

論文の内容の要旨

専攻名 システム創成工学専攻

氏 名 堀口 幸二

本研究はステップインデックスマルチモードファイバ（SI-MMF：Step-index Multi-mode Fiber）の伝送システムにおいて、伝送システムの損失テストと動作テストを行うために、モードパワー分布（MPD：Modal Power Distribution）に関する一連の課題を解決することを目的とした研究である。本研究の主な貢献を以下に記述する。

近年、自動車、産業機器、鉄道、航空機などの機器内配線の短距離ローカルエリアネットワークにおいて、データレート高速化の要求が強くなっている。SI-MMFはコア径と開口数が大きいため、アライメントトレランスが広く、堅牢性が高いという特徴を持つ。同ファイバは比較的高い伝送損失の特性を持ち、モード分散による伝送帯域制限があるという課題があるものの、短距離ローカルエリアネットワークでの使用に対して簡便性の点から注目されている。

SI-MMFを使用した高速伝送システムでは、動作を保証するために、ファイバ同士の接続損失を損失テストとして行う。損失テスト用の励振ファイバでは、環境に依存せずに特定のMPDを維持するという、高安定性と高再現性が必要とされる。励振ファイバのMPDを安定化させる方法の一つとして、平衡モード分布の使用が提案されている。励振ファイバに平衡モード分布を使用することで、ファイバに付与されるバンドや側圧などの外因性の影響は受けにくくなる。また、平衡モード分布は、光源のMPDに影響せずに特定のMPDを出力するという特性を持つ。しかし、平衡モード分布に到達するまで、ファイバ内ではマイクロバンドやコア・クラッド不整合などによる散乱や減衰などが影響して、MPDにばらつきが生じる。そのため、適切に管理された方法で再現性の良い平衡モード分布を作成することが重要となる。その際に、平衡モード分布が取るMPDは損失テストの結果に大きく影響する。したがって、伝送システムのパワーバジェットの中で、光ファイバに割り振られたロスバジェットから励振ファイバのMPDを決定する必要がある。しかしながら、これまでに励振ファイバのMPDを決めるための技術的な根拠を示す報告はない。本研究では、光伝送システムの損失テストにおいて、ロスバジェット要件を満たすMPD条件を決定するためのコンセプトを提案した。

前述したように励振ファイバのMPD条件を決定するコンセプトにおいて、割り振られたロスバジェットに対する接続損失を算出することは、高精度な損失テストを成立させるために重要である。そのためには、高精度な接続損失シミュレーションが不可欠となる。SI-MMFの接続損失シミュレーションは様々な方法が報告されているが、シミュレーション値と実験値が一致するものは少なく、MPDに関係するパラメータである

ファーフィールドパターンを考慮したものはほとんどない。本研究ではニアフィールドの光強度分布を構成する光線に対してファーフィールドの放射角分布を重ねることによる、SI-MMFの高精度な接続損失シミュレーション法を提案し、実験値との高い一致を実証した。

高精度な接続損失テストを実際に行うためには、仕様に合わせた励振ファイバのMPDを正確に制御する必要がある。しかし、現在市場に流通している光源やモードコントローラおよびモードスクランブラは、SI-MMFの損失テスト規格に準拠したものはない。そのため、規格に準拠することができ、様々な損失テスト要件に合わせてMPDを調整できるデバイスが必要となる。これまでのモードコントローラには、MPD制御性を有していながら平衡モード分布を生成できるものはなかった。本研究では、ファイバをツイストすることにより高効率なモード結合を起こすという独特な手法を利用した、平衡モード分布生成可能でMPD可変性を有するモードコントロールデバイスを初めて提案・実証し、そのMPD制御メカニズムについて考察した。

伝送システムへファイバを実装した際に、SI-MMFに特有のMPDの不安定性のために伝送帯域が一時的に急激に悪化し、システムテストで想定外のエラーを発生することが懸念される。これまでSI-MMFの帯域改善については報告がほとんどなく、ファイバ長を短くして使用するか、高コストな他種ファイバに置き換える方法が主に行われていた。本研究では、ツイストモードコントローラのモード結合を利用したSI-MMF帯域改善により、ファイバ自体の帯域を改善してシステム動作を安定化する方法を検証した。

本研究により、SI-MMFのテストシステムの構築において重要な要因である、励振光のMPD規定を決めるためのコンセプト、およびそれに必要な接続損失シミュレーション方法を提案し、規定を満たすMPDの励振光を生成するためのモードコントローラを開発した。そして、実際の損失テストでMPDが不安定になったときのためにモードコントローラを使用した帯域改善について報告した。この研究がSI-MMF伝送システム構築の技術的な根拠となり、その普及に貢献することを期待する。