

M-12

ミリ波レーダを用いた非接触バイタルセンシングの体位依存性と測定距離に対する検討

A Study on Posture Dependence and Measurement Distance in Non-Contact Vital Sensing

Using Millimeter Wave Rader

○楯身龍之佑¹, 飯泉裕陽¹, 山口拓人², 佐伯勝敏²*Ryunosuke Tatemi¹, Yutaka Iizumi¹, Takuto Yamaguchi², Katsutoshi Sacki²

Abstract: Millimeter-wave radar is a promising modality for contactless vital-sign monitoring in sleep environments because it operates through clothing and in darkness. In this paper, we investigate how sleep-like body motions specifically change in torso orientation and radar chest distance degrade respiratory waveform quality, with the aim of identifying an optimal measurement setup for future system design. Using a 79GHz radar, we measured respiration at multiple distances and body angles. As a result, although the amplitude on the side of the body was smaller compared to the front and the impact of arm movement on the waveform increased, we were able to measure the respiratory waveform. Next, we demonstrated that respiratory waveforms could also be measured from the back, enabling stable measurement over a wider range compared to the front. Furthermore, considering that amplitude decreases within a range of 70° to 90° from the front and the impact of arm movement, it is shown that the optimal measurement distance is between 80 cm and 1.4 m, where noise interference is minimized.

1. はじめに

近年、ミリ波レーダを用いた非接触バイタルセンシング技術は、医療、介護、スマートホームなどの分野で注目されている^[1]。特に、呼吸、心拍などの生体情報は衣服越しや暗所でも測定できるという利点があるため、睡眠中に呼吸が一定時間止まってしまう睡眠時無呼吸症候群の患者に対しての新たな計測方法として注目されている。既存のミリ波レーダによるバイタルセンシングでは、初期位置で固定した座標から胸部変位の波形を抽出して、呼吸数や心拍数を算出している^[2]。この方法では、寝返りや腕などの体の動作によるノイズとして呼吸波形を見失ったり、安定した呼吸波形の計測が困難になる。

このような問題点に対して、レーダ信号の空間的な分布そのものに着目し、睡眠時のノイズを減らすための測定システムの構築を目標とする。

本論では、睡眠時の寝返りに伴う体幹角度の変化がミリ波レーダによる非接触呼吸波形に及ぼす影響を明らかにするために、レーダに対する体の相対角度を360°にわたりそれぞれ測定を行い、体位依存性と測定距離の最適化の検討を行う。

2. 本論

本研究では、エスタカヤ電子工業株式会社が提供するT14RE_01080108_2Dのミリ波レーダを用いて実験を行う。このレーダの中心周波数は $f_0=79.0\text{GHz}$ であり、79.0GHzによる計測では、レーダの周波数帯域は $B=3.6\text{GHz}$ であるので分解能 Δr は次式となる。

$$\Delta r = \frac{c}{2B} \cong 42\text{mm} \quad (1)$$

想定するノイズは、寝返りなどによりミリ波レーダに対して被験者の計測している体の角度が変化したときの呼吸波形への影響である。今回①～③の条件について実験を行った。

- ① 被験者は健康成人(男性 23 歳)の著者自身とする。
- ② ミリ波レーダと体の位置を固定し、体の角度を10°ずつ回転させて波形への影響を評価する。
- ③ 胸部からミリ波レーダまでの距離を基準として、測定距離を60cmから20cmずつ離して②の測定する。

図1に測定距離を1mとしたときの正面から測定した呼吸波形と背面から測定した呼吸波形を示す。正面での呼吸波形の平均振幅は2.1mmで背面での呼吸波形の平均振幅は0.9mmとなった。正面に比べて背面は約半分ほど振幅は小さくなったが、背面をレーダで測定しても一定の呼吸波形を計測できることを示している。

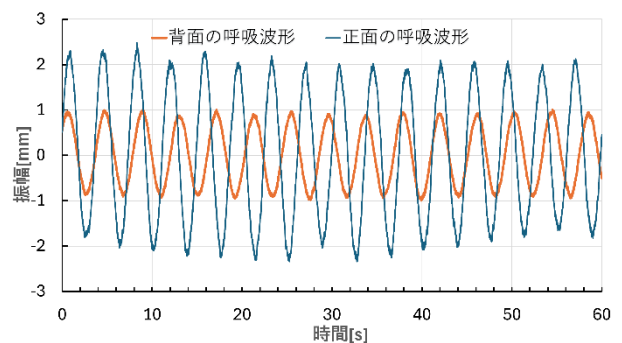


図1 1mでの正面と背面の呼吸波形

図2に測定距離を1mとし、体を90°回転させたときの呼吸波形を示す。正面0°の呼吸波形の平均振幅は2.0mmで、90°の呼吸波形の平均振幅は1.3mmを示している。0°の時に比べて約40%ほど振幅が小さく計測されたのは胸部の正面に比べて側面のほうが呼吸による変化が小さくなったためである。また、正面0°に比べて側面は腕の動きにより波形が乱れた。

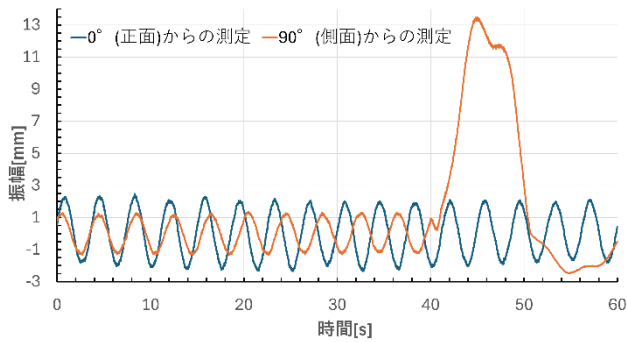


図2 1mでの正面(0°と90°)の呼吸波形

図3に正面と背面それぞれのを0°としたときの-90°から90°の範囲で距離変化ごとに計測した呼吸波形の平均振幅の結果を示す。正面(0°)の距離を固定しているので、90°回転したとき、レーダとの距離が20cm程度短くなることにより、測定距離60cmで正面から測定したときの±80°と±90°では、呼吸波形を計測するのが困難であった。測定距離80cm以降ではすべての角度での測定結果を得られた。正面から測定したとき0°から±60°までの範囲では60cmから2.4mまで平均振幅2~2.2mmの範囲で、安定した呼吸波形を計測することができた。測定距離80cmから1.4mでは、正面から測定したときの±70°から±90°の範囲で、平均振幅1.2~1.5mmと正面に比べて振幅が低下した呼吸波形を計測した。また、1.6mから2.4mでも同様の平均振幅を得ることができたが、ちょっとした動きにより波形が乱れてしまい、計測が不安定であった。背面から測定したときの波形は-90°から90°の範囲で全体的に安定した波形を計測できた。±70°と±80°では呼吸による肩甲骨の動きを計測したため0°付近に比べて波形の振幅が約50%程減少している。

以上の測定結果から、80cmから1.4mの範囲が睡眠中の体の動きにより、被験者の体の角度が変化した際に最も安定して波形を測定できる最適距離であることを示している。

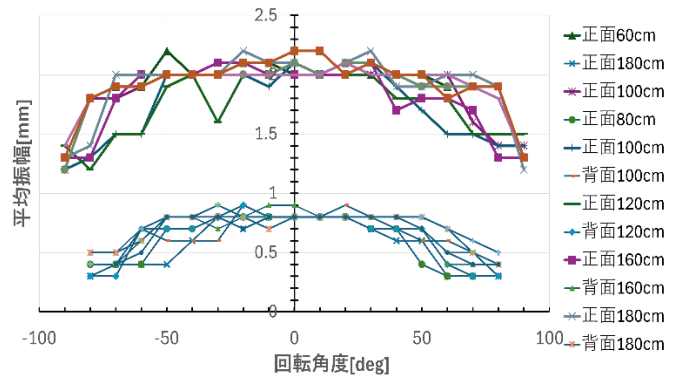


図3 角度と距離を変えた呼吸波形の平均振幅

3. まとめ

本稿では、睡眠時の寝返りに伴う体幹角度の変化がミリ波レーダによる非接触呼吸波形に及ぼす影響を明らかにするために、レーダに対する体の相対角度を360°にわたりそれぞれ測定を行い、体位依存性と測定距離の最適化の検討を行った。その結果、体の側面では振幅が正面に比べて小さくなり、腕の動きによる波形への影響も大きくなったものの、呼吸波形を計測できた。また、背面からでも呼吸波形を計測でき、正面に比べて広範囲で安定して計測することが可能であることを明らかにした。さらに、計測範囲は正面の±70°から±90°の範囲で振幅が小さくなることと腕による影響を考慮し、80cmから1.4mの範囲が最もノイズの影響が少なくなり、測定できる最適な距離であることを明らかにした。

今後は、体の角度による波形の影響や最適な測定距離などを踏まえてより睡眠時のノイズを減らすための測定システムの構築を目指す。

4. 参考文献

- [1] 阪本卓也: ワイヤレス人体センシング, (バイタルサインの電波計測と信号処理, Ohmsha, 第1刷発行. 2023年1月23日
- [2] 睡眠時無呼吸症候群(SAS)の診療ガイドライン2020, 日本呼吸器学会
- [3] Yang X, Yu Y, Qian H, Zhang X, Zhang L. IR-UWBレーダネットワークによる身体の向きとバイタルサインの測定. Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc. 2020年7月.