

卒業論文 2010年度(平成22年度)

Tapirus:睡眠による脳疲労検知システムの提案
Tapirus:Brain Fatigue Visualization System

指導教員

慶應義塾大学環境情報学部

徳田 英幸

村井 純

楠本 博之

中村 修

高汐 一紀

重近 範行

Rodney D. Van Meter III

植原 啓介

三次 仁

中澤 仁

武田 圭史

慶應義塾大学 環境情報学部

西 和也

nishirou@ht.sfc.keio.ac.jp

卒業論文要旨 2010年度(平成22年度)

Tapirus:睡眠による脳疲労検知システムの提案

近年、過重労働による健康障害が原因の過労死が増加し続けている。過労が原因で脳、心臓疾患になる、または死亡に至り労災認定を受けた人は年々増加しており、深刻な問題となっている。疲労には身体的な疲労と脳の疲労の2種類が存在しており、身体的な疲労は、身体を休めることで回復させることができるが、脳の疲労は十分な睡眠をとらなければ回復させることができない。脳の疲労は身体的な負担と比較すると自覚することが難しい。脳の疲労とユーザが感じる疲労具合には相関性はあるが、作業内容によって実際に疲労している場合に疲労を感じるができない場合も多く存在する。その為、脳の疲労に合わせた十分な睡眠を取れず、疲労を体に残したまま起床してしまうといった事や、過度の睡眠をとる事により脳や身体に悪影響を及ぼすといった問題が挙げられる。その為ユーザの疲労具合を定量化する必要がある。疲労の定量化の方法として生理的測定などが主に挙げられるが、これらは装置が大掛かりな上に測定に時間がかかってしまう。本研究では、この問題を解決する為に、日常生活の中で自動的に疲労を測定するシステム「Tapirus」を提案する。Tapirusでは、睡眠に着目し起床時の脳の疲労を算出する。その為に、圧力センサをベッドのシーツの下に複数個入れ、睡眠データからユーザの疲労を自動的に算出する。その後、適切な時間での起床誘導を行い、疲労具合を日常生活の指標として提示する。実際に構築したTapirusシステムの定量的評価をATMT法を用いて行い、定義した疲労指数との比較の結果約84%の相関性を示すことができた。

キーワード：

疲労の定量化，圧力センサ，体動，睡眠，ユビキタスコンピューティング

慶應義塾大学 環境情報学部

西 和也

Abstract of Bachelor's Thesis

Tapirus:Brain Fatigue Visualization System

In recent years, the number of overwork death has been increasing. Overwork could results in brain/heart disorders, meanwhile, the number of people who dies for overwork is becoming a social issue. Fatigue can be classified in to physical fatigue and brain fatigue. Physical fatigue can be relieved by ling down, however, brain fatigue requires sufficient sleep. In addition, brain fatigue is difficult to realize. For these reasons, a lot of people are having difficulties taking appropriate amount of sleep. In order to solve this problem, quantification of fatigue is required, however, current measurement method demands a lot of equipment and time. In this paper, we propose Tapirus, a system that measures brain fatigue automatically in everyday life. Tapirus implement multiple pressure sensors beneath the bed's sheet, and determines users' brain fatigue from their sleeping data. The system then uses the fatigue as an indicator of daily life, and induce users to wake up at appropriate timing. We evaluated the implemented Tapirus sytem with ATMT method. As a result, we were able to show 84 % correlation with the fatigue indicator, which we have originally defined.

キーワード : Fatigue Bisualization, Pressure Sensor, Body Movement, Sleep, Ubiquitous Computing

Kazuya Nishi

**Faculty of Environmental Information
Keio University**

目次

第1章	序論	1
1.1	本研究の背景	2
1.2	問題意識	3
1.3	本研究の概要	4
1.4	本論文の構成	4
第2章	睡眠と疲労	5
2.1	ユビキタスコンピューティング環境	6
2.2	睡眠における情報技術の活用	6
2.3	睡眠における問題点	6
2.4	目的	7
2.5	アプリケーションシナリオ	7
2.6	本章のまとめ	8
第3章	疲労検知手法の考察	9
3.1	疲労検知の適時選択	10
3.2	デバイスの考察	10
3.2.1	拘束型デバイス	10
3.2.2	非拘束型デバイス	11
3.3	関連研究	12
3.3.1	Extraction of fatigue degree from pulse wave using a method of nonlinear time series analysis	12
3.3.2	Unrestrained and Non-invasive Monitoring of Human's Respiration and Posture in Sleep Using Pressure Sensors	12
3.3.3	Evaluation of Body Movement during Sleep Using an Infrared Motion Sensor	13

3.3.4	Sleep Indices and Sleep Stage Estimation Method by Unconstrained Bio-signal Measurement	13
3.3.5	High-speed measurement system of blinks by using Intelligent Vision Sensor	13
3.4	取得要素の考察	14
3.5	起床時の疲労算出アルゴリズム	15
3.6	本章のまとめ	16
第4章	Tapirusシステムの設計	17
4.1	想定環境	18
4.2	機能要件とアプローチ	18
4.2.1	存在判定機能	18
4.2.2	体動判定機能	19
4.2.3	入眠判定機能	19
4.2.4	前日の疲労算出機能	20
4.2.5	寝返り判定機能	22
4.2.6	中途覚醒判定機能	23
4.2.7	起床判定機能	23
4.2.8	起床時の疲労算出機能	23
4.3	システム構成	24
4.4	本章のまとめ	24
第5章	Tapirusシステムの実装	26
5.1	ハードウェア構成	27
5.1.1	圧力センサ	27
5.1.2	SunSPOT	27
5.1.3	Tapirusサーバ	28
5.2	実装環境	28
5.3	ソフトウェア構成	29
5.3.1	HostとClientの接続	29
5.3.2	圧力センサ情報の取得	31
5.3.3	入眠時の判定	33
5.3.4	睡眠中の体動判定	33
5.3.5	起床時の疲労算出アルゴリズムの判定	34
5.4	本章のまとめ	35

第6章	評価	36
6.1	評価方針	37
6.1.1	評価環境	37
6.1.2	評価項目	38
6.2	評価結果	38
6.2.1	結果	38
6.2.2	考察	39
6.3	本章のまとめ	41
第7章	結論	42
7.1	まとめ	43
7.2	実現した点	43
7.3	今後の課題	43

図目次

2.1	睡眠アプリケーション [8]	7
3.1	ウェアラブル睡眠センサ [1]	11
3.2	非拘束型デバイス [5]	12
4.1	実験結果	20
4.2	睡眠の過不足度の指標	21
4.3	入眠時のグラフ	22
4.4	システム構成図	25
5.1	圧力センサ	27
5.2	SunSPOT	28
5.3	実装状況	29
6.1	評価環境	37
6.2	SunSPOT	37
6.3	評価結果	40

表目次

1.1	過労死・過労自殺などの労災状況 [11]	3
3.1	既存研究まとめ	14
4.1	疲労時	21
4.2	通常時	21
5.1	Tapirus サーバの仕様	28
6.1	評価結果	39
6.2	評価結果	40

ソースコード目次

5.1	ConectServer.java	30
5.2	ConectClient.java	30
5.3	PressSensor.java	31
5.4	SendData.java	32
5.5	Move.java	33
5.6	SleepTime.java	34

第 1 章

序論

本章では，始めに本研究の背景，概要を述べ，最後に本論文の構成を記述する．

1.1 本研究の背景

近年、過重労働による健康障害が起こり、それによる過労死が増加し続けている。表 1.1 に示すとおり、過労が原因で脳、心臓疾患になる、または死亡するなどして労災認定を受けた人は年々増加している。過重労働による健康障害は深刻な問題となっている。疲労は、痛み、発熱と並び生体の3大アラームと言われ、身体にとって生命と健康を維持する上で重要な信号の一つである。健常者における生理的疲労は、精神あるいは身体に負荷を与えた際に作業効率が一時的に低下した状態と定義できる。疲労には身体的な疲労と脳の疲労の2種類が存在する。身体的な疲労は体を横にすることで回復できるが、脳の疲労は十分な睡眠をとらなければ回復ができない。

脳の疲労は、身体的な負担に比べ自覚することが難しい。例えば、身体の疲労は運動した後などにユーザ自身が感じることもあり、適度の休息を取る必要があることを自覚できる。しかし脳の疲労はユーザ自身での把握が困難である。仕事による疲労と趣味による疲労では、疲労の感じ方に差異が生じる。実際の脳の疲労とユーザが感じる疲労具合には相関性はあるが、作業内容によって実際に疲労している場合に疲労を感じることができない場合も多く存在する。そのため疲労を考慮した睡眠を取ることは困難であり睡眠の過不足による問題が多く存在する。脳が疲労しているにも関わらず十分な睡眠をとれなかったり、疲労が回復しているが過度の睡眠をとる事により、脳や身体に悪影響を及ぼすといった問題が挙げられる。

また以上のような事にも関わらず、活動することによって身体や脳に負荷をかけてしまい、事故や精神疾患、身体疾患につながる危険が高くなる。この様に、自分自身では脳の疲労を測定することは非常に難しく、睡眠により脳の疲労の回復度をユーザ自身が把握できていないといった問題点が挙げられる。

自己の健康維持のためには、健康状態を把握することで、自分で健康を管理することが不可欠である。しかし健康維持への関心の高さにも関わらず、病院などの施設以外では、健康状態把握のための生理状態計測手段は非常に限られている。脳の疲労を正確に理解し、脳の疲労に合わせた行動をとる必要がある。

睡眠は人間にとって人生の3割を占める休息の時間であり、脳と身体の疲労を回復させるための重要な役割を持つ。しかし、現代日本人の2割が睡眠に関する何らかの不満や悩みを抱えている。睡眠不足等の睡眠障害に悩む人は年々増加している。睡眠不足によって、高血圧や糖尿病等の生活習慣病の発症要因となるほか、集中力・記憶力・学習能力や感情のコントロール機能、作業効率などに障害をきたす。また、近年では睡眠障害が原因と考えられる重大な事故が頻繁している。その為、睡眠の質・量の確保と生活リズムの適正化は重要な

年度		1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
脳・心臓疾患	請求件数	493	617	690	819	705	816	869
	認定件数	81	85	143	317	312	294	330
	死亡	48	45	58	160	157	150	157
精神障害等	請求件数	155	212	265	341	438	524	656
	認定件数	14	36	70	100	108	130	127
	死亡	11	19	31	43	40	45	42

表 1.1 過労死・過労自殺などの労災状況 [11]

課題となっている。睡眠は人間にとって毎日欠かせないものであり、睡眠に関する問題は日々の生活に直結する問題となっている。

睡眠には様々な効果があるが、その中でも重要なのが疲労回復効果である。疲労と睡眠は密接な関係があり、睡眠の量や質を向上させることは疲労回復に大きく影響を及ぼす。

1.2 問題意識

平成 14 年 2 月に、労働省から過重労働による健康障害防止対策として「労働者の疲労蓄積度自己診断チェックシート」が発表され、自覚疲労としての一つの基準が確立された。しかしある一定以下の健康状態の労働者に強制的に休養を摂らせるには、自己申告制である自覚疲労度では信頼性が薄く、裏付けるものが少ない。また、脳の疲労は自覚することが難しく、自己申告制であるチェックシートでは適切な判断を下すことが難しい。そこで、客観的な角度から疲労を測定できるものが必要となる。これらを数値化するには、生理的測定などが主に挙げられる。具体的には RRI、尿中カテコルアミンおよび唾液中クロモグラニン Aなどを計測することで数値化することができるが、これらは装置が大掛かりな上に測定に時間がかかってしまう。また前述した通り、疲労感と疲労は別物である為、人が感じる疲労というものと実際の脳の疲労では差異が生じている。その為疲労を認識できず、人は病院での疲労測定を怠り事故につながる。人が疲労を感じてから測定するのでは手遅れな場合があり、自動的に疲労を検知してくれるシステムが必要となる。以上の理由により、生活習慣の中で自動的に疲労の客観的な指標を示す必要がある。

1.3 本研究の概要

本研究では生活習慣の中で自動的に疲労の客観的な指標を示すシステムであるTapirusの提案をする。Tapirusの特徴として、疲労を検知するにあたり身体的な疲労ではなく脳の疲労を検知する。疲労は身体にとって生命と健康を維持する上で重要な信号の一つである。身体的な疲労は、体を休息することで回復させることができるが、脳の疲労は十分な睡眠をとらなければ回復させることができない。脳の疲労は、身体的な負担と比較すると自覚することが難しい。本研究では、ユーザの睡眠の質から、起床時の疲労を定量化するシステムを提案する。その為に、圧力センサをベッドのシーツの下に複数個入れ、ユーザの体動から、入眠を自動的に検知する。ユーザが布団に入ってから入眠するまでの時間を計測し、その時間から前日の脳の疲労を計測する。またユーザの睡眠状態と合わせ、ユーザ個人の疲労データを測定する。睡眠データからユーザの起床時の疲労を算出し、次の日の行動を制限する。

1.4 本論文の構成

本論文は以下で構成される。2章では現在の睡眠と疲労について述べ、本研究の目的について記述する。3章では疲労検知手法の考察について述べる。4章ではTapirusシステム的设计について述べ、5章ではTapirusシステムの実装について述べる。6章では評価実験の結果と考察について述べる。7章で本論文をまとめ、今後の展望について述べる。

第 2 章

睡眠と疲労

本章では，始めにユビキタスコンピューティング環境について述べ，次に睡眠における情報技術の活用を述べる．次に，睡眠における問題点を述べ，最後に本論文の目的を記述する．

2.1 ユビキタスコンピューティング環境

近年，計算機の高性能化や小型化に伴い，我々の生活の中に計算能力を所有するデバイスが普及し始めている．この環境はユビキタスコンピューティング環境と称され，”いつでも・どこでも・だれでも”情報のやり取りを様々な機器で，時にはその機器さえも意識させずに可能にすることを意味する．その由来は，Mark Weiser 博士によるユビキタスコンピューティング環境の提唱から始まり，そのコンピュータであることを人に意識させないで，人の生活を支援する技術，環境に関する研究が盛んに行われている [17]．また通信機器の発達により，あらゆるところであらゆるデバイスからネットワークを利用可能になり，様々な情報を様々な環境で取得可能になると考えられる．今後，様々なモノや環境に電子タグやセンサが設置されることにより，我々の行動を追跡可能になる．また逆に，モノや環境の状況をどのような場所にいても監視できるなどの利点を享受できると予測される．

2.2 睡眠における情報技術の活用

このような近年の情報技術の発達により，ユーザの睡眠環境にも情報技術が利用されるようになった．病院での患者の睡眠状況をモニタリングすることにより患者の異常検知を知らせる研究や，居眠り運転を防止するために車内の座席にセンサを取り付け，睡眠状態になりそうなユーザを起こすといった研究も多々行われている．またユーザが普段使うような寝室環境においても，様々なセンサを用いて快適に起床を促す研究がある．

図 2.1は布団上に加速度センサを置いて睡眠状態を検知するiphoneアプリケーションの例である．このように，睡眠に関する情報技術の活用は活発に行われている．

2.3 睡眠における問題点

現在，日本睡眠学会 [10]が行ったアンケート調査では3人に2人が睡眠時間が足りないと感じ，半数以上の人が睡眠の質に不満をもっていることが示されている．また4人に1人が「熟睡感がない」と答え，さらに5人に1人が「早朝から目が覚める」「夜中に目が覚める」と回答している．このように，睡眠時間の量・質ともに不満を訴える人がかなりの割合で存在しているのが現状である．睡眠に対する不満の要因としては，「仕事・睡眠・通学・勉強で睡眠時間がとれない」が最も多く3割以上を占める．また約3割が「悩みやストレスから眠れない」と答えている．こういった問題は容易に解決できる性質のものではなく，睡眠に対する不満の根本解決は簡単ではない．また睡眠はユーザの意志とは関係のないところで起こる事態でもあり，それによる問題も多々存在する．しかし，ユーザの健康状態を見守るため

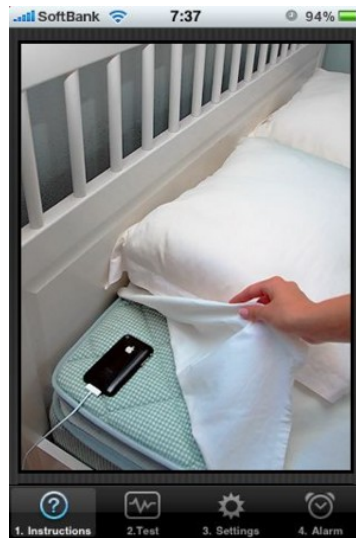


図 2.1 睡眠アプリケーション [8]

の測定機器などの設置等についても機器のコスト面や測定装着などの技術面で難点がある。

2.4 目的

本研究では，生活習慣の中で自動的にユーザの疲労を客観的に検知するシステムの構築を目指す．本研究ではユーザの疲労を算出するシステム，Tapirusを提案，実装する．ユーザの就寝準備が整ってから入眠するまでの時間からユーザの脳の疲労状態を算出し，前日の疲労具合を把握する．また，睡眠中の体動から睡眠状態を算出する．その後，ユーザの脳の疲労に合わせた適切な睡眠時間を提供する．また，起床時の疲労がどれだけ残っているかを算出する．睡眠と疲労は密接な関係にあるので，睡眠データから起床時の疲労を算出し日常生活の指標として提示する．

2.5 アプリケーションシナリオ

ユーザの疲労を検知することで以下の支援を構築することができる．

- 疲労を日常生活の指標として提示する

本来病院等に行って正確な診断を受けなければ休養を強制的にとることができなかったが，客観的な疲労を定義することによって企業側から労働者に強制的に休養をとらせることが可能になる．疲労が溜まっているが限られた時間しか睡眠が取れなかった場

合に，ユーザの疲労の残り具合を通知することによって1日の活動内容の制限を行う．

- 起床誘導を行う

ユーザの疲労に合わせた，適切なタイミングでの起床誘導を行う．休日等におきがち
な，過度の睡眠を防ぐことができる．

- 睡眠状態に問題がある場合に異常検知を行う

ユーザの精神状態や睡眠環境に原因があり，快適な睡眠を行えていない場合，それを
通知する．ユーザの睡眠環境の改善を促すことができる．

2.6 本章のまとめ

本章では，はじめにユビキタスコンピューティング環境の発展と，睡眠における情報技術
の活用とその問題点について述べた．そして，睡眠における疲労回復度合の把握システム
の必要性について述べた．ユーザの疲労を検知することにより，支援できるアプリケー
ションシナリオ「疲労の指標化」「起床誘導」「異常検知」と分け，それらについての必要性
について述べた．

次章では，ユーザの疲労を検出する手法について考察する．

第 3 章

疲労検知手法の考察

本章では，疲労検知の適時選択，デバイスの考察，関連研究，取得要素の考察，起床時の疲労算出アルゴリズムについて述べる．

3.1 疲労検知の適時選択

本研究では，脳疲労検出システムの構築を目的としている．ユーザの疲労を検知するにあたり，日常生活の流れの中のいつ検知するかを考察する．

疲労検知を行っている研究として，歩行時に疲労検知を行う研究 [16]がある．しかし歩行時の疲労検知では，身体的疲労を検知しており脳の疲労を検知することができない．歩行等の移動時には身体的疲労の検知はできるが，脳の疲労を検知することは難しい．またユーザの活動内容によっては，活動時間に疲労検知を行うことができるかもしれないが，ユーザの仕事や生活は人によって異なる為特定のユーザ層に絞らなければ検知することが難しい．そこで今回睡眠から疲労を検知する手法をとる．

睡眠には脳の疲労を回復させる最大の効果がある．本研究では睡眠状態を検知することにより，疲労の算出を行う．

3.2 デバイスの考察

本研究では，ユーザの疲労回復度合の把握システムの構築を目的としている．ユーザの疲労を検知するにあたり，使用するデバイスの検討を行う．

3.2.1 拘束型デバイス

現在，ユーザの睡眠状態を把握するための国際基準として，RK法 [6]が用いられている．この方法は，脳波，眼球運動，顎筋電をもとにして，睡眠の状態を覚醒，REM，NonREM1，2，3，4の6段階に分類するものである．また，NonREM3，4を一つに合わせた5段階（覚醒，REM，NonREM1，2，3/4）で分類する方法 [3]も一般的である．しかし，この方法は脳波，眼球運動，顎筋電を計測するための電極を，頭部，顔，および顎に貼り付ける必要があるため，拘束性が高い．また，装置が大規模で高価であるため，ユーザが寝室環境で使用することは難しい．図 3.1は拘束型デバイスの一例である．これは手首にセンサを取り付け，脈拍を検知しユーザの睡眠状況をモニタリングする研究である．しかしユーザの頭や腕に機器を取り付けることは，それだけで睡眠の妨げになってしまう．ユーザの疲労を検知する際に，ユーザに拘束性があることは好ましくない．



図 3.1 ウェアラブル睡眠センサ [1]

3.2.2 非拘束型デバイス

本研究では、ユーザの身体にデバイスを取り付けずにユーザの睡眠状態を検知し、疲労を算出する。無拘束で睡眠状態をモニタするための基礎研究はこれまで多数行われている [7]。これらは、ベッドに設置した無拘束型のセンサにより計測した脳波や体動などから睡眠状態を推定するものである。環境側からユーザの情報を取得するセンサとして人感センサや圧力センサがある。図 3.2 は非拘束型デバイスの一例である。これは、ユーザを拘束しない圧力センサを使用し、睡眠をモニタリングするシステムである。人感センサは衣服や布団等の影響を受けやすく、睡眠情報を取得するセンサとしては適切ではない。人感センサではユーザの睡眠状態の検知率が低くなる為、本研究の目的を満たすことができない。

本システムではユーザの睡眠情報から疲労を検知するために、圧力センサを用いる方法を提案する。圧力センサをベッドのシーツの下に設置し、ユーザの体動から睡眠情報を検知する。これにより、ユーザの身体に負荷をかけずに睡眠状態を検知する。圧力センサをシーツの下に配置するだけで検知が可能となるので、ユーザが普段使うような寝室環境でも導入が容易に行える。

圧力センサをユーザの身体に適した形に配置することにより、ユーザの睡眠状態から疲労の検知が可能となる。圧力センサを使用することにより、金銭的なコスト面でも優位なシステムの実装ができる。ユーザの睡眠情報を非拘束方法で検知することによって、ユーザに負荷をかけずに疲労を検出する。



図 3.2 非拘束型デバイス [5]

3.3 関連研究

関連研究として、疲労検知に関する関連研究と睡眠に関する関連研究を以下に挙げる。各関連研究を述べた後に本研究が対象とする睡眠による脳疲労検出システムに求められる、疲労計測、自動性、検知率の3点において比較する。

3.3.1 Extraction of fatigue degree from pulse wave using a method of nonlinear time series analysis

非線形・統計的指標を用いて指尖容積脈波から疲労度の定量化を試みた [14]。研究の結果、疲労度を推定する指標の候補として最大リアプノフ指数・脈波間隔における変動係数の有効性を確認し、新しくRRI間隔における局所変動係数を得た。ただし主観的な評価しか行っておらず、客観的な評価を行っていない。習慣的評価だけでは指標化するシステムとして正当性を示すことができない。

3.3.2 Unrestrained and Non-invasive Monitoring of Human's Respiration and Posture in Sleep Using Pressure Sensors

圧力センサを使った睡眠関連の研究として、圧力センサ(FSR)を用いて睡眠中の睡眠と体位を示す研究がある [18]。この研究では入眠・覚醒状態の判別は行っておらず、睡眠中という前提から検知を行っている。しかしこの研究では本研究とは目的が違っており、疲労の

定量化に至っていない。

3.3.3 Evaluation of Body Movement during Sleep Using an Infrared Motion Sensor

赤外線モーションセンサを用いた睡眠時体動の評価 [15]では、脳波から判定される体動と赤外線モーションセンサによって得られる計測データより判定される体動 (NapVEIEWBM) を詳細に比較検討した。その結果、被験者に無拘束・無意識に計測できるNapVIEWにより脳波BMの代用可能性を示すことができている。また、NapVIEWBMにより得られたデータの体動感覚から睡眠の深度を推定する方法を示すことができている。しかしこの研究では、疲労の定量化に至っていない。

3.3.4 Sleep Indices and Sleep Stage Estimation Method by Unconstrained Bio-signal Measurement

無拘束で睡眠状態を検知する研究として、無拘束で脈波、体動を計測する空気圧方式を提案し、脈波と体動からRK法流の睡眠段階を推定した [19]。空気圧方式で観測された波形から、脈波と体動を分離する手法として、くし型フィルタを提案している。従来の方式と比べて、睡眠段階の推定の精度が向上している。この研究は無拘束でユーザの睡眠状態を推定しているが、疲労の定量化に至っていない。

3.3.5 High-speed measurement system of blinks by using Intelligent Vision Sensor

計測対象者の詳細な生体状態を自然な条件下で捉えるために、1kHzの計測機能を持つインテリジェントビジョンセンサを用いて、非接触計測可能な拘束俊黙計測器を構築し計測を行っている。拘束計測における特徴量として、瞬目の最大速度、所要時間、上眼瞼移動量、閉瞼期間などを算出することで、瞬目の種類を分別できることを報告している。計測対象者にVDT付加を課し、負荷の前後で瞬目動作に変化が起こるのかを確認した。結果、上眼瞼下降時の最大速度と上昇時の最大速度に低下が見られ、特に計測対象者が可能な限り速く連続的に瞬目を行ったタスクにおいてより顕著となる傾向がみられることを示した。しかし表 5.1に示す通り、この研究では簡易的な疲労計測は実現できたが、日常生活の中で疲労を検知することができていない。

	疲労計測	自動性	検知率
Extraction of fatigue degree from pulse wave using a method of nonlinear time series analysis	○	×	△
Unrestrained and Non-invasive Monitoring of Human's Respiration and Posture in Sleep Using Pressure Sensors	×	×	○
Evaluation of Body Movement during Sleep Using an Infrared Motion Sensor	×	○	○
Sleep Indices and Sleep Stage Estimation Method by Unconstrained Bio-signal Measurement	×	○	○
High-speed measurement system of blinks by using Intelligent Vision Sensor	○	×	○

表 3.1 既存研究まとめ

3.4 取得要素の考察

ユーザの疲労検知の取得要素について考察する．脳の疲労は身体の疲労と違い，体を一定時間横にするだけでは回復することができない．睡眠時間が少ないと十分な疲労回復をすることができない．そこで疲労を取得するにあたり，前日にどれだけ疲労が残っていたかを取得する必要がある．

また，人間の睡眠には４段階のNonREM睡眠にREM睡眠を加えた５段階の深さがあり，NonREM睡眠の方が睡眠深度は深い．深い睡眠は心身の疲労回復に強く寄与し，NonREM睡眠とREM睡眠の両者の比率は適当な比率になることが望ましい．また，睡眠中の時間当たりの体動量は睡眠深度が深くなるにつれて減少することが知られている．NonREM睡眠とREM睡眠の割合を求めることにより，ユーザに適した理想的な睡眠時間を知ることができる．その為本研究では，NonREM睡眠とREM睡眠の割合を体動量から求めることにより，ユーザの理想的な睡眠時間を検知する．また中途覚醒が起こってしまうと，睡眠の質が大幅に下がってしまう．そこで中途覚醒の回数をユーザの体動から検出が可能であり，それを検出する．

また睡眠の質を検知する上で最も重要な要素が睡眠時間である．睡眠時間をとる事は身体の成長，疲労の回復には欠かせない事である．そこで，本研究では睡眠時間を疲労算出アルゴリズムの要素に加える．

3.5 起床時の疲労算出アルゴリズム

以上の考察により本研究では，以下の要素から起床時の疲労算出アルゴリズムを作成した．

- 前日の疲労

就寝準備が整ってから入眠までの時間から，ユーザの前日の疲労を検出する．

- 中途覚醒回数

ユーザの睡眠中の中途覚醒回数を検出する．睡眠途中で目が覚めてしまうと，それだけで大幅に睡眠の質を下げってしまう．睡眠を強引に中断してしまう事になるので，睡眠による疲労回復も通常通りの効果を望むことができない．その為，本システムでは中途覚醒回数を疲労算出の要素とする．

- 寝返り回数

寝返りが少なすぎると，体の一部に体重がかかってしまい疲労が回復できないという場合がある．逆に寝返りが多すぎると，睡眠が浅くなり，脳の疲労を回復する上で重要なNonREM睡眠の時間が減ってしまう．睡眠中の寝返りは，体の重圧を分散させる為の重要な行動であり，20分に1回が理想というデータが挙げられている．そこで本システムでは，寝返りを判定し疲労判定の要素の一つとし，寝返り判定を行う．

- 睡眠時間

NonREM睡眠，REM睡眠の周期が90分毎に行われているので，入眠から90分の倍数に起きると効果的な睡眠と言える．ただし，最初の3時間の2サイクルは，NonREM睡眠の割合が多く，脳を休ませる為に最も重要な睡眠深度である．そこで，本システムでは，睡眠時間の中でも入眠から最初の2サイクルに重点を置き，睡眠時間からの疲労算出を行う．

以上に挙げた4つの要素を統合し，アルゴリズムを作成した．起床時の疲労算出アルゴリズムではユーザの平均睡眠時間を取得した後，人間の睡眠周期の90分を1としてユーザの平均睡眠時間を基準とした数値を設定する．その後就寝準備が整ってから入眠までの時間から前日の疲労が割り出され，前日の疲労が溜まっていた場合基準とした数値を増やす．平均睡眠時間と前日の疲労によって得られた数値から，実際の睡眠時間に応じて睡眠周期を基準とした値を減少させる．なお，中途覚醒があった場合その数値を増やす．また理想的な寝返り回数が20分に1回というデータが挙げられているので，寝返りの過不足があった場

合，疲労指数の増加を行う．起床時にそれらを統合し，算出を行う．

3.6 本章のまとめ

本章では，疲労検知手法の考察を行った．拘束型デバイスと非拘束型デバイスの検討を行い，非拘束型デバイスの使用を決定した．

非拘束型デバイスを使用した関連研究を述べ，それらとの比較を行った．

その後，疲労を検知するにあたり取得する要素の考察を行い，起床時の疲労算出アルゴリズムを作成した．

第 4 章

Tapirus システムの設計

本章では、まず研究の想定環境について述べ、その後、機能要件とアプローチ、システム構成について述べる。

4.1 想定環境

ユーザが普段生活する寝室環境を想定する。ユーザは様々なベットを使っていることを想定しており、様々な状況に対応できるシステムの実装を行う。その為本研究では、ベット自体を実装するような大規模な実装は望ましくない。ユーザのどのようなベットにも適するような流用性のあるシステムの実装が必要となる。Tapirusではシーツの下に実装することにより、様々な寝具に対応できるシステムを設計する。

4.2 機能要件とアプローチ

本システムにおいて、睡眠状態をユーザの動きから取得する。また、その条件を満たす為の機能要件を以下に記す。

1. 存在判定機能
2. 体動判定機能
3. 入眠判定機能
4. 前日の疲労検知機能
5. 寝返り判定機能
6. 中途覚醒判定機能
7. 起床判定機能
8. 起床時の疲労検知機能

以上の機能について、以下でそれぞれ具体的に述べる。

4.2.1 存在判定機能

存在判定機能では、ベット上に人が居るかどうかを判定する。圧力センサのデータをTapirusサーバで管理し、圧力データに一定の電圧がかかった時、人がベット上に存在すると判定する。ベット上に人が入ることにより、入眠判定機能から、起床時の疲労判定機能までの動作が開始する。また、次に述べる入眠判定機能によって入眠判定された後には、存在判定機能は中途覚醒判定機能を起動させる。

4.2.2 体動判定機能

圧力センサのデータを測定し、一定時間内の圧力データの変化を読み取り体動を検出する。体動判定機能では圧力データの推移から体動の量を計測し、入眠判定機能、寝返り判定機能、中途覚醒判定機能へと体動データを渡す。

4.2.3 入眠判定機能

体動判定機能のデータをもとに覚醒状態・睡眠状態を場合分けする。ベット上で人の動きが検知された時を覚醒状態と判定し、また一定時間動きがなかった時を睡眠状態と判定する。睡眠状態の中でも寝返りをユーザが行った場合、体動が検知される。しかし、寝返りは睡眠中約20分間隔で行われるので判別が可能である。

入眠アルゴリズム作成を目的とした実験を複数回行い、その実験結果の一例を図 4.1 に示す。布団の上での体動から覚醒状態と入眠状態の比較を目的とする。覚醒状態での圧力データと入眠状態での圧力データの差分を検出する。また、覚醒状態から入眠した際の圧力変動データも取得し入眠の時間を検出する。データを取る際被験者を観察し、実験データとの比較を行った。

- 覚醒状態の圧力データの推移

覚醒状態での圧力データは変動が大きく、時間によって圧力データに大幅な変化がみられた。またベット上でDVDを見ている時等、小さい動作の場合にも、圧力データの変動は大きくみられた。

- 睡眠状態の圧力データの推移

睡眠状態の圧力データは寝返り時を除き18個すべてのデータが一定になり圧力データが大きく変わる時がなかった。睡眠状態の圧力データをベット上で細かい作業を行っている圧力データと比較しても、体動データには大きな差があった。

- 覚醒状態から睡眠状態に移行時の圧力データの推移

覚醒状態では時間ごとの圧力変動が大きく、被験者を観察し被験者の様子から入眠したと予測される点を記した。被験者が目を閉じた点から圧力変動がそれまでと比べ小さくなっている。

覚醒状態と睡眠状態では明らかなデータの差異がみられ、それを元にして入眠アルゴリズムを作成した。以下の要素が同時に満たされたとき、入眠と判定する。

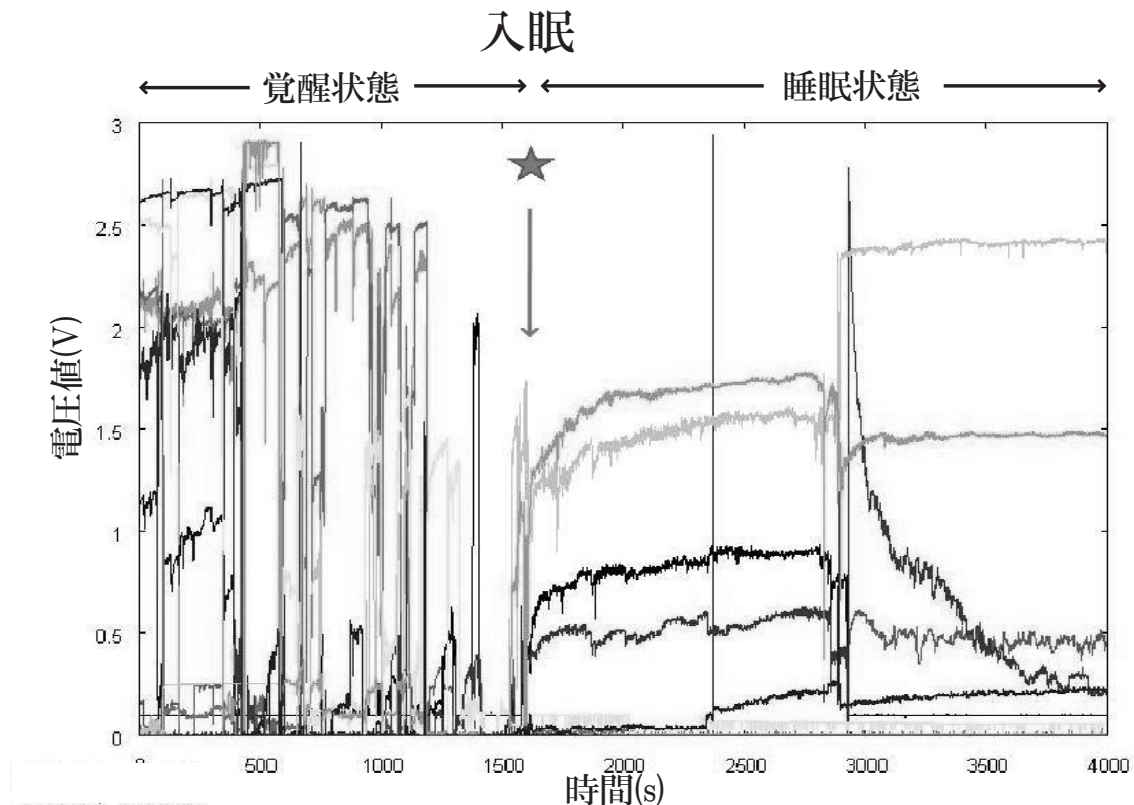


図 4.1 実験結果

- 圧力データの変動値
- 変動値が小さくなっている間の時間

これらの要素の閾値を設定するために実験を繰り返し検知率が最も高くなる具体的な数値を選択した。

4.2.4 前日の疲労算出機能

本研究では、前日の疲労算出アルゴリズムを作成した。睡眠が不足していると、就寝準備を整えてから入眠に入るまでの時間が短くなるというデータが挙げられている [13]。5分以内に眠ってしまうことは睡眠不足を意味しており、理想は10～15分の間に寝てしまうことである。ユーザの就寝準備が整ってから入眠までの時間と脳の疲労は密接に関わっており、これを正確に検知することによりユーザの脳の疲労を算出することが可能となる。

ユーザによって個人差はあるものの、脳の疲労が蓄積された分だけ、ユーザの入眠までの時間が短くなる。就寝準備が整ってから入眠までの時間から、ユーザの睡眠の過不足を計算する。図 4.2は睡眠の過不足度の指標である。これを基準にユーザによってデータを学習させ、ユーザの正確な脳の疲労具合を算出する。

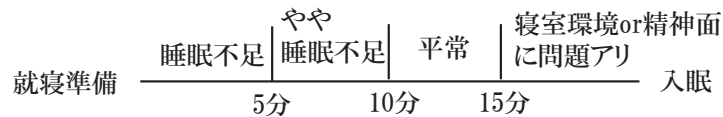


図 4.2 睡眠の過不足度の指標

脳の疲労が溜まっている状態において、就寝準備が整ってから入眠までの時間にどれだけの影響を示すか事前実験を行った。疲労時の結果を表 4.1、通常時の結果を表 4.2に記す。

表 4.1 疲労時

	被験者 A	被験者 B	被験者 C
睡眠前の活動時間	34 時間	35 時間	24 時間
ATMT 法	63 秒	74 秒	71 秒
入眠までの時間	6 分 40 秒	8 分 8 秒	4 分 53 秒

表 4.2 通常時

	被験者 A	被験者 B	被験者 C
睡眠前の活動時間	17 時間	18 時間	19 時間
ATMT 法	43 秒	59 秒	59 秒
入眠までの時間	10 分 37 秒	12 分 3 秒	12 分 39 秒

実験の結果、脳の疲労が高くなるにつれて就寝準備が整ってから入眠までの時間が早まるといった結果が得られた。この実験の結果より入眠までの時間から、被験者により差は見られるものの前日の疲労を検知することが可能ということがわかった。疲労時と通常時では、就寝準備が整ってから入眠までの時間に明らかなデータの差異がみられた。被験者 C はその差異が特に大きく、通常時は12分39秒なのに対し、疲労時は4分53秒となっている。また実験を繰り返す上で入眠していないが、システム上入眠と判断されるといった誤検知

がみられた．入眠判定とする閾値設定を上げる必要があるのではないかという考察に至った．またユーザによって寝つきの良さは異なり，ユーザ毎にキャリブレーションが必要ながことが判明した．さらに布団上での入眠前の体動データは，疲労時と通常時では異なる結果を得られた．これらの事前実験の結果から，前日の疲労算出アルゴリズムを作成した．

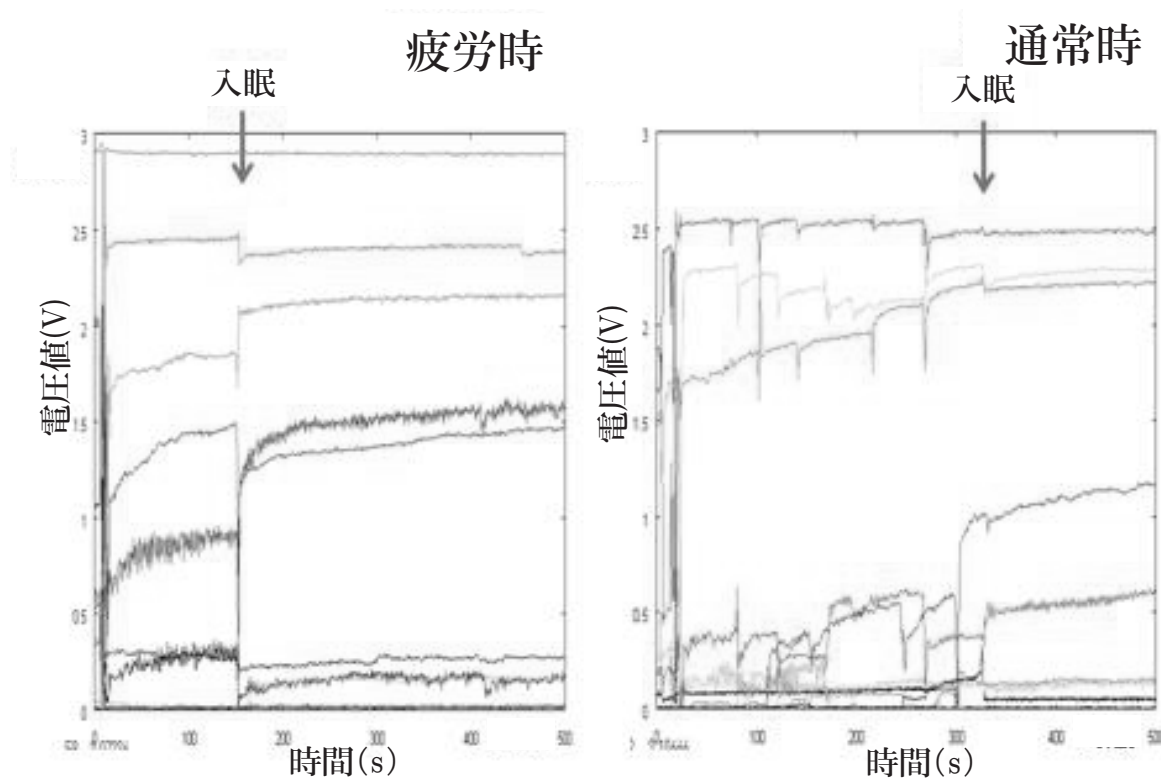


図 4.3 入眠時のグラフ

4.2.5 寝返り判定機能

Tapirusでは，起床時の疲労検知アルゴリズムの要素の一つに睡眠中の体動を取り入れている．寝返りが少なすぎると，体の一部に体重がかかってしまい疲労が回復できないという場合がある．逆に寝返りが多すぎると睡眠が浅くなり，脳の疲労を回復する上で重要なNonREM睡眠の時間が減ってしまう．睡眠中の寝返りは体の重圧を分散させる為の重要な行動であり，20分に1回が理想というデータが挙げられている．そこでTapirusでは，寝返りを判定し疲労判定の要素の一つとして寝返り判定を行う．入眠判定機能によって入眠判定が行われた後，体動判定機能によってユーザの動きがあったと判定されたとき寝返りと判定する．

4.2.6 中途覚醒判定機能

中途覚醒判定機能では、睡眠中にトイレに行く等の行為を行い、睡眠が中断される中途覚醒を判定する。睡眠途中で目が覚めてしまうと、それだけで大幅に睡眠の質を下げってしまう。睡眠を強引に中断してしまう事になるので、睡眠による疲労回復も通常通りの効果を望むことができない。その為、本システムでは中途覚醒回数を疲労算出の要素とする。中途覚醒判定機能は、一度入眠状態になったにも関わらずベッド上に人が存在しなくなった時を算出する。圧力データが一定値よりも下回った時に、人が居ないと判断し中途覚醒とみなす。

4.2.7 起床判定機能

起床判定機能では、ユーザが睡眠状態が終わり覚醒状態になった状態を判定する。Tapirusでは起床誘導も行っているので、適切な時間での起床を促しユーザが起床したことを検知する。Tapirusによって起床誘導を行った後、存在判定機能によって人がベッド上に居ないと判定されたときに起床判定とする。起床判定機能では、起床判定された時にユーザの睡眠時間を割り出す。NonREM睡眠、REM睡眠の周期が90分毎に行われているので、入眠から90分の周期に合わせて起床すると効果的な睡眠と言える。ただし最初の3時間の2サイクルはNonREM睡眠の割合が多く、脳を休ませる為に最も重要な睡眠深度である。そこで本システムでは、睡眠時間の中でも入眠から最初の2サイクルに重点を置き、睡眠時間からの疲労算出を行う。

4.2.8 起床時の疲労算出機能

起床時の疲労算出機能では今まで述べた、前日の疲労算出機能、寝返り判定機能、中途覚醒判定機能、起床判定機能のデータを元に起床時の疲労算出機能を作成した。

- 前日の疲労
- 寝返り回数
- 中途覚醒回数
- 睡眠時間

以上に挙げた4つの要素を統合し、疲労算出を行う。人間の睡眠周期の90分を1としてユーザの平均睡眠時間を基準とした数値を設定する。ユーザが入眠した後、前日の疲労を割り出し、前日の疲労が溜まっていた場合基準とした数値の増加を行う。平均睡眠時間と前日の疲労によって得られた数値から、実際の睡眠時間に応じて睡眠周期を基準とした値

を減少させる．なお中途覚醒があった場合その数値を増やし，また理想的な寝返りの回数の過不足があった場合，疲労指数の増加を行う．

4.3 システム構成

図 4.3にTapirusのシステム構成を示す．圧力センサから取得したセンサデータを存在判定モジュールによって受信し，ユーザがベッド上に存在しているかの判定を行う．ユーザがベッド上に存在している場合，そのデータを元に入眠判定モジュールによって入眠判定を行う．入眠判定モジュールによって覚醒状態・睡眠状態を場合分けし，睡眠状態の場合，前日疲労算出モジュールにより前日の疲労を算出する．また入眠判定モジュールによって入眠判定された場合，体動判定モジュールのデータから寝返り判定，中途覚醒回数判定をそれぞれのモジュールで行う．前日の疲労データと睡眠中の体動データ，睡眠時間から，起床時疲労算出モジュールにより起床時の疲労の算出を行う．

4.4 本章のまとめ

本章では，起床時の疲労の抽出を行うシステムの設計を行った．機能要件として，「存在判定機能」「体動判定機能」「入眠判定機能」「前日の疲労検知機能」「寝返り判定機能」「中途覚醒判定機能」「起床判定機能」「起床時の疲労検知機能」を上げそれぞれの機能の説明をした．最後に，システム構成を述べその流れの説明を行った．
次章ではこの設計を元にした実装の説明を行う．

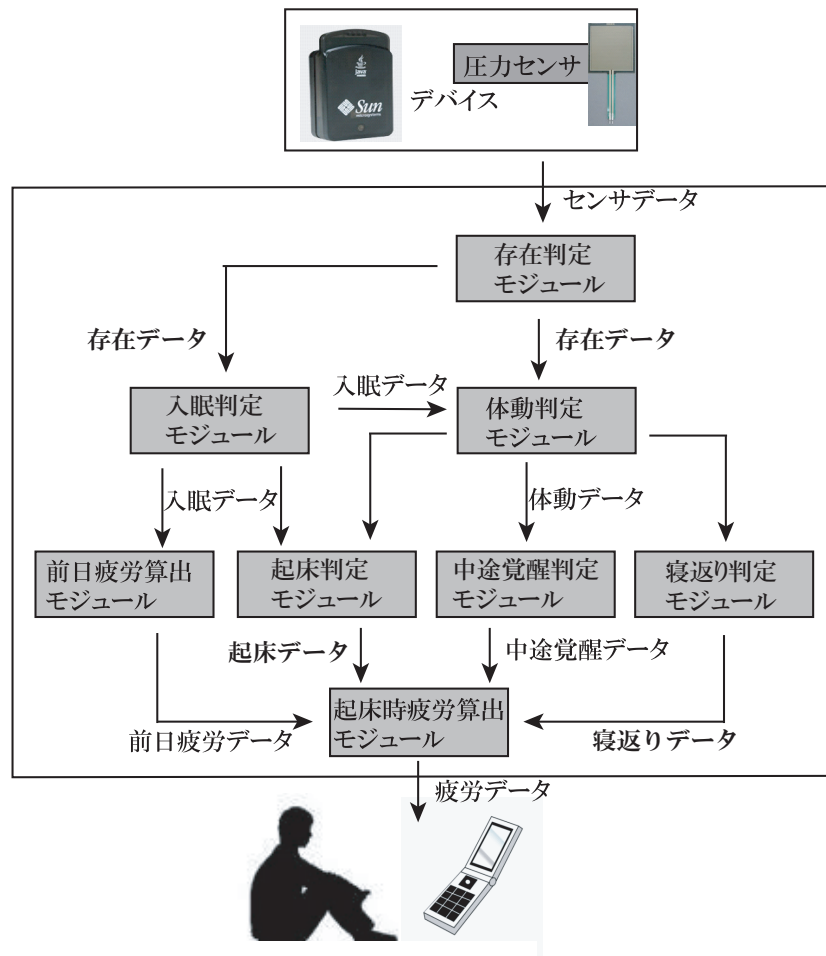


図 4.4 システム構成図

第 5 章

Tapirus システムの実装

本章では、まず Tapirus システムのハードウェア構成について述べ、次にソフトウェア構成について述べる。

5.1 ハードウェア構成

本節では，Tapirusの実装環境について述べる．Tapirusを構築するハードウェアとして圧力センサ，SunSPOT [9]，Tapirusサーバが挙げられる．以下に実装で使用したそれぞれのハードウェアについて述べる．

5.1.1 圧力センサ

Tapirusでは布団の下に圧力センサを18個埋め込み，ユーザの体動から疲労具合を検知する．圧力センサはFSR#406を使用する．使用するFSR#406は圧力感知部が他の圧力センサよりも大きく，ユーザの疲労具合を検知するのに最も適していると判断した．布団内部にある圧力センサから，ユーザの体動を取得する．

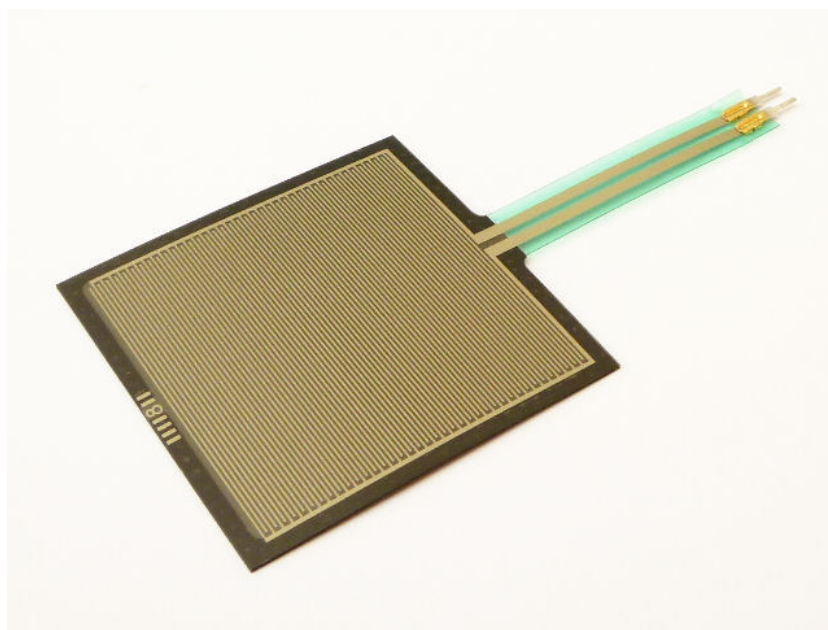


図 5.1 圧力センサ

5.1.2 SunSPOT

Sun SPOT (Sun Small Programmable Object Technology) は，サン・マイクロシステムズが開発したIEEE 802.15.4 (ZigBee) に準拠した無線センサネットワークデバイスである．他の無線センサデバイスと異なり，SunSPOTはJava仮想マシンSquawk上で動作している．NetBeans のような標準的な Java IDE を使用してアプリケーションを作成する．



図 5.2 SunSPOT

CPU	Genuine Inter(R) CPU U2400 @ 1.06GHz
メモリ	0.99GB
HDD	55.8GB
OS	Windows XP

表 5.1 Tapirus サーバの仕様

5.1.3 Tapirus サーバ

本システムでは、圧力センサのデータを受け取る Tapirus サーバを実装する。実装環境を表 5.1 に示す。

5.2 実装環境

本システムでは図 5.3 のように圧力センサ，SunSPOT によって構成される。SunSPOT はセンサデータを取得し，送受信が可能なデバイスである。受信したセンサデータは無線を用いてベースステーションに送信される。圧力センサは FSR#406 を使用する。取得したデータは設置時間，圧力の変移を解析し，睡眠状態・覚醒状態を算出する。圧力センサは 18 個使用し，デバイスの SunSPOT は 3 個使用する。

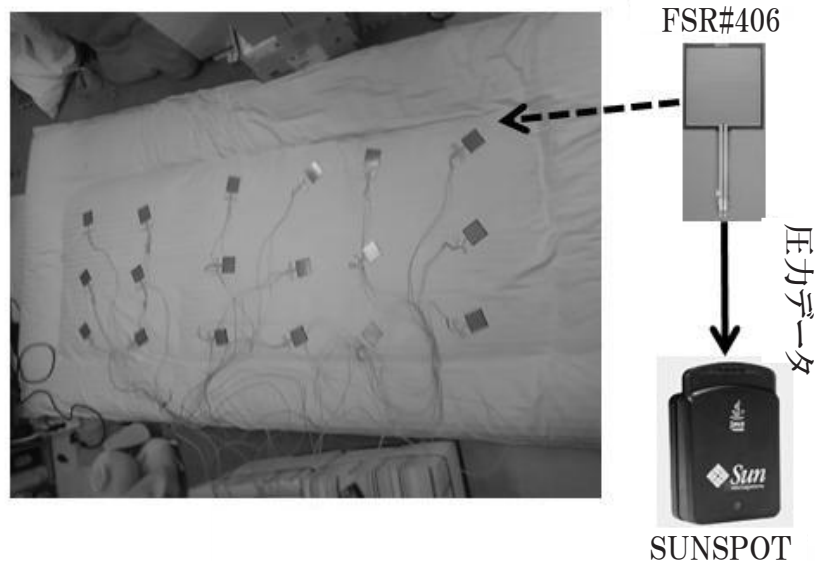


図 5.3 実装状況

5.3 ソフトウェア構成

Tapirusは以下の手順で行われる。

1. HostとClientの接続
2. 圧力センサ情報の取得
3. 入眠アルゴリズムの判定
4. 睡眠中の体動判定
5. 起床時の疲労算出アルゴリズムの判定

上記項目を以下において実際のソースコードを用いながら述べる。

5.3.1 Host と Client の接続

TapirusではSunSPOTHostとSunSPOTClientの通信によってデータのやり取りを行う。そこで、まずはSunSPOTのHostとClientの通信を確立させる必要がある。

ソースコード 5.1はHost側のソースコードである。Radiogram ConnectionのInterfaceとして`radioConnection`を定義し、`HOST_PORT`によって指定したPort番号を開き、コネクショ

ンの確立を試みる.

ソースコード 5.1 ConectServer.java

```
1  /* Radiogram Connection Interface */
2  RadiogramConnection radioConnection = null;
3  /* the packet of receive */
4  Datagram packet = null;
5
6  try {
7      radioConnection = (RadiogramConnection)
8      Connector.open("radiogram://:" + HOST_PORT);
9      packet = radioConnection.newDatagram
10      (radioConnection.getMaximumLength());
11  } catch (Exception e) {
12      System.out.println(" ERROR : Falided to Initialize ");
13  }
```

ソースコード 5.2では, Clientの通信部を抜粋した. SunSPOTのApplicationはHost側とClient側のソースコードに差異は少なく, *RadiogramConnection*によって通信を確立させる. *maxVolt*は圧力センサに加える電圧値である. *regValue*は分圧用の抵抗の値である. 今回はこの*maxVolt*と*regValue*の値を抵抗として10K Ω , 電圧に3.0Vを使用しているので, 圧力センサと抵抗とでちょうど半々に分圧され, 計算的には1.5Vとなる.

ソースコード 5.2 ConectClient.java

```
1  private Datagram packet = null;
2  private RadiogramConnection connection = null;
3
4  try{
5      connection = (RadiogramConnection)
6      Connector.open
7      ("radiogram://broadcast:" + HOST_PORT);
8      packet = connection.newDatagram(50);
9      System.out.print("connection");
10 }catch(Exception ex){
11     System.out.print("In connection initialization :" + ex);
```

```
12         System.exit(1);
13     }
```

5.3.2 圧力センサ情報の取得

圧力センサの情報を取得するには、Clientの設定が重要となる。
ソースコード 5.3はSunSPOTの圧力センサ情報を送信するClientの一部である。*IScalarInput* *input*にはアナログに入力された情報を読み取っている。今回圧力センサはアナログ入力ピンからSunSPOTに設置しているので、*IScalarInput*によってアナログの電圧を読み取っている。*getVolt()*関数では、指定されたアナログ入力ピン番号の、電圧を返す関数である。この関数を呼び出すことによって、圧力センサのデータをHost側に送信することができる。

ソースコード 5.3 PressSensor.java

```
1 public class PressSensor {
2     public static final int VALUE_PRESS_0 = 20000;
3     private IScalarInput input;
4     private float maxVolt;
5     private float regValue;
6     private float Press0Volt;
7
8     public PressSensor(int pinId, float maxVolt, int regValue) {
9         input = EDemoBoard.getInstance().getScalarInputs()[pinId];
10        this.maxVolt = maxVolt;
11        this.regValue = regValue;
12        Press0Volt = (maxVolt * regValue) /
13                    (VALUE_PRESS_0 + regValue);
14    }
15
16    public float getVolt() throws IOException {
17        return ((float)input.getValue() /
18                input.getRange()) * maxVolt;
19    }
20
21 }
```


以下のソースコード *code:senddata* は圧力データをHOSTに送信する時の抜粋である。今回SunSPOT1につき6個の圧力センサを接続している。

その為、*for*文によって圧力センサ6個分のデータをHOSTに送信することになる。ソースコード 5.3に記述した、*getVolt()*関数を呼び出し、電圧値を*volt[]*に格納し。それをHOSTに送信する。

*Utils.sleep*ではデータの送信頻度の設定を行っている。

ソースコード 5.4 SendData.java

```
1 while (true) {
2
3     int id = 1;
4
5     try {
6         for(i=1;i<=6,i++){
7             float volt[i] =
8                 pressureSensor[i].getVolt();
9             System.out.println("volt[i]" + volt[i]);
10        }
11        packet.reset();
12        packet.writeFloat(id);
13        for(i=1;i<=6,i++){
14            packet.writeFloat(volt[i]);
15        }
16        connection.send(packet);
17    } catch (IOException ex) {
18        ex.printStackTrace();
19    } catch (Exception ex) {
20        ex.printStackTrace();
21        notifyDestroyed();
22    }
23    Utils.sleep(1000L);
24 }
25 }
```

5.3.3 入眠時の判定

送られてきたデータを元に入眠判定を行っている。布団の上での体の動きが一定時間なくなった時，Tapirusでは入眠判定を行っている。

void falling_asleep(int hour,int minutes,int second)

falling_asleep()メソッドでは入眠判定された時の時間を記録し，就寝準備が整ってから入眠するまでの時間を計算する。前述したとおり，前日の疲労が溜まっている状態だと，就寝準備が整ってから入眠するまでの時間が短くなるというデータが挙げられているので，それを元に疲労算出の要素の一つとして割り出す。入眠アルゴリズムによって入眠判定されると睡眠中の状態判定に移行する。

5.3.4 睡眠中の体動判定

ソースコード 5.5は睡眠中の体動判定を行うソースコードの一部である。変数*sleepcheck*では睡眠判定を行っており，睡眠中であることが体動判定を行う条件である。体動判定を行う際は主に寝返り判定と中途覚醒判定の2つを行う必要がある。

変数*counter*は正確な寝返り判定を行う為に使用する変数である。圧力センサのデータ上，寝返りの時間中常に圧力データが動くことになるので，それをまとめて1回と数えるための変数を用意した。

変数*movecount*は寝返り回数を数えている。また，変数*absentcount*では中途覚醒回数を数えている。こちらは，睡眠中にベットから離れ，トイレに行く等の行動を起こした際に数えられる。寝返りと中途覚醒を正確に判別する為に，変数*absent*と変数*absentcheck*を定義した。圧力センサの合計電圧値*PressTotal*の値によって人がベット上にいるか判別し，変数*sleepcheck*によって睡眠中と判断されている時に，変数*PressTotal*が極端に下がった時，Tapirusでは中途覚醒と判別する。なお，ここで中途覚醒と判定するには，ベット上から人がいなくなっている時間を変数*absent*に格納され，寝返りとの正確な分別を行う。ベット上に人に戻ったかどうかを変数*absentcheck*によって調べる。

ソースコード 5.5 Move.java

```
1  if(sleepcheck ==1&&time==0&&counter==0){  
2      movecount++;  
3  }
```

```

4
5 if(sleepcheck == 1&&PressTotal <=0.5){
6     absent++;
7     if(absent==50&&absentcheck==0){
8         absentcount++;
9         absentcheck = 1;
10        absent = 0;
11    }
12
13 }else if(sleepcheck == 1&&PressTotal >0.5){
14     absent = 0;
15     absentcheck = 0;
16 }
17 }

```

5.3.5 起床時の疲労算出アルゴリズムの判定

起床した段階で、入眠判定によって就寝準備が整ってから入眠までの時間から前日の疲労を算出し、また先ほど記述したソースコード 5.5によって睡眠中の体動を判定する。最後に睡眠時間を割り出し、それらすべてを統合して起床時の疲労を算出する。

ソースコード 5.6は睡眠時間からの疲労算出を割り出す一部である。ユーザ個人個人での睡眠の周期に合わせて、睡眠時間を取得している。またユーザの理想的な平均睡眠時間を取得し、それを元に疲労を算出している。

ソースコード 5.6 SleepTime.java

```

1 time_check = time_count / sleep_cycle;
2
3 BigDecimal bi = new BigDecimal(String.valueOf(time_check));
4 double k0 = bi.setScale(1,BigDecimal.ROUND_HALF_UP).doubleValue();
5
6 if(k0 < sleep_time){
7     fatigue = sleep_time - k0;
8 }else if(k0 > sleep_average){
9     fatigue = k0 - sleep_time;

```

5.4 本章のまとめ

本章ではTapirusシステムのハードウェア構成とソフトウェア構成についての実装を述べた．主なハードウェアとして圧力センサとSunSPOTを挙げ，それらの動作を実際にソースコードを用いて説明を述べた．

次章では，本章で実装したシステムの評価を行う．

第 6 章

評価

本章では，本研究の評価方針について述べ，その後評価結果を述べる．

6.1 評価方針

本節では定量的評価を行う。定量的評価を行うにあたり，評価環境，評価項目を述べる。

6.1.1 評価環境

本システムは，慶應義塾大学湘南藤沢キャンパスで評価を行った。以下の図 6.1， 6.2にその様子を示す。シーツの下に圧力センサを18個入れ，Sunspotを3個使用した。また，睡眠に影響を及ぼす電灯や雑音等の外的要因は全て同一条件に揃えた上での評価を行った。

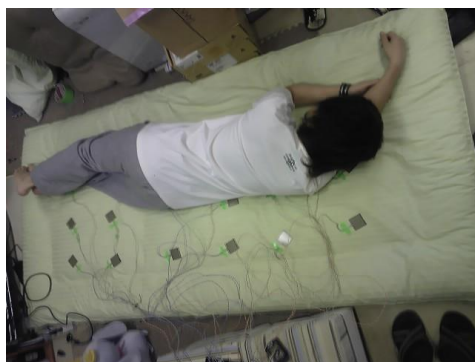


図 6.1 評価環境

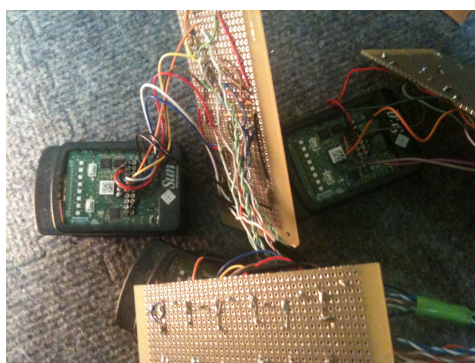


図 6.2 SunSPOT

6.1.2 評価項目

Tapirusシステムの疲労解析手法の有効性を評価する為に、Tapirusシステムが割り出した疲労指数と実際の脳の疲労との相関性があるかを評価を行う。起床時の疲労具合をATMT法 [12]を用いて評価を行う。ATMT法とは、コンピュータのスクリーン上に表示された25個の数字を1から順に番号を指で押す検査である。1つ1つの番号を押すまでの時間を計測して、脳の反応時間の変化から疲労を測定する手法であり、反応時間が長いほど疲労している。被験者は起床後、ATMT法の測定を複数回行う。ATMT法を複数回行った合計を算出し脳の疲労を測り、Tapirusシステムとの相関性を測る。

6.2 評価結果

前述した評価方針より、本節では定量的評価の結果を述べる。また、それに対する考察も述べる。

6.2.1 結果

今回の評価結果を以下の表 6.1に示す。表 6.1はTapirusが算出した睡眠時間、入眠までの時間、寝返り回数、中途覚醒回数である。これらのデータを元にTapirusが算出した疲労指数を示す。

また起床時には被験者にATMT法を5回実施してもらい、それらの総合時間を計算した。表 6.2, 図 6.3は、起床時にTapirusが算出した疲労指数と、ATMT法の結果である。表 6.1のDay3では睡眠時間が7時間36分、入眠までの時間が12分、寝返り回数が22回、中途覚醒回数が0回となっている。それらを計算し、起床時の疲労算出アルゴリズムによって割り出した疲労指数が1.2となっている。そしてDay2の起床時に行ったATMT法5回の合計時間が表 6.2に示した通り、234秒となっている。それに比べ、表 6.1のDay3ではDay2に比べ睡眠時間が8時間17分と長くなっているのだが、中途覚醒があり睡眠の質を下げている為本システムが割り出した疲労指数では1.7となった。Day3のATMT法は266秒となり、Day2とDay3を比較すると本システムの疲労指数の有効性を示すことができたと言える。その中でも得に、睡眠時間と中途覚醒回数との疲労指数を定義する上での関係性を示すことができた。また表 6.1のDay8は今回本システムが割り出した最小の疲労指数である。これは、睡眠時間が8時間24分となっており被験者にとってほぼ理想的な睡眠時間となっている。ATMT法で割り出した数値も223秒とTapirusシステムと同様に10日間の中で最小の数値となり、ATMT法との相関性を示すことができた。図 6.3の10日間のデータを元に

	Day1	Day2	Day3	Day4	Day5
睡眠時間	6h13m	8h17m	7h36m	6h1m	5h23m
入眠までの時間	18m49s	13m43s	12m45s	16m10s	22m17s
寝返り回数	20 回	16 回	22 回	21 回	19 回
中途覚醒回数	1 回	1 回	0 回	0 回	0 回
疲労指数	2.8	1.7	1.2	2.3	2.7
	Day6	Day7	Day8	Day9	Day10
睡眠時間	6h32m	6h0m	8h24m	5h28m	6h33m
入眠までの時間	8m40s	29m18s	34m13s	20m1s	22m51s
寝返り回数	19 回	15 回	22 回	15 回	15 回
中途覚醒回数	0 回	0 回	0 回	0 回	0 回
疲労指数	1.8	2.3	0.7	2.5	1.8

表 6.1 評価結果

Tapirusシステムの算出した疲労指数とATMT法での差異をピアソンの積率相関係数を用いて計算したところ、84 %の相関性となった。Day6では、Tapirusシステムで割り出した疲労指数とATMT法との差が大きく開いてしまっているが、他の9日間は理想的な数値を示すことができたと言える。

6.2.2 考察

以上の結果から、TapirusはATMT法との測定結果との相関性を示すことができた。従って、ユーザに拘束性を持たせず自動的に疲労を検知することを実現できたといえる。表 6.1のDay7やDay8では入眠までの時間が29分と34分となっており、理想的な入眠までの時間より大幅に時間がかかっている。入眠までの時間が長すぎる要因として、精神的ストレス等が挙げられる。この様に本システムでは入眠までの時間からストレス等別の要因を検出する

	Day1	Day2	Day3	Day4	Day5
疲労指数	2.8	1.7	1.2	2.3	2.7
ATMT 法	289 秒	266 秒	234 秒	266 秒	278 秒
	Day6	Day7	Day8	Day9	Day10
疲労指数	1.8	2.3	0.7	2.5	1.8
ATMT 法	278 秒	273 秒	223 秒	283 秒	258 秒

表 6.2 評価結果

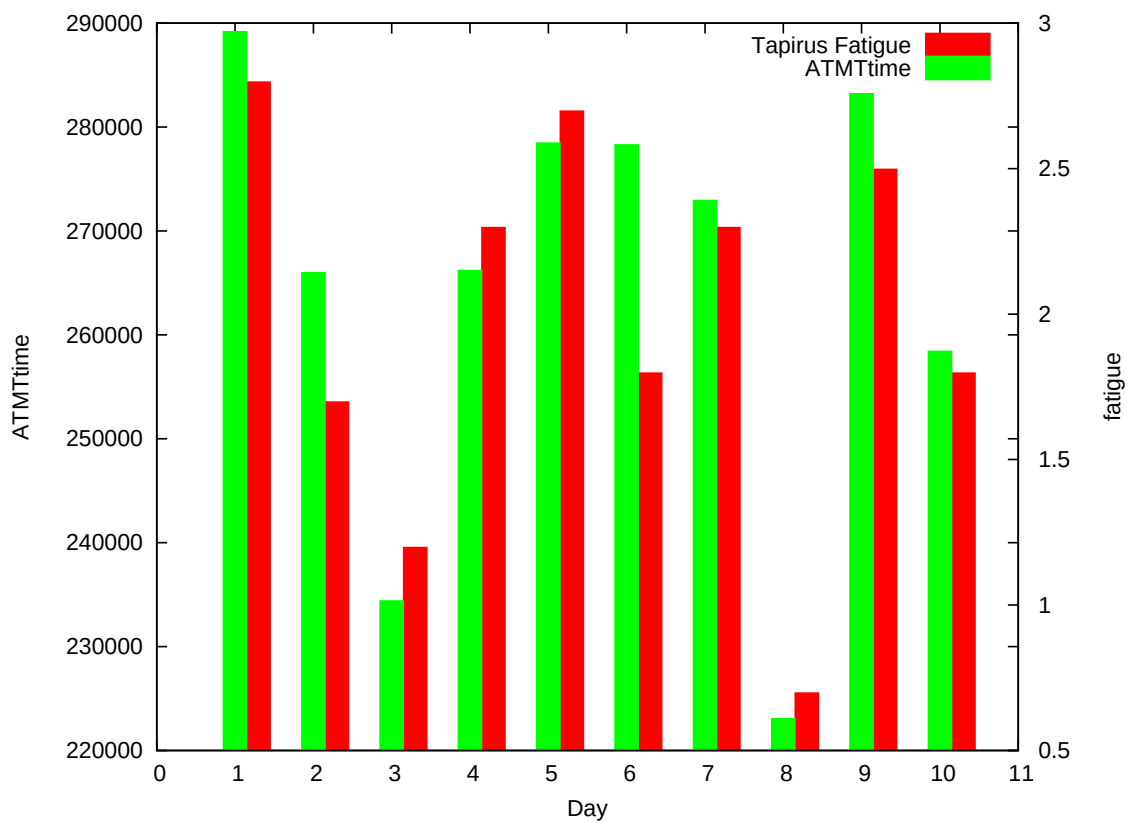


図 6.3 評価結果

ることが可能であると考えられる．しかし評価としてATMT法による評価しか行えなかった為、より正確な評価をとるためには生理的測定を視野にいれて評価をとる必要がある．

また、今回疲労算出の要素として、睡眠時間、入眠までの時間、寝返り回数、中途覚醒回数の4つの要素を使用した、入眠時刻や起床時刻等の要素を加えることでより正確な疲労指数を検知することができると考えられる．今回Tapirusシステムの疲労解析手法の有効性を示すために外的要因を除外した条件で評価を行ったが、外的要因が加わった際の睡眠状態の変化等を今後加えていくことで、ユーザの体動に変化が起き睡眠深度に影響が起きるのかといった実験を行う必要がある．それらを統合することで、より正確な疲労指数の通知を行うことができると考えられる．

6.3 本章のまとめ

本章では、慶應義塾湘南藤沢キャンパスでTapirusの評価を行った．ATMT法との比較評価を行い、結果として84 %の相関性を示すことができた．ユーザに拘束性を持たせず自動的に疲労を検知することを実現できた．

第 7 章

結論

本章では，まとめ，実現した点について述べ，最後に今後の課題を記述する．

7.1 まとめ

本稿では，日常生活の中でユーザの疲労を客観的に指標化することを目的に挙げ，睡眠に着目し起床時の疲労算出アルゴリズムを作成した．起床時の疲労算出アルゴリズムは，「前日の疲労」「睡眠時間」「寝返り回数」「中途覚醒回数」を要素とする．ベッド上に圧力センサを複数個配置し，人の体動から疲労を定量化するシステムTapirusの設計，実装を行った．圧力センサのデータを解析し，睡眠状態を判定する入眠アルゴリズムを作成した．また入眠アルゴリズムのデータを元に，前日の疲労算出アルゴリズムを作成した．また睡眠中の体動から，寝返り判定，中途覚醒判定を行った．それらを統合し疲労の定量化を行うことができた．

7.2 実現した点

Tapirusシステムの評価から，自動的に客観的な疲労を定義することができた．その為に圧力センサのデータから入眠アルゴリズムを作成し，覚醒状態，睡眠状態の判別を行った．さらに，就寝準備を整えてから入眠までの時間により前日の疲労算出アルゴリズムの作成を実現した．また中途覚醒，寝返りの判別を実現し，前日の疲労と合わせてTapirusシステムの疲労解析手法の有効性を示すことができた．また疲労の定量化に加え，Tapirusが導き出した疲労指数から適切なタイミングでの起床誘導も実現可能であると考えられる．

7.3 今後の課題

実験から得られた評価から，以下の点を今後の課題とする．

- 様々なユーザへの対応

今回のTapirusの実装では，ユーザの平均睡眠時間を入力することで疲労の定量化を行った．しかし，様々な人に対応させる為にはユーザ毎の理想的な平均睡眠時間を割り出す必要がある．理想的な平均睡眠時間を割り出すことによって，それを目安に様々なユーザへの対応，正確な疲労検知を行うことができる．今後様々なユーザへの対応を目的として学習機能の実装を行う．

- 睡眠段階の検知

Tapirusでは，睡眠段階の推定を行っていない．睡眠段階を検知することで，睡眠の質を検知し疲労要素として加えることができればより正確な疲労検知を行うことができる．睡眠段階の検知も今後検討を行う．

- 通知方法

Tapirusでは独自に疲労指数を定義した。しかしユーザや企業にとって最も理解しやすい通知方法の検討を行う必要がある。今回の評価で使用したATMT法では時間として表示されるが、これもユーザにとって疲労として理解するには曖昧で適切ではない。そこで疲労物質を考慮した通知方法を検討する必要があるが、疲労はまだ科学では解明されていない点が多く、医者にとっても診断が困難である。ユーザのにとっての理解しやすい疲労指数の通知方法を調査する必要がある。またTapirusで割り出した数値を元に仕事に支障をきたすような疲労指数の定義をする必要がある。定義した閾値を上回った場合、企業に通知するといった部分の実装の検討も今後行う。

謝辞

本研究の機会を与えてくださり、絶えず丁寧なご指導を賜りました、慶應義塾大学環境情報学部教授徳田英幸博士に深く感謝致します。また、貴重なご助言を頂きました慶應義塾大学環境情報学部准教授高汐一紀博士や、慶應義塾大学政策・メディア研究科講師中澤仁博士に深く感謝致します。

また、慶應義塾大学徳田研究室 [2] のファカルティの方々や、諸先輩方には折に触れ貴重なご助言を頂き、また多くの議論や指導の時間を割いて頂きました。特に荒木貴好氏には、本論文の執筆にあたってご指導を頂きました。

また、私生活、研究生活の両面において支えてくれた両親を始めとする家族、大学入学以前から今に至るまでの長い近い付き合いになる和田仁倫氏や鈴木雄太郎氏を始めとする多くの暖かい仲間感謝致します。

また大学生活及び私生活に至るまで支えて下さり多大なる恩恵を頂いた、小野寺彩氏に感謝致します。

また、様々な助言を下さった政策・メディア研究科特別研究助教米澤拓郎博士や、同じ研究グループとして長い時間を共に過ごしお互いの研究を刺激し合った、丹羽亮太氏、中原洋志氏、堀川哲郎氏、研究の日々を共に過ごした move! 研究グループ [4] の先輩である本多倫夫氏、野沢高弘氏、米川賢治氏や後輩達に感謝の意を表し、特に徳田研究会に所属してから今日に至るまでの2年間お世話になった荒木貴好氏には多大なる感謝と尊敬の意を表し、謝辞と致します。

2011年2月14日

西 和也

参考文献

- [1] Evaluation of Sleep Quality and Sleep Monitoring System for Better Sleep.
http://www.toshiba.co.jp/tech/review/2006/10/61_10pdf/a11.pdf.
- [2] Hide Tokuda Lab. <http://ht.sfc.keio.ac.jp/>.
- [3] Iber C, Ancoli-Israel S, Chesson A, Quan SF for the American Academy of Sleep Medicine: The AASM Manual for the Scoring of Sleep and Associated Events: Rules, Terminology and Technical Specifications.: Westchester Illinois, American Academy of Sleep Medicine, 2007.
- [4] move! Project. <http://www.ht.sfc.keio.ac.jp/move/>.
- [5] Panasonic 非接触睡眠センサ.<http://kaimin.gr.jp/inter06.html>.
- [6] Rechtschaffen A, Kales A: A manual of Standardized Terminology, Techniques and Scoring System for Sleep Stage of Human Subject, Public Health Service U.S. Government Printing Office Washington D.C., 1968.
- [7] Salmi T, Leinonen L: Automatic Analysis of Sleep Records with Static Charge Sensitive Bed. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*. 64:84-87, 1986.
- [8] Sleep Cycle Alarm Clock.
<http://itunes.apple.com/jp/app/sleep-cycle-alarm-clock/id320606217?mt=8>.
- [9] Sun Microsystems. SunSPOT. <http://www.sunspotworld.com/>.
- [10] The Japanese Society of Sleep Research. <http://jssr.jp/>.
- [11] 総務省統計局, 労働力調査. <http://www.stat.go.jp/index.htm>.

- [12] ATMT: A Computer-assisted System for Assessment of Fatigue-Development of Advanced Trail Making Test for evaluating mental function, 2003.
- [13] Dr. Michael Breus. Good Night: The Sleep Doctor's 4-Week Program to Better Sleep and Better Health. Dutton Adult, 2006.
- [14] Hidenori SHIGI, Hiroyuki KITAJIMA. Extraction of fatigue degree from pulse wave using a method of nonlinear time series analysis. *Institute of Electronics, Information, and Communication Engineers*, pp. 57–60, 2008.
- [15] Kazuo JO, Hiroshi HAGIWARA. Evaluation of Body Movement during Sleep Using an Infrared Motion Sensor. *JSBME*, pp. 7–14, 2009.
- [16] Kenji Yonekawa, Takuro Yonezawa, Jin Nakazawa, Hideyuki Tokuda. FASH: Detecting Tiredness of Walking People Using Pressure Sensors. *MobiQuitous*, pp. 1–6, 2009.
- [17] Mark Weiser. The computer for the 21st century. *SIGMOBILE Mob Comput Commun Rev.* Vol. 3, No. 3. pp. 3–11, 1999.
- [18] Yoshifumi NISHIDA, Masashi TAKEDA, Taketoshi MORI and Hiroshi MIZOGUCHI. Unrestrained and Noninvasive Monitoring of Human's Respiration and Posture in Sleep Using Pressure Sensors. *The Robotics Society of Japan*, pp. 705–711, 1998.
- [19] Yosuke KURIHARA, Kajiro WATANABE, Hiroshi TANAKA. Sleep Indices and Sleep Stage Estimation Method by Unconstrained Biosignal Measurement. *JSBME*, pp. 216–22, 2007.