

輝度を用いて仮想回路と実部品を繋ぐ電子工作環境

貫貴裕^{†1} 宮下芳明^{†1,†2}

本稿では、ディスプレイの輝度値をセンサで読みとることで、仮想的な回路に実世界の電子部品を繋ぐシステムを提案する。これにより、仮想世界との界面に位置する実部品の保有のみで回路制作を実現だけでなく、仮想回路側ではアンドゥや断線補完といった支援が行える。さらには、仮想回路をオンラインで共有し、最低限の実部品の購入のみで同等機能のハードウェアを共有することができるようになった。

Electronic Engineering Environment Linking Virtual Circuit and Real Parts using Brightness

TAKAHIRO NUKI^{†1} HOMEI MIYASHITA^{†1,†2}

In this paper we propose an electronic engineering environment that links virtual circuit and real parts by detecting the brightness of the display and convert it to electric voltage. Using this system it is possible to make various systems with a few sensors and actuators. The environment also has undo/redo function and generous interpretation function that complements the electric circuit automatically. The system was developed using JavaScript so the users can share the circuits via web, so that they can share the hardware with the same function with a minimum purchase of electronic parts.

1. はじめに

近年、Arduino や Gainer といった入出力ボードや、はんだ付けせずに回路を制作できるブレッドボードの普及により、センサやアクチュエータを制御するフィジカルコンピューティングや電子工作に対する敷居が下がりつつある。

しかし電子工作においては、回路を組み上げるときに多少の問題点がある。回路素子を購入して正確に組み上げる努力をしても、結線を一つでも間違えていると動作しなかったり、素子が故障したりといったことが起こる。その場合、回路について調べ直し、組み直し、素子の再購入をしなければならない場合も発生する。これは、回路の接続の問題なのか、素子の故障の問題なのかといった判断が難しく、とても手間のかかる作業だといえる。解決策として、Virtual Breadboard 等の回路制作シミュレータが存在する¹⁾。これらを使用することにより、素子が無限に利用可能で回路制作を間違ったとしても故障せず、データとして保存が可能であるといった利点がある。

本稿では、回路シミュレータの長所を最大限に活かし、ディスプレイに表示される回路に直接実部品をとり付けるような感覚で電子工作が行える環境に発展させた。ディスプレイの輝度を CdS 素子で読みとることにより、あたかも実部品が仮想回路に接続しているかのように電子工作を行えるシステムを提案する。図 1 に提案する電子工作環境、図 2 に本システムの概念を示す。本システムを用いることで、使用したいアクチュエータやセンサのみで手軽に回路制作が行える。また仮想回路の利点を活かし、Web で共有された回路を利用することで、最低限の部品のみで同等の

回路制作が行えるようになる。ハードウェアがない場合でも、シミュレータ単体である程度作業ができるようなシステムと支援機能を提案する。

本稿の構成として、2 章ではシステムの構成とシステムを用いて作った回路を紹介し、3 章では著者の所感と作例の考察、4 章では展望を述べる。

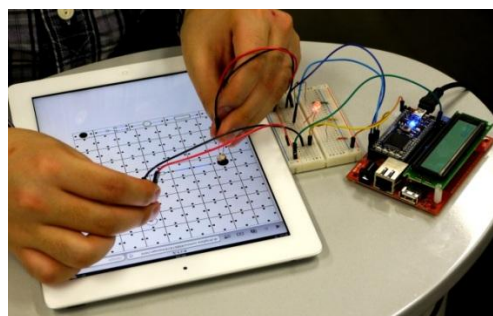


図 1 提案する電子工作環境

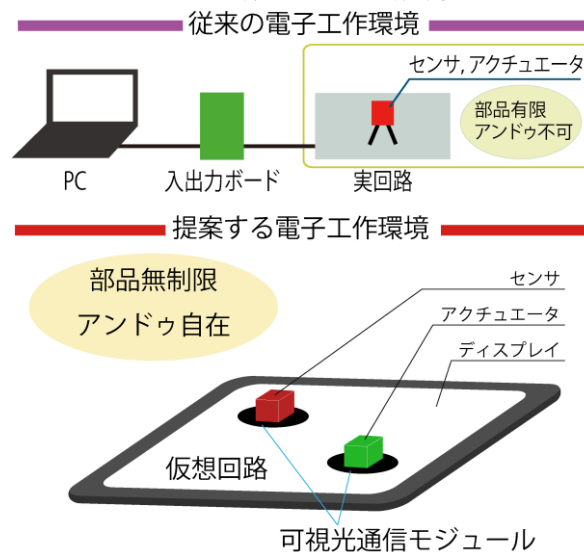


図 2 概念図

^{†1} 明治大学理工学部情報科学科
Department of Computer Science, Meiji University
^{†2} 独立行政法人科学技術振興機構, CREST
JST, CREST

2. システム

本システムは、ハードウェア側とソフトウェア側に分かれる。プロトタイプとして、Web ブラウザ上で動作するシミュレータと mbed²⁾ と CdS 素子を利用したハードウェアを実装し、iPad やタッチディスプレイでの使用を想定した設計を行った。また mbed と CdS 素子を繋いだハードウェアは、mbed をベースボードの StarBoard Orange³⁾ に搭載し、ブレッドボードを介して CdS 素子と接続することで回路を制作した。本章ではその構成について順次説明する。

2.1 ハードウェア

本システムのハードウェア側では、ディスプレイから提示された輝度情報を用いることで電圧の大きさや電流の向きを取得し、実回路の駆動を行う。

ハードウェアの構成を図 3 に示す。本システムは、主に mbed と 2 個の CdS 素子から構成される。2 個の CdS 素子それぞれに 3.3V の電圧をかけ、入力ポートと 1k Ω の抵抗がつながっているグラウンドに分圧する。入力ポートにかかる電圧の結果から、0~3.3V を 0~1 の値として受けとる。これらの演算を mbed で行い、2 個の CdS 素子で得られた輝度情報を比較し、値の大きい側を正極とし、小さい側を負極として、電流の向きを決定し、リレー回路を用いることで制御する。また電圧の大きさは、2 個の CdS 素子で得られた値の差分により決定する。得られた値の大きさに応じて出力ポートから電圧が出力される。

輝度情報を読みとって出力される電圧の大きさを mbed に LCD を接続することで図 4 のように表示可能である。これはいわばディスプレイに表示された仮想回路にあてて用いる電圧計として機能し、ディスプレイ側の表示している輝度値を少しずつ調整しながら、回路のプロトタイプの実装が行える。

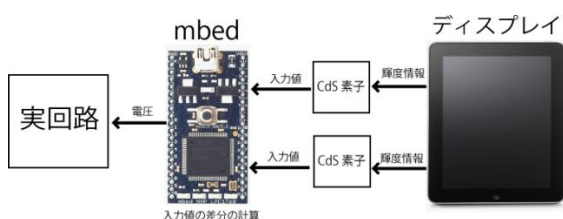


図 3 システム構成図

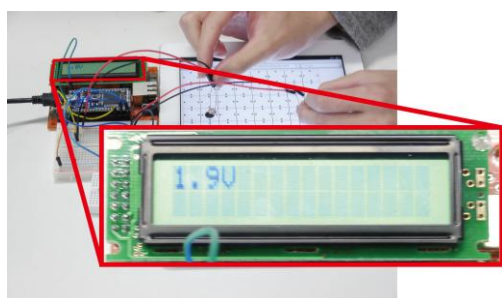


図 4 電圧表示

2.2 ソフトウェア

本システムのソフトウェア側では、出力点の電圧を求め、明から暗の 256 段階の輝度情報をディスプレイ上に表示することで、実世界の部品への情報の送信を行う。またソフトウェア単体でも試行錯誤が行えるよう、回路シミュレータの機能を実装した。本システムは、HTML と JavaScript により Web アプリケーションとして実装し、Web ブラウザが使用可能であれば PC、スマートフォンなどで使用可能である。現時点では、操作性を考慮し iPad やタッチ PC での使用を想定した実装である。

2.2.1 インタフェース

インタフェースを図 5 に示す。左上に回路を表示し、その下には各種素子が置かれているパレット、右側に制作履歴を表示する。また、パレットの下に様々な操作するボタン、その右側にはクリップボードがある。回路は 8×8 のブロックで実現し、ブロックごとに導線や電池といった部品を配置することで回路を制作する。このブロックのデザインは第 2 著者の提案した HMMBB に基づいている⁴⁾。操作方法は、図 6 に示すように、指でドラッグすることで導線を配置、部品や接続点はパレットからドラッグアンドドロップ操作で配置する。また、抵抗値は配置するときなど、任意のタイミングで設定できる。部品のパレットの対応を表 1 に示し、ボタンの機能を表 2 に示す。

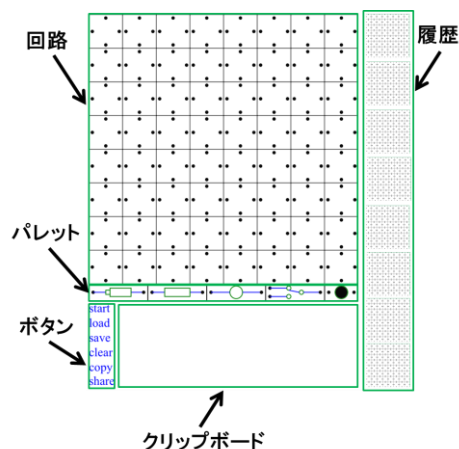


図 5 ソフトウェアシステム

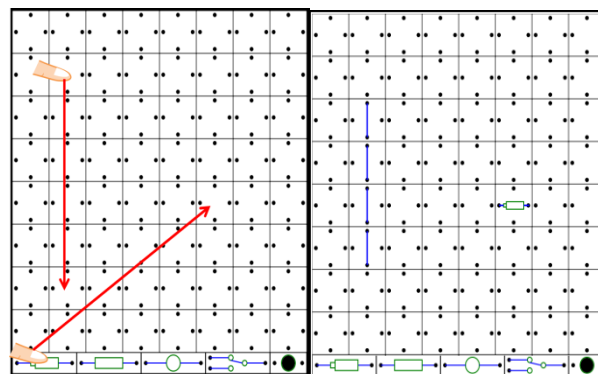


図 6 操作方法

表1 パレットの素子

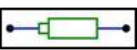

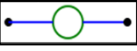
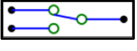

素子名	記号
電池	
抵抗	
電球	
リレー	
接続点	

表2 ボタンの機能

ボタン	機能
start	結線補助や電球の点灯を行う
load	ローカルに保存された回路を読み込む
save	制作した回路をローカルに保存
clear	制作途中の回路と履歴をすべて消去
copy	領域選択後、クリップボードに貼り付け
share	Web 上に共有

接続点とは、配置した部分の電圧の大きさを画面輝度として出力する点である。図7のように接続点を2つ以上用いることで、電圧の計測や電圧をディスプレイから取得することができる。

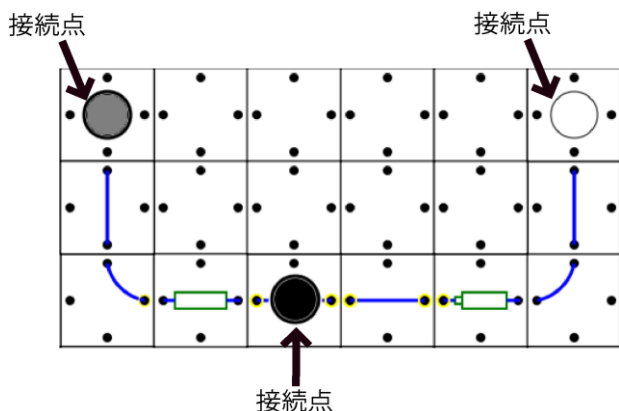


図7 接続点

2.2.2 結線補助

電気回路は一つの結線ミスがあるだけで動作しない。そこで本システムでは、多少の結線ミスがあった場合に断線を補完する「電気回路における好意的解釈機能」を実装した。この考えは、第2著者の提案した「HMMBB」の考えに基づいたものである。以下でアルゴリズムの説明を行う。

・アルゴリズム

今回のプロトタイプで結線を補助できるミスのパターンは以下の2つに分かれる。

1. 断線している場合(図8)
2. 導線の向かう方向が間違えている場合(図9)

結線補助のアルゴリズムは電池の正極をスタート地点とし、導線をたどる。断線箇所のブロックに到達したとき、その時点での導線の配置パターン以外を、両端が導線や抵抗などに接続されるまで調べる。接続結線されなかった場合はひとつ前のブロックに戻り、同一の探索を数回繰り返して行う。ただし、ミスが多い場合には探索を中止する。以下で図8,9の例を交えて詳しく説明する。

図8の場合、電池の正極からたどりB-3で断線している。この場合、B-3の導線のパターンを調べた結果、A-3に導線、C-3に電球があるため、その2つと接続するように導線を引くことで、結線の補完が完了する。

図9の場合、D-3の右のブロックで断線が起きている。この場合、D-3の右側で導線のパターンを調べても両端が接続されることはない。そのため、一つ前に戻りD-3で両端が接続されるパターンを調べる。その結果、D-2に導線C-3に電球があるため、その2つと接続するように導線を引くことで、結線の補完が完了する。

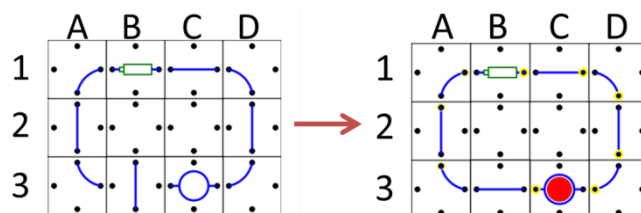


図8 結線補完例1

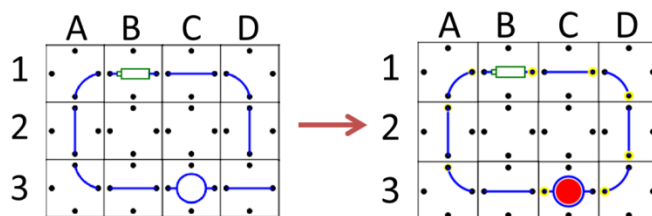


図9 結線補完例2

2.2.3 制作履歴表示とアンドゥ

電子工作は、一度ハンダ付けや組立を行なってしまうと、もとに戻すことは困難である。失敗した場合に回路素子を再購入する手間が増えることや、制作途中の回路がどうなっているのかわからないといった問題が生じる。失敗した場合にももとに戻すことはソフトウェアの回路制作シミュレータでは可能であるが、実回路では困難である。これらの解決手法として、制作履歴を常に表示し、以前の回路と見比べることのできる機能を実装した。

右側で履歴の一覧を表示し、その上にタッチすることでその時点での回路が表示され、左にドラッグすることで表示している時点まで戻ることができる(図10)。これにより、過去の回路設計方法の確認や回路のミスの修復時間の短縮につながる。

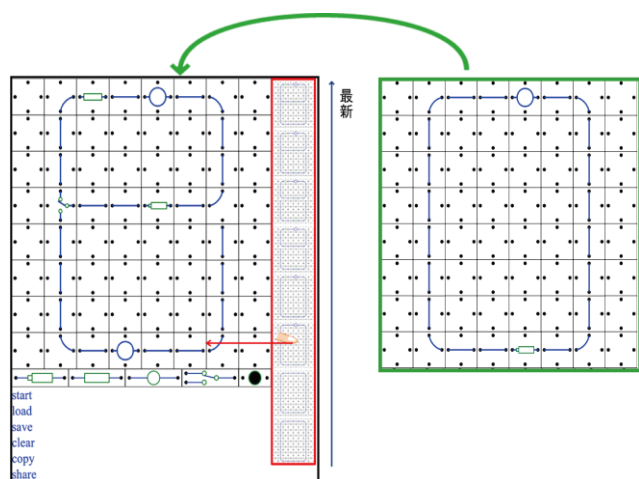


図 10 制作履歴の操作

2.2.4 Web 共有のシステム構成

従来の回路シミュレータでは、自分が作ったものの保存や、データの読み込み、書き換えなどは行えたが、本システムでは他人との共有機能も追加した。仮想回路を Web アプリケーションとして実装することで、Web 上での共有を行えるようにした。図 11 にシステム構成図を示す。これにより、モジュール単位で再利用可能になる。保存の対象は完成した仮想回路とそれに対する説明文及び本節 3 項で述べた制作履歴である。履歴を共有することで、製作過程を見ることができ、回路制作の学習や制作途中の回路を再利用できるのではないかと考えている。

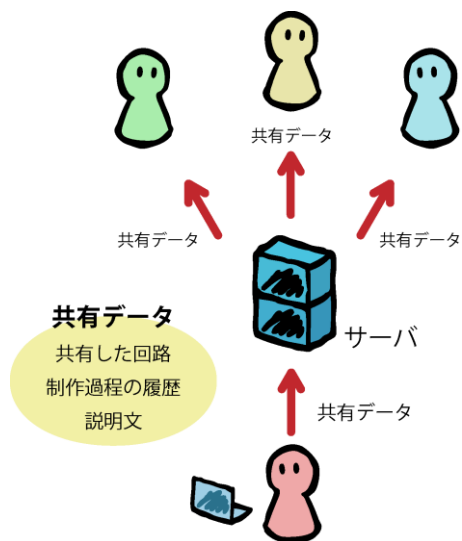


図 11 システム構成図

2.2.5 コピーアンドペースト

プログラミングのソースコードと同様にコピーアンドペーストによって、以前に行った作業の省略や、Web で共有した回路を利用した新しい回路の制作支援が可能になると考える。操作方法を図 12 に示す。このように、2 本指で領域選択後 copy ボタンを押すことで、クリップボード領域に回路がコピーされる。コピーした回路は図 13 に示すようにクリップボード領域からドラッグアンドドロップすることで配置する。

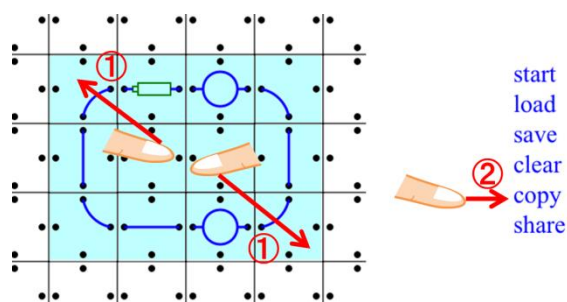


図 12 コピー操作

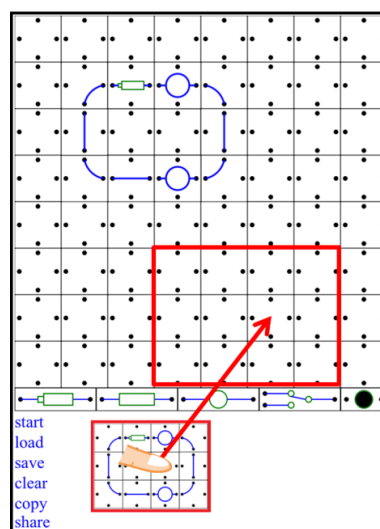


図 13 ペースト操作

2.3 作例

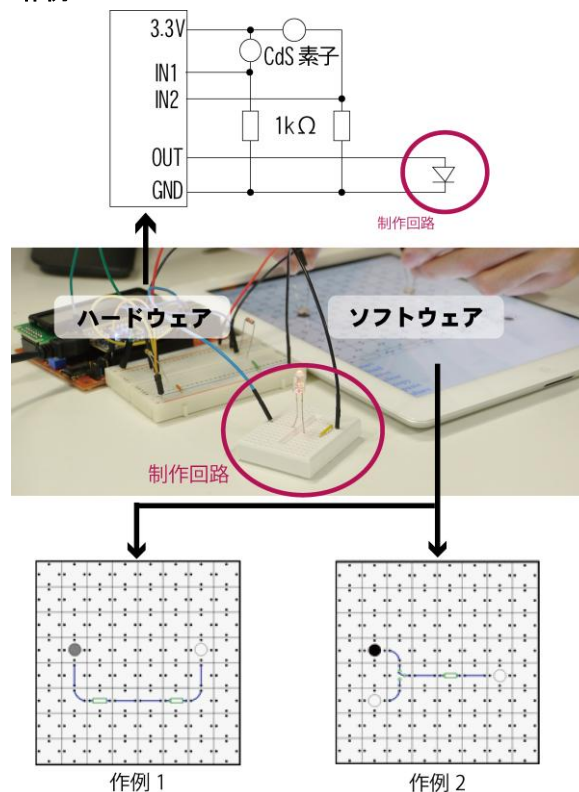


図 14 作例

本システムを用いた作例を紹介する。図 14 に実部品を用いた回路を含む本システムハードウェアの回路図、ソフトウェアの作例 2 つを示す。実世界の LED を 1 個使用し、足りない部分は本システムのソフトウェアで補い、回路を制作した。

・作例 1

この作例は、仮想回路で抵抗値を変化させることで LED を光らせるというものである。

・作例 2

この作例は、ソフトウェア側のリレー回路を用いて LED を点滅させるものである。

3. 考察

本章では、著者が本システムを使用した所感、作例についての考察を行う。

ソフトウェア内で抵抗を用意し、調整できるようにしたことにより、センサやアクチュエータを置くだけで動作が確認できた。これは、抵抗値を考えることや、購入する手間が省け、回路制作に集中できると考える。

本システムでは 1 対の入出力を持つ回路制作を考慮しているため、輝度情報の読みとりを 2 箇所で行なっていない。そのため、リレー素子を用いた分岐ができず、複数の回路にまたがった制作にも対応していない。それらは輝度情報の読み取り箇所を増やすことで、あたかも複数の回路が繋がっているように振る舞えると考える。

ディスプレイに対する CdS 素子の角度によって、得られる値に多少の誤差が生じることがわかった。これは、CdS 素子をディスプレイに垂直に密着させることで、環境光が入りにくくし、誤差を減らすことができると考える。

4. 展望

現状の実装では、ソフトウェア側からハードウェア側への情報の受け渡しが行われているが、ハードウェア側からソフトウェア側への情報の受け渡しが行えていない。この問題が解決されることで、2 つの回路の接続や仮想回路への電圧、センサ値の入力が可能となり、制作の幅が広がると考える。

今回のプロトタイプでは、iPad での使用を主に考えたが、画面が小さくてもシステムを使用できるようデザインすることで、iPhone や Android 端末といったスマートフォンを用いた回路制作ができるのではないかと考える。その方法として、画面上に表示するブロックの数をズームインすることで減らし、ズームアウトすることで全体を見渡せるようにすることを検討している。それにより、複数階層に分かれた回路を複数の端末を利用しての制作や多人数での制作が行えるようになると思われる。

本システムを利用することで、シミュレータを利用する部分と実部品を用いて回路として組む部分の境界を、作品

の試作により検討していきたい。

渡邊らは smoon を利用した Web の実在化による行動支援を提案しているが、著者らの思想もこれに類似している⁵⁾。Web 上には膨大な情報があり共有されているため、多くの情報を得ることができる。しかし、それらを利用して問題を解決するには得た情報を基に人が行動を起こす必要があり、本質的ではないと考える。それらの解決手法として、Web 上の情報を人の行動に直接結びつける「Web の実在化」を提案している。この考えのように、著者らは抵抗の調整のような作業は本質的ではないと考えている。

ニール・ガーシェンフェルドらが提唱しているパーソナル・ファブリケーションの思想を著者らも目指したいと考えている⁶⁾。これは、各個人が必要な物を自ら作ることを可能にすることを目的とする考えである。しかし、これらの生産活動は専門知識がないと作れない場合がほとんどである。著者らは、電子工作という専門知識の伴う作業が手軽に行えるような未来を目指したいと考える。

5. 関連研究

フィジカルコンピューティングの研究として、第二著者が提案している HMMBB は、フィジカルコンピューティングに対するモチベーション向上のために、ブレッドボードに着目し、実世界、バーチャルの両方において好意的解釈を用いた新しいブレッドボードの提案である。本稿で提案するシステムでは、HMMBB の思想をとり入れ、結線補助といった好意的解釈の考えをとり入れた。

仮想回路と実部品を繋ぐ手法として、ディスプレイの輝度値を読みとる手法で実現したが、これは Display-Based Computing の思想を基に実装したものである⁷⁾。本来、プロジェクトなどの画像提示装置は人間に向けられたものだが、これらを機械との通信に用いるという研究である。

現在の実装では、ハードウェアからソフトウェアへの入力が行われていない。そこで、落合の静電容量式投影型タッチパネル上でのデバイスによる入力手法を導入することで解決できる可能性がある⁸⁾。これは、iPhone や Android 端末などのタッチパネルにタンジブルデバイスを載せて、人間の手が接触した際に発せられる静電容量変化を用いて操作が可能になる手法である。

安村は、Programming 2.0 を提唱し、これからのプログラミング言語は、人間の特性に合わせた設計がされなければならないと述べている⁹⁾。これらの考えは電子工作にも通じるものがあり、一つでも間違えていると、思った通りの動作をしないことや多くの制約があるといったプログラミング言語と似たような特性を持っている。そのため、Programming 2.0 のような考えを本システムにとり入れる必要があると考える。

フィジカルコンピューティングのシミュレータの研究として、姉崎らが提案した Intuino がある¹⁰⁾。これは、コー

ディングすること無く、タイムラインやイベント用のラインを引くことでセンサやアクチュエータの制御を行えるというシステムである。

電子工作で使用するブレッドボードの研究として、落合の Visible Breadboard がある¹¹⁾。これは、電気回路とシステムの電圧変化や電気の流れを可視化したブレッドボードである。本システムでは電気を可視化するという点で、電圧の大きさを画面輝度として見える形に出力している。

Aniomagic 社では電子手芸が簡単に行えるように伝導性糸とスキーマと呼ばれる電子手芸に特化したデザインのマイコンの販売・開発を行なっている¹²⁾。スキーマはプログラム転送を可視光通信による画面の点滅で行う。

可視光通信を使用した iPhone, iPad 用アプリとしてピカピカカメラがある¹³⁾。これは、iPhone, iPad に搭載されているカメラで可視光の送受信を行い、撮影した写真の配布やディスプレイからのメッセージを受信して AR 表示することでメッセージ付きの写真の撮影ができる。

6. おわりに

本稿では、仮想回路と実部品を繋ぐ新しい電子工作の手法を提案した。実部品の足りない部品を仮想回路で補うことで、最低限の部品のみで回路制作のシミュレーションができるようになった。また、シミュレータの機能を充実させることで、実際に回路を制作する前のシミュレーションや制作した回路を他のユーザと共有、履歴表示やコピーアンドペースト機能といった支援機能を実装した。今後は使いやすいソフトウェアインタフェースの実装や、ハードウェアの設計に注力していくとともに、どのような場面で有効であるのかを評価・分析することで、今後のシステム実装の方針を立てたい。

参考文献

- 1) Virtual Breadboard, <http://www.virtualbreadboard.net/> (2012-05-07)
- 2) mbed, <http://mbed.org/> (2012-05-07)
- 3) StarBoard Orange. <http://mbed.org/cookbook/StarBoard-Orange> (2012-05-07)
- 4) 宮下芳明. フィジカルコンピューティングへのモチベーションを向上させるブレッドボード HMMBB の提案, 情報処理学会夏のシンポジウム 2010 (2010).
- 5) 渡邊恵太, 佐藤彩夏, 松田聖大, 稲見雅彦, 五十嵐健夫. smoon: Web の実体化による行動支援の試作, WISS 第 19 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ論文集, pp.84-89 (2011).
- 6) ニール・ガーシェンフェルド (糸川洋訳). ものづくり革命 パーソナル・ファブリケーションの夜明け, ソフトバンククリエイティブ (2006).
- 7) 稲見雅彦, 杉本麻樹, 新居英明. Display-Based Computing の研究第一報: 画像提示装置を主体とした実世界指向情報システム. 第 10 回 VR 学会大会論文集, pp.441-442 (2005).
- 8) 落合陽一. 静電容量式投影型タッチパネル上でのデバイスによる入力方式, 第 15 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集 (2010).
- 9) 安村通晃. Programming2.0: ユーザ指向のプログラミング, 情報処理学会夏のシンポジウム (2006).

10) 姉崎祐樹, 脇田玲. Intuino: ビジュアルプログラミングによるフィジカルコンピューティング開発環境の構築, インタラクシオン 2011 予稿集, pp.93-94 (2011).

11) 落合陽一. 「電気がみえる」デバイス Visible Breadboard, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 Vol.15, No3, pp.463-466 (2010).

12) Aniomagic, <http://www.aniomagic.jp/> (2012-05-07)

13) ピカピカカメラ, <http://www.casio-isc.com/ja/info/> (2012-05-07)