

コア選択スイッチの海底MCF分岐装置への適用に関する検討



香川大学 大学院創発科学研究科 創発科学専攻 修士課程 2年

たはら りか
田原 理加

1. はじめに

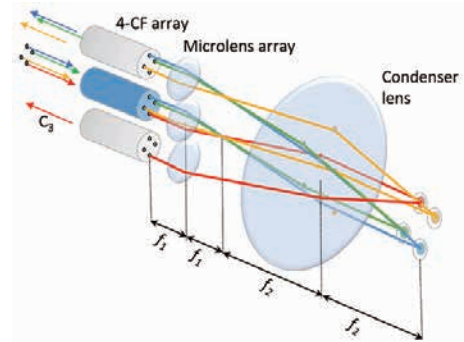
空間分割多重 (SDM) 技術は、海底光ケーブルシステムで最初に導入されると想定されている。マルチコアファイバ (MCF) を採用する次世代海底SDM時代における新しい分岐装置 (BU) アーキテクチャとして、これまでに我々は、ファンイン (FI) ファンアウト (FO) デバイスを持たずに MCFを直接サポートし、コア単位に分岐可能な、コア選択スイッチ (CSS) ベースのBUアーキテクチャを提案している^[1]。本アーキテクチャは、複数の1×2 SMFスイッチ機能を1つの自由空間光学系内に収容することができ、空間利用効率に優れている。

図1に4コアファイバ (4-CF) を用いた1×2 CSSの光学系を示す。入力MCFの各コアから射出した光ビームは、コリメータレンズアレイによって空間的に分離され、コンデンサレンズによってそれぞれの各コアに対応した各スイッチングミラー上に結像する。ミラー上に結像した光ビームは反射し、コンデンサレンズとコリメータレンズによってコリメートされ、出力MCFの同じローカルコア番号のコアに結像する。スイッチングミラーの角度を調整することで、任意の出力MCFに出力することが可能である。

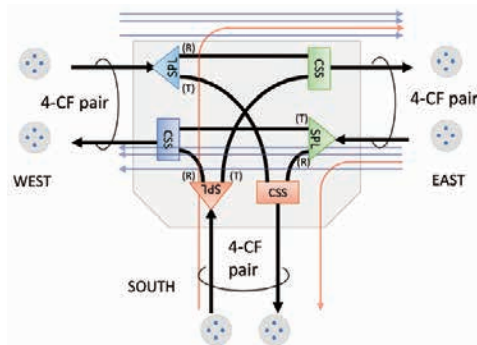
海底BUはスペースが限られており、さらに、長期信頼性が要求されるため、4-CFを直接収容できるBUの実用化には更なる小型化と信頼性の向上が不可欠である。今回我々は、入力側CSSを受動部品である全ポート反転スプリッタに置き換えるとともに、これを3台集積化した4-CFスプリッタモジュールと3つの4-CF CSSを集積化したCSSモジュールを用いて4-CF BUを構成することで、BUの高信頼化と小型化を図った^[2]。本稿はその要約である。

2. Broadcast and Select型BUの構成

図2に、1×2全ポート反転4-CFスプリッタと1×2 4-CF CSSに基づくBroadcast and Select (B&S) 構成を採用したBUアーキテクチャを示す。全ポート反転スプリッタはパッシブ型であるため、製造コスト削減と信頼性向上が期待できる。なお、自由空間光学系にハーフミラーを用いるだけで1×2 4-CFスプリッタを構成した場合、反射ポートにおいては、出力光が射出される光の進行方向に対してのコア位



■ 図1. 1×2 4-CF CSSの光学系



■ 図2. B&S構成のBUアーキテクチャ

置が入射したコア位置から水平方向に鏡面反転する。一方、MEMSミラーをスイッチング素子として用いるCSSにおいても、同様のコア位置の鏡面反転が生じるので、スプリッタの反射ポートにおいては出力側CSSの反転は自動的にキャンセルされ、BUの入出力ポート間でコア位置の反転は発生しない。しかし、1×2 4-CFスプリッタの透過ポートにおいて出力光はミラーによる反射を経験しないため、出力光が出力されるコア位置が水平方向に反転せず、出力側CSSによる鏡面反転がキャンセルされない。これはBUの出力ポートによってコア位置の反転と非反転が混在することを意味する。ネットワーク全体で伝送路の誤接続を防ぐためには、少なくとも1つのデバイスにおいてコア位置の反転と非反転の混在を防ぐことが好ましい。そのため、B&S構成のBUにおいては、ハーフミラーを透過した透過光を、リレー光学系を介して全反射ミラーに送り、出力光が射出されるポートでのコア位置を意図的に反転させる全ポート反転スプリッタを採用する。



3. 集積化スプリッタと集積化CSS

これまで説明したように、海底BUでは、スペースは貴重で有限な資源であり、海底BUには小型化が極限まで求められる。

一方、自由空間光学系は、複数のビームを並列処理することで、複数のシステムを1つのモジュールに集積化するのに有利である。そのため我々は、図3に示すように、自由空間光学系を用いて3つの集積化全ポート反転スプリッタと3つの集積化CSSを試作した。

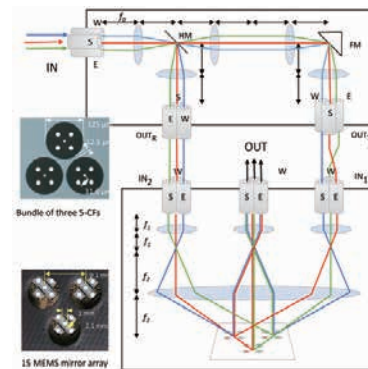
図3の下部に示した3つの集積型1×2 4-CF CSSは、3つのバンドル型1×8 5-CF CSSプロトタイプを流用し、8つの出力ポートのうち2つの出力ポートだけを使用した（5つのコアのうち、中央のコアは使用しない）。正三角形の頂点に3つの5-CFがファイバ間隔12.5 μm で隣接して配置された5-CFバンドルとMEMSミラーアレイの拡大画像を図3左に示している。5-CFバンドルは、シリコン基板上に直径125 μm の穴を3つ形成し、コアの回転位置を調整しながら125 μm のクラッド5-CFを挿入することで構成される。集積化した3つの1×2全ポート反転4-CFスプリッタと集積化した3つの1×2 4-CF CSSの写真をそれぞれ図4に示す。

4. BUの特性

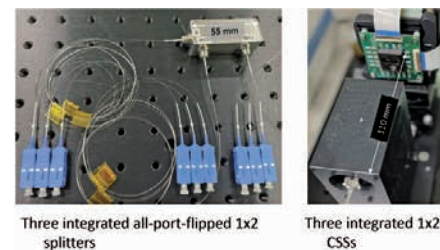
スプリッタとCSSを集積化したBUプロトタイプの性能を調べるため、伝送実験を行った。全ポート反転スプリッタの反射ポートと透過ポートはレンズの透過回数の違いから、3つのBUすべてで反射ポートを選択した場合が最もコア間クロストーク (XT) の性能がよく、3つのBUすべてで透過ポートを選択した場合が最もXTの値が悪くなり、光信号対雑音比 (OSNR) ペナルティが発生しやすいと考えられる。そこで、3つのBUすべてで反射ポートを選択した場合と3つのBUすべてで透過ポートを選択した場合のXT特性とビット誤り率 (BER) 対OSNR特性を測定し、すべて透過ポートを選択した場合の測定結果を図5に示す。図5 (a) に示すように、累積XTは-34 dB以下であり、図5 (b) に示すように、測定可能な光信号対雑音ペナルティは発生しないことを確認した。

5. おわりに

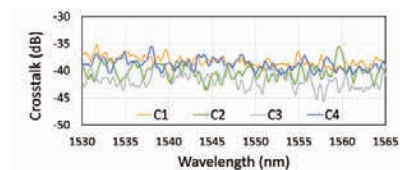
本稿では、4-CFをサポートする海底BUのプロトタイプについて報告した。BUプロトタイプは、3つの集積化全ポート反転4-CFスプリッタと3つの集積化4-CF CSSから構成され、コアごとの分岐機能を提供可能である。集積化1×2全ポート反転4-CFスプリッタと集積化1×2 4-CF CSSによる4-CF BUプロトタイプを用いて、3つのBUを模擬したネット



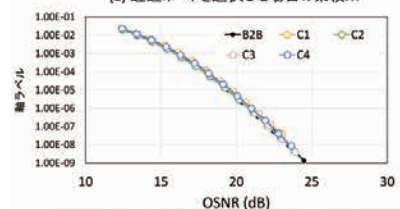
■ 図3. スプリッタとCSSを用いたBUの光学系



■ 図4. 全ポート反転スプリッタとCSS



(a) 透過ポートを選択した場合の累積XT



(b) 透過ポートを選択した場合のBER対OSNR特性

■ 図5. 3つのBUの累積XTとBER対OSNR特性

ワークを構築し、SDM光信号がこれをOSNRペナルティなしで通過可能であることを実証した。

参考文献

- [1] K. Matsumoto and M. Jinno, "Core selective switch based branching unit architectures and efficient bidirectional core assignment scheme for regional SDM submarine system," in Proceedings Optical Fiber Communications Conference and Exhibition (OFC), W3F.3, 2022.
- [2] R. Tahara et al., "Submarine SDM branching unit with integrated all-port flipped multicore fiber splitters and integrated core selective switches," ECOC 2023, Th.B.6.2, 2023.