

先進フレキシブルプリント配線板技術

電子部品開発センター 小林 一治¹

Advanced Flexible Printed Circuits Technology

K. Kobayashi

フレキシブルプリント配線板FPCは、多種多様な電子機器に使用されています。電子機器の小型化、薄型化、高機能化に伴ってFPCは進化し、中でも携帯電話を中心としたモバイル機器に搭載されるFPCは、最先端の技術が要求されています。本稿では、当社が取り組んでいる新技術・新製品の中から、セミアディティブFPC、高速伝送用FPC、部品実装技術について紹介します。

Flexible printed circuit (FPC) boards are used for various electronic devices. As electronic devices reduce size and thickness and increase functionality, FPCs evolve. Among various FPCs, those assembled in mobile devices, mainly mobile phones, require a leading-edge technology. In this paper, we report the current progress of semi-additive FPCs, high-speed data transmission FPCs, and an FPC assembly technique among new technologies and products on which Fujikura works.

1. ま え が き

フレキシブルプリント配線板（以降、FPC (Flexible printed Circuits) と呼ぶ）は、薄くて柔らかく、曲げることが出来るプリント配線板で、その特長を生かして携帯電話やデジタルスチルカメラ、デジタルビデオカメラ、ノート型パソコンといった小型電子機器・モバイル機器から、LED照明機器や太陽電池、車載機器、医療機器など、様々な機器・部品に使用されています。FPCに対する要求は多種多様なものとなっており、当社は、業界をリードする高い要素技術、生産技術の開発によって市場・顧客ニーズにこたえています。

FPCに対する主な要求として、電子機器の小型化に伴う配線板の高密度化、薄型化があります。また、FPCの特長である折り曲げ性や柔軟性をさらに向上した高屈曲性や低反発性が要求されています。製品用途の拡大に伴い、耐熱性や高速伝送特性の向上、黒や白、透明といったFPCの色（加飾性）についても要求があり、個別のニーズに対応しています。一方FPCは単なる配線板にとどまらず、部品を実装する基板としての役割を担っており、実装部品の小型化、多様化にともなって実装技術の開発が要求されています（表1）。当社はこのような難度の高い要求に対し、高度な設計技術、材料技術、装置技術、工程・工法技術を開発し、市場・顧客の要求に対応しています。以降、セミアディティブFPC、高速伝送用FPC、FPCの部品実装技術について紹介します。

2. セミアディティブFPC

電子機器の小型化、薄型化に伴いFPC配線の高密度化が求められています。FPCの配線を高密度化するには、導体線幅を細く、導体間隙を狭くする必要があります。また、両面FPCや多層FPCにおいては、層間接続に用いるビア及びランド径を小さくし、さらにそれらの間隙を狭くする必要があります。当社ではFPCの配線高密度化において、セミアディティブ法を開発し製品化しました。

導体回路形成として一般的に用いられるサブトラクティブ法は、銅張積層板（CCL）の銅箔上にエッチングレジストを形成し、エッチング液をスプレー噴射することで必要となる回路部以外の銅箔を除去して導体回路を形成する方法です（図1(a)）。銅箔のエッチングは銅箔の厚さ方向と同時に面方向に進むため、結果としてサブトラクティブ法で形成される導体回路断面は図2(a)のように台形形状になります。導体回路を細くして導体間隙を狭くするには、使用する銅箔の厚さを薄くする、エッチングレジストを薄くする、オーバーエッチング法を用いる、エッチング液スプレーを工夫する等の条件変更で

表1 FPCへの主な要求項目
Table 1. Major requirements of FPCs.

構造	高密度化、薄型化、多層化、大型化、長尺化
性能	高屈曲性、柔軟性、低反発性、高耐熱性、高速信号伝送性、シールド特性、高放熱性、加飾（黒、白、透明）、部品実装性、形状保持性、防水性
その他	低コスト、短納期、環境対応

1 回路技術開発部次長

略語・専門用語	正式表記	説明
CCL	Copper Clad Laminate (銅張積層板) の略	絶縁材料と銅箔とを貼り合わせたもの。FPCを製造するための主要な材料。絶縁材料として主にポリイミドフィルムが用いられる。
DF	ドライフィルムフォトレジスト	光の照射を受けた部分が現像液に不溶または可溶となるフィルム状のレジスト
コンフォーマルコーティング		電子回路などの表面形状に沿って施す絶縁保護コーティング。環境条件からの有害な影響を防ぐバリヤ層として用いる。
ACP	Anisotropic Conductive Paste (異方性導電ペースト) の略	接着剤ペーストの中に導電フィラーを混ぜたもの。FPC端子部にACPを塗布・乾燥し熱圧着することで、回路と回路、または回路と部品等の接続ができる。

改善が試みられますが、サブトラクティブ法による導体回路の細線化には限界があります。これに対してセミアディティブ法は、シード層と呼ばれる薄い導電層を有する絶縁フィルム上にレジストパターンを形成した後、回路めっきによって導体回路を形成するものです(図1(b))。セミアディティブ法で形成される導体回路断面は図2(b)のように矩形となり、 $L/S = 20\mu\text{m}/20\mu\text{m}$ の高密度FPCの量産が可能となりました。セミアディティブ法を開発するにあたり、新たにシード層付き絶縁フィルム、めっきレジスト、シード層エッチング液を開発しました。この他の材料や装置は、サブトラクティブ法の工程や材料を使用できるため、コスト上昇を抑えることができます。セミアディティブ法で使用する基材(シード層付き絶縁フィルム)は、サブトラクティブ法で用いる銅張積層板に比べて薄く柔らかいため、ハンドリングが困難です。この課題を解消し、セミアディティブ法の生産性を高めるため、製造工程のロール・トゥー・ロール化を実現しました¹⁾。

セミアディティブ法で回路形成したFPCの特長は、微細回路、矩形な回路形状、高精度インピーダンス制御、低反発性、耐折れ曲げ性等が挙げられます。導体回路幅のバラツキ(導体幅精度)は、めっきレジストの解像度・精度と相関があり、サブトラクティブ法と比べて小さく抑えられます。図3はインピーダンス特性についてセミアディティブ法とサブトラクティブ法とを比べてものです。セミアディティブ法で形成した回路は、特性インピーダンスのばらつき(公差)が小さく高速伝送用途に適

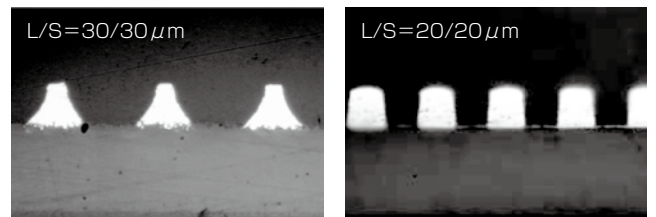


図2 セミアディティブ法とサブトラクティブ法で作製した導体回路の断面

Fig. 2. Cross-sectional view of circuit formed by semi-additive method and subtractive method.

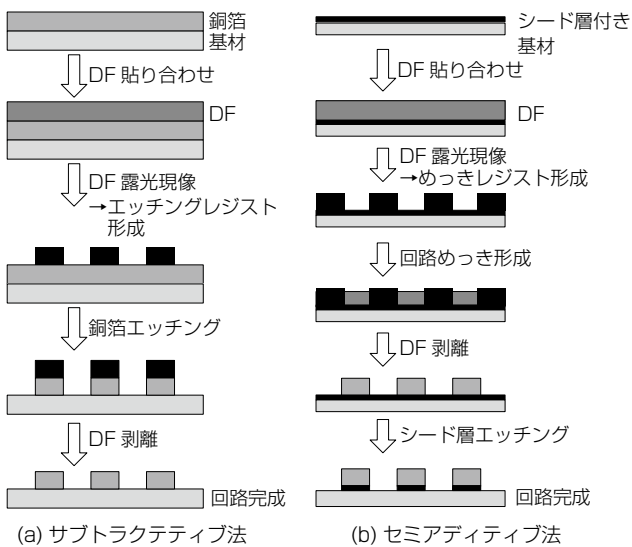


図1 回路形成工程フロー

Fig. 1. Flow of circuit formation by subtractive method and semi-additive method.

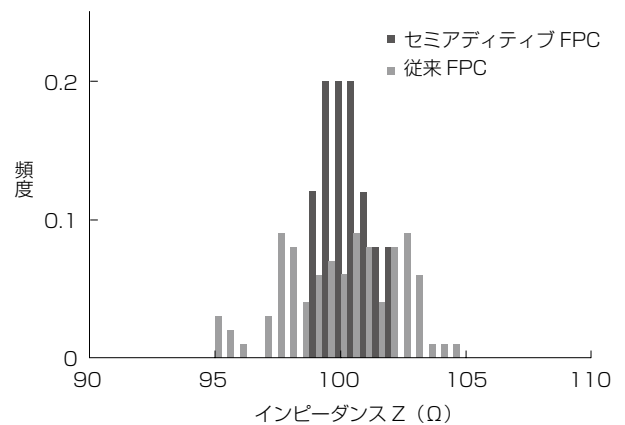


図3 セミアディティブFPCのインピーダンス特性
Fig. 3. Impedance characteristics of Semi-additive FPCs.

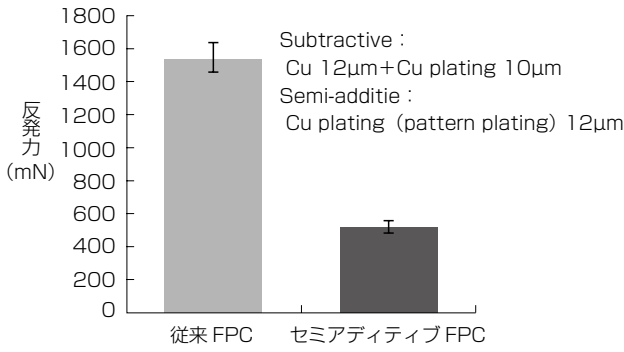


図4 セミアディティブFPCの反発力
Fig. 4. Repulsive force of Semi-additive FPCs.

しています。図4は反発力を比較したもので、銅厚を薄くすることが容易なセミアディティブ法で回路形成したFPCは、柔らかいという要求特性に応えられます。

今後のセミアディティブFPCの展開の一つとして、微小スルーホールFPCの開発を進めています²⁾。セミアディティブ法を用いると、基材に穴(孔)を形成した後に穴部と回路部とを同時にめっき形成することができ、回路形成コストの低減ができます。また、穴径を微小にして穴部を完全にめっきで埋めることで穴部を部品実装などに使用することが可能になり、さらなる回路高密度化が実現できます。

3. 高速伝送用FPC

アプリケーションの多様化やネットワークの高速化に伴い、プリント配線板に数百Mbps～数Gbpsの高速信号伝送特性が求められ、小型電子機器の内部で使用されるFPCでも高速信号伝送特性が必要になってきています。電子機器間のインターフェイスとしてはUSB 2.0、USB 3.0やIEEE 1394などの高速シリアル伝送が用いられ、高周波特性を考慮したFPCが要求されています。

高い周波数帯域でFPCを使用するにあたり、インピーダンス制御を行う必要があります。当社では、伝送線路モデル(コプレーナ線路、マイクロストリップ線路、ストリップ線路、差動線路)を想定して電磁界解析シミュレータで解析を行い、得られたシミュレーション結果を実測特性インピーダンスと比較・フィードバックすることで、特性インピーダンス、差動インピーダンスを制御する技術を確認しました(図5)。これによって、狙いのインピーダンスを実現するためのパターン設計を計算により算出することが可能となり、FPC設計・製造のコスト、リードタイムの削減が可能となっています^{3) 4) 5)}。

薄型化に対応したFPC、例えば使用するCCLを3層CCL(ベースフィルムと銅箔とを接着剤で貼り合わせたもの)から2層CCL(接着剤を用いずにベースフィルムと銅箔を貼り合わせた接着剤レス銅張積層板)に変更したFPCでは、信号層とグラウンド層との距離が近くなるため、信号線の容量成分が増加します。同一のインピーダンス

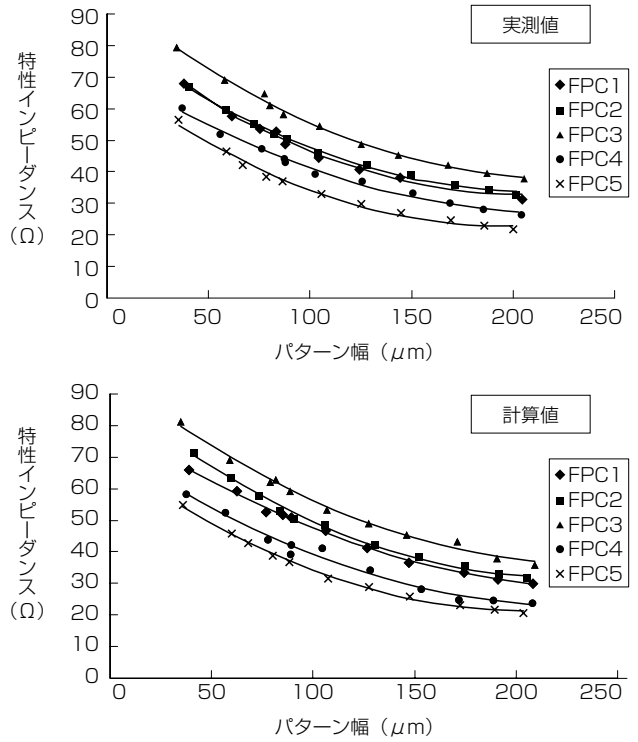


図5 特性インピーダンスの実測値(上)と計算値(下)の比較
Fig. 5. Comparison of measured and calculated characteristic impedance.

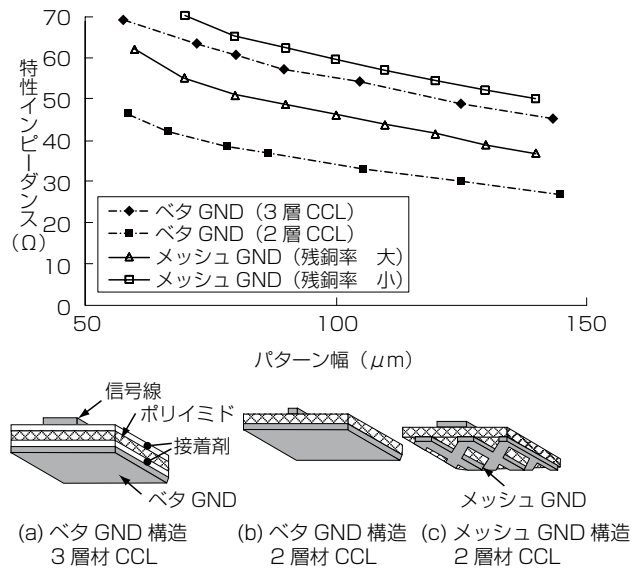


図6 メッシュGND構造FPCの特性インピーダンス
Fig. 6. Characteristic impedance of FPCs designed with mesh GND.

を保つには信号線のパターンを細くして容量成分を減少させる必要がありますが、信号線のパターン幅を細めると抵抗損失の増加や直流抵抗の増加等の問題が発生します。これに対してグラウンド層をメッシュ状にした構造(メッシュGND構造)にすると信号線の容量成分が小さくなり、パターン幅を細くせずにインピーダンスを一定に保つことが可能になります(図6)。グラウンド層をメッ

シュ状GND構造にすることで、FPCの柔軟性も同時に確保できます。

優れた高周波特性を実現するには、構造設計に加えて材料の選定が重要になります。低誘電率、低誘電正接を有する材料を用いることで、インピーダンス制御（特性インピーダンス、差動インピーダンス）、低損失が可能な製品を開発・実現できます。CCLのベースフィルムに液晶ポリマー（LCP）を有するFPCを用いることで優れた差動伝送特性を実現しました（図7）。

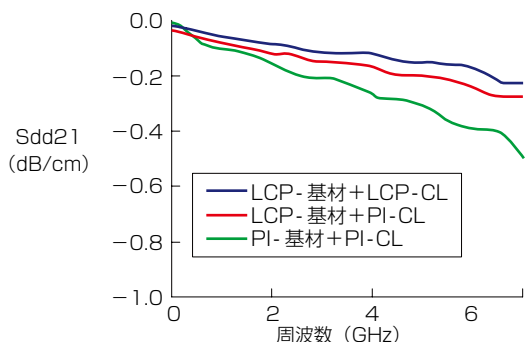
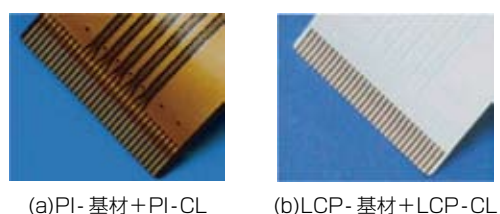


図7 高速伝送用FPCの差動伝送特性
Fig. 7. Sdd21 (Input differential insertion loss) of FPCs for high-speed signal transmission.

4. 部品実装技術

「薄く、柔らかく、曲げられる」を特徴とするFPCに部品を実装することでFPCの機能性は大幅に向上します。電子機器の小型化・薄型化の要求に伴い、機器内部の基板点数の削減や基板上に実装される部品の種類、部品サイズの小型化が求められ、当社では実装する部品の小型化に対応する実装技術を確立しました⁶⁾。

FPCに実装される抵抗器、積層セラミックコンデンサといったチップ型の受動部品のサイズは、従来の1005 (1.0 × 0.5 × 1.0 mm) あるいは0603 (0.6 × 0.3 × 0.6 mm) から、0402 (0.4 × 0.2 × 0.4 mm) サイズへと小

型化が進んでいます（図8）。チップ部品をFPCに実装するためには、部品電極をはんだ付けするための銅パッド（基板上の銅電極）を適切なサイズに設計する必要があります。高密度実装の観点から実装パッドサイズをできる限り小さくし部品の実装間隔を狭くすることが要求されますが、実装信頼性の観点ではパッド面積を小さくすると部品の回転ずれやはんだの濡れ不良など種々問題が発生します（図9）。

0402チップを実装する上で品質に大きく影響する要因の一つは、はんだ印刷および部品搭載位置のずれです。特に、薄い材料で構成されているFPCは硬質配線板と比較して基板の伸縮が発生し易く、実装信頼性を確保するためにパッド面積（レジスト開口面積、開口パターン）、はんだペーストの種類や印刷量、リフロープロファイル等の最適化が必要です。これら、実装に関する条件を適正化させることで、0402チップを含む異サイズ部品の実装を可能にしました（図10）。

小型部品の搭載が可能になったFPCは、配線板としての機能が進化しただけではなく、部品搭載されたFPCを一つのモジュール部品として使用することが可能になり

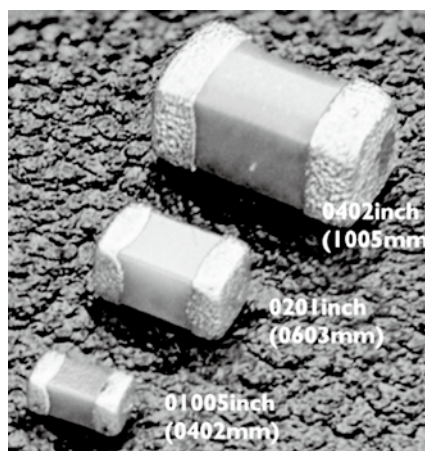


図8 チップサイズの比較
Fig. 8. Comparison of chip sizes.

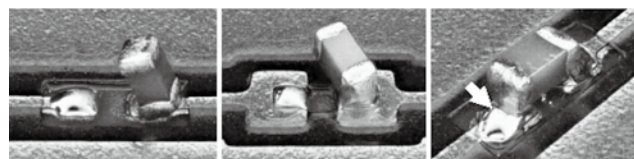


図9 実装後のオープン不良の例
Fig. 9. Examples of bonding defects after assembly.

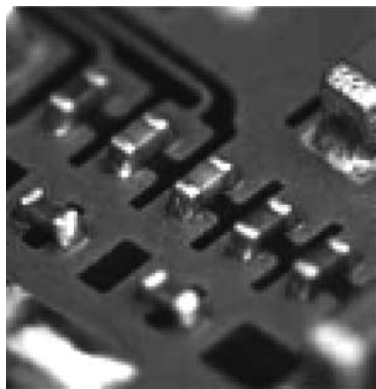


図10 異サイズ部品混載実装の例
Fig. 10. Example of on-board assembly of various components.

ました。このほか、表面実装部品の端子部にのみ絶縁・防水樹脂を塗布することにより、部品の機能およびFPCの屈曲性を損なうことなく防湿機能を付与したコンフォーマルコーティングFPC、FPC接続部にACPを印刷し、はんだが使用できない電子部品との接続を可能にしたACF印刷FPCなど、機能を向上させたFPCを開発・製造しています。

5. むすび

FPCは多様な構造、特性、機能を有し、様々な用途に使用されています。FPCは新しい用途の拡大に対応すべく課題を解決することで進化してきました。FPCの進化には、材料、装置、製造法の開発が必要であり、今後も当社はお客様の要求にこたえるべく、要素技術、生産技術の開発を続けていきます。

参考文献

- 1) 池田ほか：「微細回路形成技術」, フジクラ技報, 第115号, pp38-41
- 2) 野神ほか：「高精細高密度プリント配線板」, フジクラ技報, 第117号, pp33-37
- 3) 坂口ほか：「FPCにおけるインピーダンス制御の一考察」, フジクラ技報, 第109号, pp27-30
- 4) 渡邊ほか：「FPCの高周波特性の一考察」, フジクラ技報, 第110号, pp19-22
- 5) 小川ほか：「FPCにおける差動インピーダンス制御」, フジクラ技報, 第116号, pp19-21
- 6) 北田ほか：「FPC上への0402チップ部品実装技術」, フジクラ技報, 第118号, pp25-30