SURE 静岡大学学術リポジトリ
Shizuoka University REpository

中・高校生向けの論理回路学習用教材の開発

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2011-06-20 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 渡邉, 肇也, 杉村, 竜也, 紅林, 秀治, 江口, 啓 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.14945/00005694

中・高校生向けの論理回路学習用教材の開発

Development of Teaching Material for Logic Circuit Learning in Junior and Senior High School

渡邉　肇也*・杉村　竜也*・紅林　秀治**・江口　啓**
Toshiya Watanabe, Tatsuya Sugimura, Shuji Kurebayashi and Kei Eguchi

（2010年10月 6 日受理）

Abstract

In this paper, a teaching material for logic circuit learning is proposed. Aimed at logic circuit learning in the field of electrical and information technology, a logic circuit simulator and its experimental board are developed. From the proposed simulator, output signals are transmitted to the proposed experimental board via audio lines in a personal computer. In the board, the transmitted signals are converted to binary voltage by the micro controller. Therefore, the proposed teaching material has the following features: The teaching material offers a curriculum that unites theory and practice, because students can experience not only circuit simulations but also circuit experiments. 2. The teaching material can reduce the material expense, because expensive chips (such as USB controller or FPGA) are not required. The validity of the teaching material is confirmed by experimental classes.

1. 緒言

現在，情報技術や電気・電子技術の分野において，ディジタル技術に関する学習が広く行われており，その基礎である論理回路の学習は，多くの電子情報系の教育機関において必修科目となっている。一方,平成21年3月に文部科学省から公開された高等学校学習指導要領においても，第2節　工業の第6情報技術基礎，第19電気基礎，第26電子情報技術，ならびに，第28ハードウェア技術において，ブール代数と論理回路に関する学習内容が挙げられており，高校・高専・大学等における論理回路の学習は非常に重要な位置にある。また，中学校学習指導要領の第8節技術・家庭においても，“D. 情報に関する技術”において，“ア. コンピュータを利用した計測・制御の基本的な仕組みを知ること。”が挙げられており，ディジタル制御の基礎となる論理回路を学ぶことは，卒業後の学習の繋がりだけでなく，学習内容の観点からも重要である。また，身の回りの電化製品において利用されている計測・制御の基礎原理を，論理回路の学習を通じて学ぶことができるため，技術を適切に評価し活用する能力と態度を育てることができると考えられる。

以上のような理由により，これまでに論理回路の学習を効果的に行うための様々な教材が開

* 静岡大学教育学研究科修士課程
** 静岡大学教育学部

発されている。具体的には，論理回路を学習するためのCAI（Computer Aided Instruction）システムのようなソフトウェアベースによるもの[(1)～(7)]や，ICトレーナーや電子ブロックのようにハードウェアベースによるもの[(8)]などが開発されている。しかしながら，ブール代数や論理回路の知識を応用し，一つのまとまったディジタルシステムとして，理論から実践に至るまでの内容を一括して学習できるシンセシス型の学習教材は少ない。学習においては，理論と実践は車の両輪の関係にあり，これらを統合して学べる教材が望ましい。このため，近年，ハードウェア記述言語を用いることでFPGA（Field Programmable Gate Array）などのハードウェア上に論理回路システムを実現する，ソフトウェアとハードウェアを統合した教材[(9)～(13)]が提案されている。しかしながら，情報技術や電気・電子技術の分野に限らず，実験や“ものづくり”を行うためには費用が掛かるということに加えて，論理回路の学習という一領域のみに，教材費の多くを割り当てることができないという実情がある。例えば，公立中学校に至っては，科学技術振興機構と国立教育政策研究所の共同調査によると，平成20年度の理科の設備備品費は生徒1人当たり平均453円，消耗品費は341円であるため，安価なシンセシス型の学習教材が望まれる。

以上の理由を鑑み，本研究においてはソフトウェアとハードウェアを統合した論理回路学習のための安価な学習教材を開発し，中学校の技術・家庭科の分野や高校における“電気基礎”，“電子情報技術”，“ハードウェア技術”等の専門教育を行うための教材として活用する。提案する論理回路教材は，論理回路の設計と動作検証を行うための論理回路シミュレータと，シミュレーションの結果を実際の電気信号として観測するためのデモンストレーションボードから構成されている。論理回路シミュレータにおいては，マウスを使って選択した論理回路素子をキャンバスに貼り付けることで論理回路の作図を行う。開発した論理回路シミュレータは，マイクロソフト社から無償で提供されているVisualBasic2008を用いて開発されているため，Windows搭載のパーソナルコンピュータがあれば無料で利用できる。また，従来教材のようにFPGAのようなセミカスタムIC上に論理回路を実現して動作させるのではなく，提案教材においては，論理回路の入出力信号のデータをシミュレータからパーソナルコンピュータのオーディオ端子（ヘッドフォン出力端子）を介してデモンストレーションボードに送信し，マイクロコントローラ上で2値電圧にデコードする。このため，USB端子を利用してFPGAへ論理回路データの転送を行う従来教材とは異なり，提案教材は高価なFPGAチップとUSB制御チップを必要としないので，デモンストレーションボードの材料費を大幅に削減できる。このように，提案教材は論理回路シミュレーションから実測まで行えるシステムを安価に提供できるため，理論と実践を統合した論理回路の効果的な学習に役立つと考えられる。

本論文は，全5章からなっている。まず，第1章である本章は序論であり，本研究の背景と動機ならびに，研究目的を明らかにしている。2章では，従来までに提案されている論理回路教材について説明する。3章においては，提案する論理回路教材を示し，従来教材との違いを明らかにする。4章においては，提案教材を用いた実践授業を行うことにより，設計手法ならびに学習効果の検討を行う。最後に5章においては以上を総括した結論を述べる。

2. 従来の学習教材

論理回路の学習を行うための教材は，大きく3つのタイプに分けられる。一つ目は，CAIシス

テムのようなソフトウェアベースによるものであり，ブラウザ上で論理回路の学習を行うタイプのものなど[(1)～(7)]が提案されている。ソフトウェアベースによる学習教材は，実験や“ものづくり”を行わないために学習にかかるコストが非常に少ない。また，コンピュータさえあればユビキタスな学習環境を提供してくれるという利点があり，高専生や大学生にとっては非常に有効な学習教材であると考えられる。しかしながら，中学校学習指導要領の技術分野における目標は，“ものづくりなどの実践的・体験的な学習活動を通して，材料と加工，エネルギー変換，生物育成及び情報に関する基礎的・基本的な知識及び技術を習得するとともに，技術と社会や環境とのかかわりについて理解を深め，技術を適切に評価し活用する能力と態度を育てる。”となっており，実践的・体験的な学習活動が伴わないソフトウェアベースの学習教材では不十分であると考えられる。

二つ目は，ハードウェアベースによるものであり，ブレッドボードと類似したICトレーナーや電子ブロックなどによって論理回路の学習を行う形態[(8)]が提案されている。これらのハードウェアベースによる学習教材は，実験や“ものづくり”という実践的・体験的な学習活動を通して論理回路の学習が行えるため，座学と組み合わせることによって非常に効果的な学習成果が期待できる。しかしながら，これらの教材においては論理回路を構成する際に配置配線を行う必要があるため，1．小規模の論理回路の実験しか行えない，2．配置配線作業が非常に煩雑であり，回路作製時にミスを犯した場合のエラー検出に時間がかかるなどの欠点がある。

三つ目はソフトウェアとハードウェアを統合した教材であり，ハードウェア記述言語を用いることで，FPGAチップ上に論理回路システムを実現するもの[(9)～(13)]が提案されている。ソフトウェアとハードウェアを統合したシンセシス型の学習教材の最大の特徴は，理論から実践に至るまでの内容を一括して学習できるという点である。また，この学習教材においては，専用のデモンストレーションボード上で回路を動作させるので煩雑な配置配線作業が不要であるという利点だけでなく，FPGAチップ上に論理回路を実現するので複雑なディジタル回路も構成できるという利点も持っている。このため，CPUの設計を行うなど，主に高専や大学の計算機工学の学習において活用されている。しかしながら，論理回路を形成するためのビットデータをUSB端子を介して転送し，FPGA上で論理回路を実現するため，デモンストレーションボードには高価なFPGAチップとUSB制御チップが必要となる。このため，教材の価格が非常に高く，設備備品費や教材費が充分に確保できない教育機関においては導入が困難である。また，工学を専門に学んでいる大学生や高専生にとっては，ディジタル回路設計から実現・動作までの一連の流れを効果的に学習できる反面，プログラミングに対する充分な知識と技術を持ち合わせていない中・高校生にとっては学習の敷居が高い。

次章においては，提案教材の構成とその動作原理について説明することで，従来教材との違いを明らかにする。

3. 提案教材の構成

図1に，提案する論理回路学習教材の概要を示す。提案教材は，ソフトウェアとハードウェアを統合したシンセシス型の学習教材であり，論理回路の設計と動作検証を行うための論理回路シミュレータと，シミュレーションの結果を実際の電気信号として観測するためのデモンストレーションボードから構成されている。はじめに，提案教材では所望の論理回路を，Visual

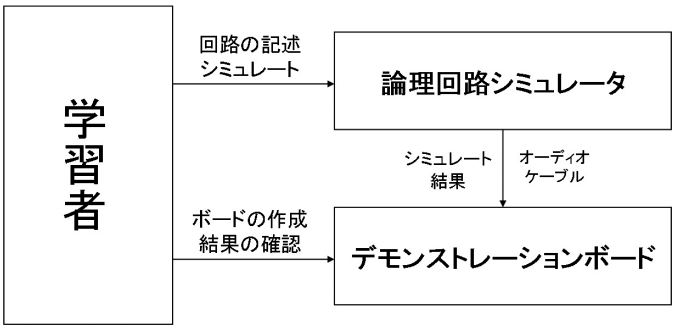
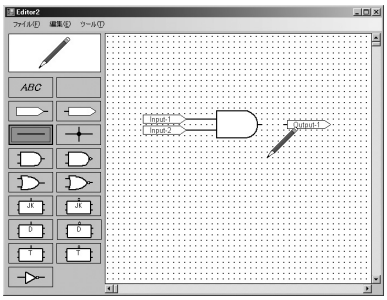
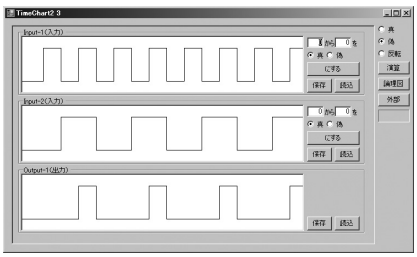


図１　提案教材の概要



(a)



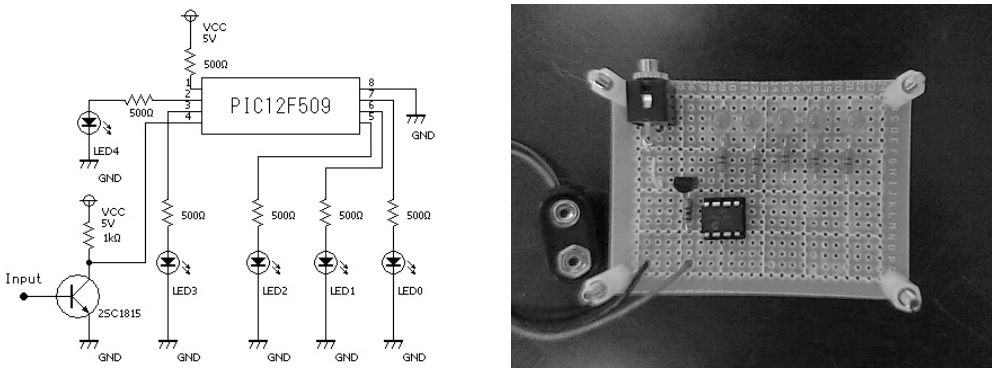
(b)

(c)

図２　論理回路シミュレータの概要
(a) 回路図の作図　(b) タイミングシミュレーション　(c) 入出力ポートの割り当て

Basic2008 Express Editionを用いて開発されたシミュレータ上で設計する。VisualBasic2008 Express Editionはマイクロソフト社から無償提供されているため，ソフトウェアの配備に費用はかからない。図2に，シミュレータの実行画面を示す。

はじめに，開発したシミュレータにおいては，図2（a）に示すような画面上で所望の論理回路を作図する。具体的には，画面左側のアイコンをクリックし，選択した素子をキャンバスに貼り付けることで論理回路の作図を行う。シミュレータにおいて，予め準備されている論理素子は，AND・OR・NOT・NAND・NOR・JKFF・DFF・TFFの合計8種類であり，組み合わせ回路と順序回路の設計が可能である。図2（a）の画面において作図による回路設計を行った後に、図2（b）に示すように，ユーザーの定義した入力信号に対するタイミングシミュレーションを行うことで論理回路の動作検証を行う。最後に，図2（c）に示すように，作成した論理回路の入出力端子をプルダウンメニュー上で選択することで，デモンストレーションボードの出力ポートに割り当てる作業を行う。シミュレータによって計算された論理回路の入出力信号のデータは約－0.5～0.5Vの電圧値に変換された後，オーディオ端子（ヘッドフォン出力端子）を介して，デモ



(a)　(b)

図 3　デモンストレーションボード　(a) 回路構成　(b) 外観

ンストレーションボードへ送信される。図3 に，デモンストレーションボードを示す。開発したデモンストレーションボードでは，ヘッドフォン出力端子から出力された電圧がエミッタ接地トランジスタのベースに入力されて増幅される。増幅された信号はPICに入力され，PIC内のプログラムによってデコードされた後，各LEDへ出力される。今回使用したPIC12F509-I/Pにおける入出力ピンの配置は，図3（a）のようになっている。図3（a）に示すように，出力用LEDのうちの1つをデモンストレーションボードの動作／停止を知らせる電源ランプとして使用しているため，シミュレータ上で設計した論理回路の入出力端子として割り当てることのできるピン数は4つである。これらの4つの出力端子はシミュレータ側において，図2（c）に示すようにPort_0～Port_3という名称で入出力端子として任意に割り当てることができ、シミュレーションの結果表示される図2 (b) の画面上の対応付けられたグラフのとおりに各々のLEDの点灯が連続的に変化する。提案教材は，従来教材のように論理回路を形成するためのビットデータをUSB端子を介して転送し，FPGA上で論理回路を実現するという方式ではなく，設計した論理回路の入出力信号のデータのみをデモンストレーションボードに送信するという方式である。

図4にヘッドフォン端子から出力されるデータを示す。出力データは，8ビットのシリアルデータとして，デモンストレーションボードへ転送される。図4 に示すようにデータの構成は，デモンストレーションボード側にデータの開始を知らせる2ビットのスタートビット,Port_0～Port_3に割り当てられた信号の内容を格納した4ビットのデータビット,デモンストレーションボード側でデータビットのパリティチェックを行うための1ビットのパリティビット,ならびに,データの終了を知らせる1ビットのストップビットから構成されている。ここで,パリティビットの値は，4ビットのデータビットの内容と1ビットのパリティビットの内容の合計値が必ず偶数になるようにシミュレータ側で設定される。図5に,実験によって得られたヘッドフォン端子からの出力データの一例を示す。図5においては,Port_0～Port_3に1010を割り当てて出力している。ここで，CH1は図3（a）のInput端子における電圧であり，CH2は図3（a）中のPIC12F509の 第4ピンにおける電圧である。また，ヘッドフォン端子からの出力データは，1ビット当たり500μsの速度で転送されるように設定されている。デモンストレーションボード側では，この4ビットのシリアル信号をボードの出力端子Port_0～Port_3に割り当てるというデコード作業を行うだけであるので,デモンストレーションボードに搭載するICは安価なPICひとつで充分である。さらにUSB端子を利用する従来教材とは異なり，USB制御チップが不要であるため，デモ

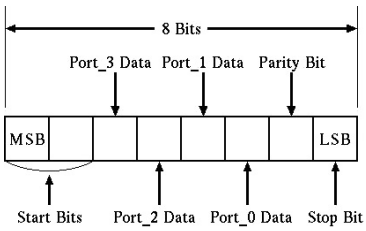


図４　データの構成

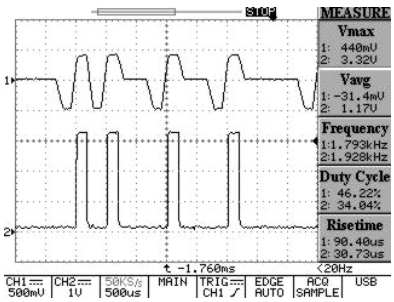


図５　ヘッドフォン端子からの出力の一例

表１　部品の一覧

部品	個数
LED	5
トランジスタ	1
抵抗（1KΩ）	1
抵抗（510Ω）	5
ICソケット	1
音声端子ジャック	1
PIC	1
電池タップ	1
ユニバーサル基板	1

ンストレーションボードの材料費を大幅に削減できる。開発したデモンストレーションボードの作製に用いる部品とその個数は，表1 に示す通りである。表1に示す通り，開発したデモンストレーションボードは部品点数が少なく安価に実現できるため，中・高校生でも充分に作製が可能である。このため実験だけでなく，半田付けによって電子回路を作製するという製作学習も同時に行うことができる。また,本論文において提案したデモンストレーションボードはLEDの点灯制御を行うだけのものであるが，PICの出力端子にLEDの代わりにモーターを取り付けることで，PWM制御やPFM制御などの論理回路による基礎的な電動機制御も学習できると考えられる。

4. 実践授業

提案する論理回路学習用教材の有効性を確認するために,静岡大学教育学部の2年生18名に対して実践授業を行った。実践授業は，授業科目：“計測・制御”における論理回路素子とそれを利用したシーケンス制御を学習する単元において実施し，実践授業を行う前にはブール代数などの論理演算の基礎学習を行った。実践授業においては，はじめに，シミュレータを用いた組み合わせ論理回路の学習を行った。この授業単元においては，受講学生に組み合わせ論理回路の動作をシミュレータ上で確認させた後，シーケンス制御の展開接続図との対応の説明を行った。次に，デモンストレーションボードの製作を行った。デモンストレーションボードの製作においては，ティーチングアシスタントの学生3 名に協力を依頼した結果，全ての受講学生が2時間以内にデモンストレーションボードを作製できた。最後に,各自が作製したデモンストレーションボードを用いて，組み合わせ論理回路による制御実験を行った。また，提案教材に関する実験を行うと同時に，ハードウェアベースによる論理回路学習との比較を行うために,ブレッドボードによる論理回路の作製も受講学生に体験してもらった。実験においては，全ての受講学生各自が作製したデモンストレーションボードを用いて,LEDの制御を行うことができた。

実践授業終了後に，提案する論理回路学習用教材に関するアンケートを行った。アンケートの内容を表2に示す。受講学生には，表2に示す質問に対して，肯定的に思うなら大きい数字を，否定的に思うなら小さい数字を，1から9の範囲で回答してもらった。アンケートの集計結果の平均値を図6に示す。図6により，アンケートの全ての項目に関して肯定的な結果が得られていることがわかる。図7に，図6のアンケート結果に関してクロス集計を行った結果を示す。また，図8に図7の点の分布パターンをL関数[14]によって解析した結果を示す。Ｌ関数は各々の点が互いにどの程度の距離を取っているかを示すもので、ｒの値が小さいときに関数が大きい値をとる場合，各々の点が密集しているといえる。

表２　アンケートの内容

Q1	提案教材を用いて論理回路の基礎を学習できると思うか？
Q2	提案教材は，あなた自身が論理回路の仕組みを理解する際に役立ったか？
Q3	座学のみの学習方法と比較して，提案教材を用いる方法は有効か？
Q4	ブレッドボードを用いた学習方法と比較して提案手法を用いる方法は有効か？
Q5	提案教材は中学校の技術･家庭科の授業に導入できると思うか？
Q6	提案教材は高校の授業に導入できると思うか？
Q7	将来，中学校もしくは高校の教員になった場合，提案教材を利用したいと思うか？

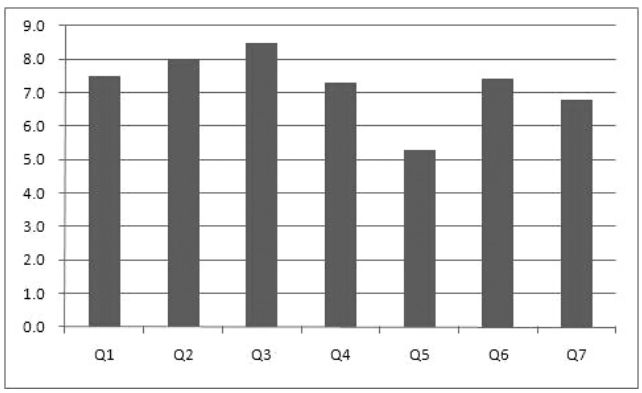


図６　アンケート集計結果

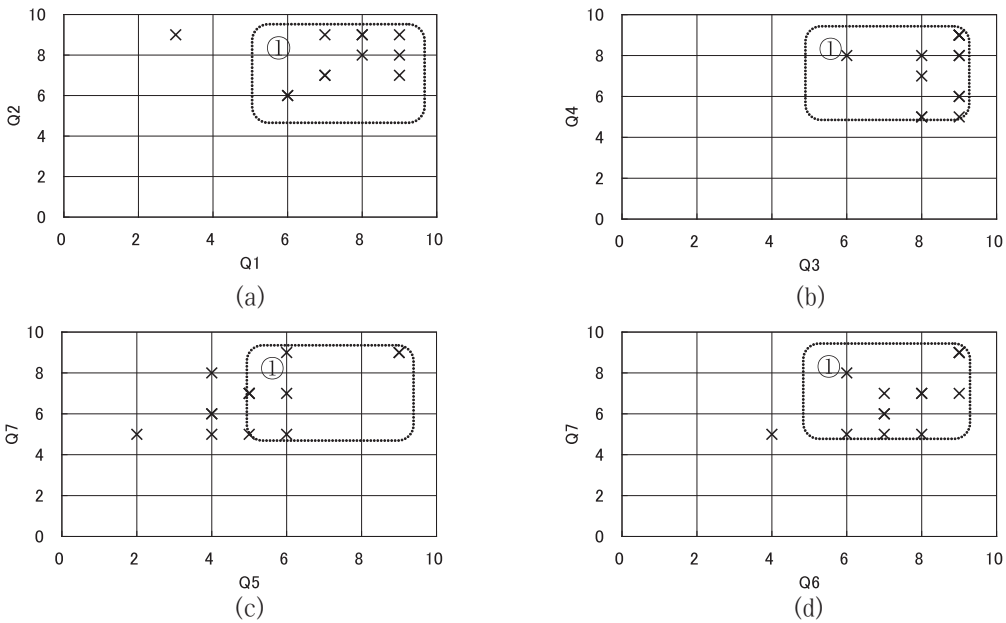


図７　クロス集計結果　(a) Q１-Q２　(b) Q３-Q４　(c) Q５-Q７　(d) Q６-Q７

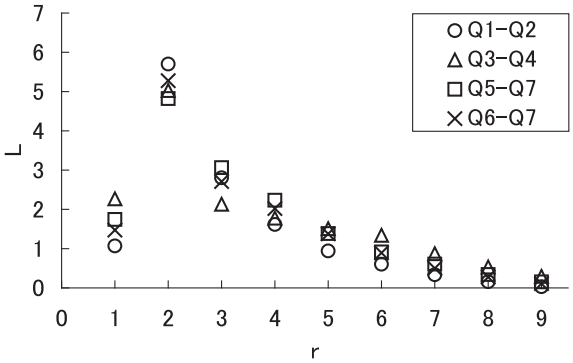


図８　L関数による解析結果

図7（a）においては縦軸と横軸にそれぞれQ2とQ1の回答結果を設定しているため，グラフ中の領域①に点が密集した場合には，論理回路の学習において提案教材が有効であると受講生が考えていることを意味する。図7（a）と図8から明らかなように，今回の実践授業においては，提案教材が論理回路学習の補助ツールとして有効であるという結論を得た。

次に，図7（b）においては縦軸と横軸にそれぞれQ4とQ3の回答結果を設定しているため，グラフ中の領域①に点が密集した場合には，従来形式の座学のみの学習やブレッドボードを用いたハードウェアベースの教材による学習よりも提案教材を用いた学習のほうが受講生に支持されていることを意味する。図7（b）と図8から明らかなように，今回の実践授業においては，提案教材を用いた学習が支持されている。

次に，図7（ｃ）においては縦軸と横軸それぞれQ7とQ5の回答結果を設定しており，グラフ中①の領域に回答が密集した場合には，受講生が提案教材について中学校でも導入可能でかつ教員として利用したいと考えていることを意味する。しかしながら，図7（ｃ）と図8から，受講者は教員として授業において利用したいと考えてはいるが中学校への導入可能性について肯定的な意見が少なかった。このため，提案教材に関する補助テキストや授業方法の工夫を行い，よりわかりやすい内容に改善する必要があると考えられる。

最後に，図7（ｄ）においては縦軸と横軸それぞれQ7とQ6の回答結果を設定しており，グラフ中の領域①に回答が密集した場合には，受講生が提案教材について高校の授業に導入可能でかつ教員として利用したいと考えていることを意味する。図7（d）と図8から，提案教材は高校生に有効であり将来教員になったときにも使用したいと受講生が考えていることがわかる。

5. 結言

本研究においては，中学校の技術・家庭科の分野や高校の“電気基礎”，“電子情報技術”，“ハードウェア技術”等の分野における論理回路学習の補助ツールの開発を目的とし，ソフトウェアとハードウェアを統合した学習教材を提案した。提案教材については，教育学部の学生を対象とした実践授業を行うことにより，論理回路学習用教材としての有効性を検証した。提案する論理回路学習用教材は，次のような特徴をもつ。

(1) 論理回路シミュレーションから実測まで行える学習環境を提供できる。

(2) 高価なFPGAチップとUSB制御チップを必要としないため，実験を行うためのデモンストレーションボードを安価に提供できる。

また，実践授業を通したアンケートの結果，提案教材は次のような学習効果が期待できる。

(1)　論理回路の学習を行う際の補助ツールとしての有効性を問う質問に対して，受講学生の80%以上が肯定的な回答しており，また，将来現場教員になった場合には教材として利用したいと考える学生が多いことから，提案教材は論理回路学習の補助ツールとして有効であると考えられる。

(2)　提案教材を用いた学習方法を，座学だけによる学習方法やハードウェアベースによる学習方法と比較する質問に対して，受講学生の80%以上が肯定的な回答していることから，提案教材により効果的な学習を行えることが期待できる。

(3)　中学校と高校への提案教材導入の可能性については，高校において80%以上の肯定的な回答が得られていることから，高校生の論理回路教材としては活用できると考えられる。

今後の課題としては，中学校の技術科教育において提案教材によって得られる教育効果を高めるための補助テキストの開発や，中学校や高校における実践授業を通じての学習効果の検証等が挙げられる。

参考文献

1) 宮腰　隆・松田　秀雄・高松　衛・中島　芳雄：「論理回路学習支援アプリケーション」，電学論A，121，1，pp.78-79（2001-1）

2) 宮腰　隆・松田　秀雄・高松　衛・中島　芳雄：『論理回路学習用教材』，電学論A，121，4，pp.385－386（2001-4）

3)岸本　誠・金子　敬一：「ヒューマンインターフェース技術の教育への利用，一般教育用論理回路シミュレータの試作」，電子情報通信学会技術告，Vol.101，No609，pp.61-67（2002）

4) 古園　佑樹：「個別指導機能を持つ論理回路実験のためのWBTシステム」，電学論D，126，11，pp1500-1506（2006-11）

5) 土佐　牧夫：「教育用ディジタル回路シミュレータ（DM－501）の開発」，玉川大学工学部紀要，No42，pp.7-17（2007）

6) G.Donzellini，D.Ponta：「A Simulation Environment for e-Learning in Digital Design」，IEEE Trans，Ind.Electron，54，6，pp.3078-3085（2007-6）

7) 佐藤　博・小野一人・渡辺　武：「高等学校における情報教育のための教材」，函館大学論究，Vol.39，pp.55-70（2008）

8) 三池　克明・斐品　正照：「基礎的な情報システム教育のための論理回路学習キットの開発」，情報システム学会第1回研究発表大会，pp.B-01-1 - B-01-4（2001）

9) 末吉　敏則・久我　守弘・柴村　英智：「KITEマイクロプロセッサによる計算機工学教育支援システム」，信学論D-1，JH84，6，pp.917-926（2001-6）

10)泉　宏志・村越　英樹・武田　有志・森　久直・坂巻　佳寿美・栗原　朋之・宇賀　神孝：「ディジタル回路実験のためのWBTシステム」，情処学論，44，9，pp.2409-2417（2003-9）

11)葉山　清輝：「統一課題による動作シミュレーション・論理回路設計-ＨＤＬを用いた設計と実装までの計算機設計教材作成の試み」，高専教育，第28号（2005）
12)小田井　圭・小松　恵一：「ＦＰＧＡを使った論理回路設計学習用教材の開発」，電子情報通信学会技術研究報告，Vol.108，No.354，pp.7-10
13)葉山　清輝:「ハードウェア設計教育へのＰＢＬ導入の試み」，日本産業技術教育学誌，Vol.51，N0.1，pp.49-54（2009）
14)島谷　健一郎:「点過程による樹木分布地図の解析とモデリング」，生態学誌，51（2），pp.87-106（2001）