多層フレキシブルプリント配線板—電子機器への採用と特徴—

宮崎 博明*

Multi-Layer Flexible Printed Circuit—Application and Advantages—

Hiroaki MIYAZAKI*

*日本メクトロン株式会社技術本部 (〒300-1253 茨城県つくば市天宝喜757)

*Engineering Division, Nippon Mektron, Ltd. (757 Amaboki, Tsukuba-shi, Ibaraki 300-1253)

1. はじめに

昨今フレキシブルプリント配線板（以下、FPC: Flexible Printed Circuit）の成長性が注目されている。

FPCは1960年代後半、アメリカにおいて宇宙船、航空機のケーブル用途に開発され、日本では日本メクトロンが1969年にアメリカ・ロジャーズ社との技術締結によりFPCの開発・製造を開始した。FPC大量生産は1970年代の後半にマイコンを搭載した一眼レフカメラのメインプリント配線板に採用されたのが始めてであり、その後カーオーディオに、1980年に入り携帯用ビデオカメラ、ラジカセなど民生用携帯機器に相次いで採用された。また、産業用では1970年後半に米国の大型コンピュータ・ハードディスク装置(HDD)のヘッド接続用に採用された後に国産HDDにも採用され、1990年の半ばにパソコンに搭載され、その数量を伸ばしてきた。また、軽薄短小の代表格とも言える携帯電話に採用されたFPCは、1990年代の半ばからその爆発的な普及の波に乗りスティックタイプでは複数電子部品の搭載を、折り曲げタイプではそのヒンジ部に必須のケーブルとして採用されてきた。

一方FPCの発展型の1つとして開発された多層フレキシブルプリント配線板（以下、多層FPC）は、1990年後半にデジタルビデオカメラ、デジタルカメラなどに採用されてきたが、2002年の携帯電話への採用により大幅な生産増となった。今回はその多層FPCに焦点を当て、その用途と採用例、市場動向、構造、将来展望について紹介する。

2. 採用例紹介

われわれの多層FPC開発の歴史は1990年に入ってから始まり、その開発は米国パソコンメーカーのノートパソコン用フレックスリジッドプリント配線板（以下、FR: Flex Rigid）がきっかけであった（図1）。

従来の平板のプリント配線板を組み込むのではなく、プリント配線板をHDD、フロッピーディスクと同様に立体的

なモジュールとして電子機器に組み込むことで、電子機器の設計と組み込みの効率化が図れると考え開発を進めた。よって著者らも当初はFRの開発からスタートしたが、その後FPCを積層して製造する多層FPC（フレクスボード）の開発に切り替えた。その理由は、硬質のガラスエポキシ基板とポリイミドフィルムを積層したFRより、同じ材質のポリイミドフィルムを積層した多層FPCの方の信頼性が高かったこと、得意とするFPCの製造をベースに積層する方がトータルコストを抑えることができるとの判断からであった。

1990年前半に多層FPCの初期に採用された電子機器は、メモリーカード、カメラなどで薄さと軽さの長所を生かした採用であった。その後、コンピュータ会社で製造されたPOS用ハンディターミナルに採用され、製造現場での組み

図1. パソコン用フレックスリジッドプリント配線板

図2. DVC 用1段ビルド6層FPC

図3. デジタルカメラ SVH6層FPC

込みやすさと製品落下時の部品落下がほとんどないなど高い評価を得た。さらに薄形化、狭額縁化を目指す液晶ディスプレイの外部接続部 (OLB部) に採用され、8層構造・厚さ0.6mm・高寸法精度を満たすという難易度の高い仕様であったが、量産化に成功した。1990年の半ばに一斉に始まったデジタル化の波に乗り、デジタルビデオカメラ、デジタルスチールカメラ、DVD光学ピックアップに採用されている (図2,3)。

携帯電話では、折り畳みタイプのヒンジ部には従来から片面または両面FPCは採用されていたが、カラー化カメラ

付きなどにより信号本数の増大対策とコネクタレスの組み込みやすさから、液晶受け基板とヒンジ部のケーブルが一体となった多層FPCが採用され、2002年には日本の携帯電話メーカーのほとんどが多層FPCを採用するに至った。また、折り畳み携帯電話の薄形化により、ヒンジ径が小さくなるに従って耐屈曲性能アップが要求され、積層構造と材質を変えることで屈曲回数を伸ばす工夫をしてきた。また、不要輻射ノイズ対策用として屈曲性能を落とさずに極薄シールド材を張り合わせたケーブル付き多層FPCも開発された (図4,5)。

図4. 携帯電話4層FPC両面ケーブル付き

図5. 携帯電話多層FPCシールドケーブル付き

3. 市場動向

JPCAの統計でも多層FPC, FRはここに来て際立った成長をしているが、その要因は以下のように考えている。

- (1) 多層FPCは、携帯電話への採用が増えたことで、2002年に約2倍と大幅に伸びた。
- (2) FRは、2002年の携帯電話市場での多層FPCの大量採用に刺激され、デジタルカメラを始めとするその他の市場でも採用され、2003年に約4倍と大幅に伸びた(表1)。

4. 多層FPCの特徴

硬質プリント配線板の実装性、高密度実装の良さ、FPCの設計自由度、柔軟性、3次組み込みの良さをあわせ持つ多層FPCの特徴を述べる(図6, 表2)。

- (1) 多層FPCは、図6のようにコネクタレスでプリント配線板を接続するプリント配線板である。
- (2) 多層FPCは、材料面で、FRと異なり、ポリイミドフィルムを基材として、積層接着剤を用いて積層していく。よって、FPCの電気特性を生かした高速信号にも対応した低誘電率の基板ができる。
- (3) 硬質プリント配線板間に折り曲げ可能なフィルムを用いているので、自由な立体配線が可能であり、筐体に合わせた3次元組み込みが可能である。
- (4) コネクタレスにより、接点での電気抵抗のロスが低

表1. プリント配線板生産動向

〔億円/年, 暦年〕		2000年	2001年	2002年	2003年	前年比 (%)	2004年 計画	前年比 (%)
硬質プリント 配線板	片面プリント配線板	648	421	349	341	97.6	320	93.8
	両面プリント配線板	2190	1754	1567	1529	97.6	1521	99.5
	多層プリント配線板	5562	4302	3518	3561	101.2	3748	105.2
	ビルドアッププリント配線板 (多層の内数)	1190	1030	957	1060	110.8	1268	119.6
FPC	片面FPC	1085	830	887	955	107.7	1055	110.4
	両面FPC	542	492	542	807	148.8	974	120.7
	多層FPC	142	105	191	282	147.7	380	134.9
その他	フレックスリジッドプリント配線板	56	23	41	201	491.7	259	129.0

多層FPC、フレックスリジッドプリント配線板生産動向

資料: JPCA

図6. 多層FPC概念図

表2. FPC材料特性

項目	ポリイミド	FR-4
1. 厚み(μm)	12.5 μm, 25 μm	100 μm
2. 線熱膨張係数(ppm/°C)	X, Y方向: 20 Z方向: 20	X, Y方向: 12~15 Z方向: 50~60
	* 銅の熱膨張係数: 17~18	
3. 比重(g/cm ³)	1.4	1.8
4. 比誘電率at 1 (MHz)	3.2~3.4	4.7~4.8
5. 誘電正接at 1 (MHz)	0.005~0.009	0.013~0.015

減され高速信号を用いる電子機器に有効である。

- (5) デジタル電子機器のプリント配線板間の信号線増加に伴い、数十本以上の信号用コネクタが必要となるが、プリント配線板のスペース確保が難しく、その解決策として多層FPCは最適である。
- (6) 狭い箇所での組み込みが短時間にできるため、アッセンブリーコストが削減できる。
- (7) ポリイミドフィルムを採用しているため、薄くて軽い多層プリント配線板が実現できる。
- (8) コネクタ実装部を少なくすることでプリント配線板実装部の高密度化、部品点数の削減に貢献する。
- (9) 硬質プリント配線板の実装ラインを利用できる。

5. 設計コンセプト

(1) パターン設計の自由度向上

従来、硬質プリント配線板間を接続する場合は、プリント配線板とこれらを接続するケーブルとコネクタの三者を別々に設計しなければならなかったが、多層FPCあるいはビルドアップ多層FPC（フレクスビルドボード）を採用することによって、筐体設計が決定された段階で筐体に合わせ、硬質基板部とケーブル部を立体的に一体で設計することができる。

(2) 接続信頼性の向上

基板間を接続するための接点が必要となり、電気接続信頼性に優れている。また、機器組み立て後の接続テストも削減できる。

(3) 基板厚みの自由度が高い

次に材料構成でも述べるが、コア、ビルドアップ層ともにFPCに用いられている薄いポリイミドフィルムを基材として積層接着剤を用いて多層化しているため、多層板の積層構造を自由に設計でき、その厚さもコントロールできる。

(4) ケーブルの引き出し

各層ともにFPCを用いているので、各層からのケーブル引き出しの自由度が高く、応用度の高い構造設計が可能である。かつ、コネクタ端子付きケーブルの引き出しもできる。

(5) ケーブル部の屈曲

プリント配線板間を接続するケーブル部の屈曲については、用途によって異なるが、例えば携帯電話のヒンジ部に採用される場合、180度開閉テストで20万回を要求される。FPC本来の特徴を生かした設計が可能であり、屈曲半径、屈曲部形状など十分な配慮が必要であるが、FPCメーカーの屈曲に関するノウハウを生かすことができる。

6. 設計仕様

多層FPC（フレクスボード）、ビルドアップ多層FPC（フレクスビルドボード）の設計仕様を表3に示す。

7. 材料構成

多層FPC（フレクスボード）断面構造を図7に示す。量産してきた層構成は3層~10層である。

表3. 多層FPC設計仕様

種 類	多層FPC (フレクスボード)	ビルドアップ多層FPC (フレクスビルドボード)
項 目		
層構造	3層~10層構造	コア層+ビルドアップ層
構成材料	ポリイミド・接着剤 プリプレグ・銅箔	ポリイミド・接着剤 プリプレグ・銅箔
多層部総厚み (参考値)	~1.0 mm	0.60~0.80 mm (8層設計目標)
最小パターン幅/ 最小パターン間隙	0.1 mm/ 0.1 mm	0.075 mm/ 0.075 mm
最小スルーホール ランド径	φ0.5 mm	φ0.5 mm
最小スルーホール径	φ0.25 mm	φ0.25 mm
最小ビルドアップ ビアランド径	(φ0.3 mm: SVH)	φ0.3 mm
最小ビルドアップ ビア径	(φ0.1 mm: SVH)	φ0.1 mm
搭載IC例	—	0.8 mm~0.8 mm ピッチ CSP

図7. 多層FPC（フレクスボード）断面構造

(1) 基材

基材となる材料は、FPCに用いられるポリイミドフィルムを基材とし、積層接着剤を用いて多層化している。

- ・ポリイミドフィルム厚み：1 mil (25 μ m) または 1/2 mil (12 μ m)

(2) 導体

ベースとなるフレキシブル銅張板は、従来の3層構造タイプ（ポリイミドフィルム＋接着剤＋銅箔）または2層構造（ポリイミドフィルム＋銅箔）が用いられる。

- ・導体厚み：1 oz (35 μ m), 1/2 oz (18 μ m), 1/3 oz (12 μ m)

(3) 積層接着剤

積層接着剤としては、従来のアクリル系接着剤シートおよびプリプレグを採用している。

- ・接着剤厚み：10 μ m～50 μ m
- ・プリプレグ：40 μ m～110 μ m

8. 製造技術の課題

(1) 位置合わせ精度

微細化・高密度化する各層の位置合わせは、その精度を常に高めていく必要がある。常に寸法変化する片面・両面

FPCを重ねて多層化し、かつ吸湿性の高いポリイミドフィルムが用いられているため、ラミネートとその前後の処理において独自の材料と生産技術が不可欠である。

(2) 平坦度性

高密度実装に伴い0.8mmピッチCSP、あるいは0.5mmピッチCSPを確実にプリント配線板面に表面実装するためには、その平坦度を正確に出す必要がある。加工装置の平坦度はもちろん、接着剤の選定などいくつかの点をクリアする必要がある。平坦度は搭載される実装方法にもよるが、IC実装部で30 μ m内を要求される。

(3) 信頼性

われわれの開発した多層FPCおよびビルドアップ多層FPCは、FRと異なり、均質な材料で構成されているため、製造工程中のスミアなどの問題も発生しにくく、各素材の熱膨張係数の違いによるスルーホールめっきに対する影響も小さいため、高い信頼性を得ることができる。表4に信頼性データ結果の一例を示す。

(4) 環境対応

環境問題への関心も高まり世界的に注目されているが、われわれの開発した多層FPCおよびビルドアップ多層FPCは、ハロゲンフリー対応プリント配線板が可能であり、環境問題にも配慮されている。また、鉛フリーに対してもリフロー温度のアップも考慮した材料構成になっている。

9. 将来展望

電子機器のビジネス環境は小型化、薄形化、高機能化に向かって常に進化しており、携帯通信機器、PDA、ポケットサイズビデオカメラ、ウェアラブルコンピュータなどが代表例であるが、それらは無線通信あるいはインターネットでネットワーク化されていくと考えられる。多層FPCは、それら軽量・小型・薄形・高機能化している電子機器の機

表4. 信頼性データ

試験方法	試験項目	条 件	試験頻度	結 果
1. 高温高湿試験 (PCBT)	①外観 ②導通抵抗 ③絶縁抵抗	①温度：121℃ ②湿度：85%RH ③気圧：1.8気圧 ④印加電圧：DC5V	120 hr・n	外観・導通抵抗・絶縁抵抗ともに異常なし
2. マイグレーション試験	①外観 ②絶縁抵抗	①温度：60℃ ②湿度：90～95%RH ③印加電圧：DC25V	500 hr・n	外観・絶縁抵抗ともに異常なし
3. 熱衝撃試験	①外観 ②導通抵抗	−65℃ (30 min) ↑↓ 常温 (5 min) ↑↓ 125℃ (30 min)	500 サイクル n=5	外観・絶縁抵抗ともに異常なし
4. はんだ耐熱試験	①外観	①温度：300℃ ②時間：10 sec ③試料の前乾燥：125℃-90 min	1回・n=5	異常なし

高周波対応プリント配線板とは？

周波数による損失の差

高周波対応 絶縁樹脂材料が必要

図8. 高周波対応プリント配線板

(断面図)

(4層LCP配線板)

図9. 4層液晶ポリマープリント配線板

能が異なるプリント配線板を効率よく立体的に接続する手段として展開されていくと考える。

また、パソコンを始め電子機器の性能は年々アップして

おり、パソコンの動作周波数は2GHzを超えているが、近い将来10GHzを超えられている。高周波信号は10GHzを超えると絶縁樹脂材料による損失が大きくなり、誤動作を発生しやすくなる。われわれは高周波でも動作保証が可能な液晶ポリマーを絶縁層（クラレ、新日鐵化学と共同開発）に用いた多層FPCを開発中である（図8,9）。

10. まとめ

- (1) 多層FPCはFPCの柔軟性・屈曲性と硬質プリント配線板の部品実装性の良いところを併せ持った製品である。
- (2) 多層FPCは電子機器への組み込みやすさ・立体配線を狙った製品である。
- (3) 多層FPCは軽薄短小化・高機能化・高密度実装化が進む携帯電子機器に貢献する製品である。
- (4) 多層FPCは電子機器の設計の自由度を大きく与える製品である。
- (5) 多層FPCは将来の電子機器に夢を与える製品である。

(2004.5.28-受理)

宮崎 博明 (みやざき ひろあき)

昭和23年生まれ。昭和47年、千葉工業大学電気工学科卒業。現在、日本メクトロン株式会社技術本部において、マーケティングおよび新商品企画に従事。