

博士論文の内容の要旨

氏名	長谷田 祐喜
学位名	博士（工学）
学位授与年月日	2022年3月20日
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

(博士論文の内容の要旨)

(第1章：序論)

近年では、少子高齢化や生活習慣病が増加するとともに、日常生活における自己健康管理が重要視されている。このため、基礎的な生体情報である脈拍数や呼吸数、血圧などのバイタルサインと血糖値を日常生活で測定可能なデバイスの需要が増加している。近年ではウェアラブルな生体計測デバイスの研究報告が多く、製品化された例もある。例として、LEDを用いた光電容積脈波計（PPG）があげられる。PPGでは、容積脈波信号を測定することで脈拍数やストレス、酸素飽和度を算出可能であり、Apple Watch（Apple Inc.）のように製品化されたものが多い。また、容積脈波信号の形状を解析することで、カフレスでの血圧推定や採血が不要な非侵襲での血糖値推定の報告も存在する。しかし、PPGによる測定では発汗や皮膚の色などの影響で測定が不安定となる課題がある。他にも、血圧測定用のウェアラブルな生体計測デバイスとして HeartGuide（オムロンヘルスケア株式会社）があげられる。この製品はカフを搭載した腕時計型の端末で従来の血圧計と同様な精度で測定可能である。しかし、カフ以外のセンサが未搭載のため、血圧や脈拍数以外の生体情報を測定できない。また、カフの加圧を伴うため長時間の常時モニタリングは困難である。血糖値測定では、血液以外の体液中のグルコース濃度から血糖値を推定するウェアラブルな測定デバイスが報告されている。例えば、コンタクトレンズ型センサやマウスガード型センサを用いて涙液中および唾液中のグルコース濃度から血糖値を推定する報告がある。他にも、パッチ型センサや針型電極を搭載した端末で汗液や皮膚表面下の間質液中のグルコース濃度から血糖値を推定する報告もある。しかし、いずれの報告においても血糖値以外のバイタルサインが測定できないことや高感度なセンサが必要であること、体液が分泌されない場合は測定できないなどの課題が残っている。

そこで、本論文では Fiber Bragg Grating（FBG）センサを用いて、複数の生体情報を1つのセンサで非侵襲且つ低拘束に測定可能なウェアラブルな生体計測デバイスを提案する。FBGセンサは光ファイバ型のひずみセンサである。このFBGセンサを用いた生体計測デバイスを実用化するため、要求仕様として①デバイス本体が小型で軽量であること、②1つのFBGセンサでバイタルサインや血糖値を測定可能であること、③簡便で実用的な測定手法により不特定多数のユーザーにおいて測定可能とすることを満足する必要がある。①と②については、先行研究において検証が進められたが、③の簡便で実用的な測定手法に関する研究は進められていない。以上の背景から、本論文では③の実現に向けて研究を進めた。

(第2章：測定原理・装置と解析方法)

本論文では、傾斜フィルタ型FBGセンサシステムと波長掃引型FBGセンサシステムを用いて脈動ひずみ信号を測定した。測定した脈動ひずみ信号に対して信号処理や多変量ベクトル解析を適用し、バイタルサインや血糖値を算出した。そこで、FBGセンサシステムによる脈動ひずみ信号の測定原理を示すとともに、脈動ひずみ信号とバイタルサインや血糖値の関連性とその算出方法も示した。

(第3章：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)

先行研究では、脈動ひずみ信号から血糖値を算出するために被験者毎に採血を伴う検量モデル構築が必要であった。そこで、複数被験者のデータを用いて汎用検量モデルをあらかじめ構築することで、新規ユーザーは採血が不要な血糖値算出が可能か検証し、その有効性を示した。

(第4章：手首での脈動ひずみ信号測定のためのFBGセンサ設置範囲の検証)

第3章ではFBGセンサの設置位置は橈骨動脈上の一点に限られており、体動などによりFBGセンサの設置位置がずれた際には再設置の手間がかかる。そこで、橈骨動脈と尺骨動脈上の皮膚表面に複数の測定点を定義して、FBGセンサの設置位置がずれた際にも測定可能な範囲を検証した。

(第5章：プラスチック製FBGセンサによる脈動ひずみ信号とバイタルサイン測定)

第3章と第4章では、ガラス製FBGセンサを用いたが、有機高分子で形成されたプラスチック製FBGセンサも存在する。プラスチック製FBGセンサはヤング率が小さく、ひずみに対して高感度であるが生体計測への応用例は少ない。つまり、プラスチック製FBGセンサを採用することは、高い信号レベルでの脈動ひずみ信号測定により測定の簡便化・実用化につながるだけでなく、プラスチック製FBGセンサの生体計測分野への新規的応用という観点から学術的な新規性がある。そこで、左肘の上腕動脈においてプラスチック製FBGセンサによる脈動ひずみ信号測定と血圧算出を行うとともに、新たに指尖部における脈動ひずみ信号測定と脈拍数算出を行うことで、生体計測の簡便化を進めた。

(第6章：結言)

本論文の成果から、血糖値測定においては汎用検量モデルを用いることで、製品化した際にユーザーごとに検量モデルの構築が不要となり、FBGセンサを脈動ひずみが検出可能な測定点に設置するだけで簡単に血糖値を測定する可能性を示せた。また、脈動ひずみ信号測定においては、動脈上の複数の測定点での測定可能性やプラスチック製FBGセンサによる信号レベルの向上を示せたことから、日常生活での身体活動によりFBGセンサが脈動点からずれた場合や、ユーザーの脈動ひずみが小さい場合でも安定した脈動ひずみ信号測定を期待できる。以上により、本論文の目的であるFBGセンサを用いた測定手法の簡便化・実用化を進めた。