

## 論文の内容の要旨

専攻名 システム創成工学専攻

氏名 小林 茂

(2,000字程度とし、1行43文字で記入)

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)である Plastic optical fiber (POF)やHard polymer cladding fiber (HPCF)は自動車、鉄道、工場などの分野で広く使われている。大口径のため接続が容易かつトレランスが広く、低コスト性や堅牢性を備えた特長がある。一方、同光ファイバは伝搬モード依存性が強く、光ファイバ中を伝搬する光の状態によりシステムや部品の性能が変わることがある。しかしこれまでのデータリンクは十分なリンクパワーバジェットがあり、全ての変動を許容していたためこれらの問題について議論されることは稀であった。最近、SI-MMFを用いた光高速伝送の仕様や規格が相次いで発行され、これを支える研究の要求が強くなった。この様な背景の中、SI-MMF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)が提唱された。本研究はその測定法開発の一端を担い、国際電気標準会議 (IEC: International Electrotechnical Commission)において国際規格IEC 61300-3-53 EAF測定法の確立に貢献した。本論文は、全七章から構成される。

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と緊急性を示し、研究の意義を明らかにした。

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、SI-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。

第四章は、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、ランチ条件を考慮に入れた解析を行うことで実験結果との一致をみた。

第五章は、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で国際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。更に測定用光源の規定を満足し、かつ挿入損失及び測定不確かさを満足する光源の条件を見出すとともに、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。

第六章は、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。

第七章では本研究で得られた結果をまとめ、総括した。SI-MMFを伝搬する光の状態を数値で定量化できるEAFを用いてSI-MMF接続の特性及び評価に関する研究を行い、接続で発生する現象を明らかにした。また、実用で使われる長さ数十メートル以下のSI-MMFにおいては従来の理論モデルは適用できないことを明確にし、またこれに代わる接続モデルを考案し測定結果に良く合うことを示した。更に今後の高速伝送に向けて従来の車載光コネクタの光学特性の改善についての方向性を示した。関与したEAF測定法や関連の国際規格が既に複数発行され、本研究の貢献は少なくない。本研究がSI-MMFの接続に関して学術的に新しい指針を与え、同時にSI-MMFを用いたデータリンクや次世代光通信において技術の根拠として貢献することを期待するものである。