

審査の結果の要旨

氏名 樊 昕 昱

本論文は、High performance reflectometry and dynamic grating-based distributed fiber-optic sensor using synthesis of optical coherence function (光波コヒーレンス関数の合成法による高性能リフレクトメトリとダイナミックグレーティングを用いた分布型光ファイバセンサ)と題し、英文で書かれていて、7章より成る。

第1章は序論であり、本論文の背景と目的が述べられている。光ファイバセンサの研究の歴史を概説し、反射光分布計測法(リフレクトメトリ)ならびに光ファイバに沿う歪や温度の分布を計測する技術について述べ、本博士論文で提案・研究する技術について概論している。

第2章では、本論文で提案・研究する分布型センシング技術の基礎となる「光波コヒーレンス関数の合成法：SOCF法」について、その原理と機能を述べている。本手法は、干渉計において光源の周波数や強度、さらには位相を変化させつつ干渉出力を時間平均して観測することにより、光波の干渉状態を任意に合成することを可能にする。この手法により、光ファイバに沿う反射光の分布測定ができ、さらには、光ファイバ中の光波の属性も制御できて、さまざまな物理量の分布測定も可能になる。

第3章では、新たな分布型光ファイバセンシング技術の原理を提案し、理論解析によりその機能を評価している。エルビウム添加光ファイバ(EDF)は光増幅特性を有する。そのゲインは信号光の強度により飽和する。そこで、EDFに同一の光源を発生した光を対向伝搬させると、両光が作る定在波により飽和特性が周期的に変化する。この結果、ゲイングレーティングが形成される。本論文では、SOCF法により、このダイナミックグレーティングの形成位置を局在化させ、その位置を掃引することで、分布的な歪センサを構築できることを提案している。EDFとしては偏波維持光ファイバ(PM-EDF)を用い、一方の固有偏波でグレーティングを書き込み、他方の固有偏波で読み出す。両固有偏波間の伝搬速度の違いから、読み出し光に対するブラッグ周波数は書き込み光のそれと異なり、その相違が光ファイバに加わる歪や温度で変化することを計測原理として活用する。このセンシング機構を表現するシミュレーションを実施し、分布的に歪が計測可能であることを証明した。

第4章では、EDF中にダイナミックグレーティングを実験的に書き込み、これをSOCF法によって制御することに成功した。ここでは、偏波維持型ではない通常のEDFを用いており、SOCFを適用してグレーティングの反射率、反射スペクトル幅等を制御することに成功した。本光ファイバの励起状態の時定数を勘案して、安定したグレーティングを書き込んで読み出すための条件を解析し、その結果を実験系に適用して、良好なデータの取得を実現している。

第5章では、PM-EDFを導入し、一方の固有偏波で書き込んだダイナミックグレーティングを他方の固有偏波で読み出す実験を行った。種々の反射や偏波間のクロストークにより、測定データには多くの雑音が含まれていた。これを排除する信号処理方法として、書

き込み光と読み出し光にそれぞれ異なる周波数で変調を施し、反射光をこの2つの周波数でタンドムに同期検波する方法を考案して、格段の性能向上に成功した。光ファイバに歪を加えて読み出し光の周波数、つまりブラッグ条件が変化することを実験的に確認することに成功した。また、同様に光ファイバの温度を変えて実験をし、本システムが温度センサとして機能することも確認した。設定する空間分解能次第では、光ファイバ中での誘導ブリルアン散乱を用いた歪や温度センサよりも高い感度を実現することができる。このシステムに SOCF 法を導入し、第3章で提案した歪分布センシング法の実験系を構築し、実際に光ファイバに沿う歪の分布測定にも成功した。空間分解能は 20cm である。

第6章では、上記とは異なる光ファイバ分布型センシング技術を提案して、その機能実証に成功している。光ファイバ通信システムの送信部分や、光ファイバ増幅器等の光ファイバ機能性サブシステムについて、製造時の機能診断や運用時の故障診断のために、光ファイバ反射光分布測定法（リフレクトメトリ）として、cm オーダの空間分解能、0.1dB オーダの反射率精度、数 10m の測定範囲が求められている。しかし、従来のリフレクトメトリ法では、上記の要求の全てを満たすことはできなかった。本論文では、SOCF 法によって高い空間分解能を実現し、さらに波長平均法を導入して、反射率精度を高める方法を提案した。ここでは、SOCF のための周波数変調と波長平均法のための波長掃引とを同時に実行できる技術を発明し、測定速度の向上も達成した。また、測定感度の向上により見えてきたゴースト反射の原因が、上記各種変調による側帯波によるものであることをつきとめ、このゴースト反射を除去する方法も発明して、さらなる精度向上に成功した。

第7章は結論であり、本論文の成果をまとめている。

以上、本論文では、連続光波の干渉特性を任意に合成する光波コヒーレンス関数の合成法を活用して、エルビウム添加光ファイバの光増幅特性を制御することにより、新しい分布型歪センシング技術を提案・実証するとともに、光ファイバ機能性サブシステムの診断技術として、空間分解能、反射率測定精度、測定速度において従来法を凌ぐ新たなリフレクトメトリ技術も提案・実証した。これらはいずれも独創的な発想に基づく新しい技術であって、電子工学、特にフォトニックセンシングへ大きな貢献を果たしている。よって、本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。