

# バイタルセンサの研究開発

## Research and Development of Vital Sensing Radars

松本景子 對馬肩吾 米澤真也  
Keiko Matsumoto Kengo Tsushima Shinya Yonezawa

### 要 旨

高齢化社会に伴い、呼吸及び心拍のモニタリングによるヒトの見守りシステムが注目を浴びている。また、核家族化・少子化の進行によるペットの飼育数増加に伴い、動物医療従事者の負担軽減が課題となっている。例えば現在一般的な接触式センサによる心拍計測などは、除毛や定期的な付け替えが大きな負担となっている。そこでレーダを用いた見守りシステムの実現により、遠隔・非接触での測定が可能となって被験者及び医療従事者の負担軽減が期待できる一方で、外乱除去が必要といった課題がある。従来の単一受信機構成のレーダでは外乱を帯域制限フィルタで周波数分離しているが必要な情報の一部を含めて除去してしまうことがあり、安定した性能を得られなかった。当社は、自己相関に基づく手法によって上記の課題を解決し、安定して呼吸及び心拍のモニタリングを可能とした。

### Abstract

A breathing and heart rate human monitoring system is getting popular due to aging society. In addition, with the increase in the number of pets raised due to the progress of nuclear families and declining birthrate, it becomes an issue to alleviate the burden on animal medical personnel. Since the monitoring system by radar is remote and non-contact, the burden on subjects and medical staff is low, however, there is a problem of interference rejection. In the conventional radar with a single receiver configuration, the interference is frequency separated by the band limiting filter, but since it might also remove a part of necessary information, a stable performance was not obtained. In this study, JRC has solved the above problem by autocorrelation based method, and made it possible to monitor breath and heartbeat stably.

### 1. まえがき

レーダ方式のバイタルセンサは、対象のバイタル情報（呼吸数や心拍数）を非接触で取得可能なため、介護・医療従事者の負担軽減や、遠隔医療・従来の見守りシステムの前進として注目されている。通常的生活空間に被験者が静止している状況でレーダ波を照射すると、受信信号には不要な周囲静止物からの反射波と、目標である呼吸や心拍によって動く身体からの反射波が含まれる（図1）。複数の成分を含む信号から目的の信号を分離する方法として、受信機を複数搭載するか、帯域制限フィルタでの周波数分離が一般的である。しかしながら前者は機器の構造が複雑化を招く一方、後者は必要な情報の一部を含めて除去してしまうことがあり、安定した性能を得られなかった。そこで当社は、上記課題を解決するため、自己相関に基づく手法を用いたバイタルセンサの研究開発に取り組んだ。

本センサは医療用途でない日常的なバイタル管理のための使用を想定し、呼吸数・心拍数の推定精度90%を目標とした。

本稿では、研究開発の成果であるバイタルセンサと、社内外での実験によって検証できた評価結果を報告する。

### 2. バイタルセンサ

本バイタルセンサは単一の受信機構成下で、自己相関に基づく処理によって必要な情報の電力を最大限利用することで、安定的な呼吸・心拍のモニタリングが可能である。本節では、バイタルセンサの概要と仕様を説明する。

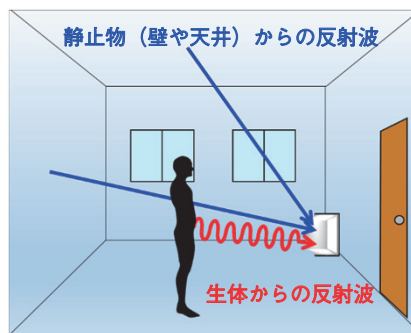


図1 レーダの使用状況イメージ  
Fig.1 Usage Image of the Radar

## 2.1 センサ概要

バイタルセンサの構成は図2に示すように、レーダモジュール部と、信号処理部によって構成される。

レーダモジュールは、1送信×1受信アンテナ構成の Frequency Modulated Continuous Wave (FMCW)方式を備えた素子(新日本無線株式会社製, NJR4233)を採用した。信号処理部は、レーダからの信号を処理し、対象の状態やバイタル情報を推定する。

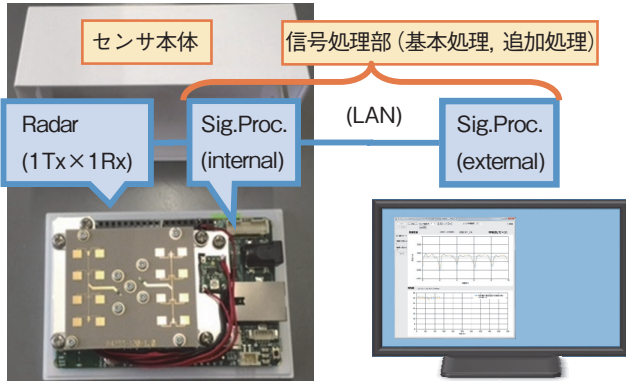


図2 バイタルセンサの構成

Fig.2 Configuration of the Vital Sensing Radar

## 2.2 センサ仕様

バイタルセンサの仕様を表1に示す。本センサは掃引間隔を約2 msとしており、研究開発段階において十分なサンプリングが得られる。アンテナは送信1素子、受信1素子の簡易な構成である。そして特定小電力無線局(出力10 mW以下)であるため、免許不要で使用可能である。

現在医療施設にて使用されているPHSは電力10 mW~100 mW、周波数帯域1.9 GHz程度である。本センサはPHSと比較して低電力かつ高周波帯域を用いており、生物への影響が十分小さいと判断できるため、社外の医療関係施設での実験協力を得ている。

表1 バイタルセンサ仕様

Table 1 Specification of the Vital Sensing Radar

項目	仕様
周波数	24.055-24.2424 [GHz]
アンテナ素子数	送信1素子 受信1素子
掃引時間	1,024 $\mu$ s
掃引休止時間	1,000 $\mu$ s
外形	101.9(W)×68.9(H)×36.4(D)mm
重量	200g
インタフェース	有線/無線LAN (802.11 b/g/n)
レーダ方式	FMCWレーダ
送信出力	10 mW以下 (特定小電力)
消費電力	5 W以下

## 3. バイタル情報抽出処理

バイタル情報抽出処理は、受信信号から状態を判別し、各種バイタル情報を抽出する一連の信号処理である。

本処理は図3に示すように、状態判別処理、呼吸処理、心拍処理から構成される。状態判別処理は、受信信号の変動状態から不在(=雑音の変動レベル)・動作・安静を判別する。判別結果は、呼吸・心拍処理の有効性判定に使用される。呼吸・心拍処理は自己相関に基づく処理の組み合わせによって構成され、時間的に変動する信号の状態に応じて適切な情報が選択可能な処理によって、安定してバイタル情報が抽出できる。

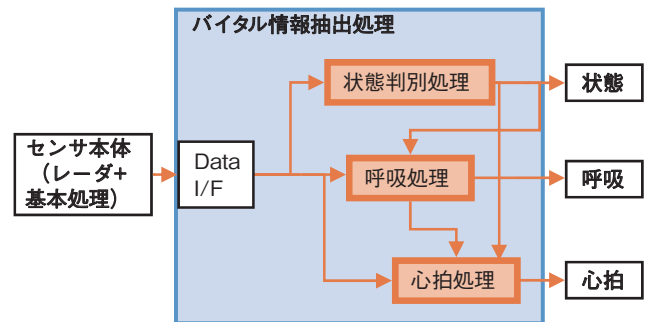


図3 バイタル情報抽出処理のデータフロー

Fig.3 Data flow diagram of the Vital Sensing Processing

### 3.1 状態判別処理

状態識別処理は、受信信号の時間変動状態から不在(=雑音電力レベル)・動作・安静を判別する。本センサでは2ms間隔の時系列データ点が得られるが、目的としている信号帯域外の雑音成分に関しては、帯域制限フィルタにより抑圧可能である。受信信号変動の特徴から、変動量=雑音レベルの場合「不在」、変動速度が速く大きい場合「動作」、その他(雑音レベルでない、ゆっくりとした変動)は「安静」として、各状態を判別する。判別の結果、安静状態の場合は呼吸や心拍を安定的に取得できると言える。

### 3.2 呼吸処理

呼吸処理では、受信信号の変動成分(主に呼吸に起因する変動)から呼吸間隔を取得する。受信信号内の呼吸波形は測定状況や個体差によって異なるため、事前に基準信号等を取得しておく等は有効でないことから、自己相関に基づく方式とした。本方式の波形イメージを、図4に示す。

自己相関を用いて呼吸間隔を推定する場合、呼吸速度に応じた適切な期間長について相関処理を施すことが望ましい。しかし呼吸速度は一定でなく、体調や個体差によって変動することから事前に取得/固定しておく等は有効でない。そのため状況に応じて適切な期間長を選択可能な仕組みが必要となる。そこで自己相関を求め、独自のアルゴリズムにより推定呼吸間隔を算出する方式とした。

なお呼吸速度の範囲が比較的狭く、変化も緩やかな環境では、過去に算出した呼吸間隔に基づき期間長を決定してから、その期間長について処理する方式でも十分な性能が得られる。

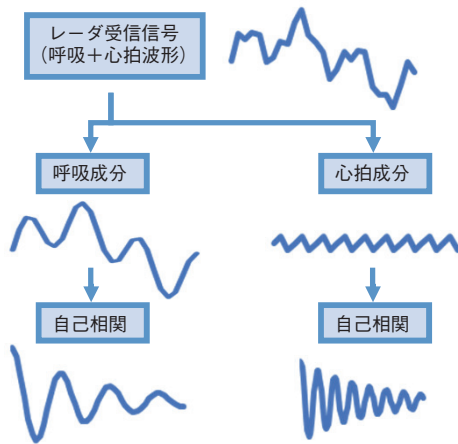


図4 処理波形イメージ  
Fig.4 Image of Processing Waveform

### 3.3 心拍処理

心拍処理では、受信信号の変動成分（主に呼吸に起因する変動、心拍成分は微小）から心拍成分を強調して抽出し、心拍間隔を取得する。心拍波形も呼吸波形と同様に、測定状況や個体差によって異なるため、自己相関に基づく方式としている。なお、その他の方法としてウェーブレット解析等も有効であるが、パラメータの設定が重要であり、ある程度細かいパラメータ間隔での解析となるために処理能力の低い機器への実装が難しいことから、呼吸と同様に自己相関に基づく方式を採用している。

なお前段の呼吸処理で得られた推定呼吸間隔を利用することで、変動成分の中で支配的な項である呼吸成分を効果的に抑圧可能である。

## 4. 検証実験

検証実験として、社外の医療施設（日本獣医生命科学大学）での評価と、社内外で取得したデータでの評価を実施した。社外実験では、動物の呼吸処理を評価するため医療機器をリファレンスとして比較した。特に犬などの小動物は人に比べて体が小さいため、レーダ信号の反射が小さく、厳しい測定環境となる。本実験にて動物での呼吸検出性能を達成することは、人の呼吸検出において同等以上の検出を可能とすることを示唆する。社内で取得したデータでは、日常的な動作や測定状況を含めた心拍処理の評価を実施した。本実験では人のデータについて心拍検出処理を評価する。今後、動物での心拍データについても実証実験を継続する予定である。

なお、本センサの精度（%）を評価するため、下記（4.1）式にてサンプル平均で精度を算出している。

$$E[\%Precision] = E[100 - \%error] = E\left[100 - \frac{|approx - exact|}{exact} * 100\right] \quad (4.1)$$

上記の式において、%Precisionは精度（%）、%errorは誤差率（%）であり、approxにはセンサでの測定値、exactにはリファレンス用機器（医療機器または接触センサ）での測定値が相当する。

### 4.1 社外実験での評価：医療機器を使用

本評価では日本獣医生命科学大学の協力の下、医療機器及びバイタルセンサを使用しデータを取得し評価した。

まず、呼吸数の検出精度を評価するため、図5のような実験系を構築した。この実験では麻酔下の被験者（動物）に人工呼吸器を装着し呼吸数を制御している。

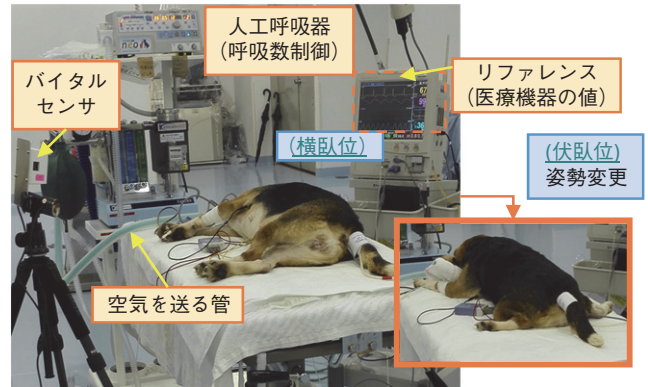


図5 医療機器及びバイタルセンサを使用した実験状況  
Fig.5 Experimental Site with Medical Equipment and Vital Sensing Radar

始めに横臥位の状態にて徐々に呼吸数を変化（10, 15, 20, 26, 30, 36, 42 [回/分]）させた後、伏臥位への姿勢変更後にも呼吸数を変化（42, 36, 30, 26, 15, 10, 5 [回/分]）させた（図6）。本実験における、呼吸数の設定変更時/姿勢変更作業期間を除いた範囲の平均精度は96.7%となっており、目標を達成できている。

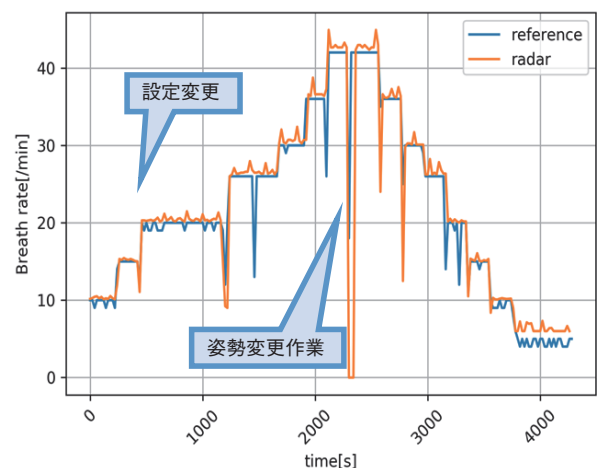


図6 呼吸数[回/分]、医療用呼吸計 対 バイタルセンサ比較  
Fig.6 Breath-rate [Count/min], Medical Equipment vs Vital Sensing Radar

## 4.2 社内実験での評価：接触式心拍計を使用

次に、心拍数の検出精度を評価した(図7)。この実験では、人の手首へ接触式心拍計(非医療用)を装着しリファレンスデータを取得している。心拍計は、動物の医療現場で使用されている医療用機器の測定原理と同じもの、かつ実験用にログを取得しやすい機器(非医療用)を選定して使用した。本実験における、安静時の範囲の精度は91.8%となっており、呼吸処理と同様に目標を達成できている。本グラフの横軸、400s以降のデータでは徐々に呼吸速度が速くなっており、心拍検出結果にふらつきが多く見られる。今後は、よりロバストな処理への改善が課題である。

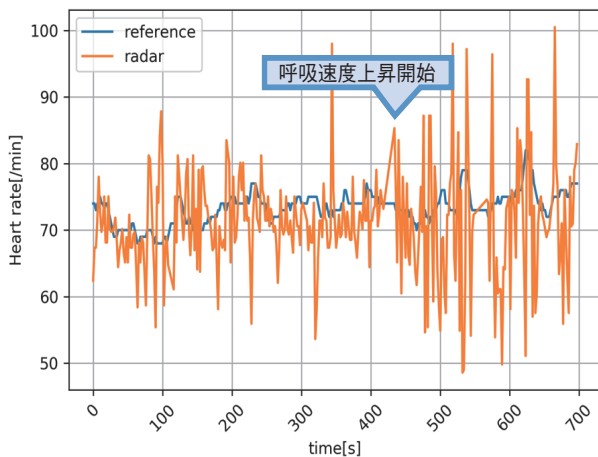


図7 心拍数[回/分], 非医療用心拍計対 バイタルセンサ比較  
Fig.7 Heart-rate [Count/min], Medical Equipment vs Vital Sensing Radar

## 5. あとがき

MIMOレーダを使用する場合、不要な反射波を抑圧できるため、より高精度な推定が可能である一方で、装置構成が複雑となりコストが高くなってしまいます。そのため、今回はSISO (1Tx×1Rx) レーダと本方式により演算処理を抑え、安価な装置構成にて目標精度を達成した。本研究によって、接触型のシステムでは難しかった長期間のモニタリングが可能となり、ヒトやペットの身体異常の兆候をより早く検出することができ、高齢化・核家族化・少子化に向けた見守りサービスを提供可能となる。

特許出願予定: 2件

## 用語一覧

FMCW: Frequency Modulated Continuous Wave (周波数変調連続波)  
バイタル情報: 呼吸数, 及び心拍数を本センサでは取得対象としている  
(血圧・体温は対象外)  
掃引時間: sweep time (レーダ信号を送信する時間長)  
休止時間: down time (レーダ信号を送信停止する時間長)  
ウェーブレット解析: wavelet analysis  
MIMO: Multiple Input Multiple Output  
SISO: Single Input Single Output