

## 論理回路シミュレーション

生方俊典\* 吉田信也\*\* 大原栄一郎\*\*\* 渡井二三男\*\*\*\*

\*東京都立航空工業高等専門学校 \*\*千葉職業能力開発短期大学校 \*\*\*大東産商株式会社 \*\*\*\*城西大学

\*荒川区南千住8-52-1 \*\*千葉市中央区問屋町2-25  
\*\*\*千代田区神田須田町2-17 \*\*\*\*坂戸市けやき台1-1

あらまし 現在の中等教育内容は、知識の詰め込みが中心となっており、既知の事柄を組み合わせ、何かを作るといったことや応用力まで発展させる、といったことは少い。論理回路に関する授業でも、実際に回路を作り、実験を行い、その結果を次の授業にフィードバックさせるといったことまで行えないのが現状である。このようなことでは、回路がブラックボックス化してしまい、学生の興味をそぐ結果となり、教育効果としては、十分とはいえなかった。しかし近年、大規模なPLAやCADソフトが市販されるようになり、測定機器も充実し、記憶機能も使用できるようになった。そのため複雑な回路まで実験で扱うことが可能となった。これらのことをふまえて、学生にとって、複雑と考える実験の検討を行った。

和文キーワード 技術教育 デジタル回路 配線 論理回路 シミュレーション PLA

## SIMULATION OF LOGICAL CIRCUIT

Toshinori UBUKATA\* Shinya YOSHIDA\*\* Eiichiro Ohara\*\*\* Humio SIBUI\*\*\*\*

\*Tokyo Metropolitan College of Aeronautical Engineering

\*\*Chiba polytech College \*\*\*DAITO SANSHO CO.,LTD \*\*\*\*Josai University

\*Mimanisenju 8-52-1 Arakawa-ward Tokyo Japan

\*\*Tonyamachi2-25 Tyuuou-ward Chiba-city Chiba Japan

\*\*\*Kandasudatyou2-17 Chiyoda-ward Tokyo Japan

\*\*\*\*Keyakidail-1 Sakato-city Saitama Japan

### Abstract

This paper described one of the portion of engineering education technic that mainly focus on the digital circuits and it's networks.

By introducing the newly developed education system, this creative contrivance is to derive student's interest in study the digital circuit theories.

Finally, the summary defines the fruits of the introduction of this education system.

英文 key words Enginerrring education Digital circuit Network Logical circuit Simulation PLA

### 1. まえがき

コンピュータのハードを理解させる上で、論理回路の授業は欠かすことができない。しかしながら、論理回路に対して興味を示さない学生も多く、理解させることは容易ではない。理解させる手助けとして、実験・実習があるが、市販のキットでワンボードマイコンを作成するといった実習では、プラモデルを作る感覚であり、接着剤の代わりにハンダを使用するといった状態である。この状態は、入学当初では問題とならないが、修学内容ともなると、技術内容そのものを理解できるようにする必要性がでてくる。実験では、OR回路などの数種類の実験は行っているが、順序回路などの複雑な回路は、ブロック図で扱うため、回路がブラックボックス化しやすく、内容を理解させる上では、十分とはいえなかった。しかし、大規模なPLAの市販および、回路図からPLAにダウンロードできるツールが市販されるようになり、測定機器も充実し、複雑な実験も可能となった。今回は、順序回路実験から、符号器のシミュレーションまで行えるようなシステムを構築した。内容は、ロジックアナライザで、模範解答を用意しておくき、複雑な回路を実験で組んだ場合の動作確認も、学生自身が行なえるようにした。また、1題のみ、配線図の中にあるミスを入れておき、このミスを探させるようにした。このような手法を導入して、教育効果のアップを図っている。今回は、この方法全体について報告する。

### 2. 論理回路実験の難解点及び問題点

本学では、論理回路の実験を第3学年以上で行っているが、論理回路そのものもいくつかの難解点がある上に、一部自作の回路<sup>(1)</sup>もあり、実験において、支障の起こる場合がある。この支障のある場合を整理し、解決策を探した。

論理回路の実験が難解な点は、以下の2点にあると考えられる。

- ① 同じ機能を持つ回路が複数存在する（主に組み合わせ回路：図1(a)～(d)、図2(a)～(b)）
- ② 入力と同じでも出力が異なる回路がある（順序回路）。

①については、最善の回路がどれであるか特定しにくく、同じ機能を発揮する回路であるという点からは、回路をブラックボックス化して、取り扱ってしまう、回路例を丸呑みにしてしまう結果、基本となるOR回路・AND回路・NOT回路のがどのように組み合わせられて回路が構成されているか、理解するのが難しい状況となっているのが現状である。

②については、時間の流れまでを考えなくてはならないため、回路を見ただけでは、動作が解りにくいとい

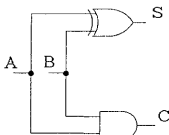


図1 HA (a)

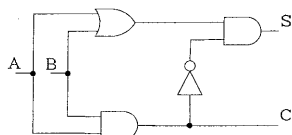


図1 HA (b)

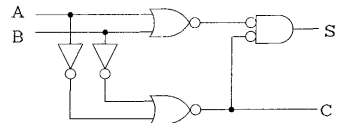


図1 HA (c)

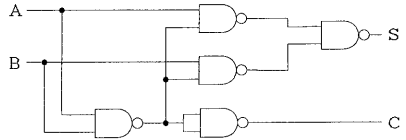


図1 HA (d)

ったことがある。

また、実験の問題点としては、以下の点にあると考えられる。

- ① 配線が多くなると、配線ミスや接触不良の箇所を見つけ難くなる。また、小さい頃から、簡単な機械するオモチャにしてこなかったため、機械操作の経験が少なく、動かない場合の対処の仕方が身に付いていない。
- ② 実験中にOR回路などを壊した場合に、実験そのものが、不可能となり次のステップの実験ができなくなってしまふ。

①は、実験中にトラブルが発生した場合、原因をつきとめるのに時間がかかり、実験が終了できない。また、②では、次の実験にも支障がでるのが現状である。

### 3. 解決策

このような問題点を解決するため、論理回路を作るに当たって、ワイヤーで配線するのではなく、PLAのトレーナーを用い、いままでのような配線トラブルに神経を使わせるのではなく、回路の論理学習に集中できるようにした。また、回路そのものを考えさせるといった意味から、誤った回路図を入れておくことにした。実験結果については、ロジックアナライザで測定し、正解のタイミング・チャートと比較させることにより、回路が正しく動作しているか否かを判断させることにした。このようにすることによって、個性的（短気）な学生にとっても、実験が無理なくできるように考えた。また、OR回路などを壊すといったこともなくなるので、次の実験に支障がでるといったことも、さけることができるようになった。

### 4. 機器構成（写真1～写真3）

パソコンは2台使用し、1台目は、回路図を作成し、回路図からデータを生成し、ロジックトレーナーにダウンロードするためのもので、システム動作周波数20MHz、5" FDD2台内蔵、1.6Mユーザーズメモリ実装、ハードディスク240MBを追加（最低40MB必要）。2台目は、ロジックトレーナーの動作確認を行うために、ロジックアナライザに接続するためのもので、ノート型パソコンを使用する。

作成したデータは、RS232Cケーブルにて、ロジックトレーナーにダウンロードする。

ロジックトレーナーは、XC3020を用いて、論理回路設計の教育用に開発された、トレーナーで入力信号設定12点、出力信号設定12点のロジックトレーナーである。

ロジックアナライザは、パソコン接続型で、80

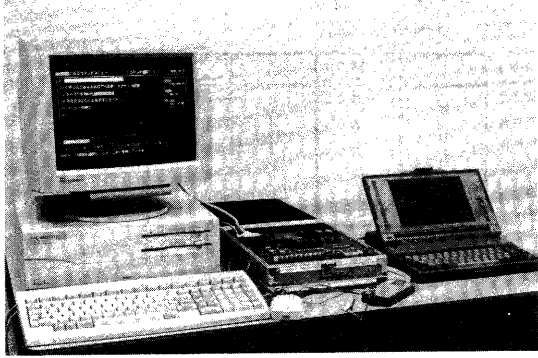


写真1

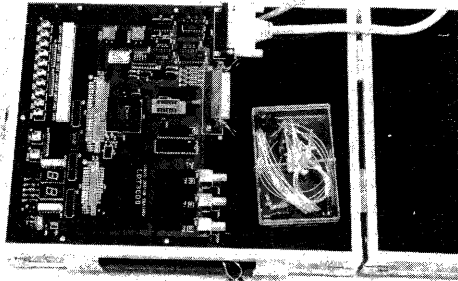


写真2



写真3

MHz, 8chのものである。

## 5. 実験方法

### 5.1 クロック利用

このロジックトレーナーは、1MHzのクロック信号を発生しているので、データ入力については、この信号を使用する。入力信号が複数必要となる場合は、クロック信号が1種類であるので、この信号をTFFにて分周して使用する。そのため、5.2以降で回路図を作成するときには、入力信号まで作図してあるファイルから行う。

### 5.2. 回路例

- (1) 加算器 (HA・FA) (図1(a)~(d), 図2(a)~(b))

加算器は、実際に行われている計算を例に説明することができるので、論理回路のイメージを植え付けるの都合であるが、反面組み合わせ回路の例が多種になるので、理解はさせ難くなる。実験中は加算のルールを説明し、その結果半加算器において、 $2^0$ の桁はEXOR回路になり、 $2^1$ の桁はAND回路になることから、回路例を説明し、動作確認については、タイミング・チャートを取らせる。

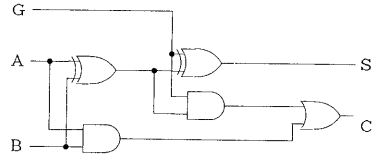


図2 FA (a)

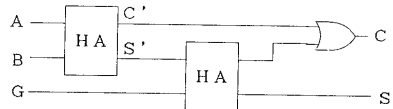


図2 FA (b)

- (2) フリップフロップ (SR・JK・D) (図3)

FF回路については、SRFFを例にし、何も外部から働きかけを行わない場合、状態が変化しない(記憶)。また、Sでセット、Rでリセットを意味しているため、セット及びリセットを同時に命令することは禁止であることを理解させ、JKFFのトグル動作について説明を行い、JKFFのタイミング・チャートを取らせる。

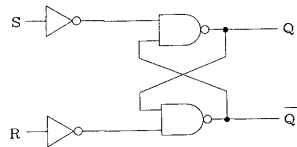


図3 SRFF

- (3) フリップフロップの応用 (カウンタ・シフトレジスタ・符号器)

FF回路の応用としては、修学に応じてカウンタ回路(図4)、シフトレジスタ(図5)と進めている。

さらに、卒業研究につなげるため、巡回符号の例として、符号器(図6)を考えている。この場合では、 $1+1=0$ についてのギャップが多く感じられる。

$X_5 \sim X_8$ の出力は以下のように巡回する。

$$X_5 = X_1 + X_3 + X_4$$

$$X_6 = X_2 + X_4 + X_5 = X_1 + X_2 + X_3$$

$$X_7 = X_2 + X_3 + X_4$$

$$X_8 = X_1$$

したがって、巡回符号となる。また、この符号の作り方は、ハミング(7,4)符号であるので、ビット誤りを起こしても、複号が可能であること

を説明する。この例の授業は十分に時間をとっている。

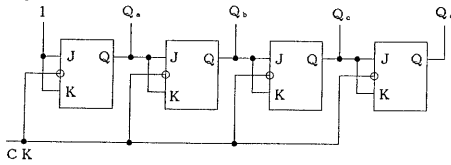


図4 カウンタ

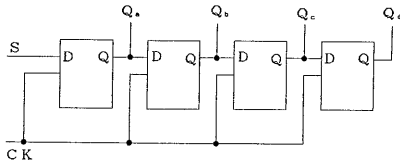


図5 シフトレジスタ

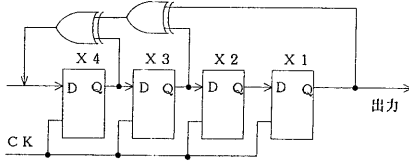


図6 符号器

### 5. 3. 誤った回路図 (図7)

実験では、常に正しい結果を求めることになっているが、マニュアル通りに実験を行うと、理解しているか否かを問わず、正しい結果が出てしまう。このようなことでは、考える習慣が付きにくい。そこで誤った回路をあらかじめ与えて、誤った箇所について探させることにした。現在の学生の集中力の持続時間は、以外に短い。したがって、短時間で誤りが找せられる状態となっていないと、学生があきらめてしまう。このようなことから、ワイヤーを使う配線に比べ、線を辿っていく負担が少なくなるので、学生にとっては、誤りを探し易くなった。

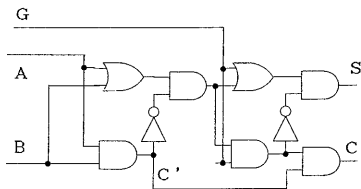


図7 誤配線の全加算器

### 5. 4. ファイル変換およびダウンロード

CADで作成した配線図を元にして、PLAにダウンロードするビットパターンを作成し、ファイルに出力する。このファイルを元にして、PLAにRS232Cケーブルからダウンロードする。

### 6. 動作確認

(1) 動作の確認に当たっては、ロジックアナライザを用いるが、座学において真理値表を学んでいるので、真理値表とタイミング・チャートの関係について

理解できるようにする。

### 例1 真理値表 (例: FA)

A	B	G	S	C
0	0	0	0	0
0	0	1	0	0
0	1	0	1	0
0	1	1	1	0
1	0	0	1	0
1	0	1	0	1
1	1	0	0	1
1	1	1	1	1

### 例2 タイミングチャート

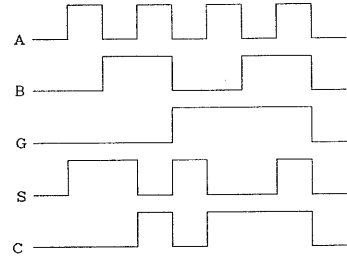


図8 タイミング・チャート (FA)

### (2) 誤った回路の修正

回路のタイミング・チャートについては、あらかじめファイルに保存しておき、誤った回路については、正解のパターンとの違いを見つけさせ (図9), CADの回路の中で誤りの箇所を特定させる。その後誤りを修正し、再度PLAにダウンロードを行い、正確なタイミング・チャートを作成するようにする。

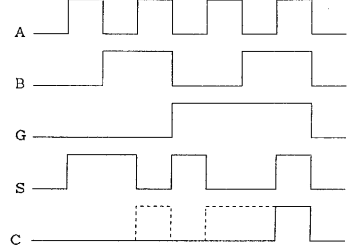


図9 誤ったタイミング・チャート (FA)

### 7. まとめ

学習に当たって、論理回路に対してどのように興味を持たせるか、そして授業が終わったときの充実感をどのようにあじわわせるか、といったことが、次の授業に結びつく。PLDを使用することによって、論理回路の実験のわずらわしさが少なくなり、次の成果が得られる。

- (1) 学生の学習意欲の向上
  - (2) 実験成果の向上 (論理学習)
  - (3) ハード的 (接続ミス・接触ミス) トラブルの減少と教官の対処時間の減少
  - (4) 教官の論理学習指導時間の向上
  - (5) 学生の技術レベルに応じた例題の設定が容易
- 欠点
- (1) 配線レイアウトの実感が従来の学習方法より得難い

### 参考文献

- (1) 横山直隆: "パソコン・インターフェースの制作実習", 技術評論社, pp. 109~114 (1986)