

FPC における差動インピーダンス制御

電子電装開発センター 小川 泰司¹・渡邊 裕人²・二階堂 伸一³

Differential Impedance Control in Flexible Printed Circuit

T. Ogawa, H. Watanabe, and S. Nikaido

フレキシブルプリント基板 (Flexible Printed Circuit, FPC) を高周波信号伝送に利用する場合、インピーダンスを整合する必要がある。また、高速信号を伝送する場合には、差動信号伝送方式が多く採用されている。そのため FPC でも差動信号線の設計が必要となっている。しかし、一般的にシングルエンド伝送方式に比べ、設計パラメータが多い差動信号線を設計することは困難である。

今回、当社ではこれに対応し、三次元電磁界シミュレータを導入している。本稿では差動信号線に対して、そのシミュレータを用いて設計した FPC の実測値がシミュレーションの結果とよく一致したので報告する。

When flexible printed circuit (FPC) is used for a high-frequency signal transmission, it is necessary to adjust the impedance. As various differential signal transmission methods are adopted for high-speed signal transmission, FPC calls for the designing of a differential signal line. However, it is difficult to design a differential signal line with relatively many design parameters as compared with a single end signal line.

This time, our company has installed a three-dimensional electromagnetic field simulator to solve this problem. The purpose of this paper is to report that the actual measurement value of FPC designed with the simulator is in good agreement with the result of the simulation.

1. ま え が き

近年、信号の高速化が著しく、デジタル機器間では IEEE1394 などの高速シリアル通信が多く用いられている。これにともない、携帯電話、携帯型音楽機器、デジタルスチルカメラ、デジタルビデオカメラ、ノートパソコンなどのデジタル機器の内部で使用される FPC に対しても高周波特性を考慮した設計が求められている。

最近では Serial Advanced Technology Attachment (SATA) や High-Definition Multimedia Interface (HDMI) など信号の高速化に有利な Low Voltage Differential Signaling (LVDS) による差動信号伝送が用いられており、FPC に差動伝送用信号線を配線する要求が高まっている。

2. 差動インピーダンスの概要

高速データ伝送に使用される信号の規格では特定のインピーダンスの負荷が接続されることが前提とされており、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、信号波形にひずみが生じてしまうため、FPC においてもインピーダンスの整合を考慮する設計を行っている²⁾。さらに、最近の高速データ伝送では、コモンモードノイズ耐性が高い差動信号伝送が一般的になってきている。差動伝送方式は図 1 のように、二本の信号線ペアに逆位相の信号を同時に伝送し、受信側でその差分からデータを判断する。これにより図 1 のように信号にノイズが重畳した場合、シングルエンド伝送ではノイズによる振幅がレシーバ入力のスレッシュホールドを越えると、データとして判断されてしまうのに対し、差動伝送ではレシーバで信号線ペアの差分を取るため、ノイズの影響を受けず、データ伝送できるという利点がある。このように、差動伝送はノイズに強いいため、信号振幅を小さくすることができ、最大振幅になるまでの時間を短縮することが可能になり、高速化することができる。

1 回路技術開発部

2 回路技術開発部主査

3 回路技術開発部グループ長

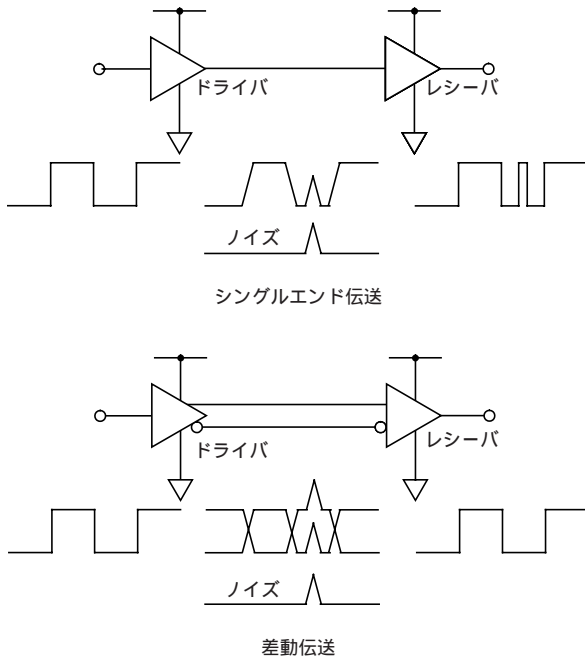
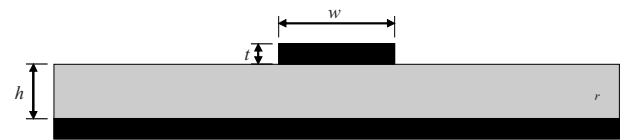


図1 コモンモードノイズの影響
Fig. 1. Influence of mode noise.

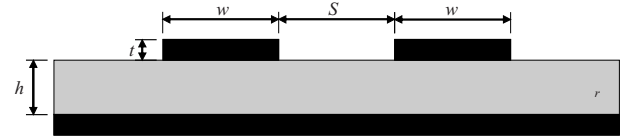
3. 差動インピーダンス制御FPCの設計

当社技報第109号の「FPCにおけるインピーダンス制御の一考察」¹⁾において、FPC上でインピーダンス制御された伝送線を構成するための条件を二次元電磁界シミュレータによって求めたことを述べた。また、当社技報第110号の「FPCの高周波特性の一考察」²⁾において、FPCの薄型化への対応をしつつ、同時にインピーダンスを制御するためにGND層をメッシュ構造にし、薄型化しても信号線の導体幅を変えずにインピーダンス制御したFPCを設計することが可能になることを報告した。差動インピーダンスを制御したFPCを設計する場合においても、FPCの薄型化に対応しつつ、インピーダンスを制御しなくてはならないため、メッシュGND構造が必要になる。

数種類の差動信号線を配線したFPCサンプルを作製し、タイムドメインリフレクトメトリ Time Domain Reflectometry (TDR) を用いて、差動インピーダンスの測定をした例を示す。信号線パターンとの設計と特性インピーダンスや差動インピーダンスの場合の関係を明確化するために、FPCの材料構成は一定とした (t, h, r は一定)。図2(1)に特性インピーダンスの計算式、(2)に差動インピーダンスの計算式を示す。図3からわかるように信号線幅 w を変えると図2の式(1)の特性インピーダンスが変化するため、差動インピーダンスも変化する。ここまでは特性インピーダンスと同様に扱えるが、差動インピーダンスの場合、図2の式(2)からもわかるように図4のように、信号線間隔 S によってもインピーダンスが変化する。このように、メッシュGND構造の差動信号線を設計するには多くのパラメータを考



$$Z_0 = \frac{60}{\sqrt{0.475r + 0.67}} \ln\left(\frac{5.98h}{0.8w + t}\right) \quad (1)$$



$$Z_{diff} = 2Z_0 \left\{ 1 - 0.48 \exp\left(-0.98 \frac{S}{h}\right) \right\} \quad (2)$$

図2 インピーダンス計算式
Fig. 2. Impedance calculation expression.

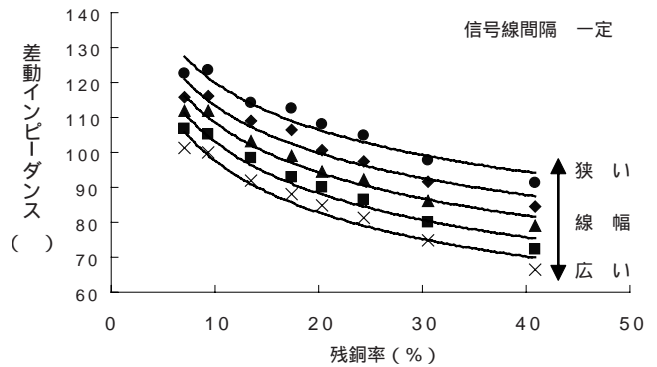


図3 差動インピーダンスと残銅率の関係 (S :一定)
Fig. 3. Differential impedance of FPC designed by meshed GND.

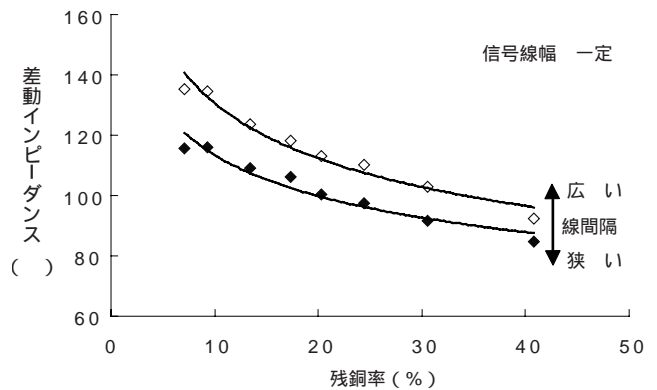


図4 差動インピーダンスと残銅率の関係 (w :一定)
Fig. 4. Differential impedance of FPC designed by meshed GND.

慮しなくてはならず、設計に時間がかかる。

そこで、当社では三次元電磁界シミュレータを導入した。これにより、当社で使用していた二次元シミュレータでは考慮することができないメッシュGND構造におけるシミュレーションが可能となった。このシミュレー

タを用いることで、新規に設計するメッシュ GND 構造の基板に対して、あらかじめ狙った特性インピーダンス、および差動インピーダンスを実現するための伝送線路設計を行うことが可能になった。

4. 実測値とシミュレーションの整合

三次元電磁界シミュレータを用いて、インピーダンスを計算する場合、シミュレーションモデルが重要になる(図5)。シミュレータで計算を実行する細かい領域(メッシュ)の区切り方により、シミュレーション結果は異なるため、メッシュ GND 構造のメッシュ線幅とメッシュ線間隔によって、シミュレーションの条件を選ばなくてはならない。適切な領域の区切り方のモデルで計算を実施しないと、図6の計算値 A のように、計算値と測定値があわなくなってしまう。これを考慮し、メッシュ GND の線幅や線間隔に適したシミュレーションモデルを用いて計算することにより、図6の計算値 B のように計算値と測定値が一致することがわかった。

適切なモデルで計算し、特性インピーダンスおよび差動インピーダンスの計算値と実測値を比較したグラフを図7, 8 に示す。このようにとても良い一致を得られることがわかる。

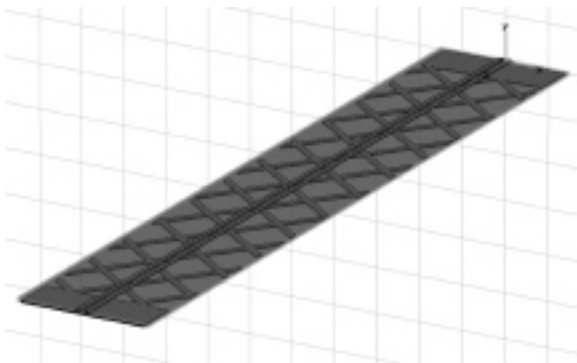


図5 シミュレーションモデル
Fig. 5. Simulation model.

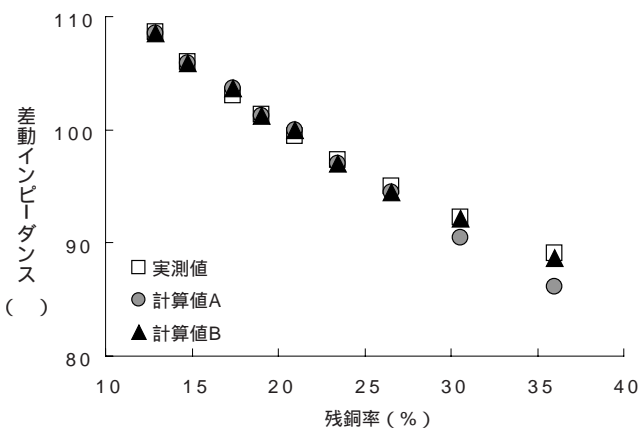


図6 シミュレーションモデルの違い
Fig. 6. Difference of simulation model.

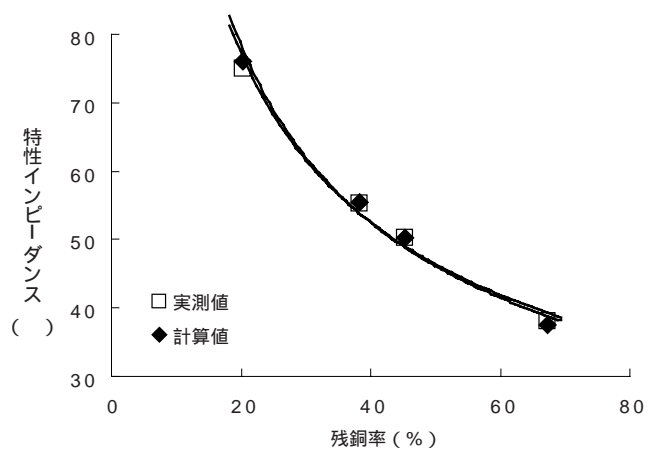


図7 特性インピーダンスの実測値と計算値の比較
Fig. 7. Comparison between measurement value and calculation value of characteristic impedance.

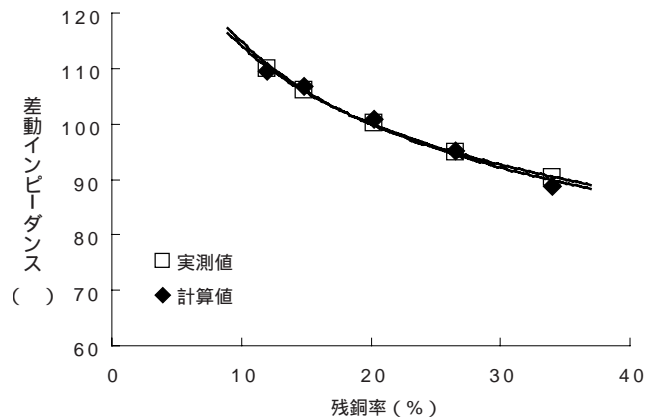


図8 差動インピーダンスの実測値と計算値の比較
Fig. 8. Comparison between measurement value and calculation value of differential impedance.

5. むすび

FPCの差動インピーダンスを制御するために、信号線を配線したFPCを作製し、TDRを用いて測定した。また、新規導入した三次元電磁界シミュレータを用いて、伝送線路のシミュレーションを実施した。シミュレータを導入することにより、メッシュ GND 構造においても、あらかじめ狙った特性インピーダンス、および差動インピーダンスを実現するための信号線の設計を計算により求めることができた。

最後に、本テーマに関連しご指導ご協力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
- 2) 渡邊ほか:「FPCの高周波特性の一考察」, フジクラ技報, 第110号, pp. 19-22, 2006