

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月25日現在

機関番号：25406

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2009～2011

課題番号：21500658

研究課題名（和文） 心肺機能・睡眠時体動頻度自動計測による熟睡度モニタの開発

研究課題名（英文） The development of automated monitoring system for QOS (quality of sleep) in daily life.

研究代表者

川原田 淳 (KAWARADA ATSUSHI)

県立広島大学・保健福祉学部・教授

研究者番号：80195164

研究成果の概要（和文）：本研究は、健康管理およびヘルスプロモーションを目的として、就寝時の熟睡度（睡眠の質の高さ）を把握するため、睡眠中の心肺機能とともに身体の動きや寝返り等による体動を自動でかつ長時間計測する熟睡度モニタの開発を目指した。本法は、導電性を有する布状電極（布帛電極）をベッド等のシーツとして用い、自然な眠りの状態における心電図や呼吸曲線の計測を行うと同時に、安眠の程度を睡眠中の寝返りや身体の動き（体動率）から定量化するものである。

研究成果の概要（英文）：This research aims at the development of automated monitoring system for QOS (quality of sleep) in order to grasp the degree of deep sleep at the time of sleeping in daily life for the purpose of health care, health promotion, or both. The measurements of QOS were performed during sleep by placing the conductive textile electrodes which were placed on the pillow and the lower part of the bed sheet where the feet are positioned. The QOS evaluates the grade of good sleep from changing sides under sleep and motion of body (body movement) at the same time it performs measurement of ECG and respiratory curve in the state of natural sleep by using the conductive textile electrodes on the subjects without disturbing sleep.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	2,100,000	630,000	2,730,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学、応用健康科学

キーワード：熟睡度モニタ、健康自動計測、無意識計測、睡眠時体動頻度、布帛電極

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 睡眠は一日の生活単位において 1/4～1/3 の割合を占める重要な期間であるが、この就寝期間において質の高い安定した睡眠をとることが健康維持のために必要不可欠であることは言うまでもない。それにもかかわら

ず、現代社会は長時間労働や交代性勤務が常態化するとともに現代人の生活様式そのものが慢性的に睡眠を犠牲にする形態になりつつあり、これに起因する事故や人的災害も多く発生するようになってきた。このような状況の中、最近では脳科学や生体計測技術の進

歩によって睡眠への理解が深まり、睡眠の詳細なメカニズムが解明されつつある[1]が、これらの知見に基づく質の高い睡眠を実現するための基盤技術を提供することが可能となってきた。

(2) 健康維持のためには日常生活における適切な健康管理が必要であるが、その達成のためには生体情報を連続的に長時間測定し、経時変化を記録することにより、健康を損なう要因を早期に発見・除外し、常に健康レベルを一定範囲に保つことが重要である。

(3) 生体情報の長時間測定のためには、被験者の日常生活を妨げない無拘束計測を実施することが必須であるが、更にこれを進歩させ、被験者の身体にセンサや電極を直接装着しない方法、あるいはそれを意識させず、無意識的に計測・記録（無意識計測）が行われる方法が理想的である。

(4) 在宅における無意識計測技術のコンセプトは戸川等[2]によって提唱され、トイレを利用した無意識モニタリングシステムを山越等[3]が、浴槽を利用したシステムを田村等[4]が、ベッド心電計を石島[5]が実現した。また、研究代表者もこれらのシステムをウェルフェアテクノハウスのような一般住宅において使用し、長時間にわたる安定した記録結果[6]を得ている。

(5) これらの各種無意識計測技術において、睡眠中の生理機能を計測する試みとしては、戸川等[2]が睡眠習慣の簡便な計測法として、シーツの下に一系列に配置したサーミスタによりベッド内の温度分布を測定し、就寝、起床の時間や体動を検知する方法や、Korhonen等[7]が睡眠中の生理機能の機械的検出として、弾性体のシーツの両面に電極をはりつけたセンサをシーツの下に置くことにより生体情報を検出し、睡眠の状態を判定できる可能性を示唆している。

(6) 前述のベッド心電計は、布帛電極と呼ばれる金属銀を蒸着加工した繊維と絹糸からなる布状の電極を用い、これをベッドまたは布団のシーツの上の枕（首部）と脚部及び胸部近傍（胸部と腰部）に設置し、首部と脚部の布帛電極から得られた生体電位を増幅出力し心電図を得る。更に、胸部と腰部の布帛電極間の電気容量から胸郭の動きを検出して呼吸波形の測定を行い、睡眠中における心肺機能を無意識的にモニタリングすることができる。

#### (7) 引用文献

[1] 松浦雅人編：睡眠の生体計測技術（解説

特集）. 生体医工学, 46:133-176 (2008)

[2] Togawa T., et al.: Physiological monitoring techniques for home health care. Biomed. Sci. Instrum., 28:105-110 (1992)

[3] 山越憲一：トイレに設置するモニタリングシステム. BME, 10:30-38 (1996)

[4] Tamura T., et al.: Unconstrained heart-rate monitoring during bathing. Biomed. Instrum. Technol., 31:391-396 (1997)

[5] Ishijima M.: Monitoring of electrocardiograms in bed without utilizing body surface electrodes. IEEE Trans. Biomed. Eng., 40:593-594 (1993)

[6] 川原田淳：在宅における各種生理機能の無意識計測. 運動療法と物理療法, 12:301-308 (2001)

[7] Korhonen I., et al.: TERVA: system for long-term monitoring of wellness at home. Telemed. J. E-Health, 7:61-72 (2001)

[8] 川原田淳：在宅健康計測システムの高度化－健康自動計測を導入した住宅設計－. 平成 11～13 年度厚生科学研究費補助金・長寿科学総合研究事業, 研究報告書, 199900179A (1999), 200000205A (2000), 200100209A (2001)

#### 2. 研究の目的

(1) ベッド心電計は、睡眠中の心肺機能を無意識計測により把握できる点で有用であるが、皮膚の状態や寝返りを打つ等の体動時には皮膚と布帛電極間の接触インピーダンスが増加するため、心電図や呼吸波形の基線の激しい動揺が生じて測定が困難となる。本研究では、本来アーチファクトとして除外されていた基線動揺に注目し、これを積極的に体動のマーカーとして利用できないかと考えた。ここでは、安眠の程度を睡眠中の寝返りや身体の動き（体動率）から定量化し、ベッド心電計を用いた睡眠時体動率の無意識計測を実施する。

(2) 本法は、布帛電極を用いることにより自然な眠りの状態における心電図や呼吸曲線の同時計測が可能であり、睡眠中における心肺機能や体動頻度との関連についても観察を行い、循環・呼吸動態の変化が睡眠の深さや熟睡度の程度に及ぼす影響についても検討を行う。

(3) 睡眠時は外的刺激の影響が少なく、生理機能が非常に安定している状態であり、日常生活において最も基本的な健康状態を示していると考えられる。このため、睡眠中における生体計測や検査は被験者本来の基礎的

な生体情報を知るものであり重要である。従来から睡眠中の生体現象を観察するためには終夜睡眠ポリグラフィが用いられてきたが、計測期間が長時間にわたるため、なるべく簡便な方法により生体情報を評価し得ることや、被験者に負担の無い測定環境で計測が行われることが必要となる。本法は、被験者の身体に電極・センサ等を装着する必要が無く、ベッドに横たわるだけで自動的に計測が実施され、被験者に対して全く負担をかけない。

(4) 睡眠時の計測においては測定が長時間に及ぶため、そのデータ処理に多くの時間と労力を費やすことや、被験者において就寝直後は精神的緊張が高く、測定のための計器や身体に装着された電極やセンサが気になって寝付けない等の問題がある。特に体動率の測定を例に取れば、その直接的な計測手段としてビデオによる撮影が考えられるが、ビデオ画像から寝返りや身体の動きを判定するためには目測によるか、自動計測やリアルタイム処理では高度な画像処理が可能な大容量で高価なデータ解析装置を必要とし、多大な労力と時間がかかる。また、被験者においては、ビデオ撮影という特殊な環境下で測定が行われることに対する精神的緊張や場合によってはプライバシーの侵害にも繋がりがかねない。これまで、これらの点について考慮した研究は意外と少なく、本研究では、新しい試みとして、簡便で単純な計測方法及びデータ処理において情報量が膨大とならない評価法の開発や、被験者に負担をかけない測定環境の構築を目指した。また、研究代表者は健康支援のための在宅における各種生体情報収集システムの開発を目指してきたが、体動率測定はその一つの指標となり得る可能性がある。

(5) ベッド心電計は、導電性の布（布帛電極）をシーツの一部に用いることにより心電図や呼吸曲線を検出する計測法で、研究代表者も一般住宅においてこの方法を実施し、安定した記録結果が得られることを確認している。特に熟睡時には心電図波形の基線動揺は全く認められず、浅い呼吸時には呼吸に同期した基線動揺が示されるものの、各種フィルタ等の使用による波形処理によって、心電図と呼吸曲線を分離可能となる。しかし、大きな身体の動きや寝返りを打つ等の体動時には身体が布帛電極から離れるため、皮膚と電極間の接触インピーダンスが増加し、記録波形の激しい基線動揺が生じて測定が困難となった。心電図や呼吸曲線の検出のためには、この動揺はアーチファクトとなり除外すべき情報であるが、前述のように本研究では、逆にこの信号を体動のマーカとして積極

的に利用し、睡眠中において単位時間内ほどの程度体動が生じているかという体動率を測定すれば、これが安眠の程度の指標にならないかという着想に至った。また、本法では同時に心電図と呼吸曲線の測定が可能であり、これら心肺機能の生理情報や体動率との関係から睡眠の状態を判定できる可能性もある。

### 3. 研究の方法

(1) 本研究の方法は2つのパートに大別できる。第1は睡眠中における体動率計測のための原理の提案、布帛電極の開発と改良、自動計測システムの開発、試作システムの性能評価等に重点をおいた熟睡度自動計測システムの開発であり、第2は試作システムを用いた長時間・長期間データの収集と解析である。

(2) ベッド心電計の概要：ベッド心電計は、導電性の繊維を用いて織った布帛による電極を利用して、就寝中の心肺機能は無意識モニタする装置である。布帛電極は金属銀を蒸着加工した繊維と絹糸からなり、これを図1に示すようにベッドまたは布団のシーツの上の枕（首部）と脚部に設置する。首部と脚部の布帛電極から得られた生体電位を高精度差動増幅器で増幅し、適宜フィルタにより電気的雑音を抑制した出力から心電図を得る。また同様に胸部近傍（胸部と腰部）に布帛電極を設置することにより胸部と腰部の両電極間の電気容量から胸郭の動きを検出し、呼吸波形の測定を行うことも可能である。

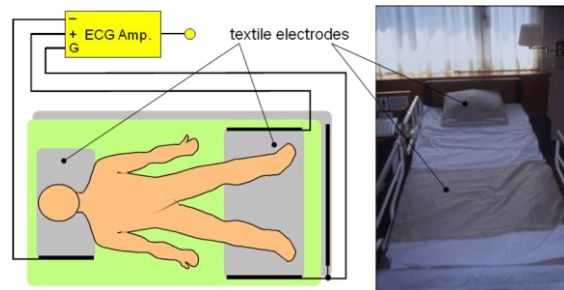


図1 ベッドを利用した心電図計測の概要

(3) ベッド心電計を用いた体動率の計測：図2は健康成人男子（72歳）に対して行った一晚の睡眠中における心電図の連続測定記録結果の一例である。同図上段の帯に見える部分は心電図を時間圧縮して示してあり、その部分を拡大し示したものが下段左側の心電図波形である。帯幅が少し広く見える部分は、心電図の基線に呼吸性動揺が重畳したもので、その拡大図を下段右側の波形として示した。また、上段の帯の何箇所かに生じているスパイク状のひげのように見える部分が体動等によって生じたアーチファクトである。これは皮膚の状態あるいは大きな身体の動

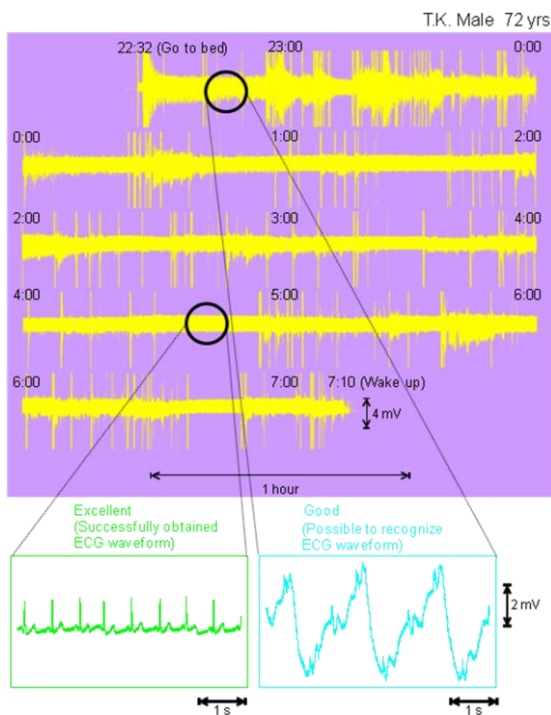


図2 一晩の睡眠中における心電図の連続測定記録結果の1例

きや寝返りを打つ等の体動時に身体が布帛電極から離れるため、皮膚と布帛電極間の接触インピーダンスが増加し、心電図や呼吸波形の基線に激しい動揺が生じるために発生する。同図に示すように、安静睡眠時には安定した第Ⅱ誘導類似の心電図及び呼吸波形を測定することが可能であり、就寝時におけるバイタルサインの連続モニタとして本法は有効であるが、体動時にはアーチファクトが生じ、測定が困難になった。本研究では、従来は体動により生じる波形の基線動揺のために、心電図等の測定が困難であった部分に注目し、これを体動に起因した信号として抽出し、単位時間当たりの回数をカウントすることにより体動率の測定を行う。

(4) 布帛電極の形状と配置の最適化：本法において、身体と布帛電極との接触状態が測定精度を左右する大きな問題となるが、現状の布帛電極の大きさ・形状や配置等は心電図測定のために最適な構成となっている。ここでは体動率の測定に対して適した布帛電極の形状と配置等の条件について検討する。同一のセンサにより多くの情報が得られることが望ましいので、心電図と体動率の同時測定が可能な電極の大きさ、形状、配置等の最適条件を探る。

(5) 体動率自動計測システムの開発：睡眠中の計測は長時間に及ぶため、蓄積データも多大であり、適切な自動計測システムの開発が必要となる。ここでは、ベッド心電計の出力

をデータ集録デバイス(NI myDAQ)によりコンピュータ(PC)に取り込み、デジタルフィルタを利用して心拍・呼吸成分と体動成分に弁別したデータをパルス化し、心拍・呼吸数や体動率等の算出を自動的に行うシステムの開発を行う。一般住宅での利用も考慮して、可搬性に優れ、操作性が簡便となるように工夫するとともに、低廉化を目指し、専用のデータ解析装置等は使用せず、ノート型PC、データ集録デバイス及びデータ解析ソフト(NI DIAdem)を体動率の自動計測システムの構築のために利用する。

(6) ビデオ撮影との同時測定による本法の妥当性の検討：本法による体動率の検出精度を確認するためにビデオ撮影による同時記録を行う。画像から直接的に判定した体動回数を単位時間内でカウントし、本法より得られた結果と比較し、本法の測定精度と妥当性を評価する。

(7) 身体加速度計を併用した体動率計測：身体活動量の計測のために加速度計が汎用されているが、これを利用し、本法の体動率検出の妥当性を確認する。前項(6)に示すビデオ撮影は正確に睡眠中の体動の様子を観察できるが、データ処理に労力を費やすため、多くの被験者に対して実施することは困難である。そこで簡便な身体加速度計測を用い、ビデオ撮影に代わる本法の評価のための比較手段として利用する。ただし、従来の加速度計は覚醒時の活動量計測を目的としているので、本研究への適用のため、その取り付け軸や方向、感度等について必要に応じて改良を加える。

(8) 学生ボランティアによる体動率のデータ収集：試作したシステムを利用して長時間の体動率のデータ収集を行う。当初は、学生ボランティアによる数日から一週間程度のデータ収集を目指す。その結果からシステムの安定性やデータ収集の確実性の確認を行う。

(9) 一般住宅における体動率のデータ収集：本システムを一般住宅に設置し、幅広い年齢層を対象とした一般ボランティアによる数週間から数箇月にわたる長期間のデータ収集を試みる。

(10) データ解析と総合的システム評価：前項(8)、(9)で収集したデータに基づき、性別や年齢別による差異の検討、長期間にわたるデータについては、体動率の発生パターンの周期性や日中の生活行動が体動発生に影響を及ぼすかどうか等についても検討する。また、長期間測定や測定環境の違いによりシス

テムの安定性がどのように影響を受けるかについても検討する。

(11) 他の生理情報や測定環境との関連：本法では、体動率と同時に心電図や呼吸曲線の同時計測が可能であり、心肺機能や心拍数のゆらぎと体動率との関連から睡眠の状態を判定できる可能性がある。また、体温等の他の生理情報や室温等の環境情報を同時測定することにより、これらのファクターが体動率に及ぼす影響についても検討し、熟睡度モニタの完成を目指す。

#### 4. 研究成果

(1) 上記の研究方法に対応させてまとめると、研究方法(1)～(5)についてはほぼ目標が達成され、布帛電極を利用して睡眠中の心電図や呼吸曲線の無意識モニタが可能であることを示し、更に心電図信号に生じたアーチファクトから体動率を測定できることを確認した。以下にこれらの研究成果の一部を示す。

(2) 図3は高齢(72 - 77歳)の健常成人4名(男子：3名、女子：1名)に対し、一晚の睡眠中における心電図の連続測定結果について、心電図波形が大きく乱れ測定が困難であった場合と、良好に心電図波形の記録が行えた場合を含め、多少の心電図基線の乱れが生じているもののR波等の検出により心拍数等の計測には供しうる場合に分類した結果である。心電図の判別率は一晚の全睡眠時間の80%程度以上であり、十分に実用に供し得ると思われた。また本例では、男子よりも女子の方が心電図の判別率が低かった。

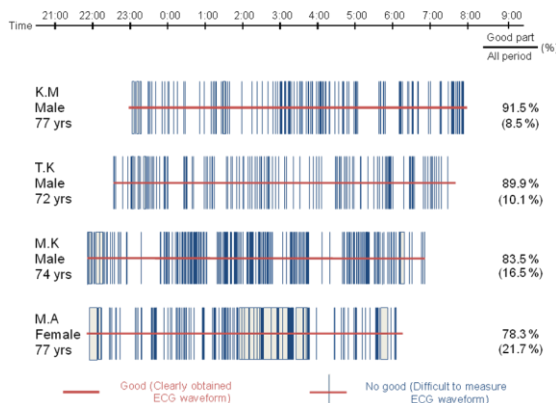


図3 睡眠時心電図を波形の良否により分類した結果

(3) 睡眠中における生体計測や検査は被験者本来の基礎的な生体情報を知るものであり、在宅における健康状態を把握するために、ベッドに設置するモニタリングシステムを開発することは重要である。睡眠中の健康モニタリングや無意識検査においては、その計

測時間が比較的長時間に及ぶため、寝返り等の体動により記録波形にアーチファクト等を生じることがあっても、測定・記録に有効な部分の波形を適宜選択することが可能である。また寝返り・体動等により生じるアーチファクトは心電図測定には適さないが、これを利用して睡眠中における体動率の測定ができ、体動率と睡眠の深さ(熟睡の程度)との関係等の解析に供する可能性が示された。

(4) 図4は健常成人男子(25歳)に対して行った睡眠中における心電図と体動率の連続測定を約一ヶ月間にわたり実施した結果をまとめたものである。心電図の判別率を棒グラフで、体動率を折れ線グラフで表している。同図のように、比較的長期間においても安定して測定可能であることが示された。

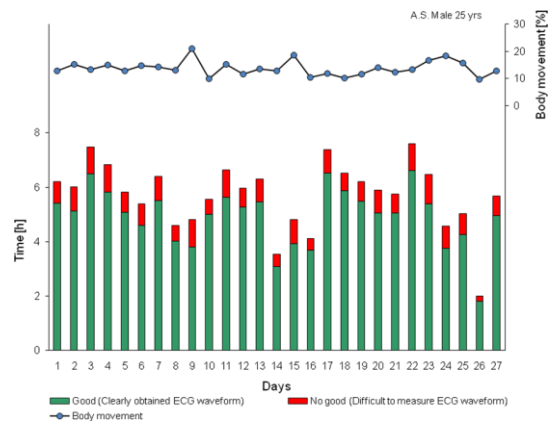


図4 心電図波形の良否と体動率について約一ヶ月間連続記録した結果

(5) 図5は、6名の高齢者において測定した3晩連続のベッド心電図より体動率を算出し、就寝開始後1時間おきの体動率を経時的にまとめたものである。同図は、1～3日目における体動率の平均値の経時変化を示した。同図に示すように、体動率の経時変化は2、3日目が比較的同様のパターンを示すのに対し、初日のパターンはこれと異なった。終夜実験等においては初日のデータは不安定要素が多く、必ずしも通常の生理反応を反映しないため、2、3日目のデータを使用することが知られているが、本結果による体動率においても同様の知見が認められた。また、就寝後1～2時間は体動率が高く2～3時間を経過して体動が減少していく変化を示した。なお、標準偏差に関しても就眠直後はばらつきが多く、熟睡するとばらつきが減少する傾向が認められた。俗に言われる寝入りばなにおいて、体動や体動率の個人差が大きいことを示唆しているとも考えられるが、今後もう少し短い時間間隔での解析を行い、体動率と睡眠の深さ(熟睡の程度)との関係等についての検討が必要である。

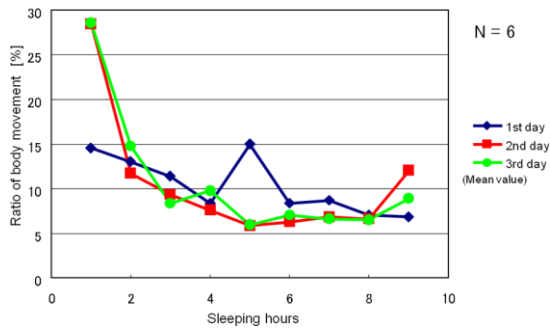


図5 体動率と睡眠時間の関係について3日間連続測定した結果

(6) 研究方法(6)～(11)については必ずしも当初の計画が達成できなかった。本研究課題は最終年度を迎えたため、当該助成事業による研究計画の継続は難しいが、本事業を通して、本法により計測される体動率から睡眠の状態や就寝時の熟睡度(睡眠の質の高さ)を把握する可能性が明確に示された。今後は更なるデータ収集と解析がまだ必要であり、最終目標の実現を目指して、これからも本研究の遂行を続けていく予定である。

(7) 本事業の研究成果として、比較的就寝直後や起床直前に体動率が高くなる傾向があることや、日中の生活行動によって体動率の経時変化に差異が生じることを示す知見を得た。この他に、年齢や性別の差異等によっても影響を受けると予想され、更にこれらの点について理解を深めるとともに、体動が頻繁に生じるフェーズにおいてはFFT(高速フーリエ変換処理)によるスペクトル解析を行い、その周期性に対する検討等を行えば、睡眠様式のマカニズムの解明にも結びつく可能性もあり、大きな学術的波及効果が期待できる。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計4件)

- ① 吉畑博代、中川佳奈、失語症者への携帯メール入力訓練について、地域リハビリテーション、査読無、7巻、2012年、48～51頁
- ② 川原田淳、失語症支援における工学的技術の利用について、コミュニケーション障害学、査読無、27巻、2010年、141～149頁
- ③ 吉畑博代、失語症者の参加への取り組み、コミュニケーション障害学、査読無、27巻、2010年、131～140頁
- ④ 川原田淳、日常生活空間におけるストレスとその計測—在宅生体情報計測によるストレス評価の可能性について—、バイオイ

ンダストリー、査読無、25巻、2008年、35～42頁

[図書](計3件)

- ① 吉畑博代、ミネルヴァ書房、認知・学習心理学(深田博己、宮谷真人、中條和光監修・編著)、2012年、513～530頁
- ② 吉畑博代、三輪書店、失語症訓練の考え方と実際—新人STへのヒント(鈴木勉編著)、2010年、129～147頁
- ③ 川原田淳、シーエムシー出版、ヒューマンインタフェースのための計測と制御(山口昌樹監修)、2009年、270～281頁

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

川原田 淳 (KAWARADA ATSUSHI)  
 県立広島大学・保健福祉学部・教授  
 研究者番号：80195164

##### (2) 研究分担者

吉畑 博代 (YOSHIHATA HIROYO)  
 県立広島大学・保健福祉学部・教授  
 研究者番号：20280208

##### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：