

令和 4 年 6 月 13 日現在

機関番号：34416  
 研究種目：基盤研究(C) (一般)  
 研究期間：2019～2021  
 課題番号：19K12884  
 研究課題名(和文) マイクロ波レーダーを用いた単一センサでの非接触血圧変動推定と健康管理への応用

研究課題名(英文) Estimation of relative change in blood pressure by non-contact measurements using a single microwave sensor and applications for healthcare

研究代表者  
 鈴木 哲 (SUZUKI, Satoshi)

関西大学・システム理工学部・准教授

研究者番号：50306502

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、マイクロ波を用いた完全な非接触での生体計測手法を応用し、単一センサでの血圧変動を推定する手法の開発を目的とした。そのために、非接触計測に基づく推定方法の理論的構築と推定式の開発、血圧計測に適した仕様の非接触計測システムの試作、およびVitro評価系の開発・検証実験に加え、被験者による検証実験を主な目的とした。非接触法に特化した推定法を2種類構築し、マイクロ波レーダーセンサを含むシステムを開発した。これを用い、推定法に対しブタの血管を利用したVitro評価系と被験者による実験を通して検証実験を行った。結果として、至適血圧範囲においては比較的高精度に変動を捉えられることを実証した。

#### 研究成果の学術的意義や社会的意義

日本における心臓病や脳卒中等の循環器疾患による患者数はガンの3倍程になり、医療費もガンの数倍を占めるとされる。診断や治療において心機能評価とその日常管理の意義は極めて大きく、特に血圧は医療診断上最も重要な指標の1つとされている。血圧計測の課題として、加圧による計測の負担や拘束性、姿勢や精神・心理的变化にも敏感に反応してしまう特徴があるため計測と管理に課題が指摘されている。本来血圧計測は、拘束性の低い無自覚な方法で、日常生活で連続してモニタ出来、且つセンサ数も1つで簡易に行えることが望ましい。本研究課題において検討・開発した手法とその結果は、これらの課題の克服に寄与すると考えられる。

研究成果の概要(英文)：This study aimed to develop a method for estimating relative change in blood pressure by noncontact measurements using a single microwave sensor. First, theoretical considerations of an estimation method based on noncontact measurements were carried out to develop two estimation formulas. Next, based on the results, a prototype system using a single microwave sensor was developed. To verify both estimation formulas and the prototype system, an in vitro experimental system was developed in which a verification experiment was conducted. Then, in vivo experiments were performed with the cooperation of the participants to verify the two estimation formulas and prototype system. Through these validation experiments using the prototype system and our developed estimation theory, we achieved positive results regarding the estimation of relative change in blood pressure in the optimal blood pressure range.

研究分野：人間工学

キーワード：血圧変動 非接触 レーダー 推定

### 1. 研究開始当初の背景

日本における心臓病や脳卒中等の循環器疾患による死亡率は1位のガンに続き2位以降であるものの、患者数においてはガンの3倍程になり、医療費もガンの数倍を占めるとされる。医療において心機能評価とその日常管理の意義は極めて大きく、特に血圧は医療診断上最も重要な指標の1つとされている。血圧計測の課題として、加圧による計測の負担や拘束性、姿勢や精神・心理的变化にも敏感に反応してしまう特徴があるため、計測と管理に課題が指摘されている。近年では、加圧を行わない推定法として心電図と脈波の2つを利用した方法が提案されているものの、拘束性と煩雑さの課題は残されている。本来血圧計測は、拘束性の低い無自覚な方法で、日常生活で連続してモニタ出来、且つセンサ数も1つで簡易に行えることが望ましい(図1)。

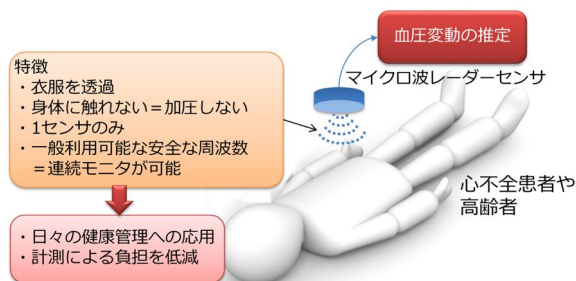


図1 本研究の概要

### 2. 研究の目的

本研究では、マイクロ波を用いた完全な非接触での生体計測により、1センサでの血圧変動推定法の開発を目的とした。そのために、以下の4点について検討を行った。

- (1) 非接触計測による推定方法の理論的構築
- (2) 血圧計測に適した非接触計測システムの試作
- (3) Vitro 評価系の開発・検証実験と被験者による検証実験
- (4) 心不全患者への適用による臨床データ収集

### 3. 研究の方法

(1) 理論構築と推定法開発：血圧は、心臓から駆出される血液量である“拍出量”と、血管の硬化や収縮といった器質的变化に起因する“末梢血管抵抗”の積として定義される。よって、この2つの情報をセンサ出力から抽出する必要があると考えた。本研究者の過去に行った調査により、非接触センサで取得した波形の形状に、これらの変動に起因する変化が含まれることを確認している。これらの形状変化の理論的検討とパラメータとしての情報抽出アルゴリズム、および血圧変動推定方法を開発することとした。

(2) 非接触計測システム開発：センシングユニットについては、ヘルスケア用途を前提とし、また在宅で利用できるようなシステムを目指し、出来るだけ簡易な構造且つ安価で、利用時のユーザビリティを考慮し設置しやすいよう小型なものであること、などを条件として開発を進めることとした。

センサシステム：本研究グループが既に有しているデバイス開発技術を基本に開発を進めた。血管の器質的变化による形状変化は微細であることから、一般環境で使用が認められている範囲内で最も空間分解能の高い24GHz帯で、制御の簡易な連続波によるデバイス(出力7mW程度、3×2×1cm)を試作・利用した。また、省スペースで身体近傍に設置しやすいよう平面パッチアンテナ(利得10dBi程度、2×2×0.2cm)を適用し小型化することとした。

解析システム：センサからの出力信号をA/Dコンバータを介してサンプリング周波数1kHzでPC内に取り込んだ後、各種処理より(1)で検討した血圧関連パラメータの抽出と推定式を実装したシステム開発を行った。

(3) 推定式および非接触計測システムの検証実験：推定式と非接触計測システムの有効性検証のため、Vitro 評価系の開発および評価実験と、Vivo 評価系による実験を実施することとした。特にVivo 評価系については、安全な範囲で被験者に物理的な負荷を掛けることにより模擬的に血圧変動を生じさせ、その間の血圧変動を接触・非接触式双方の手法で計測することとした。これら結果を比較することにより、開発した推定手法およびプロトタイプシステムの有効性を検証することとした。

Vitro 評価系の開発・実験：Vitro 評価系についても、本研究グループが既に開発している生体と同等の電気的特性を有する生体等価ファントムを基本に開発することとした。想定する計測部位は体表面の変位が大きい手首付近の橈骨動脈とし、研究当初はこれを模擬したファントムを作成することとした。一般成人男性の下腕と同じ寸法のアクリルケースに液体ファントムを注入し、その中に動脈を模したシリコンチューブを設置予定であった。しかし、シリコンチューブと生体の血管とでは電気特性が異なることから、結果としてブタの頸動脈をシリコンチューブに変えて模擬的に利用することとした。頸動脈中に生理食塩水を血流を

模した設定値でシリンジにより出し入れする，という構造を採用した．その際，開発した非接触計測システムを用いて計測を行い，電波の振る舞いや開発した推定式および非接触計測システムの推定精度を，デジタル計測圧力計の値と比較することにより確認した．

実験室における Vivo 評価系実験：血圧は心拍出量と末梢血管抵抗の 2 つに起因する変動が存在することから，拍出量変化による血圧変動を模した a)エルゴメータによる負荷実験，また，末梢血管抵抗変化に起因する b)バルサルバ試験（息止めと力み）による実験，の 2 つを行う．

a)エルゴメータによる負荷実験：被験者をマットレス上に仰臥位で 5 分程度安静にさせた．その後，エルゴメータによる運動負荷（150W・5 分）を与え血圧を上昇させた後，上昇した血圧の回復過程を連続血圧計等で計測し，非接触計測による結果と比較した．

b)バルサルバ試験：息止めと力みに伴い末梢血管抵抗変化による血圧変動が生ずるバルサルバ試験は，心電図・脈波の 2 センサを用いた血圧推定方法の評価として IEEE で推奨されている．マットレス上で安静にさせた後，20 秒間このバルサルバ試験を行い，検討した非接触による推定方法の結果と連続血圧計の結果を比較した．

（4）心不全患者へ適用した実証実験：計画当初においては，共同研究者の所属する医療機関において循環器系に異常のある患者数十名程度に対してプロトタイプシステムを適用した実証実験を行い，臨床データ蓄積を目指すこととした．また，病状に応じて血圧変動との関係性を確認・分類し蓄積し，その有効性と問題点の抽出の実施を計画した．方法としては，協力の同意を得た心不全患者に対し，プロトタイプシステムを利用し，マットレス下から非接触で計測したデータより血圧変動値を推定する．一方で，カテーテルより計測された動脈圧変化と橈骨動脈における圧変化と推定値を比較するといったプロトコルで検討することとした．また，取得したデータは，病状に応じて血圧変動との関係性を確認・分類して蓄積する．精度が悪い疾患や患者が確認された場合はその原因を調査し，システムに原因があった場合はその改良を行う計画を立てた．

#### 4．研究成果

（1）理論構築と推定法開発：前述の通り，血圧の定義をもとに考えれば，心拍出量と末梢血管抵抗の 2 つに係わる情報の取得が前提となると考えた．心拍出量に関する情報は，センサの振幅をもとに推定することで対応した．抹消血管抵抗の情報取得においては，一般的に動脈スティフネスと脈波伝播速度との関係性を用いていることから，過去の本研究グループの検討では 2 センサの信号の伝播時間をもとに推定した．この概念自体は非接触計測に適用可能であることを確認したが，一方，本検討では 1 センサであり，2 つの計測位置による伝播時間を算出することは不可能であったことから，1 センサの信号中に含まれる反射波と考えられる第 2 峰の情報抽出を行い推定に利用することとし，式を開発した（以下，推定式 1）．

他方，この推定法は 2 センサでの推定と比較して精度低下が予想されたことから，この心拍出量と末梢血管抵抗の 2 つの情報を利用しない，血管の脈動を機械工学的な観点から検討した独自の推定法を第 2 の検討として行った．この場合，血管の弾性係数が必要となるが，本検討では変動を推定することが目的であり，つまり相対変化の推定が主眼であることから，計測点が同一であれば基本的に同一と仮定することでキャンセルすることができると考え，推定式を開発した（以下，推定式 2）．

（2）プロトタイプシステムの開発：考案した推定法を実装した小型のマイクロ波レーダーシステムを開発した．当初予定の通り，センシングユニットは 24GHz，7mW 程度で，10dBi 程度のアンテナを持つデバイスを採用し，心拍性信号抽出のためのフィルタと増幅回路を持つ前処理ユニット，さらに推定部として前述で検討した推定法をアルゴリズム化し実装した解析システムにより構成される．ヘルスケア用途を前提としていることから，利用時のユーザビリティを考慮し設置しやすいようパッチアンテナを採用し小型なものとした．

また，計測点の変更や手持ちでの計測を想定し，3D プリンタによりユーザビリティを考慮した筐体を数種類作成した（図 2）．

なお，試作したシステムについては，反射波の強度変化や時間応答変化などを調査し，いずれも良好な結果を得た．

（3）推定式および非接触計測システムの検証実験：開発した 2 種の推定式と非接触計測システムの有効性検証のため，Vitro 評価系と Vivo 評価系の 2 種による調査・検討を行った．

Vitro 評価系の開発・実験：Vitro 評価系は，本研究グループが既に開発している生体と同等の電氣的



図 2 レーダーセンサ

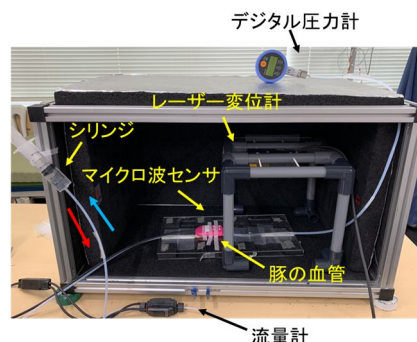


図 3 開発した Vitro 評価系



特性を有する生体等価ファントムの利用を基本に開発することとした。実際の計測を想定した手首付近の橈骨動脈のサイズと同等なシリコンチューブでは電気特性値が異なることから、一般的に利用されるブタの頸動脈を利用することとした。予備的な調査から、ヒトと同等の圧力上昇が可能な確認ができたことから、生体組織を利用した Vitro 評価系としたシステムを構築した（図 3）。

このシステムを利用し、推定式 2 の評価を行った結果を図 4 に示す。横軸にはブタの頸動脈内の圧力の実測結果を、縦軸には開発した非接触計測システムにより計測した値から推定式 2 を用いて推定した圧力推定結果を示している。多少のばらつきはあるものの、変動の傾向は線形を示しており、相関係数も 0.93 と比較的高い値を示した。数本の血管を利用して同一実験を繰り返し実施したが、血管により多少の相違もあったものの比較的安定して同様の結果を確認できたことから、推定式 2 および非接触計測システムの 2 つが有効に機能していることを確認した。

実験室における Vivo 評価系実験：当初の予定通り、心拍出量変化に対応した血圧変動を模した a) エルゴメータによる負荷実験、また、末梢血管抵抗変化に起因する b) バルサルバ試験（息止めと力み）による実験、の 2 つを実施した。本実験においては、推定式 1 と非接触計測システムを適用し検証することとした。

結果として、まずエルゴメータによる負荷実験については、負荷により上昇した血圧が、負荷終了後に降圧する回復過程において、接触式の連続血圧計により計測した降圧していく値と非接触計測システムと推定式 1 により推定した降圧する変動とが同一の傾向を示すことが確認された。この傾向はすべての被験者に同様に確認できた。また、バルサルバ負荷実験についても、20 秒間のバルサルバ負荷とその前後の安静・回復過程において、連続血圧計による実測結果と非接触計測システムの推定結果に同様の変動が確認できた。

以上、2 センサを利用した同一の実験の結果と、今回提案の 1 センサでの推定結果を比較すると、1 センサの推定結果の方が若干精度が低下する傾向が認められたが、一定の効果があることが示された。この 2 種の調査結果で概ね良好な結果が得られたことから、2 つの推定式と非接触計測システムの有効性が実証された。なお、これらの結果の報告・発表については、権利化の関係上計画より遅れているが、随時公表の予定である。

(4) 心不全患者へ適用した実証実験：共同研究者の所属機関において、心不全患者に対しカテーテルと試作したプロトタイプシステムにより同時計測を実施し比較することを検討した。しかし、新型コロナウイルスの発生により調査の遂行自体が困難になり、結果として本研究期間内の医療機関での患者を対象とした調査を断念することとなった。課題として残った点については、本研究期間終了後も研究継続を検討していることから、今後十分な対応を重ねて実施する予定である。

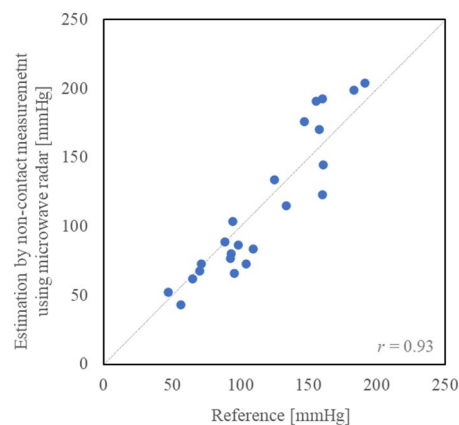


図 4 Vitro 評価系における推定結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Suzuki Satoshi, Hoshiga Masaaki, Kotani Kentaro, Asao Takafumi	4. 巻 14
2. 論文標題 Assessment of Non-Contact Measurement Using a Microwave Sensor to Jugular Venous Pulse Monitoring	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Biomedical Science and Engineering	6. 最初と最後の頁 94-102
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.4236/jbise.2021.143010	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Satoshi Suzuki, Guanghao Sun, Masaaki Hoshiga, Kentaro Kotani, Takafumi Asao	4. 巻 15
2. 論文標題 Noncontact Monitoring of Relative Changes in Blood Pressure Using Microwave Radar Sensors	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Biomedical Science and Engineering	6. 最初と最後の頁 51 65
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.4236/jbise.2022.151006	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 脈圧推定装置、脈圧推定システム、脈圧推定方法、及び制御プログラム	発明者 鈴木哲	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-144729	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	孫 光鎬 (SUN Guanghao) (80756677)	電気通信大学・大学院情報理工学研究所・准教授  (12612)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	星賀 正明  (HOSHIGA Masaaki)  (90309154)	大阪医科薬科大学・医学部・教授     (34401)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関