

メカトロニクス継続教育のためのニブルハンドロボット

Nimble handrobot as a tool for continuing mechatronics education

職業能力開発総合大学校 寺内 美奈・見城 尚志・梶 信藤
有限会社 サードテクノ 佐渡友 茂
中央職業能力開発協会 菊池 達也

概要：ニブルハンドロボットの設計・製作とPC・LAN制御実習が、変化が急速なメカトロニクスの最新の技術を修得しつづけるのに有効なことを述べる。この実習がいかに学習者に強い興味と際立った情熱を沸き立たせるものであるか、体験を報告するとともに、これを発展させるための展望を提示する。最近マンネリが感じられるようになったロボコンに代わって、ニブルハンドロボットによる指文字コンテストなどが実現できれば、電磁アクチュエータとその制御技術の新しい発展の推進力となり、継続工学教育に貢献するものが大きいと考えられる。

1. はじめに

メカトロニクスはメカニクス、エレクトロニクス、インフォメーションの総合技術であり、その進歩発展が顕著である。それゆえ、メカトロニクスの技術教育は重要な問題として認識する必要がある。例えば、現職のメカトロニクス技術者に対しては、系統だった継続的な訓練がなされないと時代から取り残されてしまう。

ロボット関連のテーマは、メカトロニクスの総合的技術要素（機械のメカニズム、小型モータ、センサ、パワーエレクトロニクス、マイコンそしてIT関連）を教育する目的に適切と考えられることは周知のとおりである。レゴマインドストームRobotics Invention System¹⁾ や二足歩行ロボット e-nuvo²⁾ などの実習教材が市販され、メカトロニクス教育に活用されている。

二足歩行は人を特徴付けるものとして魅力的な研究テーマであるが、人間の手もまた研究テーマとして魅力的な可能性を秘めている。手指による情報伝達あるいは言語としての手話ができるようなすばやい動きが可能なメカトロニックな手（以降、ニブルハンドと呼ぶ。Nimbleとは「美しく敏捷な」という意味の英語である）の開発は技術者にとって刺激的な目標になりえる。しかし、それ以上の期待ができるのは、停滞しているアクチュエータ、センサ、メカトロ制御法の研究促進とそれに伴う産業の発展である。いうまでもなく、これらの目的を達成するためには多様な領域の専門家の共同作業が必要である。

そこで、ニブルハンドロボットに関心をもつ人の数を多くするためにロボットの設計、組み立て、パソコン/マイコン制御を包含する実習テーマの開発を行い、基礎教育用総合実習として2コース（半年：15日間）と継続教育用実習として1コース（5日間）で試行した。基礎教育用総合実習の1つは長期課程3年生「ロボット工学実習I」、もう1つは「海外技術研修員集団研修課程ハイテクロボット制御コース（2003年度まで実施）」である。いずれのコースでも初期の2001/2002年度の試行と比較して、2003年度のコースでは学生および研修生の熱意が大いに伝わってきた。2004年度の長期課程3年生の実習では、さらに充実したと感じられた。また、2004年度に実施したJICAベトナムカウンターパート研修のニブルハンドロボット製作では、期待どおりの成果がみられた。一方、継続工学用実習は2004年度の短期実践技術研修「パソコン制御技術」で試行した。

本論文では、これらの試行経緯および結果を報告し、より高度な訓練を目指したコース開発の展望を明らかにしたい。

2. ニンブルハンドロボットによるメカトロニクス教育の利点と課題目標

年を追って学生の意欲が高まった主な理由は3つあると思われる。すなわち、身近な題材であること、安く容易に入手できる素材と使いやすい単純な道具が整備されたこと、パソコン制御の環境が整備できたことである。

2.1 身近な題材

人の手はだれの手をとっても共通の生物学的構造を備えているが、幼児の小さく柔らかな手、格闘家の大きくたくましい手、手話者の表現に富んだすばやい動きの手など、人それぞれが特徴を備えている。ロボットの手もそれぞれが特定の用途を想定して設計するのだが、そのためには部材／素材と制御法の関連調整を最初に考察することが必要である。長期課程3年生のコースでは解剖学の参考書を見せ、学生にまず自分の手をよく観察しながらニンブルハンドロボットの設計をさせてみる。この段階で学生は自分の手が複雑なバイオメカニズムをもち、工学的な観点から研究する価値が高いことを認識しはじめる。実際、人の手を機構的に模擬することは、機構学、小型モータ、電子回路、マイクロコントローラなどの技術を総合して十分な時間をかけて研究するにふさわしいテーマである。

2.2 廉価で入手しやすい素材と使いやすい道具

今までにも、研究用のロボットハンドは市販品として入手可能ではある。しかしわれわれの目標は、学生自身が自らの手で作って、それをコンピュータ言語のBASICやCあるいはアセンブリ語で制御・駆動する経験をさせることである。準備された資材を用いて学生達は自由な形の手指設計ができる。ただ



図1 ニンブルハンドロボット製作のため準備した部材・部品の一部

し、与えられたモータを用いて所定の機能を満足するようにしなくてはならない。ここで美しい形と滑らかな動きが求められる。メカトロ機器の設計において造形要素があるのだが、電気・電子工学の通常のカリキュラムにおいてこの問題を取り上げることはほとんどない。この実習は、メカトロ機器設計における造形要素の重要性を認識するきっかけに成りえる。この意味でもニンブルハンドロボットの製作と制御実習はメカトロニクスのほとんどすべての要素を包含するものであるといっても過言ではない。そのなかで製作と制御・駆動という2つの要素のバランスが重要になる。

製作の段階で学生の意欲づけのためには、彼らの目前に簡単に使えそうな部材・部品を豊富に用意することが必要である。そして使いやすい工具が十分になくなくてはならない。図1はこの実習のために取り揃えた部品の一部であるが、これらすべてを利用するのが必ずしも適切とはいえない。関節をもつ機器の設計では、多くの場合、リンクを使用する。われわれも初期の段階でリンクを検討したが、機構学の予備知識と機械加工の経験をもたない電気・電子系の学生には不向きであるとの結論に達した。代わって、プーリ、バネ、コード（あるいはスチールワイヤ）を利用した屈伸機構を用いると、製作が容易で柔軟性に富むことを発見した。この場合も初期の段階では特注価格で1個2,000円もかかるアルミ製プーリを使用した。代わって1個1円相当のプラスチックパイプに変更した。また、スチールワイヤに代わって1m当たり5円以下のダイヤルコードが適切な部材であることを発見するなどの成果を得た。

2.3 パソコン制御環境の整備

パソコン制御の言語の1つとして、導入が簡単なMicrosoft Visual Basic Ver6.0 (以降VB)を採用した。これを使いやすくするためにモータドライブ用ボードを設計してKentac 7510 (図2)とした。設計の要点を記すと次のようになる。

- (1) パソコンから外部に制御信号の取得や、手指駆動に用いるモータからのフィードバック信号を取り込むためのインタフェースボード。Kentac 800以来、800Z, Super I, mark IIの継承の流れをもつKentac pcp2が利用できる。
- (2) セントロニクスポート利用のための(有)テクノラボの教材系列にも適用できる。
- (3) モータ駆動回路として東芝製HブリッジTA7291Sを8個搭載して8自由度対応とした。テクノラボ系列を利用するときには、このボード1枚で8自由度制御ができるが、Kentac pcp2利用の場合は2枚のボードを同時制御して16自由度が可能。
- (4) 過電流検出機能を組み込み、上記インタフェースボードを介してその信号をパソコンにフィードバックできるようにする。

2004年度のコースではプリント基板と部品を与えてKentac 7510を製作させた。3章のワークショップ

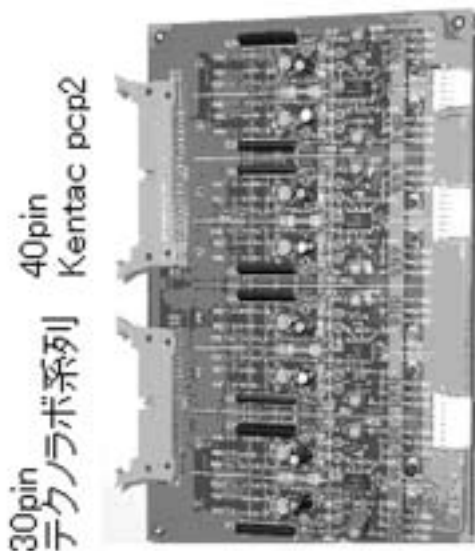


図2 見城の設計によるKentac 7510 (Hブリッジ8個搭載)

運営でも述べるが、参考までに、2003年度では当初、電子回路の基本構成と部品を渡し、配線設計と製作を学生自身にさせた。しかし、アナログとデジタルが混在する応用電子回路の設計と製作の経験が少ない電気工学科の学生にとって、機構製作と平行しての電子回路製作は過重負担であった。この経験から、このようなモジュール化したプリント基板設計をしておく必要性を認識した。

ちなみに、さらにセントロニクスポートのようなパラレルデータ伝送よりもシリアル通信の手段としてUSBケーブルを利用することも検討する必要がある。筆者らが検討した結果、LAN利用の方がシリアル通信としてのメリットが大きいと判断し、その取り組みも行った。それについては後述する。

3. ワークショップ運営

実習では学生の参加意欲がよく問題視される。能開総合大では多くの実験・実習があるが、時間数などの都合でどうしても過密なカリキュラムになり、学生は課題をこなすことに追われていることが多い。ここでは、基礎教育用総合実習として2001年度から2004年度に実施した能開総合大電気工学科3年生制御工学コースの実習科目「ロボット工学実習I」の事例を通して、ニンプルハンドロボット (以降、ハンドロボットとする) 製作の試みと問題点を述べる。

3.1 2001年度：ロボット工学実習I

「ロボット工学実習I」は2001年度から新基準のカリキュラムに則って始めた実習であり、半期15日間 (各週1日=8コマ) で実施される。担当となった見城、寺内は試行錯誤しながら実習を始めた。まず、4名×4グループに分け、いろいろな部材を集めて人間の手の形を製作し、滑らかな指の屈伸を再現することを目標とした。材料は、ロボコンなどで多く利用されている部材を中心に準備し、学生が必要と思ったものは極力追加手配できるようにした。なお、このときに用意したモータは、模型などに使

われ市販されているマブチの模型・工作用小型モータである。しかし、学生自身がゼロから設計、製作、制御までをすべてこなすには時間数が足らなかった。また、ロボコン用の部材と身近な工具だけではデザインをするのに限界があり、デフォルメされた作品となってしまった。また、教師の戸惑いが影響したのか学生の実習への参加意欲に格差が生じてしまった。このようにヤルキがある学生の意欲をくじく障害をなくすように注意しなくてはならない。

2001年度でわかったことであるが、小型モータと周辺機器を事前に準備し、揃えることが教師にとって最も重要な課題である。小型モータ選定・利用技術は学生の思いつきと短時間の工夫でどうにかなるようなものではない。たとえば、安価なマブチモーター(株)のモータをある程度とり揃えたが使いこなすことが困難だったし、学生が高価なモータを自ら探し求めてくることは非現実的だった。

2002年度の実習を控えて準備に取り掛かったときには、なるべく人間の手の大きさに近いハンドロボットを製作するため、図3のモータを選定した。現在では減速比10-400までのさまざまなものがこのサイズで入手できるが、モータ選定の経緯について語るとかなりの紙数を要し、専門的になりすぎるのでここでは割愛する。

われわれが最も苦心したのがモータの回転軸から直角の回転運動を作り出すための伝動メカニズムであった。市販の歯車をすべて調べたがそのまま利用できるものは1つも見つからなかった。この問題を解決するには自作するか適切なメーカーに特注品を依頼するしかないが、能開総合大ではわれわれが考えているような歯車を製作できる機械がない。幸いなことに、当大学OBの森住製作所社長にいくつかの試作を依頼し、ハンドロボットに使用可能な歯車を試作していただいた。図4のクラウンギアがその一例である。しかし、歯車の要目については、まだいろいろな問題が残されており、引き続き検討を進めている。



図3 超小型精密ギア・モータ栄42とギアの組み合わせ

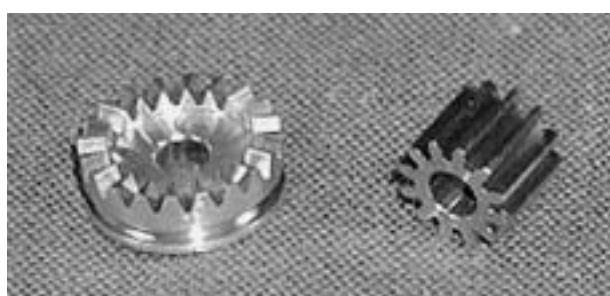


図4 プーリと一体化設計したクラウンギア

3.2 2002年度：ロボット工学実習 I

2002年度でも4名×4グループに分け、なるべく人間の手の大きさに近いものを製作することを第一目標とした。また、指部には幾種類ものアルミ製コ型チャンネルを準備した。アルミ製コ型チャンネルは大きさによってはホームセンターでも入手することができる。また、簡単に工作ができるように小型の電動ドリルやバンドソー、金属用ハサミを準備した。学生にいろいろと聞いてみると、物づくり体験は中学校の技術の時間や趣味のプラモデルがほとんどであった。高校生になると工作する機会は皆無に等しくなる。したがって、電動ドリルの使用もこの実習が初めての者がほとんどだった。2002年度は、小型モータを各班3個ずつ渡し、ジャンケンの手の形(グー、チョキ、パー)が再現できることを目標とした。なお、実習を行う前に、メカトロニクスに関する前提知識を与えるためモータ特性の計測実験やシミュレーションを行った。その後、設計製作を行ったが電動工具の使い方に慣れていないことで、長いコ型アルミチャンネルからハンドロボットの指に必要な長さの部材を切り出すという作業だけでも予想以

上の時間を費やしてしまった。また、安全面からも不安を感じた。このため、4グループのハンドロボットはジャンケンを表現することまではできたが、制御まで進めることができなかった。また、学生の意欲の格差を軽減することはできなかった。

3.3 2003年度：ロボット工学実習Ⅰ

2003年度では、前年度までの問題点を再検討し、指部のアルミ製コ型チャンネルをある程度の長さにかットして穴あけしたものを配布した。学生は必要に応じて、ヤスリなどで大きさを調整することができる。図1に示したように、選定が難しい部材は教師が準備した。2003年度の目標は、手話の一部である指文字（アルファベットなどを表す手型）を可能な限り再現することとした。そのため、手首の動きも一自由度追加した。人間の手首の動きは複雑であるが、前後・左右・回転のいずれの運動にするかは、各グループに決定させた。

この年度では、学生のチームワーク作業訓練にも留意した。仲間内のコミュニケーションをはかりながら1つのシステムを完成する訓練である。そこで、過去の実習の様子などから判断して、6名×3グループの構成を決めた。そのうえで各班には、リーダー、メカニズム担当、エレクトロニクス担当、プログラム担当を決定させた。この決定にはある程度教師もアドバイスした。そのうちの1グループの成果（図5）が大きかった。われわれが実習中に観察していたところ、このグループの6人中2名の男子学生が意見交換をよく行い、いかに作りやすく目的にかなったハンドロボットを完成することができるのかを十分に検討してから作業に入っていた。6名で構成されるグループだからといって、5人が指1本ずつを、残る1人が手首を担当するというやり方が決してよい成果を生まないこともわかった。指の製作体験は各自必要であるが、より重要なのは全体像を認識し自分がどこを担当しているのかをしっかりと意識させることである。

また、2003年度では各グループ間の競争意識を持

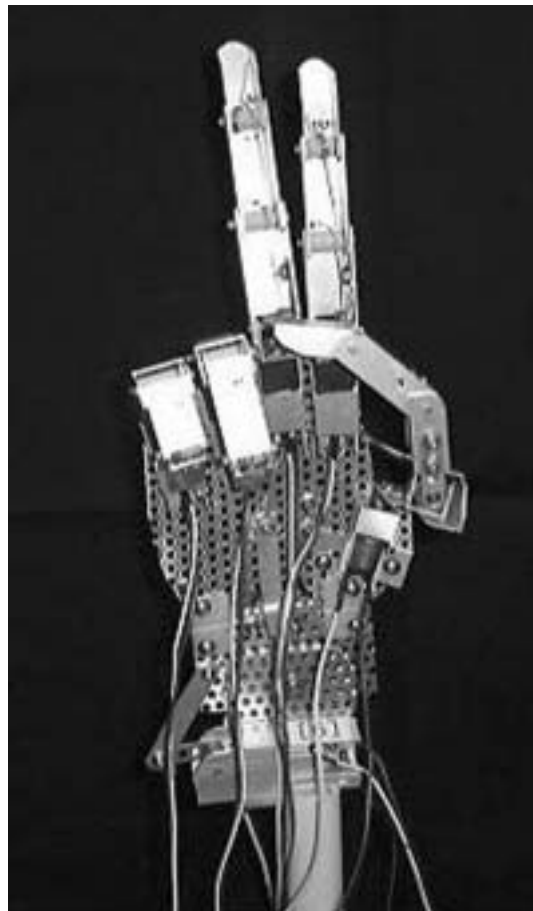


図5 2003年度学生作品の一例

たせるため、実習の最後に互いの指文字を当て合うというスペリングコンテストのようなことを実施した。このとき、学生が互いのハンドロボットを見ながら長所・短所について批評しあっていたことが印象に残った。この年度では、小型モータ制御用の電子回路について回路の基本構成とヒントを与えて最終設計と手配線による製作をさせたが、配線ミスや半田づけの不備が多々重なり、各班の基板は完成させることができず、この試みは成功とはいえなかった。

3.4 2004年度：ロボット工学実習Ⅰ

2001年度から2003年度の実習を経た結果、2004年度では7名×2グループの編成とした。漫然とグループ編成するのではなく、事前の調査と観察および自己分析票などを活用したグループ分けをすること

で、最も協調性と競争意欲が発揮された。まずグループ編成に先立って、全員が1本ずつの指を製作し、簡単でありながら要を得た屈伸のメカニズムを学んだ。この作業をアルミ製チャンネルからの切り出しなど基本工作から開始すると2日あるいは3日も要するので、昨年度までの実習における廃品のリサイクル作業をかねて行わせたところ効果的だった。さらに、前年度の作品のメンテナンス作業も行わせた。これは、2004年に東京で開催された国際会議WACEE (9th World Conference on Continuing Engineering Education) のワークショップ“Restoration of Traditional Mechanism Art and e-Laboratory”で、2003年度学生作品を展示する目的もあった。展示の様子を図6に示す。このメンテナンス作業と、昨年の作品のデモンストレーションと指機構製作により各学生が自分自身の得意な作業あるいは関心をもてる作業（メカニズム・エレクトロニクス・ソフトウェア）を自己分析することができた。この自己分析結果をアンケート調査し、また1年次のコンピュータ実習や他の実習での学習態度や成績、性格などから教師が判断してグループを編成した。各グループではリーダーのほかに、下記のような人数配分で担当者を決めさせた。

- 初期段階の手指部品加工 全員
- メカニズム：手指の完成担当 3人
- エレクトロニクス：駆動回路組み立て 2人
- ソフトウェア：制御プログラム 2人

上記の作業の中でソフトウェア担当者の資質は重要である。2004年度では幸い、それぞれのグループに1人ずつ資質の高い者を割り当てることができた。

2004年度の最終目標は指を含めた8つの自由度で指文字を表現することとした。5指の5自由度のほかの3自由度（3個のモータ）をどこに設けるかは、各グループに任せた。ただし、必ず1個は親指用（つまり最小2自由度）として使用することを指示した。さらに各グループに、自分たちのハンドロボットの特徴となる部分つまり最終目標を何にするかを最初に発表してもらった。1つはRの指文字を提示



図6 ワークショップ風景

表現することを目標とした。これは、指をクロスさせるので難しい課題である。もう一方は、親指の動きをうまく模擬できることを目標とした。ハンドロボットによる指文字表現の最終段階は、メカニズム、エレクトロニクスとソフトウェアが組み合わさってできるものであり、それぞれの班の協力体勢が重要である。また、互いの班の競争意識が高くなる。その結果、今までの実習の中では、人の手に近い動きをするハンドロボットを製作することができた（図7）。しかし、このようなやわらかい穴あきアルミ板を利用している限り耐久性の点で満足できる作品を期待することは無理であることを知った。今後の発展のためには素材と部品の再検討が必要である。

本実習は、各人が同じことを行うというのではなくチームワークによって仲間内のコミュニケーションをはかりながら1つのシステムを完成する訓練ともなる。同様なハンドロボット製作を国際研修コースでも実施したが、そこでわかったことで各自がそれぞれ独立に作業したときには作業がきわめて緩慢になるのに対して、協力して1つの手を作る作業がやはり適していることをみた。

4. 実習の成果

ここで取り上げている実習は数年の改良を経て、自然にハンドロボットというシステムを設計・製作し、それをパソコンで制御するところまでを包含する総合的・応用的な実習になってきた。製作と制御

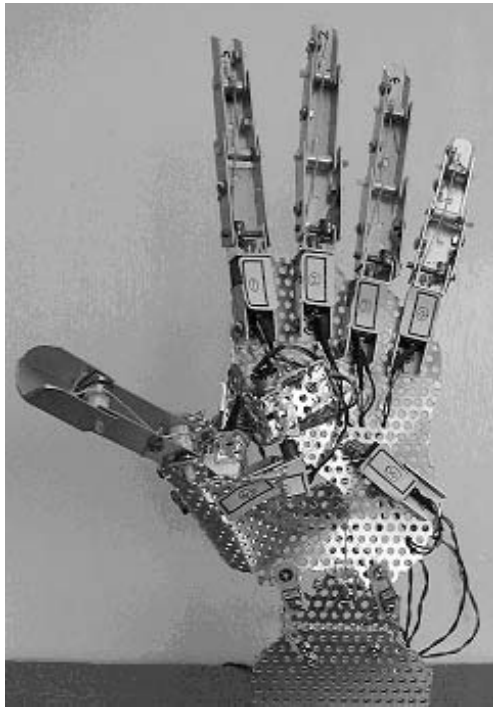


図7 2004年3年生の作品

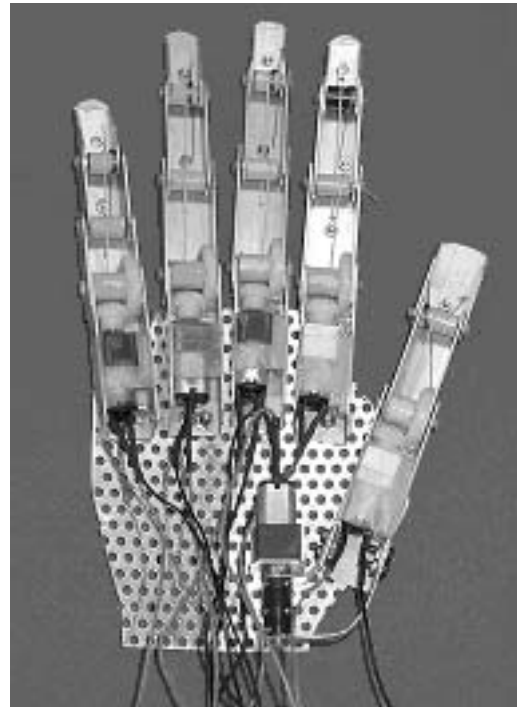


図8 2004年ベトナムC/P研修員の作品

のそれぞれの最近の成果をあげてみる。

4.1 製作に関すること

廉価な市販されている部材から短時間で美しく、操作しやすいハンドロボットを製作できる。われわれが考えているハンドロボットは、精密および正確さが求められる工業用のロボットハンドと異なり、人間の手のような動きの美しさと滑らかさを求めている。例として、2004年度に実施したJICAベトナムカウンターパート研修のハンドロボット製作では、教師のアドバイスを忠実に製作した。その結果、正味12日間という短い期間であったが、次のモデルとして適切なハンドロボットを作り上げた(図8)。

4.2 ソフトウェア(VBプログラム)に関すること

2004年度の3年生の実習において予想以上の成果があったのがソフトウェアであった。ソフトウェアを志望した数人に対してはVBプログラムの制御の原理と時間管理テクニックを短時間指導しただけであったが、学生の意欲によりセンサレス制御対応のプ

ログラムを製作することができた。プログラムでは、ハンドロボットの各指のホームポジション(指を伸展させた状態)から屈曲限界までの時間を計測するサブルーチンを作成し、それを指文字のEなどの最大屈曲の途中で停止させる時間指令値を決定する。

4.3 LANの利用(X-Port)とコンテスト

このハンドロボットの製作は、1章でも述べたように国際研修や短期実践技術研修「パソコン制御技術」でも試行した。研修に参加した指導員の中の1人は、早速卒業研究としてハンドロボット製作を採用している。各大学・組織でハンドロボットを製作し、コンテスト(nimbleness contest)を行うことは、学生の意欲や競争心を掻き立てることができ、ロボットの完成度を向上させることができる。さらに日本国内各地あるいは海外からコンテストに参加できる環境を整えることは、意義がある。すでに卒業研究などで試行を進めているのだが、PICのようなシングルチップコントローラのプログラムをLAN経由で送信し、ハンドロボットを制御することができる。

図9にLANボードおよびそのイメージ図を示す³⁾。もし、機械技術として申し分のないハンドロボットが1台あれば、それを美しく動作させるためのプログラムを参加者が競うことができる。さらに、ハンドの製作と合わせてのコンテストも可能である。

このニンブルハンドロボットは図10に示されるようにパソコン、シングルチップコントローラやLAN経由で制御することができる。また、パラレルポートやPCIバスを用いる制御も可能である。したがって、メカニクス、エレクトロニクス、インフォメーションすべての要素を実習に取り込んだ実習や研修を計画することも可能であるし、必要な要素部分のみをターゲットにした実習・研修も計画することができる。

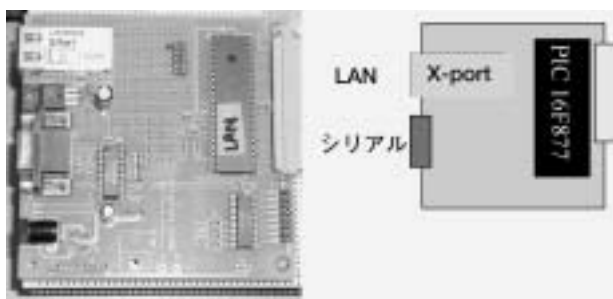


図9 X-PORTを活用したLANボードとイメージ図



図10 ハンドロボット制御ブロック図

5. おわりに

メカトロニクス技術者やその方面の教師が急速な技術発展に追従していくための方策として、ハンドロボットの手づくり実習とコンテスト計画について述べた。目標の1つが流暢に指文字発生をするようなハンドロボットの実現である。それがハンドロボットコンテストにつながっていけば、マイクロアクチュエータとその制御技術の革新的な進歩を促す推

進役になると思われる。それがまたメカトロニクスの継続教育および遠隔教育につながるに違いない。また、ニンブルハンドによるメカトロニクス教育実習は、JABEE基準1(1)学習・教育目標の「(e) 種々の科学、技術および情報を利用して社会の要求を解決するためのデザイン能力」、「(h) 与えられた制約下で計画的に仕事を進め、まとめる能力」を達成するための実習として打ってつけである。

また、指文字(手話)の表現に限らずとも、ジャンケンをするハンドロボットの必要性はある。例えば老人ホームでのゲーム型のリハビリ用機器として利用することである。この場合、ハンドロボットの側からは自分がジャンケンに勝ったのか負けたのかあいこなのかを判断して人と会話ができるとよい。これは画像認識の領域に踏み込む課題である。

本論文の基になったのはWCCEEに寄稿した“Nimble handrobot as a tool for continuing mechatronics education”⁴⁾であるが、脱稿以来1年を経た間に研究が進んだことから、その成果を実習や研修に活用した。そこで単なる翻訳のために本誌を活用するのはいかがなものかと考え2004年12月現在の成果をもとに書き改めた次第である。

<参考文献>

- 1) <http://mindstorms.lego.com/japan/products/ris.html>
- 2) http://www.zmp.co.jp/html/products_education.html
- 3) T. Kikuchi, T. Kenjo, M. Terauchi and N. Kaji: HandRobot: Hands-on Learning for Engineering Undergraduates, *IEEE RO-MAN 2004: 13th International Workshop on Robot and Human Interactive Communication*, Okayama, JAPAN, pp.223-228, 2004.
- 4) M. Terauchi, et al. : Nimble Handrobot as a Tool for Continuing Mechatronics Education, *9th IACEE World Conference on Continuing Engineering Education*, 2004, Tokyo.