Low Dk & Low Df CCL with Very Low Profile copper foil

伝送損失を低減した ＰＰＥ樹脂プリント配線板材料

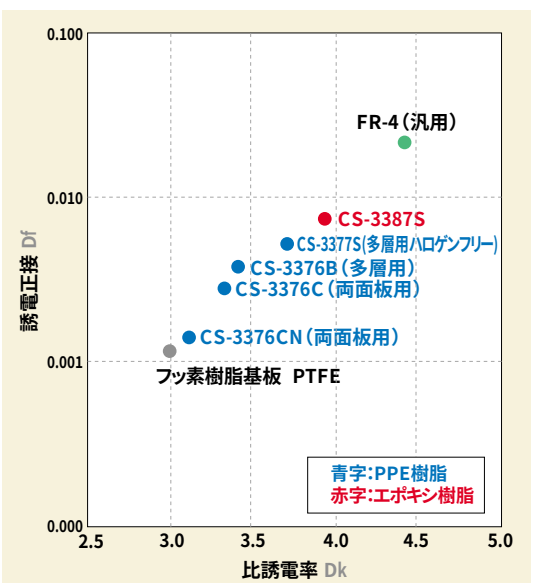
低粗度銅箔の採用で低誘電特性をさらにパワーアップ ピール強度も確保。ミリ波帯での採用も期待

利昌工業（株）化学技術研究所
長谷史郎
RISHO KOGYO CO.,LTD.
Chemical Science R&D Laboratory
Shiro Hase

▲CS-3376CN
VLP銅箔を適用することで、フッ素樹脂基板により近い伝送特性が得られました。

■リショーライト低誘電率プリント配線板材料

利昌工業では、大容量化・高速化あるいは高周波化する電子機器に用いられる低誘電率プリント配線板材料として、PPE 樹脂基板で 4 品種、エポキシ樹脂基板で 1 品種をラインナップしており、数多くのユーザー様にご愛顧いただいております（図 1）。



▲図1. 低誘電率プリント配線板材料の特性(1GHz)
Fig.1 RISHOLITE Low Dk &Low Df CCL(1GHz)

■さらに伝送損失を低減するためには

高周波数帯においては、使用する電波の周波数が高くなるほど、電波がプリント基板の回路中で熱に変わり伝送損失が大きくなります。このときの伝送損失αは(1)式で表されます。

この式より、伝送損失を低減するためには、誘電体であるプリント配線板材料の比誘電率や誘電正接を低くするだけでなく、導体である回路、つまり銅箔内での損失を小さくすることも必要であることがわかります。

$$\alpha = \alpha_1 + \alpha_2 \ (dB/m) \quad \cdots (1)$$

α_1は導体損失、α_2は誘電体損失でそれぞれ、(2)、(3)式で表されます。

$$\alpha_1 \propto R(f) \cdot \sqrt{\varepsilon} \ (dB/m) \quad \cdots (2)$$

$$\alpha_2 \propto \sqrt{\varepsilon} \cdot \tan\delta \cdot f \ (dB/m) \quad \cdots (3)$$

R(f)：導体表皮抵抗　　ε：基板の比誘電率
tanδ：基板の誘電正接　　f：周波数

■表皮効果と表面粗度

周波数が高くなると表皮効果により信号は導体の表面（1GHzで約2μm）に集中します（図２）。したがって、導体損失を低減させるためには、銅箔の表面は平坦であるのが好ましいことになります。

しかし一般的な銅箔では、基板と接する表面積の増大およびアンカー効果によって密着強度を充分に確保するため、表面に数μm程度のいわゆる「面粗し」が施されています。このため、信号はその凹凸に沿って伝送されることになり、移動距離が長くなる分だけ損失が大きくなってしまいます。そのイメージを図3に示します。

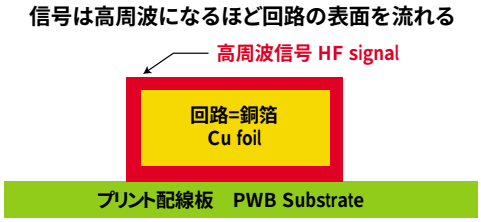


図2. 表皮効果のイメージ　Fig.2 Image of Skin effect

■低粗度銅箔で十分な銅箔引き剥がし強度を確保

このたび利昌工業では、表面粗化が小さい銅箔を採用しながらも、基材との密着強度を充分に確保し（表1）、かつ伝送損失も低減したPPE樹脂プリント配線板材料を開発いたしましたのでご紹介いたします。

■伝送損失測定データ

図5に図示したようなマイクロストリップラインを形成し、ネットワークアナライザを用いて基板の伝送損失（S_{21}）を測定いたしました。

低粗度銅箔を適用することにより、いずれの基板においても5GHzで約1dB/mの改善効果が見られ、これをCS-3376CNに適用することでフッ素樹脂基板により近い伝送特性が得られました。

数十GHzにもなれば低粗度銅箔の効果はさらに大きくなりますので、ミリ波（30～300GHz）クラスでの適用も今後期待されます。

図3. 銅箔粗度の違いによる表皮効果の影響
Fig.3 Signal transmission speed according to surface roughness of Cu foil

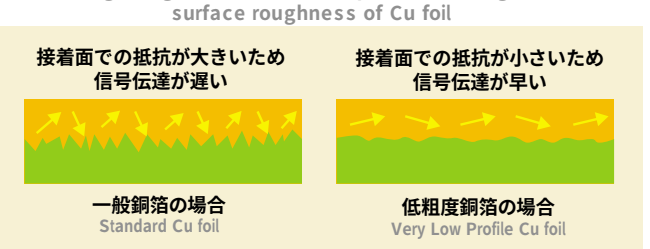


表1. PPE基板材料の銅箔引き剥がし強さ（18μm銅箔）
Table1 Peel strength (18μm Cu foil)

銅箔 Cu foil	単位 Unit	低誘電率PPEプリント配線板材料 Product code		
		CS-3376B	CS-3376C	CS-3376CN
一般銅箔 Standard (Rz=6μm)	kN/m	1.1	1.4	1.4
低粗度銅箔 Very Low Profile (Rz=1.5μm)		0.8	1.0	1.0

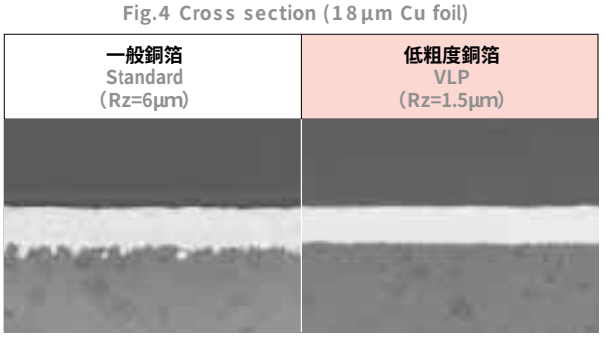
■まとめ

このたび開発した低粗度銅箔張りPPE樹脂プリント配線板材料は、銅箔引き剥がし強さを充分に確保しつつ伝送損失を大幅に低減しております。

フッ素樹脂基板と比較して加工が容易であり、かつ弾性率が高いことから、大型長尺サイズのプリント配線板用途において優位性があると考えております。

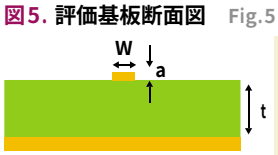
We have developed PPE CCL which HF signal transmission loss is reduced by cladding very low profile copper foil. HF signal will flow through a surface of a conductor, therefore surface roughness of Cu foil should be small.(Fig2/Fig3) But surface of Cu foil is treated to be rough in order to get sufficient adhesiveness to PWB substrate. Newly developed PPE CCL has sufficient peel strength in spite of cladding very low profile Cu foil (Table1) And it also has low transmission loss property. The test result shown in the following graphs is at 5GHz bandwidth. Therefore the advantage of cladding VLP Cu foil would grow at tens of GHz bandwidth.
We expect it to be used at millimeter wave(30～300GHz bandwidth)

図4. 基板断面図（18μm銅箔）
Fig.4 Cross section (18μm Cu foil)



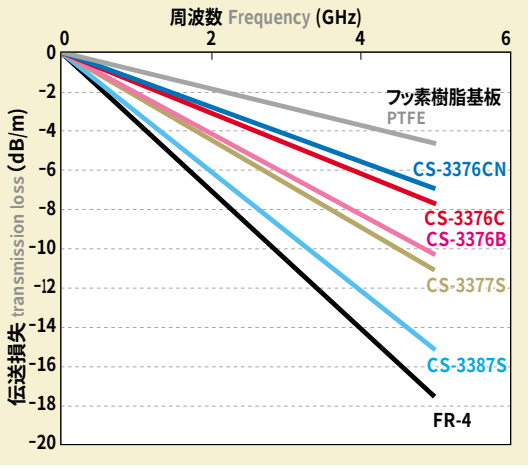
【Rz】十点平均粗さ
断面曲線から基準長さだけを抜き取った部分の平均線から縦倍率の方向に測定した、最も高い山頂から5番目の山頂の標高までの絶対値の平均値と、最も低い谷底から5番目までの谷底の標高の絶対値の平均値との和をマイクロメートルで表す。

図5. 評価基板断面図 Fig.5 Microstrip line

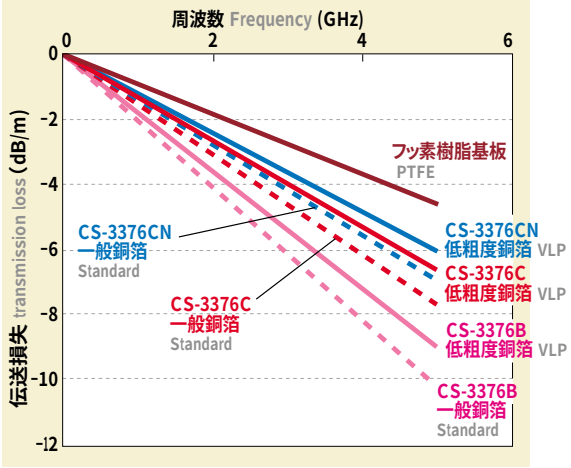


板厚（t）	：0.8mm
銅箔厚さ（a）	：18μm
ライン幅（w）	：1.64～1.93mm
ライン長	：200mm
特性インピーダンス	：50Ω

①一般銅箔使用時の伝送損失
Graph 1 Transmission loss (Standard Cu foil)



②低粗度銅箔使用時の伝送損失
Graph 2 Transmission loss (VLP Cu foil)



【dB】損失の単位 dB＝10 log（出力値/入力値）で表され、-3dBは1/2、-10dBで1/10となる。

表2. 銅箔の違いによる伝送損失の比較
Table.2 Transmission loss according to Cu foil

(dB/m)

品番 Product code	銅箔 Copper foil	周波数 Frequency (GHz) 1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
CS-3376B	一般銅箔 Standard	-2.0	-4.1	-6.1	-8.2	-10.2
	低粗度銅箔 Very Low Profile	-1.8	-3.6	-5.4	-7.2	-9.0
CS-3376C	一般銅箔 Standard	-1.5	-3.1	-4.6	-6.1	-7.7
	低粗度銅箔 Very Low Profile	-1.3	-2.7	-4.0	-5.3	-6.6
CS-3376CN	一般銅箔 Standard	-1.4	-2.8	-4.2	-5.5	-6.9
	低粗度銅箔 Very Low Profile	-1.2	-2.4	-3.6	-4.8	-6.0
フッ素樹脂基板	—	-0.9	-1.8	-2.8	-3.7	-4.6

フッ素樹脂基板により近い伝送損失特性が得られました。

表3. 一般特性 Table.3 General properties

項目 Test item	条件 Test condition	単位 Unit	リショーライト 低誘電率&低誘電正接 プリント配線板材料 RISHOLITE Low Dk & Low Df CCL				
			PPE				Epoxy
			CS-3376B	CS-3376C	CS-3376CN	CS-3377S	CS-3387S
			含ハロゲン Halogen containing			ハロゲンフリー Halogen-free	
比誘電率 Dk	1GHz	—	3.4	3.3	3.1	3.7	3.9
誘電正接 Df	1GHz	—	0.004	0.003	0.001	0.005	0.008
Tg	DMA法	℃	220	185	185	190	180
CTE Z-axis	厚さ方向 α_1	ppm/℃	53	69	69	43	40
	厚さ方向 α_2	ppm/℃	180	330	330	207	220
熱膨張率 Thermal expansion	厚さ方向 (30→260℃) Z-axis	%	2.2	4.5	4.5	2.4	3.0