

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	光ファイバの偏波に着目した分布センシングに関する研究
Title(English)	
著者(和文)	野田康平
Author(English)	Kouhei Noda
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12451号, 授与年月日:2023年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:中村 健太郎,梶川 浩太郎,山口 雅浩,金子 寛彦,植之原 裕行
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12451号, Conferred date:2023/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of Graduate major in	電気電子 ライフエンジニアリング	系 コース	申請学位 (専攻分野)： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	(工学)
学籍番号： Student ID Number			指導教員 (主)： Academic Supervisor(main)	中村健太郎	
学生氏名： Student's Name	野田康平		指導教員 (副)： Academic Supervisor(sub)		

要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

本論文は「光ファイバの偏波に着目した分布センシングに関する研究」と題し、7章から構成されている。

第1章「緒論」では、インフラや工場設備の保守などに対応するために、広域にわたって空間的・時間的に連続した監視が可能な光ファイバ分布型センサが有効な技術であることを述べ、これまでに開発された手法を概観した。従来法は主に光ファイバの伸びの検出を行うものであるが、側圧に感度を有する手法が応用上必要とされていることを指摘し、光ファイバ中の偏波に着目して側圧の分布測定を可能とする手法を開発することを本論文の目的と定めた。

第2章「信号位置分解のための相関領域反射計の理論」では、偏波の分布測定を行うことに先立ち、光ファイバの長さ方向に沿った分布測定を行う手法のひとつである光相関領域反射計の一般化を行った。まず、フレネル反射、レーリー散乱、ブリルアン散乱に対する相関ピーク形状を導出した。次に、光波コヒーレンス関数を周波数方向に拡張した概念である遅延干渉スペクトル関数を定義し正弦波変調の場合の解析解を求めた。

第3章「偏波と干渉の理論」では、光ファイバに沿って偏波状態を測定する手法を開発する準備として、光ファイバ中の偏波状態の記述方法について完全偏光の場合と部分偏光の場合に分けて整理した。また、それらを光ファイバ分布センサに応用するために完全偏光の干渉と部分偏光の干渉についてモデル化した考察を行った。そして、得られたモデルと定式化が適切であることを実験により確認した。

第4章「偏波光相関領域反射計の提案」では、偏波分布を測定する光相関領域反射計の実現方法を提案している。まず、信号光と参照光の干渉信号のパワーが信号光と参照光のストークスパラメータ、偏光度 (偏波の度合い)、ポアンカレ球上でなす角により表わされることを示した。そこで、様々な偏波状態の参照光に対して測定した結果に対して最小二乗法を適用して偏波状態を推定する手法を考案した。この原理を検証するために、様々な既知の偏波状態をもった信号光と参照光を干渉させる実験を行い、参照光の数やポアンカレ球上での配置方法と偏波状態の推定誤差について論じた。次に、空間分解能について検証し、複屈折測定の精度と空間分解能の関係についての考察も行い、信号の劣化が許容できる範囲での測定可能な複屈折の範囲は $7.7\text{--}1800\text{ deg/m}$ であると示した。これは、光ファイバへの側圧 $0.1\text{--}1300\text{ N/m}$ に相当し、人が光ファイバを踏んだ際の側圧 (約 2 N/m) などが測定可能範囲に入ものであることを示した。

第5章「偏波光相関領域反射計の実装」では、参照光の偏波状態を、光パワーを変えずに高速に制御できる偏波コントローラとしてピエゾ素子駆動のスクイーズ型電圧制御偏波コントローラを採用した。そして、この偏波コントローラへの入力偏波状態の校正法を提案し、この実験系を用いていくつかの測定検証を行った。まず全長 12 m の光ファイバの中央 2 m にパドル型偏波コントローラで偏波の遷移を与え、それを提案手法で測定し、その結果について考察を加えた。さらに提案手法を高速化するために、光相関領域反射計の検出系に電圧制御発振器を用いた高速掃引局部信号源を導入し、掃引周期で繰り返す検波波形の位相ずれを利用する方式を検討した。

第6章「複屈折測定への応用」では、光ファイバ中の複屈折現象について概観した後、ロールに巻かれた光ファイバの偏波ビート長を本研究で提案した偏波光相関領域反射計によって測定できることを実験的に示した。すなわち、直径 210 mm のポピンに巻かれた 200 m の光ファイバの中央部 80 m に沿った 300 点の偏波状態を提案手法によって測定した。実験に用いた光ファイバのビート長の理論値 31.4 m に対して、実測値は 30.2 m であり、計測された複屈折の値が理論値と誤差の範囲で一致することを示した。

第7章「結論」では、本研究で得られた成果をまとめるとともに、今後の課題について述べた。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ (T2R2) にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

(博士課程)
Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： 電気電子 系
Department of Graduate major in ライフエンジニアリング コース
学籍番号：
Student ID Number
学生氏名： 野田康平
Student's Name

申請学位(専攻分野)： 博士 (工学)
Academic Degree Requested Doctor of
指導教員(主)： 中村健太郎
Academic Supervisor(main)
指導教員(副)：
Academic Supervisor(sub)

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

The thesis is titled "A Study on Distributed Sensing Focusing on Polarization of Optical Fibers" and consists of seven chapters.
Chapter 1 introduces optical fiber distributed sensing as a technology for continuous spatial and temporal monitoring of infrastructure and plant facilities, reviews existing methods, and identifies the need for a method that detects lateral pressure. The thesis's purpose is to develop a method that enables measurement of lateral pressure distribution by focusing on polarization in optical fibers.
Chapter 2 presents the theory of correlated domain reflectometry for signal positioning decomposition, a method for measuring the distribution along the length of an optical fiber before measuring the distribution of polarization.
Chapter 3 discusses the theory of polarization and interference, preparing for the development of a method to measure the polarization state along an optical fiber.
Chapter 4 proposes the Polarization Optical Correlation Domain Reflectometer, a method to measure polarization distribution, and performs experiments to verify the principle.
Chapter 5 implements the proposed method and introduces a calibration method for the input polarization state. Chapter 6 experimentally demonstrates the measurement of the polarization beat length of an optical fiber wound on a roll.
Finally, Chapter 7 summarizes the results and discusses future issues. The thesis contributes to the development of methods for monitoring the health and safety of infrastructure and plant facilities.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note: Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).