

Title	FSKヘテロダイン方式光ファイバ伝送に関する研究
Author(s)	今井, 崇雅
Citation	大阪大学, 1992, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.11501/3063616">https://doi.org/10.11501/3063616</a>
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

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

Osaka University

氏 名	いま い なか まさ 今 井 崇 雅
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 1 0 3 9 9 号
学 位 授 与 年 月 日	平 成 4 年 9 月 18 日
学 位 授 与 の 要 件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学 位 論 文 名	FSKヘテロダイン方式光ファイバ伝送に関する研究
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 末 田 正 (副査) 教 授 山 本 錠 彦 教 授 小 林 哲 郎 教 授 小 林 猛

## 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、FSKヘテロダイン方式光ファイバ伝送に関して、その特長を生かした長スパン光ファイバ伝送系構成法を確立するために行った研究の成果を述べたものであり、以下に示す結論を得た。

まず、FSKヘテロダイン方式光ファイバ伝送系の受信感度に影響する可能性のある、長距離光ファイバ出射光偏波ゆらぎについて、ゆらぎモデルの提案と解析を行った。光ファイバ出射光の偏波状態変動量を、ポアンカレ球上での位置の変動量としてとらえることにより、変動量の経過時間及び光ファイバ長依存性を示した。さらに、実際に海底および陸上に布設されている光ファイバ出射光の変動量を測定することにより、解析結果の妥当性を明らかにした。

また、ヘテロダイン方式光ファイバ伝送において、受信信号光の偏波ゆらぎによる受信感度劣化の低減に有効かつ簡便な構成である、ベースバンド合成型偏波ダイバーシティ受信系構成を初めて提案し、さらに本構成を用いることにより偏波ゆらぎによる受信感度劣化量がわずか0.4dBにおさえられることを理論的に示した。さらに、ヘテロダイン方式光ファイバ受信系において、初めて偏波ダイバーシティ構成を用いた変復調実験を行い、偏波ゆらぎによる受信感度劣化量をわずか0.5dBにおさえられることを実験的にも確認し、本構成の有効性及び解析結果の妥当性を明らかにした。

次に、ヘテロダイン方式光受信系のなかでも、高感度かつ実用的なFSKヘテロダイン方式遅延検波受信系の感度解析法を提案し、また実験により得られた受信感度特性と比較することにより、解析結果の妥当性を示した。さらに、解析結果をもとに、実際にFSKヘテロダイン方式として最良の67フォトン/ビットの受信感度及び送信系に光電力増幅器を用いない構成において初めて308kmの無中継伝送が可能であることを確認し、FSKヘテロダイン方式による中継間隔増大の可能性を示した。

さらに、送信信号の偏波状態の他、搬送波周波数、受信光信号電力のゆらぎが複合的に生じる場合にも安定に動作する受信系構成法を提案するとともに、これらのゆらぎに対して安定に動作することを、提案した偏波ゆらぎモデルを用いた解析および実験により確認した。さらに、提案した構成法に基づいたFSKヘテロダイン方式光伝送装置を現場環境下に設置し、実際に海底に布設された光ファイバケーブルを主体とした伝送路を用いて伝送特性の評価を行う

ことにより、現場環境下でも安定な伝送が実現できることを明らかにした。

最後に、FSKヘテロダイン方式光受信系の高感度特性を生かした、光直接増幅中継伝送系を構成し、符号伝送速度2.488GB/sの光直接増幅中継伝送実験を行い、初めて2,200kmにわたる非再生中継伝送が可能であることを明らかにし、光直接増幅中継伝送による再生中継間隔の飛躍的増大の可能性を示した。

## 論文審査の結果の要旨

今日の光ファイバ通信は、強度変調-直接検波方式であり、レーザー光のコヒーレンス性を十分利用しているとはいえない。本論文は、将来の長距離通信方式として注目されるコヒーレント光通信に関するもので、具体的には、変調にFSK方式、復調にヘテロダイン検波方式を用いた光ファイバ伝送系の構成法を確立しようとするものである。

ヘテロダイン方式では、光ファイバ伝送中に生じる偏波ゆらぎ、送信および局発レーザーの位相ゆらぎ等、直接検波方式にはない問題点がある。著者は、まず、長距離光ファイバを通過してきた光の偏波ゆらぎを定量的に把握するため、ファイバの複屈折性に対する適切なモデルおよびゆらぎ量を評価するパラメータを提案し、これに基づいて詳細な解析を行い、偏波ゆらぎの時間依存性、ファイバ長依存性などを明らかにしている。また、室内の実験用ファイバおよび実際に布設されているファイバを用いた実験によって、解析結果の妥当性を示している。

次に、偏波ゆらぎがある場合の受信方法について種々考察し、独自の方法としてベースバンド合成型の偏波ダイバーシティ方法を提案し、解析によって受信感度劣化量を求め、非同期検波時にも0.4 dBの劣化量で受信できることを示している。また、ヘテロダイン方式デジタル光ファイバ伝送系において、初めて偏波ダイバーシティ構成を用いた変復調実験を行い、予測値に近い劣化量で受信できることを確かめている。

ヘテロダイン受信においては、偏波ゆらぎだけでなく、送信用および局部発振用レーザー光の位相ゆらぎも問題になる。さらに、中間周波およびベースバンド部に用いるフィルタの特性も受信感度に影響を与える。著者は、FSK遅延検波方式ヘテロダイン伝送系について、これらの点を考慮した新しい感度解析法を提案し、解析と最適化を行っている。さらに、これに基づいて2.488GB/sの伝送系を構成し、実験によって解析の妥当性を示すとともに、光電力増幅器なしに300kmを越える記録的な長距離伝送実験に成功している。

最後に、著者は、以上の結果を基礎とし、さらに自動周波数制御、自動利得制御回路を付け加え、呉-伊予-大分間に布設されている海底光ファイバケーブルを用いて2.488GB/sのFSKヘテロダイン伝送系を構成し、中継実験の結果、長時間、安定に予期した動作の得られることを確認している。さらに、Erドープ光ファイバ増幅器を用いることによって、直接増幅だけで2200kmに及ぶ記録的な、大容量長距離ヘテロダイン伝送実験にも成功している。

本研究は、FSKヘテロダイン伝送方式を詳細に考察し、その構成法を確立するとともに、実験によってその有効性を確かめ、さらにいくつかの記録的な実験結果を得たものである。本論文は光通信工学の発展に寄与する所が大きく、博士論文として価値あるものと認められる。