

# 定在波レーダを利用した新生児の異常監視を支援する 非接触方式の新生児呼吸見守り装置の開発

Non-contact measurement of body pose and respiration for baby with radar sensor

2031004



研究代表者 (助成金受領者)	奈良女子大学	特任准教授	梅田 智 広
共同研究者	奈良女子大学	学 生	高 木 里 穂
共同研究者	奈良女子大学	教 授	城 和 貴
共同研究者	(株)CQ-S ネット		斎 藤 光 正

## [研究の目的]

妊婦の出産年齢の高齢化に伴い早産を含めた合併症が増加している。特に未熟児の増加により脳や呼吸器系に後遺症が残る死亡するケースもしばしば起こる。このため病院側では保育器内の新生児の心電を常時測定し異常を発見し対処しているが、新生児の異常を予知するには心電だけでは十分でなく呼吸も重要である。しかし、皮膚の弱い新生児の呼吸状態を非接触で常時測定できる装置はまだ世界に無く、病院側から開発が期待されている。そこで、我々は新しい新生児に優しい非接触方式による呼吸変化の測定方式を開発し、更に機械化、装置化することにより、ナースステーションでの監視効果の劇的な向上とともに、ナースの監視負担の大幅な軽減を目指し、レーダに着目した。本報告では 24 GHz 帯の定在波レーダを用いて検討した見守りシステムおよび呼吸数計測について、その特性を報告する。

## [研究の内容, 成果]

### 1. 方 法

#### 1.1 見守りシステムの構築

著者らが検討してきた 24 GHz 定在波レーダ

(株)CQ-S ネット, JAPAN) の照射条件を参考に条件を最適化 (中心周波数 24.15 GHz, 占有帯域幅 200 MHz, 掃引サンプル時間 1  $\mu$ s) し、新生児を対象に呼吸計測試験を行い、見守りシステムの有効性およびその特性について評価した。計測はレーダを i) 天井貼付および ii) 保育器横貼付の 2 タイプに分け、保育器内での乳児有無を条件に実施した。得られたデータは DFT 解析にて評価を行った。表 1 に計測条件、図 1 に計測時 i) および ii) の様子を示す。

なお、被験者は新生児であるため、被験者の両親を代諾者として申請書に記載された担当者が倫理委員会で承認された説明文書を提示し説明を行った上で計測を実施した。

#### 1.2 呼吸状態および体勢変化の計測

乳児に加え、精度確認のため人 (成人) の呼吸状態の計測試験を行った。また、入室、ベッ

表 1 計測条件

	上から	横から
乳児有	実験 1-1	実験 2-1
	実験 1-2	実験 2-2
	実験 1-3	実験 2-3
	実験 1-4	実験 2-4
乳児無 (保育器のみ)	実験 3-1	実験 4-1
	実験 3-2	実験 4-2
	実験 3-3	
乳児無 (保育器なし)	実験 5-1	

.....



i) 天井貼付



ii) 保育器横貼付

図1 計測方法

ト座位（腰掛）、着床、離床など状態毎の計測試験を行い、見守りシステムの有効性およびその特性について評価した。

## 2. 結果と考察

今回活用したレーダは中心周波数 24.15 GHz において  $\pm 3.1$  mm の範囲で被測定物の相対的な微小変位を測定できるものであるが、 $\pm 3.1$  mm 以上の変位に対しては位相の不確定が存在し 1 対 1 対応は困難となる。そのため、大きな動きを伴う際には注意を要する。また、精度向上には微振動によるノイズ除去も必要となる。図2に乳児無、保育器のみの条件にて計測したデータの解析結果の1例を示す。これより、保育器のみでも微弱な低周波ノイズが入ることが分かった。他データにおいてもノイズの大きさに差があるものの同様な傾向を示した。これは今回の保育器は移動式のものでタイヤが付いていたため、周囲の機器、人の動きによる僅かな

### 実験3-2

レーダ（乳児無、保育器のみ）にて計測

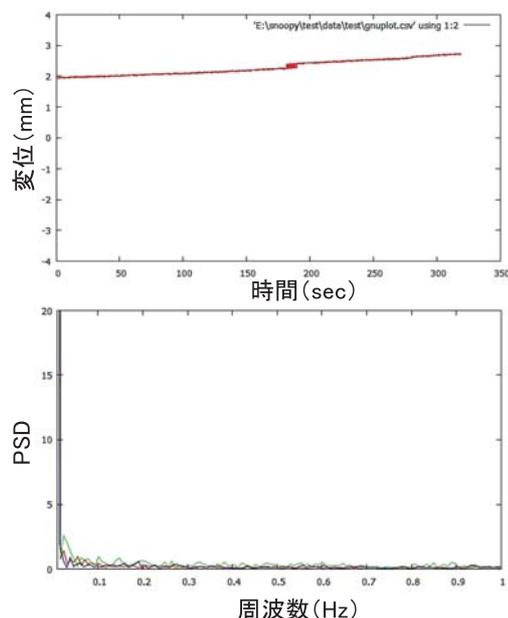


図2 乳児無、保育器のみの条件にて計測したデータの解析結果

動きにも反応し振動として計測されてしまったためと考えられた。

そこで、乳児に対し i) レーダ（天井貼付）および ii) レーダ（保育器横貼付）の条件にて計測したデータから振動による影響を除くため、安静かつノイズの少なかった時間帯を抽出し呼吸評価を行った。図3にその結果の1例を示す。これより、i) および ii) のいずれの条件においても 0.5 Hz~0.8 Hz 付近に高いスペクトルが認められた。静かに寝ている子供の呼吸による胸の動きは、幼児の場合には振幅が約 2 mm、周波数 0.3 Hz~0.8 Hz 程度であることから、ノイズが少ない条件においては乳児における呼吸トレンド評価は可能であることが分かった。また、i) と ii) においては、i) 天井貼付の方がより安定したトレンドを示し、かつ再現性においても優れることが分かった。これより、計測はより大きな反射面が得られる上部からの計測が好ましいと考えられた。

本レーダは測定対象物以外の反射物が混在する環境下においては、不要な距離スペクトルに

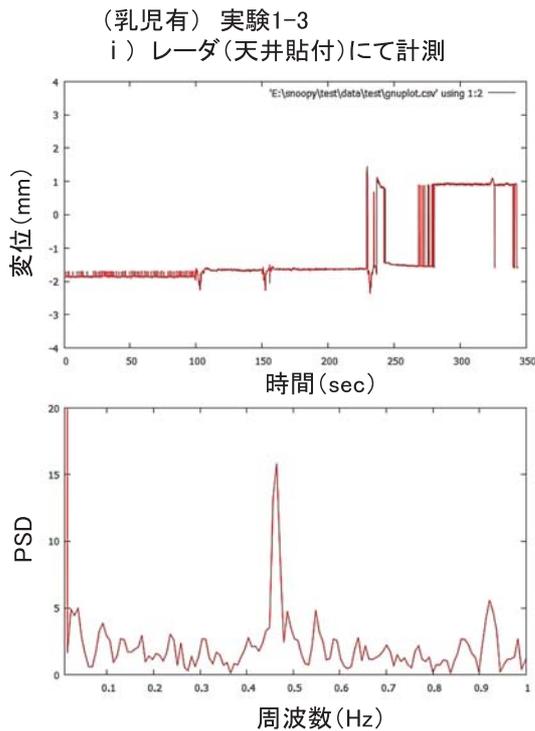


図 3a 乳児有, 保育器の条件にて計測したデータの解析結果

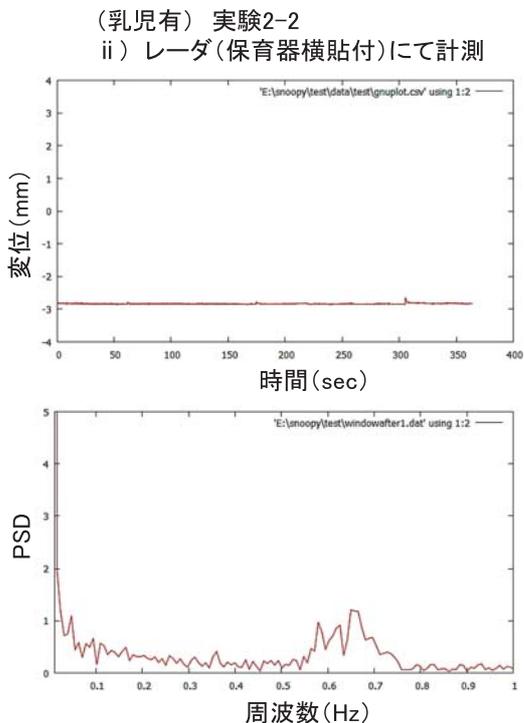


図 3b 乳児有, 保育器の条件にて計測したデータの解析結果

測定対象物のスペクトルが埋もれてしまい識別困難となる。特に、目的としている測定対象物

からの反射係数がそれ以外の反射物の反射係数に比し、小さい場合に解析精度が悪くなる。そこで、ノイズ除去および解析精度向上を目指し、対象外の距離スペクトルの除去を行う差分検出法について検討した。同データを用いて評価した結果、差分検出を行うことで反射係数が小さい場合でも測定対象物の動きが抽出できることが分かった。今後はこれら知見を評価方法に活用していく。

表2にレーダを活用した呼吸停止および体勢計測における計測誤差把握のために実施した成人を対象とした行動別誤作動率の結果を示す。呼吸および体勢変化評価試験はベットにて計13人に対し2回行った。その結果、1回目の誤作動率の結果をもとに判定条件の変更を行った2回目は誤作動率が大幅に改善され、ベット上での体勢変化および呼吸停止の判定計測においては高い計測精度が得られた。

以上の結果より、常時計測における測定精度には未だ課題は残すもの、レーダを活用した本システムの有効性は示唆された。今後、ベット上での睡眠において寝返りなど細かい動きに対しては精度の担保が課題となるが、起こり得る動きの様々な体動パターンを学習することで寝返り含め体勢変化の判断は可能になると考えられる。呼吸状態の計測においては、上記差分検出法に加え、目的対象物からのより強い反射を得るためにレーダの指向性制御が有効であると考えられた。これらを行うことで、近距離の呼吸状態の把握においても、おおよその呼吸状態、呼吸数の算出が可能になると考えられた。

### 3. 人体への影響について

電波の生物への影響については、これまで50年以上にわたり世界各国で研究が行われ、電波の人体への影響には「刺激作用」と「熱作用」があることが知られている。「刺激作用」とは主に約100 Hz以下の低い周波数で起こる作用のことであり、低周波数の強い電波が体に当たった場合、体に発生した誘導電流によって神

表2 レーダ計測による行動別誤作動率

性別		男	男	女	女	女	男	男	男	男	男	男	男	男		誤作動率2 回目	誤作動率 の改善結 果
年齢(年代)		40	20	50	20	50	40	40	50	40	40	20	30	40			
判別項目																	
入室		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		0%	○
着床(ベッド)		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		0%	
呼吸計測(ベッド) (仰臥位(ぎょうがい) 仰向け)		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		0%	
呼吸停止(ベッド) (仰臥位(ぎょうがい) 仰向け)		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		0%	○
呼吸計測(ベッド) (背臥位(はいがい) うつ伏せ)		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		0%	
呼吸停止(ベッド) (背臥位(はいがい) うつ伏せ)		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		0%	
呼吸停止(ベッド) (横向き)		○	○	×	○	○	○	○	○	×	○	○	○	○		15%	○
起き上がり(ベッド) 座った状態		○	○	○	×	寝る	○	○	○	○	○	○	○	○		8%	○
腰掛 端座位(たんざい)		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		0%	
床に寝る(転倒検出)		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		0%	
呼吸計測(床) (仰臥位(ぎょうがい) 仰向け)		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		0%	
呼吸停止(床) (仰臥位(ぎょうがい) 仰向け)		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		0%	○
呼吸計測(床) (背臥位(はいがい) うつ伏せ)		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		0%	○
呼吸停止(床) (背臥位(はいがい) うつ伏せ)		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		0%	○
立ち上がり		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		0%	○
離床		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		0%	○
離床 時間経過		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		0%	

経などが刺激されると報告されている。一方、「熱作用」とは約 100 kHz 以上の周波数の電波が生物に及ぼす作用のことであり、強い電波が生物に当たるとそのエネルギーの一部が生物に吸収されて温度上昇を起こすことで影響が出ると言われている。今回使用した 24 GHz 帯 FM-CW レーダの電界強度  $E$  [V/m] および放射電力密度  $P$  [mW/cm<sup>2</sup>] は送信点から 2.5 [m] 離れたと仮定した場合、 $E=0.65$  [V/m]、 $P=1.12 \times 10^{-4}$  [mW/cm<sup>2</sup>] となり電波防護指針で定められている基準（許容電界強度：61.4 [V/m] 以下、許容放射電力密度 1 [mW/cm<sup>2</sup>] 以下）を満たすものであり、基準値を大きく下回る。これより、人体への影響はないと判断している。

#### [今後の研究の方向、課題]

呼吸数は心拍数や収縮期血圧と同様の正確さで体の状態を把握する上で役立つ。また、健康上の不安定さを示す一番初めのサインでもある。有害事象の可能性検知などにおいて、目視ではなく、常時から客観的データとして呼吸トレンドを記録することは多くのバイタルサインの中でも身体特長を反映する信頼性の高い指標として活用できる可能性が高い。精度向上が課題として残るが本システムの構築により、例えば乳幼児突然死対策や急性期を脱した介護施設や自宅などで生活する在宅高齢者を対象とした見守りなど大いに役立つと期待される。