



高温長期信頼性に優れた フレキシブルプリント回路基板

Flexible Printed Circuit with High-Temperature Long-Term Reliability

米澤 隆幸*
Takayuki Yonezawa

改森 信吾
Shingo Kaimori

山内 雅晃
Masaaki Yamauchi

柿本 正也
Masaya Kakimoto

石井 雄基
Yuki Ishii

内田 淑文
Yoshifumi Uchita

フレキシブルプリント基板 (FPC) は、携帯機器をはじめとする電子機器に使用されており、近年はその薄肉軽量で部品搭載が可能な特長を活かし、LED照明や車載用途など、幅広い分野に採用が広がっている。課題となるのが高温長期信頼性であり、電子機器で求められる信頼性が100℃以下であるのに対し、照明や車載用途では100℃以上、好適には150℃での信頼性が求められる。今回、耐熱性信頼性に優れた接着剤を新規に開発し、ニーズの強い150℃で連続使用可能なFPCを実現した。

The flexible printed circuit (FPC) is commonly used in electronic equipment including portable devices. Due to its thinness and lightness, the FPC is being increasingly used for LEDs and in-vehicle applications. For these uses, however, the major problem is long-term reliability at high temperatures: whereas the FPC needs to be heat resistant up to 100°C for use in electronic devices, LEDs and in-vehicle applications require a higher resistance up to 150°C. Sumitomo Electric Industries, Ltd. has developed an adhesive with high heat resistance and thus created an FPC that withstands up to with 150°C.

キーワード：FPC、接着剤、ポリイミド、高温長期信頼性

1. 緒言

フレキシブルプリント回路基板 (FPC) は、小型、薄型、高屈曲という特長により、電子機器に不可欠な製品として広く使われている。当社では研究部門で1965年にFPC開発を開始して以来、柔軟な創造力と銅電線の製造技術を礎とした独自技術の開発によって、エレクトロニクス業界のニーズに応える製品を送り出してきた⁽¹⁾。

表1にFPCの特長について示す。FPCはリジッド基板と比較して薄くて柔軟性に優れる点やフラットケーブルと比較して高密度配線が可能である特長を活かし、LED照明や車載用途の一部にも採用が広がっている。しかし、一般に使用温度が100℃以下である電子機器用とは異なり、照明や車載用途では、使用環境が100℃以上となることも多く、FPCには100℃以上、好適には150℃の高い耐熱性が求められる。我々は、このような要求に対応すべく、150℃高温環境下で

も連続使用可能な高温長期信頼性に優れたFPCを開発したので報告する⁽²⁾。

2. 開発ターゲット

2-1 FPCの基本構成

FPCの基本構造は導体を1層のみ使用した片面板と導体を2層使用した両面板である (図1)。これらは、導体 (銅回路+銅めっき) を電気的に絶縁するために、熱プレスで接着剤を介してポリイミドフィルムを貼り合わせた構造で、FPCの耐熱信頼性を向上するには、最も耐熱信頼性が低い接着剤の耐熱信頼性を高める必要がある。

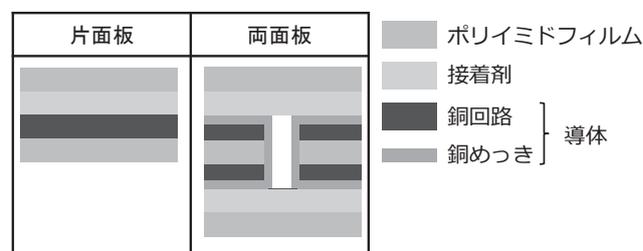


図1 FPCの基本構造の断面図

表1 FPCの特長

配線材	FPC	フラットケーブル	リジッド基板
少スペース (厚さ)	<0.1mm	<0.1mm	<0.2mm
配線密度(L/S)	0.050 /0.050mm	0.300mm /0.200mm	0.050 /0.050mm
回路設計自由度	分岐可能	1対1配線	分岐可能
回路層構造	単層/多層	単層	単層/多層
長さの制約	<550mm	なし	<550mm
柔軟性	○	○	×

2-2 開発ターゲット

近年、カーエレクトロニクス化の高度化、高性能化が進み、高温となるエンジンルーム内にも数多くのセンサー、ECU*1、アクチュエータ等の部品が搭載されるようになった結果、薄肉軽量で高密度配線が可能なFPCのニーズが高まっている。図2に車載用FPCの製品ターゲットを示す。

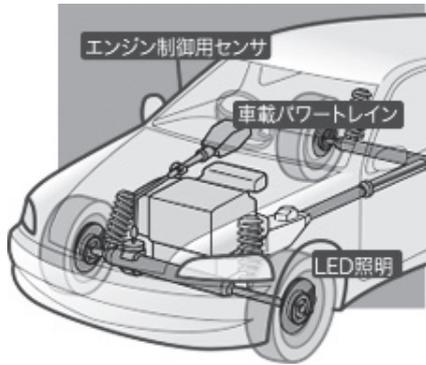


図2 車載用FPCの製品ターゲット

しかし、従来のFPCでは、150℃で使用した場合、構成材料のうち最も耐熱性が低い接着剤の密着力が経年劣化により低下し、ポリイミドフィルムが導体から剥離するという問題があった。そこで、耐熱信頼性に優れた接着剤開発をターゲットとした。

3. 高温長期信頼性に優れたFPC用接着剤の開発

3-1 開発目標

車載用の電線規格 (ISO6722) には、Class AからClass Hまで耐熱規格があり、150℃定格はClass Dに相当する。その長期熱老化試験の内容は、「定各温度環境下にて3,000時間放置し、巻き付け試験後に絶縁層の破壊有無を確認する」と定められているが、FPCには相当する耐熱規格がないこと

表2 開発目標

項目	目標値
(I) 高温長期信頼性	
150℃ 3,000時間後の密着力	≧3.4N/cm
85℃ 85%rh 3,000時間後の密着力	≧3.4N/cm
150℃ATF オイル*中3,000時間浸漬後の密着力	≧3.4N/cm
(II) FPC一般要求特性	
密着力	≧8.0N/cm
半田耐熱性	≧280℃
接着剤の回路間への充填性	ポイドなきこと

*トヨタ純正ATF オイル タイプWS使用

から、Class Dに準じて「150℃ 3,000時間放置後に、FPCに求められる密着力 (JPCA規格*2、3.4N/cm以上) を満たすこと」を目標とした。更に、車載用途で要求される高温高湿下での信頼性 (湿熱信頼性) や、ATF*3オイルへの耐油信頼性についても同様に目標値を設定した。これらに加え、接着剤には、密着力、半田耐熱性、回路間の絶縁性を確保するために接着剤の充填性が要求される。表2に開発目標を示す。

3-2 材料設計

従来のFPC用接着剤には、密着性に優れたアクリル系樹脂やポリアミド樹脂等の汎用熱可塑性樹脂をベースとし、熱硬化性のエポキシ樹脂を配合して分子間を架橋することで半田耐熱性の要求を満たした接着剤が広く用いられている。しかしながら、ベースである汎用熱可塑性樹脂の連続使用可能温度は100℃と低く、このことが従来のFPC用接着剤の高温長期信頼性が低い原因であった。そこで、接着剤に適用する樹脂材料の検討を実施した。

FPCの主要構成材料であるポリイミドは、半田耐熱性や高温長期信頼性に優れた樹脂である。しかし、ポリイミドは、熱プレスで貼り合わせる際に熱軟化しないため回路間に充填せず、絶縁性を確保できない課題があった。そこで本開発では、当社が長年蓄積してきた耐熱樹脂の合成技術を活用して、高温長期信頼性に優れたポリイミド樹脂に、回路への充填性と長期耐熱性が良好な特殊な熱可塑性樹脂を共重合*4し、接着剤に適用することを検討した。このような共重合樹脂は、ポリイミド樹脂骨格と熱可塑性樹脂骨格が繰り返し結合することで、加工時には熱可塑性樹脂骨格が軟化変形して回路間への充填性を発現し、ポリイミド樹脂で高温長期信頼性を満足させることができると考えられる。更に、共重合樹

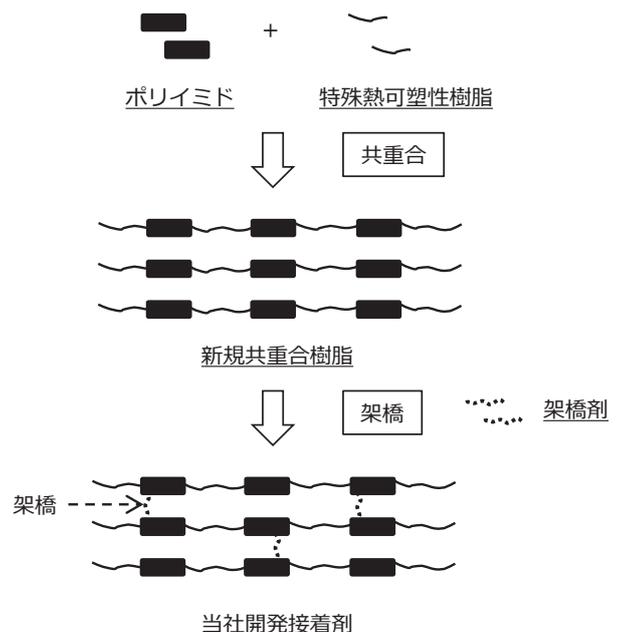


図3 当社開発接着剤の模式図

脂同士を架橋することで、半田耐熱性も確保できるようになると考えられる。この材料設計指針に基づき、ポリイミド樹脂と熱可塑性樹脂との共重合比率を最適化した新規共重合樹脂を合成し、共重合樹脂間を架橋剤で架橋することで、高温長期信頼性とFPC一般に要求される回路間への充填性、半田耐熱性等の特性を両立可能な当社独自の接着剤を開発した(図3)。

4. FPCの性能評価

開発した接着剤、及び比較対象として当社従来の接着剤を用い、更に表面処理した基板を用いて、各々FPCを試作し(開発品及び従来品)、150℃耐熱信頼性、85℃85%rh湿熱信頼性、ATFオイル中150℃耐油信頼性を評価した。なお密着力は恒温槽、恒温恒湿槽からサンプルを取り出した後に引張試験機(装置名:オートグラフAG-IS、島津製作所(株))を用いて室温下、180度剥離強度測定法(JIS K6854)にて評価した。

(1) 150℃耐熱信頼性

150℃恒温槽内にて、FPCを3,000時間まで加熱後の密着

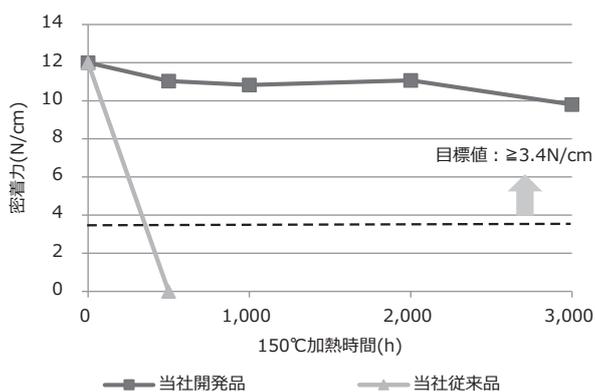


図4 当社開発品と当社従来品の150℃耐熱信頼性

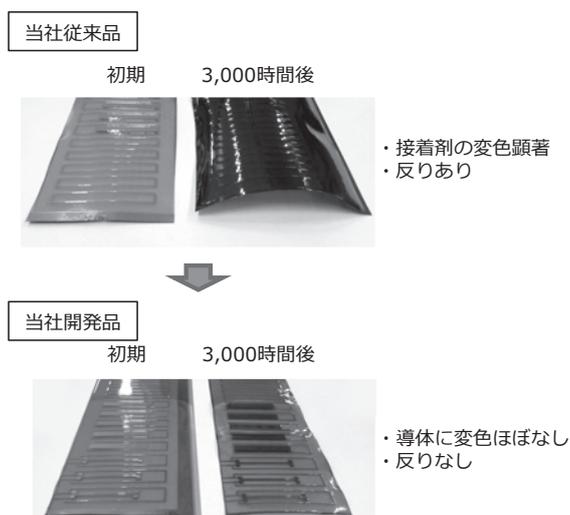


図5 当社従来品と開発品の外観

力を測定した結果、当社開発品は当社従来品に比べて高い耐熱信頼性を有することを確認し、150℃3,000時間後も密着力がJPCA規格(≥3.4N/cm)を満たすことができた(図4)。

図5に加熱前のサンプルと3,000時間加熱後のサンプルの外観を示す。開発品は加熱後も変色は少なく、反りも見られなかった。

(2) 85℃85%rh湿熱信頼性

85℃85%rh恒温槽内にて3,000時間まで加熱した際の密着力の経時変化を図6に示す。開発品は3,000時間後も密着力の低下は見られなかった。

(3) 150℃耐油信頼性

150℃のATFオイルにFPCを浸漬させた状態で、150℃恒温槽で3,000時間まで加熱した際の密着力の経時変化を図7に示す。オイル成分の浸透により接着剤が膨潤するため、密着力は低下するものの、従来品が500時間で密着力がゼロになるのに対し、開発品は3,000時間後もJPCA規格(≥3.4N/cm)をクリアした(図7)。

当社開発品の評価結果を表3にまとめる。開発した接着剤を用いてFPCを作製し、半田部品実装後のFPC特性を評価した結果、高温長期信頼性は全て目標値を満たし、半田耐熱

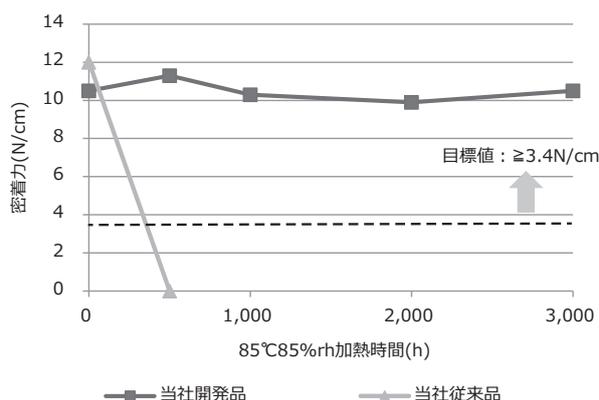


図6 当社開発品と当社従来品の85℃85%rh湿熱信頼性

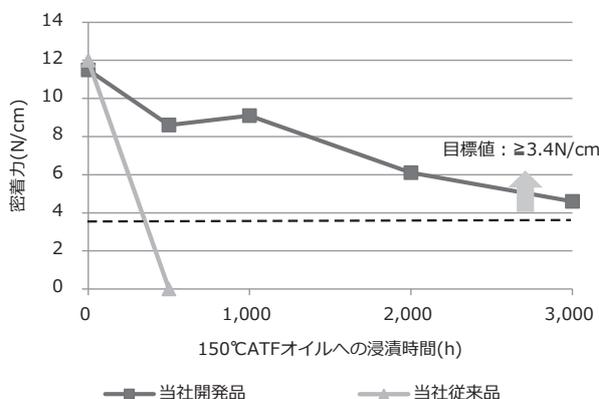


図7 当社開発品と当社従来品の150℃耐油性

性も360℃と高い耐熱性を有し、接着剤の回路間への充填時にボイドも見られなかった。最小回路間隔50μmの回路に85℃ 85%rhの環境下で50Vの電圧を印加し、絶縁抵抗を測定し、絶縁性も問題ないことを確認した。

表3 評価結果

項目	目標値	当社開発品
(I) 高温長期信頼性		
150℃ 3,000時間後の密着力	≥ 3.4N/cm	9N/cm
85℃ 85%rh 3,000時間後の密着力	≥ 3.4N/cm	10N/cm
150℃ ATF オイル中 3,000時間浸漬後の密着力	≥ 3.4N/cm	5N/cm
(II) FPC一般要求特性		
密着力	≥ 8.0N/cm	≥ 10N/cm
半田耐熱性	≥ 280℃	360℃
接着剤の回路間への充填性	ボイドなきこと	なし
絶縁抵抗	≥ 1.0 × 10 ⁹ Ω	4.8 × 10 ¹¹ Ω

5. 結 言

高温条件下でも使用可能なポリイミド系接着剤を開発し、LED照明や車載用途などにも適用可能なFPCを開発した。本製品は、車載用途に要求される150℃ 3,000時間後もJPCA規格をクリアすることを確認した。今後、更なるカーエレクトロニクスの高度化や電動化が進む中で、車載用途への幅広い適用が期待される。

用語集

※1 ECU

エレクトロニック・コントロール・ユニットの略称。各センサーからの情報を元に、エンジンの状態に応じた最適な燃料噴射量や噴射時期、点火時期を決定する部品。

※2 JPCA規格

日本電子回路工業会 (Japan Electronics Packaging and Circuits Association) が定めた電子回路に関する規格。

※3 ATF

オートマチックトランスミッションフルード (Automatic transmission fluid) の略称。変速機を持つ自動車に用いられるオイルの一種。

※4 共重合

高分子化合物を合成するには、その構成単位に相当する低分子化合物の原料を多数結合させて高分子とする。これを重合という。このうち、2種類以上のモノマーを用いて行う重合のことを共重合という。

参 考 文 献

- (1) 兼広昌之、柏木修二、中間幸喜、西川潤一郎、荒牧秀夫、「当社のフレキシブルプリント回路事業の展開」、SEIテクニカルレビュー第172号、pp.1-9 (2008)
- (2) 住友電気工業(株)プレスリリース (2013年10月)
http://www.sei.co.jp/news/press/13/prs103_s.html

執 筆 者

米澤 隆幸* : エネルギー・電子材料研究所



改森 信吾 : エネルギー・電子材料研究所 主席



山内 雅晃 : エネルギー・電子材料研究所
グループ長



柿本 正也 : 住友電工プリントサーキット(株) 主席
博士 (工学)



石井 雄基 : 住友電工プリントサーキット(株)



内田 淑文 : 住友電工プリントサーキット(株)
グループ長



*主執筆者