

# 5G/6G 高速伝送に対応する FPC（フレキシブルプリント配線板）最新材料開発動向 ～高周波対応 FPC の高速材料開発がフッ素系ポリマー応用で実現する～

フレックスリンク・テクノロジー(株) Matsumoto Hirofumi  
松本 博文

代表取締役社長 工学博士  
〒300-1216 茨城県牛久市神谷3丁目24の4  
☎029-871-0156

## はじめに

「堅調に拡大するFPC市場」—2019年のFPC世界市場は、約170億ドル(RF含む)まで伸長した。最近10年間のFPC市場年平均伸び率は約7%で推移し、10年前の約2倍規模までに拡大。総世界基板市場(約660億ドル)の25%強を占有する勢いだ。

この背景には、2011年頃から急成長したスマートフォン市場や最近では電子化が進む車載市場への採用拡大がある(図1)。

「5G/6G対応で無限に広がるFPC新規材料開発」—COVID-19(新型コロナ)の世界的感染拡大で基板業界へも悪影響が懸念されているが、FPC市場にとっては逆にビックチャンスが来ているとみている。特に最近のスマートフォン市場やPC市場の鈍化傾向などを跳ね返すFPC新市場として

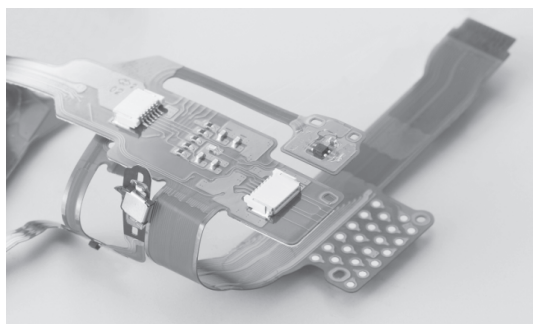


図1 実装FPCの例

の5G/6G市場への用途展開は今後の鍵になるだろう。

5Gそして10年以内に続く6Gは、3大特徴である「超高速・超高容量」、「低遅延」、「同時多数接続」を実現可能にすることは知られている。そして、それらの特徴は「タッチレス機能」、「リモート(オンライン)機能」、「遠隔医療システム」、「AR/VR/MR機能」など、COVID-19などのウイルス防疫などに有用なデバイス、システムに活用され、それらの基板市場へFPC採用拡大が予測されるからだ。(図2)

実際に、タッチレス機能では、「3Dタッチセンサ」、「ジェスチャモーション」などに応用する“透明FPC”の材料開発がある。“耐熱性のある透明ポリイミド”や“高速性のあるCOC/COP”などが候補にある。また、「ヘルスケア用途」や「遠隔医療」では“フレキシブルなバイオセンサ”でバイタルデータを収集する小型デバイスに応用する“伸縮FPC”の材料開発がある。伸縮性のあるポリウレタン系などのベース基材や伸縮する導電材料開発が進んでいる(図3)。

一方、5G/6G高周波、高容量対応で「高周波対応(高速)FPC」の開発がある。現在、LCPやMPIでの対応が進んできているが、それ以外の更なる低誘電材料の開発も急務だ。本稿ではフッ素系ポリマー(Fluorine polymer)による「新ハイブリッド高速FPC材料」に関して紹介する。

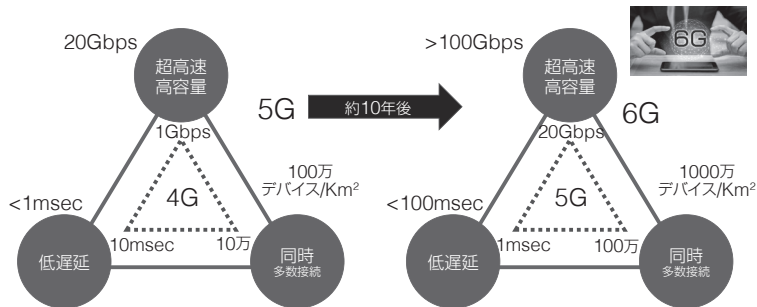


図2 4G→5G→6Gの仕様推移[出典：FLTCC株]

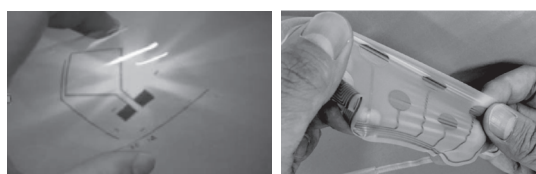


図3 COP透明FPC(左)、伸縮FPC(右)

5G/6GではFPCの高周波対応(高速化)がマストになる

5Gスマートフォンでは、例えば30GHz/20 Gbpsの高周波対応が予測されている(次世代6Gでは100Gbpsを超える観測もある)。

その背景には、高解像度ライブストリーミング配信ができる“ARアプリ”やCMOSイメージセンサ(カメラ)からSoC(AP)への高解像度画像伝送など5Gネットワーク通信の活用拡大がある。それらの5G対応デバイス(スマートフォン、タブレット、ゲーム、PCなど)は、“サブ6”や“ミリ波”で活用され、所要アンテナやその伝送路(フィードライン)にFPCも活用される。それらのFPCには高周波対応がマストになる。

このFPCの高周波対応の実現には、下記の3つの定性化した手段がある。

- ①フィルム樹脂材料などの有機部材の誘電損失( $\tan \delta : Df$ )を下げる
- ②フィルム樹脂材料などの有機部材の比誘電率( $\epsilon_r : Dk$ )を下げる
- ③配線長(L)を短くすること

実際にFPCに高周波信号を流すと伝送損失が発生する。この時の“伝送損失は、誘電電損失と

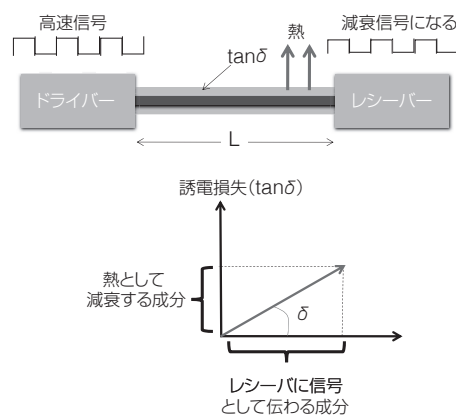


図4 高周波対応FPCの模式図と誘電損失の定義 [出典：FLTCC株]

“導体損失の総和になる”。誘電損失は $\sqrt{\epsilon_r} \cdot \tan \delta \cdot f$ (周波数)の関数で、導体損失は $\epsilon_r \cdot \sqrt{f}$ (周波数)の関数である。よって、それぞれ誘電損失は $\tan \delta$ 、導体損失は $\epsilon_r$ に比例するため、個々の損失の低減には、有機部材の $\tan \delta$ と $\epsilon_r$ を低減する事が効果的だ。また、それらによりFPC材料の「低誘電化」が可能になる。

FPC配線で実際に生じる伝送損失を模式的に示す。(図4)構成する有機部材の $\tan \delta$ による誘電損失があるため、ドライバー側から出力された高周波信号の全ては伝わらない。一部は、配線上で熱として消費されるためレーザー側は減衰した信号として到達する。これが誘電損失による伝送損失だ。

また、配線長(L)短くする事による伝送特性の向上に関しては、実際のFPCデザインでは、高精細化(配線微細化)や高密度化(小径ビア)で対応

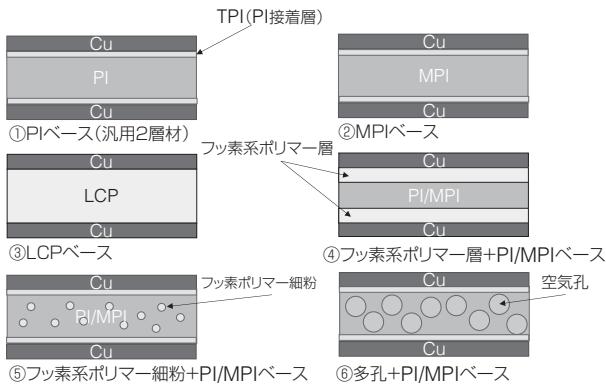
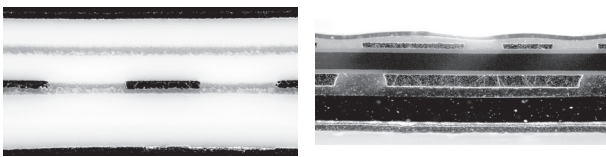


図5 高周波対応FPC材料構造例【出典：FLTC株】



①LCPベース高速伝送FPC ②MPIベース高速伝送FPC

図6 高速伝送FPCの断面写真【出典：セミコンサルト】

する。

### 高周波対応FPC材料の低誘電化を実現するには

図5に両面FCCL構造の代表的な高周波対応デザインを示す。単層材料をベースにするものでは①PI、②MPI(改質PI)、③LCPが代表としてある。PIは、700MHz~3GHzレベルで採用されてきたが、現在高周波対応が必要なサブ6(6GHz以下)では、LCPとMPIが採用されている現状がある。図6に実際に採用されたLCPとMPIの高周波対応FPC断面写真を示す。

MPIは、PIより分極が発生しにくいポリマー構造にした改質PI(Modified PI)とも言える。(比誘電率の大小は分極の大小に関係する事を利用)

LCPは、誘電損失がPIやMPIより低く(たとえば $Df=0.0022$ : メーカー別LCP種で相違はある)、さらに吸水率が約0.04%と低いため吸湿状態でも $Df$ や $Dk$ が変動しにくい長所がある。それに対してPI/MPIも吸水率が高いため“ $H_2O$  degradation(水分子による高速性劣化)”をLCPより起こしやすい欠点を持つ。さらにLCPはフィルムの弾性

率も $>4Gpa$ あり、ガラスクロスやカーボンクロスなどの補強材が不要である上に、自己接着性があるため接着層も不要である。しかしながら、高温高压下で(熱可塑性樹脂である)LCPでの多層化を図ると、層平坦性維持が困難で位置ずれ問題を生じやすい。非常に難しいプロセス管理が必要になる。

一方、PI/MPIはTPI層(PI系接着層)で低粗度の高速銅箔を適用できるため導体損に関してはLCPより有利な上に一般的なFPCプロセスで製造可能だ。

④はPTFE(フッ素系ポリマー)をPI/MPIフィルムの上にラミネートする高周波対応材であり、すでに量産化されている材料もある。ただし、PTFEは銅箔やPI/MPIに対して密着強度を発現しにくい欠点がある。特に、銅箔には密着強度担保のため低粗度の高周波対応銅箔が使用できず、高粗度銅箔を使うため、導体損が大きくなる。結果、全体の伝送損失はPTFEを使っているにも関わらず大きな低減が難しい。FCCL製造時の高温、高压のラミネートプレスはコストアップ要因にもなっている。また、FPCビア形成で最も使用されるUV-YAGレーザーでのビア加工が難しく、現状は炭酸ガスレーザーでの加工が多いことも課題だ。

⑤はフッ素系ポリマー細粉をPI/MPIの前駆体にミキサーなどで分散させた後、イミド化して低誘電化する方法だが、細粉分散時の不良現象の低減が必要なこと。吸水を低減するのに、相当量のフッ素系ポリマー粉を分散する必要があるなど、これから解決すべき技術課題が多いのが現状だ。本稿では紙面の関係で詳細技術紹介しないが、将来的には非常に可能性が高い低誘電材料デザインと考えている。

⑥は、多孔(空気孔など)PI/MPIだ。空気孔は真空と同様に最も誘電率と誘電損失が小さい。その空気孔を樹脂内に分散させ、その加成性で低誘電化を図る。歴史的にはIBMがマイクロ・ポア技術として最初に始めた。当時、20%ほどの空孔率でPIの比誘電率を2.3まで下げた実績もある。ただし、FPC材料としては空孔率が上がると弾性率が急激に減るので20%くらいが限界空孔率