

Title	Polarization-Mode Dispersion Effects and Compensation in Optical Fiber Transmission Systems
Author(s)	Daniele, Alzetta
Citation	大阪大学, 2004, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/44966">https://hdl.handle.net/11094/44966</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉</a> 大阪大学の博士論文について〈/a〉をご参照ください。

***Osaka University Knowledge Archive : OUKA***

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名	ダニエレ アルゼッタ Daniele Alzetta		
博士の専攻分野の名称	博士(工学)		
学位記番号	第 18716 号		
学位授与年月日	平成 16 年 3 月 25 日		
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科通信工学専攻		
学位論文名	Polarization-Mode Dispersion Effects and Compensation in Optical Fiber Transmission Systems (光ファイバ伝送システムにおける偏波モード分散効果とその補償に関する研究)		
論文審査委員	(主査) 教授 塩澤 俊之		
	(副査)		
	教授 小牧 省三	教授 元田 浩	教授 北山 研一
	教授 河崎善一郎	教授 馬場口 登	助教授 松本 正行

#### 論文内容の要旨

本論文は、光ファイバ伝送システムにおける偏波モード分散 (PMD) 効果とその補償に関する解析および数値計算の結果をまとめたものである。

第 1 章は序論であり、光ファイバ伝送システムの最近の研究開発の現状を概説し、伝送距離と伝送容量を制限する要因について述べている。特に、チャンネルあたりの伝送速度が増大すると、PMD が光ファイバ伝送システムの特性を大きく損なうことを示している。これらの展望を通して、本論文の動機づけを明らかにし、本研究の目的を説明している。

第 2 章では、PMD の基礎を示している。ジョーンズとストークス表記法による光偏波の表現から始め、ランダムな複屈折と偏波モード結合の概念を説明して、主要偏波状態 (PSP) に基づくモデルを使って PMD のベクトルを定義している。1 次と 2 次 PMD の統計的な特性をまとめ、光ファイバ伝送システムにおける PMD の解析的なモデリング方法を示している。

第 3 章は分散管理 (DM) ソリトン伝送システムにおけるファイバ非線形性と PMD との関係に関する研究を扱う。偏波成分の間に非線形相互作用があるので、DM ソリトンは線形パルスより PMD に対する抵抗力があることが知られている。しかしながらその一方で、非線形性のためにシステムの累積 PMD がゼロの場合にも DM ソリトンのパルス広がりが生じることを、対称 PMD ファイバモデルを使った数値計算によって明らかにしている。また、特性劣化が PMD ベクトルの局所的な値に関係づけられていることを示している。さらに、数値計算結果によって、DM ソリトン伝送においては偏光度 (DOP) が信号の劣化と弱い相関しか持たないことを示し、DOP は非線形伝送における PMD 補償のためのモニタ信号として用いることに適さないことを示している。

第 4 章では、偏光子を用いた PMD 補償を研究している。偏光子を用いた PMD 補償は信号電力をモニタ信号として使えるので、PMD 補償のフィードバック制御を簡易化できる可能性があり、PMD 補償のための実用性の高いアプローチであるといえる。本章では、ファラデー回転装置 (FR) と偏光子から成り、自由度 (DOF) 1 つを持つ新しい PMD 補償器を提案している。偏波コントローラ (PC) と偏光子から成る、2DOF を持つ従来の構成と比較してい

る。伝送路に沿って補償器の位置を適切に選ぶことによって偏光子を用いた補償器の性能を改善できることを示している。解析と数値計算を通じて、PMD の補償器の最適な位置およびモニタ信号の種類による性能の差異を明らかにしている。PMD 補償器の位置を最適化することによって、受信器の位置に PMD 補償器を置く通常の構成に比べて、PMD 補償能力が向上することを見い出している。

第5章は分布 PMD 補償を扱う。伝送路に PMD 補償器を周期的に挿入することによって、システムが耐え得る PMD が増大し、残留の高次 PMD が減る可能性がある。可変遅延線を用いる 3DOF の補償器を分散配置した伝送システムの特性を数値計算を用いて解析し、耐えられる平均的な DGD が理論的な予言より大きいことを示している。一方、可変の遅延線を持つ補償器よりも簡単な構造を持つ偏光子を用いた補償器を伝送路に分散配置した場合の特性を解析し、システム不稼働確率の縮小を確認している。実際のシステムでは、個々の偏光子は電力損失を起こすので、この劣化を評価し、利得飽和において動作している増幅器を使うことによって損失による特性劣化を低減できることを示している。

第6章は結論であり、本研究で得られた成果を総括している。

## 論文審査の結果の要旨

本論文では、高速光ファイバ伝送システムにおいて問題となる偏波モード分散効果とその補償に関する解析及び数値計算の結果をまとめている。本研究の主な結果は次の通りである。

- (1) 偏波モード分散 (PMD) に対する分散管理 (DM) ソリトン伝送の抵抗力は平均的には線形伝送よりも大きい、ファイバの PMD の瞬時の状態によっては、DM ソリトン伝送は線形伝送システムよりも悪い性能を示す可能性がある。本研究では「PMD エリア」(ファイバに沿う局所的な PMD の距離積分値) を定義し、DM ソリトンのパルス広がり が PMD エリアと相関を持つことを数値計算を用いて明らかにしている。非線形性と PMD の間には局所的な相互作用があるので、非線形ファイバの主要偏波状態 (PSP) を定義できないこと、さらに、局所的な非線形複屈折が PSP を急速に回転させるので、偏光度 (DOP) と PMD の間には明確な相関がないことを指摘している。その結果、DOP を PMD 補償のためのモニタ信号として用いることには問題があることを示している。従って、DM ソリトン伝送システムにおける PMD 補償においては、モニタ信号の慎重な選択が必要である。
- (2) 偏光子を用いた PMD 補償を広く研究し、特に、ファラデー回転装置と偏光子から成り、自由度1つだけを持つ新しい PMD 補償器の構成を提案している。伝送システムが耐えられる平均 PMD を増大するために、伝送路に沿って偏光子を用いた補償器の位置を最適化できる。最適な位置の解析的な表現を引き出し、数値計算によりその妥当性を確認している。最適な位置は、ファラデー回転装置からなる構成の場合、モニタ信号の選び方にはほぼ無関係であるけれども、偏波コントローラを持つ構成の場合はモニタ信号の選び方に大きく依存する。
- (3) 高次 PMD は、伝送速度が大きく帯域幅の広い伝送システムの特性を大きく損ない、1次 PMD 補償の性能を制限している。高次 PMD 効果を補償するためには1次 PMD 補償器を伝送路に分散配置することが有効である。本研究では、偏光子を用いた PMD 補償器を分布的に用いた場合の伝送特性を解析し、偏光子の損失を考慮に入れた場合にもこの構成は優れた PMD 補償能力を示すことを明らかにしている。

以上のように、本論文は、偏波モード分散効果とその補償に関する重要な知見を含んでおり、今後の長距離大容量光ファイバ通信システムのさらなる発展に、少なからず寄与するところがあるものと考えられる。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。