

## 学生の自主性を重んじた実験実習 (電子情報工学科における自由実験)

中澤達夫\*・村田雅彦\*・山下 威\*・大矢健一\*・西村 治\*・楡井雅巳\*  
(平成7年10月31日 受理)

"Free Theme Experimental Course" where it is think much of the  
Students Independency

By Tatsuo NAKAZAWA, Masahiko MURATA, Takeshi YAMASHITA,  
Ken'ichi OHYA, Osamu NISHIMURA, and Masami NIREI

A continuous effort to improve the education method of experimental courses is required, because the role of the class is very important for the education of the students in the course of the technical expert. In this report, we will mention the practice of "free theme experimental course", which is one of the many our trials to improve the teaching method of the experimental courses. Some concrete cases are shown.

### 1. はじめに

工業系の専門科目教育の実施にあたっては、理論等を学ばいゆる座学と、実践的・体験的に技術を学ぶ実験実習科目とを適切に組合せ、相互のバランスを取りながら教育指導を行う配慮が必要とされている。本校電子情報工学科においても、1年から5年までの各学年にそれぞれ毎週2ないし4時間の実験実習が組まれており、また、それ以外にも情報処理関連科目の座学の中で随時実習を実施しているが、最近、実験実習内容の一層の多様化に伴い、効果的な実習指導法の再構築が求められて来ている。

実験実習科目の達成目標は、学生が基本的な技術を具体的に理解するとともに、実践面で応用の利く知識を獲得することにあると考えられるが、実際にこの目標を達成させるためには、実施方法に工夫が必要である。ここでは、電子情報工学科において、実験実習科目の効果的な実施方法を求めて試行錯誤を行っている種々の試みのうち、総合的な力を育成することを目標とする「自由実験」の実践について報告する。

### 2. 電子情報工学科における実験実習と「自由実験」

電子情報工学科はいわゆる複合学科であり、ハードウェア(電子工学)系統の科目、および、ソフトウェア(情報工学)系統の科目の両者を総合的に学べることを特色としている。しかしこれは、ともすればいずれの面も皮相的な理解に終わりがかねないという虞もあり、学生が学習した知識を確認し確実なものとするためには実験実習科目が不可欠と考えられる。このため、実験実習科目の内容は多岐にわたることになり、学生に広く興味を持ち続けさせ

\* 電子情報工学科

るためにはその実施方法を工夫することが必要である。我々はすでにこのような工夫をいくつか試みている。例として、電子メールを利用したレポートの提出や、卒業論文の作成に役立てることを一つの大きな目標とした文書処理システム TeX に関する実習などを実施しており、その経過の一部については既に報告した。<sup>1,2)</sup>

「自由実験」は総合的な課題実施能力の育成を目的として企画された、実験実習計画からまとめの発表までを学生自身で行う方式の実験実習科目であり、3年前から実施してきている。この中では、限られた授業時間内に学生が実験実習の全体の流れそのものを総合的に意識して履修できるように、内容に関しては専門的かつ高度であったり、学生が全く未体験の分野のものはなるべく避けるようにした。さらに、細かくアドバイスを与えることができるよう、担当教官が自信をもって指導できる分野からテーマを定め、予め実験内容についての枠組みを示し、これに沿って学生が計画を立てて実施することにした。また、学生にじっくり取り組ませることと、なるべく多くの実験実習の経験をするをある程度両立させるために、1テーマあたりの実施時間は連続6週間(1週あたり200分)とし、全員に2つのテーマを選択させた。このような自由実験の考え方の詳細については、すでに報告しているので、そちらを参考にされたい。<sup>3)</sup>

### 3. 実験テーマの概要とその実践

平成6年度の自由実験では、以下の5つのテーマを学生に提示し、この中から2テーマを履修させた。

---

#### 平成6年度自由実験テーマ

---

デジタル時計の回路設計と試作

安定化電源の製作

SnO<sub>2</sub>膜のウェットエッチング

UNIX ネットワークプログラミング

電磁場の中での荷電粒子のシミュレーション

---

以下、各実験テーマ毎に具体的な実践例を報告する。

#### 3-1 デジタル時計の回路設計と試作

このテーマでは、

- 設計から試作までを実習することにより論理回路に対する理解を深める。
- 標準ロジックICの使用方法を理解する。
- 回路図面を書くことにより、図面の書き方(読み方)を理解する。
- 設計資料の作成手順を理解する。

などを目標にして、電子回路・論理回路理論を応用したデジタル時計の設計を学ぶこととした。テキストには、エレクトロニクスライフ(日本放送出版協会発行)1993年10月号および12月号中の記事を用いた。

3-1-1 実習の進め方 全体を前半と後半に分けて、前半は回路理論の復習をかねた予備実験、後半は予備実験を応用した、回路設計・試作を実習させた。とくに、後半は仕様

作成、設計、設計審査、試作、調整等の一応の手順は示したものの、学生各自のオリジナリティーがでるように仕様作成・設計は学生にまかせた。以下の資料を作成、提出させ実験のまとめとした。

- 仕様書
- ブロック図および設計資料（回路の動作説明）
- 設計回路のアピールポイント
- 設計図面および部品表
- 各ブロックの入出力信号のタイムチャート
- 実験の感想

3-1-2 学生によるデジタル時計の設計例 以下に示す例のように、各々の学生が各自工夫した仕様のデジタル時計を製作した。

24 時間・4 桁表示デジタル時計: 時、分表示の普通の時計で表示を簡素化することにより、部品点数をおさえたのが特徴。

24 時間・6 桁表示デジタル時計: 時、分、秒表示で時間をくわしく表示させたのが特徴。

12 時間表示デジタル時計: 12 時間表示で時計を設計。

3-1-3 発表会 発表会においては、デジタル時計を機能回路ごとにかけてそれぞれ動作原理、仕様、仕様に基づく設計値などを、設計資料を示しながら説明するよう指導した。

3-1-4 まとめ デジタル時計（設計）に学生各自の特徴をだすねらいで、実験の後半は仕様作成から試作までの手順を示すのみの指導で実験を進めたが、結果的に設計に独創的な大差はみられなかった。また後半の実験の進捗に理解度の違いによる学生のばらつきがみられた。とはいえ、全学生が仕様作成から試作までの過程を実習し、実験をまとめることができた。当初の実験の目標は実現でき、また、いくつか次への課題も見出すことができた点が評価できると考えられる。

### 3-2 安定化電源の製作

このテーマでは、工学系の学生に比較的親しみのある電源の製作を題材に、実際に、加工などを行なって、物を作る機会の少ない電子情報工学科の学生が、物作りのプロセスと基礎的な加工手法を学ぶことを目的としている。

3-2-1 製作する電源の仕様 実際に製作する安定化電源の仕様は、開催時にグループ毎に選択させた。ただし、部品を用意する都合等から、指導教官側から予め以下のような仕様を提示した。

- 5[V], 750[mA]（単一出力の安定化電源）
- $\pm 15$ [V], 500[mA]（ $\pm$ 出力の安定化電源）
- 0~5[V], 750[mA]（出力可変の安定化電源）

3-2-2 実習の作業工程 作業手順は、次のように設定し、時間を追って進行させるようにした。

- (1) 文献調査。電気素子、回路、回路基板などについて、文献調査を行ない基礎知識の整理を行なう。
- (2) 調査結果を基に、平滑回路、安定化回路の設計。

### (3) 製作, 組み立て。

調査では, 電源製作に関わる電気素子, 平滑回路, 安定化回路の構造, 特徴, 電子基板の構造, 製作方法について整理を行なった。

次に, 調査結果を参考にしながら, 安定化電源の基礎回路の設計を行なう。ここでの設計は, 平滑コンデンサ容量, 変圧器出力電圧の算出である。安定化回路は, 三端子レギュレータを用いることにより簡素化し, 変圧器の仕様, 突入電流に関する算定は, 電気機械設計を学んでいない情報工学科の学生に要求することは断念した。

また, 回路素子の基板上での配置, シャーシ内への配置の製作図面の作成を行なった。

製作, 組み立てでは, 回路基板の製作を全員で行なった後, 加工機器の数量の関係から, 回路組み立て, シャーシ加工に分かれて作業を進めた。

回路基板は, 感光基板をエッチングする手法で製作した。エッチングに使用するマスクは, 素子の配置, 回路パターンのデザインによって, 完成時の特性に影響するなどの説明を行ないながら, トレース紙に作成した。

回路の部品は, 学生各自が自分の設計に従って毎に用意することが望ましいが, 今回は, あらかじめ指導教官側で用意しておいたものを提供した。

シャーシの加工は, 小さなボール盤とハンドニブラ程度の工具で行なえるため, 機械加工技術を十分に修得していない学生にも作業が可能である。

3-2-3 発表会 発表会では, 電源製作の過程をいくつかのパートにわけ, 1~2人で1パートを担当して発表する形式にした。

3-2-4 まとめ この実習で製作された安定化電源は, 他の学年等の学生実験, 卒業研究の場で利用されており, 仲間の学生が製作したものという意識からか, 利用する学生の側にも機器の取扱いに丁寧さが現れてきているように感じられる。

実際に回路が完成した時に, 担当した学生が喜んでいる姿を見ると, 最近ややもすると忘れがちとされている「物作り」の楽しさが, ある程度は実感して貰えたものと思われる。

「物作り」を主眼とするテーマでは, 加工に使用する機器や工具の数と, 部品の調達の問題となってくる。今回は, 4~5人の学生を同時に指導したが, 加工機器の数量の制限が一つの原因となって, 授業時間内に回路を完成させることができない学生も何人か出てしまった。また, 準備の都合から, 全員がほぼ同じ部品を使ってほぼ同じ仕様の回路を製作せざるを得ないため, 個々の学生の設計の仕方による特性の相違などを比較するような機会はつくることができなかった点が残念である。

## 3-3 SnO<sub>2</sub>膜のウェットエッチング

このテーマでは, SnO<sub>2</sub>膜のウェットエッチングを実際に行って, エッチングパラメーターがエッチレートおよび加工精度に与える影響について学ぶ。また, 同時にプレーナ技術についても調査し理解を深めることを目的とする。

3-3-1 実習の進め方 6週間で実行すべき内容を大まかに次のように分けた。

### 第1~3週: 調査・報告

以下の事柄について調査し, 指導者に報告する。

- (1) SnO<sub>2</sub>膜とはどのようなものか
- (2) プレーナ技術とは何か。
- (3) ドライエッチングとウェットエッチング（それぞれの利点と欠点）
- (4) その他の技術（成膜法、ホトリソグラフィ等）

#### 第4、5週：実験実施

実験の計画については学生が自分で計画書を作り、それに基づいて実験を実施するようにした。

#### 第6週：結果発表

実験結果について発表させた。この際、全体での発表会に備えて予稿を作らせるなどの指導を行った。

**3-3-2 調査・報告** この実習では、学生が実際に手掛けるのはエッチングの工程だけであるが、これは、半導体デバイスの大量生産を可能にしたプレーナ技術の一部であり、他に、ホトリソグラフィ、酸化膜の形成、拡散などの技術が重要な役割を果たしている。そこで、学生にはエッチング技術だけでなくプレーナ技術全体について調査するよう指導した。

エッチング技術については、その方式によるエッチング反応の違いを中心に調べさせた。指導者は、反応が等方性であるか異方性であるかが加工精度に大きな影響を与えるということを学生に理解させるように努めた。

プレーナ技術は学生にとって、まだ学習していない分野を含んだ事柄であり、調査といっても文献を調べることに終始してしまい、内容を理解することは難しかったようである。そのため、学生が調査結果を報告するとき、その内容に専門用語などが現れる都度、それについて学生自身が理解しているかを確認する質問をした。このとき、理解が十分でないようならば、指導者が補足説明をしてグループ全員の理解を高めるようにした。

**3-3-3 実験の実施** 実験に使用することのできる SnO<sub>2</sub>基板の数に限りがあったので、履修する学生に、事前に各特性実験ごとに何枚基板を使うかを決めて基板使用計画書を作成させ、あまり資材を無駄使いせず効率的なデータが得られるよう指導した。

化学実験に不慣れな学生が多く、薬品の取り扱い等に戸惑うことがあったので、これらの点についても重点的に指導した。

最終回の週には、全体での発表の練習も兼ねて、一人一人に実験結果の発表をさせた。

今回の SnO<sub>2</sub>膜のエッチングには塩酸と亜鉛が反応したときに発生する水素を利用した。学生には、以下のようなエッチング条件を変化させてその影響を調べることを課題として与えた。

- 基板と亜鉛の位置。
- 亜鉛の形状。(顆粒、粉末)
- 塩酸濃度
- 塩酸温度

**3-3-4 まとめと反省点** ウェットエッチングの欠点の一つにエッチング条件の制御の難しさがある。今回の実験でも変化させることのできる条件が少なかった。そのため学生一人一人の実験結果にあまり違いがみられなかった。しかし、実際にエッチングをすることによりプレーナ技術についての理解は深まったと考えられる。

### 3-4 UNIX ネットワークプログラミング

“UNIX ネットワークプログラミング”では、複数のワークステーションというプラットフォームにおいて、ソケットを用いたクライアント・サーバ型のシステムを構築することを学ぶ。

対象となる学生は、C 言語・UNIX に精通している (と自分で思っている) 者とした。

教科書には「UNIX ネットワークベストプログラミング入門」(雪田修一、技術評論社)を用いた。

**3-4-1 実習の進め方** 全 6 回のうち、前半 3 回を基本修得、後半 3 回を各自による応用、とした。

前半 3 回については教科書を用いて、例となっているシステムを実際に組んで実行してみることにより、理解を促すようにした。

後半 3 回では、前半で学んだことを各自で応用し、新たなシステムを構築させた。すなわち、後半の課題としては、

- 自分はどのようなシステムを作るか
- それをどうやって作るか

となる。特に前者の課題が大事であると同時に難しいので、前半 3 回からそれを意識させながら実習を指導した。

**3-4-2 前半 3 回の基本修得** まず、プラットフォームについて概要を説明した。主なキーワードは、LAN・イーサネット・ワークステーション・X Window System・クライアントサーバモデル・X Server・TCP/IP である。

次に、ソケットのディスクリプタを説明する前の段階として、ファイルのディスクリプタについて簡単に説明し、簡単なプログラムを書かせることにより実習を行なった。

続いて、ソケットを用いたクライアントサーバシステムの簡単なプログラム (簡単な会話プログラム) を例題として実習し、その動作原理について学ばせた。

その後、インタラクティブな通信ゲームとして「三目並べ」を例題とし、基本的な動作原理が同じであることを学ばせた。通信プロトコルが TCP/IP なためにインターネットとの親和性が絶大であり、この通信ゲームが世界中の任意の 2 つのマシンで動作可能であることを強調した。

以上が前半 3 回で行なわれる内容である。

**3-4-3 後半 3 回の各自による応用** 前述したように、後半 3 回では、前半で学んだことを各自で応用することになる。

学生のうち、およそ半数は意欲的であり各自で新たなシステムを構築しようとするが、残りの半数は何をしたらいいのか戸惑うことが多いようであった。そういう学生には、前半における例題の仕様を拡張する方向で実習を促した。

指導方針としては、基本的にはつきっきりとはせず、質問を受けたときにそれに答える、という形式とした。

**3-4-4 学生による自由な応用システムの例** 学生が作成したシステムのうち、主なものを紹介する。

映画データベースシステム: サーバは映画に関するデータベースを持ち、クライアント側のアクセスによりさまざまなデータを得ることができる。

多人数同時会話システム：UNIX の talk は二人のみの会話であるが、それを拡張し、多人数での talk を可能にしたシステム。

五目並べ：例題の「三目並べ」を拡張し、さらに仕様が詳細に渡っているもの。

3-4-5 発表会 発表会においては、際だったシステムを構築した学生についてはそのシステムについて詳細を述べさせることにし、そうでない学生については、UNIX ネットワークプログラミングの概要についてわかりやすく説明させることにした。

3-4-6 まとめ “UNIX ネットワークプログラミング” という題名で自由実験を行なった。「対象となる学生は、C 言語・UNIX に精通している（と自分で思っている）者」とただし書きをして学生を募ってみたものの、実際に揃ったメンバーはそうでない学生が圧倒的であり、C 言語あるいは UNIX の初歩から再度教えることも多かった。とはいえ、学生はこういう経験を通じて成長していくとも言える。

このテーマに関しては、全体的に指導教官の要求するレベルが高すぎたのか、非常に難解だという学生が多かった。しかしながら、多くは興味を持って実習を進めることができ、結果的に優れたシステムが構築できた学生もあった。

### 3-5 電磁場の中での荷電粒子のシミュレーション

3-5-1 概要 “電磁場の中での荷電粒子のシミュレーション” では、粒子コードを用いてデバイ遮蔽のシミュレーションを行なうことを課題とした。ここでは、問題をやや単純化するため、特に静電場だけがあり、空間も一次元の  $x$  のみに依存する場合を考えることにした。

対象となる学生は、C 言語による数値計算の基礎ができている者とした。教科書としては「シミュレーション物理入門」（矢部 孝、川田重夫、福田昌宏、朝倉書店）を用いた。

3-5-2 実習の進め方 全6回のうち、前半3回ではガウスの消去法を用いてデバイ遮蔽のポテンシャルエネルギーを求めるプログラムを作成させた。これは解析解と比較させてプログラミングが正しくできているかどうかを確認させ後半3回への基盤となるプログラムを作らせた。

後半3回ではデバイ遮蔽を粒子コードを用いて粒子の運動をシミュレーションするプログラムを作らせパラメータをいろいろと変化させて各自に電子の運動がどのようになっているか考えさせた。

前半の計算はパソコンで充分だったのでパソコンを使用した。後半の計算は大規模になるためワークステーションに移っておこなわせた。計算結果は xgraph により処理し、目で見える形にした。本当はさらにパソコンよりグラフィックスで電子の運動を追えるようにする予定だったが、時間的に無理があったので省略した。xgraph により各時間の電子分布を表示させてデバイ遮蔽が起る様子をわかるようにした。

3-5-3 発表会 発表会では、デバイ遮蔽という現象の説明や計算の方法という基本的なところから実際に粒子コードを用いて粒子の運動を考えるとところまでを9名で分担して行った。卒研発表に比べ理解や内容が薄いためなかなかうまくは発表できないが、どのように話せば良いかということを手助けしながらも学べたと思われる。

3-5-4 まとめ このテーマの場合、4年の学生のレベルに合わせた実験にするのが大変難しかった。わずか6回で卒研のような形式の実験をするのはかなり困難であり、さらに

それを発表するとなるとなかなかすべてをこなし切れない学生も出ていたようだ。プレ卒研の意味合いを強くするのであれば、例えば半年（12回）かけて1テーマを履修するという形式の方が、調査にも時間をかけることができ良いように思われた。

#### 4. おわりに

効果的な技術教育の試みとして、学生の自主的な行動を重んじる「自由実験」を実践してきた。この実験は、いわゆる「プレ卒研」としての意味合いも多少は含んでいるが、考え方がさらに柔軟な点が特徴といえよう。テーマ選定、基礎資料調査、実験目標の設定、実験、まとめ、発表といった一連のプロセスを学生の自主性の育成を図りつつ実施できたことに意義があると考えている。

実施の過程において、レポート作成、プレゼンテーション等に関する指導をさらに充実させる必要が実感できるなど、指導者にとっていくつかの問題点を明らかにできた点も成果であると考えている。この方法の教育効果についての定量的な測定は今後の課題であるが、学生にはおおむね好評であるのでさらに継続し、十分な効果を挙げられるよう改善していきたい。

#### 参考文献

- (1) 中澤, 押田, 山本, 楡井: “パソコンネットワークを利用した情報処理教育—高専における低学年学生を対象として—”, 電子情報通信学会教育工学研究会, ET91-80 (1991.10).
- (2) 中澤, 大矢, 山本: “高専の高学年学生に対する T<sub>E</sub>X の実習指導”, 教育工学関連学協会連合 第4回全国大会, E31-3 (1994; 9).
- (3) 中澤, 堀内, 山本: “高専電子情報工学科学生に対する実験実習指導 — 学生の自主性を重んじる「自由実験」の実践—”, 日本工学教育協会、工学・工業教育に関する研究講演会, 39(1995,7); 工学教育, vol.44, No.1(1996,1 掲載予定).