

推薦研究論文

電子工作体験キット Haconiwa のデザインと評価

阪口 紗季^{1,a)} 白水 菜々重¹ 島田 さやか¹ 松下 光範²

受付日 2016年7月15日, 採録日 2016年12月2日

概要: 初学者に対して電子工作の知識や技術の習得を支援するキットは多く開発されている。しかし、これらを使用するためにはある程度の基礎知識が必要となるため、すでに電子工作に興味を持っているユーザには有用であるが、その段階に至る前のユーザにとってはいまだ敷居が高いものとなっている。本研究では、後者のようなユーザを対象とし、専門知識や技術を有していなくてもすでに持っている知識や経験に基づいて電子回路を組むことができるキット“Haconiwa”をデザインしてきた。このキットでは、電子部品の配線における難しさを排除し、電子部品の外観をユーザにとって馴染みのあるものに置き換えることによって、回路の組み方に対する理解を簡便化している。さらに、このキットのユーザにとっての使用目的を、電子回路の学習ではなく、遊びにすることによって、学習への誘引を遊びの副次的効果となるようにしている。キットに関する評価実験からは、既存の手法に比べて導入のしやすさにおいて優れていることが示唆され、キットの使用方法に関する評価実験からは、電子回路の知識の理解までを含めた体験をしてもらうワークショップ形式での使用が有用であることが示された。

キーワード: 電子回路の学び, キットのデザイン, ワークショップ, 柔らかいインタフェース

Design and Evaluation of Haconiwa: A Toolkit for Introducing Novice Users to Electronic Circuits

SAKI SAKAGUCHI^{1,a)} NANAE SHIROZU¹ SAYAKA SHIMADA¹ MITSUNORI MATSUSHITA²

Received: July 15, 2016, Accepted: December 2, 2016

Abstract: The goal of our research is to develop a toolkit for novice users who are not interested in electronics to experience building a basic electronic circuit. For this design practice, we have designed “Haconiwa,” a toolkit that allows users to build a basic electronic circuit without specialized knowledge and technique. In this toolkit, we removed a difficulty of connecting electronic devices and used a metaphor for understanding how to create a circuit. Moreover, we set a purpose for use of the toolkit playing instead of learning electronics in order to make learning secondary efficacy. An evaluation for usability of the toolkit shows that the toolkit is more useful for introduction of electronics than a existing toolkit. An evaluation for usage of the toolkit shows that usage as a workshop for experiencing electronic circuit making is useful.

Keywords: electronic circuits learning, toolkit design, workshop, soft interface

1. 背景

3D プリンタやレーザカッタなどの工作機械のコモディ

ティ化や Arduino, Raspberry Pi などの簡便なマイクロコントローラの普及, Fab Lab のような個人のものづくりを支援する施設の展開によって, 人々の DIY (Do It Yourself) によるものづくりの環境は大きく変貌を遂げつつある [1]. Gershenfeld が “パーソナル・ファブリケーション” という語を用いて説明しているように, こうした変化は個人のものづくりに関する関心を高め, より高度でインタラクティブ性を有したものづくりを可能にしている [2].

DIY によってものづくりをするためには, まず知識や技

¹ 関西大学大学院総合情報学研究科
Graduate School of Informatics, Kansai University,
Takatsuki, Osaka 569-1095, Japan

² 関西大学総合情報学部
Faculty of Informatics, Kansai University, Takatsuki, Osaka
569-1095, Japan

a) k107221@kansai-u.ac.jp

術を習得する必要がある。たとえば、工具や部品の名前や用途を覚える、道具の使い方に慣れるといったことがそれに該当する。また、自分が作りたいものを作るために必要な道具や部品を揃えたり、制作環境を整えたりする必要もある。これは知識や経験を有しない初学者が1人で行うには難度が高い。特に、電子工作を活用したDIYは基礎的な知識の習得が一定程度必要となるため、難易度の低い電子工作であっても躊躇する初学者も多い^{*1,*2}。

このような課題に対して、電子工作への導入を簡便化するために、知識量が少なく技術力がない初学者でも楽しみながら学習できるよう支援するツールキットが提案されている。たとえば、電子ブロック^{*3}やlittleBits^{*4}は、初学者にとって難しいはんだ付け作業を求めることなく、電子回路を組むことができるキットである。また、MESH^{*5}のように、センサのデジタル制御の簡便化を図ったキットも登場している。これらでは、フィジカルなオブジェクトやGUIを用いることによって、初学者に知識や技術の習得の労力を強いることなく、ものづくりの面白さを体験させることが可能である。しかし、これらのキットは、回路図記号が描かれている、電子部品が表出している、モバイルアプリと連携させる必要があるなどの仕様を持ち、ユーザは少なくとも取扱いに関する基礎知識を覚える必要がある。したがって、これらのキットは、電子工作にすでに興味を持っている人は対象ユーザとして適しているが、そうした段階に至る前の、電子工作に興味がない人は対象ユーザとして適していないと考える。

2. 本研究の目的とアプローチ

上述した背景をふまえ、本研究では、電子工作に興味がない人を支援対象のユーザとし、これらのユーザに対して電子工作を体験する敷居を下げることを目的とする。この目的を達成することが、電子工作に興味を持てなかった人に興味を持ってもらうためのきっかけを作り、電子工作分野の発展や、理系離れを解消するための一助となることを企図する。本稿では、その実現における解くべき課題として以下の2点に焦点を当てる。

RQ1: 電子工作に興味がない人に向けて、どのようなキットをデザインすべきか。

RQ2: デザインしたキットをどのように使ってもらえるべきか。

これらの問いに答えるためのアプローチとして、以下の3点を検討する。ここで、A1, A2はRQ1に、A3はRQ2に答えることを企図している。

*1 <https://www.physicsforums.com/threads/wanting-to-study-electronics-difficulty-preparation.856011/>

*2 <http://www.difa.me/people/interview-techno-crafts>

*3 <http://www.denshiblock.co.jp/>

*4 <http://jp.littlebits.com/>

*5 <http://meshprj.com/jp/>

A1: 難しさを排除する

本研究の対象ユーザが電子工作を行うにあたっての難点は、専門知識と技術の習得を行うことである。具体的には、電子部品の配線における注意事項を理解することや、はんだ付けを習得することである。こうした難しさを排除することによって、本研究の対象ユーザでも、電子工作に取り組みやすくなると考える。

A2: 馴染みのある外観に置き換える

本研究の対象ユーザが電子工作を行うにあたってのもう1つの難点は、電子部品そのものの外観が、初見のユーザにとっては馴染みがないものになっているため、どのように扱えばよいかの分かりにくい点である。そこで本研究では、電子部品の外観や使用方法を、本研究の対象ユーザでも馴染みのある、すでに知っているようなものに置き換えることによって、電子部品の取扱いを簡便にする。これまでも、新しい知識や概念を、すでに身につけている知識や考え方に置き換えたり、メタファを使うことによって理解しやすくなること示されている(例: 文献 [3], [4], [5]) ことから、こうした手法は、本研究の対象ユーザに初見である電子部品に対する扱い方や使用方法を理解してもらうことに有効であると考えられる。

A3: 学習への誘引を副次的効果として設計する

本研究の対象ユーザのような電子工作に興味を持たない人に対して、電子工作や回路づくりに対する動機付けを行うことは難しい。そこで本研究では、ユーザにとってのキットの使用目的を、電子回路の学習ではなく、遊びにすることによって、ユーザのモチベーションを担保し、学習への誘引を遊びの副次的効果となるように設計する。これまでも、物事のとらえ方によって人の行動が変容することや、事前教示の仕方によって課題に対する成果物に差が出ることを示されている [6], [7]。また、ゲーミフィケーション [8], [9] においても同様に、知識の習得やタスクの遂行などに対するとらえ方をエンタテインメント性のあるゲームに変えることによって、ユーザのモチベーションの向上が図られている。よって、学習への誘引を遊びの副次的効果として設計することは有効であると考えられる。

本研究では、これらのアプローチをふまえ、電子工作についての知識や技術を有しないユーザでも、すでに持っている知識や経験に基づいて電子回路を組むことができるキット“Haconiwa”を提案し、それを用いたワークショップを実施してきた [10]。本稿では、文献 [10] の内容に加え、キットのデザインプラクティスト、ユーザ評価について述べる。

3. 関連研究

本研究で提案するキットは、電子部品を内包したフィジ

カルなオブジェクトで構成される。本章では、フィジカルなオブジェクトを用いた学習支援と、電子デバイスを内包したインタフェースに関する研究について述べた後に、電子工作の体験支援を目的とする研究について述べ、本研究との差異を明らかにする。

3.1 フィジカルなオブジェクトを用いた学習支援

フィジカルなオブジェクトを用いて、物の外観や操作の仕方を単純化したり、概念や仕組みを視覚化したりすることによって、初学者にとって理解しやすい学習支援ツールが制作されている。

初学者にとって知識や技術の習得が必要とされることを、ブロックやモジュールをつなげるという動作に置き換えることによって、理解を容易にする事例は多い [11], [12]. Kim らの Bitcube では、特有の機能を持ったモジュールをケーブルで接続することによってセンサやアクチュエータを制御することができる [13].

Buechlay らは、電子部品を接続する作業を、従来のはんだ付けやブレッドボードを用いる手法から、ボタンをはめ合わせるという手法に置き換えることによって、子どもでも安全かつ容易に電子回路を組むことを可能にしている [14].

これらのツールではフィジカルなオブジェクトを用いることによって、初学者にとって敷居が高いとされる作業を簡便化する点で、2章であげた難しさを排除するアプローチ (A1) に類似する。しかし、いずれも対象としているユーザは学習する動機を持っていることが前提となっている点で本研究のねらいとの差異がある。

3.2 電子デバイスを内包したインタフェース

本来であれば固い素材である部品やコンピュータを柔らかな見た目や触感に変えるアプローチが行われている。

杉浦らは、毛皮や綿を用いた柔らかな触感を持つ入力インタフェースを提案している [15]. 入力動作を検知するデバイスを柔らかな素材で覆うことによって、デバイスの機械的な見た目や固い触感を削ぎ落とすことができ、ユーザはインタフェースをクッションなどの日用品と同じように扱うことが可能である。

高瀬らは、ぬいぐるみロボットの中に搭載されたセンサやアクチュエータの固さを感じさせないような機構を提案している [23]. ぬいぐるみ本来が持つ柔らかさを損なわないことによって、ユーザは通常のぬいぐるみと同等の親しみやすさをぬいぐるみロボットに対して感じるができる。

また、導電性のある糸で刺繍を施したり、電子デバイスを衣服などの布製のものに縫い付けたりすることによって、インタラクティブな布製品を制作する試みがなされている [16], [17]. このような試みは、手芸と電子工作を掛け

合わせるテクノ手芸 [18] や、Buechlay らによって布に縫い付けることを意図して針穴が設けられたマイコンボード LilyPad Arduino [19] が開発されたことによって広く認知されるようになった。

こうした利点を参考にし、本研究では、馴染みのある外観に置き換える (A2) 際の具体的な手法として、電子部品を布や綿といった素材に内包し、触感や外観を変えることを採用する。

3.3 電子工作の体験支援

近年は、電子工作の体験を支援する様々なツールが開発されている。LightUp^{*6}は、電子部品モジュールを磁石によって接続できるキットである。モジュールの接続によって完成した電子回路を、タブレット端末と専用のアプリケーションを用いて撮影すると、電気の流れ方を表すアニメーションがカメラ映像上のモジュールに重畳されて提示される。

また、落合による電気がみえるデバイス Visible Breadboard も、電気回路内の電気の流れを視覚化するものである [20]. デバイス上で電子回路を組むと、デバイスに搭載されている LED の点灯パターンによって、電気の流れが示される。

秋山らは、プロジェクションマッピングを用いて電子工作体験支援を行うシステムを提案している [21]. 電子部品の上に、部品が動作する様子を再現した映像を投影したり、電子部品が置かれている机に仮想的に導線の映像を投影したりすることにより、通電していない電子部品を用いて電子工作のシミュレーションを行うことを可能にしている。

Assante らの Edutronics は、フィジカルなブロックとモバイルアプリケーションを用いた、電子回路の学習ツールである [22]. 磁石がアレイ状に配置されたボードに、電子部品が内蔵されたブロックを配置することによって、回路を組むことができ、それをモバイルアプリケーションと連携させることによって、制作した回路の正誤のフィードバックが可能である。

電子部品や回路を拡張させることにより、通常は目に見えないものではない電子回路の理論を視覚化することができるため、こうした手法は電子工作の初学者の理解を支援することに有用である。しかし、これらはユーザが電子工作を学習するというコンテキストを前提にした支援方法であるのに対し、本研究では、学習への誘引を副次的効果として設計する (A3) ため、ユーザには電子工作の学習とは別のコンテキストにおいてキットを使用してもらうことを試みる。

*6 <https://www.lightup.io/>

4. 電子工作体験キット Haconiwa のデザイン

本章では、提案するキット Haconiwa のデザイン指針、構成、使用方法について述べる。

4.1 デザイン指針

先述した本研究のアプローチ A1~A3 をふまえ、Haconiwa をデザインした。A1 の「難しさを排除する」アプローチとして、電子部品の接続方法には、本研究の対象ユーザにとって難しいとされるはんだ付けではなく、代わりに日常生活において行われる行為である「ボタンのはめ合わせ」を採用した。A2 の「馴染みのある外観に置き換える」アプローチとして、キットに使用するすべての電子部品を布やフェルトで覆い、それぞれの外観を人形や道、橋などのミニチュア模型のような馴染みのある外観に置き換えた。また、これらのパーツには A1 で採用したボタンが取り付けられており、電子回路の組み立てにおける配線作業は、道のパーツをつなげたり、人形や橋などのパーツを配置したりする行為に置き換えられた。A3 の「学習への誘引を副次的効果として設計する」アプローチとして、A2 によって外観が人形や模型に置き換えられたものを自由に組み合わせ、オリジナルの箱庭を作って遊ぶという行為を行う実施形態をとることとした。

このように、電子回路を組む工程を、箱庭を作る工程に置き換えることにより、遊びを通して間接的に回路を組める仕組みを作った。A2 において、電子部品の外観を作るのに布やフェルトを用いた理由は、入手しやすい素材で構成することにより、A3 の発展としてユーザ自身でも Haconiwa の修理やアレンジメントを可能にするためである。また、身近にある柔らかな素材で構成される物には親しみを持ちやすいことが示されている [23] ことから、布やフェルトを用いることは A2 において電子部品の外観を馴染みのあるものに変える手段として適していると考えられる。これにより、電子工作を経験したことがない人でも電子部品を用いたものづくりを体験することができ、電子工作に対する敷居が低くなることが期待される。

4.2 キットの構成

Haconiwa は、箱庭の土台として使用する“土台モジュール”と、そのモジュールを連結させる“オブジェクト”から構成されている。

土台モジュールは、6.5 cm × 6.5 cm の正方形に切ったフェルトに、導電糸と金属製の凸型スナップボタンを縫い付けて作成した。土台モジュールの種類は、導線の形状を考慮して、角型、直線型、T 字型の 3 種類用意した (図 1 参照)。導線の種類が視覚的に分かりやすくなるよう、表面にはフェルトで道路を装飾している。

オブジェクトは、直径 3.5 cm の丸型に切ったフェルト

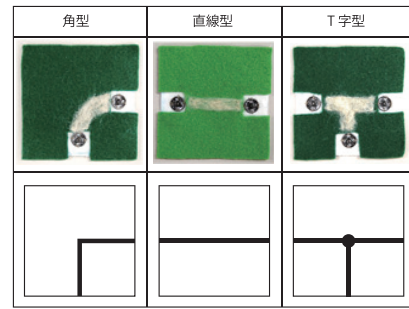


図 1 土台モジュールの種類

Fig. 1 Basement module examples.

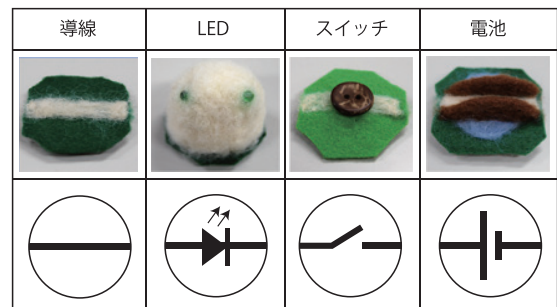


図 2 オブジェクトの種類

Fig. 2 Object examples.

に、電子部品と金属製の凹型スナップボタンを導電糸で縫い付けて作成した。オブジェクトには、LED、ボタン電池、タクトスイッチ、導線の 4 種類を用意した (図 2 参照)。オブジェクトの種類を選定に際しては、文部科学省による学習指導要領である、小学校理科の観察、実験の手引き [24] の「電気の通り道」の単元で示されている基本回路を参考にした。なお、Haconiwa では各電子部品の外そうとして布やフェルトを用いているため、光を発するオブジェクトとしては、高熱を発する危険のある豆電球ではなく、LED を採用した。LED オブジェクトは、白い羊毛フェルト (繊維) をフェルティングニードルと呼ばれる針で刺し固めて作られた固体に、並列に組んだ 2 個の LED を目のモチーフとして埋め込み、図 2 に示すような形状になっている。その他のオブジェクトに関しては、ボタン電池には池と橋、タクトスイッチには洋裁用のボタン、導線には道のみを装飾することで、それぞれを識別できるようにした。なお、LED と電池のオブジェクトには、服や鞆といった布製品につけられたタグに模して、矢印のラベルを付与している。これにより、本研究の対象ユーザでも直観的に部品の接続方向が分かるようにした。

詳細については 4.3 節で後述するが、LED オブジェクトは、2 個の LED による目のモチーフを利用することにより、ユーザによって独自に動物やキャラクターの外観が装飾されることを企図している。そのため、顔や柄などの装飾が可能かつ LED による目のモチーフのスケールに合った大きさとする 것을考慮し、LED オブジェクトの大き



図 3 Haconiwa の全パーツ
Fig. 3 Component of the Haconiwa toolkit.



図 4 LED 1 個を光らせる回路
Fig. 4 Series circuit with Haconiwa toolkit.

さは底面が直径 3.5 cm の円形，高さが 3.5~4 cm とした。この設定に倣い，他のオブジェクトに関しても底面は直径 3.5 cm の円形とした。また，土台モジュールの大きさは，縫い付けられたすべてのスナップボタンにオブジェクトが取り付けられた場合でも，土台モジュール表面の道路が隠れない程度の大きさとするを考慮し，6.5 cm × 6.5 cm の大きさとした。

キットのすべてのパーツを図 3 に示す。1 キットにつき，18 枚の土台モジュール，2 個の LED オブジェクト，2 個の電池オブジェクト，2 個のスイッチオブジェクト，12 個の導線オブジェクト，数種類の木や花の装飾パーツを用意した。本キットでは，LED オブジェクト 1 個を光らせることができる直列回路と，LED オブジェクト 2 個を光らせることができる並列回路を組めるようにした (図 4，図 5 参照)。そのため，LED オブジェクト 2 個と T 字型土台モジュール 2 枚を含めた。また，2 個の LED オブジェクトが直列につながれた場合でも LED が点灯するように，電池オブジェクト 2 個を含めた。さらに本研究では，本キットを使用することにより，電子回路を組むだけでなく，ユーザが箱庭の大きさや個数，道路の形状などを自由に決められるようにすることで箱庭作りを楽しんでもらうことを期



図 5 LED 2 個を光らせる並列回路
Fig. 5 Parallel circuit with Haconiwa toolkit.

待している。このため，土台モジュールは最低限回路が組める枚数に予備を足した 18 枚とし，スイッチオブジェクトは 2 個とした。

4.3 キットの使用方法

箱庭を作る手順は，(1) 土台モジュールを道がループ状につながるように配置する，(2) 土台モジュールのつなぎ目に好きなようにオブジェクトを配置し，スナップボタンをはめ合わせる，という流れである。用意されたオブジェクト以外に，木や林，花などを羊毛フェルトで手作りし，土台モジュールに並べることで，独創性を深めることができる。

また，白色の固体である LED オブジェクトに対し，ユーザは独自に動物やキャラクタを装飾することができる。LED オブジェクトに，着色された羊毛フェルトをフェルティングニードルで重ねつけるように刺していき，オリジナルの装飾をしてもらう。羊毛フェルトとは，羊毛の繊維がまとまったものをフェルティングニードルで刺しながら絡め，作品を造形する手芸である。フェルトを絡めて固めていく過程で，作り手はオブジェクトを好きな形に整形することができる。ただし，5~10 cm 角程度のものであっても固めるまでに 1 時間近くの時間を要することから，本キットにおいて羊毛フェルトを固める際に電子部品を組み込むことは熟達者でない限り難しい。そこで本キットでは事前に白い羊毛フェルトを用いて立体に整形したものを LED オブジェクトとしている。

5. ワークショップによるヒアリング

本研究のアプローチ A1 および A2 が，RQ1 に答えるために効果的であるかどうかを検証するために，Haconiwa を用いたワークショップを実施した。本ワークショップでは，参加者に対してキットの使用感や改善すべき点に関するヒアリングを行った。ワークショップには，情報系学部に通う女子大学生 2 名に参加してもらった。いずれの参加者も電子工作の経験は有していない。

5.1 ワークショップの手順

参加者に取り組んでもらった課題は、Haconiwa の LED オブジェクトに好みの装飾を施すこと、ならびに、Haconiwa でオリジナルの箱庭を作り回路を組むことである。なお、このときに課題に用いた回路は、LED を電池につないで点灯させるものとした。本ワークショップでは、参加者が電子回路の組み方につまずいたときや、Haconiwa の使用方法に不明点があるときはいつでもファシリテータ（観察者）に質問できることとした。また、ファシリテータは参加者の電子回路の知識量や課題の遂行状況に応じて適宜アドバイスを与えるようにした。ワークショップは以下の手順で行われた。

(1) 事前教示

初めに、ワークショップの課題としてオリジナルの箱庭を作ってもらふ旨を伝え、Haconiwa を構成する土台モジュールとオブジェクトの名称や使用方法について説明を行った。この際、参加者には Haconiwa を用いて電子回路を組むことが可能であることを伝え、直列回路と並列回路の構成を図示した資料を参照しながら、Haconiwa を用いて回路を組み、実際に LED が点灯する回路を組むための一連の流れを確認してもらった。

(2) LED オブジェクトの装飾

次に、Haconiwa の LED オブジェクトに、好みの動物の装飾をしてもらった。

(3) 箱庭作り

参加者に、(2) で装飾した LED オブジェクトを含むオブジェクトと土台モジュールを使用して、オリジナルの箱庭を作る要領で電子回路を組んでもらった。回路が通電すれば作品が完成したことを伝え、回路が通電しなかった場合は、ファシリテータが失敗している箇所について指摘し、通電するまで参加者に繰り返し直してもらった。さらに、羊毛フェルトで作られた木や林、花を模した装飾パーツを使って、参加者が好む箱庭に装飾してもらった。

なお、本ワークショップの所要時間は参加者 1 人あたり 40 分程度であった。

5.2 参加者からのフィードバック

ワークショップの参加者から得られたフィードバックから、RQ1 に対する A1 と A2 の効果を考察した。

まず、ワークショップの 1 つ目の課題である LED オブジェクトの装飾に対する感想を尋ねた。その結果、「自由にオリジナルの動物を作ることができたので、作品に対して愛着を感じることもできた」、「作品を持って帰りたい」といった意見が得られたことから、電子部品の外観を馴染みのあるものに置き換えること (A2) が効果的であったと示唆される。

次に、2 つ目の課題である箱庭作りを通して回路の組み

立てを体験したことに対する感想を尋ねたところ、「小中学校の理科の授業で学んだ回路に関する知識を思い出すことができた」、「完成した箱庭の全体を眺めたときに、達成感を感じた」といった意見が得られた。このことから、電子部品を馴染みのある外観に置き換えること (A2) によって、箱庭作りを通して電子回路を組むことを実感させることができることが示唆された。また、ボタンをはめ合わせることに関する難しさを指摘されなかったことから、難しさを排除する (A1) ことができていたと考えられる。

その一方で、参加者からは箱庭作りに関して、「強制的に置かなければならないオブジェクトがあり、自分の意思どおりに箱庭をデザインすることができなかった」といった意見が得られた。この意見については、電子部品を馴染みのある外観に置き換える (A2) にあたり、オブジェクトのデザインの選択肢や、自由にデザインできるオブジェクトを増やすことによって対応できると考えられる。ワークショップで参加者に装飾してもらふ LED オブジェクト以外のパーツは、あらかじめ決められたデザインの装飾が施されており、これは参加者の作品制作に対する自由度を下げる要因となっているため、それぞれのパーツにおけるデザインの種類を増やすことで、参加者はより独自性の高い箱庭を作ることができると考えられる。

回路の組み立てに関して、参加者からは、「自分がつなげた回路はたまたま成功していたが、光らなければどうすればいいのかわからなかった」という意見も得られた。学習への誘引を副次的効果として設計する (A3) ことにより、ユーザは箱庭作りだけではなく、電子回路の組み立ても体験することになるため、電子回路に関する知識をより分かりやすく教示することが課題としてあげられる。

したがって、A1 と A2 が RQ1 に答えるために効果的であることが示唆されるが、A2 に関しては、オブジェクトのデザインを再考し、種類を増やす必要があることが分かった。

A3 の課題に対しては、補助教材を用意することによって対応する。次節では補助教材のデザインについて述べる。

5.3 補助教材カードのデザイン

前節で述べた A3 に関する課題に対応するために、電子工作の基礎知識がないユーザに対して、Haconiwa で使用する土台モジュールやオブジェクトの名称や使用方法をより分かりやすく提示するために、補助教材となるカードをデザインした。補助教材カードの例を図 6 に示す。カードには、各土台モジュールやオブジェクトの名称とその写真、回路図記号、説明、ヒントが掲載されている。

補助教材を作るにあたって、紙の資料や動画ではなくカード形式にした理由は、(1) ユーザのレベルや必要に応じて参照することができる、(2) Haconiwa のパーツ (オブジェクトや土台モジュール) を収納する箱の見出しとして



図 6 補助教材カード

Fig. 6 Teaching aids for participants.



図 7 ハンズオン展示の様子

Fig. 7 Hands-on workshop.

使うことができる, (3) 個々のカードは独立して使用するが, 索引をつけてカードホルダに収納することで一覧性を持たせることもできる, といった観点で, 柔軟な情報提示手法であると判断したためである. このカードを使うことで, ユーザに対して, オブジェクトの機能や注意事項を説明することが容易になることが期待される.

6. ハンズオン展示の実施

本研究のアプローチ A3 が, RQ2 に答えるために効果的であるかどうかを, より幅広い年齢層の人からのフィードバックを通して検証するために, 2013 年 11 月 3, 4 日に開催された Maker Faire Tokyo 2013^{*7}において, ハンズオン展示を実施した (図 7 参照).

6.1 展示の手順

この展示では, 体験者に対してファシリテータが Haconiwa で作った回路のサンプルを紹介したのちに, 体験者に Haconiwa を使ってもらった. その際, ファシリテータは各パーツの使用方法を説明し, 動物の目 (LED) は道 (導線) で池 (電池) につながらないと光らない, といったように電子回路の基礎的な知識について Haconiwa のパーツの外観のデザインを用いながら教示した. 体験者が正しくない回路を組んだ際は間違いを指摘し, 通電するまで回路を直してもらった. なお, 本イベントは来場者数が多いことから, 羊毛フェルトによる LED オブジェクトの装飾体験は行わず, 事前に装飾済みのものを用いた. このハンズオン展示では, 回路をひとつおりの完成させて退席する体験者や, 他にも様々な回路を作ろうとする体験者もいたため, 体験者 1 人あたりの体験時間には 5 分~15 分とばらつきがあった.

6.2 幼児・児童の反応

Haconiwa を体験した幼児や児童からは, 改良点としてオブジェクトに関しては「車 (他のオブジェクト) がほしい」, 「目が光るだけ?」といった意見が得られた. 学習の

誘引を副次的効果として設計したこと (A3) により, 体験者にとって箱庭作りにおいてはパーツの外観デザインが重要となっていることがうかがえる. 前章で述べたワークショップの参加者からもパーツの外観デザインに関する意見が得られたことから, ユーザが独自性の高い箱庭を作るためにオブジェクトの種類を増やすことが必要とされる. また, Haconiwa のパーツを用いて説明した電子回路の基礎知識に関して 7 歳 (女兒) は「難しかった」と述べる一方で, 12 歳 (女兒) からは「簡単で良い」という意見が得られた. 体験の様子からは, 電子回路の基礎知識がある児童は, 容易に回路を完成させるケースが多かったが, 一方で幼児や小学校低学年の児童は, 道をつなげるだけで遊びを終わらせてしまい回路を完成させられないケースが見られた. この理由として, 小学校の理科の授業で電子回路の指導対象が 3 年生以上であることから, 3 年生未満の児童にとっては, 理論を理解することが難しかったことが考えられる. このような状況の一助とするために, 補助教材カードを用意したが参照されることは少なかった. その原因として, 幼児や児童にとってカードに含まれる表現が理解し難いものであることや, 箱庭作りに集中するためカードに注目する余裕がないことが考えられる. 今後は補助教材カードを実践的に活用できるようなデザインに改良することや, カードを使用するタイミングについて再考する必要がある. 学習への誘引を副次的効果として設計したこと (A3) によって, 幼児や児童は箱庭作りならびに回路の組み立てに取り組むことができていたが, その体験を通して電子回路の理論までを理解してもらうためには, 5 章のようなワークショップ形式で, 箱庭作りと回路の組み立ての 2 つの工程を段階的に行ってもらうことが望ましいと考えられる. また, 幼児や小学校低学年の児童からは, スナップボタンの付け外しや飾り付けだけを楽しむ様子も観察された. これは, 着衣行動が自立していない幼児はボタンの付け外しの動作自体に慣れておらず [25], 電子回路を組み立てることや箱庭を完成させることよりもボタンに注目したことが原因として考えられる. 本キットでは, 難しさを

^{*7} <http://makezine.jp/event/mft2013/>

排除する手段 (A1) としてはんだ付けの代わりにスナップボタンを用いたが、幼児に使用してもらうためにはより簡単な方法を検討する必要がある。

したがって、A3 は、ユーザに対して箱庭作りに取り組んでもらうことによって、回路の組み立てを体験してもらうことができる点で、RQ2 の答えとして有用であるが、回路の組み立ての体験によって、電子回路の理論までを理解してもらうためには、キットの体験手順やファシリテータによる事前教示の仕方を再考する必要がある。

6.3 キットと使用方法のリデザイン

ハンズオン展示における幼児・児童の体験者からはオブジェクトの種類を増やすような要望が得られた。これは、RQ1 に答えるために検討する必要があると考えられる。RQ1 に答えるために、キットのリデザインとして、通電するとメロディが流れるオルゴールを内蔵した動物型のオブジェクトと、電池を内蔵した切り株を模したオブジェクトを新たに制作した。これにより、キットによる制作物の自由度が、箱庭作りおよび回路の組み立ての双方において向上することが期待できる。

今回実施したハンズオン展示では、事前に体験者を募らず、Haconiwa の展示ブースを訪れた来場者に随時体験してもらう形式をとった。そのため、体験者がキットに触れる時間は数分から数十分程度であったため、すべての体験者が箱庭作りをするだけで終わってしまい、キットに含まれる電子回路について理解するまでには至らなかった。したがって、RQ2 の答えとして、本キットを単なる娯楽として使用してもらう分には、本章で述べたようなハンズオン展示形式でもよいが、電子回路の知識の理解までを含めた体験してもらうためには、5 章のような、実施する課題や手順が設定されたワークショップ形式をとり、箱庭作りと回路の組み立ての 2 つの工程を分け、段階的に行ってもらうことが望ましいと考えられる。

7. キットの使用感に関する評価実験

5 章および 6 章では、ワークショップとハンズオン展示において得られたユーザからのフィードバックを基に本研究のアプローチの有効性や改善点について考察し、キットとその使用方法のリデザインについて述べた。本章では、RQ1 に答えるために、リデザインされたキットの使用感に関する評価実験を行った。本実験では、既存の電子回路の学習を目的としたキットと比べ、本研究のアプローチに基づいて制作したキットが RQ1 の答えとして有用であるかどうかを検証するために、両者の比較実験を行った。

7.1 比較対象

本実験では、Haconiwa との比較対象となる既存のキットとして、学研の電子ブロックを用いた。電子ブロックと

は、1960 年代に発売された子供向けの知育玩具である [26]。このキットは、LED や導線、コンデンサなどの電子部品が個別に格納されたブロックと、ブロックをはめるためのマス目が設けられたケースによって構成される。ブロックには、それぞれの電子部品を表す回路図記号と導線の形状を表す線が描かれている。ブロックどうしが密接するようにケースのマス目にはめたときに、互いの導線が繋がっていると、ブロック間を通電させることができる。ケースには電池とスイッチが搭載されており、この電池を電源とした回路をブロックをはめることによって組み、スイッチを入れることによって、組まれた回路を動作させることができる。また、ケースにはスピーカやチューナなどの機器も搭載されており、様々な回路実験を行うことができる。本実験では、大人の科学マガジン Vol.32 [26] の付録である電子ブロック mini を使用した。このキットには、ダイオード、LED、トランジスタ、コンデンサ、抵抗、コイル、導線が格納されたブロックが合計 25 個含まれ、ケースには電池、スイッチ、スピーカアンプ、電波受信のためのアンテナコイルが搭載されている。各ブロックの大きさは 1.7 cm × 1.7 cm × 2.3 cm、ケースの大きさは 11.1 cm × 15.7 cm × 2.2 cm である。

7.2 実験手続き

本実験では、電子回路の学習ツールキットの使用感や有用性を評価してもらうため、実験参加者を義務教育課程において電子回路の基礎知識を学んだ経験がある者とした。実験参加者は情報系学部に通う大学生 (男子 6 名、女子 6 名) である。実験は、1 名の実験参加者ごとに、前節で述べた電子ブロックの使用後にアンケートに回答する条件 (以下、電子ブロック条件と記す) と、Haconiwa の使用後にアンケートに回答する条件 (以下、Haconiwa 条件と記す) の 2 条件から構成された。順序効果を排するために、これらの条件の実施順序は参加者ごとに異なるように割り当てられた。各キットの使用では、実験者がキットに含まれる部品の用途や、キットを用いてできることを説明したうえで、実験参加者に LED を光らせる回路を組んでもらった。その際、実験参加者には 1 キットを構成するすべての部品を提示し、どの部品を好きなだけ使ってもよいと教示した。また、部品の用途について不明な点がある場合は、随時実験者に質問できることとした。アンケートでは、各条件ごとに同じ項目の質問を設け、それぞれについて 1. そう思わない～5. そう思うの 5 段階で評価してもらい、キットの有用性を問う質問項目では評価の理由も記述してもらった。また、実験の最後には半構造化インタビューを行うことにより、2 条件の比較について口頭で回答してもらった。

7.3 実験結果

アンケート調査における結果を表 1 に示す。アンケー

表 1 アンケートの質問項目
Table 1 Question items.

質問項目	電子ブロック条件	Haconiwa 条件	Wilcoxon の符合順位検定
Q1. 楽しいと思ったか	4 (4-4.25)	5 (5-5)	$V = 0, p = 0.008$
Q2. 親しみがわいたか	3 (2-4)	4.5 (4-5)	$V = 0, p = 0.004$
Q3. 見た目は好きか	3 (1.75-4)	5 (4.75-5)	$V = 3, p = 0.006$
Q4. 操作が分かりやすいか	3 (2-4)	5 (4-5)	$V = 0, p = 0.008$
Q5. 部品の役割をすぐに理解できたか	2 (1.75-3)	5 (4-5)	$V = 0, p = 0.002$
Q6. LED は正常に光ったか	4.5 (4-5)	5 (5-5)	$V = 10.5, p = 0.391$
Q7. 興味を持ってもらうための道具として有用か	2 (1-4)	4.5 (4-5)	$V = 2.5, p = 0.005$
Q8. 学習するための道具として有用か	3.5 (2-4)	4 (4-4)	$V = 2, p = 0.063$
Q9. 新しいものづくりや実験をしたいと思ったか	3.5 (2.75-4)	4 (2-4.25)	$V = 9.5, p = 0.469$

† 中央値 (四分位)

トの各質問項目に対する評価値の中央値および四分位を各条件ごとに示し、それぞれの Wilcoxon の符号順位検定の結果を示す。2 条件間の中央値と四分位の比較から、すべての質問項目において電子ブロック条件よりも Haconiwa 条件の方が評価値が高いことが示された。Wilcoxon の符号順位検定の結果からは、Q1~Q5 および Q7 において、Haconiwa 条件の方が電子ブロック条件よりも有意に評価値が高いことが示された ($p < .01$)。これらの質問項目には、楽しさや親しみ、キットの外観、操作方法の分かりやすさ、興味を持ってもらうための道具としての有用性に関する評価項目が含まれ、RQ1 に対する答えとして Haconiwa が有用であることがうかがえる。一方で、Q8. 学習するための道具として有用か、Q9. 新しいものづくりや実験をしたいと思ったかを問う質問項目では有意差が示されなかった。これらの質問に対する評価理由を記述してもらったところ、電子ブロック条件では、すでに電子工作に興味を持ち、知識も身につけてきたユーザが学習するには効果的であるといった回答が得られ、Haconiwa 条件では、あくまで電子工作に興味を持つきっかけとしてはよいが、より深い知識を習得するには不十分であるという回答が得られた。このことから、Haconiwa が本研究の対象ユーザ向けのキットであることが示され、RQ1 に対する答えとして有用であることが示唆された。Q6. LED は正常に光ったかどうかを問う質問では、Haconiwa 条件における評価値が高いことから、キットの安定性や耐久性に関して問題がないことが示された。事後インタビューでは、2つの条件で使用してもらったキットを比較し、以下の質問に回答してもらった。

- (1) どちらのキットが学習教材として向いているか。
- (2) どちらのキットが玩具として向いているか。
- (3) 電子回路の知識がない人に対し、どちらのキットを勧めたいと思うか。

(1) の質問に対し、電子ブロックと回答した人は 12 名中 3 名、Haconiwa と回答した人は 3 名、対象ごとに異なると回答した人は 6 名であった。電子ブロックと回答した

人からは、回路図記号が書かれているため、専門的なことまで学べそうであるという意見が得られた。Haconiwa と回答した人からのコメントでは、電子ブロックでは初期段階で難しく感じるということが指摘された。対象ごとに異なると回答した人からのコメントでは、幼い子どもや初心者には Haconiwa、知識がある程度身につけている人には電子ブロックに興味を持つのではないかと、という意見が得られた。(2) の質問に対し、電子ブロックと回答した人は 12 名中 0 名、Haconiwa と回答した人は 11 名、対象ごとに異なると回答した人は 1 名であった。Haconiwa と回答した人からのコメントでは、部品の外観が身近なものに置き換えられているので分かりやすい、親近感がわくといった意見があった。対象ごとに異なると回答した人からのコメントでは、機械に興味がある人は電子ブロック、機械に興味がない人は Haconiwa の方が楽しめそうであることが述べられた。(3) の質問に対しては、すべての実験参加者が Haconiwa と回答した。その理由として、電子回路について学習しているという先入観がなく初心者にはよいことや、電子ブロックに比べて Haconiwa の方が取り組みやすいといった意見が得られた。以上のことから、Haconiwa は本研究の対象ユーザに適したキットであることや、既存のキットに比べて、親しみやすさや導入のしやすさ、分かりやすさにおいて優れていることが示唆され、RQ1 に対する答えとして有用であるといえる。特に、アンケートの Q7. の質問に対する評価値とインタビューの (3) の質問に対する回答から、Haconiwa のデザインが既存のキットに比べて電子工作を体験する敷居を下げることに有用であることが示唆された。

8. キットの使用方法に関する評価実験

本章では、主に RQ2 に答えるために、リデザインされたキットの使用方法に関する評価実験を行った。本実験では、6.3 節において述べた、電子回路の知識の理解までを含めた体験をしてもらうワークショップとしての使用方法が、電子工作未経験者である児童にとって有用であるかど

うかを検証した。実験参加者は小学4年生の女子児童2名と小学1年生の女子児童1名であった。

8.1 実験手続き

本実験は、実験参加者とファシリテータの1対1で行われた。1名の実験参加者ごとに、(1)独自の箱庭を自由に制作してもらう課題、(2)LEDオブジェクトを光らせてもらう課題を与え、その際のユーザの行動を観察した。(1)の課題では、まずHaconiwaの各パーツの名称の紹介と、ボタンの付け外しによって道をつなげることができることを実際の動作を交えて説明したうえで、参加者に自由に好きな庭を作るように教示した。このとき、各パーツに電子部品が入っていることや、LEDオブジェクトが光るものであることは教示しなかった。なお、本実験では回路を組む過程の観察に焦点を当てるため、LEDオブジェクトにはあらかじめ動物の外観に整形されたものを使用し、LEDオブジェクトを装飾する工程は省略された。(2)の課題では、まずLEDオブジェクトは光らせることが可能であることと、それを光らせるためのルールを説明したうえで、(1)で実験参加者に制作してもらった箱庭に使用されているLEDオブジェクトが光るように改変するように教示した。LEDオブジェクトを光らせるためのルールとしては、電池オブジェクトとLEDオブジェクトをループ状に道でつなげることと、これらのオブジェクトに付与されている矢印の向きを道に沿って同じにすることを説明した。実験参加者が間違った回路を組んだときは、ファシリテータがどのように直せばよいのかを説明し、回路が完成するまで、そのやりとりを繰り返した。

これらの課題では制限時間を設けなかった。また、6章で述べたように、補助教材を用いた説明は児童にとっては効果的ではなかったことから、本実験では補助教材カードは使用しなかった。なお、実験参加者に課題を行ってもらう前に、実験環境や初対面であるファシリテータに慣れてもらうために3~4分程度の雑談の時間を設け、課題終了後には半構造化インタビューを行った。

8.2 実験結果

(1)の課題では、すべての実験参加者が独自の箱庭を制作し、その間に作業を中断する様子や、悩んで手が止まる様子は見られなかった。また、制作の過程では、電子部品を内蔵しない装飾パーツも多く使用されたことから、外観のアレンジメントに焦点が当てられていたことがうかがえる。(2)の課題では、小学4年生の実験参加者Aは、ファシリテータが課題内容を教示している途中でキットで電子回路が組めることに自ら気づき、自分で正しい回路を組むことができていた。小学1年生の実験参加者Bは、LEDと電池の向きを正しく直すことはできたが、電池オブジェクト2つに対してLEDやオルゴールのオブジェクトが4

つ接続されている回路を制作したため、LEDやオルゴールは作動しなかった。これに対し、ファシリテータがLEDやオルゴールが作動しない理由や、どのように直せばよいのかを説明したところ、実験参加者Bは正しい回路を組むことができた。小学4年生の実験参加者Cは、あらかじめ道がループ状になっており、電池とLEDがつながっている回路において、LEDと電池の向きを直すことにより正しい回路を組むことができた。その後、あらかじめ道がループ状になっていない部分につながっているLEDオブジェクトを光らせるように教示したところ、道をつなげてループ状にすることはできたが、電池オブジェクトが含まれていない回路を制作したため、LEDは作動しなかった。これに対し、ファシリテータが電池をつながなければならぬことを説明したところ、実験参加者Cは正しい回路を組むことができた。

箱庭を作る課題と、電子回路を組む課題を分けることによって、実験参加者はそれぞれの課題における目的に合わせて成果物を作ろうとしていた。これにより、箱庭を作る課題において実験参加者は遊びを通してキットの使い方や仕様に慣れることができたことから、電子回路を組む課題においてファシリテータによる説明を理解しようとしたことや、回路を完成させるために試行錯誤する行動につながったと考えられる。このことは、RQ2に対する答えとして有用であるといえる。

課題終了後の半構造化インタビューでは、以下の質問に回答してもらった。

- (1) Haconiwa を使ってみてどう感じたか。
- (2) Haconiwa は簡単だったか、難しかったか。
- (3) Haconiwa は勉強みたいだと思ったか、遊びみたいだと思ったか。
- (4) 電子部品を見て、簡単そうだと思うか、難しそうだと思うか。
- (5) 電子工作をやってみたいと思うか。

なお、(4)の質問時にはLEDと電池と導線の現物を用いて、LEDが光る回路を提示した。(5)の質問時には、電子工作の概要や、電子工作によってどのようなものが作れるのかなどについて簡単に説明を行った。(1)の質問に対し、実験参加者Aは「電気の通り道がないと光ったり音が鳴ったりしない」といったように本キットの使用について理解したことを述べた。実験参加者BとCは「楽しかった」と述べた。(2)の質問に対し、実験参加者Aは「簡単だった」と述べた。実験参加者Bは「ボタンを付けるのが難しかった」と述べた。実験参加者Cは「(LEDや電池オブジェクトの)向きをそろえることが難しい」と述べた。(3)の質問に対し、実験参加者AとBは「遊びみたい」と回答し、実験参加者Cは「勉強だけど、楽しい勉強」と回答した。(1)および(3)に対する回答からは、箱庭作りならびに回路の知識の理解に積極的に取り組んだことや、Haconowa

を楽しんで使用していたことがうかがえることから、RQ1に対する答えとして有用であることが示唆された。(2)に対する回答は、Haconiwaのユーザビリティに関する指摘であったため、RQ1に関する今後の改善点とする。(4)の質問に対し、理科の授業ですでに回路の基礎知識を身につけている実験参加者AとCは簡単であると回答し、回路の基礎知識を身につけていない実験参加者Bは難しそうであると回答していたことから、電子部品の外観に対して、初見では抵抗があることが示唆された。(5)の質問に対し、すべての実験参加者が電子工作をやりたいと回答したことから、電子回路の知識の理解までを含めた体験をもらうワークショップとしての使用方法がRQ2に対する答えとして有用であるといえる。Haconiwaのデザインによって、実験参加者が箱庭作りならびに回路の知識の理解に積極的に取り組んだことが確認でき、Haconiwaのワークショップとしての使用方法によって、電子工作をやりたいという意味を確認できたことから、実験参加者は電子部品の躊躇することなく使用でき、箱庭作りという遊びを通して電子工作を体験することがうかがえ、本研究の目的である、電子工作を体験する敷居を下げることで達成できたといえる。

9. まとめと今後の展望

本研究では、電子工作に興味がない人を支援対象とし、電子工作体験キットHaconiwaと、その使用方法のデザインとユーザ評価を行った。デザインの過程では、Haconiwaを用いたワークショップと、ハンズオン展示を通して、本研究のアプローチである、難しさの排除、馴染みのある外観への置換、学習の誘引を副次的効果として設計することの有用性を調査し、キットと使用方法のリデザインを行った。ユーザ評価では、リデザインされたHaconiwaと既存のキットの使用感を比較する実験を行い、Haconiwaのデザインが本研究の対象ユーザにとって有用であることが示された。また、Haconiwaの使用法としては、ワークショップ形式において、箱庭作りと回路の組み立てを段階的に行うことが研究の対象ユーザにとって有用であることが示された。

今後は、幼児や小学校低学年の児童にとって難しいとされたボタンの付け外しをより簡単な方法に改良したり、箱庭作りの自由度をより向上させるためにオブジェクトの外観のデザインについて再検討したりしていく予定である。オブジェクトの外観に関しては、今回は学習への誘因を副次的効果として設計するアプローチとして「箱庭作り」をモチーフとしたため、人形や道などのミニチュア模型のようなデザインとしたが、本研究のアプローチに基づいて他のモチーフを用いることも有用であると考えられることから、今後検討したい。また、今回はあまり効果が見い出せなかった補助教材カードについては、幼児や児童にとって

有用でない原因を調査したうえで、実践的に使用されるように改良する予定である。さらに、現状のHaconiwaではアナログ回路のみを取り扱っているが、今後はマイコンやセンサを取り入れたデジタル回路の組み立てを体験できるようなデザインについても検討する。

謝辞 本研究の遂行にあたり、東納ひかり氏、堀下小春氏、安尾萌氏から協力を受けた。謝意を示す。

参考文献

- [1] Blikstein, P.: Digital Fabrication and ‘Making’ in Education: The Democratization of Invention, *FabLabs: Of Machines, Makers and Inventors* (2013).
- [2] Gershenfeld, N.: *Fab: The Coming Revolution on Your Desktop—from Personal Computers to Personal Fabrication*, Basic Books, Inc. (2007).
- [3] Gentner, D. and Gentner, D.R.: Mental Models of Electricity, *Mental Models*, pp.111–119 (1983).
- [4] Christidou, V., Koulaïdis, V. and Christidis, T.: Children’s Use of Metaphors in Relation to their Mental Models: The Case of the Ozone Layer and its Depletion, *Research in Science Education*, Vol.27, No.4, pp.541–552 (1997).
- [5] 内ノ倉真吾：子どもの理科学習におけるアナロジーとメタファー：科学的な概念の形成との関わりに着目して、静岡大学教育学部研究報告, Vol.41, pp.91–106 (2010).
- [6] 花村周寛：風景異化と仕掛けに関する考察, 人工知能学会誌, Vol.28, No.4, pp.633–638 (2013).
- [7] 白水菜々重, 松下光範, 花村周寛：馴致環境に対する視点の異化を促すワークショップのデザインと評価, 電子情報通信学会論文誌 D, 情報・システム, Vol.97, No.1, pp.3–16 (2014).
- [8] Deterding, S., Dixon, D., Khaled, R. and Nacke, L.: From Game Design Elements to Gamefulness: Defining “Gamification”, *Proc. 15th International Academic MindTrek Conference: Envisioning Future Media Environments*, pp.9–15 (2011).
- [9] Landers, R.N.: Developing a Theory of Gamified Learning: Linking Serious Games and Gamification of Learning, *Simulation & Gaming*, Vol.45, No.6, pp.752–768 (2014).
- [10] Sakaguchi, S., Shirozu, N., Shimada, S. and Matsushita, M.: Haconiwa: A Toolkit for Introducing Novice Users to Electronic Circuits, *Proc. 2015 IEEE 4th Global Conference on Consumer Electronics*, pp.531–532 (2015).
- [11] Buechley, L. and Eisenberg, M.: Boda Blocks: A Collaborative Tool for Exploring Tangible Three-Dimensional Cellular Automata, *Proc. 8th International Conference on Computer Supported Collaborative Learning*, pp.102–104 (2007).
- [12] Wyeth, P. and Wyeth, G.: Electronic Blocks: Tangible Programming Elements for Preschoolers, *Proc. IFIP TC. 13 International Conference on Human-Computer Interaction*, pp.496–503 (2001).
- [13] Kim, J., Kang, B., Rhee, S., Kim, B., Yun, H. and Sung, J.: Bitcube: The new kind of Physical programming Interface with Embodied programming, *ACM SIGGRAPH 2014 Studio*, Article No.31 (2014).
- [14] Buechley, L., Elumeze, N., Dodson, C. and Eisenberg, M.: Quilt Snaps: A Fabric Based Computational Construction Kit, *Proc. IEEE International Workshop on Wireless and Mobile Technologies in Education* (2005).
- [15] 杉浦裕太, 筧 豪太, アヌーシャ ウイタナ: FuwaFuwa:

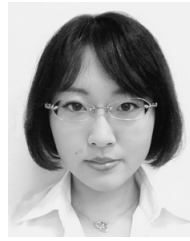
- 複数のフォトフレクタモジュールを用いた柔軟物への接触検知手法, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.20, No.3, pp.209-217 (2015).
- [16] Post, E.R., Orth, M., Russo, R. and Gershenfeld, N.: E-broidery: Design and fabrication of textile-based computing, *IBM Systems Journal*, Vol.39, pp.840-860 (2000).
- [17] Perner Wilson, H. and Buechley, L.: Making textile sensors from scratch, *Proc. 4th International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction*, pp.349-352 (2010).
- [18] テクノ手芸部: テクノ手芸, ワークスコーポレーション (2010).
- [19] Buechley, L., Eisenberg, M., Catchen, J. and Crockett, A.: The LilyPad Arduino: Using Computational Textiles to Investigate Engagement, Aesthetics, and Diversity in Computer Science Education, *Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp.423-432 (2008).
- [20] 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, No.3, pp.463-466 (2010).
- [21] 秋山 耀, 宮下芳明: プロジェクションマッピングによる電子工作体験支援, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.20, No.2, pp.83-86 (2015).
- [22] Assante, D., Fornario, C., Sayed, A.E. and Salem, S.A.: Edutronics: Gamification for introducing kids to electronics, *2016 IEEE Global Engineering Education Conference*, pp.905-908 (2016).
- [23] 高瀬 裕, 山下洋平, 石川達也, 椎名美奈, 三武裕玄, 長谷川晶一: 多様な身体動作が可能な芯まで柔らかいぬいぐるみロボット, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.18, No.3, pp.327-336 (2013).
- [24] 小学校理科の観察, 実験の手引き詳細, 文部科学省, 入手先 (http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/newcs/senseiouen/1304651.htm) (参照 2016-07-15).
- [25] 岡田宣子: 子供のボタンのかけはずし行動からみたしつけ服の設計, 日本家政学会誌, Vol.47, No.7, pp.701-710 (1996).
- [26] 大人の科学マガジン, Vol.32, 学習研究社 (2011).



阪口 紗季 (学生会員)

2012年関西大学総合情報学部卒業。2014年同大学大学院総合情報学研究科博士課程前期課程修了。現在, 同大学院総合情報学研究科博士課程後期課程在学中。ヒューマンコンピュータインタラクションに関する研究に従事。

2013年 Laval Virtual Award, 2016年第3回かわいい感性デザイン賞奨励賞ほか各賞受賞。ヒューマンインタフェース学会, 日本感性工学会, ACM 各学生会員。



白水 菜々重 (学生会員)

2008年大阪府立工業高等専門学校工業化学科卒業。2011年関西大学総合情報学部総合情報学科卒業。2014年同大学大学院総合情報学研究科知識情報学専攻博士課程前期課程修了。同年(株)JR西日本コミュニケーションズ入社。現在, 関西大学大学院総合情報学研究科博士課程後期課程在学中。HCG シンポジウム 2013 オーガナイズドセッション賞(ユーザセンターデザインとデザイン思考), 2014年第29回テレコム社会科学学生賞各受賞。インタラクションデザインに関する研究に従事。人工知能学会学生会員。



島田 さやか (学生会員)

2015年関西大学総合情報学部卒業。現在, 同大学大学院総合情報学研究科知識情報学専攻博士課程前期課程在学中。ヒューマンコンピュータインタラクションに関する研究に従事。



松下 光範 (正会員)

1995年大阪大学大学院基礎工学研究科物理系専攻制御工学分野博士前期課程修了。同年日本電信電話株式会社入社。2008年関西大学総合情報学部准教授。2010年同教授, 現在に至る。自然言語理解, ヒューマンコンピュータインタラクションに関する研究に従事。博士(工学)。2003年情報処理学会論文賞, 2007年日本知能情報ファジィ学会論文賞, 2007年日本バーチャルリアリティ学会論文賞ほか各賞受賞。日本バーチャルリアリティ学会, 人工知能学会, ACM 各会員。