

高密度光インタコネクション用光部品：OptoUnity®

Optical Components for High-Density Optical Inter-Connect System : OptoUnity

古河電気工業(株)

岩瀬正幸* Masayuki Iwase	椎野雅人* Masato Shiino	八木 健* Takeshi Yagi	田中基晴* Motoharu Tanaka	高橋克年* Katsutoshi Takahashi
根角昌伸* Yoshinobu Nekado	那須秀行* Hideyuki Nasu	森本政仁* Masahito Morimoto	青柳秀雄* Hideo Aoyagi	末松克輝* Katsuki Suematsu
宮崎栄樹* Hideki Miyazaki	篠田正雄* Masao Shinoda	西村直也* Naoya Nishimura	下高原 巖* Iwao Shimotakahara	杉崎隆一* Ryuichi Sugizaki
大山竜也** Tatsuya Oyama	小澤俊明** Toshiaki Ozawa	岡田 昇** Noboru Okada	祐乗坊邦彦** Kunihiko Yujobo	

概要 高速サーバ、ルータ、LSIテストなどの装置及びシステム内においては、電気伝送（電気インタコネクション）が限界を迎えつつあり、光伝送の導入が検討されている。当社は、高速伝送及び高密度実装を可能にする光インタコネクション技術の取り組みとして、小型化をコンセプトとしたOptoUnity製品を開発している。本報告では、細径光ファイバThreadWave®, 小型多心フェルルールμ-Joint®とそれを用いたMU形プラグ、プラグアダプタ、バックプレーンコネクタ、直角曲げコネクタμ-Curve®及び無調心組立型樹脂パッケージ並列光モジュールμ-POEM®の開発について紹介する。

1. はじめに

近年、インターネットの急激な普及により、情報通信の大容量化及び高速化が求められている。これらの情報を処理するコンピュータの高速化のトレンドは、単体CPUのクロックスピードの向上もさることながら、複数CPUの並列動作により行われる傾向にある。そのため、サーバ、メインフレームなどの高速大型コンピュータではボード間及び筐体間の大容量、高速、高密度伝送などが必要とされ、従来の電気配線を光配線に置き換える光インタコネクション市場は大きな規模になると考えられる。

光インタコネクションの標準化はIEEEにおいて、2009年の制定を目標に100 GbE (100ギガビットイーサネット) 規格の検討が開始されており、市場へは、2010年頃からハイエンド分野に導入されはじめ、2020年にはパーソナルコンピュータ、デジタル家電製品などへの展開が期待される。我々はハイエンド市場に向けた高密度実装要求に応えるための光インタコネクション技術として、光ファイバ、光コネクタ、高速光モジュールなどを従来製品よりもダウンサイズ化したOptoUnity製品群を開発している。本報告では製品コンセプトとプロトタイプの開発状況について紹介する。

2. 光インタコネクションシステム性能目標

2.1 光化のメリット

高速電気信号を光化するメリットは、1) 伝送速度及び損失限界 (10 Gbps, 数メートル) の克服, 2) 実装密度の向上, 3) 配線材の軽量化が挙げられる。しかしながら、現状の光部品をそのまま適用するにはいくつかの課題があると考えられる。ここでは、まず、ハイエンド光インタコネクションの要求仕様について考察する。

2.2 光インタコネクションシステム構成と伝送路損失設計

光インタコネクションで想定する構成を図1に示す。ここで想定しているのは筐体内のボード間若しくは筐体間の伝送であ

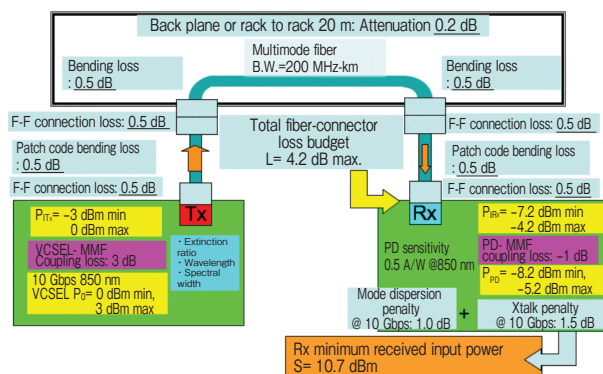


図1 光インタコネクションシステム構成と伝送損失設計
Structure and transmission loss design of optical interconnection system.

* 古河電気工業(株) 研究開発本部 ファイタルフォトンクス研究所

** 古河電気工業(株) 情報通信カンパニー

り、伝送距離は最大20 mである。現在採用が開始されている伝送方式は、波長850 nmのVCSEL(面発光レーザー)とマルチモードファイバによる並列伝送であり、2.5 Gbpsが既に実用化され、将来は10 Gbpsへの高速化が検討されている。このような背景に基づいて伝送速度10 Gbpsでの伝送路の損失設計を行なった。

VCSELを用いたマルチモードリンクで高品質な伝送を得るためには、Tx(送信機)の性能と損失(伝送路損失、モード分散損失、Rx(受信機)の感度にかかわる損失)の低減が重要である。Txでは、VCSELの発振波長の850 nmからのズレが小さく、波長幅が狭く、消光比が大きい方が光ファイバのモード分散損失が小さくなる。Tx光出力の増加は伝送距離を伸ばすが、アイセーフティの点、VCSELの信頼性の点で限界がある。伝送路損失の低減は、光ファイバの帯域増加及び曲げ損失あるいは接続損失の低減が重要である。Rxでは、受信感度の絶対特性の向上(アンプIC特性に依存)及び電気クロストークノイズの低減が必要になる。

異なるボード上のTxモジュールとRxモジュールの間の伝送路の損失Lは、光接続点をモジュールのコネクタ、筐体またはバックプレーンのコネクタを含めて4カ所、ファイバの小径曲げ部を4カ所とし、各損失を0.5 dBとし、光ファイバの伝搬損失を10 dB/kmとすると、20 mでは0.2 dBとなり、合計では最大4.2 dBと見積もられる。Txのファイバ入力光パワーを最小-3 dBmとした場合、伝送路の損失L=4.2 dBとPDへの結合損失1 dB、帯域200 MHz・kmの光ファイバのモード分散ペナルティ(劣化量)を1.0 dB、電気クロストークペナルティ(劣化量)を1.5 dBを見込むと、目標とするRxの単チャンネルの最小受信入力パワーは-10.7 dBmと計算される。これらの損失を上限とするように、光ファイバ、光コネクタ及び光モジュールの目標性能を設定した。

2.3 実装密度目標

ハイエンド伝送装置の実装ボードは、高密度実装のために部品の高さ制限(ボードのピッチにより決定される)があり、最も実装密度の高い規格で10 mm以下である。したがって、光コネクタを縦に重ねることは困難である。ここでは、光インタコネクションに要求される帯域密度を実装ボードの幅1 cmあたりのファイバ数とチャンネルあたりの伝送速度の積で定義する。図2は光コネクタの幅1 cmあたりの伝送帯域の増加予測である。現在、光モジュールの伝送速度は2.5 Gbps/チャンネルであり、光コネクタには12心MPOコネクタ(約20 mm幅)が用いられているので伝送密度は約15 Gbps/cmである。ここで、ハイエンド伝送装置に必要とされるボード当たりの総信号帯域を3 T(テラ)bps、伝送速度を10 Gbps/チャンネルと仮定すると、必要なファイバ数は300本である。これは、従来の12心MPOコネクタでは、25個分に相当し、必要なボード間口は約50 cmとなる。実装ボードは一般的に50 cmであり、光コネクタのみで一杯になることになる。実装ボードには光コネクタのみでなく電気コネクタも実装し、かつ、空冷のための通風口も確保する必要がある。図2に示すように、1チャンネルの伝送速度を5 Gbps、10 Gbpsに上げることで、帯域密度は2倍、4倍へ増加し、必要なコネクタ数は減少できる。しかしながら、8倍、16倍へ増加させるためには、コネクタ当たりのファイバ心数を12から24、48などへ増やす必要がある。コネクタ

当たりの多心化は研磨工程での歩留まりの低下によるコスト上昇を引き起こすため限界がある。また、一個のコネクタを多心化する場合、ファイバコードの太さの増加、光モジュールへの接続のための分岐の問題などが課題となり、単純には採用できない。コネクタ当たりのファイバ数を増やすことなく、実装密度を高めるためには、コネクタ自体を小型にすることが1つの解である。ハイエンド応用で求められる実装密度は100 Gbps/cm以上と言われており、10 Gbps/チャンネル、12心を1 cm幅以内に納めることが当面の目標となる。コネクタ幅を現状の50%にすることにより、現行の8倍の密度を12心で実現することが可能になる。更なる広帯域化では、伝送速度を20 Gbps/チャンネル化すること、若しくは速度を維持したまま24心化することが考えられる。前者の場合、光ファイバの伝送帯域幅も増大させる必要があり、シングルモードファイバ適用の可能性がでてくる。また、光ファイバ寸法の小型化あるいは実装性の向上も必要になると考えられる。

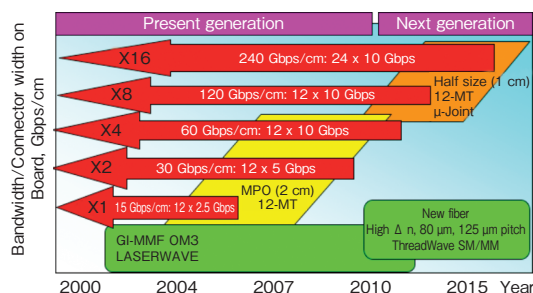


図2 光コネクタの幅1 cmあたりの伝送帯域の増加予測
Expected bandwidth increase per 1 cm of optical connector.

3. OptoUnityのコンセプト

以上に述べた目標仕様をもとに光インタコネクション用光部品であるOptoUnity製品群を開発している。OptoUnityとは文字通りOpto(光)とUnity(結束)からの造語であり、当社の光技術を結集し、次世代の光市場を開拓する製品群として名付けた。OptoUnity製品のコンセプトは、光部品を従来よりも小型化し、電子部品実装との親和性を高めて高密度実装を実現することである。開発中の製品は次の4つである。

1. 細径かつ小径曲げ光ファイバ：ThreadWave、ファイバリボン及びコード
2. 超小型多心フェルール：μ-Joint及びMU形コネクタプラグ、アダプタ、バックプレーンコネクタ
3. 直角曲げコネクタ：μ-Curve
4. 無調心組立て型樹脂パッケージ並列光モジュール：μ-POEM

図3は開発中の製品を従来品と対比して示したものである。各部品のプロトタイプを試作結果を次に紹介する。

4. OptoUnityプロトタイプ開発

4.1.1 ThreadWave ファイバ

高密度な実装要求に対して、光ファイバの曲げ径の制限は大きな課題である。各種光ファイバの最小曲げ半径の比較を図4に示す。一般的な光ファイバは、曲げ損失及び破断強度の関係から、最小曲げ半径は30 mmである。一方、近年のFTTH(fiber

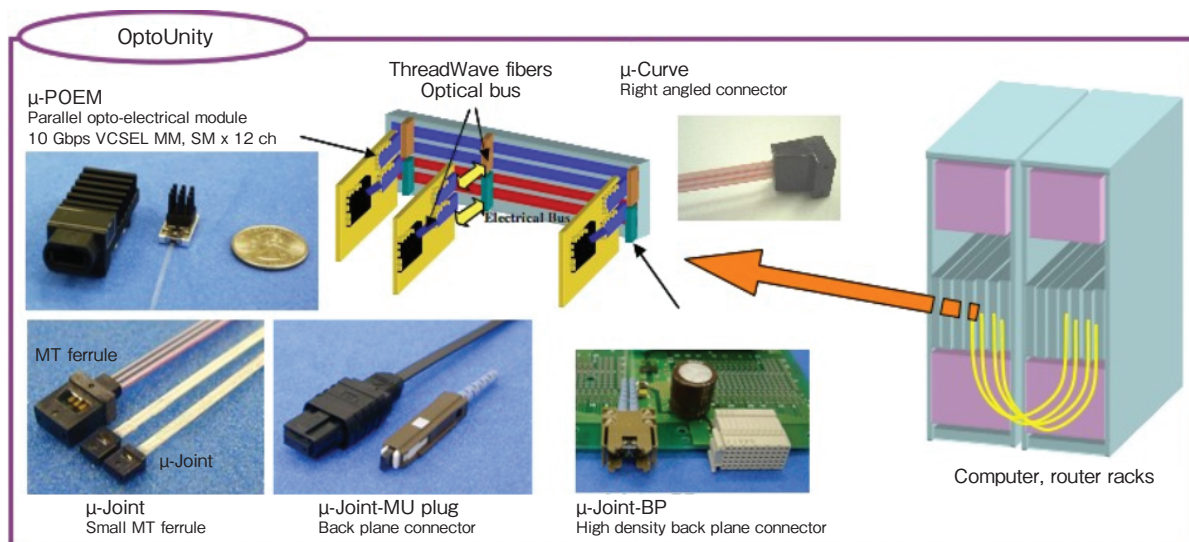


図3 OptoUnity 製品群
Products of OptoUnity.

to the home)での宅内配線利用に向けて、曲げ半径15 mmまで保証されたファイバ (FlexiWave) が製品化されている。しかしながら、光インタコネクションでは、より狭いボード上あるいはラック筐体内にも配線することから、電気配線並の曲げ半径が求められる。我々は、曲げ半径5 mmまでの使用保証をすることを目標とし、シングルモード (SM) タイプ、マルチモード (MM) タイプのThreadWave ファイバを開発した。

ThreadWave ファイバは、曲げ半径5 mmでの機械的信頼性確保のため80 μm径クラッドを採用した。ファイバ構造を図5に示す。クラッド/被覆径はそれぞれ80/125 μmである。被覆を含んでも従来ファイバのガラスファイバ部と同等の外径である。

SMタイプは広帯域、低損失になるようにW型の屈折率プロファイルを採用している。モードフィールド径はシングルモードの長波長面発光レーザ (VCSEL) との最大結合効率を得られることを考慮し、VCSELのモードフィールド径とほぼ同じ約5 μmに設定した。伝搬損失は0.5 dB/kmであり、10 km以上の伝送が可能である。

MMタイプは、従来のGI-50ファイバと同等の特性を確保しつつ、曲げ半径5 mmを実現するため、SMと同じく80 μm径クラッドを採用した。コアの屈折率プロファイルは、曲げ損失低減のため、コア/クラッド屈折率比 Δn を従来の1%から2%に増大したGI型とした。伝送波長850 nmにおける伝搬損失は3 dB/km以下、曲げ半径5 mmでの曲げ損失0.1 dB/turn (3.18 dB/m) 以下、伝送帯域200 MHz-km以上が得られており、10 Gbpsにおいて20 m伝送が可能である。

4.1.2 ThreadWave 12心ファイバリボン

ThreadWave ファイバは、クラッド/被覆径が80/125 μmであることから、従来の250 μmピッチに比べ、半分の125 μmピッチのリボン化が可能である。図6に従来の12心ファイバリボンとThreadWave 12心ファイバリボンの断面寸法比較を示す。幅、厚さ共に約50%の小型化により、よりフレキシブルな扱いが可能となった。

4.1.3 ThreadWave ファイバリボンコード

ThreadWave ファイバリボンを機器筐体間接続に使用する際のコードを図7に示す。敷設時の機械的ストレスに耐えるため



図4 光ファイバの曲げ半径の比較
Comparison of fiber bending radius.

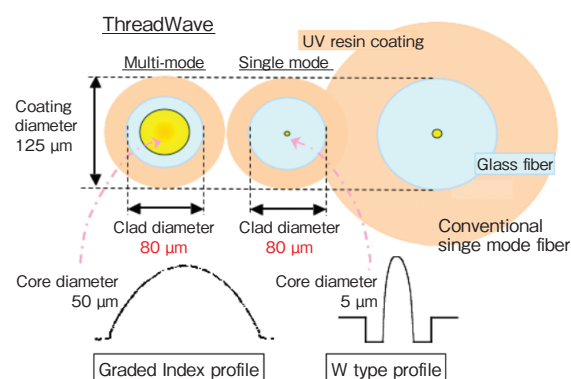


図5 ThreadWaveの断面構造
Cross-section of the ThreadWave fibers.

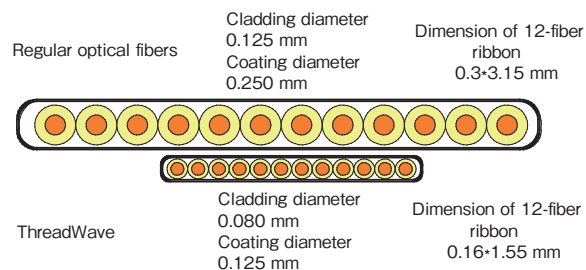


図6 従来ファイバリボンとThreadWave ファイバリボンの断面構造比較
Comparison of cross sections: conventional 12-fiber ribbon and ThreadWave 12-fiber ribbon.

アラミド繊維とともに被覆しており、外径は従来の12心マルチモードファイバコードの半分以下を実現している。

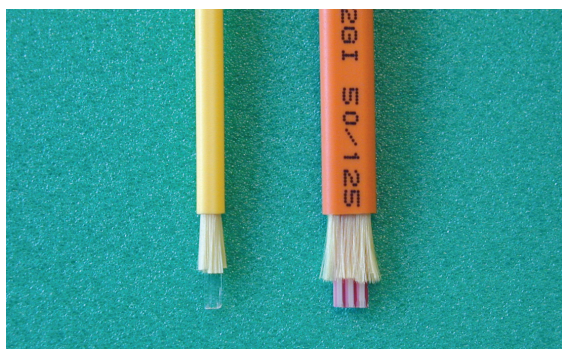


図7 ThreadWave 12心リボンコード(左)と従来MMF12心リボンコード(右)
Pictures of ThreadWave 12-fiber ribbon cord and conventional 12-fiber ribbon cord.

4.2 μ -Joint コネクタ

4.2.1 μ -Joint フェルルール

ThreadWave ファイバリボンに対応した多心光接続フェルルールとして、 μ -Joint フェルルールを開発した。図8に従来MTフェルルールとの比較断面図を示す。 μ -Joint フェルルールの断面寸法は、従来MTの約半分(幅3.4 mm、厚さ1.2 mm)であり、面積では25%である。長さは4 mmである。また、ガイドピンには0.4 mm径のステンレスピンを用いている。ファイバ穴径は $\phi 80 \mu\text{m}$ 、ピッチは125 μm である。

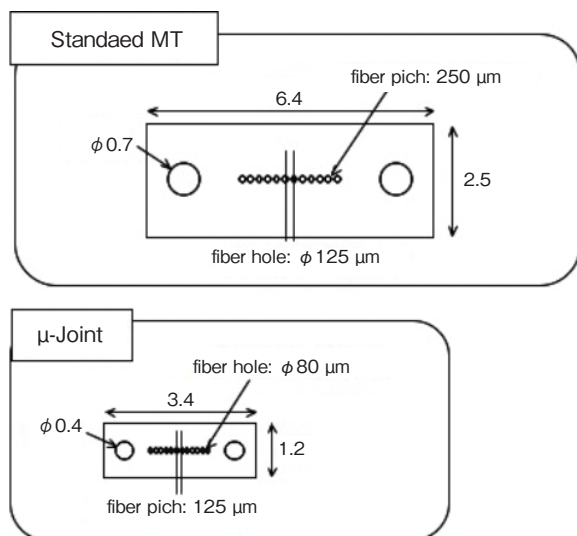


図8 従来MTフェルルールと μ -Jointフェルルールの断面寸法
Cross section of conventional MT ferrule and μ -Joint ferrule.

4.2.2 μ -Joint-MU コネクタプラグ、アダプタ

μ -Jointの寸法を活かし、高密度に実装できるコネクタハウジングとしてはMU形コネクタを採用したり。MU形コネクタはJIS C5983:1997 F14形単心光ファイバコネクタとして標準化され、電話局内のFTTHアクセス系終端装置などで実用化されている。つまみによる着脱機構により、コネクタ間のピッチを4.5 mmで複数並べることが可能である。図8は μ -Jointフェル

ルをMU形ハウジングに適用したプラグである。また、図9に μ -Joint-MUプラグと図10に2連プラグとアダプタを示す。

本プラグ及びアダプタにより測定したマルチモードファイバでのグリスなしでの接続ロスは、図11に示すように0.2 dB以下であった。また、反射損失は-25 dB以上が得られた。

以上の実験で得られた損失の実測値を用いて、2.2節の図1で示した伝送路(20 m)の総損失(ロスバジェット)を計算すると、0.2 dB $\times$ 4コネクタ接続 + 0.1 dB $\times$ 4小径曲げ + 伝搬損失0.06 dB = 1.26 dBとなり、初期目標の4.2 dBに対して約3.0 dBのマージンが得られている。

4.2.3 μ -Joint-MUバックプレーンコネクタ

単心MU形コネクタは、バックプレーンコネクタとしての製品が存在し、プリント板ハウジングとバックプレーンハウジングによりボードごと複数のプラグを同時に着脱することが可能であり、更に、HMコネクタなどの電気コネクタとの併用も可能である。この機構を活かし、 μ -Jointフェルルールによりコネクタの多心化を行なうことで超高密度なバックプレーン接続が可能にな

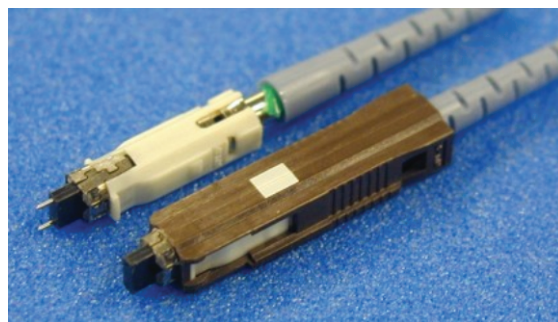


図9 μ -Joint-MUプラグ(上:つまみなし, 下:つまみあり)
 μ -Joint-MU plugs (Upper: without slider, Lower: with slider).



図10 μ -Joint-MUプラグとアダプタ
 μ -Joint-MU plug and adaptor.

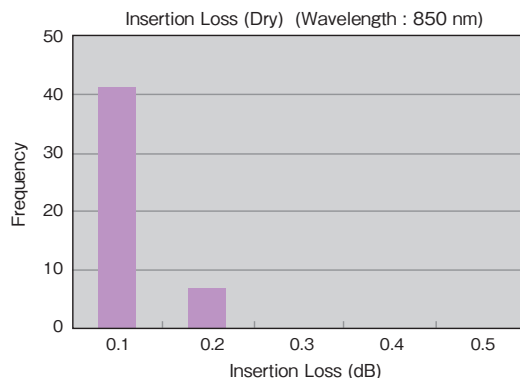


図11 μ -Joint-MUプラグMMタイプのアダプタ接続損失(n=48)
Connection loss of the μ -Joint-MU multi-mode type plug in adaptor.

る。この点がMU形コネクタデザインを採用した理由でもある。

図12は試作した2連のバックプレーンコネクタハウジングである。単心MU形コネクタでは最大8連のバックプレーンコネクタが実用化されており、12心 μ -Jointプラグを適用し、96心ファイバ、10 Gbps/チャンネルの場合、960 Gbpsの一括着脱が可能になる。このときのバックプレーンアダプタの幅は約45 mmであることから、200 Gbps/cm超の実装密度が得られる計算になる。

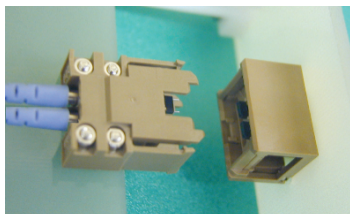


図12 μ -Joint-MU バックプレーンコネクタ (左：プリント板ハウジング、右：バックプレーンハウジング)
 μ -Joint-MU backplane connector (Left : print board connector housing, Right : backplane connector housing).

4.3 μ -Curve コネクタ

ThreadWave ファイバは、最小曲げ半径5 mmを実現したが、より小さい曲げ半径を実現することにより、光ファイバの応用範囲を従来に大きく広げることが可能になる。例えば、表面実装型の光モジュールでは、光ファイバを基板に平行な方向に配置することが求められる。光モジュールに使用される面型の発光、受光素子と光ファイバを結合し、ファイバ曲げにより光軸を曲げる場合、従来はファイバ曲げ径が寸法を制限していた。そのため、小型化のために反射ミラー結合を用いる方法がとられてきた。しかし、反射結合では光が空間伝搬する際の光の広がりが増大させるため、損失低下のためにレンズなどの高価な部品が必要であった。

この課題に対し、我々は光ファイバをガラスの融点に近い温度で加熱加工することで、曲げ半径1 mm以下でほぼ直角に曲げる技術を開発した²⁾。図13は直角曲げ加工されたファイバリボンである。

この直角曲げ加工を施したファイバリボンを従来のMTと同寸法のフェルールに納めたコネクタが μ -Curveである。図14にプロトタイプを示す。曲げられたファイバの損失はThreadWave SMでは0.1 dB以下、ThreadWave MMにおいてもフェルール内部構造の最適化により図15に示すように、接続損失を含めても0.5 dB以下を得た。

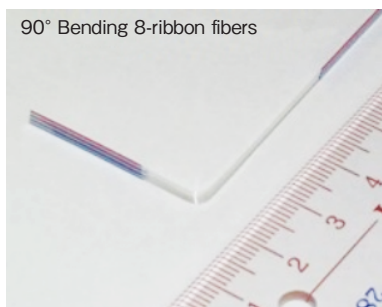


図13 直角曲げ加工ファイバリボン
 90 degree bending fiber ribbon.

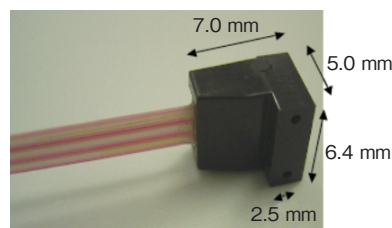


図14 μ -Curve 外観
 μ -Curve connector.

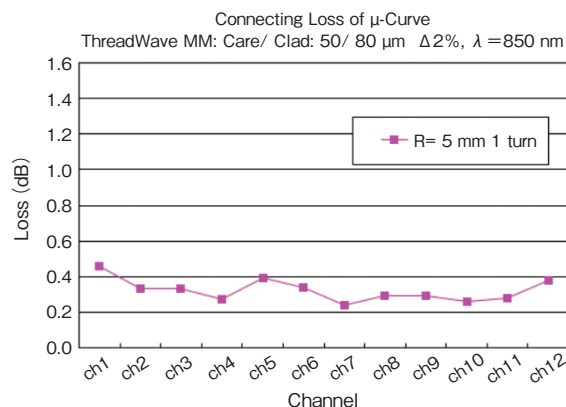


図15 μ -Curveの接続損失
 Connection loss of the μ -Curve.

4.4 μ -POEM

4.4.1 構造

電気信号/光信号変換を行う並列光モジュール μ -POEMは、光インタコネクション部品のコストのうちで大きな割合を占めており、最も低コスト要求が高い部品である。我々は、従来から低コスト化のため、パッケージにMTフェルール成形技術による高精度樹脂フェルールとシリコン基板を組み合わせたレンズレス無調心組立方式を開発してきた³⁾⁷⁾。今回は、光ファイバと光素子の光学結合方式として、図16に示す反射結合型(R-pack)及び突き合わせ(バットジョイント)結合型(V-pack)の2つのコンセプト試作モジュールを検討した。

R-packは、小型化を追求した設計であり、光インタフェースに12心対応の μ -Jointを用い、光モジュール内部で金属ミラーを施した45°研磨短尺ファイバにより光素子との反射結合を行っている。プロトタイプでは、250 μ mピッチ4 chの光素子(850 nm VCSEL 及びPin-PDアレイ)を使用した。

V-packは、光モジュール内部で光素子と短尺ファイバを突き合わせて結合している。光インタフェースには250 μ mピッチの12心 μ -Curveを用い、モジュール外部で光路変換をしていることが特長である。使用した光素子は、250 μ mピッチ12チャンネルである。両モジュールともに、光素子をシリコン基板上に ± 1 μ mの精度で実装し、シリコン基板上の溝と高精度成形体の位置合わせ部を勘合させることで、無調心位置合わせを行った。

電気インタフェースは、樹脂電気基板を用いた表面実装型である。信号電極は0.5 mmピッチ、78パッドのLGA (land grid array) である。電気基板上には放熱のため、セラミック基板を介して多チャンネル用VCSELドライバIC若しくは受信アンプICを搭載し、光素子、基板上のトレースラインとの接続は

金ワイヤで行なった。フットプリントはR-pack,V-packともに共通である。使用したICは電源電圧3.3 VのBiCMOSタイプである。両モジュールの幅寸法は、高密度実装の要件から10.0 mmで設計した。

R-packは μ -Jointコネクタを着脱するためのレセプタクル機構を金属ヒートシンクに内蔵しており、モジュールの長さは16.5 mmである。反射ミラーである45度研磨ファイバを成形パッケージに内蔵させたことで、高さは4.0 mmを実現した。一方、V-packは、 μ -Curveコネクタを用いてモジュール外部で光路変換することにより、反射ミラーを削減し、モジュール構成の簡略化を図っている。パッケージ上面に光出射部があり、パッケージの長さは10.0 mm、高さは4.0 mmに小型化できた。 μ -Curveを接続した場合の高さは、スプリングクリップを含めて10.0 mmである。

μ -POEMのボード上へ実装は、低温プロセスの可能な鉛フリー半田を用いた。半田実装の評価と特性評価の効率化のため、図16に示すような着脱可能(プラグابل)な電気ソケット付きインタポーザ基板を作製し実装した。

4.4.2 特性

試作したモジュールの特性例について述べる⁸⁾。

図17はV-packタイプの5 Gbps x 12チャンネルTx及びRxモジュールの全チャンネル同時動作時のアイパターンである。全12チャンネルで良好なアイパターンが得られた。Txの平均光出力は-2.0 dBm、光結合損失は約3 dBと見積もられる。両モジュールともに、同時動作による顕著なクロストーク劣化は見られなかった。

図18は、V-packタイプTx、RxモジュールによるThreadWave MMファイバでの伝送波形である。光変調条件として消光比3.0 dBに設定し、光ファイバ長を4 m (back to back)、40 m、54 mの時の光ファイバ伝送後の光波形及びRxの電気波形である。Tx光波形は伝送距離の増加に応じて、ア

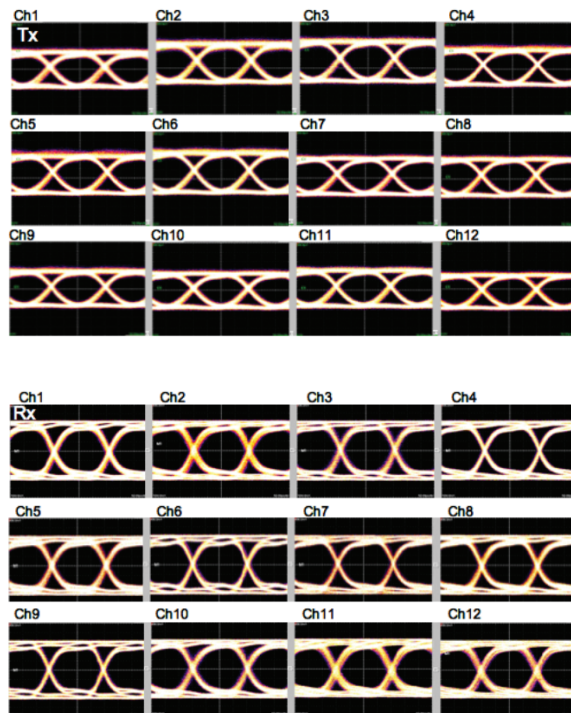


図17 5 Gbps x 12チャンネルTx光波形及びRxモジュール電気波形
Optical and electrical waveform of 5 Gbps, 12 channels transmitter and receiver module.

イの劣化が見られており、Rx電気波形ではジッタの増加が見られた。

図19にビット誤り率の測定結果を示す。NRZ, PRBS $2^{31}-1$, ビット誤り率 10^{-12} における4 m (back to back)、40 m伝送での最小受信入力パワーは、それぞれ-13.7 dBm、-12.3 dBmであり、パワーペナルティは1.4 dBであった。40 mまでは十分伝送可能であると考えられるが、54 mではエラーフロアが

	μ -POEM R-pack		μ -POEM V-pack	
構造				
光結合方式	ファイバ端45°ミラー反射による内部光路変換		直角曲げファイバコネクタ μ -Curveによる外部光路変換	
サイズ (W/L/H/mm)	10.0 × 16.5 × 4.0		10.0 × 10.0 × 10.0	
光素子	850 nm 4 ch マルチモード VCSEL / PinPD		850 nm 12 ch マルチモード VCSEL / PinPD	
使用IC	10 Gbps x 4 ch SiGe BiCMOS 電源電圧 3.3 V		5 Gbps x 12 ch SiGe BiCMOS 電源電圧 3.3 V	
光コネクタ I/F	ϕ 80 μ m, 125 μ m ピッチファイババリボン μ -Joint コネクタ		ϕ 80 μ m, 250 μ m ピッチファイババリボン μ -Curve 直角曲げファイバコネクタ	
電気I/F	0.5 mm ピッチ LGA		0.5 mm ピッチ LGA	
特長	光素子、ICは平面実装 超小型コネクタ適用、高さが低い		光素子、ICは平面実装 直角曲げ(コネクタ) μ -Curveによりモジュール構成が簡略化	

図16 μ -POEMの構造と特長

Structure and features of μ -POEM parallel optical modules.

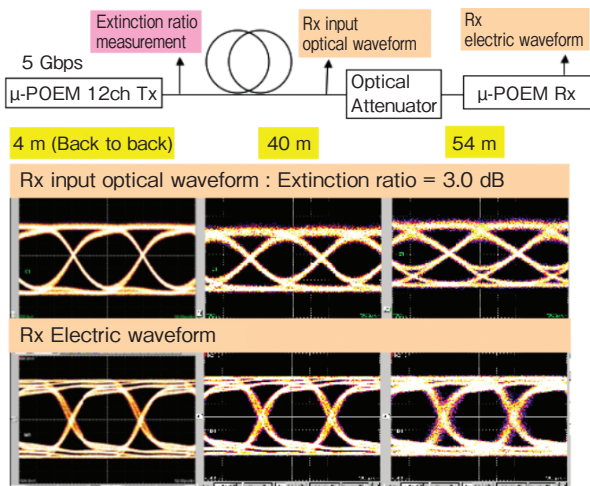


図18 5 Gbps μ -POEM V-pack 伝送波形の ThreadWave MM ファイバ長依存性
Transmitted optical waveforms at 5 Gbps over different lengths of ThreadWave MM.

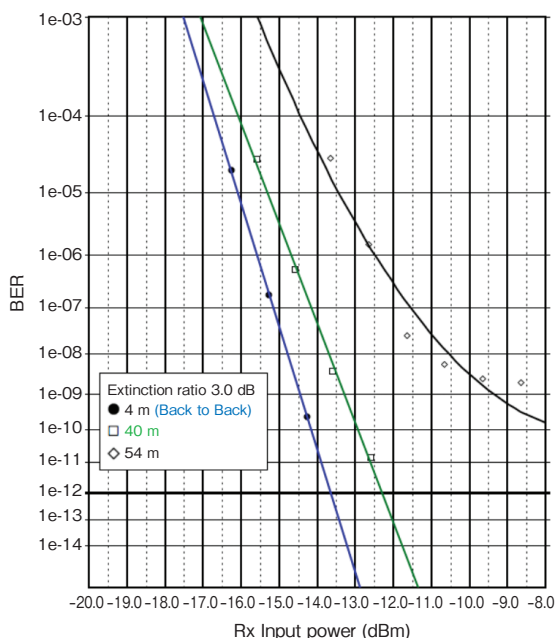


図19 μ -POEM V-pack 5 Gbps ThreadWave MM ファイバ伝送のビット誤り率測定
Bit error ratio test of the 5 Gbps μ -POEM V-pack over ThreadWave MM fiber.

観察された。使用した ThreadWave MM ファイバの伝送帯域は 200 MHz-km であり、光ファイバの帯域が伝送距離を制限していると考えられる。本結果より、 μ -POEM V-pack は 5 Gbps の伝送が可能であることが分かった。消費電力は、Tx は約 960 mW、80 mW/チャンネル、Rx は約 1320 mW、110 mW/チャンネルであった。

10 Gbps モジュールの試作は R-pack で行なった。図20は 10 Gbps x 4 チャンネル R-pack Tx モジュールの光出力波形と同 Rx モジュールの電気出力波形である。

Tx 光出力は -2.0 dBm である。NRZ, PRBS $2^{31}-1$, ビット誤り率 10^{-12} における back to back での伝送評価では、最小受信入力パワーは消光比 3.9 dB、6.0 dB でそれぞれ -8.0 dBm、-10.0 dBm が得られた。

Tx 出力 -2 dBm では、4.2.2 節で述べた様に、伝送路のロスバジェットを 1.26 dB とし、20 m 伝送でのモード分散ペナルティ 1.0 dB とすると、推定される Rx の最小受信入力パワーは -4.26 dBm であり、今回得られた最小受信入力 -10 dBm に対して 5.74 dB のマージンが得られる。クロストークペナルティを考慮しても、10 Gbps で十分な信号伝送が可能であると考えられる。

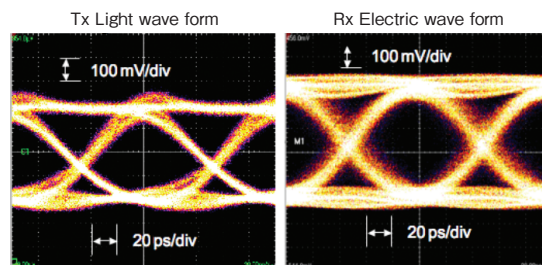


図20 μ -POEM R-pack 10 Gbps 波形 (左: Tx 光波形, 右: Rx 電気波形)
10 Gbps waveform of μ -POEM R-pack (Left: Tx optical, Right: Rx electrical).

5. おわりに

広帯域伝送を必要とする機器の電気伝送(電気インタコネクション)の光化に対応し、高速伝送及び高密度実装を可能にする光インタコネクションの当社の取り組みである OptoUnity 製品群の開発について紹介した。

今回紹介した小型高密度実装のコンセプト及び開発した基本技術を基に、お客様のご要望を反映した商品開発を行っていく考えである。

参考文献

- 1) 長瀬 亮, 大塚 宗文, 中村 稔: “特集 MU 形光コネクタとその応用技術”, 「NTT 技術ジャーナル」10月号(2003), 8.
- 2) M. Morimoto, “Small-radius 90°-bent single mode fiber for optical interconnection,” 2006 Optical Fiber Communications Conference (OFC 2006), OTH5. 2006.
- 3) M. Iwase, et al.: IEEE, Transactions on advanced packaging, **24** (2001), 419.
- 4) M. Iwase, OECC2002 10C1-1 Passive Alignment Optical Modules using High Precision Plastic Package and Silicon Optical Bench Technologies, Yokohama, Japan, 134.
- 5) 根角昌伸, 岩瀬正幸: “長波長面発光レーザ (VCSEL) モジュール”, 古河電工時報, **115** (2004), 82.
- 6) 岩瀬正幸, 石川陽三, 伊澤 敦, 水野一庸, 阿部拓行, 川島洋志, 奈良一孝: 電子情報通信学会 2004年総合大会講演論文集 C-3-62 高精度樹脂成形体による GE-PON 対応一心双方向受送信 OSA (I)-OSA 構造および特性, 2004年3月, 235.
- 7) 岩瀬正幸, 石川陽三, 小松拓也, 笠原淳一, 服部伸彦, 三浦昌之, 中村尚人, 尾高邦雄: “GE-PON FTTH システム向け光トランシーバモジュール”, 古河電工時報, **16**, (2005), 14.
- 8) 高橋克年, 那須秀行, 根角昌伸, 岩瀬正幸, 池上嘉一, “90°曲げネクタを用いた 5 Gbps x 12 ch 並列光モジュールの伝送評価”, 電子情報通信学会 2007年ソサエティ大会講演論文集, C-3-47, 2007年9月.