

# フィルムに電気を印刷して電気回路を形成する技術

<電気印刷®>

㈱電気印刷研究所 三谷 雄二・本庄 和彦・富江 崇

## 1. はじめに

電気印刷の話を始めると、「電気印刷って何?」「そんなの知らない!」などの言葉が返って来る。「電気印刷はフィルムに電気を印刷するのですよ」と説明すると「電気を印刷できるの?」「そんなの聞いたことないよ」と怪訝な顔で反論される。それもそのはず。「電気印刷」は筆者が名付けた造語なのだから…。そんな新しい不思議な名前の「電気印刷」技術の基本を紹介する。

2016年頃、微細加工技術を模索していた筆者らは偶然、特殊な版とフィルムを重ねて高電圧を印加するとフィルムの表面に静電潜像ができるのを見つけた。「これは面白い」と感激してその現象を印刷技術まで進化させた。われわれは印刷技術にはまったく経験のない素人なので開発の過程では電子写真、トナー、現像機、めっきの専門家らに教えを請い多大な労力とご迷惑を掛け、やっと新しい印刷技術らしい形ができたので、2年前に新しい会社を創業しこの技術を「電気印刷®」と名付けた<sup>1)</sup>。

## 2. 本技術の特徴

本技術の源は電子写真である。電子写真は、感光

体ドラムを①帯電、②露光してできた静電潜像（目に見えない静電気の像）に、③トナーで現像し、④紙にトナーを転写してプリントする。

電気印刷して静電潜像ができれば、電子写真と同様にトナーで現像できる。「めっきができる液体トナー」を開発して、このトナーで現像し、銅めっきをすると銅の電気回路ができた。電子写真でよく使う粉体トナーは粒径が10 μm程度の大きさだが、電気印刷では粒径が0.1 μm程度の液体トナーを使っているので、精細な電気回路ができる。

従来の印刷方式に較べて「めっきができる液体トナー」を使った電気印刷は、

- 高精細な電気回路ができる
- 印刷速度が速い
- 3D曲面の電気回路ができる
- 孔空き銅箔ができる
- プロセスが環境にやさしい

などの特徴がある。

- ① 電気印刷では、10 μmの線幅の電気回路の印刷ができる。写真1はメタルメッシュ方式のタッチパネルの試作例である。更に細い線を印刷するように努力しているが、5 μmの線幅の電気

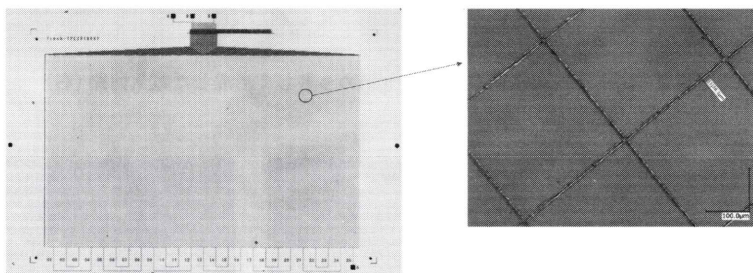
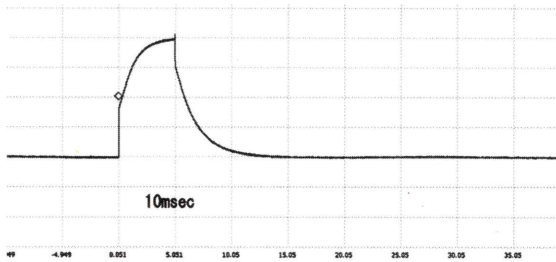


写真1 メタルメッシュ方式タッチパネルの試作品  
(7インチのタッチパネル(線幅は10 μm)のX軸)

印刷は未だ不安定だ。

- ② 版とフィルムに高電圧を印加すると。瞬時に静電潜像が印刷できる。その速度は 1/100秒である (第1図)。



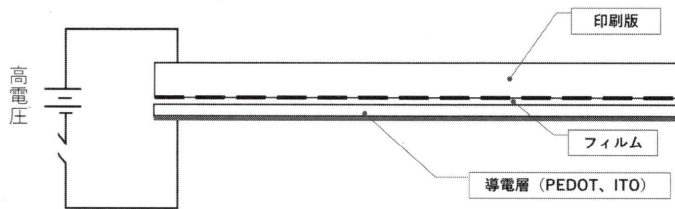
第1図 電気印刷した時の電圧波形印刷時間は1/100秒)

- ③ 3D曲面に電気回路を印刷することは、Printed Electronicsを目指す多くの研究者の挑戦課題であるが電気印刷の技術を活用すると、この課題は意外なほど簡単に解決できた。

### 3. めっきができる液体トナーを使用した電気印刷のプロセス

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原理である (第2図)。

電気印刷後、めっきができる液体トナーで現像・定着後 (写真2(a)) に銅を無電解めっきすると銅回路が形成される (写真2(b))。3D曲面に電気回路を印刷するには、真空成形できるPCフィルムを基材にする。このフィルムに電気印刷し、トナー現像の後銅めっきを施す工程で銅回路を形成した後に、真空成形で3D曲面に成形すると銅回路が断線する (写真3)。銅回路は伸びないので、3D曲面に成形すると銅回路が断線するのは道理だ。上記の工程で、銅めっきを施す工程の前に3D曲面に成形すると、トナーは少し伸びるので、トナー像には断線は生じない。これに銅めっきをすることで、断線のない電気回路が3D曲面上に印刷することができる (写真4)。すなわち、PC→電気印刷→現像→成形→めっきのプロ



第2図 電気印刷の原理

フィルムと印刷版を重ねて高電圧を印加するとフィルムに静電潜像が印刷される。

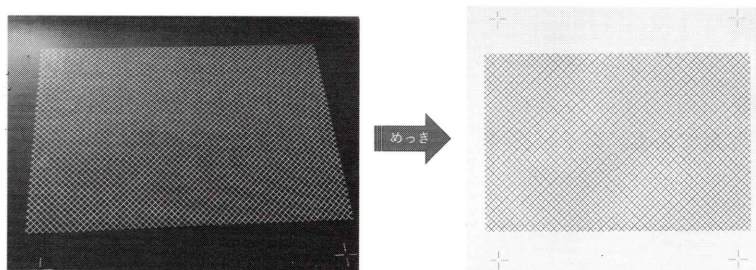


写真2 (a)トナー現像後の(左)と(b)銅めっきして形成した電気回路(右)

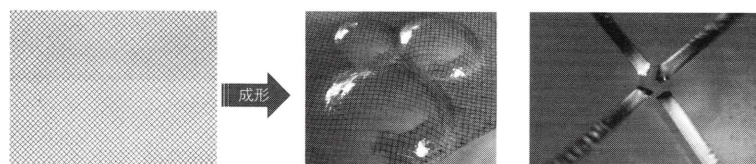


写真3 電気印刷→トナー現像→銅めっき→3D曲面に成形すると銅回路が断線する

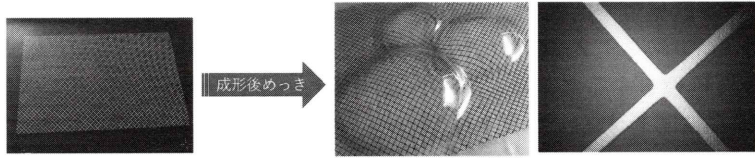
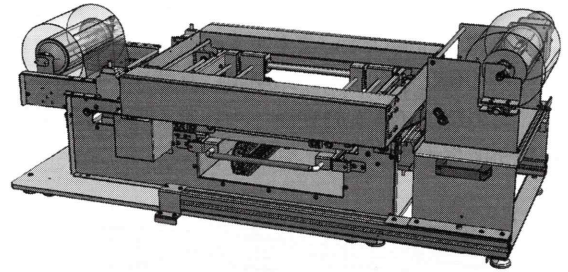


写真4 電気印刷→トナー現像→3D曲面成形→銅めっきの工程では銅回路は断線しない

セスが正解だった。

#### 4. 孔空銅箔

銅箔に微細な孔を開けるのは難しい技術で、エッチングや機械的なパンチング技術は活用しにくい。微細な孔の空いたステンレスの箔は電気髭剃り器の刃として活用している。これは電気鋳造技術を活用して製造している<sup>(2)</sup>。電気印刷でこの孔空き銅箔の試作にチャレンジした。フィルム→電気印刷→現像→無電解銅めっき→電気めっき→剥離 がそのプロセスだ。無電解銅めっき工程で1 μm程度の銅膜を形成した後、電気めっき工程を追加して銅膜を30 μm程度に厚く形成し、その後銅箔をフィルムから剥離する(写真5)。この工程では剥離し易いトナーを使うのがコツだ。

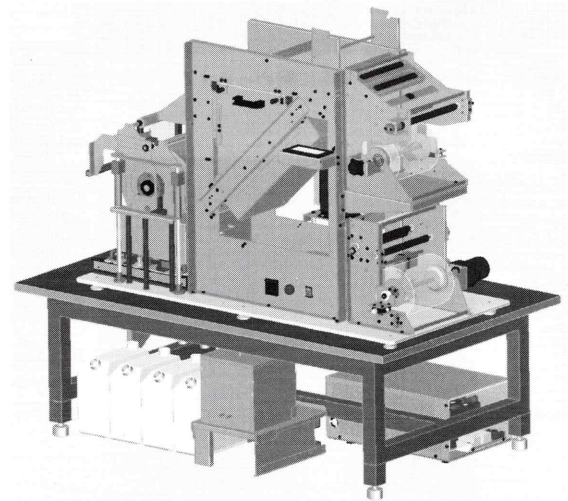


第3図 20 cm幅のRoll to Rollの電気印刷機

の現像機(第4図)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。



写真5 孔空き銅箔(厚さ:約30 μm)



第4図 20 cm幅のRoll to Rollのトナー現像機

#### 5. 装置

試作用の20 cm幅のRoll to Rollの電気印刷機は、インクを使わないので1×2×0.5 m程度のコンパクトなサイズに仕上がっている(第3図)。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

#### 6. 電気印刷できる材料

PETは表面の電気抵抗が $10^{16} \Omega/\text{SQ}$ 程度に高く、静電潜像が安定しているので印刷し易い材料である。PC、PI、COP、LCPなどの高周波伝送に適した誘電特性を持つフィルムにも電気印刷できる。

プラスチックフィルムの場合、印刷やめっきの

前にプラズマやUVで表面処理をしておくことが大切だ。未処理の場合、めっきした銅膜は剥離し易いが(写真6)表面処理をするとクロスカット試験で剥離しない程度に密着する(写真7)。身近にあるガラス板(アルカリガラス)に電気印刷を試みたが、成功しなかった。これはアルカリガラスの表面抵抗が低かったのだと理解している。石英ガラスなら表面抵抗が高いため電気印刷できる筈だ。電気印刷は厚いフィルムが苦手だ。これは電気印刷の時にフィルムと印刷版に高電圧を印加するが、この時フィルムの表面での放電が弱くなり微細な線が消失するからだと推測している。

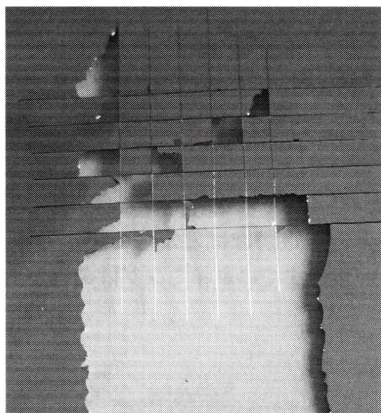


写真6 未処理のフィルムに銅めっきすると銅箔は剥離する

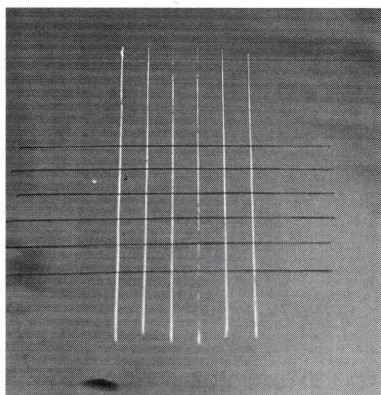


写真7 表面処理したフィルムに銅めっきした銅膜はクロスカット試験で剥離しない

## 7. 期待される製品例と効果

10 μmの細線配線が印刷できるので、タッチパネル、電磁シールド、ヒータ、5G用の透明アンテナや電波反射板、ICなどのカードなどの試作依頼が多い。

3D曲面の部品は、車載用部品メーカーの興味をひいているようだ。未だ世に広く知られていないが、新しい印刷方式なので、広い分野での活用が期待されている。

数十μmの微細な孔の空いた銅箔(写真5)は、バッテリー関連メーカーの関心を集めている。

## 8. おわりに

電気印刷は未だ誕生したばかりの新しい技術なので、これからの進化が楽しみである。筆者らはその可能性を追求して技術開発をしている。

印刷には何と言ってもインクが大切である。電気印刷の場合、トナーがその役割を果たしている。先に紹介した①めっきできるトナー<sup>3)</sup>④だけでなく、②感熱トナー、③溶解するトナー、④耐酸性のトナー、⑤離型トナーを開発している。これらのトナーをどのように活用して「電気印刷」技術の進化に寄与できるかは、次の機会に紹介したい。

電気印刷の夢は無限に広がっていく。10年後、100年後が楽しみである。

\*電気印刷®は株電気印刷研究所の登録商標です。

### <参考文献>

- (1) 登録商標6638177
- (2) マクセル株資料
- (3) 三谷雄二・本庄和彦：コンパーテックpp.92-95 (2023.2)
- (4) 三谷雄二・本庄和彦：印刷雑誌、Vol.106, No.9, pp.29-32 (2023.9)

### 【筆者紹介】

三谷雄二

(株)電気印刷研究所 代表取締役

本庄和彦・富江 崇

(株)電気印刷研究所