

電気印刷の基礎工程と応用技術 ～3次曲面・箔転写・リフトオフ法への展開

株式会社電気印刷研究所
富江 崇、本庄 和彦、三谷 雄二

特集

電気印刷の基礎工程と応用技術
～3次曲面・箔転写・リフトオフ法への展開

電気印刷研究所

富江 崇、本庄 和彦、三谷 雄二

1. はじめに

当社は、電気印刷の技術を発見し、数年の技術開発の後、2021年8月に創業、4年が経過した。この新しい電気印刷技術を用いた応用商品の開発と探索を継続している。これまでに電気回路、ヒーター線、電波反射板など銅の配線を作製する種々の手法を開発してきた。

本誌には過去に2回記事を投稿している^{1) 2)}。これらの記事で電気印刷技術の基本形が以下の3工程からなることを述べた。

- ①背面に導電層を有する記録フィルムを被印刷物とし、特殊な版を使い静電潜像を形成する工程（狭義の電気印刷工程）
- ②静電潜像にトナー粒子を付着させる現像工程と、その後の加熱定着工程
- ③トナーに無電解銅めっきにより銅膜、銅配線を形成するめっき工程

この基本技術で作製した見本を図1に示す。

電気印刷技術は新規な発明であり、特許を登録し、商標権も得ている。以下の特徴を有する。

- ・消耗しない印刷版を使った大量生産に適した方法
- ・露光装置が不要。コンパクトなRoll to Rollの印刷装置を構成できる
- ・細線（10 μ m）の電気回路が印刷可能
- ・高速印刷：放電時間＝1/100秒
- ・めっき法によるアディティブプロセス

以上の特徴を多くの展示会で紹介し、多くの企業から興味を持っていただいている。特に、本誌23年2月号で紹介した3次曲面に銅配線を簡便に形成する技術は曲面ヒーターの可能性を示すものとして注目されている¹⁾。さらに、24年3月号では、前掲載の基本的な電気印刷技術の応用技術として、トナーに金属箔を転写して銅配線を作製する箔転写技術、トナーをリ

フトオフ法のレジスト代わりに使って銅配線を作製するリフトオフ技術、そして無電解めっき銅膜を電気めっきで厚くして開口部を残すことにより孔開き銅箔を作製する技術を紹介した²⁾。

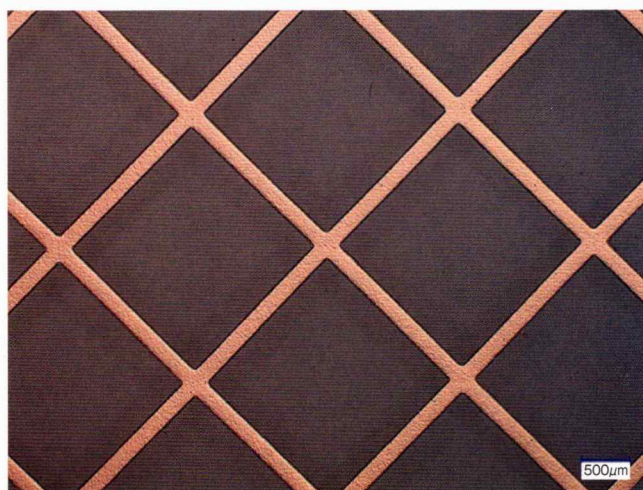
これらの応用技術は基本の電気印刷技術の一部の特徴を消し去る内容を含むが、逆に欠点を補う特徴を有することになった。本稿では、電気印刷技術を概観した後に、応用技術を主に紹介する。そして、これらの技術をどのような商品に応用するべきか考察するとともに読者の提案を待ちたく思う。

2. 電気印刷技術の基本形

(1) 印刷工程

金属製の印刷版と背面に導電層を形成した記録フィルムを密着させて放電により静電潜像を形成する（図2）。文献1）では“雷”と記したが、パッシェンの法則に従う放電現象を使っている。したがって、空気の圧力、電極間距離、電圧が主なパラメータとなり、特に電極間距離が重要である。

放電を使って静電潜像を作り、静電気で荷電粒子のトナーを吸引、吸着させて像を得る方法として“静電記録”が知られて



銅の線幅は200 μ m。試料の構成は、Cu：0.5～1.0 μ m／トナー層：1～3 μ m／PETフィルム：25 μ m／薄い有機導電層／微粘着層／補助PETフィルム：50 μ m

図1 電気印刷の基本技術で作製した見本

問い合わせ

富江 崇

✉ tomie@eprint.co.jp

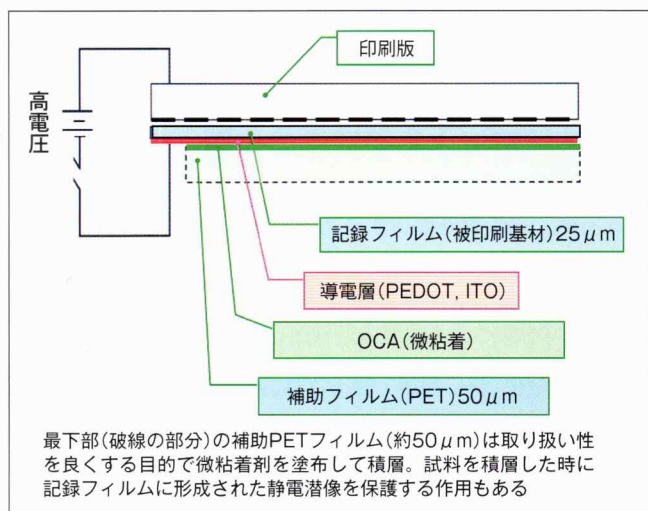


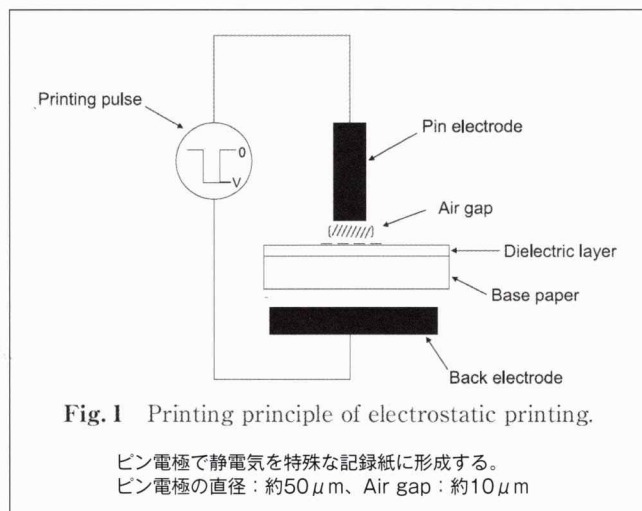
図2 電気印刷の印刷工程

いる³⁾。図3は星野の文献³⁾から借用した。ピン電極を使った放電で静電気を記録紙に形成する方式である。

この静電記録方式に対して、電気印刷では印刷版を使うことにより版の全面に瞬時に静電潜像を作製する、ということが電気印刷の発明となっている。前記したように放電現象では電極間距離が重要であり、電気印刷における放電距離は版と記録フィルム背面の導電層との距離であり、主に記録フィルムの厚さがこの距離になっている。したがって、記録フィルムは薄い方が印加する電圧が過大にならず、かつ繊細な静電潜像を作製するのに好都合である。言い換えると、0.5mm程度以上の厚い基板は適さない。また、静電気（静電潜像）を記録フィルム上に一定時間以上安定して存在させるには記録フィルムの電気抵抗の大きいことが要求される。我々はPETフィルムを常用している。PETフィルムの体積抵抗率は室温において $10^{17}\Omega\cdot\text{cm}$ 以上、表面抵抗率は $10^{15}\Omega$ 以上である⁴⁾。これに対して一般には絶縁材とされているガラスでアルカリ成分を含むソーダガラスなどは $10^{12}\sim 10^{13}\Omega\cdot\text{cm}$ の電気抵抗であり薄いガラス板であっても電気印刷には使えない。

(2) 現像工程

静電潜像にトナーを付着させる工程を“現像”と呼んでいる。コピー機（電子写真）で使われるトナーは粉体であり、粒径は $5\sim 15\mu\text{m}$ 程度といわれている。電気印刷では液体トナーを使用する。高沸点の有機溶媒に分散させた電荷を帯びた有機ポリマー粒子のトナーを使うがその粒径は $0.1\sim 0.3\mu\text{m}$ であり、高繊細な画像、細い配線を作製することが可能となっている。図4に現像直後、加熱定着前のトナー像を示す。この段階では粒径を明瞭に観察できる。次に 100°C 程度で加熱定着すると、粒と粒が一部溶け合って粒形状は曖昧になる。トナー像の高さは $1\sim 3\mu\text{m}$ 程度である。電気印刷で作製できる線画像の端部の直

図3 静電記録³⁾

線性は現状では図4の $\times 1500$ 倍の写真程度であると思われる、この方式では多少の蛇行は覚悟する必要があるようだ。

(3) めっき工程

電子写真ではトナーが紙に定着し画像を形成するが、電気印刷で用いるトナー類はある種の機能を有するように作られている。電気印刷の基本トナーの機能は銅が付着する性質を持つことである。銅が付着する原理は無電解めっきである。すなわち、基本のトナーは後処理でパラジウム金属を吸着し、パラジウムをめっき触媒として銅が析出する。無電解めっきで作製できる銅の厚さは $0.5\sim 1.0\mu\text{m}$ 程度であり、これ以上の膜厚にするには長い時間が必要で大量生産を目的とするにはデメリットである。さらに、厚い膜厚の銅は内部応力が大きくなり剥離しやすくなる、という欠点も見られる。

(4) 製品の構成

以上に述べた基本形の工程で作製される製品の構成は図1の説明文に記したが、図5に改めて示す。

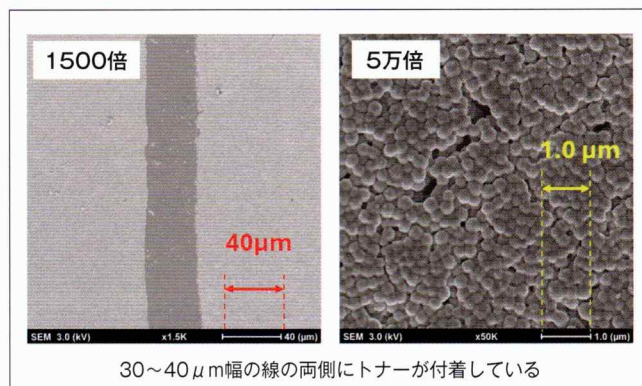


図4 現像直後、加熱定着前のトナー像



図5 電気印刷で作製される製品の基本構成

3. 3次曲面に銅配線を形成する

本誌2024年3月号²⁾に記載した球面に銅配線を作製した写真を図6に再掲載する。作製方法は、図7のトナー現像した試料を所望の形状に変形させた後に無電解銅めっきを行う、という方法である。この順序の工程で3次曲面の銅配線ができる。

この工程が可能な理由はトナーが延性を持つからであり、図8のように半球程度まで成形してもトナーは破断しない。引張試験で調べたところ基板の125μmポリカーボネートフィルムが破断する200%延伸でもトナーは破断せず、その後の無電解銅めっきで断線のない銅線ができた(図9)。我々は、真空成形ができることからポリカーボネートフィルムを記録フィルムとして用いて3D銅配線を作製している。成形時には加熱が必要であり、高温過ぎる場合はトナーが変質し、変形した後での無電解銅めっきができなくなる。使用できる記録フィルムの材料特性と成形温度の制約があるが、曲面に銅配線を形成した後に

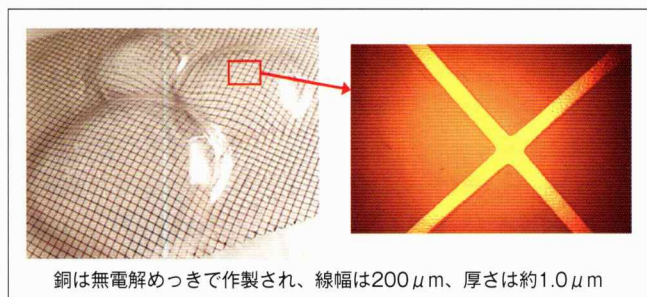


図6 球面に作製した銅のメッシュ模様



図8 球面に作製した銅のメッシュ模様と電気回路

ガラスなどの他の材料と複合させるなどの手段で利用範囲を広くできると考える。

4. 箔転写による銅配線の作製

アディティブプロセスにはならないが、めっきを使わない簡便な方法で銅配線を製造する箔転写法も適用できることが分かった。

加飾の分野では転写箔を使ってきれいで見栄えのする装飾が作製されている。転写箔の構成を図10左に示す⁵⁾。図10右は、転写箔が被加飾材に加熱・加圧され、被加飾材の加飾したい部分(例えばトナーが付着している部分)に“着色層/蒸着層/接着層”が転写された構成である。例えば、粉体トナーを用いたコピー機で印刷した印刷物(紙)と転写箔を重ねて加熱・加圧すると、印刷物のトナーが定着した部分に転写箔が接着する。市販の転写箔の蒸着層はアルミ蒸着膜が使われている。これに着色層を重ねることにより、種々の色合い、例えば金色などを作っている⁵⁾。

前記の市販の転写箔ではアルミ膜の上に着色層があり導電性はない。そこで、着色層をなくしてアルミを銅に代えると銅の配線ができる、という発想である。図11にモデル実験の結果を示す。市販の転写箔を用いて標準構成の記録フィルム上に作製した電気回路模様である。我々の液体トナーも転写箔と良く接着することが分かった。そして、実際に銅の転写箔を試作して銅配線を作製し導電性を確認している。この用途のトナーには

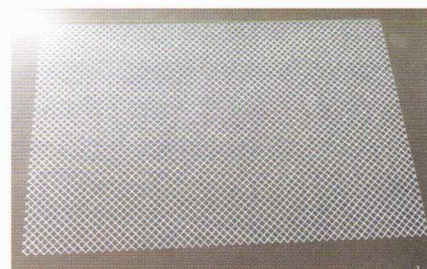


図7 電気印刷した静電潜像をトナーで現像し、加熱定着した試料

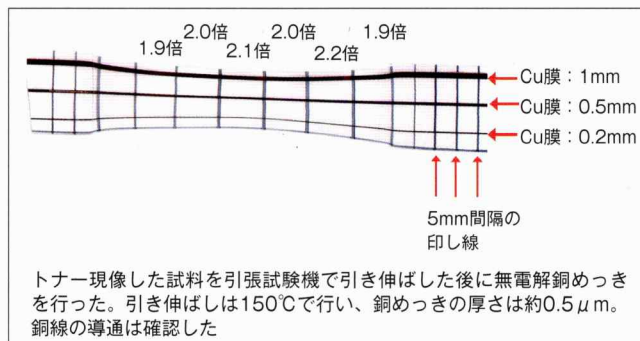


図9 試料引き伸ばし後の銅線の導通確認

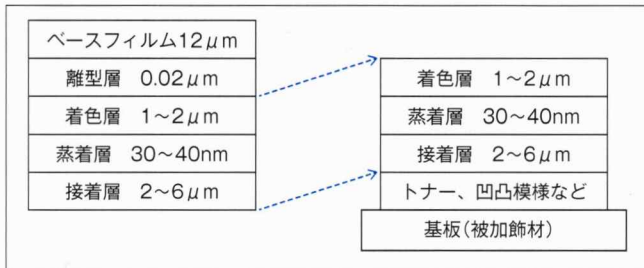
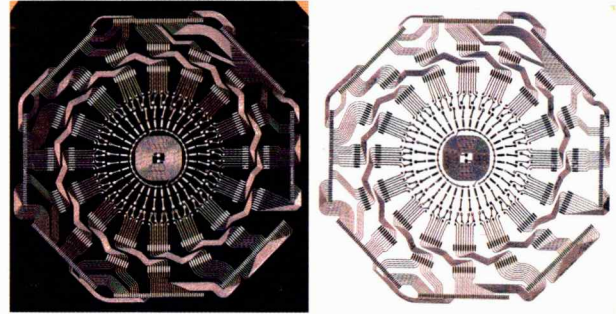


図10 転写箔(押し箔、メタリックホイル、スタンピングホイル)の構造(左)⁵⁾と加圧・加熱後の加飾された部分の構造(右)

めっきの機能は不要である。なお、銅膜の下にはトナーが存在するので、用途には留意する必要があると思われる。銅でなくアルミも可能であり、RFIDタグにも応用できると考えている。可能な線幅は今後見極める必要があり、また、離型層と接着層の最適化が課題として残っている。

5. リフトオフ法

半導体の製造工程の1つにリフトオフ法が知られている。基板表面にレジストで反転パターン(ネガパターン)を形成しておき、この上に銅などの金属を成膜し、そのレジストをアルカリ剥離液や有機溶媒で溶解してレジスト上に堆積した金属膜を一緒に取り除き、基板上に直接形成された金属部分を残す、という方法である。溶解方法として、超音波振動、高圧ジェット流、ブラシ洗浄が知られている。この方法におけるレジストをトナーに置き換えることが可能だ。模式図を図12に、実験例を図13に示す。ネガパターンで電気印刷して、トナー現像し、その上にスパッタ法で銅を成膜、有機溶媒に浸漬して超音波振動でリフトオフを行った。図14はRoll to Rollで、電気印刷→現像→銅のスパッタ成膜→リフトオフ、という一連の工程で作製したサンプルである。このリフトオフ法では基板フィルム上にトナー層を介さずに銅の薄膜を形成できる。現在の課題は銅の膜厚を厚くできないことである。銅の膜厚が厚いと溶媒がト



左は箔転写後の転写箔で電気回路の部分は記録フィルム(右)に転写されて抜けている

図11 箔転写で作製された銅配線モデル(右)と箔転写後の転写箔(左)

ナーまで浸透しない。したがって膜厚は0.1 μ m程度が工程時間を考えると限界と思われる。従来のレジストでは光硬化させた部分を逆台形としてリフトオフの溶液がレジストに接触しやすくするといった手法も採用されるが、電気印刷のトナーが集合する形状をコントロールするのは困難である。したがって、アプリケーションによってはリフトオフ後の後加工が必要になる。

6. おわりに

新しい電気配線を印刷する電気印刷技術と開発したトナーを利用した応用技術を詳述した。種々の制約があることも述べたが、いずれもアプリケーション次第であり、制約を理解した上で特徴を生かしたアプリケーションとして数点の商品候補の試作を継続している。また、量産可能性を示すRoll to Rollの実験機は文献2)で紹介した。さらに、岩通ケミカルクロスは450mm幅Roll to Rollの電気印刷用印字現像装置(量産試作機)を昨年の展示会で展示した⁶⁾。トナー開発は岩通ケミカルクロスが行っている。また、同社と当社は共同で量産体制の検討を行っている。

※「電気印刷」は電気印刷研究所の登録商標

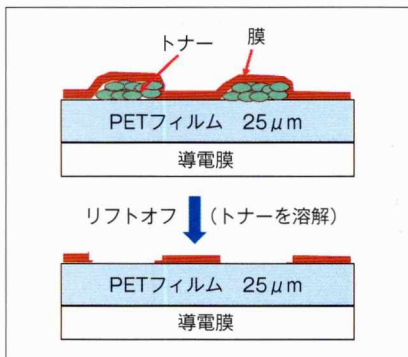


図12 トナーをレジスト代わりに使用したリフトオフの模式図

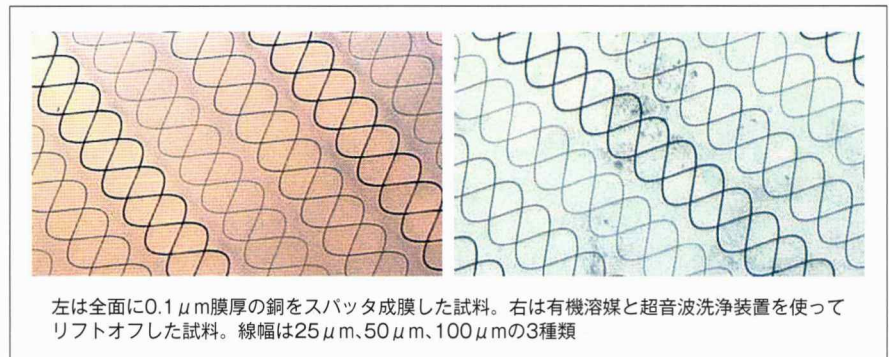


図13 リフトオフ実験例

左は全面に0.1 μ m膜厚の銅をスパッタ成膜した試料。右は有機溶媒と超音波洗浄装置を使ってリフトオフした試料。線幅は25 μ m、50 μ m、100 μ mの3種類

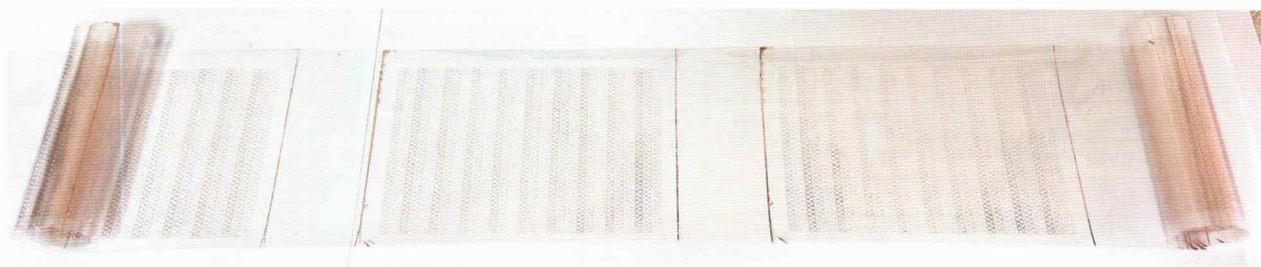


図14 Roll to Rollでスパッタ成膜した試料をブラシ洗浄でリフトオフしたサンプル（記録フィルムの幅は200mm）

<参考・引用文献>

- 1) 三谷雄二ほか：「電気印刷」～電気回路形成における新たな印刷手法とその開発経緯、特性，コンバーテック，Vol.51，No.2（2023），pp.92-95.
- 2) 三谷雄二ほか：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，コンバーテック，Vol.52，No.3（2024），pp.79-81.
- 3) 星野坦之：静電記録，日本画像学会誌 Vol.51，No.1，pp.59-63（2012）.
- 4) 東レのウェブサイト「PETフィルムの電氣的性質」（参照日：2025.5.1）
https://www.films.toray/technical/lumirror/lum_003.html
- 5) 村田金箔グループのウェブサイト「箔押とは・箔の構造」（参照日：2025.5.1）
<https://murata-kimpaku.com/story/hakupress/>
- 6) 岩通ケミカルクロスのウェブサイト「電気印刷」（参照日：2025.5.1）
<https://www.iwatsu.co.jp/icc/product/electric-print.php>

お問い合わせ先

株式会社電気印刷研究所

〒193-0826 東京都八王子市元八王子町三丁目2750番地793

TEL.042-665-5293

<https://eprint.co.jp/>