

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	光ファイバ分布型音響センサの応用に関する研究
Title(English)	
著者(和文)	有岡孝祐
Author(English)	Takahiro Arioka
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12450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,徳田 崇,沖野 晃俊,宮本 智之,西村 康志郎
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12450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)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	有岡 孝祐	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	中村健太郎	教授	西村康志郎	准教授
	審査員	徳田 崇	教授		
		沖野 晃俊	准教授		
宮本 智之		准教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「光ファイバ分布型音響センサの応用に関する研究」と題し、和文全6章から構成されている。

第1章「序論」では、自然災害の甚大化やインフラの老朽化に対応するために、広域にわたって空間的・時間的に連続して監視するセンシング技術が必要になっていると述べている。そして、光ファイバ分布型音響センサ (Distributed Acoustic Sensor, DAS) が有効な技術であるとし、海底地震の観測のためにそれを用いる際の課題の抽出と解決を本論文の目的と定めている。

第2章「光ファイバセンサ技術および研究」では、光ファイバセンサ技術全般について概観した後、DASの原理と基本的性質についてまとめている。また、DASの応用と課題について述べている。

第3章「DASにおけるノイズの低減」では、DAS測定の問題である光量低下による雑音について考察と実験を行っている。入射光と後方散乱光に対して双方向の光増幅器による光量回復を行い、それに伴う位相差雑音の変化を実測している。また、入射光強度を高めると非線形光学効果により雑音が増大することを観測している。このとき、光スペクトルの観測から、距離によって分散の度合いが変化しており、自己位相変調が起きていることを明らかにしている。非線形光学効果の閾値を超えない程度に入射光強度を増幅し、帰路の光増幅器の増幅度を調整することで、全体の平均位相差雑音を40%程度まで抑制することに成功している。複数の双方向増幅器を導入することで、さらに長距離測定が可能になると予測されるが、帰路の光増幅器による自然放出光と参照光のビート雑音が主な雑音になるため、双方向増幅器の個数を増やし過ぎても雑音が大きくなる可能性があるとしている。平均位相差雑音を最小にするような最適化として、得られた位相差雑音分布を利用して複数の双方向増幅器に関するシミュレーションを行っている。測定長300kmを例として、双方向増幅器間の最適距離について考察し、75km間隔で双方向増幅器4つを配置したときに平均位相差雑音が最小になることを示している。

第4章「DASデータにおける異常検知手法検討」では、DASにより取得したデータによる異常検知手法、特に海底ケーブルを使用した地震検知について検討している。光ファイバケーブル上の位置により信号対雑音比や応答が異なることや、大量のデータの処理、多点測定データの有効活用などを考慮した新しい地震検知手法を考案している。すなわち、限定的な帯域のスペクトル強度分布におけるハフ変換と周波数-波数 (Frequency-Wavenumber, F-k)空間図における畳み込みニューラルネットワーク (Convolutional Neural Network, CNN)について検討している。ハフ変換については、場所によって信号対雑音比が悪い部分があっても広範囲のデータを使用することで地震を検知できる利点があるとしている。また、F-k空間図におけるCNNについては、測定データの信号対雑音比が悪くてもF-k領域において振動の分類を行うことができると述べている。

第5章「海底光ケーブルを用いた地震観測」では、東京大学地震研究所により設置された三陸沖光ケーブル式海底地震・津波観測システムの予備ファイバを用いて、2019年11月18日から12月2日に取得したDAS測定データを解析し、第4章で検討した異常検知手法の適用性を検証している。また、地震に加え、船舶の航行や脈動現象の観測も実現している。さらに、各種波動現象の分散、速度などの解析を詳細に行うことができたとしている。DAS測定データに対して第4章で検討したハフ変換による地震検知とCNNによる地震検知を適用し、測定期間中にハフ変換により700の地震を検知し、CNNにより544の地震を検知することができたと述べている。また、2つの手法を併用して782の地震を検知している。これらを日本海溝海底地震津波観測網の海底地震計と比較し、同程度の検知数、精度であったとしている。これにより、開発した2つの異常検知手法をDASに適用することで、従来の地震観測システムと同様な海底地震観測ができる可能性があるとしている。一方、開発した2つの異常検知手法と従来の海底地震計と検知方法には、それぞれ検知可能な振動や環境に特徴があり、相補的に使うことでより広範囲で精度の高い地震検知や地震の解析ができると述べている。

第6章「結論および今後の課題」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ている。

以上を要するに、本論文は光増幅器を用いたDASの長期距離化手法を提案するとともに、海底地震観測への応用のためにハフ変換とF-k空間スペクトルへのCNN適用などの検知アルゴリズムを開発したもので、工学上、工業上貢献するところが大きい。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として十分価値のあるものと認められる。

注意:「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチポジトリ(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。