

# FPCにおけるインピーダンス制御の一考察

電子電装開発センタ 坂口 征治<sup>1</sup>・渡邊 裕人<sup>1</sup>・横山 朝也<sup>1</sup>  
宮澤 春夫<sup>2</sup>・宇波 義春<sup>2</sup>・塩田 孝夫<sup>3</sup>

## An Investigation of Impedance Controlled Flexible Printed Circuit

Y. Sakaguchi, H. Watanabe, T. Yokoyama, H. Miyazawa, Y. Unami & T. Shiota

従来、電子回路の分野においては、プリント配線板は接続すべき配線が正しくプリント基板上で配線されており、配線パターンに流れる電流に対して十分な電流容量を持っていれば、プリント基板の動作に問題は発生しなかった。数MHz以下程度の低速信号しか使用されない装置では、特性インピーダンスを考慮する必要があるのは装置間を接続する通信ケーブルのみであった。

電子回路の動作速度が速くなると、上記要求条件のみでは充分ではなくなり、プリント基板でも特性インピーダンスの制御が必要となる。

近年、装置内部で周波数が数100MHz～数GHzの電気信号が使用されることが珍しくない。このような高速信号を伝送させる場合、たとえ伝送線路が装置内部のみの短いものであっても、この伝送線路を分布定数回路とみなす必要があり、それゆえプリント配線板上での特性インピーダンスの制御が必要となる。

本稿ではこのような背景から要求が出てきているFPCにおける特性インピーダンスの制御について、当社での取り組みと現状の成果を報告する。

Ordinary, requirements of printed circuits are that should always be connected correctly and have enough electrical current capacity. If signals used inside the equipment are of very low frequency, impedance control of the circuit is not needed.

When electrical circuits with high frequency signal are operated, impedance control is needed for not only communication cables but also printed circuits.

Recently, the use of high frequency signal (several hundreds MHz to several GHz) inside the equipment has not been rare. In this case, the circuit should be considered as a distributed constant circuit even if it is very short. Therefore, impedance control of circuit is needed on printed circuit board.

On the basis of the background information described above, we have tried to control the characteristic impedance of flexible printed circuit.

## 1. ま え が き

### 1.1 特性インピーダンス

特性インピーダンスとは伝送線路長が無限であると仮定したときの線路のインピーダンスである。これは伝送線路の単位長あたりの誘導成分と容量成分の比の平方根によって決定される。信号の出力回路の出力インピーダンス、信号線の端末部に接続される負荷インピーダンスと伝送線路の特性インピーダンスが一致している場合、伝送線路上での信号の反射は発生しない。特性インピーダンスと同一の入出力インピーダンスを接続した場合、均一な特性インピーダンスの伝送線路が無限に続いているのと等価となる

ためである。

### 1.2 高速信号の伝送線路

高速データの伝送によく用いられる信号はPECL, LVDS, CMLなどの信号のようにインピーダンス50の負荷が接続されることを前提としたドライバ回路が用いられており、出力インピーダンスも50に合わせられている。このようなインタフェースにおいては接続される伝送線路の特性インピーダンスを50に制御する必要がある。

### 1.3 差動インピーダンス

上記の高速信号では外来のコモンモードノイズに対する耐性を上げるため、通常差動の入出力が使用される。

伝送線路の終端の入力インピーダンスも差動インピーダンスで規定され、100である。この場合、伝送線路の特性インピーダンスも差動インピーダンスで定義される。差動インピーダンスを100とすることで伝送線路間での信号の反射を防ぐことができる。

1 回路技術開発部

2 回路技術開発部グループ長

3 電子電装開発センタ長

一般的には差動インピーダンスは2本の伝送線路の特性インピーダンスの和とは等しくならず、2本の伝送線路の結合率により結合が大きいほど差動インピーダンスは小さくなる。2本の伝送線路の間に結合がないとみなせる程度に伝送線路の間隔が広い場合、差動インピーダンスは2本の伝送線路の特性インピーダンスの和と等しくなる。

## 2. シミュレーション

### 2.1 伝送線路のモデリング

実際の伝送線路は厳密には基板ごとに異なるものであるが、扱いを容易にするため簡略化されたモデルを想定してシミュレーションを実施する。

いずれのモデルにおいても伝送線路長は無限であると仮定して解析を行っている。

プリント配線板で特性インピーダンスの制御を行う場合、一般的に使用されるのはコプレーナ線路、マイクロストリップ線路もしくはストリップ線路である。

#### 2.1.1 コプレーナ線路

コプレーナ線路は信号パターンおよびグランド導体が同一平面上にある伝送線路の構造である。信号を伝送する回路パターンとグランドプレーンとの間隔が一定となるように広いグランド導体にスリットを入れた形状である。コプレーナ線路を用いた場合、パターン幅と間隙のみによりインピーダンスを制御するため、配線の自由度が低くなること、グランドが同一平面上に配置されるため、信号線から出る放射ノイズが後述のマイクロストリップ線路およびストリップ線路よりも多くなることが弱点である。

#### 2.1.2 マイクロストリップ線路

マイクロストリップ線路は広いグランド導体上に重なるように信号パターンを配置した構造である。コプレーナ線路は片面基板で構成可能であるが、マイクロストリップ線路を構成するためには、少なくとも両面基板以上の多層構造の基板である必要がある。マイクロストリップ線路の場合、広い接地導体と信号パターンとの離隔および信号パターンの配線幅で特性インピーダンスが制御される。

比較的实现しやすく、放射ノイズも軽減できるため、プリント配線板で最も使用される頻度が高い伝送線路である。

#### 2.1.3 ストリップ線路

ストリップ線路は広いグランド導体間に挟まれるように信号パターンを配置した構造である。このため、少なくとも3層以上の多層構造の基板である必要がある。マイクロストリップ線路と同様、接地導体と信号パターンとの離隔および信号パターンの配線幅で特性インピーダンスが制御される。この構造がもっとも放射ノイズを少なくできる構造である。

#### 2.1.4 差動線路

それぞれの伝送線路構造において、差動インピーダンスは上記特性インピーダンスに寄与するパラメータに加えて伝送線路の間隙によって制御される。

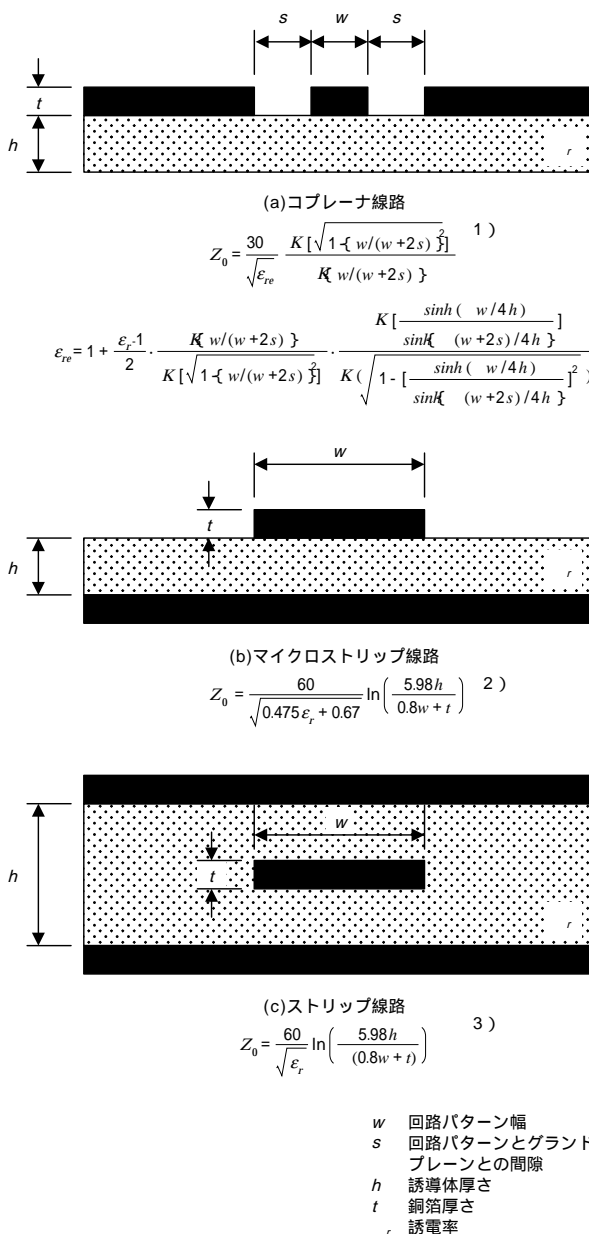


図1 従来の伝送線路モデル  
Fig. 1. Conventional models of transmission lines.

### 2.2 従来の解析法

FR-4 (ガラス・エポキシ) 基板においては、従来からコプレーナ伝送線路、マイクロストリップ伝送線路、ストリップ伝送線路を構成した場合の特性インピーダンスについて解析がなされてきた。しかし、厳密に電磁界解析を行って特性インピーダンスを算出するには非常に複雑な計算が必要となるため、図1に示すような近似式により特性インピーダンスを算出する方法が一般的であった。

ただし、これらの数式はFR-4基板の特性インピーダンスの実測値から導き出された近似式であり、通常のFPCの回路においては図2のような誘電率・基板厚・パターン幅等を考慮する必要があるため、図1の近似式はFPCの特性インピーダンス計算には使用できないのが実情である。

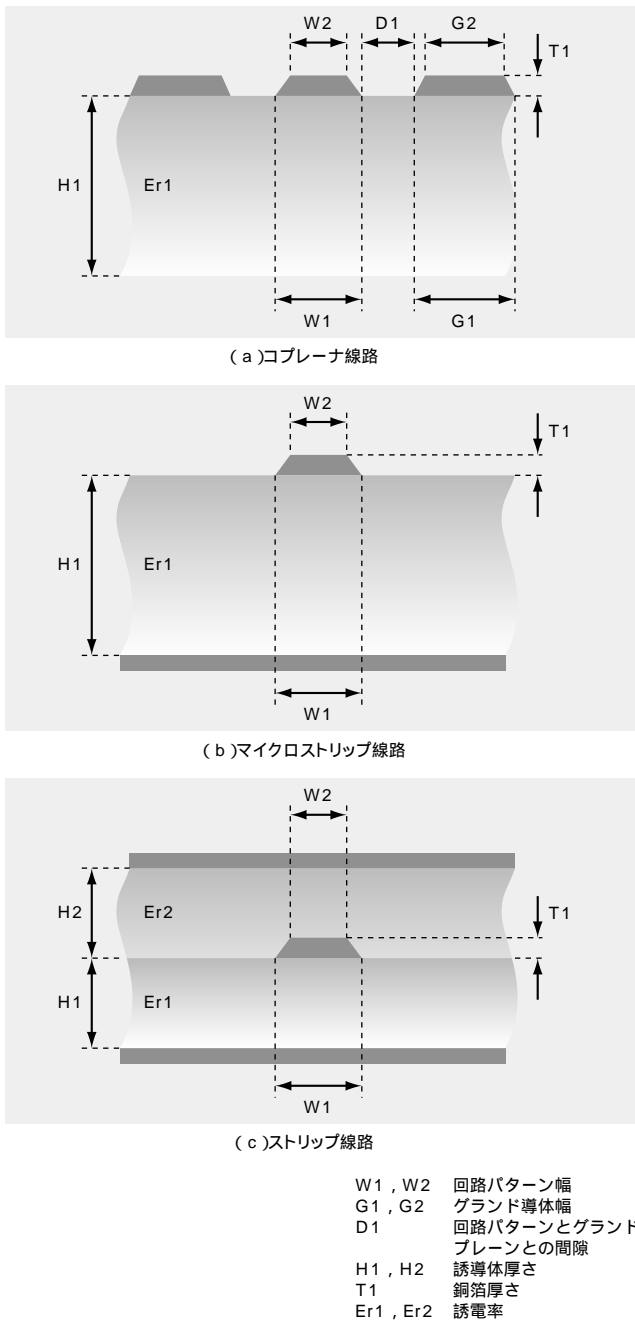


図2 シミュレータ伝送線路モデル  
Fig. 2. Models of transmission lines in a simulator.

### 2.3 電磁界解析シミュレータの導入

電子回路の動作速度が格段に向上したために特性インピーダンスの制御が必要となったが、同時にコンピュータの処理速度も格段に向上したので、数値計算による伝送線路の厳密な電磁界解析も可能となっている。

そこで今回、伝送線路の電磁界解析シミュレータを導入した。これにより、FR-4基板で使用されていた近似式では近似精度が悪くなってしまいうパラメータ領域においても正確な数値計算が可能となった。

このシミュレータを用いて新規設計を行う基板に対してあらかじめ狙いの特性インピーダンスを実現するための伝送線路設計を行う。

### 3. 実測によるフィードバック

シミュレータを用いても実際の特性インピーダンスを補正なしで算出することは難しい。そのため、数種類のサンプルを作成してシミュレータでの算出結果とサンプルによる特性インピーダンスの実測値との対応付けを行った。

#### 3.1 TDRによる特性インピーダンスの実測

マイクロストリップ線路のモデルにおいて、異なる銅張り板 (Copper Clad Laminate以下CCL) およびカバーレイ (Cover Lay 以下 CL) を使用して伝送線路のパターン幅を振ったサンプルを作成し、TDRを用いて特性インピーダンスの実測を行った。

#### 3.2 サンプル断面観察

より詳細な伝送線路形状を用いてシミュレーション結果にフィードバックを行うため、特性インピーダンスを実測したFPCに対して断面観察を行った。断面観察により測定したポイントは CCL基材厚、CCL接着剤厚、パターントップ幅、パターンボトム幅、パターン銅箔厚、CL基材厚、CL接着剤厚である。図3にFPCの断面写真を示す。

#### 3.3 測定結果の合わせ込み

これらの実測パラメータおよび基材メーカーから入手した誘電率の実測データを基に、シミュレーション結果と実測された特性インピーダンスを合わせ込む作業を行った。

ある補正をかけることですべてのデータに対してほぼ実測値と計算値の対応を取ることができた。これにより既にサンプルによるデータ取りを行った基板材料が否かを問わず、作成するサンプルの特性インピーダンスの平均値を狙いの特性インピーダンスに対して±5%の精度でコントロールすることが可能となった。

図4に実測した形状データ、誘電率データを用いてシミュレーションソフトウェアで計算した特性インピーダンスを、図5に実測した特性インピーダンスを示す。非常によく似た曲線が算出されていることが確認できる。

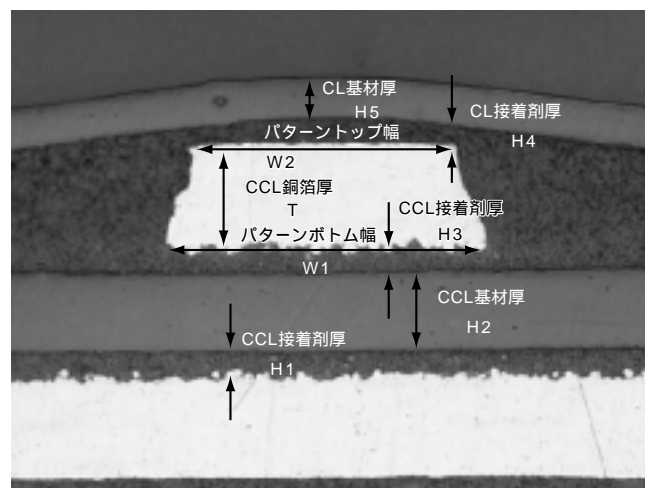


図3 FPC断面  
Fig. 3. Cross section view of flexible printed circuit.

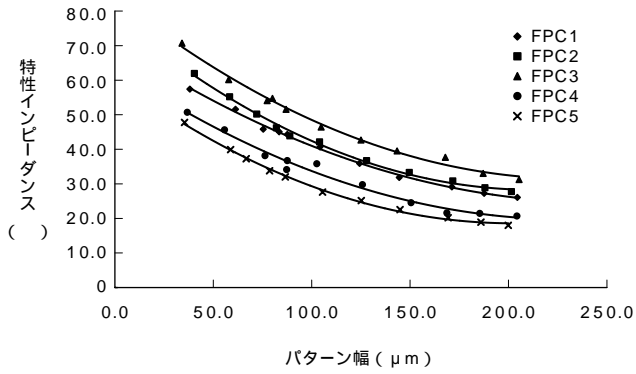


図 4 特性インピーダンス計算値  
Fig. 4. Calculated characteristic impedance.

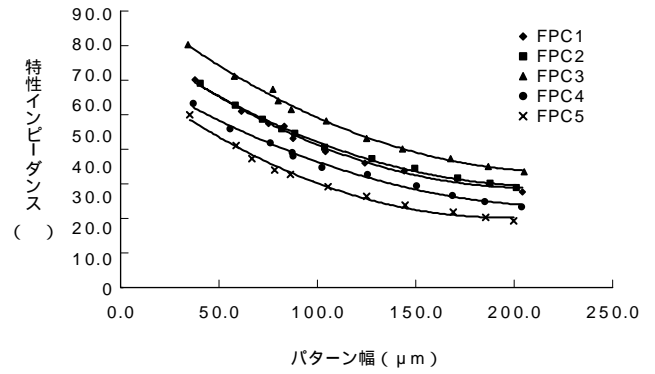


図 5 特性インピーダンス実測値  
Fig. 5. Measured characteristic impedance.

4. む す び

FPCの特性インピーダンスを制御するために、伝送線路モデルによるシミュレーションおよび試作品を作成しての実測を行った。マイクロストリップ線路構造によって狙いの特性インピーダンスを実現するためのパターン幅の設計値を計算により算出することができた。

今後はマイクロストリップ線路のグランドプレーンにメッシュ加工を施した場合の特性インピーダンスのデータ収集およびシミュレーションを実施し、インピーダンス制御を可能とする予定である。

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) 小西 良弘：マイクロ波回路の基礎とその応用，総合電子出版社 1992
- 2) Reuhli：Inductance Calculations in a Complex Integrated Circuit Environment，IBM J. Res. Develop.，16，8，1972
- 3) チェレンスキ，シェニレ，モディ：電気特性の制御性を高め雑音を抑制したセラミック多層基板，日経エレクトロニクス 1984.3.26