

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	光MIMO技術を利用した大容量光ファイバ伝送に関する研究
Title(English)	
著者(和文)	森崇嘉
Author(English)	Takayoshi Mori
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第9857号, 授与年月日:2015年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:植之原 裕行,浅田 雅洋,小山 二三夫,宮本 智之,府川 和彦
Citation(English)	Degree:., Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第9857号, Conferred date:2015/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

# 論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	森 崇嘉		
論文審査 審査員		氏名	職名		氏名	職名
	主査	植之原 裕行	教授	審査員	府川 和彦	教授
	審査員	浅田 雅洋	教授			
		小山 二三夫	教授			
宮本 智之		准教授				

## 論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「光 MIMO 技術を利用した大容量光ファイバ伝送に関する研究」と題し 7 章で構成される。

第 1 章「序論」では、将来の大容量・長距離光通信の実現に向けて、従来のシングルモードファイバに代わる新規構造光ファイバが盛んに研究されている背景を述べ、新規構造ファイバであるマルチコアファイバやマルチモードファイバ(MMF)などを伝送路とした空間多重技術を確立することの必要性を述べている。本論文では、マルチモードファイバを伝送路としたモード多重伝送技術を対象とし、これまでの報告例では適用されていなかった長距離・大容量化が期待できるデジタルコヒーレント受信技術、ならびに無線分野で実用化されている MIMO 技術のモード多重伝送への適用に最適な送受信構成・伝送路の実現可能性を明らかにすることを目的にすると述べている。

第 2 章「MIMO DSP による信号復元の基本検討」では、デジタル信号処理回路 (DSP) による信号復元の動作原理確認を目的として、マルチモードファイバのモード分散補償に向けて、提案するデジタルコヒーレント受信器の構成について述べている。具体的には、高次モードの遅延量に応じて判定帰還型の等化器のフィルタ・タップ数を設定することにより、信号復元精度が向上することが可能であることを明らかにしている。また、伝送距離が延びるほど、あるいは軸ずれ接続等で多経路干渉が増大するほど、モード分散補償に必要なタップ数の増大や SNR 劣化によるパワーペナルティの増大が課題となると述べている。

第 3 章「光 MIMO 伝送システム構成技術」では、マルチモード光ファイバ伝送において MIMO DSP を適用することを目的として、光 MIMO 伝送システムを実現するための構成技術について述べ、受信部において高次モードの強度・位相情報を保持するためのモード収束器を用いる構成を提案し、20 km Graded Index (GI)-MMF を伝送路とした光 MIMO 伝送を達成している。光 MIMO 伝送において、伝送路のモード間群遅延差 (DMD) が増大することにより、受信部の MIMO DSP 負荷が増大することが課題となることを述べている。

第 4 章「MIMO DSP 負荷低減技術」では、DMD 増加による DSP 負荷増大への対処を目的として、光 MIMO 伝送における信号処理の負荷低減に向けて選択的モード励振を用いた光 MIMO 伝送システム構成を提案し、コア径 50  $\mu\text{m}$  を有する GI-MMF に対し、数値計算により DMD の小さい低次モードのみを励振する条件を明らかにし、信号処理負荷を低減した GI-MMF 10 km の C + L バンド 8 波長 WDM コヒーレント光 MIMO 伝送を達成している。さらに、大容量化を目的とした伝搬モード数を拡大した低 DMD 伝送路について、DMD および伝搬モード数を制御するために W 型 GI ファイバのコア、トレレンチ部の設計手順を明らかにしている。さらに、製造上の観点からメリットのあるトレレンチアシスト型 GI ファイバの検討を行い、W 型 GI ファイバの設計で得られた構造パラメータを基に、コアトレレンチ間隔を制御することでトレレンチ下部までの GI 形状の模擬が可能であることを示している。提案するトレレンチアシスト型 GI ファイバについて、波長帯 1530~1625nm で、4 つの伝搬モード動作において 50 ps/km 以下の DMD 補償伝送路、6 つの伝搬モード動作において 70 ps/km 以下の DMD 補償伝送路を達成している。

第 5 章「光 MIMO 伝送システムにおけるモード間クロストークが与える影響」では、モード間クロストークが光 MIMO 伝送へ与える影響について、電力結合方程式によりモード間クロストークとモード依存損失が伝送路に存在する場合、信号チャネル間の強度差が生じることを示している。さらに、光 MIMO 伝送実験により、ファイバ中のモード依存損失やモード間クロストークが大きいほど信号品質が劣化する一方で、チャネル間の入力強度差を調整することによりチャネル間の信号品質差の低減が可能であることを明らかにし、長距離伝送を実現するために伝送システムのモード依存損失とクロストーク量に応じた入力チャネル強度の制御の重要性を示している。

第 6 章「今後の展望」では、既存光通信システムとマルチコア・マルチモードファイバ技術との融合についての展望を概観し、さらなる大容量化を実現するためには、伝送ファイバについて、コア数増大、伝搬モード数増大が必須であり、製造技術のさらなる発展が必要であることを述べている。また、モード合分波技術や光増幅技術を含め、伝送距離や利用する変調多値数などを考慮したトータルなシステム設計の必要性について述べている。

第 7 章「結論」では本研究で得られた成果を総括している。

これを要するに、本論文はマルチモードファイバを伝送路とした光 MIMO 伝送システムの実現可能性を解析的・実験的に実証するとともに、光 MIMO 伝送の長距離・大容量化の課題となる DSP 負荷増大に対処するために、提案する選択的モード励振が有効であること、屈折率分布の工夫により伝搬モード数の制御かつ低 DMD である伝送路が実現可能であること、ならびに伝送システムのモード依存損失とクロストークに応じた入力チャネル強度の制御により長距離伝送が可能であることを示し、新たな空間多重技術の知見を与えたもので、工学上ならびに工業上寄与するところが大きい。よって、本論文は博士 (工学) の学位論文として価値あるものと認められる。