

論文審査の結果の要旨

専攻名 システム創成工学専攻

氏名 堀口 幸二

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 Multimode 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。

本論文は、七章から構成されている。各章について結果を述べる。

第一章は序論である。本研究の目的と研究背景について述べている。研究背景として、SI-MMFの特徴と、SI-MMFを利用した光伝送システムの基本構成を述べ、適用事例を紹介した。また、SI-MMF光伝送システムを動作させるために、解決すべきMPDに関する課題について述べている。

第二章は、モード規定およびモード制御の理解に関連する理論について述べている。MPDは各伝搬モードの光強度分布を示しており、SI-MMFでは遠視野像に関連して変動する。MPDを示すための解析方法として、エンサークルドアンギュラーフラックス（EAF：Encircled angular flux）が使用される。この章では、MPDの定義について説明し、MPDに関係するパラメータとして、EAFについて説明し、関係性をまとめた。

第三章では、SI-MMFの一種であるステップインデックスプラスチッククラッドシリカファイバ（SI-PCSF：Step-index plastic cladding silica fiber）を例に、損失テストのための励振モード分布デザインコンセプトの提案を行っている。SI-PCSFの損失テストにおける励振モード分布の規格は、EAFプロファイルで作られたテンプレートマスクにより定められた。このテンプレートは、光ファイバ同士の接続に対して妥当な公差範囲で損失テストを合格するように設計されている。損失テストで合格判定が得られたコネクタを使用することで、伝送システムのチャネルロスが規定のロスバジェットを満足し、伝送システムは正常な動作を保障される。励振モード分布規定のコンセプトは、マルチモードファイバ（MMF：Multimode fiber）光伝送システムの損失テスト構築に貢献しており、学術的・工学的に高く評価できる。

第四章では、幾何光学を用いて、光ファイバ種や励振光のモード状態によらず利用可能な、高精度なMMF接続シミュレーションを提案している。近視野像と遠視野像の実測データを用いることで、励振ファイバをシミュレーション上で面光源としてモデル構築し、受光ファイバのモデルと接続することで接続損失を算出している。励振モード分布規定コンセプトに適用可能な高精度MMF接続シミュレーション方法を構築することで、光伝送システムの設計検証を解析的に行うことが可能になるため、学術的

・工学的に高く評価できる。

第五章では、伝送システムのMPD制御の課題を解決するために、効果的な手法となる可変モードコントローラ（VMC：Variable mode controller）を提案している。VMCでは、光ファイバで複数のループを作って、それをツイストすることで、様々な方向からの立体的な応力を与えてモード結合を誘発する。VMCにはいくつかの利点がある。伝搬長が短いため、レイリー散乱や不純物吸収による減衰が少なく、また、平衡モード分布（EMD：Equilibrium mode distribution）生成に必要なファイバ長が、これまでの2000 mから10 m以下に短縮されるため、EMD生成装置としてコンパクトであることに加え、FFPの可変制御が可能である。VMCのメカニズムは、モード結合係数・曲率パワースペクトル・EMD係数からの観点により述べられている。以上のことから、MPDの制御において、変換効率が良く、制御性が高い手法を提案することで、光伝送システムの損失テストの実測を可能にし、また、光伝送ファイバのモード制御について、新たな知見を見出したことは、学術的・工学的に高く評価できる。

第六章では、VMCによりSI-MMFに対して、ツイストによる応力を与えてモード結合を誘発することで伝送信号のディレイを抑制し、伝送特性と伝送帯域を改善する手法について述べている。ツイストによる応力は、光ファイバのモード結合を促進し、短尺でEMDに到達させる。EMDを伝送することで伝送帯域が改善され、良好な伝送特性が得られるようになった。これまでモードコントローラの伝送帯域や伝送特性を調べた報告はなかったが、本研究ではVMCを利用した光伝送システムの伝送特性改善効果を明らかにした。この帯域改善手法は、従来の帯域改善のアプローチと異なっており、新たな知見として、学術的・工学的に高く評価できる。

第七章は総括と今後の課題であり、六章までに述べた研究成果を総括し、得られた知見をまとめ、今後の課題について述べている。

本論文については、令和2年8月7日にWeb会議システムを使用して、全審査委員および学内外の当分野の研究者等の出席のもと公聴会が開催され、多くの質疑応答が行われた。公聴会後の学位審査委員会において、本論文の内容を詳細に検討した。その結果、本研究成果は学術的にも実用的にも極めて大きな価値があり、論文内容の学術的水準の高さと独創性、工学的有用性においても優れていると判断した。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文に値するものと認める。