

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)	論文要旨
Type(English)	Summary

## 論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： 電気電子  
Department of Graduate major in ライフエンジニア リング 系  
コース

申請学位 (専攻分野)： 博士  
Academic Degree Requested Doctor of (工学)

学生氏名： 有岡 孝祐  
Student's Name

指導教員 (主)： 中村健太郎  
Academic Supervisor(main)

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「光ファイバ分布型音響センサの応用に関する研究」と題し、6章から構成した。

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指摘した。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た。

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た。また、DASの応用と課題について述べた。

第3章「DASにおけるノイズの低減」では、DAS測定の課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た。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た。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た。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た。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た。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。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た。測定長300 kmを例として、双方向増幅器間の最適距離について考察し、75 km間隔で双方向増幅器3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た。

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た。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た。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) について検討した。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。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示した。

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た。また、地震に加え、船舶の航行や脈動現象の観測も実現した。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。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。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。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ことがわかった。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た。

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  
Department of, Graduate major in ライフエンジニア リング 系  
コース

申請学位 (専攻分野)： 博士  
Academic Degree Requested Doctor of (工学)

学生氏名： 有岡 孝祐  
Student's Name

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 )

In this study, aiming at practical implementation of Distributed Acoustic Sensing (DAS), possibility of a seafloor earthquake observation using DAS was studied and demonstrated. First, noise associated with long-distance transmission and anomaly-detection in the DAS data is studied. I proposed to introduce a bidirectional optical amplifier composed of erbium-doped fiber amplifiers to the DAS system to reduce noise for long distance measurements. Optimizing the gain of bidirectional amplifier, the noise was successfully reduced to 40% of the original level. Using the obtained noise distributions, the noise of the multiple bidirectional optical amplifiers was optimized through simulation.

Second, to solve the problem of anomaly-detection of the DAS data, I proposed a new method for seismic detection by considering the following characteristics of DAS: the signal-to-noise ratio and response coupling are changing from place to place; a large amount of data can be obtained at every measurement point along a fiber cable with high spatial density.

I considered the two seismic detection methods: Hough transforms of the spectral intensity distribution in a limited bandwidth and Convolutional Neural Network (CNN) in the Frequency wavenumber (F-k) space diagram.

The applicability of the developed anomaly-detection method was verified by analyzing the DAS measurement data obtained from November 18 to December 2, 2019 using a dark fiber in the seafloor seismic tsunami observation cable system at Sanriku offshore installed by the Earthquake Research Institute of the University of Tokyo in 1996. The proposed system detected 782 earthquakes using both of the two anomaly-detection methods. It was found that the two methods observed 70% of the earthquakes detected by the Seafloor observation network for earthquakes and tsunamis along the Japan Trench (S-net) seismometers. It indicates that the DAS system utilizing the two detection methods is feasible for seafloor seismic observation as in the same performance level of the conventional seismic observation systems. The proposed DAS system and the traditional seafloor seismic detection system have their own detectable vibration levels and applicable conditions. It means that we should use these two systems complementarily for more extensive and accurate detection and analysis of earthquakes.

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 1copy 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).