



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	A Study on Optical Fiber Characterization Method for Space Division Multiplexing Transmission Line Utilizing Swept-Frequency Interferometer [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	大野, 慎悟
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	乙第7061号
Issue Date	2018-09-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/71852
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Shingo_Ohno_review.pdf, 審査の要旨



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 大野 慎悟

審査担当者 主 査 教 授 足立 智
 副 査 教 授 戸田 泰則
 副 査 教 授 齊藤 晋聖 (本学大学院情報科学研究科)

学位論文題名

A Study on Optical Fiber Characterization Method for Space Division Multiplexing Transmission Line Utilizing Swept-Frequency Interferometer

(周波数掃引光干渉計を用いた空間多重伝送路用光ファイバ評価技術に関する研究)

インターネットサービスの普及に伴い、光通信トラフィックは年々急速に増加し、光伝送システムの伝送容量拡大の需要が高まっている。これまでは、時間分割多重伝送や波長分割多重伝送等の信号多重化技術により、従来のシングルモードファイバ (SMF) を有効利用しながら伝送容量拡大が達成されてきた。しかしながら既存の SMF では、入力光パワー等の物理的制限により実現可能な伝送容量は一芯当たり 100 Tbps 程度と言われている。この制限を打破して更なる伝送容量拡大を達成するには、新規構造光ファイバを用いた新たな信号多重化技術が必要不可欠である。そこで近年、空間多重伝送技術による伝送容量拡大が提案されている。

空間多重伝送技術は、伝送媒体に数モードファイバもしくはマルチコアファイバを用い、複数の伝搬モードもしくはコアで信号を多重化する技術である。近年では、数モードマルチコアファイバを用いた Pbps 級の超大容量空間多重伝送の実証も報告されており、空間多重伝送技術は大きな注目を集めている。空間多重伝送においては、空間チャンネル間の伝搬遅延差、光損失差、クロストーク等の空間チャンネル依存パラメータが伝送性能を大きく左右する。一方、これらのパラメータはファイバ曲げ・ねじれ等の要因により変化することが知られており、実際の伝送路においては、ケーブル構造や配線状況により設計時と異なる値を持つことが想定される。そのため、空間多重伝送路として性能を担保するためには、伝送路構築・保守・運用の各段階においてこれら空間チャンネル依存パラメータを正確に評価することが重要になる。

一般に、空間多重伝送路評価にはインパルス応答測定がよく用いられる。しかしながら、インパルス応答測定では遅延分解能が試験光のパルス幅と受信系の応答速度に制限され、高分解能化のためには短パルス光源と高速な受信系を要するために装置構成が複雑化・高コストになるという問題がある。一方、インパルス応答測定と同様に空間多重伝送路評価可能な技術に周波数掃引光干渉計を用いる測定法がある。この測定法では、測定系は周波数掃引光源と干渉計のみで構成され、周波数掃引した連続光を試験光として干渉ビート信号の周波数領域で光伝搬遅延を解析する。本測定法はインパルス応答測定と比較して簡易な構成である上、周波数掃引幅を拡大することで容易に高分解能化が可能という利点を持つ。

このような研究背景のもとで、空間多重伝送路の正確な性能評価と効率的な保守運用の実現を目的として、周波数掃引光干渉計を応用した空間多重伝送路評価技術の新規創出及びその高度化をおこなっている。本論文は 6 章から構成されており、各章の要約は以下の通りである。

第1章は、序論であり、研究背景として空間多重伝送技術の概要と研究動向および課題について述べている。また、本研究の位置付けと本論文の構成について記述している。

第2章では、周波数掃引光干渉計を用いた光反射測定 (C-OFDR) の概要と、測定される後方レイリー散乱光振幅波形の基本特性について述べている。C-OFDR で観測される後方レイリー散乱光振幅波形は、光ファイバ中の屈折率揺らぎ分布に起因する固有の干渉パターン (レイリー散乱シグネチャ) を形成し、ファイバの温度・歪変化に対してスペクトルシフトする。また、光源の位相雑音の影響を低減することで上記レイリー散乱シグネチャを長距離まで再現性良く得られることが示されている。

第3章では、第2章で述べたレイリー散乱シグネチャを用いた数モードファイバのモード間遅延時間差分布測定法について記述されている。用いた測定法における温度・歪等の外部環境変化によって生じるレイリー散乱シグネチャのスペクトルシフトを複数の伝搬モードについて測定し、スペクトルシフトが生じる地点に対応する遅延時間を比較することで、モード間遅延時間差の非破壊分布測定を初めて実現している。

第4章では、評価対象を結合型マルチコアファイバとし、レイリー散乱シグネチャを用いた結合型マルチコアファイバの空間モード分散分布測定法について述べている。本測定法では、結合型マルチコアファイバにおいてレイリー散乱シグネチャが複数の遅延時間成分を持つことを利用し、レイリー散乱シグネチャの自己相関を任意ファイバ区間で計算することにより、空間モード分散の非破壊分布測定を初めて実現している。

第5章では、周波数掃引光干渉計を用いた数モードファイバのモード間遅延時間差の高分解能測定法について述べている。第3章の測定法では分布測定可能であるのに対し、本章の測定法では End-to-End 測定に特化し、周波数掃引透過光の干渉ビート信号の位相を複数モードで比較することにより、従来よりも1桁以上高分解能な遅延時間差測定が可能であることを示している。

第6章は、以上の章の結論として、本研究で得られた結果の要点を述べている。

以上、本研究では、1) レイリー散乱シグネチャのスペクトルシフトを利用した数モードファイバのモード間遅延時間差の非破壊分布測定法、2) レイリー散乱シグネチャの自己相関を利用した空間モード分散の非破壊分布測定法、3) 周波数掃引光干渉計を用いた数モードファイバのモード間遅延時間差を従来よりも1桁以上高い分解能で測定する手法の3つを開発し、実証している。これらの成果は、空間多重伝送用ファイバ単体の評価だけでなく、ケーブル構造や配線状況が設計時と異なる敷設後の空間多重伝送路の効率的な保守運用への貢献が大いに期待できる。

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