



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	A Study on Random Polarization-Mode Coupling Effects and Stress Distribution Characteristics in Heterogeneous Multi-Core Fibers
Author(s)	OCAMPO SABILLON, GUSTAVO ALFREDO
Description	この博士論文の全文は利用可能日以降に公開されます。
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第16991号
Issue Date	2026-03-25
DOI	https://doi.org/10.14943/doctoral.k16991
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/99835
Type	doctoral thesis
File Information	Gustavo_Alfredo_Ocampo_Sabillon_review.pdf, 審査の要旨 https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士(工学) 氏名 Gustavo Alfredo Ocampo Sabillon

審査担当者 主 査 教 授 齊藤 晋聖

副 査 教 授 大鐘 武雄

副 査 教 授 西村 寿彦

学位論文題名

A Study on Random Polarization-Mode Coupling Effects and Stress Distribution Characteristics in Heterogeneous Multi-Core Fibers

(異種マルチコアファイバにおけるランダム偏波モード結合効果と応力分布特性に関する研究)

クラウドサービス, 高精細映像, IoT 機器, VR 等の没入型技術, ならびに人工知能の普及に伴い, 世界のデータトラフィックは急増しており, 現行の光ネットワークは容量限界に近づきつつある. これに対し, 1 本の光ファイバ内に複数の空間チャネルを設けて伝送容量を拡大する空間分割多重 (Space-Division Multiplexing: SDM) が有望視されている. なかでも, マルチコアファイバ (Multi-Core Fiber: MCF) は, 単一クラッド内に複数の独立コアを集積することで既存インフラとの親和性が高く, ネットワーク構成の大幅な変更を伴わずに導入可能な手法として注目されている.

一方で, MCF には, 信号品質を劣化させる主要要因として, コア間クロストーク (inter-core crosstalk: IC-XT) と偏波モード分散 (polarization-mode dispersion: PMD) が存在する. IC-XT はコア間の不要結合により生じ, 特にコア間隔や屈折率分布など幾何・屈折率パラメータに強く依存する. なかでも, 異種 MCF (heterogeneous MCF) は, 各コアを僅かに異なる設計とすることで結合を抑制できるが, その効果は設計条件に大きく左右される. また PMD は, 2 つの偏波成分の伝搬速度差に起因し, MCF では複数コアを内包することによって生じる複雑な応力分布の影響を強く受ける. さらに, 先行研究ではクラッド径に対する IC-XT の依存性や PMD 値の大きなばらつきが報告されているものの, その物理的要因が十分に説明されていない.

こうした背景の下, 本論文は, これらの挙動を統一的に理解する鍵として複屈折 (birefringence) に着目し, MCF の構造が内部応力分布をどのように形成し, それが複屈折を介して IC-XT および PMD にどのように影響するかを明らかにすることを目的としている. 具体的には, (1) 異種 MCF における IC-XT および PMD のクラッド径依存性を, 数値解析と実験の両面から解明すること, (2) MCF の複屈折を数値的に算出し, 応力および PMD と関連付ける解析枠組みを確立すること, (3) 高コア密度 MCF において, 応力付与ロッド (stress-applying rods) を用いた応力設計により複屈折を抑制する手法を検討すること, を主要課題としている. これらを通じて, 次世代の大容量 MCF 伝送のための新たな物理的知見と設計指針を提示している.

本論文の構成は, 以下の通りである.

第 1 章では, 本研究の背景および目的を述べている.

第2章では、MCFにおけるランダム偏波モード結合 (random polarization-mode coupling: RPMC) 効果の理論的枠組みを提示するとともに、結合モード方程式の導出、IC-XTの数値評価法、ならびにPMDとの関係を整理している。

第3章では、クラッド径が異なる2コア弱結合の異種MCFを取り上げ、数値解析と実験結果を突き合わせてRPMC/複屈折パラメータを推定し、クラッド径依存性の物理的要因を考察している。

第4章では、先行研究で報告されたMCFを対象に残留熱応力を基準とした応力分布解析を行い、応力誘起複屈折とPMDの関係を評価し、MCF設計における応力誘起複屈折の考慮の重要性を示している。

第5章では、トレンチ付加型異種MCFに対して応力付与ロッドを導入し、応力場を制御することでコア複屈折を低減する方法を提案している。特に、標準クラッド径の4コアおよび8コア構造のMCFについてロッド本数・配置・材料組成を最適化し、全コアで単一モードファイバに近い複屈折を実現できることを示している。

第6章では、本研究により得た結論をまとめている。

これを要するに、筆者は、異種MCFにおけるIC-XTおよびPMDの振る舞いを、複屈折に着目して統一的に説明する枠組みを提案し、数値解析と実験の両面からクラッド径依存性の要因を明らかにした。さらに、応力分布解析に基づくMCFの複屈折評価手法を確立するとともに、応力付与ロッドを用いた応力設計により高コア密度MCFの複屈折抑制手法を提案しており、情報通信フォトンクスに関する学術分野に貢献するところ大なるものがある。

よって筆者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格があるものと認める。