

ロボットの作り方2013 ～パソコンを使ったメカトロ制御実習～

開催日時: 平成25年6月8日(土)・9日(日) 10時～17時

会場: 東京工業大学 石川台3号館 統合創造工房

参加者数: 28名

オーガナイザ: 松浦 大輔 (東京工業大学)

概要

毎年恒例となっている「ロボットの作り方」を、本年も首記の日程で開催しました。今回のテーマは『ロボット＝センサ・駆動系・制御アルゴリズムを備え、自律的にマニピュレーションを行うメカトロシステム』を作るために必要な知識・体験を受講者に持ち帰ってもらうこととし、それに則った3件の講演と「簡易磁気テザー」キットを使った実習を実施しました。

初日午前中の第1話では、「産業ロボットに必要な機械要素の研究および関連解析技術とものづくり」と題し、株式会社ジェイテクトの小林 恒氏にお話を頂きました。内容は、日本の製造業の中核である自動車産業における機械要素の設計・生産および応用メカトロ製品の研究・開発の実態をご紹介頂くもので、歯車やボールねじ等の機械要素の解析手法から生産現場や加工技術の紹介まで、幅広い分野に関して詳細な解説を頂きました。一般には、ロボットは総合技術と思われることが多く、システム設計の面に注目が集まりがちですが、有用性の高い製品を開発するためには機械要素に関しても豊富な知識が必要であり、ロボットを指向した新しい要素の開発も必要となります。さらに、近い将来ロボットを日常生活空間へ導入していく際には、自動車に匹敵する厳密な安全性の検証が必要になると考えられます。本公演は、これらのことを受講者にご理解頂く上で大変有用であったと思います。同日午後には、オーガナイザを務めた松浦より今回のキットの元となった「3次元磁気テザーと弾性ステージを有する癌細胞試験装置」の開発の経緯を紹介しました。この講演では、受講者の半数を占める現役学生を主な対象として学生時代の研究やポストドクター時代の留学経験を紹介する導入部から始まり、細胞の試験装置が必要とされる理由や開発する際に採り得る複数の手法やそれぞれの長所・短所の比較を経て磁気テザーを採用するに至った経緯、装置に必要なとされた機能および諸元とそれらを満足しつつ光学顕微鏡に取り付け可能とした開発装置の紹介、性能確認実験の結果と実際の細胞試験への応用の試みを紹介しました。本セミナーのキットとは複雑さや要求性能が異なるものではありますが、メカトロシステムの構想・設計・実装および動作確認までの流れや画像計測を応用した超精密制御の実態を受講者に実感して頂けたと思います。

初日の午後と2日目の実習部では2時間×3コマの合計6時間を使い、本セミナー向けに新規に企画された「簡易磁気テザー」キットを各参加者が組み立て、制御実験を行いました。2日目の昼休憩後には、第3話としてOpenCVを使った画像計測とUSBデバイス制御ライブラリや割り込み処理・マルチスレッドを用いたサンプル制御プログラムの概要、および記録データを用いた実験結果の検証方法の解説を1時間に渡り行った上で、参加者の持ち込みPCを使ったキットの動作確認実験を行いました。セミナー開始前の時間の見積もりでは参加者全員がキットを完成させられるか否かが危ぶまれていましたが、多くの参加者が1日目の終了後に電磁石を完成させて2日目に臨んで下さったため、ほぼ全ての参加者が実験を行うことができました。自宅でキット製作作業の続きを行い、次の日も朝早くから会場に来られた参加者の熱意や、自ら組み立てたキットが動作するところを見て喜んで頂いた様子から、オーガナイザとして冒頭で述べたテーマが伝えられたことを実感することができました。

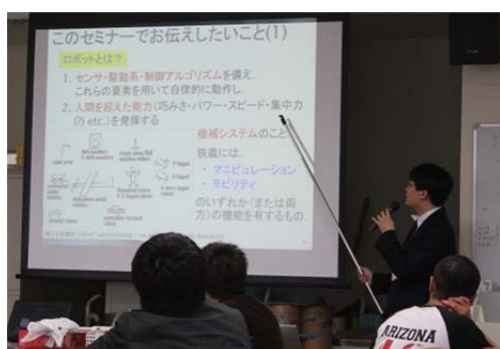
セミナー1日目 [6月8日(土)] の概要

10時からのオーガナイザの開会の挨拶 (図1(a)) の後、10時15分～12時の間、小林 恒氏 ((株)ジェイテクト) に「第1話 産業ロボットに必要な機械要素の研究および関連解析技術とものづくり」のご講演を頂きました (図1(b))。本公演では、2006年に機械要素メーカーの光洋精工と工作機械・メカトロ製品メーカーの豊田工機が合併してジェイテクトが誕生したという成り立ちの紹介から始まり、続いて自動車産業においては自動車そのものの組み立てだけでなく部品である機械要素の生産にも多くのロボットが使用されていること、またロボットにも多くの機械要素が使われていることが述べられ、機械要素やその設計・解析技術の重要性が示されました。

その後、代表的な減速機やボールねじ等の機械要素の紹介やそれぞれの特徴（セルフロック性やバックドライバビリティの善し悪し等）・最適な用途が具体的な例を挙げて紹介され、歯数比や歯面・転動面の形状等の決定手法、実際の使用状況における変形や応力分布、強度等の解析手法等の設計・解析技術が紹介されました。これらの解析においてはコンピュータを使った数値解析が広く用いられているが、市販解析ツールは高価で計算時間も掛かるため、解析を行う技術者自らがモデル化やプログラムの実装を行うことで業務の達成効率、設計の柔軟性および製品の信頼性が向上させていることが述べられました。また、自動車用の機械要素の設計・生産においては信頼性の確保が非常に重要であり、強度解析や振動解析・寿命予測などの各種解析技術が開発されていることが紹介されました。こうして設計された製品を生産する工場の生産ラインには、双腕型を始め多くのロボットアームが用いられており、それらは単に材料や完成品を搬送するだけでなく、工作機械の一部としてジグレス加工システムを構成するためにも用いられていることが、ビデオを交えて紹介されました。公演の最後には、新たに開発中の部品の成形技術や、メカトロ製品の応用分野としての福祉機器の試作機として、倒立振り型の階段昇降可能なロボット車いすの動作の様子もビデオにより紹介されました。質疑応答の時間には、新たな装置を開発する上でどのような点に注目して機械要素を設計・選択するべきかなど、実践的な質問が多数あり、活発な議論が交わされました (図 1(c))。

昼休み後の 13 時～13 時 50 分の第 2 話では、オーガナイザを務めた松浦より、本セミナーのキットの元となった「3 次元磁気テザーと弾性ステージを有する癌細胞試験装置」を紹介しました (図 1(d))。本公演の冒頭では、特に学生の受講者を念頭に置いて、大学生時代の研究やその後のアメリカでの留学の体験談を紹介し、その後、磁気テザーの開発プロジェクトの紹介を行いました。ここではまず、他の既存技術との比較を交えて細胞試験装置に磁気テザーを採用するに至った理由を明らかにし、その後装置の仕様を決定し、それを達成しつつ寸法上の制約等も満たす装置を設計した経緯や、プローブとなる微小磁性粒子の位置制御を行うための理論モデルを導出の課程、さらに画像計測による粒子の 3 次元位置の測定も用いて磁気テザーのシステムを完成させた流れを紹介し、最後に開発した装置の性能を実験検証により確認した結果が示されました。午前中の第 1 話とは対照的に、この講演ではひとつのまとまった機械システムの立案から完成までの流れを紹介しました。また、本セミナーのキットに用いられている技術には、ナノメートルオーダーの超精密位置決めをも可能とするポテンシャルがあることを受講者に実感してもらえたと思います。

第 2 話の終了後、14 時～14 時半までの 30 分間で、本セミナーで各受講者が組み立てと実験の実習を行う簡易磁気テザーの説明を行い (図 2(a))、その後キットの電子回路の半田付け作業を開始しました。この日の朝のセミナー開始前から、会場のスクリーン前にて完成品の動作デモを行っていた (図



(a) 開会の挨拶



(b) 第 1 話の講演



(c) 質疑応答の様子



(d) 第 2 話の公演

図 1：第 1 日目の講演中の様子

2(b) ため、キットの構成や概観・動作の様子は受講者に伝わっていたことから、説明には特に伝わりづらいところは無かったように思います。セミナー開催前の TA によるキット完成見本品の製作の際に判明した注意点として、本キットの製作で最も時間が掛かる点は鉄心にコイルを巻いて電磁石を作成する工程であることや、鉄心入り発泡スチロール球の作成には接着剤を用いるため、固化まで時間が掛かるので本日中に行ってほしいことなどをお知らせしておいたため、翌日の午後までという限られた時間内でありながら、ほぼすべての受講者がキットを完成させることができていました。各受講者に配布されたキットの内容を、図 2(c), (d) に示します。セミナー第 1 日目は午後 5 時に終了の予定でしたが、多数の受講者から延長の希望があったため、終了を午後 6 時まで延長しました。

セミナー2日目 [6月9日(日)] の概要

セミナー2日目は、開始予定時刻(午前10時)の30分前の午前9時半に会場を開けましたが、既に数人の受講者の方がお出でになっていましたので、そのままの流れでキットの組み立て作業が開始されました。午前10時前には予定通り2日目開催の挨拶が行われましたが、その時点でほとんどの受講者が既に作業を開始されていたように思います。前日の夜に電磁石を作成されてこられた方が多数おられ、この日の午前中には何人かの方がキットを完成していたように思います。

昼食休憩を挟んで、午後1時からの約1時間で、第3話としてサンプルプログラムの解説を行いました。このプログラムでは、OpenCVによるボール位置の計測やUSBデバイスへのアクセスを介した電磁石のON/OFF制御、ソフトウェアタイマを用いた各種測定値・指令値のメモリへの蓄積やハードディスクへの書き出し、さらにはGUIを用いたユーザーインターフェースの構築等を行っており、それらの概要を解説しました。内容が非常に多岐に渡ったため、各トピックの解説を詳細に行うことはできませんでしたが、画像処理システムやメカトロシステムの構築に必要な知識の概要と具体的な実装例を示し、各自のパソコンで試して頂くことで、こうした分野の入門編としてはためになる講演になったものと思います。

午後2時からセミナー終了時刻の午後5時まで、引き続きキットの組み立てと動作実験を行って頂きました。午後4時過ぎには多くの受講者がキットの動作確認を行える段階に達しており、回路や接続の誤りについてTAと共に確認する場面も多く見られました(図3(a))。動作確認に至った受講者からは、「自分で組み立てたキットが動いているのを見て、初めてセミナーの意図が理解できた」との声も多く頂きました。企業にて画像認識を使った新しい装置の開発プロジェクトに従事されているとい



(a) キットの説明



(b) 実演中の簡易磁気テザーキット完成品



(c) 受講者への配布物(収納箱, カメラ, アルミパンチ版)



(d) 収納箱の内容物

図2: 簡易磁気テザー

う受講者からは、「画像認識が実際にどのようなものなのかが判った」というご意見も頂きました。また、普段ロボティクスと異なる研究に従事されている受講者からは「今回紹介された技術を使って、何か実験をやってみたい」との感想を頂きました。これらのご意見・ご感想や熱心に実験している受講者の様子（図 3(b)）を拝見して、冒頭に挙げた本セミナーのテーマを達成できたのではないかと実感することができました。

第 1 日目に続き、この日もセミナー終了時刻を 1 時間延長して、ほぼすべての受講者がキットの動作確認を行いました。回路の部品の破損などの疑いで最後まで動作実験が行えなかった受講者の方には、完成見本を差し上げ、帰宅後に動作確認とキットの完成ができるよう配慮しました。また、何名かの方には、帰宅の際に追加でキットをご購入頂きました。キットの開発者としても大変嬉しく、今後役立てて頂ければと思います。

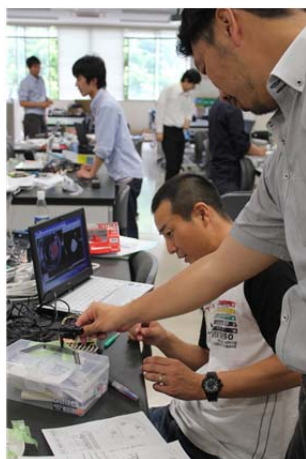
まとめ

本セミナーでは、「計測系・駆動系・制御系を統合したメカトロシステム」としてのロボットを開発するために必要な知識と体験を受講者に伝えることをテーマに、3 回の講演とキットの組み立て・実験実習を行いました。これまでの「ロボットの作り方」セミナーに対する新しい取り組みとして、PC 上で動作し、汎用ライブラリを含む、比較的大規模なサンプルプログラムの配布と解説・動作実習を行いました。PC ベースということで、OS や開発環境の違いの影響を事前に検証しきれないというリスクがありましたが、結果としてほぼ問題なく動作実習を行うことができました。また、MacBook をお使いでサンプルプログラムが動かせなかった受講者には、キットの動作デモ用に準備してあった WindowsPC を使って実験を行って頂きました。ソフトウェアは、ある意味でハードウェアより重要であり、セミナー終了後にも参加者独自で拡張や応用を行って頂ける要素だと思っておりますので、この試みがほぼ成功となったことは、今後のセミナーに繋げる上でも大きな収穫だったと言えると思います。

最後になりましたが、週末を割いて北海道や沖縄を含む遠方からお越し頂いた受講者各位、会場をお貸し頂いた東京工業大学と、セミナー開催前の 1 週間に及ぶ準備作業や当日の指導に活躍してくれた学生アルバイト各位に心より御礼申し上げます。



(a) TA による製作・動作確認指導



(b) 動作確認実験中の様子

図 3：簡易磁気テザーキットの組み立て・動作実験中の様子

ロボットの作り方 2013 ～パソコンを使ったメカトロ制御実習～

日時：2013年6月8日(土)、9日(日)の両日、10:00～17:00(会場 9:30) ※両日とも出席できる方のみ参加可能です。
 会場：東京工業大学 大岡山キャンパス 石川台3号館2階 統合創造工房 (〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1)
 アクセス：東急目黒線大岡山駅 または 東急池上線石川台駅

キャンパス案内のページ：<http://www.titech.ac.jp/about/campus/index.html>

定員：50名(定員になり次第締め切らせていただきます)

受講費用：下記「参加費」と「実習費」の合計がセミナー受講費用となります。

当学会及び協賛学会の正会員／21,600円、会員外／27,900円、学生(会員、非会員を問わず)／15,300円、
 当学会賛助会員 招待券ご利用／9,000円、優待券ご利用／15,300円、左記サービス券なし／27,900円

(内訳：参加費：当学会及び協賛学会の正会員／12,600円、会員外／18,900円、学生(会員、非会員を問わず)／6,300円、
 当学会賛助会員 招待券ご利用／無料、優待券ご利用／6,300円、左記サービス券なし／18,900円、
 実習費：一律／9,000円 ※ 実習キットの実費相当額です。セミナー終了後、キットはお持ち帰りいただけます。)

- ・ 賛助会員の皆様へ：上記の招待券(2枚/口)及び優待券(10枚/口)は、年頭に各賛助会員学会窓口様宛に配布させて頂いておりますので有効にご活用ください。
- ・ 課税について：当学会及び協賛学会の正会員、学生(会員、非会員を問わず)の場合の参加費は不課税、それ以外の場合の参加費は税込となりますのでご承知おき下さい。

セミナー受講時にご持参いただきたいもの：

工 具：キットの製作に必要な下記の工具をご持参ください(持参困難な工具がある場合は、申込時にご連絡下さい。会場でも工具をご用意しますが、準備可能な数に限りがあります)。ハンダ用品一式(ハンダ、こて、こて台、吸取り線など)、ニッパー、ラジオペンチ、ピンセット、はさみ、カッター、精密ドライバ、ワイヤストリッパ。

P C：Windows XP、Vistaまたは7が動作するノートパソコンをご持参下さい。本セミナーでは、プログラム開発環境としてマイクロソフト Visual Studio (Visual C++ 2010) を使用しますので、予めインストールの上、ご来場下さい。無料でインストール可能な Visual Studio 2010 Express Edition が、以下のマイクロソフトのサイトよりダウンロード頂けます。
<http://go.microsoft.com/fwlink/?LinkId=190491>

口 上：本セミナーは、メカトロニクスに興味を持ち、研究開発を始めようとしている学生や企業の方を対象に、講師からのお話を聞いて頂くセミナー部と、オリジナルキットの組み立てと PC ベースの制御を体験して頂く実習部の二部構成となっています。セミナー部では、今回体験して頂くメカトロ技術や機械要素技術が産業の分野でどのように利用されているのか、また製品開発の際に重要となる解析技術や製造技術についてご紹介します。実習部では、磁石を使って鉄心入り発泡スチロール球を動かす簡易磁気テザーを、web カメラとマイコンボードを接続した PC で制御する予定です(図1)。

オーガナイザー：松浦 大輔(東京工業大学)

WEB サイト：「日本ロボット学会>ロボット工学セミナー」よりご確認ください。

<http://www.rsj.or.jp/seminar>

講演内容：

<<6月8日(土)>>

10:00-10:15 <開会挨拶>

10:15-10:30 <講師紹介と日程の説明>

10:30-12:00 第1話 産業ロボットに必要な機械要素の研究および関連解析技術とものづくり

株式会社ジェイテクト 小林 恒

自動車用機械要素・工作機械・メカトロ関連製品の研究開発に長年携わっている経験を踏まえ、産業用ロボット技術の開発に必要なメカトロ・要素技術や解析技術、および企業におけるものづくりについてお話し頂きます。

12:00-13:00 <休憩(昼食)>

13:00-13:50 第2話 磁気テザーを使った癌細胞試験装置の開発

本セミナーで使用する実習キットの元となった、3軸精密ステージと3自由度磁気テザーを用いた癌細胞用試験装置の開発と制御についてご紹介します。

14:00-14:30 <実習キットの紹介>

14:30-16:30 <実習キットの組み立て>

16:30-16:45 <片付け>

16:50-17:00 <1日目閉会の挨拶>

<<6月9日(日)>>

10:00-10:20 <開会挨拶・2日目の日程説明>

10:20-12:00 <実習キット組み立て>

12:00-13:00 <休憩(昼食)>

13:00-13:50 第3話 OpenCVによる画像認識とフィードバック制御への応用

14:00-15:30 <(引き続き)実習キット組み立て>

15:30-16:30 <完成したキットを使っての実験>

16:30-16:45 <片付け>

16:50-17:00 <閉会の挨拶>

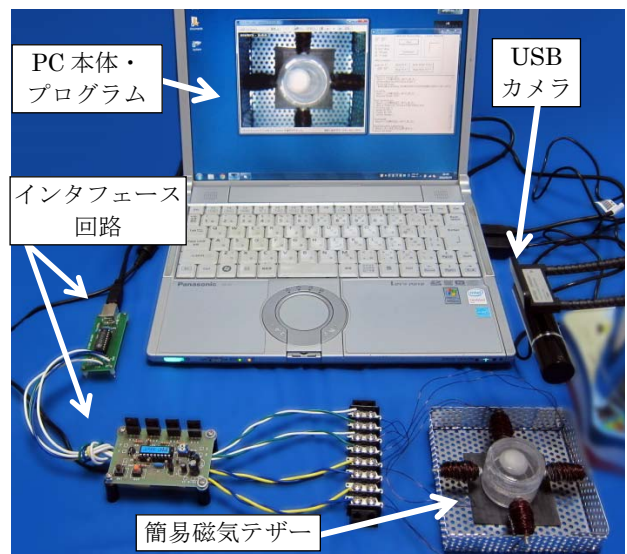


図1：簡易磁気テザーキット(試作品)