

# ファイバリンクと銅リンクの比較

## 産業環境における適切な選択について



## White Paper

産業環境は、様々な理由で特にデータ通信ネットワーク設計にとって過酷です。一般に、このような極めてノイズの多い環境では、電磁干渉(EMI)にあふれており、あらゆる対策を取らない限り、ツイステッドペア線でリンクを構築したプロセス制御、自動フィードバック監視およびデータ・ネットワークでは重大な被害を及ぼすことがあります。また、このような環境では、リンク間のグラウンド電位が異なるために過剰なグラウンドループ電流が流れることがあり、システム、入出力カードおよび部品間のガバナニク絶縁が重要になります。さらに、データ転送速度が高くなるほど、そのような問題が顕著になり、有効なネットワーク設計が難しくなり、媒体の選択が重要になります。

光ファイバは、産業環境に起因するこのような問題のソリューションを提供します。たとえば、ポリマー光ファイバ(POF)は、RS-485やファスト・イーサネットなどの多くの産業アプリケーションで、着実にカップ・ケーブルに置き換わっています。アンテナとして働きネットワーク内でノイズを伝搬するカップ・ケーブルと違い、ガラスおよびプラスチック・ファイバは、絶縁材料であり、したがってモータ駆動、AC/DC電力インバータおよび電力分配システムに一般的な浮遊電磁界による影響を受けません。これらのファイバは、クロストークの問題がないために、高圧電力ケーブルと並行にダクトに入れることができ、一方、ツイステッドペア・カップ・ケーブルは、エラーなしのデータ転送を保証するには電力線から最小距離だけ離すか高価なシールドを必要とします。

また、光ファイバは、グラウンドループとその潜在ノイズ、さらに安全問題を完全に解決します。ファイバ本来の絶縁特性により、システム・インテグレーションが簡単で効率的になります。また、ファイバは、高電圧アプリケーションに必要とされる多くの監視および制御機能に理想的であり、高い絶縁特性で制御トリガを高電流/電圧スイッチング回路に接続するのに最良の媒体です。

多くの設計エンジニアはこれまで、データ・ネットワークや制御ネットワークに光ファイバを使用するのを避けてきました。ほとんど場合、これは、コスト的に不利だという思い込み、使い易さや取り付け易さの問題、または単に膨大な従来のカップ・インフラストラクチャでカップ・リンクを使い慣れていることによるものです。しかし、このホワイトペーパーで述べるように、ファイバは、ガバナニク絶縁、同相ノイズ耐性、および電磁干渉(EMI)耐性に関してカップ・リンクの代替となります。さらに、コスト的な競争力があり、環境によっては、カップ・リンクよりも使用、設計および取り付けが容易です。

## ガルバニック絶縁

カップ・ワイヤ（銅線）は、幅広い産業の、医療および独自のアプリケーションにおいて、データ伝送に有効に使用されてきた確立された技術ですが、多くの状況で、カップ・ワイヤでは使用が困難または不可能場合があります。設計者は、一般に、十分なガルバニック絶縁を保証する（つまり、直流電流を回避するために電気システムの機能部を分離する）ために、変圧器だけでなく、差動ラインレシーバ、高周波、磁気、容量性または光カプラを使用します。しかし、設計者は、隣接した電力線やグラウンド電位差によりケーブルに生じるノイズによってデータが破壊されないように、最初の取り付け時だけでなく、取り付け後も細心の注意を払わなければなりません。大型風力発電やソーラーパネルアレイなどのように、きわめて大きなスイッチング電流および電圧が存在するケースでは、その対策が不十分な場合があります。

光ファイバは、カップ・ワイヤと異なり、グラウンドループ干渉を防ぐための厳密な接地規則は不要で、さらに反射を防ぐための終端抵抗も不要です。光トランシーバと光ファイバケーブルを適切に使用することで、落雷による機器の大きな損害を防ぎ、野外のタワー取り付け用途に安全なアイソレーションを提供することができます。

IEC 664-1:1992規格値(図1)によれば、最悪の環境(すなわち、屋外)でさえも、動作電圧が10kVの最小標準距離は45cmであり、この距離は、代表的なプラスチック光ファイバ・アプリケーションでは極めて短いリンクと考えられます。平均敷設長が10mの場合、動作電圧は、標準の20倍を超えます。したがって、光ファイバのガルバニック絶縁特性は、過酷な産業環境に最適です。

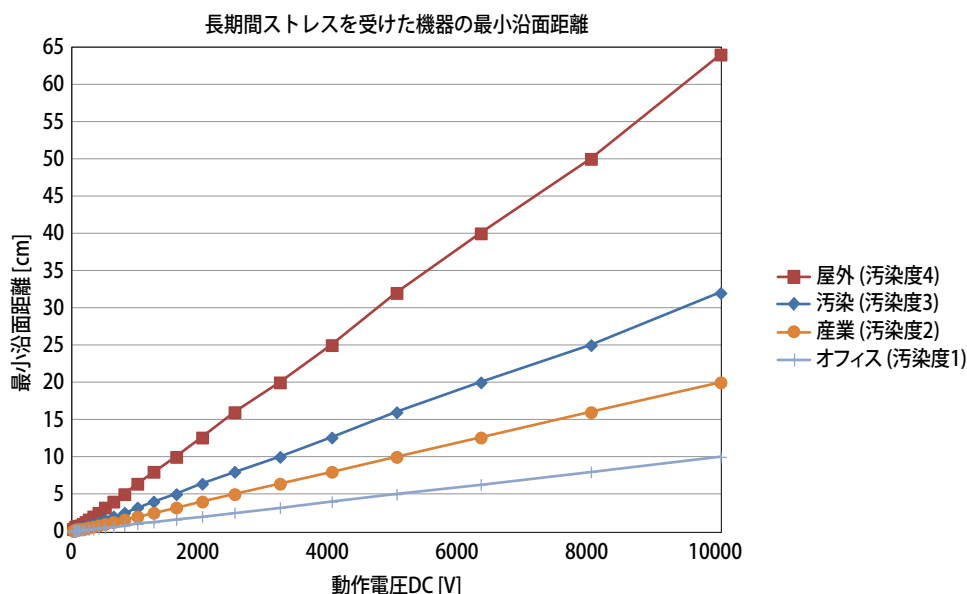


図1. IEC 664-1:1992規格値に基づく推奨最小沿面距離

リンクは、高電圧スパイクによるアーク発生を抑制するのに十分な空間距離も提供しなければなりません。光ファイバの有効性を実証するために、45mmの空間距離と55mmの沿面距離を有する40mmの光リンク(最短のリンク長)を使用して試験装置を作成しました(図2)。試験装置に20kV(14kVrms)、試験機器で可能な最大値をかけても放電は起こりませんでした。しかし、現実のファイバ・リンクでは、送信側と受信側がこのように近接していることはあまりありません。つまり、このグラフから、光ファイバが高電圧スパイクによるアーク発生を抑制できるだけの空間距離を容易に提供することが分かります。

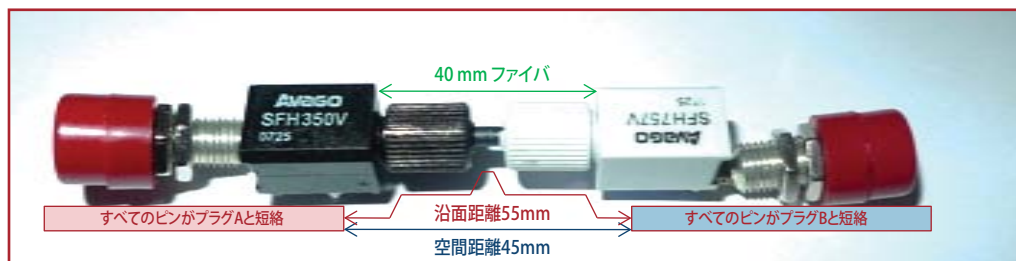


図2. ガルバニック絶縁の試験構成

## 同相分離

産業用通信リンクにおいて、同相ノイズやグラウンドループの排除は、頑強なリンク設計を行う際の重要な検討課題です。一般的なソリューションは、データソース( $\mu$ P、UARTなど)とツイステッドペア線を駆動するトランシーバの間に、フォトカプラを使用して最大15mmのガルバニック絶縁を設けることです。これにより、同相ノイズが、感度の高いRx判定回路に入り、データ伝送エラーが生じることを防止できます。カプラでは、内部でトランスミッタとレシーバが近接しているため、アイソレーションバリアによる浮遊容量を最小にする程度の効果だけです。しかし、絶縁材を使用すれば、同相ノイズ「スパイク」は入力から出力に通過できなくなります。ファイバ・リンクの手法では、標準リンク長は数メートルなので、実際の有効なアイソレーションバリアは数メートルになります(ミリメートルではなく)。これにより、浮遊容量は効果的に減少し、同相ノイズの伝達経路がなくなります。

## 電磁干渉(EMI) 耐性

EMIとは、電子放射を乱す、劣化させる、または干渉することで、電子および電気機器の性能を制限する電磁気障害のことです。

EMI問題に対処することは容易ではありません。電磁干渉の疑いがあるとき、問題を解決する最初のステップは、影響を受けた装置へのエネルギー伝搬メカニズム、すなわち放射、伝導または誘導かを見極めることです。誘導エネルギーの量を制限するか、接地または終端技術の改善により根本原因を除去することによって、改善を行うことができます。また、物理的分離や遮蔽を使用して障害装置を保護することもできます。EMI問題を回避する最良の手法は、影響を受けにくい、または耐性のあるデバイスを使用する、結合効率を最小にするようにレイアウトを最適化する、適切な遮蔽を使用する、などです。

産業用カップ・リンクは、産業環境に広く存在するEMI放射から強く影響を受けます。このため、設計者は、ケーブルと隣接する電力線が十分な物理距離になるように苦労することがあります。これに対して、光ファイバ・ケーブルは、EMIの影響をまったく受けません。光トランスミッタおよびレシーバは、過酷な産業環境を考慮して設計されており、そのような環境で最良であるか、場合によっては唯一の選択肢になります。

特別なEMI耐性試験装置(図3)が、EMIにさらされたときのカップ・ケーブルの感受性とPOFの耐性を実証します。POFトランスミッタおよびレシーバを介して50MBdのPRBS7信号を送信するTEMセルを使用し、増幅器で0~3GHzの周波数範囲を掃引しながらビット誤り率を測定します。1メートルのシールドット・ツイステッドペア・ケーブルを使用して外部ループバック接続し、TEMセルを送りEMIにさらします。ケーブルの向きによって、1.5GHz(同時にこれは携帯電話周波数スペクトルの範囲内にあります)を超える様々な周波数でビットエラーが現れ始めます。

ビットエラーがなくなるまで各障害周波数で電界強度を減少させます。得られたグラフ(図4と図5)は、縦向きと横向きのツイステッドペア・ケーブル・ループのそれぞれの結果を示します。最悪ケースの周波数では、シールドット・カップ・ケーブルが取り付けられた状態で電界を40V/mまで減少させなければならませんでした。シールドット・ツイステッドペア・ケーブルに行なった試験から、予想通りこれらのケーブルが、ノイズの多い環境では使用できないことが分かります(図6)。

カップ・ケーブルを取り外し、PCB面上で、直接ループバック接続した光ファイバ・トランスミッタおよびレシーバ装置をEMIにさらしたときは、ビットエラーがないことが分かります(図7)。この構成では、POFリンクは、0~3GHzの周波数範囲全体で150V/mを超える電界に耐えました。

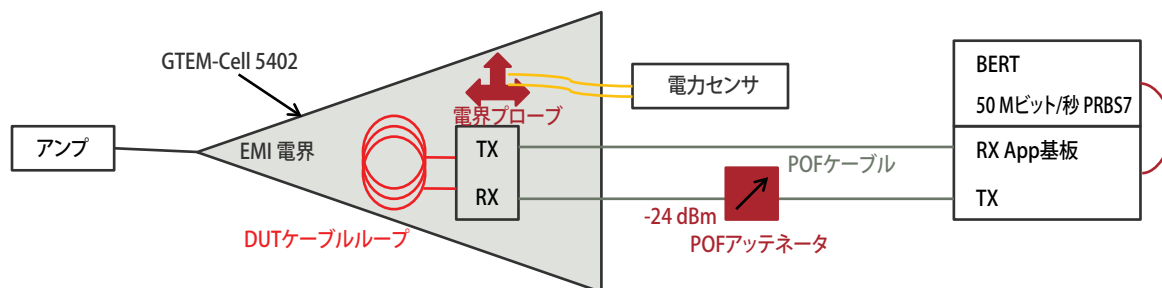


図3. EMI耐性の試験構成

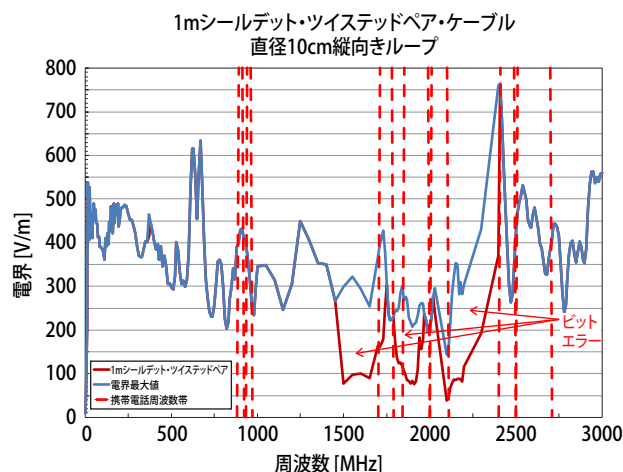


図4. 縦向きカッパ・ケーブルループでEMIにより生じるビットエラー

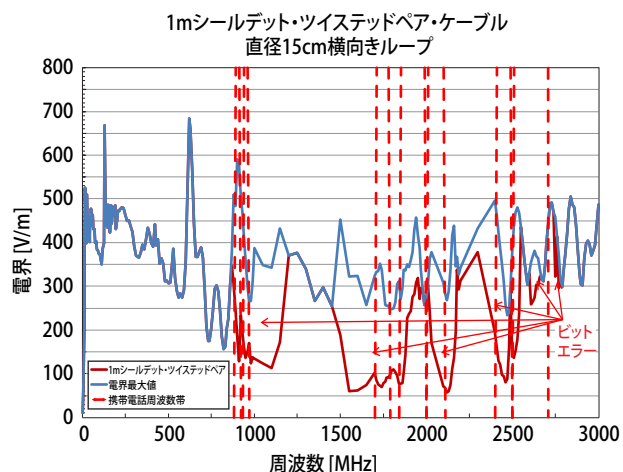


図5. 横向きカッパ・ケーブルループでEMIにより生じるビットエラー

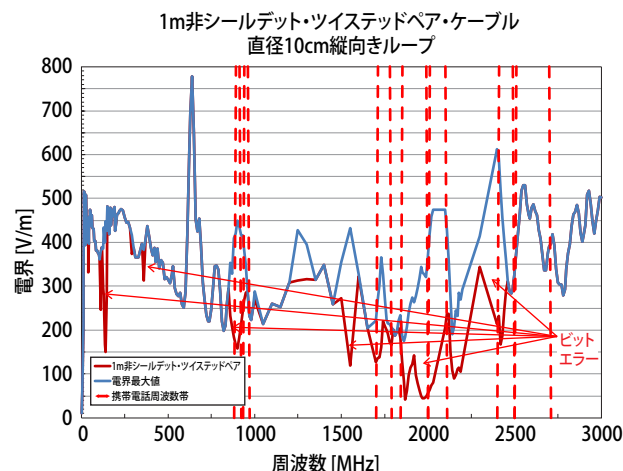


図6. 非シールド・ツイストペア・ケーブルでEMIにより生じるビットエラー

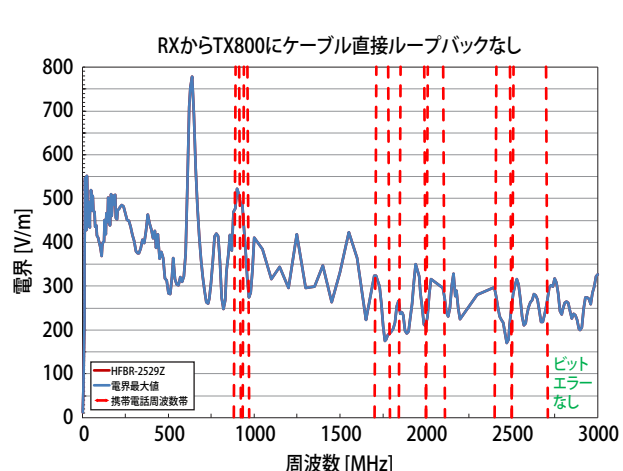


図7. カッパ・ケーブルを除去し直接ファイバリンクを使用したときはビットエラーなし

この試験から、カッパ・ケーブルがアンテナとして働き、EMIによるエネルギーを吸収して受信回路に伝達し、ビットエラーを引き起こしたことが分かります。また、チャンバ内にファイバループだけを置き、同じ試験を行っても、強いEM電界によるエラーは起きません。この試験は、振幅と周波数が極端に大きくなる可能性があります、これは、数百アンペアが1マイクロ秒以内に切り換るアプリケーションに相当します。このようなアプリケーションの例として、モータドライブ、IGBT、SCRトリガ回路および電力接触器があります。この電流切り換えによって、大量の磁界と電界が放射され(より高周波数の高調波を含む)、ノイズの多い劣悪な環境が作り出されます。このような環境では、光ファイバの方が適切な選択であることは明らかです。

## コスト

ファイバ・リンクは、カップ・リンクと比べて、ガルバニック絶縁、同相電圧およびEMI耐性の点において、性能的な優位さは確立されているが、この長所が相対コストをかなり増大させていると誤解されてきました。これを証明するために、同等の産業リンク設計の2つの部品表(BOM)、すなわち10m RS-485カップ・リンクの第1の表(表1)と10m POFリンクの第2の表(表2)を示します。シールド/認定ケーブルの要件が高くなるほど、関連コストも高くなります。プラスチックファイバ・ソリューション・コストは、アプリケーション環境にかかわらず同じです。

表1. 銅RS-485リンクの部品表(絶縁およびアイソレーション製品なし)

| 部品               | 数量   | PN/説明       | 単位コスト<br>(@ 5 K) | 小計      | 備考                                |
|------------------|------|-------------|------------------|---------|-----------------------------------|
| DB9コネクタ          | 2    | SPC15477    | \$1.80           | \$3.60  | SPC Tech                          |
| DB9ツイステッドペア・ケーブル | 10 m | Belden 9481 | \$2.70/m         | \$27.00 | STP120Ω,<br>RS-485レートケーブル\$2.80/m |
| ライン・ドライバ         | 2    | LTC1485     | \$1.50           | \$3.00  | Linear Tech                       |
| RSMD 603         | 2    | 120 ohm     | \$0.02           | \$0.04  | Panasonic ECG                     |
| RSMD 603         | 4    | 10 kohm     | \$0.02           | \$0.08  | Panasonic ECG                     |
| CSMD 1206 10 V   | 2    | 10 mF       | \$0.12           | \$0.24  | AVX                               |
|                  |      |             |                  | \$33.96 |                                   |

表2. アバゴ産業用POFリンクの部品表

| 部品                    | 数量 | PN/説明            | 単位コスト<br>(@ 5 K) | 小計      | 備考                                     |
|-----------------------|----|------------------|------------------|---------|----------------------------------------|
| デュアルPOFアセンブリ          | 1  | HFBR-RMD010z     | \$14.56          | \$14.56 | プラスチック光ファイバケーブル、<br>1mmPOF、10メートル(アバゴ) |
| Versatile Link™ Tx/Rx | 2  | AFBR-1624Z/2624Z | \$9.78           | \$19.56 | ペア価格/Versatile Link装置(アバゴ)             |
| L SMD 1206            | 4  | 1 mH             | \$0.20           | \$0.80  | AVX                                    |
| R SMD 603             | 2  | 4.7 kohm         | \$0.02           | \$0.04  | Panasonic ECG                          |
| CSMD 603              | 4  | 0.1 mF           | \$0.05           | \$0.20  | Panasonic ECG                          |
| CSMD 1206 10 V        | 4  | 10 mF            | \$0.12           | \$0.48  | AVX                                    |
|                       |    |                  |                  | \$35.64 |                                        |

カップ・リンクのコストは、カップ・ケーブル自体によって決まることは明らかです。保守的または高信頼性設計では、ほとんどのエンジニアは、ノイズの侵入と放射を防ぐために適切にシールドされた高品質ケーブルを選択します。このようなケースでは、ファイバは、コスト的に負けることはありません。シールド性があまり高くなく低品質のカップ・ケーブルで十分な場合は(すなわち、CAT5)、カップ・ケーブルは、コストが安く、10mケーブルリングにはコスト効率の高いソリューションになります。しかし、もっと長いケーブルリングでは、プラスチック光ファイバ(POF)は、コネクタ無しで1メートル当たりのコストが銅(\$1/m)より安く(\$0.20/m)なり、より経済的になります。また、中継器を使用しない場合のPOFリンク長は50mです。

## 使用、設計および取り付けの容易さ

一般に、ガラスファイバの端末処理では、ファイバをエポキシで固定、端面の研磨が必要となり、ツイステッドペア線の接続よりも時間がかかります。しかし、POFはポリマーコアが1mmと太いため、取り扱いがはるかに容易です。アバゴ・テクノロジーでは、SFHシリーズ「コネクタレス」ファミリとVersatile Linkスナップイン(または「クリンプレス」)式コネクタ(図8)の2つのオプションを設定し、光ファイバケーブルをシールド・ツイステッドペア・ケーブルより容易に終端することができます。

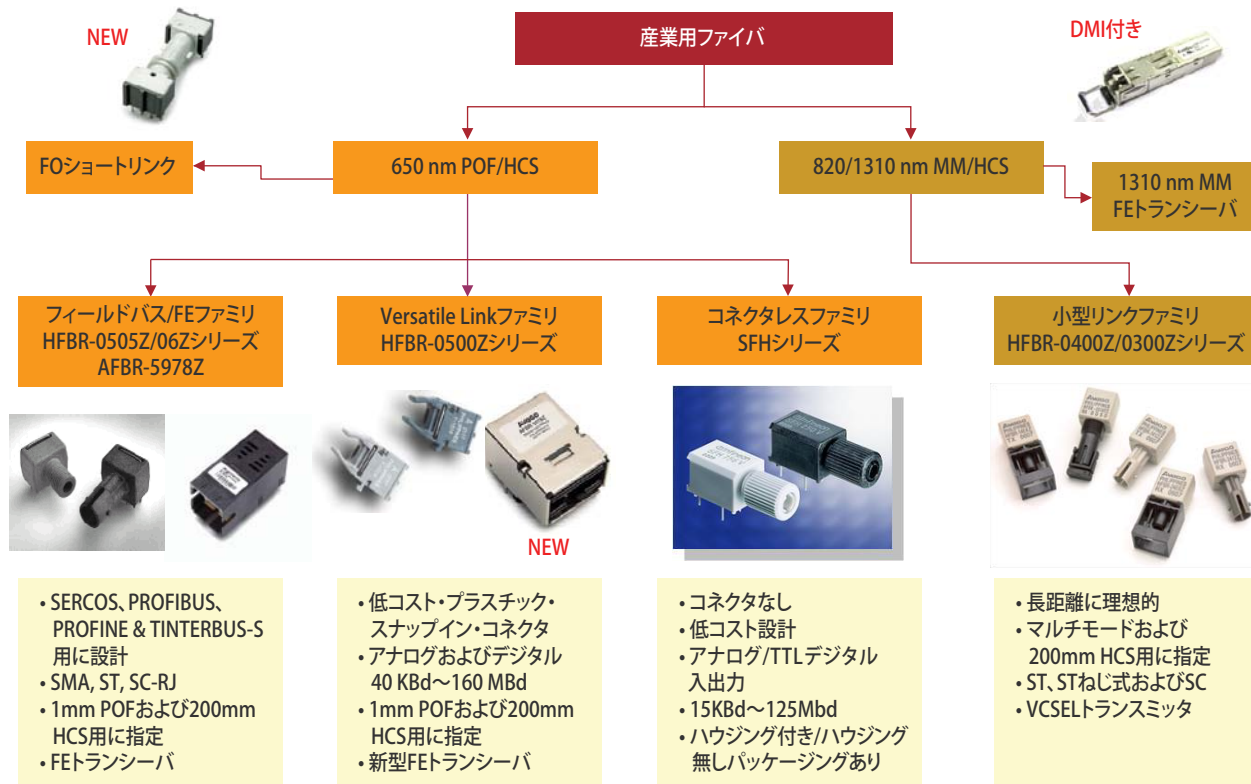


図8. アバゴ・テクノロジーの産業用ファイバコネクタ・ファミリ

SFHシリーズまたは「コネクタレス」トランスミッタおよびレシーバ(図9)は、研磨が不要な「非コネクタ式」POFで動作する650nm光ファイバ部品です。ユーザは、ファイバを必要な長さに切断し、アクティブ部品ポートに挿入して内蔵ロック機構を締め付けるだけです。

HFBR-453XZシリーズ・コネクタは、プラスチック光ファイバ用のHFBR-4501ZおよびHFBR-4503Zコネクタを強化したもので、最大160MBdが可能なアバゴVersatile Linkシリーズ・トランスミッタおよびレシーバと互換性があります(図10)。このコネクタの設計概念は、締め付け不要の簡単なスナップ合体であり、作業および工具コストや取り付けミスによる歩留り低下を大幅に削減することができます。



図9. コネクタレス技術のSFHシリーズがPOF取り付けを大幅に簡単にします。



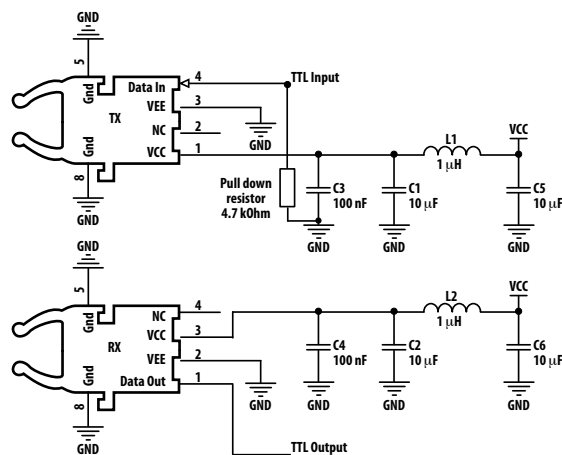
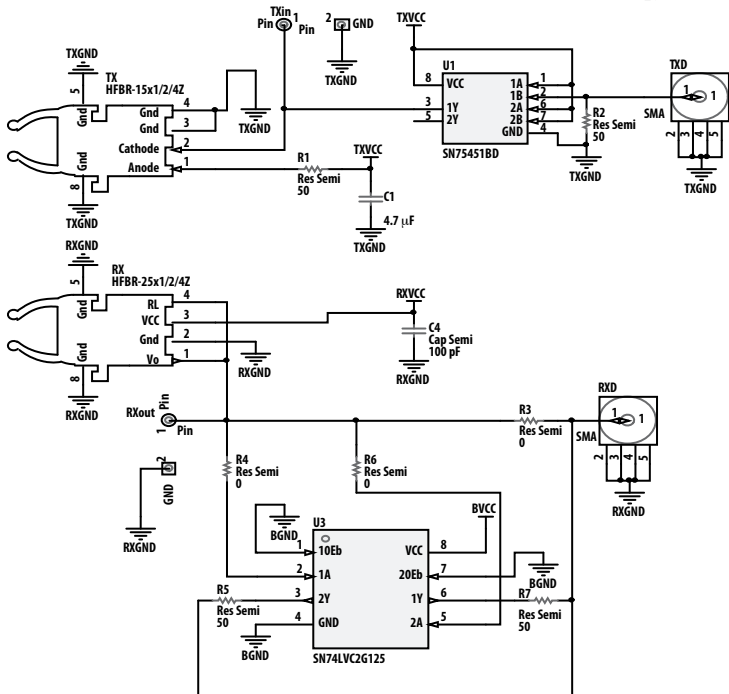
図10. Versatile Linkファミリの取り付けは「スナップ式」です。



アバゴ・テクノロジーは、光接続用のシンプルで堅牢なコネクタを提供するだけでなく、最近では、多くの製品でドライバICをトランسمITTER・パッケージに、また、レシーバICをレシーバ・パッケージに組込んでいます。これは、820nm小型リンクレシーバHFBR-2419TZにも当てはまります(図11)。光ドライバ回路の知識は必要でなく、設計者は、指定された信号(TTL、LVTTTL、PECL、LVDS)を入力するだけで部品を追加することができます。この一体設計(図12)により、使用基板スペースが小さくなり、消費電力も少なくなり、リンク全体のコストが削減されます。また、信号ト配線長が短くなり、部品のEMI性能の改善されます。

さらに、光ファイバには、直径と重さの点で銅と異なる利点があります。同等の長さのカップ・ケーブルの場合、ファイバの方が細く、かなり軽量です。このため、カップ・ケーブルの取り付けスペースに、光ファイバ・リンクを何本も収容することができ、取り扱い易くなります。

## 従来 新型



- 部品数が少ない
- PCBスペースが小さい
- 電力消費が少ない
- EMI耐性が高い

図11. HFBR-2419TZ小型リンクレシーバを使用した設計の容易性の比較

## 市場と用途

データ伝送媒体として、ファイバがもたらす利点は、多くの市場の幅広い用途において、きわめて重要であると認識されています。(表3)

表3. 主な市場と用途の光ファイバリンクの利点

| 市 場                                                                                                                                           | 価 値                                                                                                                                         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 発電および配電システム<br>• 変電所制御<br>• LV/MV配電<br>• ネットワーク制御<br>• 電力スイッチング、継電器、配電盤<br>• 風力タービン<br>• 水力発電所<br>• 光起電力システム                                  | • 局所的ノイズ耐性を高めるためにシールドがレシーバICに組み込まれる<br>• POFによるリンク距離が最大50m<br>• 優れたEMI耐性オプション:導電性パッケージと金属ポート<br>• HCSを使用して最大数百メートル<br>• マルチモードを使用して最大数千メートル |
| 産業通信およびファクトリ・オートメーション<br>試験および測定機器<br>• 音声/ビデオ通信<br>• 産業制御<br>• 産業フィールドバス(SERCOS、Profibus、InterBusなど)<br>• 産業用イーサネット<br>• データ通信とLAN<br>• 産業通信 | • 銅通信リンクEMI/EMCより優れた性能<br>• 最大データ転送速度160MBdの部品の完全ポートフォリオ                                                                                    |
| 輸送<br>• 自動車通信<br>• 車内通信<br>• 自動車間通信<br>• 交通信号<br>• ハイウェイSOSボックスおよび監視システム<br>• 料金所ネットワーク<br>• 民間および軍用アビオニクス<br>• 地下鉄と路面電車<br>• 輸送CCTV<br>• 海上  | • 電圧分離<br>• 節電を高める3.3Vの使用<br>• 低密度ファイバによる軽量化                                                                                                |
| 医療、民生およびゲーミング<br>• MRI装置<br>• X線装置<br>• ファイバによる衛星テレビ<br>• 分散アンテナシステム(Da)<br>• カジノ装置                                                           | • ミッション・クリティカルな医療機器に適した高ノイズ耐性<br>• ダウンタイムが許されないミッション・クリティカルな医療機器での優れた性能                                                                     |

光ファイバは、今日のアプリケーション設計を「古くしない」選択肢であり、通信データ速度が早くなるほど光ファイバの価値が高くなります。たとえば、125mMb/sファスト・イーサネット(100BASE-FX)の伝送は、ファイバ・リンクによって最大2Kmまで可能ですが、同等のカップ・リンク(100BASE-TX)では、100メートルに限定されます。

## まとめ

光ファイバ技術は、特に過酷な産業環境において、コアの絶縁特性により、電磁放射、グラウンドループ、近接スイッチング回路からのEMI侵入、およびクロストークの影響を受けにくい、データ伝送に最適な媒体と考えられます。また、ファイバは、同等の長さのカップ・ケーブルよりかなり軽量で、きわめて高いデータ伝送速度を実現することができ(現在の部品は最大160MBdで伝送)、コスト効率の高いPOFで50メートルの長距離伝送が可能になります。さらに、これまでに述べた利点により、要求が厳しい用途で利用されるカップ・リンクと比べれば、コスト競争力があり、多くの場合は、設計、取り付けおよび運用が容易になります。

製品、販売代理店、その他の情報は当社のウェブサイトをご覧ください。 [www.avagotech.co.jp](http://www.avagotech.co.jp)

注:日本語データシート、アプリケーションノートは、版が古い場合がございます。最新の内容については、英語版をご参照ください。

Avago, Avago Technologies, Aのロゴ、および本紙記載の商標および登録商標は、米国をはじめとする各国におけるAvago Technologiesの所有に属します。  
Copyright©2012 Avago Technologies. All rights reserved.  
AV02-3500JP - July 05, 2012

**Avago**  
TECHNOLOGIES