

FPC材料の要求特性と今後の動向

電子電装センタ 渡 邊 洗¹・桜 井 洋 文²・金 川 正³

The Future Trend and Characteristics of FPC

M . Watanabe , H . Sakurai & T . Kanagawa

デジタル家電の小型化，薄型化，高機能化にともない，FPC（Flexible Printed Circuit）の採用が拡大し，軽，薄，短，小に「柔」の要求も加えられ，さらに高密度化が進むと考えられている．また，環境問題への対応も必須になりつつある．ファイン回路，多層，高屈曲，柔軟，高耐熱，低誘電率，環境問題に対応したFPC材料の開発が進められている．

With household digital appliances becoming smaller, thinner, and more functional, it is thought that more FPC (Flexible Printed Circuits) will be used and there will be higher demand for lighter, thinner, shorter, smaller, more flexible, ones, as well as ones with higher density. Furthermore, it is becoming more of a requirement that there is consideration given to environmental problems. Therefore, development of FPC that are applicable for fine circuits, multi-layer, soft/flexible, heat-resistant, have a low dielectric constant and considerate of environmental problems, are advancing.

1. ま え が き

近年，デジタルスチルカメラ（DSC），デジタルビデオカメラ（DVC），ノート型パソコン，携帯電話，ゲーム機などに代表されるデジタル家電の小型化，薄型化，軽量化，高機能化に伴いFPCの採用が拡大している．

2004年の国内プリント回路基板の生産額は1兆円強で，FPCはその内の約20%を占め，今後年率10%以上の伸びが予測される．

FPCはプリント基板に要求されてきた，軽・薄・短・小に加え，「柔」の要素も要求されるようになり，さらに高密度化が進むと考えられる．

また，環境問題に対する意識が世界的に高まっており，欧州に端を発した環境負荷物質規制への対応も必須となり，これらの要求にこたえるため，FPC材料への要求特性も厳しくなっている．

本稿ではFPCを構成する主材料である銅張積層板（CCL）とカバーコート材の特徴，FPCに要求される仕様を満たすための主な材料の要求特性，さらにこれらの材料の今後の動向について説明する．

2. FPC材料の特徴

2.1 CCL

CCLは用途に合わせて，製法，フィルムと銅箔種類や厚さを組み合わせて選択することになる．電子用途のFPCでは耐熱性の点から絶縁フィルムにポリイミド（PI）を使用したものが一般的である．車のインパネに使用する，はんだ付け作業をしないFPCなどは，耐熱を必要としないので，ポリエステル（PET）やポリエチレンナフタレート（PEN）を使用したものもある．ここでは主にPIを使用したものについて取り上げる．

CCLはその構成から3層CCLと2層CCLに大別される．3層CCLは接着剤を用いてPIフィルムと銅箔を貼り合わせたタイプである．

2層CCLは製法により3種類に分けられる．銅箔にPIワニスコーティングするキャストタイプ，PIフィルムと銅箔をPI系接着剤で貼り合わせるラミネートタイプ，ポリイミドフィルムに金属を蒸着，あるいはスパッタリング

表1 各種CCLの特徴
Table 1. Characteristics of each CCL.

構造	製 法	特 性			
		耐熱	寸法	屈曲	価格
3層材	ラミネート法			-	安
	キャストタイプ				高
2層材	ラミネート法				高
	スパッタリング・めっき法				高

1 プロセス技術開発部
2 プロセス技術開発部グループ長
3 プロセス技術開発部長

表2 各種カバーコート材の特徴
Table 2. Characteristics of each cover-coat material.

種 類	特 徴	利 点	欠 点
カバーレイフィルム	CCLと同じ絶縁基材に熱硬化性接着剤を塗布した材料 エポキシ系、アクリル系接着剤を使用 開口部を抜き加工し、回路基板に貼り合わせ熱硬化する	取り扱い容易 耐久性が高い 屈曲特性が優れる	窓開け加工に金型と油圧プレスを使用 貼り合わせにプレス装置使用 CCLと精度よく貼り合わせるのが難しい 接着剤フローの制御が難しい
熱硬化・ 紫外線硬化インク	カバーする部分をスクリーン印刷法などで印刷し、硬化する	金型やプレスが不要で 加工費が安い 材料が安価	精細開口が難しい 屈曲性に劣る
感光性インク	感光性樹脂インクを印刷し、露光 現像によって開口部を除去した後、硬化する	薄いカバー層を形成 精細開口が可能 材料が安価	スルーホール部のテンティング性に劣る 屈曲性に劣る
感光性フィルム	感光性樹脂フィルムをラミネート、露光、現像して開口部を除去した後、硬化する	スルーホール部のテン ティング性良好 精細開口が可能	材料が高価 屈曲性に劣る

グした後に銅めっきをするスパッタタイプがある。ラミネートタイプは、PI系接着剤を使用するため擬似2層CCLとも呼ばれる。それぞれのCCLの主な特徴を表1に示す。

1) 3層CCL

3層CCLの接着剤はエポキシ系とアクリル系のものが主に使われている。品質、特性が安定しており安価であることから3層CCLが今日の主流である。

使用される接着剤は高温高屈曲の要求からは高Tgを有するものが使用され、環境負荷を軽減する目的からはハロゲンフリーの接着剤が使用されている。また、回路が精密になるにしたがい、密着性の高い接着剤や耐マイグレーション性に優れる接着剤の要求が高まっている。

PIフィルムは近年、寸法安定性の高いものが開発され、CCLへの応用も増加しつつある。フィルムの厚さは12.5, 20, 25 μmが一般的である。

銅箔には圧延銅箔と電解銅箔の2種類がある。特性が異なるため、FPC用途によって使い分けされている。圧延箔はHDD用途等の高屈曲性が要求されるものに使用され、電解箔はカメラ用途のように繰り返しの曲げが要求されないものに使用される。しかし電解箔でも、アニールすることにより屈曲性が向上する特殊電解箔が開発されてから、HDDほどの屈曲特性を必要とされないFDD用途等には電解箔が使われるようになってきている。電解、圧延箔共、9~70 μmの厚さのものが使用されているが、特に18と35 μm厚さの銅箔が大半を占めている。

2) 2層CCL

一方、2層CCLは一般的に3層CCLに比べ、耐熱性、寸法安定性、電気特性が良く、3層CCLでは要求特性を満たせない場合に使用されるケースが多い。例としては、プラズマディスプレイ用FPCのように、ワイヤボンディング対応や耐マイグレーション性が要求されるFPCに使用され、また最近では、折りたたみ式携帯電話のヒンジ部で多く使用されている。

2.2 カバーコート材料

カバーコート材料とは、CCLに形成された回路導体の絶縁、耐屈曲性の付与、外部環境から保護（錆や傷）のた

めに回路表面を被覆する絶縁材料のことである。カバーレイフィルム（CL）、熱硬化・紫外線硬化インク、感光性インク、感光性フィルムがある。

それぞれのカバーコート材の特徴を表2に示す。

カバーレイフィルムが最も一般的に使用されており、PIフィルムに塗られた接着剤の種類によって、汎用、ハロゲンフリー、高Tgなどの各種要求特性に対応している。

細密開口部や高精度の位置合わせが要求される場合には、アルカリ現像型感光性エポキシ、あるいはアクリル系のインクやフィルムが使用されている。最近、ハロゲンフリー、アンチモンフリー、耐折り曲げ性、低反発力、難燃性（UL対応）、高耐熱性等の要求が高まっている。これらの要求にこたえるため、アルカリ現像型感光性PIインクやフィルムが望まれるが、現時点ではすべての要求を満足するものは開発されていない。将来、アルカリ現像型感光性PIインクやフィルムがカバーレイフィルムと同等の機械特性を持ち、その代替となることが期待される。

3. FPC材料の要求特性

さまざまな製品の性能を満たすために、FPCにも多種多様な特性が要求される。

それは同時に、FPC材料への要求特性に直結するとと言える。

最近のFPCへの要求特性としては、高密度配線（ファイン回路、多層）、繰り返し屈曲性（常温、高温）、低反発、高密度部品実装、高速伝送、環境対応、難燃性等があげられる。

それぞれのFPCに対するFPC材料の要求特性を以下に述べる。

3.1 ファイン回路FPC材料に要求される特性

FPCの場合、ファイン回路を形成するためにサブトラクティブ法とセミアディティブ法が用いられている。これらの製法を比較すると、一般的にセミアディティブ法の方が製法上、ファイン回路形成に有利であるが、コスト、および生産性ではサブトラクティブ法が優る。

それぞれの製造方法の概略を図1に示す。

ファイン回路パターンでは、高い耐マイグレーション性と高い寸法精度が要求される。

サブトラクティブ法の場合、ロープロファイルで薄い銅箔のCCLを採用することで、よりファインな回路が形成できる。銅箔のプロファイルの差によるエッチング性の比較を図2に示す。また、銅箔厚とパターンピッチの関係を図3に示す。

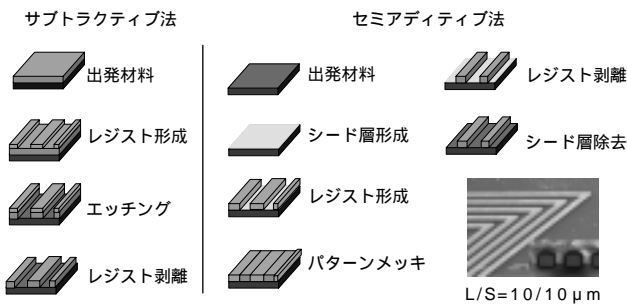
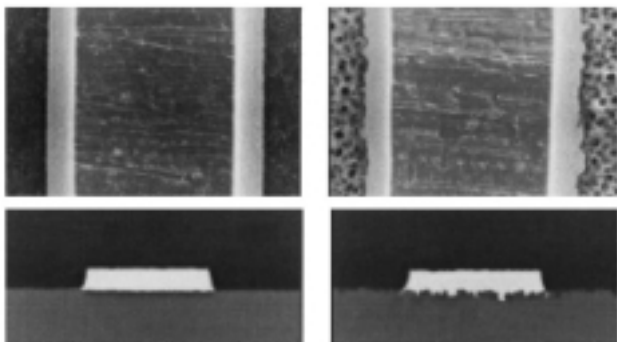


図1 サブトラクティブ法とセミアディティブ法の製法比較
Fig. 1. Manufacturing method comparison of the subtractive method and the semi-additive method.



ロープロファイル銅箔 汎用銅箔

図2 銅箔プロファイルによるエッチング性の比較
Fig. 2. Comparison of etching characteristics by a copper foil profile.

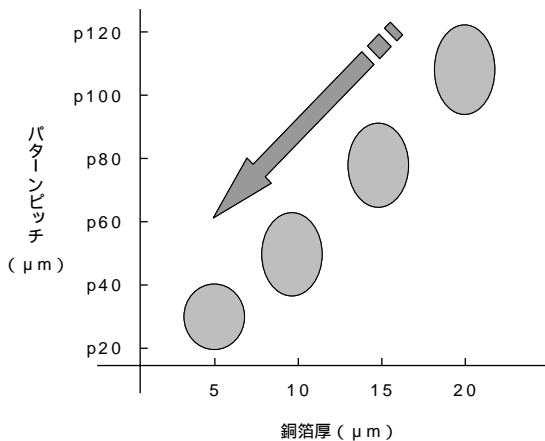


図3 銅箔厚とパターンピッチの関係

Fig. 3. The relationship of copper foil thickness and pattern pitch.

セミアディティブ法の場合はピール強度とシード層のエッチング性が特性を左右する。

3.2 高屈曲FPCに要求される特性

最終的には実機テストで確認されるが、光ピックアップやHDD磁気ヘッド駆動部用途のFPCでは、図4に示したIPCモードの評価データが信頼性の目安とされている。携帯電話のヒンジ部用途FPCでは、図5に示した実機を模擬したヒンジモードで評価試験を行っている。表3にその要求特性の一例を示す。

光ピックアップやHDD磁気ヘッド駆動部用途のFPCは近年、車載用途が増えてきており、高温下で高屈曲寿命が要求されるようになってきている。

これらの優れた特性を得るために表4に示したような特性を持つFPC材料が求められる。また、CCLとCLの組み合わせによる厚さや弾性率のバランス等の違いが屈曲特性

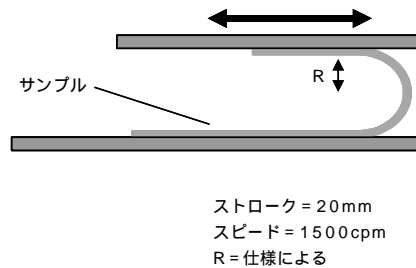


図4 IPCモード
Fig. 4. The IPC mode.

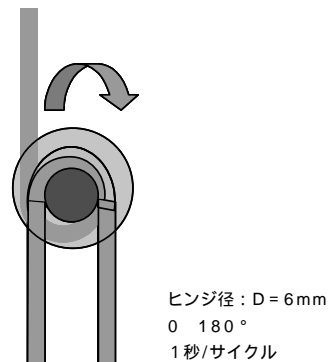


図5 ヒンジモード(α巻き)
Fig. 5. The hinge mode.

表3 要求屈曲寿命
Table 3. The required life span of the bendability.

用途	屈曲モード	要求特性
HDD	常温 IPC	1億回以上
	80 IPC	1億回以上
光ピックアップ	常温 IPC	1,000万回以上
携帯電話	ヒンジ 巻き	10万回以上
	U字曲げ	10万回以上

表 4 高屈曲材料
Table 4. Materials for high bendability.

CCL	銅箔	薄い, 粒界面が多い
	接着剤 (3層の場合)	薄い, 高Tg, 高弾性率, 高ピール強度
CL	PI	薄い
	接着剤	薄い, 高Tg, 高弾性率, 高ピール強度
	PI	薄い

を大きく左右する。

HDD向けFPCの場合, 高屈曲特性のほかに低アウトガス, シリコンフリー, 低イオンコンタミ等のクリーン度も厳しく要求される。さらに最近では, 駆動消費電力を抑えるため, 低反発FPCの要求が高まっており, より薄く, 柔らかい材料が求められている。

3.3 高速伝送FPCに要求される特性

高精細表示デバイスなどの普及にともない, FPCに高速信号を流す要求が増加している。

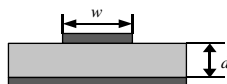
高速伝送用FPCはインピーダンス不整合による信号の劣化を抑えるため, インピーダンス制御が不可欠である。

インピーダンスの制御がしやすい材料の要求特性は, 低誘電率で絶縁層厚が均一であることである。

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} \left(\begin{matrix} l(H/m) & \text{単位長さあたりのインダクタンス} \\ \alpha(F/m) & \text{単位長さあたりの静電容量} \end{matrix} \right) \dots (1)$$

$$C \approx \frac{w}{d}(F/m) \dots (2)$$

$$Z_0 \propto \sqrt{\frac{d}{w}} \dots (3)$$



インピーダンス Z_0 は, (1) 式のとおりインダクタンス (L) と静電容量 (C) から求められる。

FPCの静電容量 (C) は (2) 式のとおり, FPCの導体幅 (w), 絶縁層厚 (d), 絶縁層の誘電率 (ϵ) に依存する。

(3) 式からインピーダンスは, 回路幅 (w) と絶縁層の誘電率 (ϵ) の平方根に反比例し, 絶縁層厚 (d) の平方根に比例することになる。

回路幅の設計自由度を大きくするためには (3) 式から, 材料厚 (d) が厚く, 誘電率 (ϵ) が低い絶縁材料が求められる。

しかし上述したように, 材料厚さは薄くなる傾向があるため, 低誘電率の絶縁材料の要求が高くなってきている。一般的なPIフィルムの誘電率は1MHzで約3.5であるのに対し, 一部のPI系2層材や液晶ポリマベースでは3.0といったものが開発されてきている。

LCPの吸湿率は, PIのそれと比較して非常に低く, 使用環境に左右されることが少ないため低誘電率材料として注目を集めている。

3.4 多層FPCとR-F基板材料に求められる特性

材料を積層し層間接続するため, 下記の特性が要求される。

- 1) 寸法安定性: 層間位置合わせ

- 2) 電気特性: 層間絶縁性と耐マイグレーション性
- 3) 層間の接続信頼性: 良好なドリリング性とスルーホールめっきのつきまわり性

* 層間の位置ずれ, 層間接着剤等の密着性, 工程条件等にも左右されるが, 接着剤やベースフィルムの種類による影響も大きい。

- 4) 耐熱性: 部品実装
- 5) 柔軟性: フライングテール部等のFPC

3.5 実装FPC材料に要求される特性

多様な実装方式への対応を可能にするため下記の特性が要求される。

- 1) 耐熱性: リフロー時に剥がれ, 膨れが生じない
- 2) 高温ピール強度: 熱接続時の回路剥がれやずれが生じない
- 3) 高温時の高弾性率: 接続信頼性を確保する
- 4) 寸法安定性: ACF接続位置, また高密度部品実装

3.6 環境対応FPC材料への要求特性

ここでは, 環境負荷物質対応材料とその問題点, 要求特性をまとめる。

- 1) ハロゲンフリー対応材料

FPCの多くはUL難燃規格を満足させるために, これまで, 基材の貼り合わせに使用する接着剤には安価で難燃効果の高いハロゲン系難燃剤を使用してきたが, このハロゲン系難燃剤からは燃焼廃却時にダイオキシン等の有毒ガスが発生する。

そのためハロゲン系難燃剤の代わりにリン系難燃剤を使用する材料が出てきたが, 諸特性がハロゲン系難燃剤の接着剤より劣る傾向にある。特に耐マイグレーション性や接着力は低下する恐れがあり, 接着剤の選定の際には慎重な評価が必要である。

CCLでは2層CCLが一般的にハロゲンフリーであり, 耐マイグレーション性や接着力も満足するものが多い。

- 2) RoHS対応材料

RoHS指令とは, EUで法制化される電子機器等に含まれる有害物質を規制する法律で, この法律の施行後 (2006年7月施行予定) は対象物質を含有した製品をEUに輸出すると, 法律違反となり罰則が適用される。対象物質は, Pb, Hg, Cd, Cr⁶⁺, PBB, PBDEの6物質である。

FPCでははんだめっきに規制対象物質である鉛が含まれるため, この対応が急がれている。はんだめっきは鉛フリーはんだや金めっき, 有機防錆への置き換えが進んでいる。鉛フリーはんだめっきは, 錫, 銀, 銅等の合金めっきが使用されているが, ウィスカの発生やリフロー温度が高くなるなどの問題点があり, さらなる改良が必要である。

- 3) リンフリー

臭素系難燃剤の代替としてはリン系難燃剤が使用されているが, 将来的に規制対象になる可能性がある。

- 4) アンチモンフリー

アンチモンは難燃助剤, 触媒として使用されているが, EUを中心に規制対象の動きがあり代替材の検討が必要である。

5) VOC (揮発性有機物)

現在、住宅や車関連の部品で規制があるが、FPC材料でもVOCの調査依頼が増えてきており、将来的に対応が必要になってくる。FPC材料ではVOCは粘着剤に含まれることが多いが、最近無溶剤タイプの粘着剤も上市されている。

4.むすび

ユビキタス社会の端末機器などの市場動向から、FPCの需要は、今後、さらに拡大されると予想されている。今後もファイン回路、多層、屈曲性、柔軟性、高速伝送、環境対応、および低コスト等を踏まえた材料開発がますます進むものと期待される。