平成 28年度 卒業論文

電子回路パターンとグラフィックパターンの

相似性に関する考察

Study about the Analogy between Electric Circuit Pattern and Graphic Pattern

2017年１月

指導教員 富松潔教授

九州大学芸術工学部

芸術情報設計学科

1DS13174N 今岡宏朗

Hiroaki IMAOKA

目次

1章 序章 3

1.1 背景 3

1.2 目的 3

1.3 本論文の構成 3

2章 関連研究の調査 5

2.1 Tube Map Radio 5

2.2 Moeco 7

2.3 Peter Vogelの作品 8

2.4 Storyboards 9

2.5 関連研究調査における考察 10

3章 制作 11

3.1 基板制作について 11

1.3.1 ミリングマシンについて 11

1.3.2 回路設計用ソフトウェアについて 13

3.2 題材とするグラフィックモデル 14

3.3 基板の制作工程 15

3.3.1 電子パーツの選定 15

3.3.2 回路図設計 15

3.3.3 ミリング工程 15

3.3.4 プログラミングの書き込み 15

3.4 プロトタイプ「Geikoduino」の制作 16

4.3.1 制作内容 16

4.3.2 フィードバック 16

4.3.3 反省 16

3.5 「GeikoBoard」の制作 16

5.3.1 制作内容 16

4章 ユーザー評価 17

4.1 インタビュー調査の内容 17

4.2 インタビュー調査の流れ 17

4.3 調査の結果 18

5章 結論 19

5.1 考察 19

5.2 今後の展望 19

# 序章

## 背景

電子基板は一般的にあまり目に触れることがなく、日々小型化され、興味のない人にとってはブラックボックスである。スマートフォンなどの製品における電子基板は、外見の美しさを損なわないようにハードでかぶせられ、目の見えないところへ隠されている。

身の回りが電子機器で溢れ、世の中が便利になっていくと同時に、その機器がどういった仕組みで動いているのかを理解できていない自分の状況に物足りなさを感じていた。

近年、電子工作が盛り上がりを見せている。電子機器がブラックボックスになっているがゆえに、機器の仕組みの部分を理解し、自らの手でパーツを利用して、新たなオリジナルの作品を作り出すのが電子工作の醍醐味であり、得ることのできる楽しみのひとつだろう。1940年代からアマチュア無線・自作ラジオなどの制作を通して、電子工作が個人の趣味として広がっていった。現在に至るまで、日々の技術の発展により個人としてできる範囲の電子工作が拡大してきた。2005年には、電子工作初心者でも簡単に扱える、半田付けを必要としないマイコンボード「Arduino」が登場し、広く普及した。インターネットによるオープンソースといった情報共有の考え方も広まったことから、多くの電子工作に興味を持った人たちが自分たちの作品、アイディアをインターネット上にシェア・リミックスをしている。メーカーズフェアといった電子工作のお祭りといったイベントも多く開催されている。

## 目的

本研究では、この理解できないブラックボックスをグラフィックパターンと関連づける手法を用いて、なんらかの意味を持たせようと試みた。

基板をグラフィカルに表現することによって、次のような表現の効果が得られると考えた。

1. 普段着目することのなかった基板を興味の対象とする
2. 直観的に回路図の意味と電子部品の機能が理解できる

そこで、これらの仮説を実証するために、電子回路パターンとグラフィックパターンを相似させた基板の制作を行った。

## 本論文の構成

１章では、本論文の背景・目的を説明した。

２章は、過去に作られた数々の作品やプロジェクトの中で、グラフィックと電子基板が関連している事例を挙げ、調査を行う。

３章ではそれらの関連事例を踏まえた上で制作する基板の説明を行う。本論文では、プロトタイプとして「Geikoduino」、その反省を踏まえて制作したユーザーテスト用の「GeikoBoard」の二つの基板を制作した。その基板の制作工程を記す。

4章では「GeikoBoard」のインタビュー調査によるユーザー評価を行う。

５章では４章で行ったユーザー評価を分析し、結論を導き、本研究の今後の展望を記す。

# 関連研究の調査

グラフィックを重要視した電子基板は今までにいくつか制作されてきている。この章では、本研究に関連する作品やプロジェクトの一部を紹介し、考察をする。

## Tube Map Radio

「Tube Map Radio」[[1]](#footnote-2)は2012年にスズキユウリ氏によって作られた作品である。

その内のひとつ、「Tube Map Radio」は2012年にデザイナーのスズキユウリ氏によって作られた作品である。1931年に作成されたロンドンの地下鉄の線路図を電気回路に置き換え、さらにそこにラジオの機能を持たせた電子基板である。この作品では本来複雑な構造でわかりにくい電子基板を、あえて構成部品を見せることにより電気の流れをグラフィカルに表現しており、さらにラジオの機能と実際の町の機能を関連させて配置することで、わかりやすい電子基板を制作している。

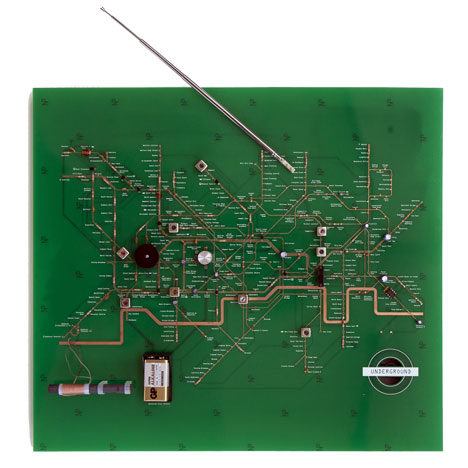


図 1 YURI SUZUKI, Tube Map Radio (2012)

Tube Map Radioのデザインの元となったTube Mapは、地下鉄の従業員であったハリーベックが、電気回路から発想を得て出来上がったものである。1931年以前の地下鉄路線図は、ロンドン周辺の地図の上に実際のルートが忠実に描かれた路線図であったため、目的地にたどり着くまでにどの駅で乗り換えればいいかがわかりにくかった。ハリーベックは、地下鉄が地下を通るため、物理的な位置を路線図に記すことは意味がないことに気づき、ある駅から別の駅の行き方という情報のみにフォーカスを置いた路線図の作成に成功した。Tube Mapでは、テムズ川の位置以外の不必要な情報を一切排除し、乗り換えをわかりやすく表記した。このハリーベックの行った、伝えたい情報をいかに効率的に伝えることができるかに着目したデザインが、のちにインフォグラフィックデザインと呼ばれるようになった。



図 2 1931年以前のロンドン地下鉄路線図



図 3 ハリーベックが作成したロンドン地下鉄路線図

## Moeco

Moeco[[2]](#footnote-3)は電子基板で実際に機能するいくつかの製品シリーズの総称である。

Moeco FLASHシリーズでは東京駅の路線図をデザインのモチーフとした電子回路の備わっているiPhoneケースである（図１）。東京駅に2mmの赤色LED、主要駅７駅に2mmの抵抗器代官山駅に1.6mmのセラミックコンデンサ、乗降客の多い駅29駅に1.6mmの抵抗器、その他201駅に1mmの電子部品を実装している。この基板では、iPhone自身が発する電波を電力に変換し、昇圧することで電池なしで東京駅にある赤色LEDが光る仕組みになっている。

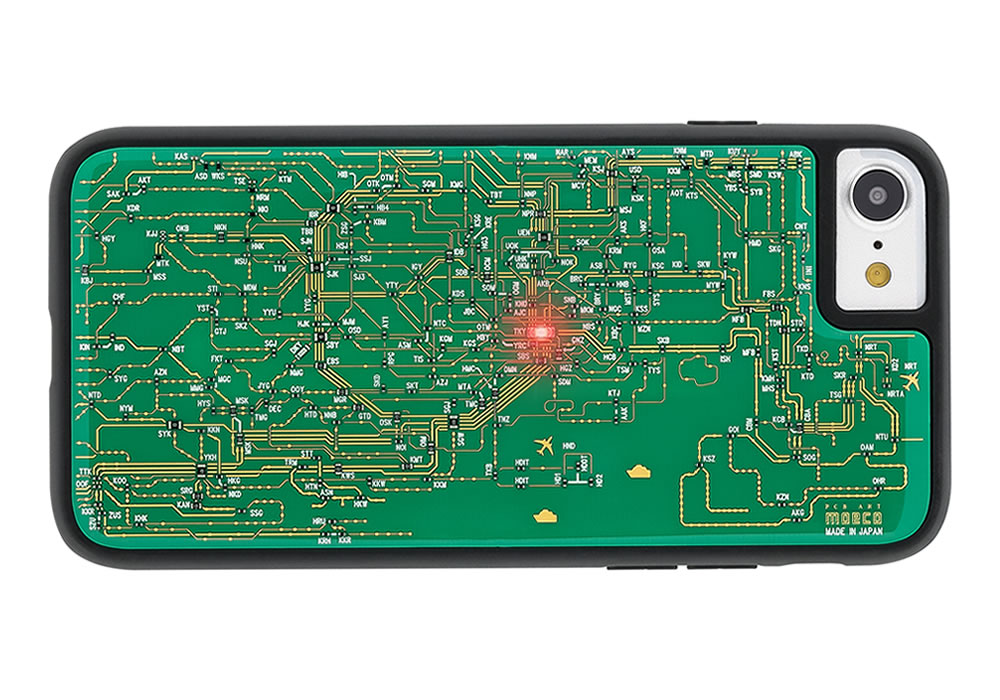


図 4 Moeco FLASH シリーズ 東京回路線図 iPhone7 ケース

また、Moecoはオリジナルなドットデザインの基板も提供している。横34マスx縦14マスの自分で作成したドット絵を黒色のダイオード、白色のダイオード、水色の抵抗器の３種類のうちから自由に選んで配置できる。

さらにiPhoneケースだけでなく、カフス・ゴルフのボールマーカー・マネークリップ・キーチェイン・ピンなどにも基板を実装させ、基板の機能とデザインを関連付けた商品を多く作成している。

Moecoでは基板を「完璧に計算された芸術」と提唱し、PCBアートと称して製品の開発を進めている。

## Peter Vogelの作品

Peter Vogelはドイツのインタラクティブ・エレクトリック彫刻の芸術家である[[3]](#footnote-4)。Peter Vogelは空中配線を利用した視覚的にインパクトのあるサウンドパフォーマンス作品を制作している。

パーツから伸びている足が他のどのパーツとつながっているのかが視覚的にわかりやすい。それぞれの音を発するパートの内部構造が見て取れるため、どのような回路がそのパートの独特の音を出しているのかが理解できる。

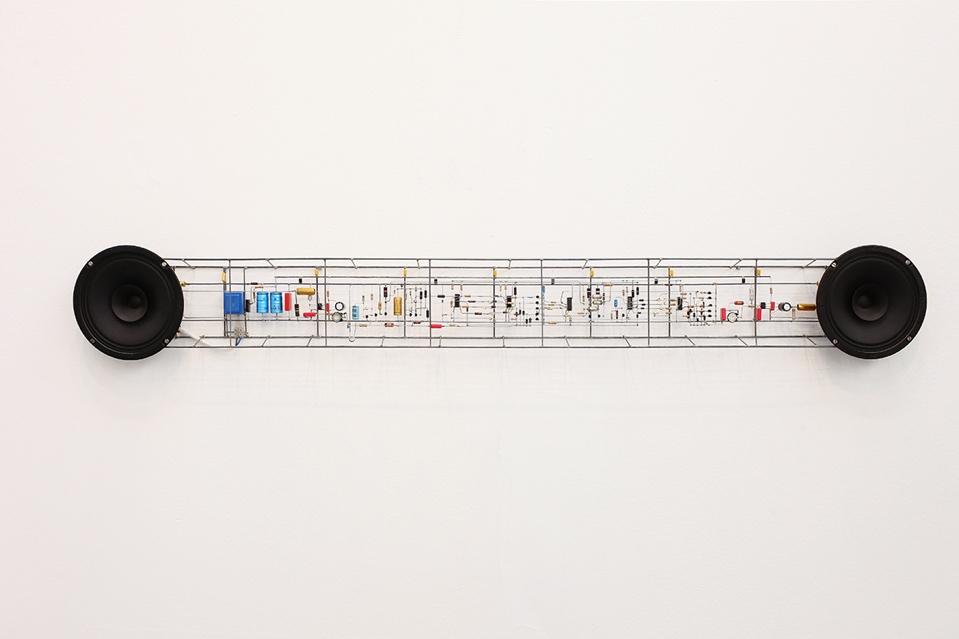


図 5 Peter Vogel, Tempo variationen (2016)

## Storyboards

StoryboardsはMITのMedia LabのSocial ComputingとPlayful Systemsの二つのグループで行なわれているプロジェクトである。StoryboardsはFab Academyの受講生であったJonathan Bobrowが発案した、基板の回路図の中にイラストや文字などを入れ、その基板がどのように動いているかを説明する仕組みだ。画家であるShantell Martinに基板上でストーリーを描くアイデアを共有し、共同で基板を完成させた。Jonathanは、基板の効率化が進む中で、楽しさ、美しさ、わかりやすさについてはどう進めることができるだろうかと考えていた。電子の流れをPCBが描いているのなら、基板自体もそのストーリーを描く手助けができないだろうか、と考え、このプロジェクトがスタートした。[[4]](#footnote-5)

機能面を細かく説明するのではなく、キャラクターやストーリーを作り、ユーザーに親しみやすい電子回路を表現している。例えば、ダイオードの電子部品で電流を流れる方向を調べるときに重要になるアノード、カソードの概念は、二人の薄幸な恋人として基板の中に描かれる。

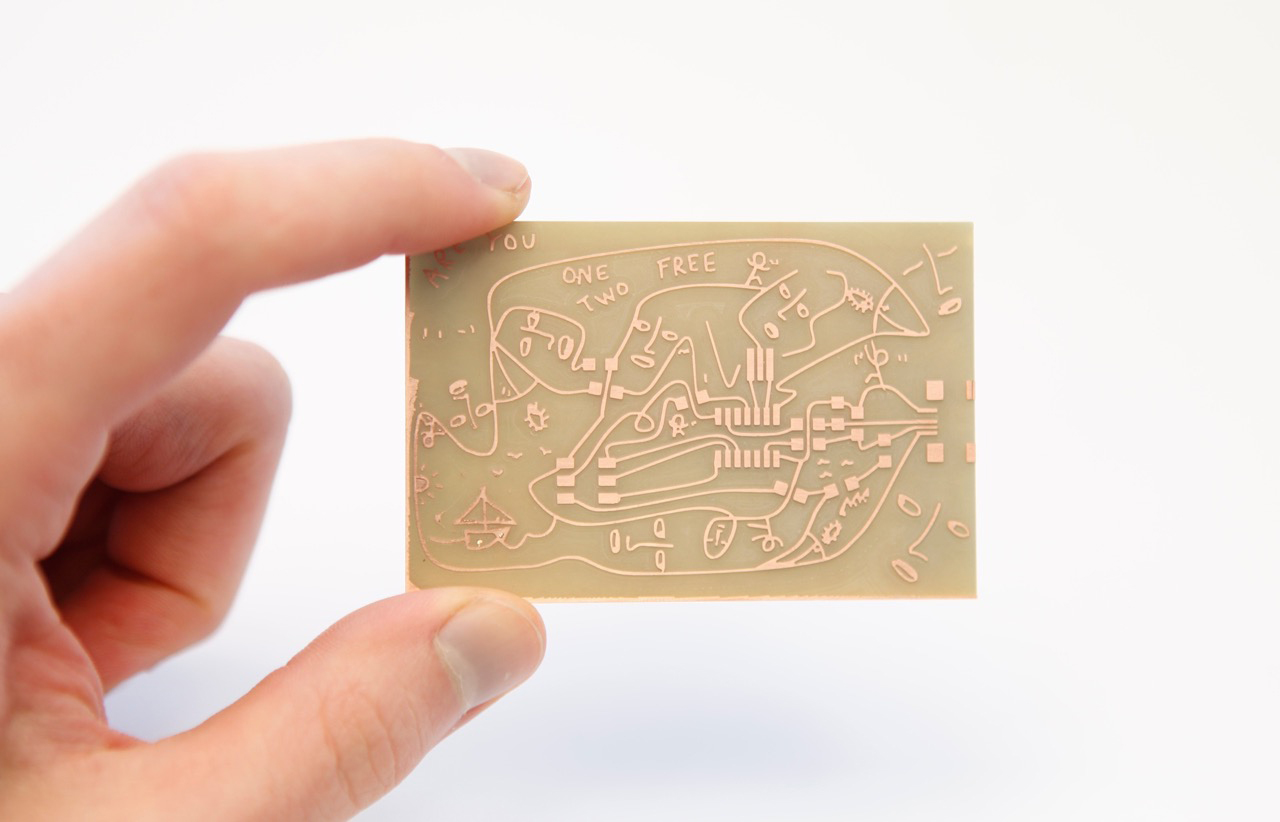


図 6 Jonathan Bobrow, Shantell Martin, Storyboards (2014)

## 関連研究調査における考察

２章では、グラフィックと電子基板が関連している事例を４点挙げた。４つの事例の共通点として、どの事例も

2.1節のTube Map Radio と2.2節のMoecoでは、どちらも駅の路線図をグラフィカルデザインのモチーフとして取り上げている。駅の路線図はどの駅からどの駅まで繋がっているのかが明確に記されているため、電子回路のどのパーツとどのパーツが繋がっているのか、という情報と類似している。その類似が、電子基板と駅の路線図を組み合わせやすさとなっていると考察できる。現在の駅の路線図のデザインは、ハリーベックのtube mapに類似するインフォグラフィックが採用されているため、もともとtube mapが電子回路から生まれたアイデアであることもあって、相性のいい題材であるのは自明である。

2.3節のPeter Vogelの作品に関しては、空中配線のため「電子基板」ではないが、回路の流れを視覚的に明確に表しており、空間を利用した美しさという面で通常の電子基板と一線を画している。

2.4節のStoryboardは、明確なデザインのモチーフがある訳ではなく、特定の配線の条件がある中で、画家が基板に合わせた絵を描くという試みであった。

ここで、基板とグラフィックをリンクさせることで得られる二つの表現の効果について考えたい。

1. 普段着目することのなかった基板を興味の対象とする
2. 直観的に回路図の意味と電子部品の機能が理解できる

# 制作

この章では、制作についての知識、工程、実際に作った基板について記す。

## 基板制作について

### ミリングマシンについて

基板を制作する方法がいくつかあるが、今回はミリングマシン（又の名をフライス盤）による制作を行った。

ミリングマシンはデジタルファブリケーションのひとつである。デジタルファブリケーションとは、3Dプリンター、レーザーカッター、カッティングプロッターなど、ソフトウェアでつくったデータをもとに実際に手に取れるかたちで現実の物質に生成、加工、削るなどを行う装置である。

ミリングマシンは3軸加工であれば、x, y, z軸、5軸加工であればx, y, z軸に加え、ヘッダーまたはテーブルに付与する旋回可能2軸を自由に制御することができる。ミリングマシンのヘッダー部分にはドリル刃が装着でき、その刃によって素材を切除できる。ミリングマシンは基板制作以外でも、立体物の彫刻からレジンなどを流し込むための型抜きの作成など、３次元切除加工を活かせる様々な用途を持っている。ミリングマシンを使えば、銅板の表面を削り取ることによって回路を設計することができる。ミリングマシンで基板を制作する際には、ドリル刃の種類とミルの挙動の設定し、銅板の表面だけを削り取る・銅板を貫通させ穴を開ける・銅板を切断するといった加工を繰り返して、基板を完成させる。

ミリングマシンは、現状では一般家庭に導入されるまでには至っていないが、ファブラボなどの市民に開放されている工作工房で使用することが可能となっている。

エッチングでは特殊な液体が必要であることや、うまく腐食させるコツをつかむまでに複数回練習が必要であることなど、手間がかかりがちであり、環境も整備しづらかったが、ミリングマシンによる基板制作では、マシンさえあれば制作が可能である。



図 7ミリングマシンの例

### 回路設計用ソフトウェアについて

プリント基板を作成する際、どのように基板を削るかが重要となってくるのだが、どのパーツがどの部分とつながっているのかをミスなく全てチェックしながら図面を作成することは難しい。そこで、プリント基板の回路を設計するための専用のソフトウェアを使う。「EAGLE」と呼ばれるソフトはフリーで公開されており、手軽にプリント基板用の電子回路の図面を作成することが可能だ。まず必要なパーツを選び、電子回路を作成する。「EAGLE」では、完全な電子回路でなくとも、パーツから伸びている線がどこにつながっているかを明記するだけで、図面を作成する段階で自動的にどの部分がつながっていなければならないのかをわかりやすく表示してくれる。そのため、電子工作初心者でも簡単に扱うことができ、線が交差しないよう自分で考えて回路を作成する楽しみを味わうことができる。パーツのデータにはそれぞれパーツの実際の大きさや、どこに足が配置されるのかなどのデータが備わっており、ソフト上で完成した形がそのまま基板となるのだ。

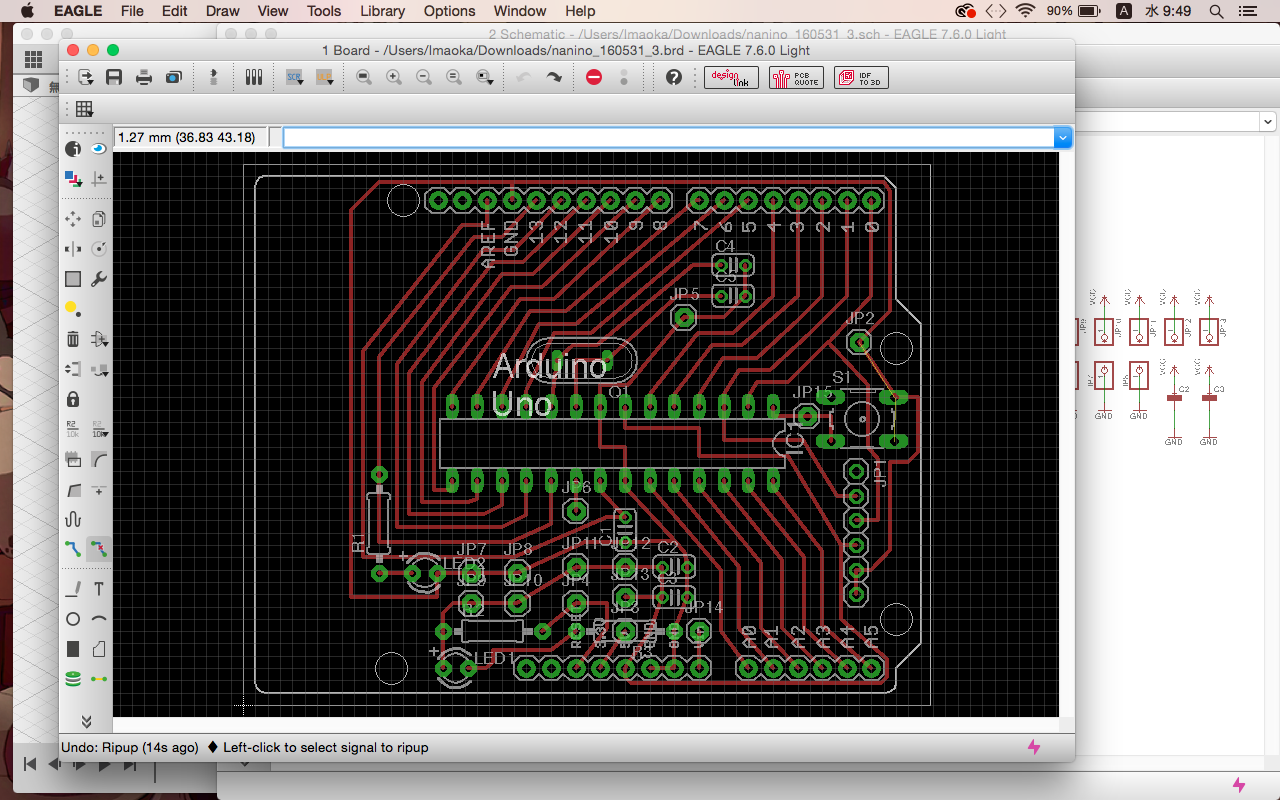


図 8 EAGLEで回路設計を行なっている例[[5]](#footnote-6)

## 題材とするグラフィックモデル

グラフィックデザインベースの基板を制作するために、適切なモデルの条件としては、

・あまり連続的ではないこと

・小さいパーツを並べることで構成できること

・実際の機能部分と意味づけのしやすいパーツが連想できること

などをあげることができる。

今回グラフィックモデルとして、九州大学大橋キャンパスを上空から俯瞰した図を選んだ。



図 9 九州大学大橋キャンパスの俯瞰図

このモデルを題材にした理由としては、以下の理由があげられる。

・噴水、木、円形の広場などの特徴的な設備や空間があるためモデルが何であるか知っているものにとってはわかりやすく発見がある

・実際の建造物であるため３次元的にも考えやすい

機能としてはArduinoのようにパソコンからプログラムが書き込むことができる基板を作成した。

電子回路の構造については、MITの公開しているPCBミリングで作成可能な簡易的なArduinoのシステムを持ったPCBミリングで制作可能である基板「Fabkit」のデータを使用した。FabkitはEAGLEデータパーツの詳細等がインターネットでオープンになっている。今回はFabkitの回路図を使用し、最終的な視覚的イメージにあったパーツを変更した。片側銅板を２枚使い、表側と裏側を両方とも使いながら配線をし、表面実装のパーツとスルーホールのパーツを混在させた。配線も表側の面では、実際に通ることのできるルートにのみ配線を行うことで、視覚的・コンセプト的にキャンパスを表す基板を目指した。

## 基板の制作工程

この節では、実際にグラフィックを取り入れた基板を作成した際の制作工程を記す。

### 電子パーツの選定

電子パーツを基板に実装する際、スルーホール実装と表面実装の二つの実装方法を選ぶことができる。スルーホール実装の場合、穴にパーツを差し込み、それを裏側で固定するのが通常の実装方法である。

この二つの実装方法を踏まえて、グラフィックデザインを用いた基板制作で最終的な外見を考慮する際、削った銅板の面を見せるか見せないかを必ず考慮する必要がある。両面銅板でない場合、銅板の裏側はおもて面のブロンズの光沢のある銅に対して、特に加工のされていない板であるため、削った回路をあえて見せたいのか、銅板の裏側が表になる形でも大丈夫なのか、最終的なビジュアルの予想図によって判断しなければならない。

### 回路図設計

フリーの電子回路図設計ソフト「EAGLE」[[6]](#footnote-7)を使って、回路図を設計する。AVRマイコンを使った回路図を作成することが難しい場合は、オープンソースのデータとして、「Fabkit」などのEagleデータをそのまま利用する。回路設計は、最終的に自分の目的としている外見に応じて、片側基板で行うのか、両面基板で行うのか、線の伸び方はどうするか、などを考慮しながら行う。それが整ったのち、EAGLEデータを画像に変換する。もしつながっている場所や、細部で変更したい箇所などあれば、イラストツールでその箇所を修正する。

その画像をMITがウェブ上に公開している「Fab Modules」というサイトで、ミリングマシンに合わせたGコードに変換する。トレース用のデータ、カット用のデータ、穴を開けるのデータの３種類に分け、基板を削る。

### ミリング工程

ミリングマシンを使えば、銅箔厚の表面を削り取ることによって回路を設計することができる。作成した回路図から、トレース用、ホール用、カット用の画像を生成する（表面実装のみの場合はホール用の画像は必要無い）。その画像をコードに変換してミリングマシンに削り方にあったドリル刃と設定をかえてしまえば、その場で回路図が作成される。トレース用では刃先の鋭利である基板加工カッター「土佐昌典VC」を使い、ホール用とカット用では刃先が平らであり、加工深さが変わっても溝幅が変わらない「土佐昌典FT」を使う。今回は両面基板を作成したが、一枚の銅板で両面基板を、位置のズレなく作成することは難しいため、表面用と裏面用の片面基板を２枚作成し、その２枚を張り合わせることによって作成した。表面と裏面は導線をそれぞれの面で半田付けすることで通電させた。

### プログラミングの書き込み

AVRマイコンであるATmega328pにArduinoからのプログラムを書き込むために、まずブートローダーを書き込む必要がある。ブートローダーの書き込み方はいくつか方法がある。AVRライターをつかって書き込む方法とArduino通して書き込む方法を試した。AVRライターはAVR ISP mkⅡを使った。ATmega328pのVCC、GND、RESET、SCK、MISO、MOSIのピンをAVRライターの該当するピンをつなげ、別のVCCとGNDから電源として5Vを供給し、書き込む方法が一つである。もう一つの方法は、ArduinoのRESET、SCKなどに該当するピンをATmega328pのものとつなぎあわせ、Arduinoの方にサンプルスケッチとしておいてある「Arduino ISP」を書き込んだ上でブートローダーを書き込む方法だ。ブートローダーの書き込みが終われば、FTDIケーブルを通して、プログラムを書き込むことができる。書き込めない場合は、ボード、プロセッサポート番号、配線が間違えていないかを確かめ、ATmega328p付近テスターによる通電チェックを繰り返す。

## プロトタイプ「Geikoduino」の制作

### 制作内容

基板制作の練習も兼ね、電子パーツによる大橋キャンパスを再現した基板を作成した。

### フィードバック

### 反省

## 「GeikoBoard」の制作

### 制作内容

Geikoduinoの反省として、機能面が実際のキャンパスと関連性がなく、わかりにくいという点が挙がったため、今回は実際にキャンパスと関連性を感じられるような作品を目指した。

関連性を上げるために、ただ建物の形を再現するだけでなく、リアルタイムで何が起こっているかの情報を基板から伝えようと考えた。例えば大橋キャンパス５号館の扉を開けたとき、基板上の５号館を表すバーツが光る機能である。この機能をすべての建物ごとに取り入れることができれば、リアルタイムで大橋キャンパス内の建造物の出入りが基板上で一目に見てとれ、基板と実際のモチーフがすぐに理解できるのではないかと考えた。他にも、自分のスマートフォンのGPSと対応付け、自分が今いる建物を表したパーツが光る機能などをプログラムの書き込み内容次第で変えることができる基板を作成しようと考えた。

# ユーザー評価

３章で作成した「GeikoBoard」についてインタビュー調査によるユーザー評価を行い、1.2節の目的でたてた仮説について検証した。

## インタビュー調査の内容

1.2節では、基板をグラフィカルに表現することによって、次のような表現の効果が得られると考えた。

1. 普段着目することのなかった基板を興味の対象とする
2. 直観的に回路図の意味と電子部品の機能が理解できる

「GeikoBoard」からこの二つの表現の効果が得ることができるのかをインタビュー調査により検証する。インタビューを行ったのは普段から大橋キャンパスに通っている学生たちだ。基板について知識の全くない人から、基板について知識の豊富な人まで、調査対象を幅広くとってインタビュー調査を行った。計〜名の男女に調査を行い、作品を見せたあとの反応、対話を通して聞き出した作品の感想から、①と②の表現の効果について有効であったか、有効でなかったか、その理由を調査した。

## インタビュー調査の流れ

インタビュー調査の流れは以下の通りである

1. 基板についての知識や電子工作に対しての知識がどれほどあるのかを聞く
2. 基板の機能、モチーフを説明し、反応を伺う
3. この基板についてどう思うか、どうしてそう思うのかを聞く
4. 今回の調査の趣旨である①と②の表現の効果について説明する
5. ①の効果は有効であったかを聞く
6. ②の効果は有効であったかを聞く

工程２では、基板に興味を抱くかどうかを伺う。モチーフとして、どの場所がどのパーツかを探った場合、電子部品の機能を理解しようとしているものとみなす。特徴的な部位としては大橋キャンパスの噴水（リセットボタン）、木（緑色LED）、円形の広場（マイコン）、校門（AVRライター用のピンソケット）を表しており、それらへの意味付けを行うかどうかを調査する。

工程3では問いが漠然としているため、答えづらい様子であれば「この基板を面白いと思うか、思わないか」と問う。工程３で①と②の効果を言葉で確認する。工程３でこれ以上能動的な行動が見られないようであれば、工程４へ移る。

工程５、６では、実際に聞いてみることで評価を調査する。

## 調査の結果

計〜人に調査をした詳細を以下に記す

基板についての知識

5 – 基板についての知識が豊富であり、基板をいくつも自作している

4 – 基板についてある程度の知識があり、作ったこともある

3 – 基板についての知識は少ないが、Arduinoを使った電子工作についての知識は豊富である

2 – 基板についての知識はなく、Arduinoを少し触った程度である

1 – 基板についての知識はなく、Arduinoもほとんど触ったことがない

①の有効性の評価

4 – 基板を興味の対象とできる

3 – どちらかというと基板を興味の対象とできる

2 – どちらかというと基板を興味の対象とできない

1 – 基板を興味の対象とはできない

1. の有効性の評価

4 – 直観的に回路図の意味と電子部品の機能が理解できる

3 – 直観的に回路図の意味、または電子部品の機能、どちらかが理解できる

2 – 直観的に回路図の意味、または電子部品の機能、どちらかがやや理解できる

1 - 回路図の意味も電子部品の機能も理解するのは難しい

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| No | 性別 | 基板についての知識 | ①の有効性 | ②の有効性 |
| 1 | 男 | 2 | 4 | 1 |
| 2 | 男 | 2 | 3 | 2 |
| 3 | 女 | 3 | 4 | 3 |
| 4 | 男 | 5 | 3 | 2 |
| 5 | 男 | 3 | 4 | 2 |
| 6 | 男 | 1 | 3 | 1 |
| 7 | 男 | 3 | 3 | 3 |
| 8 | 男 | 3 | 4 | 4 |
| 9 | 男 | 4 | 3 | 2 |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| No | ①についての詳細 | ②についての詳細 | その他 |
| 1 | 普段意識しない基板を見る姿勢ができる点で面白い。 | 噴水や木のパーツの対応づけを行った。  回路図の流れは理解できない、導線が光るなど、もっと繋がっている感が欲しい。 | 見た目がおしゃれ |
| 2 | 建物を基板にしているところが面白い、題材をもっと知っている人が多い物にした方がいい。 | フライパンの機能は重要そうである。  回路図の両面のつながりはわからない。順路が辿りづらい。 |  |
| 3 | 普段見ているキャンパスと関連付けたくなる。知らない人が見ても興味がもてると思う。噴水とリセットボタンの機能をマッチさせたらもっと良かった。 | 機能と場所についての意味づけを行った。  両面をつかっていることと、カバーが回路を隠している点で回路の流れはわかりづらい | ちょっと基板に知識があったほうが面白いかもしれない |
| 4 | 実際に機能をしているところを確認できれば面白いとは思う。見えているパーツだけで動いている感覚があるのは良いこと。 | 両面をつかっていることと、カバーが回路を隠している点で回路の流れはわかりづらい | 電気の流れを意識して基板を見ているが、VCCとGNDがわからないので、回路の流れもわからない。 |
| 5 |  |  |  |
| 6 |  |  |  |
| 7 |  |  |  |
| 8 |  |  |  |
| 9 |  |  |  |

# 結論

## 考察

## 今後の展望

謝辞

熱心なご鞭撻をしていただいた富松先生、副査をしていただいた牛尼先生、

3DプリンターFORM2を使用させていただいた城先生、

機材を使用させていただき、様々なアドバイスをくださったファブラボ太宰府の中澤さんをはじめとするスタッフ、ユーザーの皆様、

機材の使用だけでなく、論文の方向性について迷った時、丁寧にアドバイスをくださったファブラボ九大のスタッフの伊藤さん、

基板制作の知識を教えてくださり、問題が起きた時に助けてくださった研究室の先輩方、

制作した基板について感想をくださった皆さまに多大なる感謝を申し上げます。

ありがとうございました。

引用文献

BobrowJonathan. “Project 02.” 2014年9月24日. *Jonathan Bobrow: MAS.863 | How to Make (Almost) Anything.* 2017年1月22日. <http://fab.cba.mit.edu/classes/863.14/people/jonathan\_bobrow/projects/67/>.

1. Tube Map Radio | YURI SUZIKI

   <http://yurisuzuki.com/works/tube-map-radio/> [↑](#footnote-ref-2)
2. Moeco Made in Japan

   <http://www.denshi-gihan.co.jp/moeco/> [↑](#footnote-ref-3)
3. Vogel | bitforms gallery

   <http://www.bitforms.com/artists/vogel> [↑](#footnote-ref-4)
4. Jonathan Bobrow project02

   <http://fab.cba.mit.edu/classes/863.14/people/jonathan_bobrow/projects/67/>

   Overview | Storyboards | MIT Media Lab <https://www.media.mit.edu/projects/storyboards/overview/> [↑](#footnote-ref-5)
5. 図は「Arduino」のEAGLEデータである。Arduinoはオープンソースであるため、公式ホームページでEAGLEデータを公開しており、自由に改変することが許可されている。 [↑](#footnote-ref-6)
6. EAGLEは2016年Autodeskに買収された。 [↑](#footnote-ref-7)