

R - R印刷技術

電子部品開発センタ 大 山 昌 紀*1・元 木 和 行*1・石 井 崇 裕*2
株式会社青森フジクラ 鈴 木 正 治・小 舘 智・石 崎 和 夫・漆 戸 敏

R - R Printing Technology

M . Oyama , K . Motoki , T . Ishii , S . Suzuki , S . Kodate ,
K . Ishizaki & S . Urushido

R - R印刷技術は高精細回路重ね印刷を用いて、薄いPET基材への回路形成を可能にすることを目的に開発された新しい技術である。この開発により、厚さ25 μ m以下のPET基材上に0.18mmピッチ以下の回路への重ね印刷が高精度に行えるようになった。

本報では、この印刷技術の特徴を紹介する。さらに従来の印刷方式では不可能であったが、本ラインの導入によって初めて製品化できた製品についても紹介する。

Our Roll to Roll (R-R) printing technology have been developed for the purpose of manufacturing membrane circuit on thin substrate with using fine pitch multiple layer structure circuit, and producing a roll shape packaged. We succeeded in printing a multiple layer circuit, which is less than 0.18mm pitch, on less than 25 μ m thin PET film.

In this report, we will introduce characteristics of this new printing technology. With using new technology, we have manufactured some kind of products, which are also introduced here.

1. ま え が き

近年、様々な用途でヒートシールコネクタ(HSC)製品の要求が増えている。この製品は液晶ディスプレイ(LCD: Liquid Crystal Display)や有機ELディスプレイ(OELD: Organic Electroluminescence Display)等とマザーボードを接続する配線部品(インタコネクタ)として普及している。これは厚さ25 μ m以下という薄いPET(ポリエチレンテレフタレート)へ高精細回路を印刷した製品である。特徴は異方性導電材料と挿抜コネクタ嵌合の2種類の接続部をもつことである。

しかし、薄いPET基材の場合、従来の製造方法(枚葉方式)では取り扱い時による基材への折れキズ等を生じさせてしまい、それが原因で印刷時に回路短絡が多発し、このような状況では1層印刷も不可能である。また、重ね印刷の位置決めパイロットピンを採用しているために位置合わせ精度が安定せず、0.18mmピッチ以下の高精細回路への重ね印刷は不可能である。さらに重ね印刷には、機械の位置決め精度だけでなく、基材そのものの寸法が安定している条件が必要である。この基材寸法安定化のために従来工法ではあらかじめ熱処理を行っているが、第1層印刷工程において大きな熱収縮が起こる。従って、

重ね印刷ズレが起こることは避けられなかった。

そこで、このような問題を解決し、かつ、顧客の要求を満足するために、薄い基材上に回路を形成すること、および0.18mmピッチ以下の高精細回路への重ね印刷を精度良く行うことを目的とした独自の新しい技術(R-R方式)を開発した。

この新しい製造技術の確立により、薄い基材上への回路形成が可能になった。また、CCDカメラを利用した画像処理機構を採用することにより、高精度重ね印刷にも成功したので、ここに報告する。

2. R - R印刷ラインの開発

2.1 薄い基材上への回路形成技術開発

表1に様々な印刷方式と新しいR-R印刷設備との主な特徴の比較を示す。表1には、これまで検討してきた代表的な印刷方式も示してある。

従来の枚葉方式ではHSCに要求されるような厚さ25 μ m以下の薄いPET基材への回路形成は不可能であった。なぜならば、枚葉方式ではPET基材をある大きさに裁断して、半自動機を用いて印刷しているため、作業者が基材を手作業で取り扱うからである。そのため、薄い基材の場合には折れキズが多発してしまう。さらに、薄い基材での枚葉方式において、印刷精度確保のためにとっても重要な役割をになうワーク位置決め用のガイド穴も精度

*1 プリント回路開発部

*2 プリント回路開発部グループ長

表1 R-R印刷技術とその他技術との比較
Comparison with our R-R printing technology and others

項目	新技術		従来技術		
	R-R方式F ^{注)}	枚葉方式F	R-R方式A ^{注)}	枚葉方式A	
特徴	・印刷, キュアをロール状態で行う ・ガイド穴加工が不要	・シート状態での作業 ・ピンガイド方式による位置決め	・ガイド穴方式による搬送	・剛性のある枠を用いて基材を固定しての作業	
基材のハンドリング	作業者が手で触れることがなく, 折れキズが発生することがない	作業者が一枚ずつ手で印刷機およびキュアゾーンにセッティングする	作業者が手で触れることはない	治具による作業	
薄い基材を用いたときの課題点	搬送	なし	ハンドリングによる折れキズが多発する	ガイド穴が変形しやすく, 基材位置精度が悪い	額縁固定作業に時間を要する
	ファイン印刷	なし	印刷時のディンプリングによる回路短絡が多発する	印刷時のディンプリングによる回路短絡が多発する	印刷時のディンプリングによる回路短絡が多発する
回路形成までの工程	プレアニーリング 巻き取り 第1層目印刷, キュア 巻き取り 第n層目重ね印刷, キュア 巻き取り * 除塵はオンライン中に行う	裁断 プレアニーリング 除塵 ガイド穴加工 第1層目印刷 キュア 除塵 第n層目重ね印刷 キュア 除塵	ガイド穴あけ プレアニーリング 巻き取り 第1層目印刷, キュア 巻き取り 第n層目重ね印刷, キュア 巻き取り	裁断 プレアニーリング 額縁固定作業 除塵 第1層目印刷 キュア 除塵 第n層目重ね印刷 キュア 除塵 額縁取り外し作業	
使用基材厚さ	12 μ m以上	75 μ m以上	38 μ m以上	25 μ m以上	
キュア後の寸法変化	0.01%以下	0.05~0.07%	0.05~0.08%	0.07~0.09%	
重ね印刷の位置決め	CCDカメラによる画像処理機構	ピンガイド方式	CCDカメラによる画像処理機構	枠固定方式	
重ね印刷精度	$\pm 25\mu$ m以下	$\pm 100\mu$ m以上	$\pm 37\mu$ m以下	$\pm 100\mu$ m以上	
作業性	全自動で作業者の負担は少ない	作業者の技術に依存する	全自動で作業者の負担は少ない	額縁固定はオフラインでの半自動, 印刷は全自動	
作業者	1人/数ライン	1人/台	1人/数ライン	1人/台	
量産性	生産性は従来方式に劣るが, 人手がかからない(無人運転が可)	生産性は高いが, 人手がかかる	あらかじめガイド穴加工が必要となり, 新技術より劣る	固定および印刷に人手がかかる さらに額縁メンテナンスに人手が必要(手作業)	

注) F: 当社の製造技術 A: 他社の製造技術

よく加工するのが難しい。当社では、折れキズの発生を防止するために、厚さ75~100 μ mの片面微粘着材付きキャリアフィルムを用いた回路形成を検討した。あらかじめ薄い基材(回路基材)とキャリアフィルムをラミネートし、総厚を100 μ m以上にした基材へ枚葉方式で回路形成する。ところが、この方法ではPET基材のほかにキャリアフィルムが必要であり、その分コストがかかる。一方、薄い基材の周囲を剛性のある枠で固定して枚葉方式で印刷を行う額縁方式は、設備、治工具の投資に多大な費用を要すること、および作業性、量産性が悪いことがあげられる。

従って、ハンドリングの必要がなく、さらに搬送用のガイド穴をあけることなく、厚さ25 μ m以下の基材に対し、印刷からペーストのキュアまでをロール状態で行うことが可能なR-R印刷技術を開発した。

2.2 高精度重ね印刷技術の開発

従来の重ね印刷は、あらかじめ印刷テーブルに設けたガイドにPET基材を突きあてて位置決めを行ってきたため、重ね印刷ズレが多発した。これを解決すべく、重ね印刷の位置決めパイロットピンを用いたピンガイド方式へと改善した。しかしこの方式においても0.1mm以上の重ねズレは避けられず、0.18mmピッチ以下という高精細回路への重ね印刷は不可能であった。そこで、ガイド穴をあけずに、印刷で設けたマーカを使用した画像処理

認識機構を検討した。本機構をR-R印刷機に採用した結果、印刷領域が500mm \times 500mmサイズのデザインにおける重ね印刷で $\pm 25\mu$ m以内に抑えることに成功した。また、この印刷機の繰返し印刷精度は $\pm 10\mu$ m以内と、非常に安定している。これもまた、高精度重ね印刷の成功に結びついている。

さらに、このような高精度重ね印刷を可能にしたのは設備による改善と、キュア方式によるPET基材の寸法安定性の良好さがあげられる(4.1項参照)。枚葉方式ではフィルム基材をあらかじめ熱処理しても、キュア工程で基材が0.07%以上も収縮することがある。一方、われわれの開発した新工法では、特殊な処理をほどこすことで寸法変化が0.01%以下に抑えられた。この寸法安定化工程こそが、高精細重ね印刷にはとても重要である。図1に0.18mmピッチ(L/S=0.08/0.10mm)回路への重ね印刷部の拡大写真を示す。

3. R-R印刷ラインの装置構成

R-R印刷設備を基材送り出し装置の方向から撮影した写真を図2に示す。本ラインは、基材送り出し装置、印刷機、乾燥ゾーン、基材巻き取り装置からなる。

基材送り出し装置は、間欠動作を有する印刷工程において、基材を停止して再び搬送するとき、基材に伸びや歪みを生じさせない工夫をほどこしている。

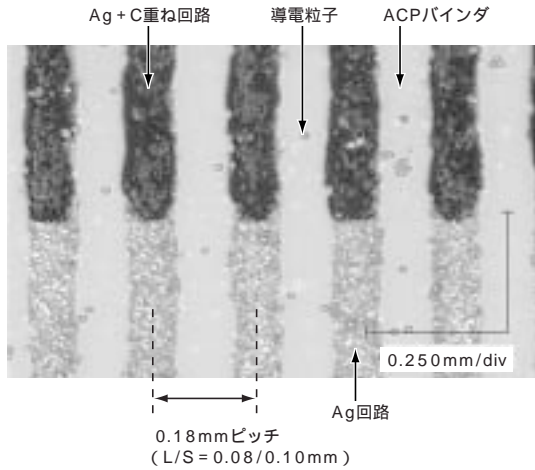


図1 0.18mmピッチ (L/S=0.08/0.10mm) 回路の重ね印刷
Multiple layer structure fine printed circuit with 0.18mm pitch around heat sealing area

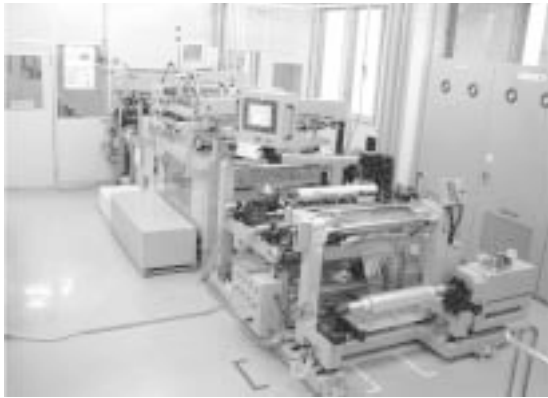


図2 R - R印刷設備の外観図
Appearance of R - R printing machine

印刷機のワークテーブルには特殊加工を施している。これは印刷工程における基材吸着時に、印刷テーブル上のバキューム穴で基材のへこみ（ディンプリング）を抑え、これが原因で発生する回路短絡を抑制するためである。この方式により、厚さ12 μm の薄いPET基材においても、ディンプリングを発生させることなく回路形成することが可能になった。

間欠動作を行う印刷工程と、乾燥ゾーン内を一定速度で搬送するキュア工程とを同時に進行させるため、両者間のつなぎ役としてアキューム部を設けている。これは印刷機から高速で送り込まれるPET基材を蓄えることが可能である。乾燥ゾーン直前のロールは駆動機能を持ち、基材エッジ検出用超音波センサによって常に蛇行なく安定して（ $\pm 0.2\text{mm}$ 以内）搬送できるようになっている。

乾燥ゾーンは優れた基材特性を生み出す働きをする。乾燥ゾーンの外観写真を図3に示す。本装置では特殊な硬化方式によって効率の良い、しかも安定したキュアを実現できる。さらに基材弛み防止の機能も設けられ、基材がそのT_g（ガラス転移点）よりも高い温度に加熱されても、より小さい張力で搬送することが可能となっている。

巻き取り装置にも前述のセンサが備え付けられており、



図3 乾燥ゾーンの外観図
Curing zone

ロールの端面をきれいに揃えて（端面位置ズレ量： $\pm 0.3\text{mm}$ 以内）巻き取ることが可能である。これは、ロール形態での納入に対し、非常に優れた特徴の一つである。さらに、巻き取り径は検出センサによって常にモニタされており、巻き締めつけがなく、逆に巻き緩みもなく適した力で巻き取ることが可能である。

4. R - R印刷工程の特徴

4.1 プレアニーリング工程

この工程は、キュア工程における加熱によりPET基材が寸法変化を起こさないために、とても重要である。高い耐熱性をもつPET基材を作るためには、より長い時間にわたってプレアニーリングを行うことが理想である。ところが、厚さが12 μm や25 μm という薄いPET基材の高耐熱性処理のときには、急激な温度変化が原因で、基材送り方向に縦しわが発生する。ここで発生した縦しわは外観上に問題があるほか、このしわが原因で印刷工程時に基材を吸着しきれず、回路短絡を生じるという問題も発生する。

縦しわ抑制に重要なパラメータとして、加熱温度（T）、搬送速度（ v ）および搬送張力（F）があげられる。これら3つの条件を制御することで、薄い基材についてもプレアニーリング時の縦しわを抑制できる。加熱温度（T）は乾燥ゾーンの中間で工程最高温度に達するように設定している。その前から徐々に設定温度を上昇しながら最高点へ到達させ（予熱）、その後は徐々に設定温度を下げていく（徐冷）。このような条件を採用することで、基材が急激な温度変化を受けないために縦しわを抑制することができる。また、搬送速度（ v ）の増大にともなって縦しわ発生量が増加するため、しわを抑制できる速度に制御する必要もある（図4）。搬送張力（F）も重要なパラメータであり、張力をかけすぎると、基材が送り方向（MD方向）に対して伸びを生じてしまう。これはキュア工程における基材収縮の原因となる。T、 v およびFを最適条件に管理することで、薄い基材のみならず、厚さが最大188 μm のPET基材においても同様の方式でプレアニーリングをすることが可能である。ここで耐熱化された基材は

キュア工程における寸法変化を起こさず、熱収縮は0.01%以下に抑制できている。

4.2 ペーストキュア工程

本ラインの乾燥ゾーンには3項で示したように、高いキュア効率を有する特徴がある。さらに、IRとの併用によるキュア（IRのエネルギーによってペースト内部から

もキュアを行う）も可能である。そのため、従来のキュア方式であるIRコンベア炉による乾燥と比較すると、非常に高いキュア効率を有する。各設備によって形成されたAg回路の体積抵抗率を図5に示す。この図から、本ラインでキュアした回路の体積抵抗率は、ほぼ同じ有効キュア時間を持つIRコンベア炉と比較すると約1/2と小さく、キュア能力が著しく高いことが理解できる。さらに、その値は通常30分という長い時間を必要とする熱風BOX炉でキュアした回路のものと同じ値が得られている。単に体積抵抗率のみの評価ではなく、キュア後における印刷回路の密着性、および鉛筆硬度テストの結果もIRコンベア炉（量産で実績を認定された条件）や熱風BOX炉（各ペーストメーカーが推奨する最適なキュア条件）と同じ結果である。従って、本ラインがいかに短時間で効率的にキュアが行えるかが理解できる。一方、本ラインによるキュアでは、IRコンベア炉方式で大きな問題とされていた回路周辺部に発生する基材の変形（急激な熱収縮が原因）も抑制することができた。

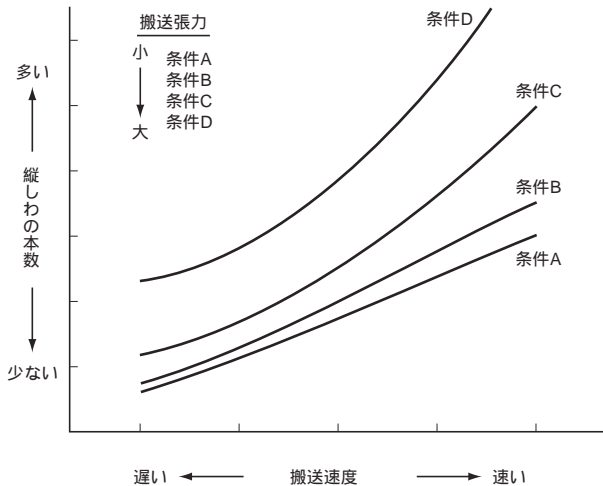
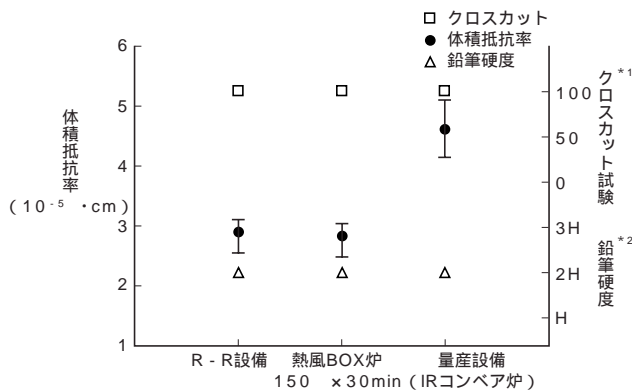


図4 縦しわの発生量の搬送速度依存性
Line speed dependence of waviness occurrence rate with changing tension condition in MD direction

5. R-R印刷技術を用いた製品の紹介

本ラインの導入および印刷技術の開発により、従来は実現しなかった厚さ12μmや25μmという薄いPET基材への回路形成、0.18mmピッチという高精細な回路への高精度重ね印刷が可能となった。図6, 7には当社のHSCを示す。表2にはこのHSCの主な特性も示す。これらの製品は従来では製造が不可能だったが、既述の新しい印刷技術開発で可能になったのである。

また、新しい印刷技術を開発するうえでは、顧客への



*1 100分割のクロスカットで剥がれずに残ったエリアの数(/ 100)
*2 JIS K - 5400 鉛筆硬度に準拠

図5 キュア方式の違いによるAg回路の体積抵抗率
Curing method dependence of volume resistance ratio for Ag paste

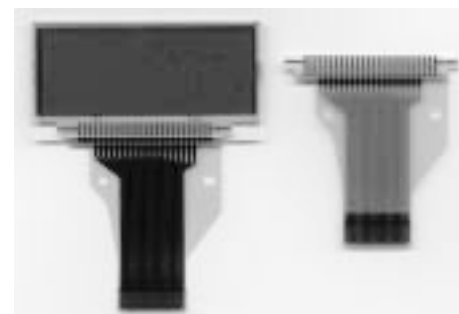
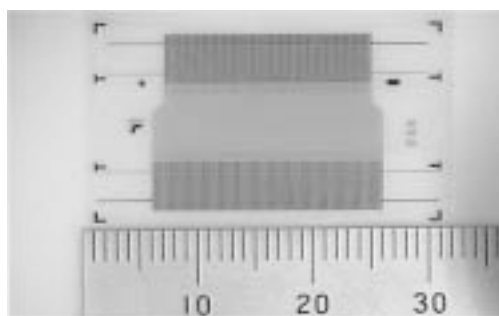
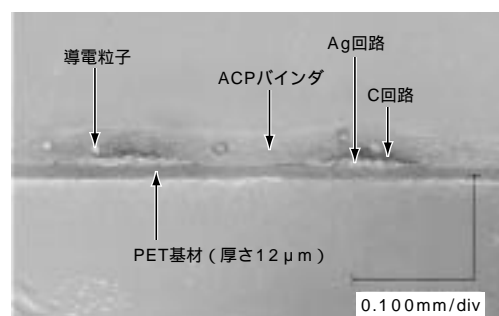


図7 デジタルカメラ表示デバイス用ヒートシールコネクタ
Heat sealing connector application to a digital camera



(a) 外観



(b) 断面

図6 ヒートシールコネクタ（製品例）
Heat sealing connector trial product

表2 ヒートシールコネクタの主な特性^{1), 2)}
Characteristic of our heat sealing connector product

特性および試験項目	内 容	備 考	
初期特性	基材厚さ	最低12 μ m	機械設計上6 μ m以下も可能
	接続部最狭ピッチ (A C P 接続)	0.18mmピッチ	L/S = 0.08/0.10mm (0.090mmピッチ以下開発中)
	Ag回路の体積抵抗率	3.0×10^{-5} \cdot cm	四端子法
	Ag回路の耐折り曲げ性	100回以上	回路抵抗の上昇率が100%に達するとき
	引き剥がし強度	450N/m幅以上	90度鉛直ピール試験 (JIS C 6471に準拠)
	引っ張り強度	2.0×10^6 N/m ² 以上	0度引っ張り試験 (JIS C 7127に準拠)
	接続抵抗値	1.0 以下	四端子法
	線間絶縁抵抗値	1.00×10^8 以上	印加電圧: DC250V, 電圧印加時間: 1min
	交流耐電圧 (最大耐電圧値)	AC250V (最小線間距離: 0.05mm)	試験中, 0.5mA以上の漏れ電流なきこと
	許容電流値	15mA以下	印加電圧: DC5V
環境試験特性	高温放置 1	+ 100 \times 250h	すべての環境試験において, 以下の電気的 特性, 機械的特性, および外観仕様に合格 電気的特性: (1) 抵抗値変化: 2 以下 (2) 絶縁抵抗値: 1.00×10^8 以上 (測定電圧: DC250V) (3) 耐電圧: AC250V \times 1min 試験中, 0.5mA以上の漏れ電流なきこと 機械的特性: (1) 引き剥がし強度: 450N/m幅以上 (2) 引っ張り強度: 2.0×10^6 N/m ² 以上 外観仕様: (1) 変形, 変色等の異常なきこと
	高温放置 2	+ 150 \times 3h	
	R曲げ・高温放置	+ 80 , R10曲げ \times 250h	
	高湿熱放置 1	+ 85 , 85%RH \times 250h	
	高湿熱放置 2	+ 60 , 95%RH \times 250h	
	高湿熱下電圧印加放置 1	+ 85 , 85%RH, DC5V \times 250h	
	高湿熱下電圧印加放置 2	+ 60 , 95%RH, DC5V \times 250h	
	低温放置	- 40 \times 250h	
	ヒートショック	- 35 \times 30min + 80 \times 30min を1サイクルとして, 連続100サイクル	
	ヒートサイクル	- 35 \times 2h 温度変化2h + 80 \times 2h を1サイクルとして, 連続30サイクル	
硫化水素ガス雰囲気高温放置	+ 40 , 95%RH, H ₂ S (濃度: 3ppm) \times 250h + 60 , 95%RH \times 250h		
接続部打鍵寿命	R7 (ゴム硬度70度) の打鍵子にて, 5.0Nの荷重 を3回/secの速度で1,000,000回打鍵		

納入形態 (図8には製品の一部としてRFID用印刷回路を示す) を考慮しただけでなく, 全工程を考え, 自動化を進めてきた。そして, 後工程ともスムーズにつながり, 作業者の技術に頼っていた部分を完全に切り除けるようになり, 誰でも精度よく外形加工を行うことが可能になった。

さらには, 枚葉方式では問題となっていた基材白濁現象を抑制できる新たな特徴が生まれた。これによって, 窓ガラス等に貼り付ける車載用フィルムアンテナのように, 基材そのものに透明度を要求される製品の開発, および製造が可能となった。

6. 特殊材料への応用

当社ではHSCの開発のほかに, RFID製品の開発にも着手している。特に, ICカードのアンテナ回路の基材には, 後工程のラミネート加工 (カード化) において従来の標準加工方式である熱融着による貼り合わせを考慮して, PET以外の特殊な基材を用いることがある。これらの基材は, PET - G (テレフタル酸 - エチレングリコール - シクロヘキサジメタノール非晶性コポリエステル) や ABS (アクリロニトリル - ブタジエン - スチレン共重合体), PP (ポリプロピレン) に代表される材質である。し

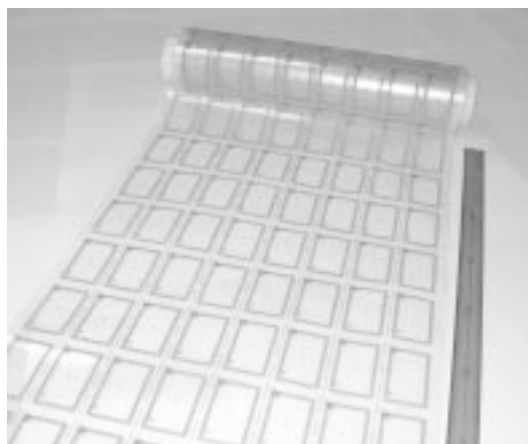


図8 ロール型形態製品の的外観 (R F I D製品のアンテナ回路)
Appearance of a roll shape packaged product (printed antenna circuit of inlet for IC card products)

かしこれらは, 一般にPET基材に比べて耐熱性に劣るものがほとんどである。本ラインでは加熱温度プロファイルを自由に変えられるという特徴を持っており, 上記に示すような異種基材上への回路形成技術の開発に成功した。

7. むすび

新しく開発した R - R 印刷技術は、当社のメンブレン製品における設計の幅を大きく広げる重要な技術となった。薄い基材への回路形成、高精細回路への重ね印刷は、小型化、薄型化そして軽量化を要求される様々な電子部品へ対応しうる大きな武器であるといっても過言ではない。

一方、顧客の製造設備の自動化にともない、ロール納入形態へ対応可能な製品自由度を拡大したのも、当社が新しい市場へ踏み込める機会を大きくしたと考えられる。また、製品をロールで供給できるように、後工程設備（例えば、R - R 対応自動プレス機、図9）も開発した。

今後は、R - R 製造方式そのものの特徴を生かし、より高精細な回路（ターゲットは0.060mmピッチ以下）の形成と多層重ね印刷技術を開発し、新規市場を開拓する。また、印刷技術だけでなく、新たにエッチングと融合させた新しい技術を開発していく。

参 考 文 献

1) 元木ほか：異方性導電材料接続，フジクラ技報，第99号，



図9 R - R 対応自動プレス機
Appearance of the R - R automatic press machine

pp.32-38, 2000

2) K. Motoki, et al. : Connecting Technology of Anisotropic Conductive Materials , Fujikura Technical Review , No.31 , pp.26-35 , 2002