

電気印刷と回路形成～無電解めっき法を経た リフトオフ、その他手法の開発経緯と特性

電気印刷研究所
三谷 雄二、本庄 和彦、富江 崇

1. はじめに

「電気印刷」と口にするると「それ何?」と言われる。「電気印刷とはフィルムに電気を印刷するのですよ」と説明しても「電気を印刷…?」「そんなの知らない…聞いたことがない」と怪訝な顔が返ってくる。「電気印刷」は筆者らが名付け、商標登録した造語だから、誰も知らないのは当然だ¹⁾。昨年、本誌で初めて紹介し展示会で試作品を紹介したりして、懸命にこの名を広めてきた「電気印刷」^{2), 3)}は、銅めっきをして、電気回路を形成する基本的なプロセスだったが、この1年で少し進化した。印刷技術とインクは一体の技術で、スクリーン印刷技術も多様なインクに支えられている。電気印刷の場合はトナーがインクの役目をしていることに気づいた筆者らは、多様なトナーを開発し、「電気印刷」の応用範囲と可能性を広げた。いまだ進化の途中だが、その一端を本誌で紹介する。

2. 電気印刷の基本

フィルムと版を重ねて高電圧を印加し、フィルム上に静電潜像を印刷するのが電気印刷の基本原理である(図1)。電圧を印加したら瞬時(約5msec)に静電潜像が形成される(図2)。静電潜像を印刷した後は「機能性トナー」で現像してトナーの機能を発現させる。

3. 開発した機能性トナー

電子写真で使うトナーには粉体トナーと液体トナーがあり、前者は5~10 μ mの粒径の黒色の粒体で、身近にあるレーザー・プリンターで使われている。液体トナーは粒径が0.1 μ m程度の微小な粒子が有機溶剤中に分散している。後者は微細な画像を印刷するのに適している。トナーの開発は専門のメーカーにお願いした。

(1)最初に開発した「めっきトナー」

電気印刷法で印刷した静電潜像をこのトナーで現像し、無電解めっきで銅をめっきすると電気回路ができる(図3(a)(b))。この方法には①3D曲面に電気回路ができる、②10 μ mの細線の回路ができるなどの利点がある。

(2)感熱トナー

感熱トナーは150℃程度に加熱すると軟化して接着する特性

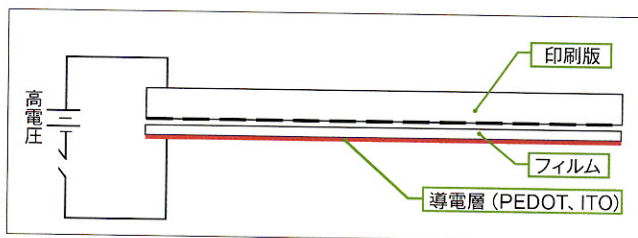


図1 電気印刷のプロセス（静電潜像を印刷）

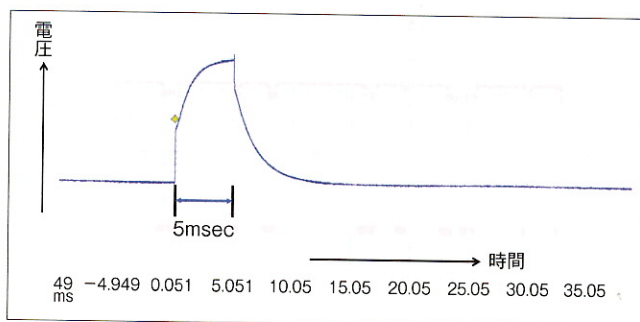


図2 電気印刷した時の電圧波形（5msecで電気印刷が完了）

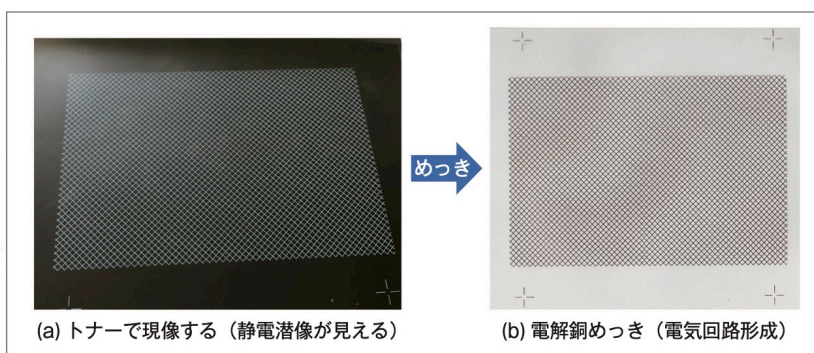


図3 電気印刷のプロセス（トナー現像と無電解銅めっき）

問い合わせ

三谷 雄二

✉ mitani@eprint.co.jp

がある。感熱トナーを現像したフィルムと金属転写箔を重ねて加熱すると、トナーと金属箔が圧着する。金属転写箔を剥がすとフィルムのトナー像に金属箔が転写している。金属箔は導電性があるので電気回路を形成できる（図4）。このプロセスは酸やアルカリ、水を使わないで全工程をRoll to Rollで効率的に生産できる特長がある。

(3)溶解トナー

半導体の微細加工プロセスの一種のリフトオフ法はSUSのような金属基板に感光性のレジストでネガ像を形成し、金属膜を全面に蒸着した後にレジストを剥離してポジ像の金属像を形成する方法だ。この方法をヒントにして有機溶剤に溶解する『溶解トナー』を開発して、電気印刷・リフトオフ法を試みた。ネガ画像を電気印刷し、溶解トナーで現像し、銅を全面に蒸着し

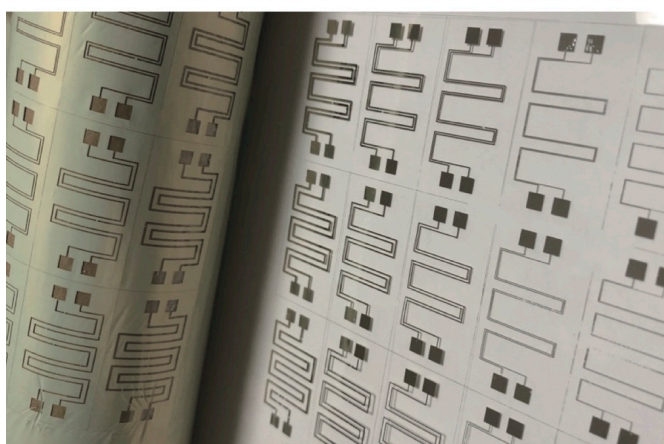


図4 金属箔を転写した回路（右：電気印刷・トナー現像したPETフィルムに金属箔を転写した回路、左：転写後の金属箔）

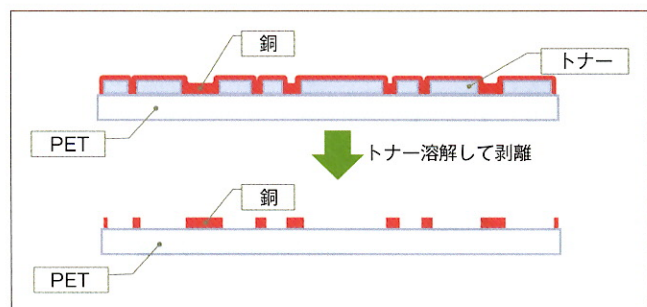


図5 電気印刷・リフトオフ法

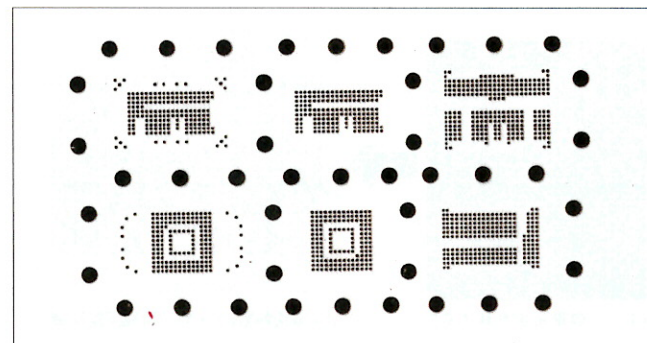


図6 リフトオフ法の試作品

た後に有機溶剤でトナーを溶解して剥離するとポジ像の金属像が形成できる（図5, 6）。この方法でできた電気回路の下にはトナーが残っていない。基板に直接回路を形成しているので、高速通信回路では基板の誘電特性を損なわない利点がある。

(4)剥離トナー

電気鋸り器の刃や精密フィルターなどの微細な孔が多数ある金属板は電鍍法で製造している。この方法は金属板にフォトレジストで微細な柱を立て、金属を電気めっきした後に金属板を剥離して製造する。

めっきした金属膜が剥がれやすいトナーを開発した。フィルムに微細な孔のある像を電気印刷後『剥離トナー』で現像し、これに無電解めっき（1μm）と電気めっきで厚約30μmの銅膜をめっきした。銅膜をフィルムから剥離すると微細な孔の空いた銅フィルターが得られた（図7）。

このように新しい機能を持つトナーで電気印刷技術の応用の範囲は大幅に広がった。

4. 記録フィルム

(1)標準的な記録フィルム

電気印刷の基本は先に述べたようにフィルムと版を重ねて高電圧を印加し、静電潜像を印刷することだ（図1）。筆者らが標準的に使っている記録フィルムは薄いPETフィルムの片面に透明な導電層を加工したものだ。フィルムの厚さは薄い方が画質が良いので、厚25μmのPETフィルムを使っている。取り扱いやすくなるために、厚50~100μmのPETフィルムを裏打ち

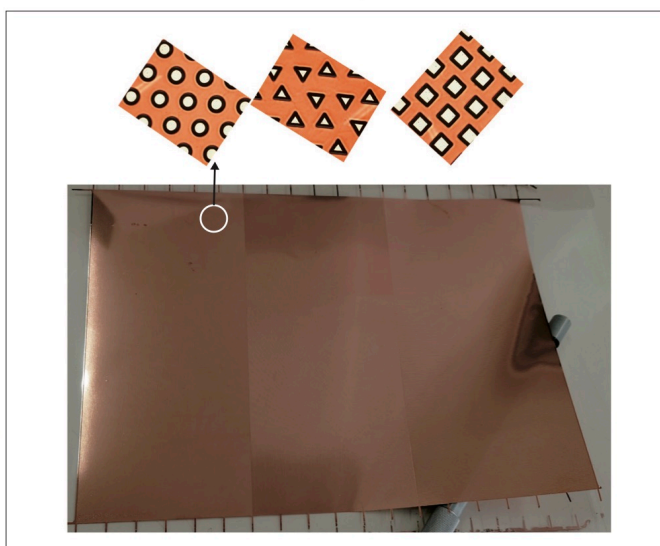


図7 微細な孔が空いた銅箔

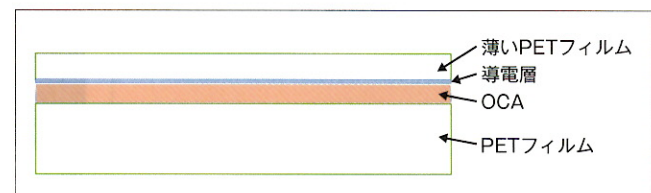


図8 標準的な記録フィルム



することもある(図8)。記録フィルムが厚くなると微細な画像の印刷が難しくなる。

(2)真空成型できる記録フィルム

真空成型できるフィルムとして、A-PET(アモルファスポリエチレンテレフタレート)、PC(ポリカーボネート)、PS(ポリスチレン)などが知られている。A-PETやPSは耐熱性が低いので、電気部品用途には適していない。筆者らはこの用途には厚125 μ mのPCフィルムを使っている。このフィルムを使って3D曲面に電気回路を印刷した(図9)。

(3)高速通信用の記録フィルム

5Gなどの高周波通信用の基材として、伝達損失の少なく誘電特性の良いCOP(シクロオレフィンポリマー)やLCP(液晶ポリマー)フィルムにも電気印刷できる(図10)。電気印刷は厚いフィルムが苦手だ。これは電気印刷時の表面の放電が弱くなり微細な静電潜像が消失するからだと推測している。

5. 電気印刷用の装置

試作用の20cm幅のRoll to Roll式の電気印刷機はインクを使わないので1 \times 2 \times 0.5m程度コンパクトなサイズに仕上がっている(図11)。この電気印刷機でフィルムに静電潜像を印刷した後、Roll to Roll式の現像機(図12)で液体トナーを現像し定着する。フィルム上の静電潜像は安定しているので、電気印刷後トナー現像までのタイミングは余裕がある。

6. 期待される製品群と効果

導電性の細線が印刷できるので、透明なタッチパネル、ヒーター、電磁シールドやアンテナなどの試作依頼が多い。3D曲面の回路は車載用部品メーカーの、また電鍍製品は蒸着マスク、精密フィルターやバッテリーメーカーの関心を集めている。

7. おわりに

電気印刷は最近誕生した新しい技術だがこの1年で少し進化した。印刷にはインクが大切だが、電気印刷にはインクの代わりにトナーがその役目を果たしている。ここで紹介した『めっきトナー』『感熱トナー』『溶解トナー』『剥離トナー』に続いて

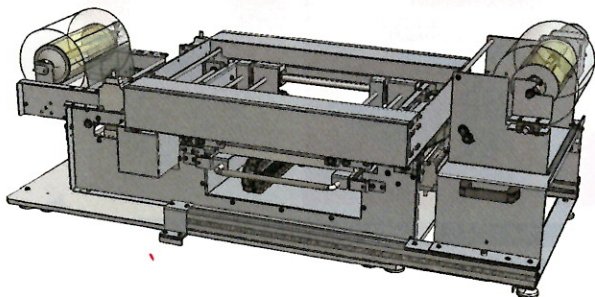


図11 20cm幅のRoll to Roll式電気印刷機

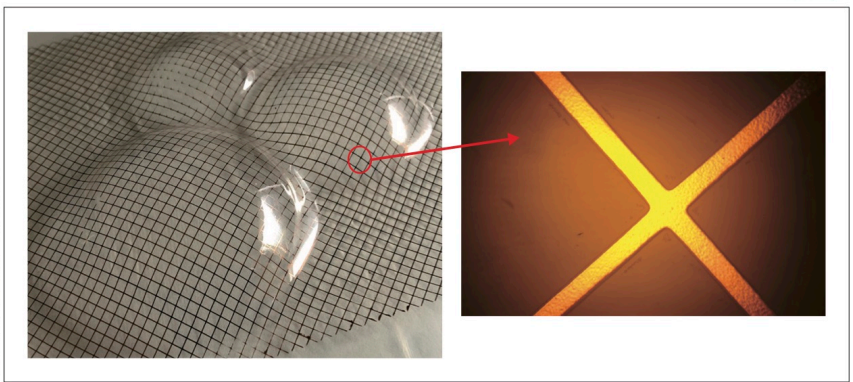


図9 3D曲面の電気回路

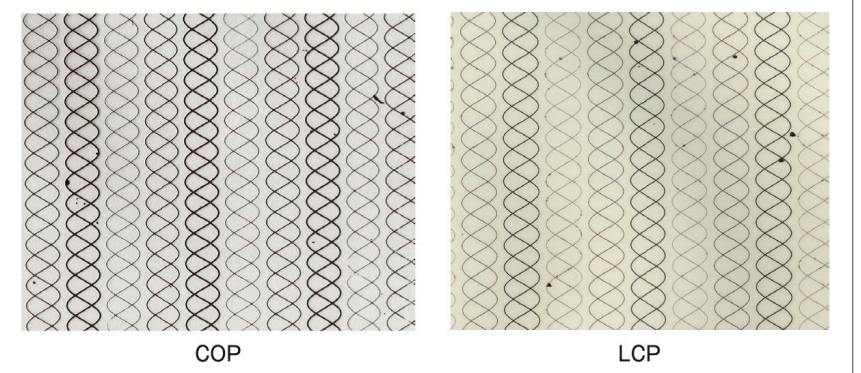


図10 COP, LCPフィルムに電気印刷した試作品

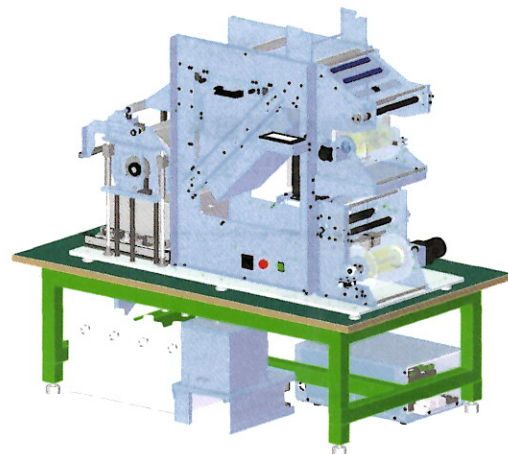


図12 20cm幅のRoll to Roll式トナー現像機

新しい機能を持ったトナーが次々に開発されて電気印刷の活躍の範囲が無限に広がっていくだろう。電気印刷の10年後、100年後が楽しみだ。

※電気印刷は、電気印刷研究所の登録商標

<参考文献>

- 1) 登録商標:6638177
- 2) 三谷雄二, 本庄和彦:コンバーテック, Vol.51, No.2, pp.92-95 (2023).
- 3) 三谷雄二, 本庄和彦:印刷雑誌, Vol.106, No.9, pp.29-32 (2023).