

柔軟性を活かしたフレキの車載対応

In-Vehicle Application of Flexible FUREKI

内田 淑文*
Yoshifumi Uchita

北島 勉
Tsutomu Kitajima

柿本 正也
Masaya Kakimoto

高地 正彦
Masahiko Kouchi

住友電工は、国内で1960年代にフレキシブル配線板（フレキ*¹）の開発を開始し、半世紀が経過した。フレキはその軽さ、薄さ、配線自由度の高さが市場に受け入れられ、1980年代から携帯端末の内部配線として、急速に需要が拡大した。住友電工は、社内の新しい材料と新技術（接続技術等）を融合し、フレキの新製品を積極的に展開してきた。本紙は、住友電工フレキの車載適用に対する取り組みについての紹介である。

Sumitomo Electric Industries Ltd. started the development of the flexible wiring board "FUREKI" in the 1960s. Being light, thin, and highly flexible, FUREKI was well received by the market, and has been in high demand for the internal wiring of handheld units since the 1980s. Combining new materials and new technologies (such as connection technologies), Sumitomo Electric has released new FUREKI products. This paper introduces our efforts for the application of FUREKI to auto vehicles.

キーワード：フレキ、回路、フレキシブル、耐熱、長尺、内部配線

1. 緒 言

Flexible Printed Circuit (FPC) は柔軟性と回路機能を併せ持つ配線材で、小型軽量化・薄型化が求められる携帯端末の内部配線としてニーズが広がっている。一方、自動車でも環境対応の観点から、軽量、且つ機器への搭載性を向上する配線材として、その適用範囲を広げつつある。本文は、当社FPC事業の変遷から、FPC技術の概要、更に車載への取り組みについて記載する。

2. 当社FPC事業の変遷と技術動向

2-1 当社FPC事業の変遷^{(1)、(2)}

FPCは1960年頃に米国で誕生した、比較的新しい配線材である。ポリイミドは汎用エンブレに対し耐熱性、耐薬品性が高い。FPCはポリイミドの薄いフィルムで銅箔を覆った構造であるため、柔軟性・屈曲性に優れたフィルム状のプリント配線板である。1970年代にカード電卓、コンパクトカメラの内部配線として採用され、2010年代にはスマートフォン、タブレット等のモバイル機器に必ず搭載されるようになった。当社では、1965年に大阪研究部でフレキシブル配線板“フレキ”の開発をスタートし、1969年に部品材料開発室として事業を開始した。1989年、FPC生産子会社として住電サーキット(株)を設立し、翌1990年には、VTR等の民生機器用受注増に対応するため、滋賀工場(現石部事業所)でFPC一貫生産を開始した。また、顧客の海外シフトに対応するため、1994年から中国(深圳)でFPC後工程生産を開始した。1996年にフィリピンにFirst

Sumiden Circuits, Inc.を設立し、翌年から片面FPCの一貫生産を開始、東南アジアへの供給を開始した。国内では、2000年に水口事業所を開設した。国内の一層の体質強化と構造改革を推進するため、水口事業所へ事業のセンター機能を集約し、住友電工プリントサーキット(株)としてスタート、国内FPC製造を新会社へ移行した。2000年以降、携帯電話の普及に伴い、両面板と多層板の需要が増加したため、水口事業所に両面板、多層板ラインを増設した。海外拠点でもFPCの生産能力を拡大、更に1999年より開始した部品実装ラインも増強した。

2009年に東海ゴム工業(株)(現住友理工(株))のFPC基材事業の譲渡を受け、裾野事業所を開所した。2007年にはベトナム工場で後工程生産を開始、更に2012年にベトナム



図1 FPC生産拠点

に新会社（SEI Electronic Components (Vietnam), Ltd）を設立、ベトナムでのFPC製造を新会社へ移行した。図1が現在のFPC生産拠点である。

2-2 FPC技術

FPCの基本構成は、回路形成した銅箔層とポリイミド（PI）フィルムの絶縁層を、熱硬化型接着剤によって、貼り合わせた構造である。この構造により、FPCは外部ストレスから回路を保護している。携帯端末向けでは回路の微細化やFPC薄肉化のニーズに対応して、接着剤を使わず、銅箔とポリイミドとを直接接合した基材（2層材）も扱っている。またFPCは薄く、柔らかいため、部品実装時の平坦性確保と実装部の保護のため、部品実装部の裏面に補強板を接着する。銅箔層が2層以上のFPCは、PTH^{*2}によって銅箔間の導通を確保する。部品実装するFPCは、貫通しないBVH^{*3}を用いて、導通穴の上に部品実装することで、実装の高密度化を図っている。

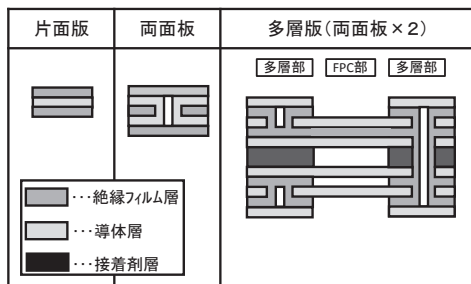


図2 FPCの断面

FPC材料は、環境温度が変化しても、信頼性を確保できるように銅箔と絶縁フィルムの熱膨張係数を合わせている。高周波特性を重視する設計では、PIより誘電率が低い液晶ポリマー（LCP）、またはフッ素樹脂を選択する。銅箔は比較的安価な電解銅箔、耐折性を向上させた電解銅箔、または耐折性に優れる圧延銅箔が要求仕様に合わせて選択させる。

以上が民生向けFPCであるが、車載向けではその使われ方から、民生向けFPCに比べ、使用環境が厳しく、FPCのサイズが大きくなる課題があり、新たな対応が必要となる。次に、当社の車載事例を紹介した後、車載向けFPCの技術開発について紹介する。

3. 車載用フレキの用途展開

3-1 圧力センサ用FPC

車載用の圧力センサは、検知した圧力を電気信号に変換、この電気信号に応じてアクチュエータを動作させることで制御に寄与している。動力系、駆動系、空調系、排気系等、

自動車各部の制御装置に圧力センサが組み込まれている。ユーザーの安全・安心、快適・便利への要求により、搭載部品は増える傾向にある。従って、これら部品の軽量化、コンパクト化は車載における課題と認識している。当社はFPCを活用し、この課題の解消のために貢献すべく取り組んでいる。

図3に圧力センサ装置の例、並びに内部構造を示す。従来は、IC（集積回路）を搭載した①回路、ICからの電気信号を送る②配線、並びに①回路と②配線を繋ぐコネクタが必要であった。図4に示すように、FPC上にICを搭載した①回路と②配線を形成することで、コネクタが不要になる。コネクタがなくなったことで配線部をU字に曲げ、コンパクトにパッケージに収納でき、結果として圧力センサの小型化が図れる。この例は回路、配線、柔軟というFPCの特徴を組合せ、小型化、省スペース化を図った事例である。更に、この設計により外部パッケージを変更するだけで、様々な部位の圧力センサを設計できる利点がある。

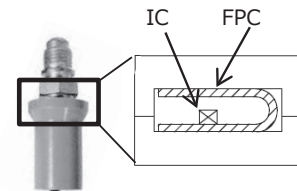


図3 車載圧力センサおよび内部構造

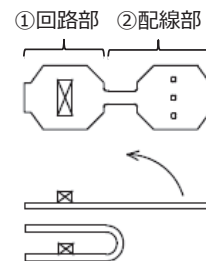


図4 FPC平面図および組み込み形状

3-2 角度センサ用FPC

車両の電動化に伴い、操作系の伝達手段は機械的伝達から電気的伝達に置き換わっている。これはバイワイヤと呼ばれ、アクセル、ブレーキ、シフト、ステアリング等多くの操作系で導入が進んでいる。

バイワイヤ化に必要な機能の一つが、操作量を検知するセンサである。シフトバイワイヤでは、角度センサ内部にFPCが採用されており、センサの薄肉化に寄与している。

図5に角度センサ内のFPCを示す。ギアの状態を回転角

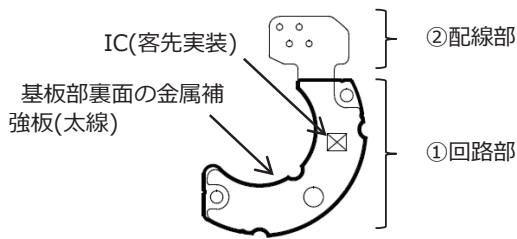


図5 角度センサ用FPC

から検出し、電気信号を出力するICを搭載する①回路、並びに電気信号を送る②配線から構成されている。前述の圧力センサ用FPCと同様に、FPCに①回路と②配線を形成することで、①回路と②配線を繋ぐコネクタが不要になる。また、補強版を金属とすることで①回路の総厚は0.5mm以下と薄いですが、高い剛性を実現しており、センサの精度安定性と耐久性の向上に寄与している。

シフトパイワイヤの角度センサは、エンジンルーム内にあることから、FPCも耐熱性が必要である。後述の当社が開発した高耐熱材料を適用することで、高温環境下で使われるセンサの内部配線に採用されている。

3-3 インバータ配線用FPC

環境対応車として電気モーターを動力とする自動車が目されているが、その自動車を構成する要素として代表的なものは、電池、モーター、インバータである。インバータ内部は、図6に示すような制御基板間を接続する配線が多数存在する。またこれら接続配線周辺はノイズが多いため、接続配線を遮蔽する必要がある。

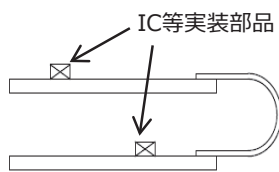


図6 インバータ内基板間接続配線

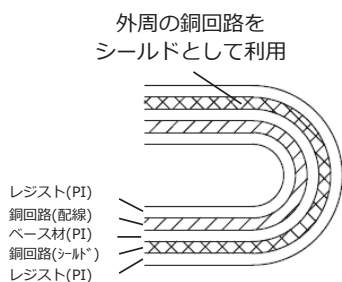


図7 インバータ用FPC断面図

図7にインバータ用FPCの断面を示す。両面板を採用し、搭載状態のFPC内周の銅回路を伝送配線とし、外周の銅回路をシールドとすることにより、シンプルな設計ではあるが、ノイズを遮蔽できる。

このFPC設計はインバータに限らず、折り曲げたFPCの外周からのノイズを遮断する必要がある配線に適用可能である。

4. 車載用フレキシの技術開発

4-1 耐熱FPC

カーエレクトロニクスの高度化、高性能化が進み、高温となるエンジンルーム内やモーター周辺にも数多くのセンサ、ECU^{*4}、アクチュエータ等の部品が搭載されるようになった。その結果、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。

しかし、従来のFPCでは、例えば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、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、ポリイミド樹脂と熱可塑性樹脂との比率を最適化した新規共重合^{*5}樹脂を合成し、共重合樹脂間を架橋剤で架橋することで、耐熱信頼性に優れたポリイミド接着剤を開発した⁽³⁾。

回路に表面処理した基板とカバーレイを貼る時に、開発した接着剤及び従来接着剤を用いて、各々FPCを試作（開発品及び従来品）し、150℃耐熱信頼性等を比較評価した。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を用いて室温下、180度剥離強度測定法（JIS K6854）にて評価した。結果を図8に示す。150℃恒温槽内にて、FPCを3,000時間まで加熱後の密着力を測定した結果、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^{*6}（ $\geq 3.4\text{N/cm}$ ）を満たすことができた。さ

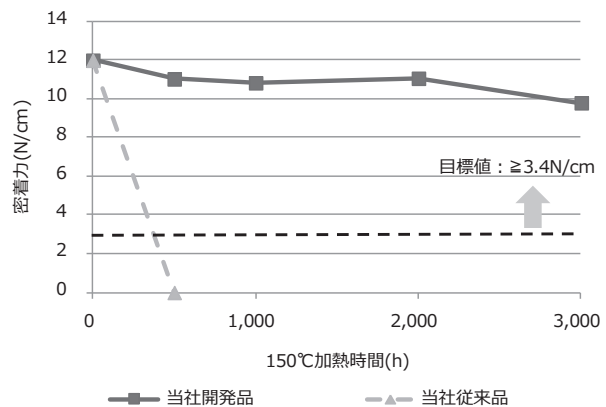


図8 当社開発品と当社従来品の150℃耐熱信頼性

らに、**図9**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。

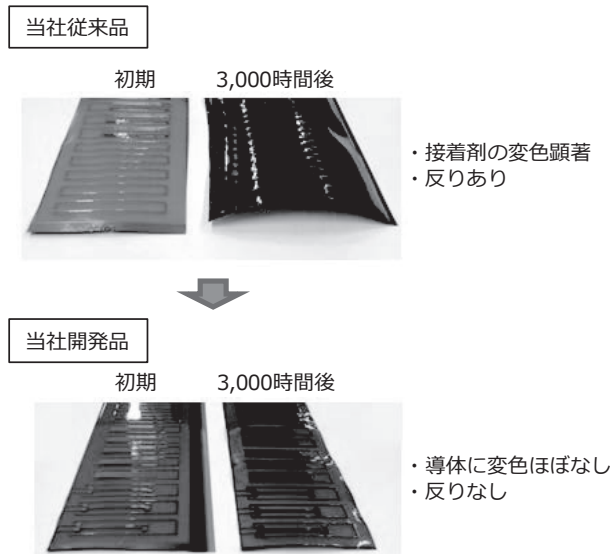


図9 当社従来品と開発品の外観

その他、85℃85% Rh 恒温恒湿負荷を加えた際の密着力の経時変化についても開発品は3,000時間後も低下は見られなかった。

当社開発品の評価結果を**表1**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ていた。半田耐熱性も360℃と高い耐熱性を有し、回路間への接着剤充填時にボイドも無く、絶縁性も問題ないことを確認した。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、車載用途にも適用可能なFPCを開発した。本接着剤をカバーレイ接着剤および補強板接着剤に使用したFPC製品は、車載用途向けに2017年より量産適用を開始している。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。

表1 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℃CATF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℃

4-2 長尺FPC

当社では、民生用FPCを中心に、多様なFPCサイズに対応できるように、ライン構築を進めてきた。最近では、車載用LEDモジュールや電池モジュールにて500mmを超える、長尺サイズのFPCニーズが増えてきており、これらに対応できる、FPCの製法や設備開発が求められている。**表2**は、代表的な長尺FPCの製法比較であり、用途によって、使い分けして対応している。

表2 分岐形状長尺FPCの製法比較

		(1) 1枚+長尺	(2) 1枚+折曲げ	(3) 複数分割
構造				
FPC長さ		500~1,000mm	>500mm	>500mm
コスト	FPC歩留	△ (分岐形状 不利)	○	○
	加工	○ (追加工なし)	△ (折曲げ加工)	△ (接続加工)
	設備	△ (長尺設備)	○	△ (接続設備)

例えば、FPCがストレート配線等の単純な形状では、FPCを1枚で製造しても、追加工が不要なためFPC歩留りが良く、コストも抑えられる。

一方、FPCが分岐形状となる場合は、**表2 (1)** FPCを1枚で製造すると、FPC歩留りが悪いため、**表2 (2)** FPC折曲げや、**表2 (3)** FPCを複数分割した方が、加工は増えるものの、FPC歩留りが向上するため、コストでは有利な場合が多い。

図10は折曲げ工法による、長尺化の検討事例で、渦巻形状のFPCを複数回、折曲げしながら展開させることで、100×100mmサイズから、700×100mmサイズへ長尺化しており、従来製法でも、設計的な工夫次第で長尺対応が可能である。

表2 (3) 複数のFPCに分割する場合には、**表3**に示したように、コネクタまたはダイレクト接続法によりFPC同士を電気接続して、一体化させている。特に、携帯機器向けFPCでは、高密度化・薄型化に優れている、ACF(異方性導電膜)や半田を用いたダイレクト接続手法が使用されることがあるが、車載向けでは、長期の接続信頼性の課題があるため、使用される部位や用途を考慮して、提案を進めている。

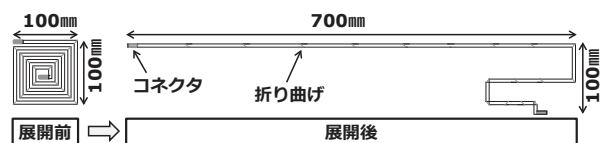
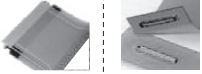

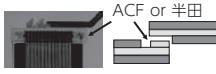


図10 折曲げ工法による長尺FPCの検討事例

表3 FPC-FPC間の電気接続手法

		コネクタ接続		ダイレクト接続	
		接点タイプ	実装タイプ	ACF	半田
模式図					ACF or 半田
サイズ	端子ピッチ	>0.3mm		>0.2mm	
	勘合厚み	>1.0mm		>0.1mm	

今後、車載分野では、更なるエレクトロニクス化の進展が予想されるため、FPC長尺化だけではなく、住友電工グループ内の車載製品（ワイヤーハーネスや電子部品）との融合を図ることで、新しい長尺製品を創出していきたい。

5. 結 言

本紙では、当社の事業変遷、市場の技術動向を踏まえ、車載用途にフレキを展開する取り組みを紹介した。今後、EV化^{※7}や自動運転等の動向の中で車載エレクトロニクスは更に伸長し、フレキへのニーズの拡大も期待される。当社の保有する市場実績、材料開発、プロセス開発を強みとして顧客の期待に応えるべく取り組みを進める。

用語集

※1 フレキ

住友電工のフレキシブルプリント基板の商標（英文：FUREKI）。

※2 PTH

Plated Through Holeの略称。層間の電気的接続を行うために壁面がめっきされた貫通穴。

※3 BVH

Blind Via Holeの略称。層間の電気的接続を行うために壁面がめっきされた未貫通の穴。

※4 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。

※5 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。

※6 JPCA規格

社団法人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。

※7 EV

Electric Vehicleの略称。

参 考 文 献

- (1) 住友電気工業(株)、「住友電工百年史」（1999）
- (2) 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年1月）
- (3) 米澤隆幸 他、「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」、SEIテクニカルレビュー第188号、pp.108-111（2016年1月）

執 筆 者

内田 淑文*：住友電工プリントサーキット(株) グループ長



北島 勉：住友電工プリントサーキット(株) 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）



高地 正彦：住友電工プリントサーキット(株) 主席



*主執筆者