

電気電子工学科における電子情報回路関係の授業系統

前原 健二*

The System and Contents of Electronic and Information Circuits Class in Department of Electrical and Electronic Engineering

Kenji MAEHARA

This paper reports the system and contents of digital circuits or electronic and information circuits class in department of electrical and electronic engineering. The class of digital circuits starts from a part of "Basic Electrical Controls" course at the second grade. Then, logic design and micro computer scheme are educated in "Electronic and Information Circuits" course at the third grade. Furthermore, controls with PIC, logic circuit design with HDL, or scheme of computer and OS are studied in some of elective required subjects at the fourth grade. These lectures and engineering experiments are complementary workable in understanding of digital circuits or electronic and information circuits.

Key Words : class, digital circuits, electronic and information circuits

1. はじめに

身の回りの様々な機械、製品は PIC やマイコンなどを用いた制御機器で動かされている。自動車、列車、航空機などの輸送機械からテレビ、オーディオ、洗濯機、エアコンなど家電製品まで、また、これらの製品を造る工場の産業機械などあらゆる場面にマイコン制御技術は必要とされている。このため企業の製品開発・製造部門で働く電気系技術者に求められる素養として、制御やマイコンなどの知識・技術は電気回路や電気機器、電力工学などの知識にひけを取らず重要な領域である。

津山工業高等専門学校（以下津山高専）では何度かの学科改組を経てきたが、「エネルギー・エレクトロニクス社会を担う技術者の養成」を旨とする電気電子工学科（旧電気工学科）における制御・電子情報回路関係の授業は今日に至るまで重要な位置づけを持ち脈々と実施されてきた。

本稿では、津山高専電気電子工学科のデジタル回路・電子情報回路関係の授業系統と授業内容について報告する。電子情報回路関係の授業内容は一般に論理回路、マイクロコンピュータ、デジタル回路設計、電子計算機が主な柱であるが、現在の授業では最近注目されている PIC などを用いたデジタル制御を積極的に取り入れている。

2. 電子情報回路関係の授業系統

2. 1 電子情報回路関係の科目

電気電子工学科の授業科目の中で電子情報回路関係の内容を含む科目には、制御基礎、電子情報回路、電子情報回路特論、電子計算機および電気電子工学実験Ⅱ、Ⅲ、Ⅳがある。

表 1 電子情報回路関係の授業時限数

必修選択の別	授 業 科 目	開設 学年	開設 単位数	本系統の 授業時限数
必修科目	制御基礎	2	2	20 時限
	電子情報回路	3	2	60 時限
	電気電子工学実験Ⅱ	2	2	4 時限
	電気電子工学実験Ⅲ	3	3	12 時限
	電気電子工学実験Ⅳ	4	3	9 時限
選択必修科目	電子情報回路特論	4	1	30 時限
	電子計算機	4	1	30 時限

1 時限は 50 分

表 1 には各科目における電子情報回路関係の内容の授業時限数を示し、合計で 165 時限数、単位換算すると 5 単位程で実施されている。ただし、電子情報回路特論と電子計算機は両者の内どちらかを選ぶ選択必修科目である。

2. 2 以前の電子情報回路関係の教科内容

電子情報回路関係の授業内容は一般的に、論理回路、マイクロコンピュータ、デジタル回路設計、電子計算機が主な柱であり、津山高専電気工学科にお

原稿受付 平成 18 年 8 月 31 日

* 電気電子工学科

いても 2002 年頃までは以下に示すように、この従来のスタイルの授業内容を踏襲してきた。

電子情報回路関係の授業は、まず 2 値論理、ブール代数から始まり、組み合わせ論理回路と順序回路、論理回路を使った制御、組み合わせ論理回路の設計、順序回路の設計へと進む。この段階で、論理回路を使った基本的なデジタル回路設計の授業範囲が習得できる。これに対して、半導体や集積回路の授業の流れと制御の授業の流れから半導体メモリ、A/D 変換、CPU へと進み、マイクロコンピュータシステムとそれを用いた制御など電子情報回路系の応用授業が実施される¹⁾。

マイクロコンピュータの授業では、マイコンを構成する機能回路のハードウェアについて学んだ後、CPU の内部構成と役割・動作を理解して、命令、アセンブラプログラム、入出力デバイス (PIO や割り込み) を学び、実験によりボードマイコンを用いた制御実習²⁾を行う。これによりマイクロコンピュータシステムについて理解が深まり、簡単な制御が行えるようになる。図 1 には、マイクロコンピュータ実験の構成回路を示している。

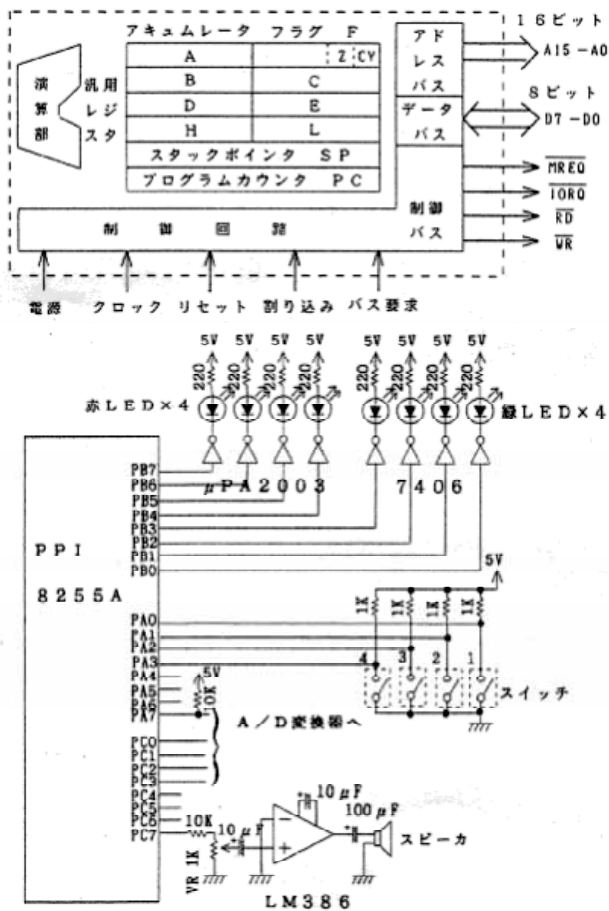


図 1 マイクロコンピュータ実験の構成回路

更に進んで、パラレルデータ転送やシリアルデー

タ転送、割り込み制御などのマイコン応用システムの設計³⁾の授業や、コンピュータにおける数値の扱い、CPU のハードウェアや演算アルゴリズム、コンピュータのコントロール方式や記憶方式、データ通信などの計算機システム⁴⁾の授業が行われる。

なお、マイコン応用システムの授業で当初使用していた書籍の内容は、図 2 のように Z-80 MPU を中心としたワンボードマイコンシステムの詳細な設計であり、学生にとって内容の理解が大変であった。

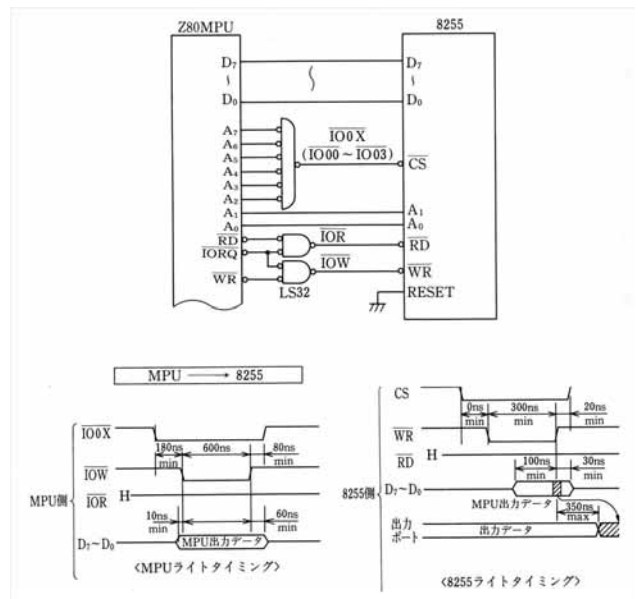


図 2 マイコン応用システムの設計図面

このため、1995 年から授業内容の見直しを行い、図 3 のように内容をインタフェース回路と周辺回路の簡易設計と入出力制御に限定したカシオポケコンによるポケコン制御⁵⁾に変更した。

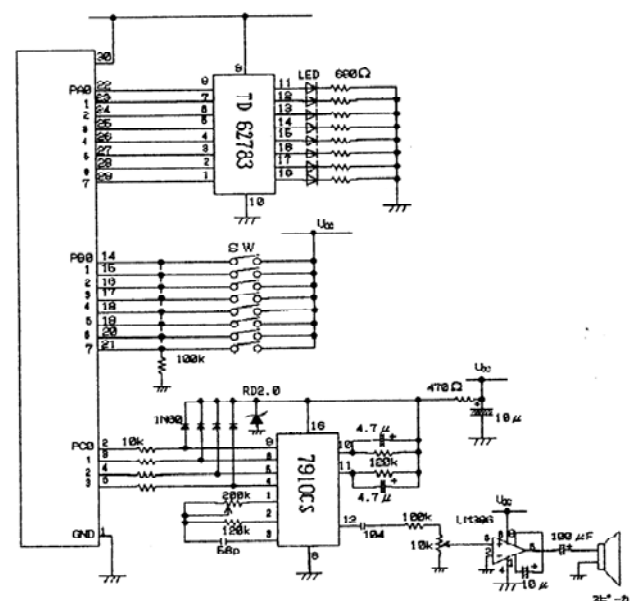


図 3 カシオポケコンによる入出力制御回路

2. 3 現在の電子情報回路関係の教科内容

電気電子工学科では 2003 年から順次、電子情報回路関係の授業内容が従来のものから大きく変更されてきている。これは以前の電子情報回路関係の教科内容の柱であったマイクロコンピュータや計算機システムの構成や動作の理解という総合的な内容から、論理回路設計の強化と PIC 制御、プログラム動作の理解など、より実践的で具体的な内容への移行であり、電子情報回路、電子情報回路特論、電子計算機の授業及び関連する実験で関係する。

以下では、現在の電子情報回路関係の授業内容を再整理して科目毎に述べていく。

2. 3. 1 制御基礎

「制御基礎」の科目は、シーケンス制御の理論およびシーケンス回路図、具体的な制御回路の組み方を修得し、工学応用への基礎能力を養うことを目的とする。この授業では 2 単位という少ない時間数の中で、シーケンス制御全般の概要を理解した後、リレーシーケンス制御と無接点シーケンス制御について制御回路の組み方や具体的な制御例を学んでいく。

この内、電子情報回路系の無接点シーケンス制御は授業の約 1/3 で行う。まず 7 月に 2 値論理、真理値表、論理式、論理回路図、タイムチャートを学び、9 月に NOT, AND, OR など基本論理回路やフリップフロップ⁶⁾、そして論理式と論理回路図やリレーシーケンス回路図との関係およびそれらの置き換え方法を理解する。さらに 12 月から無接点シーケンス制御⁷⁾について、論理回路の内部回路や正論理・負論理、NAND 変換、論理回路のゲートとしての働きなどの基礎理論と、フリップフロップを用いた具体的な制御回路(優先制御、時間制御)を学ぶ。

これらを理解することで、デジタル回路により簡単な制御回路を組めるようになる。

2. 3. 2 電気電子工学実験Ⅱ

「電気電子工学実験Ⅱ」後期の 2 テーマでは論理回路の入出力関係およびリレーシーケンス回路から論理回路への変換を実習する。

論理回路の入出力関係を調べる実験⁸⁾では、ブレッドボードと入出力回路が備わった IC トレーナー上で簡単なデジタル IC 回路を組み、入力スイッチを切り替えて入出力のオン/オフを LED で観察する。論理式からそれを実現する論理回路を考えて、その回路を実験することも行う。実験対象の回路は NAND などの基本論理回路から 1 ビット加算器、マルチプレクサなどの応用回路まで実験するが、2 年生の講義では基本論理回路しか習っていないので応用回路については難しい内容となっている。

リレーシーケンス回路の論理回路への変換の実

験⁹⁾では、自己保持回路、インターロック、優先回路、タイマー回路などについて、リレーシーケンス回路とタイムチャートが与えられていてこれを論理回路に変換し回路に組んで入出力動作を確認する。

これらの実験により、講義で習う組み合わせ論理回路の入出力関係、NAND 変換、リレーシーケンス回路と論理回路の関係を復習することができる。

2. 3. 3 電子情報回路

「電子情報回路」の科目は、論理回路の機能を解析する能力と、課題に対して最適な論理回路を設計する技術を習得することを目的とする。

この授業では論理回路の基礎的内容を論理回路設計の立場から再確認するとともに、組み合わせ回路および順序回路の最適化設計の方法を学んでいく。まず、前期では論理演算に始まり、簡単化の手法(カルノー図、クワイン・マクラフスキー法)を理解した後、各種の組み合わせ論理回路とその設計法を学ぶ。後期ではフリップフロップ、カウンタなどの順序回路、一般的な順序回路の設計法(設計の最適化)を学んだ後、半導体集積回路による論理回路の実現、メモリについて学習し、コンピュータの構成と動作について学んでいく¹⁰⁾。

この授業により、マイクロプロセッサを構成する部品(ALU やシーケンサなど)の設計と、コンピュータの構成と動作の基礎が学習できる。

2. 3. 4 電気電子工学実験Ⅲ

「電気電子工学実験Ⅲ」後期の 4 テーマではデジタル回路の回路特性、論理回路の構成と動作¹¹⁾、そして論理回路 CAD を用いた論理回路設計¹²⁾について実習する。

デジタル回路の回路特性の実験では、IC 7404 の回路をトランジスタや抵抗など個別素子を用いてブレッドボード上に作成し、方形波入力を与えて各トランジスタの端子の電圧波形を測定して NOT 回路の動作の仕組みを理解する。また、7404 の入出力特性を測定して論理閾値やノイズマージンを調べたり、平均遅延時間などを測定したりする。

論理回路の構成と動作の実験では、まず NAND 等の基本論理 IC やそれらを組み合わせて作ったデマルチプレクサやマルチプレクサなどの組み合わせ回路の入出力波形を観測することで、論理回路のゲートとしての働きを調べる。次に、NAND で作成した RST-フリップフロップと JK-フリップフロップ IC について、手動スイッチで入力を与えて LED の点灯/消灯で入出力の状態を観測して、順序回路の動作を調べていく。

論理回路設計の実習では、半加算器、全加算器、RS-フリップフロップ、そして図 4 のような 3 進カウンタについて、真理値表または状態遷移表から回路図

を導き、源内 CAD を用いて図面入力してシミュレーションし、動作を確かめる。源内 CAD は詫間電波工業高等専門学校の松下浩明氏が開発した教育用の論理回路 CAD システムで、階層設計もできるので一般的な設計手順が簡便に実習できる。

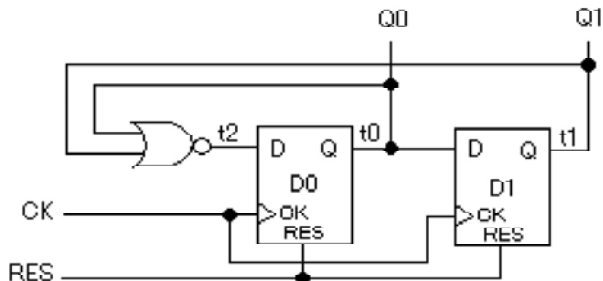


図4 3進カウンタ

この実験により、「電子情報回路」で学ぶ論理回路の回路特性や組合せ回路と順序回路の回路構成と動作、設計法が復習、確認できる。また、制御回路を設計する上で重要な論理回路のデータ加工機能も理解することができる。

2. 3. 5 電気電子工学実験Ⅳ

「電気電子工学実験Ⅳ」前期の4テーマでは回路シミュレーションと論理回路設計を行う。

回路シミュレーションの実験¹³⁾は電子回路設計でよく使われるアナログシミュレータ PSpice による実習を2テーマ行うが、その内の1テーマでCMOSのNOT回路を直流解析および過渡解析する。この解析から、論理回路の直流雑音余裕度、負荷変化による遅延時間特性、PMOSとNMOSのゲート幅比と論理閾値や遅延時間特性の関係、電源電圧と遅延時間特性の関係を調べる。

この実験により、集積回路のデバイス回路設計で通常行われている作業を体験できる。

論理回路設計の実験¹⁴⁾では、実用的な設計ツールを用いてハードウェア記述言語による階層設計を行う。テーマ導入時の1993年から2004年までは、設計ツールにNTTデータ通信(株)のPARTHENONを用い、半加算器、全加算器、4ビット加算器の順で設計およびシミュレーションし、最後に論理合成する内容であった。その後、ザイリンクス社のISE

WebPACK が利用できるようになったためツールを変更した。ISE の設計統合システムでは設計作業の手続きが簡便に行えるため時間が短縮でき、以前の4ビット加算器の設計の他にD-フリップフロップを使った3進カウンタの設計も追加できた。図5にはD-フリップフロップをハードウェア記述言語で表した例を示す。

```
architecture Behavior of dff is
begin
process (CK,RES,D)
begin
if RES='1' then Q <= '0' ;
else if (CK'event and CK='1') then Q <= D ;
end if ;
end if ;
end process ;
end Behavior;
```

図5 D-フリップフロップのVHDL動作記述

2. 3. 6 電子情報回路特論

「電子情報回路特論」の科目は、コンピュータの中身と動作について理解を深めるとともにPICによる制御技術をマスターし、マイコン制御技術の基礎をハードウェアとソフトウェアの両面から身につけることを目的とする。

この授業では、PICの命令やデータ形式、特殊レジスタ(SFR)、タイマ、割込みなどを学習してPICの構成と動作を機能レベルで理解した後、アセンブラ言語やC言語によるプログラミング技術と具体的な制御例を学ぶ¹⁵⁾。ここで扱うPICは、図6に示すように単純な構成と命令を持つため内容が簡単で理解しやすい。

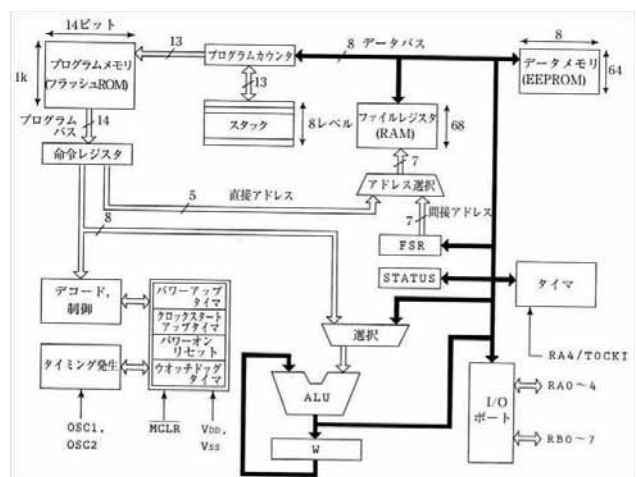


図6 PIC 16F84Aのアーキテクチャ

PICのプログラム開発には、マイクロチップテクノロジー社の開発ツールMPLABとHI-TECH社のPICC Liteを使用する。MPLABは、デバッガが充実しておりプログラムをPICに書き込んで実動させる前に開発ツール上で動作確認ができるとともに、アセンブリ言語の他にC言語も組み込んで使えるので複雑なPIC制御プログラムの開発も可能である。

PIC のプログラミング技術を学び、色々な回路の制御例を学んだ後は、実習として LED や LCD 制御のプログラムを作成し、図 7 のように PIC に書き込みブレッドボード上に回路を組んで動作確認をする。PIC による制御では周辺回路部品を殆ど必要としないので手軽に実験できる。



図 7 PIC による LED および LCD 制御

この授業で学生は、PIC マイコンの理解やプログラミング技術の習得の他に、制御回路のハードウェア理解や具体的な制御の実現まで一貫して設計実習ができるので、興味を持って取り組める。

2. 3. 7 電子計算機

「電子計算機」の科目は、電子計算機のハードウェアの仕組みと、アプリケーションプログラムの作成や実行に必要なコンパイラや OS など基本ソフトウェアの役割を学び、電子計算機上でプログラムが実行される仕組みを理解することを目的とする。

この授業は、以前に行われていた CPU のハードウェアや演算アルゴリズム、コンピュータのコントロール方式など計算機システムの内容から、プログラムが動作する仕組みを知るという観点からコンピュータの働きや OS の解説に視点が移された。

授業では、CPU の働きとレジスタの役割に始まり、数値表現、メモリーを扱うスタックやポインタ、圧縮などデータの扱いについて、更に OS やコンパイルそしてアセンブリ言語によるプログラム動作の詳細、ハードウェア制御などアプリケーションプログラムと OS の関係を学ぶ¹⁶⁾。

3. ま と め

津山高専電気電子工学科のデジタル回路・電子情報回路関係の授業系統と授業内容を紹介した。

デジタル回路関係の講義は 2 年生の一科目の一部で論理回路など基礎内容の導入が行われ、3 年生で設計を主とした電子情報回路の理論学習が行われ、4 年生で PIC、ハードウェア記述言語による回路設計、電子計算機の働きと OS など応用的な授業が行われる。これらの講義と実験は、理論・演習と実習が内容を補完し合い、また、論理回路の基礎理論から先端分野の技術習得まで一連の流れを形成している。

電子情報回路関係の分野は、技術の進歩とともに急激に発展しており、授業内容も年々修正を加えなければならない。現在の電気電子工学科の電子情報回路関係の授業は、論理回路の最適設計、PIC による制御、電子計算機で行われるプログラム動作の理解など実践的で具体的な内容を主軸としているが、電子制御工学科や情報工学科の類似科目の内容も参考にしながら、より良い授業系統が検討され確立されていくことを期待する。

参 考 文 献

- 1) 三木容彦：マイクロコンピュータ工学，オーム社，(1987)
- 2) 岡田正：マイクロコンピュータ(1)(2)，平成 15 年度後期電気電子工学実験Ⅲテキスト，(1994) 59-1 - 60-6
- 3) 柏谷英一，佐野羊介，中村陽一，浅野健一：図解 Z80 マイコン応用システム入門ーハード編ー，東京電機大学出版局，(1990)
- 4) 後藤宗弘：電子計算機，森北出版(株)，(1989)
- 5) 小野塚純夫：カシオポケコンで学ぶ情報技術基礎，コロナ社，(1994)
- 6) 望月傳：図解でわかるシーケンス制御の基本，技術評論社，(1998)
- 7) 松下電器産業(株)製造・技術研修所：プログラム学習による無接点シーケンス制御，廣済堂出版，(1979)
- 8) 徳方孝行：論理回路と無接点シーケンス(1)，平成 17 年度後期電気電子工学実験Ⅱテキスト，(2003) 31-1 - 31-5
- 9) 岡田正：論理回路と無接点シーケンス(2)，平成 17 年度後期電気電子工学実験Ⅱテキスト，(1990) 32-1 - 32-4
- 10) 坂井修一：論理回路入門，倍風館，(2003)
- 11) 前原健二：ディジタル回路(1)(2)，平成 17 年度後期電気電子工学実験Ⅲテキスト，(1995) 57-1 - 58-5
- 12) 前原健二：論理回路設計(1,2)，平成 17 年度後期電気電子工学実験Ⅲテキスト，(2005) 59-1 - 59-4
- 13) 前原健二：回路シミュレーション(1)(2)，平成 18 年度前期電気電子工学実験Ⅳテキスト，(1995) 66-1 - 67-5
- 14) 前原健二：論理回路設計(3,4)，平成 18 年度前期電気電子工学実験Ⅳテキスト，(1995) 68-1 - 68-7
- 15) 堀桂太郎：図解 PIC マイコン実習，森北出版(株)，(2003)
- 16) 矢沢久雄：プログラムはなぜ動くのか，日経 BP 社，(2001)