



パソコン動画による四路スイッチ回路教材の開発

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 北海道教育大学 公開日: 2008-05-21 キーワード: 作成者: 余湖, 静也 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.32150/00005203

パソコン動画による四路スイッチ回路教材の開発

余 湖 静 也

北海道教育大学札幌校電気研究室

Development of Teaching Material for Four-way Switch Circuits by Animation on Personal Computer

YOGO Seiya

Department of Electronics, Sapporo Campus,
Hokkaido University of Education, Sapporo 002-8502

Abstract

The three-way switch circuit has been used as a teaching material on the subject of electricity in technical education at junior high school. By using the circuits, we can open and close the circuit at two places. But it is difficult to apply the circuits to practical purpose because we generally use circuits which can be opened or closed at three or more place. Such a practical circuit is called a four-way switch circuit. New teaching material is necessary to assist understanding of the circuits for junior high school students, because the circuit is somewhat complex.

We have developed new teaching material utilizing animation software on personal computer. The characteristic of the software is to illustrate visibly the wiring of the circuits. I show that the circuits are typical examples of multi-inputs exclusive-or, and further concrete method of construction of electric circuits using a switch. Finally, I apply the teaching material to a practical class and describe the inspection result.

KEYWORDS : teaching material, three-way switch, four-way switch, personal computer

1. はじめに

中学校「技術・家庭科」の教科書の電気領域では三路スイッチ回路が教材として取り上げられて

いる¹⁾²⁾。この実用例は、階段の上下階にそれぞれ設けられた2箇所のスイッチから階段の照明を任意に点滅操作できるスイッチ回路である。このように、三路スイッチは日常生活に関わりの深い題材であることから教材に取り上げられていると考

えられる。この種のスイッチ回路の拡張としては、例えば、多数の出入口にそれぞれ点滅スイッチが配置された大きな部屋の照明や各階にスイッチが設置されたマンションの階段などの共用部の照明等、スイッチが3箇所以上に渡る場合も数多く見受けられる。現在、これらのスイッチ回路は屋内配線工事に広く用いられている。しかし、その回路動作を理解するための詳しい回路図などが古い電気のハンドブック³⁾には併記されていたが最近のハンドブック⁴⁾ではその部分が割愛されている。そのため、技術科の教材に見られる2箇所から操作のできるスイッチ回路を、先の例のように3箇所以上に拡張した場合の回路構成や動作原理に興味関心を持って簡単に知ることが難しい状況になっている。現に、筆者も現職教員からこの種の質問を受けたこともあり、また、たまに生徒から3箇所以上はどうなっているのかなどの質問があるとのことであった。この種の目的を持った教育用コンピュータ・ソフトの“電気回路シミュレーション”⁵⁾では、三路・四路スイッチ素子を選択して複数箇所から点滅操作のできるスイッチ回路が容易に組めるようなものである。しかし、スイッチ内部がブラックボックスとして取り扱われているので具体的なスイッチの働きやその動作原理を理解することが難しい状況にある。

さらに、同教科に情報基礎領域が新設されて以来、AND回路、OR回路等の基本的な論理回路を簡単なスイッチ回路で実現した例が取り上げられている。この結果、教員養成系大学のカリキュラムにも基本的な論理代数や論理回路の学習が必要となった。それに伴って、理論面ばかりでなくその有用性や必要性を学生に強く認識させ得る日常生活に密着した教材開発の必要性も生じた。この種のスイッチ回路は日常利用しているが具体的にどのような回路構成になっているのかは意外に知られていないばかりでなく、3箇所や4箇所となると予備知識が無ければ直接回路を考えることも難しい問題である。

このようなことから、著者は、3箇所以上から操作のできる四路スイッチ回路を教材として提案し、これまでこの問題を視覚的に理解できる教材

の開発を試みてきた^{6)~8)}。

2. 本論の目的

本論は、コンピュータ・グラフィックスを用いて以下の4項目について対話的あるいは段階的に学習できる教材ソフトウェアの開発にある。

① スイッチ内部の構造と操作に伴う接続状態を動画で示し、電流の流れる経路をたどることで電球の点滅状態が視覚的に分るようにすること。

この目的で、スイッチ数に応じた4種類の「回路例」を用意し、スイッチ操作のたびに結線をたどることで導通状態が視覚的に確認できるようにしてある。これらの回路を用いて2箇所以上のスイッチの増設は2芯の線2本と四路スイッチで実現できることを理解させられ、手近にスイッチを設けることでスイッチ増設による利便性だけでなくこまめな点滅による電気エネルギー節約の具体的な手段が得られる事を理解させる。

② なぜ、3箇所、4箇所、更に任意の箇所にまで拡張することが可能なのかを理解出来るようにすること。

先に問題とした3箇所以上の回路はどのように構成されるのかという疑問に対して「考え方」の項を設け、Q&A形式で任意の箇所にまで拡張できることを理解させ、学習者の興味関心や好奇心に答える。

③ この種のスイッチ回路が多入力排他的論理和の典型的な例であることを論理回路を用いて理論的に誘導できることを示す。

身近にありながら一見難しい題材も理論的な手順に従った取り扱いのみで排他的論理和となることを「論理式」の項目でグラフィック上に逐次展開して実感させる。

④ ③で得られた排他的論理和の論理式より具体的なスイッチ素子である正接点、逆接点そして両者を併せ持つ切り換え接点でスイッチ回路が

図2はメニュー選択画面である。マウスで希望の項目をクリックして作業の選択ができる。

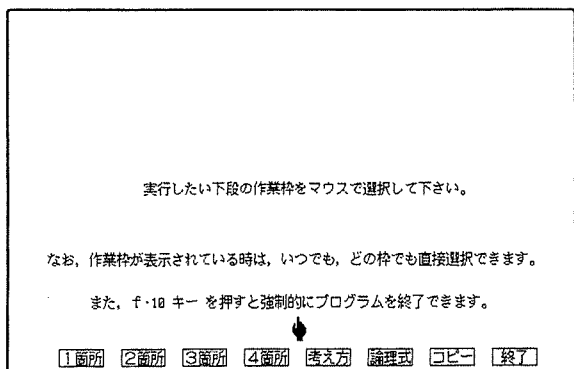


図2. メニュー選択画面

図3は「4箇所」を選択した時の画面である。マウスでスイッチ操作を行った後に、スイッチ内の導通状態と電球の点滅状態をマウスカーソルで画面上の導通部をなぞることで視覚的に確認できる。

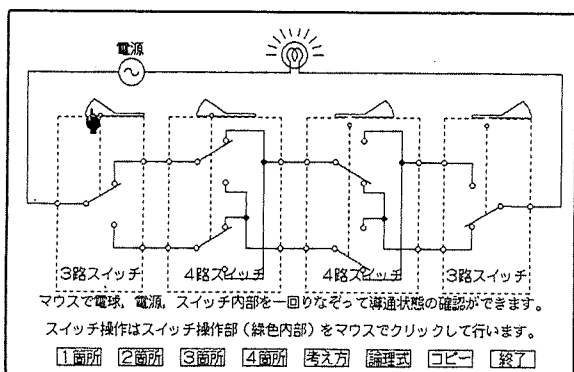


図3. 「4箇所」スイッチの回路例画面

次に、多数箇所への拡張の「考え方」と「論理式」のプログラムの流れおよび理論背景について詳しく述べる。

4. 「考え方」における拡張原理⁸⁾

4. 1 基本回路と要点

図4の2箇所の基本回路について点灯状態での回路図の経路をたどると左右の三路スイッチの可動片が両者を結ぶ平行線の同じ側に接続されている時に点灯し、異なる時は消灯となる。可動片が同じ線に接続された時点灯することに気づかせることが重要である。なお、回路の上側の1, 2行

が質問欄でマウスのクリック操作で下側の1, 2行にその質問に対する回答が表示されるようにしてある。

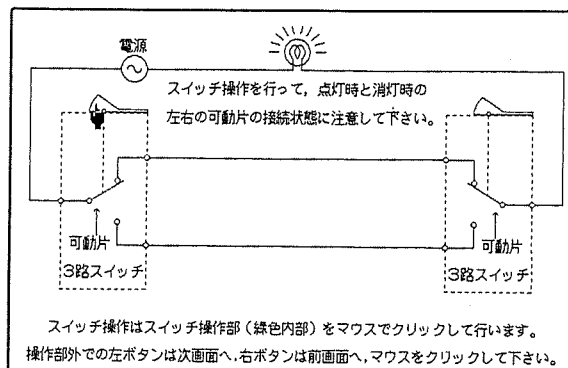


図4. 基本回路画面

4. 2 切り換え器の導入

3箇所から操作するには、第3のスイッチとして何処にどのような機能の物を接続すると良いか? である。左右の両三路スイッチを操作することなしに接続状態を変更できると良いのである。例えば、両三路スイッチ間の平行な結線を途中で交差させてから接続すると、左右の両三路スイッチの操作なしに片方の三路スイッチを操作したのと同じ効果を生じさせることができる。この結線の途中の交差を元の平行に戻すと点滅状態も元の状態に戻る。従って、図5のように平行・交差と接続換えできる機能を持った切り換え器を挿入すると良いことが分かる。

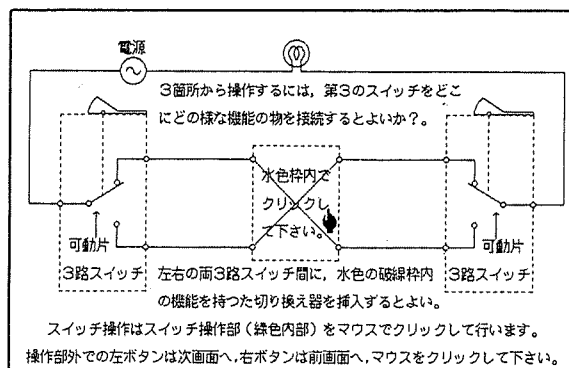


図5. 第3のスイッチ挿入回路画面

クリック操作で図4の中央に4角形で左右の縦線に平行に接続された2端子を持つ破線枠の第3のスイッチが表示され、その内部でクリックし

たのが図5である。さらに、図5の破線枠内でクリックするとその度に内部の結線が交差・平行と切り換わり、それに伴って電球が点滅するようにしてある。

4.3 多数箇所への拡張

多数箇所スイッチ操作回路への拡張はどのようにして実現できるのか?である。図5の拡張として両三路スイッチ間の平行線を切り開いて、そこに先の機能を持った切り換え器を図6のように1個から3個に増やしたときの動作を見せて、任意の箇所にもまで拡張できることに気付かせるようにしてある。

クリック操作により、さらに2個の切り換え器が追加表示され、同様に操作ができるようにしてある。

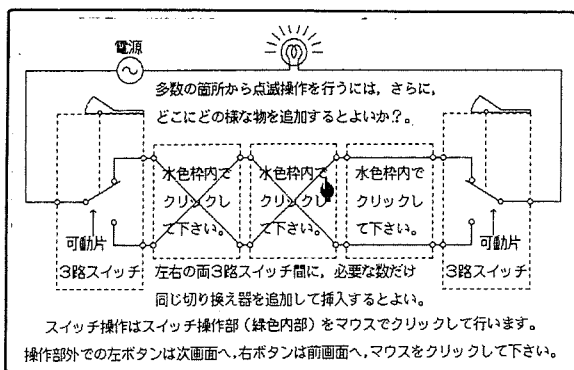


図6. 多数箇所スイッチの回路画面

4.4 切り換え器の構造と実現

平行・交差と結線を切り換える機能を持った切り換え器はどのような構造のスイッチで実現でき

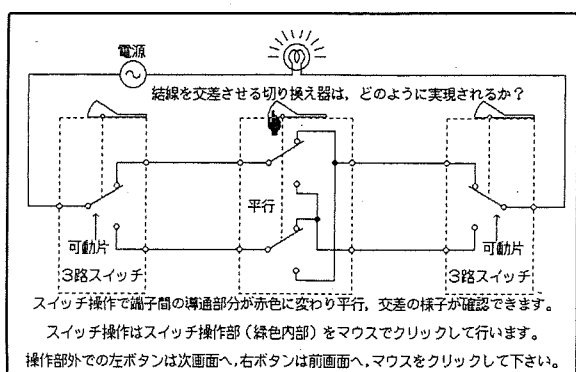


図7. 四路スイッチ回路画面

るのか?である。1本の線を上下2本の線に切り換えられる三路スイッチ2組を同時に動作するように連動させた図7の接点構造と端子間結線を持つスイッチにより実現される。これが四路スイッチである。

4.5 動作と特徴

ディスプレイ上の図7では、マウス操作で左右の三路スイッチや中央の四路スイッチの可動片が動作して電球が点滅するばかりでなく、四路スイッチによる平行・交差の状態を視覚的に分かりやすくするため、このスイッチを操作した場合は、中央破線枠内の端子間の電流が流れる線のみが赤色化するようにして、スイッチ操作に伴う結線の平行・交差の状態が赤色化により一目で分かるようにしてある。

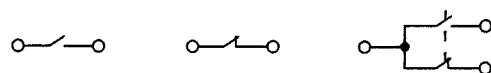
5. [論理式] に基づく実現⁶⁾

5.1 スイッチ接点の予備知識と例題の実現手順

図1の例題の論理式に基づく実現方法を次の5段階に分けて実行内容と操作方法について述べる。最初の予備知識の項は、スイッチに関する基礎知識や論理式との関係を学習する便宜を図って設けた。

- 0 : スイッチ接点と論理変数の予備知識
- 1 : 与えられた論理条件から真理値表の作成
- 2 : 真理値表から論理式の導出
- 3 : 得られた論理式の簡単化
- 4 : 簡単化された論理式のスイッチでの構成

図8に基本的な3種類の接点記号を示す。



a(正)接点 b(逆)接点 c(切り換え)接点

図8. 基本接点の名称と図記号

図9は、スイッチ内部の接続状態と論理変数値との関係を示す画面である。

a接点（正接点または make contact）、b接点（逆接点または break contact）、c接点（切換接点またはtransfer contact）の各模式図と各部の名称ならびに「ON」操作に伴う接点の動画による開閉動作の表示と端子間の接続状態および論理変数値1、0との対応関係を示した。特に、c接点はa、b両接点を併せ持つ構造で両接点の動作が連動して同時に動くことが理解できるように配慮した。

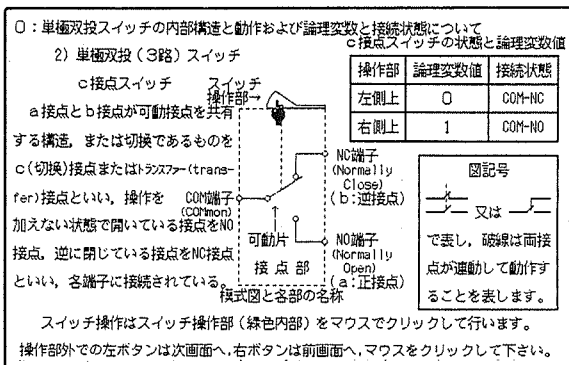


図9. c接点スイッチと論理変数値の関係画面

5. 2 真理値表の作成

図1は、スイッチが4箇所なので入力変数の数は4で照明器具が1系統なので出力変数の数は1となる。図1の様に入力に関する各変数をA, B, C, Dとし、スイッチ操作部の右側が下がった状態の変数値を0に、同様に、出力変数をYとし、点灯した状態を1として、全てのスイッチの右側が下がった状態で電球が点灯したと仮定する。仮定から入力が全て0の時出力が1であるから、表1の①となる。②の点滅状態は、①の状態でDのスイッチのみ操作されたので消灯とならなければならない。以下、同様にして③~⑯まで一意に決まり、表1の真理値表が得られる。真理値表の出力決定に際し、4つの変数の値が全て0の時点灯と仮定すると、残りの状態は一意に決まり、この場合は変数値の1の数が0および偶数個の時点灯し奇数個で消灯となる。最初の仮定を逆にして消灯とすると、1の数が奇数個の時点灯、偶数個の時消灯となり、逆の結果になる。

操作は、マウスのクリック入力により①~⑯の

各項目が逐次表示されるようにしてある。

各入力変数 ABCD	出力変数 Y	出力変数	
		点灯状態	点灯理由
① 0 0 0 0	1	点灯	仮定
② 0 0 0 1	0	消灯	①と比較せよ
③ 0 0 1 0	0	消灯	①と比較せよ
④ 0 0 1 1	1	点灯	②と比較せよ
⑤ 0 1 0 0	0	消灯	①と比較せよ
⑥ 0 1 0 1	1	点灯	②と比較せよ
⑦ 0 1 1 0	1	点灯	③と比較せよ
⑧ 0 1 1 1	0	消灯	⑦と比較せよ
⑨ 1 0 0 0	0	消灯	①と比較せよ
⑩ 1 0 0 1	1	点灯	②と比較せよ
⑪ 1 0 1 0	1	点灯	⑨と比較せよ
⑫ 1 0 1 1	0	消灯	⑩と比較せよ
⑬ 1 1 0 0	1	点灯	⑨と比較せよ
⑭ 1 1 0 1	0	消灯	⑩と比較せよ
⑮ 1 1 1 0	0	消灯	⑬と比較せよ
⑯ 1 1 1 1	1	点灯	⑮と比較せよ

表1. 4箇所スイッチの真理値表

5. 3 真理値表から論理式の導出⁹⁾

この導出には積項の和形式(加法標準形)と和項の積形式(乗法標準形)の2つの形式がある。積項の和形式への変換手順を用いて導出を行った。表1の出力が1になる条件項目を選び出し、その項目の各入力変数の積に着目し、変数が0の所は否定(変数の上に-の記号を付ける)し、これら各項の和を出力Yに等しいとおくと求まり、この場合目的とする論理式は(1)式となる。

$$Y = \overline{A} \overline{B} \overline{C} \overline{D} + \overline{A} \overline{B} C D + \overline{A} B \overline{C} \overline{D} + \overline{A} B C D + A \overline{B} \overline{C} \overline{D} + A \overline{B} C D + A B \overline{C} \overline{D} + A B C D \cdot (1)$$

操作は、クリック入力に従って、画面に表示された表1の出力Yが1の項のみ逐次上詰に表示され、0の項目は逐次上詰された項目で重ね書きされてなくなる。この操作で残った各項目の右側に入力変数値が0の場合は変数の上に赤色の-をつけた各積項を逐次表示し、最後に画面下側に今表

示された各積項の和である(1)式を示すようにしてある。

5.4 論理式の簡単化

論理式をできるだけ簡単化することで論理回路も簡素化でき、構成する素子数も少なく済む。これには各種の公式による方法やカルノー図に代表されるマップを用いる方法などがある。分配法則を用いた(1)式の簡単化は種々できるが*1) 論理式とスイッチ回路との対応がつき易い(2)式に簡単化する。

$$Y = \bar{A}\{B(\bar{C}D + CD) + B(\bar{C}D + CD)\} + A\{B(\bar{C}D + CD) + B(\bar{C}D + CD)\} \dots\dots(2)$$

この式の簡単化の様子は、図10となる。

◎実現する回路構成を簡単化するには論理式の段階で簡単化すると良く、定理や法則などの公式を利用する方法、カルノー図による方法等があります。

(1) 式を適当な論理変数で括弧で2つの項の和に整理すると(2)式が得られます。

$$Y = \bar{A}B\bar{C}D + \bar{A}BCD + A\bar{B}\bar{C}D + A\bar{B}CD + AB\bar{C}D + ABCD \dots\dots(1)$$

$$Y = \bar{A}(B(\bar{C}D + CD)) + A(B(\bar{C}D + CD)) \dots\dots(2)$$

(2) 式に(3)式を適用して逐次簡単化を進めると(4)式が得られます。

排他的論理和記号を◎とすると $x \oplus y = \bar{x}y + x\bar{y}$, $x \otimes y = \bar{x}\bar{y} + xy \dots\dots(3)$

$$Y = \bar{A}(B(\bar{C} \otimes D) + B(C \otimes D)) + A(B(C \otimes D) + B(\bar{C} \otimes D))$$

$$= \bar{A}(B \otimes C \otimes D) + A(B \otimes C \otimes D) = \bar{A} \otimes B \otimes C \otimes D \dots\dots(4)$$

2: このスイッチ回路が4入力の排他的論理和となっていることを示しました。

左ボタンは次画面へ、右ボタンは前画面へ、マウスをクリックして下さい。

図10. 4入力の排他的論理和画面

5.5 論理式の回路図への展開

論理式(2)の論理変数をスイッチ素子に置き換えずに変数のままで、和は並列、積は直列として回路図に展開すると図11のように書ける。図中のaからfは真下の線を指す。

この例題は排他的論理和となる特殊な問題で、先に述べた簡単化にはなじまないで回路図上での簡単化を行う。

図12の実線や破線で囲まれたブロック1とブロック4およびブロック2とブロック3はそれぞれ

*1) 例えば、接点数の個数からこの方がより簡単化されている。

$$Y = (\bar{A}\bar{B} + AB)(\bar{C}\bar{D} + CD) + (\bar{A}B + A\bar{B})(\bar{C}D + \bar{C}\bar{D})$$

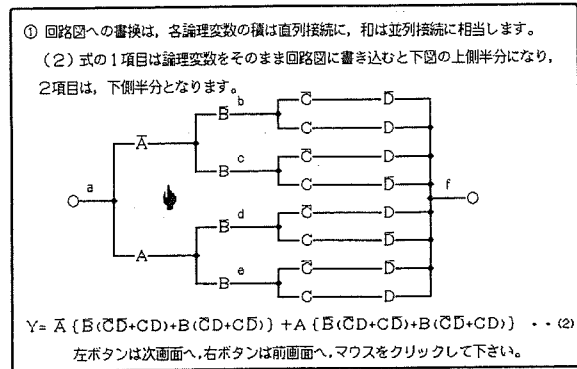


図11. 論理式(2)の直接展開図

回路構成が同じで、全てが同一の線fに接続されているので線cとdおよび線bとeをそれぞれ接続し、残りのブロック2, 4を切り離して簡単化でき、回路の機能が等価な図12が得られる。

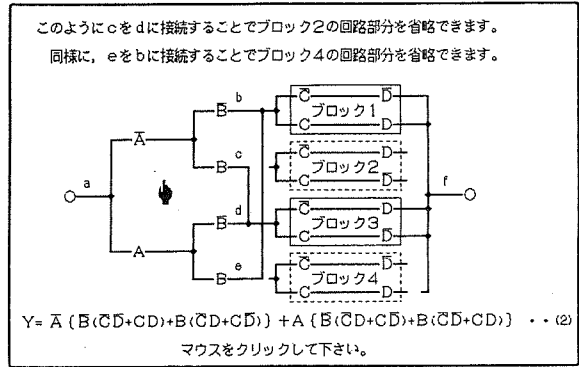


図12. 1回目の簡単化途中の展開図

図12の切り離した部分を消去すると図13が得られるが、変数Dに関して再度破線で囲まれた部分に重複が生じる。

同様に変数Dに関する実線部と破線部を結線により破線部を切り離すと等価な図14が得られる。

図14の切り離した部分を消去し、論理変数C, D部分の回路が繰り返しとなるように回路を整理すると簡単化された図15の展開図が得られる。

論理変数に対応する正、逆接点スイッチ記号に置き換えると図16の回路が得られる。

さらに、接点が連動する同一変数名の部分をつまみと図3の4箇所の場合と同じで、左より三路、四路、四路、三路の回路が論理式から実現されたことが分る。以上の操作はクリックのみで実行できる。

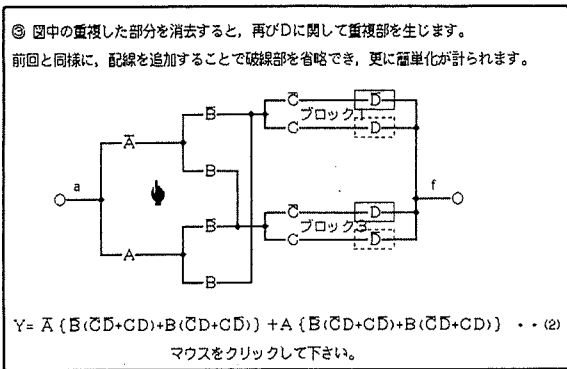


図13. 1回目の簡単化後の展開図

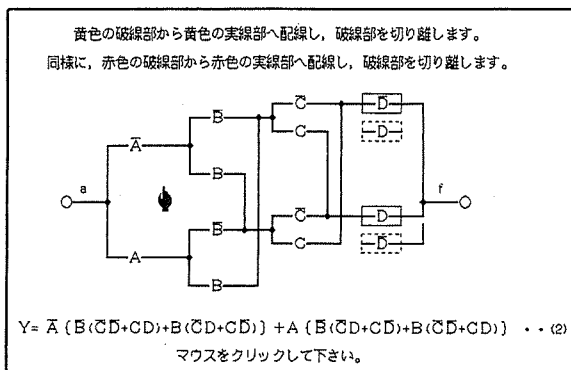


図14. 2回目の簡単化途中の展開図

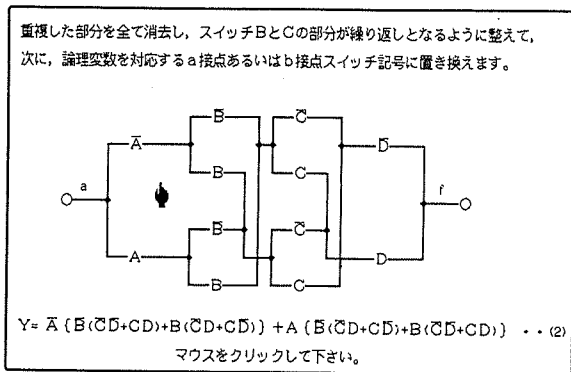


図15. 2回目の簡単化後の展開図

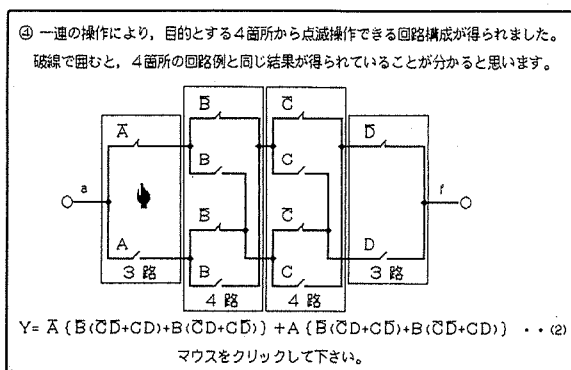


図16. 論理式より実現されたスイッチ回路

6. プログラムの使用とその効果

このプログラムを中学校のコンピュータクラブの1, 2年生11人に使用してもらったところ、1箇所から4箇所のスイッチ回路についてはスイッチ内部をも視覚的に確かめることができるので回路全体の導通状態が分かり、このような回路でできることは理解してもらえたが、なぜできるのかの「考え方」については2名の生徒が理解するにとどまった。教科書で電気分野をまだ習っていない生徒向けにはQ&Aの表示文章や各画面間の関連についての意図が明確でない等の感想があり、工夫の余地がありそうである。

学部学生へは屋内配線の実験の一部に使用しているがスイッチ回路や「考え方」については100%、「論理式」については論理式や論理回路の基礎学習なしでの実施のため真理値表からスイッチ回路が実現できる経過を知るにとどまっているが、論理的に一定の手順により回路が実現できることは理解された。

想定していた学習課程を終えていない状態で使用してもらったため、理論的な部分については当初期待していたほどの成果は得られなかったが、その他の部分については十分教育効果のあることが確かめられた。

7. まとめ

中学校の技術・家庭科の教科書の電気分野で取り上げられている、2箇所からスイッチ操作ができる三路スイッチ回路を3箇所以上に拡張する四路スイッチのパソコン動画による教材化について述べた。特に、スイッチ内部をパソコン動画で可視化して複雑な回路を視覚的に分るようにした。この教材が論理回路の観点から見ると典型的な多入力の排他的論理和であることを順を追って示した。また、多入力の排他的論理和を通常のスイッチ回路で無理なく実現する方法を示した。この題材が「考え方」で見られたように視覚に訴えるレ

ベルから [理論式] の手順に従って拡張結果を導けるレベルまでと、身近にありながら興味深い対象であることを示した。最後に実際に使用した時の結果について述べた。

今後の課題は、現在の計算機の環境に即した言語による本ソフトウェアの開発と一応の成果は得られているがさらなる内容の改善にある。

参考文献

- 1) 編修代表 鈴木寿雄, “平成5年度用 [技術・家庭]” 上巻, 開隆堂, p. 159
- 2) 編修代表 石田晴久, 他 “平成5年度用 [新しい技術・家庭]” 上巻, 東京書籍株式会社, p.85
- 3) 編纂兼発行者 八木秀次 “電気工学ポケットブック”, (株)電気学会昭和15年, 4版改訂版, pp. 1112-1113
- 4) 編纂委員長 鳳誠三郎, 他 “電気工学ポケットブック(JR版)”, 第3版, 電気学会編, オーム社, 昭和61年, 12編 pp. 12-55~12-56
- 5) “電気回路シミュレーション”, 東京書籍(ソフトウェア事業部), (1995)
- 6) 余湖 “情報基礎用論理回路教材としての4路スイッチ” 日本産業技術道支部研究論文集, 1993年度, 7号, pp. 52-59, (1994.5)
- 7) 余湖 “グラフィックスによる4路スイッチ回路教材” 日本産業技術教育学会第37回全国大会, 札幌, 日本産業技術教育学会第37回全国大会講演要旨集, p. 88, (1994)
- 8) 余湖 “複数箇所点滅回路教材用システムの開発” 第8回日本産業技術教育学会北海道支部大会, 釧路, 第8回日本産業技術教育学会北海道支部大会講演要旨集, p. 17, (1994)
- 9) 牛渡徹, 他, 専修学校教科書シリーズ “自動制御” コロナ社 pp. 73-83(1988)
- 10) 当麻喜弘 “スイッチング回路理論”, 電子通信情報学会編電子情報通信学会大学シリーズG-2, コロナ社, p.13 (1996)

(札幌校助教授)