

# フレキシブルプリント配線板における 軽量化と高速伝送技術

Weight-Saving and High-Speed Data Transmission Technologies for Flexible Printed Circuits

室 生代美 鳥越 保輝

■ MURO Kiyomi ■ TORIGOSHI Yasuki

モバイルノートパソコン (PC) では、データ伝送の高速・大容量化に伴い、USB2.0 (Universal Serial Bus 2.0), PCI-Express (Peripheral Component Interconnect-Express), S-ATA (Serial Advanced Technology Attachment) などの高速伝送規格が採用されている。そのため、メインPCB (印刷回路基板) と各構成部品を接続するフレキシブルプリント配線板 (FPC : Flexible Printed Circuit) の伝送特性への要求も厳しくなっている。

東芝は、モバイルノートPCのいっそうの薄さと軽さを追求して軽量化FPCを開発し、更に、次世代の高速化に向けてその伝送特性の向上に取り組んでいる。

High-speed transmission technologies such as Universal Serial Bus 2.0 (USB 2.0), Peripheral Component Interconnect Express (PCI Express), and Serial Advanced Technology Attachment (SATA) are being adopted in mobile notebook PCs for high-speed and large-capacity data transmission. As a result, demand for improved transmission characteristics of the flexible printed circuits (FPCs) connected to the main printed circuit board (PCB) and of individual component parts is also becoming severe.

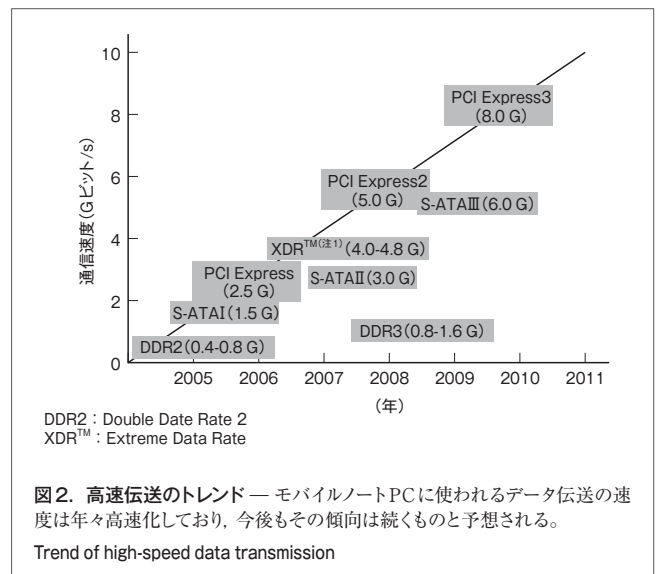
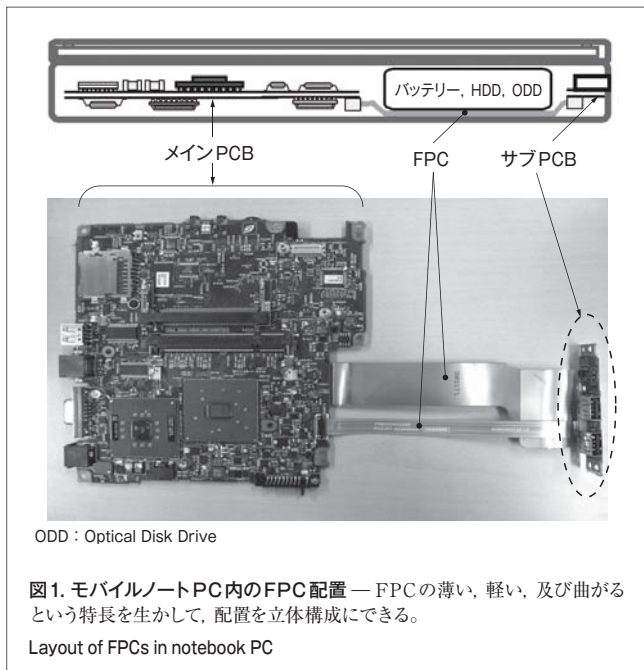
Toshiba has developed a weight-saving FPC in pursuit of thinner and lighter mobile notebook PCs, and has been making efforts to improve the transmission characteristics of FPCs toward the next generation of high-speed technology.

## 1 まえがき

薄さと軽さを追求するモバイルノートPCでは、フレキシブルプリント配線板 (FPC : Flexible Printed Circuit) は必要な存在となってきている。FPCは、薄い、軽い、及び曲がるという特長を持っており、モバイルノートPC筐体 (きょうたい) 内で

バッテリーやハードディスク装置 (HDD) などを回避しながら、メインPCBと、USB, RGB (赤, 緑, 青), LANなどのサブPCBとをつなぐ役目をしている。そして、ここ数年で、メインPCBとHDDなどのメディアとの接続部にも採用されるようになってきた (図1)。

モバイルノートPCに使われるデータ伝送の速度は年々高速



(注1) XDRは、米国及びその他の国におけるRambus社の商標又は登録商標。

化しており(図2)、これまでFPCには要求されていなかった高速伝送特性が新たに求められるようになってきた。FPCで高速伝送を行うためには、FPC配線の特性インピーダンス管理を行う必要がある。特性インピーダンス管理を行うFPCの構造としては、大きく分けて両面FPCと片面FPCがあるが、東芝のモバイルノートPCでは、信号層及びGND(接地)層ともに銅で形成された両面FPCを採用している。両面FPCを採用している理由は、特性インピーダンスの管理のしやすさである。片面FPCで特性インピーダンス管理を行う場合、FPCが筐体などに接触すると、接触した物質の誘電率の影響を受け、特性インピーダンスが変化してしまう。そのため、片面FPC周囲の部品配置に気を配る必要があり、両面FPCに比較し管理がやや複雑となる。

ここでは、FPCの更なる薄さと軽さを求めるとともに、データ伝送の高速化に対応するためのFPC技術について述べる。

## 2 FPCの軽量化

軽量化FPCの開発では、これまでモバイルノートPCに採用してきた両面FPCの構造を簡略化して、片面FPC上に導電性ペーストでGND層を形成した疑似両面構造を採っている。

以下に、軽量化FPCの構造と特長を述べる(図3,表1)。

(1) 軽量化 両面FPCの場合、信号層とGND層の電気

表1. 両面FPCと軽量化FPCの特性比較

Comparison of characteristics of double-sided FPC and weight-saving FPC

	軽量化FPC	両面FPC(従来)
質量 (%)	50 (50%軽量化)	100
厚さ (%)	72 (28%薄型化)	100
曲げ応力 (%)	11 (89%柔軟性向上)	100

的接続は銅めっきで行っている。銅めっきは、信号層及びGND層全体に形成されるため、FPC全体に含まれる銅の割合が多い。一方、軽量化FPCの場合、片面FPCのカバーレイにあらかじめ設けた開口部分に導電性ペーストを充てんするため、GND層形成と同時に、信号層とGND層の電気的接続が行われる。質的に不利になる銅めっきを必要としないため、軽量化FPCは、両面FPCと比較して50%の軽量化を達成している。

(2) 薄型化と柔軟性 軽量化FPCは、基本構造が片面FPCであることと、銅めっきがないということから、両面FPCと比較して28%薄型化している。また薄型化したことにより、その柔軟性は両面FPCと比較して、89%と飛躍的に向上しており、モバイルノートPC筐体内でFPCを引き回しやすくなっている。

## 3 軽量化FPCの伝送特性

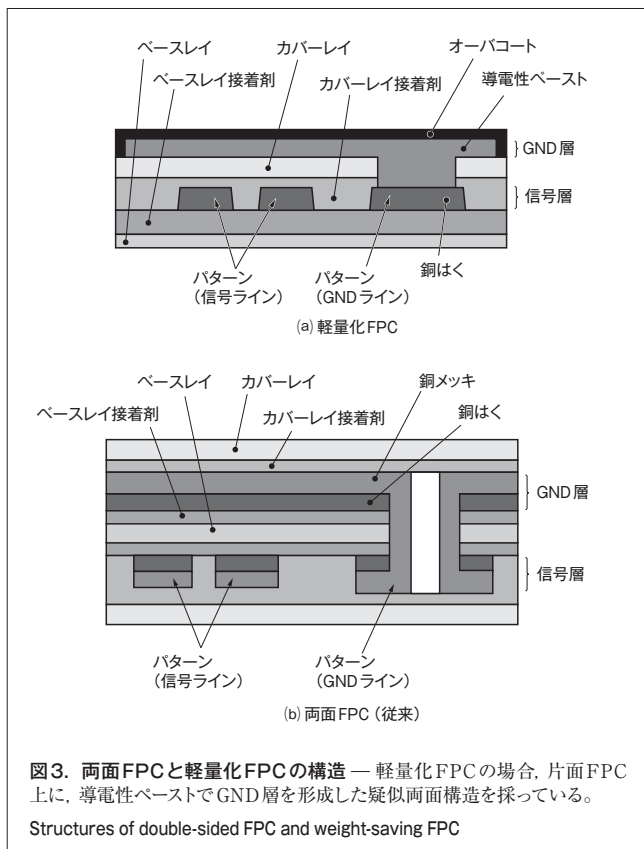
軽量化FPCは、2章で述べた特長を生かして、モバイルノートPCのメインPCBとHDDとを接続するS-ATA I(通信速度1.5Gビット/s)部分などに採用された。その後もデータ伝送の高速化は進んで、現在ではS-ATA IからS-ATA II(同3.0Gビット/s)へ移行しており、今後はS-ATA III(同6.0Gビット/s)も予定している。ここでは、軽量化FPCにおける次世代の高速伝送に対する取組みについて述べる。

### 3.1 伝送損失

軽量化FPCのインピーダンス特性を図4に示す。インピーダンスが伝送線路の長さに従って緩やかに上昇していることがわかる。これは伝送損失が生じているために起きる現象である。

軽量化FPCを用いた場合の波形シミュレーションの結果(アイパターン<sup>(注2)</sup>)を図5に示す。S-ATA Iでは、基準である中央の六角形部分にアイパターンが触れておらず良好な波形である。一方、S-ATA IIでは、基準である中央の六角形部分にアイパターンが触れて(目がつぶれて)おり、符号識別の余裕

(注2) 波形の符号識別余裕を表現する一つの方法である。オシロスコープの画面に波形をオーバーラップさせることにより、目(eye:アイ)のような絵が得られることからアイパターンと呼ばれ、目玉の開き具合で波形を評価する。良好な波形は目玉が大きく開いている(符号識別の余裕が大)が、波形にひずみなどが含まれると目玉がつぶれたような形(符号識別の余裕が小)になる。



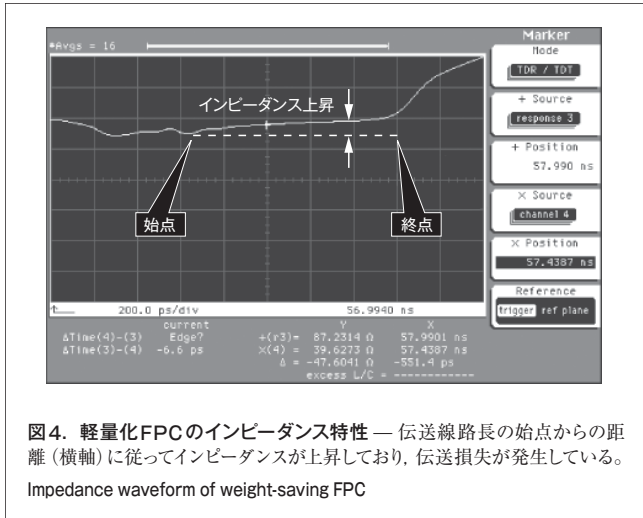


図4. 軽量化FPCのインピーダンス特性 — 伝送線路長の始点からの距離(横軸)に従ってインピーダンスが上昇しており、伝送損失が発生している。  
Impedance waveform of weight-saving FPC

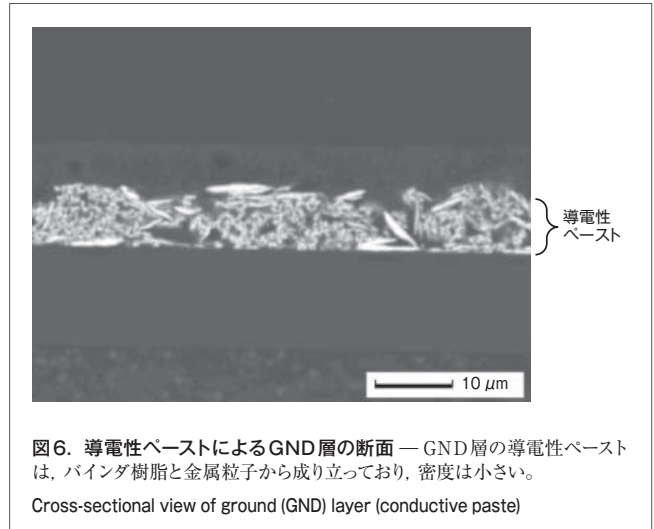


図6. 導電性ペーストによるGND層の断面 — GND層の導電性ペーストは、バインダ樹脂と金属粒子から成り立っており、密度は小さい。  
Cross-sectional view of ground (GND) layer (conductive paste)

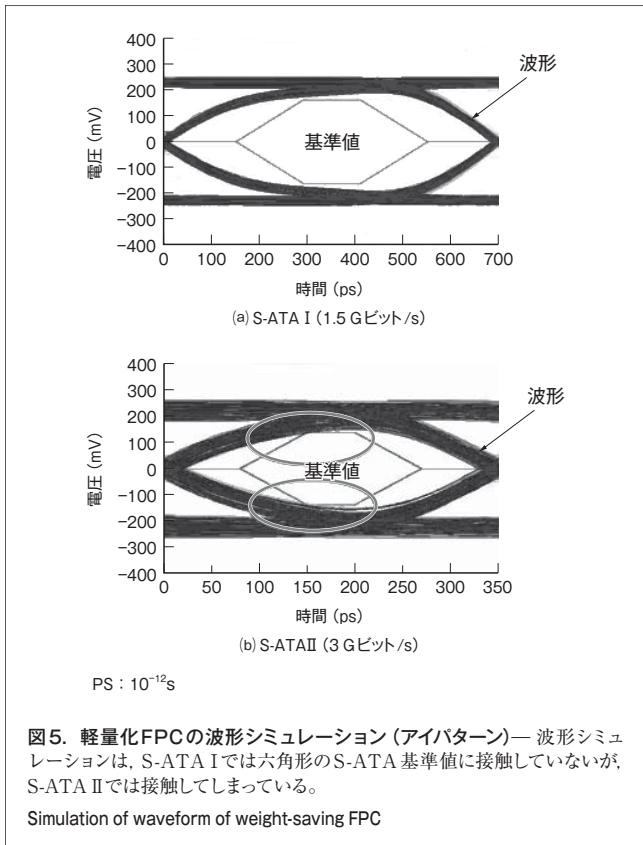


図5. 軽量化FPCの波形シミュレーション(アイパターン) — 波形シミュレーションは、S-ATA Iでは六角形のS-ATA基準値に接触していないが、S-ATA IIでは接触してしまっている。  
Simulation of waveform of weight-saving FPC

が小さくなっていることがわかる。S-ATA Iでは使いこなせた軽量化FPCも、今後の高速化では伝送特性を改善していかなければならない。

### 3.2 伝送損失の要因

ここでは、軽量化FPCにおける伝送損失の要因について推測を述べる。GND層は導電性ペーストで形成されており、FPCを断面から観察すると、図6のように見える。

(1) GND層自体の抵抗 導電性ペーストは、主にバインダ樹脂と金属粒子の混合物からできている。バインダ樹脂

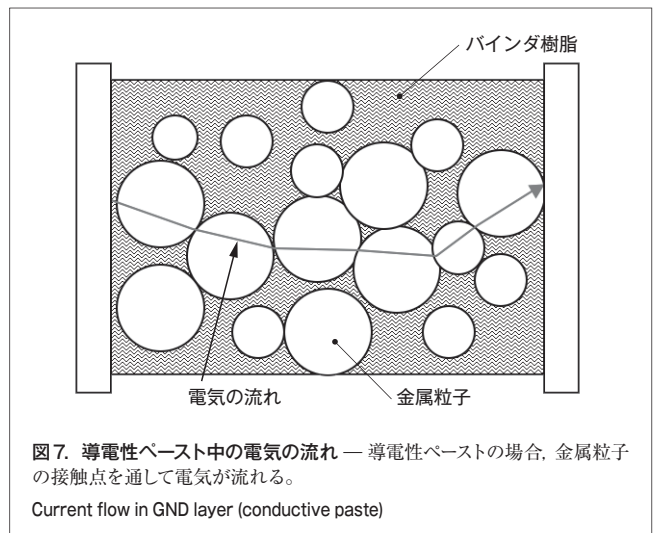


図7. 導電性ペースト中の電気の流れ — 導電性ペーストの場合、金属粒子の接触点を通して電気が流れる。  
Current flow in GND layer (conductive paste)

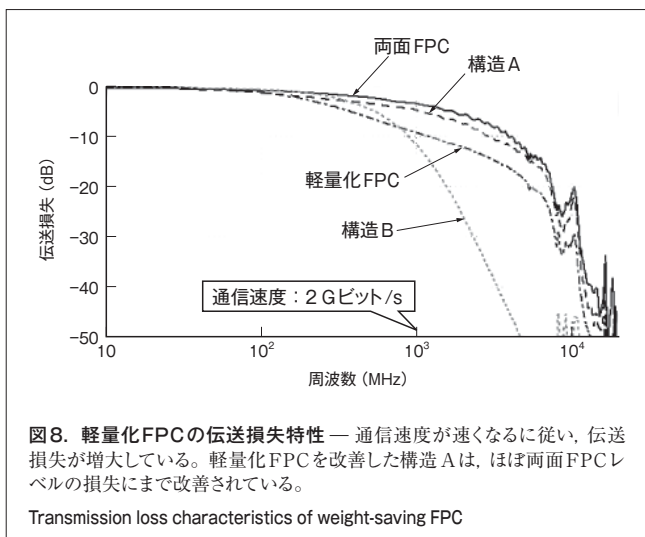
脂は金属粒子を固定する役目をしており、電気的には絶縁体である。つまり、導電性ペーストの金属粒子は、金属結合ではなく接触により電気を流している(図7)。そのため、導電性ペーストで形成されたGND層自体の抵抗は大きく、伝送損失を悪化させているものと推測される。

GND層自体の抵抗を小さくする方法としては、導電性ペーストにおける金属粒子の割合を多くし、金属粒子どうしの接触箇所を増やすなどの方法がある。

(2) 表皮効果 周波数が高くなると電流は物体の表面に集中して流れるようになるため、物体の表面形状に伝送特性が左右されるようになる。導電性ペーストで形成されたGND層表面形状は凹凸が大きく、高周波で表面形状による伝送損失を生じているものと推測される。

### 3.3 伝送損失特性の改善

3.2節での推測から、GND層の伝送損失を少なくする構造について実験的検討を行った。ここでは、両面FPCと軽量化



FPCのほか、GND層自体の抵抗を小さくした構造Aと、表皮効果による伝送損失の改善を狙った構造Bについて評価した。

各FPCの伝送損失特性を図8に示す。通信速度が2Gビット/s (周波数1 GHz) のときの伝送損失は次のとおりである。

両面 FPC (−3.52 dB) > 構造 A (−4.80 dB)  
 > 軽量化 FPC (−8.40 dB) > 構造 B (−11.7 dB)

どのFPCにおいても、通信速度が早くなるに従い伝送損失が増大する傾向を示しているのがわかる。GNDが銅はくで形成された両面FPCがもっとも伝送損失が少なく良好であるが、軽量化FPCは両面FPCに比較して約5dB悪化していることがわかる。構造Aは、GND層の抵抗を小さくしたため、軽量化FPCに比較して伝送損失が改善されていることがわかる。一方、構造Bは、表皮効果による伝送損失の改善を狙ったが、0.2 GHz付近から伝送損失が増大する結果となった。

次世代の高速伝送に対しては、構造Aの技術を進化させていく。

#### 4 あとがき

モバイルノートPCに限らず、モバイル機器全般において、携帯性能は重要であり、“もっと小さく”、“もっと軽く”というユーザー要求はとどまるところを知らない。モバイル機器の小型

化に伴い、FPCの採用機会は増えている。そして、FPCへの要求は多様化してきており、従来よりも複雑になってきている。例えば、DVC (Digital Video Camera) の液晶画面と本体をつなぐ開閉部にFPCを使用する場合、FPCには繰り返し屈曲特性が要求されるため、一般的には片面FPCを採用する。その理由として、両面FPCは繰り返し屈曲に弱く、断線に至るまでの寿命が短いためである。ただし、片面FPCにて特性インピーダンス管理を行おうとすると、周囲の誘電率の影響を受けやすく、FPCの筐体への固定方法などに配慮する必要があり管理が難しい。また、ノイズの影響も受けやすいので電磁波シールドが必要となる場合があり、片面FPCでの設計は複雑となっているのが現状である。

今回は、モバイルノートPCにおける取組みとして、軽量化FPC構造における次世代高速伝送への対応技術について述べた。軽量化FPCを改善した構造Aは、現段階では伝送特性が両面FPCにやや劣るものの、そのほかのメリットが多い。今後は、他製品への技術展開も視野に入れ、更なる開発と改善に取り組んでいく。



室 生代美 MURO Kiyomi

PC&ネットワーク社 PC開発センター 実装開発センター。  
 フレキシブルプリント配線板の開発に従事。  
 PC Development Center



鳥越 保輝 TORIGOSHI Yasuki

PC&ネットワーク社 PC開発センター 設計プロセス開発センター。高速信号関係のCAE技術及び環境構築技術の開発に従事。エレクトロニクス実装学会会員。  
 PC Development Center