

光インタコネクション用光配線材の開発

Development of Optical Wiring Technology for Optical Interconnects

岩屋 光洋 *
Mitsuhiro Iwaya

末松 克輝 *
Katsuki Suematsu

稲葉 治巳 *
Harumi Inaba

杉崎 隆一 *
Ryuichi Sugizaki

布施 和幸 *
Kazuyuki Fuse

西本 卓矢 *²
Takuya Nishimoto

嘉本 健治 *³
Kenji Kamoto

概要 次世代高性能データサーバなどへの応用に向けた光インタコネクション要素技術の開発を行った。複雑な配線をコンパクトかつ低損失・高信頼度で実現するために細径・高屈曲耐性のThreadWave[®]ファイバを適用した。また電気配線との混在を見越した省スペース・高密度接続が可能な光コネクタハウジングを開発し、従来比3.2倍の接続密度を実現しつつ部品点数を半分に削減した。さらに低コスト化の観点からコネクタ組立方法の簡略化を図り、簡易組立によるコネクタにて高速信号伝送に必要な光学特性を維持できることを確認した。これらの要素技術を集約したブレードサーバ構成の検証試作機を作製し、従来の電気配線と同等のサイズにて2000心規模のチャンネル設置を達成した。

1. はじめに

近年、CPUの高性能化やデータ通信量の増大にともない、サーバに求められるデータ処理能力が著しく増加している。またサーバ構成において、1つのCPUに多数のプロセスを集約させる仮想化技術も進展しており、CPU間でやりとりするデータの量や、必要となるメモリの容量も増大している。これにともない今後は、データ処理時の入出力は数Tbpsの信号帯域が必要になり、それらの信号を複数接続するインタコネクトでは合計で数十Tbpsの転送速度が要求されると考えられている。

一方、従来の電気伝送技術による伝送容量の増大は信号品質や排熱効率などの観点から限界を迎えつつあり、これを打破する新たな技術として光インタコネクションが期待されている。

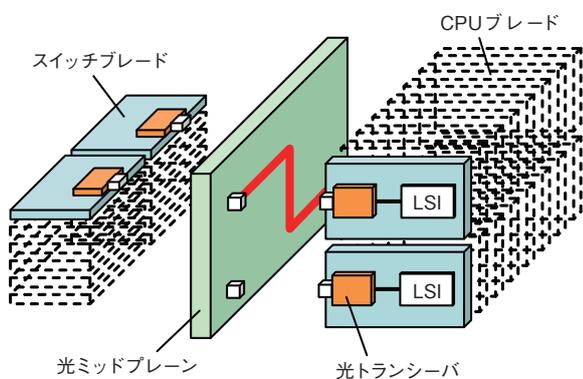


図1 光ブレードサーバの構成
Structure of optical CPU blade server.

こうした背景を受け、我々は光モジュール、光コネクタ、光ファイバなどの光インタコネクション要素技術の開発に取り組んできた¹⁾。

今回、次世代高性能サーバなどへの適用を目的とした光インタコネクション技術について検討し、従来より高密度、低コストで実装可能な配線技術の開発を行ったので報告する。

2. 開発コンセプト

2.1. 開発課題・検討項目

想定アプリケーションとして高密度実装されたブレードサーバ構成の高性能サーバを設定した。設定したサーバ構成の模式図を図1に示す。中央にミッドプレーン(配線板)が配置され、その両側にブレードを挿入可能なスロットを設置する。今回の開発では片側から光電変換素子を設置したCPUブレードを挿入可能とし、それぞれをミッドプレーン逆側にてスイッチブレードに接続可能な構成を想定した。またサーバ筐体のサイズは既存の電気配線サーバと同等を目標とした。

ブレードサーバでは多数のブレードが高密度に実装されるため、ブレード1枚あたりに割り当てられる接続領域は限られている。またブレードへの電源供給や低速電気信号の伝達を行うことを考慮すると、光信号接続に割り当て可能な領域はさらに縮小される。このような条件下において多数のチャンネル接続を実現するためには光コネクタ及び伝送媒体の劇的な小型化、高密度化が要求される。

また、光信号伝送媒体には配線設計の柔軟性及び敷設の容易性が求められる。さらに修理や交換を考慮すると過度の集積化を行わないことが好ましいと考えられる。

構成部品及び実装工程の低コスト化も光インタコネクションの実現に向けて重要な検討項目である。今回、光接続のコスト低減についても、部材コスト及び実装コストの両面から検討を

* 研究開発本部 ファイテルフォトニクス研究所

*² 研究開発本部 横浜研究所

*³ 情通カンパニー ファイテル製品事業部

行うこととした。

2.2. 開発コンセプト

前述の開発課題・検討項目について以下コンセプトにて開発を行った。

想定サーバ構成としては前述のようにミッドプレーン型ブレードサーバとし、複数枚のCPUブレードとスイッチブレードを相互接続可能とした。CPUブレードとスイッチブレードの接続ダイアグラムとしては、1枚のCPUブレードから複数枚のスイッチブレードへ接続されるタイプと、CPUブレード1枚あたり1枚のスイッチブレードに接続されるタイプの2種類を想定し、それらが光ミッドプレーン上に共存配置される設計とした。

CPUブレード上には光電変換素子を実装し、ブレード端に設置した光コネクタから光ミッドプレーンに光接続される。一方、スイッチブレード側では任意の光信号の取り出しやループバックにより光ミッドプレーンの接続特性や配線の確認を行えるよう、ブレード端光コネクタから延出された配線にコネクタを取り付けて終端とした。CPUブレード上の光信号チャンネル数はブレード1枚あたり96心とした。

光伝送媒体には光ファイバを選択した。ブレードサーバ応用への光ファイバのメリットとしては、(1)チャンネル間クロストークが低い、(2)柔軟性・敷設の容易さ、(3)製造コスト、(4)リボンファイバ化によるモジュール単位(12心など)での条長統一の容易さなど、が挙げられる。また今回の試作ではミッドプレーン型配線板の片面、図1におけるCPUブレード挿入側のみ光ファイバ配線を集約する構成を前提とした。

光信号の高密度接続は既存のMTコネクタ構造をベースとして検討を行った。また、ブレード挿入時に光部品と電気部品を同時接続する必要があるため、バックプレーン(BP: backplane)方式の光コネクタハウジングを採用することとした。

低コスト化については、部材コストの削減及び組立コストの削減を主として削減に取り組むこととした。

3. 要素技術

3.1. 光ファイバ

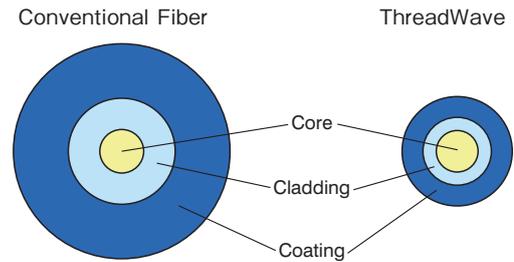
光ファイバを用いて高密度配線を行う際の最大の制約は許容最小曲げ半径である。これは光ファイバの長期的な信頼性(破断確率)及び曲げによる光信号の損失から制限され、一般的な光ファイバの場合で許容最小曲げ半径RはR=30 mm程度である。コアやクラッドの屈折率分布を調整して曲げ損失を抑制した、いわゆる Bend Insensitive Fiber においても長期的な破断確率の観点からはR=7.5 mm程度が限度と考えられている。

一方、ミッドプレーン上で許容最小曲げ半径を維持しながら複雑な光ファイバ配線を実現するためには少なくとも許容最小曲げ半径の2倍にあたる空間を面上に設けることが望ましい。しかし、既存の電気部品を用いる場合ブレードの挿入距離が規定されており、その空間を確保することが難しいという課題がある。

また2000心もの多数の光ファイバを効率的に配線するためには光ファイバ同士の干渉や、張力の発生を避けるために光ファイバがなるべく小型かつ柔軟であることが望ましい。

こうした要求事項に対応するため、今回、光配線にはコア径50 μm 、クラッド径80 μm 、被覆径125 μm の小径ファイバである ThreadWave を用いた²⁾。ThreadWave と通常ファイバの断面形状比較を図2に示す。図3は半径5 mmの1周曲げを与えたファイバ2000本あたりのFIT数をクラッド径に対してプロットしたグラフであるが、クラッド径80 μm でのFIT数は黒の実線で示した1.0を切っており、ThreadWaveは小径曲げに対して十分な信頼性を確保していることが分かる。光学特性については、GIプロファイルのコアにおいて比屈折率差 Δ を通常の1%から2%と高めることでR=5 mmで1ターンでの曲げ損失を0.1 dB以下に抑え、伝送帯域も200 MHz-km以上と良好な特性を実現している。

今回の開発では送受信モジュールの合計チャンネル数として12心までを想定し、ThreadWave 12心リボンを使用して検証を行った。ThreadWave 12心リボンでは各ファイバ心線は125 μm ピッチで配列されており、通常の125 μm クラッド径ファイバによる12心リボンと比べて断面積をおよそ4分の1に抑えることができる。またクラッド径及び被覆径ともに縮小されているため通常ファイバリボンと比較して柔軟性が高い。これらの特性により、高密度かつコンパクトな配線を無理なく実現することができる。



50	Core [μm]	50
125	Cladding [μm]	80
250	Coating [μm]	125

図2 通常のファイバと ThreadWave ファイバのファイバ断面サイズ比較
The comparison between cross-section size of ThreadWave and standard fiber.

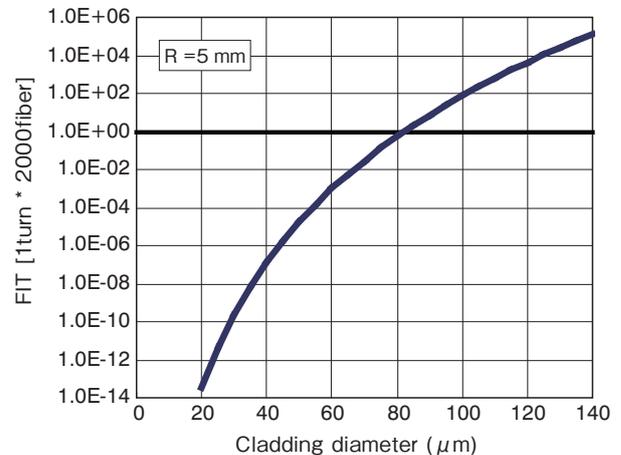


図3 ファイバクラッド径とトータルFIT数
Cladding diameter of fiber and total Fit number.

3.2. 光コネクタ組立方法

光コネクタには従来と同サイズのMTフェルールを使用した。MT1個あたりの心線数は配線密度、プレート間接続ダイアグラム設計の容易さ、製造性の兼ね合いから24心が最適と判断した。

24心のファイバの配置として12心×2段または24心×1段が可能であるが、ファイバリボンの重ね合わせによる小径曲げ時の剛性上昇を避けるため、24心×1段の構成とした。このファイバ配置を図4に示した。

また今回、光部品のコスト低減を目的にMTコネクタの製造方法を見直し、無研磨簡易組立技術を適用した。これはファイバリボンをカッターで切断し、ファイバ端面とMTコネクタの端面とを位置合わせして接着固定する技術であり、通常のMTコネクタ組立工程で発生する研磨工程を省略することで製造コストの大幅削減が可能となる。

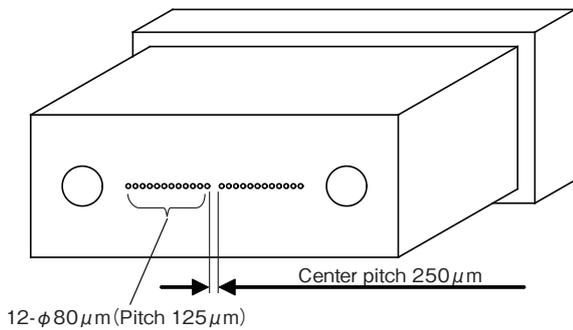


図4 24MTフェルールのファイバ配置
Fiber position of 24 MT ferrule.

3.3. 光コネクタハウジング

既に述べたように、ブレードサーバへの応用を考えた場合、ブレード挿入時に電気コネクタと光コネクタを同時接続するために光コネクタハウジングにバックプレーン接続機構が必須である。現在一般的なバックプレーン型光コネクタとしてMPO-BPコネクタがあるが、これはMTフェルールをMPOコネクタハウジングに収容してMPOコネクタを組み立てた後、さらにそれをBPハウジングに収容している。この様子を図5に示す。このような構成はBPハウジングに対してMPOコネクタが着脱可能でありコネクタの交換・付け替えが容易という利点はあるものの、部材点数が多く、またサイズが大きくなりMTフェルールの実装密度を高めることが難しい。

こういった課題を解決するために、新しく高密度バックプレーンコネクタハウジングを開発した。構成の概略を図6に示す。本コネクタでは、4個のMTフェルールを2×2配列にて直接バックプレーンコネクタハウジングに収容する構成としている。これにより、従来MTフェルール1接続につき1組必要だったBPコネクタハウジングをMTフェルール4接続あたり1組と大幅に削減している。さらに、個々のMTフェルールの収容固定も最小限の簡易化された部材によって行う構成とした。これによりMTフェルール4接続あたりの部材点数を従来の約半分に削減しており、部材コストの大幅な削減が期待される。

図7に従来MPO-BPコネクタハウジングと新規ハウジングとの正面図を同縮尺で比較して示す。図7から分かるように、新規ハウジングでは従来のMPO-BPコネクタハウジングに比べて全体の大きさはわずかに増加しているものの、4個のMTフェルールを収容しているため光ファイバの実装密度では3.2倍に増加している。なお、今回MTフェルール1個あたり24心のファイバを実装しているため、バックプレーンコネクタ1組あたり96心の一括接続が可能である。

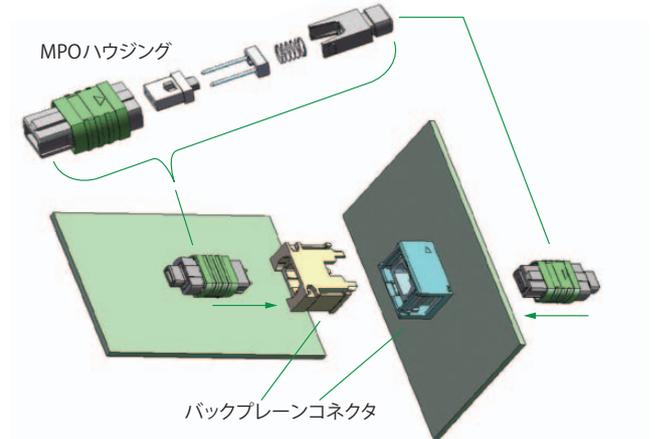


図5 従来のMPOバックプレーンコネクタ
Conventional MPO type backplane connector.

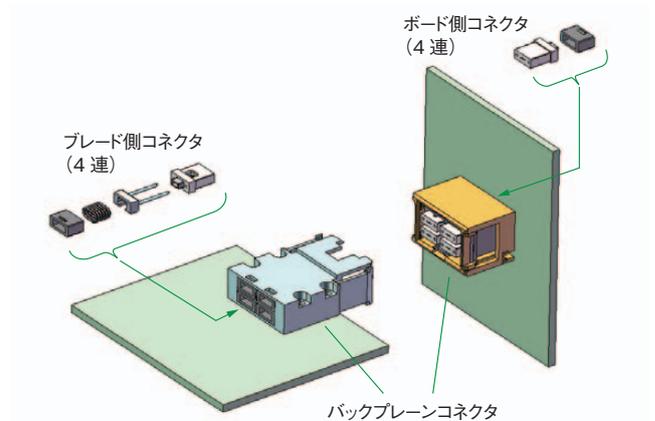


図6 新開発のバックプレーンコネクタ
New backplane connector.

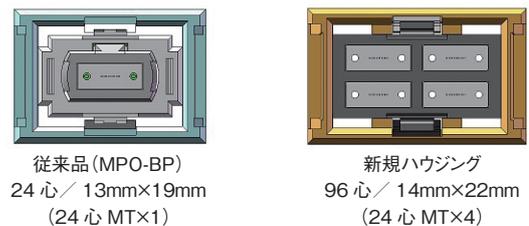


図7 実装密度比較
Comparison of fiber density.

4. 特性

4.1. 接続損失

今回試作した光コネクタの屈折率整合剤無しでの接続損失分布を図8に示す。接続数N=768のデータについて、波長850 nmにて平均損失0.29 dB、最大損失0.79 dBの接続損失特性が得られた。またMTフェルール端面間に屈折率整合剤を介して接続した際の損失変化を図9に示す。

これらの結果より、無研磨簡易組立技術を用いて組み立てたMTフェルールであっても十分な接続特性を得られることが確認できた。また屈折率整合を行えばさらに損失を大幅に低減できることが分かった。

またMTフェルール単体でのクリップ接続時と4連の新規バックプレーンハウジング搭載時で同等の接続損失が得られており、新開発のハウジングが適正に4つのMTフェルールを一括接続できていることが確認できた。

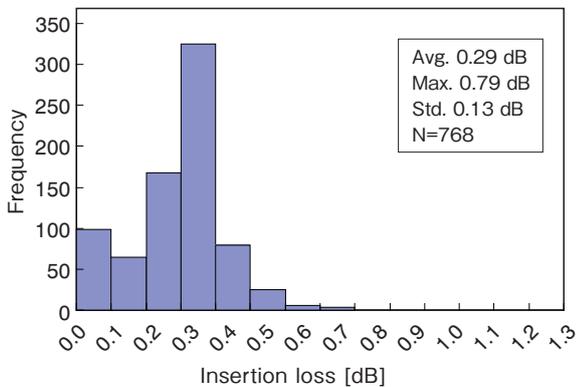


図8 無研磨簡易組立MTコネクタの接続損失分布
Insertion loss distribution of non-polish quick assembly MT connectors.

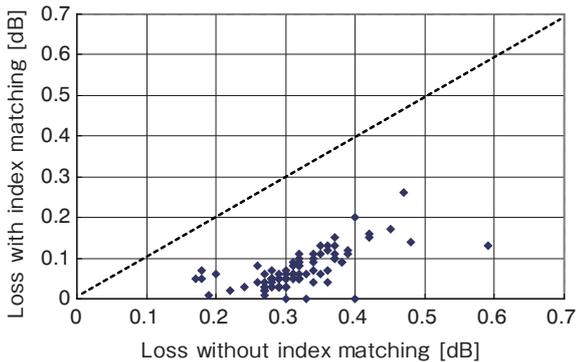


図9 屈折率整合剤の有無による接続損失変化
Insertion loss difference between matings with and without index matching.

4.2. 伝送特性

今回作成したコネクタにて10 Gbpsの伝送特性確認を行った。波長850 nmのVCSEL(面発光レーザ)を用い、PRBS-7(擬似ランダム符号系列)の信号を発生させてアイパターンの観測を行った。得られたアイパターンを図10に示す。測定は24心

全てについて実施したが、全てのチャンネルにおいて十分な開口が得られており、本開発の光コネクタが10 Gbpsの伝送に十分な特性を有していると考えられる。

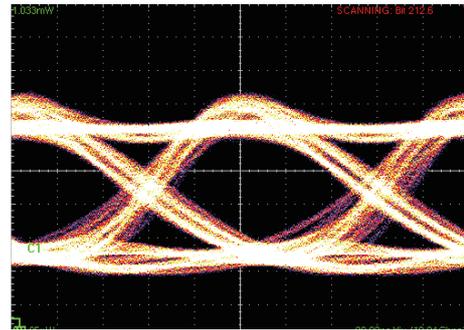


図10 10 Gbps伝送時のアイパターン
Eye-pattern diagram at 10 Gbps transmission.

5. ブレードサーバ検証試作機

これまで説明した技術を用いて、ブレードサーバ検証試作機を製作した。幅500 mm×高さ500 mmと従来の電気配線型ブレードサーバとほぼ同等の断面サイズを実現した。奥行きについては今回の試作機では冷却ファンの外付けやブレードスロットの簡略化をしているため単純な比較はできない。しかし光・電気コネクタを同時実装したミッドプレーンの実効厚みを電気単体実装の場合と同じにする工夫をしており、最終製品時には電気配線型の場合と同サイズに抑えることが可能と考えられる。

ミッドプレーン上にはThreadWave 12心リボンを用いて合計約2000心のファイバが敷設されており、チャンネル当たり10 Gbpsで伝送した場合、20 Tbps相当のスループットパフォーマンスが達成できる。

6. おわりに

次世代型高性能ブレードサーバへの応用を見込んで新しい光配線技術について開発を行った。小径ファイバThreadWaveの使用、新型バックプレーンハウジングの開発により従来の光配線技術に比べ大幅な高密度化を達成し、コンパクトかつ大容量の光配線を実現した。また部材や製造工程の見直しにより量産コストの大幅低減の見通しを得た。

今後、さらなる低コスト化の検討及び光接続部の信頼性評価及びより詳細な伝送特性評価などを実施する予定である。

参考文献

- 1) 岩瀬正幸 他: “高密度光インタコネクション用光部品: OptoUnity[®]”, 古河電工時報, 120, (2007).
- 2) Ryuichi Sugizaki et al: “Small Diameter Fibers for Optical Interconnection and Their Reliability”, Proceedings of the 57 th IWCS, 2008.