

博士論文審査の結果の要旨

氏名	小川 顕
学位名	博士（工学）
学位番号	甲第730号
論文題目	装着型デバイスを目指した分散型光ファイバセンサシステムに関する研究
論文審査委員	主査 石澤 広明 齊藤 保典 上口 光 橋本 昌巳 早瀬 敏幸（東北大学）

(博士論文審査の結果の要旨)

本論文は、光ファイバセンサシステムのバイタルサイン測定への適用について実験的に検証するとともに、その装着デバイスに着目したシステム要素の研究開発をまとめたものである。

第1章では、光ファイバセンサについて概観し、本論文で主として取り扱ったファイバブラッググレーティング (Fiber Bragg Grating, FBG) センサ、複屈折干渉センサ等、センサ素子を設けた点の測定を行うタイプと、Optical time-domain reflectometer (OTDR), Brillouin OTDR (BOTDR), Optical frequency domain reflectometer (OFDR)等のように光ファイバ自体が連続的にセンサとして機能するタイプがあることを述べ、前者の分散型光ファイバセンサのバイタルサイン等の装着型機器の基盤研究の目的を述べている。

第2章では、バイタルサイン測定の実用分野での応用として、FBGを用いた心音 (phonocardiogram, PCG), 心尖拍動 (apexcardiogram, ACG), 呼吸の同時測定が可能であることを検証した。PCG, ACG, 呼吸はそれぞれ異なる周波数の振動として測定されるため、単一のFBGセンサで測定した波形データにバンドパスフィルタを適用することで、同時に測定することが可能であることを明らかにしている。

第3章では、装着可能なサイズのFBGセンサの測定装置 (インテロゲータ) 開発についてまとめている。従来の光ファイバセンサのインテロゲータは測定系が複雑な分光方式や干渉計方式を用いているため、大型で振動に弱く、装着型の応用には適していなかった。傾斜フィルタ方式を採用した検波方式をもとにした試作機器では、センサの波長付近でリニアに反射・透過率が変化する傾斜フィルタを用いている。その結果、従来の方式と同程度以上に高精度な測定が実現でき、サイズ74×57×90mm、重さ230gの小型化を達成し装着型に見通しを得ている。

第4章では、分散型光ファイバセンサの応用として、fast軸、slow軸を45度回転させて直列接続した2種類の複屈折ファイバによる複数の物理量の同時測定を検討した結果を述べている。複屈折ファイバのfast軸、slow軸によって光路長が異なるために生じる干渉波形を用い、ファイバに加わった圧力と温度の物理量測定を検証した。その結果、各複屈折ファイバで得られる干渉波形をバンドパスフィルタで切り出すことにより、圧力および温度の同時測定ができることを明らかにしている。

第5章では、FBGセンサの測定精度の理論限界について、検波方式による違いを理論的に検証した結果を述べている。これまで分光方式における繰り返し性の限界は検討されていたが、干渉計方式の繰り返し性に関する理論的な評価は行われていなかったことを述べ、干渉計方式について同様に繰り返し性の理論限界であるクラメル・ラオの下限が計算できることを見出し、実際に計算を行っている。その結果、同じスペクトル幅のFBGセンサに対し、干渉計方式では干渉計の光路長差を適切に設定することにより、分光方式よりも高い精度での測定ができることを明らかにしている。さらに、光路長差が小さ過ぎる場合も大き過ぎる場合も、急激に繰り返し性が悪化することを示すと同時に、傾斜フィルタ方式では、干渉方式とほぼ同程度の精度であることを明らかにしている。

第6章では、本論文を総括するとともに、社会実装など実用展開を展望した。FBGのインテロゲータの小型を実現し、装着型デバイスとして在宅での血圧、血糖値の継続的モニタリングが実現可能としている。

本論文は分散型光ファイバセンサに関して、理論的な測定精度の解析、新規な検波方式を採用した高精度インテロゲータの開発、および複屈折ファイバを利用した温度・圧力同時測定システムの開発を展開しており、独創性と学術的価値を有するとともに、高い実用性を認める。

以上のことから、本論文は学位論文として認められるものと判断する。

(公表主要論文名)

- ① Ken Ogawa, Shouhei Koyama, Yuuki Haseda, Keiichi Fujita, Hiroaki Ishizawa,

Keisaku Fujimoto

"Wireless, Portable Fiber Bragg Grating Interrogation System Employing Optical Edge Filter"

MDPI *sensors* 第 19 卷 14 号 3222-1 頁~3222-12 頁, doi:10.3390/s19143222

(2019 年 7 月に掲載)

②Ken Ogawa, Keiichi Fujita, and Tsutomu Yamate

"Simultaneous measurement of temperature and pressure with serially spliced reflecting birefringent optical fibers"

AIP Advances 第 9 卷 10 号 105105-1 頁-105105-5 頁, doi:10.1063/1.5109607

(2019 年 10 月に掲載)