

令和 5 年 6 月 14 日現在

機関番号：32619

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K19851

研究課題名(和文) 導電転写箔を用いた電子回路作成手法の確立とその効果

研究課題名(英文) Fabrication Technique Using Conductive Transfer Foil

研究代表者

眞鍋 宏幸(眞鍋宏幸)(Manabe, Hiroyuki)

芝浦工業大学・工学部・教授

研究者番号：50850624

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,600,000円

研究成果の概要(和文)：導電転写箔と3Dプリンタを用いた電子回路作成手法の開発を行った。提案手法は、安価な機械を用いて電子回路を簡便に作成できるという特徴がある。本研究では、(1)印刷条件の最適化、(2)多層基板の作成手法の確立、(3)部品実装手法と設計作業の高度化に取り組んだ。その結果、1.27mm間隔で線幅0.65mm程度の配線を印刷できること、絶縁テープや絶縁転写箔を併用することで片面実装多層基板の作成ができること、配線そのものを電子部品との接合に利用することができることなどを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の学術的意義は、電子回路を手軽に作成するための新たな手法を提案した点にある。これまででも、高価あるいは特殊な機械が不要、危険あるいは複雑な手順が不要な類似手法が存在していた。本手法とそれらとの大きな違いは、多層回路を容易に作成できること、印刷した配線に適合した単純な部品実装手法が利用できることである。本手法により、エンドユーザは家庭内で電子回路を作成することができるようになる。3Dプリンタやレーザーカッターなども組み合わせることで、ユーザ自らがもの作りを行うパーソナルファブリケーションのさらなる発展および普及に貢献することが期待される。

研究成果の概要(英文)：We have developed a method for creating electronic circuits using a conductive transfer foil and a 3D printer. The proposed method is characterized by its ability to easily create electronic circuits using inexpensive machinery. In this research, we worked on (1) optimization of printing conditions, (2) establishment of a method for creating multilayer boards, and (3) advancement of component mounting methods and design work. As a result, it was found that it is possible to print wiring with a line width of about 0.65 mm at 1.27 mm intervals, that single-sided multilayer boards can be created by using insulating tape or insulating transfer foil, and that the wiring itself can be used for bonding with electronic components.

研究分野：ヒューマンコンピュータインタラクション、パーソナルファブリケーション、

キーワード：電子回路 3Dプリンタ 転写箔 ファブリケーション

## 1. 研究開始当初の背景

3D プリンタ、レーザーカッターなどの工作機械の低廉化、CAD をはじめとするソフトウェアの無料化、各種オンラインサービスやファブラボなどのもの作り環境の充実などにより、エンドユーザ自らがもの作りを行うパーソナルファブ리케이션が大きな注目を集めている。技能、能力、身体的特徴や好みに応じて、それぞれのユーザが必要とするものを自ら作り出せることは、多様化する社会において必要不可欠なことである。3D プリンタやレーザーカッターを使えば、自由な形状を作り出すことができる。さらに、市販の小型コンピュータやマイコンキットやオンラインサービスを組み合わせれば、様々かつ高度なインタラクティブシステムを簡単に構築することができる。しかし一方で、構築するシステムの大きさや形状、機能や性能は市販のキットに制約されてしまう。もし、ユーザが電子回路を簡単に作成することができれば、ユーザの選択肢が広がり、さらにもの作りの範囲を拡大させることができる。それらを実現するためには、電子回路を手軽に試作できることが重要である。すでに様々な電子回路 CAD が無料で提供されているが、目的の機能に応じた回路を設計することは未だに困難である。回路を設計できたとしても、その後に電子回路基板をユーザ自らが作成するには、複雑な作業と高いスキルが要求される。そのため、ブレッドボードやユニバーサル基板、あるいは回路シミュレータなどを用いて電子回路の動作を確認した後に、オンライン上のプリント基板作成サービスを利用することが現実的な方法となる。しかし、プリント基板が到着するまでに時間がかかることから、高速なトライアンドエラーを繰り返すことが難しく、ユーザのもの作りを加速するまでには至っていない。プリント基板加工機や専用の 3D プリンタなどの工作機械を利用することも考えられるが、高価な機器を導入する障壁は高い。

これらの背景から、電子回路基板を安価かつ簡易に作成する手法に関する研究が行われてきた。例えば、市販インクジェットプリンタに特殊なインクを充填し専用紙に印刷する手法、カットした銅箔テープを用いた手法、水圧転写技術に応用した手法、金箔を用いた手法などがある。しかし、専用インクおよび専用紙が必要であったり、適用可能な素材が限られていたり、精密かつ複雑な作業が必要などの課題を抱えている。一方我々は、安価な 3D プリンタと導電転写箔を用いた回路作成手法を試みている。転写箔は、接着層、金属箔層、基材層からなるフィルムであり、箔押しとして知られる印刷技法で利用されている。一般的な箔押しでは、あらかじめ作成しておいた版を通じて転写箔に熱と圧力を加え金属箔を対象物に転写する。箔押しを電子配線として用いる例はあるが、本手法では版を必要としない点に特徴がある。そのために、xyz の 3 次元の精密な位置制御とノズルの温度調整が可能であるという FDM 方式の 3D プリンタの一般的な機能を応用する。3D プリンタのノズルをボールキャストに置き換え、ボールキャストを通じて転写箔に熱と圧力を加える。他の 3D プリンタを用いた回路作成手法とは異なり、1 つしかエクストルーダーを持たない安価な 3D プリンタであっても回路を形成できることが特徴である。また、本手法を用いた場合、紙の上だけでなく、アクリル板や木、布などへの回路作成が行えることや、経年劣化が少ないこと、導電性接着剤だけでなく、低融点半田を用いた接合が可能であることを確認している。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、エンドユーザが容易に電子回路の作成できるようにするために、導電転写箔を用いた電子回路作成手法を高度化させること、手法の特性と限界を明らかにすること、そして提案手法を用いた回路作成手法のワークフローの確立である。具体的には、(1) 印刷条件の最適化、(2) 多層基板の作成手法の確立、(3) 部品実装手法と設計作業の高度化に取り組む。

## 3. 研究の方法

### (1) 印刷条件の最適化

配線の線幅やその電気抵抗、経年劣化、印刷時間など、電子回路を印刷するにあたり検討する必要のある指標は様々考えられる。それらは、使用する転写箔の素材や膜厚、3D プリンタに取り付けたボールキャストのボール径、ボールキャストに加える力やその移動速度などによって変化する。様々なパラメータを組み合わせることで印刷を試み、印刷された配線について評価を行う。

### (2) 多層基板の作成手法の確立

研究開始当初の時点では、配線が片面にしか存在しない片面実装基板の印刷しか行えていなかった。単純な回路であれば片面実装基板でも実現可能であるが、複雑な回路では多層の配線層からなる多層基板でなければ実現することができない。つまり、実用的な回路作成を行うためには、多層基板が作成できることが必須となる。配線の多層化には、異なる層にある配線の絶縁と、必要な場所での層間の導通が必要であり、そのための具体的な方法の開発を行っていく。

### (3) 部品実装手法と設計作業の高度化

電子回路を作成するためには、配線パターンを印刷だけではなく、IC や抵抗などの電子部品の実装を行わなければならない。導電接着剤や低融点半田での接合が可能であることは確認済みであるが、熟練した技術が必要なことや、接合強度が弱いなどの問題があった。そこで、提案手

法に適した部品実装手法の検討を行っていく。また、エンドユーザが電子回路を作成するためには、設計作業を高度化させ、ユーザの負担を軽減する必要があることから、そのための手法についても検討を進めていく。

#### 4. 研究成果

##### (1) 印刷条件の最適化に関する成果

3種類の異なるボール径を持つボールキャストを用いて、加える力を50~400gまで変化させたときに印刷される配線例を図1に示す。図からわかるように、ボール径と加える力によって印刷される配線の品質は変わる。また、印刷する素材やボールキャストの移動速度によっても、印刷結果に変化が見られることが明らかとなった。様々なパラメータの組み合わせで印刷を行った結果、1.6mm径のボールキャストを用いて、100g以上の力をかけた場合、1.27mm間隔で線幅0.65mm程度の配線を印刷できることがわかった[1]。

また、印刷した配線パターンに関する評価を行った結果、本手法による配線は、導電性インクを用いた従来手法よりも抵抗値が低いことや、印刷後7ヶ月経過しても抵抗値の変化が少ないこと、折り曲げに対する耐性が高いことを示した[1]。

##### (2) 多層基板の作成手法に関する成果

複数の方法で多層基板が作成できることを明らかにした。第一の方法では、ビアを形成する位置にあらかじめ穴を空けた基材の両面に配線パターンの印刷した後に、ビアに低融点半田を挿入してボールキャストで熱を加える。これにより両面基板を作成できることを確認した。第二の方法として、耐熱テープを用いることで片面実装の多層基板を作成できることも確認している。この二つの手法を用いて電子回路を作成した例を図2(図2の左は第一の方法、右は第二の方法で作成した例)に示す[1]。さらに、導電転写箔と絶縁転写箔を用いた第三の方法によっても、片面実装多層基板を作成できることを示した[2]。

##### (3) 部品実装手法と設計作業の高度化

本手法で用いている転写箔が、熱可塑性樹脂と銀粒子から構成されていることに着目し、印刷した配線そのものを電子部品の接合に転用する手法を試みた[3]。転写箔を1回印刷するだけでは十分な接合強度を得ることはできなかったが、複数回印刷を繰り返すことで接合強度を高めることができる。この部品実装手法では、加熱した一般的な半田ごてを部品に押し当てるだけで部品実装を行うことができる特徴があり、半田付け初心者であっても手軽に利用できる点で優れている(図3)。

一般に、転写箔は一度使用すると再利用することが難しく、廃棄せざるを得ない。特に配線パターンを印刷する場合には、全体の面積に対するパターンの割合が低いことが多く、非効率になりがちとなる。転写箔の利用効率を高める方法として、配線パターンをコンパクトにまとめることや、同じ層を複数回に分けて印刷することなどが考えられることを示した[4]。

#### <引用文献>

- [1] 今井 悠平, 真鍋 宏幸, "3D プリンタと転写箔を用いた電子配線印刷手法," 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 26, No. 4, pp. 241-253, 2021.
- [2] Yuhei Imai, Hiroyuki Manabe, "Single-sided Multi-layer Electric Circuit by Hot Stamping with 3D Printer," Adjunct Proc. UIST '21, pp. 126-128, 2021.
- [3] Suzuki Tomohito, Yuhei Imai, Hiroyuki Manabe, "A Bonding Technique for Electric Circuit Prototyping Using Conductive Transfer Foil and Soldering Iron," Adjunct Proc. UIST '22, pp. 1-3, 2022.
- [4] 辺見 優天, 真鍋 宏幸, "3D プリンタによるホットスタンプ多層回路における回路の最適化のための検討," 情報処理学会研究会報告 HCI201, 2023.

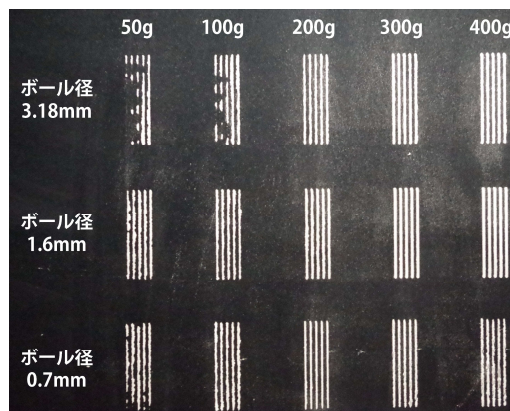


図1: ボール径と加える力による印刷結果

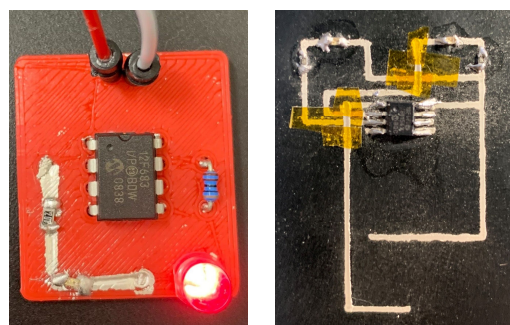


図2: 多層基板による電子回路作成例



図3: 印刷した回路そのものを活用した部品実装手法

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 今井 悠平、真鍋 宏幸	4. 巻 26
2. 論文標題 3Dプリンタと転写箔を用いた電子配線印刷手法	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本バーチャルリアリティ学会論文誌	6. 最初と最後の頁 241 ~ 253
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.18974/tvrsj.26.4_241	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Imai Yuhei, Manabe Hiroyuki
2. 発表標題 Single-sided Multi-layer Electric Circuit by Hot Stamping with 3D Printer
3. 学会等名 UIST 2021（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 今井 悠平, 真鍋 宏幸
2. 発表標題 3Dプリンタと2種類の転写箔を用いた片面実装多層基板の製作手法
3. 学会等名 WISS 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 今井 悠平, 真鍋 宏幸
2. 発表標題 3Dプリンタと転写箔を用いた片面実装多層基板の製作手法
3. 学会等名 情報処理学会研究会 HCI190, 2020-HCI-190(2), pp. 1-6
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 今井 悠平, 加藤 邦拓, 瀬川 典久, 真鍋 宏幸
2. 発表標題 3Dプリンタと転写箔を用いた両面基板の製作手法
3. 学会等名 情報処理学会研究会 HCI190, 2020-HCI-188(13), pp. 1-7
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Suzuki Tomohito, Yuhei Imai, Hiroyuki Manabe
2. 発表標題 A Bonding Technique for Electric Circuit Prototyping Using Conductive Transfer Foil and Soldering Iron
3. 学会等名 UIST 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 辺見 優天, 真鍋 宏幸
2. 発表標題 3Dプリンタによるホットスタンプ多層回路における回路の最適化のための検討
3. 学会等名 情報処理学会研究会 HCI201, 2023-HCI-201(45), pp. 1-8
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------