

# ●高速伝送基板向け低誘電性接着フィルム

## Low dielectric adhesive film for high speed transmission board

近藤 貴弘  
Takahiro Kondo

Key Word : Low dielectric adhesive film, Aron Mighty, FPC(Flexible Printed Circuit Board)

### 1. 緒言

昨今、第5世代移動通信システムである5Gが注目されている。通信速度は1980年代にサービスが開始されたアナログ方式(1G)から30年間で約10万倍高速化し、5Gでは10Gbpsの超高速通信を可能とする。5Gは超高速通信の他、超低遅延、多数同時接続なども実現でき、医療、介護、工事現場、生産現場、マーケティングなどあらゆる分野へ拡大されていく<sup>1)</sup>。これを実現するために、5Gにおいて電気信号はこれまでより高周波であるSub6帯と呼ばれる3.7GHz帯、4.5GHz帯やミリ波帯と呼ばれる28GHz帯が使用されており、ミリ波帯については今後さらなる高周波帯が使用される。さらに、2030年には次の世代のBeyond5G、いわゆる6Gについての導入が見込まれ、100GHz以上のテラヘルツ波の利用も検討されている<sup>2)</sup>。

このように将来の情報通信には、高周波帯の電気信号を扱うことが必要不可欠であるが、一方で、電気信号を高周波化することで回路基板の伝送損失が増大し、信号のエネルギーが減衰するというデメリットがある。ここで、伝送損失は導体損失と誘電損失に大別される(式1)。導体損失は回路基板の配線の抵抗に起因する損失であり(式2)、伝送距離が長くなるほど増加する。また、高周波帯の電気信号は配線の最表面を伝送するため、配線に用いられる銅箔の表面粗さが大きいほど伝送距離が長くなる。そのため、高周波帯の信号を伝送する際は導体損失を低減するため、銅箔の表面粗さが小さい低粗度銅箔が用いられる。一方、誘電損失は回路基板の樹脂基材の誘電特性(誘電率/誘電正接)に起因する損失である。一般的に電気信号が高周波になるほど誘電損失は増加し、誘電率/誘電正接が大きいほど誘電損失が大きくなる(式3)。そのため、高周波帯の電気信号を伝送する際は低誘電率/低誘電正接の樹脂基材である低誘電性基材が用いられる<sup>3)</sup>。

- ・ 伝送損失=導体損失+誘電損失 ……式(1)
- ・ 導体損失 $\propto R \times \sqrt{f}$  ……式(2)
- ・ 誘電損失 $\propto f \times Df \times \sqrt{Dk}$  ……式(3)

R: 導体抵抗 Dk: 誘電率 Df: 誘電正接 f: 周波数  
回路基板の中でもスマートフォンやディスプレイによく

使用されるフレキシブルプリント基板(FPC)についても上記のような特性が要求される。

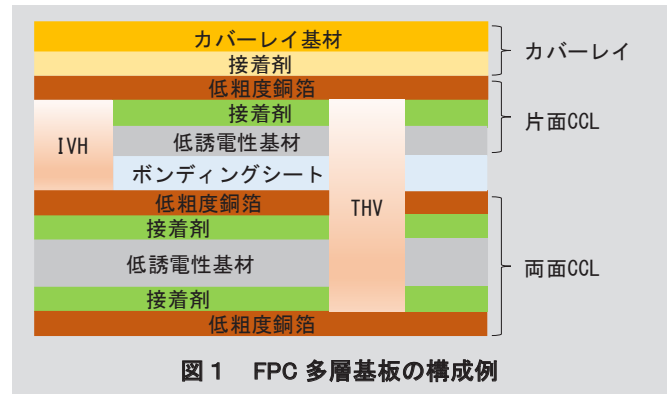


図1 FPC多層基板の構成例

FPCは一般に図1のような構成から成り、高周波対応FPCは低粗度銅箔と低誘電性基材が使用される。特にFPCに用いられる低誘電性基材は、屈曲性に優れたフレキシブルな材料、具体的には従来のポリイミド(PI)を低誘電化したモディファイドポリイミド(MPI)、液晶ポリマー(LCP)が使用されている。さらに、今後はシクロオレフィンポリマー(COP)、パーフルオロアルコキシアルカン(PFA)やポリテトラフルオロエチレン(PTFE)といったフッ素材料などのより低誘電率/低誘電正接の基材の使用も検討されていく。また、低粗度銅箔と低誘電性基材は互いに難接着材料であり、これらを貼合するために接着剤が必要不可欠である。ここで、FPC用接着剤には低粗度銅箔、低誘電性基材の優れた伝送特性を損なうことがないように、低誘電性などの特性が強求められている。

本稿では高周波対応のFPCに使用される接着剤に求められる特性の概要について述べ、その特性を踏まえて当社で開発したアロンマイティ AF-700 シリーズの性能について紹介する。

### 2. 高周波対応 FPC 向け接着剤

#### 2.1 高周波対応 FPC 向け接着剤に求められる特性

昨今、電気信号の高周波化に対応するため、様々なFPCが使用されているが、本項では多層基板に用いられる接着剤に注目して説明する。接着剤の使用箇所を分類すると、

東亜合成株式会社 R&D総合センター 製品研究所

New Products Research Laboratory, General Center of R&D, Toagosei Co., Ltd.

- 1) 多層基板の基本単位である銅張積層板 (CCL) に用いられる接着剤 (CCL 用接着剤)
- 2) CCL 同士の積層に用いられる接着剤 (ボンディングシート)
- 3) カバーレイフィルムを貼合するための接着剤 (カバーレイ用接着剤) の3種類が挙げられる。

従来のFPC向け接着剤には銅箔と基材を強固に接着すること(接着性)などの基本的な特性以外に、FPCの製造工程に適した特性も求められる(埋まり込み性、はんだ耐熱性、レーザー加工性など)。さらに、FPCの使用環境下を考慮した特性も重要である(長期絶縁信頼性など)。本項では高周波対応FPCにおいて、特に課題となる特性に関して以下に述べる。

### 2.1.1 誘電特性

前項で述べたように高周波帯において誘電損失を低減するためには、配線に隣接する基材や接着剤の低誘電率/低誘電正接化が有効である。ここで、接着剤の低誘電率化には Clausius-mossotti 式(式4)より極性の低下や自由体積の増大が必要である。具体的には接着剤中の水酸基やアミンなどの極性基の低減や、PTFEのような極性の偏りが少ない対象構造を導入することにより極性が低下する。また、脂環式骨格、芳香族環などの嵩高い構造を導入することで自由体積を増大することができる。

$$Dk = \{1 + 2 \times (Pm/Vm)\} / \{1 - (Pm/Vm)\} \cdots \text{式(4)}$$

Dk: 比誘電率 Pm: モル分極 Vm: モル体積

一方、GHz帯における低誘電正接化には、配向分極の抑制が効果的である。液晶性や結晶性を示すような構造や分子間相互作用を利用し、極性基を固定化することで極性基の運動を抑制することが可能である。また、低誘電率化と同様に極性基の低減、嵩高い構造を導入することも、接着剤の低誘電正接化に寄与することがわかっている<sup>4)</sup>。

### 2.1.2 接着性

高周波対応FPCに用いられる接着剤には、低粗度銅箔と低誘電性基材を強固に接着することが必須となる。2種の被着材を接着するには、被着材と接着剤の界面や接着剤のバルク物性に注目することが重要である。被着材-接着剤間の界面相互作用については、機械的接合(アンカー効果)、化学結合、分子間力などの要因が寄与すると考えられる。これに対して、高周波対応FPCに用いられる低粗度銅箔は表面粗さが低いため、アンカー効果が小さくなる。さらに、低誘電性基材や低誘電性接着剤では主鎖、側鎖の分極や官能基が少ないため、化学結合、分子間力が低下し、十分な接着強さを確保することが難しい。以上のように低誘電化と接着強さには一般的にトレードオフの関係にあるが、低誘電特性を維持したまま、低粗度銅箔と低誘電性基材との界面を強固に接着できる低誘電性接着剤が必要である。

さらに、接着強さには接着剤のバルク物性も大きく寄与する。FPCにおける接着強さは一般的に剥離モードで評価されるが、その際、接着剤の粘弾性の影響が大きく、測定温度における損失正接(tan δ)が大きいほど接着強さは増加する。また、剥離エネルギーの測定値のうち、界面相互作用よりバルクの粘弾性の寄与の方が大きいという報告もある<sup>5)</sup>。

その一方、COPやフッ素基材のような界面相互作用が極端に低い材料では、コロナ処理、プラズマ処理などの表面処理を基材に施し、接着性を確保することもある<sup>6)</sup>。

### 2.1.3 レーザー加工性

多層基板では層間を接続するため、基板に穴(ビア)を明け、穴壁にめっきを施す工程がある。ビアは表裏の導通を取るスルーホール(THV)、接続を必要とする層間に配置するブラインドビア・インナービア(IVH)があり、配線パターン設計によりビアの種類や径を決定する。近年では配線密度の増大により100 μm以下の小径ビアが使用されることが多くなっており、小径ビアの形成に短波長領域(355 nm)のUVレーザーを用いることがある。

ここで、UVレーザー加工においてはテーパー型のきれいな穴が好ましいが、穴明け性が悪いとUVレーザーの出力を高くしなければならず、内壁に凹凸が発生し、めっき工程に影響を及ぼす。そのため、基板の層間に用いられる接着剤には、UVレーザーを効率よく吸収し、①レーザー照射後に接着剤の剥離がないこと、②スミアの発生が少ないことなどが求められている<sup>6)</sup>。

## 3. 最近の開発状況

### 3.1 アロンマイティ®AF-700シリーズの紹介

#### 3.1.1 製品ラインナップ

当社は接着剤の極性基や主鎖骨格の分子構造を制御することで、優れた誘電特性を示すアロンマイティ AF-700 シリーズを開発した。現在のラインナップを表1示す。

表1 アロンマイティ AF-700 シリーズのラインナップ

サンプル		AF-700	AF-730	AF-740	AF-745	AF-60	
グレード		標準	高Tg	超低Df (CCL用)	超低Df (BS用)	汎用	
誘電特性	1 GHz	Dk	2.2	2.2	2.4	2.3	3.0
		Df	0.0020	0.0017	0.0010	0.0009	0.0300
	10 GHz	Dk	2.2	2.3	2.3	2.4	3.0
		Df	0.0020	0.0018	0.0010	0.0012	0.0200

当社の代表的なFPC用接着剤であるAF-60は、周波数10 GHzにおいてDk(誘電率)=3.0、Df(誘電正接)=0.0200であるが、AF-700は周波数10 GHzにおいてDk=2.2、Df=0.0020と、大幅に誘電特性を改善している<sup>3)</sup>。AF-730は標準グレードより低誘電化し、さらに耐熱性、加工性を向上した高Tgグ

レードである。AF-740、AF-745は周波数10 GHzにおいて、誘電特性をさらに改良した超低誘電グレードであり、次世代基板向け接着剤として開発した。ここで、AF-740はCCL用、AF-745はボンディングシート(BS)用として、それぞれの用途に応じて使い分けて使用することができる。

### 3.1.2 製品仕様

製品の構成を図2に示す。本製品は接着剤層とその両面を保護する離型フィルムで構成されている。離型フィルムは、使用時に最初に剥がす1次剥離フィルムと、熱プレスなどで基材フィルムと貼合した後に剥がす2次剥離フィルムがあり、接着剤との離型性を考慮しそれぞれの役割に合った離型フィルムを選定している。接着剤膜厚は5~50 μmと用途に合わせて製造でき、幅広いニーズに対応できる。また、本製品は熱硬化性樹脂を用いているため、使用の際は硬化処理が必要となる。以下にアロンマイティ AF-700 シリーズの基材との仮貼合条件および硬化条件を示す。

(推奨硬化条件)

- ・ 基材フィルムとの仮貼合：80~150℃下で熱ラミネート
- ・ 硬化条件：180℃/30分 / 1~3 MPa (熱プレス)、  
もしくは 180℃/3分 / 1~3 MPa (熱プレス)  
+180℃/30分 (熱養生)

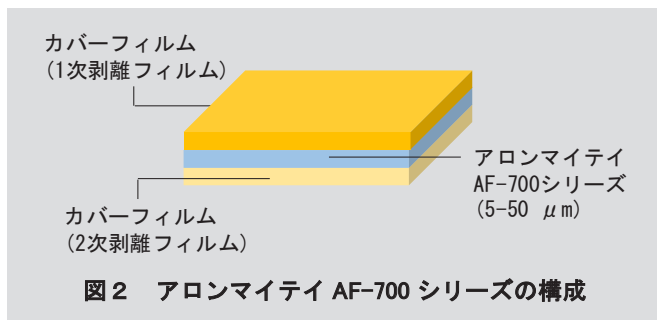


図2 アロンマイティ AF-700 シリーズの構成

## 3.2 特性

### 3.2.1 伝送特性

図3に示す両面CCLを用いて伝送路長100 mmのマイクロストリップラインを形成し、伝送特性評価を実施した。ネットワークアナライザを用いて各周波数における信号の減衰度を評価した(Sパラメータ測定)結果を図4に示す。

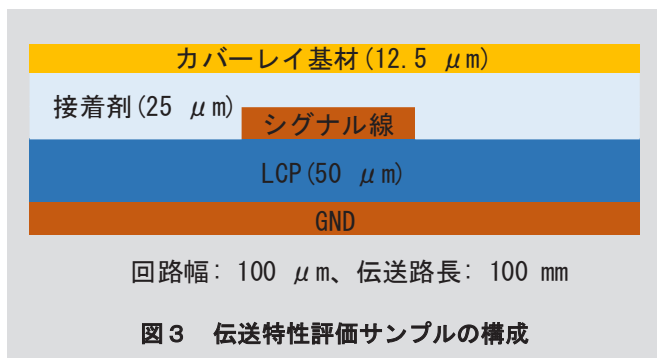


図3 伝送特性評価サンプルの構成

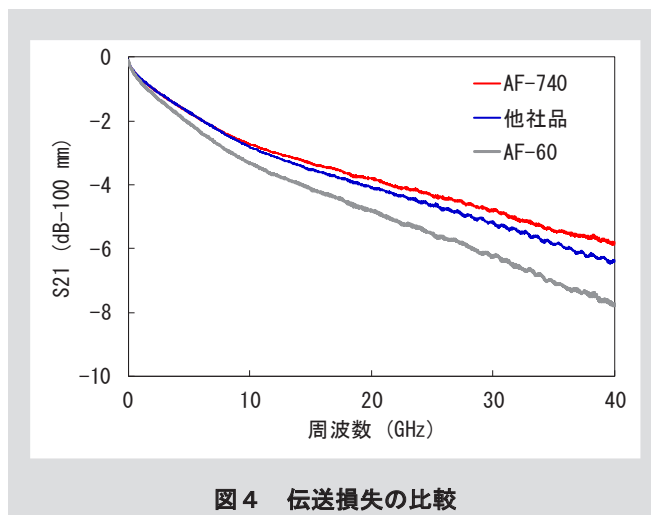


図4 伝送損失の比較

一般的なFPC用接着剤であるAF-60 (Df=0.0200)と超低誘電グレードであるAF-740 (Df=0.0010)を比較すると、30 GHzにおける伝送損失(S21)は、AF-60で-6.3 dB、AF-740で-4.8 dBとその差は約1.5 dBとなることがわかった。また、他社の低誘電性接着剤との比較においてもAF-740の方が伝送特性に優れており、周波数30 GHzでは伝送損失の差は約0.4 dBとなることが明らかになった。伝送損失は信号の周波数が高くなるほどDfの影響がより顕著になるため、ミリ波帯での伝送損失の差はさらに拡大していくと考えられる。

### 3.2.2 接着性

接着剤、各低誘電性基材および低粗度銅箔の積層体を作製し、90°剥離接着強さを測定した。低誘電性基材はLCP、PFA、PTFEを選定し、低粗度銅箔として表面粗さ0.6 μmの圧延銅箔を使用した。評価結果を図5に示す。

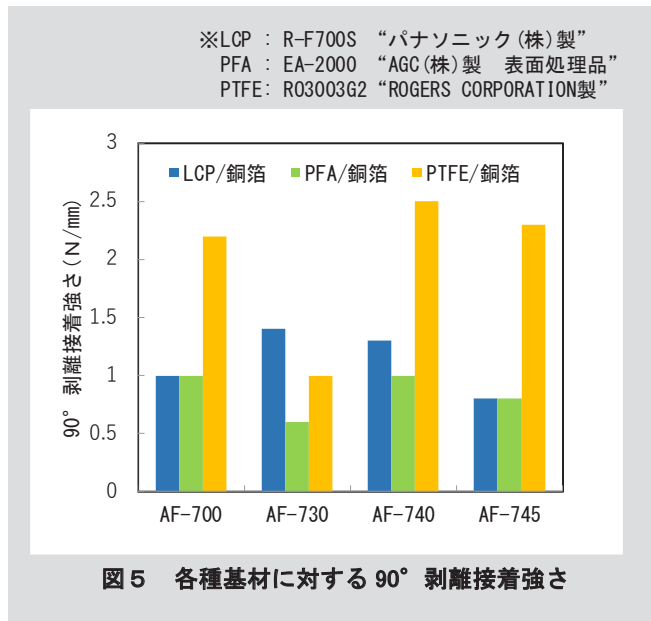


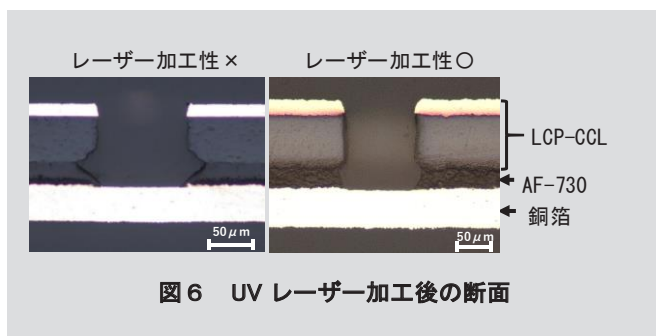
図5 各種基材に対する90°剥離接着強さ

一般的にLCP、PFA、PTFEは難接着材料であり、表面粗さ0.6 μmの圧延銅箔は接着が困難と言われているが、当社の

接着技術の知見を活かしたアロンマイティ AF-700 シリーズは、高い接着性を発現している。特に、AF-740 は優れた誘電特性を維持したまま、各基材に対して非常に高い剥離接着強さを示すことがわかった。

### 3.2.3 レーザー加工性

接着剤と LCP タイプの片面 CCL、ならびに銅箔から成る積層層を作製し、355 nm の UV レーザーを片面 CCL 面から照射することでレーザー加工性評価を実施した。具体的には、底面の銅箔が残るように UV レーザーを用いて 100 μm の穴あけを行い、その際の接着剤の剥離やエグレ（サイドエッチング）の程度を断面観察によって評価した。レーザー加工後のサンプル断面を **図 6** 示す。



**図 6 UV レーザー加工後の断面**

レーザー加工性が悪いサンプルは接着剤の剥離は見られないものの、基材、接着剤のサイドエッチングが大きいことを確認した。このような状態でめっき工程に進んだ場合、穴にめっきをうまく形成できないため、層間の導通がとれず不良となることがある。一方、AF-730 は、基材、接着剤の面が揃ったテーパ型きれいな穴が開いており、サイドエッチング量も 5 μm 程度と非常に小さいことを確認した。

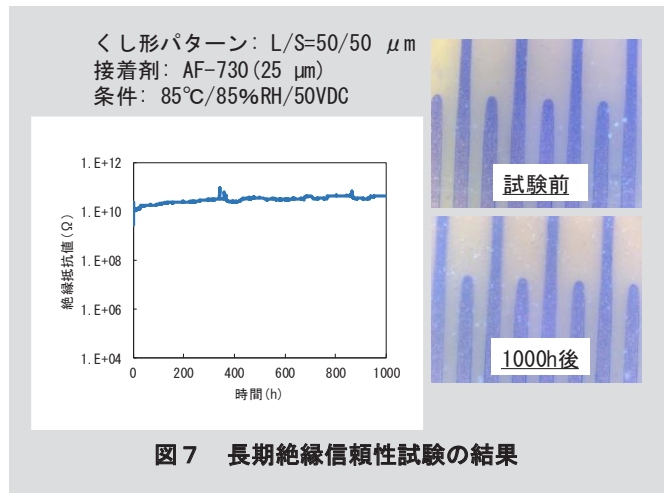
一般的に 355 nm の短波長領域において、接着剤に代表される高分子材料は、光を吸収して原子、分子の化学結合を直接断ち切るアブレーションが生じると言われている<sup>7)</sup>。そのため、アブレーション現象を利用するためには、接着剤の UV 吸収性は非常に大事な要素である。そこで、アロンマイティ AF-700 シリーズは UV の吸収量を最適化し、レーザー加工性を向上させている。

### 3.2.4 長期絶縁信頼性(マイグレーション試験)

近年、配線のファインパターン化、電子部品の狭ピッチ化が進み、FPC における電氣的絶縁信頼性が重要になっている。**図 7** に AF-730 の長期絶縁信頼性試験の結果を示す。L/S=50/50 μm のくし形パターンを用意し、85°C/85%RH 下で 1000 時間一定電圧をかけた際の抵抗値変化を測定した。

その結果、AF-730 を使用した配線基板は、1000 時間後も 10<sup>10</sup>Ω 以上の抵抗値を示しており、長期において高い絶縁性を

を保持していることがわかった。



**図 7 長期絶縁信頼性試験の結果**

### 3.2.5 特性一覧

アロンマイティ AF-700 シリーズの特性一覧を **表 2** に示す。アロンマイティ AF-700 シリーズは、前項までに挙げた項目以外にもはんだ耐熱性に関して優れた性能を持つことがわかった。

**表 2 アロンマイティ AF-700 シリーズの特性一覧**

※LCP : R-F700S “パナソニック(株)製”  
 PFA : EA-2000 “AGC(株)製 表面処理品”  
 PTFE : R03003G2 “ROGERS CORPORATION製”

サンプル	AF-700	AF-730	AF-740	AF-745		
グレード	標準	高Tg	超低Df (CCL用)	超低Df (BS用)		
誘電特性	1 GHz	Dk	2.2	2.2	2.4	2.3
		Df	0.0020	0.0017	0.0010	0.0009
	10 GHz	Dk	2.2	2.3	2.3	2.4
		Df	0.0020	0.0018	0.0010	0.0012
接着特性 (N/mm)	LCP/銅箔	1.0	1.4	1.3	0.8	
	PFA/銅箔	1.0	0.6	1.0	0.8	
	PTFE/銅箔	>2.0	1.0	>2.0	>2.0	
はんだ耐熱性 (°C)	LCP/銅箔	>300	>300	>300	>300	
	PFA/銅箔	>300	>300	>300	>300	
	PTFE/銅箔	>300	>300	>300	>300	
ガラス転移温度 (°C)	74	140	75	90		
吸水率 (%、23°C/24h)	0.1	0.1	0.1>	0.1>		

## 4. まとめ

低粗度銅箔、低誘電性基材に対応する FPC 用接着剤に求められる特性ならびに当社の独自技術を用いて開発したアロンマイティ AF-700 シリーズを紹介した。2030 年に向けて通信速度はますます高速化していき、それに従って銅箔の低粗度化、基材のさらなる低誘電化が求められる。特に基材に関しては、現行で最も用いられている PI、MPI から LCP、COP、そしてフッ素材料へと変遷していくと考えられる。アロンマイティ AF-700 シリーズはこれら基材に対して優れた接着性、レーザー加工性をもち、接着剤自体も優れた誘電特性を示すことから高周波対応 FPC への製品展開が期待できる。

---

## 引用文献

- 1) 技術情報協会編, “-5G/Beyond 5G に向けた-高速・高周波対応部材の最新開発動向”, 技術情報協会, (2021) pp. 3~13.
- 2) 総務省, “Beyond 5G 推進戦略-6G へのロードマップ-”, (2020)  
[https://www.soumu.go.jp/main\\_content/000696613.pdf](https://www.soumu.go.jp/main_content/000696613.pdf)
- 3) 沖村祐弥, 東亜合成研究年報, **21**, 4 (2018)
- 4) 高分子学会編, 竹澤由高, 高橋昭雄, “ネットワークポリマー”, 共立出版 (2012) pp. 76~79.
- 5) 三刀基郷, “接着の基礎と理論”, 日刊工業新聞 (2012) pp. 121~125.
- 6) 高木清, “ビルドアップ多層プリント配線板技術”, 日刊工業新聞 (2000)
- 7) 新井武二, “レーザー微細加工”, 丸善出版 (2018) pp. 202~208.