

# 回路図の画像認識を用いたブレッドボード向け 実体配線図の自動生成手法に関する検討

坂口 達彦\* 矢谷 浩司†

東京大学工学部 電子情報工学科\*  
東京大学大学院工学系研究科 電気系工学専攻†

## 1 はじめに

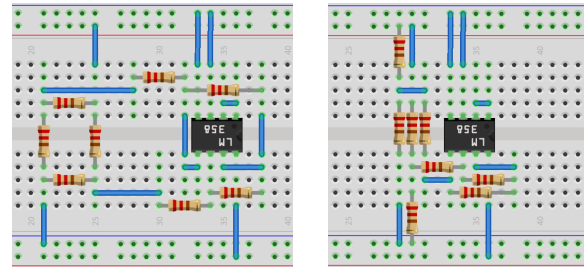
電子回路の学習において実際に回路を組み立てて実験することは、理論と実際の性質の違いを学ぶための良い演習となる。しかし、教科書に多く掲載されている回路図から実体配線を行う過程は時間がかかり、かつ誤配線が起きやすいため電子回路実験を行う障壁となっている。これまでに電子回路組み立てにおける誤りを防ぐ技術の研究が行われているが、予め実体配線図が必要であり [1]、適用できる回路の種類が限定的である [2]。したがって、回路図から実体配線を行う過程にそれらの技術をもそのまま応用することは難しい。

そこで本研究では回路図を撮影した画像からブレッドボード向けの実体配線図を生成するシステムを目指す。本システムでは初心者が回路を正しく動作させられるような組みやすい実体配線図の生成を行う。回路図の画像から実体配線図を自動的に生成することができるので、教科書や Web ページなどの幅広い回路に適用することができる。本稿では、システムを構築する前段階として行ったシステムが生成すべき実体配線図の条件の検討結果を報告する。

## 2 組みやすい実体配線図の条件の検討

ユーザがどのような点で組み立てを誤るかに言及した研究はいくつかある。Drew ら [1] は回路組み立て時に起こりやすい誤りについて、電源の接続誤り、部品や配線誤り、部品とブレッドボードの電極との意図せぬ未接触、視覚的な複雑さに起因する誤りなどを挙げている。また Tracey ら [3] は組み立て時の誤りを探しやすくする工夫として、配線の色を種類ごとに換えること（正電源が赤、基準が黒、信号ごとに別の色など）や配線を交差させないことを挙げている。以上より、初心者にとって組みやすいと考えられる実体配線図の条件 3 つを定めた。それらを理由とともに次に示す。

- 部品や配線が回路図と類似（回路図と類似・相違）
  - － 視覚的類似により電源や部品の接続誤りを防ぐことができる



(a) 「回路図と類似」かつ「配置が疎」 (b) 「回路図と相違」かつ「配置が密」

図1: タスク A に掲載した 2 つの実体配線図。

- － 配線を追いやすく誤りを見つけやすい
- 部品や配線の配置が疎になっている（配置が疎・密）
  - － 部品が密集していないことで意図しない接触・未接触が防止できる
- 配線の交差が少ない（信号の交差少・多）
  - － 配線が追いやすく誤りを見つけやすい

以上の条件の適切性を調査するため、ユーザスタディを行った。

## 3 組みやすい実体配線図条件の適切性の調査

前節で示した組みやすい実体配線図の条件について、それらの適切性を調査した。各条件の適切性が分かれば、システムが実体配線図を生成する際に考慮すべき条件が明らかとなる。実験参加者には 2 つの実体配線図を提示し、どちらが組みやすそうかについての 7 段階の評価をしてもらった後、その理由に関してインタビューを行った。

参加者には 2 つの実体配線図を配置した 6 種類 (A-F) のタスクによって組みやすさの評価をしてもらった。表1に配置した各実体配線図の条件を示す。実体配線図は全て回路図が共通しており、タスクに掲載する 2 種類の実体配線図は 1 つの条件が共通しており残り 2 つの条件が異なる。例として、タスク A に掲載した 2 つの実体配線図を図1に示す。なお、組みやすさの評価は 1（一方の回路の方が組みやすい）から 7（もう一方の回路の方が組みやすい）の 7 段階である。

### 3.1 実験方法

実験は以下の手順で計 6 つのタスクを行った。実験参加者は 10 人で、それぞれ年齢が 21 歳から 26 歳、電子回路学習歴が 1 年から 10 年の男性である。

Examining a Vision-based Method for Generating Breadboard Wiring Diagrams from Circuit Schematics  
Tatsuhiko SAKAGUCHI\* and Koji YATANI†  
\*† Interactive Intelligent Systems Laboratory,  
The University of Tokyo  
7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, Japan  
{sakaguchi, koji}@iis-lab.org

表1: 各タスクに掲載した回路の条件と、2つの回路の組みやすさに関する比較質問に対する回答数.

タスク	回路名	組みやすさの3条件			回路1の方が組みやすいと思うか?(7段階評価で回答)						
		回路図と類似	配置が疎	信号の交差少	とても同意	同意	やや同意	どちらでもない	やや不同意	不同意	とても不同意
A	回路 A-1	○	○	○	2	2	4	1	0	1	0
	回路 A-2	×	×	○							
B	回路 B-1	○	○	×	1	5	2	0	1	1	0
	回路 B-2	×	×	×							
C	回路 C-1	○	×	×	0	2	0	0	2	4	2
	回路 C-2	○	○	○							
D	回路 D-1	×	×	×	0	1	2	3	2	1	1
	回路 D-2	×	○	○							
E	回路 E-1	×	○	○	1	2	1	0	4	2	0
	回路 E-2	○	○	×							
F	回路 F-1	×	×	○	1	2	2	2	1	1	1
	回路 F-2	○	×	×							

1. 実験者はランダムに1つのタスクを紙で渡す.
2. 参加者は用紙に記載されている2つの回路それぞれについて、別紙の回路図に示された2つの経路を用紙上の実体配線図に直接書く.
3. 参加者は用紙上の2つの実体配線図のどちらの方が組みやすそうかを7段階で評価する.
4. その評価理由について、実験者は参加者にインタビューを行う.

### 3.2 結果

実験の結果を表1に示す. 表には2つの実体配線図の組みやすさについての比較質問に対する回答数を記載した.

タスク A と B においては8人の参加者が「回路図と類似」かつ「配置が疎」である実体配線図を組みやすいと評価した. その理由として「ブリッジが見やすい」(P1) や「(もう片方の実体配線図のように) 密集していると見にくい」(P2) などがあつた.

タスク C と D の結果から、「配置が疎」かつ「信号の交差少」である実体配線図を組みやすいと評価した人が多いことがわかつた. 「信号の交差少」な実体配線図を組みやすいと評価した理由としては、「素子の裏で信号の交差が発生しているとやや見づらくなる」(P8) などと答えた参加者が多かつた.

タスク E と F の結果から、「信号の交差少」と「回路図と類似」という2つの条件のどちらが重要かは参加者によって異なることがわかつた. 例えば, ある参加者が「ブリッジがありわかり易いが抵抗の下を通るので追いつらい」(P1) ことで組みにくいと評価した実体配線図について, 別の参加者は「ブリッジがわかりやすい」(P4) と組みやすいと評価しており信号の交差について言及しないという事例があつた.

### 3.3 考察

タスク A と B の結果から、「回路図と類似」していることは組みやすい実体配線図の条件として適切であると考えられる. また調査全体を通して参加者全員が「回路図と類似」について肯定的な評価理由を述べていた.

一方で「配置が疎」であることについては人によって好みが変わると考えられる. なぜなら、「隙間が空いて

いた方が配置が簡単」(P5) などの肯定的な評価理由が多い中で「詰まっていた場所を間違いくい」(P1) と「配置が密」であることを組みやすいと評価した参加者がいたためである. したがってシステムにおいては配置の密度を変えたいいくつかの実体配線図の候補を生成し, ユーザが選択できることが望ましいと考えられる.

またタスク C と D の結果から, 「信号の交差少」であることは組みやすい実体配線図の条件として適切であると考えられる. この調査全体を通して「信号の交差少」に対して否定的な評価理由を述べた参加者はいなかった.

## 4 結論と今後の展望

本稿では, 組みやすい実体配線図の条件を設定し, それらが組みやすさの条件として適切であるか調査をした. その結果, 「回路図と類似」及び「信号の交差少」は組みやすさの条件として適切であると判断できた. 一方で, 「配置が疎・密」については個人差があるため, いくつかの候補を生成しユーザが選択できることが望ましいことも示した. 今後はシステムの実装を行い, それが電子回路の初心者にとってどれほど有用なのかについて検証を行う.

### 参考文献

- [1] Drew, D., Newcomb, L.J., McGrath, W., Maksimovic, F., Mellis, D. and Hartmann, B.: The Toastboard: Ubiquitous Instrumentation and Automated Checking of Breadboarded Circuits, Proc. *UIST '16*, pp.677-686, ACM (2016).
- [2] Anderson, F., Grossman, T. and Fitzmaurice, G.: Trigger-Action-Circuits: Leveraging Generative Design to Enable Novices to Design and Build Circuitry, Proc *UIST '17*, pp.331-342, ACM (2017).
- [3] Booth, T., Stumpf, S., Bird, J. and Jones, S.: Crossed wires: Investigating the problems of end-user developers in a physical computing task, Proc. *CHI '16*, pp.3485-3497, ACM (2016).