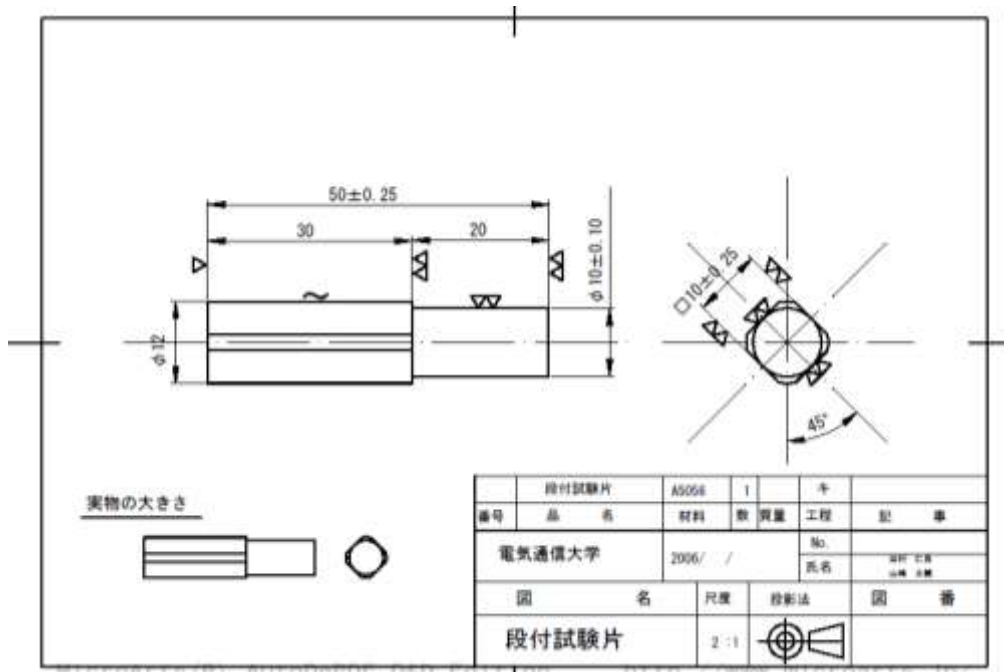


図 5.2.1 カデット教育機械加工実習初級課題：段付試験片

(3) 機械加工応用実習 (中級) (講師：田村)

実施期間 実習 1：平成 22 年 11 月 9 日～12 月 1 日

実習 2：平成 22 年 11 月 11 日～11 月 26 日

時間回数 実習 1 180 分×1 回 (1 回 2 名以内)

実習 2 自主製作課題とする。

参加者 3 名 (実習 1, 2 共)

目的目標 技術免許 (アシスタント) 取得者で、更に高度な知識と技術・技能を修得することによって、初級者を指導できること。

実習 1 高精度な装置・機械を設計製作する場合、直面する最大の課題は「ハメアイ」についてである。また、ハメアイ状態は部材の熱変形によっても変化するため、設計者にはある程度の経験が要求される。そこで本実験では、図 2 に示すような $\phi 15$ の精密リングゲージとハメあう数種類の径の段付シャフトを製作して、シャフトを熱変化させた場合にハメアイ状態がどのように変化するかを体得した。各自にレポートを提出してもらいジュラルミンの線膨張係数が約 $23.6 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ であることも確認した。

実習 2 初級者に指導できるレベルまでの技術・技能と安全作業をマスターすることを目的に、基礎実習時よりも大型で強力なミニ旋盤、卓上精密フライス盤やボール盤、タッピング盤などを使用、幾何公差を含む精密部品の製作を自主製作課題として与え製品を評価した。めねじ加工では、タッピング盤と手作業を併用した。また、トルクレンチを使って六角穴付きボルトの適正締付けトルクについても体験した。

付与免許 師範免許 (インストラクター)

使用機械等 ロボメカ工房の工作機械を使用

φ15リングゲージ

段付シャフト(A2017)

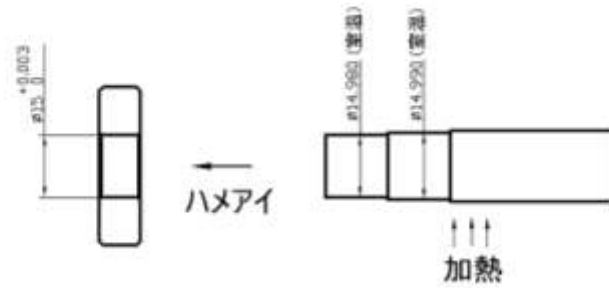


図 5.2.2 カデット教育機械加工実習 1 課題：リングゲージとシャフト

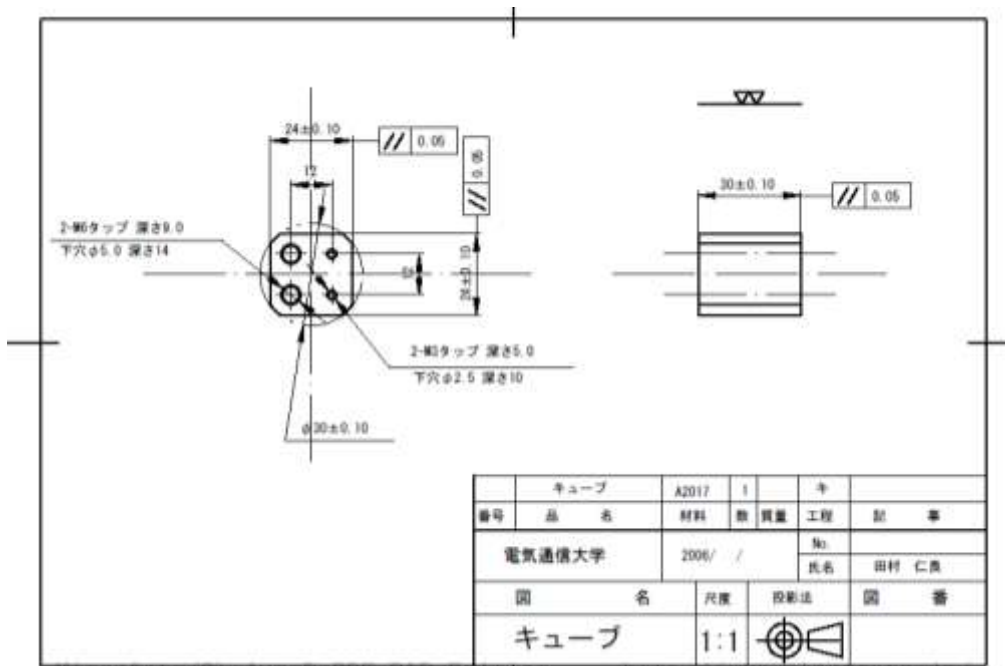


図 5.2.3 カデット教育機械加工実習 2：キューブ



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

5.2.3 効果と評価

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

免許名 技術免許（アシスタント）

交付年月日 平成22年8月3日

免許授与者 M2: 駒井 利之, M1: 上島 鷹之, 大石徹太郎, 広瀬 一樹 以上4名

免許名 師範免許（インストラクタ）

交付年月日 平成23年1月11日

免許授与者 M2: 駒井 利之, M1: 大石徹太郎, 広瀬 一樹 以上3名



図 5.2.5 免許証の見本

5.2.4 今後の課題および提案

(1) 免許制度について（金森）

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

(2) 機械加工トレーニングについて（田村）

今年度の講習会も当初は参加者4名で開始したのですが、機械加工応用実習から3名になるなど、参加者が少ないのは残念です。今後本講習会の在り方については、再検討の必要があるのではないかと思われる。

6. 特別講演会

6.1.工学のための確率・統計的な考え方

Tennessee Technological University の町田 元也氏をお招きし、工学のための確立・統計的な考え方についてご講演頂いた。町田先生は学部学生に確率・統計を教えている経験から確率・統計的な考え方がどのような形で必要とされているか、また金融工学の先駆けとなったブラック・ショールズ理論について噛み砕いて解説して頂いた。アメリカの大学生が厳しい成績評価制度の中で克己心を育むエピソードもご紹介頂いた。

講演内容は以下のようになっている。

講演題目「工学のための確立・統計的な考え方」

日時 平成 22年 7月 13日 15時00分～17時00分

会場 電気通信大学 東4号館 8階802号室

講演者 所属機関・職名 Tennessee Technological University/Associate Professor

氏名 町田 元也

参加者 65人

インターネット (<http://math.tntech.edu/e-stat/>) を利用した実践的な統計授業の話題から、ベイズ統計とデータマイニングの中での確率的な手法まで、幅広く話題提供を行う。



6.2 「モデルベース制御のためのシステム同定と適応制御技術」

本講演会では、カデット教育の一環として、制御理論の権威である茨城大学の楊子江先生を招き、ご専門であるシステム同定と適応制御についてご講演を頂いた。楊先生は制御理論を産業界でどのように応用するか、というテーマに取り組んでおられ、体験談を交えながら制御理論の実用事例を数多く紹介して頂いた。カデット教育の目指しているものづくりの技術に対して、理論的な枠組みからアプローチする話題を提供して頂き、学生が新たな視点を手に入れるきっかけになった。

日時： 10月28日(木) 15時00分～16時30分

会場： 電気通信大学 東4号館8階AV会議室

参加人数：30名

講師： 楊 子江（よう しこう）先生

茨城大学工学部 知能システム工学科 教授

講演題目：モデルベース制御のためのシステム同定と適応制御技術

講演概要：

近年、情報技術のめざましい発展のおかげで、**matlab**や**simulink** のような、制御対象モデルを効率よく構築し、制御設計・適合・検証をシームレスに行える環境が整えてきており、モデルベース制御開発技術の発展が産業界から強く求められている。また、制御系開発の自動化技術の発展と相まって、その基礎となるシステム同定と適応制御技術の普及も強く求められている。

時代の要請を反映すべく、本講義は、以下の内容に焦点を当てる。

- (1) 産業界におけるモデルベース開発とモデルベース制御系設計の現状・特徴
- (2) モデルベース制御のためのシステム同定手法入門と事例
- (3) 適応制御手法と応用事例

講演の様子



7. 活動の実績と成果

7.1 ロボカップサッカー

7.1.1 Robocup 2010

2010年5月2～4日に大阪工業大学にて Robocup Japan Open 2010 が開催された。昨年度までは各チームが構築したビジョンシステムを使用していたが、今年度より全チーム共有のビジョンシステム (SSL-Vision) が採用された。これに合わせて、新たに2足歩行ロボットによる SSL-Humanoid リーグも共催されることとなった。

中野研究室(fWing207)では5台のロボットで行うサッカー小型リーグ(SSL)のみに参加をした。従来から用いられている直径18cm以下のロボットを用いるリーグ(SSL)には我々の研究室を含めて5チーム、SSL-Humanoid リーグには6チームのエントリーがあり、初日及び2日目に全チーム総当たり戦による予選リーグ、最終日に予選を勝ち抜いた4チームによるトーナメント戦が行われた。

今年度の大会から採用された SSL-Vision システムに対応するために戦略システムの大幅な変更が全チ



ームで行われたため、例年の優勝チームであっても試合に苦戦することが数多くみられた。我々のチームも戦略システムに問題があり、得点をあげることができなかった。

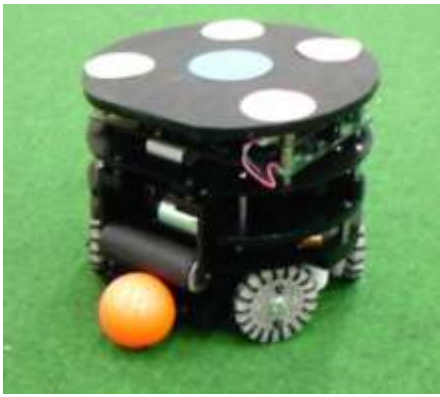
今年度の大会に参加した他チームの傾向として駆動モータとしてブラシモータよりも高出力・高応答なブラシレスモータを搭載したロボットに置き換えが進んでいた。一方、我々の主力ロボットではブラシモータを使用しており、他チームよりも動作がワンテンポ遅れる傾向であった。このため、次年度に向けてブラシレスモータを用いたロボットの開発・評価を行う必要がある。

7.1.2 サッカーロボットシステムの改良

ブラシレスモータを搭載したロボット

昨年度までは、駆動回路を簡単に構築することのできるブラシモータをロボットの主動力としたロボットを開発してきた。しかし、競合他チームがより高い出力を得ることのできるブラシレスモータを搭

載したロボットに置き換えを行ったため、加速性能および最高速度において我々のロボットは太刀打ちできない状況であった。

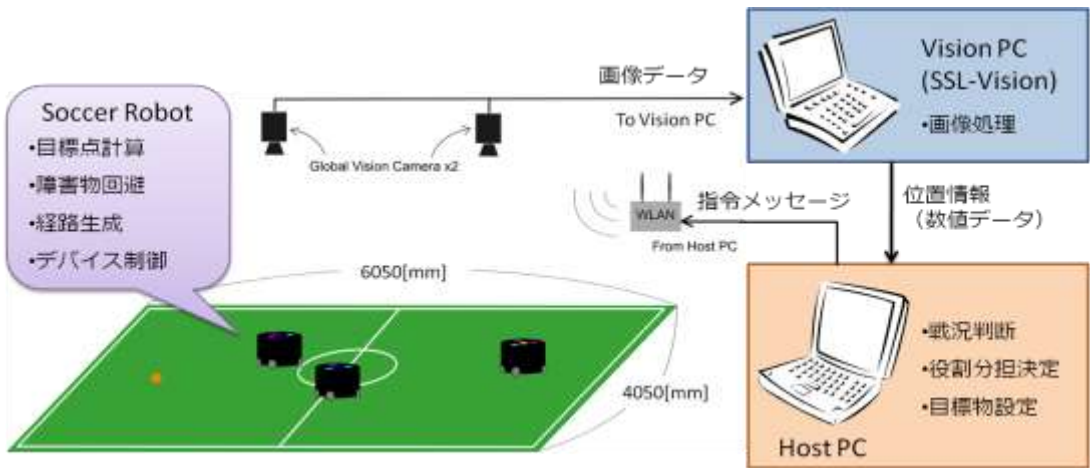


このため、ブラシレスモータを使用したロボットの開発を行った(図 4)。ブラシレスモータを駆動するために制御基板を設計し直した。この制御基板は従来のブラシモータのロボットにも使用できるようにモータドライバ部分を切り離し、互換性を持たせた構成とした。

戦略システムの再構築

今年度の大会では、前年度まで使用していた戦略システムを SSL-Vision 向けに改良を行い大会に出場した。しかし、修正の際にバグが残ってしまったため大会では思うような動作をすることができなかった。これは、個々のロボットの行動と全体の戦略を 1 つのプログラムで制御していたため、システム全体が動作しないという結果になってしまった。このため、個々のロボット制御と全体戦略のプログラムを分離したシステムを構築することによって問題解決を図った。

新たに構築をしたシステムを図 5 に示す。ここで、Host PC は全体の戦略のみを管理してロボットの姿勢制御などは個々のロボットに搭載された制御基板によって制御を行う。



以上の改良を中心に行ったシステムを用いて 2011 年度 RoboCup Japan Open にて勝利目指したい。

7.2 ロボカップレスキュー

7.2.1 概要

RoboCup Rescue Robot League はロボットの研究者が参加し、仮設の災害現場でのレスキュー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ものである。電気通信大学横井研究室・田中研究室、京都大学松野研究室の合同チーム「SHINOBI」は2010年度、日本で行われた RoboCup Japan Open と、タイで開催された Thailand Rescue Robot Championship 2010 (TRRC2010) へ参加した。これらの大会への参加報告を以下に示す。

7.2.2 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. 1 左)では、複数カメラ画像の提示を可能とする画像転送システムの開発を行った。自律型ロボット“HIEI”(Fig. 1 右)では、地図作成精度の向上、被災者発見アルゴリズムの改良を行った。

7.2.3 RoboCup Japan Open

RoboCup Japan Open 2010 は、大阪工業大学で2010年5月2日～4日の日程で開催された。今大会は、タイ、イランから各1チームが参加し、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、自律型ロボットの HIEI の計2台のロボットで参加した。競技は全13チームで予選を行い、4チームで決勝を行う方式であった。SHINOBI は、予選1位で決勝に進出したが、決勝ではトラブルに見舞われ優勝は逃した。しかし、総合力の高い探索ロボットシステムを開発したことが評価され、計測自動制御学会賞を受賞することができた。受賞式の写真を Fig.2 に、予選結果を Table1 に示す。



Fig.1 Developed robots



Fig.2 Commendation ceremony

7.2.4 Thailand Rescue Robot Championship 2010

Thailand Rescue Robot Championship 2010 は、タイ・バンコクで2010年12月14日～17日の日程で開催された。チーム SHINOBI は自律型ロボット HIEI で参加した。競技は、タイ国内の予選(70チームが参加)を勝ち抜いた8チームと、海外招待4チームの計12チームで競われた。4回の予選と2回の決勝が行われたが、SHINOBI は全競技を通して、自律走行型のロボットとしては最も被災者の発見数が多く、作成した地図の精度も高かった。この点が評価され、Best Autonomous Award(最優秀自律走行賞)を受賞することができた(Fig. 3)。

Table 1 Score of the qualifying round of RoboCup Japan Open 2010

Team name	1st	2nd	3rd	Result
SAKURANA	20	27	22	49
キャタピラHIT	14	20	23	43
メイセイ★レスキュー	0	0	0	0
Chukyo-Rescue	0	0	0	0
NIIT-BLUE	6	37	0	43
SHINOBI	27	96	212	308
Nexis-R	0	54	40	94
RMF Rescue	0	0	0	0
G-TAN	27	0	0	27
CIT-Pelican	25	75	90	165
U.S.R.F	0	0	0	0
BART LAB Rescue	142	128	78	270



Fig. 3 Best Autonomous Award

7.2.5 まとめと今後の課題

JapanOpen2010, TRRC2010 とともに、自律型ロボットを投入したチームは何チームもあったが、多数の要救助者を発見できたのは、我々のチーム SHINOBI のみであり、計測自動制御学会賞, Best Autonomous Award を受賞することができた。また、競技を通じて様々な問題点が浮かび上がり、今後の改良の必要性とその改良の方針に関する知見を得ることができた。今後は、自律型ロボットについては、斜面・階段などの単純な地形での自律走行システムを開発したいと考えている。遠隔操作ロボットについては、今回多くのマシントラブルに見舞われ、ハード面での課題点が浮かび上がった。今後はこの点に着目し、クローラベルトの改良やメンテナンス性を考慮した開発を行っていきたいと考えている。

7.3 つくばチャレンジ 2010 (RWRC2010: Real World Robot Challenge 2010)への参加

7.3.1 つくばチャレンジ概要

つくばチャレンジ[1]は、自ら考え行動するロボット(自律型ロボット)が、実際に人が生活する街の中で『安全かつ確実に動く』ことを目指す技術チャレンジの走行会である。2007 年から始まり今年で4回目の開催となった。つくば市やつくば中央警察署や地元団体・企業、地域住民のバックアップにより、地域一体となった大規模なロボットの実証実験が行われている。大会への参加報告を以下に示す。

7.3.2 つくばチャレンジ 2010 大会内容と出場理由

つくばチャレンジ 2010 では、事前試走会・トライアル走行・本走行を含め、7月から11月までに計10回程度走行する機会がある。その中で我々電気通信大学横井研究室、田中研究室は京都大学松野研究室との合同チームとしてそのうち5回の走行会に参加した。2010年度のコースは、Fig.1に示すように公園の遊歩道や行動を含む全長約1.1[km]のコースである。走行会のための交通整理や環境の改変を最小限にしているため、一般の通行人が存在する領域や、建物や木々が存在しGPSデータが上手く取得できない領域などがある。そのような環境であっても自律で安全に確実に走破することがロボットに要求される。自律移動するロボットのナビゲーションには多くのチームはコース上の障害物情報や走行経路を記述した環境地図を用意し、その地図に基づいて走行する。しかし、走行環境には人の通行が多い領域や路面状況が悪い領域が存在するが、これらは障害物情報として扱うことが難しい。そのような危険な領域では移動速度を落として走行すべきだと考えられる。そこで我々は、速度制約を考慮した移動ロボットの軌道計画に関する研究[2]を行っており、その屋外実証実験の場としてつくばチャレンジに参加してきた。特に、屋外での実証実験には地方自治や警察の許可が必要であるため、この大会に参加する意義は大きい。

7.3.3 大会結果と成果, 反省点

我々はつくばチャレンジ 2010に参加するにあたり、Fig.2に示す自律移動ロボットを開発した。我々のチームは、試走会に3日間参加し、予選トライアル走行に挑んだ。予選は約240[m]のコースを自律で完走するものであった。結果は6分30秒でトライアルを通過することができた。走行の様子をFig.3に示す。翌日の本走行では、システムのトラブルで100[m]程度走行した地点でコースアウトとなってしまった。しかし、事前の試走会や予選の時に速度制約に関する実証実験を行うことができ、危険な領域では速度を落とした安全なナビゲーションを行うことができた。結果としては1.1[km]走破することはできなかったが、意義のあるつくばチャレンジ参加であった。

7.3.4 成果

- ・第11回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(SI2010)発表2件[3][4]
- ・The 16th International Symposium on Artificial Life and Robotics(AROB2011)発表1件[5]
- ・つくばチャレンジ 2010 開催記念シンポジウムポスターセッション発表1件[6]



Fig.1 つくばチャレンジ 2010 コース図



Fig.2 開発した自律移動ロボット



Fig.3 走行実験風景

【参考文献】（下線は電通大所属学生を示す）

- [1]つくばチャレンジホームページ：<http://www.ntf.or.jp/challenge/>
- [2]後藤, 根, 松野：“速度制約領域を考慮した自律移動ロボットの行動計画”，日本ロボット学会誌, vol. 28, no. 8, 2010
- [3]金, 後藤, 五十嵐, 根, 佐藤, 松野, 田所, 高森, 斎藤：“自律と操縦に対応した移動ロボット用 RTC の開発, 第 20 報: 確率的自己位置推定と速度制約を考慮した軌道生成法”，第 11 回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, 2A3-4, 2010
- [4]五十嵐, 木村, 松野：“屋外自律移動ロボットの実証実験における安全対策について”，第 11 回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, 3A2-2, 2010
- [5]T.H. Kim, K. Goto, H. Igarashi, K. Kon, N. Sato, F. Matsuno：“Path planning of an autonomous mobile robot considering region with velocity constraint in real environment”, The 16th International Symposium on Artificial Life and Robotics, GS13-6, 2011 (Young Author Award 受賞)
- [6]金, 後藤, 五十嵐, 根, 佐藤, 松野：“確率的自己位置推定と速度制約を考慮した軌道生成法”，つくばチャレンジ 2010 開催記念シンポジウム, 2011

7.4 SIGGRAPH 2010

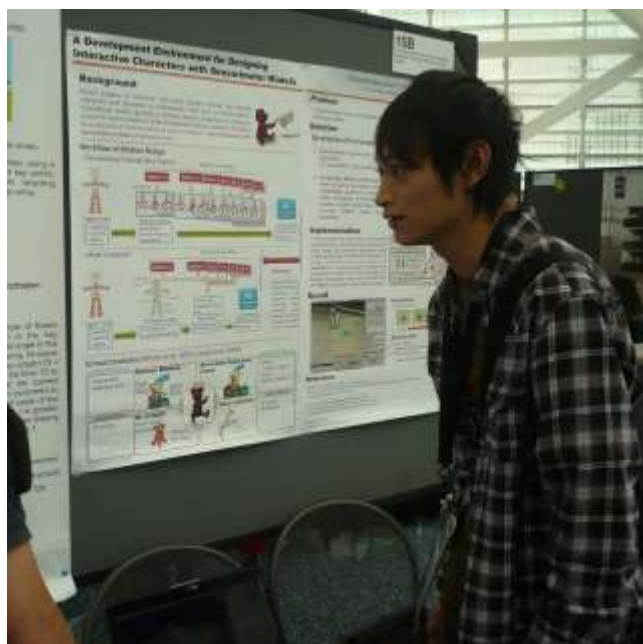
SIGGRAPH とは毎年夏に ACM（米コンピュータ学会）が主催する世界最大の CG とインタラクティブ技術の国際会議である。2010 年度は 7 月 25 日から 7 月 29 日までの 5 日間、米国カリフォルニア州ロサンゼルスコンベンションセンターで行われた。学会が主催するイベントではあるが、論文発表の場としてだけでなく Apple や Google, Adobe などの企業展示、CG アート作品の上映、著名人の講演などが行われ、毎年多数の来場者がある。

本年は世界中から 95 件の発表があったポスターセッションで、修士 1 年の松山隼輔が” A development environment for designing interactive characters with sensorimotor models” というタイトルで発表を行った。

日時： 2010 年 7 月 25 日（日）～7 月 29 日（木）（SIGGRAPH2010）

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

関連 URL： <http://www.siggraph.org/s2010/>



ポスターの前で説明する松山

7.5 ロボコンプロデュースコンテスト

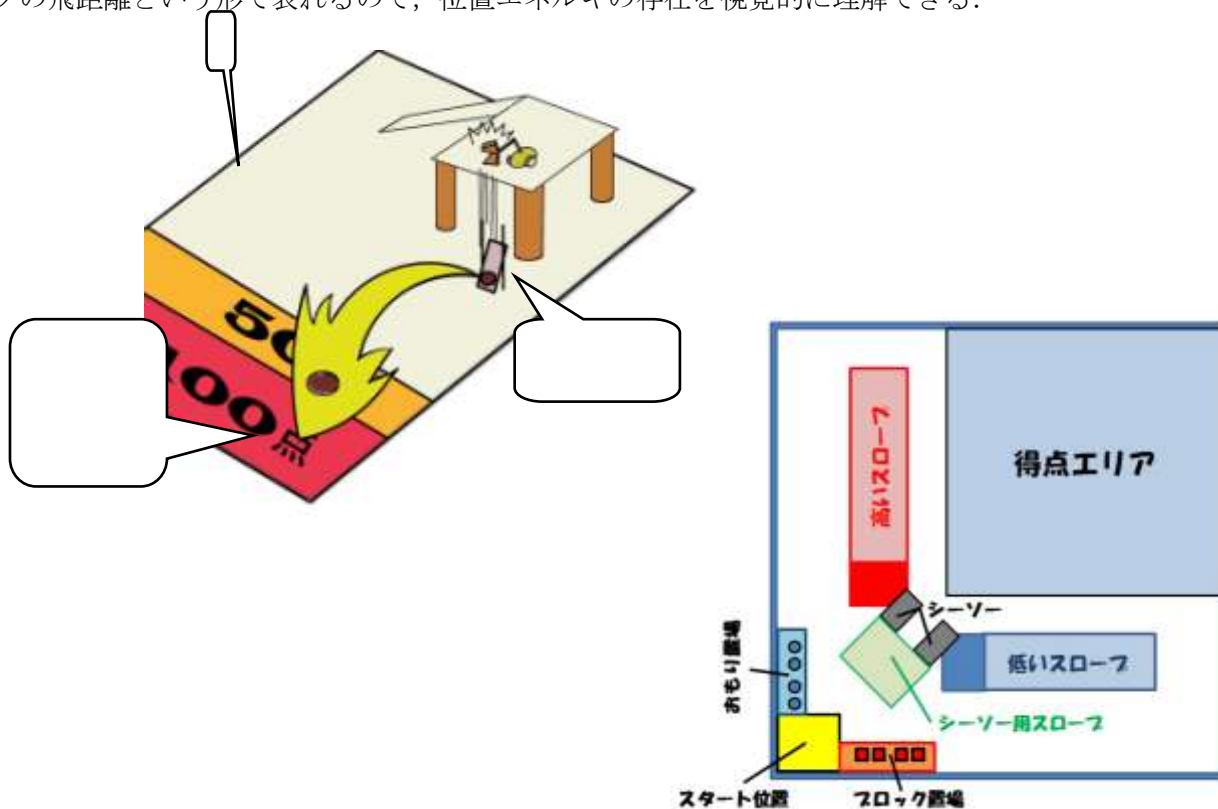
ロボコンプロデュースコンテストは、通常のロボットコンテストとは違い、ロボットを作るのではなく、ロボットコンテストを企画し、その面白さを競うコンテストである。このコンテストは、学生の独創力、企画力、創作力、プレゼンテーション能力を育むことを目的として、1999年度から電気通信大学、信州大学、北海道大学、岩手大学などで開催されてきた。本年度は日本機械学会の主催で2010年12月5日に信州大学繊維学部にて開催された。

出場チームは、北海道大学ロボットアーキテクト「植林職人」、電気通信大学田中企画「FLY AWAY」、電気通信大学ロボメカ工房「S.S.T.I. 計画」、信州大学SURL「おいしいカレーの作り方2010」、信州大学河村研究室B4「災害救助ゲーム」の5チームであった。

昨年度に引き続き、本年度もカデット教育の支援を受け、大石徹太郎（知能機械工学専攻1年）、市河拓（知能機械工学専攻1年）、河合大志（知能機械工学科4年）、奥村雅（知能機械工学科4年）、倉持信行（知能機械工学科4年）、指山昇太（知能機械工学科4年）、田中拓哉（知能機械工学科4年）、千葉信一郎（知能機械工学科4年）、松本和己（知能機械工学科4年）が田中企画というチームで「FLY AWAY」というロボコン競技を製作し、コンテストに出場した。

「FLY AWAY」は、シーソーを使ってブロックを飛ばし、ブロックが飛んだ距離に応じた得点を獲得し、その合計得点を競うゲームである。1チーム2人で2台のロボットを操作し、フィールドにあるブロックをシーソーに置き、シーソーの逆端におもりを落とすことで、ブロックを飛ばすことができる。

この競技は、位置エネルギーを考えることで有利にゲームを進めることができる。高いところからおもりを落とした方がおもりの持つ位置エネルギーが大きい。この競技では、位置エネルギーの大きさがブロックの飛距離という形で表れるので、位置エネルギーの存在を視覚的に理解できる。





競技フィールド



競技フィールドの写真

プレゼンの様子



デモの様子

質疑応答・評価の様子

位置エネルギーについて学べるという教育効果が高く評価され、「奨励ロボコン」を獲得した。来年度も新たなロボコン競技を考え、プレゼンテーションの練習までを含めて、事前の準備をしっかり行い、コンテストに望みたい。



表彰式の様子



集合写真

8. 大学院生による研究成果発表

論文誌：

- 1) Zhaoxian Xie, Manabu Yamashiro, Hisashi Yamaguchi, Aiguo Ming and Makoto Shimojo: Development of A Mobile Manipulator System With RFID-Based Sensor Fusion For Home Service : A Case Study on Mobile Manipulation of Chairs, International Journal of Information Acquisition, Vol. 7, No.1, pp.1-13(2010.6).
- 2) 1) 後藤清宏, 根和幸, 松野文俊, 速度制約領域を考慮した自律移動ロボットの行動計画, 日本ロボット学会誌, vol.28, no.8, pp.930-937 (2010)
- 3) 1) Shu Hosokawa, Kazushi Nakano, Kazunori Sakurama: A consideration of human immunity - based reinforcement learning with continuous states, Artificial Life and Robotics, Vol.15, No.4, 560-564 (2010)
- 4) 東 善之, 田中一男, 大竹 博, 可変迎角機構を有する飛行ロボットシミュレーションモデルの構築, 日本機械学会論文集(C編), Vol.76, No. 762, pp.361-370, Feb. 2010.

国際学会論文：

- 1) Hisashi Yamaguchi, Zhaoxian Xie, Aiguo Ming, Makoto Shimojo: Human Assist by a Mobile Manipulator with High Speed Tactile Sensor, Proceedings of IEEE International Conference on Information and Automation, 2010(ICIA 2010), Harbin, China, pp.765- 770(2010.06)
- 2) Yuichi Fukushima, Kentaro Minagawa, Aiguo Ming and Makoto Shimojo: Development of Flapping Robots using Piezoelectric Fiber Composites - Development of Driving Module Inspired by Insects with Indirect Flight Muscle -, Proceedings of the 2010 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, Xi'an, China, pp.77 -82(2010.08). (Best Paper Nomination Finalist 受賞)
- 3) Jun Shintake, Aiguo Ming, Makoto Shimojo: Development of Underwater Robots using Piezoelectric Fiber Composite -Diversification of Propulsion Movement by Single Fin Structure-, Proceedings of The 5th International Conference on the Advanced Mechatronics(ICAM2010), Osaka, Japan, pp.124-128(2010,9) (Best Paper Nomination Finalist 受賞)
- 4) Jun Shintake, Aiguo Ming, Makoto Shimojo: Development of Flexible Underwater Robots with Caudal Fin Propulsion, Proceedings of the 2010 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Taipei, Taiwan, pp.940-945(2010,10).
- 5) Kentaro Minagawa, Yuichi Fukushima, Aiguo Ming and Makoto Shimojo: Development of Flapping Robots using Piezoelectric Fiber Composites - Performance Enhancement by Unique Structure and Drive Control -, Proceedings of the 2010 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Taipei, Taiwan, pp.1624-1629(2010,10).
- 6) Akira Maruyama, Chunquan Xu, Naoki Kajiwara, Chigusa Ohishi, Aiguo Ming and Makoto Shimojo: A New Leg Mechanism for Humanoid Robot, Proceedings of the 14th International Conference on Mechatronics Technology, Osaka, Japan, pp.389-394(2010,11).
- 7) Keiichi Hoshino, Motoyasu Tanaka and Fumitoshi Matsuno, Optimal Shape of a Snake Robot for Jumping, Proc. IEEE Int. Conf on Robotics and Automation, pp.697-702, May, 2010
- 8) Manoj Kumar Mukul, Fumitoshi Matsuno: "Three- Channel Electro-encephalogram (EEG) Signal Analysis by Independent Component Analysis and Classification by Linear Discriminant Analysis", Proc of the SICE Annual Conference, pp.449-458, August , 2010.
- 9) Manoj Kumar Mukul, Fumitoshi Matsuno: "Relative Spectral Power (RSP) and Temporal RSP as Features for Movement Imagery EEG classification with Linear Discriminant Analysis", Proc of the SICE Annual Conference, pp.439-448, August, 2010.
- 10) Kiyohiro Goto, Kazukuki Kon, Fumitoshi Matsuno, "Motion Planning of an Autonomous Mobile Robot Considering Regions with Velocity Constraint", Proc. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Taipei, pp.3269-3274, October, 2010
- 11) Manoj Kumar Mukul and Fumitoshi Matsuno: Rhythmic Components of Spatio-temporally Decorrelated EEG Signals Based Common Spatial Pattern, IEEE/SICE International Symposium on System Integration, pp. 335-340, December, 2010.
- 12) Manoj Kumar Mukul and Fumitoshi Matsuno: Comparative Study between Subband and Standard ICA/BSS method in Context with EEG Signal for Movement Imagery Classification, IEEE/SICE International Symposium on System Integration, pp. 341-346, December, 2010,
- 13) Tae Hyon Kim, Kiyohiro Goto, Hiroki Igarashi, Kazuyuki Kon, Noritaka Sato and Fumitoshi

Matsuno, Path planning of an autonomous mobile robot considering region with velocity constraint in real environment, Int. Symposium on Artificial Life and Robotics, January, 2011

- 1 4) M. Suzuki, K. Sakurama, and K. Nakano: Online Leader-Following Formation Navigation with Initial Movements of Followers and Its Experimental Verification, Proc. of the SICE Annual Conference 2010, TC08-6, pp.1146-1152 (2010.8)
- 1 5) Shu Hosokawa, Joji Kato, Kazushi Nakano Kazunori Sakurama: Angle-based neuro-fuzzy navigation for autonomous mobile robots, Int. Symp. on Artificial Life and Robotics (AROB'11), OS1-5 (2011.1)
- 1 6) Kozo Kumakawa, Chiaki Sakamoto, Takuji Koike, Comparison of round window and cochleostomy approaches for hearing preservation: Analysis using computational structures technology, Joint Meeting - IV Consensus in Auditory Implants & VEAONO Instructional Workshop, Parma June 16-19, (2010)
- 1 7) Tatsunari Harashima, Makiko Fujii, Takuji Koike, Michihito Aoki, Kyoji Homma, Naohito Hato, Sho Kanzaki: Assessment of an implanted bone-conduction hearing aid performance by experiments using human cadavers, Proceedings of the 17th International Congress on Sound and Vibration, CD-ROM, Cairo, Egypt, July 18-22 (2010)
- 1 8) Tasuku Sakashita, Chiaki Sakamoto, Takuji Koike, Effects of a cochlear fistula on the vibration of the basilar membrane: Theoretical analysis, The 15th Auditory Research Forum, Kyoto, Japan, December 4-5 (2010)
- 1 9) Montree Pakkaratok, Nachapon Luekiatphaisan, Hisayuki Aoyama, Combination of VCA based Micro Force Generator and Micro Robot for Micro Hardness and Stiffness Test, Proc. of SCIE Annual Conf. pp.3184-3189(2010)
- 2 0) Montree Pakkratoke, SMG. Iroshana, Chisato Kanamori and Hisayuki Aoyama, Development of micro hardness and stiffness testing system by micro robot for biomaterials, Proceedings of the 4th Asia International Symposium on Mechatronics (AISM 2010), 15-18 December 2010, National University of Singapore.
- 2 1) Shunsuke Matsuyama, Hironori Mitake, Shoichi Hasegawa, A development environment for designing interactive characters with sensorimotor models, ACM SIGGRAPH 2010 Posters, Los Angeles, 2010.
- 2 2) Ying-Jen Chen, Hiroshi Ohtake, Kazuo Tanaka, Wen-June Wang, Hua O. Wang, Stability Analysis for the Polynomial Fuzzy Systems by utilizing Equality Constraints of Sum-of Squares Program, 2010 International Conference on System Science and Engineering, pp. 36-40,, Taipei, July1-3, 2010.
- 2 3) Kazuo Tanaka, Hiroshi Ohtake, Takehito Yamaguchi and Hua O. Wang, Stability Analysis of Nonlinear Systems via Multiple Mixed Max-Min based Lyapunov Functions, 2010 IEEE World Congress on Computational Intelligence, pp.2899-2905, July 18-23, Barcelona, 2010.

解説

五十嵐広希, 他:” NEDO プロジェクトの開発推進状況の報告 搭乗型モビリティロボット用ソフトウェアの開発進捗状況の報告”, 195号: pp45-50, 日本ロボット工業会機関紙「ロボット」, 2010/07

特許 (出願中)

発明の名称: 埋設物探査装置

発明者: 中野 和司, 小林 允, 小川 智久, 中村 泰之

出願番号: 特願 2010-123940

出願人: (国立大学法人) 電気通信大学、日本信号株式会社

9. 対外的情報発信

○WEB ニュース

・平成 23 年 1 月 10 日

「京大+電通大合同チーム SHINOBI の「HIEI」タイの TRRC2010 で最優秀自律走行賞を受賞」

<http://robo-times.com/evn/rep/2011/01/evn-rep110110a.html>



○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 2010 レスキューロボット実機リーグ

【場所】大阪工業大学 大宮キャンパス

【日時】2010/5/2 - 5/4

【内容】計測自動制御学会賞 受賞

・ Thailand Rescue Robot Championship 2010

【場所】タイ バンコク

【日時】2010 年 12 月 15 日～17 日

【内容】Best Autonomous Award (最優秀自律走行賞) 受賞



・インターネットによる遠隔制御メカトロシステムの国際共同開発の
実践的プログラムが タイ・キングモンクット工科大 50 周年式典 (2010. 8. 25)
でタイ王国・シリントン王女の前で実演された。電通大のカデットに参加する院生が
電通大および KMITL の学部生を指導し、システムの構築を実施した。

・予感研究所 3 (JST 「デジタルメディア作品の制作を支援する基盤技術」領域の作品発表会、会場：
日本科学未来館、総来場者数 2 万人、
2010. 5. 1-5. 5) にて、加藤史洋 (D1)、グエン ゴクトゥ (B3)、須佐育弥 (D1)、花岡優介 (M2)、高瀬裕 (D2)
が「体験型料理シミュレータ」を出展しました。
また、ロボコンマガジンの Web ページで取り上げられました。
<http://www.ohmsha.co.jp/robocon/archive/2010/04/3-2.html>

・ CEDEC2010

【場所】 パシフィコ横浜

【日時】 2010/8/31 - 9/2

【内容】 剛体物理エンジンの本質と活かしかた (ポスター発表)

・「子供の科学」誠文堂新光社 9月号 pp.10-19 2010

にて、本研究室の脳波で動く車椅子が紹介されました。

取材日 2010年7月7日

『子供の科学』(こどものかがく、1923年創刊-)とは、誠文堂新光社が出版している日本の雑誌(子供向け科学雑誌)である。通常毎月10日発売。愛読者の略称は「子科」(こか)。戦前から科学を子供が分かりやすく学べるように編集され、創刊以来90年近い歴史を保っている。

受賞

・ 市河拓 (M1) らのカデット教育学生プロジェクトで開発した生体センサを搭載したマウスで第31回
全日本マイクロマウス大会に出場し、特別賞を受賞。



・ 大石徹太郎 (M1) らがロボコンプロデュースコンテスト 2010 にカデットチームとして出場し、奨励ロボ
コン賞を受賞。

- Pakkratoke Montree(D2)が IMEKO2010にて Compact Micro Force Generator with Tandem Leaf Spring and VCM on Micro Robot for Micro Hardness and Stiffness Test を発表し、Best Poster Award を受賞.



10. まとめ

2011年3月11日に発生した未曾有の東日本大震災では、地震の規模の大きさのみならず、津波の甚大な被害、さらには、福島第一原子力発電所事故など、幾重もの困難が発生し、我々は戦後最大の危機に直面している。とくに、福島第一原子力発電所での放射能漏れ事故では、安心・安全が第一であるはずの科学技術の根底が揺らいでしまっている。この戦後最大の危機を乗り越えるために、科学技術の分野においては、とくに、安全・安心を第一優先にした「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、技術者の育成が急務である。本教育プログラムは、インターデスプリナリな知識を集約し、容易に解決できない実践的な問題をブレークダウンして解ける問題として設定・解決する能力をもち、国際的視野とリーダーシップに富んだ、危機危険管理能力を持つ学生「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、この点で安全・安心を第一優先にした「ものづくり」のための人材育成に貢献できると考えている。

平成23年度以降も、以下の取組みを継続して実施していく予定である。

- ・オープンセミナーおよびショートトレーニングの実施
講義科目と連動したオープンセミナーとショートトレーニング(Global Leadership Trainingなど)を開講する。とくに、MATLABセミナーは2日間から4日間と規模を拡大し、学生教育の充実に努める。ショートトレーニングについては、エコシステムやグリーンエネルギーなどと経済学を関連付けた分野に内容を一新させる予定である。
- ・機械加工トレーニングおよび免許制度の実施
安全管理教育をも含んだ機械加工トレーニングを実施し、学生の能力に応じた責任と権限を与える免許制度を推進していく。
- ・実戦的課題プロジェクトの実施
分野横断的なテーマを複数の教員が指導する実戦的課題プロジェクトを講義科目と連動させて実施する。
- ・企画提案型プロジェクト研究の実施
博士後期課程学生を中心に研究プロジェクトを提案させ、ヒアリングを実施したうえで、極めてすぐれた提案に対しては研究予算を配分する。プロジェクトリーダーの学生を中心に複数の学生による研究グループによりプロジェクトを推進させることで、研究能力だけでなくプロジェクトマネジメント能力を養う。
- ・国際共同教育プログラムと国際的活動の実施
海外協定校などとの連携を深め、大学院学生の国際交流の促進をさらに推進する。また、研究者を対象とする国際的競技会や競争的展示会への参加を奨励する。

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：MQ07、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。また、この度の東日本大震災により亡くなられた方々のご冥福をお祈りするとともに、被災された方々、原子力発電所の事故で避難をされている方々に心からお見舞いを申し上げます。一日も早い復旧、復興がなされますことを心よりお祈り申し上げます。