

平成 21 年 5 月 20 日現在

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19519174
 研究課題名（和文） 高分解能レーダーを用いた自動車運転時の非接触バイタルサインモニタリング
 研究課題名（英文） Non-contact vital-sign monitoring of a car driver using a high resolution microwave radar
 研究代表者
 松井 岳巳（MATSUI TAKEMI）
 首都大学東京・システムデザイン研究科・教授
 研究者番号：50404934

研究成果の概要：本研究では、微弱なマイクロ波レーダーを用い、完全な非接触で心拍・呼吸数を計測するシステムを試作することを目的とした。次に、自動車運転時におけるドライバの心拍・呼吸数計測を試みた。システムを試作し評価実験を行った結果、安静時には心拍数、呼吸数の非接触計測に成功し、さらに自律神経系の評価が可能であることを実証した。自動車運転時でも安定して計測できるようセンサを複数個取り付け、信号を抽出する方法を検討した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,700,000	810,000	3,510,000
2008年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学，社会システム工学・安全システム

キーワード：安全システム，生体情報・計測，人間工学

1. 研究開始当初の背景

(1) ワークロード評価の課題：作業中のストレスや過度の作業負荷などの労働衛生上の問題に起因する事故の発生や健康上の支障への対処が近年大きな課題となっている。作業中のストレス評価を行う場合、心拍変動指標（Heart Rate Variability：HRV）を用いて自律神経系の動きを観察し、作業者に掛かるメンタル及びフィジカルワークロードを推定するのが一般的である。この手法は医学の分野でも工学の分野でも利用され、既に確立された方法である一方で、心電図を取る必要があることから、電極設置の煩雑さや電極リードによる作業員への拘束性等の技術

的な問題によって、実際の労働現場で利用する際の妨げとなっている。したがって、作業員への負担を掛けない生体信号の取得が課題となっている。

(2) センシングの動向：近年、センサ取り付けによる拘束性や取り付け自体の煩雑さを避けることを意図とし、圧力センサや歪ゲージを用いた「非侵襲」や「無拘束」センサによる心拍、呼吸などのバイタルサインの取得の試みが多くなってきている。しかし、この種の計測方法は衣類越しにも身体に接触しており、「非侵襲」、「無拘束」ではあるものの身体に「非接触」ではない。一方で災害救助の際に瓦礫化の生存者を探索すること

を目的として、マイクロ波レーダーを利用しようとする研究が行われ、実際にその効果が報告されている。この方法の特徴としては、①一定距離離れていても計測可能であること、②薄い有機物は透過できる性質があるため衣類や布団程度の遮蔽物は透過することができる利点がある。この技術の性質を利用できれば、電極装着の煩雑さや作業への拘束性もなく、無自覚で心拍数や呼吸数を観察することが可能となる。自動車、電車、その他生産工場や発電所の集中制御室などにおける作業者のメンタル・フィジカルワークロード評価を完全な非接触で行え、ヒューマンエラーに起因する事故防止に資するものと期待される。

2. 研究の目的

本研究では、微弱なマイクロ波レーダーを生体に送信することによって、衣類等を透過し、さらに一定距離離れた位置からバイタルサインを捉えることのできる非接触計測システムを作成し、実験的にそのシステムの実証評価を行うことことを目的とする。そのために、まず非接触システムを試作し、次に試作したシステムを用いた評価実験として、①心拍・呼吸を取得できるか、②ストレス評価が可能か、の2点を検討する。さらに、③自動車のアイドリングや走行中で心拍・呼吸が取得できるか、④自動車の運転を模した動作で心拍・呼吸を取得できるか、の2点を実験により検討するとともに、⑤想定されるノイズに対応するためのシステム改良、の3点を検討することで、自動車運転中の運転者のメンタルワークロードを評価するシステムを構築することを目指す。

3. 研究の方法

(1) システムの試作：本研究では心拍と呼吸数を計測するが、心拍と呼吸に由来する体表面に表れる体動の大きさが異なることから、心拍と呼吸それぞれに対し周波数 24GHz と 10GHz のドップラー式のマイクロ波レーダー発信器・アンテナを利用することとした。2つのレーダーの平均出力は共に約 7mW、アンテナゲインは 10dBi 程度、拡散角度は約 40 度程度で電波法に準拠したものである。サイズは 24GHz のもので 30mm×40mm×75mm、10GHz のものがφ90mm×50mm 程度である。このアンテナの他、電源供給用コントローラ、および PC (解析システム) で構成される。解析システムでは、取得したデータに対し、バンドパスフィルタ (心拍の通過域:0.5~2.5Hz, 呼吸の通過域:0.05~0.5Hz) を利用して目的とする信号を抽出し、周波数解析によってパワーが最大となる周波数を読み取り、この周波数から 1 分間の心拍数および呼吸数を逆算することとした。

(2) 評価実験

①心拍・呼吸の取得：被験者 (健康男子大学生 9 名 (22.7±1 歳)) を着衣のまま椅子に着座させ、3 分間閉眼のまま安静にさせた。その後、被験者にタスクを 2 分間与え、タスク後に回復過程を観察するため、さらに 2 分間安静閉眼を継続させた。このときのタスクは、PC のディスプレイ上に表示される 2 つの 2 桁の数字を暗算し、テンキーより入力するといった単純なものを与えることとした。この間、イスの背部に設置したアンテナより非接触で体表面の動きを観察した。また、この非接触計測 (非接触法) を評価するために、通常的心電図 (以下、接触法) を同時に計測し、比較した。

②ストレス評価の試み：接触法 (心電図)、および非接触法 (レーダーによる非接触計測) の両方から取得したデータより心拍間隔を算出した。その後、一般に HRV の計測に用いられる交感神経系および副交感神経系の変動成分である低周波成分 (LF:0.04-0.15Hz) と副交感神経系の変動成分 (HF:0.15-0.4) を抽出し、さらにこれらの比である LF/HF を調べ、接触・非接触法の結果を比較検討することとした。

③自動車内での心拍・呼吸の取得：アイドリング、および走行している自動車内で安静にした状態の被験者より心拍・呼吸が非接触法により取得できるか検討することとした。被験者を車内で安静にさせ、その間の接触・非接触法の両方で心拍数と呼吸数を観察し比較することとした。なお、車は安全を十分に確保された大学構内で走行させることとし、停車時 (アイドリング時) および走行時 (平均速度 10km/h) における被験者の心拍・呼吸数を測定した。

④運動動作中の心拍・呼吸の取得：実際の公道で調査を行うには安全と法律上の問題があるため、実験室内で実際の運転を模した動作を行わせ、その間心電図とレーダーによる心拍数の計測を行い、比較することとした。選択した動作は、先行研究を参考に一般道、および高速道における車の追い越しの 2 つを想定したものとした。一般道の動作は、自車両を時速 50km/h、前車両を時速 40km/h、追い越すのに必要な距離を 18m、車線変更時におけるハンドルの切る平均角度を 20 度とした。高速道を想定した動作は、自車両を時速 100km/h、前車両を時速 80km/h、追い越すのに必要な距離を 500m、車線変更時におけるハンドルの切る平均角度を 4 度とした。その間、接触・非接触の両方で計測し比較した。

⑤ノイズ対策：④の調査結果や、本研究グループの行った他の研究結果より、目的とする心拍や呼吸の振動以外の体動に由来するアーチファクトが予想された。そこで、心拍数

計測の安定性向上のための対策として、センサを複数個用意し、それぞれの出力を周波数解析後、0.05~2.5Hz 範囲のみのパワーの分布を正規化し、積を取ることで双方のセンサに含まれる心拍・呼吸数の安定的な算出を試みた。

4. 研究成果

(1) システムの試作：センサ自体は非常に小さく、また 5V 程度の電源で動作可能となっており、実用に堪えるものとなった。

(2) 評価実験

①心拍・呼吸の取得：図1は被験者9名全員の心電図、およびマイクロ波レーダーによる非接触計測より算出された心拍数の比較を示した図である。相関係数も極めて高いことから、接触・非接触双方の計測手法によって得られた心拍数は極めて近い値を示していることが確認できた。したがって、非接触計測でも非常に高い精度で同定可能であることが確認できた。

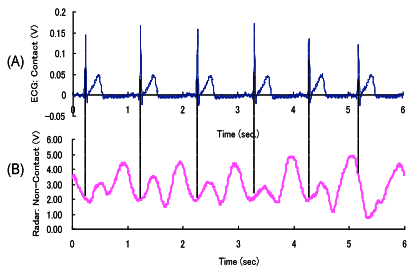


図1 心電図から算出された心拍数と非接触法により得られた心拍数の比較

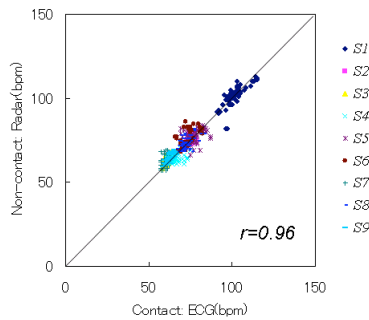
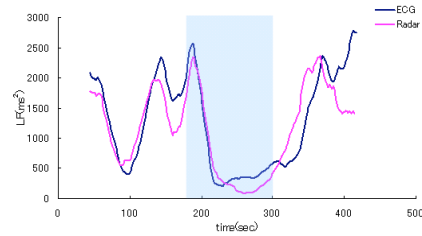


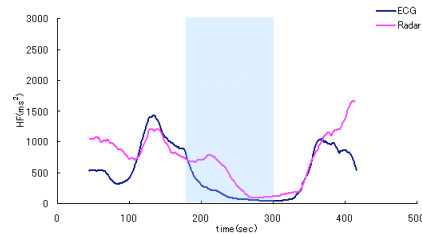
図2 心電図から算出された心拍数と非接触法により得られた心拍数の比較

②ストレス評価の試み：図2(A)は接触・非接触計測双方から算出されたある被験者のHRVのLF、(B)はHF、(C)はLF/HFの変化をそれぞれ示している。また、それぞれの図中の網掛の部分にはタスク遂行中の区間を示している。LF、HF共に、接触・非接触双方の間には絶対値に若干のずれが確認できるが、変化については非常に似ている。さらに、LF/HFについては、LFやHFの絶対値に

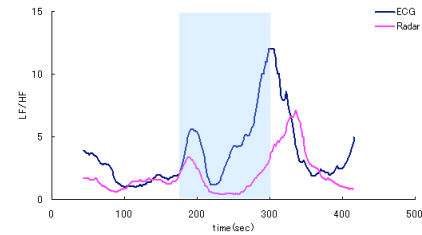
ずれがあるため、結果的にLF/HFの値にもずれが確認できるが、その変化についてはやはり似ていることが分かる。したがって、作業中であっても心拍数を同定することや、また心拍変動についてもある程度計測することは可能であると考えられ、実際の作業現場での応用の可能性を示唆する結果が得られた。



(A) LFの変化



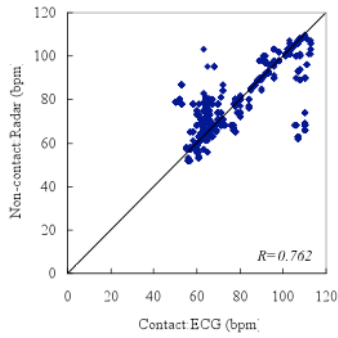
(B) HFの変化



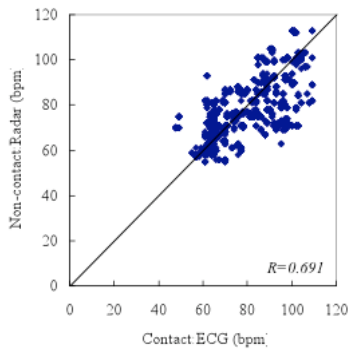
(C) LF/HFの変化

図3 心拍変動指標の変化(被験者S7)

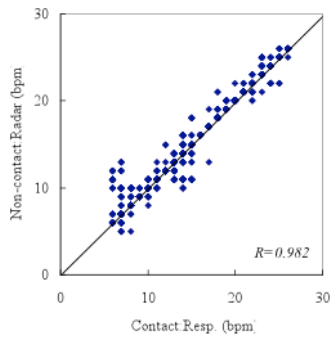
③自動車内での心拍・呼吸の取得：図4の(A)と(B)はいずれも自動車内における接触・非接触両方で計測した心拍数の比較を示したものである。(A)は自動車は停止しアイドリング中の計測結果であるが、図2に比べ多少のばらつきが生じ、相関係数が低くなっているのが分かる。これにより、エンジンの振動が計測に影響していることが見て取れる。また(B)は走行中の計測であるが、全体的にさらに分散が大きくなる傾向にあり、結果として相関係数もさらに低くなった。したがって、何らかのノイズ対策が必要であると考えられる。一方図4の(C)と(D)は呼吸数の接触・非接触計測の結果を比較したものである。(C)は自動車はアイドリング中の計測結果であり、(D)は走行中の結果を比較したものであるが、これらは両方とも相関係数も高い値を示しており、安定した結果が得られていることが見て取れる。



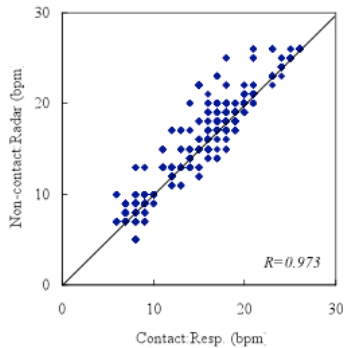
(A) 心拍数の比較 (停止・アイドリング中)



(B) 心拍数の比較 (走行中)



(C) 呼吸数の比較 (停止・アイドリング中)

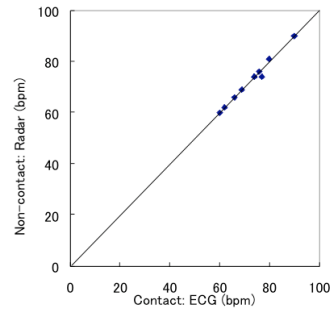


(D) 呼吸数の比較 (走行中)

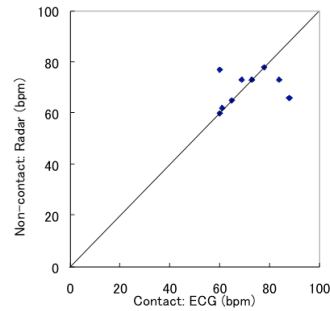
図4 自動車内における心拍数および呼吸数の接触・非接触法の比較

④運転動作中の心拍・呼吸を取得：図5 (A) と (B) は高速道および一般道での追い越しを想定した動作を行った状態での接触・非接触による心拍数計測の比較結果を示し、(C)

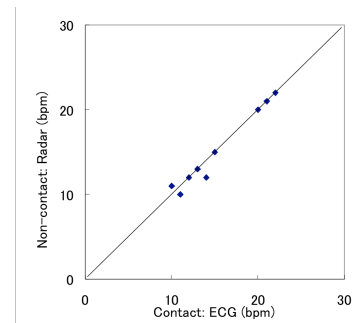
(D) は同じく高速道および一般道での追い越しを想定した動作を行った状態での呼吸数計測の比較結果を示している。高速道を想定した動作の場合、心拍数(A)も呼吸数(C)もかなり安定した結果を示していることが確認できた。これは、高速道ではハンドルの操作量が少なく、且つゆっくりしていることから体動のノイズが生じにくいことに起因していると考えられる。一方、一般道を想定した動作では、心拍数(B)も呼吸数(D)ともに不安定な結果を示した。これは高速道と比べ、ハンドルの操作量が大きいことから体動が大きく影響することが分かった。したがって、前述③のエンジンや自動車の挙動だけでなく、ドライバの体動によるノイズの除去も検討する必要があることが確認できた。



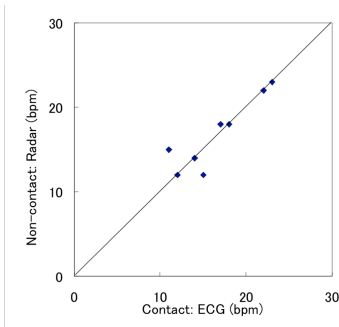
(A) 心拍数の比較 (停止・アイドリング中)



(B) 心拍数の比較 (走行中)



(C) 呼吸数の比較 (停止・アイドリング中)



(D) 呼吸数の比較 (走行中)

図5 運転中の動作を想定した心拍数および呼吸数の接触・非接触法の比較

⑤ノイズ対策：前述の③、④の結果より、ノイズによる影響がある場合でも安定した計測が出来るようにアンテナを増設すること、複数の信号から心拍・呼吸の情報を信号から抽出する方法を検討した。図6は、複数個のアンテナからのシグナルをそれぞれ周波数解析し、心拍と呼吸に関する情報が含まれると考えられる0.05~2.5Hz範囲のみのパワーの分布を正規化し、それぞれの積を取ることで双方のセンサに含まれる心拍・呼吸数の安定的な算出を試みた結果を示している。この図から接触・非接触から得られた信号の周波数が一致していることが分かる。この結果により、この方法を用いることにより、ノイズの大きさにもよるが、ある程度のノイズが混入する信号から目的とする情報のみを抽出することが可能であることを確認した。

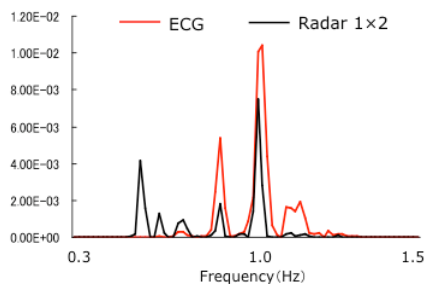


図6 心電図の周波数と2つのアンテナ出力より算出された合成周波数の比較

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計3件)

- ① **Satoshi Suzuki, Takemi Matsui, Hiroshi Kawahara, Hiroto Ichiki, Jun Shimizu, Yoko Kondo, Hirofumi Yura, Shinji Goto, Bonpei Takase, Masayuki Ishihara**, A non-contact vital sign monitoring system for ambulances using dual-frequency microwave radars, *Medical & Biological Engineering &*

Computing, 47, 101-105, 2009.

- ② **Satoshi Suzuki, Takemi Matsui, Hayato Imuta, Maki Uenoyama et. al.**, A novel autonomic activation measurement method for stress monitoring: non-contact measurement of heart rate variability using a compact microwave radar, *Medical & Biological Engineering & Computing*, 46(7):709-14, 2008.
- ③ 藺牟田隼人, **鈴木哲, 松井岳巳**, 上野山真紀, 由良洋文, 石原雅之, マイクロ波を用いた心拍の非接触計測及びメンタルストレスの評価について - 椅子の背もたれ越しに行う電極を使わないHRV計測の試み -, *心臓*, 40(1), 19-23, 2007.

[学会発表] (計6件)

- ① 塚原健史, 藺牟田隼人, **鈴木哲, 松井岳巳**, マイクロ波レーダーを用いた非接触呼吸パターン計測によるストレス評価, 日本人間工学会関東支部第38回大会講演集, pp. 83-84, 2008.
- ② 小谷光, **鈴木哲, 松井岳巳**, 自動車のドライバーを想定した非接触生体信号計測, 日本人間工学会関東支部第38回大会, pp. 49-50, 2008.
- ③ **鈴木哲, 松井岳巳**, 藤江翔吾, マイクロ波レーダーを用いた作業中における心拍変動指標の非接触計測の試み, 日本人間工学会誌第44巻特別号, pp. 272-273, 2008.
- ④ 皆川雅彦, 藺牟田隼人, **松井岳巳, 鈴木哲**, マイクロ波レーダーを用いた呼吸波形解析によるメンタルストレスの評価, 産業保健人間工学研究, vol. 9, Supplement, 25-28, 2007.
- ⑤ 藤江翔吾, **鈴木哲, 松井岳巳**, マイクロ波レーダーを用いた作業者の心拍数及びHRVの非接触計測, 産業保健人間工学研究, vol. 9, Supplement, 21-24, 2007.
- ⑥ **鈴木哲, 松井岳巳**, 藺牟田隼人, 石原雅之, マイクロ波レーダーを用いたメンタルストレスの非接触評価法に関する研究, 日本生体医工学会第46回大会, 2007.

[図書] (計0件)

なし

[産業財産権]

○出願状況 (計1件)

名称：身体情報測定装置および身体情報測定システム

発明者：松井岳巳, 鈴木哲, 川原寛史

権利者：公立大学法人首都大学東京

種類：

番号：2009-025445

出願年月日：平成 21 年 2 月 6 日
国内外の別：国内

○取得状況（計 0 件）

なし

〔その他〕

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松井 岳巳 (MATSUI TAKEMI)
首都大学東京・システムデザイン研究科・
教授
研究者番号：50404934

(2) 研究分担者

鈴木 哲 (SUZUKI SATOSHI)
首都大学東京・システムデザイン研究科・
助教
研究者番号：50306502

(3) 連携研究者

なし