

ものづくり研究室 工作センターにおける学生指導

システム情報工学研究科 研究基盤総合センター工作部門
京藤 康正

1.はじめに

工作センターにおける教育支援の強化がいわれて久しいが、以前には学生をセンター内に受け入れて研究や試作を行うことが全く無かったのである。今回退職にあたり、初めて学生を預かって「ものづくり」に関する研究に取り組んで貰った頃の体験についてこの場をお借りして記して置きたいと思う。

2. 授業への取組み

着任当初、学生を受け入れる研究室は工作センターには置かないという方針で運営されて来たが、その後暫くして、徐々に教育支援活動への参加要請があり、機械設計関係の講義の担当及び、研究室の設置が実現され平成10年より卒業論文・修士論文学生の受け入れが実現した。先ず授業担当としては、当時構造工学の4年生を対象とした「機械要素論」という1学期2コマの講義があったが、先生の交代でこれを引き次ぐ要請が当時のセンター長であられた青木貞雄教授他よりあり、センター実務もそれ程忙しくはなかったこともあって、気楽に引き受けたのが始めであった。受講生は4年次の選択科目ということもあって数は少なかったが、私も教壇に立つことは初めてでもあったので、大して気にもならず、サラリーマン時代に経験した機械設計の最先端技術の話も含め、設計や製図の基礎についてのんびり講義をし、最後は課題を出しての装置図面1式を提出させて単位を与えた。座学では一方通行の居眠り状態であったのが、課題になると目の色が変わり何回もセンターを訪れて議論をすることで、学生には就職直前の良い刺激になったようである。その後授業要請も増え、例えば油田先生や山海先生などのお誘いを

受けて「ロボコン」授業に工作センターとして顔を出して、製作のお手伝いをさせて頂いた。また一方では、担当の先生の交代で「設計計画論」という実務・経験中心の講義を半分受け持たせて頂いて、量産技術を中心とした加工組立技術の紹介や原価計算や投資効果の算定など、大学の工学系ではめったにやらない、経営学的な雰囲気を持つ講義を行った。変わった授業をやるという評価を頂いて、他学類の学生も聴講に訪れ中々盛況な授業になった。特に「逆問題」の話は設計という作業の基本概念であるが、日常生活でも十分使える方法論で、中間レポートには学生自身の体験や考え方が盛り沢山に記述され、現代の若者気質が垣間見える貴重な資料となった。(図1)

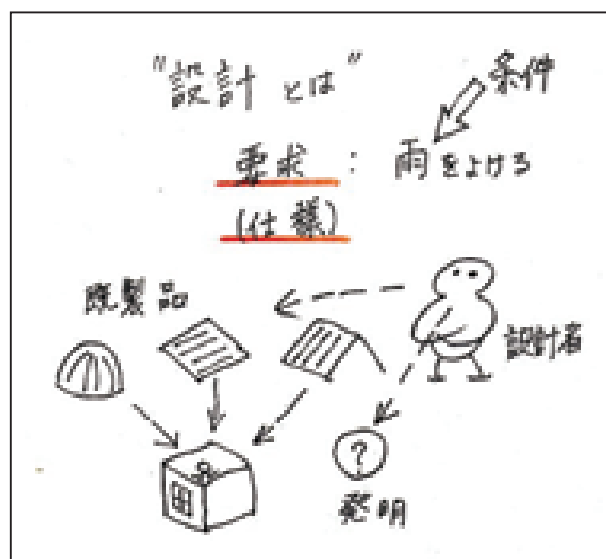


図1 設計計画論 初回で使ったOHP

設計の授業というと、とかく強度計算とか精度であるとか「科学的」厳密性や規則を追求することが優先で学生にとっては味気ないものになりがちであるが、この授業ではあえて工学の大事な成

立条件である「お金」や「時間」に注目した切り口で講義を行い、科学と技術の違いを明確にしようと試みた。授業としてはこの他に先程の「機械要素論」が終了して代わりに「機械設計」がスタートし、引き続き担当を依頼された。これは機械関係の専攻にとっては基本的な授業である。この授業については技術屋としての経験から設計の基本である寸法公差の考え方に重点をおいて統計処理を積極的に採用したが、学生諸君には只でさえ面倒な公差理論に統計学を導入することはかなりの違和感があるらしく評判も芳しくなく、最後まで悪戦苦闘の授業であった。また機械要素の代表である「ねじ」もやってみると結構奥の深いものがあり、使い方でも思わぬ誤解を持たれていることが多い部品である。空間幾何を駆使して黒板を一杯に使う授業であったが、どの程度誤解無く伝わったかは10年或いは20年後の彼らに聞いてみたい所である。その意味で授業では大多数の学生にとって、十分に理解出来なかったものを即具現化して身に付ける良い機会が研究室における卒業研究であろう。

3. 動く「ものづくり」

学類で授業を担当することにより、卒業研究の学生受け入れも可能になる。工作センターでも研究室を設け学生を受け入れることが決まった時、何か特別の研究分野ではなくテーマを自由に決めさせることとした。但し条件として「動くもの」を含む新しいものの開発を課題として与えることにした。とは言ってもこれまで全くものづくりの経験のないものが画期的な発明が出来るものでもないで、たたき台としては私がメカ在職時に取組んだ仕事の一つである超音波モータを取り上げることにした。メカ設計と電子工学の両方の知識が要求される面白さがあり、その流れで、様々なタイプのアクチュエータにも挑戦しその制御手法を軸に研究テーマを自由に決めさせることにした。

最初に配属されて来た学生はU君 1名であった

が、学生用の最初のテーマとしてはいきなり技巧的なアナログ制御の世界に入るのは無理があったので、当時N社から発表された小型のリニアモータを改造して、Z軸微動台を開発して貰った。電磁型のモータを使うとその円筒形状の収納と運動ベクトルの変換機構のためにどうしても大きな空間が必要となり、顕微鏡ステージにのせるにしても高さの点で無理が出易い。このため圧電リニアモータに注目し水平方向の長い直線ストロークを板カムによって垂直方向の動きに変換させるという方針を取った。それ自体には新規性はないが学生にとって初めての精密機械設計という作業と圧電振動という耳慣れない原理の組合せが思いの外、脳の刺激となったようで、必死に先程の寸法公差を勉強し高価なモータを全部ばらし、世界一薄いつ（基準厚さ約30mmストローク5mm）仕様を見事達成し卒論発表会ではデモも含めて好評であった。カム機構の採用で、現在でもそれ程感度効率の良くないリニアモータを5Vの電池で駆動し、可搬重量を数百グラムまで確保することが出来た。（図2）



図2 圧電式Z軸アクチュエータ

良く言われることではあるが、機械系の学生は電気には疎く、また最近の風潮で制御系専門の学生でもモータや回路の中身を知っているものは殆どおらず、綺麗なシミュレーションソフトの世界で満足している。半田ごてを握ったことも無い学生もいる。若者の硬いアタマをほぐすには動くものをゼロから作らせるのが一番で、必要な知識は専門外であろうとその場で習得させるのが私の方針である。大学の専攻という狭い分野の外へ先ず出してどんどん図面や回路図を書かせてものを作る中で、これまで山のように教わった知識の中で

本当に大事な基礎の部分が少しずつ身について来るのではないかと考える。社会に学生を送り出す準備としては或る意味これで十分ではないか。世の中に出たら決して教えてくれることのない、大事な基礎原理を体得させる最後の機会を提供するのが大学の使命の一つであろう。ものを作るというテーマはデータ収集・分析型のテーマに比べて10倍大変だといわれるが、10倍面白い。動くものはさらに10倍大変であるから、合計100倍強くなる。例えば応力計算や材料加工の図面を書きながら、定電流回路の基本設計をする。仕事やエネルギー、損失といった概念が、メカと電気で共通単位であることが体で理解出来るようになる。線形性や独立性の確保ということが設計にとって如何に大事かが自然に理解出来るようになる。科学技術教育の最後の仕上げである。後は社会に出て十分に応用できれば良い。このような訳で、テーマは何でも良いからものづくりの面白さ難しさを一から手を抜かずに体験させるのが当研究室の特色であった。

4. 人工筋肉

研究室のテーマとして実用性は別として、若者に関心の高かった「人工筋肉」、「人工心臓」の試作をやらせて見ることにした。両者共医療福祉の現場で注目されている分野で、商品？も提供されているが、残念ながらその性能や耐久性、重量、そして一番大事な価格という点で大きな課題が山積しているように思える。動くものとしては究極の研究課題でもある。大学の研究室としてはこの完成形を求めるのは本来の姿勢ではなく、むしろ易しく簡単なやり方を提案するのがその使命ではないかと考えた。特殊なものを使うのではなく、市

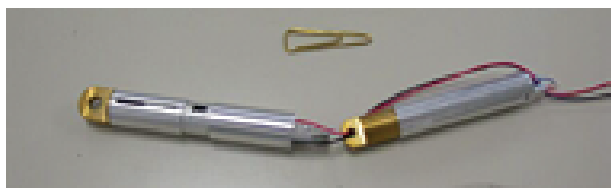


図3 人間手指用 人工筋肉 試作例

販の極くありふれたものを流用したり、ありふれた材料・部品を用いる。但しその運用（組立、調整のアイデア、制御手法）については新規性を要求する。このような観点から、“教育用”人工筋肉のたたき台として、私自身の設計により人間の指用のアクチュエータを先ず試作した。これは市販の1個数十円のモータを使って全長が±15%程伸縮可能なアクチュエータである。これを指の関節間に装着して運動補助に供するという目標である。周知のようにこのような補助アクチュエータの多くは回転型の関節モータであり、駆動トルクの関係で大型で重くなり、更には人間の筋肉の動きとは全く異なる制御を必要とするために難しい（高価で使いにくい）ものになりがちである。ここでは筋肉の自然な動きを補助する伸縮運動を生成するために、遊星差動ギヤという仕組みとねじの組合わせで内径約8ミリの円筒空間内に全ての部品を収容する構造としたが、特殊な部品は何一つ使っていない。1ユニット30グラムの自重で伸縮力は5V電源で1N程度である。

O君という学生がこれに興味を示し逆に大きな方に挑戦し、腕或いは足の筋肉用のアクチュエータを製作してくれた。この種のものは大きい方が設計は楽で（差動ギヤは必要なくなった）、その割に効果は大きい。自重がやや大きいのに難があり軽量化が必要であったが、動作は問題なく最終的にはこれを何本か直並列に組み合わせれば、丁度人間の筋肉構造と同じ配置で簡単な制御で高度な運動が実現出来る提案となった。この製作には工作センターの技術職員が全面的に担当した。

人工筋肉については一応の結論と方向性が出たが、もう一方の人工心臓に関しては2名の学生の挑戦にも関わらず、残念ながら最終的な提案が出来ないまま中断を余儀なくされている。但しアクチュエータの新しい試みとしてはある意味結果を出すことが出来たので、今後再挑戦者がどこかで現れることを期待したい。以下に簡単にその過程を説明する。

5. 人工心臓への挑戦

体内に埋め込み型の人口心臓としては現在、プロペラが回転することにより血液を送り出すタイプのもの（インペラー型）が出回っている。モータに羽根が直結しており連続的に血液を送り出す仕組みで信頼性が高いが一方で、羽根の付け根によどみが出易く血栓の原因になることや、逆に羽根の先端で赤血球を機械的に破壊する溶血現象も可能性としてあり人間の心臓とは動き方が異なる為の問題点を有している。血栓と溶血という2つの課題を解決するための提案として議論を行った結果次の2つの方向性を定めた。

- ①連続回転型ではなく人間の心臓と同じ拍動型とすること
- ②シリンダ-ピストン構造（自動車エンジンのような）とするが、ピストンは何所の壁にも接触しないフローティング（浮揚）型とする。

拍動型が良いというのは、人間の心臓の動きに近づけようとするのと、速度が余り上がらない為に溶血の危険が少ないというのである。また非接触のフローティングピストンは、血栓・溶血の2つのリスクを回避出来る究極の方式という理由である。只技術的にはピストンがどこにも触らずに上下・回転運動をするのはかなり難しい制御技術でそれ自体が既に研究テーマであった。

K君は先ず完全磁気制御による非接触のピストン回転運動に挑戦し実験装置上で初めてこれを実現した¹⁾。この研究では制御手法や回路技術について十分な知識が必要であることは勿論であるが、ピストンや磁気回路の構成部品であるヨークなどの精密機械部品の設計製作も大事な要素になる。

彼は図面の事は全く知らなかったためにCADを先ず習得して貰ってトレーニングをし、そのまま装置設計の中で図面の書き方や公差の設定の仕方、強度計算・材料の選択な



図4-1 試作ピストン、ヨーク構造

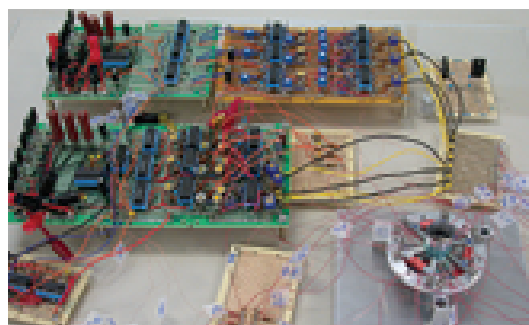


図4-2 人工心臓駆動装置全体

どの指導を行って短期間に出図（図面提出）に漕ぎ着けることが出来た。回路の方はやはり余り経験が無かったので勉強会をやって実際に半田付けで手造りの基板で動作を確認しながら制御に必要な回路を完成させた。（図4-1,2）

非常に難しい試みではあったが、最後に3相のコア調整も旨く行きピストンが何所にも触らずに浮上する様子を皆で確認できたことが懐かしく思い出される。全くゼロからの成果であるので、ものを実際に作って、動かすことが如何に大きな動機付けになり得るかを見せて貰ったような貴重な体験であった。

6. 終わりに

このようなもの作り型の卒業研究と並んで、過去の貴重な技術資料を整理分析しておくのも、公共の教育機関の大事な仕事であると考えている。研究室の何名かの学生の努力によって、色々な変遷のあったインチねじやパイプ規格の歴史をたどることが出来た。地味な作業ではあったが必ず記録として役に立つことであり、これまで不明であったことが多く解明できた。改めて彼等（Hさん、Iさん他）に敬意を表したい。結びに、全体を通してこれまで工作センターにおける学生指導に関して暖かく支援して頂き、また長い間私の我儘にも付き合っただけで見逃して頂いたセンター技術職員の方々及び諸先生方に心から御礼申し上げる次第である。

注1) 連続回転型でのインペラ浮上の技術は既に研究機関等で実現している。