

連続面圧成形法によるフレキシブル基板材料の高機能化

High-performance Flexible Substrate Materials Made Using Extended Lamination System

高橋 広明* ・ 森 正至**

Hiroaki Takahashi Tadashi Mori

小型電子機器等に使用されるフレキシブル基板材料において、面状領域で加熱加圧プロファイルのコントロールを行うことにより面内が均一で低残留応力の成形を可能にする独自の連続面圧成形法によって、高機能化を実現した。開発した材料には、①スライドヒンジ耐久性を約 25 %向上した高屈曲用途のフレキシブル基板材料「R-F785」、②5 GHzにおける伝送損失をポリイミドベースと比較して 0.08 dB/cm 改善した高周波用途のフレキシブル基板材料「R-F705」、③アルミニウム基板材料と同等の熱放散性を有する高熱放散性フレキシブル基板材料「R-F775」がある。これらはいずれも従来のロールラミネーション法と比較して高品質であり、本技術の活用によりフレキシブル基板材料のさらなる高機能化が期待できる。

Highly functional flexible-substrate materials for compact electronic equipment etc., have been developed by applying ELS that controls temperature and pressure in large area to ensure uniform pressing with low residual stress. The new materials include: 1) a flexible circuit board material with improved slide hinge durability by approx. 25% for high-flex use (R-F785); 2) a flexible circuit board material with improved transmission loss by 0.08 dB/cm at 5 GHz for high frequency applications (R-F705); and 3) a flexible circuit board material with high-heat dissipation comparable to that of aluminum substrates (R-F775). The quality of these materials is higher than the products made with the conventional roll-lamination process. By using this technology, flexible circuit board materials are expected to get greater functionality.

1. ま え が き

近年、小型電子機器の高機能化が進み、デバイスや基板に対しても従来以上の高機能が求められている。なかでもフレキシブル基板に対しては、機器の小型・薄型・軽量化に伴い、極薄タイプや高屈曲性能が求められている。また情報処理速度の増大に伴い、低伝送損失基板が求められている。さらにLEDなどの発熱デバイスを実装するアプリケーションも増加しており、高熱放散性基板も求められている。このようなフレキシブル基板へのニーズを受けて、筆者らは独自の連続面圧成形技術を駆使し、高機能フレキシブル基板材料を開発した。

2. 連続面圧成形技術の特徴

ラミネート工法で製造されるフレキシブル基板材料は、絶縁層となるフィルム材料と導体層となる銅箔材料を加熱加圧のプロセスにより貼り合わせて製造する。この加熱加

圧の成形工程により、フレキシブル基板材料の性能品質が大きく影響を受ける。図1に、一般的な成形方法であるロールラミネーション法と当社成形方法である連続面圧成形法（ELS：Extended Lamination System）の概略を示す。

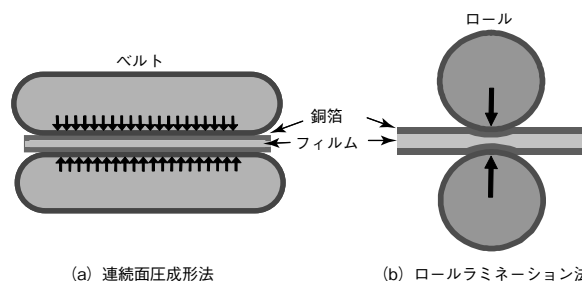


図1 成形方法の概略

ロールラミネーション法では、フィルム材料と銅箔材料を上下に配置したロールにより加熱加圧を行い成形する。この方法では上下ロールに挟まれた線状領域で成形を完結

* 電子材料本部 基板材料事業部 Advanced Laminates Division, Electronic Materials Business Unit

** パナソニック 電工四日市株式会社 Panasonic Electric Works Yokkaichi Co., Ltd.

させる必要がある。この方法の場合、フィルム材料と銅箔材料を貼り合わせる際に急激な加熱加圧が起こり、線膨張係数が異なるために残留応力が大きくなるという問題がある。

一方、連続面圧成形法では、上下に配置したベルトにより加熱加圧を行い成形する。この方法では、上下のベルトで挟まれた面状領域を均一かつ緩やかに加熱加圧できるため、残留応力の小さい成形が可能である。これにより、以下のような特徴を有する製品の実現が可能となる。

- (1) 寸法安定性に優れ、基板反りを小さくできる。
- (2) 極薄の材料を用いても残留応力を小さくできる。
- (3) 接着面の凹凸の小さいロープロファイル銅箔に対しても強い密着力を実現できる。
- (4) 厚みの異なる銅箔を表裏に構成できる。

(1) の事例として、寸法安定性の比較を図2に示す。

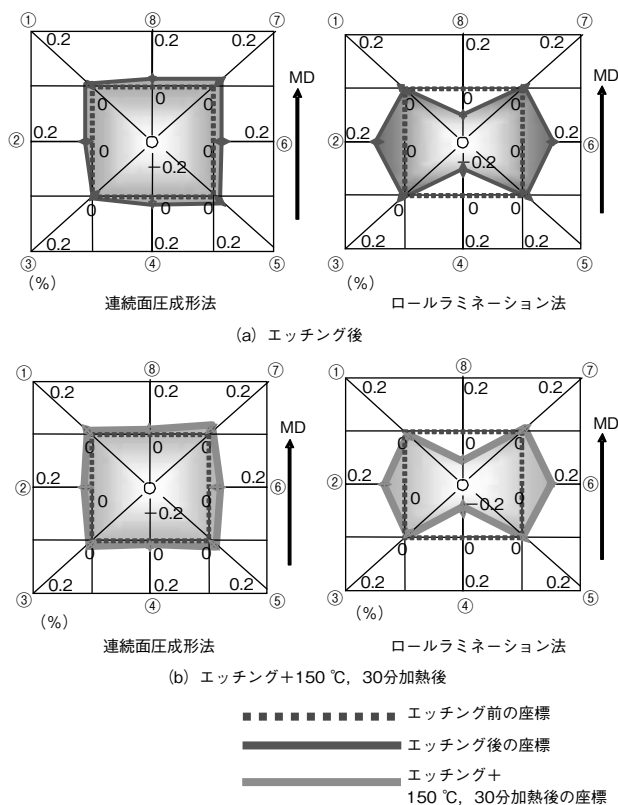


図2 成形方法による寸法安定性の比較

評価方法としては、まず成形後銅箔が残った状態で面内任意の9点に穴をあけて座標をあらかじめ測定し、次にエッチング後に再度穴の座標を測定する。さらに、150℃、30分の加熱処理を行い、同様に穴の座標を測定する。そして、最初に測定した穴の座標とのずれを確認する。これは、穴の座標のずれが大きいほど成形での残留応力が大きいことを示す指標となる。

連続面圧成形法により作製したフレキシブル基板材料は、

座標のずれ幅が小さく、かつ面方向でのずれが均一であった。一方、ロールラミネーション法により作製した基板材料の場合は、座標のずれ幅が大きく、かつ面方向での不均一なずれが発生した。このことは、連続面圧成形法は残留応力が小さい基板材料を得るための有効なプロセスであることを示している。

3. 高屈曲用途フレキシブル基板材料「R-F785」

高屈曲性が求められるアプリケーションには携帯電話のスライドヒンジがある。これに使用されるフレキシブル基板材料に求められる特性は、狭ギャップ間での屈曲耐久性である。屈曲耐久性を向上させるためには、たとえば、薄いポリイミドフィルムと薄い圧延銅箔を使用することが有効である。

しかしロールラミネーション法では、薄い材料を用いて残留応力の小さな成形は困難であった。

一方連続面圧成形法では、諸条件を最適化することによって残留応力の低減を図り、屈曲耐久性に優れた基板材料の作製が可能である。

以下に、この連続面圧成形法で得られた基板材料に対するスライドヒンジ耐久性について述べる。

耐久性評価は図3(a)に示す装置を用い、屈曲半径が1.0 mmと0.5 mmの2水準において、ストローク50 mm、摺動速度60 min⁻¹、室温環境下という条件で行う。寿命判定は、回路の抵抗値が初期に比べて20%上昇した時点とする。

評価サンプルは図3(b)に示す構成で、フレキシブル基板材料に所定の回路を形成した後、カバーレイを形成し、その上にシールド層を配置したものを使用する。

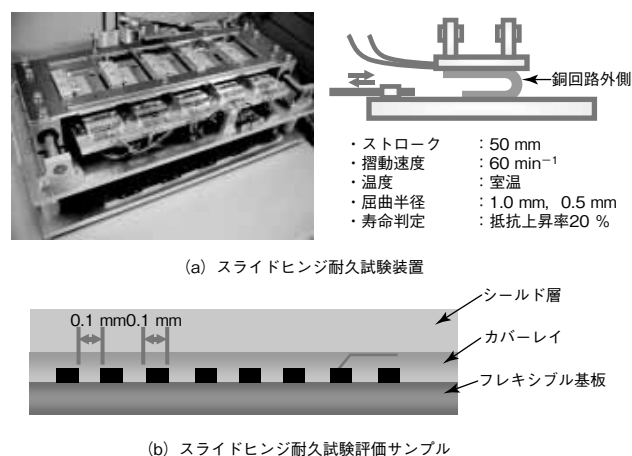


図3 スライドヒンジ耐久性の評価方法

評価結果を図4に示す。屈曲半径1.0 mmにおいては、連続面圧成形法による基板材料はロールラミネーション法によるものと比較し、約25%のスライドヒンジ耐久性の向上が確認できた。また、圧延銅箔を12 μmとしたものは、

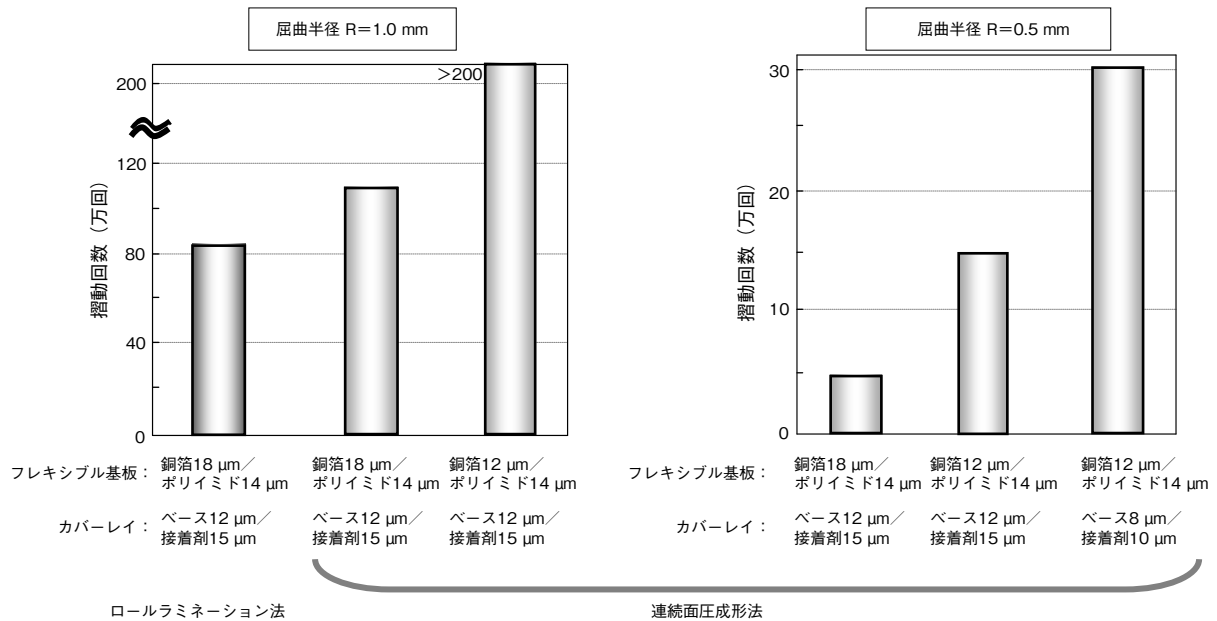


図4 スライドヒンジ耐久性の比較 (評価結果)

200万回以上の耐久性を有している。さらに屈曲半径0.5 mmの厳しい条件においては、耐久性は大幅に低下するが、カバーレイの厚みを薄くすれば30万回以上を達成できることが確認できた。

4. 高周波用途フレキシブル基板材料「R-F705」

ノートPCの記憶媒体としてSSDが注目されている。SSDはHDDで課題となっていた処理速度の向上や省電力に関して期待がもたれている。またSSDとPC本体間を接続するケーブルにおいても、処理速度向上に対応するため、低伝送損失フレキシブル基板材料が求められている。低伝送損失を達成するためには、誘電特性の優れたフィルム材料とこれとの接着面の凹凸が小さいロープロファイル銅箔を組み合わせた基板材料が必要になる。

誘電特性の優れた材料として液晶ポリマフィルム（以下、LCPフィルムと記す）が挙げられるが、この材料は銅箔との密着強度（ピール強度）が低く、ピール強度を上げるために表面粗さ（Rz）の大きな銅箔を使用することが一般的である。

しかし高周波帯域においては、表皮効果により電気信号が導体と誘電体材料の界面を流れるため、銅箔の貼合せ面はできるだけ凹凸が小さいほうが伝送には有利である（図5）。これらのトレードオフの課題を解決するためには、ロープロファイル銅箔に対してもピール強度を上げることが必要となる。

そこで筆者らは、面内が均一で低残留応力の成形を可能にする連続面圧成形の特徴を活用し、これらの課題を解決した。

以下に、得られた基板材料のピール強度と伝送損失について述べる。

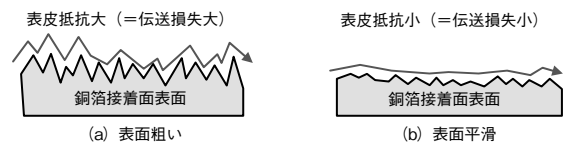


図5 表面粗さと高周波帯域での表皮抵抗

4.1 ピール強度

図6にピール強度のデータを示す。ロールラミネーション法ではピール強度の確保が困難であったLCPフィルムとロープロファイル銅箔の成形においても、連続面圧成形法では十分な密着強度を達成している。

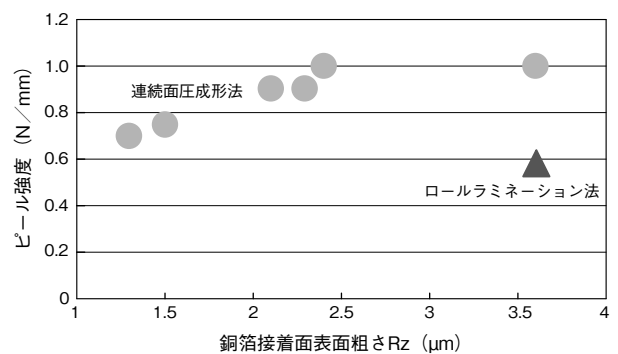
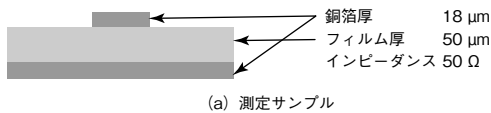


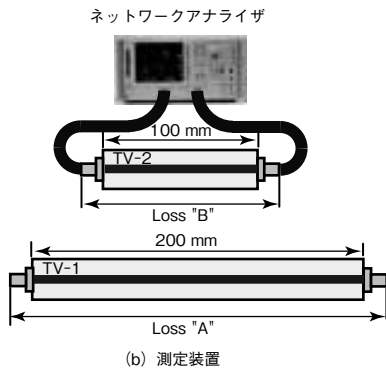
図6 銅箔ピール強度

4.2 伝送損失

LCPフィルムと接着面の表面粗さRz 1.3 μmのロープロファイル銅箔とで成形した基板材料を用い、IPC-2141記載の方法により¹⁾特性インピーダンス50 Ωのマイクロストリップラインを作製し、5 GHz帯域までの伝送損失(S₂₁)をネットワークアナライザ(Agilent社製、N5230A)で測定した(図7)。



(a) 測定サンプル



(b) 測定装置

図7 伝送損失評価方法

なお伝送損失は、コネクタの影響をなくするため、式(1)のように計算する。

$$\text{伝送損失 (100 mm)} = \text{Loss "A"} - \text{Loss "B"} \quad (1)$$

図8に伝送損失の測定結果を示す。比較のため、ポリイミドフィルムを用いた基板材料の結果も併せて示している。

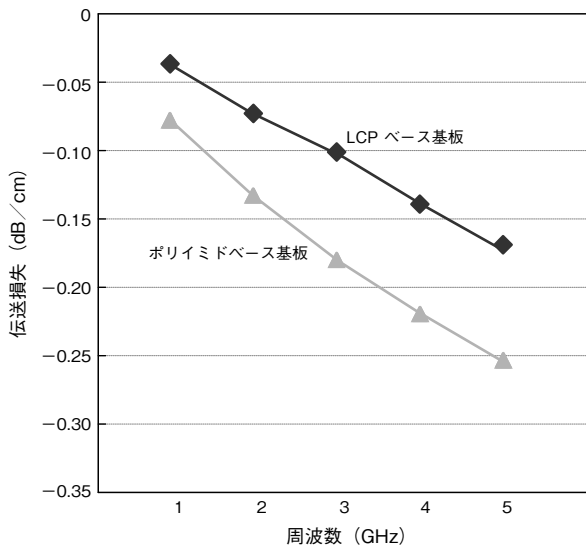


図8 伝送損失測定結果

LCPフィルムを用いたフレキシブル基板材料では、5 GHzにおける伝送損失が -0.17 dB/cm を達成し、ポリイミドフィルムベースのものと比較して 0.08 dB/cm の伝送損失改善ができた。

5. 高熱放散性フレキシブル基板材料「R-F775」

LEDなどの発熱デバイスを実装する基板には、熱放散性能が求められる。従来のFR-4基板では熱放散性能に限

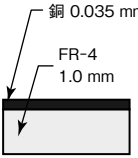
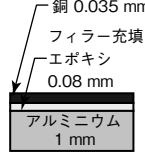
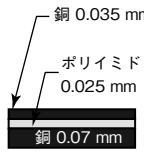
界があり、熱放散性に優れるアルミニウム金属基板などが用いられている。アルミニウム金属基板は熱放散性に優れる利点はあるが、電子回路基板加工工程でコストが掛かることや、両面板としての設計が困難であることが問題となる。またアルミニウム金属基板であっても、絶縁層の熱伝導率を高めるために高熱伝導性フィラーを充填して対応する必要がある。

これに対して筆者らが提案する基板材料は、熱放散性を向上させる方法として絶縁層を薄くすることにより、熱抵抗を下げるものである。絶縁層には薄くかつ耐電圧性を有するポリイミドフィルムを用いるとともに、表面の銅箔は電気信号を流す導体層として適した厚み（たとえば $18 \mu\text{m}$ ）とし、また裏面の銅箔は絶縁層を介して伝わった熱を効率良く放散させる放熱板に適した厚み（たとえば $70 \mu\text{m}$ ）とする。

しかし、このような表裏で厚みが異なる材料構成の場合、ロールラミネーション法による成形では表裏の残留応力差から基板に反りが発生する。これに対し、連続面圧成形法においては、成形時の条件設定により表裏の残留応力差を小さくすることで解決できる。

以下に得られた基板材料「R-F775」の特徴を述べる。図9は、従来からあるFR-4基板、アルミニウム金属基板、および「R-F775」の構成を示している。また表1は、これらの基板の性能を示している。

「R-F775」は、アルミニウム基板材料と同じ熱抵抗値である。このことは、同等の熱放散性を有していることを示している。また、全体の厚みを約10分の1まで薄くできることから軽量化が可能である。さらに、従来の熱放散性基板材料は片面板構造であるのに対し、「R-F775」はスルホールを有する両面板構造としても使用できることから、ライトバーのような幅の狭いアプリケーションでの配線密度向上も可能である。くわえて、フレキシブルであることから、アプリケーションの幅が広がり、多面的な活用が期待できる。

比較基板	FR-4	アルミニウム 金属基板	[R-F775]
断面構成			
基板厚 (mm)	1.035	1.115	0.130
単位面積 当り質量 (g/m ²)	2200*	3100*	970*

*比重 (g/cm³)
 銅 : 8.92
 アルミニウム : 2.68
 FR-4 : 1.9
 フィラー充填エポキシ : 2.0
 ポリイミド : 1.43

図9 熱放散性基板の構成

表1 熱放散性基板の性能比較

項目	試験条件	単位	FR-4	アルミニウム 金属基板	[R-F775]
構成	—	—	片面板	片面板	片面/両面板
熱抵抗	A	°C/W	17.5	0.6	0.6
熱伝導率	A	W/m·K	0.4	1.2	0.3
表面層の絶縁抵抗	A	Ω	1.0×10 ¹⁴	1.0×10 ⁹	1.0×10 ¹⁵
耐電圧	A	kV	49/ 1.0 mm	4.0/ 0.080 mm	6.9/ 0.025 mm
銅箔ピール強度	A	N/mm	1.96	1.50	1.50
はんだ耐熱性 (はんだフロート)	A 288 °C / 60 s	—	異常なし	異常なし	異常なし
吸湿 はんだ耐熱性	C-96 / 40 / 90 260 °C / 60 s	—	異常なし	異常なし	異常なし
弾性 (弾性率)	A	GPa	リジッド	リジッド	フレキ(7.1)
比誘電率 (Dk)	A	—	4.8	4.2	3.2
誘電正接 (Df)	A	—	0.016	0.028	0.002

6. あとがき

小型電子機器等に使用されるフレキシブル基板材料において、面状領域で加熱加圧プロファイルのコントロールを行うことにより面内が均一で低残留応力の成形を可能にする独自の連続面圧成形法によって、高機能化を実現した。開発した材料には、①スライドヒンジ耐久性を約25%向上した高屈曲用途のフレキシブル基板材料「R-F785」、②5 GHzにおける伝送損失をポリイミドベースと比較して0.08 dB/cm改善した高周波用途のフレキシブル基板材料「R-F705」、③アルミニウム基板材料と同等の熱放散性を有する高熱放散性フレキシブル基板材料「R-F775」がある。これらはいずれも従来のロールラミネーション法では困難なものであり、本技術の活用によりフレキシブル基板材料のさらなる高機能化や、小型電子機器の高性能化への貢献が期待できる。

*参考文献

1) IPC-2141 Controlled Impedance Circuit Boards and High-Speed Logic Design, April 1996

◆執筆者紹介



高橋 広明
基板材料事業部



森 正至
パナソニック電工四日市