

## 液晶ポリマーを使用した FPC の開発とその応用

株式会社村田製作所 池本伸郎

液晶ポリマーは高周波で低損失特性を得られるとともに、フィルム加工および銅箔のラミネートが可能である。当社はこの液晶ポリマーを用いた FPC (Flexible Printed Circuit) である MetroCirc を商品化しており、スマートフォン内の RF 線路やアンテナ用途などに使用されている。MetroCirc の特長とその応用例について、5G で期待される展望を含めて紹介する。

### 1. はじめに

液晶ポリマー (LCP:Liquid Crystal Polymer)は高周波特性と加工性を兼ね備えたスーパーエンジニアリングプラスチックである。低比誘電率・低誘電正接であるため高周波で低損失特性が得られるとともに、フィルム加工および銅箔のラミネートが可能のため、FPC (Flexible Printed Circuit) への応用に適している。当社はこの液晶ポリマーを用いた FPC である MetroCirc を商品化しており、スマートフォン内の RF 線路やアンテナ用途などに使用されている。本報告では MetroCirc の特長とその応用例について、5G で期待される展望を含めて紹介する。

### 2. 液晶ポリマーと FPC

液晶ポリマーは高周波用途の FPC に適した様々な特長を持っている。高周波特性に関しては低比誘電率・低誘電正接のため高周波で低損失特性を得ることができる。耐候性についても吸水性が低く高湿度環境で特性の変化が少ない。その結果、高周波の伝送損失である誘電損失、導体損失、反射損失、放射損失に対しそれぞれ以下の効果がある。

#### ① 誘電損失

誘電体が電磁波を吸収して発生する損失で、以下の関係式を持つ。

$$\text{誘電損失} \propto \text{比誘電率の平方根} \times \text{誘電正接} \times \text{周波数}^{[1]}$$

液晶ポリマーは比誘電率・誘電正接が低いいため誘電損失を低減できる。

#### ② 導体損失

導体の抵抗によって発生する損失。液晶ポリマーは比誘電率が低いいため信号線とシールド導体との間の容量成分が小さくなり信号線幅 ( $\propto 1/\text{比誘電率}$ ) が大

きくなる。この結果、信号線の抵抗値が小さくなり導体損失を低減できる。

③ 反射損失

特性インピーダンスの不連続部の信号の反射により発生する損失。液晶ポリマーは吸湿による比誘電率の変化が少なく特性インピーダンス ( $\propto$  比誘電率の平方根) の変化が少ない。そのため、不連続部での反射を抑え反射損失を低減できる。

④ 放射損失

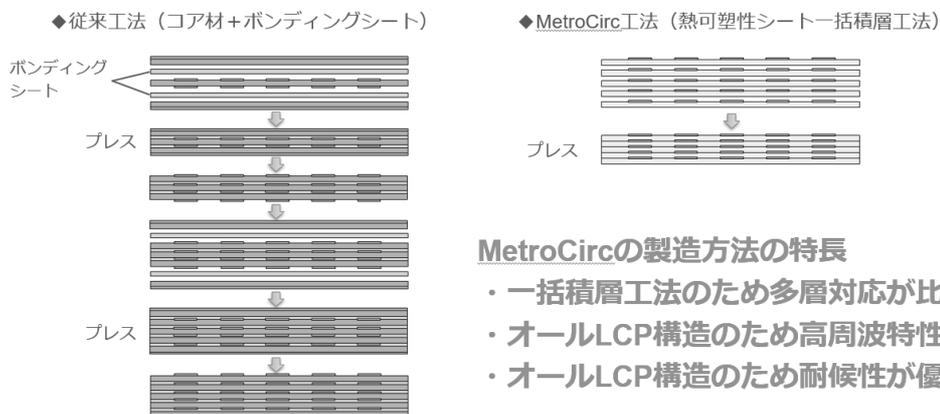
シールド導体の開口部から電磁波が放射することにより発生する損失。誘電体中の電磁波の波長 ( $\propto 1/\text{比誘電率の平方根}$ ) が短いほど大きい。液晶ポリマーは比誘電率が低く電磁波の波長が長くなるため放射損失を低減できる。

加工性に関してはフィルム加工と銅箔の熱圧着が可能である。また、線膨張係数が銅箔と同等であるため、加工後の反りが小さい点も FPC として優位である。

このように液晶ポリマーは高周波特性と加工性を兼ね備えた材料であり、特に高周波用の FPC への応用に適している。

3. MetroCirc の特長

当社はこの液晶ポリマーを用いた FPC 製品である MetroCirc を商品化することに成功した。積層セラミックコンデンサやセラミック多層基板の製造で培った薄いシートを積層する技術を応用しており、特長の 1 つとして一括積層工法がある。図 1 に示すように必要層数を一度のプレス加工で接合することが可能であり、一般的な 1 層ずつでプレスを行う方法と比べプレス回数を削減できる。全層の熱履歴が均一であるため熱による変形が少なく、層数の多い複雑な回路構成を持つ製品の加工にも優位である。また、接着層を設けずに液晶ポリマー同士を自着させているため、接着層による特性劣化がなく液晶ポリマーの特性を最大限に活かすことができる。これにより、高周波特性や耐候性に優れる特性を得ることができる。



**MetroCircの製造方法の特長**

- ・一括積層工法のため多層対応が比較的容易
- ・オールLCP構造のため高周波特性が優れる
- ・オールLCP構造のため耐候性が優れる

4. 液晶ポリマーを使用した FPC の応用

液晶ポリマーを使用した FPC は、低損失特性を活かし高周波用の RF 線路やアンテナ用途に使用されている。図 2 はトリプレート厚み 200um のストリップ線路に液晶ポリマーとポリイミドを用いたときの伝送損失を示した図である。液晶ポリマーに対しポリイミドを使用した FPC は、6GHz で 64%、48GHz で 110%、71GHz で 119% の伝送損失の劣化度合となる。高周波になるほど誘電損失の影響が大きく、低比誘電率の液晶ポリマーによる効果はより大きくなる。

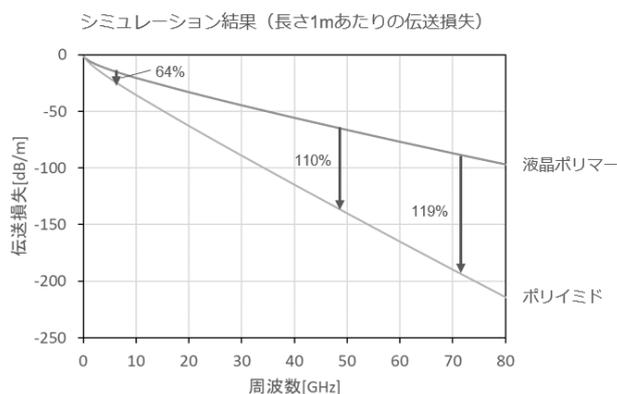


図 2：液晶ポリマーとポリイミドの伝送損失の比較

この低損失特性を活かした代表的な応用例はスマートフォンの 4G 用のセルラーや Wi-Fi® のアンテナと RF 受信回路を接続する RF 線路である。必要な伝送特性を薄型で得られて曲げることもでき、スマートフォン内の狭いスペースでの配線に優位なためである。

5G 用のセルラーでは 4G 用と同じ 6GHz 以下の周波数帯に加え、新たに 24GHz 以上の周波数帯であるミリ波帯が使用される。高周波になるほど RF 線路の損失は増加するため、液晶ポリマーの応用価値はより高まる。図 3 のように、5G (ミリ波帯) では RF 線路の損失を抑える目的で、アンテナと受信回路の一部がモジュール化され線路長を短縮する方法も検討されている。その場合、モジュールからメインボードまでの中間周波数の RF 信号の配線が必要となり、その部分にも液晶ポリマーが応用され

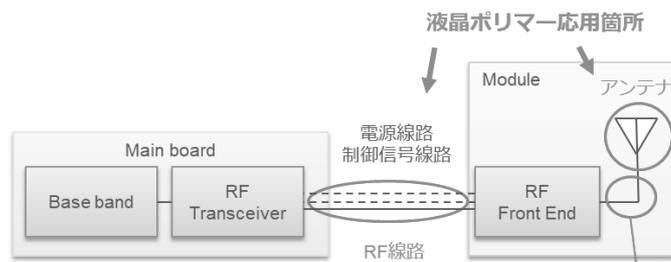


図 3：5G (ミリ波帯) の RF 回路ブロック図

る。

また、5G での情報量の増加に伴い、RF 信号だけでなくデジタル信号の伝送も高速化が求められる。デジタル信号の伝送も高速化すると線路の損失の影響で信号波形が劣化するが、図 4 のように液晶ポリマーの低損失線路を用いることで改善できる。このため、デジタル線路でも液晶ポリマーの応用は期待できる。

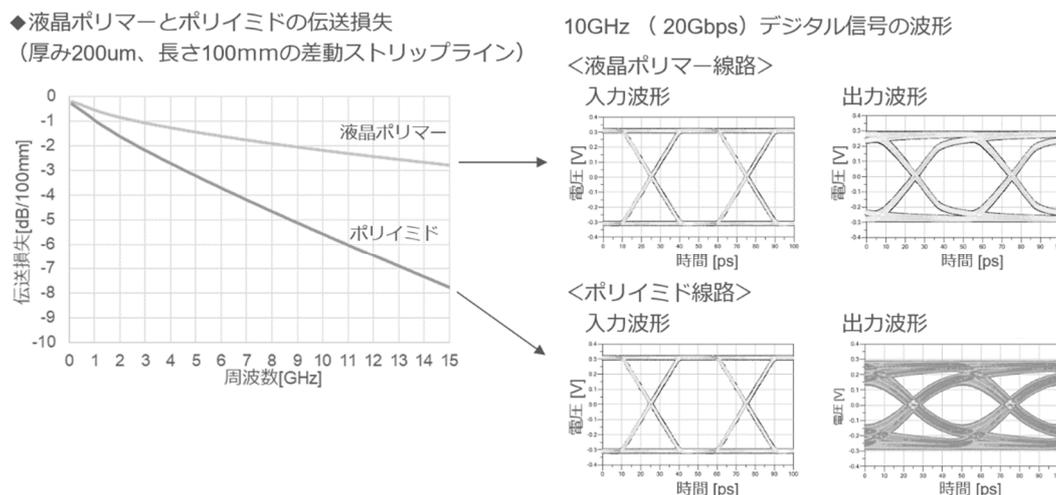


図 4：液晶ポリマーによるデジタル信号の出力波形の改善効果

## 5. おわりに

5G でミリ波帯が使用されるようになり高周波化は一気に進んだ。また、情報量が増えることでデジタル信号の伝送もさらに高速化していくと予想される。高周波化・高速化に対応するため、今後も RF 線路とデジタル線路は、ともにより高周波で低損失特性が求められていく。この要求に対し、高周波特性に優れた当社の MetroCirc と、材料・プロセス・高周波設計技術をベースに貢献していきたい。

## 6. 参考文献

[1]小西良弘 (1990), 『マイクロ波回路の基礎とその応用』, 総合電子出版社