

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	空中超音波を用いた呼吸・心拍の非接触計測に関する研究
Title(English)	
著者(和文)	干場功太郎
Author(English)	Kotaro Hoshiba
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10140号, 授与年月日:2016年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:蜂屋 弘之,伊能 教夫,倉林 大輔,黒澤 実,塚越 秀行
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10140号, Conferred date:2016/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	要約
Type(English)	Outline

## 論文概要

本論文では、「空中超音波を用いた呼吸・心拍の非接触計測」について行った研究結果をまとめている。

第1章「序論」では、本研究の背景，研究の動機，目的について述べている。呼吸，脈拍，血圧などといったバイタルサインのモニタリング技術は，医療現場に加え，災害現場や高齢者の健康状態の把握などの観点から需要がある。しかし，これまで主に用いられている計測手法は，センサを体に接触，または近接させている必要があり，計測条件が限られるため，常時モニタリングやセンサを接触，携帯させることのできない状況での使用が困難となる。そのため，生活の妨げとならない，無拘束なバイタルサインの計測手法技術の開発が望まれている。現在電磁波やカメラ映像を用いた手法が提案されているが，安全性や処理コストなどの問題点がある。本論文では，安全性が高く，処理コストの低い，超音波を用いた新たな非接触計測手法の開発を目的としている。

第2章「音波を用いた体表面微小振動計測手法の提案と基礎検討」では，超音波を用いた体表面の微小速度の非接触計測手法を提案し，基本的な計測システムを構築した。空中超音波を生活空間で使用するためには，環境雑音の影響を考慮する必要がある。そこで，提案手法では，パルス圧縮により SN 比を向上させることのできる M 系列変調信号を計測信号として用い，計測対象に連続的に照射し，高い SN 比で体表面からの反射波を検出した。また，体表面の呼吸・心拍による振動は mm オーダーから  $\mu\text{m}$  オーダーのわずかな振動振幅であるが，反射信号の位相を追尾することで，波長以下の分解能で伝搬時間差を求め，体表面速度を算出した。これらの手法を用いた計測システムを実際に構築し，微小速度で運動しているターゲットを用いてモデル実験を行い，空間分解能や計測誤差について検討し，送信信号のキャリア周波数，サンプリング周波数，送受間隔などといった計測パラメータを決定した。また，布による音波の減衰特性を計測し，着衣状態での計測への影響について評価した。

第3章「音波による体表面振動の非接触計測」では，構築したシステム，処理方法を用い，実際に複数の被験者の呼吸・心拍の計測を試みた。計測は，脱衣状態と着衣状態，仰臥位と立位，それぞれの場合について試みた。仰臥位・脱衣状態の場合，呼吸をしている状態では，体表面の呼吸による振動速度が精度良く計測され，また，呼吸を止めている場合には，心拍による周期的な速度変化を精度良く計測することができ，提案システムが非接触計測手法として有効であることがわかった。また，呼吸時には呼吸による振動振幅が大きく，微小な心拍の振動が呼吸の振動に隠れてしまうため，心拍振動の確認が困難であったが，呼吸と心拍の周期の違いから，計測された呼吸と心拍が混合している体表面速度から，両者を分離するための帯域フィルタを設計し，実際に呼吸時に計測された体表面速度に対し適用したところ，両者が良好に分離できることがわかった。続いて，衣服による影響について考察するため，仰臥位・着衣状態での計測を試みた。着衣状態では，衣服の皺による表面の凹凸などにより音波が複雑な反射をし，脱衣状態と比べ複数の反射波が混在しているため，位相追尾などの信号検出を行う時刻が重要である。これらの信号検出

を適切に行うと、着衣状態でも呼吸・心拍を計測できることがわかった。さらに、立位での計測を試みた。立位での計測では、計測される速度に、呼吸・心拍による成分に加え、体動による成分が多く含まれているため、呼吸・心拍の計測はさらに難しくなり、単一の測定点では呼吸や心拍を計測できない場合があることがわかった。

第4章「体表面の振動分布の非接触計測」では、複数の計測点で得られた反射波を用い、体表面の振動分布の計測を試みた。体表面の速度分布を得ることで、単一の測定点では計測の難しい着衣状態や立位といった状況でも計測が可能となることが期待できる。複数の受信データを合成する合成開口法により、呼吸による速度分布の作成を試みた。得られた速度分布を、3D スキャナを用いた計測結果と計測結果と比較したところ、同様の傾向を持った体表面の速度分布を得ることができた。本実験のシステムでは、時刻の異なる複数の受信データの合成であったが、複数送受波器を用いた同時計測が実現すれば、心拍分布についても、音波による非接触計測手法により計測ができる可能性がある。

第5章「結論」では、本論文の内容をまとめ、今後の課題について述べている。

# Abstract

In this thesis, the study of non-contact measurement of breathing and heartbeat using airborne ultrasound is described.

In chapter 1, background and introduction of this research is described.

In chapter 2, the method of measuring body-surface velocity using ultrasound was proposed, and the basic measurement system was constructed. In this system, ultrasound is transmitted to body continuously, and body-surface velocity is estimated by measuring arrival time difference of reflected signals from body-surface. M-sequence-modulated signal is used as the transmitted signal. The signal-to-noise ratio of received signals is improved by pulse compression technique. In addition, to enable measurement of arrival time difference of signals much smaller time resolution than wavelength, phase difference of reflected signals is used. The spatial resolution and processing error of the proposed system was evaluated by numerical simulation and model experiment.

In chapter 3, measurements of breathing and heartbeat of subjects using proposed system were tried. First, the measurement was performed in a supine position without clothes. Body-surface velocities by breathing and heartbeat could be measured with high accuracy when subjects were breathing and holding the breath. In addition, using window functions in frequency domain, velocities by breathing and heartbeat could be separated from measured velocity of breathing subjects. Secondly, to evaluate the effect of clothes, velocities were measured in a supine position with clothes. It is found that velocities can be measure using phase difference of received signals at appropriate arrival time. Then, the measurement was performed in a standing position without clothes. The measurement in a standing position, measured velocity includes components by body motion. Therefore, it was difficult to measure velocity by breathing and heartbeat stably with single measurement point.

In chapter 4, measurement of vibrational distribution of body surface by breathing was tried using received signals at multiple measurement points and synthetic aperture processing. Synthetic results of vibrational distribution agree well with the measurement pattern using 3-D scanner.

In chapter 5, conclusion and future work of this research are described.