

# パソコン支援によるロジック回路の実験指導

宮内正義

(技術科研究室)

本田安

(松山工業高等学校)

(平成2年10月11日受理)

## 1. はじめに

パソコン支援システムの活用による電子回路の実験指導は、座学で学ぶ理論と実際面の総合化が容易に図れ、基本原理の学習徹底から設計要件の修得、実構成された回路動作と特性の掌握までを、系統的に、しかも効率よく学習展開できることから指導効果が高められることを報告してきた。(1)～(4)

本論文は、このような成果を踏まえて実践的研究を継続してきた工業高校や高専、教員養成学部で実施する電子回路実験の内、基礎的ロジック回路を対象とする指導法の検討を行ったもので、この実践事例の紹介とこれが指導上有効な一形式となることを示す。

本文では、まず、この実験支援システムのハードウェアを紹介し、回路図の作成やデータ加工など、教材準備時に使うソフトとロジック回路の動作シミュレーション、及び教材回路の計測用インターフェイスボードを介したシステムで実施する実動実験用のプログラムと学習展開の補助を行い、課題内容の深化と広がりを目指すためのCALプログラムなどで構成を図った本システムのソフト概要と、この特徴について述べる。

そして、支援システムの活用と簡単な測定器(ファンクションジェネレータとテスタ)の併用により、教材回路の動作実験を行うこの課題実験の指導展開のあり方を、工業高校(電子、情報科)での実践事例を通して検討し、このような指導法が有効なことを述べるとともに、高専や教員養成学部での試行を踏まえた指導試案、及び中学校の「情報基礎」への適用についても言及する。

## 2. システムの構成

このシステムのハードウェアは、汎用パソコン(98VM)の標準装備に、回路図の作成や理論の解説演示、データ加工等の教材準備と回路動作のシミュレーション機能をもたせ、これに測定用インターフェイスボードを付加し、システムをロジックアナライザーに仕立て教材回路の実動実験を実施できるようにしたもので、この他に回路の駆動用電源と信号源(ファンクションジェネレータ)及びテスターを用いる簡単な構成である。

測定用インターフェイスボードは、授業実践時に複数システムの使用が要求されることから、

1 セットはA社の LOA98 ボードを，他は自作ボードを使い，今回は2 支援システムの構成をした。

LOA98 ボードの仕様は，8 チャンネル信号（ロジック電圧・0～5.5 v）の同時測定が可能であり，次の性能を持つ。<sup>(5)</sup>

- サンプリング周波数：32MHz～6.4Hz，1，2，5 ステップ変換。外部クロック時・20MHz～0.001Hz
- タイムスケール：10ns / div，1，2，5 ステップ24切替え。外部クロック時・周波数に合わせて自動設定
- 測定時間範囲：31.2ns～640s。外部クロック時・50ns～1137時間
- 波形メモリー：8192ビット／1チャンネル

自作ボードのそれは，外部クロック部を持たないこと，従ってこれに付随する LOA98 ボードの性能は持たせてないことと，サンプリング周波数上限が低いことの他は，概略同性能を持ち LOA98 ボード用ソフトの共用が図れるものとしている。

図1に，この支援システムのソフトウェアを示す。プログラム言語は，学習者理解も容易な BASIC（一部マシン語を含む）を使い会話形式で作成した。

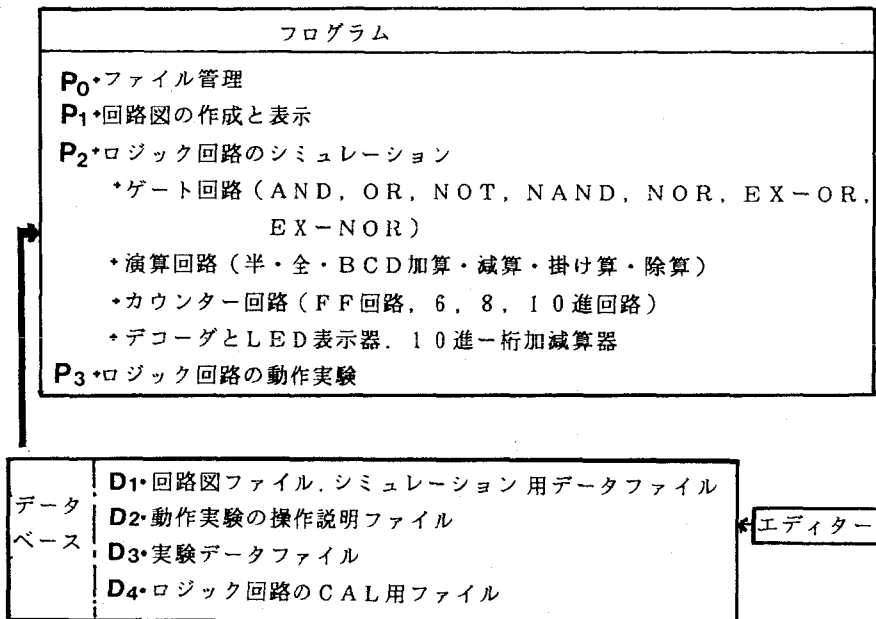


図1 ソフトウェア

P<sub>1</sub> プログラムは，教材作成時の CRT 画面，あるいはイメージスキャンを使つての回路図作成に，実験の実授業時には，データベースとしての D<sub>1</sub>～D<sub>4</sub> ファイルを P<sub>0</sub> の管理プログラムを介して適宜ピックアップし，プログラム P<sub>2</sub>，P<sub>3</sub> に取り組み使用をすることで，システム操作が，全て CRT 画面上のメニュー（例・図2）選択により行える学習者の利用容易なソフト構成をした。

+++ 電子回路実験・支援システム-3 +++

- 教材の作成（論理回路図）
- 教材の作成（Image Scan）
- ロジック回路のシミュレーション
- ロジック回路の動作実験
- ロジック回路のCAL
- 終 了

カーソルを指定し（リターンキー）をおしてください

図2 メニュー画面

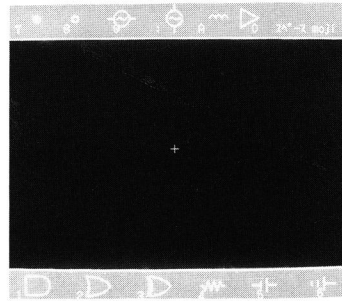


写真1 回路図作成用テンプレート

P<sub>1</sub>の画面上で回路図作成を行うプログラムは、写真1に示すテンプレートを参照し、カーソル（+印）の移動点でそのエレメント番号と図記号をキー入力（方向は移動キーで指示）することで書き、回路の接続線は、カーソル移動の始点と終点でSキーを使って記入する、図作成操作の極めて容易なものであり、完成された回路図はD<sub>1</sub>ファイルに収め、これがCRT表示あるいはX-Yプロッタに選択出力できるソフトの作成をしている。

ロジック回路のシミュレーションプログラム・P<sub>2</sub>は、①初期設定、②ロジック動作のシミュレーション（主プログラム）、③各ロジック動作を定義したサブルーチン、④入力データ、⑤タイムチャートの表示用プログラムの5項目で構成をしており、②の主プログラムではロジック動作特有のスタート時における不定扱いを行っている。<sup>(6)</sup>

また、シミュレーション結果の表示は、動作が安定してからのステップ毎表示と、動作時の内部ロジックを全て表示する2モード選択式とした。そして、④は、データ文で構成し、回路の接続データや入力とプリント信号のナンバー、入力ピンに加えるロジック信号を内容としている。

従って、このシミュレーションプログラムは、回路の接続変更を行う場合、あるいは入力信号の変更を要するときに④のデータ書き換えのみで、容易に対応ができる点に特徴を持つ。

P<sub>3</sub>の教材回路実験を行うためのシステムをロジックアナライザーに仕立てるプログラムには、A社のLOA98ボード用のソフト・ロジアナ98を使い、<sup>(5)</sup> 若干の変更を加えて自作ボードの使用時にも共用できるものとして、教材回路の動作波形や真理値表（ロジックデータ）のCRT画面上での測定、及びこれらのD<sub>3</sub>ファイルへのセーブやロードとプリントアウトが極めて簡単に行えるものとした。

更に、D<sub>4</sub>ファイルには、この実験指導における考察課題に関連を持つ事項、教授時の解説題材など、学習強化を目的として編集をしたCALプログラムをQ/A形式にまとめて収め、この利用がメニュー選択方式で行えるものとした。

### 3. 授業展開

授業実践を行った高2生は、1年次でパソコンの入門レベルは履修しており、また、素子特性の実験、増幅及び発振回路等の実験でもパソコン支援システムの利用をしてきたため、操作上のトラブルは極めて少ない。従って、課題毎の学習展開は、指導書と簡単な教授に基づきステップ毎に理解度の確認をしながら遂行した。

### 3. 1 ゲート回路と排他的論理和回路の実験

まず、支援システムを駆動後、図2のメニュー選択でCAL ファイルから CRT 画面上に呼び出した論理回路の解説演示教材により、適切な解説を行い本課題の目的と方法について教授する。(7) (8)

解説指導の内容は、基本的論理ゲート回路は AND , OR , NOT の3ゲートであり、全ての論理回路はこの組み合わせで構成されるが、実際には機能上 AND や OR 機能に NOT を組み込んだ NAND と NOR , そして NOT がよく使用されること、これらの IC 素子には TTL や CMOS 型 IC が広く使われていることなど、その原理と回路及び実用素子について解説する。

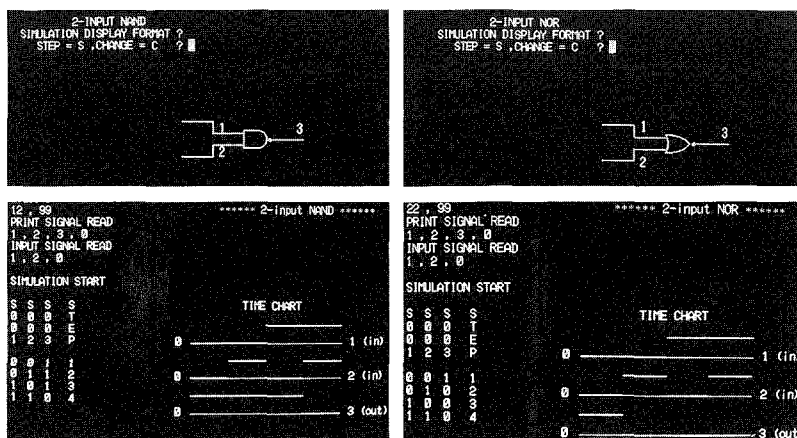


図3 ゲート回路（2入力NANDとNOR）と動作シミュレーション

そして、図2のメニュー選択から呼び出される論理回路実験の項目メニューより基本ゲート回路の指定をして、各ゲートの動作シミュレーションを行わせる。図3は、このシミュレーション結果の例示である。

次に指導書に基づき、本実験に用意した図4の実験ボードを用いて、AND , OR , NAND , NOR ゲートの動作実験を行い、得られたロジックデータ(真理値表)とシミュレーション結果のそれを比較させ、各ゲート動作原理の修得徹底を行う。

多入力ゲート回路の実験は、メニュー項目より多入力ゲートを選択し、3入力NAND 2個と2入力NORI 1個、及びインバータ1個により構成の6入力NANDゲート回路、8入力NORゲート回路は4入力NORを2個と2入力NAND 1個によるもの、そして、4入力NANDを2個と2入力NAND 1個及び3入力NORを1個使って構成した10入力ANDゲート

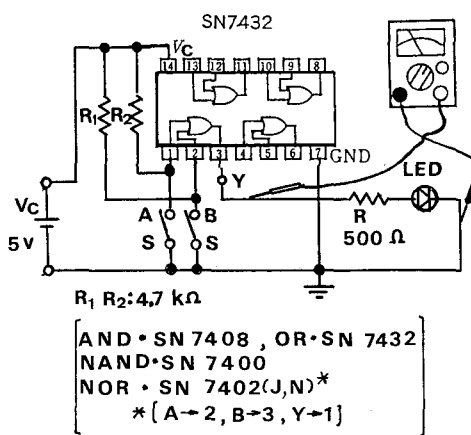
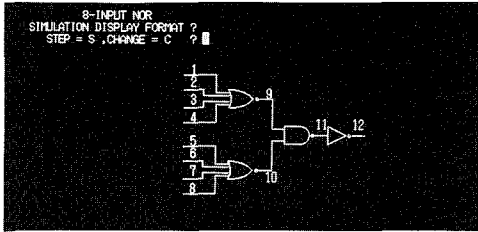
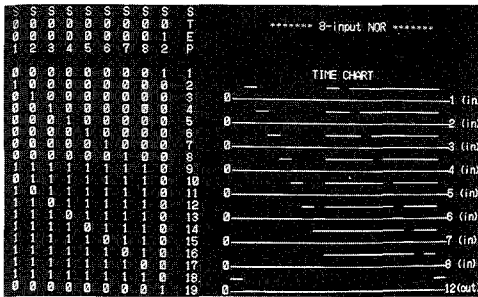


図4 教材用ゲート回路

ト回路の各動作シミュレーションを行い、このような多入力ゲート回路が NAND や NOR 及びインバータを組み合わせることで構成されることと、得られる論理動作の学習理解を期し、これらの多入力ゲート回路の用途を教授しておく。



(a) 回路図



(b) シミュレーション結果

図5 8入力NOR回路とその動作

図5は、8入力 NOR 回路 (a) のシミュレーション結果 (b) である。なお、この例では入力の組み合わせが多く、これに対応した動作のシミュレーションは困難であるため、ここでは入力の“1”と“0”を1ビットずつずらして実行し、また、得られる動作のロジックテーブルの表示は、1画面分のみとしてこの画面のハードコピー時に自動的にプリントアウトもできるものとした。

ロジック2信号の一致、不一致を判定する比較回路としての排他的論理和・E<sub>x</sub>-OR と E<sub>x</sub>-NOR 回路の実験は、項目メニューからそれぞれの回路図を呼び出して、この動作原理と回路構成法の教授を行い、その上で指導書を参照し入力データ（ロジックデータ、出力プリントアウト及び入力信号の印加端子ナンバー）のキーインプットを行わせ、回路動作のシミュレーションを実施さす。

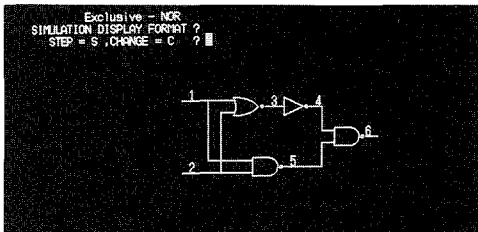
図6は、NAND ゲート1個と NOR が2個、インバータ1個で構成した E<sub>x</sub>-OR の回路例と、この動作シミュレーション結果を示したものである。

支援システムによるロジック回路の実動実験は、図2のメニュー選択によりシステムをロジックアナライザとして動作させ、用意された教材回路を用いて行う。

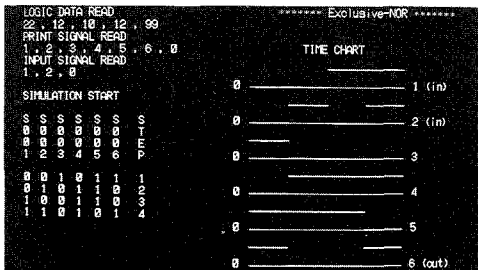
教材回路の入力信号は、ファンクション発振器の出力パルスとフリップフロップ回路 (図15 (a)) からのパルス出力を使い、システムの操作は、D<sub>2</sub> ファイルから呼び出された指示コメント通りに行って、CRT 画面上でロジック動作波形の実測をさせ結果のファイルとハードコピーを取らせておく。

そして、この実測結果とシミュレーション結果の比較検討をさせ、理解度の確認と本時のまとめを行ない2～3の考察課題を与えて、このテーマを終る。

なお、本テーマを高専や教員養成学部で実施の場合は、ゲート回路の相互変換、つまり、



(a) 回路図



(b) シミュレーション結果

図6 E<sub>x</sub>-NOR回路とその動作

AND-OR の NAND による構成, NAND や NOR からの NOT 構成, 6 入力 NAND あるいは NOR 又は NAND-NOR でそれぞれ構成すること, 及び  $E_x$ -OR による 4 ビットの比較回路設計などを含む項目追加を行なう。

また, 中学校での「情報基礎」の学習展開では, 指導要領でも挙げられている基本論理回路の学習に, 図 3 の実験ポートの教具使用とこの解説演示にシミュレーションの活用が有効なものとなる。

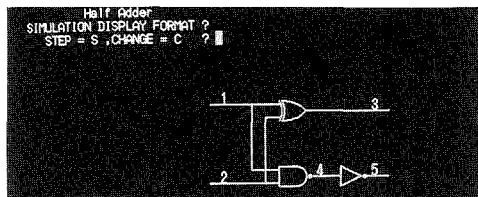
### 3. 2 演算回路の実験

一般に四則演算回路をすべて電卓やコンピュータ内にとり込む必要はない。減算は, 補数の加算により, そして乗除算はシフトや加減算の繰り返し(順序回路方式)によって行なう。つまり, NAND ゲートで, すべてのゲートが構成されるように, 加算回路を使い減乗除回路を構成することができるが, 本時のテーマでは, 最も基本的な学習を行う立場から 2 進数の加算回路と直接減算回路を, 乗算回路については, 組み合わせ方式回路を対象に次の手順で指導展開をする。<sup>(8) (9)</sup>

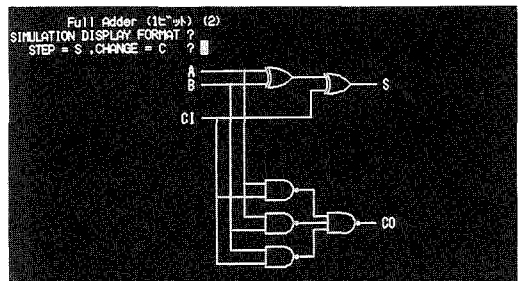
指導書にしたがってシステムを駆動後, CAL ファイルの解説演示教材を使い, 2 進数の半加算と全加算回路の構成及びこの動作について教授し, 図 2 のメニュー選択で呼び出された項目メニューの指定により, 両加算回路の動作シミュレーションを実施させる。

図 7 は, 半加算の回路例とこの動作シミュレーション結果を示し, 図 8 は, 全加算回路とシミュレーション結果の例示である。

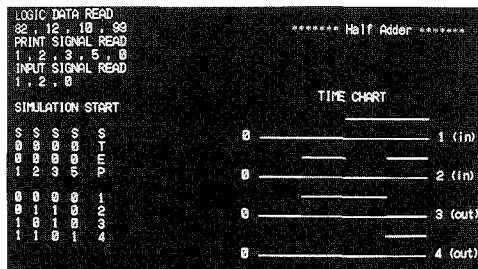
全加算回路のシミュレーションでは, 入力データのキーインプットも実行させるとともに,



(a) 回路図

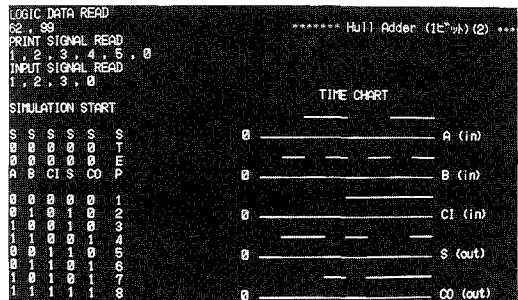


(a) 回路図



(b) シミュレーション結果

図 7 半加算回路とその動作



(b) シミュレーション結果

図 8 全加算回路とその動作

論理変換，すなわち回路の機能を変えずに使用するゲートの種類を考えさせて，ゲート数を少なくするこの回路構成法の学習徹底を図り，次のステップに進む。

教材回路（図9）の実動実験は，指導書に従い同図（a）中のスイッチ  $S_1 \sim S_3$  を操作し，LED の点滅あるいはテスターでの電圧測定から，動作時における真理値表を作成させ理論動作との比較確認をさせる。

続いて，システムをロジックアナライザとして使い，教材回路の信号源は図9（b）より得，これを（a）図の A，B，CI 端子に加えてこの駆動を行い，図10に例示の動作波形をCRT画面上で実測する。

そして，得られたタイムチャートとシミュレーション結果の比較を行わせ，併せて2進数加算回路の理解度の確認とBCD加算及び並列加算についてもこれらの概要を教授する。

減算回路の実験では，実用化の多い補数減算は概要紹介にとどめ，2進数加算回路との関連から直接減算方式の半減算回路に  $E_x-OR$ ，又は  $NAND$  だけを用いて構成した回路とこの半減算回路を用いて構成される全減算回路を対象として，加算回路の場合と同様シミュレーションを行い，教材回路（全減算のみ）の実動実験を行わせて，理解度の確認をする。

乗算回路の実験は，各桁の加算とそれに伴う桁移動の繰り返しによって実現する順序方式乗算回路については概要紹介にとどめ，図8（a）の全加算回路と  $AND$  ゲートを使う組合せ方式の2ビット×2ビットまたは4ビット×4ビット乗算回路を対象として指導する。

まず，CALファイルの利用によりこの回路の構成法と動作について学習させ，両回路の動作シミュレーションを実施する。そして，用意した教材回路の実動実験をロジックアナライザ化したシステム利用により行わせ，この乗算動作に関する理解度確認をし，加減算回路の実験を含むまとめを行って，2～3の考察課題をあたえ本時を終る。

図12（a）は，図11に示す2ビット×2ビット乗算回路のシミュレーション結果で，図12（b）に例示のタイムチャートは，教材回路（写真2）の実動実験結果である。

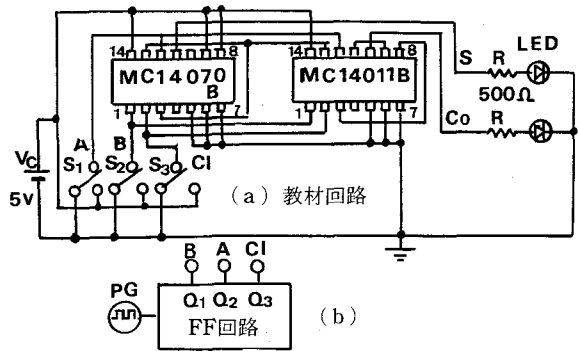


図9

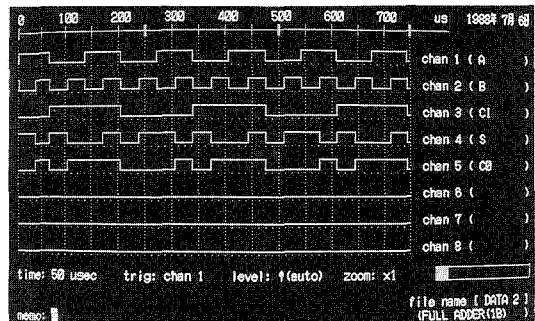
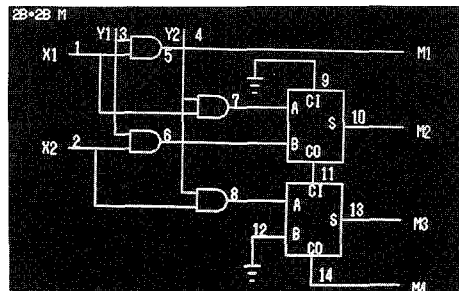
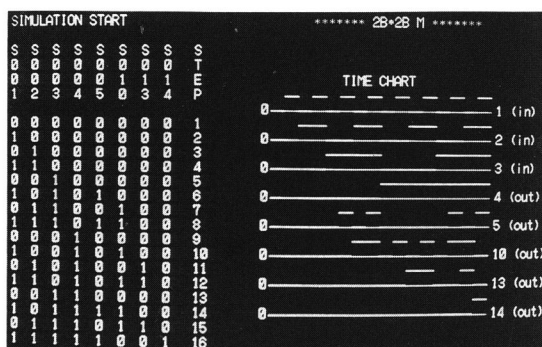


図10 実験結果

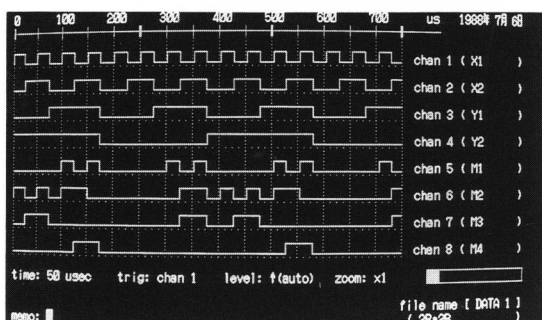


$$\left. \begin{aligned} M_1 &= X_1 + Y_1 & M_2 &= X_2 Y_1 + X_1 + Y_2 \\ M_3 &= X_2 Y_2 + [M_2 \text{の桁上げ}] \\ M_4 &= M_3 \text{の桁上げ} \end{aligned} \right\}$$

図11 2ビット×2ビット(2B×2B)掛算回路



(a) シミュレーション結果



(b) 実験結果

図12 2 B × 2 B 掛算回路の動作

の教具利用も併せて学習の展開を図れば、効果も高いものが得られよう。

### 3. 3 フリップフロップとカウンタ回路及びエンコーダ・デコーダと表示回路の実験

2つの安定状態を持った記憶素子、あるいは出力が、過去にあたえられた入力状態の時間的変化によって決まることから、順序回路とも呼ばれるフリップフロップ（略して、FF）は、通常データの記憶エレメントに用いられるとともに、これを直列及び並列に組合せ、ラッチャシフトレジスタ及びカウンタなどの構成に使用され、デジタル技術の中でも重要な回路要素として広い用途を持つ。(7) (8)

また、デジタル回路で“数”の基準となる2進数を、日常扱う10進数に近い形で取扱うためには、符合化された数値体系が必要で、この符合化数字と2進数を相互に変換するエンコーダやデコーダ、そして、数値を表示する7セグメントLEDとLCD（液晶表示器）なども基本的デバイスとして広く使われている。

従って、この課題実験では、このようなデジタル技術の最も基礎的デバイスとされるFFと、これを用いたカウンタ回路及びエンコーダやデコーダ回路と表示器を対象に、次の手順で授業の展開をする。

システムを駆動後、CALファイルのFF解説演示教材を利用し、この基本原理と相互変換法を含む、FF動作とその特徴及び用途の教授を行う。そして、図2のメニュー指定により、図13 (I) (II) に示す各種FFのシミュレーションを実施さす。

この場合、同図 (I) b のRS・FFにクロックであるトリガ入力端子Tを付加したRST・

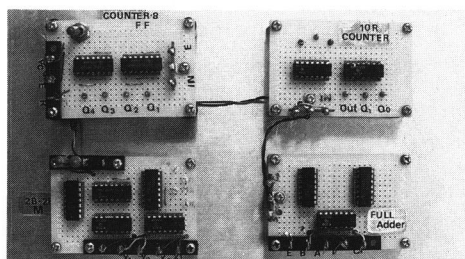


写真2 教材回路の外観

なお、本時のテーマを高専や教員養成学部で実施の場合は、BCD加算回路のシミュレーションと、補数減算及び順序方式乗・除算の教材回路実験を加え、CALファイルの利用による回路構成法と応用面の学習にウェイトを置く指導展開をする。

中学校での「情報基礎」では、図9の教材回路（全加算）が2進数演算の手ほどき学習教具として、ビット概念や2進数加算の基本的理解を図るのに役立てるとともに、4ビット加算器を用いた図21



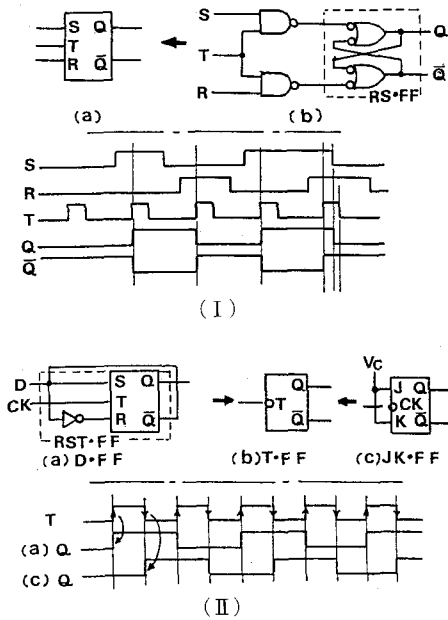
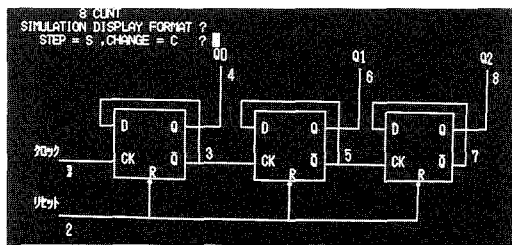


図13 FF回路

意した CAI 教材により、FF を用いるこの回路の動作原理と構成法の学習を行わせ、指導書のワーキングシートに動作のタイムチャートを作成後、回路動作のシミュレーションを実施させる。

図15は、D・FF のカスケード接続による8進カウンタ回路とそのシミュレーション結果で、この結果がワーキングシートに予想したタイムチャートと一致するか否かを確認させておく。



(a) 回路図

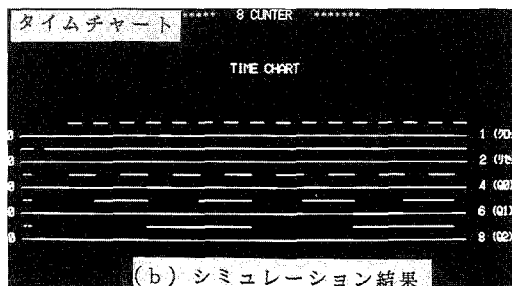


図15 8進カウンタ回路とその動作

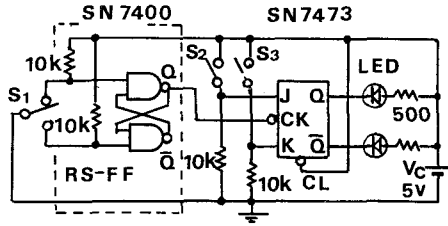


図14 教材回路

FF, これを用いて構成される遅延フリップフロップ: D・FF, この D・FF あるいは2つのデータ入力とクロック入力 CK をもつ JK・FF を用いて得る T・FF について、それぞれの入力データをキー入力させてシミュレーションを行い、その結果を同図中のタイムチャート ((I) の c, (II) の d) 及び図14に例示の教材用実験ボードによる実動実験結果と比較し、これら FF 動作の掌握徹底を図るとともに、理解度の確認をする。

カウンタ回路の実験では、CAL ファイルに用

意した CAI 教材により、FF を用いるこの回路の動作原理と構成法の学習を行わせ、指導書のワーキングシートに動作のタイムチャートを作成後、回路動作のシミュレーションを実施させる。

そして、システムをロジックアナライザとして駆動し、指導書にしたがって、この教材回路 (図15 (a)) の実動実験を行う。図16に、この実動実験結果の一例を示す。

続いて、JK・FF を用いて構成する10進カウンタ回路 (図17 (a)) のシミュレーションを、入力データのキー入力をさせて実行させ、その結果が同図 (b) のタイムチャートとなることを確認後、教材回路 (写真2) の実動実験を行わせる。図18は、10進カウンタ回路の実験結果であり、実験終了後はカウンタ回路に対する理解度の確認と用途

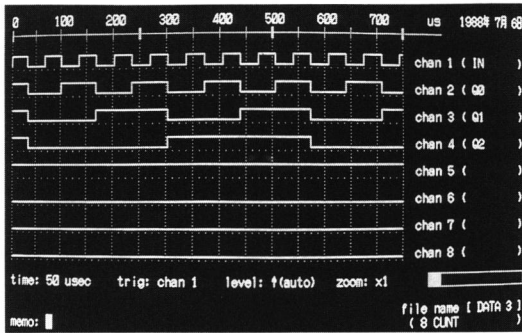


図16 実験結果

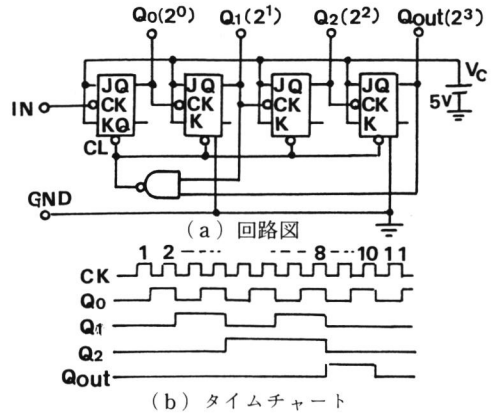


図17 10進カウンタ回路とその動作

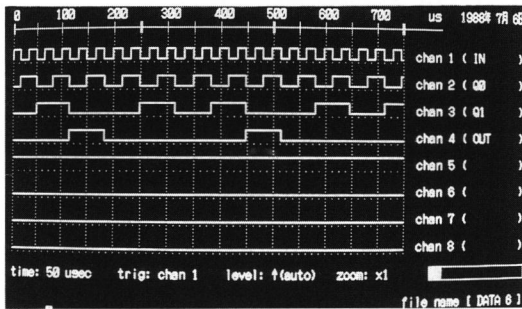


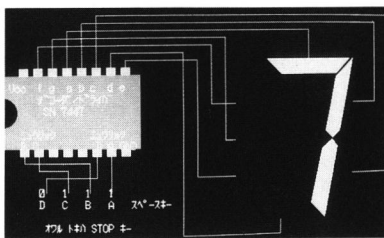
図18 実験結果

につき“まとめ”の学習を行う。

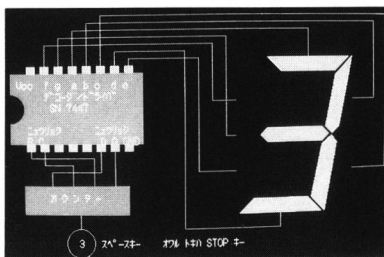
コンピュータなどのデジタル回路にデータをキーボードやデジタルスイッチなどから入力するとき、この情報をBCDコードや2進数に変換するエンコーダ回路の実験は、IC・SN74147にGS（グループセレクト）回路を付加し、10個の入力スイッチとBCD出力の検出に発光ダイオードを用いた教材回路の実動実験を行わせ、10進入力に対するBCDコード出力の真理値表を作らせることにより、回路動作の修得徹底を行わせる。

エンコーダとは逆に、BCDコードや2進数を10進数に変換するデコーダとLEDの実験では、写真3に動作のシミュレーション結果を例示のデコーダと7セグメント表示器（図19）、あるいは、これにカウンタを付加した回路のシミュレーション（同写真（b））を実施させ、この基本動作と回路構成法につき学習させます。

そして、図19の教材回路の実動実験により、同図中に示す真理値表の作成と、更に、カウンタを加えた回路（図20）のS<sub>1</sub>駆動にもなう入力に対応した表示器動作の確認実験を行う。また、図21の加減教材回路についても実動実験を実施させ、デコーダとLED表示器に関する理解度の確認を行



(a)



(b)

写真3 デコーダ回路の動作シミュレーション

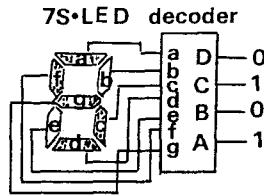
い、本時の“まとめ”をした上で2～3の考察課題をあたえ、この実験を終了する。

本テーマを高専または教員養成学部で実施の場合は、非同期、同期式のカウンタ（例・6進）やリングカウンタと可逆式シフトレジスタ回路の実験を加え、デコーダとLED表示回路の応用に関しては、3桁数字合せ器（スロットマシン）のボード上での構成実習をさせる。また、中学校での“情報基礎”では、写真3のデコーダと表示器に対するシミュレーションが、デジタル情報の表示法を教える解説演示に、図21が、これを“なすことにより学ばせる”教具として役立つ。

なお、工業高校におけるこれらの課題（項目・3.1～3.3）の実施時間は、各3時間とした。また、教員養成学部での試行実践は4.5コマ（1コマ/100分）の時間を取った。

このような高校での授業実践成果を確かめるために行った評価テストとアンケート結果は、次の通りであった。

課題毎授業時に行った動作原理等の理解度確認に対する小テストで、平均正答率が70～



DEC	INPUTS				OUTPUTS						
IMA	D	C	B	A	a	b	c	d	e	f	g
0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0
1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0
2	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1
3	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1
4	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1
5	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1
6	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1
7	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
8	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
9	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1

(a) 回路図

(b) 真理値表

図19

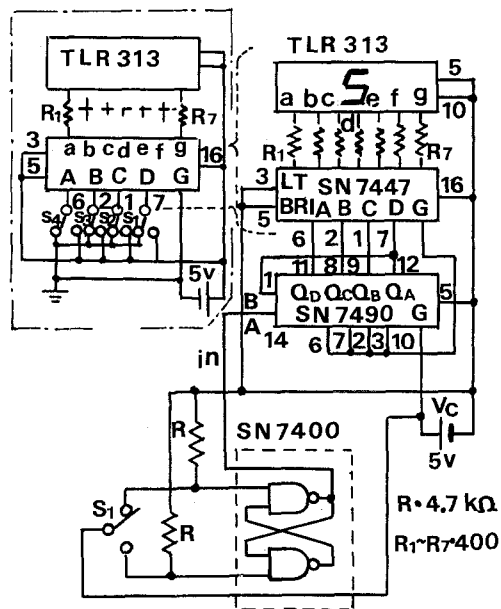


図20 教材回路

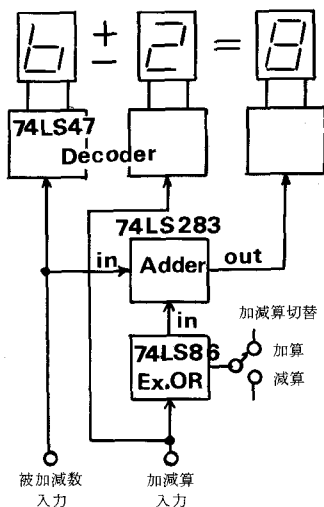


図21 加減算教材回路の構成系統図

75%（40名中）、課題終了後の事後テストの正答率は72%であり、これはパソコン支援システムを使用しない従来の授業形態のそれと比較して15%程度の正答率向上があった。

そして、授業実施後のアンケート（表1）では、このような実験指導を良しとしたものが70%、従来の授業形態と比較しいずれが理解容易であるかについては60.7%の者が、また、内容面では67.0%の者が良いとする結果を得た。更に、各課題の提出レポートでも内容面の質的向上が認められ、これらを総合すれば、本指導法の効果は高いものといえよう。

表1 授業実施後のアンケート結果

(人数：電子・38名、情報・42名)

(a) パソコンを使用した授業の形態について	
興味が大変増加した	40.0%
興味が少し増加した	30.0
どちらともいえない	26.0
興味が以前より少し減少した	3.0
興味が大変減少した	1.0

(b) パソコンを利用した授業内容の理解について	
大変よく理解できた	15.0%
だいたい理解できた	46.0
どちらともいえない	33.0
あまり理解できなかった	6.0
全然理解できなかった	0.0

(c) 従来の授業とパソコンを利用した授業を比較してみて、 どちらが理解しやすいですか	
パソコンを使用した方がよく理解できた	67.0%
どちらでも同じである	24.0
従来の方がよく理解できた	9.0

#### 4. おわりに

デジタル技術の基本となる基礎的ロジック回路のパソコン支援システムによる実験指導について、システムの構成概要と工業高校電子、情報科の2年生を対象に行った授業実践の展開事例を示し、高い指導効果が得られることを述べた。また、これを高専や教員養成学部で実施する場合の指導試案と中学校の「情報基礎」への適用についても言及した。

実践の展開は、基本的ロジック回路からカウンタ等の代表的デジタル回路の原理学習、回路の構成法とシミュレーションを通じた動作確認、そして、教材回路の実動実験による動作特性の掌握までを系統化し、学習効率の向上に配慮をして実施したが、ほぼ期待通りの指導効果が得られ、本支援システムの有効性が確認できた。

支援システムによる実験指導の特徴は、

- ①実験の学習展開が、CAL教材を活用した簡単な解説教授と指導書の参照、及びCRT画面との対話でシミュレーションや教材回路の実験が容易に行え、学習者は課題内容に集中できてCAI的学習ができること。
- ②回路のシミュレーションによる動作確認と特性の掌握、そして、実構成回路の特性実験までを、座学で学ぶ理論と実験より学ぶ実際面を統合し、かつ、これが系統的に効率よく展開できること。
- ③パソコンの計測応用の学習にも役立つこと

などが挙げられ、教育効果は高いものといえよう。

なお、変・復調回路や各種演算回路のパソコン支援による実験指導についても現在試行実践を重ねているが、これらについては、まとまりをみて別に報告をしたい。

#### 参 考 文 献

- (1) 宮内, 本田: “パソコン支援による電子回路の実験指導 (I)” 日本産業技術教育学会誌, Vol. 28, No. 3 (1986)。
- (2) 宮内, 山本, 本田: “パソコン支援による電子回路の実験指導・Ⅲ ロジック回路” 第31回日産技全大論文集, No. 421 (88-07)。
- (3) 宮内, 本田, 宮脇: “パソコン支援による電子回路の実験指導・Ⅳ 変・復調回路” 第4回日産技四国支部大会論文集, No. 05 (89-11)。
- (4) 宮内, 本田: “パソコン支援による発振回路の実験指導” 日本産業技術教育学会誌, 第32巻, 第1号 (1990)。
- (5) “LOA98, ロジアナ98マニュアル” アスコム株式会社。
- (6) 末次ほか: “論理回路シミュレータ入門” インターフェイス, 1986-01別冊付録。
- (7) 柏木訳: “デジタル技術入門” 丸善。
- (8) 中村: “電子回路 (2) デジタル編” コロナ社。
- (9) 猪飼: “デジタル・システムの設計” CQ 出版社。
- (10) “デジタル IC データブック” テキサスインスルメンツ。