

博士論文の内容の要旨

氏名	千野駿
学位名	博士（工学）
学位授与年月日	2020年3月20日
論文題目	光ファイバ型ひずみセンサを用いた血圧予測の実用化に向けた研究

(博士論文の内容の要旨)

2019年9月、日本の高齢者人口は3588万人に増加し総人口に対する高齢者の割合は28.4%にも及んでおり、日本の高齢者人口の割合は世界最高となっている。高齢者の増加により医療費の高騰に加え医療従事者の不足が生じ、独居高齢者の在宅医療支援システムや健康管理モニタを目的としたバイタルサイン計測システムが必要とされている。その他にも健常者の日常的なヘルスケア等を目的としたバイタルサイン計測に対しても需要が高まっている。バイタルサインとは心拍数（脈拍数）、血圧、体温、呼吸状態、意識レベルのことを指し、人間の健康状態を端的に示す最も基礎的な指標とされている。これらバイタルサインを日常生活の中で計測し、健康状態を管理することで身体の異常の早期発見につながり、予防医療に役立てることができる。また、バイタルサインは身体的状況、自律神経系の変化、さらに緊張やストレスなどの精神状態の変化によっても大きく変動するため常時測定する必要がある。しかし、現在のバイタルサイン計測システムは血圧測定器に代表されるように据え置き型の製品が中心であるため身体的拘束があり常時測定は非常に困難である。

血圧の常時測定に関してはトノメトリ法が開発されているが、一般的な装置としては普及しておらず、大がかりな装置を必要とするものがほとんどであり日常生活で常時使用するのは困難である。一般的に普及している血圧計測器はカフにより上腕に圧力をかけるものが主流であり身体にストレスがかかることや連続測定を行うことができない等の課題を抱えている。しかし、仮面高血圧や、白衣高血圧に代表されるよう血圧は精神的な影響による変動が大きいため、連続測定が望まれており、一日を通しての変動を観察し記録することでより正しい血圧を把握することができる。

一方で、カフを用いない血圧測定には Pulse Transit Time (PTT) や Pulse Arrival Time (PAT) を用いた手法が報告されているが、体の2ヶ所に心電図や光電容積脈波計等のセンサを固定する必要がありウェアラブル測定には適切でない。また、光電容積脈波計により測定された脈波の特徴量や年齢、身長、体重などの情報から血圧を推定しようという試みが報告されている。さらに最近では機械学習により、脈波や心電図の特徴量から精度よく血圧を予測する手法が報告されている。しかし、光電容積脈波計は発汗等による水分や皮膚の色など外的な影響を受け、計測が不安定になることが指摘されている。

そこで本研究では、Fiber Bragg Grating (FBG) センサを使用して、バイタルサインを含めた多くの生体情報を1つのセンサで低拘束かつ常時測定できるウェアラブルバイタルサイン計測システムの開発を目的としている。

FBG センサは光学センサとは異なり、センサ部が直接的に脈動による皮膚表面の歪を感知するため、発汗等の水分の影響や人の肌の色の影響を受けないメリットがある。さらに数あるひずみセンサの中でも高感度かつ高精度にひずみを計測できるシステムである。また光ファイバ型のセンサであるため編地への導入が可能である。これらの特徴を活かすことで、最終的には衣類等にセンサを組み込んだ常時測定可能なウェアラブルバイタルサイン計測システムを達成できると考えられる。

本論文では、FBG センサを用いた血圧予測を実用化することを目的として実験を行っている。まず、FBG センサによる血圧予測の妥当性を検証した。人工血管モデルを用いた実験を行い、血管の内圧および内径の変化とモデルの外表面に固定したFBG センサで得られる信号がよく対応することを確認した。次に本システムの需要の多くを占める高齢者を被験者とするため信州大学医学部附属病院の協力を得て実験を行い、本システムが高齢者における血圧予測にも有効か検証を行った。その結果、脈波パターンが異なっても自動血圧計の精度基準に近い精度で血圧を予測できる可能性を示した。さらに特定のグループに分けることでより高精度に血圧が予測できることが示唆された。また、より簡易なFBG センサの固定方法を検討する必要がある。先行研究では

FBG センサを医療用のテープで脈波測定部位に固定しているが、より実用的な方法として医療クリップを応用した固定方法を提案する。さらに、固定方法によっては血管を圧迫しすぎてしまい、脈波の反射波成分が失われることが示唆された。これによって血圧予測精度が低下する可能性があるため、FBG センサの固定方法は実用化にあたり、製品デザインに大きく関係すると考えられる。そして、FBG センサで血圧予測可能な手首以外の脈波測定部位を検証した。先行研究では血圧計測は手首の橈骨動脈上皮表面に FBG センサを固定し測定した脈波を解析することで行っていた。本論文では、本システムをより多くの個々人に適した製品として実用化するために手首以外の脈波測定部を提案する。その結果、こめかみは高精度に血圧予測ができる可能が示された。