

エレクトロニクス
実装技術 2025
Vol.41 No.6
Electronic Packaging Technology **6**

インクを使わない印刷
『電気印刷[®]』

株式会社 電気印刷研究所

インクを使わない印刷『電気印刷[®]』

(株)電気印刷研究所 / 三谷 雄二、本庄 和彦、富江 崇
 岩通ケミカルクロス(株) / 百武 勇人、内間 清高
 岩崎通信機(株) / 平館 淳

1 はじめに

印刷にはインクがつきものなので、“インクを使わない印刷”のタイトルは奇妙に感じられることだろう。『電気印刷[®]』とは“電気で印刷する”のではなく“電気を印刷する”技術なのでインクを使わないのだ・・・と説明しても『何のこと?』『電気なんて印刷できないよ!』と疑問符が返ってくる。実は『電気印刷[®]』とは筆者らが発明した、プラスチック・フィルムに静電気の画像を印刷する技術。だからこの印刷技術にはインクは使わないのである。

2 電気印刷の原理

背面に導電層を加工したプラスチックフィルムと金属性の印刷版を重ねて、導電層と印刷版を電極としてこの間に高電圧を印加すると(図1)、フィルム面に瞬時に静電気の画像ができる。この時の電圧波形を見ると、わずか5m・secで電気印刷が完了していることがわかった(図2)。この原理を応用して微細な電気回路を形成する印刷法を開発し、『電気印刷[®]』と名付け商標として登録した^{1~5)}。

電気印刷した静電潜像を粒径が0.1μm程度の液体トナーで現像し、これに銅をめっきすると線幅が10μm程度の微細な電気回路ができるので、広く多方面で応用できる。

3 静電潜像

静電気の画像は目に見えないので、学会では『静電潜像』と呼ばれている。静電気は知らぬ間に発生していて、突然パチッと放電してICを破壊したり、ドアノブに触れた手に放電したりする厄介者として扱われていて、電子業界では静電気対策にやっきになる迷惑な存在として認識されているが、この静電気をうまく制御したのが電子写真の技術である。1938年カールソン(Chester Carlson)が発明したXerographyは感光体を帯電し、画像を露光して静電潜像を形成 → トナーで現像 → 紙に転写 → 定着するコピー機の原理になった。電気印刷は感光体や露光プロセスを使わないで静電潜像が形成できる点でXerographyより有利だ。電気絶縁性が高いプラスチック・フィルムの表面にできた静電潜像は安定していて、室内で数日間放置した後に現像してもきれいな画像ができることには、最初は誰でも驚くことになる。

4 めっきできる液体トナー

4.1 電気印刷とトナー

電気印刷[®]で使用する液体トナー(静電液体現像剤)は、岩崎通信機(株)で事業展開してきた湿式電子写真プロセスによる製版システム(Elefaxシリーズ)で、これまで開発・改良し

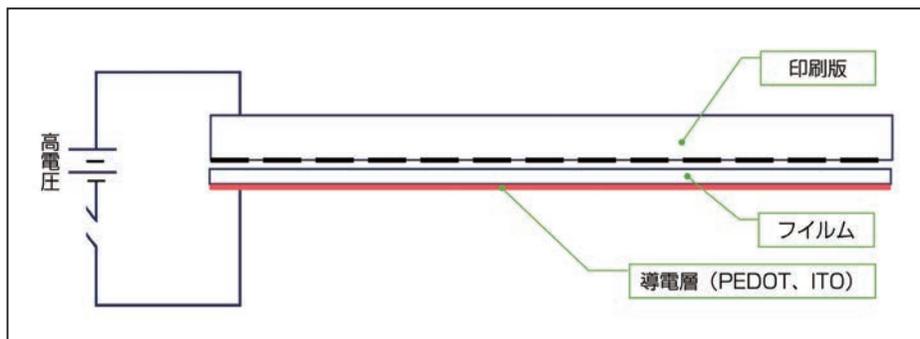


図1 電気印刷の原理(静電潜像を印刷)



てきた液体トナー技術を基に新規に開発された機能性液体トナーである。液体トナーは、粒子径がサブミクロンと小さく、レーザープリンタなどに使用されている乾式トナー（粒子径： $> 5 \mu\text{m}$ ）では再現できない、高精細パターンの形成が可能となる。

電気印刷®は、 $5 \mu\text{m}$ 以下の静電潜像を形成できるポテンシャルをもっており、電気印刷®の特徴である高精細パターンを実現するためには、液体トナーが必要となった。電気印刷®に使用している液体トナーは、樹脂粒子、分散剤、電荷制御剤、高絶縁性溶媒で構成される。

液体トナーの作成方法には、湿式粉碎／分散法と重合法がある。湿式粉碎法は、材料選択の幅が広いという特徴があるが、粒度分布が広く（ $0.2 \sim 1.0 \mu\text{m}$ ）粒子形状が不均一のため、感度が悪く、高精細パターンの形成には適さない。電気印刷®用の液体トナー（樹脂粒子）は非水系分散重合法によ

り作成されており、狭い粒度分布（ $0.1 \sim 0.2 \mu\text{m}$ ）で均一な真球状粒子（写真1）にすることで、高感度の液体トナーを実現している。

4.2 液体トナーの高機能化

電気印刷®では、液体トナーで形成したトナーパターンが、無電解めっきを可能とする必要がある。パラジウム（無電解めっきの触媒）親和性、耐薬品性（耐酸・耐アルカリ）、などの特性が必要となる。電気印刷®用液体トナーでは、樹脂粒子を2～5層のコアシェル構造のトナー粒子構造（図3）にすることで、高機能化を実現している。

樹脂粒子の各層成分が、トナーパターン形成時の化学反応（熱定着）により、無電解めっき可能なパターンになるように設計されている。

多層構造及び層構成する材料を追求することにより、さらな

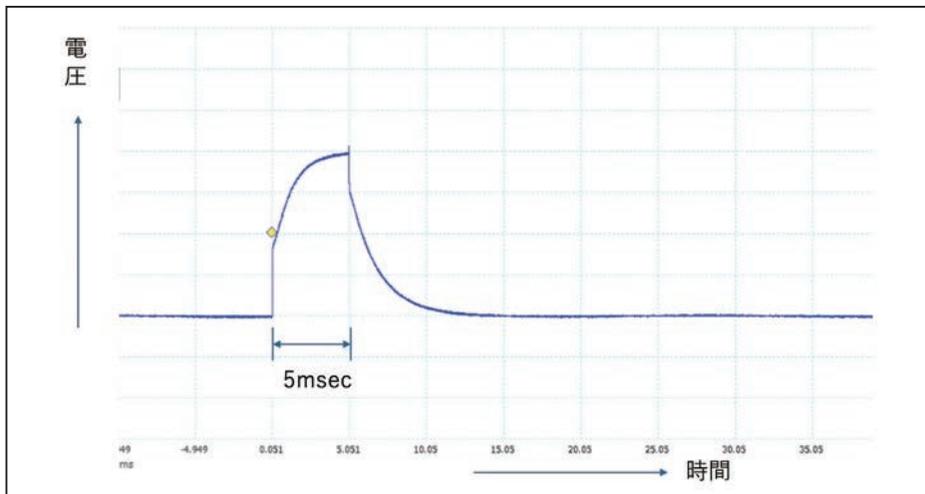


図2 電気印刷した時の電圧波形（5 msecで電圧印加が終了）

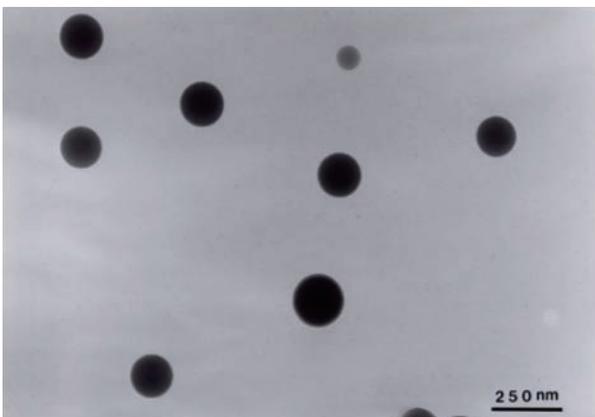


写真1 液体トナーのTEM写真

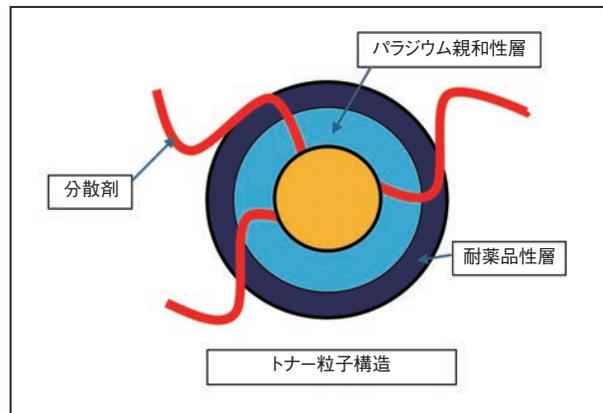


図3 トナー粒子構造

FEATURE

る高機能化の可能性があるが、分散性、帯電特性、など、液体トナー本来の基本特性との、バランスを取りながら高機能化を図る必要がある。

5 電気印刷用の液体トナーとその使い方

電気印刷では、5種類の液体トナーは目的に応じて使い分けている。

① めっきトナー

電気印刷してできた静電潜像を“めっきトナー”で現像した後、銅を無電解めっきすると銅の画像ができる(写真2)。無電解めっき工程にはPdイオンの吸着、還元、銅めっきの3工程があり、約10分で1μmの膜厚の銅がめっきできる。この銅

膜に電気めっきをして銅膜を10~20μmの厚膜にすることも可能だ。

めっきの前にトナー面をUV照射やプラズマで処理しておくことで銅膜の密着性が改善する(写真3)。

② 伸びるめっきトナー

このトナーは直線で1.5倍、面積で2倍に伸びてもめっきができるから、平面で電気印刷・現像したフィルムを半球状に加工しても銅めっきできる。

平面で電気印刷・現像したフィルムを銅めっきした後に、真空成型機で3D曲面に加工すると銅膜は伸びないので断線してしまうが(写真4)、めっきする前のトナー画像の段階で3D加工してから銅めっきすると断線は生じない(写真5)。

③ 感熱トナー

このトナーは120~150℃に加熱すると、軟化して粘着

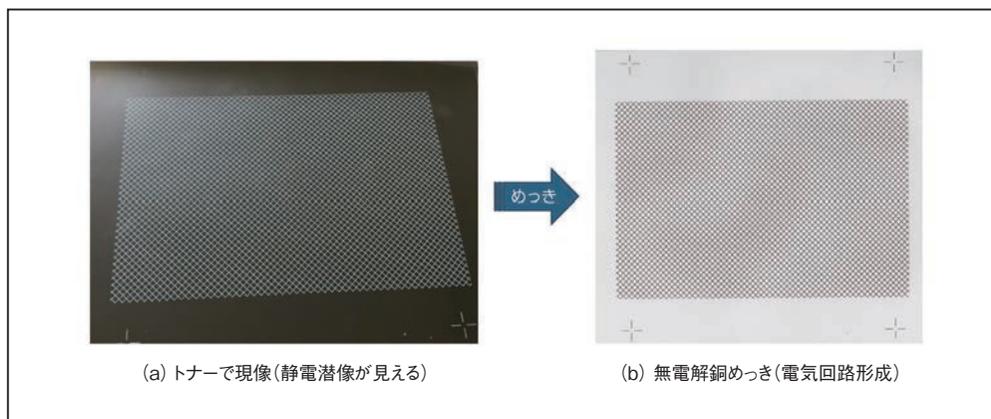


写真2 電気印刷のプロセス(トナー現像と無電解銅めっき)

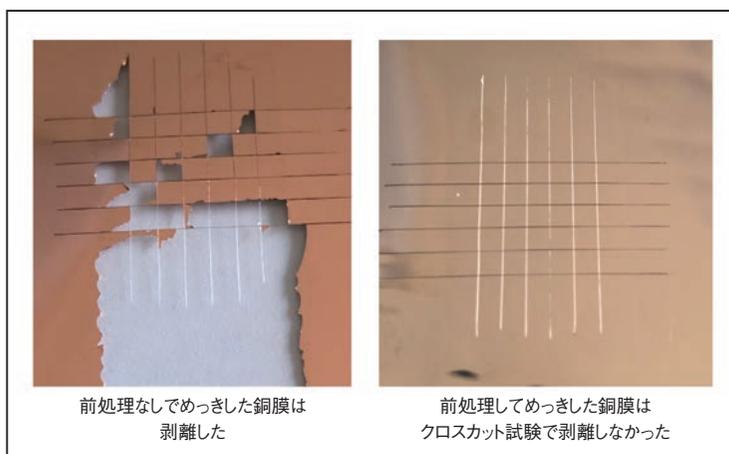


写真3 めっきの前処理効果

性になる。感熱トナーで現像したフィルムと金属転写箔を加熱ラミネータで貼り合わせると、金属部分がフィルム面のトナー画像に転写する(写真6)。安価で廃液が出ない、地球環境にやさしい微細加工法とし活路を探している。

④ 離型性めっきトナー

このトナーはめっきした銅膜が剥離しやすいので、銅めっき

後に銅膜をフィルムから剥離できる。

○△□の3種類の小さな孔が空いた画像を電気印刷し、このトナーで現像し銅を1 μ m無電解した後、20 μ mまで電気めっきで銅膜を厚くすると、フィルム上に孔が空いた銅箔ができる。銅箔をフィルム面から剥離すると、微細な孔が空いた銅箔ができる(写真7)。リチウムイオン電池の電極、精密フィルタや電波フィルタなどの用途が期待できる。

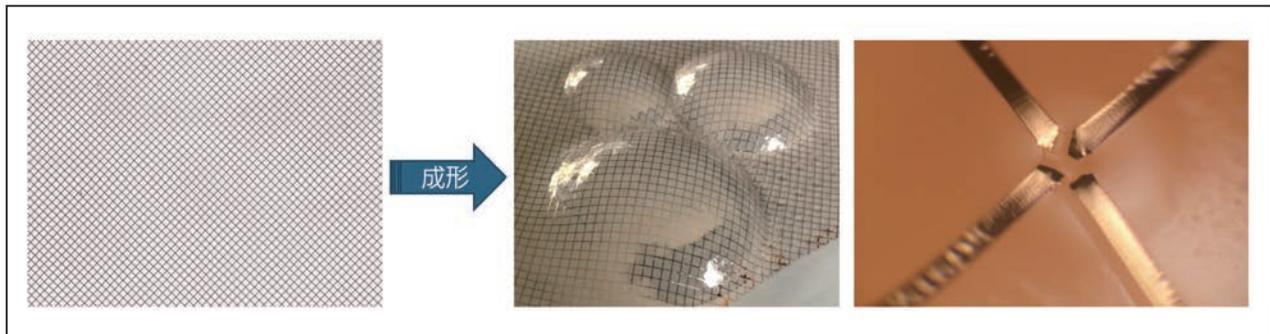


写真4 銅めっきした後 半球状に成型した電気回路は断線した

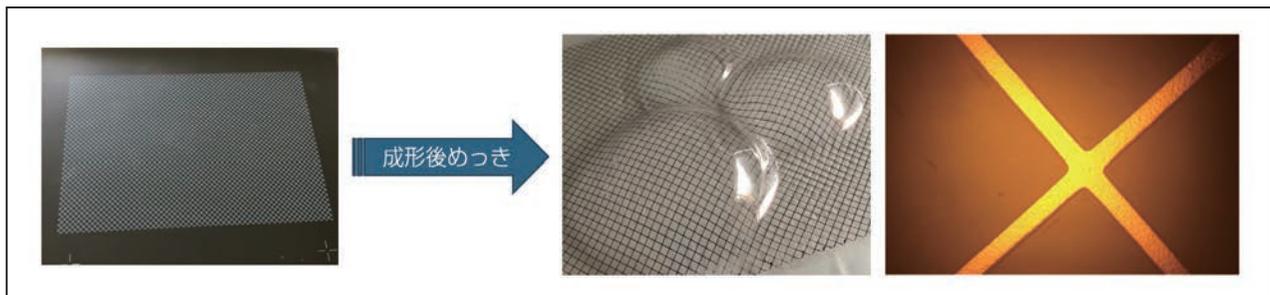


写真5 トナー現像後に半球状に成型した後めっきしたら電気回路は電線しなかった

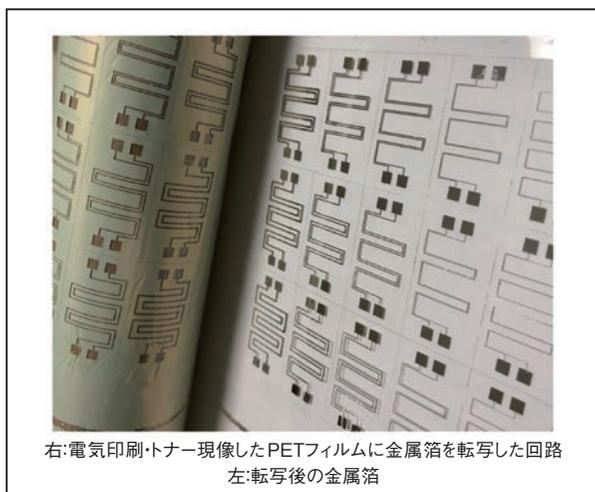


写真6 金属箔を転写した回路

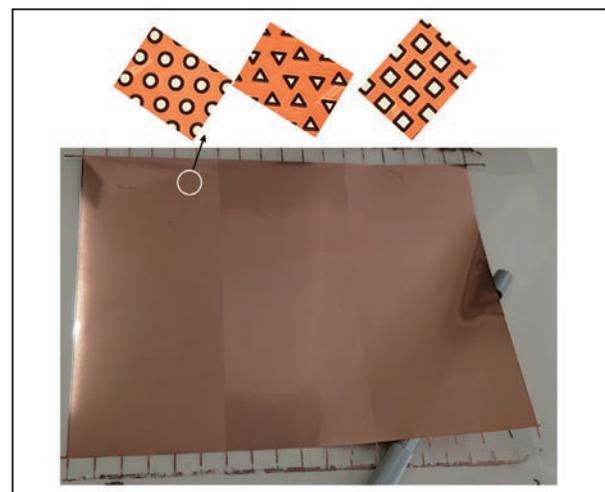


写真7 微細な孔が空いた銅箔(20 μ m厚)

⑤ 溶解トナー

このトナーはめっきはできないが、MEKなどの溶剤や弱アルカリ水溶液に溶解する性質がある。

フィルムにネガ画像を電気印刷し溶解トナーで現像した後、全面に厚さ10～100nmの銅膜をスパッタリングする。銅膜はトナーのある部分とトナーのない部分に析出する。次にこのトナーを溶解するとトナーのある部分の銅膜は剥離して、トナーのない部分の銅膜だけがフィルム上に残る(図4)。トナーはネガ画像なので、フィルム上にはポジ画像の銅膜の画像が形成する(写真8)。このポジ画像の銅膜は無電界めっきで厚くできる。

6 応用商品

① 5G用電波反射板

今後5G以降での高速通信サービスの普及にともない、透

明電波反射板の需要が見込まれる。なぜなら高い周波数の電波は特性上、直進性が強く到達距離が短いため、建物などに遮蔽されて電波が届きにくい不感エリアが発生する。それらを解消するために、電源不要で簡易的に設置可能な電波反射板が必要となるからである。

このような需要が見込まれる中、電気印刷[®]では細線での回路パターン印刷ができる。透明電波反射板はこれにより作製が可能である。細線の印刷ができることから透明化を狙えるため、意匠性が高く壁や窓などに設置が可能である。実際に25μmの細いワイヤメッシュを用いてメタサーフェスの開発を行うことができた(写真9)。さらに電気印刷[®]ではエッジの効いたシャープな細線となるため、5G sub6帯の周波数で測定をしたところ、50μm線幅の反射板ではシミュレーション通りの電波反射特性が得られた(図5：電波反射板50μm線幅/反射特性データ)。ちなみに線幅25μmの透明電波反射板は現在測定中である。

製造プロセスの視点からも、電気印刷[®]の技術は最大限活

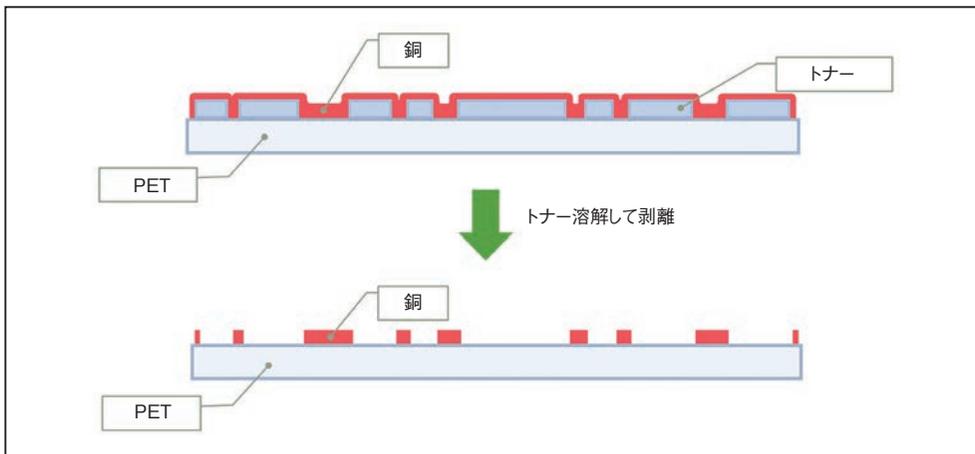


図4 電気印刷・リフトオフ法

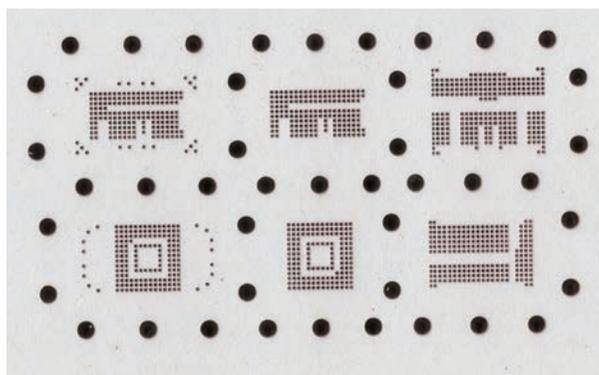


写真8 リフトオフ法でトナー剥離後の銅膜のポジ画像



写真9 50μm線幅の電波反射板

かすことができる。電気印刷[®]では選択的無電解銅めっきで回路のパターニングができることから、エッチングレスで製造可能なため環境負荷が少ない。また5m secという高速印刷と電気印刷[®]量産試作機 Roll to Rollの組み合わせにより、

圧倒的な生産性を生み出す。これにより透明電波反射を大量に生産できるためコストダウンが可能となる。電気印刷[®]と透明電波反射板の親和性は非常に高いといえる。

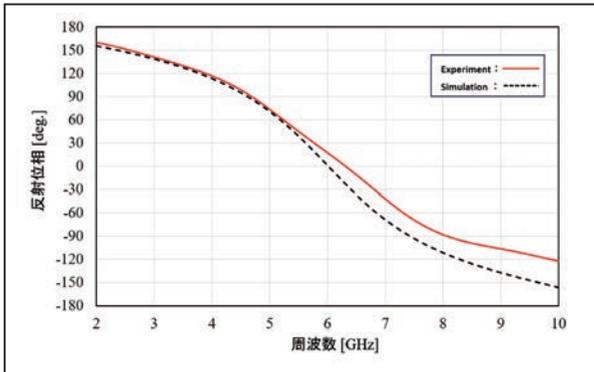


図5 50 μ m線幅の反射板の特性

② タッチセンサ

写真10は7インチのメタル・メッシュ方式のタッチセンサの試作品。線幅は約10 μ mなので、少し離れると銅線は見えない。

③ 3D曲面上の電気回路

写真11(a)と(b)は、銅のメタルメッシュの試作品。

④ FPC

PI(ポリイミド)フィルムに銅回路を印刷したフレキシブルプリント配線板の試作品。

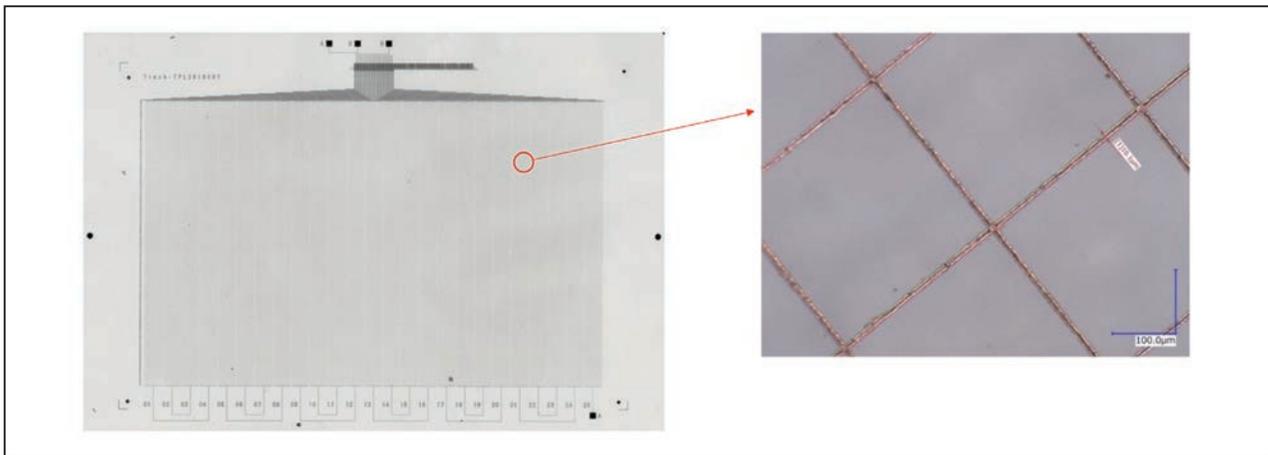


写真10 10 μ m幅の銅細線のメタルメッシュ・タッチセンサ

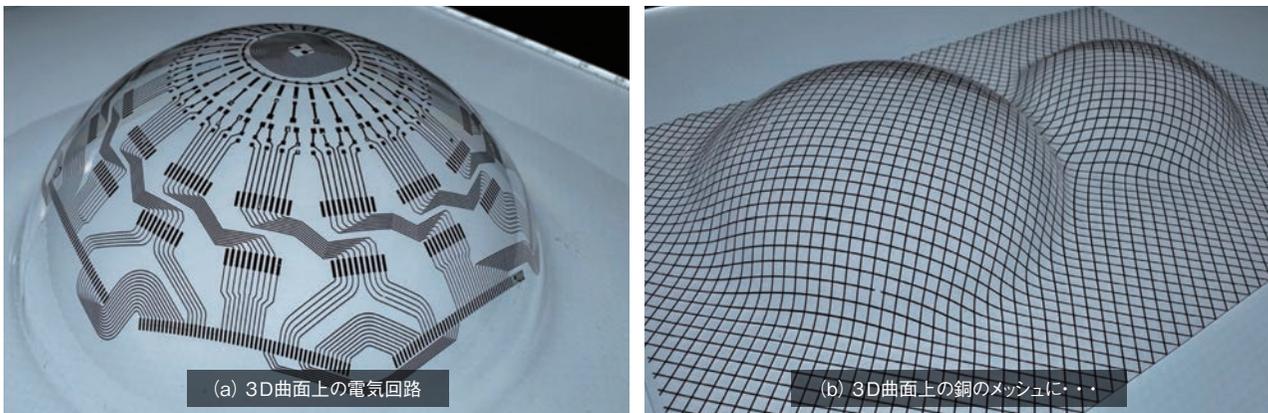


写真11 銅のメタルメッシュの試作品

⑤ プリント配線板

写真12はガラエポ基板に銅回路を印刷したプリント配線板の試作品。

⑥ ガラス基板

写真13は5mm厚のガラス基板に、写真14は35 μ m厚の強化ガラス基板に銅回路を印刷した試作品。

7 大型ROLL-ROLLの電気印刷機

現在、大型の電気印刷機を開発中である(図6：大型装

置)。画像サイズが380 \times 480mmのRoll to Rollの装置である。既存の6装置の画像サイズは150mm \times 200mmであるため、開発中の大型機は画像面積で6倍となる。

また、既存の装置では印字機(静電潜像をフィルムに印字する装置)と現像機(静電潜像をトナーで現像する装置)が別体となっているが、大型機では一体としている。これによりフィルムの巻き出し、印字、現像、乾燥、巻き取りまで一連の動作で完結し、生産効率が大きく向上する。生産能力は5枚/分で連続300枚程度の印字現像が可能だ。また、一体化したことにより、静電潜像が現像前にロールに巻き取られることなく、すみやかに現像されるため、より安定した品質が得られる。

この大型電気印刷機の開発により、大面積の回路パターン

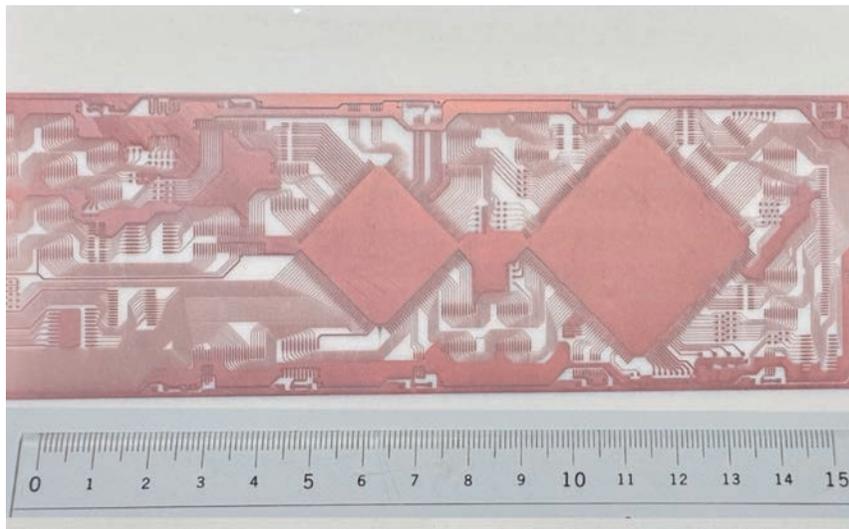


写真12 ガラエポのプリント基板

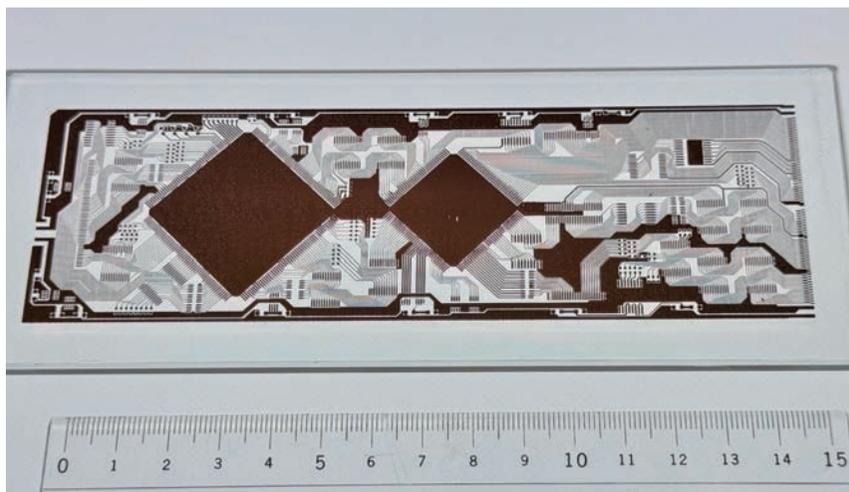


写真13 5mm厚のガラス面の電気回路

や反射板、フィルタが量産可能となる。また、画像面積の拡大により新しい需要が発見される可能性もあり、電気印刷[®]の新たな展開も期待できる。

8 電気印刷の今後

電気印刷は多くの人に『これまでにない新しい画期的な技術だ』と高く評価される半面、『回路と基板フィルムとの密着性が低い』、『ガラス基板や厚手のフィルムに印刷できない』、『電気印刷用の背面導電層が製品に残り、電気回路のショートが心配だ』などの厳しい指摘を受けていた。この指摘を真摯に受け止め、日夜この解決策を模索していると、ある日技術仲間との会話にヒントを見つけ、この課題はあっさりと解決し、その成果を試作品の例として紹介することができた(写真12

～14)。

電気印刷は多くの期待を抱き2018年に誕生したが、その技術は未だ発展途上でこれのからの進化が楽しみである。

<参考文献>

- 1)三谷 雄二、本庄 和彦：コンバーテック 2023.2 p92～95 (2023)
- 2)三谷 雄二、本庄 和彦：印刷雑誌 Vol.106, No.9 P29～32 (2023)
- 3)三谷 雄二、本庄 和彦、富江 崇：コンバーテック 2024.3 p79～81 (2024)
- 4)三谷 雄二、本庄 和彦、富江 崇：プラスチック、2024.3. p9～12 (2024)
- 5)登録商標：6638177『電気印刷』

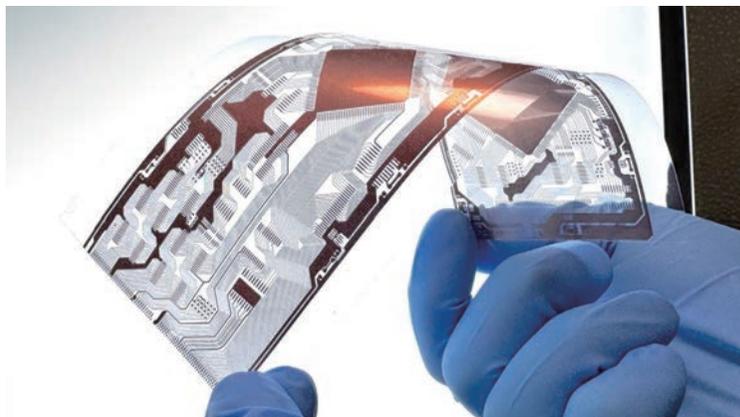


写真14 35μm厚の強化ガラス基板の銅回路

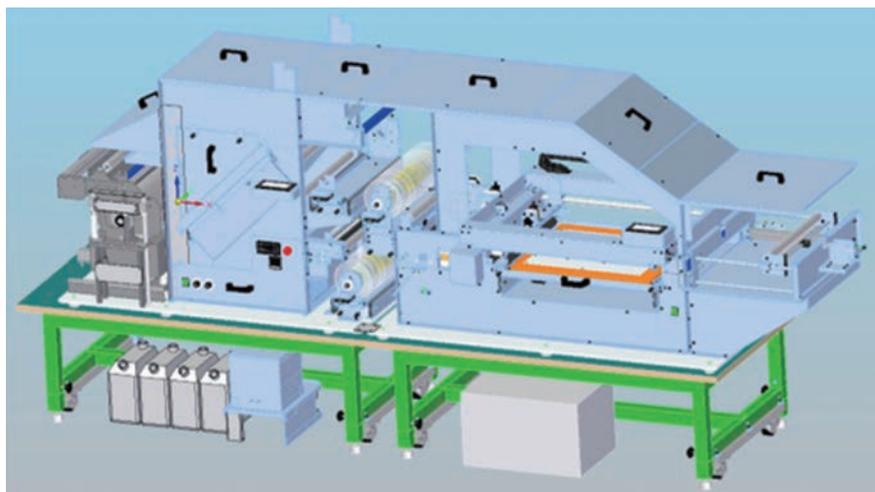


図6 大型のRoll-Roll電気印刷機(450mm巾)



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(代) <https://eprint.co.jp/>