

# FPCの高周波特性の一考察

電子電装開発センタ 渡邊裕人<sup>1</sup>・桑原雅之<sup>1</sup>・坂口征治<sup>1</sup>・横山朝也<sup>1</sup>  
宮澤春夫<sup>2</sup>・定方伸行<sup>3</sup>

## An Investigation of FPC's High Frequency Characteristics

H. Watanabe, M. Kuwahara, Y. Sakaguchi, T. Yokoyama, H. Miyazawa & N. Sadakata

フレキシブルプリント基板（FPC）に高周波信号を伝送する場合、信号の反射による波形ひずみを防止するためにインピーダンスを整合する必要がある。また、高周波で使用するとFPCの減衰量が大きくなるので、回路設計を行う上で、減衰量の周波数特性を考慮する必要がある。今回、グランド層をメッシュ構造としたときのインピーダンス整合とFPCの減衰量の周波数依存性について報告する。

When the flexible printed circuit (FPC) with high frequency signal is operated, the impedance match is required in order to prevent the voltage waveform distortion. Furthermore, since the transmission loss with high frequency becomes large, it is necessary to take the frequency characteristic of transmission loss into consideration. In this paper, we report the impedance matching of FPC with meshed ground plane and the characteristic of transmission loss of FPC.

### 1. ま え が き

近年、ネットワークの高速化やアプリケーションの変化にともない、プリント配線板では伝送速度が数百Mbps～数Gbpsの高速な信号を扱うようになってきた。フレキシブルプリント配線板（Flexible Printed Circuit, FPC）は、携帯電話やデジタルスチルカメラ、デジタルビデオカメラ、ノート型パソコンといった小型電子機器の内部で使用され、これら機器間のインタフェースとしてUSB 2.0やIEEE1394などの高速シリアル通信が多く用いられている。このため、FPC上で扱う信号も高速化が要求されており、高周波特性を考慮したFPCの要求が高まりつつある。

### 2. インピーダンス不整合による信号への影響

FPCと接続される基板や部品とのインピーダンスが整合していないと、伝送路遠端で反射が生じ、信号波と反射波の重畳により波形ひずみが生じる。図1に反射波の伝送信号への影響の例を示す。(a)はインピーダンス整合が取られていない伝送路での周波数30MHzの信号波形を示し、(b)は同じ伝送路での100MHzの信号波形を示す。30MHzでは波形の乱れが小さいが、100MHzになると波形ひずみが大きくなり、信号伝送に問題が生じる可能性が高くなる。(c)はインピーダンス整合が取られた伝送路に

100MHzの信号を伝送させた場合の波形を示す。インピーダンス整合が取られることにより、反射波の影響がなくなり、波形ひずみが小さくなる。このように使用する周波数が高くなると、インピーダンス不整合による反射波の影響が大きくなるため、高い周波数で使用するFPCはインピーダンスを制御し、インピーダンスが整合した状態で使用することが必要である。

### 3. FPCのインピーダンス制御

グランド層をベタ構造（ベタGND構造）とした場合については、FPCのポリイミドや接着剤層の厚さと誘電率からシミュレーションを用いて信号線のパターン幅を設計することにより、インピーダンスが制御可能であることが報告されている<sup>1)</sup>。

一方、曲げやすさや省スペース化の要求のため、FPCが薄型化する傾向がある。FPCが薄型化すると、信号線とグランド層との距離が近くなり信号線の容量成分が増加し、同一のインピーダンスを保つためには信号線のパターン幅を細くして容量成分を減少させる必要がある。しかし、信号線のパターン幅が細くなると抵抗損失の増加、直流抵抗の増加等の問題があるため、一定のパターン幅を保った状態でFPCのインピーダンスを制御することを要求される場合がある。このような場合、グランド層をメッシュ状にした構造（メッシュGND構造）とすると、信号線の容量成分が小さくなり、パターン幅を細くせずにインピーダンスを一定に保つことが可能である。また、メッシュGND構造にすることによりFPCが軟らかくなり、折

1 回路技術開発部

2 回路技術開発部グループ長

3 回路技術開発部部長

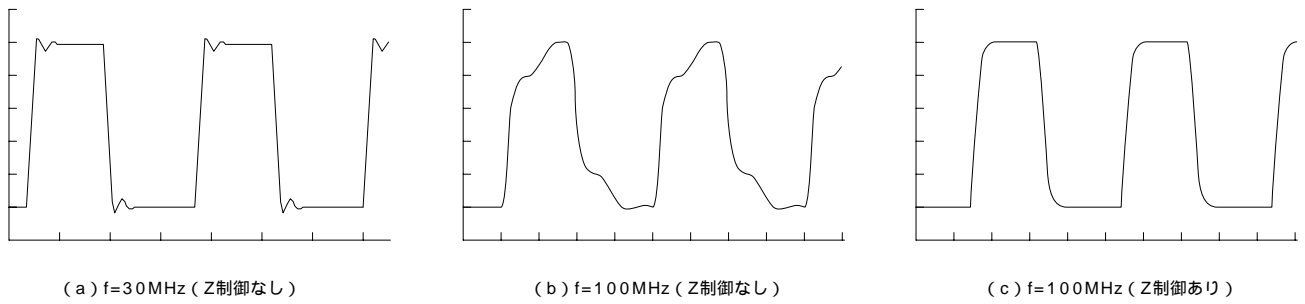
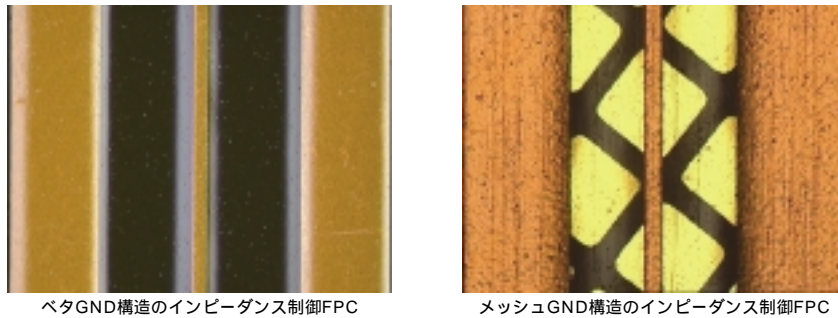


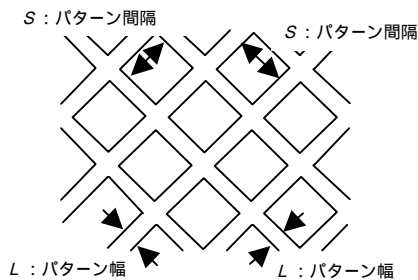
図1 反射波による伝送信号の影響  
Fig. 1. Effect of transmission signal caused by reflection wave.



ベタGND構造のインピーダンス制御FPC

メッシュGND構造のインピーダンス制御FPC

図2 インピーダンス制御FPC  
Fig. 2. Impedance controlled FPC.



$$\text{残銅率} = \left[ 1 - \frac{S^2}{(S+L)^2} \right] \times 100(\%)$$

図3 グランド層メッシュ残銅率の定義  
Fig. 3. The definition of copper area rate.

り曲げがしやすくなる効果もある。

図2にベタGND構造とメッシュGND構造のインピーダンス制御FPCを表面から撮影した写真を示す。メッシュGND構造では、グランド層がパターン幅L、パターン間隔Sのメッシュになっている。このメッシュの単位面積当たりに残っている銅の面積を残銅率 $\alpha$ と呼び、図3に示すように定義する。メッシュGND構造のFPCのインピーダンスはグランド層の残銅率と信号線のパターン幅により決定

される。

ベタGND構造とメッシュGND構造のFPCを試作した。ベタGND構造は、ポリイミド基材に接着剤で銅箔を貼りあわせた銅張積層板(3層材CCL)と接着剤層のない銅張積層板(2層材CCL)の2種類のFPCを試作し、メッシュGND構造は2層材CCLを用いて、メッシュ率の異なる2種類のFPCを試作した。カバーレイ層を除いた概略図を図4に示す。

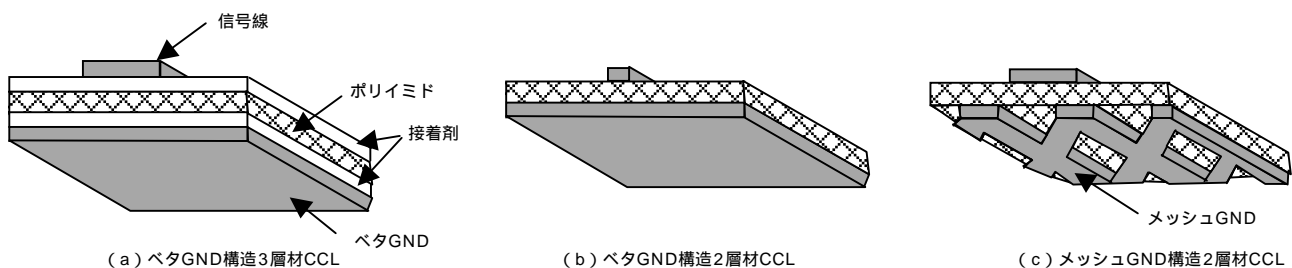


図4 試作サンプル構造概略図  
Fig. 4. Outline figure of trial FPC.

試作したサンプルは、Time domain reflectometry (TDR) を用いて特性インピーダンスの測定を行った。測定結果を図5に示す。

特性インピーダンス50 のパターン幅を設計するとき、ベタGND構造で3層材CCLを用いるとパターン幅130  $\mu\text{m}$  になるが、2層材CCLを用いるとパターン幅が50  $\mu\text{m}$  と細くなる。一方、メッシュGND構造にして、グランド層の残銅率を小さくすると、同じパターン幅でのインピーダンスを高くすることができ、2層材CCLを用いても3層材CCLと同程度のパターン幅とすることが可能である。

このようにグランドメッシュの残銅率を変化させると、同じインピーダンスでのパターン幅の設計値に自由度を持たせることが可能である。特性インピーダンス50 設計時の残銅率と設計パターン幅の関係の一例を図6に示す。残銅率を下げると、特性インピーダンス50 設計時のパターン幅を広くすることができる。この例ではパターン幅を100  $\mu\text{m}$  に設計したいときは、残銅率を40%に設定すれば良いことがわかる。

#### 4. 伝送損失の顕在化

伝送する信号の周波数が高くなると、伝送路を構成する材料に起因する伝送損失の影響が大きくなる。伝送損失は

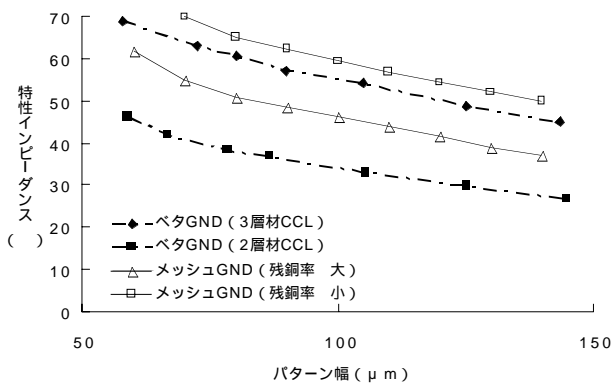


図5 メッシュGND構造FPCの特性インピーダンス  
Fig. 5. Impedance of FPC designed by meshed GND.

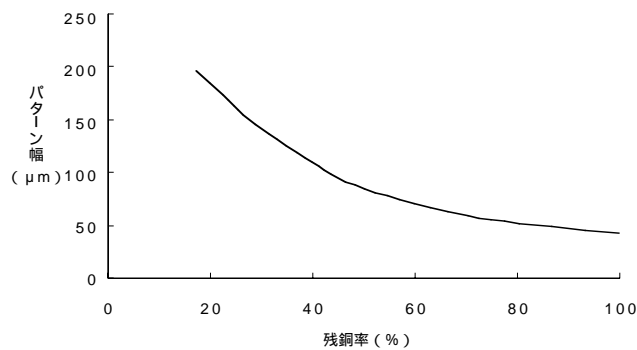


図6 特性インピーダンス50 の残銅率とパターン幅の関係  
Fig. 6. Impedance of FPC designed by meshed GND.

抵抗損と誘電損からなる。抵抗損は、導体の断面積が小さくなると大きくなる。また、周波数が高くなると表皮効果により電流が導体表面に集中し、周波数の平方根に比例して抵抗損が増加する。銅箔厚が薄く、パターン幅が細い信号線を高周波で使用する場合は抵抗損が大きくなる。

一方、誘電損は線路を構成する誘電体（絶縁体）に起因する損失である。誘電損は誘電体の誘電正接と周波数に比例して増加する。抵抗損は周波数の平方根に比例し、誘電損は周波数に比例するので、周波数が高くなると誘電損の影響が相対的に大きくなる。

FPCの単位長さあたりの抵抗損と誘電損の周波数特性の計算例を図7に示す。

FPCの単位長さ当たりの減衰量とFPCの長さを考慮して、使用周波数における減衰量が回路設計上許容できる値より小さくなるように、材料選択、パターン幅設計を行う必要がある。特に1GHzを超える高周波では、誘電損による減衰の割合が大きくなるので、伝送路の長いFPCでは誘電損の小さい誘電体を用いるのが効果的である。

#### 5. FPCの減衰量の測定

ベタGND構造、メッシュGND構造のFPCと誘電体に液

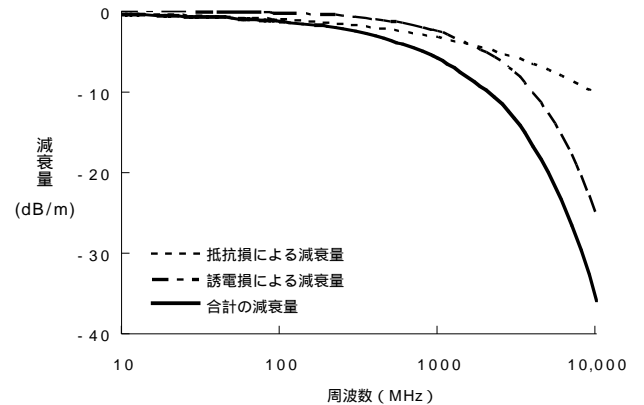


図7 抵抗損と誘電損の周波数特性例  
Fig. 7. Frequency characteristic of conductor loss and dielectric loss.

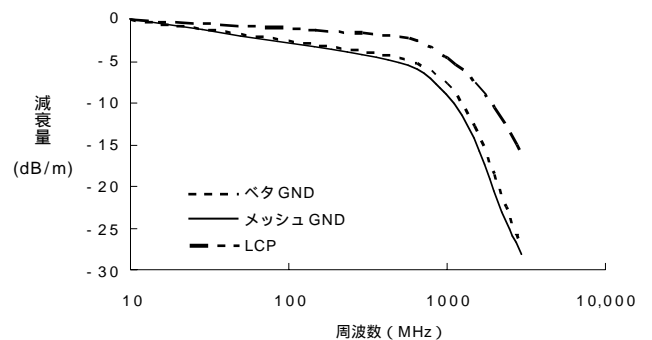


図8 FPCの減衰量周波数特性例  
Fig. 8. The example of frequency characteristic of loss.

晶ポリマ（LCP）を用いたFPCを試作し、ベクトルネットワークアナライザを用いて減衰量の周波数特性を測定した。測定結果を図8に示す。

ベタGND構造とメッシュGND構造を比較すると、減衰量の周波数特性に大きな差はない。一方、誘電体にLCPを用いたFPCは減衰量が小さいので、伝送路の長いFPCを高周波で使用する場合には有効である。

## 6.むすび

インピーダンス制御FPCのグラウンド層をメッシュ構造とすることにより、パターン幅を細くすることなく、イン

ピーダンスを制御できることを確認した。また、FPCの単位長さ当たりの減衰量を測定し、回路設計時の減衰量の目安となるデータを取得した。

今後は、コネクタとの接続を考慮して、FPCとコネクタを含めた高周波での特性について調査を行う。

最後に、本テーマに関連しご指導、ご協力をいただいた関係各位に感謝いたします。

## 参考文献

- 1) 坂口ほか：FPCにおけるインピーダンス制御の一考察，フジクラ技報，第109号，pp. 27-30，2005