

入眠予兆検知着座センサーによる
居眠り運転防止技術の開発
(2 0 0 4 － 0 2)

○ 東京大学	金子 成彦
大分大学	榎園 正人
(財)島根難病研究所	亀井 勉
(株)デルタツーリング	藤田 悦則

(○印は総括研究代表者)

目 次

和文要約	1
英文要約	2

研究開発の目的と実施体制	3
--------------------	---

I．総括編

入眠予兆検知着座センサーによる居眠り運転防止技術の開発

(国法) 東京大学大学院工学系研究科 機械工学専攻 教授 金子 成彦

1. 序論	4
2. 脈波計測の意義の検証, 計測法の 妥当性を裏付けるための根拠調査 (東京大学)	5
3. 着座シートセンサーの開発, 測定方法とデータ処理法の検討 (大分大学)	8
4. 疲労を特徴付けるための指標作りと 医学的パラメータとの関連性調査 (島根難病研究所)	9
5. シート特性調査とシート構造の開発 (デルタツーリング)	10
6. 結論	26
7. 知的財産権取得状況	27
8. 研究成果発表実績	27

II．個別編

脈波計測の意義の物理的検証と計測法の妥当性を裏付けるための根拠調査

(国法) 東京大学大学院工学系研究科 機械工学専攻 教授 金子 成彦

1. 序論	32
2. 生体信号の多チャンネル同時計測	32
3. 入眠予兆信号検出方法に関する検討	32
4. 入眠予兆信号の精度と処理速度の関係についての検討	32
5. 結論	33
6. 知的財産権取得状況	34
7. 研究成果発表実績	34
8. 研究成果の今後の活用方法	36
9. 当該年度までの全体予算額	36

III．個別編

着座シートセンサーの開発, 測定方法とデータ処理法の検討

(国法) 大分大学工学部 電気電子工学科 教授 榎園 正人

1. 序論	37
2. 着座シートセンサーの開発および測定方法について	38

3.	データ処理法の検討について	39
4.	結論	39
5.	知的財産権取得状況	40
6.	研究成果発表実績	40
7.	研究成果の今後の活用方法	41
8.	当該年度までの全体予算額	41

IV. 個別編

疲労を特徴付けるための指標作り, 眠りの定義・分類,
医学的パラメータとの関連性研究

(財) 島根難病研究所 研究局 研究部長

亀井 勉

1.	序論	42
2.	入眠状態を特徴付けるための指標の確立	42
3.	入眠状態を特徴付ける指標と 医学的パラメータとの関連性調査(試行調査)	42
4.	入眠予兆現象の有用性の検証(医学的パラメータを用いた, 筋疲労および サーカディアンリズム(昼・夜の相違)との関連性の検討)	43
5.	サーカディアンリズム(昼・夜の相違)を想定した, 医学的パラメータ(血液・唾液)との関連性調査	44
6.	入眠予兆現象と末梢循環系の変化との関連性の検討	44
7.	アルファ波賦活化装置を用いた 座位姿勢での覚醒度を高める手法についての検討	45
8.	知的財産権取得状況	45
9.	研究成果発表実績	46
10.	研究成果の今後の活用方法	47
11.	当該年度までの全体予算額	47

V. 個別編

覚醒状態を維持する着座姿勢とシート構造に関わる研究

(株) デルタツーリング 開発部 常務取締役部長

藤田 悦則

1.	序論	48
2.	着座センサー付きシートの考案	49
3.	圧電フィルムセンサーを用いた生体信号収集システムの開発	49
4.	着座センサー付きシートの試作	50
5.	知的財産権取得状況	51
6.	研究成果発表実績	51
7.	研究成果の今後の活用方法	52
8.	当該年度までの全体予算額	53

和文要約

研究成果報告書要約

作成年月	平成19年3月
研究課題名	入眠予兆検知着座センサーによる居眠り運転防止技術の開発 (2004-02)
研究代表者名 (○印は総括)	○(国法) 東京大学 大学院工学系研究科 機械工学専攻 教授 金子 成彦 (国法) 大分大学 工学部 電気電子工学科 教授 榎園 正人 (財) 島根難病研究所 研究局 研究部長 亀井 勉 (株) デルタツーリング 開発部 常務取締役部長 藤田 悦則
研究期間	平成16年7月1日 ～ 平成19年3月31日
研究の目的	画像や脳波の計測では予見できない覚醒時の入眠予兆信号(眠くなる前の前兆信号)を、運転の妨げにならない場所で計測される脈波や呼吸数の揺らぎ変化等の生体揺らぎ信号のカオス解析結果から判別する斬新な測定法を提案し、機械工学、電気工学、医学、シート設計者からなるユニークな活動集団により工学的、医学的立場からの検討と裏付けに基づいた入眠予兆原理を確立するとともに、この原理に基づいたシートに装着可能な着座センサーや覚醒を誘導するシートを開発することが本研究の目的である。
成果の要旨	入眠予兆信号を見つけるためのデータ処理方法の検討、非侵襲的な方法によって生体信号を取得するための磁気作用や空気圧を利用した着座センサーの開発、着座センサーを自動車に装着した際に問題となる外乱を除去するための磁気ダンパーの開発、覚醒状態を維持できるシートの開発、疲労を特徴付けるための指標の提案と医学的な検証等を実施し、シートに組み込んだ圧力センサーにより運転者の腰部から運転時の心拍と呼吸状態の生体信号を運転席に着座した状態で計測することが可能なことを示した。また、脈波の最大リアプノフ指数傾きとパワー値傾きの時系列波形により検出された入眠予兆信号は、心拍変動のウェーブレット解析の結果から得られたHF成分が顕在化するタイミングと符合していることを明らかにした。さらに、医学的パラメータを用いた検証実験からは、入眠前の筋肉運動量が大きいほど入眠潜時(入眠予兆が現れて入眠状態になるまでの時間)が短いことを明らかにし、高覚醒度維持・快適短時間休憩のための姿勢に関する研究からは、人が座席に着座した状態で覚醒状態を維持し、肉体的・精神的に疲労の少ない着座姿勢としては、座角25度の場合は、背もたれ角度33度が最適であることを示した。
知的財産権 取得状況	特許出願 1件
研究成果 発表実績	論文発表：国内 3件、海外 8件 口頭発表：国内 19件、海外 1件 その他：新聞掲載(朝日新聞、平成19年3月3日他)10件、TV報道(テレビ東京、ワールドビジネスサテライト、平成19年3月4日他)4件、ラジオ報道(NHKワールドラジオ日本、平成19年5月8日他)4件、所内報等4件

英文要約

Summary of Research Report

Program for Promoting Fundamental Transport Technology Research

Date of preparation	March 31. 2007
Title of the project /Project number	Development of the drive dozing prevention technique using the sensor installed in the sheet for detecting the driver's condition (2004-02)
Name of the research coordinator (○ ; Leader)	○Shigehiko Kaneko, Prof., Dept. of Mech. Eng., The Univ. of Tokyo Masato Enokizono, Prof., Dept. of Electrical & Electronic Eng., Oita Univ. Tsutomu Kamei, Director, Shimane Institute of Health Science Etsunori Fujita, Managing director, Delta Tooling Co.Ltd.
Duration of the project	July 1. 2004 ~ March 31. 2007
Purpose of the project	The purpose of this project is composed of the following items; (1) To propose novel method for detecting the dozing symptom during wakeful state by making use of the results from chaotic analyses of pulse wave and respiratory rate measured by the sensors installed in the driver's seat not able to be detected by vision etc. (2) To establish and verify the methodology from the viewpoint of both medical and engineering field by the unique research group composed of medical doctors, mechanical, electrical engineers and sheet designers. (3) To develop prototype sensors and sheets making it possible to detect the dozing symptom during wakeful state without interfering the driver based on the results of the current research.
Summary of the results	In this study, a data acquisition method for detecting the dozing symptom during wakeful state, magnetic or pneumatic sensors for extracting biological signals from the driver under the dynamic seated condition, a suspension with a combination of a magnetic spring and a damper to avoid cruel disturbance input from the floor, the best seating posture to keep arousal level high and medical parameters for detecting fatigue level of the driver etc. were developed and the following major results are obtained. (1)Extracting biological signals can be possible with a detective sensor even if a driver under the dynamic seated condition exposed to cruel disturbance input by installing a suspension with a combination of a magnetic spring and a damper to the bottom of a seat. (2) Imerging timing of sleep detecting signal obtained by analyzing the variations in the time series of the gradients of the largest Lyapunov exponent and the gradients of the power value coincides with the timing where HF component of the heartbeat signal variations becomes obvious. (3) Medical parameters closely related to a muscle fatigue was found which suggest that the amount of muscular movement before falling asleep is related to the length of time until falling asleep after initial detection of the dozing symptom. (4) The best seating posture to keep arousal level high which is suitable for a short and comfort rest as well is the one that the backrest angle is 33 degree in the case that the seat cushion angle is 25 degree.
Patents, etc	1
Publication, etc	Paper Publications: 11 (Domestics 3, Overseas 8), Oral presentation: 20 (Domestics 19, Overseas 1), Press report (Asahi 2007/03/03 etc.): 10, TV report (TV Tokyo World Business Satellite 2007/03/04 etc.): 4, Radio report (NHK World Radio Japan 2007/05/08 etc.) 4, Internal report 4

研究開発の目的と実施体制

研究開発の目的

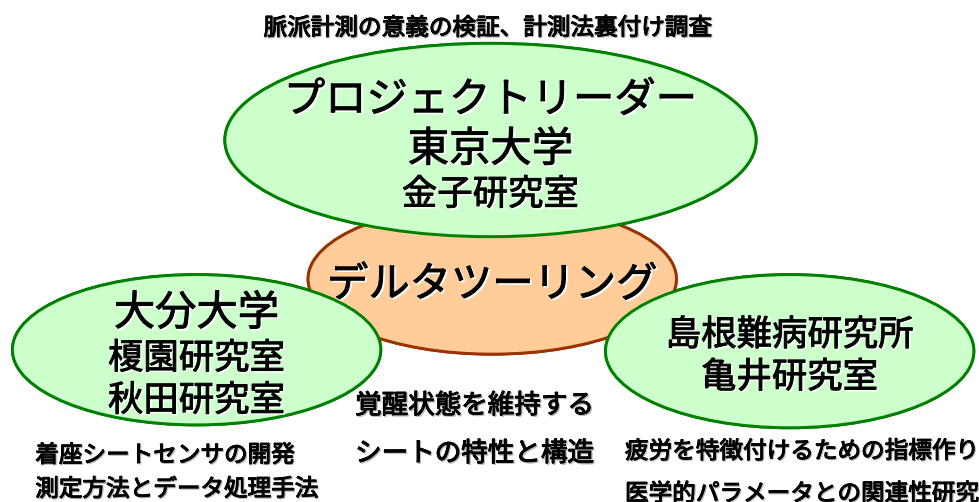
画像や脳波の計測では予見できない覚醒時の入眠予兆信号（眠くなる前の前兆信号）を、運転の妨げにならない場所で計測される脈波や呼吸数の揺らぎ変化等の生体揺らぎ信号のカオス解析結果から判別する斬新な測定法を提案し、機械工学、電気工学、医学、シート設計者からなるユニークな活動集団により工学的、医学的立場からの検討と裏付けに基づいた入眠予兆原理を確立するとともに、この原理に基づいたシートに装着可能な着座センサーや覚醒を誘導するシートを開発することが本研究の目的である。

共同研究実施体制

本研究は、国立大学法人東京大学を総括機関とし、国立大学法人大分大学、財団法人島根難病研究所、株式会社デルタツーリングの4機関で共同して実施する。各機関の分担課題名及び研究内容は以下のとおりである。

- （国法）東京大学：脈波計測の意義の検証、計測法の妥当性を裏付けるための根拠調査
 - （a）脈波計測の意義の検証
 - （b）計測法の妥当性を裏付けるための根拠調査
- （国法）大分大学：着座シートセンサーの開発、測定方法とデータ処理法の検討
 - （a）着座シートセンサーの開発
 - （b）測定方法とデータ処理法の検討
- （財）島根難病研究所：疲労を特徴付けるための指標作りと医学的パラメータとの関連性調査
 - （a）疲労状態と入眠状態を特徴付けるための指標の作成
 - （b）現象の真理追究と入眠予兆原理の医学的検証
- （株）デルタツーリング：シート特性調査とシート構造の開発
 - （a）着座シートセンサー装着可能なシートの開発
 - （b）覚醒状態を維持する着座姿勢とシートの特性と外的刺激および構造の提案

担当機関の研究実施体制は以下のとおりである。



研究開発の成果（概要）

I. 総括編

入眠予兆検知着座センサーによる居眠り運転防止技術の開発

○（国法）東京大学大学院工学系研究科機械工学専攻 教授	金子 成彦
（国法）大分大学工学部電気電子工学科 教授	榎園 正人
（財） 島根難病研究所研究 研究局 研究部長	亀井 勉
（株） デルタツーリング 開発部 常務取締役部長	藤田 悦則

1. 序論

1-1) 研究の背景

今日道路交通事故において、死亡事故は減少傾向にあるものの、依然として交通事故の発生件数そのものは増え続けている。その事故の原因として考えられるものはいくつかあるが、大半は人間の不注意によるものであり、居眠り運転事故が占める割合が高いと言われている。近年、長時間運転し続ける長距離トラックの運転手や、過労による疲れが溜まっている人、また睡眠障害のある患者などが、運転中について居眠りをしてしまうことが問題になっている。そこで、自動車運転時の運転者の居眠りを検知し、眠気発生を運転者に警告することで居眠り事故を防ぐような技術を開発することが急務とされている。

1-2) 従来の研究

これまでに、睡眠、居眠りに対する研究は盛んに行われてきたが、本研究と繋がりが深いものとしては、福田ら¹⁾による研究が挙げられる。彼らは、被験者に与えるストレスが少なく簡単に計測可能な心拍情報から、心拍のR-R間隔変動をカオス解析することにより睡眠ステージを推定する方法を提案している。これは睡眠時無呼吸症候群などの睡眠障害患者に対しても有意な結果を得られたため、睡眠障害の早期発見や治療に役立つと言われている。

一方、自動車運転者の心身状態に関連して、片山ら²⁾は、運転者の心身状態と指先脈波のゆらぎとの相関関係を明らかにし、居眠り運転などの事故に結びつきやすい運転を防止する手法を見出した。これは指先脈波のリターンマップの形状により運転者の心身状態を推定する方法で、リターンマップのモーメントが大きく、密度が低い場合が居眠り運転に相当するとしている。運転者の指先脈波のリターンマップの形状がリアルタイムで分かれば、実際に居眠りをしてしまってもそのリターンマップの傾向で感知し、すぐに危険を警告して覚醒させれば事故発生確率は下がることになる。

ただし、これらの研究は、単純に睡眠しているか覚醒しているかを判定する研究であり、これから睡眠に移行する予兆の検出に触れたものではない。

参考文献

- 1) 福田敏男ほか, 心拍変動のカオス解析に基づく睡眠状態推定手法,
電気学会論文誌, vol.125 No.1, pp.43~49, (2005)
- 2) 片山硬ほか, 自動車運転時のドライバの脈波のゆらぎ,
自動車研究, Vol.17 No.10, pp.489~492, (1995)

1 - 3) 本研究の内容

本研究は、画像計測等の従来の方法では予見できない覚醒時の入眠予兆（注：眠くなる前の前兆を捉えること）を運転の妨げにならない部位で計測される脈波や呼吸数の揺らぎ変化等の生体揺らぎ信号のカオス解析の結果から判別することが可能な斬新な測定法を提案し、機械工学、電気工学、医学、シート設計者からなるユニークな活動集団による工学的、医学的立場からの詳細な検討と裏付けに基づいた入眠予兆原理を確立するとともに、この原理に基づくシートに装着可能な着座センサーやセンサーを装着したシートを開発し、最終的には実用的な製品として世の中に提供することを目指すものである。

上記目標を達成するために、本研究プロジェクトで取り上げた内容は、脈波計測の意義の物理的検証、高い信頼性を持つ測定方法とデータ処理法の確立、眠りの定義・分類と入眠予兆原理の医学的な検証、医学的パラメータと疲労との関連性の明確化、疲労および入眠を特徴付けるための指標の作成、覚醒状態を維持する着座姿勢とシートの特性と構造の提案の6項目である。

具体的には、脈波信号取得の可能性及び各種生体信号の意味と被験者による違いの検討、入眠予兆現象の確認、着座センサーのプロトタイプの試作を行った。また、血液、唾液から判別できる医学的パラメータについては、実験手順の正確性の確認と睡眠実験自体に与える影響の検討及び抽出された医学的パラメータのばらつきや再現性の調査を行なった。さらに、上記のような準備段階を経て、着座センサー付きシートのプロトタイプの試作、入眠予兆現象の定量的判別法、筋疲労と入眠潜時との関係、覚醒度維持に繋がる着座姿勢や賦活化等に関する研究を行なった。

以下、研究内容の概要を、主要項目別に報告する。

2. 脈波計測の意義の検証、計測法の妥当性を裏付けるための根拠調査（東京大学）

本研究では、脈波計測の意義の物理的検証と計測法の妥当性を裏付けるための根拠調査を目的として、初年度には、各種生体信号について同時計測を行うことが可能なシステムを構築し、各生体信号の意味の把握、信号間の因果関係について検討した。引き続き次年度は、脈波のカオス解析によって得られた入眠予兆信号と心拍変動をウェーブレット解析した結果から得られる心拍変動に含まれるHF成分の増加及び脳波による睡眠-覚醒判定との関連性について調査を行った。最終年度は、入眠予兆信号を定量的に扱うことが可能な指標の提案を目指して、最大リアプノフ指数傾きとパワー値傾きの時系列

波形の位相関係を定量的に評価し、その結果をもとに入眠予兆現象が出現する時刻を検出する手法を提案した。また、カオス解析プログラムを見直し、解析時間の短縮を図った。

2-1) 脈波計測の意義の検証

(1) 各生体信号の意味および相互関係

初年度にあたり、実験室内で人体からの各種生体信号について同時計測を行えるシステムを構築した。(図 I-1) これによって各生体信号の意味の把握、信号間の因果関係が実験的に解析できるようになった。(図 I-2, 図 I-3)

図 I-4 に示す右手人差し指の脈波の記録からは、振幅の変化が頻繁に生じていることがわかる。図 I-5 には計測開始時から1分間と、いびき確認3分前の1分間の脈波波形を示す。脈波は1分間のうちにも振幅が時々刻々と変化していることが分かる。

2-2) 計測法の妥当性を裏付けるための根拠調査

(1) 脈波のカオス解析および心拍変動のウェーブレット解析

覚醒時の眠くなる前の前兆(以下、入眠予兆と呼ぶ)を、脈波などの生体信号をカオス解析により判別する測定法において問題点として挙げられるのは計算に要する処理時間と予測の確からしさである。そこで本研究では、カオス解析を実施する際のスライド時間幅を従来のものよりも長く設定することで、短い処理時間で入眠予兆信号を検出できるかどうかについて検討するとともに、脈波のカオス解析によって得られた入眠予兆信号と心拍変動の揺らぎをウェーブレット解析した結果から得られるHF成分(0.15Hz~0.45Hz)の増加時期及び脳波による睡眠-覚醒判定との関連性について検討した。

脈波のカオス解析では、最大リアプノフ指数とパワー値を時系列プロットの形で表した後、この二つの量の大幅的な変化の割合を見るために、時間幅 $T_w=180[\text{sec}]$ 間における各時系列プロットデータから最小二乗法で線形近似して最大リアプノフ指数傾きとパワー値傾きを算出した。(注: 計算方法の詳細については最終版を参照のこと)

なお、心拍変動のウェーブレット解析においては主にHF成分(0.15Hz~0.45Hz)の増加に注目し、被験者の副交感神経優位の状態への移行を検出した。

実験では、自動車用シートを用意して座位状態での30分間の入眠実験を行った。脳波計、心電計、パルスオキシメータを用いて脳波、心電図、指尖容積脈波等を計測した。被験者は被験者A~Dの全4名で、実験開始後しばらく覚醒し、入眠した被験者は被験者B一人であった。計測した被験者Bの脳波の解析により被験者Bは実験開始14分後に入眠したことが分かったため、被験者Bについて詳細な解析を行なった。

図 I-6 に示すように、被験者Bの脈波をスライド時間幅 $T_s=15[\text{sec}]$ でカオス解析した際に、最大リアプノフ指数傾きとパワー値傾き時系列波形が逆位相になっている箇所が、10分後付近と14分後付近に見られる。被験者Bは実験開始14分後に入眠しているので、10分後付近の逆位相波形が入眠予兆信号で、14分後付近が入眠した瞬間の生体信号の変化を捉えたものと考えられる。

また、被験者Bの心電図から算出した心拍数の変遷を図 I-7 に示す。心拍数は大域

的には14分後付近まで徐々に低下していき、その後ほぼ一定の値となっている。このことから、心拍数の低下状態を入眠予兆信号と関連して扱える可能性があるが、心拍数の低下の度合いは微小であるため、この情報をもとに入眠の予兆を判断することは困難と思われる。

心電図から求められた心拍変動をウェーブレット変換した結果を図I-8に示す。12分後付近と15分後付近にHF成分(0.15Hz~0.45Hz)の増加が確認できる。脈波のカオス解析のときと同様に、12分後付近が入眠予兆信号で、15分後付近が入眠した瞬間の生体信号の変化を捉えたものであると考えられる。

(2) 入眠予兆信号の定量化についての検討

相関係数を用いることで、位相関係の定量化を試みた。最大リアプノフ指数傾きとパワー値傾きの時系列プロットを時間幅3分間(12点分)に区切って、最大リアプノフ指数傾きとパワー値傾きの時系列波形の相関係数を求める。その時間幅を15秒(1点)ずつスライドさせて相関係数の時系列プロットを作成する。このような操作を行なった結果を図I-6と比較したのが図I-9である。

相関係数の図からは、相関係数がプラスからマイナスに変化している点が浮かび上がってくる。このデータから、この被験者は入眠予兆現象が650秒前後に現れていると判断できる。

以上のことから、指尖容積脈波データに対してカオス解析を行った結果から最大リアプノフ指数傾きとパワー値傾きの時系列波形の相関係数を計算することで、逆位相の程度を定量化し、入眠予兆現象を捉えるための指標とすることがわかった。

このような研究から、以下の結論が得られた。

(1) 実験室内で人体からの各種生体信号について同時計測を行うことが可能なシステムを構築した。これによって各生体信号の意味の把握、信号間の因果関係が実験的に解析できるようになった。

(2) 座位状態で入眠する被験者の、指尖容積脈波、SpO₂、心電図、脳波を同時に測定する実験を行った。その後、得られた指尖容積脈波信号に対してカオス解析を行い、心電図から得られた信号に対して心拍数の変遷の算出と心拍変動のウェーブレット解析を行った。その結果、指尖容積脈波の最大リアプノフ指数傾きとパワー値傾きの時系列波形により、入眠予兆信号を検出することが可能であることが分かった。

(3) 心拍変動に対してウェーブレット解析を行なった結果と脈波のカオス解析の結果から求められた入眠予兆信号を比較した結果、入眠予兆信号はHF成分が顕在化するタイミングで出始めることが明らかになった。

(4) 指尖容積脈波データに対してカオス解析を行い、最大リアプノフ指数傾きとパワー値傾きの時系列波形の相関係数を計算することで逆位相の程度の定量化が可能となり入眠予兆現象を捉えるための定量的指標を得ることが可能であることがわかった。

(5) 高い精度を保ったカオス解析には、佐野・澤田の手法が有効で、この手法に基

づくカオス解析に必要な解析時間の短縮には、データ数を適度に減らすことが有効であることが分かった。

3. 着座シートセンサーの開発、測定方法とデータ処理法の検討（大分大学）

3-1) 着座シートセンサーの開発および測定方法について

図 I-10 に自動車座席シート概観図および磁気回路センサーの位置を示す。この図における座席シート下部を拡大したものを図 I-11 に示す。また、磁気回路センサー部の断面図と本研究経費で購入した計測装置によって構築した磁気回路センサー開発用測定システム図を図 I-12 に示す。この図に示すように、磁気回路センサーには 2 つのトーションバーがあり、それぞれにピックアップコイルを巻き、その外側に励磁コイルを巻き付けている。様々な簡易測定装置で検討を行った後、図 I-10 に示したシートを実際に製作し、人が座った場合での信号変化を測定した。図 I-13 に示すように 59 kg と 75 kg の人が座った場合では信号が異なることが分かる。

トーションバーを 0 度から 30 度まで、3 度おきにねじった場合の磁気特性の変化を図 I-14 に示す。同一条件下で比較するために、それぞれの場合において、磁束密度 B が 0.1[T] 一定となるようにしている。本図より、トーションバーのねじれが大きくなると、 $B-H$ ループが傾いていくことが分かる。これは、トーションバーをねじるとトーションバーの磁気特性が劣化し、磁化し難くなっていることを示している。鉄系磁性材料に引張応力を印加すると、一度磁化し易くなり、その後、磁化し難くなる。しかしながら、鉄系材料であるトーションバーにねじれ応力を印加すると、引張応力印加時とは異なり、徐々に磁化し難くなることが明らかとなった。

引き続いて、初年度、次年度に実施した様々な基礎的な検討結果を踏まえて、磁気回路センサーを実用化する取り組みを進めていった。実用化への取り組み自体は、デルタツーリングから別途人員と経費を捻出することによって進めたが、実用化に向けた磁気回路センサーの基本構造・仕様策定には、本研究プロジェクトを遂行することによって得られた知見を活用した。

図 I-15 に実際に設計した磁気回路センサーの外観図と断面図を示す。

3-2) データ処理法の検討について

眠気の予兆を検出するために、デルタツーリングから提供された、高速道路走行中の助手席臀部センサーから得られた信号を対象に検討を行った。分析方法としてはケプストラム分析を用い、スペクトル包絡から入眠予兆を検出する際には、予兆の特徴をさらに抽出しやすくするため、スペクトル選択的平滑化処理によって高周波数域の包絡の細かい変化を除去することにより入眠予兆区間内のスペクトルの平坦化を行った。その結果、選択的平滑化処理によって低周波数域の特徴変動がより明瞭になったスペクトル包絡が得られた。以下、結果について考察する。図 I-16 に示す覚醒時のスペクトル包絡にはそのような特徴は見られないが、図 I-17 の点線部内のように、入眠予兆時のスペクトル包絡が平坦化する傾向が得られ、センサー原波形では確認できない入眠と

関連性のある特徴が得られる可能性を見出した。

次に、ケプストラムの低次部の和を検出パラメータに選んで、入眠予兆前と後の判別の可能性について検討した。検出パラメータ V_i は、

$$V_i = \sum_{k=n}^m \tilde{c}(k) \quad (1)$$

としている。次数 m, n を変化させて実験した結果、 $n=m=1$ のようにスペクトル包絡の傾斜情報のみを利用しただけでは不十分で、 $n=1, m=3$ とした場合には、スペクトルの平坦化を表すパラメータの変化が明確に得られることがわかった。（注：計算手法の詳細については最終版参照のこと）また、使用するケプストラム次数をさらに増加させても傾向に変化は確認されなかった。分析したデータの最初の部分（覚醒状態）、入眠予兆の部分、その後の眠気が続いた部分における検出パラメータの時間変化を図 I-18a), (b), (c)に示す。覚醒時には、このパラメータの値に大きな変化はないが、図 I-18 (b)の点線内に見られるように、入眠予兆時には、このパラメータの値に大きな変化が現れていることが分かる。

以上のように、低周波数域を単に強調しただけでは入眠予兆におけるスペクトル包絡の明確な特徴が現れないが、スペクトル選択的平滑化処理によって高周波数域の包絡の細かい変化を除去することにより、入眠予兆区間内でのスペクトルの平坦化を行い、予兆の特徴を抽出しやすくした。また、ケプストラムの低次部の和による入眠予兆判別法により入眠予兆前と予兆後の判別の可能性を示した。

4. 疲労を特徴付けるための指標作りと医学的パラメータとの関連性調査（島根難病研究所）

4-1) 疲労を特徴付けるための指標作り

(1) 入眠予兆現象と覚醒期の筋疲労との関連

図 I-19に示すように覚醒期（脳波計測開始の直前）の乳酸値と入眠潜時（指尖容積脈波からの入眠予兆信号検出と、脳波からの睡眠段階1の判定の時間差から算定）との間に逆相関の傾向を認めたことから、入眠前の筋肉運動量（可能性として、筋疲労の程度）が大きいほど入眠潜時が短いことが示唆され、入眠予兆現象の臨床応用が期待された。

本研究の最終目標として、座位姿勢と覚醒度の維持・回復の関連を検討する上で、今後、座位姿勢での筋疲労をリアルタイムで評価し、入眠予兆現象との関連性を検討する必要があると考えられた。

(2) サーカディアンリズム（昼・夜の相違）を想定した医学的パラメータ（血液・唾液）との関連性調査

図 I-20に示すように日中と夜間の医学的パラメータの比較では、血液中のコルチゾール値に有意差を認めた。実験時間の設定はサーカディアンリズムを反映したものとなっていた。さらに、日中と夜間の入眠潜時の比較では、日中より夜間の方が入眠潜時が短い可能性が見込まれたため、入眠予兆現象には、睡眠のホメオスタシスに加えて、

生体のサーカディアンリズムも反映されている可能性が考えられた。

今後、入眠防止の警告システムの開発の際に参考となる、一つの知見が得られた可能性があると考えられた。

4-2) 医学的パラメータとの関連性調査

(1) 入眠予兆現象と指尖での皮膚血流量

図 I-21 に示すように、覚醒期に入眠予兆現象が出現する時期（パワー値の時系列波形が最大振幅を示す時期）にほぼ一致して、指尖の皮膚表面を流れる末梢血流量の増加を認めた。

これより、パワー値の傾き時系列波形は末梢の血流量の変化を反映し、かつその最大振幅は生体が覚醒から睡眠に移行する過程で生じる末梢血流量の急激な増加を反映している可能性が考えられた。

(2) 入眠予兆現象と心拍パワースペクトル

HFは、覚醒から入眠にいたる時期に、わずかながら漸増傾向を認めた。LF/HFは、覚醒期に入眠予兆現象が出現する時期（最大リアプノフ指数の傾き時系列波形が最大振幅となる時期）の直前かその時期にほぼ一致して矢印(a)で示すような一過性の上昇が認められ、最大リアプノフ指数の傾き時系列波形の振幅変動とほぼ同期していた（図 I-22 を参照）。

これらより、最大リアプノフ指数の傾き時系列波形は、交感神経活動をより反映している可能性が示唆された。

4-3) アルファ波賦活化装置を用いた座位姿勢での覚醒度を高める手法についての検討

図 I-23 に示すように、15分間のパルス光照射を20回繰り返すことにより、試作機の1機目では、半数近くの被験者で照射中の9~11Hzのアルファ波の振幅と出現率の有意な増加が起きるようになった。試作機の2機目においても、15分間の照射を20回繰り返すことにより、1回目よりは10回目、20回目と回を重ねるにつれてパルス光照射時間（15分間）の後半に、9~11Hzのアルファ波の増加とベータ波の減少が起きるようになった。

このような仕様の装置を用いることにより、安静時における集中力増強に関与があるとされる 9~11Hzの周波数帯域のアルファ波の増加が起きるようになると考えられた。そして、この反応は、座位姿勢で睡眠した後の覚醒効果を促進させることができるものと思われた。

5. シート特性調査とシート構造の開発（デルタツーリング）

5-1) 着座センサー付シートの開発

本研究では、着座者の体動や脈波・呼吸等による生体信号を収集する方法として、自動車用シートの座部構造部材に磁気コイルセンサー等を組み込んだ着座センサー付き

シートの開発を試みた。

平成16年度は、背部と座部の座面に3次元立体編物を用い、同じく3次元立体編物から成る張力構造体を座部の座面支持部材として用いた新しい自動車用シート構造を考案した。このシートの座面支持部材に張力を与えているトーションバーに、磁気コイルセンサーを組み込み、背部と座部の座面表皮には圧電フィルムセンサーを取り付けたものを着座センサー付シートとして設計・製作し、生体信号が検出可能であることが確認できた。しかし、トーションバーセンサー・圧電フィルムセンサーともに、信号検出の精度・感度が不十分であり、種々の改良が必要であることも判明した。

また、開発したトーションバーを利用した磁気コイルセンサーと信号検出ツールを用いることで、静的着座状態での着座者の体重相違の検出が可能であることを確認した。しかし、センサー信号に含まれるノイズの多さや400Nの初期張力が作用することによる微小な荷重変化に対する感度不足、そして、センサーに発生する磁気によるトーションバーの磁化や荷重増減時に見られるヒステリシス現象等が問題点として認められた。

平成17年度は、前年度の研究結果を踏まえて、より厳しい条件である動的な着座状態での生体信号抽出方法について検討を行った。背部と座部の座面に3次元立体編物を用い、3次元立体編物から成る張力構造体を座部の座面支持部材として用いて新たに自動車用シート構造を試作した。このシートの座面支持部材に張力を与えているトーションバーに磁気コイルセンサーを組み込み、背部と座部の座面表皮には圧電フィルムセンサーを取り付け着座センサー付シートを試作した。図I-24に試作した着座センサー付きシートを示す。トーションバーに3次元立体編物を組み合わせたばね構造を持つシートでトーションバーに着座センサーとなる磁気コイルセンサーが取り付けられている。また3次元立体編物の表面層には圧電フィルムセンサーが取り付けられている。これらのセンサー付きシートを用いて、非侵襲的に着座者の生体信号収集の可能性を探った。

図I-25に試作した磁気コイルセンサーを示す。このセンサーは検出コイルと励磁コイルの2重構造となっており、トーションバーを励磁させ、ねじれる側と静止側の2つで差動信号を検出するものである。

本着座センサー付シートを用い、静的着座状態及び動的着座状態（アイドリング時）における臀部あるいは背部からの生体信号検出実験を行ったところ、着座者の生体信号抽出が可能であることが確認できた。図I-26に入眠予兆現象の計測例を示す。これら指尖容積脈波の変調、心拍数と呼吸数の変化は他の被験者でも生じたことから、この入眠前に生じる生体信号の変化を入眠予兆信号と定義した。この変化は被験者が睡眠に至る8分から10分前に検出できることがわかった。

また、着座センサー付きシート下部に取り付けた磁気ばね・磁気ダンパー付きサスペンションがメカニカルフィルターとして作用することで、高速道路走行時のような厳しい条件下でも、着座者の生体信号抽出が可能であることが確認できた。図I-27には磁気ばね・磁気ダンパー付サスペンションの概観図とそのばね特性を示す。この磁気ばね・磁気ダンパー付サスペンションは不感帯を有しており、高い除振効果を持つ。この磁気

サスペンションを着座センサー付きシート下部に取り付けることで外乱入力への厳しい動的着座条件下においても着座者の生体信号抽出が可能である事が確認できた。図 I-28 に試作したサスペンションユニット付きシートを示す。このシートに装着された磁気ばね・磁気ダンパー付きサスペンションがメカニカルフィルターとして作用することで、大Gが発生する外部振動入力条件下でも着座者の生体信号抽出が可能になった。

また、コヒーレンス関数を用いた解析により、動的条件下での呼吸・脈波成分抽出に対する磁気サスペンション等の除振機構の有効性が確かめられた。

平成18年度は、前年度の研究結果を踏まえて、より厳しい条件である実車走行時の動的な着座状態で、背部に圧電素子の代替として、デルタツーリング製のエアパックセンサーを取り付け、座部に磁気回路センサーを取り付けて生体信号の抽出方法について検討を行った。磁気回路センサーでは、動的条件下で身体動揺を、静的条件下で呼吸をそれぞれ抽出可能なことを確認した。エアパックセンサーでは、圧電素子の代替として呼吸と脈拍をそれぞれ抽出可能なことを確認した。

図 I-29 に静的・動的条件下での心拍成分、呼吸成分の原波形を示す。動的条件下でも静的条件下と同様に、被験者の心拍成分、呼吸成分をセンシングすることが可能となった。

5-2) 覚醒度を維持しやすい着座姿勢の検討

被験者をリラクスケアに就座させ、50分間の睡眠実験を行った。背もたれとオットマンの角度は被験者毎に最もリラックスできる眠りにつきやすい角度に任意に設定し、指尖容積脈波（心拍成分）と背部（呼吸成分）の生体信号および脳波と体表面温度を計測した。各計測信号から、心拍周波数、呼吸周波数、体表面温度及び脳波の時系列波形を求めた。脈波については、パワー値傾きと最大リアプノフ指数傾きの時系列波形を求め、その後、この時系列波形の周波数分析を行った。

続いて、平成17年度は、高覚醒維持&快適・短時間休息可能な着座姿勢について検討を行った。

人がシートに就座した状態で高覚醒度を維持するためには、背もたれの角度を調整して、人間がもっともリラックスして集中力の高い状態を作り出し、肉体的・精神的に疲労の少ない着座姿勢をとる必要がある。また、この着座姿勢は、リラックスした姿勢なので、短時間の休息にも適している。高覚醒維持・快適短時間休憩に適した姿勢を検証するためにシート背部の角度を変更しながら脳波の計測を行った。背もたれ角度を2°ずつ5分毎に変更しながら計測を行った。座部の座角25°で、背もたれ角度30-35°付近の脳波のα波と脈波の両方に安定状態が確認され、背もたれ角度33°が最もリラックスした姿勢であることが確認できた。図 I-30 に計測結果を示す。

また、乗員が高覚醒度を維持することができるシートを試作した。そして、生理学的・医学的パラメータと姿勢の関係を、計測データを用いて解析し、疲労しにくくリラックスした状態で座れる着座姿勢を静的な状態で模索した。具体的には、静的環境下で、着座することによって生ずる筋疲労を体幹の筋電を用いて計測し、同時に脈波・呼吸・

拍動・脳波も計測する。そして、これら生理的・医学的パラメータにゆらぎ解析を実施し、静的環境下での筋電と脈波・脳波におけるゆらぎの相関性を検証する。特に、腰背部の筋肉のように姿勢保持のための持続的な張力発生に關与する筋線維が多い筋肉では、筋肉の動き自体に変化が少ないため、通常検出される筋電波形を眺めるだけでは筋肉の動きの変化を捉えにくいことが指摘されている。そこで本研究では、筋電波形のゆらぎ解析による不安定性の評価を通じて、筋肉の機能低下（筋疲労）の様子を捉える方法を検討した。

図 I - 3 1 には疲れない姿勢での指尖容積脈波傾き時系列波形を示す。パワーの傾き時系列波形は、睡眠状態（体はリラックスして筋弛緩している状態）と覚醒状態では、大きな変化はなく、姿勢維持に余計な力を使っていないことから、体には無理のない姿勢であると考えられる。

図 I - 3 2 には疲れない姿勢での脳波分布率時系列波形を示す。脳波からみて、450 秒前後で θ 波の極大値がでており、このときに睡眠に入ったと考えられる。その後、900～1800 秒にかけて安定した脳波がでており、リラックスした状態で睡眠していると考えられる。1800 秒過ぎより θ 波の大幅低下が見られるため、この時点で起きていると考えられる。2100～3000 秒にかけて覚醒状態を示している。

図 I - 3 3 には疲れない姿勢での腰部筋電傾き時系列波形を示す。静的環境下での腰部筋電の傾き時系列波形では、睡眠（リラックス）状態、覚醒状態ともにパワー値の傾き波形の振幅が小さく、安定した姿勢で背筋をあまり使わない姿勢であることが分かる。

図 I - 3 4 からは静的環境下での腹部筋電の傾き時系列波形では、睡眠（リラックス）状態でパワー値の傾き波形の振幅が大きく、逆に覚醒状態では小さくなっており、睡眠（リラックス）状態では深い腹式呼吸であったことが推測でき、筋電と生体信号におけるゆらぎの相関性を確認できた。

以上のように、筋電波形のゆらぎ解析により、筋肉の機能低下の評価ができる可能性について検討し、筋電と生体信号におけるゆらぎの相関性を確認した。

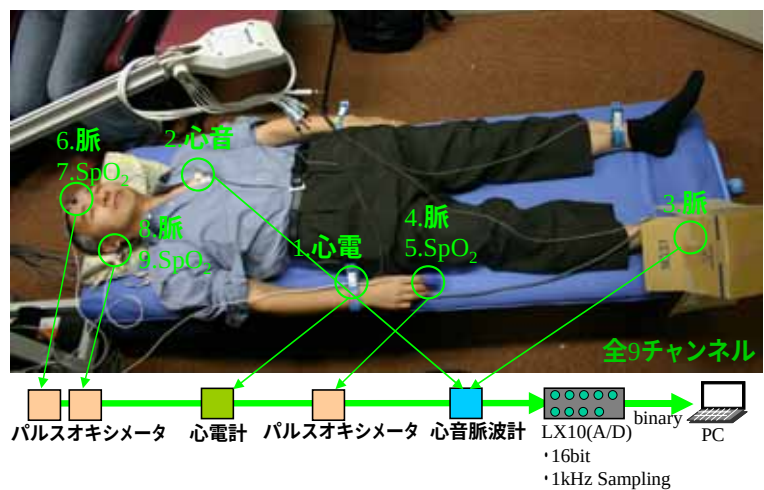


図 I - 1 生体信号多チャンネル同時計測システム

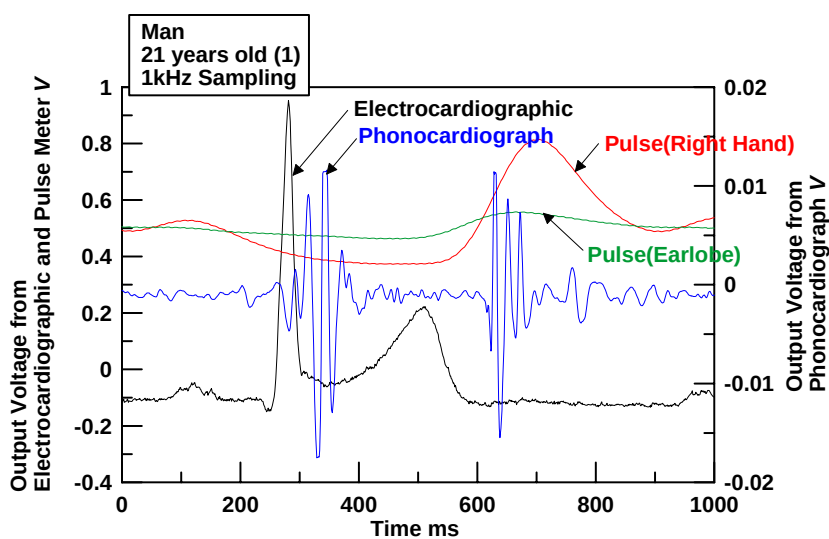


図 I - 2 心電位, 心音, 脈波の関係

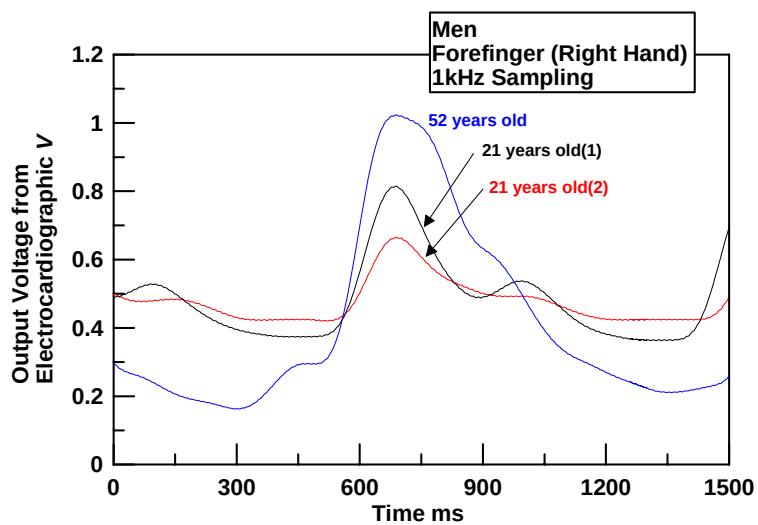


図 I - 3 脈波波形 (3 被験者のデータ比較)

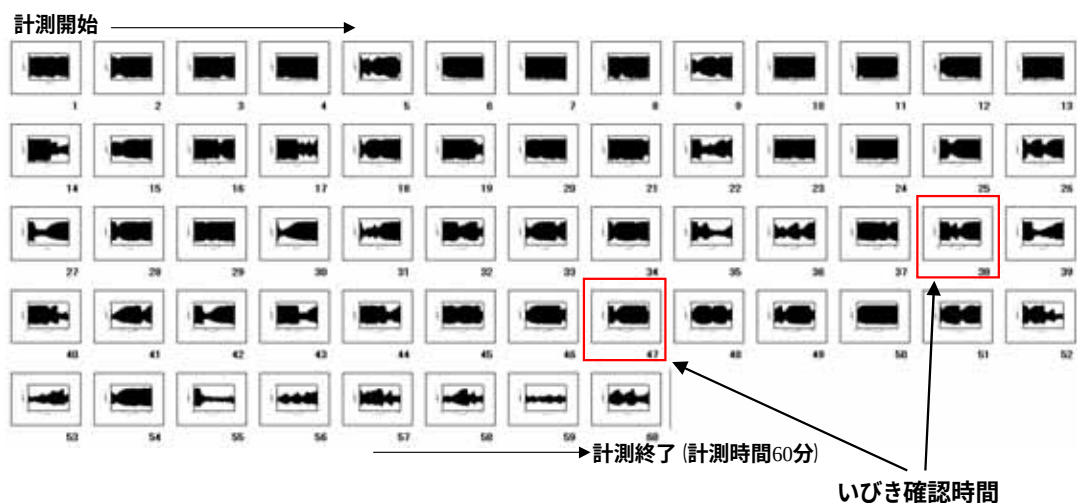


図 I - 4 覚醒，睡眠移行時の脈波（右手人差指）

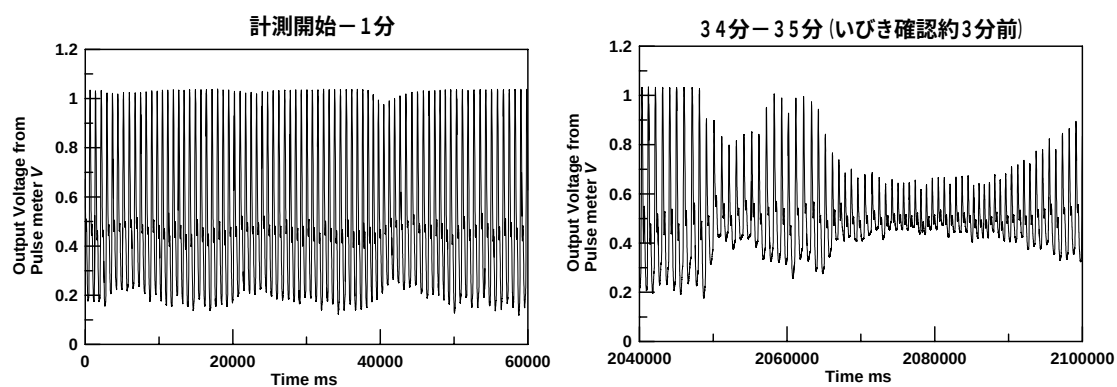


図 I - 5 覚醒，睡眠時の脈波（右手人差指）

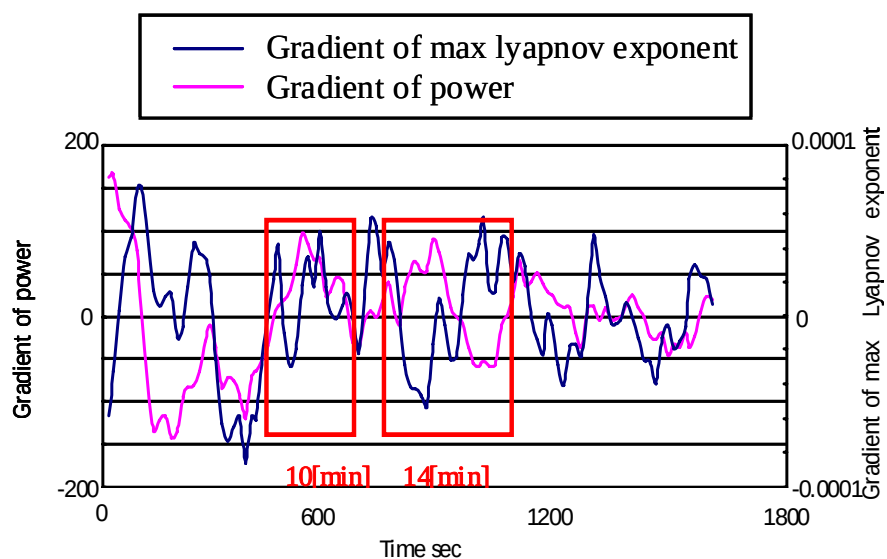


図 I - 6 最大リアプノフ指数とパワー値の傾き時系列

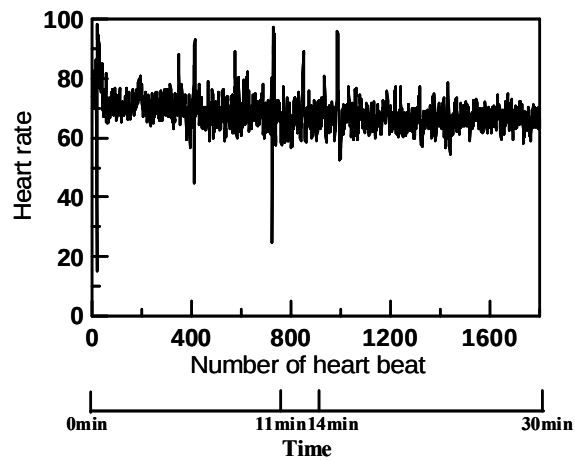


図 I - 7 心拍数の変遷

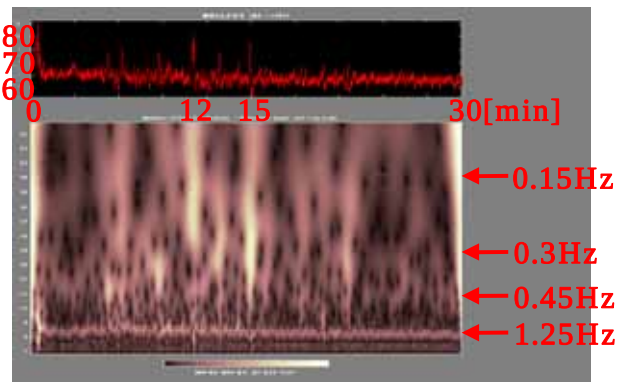


図 I - 8 心拍数のウェーブレット変換

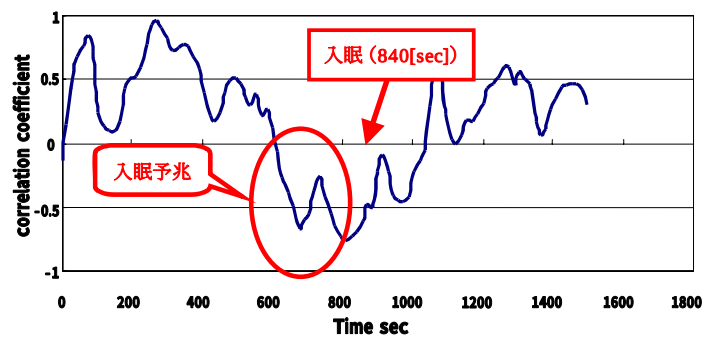
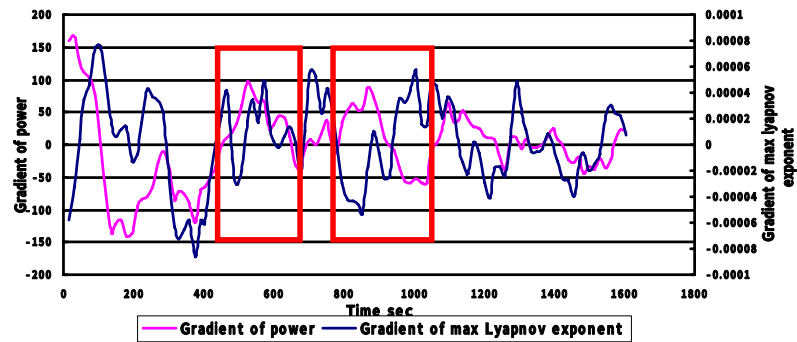


図 I - 9 最大リアプノフ指数傾きとパワー値傾き時系列プロットと相関係数比較

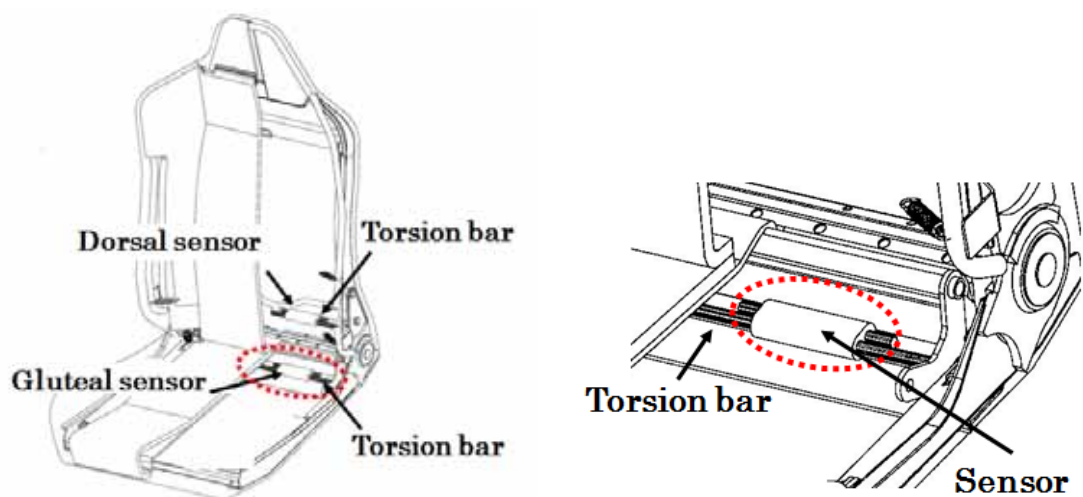


図 I - 1 0 磁気回路センサー搭載シート概観図 図 I - 1 1 磁気回路センサー部拡大図

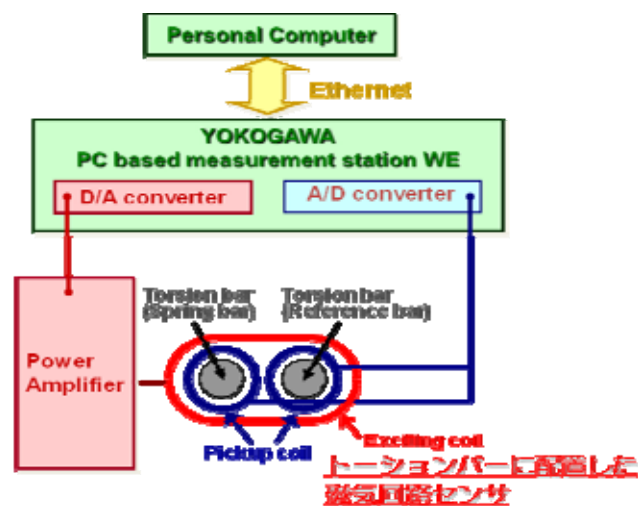


図 I - 1 2 磁気回路センサー開発用測定システム

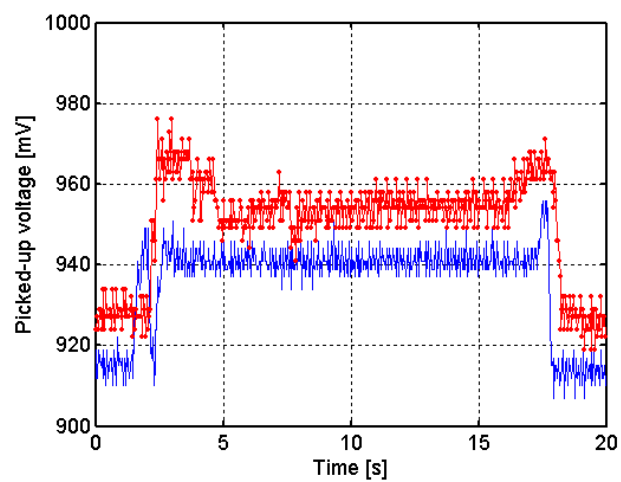


図 I - 1 3 実際に製作した磁気回路センサー付シートにおける差動電圧変化

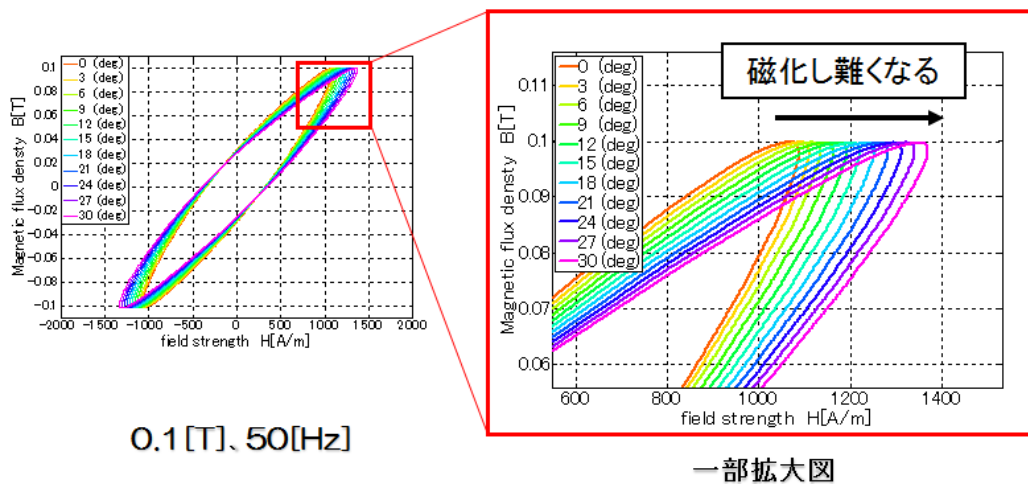


図 I - 1 4 トーションバーのねじれ角と B-Hループの関係

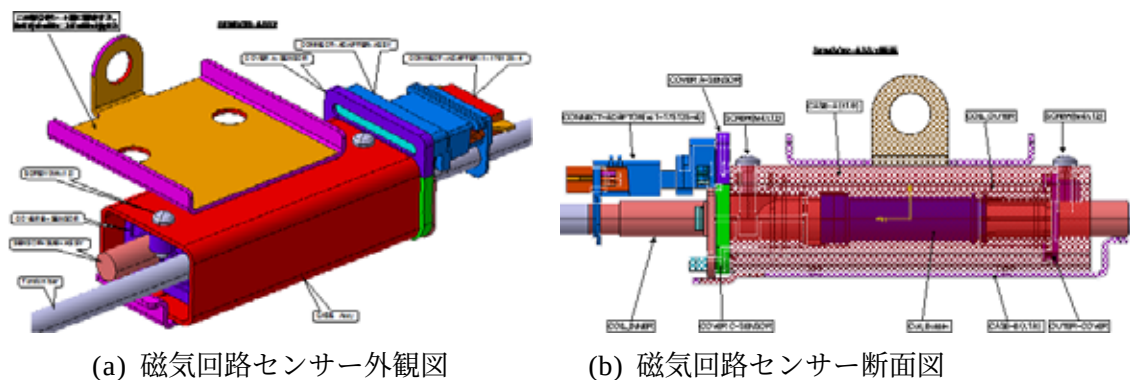


図 I - 1 5 実用化に向けた磁気回路センサーの設計構造

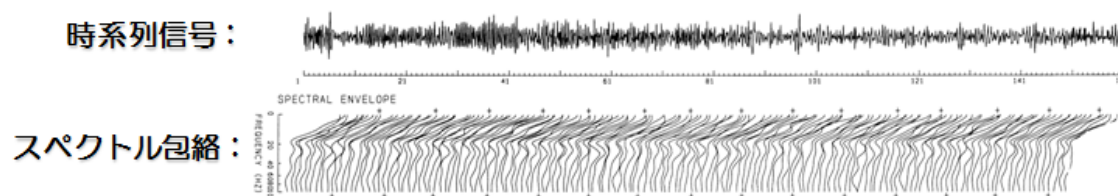


図 I - 1 6 センサ波形と選択平滑化によるスペクトル包絡（覚醒時）

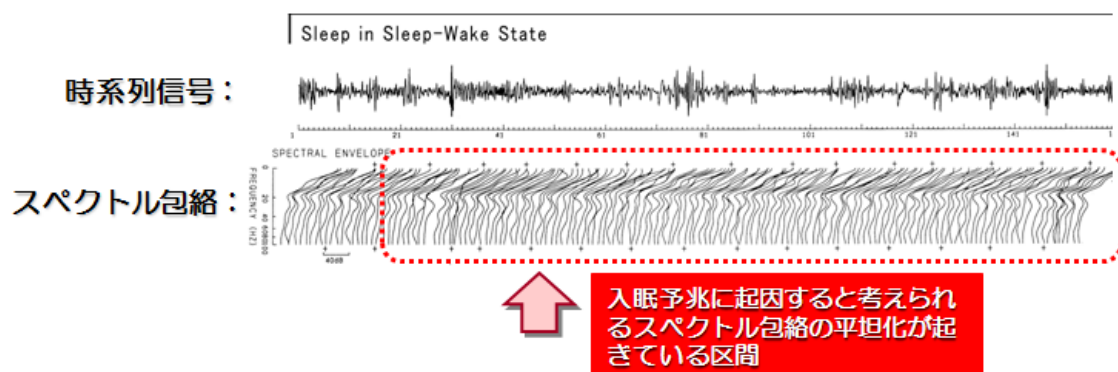
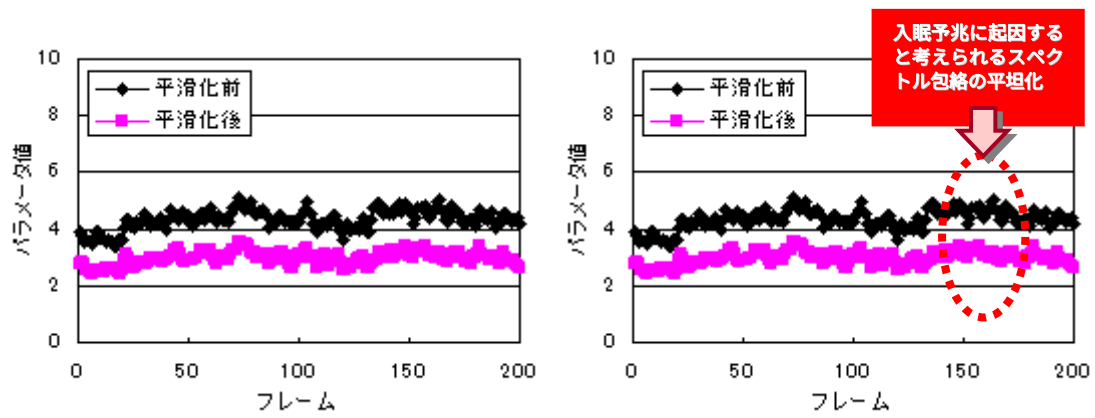
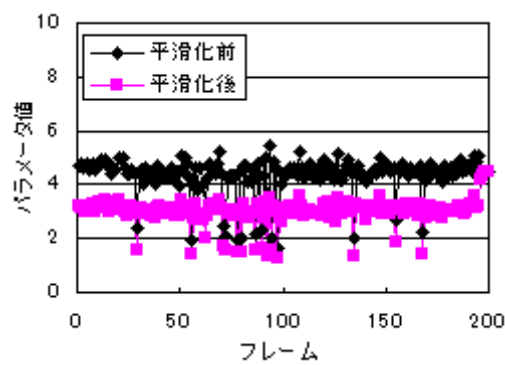


図 I - 1 7 センサ波形と選択平滑化によるスペクトル包絡（入眠予兆時）



(a) 入眠予兆のない区間

(b) 入眠予兆区間



(c) 眠気が続く区間

図 I - 18 ケプストラムによるパラメータ V_i の時間変化 ($n=1, m=3$ の場合)

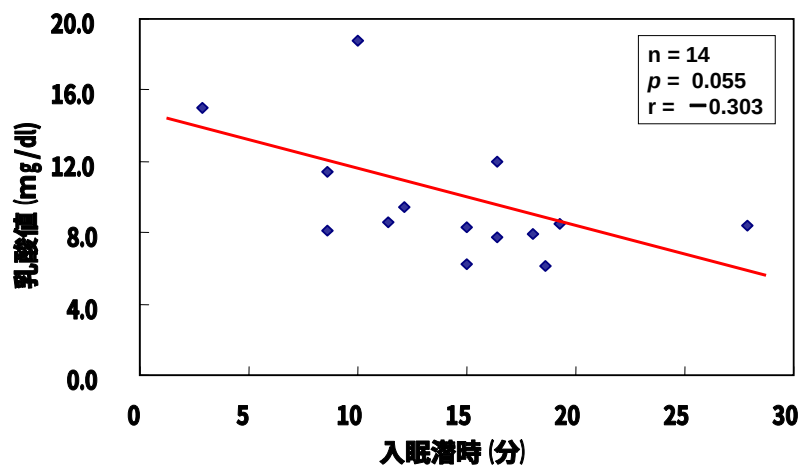


図 I - 19 乳酸値 (前) と入眠潜時の関連

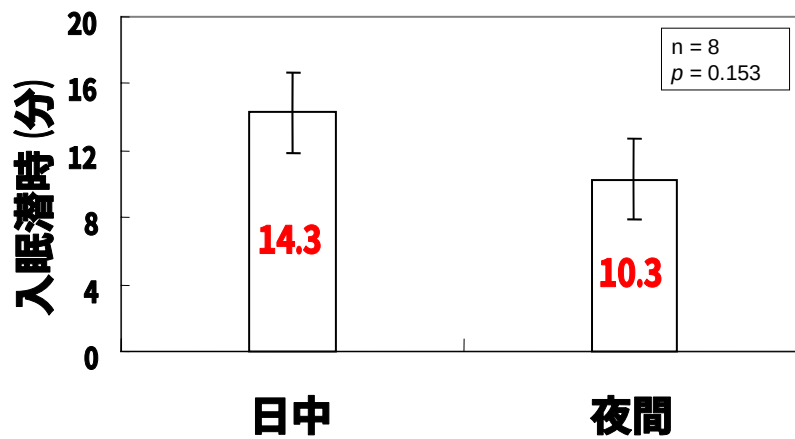


図 I - 2 0 入眠潜時とサーカディアンリズム

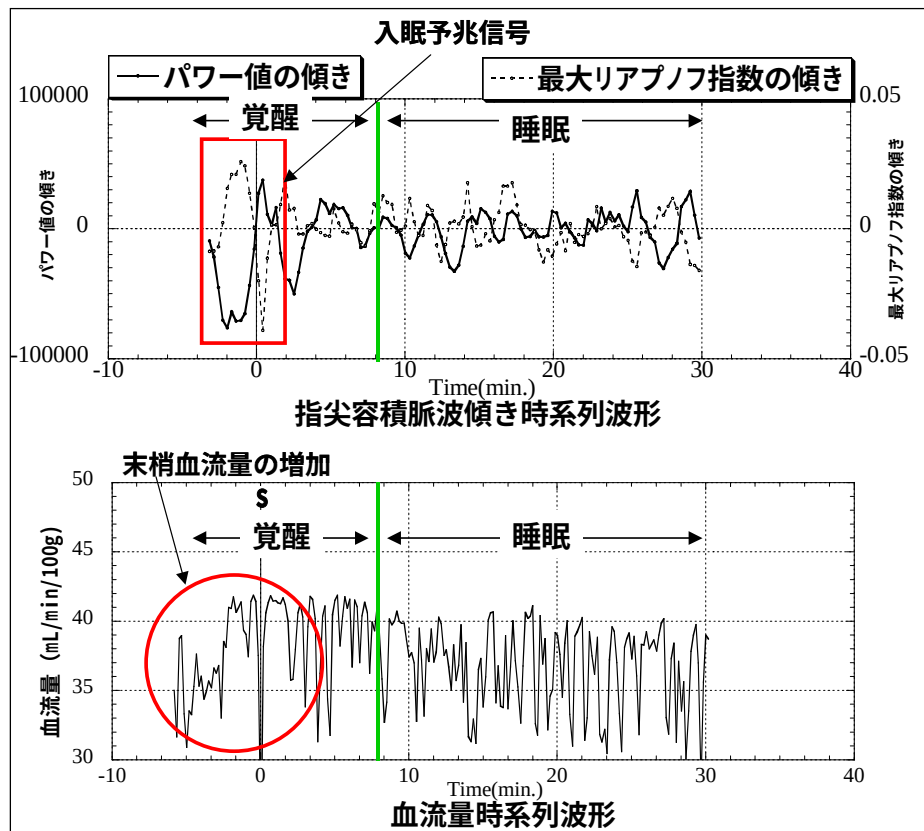


図 I - 2 1 入眠予兆現象と末梢血流量

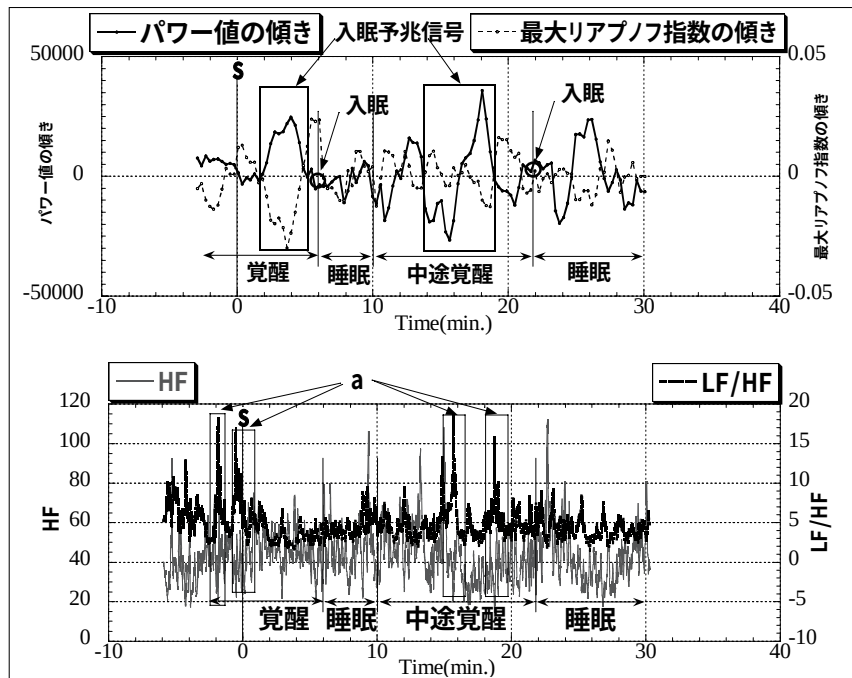


図 I - 2 2 入眠予兆現象と心拍パワースペクトル

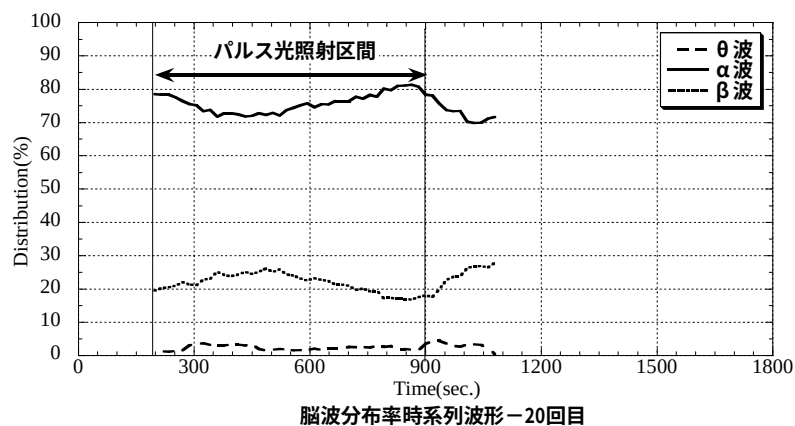
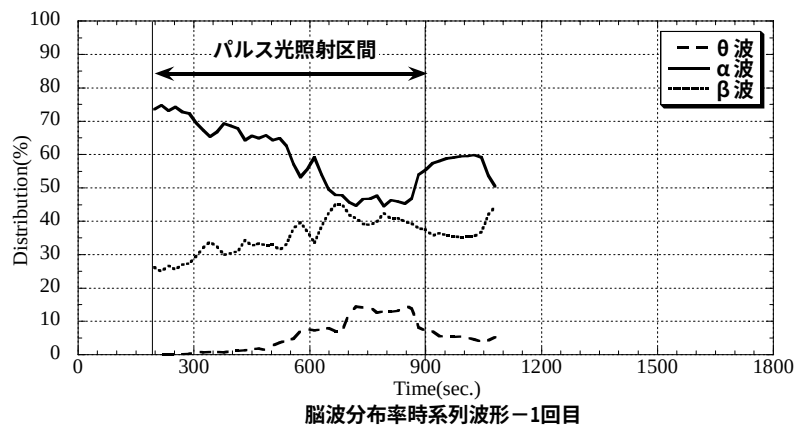


図 I - 2 3 アルファー波賦活化装置 2 機目で 15 分間の照射を 20 回繰り返した際の、1 回目と 20 回目の照射中及び照射前後の、ベータ波・アルファー波・シータ波の出現率の変化の一例

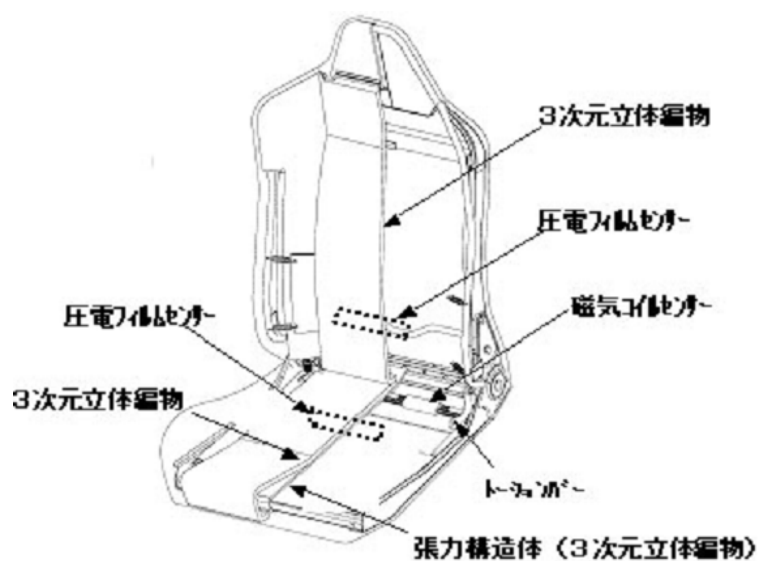


図 I - 2 4 着座センサー付きシートの構造

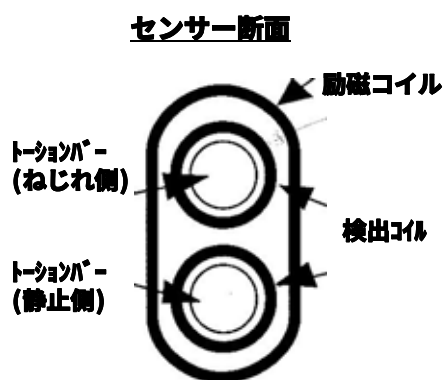


図 I - 2 5 磁気コイルセンサー

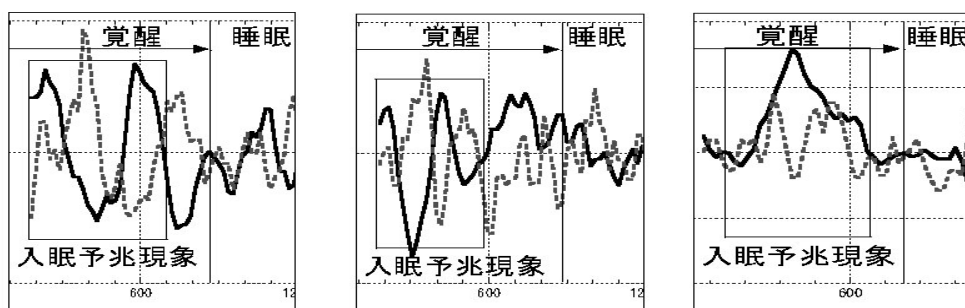


図 I - 2 6 入眠予兆現象の計測データ例

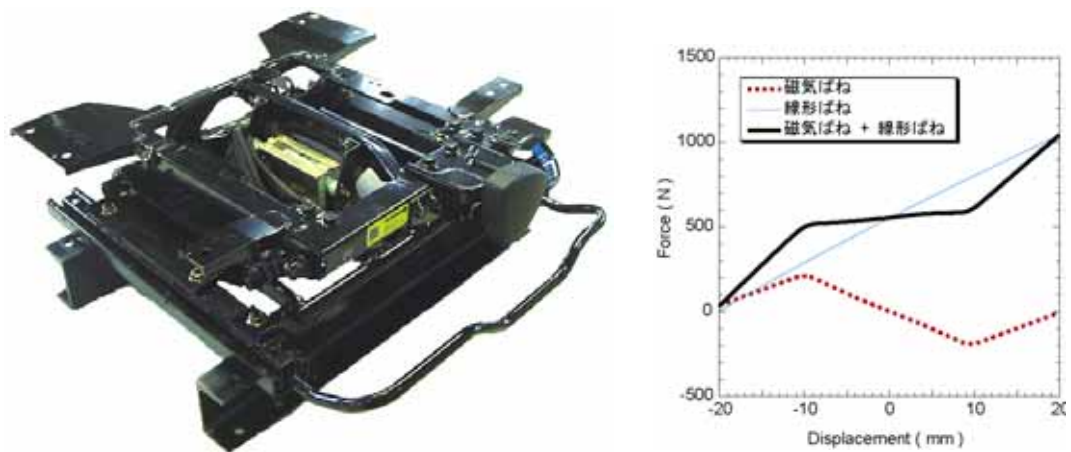


図 I - 2 7 磁気ばね・磁気ダンパー付サスペンションと基本ばね特性



図 I - 2 8 サスペンションユニット付きシート

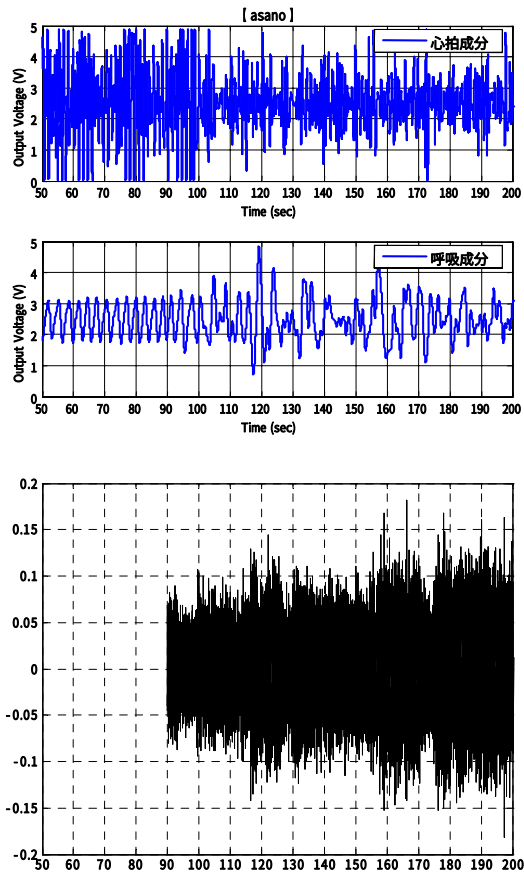


図 I - 2 9 静的・動的条件下での心拍成分，呼吸成分の原波形

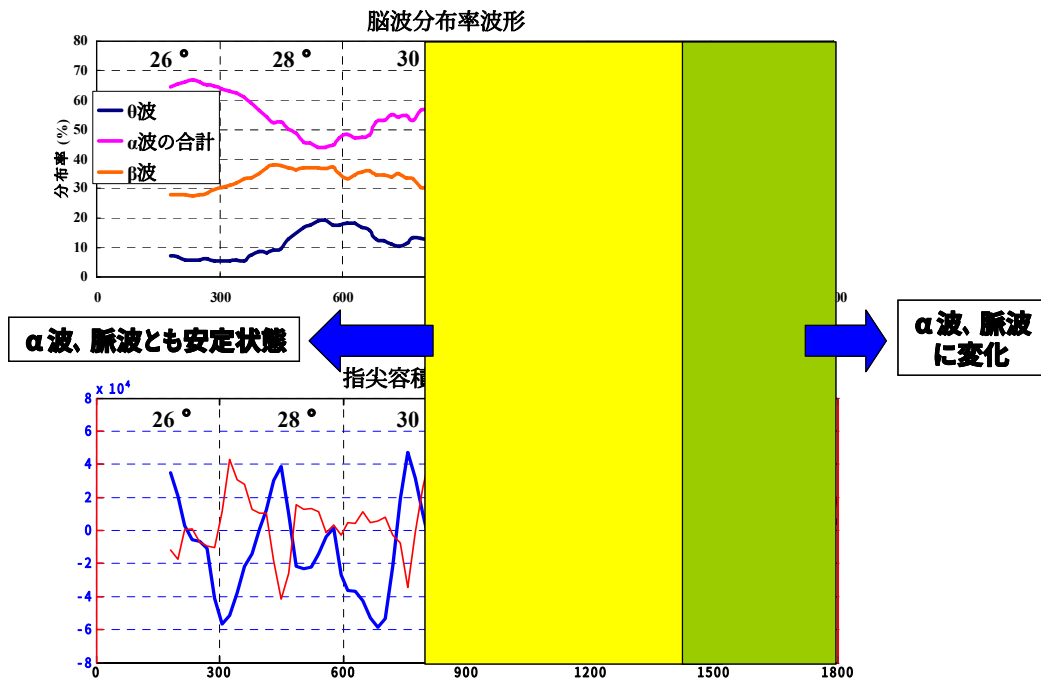


図 I - 3 0 背もたれ角度を変更した際の
脳波分布率波形・指尖容積脈波傾き時系列波形

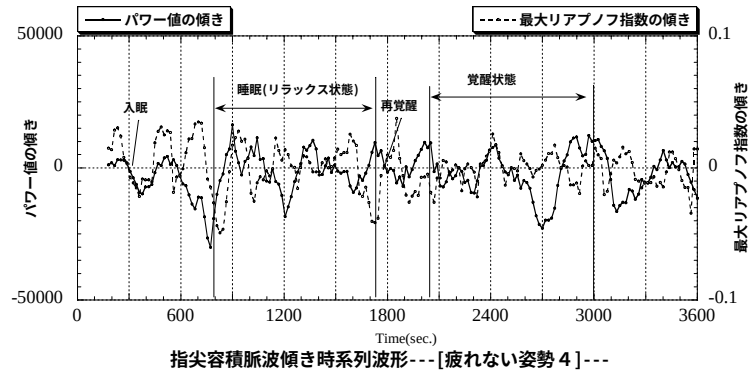


図 I - 3 1 疲れない姿勢での指先容積脈波傾き時系列波形

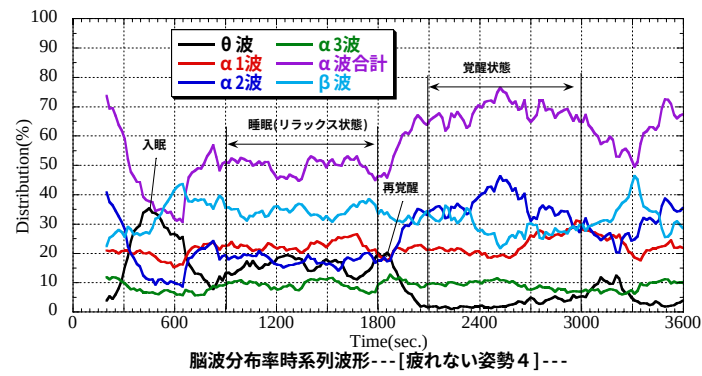


図 I - 3 2 疲れない姿勢での脳波分布率時系列波形

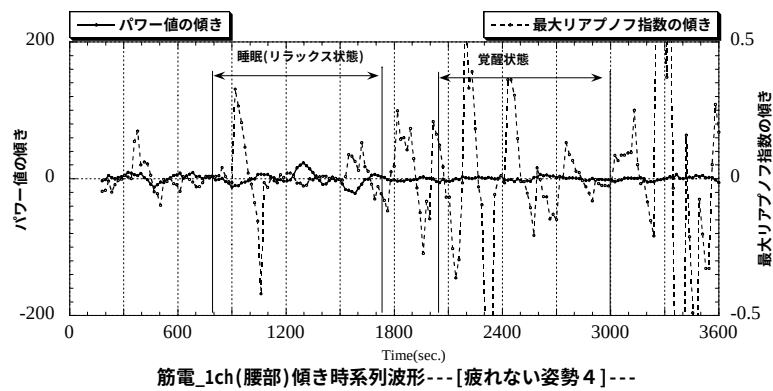


図 I - 3 3 疲れない姿勢での腰部筋電傾き時系列波形

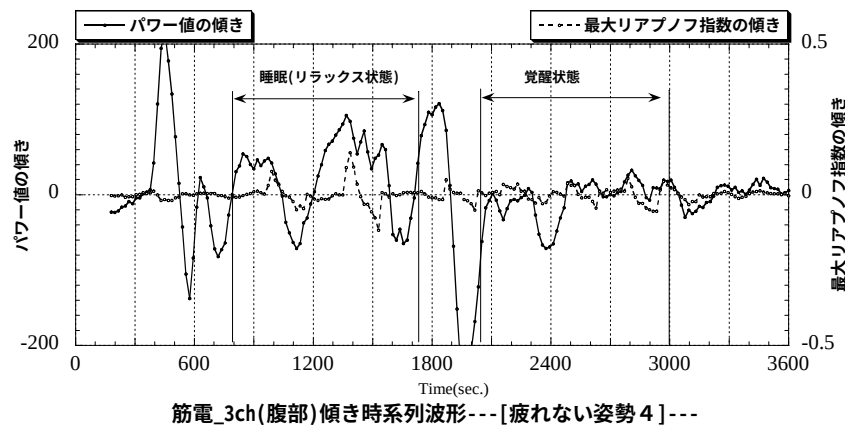


図 I - 3 4 疲れない姿勢での腹部筋電傾き時系列波形

6. 結論

本研究の主な研究成果は以下のとおりである.

- (1) トーションバーに3次元立体編物を組み合わせたばね構造を持つ着座センサー付きシートの下部に磁気ばね・磁気ダンパー付サスペンションを取り付けることで外乱入力 of 厳しい動的着座条件下においても着座者の脈波と呼吸数の変化の抽出がエアパックセンサーによって可能であることが確認できた.
- (2) 磁気着座センサーを用いて, 呼吸成分の変化を検出できる可能性があることを明らかにした.
- (3) ケプストラムを用いた入眠予兆判別方法を提案し, ケプストラムの低次部の和による入眠予兆判別法により入眠予兆前と予兆後の判別が可能であることを示した.
- (4) 指尖容積脈波の最大リアプノフ指数傾きとパワー値傾きの時系列波形により検出された入眠予兆信号は, 心拍変動のウェーブレット解析の結果から得られた HF 成分が顕在化するタイミングと符合していることを明らかにした. また, 最大リアプノフ指数傾きとパワー値傾きの時系列波形の相関から入眠予兆現象が発生するタイミングの定量化の可能性を示した.
- (5) 医学的パラメータを用いた検証実験を行い, 入眠前の筋肉運動量が大きいほど入眠潜時が短いことが示唆された. また, 覚醒期 of 入眠予兆信号の検出について, サーカディアンリズムを反映する指標との関連を調査し, 日中より夜間の方が入眠潜時が短い可能性を示した. 入眠予兆現象には, 睡眠のホメオスタシスに加えて, 生体のサーカディアンリズムも反映されている可能性が考えられ, 入眠防止の警告システムの開発の際に参考となる知見が得られた.
- (6) 高覚醒度維持・快適短時間休憩のための姿勢は, 座角 25° においては背もたれ角度 33° が最も良い姿勢であることが確認できた. また, パルス光の照射によって座位姿勢で睡眠した後の覚醒効果が促進される可能性が示された.

以上から、当初設定した本研究の最終目標である、

- (a) 脈波計測の意義の物理的検証
- (b) 高い信頼性を持つ測定方法とデータ処理法の確立
- (c) 眠りの定義・分類と入眠予兆原理の医学的な検証
- (d) 医学的パラメータと疲労との関連性の明確化
- (e) 疲労および入眠を特徴付けるための指標の作成
- (f) 覚醒状態を維持しやすい着座姿勢とシートの特性・構造の提案

は、これまでに全て達成できたと言える。

以上のように、運転を妨げることなく入眠予兆の検知が可能なセンサーやシートといった要素技術と生体信号の処理技術や賦活化のための手がかりを得ることが出来た。今後は、システム化のための研究に向けてさらに信頼性を増すための実験が必要であり、入眠予兆信号をどのように有効活用し運転者に伝えるか、運転者の日常生活に活用するかが今後の課題である。今回JRTTの支援を受けて開発した技術が活かされて、国民的課題である居眠り運転防止が実現する日が近い将来にやって来ることを期待する次第である。

7. 知的財産権取得状況

特許出願 1 件

- ・「荷重変動検出装置付きシートの発明」（平成19年2月14日出願）

特許出願 0 件

著作権登録 0 件

8. 研究成果発表実績

1) 論文発表

国内 3 件 海外 8 件

- [1] 藤田悦則, 小倉由美, 落合直輝, 苗鉄軍, 清水俊行, 亀井勉, 村田幸治, 上野義雪, 金子成彦, “ 指尖容積脈波情報を用いた入眠予兆現象計測法の開発”, 人間工学, 41-4, 203-212, (2005)
- [2] E. Fujita, Y. Ogura, N. Ochiai, T. Kamei, K. Murata, Y. Ueno, S. Kaneko, “ Development of Sleep Forecast Method by Fluctuation Time Series Analysis Utilizing Finger Plethysmogram”, Proceedings of the World Association of Sleep Medicine 1st Congress, Berlin (Germany), October 15-18, (2005)
- [3] Ye Chang, Shigehiko Kaneko and Tatsuo Watanabe, “ Analysis of the pulse

- wave velocity and application to the blood pressure meter”, Proceedings of the 11th Asia-Pacific Vibration Conference, Vol.1, pp.263-267, (2005)
- [4] Etsunori Fujita, Kohji Murata, Naoki Ochiai, Shinichiro Maeda, Yumi Ogura, Tsutomu Kamei and Shigehiko Kaneko, “Development of a Method for Measuring Sleep Predictor Signals via Biological Signals in the Hip Region”, Proceedings of the 11th Asia-Pacific Vibration Conference, Vol.2, pp.427-431, (2005)
- [5] E. Fujita, Y. Ogura, N. Ochiai, T. MIAO, T. SHIMIZU, K. Murata, T. Kamei, Y. Ueno, S. Kaneko, “Experimental Study on Prediction of Sleep during Wakefulness”, Proc. VSTech 2005, pp.282-287, (2005)
- [6] Yuji TSUCHIDA, Hiroyasu SHIMOJI, Tokashi TODAKA and Masato Enokizono, “A Magnetic Seat for Monitoring Condition of A Car Driver”, Proceedings of 12th International Symposium on Inter-disciplinary Electromagnetic, Mechanic & Biomedical Problems, pp. 340-341, 2005.9.
- [7] Masanori AKITA and Yoichi MIDORIKAWA, “Cepstral Analysis of the Signals obtained from Car Seat for the Prediction of Sleep in Sleep-Wake State”, Proceedings of 12th International Symposium on Inter-disciplinary Electromagnetic, Mechanic & Biomedical Problems, pp.348-349, 2005.9.
- [8] 村田幸治, 亀井 勉, 藤田悦則, 金子成彦, “生理学的指標を用いた入眠予兆現象の検証”, 日本人間工学会第47回大会, vol.42, pp.168-169(2006)
- [9] 村田幸治, 小島重行, 落合直輝, 亀井勉, 藤田悦則, “末梢循環系の変化に関連した生理指標と入眠予兆現象の関連性についての検討”, 日本人間工学会第48回大会 (印刷中)
- [10] Ye Chang, Shigehiko Kaneko and Tatsuo Watanabe, “Pulse Wave Propagation and Reflection in Human Arteries”, VSTech 2007, (2007) accepted
- [11] Ye Chang and Shigehiko Kaneko, “Pulse Wave Propagation and Reflection in Human Arteries by Pressure-Velocity Loop and Impedance Analysis”, ASME Pressure Vessel and Piping Conference 2007, (2007) accepted

2) 口頭発表

国内 19件 海外 1件

- [1] 前田慎一郎, 落合直輝, 小倉由美, 榎芳美, 藤田悦則, 村田幸治, 亀井 勉, 上野義雪, 金子成彦, “臀部からの生体信号の簡易計測法”, 第37回日本人間工学会中国・四国支部大会, pp.8-9, 2004年11月27日, 広島市
- [2] 落合直輝, 前田慎一郎, 小倉由美, 榎芳美, 藤田悦則, 村田幸治, 亀井 勉, 上野義雪, 金子成彦, “指尖容積脈波情報を用いた着座時の疲労度と快適度の評価”, 第37回日本人間工学会中国・四国支部大会, pp.22-23, 2004年11月27日, 広島市
- [3] 落合直輝, 前田慎一郎, 小倉由美, 榎芳美, 藤田悦則, 村田幸治, 亀井 勉, 上野義雪, 金子成彦, “睡眠－覚醒における入眠予兆現象に関する実験的研究”, 第37回日本人間工学会中国・四国支部大会, pp.26-27, 2004年11月27日, 広島市
- [4] 前田慎一郎, 落合直輝, 小倉由美, 榎芳美, 藤田悦則, 村田幸治, 亀井 勉, 上野義雪, 金子成彦, “生理指標によるマットレスの簡易快適度評価法の開発”, 第37回日本人間工学会中国・四国支部大会, pp.28-29, 2004年11月27日, 広島市

- [5] 前田慎一郎, 藤田悦則, 小倉由美, 村田幸治, 亀井勉, 金子成彦,
“ 臀部からの生体信号の計測法 ”, 自動車技術会学術講演論文前刷集
(20055254), No.11-5, pp.1-4 (2005), 2005年5月18日, 横浜市
- [6] 落合直輝, 藤田悦則, 小倉由美, 村田幸治, 亀井勉, 金子成彦, “ 指尖容積脈
波のゆらぎを用いた疲労度評価法の開発 ”, 自動車技術会学術講演論文前刷集
(20055243), No.11-5, pp.15-18, (2005), 2005年5月18日, 横浜市
- [7] 槌田雄二, 下地宏泰, 戸高孝, 榎園正人, 山根秀之, 榎芳美, 藤田悦則,
“ 自動車運転手状態検出のための磁気着座センサー ”, 第14回MAGDA
コンファレンスin岐阜, 電磁現象及び電磁力に関するコンファレンス講演論文
pp. 218-221, 2005年3月15日, 岐阜市(岐阜大学)
- [8] Yuji Tsuchida, Hiroyasu Shimoji, Takashi Todaka, Masato Enokizono,
Hideyuki Yamane, Yoshimi Enoki, Etsunori Fujitam, "Development of
Amagnetic seat sensor for monitoring condition of a car driver",
INTERMAG ASIA 2005: Digests of the IEEE International Magnetics
Conference, BW-15, pp. 220, 2005.4.
- [9] 秋田昌憲, 緑川洋一, “ 選択的スペクトル平滑化の信号処理への応用 ”,
電子情報通信学会技術研究報告, Vol.105, No.403, pp.19-24, 2005.11.
- [10] 落合直輝, 小倉由美, 藤田悦則, 上野義雪, 金子成彦, “ 非侵襲型生体信号
センシングシートを用いた入眠予兆現象に関する研究 ”, 日本人間工学会
第47回大会講演集, 人間工学, 第42巻特別号, pp.224-225,
日時: 2006年6月10日, 場所: 大阪市
- [11] 村田幸治, 亀井勉, 藤田悦則, 金子成彦, “ 生理学的指標を用いた入眠予兆現
象の検証 ”, 日本人間工学会第47回大会講演集, 人間工学, 第42巻特別号
pp.168-169, 日時: 2006年6月10日, 場所: 大阪市大
- [12] 前田慎一郎, 藤田悦則, 小倉由美, 金子成彦, “ 臀部からの生体信号のセンシ
ングに関する研究 ”, 日本機械学会2006年度年次大会講演論文集,
Vol.5, pp.79-80 (2006), 日時: 2006年9月19日, 場所: 熊本大学
- [13] 作山寛, 小島重行, 藤田悦則, 金子成彦, 榎園正人, 西山勝夫, “ 磁気ばねと
磁気ダンパーを用いたサスペンションシートに関する研究 ”, 日本機械学会
2006年度年次大会講演論文集, Vol.7, pp.35-36 (2006) 日時: 2006年9月19日
場所: 熊本大学
- [14] 金子成彦, 佐々木洋介, 山崎由大, “ 入眠予兆信号検出法に関する研究 ”,
日本機械学会機械力学・計測制御部門 Dynamics & Design Conference 2006抄
録集, pp.173, (2006), 日時: 2006年8月9日, 場所: 名古屋大学
- [15] 落合直輝, 小倉由美, 藤田悦則, 村田幸治, 亀井勉, 上野義雪, 金子成彦,
“ 非侵襲型センサーによって測定された生体ゆらぎ信号の疲労と入眠予知への
応用 ” 日本人間工学会, 中国四国支部, 第39回大会講演論文集, pp.34-35,
(2006), 2006年11月25日, 場所: 広島大学
- [16] 前田慎一郎, 藤田悦則, 小倉由美, 榎園正人, 金子成彦, “ 非侵襲生体信号セ
ンシング機能を有する車両用シートの試作 ”, 日本人間工学会, 中国四国支部
第39回大会講演論文集, pp.40-41 (2006), 2006年11月25日, 場所: 広島大学
- [17] 秋田昌憲, 緑川洋一, 宮本武典 “ 入眠予兆のためのセンサ信号解析におけるス
ペクトル平滑法の評価 ”, 第15回MAGDAコンファレンス桐生, 電磁現象及び
電磁力に関するコンファレンス講演論文集 pp. 240-243, 2006年11月1日, 桐生市
- [18] 常 燁, 金子成彦, 渡邊辰郎, 秋富知明, “ 動脈血管中を伝わる脈波の伝播と
反射に関する研究 ”, 日本機械学会関東支部第13期総会講演会講演論文集,

- No.070-1, pp.135-136, 2007年3月16-17日,場所：宇都宮大学
- [19] 亀井 勉, “ 医工連携による補完代替医療の展望 ”, 統合医療展2007学会フォーラム, 平成19年1月, 横浜
- [20] E. Fujita, T. Kamei, K. Murata, Y. Ogura, N. Ochiai, E. Yasuda, S. Doi, Y. Ueno, S. Kaneko, “ Development of simplified appraisal method for fatigue on sitting for extended periods by using finger plethysmogram ”, 5th Developing Research Strategies in CAM Research Conference: 2007. 3. Northampton, UK

3) その他(研究内容報告書, 機関誌発表, プレス発表等)

国内 22件 海外 0件

- [1] 金子成彦, “ 居眠り運転10分前にキャッチ ”, 朝日新聞, 37面, 2007年3月3日(朝刊)
- [2] 金子成彦, “ 居眠り運転防止シート ”, 読売新聞, 38面, 2007年3月4日(朝刊)
- [3] 金子成彦, “ 居眠り運転防ぐ座席 ”, 日経産業新聞, 10面, 2007年2月20日
- [4] 金子成彦, “ 居眠り運転10分前に警告 ”, 日刊工業新聞, 23面, 2007年2月15日
- [5] 金子成彦, “ シートが見張る居眠り運転 ”, 東京新聞, 3面, 2007年2月15日(朝刊)
- [6] 金子成彦, “ 居眠り運転防止シート ”, 西日本新聞, 29面, 2007年2月15日(朝刊)
- [7] 金子成彦, “ 居眠り感知するイス ”, 東京大学新聞, 3面, 2007年4月10日
- [8] 金子成彦, “ 着座センサーが居眠り運転を防止 ”, 輸送新聞, 3面, 2007年3月11日
- [9] 金子成彦, “ 居眠り運転防止シート ” フジテレビ, 目覚ましテレビ, 2007年3月5日
- [10] 金子成彦, “ 居眠り運転防止シート ” 日本テレビ, ザワイド, 2007年3月5日
- [11] 金子成彦, “ 居眠り運転防止シート ” テレビ東京, ワールドビジネスサテライト, 2007年3月4日
- [12] 金子成彦, “ 居眠り運転防止シート ” RKBラジオ, 門馬良デイリーファイル, 2007年3月13日
- [13] 金子成彦, “ 居眠り運転防止シート ” 東京FM石川實, SKY CONNECTION, 2007年3月26日
- [14] 金子成彦, “ 居眠り運転防止シート ” FMヨコハマ, アレックス, NEWS BON VOYAGE, 2007年3月27日
- [15] 金子成彦, “ 居眠り運転防止シート ”, NHKワールドラジオ日本, 2007年5月8日
- [16] 金子成彦, “ 居眠り運転防止シート ”, 住商アビーム自動車総合研究所HP, 2007年2月18日,
<http://www.sc-abeam.com/mailmagazine/honj/honjo0147.html>
- [17] 榎園正人, “ 居眠り防止磁気センサー ”, 大分放送 O B S ニュースライン, 2007年2月28日(夕方ニュース).
- [18] 榎園正人, “ 居眠り運転防止シート ”, 大分合同新聞, 1面, 2007年3月5日(朝刊)
- [19] 村田幸治, 亀井 勉, “ 指尖容積脈波による入眠予兆に関する実験的研究 ”, (財)島根難病研究所平成16年度医学研究事業報告集,
http://www.nanken.or.jp/work/repo2004/repo2_02.html#02-02

- [20]村田幸治，亀井 勉，“ 指尖容積脈波による入眠予兆に関する実験的研究（継続）”，（財）島根難病研究所平成17年度医学研究事業報告集（投稿中）
- [21]村田幸治，亀井 勉，“ 指尖容積脈波による入眠予兆に関する実験的研究（継続）”，（財）島根難病研究所平成18年度医学研究事業報告集（投稿予定）
- [22]亀井 勉，村田幸治，“ 入眠研究グループが居眠り運転防止シート開発 ”，山陰中央新報，2007年2月20日（朝刊）

（参 考）

全体の研究費

（単位：千円）

研 究 機 関	平成16年度	平成17年度	平成18年度	合 計
国立大学法人 東京大学	11,650	9,590	4,380	25,620
国立大学法人 大分大学	5,410	1,140	940	7,490
財団法人 島根難病研究所	9,360	4,930	2,960	17,250
株式会社 デルタツーリング	10,320	10,360	3,630	24,310
合 計	36,740	26,020	11,910	74,670

II. 個別編

脈波計測の意義の物理的検証と計測法の妥当性を裏付けるための根拠調査

国立大学法人東京大学大学院工学系研究科 機械工学専攻 教授 金子成彦

国立大学法人東京大学大学院工学系研究科 機械工学専攻 講師 山崎由大

1. 序論

平成16年度から平成18年度の間の主な研究成果を纏めて記す。平成16年度には、脈波計測の意義を調べるために、生体信号の多チャンネル同時計測を行なった。それによって、心電位、心音、脈波、SpO₂濃度（ヘモグロビンの酸素結合率）の各生体信号の意味の把握、信号間の因果関係が明らかになった。平成17年度には、入眠予兆信号検出方法に関する検討を行なった。この研究では、脈波のカオス解析によって得られた入眠予兆信号と心拍変動をウェーブレット解析した結果から得られるHF成分の増加及び脳波による睡眠-覚醒判定との関連性について調べた。平成18年には、脈波のカオス解析によって得られた入眠予兆信号の精度と処理速度の関係について検討した。

2. 生体信号の多チャンネル同時計測

入眠を予兆する信号として脈波を計測することの意義を検証することを目的とし、まず、実験室内において、人体からの各生体信号を対象に、高速（1kHz程度）多チャンネル同時計測システムを構築した。このシステムにより、各生体信号の時間履歴、周波数特性および各信号間の因果関係を実験的に明らかにした。

3. 入眠予兆信号検出方法に関する検討

覚醒時の眠くなる前の前兆を脈波などの生体信号をカオス解析することにより判別する手法の問題点として挙げられるのは、計算に要する処理時間と予測の確からしさである。そこで本研究では、カオス解析する際のスライド時間幅を従来のものよりも長く設定することで、より短い処理時間で入眠予兆信号が検出できるかどうかについて検討するとともに、脈波のカオス解析によって得られた入眠予兆信号と心拍変動をウェーブレット解析した結果から得られるHF成分の増加及び脳波による睡眠-覚醒判定との関連性について検討した。

4. 入眠予兆信号の精度と処理速度の関係についての検討

入眠予兆信号は、実際に睡眠に入る約3～10分前に現れるとされているため、生体信号を計測した後、短時間で解析ができなければ、実際に睡眠してしまう前に運転者に危険を知らせることができない。そのためには計算速度の向上が不可欠である。ここでは最大リアプノフ指数を計算する際に計算に必要なパラメータであるスライド時間幅Tsを長くとることによって、解析に要する時間の短縮を図った。

5. 結論

本研究では、脈波計測の意義の物理的検証と計測法の妥当性を裏付けるための根拠調査を目的として、初年度は、各種生体信号について同時計測を行えるシステムを構築し各生体信号の意味の把握、信号間の因果関係について検討した。次年度は、脈波のカオス解析によって得られた入眠予兆信号と心拍変動をウェーブレット解析した結果から得られるHF成分の増加及び脳波による睡眠-覚醒判定との関連性について調べた。最終年度は、入眠予兆信号を定量的に扱うことが可能な指標の提案を目指して、最大リアプノフ指数傾きとパワー値傾き時系列波形の位相関係を定量的に評価し、その結果をもとに入眠予兆現象の出現する時刻を検出することを提案した。また、解析プログラムを見直し、解析時間の短縮を図った。このような研究から、以下の結論が得られた。

(1) 実験室内で人体からの各種生体信号について同時計測を行えるシステムを構築した。これによって各生体信号の意味の把握、信号間の因果関係が実験的に解析できるようになった。

(2) 座位状態で入眠する被験者の、指尖容積脈波、SpO₂、心電図、脳波を同時に測定する実験を行った。その後、得られた指尖容積脈波に対してカオス解析を行い、心電図に対して心拍数の変遷の算出と心拍変動のウェーブレット解析を行った。その結果、指尖容積脈波の最大リアプノフ指数傾きとパワー値傾きの時系列波形により、入眠予兆信号を検出することが可能であることが確認できた。

(3) 心拍変動に対してウェーブレット解析を行なった結果とカオス解析の結果から求められた入眠予兆信号を比較した結果、入眠予兆信号はHF成分が顕在化するタイミングで出始めることが明らかになった。

(4) 指尖容積脈波の時系列データに対してカオス解析を行った。その結果、最大リアプノフ指数傾きとパワー値傾き時系列波形の相関係数を計算することで、逆位相の程度を定量化し、入眠予兆現象を捉えるための指標とできることがわかった。

(5) Wolf¹⁾、Kantz²⁾の方法と比較して佐野・澤田³⁾の手法に基づくカオス解析は精度が高く、入眠予兆には適していることが明らかになった。佐野・澤田の手法によるカオス解析に必要な計算時間の短縮には、データ数を適度に削減することが有効なことが判明した。

参考文献

- 1) Alan Wolf, Determining Lyapunov Exponents from a Time Series, Physica 16D, 285-317, (1985)
- 2) Holger Kantz, A robust method to estimate the maximal Lyapunov exponent of a time series, Physics Letters A, 185, 77-87, (1994)
- 3) M.Sano and Y.Sawada, Measurement of the Lyapunov Spectrum from a Chaotic Time Series, Physical Review Letters, Vol.55 No.10, 1082-1085 (1985)

6. 知的財産権取得状況

該当なし

7. 研究成果発表実績

1) 論文発表

国内 1 件, 海外 6 件

- [1] 藤田悦則, 小倉由美, 落合直輝, 苗鉄軍, 清水俊行, 亀井勉, 村田幸治, 上野義雪, 金子成彦, “ 指尖容積脈波情報を用いた入眠予兆現象計測法の開発 ”, 人間工学, 41-4, pp.203-212, (2005)
- [2] E. Fujita, Y. Ogura, N. Ochiai, T. Kamei, K. Murata, Y. Ueno, S. Kaneko, “ Development of Sleep Forecast Method by Fluctuation Time Series Analysis Utilizing Finger Plethysmogram ”, Proceedings of the World Association of Sleep Medicine 1st Congress, Berlin (Germany), October 15-18, (2005)
- [3] Ye Chang, Shigehiko Kaneko and Tatsuo Watanabe, “ Analysis of the pulse wave velocity and application to the blood pressure meter ”, Proceedings of the 11th Asia-Pacific Vibration Conference, Vol.1, pp.263-267(2005)
- [4] Etsunori Fujita, Kohji Murata, Naoki Ochiai, Shinichiro Maeda, Yumi Ogura, Tsutomu Kamei and Shigehiko Kaneko, “ Development of a Method for Measuring Sleep Predictor Signals via Biological Signals in the Hip Region ”, Proceedings of the 11th Asia-Pacific Vibration Conference, Vol.2, pp.427-431(2005)
- [5] E. Fujita, Y. Ogura, N. Ochiai, T. MIAO, T. SHIMIZU, K. Murata, T. Kamei, Y. Ueno, S. Kaneko, “ Experimental Study on Prediction of Sleep during Wakefulness ”, Proc. VSTech 2005, pp.282-287, (2005)
- [6] Ye Chang, Shigehiko Kaneko and Tatsuo Watanabe, “ Pulse Wave Propagation and Reflection in Human Arteries ”, VSTech 2007, (2007) accepted
- [7] Ye Chang and Shigehiko Kaneko, “ Pulse Wave Propagation and Reflection in Human Arteries by Pressure-Velocity Loop and Impedance Analysis ”, ASME Pressure Vessel and Piping Conference 2007, (2007) accepted

2) 口頭発表

国内 10 件, 海外 0 件

- [1] 前田慎一郎, 藤田悦則, 小倉由美, 村田幸治, 亀井勉, 金子成彦, “ 臀部からの生体信号の計測法 ”, 自動車技術会学術講演論文前刷集(20055254), No.11-5, pp.1-4 (2005), 2005 年 5 月 18 日, 場所: 横浜市
- [2] 落合直輝, 藤田悦則, 小倉由美, 村田幸治, 亀井勉, 金子成彦, “ 指尖容積脈波のゆらぎを用いた疲労度評価法の開発 ” (20055243), 自動車技術会学術講演論文前刷集, No.11-5, pp.15-18, (2005), 2005 年 5 月 18 日, 場所: 横浜市
- [3] 落合直輝, 小倉由美, 藤田悦則, 上野義雪, 金子成彦, “ 非侵襲型生体信号センシングシートを用いた入眠予兆現象に関する研究 ”, 日本人間工学会第 47 回大会講演集, 人間工学, 第 42 巻特別号, pp.224-225, 日時: 2006 年 6 月 10 日, 場所: 大阪市大
- [4] 村田幸治, 亀井勉, 藤田悦則, 金子成彦, “ 生理学的指標を用いた入眠予兆現象の検証 ”, 日本人間工学会第 47 回大会講演集, 人間工学, 第 42 巻特別号, pp.168-169 日時: 2006 年 6 月 10 日, 場所: 大阪市大
- [5] 前田慎一郎, 藤田悦則, 小倉由美, 金子成彦, “ 臀部からの生体信号のセンシ

- グに関する研究”，日本機械学会 2006 年度年次大会講演論文集，Vol.5，pp.79-80
 (2006) 日時:2006 年 9 月 19 日，場所：熊本大学
- [6] 作山寛，小島重行，藤田悦則，金子成彦，榎園正人，西山勝夫，“磁気ばねと磁気ダンパを用いたサスペンションシートに関する研究”，日本機械学会 2006 年度年次大会講演論文集，Vol.7，pp.35-36 (2006) 日時，2006 年 9 月 19 日，場所：熊本大学
- [7] 金子成彦，佐々木洋介，山崎由大，“入眠予兆信号検出法に関する研究”，日本機械学会機械力学・計測制御部門 Dynamics & Design Conference 2006 抄録集，pp.173，(2006)，日時：2006 年 8 月 9 日，場所：名古屋大学
- [8] 落合直輝，小倉由美，藤田悦則，村田幸治，亀井勉，上野義雪，金子成彦，“非侵襲型センサによって測定された生体ゆらぎ信号の疲労と入眠予知への応用”，日本人間工学会，中国四国支部，第 39 回大会講演論文集，pp.34-35 (2006)，2006 年 11 月 25 日，場所：広島大学
- [9] 前田慎一郎，藤田悦則，小倉由美，榎園正人，金子成彦，“非侵襲生体信号センシング機能を有する車両用シートの試作”，日本人間工学会，中国四国支部，第 39 回大会講演論文集，pp.40-41 (2006)，2006 年 11 月 25 日，場所：広島大学
- [10] 常 燁，金子成彦，渡邊辰郎，秋富知明，“動脈血管中を伝わる脈波の伝播と反射に関する研究”，日本機械学会関東支部第 13 期総会講演会講演論文集，No.070-1，pp.135-136，2007 年 3 月 16-17 日，場所：宇都宮大学

3) その他(研究内容報告書，機関誌発表，プレス発表等)

国内 16 件，海外 0 件

- [1] 金子成彦，“居眠り運転10分前にキャッチ”，朝日新聞，37面，
 2007年3月3日(朝刊)
- [2] 金子成彦，“居眠り運転防止シート”，読売新聞，38面，2007年3月4日(朝刊)
- [3] 金子成彦，“居眠り運転防ぐ座席”，日経産業新聞，10面，2007年2月20日
- [4] 金子成彦，“居眠り運転10分前に警告”，日刊工業新聞，23面，2007年2月15日
- [5] 金子成彦，“シートが見張る居眠り運転”，東京新聞，3面，
 2007年2月15日(朝刊)
- [6] 金子成彦，“居眠り運転防止シート”，西日本新聞，29面，
 2007年2月15日(朝刊)
- [7] 金子成彦，“居眠りを感知するイス”，東京大学新聞，3面，2007年4月10日
- [8] 金子成彦，“着座センサーが居眠り運転を防止”，輸送新聞，3面，
 2007年3月11日
- [9] 金子成彦，“居眠り運転防止シート” フジテレビ，目覚ましテレビ，
 2007年3月5日
- [10] 金子成彦，“居眠り運転防止シート” 日本テレビ，ザワイド，2007年3月5日
- [11] 金子成彦，“居眠り運転防止シート” テレビ東京，
 ワールドビジネスサテライト，2007年3月4日
- [12] 金子成彦，“居眠り運転防止シート” RKBラジオ，門馬良デイリーファイル，
 2007年3月13日
- [13] 金子成彦，“居眠り運転防止シート” 東京FM石川實，SKY CONNECTION，
 2007年3月26日
- [14] 金子成彦，“居眠り運転防止シート” FMヨコハマ，アレックス，
 NEWS BON VOYAGE，2007年3月27日
- [15] 金子成彦，“居眠り運転防止シート”，NHKワールドラジオ日本，

2007年5月8日

[16]金子成彦, “居眠り運転防止シート”, 住商アビーム自動車総合研究所HP,
2007年2月18日,
<http://www.sc-abeam.com/mailmagazine/honj/honjo0147.html>

8. 研究成果の今後の活用方法

定量化された入眠予兆信号発生情報をもとに, より正確な入眠潜時の特定が可能となることから, 運転者の疲労度合いの推定に活用できる可能性が考えられる. また, シートに着座した運転者の睡眠予兆に加えて飲酒した状態での人の恒常性維持機能の一時的な変化を非侵襲で検知できるシステムの研究開発にも応用が可能と考えられ, ステップアップ研究では, 入眠予兆現象の検知システムを応用した運転者の平常状態と飲酒状態を判別するための手法の構築を目指す.

9. 当該年度までの全体予算額

平成16年度:	11,650,000 円
平成17年度:	9,590,000 円
平成18年度:	4,380,000 円
合 計 :	25,620,000円

III. 個別編

着座シートセンサーの開発、測定方法とデータ処理法の検討

国立大学法人大分大学	工学部	電気電子工学科	教 授	榎園 正人
国立大学法人大分大学	工学部	電気電子工学科	教 授	秋田 昌憲
国立大学法人大分大学	工学部	電気電子工学科	准教授	戸高 孝
国立大学法人大分大学	工学部	電気電子工学科	助 教	槌田 雄二
国立大学法人大分大学	工学部	電気電子工学科	助 教	緑川 洋一

1. 序論

座席シートの一部品にトーションバーと呼ばれる部品がある。運転者が座席シートに着座することによって、このトーションバーにねじれ応力が作用し、クッションの役割を果たしている。ねじれ応力によるトーションバーの磁気的材料特性変化を磁気センサーにより測定することによって、運転手の挙動をモニタリングすることが可能であると考えられる。本磁気センサーにより、運転手が居眠りする前の状態（入眠状態）を検知するシステムを構築することが本研究の目的である。初年度は、座席シートの一部品であるトーションバーと呼ばれる部品に、我々が新たに提案・開発した磁気回路センサーを組み込んだ実際の自動車シートをデルタツーリングと共同で開発した。本自動車シートによって、着座者の体重相違の検出が可能であることを明らかにした。次年度は、生体信号とトーションバーの磁気特性変化の相関について検討を行っていくとともに、磁気回路センサーを高感度化していくために、トーションバーの磁気特性を測定可能とする測定システムの開発を行った。最終年度は、磁気回路センサーの高感度化に関する検討を行っていくとともに、磁気回路センサーを実用化していくための検討を行った。

また、データ処理法については、入眠と生体現象の関係の知見を検討すると、脈波においてカオス的關係が見出されており、心電図のスペクトル解析からは、心拍に関するLF成分と呼吸に関するHF成分に分けた場合これらの周波数成分は0.04～0.9Hzの範囲に入っているといわれている。これらの例のように、人間が入眠に入る場合生体信号をキーとすると低周波領域にゆらぎのようなものが見出される可能性があることが推察される。デルタツーリングから現在までに提供されている生体関係データとして、高速道路通行時における運転席・助手席の臀部センサー波形が存在し、一部は被験者の事情聴取等から入眠タイミングが示されている。ここでは、これらの知見に留意し、低周波数域の特徴を拡大して信号解析をする方法を試みた。入眠時の波形解析とその周波数特徴例を示し、入眠との関係について考察する。居眠り運転防止技術のための居眠りの予測と予防という観点から、眠気の予兆を検出するために、被験者の座席の臀部に取り付けられたセンサーで圧力を測定し、その信号を処理する。測定方法として運転中の計測ということを考慮して、臀部に非接触センサーを用いた。生体から取り出された信号から入眠予兆を検出する手法は色々な分野で広く研究され低周波数域部分に特徴があると

ということが見出されている。そのことを考慮して測定信号の低周波数部分の特徴のみ残存させて、入眠予兆との関連性を推察した。分析方法として音声信号処理に用いられるケプストラム分析を用い、スペクトル包絡から入眠予兆の検出ができないか検討を行った。さらに、生体から出る信号の低周波数域部分に特徴があることを考慮し、低周波数部分の強調やスペクトルの平滑化を行うため、選択的スペクトル平滑化処理を施し、ケプストラムを時間変化にまとめ、そこから入眠予兆の信号を解析した。スペクトル包絡の時間変化の比較を入眠予兆区間と他の区間で行い、その特徴について検討した。

2. 着座シートセンサーの開発および測定方法について

磁気回路センサー搭載自動車シート（第1次試作シート）を開発し、磁気回路センサー信号と生体信号の相関、磁気回路センサーの高感度化について検討した。

2-1) 磁気回路センサー搭載自動車シート（第1次試作シート）の開発

トーションバーに重りが掛けられる実験装置を製作し、重りが変化した場合の信号変化を測定した。トーションバー自体にねじれ応力が作用すると差動信号が大きく変化することが分かった。さらに実際にシートを試作し、体重の異なる人が座った場合の信号変化を測定した。体重の識別は可能であったが、現状のシート構造では、磁気回路センサーを搭載した場合、初期応力が掛かっており、信号変化が小さくなることが分かった。

2-2) 磁気回路センサー信号と生体信号の相関について

簡易シート実験装置を用い、磁気回路センサー信号と生体信号の相関について検討を行った。空気圧センサーと磁気回路センサーを用い、生体信号の抽出可能性について比較した結果を空気圧センサーでは、心拍成分の信号、および呼吸成分の信号が検出できることに対し、磁気回路センサーでは、呼吸成分の変化を検出できる可能性があることが分かった。

2-3) 磁気回路センサーの高感度化について

磁気回路センサーを高感度していく上では、磁気回路センサーにおける励磁系部分、ピックアップ系部分の改良だけでなく、トーションバーの磁気特性の正確な把握とトーションバー自体の材料特性についての検討が必要不可欠である。そこで、トーションバーの磁気特性を測定することを目的として、磁束密度 B と磁界強度 H の両者を測定するシステムを構築した。

2-4) 磁気回路センサー実用化に向けた取り組み

磁気回路センサーを実用化する際のボトルネックとして、具体的には①最小出力電圧値の上昇、②ヒステリシス、③線形出力になるまでの原点のずれ、④出力信号の傾きの4点が最重要であることが明らかになった。これらの課題を解決するために、デルタツーリングにて、本プロジェクトとは別に評価システムを構築し、様々な検証を行った。その後、実用化に向けた磁気回路センサーの基本構造・仕様策定を行った。

3. データ処理法の検討について

3-1) 臀部センサー信号のケプストラム変換を用いた周波数解析の解析結果

臀部センサー信号波形をケプストラム法により周波数解析し、スペクトル局所特徴の選択的平滑化（周波数軸の伸縮による低周波数部の強調、スペクトル局所特徴の選択的平滑化）を行うことにより、センサー信号時間波形からは直接確認ができない入眠と関連があると見られる特徴抽出の可能性を示した。

3-2) ケプストラム分析による入眠予兆現象の検出

音声信号処理に用いられるケプストラム分析を用い、スペクトル包絡からの入眠予兆の検出の可能性について検討を行った。さらに、生体から出る信号の低周波数域部分に特徴があることを考慮し、低周波数部分の強調やスペクトルの平滑化を行うため、選択的スペクトル平滑化処理を施し、ケプストラムの時間変化から入眠予兆を示す信号を解析した。スペクトル包絡の時間変化の比較を入眠予兆区間と他の区間で行い、どのような特徴があるかについて検討した。低周波数域を単に強調しただけでは入眠予兆におけるスペクトル包絡の明確な特徴が現れないが、スペクトル選択的平滑化処理で高周波数域の包絡の細かい変化を除去することにより、入眠予兆区間内でのスペクトルの平坦化を行い、予兆の特徴を抽出しやすくした。また、ケプストラムの低次部の和による入眠予兆判別法により入眠予兆前と予兆後の判別が可能であることが示せた。しかし、閾値の決定法や使用するケプストラムの次数の決定など更なる検討が必要であった。

3-3) 選択的スペクトル平滑化法による入眠予兆信号検出の改善

スペクトル包絡から入眠予兆を検出する際には、スペクトル選択的平滑化処理によって高周波数域の包絡の細かい変化を除去することにより、入眠予兆区間内でのスペクトルの平坦化を行い、ケプストラムの低次部の和による入眠予兆判別法により入眠予兆前と予兆後の判別が可能であることは先に示せていたが、閾値の決定法や使用するケプストラムの次数の決定などが必要であったため検討を行った。

4. 結論

(1) 着座シートセンサーの開発および測定方法について

- a) 初年度に磁気回路センサーを搭載した第1次試作シートを製作し、体重の異なる人が座った場合の信号変化を測定した。体重の識別は可能であったが、この時点のシート構造では、磁気回路センサーを搭載した場合、初期応力が掛かっており、信号変化が小さくなることが分かった。
- b) 磁気回路センサーを組み込んだ簡易シート実験装置を用いることによって、磁気回路センサーを用いて、呼吸成分の変化を検出できる可能性を示した。
- c) 磁気回路センサーの高感度化を行なっていく上で必要不可欠となる、トーションバー磁気特性測定システムを製作し、トーションバーの磁気特性を明ら

かにした.

d) 実用化に向けた磁気回路センサーの基本構造・仕様策定を行った.

(2) データ処理法の検討について

a) 初年度は、臀部センサー信号波形をケプストラム法により周波数解析し、スペクトル局所特徴の選択的平滑化を行うことにより、センサー信号時間波形からは確認ができない入眠と関連性のあると考えられる特徴が得られる可能性を明らかにした.

b) 次年度以降は、低周波数域を単に強調しただけでは入眠予兆におけるスペクトル包絡の明確な特徴が現れないため、スペクトル選択的平滑化処理を採用し高周波数域の包絡の細かい変化を除去することにより、入眠予兆区間内でのスペクトルの平坦化を行い、予兆の特徴を抽出しやすくした. また、ケプストラムの低次部の和による入眠予兆判別法により入眠予兆前と予兆後の判別が可能であることが示せた.

c) スペクトル包絡の時間変化については、入眠予兆の為の重要な特徴であると思われる、平坦なパラメータが確認された. さらに選択的平滑化処理により高周波数域での細かいリップルが除去されることによって、この平坦なスペクトルの検出が行いやすくなることが分かった.

5. 知的財産権取得状況

該当なし

6. 研究成果発表実績

1) 論文発表 (注: 発表論文リストを添付)

国内 0件, 海外 2件

- [1] Yuji TSUCHIDA, Hiroyasu SHIMOJI, Tokashi TODAKA and Masato Enokizono
“A Magnetic Seat for Monitoring Condition of A Car Driver”,
Proceedings of 12th International Symposium on Interdisciplinary
Electromagnetic, Mechanic & Biomedical Problems, pp. 340-341, 2005.9
- [2] Masanori AKITA and Yoichi MIDORIKAWA, “Cepstral Analysis of the
Signals obtained from Car Seat for the Prediction of Sleep in
Sleep-Wake State”, Proceedings of 12th International Symposium on
Interdisciplinary Electromagnetic, Mechanic & Biomedical Problems,
pp. 348-349, 2005.9.

2) 口頭発表

国内 4件, 海外 0件

- [1] 槌田雄二, 下地宏泰, 戸高孝, 榎園正人, 山根秀之, 榎芳美, 藤田悦則 “自動車
運転手状態検出のための磁気着座センサー”, 第14回MAGDAコンファレンス
in 岐阜 電磁現象及び電磁力に関するコンファレンス講演論文集, pp.218-221
岐阜市 (岐阜大学) 2005.3.15.
- [2] Yuji Tsuchida, Hiroyasu Shimoji, Takashi Todaka, Masato Enokizono,

Hideyuki Yamane, Yoshimi Enoki, Etsunori Fujitam, "Development of A magnetic seat sensor for monitoring condition of a car driver", INTERMAG ASIA 2005: Digests of the IEEE International Magnetics Conference, BW-15, pp. 220, 2005.4.

- [3] 秋田昌憲, 緑川洋一, 選択的スペクトル平滑化の信号処理への応用, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.105, No.403, pp.19-24, 2005.11.
- [4] 秋田昌憲, 緑川洋一, 宮本武典 “ 入眠予兆のためのセンサ信号解析におけるスペクトル平滑法の評価 ”, 第 15 回MAGDAコンファレンス桐生 電磁現象及び電磁力に関するコンファレンス講演論文集 pp. 240-243, 桐生市, 2006.11.1

3) その他(研究内容報告書, 機関誌発表, プレス発表等)

国内 2 件, 海外 0 件

- [1] 榎園正人, “ 居眠り防止磁気センサ ”, 大分放送 OBSニュースライン, 2007年2月28日(夕方ニュース).
- [2] 榎園正人, “ 居眠り運転防止シート ”, 大分合同新聞 第 1 面, 2007年3月5日(朝刊).

7. 研究成果の今後の活用方法

要素技術としての基礎的研究がほぼ終了したか,あるいは有益な研究成果が得られたという段階である. 各要素技術について, 本研究プロジェクトで遂行した研究成果を基に, より実用化に近い技術と発展させていく必要がある. 他研究機関とこれまで以上に密接に協力し合い, 継続的に研究を遂行していくことが, 本研究プロジェクトにおける研究内容を実用化するためへの近道であると考ええる.

8. 当該年度までの全体予算額

平成 1 6 年度 :	5,410,000 円
平成 1 7 年度 :	1,140,000 円
平成 1 8 年度 :	940,000 円
合 計 :	7,490,000 円

IV. 個別編

疲労を特徴付けるための指標作り，眠りの定義・分類，医学的パラメータとの関連性研究

(財) 島根難病研究所 研究局 研究部長 亀井 勉
(財) 島根難病研究所 研究局 研究員(非常勤医師) 村田幸治

1. 序論

入眠予兆検知着座センサーによる居眠り運転防止技術の開発にあたり，分担研究として医学的な立場からの調査・検討を実施した．具体的には，①入眠状態を特徴付けるための指標の確立，②入眠状態を特徴付ける指標と医学的パラメータとの関連性調査（試行調査），③入眠予兆現象の有用性の検証（医学的パラメータを用いた，筋疲労およびサーカディアンリズム（昼・夜の相違）との関連性の検討），④入眠予兆現象と末梢循環系の変化との関連性の検討，⑤アルファ波賦活化装置を用いた座位姿勢での覚醒度を高める手法についての検討を行った．

2. 入眠状態を特徴付けるための指標の確立

平成16年度には，入眠状態を特徴付けるための指標作成にあたり，安静覚醒状態から睡眠に至る生体の変化をみるために，50分間の睡眠実験を行なった．入眠段階の判定は脳波に基づく「国際判定基準」を用い，覚醒から睡眠第1段階への移行を入眠と定義した．この実験においては，被験者18名（20-60歳台）に対し，脈波（指尖，背部）計測と，脳波，心拍，呼吸，体表面温度の計測を並行して行い，各生体信号を採取した．なお本実験は，（株）デルタツーリングとの共同で行った．

①指尖容脈波や圧電型フィルムセンサを用い生体信号を採取できることがわかった．

②採取したデータを時系列解析することにより，それぞれの時間変化における生体変化の相関性を分析したところ，指尖容脈波のパワー値と最大リアプノフ指数の傾き時系列波形が，覚醒期において「パワー値と最大リアプノフ指数の2つの信号の変化が逆位相となり，かつ各信号の振幅が大きくなる」特徴的な波形を示した（この波形を入眠予兆現象と定義）．この指尖容積脈波から検出された入眠予兆現象は，睡眠実験を行った際に実験時間内に入眠に至った被験者のすべてにおいて認められた．また，今回の結果では，入眠予兆現象は被験者が睡眠第1段階に至る5分から10分程度前に検出できることがわかった．

3. 入眠状態を特徴付ける指標と医学的パラメータとの関連性調査（試行調査）

平成16年度には，指尖容積脈波情報を基とした覚醒期の入眠予兆現象の検出についてその有効に関する医学的パラメータを用いた検証実験のための試行検査を行った．医学的パラメータとの関連性に向けた試行検査については，睡眠実験を行う際に，3名の被

験者（20歳以上の健康成人3名）に対して実験の前後において採血や唾液の採取による医学的パラメータの抽出を行った。平成16年度では、平成17年度以降の本実験に向けての試行検査という立場から、実験手順の正確性の確認と、採血などの作業が睡眠実験自体に与える影響の検討、及び睡眠実験の過程で、抽出された医学的パラメータが示す特性をパイロットレベルで調査した。なお本調査は、（株）デルタツーリングとの共同で行った。

①実験手順の確認については、採血は予め決められたタイミングで正確に行われた。唾液の採取も予め決められたタイミングで問題なく採取可能であった。睡眠実験自体に与える影響の検討では、3名とも安静覚醒状態から睡眠状態へ移行したことから、採血により睡眠実験自体を妨げることはなく無痛で血液を採取できることが確認された。

②抽出された医学的パラメータの検討では、データに被験者の固有性を認めた。3名ともリラックス状態の評価と考えられ、医学的パラメータの動きに矛盾は認められなかった。

4. 入眠予兆現象の有用性の検証（医学的パラメータを用いた、筋疲労およびサーカディアンリズム（昼・夜の相違）との関連性の検討）

睡眠・覚醒の様式には大きく3つの特徴が認められるといわれている¹⁾。第1は1日を単位とするサーカディアンリズム（日内リズム）であり、ヒトの場合は昼間に行動し夜は眠るという明確な周期のことで、脳の視交叉上核という神経核に存在する生物時計により正確に調節がなされている。第2はウルトラディアンリズム（約90分の周期を持つ睡眠構造）であり、ヒトの場合は夜間の睡眠期の中でノンレム睡眠とレム睡眠を約90分の周期で4～5回繰り返す周期のことで、脳幹に存在するレム睡眠の発現機構が重要な役割を担っているといわれている。第3は睡眠のホメオスタシス（睡眠の恒常性）といわれているもので、先行する覚醒の質や量によってそれに続く睡眠の量や質が変化するというものであり、視床下部の睡眠調節系が重要な役割を担っているといわれている。我々はこれまでに、平成16年度に行なった研究において、指尖容積脈波のカオス解析により、末梢循環系の変化から、覚醒期において睡眠段階への移行を予兆する現象（以下、入眠予兆現象）が検出できる可能性を報告した²⁾。

平成17年度の研究では、血液・唾液から得られる医学的パラメータを用いて、上記の睡眠のホメオスタシスやサーカディアンリズムを考慮した立場から、入眠予兆現象の検証を行なった。

指尖容積脈波情報を基とした覚醒期の入眠予兆現象の有用性を検証するため、特に筋疲労との関連について、医学的パラメータを用いた検証を行った。なお、本検証実験は（株）デルタツーリングとの共同で行った。

①睡眠には昼間の活動の負荷による疲労の程度に依存して質的に対応する機構（睡眠のホメオスタシス）が備わっているといわれている¹⁾。覚醒期の乳酸値と入眠潜時との間に逆相関の傾向を認めたことから、入眠前の筋肉運動量（可能性として、筋疲労の程度）が大きいほど入眠潜時が短いことが示唆され、入眠予兆現象の臨床応用が期待さ

れた。

②また、睡眠実験中の乳酸値の変化に有意差を認めなかったことから、50分間の睡眠実験中の筋運動量の評価には、乳酸値は指標として最適ではないと考えられた。

③本研究の最終目標として、座位姿勢と覚醒度の維持・回復の関連を検討する上で、今後、座位姿勢での筋疲労をリアルタイムで評価し、入眠予兆現象との関連性を検討する必要があると考えられた。

5. サーカディアンリズム（昼・夜の相違）を想定した、医学的パラメータ（血液・唾液）との関連性調査

指尖容積脈波情報を基とした覚醒期の入眠予兆信号の検出について、サーカディアンリズムを反映する指標および各種ストレス関連指標との関連を調査した。なお、本調査は、（株）デルタツーリングとの共同で行った。

①日中と夜間の医学的パラメータの比較では、血液中のコルチゾール値に有意差を認め、実験時間の設定はサーカディアンリズムを反映したものとなっていた。また、睡眠実験中の各生理学的指標の変化には有意差を認めなかったが、各指標の動きは全体として被験者のリラックス状態への移行を示唆していると考えられた。

②さらに、日中と夜間の入眠潜時の比較では、日中より夜間の方が入眠潜時が短い可能性が見込まれた。このことから、入眠予兆現象には、睡眠のホメオスタシスに加えて生体のサーカディアンリズムも反映されている可能性が考えられた。

参考文献

- 1) 尾上浩隆：疲労の科学（井上正康他編）； 講談社，11-17，(2001)
- 2) 藤田悦則他：指尖容積脈波情報を用いた入眠予兆現象計測法の開発；人間工学，41：203-212，(2005)

6. 入眠予兆現象と末梢循環系の変化との関連性の検討

睡眠・覚醒は体熱制御と密接な関連をもつ。熱放散は睡眠を導入し、産熱は覚醒に先立って増大する¹⁾。健康な人の睡眠を記録すると、入眠時に皮膚温の上昇が見られるが、この現象は入眠に先立って交感神経の働きが弱まり、末梢血管が拡張したためにおこるといわれている²⁾。我々は、これまでに、指尖容積脈波のカオス解析により、末梢循環系の変化から、覚醒期において睡眠段階への移行を予兆する現象（以下、入眠予兆現象）が検出できる可能性を報告してきた³⁾。

H18年度の研究では、末梢血流量および心拍変動解析による自律神経系の変化を指標として、覚醒期の入眠予兆現象の出現と、末梢循環系の変化との関連性について検討を行った。なお、本検討は、（株）デルタツーリングとの共同で行った。

① LDF法では、皮下の動静脈吻合（AVA）の深度の血流を測定しているといわれている。AVAは、指尖、手掌、耳介などに著しく多く、皮膚表面を流れる血流量を調節し体温調節を行っている⁴⁾。入眠予兆現象と指尖でのLDF法による皮膚血流量の変動との関連では、覚醒期にパワー値の時系列波形が最大振幅を示す時期にほぼ一致

して末梢血流量の連続的な増加を認めた。これにより、パワー値の傾き時系列波形は末梢の血流量の変化を反映し、かつその最大振幅は生体が覚醒から睡眠に移行する過程で生じるA V A 調節を介した末梢血流量の急激な増加を反映している可能性が考えられた。

② 入眠予兆現象と心拍パワースペクトルとの関連では、覚醒期に最大リアプノフ指数の傾き時系列波形が最大振幅となる時期の直前かその時期にほぼ一致してLF/HFに一過性の上昇が認められ、両者には同期性も認められた。これらより、最大リアプノフ指数の傾き時系列波形は、交感神経活動をより反映している可能性が示唆された。なお、入眠過程での一過性のLF/HF上昇は、既知の知見ではないが、アトラクタの不安定性と人の精神的な緊張には関連性が指摘されている³⁾。従って、今回の最大リアプノフ指数の傾き時系列波形とLF/HFとの同期性自体は矛盾がないと考えられる。

③ 入眠予兆現象には、少なくとも覚醒から睡眠に向かう過程の末梢循環系の変化がリアルタイムに反映されていると考えられた。

参考文献

- 1) 三島和夫：「睡眠覚醒の制御と加齢」，日本医事新報，No.1490，6-14，(2004)
- 2) 小林敏孝：「睡眠の機能に関する研究」，睡眠学，p43-60，(2003)
- 3) 藤田悦則他：「指尖容積脈波情報を用いた入眠予兆現象計測法の開発」，人間工学，Vol.41，No.4，203-212，(2005)
- 4) 菅屋潤壹他：「レーザードップラー血流計を用いる検査法」，日本臨床，Vol.50，No.4，：723 - 728，(1992)

7. アルファー波賦活化装置を用いた座位姿勢での覚醒度を高める手法についての検討

安静時に前頭前野を中心として 9～11Hz のアルファー波の増加とベータ波の減少が起ってくると、精神が集中しやすい状態に導かれることが、今日までに知られている。われわれは、座位姿勢で睡眠した後の覚醒効果を促進させることを目的に、9～11Hz のアルファー波を賦活化させる装置を作成し、その効能試験を実施した。なお、本検討は、(株)デルタツーリングとの共同で行った。

① 上記のような仕様の装置を用いることにより、安静時における集中力増強に関与があるとされる9～11Hzの周波数帯域のアルファー波の増加が起きようになると考えられた。そして、この反応は、座位姿勢で睡眠した後の覚醒効果を促進させることができるものと思われた。

② これにより、例えば、高速道路走行中に眠気を自覚してパーキングエリアなどで仮眠をとった後などに上記のような装置を用いることで、仮眠後の覚醒が促進される可能性があると考えられた。

8. 知的財産権取得状況

該当なし

9. 研究成果発表実績

1) 論文発表

国内 3 件, 海外 3 件

- [1] 藤田悦則, 小倉由美, 落合直輝, 笛 鉄軍, 清水俊行, 亀井 勉, 村田幸治, 上野義雪, 金子成彦, “ 指尖容積脈波情報を用いた入眠予兆現象計測法の開発 ” 人間工学 41, pp.203-212, (2005)
- [2] 村田幸治, 亀井 勉, 藤田悦則, 金子成彦, “ 生理学的指標を用いた入眠予兆現象の検証 ”, 日本人間工学会第47回大会, vol.42, pp.168-169, (2006)
- [3] 村田幸治, 小島重行, 落合直輝, 亀井勉, 藤田悦則, “ 末梢循環系の変化に関連した生理指標と入眠予兆現象の関連性についての検討 ”, 日本人間工学会第48回大会 (in press)
- [4] E. Fujita, Y. Ogura, N. Ochiai, T. Kamei, K. Murata, Y. Ueno, S. Kaneko, “ Development of Sleep Forecast Method by Fluctuation Time Series Analysis Utilizing Finger Plethysmogram ”, Proceedings of the World Association of Sleep Medicine 1st Congress, Berlin (Germany), October 15-18, (2005)
- [5] E. Fujita, Y. Ogura, N. Ochiai, T. Miao, T. Shimizu, K. Murata, T. Kamei Y. Ueno, S. Kaneko, “ Experimental Study on Prediction of Sleep during Wakefulness ”, Proc. VSTech 2005, pp.282-287, (2005)
- [6] Etsunori Fujita, Kohji Murata, Naoki Ochiai, Shinichiro Maeda, Yumi Ogura, Tsutomu Kamei and Shigehiko Kaneko, “ Development of a Method for Measuring Sleep Predictor Signals via Biological Signals in the Hip Region ”, Proceedings of the 11th Asia-Pacific Vibration Conference Vol.2, pp.427-431, (2005)

2) 口頭発表

国内 8 件, 海外 1 件

- [1] 前田慎一郎, 落合直輝, 小倉由美, 榎芳美, 藤田悦則, 村田幸治, 亀井 勉, 上野義雪, 金子成彦, “ 臀部からの生体信号の簡易計測法 ”, 第37回日本人間工学会中国・四国支部大会, pp.8-9, 2004年11月27日, 広島市
- [2] 落合直輝, 前田慎一郎, 小倉由美, 榎芳美, 藤田悦則, 村田幸治, 亀井 勉, 上野義雪, 金子成彦, “ 指尖容積脈波情報を用いた着座時の疲労度と快適度の評価 ”, 第37回日本人間工学会中国・四国支部大会, pp.22-23, 2004年11月27日 広島市
- [3] 落合直輝, 前田慎一郎, 小倉由美, 榎芳美, 藤田悦則, 村田幸治, 亀井 勉, 上野義雪, 金子成彦, “ 睡眠-覚醒における入眠予兆現象に関する実験的研究 ” 第37回日本人間工学会中国・四国支部大会, pp.26-27, 2004年11月27日, 広島市
- [4] 前田慎一郎, 落合直輝, 小倉由美, 榎芳美, 藤田悦則, 村田幸治, 亀井 勉, 上野義雪, 金子成彦, “ 生理指標によるマトレスの簡易快適度評価法の開発 ” 第37回日本人間工学会中国・四国支部大会, pp.28-29, 2004年11月27日, 広島市
- [5] 前田慎一郎, 藤田悦則, 小倉由美, 村田幸治, 亀井勉, 金子成彦, “ 臀部からの生体信号の計測法 ”, 自動車技術会学術講演論文前刷集(20055254), No.11-5, pp.1-4 (2005), 2005年5月18日, 横浜市
- [6] 落合直輝, 藤田悦則, 小倉由美, 村田幸治, 亀井勉, 金子成彦, “ 指尖容積脈波のゆらぎを用いた疲労度評価法の開発 ”, 自動車技術会学術講演論文前刷集(20055243), No.11-5, pp.15-18, (2005), 2005年5月18日, 横浜市
- [7] 落合直輝, 小倉由美, 藤田悦則, 村田幸治, 亀井 勉, 上野義雪, 金子成彦, “ 非侵襲型センサーによって測定された生体ゆらぎ信号の疲労と入眠予知への応用 ”, 第39回日本人間工学会中国・四国支部大会(2006年) pp.34-35, 2006年1月25日, 広島大学
- [8] 亀井 勉, “ 医工連携による補完代替医療の展望 ”, 統合医療展2007学会フォーラム平成19年1月, 横浜
- [9] E. Fujita, T. Kamei, K. Murata, Y. Ogura, N. Ochiai, E. Yasuda, S. Doi Y. Ueno, S. Kaneko, “ Development of simplified appraisal method for

fatigue on sitting for extended periods by using finger plethysmogram”
5th Developing Research Strategies in CAM Research Conference: 2007. 3
Northampton, UK

- 3) その他(研究内容報告書, 機関誌発表, プレス発表等)
国内 4件, 海外 0件
- [1] 村田幸治, 亀井 勉, “ 指尖容積脈波による入眠予兆に関する実験的研究 ”,
(財) 島根難病研究所平成16年度医学研究事業報告集,
http://www.nanken.or.jp/work/repo2004/repo2_02.html#02-02
- [2] 村田幸治, 亀井 勉, “ 指尖容積脈波による入眠予兆に関する実験的研究
(継続) ”, (財) 島根難病研究所平成17年度医学研究事業報告集(投稿中)
- [3] 村田幸治, 亀井 勉, “ 指尖容積脈波による入眠予兆に関する実験的研究
(継続) ”, (財) 島根難病研究所平成18年度医学研究事業報告集(投稿予定)
- [4] 亀井 勉, 村田幸治, “ 入眠研究グループが居眠り運転防止シート開発 ”,
山陰中央新報, 2007年2月20日(朝刊) .

10. 研究成果の今後の活用方法

今回の一連の研究により, われわれの研究グループによって考案された「脈波の揺らぎ信号から生体の様々な状態をリアルタイムに解析し検知する方法」は, 生体の末梢循環系の変化や自律神経系(交感神経, 副交感神経)の活動レベルの変化をリアルタイムに反映していることが明らかとなり, より汎用性をもつ生体評価の方法として有用性が高いことが医学的に確認された. 今回の研究成果は, 3年間を振り返ってみれば, 研究開始当初の目標であった「入眠予兆検知着座センサーを用いた入眠防止警告システム」の開発や実用化に向けての意義ある医学的な知見が得られたということに止まらない. 特に非侵襲での生体評価が可能であるため, 様々な条件下での生体評価の方法として利用価値が見込まれ, 例えば着座シートから運転者が受けるストレスの評価を行うことによりシート特性の評価が可能となることや, 運転者の長時間着座に伴う疲労の評価も可能となるなど, 運転者の快適性や安全性を迫及した環境評価の手法としても今後の活用が想定される. さしあたり次の研究課題としては, 入眠予兆現象の検知システムを応用して人の平常状態と飲酒状態の医学的な判別・検証を行い, 運転者の平常状態と飲酒状態を判別するための指標の確立につながる初期段階の研究に着手したいと考えている.

次に, アルファ波賦活化装置を用いた座位姿勢での覚醒度を高める手法についての検討により, 安静時における集中力増強に関与があるとされる9~11Hzの周波数帯域のアルファ波の増加が起きることが確認された. 現段階では, 基礎的なレベルでの研究であるが, 例えば, 高速道路走行中に眠気を自覚してパーキングエリアなどで仮眠をとった後などに上記のような装置を用いることで, 仮眠後の覚醒が促進される可能性があると考えられた.

11. 当該年度までの全体予算額

平成16年度:	9,360,000円
平成17年度:	4,930,000円
平成18年度:	2,960,000円
合 計 :	17,250,000円

V. 個別編

覚醒状態を維持する着座姿勢とシート構造に関わる研究

研究代表者	株式会社デルタツーリング	開発部	常務取締役	部長	藤田 悦則
研究者	株式会社デルタツーリング	開発部	研究開発課	課長	坂本 豊
研究者	株式会社デルタツーリング	開発部	研究開発課	主幹	小倉 由美
研究者	株式会社デルタツーリング	開発部	研究開発課	主務	川崎 誠司
研究者	株式会社デルタツーリング	開発部	研究開発課	主務	高田 康秀
研究者	株式会社デルタツーリング	開発部	研究開発課	主務	杉本 栄治
研究者	株式会社デルタツーリング	開発部	研究開発課	主務	藤川 一彦
研究者	株式会社デルタツーリング	開発部	研究開発課	主務	我田 茂樹
研究者	株式会社デルタツーリング	開発部	研究開発課	主務	大下 裕樹
研究者	株式会社デルタツーリング	開発部	研究開発課	研究員	小島 重行
研究者	株式会社デルタツーリング	開発部	研究開発課	研究員	落合 直輝
研究者	株式会社デルタツーリング	開発部	研究開発課	研究員	前田 慎一郎

1. 序論

本研究では、着座者の体動や脈波・呼吸等による生体信号を収集する方法として、自動車用シートの座部構造部材に磁気コイルセンサー等を組み込んだ着座センサー付きシートの開発を試みた。

平成16年度は、背部と座部の座面に3次元立体編物を用い、同じく3次元立体編物から成る張力構造体を座部の座面支持部材として用いた新しい自動車用シート構造を考案した。本新構造シートの座部の座面支持部材に張力を与えているトーションバーに磁気コイルセンサーを組み込み、背部と座部の座面表皮には圧電フィルムセンサーを取り付けたものを着座センサー付シートとして設計・製作し、非侵襲的に着座者の生体信号収集の可能性を確認した。

平成17年度は、前年度の研究結果を踏まえて、より厳しい条件である動的な着座状態での生体信号抽出方法について検討を行った。また、高覚醒維持&快適・短時間休息可能な着座姿勢について検討を行った。

平成18年度は、前年度の研究結果を踏まえて、より厳しい条件である実車走行時の動的な着座状態で、背部に圧電素子の代替として、デルタツーリング製であるエアパックセンサーを取り付け、座部に磁気回路センサーを取り付けて生体信号の抽出方法について検討を行った。磁気回路センサーでは、動的条件下で身体動揺を、静的条件下で呼吸をそれぞれ抽出可能なことを確認した。エアパックセンサーでは、圧電素子の代替として呼吸と脈拍をそれぞれ抽出可能なことを確認した。

また、乗員が高覚醒度を維持することが可能なシートを試作した。そして、生理学的・医学的パラメータと姿勢の関係を計測データを用いて解析し、疲労しにくくリラックスした状態で座れる着座姿勢を静的な状態で模索した。具体的には、静的環境下で、

着座することによって生ずる筋疲労を体幹の筋電を用いて計測し、同時に脈波・呼吸・拍動・脳波も計測した。その後、これら生理的・医学的パラメータにゆらぎ解析を実施し、静的環境下での筋電と脈波・脳波におけるゆらぎの相関性について検討した。特に、腰背部の筋肉のような姿勢保持のために持続的な張力発生に關与する筋線維が多い筋肉では、筋肉の動き自体に変化が少ないことから、通常検出される筋電波形からは筋肉の動きの変化を捉えにくいことが指摘されているため、本研究では、筋電波形のゆらぎ解析により、筋肉の機能低下（筋疲労）の様子を捉える方法について検討した。

2. 着座センサー付きシートの考案

平成16年度において、本研究のために考案・試作した着座センサー付きシートは、背部と座部の座面に3次元立体編物を用い、座面支持部材として3次元立体編物から成る張力構造体を有している。座面支持部材としての張力構造体はクッション後部に設けられたトーションバーにより張力を与えられており、着座時にはトーションバーがねじれる構造となっている。3次元立体編物は、従来自動車用シート材料として多用されているトリム材とウレタンパッドの組み合わせとは根本的に構造・性質が異なり、体圧分散性、振動吸収性、および通気性に優れた新素材である。本シートのトーションバーに磁気コイルセンサーを組み込み、背部と座部の座面表皮には圧電フィルムセンサーを取り付けたものを着座センサー付シートとして設計・製作した。

本着座センサー付シートを用い、静的着座状態及び動的着座状態（アイドリング時）における臀部あるいは背部からの生体信号検出実験を行った。なお、動的着座状態については、エンジン回転による高周波振動や微小レベルの体動を除去するため、シート下部に磁気サスペンションを装備して実験を行った。なお、この磁気サスペンションはコイルバネの正の荷重と磁気バネの負の荷重との組み合わせにより、あるストローク領域においては荷重変動を0とする、つまり系全体に不感帯を有しており、この不感帯と渦電流を利用した磁気ダンパー効果により外部からの入力振動を減衰するものである。

本研究で考案・製作した着座センサー付きシートを用いて着座者の生体信号を検出可能であることが確認できた。しかし、トーションバーセンサー・圧電フィルムセンサーともに、信号検出の精度・感度が不十分であり、種々の改良が必要であることも判明した。センシング手法の高精度及び高感度化を進めるために、磁気サスペンション装備などの検討も含めた着座センサー付シートとしてのシート構造の最適化も検討する必要があることが判明した。

3. 圧電フィルムセンサーを用いた生体信号収集システムの開発

非侵襲的生体信号収集システム開発を目的として静的着座状態及び磁気サスペンションを装備しアイドリング時を想定した動的着座状態において、圧電フィルムセンサーによる臀部からの呼吸・脈波成分抽出の可能性を確認した。アイドリング時以外のさまざまな動的着座条件下における臀部信号からの呼吸・脈波成分抽出実験を試みるとともに生体信号検出・抽出の高精度及び高感度化を図るために、磁気サスペンションの装備

導入も含めた着座センサー付シートとしてのシート構造の最適化や信号処理技術の高性能化を進めた。さらに、圧電フィルムセンサー以外の新たな生体信号センサーの開発検討も同時並行で進めた。

4. 着座センサー付きシートの試作

平成17年度は、着座者の体動や脈波・呼吸等による生体信号を収集する方法として、自動車用シートの座部構造部材であるトーションバーに磁気コイルセンサーを組み込んだ着座センサーの開発を試みた。平成17年度は、前年度の研究結果を踏まえて、より厳しい条件である動的な着座状態での生体信号抽出方法について検討を行った。また、高覚醒維持&快適・短時間休息可能な着座姿勢について検討を行った。

背部と座部の座面に3次元立体編物を用い、同じく3次元立体編物から成る張力構造体を座面支持部材として用いた新しい自動車用シート構造を試作した。この新しいシートの座面支持部材に張力を与えているトーションバーに磁気コイルセンサーを組み込み、背部と座部の座面表皮には圧電フィルムセンサーを取り付けたものを着座センサー付シートとして試作した。目的は、本着座センサー付きシートを用いて、非侵襲的に着座者の生体信号収集の可能性を探ることである。本着座センサー付シートを用い、静的着座状態及び動的着座状態（アイドリング時）における臀部あるいは背部からの生体信号検出実験を行ったところ、着座者の生体信号抽出が可能なが確認できた。

4-1) ダブルトーションバータイプの着座センサー付きシートの試作（乗用車用）

平成18年度は、ばね定数可変システムと座部の磁気回路センサーの組み合わせで、外部振動入力を低減する乗用車用シートを試作した。さらに、ダブルトーションバー構造でも外部振動入力を低減させることが可能で、乗用車レベルの振動条件下で、生体信号が採取できることを確認した。これにより乗用車では、磁気ばね・ダンパー付きサスペンションが無くても、背部での固体伝播振動を検知するエアパックセンサーと座部の磁気回路センサーの抽出・判別・解析との組み合わせにより、生体信号の抽出が可能となった。

4-2) 磁気ばね・磁気ダンパー付きサスペンションシートの試作（トラック用）

着座センサー付シート下部に取り付けたトラック用の磁気ばね・磁気ダンパー付きサスペンションシートを試作した。この磁気ばね・磁気ダンパー付きサスペンションがメカニカルフィルターとして作用することで、大Gが発生する外部振動入力条件下での着座者の生体信号抽出の可能性について検討した。

4-3) 静的・動的条件下でのセンサー原波形について

シート背部にエアパックセンサーを取り付けたシートを試作し、そのエアパックセンサーで静的・動的条件下での生体信号抽出が可能であるかを検討した。動的条件下でも静的条件下と同様に、被験者の心拍成分、呼吸成分をセンシングすることが可能とな

った。

4-4) 筋電図と生体信号におけるゆらぎの相関性の検証

静的環境下での筋電図と脈波・脳波におけるゆらぎの相関性を検討した。特に、腰背部の筋肉など姿勢保持のような持続的な張力発生に関与するタイプの筋線維が多い筋肉では、筋肉の動き自体に変化が少ないため、通常検出される筋電波形を眺めるだけでは筋肉の動きの変化を捉えにくいことが指摘されている。そこで本研究では、筋電波形のゆらぎ解析により、その不安定性の評価ができる可能性を検証し、筋肉の機能低下（筋疲労）の様子を捉える方法を提案した。

睡眠状態と覚醒状態の指尖容積脈波パワー値傾き時系列の周波数分析を比較するとピーク周波数域が同一帯域に来ており、睡眠状態（体はリラックスして筋弛緩している状態）と覚醒状態では、大きな変化はなく、姿勢維持に余計な力を使っていないことから、体には無理のない姿勢であると考えられる。また脈拍呼吸周波数時系列解析より、脈拍と呼吸の周波数変動がほぼ同周期で起きており、呼吸にも良い姿勢であると考えられる。

静的環境下での腰部筋電の傾き時系列波形からは、睡眠（リラックス）状態、覚醒状態ともにでパワー値の傾き波形の振幅が小さく、安定した姿勢で背筋をあまり使わない姿勢であることが分かり、また、静的環境下での腹部筋電の傾き時系列波形からは、睡眠（リラックス）状態でパワー値の傾き波形の振幅が大きく、逆に覚醒状態では小さくなっており、睡眠（リラックス）状態では深い腹式呼吸であったことが推測でき、筋電と生体信号におけるゆらぎの相関性を確認することができた。

5. 知的財産権取得状況

特許出願	1 件
・ 「荷重変動検出装置付きシートの発明」（平成19年2月14日出願）	
特許出願（予定）	0 件
著作権登録	0 件

6. 研究成果発表実績

- 1) 論文発表（注： 発表論文リストを添付）
国内 1 件，海外 0 件

[1]藤田悦則，小倉由美，落合直輝，苗鉄軍，清水俊行，亀井勉，村田幸治，上野義雪，金子成彦，“ 指尖容積脈波情報を用いた入眠予兆現象計測法の開発 ”，人間工学 41-4，pp. 203-212（2005）

- 2) 口頭発表
国内 11 件，海外 4 件

[1]槌田雄二，下地宏泰，戸高孝，榎園正人，山根秀之，榎芳美，藤田悦則 “ 自動車運転手状態検出のための磁気着座センサー ”，第 14 回 MAGDA コンファレンス in 岐阜 電磁現象及び電磁力に関するコンファレンス講演論文集，pp. 218-221(2005)

[2]落合直輝，前田慎一郎，小倉由美，榎芳美，藤田悦則，上野義雪，金子成彦，“ 指

- 尖容積脈波情報を用いた着座時の疲労度と快適感の評価”，日本人間工学会，中国四国支部，第37回大会講演予稿集，pp. 22-23，2004年11月27日，広島市
- [3] 落合直輝，前田慎一郎，小倉由美，榎芳美，藤田悦則，上野義雪，金子成彦，“睡眠一覚醒における入眠予兆現象に関する実験的研究”，日本人間工学会，中国四国支部，第37回大会講演予稿集，pp. 26-27，2004年11月27日，広島市
- [4] 前田慎一郎，落合直輝，小倉由美，榎芳美，藤田悦則，上野義雪，金子成彦，“生理指標によるマットレスの簡易快適度評価法の開発”，日本人間工学会，中国四国支部，第37回大会講演予稿集，pp. 28-29，2004年11月27日，広島市
- [5] 前田慎一郎，落合直輝，小倉由美，榎芳美，藤田悦則，上野義雪，金子成彦，“臀部からの生体信号の簡易計測法”，日本人間工学会，中国四国支部，第37回大会講演予稿集，pp.8-9，2004年11月27日，広島市
- [6] E. Fujita, Y. Ogura, N. Ochiai, T. Kamei, K. Murata, Y. Ueno, S. Kaneko, “Development of Sleep Forecast Method by Fluctuation Time Series Analysis Utilizing Finger Plethysmogram”, Proceedings of the World Association of Sleep Medicine 1st Congress, Berlin (Germany), October 15-18, 2005
- [7] E. Fujita, Y. Ogura, N. Ochiai, T. MIAO, T. SHIMIZU, K. Murata, T. Kamei, Y. Ueno, S. Kaneko, “Experimental Study on Prediction of Sleep during Wakefulness”, Proc. VSTech 2005, pp.282-287, 2005
- [8] Etsunori Fujita, Kohji Murata, Naoki Ochiai, Shinichiro Maeda, Yumi Ogura, Tsutomu Kamei and Shigehiko Kaneko, “Development of a Method for Measuring Sleep Predictor Signals via Biological Signals in the Hip Region”, Proceedings of the 11th Asia-Pacific Vibration Conference, Vol.2, pp.427-431(2005)
- [9] Yuji Tsuchida, Hiroyasu Shimoji, Takashi Todaka, Masato Enokizono, Hideyuki Yamane, Yoshimi Enoki, Etsunori Fujita, “Development of Amagnetic seat sensor for monitoring condition of a car driver”, INTERMAGASIA 2005: Digests of the IEEE International Magnetism Conference, BW-15, pp. 220, 2005
- [10] 前田慎一郎，藤田悦則，小倉由美，村田幸治，亀井勉，金子成彦，“臀部からの生体信号の計測法”，自動車技術会学術講演会前刷集，No.11-5, pp.1-4 (2005)，2005年5月18日，横浜市
- [11] 落合直輝，藤田悦則，小倉由美，村田幸治，亀井勉，金子成彦，“指尖容積脈波のゆらぎを用いた疲労度評価法の開発”，自動車技術会学術講演会前刷集，No.11-5, pp.15-18，(2005)，2005年5月18日，横浜市
- [12] 落合直輝，小倉由美，藤田悦則，上野義雪，金子成彦，“非侵襲型生体信号センシングシートを用いた入眠予兆現象に関する研究”，日本人間工学会第47回大会，vol.42，pp.224-225(2006)，2006年6月10日，大阪市大
- [13] 村田幸治，亀井勉，藤田悦則，金子成彦，“生理学的指標を用いた入眠予兆現象の検証”，日本人間工学会第47回大会，vol.42，pp.168-169(2006)，2006年6月10日，大阪市大
- [14] 前田慎一郎，藤田悦則，小倉由美，金子成彦，“臀部からの生体信号のセンシングに関する研究”，日本機械学会2006年度年次大会講演論文集，Vol.5，pp.79-80 (2006)，日時，2006年9月19日，場所：熊本大学
- [15] 落合直輝，小倉由美，藤田悦則，村田幸治，亀井勉，上野義雪，金子成彦，“非侵襲型センサーによって測定された生体ゆらぎ信号の疲労と入眠予知への応用”第39回日本人間工学会中国・四国支部大会，pp.34-35，2006年11月25日，広島大学

3) その他(研究内容報告書，機関誌発表，プレス発表等)

国内 0件，海外 0件

7. 研究成果の今後の活用方法

研究成果の今後の活用方法としては，シートに組み込んだ非侵襲の入眠予兆検知着座センサーと開発したアルゴリズムにより，シートに着座した運転者の睡眠予兆に加えて飲酒した状態での，人の恒常性維持機能の一時的な変化を，非侵襲で検知できるシステムの研究開発を実施し，呼吸や脈波といった生体信号，および身体動揺をシートの背も

たれから捉え、得られた原波形信号を信号処理し、生体信号の揺らぎを判別し、入眠予兆現象の検知システムを応用した運転者の平常状態と飲酒状態を判別するための基礎理論の構築を目指す。

また、今後の研究においても、東京大学・大分大学・島根難病研究所と4機関で連携をとりながら、研究を継続する予定である。

8. 当該年度までの全体予算額

平成16年度：	10,320,000 円
平成17年度：	10,360,000 円
平成18年度：	3,630,000 円
合 計：	24,310,000 円

「入眠予兆検知着座センサーによる居眠り運転防止技術の開発」 — 飲酒と居眠りの関係の指標化 —

研究代表者：金子 成彦（東京大学）
榎園 正人（大分大学）
亀井 勉（（財）島根難病研究所）
藤田 悦則（（株）デルタツーリング）

1. 研究の概要

今日、道路交通事故において、死亡事故は減少傾向にあるものの、依然として交通事故の発生件数そのものは増え続けている。事故の原因として考えられるものはいくつかあるが、大半は人間の不注意によるものであり、居眠り運転事故が占める割合が高いと言われている。

本研究は、画像や脳波の計測からは検出できない覚醒時の入眠予兆信号（眠くなる前の前兆信号）を、運転の妨げにならない場所で計測される脈波や呼吸数の揺らぎ変化等の生体揺らぎ信号のカオス解析結果から判別する斬新な測定法を提案し、工学的、医学的立場からの検討と裏付けに基づいた入眠予兆原理を確立するとともに、この原理に基づいたシートに装着可能な着座センサーや覚醒を誘導するシートを開発した。19年度 of ステップアップ研究においては、シートに組み込んだ入眠予兆検知着座センサーと開発したアルゴリズムにより、シートに着座した運転者飲酒した状態の人の一時的な変化を検知できるシステムを研究開発した。



居眠り運転防止シート構造図

2. 主な成果

（1）エアパック着座センサーの原理解明（東京大学）

運転者の妨げにならないシート背面に装着したエアパック着座センサーの周波数特性を調べるため、静荷重実験と加振実験を行うとともに、理論モデルを構築し、エアパック着座センサーによって脈波が測定できることを原理的に明らかにした。

（2）背部用磁気回路センサーの開発、飲酒有無による身体動揺解析手法の開発（大分大学）

シート着座者の飲酒前後の状態変化を計測するために、磁気回路センサーでの身体動揺検出の可能性について検討した。また、入眠予兆・疲労検出にケプストラムを用いた生体信号解析手法を適用し、カオス解析によるものとの関連性について調べた。

（3）エアパック着座センサー、磁気回路センサーを組み込んだシートの試作と静的着座から実車までの飲酒判別実験研究（デルタツーリング）

生体信号センサーシステムの高性能化とエアパック着座センサーを利用した入眠予兆信号の検知アルゴリズムを発展させた飲酒検知アルゴリズムの作成により、生体信号センシングシステムの高性能化を図った。

（4）アルコール摂取に対する人の平常状態と飲酒状態の医学的な判別、入眠予兆現象と飲酒状態との関連性についての医学的研究（島根難病研究所）

飲酒実験の過程で食事摂取直後にアルコール摂取を行った場合には、呼吸では飲酒の事実を検知されなかったにもかかわらず、指尖容積脈波の中心周波数の解析や加速度脈波から算定した「血管年齢」のカオス解析では、空腹でのアルコール摂取の場合に認められるのと同様の変化を示す事例が確認された。指尖容積脈波や加速度脈波といった生体信号から、人の平常状態と飲酒状態の医学的な判別が出来る可能性を示した。



試作した居眠り運転防止シート