

ロボットの作り方 2011

日時：2011 年 6 月 10 日 (金) 9:50~16:30, 6 月 11 日 (土) 9:50~16:30

会場：東京工業大学大岡山キャンパス 石川台 3 号館統合創造工房 A エリア (201A)

参加者数：50 名

オーガナイザー：高山俊男 (東工大), 山田浩也 (東工大)

概要

毎年恒例の「ロボットの作り方」の 2011 年版として、2 日間の日程で 4 件の講演、見学会、及び 2 自由度マニピュレータの製作実習を行いました。これらを通じて、参加された方々には、ロボットの仕組み、設計法、制御法を、体験的に学習して頂きました。

1 日目の午前中には、数多くの独創的なロボットを開発されている東京工業大学 広瀬教授をお招きし、ロボット設計に有用な 4 つの原理と、新しい発想を得るための創造的思考法について解説して頂きました。その後、広瀬・福島研究室を見学し、実演形式で様々なロボットを紹介して頂きました。

1 日目の午後と 2 日目には、今回のために新たに開発したシンプルな 2 自由度マニピュレータを教材として講義と実習を行いました。1 日目午後、2 日目午前、2 日目午後の 3 つの時間に講義と実習を 1 回ずつ行い、ロボットの基礎知識、フィードバック制御、マニピュレータの理論と制御を段階的に学習しました。実習では、(1)マイコンによるセンサ信号の読み取り、(2)モータのフィードバック位置制御、(3)平行リンク機構を利用した 2 自由度マニピュレータ機構の組立と逆運動学解析による手先位置の制御、の 3 つの工程を設定しました。ハンダ付けの難易度が高かったため、逆運動学による制御まで予定時間内に到達できた参加者は半数ほどでしたが、マニピュレータの組立と位置制御まではほぼ全員が完了できました。間に合わなかった人も、詳細なテキストを配布してありますので、最後の課題まで自習することが可能です。

本シンポジウムでは、講義が単なるお話しにならず、実習が単なる作業にならぬよう、両者が組み合わさって学習が進むように配慮しました。また、基礎的な講義・実習だけでは内容が技術的になり過ぎる嫌いがあると考え、広瀬教授には 2 時間を使って、技術以前の原理的あるいは哲学的な考え方を紹介して頂きました。限定された時間内で敢えて密度の濃い内容を企画しましたが、アンケート結果によると参加者の皆さんにはほぼ満足して頂いたようで、オーガナイザーとしては嬉しく思っています。参加者の皆さんとご協力頂いた方々に感謝致します。

以下、各講演について報告いたします。

■6月10日（金）（第1日目）■

第1話 ロボットの創造設計

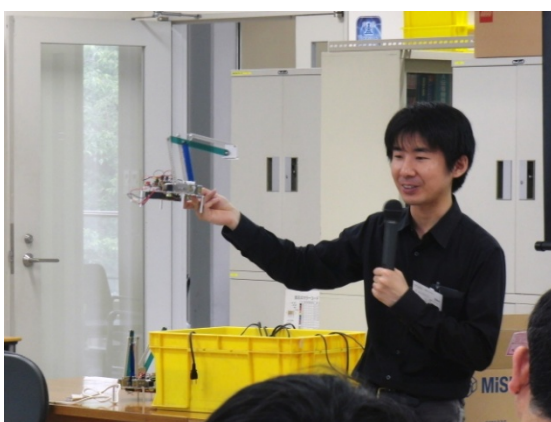
10:00~12:00 東京工業大学大学院 機械宇宙システム専攻 広瀬茂男

広瀬先生には、大きく2つに分けて「ロボットの設計原理」と「創造的思考法」について、各1時間ずつ御講演頂きました。「ロボットの設計原理」については、「連結差動機構」（複数の自由度を持つ機構を差動機構で連結することで、少ない自由度で大きな自由度を制御する手法）、「干渉駆動」（特定の主要な動作において複数のアクチュエータが協調的に仕事を行うように駆動系を設計する手法）、「負のパワー消費の防止」（歩行ロボットにおいて、アクチュエータが重力に抗してした仕事が負になると移動効率が悪化する問題を、重力に抗するアクチュエータと移動に使用するアクチュエータを分離することで防止する設計法）、「可変拘束機構」（機構の拘束条件を切り替えることで、少数の主要なアクチュエータで複数の運動機能を実現する方法）という4つの原理について、実際のロボットへの応用例を紹介しながら解説頂きました。「創造的思考法」については、柔軟で創造的な発想を得る方法について、参加者への課題（ビール瓶の使用法を可能な限り考えよ）を出すなどしながら、多岐に渡ってご紹介頂きました。全体を通して、細かい技術的な検討以前の「ロボットの設計指針」に関するヒントを学ぶことができ、参加者に最も好評な講演となりました。

<見学会> 12:00~12:40

・東京工業大学大学院 機械宇宙システム専攻 広瀬・福島研究室

広瀬・福島研究室で開発されてきた歩行ロボット、ヘビ型ロボット、クローラ型ロボット、全方移動車両、惑星探査ローバーを、実演を交えてご紹介頂きました。多種多様なロボットの実際の動作を間近で見ることができたため、参加者には大変好評でした。



開会挨拶（教材の紹介）



広瀬先生ご講演

第2話 ロボットの作り方～機構と制御の基礎知識～

14:00~14:50 東京工業大学メカノマイクロ工学専攻 高山俊男

ロボットの作り方の導入として、まず高山先生に、計算機・アクチュエータ・減速機・センサの基本要素によってロボットとその制御系が構成されることを説明頂きました。また、それら基本要素についての基礎知識を解説頂きました。特に電磁モータについては詳しい説明がありました。短時間の講演ながら、ロボット作りの基礎を確認することができました。

実習1 実習キット組立

15:00~16:30 東京工業大学大学院グローバルエッジ研究院 山田浩也

最初の工程として、マイコンの開発環境の準備と、キットで使用するポテンシオメータのハンダ付け、マイコンの A/D 変換機能の動作確認までを行いました。ポテンシオメータに配線を直接ハンダ付けしたため、かなり根気のいる作業となりました。このため、希望者には 18:00 まで会場を開放しました。

■6月11日(金)(第2日目)■

第3話 ロボットの作り方～動作の制御～

10:00~10:50 東京工業大学メカノマイクロ工学専攻 高山俊男

センサ信号を用いたフィードバック位置制御と、モータの PWM 駆動について解説頂きました。特に、本シンポジウムでも使用する PID 制御について、物理的な意味を直感的に説明頂きました。この説明が分かりやすかったと参加者に好評でした。

実習2 マイコンによるフィードバック位置制御

11:00~12:00 東京工業大学大学院グローバルエッジ研究院 山田浩也

第二の工程として、PID 制御によるモータのフィードバック位置制御を行いました。具体的には、モータドライバのハンダ付けと減速機（タミヤのギヤボックス）の組立、プログラミング（サンプルプログラムへのコードの追加）を行いました。これにより、ボリューム抵抗の A/D 変換値を目標入力とし、減速機の出力軸に取り付けたポテンシオメータの A/D 変換値をフィードバック入力とする制御系を構成しました。実際にボリューム抵抗を手で回すと出力軸の角度が追従する様子から、フィードバック制御の効果を確認しました。モータドライバの配線はやや根気のいる作業だったため、実のところ、この時間内でフィードバックまで到達した人は少数でした。

第4話 ロボットの作り方～マニピュレータの制御～

13:00~13:50 東京工業大学メカノマイクロ工学専攻 高山俊男

マニピュレータの制御に必要な、順運動学・ヤコビ行列・逆運動学などの知識について

ご解説頂きました。これらの知識の復習を参加理由として挙げている参加者も多かったので、この講義を設けたのは良かったようです。

実習3 マニピュレータの制御

14:00~16:30 東京工業大学大学院グローバルエッジ研究院 山田浩也

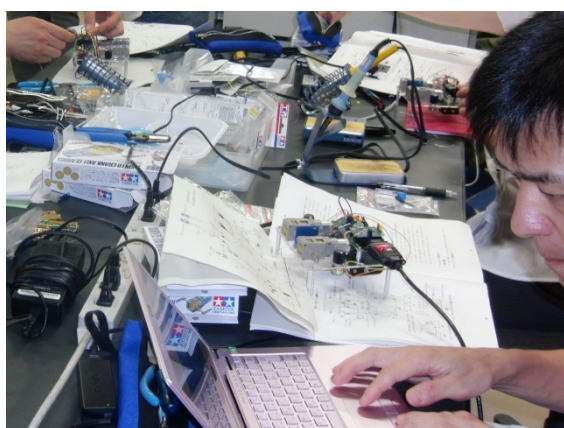
最終課題として、2自由度マニピュレータの組立と制御を行いました。配線の接続間違いが一カ所でもあればマニピュレータは暴走するため、一発で成功する人は少ないだろうと思っていましたが、案外多くの方が順調に位置制御に成功していました。しかし、本シンポジウムではフィードバックループを自分で構成しているため、ゲインを適切に設定しないと動かないと思っただけでは動きません。その分、ゲインを適切に調整して逆運動学による制御に成功したときの達成感はひとしおであったと思います。1日目と同様、希望者には17:30まで会場を開放した結果、殆どの参加者はマニピュレータの組立と位置制御まで到達できました。



高山先生ご講演



会場風景



PID 制御パラメータ調整中



マニピュレータ完成

<まとめ>

オーガナイザーとしては、本シンポジウムで「理論と技術の一体的な学習」の一形式を示すことを意図していました。ロボット工学の理論的な知識は教科書や大学の講義で学べますし、マイコンやモータの技術的な知識は書籍や Web で調べることができます。しかしロボットを作るには、理論と技術の知識を一体として使用する必要があります。この「理論と技術の一体的な学習」は、通常は研究室などで長い時間をかけて行われますが、本シンポジウムでは、その足がかりとなる機会を提供しようと考えたわけです。具体的には、機構・アクチュエータ・センサ・計算機という基本要素を全て持つ簡単なロボットの製作と、そのロボットを解析・制御するための理論の学習とを、いくつかの段階に分けた上で交互に行いました。これにより、理論を学んだ直後に、実際にロボットの中に理論がどのように生きているのかを体験的に学ぶことが可能となり、ロボットの技術・理論の全体像を把握できると期待できます。そうなれば、自分で新たにロボットを作る際にも見通しが立てられるようになり、「ロボットの作り方」を体得したと言えるでしょう。

本シンポジウムは時間が 2 日間に限られているので、内容を「フィードバック制御」と「マニピュレータ」に絞りました。これは、「ロボットの作り方」の基本の一つは DC モータの制御であろうと考えたこと、そしてモータで何か意味のある機械を作るなら、ロボットの基本であるマニピュレータが良いだろうと考えたためです。マニピュレータを題材にとれば、順運動学や逆運動学というロボット工学の基礎理論も押さえることができるという狙いもありました。実際アンケートによると、参加理由として「制御」「マニピュレータ」「ロボット工学の基礎」への興味を挙げた参加者が 10 名ほどおり、今回のテーマ設定は妥当だったようです。幸い、今回のテーマに興味を持って参加された方々の感想は好評で、狙いは成功したと思います。

また、理論と実習だけでは内容が技術的になり過ぎる懸念があったため、シンポジウム冒頭で広瀬先生に 2 時間という長い時間を使って、実習では扱えないロボット作りの原理・哲学的な講演をして頂き、内容の幅を広げる配慮をしました。技術の習得を目的として参加された方々には意外な内容だったと思われるかもしれませんが、熱心にメモをとる人も多く、実際に 9 割近くの方に好評を得ました。この講演を設定したことは成功だったと思います。

とはいえ、運営上の反省点は多々あります。主な反省点は以下の 5 点です。

1. 部品の余裕がなかった。今回は 1 割ほどの予備を用意していたが、ネジ・熱収縮チューブ・配線・ハンダなどの消耗品はすぐに無くなった。消耗品は 5 割以上の予備を用意すべき。また、マイコン・ボリューム抵抗は動作不良を起こす率が高かったため、これらは 2 割程度の予備が必要。(実際には 2 割程度の予備を用意していたが、アシスタントの練習で消費する分を考慮していなかったため足りなくなった。)
2. 時間的余裕がなかった。ハンダ付けの難易度が高かったことが主な原因である。ただし作業が早い人は時間内に終了していたので、逆作用ピンセットやクリップなど補助用の道具を配布し、ハンダ付けのコツをテキストに書いておくなどすれば、今

回程度の作業量は許容できると考える。

3. 工具を用意するのが難しかった。特に、用意したハンダごてはこて先が消耗している物が多く、これも作業を困難にする原因になっていた。良い工具が用意できないなら、工具（特にハンダごて）は原則持参とした方が良い。
4. サンプルプログラム配布には CD-R を使用したが、CD-ROM ドライブのない PC が 10 台ほどあったため、急遽 USB メモリが必要となった。
5. 開発ソフト(GCC Developer Lite)は予めインストールしてきてもらったが、古いバージョンでは用意したサンプルプログラムが動作しなかった。会告ではバージョンも指定しておくべきだった。

アンケートでも、シンポジウム内容への満足度が高い一方で、これら運営上の問題点を改善して欲しいという指摘が多く見られました。

逆に、今回の方法で妥当だったと思われる点を挙げておきます。

1. 学生アシスタントの配置。今回、50 名の参加者に対し 4 名の学生アシスタントを配置した。4 名ともに事前に教材を自習していたため、参加者の質問に適切に対応できた。参加者対アシスタントの割合は 10:1 程度で適当と考える。
2. 実習を 2 日構成とし、見学会を実習前に行ったので、夕方の終了後の時間を予備の作業時間とすることができた。
3. 実習テキストには図を多用し、作業手順を全て記述して、テキストだけあれば自習できる形式にした。そして実習時の口頭による解説を省いた。この結果、参加者はそれぞれのペースで集中して作業できた。また、自習形式ならば作業手順を柔軟に変更できるので、例えばマイコンに不具合が起こったときに、センサの配線の作業を先に進めて貰ってその間にアシスタントがマイコンのチェックをするといった対応が可能となった。

以上、次回以降のシンポジウムの参考となれば幸いです。

最後に、御講演頂きました広瀬先生、高山先生、及びアシスタントと見学会の対応を引き受けてくれた広瀬・福島研究室の学生の皆さん、そしてご参加頂いた皆様に深く感謝いたします。どうもありがとうございました。

2011 年 6 月 21 日

文責 山田浩也（東京工業大学）



実習時間中のオーガナイザーのーコマ



日時：2011年6月10日（金）9:50～16:30, 6月11日（土）9:50～16:30 【2日間】
 （原則として2日間参加できる方のみを対象とします。）

会場：東京工業大学大岡山キャンパス 石川台3号館 201A 創造工房 A エリア
 (<http://www.titech.ac.jp/access-and-campusmap/j/o-okayama-campus-j.html>)
 （東京都目黒区大岡山 2-12-1 東急目黒線・大井町線「大岡山駅」下車徒歩1分）

定員：50名（定員になり次第締め切ります）

参加費：	会員／協賛学会員	12,600円
	学生（一律）	6,300円
	会員外	18,900円
	実習キット代	7,500円（実習キットはお持ち帰り頂きます）

※ 上記参加費はすべて税込。参加費に加え、実習キット代が必要となります。
 また賛助会員優待券（半額券を含む）は、参加費のみに適用とさせていただきます。

口上：例年人気の「ロボットの作り方」を今年も二日構成で開催します。1日目前半では、ロボット工学のパイオニアの一人である東工大・広瀬教授に、ロボット開発の進め方や問題解決のための発想法について、開発の実例を交えながら詳しく解説して頂きます。1日目後半と2日目には、新たにオーガナイザー陣で設計した2自由度マニピュレータの作成と制御の実習を行います。秋葉原のパーツショップ等で安価に入手できるデバイスを使って実際に小型マニピュレータを作りながら、センサフィードバックによる関節の位置制御、マニピュレータの逆運動学など、ロボットを作る上で必要な基本知識を体験的に学ぶことができます。ロボットの研究・開発をこれから始める学生や企業の方に最適な内容です。

オーガナイザー：

高山 俊男（東工大）、山田 浩也（東工大）

講演内容：

内容詳細は変更になる場合がございます。最新の情報は下記 URL にてご確認ください。

<http://www.rsj.or.jp/events/index.html>

■6月10日（金）（1日目）■

<開会挨拶・講師紹介>

9:50～10:00

第1話 ロボットの創造設計

10:00～12:00 東京工業大学大学院 広瀬茂男

新しい機能をもつロボットを実際に設計開発するには、その機能や作業内容に応じて適切な形態を選択することが肝要である。本講義ではロボット機構を設計する際の基本的な創造的発想法、ロボットの性能を向上するための機構設計法の考え方、ロボット機構設計で使用できる基本的ないくつかの設計原理を平易に解説する。

<見学会> 12:00～12:40

・東京工業大学大学院 機械宇宙システム専攻 広瀬・福島研究室ーヘビ型移動ロボット・4脚歩行ロボット・全方向移動車両などの紹介

第2話 ロボットの作り方～機構と制御の基礎知識～

14:00～14:50 東京工業大学大学院 高山俊男

ロボットを構成する機構と制御系の基礎と、アクチュエータ、減速機、センサなどの基礎知識を解説します。また、実習課題について説明します。

実習1 実習キット組立

15:00～16:30 東京工業大学グローバルエッジ研究院

山田浩也 他

■6月11日（土）（2日目）■

<開会挨拶>

9:50～10:00

第3話 ロボットの作り方～動作の制御～

10:00～11:00 東京工業大学大学院 高山俊男

センサ信号を用いたフィードバック位置制御について解説します。

実習2 マイコンによるフィードバック位置制御

11:00～12:00 東京工業大学グローバルエッジ研究院

山田浩也 他

第4話 ロボットの作り方～マニピュレータの制御～

13:00～13:50 東京工業大学大学院 高山俊男

マニピュレータの制御に必要な、順運動学、逆運動学、ヤコビ行列などの知識について解説します。

実習3 マニピュレータの制御

14:00～16:30 東京工業大学グローバルエッジ研究院

山田浩也 他

【お願い】参加される方は、Windows7, XP, Vista が動作する、シリアルポートがついたノートパソコンをご持参ください。シリアルポートの無いノートパソコンをお使いの場合には、USB-シリアル変換ケーブルを加えてお持ちください。また、実習にあたって、ベストテクノロジー社のホームページ

(<http://www.besttechnology.co.jp/modules/knowledge/?GCC%20Developer%20Lite#DOWNLOAD>)

にある H8 開発キット (GCC Developer Lite) を使用いたします。予めインストールして頂きますようお願い申し上げます。