

博士論文審査の結果の要旨

氏名	長谷田 祐喜
学位名	博士（工学）
学位番号	甲 第782号
論文題目	光ファイバ型ひずみセンサによる簡便で非侵襲な生体計測の実用化に向けた研究
論文審査委員	主査 河村 隆 坂口 明男 金井 博幸 上口 光 飯塚浩二郎（芝浦工業大学）

（博士論文審査の結果の要旨）

本論文はファイバブラッググレーティング (FBG) を用いた光ファイバ型ひずみセンサに関する研究成果について記したものであり、低拘束かつ非侵襲で人体の脈波および血糖値を計測するシステムの実用化について論じている。

既存の研究により FBG センサを用いたバイタルサイン計測の可能性が示されており、実用化を目指した研究が続けられているが、いつでも、誰でも、どこでも使えるような実用化には、計測装置の小型化を行うことと、完全非侵襲を実現するための汎用的な検量モデルの構築法の確定とモデル構築が必要である。また、センサ接触子の取付位置による計測結果への影響が明らかでないなど簡便化への課題がある。また、センサの高感度化と S/N 比の向上により高精度の測定が可能になることは実用化へも寄与する。本論文では、高感度化のためセンサの素材についても検討している。これらの課題へのアプローチにより本論文では FBG センサによるバイタルサインの測定の実用化について論じ、具体的に方法論や解決策を模索するとともに評価している。

論文の構成と各章の内容の概略は以下の通りである。

第1章は序論であり、本研究の背景、他研究者によるバイタルサイン計測の先行研究と本研究で注目する FBG センサの研究的位置づけとその課題を提示している。

第2章では FBG センサの計測原理と歪検出装置の詳細および解析手法を紹介している。原理的には、脈動により膨張・収縮により血管の膨張・縮退に伴う変形が FBG センサへ加わる歪の変化となり、FBG センサの出力のフィルタリングにより反射周波数の変化を取り出して歪を電気信号に変えている。この歪変化は脈動に伴うものであり、検出された歪信号には複数のバイタルサインを内包していると考えられる。

第3章では非侵襲血糖値計測について議論して、従来技術の観血式血糖値計測に対して、非侵襲な FBG センサによる血糖値計測の可能性について論じている。脈動による歪による出力信号にたいして一次微分を施した後に規格化する手法を提案し、観血式血糖値計の検量線による血糖値と比較検証を実施し、提案手法は臨床的に十分な精度が得られていることを示している。

第4章では手首での脈動計測位置の変位が出力に与える影響について論じている。FBG センサの手首での計測位置を尺骨動脈、橈骨動脈それぞれ各4点ずつ計測し、各計測点での脈波計測可否について示し、FBG センサの最適な位置決め手法について指針を与えている。

第5章ではセンサの高感度化に関して、プラスチック製 FBC センサによる脈動計測と血圧算出について紹介している。有機高分子 (PMMA) で構成されたプラスチック製 FBC センサを用いることでより高精度の脈動ひずみ計測が可能となることを実証している。また、脈波の高感度計測から血圧計測の可能性について論じている。また、プラスチック製 FBC センサによる指尖部での脈動計測について議論し、指尖部で計測することで、位置ずれの影響が少なく、簡便な脈波計測手法を実現している。

第6章は結言として本研究のまとめ、簡便なバイタルサイン計測システムの実用化に向けた本研究の貢献を説明している。

本研究は FBG ひずみセンサによる簡便かつ非侵襲なバイタルサイン計測の実用化研究であり、

実測データを計測工学的アプローチで処理することにより、歪信号から脈波、血糖値、血圧の情報を取り出して精度よく推定できること示している。これらの研究成果は学術的な価値があり、実用化に向けての工学的意義も大きく、その内容は博士の学位論文に値すると判断した。

(公表主要論文名)

論文発表 (1) (レフェリー制のある学術雑誌)

(1-a) Yuki Haseda, Julien Bonafacino, Hwa-Yaw Tam, Shun Chino, Shouhei Koyama, Hiroaki Ishizawa. Measurement of Pulse Wave Signals and Blood Pressure by a Plastic Optical Fiber FBG Sensor. SENSORS. 2019, 19(23), 5088, <https://doi.org/10.3390/s19235088>

(1-b) 長谷田 祐喜, 増子 勝, 藤本 圭作, 児山 祥平, 石澤 広明. FBG センサシステムによる脈波に基づいた非侵襲血糖値計測の検証. 計測自動制御学会論文集第 57 巻第 7 号 314 頁～323 頁, 2021

(1-c) Shouhei Koyama, Yuki Haseda, Hiroaki Ishizawa, Futa Okazaki, Julien Bonafacino, Hwa-Yaw Tam. Measurement of Pulsation Strain at the Fingertip Using a Plastic FBG Sensor. IEEE SENSORS JOURNAL, vol. 21, no. 19, pp. 21537-21545, 2021.

論文発表 (2) (レフェリー制のある国際会議議事録)

(2-a) Yuki Haseda, Shouhei Koyama. Verification of FBG sensor installation range for pulsation strain signal measurement at the wrist. Proceedings of the SICE Annual Conference 2021, pp. 1178-1181, 2021.