

回路シミュレーションソフトを利用した 「擬似実験による自学自習システム」

遠 矢 守*・堀ノ内 将 司**

(2010年10月26日 受理)

A Self-Study System for Computer Simulated Experiments with Simulation Software

TOYA Mamoru, HORINOCHI Shoji

要約

本学部技術専修では、授業時間数の削減等により、電気分野のうち特に「実験実習に関する授業時間」を十分に確保できず、技術科教師として十分資質保証できないまま卒業生を送り出している現状がある。すなわち、彼らの大多数は、技術科教師として具備すべき電気計測器や電気部品の取り扱いの実際について、その実体験不足のまま教壇に立つことになるのである。また、この実体験不足が、多くの学生にとって、電気に関する理論の理解を深めることを阻害したり、理論を実際に活用する応用能力を困難にしたり、ひいては電気分野に対しての苦手意識や嫌悪感を誘引させていると思われる。授業時間数が削減された中で、これらの問題点を打破する方策は、授業時間外に自主的な電気実験実習や電気工作を彼らに促すことである。しかし、これは現実的な解決策にはなりえない。たとえば、知識が不十分で、かつ、実験操作に習熟していない初学者が指導者の不在のまま自学実験・実習することによる「電気事故」、「計測器の焼損」、「部品の消耗」などが十分考えられるからである。そこで、本稿では、これらを解決する方策の一つとして、回路シミュレーションソフトを用いた「擬似実験による自学実習システム」を提案している。さらに、そのシミュレーションソフトとして、TINA と Edison を利用し、上述の趣旨のもとで本学部学生を対象にして試行授業を実施したので、その結果および本システムの問題点についてそれぞれ述べることにする。

キーワード：教員養成、技術科教員、資質保証、シミュレーション、電気回路

* 鹿児島大学教育学部 教授

** 鹿児島大学大学院教育学研究科 2年生在学中

1. はじめに

電気学を専門的に初めて学ぶ者にとって、電気は目に見えない、感電が怖い、法則や数式ばかりで理論が難しく分からないなどと言われることが多い。これらを払しょくするためにも、教育学部技術科の教員養成課程において、その望ましい授業形態としては、「①机上における理論学習（演習を含む）（座学）、②教授者による演示実験、③学習者による実験実習体験」の3つの調和のとれた組み合わせが重要と考える。これら3つの調和により、授業内容の理解度を深めることが期待できるのであるが、本学技術専修の場合（特に電気技術分野において）、現在、教育職員免許法改正に伴う開設授業科目数の削減により演示実験や実験実習の時間を必要十分に確保できず、座学が主流となっている現実がある。座学による理論学習だけでは、受講学生の多くにとっては実体験不足から学習内容の理解が困難になり、電気分野に対して興味・関心・意欲を失わせてしまう傾向となっている。

すなわち、実験実習を体験させることは授業内容の理解を深め興味・関心・意欲を誘因するものであり、また、工具、部品、計測器などの活用技術も自然と学べるなど、実験実習を課すことは将来の技術科の教員を目指す学生にとって本来必要不可欠のものである。

このような利点のある実験実習を、正規の授業時間数の中に取り込めないのであるとすれば、それを、授業時間外に自主的に「大学内の実験室で実験実習させる」ように促すことや、受講学生の自宅で実験実習させることも考えられる。その自主学習を促すためには、そのためのコースウェアの提示が必要であり、本学部技術科教育第2研究室では、今までに「PICマイコンで学ぶコンピュータのハードウェア入門」¹⁾、「ハイパーリンク方式で学ぶOfficeソフト自宅学習システム」²⁾、「電話機と電話交換機を組み立てながら学ぶトランジスタ回路入門」³⁾、「自作型USBインターフェースを利用した制御技術入門」⁴⁾など種々のものを開発してきた。

しかし、大学の実験室で自主的に回路実習させる場合、実験などに使う部品・計測器・工具の管理や事故などに種々の問題が考えられ、一方、自宅実習の場合でも、実験に必要な部品・工具・計器など一式を自宅に揃えさせる必要があり、これを全て揃えるための費用と手間がかかるという問題もある。

このような状況下で注目したのが、「電子回路シミュレーションソフト」の利用である。

シミュレーションソフトは元来、回路設計技術者用のために開発されてきたものであるが、これを技術科教員養成の場で使うことで、上述した問題点を解決する一つ的手段になりうるのではと考えたのである。すなわち、受講学生は、座学授業の際に提示された回路を、授業時間外の空いた時間に、上述のソフトがインストールされているパソコン上で結線作業を行い、疑似的な計測器などを操作しながら、その素子の特性や回路の動作を確認させるようにする。これらは、実際の部品、工具、計器などを用いて行う実際の実験（以後、「実実験」と呼ぶ）ではなく、パソコンソフト上で行うシミュレーション実験、すなわち、疑似的な実験（以後、「疑似実験」と呼ぶ）である。しかし、パソコン上での疑似実験だからこそ、学習者自身の着想に基づく実験を

気軽に行えるなど様々に創意工夫して実験できるという利点や、試行錯誤しながら種々の実験を数多く試みることが容易であるなどの利点がある。これらの疑似実験体験を多く繰り返すことにより、座学で学んだ事項について理解が深まり、ひいては実技能力が高まることが大いに期待できるのである。

なお、シミュレーションソフトとして、本稿では Design Software 社製の TINA (Book 版、サンプル版)、および、実体図のような 3D の配線で実験が可能な同社製の Edison (サンプル版) をとりあげることにする。

上述した趣旨のもとで、座学中心の授業を補足することを意図した学習コースウェアを試作し、本学教育学部の学生にそれを試行してみた。その試行方法の詳細および試行結果などについては次節で述べることにする。

2. TINA/Edison による「自学自習システム」の試行とその結果

回路シミュレーションソフトを利用して授業時間外に自主的に実験することを受講学生に促すためには、あらかじめ、そのソフトの機能を彼らに伝え、その使い方を修得させておく必要がある。そのために、そのソフトの使い方の紹介を兼ねた「電気・電子回路入門テキスト」(TINA 版⁷⁾、および Edison 版⁸⁾) を作成し、正規授業回数のなかで本ソフトの使い方を実習する授業を行った後、授業時間外の空いた時間に自学自習することを促すことにした。

本稿では、シミュレーションソフトとして数多く存在するソフトの中で、前述したように TINA と Edison をとりあげた。前者は、パソコンの画面上で回路図記号 (アイコン) を配置することによる配線をおこなった後、本ソフト上にある計測器 (アイコン) を利用して種々の実験をシミュレーションできるようになっている。これに対して、後者の場合、パソコンの画面上で配線するのは同じであるが、回路図記号の代わりに部品の絵 (アイコン) を配置し結線するという実体図に近い形で配線作業を行うことが可能で、それが終わると、その回路が即座に動作するようになっている。すなわち、前者が回路図という 2D 表示画面上での操作であるが、後者は立体図的に見える 3D 表示でシミュレーション実験するという大きな違いがある。

TINA には、市販版 (Student 版など)、ブック版、サンプル版などがある。本学部のパソコンルームには Student 版が導入されているが、受講学生自宅での実験の便宜を考慮しサンプル版を推奨した。なお、サンプル版は、英語表記でアナログ回路実験に限定されるが、本学習システムを試行する際には本質的な問題とはならない。

また、Edison には、Version4 と 5 のそれぞれについて市販版とサンプル版があるが、Version5 のサンプル版は 30 日間のみしか利用できないために、その期間を過ぎた受講学生には、Version4 のサンプル版を推奨し、授業時間外の自学実験自習を促すことにした。

それぞれの試行結果については、次項で述べることにする。

2.1 TINA による試行結果

自学実験自習を促すため、本学教育学部生（「入門電気学」受講者 16 名、「ハードウェア入門」受講者 23 名、合計 39 名）を対象に、「TINA の使い方」の紹介を兼ねた電気回路に関する試行授業を実施した。そして、回路シミュレーションソフトによる「疑似実験体験」が、実際の部品を用いて行う「実実験」に代替できるものかどうかについて、学習者の立場からアンケートに回答してもらうことにした。以下に、その結果について述べることにする。

まず、疑似実験で学習した場合の理解度についてであるが、試行授業の前後に学力面でのテスト（同一問題でプリテストとポストテスト）を行ったところ、すべての受講学生の成績は向上している。また、情意面でのアンケートでも「TINA により、講義内容の理解度が向上したか」と尋ねたところ、図 2-1 (a) に示すように 86% の学生が「向上した」と回答している。向上した理由としては、「TINA で学習すると理論が具象化できたから」、「電気回路を手軽に構成できるから」などを挙げている。逆に「向上しなかった」と回答した理由は、「TINA の操作にまだ慣れていないから」などであった。

次に、「TINA で疑似実験したことにより、電気学に興味・関心を持てるようになったか」と尋ねたところ、同図 (b) に示すように 81% の学生が「興味・関心を持った」と回答している。その理由は、「理論だけでなく、回路を実際に作ることができたから」、「画面上で回路を作るのがおもしろい」などであった。逆に「興味・関心を持てなかった」と回答した者は、「操作が難しかった」などを理由に挙げている。

さらに、「自宅のパソコンにサンプル版をインストールし、もっと TINA で学習したいか」と尋ねたところ、95% の学生が「学習したい」と回答している。理由として、「授業でやらなかった回路についても学習してみたい」、「シミュレーションは楽しいから」などであった。しかし、「ブック版を購入するか」と尋ねたところ、15% と低い結果となった。その理由としては「サンプル版で十分」という意見が多数を占めた。

次に、実実験と疑似実験の両者の使用感について意見を求めるため、実実験体験のないハードウェア入門受講者 23 名に実際にブレッドボードを用いた実実験を体験してもらった。その上で「授業時数の関係でブレッドボードによる実実験とシミュレーションによる疑似実験のいずれか一方しか実施できない場合、どちらの方式の学習を望むか」と尋ねたところ、図 2-1 (c) に示すように「疑似実験を望む回答」が半数近いという予想外の結果が得られた。ここで、前者を望んだ理由としては、「達成感が大きい」、「実際の部品をさわった方がおもしろい」などであり、反対に後者を選んだ理由は、「回路がわかりやすい」、「成功しやすい」、「より多くの種類の実験をできるから」などであった。

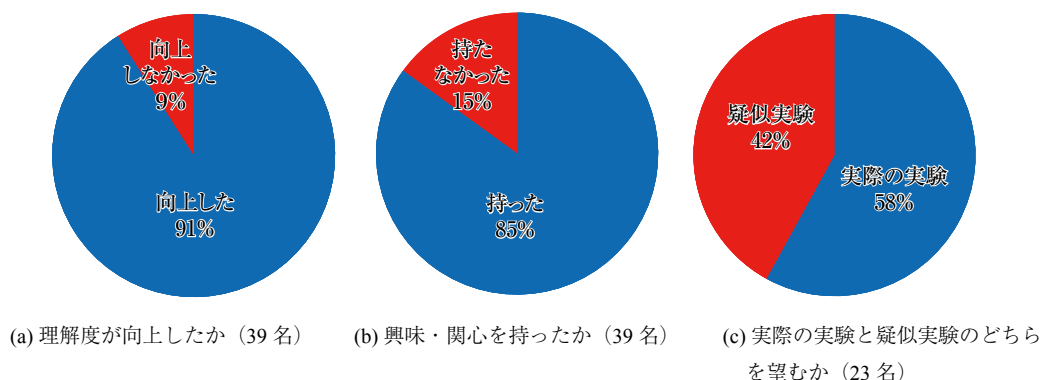


図2.1 TINA を使用後の意見

2.2 Edison による試行結果

前節の結果では、シミュレーションソフト TINA を利用した自学自習システムにおいて、それがパソコン画面上での疑似実験体験だとしても、本システムが学習者に電気学に対して興味関心を引き付け、学力面でも貢献している。さらに、授業時間数の関係で実実験と疑似実験のどちらか一方しかできない場合、どちらの方式で学びたいかという質問に対しても、両者を比較した場合、前者の方が優れているのは明らかであるのに、後者を望んだ者が半数近く占めている。このことは、疑似実験には実実験にはない「学習方式としての長所」が存在することを学習者側も実感していると考えている。

本節では、本自学自習システムがソフトを変えても同様な成果が得られるか否かをみるため、Edison についても TINA とほぼ同様の調査を行ったので、その結果について述べることにする。被験者としては、本学部技術科生（「技術科教材教具論」受講者 9 名、「技術科教育演習Ⅱ」受講者 11 名、合計 20 名）を対象にした。

まず、学力面でのテストを実施したが、ポストテストの結果は成績が上昇している。さらに情意面でも「Edison を用いて疑似実験したことで、講義内容の理解度が深まったか」と尋ねたところ、95%の受講生が「深まった」と回答している。理由は、「イメージしやすい」、「繰り返し行えるから」などであった。逆に「深まらなかった」と回答した理由は、「深まるとは思うが、実際の実験にはかなわない」ということであった。さらに、「Edison による疑似実験をしたことで、興味・関心を持ったか」と問うたところ、95%の受講生が「持った」と回答している。理由は、「疑似実験することで仕組みに興味を持った」、「自分で実験できるから」であった。逆に「持たなかった」と回答した理由は、「疑似実験が成功できなかったから」であった。

次に、「理論のみの講義はどう思うか」と問うたところ、すべての受講生がそれに「反対」であった。理由は、「理論だけではイメージがわからない」、「楽しくない」などであった。また、「授

業時間数が足りず、実際の実験と疑似実験のどちらか一方しかできない場合、どちらを望むか」と尋ねたところ、80%の受講生が「実際の実験」と回答した。しかし、実実験と疑似実験のそれぞれの長所・短所を述べた上で、引き続き同じ質問をしたところ、図2-2(c)に示すように、25%の受講生が「実際の実験」を、20%の受講生が「疑似実験」を望み、55%の受講生が「どちらともいえない」と回答している。「実際の実験」の方を望んだ理由は、「それでも実際に部品に触った方がいい」などであった。「疑似実験」を望んだ理由は、「数多くの実験ができるから」、「時間を短縮できるから」などであった。「どちらともいえない」を選択した理由は、「どちらの長所もいいし、どちらの短所も悪いから選べない」などであった。

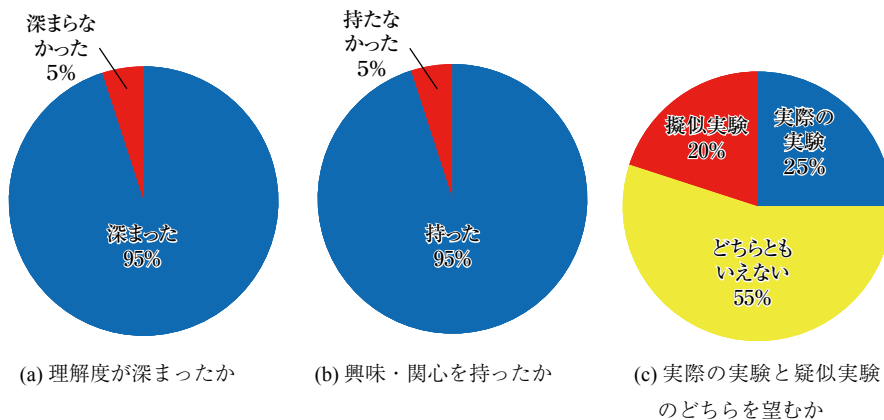


図 2.2 Edison を使用後の意見 (20 名)

2.3 シミュレーションソフトを利用した自学自習システム

前節で述べたように、TINA と Edison の場合のそれぞれについて同様の調査を行ったところ、シミュレーションソフトを利用して自学自習することに対して、図 2-1、図 2-2 に示したようにほぼ同様な成果がえられている。すなわち、疑似実験による体験学習であっても、理解度、興味・関心・意欲を誘引することができ、学力面でも向上させることができた。さらに、疑似実験で学ぶよりは実実験で学ぶ方を望む回答が圧倒的に多いはずという当初の当然の予想に反した結果が得られており、これは TINA でも Edison でも疑似実験による体験学習に「実実験にない長所がある」ことを実感させることができたと考えている。

疑似実験はあくまでもパソコン画面上だけのことであり、それは実態ではない。疑似実験する授業時間を設けるくらいなら、その授業時間を実実験にあてた方がより深く多くのことを学べるため、実実験を実施した方が明らかに教育効果を上げることができるのは明白な事実である。しかし、限られた授業時間数の中で、必要な実験実習項目をすべて実実験で実施することが可能でないという現実があり、その解決策の一つとして、本稿において、シミュレーションソフトを利用した自学自習システムを提案してきた。

しかし、ここで、回路学の実験実習項目をすべて疑似実験で済ませてしまうようなことは考えおらず、疑似実験は実実験を補足する役割を担わせるべきものだと考えている。すなわち、どうしても実実験でやらないと体得させられない実験実習項目については、正規の授業時間内に実実験を課すべきである。ただ、実実験を実施する場合、一つの実験項目あたりの所要時間を多く要するため、限られた授業時間数の中では、実施できる実験項目数をかなり削らねばならない。そのようなことをするよりは、可能なものは疑似実験に任せることにより、より多くの種類の実験を体験させた方が、電気回路の実学をより広く深く修得させうるものと考えている。

すなわち、どうしても実実験でやらないと体得できない実験実習項目については、正規の授業時間内に実実験を課し、疑似体験でも済ませられる可能性のある実験実習項目については疑似実験で実施する、さらにそれでも、授業時間数が不足する場合は、授業時間外での自学自習を促すという方式が、上述した現状の問題点を解決する一手段になりうるものと考えている。換言すれば、実実験と疑似実験の両者の短所と長所を十分熟知した上で、本システムを実施する必要があると考えている。

3. 本システムの長所と短所

本稿で提案した「シミュレーションソフトを利用した自学自習システム」と、通常の「実際に行う実実験による学習システム」とを比較すると、下表1のようになる。

まず、実際の部品など用いて行う実実験では「計測器や部品の購入」と「揃える準備」が必要なため、実験開始までに手間と時間を要するのに対して、本システムでは、ソフトの入手のみで実験を即座に開始できるため事前準備がほとんど不要である。コスト面についても、実実験では計測器や部品の購入が必要なため高額な費用がかかるのに対して、本システムではソフトを入手するのみで実験を開始できるため比較的安価ですむことになる。加えて、本システムの方が、電気事故の可能性が考えられず、実際の部品の消耗や計測器の焼損なども皆無であり、この面でもメリットがある。さらに、実際の部品を揃えてから配線し実験を始める手間に比べれば、本システムによる方が配線ミスの修正なども簡単にできるため、より多種類の実験を短時間に手軽に素早く行うことができ、さらに、学習者の考えた実験と理論が一致することの喜びなどを味あわせることもできる。これらの快適性により、ゲーム感覚で楽しく学習を進めることができるので、疑似実験だけでは物足りなくなり、実際の部品を入手し実実験をしたくなるという内発的動機付けにつながることも期待できる。

表1 実実験と本稿の自学自習システムの比較

	実実験	自学自習システム
事前の準備	計測器や工具・部品を購入し揃えておくことが必要	ソフトを入手し、パソコンにインストールする
手間	毎回、準備に手間がかかる	手間をほとんどかけずに、毎回、即座に実験開始できる
コスト	大	小
電気事故の可能性	あり	なし
計測器や部品の焼損	あり	なし
実験実習の体験	実体験できる	疑似体験のみ
その他	<p>実際の部品、工具、計測器を使い実験する。このため、多くのことを実感し実体験できる。</p> <p>誤配線すると修正に手数と時間がかかり、一つの実験に要する時間が比較的多くかかる。</p>	<p>パソコン上での疑似実験のため、実際の現象と異なる事象が発生し、誤解と混乱を誘発する可能性がある。</p> <p>誤配線しても、簡単に修正できるため、短時間に多くの種類の実験回路を体験学習できる。</p>

しかし、このような多くの長所がある一方で、本システムは、あくまでもパソコン上での疑似実験体験であるため、実験のテーマによっては、実際の実験とは異なる事象が発生するという「疑似実験の限界」が存在し、このことが電気学を初めて学ぶ者に誤解と混乱を起こさせてしまう欠点も存在する。

たとえば、Edison の場合、電球やモータは定格を超えて使用すると、それらが消損してしまうシミュレーションが実行され学習者は感動するが、その一方でダイオード、LED、トランジスタなどは定格を超えて使用しても消損するシミュレーションは、現在のバージョンでは考慮されていないなど、部品による統一性がない。また、リード線を切断し、ハンダ付けやねじ止めすることなく配線が完成してしまうなど配線を実体験できない問題や、計測器の極性やレンジ切り替えせずに測定できてしまうなど計測器の取り扱いも実実験の場合のそれと異なってしまうことがある。

このような短所があるが、このような欠点の存在を承知したうえで、それを考慮したコースウェアを作成すれば、この欠点を補って余るほどの長所を生かせるので、本システムは授業時間外の自学自習システムとして有効な一手段となりうるものと考えている。

4. おわりに

本学技術専修では、正規の授業の中で、実験実習体験をさせる時間を十分に確保出来ず、技術科教員としての資質が不十分なままの学生を輩出している現状があり、その打開策の一つとして、

本稿ではシミュレーションソフトを用いた自学自習システムを提案した。

その提案に基づいて、シミュレーションソフトの利用方法の紹介を兼ねた試行授業を本学部学生対象に行い、その結果、シミュレーションソフトを利用した自学自習システムについて、TINA と Edison とともに、授業時間数削減の現状の中では「本システムによる自学自習システムの長所」が認められるアンケート結果が得られているが、実実験と擬似実験の両者が調和のとれたコースウェアが未完成であり、本システムの有効性を実証するまでには至っていない。さらに、本システムの試行授業を受けた学生に対して、その後、「TINA のブック版を入手したか」の間に対して、個人的に入手した者は現在まで皆無である。また、「シミュレーションソフトを利用した学習は技術科学生として必要であったかどうか」をアンケートで尋ねたところ、その全員が「必要だ」と回答したにもかかわらず、「試行授業後、Edison を使って自主的に擬似実験学習をしたか」を質問したところ、ほぼ全員が Edison を利用していなかったという現実もあり、自学自習システムがいまだ実現できていないということが明らかになった。これらが大きな残された今後の課題である。

参考文献

- 1) 永吉、遠矢: コンピュータ (ハードウェア) の指導法に関する一報告、日本産業技術教育学会九州支部論文集、第 15 巻 (2007)、pp.1-5
- 2) 永吉、畑中、遠矢: ハイパーリンク機能などを利用した Office ソフトの「自宅補習学習システム」、日本産業技術教育学会九州支部第 20 回九州支部大会講演要旨集 2007 (E11)、pp.85-86
- 3) 畑中、遠矢: 自作 USB インターフェース実験ボードを利用した「制御分野の授業方法」、日本産業技術教育学会九州支部論文集、第 16 巻 (2008)、pp.69-76
- 4) 吉田、遠矢: 簡易型「電話交換システム」教具の開発、日本産業技術教育学会九州支部論文集、第 17 巻 (2009)、pp.69-74
- 5) 堀ノ内、吉田、遠矢: 回路シミュレーションソフトを利用した「電気・電子回路の学習方法」、日本産業技術教育学会九州支部第 20 回九州支部大会講演要旨集 2009 (b24)、pp.37-38
- 6) 堀ノ内、遠矢: 技術科教員養成課程における「電気回路」の指導方法に関する一提案と試行報告～回路シミュレーションソフトの導入～、日本産業技術教育学会第 53 回全国大会講演要旨集 2010 (b21-4)、p.44
- 7) http://www.tech.edu.kagoshima-u.ac.jp/~toya/gijutu/courseware/tina_tukaikata.pdf
- 8) http://www.tech.edu.kagoshima-u.ac.jp/~toya/gijutu/courseware/edison_tukaikata.pdf