

機関番号：15401

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2010

課題番号：20500756

研究課題名（和文） 教育用3次元表示回路シミュレータの開発

研究課題名（英文） Development of a Circuit Simulator using Stereographic Representation as a Teaching Tool

研究代表者

前原 俊信 (MAEHAEA TOSHINOBU)

広島大学・大学院教育学研究科・教授

研究者番号：50190319

研究成果の概要（和文）：

高等学校の物理において取り扱う電気回路の各部の電位を3次元的なイメージで表現する教育用シミュレータを開発した。直流、交流だけでなく過渡現象も含め任意の簡単な回路に対して、電位の3次元表示を時間的に変化させ、コンデンサに蓄えられている電荷やコイルに生じている磁束を表示し、指定した要素の電圧と電流の時間変化のグラフも表示できるようにした。試行授業により特に初心者に対して効果があることを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：

I developed, as a teaching tool in high school physics, a circuit simulator that displays an electric circuit stereographically by representing the electric potential of circuit elements by their height. This tool can represent steady DC and steady AC circuits, as well as transient states of circuits. It can represent charges stored in capacitors, magnetic fluxes in inductors and show a graph of current vs. time and that of voltage vs. time of a selected element. It is clarified by evaluation through trial classes that this tool is useful especially to beginners.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	700,000	210,000	910,000
2009年度	400,000	120,000	520,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	1,600,000	480,000	2,080,000

研究分野：物理教育

科研費の分科・細目：科学教育・教育工学 ・ 科学教育

キーワード：物理教材，電気回路，シミュレータ，3D，マルチメディア，可視化

1. 研究開始当初の背景

高等学校の物理において、コンデンサやコイルを含んだ電気回路は理解が難しい内容である。コンデンサにおける電位差・電荷と電流の関係、コイルにおける電流・磁束と起電力の関係について学んだ後に、交流回路を考える際、各素子における電圧と電流の位相

差が90度ずれることは知っていても、そのときの電荷や磁束の状況まで想像して理解することは難しい。また、各瞬間の回路の電位や電流の様子をイメージすることも難しい。

近年、コンピュータの高性能化が進み、回路を解析してその電位や電流などをリアル

タイムに画面上に表示することができるようになってきた。専門家用の電気回路シミュレータが開発され普及してきており、教育用シミュレータも作られている。しかし、電位を3次元的に表示するようなものは本研究の代表者が中心となって開発した直流回路用しかなかった。このシステムを拡張して、交流回路の場合にも同様なシミュレーションができれば、電位の時間変化や、電荷・磁束まで表示することで、回路の動作についてイメージで把握できるようになり、有用な教材となることが期待された。

2. 研究の目的

高等学校で学ぶ範囲の交流回路について任意の回路を設計すれば、電位・電流・コンデンサの電荷・コイルの磁束を解析して3次元的に表示するシステムを開発し、その教材としての有効性を検証する。

また、定常電流の状態だけでなく、過渡現象もシミュレートできるようにすることを検討する。

3. 研究の方法

(1) 直流用シミュレータ

本研究の代表者を中心とするグループで、直流回路用の教育用シミュレータを開発し、任意の回路を作れば電位と電流を解析して、電位を3次元的に表示するアプリケーション(図1)を実現していた。

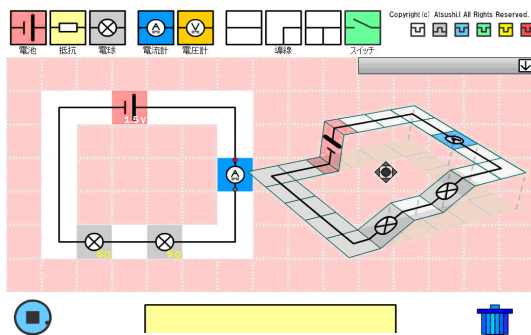


図1. 直流用シミュレータ

(2) 交流用モデルシミュレータ

交流に拡張すると時間的に変動するので、その表示方法について検討するために、まず、抵抗とコンデンサ、あるいは、抵抗とコイルの簡単な2素子の回路についてシミュレータを作成し(図2)、コンデンサの電荷、コイルの磁束の表現方法についても検討した。そこでは、交流回路の時間変化に応じて電位を3次元的に表現するとともに、コンデンサの場合は貯えられた電荷を色とその濃さで表し、コイルの場合は磁束を磁力線の濃さで表すようにした。

試行授業を行って聴取した利用者の意見をもとに、コイルとコンデンサの表現の改良

を行った。また、アンケートで要望があったため、電源電圧と抵抗やコンデンサ・コイルにかかる電圧、コンデンサ・コイルを流れる電流の時間変化のグラフも表示できるようにした。このシミュレータについては、学会にて発表し(学会発表3)、専門家の意見を聴取した。

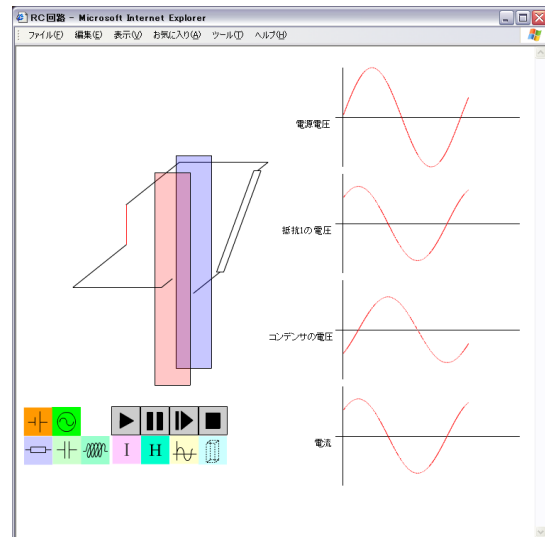


図2. 交流用モデルシミュレータ

(3) 交流用シミュレータ

直流回路版のシミュレータと同様、任意の交流回路についてシミュレートできるものが有用であるので、回路を自作するタイプの交流回路シミュレータの開発を行った。

回路解析においては、直流版における電圧、電位、抵抗等を複素数に拡張し、周期的に変動する電源電圧に対する位相のずれが記述できるようにした。3次元的な画面表示の時間的な変化については、商用電源と同じ60Hzでは速すぎて見えない上、解析も間に合わないため、時間を引き伸ばして表示を定期的書き換えることで実現した。

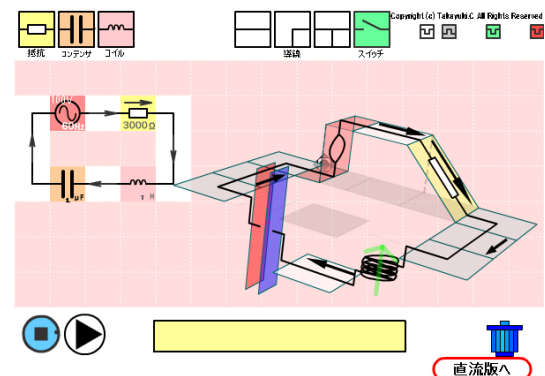


図3. 交流用シミュレータ

素子としては、コンデンサやコイルも使えるように追加したが、それらの表現については、コンデンサの極板やコイルの巻線の電位

を正しく表現する方法と分かりやすく表現する方法が同じでないため、それらを使用者が切り替えて使えるようにした。

交流版には交流電源しかないため、主に中学校で利用する直流版と切り替えられるように、ボタンを配置した(図3)。これについても学会で発表して意見を聴取した。(学会発表2)

(4) 過渡現象対応版シミュレータ

当初の計画では、この交流用シミュレータが開発の最終段階であったが、イベント等で発表・紹介した際に(ワークショップでの発表2, 3)現場教員からコンデンサの充電のような過渡現象をシミュレートさせてほしいという希望が多かったため、微積分方程式を解くタイプのシミュレータを作り直すことにした。

こまではFlashのActionScript 2.0を用いていたが、速度の向上が見込めることと、ローカルファイルを使えるようになることのため、ActionScript 3.0を用いて、プログラムを最初から書き換えることにした。

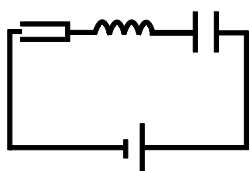


図4. 簡単な過渡回路

解析の方法については、例えば、図4にあるような簡単な回路であれば、

$$E = RI + L \frac{dI}{dt} + \frac{1}{C} \int Idt$$

という微積分方程式を解かなければならない。実際には、これを差分化した

$$E_n = RI_n + L \frac{I_n - I_{n-1}}{\Delta t} + \frac{1}{C} \sum_{i=1}^{n-1} I_i \Delta t$$

という式を解くことになる。この方程式を変形して、

$$\left(R + \frac{L}{\Delta t} + \frac{\Delta t}{C} \right) I_n = E_n + \frac{LI_{n-1}}{\Delta t} - \frac{1}{C} \sum_{i=1}^{n-1} I_i \Delta t$$

とすると、コイルとコンデンサを直流起電力と抵抗をもった素子と考えることができるようになる。このようにして、方程式の解法を開発し、任意の直流、交流、過渡回路についてシミュレートできるシステムを開発した(図5)。

ローカルファイルにアクセスできるようになったため、自分で作った回路を保存したり、読み込んだりできるようにもしたので、教員が授業等で見せたい回路をあらかじめ準備しておくようになった。

3次元表示には、オープンソースの3Dラ

イブラリであるPapervision3Dを用いることとして表現を改良した。3次元の高さの調整、シミュレーションの時間倍率の調整、グラフの電流の目盛りの調整のためのスライダーも加えて、表示の見やすさを改良した。このシミュレータについても学会で発表し意見を聴取した(学会発表1)。

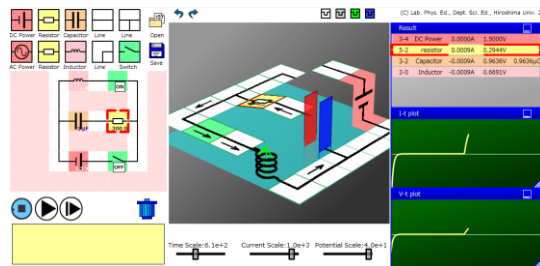


図5. 3次元電気回路シミュレータ

(5) 教材の評価

このシミュレータを評価するため、試行授業を実施し、過渡回路についての概念理解の教材として有効かどうか調べた。事前調査の後、授業履修者に自分で使わせて学習させ、事後調査を行った。事前・事後の調査問題としては、Sokoloffらの電気回路概念理解度調査の問題から過渡回路に関する部分を抜粋した。利用者に対して、教材に対する印象もアンケートで調査した。

4. 研究成果

(1) シミュレータの完成

本研究において開発された、任意の直流、交流、過渡回路のシミュレータは、電位を3次元的に表示するだけでなく、コンデンサに蓄えられた電荷やコイルに誘起された磁束なども表示し、教材としての価値が高いものとなった。さらに、選択された素子の両端の電圧とその素子を流れる電流の時間的変化のグラフも表示するようにして教育効果を高めることができたようにした。

このようにして、高等学校の物理で取り扱う、コンデンサの充放電や、コイルの逆起電力など、過渡現象を含むほとんどの電気回路についてシミュレーションを行い、3次元的に表示できるシステムが完成した。

(2) 教育効果の評価

これを用いた試行授業の結果を分析すると、コンデンサの動作についての理解度は向上し、開発した教材の有効性が確かめられた。ただ、コイルの動作については、理解度の向上が有意でなかったため、まだ課題が残った状況である。

利用者を高等学校の物理Ⅱの履修者と未履修者に分けると、未履修者の方が概念の理解度の向上が大きかったため、本教材は初心者にとって特に有用であることも明らかに

なった。

アンケート調査においても、コンデンサと電荷の関係については理解しやすかったとの回答が多かったが、コイルの電流と磁束との関係については肯定的な回答が半分程度であったので、概念理解度と同様、コイルの動作についてはまだ改良の余地があることが分かった。

アンケートの自由記述でも、時間変化が見られるのがよかったとか理解しやすかったとかの肯定的な意見が多く見られ、教材の有効性の傍証を得た。

(3) 普及活動

本教材は、中学校および高等学校において使用する際、教師がプロジェクターで投影して見せることもできるが、生徒に自分で使わせる方が有効である。そのためには、教科書会社の教師用資料集の CD に収録された直流版のように、広く知ってもらうことが重要であるため、ホームページを開設して、このシミュレータを Flash アプリケーションとして Web 上で開いて使用したり、アプリケーションをダウンロードして使用できるようにした。教材ワークショップにおいても参加した教員にアプリケーションを記録した CD を配布し（ワークショップでの発表 3）好評を得た。

さらに、国外においても使用できるよう、英語版の OS 上では自動的に英語表示になるように改良し、英語での使用を可能にした。また、研究成果を国外の雑誌に論文として発表する計画（投稿中）であるので、これが掲載されれば、国外へもアピールできることになる。

(4) 今後の展望

今後は、コイルの表現方法についてさらに改良を検討するとともに、現在の 3 次元表示は 3 次元モデルを 2 次元に表示しているが、これを 3 次元立体視できるように改良して、その教育効果を検討していく予定である。立体視用のディスプレイやプロジェクターを用いて眼鏡をかけて見たり、ヘッドマウント・ディスプレイで見たりできるようにして評価したいと考えている。また、電気回路素子をブロックにしたものとそれをはめるステージを作成して、シミュレータと同じ回路を実際に組み立てて電位を測定する教材も開発を検討している。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 0 件）

〔学会発表〕（計 3 件）

1. 大内田恵児, 梅田貴士, 前原俊信, 過渡

現象に対応した電気回路シミュレータ教材の開発, 日本物理学会 2010 年秋季大会, 2010 年 9 月 26 日, 大阪府立大学

2. 大内田恵児, 中満貴之, 前原俊信, 電位を可視化する電気回路シミュレータ教材の開発, 日本物理学会 2009 年秋季大会, 2009 年 9 月 26 日, 熊本大学

3. 中満貴之, 前原俊信, 交流回路における電位の立体的表示教材の開発, 日本物理教育学会第 25 回物理教育研究大会, 2008 年 8 月 9 日, 新潟大学

〔その他〕

ホームページ等

<http://ph1.ed.hiroshima-u.ac.jp/~physics/3D/index.html>

ワークショップでの発表

1. 大内田恵児, 梅田貴士, 前原俊信, 3 次元電気回路シミュレータ, 広島県物理教育研究推進会主催第 15 回物理教育研究会, 2011 年 2 月 19 日, 広島市

2. 大内田恵児, 稲垣惇史, 中満貴之, 梅田貴士, 前原俊信, 電位を可視化する電気回路シミュレータ, 広島県物理教育研究推進会主催第 14 回物理教育研究会, 2010 年 2 月 20 日, 広島市

3. 中満貴之, 前原俊信, 交流回路における電位を立体的に表示する教材, 広島県物理教育研究推進会主催第 13 回物理教育研究会, 2009 年 2 月 21 日, 広島市

6. 研究組織

(1) 研究代表者

前原 俊信 (MAEHARA TOSHINOBU)

広島大学・大学院教育学研究科・教授

研究者番号：50190319

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

梅田 貴士 (UMEDA TAKASHI)

広島大学・大学院教育学研究科・講師

研究者番号：40451679

大内田 恵児 (OUCHIDA KEIJI)

広島大学・大学院教育学研究科・博士課程前期学生

中満 貴之 (CHUMAN TAKAYUKI)

広島大学・大学院教育学研究科・博士課程前期学生

稲垣 惇史 (INAGAKI ATSUSHI)

広島県立福山誠之館高等学校・教諭