

博士論文審査の結果の要旨

氏名	倉沢 進太郎
学位名	博士（工学）
学位番号	甲第732号
論文題目	Study on noninvasive blood glucose measurement using optical fiber sensor and its application (光ファイバセンサを用いた非侵襲血糖値計測とその応用)
論文審査委員	主査 乾 滋 高寺 政行 石澤 広明 吉田 宏昭 太田 信 (東北大学大学院医工学研究科) Arsen K. Melikov (Technical University of Denmark)

(博士論文審査の結果の要旨)

本論文は、ファイバブレッググレーティング (Fiber Bragg Grating, FBG) センサのヒトの血糖値計測への応用、FBG センサシステムの実装と運用に関する実験的研究をまとめたものである。

第1章では、高齢化社会におけるヘルスケア支援のためのセンサシステムが強く要望されているとした後、糖尿病患者が世界的に増加している背景に言及し、その治療のために自己血糖値測定 (self-monitoring of blood glucose level, SMBG) が不可欠である現状を述べている。SMBG の需要に応えるため、FBG の非侵襲血糖値計測の開発と実用化、ならびに寝具やロボティクスへの実装に関する本論文の目的を述べている。

第2章では、FBG センサの血糖値非侵襲計測について、被験者実験により検証した結果を述べている。4名の被験者実験において、観血式測定法による血糖値 (参照値) と FBG センサによる脈波パターンを測定データセットとし、反復測定をした結果を解析している。各被験者の脈波パターン中に潜在する血糖値に関する特徴因子を抽出し、これらの特徴因子を線形結合した血糖値検量線を開発することに初めて成功した。その結果、FBG で測定される被験者の脈波に潜在する特徴量と血糖値の間に有意な相関関係が判明し、臨床的に利用可能な血糖値計測精度を明らかにした。さらに、血糖値変化と脈波パターンとの因果関係について、血液の粘度変化や血管形態の変化を述べている。

第3章では、前章で明らかにした FBG センサの血糖値非侵襲計測の精度向上について、機械学習を脈波パターンに適用して血糖値の検量線を開発し、精度を検証した研究を述べている。誤差逆伝搬法のニューラルネットワーク (artificial neural network, ANN) 法を、被験者の参照血糖値と対応する脈波のデータセットに適用し、血糖値を検量する ANN モデルを反復学習法により求めた。その結果、血糖値の検量誤差は、参照値測定法と同程度の $\pm 20\%$ 以内であった。また、推算した血糖値 (検証値) の散布図を用いたエラーグリッド解析 (error grid analysis, EGA) においても、臨床的に有効なことを初めて明らかにしている。

第4章では、FBG センサをマクラに導入し、就寝中のバイタルサイン計測への適用を実験的に検証した研究を述べている。マクラの中心に頭部に垂直方向になるよう設置した FBG センサでは、被験者の「うなじ」あるいは「後頭部」から、体動の影響を受け易い一方で、脈拍や呼吸などのバイタルサインを検出可能であることを明らかにして、睡眠の質的向上に貢献可能であることを考察している。

第5章では、FBG センサを既成のロボティクス手指に設置し、脈拍、呼吸数、血圧などのバイタルサインを同時計測する実用化システムを提案した研究を述べている。20名の被験者実験では、脈拍、呼吸数、最高血圧、最低血圧を安定して測定でき、ロボティクスに搭載している会話機能や表示機能を用いて、測定前後の説明や測定結果の表示を実現し公開している。

第6章では、本論文を総括し、FBG センサによるヘルスケアシステムに基づく社会的貢献を中心に将来を展望している。

本論文は、FBG センサの血糖値非侵襲計測への適用について被験者実験をもとに検証するとともに、新たな血糖値計測システムを提案するにいたっている。さらに、ヒトのバイタルサインの同時測定を実現するための実装試験を展開している。また、脈波に血糖値変動に関する情報が含まれることを実験的に検証した点も学術的な意義が高い。

以上のことから、本論文は学位論文に値するものと判断する。

(公表主要論文名)

- ① [Shintaro Kurasawa](#), Shouhei Koyama, Hiroaki Ishizawa, Keisaku Fujimoto, Shun Chino

” Verification of Non-Invasive Blood Glucose Measurement Method Based on Pulse Wave Signal Detected by FBG Sensor System”
MDPI sensors , 17(12):2702-1 頁～2702-13 頁, doi: 10.3390/s17122702 ,
(2017 年 11 月掲載)

- ② Shintaro Kurasawa, Hiroaki Ishizawa, Keisaku Fujimoto, Shun Chino, Shouhei Koyama
“Development of Smart Textiles for Self-Monitoring Blood Glucose by Using Optical Fiber Sensor”
Journal of Fiber Science and Technology
(2019 年 12 月採択, 2020 年 3 月掲載予定)