多チャネル光コネクタの現状と将来

柿井 俊昭*

The Present and the Future of Multi-Channel Optical Connectors

Toshiaki KAKII*

*住友電気工業株式会社横浜研究所（〒244-8588 神奈川県横浜市栄区田谷町1）

*Yokohama Research Laboratories, Sumitomo Electric Industries, Ltd. (1 Tayamachi, Sakae-ku, Yokohama-shi, Kanagawa 244-8588)

1. はじめに

多チャネル光コネクタが開発され始めたのは1970年代後半からであり、すでに20年程度が経過したことになる。開発当初は、特に単一モードファイバの光コネクタ開発では、サブミクロン精度が要求されるため、低損失化が最大の克服すべき課題であった。しかしその後の数多くの周辺も含めた多彩な技術開発により、光コネクタの結合損失は限界に近い値まで低損失化されている。特に1980年代後半に事業導入されたSC（Single fiber Coupling optical fiber connector）光コネクタ¹⁾は、低損失性、高信頼性を早期に実現し、世界標準のコネクタとなっており、2チャネル光コネクタとしても活用されている。

一方、テープ心線の導入に対応して、4心、8心テープ結合用として実用化されたのがMT（Mechanically Transferable）コネクタ²⁾である。当初のMTコネクタは、テレコミュニケーション用のケーブルとケーブルの高速結合、光線路切り替えを目的に開発がすすめられたが、1990年代後半では、並列伝送用やデータコミュニケーション用へと用途の拡大がすすんでいる。

今後の展開を考えると、従来課題の低損失化を越えて、むしろ、単心から多心化への流れの中における実装性、操作性を含めた「結合デザイン」「信頼性」「価格」の3点が開発のポイントになると思われる。ケーブルとケーブルの高速結合、光線路切り替えでは4心、8心のテープ心線単位の多チャネル光コネクタが必要であったが、並列伝送用やデータコミュニケーション用となると、伝送方式や、受発光素子との実装整合性のウエイトが高くなり、結合チャネル構成も2ch～80chと多様化してくる。将来を考えるには、現状の技術を再整理することにより、新しい方向を見出すヒントが得られると思われる。ここでは、光コネクタの信頼性や価格の個別論議は別の機会に譲るとして、各種多チャネル光コネクタ開発のコンセプトである結合デザインに焦点を合わせ、位置決め方式、結合保持形態、チャネル配列形態（ピッチ）、端面処理形態について現状を

概観し、今後の展開について考えてみたい。

2. 多チャネル光コネクタの結合デザイン（表1参照）

2.1 位置決め方式からの視点

位置決め方式（フェルール）に関しては、SC光コネクタに代表される精密円筒フェルール型とMT光コネクタに代表されるガイド穴精密成型型がすでに実用化されている。SC光コネクタでは従来より、精密加工性、強度、PC（Physical Contact）結合性等の観点より、ジルコニアフェルールが用いられているが、最近では、一層の低価格化にむけて、線引き成形による結晶化ガラスフェルール³⁾の試作が報告されている。MT光コネクタに用いられるフェルールは熱硬化性樹脂によるトランスファ成形により量産されており、高精度金型、材料、成形管理によりサブミクロンの精密成形が達成されている。MT光コネクタ構成を図1に示す。

一方、従来の精密フェルールを用いないフェルールレスの位置決め方式も提案されている。Volition⁴⁾での光コネクタは、V溝底部を基準に光ファイバを対向させ押しつけることにより、セルフアライメントを実現させている。また、BFコネクタ（ベアファイバコネクタ）⁵⁾は、並列伝送モジュール用に開発が報告されており、ベアファイバをガラスキャピラリに直接挿入することにより、ポリマー光導波路との結合を達成している。12心テープ2枚を横配列させ、一括した24chの結合を実現している。

2.2 結合保持形態からの視点

SC光コネクタやMPO（Multi-fiber Push-On）光コネクタは着脱操作容易性や結合安定性を実現する構造として、Push-Pull型の結合ハウジング構成となっている。図2にMPO光コネクタのPush-Pull型の結合構造を示す。アダプタ内の両サイドにツメ部があり、これをプラグの両サイドの溝部と結合させることにより、安定した結合保持力を実現している。これに対して、LCコネクタ⁶⁾やVolitionでは、プラグ側に変形レバーを有するラッチ構造でのハウジング構成が発表されている。結合保持形態の応用例としては、

表1. 各種多チャネル光コネクタの結合デザイン

名称	チャネル数	位置決め方式 結合保持形態	チャネル配列ピッチ	結合端面形態	フェルール 材質
SC形 2心 MU形 2心	2ch	精密円筒フェルール Push-Pull	6.8mm 4.5mm	球面研磨 PC結合	セラミック
MT	12ch	ガイド穴精密成形 クリップ結合	250 μ m	屈折率整合 グリース結合	熱硬化性樹脂
MPO Mini-MPO	12ch 2ch (4ch)	ガイド穴精密成形 Push-Pull	250 μ m 750 μ m	斜め研磨 PC結合	熱硬化性樹脂
LC	2ch	精密円筒フェルール カバー付きラッチ結合	6.25mm	球面研磨 PC結合	セラミック
Volition	2ch	V溝上セルフアライメント ファイバ曲げ力活用	(2~3mm程度)	軸方向長さ吸収 PC結合	フェルールレス
BF	24ch	マルチキャピラリー ファイバ座屈力活用	250 μ m (12心テープ2枚)	軸方向長さ吸収 PC結合	フェルールレス
1次元超多心	80ch	ガイド穴精密成形 クリップ結合	250 μ m (16心テープ5枚)	屈折率整合 グリース結合	熱硬化性樹脂
2次元超多心	2段24ch 5段80ch	ガイド穴精密成形 クリップ結合	250 μ m $\times$ 500 μ m 250 μ m $\times$ 250 μ m	屈折率整合 グリース結合	熱硬化性樹脂
MTプラグイン型	12ch	ガイド穴精密成形 ハウジングレス	250 μ m	屈折率整合 グリース結合	熱硬化性樹脂
バックプレーン実装 MU形/MPO形	MU形 8ch MPO形 12ch	自己保持構造 Push-Pull	MU形 4.5mm MPO形 250 μ m	球面/斜め研磨 PC結合	セラミック 熱硬化性樹脂

図1. MT光コネクタ

図2. MPO光コネクタ

MU(Miniature Unit coupling)光コネクタにおけるバックプレーン実装対応品のMU形プラグイン光コネクタ⁷⁾がある。MU形プラグイン光コネクタでは、自己保持機構が新しく開発され、結合時にバックパネルへ加わる力をほとんどなくしている。MUコネクタで確立されたバックプレーン

図3. バックプレーン実装のMPO光コネクタ

ンハウジングでの実装技術は、MPO光コネクタへも展開され、MPOバックプレーンコネクタ（MBP：Multi-fiber Back-Planeコネクタ）として報告されている⁹⁾。図3に、MPO光コネクタのバックプレーン実装例（MBPコネクタ）を示す。

また、従来は、対向する光ファイバの結合保持力として、対向したフェルールをハウジング内蔵ばねで加圧結合させていたが、Volitionでは、V溝上で対向する光ファイバの曲げ力を加圧力に活用する方式をとり、BFコネクタでは、光ファイバの座屈力を活用する方式（FPC：Fiber Physical Contact）⁸⁾が提案されている。FPCでは、ファイバ端面の研磨は行わず、へき開面を面取りしたファイバを用いている。精密フェルールレスに加えて、内蔵ばねも不

図4. MTプラグイン型

要とし、光ファイバ自身の剛性を結合に生かしている。

MT光コネクタでは開発当初より、クリップ結合を採用しているが、結合ハウジング構成としてはクリップ1個と最も単純である。MT光コネクタを装置実装に適用させ、ハウジングレスにできないかという視点のもとに試作されたプラグが、MTプラグイン型⁹⁾である。装置側であるレセプタクル部に結合保持機能を持たせ、ケーブル側のプラグ部はハウジングレスのMT光コネクタ本体だけを挿入すればよい簡易な結合方式となっている。図4に、MTプラグイン型の構成例を示す。図4では多連結用の一括アダプタを用いており、より高密度、簡易な構成で多心光ファイバ結合が実現可能となる。

2.3 チャンネル配列ピッチからの視点

並列伝送用やデータコミュニケーション用の配列ピッチは、実装の基本構成を決定することになるため、受発光素子や取り扱いファイバピッチを考慮して総合的観点から決定する必要がある。例えば、2chモジュールを取り扱う場合に、テープファイバ中心に考えると光ファイバピッチは250 μm が高密度性、整合性が良いが、受発光素子を並列に配置しようとする実装上の制約から最小ピッチが決定され、250 μm 実装は一般的には困難となる。両者を整合させようとする、ピッチ変換が必要となる。ピッチ変換としてポリマー導波路¹⁰⁾の開発が報告されている。この場合は、従来の光ファイバテープ用MTコネクタ（個別光ファイバガイド穴位置決め方式）に加えて、ポリマー導波路結合のためのMTコンパチブルコネクタ（ポリマー導波路を内蔵したMTコネクタ）¹¹⁾が必要となる。

配列形態としては、1次元配列と面発光レーザに対応できる2次元配列がある。2次元配列としては、12心テープ2段の24心コネクタ¹²⁾や16心テープ5段の80心コネクタ¹³⁾の開発報告がある。24心コネクタは、MPO光コネクタハウジングに共通実装できるように、既存のMT光コネクタと同サイズの中に24心を収納させている。図5にMPO光コネクタハウジングに収納した24心コネクタの端面写真

図5. MPOハウジングに収納した24心光コネクタの端面写真

を示す。積層テープの上下ピッチが500 μm の場合は、光ファイバをフェルル内ですトレートに挿入位置決めできるが、上下ピッチを250 μm と高密度にするためには、一般には光ファイバテープ厚みが250 μm 以上のため、コネクタ内部で、積層上下ピッチを変換する必要がある。コネクタ内の上下間の積層ピッチ変換を、積極的に活用した例として、光ファイバ横配列ピッチ250 μm の間に別の光ファイバを稠密配列させた光ファイバアレイ¹⁴⁾も検討されている。同一の横配列サイズで2倍の実装密度まで向上できる。32chを5mm程度の幅に収納できるので、石英系光ファイバの長所を生かした高密度実装形態と言える。

2.4 光ファイバの結合端面形態からの視点

現在、光コネクタの結合端面形態は、端面での反射を防止するために、SCコネクタに代表されるような、直接光ファイバ端面同士を結合させるPC結合形態と、MTコネクタに代表されるような、屈折率整合グリースを端面に塗布して結合させる2つの形態がある。一般的には、PC結合実現のためには、光ファイバの端面位置を高精度に管理する必要がある、フェルル端面からの光ファイバ凹み量や曲率半径等の精密な形状管理がPC結合安定化のためには必要とされている。MPO光コネクタ³⁾では、屈折率整合グリースを不要とするため、フェルル端面を8度の斜め研磨形状にして反射光量を低減させ、かつ、プラスチックの硬度が石英光ファイバ硬度より低い利点を生かし、研磨において光ファイバを突き出させて、結合損失の低減化を図っている。最近の新しい結合形態として、VolitionやBFコネクタでは、軸方向に長さ吸収機能を有するベアファイバ構成よりPC結合を実現し、光ファイバ端面の精密な研磨や形状管理を低減させている。

一方、屈折率整合グリース結合方式は、MT光コネクタで実用化されている。SCコネクタなどに要求されている光ファイバ端面位置の高精度管理は不要であり、PC結合形態と比較での研磨の簡易性はグリース結合方式の利点と言えよう。屈折率整合グリース結合方式に関しては、従来より、着脱が多い局内やLAN関係では敬遠されており、もっぱら光線路内でのケーブル接続に活用されている。グリース塗布の作業は電気光コネクタと比べると異質であるが、グリース塗布の有無にかかわらず結合前の光コネクタ端面の清掃作業や結合部のクリーン管理は必要である。グ

リース塗布を一連の清掃作業に組み入れて積極的に活用し、トータルコストを下げていくことも選択肢である。

3. 将来の多チャンネルコネクタ

将来の多チャンネル光コネクタの結合デザイン開発の流れは3つのパターンが考えられる。第1は位置決め方式（フェルール）と結合保持形態（ハウジング）を分離した開発である。このパターンでは、光ファイバを直接位置決めするフェルールはMUコネクタやMTフェルールが共通デバイスとして用いられ、用途に適した結合保持形態（ハウジング）の開発の実施となる。MUコネクタやMTフェルールを活用したバックプレーン対応の光コネクタ開発はこのパターンである。本パターンでは、標準フェルールを用いるので、結合保持形態開発のみに専念すればよい。第2は、BFコネクタやVolitionなどに代表されるように、フェルールレス構造や内蔵ばねレス構造などの位置決め方式（フェルール）と結合保持形態（ハウジング）を含めた精密部品レス化の全体開発のパターンである。より革新的な開発となるので、より十分な信頼性評価が必要となる。第3のパターンは、結晶化ガラスフェルールに代表されるような、取り付け性を含めた精密フェルール自身の製法の低コスト化開発である。MUコネクタやMTフェルールをベースに、21世紀には、さらなる低コスト型で、かつ精密、高品質なフェルールが開発展開されるだろう。

以上まとめると、今後も、多チャンネル光コネクタの標準化がすすめられる一方で、新用途・新市場に対応した新しいコンセプトの多チャンネル光コネクタの開発は当分の間はすすむものと思われる。多チャンネル光コネクタの標準化と多様化、共通化と個性化は並行して進むことが予測される。適用場所として、多チャンネル光コネクタは、局内架間や線路内で発展してきたが、流れとして、今後はプリント板上での表面実装型光コネクタや超高密度実装などがより議論されるのではないだろうか。いずれの開発パターンでも、光コネクタ開発者とモジュール開発者との協業コミュニケーション、そして何よりもシステム全体の光配線（光インターコネクション）のコンセプト・デザインが重要である。

(1998.4.6-受理 1998.4.28-再受理)

文 献

- 1) 三田地成幸，他：“局内系光コネクタの技術動向と経済化の展望”，NTT R&D, Vol.45, No.6, 1996
- 2) 長沢真二：“多心一括光コネクタ技術”，NTT技術ジャーナル, No.7, 1997
- 3) 長瀬 亮，他：“結晶化ガラスフェルールを用いたSC/MU形光コネクタの特性”，電情通学会エレクトロニクスソサイエティー大会，C-3-53, 1997
- 4) 3M社のカタログ
- 5) 佐藤信夫，他：“25GP/s級40ch光インターコネクションの開発-多心光ファイバ素線コネクタ”，電情通学会通信ソサイエティー大会，B-10-135, 1997
- 6) ルーセントテクノロジー社のカタログ
- 7) 岩野真一，他：“高密度実装用MU形光コネクタシステム”，NTT R&D, Vol.45, No.6, 1996
- 8) 小林 勝，他：“ファイバPC”，NTT R&D, Vol.45, No.6, 1996
- 9) 大塚健一郎，他：“プラグイン型MTコネクタの開発”，電情通学会通信ソサイエティー大会，B-10-34, 1997
- 10) 疋田 真，他：“25GP/s級40ch光インターコネクションの開発-45度ミラー付ポリマー光導波路フィルムの特性-”，電情通学会通信ソサイエティー大会，B-10-134, 1997
- 11) M. Hikita, R.Yoshimura, A.Kaneko, M.Usui, S.Tomaru and S.Imamura：“FREE-STANDING POLYMERIC OPTICAL WAVEGUIDE FILMS FOR OPTICAL INTER-CONNECTION”，ECOC 97, pp.285~288, September, 1997
- 12) 勝占 洋，他：“2次元配列24心光コネクタ（GIF対応）”，電情通学会総合大会，C-3-117, 1997
- 13) 高谷雅昭，他：“高密度80心一括光コネクタの基本設計と開発”，電情通学会通信ソサイエティー大会，B-10-37, 1997
- 14) 須永 圭，他：“倍密度光ファイバアレイの信頼性設計”，電情通学会エレクトロニクスソサイエティー大会，C-3-107, 1997

用語解説

精密円筒フェルール型：精密円柱体の中心のガイド穴に光ファイバを配置させ、スリーブに円柱体を挿入することにより、光ファイバを位置決め結合させる位置決め方式のこと。

ガイド穴精密成型型：2つのガイド穴を基準に光ファイバを配列保持させ、これに2本のガイドピンを用いて光ファイバを位置決め結合させる位置決め方式のこと。

バックプレーン実装：装置裏面のバックパネルへの光コネクタ取り付けのこと。

屈折率整合グリース：光ファイバと空気との間で生じるフレネル反射や損失を除去するために、光ファイバ結合間に塗布される光ファイバガラスと同じ屈折率に調合されたグリースのこと。

結晶化ガラスフェルール：精密円筒フェルール型において、非晶質ガラスの中に結晶を析出させた材料で構成された精密円柱体のこと。

柿井 俊昭（かきい としあき）
昭和30年生まれ。昭和55年、慶應義塾大学大学院工学研究科機械工学専攻修了。現在、住友電気工業株式会社横浜研究所において、光コネクタの開発に従事。