

初学者のための電子工作体験ツールキット Haconiwa のユーザ評価

阪口 紗季^{1,a)} 白水 菜々重¹ 島田 さやか¹ 松下 光範²

概要: パーソナル・ファブリケーションの発展に伴い、人々の DIY によるものづくりに対する関心が高まっている。一方で、ものづくりをするためにはまず知識や技術を習得する必要がある、初学者にとっては未だ敷居が高いものとなっている。こうした背景のもと、本研究では、初学者でも既に持っている知識や経験に基づいて電子工作を体験する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、電子部品の外観が人形や模型といった、初学者にとっても馴染みのあるものに置き換えられており、各部品の接続部にはスナップボタンが採用されている。これにより、初学者にとって初見では難しいと感じる電子部品の見た目や操作を排除し、電子工作に対する抵抗をなくすことをねらいとしている。Haconiwa のハンズオン展示におけるユーザ観察と使用感に関する評価実験からは、電子工作初学者のユーザでも電子回路を完成させることが可能であることや、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た。

A Usability Evaluation of Haconiwa A Toolkit for Introducing Novice Users to Electronic Circuits

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

Abstract: The goal of our research is to develop a toolkit for introducing novice users to Electronic Circuits. We have implemented “Haconiwa,” a toolkit for learning how to build a basic electronic circuit intuitively. The toolkit is intended to motivate participants to develop an interest in electronic circuits. The toolkit aims at fostering the interest of participants in electronic devices and provides users with the pleasure involved in making products. The toolkit consists of several modules including electronic devices. The modules’ appearances are decorated with fancywork (e.g., dolls and miniatures) in order to reduce a difficulty of electronic devices for novice users. This paper presents an evaluation of usability of Haconiwa. The evaluation shows that Haconiwa is useful for giving novice users an opportunity to have an interest in electronic circuits.

1. はじめに

3D プリンタやレーザカッターなどの工作機のコモデティ化や 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。Neil Gershenfeld らがパーソナル・ファブリケーションとして言及しているように、こうした変化は人々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 [4]。

DIY によるものづくりをするためには、まず知識や技術を習得する必要がある。例えば、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である。また、自分が作りたいものを作るのに必要な道具や部品を揃えたり、制作環境を整える必要もある。これは知識や経験を有しない初学者が一人で行うことは困難であり、もの

¹ 関西大学大学院 総合情報学研究科
Graduate School of Informatics, Kansai University, 2-1-1
Ryozenji-cho, Takatsuki-shi, Osaka 569-1095, Japan

² 関西大学 総合情報学部
Faculty of Informatics, Kansai University, 2-1-1 Ryozenji-
cho, Takatsuki-shi, Osaka 569-1095, Japan

a) k107221@kansai-u.ac.jp

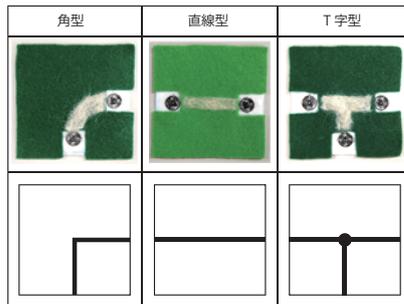


図 1 土台モジュールの種類
Fig. 1 Basement module examples.

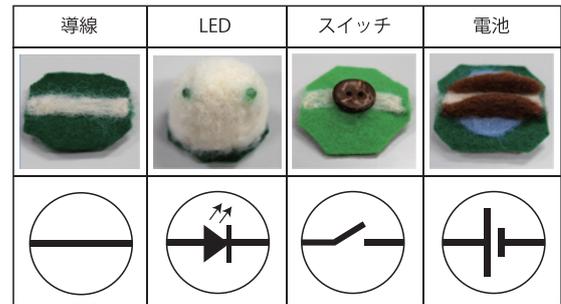


図 2 オブジェクトの種類
Fig. 2 Object examples.

づくりを始める前に挫折してしまう場合も少なくない。

このような課題に対して、導入を簡便化するために、知識量が少なく技術力が無い初学者でも楽しみながら学習できるように支援するツールキットが提案されている。例えば、電子ブロック^{*1}や littleBits^{*2}は、初学者にとって難しいはんだ付け作業をさせることなく、電子回路を組むことができるキットである。また、MESH^{*3}のように、プログラミング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に労力をかけさせることなく、ものづくりの面白味を体験させることが可能である。しかし、これらのツールは、主として電子工作やプログラミングに興味を持っている初学者が対象となっており、そうした段階に至る前の電子工作やプログラミングに興味がない、あるいは知らない初学者に対してきっかけを与えるには敷居が高いと考えられる。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は少なくない。

このような背景のもと、本研究では、電子工作初学者でも知識と技術の習得無しで電子回路を制作できるツールキット“Haconiwa”を提案する。本稿では、提案するツールキットの概要と、使用感や有用性についてのユーザ評価について述べる。

2. 電子工作体験キット Haconiwa のデザイン

本章では、提案するツールキット Haconiwa のデザイン指針、構成、使用方法について述べる [5]。

2.1 デザイン指針

本研究が想定するユーザは、これまで電子工作に触れる機会が無かった人、幼児や児童といった理科の知識量が少ない人である。こうした電子工作の初学者に対して、専門的な用語を用いて説明したり、計算式や理論の教授を行っ

たりすることは、興味を持ってもらうための動機付けとしては適切な方法ではないと考えられる。また、はんだ付けなどの危険を伴う作業は初学者にとっては簡単なものではなく、長時間に渡る作業もモチベーションの維持を妨げる可能性が考えられる。

提案する Haconiwa は、電子部品や導線が全て布やフェルトで覆われており、それぞれの外観は人形や道などの箱庭を作るパーツになっている。本研究では、電子回路制作において部品を配線していく工程を、箱庭作りで地面や道を作り、新たなオブジェクトを配置していく工程に置き換えることによって、遊び心を持ちながら間接的に回路を組む仕組みを作る。また、初学者にとって初見では難しいと感じる電子部品の見た目を排除し、人形などの馴染みのある外観にすることによって、電子部品を扱うことに対する抵抗をなくすことをねらいとする。Haconiwa 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、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。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。各パーツは、スナップボタンによって付け外しが可能になっており、はんだ付けを経験したことがないユーザでも、布製品の取り扱いと同等の容易な操作で電子部品同士を接続することができ、箱庭を作る要領で電子回路を組むことができる。

2.2 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、 $6.5\text{cm} \times 6.5\text{cm}$ の正方形に切ったフェルトに、導電糸と金属製の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わ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 3.5cm の丸型に切ったフェルト

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

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

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



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

に、電子部品と金属製の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[1]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。LED オブジェクトは、白い羊毛フェルト(繊維)を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、初学者でも直観的に部品の接続方向がわかるようにした。

キットの全てのパーツを図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繋がれた場合でも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。

2.3 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



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



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

につながるように配置する、(2)土台モジュールの繋ぎ目に好きなようにオブジェクトを配置する、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ー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ニードルで重ねづ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。フェルト化する過程で、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、5~10cm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、羊毛フェルトを固める際に電子部品を組み込むことは初心者にとって難しい。そこで本研究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。

3. ワークショップによる使用感のヒアリング

実装したHaconiwaのユーザビリティにおける改善点を検討するために、本研究が想定するユーザからの意見を参考にすることが必要がある。そこで、プロトタイプを用いたワークショップを開催し、ユーザから使用感について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、手芸の経験はあるが、電子工作の経験は有していない。

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、並びに、Haconiwa でオリジナルの箱庭を作り回路を完成させることである。なお、このときに課題に用いた回路は、LED を電池に繋いで点灯させるものとした。2.2 節でも述べたように、この回路は小学校の理科で最初に学ぶものであり、Haconiwa においても同様の回路を再現することが可能であるか検証した。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づいたときや、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ー（観察者）に質問できることとした。また、ファシリテーター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おう旨を伝え、Haconiwa を構成する土台モジュールとオブジェクトについて説明を行った。この際、参加者には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) 箱庭づくり

参加者に、動物に装飾された LED オブジェクトを含めたオブジェクトと土台モジュールを使用して回路を組み、オリジナルの箱庭を作ってもらった。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、ファシリテーター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、オブジェクトと土台モジュール以外に用意された羊毛フェルトで作られた木や林、花などを使って、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。

3.1 参加者からのフィードバック

まず、ワークショップで最初に取り組む 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ができた」、「作品を持って帰りたい」という意見が得られた。

次に、箱庭づくりを体験したことに対する感想を尋ねた



図 6 補助教材カード

Fig. 6 Teaching aids for participants.

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とから、本研究の狙いは達成されたと考えられる。その一方で、参加者からは、特に回路設計に関して、「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」、「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」といった意見が得られた。

前者の要望については、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で、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った LED オブジェクト以外のパーツは、予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。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。また、後者の意見からは、電子回路に関する知識をよりわかりやすく教示するための支援が必要があると考えられる。

3.2 補助教材カードのデザイン

前節で述べた参加者からの要望を受けて、電子工作の基礎知識が無いユーザに対して、Haconiwa で使用する土台モジュールやオブジェクトの説明をよりわかりやすく行うために、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ー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



図 7 ハンズオン展示の様子
Fig. 7 Hands-on workshop.

とで、ユーザに対して、オブジェクトの機能や注意事項の説明を行ったり、回路図記号を教示したりする際に、わかりやすい説明が可能になることが期待される。

4. ハンズオン展示の実施

Haconiwa を幅広い年齢層の人に使ってもらうために、2013 年 11 月 3, 4 日に開催された Maker Faire Tokyo 2013*4 において、ハンズオン展示を実施した (図 7 参照)。この展示では、体験者に対してファシリテーターが 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、ファシリテーター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) に繋がないと光らない、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。このハンズオン展示では、回路を一通り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。本章では、体験者から得られた評価やコメントについて紹介するとともに、リデザインに向けた考察を行う。

4.1 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。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や、スナップ

ボタンの付け外し、飾り付けだけを楽しむ様子が観察された。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 年生未満の児童には理論を理解することが難しかったこと、また、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 [3]、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考えられる。しかしながら、未就学の子どもが回路を完成させるケースも多く見られたことから、回路を組む以外のことに意識が向いてしまうことを防ぐようなデザインに改良することによって、幼い子どもにも有用になることが考えられる。

また、直列の回路を作ることはできたとしても、複数個の LED オブジェクトを光らせるためには電池を増やさないといけないことが伝わりにくいといった課題が生じた。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、体験者に回路図記号の知識がない、説明文に漢字が含まれている、箱庭づくりに集中するため回路の説明を聞く余裕がない、といったことが考えられる。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必要がある。

4.2 大人の反応

大人の体験者からは、「道をつなげることで回路ができるのは面白いと思う」、「ボタンでつなげることで回路を作れるのが良い」、「小さい子が触っても危なくないと思う」といった評価が得られた。また、「より高度な知識を学ぶために、キットそのものを一から作れるようにすると良い」といった改良点も挙げられた。また、スナップボタンが接点になるというアイデアや、外観の親しみやすさが評価された。

4.3 今後の課題

体験者のコメントや反応から、本研究の狙いである、電子工作初學者のユーザでも既に持っている知識や経験に基づいて電子工作を体験してもらうことは達成できたことが伺える。一方で、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であった。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づくりをするだけで終わってしまった。Haconiwa を活かして、より詳しい電子回路の説明を行うためには、人の流動性が高いイベントでの来場者を対象としたハンズオン展示ではなく、3 章のような、実施する課題や時間が設定されたワークショップ形式の体験が良いと考えられる。ただし、幼児や児童がユーザとなる場合、羊毛フェルトによるオブジェクトの装飾時に、先端が鋭利なニードルの安全性が課題となる。その場合、色付

*4 <http://makezine.jp/event/mft2013/>

けやパーツの付与については、布製品用のカラーペンやボンドといった代用品を用いることを検討する。

5. キットの使用感に関する評価実験

5.1 概要

前章では、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定性的に評価したが、Haconiwaの有用性をより詳細に検証するためには、ユーザビリティや効果に関する評価を定量的に行う必要がある。そこで、Haconiwaの有用性について調査するために既存の学習ツールキットとの比較実験を行った。

5.2 比較対象

本実験では、Haconiwaとの比較対象となる既存の学習ツールキットとして、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[2]。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。ブロック同士が密接するようにケースのマス目にはめるときに、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[2]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 $1.7\text{cm} \times 1.7\text{cm} \times 2.3\text{cm}$ 、ケースの大きさは $11.1\text{cm} \times 15.7\text{cm} \times 2.2\text{cm}$ である。

5.3 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上で、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キットを構成する全ての部品を提示し、どの部品を好きなだけ使っても良いと教示した。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。

5.4 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、全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、操作方法がわかりやすさ、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、本研究の目的である、初学者に対して電子工作に興味を持ってもらうことに有用であることが伺える。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、初学者ではなく、既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良いが、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。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初学者に対し、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

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. 操作がわかりやすいか	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)

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事が指摘された。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もつのではないか、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、全ての実験参加者が 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良いことや、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 は既存の手法に比べて、親しみやすさや導入のしやすさ、わかりやすさにおいて優れていることが示唆された。

6. 関連研究

6.1 フィジカルなオブジェクトを用いた学習支援

本研究では、フィジカルなオブジェクトを用いて電子部品の取り扱い方を単純化している。これまでも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。

Kim らの Bitcube は、PC 操作を用いずに、フィジカルなモジュールの接続のみでプログラムを組むことができるツールである [6]。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回路を組むことができる。

Bueclay 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ている [7]。ボタンをはめ合わせるという動作は人々が日常的に行う動作であるため、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する。

これらのツールでは初学者にとって敷居が高いとされる作業を簡便化することによって、楽しみながら学習することを可能にしている点で、本研究のアプローチに類似する。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。

6.2 電子デバイスを内包したインタフェース

本研究では、電子部品を布や綿などの柔らかな素材で覆うことによって、電子部品を初めて取り扱う初学者にとっても馴染みのある外観に置き換えている。これまでも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 [8]。このインタフェースにはユーザからの入力動作を検知するデバイスが搭載されており、それらは綿や毛皮などの柔らかな触感をもつ素材で覆われている。このように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によって、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。

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 [9]。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 [10] 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 [11] 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、本研究でも電子部品そのものの外観を露出させるのではなく、布や綿といった素材に内

包し、触感や外観を変えることによって、「電子回路の制作」だけでなく「箱庭作り」というコンテキストにおいても使用できるようにした。

6.3 拡張現実技術を用いた学習支援

近年では、拡張現実技術 (AR) を用いた電子工作の学習支援ツールも開発されている。LightUp^{*5} は、磁石によって接続できる電子部品モジュールから構成される。モジュールを接続し、電子回路を完成させた後に、専用のアプリケーションからタブレット端末のカメラを起動してその回路を撮影すると、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。電子回路内で起きていることが視覚化されることによって、理論やメカニズムを容易に理解できることが期待される。

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 [12]。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。

電子部品や回路を拡張させることにより、通常は理論として学習する電子回路の知識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、これらは電子工作を行うというコンテキストを前提にした支援方法であり、本研究のねらいである、電子回路に興味を持たない初学者に対して興味を持ってもらうこととは目的が異なる。

7. おわりに

本稿では電子工作初学者のユーザが電子工作に興味を持つきっかけを提供することを狙いとした電子工作体験ツールキット Haconiwa の概要とユーザ評価について述べた。本研究の今後の課題としては、Haconiwa のキットや補助教材カードを、幼児にとってより有用なデザインに改良することが挙げられる。そのデザイン課題を明らかにするために、子どもを対象とした形式的なワークショップと評価を行うことを検討する。

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] 小学校理科の観察, 実験の手引き詳細; 文部科学省: http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/senseiyouen/1304651.htm (2016年3月1日確認).
- [2] 大人の科学マガジン; 学習研究社, Vol.32 (2011).
- [3] 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).

- [4] Gershenfeld, N.: Fab: The Coming Revolution on Your Desktop—from Personal Computers to Personal Fabrication; Basic Books, Inc. (2007).
- [5] Sakaguchi, S., Shirozu, N., Shimada, S. and Matsushita, M.: Haconiwa: A Toolkit for Introducing Novice Users to Electronic Circuits; Proceedings of 2015 IEEE 4th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE), pp.531-532 (2015).
- [6] 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).
- [7] Buechley, L., Elumeze, N., Dodson, C. and Eisenberg, M.: Quilt Snaps: A Fabric Based Computational Construction Kit; Proceedings. IEEE International Workshop on Wireless and Mobile Technologies in Education (2005).
- [8] 杉浦 裕太, 笥 豪太, アヌーシャ ウィタナ: 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).
- [9] 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).
- [10] テクノ手芸部: テクノ手芸; ワークスコーポレーション (2010).
- [11] 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; Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp. 423-432 (2008).
- [12] 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).

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