

印刷技術を用いた新規デバイスの開発

栗田貴明

Development of the new device using the printing technology

Takaaki KURITA

近年、有機物質を使ったフレキシブル・低環境負荷・低コストな有機デバイスが注目される中、デバイス作製手法に印刷技術を取り入れる研究が盛んである。デバイスを印刷で作製することからプリンテッドエレクトロニクスと呼ばれているが、印刷技術を用いることで面積化、低コスト化、タクトタイムの短縮など更なるメリットを付加できる。今回、岐阜県の誇る伝統産業である美濃和紙へプリンテッドエレクトロニクスの適用を目指した。和紙に印刷で静電容量型近接センサを作製し、照明に実装した。センサを照明のスイッチかつデザインとすることで新たな価値を持ったプリンテッドエレクトロニクスデバイスの開発を行った。

1. はじめに

岐阜県はものづくりが盛んな土地である。中でも、高山市の木工・多治見市の陶磁器・関市の刃物・美濃市の美濃和紙といった地場産業は国内シェアもトップクラスであり、岐阜県の誇る地場産業だといえる。しかし、海外の安価な製品の普及により、地場産業が脅かされる事態に直面している。安価な海外製品に太刀打ちするためにも、付加価値を高めた新しい製品の開発が望まれている。地場産業と最先端の技術・斬新なアイデアを組み合わせた製品を開発することで地場産業の活性化を図るとともに新たな販路の創出に期待できる。そこで、プリンテッドエレクトロニクスに注目し、印刷技術を地場産業に展開することを目指した。そもそも、岐阜県はスクリーン印刷発祥の地とされており、印刷機器メーカー等の印刷に係わる企業が多く存在する。地元産業と伝統産業との融合を図ることで、岐阜県が更に活性化することにも期待ができる。

ここで、プリンテッドエレクトロニクス¹⁾とは印刷でデバイスを作製することである。印刷技術を使うことで、面積化・低コスト化・タクトタイムの短縮など様々なメリットを付与させることができるため、世界で注目されている技術である。また、真空状態で製造を行うドライプロセスとは異なり、プラスチック基板にも容易に電極パターニングができることからフレキシブルデバイスの作製にも有利である。

本研究では、プリンテッドエレクトロニクスと岐阜県伝統産業の融合という新たな付加価値を付与したデバイスの開発に取り組んだ。今回は、世界無形文化遺産にも登録されている本美濃和紙に焦点を当てた。和紙はフレキシブル基板として使用できるため印刷技術を適用しやすい。和紙の印刷において表面が粗いこと・液体の吸収力が高いことの2点が懸念されるため通常のスクリーン印刷とスクリーンオフセット印刷^{2,3)}の2種類の印刷法を適用し、和紙上に静電容量型近接センサの作製を試みた。

2. 美濃和紙表面の形状

美濃和紙は本美濃和紙(美濃手すき和紙協同組合)を使用した。厚さは $115 \mu\text{m}$ である。和紙は表面が粗く、印刷に影響を与えることが懸念されるため、表面の情報を予め調査した。表面の凹凸については、光学顕微鏡(Nikon ShuttlePix)、段差計を用いてそれぞれ評価した。図1に光学顕微鏡像($\times 20$)を示す。繊維がランダムに並んでおり、明らかに凹凸があることが確認された。

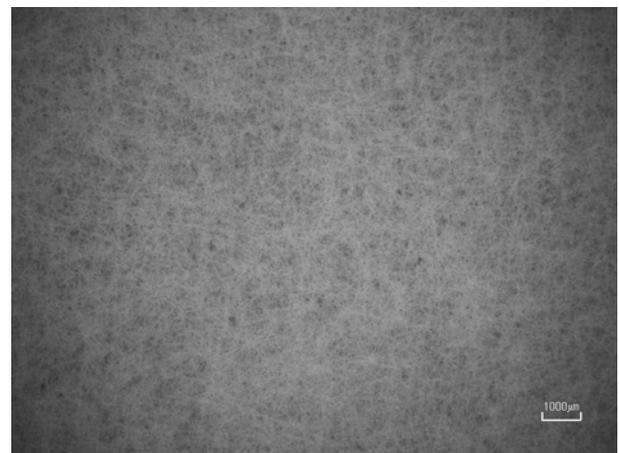


図1. 光学顕微鏡像

段差計の測定結果を図2に示す。かなり大きな凹凸が確認され、最大で $30 \mu\text{m}$ ほどの段差が見られた。この段差は印刷には不向きなものであり、印刷してもインクが乗らず、電極が断線してしまう懸念がある。

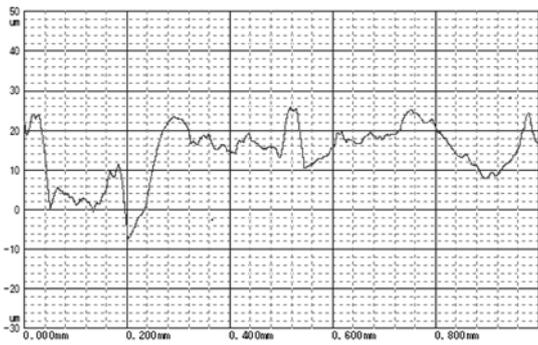


図2. 段差計測定結果

3. 美濃和紙への印刷

3.1 実験目的及び方法

和紙へ通常のスクリーン印刷を行うことで、プラスチック基板への印刷と比較してどのような点に問題が起きるかを確認した。

Agペースト(ミノグループ MP501SO 6322E)をスクリーン印刷機(ミノグループ製 CUVE 1515)にて印刷した。

◇印刷条件

スキージ速度:30 mm/s

スキージ押し込み量:0.5~0.8 mm

クリアランス:2.1 mm

スキージ押し込み量を変化させ、パターンが鮮明に印刷可能な条件を検討した。なお、使用したパターンを図3に示す。



図3. 使用版パターン

3.2 結果

<スキージ押し込み量 0.7 mm 及び 0.8 mm>

この条件でスクリーン印刷をした結果、和紙が版に張り付くため版離れが極めて悪いという問題が発生した。その結果、図4のように和紙自体が破れる、折れ曲がるといった損傷を受けることが多くみられた。これは、スキージを押し込むことで和紙と版が強い力で接触していることが原因と思われる。

<スキージ押し込み量 0.6 mm>

この条件でスクリーン印刷をした結果、版離れは良く、和紙の破損は起きなかった。しかし、印刷物を確認すると図 5①の

ように、インクが乗っていない部分があるといった問題が発生した。その他にも図 5②のようにエッジ部分の滲みも発生し鮮明なパターンが印刷できないことが明らかになった。これは、和紙の表面の粗さと水分吸収力が原因と考えられる。

<スキージ押し込み量 0.5 mm>

この条件では、和紙と版とが完全に接触していないため、和紙の厚い部分にのみインクが乗る事態が発生した。

以上より、スキージ押し込み量を0.5~0.8 mmと変化させた結果、0.6 mmが最適であったが、鮮明なパターン印刷はできなかったことから、スクリーン印刷を和紙に適用するのは困難であると考えられる。



図4. スクリーン印刷結果
(スキージ押し込み量0.7 mm, 0.8 mm)

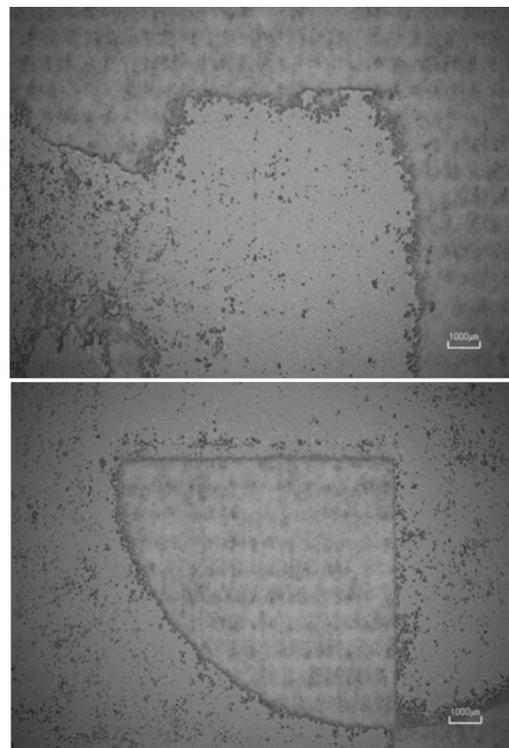


図5.スクリーン印刷結果
上部①、下部②
(スキージ押し込み量0.6 mm)

4. スクリーンオフセット印刷の適用

4.1 実験目的

スクリーン印刷を用いた和紙への印刷は困難であることが分かったため、版離れ・エッジ部分の滲み・印刷ムラ、この3点の問題の解決に対応できる印刷法としてスクリーンオフセット印刷を試みた。

ここで、スクリーンオフセット印刷とは、産業技術総合研究所(茨城県つくば市)が開発した印刷技術である。シリコーンブランケット上に一度印刷し、その後転写体にブランケットを押し付け転写させる印刷法である。シリコーンブランケット上でペーストに含まれる溶媒の吸収が行われるため、ペーストは半固体状態となり、転写する際に形状を崩さず転写ができるというメリットを有している。そのため、断面矩形性の高い印刷が可能となる。図6にスクリーンオフセット印刷機(ミノグループ SO-1010)の外観を示す。シリコーンブランケットは円柱の胴に巻き付けられており、胴が回転しながら印刷を行うため版離れは良好となる。



図6. スクリーンオフセット印刷機

4.2 実験方法

Agペースト(ミノグループ製 MP501SO 6322E)を使用し、スクリーンオフセット印刷機を用いて、和紙への印刷の最適条件を検討した。スクリーンオフセット印刷において転写に重要な条件は、転写遅延時間、転写押し込み量の2点である。遅延時間は、ブランケット上にスクリーン印刷をした後、転写体に押し付けるまでの待機時間のことである。この時間によってブランケットがペーストの溶媒を吸い込む量が決まり、ペーストの粘度が変化する。遅延時間を長く設けるとペーストが固形化してしまい均一に転写ができなくなるという問題が起きる。転写押し込み量はブランケットを転写体に押し込む量のことである。強く押し付けることで転写率は上昇するが、転写体の変形による膜厚ムラ、ペーストが転写体の表面形状のトレースなどの問題が発生するため最適値を検討する必要がある。

以下に主な印刷条件を示す。

◇印刷条件

- ・スキージスピード 30 mm/s
- ・スキージ押し込み量 500 μ m
- ・クリアランス 0.3 mm
- ・転写スピード 50 mm/s
- ・転写押し込み量 50 μ m
- ・転写スタート遅延タイム 30 s

4.3 結果

スクリーンオフセット印刷を行った結果を図7に示す。スクリーン印刷に比べると印刷ムラもなく、エッジ部分が鮮明に印刷できていることがわかる。ブランケットを和紙に押し付けて転写させるため、和紙の表面形状をペーストがトレースしてしまうという問題も新たに発生したが、導電性は一面に確保できているため、今回の電極という使用目的では問題ではない。直接和紙に印刷する印刷法ではないため、版離れの心配はない。また、ペーストが半固体状態で転写されるため、エッジ部分の滲みが抑制された。さらに、均一なペースト膜を転写する手法のため、和紙自体にも均一に転写され、印刷ムラが出にくかった。このようにスクリーン印刷で発生した3点の問題をスクリーンオフセット印刷によりすべて解決可能となった。和紙の表面形状をトレースしてしまう問題は今後の印刷条件の最適化により改善を目指していきたい。

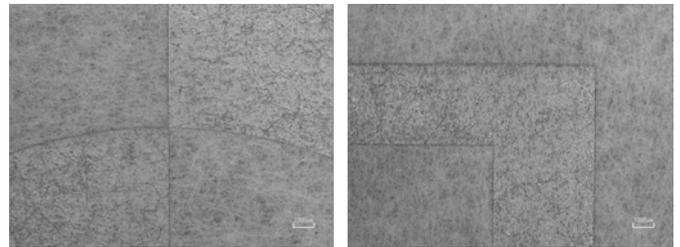


図7. スクリーンオフセット印刷結果

5. デバイス実装

印刷したAgペーストを120℃、30分間で乾燥後、ストレッチャブルAgペーストを用いて配線を施した。マイコンにはRaspberry Pi Model3を使用し、作製した電極を静電容量型近接センサとして駆動させるようにプログラムを構築した。図8に近接センサを搭載した行燈の写真を示す。写真のように手を電極部分にかざすことにより、照明の電源のON/OFF切替が可能となっている。この電極は、スイッチであるとともにデザインでもあることから、機能性と意匠性を兼ね備えている。以上より、プリントドエレクトロニクスと岐阜県の伝統産業を融合した行燈の作製に成功した。



図8. プリントドエレクトロニクス照明

6. まとめ

本研究では、プリントドエレクトロニクスと岐阜県伝統産業の融合を目指した。最先端の印刷技術であるスクリーンオフセット印刷を美濃和紙に適用し、静電容量型の近接センサとすることで行燈のデザインかつスイッチに適用した。通常のスクリーン印刷では和紙の特性上、版離れの悪さ・印刷ムラ・滲みといった問題点があったが、はスクリーンオフセット印刷を適用し最適条件を検討することで解決した。

この行燈を東京ビッグサイトで開催されたコンバーティングテクノロジー展(2017/2/15～2017/2/17)に出展したところ、地元産業とプリントドエレクトロニクスを融合し、新たな産業・市場創出の可能性を期待させる優れた技術という評価を受け、第6回プリントドエレクトロニクス大賞を受賞した。

今回作製した行燈はプロトタイプであり、まだまだ改良の余地がある。今後は、近接センサの誤作動を減らす、デザイン性の改善など実用化に向けた取り組みを行っていく。また岐阜県内の産業の活性化を目指し、他の業種にも印刷技術を適用し新しい技術提案を追求していきたい。

【謝辞】

本研究にあたり、多くの助言を賜りました産業技術総合研究所フレキシブルエレクトロニクス研究センター先進機能表面プロセスチームの皆様にご感謝申し上げます。また、印刷機について指導いただきました株式会社ミノグループPE課の皆様にご感謝申し上げます。

【参考文献】

- 1) 菅沼克昭ら, 電子情報通信学会論文誌, J93-C (11), pp.399-405, 2010
- 2) 野村健一, 日本印刷学会誌, 50 (6), pp. 479-483, 2013
- 3) 野村健一, 産総研 Today, 13 (1), pp. 16, 2013