

卒業論文 2007 年度 (平成 19 年度)

KALAS :
活力レベルと行動予測を用いた
VDT 作業環境改善システムの設計と実装

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

湧川 隆次

Rodney D .Van Meter

慶應義塾大学 環境情報学部

角田 龍二

tsu-no@ht.sfc.keio.ac.jp

卒業論文要旨 2007 年度 (平成 19 年度)

KALAS： 活力レベルと行動予測を用いた VDT 作業環境改善システムの設計と実装

論文要旨

近年、情報技術の発達とともに、パーソナルコンピュータが広く利用されるようになった。特に、オフィス環境においては非常に顕著であり、VDT (Visual Display Terminal) 作業を行う機会が増加している。その結果、人々の業務処理速度が向上した一方で、VDT 作業による心身への影響が問題視されるようになった。VDT 作業は慢性的な腰痛や肩こり、眼精疲労などの身体的疲労に加え、精神的疲労も大きく、労働者の負担は増加している。そのため、VDT 作業環境の改善を目的とした取り組みが、企業や公的団体により行われるようになった。しかしこれらの既存の取り組みは、スケジュール管理やタスク管理など、外面的な労働環境を改善するものばかりであり、労働者の精神状態や身体の状態といった内面的な環境を支援できていないという問題がある。

本論文では、オフィス環境における労働者の内面的な環境改善を目的とし、労働者の生体情報、疲労度合いから活性度合いの算出を行い、行動推測を行う KALAS システムを構築する。本システムでは、ユーザが行動するためのエネルギーである活力レベルを定義し、VDT 作業中における活力レベルとユーザの休憩の相関を学習することで、行動推測を行い、ユーザの行動支援を容易にする。さらに、生体センサを使用して KALAS システムの実装を行う。生体センサを用いることにより、リアルタイムに活力レベルの判定と行動予測を行い、リアルタイムな行動支援を可能とした。また、実証実験とユーザ評価を行い、本システムの有用性を示した。KALAS システムにより、労働者の内面的な環境を改善することにより、労働者の負担を軽減させるとともに、作業効率を向上させることが可能となる。

キーワード:

生体情報, 行動推測, 活力, 自律神経系, 疲労, バイジアンネットワーク

慶應義塾大学 環境情報学部

角田 龍二

Abstract of Bachelor's Thesis

Construction of action forecast system by using vital information

Academic Year 2003

Summary

I propose KALAS that guesses the user's behavior and does the action support measuring user's energy and motivation to act in this thesis.

Recent years, The personal computer spread by the development of the information technology at the people. The development of the information technology has an influence big as for the workplace environment by it, and has changed the starting work form. Though the VDT frequency in which it works increases and the business processing speed improved, the VDT worker's influence on the mind and body came to be put in question. As for the VDT work, body tiredness and mental tiredness are large. So the worker's load increased, and the improvement of the working environment was needed. The system to support the worker inside is few though various approaches and systems are designed for the working environment improvement. Then, KALAS understood the worker inside by using worker's living body information. The action forecast is done based on it. Thus, doing support that suits the worker's desire becomes possible, and the worker's load can be reduced.

In this thesis, KALAS was mounted with a living body sensor, and it evaluated it. The energies level was in real time judged with a living body sensor, the action forecast was done, and movement support target became possible at the right time. It was shown that the forecast accuracy improved by building the energies level into the action forecast. The technique of management the worker inside was able to be established by introducing the energies level.

Keywords:

vital information, behavior prediction, vital level, Autonomic, fatigue, Bayesian Networks

Keio University Environmental information

Ryuji Tsunoda

目次

第 1 章	序論	1
1.1	背景	1
1.2	問題意識	2
1.3	目的	2
1.4	構成	2
第 2 章	VDT 作業と心身への影響	3
2.1	VDT 作業	4
2.1.1	概要	4
2.1.2	心身への影響とその問題点	4
2.2	VDT 作業環境	5
2.2.1	VDT 作業環境の分類	5
2.2.2	VDT 作業環境の改善	5
2.3	既存の VDT 作業環境改善手法	6
2.3.1	改善手法の分類	6
2.3.2	作業改善手法のまとめ	8
2.4	問題意識	9
2.4.1	時間, 空間による制約	9
2.5	まとめ	9
第 3 章	活力レベルと行動予測	10
3.1	研究の目的	11
3.1.1	目的	11
3.2	機能要件	11
3.3	VDT 作業と生体反応	11
3.3.1	作業と自律神経系	12
3.3.2	VDT 作業と身体疲労	14
3.4	本研究のアプローチ	16
3.4.1	活力レベルを用いた心身状態の把握	16

3.4.2	精神的要素の検出	17
3.4.3	身体的要素の検出	19
3.4.4	行動予測による心身状態の改善	21
3.5	シナリオ	23
3.6	関連研究	24
3.6.1	生体情報を用いた疲労検出方法の研究	24
3.6.2	音声から眠気や疲労を検出する試みについて	24
3.6.3	VDT 疲労問診システムにおけるオントロジーの利用	24
3.7	まとめ	25
第 4 章	設計	26
4.1	設計概要	27
4.1.1	想定環境	27
4.1.2	ハードウェア構成	27
4.1.3	ソフトウェア構成	27
4.2	自律神経系解析モジュール	28
4.3	姿勢解析モジュール	29
4.4	疲労度解析モジュール	29
4.5	活力レベル判定モジュール	29
4.6	位置取得モジュール	29
4.7	ユーザ状態管理モジュール	29
4.8	行動予測モジュール	30
4.9	移動先情報提供モジュール	30
4.10	まとめ	30
第 5 章	KALAS の実装	31
5.1	ハードウェアの実装	32
5.2	ソフトウェアの実装	34
5.2.1	自律神経系解析モジュール	34
5.2.2	姿勢解析モジュール	34
5.2.3	疲労度解析モジュール	34
5.2.4	活力レベル判定モジュール	35
5.2.5	位置取得モジュール	35
5.2.6	ユーザ状態管理モジュール	35
5.2.7	行動予測モジュール	36
5.2.8	移動先情報提供モジュール	36
5.3	まとめ	36

第 6 章	評価	37
6.1	内的環境解析手法の評価	38
6.1.1	評価方針	38
6.1.2	定性的評価	39
6.2	KALAS における活力判定の評価	39
6.2.1	実験環境	39
6.2.2	実験手順	39
6.2.3	実験結果および考察	40
6.3	活力レベルを用いた行動予測の精度評価	42
6.3.1	実験環境	42
6.3.2	実験手順	42
6.3.3	実験結果および考察	42
6.4	まとめ	43
第 7 章	結論	44
7.1	今後の展望	45
7.1.1	アプリケーションの充実	45
7.1.2	活力レベルの活用	45
7.2	今後の課題	45
7.2.1	センサの与える負担	45
7.2.2	プライバシーの確保	46
7.2.3	行動推測の性能向上	46
7.3	まとめ	46
参考文献		48

図目次

2.1	内的環境と外的環境のイメージ図	6
2.2	つながり感を重視したテレワーク支援システムにおけるつながり感通信ロボット	7
2.3	DFD モデル	8
3.1	自律神経系と生体反応	12
3.2	VDT 作業と自律神経系の変化サイクル	13
3.3	疲れないための姿勢	14
3.4	体重 70kg の人の様々な姿勢における第 3 腰椎間板への全荷重	15
3.5	運転姿勢と自覚症状	15
3.6	活力レベルのイメージ図	17
3.7	皮膚温度回帰直線のグラフ	18
3.8	姿勢モデル一覧	20
3.9	ベイジアンネットワークの例	23
4.1	ハードウェア構成図	28
4.2	ソフトウェア構成図	28
5.1	RF-ECG センサ	33
5.2	皮膚温度センサ	33
5.3	正中型	34
5.4	前重心型	34
5.5	左重心型	35
5.6	右重心型	35
5.7	後重心型	35
5.8	休息型	35
5.9	JENGA	36

表目次

1.1	労働者の1日あたりの平均 VDT 作業時間 (%)	1
2.1	1 日の VDT 作業時間とストレスを感じる割合 (%)	5
3.1	自律神経系優位度と傾きの対応	18
3.2	心拍数, 皮膚温度の優位判定と自律神経優位度の対応表	19
3.3	K の値と活力レベルの対応表	21
5.1	実装環境	32
5.2	SPIDER IIIA リーダの仕様	32
5.3	SPIDER IIIA タグの仕様	33
6.1	内的環境検出手法の評価	39
6.2	評価結果 設問 1 生体センサを装着することに抵抗を感じましたか.	40
6.3	評価結果 設問 2 休憩を促すタイミングは適切でしたか.	40
6.4	評価結果 設問 3 休憩を促された際に, それに応じようと思いましたか.	41
6.5	評価結果 設問 4 現在の自身の活力を評価してください.	41
6.6	評価結果 設問 5 KALAS の判定した活力レベルの遷移と自覚した活力を比較 してください.	41
6.7	評価結果 設問 6 適したタイミングに休憩を促すシステムある場合利用したい ですか.	41
6.8	評価結果 作業に集中している際に休憩を促された場合それに応じますか.	41
6.9	行動予測精度評価実験における結果	42

第 1 章

序論

1.1 背景

近年、計算機の性能向上やインターネット等の通信技術の発達により、あらゆる場面においての PC の利用が増加している。特にオフィス環境において、その例は顕著であり、就労形態の変化とともに、労働者は長時間の VDT (Visual Display Terminal) 作業を強いられている。厚生労働省が 1998 年、2003 年に発表した「技術革新と労働に関する実態調査」[11, 12] から、労働者の 1 日あたりの平均 VDT 作業時間を表 1.1 に示す。

VDT 作業は、眼、肩、腰椎など、身体への負担が大きく、精神的ストレスも伴うことが報告されている [8]。労働環境が悪い状態では、作業効率が低く、労働時間の長大化を引き起こし、労働環境の更なる悪化を引き起こすという負のスパイラルに陥る可能性がある。そのため、多くの企業や公的機関などにおいて、労働環境を改善するための取り組みがなされている。その一部として、

表 1.1 労働者の 1 日あたりの平均 VDT 作業時間 (%)

年	1 時間未満	1 時間以上 2 時間未満	2 時間以上 4 時間未満	4 時間以上 6 時間未満	6 時間以上
1998 年	17.7	23.4	29.6	17.1	12.1
2003 年	17.7	19.7	25.1	16.9	20.6

個人の時間を有効に使うための、スケジュール管理、タスク管理システムなどが開発され使用されるようになり、労働環境の改善に一役買っている。労働者の作業時間や作業の進行度合いを共有することなどにより、ダブルブッキングを防ぎ、日程や作業内容などの変更に対応することが可能となり、不要な労力や無駄な時間を省くことができる。

1.2 問題意識

労働環境改善の取り組みやシステムの多くは労働者の仕事量や時間などの労働者を取り巻く環境である外的要因のみを支援するものであり、労働者自身の健康状態やモチベーションなどの内的要因を考慮したものは少ない。

時間や仕事量などは雇用者が定めるものであり、逆に健康状態やモチベーションなどは労働者が意識的、無意識的に定めるものである。内的要因を改善する取り組みが少ないため、労働者の抱える負担は改善されない。労働環境において仕事量や時間を管理することにより得られる利益は作業効率の向上や仕事達成率の向上などであるが、利益を得るのは主に雇用者側であり、労働者側には大きな利益は発生しない。結果、労働環境の改善とは言い難い。逆に内的要因を支援するシステムがあるならば、労働者の健康状態やモチベーションを保持することができ、労働者側にも大きなメリットが生まれる。労働環境の改善を達成するには、労働者の内的要因である、労働者自身の体調、疲労度、モチベーション等をストレートに反映したシステムによってのみ可能であるといえ、そのようなシステムが必要とされている。

1.3 目的

本研究では、労働者の活力に応じた行動を支援するシステム、KALAS を提案する。本システムは、労働者の疲労や体内の活性度合いを元に、労働者の活力を測定し、管理を行うことにより、適時的に休憩を促す。また、休憩行動を予測した支援を行うことにより、効果的な回復を促進することを目的とする。

1.4 構成

本章において研究の背景、問題意識、目的を述べた。以降の本論文の構成として、2章に VDT 作業と労働者負担について述べ、新しい管理方法の必要性について述べる。3章において、機能要件をまとめ、本研究の概要について説明する。4章において KALAS の設計について述べ、続いて 5章に実装部位の解説を行い、6章において KALAS の評価を述べる。7章において、本論文をまとめ、結論を述べる。

第 2 章

VDT 作業と心身への影響

本章でははじめに VDT 作業の心身への影響をまとめる．次いで，VDT 作業の環境を改善する取り組みをまとめ，その問題点をまとめる．

2.1 VDT 作業

本節において、VDT 作業の概要を述べ、労働者に与える影響について説明する。

2.1.1 概要

VDT 作業とは Visual Display Terminal 作業の略であり、ディスプレイに向かい、マウスやキーボードを用いて、文字入力、データ入力等を行う作業全般を指す。IT の発展により、職場や家庭内に PC が普及し、VDT 作業を伴う労働が一般的となった。VDT 作業を行う労働者の数は年々上昇傾向にあり、さらに一人当たりの VDT 作業時間も増大している。

2.1.2 心身への影響とその問題点

VDT 作業の増加は、労働者の健康に大きな影響を与えており、厚生労働省の発表した「技術革新と労働に関する実態調査」[11, 12] では、VDT 作業者の身体的、および、精神的疲労が増加していることが報告されている。以下に、VDT 作業による労働者の身体的疲労、精神的疲労について述べる。

身体的疲労

集中した状態において長時間ディスプレイを凝視するため眼の疲れ、充血、乾燥といった眼精疲労を伴う。慢性化することにより、視力の低下、眼の疾患を引き起こす。また、キーボードの長時間の入力により、腕全体の疲労が蓄積し、慢性化することにより腱鞘炎等の疾患をも引き起こす可能性がある。さらに、ディスプレイに向かい座った状態において、肩から腰、太ももにかけて姿勢を固定するため、首や肩の凝り、腰痛を引き起こす。VDT 作業は体全体を使った重労働では無いため、疲労や負担を自覚しにくく、慢性的な疾患を引き起こしやすいという問題がある。

精神的疲労

VDT 作業は精神的な疲労も問題視されている。データ入力等においては単調な作業の繰り返しとなり、膨大な情報を処理する上でストレスが生じる。また、機器を使用するため、機器の処理中の待ち時間や、機器が意図した通りに動かない場面などにおいてストレスが生まれやすい。厚生労働省の発表した「技術革新と労働に関する実態調査」より、VDT 作業時間別におけるストレスを感じる割合を表 2.1 に示す。

VDT 作業は、他の全身を使うような労働とは異なり、身体的疲労を自覚しづらく、慢性的な症状が多い。また、VDT 作業中は精神的疲労も継続的に蓄積する。一時的に強いストレスを受けるのではなく、作業を続けることで徐々に蓄積するため、精神的疲労を自覚するまでに時間を要する。

表 2.1 1 日の VDT 作業時間とストレスを感じる割合 (%)

	たいへん感じる	やや感じる	あまり感じない	まったく感じない	どちらともいえない
全体	5.9	28.9	45.8	16.4	3.1
1 時間未満	3.1	22.3	48.2	20.2	6.4
1 時間以上 2 時間未満	4.8	27.5	49.0	15.4	3.4
2 時間以上 4 時間未満	5.7	29.8	48.3	14.1	2.1
4 時間以上 6 時間未満	5.9	31.4	44.9	16.0	1.8
6 時間以上	9.6	32.8	38.3	17.1	2.2

2.2 VDT 作業環境

本節において、VDT 作業環境についての説明を行う。さらに、VDT 作業環境の改善についての考察を行う。

2.2.1 VDT 作業環境の分類

労働環境は外的環境、内的環境に分類することができる。図 2.1 に内的環境と外的環境のイメージ図を示す。

外的環境

労働者を取り巻く労働者の外部にある環境を外的環境と定義する。労働内容、労働場所、労働時間などがこれにあたる。外的要因の多くは、雇用者側が定めるものである。

内的環境

労働者自身の内部の要素、環境を内的環境と定義する。労働者の健康などの身体状態、感情やモチベーションなどの精神状態がこれにあたる。内的要因は労働者が制御するものである。

外的環境と内的環境の特徴として、外的環境を評価した結果が内的環境に影響を与えるといった関係性がある。

2.2.2 VDT 作業環境の改善

優良な労働環境の構築においてもっとも重要な要素は、労働者の内的環境を把握、管理することである。外的環境である、労働内容や労働時間、労働場所に対する評価は、内的環境である労働者の精神状態に大きく反映されるためである。つまり、外的環境の改善は間接的には、内的環境の改

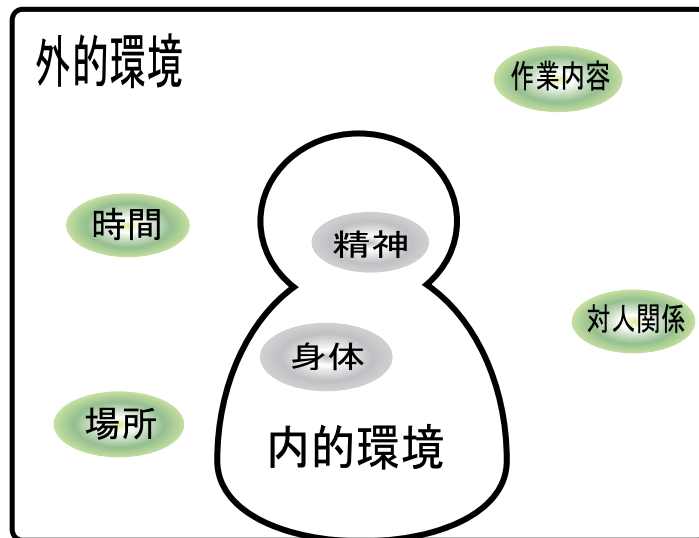


図 2.1 内的環境と外的環境のイメージ図

善であるということが出来る。例えば、労働者の精神状態が優良に保たれているならば、外的環境に関する評価としては総合的には問題がないともいうこともできる。つまり、労働環境を評価するうえで、大きな指標となるのが労働者の内的環境であるといえる。

2.3 既存の VDT 作業環境改善手法

本節では、良好な労働環境の構築を目的としたシステムや取り組みをまとめる。

労働者にとって働きやすい環境を構築することにより、作業効率が向上し、雇用者側、労働者側双方の利益を生み出すことが可能となる。そのためには、雇用者側は労働環境を把握し、労働者の仕事内容、労働時間、労働する場所としての環境、労働者の状態を管理する必要がある。これらの労働環境を管理するための既存の取り組みやシステムについて整理する。

2.3.1 改善手法の分類

フリーアドレス方式

オフィスにおいて割り当てられた席を利用するのではなく、自由に席を選択し、作業することができる環境をフリーアドレス方式オフィスと呼ぶ。フリーアドレス方式は本来、職場の面積縮小による設備経費削減が大きな目的であるが、席を固定しないことによる作業効率の向上にも注目されている。例えば、作業内容にあわせて環境を選択することが可能になり、プロジェクトに応じた流動的なメンバとのコミュニケーションを容易にするメリットが生じる。[6]

テレワーク

テレワーク（在宅勤務）を取り入れることにより，通勤における負担，労働上のストレスの緩和，労働時間帯の自由化といったメリットにより，作業効率，生産性が向上する．データ入力，報告書や企画書等の提出のみならず，映像と音声をつなぐテレビ会議などの導入により，テレワークの利用範囲は広がっている．

既存研究として，前田らによる，通信ロボットを使用し，テレワーカーの存在，移動情報，感情などを通信することによりつながり感を醸成し，コミュニケーションを豊かにするシステム [2]，清水らによる，位置情報やスケジュール，作業の進行状況を他のユーザと共有することにより，お互いのアウェアネス不足を解消するシステム [9] などがあげられる．前田らの構築した通信ロボットを図 2.2 に示す．

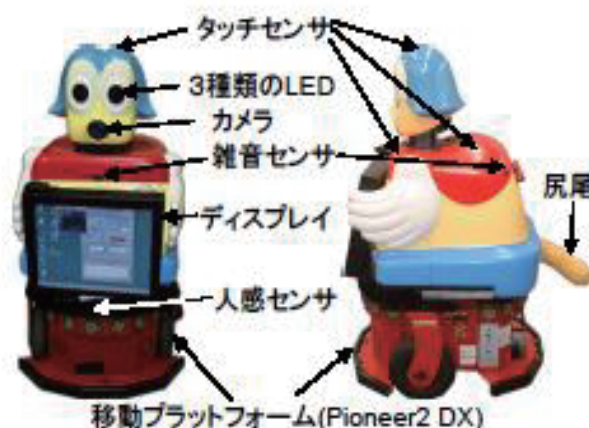


図 2.2 つながり感を重視したテレワーク支援システムにおけるつながり感通信ロボット

スケジュール管理

労働者の時間を有効活用するためにスケジュールを管理するシステムが利用される．ダブルブッキングを防ぎ，無駄な時間を省くようにスケジューリングを行うことにより，労働者の生産性を高めることができる．

既存研究として，スケジュールの問題点を警告し，人間関係ネットワークを考慮し，タスクに依頼者に応じた重み付けを行った代替スケジュール案を複数提示することによりユーザの意思決定を容易にする管理システム [5]，井垣らによる，交際実績などを含む名簿管理を行い，アポイントの優先度を算出し，アポイントメントが発生した際に情報を提示することにより，意思決定を支援する秘書エージェントシステムなどがあげられる． [13]

プロジェクト管理

労働者がグループやチームとして作業に取り組む際に全体の仕事のスケジュールや進捗を管理する手法も考案されている。遅れの生じている部位等のエラーの発見やプロジェクト全体の整合性を保つことにより、仕事の効率を向上させる。

既存研究として、丹羽らによる、各作業の入力、出力を明確にし、スケジュールを横軸に組み込む DFD（Data Flow Diagram）手法などがあげられる [19]。DFD モデルを図 2.3 に示す。

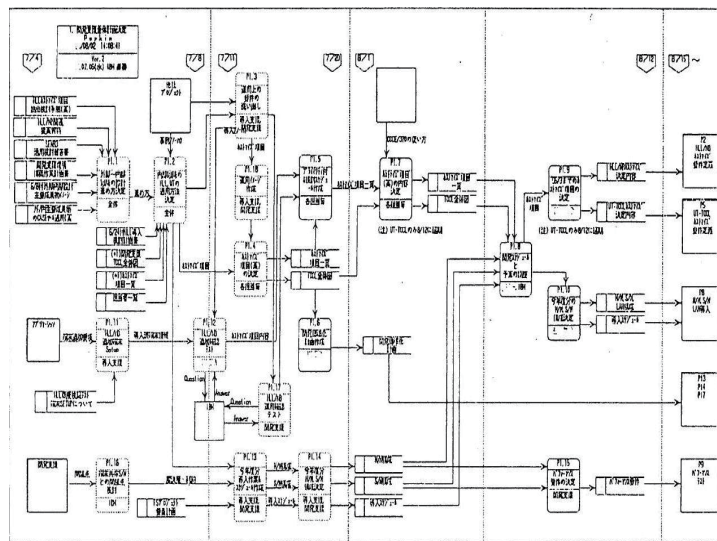


図 2.3 DFD モデル

カウンセリング

職場における問題や抱えている悩みを解決するために職場にカウンセラーを配置することにより労働環境を改善することができる。さまざまな人間関係や業務におけるストレスによる身体的疾患、精神的疾患を予防する。また、キャリアカウンセリングと呼ばれる労働者のキャリアアップに関する相談や支援を行うことにより、モチベーションの向上やスキルアップを図ることができる。

2.3.2 作業改善手法のまとめ

テレワークやフリーアドレス方式の導入は労働空間としての支援であり、スケジュール管理、タスク管理はそれぞれ、労働時間、仕事内容を管理、支援するものである。これらは労働者を取り巻く、外的環境を管理する手法であるといえる。カウンセリングは労働者の心理的負担を支援する、いわば内的環境を管理する手法である。

2.4 問題意識

労働環境の改善を行うには、労働者の外的環境と内的環境の双方の改善が必要である。現在において、外的環境を改善する方法は前述したとおり、さまざまな取り組みが行われており、充実しつつあるが、内的環境を改善する術は一般的にはカウンセリングのみだという問題がある。さらに、カウンセリングには、以下のような4つの問題がある。

問題発見までの時間

カウンセリングの問題点の一つとして、早期発見が困難である点が挙げられる。カウンセリングは定期的、もしくは労働者自身が希望した際のみに行われる。定期的に行っている場合は、問題発生に対して早期に対処することができない。また、労働者の自身の希望によってカウンセリングを行う場合においては、必ず労働者の自覚症状が伴う状態であり、問題を未然に防止するところや、早期解決することができない。

管理コスト

カウンセリングにおいてはプライバシー保護などの問題も含むため、一度のカウンセリングにおいて、労働者一人に対し、カウンセラーが一人必要となる。また、カウンセリングの質を保つためには、専門家によるカウンセリングが必須である。労働者全体の内的環境の把握を行うためには、膨大な時間と労力を要する。

問題点の自覚の必要性

効果的なカウンセリングを行うには、自身の問題を自覚しておく必要がある。しかし、自分自身の内的環境を正確に評価することは容易ではないため、自身の抱える問題に気づいていない場合が存在する。つまり、労働者の意識していない問題に関しての対処を十分に受けることができない。

2.4.1 時間、空間による制約

カウンセリングを行うには、カウンセラーと時間、場所の交渉を行う必要がある。労働者が問題を抱えた場合において、このような手順を踏む必要があり、迅速な対処を行うことができない。

このように、既存の労働環境改善の取り組みでは、労働者の負担を解消することができない。

2.5 まとめ

本章では、VDT 作業の概要についての説明をまとめた。次いで、労働環境改善の取り組みや既存システムについての整理を行い、その問題点を明らかにした。次章では、本研究の概要について述べる。

第3章

活力レベルと行動予測

本章では，はじめに本研究の目的を述べる．ついで，本研究のアプローチである活力レベルの概念をまとめ，身体反応についての整理を行う．さらに，本研究のアプローチである行動予測についての整理を行う．

3.1 研究の目的

3.1.1 目的

本研究は労働者の内的環境を把握し、管理することで VDT 作業環境を改善するシステムを構築することを目的とする。労働者の内的環境の改善を行うことにより、労働者の負担の軽減を目指す。

3.2 機能要件

本システムの機能要件は以下の 3 つである。

心身状態把握

労働者の内的環境の改善を行うには、労働者の身体状態、精神状態を把握する必要がある。労働者の心身状態を把握することにより、問題の発生、環境悪化などを検出でき、対処することが可能となる。

継続的な管理

内的環境を良好に保つために継続的に管理を行う必要がある。定期的な管理や労働者自身の申請時のみといった時間的制約、特定の場所でしか対処できないといった時間的制約を排除し、常時管理を行うことにより、環境悪化を最小限にとどめることが可能となる。また、管理を行ううえでのコストやユーザ負担を軽減し、継続した管理が達成しうることも必要要件である。

リアルタイムな支援

内的環境が悪化した際にリアルタイムな支援を行い、即時的な内的環境の回復を図る必要がある。問題発生、環境悪化が認められた際に適宜対処を行うことで、内的環境を良好に保つことが可能となる。

3.3 VDT 作業と生体反応

本節において、VDT 作業と作業中の生体反応の関係について述べる。自律神経系と疲労、および、その検出法について説明し、VDT 作業における労働者の心身状態を把握する手法を考察する。

3.3.1 作業と自律神経系

人間の作業状態と、生体情報は深く関連している。人間の身体は自律神経系によって制御されており、自律神経系は交感神経と副交感神経に分類される。交感神経と副交感神経は外界からの刺激に対して、一般的に拮抗してはたらく。以下に、人間の身体の状態を制御する自律神経系についてまとめる。[8, 14]

交感神経

交感神経とは、緊張時や興奮時に活発となる神経である。動物が活動しようとする際にそれを助けるはたらきをもつ神経物質を分泌する。交感神経が優位である状態の身体の反応として、心拍数、血圧の上昇、皮膚温度の低下、呼吸数の増加、発汗作用、消化器官の運動抑制などがあげられる。また、心理的負荷を感じた際に活発になることは一般的に知られている。

副交感神経

副交感神経とは、睡眠時やリラックス時など、体を休めようとする際に活発となる神経である。動物が休息しようとする際にそれを助ける働きをもつ神経物質を分泌する。副交感神経が優位である状態の身体の反応として、心拍数、血圧の低下、皮膚温度の上昇、呼吸数の減少、消化器官の運動促進などがあげられる。

図 3.1 に自律神経系の制御による生体反応を示す。

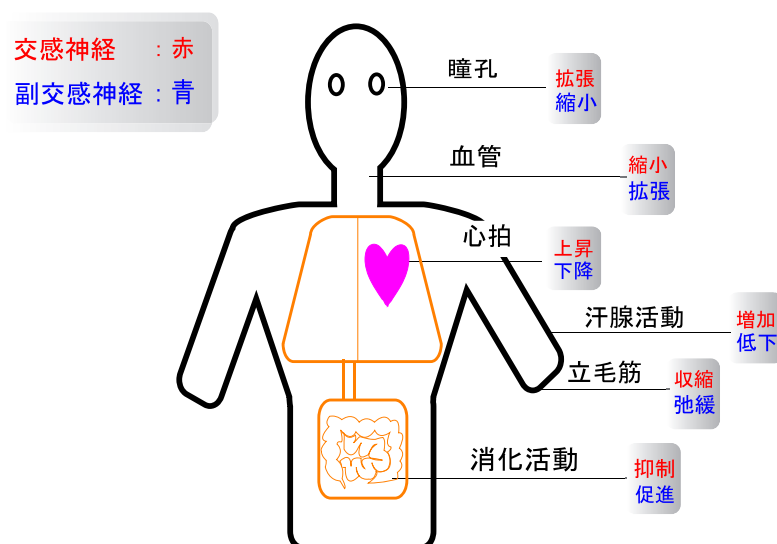


図 3.1 自律神経系と生体反応

自律神経系は精神的な要素に大きく影響を受ける。例えばクラシック音楽やアロマセラピーなどにより、心に安らぎを感じた際には副交感神経が優位となる反応を示し、心拍数、血圧、呼吸数の減少が見られる。逆に、対人関係などによるストレス、仕事におけるプレッシャー、焦りなどを感じた際には交感神経が優位となる反応を示し、心拍数の上昇、皮膚温の低下が見られる。精神に影響をあたえる事象が人間に降りかかったとき、自律神経系による制御が起こり、生体反応として表面化される。つまり、生体情報を取得することにより自律神経系の優位判定が可能となる。

VDT 作業中の自律神経系の変化

作業中において、自律神経系は主に、交感神経が優位になっている状態である。作業に集中し、指先を頻繁に動かす必要があるため、自然と交感神経が活発化される。しかし、作業を続けるうちに疲労やストレスが蓄積し、集中力が途切れ始め、体が休息を求めるようになる。休息をとることにより、次第に副交感神経が活発になり始め、集中力や疲労が回復し、作業再開により、再び交感神経が優位となる。作業中はこのような流れを繰り返す。自律神経系の変化サイクルについて図 3.2 に示す。

前述したように、VDT 作業には精神的疲労が強く伴う。そのため、VDT 作業中において心理的負荷を感じ、交感神経が作用しやすい状態となり、自律神経系のリズムに影響を与える。心理的負荷は、適切に処理する必要があるが、処理できない状態に陥ると交感神経と副交感神経が拮抗せず、双方とも優位になるなど、自律神経失調症を引き起こす可能性がある。

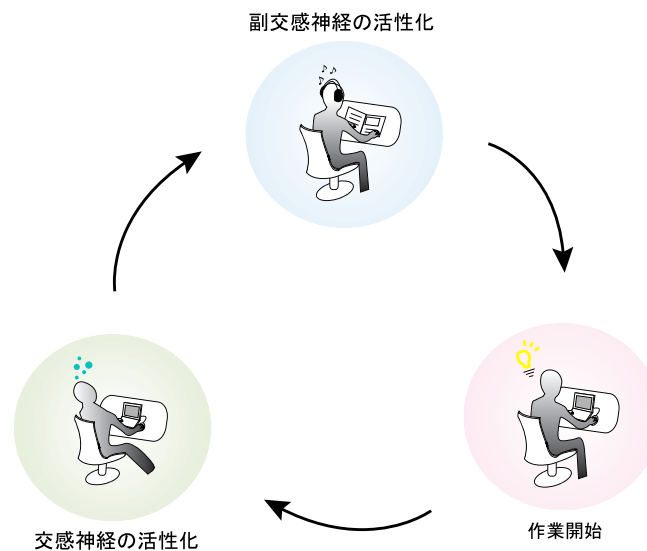


図 3.2 VDT 作業と自律神経系の変化サイクル

3.3.2 VDT 作業と身体疲労

VDT 作業を行うことによる身体疲労について考察する。厚生労働省が実施した「技術革新と労働に関する実態調査」[11][12]によると、VDT 作業における作業において、顕著に表れる身体的疲労は眼の疲れ、首、肩のこりであると報告されている。これらの主な原因は、VDT 作業がディスプレイを凝視する作業であること、頭、肩、腕、腰を固定した作業であることに由来している。眼の疲労はディスプレイを集中した状態で凝視することにより、まばたき回数が減少し、眼が乾燥するという負担により起こる。首、肩のこりは、VDT 作業をおこなう上で、頭部から腰部にかけて姿勢を長時間、固定する必要がある、さらに PC のキーボード、ディスプレイの位置に体をあわせなければならないため、不自由な姿勢を強要されることが原因である。

姿勢に関する研究は盛んに行われており、姿勢毎の負担や正しい姿勢などについての報告がある。宮尾ら [15] の提案している VDT 作業における適切な姿勢を図 3.3 に示す。また、西篠らの報告した姿勢と負担の関係図 [20] を図 3.4 に示す。



図 3.3 疲れないための姿勢

人間は同じ姿勢を保つことだけでも負担を受ける。姿勢を保つということは常に筋肉を硬直させている状態であり、時間の経過とともに疲労が蓄積する。疲労した筋肉を休めるために姿勢を変化させる必要があり、ひとつの姿勢を保持することには限界がある。そのため、適切な姿勢をひとつ提唱するだけでは根本的な解決とはいえない。

疲労の表出

人間は同じ姿勢を保つことだけでも負担を受ける。姿勢を保つということは常に筋肉を硬直させている状態であり、疲労が蓄積する。疲労した筋肉を休めるために姿勢を変化させ、働かせる筋肉

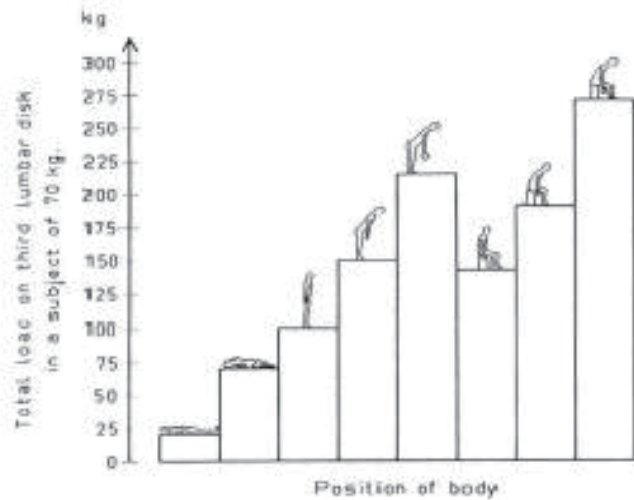


図 3.4 体重 70kg の人の様々な姿勢における第 3 腰椎間板への全荷重

を代える．さらに疲労が蓄積し，姿勢を変化させるという繰り返しを行い，負担を分散させ，集中的な疲労を防いでいる．姿勢の変化は疲労の蓄積が表面化したものであり，一般的に作業時間が長大化するにしたがい，姿勢の変化を行う間隔が短縮される．川口らは，運転中にドライバーが眠気を感じた，集中が困難である，身体的疲労を感じるといった自覚症状が表れた際に姿勢変化が起こることを報告している [22]．その結果を図 3.5 に示す．

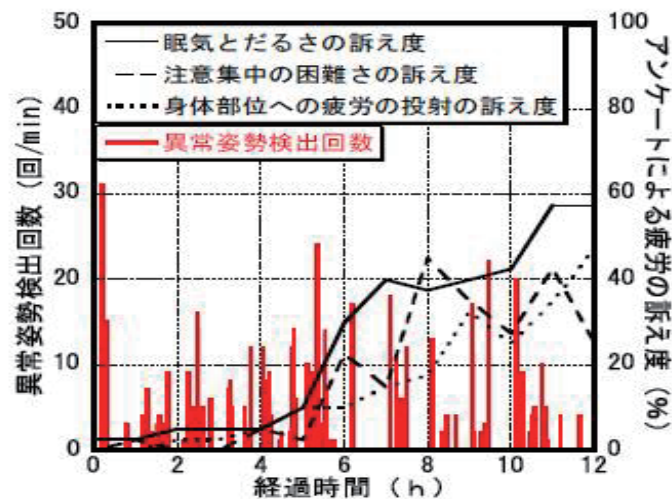


図 3.5 運転姿勢と自覚症状

意識的，無意識的に関わらず，凝り固まった筋肉をほぐす際に，伸び，首を回すなどの行動をとる．姿勢の変化を行うということは疲労が蓄積したことを意味する．つまり，姿勢変化の頻度は疲

労度をあらわしているといえる。

3.4 本研究のアプローチ

本節において機能要件に対する本研究のアプローチについて述べる。本研究のアプローチは以下の2つである。

- 活力レベルを用いた心身状態の把握
- 行動予測による心身状態の改善

以下にそれぞれのアプローチについて説明する。

3.4.1 活力レベルを用いた心身状態の把握

本項では、活力レベルについての説明を行う。活力レベルとは本研究が提案する概念であり、その要素と特徴についてまとめる。

活力レベルの概念

本研究では人間が行動を起こそうとするエネルギーの度合いを **活力レベル** とする。例えば、非常にやる気に満ち溢れており、何かに集中している状態は活力レベルが高いと表現でき、逆に何事にもやる気が起きず、ほうけている状態は活力レベルが低いと表現する。人間は活力レベルの状態に応じて意思決定、行動決定を行っている。例えば、疲れている状態、眠気を感じている状態においては活力レベルが低いため、作業等に取り組まないことが多々ある。逆に、休暇を充分にとり、リフレッシュした状態で作業に取り組む場合は、意欲にあふれており、集中力も高い状態となる。活力レベルは精神的要素、身体的要素の2つに分けられる。

精神的要素

精神的要素とは人間の精神状態であり、一般的には「やる気」や「モチベーション」といったことばで表現される。この精神的要素はストレスや報酬などの影響を受け、大きく左右される。例えば仕事内容に対する不満や報酬の欠如は活力レベルに対しマイナスに働き、興味のある仕事内容や、十分な報酬がある場合、もしくは期待される場合においてはプラスに働く。

身体的要素

身体的要素とは人間の身体の状態であり、体の調子や健康状態であるといえる。身体的要素は病気や疲労、回復行動によって影響を受ける。筋疲労や体の痛み、その他の不快感、違和感は活力レベルにマイナスに働き、なんら問題の感じられない状態、エネルギーの充足を感じる状態においてはプラスに働く。

活力レベルは波のように推移する特徴を持つ。例えば、作業に取り組んでいる状態において、次第に疲労が蓄積し、精神的なストレスを感じ始める。それにより、活力は徐々に低下をはじめ、「作業を中断し、休息をとる」という意思決定がなされ、休息をとり始める。休息することにより、疲労が回復し始め、再びモチベーション向上し、「作業を再開する」という意思決定に至る。このように、活力レベルは日常生活全般において上下を繰り返しており、その状態に応じた意思決定を行う際に大きな影響力をもつ要素となっている。図 3.6 に活力レベルのイメージ図を示す。

また、活力レベルは 5 段階で表現される。数値の値が大きいほどエネルギーにあふれていることを示す。例えば、活力レベル 5 である場合は心身ともに充実しており、意欲的に行動することができる。逆に活力レベル 1 である場合は体を動かす気力が少なく、体を休めることを渴望する。活力レベル 3 はその中間であり、活力レベルが低下している場合では、疲労を感じ始める状況、逆に活力レベルが向上している場合では、気力が満ち溢れ始める状況であるといえる。

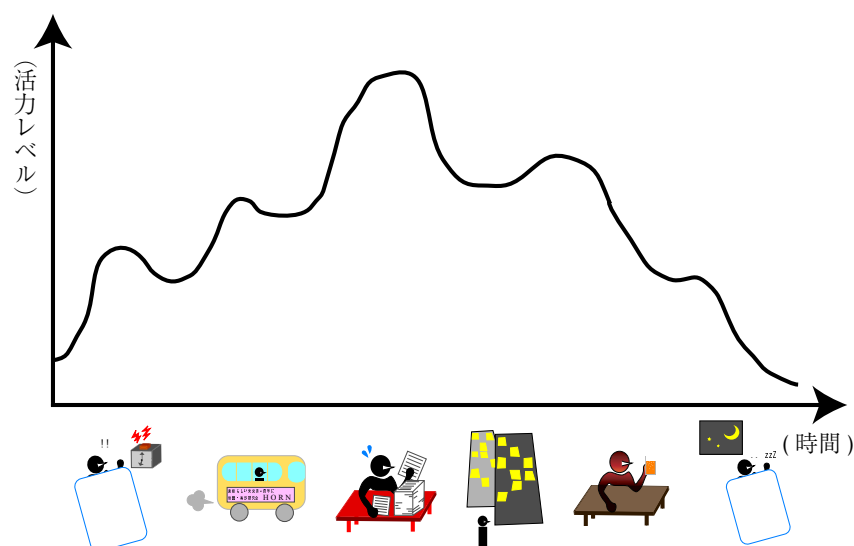


図 3.6 活力レベルのイメージ図

次項以降に、精神的要素、身体的要素それぞれに対する検出手法を述べる。

3.4.2 精神的要素の検出

本節において、精神的要素の検出手法を説明する。精神と自律神経系の関係について述べ、次いで、自律神経系の解析アルゴリズムについての提案を行う。

自律神経系の解析

自律神経系は精神状態の影響を強く受ける。活動を起こさなければならないという精神状態において交感神経が活発になり、活動を支援するように働き、体を休めなければならないもしくは休みたいという状態において副交感神経が活発になり回復を促進するように働く。活力レベルにおいて

も、レベルの高い、つまり行動を起こそうとする意識の強い状態と、レベルの低い、つまり回復に努めようとする状態が存在する。つまり、自律神経系の変化と活力レベルの変化は同期しているといえる。そのため、自律神経系の優位判定を行うことにより、活力レベルの精神的要素の判定を行うことが可能となる。

解析アルゴリズム

作業中における心拍数、皮膚温度を取得し、それぞれグラフ上に打点する。さらにそれらのデータの回帰直線を求め、傾きを取得する。回帰直線の傾きに応じて、自律神経系の優位度を設定する。各生体反応における自律神経系の優位度は2段階とする。心拍数においては、傾きが正の場合、交感神経優位状態、負の場合副交感神経優位状態を指す。また、皮膚温度においては、傾きが負の場合、交感神経優位状態、正の場合、副交感神経優位状態を指す。表 3.1 に自律神経系の優位度と傾きの対応を示す。

表 3.1 自律神経系優位度と傾きの対応

自律神経優位	交感神経	副交感神経
回帰直線の傾き (心拍数)	+	—
回帰直線の傾き (皮膚温度)	—	+

図 3.7 に、実験により取得した皮膚温度の回帰直線のグラフを例として示す。

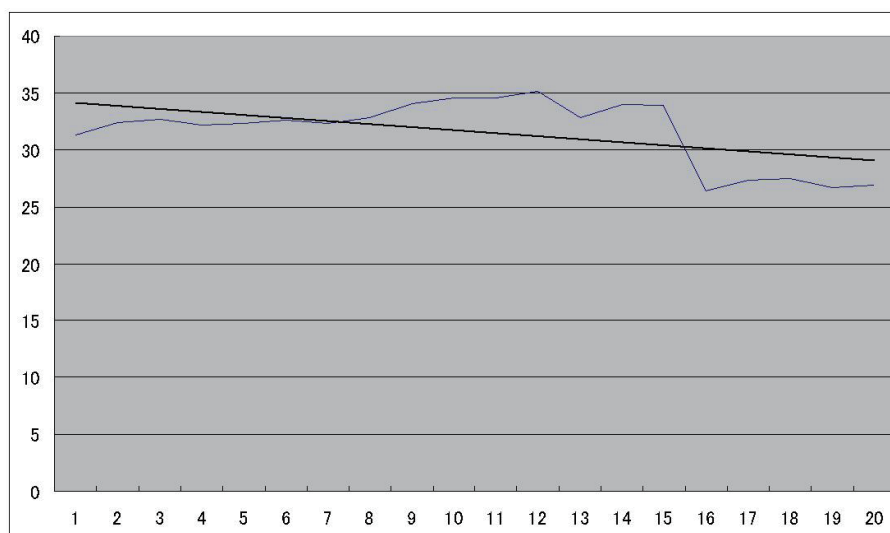


図 3.7 皮膚温度回帰直線のグラフ

心拍数、皮膚温度それぞれのデータから得られた回帰直線の傾きにより、自律神経系の判定を行う。自律神経系優位度を3段階で表現する。3が交感神経優位状態であり、1が副交感神経優位状態である。また、2は交感神経優位状態と副交感神経優位状態中間点を表現する。表 3.2 に心拍数、

皮膚温度における自律神経系判定と自律神経系優位の対応表を示す。

表 3.2 心拍数、皮膚温度の優位判定と自律神経優位度の対応表

心拍数	皮膚温度	自律神経系優位度
交感神経優位	交感神経優位	3
交感神経優位	副交感神経優位	2
副交感神経優位	交感神経優位	2
副交感神経優位	副交感神経優位	1

3.4.3 身体的要素の検出

本節において、身体的要素の検出手法を説明する。疲労度と姿勢変化の関係について説明し、疲労度解析アルゴリズムについて述べる。

疲労度の解析

活力レベルにおける身体的要素は疲労によって大きな影響を受ける。疲れている状態においては、身体を思うように動かすことが出来ず、活動の効率が下がる。活動の効率を向上させるためには疲労を回復する必要がある。つまり、疲労度と活力レベルは同期して変化しているといえる。そのため、労働者の疲労度を検出することにより、活力レベルにおける身体的要素を判定することが可能となる。また、先述したとおり、疲労は姿勢の変化により判断が可能であるため、活力レベルにおける身体的要素を姿勢変化の頻度によって取得する。

本研究は主にVDT作業を行う労働環境においての内的環境の支援を目的としているため、VDT作業における身体的疲労についてのみ考慮することとする。

本研究においては姿勢モデルを6つに分類している。姿勢について、以下のように定義する。

姿勢の定義姿勢は以下の姿勢モデルのいずれかに分類される。3秒間、他の姿勢モデルに遷移しなかった場合にその姿勢モデルであると判断する。また、3秒間以内において、姿勢モデルが遷移した際は回復行動をとっている状態である定義する。

姿勢の分類遠田らの研究 [7] において、上体の姿勢は前傾、直立、後傾、休息に分類されている。本研究において、姿勢は前述の4つに加え左右の概念を取り入れ6つの姿勢に分類する。姿勢は前後のみに依存しているわけではなく、左右にも振れるため、左右の概念を取り入れた姿勢を追加した。以下に6つの姿勢モデルの説明を行う。また、図 3.8 に姿勢モデルの一覧を示す。

正中型

地面に垂直に背筋が伸びている状態で、重心が正中線上にある姿勢を指す。

前重心型

ディスプレイ側のみに身を乗り出している状態であり、重心が正中線よりも前方にある。

後重心型

椅子の背もたれに寄りかかった状態であり、重心が正中線よりも後方にある。椅子の背もたれが上体を支えている状態。

左重心型

背筋が左側に傾いた状態であり、重心が正中線よりも左側にある。

右重心型

左重心型の傾きが右側に変化した姿勢であり、重心が正中線よりも右側にある。

休息型

後重心型よりもさらに重心が後ろにある状態。背もたれが上体の重さを受け止めている状態。

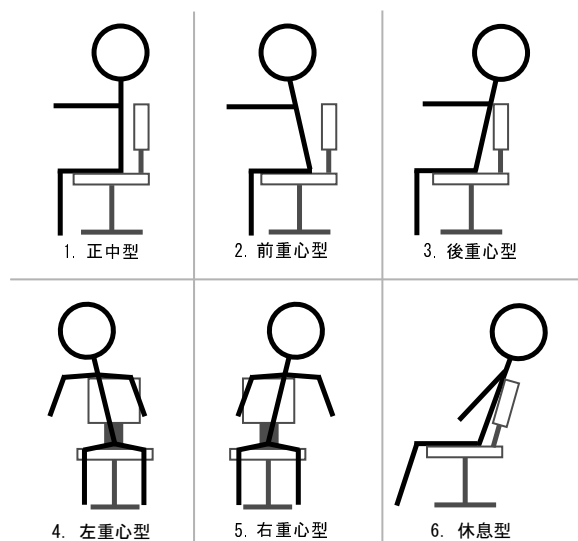


図 3.8 姿勢モデル一覧

回復行動の定義

疲労を回復するために行う身体の動きを回復行動と定義する。

短時間に上半身の傾き、重心が変化することは作業を中断している状態であり、すなわち、回復行動をとっていると判断できる。例えば、背伸び運動や、首回し、肩回し運動がこれにあたる。

解析アルゴリズム

本研究において疲労度を数値を用いて表現を行う。数値が大きいほど疲労が蓄積している状態をあらわす。疲労度の上限値は設定しない。

5分毎の姿勢変化回数、回復行動回数の合計数を取得し、 t_n , t_{n+1} 間と t_{n+1} , t_{n+2} 間の比較を行い、 t_{n+1} , t_{n+2} 間の姿勢変化回数が多い場合に疲労度が1段階上がる。

活力レベルと疲労と自律神経系

活力レベルは身体的要素、精神的要素をもとに判定することができる。身体的要素のうち、大きな影響をもつのは疲労度であり、姿勢によって判断することが可能である。精神的要素においては、自律神経系と同様の変化を示すため、自律神経系の交感神経、副交感神経の優位を検出することにより判定することが可能である。

活力レベルの判定

活力レベルは上記の自律神経系優位度と疲労度から算出される。活力レベルの判定式を以下に記す。

$$K = \text{自律神経優位度} * \text{疲労度}$$

また、算出されたKの値と活力レベルの対応について、表 3.3 に示す。

表 3.3 K の値と活力レベルの対応表

K の値	活力レベル
$0 \leq K < 6$	5
$6 \leq K < 12$	4
$12 \leq K < 18$	3
$18 \leq K < 24$	2
$24 \leq K$	1

3.4.4 行動予測による心身状態の改善

本項において、労働者の内的環境を管理するために有効である方法について述べる。

活力レベルの向上

活力レベルを向上させるためには身体的な回復と精神的な回復が必要である。

身体的要素の回復は、筋肉の動きを減らし、休めることにより回復することができる。また、食事により栄養補給することや、入浴により血行良くすることも効果的であるといえる。精神的要素

の回復は、ストレスから離れ、快楽を感じるにより回復することができる。例えば、音楽を聴く、写真、絵画を観る、趣味に没頭するなど、興味を持つ分野に時間を割くことにより精神的な快楽を得ることができる。人や動物などとのコミュニケーションなども大きな効果を得られる。

行動予測の必要性

労働環境においては時間的制約、空間的制約から活力レベルを向上させることができない場面が多々、存在する。そのため、活力レベルが低下している状態での作業を強いられる事となり、作業効率の低下を招く。逆に、活力レベルが高い状態であるにもかかわらず、休憩時間を迎えることもあり、作業効率の高い状態であるが、休息をとらざるを得ない状況となり、有益でない時間をすごしてしまうこととなる。生産性を向上させるためには、作業に適した状態においては作業を行い、休息を必要とする状態においては休息をとることが重要である。

労働者がどのような行動を起こしたいと感じているのかを把握することにより、活力レベルを最適に管理することが可能となる。例えば、労働者が食事をしたいと感じている際には食事をとること、音楽を聴きたいと感じている際には音楽を聴くことが活力レベルを管理するための最良の手法である。つまり、労働者の行動を予測し、支援を行うことは、労働者の内的環境を改善することになり、生産性を向上させることが可能となる。

行動予測における活力レベルの重要性

人間は意識的、無意識的に関わらず、活力レベルを管理している。例えば、疲労が蓄積すると、休息をとり、エネルギーが不足すると、空腹を感じ、食事をする。音楽を聴くことで、モチベーションを上げ、動物とふれあい、リラックスする。いつ作業を行い、いつ休息をとるべきなのかは、労働者自身の活力レベルを元に判断することが可能である。労働者は活力レベルに応じた意思決定を行っているので、労働者の行動予測を行うには活力レベルを利用することが必要である。

行動予測と移動予測

行動予測とはいってもその内容は多岐に渡る。そのため、不確定要素である行動を完全に予測することは不可能に近いといえる。そのため、本研究における行動予測は場所の移動についてのみ考慮することとする。

多くの場所において、目的やとられる行動はある程度限られている。例えば、飲食店においては、食事や休憩が目的であり、オフィスにおいては、作業が目的である。労働者にとって、場所を移動することは、目的を持っている状態であり、移動先が決まることにより、目的とした行動を推定することが可能である。

ベイジアンネットワーク

本研究における行動予測にベイジアンネットワークを利用する。

ベイジアンネットワークとはベイズの定理を利用した確率モデルである。ベイズの定理は以下の式であらわされる。

$$P(B | A) = \frac{P(A | B) * P(B)}{P(A)}$$

ベイジアンネットワークは事象をグラフを用いて表現を行う。各事象間の因果関係を確率変数により表現する。各事象間の因果関係には方向性があり、非循環有向グラフに分類される。また、各事象に観測されたエビデンスを与えることにより、不確定要素の推論の精度を向上させることが可能である。

ベイジアンネットワークは上記の特徴をもつため、スパムフィルタや検索エンジンに利用されている。

図 3.9 にベイジアンネットワークのモデル例を示す。各楕円は事象を表しており、矢印により因果関係を示している。

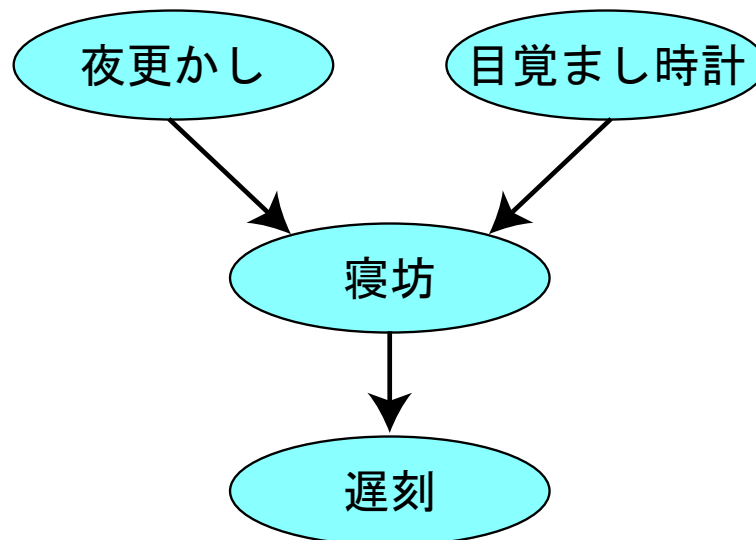


図 3.9 ベイジアンネットワークの例

3.5 シナリオ

本研究では、労働者の内的環境である身体的疲労、精神的疲労をそれぞれ、姿勢変化、自律神経系の優位度から検出し、活力レベルの判定を行う。さらに活力レベル情報を加味した移動予測を行うことにより、移動先情報を取得し、休息行動を促す。以下に、本システムの利用シナリオを示す。

クリスはデータを多く取り扱う企業の経営者である。労働者の主な仕事内容は VDT 作業であるが、ストレスや疲労により、作業効率が上がらないことがたびたびあった。作業環境を変える、タスク管理グループウェアの導入などの取り組みを行ったが、期待する結果は得られなかった。そこで労働者の内的環境を管理するために、活力レベルを判定し、休憩を動的に支援するシステムの導入を行った。すると、労働者たちはモチベーションの高い状態で作業を行い、疲労時には快適に休

憩を取ることが可能になり、企業全体の作業効率を向上させることができた。

3.6 関連研究

本節において、類似研究として、「生体情報を用いた疲労検出方法の研究」[18]、「音声から眠気や疲労を検出する試みについて」[4]、「VDT 疲労問診システムにおけるオントロジーの利用」[21]を挙げ、VDT 作業者の支援に対する有用性、作業者に与える負担の二点から考察を行う。

3.6.1 生体情報を用いた疲労検出方法の研究

VDT 作業における精神的疲労を検出する方法として、生体情報である、皮膚温度、脳波の取得を提案している。皮膚温度に関してはデジタルビデオカメラを用いたサーモグラフによって取得している。また、前頭部における脳波を高速フーリエ変換を行い周波数スペクトルを取得し、その値の変化を計測している。さらに、実験を行い、ユーザの主観的指標と得られるデータの比較を行った。皮膚温度に関しては、作業開始とともに温度の低下が見られたが、主観評価との相関は有意には認められなかった。脳波に関しては精神的疲労と脳波の相関が得られたと報告している。

この研究においては精神的疲労についてのみ考察を行っており、身体的な疲労については関与していない。VDT 作業において問題であるのは精神的疲労のみではなく、身体的疲労による疾患等も解決すべき問題であるため、休憩のタイミングを提示するには不十分であると考えられる。また、脳波解析装置が前頭部に着用する型であるため、VDT 作業を行ううえで支障をきたす可能性があり、労働者に負担を強いることとなる。

3.6.2 音声から眠気や疲労を検出する試みについて

人間の発する音声から疲労の検出を行う研究である。発せられた音声をサンプリングし、アトラクタの視覚的表示を行った。アトラクタとは初期値に左右されない終極の状態を指す。アトラクタの安定性はリアプノフ指数によって評価される。眠気や疲労を自覚している状態においてリアプノフ数の増大がみとめられたと報告している。

音声からの疲労検出はたいへん有用であるといえる。労働者に対しセンサ等の機器を装着する必要が無い場合、ユーザ負担を軽減できる。しかし、音声をサンプリングする必要があるため、パイロットやテレフォンアポインターなどの常時、声を発する労働に関しては有用であるが、VDT 作業のような声を発する必要のない労働環境においての運用は適切でないといえる。

3.6.3 VDT 疲労問診システムにおけるオントロジーの利用

VDT 作業者の疲労を取得するために、オントロジーを構築し、対話的に VDT 作業者の問診を行うシステムの構築を行った研究である。「VDT 疲労」を最上位概念とし、VDT 作業に特長的な症状を下位概念としたオントロジーを構築し、ユーザに質問を繰り返すことにより、そこから得ら

れる症状、病状の提示を行う。問診インターフェースとして、コミュニケーションロボットを用いている。

ロボットとの対話により、VDT 作業者の問診を行うため、センサ等を装着する必要が無く、ユーザの負担は少ないといえる。また、ロボットを用いていることにより、カウンセリングのように定期的に問診を行うのではなく、日常的に問診を行うことが可能である。しかし、ユーザ自身が自覚症状を持つ必要があるため、ユーザが無意識的に抱える問題に対処することができない。カウンセリングの問題点である部分を解決した手法であるが、ユーザからの返答という情報しか利用できないため、実際のカウンセリングよりも質の粗い問診となり、十分な労働者の支援を行うことは困難である。

3.7 まとめ

本章では、VDT 作業と生体反応の関係を精神疲労と身体疲労の観点からの説明を行った。次いで、活力レベルの概念の導入を行い、その要素について説明し、活力と自律神経系、疲労の関係についての考察を行った。次いで、行動予測の必要性について説き、行動予測についての説明を行った。最後に関連研究について述べ、その問題点についての考察を行った。

第 4 章

設計

本章において労働者の活力レベルを判定，および，活力レベルを用いた行動予測を行う KALAS の構築のための設計について述べる．まず，想定環境について述べ，ハードウェア構成，ソフトウェア構成について述べる．次いで，各モジュールについての説明を行う．

4.1 設計概要

本研究は、労働者の内的環境の状態である活力レベルの判定、および、活力レベルを用いた行動予測を行う、KALAS の構築を行う。

4.1.1 想定環境

KALAS の想定する環境として、各ユーザが生体情報センサ、位置情報センサを装着していることを想定する。また、各部屋単位に生体情報受信端末、位置情報取得端末が設置されており、インターネットなどのネットワークを通じて、KALAS サーバへセンサデータを送信できる環境を想定する。

4.1.2 ハードウェア構成

KALAS におけるハードウェア構成を以下に説明する。図 4.1 にハードウェア構成図を示す。

生体情報センサ

ユーザの心拍数、皮膚温度を取得し、KALAS サーバへ送信する。

位置情報センサ

ユーザの位置情報を取得し、KALAS サーバへ送信する

3 軸加速度センサ

X 軸、Y 軸、Z 軸の 3 軸を持ち、取得した加速度データを KALAS サーバへ送信する。

KALAS サーバ

各センサからのデータを取得し、活力レベルの判定、ユーザ状態の管理、行動推測を行う。推論により得られた結果をユーザ端末のアプリケーションへ送信する。

ユーザ端末

KALAS サーバから取得したデータによりサービスを行う。

4.1.3 ソフトウェア構成

本システムは、自律神経系解析モジュール、姿勢判定モジュール、疲労度解析モジュール、活力レベル判定モジュール、位置取得モジュール、ユーザ状態管理モジュール、行動予測モジュールから構成される。ソフトウェア構成図を図 4.2 に示す。次節以降、各モジュールの詳細について述

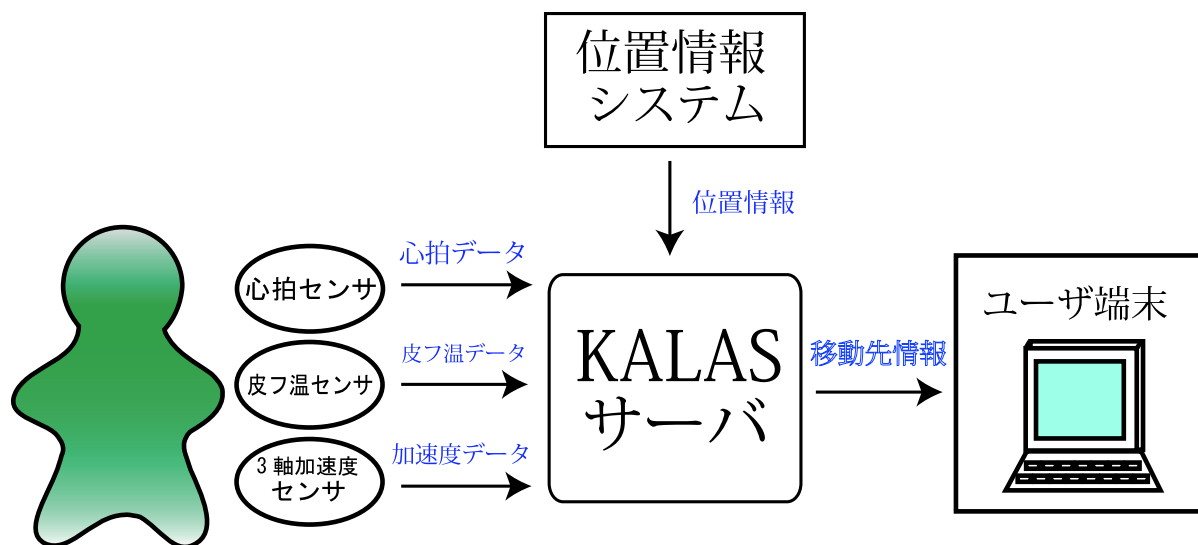


図 4.1 ハードウェア構成図

べる。

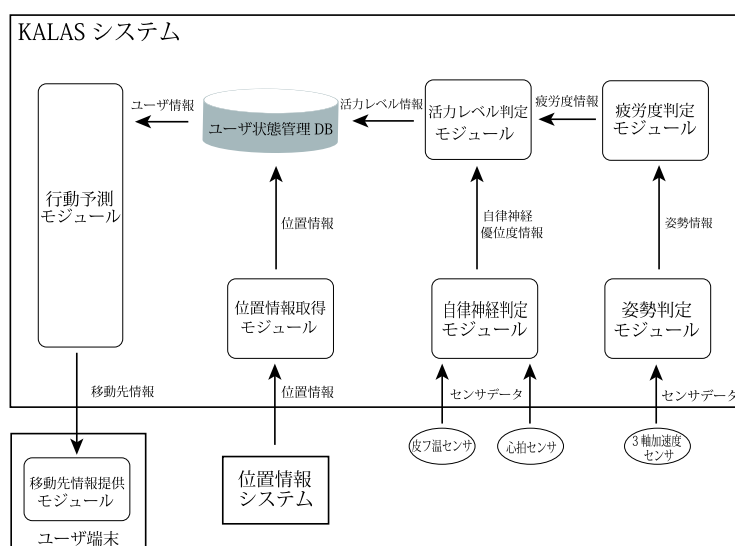


図 4.2 ソフトウェア構成図

4.2 自律神経系解析モジュール

自律神経解析モジュールはユーザの自律神経の優位度を判定するモジュールである。

心拍センサ，皮膚温センサの取得したデータを受け取り，自律神経系の判定を行う。タイムスタンプをもとに両データを同期させ，その時刻における活力レベルを算出する。算出された自律神経系優位度情報を活力レベル判定モジュールへ提供する。

4.3 姿勢解析モジュール

姿勢解析モジュールはユーザの作業中の姿勢を検出する。胸部 3 軸加速度センサから取得したデータをもとに姿勢を 6 つの姿勢モデルから選択する。検出した姿勢モデル情報を疲労度解析モジュールへ提供する。

4.4 疲労度解析モジュール

疲労度解析モジュールはユーザの疲労度の判定を行う。姿勢解析モジュールより、姿勢モデル情報を受け取り、以下の方法により作業における疲労度の算出を行う。

姿勢変化の頻度

単位時間当たりの姿勢変化回数を検出する。

回復行動の検出

短時間の間に頻繁な姿勢変化が認められた際に、伸び運動、首回し運動等の回復行動を行ったと判断する。回復行動は姿勢の分類のひとつとして判断する。

姿勢の変化頻度から算出した疲労度データを活力レベル判定モジュールへ提供する。

4.5 活力レベル判定モジュール

活力レベル判定モジュールはユーザの活力レベルを算出する。自律神経系解析モジュール、疲労度解析モジュールからそれぞれ、自律神経優位度、疲労度を受け取り、活力レベルを算出する。

得られた活力レベル情報をユーザ状態管理モジュールに提供する。

4.6 位置取得モジュール

位置取得モジュールはユーザの位置情報を取得する。位置情報受信端末が位置情報センサからのデータを取得した際に、受信端末の存在する部屋をユーザの位置として検出する。検出した位置情報をユーザ状態管理モジュールに提供する。

4.7 ユーザ状態管理モジュール

ユーザ状態管理モジュールは、活力レベル情報、位置情報を時系列的に管理を行う。位置取得モジュールよりユーザの位置情報、活力レベル判定モジュールより活力レベル情報を受け取り、時刻とともに保管する。また、ユーザの位置の変化が認められた際の位置情報とともに活力レベル、時刻を行動履歴情報として保管する。行動予測モジュールに対し行動履歴情報を提供する。

4.8 行動予測モジュール

行動予測モジュールは作業中のユーザの休憩の必要性の有無を判断する。また、休憩が必要であると判断された場合には、行動予測を行う。ユーザ状態管理モジュールより行動履歴情報を受け取り、ベイジアンネットワークのモデルにエビデンスを与え、移動先情報の推論を行う。

4.9 移動先情報提供モジュール

移動先情報提供モジュールは行動予測モジュールによって推論された移動先情報をユーザに提示する、また、他のアプリケーション等に移動先情報を提供し、休息促進等の支援を行う。

4.10 まとめ

本章では、労働者の活力レベルを判定、および、活力レベルを用いた行動予測システム KALAS の構築のための設計について述べた。ハードウェア構成とソフトウェア構成についての説明を行い、次いで、各モジュールの働きについて述べた。次章では、KALAS の実装について述べる。

第 5 章

KALAS の実装

前章では，活力レベルの測定，行動予測を行う KALAS の設計について述べた．本章では，KALAS の実装について述べる．

5.1 ハードウェアの実装

KALAS の実装環境を表 5.1 に示す．本システムにおいてプラットフォーム独立性を確保するため，JAVA 言語を用いた．

表 5.1 実装環境

項目	環境
CPU	Intel(R) Pentium(R) M (1700MHz)
Memory	512MB
OS	Windows XP Professional
JDK	Java 2 Standard Edition Version 1.6.0_03

また，本システムでは生体センサとして，RF-ECG，皮膚温度センサを使用し心拍数，3 軸加速度，皮膚温度を取得した．

RF-ECG は（株）医療電子科学研究所の開発した生体センサであり，胸部に装着することにより，心臓活動電位，3 軸加速度，温度の計測が可能である．取得データを専用 USB 受信機にワイヤレスに送信する．センサイメージを図 5.1 に示す．

皮膚温度センサは OStechonology 社の開発したセンサであり，手首部に装着し，皮膚温度を測定する．Zigbee を経由しセンサデータをワイヤレスに送信する．センサイメージを図 5.2 に示す．

位置情報取得は SPIDER IIIA システムによって行った．SPIDER IIIA システムは RF Code 社の開発したアクティブ型 RFID システムであり，タグから発信される電波をリーダによって受信する．SPIDER IIIA システムの仕様を表 5.2, 表 5.3 に示す．

表 5.2 SPIDER IIIA リーダの仕様

入力電圧	12V
電源	100V 50/60Hz
シリアル通信規格	RS-232C
シリアル通信速度	9600bps, 19200bps, 38400bps
使用環境	温度：0℃～75℃ 湿度：95% 未満
重量	約 450g
通信距離	10m 可能
サイズ	127mm × 130mm × 40mm
受信周波数	303.825MHz

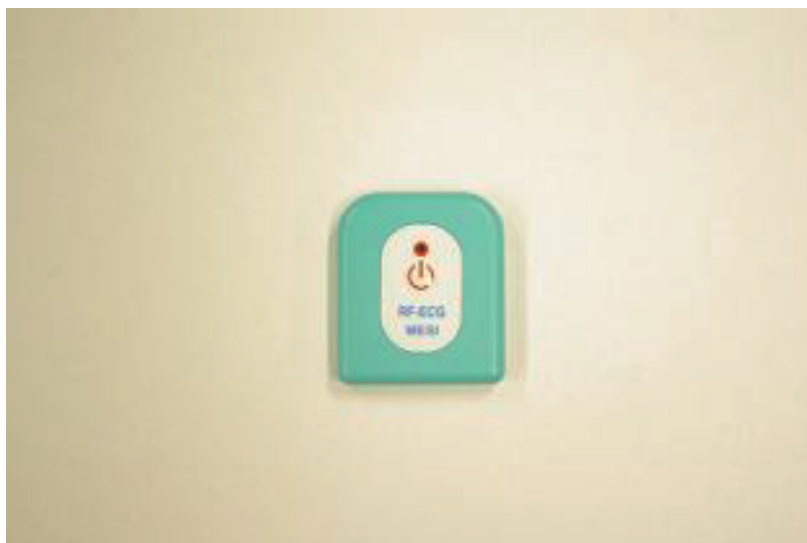


図 5.1 RF-ECG センサ

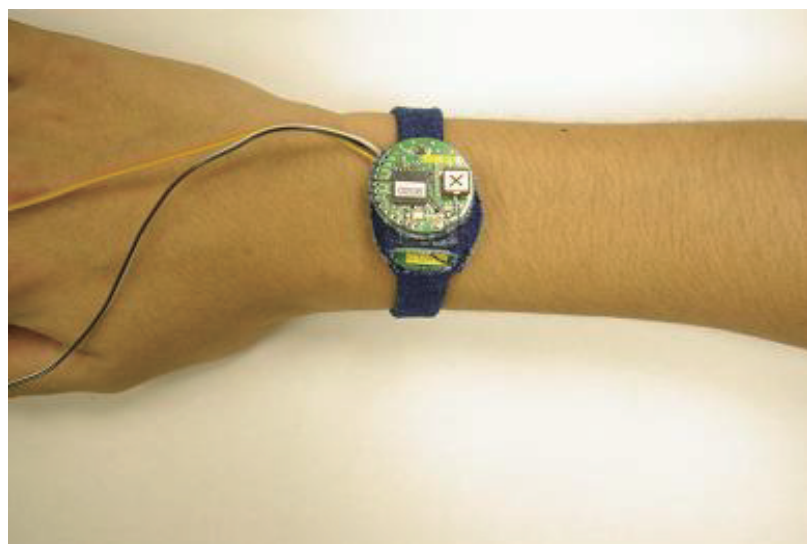


図 5.2 皮膚温度センサ

表 5.3 SPIDER IIIA タグの仕様

入力電圧	3V
仕様電池	コイン電池 CR2032
発信電波強度	微弱電波 (500 μ V/m 以下 3m 法)
使用環境	温度：0 $^{\circ}$ C $\sim$ 75 $^{\circ}$ C 湿度：95% 未満
重量	約 20g
サイズ	60mm $\times$ 30mm $\times$ 10mm
受信周波数	303.825MHz

5.2 ソフトウェアの実装

5.2.1 自律神経系解析モジュール

自律神経系解析モジュールは RF-ECG センサから心拍データ、皮膚温度センサから皮膚温度データを取得し、自律神経系の優位度を示す、AutonomicLevel を生成する。

生体センサがデータを送信する毎に CSV ファイルにセンサデータを書き出す。単位時間毎に getAutonomicsLevel メソッドが呼ばれ、AutonomicLevel を生成し、活力レベル判定モジュールへ提供する。

5.2.2 姿勢解析モジュール

姿勢判定モジュールは RF-ECG センサから 3 軸加速度データを取得し、姿勢モデルである、Posture を生成する。単位時間当たり姿勢変化回数を取得し、疲労度解析モジュールへ姿勢変化回数情報を提供する。

3 軸加速度データと姿勢モデル

以下に姿勢モデルと加速度データ対応を図 5.3, 図 5.4, 図 5.5, 図 5.6, 図 5.7, 図 5.8 に示す。図は正中型からの姿勢変化の際の加速度データの変化をあらわしている。

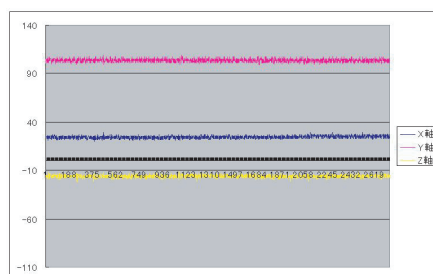


図 5.3 正中型

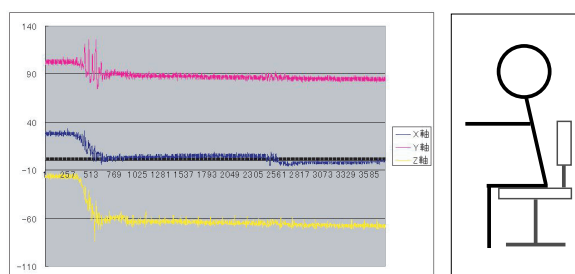


図 5.4 前重心型

5.2.3 疲労度解析モジュール

疲労度解析モジュールは姿勢解析モジュールより姿勢変化回数情報を受け取る。次いで、getChangePosture メソッドにより、5 分間当たりの姿勢変化数と回復行動回数の合計を取得し、 t_n , t_{n+1} 間と t_{n+1} , t_{n+2} 間の比較を行い、 t_{n+1} , t_{n+2} 間の姿勢変化回数が多い場合に FatigueLevel を 1 段階上げる。単位時間経過毎に FatigueLevel を活力判定モジュールに提供する。

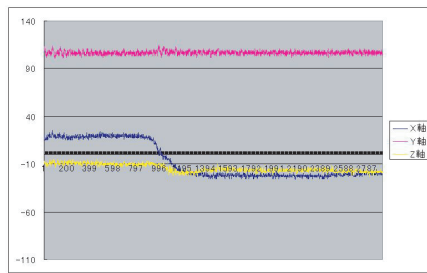


図 5.5 左重心型

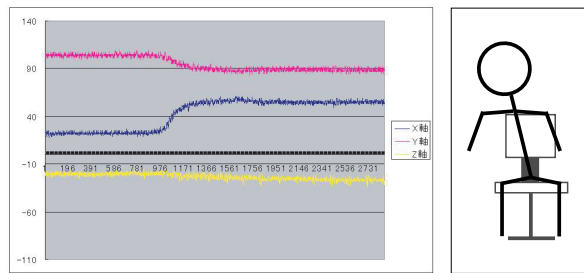


図 5.6 右重心型

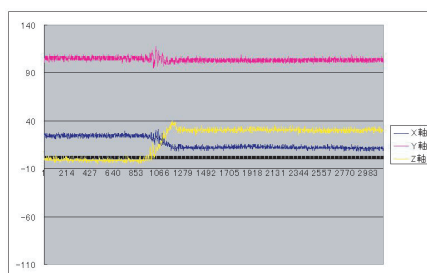


図 5.7 後重心型

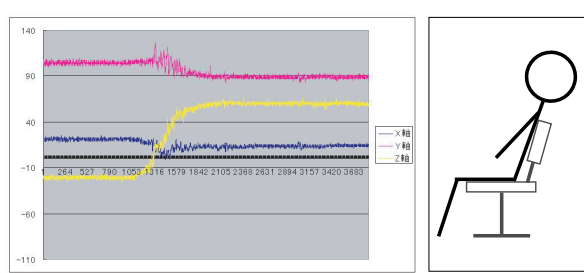


図 5.8 休息型

5.2.4 活力レベル判定モジュール

活力レベル判定モジュールは、自律神経解析モジュールと疲労度解析モジュールから得られた、AutonomicLevel, fatigueLevel から 活力レベルをあらわす、VitalLevel を生成する。getVitalLevel メソッドにより、VitalLevel を算出し、ユーザ状態管理モジュールへ提供する。

5.2.5 位置取得モジュール

位置取得モジュールは RFID リーダが RFID タグを検出した際にリーダーから位置情報を得る。得られる位置情報を時間情報とともにユーザ状態管理モジュールに提供する。

5.2.6 ユーザ状態管理モジュール

ユーザ状態管理モジュールは活力レベル判定モジュール、位置情報モジュールから取得した情報をデータベースに登録する。データベースのテーブルには、時間、位置、活力レベル、作業時間という項目を持つ。行動予測モジュールに対し時間情報、位置情報、作業時間情報、活力レベル情報を提供する。

5.2.7 行動予測モジュール

行動予測モジュールはユーザ状態管理モジュールより、時間情報、位置情報、作業時間情報、活力レベル情報を取得し、行動予測を行う。行動予測に用いるベイジアンネットワークソフトウェアとして、門田らの開発した JENGA [1] を利用する。JENGA のスクリーンショットを図 5.9 に示す。また、ベイジアンネットワークにおける推論エンジンは JAVA によってコーディングされている。生天目らの開発した JENGA フォーマット推論エンジン [3] を用いる。ベイジアンネットワークのモデルにユーザ状態管理モジュールより取得した情報をエビデンスとして与え、休息の促進の有無の推論を行う。推論の結果が真である場合、移動先推論を行う。ユーザ情報を格納するデータベースから、その時点のユーザ状態とマッチングする移動先情報を検出し、次期行動情報を生成する。得られた次期行動情報を移動先情報提供モジュールへ提供する。

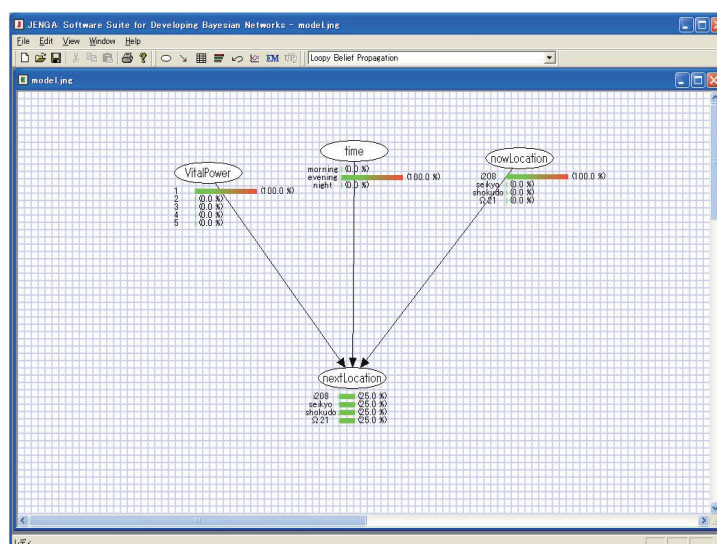


図 5.9 JENGA

5.2.8 移動先情報提供モジュール

移動先情報提供モジュールは行動予測モジュールが推論を行って得た、移動先情報を取得し、ユーザ端末上において移動先情報の表示を行う。

5.3 まとめ

本章では、生体情報を用いた活力レベルの判定，それを用いた行動予測を行う KALAS の実装について述べた。

次章では, KALAS の評価を行う.

第 6 章

評価

前章では活力レベルの判定, および, 活力レベルを用いた行動予測を行う KALAS の実装について述べた. 本章において, KALAS の評価を行う.

6.1 内的環境解析手法の評価

本節では、3章に述べた、内的環境を解析する関連研究と本研究における検出手法についての比較を行う。

6.1.1 評価方針

本研究の機能要件を満たす指針として、「問題発生から発見までの時間」、「時間、空間による制限の有無」、「ユーザに与える負担」、「無意識の問題への有効性」、「管理に必要な時間的、金銭的成本」とする。

問題発生から発見までの時間

内的環境において、問題が発生した時点から、問題を検出し、対処を開始するまでの時間に関して評価する。この時間が短いほど有用性の高い手法といえる。評価項目を「早期発見」と表現する。

時間、空間による制限

時間帯や場所に限定されるかを評価する。センサなどの受信機の受信範囲内など、システムが有効である範囲の限定が空間的制限にあたる。制限が少ないシステムほど、汎用性に長ける。評価項目を「汎用性」と表現する。

ユーザに与える負担

システムを利用する上でユーザの行動が制限される、もしくは強要されることにより受ける負担に関して評価する。これには、情報の流出など、システムを利用する上で発生しうるデメリットに対する不安など、精神的な負担も含む。負担が少ないほどユーザにとって利用しやすいシステムである。評価項目として「ユーザ負担」と表現する。

無意識の問題への有効性

ユーザの自覚を伴わない問題に対する有用性を評価する。ユーザの意識下の問題の検出とともに、ユーザの意識外の問題を検出するシステムはユーザの問題を網羅することであり、総合的なシステムであるといえる。評価項目として「無意識問題への有効性」と表現する。

管理に必要な時間的、金銭的成本

内的環境を検出するシステムを運用、管理する上で発生する、時間や労力、金銭的負担コストについて評価する。同程度の性能のシステムの場合、コストが低いシステムほど有用である。評価項目を「管理コスト」と表現する。

6.1.2 定性的評価

上記の評価指針を元に、KALAS と各内的環境検出手法の定性的評価を行う。表 6.1 に評価結果を示す。○は評価項目に対し適していることを表し、×は評価項目に適さないことを表す。また、△は条件によっては評価項目に適することを表す。

表 6.1 内的環境検出手法の評価

	早期発見	汎用性	ユーザ負担	無意識の問題への有効性	管理コスト
KALAS	○	△	△	△	○
音声を用いた検出法	○	×	○	△	○
生体情報（脳波）を用いた検出法	○	×	×	○	△
オントロジーを用いた対話手法	△	△	○	×	△

各関連研究における手法とも、適する面と適さない面を持っている。KALAS はいずれの評価項目にも適することが可能である。つまり、他の手法に比べ、総合的に優れているといえる。

6.2 KALAS における活力判定の評価

本節において KALAS のユーザ評価実験の概要、結果について述べる。

6.2.1 実験環境

作業用のパーソナルコンピュータと生体センサの受信機を設置した屋内のデスクワークを行うスペースにおいて実験を行った。本実験の被験者は、VDT 作業を日常的に行っているブラインドタッチのできる大学生 11 名である。

6.2.2 実験手順

RF-ECG センサ、皮膚温度センサを装着してもらい、各自異なる VDT 作業を行ってもらった。KALAS により休憩が促された時点（活力レベル 3）において作業を終了し、アンケートに記入してもらった。アンケートには KALAS に対する評価のほかに、今後の課題として検討すべき、休憩を促すシステムの必要性や、疲労回復方法についての項目も含めた。また、作業中において被験者が休憩したいと自覚した際にはその旨を口頭にて伝えてもらった。実験に用いたアンケート項目を以下に示す。

1. 生体センサを装着することに抵抗を感じましたか。
2. 休憩を促すタイミングは適切でしたか。

3. 休憩を促された際に、それに応じようと思いましたが。（はい・いいえ）
4. 現在の自身の活力を評価してください。
5. KALAS の判定した活力レベルの遷移と自覚した活力を比較してください。
6. 適したタイミングに休憩を促すシステムある場合利用したいですか。
7. 作業に集中している際に休憩を促された場合それに応じますか。（はい・いいえ）（理由）
8. VDT 作業で疲労を感じたときどのような回復行動をとりますか。（自由形式）
9. KALAS を利用した感想，コメント等ありましたらお書きください。（自由形式）

注釈がついている設問以外はすべて 5 段階評価である。設問 1 から設問 5，設問 9 は KALAS に関する評価であり，その他の設問は今後の課題を検討するための設問となっている。

6.2.3 実験結果および考察

本節では，実験結果をまとめるとともに，得られた結果に基づき，考察を行う。評価指標として以下の 3 つを設定する。

- ユーザに与える負担
- 活力レベルの有用性
- 休憩促進の有用性

ユーザに与える負担

表 6.2 評価結果 設問 1 生体センサを装着することに抵抗を感じましたか。

	とても感じた	やや感じた	どちらでもない	あまり感じない	全く感じない
人数	3	4	1	3	0

技術の発達と共に，生体センサは小型が進んでいるが，ユーザのセンサ装着に対する抵抗感は払拭されていないといえる。しかし，「装着してみても違和感がない」との意見もあった。抵抗感の中でもセンサの着脱に対する抵抗感が大きいと考えられ，センサ装着の容易さを追求する必要があるといえる。

活力レベルの有用性

表 6.3 評価結果 設問 2 休憩を促すタイミングは適切でしたか。

	とても適切	やや適切	どちらでもない	あまり適切でない	全く適切でない
人数	2	7	1	1	0

表 6.4 評価結果 設問3 休憩を促された際に、それに応じようと思いましたが、

	はい	いいえ
人数	11	0

表 6.5 評価結果 設問4 現在の自身の活力を評価してください。

	1	2	3	4	5
人数	1	4	3	3	0

表 6.6 評価結果 設問5 KALAS の判定した活力レベルの遷移と自覚した活力を比較してください。

	とても一致する	やや一致する	どちらでもない	あまり一致しない	全く一致しない
人数	3	8	0	0	0

実験において活力レベルが3に至るまでの平均時間は、20分33秒であった。また、11名中6名がKALASの休憩促進の前に疲労の自覚を訴えた。その後のKALASによる休憩促進との時間の誤差平均は3分27秒であった。被験者数が少ないものの、休憩を促す際における活力レベルの利用の有用性を示すことができた。

休憩促進の有用性

表 6.7 評価結果 設問6 適したタイミングに休憩を促すシステムある場合利用したいですか。

	はい	いいえ
人数	8	3

表 6.8 評価結果 作業に集中している際に休憩を促された場合それに応じますか。

	はい	いいえ
人数	0	11

適したタイミングにおける休憩促進システムは有用であるが、適したタイミングという定義が難しいといえる。アンケート結果にあるように、休憩を促すシステムは必要とされているが、集中した状態においては休憩促進に応じることは少ない。活力レベルの利用のみでは、ユーザにとって適した休憩のタイミングを検出することは困難である。ユーザにとって休憩を取りたいと感じる状況や状態とともに、集中力や責任、他者との関係など、休憩を取るによって発生するデメリットについての考察も必要とされる。

6.3 活力レベルを用いた行動予測の精度評価

本節において、KALAS における行動予測の精度評価の実験とその概要について述べる。

6.3.1 実験環境

作業スペースとして、パーソナルコンピュータと生体センサの受信機を設置した屋内のデスクワークスペース、休憩スペースとして、飲食店 A、飲食店 B、コンビニエンスストア C、購買部 D、談話スペース E、屋外スペース F において実験を行った。本実験の被験者は大学生 1 名である。

6.3.2 実験手順

休憩開始時の日時、作業時間、活力レベル、移動先を行動履歴として 1 週間の学習を行った。その上で、休憩開始時に 2 通りの移動先の推論を行った。ひとつは学習したすべての要素を用いた推論であり、他方は活力レベル以外の要素を用いた推論である。実際に被験者が移動した場所を正答とし、それぞれが推論した結果の正答率を求めた。試行は全部で 10 回行った。

6.3.3 実験結果および考察

表 6.9 に実験における各推論方法の正答率とその結果を示す

表 6.9 行動予測精度評価実験における結果

	正答率	1 回目	2 回目	3 回目	4 回目	5 回目	6 回目	7 回目	8 回目	9 回目	10 回目
活力レベルを用いた推論	6/10	×	○	○	○	○	×	○	×	×	○
活力レベルを用いない推論	4/10	○	×	×	○	×	×	○	×	×	○

正答率は、活力レベルを用いた推論が活力レベルを用いない推論を上回る結果となった。また、活力レベルを用いた推論は、活力レベルを用いない推論においての誤答であった 3 回の試行において正答を推論した。逆に、活力レベルを用いない推論においての正答であった 1 回の試行において誤答を推論した。

推論に利用する要素が少ないため、活力レベルを用いた場合においても、行動予測における高い精度は得られなかった。KALAS としては、行動予測の精度向上が課題となる。しかし、活力レベルを用いることにより推論精度は上昇しており、結果として、行動予測における活力レベルの利用による精度向上の可能性を示すことができた。

6.4 まとめ

本章では，KALAS の定性的評価を行った．また，KALAS を実際に利用し，活力レベル判定におけるユーザ評価，行動予測の精度評価を行い，KALAS の有用性を検証した．次章では，本研究の今後の展望と課題について論じ，最後にまとめる．

第 7 章

結論

本研究では，生体情報を用い，労働者の活力レベルの判定を行い，それを用いた行動予測を行う KALAS の設計，実装を行った．本章において，本研究の今後の展望と今後の課題を示し，最後に本論文をまとめる．

7.1 今後の展望

本節において、KALAS における今後の展望について述べる。

7.1.1 アプリケーションの充実

本システムを拡張していくために、活力レベルを用いたアプリケーションの充実させる必要がある。具体例として、以下のようなアプリケーションが考えられる。

移動先情報提供アプリケーション

推論された移動先の情報を取得することにより、ユーザの休息を促進する。例えば、移動先が飲食店である場合は、メニュー情報やクーポン券の取得、また、お店の混雑状況などの提示を行う。また、他のユーザの位置情報を取得することにより、予測移動先にいる知人等の情報を提示することができ、意思決定の支援を行う。

7.1.2 活力レベルの活用

本システムでは、VDT 作業中における活力レベルを行動予測の要素として利用した。活力レベルはユーザの活動を起こそうとするエネルギーであるため、活力レベルを用いたアプリケーションを構築することで、新たなサービス展開が可能となる。例えば、活力レベルに応じた、音楽プレイリストの自動生成、外出先のレコメンドなど、ユーザの内的環境を考慮したアプリケーションが挙げられる。活力レベルは一般的に浸透した概念ではないため、さまざまな場面において活力レベルを利用することにより、活力レベルの有用性を検証する必要がある。

7.2 今後の課題

本研究では生体情報を用いることにより、労働者の活力レベルを判定し、活力レベルを用いた行動予測を行う、KALAS を構築した。KALAS の今後の課題について述べる。

7.2.1 センサの与える負担

本システムでは、ユーザは生体センサを装着する必要がある。センサ技術の発達により、センサの規格は小型化しているが、ユーザへの負担は解消できていない。ユーザが負担無く、本システムを利用することができるよう、センサの使用法についての考察を行う必要がある。今後有効な手法として、センサの環境側への移行や日用品などに埋め込むことによりセンサとしての主張を減少させる手法が考えられる。

7.2.2 プライバシーの確保

本システムは、生体情報、位置情報の取得を行った。位置情報は当然のことながら、生体情報も個人情報である。生体情報が流出し解析されることにより、精神状態などが外部に漏れる可能性がある。そのため、生体情報の取り扱う際のセキュリティの確保が必要となる。

7.2.3 行動推測の性能向上

KALAS における行動予測の精度は満足のいくものではなかった。今後、推論を行う際に有用となる要素を増やすことにより行動予測の精度を向上させることが課題となる。精度向上を達成した上で、活力レベル利用による行動予測の有用性を示す必要がある。

7.3 まとめ

本論文では、活力レベルを測定し、活力レベルを用いた行動推測を行う KALAS の設計、実装を行った。VDT 作業の増加により長大化した労働者の負担を軽減するために、VDT 作業環境、特に内的環境の改善が必要とされていたが、既存の手法では労働者の内的環境を十分に改善することはできなかった。本研究では、労働者の内部状態をあらわす指針として活力レベルの提案を行った。活力レベルを生体情報を用いて判定し、休憩促進を行うことで、リアルタイムな行動支援を行うシステム、KALAS を実装した。さらに、KALAS の定性的評価を行うとともに、ユーザ評価実験、精度評価実験を行った。実験により検証、考察を行うことにより、労働者の内的環境の改善における活力レベルの利用の有用性を示した。

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に深く感謝致します。

慶應義塾大学徳田・村井・楠本・中村・高汐・重近・湧川・バンミータ合同研究会の先輩方には、折にふれ貴重な指導と助言をいただきました。特に徳田研究室の先生方や先輩方、HORN, KMSF 研究グループの方々に深く感謝いたします。また、慶應義塾大学政策・メディア研究科博士課程の青木俊氏、同政策・メディア研究科博士課程の米澤拓郎氏、同政策・メディア研究科修士課程2年の徳田英隼氏、同政策・メディア研究科修士課程1年の川添瑞木氏には、論文執筆にあたり励ましとご指導いただきました。ここに深い感謝の念を表します。

最後に、研究の日々を共にした、橋爪克弥氏、伊藤友隆氏、河田恭兵氏、生天目直哉氏、徳田義幸氏、山本純平氏、その他の友人、そして、研究生活を支えてくれた家族に深く感謝し、謝辞と致します。

2008年2月7日

角田 龍二

参考文献

- [1] Masaya Kadota. 確率を用いた適応的なコンテキスト解釈系に関する研究, 2004.
- [2] Yuji Maeda, Eiju Kimura, and Takumi Watanabe. Development of teleworking support system considering tsunagari. 2002.
- [3] Naoya Namatame, 2007.
- [4] Kakuichi Shiomi and Shohzo HIROSE. Fatigue and drowsiness predictor for pilots and air traffic controllers. 2000.
- [5] 大向一輝, 武田英明, 三木光範. 多様かつ曖昧な個人タスクのための管理システムの提案と実装. 電気情報通信学会論文誌, 2002.
- [6] 岩切一幸, 毛利一平, 外山みどり, 野瀬かおり, 落合孝則, 城内博, 斉藤進. フリーアドレス形式オフィスレイアウトでの vdt 作業者の姿勢および身体的疲労感. 産業衛生学雑誌, Vol. 48, No. 1, pp. 7-14, 2006.
- [7] 遠田敦, 横田善夫, 岡正俊, 石川弘二, 生原悟, 林田和人, 渡辺仁史. 身体情報別に見た vdt 作業時の着座姿勢に関する研究. 大会学術講演梗概集, 2004.
- [8] 卓宮地, 和彦内田, 丈詞藤崎, 百合子八谷, 里江吉川, 裕姫宋, 進織田, 晃爾森, 晴俊大貝. H109 生体情報による vdt(visual display terminals) 作業時の疲労評価 (第 2 報). 産業衛生学雑誌, Vol. 47, p. 429, 20050400.
- [9] 清水健, 國藤進. 個人作業状況ウェアネス提供システムの構築とその効果に関する研究. 2005.
- [10] 貴文後藤, 弘毅松浦, 健一郎村本. 心拍変動解析による自律神経機能の推定. 電子情報通信学会技術研究報告. MBE, ME とバイオサイバネティックス, Vol. 102, No. 507, pp. 13-16, 20021206.
- [11] 厚生労働省. 平成 10 年技術革新と労働に関する実態調査結果. 1998.
- [12] 厚生労働省. 平成 15 年技術革新と労働に関する実態調査結果. 2003.
- [13] 井垣宏, 阪井誠, 飯田元, 松本健一. 気の利いた処理を行う秘書エージェントシステム. 電子情報通信学会技術研究報告. SS, ソフトウェアサイエンス, Vol. 101, No. 240, pp. 41-47, 20010723.
- [14] 岩月宏泰, 岩月順子. 等尺性掌握運動時における sympathetic skin response(ssr) の変化. 理学療法科学, Vol. 11, No. 1, pp. 39-42, 1996.

- [15] 宮尾克. 疲れをためないパソコン作業. 2005.
- [16] 繁榊算男, 植野真臣, 本村陽一. ベイジアンネットワーク概説. 培風館, 2006.
- [17] 高村昇, 青柳潔, 白水重憲, 豊村広平, 片山宗哲, 山下俊一. 姿勢・体動・皮膚温度測定による睡眠と生活行動モニタリング. IT ヘルスケア, Vol. 1, No. 1, pp. 14–23, 2005.
- [18] 松崎知成. 生体情報を用いた疲労検出の研究. 2006.
- [19] 丹羽展男. 1-5 dfd を使った効果的なスケジュール管理. プロジェクトマネジメント学会研究発表大会予稿集, Vol. 2001, pp. 19–24, 20010911.
- [20] 西篠富美代. 姿勢と動作. 理学療法科学, Vol. 10, No. 3.
- [21] 長谷川裕紀, 陳野悠人, 小山哲平, 小島圭太, 魚住超. Vdt 疲労問診システムにおけるオントロジーの利用. 2006.
- [22] 川口良典, 小澤卓也. 一般道における長時間運転とドライバーの運転疲労との関係.