

# CAI とモジュールボードを用いた電子回路教材システムの開発

川内職業能力開発短期大学校 楠 原 良 人

Development of Electronic Circuit's Teaching Material System Using CAI and Module-Bord  
Yoshito KUSUHARA

**要約** 工業系の技術の修得においては、それに付随する実際の機器や装置を用いた実物教材<sup>(2)</sup>の学習が不可欠である。この教材を補って思考力や理解力を向上させるための修得教材<sup>(2)</sup>として、視聴覚教材やコンピュータ教材<sup>(2)</sup>が利用されている。本研究では、コンピュータ周辺のアナログインターフェースの電子回路について、最少限の学習要素を抽出し、技術教育の一手法として、実物教材としてモジュールボードを、コンピュータ教材としてCAI(Computer Assisted Instruction)を用いた電子回路教材の開発を行い、その教育効果を模索しようとするものである。

電子回路の基礎をCAIの特長である「視覚的学習」と「対話的学習」により習得し、モジュールボードにより、回路現象として確認する「体験的学習」によって、技術を修得する。これにより、初学者には、難解と取られがちな電子回路の基礎を、演繹的に学ばせる教育訓練が展開できるものと思われる。

本報文では、研究開発したCAIとモジュールボードおよび学習指導書の3教材ユニットのそれぞれについて、構想、企画、設計、開発結果を報告し、最後にその利用方法について述べている。

## 1 まえがき

電子回路の技術教育は、近年の集積回路技術の変遷と相まって、IC(Integrated Circuit)を中心にして実践されるようになってきている<sup>(1)</sup>。この回路の分野は、アナログIC回路とデジタルIC回路に大別され、前者に代表されるOP-AMP-IC(Operational Amplifier-IC)と後者に代表されるTTL-IC(Transistor Transistor logic-IC)は、ICを汎用のディスクリート素子として電子機器・装置に組み込む傾向にある今日、電子回路の基礎技術として重要な位置を占めるようになってきている。

電子回路の学習方法は、動作原理の理解や回路解析のために必要な知識を実験・実習により具体化し、それらを有機的に結合して理解することであると考えられる。本研究では、近年、コンピュータ周辺のアナログインターフェースの回路要素として用いられるよう

になってきた、OP-AMP-IC回路に関して、技術教育上、必要とする最少限の学習(回路)要素を抽出する。そして、それらを基板化(以下、モジュールボードと言う)し、回路現象の確認が容易な実物教材<sup>(2)</sup>を開発する。さらに、この学習要素の知識・技術を習得させるための指導技法として、CAI(Computer Assisted Instruction)を使用することとし、コンピュータ支援による技術教育の可能性を探るものである。

CAIは、工業系専門課程の教育分野においても、その効果が報告<sup>(4)-(7)</sup>されており、有効な電子メディア教材と考えられる。このことから、抽出した要素を基にCAIコースウェアを試作し、モジュールボードとCAIを駆使することで、実技と学科を融合した教育の可能な学習装置を開発する。

本研究の目的は、この装置によって、従来にない電子回路教材システムの構築を行い、工学技術における教育効果を模索しようとするものである。市販されて

いる多くの電子回路の学習装置は、次のような難点が考えられる。

- ①装置自体が大型で、実習スペースをとるものが多く高価なものが多い。
- ②マニュアルが読みにくく、操作方法を会得するまでに時間がかかる。
- ③装置に付属している指導書についても、実際の指導には、適用しにくいものが多く、自作の資料を作成せざるを得ない。

これに対して、本研究の教育訓練システムは、次のような特長をもたせることが可能と考えられる。

- ①電子回路の知識や技術を学ばせる上で、CAIの特長である、動画面や彩色画面を活用することで、「視覚に訴える指導」が可能となり、付加価値の高い教材として構成できる。
- ②CAIによって「対話学習」が実行できる環境となり、自学学習も可能となる。
- ③学習要素を構造化したCAIコースウェアにより、学習者の進度に応じた「プログラム学習」が可能となる。
- ④CAIによって習得した知識をモジュールボードを用いて、実際の回路現象として確認することで、「実技と学科の融合教育」が可能となる。

以上の内容を前提として、本システムを構築するに当たっての具体的な研究事項として、学習要素の抽出およびCAIコースウェア、モジュールボード、テキスト教材（以下、学習指導書と言う）の3つの教材ユニットの開発が挙げられる。

## II システムの開発過程

### 1 学習要素の抽出<sup>(2)(3)(8)~(12)</sup>

最近の電子回路の応用技術は、ディジタルコンピュータの目覚ましい発展に伴って、アナログ技術とディジタル技術が渾然一体化する傾向にある。このような状況において、本教材の学習要素を抽出する根拠としては、特に、コンピュータインターフェースを核

とする、CPU（Central Processing Unit）周辺に用いられるOP-AMPの基本電子回路とした。選定作業のベースとした周辺回路のモデルブロックダイアグラムを図1に示す。増幅、演算、非線形の各回路は、入力信号が物理信号から電気信号へ変換された後の信号の加工・伝送に必要なものであり、A/D（Analog to Digital）変換、D/A（Digital to Analog）変換はCPUが、信号を量子化あるいはホールドする際に不可欠な回路である。フィルタは、信号の選別に重要な役割を担う回路であり、発振回路はA/D変換他の応用回路の駆動に必須である。次に、本システムを利用する対象者のモデルとして、在学者、在職者の双方を想定し、次のような定義づけを行った。

- ①在学者としては、電気・電子系の一般的なカリキュラムに登場する「電子回路Ⅰ・Ⅱ」程度の学力を有し、電子計測器の操作のできる者。
- ②在職者としては、電子技術に関する実務経験と知識を、ある程度有する中堅技術者で、電子計測器の操作のできる者。

以上のような考え方を基本として、抽出した学習要素の構造化図を図2に示す。各節に学習要素、各項に学習項目を設定し、コンピュータ周辺のインターフェースに用いられるOP-AMP電子回路の基礎を網羅するよう選定している。

### 2 CAIコースウェアの設計

CAIは、学習コースウェアと実習コースウェアの2つのコースについて、設計を試行している。各コースは、次のような2つのフレーム（画面）群により構成されている。

#### (1) 学習コースウェア

##### ①知識フレーム群

各回路要素の基礎知識と応用知識を表現したもので、回路の動作原理、回路の解析、回路の特長、回路の用途などのフレームの集まりである。

##### ②問題フレーム群

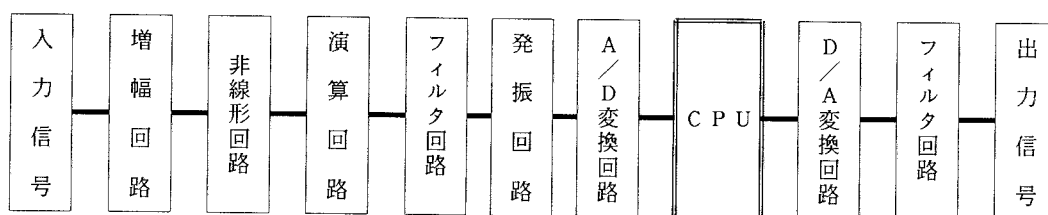


図1 CPU周辺回路モデルブロックダイアグラム

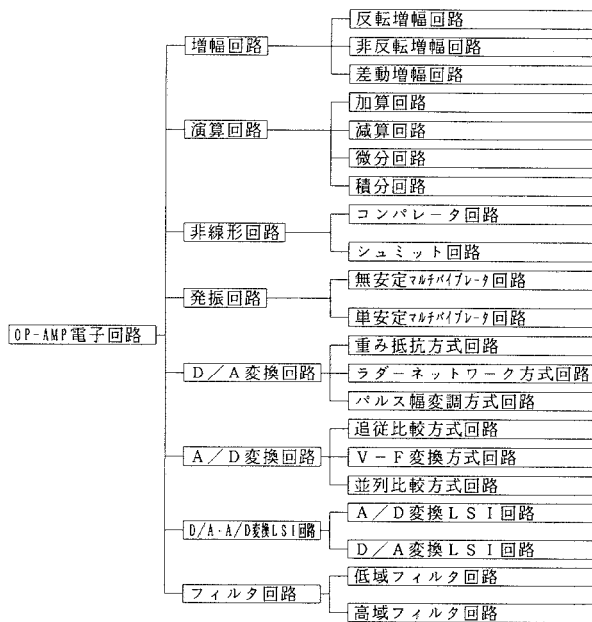


図2 CPU周辺OP-AMP電子回路の構造化

知識フレームによる習得内容を、演習によって確認するためのもので、計算問題、択一問題、正誤問題などのフレームの集まりである。

## (2) 実習コースウェア

### ①導入フレーム群

モジュールボードを使用して、実習を行う導入の部分で、実習目標、モジュールボードの概要、モジュールボードの使用法、機器の接続法などのフレームの集まりである。

### ②実習フレーム群

CAIの指示に従って実習を進めて行く際の手順や順序を表現したもので、実習手順、研究考察などのフレームの集まりである。

以上のフレーム群が組み合せられた学習コースにより知識を習得した後、実習コースとモジュールボードにより、実際の現象として確認できるよう設計している。CAIの実行フローチャートの概略を図3に示す。コースの流れは、CAIを起動すると初期メニューとなり、学習コースの中で学習すべき回路を選択する。回路の特長や動作原理などの知識フレームの後、問題フレームへと自動的に移行し、キー入力待ちとなる。ここで、CAIの指示に従って、解答を入力すると、入力データが誤答の場合は、KR (Knowledge of Results) 情報が提示され、再入力を促す。正解すると、次の学習へ進行出来るように設計されている。実習コースは、モジュールボードを用いて、学習する際に必要な導入フレーム表示の後、実習フレームへと移行して、CAIの表示する手順に従って実習し、回路現象を確認する設定となっている。

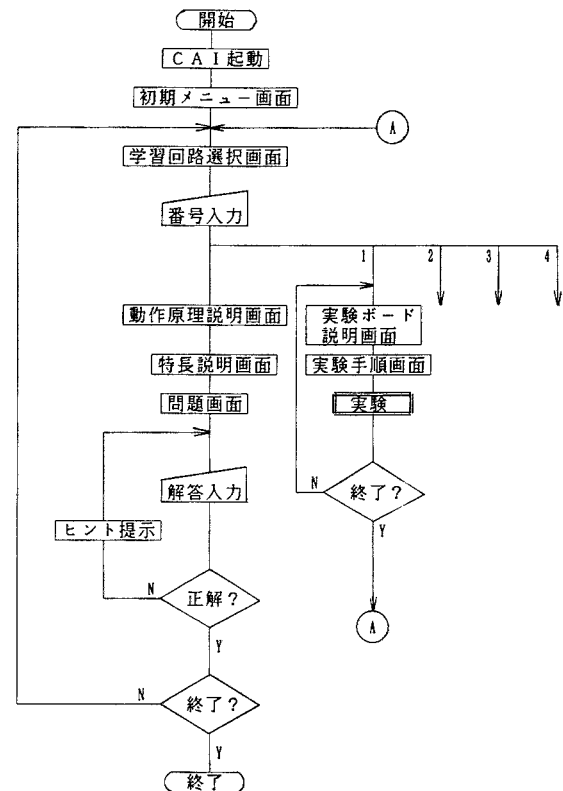


図3 CAI実行のフローチャート

## 3 モジュールボードの設計

抽出された学習要素は、モジュール化する際に事前に予備実験を行って回路設計するとともに、ボードの大きさは、本教材システムがCAIを中心に利用されることを念頭に決定する必要がある。したがって、学習者は、一人当たり表1に示すような機器が必要であり、テーブル上は、パーソナルコンピュータとモニターディスプレイ、計測器などで学習環境の領域の殆どを占有されてしまう。このことから、モジュールボードの仕様は、小型・軽量で、かつ実習に必要な電源回路、発振回路を内蔵したものが要求される。この他に基板の破損防止や保管のためにケースへの収納も重要な要因と考えられる。

以上を整理して、仕様を具体化したものが表2である。電源はOP-AMPを中心に、C-MOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) デジタルICを用いる回路も存在するため、ボルテージレギュレータICによって、DC±12Vを基準として出力できるようにしている。発振回路は、専用の精密波形発生ICを組み込んでおり、矩形波、正弦波、三角波について出力できるよう設計している。

## 4 学習指導書の企画

学習指導書は、本教材を使用する際の指針となるべきユニットであり、これによってCAIソフトウェア、

表1 学習者一人当りの主たる必要機器

| 分類        | 機器名称        | 規格                                                                                                              | 所要台数 | 用途         |
|-----------|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------------|
| C A I 用機器 | パーソナルコンピュータ | PC9801 VM/VX/UV/CV/RX/RA                                                                                        | 1台   | C A I 駆動用  |
|           | モニタディスプレイ   | 15インチカラー, 高解像度(600ドット×400ライン)<br>アナログRGB入力<br>(相当機器)                                                            | 1台   | C A I モニタ用 |
| 補助計測機器    | オシロスコープ     | 入力感度: 1mV/DIV~5V/DIV<br>周波数帯域: DC~200MHz, 測定CH: 2CH以上<br>入力インピーダンス: 1MΩ±1%<br>(相当機器)                            | 1台   | 入出力波形観測用   |
|           | エレクトロニック電圧計 | 測定範囲: DC0.1, 0.3, 1, 3, 10, 30Vレンジ<br>入力抵抗: 10MΩ以上<br>精度: ±2%以内<br>(相当機器)                                       | 2台   | 入出力電圧計測用   |
|           | 周波数カウンタ     | 測定範囲: 10Hz~200MHz<br>入力電圧: 20mV <sub>rms</sub> ~20V <sub>rms</sub> (減衰器1/20)<br>計数時間: 10ms, 0.1S, 10S<br>(相当機器) | 1台   | 周波数計測用     |

表2 モジュールボードの仕様概要

| 項目      | 内 容                                                                         |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------|
| 入力電源電圧  | 交流100V 50/60Hz                                                              |
| 直流電源部   | 正出力電圧: +12V, 出力電流: +500mA, 1.0mV/°C<br>負出力電圧: -12V, 出力電流: -500mA, 0.8mV/°C  |
| 発振回路部   | 正弦波, 三角波, 矩形波 3出力可, 温度係数: 50ppm/°C<br>矩形波: $V_{o-p}=0\sim12V$ , 20Hz~300kHz |
| 主たる使用素子 | C-MOSディジタルIC, Bi-MOSアナログIC<br>Bi-FETアナログIC, A/D・D/A変換LSI                    |
| 消費電力    | 約10W                                                                        |
| 収納ケース外形 | 約260W×200D×50H mm                                                           |
| 基板外形    | 約200W×100D×2H mm                                                            |
| 重量      | 約830g                                                                       |

モジュールボードの各教材ユニットの特長を引き出せるよう企画することが肝要である。また、集合教育、チュートリアル学習のいずれにおいても、教育効果を発揮するように設計する必要があることから、次の3項目を重要なポイントとして編集した。

①本教材のねらい

②モジュールボードの取り扱い方法と実習の進め方

③CAIの操作方法と学習の進め方

①の項目は、本教材を使用する際の学習目標と効果であり、②はモジュールボード取り扱い上の注意事項や計測器による回路現象の確認方法などである。③はCAIの起動と実行の方法及び学習履歴ファイルの利用方法などである。

### III システムの開発結果

#### 1 CAI コースウェアの開発結果

CAI コースウェアは、II.2節で述べたフレーム構想とコース設計を基盤として、市販のオーサリングシステム<sup>(4)</sup>により制作を試みた。実際に試作したD/A変換回路について、幾つかのフレームの例を写真によって示すとともに、その画面内容に触れる。まず、写真1・写真2は、図3で示されるフローチャートの初期メニューと、選択した回路画面である。学習者が希望する番号を入力すると、選択した回路名を表示させ、学習の開始を知らせる画面である。次に、写真3は知識フレーム群の「回路の動作原理フレーム」であり、写真4は「回路解析フレーム」である。写真5・写真6は問題フレーム群の「計算問題フレーム」である。写真5が誤答を入力したとき、それに対するKR情報が提示された状態である。写真6は正解が入力されたときの応答メッセージである。写真7は実習コースウェアの導入フレーム群に属し、「モジュールボードの概要フレーム」であり、写真8は実習フレーム群の「実習手順フレーム」である。このような、フレームの構成をD/A変換回路のコースについて、まとめたものが表3である。同表が示すように、1つの学習要素のコースを完結するには、概ね、20枚~30枚のフレームが必要となる。

#### 2 モジュールボードの開発結果

モジュールボードの設計仕様にに基づき、試作したD/A変換回路のプリント基板と部品実装した基板の例

表3 フレーム構成 (D/A変換回路の例)

| 学習要素            | コース名称      | 学習項目の名称                           | 構成フレーム群 |         |
|-----------------|------------|-----------------------------------|---------|---------|
|                 |            |                                   | 知識フレーム群 | 問題フレーム群 |
|                 |            |                                   | 13枚     | 3枚      |
|                 |            |                                   | 導入フレーム群 | 実習フレーム群 |
| D/A<br>変換<br>回路 | 学 習<br>コース | 重み抵抗方式<br>ラダーネットワーク方式<br>パルス幅変調方式 |         |         |
|                 | 実 習<br>コース | 重み抵抗方式<br>ラダーネットワーク方式             | 2枚      | 3枚      |

を写真9に示す。横200 mm×縦100 mmの基板を電源回路部と実習回路部とに分離し、実習回路部は、さらに学習項目ごとに分割している。基板上は、入出力電圧の測定や波形観測が容易となるように、随所に、切替えスイッチやロータリースイッチ、テストピンを配した。このような配置とすることで、CAIの実習コースとの連携が良好になり、学習進行がスムーズになる。写真10は、小型のフレキシブルケースに収納して、緩衝材により基板保護を施したもので、持ち運び、保管が容易になると考えられる。

### 3 学習指導書の開発結果

完成した学習指導書の例を写真11・写真12に示す。写真11は、製本された「D/A変換回路の学習指導書」と「CAIソフトウェア」であり、写真12は、その構成の一部である。指導書はA4版で、概ね、20～25ページの範囲内で完結することを目安にして試作している。このユニットがベースとなって、他の教材ユニットの有効活用が図られる。

## III あとがき

電子回路教育の一手法として、CAIとモジュールボードおよび学習指導書の各教材ユニットを複合化して用いることにより、理論と実験を同時に指導可能な教育訓練システムの設計思想と、試作結果について述べた。本システムは技術教育の中で、CAIが単なる反応教材となることのないよう、その習得内容をチェックするために、実物教材であるモジュールボードを併用して、学習者へのモチベーションを行うところにある有益性があると考えられる。また、各ユニットの特長を生かしながら、階層化された学習要素を修得することで、より効果的な教育訓練が展開できるものと思われる。

本システムを利用した教育環境の一例として、次のような状態が想定される。即ち、学習者の周辺には、モジュールボードとコンピュータが配置され、CAIによって、学習要素に関する専門知識の習得や演習問題を行った後、モジュールボードと補助計測器を用いて

実験を行い確認する。この手順を踏むことによって、前述のCAIの視覚に訴える学習効果が期待できるとともに、コースに沿った学習プログラムを独自に遂行することが可能となる。また、さらに、本システムを利用する学習者の可能性を検討すると、筆者の所属する職業能力開発短期大学の専門課程の学生や能力開発セミナーなど、中・短期的な教育訓練講座の技術者。あるいは、この他の一般的な工業系専門教育機関の学習者などが想定される。

現在、このシステムは、試作の途上にあり、今後、現場の技術教育に実践活用し、その評価を行う必要があるとともに、改良を加えていくことが課題である。

最後に、本研究のCAIの制作に協力してくれた、本校卒業生の岩城奈津美君に謝意を表わすとともに、本教材の開発には、平成4年度指定研究費を執行させて頂いた。竹下寿雄校長はじめ本校教職員各位、雇用促進事業関係各位に厚く御礼申し上げる次第である。

### 参考文献

- (1) 赤碓正則他7名：ハイテク時代における電気・情報の教育、電気学会誌、109巻、5号、1989
- (2) 佐藤隆博著：教育情報工学入門、コロナ社、1989.1
- (3) 佐藤隆博著：教育情報工学の応用、コロナ社、1991.12
- (4) 荒木慶和：“試験及び自習に共用可能な「半導体工学用」CAIシステムの開発”、CAI学会誌、Vol.5、No.3、1988
- (5) 荒木慶和：“CAIを導入した「半導体工学」の授業のアンケートによる評価”CAI学会誌、Vol.6、No.2、1989
- (6) 丹羽次郎他3名：“工業系専門課程におけるCAIの実践と評価”CAI学会誌、Vol.6、No.4、1989
- (7) 石野久美子：“技術教育におけるCAIの可能性”、CAI学会誌、Vol.8、No.4、1991
- (8) 角田秀夫：実験によるオペアンプ回路とその解析、東京電機大学出版局、1982.7
- (9) シリング／ピラプ著、山中惣之助訳：電子回路II、マグロウヒルブック、第8章、1985.9
- (10) シリング／ピラプ著、山中惣之助訳：電子回路III、マグロウヒルブック、第15章、1985.9
- (11) スタウト著、加藤康雄訳：演算増幅器回路設計ハンドブック、マグロウヒルブック、1983.6
- (12) 雨宮好文：インターフェースの電子回路入門、オーム社、1984.8
- (13) D.P.社：マイオーサーマニュアル、1989

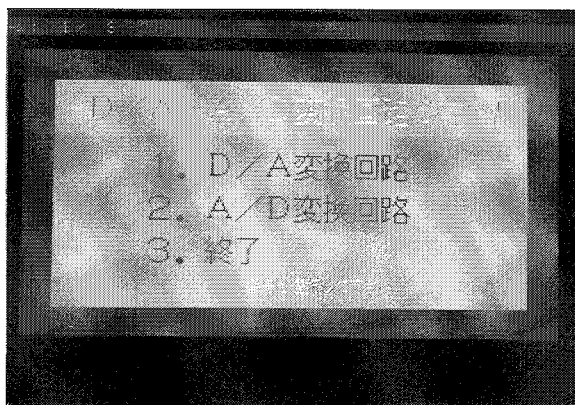


写真1 初期メニュー画面

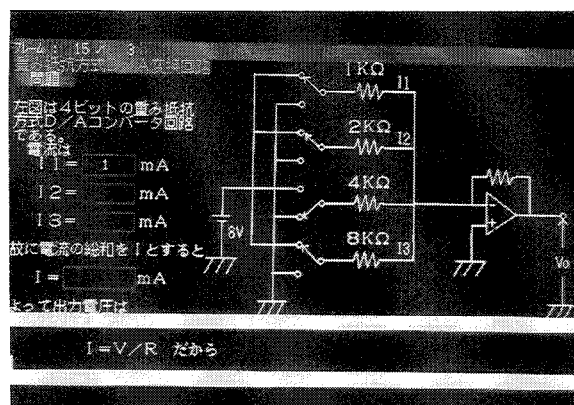


写真5 計算問題フレーム (KR情報表示)

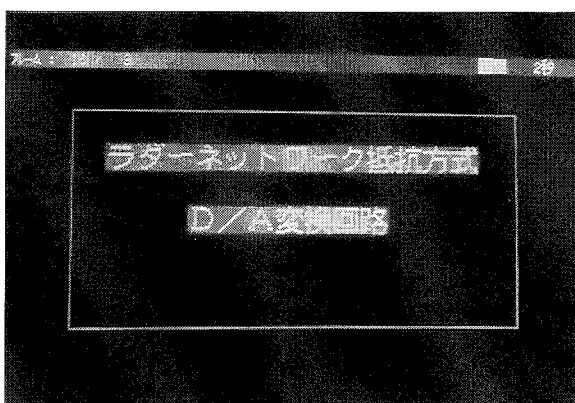


写真2 選択回路表示画面

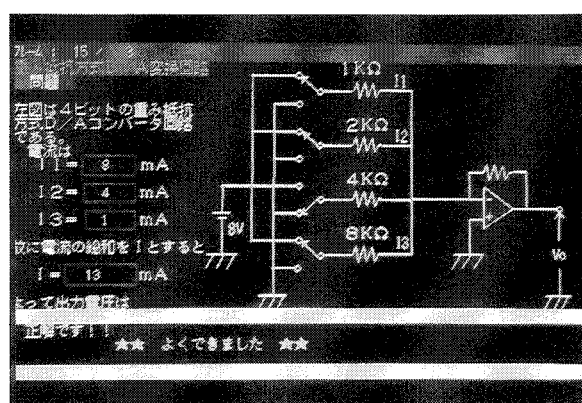


写真6 計算問題フレーム (応答メッセージ表示)

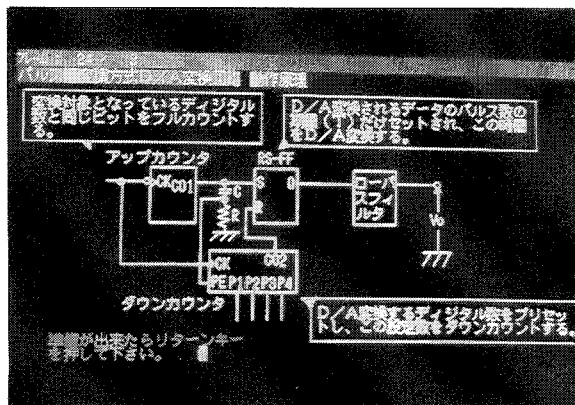


写真3 回路の動作原理フレーム

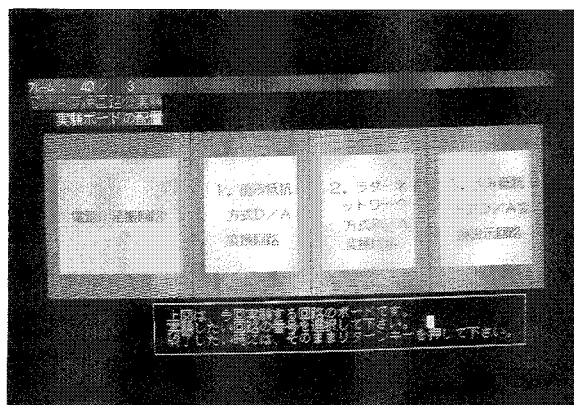


写真7 モジュールボードの概要フレーム

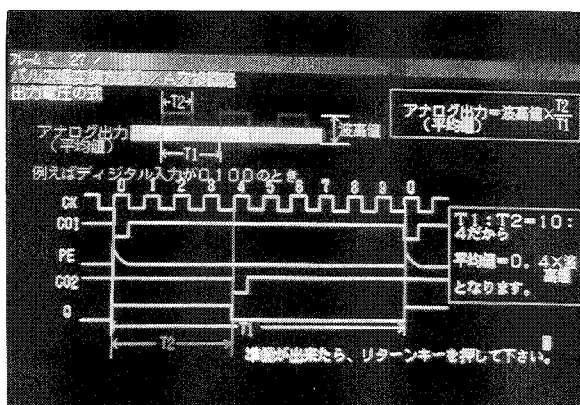


写真4 回路解析フレーム

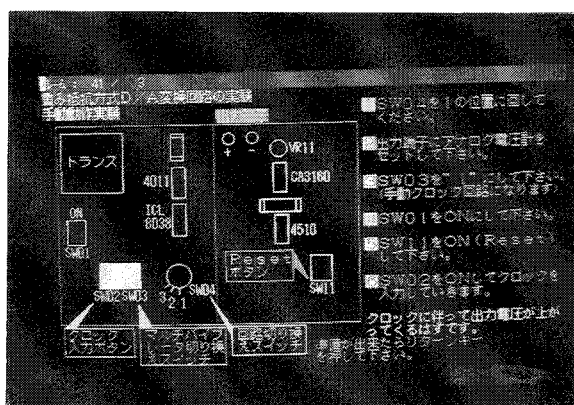


写真8 実習手順フレーム

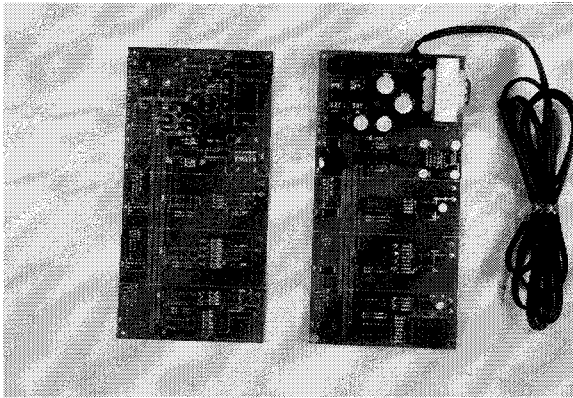


写真9 プリント基板と部品実装基板

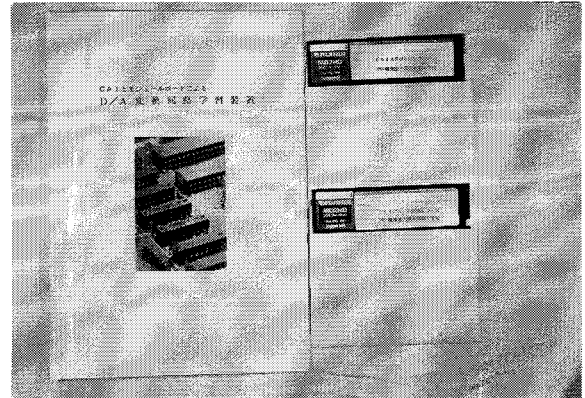


写真11 学習指導書とCAIソフトウェア

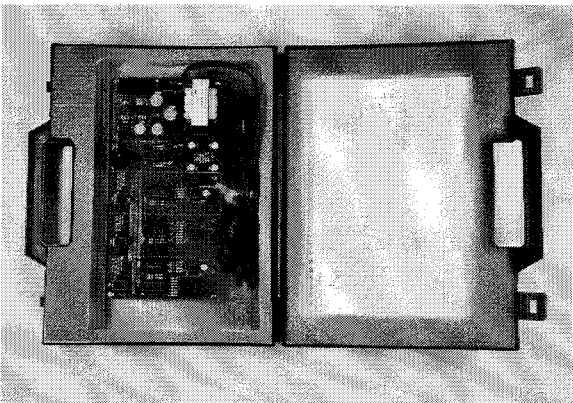


写真10 モジュールボード（ケース収納後）

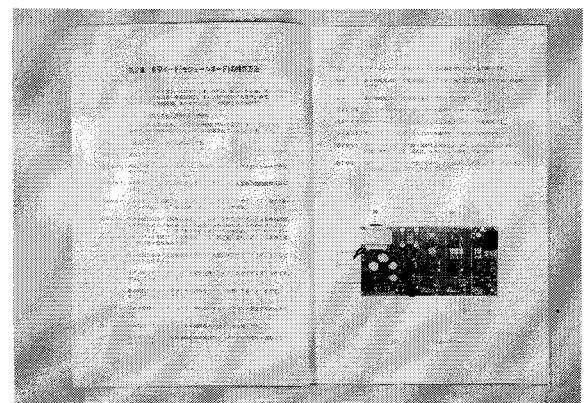


写真12 学習指導書（指導書の内部構成）