

情報工学系学科における実験・演習の一設計例†

小 谷 善 行‡ 阿刀田 央 一‡
中 森 真理雄‡ 高 橋 延 匡‡

本報告は東京農工大学工学部数理情報工学科で実施している実験・演習に関してその理念、テーマ、内容を教育成果とともに総合し述べている。

実験・演習の目的は、学生が技術における基礎的能力を身につけることである。すなわち計算機言語や論理回路等での細かい知識はあまり教えず、実習を通して必要性のある状況で自主的に習得させる。ハードウェア実験もソフトウェアと同じ重みとしており、両者を統一し有機的に体系づける。

2年次学生に対しては分析的な課題を与え、ハードウェア、ソフトウェア共主として現象を数理的に把握させモデル化させること、数と計算の性質および計算機の仕組みを理解させることを目指す。3年次になると、次第に総合的な課題を与え、1つの完成物を作らせる。さらに指導性、協調性、発表力、文書作成力等の仕事を推進する能力を重視しており、発表会やレポート指導を通して教育するほか、この能力を主題とした課題群も設けている。

観察された成果としては専門的基礎力はもちろんあるが、自信や意欲といった人格的なものが注目される。このような実験・演習を実現するためには計算機や回路部品等の物資に対して十分考慮すること、またとりわけ教授を含めた学科全体としての取り組みが必要である。

1. まえがき

大学の理工系学科において、学生実験・演習はその学科の基幹となるものであるが、従来あまり陽の当たる存在ではなかったようである。教授助教授等指導者層の深い関与なしに旧来のテーマを繰り返してきたのが多いのではないだろうか。近年、相次いで新設された全国の各情報系学科において、計算機実習の実施を契機として実験・演習の重要さが認識されはじめた^{1), 2)}。しかしその具体的実施法となると各学科ともまだかなり模索状態のようであり、各学科間での情報交換がのぞまれている。

いうまでもなく、ソフトウェアの実験・演習は情報系学科のもっとも得意とする分野のはずである。事実、よく検討され、他校の参考となるような成果も報告されている³⁾、しかし一方では「プログラミング演習」の域に留まっている場合も多いのではないか。

これに対しハードウェア実験は、その重要さが認識されつつあると考えられるが、現在ではまだ統一的理念を論じられることなく単に情報関連分野の電子工

学、通信工学、制御工学等のテーマが雑然と配列されている場合が多いように思われる。ましてソフトウェア、ハードウェア両面にわたる総合的な実験・演習のあり方は定説が確立していないだけでなく、多くの未解決な点をかかえた難問としてよこたわっている。

著者らの属する東京農工大学工学部数理情報工学科は、1976年に発足したソフトウェア系2講座、ハードウェア系2講座の学科である。この学科の設立時に実験・演習の理念をソフトウェア、ハードウェア共通に論じ、具体的テーマを起案する機会を得た。さらにその実施経験もある程度集積してきた⁴⁾のでこれらをここに紹介し、参考に供したいと思う。

2. 実験・演習の理念

2.1 大学教育における実験・演習の位置付け

情報系学科の実験・演習というとすぐ連想されるのが、実習用パッチボードに差し込まれた論理 IC や電線と、FORTRAN カードをかかえて順番を待つ学生の姿であろう。しかしこの「論理回路実験」と「FORTRAN 演習」のイメージをそのまま踏襲していくよいのであろうか。これが著者等の共通の疑問の出発点であった。時間割の実験・演習のコマに理念なしにテーマを並べていっただけでは限られた教育期間を浪費することになりかねない。

電子回路組立やプログラミングの教育をとってみれ

† Design and Implementation of a Laboratory Course in the Department of Information Science by YOSHIO KOTANI, OICHI ATODA, MARIO NAKAMORI and NOBUMASA TAKAHASHI (Department of Information Science, Faculty of Technology, Tokyo University of Agriculture and Technology).

‡ 東京農工大学工学部数理情報工学科

ば、それを行う教育機関は大学だけではない。高専、各種学校等多彩である。そして、「FORTRAN のコーディング技術」「論理回路の組み立て技術」といった職能教育に関しては、たとえば各種学校の方がはるかに効率が高いし、その教育の目的とするところでもある。では、それらに対して大学の社会的役割は何であろうか。著者らは、大学は「職能的な技術ではなく、物の本質を教育する」ことにより、「工学的基礎力」を養成するところであると考える。そしてこの基礎力を背景に、将来生じ得るあらゆる工学的状況に対応し、仕事の原動力となる人材を育成することを目指している。

具体的には、情報系の基礎力として、著者らは次のようなものを考える。すなわち、

- (a) すべての現象を数理的に把握し論ずる能力、およびさらに進んで数理的にモデリングする能力
- (b) 計算の仕組みとデータの動き、および計算機の仕組みに関する本質的理解
- (c) ソフトウェアにしろハードウェアにしろ、自分で「設計」する能力
- (d) どんな仕事をも、その仕事を管理、遂行する能力。自分の「仕事の仕方」を身につけていくこと
- (e) 仕事の計画、内容、成果などを文章あるいは口頭で的確に伝達する能力

などである。そして受け身の講義を脱却して学生自身がこれらの能力を意欲的にみがき上げるのが実験や演習であり、この意味で農工大数理情報工学科では実験・演習が最重視されているのである。

2.2 プログラミング言語教育の考え方

FORTRAN をはじめとする計算機言語は、あくまでも道具であって、道具自体の使用法に関する職能教育は自動車の運転や旋盤の操作法と同様大学教育にとって主要な目的ではない。だからといって、計算機言語の習得がまったく不要であるといっているのではない。道具の使用法は教わるのではなく自分で学ぶのである。その際自然な形で自分で学ばせるにはどうするか。

まず学生は自分で TSS を使って言語を勉強するのに必要な最低限の知識、すなわち

- (i) TSS の使用法、特にテキストエディタの操作
- (ii) プログラムの書法
- (iii) プログラミング言語の学び方

を教えられた上で、あるプログラミング言語をどうしても使わなければならない状況に直面させられる。こ

こで学生は、明確な目的意識を持って自主的に学ぶことになる。道具の使用法は、それを使う目的でいじりまわせば非常にはやく上達するものである。

もちろん教官側は学生の自主性にそのまま任せきりというのではなく、プログラムの書き方に関して添削するということが不可欠となる。

そして、この方法によって教育された学生の多くが現在の、あるいは将来できるような各種の言語にも対応する能力を持つことになるとわれわれは考える。このような能力を養成する教育こそ大学教育の目的に合致するものである。これが、著者らの「FORTRAN 演習」に対する批判とその対案である。

2.3 ハードウェア実験の必要性

現在情報系学科を卒業した学生の過半数はソフトウェア開発などの職に就く。しかし著者らの学科では、ソフトウェア実験と同じ重みでハードウェア実験を課している。それは以下のようない意味があるからである。すなわち

(a) 現象を数理的に扱う能力を養成するには物理的現象を目の前に置いて手でさわらせるところから出発するのが最良の方法である。

(b) はば広さと、泥臭さの教育。ソフトウェア工学においてプログラムを支えるのが言語であり、それを支えるのがコンパイラであり、その下は機械語とアーキテクチャである。しかし基礎はここまでであって、あらかたの問題はここでかたがつく。すなわちソフトウェアの世界は論理の世界、人工岩盤の上に組み上げられた世界を考えることもできる。これに対し、ハードウェアの世界は物理的拘束条件を無視できず、また経験からくるノウハウなしには成立しない世界である。たとえば、金属を切削する機械ひとつ作るにしても単に機械学だけではどうにもならず、バイトの材料とが切削くずの焼結とか、電動機の特性とか潤滑油の性質とか单一の理論ではとらえられない種々の経験的技術が関連してくる。学生にすこしでもこのような現実の世界にふれさせ、論理空間の中だけで育った脆弱さと視野の狭さを取り除く。「情報系学科」は「プログラミングしかできない学生」をつくり出すところではない。

(c) ソフトウェア、ハードウェア共通の仕事の仕方を教える。たとえば、仕様書の作成、設計センス、仕事の手順、回路のブロック化やプログラムのモジュール化、信頼性と保守可能性など

(d) コントロールコンピュータのソフトウェアな

ど、対象に密着したソフトウェア開発の際のハードウェアセンスの養成等である。上記の効果を十分發揮するには、「論理回路実験」だけではほとんど無力に近い。なぜならそれもまた、ゲートという人工岩盤の上に乗った体系であり、技術的には線をつなげば小学生でも動かせるような論理 IC が支えてくれるからである。論理回路は見かけ上ハードウェア実験であっても教育上の性質はプログラミング言語に似ており、製作実験等で必要にせまられれば自主的に習得していくものである。

このような効果を十分發揮するハードウェア実験の設計は、1つの理論ではとらえられない知識が多いだけに非常にむずかしく、以後本論文に示すものではなはだ不十分であり現在でもテーマの再検討、更新が続けられている。

3. 実験・演習の実施方法

3.1 テーマの設計方針とカリキュラム

前章で述べた理念を実現し、各基礎能力を育成する目的で設計された当学科の実験・演習は、ソフトウェア系、ハードウェア系それぞれ2つずつの、4つのフェーズを持つ。すなわちそれらは、

- (S-1) 「数」の性質と、計算、計算機の仕組み、基礎的なデータ構造などを理解させるフェーズ
- (S-2) 他人が使える「製品」を意識したプログラムを作成させるフェーズ
- (H-1) 現象を数理的に把握させ、モデリングさせるフェーズ
- (H-2) 他人が使える「製品」を意識して装置を設計

製作させるフェーズ

である。このうち、(S-1) と (H-1) は後述のように互いに関連し、また (S-2) と (H-2) は表裏一体の関係を持つ。さらに上記4者に加えて全体にわたって (C-1) 文書作成能力、発表能力の養成 (C-2) 意志決定の方法、創造性を引き出す方法、仕事遂行能力、グループ作業の協調性とリーダーシップ能力等の教育がはかられる。

当学科の実験・演習は、第2年次、第3年次にわたって通年開講され、2年次では数理情報工学実験Ⅰ 6 単位（週2回）、同演習Ⅰ 2 单位（週1回）、3年次では実験Ⅱ 6 单位、演習Ⅱ 2 单位となっている（表1）。これらのカリキュラムの枠に上記各フェーズが配分されている。

3.2 2年次のソフトウェア実験・演習

2年次のソフトウェア実験は、主として (S-1) フェーズに焦点を絞っている。これはさらに以下のように細分される。

(S-1 a) 計算機の本質を理解させる。このことは計算機そのものの理解と数値の処理などの計算のしかけの理解の両方を含む。

(S-1 b) 数理モデルを扱う能力、およびこれを計算機の上に表現する能力を育成する。

(S-1 c) 情報工学における基本的概念を教える。

まず、上記(S-1 a) の方向のものとして EDSAC の演習がある。EDSAC 演習に関してはすでに発表^{5), 6)}し、また詳細を別途報告の予定である。EDSAC は周知のように世界で最初に稼動したストアドプログラム

表 1 東京農工大学数理情報工学科における実験・演習の教科とテーマ編成

Table 1 Subjects of Practice and Their Composition of Items at Dept. of Information Sci., Tokyo Univ. of Agri. & Tech.

科 目 名	数理情報工学実験Ⅰ	数理情報工学演習Ⅰ	数理情報工学実験Ⅱ		数理情報工学演習Ⅱ
実施時期	2年次通年	2年次通年	3年次通年(前期)	(後期)	3年次通年
1週あたりの回数	2	1	2	2	1
1回あたりの時間	4.5	2	4.5	4.5	2
単位数	6	2	合わせて6		2
1テーマあたりの回数	2	2	4	12	6
総テーマ数	25(ハ18, ソ7)	13	8(ハ5, ソ3)	20(ハ10, ソ10)	4
1学生が受けるテーマ数	23	13	6(ハ3, ソ3)	2(ハ1, ソ1)	4
同時に実行されるテーマ数	7~14	1	7(ハ5, ソ2)	10(ハ5, ソ5)	1
1組あたりの学生数	3	—	(ハ4, ソ5)	4	—
同時に実行される同テーマの組数	1(一部2)	—	(ハ1, ソ2)	1	—

注. (1) 「ハ」はハードウェア、「ソ」はソフトウェアを示す。

(2) 「—」は組を作らない場合を示す。

(3) 例外的な部分は除いてある。たとえば一部のソフトウェア実験では組を作らない場合もある。

(4) 3年次ソフトウェア実験の KJ 法、調査研究は各々 1 テーマと数えたが対象となる事柄は組ごとに異なる。



図 1 EDSAC ハードウェアシミュレータを用いた実習
(卒業学生の共同製作された機械が 2 年次学生対象の演習に使われている)

Fig. 1 Practice by Using EDSAC hardware simulator
(The machine was produced as a part of graduate theses, and is used in second-year student practice).

方式の計算機であるが、現在の計算機の持つ基本的なアーキテクチャをほとんど備えている。EDSAC 演習によって、学生に対してストアドプログラムの計算機にどのようなことができる、どのようなことが難しいかを身をもってわからせる。また、EDSAC という基準を与えることにより、ほかの計算機を見る目を作らせる。この基準としては基本的に実在のアーキテクチャほどよく、この意味でも EDSAC が適している。学生には、下記のテーマごとにプログラミングを行いレポートにして提出させる。その際の文章の添削、プログラムの解説と添削が特に大変であるが非常に大切である。

EDSAC 演習の具体的テーマ名は、2 年次前期は「数の表現」、「加減乗算の計算の仕組み」、「命令の合成」、「多項式、平方根」等で、後期は「除算ルーチン」、「数値入力ルーチン」、「数値出力ルーチン」、「初期入力ルーチンの解説」、「浮動小数」等である。プログラミングは学科の計算機 (ACOS 600) 上につくられたシミュレータの上で、TSS からの操作によって行わせている。これに加えて、ミニコンスタイルのハードウェアシミュレータ (図 1) が卒論学生によって完成したので²⁾ 1980 年度からはこの「手にさわれる」EDSAC を使用することによってさらに教育効果 (たとえば計算機の性能に関すること等) を上げることが期待されている。

また、手回し計算機も実験に活用している^{8), 9)}。その目的の 1 つは「数値」を理解させることであり、主

として精度が有限桁であるということによる誤差を体得させる。もう 1 つは計算量の体験であり、プログラムによる場合とは異なり計算量は操作の時間や疲れで肉体的に感じることができる。実際、「桁シフト」などの概念の重要性は、手回し計算器によって自然に学生に実感させることができた。

(S-1 b) はハードウェア実験における (H-1) フェーズのテーマと協力し、融合して行うもので、「同じ山を別の方向から登る」手法を用いている。すなわち、後述の「共振回路の応答」や「電位分布」等のテーマに対応してソフトウェア実験では微分方程式によって記述される系の差分近似によるシミュレーションなどによって、計算機の上に現象をどう表現したらよいかを考えさせる。これによって、将来複雑な現象を数理モデルとして記述し解析する基礎的能力を養うことを目指している。

(S-1 c) は計算機科学の重要な基本的概念の中から、実験テーマとして「ハッシュ法」、「手作業によるソート」、「スタック処理」、「チューリングマシン」、「モンテカルロ法」を選んだ。これらを実施するにあたっては、計算機 (TSS) を十分活用していくが、そのほかに「手を使わせる」、「学生自身がシミュレータになる」ことを重視している。このことでアルゴリズムがはっきり把握され、また計算の「量」の概念が実感として体得できる。「ハッシュ法」では主として手によるハッシュ表の作成を通してキーの衝突のメカニズム、ハッシュ関数の良否等を感覚を通して理解させる。「手作業によるソート」では数値の記されたカード群を昇順に手を用いて並べさせ、各ソートアルゴリズムの発想法や作業量の大小を体得させ、余力があればプログラムを作らせる。このテーマは 2.3(b) に述べたハードウェア実験と同様の泥臭さを有するものもある。また、「モンテカルロ法」でも計算機シミュレーションのほかに、たとえば実際に粒子を均等に撒いてある图形の内外に落ちた数を調べるというような実験を行わせる。一方、「スタック処理」ではスタックがどのように使われるものかを感じさせる。EDSAC や FORTRAN でスタックをエクスプリントに用いながら再帰ルーチンを作らせ、「再帰性」との結びつきを理解させる。「チューリングマシン」は計算機技術に直結した概念ではないが、情報科学における 1 つの基礎となる概念である。実験は、TSS 端末から動作表やテープをキーインすればその動作が逐一観察できるように作られたシミュレータ (学科の計算機上) を用い、「1」の個数の

2進数への変換や2進数の加算等の問題に対する動作表を作らせるというものである。今日までの結果によると、チューリングマシンを講義で教えるよりもこのシミュレータによる方法の方がずっと学生の理解度が良いようである。学生は後者の方がはるかに能動的な環境に置かれる。これが両者の教育効果の差の原因であろう。

のことから、著者らはもっと「講義」と「計算機を用いた教育」とを結びつける努力が必要であると感じている。

3.3 2年次のハードウェア実験

2年次の実験は毎週午後2回で1テーマを完了する。学科で編成した指導書に従い、3人1組で行う。

テーマの性格は(H-1)フェーズを中心とするが、その中でも将来の応用を主眼として(H-2)フェーズへの連続性を考えたものから、数学や物理学の知識をもとにして数理的に把握すること自体に重点を置いたものまで混在している。たとえば「トランジスタの增幅作用」、「トランジスタのスイッチング特性」、「TTLの静特性」、「ディジタル回路の基礎」、「マルチバイブレータ」等のテーマは前者の側である。また、「伝送線」、「パルストラ ns」等のテーマは表面上の目的のほかに「偏微分方程式による記述」、「線型・非線型現象」のような数学的問題が埋め込まれている。

数理的把握に主眼を置くテーマのうち、「共振回路の応答」、「電位分布」、「波形の分解と合成」、「電子部品の統計的測定」は以下の意味で特徴を持っており、前節の(S-1b)としてソフトウェア系教官と協力して行われる。たとえば「共振回路の応答」は、LCR直列共振回路のステップ応答の微分方程式による解析解、実際の回路のシンクロスコープによる観測結果および前節に示した差分近似によるシミュレーション結果の3者を比較させ、それぞれの方法の性質と意義を体得させようとするものである。「波形の合成と分解」は周期波形を解析的および数値積分(計算機)によってフーリエ級数展開し、結果から多連発振器を用いて再合成するもので、正弦余弦波から波形が合成されていく様子がよくわかる。また「電子部品の統計的測定」は固定抵抗器の値をデジタル抵抗計で測定させ、結果に対してロット間の平均値の差の検定などの統計的処理を行わせるものである。これによって統計的手法に理解を持たせるほか、工業製品に対するバラツキの感覚も持たせようというものである。

(H-1) フェーズのテーマの延長として、物理量を積

極的に使って演算される方向のものの強化が考えられる。現在でも写真技術による微分、弾道検流計による積分が使われているテーマがあるが、将来拡充したい。

1980年度にはテーマが若干改組され、光学的、機械的なものがいくつか入れられる予定である。

3.4 3年次のソフトウェア実験・演習

3年次のソフトウェア実験は、前期と後期で内容が大きく異なる。

当初は前期には(S-1)フェーズのテーマの多少高度なものおよび将来の(S-2)フェーズのテーマにつながる「プログラムの洗練」を中心としてきた。しかし1980年度からはテーマを再構成し、以前から行っていた「KJ法」に加えて(C-1), (C-2)フェーズに直接焦点を合わせた2テーマを開始した。すなわちそれらは、個別の分野の学習、研究から離れて、仕事の仕方に関する基本的手続きを実地に身につけさせるものである。1980年度の3年次前期テーマは「KJ法」、「調査研究」、「テクニカル・ライティング」である。

KJ法はブレーンストーミングから始まり、アイデアを書いたラベルをまとめてゆき図解するという作業を行うことにより、多人数の漠然とした知識や意志を総合して問題解決や意志決定の方法を導く1つの手法である。「KJ法」の実験テーマでは問題の提起より始まり、その解決法の発見に至る過程をKJ法を用いて行い、創造性を養うことを目指している。KJ法によって問題の把握、意志決定、新企画作成などの作業がシステム化される。

現実社会では与えられた課題を自ら調査し報告にまとめることが多い。「調査研究」の実験では教官が与えた各種の課題を実地に調査することが求められる。課題の例としては「オフィスオートメーション」、「計算機言語の歴史と展望」、「マイクロプロセッサの歴史と将来の方向」、「半導体産業の現状」、「複写機の性能と価格」、「データベースの現状と展望」等が行われた。

米国の大学の工学部では、「technical writing」や「presentation technique」などの課目が必修のところが多い。一方我が国ではその必要性が叫ばれているにもかかわらず組織的教育を行っているところは少ないようである。「テクニカル・ライティング」ではこのうちの文章作成能力についての指導を行っている。たとえば計算機のマニュアルの添削や小論文作成などが実施されている。

3年次後期のソフトウェア実験は前期とは性格が大きく異なり、後述のハードウェア実験と同様の形式で「ソフトウェア製作実験」を行う。3人程度が1グループとなって、グループごとに異なる比較的大きな、まとまった課題に対してプログラムを作成したり、研究したりする。テーマ例としては、「計算機システムの性能評価」、「電卓のシミュレータの作成」、「簡単なプログラミング言語の処理系の作成」、「歴史的な計算機のシミュレータの作成」、「GPSSによるシミュレーション」、「簡単なデータベースの作成」、「連想計算（関数表法）システムの作成と評価」、「数式処理システム（数式の微分積分、因数分解、展開、式の簡略化）」、「機械の順序づけのプログラム」、「多倍長演算システム」等である。この実験はハードウェア製作実験と同様1つのもの（ソフトウェアや研究）を完成するということを重視している。学生はここではじめてものを作るわけであり、今までのアナリシス(S-1)のフェーズからシンセシス(S-2)のフェーズに足を踏み入れることになる。

実験が終了する時点で各グループの学生は発表会に臨む。この発表会は後述のハードウェア実験と共同で行われる。聴衆はほかの学生と教官であり、実演を含め実験の趣旨、結果等を述べる。これは前述の、「presentation technique」に対応するものとしてとらえている。

3.5 3年次のハードウェア実験

3年次のハードウェア実験も前期と後期とで性格が異なる。前期は4日で1テーマの簡単な回路の製作、測定を行う。この実験は後期の製作実験の技術的準備と(H-1)との二重の性格を持たせ、数理的処理能力を高めるとともに進んだ段階への橋渡しの役割をはたすように計画されている。

ここでテーマは、(H-1)の性格上ただ線をつなげば直ちに動くような論理回路は適さず、回路計算、物理的着眼、測定等を行う機会の多いアナログ回路が多い。加えて将来ハードウェア関連の職種に就く学生に対してはセンサ技術等の基礎という(H-2)的な見地もとる必要があるので、アナログ回路のうちでも情報工学に関連の深いテーマに重点を置いた。1979年度のテーマは、「ディジタル・アナログ変換回路」、「演算増幅器の応用」、「安定化電源」、「磁気ヒステリシスのカーブトレサ」、「センサの応用」の5つであった。このうちたとえばディジタル・アナログ変換回路では各ビットの要求精度を論じさせ、「演算増幅器の応

用」ではアナログコンピュータ型回路で微分方程式を解かせ結果を評価させる。

3年次後期は目標が大きく変わり、(H-2)、(C-2)を強く意識した、まとまった装置の製作実験となる。学生は4～5人で1組となり各組1台ずつ異なる装置を約5週間で仕上げる。同じ時間帯でソフトウェア製作実験が行われ半学期（5週）で入れ替わるので、全学生は各製作実験を1回ずつ経験することになる。

製作実験では小品を必ず完成させ、その過程でOJT (on the job training) 的にどんな仕事にも必要な基本的事項を体得させる。それは、仕様書や規格表の読み取り、設計方針の決定、作業の分担と手順、協調性、性能と操作性の評価、説明能力、取扱説明書の作成といったものである。さらに「完成の喜び」を味わわせる。この目的のため、テーマは必ず完成できるもので、装置として意味があり、応用の意図の明確なものがよい。それには前期と異なりデジタル回路の方が適する。また、そのテーマ選定で重要なのは、その年度内はもちろん、できれば2～3年は同じテーマを用いないことである。同じテーマを繰り返すと、製作意欲の減退に伴うOJT効果の半減、前年度の作品やレポートの真似等の弊害を生じよう。

1979年度のテーマは、「暗室用タイマ」、「任意波形発生器」、「ウェストミンスター・チャイム」、「論理ICテスト」、「ドット型字形発生器」、「ベクトル型字形発生器」、「デジタル温度監視装置」、「デューティ比メータ」、「ラップタイム計」、「デジタル電圧計」であった。どれもTTL-SSI, MSI, NMOSメモリ等のデジタルIC 20～30個、12×15cmの基板3～4枚、それにテーマによっては演算増幅器ICやデジタル・アナログ変換器（自作させる）等を用いる。担当教官はテーマを決めると、概略を考え、回路構成の目見当をつけ、設計の手がかりとなるMSI 2～3種を選んでおく。この実験は応用的性格を持つのであるから、レジスタ、カウンタ、アダ、コンパレータ、セレクタ等の機能 MSI を積極的に活用して製作効率を高めるとともに、規格表読みの教材とするのがよい。

実験の開始時に各組は、作るべき装置の概要、使用目的等を書いた要求仕様を渡される。指導書は用いないが、未経験者にとってこれだけで設計を開始するのは困難なので、きっかけとして前述のMSIの規格表を与える。あとは原則として学生の自主性に任せせる。教官は必要に応じて設計の相談に応じ、製作技術の指導、回路上のトラブルの解決の補助、彼らの要求する部品

の調達などの側面からの援助をきめ細かく行う。

完成した装置は前節に述べた発表会で実演と説明をさせる。レポートは仕様書、取扱説明書の形式で書かれている。

3.6 グループ作業指導とレポート指導

前述のようにソフトウェア、ハードウェア実験はともにグループで行われる。この作業の中で指導性、協調性、役割分担能力等の実務的能力の習得を目指す。最終的な目的は実社会での仕事の遂行能力であって、いわゆる優等生的な頭の良さとは異質のものである。成績が良くても独走する学生は好ましくない。たとえ自分に知識が少なくて教官や友人を動かして仕事を進める者にも、自分で仕事を完成させる者と同様良い評価を与える。

当学科ではすべての実験・演習テーマに対しレポートを要求する。レポートは、原稿用紙を用いること、およびフルレポートの形式で書くことを求めている。前者は一字一句読点をおろそかにさせないことであり、正確な文章を書くための基本である。著者らの学科では専用の原稿用紙を用いている。後者はそれが社会の公式コミュニケーションの中心であるからである。当然ながら「プログラムと結果のリストだけ」、「結果のデータとグラフだけ」等はレポートとして認めない。目的から結論に至る全体が文書として、前提となる知識のない人にも理解できるように書かれなければならない。

レポートに対する指導として、不良箇所のきめ細かな指摘と、その部分を書き直せることを重視すべきであると考えている。このことによる効果は相当に大きいようであり、教官の負荷は大きいが絶対に避けるべきではない。

4. 実績と成果

4.1 ハードウェア実験の成果

ハードウェア実験では、2年次実験の効果は測定しにくいが、3年次製作実験の効果は顕著であるのでここに焦点を当て、1979年度に観察されたことを列記する。

- (a) 全部の組が仕事を完了した。全学生が自分の手で設計から完成までの経験を得ることができた。
- (b) 多くの学生が自信を得、ハードウェア・アレルギを解消した。
- (c) 大部分の組に連帯感が生まれ、協調して仕事をした。しかし強烈な性格の学生がいた2,3の組では

その者が独走する傾向があった。一方、ついていけない「落ちこぼれ」は予想に反してほとんどなく、能力の劣る学生もそれなりの役割を分担し参加していた。

(d) 大部分の学生が興味を持ち積極的に参加した。

特に最後の項は「しらけの時代」にあって非常に重要な事項であるので、さらに詳細な状況を報告する。

(1) 要求仕様を与えられた当初、学生は一様にとまどいを見せる

(2) 3.5節に述べたように誘導すると、各組の1~2名が具体的に考え始め、リーダシップをとり始める

(3) 残りの学生も加わり分担して設計を始める

(4) ややのんびりムードで製作にとりかかる

(5) 回路が部分的に動作するようになると、一変して全員が積極的に先を急ぐようになる

(6) 完成期になると全組が意匠設計に熱中し、操作性等の配慮をするようになる。組によっては回路の機能向上をはかるものもある

ハードウェア製作実験の成果は、回路技術もさることながら、人間的成長の著しい3年次後期という時期に製作過程を通して人間が本能的に持つ製作意欲を目指めさせたことがあると思う。この製作意欲がよい設計、製品を生み出す技術者の原動力となると考える。

4.2 ソフトウェア実験、演習の成果

ソフトウェア実験でもハードウェア実験と同様に、学生の製作意欲、自信を植えつけることに成功したといえる。3年次後期の実験によって、大きなプログラムにも驚かず、一定の手順を踏めば理解し作成できるという自信を与えたと思われる。自分の手で完成したのだ、という実感によってプログラム作成に対するアレルギを持つ学生がほとんどなくなった。

一方、ソフトウェア実験・演習のほかの見地からの成果は次のようなものであった。

第一は EDSAC による集中的な訓練の成果である(詳しくは文献5), 6) 参照)。現象的には次の点がはっきりしている。すなわち、どんなアセンブリに対しても抵抗感を持たないこと。マイクロプロセッサに対しても2,3回の輪講でほぼ理解してしまうこと。このことは EDSAC が計算機の諸概念における「核」の部分を把握するのに適合していることを示す。

第二の成果は以下の節で述べる。

4.3 KJ 法、レポート指導等の成果

3年次前期のソフトウェア実験のテーマである「KJ

法」の成果を述べる。ほかのテーマである「調査研究」「テクニカル・ライティング」についてはまだ成果を確認できる段階ではないので別の機会に紹介したい。KJ 法の表向きの目標は実地的な演習を通して意志決定力、創造力、リーダーシップ能力、問題解決力を自然に身につけさせることにある。この点に関しても成果が著しく、特に卒業論文作成での計画力に反映している。またほかの実験の効果も加わるが、集団で考え方行動する力がかなり習得されていると思われる。ここで興味深いのは、この集団の力が、企業における上意下達方式ではなく、指導者の学生が生じるにせよ平等な「仲間」的集団によるものである点である。この点は 1 つの研究課題となろう。

一方 KJ 法の裏面からの成果とは「人生観の自覚」ということである。なぜ学ぶのか、なぜ働くのかということを考えることによって受験勉強以来の受身の態度から能動的態度に変わるように自然にもっていく。これはテーマをその方向へ向け、かつ学生本人の切実な問題に結びつけさせることによって行う。一例として「もし自分が企業の人事担当ならばどんな新人を採用するか」というテーマを実施すると、その結果として企業人のるべき姿に対する感覚が学生の中に育つ。

レポートに関しては、前述のようにレポートの添削および再提出の繰返しにより文書作成能力を育成している。この結果、1 年次時点のレポートと 3, 4 年次時点のレポートとの質の差は歴然としたものになっている。

さらに口頭発表能力も重視している。学生には前述の実験発表会に加えて、レポートの内容について説明を求めるということをしばしば行う。黒板の前で話す機会を与える。この結果として、だれにでも理解してもらえるような話し方がある程度学生の身についたと考える。これは 4 年次学生と 2 年次学生を比べることにより明瞭にわかる。卒業論文の審査での発表でも非の打ち所のない者も数人出てきた。

5. 問題点

5.1 物的資源の問題

教育における「物」の役割は「人」に比べて軽視される傾向にあるが、情報工学科のような産業に直結した学科では「物」は教育の効率に著しく影響する。

ソフトウェアの実験・演習では物的資源の中心が計算機システムである。著者等の学科では当初から科内の教育用計算機に対して関心を持っていた。その結果

として TSS あるいは対話型システムを指向した計算機を導入した^{10), 11)}。教育において計算機に必要な特性は「使いやすい」ことである。これは初心者向けの単純な操作性ではなく、高度な機能を手数少なく使えるということである。

次にシステムとその運用を述べる。計算機は端末室に置かれた 10 台の対話型端末を通して使う。端末は CRT を用い、故障の多い機械的部分を少なくしている。学生は自由に端末室に入り出して端末を使うことができる（ただし新年度から講義を欠席して端末を使うという弊害を防ぐため、必修の講義の間は端末室は立入禁止にした）。計算機を運転する時間帯は 9 時～20 時であるが、熱心な学生と親切な教官がいる場合には 24 時間運転になることもある。

以上をまとめると次のような観点が考えられる。

- (1) TSS・対話型システムで使用者（学生、教官）を含めてのパフォーマンスを高めること
- (2) ランニング・コストを抑えること（日常的経費の少ない大学では特に大切である）
- (3) 管理に必要な人手が少なくてすむこと（次節の人的資源を減らさないという意味で重要である）

ハードウェア実験では別の問題点がある。2 年次の実験では一度設備を作れば更新時以外は保守だけであり、3 年次前期に消耗する部品も少額である。しかし、3 年次後期の製作実験では、大学の学生実験としては過大な出費を強いられることになる。SSI クラスの TTL, スイッチ, LED 等はジャンクの解体によって安価で大量入手できるが、特定 MSI, メモリ、基板、ケースは新品を購入する必要がある。また国立大学では購入には決まった手続きが必要なため、購入先が限定され、安い業者やジャンク屋からの購入が思うにまかせず、みすみす高価物品を買わざるを得ないこともある。いずれにせよ、ハードウェア製作実験はその成果が大きいだけに、部品調達の問題は今後に残る。

5.2 人的資源の問題

本論文で示した実験・演習はいわゆるパワー・エデュケーション（手をかけた密度の高い教育）的な体質を持つ。これを支えるには教職員側にもそれだけの意欲と実力が要求される。

もちろん助手技官クラスには若く優秀で教育熱心な人材を登用し実験・演習を支えてもらう必要があるが、彼らに任せきりにせず教授助教授も直接指導にあたらなければならない。

教授や助教授はソフトウェア系やハードウェア系それぞれの自分の専門領域に閉じこもることなく、相補的関係を保ちつつ協調体制を作らなければならない。これなくしては両分野にまたがるテーマが不可能なばかりか、学科として統一した理念を出せず、実験は互いに関連の少ないテーマの集合になろう。

さらに、指導する教官は一貫した「使える」プログラムなり装置なりの製作経験を積んでいて、いつでも実際に作れる力があるべきである。「いざとなったら全部先生がやってみせる」という自信をもとにして初めて指導が可能になる。

上記はたいていの理想論であって、すべてを充足するには相当困難であろうが、著者らの学科ではこれらをある程度は満たすところまできたと自認している。

6. おわりに

以上で東京農工大学工学部数理情報工学科における実験・演習の考え方、実施方法、成果等を述べた。結論づければわれわれの理念は「いかにして学生の基礎力と創造力を育成するか」ということにある。

著者らの学科はまだ歴史が浅く、テーマ内容等もほぼ落ちついたとはいえ、まだ試行錯誤が続いている。また、長期的な問題、たとえばマンネリ化や教職員の活力の減退等も当面現われない。一方、最終的成果である卒業生の社会での役立ち方というのもまだはっきりする段階ではない。これらは将来別の機会に論じたい。

最後に、本論文の著者は4名であるが、本学科の実験・演習に対する検討は本学科構成員全員で行われた

ことはいうまでもない。また、色々なヒントを提供していただいた全国の先輩諸学科等の多方面の方々に感謝する次第である。

参考文献

- 1) 阿部圭一：情報学科協議会パネル討論「情報実験」報告，bit. Vol. 11, No. 10, pp. 98-99(1979).
- 2) 理工系情報学科協議会第6回議事要録(1979).
- 3) 高橋延匡、阿刀田央一、小谷善行、中森眞理雄：工学系学科におけるソフトウェア・ハードウェア実験，bit, 臨時増刊「情報工学の教育・研究」，pp. 56-59 (1980).
- 4) 島崎真昭他：情報工学科におけるプログラミング実習の一例、情報処理学会論文誌, Vol. 21, No. 2, pp. 83-90 (1980).
- 5) 高橋延匡：EDSACによるプログラミング教育の方針、情報処理学会第21回全国大会講演論文集, pp. 1221-1222 (1980).
- 6) 清水敬子、高橋延匡：EDSACによるプログラミング教育の実際、同上, pp. 1223-1224 (1980).
- 7) 井上 賢、阿刀田央一：教育用EDSACハードウェア・シミュレータ、同上, pp. 1225-1226 (1980).
- 8) 西村恕彦：虎よ虎よ——数理情報工学科の教育、数学セミナー, pp. 50-55(1976年6月号).
- 9) 中森眞理雄、高田正之：数理情報工学科の教育における手回し計算機の活用、情報処理学会第21回全国大会講演論文集, pp. 1247-1248 (1980).
- 10) 中森眞理雄他：情報工学科の計算機導入に関する一評価方式の提案、昭和53年度電子通信学会総合全国大会予稿集、講演番号 1386.
- 11) 小谷善行他：タイムシェアリングシステムの評価に関する考察、同上、講演番号 1387.

(昭和55年9月29日受付)

(昭和56年2月19日採録)