

## 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 小林 茂

(1,500字程度とし、1行43文字で記入)

本論文は、ステップインデックス型マルチモード光ファイバ(SI-MMF: Step-index multimode fiber)の伝搬モード分布を定義するエンサークルドアンギュラーフラックス(EAF: Encircled angular flux)の測定法研究開発について述べている。SI-MMFのEAF測定システムを新規に立ち上げ、同システムの検証及びSI-MMF接続に関する測定評価を詳細に行っている。

本論文は、七章から構成されている。それぞれについて評価を与える。

第一章は序論であり、SI-MMFの適用事例とその特徴を述べ、最近のSI-MMFを用いた高速光伝送の仕様や規格が相次いで発行され、これを支える伝搬モード分布規定の必要性和緊急性を示し、研究の意義を明らかにしている。

第二章は、本論文を理解するために必要なSI-MMF接続の基礎特性について述べ、MMFの接続や入射条件での特性に及ぼす影響を俯瞰し、従来理論による接続解析方法について述べている。

第三章では、伝搬モード評価システムの開発とその評価について述べている。測定評価システムは、EAF 95%値の変化量 $\pm 15\%$ を目安にしたとき $\pm 0.5$  mmまたはそれ以上のトレランスを有し、また繰り返し測定再現性は標準偏差 $0.008^\circ$ と、何れもSI-MMFの測定に十分な性能を有することを示した。また、SI-MMFの接続における挿入損失の原因は高次モードの放射であることを初めて一枚のグラフで示した。本章の結果はSI-MMFを用いた従来のデータリンクシステムで発生している現象要因を初めて明らかにした。一連の伝搬モード評価システム開発とその結果の定量的解析は、SI-MMFを用いた光伝送システムの現象評価に大きく貢献し、高く評価できる。

第四章では、光源の出力ビームの開口数(NA: Numerical aperture)を可変できるモード選択励振光学システムとEAF測定システムを組み合わせ、伝搬モード分布の振る舞いについて述べている。ガウシアンビーム励振、リングビーム励振、平衡モード分布光励振とSI-MMFへのランチ条件を変えて、接続における伝搬モード分布の振る舞いについて詳細に調べた。異なるNAのランチ条件では、異なる接続損失や挿入損失となることを明確に示した。また、挿入損失において本研究の結果と従来研究の理論式による解析結果を比べ、その差異があることを明確にした。以上により、SI-MMF接続において発生する現象を体系的にまとめることができ、その内容は学術的・工学的に高く評価できる。

第五章では、測定用光源の検証と接続モデルの考案について述べている。SI-MMFの接続に関してIECで規格化された測定用光源の条件を用いて実証実験を行い、規格適用外領域が存在することを初めて確認した。この研究でSI-MMFを用いたデータリンクは一般的に数十メートル以下

であることから、均一モード分布や平衡モード分布にはならないことを明らかにし、従来の理想的なモード分布接続理論モデルは実用とは異なることを指摘した。更にSI-MMFの遠視野像と近視野像の測定データを用いた接続モデルを新規に考案し、平衡モード分布光源に加えて不均一な分布光源においても測定結果に良く合うことを示した。規格適用外領域の存在を見出したことや、新規接続モデルの考案を行ったことは、工学的に高く評価できる。

第六章では、車載光通信用接続部品についてEAFを用いた研究について述べている。従来の車載光通信MOST(Media Oriented Systems Transport)と次世代車載光通信(GEPOF: Gigabit Ethernet over POF)の仕様の比較を行い、光接続部品の特性改善の必要性を明確にした。GEPOF仕様であるリンク長15 mで接続の数や位置の異なるモデルを準備し、伝搬モード分布と周波数特性を組み合わせで解析した。また特性改善のために接続に屈折率媒質を適用し、軸ずれ $z/a = 3.1$ ( $z$ 軸の軸ずれをコア半径 $a$ で規格化)でEAF 50%値が $13.8^\circ$ から $15.4^\circ$ に変化し、挿入損失が1.75 dB改善した。EAFを用いて自動車で使われるデータリンクをモデル化して接続における伝搬モード分布と周波数特性及び挿入損失特性を測定評価したことは、工学的に高く評価できる。

第七章は結論であり、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ている。

本論文については、平成29年8月3日に本学オプティクス教育研究センターコラボレーションルームにおいて、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。