

# 様々な分野で電子機器をつなぐケーブル・配線技術

宮崎 智央 石井 正義

産業用電子機器では、画像の高精細化や機能の高度化に伴って、データ伝送容量は増加の一途をたどっている。さらに、複雑な加工や作業に対応するため、機器の動きは複雑化し可動(摺動、屈曲等)する部位は増加してきている。また、高密度配線化に加え、狭スペース内でも配線可能な薄さ、柔軟性の要求も多い。

本稿では、沖電線で商品化している、これらの要求に応えるケーブルとフレキシブル基板について紹介する。

## 高速信号伝送・高可動ケーブル技術

### (1) インターフェースケーブルの高速化と対応技術

現在、産業用の画像処理装置ではカメラと画像処理装置間の接続に高速インターフェースケーブルが使用されている。産業用の主な高速インターフェースは、ギガビットイーサネット (Gigabit Ethernet) やカメラリンク (Camera Link) などがある。

産業用高速インターフェースケーブルは、高速データ伝送に加え、高い可動耐久性が要求される場合が多い。特に、キズや異物の混入や色識別などを行う外観検査装置では、データ量の大きな高画素、高フレームレートの産業用カメラを使用し、検査位置を移動させて検査するためカメラの移動にあわせてケーブルも動く。ケーブルが動いてもケーブルの伝送性能が安定して保持される必要がある。

ケーブルの動きには以下の3つが考えられる。

- ①摺動 ケーブルをU字に曲げてスライドする。
- ②屈曲 ケーブルを曲げる。
- ③捻回 ケーブルを捻る。

沖電線ではこのような可動用途で安心して使用できる高速インターフェースケーブルをラインナップしている。

### (2) 商品の特長

沖電線の代表的な商品を写真1、2に示す。

写真1は可動用途に使用できるギガビットイーサケーブルである。写真2は狭スペースに実装可能な極細径カメラリンクケーブルである。また、高速インター

フェースケーブルの特長を以下に示す。

#### ①高耐久性

摺動屈曲、左右屈曲、捻回などの可動用途に対応。屈曲による電気的特性劣化を考慮した構造設計が可能である。

#### ②長距離伝送

低損失、低スキューなどのケーブル特性により、信号波形の劣化を最小限に抑えることで長距離伝送を実現可能である。

#### ③細径・省スペース

信号品質を確保しつつ、コネクタの上下左右から細径ケーブルを引出す構造で狭スペースに配線可能である。

#### ④使用環境、条件に応じたケーブル構造

高速信号線構造(対、同軸、ツイナックス)を基本的に制御線、電源線を一緒に捻り合わせるなど多様な構造設計が可能である。

#### ⑤コネクタ接続部での低損失化

ケーブルだけではなく、コネクタ接続部の低損失化により高品質信号を実現する。



写真1 可動用ギガビットイーサケーブル



写真2 極細径カメラリンクケーブル

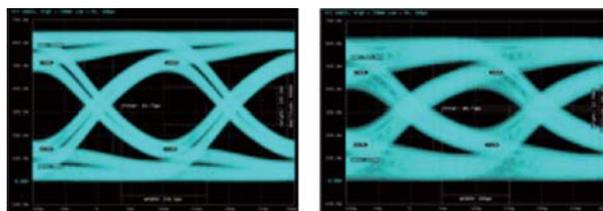
### (3) 低損失を実現するケーブル構造

高速データ伝送を実現するときの課題の一つは、ケーブルの損失である。ケーブルの損失が大きいと信号振幅の低下だけでなく、波形を歪ませて符号間干渉やジッター増大の原因となる(図1)。

ケーブルの損失増加原因はいろいろあるが、特に高周波数では高速信号線を構成する導体の真円度が重要で、撚り線よりも単線の方が低損失になる。撚り線導体の表面が凹凸になっていることが原因の一つと考えられる。

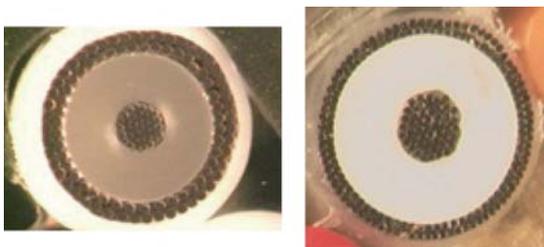
また、導体の変形も損失を増加させる原因である。導体が変形すると特性インピーダンスが変化し、信号が反射するため損失が増加する(図2, 3) 導体のつぶれと特性インピーダンス変動の関係を図4に示す。導体が20%つぶれると特性インピーダンスは12%低下し、反射波が6%発生することになる。

このように低損失ケーブルの実現には構造、材質が均一でバランスがよく、曲げや荷重による変形が小さいケーブルが必要である。そこで真円度の高い導体や、変形し難く電氣的に優れた特性を有する材質の選定、製造バラツキを最小限に抑えるなどの工夫が必要になる。



(a) 損失が小さい場合 (b) 損失が大きい場合

図1 損失の違いによるアイパターンの違い



(a) 真円度の高い導体 (b) 真円度が低い導体

図2 真円度の高い導体と低い導体

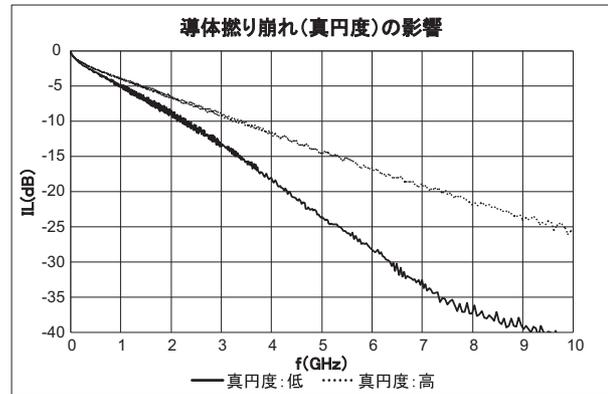


図3 真円度の高い導体と低い導体

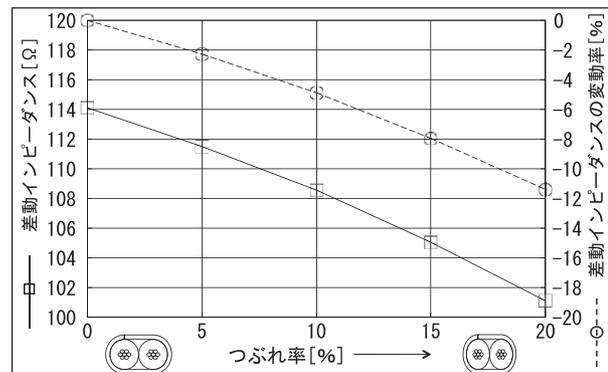


図4 導体変形と特性インピーダンス変動

### (4) 低損失を実現するワイヤーハーネス加工

低損失にするにはケーブルとコネクタを接続するワイヤーハーネス加工も重要である。コネクタの構造、材質はケーブルと異なるため、ケーブルを伝搬してきた信号波形はコネクタ部で必ず反射する。ワイヤーハーネス加工長が長くなると反射量は増加し、損失も大きくなる(図5)。例えば、周波数が1GHzを超える場合、加工長は5mm以下にする必要がある(図6)。

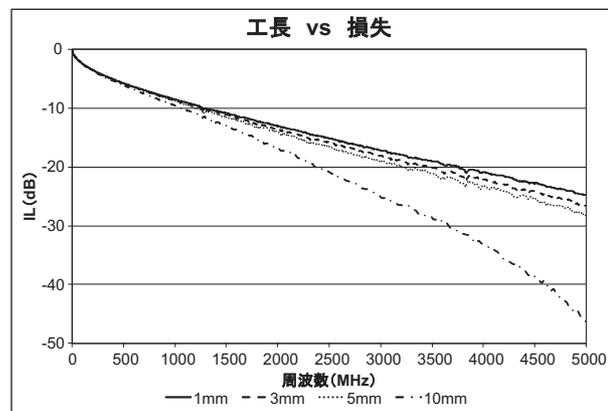


図5 加工長と損失

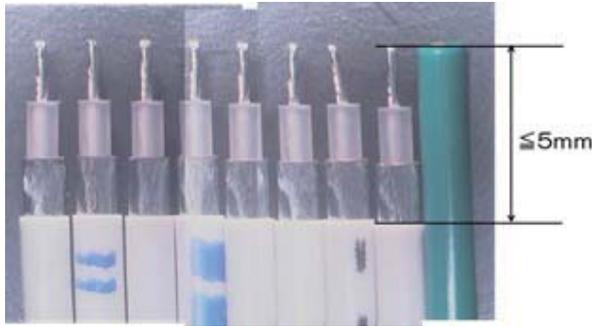


図6 ワイヤーハーネス時の加工長

## (5) 産業用高速インターフェースの今後

産業用機器で使用されるカメラは、今後も高画素、高フレーム化が進んでいく。それに伴いデータ量は増加し、データ伝送速度も10Gbps以上の高速データ伝送が必要になる。また、より低価格であることも要求される。

高速データ伝送を実現するためにケーブルはますます重要な部品になってくる。

### 極薄で柔軟な多層フレキシブル基板技術

当社では、電気、情報通信産業機器を始め、様々な分野の電子機器向けに、軽薄で柔軟な配線部品であるFPC(フレキシブル基板)を設計、製造している。FPCは、薄く柔軟性のあるプラスチックフィルム上に導体層を形成したプリント基板で、軽薄性と柔軟性を実現している。高機能化の著しい小型電子機器やモバイル機器では、この軽薄性、柔軟性に加えて高密度配線化した多層FPCが多く使用されており、当社の多層FPCもノートパソコンを始めとする各分野での採用実績を持ち、電子機器の発展に寄与している。多層FPCは、複数枚のFPCを貼り合わせることで多層構造を形成している。この方法は、高密度配線化の手段としては有効であるが、FPCの総厚みは増加するため、軽薄性と柔軟性は低下する。近年、電子機器はスマートフォンやウェアラブル機器のように、さらなる小型化、軽薄化が求められており、多層FPCには今以上の軽薄性と柔軟性が求められている。

このような課題を解決するために、従来品よりも薄く柔らかい、極薄柔軟多層FPCを実現した。

## (1) 商品の特長

### ①薄型化

FPCの構成層の軽薄化を図り、薄い多層FPCを実現した。

例として、4層構造のFPCで、従来品と同じ配線密度を維持したまま、FPC厚みを0.44mmから0.26mmと薄くでき、約40%の薄型化を実現した。

### ②柔軟性

FPCの薄型化を実現することで、多層構造に柔軟性を持たせた。これにより、従来品に比べ小さい曲げRで折畳むことが可能となる。同時に、折畳み時の反発力も低減されているために、機器への組み込み性が向上する。

## (2) 商品を実現するための技術・材料

### ①構成材料の薄型化

多層FPCの構成材料は、導体層としての銅箔、絶縁層としてのプラスチックフィルム、銅箔とプラスチックフィルムの貼り合わせや多層化するため複数枚のFPC同士を貼り合わせる接着剤の3つに大別される。

まず銅箔については、導体抵抗をはじめとする導体層の電気特性を維持しながら、ある程度の薄型化ができる厚みを検討した。その結果、銅箔の厚みは12~18 $\mu$ m程度とした。次に、絶縁層のプラスチックフィルムであるが、絶縁層の薄型化は、配線板の特性として絶縁性の低下につながる。そこで、絶縁層材料は従来のFPCと同じく、高い電気絶縁特性をもつポリイミドフィルムを使用し、十分な層間絶縁性を維持できる厚みを検討し、一般的な絶縁層厚み25 $\mu$ mからの薄型化を行った。接着剤層は、薄型で貼り合わせに必要な密着性と隣接導体間の電気絶縁性の確保、導体間の埋め込み性を満足する材料が必要であった。今回、これらを満足するエポキシ系樹脂接着剤を選定し使用した。

### ②製造技術

多層FPCの構成材料の薄型化は、FPC厚みの薄型化・柔軟性向上に有効であるが、FPCの製造工程では薄さは難点となる。例えば、工程間での搬送時のハンドリング性の悪化により、折れシワ、キズなどの製品欠点につながる。これは材料が薄いほどに顕著になる。この難点の克服のため、専用の搬送系や治工具等を整備し、薄型材料を扱えるように工程を設計した。

以上の構成材料の薄型化と製造技術の確立により、極薄柔軟多層FPCが可能となった。写真3に4層構造の開発品の例、写真4に断面写真をそれぞれ示す。断面写真から、配線密度は変わらず薄型化されていることが確認できる。

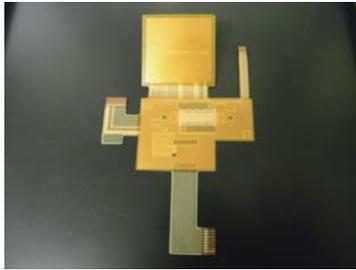


写真3 極薄柔軟多層 FPC の例

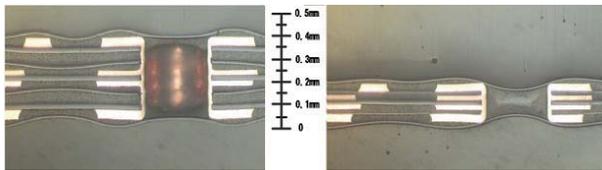


写真4 極薄柔軟多層 FPC の断面 (左：従来品 右：開発品)

写真5は柔軟性の例である。4層構造のFPCを直径20mmの円柱に巻き付けている。従来品は反発力があり、巻き付けが困難であるのに対して、開発品はその柔軟性により巻き付けることができる。

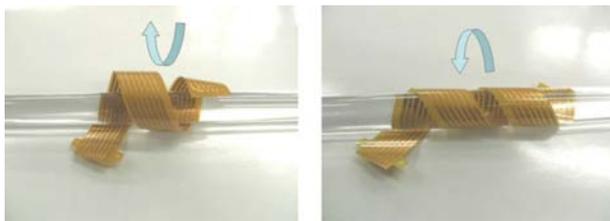


写真5 柔軟性の例 (左：従来品 右：開発品)

### (3) 極薄柔軟多層 FPC の信頼性

極薄柔軟多層FPCの特性について、4層構造の評価基板で信頼性を評価した。表1に試験結果を示す。材料の薄型化、特に絶縁層と接着剤層の薄型化は、多層FPCの層間接続信頼性、層間絶縁信頼性に影響を及ぼすものであるが長期信頼性試験として1,000Hの環境試験でも信頼性の低下は見られず、一般的なプリント基板やモジュール基板に要求される信頼性試験において、十分な信頼性を確保していることを確認した。

加えて、柔軟性の評価として折り曲げ耐性試験を行った。その結果従来品と比較し10倍以上の折り曲げ性を有していることを確認した。

表1 4層 FPC 試験結果

評目	内容	条件	特性
1. 接続信頼性	温度サイクル	-65℃⇔125℃ 1,000サイクル	異常なし
2. 層間絶縁性	恒温恒湿バイアス	85℃85%RH 1,000H	≧100MΩ
3. 折り曲げ耐性	マンドレル試験	R1.0mm 180° 曲げ	≧300回

### (4) 極薄で柔軟な多層フレキシブル基板技術の今後

多層FPCの薄型化により、これまで配線に必要であったスペースに余裕ができることになる。加えて、柔軟化により、反発力の制約で配線ができなかった箇所への配線も可能となる。これにより機器のさらなる薄型化が可能となる。また、多層FPCは、主に固定配線用途で使用されていたが、柔軟性により、可動配線用途としても期待ができる。

## おわりに

沖電線は高性能化や高密度配線化が進む産業用電子機器市場で要求される様々なケーブル・フレキシブル基板の技術開発に取り組み、お客様が安心してご使用いただける商品を提供していく所存である。◆◆

## 参考文献

1) 宗塚啓司：「産業用高速インターフェースケーブルの特長と使い方」、映像インダストリアル (2008年)、産業開発機構株式会社

## ● 筆者紹介

宮崎智央：Tomoo Miyazaki. 沖電線株式会社 電線事業部  
石井正義：Masayoshi Ishii. 沖電線株式会社 FPC事業部