

GUIにより問題作成が可能な電気回路 E ラーニングシステム Electric Circuit Learning System with Tools for Making Problems by GUI

小森 学* 相川 直幸** 西田 保幸***
Gaku Komori Naoyuki Aikawa Yasuyuki Nishida

1. まえがき

電気・電子工学科において、電気回路学は電子回路やパワーエレクトロニクスなどを学習するための基礎科目である。一般に、電気回路の学習では教科書を用いた講義による理論学習や演習問題を解き、実験により回路の動作を体験することで理論の定着を行う。しかしながら、理論学習及び演習はイメージをつかみにくい難解な数式に触れなければならないという問題がある。一方、実験による学習は一人では行えず時間・場所の制限がある[1]。

近年、これらの問題を補うために、パーソナルコンピュータ(以後、PC と略す)を用いた CAI(Computer Aided Instruction)や E ラーニングがある[1]-[17]。CAI は PC を用いたシミュレーションによる学習方法であり、代表的なものとしては SPICE(Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis)が挙げられる[2]。しかしながら、SPICE のような回路シミュレータは複雑な回路を組むことに適してはいるが、初学者がこれを利用する場合には困難となる可能性が高い。すなわち、この方法では初学者が学ぶ場合まず操作の理解自体に時間を費やしてしまう可能性及び実際に機器に触れていないことから生ずる「嘘臭さ」といった部分が問題となる[1]。

このような背景から以前我々は、E ラーニングシステムとして iCASS(Interactive Circuit And System Seminar)と呼ばれる学習システムを提案してきた[1]。iCASS (<http://www.sia.co.jp/~icass/> [3])の主な特徴は、Web(World Wide Web)上で利用できる点、ヴァーチャルなシミュレーションによる学習を行うことができる点、相互的なアニメーションとサウンドにより初学者に学習意欲を持たせることができる点、実機を用いた学習も可能とすることでシミュレーション特有の「嘘臭さ」を解消できる点にある。このように、iCASS は、初学者に対して、学習の動機付けに適したシステムであるが、理論の定着には演習問題を解くことも重要であると考えられる。しかしながら、iCASS には、演習問題を解くシステムはない。学生に演習問題を解かせた場合、講師側が個々の学生の答案を見る必要があり、学生数が増えた場合には個々の学生に対して適切かつ迅速なフィードバックが行えない。この問題の解決策として、少人数教育が考えられるが、講師側の人数にも限りがある。つまり、学習者側の視点に立った「学習の動機付け」、理論の定着を目的とした E ラーニングシステムは多く提案されているが、教える側の視点に立った「講師の負担を軽減する」システムも必要

であると考えられる。

近年、学習者の理論の定着と講師の負担を低減することを目的としたシステムとして OASIS(Online Assessment System with Integrated Study)と呼ばれるものが提案された[4]。OASIS は、Web 上で利用できる演習問題、そこから得られる学習結果のデータベースによる自動管理が行えるといった特徴がある。即ち、講師が学習者の評価を行うという点では講師の負担削減が行えているシステムであると言える。

上述したような Web を用いた学習システムは、一般に、何らかのプログラム言語で動作しているため、Web 上で利用できる演習問題、その他コンテンツ等を作成するためには何らかのプログラム言語を用いる必要がある。ゆえに、講師自身で問題を追加・作成したい場合、講師自身が Web で利用可能なプログラム言語を使える必要がある。しかしながら、すべての講師が Web で利用可能なプログラム言語を使えるとは限らない。ゆえに、GUI(Graphical User Interface)による回路エディタのような機能によって講師自身がコンテンツ追加できる機能が必要であると考えられる。しかしながら、電気回路の E ラーニングを用いた教育システムにおいて、プログラミング言語を用いずに GUI のような機能を用いた問題作成システムは、筆者らが調べた限り、ほとんど開発されていない。

そこで本研究では、Web 上で GUI を用いて演習問題やテスト問題を作成でき、かつ学習結果の自動的な管理も行えるシステムを提案する。開発システムにおいて、講師が演習問題作成を行う際は、回路シミュレータのように回路図の絵を描く感覚で問題作成ができる。作成した問題は個々の学習者が自分自身で問題を解くように、同じ回路であっても Web にアクセスするたびに素子などの数値が異なる。また、演習問題を通して得られた学習結果は、データベースにより自動的に管理され、学習者の進捗状況が瞬時に確認できる。さらに、テスト問題の採点では、講師が各問題の配点を決めれば自動採点を行うことができる。提案システムは、講師がプログラミング言語を用いることなく、簡単な問題作成が可能となり、またデータベースを用いた学習結果管理により、学習者の進捗状況や評価という点で講師の負担を削減できる。

本論文では、2章で開発システムの概要・構成についての概略を示す。3章では、演習問題の作成ツールについて作成の流れを示す。4章では、実際に問題として実行した際の様子を示す。5章では、学習結果の自動管理、テストを行った際に自動採点を行えるツールについて示す。

2. 提案システム構成

提案システムは、図1に示すようなクライアントサーバーモデルに基づき、演習問題(Exercise)、テスト(Test)、学習結果の自動管理・閲覧(Check Score)、テスト採点・評価(Assessment)、問題作成(Make Questions)から成っている。

* 東京理科大学大学院 基礎工学研究科
電子応用工学専攻

** 東京理科大学 基礎工学部 電子応用工学科

*** 千葉工業大学 工学部 電気電子情報工学科

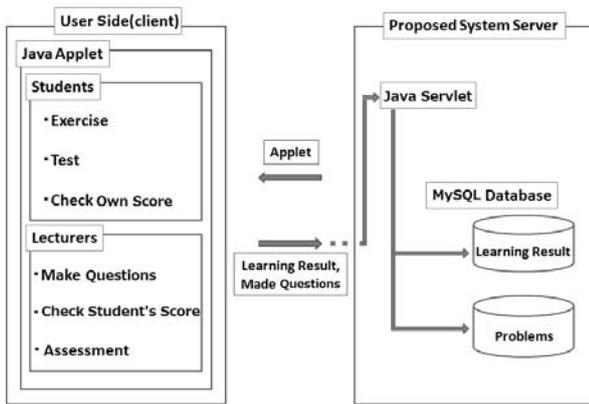


図1. 提案システム基本構成

本システムで提供するコンテンツはいずれも Java アプレットにより与えられる。これは本システムで提供するコンテンツを Web 上から利用でき、かつそれらのプログラムを Web 上で動作させるためである。Java アプレットを用いることでクライアント OS に依存しない学習環境を提供することができる。しかしながら、Java アプレットはセキュリティ上、ファイル操作が認められていない。そこで、作成された問題の画像データ、ネットリスト、学習結果などはサブレットによりサーバに保存するようにしている。

サブレットは Web サーバに常駐し、クライアントからの要求があったときに処理が行われる。サーバ側で動作するプログラムとして CGI(Common Gateway Interface)によるものもあるが、CGI プログラムはクライアントからの要求ごとにプログラムを起動するため、多少の起動負荷がある。そこで、本研究では、CGI に比べプログラムの並列処理時の負荷が軽く、起動負荷も少ない Java サブレットを用いる。サブレットによりサーバへ渡された学習結果はデータベースへ自動登録される。本システムにおいてデータベースには MySQL を用いる。登録されたデータはいつでも閲覧することができ、学習者は自身の学習進捗状況を、講師は学習者全体の学習進捗状況を確認できる。ここで、講師はさらにこれらのデータを用いて採点を行うこともできる。

3. 問題作成ツール

これまでの電気回路における E ラーニングシステムは Web 上でのシミュレーションが可能なものや Web 上で演習問題を行い、そこから得られる学習結果を自動的に管理できるといったものであった。しかしながら、これらのシステムでは、講師自身が問題作成するにはプログラミングを行う必要がある。そこで本研究では、この問題を解決するために講師がプログラミングを行わずとも Web 上で GUI を用いて容易に問題作成ができるシステムを提案する。

問題作成ツールの設計方針は「SPICE のような感覚で GUI により講師が Web 上で問題作成できる事」である。本システムでは絵を書く感覚で回路図作成、素子値やその他必要となる値を入力するだけであるため、問題作成

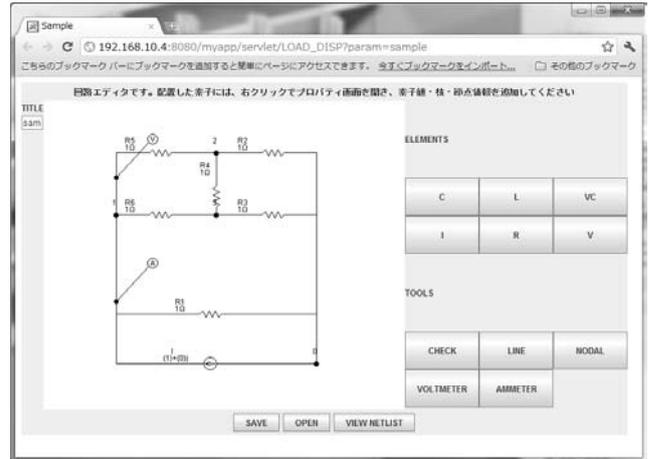


図2. 問題用回路図作成エディタ

表1. 回路図作成エディタにおける各ボタンとその機能

ボタン名称	機能
C, L, VC, I, R, V	回路素子の描画
LINE	接続線の描画
NODAL	節点の描画
CHECK	配置素子の選択(反転, 回転, 削除, 再配置, 素子情報入力が可能となる)
VOLTMETER	電圧計の配置
AMMETER	電流計の配置
SAVE	イメージ・ネットリストの保存
OPEN	過去の編集データのロード
VIEW NETLIST	ネットリストの閲覧

が容易である。また、一度作成した問題も回路図の絵と素子の値を変更するだけであるため再編集が容易であるといえる。また、Web 上のシステムであるため学習者はカンニング等の不正行為を行う可能性もある。ゆえに、問題作成の際にランダムな値を適用可能にしている。本システムにおけるランダム値は最小と最大の値を指定することでその範囲内からランダムに選択されるようになっている。

電気回路の問題を解く場合、学習者は初め文字式として問題を解き、最後に数値を当てはめるため、ランダム値で与えられる数値により難易度に違いが生じることはない。

図2に提案する問題用回路図作成エディタを示す。主な機能は回路の描画機能であり、既存の回路シミュレータと同様な操作で回路を描けるようになっている。図2内の各ボタンにおける機能を表1に示す。これらのボタンを用いて回路図を描画した後、配置した素子と問題として解かせる対象となる電流計・電圧計には、図3, 4 のような画面に対して情報入力を行う必要がある。図3, 4 のウィンドウは「CHECK」ボタンを押し、情報を入力する対象付近で右クリックをすることにより現れるポップアップから「プロパティ」を選択することで表示される。図3は素子に関する入力情報を示しており、入力する項目は以下の通りである。

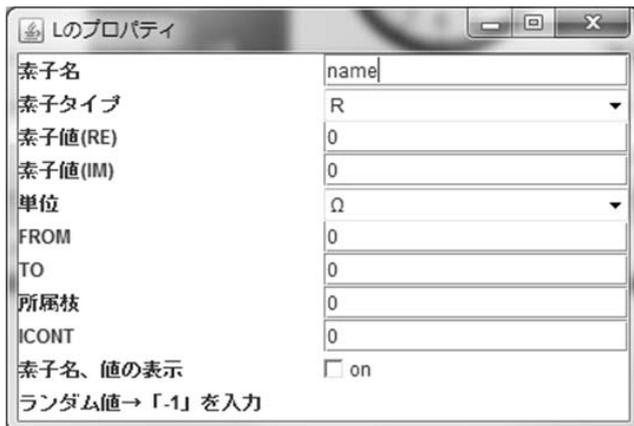


図3. 素子パラメータ入力画面

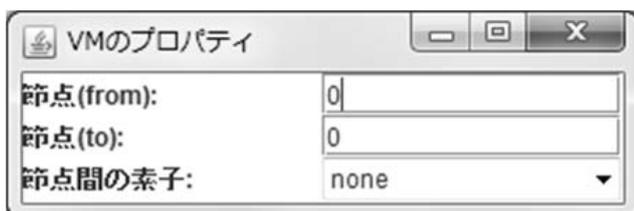


図4. 電流計・電圧計パラメータ入力画面

- ・単位系
- ・素子の接続状況(両端の節点番号, 所属する枝)
- ・他の枝への影響
- ・問題として表示する際, 値を表示するか
- ・ランダム値を使用するか

ここで, 素子の設定値として指定値とランダム値の選択が可能となっている。ランダム値を用いることで, 同じ回路であってもアクセスするたびに素子の数値が異なるようになり, 学習者は自身で問題を解かなければならない。

図4は解かせる対象(電流計・電圧計)に関する入力情報を示しており, 入力する項目は以下の通りである。

- ・接続状況(両端の枝番号)
- ・所属枝内に存在する素子

以上の操作を通し図2に示されている回路図を描くことで, 図5のようなネットリストが生成される。ネットリストの書式は以下の形式に従う。

- ・第1行目: 作成した回路名
- ・第2行目: 全枝数(n)
- ・第3~(3+(n-1))行目: 左端の列から順に枝番号, 両端点の節点番号, 接続素子, 素子値(ランダム値は「-1」), VCによる影響を受ける枝の番号, 独立電流源値(実数部と虚数部), 独立電圧源値(実数部と虚数部)
- ・第(3+n)行目: 角周波数
- ・第((3+n)+1)行目以降: 解答させる対象(電流 or 電圧)



図5. ネットリスト

図2のような回路を描いて得られる図5のネットリストでは, 問題としての解答対象は節点2-1間の電圧と節点1-0間を流れる電流である。

作成されたネットリストはエディタ内(図2)のボタン”VIEW NETLIST”により別窓から閲覧できる。描いた回路図の絵に関しては, ”SAVE”ボタンを押すことにより保存され, ネットリストも同時に保存される。

4. 作成問題のブラウザ上での実行

ここでは, 3章で作成した回路(図2)を演習問題として利用する様子を示す。クライアントのPCのブラウザから作成した回路を問題として表示した画面が図6である。

3章で述べたように, この問題は節点2-1間の電圧と節点1-0間を流れる電流を求める問題となっており, 図6に示すように解答入力欄として画面下部に電圧と電流を入力させるテキストボックスが生成される。なお, この回路において節点2-1間の電圧は0.25[V], 節点1-0間を流れる電流は0.5[A]である。正解となる値(電圧: 0.25[V], 電流: 0.5[A])を入力し, 解答送信ボタンを押すと図7のように正解との正誤判定結果が返される。また, 不正解の値を入力し解答送信ボタンを押すと, 図8のように不正解との正誤判定結果が返される。正誤判定の際には, 問題作成ツールにより作られたネットリストを節点解析することで問題の正解の値を用意し, 学習者が入力した値と照合することで行う[2], [18]-[20]。

提案するシステムでは, 得られた正誤判定結果は自動的にデータベースへ登録され後にそれら閲覧することも可能である。データベースを用いた学習結果の自動管理については次章で述べていく。

本システムでは, 以上のような演習問題だけでなく, テストのような一連の問題群を学習者に提供することも可能である。テスト問題は過去に作成した問題からいくつかを選択することで構成できる。テストの一例として図9を示す。テストにおける特徴としては, 複数の問題を行き来しながら臨めるようタブ構成をとっていることが挙げられる。各タブに問題が一つずつ用意されており,

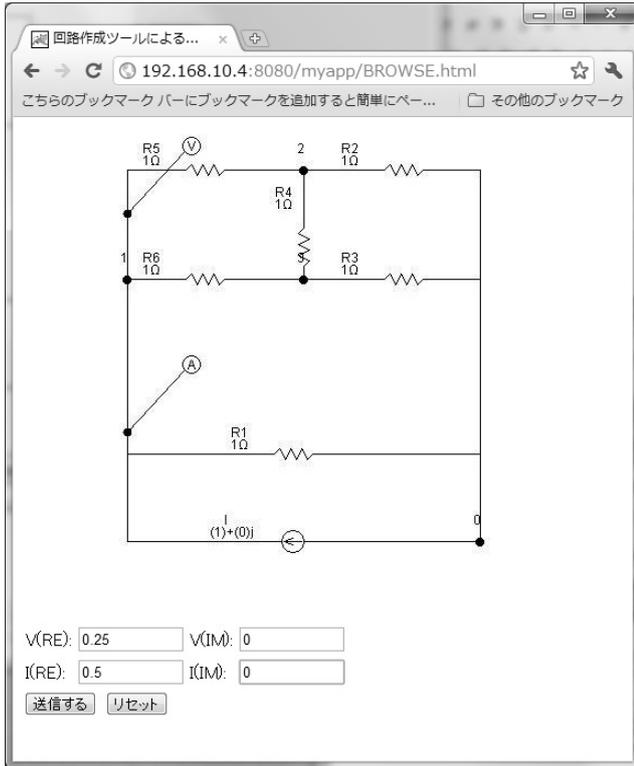


図 6. ブラウザからの演習問題としての実行

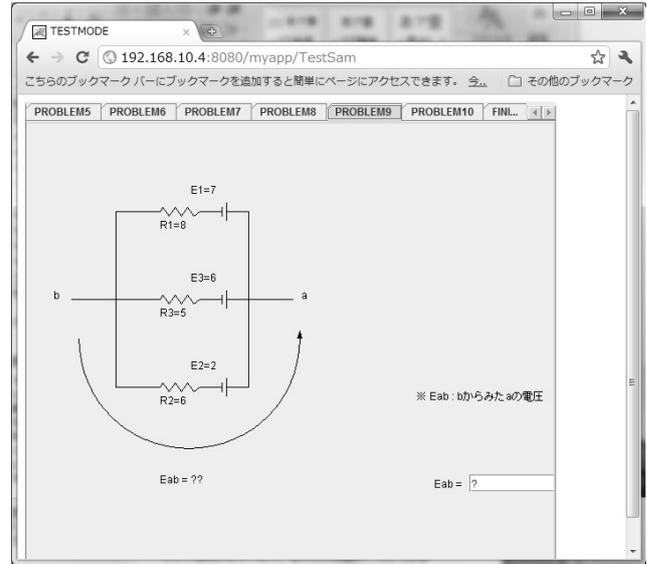


図 9. テスト利用画面

5. 学習結果自動管理と自動採点機能

ここでは、演習における学習者の学習結果自動管理とテストを行った場合の自動採点機能について述べる。

5.1. 学習結果自動管理機能

本システムにおいて、学生が演習問題を解くことでそこから得られる学習結果は自動的にデータベースに登録されるようになっている。登録されるデータは解答した学習者のユーザー名(user)、正誤判定結果(result)、問題番号(question type)、解答日付(date)となっている。図 10 はそれらの全登録データを一覧で表示したものであり講師のみが閲覧することができる。図 10 は登録されている全データに関するものであるが、特定のユーザーや問題に関するデータのみを抽出し閲覧することもできる。ユーザーの閲覧範囲としては、学習者は自身の学習結果に関する情報を、講師は各学習者の学習結果に関する情報を閲覧することができる。

図 10 のような一覧表示に加え、問題に対する正答率をグラフにより可視化させることも可能である。図 11 に正答率のグラフを示す。なお、グラフにおいても特定のユーザー、問題のみに対するデータ抽出、可視化が可能であり、この場合の閲覧範囲も登録データを閲覧する際と同様である。

以上に示した学習結果自動管理機能により、講師は学習者全体と個々の学習者についての傾向を瞬時に知ることができ、学習者自身は自身の苦手分野の把握が可能となる。

5.2. 自動採点機能

ここでは、4章に示した図 9 のような 10 個の問題から構成されたテストを 50 人の学習者が解いた場合を考える。テストを受けた各学習者の各問題に対する正誤判定結果は図 12 のような表形式で示される。正誤の判定結果は”○”か”×”により表わされ、”○”は正解を、”×”は不正解を意味する。図 12 の表は学習者がテストを解き終えると同時に用意され、各問題番号に対する正答率のグラフも



図 7. 正誤判定結果(正解)



図 8. 正誤判定結果(不正解)

学習者は時間内にこれらの問題に取り組むことになる。指定された時間を超過した場合は強制的に終了され、学習者は解答の入力ができないようになっている。また、テストにおいても演習同様、素子の値はランダム値にすることができる。

user	result	question type	date
root	true	Q1	2010-06-07
testuser	true	Q1	2010-05-17
null	true	Q1	2002-01-01
root	true	Q1	2010-06-08
root	true	Q1	2010-05-12
sampleuser11	false	Q6	2010-05-12
sampleuser5	false	Q4	2010-05-12
sampleuser21	false	Q8	2010-05-12
sampleuser45	false	Q1	2010-05-12
sampleuser7	false	Q2	2010-05-12
sampleuser19	false	Q6	2010-05-12
sampleuser31	false	Q1	2010-05-12

図 10. 全登録データ

Test result										
user	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10
sampleuser1	o	o	x	x	o	o	x	x	x	x
sampleuser2	o	o	o	o	x	o	x	x	o	o
sampleuser3	o	o	o	o	o	x	x	o	o	x
sampleuser4	o	o	x	x	o	x	o	x	x	x
sampleuser5	x	o	x	o	x	x	x	x	o	o
sampleuser6	x	o	o	o	o	x	x	o	o	o
sampleuser7	x	o	o	x	o	o	o	o	o	x
sampleuser8	x	x	x	o	x	x	x	x	o	x
sampleuser9	x	x	o	o	o	o	o	x	o	o
sampleuser10	o	x	o	o	o	o	x	o	o	o
sampleuser11	x	x	x	x	x	x	x	x	o	x
sampleuser12	o	x	x	o	x	x	x	x	o	x
sampleuser13	x	o	o	x	x	x	x	o	o	x
sampleuser14	x	o	o	x	o	x	o	o	o	o
sampleuser15	o	o	o	o	x	o	o	x	o	o
sampleuser16	x	x	x	x	x	o	o	x	x	o

図 12. テスト結果一覧

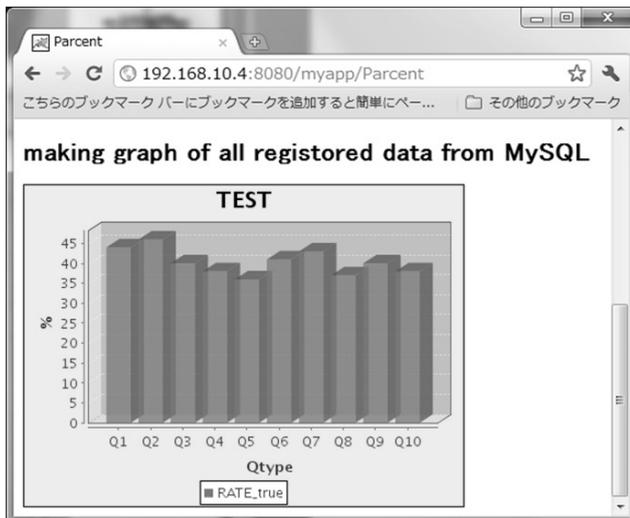


図 11. グラフによる正答率の可視化

Test result											
user	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	SUM(100)
sampleuser1	10	10	0	0	15	10	0	0	0	0	45
sampleuser2	10	10	10	10	0	10	0	0	5	10	65
sampleuser3	10	10	10	10	15	0	0	10	5	0	70
sampleuser4	10	10	0	0	15	0	10	0	0	0	45
sampleuser5	0	10	0	10	0	0	0	0	5	10	35
sampleuser6	0	10	10	10	15	0	0	10	5	10	70
sampleuser7	0	10	10	0	15	10	10	10	5	0	70
sampleuser8	0	0	0	10	0	0	0	0	5	0	15
sampleuser9	0	0	10	10	15	10	10	0	5	10	70
⋮											
GAKU	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
average	3	3	3	3	4	3	3	3	2	3	30

図 13. 採点后テスト結果一覧
(右側：総合点 / 最下部：平均点)

生成される。なお、学習者は自身の解答結果に関する情報のみの閲覧となり、図 12 のような学習者全体に関する結果は講師のみが閲覧できる。さらに、本システムでは講師は図 12 のような表や、各問題における正答率をもとに各問題に対する配点(傾斜配点)を考慮することができる。配点の入力フォームより、各問題への配点を入力することで配点を反映させたテスト結果が図 13 の表のようにして生成される。図 13 の表は配点後のテスト結果を示したものである。表の下部には各問題に対する平均点、表の右側には各学習者の総合点が表示されている。このように本システムにおいて、講師は登録されたデータからどの問題ができたか、できないかを一目で知ることができ、そこから各問題への配点を考えるだけで学習者の採点を行うことができる。また、本システムでは、採点結果をもとに成績の評価を行うこともでき、講師が採点・評価を行う際の手間が省ける。

6. まとめ

本稿では、講師自身が GUI により演習問題作成を可能とする電気回路学習システムを提案した。Web 上のシステムは何かしらのプログラム言語で作成されており、既存の学習システムではプログラミングスキルを持たない講師は自身による問題作成を行えなかった。本稿で提案した演習問題作成ツールはそういった問題を解消するためのものであり、回路シミュレータのように GUI による回路作成から演習問題を提供できるシステムである。また、作成された演習問題の素子値はランダムな値にすることも可能であり、これにより学習者は自身で演習問題に取り組まなければならない。さらに、本システムでは、作成された問題から得られた学習結果は自動的にデータベースにより管理される。従って、従来よりも講師の負担が少ない E ラーニングシステムであると考えられる。登録されたデータはいろいろな視点からグラフにより可視化させることも可能である。これにより、講師は学習者全

体の傾向, 学習者は自身の学習状況を一目で把握できる. 加えてテストのような一連の問題群を学習者が解いた場合にはそれらの採点を簡単に行うことのできるシステムとなっている.

参考文献

- [1] T.Shishido, Y.Mori, N.Aikawa, Y.Nishida, U.Drofenik and J.W.Kolar, "Development of Interactive Educational Support Tool and its Learning Effect," Journal of Multimedia Aided Education Research, Vol.3, NO.1, pp.99-107, (2006).
- [2] L.W.Nagel, "SPICE2: A Computer Program to Simulate Semiconductor Circuits," Memorandum No. ERLM520, (1975).
- [3] Y.Mori, N.Aikawa and Y.Nishida, "Interactive Circuits and System Seminar(iCASS) <http://www.sia.co.jp/~icass/>," (2010).
- [4] C.R.Smaill, "The Implementation and Evaluation of OASIS : A Web-Based Learning and Assessment Tool for Large classes," IEEE Trans. on Education, Vol.48, No.4, pp.658-663, (2005).
- [5] 野口啓介, "e-learning 教材の作成と電子回路授業での利用," KIT Progress No.15, pp.75-84, (2008).
- [6] 宮腰隆, 堂下裕樹, 沖野浩二, 田島正登, "簡易学習管理システムの一実践," 電気学会論文誌 A(基礎・材料・共通部門誌), Vol.126, No.5, pp.391-392, (2006).
- [7] 相知政司, 青木規至, 古川達也, 古川健司, "仮想オシロスコープを備えた電気回路学習支援システムの設計と実装," IEEE Trans. FM, Vol.126, No.7, (2006).
- [8] 相知政司, 吉富貴司, 赤木圭太, 佐々木伸一, 古川達也, "V-I特性が観測可能な電子回路学習支援システムの設計と実装," 電気学会論文誌 A(基礎・材料・共通部門誌), Vol.128, No.4, pp.275-282, (2008).
- [9] 一条俊介, 信山克義, "e-ラーニングによる電気回路学習支援システムの構築," 八戸工業大学紀要, Vol.25, pp.217-221, (2006).
- [10] 伊原充博, 最首和雄, 黒木啓之, 朱紅, "数式照合機能を有するCAI-論理回路への適用-," 電子情報通信学会技術研究報告.ET, 教育工学 94(170), pp.49-54, (1994).
- [11] 三上敦, 小林昇司, 片桐達則, 渡辺康夫, "電子回路シミュレータ用 CAI システムの開発," 電子情報通信学会総合大会講演論文集 2002 年情報・システム(1), pp.202, (2002).
- [12] 朱仲武, 新田保秀, "電子技術教育に関する CAI ソフトの研究開発," 電子情報通信学会技術研究報告.ET, 教育工学 94(260), pp.1-8, (1994).
- [13] U.Drofenik and J.W.Kolar, "Interactive Power Electronics Seminar (iPES) - A Web-Based Introductory Power Electronics Course Employing Java-Applets," Power Electronics Specialists Conference, 2002. pesc 02. 2002 IEEE 33rd Annual, Vol.2, pp.443-448, (2002).
- [14] J.Hamar, H.Funato, SOgasawara, O,Dranga and G.K.Tse, "Multimedia Based E-learning Tools for Dynamic Modeling of DC-DC Converters," IEEE International Conference on Industrial Technology, 2005(ICIT 2005), pp.17-22, (2005).
- [15] 伏見重雄, 渡辺彰, 納田日出男, "強み弱みの自己判断ができる Web テストチェックオン e," 工学教育(J.of JSEE), Vol.54, No.5, pp.5_71-5_75, (2006).
- [16] 野口啓介, 北村了, "電子回路の授業における Web 教材の利用," 工学・工業教育研究講演会論文集 平成 16 年度, pp.447-448, (2004).
- [17] 小松川浩, "理工系の知識共有に向けた e-learning の実証研究," メディア教育研究 第1巻 第2号, pp.11-22, (2005).
- [18] L. O. Chua and P. M. Lin:Computer-aided analysis of electronic circuits:algorithms and computational techniques, published by Prentice-hall, INC., Englewood Cliffs, New Jersey, (1975).
- [19] J. Vlach and K. Singhal:Computer Methods for Circuit Analysis and Design, published by Van Nostrand Reinhold, New York, (1994).
- [20] 牛田明夫, 田中衛: 電子回路シミュレーション, コロナ社, (2004).