

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	快適な睡眠環境に関するバイオメカニクス的研究
Title(English)	
著者(和文)	倉元昭季
Author(English)	Akisue Kuramoto
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10630号, 授与年月日:2017年9月20日, 学位の種別:課程博士, 審査員:伊能 教夫,蜂屋 弘之,山浦 弘,中島 求,塚越 秀行
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10630号, Conferred date:2017/9/20, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	要約
Type(English)	Outline

「快適な睡眠環境のためのバイオメカニクスの研究」

論文要約

東京工業大学 理工学研究科

機械制御システム専攻

14D11012 倉元 昭季

本論文は「快適な睡眠環境のためのバイオメカニクスの研究」と題し、全6章より構成されている。

第1章「緒論」では、質の良い睡眠が健康な日常生活を送る上で重要であること、また、工学的な見地からの睡眠の誘導や質の改善を試みる議論が充分ではないことを本研究の背景として述べている。まず睡眠の誘導について、一般的に用いられる薬物療法の問題点を指摘している。また、睡眠環境の心地良さの評価について、主観に依存した定性的な議論に留まっていることを指摘している。本研究では寝具と人体の間に生じる力学的な相互作用に着目し、バイオメカニクスの観点から睡眠環境の「眠りやすさ」や「心地良さ」を評価することで、質の高い睡眠を実現可能な機械的環境を開発することを目的とすると述べている。

第2章「振動が持つ誘眠効果の検証」では、実際に振動条件下での睡眠実験を実施し、振動が持つ誘眠効果について脳波測定を用いて定量的に議論している。まず椅子型加振装置を用いた座位における睡眠実験より、気付かない程度の穏やかな振動が誘眠効果を持つことを示すとともに、特定の周波数で誘眠効果が高まる傾向を示している(図1)。次に誘眠効果の高い振動条件(振幅、周波数、振動方向)を議論する目的で、新たにベッド型加振装置を開発している。この装置を用いた仰臥位における睡眠実験より、特定の振幅で誘眠効果が高まる傾向がみられるとともに、誘眠効果の高い振動については身体に対する振動の異方性がないことが示唆された(図2)。これらの結果は、適度な振動の周波数や振幅の条件下では姿勢や身体に対する振動の方向によらず眠くなることを示唆している。

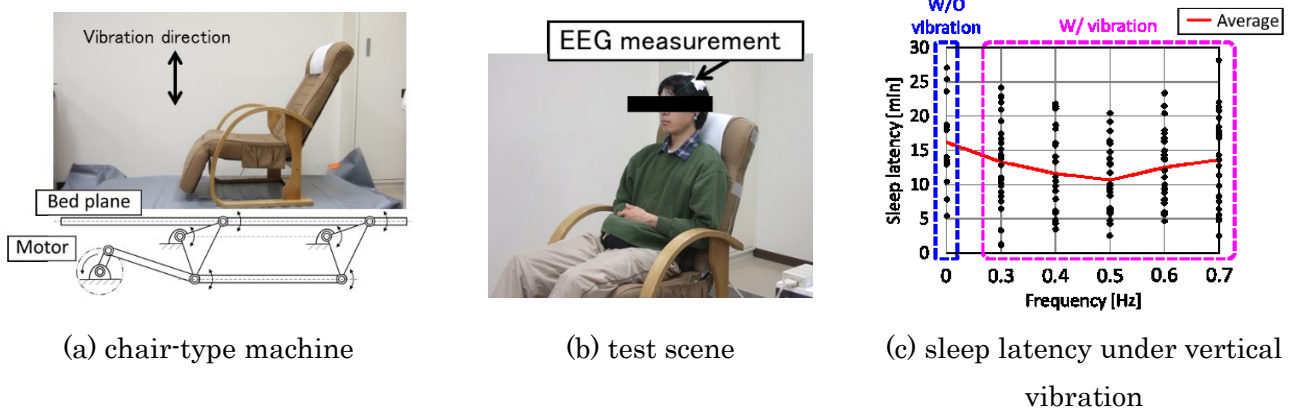


Fig.1 Sleep latency measurement test with the chair-type machine

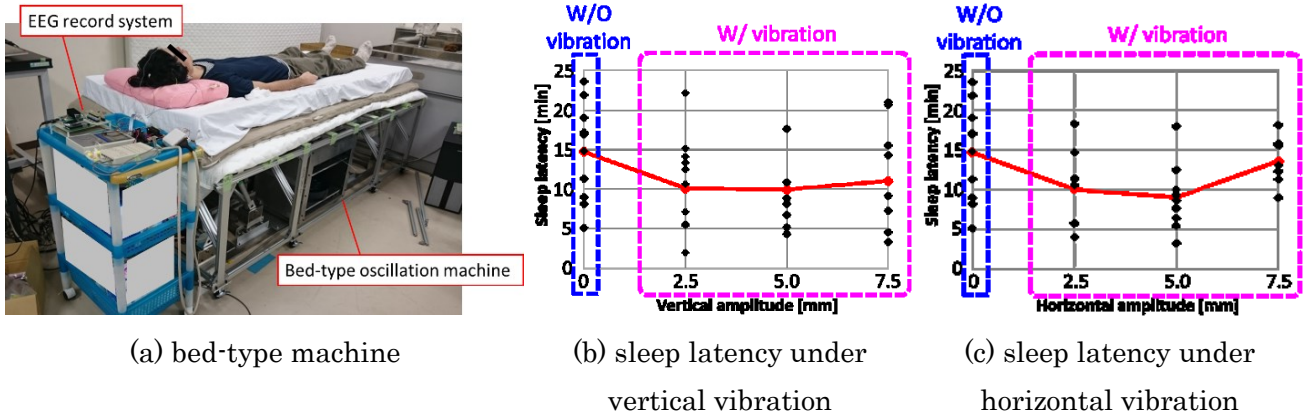


Fig.2 Sleep latency measurement test with the bed-type machine

第3章「休息姿勢の心地良さの生体力学的評価法」では、休息姿勢の快適さを生体力学的な観点から客観的に評価する手法を提案している。休息姿勢の維持において身体は能動的な筋力の発揮を殆ど必要としないと考えられるため、一般に用いられる身体負荷評価手法は適切ではないことを指摘している。本研究では身体負荷が皆無となる姿勢として宇宙での脱力姿勢である Neutral body posture (中立姿勢, NBP) に着目し、これを基準として休息姿勢の維持に必要なエネルギーを身体負荷として評価する手法を提案している。まず個人毎の NBP の推定手法として、報告されている NBP の姿勢角の範囲内で、その個人の自然体立位姿勢時の筋長との差異が小さい NBP を探索する手法を提案している。また身体負荷量の推定には、人体の姿勢に関わる構成要素である筋や関節を弾性ばねで近似し、これらが受ける総ひずみエネルギーを用いている。そして快適な枕と不快な枕を使用時に頭頸部が受ける負荷を提案手法で推定し、枕の心地良さを提案評価手法で定量的に表現できる可能性を示している。

第4章「個人毎に快適な寝具形状の生体力学的評価に基づく設計手法」では、個人毎に快適な寝具形状の設計手法を提案し、快適な枕の生体力学的要件について議論している。

まず個人差の指標として自然体立位における後頭部形状に着目し、快適に感じる枕形状との関係を探った(図3)。後頭部の体表形状を測定する装置を製作し、個人毎の自然体立位における頭頸部姿勢と後頭部形状の関係を調べている(図4)。枕の官能試験としては、充填材の量で頭部と頸部の高さを独立に調整した複数の枕から個人毎に快適に感じるものを選択してもらった。なお枕の高さは頭部と頸部を想定した荷重条件下で測定されている(図5)。選択された枕使用時の頭頸部姿勢と自然体立位時の後頭部形状に有意な相関があることを示している(図6)。この関係式を基に、後頭部形状の測定のみから個人毎に快適な枕形状を設計する手法を提案している。

次に、この設計手法で得られる枕は頭頸部の筋や関節が受ける負荷を小さくしていることを、第3章で提案した身体負荷評価手法を用いた解析より明らかにしている(図7)。また仰臥位における快適な頭頸部支持状態の下では、筋と関節の感覚受容器の繊細さの差異の影響が小さく、主にその姿勢の維持に要求される総エネルギーの少なさが快適さに寄与していることが示唆された。これらの結果は、提案手法を用いた身体負荷の解析から、個人毎の体型に応じて人体姿勢の快適さを議論可能であることを示している。この方法論は、睡眠姿勢だけでなく作業時や休息時の姿勢にも適用可能であるため、これまで主観的評価に依存していた休息姿勢時に用いる器具の快適さを、個人毎の体型や姿勢に基づいて生体力学的

な観点から定量的に評価できる可能性を示している。

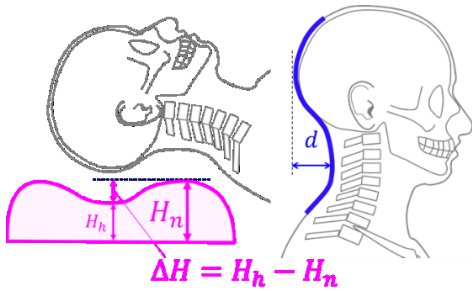
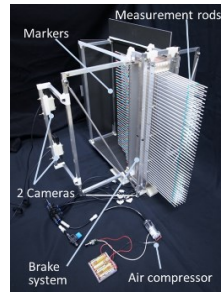
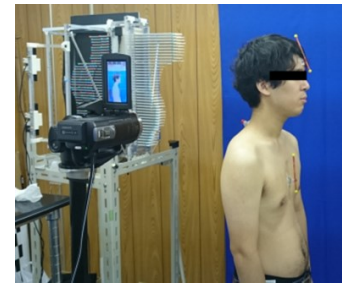


Fig.3 Parameters of interest in the Section 4



(a) measurement device



(b) measurement scene

Fig.4 Head shape measurement test

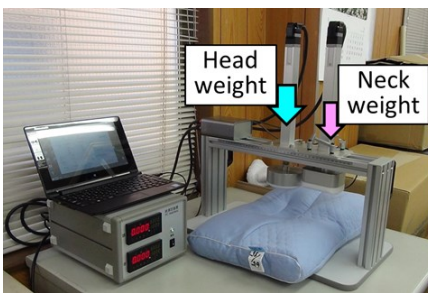
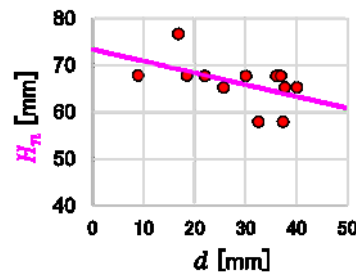
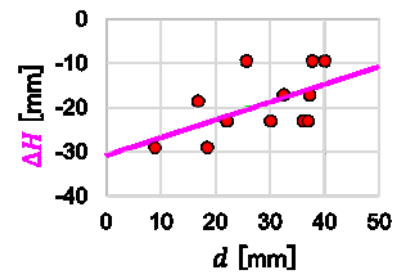


Fig.5 Pillow height measurement under loading condition



(a) d and Hn



(b) d and ΔH

Fig.6 Relationship between head shape and comfortable pillow height

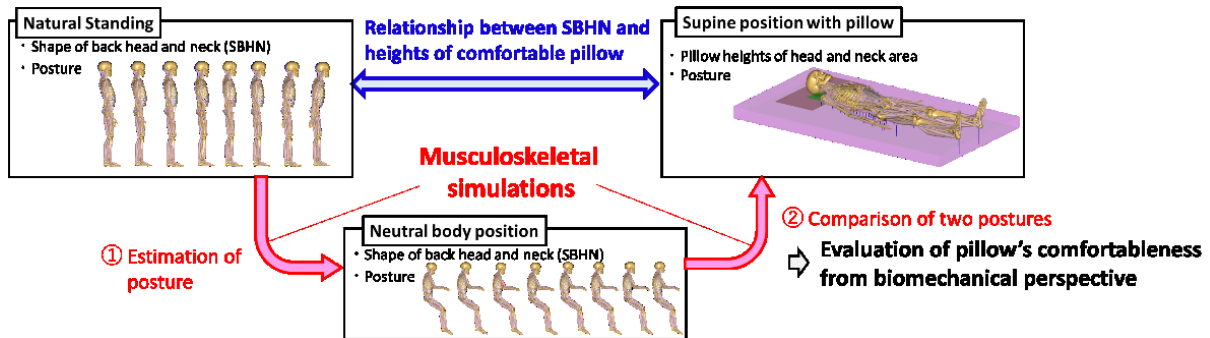


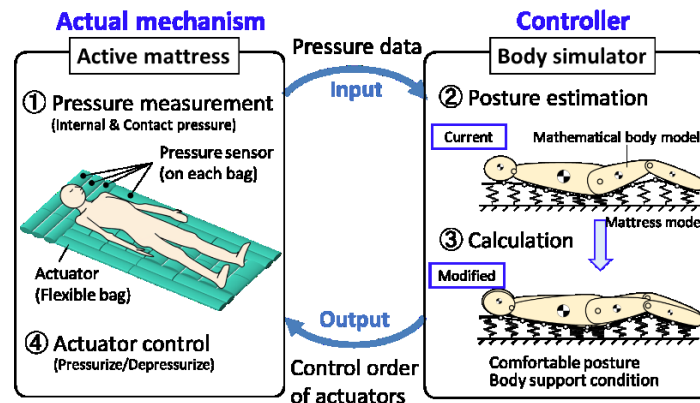
Fig.7 Overview of the proposed method for estimation of physical load in a sleep position

第5章「快適な睡眠環境のためのインテリジェント寝具」では、使用者に個別に対応する快適な寝具の実現のために、複数の柔軟な袋状アクチュエータからなる形状と剛性が可変な流体駆動式能動変形寝具システム、インテリジェント寝具を提案した。この寝具は身体支持状態のシミュレータを用いて算出した身体負荷が小さくなるような身体支持状態を、ベッド全体を構成するアクチュエータを群ロボットとして制御することにより、使用者の姿勢変化に対しても適応的に快適な睡眠姿勢を実現することを目指したものである(図8)。

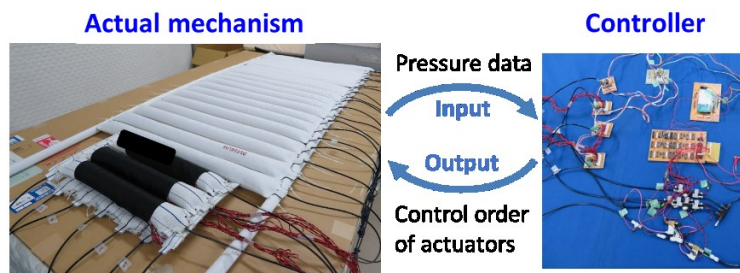
まずこのシステムの基本的な構成要素である柔軟な袋状アクチュエータとそのフィードバック制御システム、およびボディシミュレータの具体的な実現方法について述べている。アクチュエータはゴムチ

チューブを繊維補強材料で覆ったものであり、空気圧で柔軟さや形状を制御する。フィードバック制御システムはアクチュエータの内圧および接触圧が目標値となるようアクチュエータの加減圧を行うためのものである。またボディシミュレータは正中矢状面内の人体と寝具を模擬した2次元多節リンクモデルで構成されている。寝具モデルは市販のマットレスの荷重と変位の関係より設定されている。人体モデルは質量を持つ複数の体節を模擬したモデルとなっている。ボディシミュレータは、人体の筋張力や関節反力を人体モデルの体節接続点における反力やモーメントで近似し、これらの値が小さくなるような姿勢および寝具による身体支持状態の算出を試みている。このボディシミュレータが算出した寝具使用時の姿勢や支持力分布は、実際に寝具を使用している際の被験者の姿勢や体圧分布から得られる支持力分布と、傾向が良く一致していることを確認した。

次に提案寝具システムの一部として枕型システムを構築し、動作実験を行っている(図9)。この枕型システムを用いた頭頸部支持状態の官能評価の結果、接触圧中心位置が快適さを決めるパラメータの一つであるという知見を得ている。また、この快適さを指針としたフィードバック制御により常に快適な姿勢に保つ機能の実現の可能性を示している。

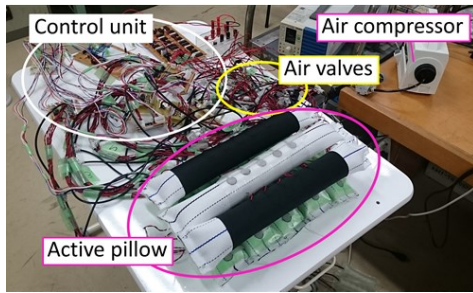


(a) schema

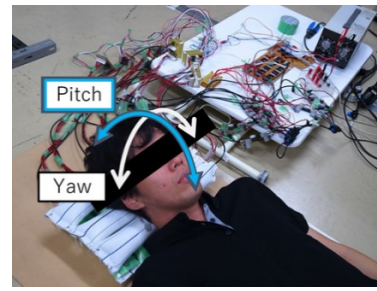


(b) developed system

Fig.8 The intelligent bedding system



(a) overview



(b) test scene

Fig.9 The intelligent pillow system

第 6 章「結論及び今後の展開」では、本論文を総括し今後の課題を述べている。