

## 手書きによる配線を可能とした 教育用電気回路シミュレータの設計と試作

坂東 宏和\* , 澤田 伸一\* , 中川 正樹\*\*

\*東京成徳短期大学ビジネス心理科

\*\*東京農工大学工学部

本稿では、小学校4年生理科の授業での利用を想定した、教育用電気回路シミュレータの設計・試作・改良について報告する。本シミュレータは対話型電子白板上で利用し、電池・豆電球・スイッチなどの回路部品を配線することで、児童の前で簡単な電気回路の実験を行うことができる。設計について現場の教師と検討したところ、ソフトウェア開発者にとっては些細な違いが、現場の教師にとっては重要な違いとなる場合があることが分かった。また、現場の教師ならではの要望もいくつか出された。本稿では、それらの意見・要望に基づき、手書きによる配線を可能とするなどの改良を行い、さらに、実際の教育現場で試用した結果についても報告する。

### Prototyping of an Educational Circuit Simulator by Handwriting

Hirokazu Bando\*, Shin-ichi Sawada\*, Masaki Nakagawa\*\*

\*Dept. of Marketing and Psychology, Tokyo Seitoku College.

\*\*Dept. of Computer Science, Tokyo University of Agriculture and Technology.

This paper presents a prototype of an educational circuit simulator designed for fourth grade science lessons in an elementary school. This simulator works on an interactive electronic whiteboard. A teacher or student can compose a circuit by placing circuit elements such as batteries, miniature bulbs, switches and so on and connecting them by writing free lines among them. Then, he/she can show circuit simulations and give annotations about them in front of class children. The initial design was reviewed with teachers. As a result, it has been revealed that design issues small for software engineers may often be much more important for teachers. We could also hear the teachers demands for employing the simulator for classes. This paper presents the improvement though these reviews and advises from the teachers and also its experimental use for actual lessons.

## 1. はじめに

近年，教育現場においてコンピュータが積極的に利用されつつあり，各学校ではそれぞれの授業に適した教育支援ソフトウェアを購入，利用している．教育支援ソフトウェアの研究としては，CAI などの個別学習の支援を目的とした研究が古くから多く行われてきた<sup>1)~3)</sup>．最近では，それらの研究に加え，CSCL などのグループ協調学習の支援を目的とした研究<sup>4)</sup>や，一斉授業の支援を目的とした研究<sup>5),6)</sup>など，学校における各授業形態に適した様々な教育支援ソフトウェアの研究が行われている．

我々のグループでは，以前から一斉授業の支援を目的とし，従来の板書による一斉授業の利点と，情報化の利点とを自然な形で融合できる新しい授業環境として，黒板とチョークの代わりに対話型電子白板を設置した環境の提案を行ってきた<sup>5)</sup>．また，対話型電子白板環境を想定した，一斉授業に適した様々な教育ソフトウェアの試作と報告を行ってきた<sup>6)</sup>．その一環として，小学校 4 年生理科の授業での利用を想定した，教育用電気回路シミュレータ(以下回路シミュレータと記す)を以前報告した<sup>7)</sup>．回路シミュレータは板書機能を持ち，さらに，電池・豆電球・スイッチなどの回路部品を貼り付け，それらの部品を直線で配線することで，児童の前で簡単な電気回路の実験を行うことができる．

今回，この回路シミュレータを小学校の授業内で利用する機会があり，あらためて現場の教師と設計について検討を行った．その結果，ソフトウェア開発者にとっては些細な違いが，現場の教師にとっては大きな違いとなる場合があることが分かった．そこで，本稿では，従来の回路シミュレータの設計・試作と，教師からの意見・要望に基づき，手書き(曲線)による配線を可能とするな

どの改良を行った新しい回路シミュレータについて報告する．さらに，改良した回路シミュレータを実際の授業で試用した結果についても報告する．

## 2. 回路シミュレータの設計

本稿で報告する回路シミュレータは，対話型電子白板上で電池・豆電球・スイッチなどを用いた簡単な電気回路のシミュレートを行うためのソフトウェアである．小学校 4 年生理科の一斉授業内で教師が利用することを想定している．

対話型電子白板(図 1)は，ホワイトボード程度の大きさをもったペンタブレットであり，電子ペンを用いて入力する．パソコンの画面を，前面からプロジェクタで投影，または，背面から投影して利用する．

回路シミュレータの典型的な画面を図 2 に示す．なお，全体的なユーザインタフェース設計は，以前から行っている大画面ユーザインタフェースに関する研究<sup>8)~10)</sup>の成果を活かして行った．

回路シミュレータは，次の 3 つのモードを持ち，図 2 中の「モード変更ボタン」を押すことで次の 3 つのモードに変更することができる．

- 電気回路作成モード
- 回路部品削除モード
- 板書モード



図1 対話型電子白板

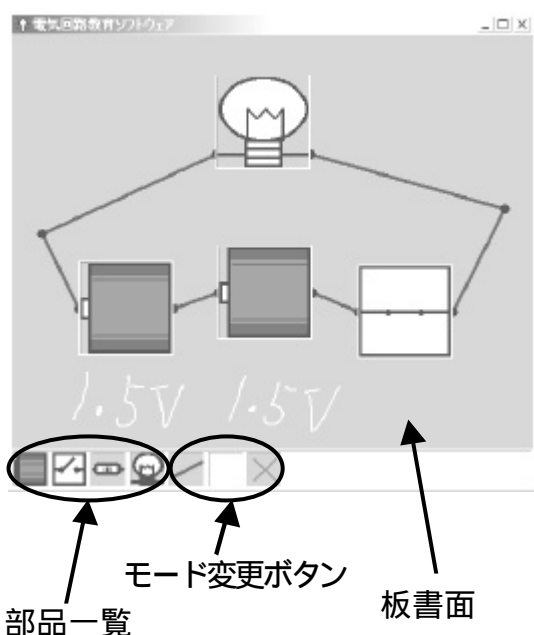


図2 電気回路シミュレータの典型的な画面

## 2.1 電気回路作成モード

電気回路作成モードは、電気回路の作成とスイッチの操作を行うモードである。このモードでは、電池・豆電球・スイッチなどの必要な回路部品を、図2中の「部品一覧」から「板書面」へドラッグすることで自由に配置できる。また、それらの回路部品を配線し電気回路を構成することができる。ただし、直線的な配線しかできず、また、導線の途中で別の導線を結線することができない(図3)。

スイッチは、スイッチの上でタップ操作を行うことで、ON・OFFの状態を切り替えることができる。

作成された電気回路は、キルヒホッフの法則を利用して方程式を立て、その方程式を行列によって解くことで、各豆電球にかかる電圧値を計算する。各豆電球は、電圧値に応じて図4のように明るさが変化する。小学校での利用を想定しているため、電圧や電流の具体的な値は表示しないものとする。

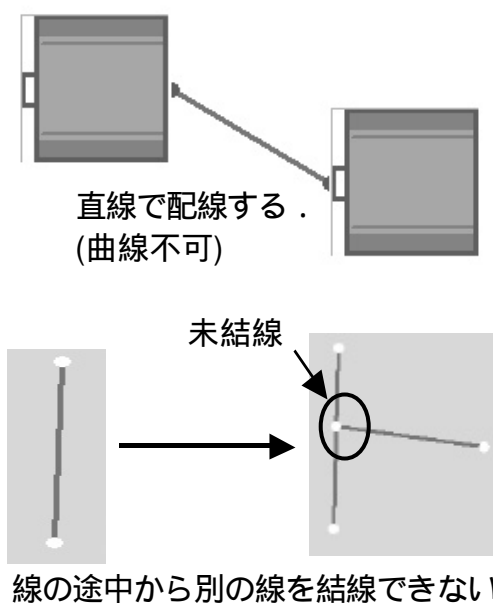


図3 電気回路シミュレータの配線

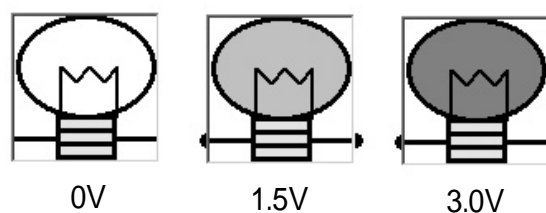


図4 豆電球の表示

## 2.2 回路部品削除モード

回路部品削除モードは、不要になった回路部品の削除を行うモードである。削除したい回路部品や導線の上でクリックを行うことで、それらを削除できる。

## 2.3 板書モード

板書モードは、板書面全体への簡単な板書を行うモードである。板書する文字の色と太さは固定とする。不要になった板書内容は、電子ペンによってマウスの右ボタンに相当する入力を行うことで消去できる。また、細かい部分を消去したい場合には電子ペンをゆっくりと動かし、広い範囲を消去したい場合には大雑把に速く動かすと考え、図5のように、電子ペンの移動量が小さい

場合には狭い範囲を，大きい場合には広い範囲を消去する<sup>7)</sup>。

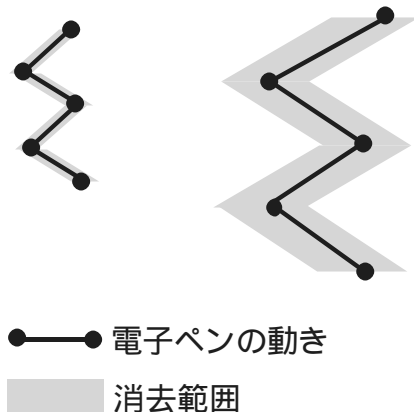


図5 電子ペンの動きと消去範囲

### 3. 回路シミュレータの改良

#### 3.1 予備評価

小金井市立小金井第一小学校の協力で，回路シミュレータの設計について再検討を行った．その結果，次のような問題点が明らかになった．

- 直線でしか配線できないので，並列回路の構成が面倒である．
- 回路部品の向きを変更できないため，回路が複雑になる危険性がある

また，次のような要望が得られた．

- 電池を短絡させると，警告が表示されるようにしてほしい．
- 豆電球に電池をつなげすぎると，豆電球が壊れるようにしてほしい．
- 電流が流れている導線と流れていない導線の色を変えてほしい．

回路シミュレータでは，並列回路を構成するときに図6のような配線を想定していた．しかし，教師が授業内で必要とする並列回路は，図7のような回路である．

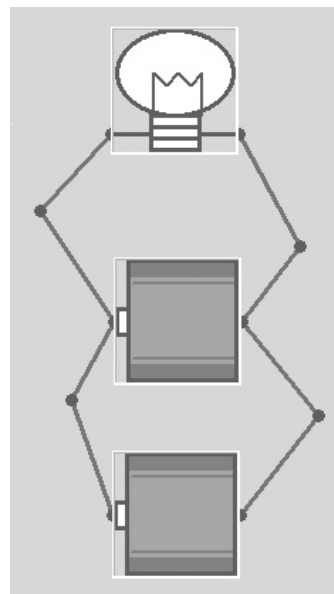


図6 並列回路の例その1

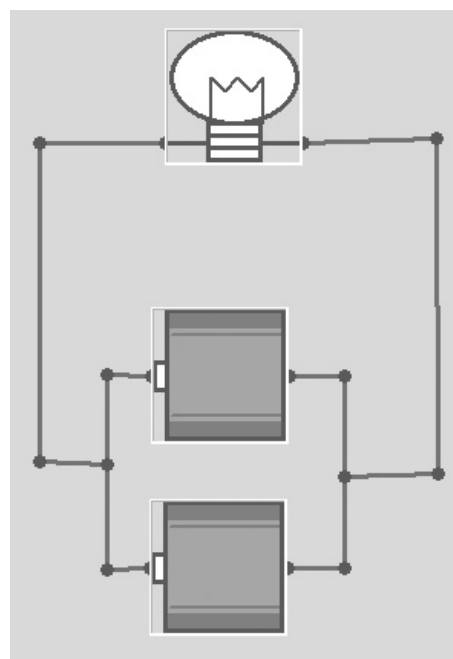


図7 並列回路の例その2

ソフトウェア開発者の立場から考えると，図6と図7の電気回路はまったく同じ回路であり，どちらでも良いように感じられる．しかし，小学校では，児童に対し電池が並列に配線されていることを明確に示すために，並列回路において図7のように接続することが一般的であり，図6のように接続することは基本的に行わない．実際の教育現場で利用するためには，意味的に正しいから良

いという発想ではなく、生徒に誤解の与えない表現、生徒の理解しやすい表現を可能にすることも考慮する必要がある。

改良前の回路シミュレータでも図7のような配線は可能だが、1本の導線を何回かに分けて配線する必要があり、面倒である。そこで、手書きによる曲線的な配線を可能とし、さらに、導線の途中から別の導線を接続できるようにすることで、より素早く教師が必要とする回路を構成できるようにする。

また、回路部品の向きを変更できないため、例えば図8の電気回路を構成する場合に、電池を横に3つ並べてしまうと複雑な配線になってしまうなど、配線が必要以上に複雑になる危険性があった。そこで、4方向の回路部品を用意し、必要に応じて適切な方向の回路部品を利用できるようにする。

教師からの要望の中で、電流が流れている導線と流れていない導線の色を変えてほしいという意見が出された。一部の教師からは、電流がプラス方向からマイナス方向へアニメーションするようにしてほしいとの意見もあった。しかし、別の教師から、電子の動きから考えると電流がプラス方向からマイナス方向へ流れるという表現は誤解を招くとの意見が出されたため、今回はアニメーションを行わないものとする。

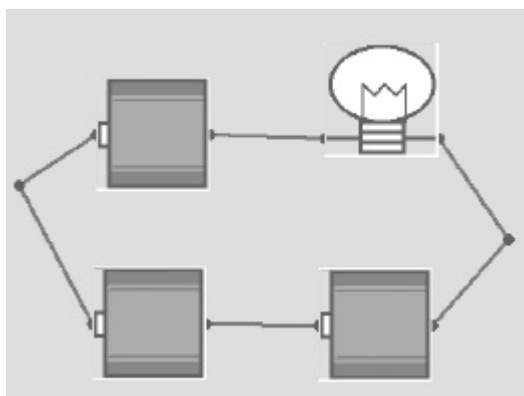
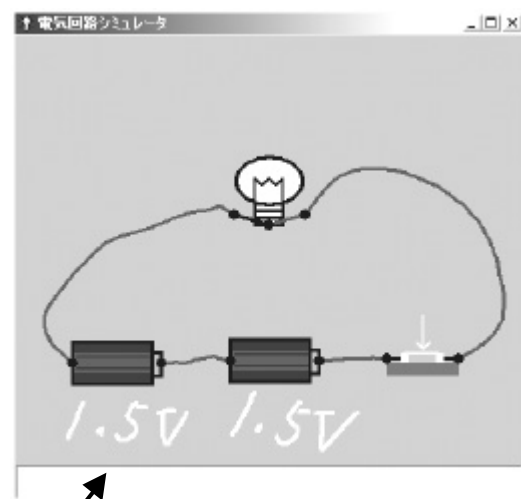


図8 直列回路の例

### 3.2 改良後の回路シミュレータ

改良後の回路シミュレータ(以下新回路シミュレータと記す)の典型的な画面を図9に示す。

新回路シミュレータでは、一部の回路部品のデザインより分かりやすいデザインに変更する。また、回路部品や設定項目が増加したため、操作オブジェクトを別ウインドウ(以下制御ウインドウと記す)に分離する(図10)。制御ウインドウは、教師の立ち位置を変えずに操作できるように、画面最下部の制御ウインドウ表示バーをタップした位置の近くに表示を行う。



制御ウインドウ表示バー

図9 新回路シミュレータの典型的な画面

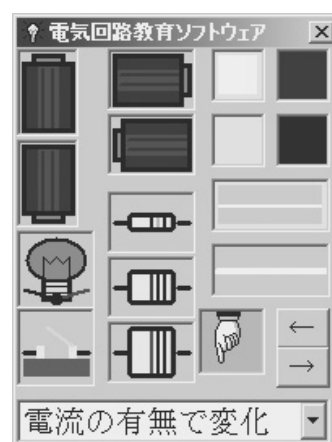


図10 制御ウインドウ

### 3.2.1 手書きによる配線

新回路シミュレータでは、並列回路などを素早く構成できるように、図 11 のように手書き(曲線)で配線を行うことができる。また、回路部品と導線の結線を実際に行えるようにするために、結線したとみなされる範囲を枠によって明示する。さらに、導線の途中から結線できるように、導線の途中に自動的に仮端点を作成し、その仮端点にも導線を結線できるようにする。なお、結線範囲を示す枠や仮端点は、板書モード時には表示されない。

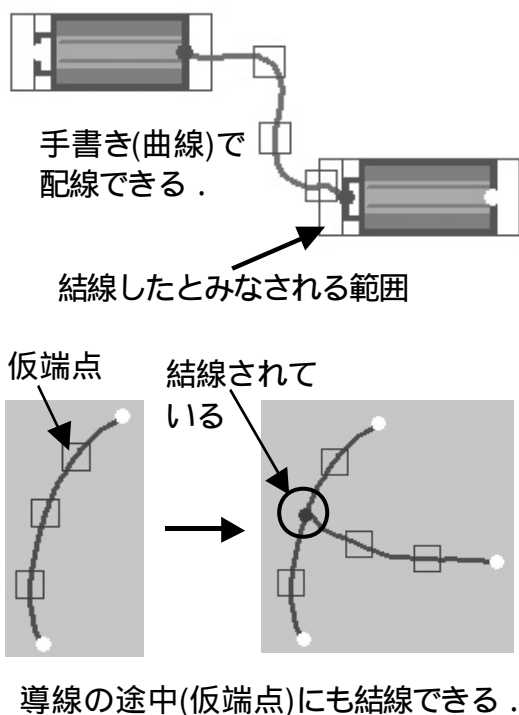


図11 新電気回路シミュレータの配線

### 3.2.2 回路部品の改良

電気回路の配線が必要以上に複雑になる危険性を軽減するために、4方向の電池を用意する。

また、電池を短絡させたり、豆電球にたくさんの電池を直列接続したりすると、それらの回路部品が壊れることを児童に教示するために、電池を短絡させた場合と、豆電球に4個以上の電池を直列接続した場合には、それらの回路部品が壊れる

ようにする(図 12)。なお、豆電球が壊れたら二度と修理できないことを児童に教示するために、一度壊れた豆電球は修理することができない。



図12 壊れた回路部品

### 3.2.3 その他の改良

電気回路のどの部分に電流が流れているのかを示すために、電流が流れている導線を赤、流れていない導線を青で表示する(図 13)。

また、より分かりやすい板書を可能とするために、板書時の導線の色と太さを設定できるようにする。

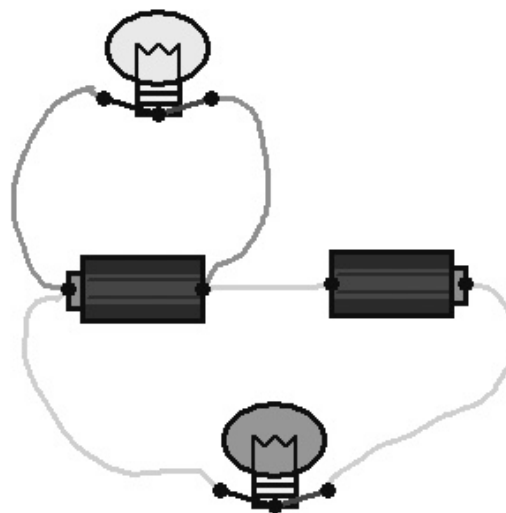


図13 電流による導線の色の变化

## 4. 試用評価

### 4.1 回路シミュレータの教育現場での試用

小金井市立小金井第一小学校の協力で、2002年5月30日に、前面投影式の対話型電子白板を

教室に設置し、その上で回路シミュレータを利用した45分間(1時限)の授業を行った(図14)。授業は4年生1クラスを対象とし、担任の教師に実施していただいた。



図14 試用授業の様子

授業の前に、班ごとに電池2個、電球1個を使った電気回路を紙面上で考えておいた。授業内では、各班の代表1人が電子白板上で動作している回路シミュレータに自分たちの考えた電気回路を入力し、それらの電気回路が正しいかどうかを確認した。授業の様子を観察した結果、次のような利点や問題点が明らかになった。

- 導線の色分けによって電流が流れているかが分かるので、不要な導線の有無が分かりやすい。
- 仮端点や導線を接続したとみなされる範囲が狭いので、誤操作することが多い。
- 複数の回路部品を一括して消去する機能が必要。

また、授業後教師から次のような意見が得られた。

- 電池が短絡している電気回路や、電池のつなげすぎによって豆電球が壊れてしまう電気回路を、容易に実験できる。
- たくさんの電気回路を同時に表示するために、作成した電気回路を縮小する機能がほし

い。

## 4.2 考察

評価の結果、回路シミュレータでは、電流計などを用いることなく各導線に電流が流れているかを瞬時に判別できるので、児童が考えた回路に無駄があるかを容易に判断できる利点があることを示した。また、電池や豆電球が壊れてしまうような危険な回路を無駄なく安全に実験できる利点も明らかになった。

手書きによる配線の利点としては、児童の考えた電気回路をそのまま実験できる点が挙げられる。例えば図15のような電気回路の作成は、従来の直線的な配線では面倒であったが、手書きによる配線では容易に行える。無駄な配線を簡略化すれば良いのではとも考えられるが、教育的には、生徒の考えた電気回路を簡略化することなく実験することが重要な場合もある。

インタフェース面では、導線を接続したとみなされる範囲や仮端点が狭いため、誤操作の危険性が高いという問題点が明らかになった。この問題に対しては、接続したとみなされる範囲や仮端点を広くすることで対処できると考える。

また、電子白板の板書面が黒板と比べて狭いという問題を軽減するために、作成した電気回路を自由に縮小・拡大する機能が必要である。

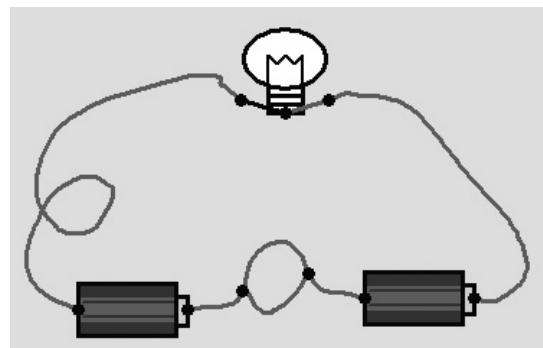


図15 直線的な配線では作成が面倒な電気回路

## 5. おわりに

本稿では、小学校4年生理科の授業での利用を想定した、教育用電気回路シミュレータの設計、試作、改良について報告した。

改良前の回路シミュレータについて、現場の教師と検討したところ、ソフトウェア開発者にとっては些細な違いが、現場の教師にとっては重要な違いとなる場合があることが分かった。例えば、回路シミュレータにおける並列回路の結線方法では、ソフトウェア開発者は等価な回路に置き換えて結線すれば良いと考えるが、現場の教師にとっては等価だから良いということにはならない。

また、児童に電池や豆電球が壊れるということを教えるために、電池や豆電球が壊れる機能を追加してほしいなど、現場の教師ならではの要望も出された。

試用評価で得られた意見に基づき、さらなる改良を行っていくことを今後の課題とする。

### 謝辞

教育用電気回路シミュレータの試作に関連し、様々な御助言を頂いた堀田耕一郎氏に深く感謝する。試用の場を与えていただいた小金井市教育委員会情報教育指導員根本秀政氏、小金井市立小金井第一小学校の皆様、および、授業を担当していただいた下條美佐子先生に深く感謝する。本研究開発は、財団法人コンピュータ教育センターE-スクエアプロジェクト先進企画「対話型電子白板を活用した教育ソフトウェア作成方法論の検討」の一環として行われた。ここに関係各位に深謝する。

### 参考文献

1) 木村捨雄：センタ方式による CAI, 電子情報通信学会誌, Vol.71 No.4, pp.372-379(1988).

- 2) 山本米雄：スタンドアロン方式による CAI, 電子情報通信学会誌, Vol.71 No.4, pp.379-384(1988).
- 3) 岡本敏雄：知的 CAI, 電子情報通信学会誌, Vol.71 No.4, pp.384-390(1988).
- 4) Strijbos, W., J. and Martens, L., R.: Group-based learning: Dynamic interaction in groups, Proceedings of Euro-CSCL Conference 2001, (2001).
- 5) 坂東宏和, 根本秀政, 澤田伸一, 中川正樹：黒板の情報化による教育ソフトウェア, 情報処理学会論文誌, Vol.42, No.3, pp.624-632 (2001) .
- 6) 坂東宏和, 杉崎知子, 加藤直樹, 澤田伸一, 中川正樹：一斉授業の情報化のための電子黒板ミドルウェアの基本構成と試作, 情報処理学会論文誌, Vol.43, No.3, pp.804-814 (2002)
- 7) 堀田耕一郎, 澤田伸一, 中川正樹：対話型電子白板における教育用ソフトウェアの設計と試作, 情報処理学会 題 40回プログラミングシンポジウム報告集, PP.185-188 (1991).
- 8) 小國健, 中川正樹：対話型電子白板システムを用いた種々のアプリケーションのプロトタイピング, 情報処理学会研究報告, 96-HI-67, pp.9-16 (1996).
- 9) M.Nakagawa, T.Oguni and T.Yoshino: "Human Interface and Applications on IdeaBoard," Proc. IFIP TC13 Int'l Conf. on Human-Computer Interaction, pp.501-508 (1997.7).
- 10) M.Nakagawa, K.Hotta, H.Bandou, T.Oguni, N.Kato and S.Sawada: "A Revised Human Interface and Educational Applications on IdeaBoard," CHI99 Video Proceedings and Video Program and also CHI99 Extended Abstracts, pp.15-16(1999.5).