

「電気回路」用教育支援教材開発とその学習効果

Development of Educational Support Tool for Electric Circuit and Its Learning Effect

宍戸 倫歩[†]

Tomoo Shishido

森 幸男^{**}

Yukio Mori

相川 直幸^{***}

Naoyuki Aikawa

西田 保幸^{***}

Yasuyuki Nishida

1. まえがき

一般に、工学を学ぶ学習者（特に、ここでは初学者を対象とする）にとって、工学的なモデルの「動き」を直感的に理解することは困難である。黒板を用いた一般的な教育方法では、主に静止画での表現が中心となるので、学習者にとって工学的モデルの「動き」を理解することは困難である。そこで、科学技術の知識やセンスを養うために容易に工学的モデルの「動き」を理解するための様々な教育方法が提案されている[1]-[6]。

ビデオ教材を用いた方法では、静止画では表現しにくい動的な物理現象すなわち、工学的モデルの「動き」を再現することができる[4]。しかし、この方法は教師から学生への一方的な授業となるばかりではなく、文字情報に比べ画像情報量が多いために情報過多となり学習者の理解が困難となる。EDA (Electronic Design Automation) ツールを用いる方法では、実験・実習で多くの拘束時間を必要とする素子及び素子値の変更や計測機器との再結線を短縮することができ、工学的モデルの「動き」のシミュレーションを行える。しかしながら、EDA ツールを使いこなすための専門知識が必要となることや、回路設計の自由度が大きすぎることで、学習者の情報過多となる傾向がある。上述の欠点を改善した教育ツールとして iPES (interactive Power Electronics Seminar) [3], [5]がある。iPES では、パワーエレクトロニクスの分野でインタラクティブ性とアニメーションを積極的に利用し、簡単な GUI (Graphical User Interface) 操作で工学的モデルの「動き」を理解できる教材を試作している。iPES は、IT (Information Technology) を利用した独習ツールとしての効果が期待できる教材であり、実際に教育現場で用いられている。しかし、「音」の効果を利用した教材や実機モデル（実験キット）と連動することによるリアリティの高いシミュレーションは開発されていない。

そこで、本稿では iPES 同様にインタラクティブ性とアニメーション効果を利用し、簡単な GUI 操作で工学的モデルの「動き」を理解できかつ、「音」の効果を取り入れた電気回路用教育支援教材 iCASS (interactive Circuits and Systems Seminar) [6] (以下 iCASS と呼ぶ) を開発する。この教材において、学習者には必要以上に数値にこだわらず、純粋に物理現象のみを理解させるため、数値入力機能は設けていない。さらに、iCASS は実機モデルとウェブ上のアニメーションを連携させることにより、シミュレーションによる「うそ臭さ」を解消している。また、実機モデルと WWW (World Wide Web) システムとの連携は PICNIC (Network Interface Card using Peripheral Interface Controller) を用いて Ethernet により接続する。本稿には実際に iCASS を用いた教育方法と一般的な黒板を用いた教育方法との比較・評価を行い、iCASS の学習効果の有効性を示す。

[†] 日本大学大学院工学研究科

^{**} サレジオ工業高等専門学校

^{***} 日本大学工学部

2. iCASS のシステム

iCASS はインタラクティブ性とアニメーション効果を利用し、簡単な GUI 操作で工学的モデルの「動き」を理解できかつ、「音」の効果を取り入れた学習支援教材である。さらに、iCASS は従来の IT 環境を用いた教材[5]-[9]と同様に WWW システムを用いているため、インターネットが使用できる環境であれば時と場所を選ばず、学習者自身のペースで納得いくまで学習できる。また、iCASS の WWW システム部分は個々の教材を Java アプレットで開発しており、その基本構成は図 1 の示すように理論式、数値、回路図、特性図からなっている。提案する iCASS システムの特長を以下に示す。

(1) 工学的モデルの「動き」の可視化

一般的な黒板を用いての授業では、工学的モデルの「動き」(物理現象)は表現できず、学習者(特に初学者)には直感的に工学的モデルの「動き」を理解することは困難である。そのため、科学技術的な知識やセンスを養うことが出来ない。そこで、iCASS では工学的モデルの「動き」を可視化し、アニメーション的に動作させることにより、工学的モデルの「動き」を学習者に直感的にイメージできるように開発している。また、iCASS では GUI 環境を用いて素子及び素子値や特性のパラメータを変化させることで、シミュレーションをインタラクティブ的(対話的)に行うことが可能となる。例えば、素子値や素子を変更すると、電圧・電流波形の様子や回路特性などがリアルタイムに変化する。あるいは、電圧・電流波形や回路特性を変更すると素子値がリアルタイムに変化する。よって、素子が持つ様々な特徴と、回路特性の対応を理解することが容易になり、科学技術的な知識やセンスを養うことができる。

(2) 音の効果

例えば、共振回路の性質を理解させる教材では、実際のラジオの周波数選択性をイメージし、共振周波数と目的のラジオ局周波数を一致させるための素子値の変化をアニメーション効果により示している。さらに、共振の鋭さ Q (周波数選択度) の重要性を共振特性図の変化ばかりではなく、「音」を用いること、すなわち、ラジオ局間の混信の様子を「音」により体感することでより効率的に工学的センスを身につけることができる。

(3) 実機モデルと WWW システムとの連携

従来の IT 環境を利用した教材は、ほとんどが PC (Personal Computer) 上でのシミュレーションのみを利用している。その結果、シミュレーションによる「うそ臭さ」を学習者は解消できない。電気回路のような実機モデルが得やすい分野においては、実機モデルと WWW 上のアニメーションとを連携することで学習者にとってシミュレーションによる「うそ臭さ」が解消できると考えられる。そこで、iCASS では、図 1 に示すように PICNIC を利用して、実際の電気回路実験キットと PC を Ethernet により接続可能となり、接続した実機モデルを操作したときの回路や特性の

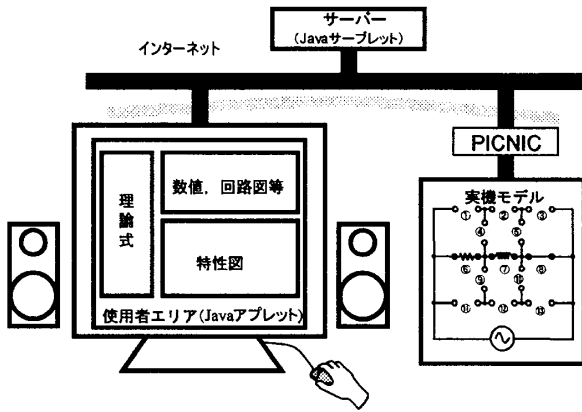


図1 iCASSのシステム構成

変化が WWW システム上の回路図や特性図等と連動して表示される。ただし、iCASSにおいて素子の種類や素子値の認識は素子や素子値を直接読み取るのではなく、各素子、素子値ごとに決められた2進符号をPICNICを通してWWWシステムが読み取りWWW上に表示している。このように、素子値などを直接読み取っているわけではないが、WWW上の諸特性は実際の素子、素子値ごとに決められた2進符号で読み取ったものを理論式に代入し求めているので、実際のシステムと同じ動作量を示す。iCASSでは、実機モデルに発振器や測定器を接続することも可能で、測定器の指示と同じ値がWWW上に示されることになる。これにより、学習者はシミュレーションの「うそ臭さ」の解消が可能であると考える。

3. iCASSの利用形態

本教材の利用形態は、下記に示す3項目に大別できる。

(1) 講義補助教材としての利用

黒板を使用しての授業では、主に静止面での表現が中心となってしまうため工学的モデルの「動き」の描画が困難となる。また、教師が「動き」を描画する時にその都度書き直さなければならない。これは、「動き」が複雑で重要なモデルほど説明に労力がかかることを意味する。その上、教師の「描画」による表現力が学習者の理解度を左右する恐れもある。本教材を黒板での「描画」の代わりに利用することで、複雑なモデルの「動き」を授業で簡単に表現できる。さらに、素子や素子値の変化と工学的モデルの「動き」を対応づけることができ、効果的に物理現象を学習者に教えることができる。また、教師の表現力の問題も縮小できると考えられる。

(2) 独習ツールとしての利用

学習者が個々の環境で学習を行う際に、一般的に教材を利用する時間や場所を制限されない必要性がある。また、独習環境において、学習者自身のペースで物理現象の要因や効果を納得するまで操作できることが重要である。本教材は、IT環境を利用したWWW教材なため、上述の要件を満足し、独習ツールとして適している。さらに、一般的なEDAツールと異なり、本教材は各章ごとに組むことが可能な回路を限定することで、各章の重要事項を学習者に容易に回路シミュレーションを通して理解させることができる。

(3) 実験補助教材としての利用

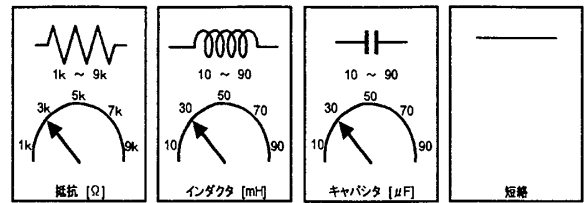


図2 接続するブロック (抵抗, インダクタ, キャパシタ, 短絡)

本教材は、図1に示すようにEthernetで接続した実機モデルとPCをリンクさせることで実際の回路とiCASSとの連携ができる。具体的には、実際の素子を実機モデルに接続することにより、WWWシステム上に表示されている回路図や特性図が瞬時に描画される。さらに、実際の発信器や計測器も実機モデルに接続可能であり、従来の実験・実習も同時に行うこともできる。WWWシステム上の表示は、理論式を用いて正しく計算した結果を表示しているため、計測器の表示と同様であり、簡易的なEDAツールとしても利用でき、シミュレーションによる「うそ臭さ」の解消にもなっている。

4. iCASSの利用例

iCASSを用いて図3に示すような2素子の直列接続回路を、WWWシステムのみで学習する場合と実機モデルを接続して学習する場合について述べる。例として、RL直列接続回路の場合について考える。

4.1 WWWシステムのみの場合

まず、図3においてRL直列接続回路を作成するために、

1. 素子 (R) を選択し回路中のIにドラッグし接続
2. 素子 (L) を選択し回路中のIIにドラッグし接続

の操作を行う。回路が成立したときの状態を図4に示す。図3と図4を比較して分かるように、iCASSではその回路に対応した理論式、素子値、回路に流れる電圧・電流波形、ベクトル図が表示される。図4において、操作可能なものには、操作ポイント(●印)を設けている。これは、iPESの仕様準じており、利用者にとって、直感的な操作イメージを与えるためのものである。この例において操作可能なものは、各素子値と電圧・電流波形の位相と電圧の大きさである。例えば、素子の端にある操作ポイントをドラッグすることで素子の大きさが変化し、素子値が変わる。このとき、それに対応して電圧・電流波形、ベクトル図も瞬時に変化する。ここで、素子値を素子の大きさで表したのは、学習者に直感的に素子値の変化をイメージできるようにしたためである。また、図中にある円グラフの大きさは、電圧・電流の最大値を表しており、矢印のあるベクトルは $t=0$ のときのそれぞれの瞬時値を表している。これにより、インダクタと抵抗を接続した場合は、電流は電圧よりも遅れ位相であることが見てわかる。また、抵抗とインダクタの素子値の関係と、電圧と電流の位相の関係が数値、電圧・電流波形、ベクトル図から視覚的にわかる。

4.2 実機モデルを接続して学習する場合

実機モデルを用いてRL直列接続回路を作成するために、図1に示したように実機モデルの⑥に抵抗ブロック、⑦にインダクタブロック、⑧に短絡ブロックを接続する。回路が成立したとき、図4に示した回路、及び回路に対応した理論式、素子値、回路に流れる電圧・電流波形、ベクトル

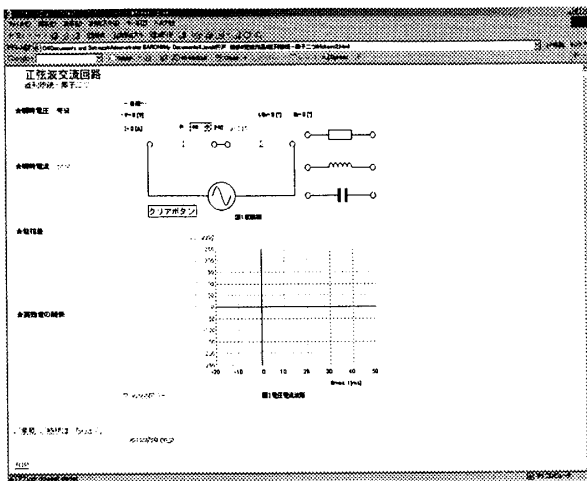


図3 2素子の直列接続回路の初期状態

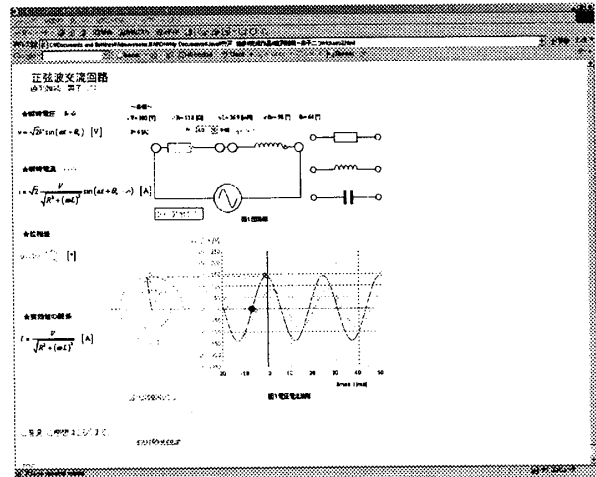


図4 2素子の直列接続回路

図が表示される。ここで、WWW システムに表示される素子値の値は、実際に接続した素子値を表示する。つまり、図 2 に示した素子は、素子の種類と値によって、決められた 2 進符号を持ち、その 2 進符号を用いて実機モデルと WWW システムとの連携を行うことで実現できる。実機モデルと WWW システムとの連携は以下に行っている。

1. Java アプレットから、実機モデルの個々の接続端子に対してどこに何が接続されているのかという信号を Java サブプレットを介して PICNIC に送信
2. PICNIC はその信号を元に実機モデルの回路上にどこに何が接続されているのか検出(場所, 素子, 素子値が 2 進符号となっている)
3. PICNIC は検出した信号を Java サブプレットを介して Java アプレットに送信
4. Java アプレットは送られてきた信号を WWW システムに表示させる

ここで、Java アプレットと PICNIC への通信は、Java アプレットのセキュリティ上の問題から直接 PICNIC への通信が行えないので、Java サブプレットを介して通信を行っていることに注意する。さらに、接続した各素子は図 2 に示すように、それぞれ可変可能であり、素子値を変えると、WWW システムのみの場合と同じように、図 4 の素子の大きさが変化し、特性図、数値が瞬時に変わる。

図 1 の実機モデルには接続端子が①～⑩までである。その接続端子には、抵抗、インダクタ、キャパシタ、短絡素子の色々な組み合わせの接続が可能であり、接続の仕方によって直列共振回路や直並列回路など色々な回路構造を作成できる。また、他の WWW システム教材は、参考文献[6]を参照されたい。

5. iCASS システムの評価

iCASS の教育効果を検証するために、実際の講義において、iCASS を用いた授業、iCASS を用いない授業の 2 つの授業を同じ学生 14 人に 45 分間それぞれ行った。各授業の後に、その授業の理解度を調べる為の演習を実施した。各授業の 14 人の演習の平均点を図 5 に示す。ここで、学生は同じ授業を 2 回受けることになるが、iCASS を用いる授業を始めに受けるか、iCASS を用いない授業を始めに受けるかは無作為に決定した。iCASS を用いた授業はウェブ画面をプロジェクタ

ーを用いてスクリーンに投影し、教師だけが iCASS を動作させて、工学的モデルの「動き」をアニメーションを利用し教える方式をとる。その間、学生自身は、iCASS を操作するのではなく、スクリーンに投影されたウェブ画面を見ながら学習する。一方、iCASS を用いない授業は、従来のように工学的モデルの「動き」を黒板を用いて教える方式をとる。図 5 の演習の平均点から見てわかるように、iCASS を用いた授業、用いない授業の順番を無作為に変化させても、iCASS を用いた授業の方が iCASS を用いていない授業より、演習の平均点が全て高くなっている。特に、RLC の性質、RLC 回路では、その差が大きく表れている。これは、素子値を変化させたときの電圧・電流波形の変化、ベクトル図の変化が瞬時に表示されることにより、複素数の概念と電圧・電流の位相差の関係が直感的に理解できたと考えられる。換言すれば、従来の黒板を用いた授業では、iCASS と同じように素子値を変化させた時の電圧・電流波形の変化やベクトル図の変化の様子を黒板に書いているが、アニメーションのように「動き」がないため、学習者にはなかなかイメージしづらいと考えられる。よって、iCASS を用いた授業では、科学技術的な知識やセンスを養えるので iCASS を用いることによる学習効果があることは明確である。図 6 は、各学生の iCASS を用いない授業の演習点を基準点として、iCASS を用いた場合の向上点の差を示す。14 人の学習者の内、11 人の学生は学習効果が認められた。このことから、学習者は iCASS が従来の黒板を用いた授業よりも工学的モデルの「動き」を通して、科学技術的なセンスを養えると考えられる。

iCASS の直感的なイメージを知るために以下の質問を 5 段階評価で答えさせた。

- (1) あなたの電気回路への興味・関心の度合いは良くなりましたか。
- (2) あなたの電気回路への理解は深まりましたか。

表 1 に質問の答えの平均 (5 段階評価) を示した。ここで、5 が最も評価が高く、1 が最も評価が低い。表 1 から、学習者が iCASS を使用することにより黒板を使用した授業よりも電気回路に興味が増え、電気回路の学習に対する意識改善にも有効であると考えられる。また、この興味と学習に対する意識改善も学習効果改善につながったと考えられる。

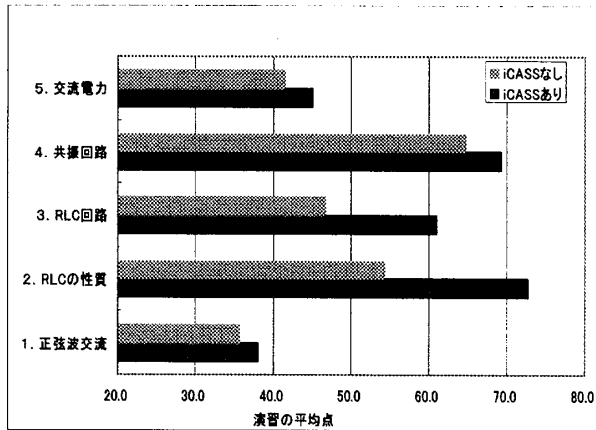


図5 演習の平均点の比較

本検証において、「音」を利用した教材や実機モデルを接続した教材を使っていないが、電気回路に対する興味付けや意識改善に「音」を用いた教材や実際に物を触れることが大きく貢献していることを確認している。今後は、「音」を用いた教材の教育効果と実機モデルを用いた検証についても検証していく予定である。

6. まとめ

本稿では、インタラクティブ性とアニメーション効果を利用し、かつ「音」の効果を取り入れた直感的に工学的モデルの「動き」を理解できる電気回路学習支援教材 iCASS の開発を行った。iCASS は WWW システムと実機モデル (実験キット) を PICNIC を介して、Ethernet を用いて接続できる。その結果、実機モデルとウェブ上アニメーションを連携させることができ、EDA ツールにありがちな「うそ臭さ」を解消した。また、ウェブ上の素子値は実際の数値を表示してあり、その値を用いて、簡易的な EDA シミュレーションツールとしても利用可能である。iCASS は、iPES 同様にマルチプラットフォーム環境で、インターネットを利用してコンテンツを配信しているため、時と場所を選ばない独習ツールとしても利用可能である。また、本稿では iCASS の教育方法と従来用いてきた黒板を用いた教育方法との比較・評価を行った。その結果、iCASS は黒板を用いた教育方法に比べ多くの学習者の学習効果を向上させ、電気回路への興味・関心を深められる教材であることが確認できた。よって、iCASS は学習者に工学的モデルの「動き」を直感的に効率よく理解させることができ、科学技術的な知識やセンスを養うことができるツールであると考えられる。

現在、全ての章は完成していない。これらについては、順次開発しウェブにアップロードしていく予定である。また、実機モデルとの連携も全ては完成していないので整いしだい、実機モデルを用いた教育効果の臨床を行う予定である。さらに、従来の IT 環境を利用した教材と本教材との授業での臨床も行う予定である。紹介した教材は、参考文献[6]で閲覧可能である。多くの方のご意見を伺えると幸いです。

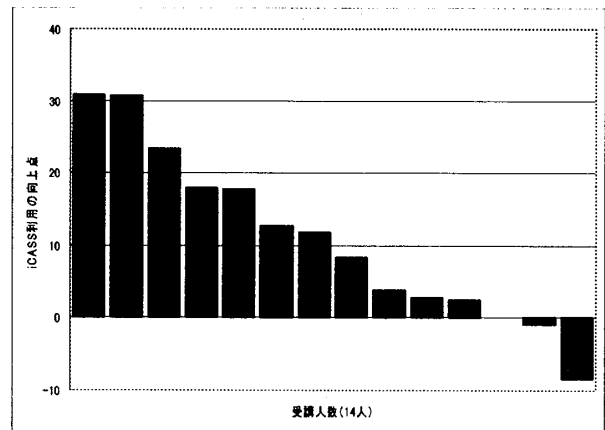


図6 各学生の iCASS を用いたときの向上点

表1 iCASS の直感的イメージ

| 質問 | 平均点 |
|--------------------------|-----|
| 電気回路への興味・関心の度合いは良くなりましたか | 3.8 |
| 電気回路への理解は深まりましたか | 4.0 |

7. 参考文献

- [1] 浪平博人：「動的視覚化による教育方法論の提案」, 教育システム情報学会研究報告, Vol.20, No.1, pp.83-88 (2005-6)
- [2] 税所幹幸, 池田直光, 中村良三：「再帰アルゴリズムを可視化する学習支援システムの設計と開発」, 教育システム情報学会誌, Vol.22, No.1, pp.36-41 (2005-1)
- [3] J.W.KOLAR, U.DROFENI, 西田保幸, 相川直幸：「アニメーション対話型パワーエレクトロニクス教育/学習プログラム」, パワーエレクトロニクス研究会論文誌, Vol.27, pp.190-166 (2002-3)
- [4] 阿部和厚, 細川敏幸, 西森敏之, 小笠原正明, 吉野悦雄, 中戸川孝治, 橋本雄一, 小野寺彰, 市川恒樹, 平川一臣, 高杉光雄, 常田益代：「メディア利用教育の教材および教授法の開発」, 高校ジャーナル-高校教育と生涯学習, Vol.6, pp.183-169, (1999-3)
- [5] iPES (interactive Power Electronics Seminar)
<http://www.ipes.ethz.ch/>
- [6] iCASS (interactive Circuits And Systems Seminar)
<http://www.sia.co.jp/~icass/index.html>
- [7] 隅谷孝洋, 稲垣知宏, 長登康, 中村純：「広島大学における WebCT 運用」, 第一回日本 WebCT ユーザカンファレンス (2003)
- [8] 橋本幸司, 速水悟：「音声検索を用いた e-Learning システムの評価」, 人工知能学会第 19 回全国大会 (2005-6)
- [9] 不和泰, 師玉康成, 和崎克己, 中村八東：「信州大学インターネット大学院計画について」, 教育システム情報学会誌, Vol.19, No.2, pp.112-117(2002)