

平成10年度

人間感覚計測応用技術の研究開発
委託研究成果報告書

第Ⅰ編

概 要 編

平成11年3月

新エネルギー・産業技術総合開発機構
社団法人 人間生活工学研究センター



010013337-0

第 I 編 概要編 目 次

第1章	概 要	1
1	まえがき	4
2	研究開発の基本計画	4
3	第Ⅱ期研究開発目標	4
4	研究開発体制	5
5	平成10年度の研究開発の概要	6
	人間感覚計測応用技術第Ⅱ期運営体制	10
	各種委員会の構成	11
第2章	疲労・覚醒の生理的複合影響に関する指標体系の開発（宮前研究室）	17
1	研究開発目標	19
2	研究開発成果の概要	20
	カラーページの説明	24
	宮前研究室の研究概要（カラーページ）	25
第3章	高次の心理感覚の言語による計測とその応用に関する研究開発（川崎研究室）	27
1	研究開発目標	29
2	研究開発成果の概要	30
	カラーページの説明	34
	川崎研究室研究室の研究概要（カラーページ）	35
第4章	繊維製品の質感評価技術の研究開発（大津研究室）	37
1	研究開発目標	39
2	研究開発成果の概要	39
	カラーページの説明	44
	大津研究室の研究概要（カラーページ）	45
第5章	騒音の長時間曝露環境の評価（新橋研究室）	47
1	研究開発目標	49
2	研究成果の概要	49
	カラーページの説明	54
	新橋研究室研究室の研究概要（カラーページ）	55
第6章	衣料製品における圧感覚適合性の指標化技術の研究開発（吉祥院研究室）	57
1	研究開発目標	59
2	研究開発成果の概要	60
	カラーページの説明	64
	吉祥院研究室の研究概要（カラーページ）	65
第7章	VDT作業にともなう疲労の指標化技術の研究開発（つくば研究室）	67
1	研究開発目標	69
2	研究開発成果の概要	70
	カラーページの説明	74
	つくば研究室の研究概要（カラーページ）	75
第8章	酸素濃度による疲労の指標化の研究開発（浜北研究室）	77
1	研究開発目標	79
2	研究開発成果の概要	80
	カラーページの説明	84
	浜北研究室の研究概要（カラーページ）	85
第9章	短期変動覚醒度の指標応用技術の研究開発（神奈川研究室）	87
1	研究開発目標	89
2	研究開発成果の概要	90
	カラーページの説明	94
	神奈川研究室の研究概要（カラーページ）	95
第10章	オフィス空間の視環境設計支援技術の研究開発（越中島研究室）	97
1	研究開発目標	99
2	研究開発成果の概要	100
	カラーページの説明	107
	越中島研究室の研究概要（カラーページ）	109
第11章	座位姿勢の振動感覚適合性の指標化技術の研究開発（横須賀研究室A）	111
1	研究開発目標	113
2	研究開発成果の概要	114
	カラーページの説明	116
	横須賀研究室Aの研究概要（カラーページ）	117

第12章	衣服の設計指針（堅田研究室）	1 1 9
1	研究開発目標	1 2 1
2	研究開発成果の概要	1 2 3
	カラーページの説明	1 2 6
	堅田研究室の研究概要（カラーページ）	1 2 7
第13章	座位姿勢の形態・操作適合性の指標化技術の研究開発（横須賀研究室B）	1 2 9
1	研究開発目標	1 3 1
2	研究開発成果の概要	1 3 2
	カラーページの説明	1 3 6
	横須賀研究室Bの研究概要（カラーページ）	1 3 7
第14章	身体接触感覚指標化技術の研究開発（平塚研究室）	1 3 9
1	研究開発目標	1 4 1
2	研究開発成果の概要	1 4 2
	カラーページの説明	1 4 6
	平塚研究室の研究概要（カラーページ）	1 4 7
第15章	人間感覚計測データの共有化・共通化の研究開発（中央研究室）	1 4 9
1	研究開発目標	1 5 1
2	研究開発成果の概要	1 5 2
	カラーページの説明	1 5 6
	中央研究室の研究概要（カラーページ）	1 5 7
第16章	研究開発調整・管理	1 5 9
1	研究開発調整・管理	1 6 1
2	技術調査	1 6 1

第 1 章 概 要

第 1 章 概 要

The Human Sensory Measurement Application Technology (HSMAT) project has been started from 1990. HSMAT is a part of the Industrial Science and Technology Frontier Program commissioned by Agency of Industrial Science and Technology of the Ministry of International Trade and Industry (MITI). The purpose of this project is to develop human friendly consumer products which reflect human sensations and to create less stressful living and working environments.

The project started the second stage from 1995. The primary goals of the second stage of HSMAT are, using human sensory measurement technologies developed during the first stage, to establish technologies for the development of human sensory indices which can be used to evaluate consumer products and environments and application technologies capable of incorporating human sensory indices into design of consumer products or environments.

In the second stage, following technologies are developed,

1)Technology for development of the human sensory indices;

- Indices for measuring stress, fatigue, arousal
- Indices for measuring environmental adaptability
- Indices for measuring products adaptability

2)Practical applications of human sensory indices;

- Development of case studies which utilize the indices for physiology, and product and environmental adaptability.
- Development of simulators and human sensory models for the evaluation of products and environments.

1. まえがき

本報告書は、通商産業省工業技術院の産業科学技術研究開発制度により実施されている「人間感覚計測応用技術」プロジェクトにおいて、(社)人間生活工学研究センタが新エネルギー・産業技術総合開発機構の委託を受けて実施した平成10年度における研究開発の成果をまとめたものである。

報告書は研究開発成果の詳細について記述された本論及びこれらを簡潔にまとめた概要編から構成されている。本報告書は、この内の概要編について記述したものである。

本研究費は、政府予算一般会計の中小企業対策費によって実施されている。本報告書にまとめられている研究開発内容は(社)人間生活工学研究センタ及びそれと協力関係にある12企業及び2大学の研究室とともに実施したものである。本研究開発は、この他に特別会計電源開発費によっても実施され、予算区分は全く別項目であるが、同じく(社)人間生活工学研究センタが受託し、両者の研究開発は一体として実施されている。このため、特別会計による研究成果については別途報告書が作成されているが、総体的部分については、両者を一体として扱っている。

2. 研究開発の基本計画

本プロジェクトは平成2年年度より開始され、平成6年度までを第Ⅰ期とし、平成6年度末の中間評価の結果を受け、当平成7年度より第Ⅱ期に入ることとなった。第Ⅰ期では、種々の人間感覚情報をとらえるための計測技術の開発が主に行われ、第Ⅱ期では、これら計測技術を基礎とし、人間の生理的諸負担、環境や製品が人間に与える影響などを計測・評価するための「ものさし」の構成を目指した技術開発を行っている。第Ⅱ期は平成7年度から平成10年度までの4年間で予定している。

第Ⅱ期における研究開発計画は、①人間生活にとって重要な、健康・安全及び快適・利便のための「ものさし」づくりを目的とした人間感覚指標化技術、②これら指標化技術を具体的製品や職場・居住環境などの事例に適用してその有効性を検討する応用事例研究、③人間に代わって快適性や適合性を定量的・客観的に計測・評価する評価シミュレータ技術、④指標化に際して得られた様々な人間感覚データを集成した人間感覚データベースモデル等の開発を行う。これらの技術開発を通して人間感覚指標の体系化を図り、最終的には、a)優しさの指標化技術と評価機器の開発、b)環境・製品設計支援技術、c)人間感覚計測マニュアル、d)人間感覚データベース等の成果が期待される。

3. 第Ⅱ期研究開発目標

第Ⅱ期における研究開発では大きく、人間感覚指標化技術及び人間感覚指標応用技術の開発を行う。

3. 1 人間感覚指標化技術

第Ⅰ期で開発した人間感覚計測技術の高度化、体系化を行うとともに、それらを用いて、各種環境や製品が人間に及ぼすの生理的影響を指標化する技術(生理評価技術)、各種環境や製品と人間の適合性を快適性、親和性、操作性の面から指標化する技術(環境・製品適合性指標)の研究開発、さらに、それらの指標化技術に基づく評価システム技術の開発を行う。

3. 2 人間感覚指標応用技術

各種生理評価指標及び環境・製品適合性指標を応用して、具体的な職場環境や生活用品の設計に反映させる指標応用事例研究、さらに、評価シミュレータや人間感覚データベースモデル等人間に代わって環境や製品を評価することのできる指標応用技術の研究開発を行う。

4. 研究開発体制

第Ⅱ期の研究開発を進めるにあたっては、以下の3項目の基本思想に基づく研究開発体制を確立し、この体制・組織による研究運営を図ることとした。

4. 1 共同研究体制の推進

第Ⅱ期研究では、前述のように、生理評価指標、環境・製品適合性指標の構成を行う。このためには第Ⅰ期に開発された諸計測技術を多面的・多角的に活用する必要から、それぞれの計測技術の開発主体が相互に協力し、開発技術間の有機的連携を図るための共同研究体制の積極的推進を行うこととした。

こうした共同研究体制を保持することにより、研究における実験条件の統一化、状況設定の共有化が図られ、全研究室が共同目的・目標のもとで指標化を行うことを可能にする。

4. 2 プロジェクトトリム制の導入

第Ⅱ期においては、上記共同研究の推進に加え、プロジェクト全体の求心的な活動を図ることを目的に、プロジェクト全体を統率するプロジェクトを設置し、このプロジェクトトリムのもと、全体を、生理、環境、製品の3つの研究グループに集約し、さらに、それぞれのグループにはストレス、疲労・覚醒、視環境、音・振動環境、温熱環境、形態・動態、操作性の7つのサブグループで構成する体制をとることとした。各グループ及びサブグループにはそれぞれグループリーダー、サブグループリーダーを置き、彼らはプロジェクトトリム指導のもとそれぞれのグループを掌握し、研究の統一を図る役割を担う。

また、従来、民間研究室からは独立に研究を進めてきた、国立研究所も、このプロジェクトトリムの統率下に入り、本プロジェクトに参加する全研究者が一体となって研究の推進を行う体制を作り上げている。

4. 3 大学等との連携の強化

本プロジェクトが対象とする、人間分野の研究領域は未だ未知の部分が多く、基礎的・基盤的研究が必要とされる。こうした基礎的分野は従来より大学等にも多くの蓄積がなされており、これら基礎技術と民間企業の開発力とを積極的に融合することにより研究のより効率的な運用を図ることとした。

5. 平成10年度の研究開発の概要

5. 1 人間感覚指標化技術の研究開発

作業における疲労等が生理感覚の及ぼす影響を評価する技術（生理感覚指標化技術）及び環境・製品を人間との適合性、親和性等の面から評価する技術（環境・製品適合性指標化技術）を開発するため、人間感覚の計測実験による蓄積・評価とそれに基づく諸指標の改良を行い、指標の最終形を作り上げる。これらを通して、生理感覚指標化技術、環境・製品適合性指標化技術を完成させた。

（a）生理感覚指標化技術

- ・座位作業または移動を伴う立位作業中の人間の生理的指標の継続的変化を連続計測評価し、時間とともに変化する疲労・覚醒状態を指標化する指標体系の確立を目標に、代表的な作業態様、とりわけ眠気や精神的緊張が強い座位作業などでの解析結果に基づき、疲労・覚醒状態の生理的複合影響の指標化体系を提案した。また、他研究室との協力のもと、疲労・覚醒状態の複合影響指標の計測・評価システムのマニュアル化による標準化と基本データのデータベース化を図った。

（b）環境適合性指標化技術

- ・モノや空間のデザインの印象について、自由申告をベースにした「印象の計測」の“標準的な”手法の開発と電子辞書を含む支援プログラムを完成した。また、モノのデザインの仕様・特徴から印象を、逆に、印象から仕様・特徴を推定できる“構造的な”「印象のモデル」を構築する方法論を構築し、デザイン支援プログラムとして具体化した。
- ・繊維製品の視覚的質感指標を確立するため、生地表面の色柄などの特徴を1/fゆらぎ特性として計測・解析するシステムを完成させるとともに、各種カーテンに対して、視覚的心理生理量（ラムダ反応）と視覚的心理量、生地物理量との関係から指標化する視覚的質感指標（質感式）を完成させた。併せて、生地物理量（KES風合）、触覚的心理量（主観量）との関係で繊維製品（婦人衣料用生地）に対する触覚的質感指標（質感式）を完成させた。
- ・人間の心理的な反応である音に対する慣れ(Habituation)と疲労感に注目し、人間の居住・職場環境での暴露音に関し、レベル、周波数特性、時間パターンのそれぞれをパラメータとした時の音に対する慣れ、疲労感に係る指標式を完成させた。また、暴露音が人間に与える妨害感と慣れの関係の定式化を行った。さらに、これら評価指を応用事例研究にて検証した。

（c）製品適合性指標化技術

- ・衣料製品における圧感覚適合性の指標化を目標に、下半身衣料での締め付け圧と着用感との関係を実験的に検証し、衣服の圧感覚適合性評価指標を完成させた。また、これを組み込んだ実用型適合性評価システム(衣服の圧バランス適合性評価システム)を完成させるとともに、これらの評価指標、データ、計測マニュアル及び、実用型適合性評価システムの使用マニュアルを形態・動態適合性プラットフォームシステムに組み込み体系化した。

5. 2 人間感覚指標応用技術の研究開発

- ・生理感覚指標及び環境・製品適合性指標を応用して、生活製品や居住・職場環境の設計に反映させるデータを得ることを目的に、応用事例研究を拡充し新たなデータの蓄積を図った。併せて、これまでに蓄積した人間感覚データの収納・利用のためのデータベースモデル及び人間の温熱感覚が合理的に推定可能な発汗マネキンを完成させた。更に、これらの技術の普及のための人間感覚計測マニュアルを編纂した。

(a) 生理感覚指標化技術

- ・ストレスの共通主観評価手法の開発として、一過性ストレス共通主観評価手法を応用事例の場合などで検証するとともに、関西学院大学との共同研究により、フィールド状況下でのストレス関連刺激を用いた実験を行うことにより、脳波を用いたストレスの評価手法を確立した。
- ・疲労指標化基盤技術の高度化の研究開発についてVDT作業時の姿勢拘束による筋労に係る指標を、作業時の筋電位計測（平均周波数、筋線維伝導速度、積分筋電図）実験を行い、主観、行動と合わせ指標式を完成させた。また、VDT作業時の視覚疲労の指標化として、検索修正作業時の視覚特性計測（焦点調節、瞳孔径、眼球運動）実験を行い、主観、行動と合わせ指標化した。さらに、疲労・覚醒SGにおける協力研究として、筋疲労および視覚疲労の計測マニュアルの完成と、データベースを構築するとともに、応用事例研究でのVDT作業時の疲労蓄積、入浴や休息を通しての回復状態の評価に応用を図った。
- ・酸素濃度による疲労の指標化の研究では、VDT作業・監視作業における疲労状態を非侵襲体内酸素濃度計測装置により酸素濃度を指標として実現するため、前年度までに定式化された酸素濃度による疲労の指標式を、共通実験条件、共通タスクを用いた実験に適用し指標の妥当性の評価、適用範囲を明確化を行い指標化を完成した。また、疲労覚醒SGの協力研究として、各生理量に対する計測実験方法、計測データの解析方法の標準化および計測マニュアルの作成を行った。さらに、計測した各生理データのデータベース化を行った。
- ・短期変動覚醒の指標化に関して、作業中における人間の短期に変動する覚醒度を高精度に生理信号を用いて計測評価できる指標の開発、安全面から作業や環境を評価する指標応用の有効性の検証を目標として、行動能力を反映した反応時間を目的変数とし、複数点の脳波信号を説明変数として推定する指標式の定式化を完成した。また、この研究を通じて短期変動覚醒度に影響する被験者特性及び環境特性に関するデータベース・プロトモデルを開発した。さらに、応用事例研究について、関連研究室と協力して、短期変動覚醒度と基礎覚醒度の同時計測実験を実施し、基礎覚醒度の影響の検討を行うとともに、疲労・覚醒サブグループで作成している、タスクマップの高精度化に協力した。

(b) 環境適合性指標化技術

- ・ オフィス空間の環境設計支援技術として、オフィス空間等の視環境適合性指標の定式化を含め、居住空間における環境総合指標化技術の確立を目標に、応用事例研究による環境総合指標の検証、視環境統合指標の検証、視環境設計支援技術の確立を行った。応用事例研究における環境総合指標の検証では、環境G協力研究として、視、音、熱の3要因が複合した条件下での被験者実験を通して物理値と主観値との対応から環境総合指標式を完成させた。また、視環境統合指標の検証では、視環境SG協力研究として、オフィスにおける視環境統合指標の定式化を図った。さらに、視環境設計支援技術の確立では、ファジィ手法による交互作用を考慮した主観評価法、反復測定分散分析法による主観評価法を確立した。
- ・ 着衣状況での衣服内気候評価を行う発汗マネキンを完成させるとともに、衣服内気候評価指標を得るための被験者実験を行い、マネキンソフトウェア等の改良を実施するとともに、けいはんなでの応用事例実験において、寝具へのマネキンの適用を試み、衣服内気候だけではなく、寝具内気候評価にも本マネキンが有効な手段として利用可能であることを実証した。

(c) 製品適合性指標化技術

- ・ 長時間座位姿勢実験により主観評価と姿勢等の同時計測・解析のデータと追加実験等から姿勢形態適合性の指標式の定式化と実用型姿勢計測評価システムを完成した。また、座位負荷推定モデルを完成させ、追加の操作負荷解析実験により操作適合性指標の定式化を行った。さらに、日常の姿勢違いに対する振動感覚感度と部位別加振による振動感覚感度を基準化し、指標式として定式化した。応用事例研究として実用型姿勢計測評価システムを実験場（けいはんな）へ持ち込み、システムの妥当性検証を行った。加えて、形態動態SGにおける協力研究として、形態動態適合性プラットフォームに座位負荷推定モデルと形態・操作適合性指標化技術の知見を組み込み、プラットフォーム機能の体系化を図った。
- ・ 身体接触感覚について、歩き心地計測実用システムのプロトタイプを改良し、実用的使用に耐えうる装置として完成させるとともに、性能確認のための被験者実験を行い結果を同システムのソフトに反映して操作性の改良を行った。また、寝心地指標化技術として、寝姿勢での体圧分布等を入力変数とする指標式の定式化を完成させるとともに、寝姿勢評価実用システムの操作性を含めたソフトの改善を行いシステムを完成した。さらに、形態・動態SGの協力研究として、形態・動態適合性プラットフォームへの指標の組み込みを行うとともに、応用事例研究として、堅田研究室と共同で、被験者と発汗マネキンの体圧分布の整合をはかり寝床内気候における評価を行った。
- ・ 動態特性の計測・指標化技術に関して、形態・動態適合性評価のためのプラットフォームシステムに、形態・動態サブグループ内の他研究室の指標や生命工学工業技術研究所との共同研究による負荷評価データの組み込みを行い、形態・動態適合性評価システムの最終版を完成させた。

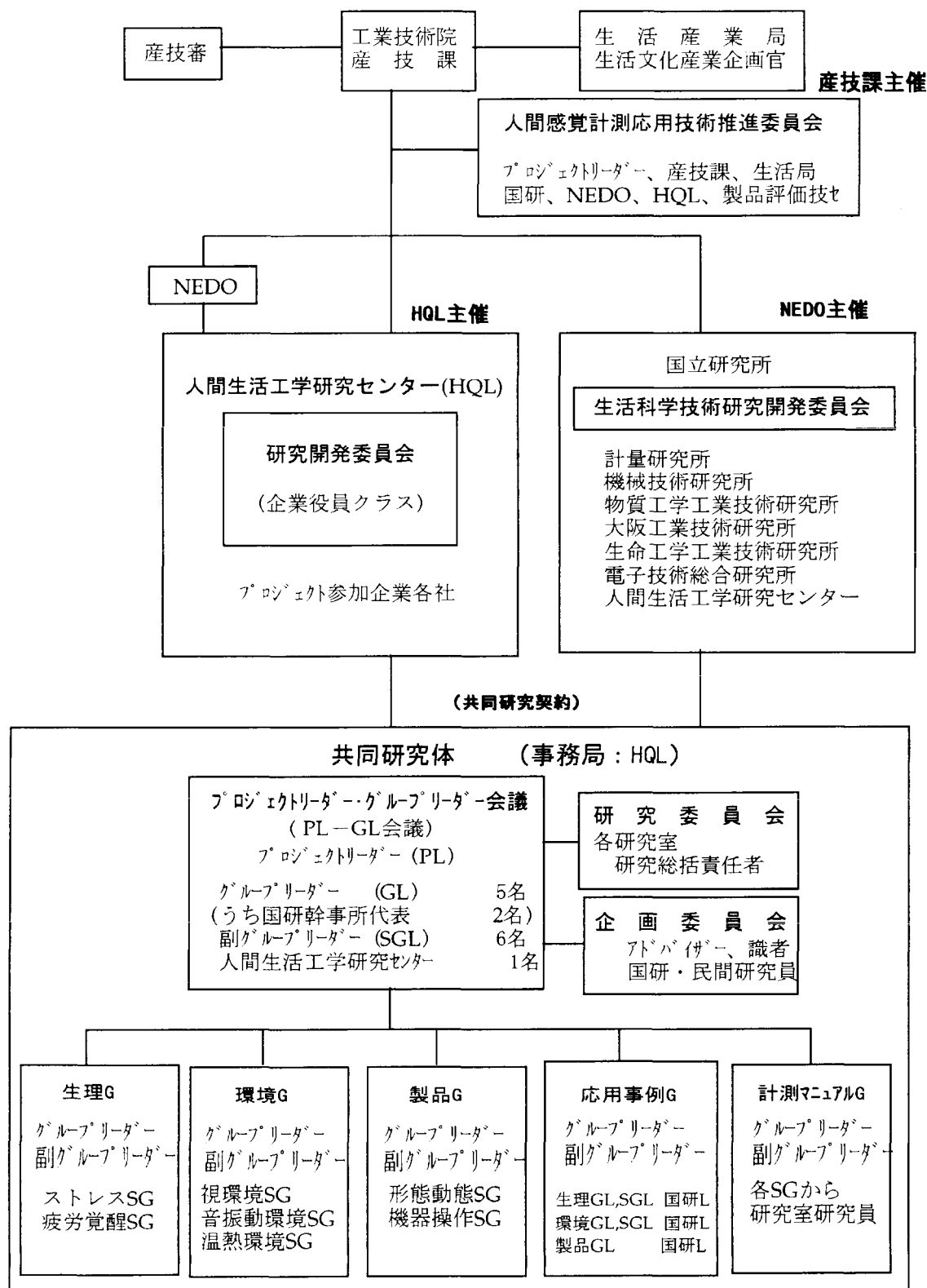
(d) 人間感覚データベースモデル、人間感覚計測マニュアル

- ・全研究室の協力研究として、製品グループの成果および応用事例研究での成果を主たるターゲットとしてデータの収集と格納を行い、人間感覚データベースモデルの最終版を構築した。
- ・また、プロジェクトにて開発した各種評価手法、データ解析手法、計測機器、評価機器などについて、その利用法等をまとめ、一般に利用できるための人間感覚計測マニュアルを全研究室の協力研究として、執筆・編集し、印刷物としてまとめ上げた。

(e) 人間感覚指標を応用した休息環境に関する応用事例実験

- ・居住空間などの休息環境における環境適合性評価指標の構成を目的に、光・音・温湿度条件の交互作用を含む統合指標の定式化のため、休息環境実験室において生理指標に及ぼす環境の影響や環境の複合効果の評価実験を行った。また、住宅における休息・リフレッシュ効果などを想定した実生活場面に開発された生理評価指標、環境適合性評価指標、製品適合性評価指標を適用し、場面への適用と検証実験を行った。これらの結果は各グループ、サブグループ毎に評価指標の形でまとめられている。

人間感覚計測応用技術第II期運営体制



○ 研究開発委員会

委員長 寺田 房夫	[枚方研究室]	三洋電機(株)	取締役 研究開発本部長
山原 浩	[越中島研究室]	清水建設(株)	専務取締役 技術研究所長
藤原 昇	[大津研究室]	東レ(株)	取締役
野間口 有	[大船・塚口研究室]	三菱電機(株)	常務取締役開発本部長
大口 正勝	[堅田研究室]	東洋紡績(株)	取締役 総合研究所長
鈴木 啓介	[門真研究室]	松下電工(株)	常務取締役
小林 一夫	[神奈川研究室]	マツダ(株)	技術研究所長
神田 泰典	[川崎研究室]	富士通(株)	常務理事 先行技術調査室長
柏谷 久美	[吉祥院研究室]	(株)ワコール	人間科学研究所長
北村 満	[京都研究室]	(株)オムロンライフサイエンス研究所	代表取締役社長
小林 敬	[品川研究室]	(株)資生堂	ビューティサイエンス研究所 常勤顧問
庄野 晋吉	[新橋研究室]	日本板硝子(株)	専務取締役
篠田 勝郎	[つくば研究室]	積水化学工業(株)	取締役 研究・開発本部長
永井 達也	[戸塚研究室]	大成建設(株)	顧問
晝馬 輝夫	[浜北研究室]	浜松ホニクス(株)	取締役社長
天野 皓司	[平塚研究室]	横浜ゴム(株)	取締役 MB開発本部長
中西 英治	[平野研究室]	大阪ガス(株)	理事 基盤研究所長
大柿 光司	[万田研究室]	(株)小松製作所	常務取締役 研究本部長
中原 豊	[港研究室]	三菱重工業(株)	神戸造船所 原子力プラント技術部長
小木 和孝	[宮前研究室]	(財)労働科学研究所	常務理事・所長
中川 泰彦	[横須賀研究室]	日産自動車(株)	取締役 総合研究所長
鈴木 彰	[横浜研究室]	(株)リコー	常務取締役
鈴木 一重	[中央研究室]	(社)人間生活工学研究センター	専務理事

○ 研究委員会

委員長 吉岡 松太郎	[中央研究室]	(社)人間生活工学研究センター	研究開発部 部長
羽根 義	[越中島研究室]	清水建設(株)	技術研究所 計画技術開発部環境 行動計画グループ グループリーダー テクニカル開発センター 第2開発室長
塩谷 隆	[大津研究室]	東レ(株)	先端技術総合研究所 情報科学部 感覚情報研究チーム チームリーダー 総合研究所 技監(繊維加工チーム)
大須賀美恵子	[塚口研究室]	三菱電機(株)	電器R&Dセンター 副所長
福岡 重紀	[堅田研究室]	東洋紡績(株)	技術研究所 主幹研究員
森国 功	[門真研究室]	松下電工(株)	先行技術調査室 感性技術推進部長
畑 秀二	[神奈川研究室]	マツダ(株)	技術・システム開発センタ 主幹
大澤 光	[川崎研究室]	富士通(株)	ビューティサイエンス研究所 部長
平子 進一	[京都研究室]	(株)オムロンライフサイエンス研究所	硝子建材開発部 技師長
栗原 武克	[品川研究室]	(株)資生堂	筑波研究所 評価技術研究室 室長
田中 洪	[新橋研究室]	日本板硝子(株)	技術研究所 環境研究部 音・電磁環境研究室 室長
高沢 要介	[つくば研究室]	積水化学工業(株)	中央研究所 第6研究室 室長
平松 友孝	[戸塚研究室]	大成建設(株)	メカトロニクス研究所 インテリジェントシス テム研究部 部長
黒野 剛弘	[浜北研究室]	浜松ホニクス(株)	MB開発本部 技術開発一部 5グループ グループリーダー
安田 昌司	[枚方研究室]	三洋電機(株)	研究開発部 研究主鑑
今田 和弘	[平塚研究室]	横浜ゴム(株)	研究本部 中央研究所 副所長
竹森 利和	[平野研究室]	大阪ガス(株)	神戸造船所 原子力プラント技術部 主査
竹田 太四郎	[万田研究室]	(株)小松製作所	総合研究所 車両研究所 主任研究員
渥美 至弘	[港研究室]	三菱重工業(株)	研究開発本部アプライアンス開発部 主席係長
花井 利通	[横須賀研究室]	日産自動車(株)	研究部 部長
嶋田 敦夫	[横浜研究室]	(株)リコー	人間科学研究所長
前原 直樹	[宮前研究室]	(財)労働科学研究所	熱物性部 熱学計測研究室長
柏谷 久美	[吉祥院研究室]	(株)ワコール	基礎技術部 バイオメカニクス研究室 主任研究官
佐久間史洋	計量研究所		高分子材料部 部長
本間 一弘	機械技術研究所		光機能材料部 部長
上野 勝彦	物質工学工業技術研究所		人間情報部 部長
竹中 啓恭	大阪工業技術研究所		大阪ライフエレクトロニクス研究センター 色彩情報ラボレーター
斎田 真也	生命工学工業技術研究所		
武林 正峯	電子技術総合研究所		

○ PL-GL会議

プロジェクトリーダー	飯田 健夫	[大学研究室]	立命館大学 理工学部	ロボティクス学科 教授
	森国 功	[門真研究室]	松下電工(株)	電器R&Dセンター 副所長
	栗原 武克	[品川研究室]	(株)資生堂	ビューティサイエンス研究所 部長
	羽根 義	[越中島研究室]	清水建設(株)	技術研究所 計画技術開発部 環境行動計画グループ グループリーダー
	田中 洪	[新橋研究室]	日本板硝子(株)	硝子建材開発部 技師長
	小木 元	生命工学工業技術研究所		人間環境システム部 システム設計研究室 グループリーダー
	宮田 圭介	[万田研究室]	(株)小松製作所	建機事業本部 技術本部 建機研究所 第四グループ 主任研究員
	松岡 克典	大阪工業技術研究所		光機能材料部 情報光学研究室長
	大飼 幸男	生命工学工業技術研究所		所付
	竹中 啓恭	大阪工業技術研究所		光機能材料部 部長
	福井 幸男	生命工学工業技術研究所		人間環境システム部 システム設計研究室
	吉岡 松太郎	[中央研究室]	(社)人間生活工学研究センター	研究開発部 部長

○ 研究グループ会議(生理グループ)

グループリーダー	森国 功	[門真研究室]	松下電工(株)	電器R&Dセンター 副所長
副グループリーダー	栗原 武克	[品川研究室]	(株)資生堂	ビューティサイエンス研究所 部長
	畑 秀二	[神奈川研究室]	マツダ(株)	技術研究所 主幹研究員
	西尾 恭幸	[京都研究室]	(株)オムロンライフサイエンス研究所	技術・システム開発センタ チームリーダー
	大須賀美恵子	[塚口研究室]	三菱電機(株)	先端技術総合研究所 情報科学部 感覚情報研究チーム チームリーダー
	植竹 篤志	[つくば研究室]	積水化学工業(株)	研究本部 筑波研究所 評価技術研究室 副主任技術員
	黒野 剛弘	[浜北研究室]	浜松ホニクス(株)	中央研究所 第6研究室 室長
	源野 広和	[枚方研究室]	三洋電機(株)	メカトロニクス研究所 制御システム研究部 ヒューマンサイエンス研究室 主任研究員
	前原 直樹	[宮前研究室]	(財)労働科学研究所	研究部 部長
	吉田 倫幸	生命工学工業技術研究所		人間情報部 生理情報研究室 主任研究官
	増田 正	生命工学工業技術研究所		人間情報部 生理情報研究室長
	本間 一弘	機械技術研究所		基礎技術部 バイオメカニクス研究室 主任研究官
	佐久間史洋	計量研究所		熱物性部 熱学計測研究室長
	大矢 高司	中央研究室 (社)人間生活工学研究センター	研究開発部	システム担当課長

○ 研究グループ会議(環境グループ)

グループリーダー	羽根 義	[越中島研究室]	清水建設(株)	技術研究所 計画技術開発部 環境行動計画グループ グループリーダー
副グループリーダー	田中 洪	[新橋研究室]	日本板硝子(株)	硝子建材開発部 技師長
副グループリーダー	松岡 克典	大阪工業技術研究所		光機能材料部 情報光学研究室長
	飯島 等	[大船研究室]	三菱電機(株)	住環境研究開発センター環境システム開発部 住空間システムグループグループマネージャー
	平松 友孝	[戸塚研究室]	大成建設(株)	技術研究所 環境研究部
	塩谷 隆	[大津研究室]	東レ(株)	音・電磁環境研究室 室長
	森下 禄郎	[堅田研究室]	東洋紡績(株)	テキスタイル開発センター 第2開発室長
	大澤 光	[川崎研究室]	富士通(株)	総合研究所 主任部員
	竹森 利和	[平野研究室]	大阪ガス(株)	先行技術調査室 感性技術推進部長
	松木 照幸	[万田研究室]	(株)小松製作所	研究開発部 研究主鑑
	花井 利通	[横須賀研究室]	日産自動車(株)	研究本部 中央研究所 基礎技 術研究部 技師
	犬飼 幸男	生命工学工業技術研究所		総合研究所 車両研究所 主任研究員
	佐川 賢	生命工学工業技術研究所		所付
	熊谷八百三	物質工学工業技術研究所		人間情報部 感覚知覚研究室長
	武林 正峯	電子技術総合研究所		複合材料部 複合材料機能設計 グループリーダー
	足立 公洋	大阪工業技術研究所		大阪ライフエレクトロニクス研究センター・ 色彩情報ラボリーダー
	西本 晃	[中央研究室](社)人間生活工学研究センター		有機機能材料部 高分子表面化 学研究室 主任研究官
				研究開発部 研究推進担当部長

○ 研究グループ会議(製品グループ)

宮田 圭介	[万田研究室]	(株)小松製作所	建機事業本部 技術本部 建機研究所 第四グループ 主任研究員
小木 元	生命工学工業技術研究所		人間環境システム部 システム設計研究室 グループリーダー
花井 利通	[横須賀研究室]	日産自動車(株)	総合研究所 車両研究所 主任研究員
今田 和弘	[平塚研究室]	横浜ゴム(株)	MB開発本部 技術開発一部5グループ グループリーダー
渡辺 長深	[港研究室]	三菱重工業(株)	神戸造船所原子力設計部 計装制御設計課中央計装グループ主任
嶋田 敦夫	[横浜研究室]	(株)リコー	研究開発本部アプライアンス開発部 主席係長
篠崎 彰大	[吉祥院研究室]	(株)ワコール	人間科学研究所 感覚・生理研究担当 課長
佐藤 滋	生命工学工業技術研究所		人間環境システム部 主任研究官
氏家 弘裕	生命工学工業技術研究所		人間情報部 主任研究官
山中 忠衛	物質工学工業技術研究所		高分子材料部 高分子材料設計研究室長

○ 研究グループ会議(応用事例グループ)

グループリーダー	犬飼 幸男	生命工学工業技術研究所	所付
副グループリーダー	福井 幸男	生命工学工業技術研究所	人間環境システム部 システム設計研究室
	森国 功	[門真研究室] 松下電工(株)	電器R&Dセンター 副所長
	栗原 武克	[品川研究室] (株)資生堂	ビューティサイエンス研究所 部長
	羽根 義	[越中島研究室] 清水建設(株)	技術研究所 計画技術開発部 環境行動計画グループ グループリーダー
	田中 洪	[新橋研究室] 日本板硝子(株)	硝子建材開発部 技師長
	松岡 克典	大阪工業技術研究所	光機能材料部 情報光学研究室長
	宮田 圭介	[万田研究室] (株)小松製作所	建機事業本部 技術本部 建機研究所 第四グループ 主任研究員
	小木 元	生命工学工業技術研究所	人間環境システム部 システム設計研究室 グループリーダー
	佐川 賢	生命工学工業技術研究所	人間情報部 感覚知覚研究室長
	吉田 倫幸	生命工学工業技術研究所	人間情報部 生理情報研究室 主任研究官
	西本 晃	[中央研究室](社)人間生活工学研究センター	研究開発部 研究推進担当部長

○ 研究グループ会議(計測マニュアル)

グループリーダー	竹中 啓恭	大阪工業技術研究所	光機能材料部 部長
副グループリーダー	松岡 克典	大阪工業技術研究所	光機能材料部 情報光学研究室長
	西尾 恭幸	[京都研究室](株)オムロンライフサイエンス研究所	技術・システム開発センタ チームリーダー
	加藤 隆仁	[浜北研究室] 浜松ホニクス(株)	中央研究所 第6研究室 専任部員
	松木 照幸	[万田研究室] (株)小松製作所	研究本部 中央研究所 基礎技術研究部 技師
	大澤 光	[川崎研究室] 富士通(株)	先行技術調査室 感性技術推進部長
	田中 洪	[新橋研究室] 日本板硝子(株)	硝子建材開発部 技師長
	高橋 弘光	[平塚研究室] 横浜ゴム(株)	MB開発本部 技術開発一部5グループ 課長補佐
	榊原 浩子	[中央研究室](社)人間生活工学研究センター	研究開発部

○ 応用事例企画委員会

委員長	安岡 正人	東京理科大学 工学部	建築工学科 教授
	岩井 一幸	東京家政学院大学	人文学部工芸文化学科 教授
	太田 昭夫	積水ハウス(株)	構法計画研究室 室長
	佐藤 方彦	文化女子大学	生理人類学研究室 教授
	桑野 園子	大阪大学人間科学部	環境心理学講座 教授
	長坂 彰彦	(財)電力中央研究所	ヒューマンファクター研究センター 主任
	新井 宏侑	(社)日本オフィス家具協会	環境対策委員
	堀江 良典	日本大学生産工学部	人間工学研究室 教授

○ 人間感覚データベース委員会

委員長	佐川 賢	生命工学工業技術研究所	人間情報部 感覚知覚研究室長
	西尾 恭幸	[京都研究室](株)オムロンライフサイエンス研究所	技術・システム開発センタ チームリーダー
	眞野 泰裕	[神奈川研究室] マツダ(株)	技術研究所
	沢田 英一	[越中島研究室] 清水建設(株)	技術研究所 計画技術開発部 環境行動計画グループ
	斉藤 信	[大船研究室] 三菱電機(株)	住環境研究開発センター 住空間システムグループ
	篠崎 彰大	[吉祥院研究室] (株)ワコール	人間科学研究所 感覚・生理研究担当 課長
	嶋田 敦夫	[横浜研究室] (株)リコー	研究開発本部アプライアンス開発部 主席係長
	磯野 彬	(株)情報数理研究所	代表取締役
	大矢 高司	[中央研究室](社)人間生活工学研究センター	研究開発部 システム担当課長

第2章 疲労・覚醒の生理的複合影響 に関する指標体系の開発

第2章 疲労・覚醒の生理的複合影響に関する 指標体系の開発

宮前研究室

The validity of psychophysiological indices for sleepiness in a monotonous task was examined in 10 subjects. The procedure to construct and evaluate the indices was the same as that used in our previous report on the simulated car-driving task. The experimental monotonous task contained the repeated visual discriminations lasted for about 1.5 hours. The physiological measures were the EEG (alpha/beta ratio and theta-power), ECG (mean HR and the minimum HR in each 30s epoch), eye-movements (mean-power in the slow frequency area), and the eye-blinkings (frequency and duration). After the experiment, 2 persons rated the sleepiness in video-recorded subjects' faces using a 5 step-rating method in each 5s epoch. In the analysis, the all measures were summarized into series of 30s epochs. The time lags between measures were taken into account to define the epoch used in each measure. Multiple regression analysis were carried out using an independent variable of rated facial sleepiness. Time-lag-adjusted physiological measures were used as the dependent variables. In the results, the best prediction for sleepiness was made when the dependent variables of the eye-movements, minimum HR and the blink-duration were adopted. These statistically adopted variables differ from those in the previous report (HR, blink-duration and alpha/beta ratio in the car driving) reflecting the difference in task demands or the higher sleepiness-level in the vigilance task.

1. 研究開発目標

1. 1 はじめに

本研究は、座位作業や立位作業中の生理的測度の変化を連続計測・評価し、時相とともに変化する疲労・覚醒状態を指標化する指標体系を開発することを最終的な目標としている。疲労・覚醒状態はその発生・進行過程の各位相に特徴的な行動や心理的・生理的状态の徴候があり、主観評定測度、行動的測度、および生理的測度によって複合的かつ時系列的に評価するのが有効である。本研究では、まず生理的測度の複合的な変化を連続的に分析・評価するためのシステムを構築するとともに、緊張や眠気を伴う作業事象における精神的負担の心理評定値を測定するための主観評価指標（Rouken arousal scale; RAS）の開発をおこなった。また、これらを自動車シミュレータ課題、および実験的なヴィジランス課題等に適用し、その有用性を確認した。本研究で用いる手法の特徴は、眠気の基準変数としての妥当性に優れ、かつ短い間隔での測定が可能な顔面表情評定法の有効性を検討して採用した点である。さらに、種々の生理的測度に変化が生じる時間的ずれ（time lag）を考慮した相関分析をおこない、昨年度（平成9年度）では、平成8年度に発展させた手法を再びヴィジランス課題に適用し、眼球運動測度の導入に向けての検討として、眼球運動の周波数スペクトルと眠気との相関を分析した。また、

心的負荷の高い事態にも適用できる疲労・覚醒の複合的な指標体系の構築に向けて、主観評定RASの因子の一つである「注意集中困難」を核とした諸測度の分析を実施した。本年度では、新たな単調課題実験を実施し、これまで用いてきた心拍数、瞬目、脳波測度による眠気の予測の有効性を検討するとともに、昨年度の分析を踏まえて、眼球運動などの諸測度を加えての検討をおこなった。

1. 2 今年度の開発目標

今年度（平成10年度）では、これまでの成果をふまえて以下の開発目標を設定した。

- ①疲労・覚醒状態の生理的複合影響の指標体系の提案
- ②疲労・覚醒状態の時相変化認識系の応用検討
- ③応用事例による疲労・覚醒指標の高精度化、システム化（協力研究）

2. 研究開発成果の概要

2. 1 単調な視覚弁別課題実験

強いレベルの眠気を誘発する課題として、単調な視覚弁別課題を用いた実験を実施した。

(1)実験方法

a. 課題と手続き

男性10名（19～30歳、平均22歳）を被験者とした。課題は持続的な注意を要する単調な視覚弁別反応課題である。CRT画面中央に注視点が表示され、その1.0～5.0秒後に、左右どちらかに2本の平行な水平線分が1.4秒の間提示される。提示される平行線分のうち50%は上下の長さが等しく、残りの50%は僅かに異なる。被験者は2本の線の長さが異なる場合のみに手元のマウスのボタンを素早く押す。この作業を2～8秒のランダムな間隔をもって繰り返しおこなわせた。1セッションは10分とし、9セッションが繰り返された。

b. 反応の記録

各セッションの終了直後に主観測度としてRAS（Rouken arousal scale）を記入させ、目、手、腕、首、肩、腰の局所身体違和感を7段階で評定させた。生理反応として、脳波（Oz、O1、O2、Pz、Cz、Fz）、水平および垂直眼電図（electrooculogram ;EOG）、心電図、呼吸（胸部ストレーンゲージ）、および皮膚電位反射（skin potential response; SPR、左掌から記録）を記録した。また、被験者の正面および右横に配置したビデオカメラによって顔面表情と姿勢の映像を記録した。

(2)生理反応の分析方法

脳波はPz部位を検討対象とし、10秒ごとのパワースペクトル分析をおこなった。β帯

域（13-30Hz）パワー積分値に対する α 波帯域（8-13Hz）の比（ α/β 比）、 β 帯域に対する低周波 α 帯域（8-10Hz）の比（低域 α/β 比）、および、 θ 波帯域（4~7Hz）の平均パワー値を算出した。10秒ごとの値を3区間で平均し、30秒ごとのデータに集約した。

心電図に関しては、30秒ごとの平均RR間隔と最大RR間隔を求め、平均分時心拍数（平均HR）と最小HRに換算した。

垂直EOGによって瞬目を計測した。EOGの微分波形から、最大速度の20%点という基準によって瞬目開始時点と瞬目終了時点とを検出した。その後、垂直眼球運動やその他のアーチファクトによる誤検出を除去する処理をおこない、30秒ごとの瞬目回数、瞬目群発回数、平均瞬目持続時間、および持続時間の変動係数（瞬目持続時間変動）に集約した。

水平EOGは、視角（度）単位に換算した後、30秒ごとのパワースペクトル分析をおこない、0 Hz~1 Hzの範囲の0.25Hzステップでの帯域平均パワー（EOG低域パワー）を求めた。また、SPRに対しては、基線から1.5mv以上の振れという基準で、陽性、陰性各SPR回数を30秒ごとに求めた。

(3) 遂行および表情の分析方法

標的に対して正しくボタンが押された回数（正反応数）、標的でない刺激に対してボタンが押された回数（誤反応数）を求め、30秒ごとに合計した。標的刺激が提示されてから正反応が生じるまでの時間（反応時間）を求め、30秒ごとの平均およびセッション毎の平均とSDを算出した。

実験中に被験者の表情を撮影したビデオ記録を用い、研究の目的を知らされていない2名の評定者が、5秒ごとに眠気の評定をおこなった。評定は「全く眠くなさそう」~「非常に眠そう」の5段階とした。眠気表情評定値は、連続する6回の評定ごとに平均し、30秒区間ごとのデータに集約した。

2. 2 強いレベルの眠気の複合生理指標による評価

(1) 視覚弁別課題実験の結果の概要

a. 主観評定の結果

本実験で記録された主観評定RASによる眠気主観評定値（眠気に関連する2項目の平均）をみると、5~6セッションにピークがあり、そこでの平均評定値は5.45であった。被験者別に見ると、眠気の強い被験者は最大評定値の7に達し、最も評定値の低い被験者でも最大5.5に達した。

b. Lagを考慮した生理測度と眠気表情評定値の相関の分析

本研究では、目的変数である眠気表情値の変化と、それに先行する生理測度の変化との時間のずれ（time lag）を考慮した分析をおこなう。そのため、30秒ごとの表情評定値と生理測度の間に0秒~180秒の範囲、30秒ステップでlagを設け、被験者毎、lagごとに眠気表情値との相関係数（ r ）を算出した。

まず、平均HRにおいては、全10名の被験者のうちの8名において5%水準で統計的に有意な眠気との負の相関が認められた。各被験者で相関係数が最大のlag（最適lag）は、それら8名全ての被験者において0秒であり、そこでの r の範囲は-0.18-0.53であった。

一方、30秒ごとの最小HRと眠気との相関は、10名中8名の被験者において統計的に有意であった。最適lagは7名が0秒、1名が60秒であった。最適lagにおけるrの範囲は-0.23～-0.68であった。

脳波 α/β 比においては、5名の被験者において眠気との有意な正の相関がみられた。最適lagは2名が0秒、2名が30秒、1名が90秒、rの範囲は0.22～0.57であった。低域 α/β 比においては、5名に眠気との有意な相関がみられた。最適lagは0～90秒、rの範囲は0.22～0.57であった。 θ 帯域パワー値の結果においては、6名の被験者が眠気との有意な正の相関を示したが、最適lagの個人差の範囲が大きかった。rの範囲は0.20～0.55であった。

瞬目回数においては、5名が眠気との有意な負の相関($r=-0.24\sim-0.64$)を示し、最適lagはすべて0秒であった。瞬目持続時間においては8名に正の相関($r=0.26\sim0.63$)がみられ、うち7名の最適lagが0または30秒、残り1名のみ180秒であった。瞬目持続時間変動および瞬目群発回数においては相関、lagともに個人差が大きかった。

EOG低域パワーに関しては、まず、0～1 Hzの範囲で、0.25Hzステップの帯域ごとの眠気との相関を検討した。その結果に基づき、0-0.5Hzの帯域平均パワー値を測度として採用した。この帯域パワーにおけるlagを設けた相関分析の結果では、7名において相関が有意であり、最適lagは0秒、rの範囲は0.35～0.60であった。

SPR回数と眠気との相関においては、相関係数の正負、最適lagともに個人差が大きい。

(2) 心拍数、脳波、瞬目の3測度による眠気の評価

a. 被験者に共通して使用する最適lag

被験者に共通した方法による眠気の予測をおこなうための共通最適lagは、原則として眠気との相関が有意であった被験者の最適lag値の平均に最も近いものを用いることとし、分析区間は最適lagに先行する60秒間、すなわち分析単位である30秒値 $\times$ 2区間の平均とした。しかし、以下に述べる測度に関しては、データの検討に基づいた変更を加えた。

最小HRでは、広範囲のlagで眠気との相関が有意であり、8名が0-90秒における有意な相関を示したので、先行90秒間のデータを用いた。また、 α/β 比において平均lagは30秒であるが、個人差が大きく、lag60秒と設定した場合に相関の有意な被験者が最も多いため(4名)、60秒のlagを採用した。 θ 帯域パワーにおいては、平均lagは42秒であるが、0-30秒の範囲内に最適lagがある被験者が最も多かった(4名)ので、lagは0秒とした。瞬目持続時間においては広範囲のlagでの眠気との相関がみられたことと、瞬目の回数が少ない場合に対応できるようにするため、先行0秒～120秒までのデータを用いた。EOG低域パワーにおいては、非常に広範囲のlag(被験者7名の0～180秒)において眠気との相関が有意であり、また、散発的に生じる現象を捉え得るようにするため、やはり分析区間を長くし、先行120秒間のデータを用いた。

b. 心拍数、脳波、瞬目の3生理測度による重回帰分析

平成8年度に報告した自動車シミュレータの実験の際に採用された測度、すなわちHR、脳波 α/β 比、および瞬目持続時間の3測度を用い、上述の共通最適lagを使用しての眠気を目的変数とする重回帰分析をおこなった。各被験者ごとの重回帰分析の結果、重回帰係数における被験者間の範囲は0.149～0.685と、かなり低い値の被験者が含まれてお

り、重相関係数の平均も0.498と、シミュレータ実験の結果よりも低い。変数ごとの標準偏回帰係数を被験者間平均でみると、最も高い瞬目持続時間が0.333、次いでHRが-0.157、 α/β 比が0.150であり、HRと α/β 比が相対的に低い。被験者の中で特に重相関係数が低かった3名(0.149~0.399)について、測度ごとの眠気との相関係数に再び注目すると、3名とも脳波 α/β 比と眠気との有意な相関が認められず、3名中2名においては瞬目持続時間と眠気との有意な相関も認められなかった。また、今回の分析で30秒の分析区間を用いたことによる影響を考慮し、60秒値に換算した値で、全く同一の手続きでの分析をおこなった。その結果においても、同一の被験者3名の重相関係数が低く、また、偏回帰係数のパターンもほぼ同一であった。

これらの分析結果から、本実験のデータにおいては、眠気予測のための脳波、および瞬目測度の有効性が減弱している可能性があり、採用する測度の再考が必要と思われる。

(3)強い眠気レベルに対応した生理的指標

a. 本実験と自動車シミュレータ実験との眠気レベルの比較

今回の実験における眠気のレベルが、総じて自動車シミュレータ実験よりも高いことが、表情評定値や主観評定からうかがわれた。自動車シミュレータ実験における眠気表情評定値の被験者間平均のピークが約3.0であるのに対し、本実験では3.8であり、約0.8ポイント高い。また、主観評定において、各被験者の眠気のピークを求めその被験者間平均の比較をしたところ、シミュレータ実験の5.9に対して本実験は6.4と高い。

これまで本研究で用いてきた眠気表情評定法の最大評定値であるレベル5の評定基準は「顔をとじる、頭が前に傾く、頭が後ろに倒れる」であり、最も強い眠気、すなわち入眠の徴候を捉えるものである。こうした強いレベルの眠気(30秒の平均評定値4.5以上と定義)の頻度を、本実験とシミュレータ実験とで比較した結果、シミュレータ実験では、出現頻度の被験者間平均は0.05であり、5名の被験者は0であった。一方、今回の実験においては、10名全ての被験者において強い眠気が生じ、その頻度の範囲は0.02~0.73、被験者間平均が0.34であった。この結果は、本実験では自動車シミュレータ実験と比較して眠気が強く、実験中かなりの期間で入眠の徴候が生じていたことを示す。

b. 被験者間に共通の測度とlagを用いた眠気の予測

<強い眠気のレベルに対応した生理的測度の選択>

これらの分析を踏まえ、シミュレータ実験で採用されたHR、 α/β 比、瞬目持続時間の3測度に、今回の実験で眠気との相関が比較的高かったEOG低域パワー、眠気との相関が平均HRよりも高かった30秒ごとの最小HR、 θ 平均パワー値、および低域 α/β 比を加え、これら7測度を説明変数の候補とする重回帰分析による変数の選択を実施した。目的変数は表情評定値の30秒ごとの平均である。各被験者ごとに、相関が5%水準で統計的に有意であった測度を選択して用いた。Lagは、シミュレータ実験の際の変数選択と同様の手順とするため、被験者ごとの最適lagを用い、それぞれに30秒区間の代表値を用いた。各被験者のデータに対し、採用基準F値4.0の前進選択法を用いての重回帰分析をおこなった結果、説明変数として採用された被験者数の最も多い測度はEOG低域パワーと瞬目持続時間(それぞれ7名)であり、ついで最小HR(5名)であった。 α/β 比は4名、低域 α/β 比は3名、 θ 波パワーは2名、平均HRは1名のデータにおいて選択された。

〈被験者間に共通の測度とlagを用いた眠気の予測〉

選択されたケースの多い3測度、すなわち最小HR、瞬目持続時間、EOG低域パワーの3測度を説明変数として採用し、前述の本データの共通最適lagを適用して、被験者ごとの重回帰分析をおこなった。その結果、重相関係数の平均は0.628、範囲は0.507～0.736であった。10名中8名の被験者においては、HR、 α/β 比、瞬目持続時間の3測度を適用した上述の分析よりも重相関係数が上昇した。また、上述の分析において特に重相関が低かった被験者の結果がこの分析では改善され、個人差が小さくなっている。各偏回帰係数と切片の被験者間平均に基づく指標式は以下となる。

$$\text{眠気表情値} = 1.0234 + 0.5794\text{EOGpower}(0-120) + 0.0144\text{BLK-Dur}(0-120) \\ - 0.0379\text{MIN-HR}(0-90)$$

EOGpower: 水平EOGの0-0.5Hz帯域平均パワー

BLK-Dur : 瞬目持続時間

MIN-HR : 30秒ごとの最小HR

かつこ内は、先行分析区間を秒単位で示したものである。

この重回帰式による眠気の予測の例を図に示す。

2.3 まとめ

ランダムな時間間隔で提示される視覚刺激を弁別する課題を用いた実験を実施し、種々の生理反応の記録をおこなった。Time lagを考慮しての眠気表情評定値と生理測度との相関を分析し、強いレベルの眠気の予測に有効な生理指標を検討した。

主観評定や表情評定の比較分析の結果、今回の実験によって誘発された眠気は、シミュレータ実験よりも高いレベルであった。今回の指標は、作業中に入眠の徴候が観察され、その占める時間が数十%程度の事態において得られたデータに基づくものである。

Lagを考慮した相関分析によって最適な共通の分析区間を決定し、平成8年度に報告した自動車シミュレータ実験の際に採用された測度を適用しての重回帰分析をおこなった。その結果では、重相関係数の個人差の範囲が大きく、係数の低い被験者では、脳波、瞬目持続時間測度の有効性が減弱していた。

そこで、眼球運動等のあらたな測度を加えての再検討をおこなった。各測度に被験者ごとの最適なlag値を設け、眠気表情値を目的変数とする重回帰分析による変数の選択をおこなった。その結果に基づき、今回の課題事態における眠気を予測するためのより適切な生理測度として、水平眼球運動の低周波成分、30秒ごとの最小分時心拍数、瞬目持続時間を採用した。さらに、これら3測度を適用して、被験者共通の分析区間を用いての重回帰分析を行い、強いレベルの眠気に対応した眠気の予測式を得た。

カラーページ図の説明

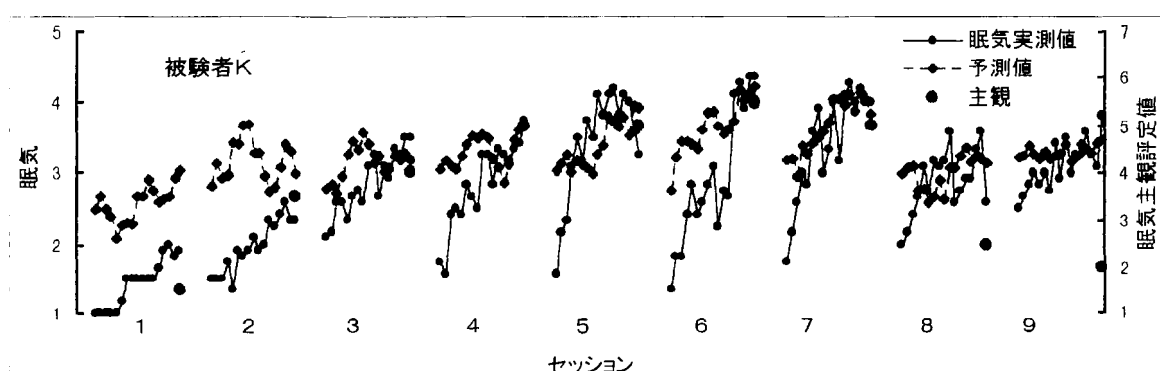
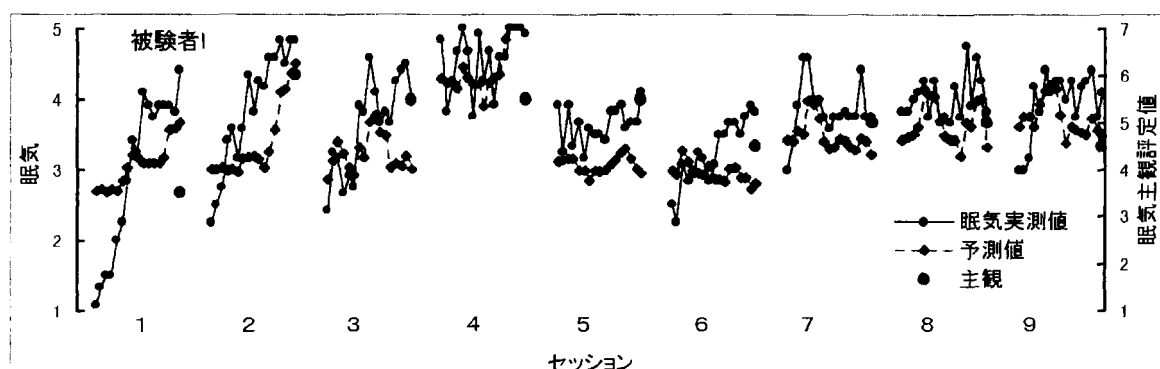
上段表：運転シミュレータ実験と視覚弁別作業実験の分析結果の比較。

下段図：眼球運動、最小HR、瞬目持続時間の3測度による眠気の予測結果の例。

運転シミュレータ、および単調視覚弁別課題で使用された眠気予測のための変数候補と、重回帰分析（前進選択）で選択された変数。平均rは最適lagにおける眠気表情値との相関係数。眠気予測指標で採用した3変数を青で示した。

	運転シミュレータ			視覚弁別		
	平均lag (秒)	平均r	前進選択で選択 された被験者数	平均lag (秒)	平均r	前進選択で選択 された被験者数
Pz α/β 比	84	0.457	8/10	30	0.320	1/10
瞬目持続時間	24	0.642	8/10	34	0.350	7/10
分時心拍数	156	-0.464	7/10	0	-0.330	4/10
眼球運動パワー	-	-	-	0	0.487	7/10
最小心拍数	-	-	-	9	-0.383	5/10
ステアリングSD	348	0.270	4/10	-	-	-
長い瞬目の頻度	43	0.621	6/10	-	-	-
低域 α/β	-	-	-	12	0.325	3/10
θ パワー	-	-	-	42	0.357	1/10

眼球運動低周波成分、瞬目持続時間、および30秒ごとの最小HRの3測度による眠気の予測例。被験者I（上段）およびK（下段）の結果。



第3章 高次の心理感覚の言語による計測 とその応用に関する研究開発

第3章 高次の心理感覚の言語による計測とその 応用に関する研究開発

川崎研究室

The purpose of this study is to examine about the development of the checklist for "the work treating impression" considered as one of the application technology of "engineering of impression." It focuses on raising the quality and the efficiency of "the work treating impression." As a result of examining how to make the checklist for "the work treating impression", it was found that the development from the following four viewpoints was effective. (1)Introduction of the process of definition analysis of "the work treating impression". By stepping on the procedure of this "definition analysis of work," it was clearly showed that the remarkable portion of the problem of work was solvable. (2)Division and management of work by the process. It was considered that four stages, "plan", "design", "execution", and "evaluation," or five stages included "definition analysis" were effective as a management cycle in "the work treating impression." (3)Clarification of the process of work, and visualization of a result. It is desirable that documentation is carried out as "plan document", "design document", "execution specification and an execution result report", and "evaluation result report of each stage", respectively. (4)Introduction of review (check) process for result evaluation. It was found that it is important to review whether the suitable output is carried out to the input of work. On the basis of those points, the checklists for "the measurement of impression" and for "the product designs" were developed.

1. 研究開発目標

モノや空間などに対する、高次の心理感覚である「印象」を扱う仕事を、工学的な発想で、効率的かつ効果的に行おうというのが「印象の工学」の意図である。「印象の工学」の研究には、大きく要素技術と適用技術の開発があるが、これまでの研究では、「印象の計測」「印象の分析」「印象の推定」に分け、それぞれの機能に応じた要素技術の研究開発を行ってきた。

本年度は、要素技術の研究開発というよりも、「印象を扱う仕事」全体を、効果的かつ効率的に行うことを目的に、「印象の工学」の適用技術のひとつの代替案である、「印象を扱う仕事」のチェックリストの開発を行うことを目標とした。

まず、「印象を扱う仕事」の例として、「印象の計測」と「プロダクトデザイン」を取り上げ、テスト作業的にそれぞれのチェックリストの開発を行う。そして、その作業の中から抽出される問題点を整理し、その問題点の解決のための方法や、それにより得られる効果を明らかにしながら、それぞれのチェックリストを構築する。

2. 研究開発成果の概要

2. 1 「印象を扱う仕事」のチェックリストの開発（事例研究）

「印象を扱う仕事」の品質と効率を上げるために、「印象を扱う仕事」のチェックリストの開発を試みた。その際、「印象の計測」と「プロダクトデザイン」の2つを「印象を扱う仕事」として選択し、その開発過程で、生じる問題点の発見や探索を行い、以下の問題点を抽出した。

（1）「印象を扱う仕事」に関しての問題点

- ・ 「印象」を扱っているという意識がない場合があり、印象の特性を考慮に入れた対応がなされないなどの問題が生じる。
- ・ 例えば、「～の印象を測る」などのように、仕事の目的があいまいで抽象的にしか表現されないことがある。また、目的が詳細に記述されないことがあり、やるべき仕事が網羅されないなどの問題が生じる。
- ・ 結果の利用のしかたなどが、あらかじめ想定されていないことがあり、成果が使われなかったりするなどの問題が生じる。
- ・ 仕事の進め方が、必ずしも決まっていない、定まっていないことがあり、仕事の無駄が生じることがある。
- ・ 「印象を扱う仕事」は、担当者の、技能、経験、ノウハウ等に依存する部分があり、仕事の品質が左右されてしまうことがある。
- ・ 仕事の受け渡しで、十分なコミュニケーションが図られていないことがある。お互いが分かったつもりになっていることが多い。

（2）「チェックリスト」開発に関しての個別の問題点

印象の計測

- ・ 目的により、想定される仕事のやり方、内容が異なり、仕事の効率を落としていることがある。
- ・ 計測にあたっては何らかの条件や前提があるが、それらが意識されていないことが多い。調査手法の前提条件や制約条件を理解しないまま、調査が実行されてしまうことがある。

プロダクトデザイン

- ・ 仕事の内容により、その作業プロセスは異なり、汎用のチェックリストの開発はむずかしい。いくつかの仕事のパターンに区別する必要がある。
- ・ そこでは大きく、ルーティーンワークな造形処理を中心としたデザインワークと、コンセプトから提案までを行っていくデザインワークが考えられる。
- ・ プロダクトデザインでは、その仕事の性格上、デザインプロセスを分離して扱うことはむずかしい、と考えている人が多い。

2. 2 「印象を扱う仕事」のチェックリストの作り方の検討

先の個別事例研究結果から、「印象を扱う仕事」のチェックリストの作り方を検討した結果、以下の点からの開発が有効であることが分かった。

- (1) 「仕事」の定義分析のプロセスの導入
- (2) 工程による仕事の分割と管理（工程化）
- (3) 成果内容の明示（成果の可視化）
- (4) 成果評価のためのレビュー（チェック）プロセスの導入

それぞれについて、その問題点、解決のためのポイント、効果を以下に挙げる。

(1) 「印象を扱う仕事」の定義分析のプロセスの導入

解決すべき問題点

- ・ 仕事の目的が十分明確化されておらず、曖昧性がある場合、後のプロセスにおいても問題が生じてしまう。したがって、はじめに仕事の目的をできるかぎり正確に記述し、後のプロセスに問題が生じないようにする必要がある。

ポイント

- ・ 仕事の成果としてどんなものが欲しいか、その成果は誰が何のために使うのかを、明らかにする。
- ・ これに付随して、仕事の目的、内容・範囲、制約、予算と納期などを明らかにして、その仕事の実行可能性を検討する。

効果

- ・ 「仕事の定義分析」の手続きを“明に”踏むことによって、目的の曖昧性や矛盾を減らし、仕事の定義を明確にすることができる。そうすることにより、次の段階として想定される計画段階で、仕事の計画を曖昧性の少ないものにすることができると考えられる。これは、結果として仕事の品質や効率を上げることにつながる。

(2) 工程による仕事の分割と管理（工程化）

解決すべき問題点

- ・ 一般に仕事の進め方は、プラン／ドゥー／シーのマネジメントサイクルで説明されることが多いが、「印象を扱う仕事」では、それに対する意識が低く、仕事の効率や品質を落としている場合がある。

ポイント

- ・ 「印象を扱う仕事」が、目的や条件や検討の範囲などが入力され、その結果としての成果を出力する“まとまり”であると考ええると、一般的な、プラン／ドゥー／シーのプロセスのプランにあたる「計画」部分は、さらに、仕事の目的、内容・範囲、制約、実行可能性などを検討する「計画」と、計画での検討結果をもとに、その仕事を設計する「設計」の2つに分割するのがよい。また、「実行」は、設計にしたがって仕事の実行の方法や仕様などを検討／実行し、結果をまとめる工程として、「評価」は、計画が妥当であったか、設計と実行が適切であったかを検査し、仕事の成果が満足できるもので

あるか否かを総合的に評価する工程として、捉えることができる。

- ・ したがって、「印象を扱う仕事」でのマネジメントサイクルとしては、「計画」「設計」「実行」「評価」の4段階、あるいは、「仕事の定義分析」をひとつの工程として、5段階で検討することが有効である。

効果

- ・ 工程による仕事の分割と管理をすることによって、仕事の範囲や、次工程への成果の受け渡しなどが明確になる。
- ・ 時間の流れに沿って仕事処理されているので、何か問題が生じたときに早くフィードバックすることができ、早い段階で誤りを減らすことができる。

(3) 成果内容の明示（成果の可視化）

解決すべき問題点

- ・ 「印象を扱う仕事」では、仕事の成果の表し方があいまいなことがある。また、仕事の受け渡しでも、十分なコミュニケーションがとられずに、お互いの仕事の内容や成果に対して、分かったつもりになっていることが多い。

ポイント

- ・ 次の工程へと仕事の成果を受け渡しする場合、基本的に、文書（報告書）の形で成果の受け渡しをすることが有効である。
- ・ 「計画」「設計」「実行」「評価」の各工程での仕事の成果は、それぞれ「計画書」「設計書」「実行仕様・実行結果報告書」「各段階の評価結果報告書」のかたちで、それぞれの工程での仕事の成果をまとめ、次の工程に渡す。

効果

- ・ 仕事のプロセスとその成果を可視化することにより、仕事の評価や、成果の次工程への受け渡しが行いやすくなる。さらに、次工程の担当者と成果報告書をもとにしたコミュニケーションを行うことができる。

(4) 成果評価のためのレビュー（チェック）プロセスの導入

解決すべき問題点

- ・ 仕事の成果が、きちんと評価されないまま、次工程に受け渡されることがある。

ポイント

- ・ 各工程での成果を次工程に受け渡す前に、“明に”「成果評価のためのレビュー（チェック）」を行う。

効果

- ・ これを行うことで、成果の品質を確認し、次工程への保証とすることができ、また成果内容の漏れを防ぐことができる。

2. 3 「印象を扱う仕事」のチェックリストの構築

2. 2の「チェックリスト」の作り方の検討にもとづき、「印象の計測」および「プロダクトデザイン」について、そのチェックリストの構築をした。以下このうち、「定義分析のプロセスの導入」と、「工程による仕事の分割と管理」についてポイントを説明する。

2. 3. 1 「定義分析のプロセスの導入」の検討

(1) プロダクトデザイン

仕事の性格により、その内容や管理方法は異なるので、デザインに求められる役割という視点を検討した結果、次の3つのタイプに仕事を分類した。

- ・ 造形処理型：造形を手際よく処理する。
- ・ 造形提案型：造形により商品性をアピールする。
- ・ コンセプト提案型：使い方まで含めたもののありかたをつくる。

タイプ分けは、以下の3つの点からチェックをするようにした。

- ・ 開発プロジェクトにおけるデザインの位置づけ
- ・ デザイン対象となる商品側の条件
- ・ デザイン依頼者（成果の利用者）側の条件

2. 3. 2 「工程による仕事の分割と管理」の検討

(1) プロダクトデザイン

- ・ プロダクトデザインでは、「計画（作業計画）」「設計（コンセプトデザインの設計）」「実施（基本デザイン、実施デザイン）」「評価（デザインの管理）」の4つのステップに工程を分割し管理するのがよいと思われる。

(2) 印象の計測

- ・ 印象の計測では、「計画」「設計」「実施」「評価」の4つのステップに工程を分割し管理するのがよいことが分かった。また、「実施」部分では、「事前準備」「調査実施」「集計・加工」に分割し、さらに細かなチェックをしていくのがよいと思われる。

2. 3. 3 完成したチェックリスト（印象の計測）の説明

「印象の計測」のチェックリストの構造は、先の工程毎に、「管理項目」と「実施項目」に分けられ、管理項目をブレイクダウンしたものが実施項目となるようにした。チェックの項目数は次の表1のとおりである。

表1. 各工程毎の項目数

工程	管理項目	実施項目
○計画	6	6 5
○設計	7	7 0
○実施	2 0	1 2 9
○評価	7	2 5

(1) 「印象を扱う仕事」の定義分析のチェックリスト（プロダクトデザイン）

プロダクトデザインでは、造形を手際よく処理する「造形処理型」、造形により商品性をアピールする「造形提案型」、使い方まで含めたもののありかたをつくる「コンセプト提案型」、の3つを仕事のタイプとして切り出し、「定義分析」のチェックリストにより、いずれのタイプに該当するのかを決定する。チェックリストは、デザインの位置づけ／デザイン対象の商品の条件／デザイン依頼者の条件の3つの側面からなっている。

3つのタイプのどれかに決定した後、さらに、5つのサブ条件によるチェックを行い、仕事としての定義をより明確にする。

(2) 「印象を扱う仕事」のチェックリストの例示（プロダクトデザイン）

プロダクトデザインにおけるチェックリストの構成は、(A) 作業計画、(B) デザインの検討、(C) 基本デザイン、(D) 実施デザイン、(E) デザイン管理、に分けた。(A) は、デザインの前提を明確化し、それを関係者間で共有するステップである。最終的には、目的、条件、コンセプトの確立、成果品への要求や期待、作業計画などが決められる。(B) は、デザインの大きな方向性を明らかにし、アイディアの幅を広げるステップである。

(C) および(D) では、基本デザインと実施デザインを決める。(E) では、生産現場で、デザインの意図が維持されているかなどの管理を行う。

(3) 「印象を扱う仕事」のチェックリストの計画部分の例示（プロダクトデザイン）

(A) の作業計画部分では、目的の明確化と条件の共有として、(a) デザインワークの目的の明確化、(b) 開発プロジェクト全体の目的・意図の明確化、(c) 想定するデザインワークの成果の明確化、(d) 仕事の条件の明確化、のチェックを行う。

(4) 「印象を扱う仕事」のチェックリストの詳細例（印象の計測）

「印象の計測」におけるチェックリストの詳細を、計画、設計、実施（事前準備）、まで挙げる。それぞれのチェック項目について、ひとつひとつ検討し、仕事を進める上での漏れや無駄がないか確認していくことが重要である。なお、チェック項目には、「実施項目」を挙げた。

第4章 繊維製品の質感評価技術 の研究開発

第4章 繊維製品の質感評価技術の研究開発

大津研究室

In the design and development of textile products that demand high textural quality and superb feel, intuition and experience are used as the main guidelines, and a trial –and –error process is repeated until products are finalized. So quantitative criteria and design guidelines must be created.

The development of a evaluation technology that allows the creation of textile products that offer comfort and relaxation both to the eye and to the touch will undoubtedly provide great benefits to the textile industry.

Through investigation and analysis of the relationship between the feeling (subjective quantity) when viewing various fabrics and simultaneously measured bioelectric potentials, we ascertained the lambda response to be an effective indicator. The greater the perceived degree of visual “complication” of the fabric, the greater the amplitude of the lambda response ; and the greater the amplitude of the lambda response, the higher the fluctuation coefficient for the fabric image.

We investigated various bioelectric potentials while touching fabrics with high textural quality and low textural quality. Differences in fluctuation coefficient of the brain waves (alpha waves) were recognized for fabrics with significantly different textural qualities.

We developed a system which inputs surface image data of fabrics or other products, separates the hue, chroma, and value, and conducts frequency analysis to quantify the fluctuation characteristics. We measured the fluctuation coefficients of curtain fabrics with this device, then applied correlation analysis to the visual psychological quantities of the curtain fabric and the fluctuation coefficients to determine a comfortable range of fluctuation coefficients for various applications. And we verified the comfortable range of fluctuation coefficients in the living room at the Keihanna Laboratory.

1. 研究開発目標

1. 1 まえがき

社会の高度化に伴い、繊維製品に求められる性能も従来の単純な機能性から人間にとってよりよい快適性へと変化している。快適性には物の側面と心の側面があり、物の側面には温熱生理学的の評価が必要であり、心の側面には心理生理学的の評価が必要である。このうち、心理生理学的の評価については、応用すべき知見は極めて少ない。そのため、心理生理学的側面と関係の深い高質感を要求される製品の設計・開発は個人の勘と経験に頼っており、トライアル・アンド・エラーが繰り返し行われている。

視覚（見て）・触覚（触って）的によい … 快適な・やすらぎのある・心地よい繊維製品を開発する評価技術ができれば、繊維業界にとって大きな力になることは明白である。そのため、生地について、質感の評価解析技術の開発および心理生理学的計測技術の確立、そしてこれらの関連づけを本研究で行う。平成6年度まで、すなわち第I期においては、次のような成果を得ている。

まず、心理生理量からのアプローチにおいては、生地の視覚刺激の判別に対して、ラムダ反応（後頭部脳波）が有効であることを見出した。そして、その計測技術を検討することにより、生地の視覚的物理量との関係を明らかにしてきた。また、触覚的質感を脳波（ α 波）のゆ

らぎ係数で定量化する技術を検討し、極めて質感差の大きい生地を判別できる可能性を見い出した。

次に、生地物理量からのアプローチにおいては、生地の表面ランダムネスを空間周波数分析によって、1/f ゆらぎ係数として定量化する技術を開発し、1/f ゆらぎ係数と生地の視覚的心理量との相関性を示唆した。また、視覚的物理量として各種の光沢計測値、触覚的物理量としてKESによる風合計測値を取り上げ、これらによる定量化検討を進めた。

最後に、主観量からのアプローチにおいては、各種生地をベースに、SD法により生地質感因子を抽出し、質感評価シートを完成させた。

全体として、第I期の成果は、基礎的知見としては繊維分野において極めて先進的で興味深いものであるが、これらの知見をベースに、繊維製品の実用的な質感評価解析システムを直ちに構築するのは困難である。このため、平成7年度からスタートした第II期においては、これまでに検討した評価技術の高度化を図り、信頼性を向上させることが最大の課題となる。そして、これらの技術を統合し、繊維製品の質感評価技術確立とともに、協力研究の一環として進めている居住空間の視環境快適性の評価に活用することも視野に入れている。

1. 2 研究目標

生地を中心とする繊維製品に対する人間の感覚である質感（Y）と視覚・触覚的物理量との関係を明確にした質感式を構築する。心理生理量（ラムダ反応、α波ゆらぎ）についても、物理量を補完すべく活用可能な範囲内で盛り込む。

$$Y_1 \text{ (視覚的質感)} = AX_1 + BX_2 + CX_3 + \dots$$

X_1 : 生地表面画像のゆらぎ係数

X_2 : 測色値 (明度、彩度、色相)

$X_3 : \dots\dots$

$$Y_2 \text{ (触覚的質感)} = DX'_1 + EX'_2 + \dots + ZX'_n$$

$X'_1 \sim X'_n$: 曲げ、引張り、剪断、圧縮、表面等の

KES特性値または各特性値を組み合わせた計数値

1. 3 研究計画

(1) 心理生理学的計測技術の検討

生地に対する視覚的心理生理量計測技術については、これまで生地の明るさや複雑さをラムダ反応の振幅や潜時で表すことが可能であることが示唆されていた。昨年度は、実際に近い状況を考慮し弊研究室の応接室にカーテンを吊るし、リラックスできる状態で実験を行うことにより、カーテンを見た時のラムダ反応波の振幅、潜時と生地の明るさ・複雑さ、生地表面のゆらぎ係数等との相関性を検討した。今年度は、「やすらぎ」「視覚的総合評価」などの高次な主観量とラムダ反応波の安定性との関係について検討する。

また、生地に対する触覚的心理生理量計測技術については、これまで質感の良い生地と悪

い生地を脳波（ α 波）のゆらぎ係数で見極められることを明らかにしてきた。更に、婦人衣料用生地 of 質感差を、安静時における α 波ゆらぎの傾き f_r と、生地触覚時における α 波のゆらぎの傾き f との比 f/f_r で見分けられる可能性のあることを示唆した。今年度は、生地 of 触覚的質感と f/f_r の関係について更に検討を深める。

（２）生地物理量定量化技術の検討

昨年度までに、生地 of 色柄・形状などの表面ランダムネスをゆらぎ係数として計測できる画像処理装置の検討知見の幅を広げてきた。今年度は、実用面での応用をより念頭に置き、カーテン、壁紙、高齢者介護衣料用生地について、ゆらぎ係数の計測検討を進める。なお、風合い計測技術については、昨年度までに検討を完了している。

（３）主観量定量化の検討

昨年度までに、カーテンについて、視覚的主観量と生地表面 of ゆらぎ係数（生地物理量）の相関性を解析し、リビング用カーテン、オフィス用カーテンなど用途により最適なゆらぎ係数があることを見出した。また、リビング、オフィス、子供部屋、学校、病院、ホテル、施設用カーテン of 用途別の視覚的主観量を物理量で表す指標式導出の検討を行った。今年度は、応用事例研究として、「けいはんな」の休息環境において、より実際に近い状態でリビングルーム of カーテンに対する主観量の抽出、指標式 of 導出を行い、昨年度までに得た個別研究 of 検証を行う。

（４）指標式 of 導出

これまでに述べた主として主観量、生地物理量をベースに視覚的質感式、触覚的質感式 of 導出を行う。

２．研究開発成果 of 概要

２．１ 心理生理学的計測技術 of 検討

（１）視覚的心理生理量 of 計測技術

被験者が複雑に感じるカーテンほどラムダ反応 of 振幅が大きく、生地表面 of ゆらぎ係数も大きい。主観量「複雑な」を目的変数とし、ラムダ振幅を説明変数として単回帰分析を行い、次のような指標式を導出した。

偏回帰式

$$Y = 0.442(\text{ラムダ振幅}) - 7.556 \quad R = 0.78 \quad P < 0.01$$

標準回帰式

$$Y = 0.776(\text{ラムダ振幅})$$

また、生地画像 of 彩度のゆらぎ係数を目的変数として、ラムダ振幅を説明変数として単回帰分析を行い、次のような指標式を導出した。

偏回帰式

$$Y = 0.171(\text{ラムダ振幅}) - 2.027 \quad R = 0.88 \quad P < 0.01$$

標準回帰式

$$Y = 0.877(\text{ラムダ振幅})$$

また、「やすらぎ」「視覚的総合評価」などの高次な主観量とラムダ反応の安定性との関係を検討した。計測時間の前半のラムダ反応と後半のラムダ反応の両波形について、潜時別にデジタル化したポイントの電位の相関係数と主観量との関係を検討した結果、「やすらぐ」カーテンを見ている時ほど相関係数が高く、つまりラムダ反応の安定性がよいことが確認された。しかし個人差が大きいため指標として活用することは難しい。

(2) 触覚的心理生理量の計測技術

各種衣料用生地を対象に、質感と α 波ゆらぎ係数比（先述の f/f_r ）の関係を検討した。その結果、左脳、右脳のいずれにおいても、触覚的質感が良いと感じる生地に触れている時ほど、 α 波ゆらぎ係数比は1に近づく傾向があることがわかり、従来の検討結果を再現した。

2. 2 生地物理量定量化技術の検討

(1) 生地の視覚的物理量定量化技術

住宅休息環境（リビング）を想定したシーンにおいて、カーテンの適合性を求めた。その結果、カーテンの適合性とゆらぎ係数との間に、ゆらぎ係数1前後にピークを持つ2次相関が認められた。

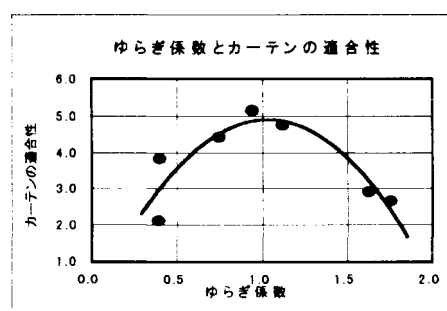


図 4-1.1 カーテンのゆらぎ係数と適合性

また、ゆらぎ係数の指標化技術を壁紙や高齢者介護関連施設における作業衣、パジャマ、エプロンなどに適用することを検討し、視覚的に快適なゆらぎ係数の範囲を設定した。

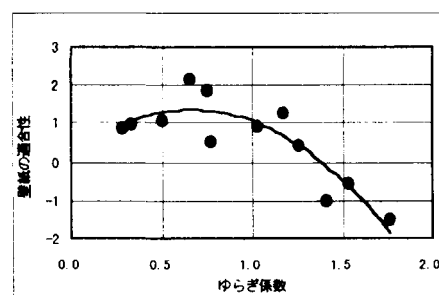


図 4-1.2 壁紙のゆらぎ係数と適合性

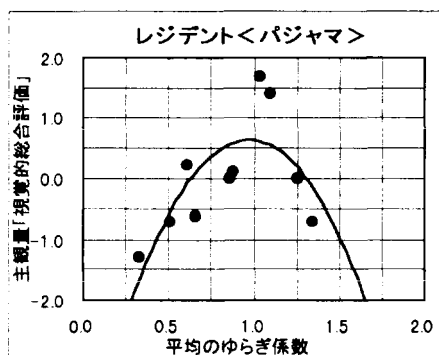


図 4-1.3 パジャマのゆらぎ係数と適合性

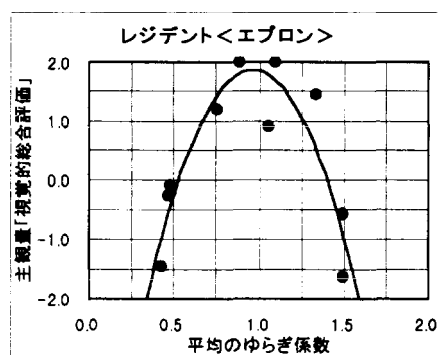


図 4-1.4 エプロンのゆらぎ係数と適合性

2. 3 主観量定量化の検討

(1) カーテンの視覚的主観量

「けいはんな」の休息環境で、照度、色温度などを変化させて実験した結果、先述のようにカーテンの適合性はカーテンの影響が最も大きく、カーテンのゆらぎ係数との間に2次相関が認められた。ゆらぎ係数が1前後のカーテンの適合性が最も高くなり、昨年までの個別研究の結果が検証された。

カーテンの適合性（主観量）を目的変数とし、室内の明るさ、室内の色彩の調和感、カーテンの明るさ、カーテンの自然感、カーテンのやすらぎ感、カーテンの楽しさ感、などの主観量を説明変数として重回帰分析を行い、極力説明変数を減らす方向で検討した結果、リビング用カーテンについては、次のような指標式が得られた。

偏回帰式

$$Y_1 = 1.0962(\text{カーテンの自然感}) + 0.1865 \quad R^2 = 0.98 \quad P < 0.01$$

標準回帰式

$$Y_1 = 0.9901(\text{カーテンの自然感})$$

2. 4 指標式

(1) 視覚的質感式

カーテンの適合性を目的変数とし、照度、色温度、カーテンのゆらぎ係数・測色値、壁紙のゆらぎ係数・測色値を説明変数として指標式を求めた結果、次のようになりカーテンの彩度のゆらぎ係数と照度で表すことができた。

偏回帰式

$$Y_1 = -4.1888(\text{彩度のゆらぎ})^2 + 8.2049(\text{彩度のゆらぎ}) + 0.7615(\log \text{照度}) - 1.0933$$

標準回帰式

$$Y_1 = -3.9908(\text{彩度のゆらぎ})^2 + 3.8886(\text{彩度のゆらぎ}) + 0.2950(\log \text{照度}) \quad R^2 = 0.78 \quad P < 0.01$$

(2) 触覚的質感式

触覚的総合評価値（主観量）を目的変数 Y_2 とし、K E S 特性値および各特性値を組み合

わせた係数値を説明変数 $X_1' \sim X_{25}'$ として重回帰分析を行い婦人春夏用ブラウス生地については次のような指標式を導出した。

偏回帰式

$$\begin{aligned} Y_2 = & 0.251 (\text{Log } 2\text{HB})^2 - 0.413 (\text{Log } 2\text{HB}) \\ & + 1.212 (\text{Log } 2\text{HG5})^2 - 0.054 (\text{Log } 2\text{HG5}) \\ & - 0.694 (\text{LC})^2 - 0.570 (\text{LC}) - 1.285 \end{aligned} \quad R = 0.92$$

標準回帰式

$$\begin{aligned} Y_2 = & 0.497 (\text{Log } 2\text{HB})^2 - 0.232 (\text{Log } 2\text{HB}) \\ & + 0.403 (\text{Log } 2\text{HG5})^2 - 0.030 (\text{Log } 2\text{HG5}) \\ & - 0.257 (\text{LC})^2 - 0.151 (\text{LC}) \end{aligned}$$

【カラーページの説明】

カーテンの休息環境適合性評価

生地や製品などを画像データとして取り込み、色相、彩度、明度に分割し周波数分析によって、 $1/f$ ゆらぎ特性として定量化するシステムを完成させた。

この装置で、カーテン用生地のゆらぎ係数を計測し、カーテンの視覚的主観量とゆらぎ係数の相関分析を行い、用途別に快適なゆらぎ係数の範囲を明確にした。

カーテン視覚時の心理生理量計測（ラムダ反応）

生地や製品を見た時の感覚（主観量）と、視覚時に計測した各種の生体電位との関係について、解析・検討し、後頭部から誘発される脳波（ラムダ反応）が有効であることを見極めた。視覚的に「複雑」に感じる生地ほどラムダ振幅が大きく、ラムダ振幅が大きいほど生地画像のゆらぎ係数が大きい。また、「やすらぐ」カーテンを見ている時ほど、ラムダ反応の安定性がよい傾向が認められた。

生地触覚時の心理生理量計測（ α 波のゆらぎ）

触覚的質感の良い生地と悪い生地を触っている時の各種の生体電位について検討した結果、質感が良いと感じる生地に触れている時ほど、 α 波（脳波）のゆらぎの比は「1」に近づく。

第5章 騒音の長時間暴露環境の評価

第5章 騒音の長時間暴露環境の評価

新橋研究室

When long-term sound is presented in our daily life in office or dwelling, habituation may occur. Habituation to noise is a phenomenon that when a stimulus is presented continuously or repeatedly to auditory organs, the responses to that stimulus gradually diminishes and finally disappears.

The following studies were carried out.

In this study, we used selective attention as an index of habituation.

The first one was to develop a method for measuring auditory habituation and investigate the effect of quasi-stationary noise and time pattern of exposed noise on habituation. We found that loudness or sound pressure level have relation to habituation.

The second one is an examination of habituation in relation to attention in dichotic listening situation using the method of continuous judgment by category. We make it clear about character of noise that is difficult to occur habituation. We tried to do index of habituation.

1. 研究開発目標

1.1 はじめに

本プロジェクトの主題である人間感覚を反映した住居・職場環境等の設計・制作を行うため、人間の音環境に対する感覚を定量的に評価でき、かつ環境の設計に反映する技術に応用できる音環境適合性の指標を確立することを目標としている。

特に本課題では人間の心理的な反応である音に対する「慣れ」(Habituation)と疲労感に注目して、人間の住居・職場環境で常時暴露されている様々な音の物理特性とそれらの心理的な反応との関係を明らかにしようとしている。

1.2 開発目標

「慣れ」は、音環境に対する適応を支えるきわめて重要な機能である。従って、ある環境下に滞在している人間にとって、音に対する慣れや疲労感といった人間の心理的反応が音環境適合性の指標となる。最終的に、個々の音の物理的特性とそれらの心理的な反応との関係から環境適合性の指標を作ること为目标としている。

音パラメータとして、音の種類、レベル、高さ、スペクトルと継続時間パターンが挙げられるが、これらの物理的な特性と慣れ(Habituation)との関係を解明する。

平成10年度は、これまでに行ってきた個々のパラメータを統合して実験を行った。その結果から、騒音環境下での執務人間に与える影響を考慮した音環境適合性に関わる指標の作成を行った。

2. 研究成果の概要

2.1 音に対する「慣れ」と実験方法

われわれは、選択的注意の観点から暴露音に向けられている注意の減少の状態を「慣れ」と定義し、注意のひきにくい音は、ひきやすい音と比べて慣れやすいと音と考えた。つまり、慣れやすい音は執務環境下の人間にとって邪魔に感じられにくいといえる。そこで、「慣れ」の測定結果から執務中の音環境を評価しようと試みた。そして、音環境を評価するために、あいまいな判断を取り除くことが難しい主観評価のみでなく、客観的な評価が行える行動量を手がかりとして測定を行う手法の開発を行った。

今回開発した実験方法は、被験者に暴露する音の刺激としてレベル差を用いる。そして、そのレベル差に対する被験者の行動量によって、「慣れ」を測定した。実験では測定を行うそれぞれの音源について、刺激の強さが心理的に等価である必要がある。そこで、予備実験として「慣れ」を測定する音源についてレベル変化に対する弁別の測定を行う。その結果から、提示する音源について心理的に同程度の反応が起こる刺激を設定し、提示音源間の条件を均等にする。次に、その条件を揃えた刺激を用いて、執務環境を模した状態で「慣れ」の実験を行う。予備実験を行い、各音源について均等な刺激を与えているので、「慣れ」の実験において、被験者の反応に音の種類による違いが表れれば、音源の物理量と「慣れ」の関係が捕らえることができる考えた。

平成 8 年度は、提示刺激としては時間的に定常な音源を使用し、50～250Hz 帯域を中心とした騒音の低音域成分が執務人間に与える影響について慣れの程度を捕らえる実験手法を開発し、計測を行った。その結果、慣れはラウドネスと関係があることが示唆された。平成 9 年度は、騒音の時間パターンが執務人間に与える影響について、繰り返し短音を用いて、計測を行った。その結果、慣れは提示音の単位時間のエネルギー量と関係があることがわかった。

そこで、平成 10 年度は、それぞれのパラメータを統合して「慣れ」の指標の作成を行った。

2.2 暴露騒音の物理的指標と慣れの関係

(1) 実験方法

これまでと同様に平成 10 年度は、2 つの実験から構成した実験を行った。

予備実験：レベル変化量による刺激の標準化実験

慣れの実験：騒音の長時間暴露による「慣れ」の測定実験

(2) 実験条件

実験は、音環境提示室と呼んでいる十分に音環境が統制された実験室（温度約 25℃、湿度約 40%）で行った。被験者は、聴覚に異常のない 20、30、40 代、男女各 2 名 計 12 人である。

(3) 提示刺激

音源には、6 種類の定常的な音と 4 種類の繰り返し短音の合計 10 種類の音源を用いた。まず、定常音は、周波数特性の異なる音源を 3 水準とし、提示する騒音レベルをその 3 水準の音源についてそれぞれ 2 水準とした計 6 種類である。それぞれの音源の周波数特性を図-1 に示す。図-1 は 60dB(A) で提示したときの周波数特性（1/3 オクターブバンドレベル）である。また、繰り返し短音は、白色雑音を基に、繰り返し時間を 200msec、継続時間を繰り返し時間の 10、50% の 2 水準、提示レベルを、作成した繰り返し短音と同振幅の定常白色雑音を用いて、50dB(A) と 60dB(A) の 2 水準に設定した。図-2 に模式図を示す。つまり、繰り返し時間ごとに

50dB(A)もしくは60dB(A)の白色雑音が提示され、継続時間の長さ継続する。それぞれの音源の物理量を表-1に示す。それぞれ音源番号の奇数が50dB(A)、偶数が60dB(A)の提示条件での測定値である。また、音源1,2がsource(1)。音源3,4がsource(2)。音源5,6がsource(3)に示す周波数特性を持つ。音源7,8は、繰り返し時間200msec、継続時間が20msec(10%)、音源9、10が、繰り返し時間200msec、継続時間が100msec(50%)の音源である。

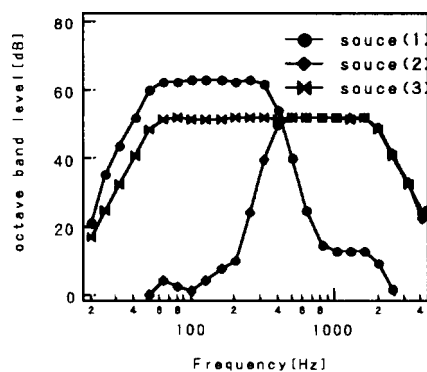


図-1 定常音周波数特性

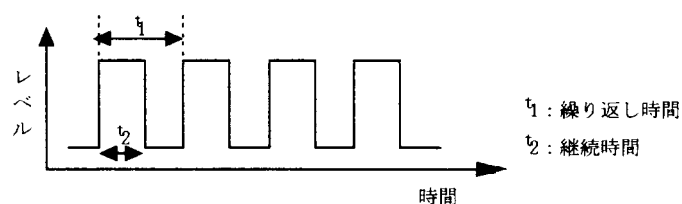


図-2 音源模式図

音源	Leq (dB)	LLz (phon)	LAeq (dB)	step 幅 (dB)
音源 1	62.03	60.81	50.00	0.88
音源 2	72.03	70.82	60.00	0.81
音源 3	50.15	63.51	49.92	0.51
音源 4	60.45	73.38	59.92	0.49
音源 5	53.53	66.22	49.94	0.46
音源 6	63.53	76.26	59.91	0.45
音源 7	40.63		40.00	0.96
音源 8	50.63		50.00	1.01
音源 9	47.63		47.00	0.52
音源 10	57.63		57.00	0.59

表-1 音源の物理特性とステップ幅

(4) 実験手順

予備実験：被験者は作業負荷無しで、音の大きさの変化に対する判断を行う。提示レベルの変化は6秒ごとに起こり、その都度被験者に判断を求める指示を出す。被験者には必ず大小どちらかの反応を行うように教示する。一回の実験は10分間で、100回のレベル変化が起こる。
慣れの実験：判断を求める指示を行わず、被験者は任意に音の大きさの変化に対して判断を行う。実験は40分間継続し、15分間の負荷作業、10分間の休憩、15分間の負荷作業の状態を

繰り返す。その負荷作業の15分中の約12分間に100回のレベル変化が起こる。被験者には、負荷作業の状態に関わらず、提示された音の大きさが変化したと感じた時に任意に変化の方向をキーボードに入力するように教示する。負荷作業は、2つの3桁の数字の加算を暗算で行う課題とした。各被験者は、一つの音源に対して、2回の実験を行った。

(5) 予備実験の結果

レベルの変化量の絶対値ごとに、正しい回答が行われた回数を変化量が出現した回数で割り、正答率を求めた。その結果から、それぞれの結果とカイ自乗値を最小にする累積正規分布を求め、その上で正答する確率が0.7であるstep幅の大きさに設定した。その結果を表-1のstep幅の欄に示す。それぞれの結果について、カイ自乗値は十分に小さい値が得られ、累積正規分布の曲線に従うとみなせる結果となった。(P<0.5)

(6) 慣れ実験の結果

実験結果を表-2に示す。正規化反応指数は、100回のレベル変動の分布と、それに対して正しい回答が行われた回数から求めた数値で、被験者が反応を行うレベル変化量の平均値を推定したものである。慣れにくい（選択的に注意を引きやすい）音ほど、小さな変化に対しても回答が行われ、正規化反応指数は小さな値となる。

音源	正規化反応指数(step)
音源 1	4.78
音源 2	4.80
音源 3	4.39
音源 4	4.30
音源 5	4.59
音源 6	4.42
音源 7	5.48
音源 8	4.81
音源 9	5.16
音源 10	4.62

表-2 「慣れ」の実験結果

(7) 考察

a) 正規化反応指数

各被験者の正規化反応指数について分散分析を行った結果、被験者、音源ともに有意であったが、交互作用はなかった。つまり、各被験者とも各音源に対して同様の判断をしていたといえる。また、慣れの指標とした正規化反応指数と、音源の物理量との重相関を求め、検討したところ、定常音の場合、ツヴィッカーラウドネス (LLz) と L5-L95 (90%レンジ変動幅) との相関が高く、繰り返し短音の場合は、Leq (等価騒音レベル) と log (継続時間率) とで高い相関が得られた。すなわち、慣れの生じ易さは音の大きさや単位時間当たりのエネルギー量と関係を持つと考えられる。

b) 負荷作業

負荷作業課題について、分散分析を行った結果、回答数および正解率について提示音源による違いは観られなかった。

2.3 指標化式

これらの結果から、われわれが音環境の適合性の指標と考える「慣れ」と音環境の物理量との重回帰式を求めた結果

定常音の場合

$$Y \text{ (正規化反応指数)} = -0.043 \times LLz + 0.2165 \times (L5 - L95) + 4.568 \quad (R^2 = 0.790)$$

繰り返し短音の場合

$$Y \text{ (正規化反応指数)} = -0.0474 \times Leq - 0.00246 \times \log(\text{継続時間率}) + 7.321 \quad (R^2 = 0.897)$$

となった。

2.4 音に対する慣れの実験的研究

(1) 目的

選択的注意を慣れの指標として、慣れにくい音の性質を明らかにし、その指標化を試みる。慣れを測定する手法は昨年度までの実験で確立できたので、その手法を用いる。すなわち、右耳にターゲット音、左耳に妨害音を与え、カテゴリー連続判断法を用いて、ターゲット音のトラッキング作業に与える妨害音の影響を検討する。

(2) 実験

a) 手続き

カテゴリー連続判断法を用いて、右耳提示されるターゲット音の時々刻々の大きさを「1：非常に小さい」から「7：非常に大きい」まで7つのカテゴリーを用いて、判断させる。左耳には種々の妨害音を提示する。実験終了後、アンケート調査を行う。

b) 刺激

イ) ターゲット音

全継続時間は12分で、その間に自動車交通騒音、航空機騒音、鉄道騒音、ヘリコプタ騒音、音楽、音声など各20秒～1分の音を含む。なお、音がとぎれないように、各音源の背景に住宅地で深夜に録音した音(40 dBA)を提示した。

実験に先だって、予備実験を行い、12分の刺激全体、および各音源ごとに、カテゴリー連続判断法による時々刻々の大きさ判断と100 msごとに求めた $LA_{eq, 100ms}$ との間の相関を検討し、妨害音がない時には十分高い相関係数が得られるような刺激を選定し、実験に使用した。

ロ) 妨害音(人工音)

指標化が可能なようにパラメタを設定した人工音、および意味の影響について検討するためバブルノイズ、カラオケの音、突発的な音の影響を検討するためガラスビンが割れる音を加えた。条件は下記の15種類。

- ・ 妨害音なし(コントロール)
- ・ 周波数条件 4条件(低域卓越2種, フラット, 高域卓越)
- ・ レベル 4条件(40, 50, 60, 70 dBA)
- ・ レベル変動 4条件(振幅変調の変調0, 4, 20, 40 Hz; 変調度は100%)
- ・ 意味の影響(バブルノイズ, カラオケ; $LA_{eq} = 50$ dBA)
- ・ 突発音の影響(ガラスビンが割れる音を挿入; 頻度2種, 13回/12分, 4回/12分)

計 15 条件

c) 被験者 聴力に異常のない男性 2 名、女性 6 名、計 8 名。

(3) アンケート

各実験終了後、ターゲット音の判断が易しかったかどうかを 5 段階で尋ねた。

(4) 補足実験

補足実験として各妨害音（5 秒程度）を提示し、SD 法で評価を求めた。

(5) 分析

下記の分析を行って、慣れの指標化を試みた。

a) ターゲット音について、時々刻々の判断と時々刻々の LAeq の相関

b) (1) の相関係数と、妨害音の全体の LAeq、LLz、sharpness、roughness、fluctuation strength との対応

c) カテゴリー連続判断法の反応回数

d) 重回帰分析

【カラーページの説明】

・実験手順

作成した音源信号に、階段状のレベル変化を与え、スピーカより被験者に提示する。

被験者には、音の大きさの変化に気付いた時に、任意に大小の判断をキーボードに入力するように、あらかじめ教示する。被験者は負荷作業課題を実施しながら、同時に音の判断を行う。グラフは、レベル変化量の分布と、その変化量に対して行われた被験者の判断の頻度である。レベル変化量が大きくなる程、被験者の反応を示す折れ線はレベル変化の分布を示す折れ線に近づく。すなわち、小さなレベル変化の出現に対しては判断が行われる頻度は低く、大きなレベル変化の出現に対しては高い頻度で判断が行われている事がわかる。

次に正規化反応指数の算出方法である。まずはじめに、刺激と被験者の反応をレベル差の大きい方から累積をする。被験者の反応回数の総回数と刺激の累積曲線との交点が正規化反応指数である。これを試行回数分算出する。

・実験結果

定常的な音源と繰り返し短音の実験結果を示す。正規化反応指数として、被験者が音に対する判断を行う変化量の平均値を推定した。それぞれ縦軸が正規化反応指数、横軸が物理量である。横軸は、定常音の場合はツヴィッカーラウドネス (LLz)、繰り返し短音の場合は、等価騒音レベルを示す。その結果、物理量が大きくなると正規化反応指数も小さくなる傾向があった。これは、提示された音源の小さなレベル変化でも気が付くということを示している。つまり「慣れ」が生じにくいということである。

第6章 衣料製品における圧感覚適合性の 指標化技術の研究開発

第6章 衣料製品における圧感覚適合性の 指標化技術の研究開発

吉祥院研究室

Our Laboratory conducted fundamental research into the relationship between applied pressure and mental and physical reactions to determine the “pressure balance” of clothing arising when a stretchable garment is worn. We also developed a practical pressure balance suitability evaluation system to evaluate clothing suitability.

1. 研究開発目標

1.1 まえがき

人間は衣服を着用した時、「この衣服は着心地がよい」「この衣服は着心地が悪い」という反応をする。これは衣服の素材や設計の違いによって生じる刺激の差を形態面、動態面、感覚面、生理面から総合的に判断しているからである。衣服が人体に与える刺激には暖かさや涼しさに関する「温熱刺激」、きつさやゆるさに関する「加圧刺激」、肌ざわりに関する「接触刺激」等がある。これらの感覚は単に衣服と人間の関係だけでなく、着用時の環境条件からも大きな影響を受けている。

このような前提のもとで、衣服を開発しているアパレルメーカーは、開発時点においてその刺激を自分たちの手で、自由自在に制御したい。つまり、その刺激を与えている原因となっている衣服の構成要素（素材、設計、加工法）をいろいろなレベルで変化させることにより、着用対象とする顧客の感覚にもっとも適合した衣服に近づけていきたいと考えている。従って、その制御できる刺激が、製品品質を左右するくらいウェイトの高いものであればあるほど、その実用的価値は高まる。

大多数のアパレルメーカーでは、素材メーカーが開発した素材を購入し、衣服設計を行っている。つまり、いったん素材を決定してしまうと、その後変更できるのは設計と加工法だけになる。それらを変更することによって商品の完成度を向上させていく過程で最も制御しやすい刺激は、加圧刺激である。

特に、パンスト、タイツ、スパッツのようなストレッチ性のある衣服では、人間の着用感全体において加圧刺激に関する感覚の占める割合が 50%近くになる。さらにその加圧刺激は着用者の体型や着用時の動作内容によって大きく変化する。つまり、それらを十分考慮した上で製品の圧力測定を行うことができれば、その製品の着用者に対する適合性をかなり高い精度で予測・評価することができる可能性を持っている。さらに、その圧力特性は設計寸法等を修正することで容易に変更することができる。以上の背景より、我々研究室は、ストレッチ性のある下半身衣料における製品適合性（主として圧感覚適合性）を指標化する技術の研究開発を行っていくことにした。

1.2 研究の進め方

目標達成の為に以下のように研究を3つのパートに分類し、それぞれの研究目標を設

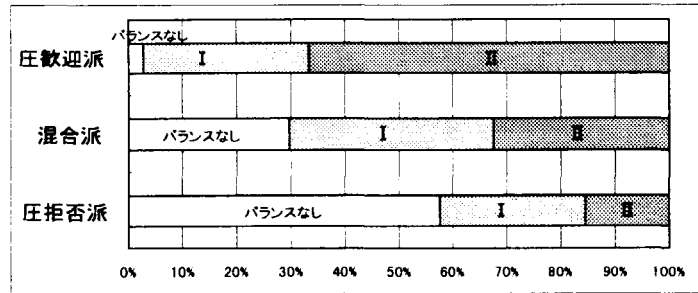


図 6-2 1 部位加圧と 4 部位加圧の関係

これによると、圧歓迎派はⅡバランスが多く、圧拒否派はバランスなしが多かった。しかし、圧拒否派の中でも 4 部位同時に加圧すれば、裸脚より加圧時の方が快適と感じる人が 40%以上存在することも分かった。

(2) 加圧刺激に対する生理反応の分析

加圧刺激と生理反応、及び、主観属性と生理反応の関係を分析した。

・実験条件

①被験者は、主観反応で高い再現性がみられ、健康診断で異常の認められないことを前提に、以下の主観属性の組合せで 10 名選出した。

主観反応（1 部位加圧）から分類された、圧歓迎派、圧拒否派、混合派

主観反応（4 部位加圧）から分類された、Ⅰバランス、Ⅱバランス、バランスなし

②加圧刺激は、前述の主観反応（4 部位加圧）の実験で、本人が最も快適と感じるバランス（最高快バランス）とした。なお、最高快バランスが存在しない被験者については、最も快到に近いと判定したバランスを用いた。

③プロトコールは、仰臥位安静 6 分間、仰臥位加圧（または無加圧）6 分間、立位加圧（または無加圧）6 分間を 1 セットとし、3 回繰り返した。なお、データの安定性を考慮し、1 セット目は慣れ試行とした。

・結果

①加圧刺激と生理反応の関係では、大きめの圧を好む被験者については、加圧刺激は姿勢変化時（仰臥位から立位へ）の身体負担を軽減する働きがあった（姿勢変化による自律神経系活動の変化量を減少させる傾向があった）。

②主観属性と生理反応の関係では、無加圧で姿勢変化をさせた時は、圧歓迎派・拒否派で末梢血流量の変化に差が見られた（圧拒否派の方が変化量が大きかった）。

③両者に加圧刺激を与えた場合、末梢血流量の変化は無加圧時よりも小さくなり、さらに、圧歓迎派と圧拒否派の差は縮小された。

2.2 実用化研究「実用型衣服の圧バランス適合性評価システムの開発」

(1) 目的・用途

アパレル業界従事者、特にデザイナーや技術者が設計や生産の場で、このシステムのダミー部に製品を着用させることによって形態的、動的に変化する衣服圧を測定することができ、更にこの測定値を圧感覚適合性評価指標に照合することによって、製品の適合性（「圧バランス適合性」）の評価判定を行うこともできる。

(2) 装置の概要

ダミーの寸法設定では JIS 作成に使用したデータベースにアクセスし、ストレッチ性のある下半身衣料の M サイズに該当する被験者の体型データをもとに、設計した。その結果、M サイズの被験者であっても、脚部周径が L サイズの平均に近い太い脚の人から、S サイズの平均に近い細い脚の人まで存在することが明らかになった。そのばらつきに対応するため、ダミーの左右の脚部周径をそれぞれ L サイズ、S サイズの平均周径値にした。

更に着用者の動作によって生じる衣服圧の変化を把握する為に、ダミーは静立状態だけでなく足踏み動作ができるようにした。副次的な効果として、ダミー駆動による着崩れが視覚的に判断できることや、パンティストッキング等の薄くて伸びの大きい衣服をダミー等に着用させた時に発生しやすい装着時のねじれなどが足踏み動作を繰り返すことで緩和され(パンストがダミーに馴染む)、再現性の高い衣服圧測定が可能になった。

圧力センサは基礎研究で被験者の加圧に対する主観・生理反応に影響が出ると想定した位置に装着した。

このダミーに製品を着用させ、足踏み等の動作によって変化する圧力値を測定し、①圧力の合計値、②4 部位の圧力分布特徴、③脚部前後の圧バランス、④太い脚と細い脚の圧力値の差 (L - S 差)、⑤足踏み動作による圧力のバラツキ等の演算処理を行う。このようにして求めた製品の衣服圧特性値と、応用研究の官能検査で得られた主観反応結果の関係を分析することで、衣服の圧感覚適合性判定指標を作成していくことができる。

2.3 応用研究「ストレッチ性のある下半身衣料の着心地分析と圧感覚適合性の指標化」

(1) 実験手順

指標を作成するにあたって、まず市販されているストレッチ性のある下半身衣料 (パンスト、スパッツ、肌着、スポーツウェア等) の着心地 (着用感構成要素) を知るために、官能検査を行った。被験者の選定に際しては形態計測値 (マルチン、3 次元計測)、及び基礎研究より求めた加圧刺激に対する主観反応特性の結果を、着用サンプルの選定に際しては実用型衣服の圧バランス適合性評価システムにより計測した衣服圧値をもとに偏りの出ないようにサンプリングした。

(2) 解析結果

20 名 18 品番という限られた範囲ではあるが、SD 法 (17 項目 7 段階判定) によって得られたアンケートデータを因子分析することでストレッチ性のある下半身衣料の着用感は、動きやすい、伸びやすいに代表される「動作時適合性」、ひきしまる、フィットするに代表される「静止時適合性」、薄い、むれなさそうに代表される「温熱適合性」によって構成されていることが明らかになった。さらに圧感覚と関係の深い 2 つの因子である「動作時適合性」と「静止時適合性」を合せた累積寄与率は 0.494 であった。

次に、各商品の主観反応値 (特に静止時適合性と動作時適合性の 2 因子) と衣服圧特性値 (演算処理した値) との相関関係を分析し、相関係数が 0.8 以上の高い相関関係のものを探した。これらの 2 因子をできるだけ少ない変数で説明でき、且つアパレルメーカーが下半身衣料を設計する際に制御しやすい、生地や糸の特性と関係が深いと考え

られる変数として圧力の合計値と L-S 差(伸張特性)を選択することにした。

(3) 圧感覚適合性の指標化

図 6-3 は圧力の合計値と圧力の差（L-S 差）を XY 軸に配し、全着用サンプルのポジションをプロットしたものである。

尚、各ゾーンの特徴は、表 6-1 に示す通りである。

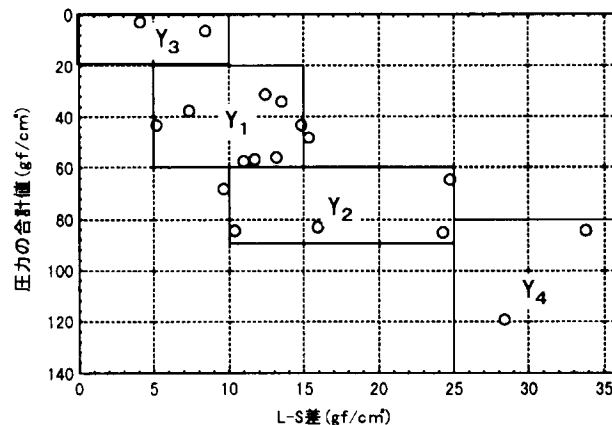


図 6-3 衣服圧値による着用サンプルの分類

ゾーン名	圧力分布 (gf/cm ²)	評価	人数比率		
			快	0	不快
Y1	圧力の合計値 20~60	70%以上が快適と感じる			
	L-S差 5~15				
Y2	圧力の合計値 60~90	快不快が極化する			
	L-S差 10~25				
Y3	圧力の合計値 20未満	不快が出にくい			
	L-S差 10未満				
Y4	圧力の合計値 80以上	80%以上が不快と感じる			
	L-S差 25以上				

表 6-1 各ゾーンの特徴

Y1 から Y4 までの各ゾーンの適合性は表 6-1 に記載した通りであるが、基礎研究で明らかにした加圧刺激に対する主観反応特性別に読み込むと以下の特徴が見られた。

Y₁：このゾーンを不快と感じる人は少数派であり、3 名/20 名であった。その人達は圧歓迎派でⅡバランスを好む傾向にあった。

Y₂：このゾーンを快と感じる人は圧歓迎派で、Ⅱバランスを好む傾向の人が多。また、不快と感じる人は、Ⅰバランスを好む人が多かった。

Y₃：このゾーンを快と感じる人の主観反応特性に共通性はなかった。

Y₄：このゾーンを快適と感じる被験者は少数派であり 3 名/20 名であった。その人達はいずれも混合派であった。

この結果を実用化研究の実用型衣服の圧バランス適合性システムの評価部にある判定ソフトに搭載している。これにより、設計や生産の場で、人の主観から見た製品評価を短時間で行うことが可能となった。

[カラーページの説明]

基礎研究「加圧と心身反応の関係を追求する」

加圧ベルトを使って、加圧と心身反応の関係を明らかにした（被験者 100 名、加圧ベルト 10 種類）。脚部の 4 部位だけという局所的な加圧ではあるが、加圧と主観反応及び生理反応の関係が明らかになった。この結果を応用研究と実用化研究に活用した。

応用研究への活用 → 被験者選定及び圧感覚適合性指標の適用範囲の読み込みに使用。

実用化研究への活用 → 衣服圧センサ内蔵ダミーのセンサ装着部位及び製品の圧力特性による分類に使用。

応用研究「ストレッチ性のある下半身衣料の着心地分析と圧感覚適合性の指標化」

市販されているストレッチ衣料（パンスト、タイツ、スパッツ等）の着心地を分析した（被験者 20 名、ストレッチ衣料 18 種類）。

人間が感じる主たる着心地は、

- ①動作時適合性（動きやすい、伸びやすい）
 - ②静止時適合性（ひきしめる、フィットする）
 - ③温熱適合性（薄い、ムレなさそう）
- である。

また、ストレッチ衣料において、圧感覚の占める割合は、50% 近くになっていることが、明らかになった。

実用化研究「実用型衣服の圧バランス適合性評価システムの開発」

デザイナーや技術者が設計や生産の場で、製品の衣服圧を測定し、圧感覚適合性の推定ができる実用型衣服の圧バランス適合性評価システムを開発した。ダミーの寸法設定は、JIS 規格設定に使用したデータにもとづき、胴体部は M サイズ、右脚は L サイズ、左脚は S サイズの平均値をもとに立体化した。これによって、同一サイズ内の体型差（足の太さの違い）によって生じる衣服圧の幅を把握できるようになった。ダミーは、静立状態だけでなく足踏み動作ができる。これによって、動作によって生じる衣服圧の変化を把握できるようになった。

第7章 VDT作業にともなう疲労の 指標化技術の研究開発

第7章 VDT作業にともなう疲労の指標化技術の研究開発

つくば研究室

We developed indices for measuring the muscle fatigue and the sight fatigue, which accompanies VDT work in this year. In index for measuring the muscle fatigue, we developed that more precisethan last year($R=0.72, n=32$). And then in the study of index for measuring the sight fatigue, we made experiments for evaluate the site function ($n=23$). As a result, we could develop index($R=0.72, n=20$). On the other hand we made experiments as practical application of human sensory index for measuring the muscle fatigue to verify that the index is effective for evaluating the muscle fatigue from VDT work more similar to everyday life and to examine the effective method to alleviate the muscle fatigue. As a result, we confirmed that the index was effective and the massotherapy including bathing (10 minutes and 42 degree) was more effective than resting on the sofa.

1. 研究開発目標

1.1 まえがき

現在、日常生活の中で頻繁に行われているVDT作業は、その作業を継続すると肩こりや腰痛といった局所筋疲労、ドライアイや目の焦点が合わなくなるといった視覚疲労が発生・蓄積する。これらの疲労の状態を客観的に評価することは、作業者の疲労状態把握のみならず、作業環境の改善に反映できる。

1.2 開発目標

VDT作業で発生する疲労を評価するための主観、パフォーマンス、生理計測・解析方法を開発し、入力作業や検索作業で顕著に現れる筋疲労や視覚疲労を指標化する。また、指標化にともなって筋電位計測手法や視覚特性連続計測手法を開発する。さらに、応用事例研究（STEP6筋疲労評価実験）として、筋疲労指標の有効性の検討、および疲労回復に効果的な入浴方法の検討を行う。

1.3 研究計画

(1) VDT作業にともなう筋疲労指標化技術の研究開発

姿勢拘束下でのVDT作業（入力作業）にともなう筋疲労の指標式を完成する。

(2) VDT作業にともなう視覚疲労指標化技術の研究開発

検索修正作業での視覚疲労評価実験を行い、視覚特性（瞳孔径、焦点調節量）による視覚疲労の指標化（目的変数：主観）を検討する。

(3) 応用事例研究（STEP6 L6-P5）

入力作業時の疲労蓄積状態、入浴や休息を通しての回復状態の評価に応用し、筋疲労指標の有効性の検討、および疲労回復に効果的な入浴方法の検討を行う。

2. 研究開発成果の概要

2.1 筋疲労指標化技術の開発

(1) 指標の精度向上

昨年度に実施した筋疲労指標作成のための実験および今年度実施した応用事例研究のデータ (n=39) をもとに筋疲労指標の高度化を検討した。筋疲労指標の目的変数としている主観量、すなわちRASの首・肩の疲労感(7段階尺度)を基準に高度化を行った。主観計測は、拘束姿勢の文字入力タスク開始前から、タスク60分まで20分間隔で計4点サンプリングした。説明変数である生理量、行動量の変化傾向と照らし合わせながら、主観量の変化の少ないケース(タスク終了時で3ポイント(少し疲れている)以下)を抽出・削除し、重回帰分析を行い、指標の再構築を行った。

(2) 筋疲労指標

タスク終了時にRASの首・肩の疲労感スコアが3ポイント以下のケースは7例あり、これらのケースにおいて他のパラメータすなわち生理量である平均周波数やパワーの変化傾向はそれぞれ疲労蓄積時と同様であった。これは主観の回答の仕方に問題があったと考えられ、主観評価尺度の個人差を排除したより客観的な評価方法が望まれる。また、普段からプログラミングを行っている被験者では主観のポイントが低いケースが多く見られた。VDT作業の頻度が高い人は、自然と疲れの蓄積しにくい姿勢や入力方法をとっている可能性がある。これらのケースを除いて重回帰分析した結果、重相関係数 $R=0.72$ 、例数 $n=32$ の指標式が得られた($p<0.05$)。この指標はキーボード高さを80cmに設定した拘束姿勢(一連続作業20分、繰り返し3回の合計60分の文字入力作業)において作成したものであり、オフィスでノートパソコンを使用している時を想定しているケースである。作成した筋疲労指標は、現時点ではキーボードの位置をやや高めに設定し、姿勢を保持した作業環境での疲労蓄積の客観評価に適用可能である。図7-2.1に首・肩疲労感の分布を、図7-2.2に筋疲労指標の予測値と実測値の関係をそれぞれ示した。最終成果として筋疲労計測マニュアル、および筋疲労データベースを作成完了した。

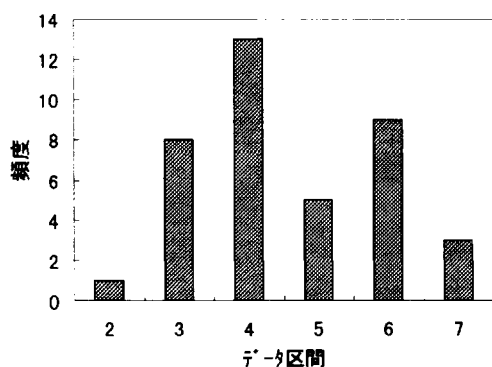


図7-2.1 首・肩疲労感の分布

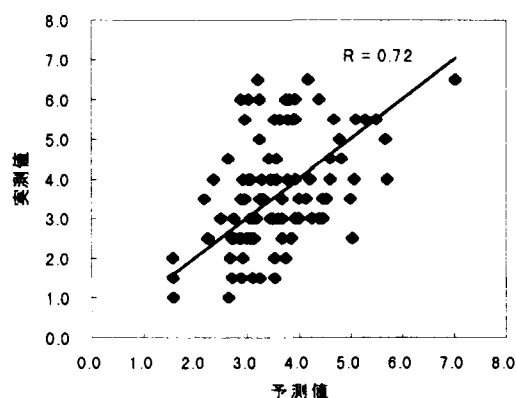


図7-2.2 筋疲労指標の予測値と実測値

2.2 視覚疲労指標化技術の開発

平成10年度はVDT作業にともなう視覚疲労を反映する指標を作成するために、タスクを行いながらの視覚特性計測実験（ $n=23$ ）を実施した。得られた主観量・生理量・行動量各データから有効なパラメータを抽出して指標を構築した。

(1) 実験方法

被験者は加齢により瞳孔径が縮小し調節幅も減少するため、今回の実験では、被験者を年齢25歳以下の男性23名とした。タスクはディスプレイと原稿を見比べ、異なる部分を修正する検索修正作業を60分課した。原稿は、被験者の目から25cm、ディスプレイは50cmの位置に配置し、見比べる際に調節刺激が起こるように設定した（図7-2.3に示した）。原稿はランダムなアルファベット8文字を1列とし、列の数は1ページ10列表示した。ディスプレイには原稿の一部を変更して表示し、被験者は原稿と見比べ、異なった列の場合には1を、異なっていない場合には0を入力するタスクとし、列の誤り発生率は40%に設定した。また、装置の精度を考慮し、眼球運動による調節ノイズを最小限にするため、作業視野角を上下 $\pm 5^\circ$ 、左右 $\pm 4^\circ$ と狭い範囲で設定した。原稿、およびディスプレイは表示文字を小さく（8ポイント）、輝度も暗めに（3.6cd）に設定し、視覚疲労を発現しやすい環境で実験を実施した。計測項目は生理量として眼球運動（X、Y）、瞳孔径、焦点調節量を視覚疲労計測装置で計測し、視覚疲労を反映する可能性のある瞳孔径、調節速度、調節幅等の算出を試みた。主観は疲労・覚醒SGで共通に使用している主観評価表（労研式RAS）を用い、目の疲れを算出した。行動量は作業量を評価し、作業経過時間にもなう変動を解析した。

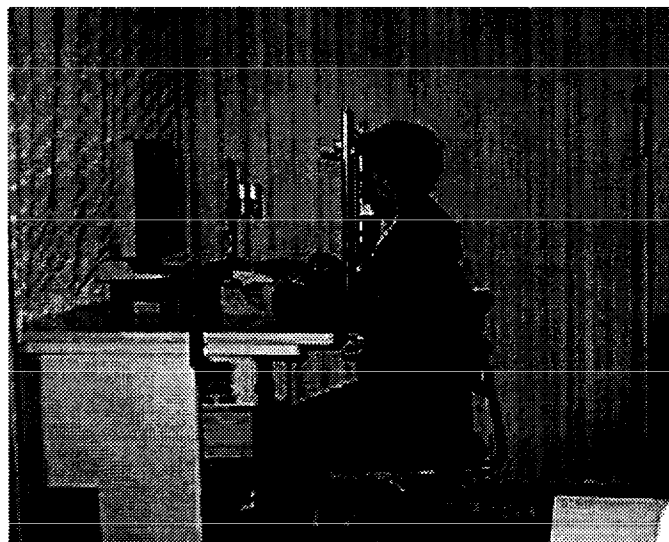


図7-2.3 実験状況

(2) 結果と考察

主観評価の結果、検索修正作業時間の経過にともない視覚疲労のスコアが初期に比べ4ポイント増加した。目の疲れでも同じ傾向である。視覚特性については図7-2.4に検索修正作業中の最小瞳孔径を、図7-2.5に焦点調節幅の変化を示した。

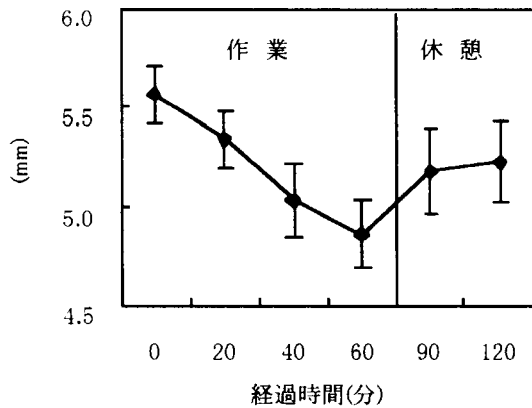


図7-2.4 最小瞳孔径の変化

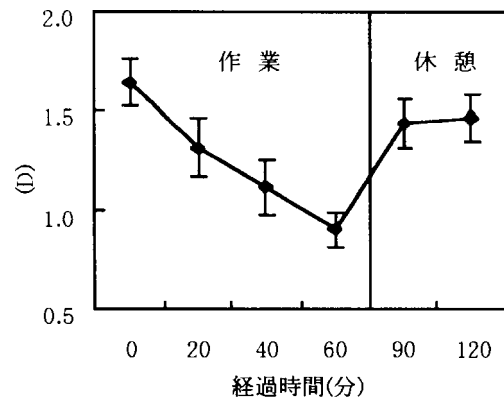


図7-2.5 焦点調節幅の変化

最小瞳孔径については、作業時間の経過とともに減少する傾向が見られ、これまでの結果と一致している。最大瞳孔径も同様であった。また、調節幅（原稿注視時間の調節値－ディスプレイ注視時間の調節値）も作業時間の経過にともない、約1.6 D（ディオプタ）あった調節幅が1.0 D程度まで減少した。実験データを用いて重回帰分析した結果、重相関係数 $R=0.72$ 、例数 $n=20$ の指標式が得られた。（ $p<0.01$ ）図7-2.6に視覚疲労指標の予測値と実測値の関係を示す。実験データは初期値を1として基準化したものを用いた。また、最終成果として視覚疲労計測マニュアルを作成完了した。

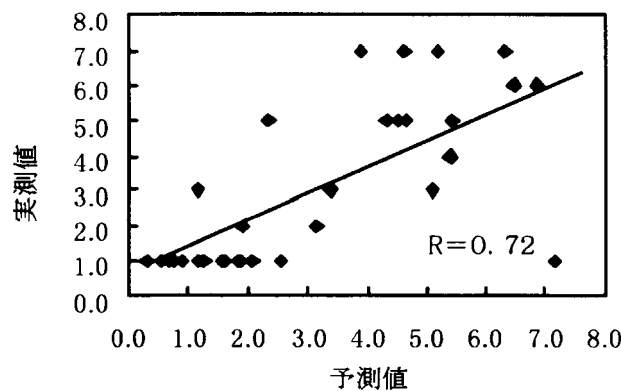


図7-2.6 目の疲れの予測値と実測値

2.3 応用事例研究（STEP6 L6-P5）

6月1日から6月19日の期間で平成9年度に作成した筋疲労指標の有効性を検証し、また筋疲労の回復に効果的な入浴方法の検討を行うための実験、すなわち応用事例研究（STEP6 L6-P5 筋疲労評価実験）を実施した（ $n=10$ ）。

(1) 実験概要

被験者は、コンピュータを普段使用し、精通している健康な男子学生5名（19～23歳）とした。被験者は、すべて身長165～175 cmであり、標準体重（（身長－100）×0.9 kg）以下であった。作業環境としては、市販のパソコンラックを用いてキーボードの高さを80 cmとして疲労評価の対象部位である僧帽筋に負担を

かけた。作業椅子の高さは約40cm、肘は、両手を鉛直方向下向きに下げた際の肘の位置から5cm程度高くした（床から約73cm）。作業中はなるべく姿勢を変化させないように教示した。これによりタスク中は、最大筋力比10%程度の安定した筋電図が得られた。タスクは文字入力作業を採用した。指定した8個のキーを順に押し、1ターン入力後に改行する作業を20分連続で行い、それを3回繰り返す合計60分のタスクとした。タスク終了後は60分の休憩時間を設けた。休憩方法は、ソファに座って安静状態を維持する安静群と安静前に打たせ湯入浴を含めた打たせ湯群の2種類とした。主観量はRASを開始から20分毎に、生理量はEMGを連続で、行動量は単位時間あたりの入力量、エラー率をそれぞれ計測した。RASにより計測したデータから首・肩の疲労感スコアを、EMG信号から1分間の平均周波数やパワー等を算出し、筋疲労評価に用いた。なお、実験は被験者内計画で行った。

(2) 結果と考察

主観・生理・行動各計測データの変化傾向は、昨年度につくば研究室で実施した実験と同様であった。指標の有効性を相関分析を用いて検討した結果、筋疲労指標から算出される予測値と実測した主観データである実測値の間には高い相関 ($r=0.76$) が得られ、また分散分析による差の検定においても有意差が認められなかったことから拘束姿勢による文字入力タスクに適用できることが確認された。安静休息（安静群）と打たせ湯入浴を含めた休息（入浴群）による2種の休憩方法の疲労回復効果を主観・生理データを用いて比較評価した。休憩30分時の主観量のタスク終了時に対する変化では入浴群が0.6ポイント上回り、生理量である平均周波数変化においても安静群より回復効果があるという結果となった（ともに $p<0.05$ ）。この結果から、打たせ湯入浴が安静休息に比べて、肩のこりや痛みの短期回復に効果的であることが確認された。図7-2.7にRASの首・肩疲労感スコアの筋疲労指標による予測値と実測値の関係を、図7-2.8に休憩2水準のRASの首・肩疲労感の比較をそれぞれ示した。

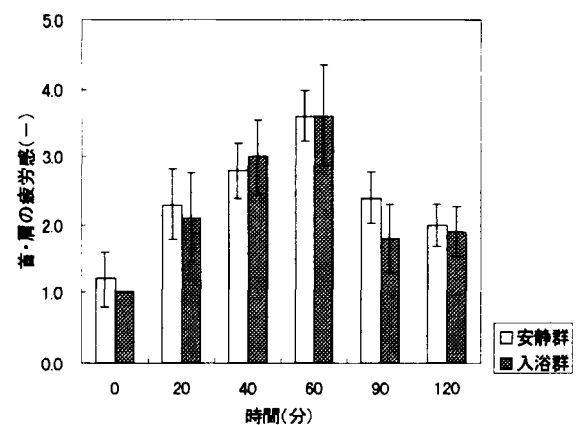
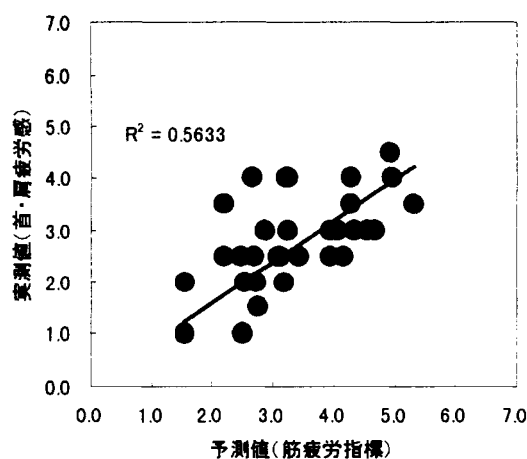


図7-2.7 指標による予測値と実測値 (n=10) 図7-2.8 休憩方法の比較 (n=10)

<写真の説明>

下の図は応用事例実験（けいはんなプラザ）でのカラー写真のレイアウト、および視覚特性システムである。以下番号順に説明する。

1. 筋疲労評価実験状況

僧帽筋の疲労を促進するために、通常作業姿勢に比べ、キーボードの位置を若干高めに設定した。肩こりなどの症状を訴える人はタスク中に僧帽筋の筋放電が通常の人よりも多いと言われ、このような環境を再現するためにこの姿勢（拘束姿勢）を選択した。作業は文字入力（20分3回）を課した。

2. 筋電図の測定状況

タスク中の僧帽筋筋電図生波形である。タスク中、安定したEMG信号が出ているかどうかを確認できる。

3. 入浴環境

湯温41℃の浴槽に入り、後方上部からマッサージシャワーを疲労部位（僧坊筋を中心）に当てた。入浴時間は10分とした。

4. 休息状況

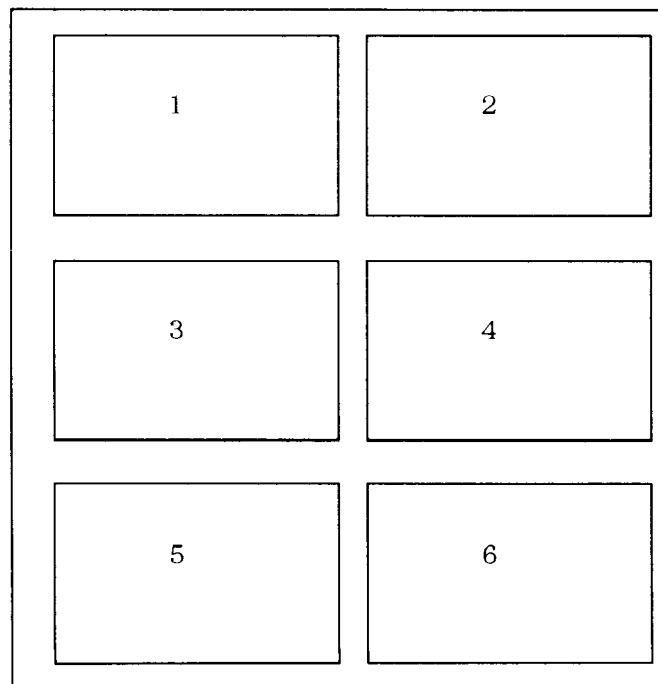
60分の入力作業の後実験室でソファに座った状態を維持させた。休息時間は60分とし、打たせ湯群は入浴後、安静群と同様の休息法をとらせた。

5. 視覚特性計測装置

視覚特性計測装置のヘッド部（350g）である。タスク中に装着して眼球運動、焦点調節、瞳孔径の計測を連続して行うことができる。

6. 視覚特性計測解析システム

ヘッド部からの信号を処理して視覚特性機能を算出、解析するシステムである。



第8章 酸素濃度による疲労の指標化 の研究開発

第8章 酸素濃度による疲労の指標化の研究開発

浜北研究室

We conducted research centered on the role of oxygenation in the body metabolism to develop measuring technology for oxygenation in tissues and to formulate indexes for mental fatigue and muscle fatigue due to oxygenation.

We formulated an index for the mental fatigue arising from compounded mental tasks of memorizing, calculating, and searching to model mental fatigue using a VDT in an office environment. A correlation was determined between the subjective attention difficulty values and the oxygen saturation measured at the forehead.

We formulated an index for the muscle fatigue arising from physical work requiring light muscle power. A difference in tissue oxygenation was recognized when the same muscle power is expended before and after muscle fatigue results from the physical work.

We evaluated the tissue oxygenation meter at field. We improved the tissue oxygenation meter for confidence.

1. 研究開発目標

1. 1 疲労指標化基盤技術の高度化の研究開発

平成9年度までに定式化された酸素濃度による VDT 作業などにおける疲労の指標化技術の高度化を行い、共通実験条件、共通タスクの実験により、指標の妥当性を評価し、かつ適用範囲を明確化する。

1. 1. 1 精神疲労の指標化

VDT 作業などを想定した精神疲労の指標の評価において、精神疲労指標の高度化を図り、主観評価の疲労感との相関関係を用いて精神疲労指標の評価を行う。さらに精神疲労指標および評価方法の適用範囲を明らかにする。また、フィールドにおいて共通実験条件、共通タスクを用いて精神疲労指標の評価を行う。

1. 1. 2 筋疲労の指標化

筋疲労指標の評価については、筋力を働かせる作業（例えば立ち作業、運搬作業など）における指標の高度化および指標の評価実験を行う、すなわち発揮された筋力などのパフォーマンスとの相関により指標の評価を行う。また、筋疲労指標および評価方法の適用範囲を明確化する。フィールドにおいて共通実験条件、共通タスクを用いて筋疲労指標を評価する。

1. 1. 3 体内酸素濃度計測装置の高度化技術の研究開発

酸素濃度の定量的な計測ができ、小型な体内酸素メータをフィールドで使用し、定量性計測の有用性を評価するとともに、疲労指標の評価を行う。フィールド使用に際し、必要な改良を行う。また、応用事例研究の実験に供する。

2. 研究開発成果の概要

2. 1 疲労指標化基盤技術の高度化の研究開発

2. 1. 1 精神疲労の指標化

(1) 目的

VDT作業などにより引き起こされる精神疲労を、酸素濃度を1次指標として指標化を行うために、精神的負荷作業として昨年度と同じ3種混合課題を用いて実験を行った。本年度の実験結果と昨年度の実験結果から精神疲労の指標式を改良した。

(2) 実験方法

実験に用いた3種混合課題は、昨年度と同様に加減算の演算手続きと順番に表示される5つの数字の両方を記憶し暗算を行う「2重記憶課題」、ひらがな表記の文章の中から指定された50音の1行の5文字を探しその個数を回答する「文字探索課題」、左辺に加減算のある不等式の正・誤を判定する「不等式判定課題」の3種類の課題から構成された。各課題は1セッション10分で心理評定と2分の閉眼安静を挟んで別の課題に移る。3課題を3回繰り返す計9セッションを行った。9セッション終了後、精神疲労の回復過程を計測するために10分間の閉眼安静を2回繰り返した。また、課題遂行に際して被験者に最大努力をさせるため実験は被験者2名同時に行ったが、実験装置の都合上から昨年度のように被験者に互いに相手のパフォーマンスをリアルタイムに確認させることは出来なかった。計測した指標については昨年度と同様、生理指標が前額部の酸素飽和度、主観指標が労研式覚醒スケール(RAS)による心理評定、行動指標が課題の性能指数とした。

(3) 実験結果

被験者20名中計測の不具合によりデータの解析から削除した1名を除く19名を対象とした。酸素飽和度の時間的変化は減少傾向を示した被験者が15名、増加傾向を示した被験者が2名、変化が無いまたは谷型に変化する被験者が2名となり、減少傾向を示す被験者が79%と昨年度と同様に多数を占めた。この3種混合課題による精神的負担によって前額部の酸素飽和度が減少する傾向が強いことが確かめられた。また、減少群について昨年度のデータとの比較を行い、昨年度と本年度の実験結果における酸素飽和度の変化の推移に違いが見られないことを確認した。

主観指標では、「注意集中困難」と「意欲減退」の得点が開始前の得点が昨年度に比べて高いが右上がりの傾向を示した。また「眠気」がやや高いという傾向が見られた。これは昨年度との実験条件の違いによる被験者の心理的負担の低減であると考えられる。「緊張」の項目は、課題開始前から低得点でセッションを重ねるにつれてやや減少傾向を見せた。また、「疲労・緊張」に関する8項目の中では、昨年と同様に「気疲れする」「気が休まらない」「精神的に疲労している」の3項目について得点が顕著に増加した。昨年度のデータとの比較からは本年度のデータとの間に大きな差異は見られなかった。

(4) 酸素濃度変化による精神疲労の指標化

この実験の結果から、確度の高い精神疲労の指標式を作成するために、生理指標と主観指標の各々の値について被験者個人間にある指標のベースラインおよび変化量の差

を圧縮するための規格化の処理を行った。規格化された生理指標および主観指標間の相関を求めた所、自由度調整済みR²乗値は0.39（相関係数：-0.63）となり、昨年度の指標式作成で求めた自由度調整済みR²乗値0.28（相関係数：-0.51）に比べ向上した（カラーページ2参照）。これより、生理指標である「酸素飽和度の規格化値」を独立変数とし、主観指標である「注意集中困難の規格化値」を従属変数とする単回帰を行い、以下のように精神疲労の指標式を作成した。

精神疲労「注意集中困難・規格化値」

$$= 75.3 - 0.661 \times \text{酸素濃度「酸素飽和度・規格化値」}$$

（5）精神疲労指標式による主観指標の推定と実測値との比較

作成された指標式について、実験による酸素飽和度から指標式を用いて得た主観指標の推定値と、実験で得た主観評価の実測値と比較したところ、推定値は実測値と同じ傾向を示し、精神疲労の蓄積を客観的な生理量から推定しうると考えられる。（カラーページ3参照）。また、作成された指標式を用いて「けいはんな」で行われた応用事例研究での実験結果から主観指標値を推定し、実測値と比較した。「けいはんな」で用いられた実験タスクは給湯プラントシミュレータによる監視作業であり、本研究における課題と性格が異なる。その結果、推定値は実測値とほぼ同じ傾向を示し、精神疲労の指標式として適用の可能性が得られた。

（6）指標の適用範囲

この精神疲労指標の適用範囲は一定時間内に一定量の作業を完了しなければならないなど緊張の持続を必要とする精神作業、例えば拘束された腰掛け姿勢などでのVDT作業などによる精神疲労を対象としている。

2. 1. 2 筋疲労の指標化

（1）目的

腕を使う軽作業における腕の疲労および立ち作業における脚の疲労などの局所的な筋肉、静的な緊張による筋疲労を評価する有効な指標を作成することを目的としている。筋疲労のない状態と筋疲労状態の筋肉において、ある一定の筋活動をさせたとき使われる酸素を非侵襲的に測定し、その酸素動態の差を筋疲労指標とした。

（2）測定方法

腕を使った軽作業による上腕の筋疲労を想定して、上腕二頭筋における疲労のない状態と疲労状態での軽い等尺性の筋力を発揮したときの酸素濃度変化量の差を測定した。生理指標として測定部位の酸素飽和度を用いた

上腕二頭筋に疲労していない状態での軽い筋力発揮の基準筋力プロトコル、筋疲労を生成させる筋力負荷プロトコル、および筋力負荷後の疲労状態での軽い筋力発揮の基準筋力プロトコルからなる実験プロトコルで行った。（カラーページ5参照）

軽い筋力を発揮し疲労状態を計測する基準筋力プロトコルでは、最適なトルクを明確にするために5、10、15、20、25 Nmの5つの目標トルクを設定し、1分間力

を発揮させた。実験スケジュールに示すように負荷プロトコル前後の基準筋力プロトコルにおける酸素飽和度の変化量を計測し、負荷プロトコル前後での差を評価した。また、同時に発揮された筋力のトルクも筋力測定装置を用いて計測し、その差を評価した。実場面での筋力作業などに相当する筋肉に疲労を生成させる負荷プロトコルでは、25 Nm のトルクを5分間連続的に発揮させ、上腕二頭筋に疲労を生じさせた。被験者は健康な男性で測定部位は利き腕の上腕二頭筋である。

立ち作業による脚の筋疲労を想定し、腓腹筋の疲労計測を行った。筋疲労負荷による腓腹筋内の酸素飽和度を計測した。疲労生成の負荷は爪先立ちを5分間行った。

(3) 実験結果

筋肉に疲労を生成させる負荷プロトコルにおける発揮トルクは5分間の筋力発揮で後半に疲労のため筋力が発揮できなくなることが分かった。筋肉に疲労が生成されたことが確認できた。

基準筋力プロトコルにおける発揮トルク5、10、15、20、25において疲労のない状態では25 Nmまで十分発揮できている。しかし、負荷プロトコル後の疲労状態では20 Nm位まではトルクが発揮できているが、それ以上のトルクでは発揮できていない。筋疲労により発揮トルクの低下が生じていることが分かった。

生理指標として基準筋力プロトコルの酸素飽和度の変化を疲労のない状態とある状態での比較を行った。明かに疲労のあるなしの状態によって酸素飽和度の変化の違いが観察された。それらの測定データより横軸に発揮トルクをとり、縦軸に酸素飽和度の1分間の平均値（あるいは最大値）を示すと、5 Nmでは疲労生成負荷前後での酸素飽和度の差は顕著でないが、10 Nm以上のトルクでは明かであった（カラーページ6参照）。

立ち作業による腓腹筋の筋疲労の実験では、負荷による酸素飽和度の大きな差異は認められなかった。これは疲労生成の負荷の駆け方の問題と思われる。

(4) 筋疲労指標

前述の実験結果から筋疲労指標を以下のように作成した。あらかじめ疲労のない状態の上腕二頭筋で10から20 Nmの等尺性筋力を発揮したときの酸素飽和度を計測しておく。疲労状態の筋肉で同様に同じ等尺性筋力を発揮したときの酸素飽和度を計測する。これら計測された酸素飽和度の1分間の平均値あるいは最大値を計算し、疲労のない状態と疲労状態の差を求める。筋疲労指標は次式で表される。

「筋疲労」＝「現在の酸素飽和度変化量」－「疲労のない状態での酸素飽和度変化量」

(5) 筋疲労指標の評価

筋疲労指標の評価として、ここでは疲労が回復した後の基準筋力プロトコルのトルクに対する酸素飽和度を求めた。完全な回復状態にするため、翌日（24時間後）に計測を行った。疲労回復によって酸素飽和度が疲労のない状態の値に戻っていることが分かる。すなわち上式の筋疲労指標の値が0となり、疲労していないことを示している（カラーページ6参照）。

(6) 指標の適用範囲

この筋疲労指標の適用範囲は静的負荷による局所的な筋肉の筋活動による筋疲労を対象とし、上腕二頭筋における筋疲労を適用部位としている。なお、筋疲労の状態は25 Nm のトルクを5分間維持したときのものであり、計測の発揮筋力は10 Nm 以上のトルクが必要である。

2. 1. 3 体内酸素メータの高度化の研究開発

(1) 目的

体内酸素メータは装置として一応の完成を見ているが、本年度の目標は、装置のフィールド実験等による評価に基づき必要な改良を行うことである。結果として実用上の問題となるような項目は無かったが、さらなる信頼性の確保のために、検出部、光源部、アルゴリズムの評価を行い、これに基づき必要な改良を行った。

(2) 検出部

組織酸素飽和度は、検出器内の3つの光センサを用いて照射点からの距離に対する光減衰の変化率を複数の波長で測定し、これらを計算して求められる。このため、入射窓の効率も含めたセンサの感度は均一であることが必要となり、実際の感度差は概ね3～4%以内となっている。しかし、使用に伴う光センサの感度低下や光入射窓の汚れなどのために、感度バランスが劣化する可能性がある。これを確認するためには、検出器の光入射窓に十分均一な光を当て、この時の各センサからの出力信号を測定して感度バランスを評価する必要がある。この測定のために大型積分球による検出器校正ユニットを作製し、感度バランスが劣化している場合は計算でこれを補正するようにシステムの改良を行った。

(3) 光源部

各レーザからの光はレンズ系を介してファイバーに入射されるが、すべてのレーザ光が安定して入射するように、ファイバーコネクタの仕様はそのままとし、ファイバー断面積を約80%増加させた。これにより、入射位置がファイバー中心から離れている光の効率が向上した。

(4) アルゴリズム

測定アルゴリズムを評価する目的で、これに関係する所定のパラメータを変化させて実験測定を行った。これにより、現行のアルゴリズムは実用上特に問題の無いことが確認された。

【カラーページの説明】

1. 精神疲労の指標化

VDT作業などにおける酸素濃度の非侵襲計測による精神疲労の指標化

精神疲労・指標式

「注意集中困難・規格化値」= $75.3 - 0.661 \times$ 「酸素飽和度・規格化値」

2. 主観指標と生理指標の散布図

n = 90 (9ポイント × 10名)
自由度調整済み R² 乗値: 0.39
(相関係数: -0.63)

3. 生理指標から主観指標の推定

酸素飽和度から指標式を用いて主観指標を推定

4. 筋疲労の指標化

軽い筋力を必要とする軽作業などにおける
酸素濃度の非侵襲計測による筋疲労の指標化

5. 実験プロトコル

腕を使った軽作業による上腕の筋疲労を想定し、筋疲労指標化のための実験プロトコル
疲労のない状態と疲労状態での軽い等尺性の筋力を発揮したときの酸素飽和度変化量の差を測定

6. 筋疲労指標化

筋疲労負荷前後において同じ筋力発揮でも
酸素飽和度の変化量に差がある
回復後は酸素飽和度の変化量に差がない

筋疲労・指標式

「筋疲労」
= 「現在の酸素飽和度変化量」
- 「疲労のない状態での酸素飽和度変化量」

第9章 短期変動覚醒度の指標化応用技術 の研究

第9章 短期変動覚醒度の指標化応用技術の研究

神奈川研究室

The goal of the current research is to develop a vigilance index based on the EEG measurement to continuously monitor the operator's vigilance fluctuation during car driving or various machine control tasks.

This year, as the last year of the project, the vigilance index developed in the previous year was improved in accuracy and simplicity. The index was represented by a multi regression equation with the response-time deviation as the objective variable and the EEG band power as the explanatory variable. By subdividing the EEG bands and selecting least optimal measurement points, a high correlation coefficient of the multi regression equation was obtained by measuring only two points.

For the prototype of the vigilance characteristics data base, data on the effects of environmental factors: atmospheric temperature and noise level, were obtained simulating a car driving situation. These environmental factors gave no significant effects on the response-time deviations. On the other hand, the effect of individual differences of the subjects was significant.

As for the application study, in cooperation with the other associate laboratories, experiments were conducted to investigate the relation between vigilance fluctuation and circadian rhythm and the effects of plant control interface designs on the operator's vigilance. These results are described in a separate chapter.

1. 研究開発目標

1. 1 まえがき

自動化による作業負担軽減や快適性向上が進み、機器操作作業中の覚醒低下が起き易い状況となりつつある。覚醒低下は、それを原因とするヒューマンエラーにより大事故を引き起こす可能性がある。ここで覚醒度は、刻々と変化する反応能力で定義できる。そこでこれを生理信号から評価できれば、作業環境や作業内容を評価し安全設計に反映できる。しかし、現状の覚醒度評価指標は、設計指標とするのに十分な精度を持っていない。

1. 2 開発目標

作業環境や作業内容の安全性評価のため、作業中の短期変動する覚醒度を脳波計測により、居眠りから高覚醒まで識別でき、分オーダーの変動を評価できる指標（短期変動覚醒度指標）を開発する。具体的には、短期変動覚醒度を作業に対する行動能力（反応時間）で定義して目的変数とし、複数計測点の脳波を説明変数とする重回帰式とする。また、短期変動覚醒度に関する被験者、作業環境のデータベース・プロトモデルを開発する。

1. 3 平成10年度目標

プロジェクト最終年度である本年度は、短期変動覚醒度指標について、フィールド応用のための計測点数削減、精度改善を進め性能目標を達成するとともに、ソフトウェア改善を行う。データベース・プロトモデル開発については、作業環境（温度、騒音）の影響に関するトライアルデータを取得し、プロトモデルにまとめる。応用事例研究では他研究室と協力し、短期変動覚醒度と基礎覚醒度の関連性検討、プラント作業インタフェース適合性の短期変動覚醒度面からの検討、タスクマップ高精度化の検討を行う。

2. 研究開発成果の概要

2. 1 短期変動覚醒度指標の開発

これまで短期変動覚醒度の指標として、頭皮上 16 部位の脳波 θ , α , β 帯域パワを説明変数に用いて反応時間を予測する方法を検討してきた。本年度は、昨年度よりのフィールドでの計測簡易化に向けた脳波計測部位数の削減検討を踏まえ、2 部位での計測による指標式を開発した。さらに、覚醒低下に対応して現れる脳波の特徴について検討し、指標式の高精度化に向けた具体的方法について考察した。

(1) フィールド応用に向けた脳波計測部位の削減

前年度の結果から、頭皮上近隣部位の脳波コヒーレンスは高いことが示唆された。今年度は、通常覚醒から低覚醒に至るまでの脳波波形を全て込みにして、脳波の各帯域毎に、頭皮上の各部位がどのようなサブグループに分割できるのか検討した。大学生 7 名を用いた 3 選択肢選択反応課題において、眠気はセッションの進行に伴って変動し($p<0.05$)、反応遅れはセッション内で時間経過に伴い変動した($p<0.01$) (図 1)。

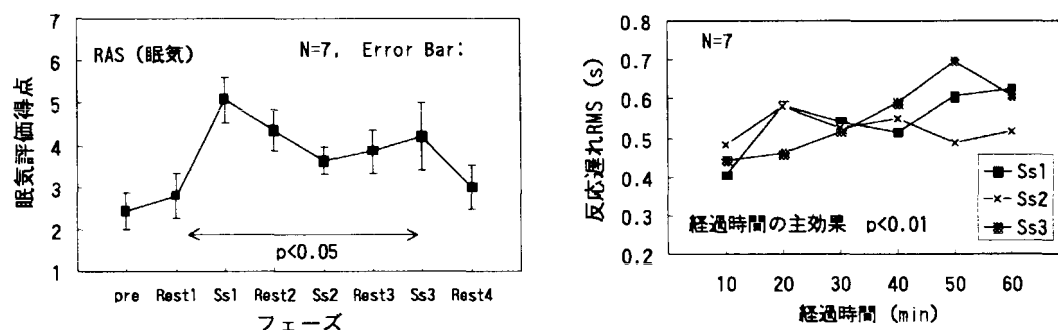


図 1 眠気と反応遅れ RMS*1 の推移

*1 反応遅れ RMS: 被験者が本来発揮可能と考えられる最短反応時間からの遅れ量[偏差]の Root Mean Square

主観的・行動的覚醒では、通常覚醒から低覚醒に至る範囲で変動したことが伺えたため、脳波帯域パワに対して因子分析を行った。その結果、 θ 波、 α 波帯域パワともに 2 因子が抽出され、いずれも第 1 因子は頭皮上後部であり、第 2 因子

表 1 脳波帯域パワの因子分析結果

帯域		第 1 因子	第 2 因子
θ 波	固有値	11.89	1.83
	累積寄与率(%)	74.3	85.8
α 波	固有値	10.59	2.57
	累積寄与率(%)	66.2	82.2

は頭皮上前部であった (表 1, 図 2)。一方、 β 波帯域パワでは 3 因子が抽出されたが、解釈の困難な結果であった。前年度の結果と合わせると、 θ 波、 α 波帯域のパワについては前部・後部から代表点を 1 部位ずつ選定すれば良いと考えられ、頭皮上前部の代表点を Fz、後部の代表点を Pz と設定できた。

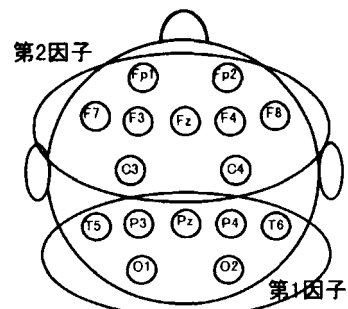


図 2 部位のサブグループ分割

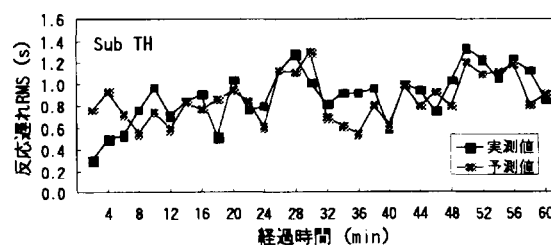


図 3 反応遅れの予測例 (被験者 TH)

(2) 指標式の構成

全パワに対する帯域パワ比を説明変数として、(1)で得られたデータを用いて反応遅れを予測する重回帰式を構成した。

$$\begin{aligned} \text{反応遅れ RMS} = & 3.398 * Fz \theta 1 + 1.709 * Fz \theta 2 - 3.983 * Fz \alpha 1 + 7.167 * Fz \alpha 2 \\ & + 4.296 * Pz \theta 1 - 4.189 * Pz \theta 2 + 1.138 * Pz \alpha 1 - 0.949 * Pz \alpha 2 - 0.043 \end{aligned}$$

N=7 (サンプル数 630) , R=0.73, 自由度調整済み R 自乗 0.52

本指標式によって、分オーダーの変動傾向を予測していることを確認した(図3)。また、解析ソフトウェアの改善を行った。

(3) 高精度化に向けた覚醒低下時の脳波特徴の基礎検討 (生命研と共同)

単純な実験系を構成し、覚醒低下による反応時間の遅延は脳波のどのような特徴に反映されるのか、周波数とパワの面から検討した。大学生 11 名に対して、誘眠視覚刺激による覚醒操作後に単純反応を要求する課題を課した。11 名のうち α 波帯域に明瞭なピークが見られた 7 名について分析した結果、最初に比べて最後のセッションで覚醒感の低下 ($p<0.08$)、反応時間の遅延 ($p<0.05$)、その変動係数の増加 ($p<0.1$) が見られ、覚醒低下による反応の遅れや乱れが認められた(図4)。 α 波の周波数に着目すると、パワのピークとなる周波数は頭頂周辺で低下し ($p<0.07$) (図5)、 α 波ピーク周波数の因子分析から、第1因子として頭皮上後部、第2因子として頭皮上前部の2因子が抽出された。また、前頭部から頭頂部の多くの部位で、 $\theta 2$ と $\alpha 1$ 帯域のパワの増加が見られた ($p<0.05 \sim 0.1$) (図6)。これらから、頭頂部周辺での α 波ピーク周波数を変数として追加し、また、帯域パワの変数を $\theta 2$ 、 $\alpha 1$ 帯域に絞ることにより、指標式の高精度化を実現できる可能性が考えられた。

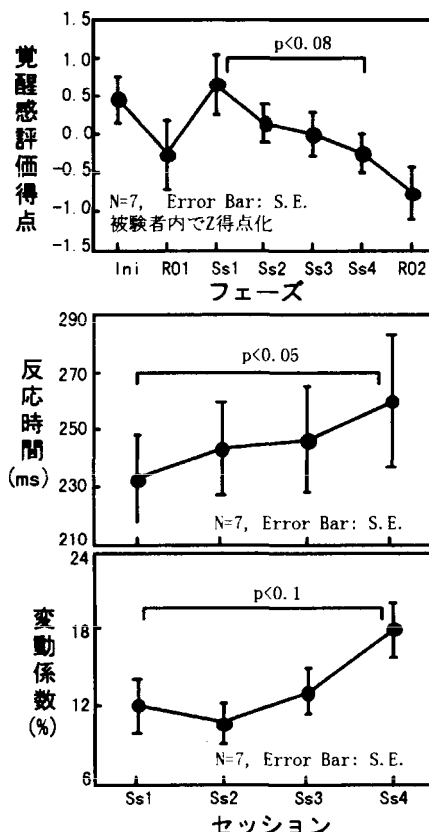


図4 覚醒度とパフォーマンスの推移

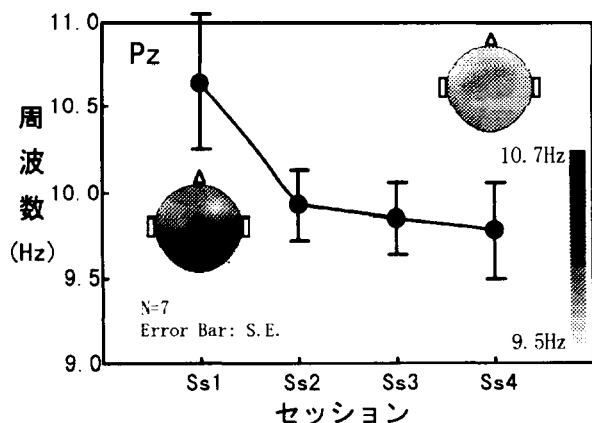


図5 α 波パワのピークとなる周波数の変化

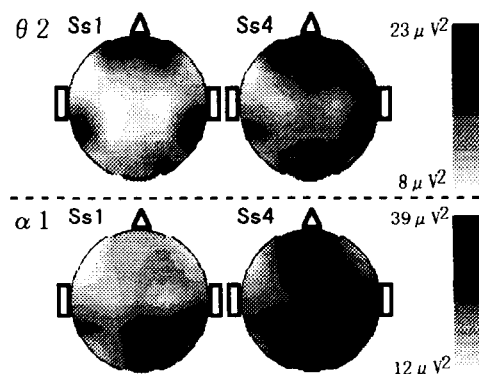


図6 $\theta 2$ 、 $\alpha 1$ 帯域パワの変化 (平均マップ)

2. 2 覚醒特性データベースモデルの開発

環境特性が短期覚醒度に与える影響をトライアルデータとして取得した。

環境特性としては騒音・温熱を設定し、自動車運転環境を想定した。短期覚醒度はパフォーマンス指標により計測した。このパフォーマンス指標には、1時間の選択反応課題の「反応遅れ RMS」を用いた。これは短期覚醒度の数値的指標として、個人差を吸収した反応時間の遅れ度合いであり、またドライビングシミュレータで追従走行中の横変位と有意な相関が得られたことから、安全の指標のひとつとして提案しているものである。

実験水準、実験条件及び、被験者特性は以下のとおりである。

騒音条件は、乗用車で高速道路を 100km/h 走行したときの車室内音を 75dBA、65dBA、55dBA の音量で作業中暴露した（室温は 25℃）。温熱環境は、30℃、25℃、22℃の 3 水準で暴露した（騒音は 65dBA）。

実験は無響室で行い、湿度は 50～70%、照度は 50lx、被験者の服装はクロージング 0.5clo に統一した。被験者は、近郊の男子大学（院）生（年齢 20～24 歳）8 名を用い、ひとり 5 水準（基準水準 25℃・65dBA は騒音、温熱共通）のデータを取得した。なお、被験者内変数を使うため被験者の環境条件提示順序は循環法でカウンタバランスをとった。

(1) 反応遅れ RMS による検討

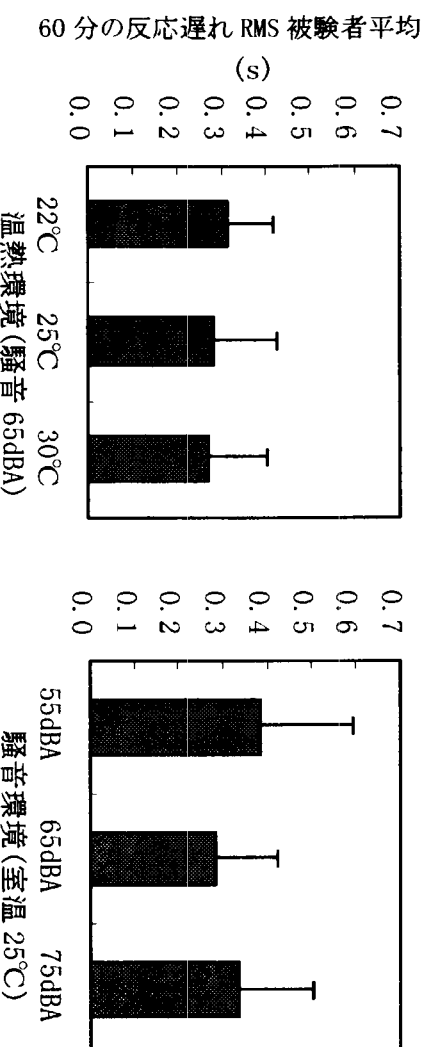


図 7 60 分の反応遅れ RMS 環境水準間比較

図 7 に 60 分の反応遅れ RMS による環境水準間の被験者平均値を示す。図 8 に各被験者の反応遅れ RMS 水準の平均値を示す。表 2 に 60 分の反応遅れ RMS による環境水準間の分散

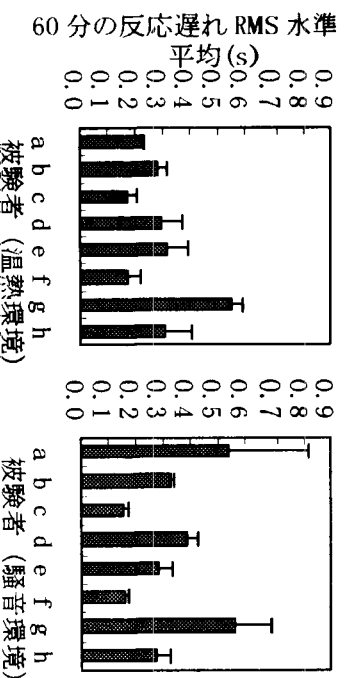


図 8 60 分の反応遅れ RMS 被験者間比較

分析結果、表 2 に 10 分毎の反応遅れ RMS について時間と環境水準を要因とした分散分析結果を示す。図 7、図 8 及び表 2 より温熱環境、騒音環境ともに環境水準間には有意な差がなく、被験者による違いが有意であった。

表2 60分の反応遅れ RMS 分散分析

(a) 温熱環境		(b) 騒音環境	
要因	F 値	要因	F 値
温熱	1.22	騒音	1.93
被験者	11.96**	被験者	6.33**

**: p<0.01

表3 10分毎の反応遅れ RMS 分散分析

(a) 温熱環境		(b) 騒音環境	
要因	F 値	要因	F 値
時間	7.63**	時間	8.29**
温熱	1.17	騒音	2.06
時間×温熱	0.45	時間×騒音	1.11

**: p<0.01

これにより反応遅れ RMS は、環境特性よりも被験者特性に影響されたことが推測される。また、表3より、時間の主効果が有意であり、被験者はどの水準でも覚醒低下をおこしたと推測される。しかし、騒音、温熱水準どちらも時間との交互作用はなかった。

(2) 性格検査と反応遅れ RMS の関係

表4 反応遅れ RMS と性格検査の相関係数

TEG					MPI			STAI
CP	NP	A	FC	AC	E	N	L	特性不安
0.06	0.41	0.04	0.52	-0.69*	0.68*	-0.70*	-0.61	-0.81*

+: p<0.1, *: p<0.05

覚醒低下をおこしやすい人の安全を支援確保するためのシステム構築のため、基礎データとして、反応遅れ RMS と性格検査の関係を検討した。

性格検査と 60 分の反応遅れ RMS の相関係数を表4に示す。

STAI の特性不安に有意な相関があり、特性不安の高いと反応遅れ RMS の増加が小さい傾向があった。また、MPI の E・N 得点も有意な相関があり、E 得点（内向性-外向性の尺度）が高い（外向性が強い）と反応遅れ RMS が大きく、N 得点（安定性-神経症の尺度）が高い（神経症が強い）と反応遅れ RMS が小さい傾向があった。TEG は AC 得点（従順な子供のエゴ）と相関が有意であり、この得点が高いと反応遅れ RMS の増加が小さい傾向があった。

(3) まとめ

1. 騒音、温熱環境の水準間では有意な差はなかった。

2. 反応遅れ RMS が分散分析で被験者による違いに有意な差があり、個人毎の SD が水準毎の SD より大きかったこと（図9）及び、反応遅れ RMS と性格の間に有意な相関があったことから、短期変動覚醒は今回の実験では環境特性より、被験者特性の影響が大きいと推測された。

3. 図8から被験者のタイプを推測すると、水準によって反応遅れ RMS の値が変化する人、変化しない人（常に低い人、もしくは高い人）がいることが分かる。このことから、8名という少ないデータ数ではあるが、環境の影響を受けやすい被験者と受けにくい被験者がいることが推測される。

将来、十分な N 数を確保し、被験者のタイプを考慮した検討を行うことにより、環境特性の覚醒への影響がクリアになる可能性がある。

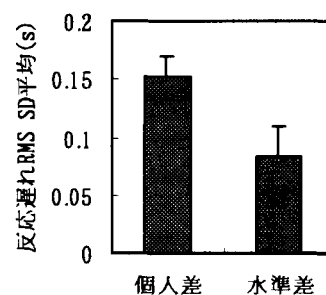


図9 個人差と水準差の比較

個人差：水準内の個人 SD の 5 水準平均

水準差：個人内の水準 SD の 8 名平均

エラーバー：標準誤差

カラーページの説明

■ 脳波による反応遅れ時間の推定

単調な作業中の覚醒度の変化を、脳波を測ることによって推定する重回帰式を開発した。覚醒度を反応遅れ時間として計測して、このバラツキ（反応遅れ RMS）を目的変数とし、頭皮上の多点部位で計測した脳波帯域パワを説明変数とした。計測部位数の削減、帯域の細分化を検討し、2 部位計測（Fz,Pz）により高い相関（ $R=0.73$ ）を示す推定式を得た。

■ 環境覚醒特性データベースの開発

自動車運転環境を想定した模擬作業において、室温と騒音レベルが覚醒特性に与える影響のデータを蓄積した。両要因とも今回行った実験での水準間に有意差はなかった。一方、被験者毎の標準偏差が、水準毎の標準偏差よりも大きかったことから、環境差よりも個人差の要因のほうが大きな影響を与えたと見られた。

第10章 オフィス空間の視環境設計支援 技術の研究開発

第 10 章 オフィス空間の視環境設計支援技術の研究開発

越中島研究室

Our goal of this project is to investigate and develop the technologies that support designs of visual environments. Four studies are carried out in order to achieve this goal: 1. study of indices regarding openness and pleasantness, 2. study regarding the supplement of indices by using computer graphics, 3. study on an evaluation method using the fuzzy integral.

In the experiment that assumes living rooms, suitability of illumination is evaluated. Repeated measures analysis of variance is used to assess the effects of illuminance and color temperature, and regression analysis is employed in order to derive illumination index. Two experiments, which assume offices, are carried out. In each experiment, spatial dimensions and illumination are manipulated, respectively. Repeated measures analysis of variance reveals that ceiling height and depth significantly affect a sense of suitability. Regarding the effects of illuminance and color temperature, main effects and the interaction effect are significant.

As for study regarding the supplement of indices by using computer graphics, 2 test was performed to compare environmental simulator and computer graphics. Regarding survey of subjective symptoms, there was no significant differences in several conditions. Especially in conditions changing spatial dimensions.

As for the modeling method for subjective evaluation problems with interactions, we first construct a modeling functional called “advanced partition type fuzzy integral” which selects interaction terms among attributes by partitions of the set of all attributes, and then develop a modeling algorithm with this functional; at this time, we compare this modeling method with the analysis of variance based on application results of a concrete evaluation problem for openness of interior spaces to verify the efficiency of this method.

1. 研究開発目標

本一連の研究開発の最終目標は、オフィス空間等の視環境適合性指標を獲得するとともに、視環境設計支援技術を確立することである。

本年度は、これらの目標を達成するために以下の3項目を実施した。

(1) 複合視環境提示装置を用いた視環境の指標化

空間寸法および照度・色温度に関して、休息環境および作業環境における、開放感指標および快適感指標と統合指標を獲得するため、複合視環境提示装置を用いて実験を行う。

(2) CGを用いた視環境指標の補完

視環境統合指標を補完するため、CGを用いてシミュレーションを行う。本年度は、複合視環境提示装置とCG提示装置を用いた被験者実験を行い、CG刺激と実刺激の比較から、CG提示による指標化可能性を検討する。

(3) 交互作用を考慮した主観評価法の確立

印象評価では属性間の交互作用の取り扱い方が重要であり、それをできるだけ分かり易い形で表現できると評価構造の読み取りが容易になる。このために、属性の集合の分割によって交互作用を表現できる関数（改良分割型ファジィ積分）を考案し、評価過程から本質的な交互作用項のみを選出できる解析アルゴリズムの構築を行う。

2. 研究開発成果の概要

2. 1 休息環境における視環境適合性指標の評価

(1) 実験方法

休息環境に適合した照明条件を求め、照明に関する視環境適合性指標を獲得するため、複合視環境提示装置を用いて実験を行った。

実験には、照度5水準（75lx、250lx、750lx、1125lx、1500lx）、色温度5水準（3000K、3500K、4500K、5500K、6500K）を直交させた合計25個の刺激を用いた。

評価項目として、開放感、快適感、および適合感を含む7項目を用い、それぞれの項目に対して7段階尺度で評価させた。

被験者は、20歳代～60歳代の男性20名、女性20名の計40名を用いた。

(2) 実験結果

相関分析の結果、適合感と開放感、適合感と快適感との間には、強い直線的な関係があることがわかった。特に、適合感と快適感との相関係数は大きかった。また、開放感と快適感との相関係数が0.8386であり、これらの間にも、強い相関関係が認められた。

適合感に対する申告値を被験者間で平均し、その平均値を従属変数（Y）として、階層的回帰分析を行った。その結果、以下の指標式を得た。

$$Y = 0.3585 + 0.8793 \text{ (快適感)} \quad (R^2 = 0.9824)$$

反復測定による分散分析の結果、照度、色温度、および照度と色温度との交互作用が5%で有意であった。照度と色温度との交互作用が有意であったことから、色温度が適合感に与える影響は、照度によって異なっていることがわかった。

適合感に対する申告値を被験者に関して平均し、その平均値を従属変数（Y）、各実験要因の物理量を独立変数として、階層的回帰分析を行った。得られた回帰式を表1にまとめる。

表1 各独立変数に対する回帰係数

独立変数 従属変数	切片	log(照度(lx))	色温度 (K)	色温度× log(照度)	[log(照度 (lx))]²	[色温度]²
適合感	-12.7109	8.0058	0.0012	-0.0003	-1.3391	-2.0×10 ⁻⁷
快適感	-5.5801	1.1900	0.0015	0.0004	—	-2.5×10 ⁻⁷
開放感	-4.5036	—	0.0016	0.0004	0.2093	-2.5×10 ⁻⁷

—：5%で有意でなかった項目

2. 2 就労環境における視環境適合性指標の評価

2. 2. 1 空間寸法適合性の評価

(1) 実験の概要

本実験では、就労環境を対象にして、空間寸法が開放感、快適感、および適合感にどのような影響を与えるのかを評価し、これらに関する指標を獲得することを目的とした。

提示刺激として、奥行きは4mから6mまで0.5m刻みの5水準、天井高に関しては、2.5mから3.5mまで0.25m刻みの5水準を用いた。実験では、これらの水準のすべての組み合わせを刺激として用い、複合視環境提示装置を用いて提示した。それぞれの刺激に対して開放感、快適感、および適合感を7段階尺度で評価してもらった。刺激が提示される際の照度および色温度は、547lxおよび5000Kに固定した。

(2) 実験結果

適合感に対する申告値を被験者間で平均し、その平均値を従属変数（Y）として、階層的回帰分析を行った結果、以下の指標式を得た。

$$Y = -1.0175 + 1.3806 \text{ (快適感)} - 0.1951 \text{ (開放感)} \quad (R^2 = 0.9586)$$

奥行きおよび天井高が適合感に与える影響を評価するため、反復測定による分散分析表を行った結果、天井高（F（4, 156）=4.7012、 $p < 0.01$ ）および奥行き（F（4, 156）=40.3347、 $p < 0.01$ ）が適合感に有意な影響を与えていることがわかった。一方、奥行きと天井高との交互作用は有意ではなかった（F（16, 624）=1.4530、 $p > 0.05$ ）。このことは、奥行きが適合感に与える影響は、天井高の違いに関わらず一定であることを意味している。

天井高および奥行きが適合感に与える影響に関しては、奥行きが一定の場合、天井高が3.5mに対する評価値が最も低く、2.75mあるいは3mが最も高い評価を得ていた。また、天井高が一定の場合、奥行きが増加すると適合感も増加する傾向が見られた。

適合感、快適感、および開放感に対する申告値を被験者に関して平均し、その平均値を従属変数（Y）、天井高（height、単位：m）、および奥行き（depth、単位：m）を独立変数として、回帰分析を行った結果、以下の指標式が得られた。

$$\text{適合性} = -15.0173 + 0.781 \times (\text{奥行き}) - 1.9143 \times (\text{天井高})^2 + 11.0517 \times (\text{天井高}) \\ (R^2 = 0.9326)$$

2. 2. 2 照明環境適合性の評価

(1) 実験の概要

照度の水準として、200、300、547、906、1500lxの5つを設定した。また、色温度は、3000、3500、4000、5000、6000、7000Kの5つとし、これらを上述した照度の5水準と直交させ、全部で30種類の刺激を使用した。これらの刺激を複合視環境提示装置を用いて被験者に提示し、それぞれの刺激に対して開放感、快適感、および適合感を含む7項目に関して7段階尺度で評価させた。

(2) 実験結果

適合感に対する申告値を被験者間で平均し、その平均値を従属変数（Y）として、階層的回帰分析を行った。その結果、以下の指標式を得た。

$$Y = -0.3300 + 1.0625 \text{ (快適感)} \quad (R^2 = 0.9949)$$

照度および色温度が適合感に与える影響を評価するため、反復測定による分散分析を行った結果、照度 ($F(4, 156)=253.0151$, $p<0.01$)、色温度 ($F(5, 195)=48.5731$, $p<0.01$)、および交互作用 ($F(20, 780)=26.6476$, $p<0.01$) が適合感に有意な影響を与えていることがわかった。すなわち、照度および色温度は適合感に有意な影響を与えており、照度の影響は、色温度によって異なり、色温度の影響も照度によって異なっていた。

照度および色温度が適合感に与える影響に関しては、照度が200lxおよび330lxの場合、色温度の影響はあまり顕著ではないが、547lx、906lx、1500lxの場合、色温度の影響があり、特に1500lxの場合顕著であった。すなわち、1500lxで3000Kおよび3500Kに対して評価が低くなっており、作業環境として適していないと判断されていた。547lx、906lx、1500lxの場合、4000Kや5000Kが適していると評価されていた。

適合感、快適感、および開放感に対する申告値を被験者に関して平均し、その平均値を従属変数 (Y)、照度 (lx)、および色温度 (K) を独立変数として、回帰分析を行った。その結果、以下の指標式が得られた。

$$\begin{aligned} \text{適合性} = & -42.5861 + 30.4715 \times \log_{10}(\text{照度}) + 0.00092 \times (\text{色温度}) \times \log_{10}(\text{照度}) \\ & - 5.6873 \times \{\log_{10}(\text{照度})\}^2 - 0.000000247 \times (\text{色温度})^2 \end{aligned}$$

($R^2 = 0.7920$)

2. 2. 3 就労環境視環境適合性統合指標の獲得

(1) 実験の概要

就労環境における視環境適合性統合指標の獲得するために、天井高、奥行き、照度、および色温度を実験要因として用いて実験を行った。それぞれの要因の水準は、天井高：2.5、3、3.5m、奥行き：4、5、6m、照度：200、547、1500lx、色温度：3000、5000、7000Kとし、これらを直交させ、全部で81種類の刺激を使用した。これらの刺激を複合視環境提示装置を用いて被験者に提示し、それぞれの刺激に対して開放感、快適感、および適合感を含む7項目に関して7段階尺度で評価させた。

(2) 実験結果

天井高、奥行き、照度および色温度が適合感に与える影響を評価するため、反復測定による分散分析表を行った結果、天井高 ($F(2, 78)=5.38$, $p<0.05$)、奥行き ($F(2, 78)=33.6$, $p<0.01$)、照度 ($F(2, 78)=264.77$, $p<0.01$)、色温度 ($F(2, 78)=91.34$, $p<0.01$)、および奥行きと照度との交互作用 ($F(4, 156)=4.37$, $p<0.01$)、照度と色温度との交互作用 ($F(4, 156)=108.27$, $p<0.01$)、天井高と照度と色温度の交互作用 ($F(8, 312)=2.84$, $p<0.01$) が適合感に有意な影響を与えていることがわかった。しかしながら、これらの交互作用の大きさは、主効果のそれにくらべて小さことが分かった。すなわち、交互作用は統計的には有意であるが、その大きさは主効果に比べて小さい。これは、空間寸法に関する指標および照明に関する指標は独立に使用することができることを示唆している。

2. 3 CGを用いた視環境統合指標の補完

「オフィスのCGを用いた視環境統合指標化の補完」では、視環境設計支援システムにおけ

る照明解析技術を用いて照明環境をCGにてシミュレーションする技術を開発した。この技術による視環境統合指標化の補完の可能性を調べるため、照明解析技術により得られるCG画像と実際の照明された部屋に対して印象評価実験を行った。

(1) 方法

実験は部屋の奥行と天井高を変化させる空間開放性実験と光源の色温度と照度を変化させる照明快適性実験を行った。

表・1 実験条件

	空間開放性実験	照明快適性実験
照度(lx)	547	330,547,906
色温度(K)	5000	300,040,005,000
天井高さ(mm)	250,030,003,500	3000
奥行き(mm)	400,050,006,000	5000

(2) 結果

空間開放性実験では部屋の奥行4mと天井高2.5mの組み合わせでCGの方が実際の部屋に比べて開放感が強い申告(危険率5%)であった。部屋の奥行4mと天井高3mの組み合わせ及び最も広い条件である部屋の奥行6mと天井高3.5mの組み合わせでは実際の部屋の方がCGに比べて開放感が強い申告(危険率5%)であった。視環境の快適性の質問でも同様な結果が見られ、特に天井高が高い条件において実際の部屋の方がCGに比べて快適感が強い申告(危険率5%)であった。照明快適性実験では光源の色温度3000Kにおいて視環境の適合性、開放感に実際の部屋とCGの間に差は見られないが、光源の色温度5000Kではそれらの質問に対して実際の部屋の方がCGに比べて強く感じる申告(危険率5%)であった。視環境の快適性、色彩調和感でも同様な申告が見られたが、光源の色温度5000Kの照度906lxでは実際の部屋とCGの間に差は見られなかった。また、明るさ感では547lx以上の5000Kにおいて実際の部屋の方がCGに比べて強い申告(危険率5%)であり、330lxでは光源の色温度3000Kと7000Kにおいて実際の部屋の方がCGに比べて強い申告(危険率5%)であった。色の見え方では5000Kにおいて実際の部屋の方がCGに比べてより自然に感じ(危険率5%)、同様に906lxにおいて全ての色温度において実際の部屋の方がCGに比べてより自然に感じる(危険率5%)申告であった。

空間開放性実験と照明快適性実験を比較すると照度と色温度を変化させる照明快適性実験においてより実際の部屋とCGの間の有意差が多く、部屋の大きさを変化させる空間開放性実験において有意差が少なかった。これは空間開放性実験において、照明解析技術による視環境統合指標化の補完の可能性がより高いことを示すものである。しかしながら、照明快適性実験においても実験条件によっては実際の部屋とCGの間に差がないものがあり、実験条件によっては照明解析技術による視環境統合指標化の補完の可能性があることが示された。

2. 4 交互作用を考慮した主観評価法

最初に、以下で用いる記号を定義する。属性全体の集合を $N=\{1, \dots, n\}$ とし h_i を属性 i の達成度とする；達成度の系 $(h_i)_{i \in N}$ を N 上の単純関数と見なして $f=h_1\chi_{\{1\}}+\dots+h_n\chi_{\{n\}}$ ($\chi_{\{i\}}$ は集合 $\{i\}$ の定義関数)と書く； N の分割とは $P_\lambda \cap P_{\lambda'} = \emptyset$ ($\lambda \neq \lambda'$), $\bigcup_{\lambda \in N} P_\lambda = N$ を満たす集合族 $\mathbf{P}=\{P_\lambda; \lambda \in N\}$ のことである。

我々は、昨年度までに多属性評価過程の有効なモデル化関数として分割型ファジィ積分を構築した。これは次の既約に従って分割により交互作用項が選出される関数である。

既約分割の同一の元 P_{λ} 内では交互作用は起こらないが、分割の異なる元 P_{λ} 、 $P_{\lambda'}$ ($\lambda \neq \lambda'$) ではそれに属するそれぞれの属性間での交互作用が生じるものとする。例えば、 $N = \{1, 2, 3\}$ に対して分割 $P = \{\{1\}, \{2, 3\}\}$ を取れば、属性 1 と 2 および属性 1 と 3 の交互作用が選出される。

従って、分割により N 上の線型式から多重線型ファジィ積分の間の中間型多重線型ファジィ積分を表現することができ、評価問題への適用では、最も説明力のある分割を見出すことにより本質的な交互作用項を選出できるという利点を持つ。分割型ファジィ積分の定義式は、 P の元の個数が m のとき次で与えられる。

$${}_{(ML)}\int v d\mu = \sum_{i \in N} h_i \mu^M(\{i\}) + \sum_{p=2}^m \sum_{i_1 < \dots < i_p} \sum_{\tau \in S_p} \sum_{\substack{i_1 \in R_{\tau(p)(1)} \dots i_p \in R_{\tau(p)(p)} \\ i_1 < \dots < i_p}} h_{i_1} \dots h_{i_p} \mu^M(I), \quad (1)$$

ここに、 $I = \{i_1, \dots, i_p\}$ であり、 $\mu^M(\{i\})$ 、 $\mu^M(I)$ は属性 i の主効果および属性 $i_1, \dots, i_p$ の間の交互作用に関する係数である。

しかし、分割型ファジィ積分では分割を N に対するものに限定したので、表現される中間型多重線型ファジィ積分に制限を与えてしまった。そこで、今年度は、交互作用の選出方法は既約に従うが、分割の選び方の制限を取り除くことにより中間型多重線型ファジィ積分の表現枠の拡大を行った。具体的には、線型式を重み係数が零でない属性たちの集合 K ($K \subseteq N$) 上のものに任意に固定し、分割を N の 2 個以上の元を持つ全ての部分集合上で動かすことにした。従って、中間型多重線型ファジィ積分の形は (K, P) によって決定されることになった。このような中間型多重線型ファジィ積分たちの集合を改良分割型ファジィ積分と呼ぶ。定義式は基本的に (1) 式と同じだが、分割の動かし方が上のように変更され線型式の和の取り方も $i \in N$ から $i \in K$ に変更された。表現枠が拡大されたことを次の例題に示す。

例題 $N = \{1, 2, 3\}$ とする。このとき、

$${}_{(ML)}\int v d\mu = \sum_{i=1}^3 h_i \mu^M(\{i\}) + h_1 h_2 \mu^M(\{1, 2\})$$

というタイプの中間型多重線型ファジィ積分は、既約に従って交互作用が選出される限り N のどのような分割を選ぼうとも表現されないが、 N の部分集合 $K = \{1, 2\}$ に対する分割 $P = \{\{1\}, \{2\}\}$ を選択すれば表現される。

次にこの関数を評価過程のモデル化に使うためのアルゴリズムを開発した。まず、評価関数としての説明能力を向上させるために (1) 式に定数項 c を加えた。また、観測誤差 e は互いに独立で平均 0、分散 σ^2 の正規分布に従うものと仮定した。そうすれば、目的変数 E に対して改良分割型ファジィ積分型重回帰モデルは

$$E = ({}_{(ML)}\int v d\mu + c) + e$$

と表される。勿論、これは多重線型ファジィ積分型重回帰モデルおよび線型重回帰モデル

を含む。アルゴリズムの基本コンセプトは、改良分割型ファジィ積分モデルの中から本質的なパラメータのみを有する中間型多重線型ファジィ積分モデルを選ぶことである。このためには、重回帰モデルの優劣を判定する規準が必要であるが本研究では情報量規準 (AIC) を用いた。AIC とはパラメータ数と残差を勘案して重回帰モデルの当てはまり具合を表す規準であり、「値が小さい程モデルの当てはまりが良い」ことを示す。また、改良分割型ファジィ積分の特徴より中間型多重線型ファジィ積分は (K, P) を動かすことにより様々に設定できるから、アルゴリズムは各 (K, P) に対する重回帰モデルの AIC を求めその値が最小の重回帰モデルを選出するものにした。ただし、このときの P は K の任意の部分集合に対する任意の分割とした。図 6 にモデル選出のフローチャートを示す。

さらに、提案手法によって本質的な交互作用項が選出されるかどうかを調べるために具体的な多属性評価問題：“室内空間の開放感”に適用した。このとき、開放感に関与する属性として天井高、幅、照度、色温度を設定し、各属性は表 1 のように 3 水準をそれぞれ独立に変化するものとした (4 元配置)。評価すべき 81 種類の代替案に対して可動式実験室を用意した。簡単のため、天井高、幅、照度、色温度に番号 1, 2, 3, 4 を対応させ (i. e., $N = \{1, 2, 3, 4\}$)、3 人の被験者を被験者 A, B, C と記す。このもとに、提案手法と分散分析によって選出された交互作用項の比較結果を示す。提案手法は AIC で分散分析は有意水準 (5%, 1%) の検定によって要因効果 (因子 (属性) 主効果、交互作用効果) が選出される。提案手法、分散分析に従って選出された要因効果を持つ重回帰モデルを AIC モデル、分散分析モデルと呼ぶ。表 2 (a) (b) (c) に被験者 A, B, C の各モデルにおける AIC の値を示す。表の第 1 列の記号は

M4: 4 属性多重線型ファジィ積分モデル

L4: 4 属性線型モデル

Min: AIC モデル (i. e., AIC が最小になるモデル)

V: 分散分析モデル (被験者 A: 有意水準 1% 検定, 被験者 B, C: 有意水準 5% 検定)

を意味する。また、第 2 列、第 3 列は中間型多重線型ファジィ積分のタイプを定める指標 (K, P) であり、それぞれ線型式に用いられる属性の集合と交互作用項の選出に係わる分割である；例えば、第 2 列が $\{1, 3\}$ ならば線型式に属性 1 と 3 を用いることを表し、第 3 列が $\{\{3\}, \{4\}\}$ なら属性 3 と 4 の交互作用項を選出することを表す。なお、第 5 列の R は重相関係数を、第 6 列の p はモデルに用いられたパラメータ数を意味する。

表 1 各属性の水準

属性		水準		
		I	II	III
天井高	(cm)	260	280	300
奥行き	(cm)	400	440	480
照度	(lx)	75	250	750
色温度	(K)	6500	4500	3000

表 2 (b) 重回帰モデルと AIC (被験者 B)

モデル	K	P	AIC	R	p
M4	{1, 2, 3, 4}{ {1}, {2}, {3}, {4} }	—	-296	0.676	16
Min	{1, 3, 4}	{ {3}, {4} }	-308	0.620	5
V	{1, 3}	—	-307	0.590	3
L4	{1, 2, 3, 4}	—	-305	0.601	5

表 2 (a) 重回帰モデルと AIC (被験者 A)

モデル	K	P	AIC	R	p
M4	{1, 2, 3, 4}{ {1}, {2}, {3}, {4} }	—	-264	0.802	16
Min	{1, 2, 3, 4}	{ {3}, {4} }	-276	0.777	6
V	{1, 3, 4}	{ {3}, {4} }	-273	0.762	5
L4	{1, 2, 3, 4}	—	-258	0.702	5

表 2 (c) 重回帰モデルと AIC (被験者 C)

モデル	K	P	AIC	R	p
M4	{1, 2, 3, 4}{ {1}, {2}, {3}, {4} }	—	-246	0.699	16
Min	{1, 2, 3, 4}	{ {1}, {2} }	-255	0.646	6
V	{1, 2}	—	-253	0.595	3
L4	{1, 2, 3, 4}	—	-254	0.139	5

K : N の任意の部分集合

P : K の任意の部分集合の任意の分割

まず、被験者 A の結果では、Min と V で選出される交互作用項は同一であった。次に、被験者 B, C の結果を見る。交互作用項の選出のされ方は Min と V では大きく異なるが、両者の AIC の値はほぼ同一であり、分散分析モデルの要因効果以上のものを AIC モデルで求めても意味があるとは考えにくいことが分かった。このことは交互作用項選出において重要である。以上の結果をまとめて次のような知見が得られた。

1. 分散分析後の検定で有意と判定された要因効果を選出すれば十分である。
 2. その交互作用項に対応する分割を見出せば、分散分析にも分割による交互作用表現が可能となる。
 3. しかし、分散分析モデルの AIC の値以上を持つモデルは一般には複数存在する。
- 1, 2 より一応分散分析モデルに AIC モデルを一つ対応させることは可能であることが分かった。3 よりその逆、すなわち、AIC モデルに分散分析モデルを一意的に対応させることは一般には出来ないが、AIC の値が良好なモデルから分散分析モデルに最も近いものを一つ選ぶという“すり合わせ”作業を行えば、両モデルを対応させることが出来る。従って、この作業を施せば、「本質的な交互作用を選出できそれを分割で表現できる」ことが確認できた。

【カラーページの説明】

図1 照度および色温度が適合感に与える影響（休息環境）

適合感に与える色温度の影響は、照度が 750lx 以上では 4500K が最も良い値を示している。一方、照度（75lx）では、色温度の変化にかかわらず適合性は低いことがわかった。

図2 奥行きが開放感に与える影響

適合感に与える奥行きの影響は、大きくなればなる程増加するが、天井高さによる影響はあまり見られないことがわかった。

図3 就労環境における照明適合感のガイドライン

就労環境における適合感に対する照度と色温度のガイドラインを示したもので、照度は 750lx 以上で、色温度が 5000K 程度が適合性が良いことを示している。

図4, 図5 被験者実験に用いた CG

視環境適合性指標を補完することを目的として、実環境と CG 環境との印象の比較を行い、CG 環境と実環境の場合の印象評価の差異が抽出された。

図6 評価過程のモデル化のフローチャート

改良分割型ファジィ積分を用いて評価過程をモデル化するときのフローチャートである。線型式の係数が 0 でない属性の集合 K と K の任意の部分集合の分割 P を動かすことにより様々な重回帰モデルが設定され AIC に基づき最適な重回帰モデルが選出される。

第 1 1 章 座位姿勢の振動感覚適合性の 指標化技術の研究開発

第11章 座位姿勢の振動感覚適合性の指標化技術 の研究開発

横須賀研究室 A

ABSTRACT

Human sensitivity to vibration and a method of evaluating multi-axis random vibration was investigated.

The first experiment was conducted to measure the equivalent comfort accelerations for vertical, fore-and-aft and lateral feet vibrations in the sitting posture. Results show that the sensitivity for vertical feet vibration increase at 10Hz and 20Hz, but the sensitivity for fore-and-aft and lateral feet vibration is almost the same below 20Hz and decreases at higher frequencies.

The equivalent comfort accelerations for fore-and-aft and lateral seat vibration were also measured in the next experiment. Results show that the sensitivity for fore-and-aft vibration is highest at 2Hz and 5Hz.

In the final experiment, the accelerations of sinusoidal vibration which produced discomfort equivalent to various random vibration on a rigid seat, were measured and the effects of frequency and axis weighting factors for random vibration were examined. Results show that the weighting factors obtained from a series of the investigations are more suitable to evaluate random vibration than those in ISO2631-1('97).

1. 研究開発目標

1.1 はじめに

日常生活の中で我々が感じる振動による不快を定量的に評価するためには、人間の振動感覚特性に基づく評価指標が必要となるが、振動感覚特性は体の姿勢によっても変化するため、評価に際しては姿勢について考慮する必要がある。

本研究開発では、日常生活の一場面となる乗り物の快適性向上を図る上で基本となる座位姿勢の乗心地に関して、着座姿勢を変えた場合や身体の部位別に振動が入力された場合の振動感覚（不快度曲線）を解析し、それによって評価・設計指針を提案することを目的としている。

1.2 研究開発目標

本研究開発の目標は、座位姿勢時の振動入力に対する人体の振動感覚特性を明らかにし、これに基づく適合性指標化技術の研究開発を行い、乗り物の開発現場で必要とされる乗心地評価基準の提案を行うことである。具体的には、日常生活での座位姿勢を対象に、着座姿勢を変化させた時の振動感覚感度や、身体部位別に振動を呈示したときの振動感覚感度などを求めることにより感覚指標化を行うとともに、厳密に制御された加振波形による振動刺激呈示技術も確立する。

本年度は、座位姿勢において足部のみを上下、前後、左右方向に加振した場合や、クッション座部のみを面内前後及び左右方向に加振した場合の等不快加速度の測定

と、一連の実験で得られた等不快度曲線を用いて作成した不快度評価指標について、剛体シートのクッション部やバックレスト部を別々の振動により加振した場合の不快度評価による検証を行った。

2. 研究開発成果の概要

2.1 足元加振による等不快加速度の測定

足部からの振動入力に対する感覚感度を明らかにするため、剛体シートに着座した姿勢における足元前後(X)、左右(Y)、上下(Z)振動に対する 2Hz から 80Hz までの等不快加速度の測定を行った。また、足元上下加振においては、バックレストや靴の有無による感覚変化の検討も行った。

実験の結果、2Hz 及び 5Hz ではいずれの方向でも感度には差が見られないものの、10Hz 以上では上下方向の感度が高くなることが分かった。また等不快度曲線の形状については、前後、左右方向については 20Hz 以下で加速度一定、それ以上では周波数の増加に伴い感度が低下するが、上下方向については 10Hz 及び 20Hz 付近で最も感度が高くなるという違いがあることが明らかになった。

一方、足元上下方向の感度については、バックレストや靴の有無による絶対的な感度や等不快度曲線の形状の差は認められなかった。

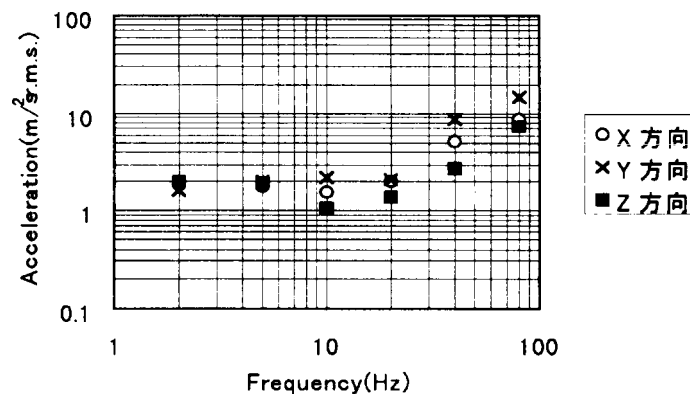


図 11-2-1 足元加振時の等不快加速度(10 名の平均)

2.2 剛体クッション前後・左右加振時の等不快加速度の測定

鉛直から 20° の傾きを持つ剛体バックレストと、水平から 14° の傾きを持つ剛体クッションとからなる剛体シートに着座し、足を静止したフットレストに載せた姿勢で、剛体バックレストは静止したままで剛体クッションのみを前後(X)または左右(Y)方向に加振した場合の、2Hz から 80Hz までの等不快加速度の測定を行った。

実験の結果、前後加振の場合には 2Hz 及び 5Hz において最も感度が高く、10Hz 以上では約 4dB/oct の傾きで感度が低下し、左右加振の場合には 2Hz において最も感度が高く、5Hz 以上ではやはり約 4dB/oct の傾きで感度が低下した。また、前後及び左右振動に対する等不快加速度を比較すると、5Hz を除いて両者は良く一致することが分かった。

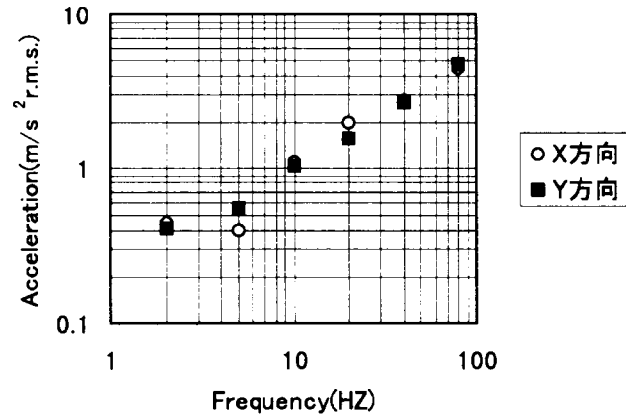


図 11-2-2 剛体クッション加振時の等不快加速度(10名の平均)

2.3 ランダム振動評価方法の検証

2台の加振機上に剛体クッションと剛体バックレストを固定し、それぞれを異なる周波数特性を持つランダム振動で加振した場合に、この剛体シート上で被験者が感じる不快度と等価な不快度が得られる単軸サイン振動の加速度を求め、両者の相関を調べることにより、一連の不快度マッチング実験により得られた等不快加速度から作成した重み付け係数による周波数及び部位間の重み付けの妥当性を検証した。

ISO2631-1('97)の重み付け係数、及び、本研究開発により得られた重み付け係数による周波数及び軸間重み付け後のクッション3軸、バックレスト3軸の加速度 r.s.s. (root sums of squares) 値とサイン振動の加速度との相関係数を比較した結果、ISO2631-1('97)の係数を使用した場合には約 0.5 であったのに対し、本研究開発により得られた係数を使用した場合には約 0.8 と非常に高い相関が得られることが明らかになり、本評価法の妥当性が示された。

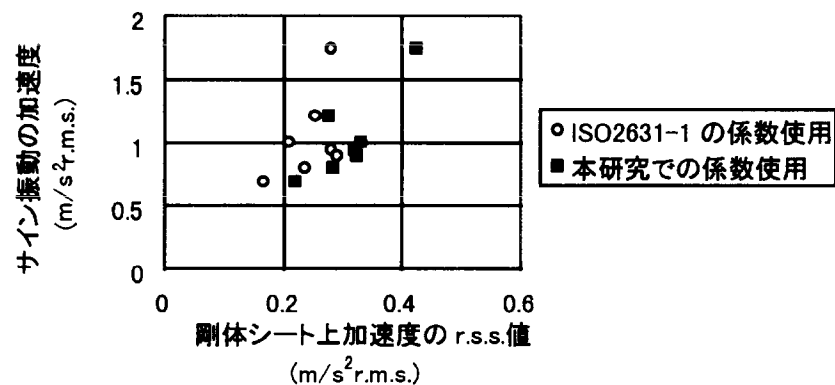


図 11-2-3 ランダム加振による剛体シート上加速度と単軸サイン振動加速度との対応 (6名の平均)

写真の説明

上：足元加振実験における剛体シート固定方法

乗り物乗車姿勢を模した座位姿勢にて足元のみを加振するため、剛体シートのクッション及びバックレストを加振台の外の架台上に固定する。加振により足が前方に滑らないよう、足を載せる加振台上には表面がザラザラした薄い滑り止めシートを貼り付けている。

下：クッション、バックレスト個別加振実験における剛体シート固定方法

剛体クッションと剛体バックレストを異なる加振機に取り付け、それぞれ異なる振動で多軸加振を行うものである。足元には鉄パイプ製の簡易型静止フットレストを設けており、被験者の尻及び背中の中に振動が入力される。

第 1 2 章 衣服の設計指針

第 1 2 章 衣服の設計指針

堅田研究室

We have studied on the new sweating thermal manikin, through the discussion on the micro-climate within clothing in terms of comfortableness of clothing such as heat and moisture transportation. This manikin can be used for the evaluation and design of clothing products by measuring the microclimate within clothes and thermal insulation under different conditions, such as a the clothing, chair and bedding.

The manikin was dressed in working clothes and the changes in thermal insulation was determined from the power consumption for different room temperatures and sweating rates. As for human bodies, the power consumption increased at lower room temperatures and higher sweating rates, and changes in the manikin's thermal statues due to the sweat-evaporation were apparent.

In addition, we evaluated the climate within bedding was measured for human subjects and the manikin using the same combination of upper and lower futons. In this experiment, when the temperature within the bedding increased over 36 °C, the humidity within bedding rose rapidly in response to the increased sweat rate, and the temperature and humidity relationship corresponded between the sweating manikin and human subjects.

1. 研究開発目標

1. 1 まえがき

衣服は身体を熱的に保護し、外界からの危害や汚染から守るという機能を発揮するものとして着用されてきた。経済の発展に伴い、物の豊かさへの欲求から、心のゆとりを求める時代へと変化し、価値観が質的にも多様化してきている。衣服などの繊維製品も従来の機能面中心の製品開発から、心地よさ、使いやすさなどの快適性や健康といった人間の感性要求を加味した製品の開発が重要となってきた。中でも、衣服の着用時に感じる温熱・湿潤感覚を考慮した快適な衣服に対する要望が大きくなっている。そのためには材料、デザインなどの事前評価を行うことが有効である。人体による温熱・湿潤感覚量の評価や衣服内微小空間の温度、湿度の計測などは、再現性が低い、個人差が大きい、人体の疲労による誤差が大きい、特殊環境条件下での評価ができないなどの問題がある。このため、評価機器による計測が必要となる。衣服材料の評価は、一定の温湿度環境の中で衣服材料の熱・水分移動特性を測定するシミュレーション装置で可能であるが、縫製された衣服の熱・水分移動特性には不向きである。衣服縫製品の熱・水分移動特性を計測するためには、人体を模擬したマネキン型の計測機器が必要である。現状のマネキンでは、皮膚温や発汗量が自動で経時的に変化しない、液体の汗がでないなどの課題があり、衣服縫製品の熱・水分移動特性を評価するには不十分である。温熱・湿潤感覚を反映した快適な衣服等の製品を設計、開発するには、それらの感覚と対応がとれるように発汗量、皮膚温について実際の人体と近い状態を再現できるマネキンの開発が必要である。

1.2 開発目標

温熱・湿潤感に関する衣服の着心地と対応がとれるように、発汗量、皮膚温について、実際の人体により近い状態を再現できる高性能発汗マネキンを製作するために、第Ⅱ期では、発汗機構を主とする高性能発汗マネキンの開発、高性能発汗マネキンによる指標化技術の構築を行う。

中心のテーマは「高性能発汗マネキンの開発」である。高性能発汗マネキン(平成9年度に製作)は、「立つ、座る、寝る」の三状態に姿勢を変えることができる、多量(液相)発汗が可能である、就寝時や運動を想定して皮膚温、発汗量を経時変化できることを目標としている。第Ⅰ期までの検討により産熱・発汗機構の基本構成及び装置手段等に関する技術要素については高性能発汗マネキンへの適用の可能性が見いだせている。第Ⅱ期からの最も重要な検討課題は、多チャンネル化(ボディ分割)および産熱・発汗機能に影響を与えず、「立つ、寝る、座る」の姿勢が可能な全身ボディとして装置構成するための構成技術を検討することである。「高性能発汗マネキンによる指標化技術の構築」では、衣服評価の指標化案を提案出来ることを目標としている。発汗マネキンでの測定内容と人間の感覚との予想される対応例を挙げると、

発汗マネキンの測定内容	人が実際感じると予想される感覚
衣服内の温湿度が急上昇する	←→ ムレ感
衣服内の温湿度が高い	←→ 暑熱感
衣服表面温度(肌側)の低下が大きい	←→ 冷え感

等が考えられる。指標化技術を構築するために、まず、第Ⅰ期に作製したスキンモデルを活用して衣服を模擬した温熱環境の評価技術を検討し、高性能発汗マネキンへの適用の可能性を見いだす。これらの成果をもとに、衣服の着心地と対応が取れるように、発汗量・皮膚温が実際の人体に近い状態を再現できる高性能発汗マネキンを開発する。

(1) 高性能発汗マネキンの開発

発汗量、皮膚温を実際の人体により近い状態で再現できる高性能発汗マネキンを、製作する。第Ⅱ期の最も重要な検討課題は、多チャンネル化(ボディ分割)および産熱・発汗機能に影響を与えず、「立つ、寝る、座る」の姿勢が可能な全身ボディとして装置構成するための構成技術を検討し、改良を加えて発汗マネキンとして完成させることである。

(2) 高性能発汗マネキンによる指標化技術の構築

指標化技術を構築するために、発汗マネキンを用いて各種の条件下における素材等に着目した評価技術を検討し、高性能発汗マネキンの有効性を検証する。また、けいはんな(休息環境実験室)での応用事例研究STEP6/L4-2を実施する。

1.3 平成10年度研究計画

(1) 高性能発汗マネキンの開発

- ① 高性能発汗マネキンの改良:平成9年度に製作した発汗マネキンについて、姿勢保持のための機械的機構の改良、計測制御ソフトウェアの改良を実施する。

(2) 高性能発汗マネキンによる指標化技術の構築

- ① 全身型発汗マネキンの検証・基本性能の評価:改良した発汗マネキンについて、装置の機能および基本性能の確認評価を行う。
- ② 応用事例研究STEP6/L4-2(平塚研と共同)
けいはんな(休息環境)応用事例実験室において寝具の評価実験を実施する。
- ③ 衣服等繊維製品の温熱的視点からの類別化指標

衣服の類別化に関し、むれ感(温冷感・湿潤感)に着目して平成9年度に実施された被験者テスト(神戸女子大学)を踏まえ、開発した発汗マネキンをを用いた素材・加工の異なる長袖ポロシャツの評価を行う。

2. 研究開発成果の概要

2.1 高性能発汗マネキンの開発

(1) 高性能発汗マネキンの改良

平成9年度に開発した発汗マネキンのマネキンの機能・操作性の向上、精度維持のため、改良を行った。実施した内容は、①チューブポンプのチューブ交換、②発汗量設定の精度向上、計測制御の安定性向上のための計測制御ソフトウェア改良、③下衣の装着を容易にするため脚の間隙を拡張させ、姿勢変化操作のための治具を装備したことの3つである。

2.2 高性能発汗マネキンによる指標化技術の構築

発汗マネキンの機能および基本性能の確認評価を行った。基本機能としての皮膚温分布、発汗機能について確認評価を実施し、ヌードおよび着衣状態での皮膚温制御、発汗量あるいは外気温度の変化による供給電力の変化などについて確認でき、一連の実験から、衣服設計・評価のための発汗マネキンの適用可能性を見出せた。

(1) 立位での実験

マネキンにワーキングウェア(綿100%上・下)を着用させ、外気、皮膚温を一定とし発汗量を増加させたときの変化、開口部の状態(前ファスナの開閉)、歩行を想定した腕振りによる上衣のあおりの影響、走行時を想定した風冷効果について調べた。その結果、①発汗量の経時的な増加に伴い供給電力が増加すること(蒸発潜熱の効果)、②前身頃・袖の開口により放熱量が増加すること、③腕振り動作をさせると体幹後(背)と両腕の放熱が大きくなること(ポンピング効果)、④走行を想定した風冷では全身で供給電力が増加し、体幹部や大腿などでの放熱量の増加が大きいことがわかった。

(2) 座位での実験

外気を一定($20\sim 21^{\circ}\text{C} \times 50\sim 60\% \text{RH}$)とし、背もたれのない鋼材の台の上にウレタン、ポリエステル系エラストマー網状体(ともに8.5cm厚)に表皮材(綿100%)を掛けたものを椅子に見立て、綿100%ワーキングウェア上・下を着衣させたマネキンを座らせて座位でのクッション材評価実験を行った。中庸状態での皮膚温分布を設定し、発汗量を30分ごとに $0 \rightarrow 50 \rightarrow 100 \text{g/m}^2 \cdot \text{h}$ に変えた場合の腰・大腿・下腿・座面について温湿度、供給電力の変化を調べた。“座面”での温湿度の測定に関する課題があったが、供給電力による顕熱・潜熱での評価は部位別に可能であることがわかった。着衣がかなり濡れると試料間の差は見られない。

(3) 寝位での実験

京阪奈での応用事例実験の予備テストも兼ねて実施した。外気を一定($21^{\circ}\text{C} \times 50\% \text{RH}$)とし、発汗量 $50 \text{g/m}^2 \cdot \text{h}$ の状態、毛布、掛け布団を重ねていったときのマネキンの供給電力の変化(実験A)、夏を想定し中庸環境からエアコン冷房が切れて暑くなっていく($21^{\circ}\text{C} \times 65\% \text{RH} \rightarrow 28^{\circ}\text{C} \times 55\% \text{RH} / 2\text{h}$)場面を想定した実験(実験B)を行い、それぞれ寝具や外気環境の変化(皮膚温・発汗量の変化も含む)に対する発汗マネキンの供給電力の感度を調べた。毛布や布団を掛けていくと保温性が増加し、同時に潜熱抵抗も大きくなること、皮膚温・発汗量も経

時的に増加させたことにより寝具の保温性が変化すること、汗による蒸発潜熱の効果が見られることがわかった。

(4) 衣服等繊維製品の温熱的視点からの類別化指標

衣服着用時の「むれ感」に関連し、素材の異なる3種のポロシャツを用いて発汗マネキンによる実験を行った被験者実験(平成 8,9 年度;大工研)では「むれ感」が抽出できたが、綿100%(C)、綿100%撥水加工品(FC)、ポリエステル/綿混(ES/C)の素材の異なるポロシャツの主観申告での有意差は認められなかった。発汗マネキン実験では、外気を $24^{\circ}\text{C} \times 40\%\text{RH}$ 程度にあわせ、中庸状態の皮膚温分布で、発汗量を $0 \rightarrow 50 \rightarrow 100 \rightarrow 200 \rightarrow 0 \text{ g/m}^2 \cdot \text{h}$ と3時間かけて変化させた時の衣服内温湿度、衣服外側の温湿度、供給電力について調べた。

衣服内温度は発汗に伴い低下し、胸では差がないが、隙間のある腕や背では $\text{ES/C} < \text{FC} = \text{C}$ であった。衣服内外の温度差を見ると、 $\text{C} > \text{FC} \geq \text{ES/C}$ であり、綿使いのものは常に衣服内 $\geq$ 衣服外であるが、ES/C, FC は模擬皮膚の濡れが大きくなる時間帯に衣服内 $<$ 衣服外となるようである。また、FC では衣服自体が濡れないため、ES/C, C に比べて発汗停止以降に衣服内外温度差が小さくなっている。衣服内湿度は胸では差がみられず、背で $\text{FC} > \text{ES/C} = \text{C}$ の傾向がある。これは衣服外の背でも同じ傾向を示した。衣服内外の湿度差について、胸では $\text{C} > \text{FC} = \text{ES/C}$ 、背では $\text{FC} > \text{ES/C} = \text{C}$ である。C, ES/C に比べ、FC は特に背で湿度の透過が促進されたようである。供給電力(放熱量)の変化については、顕著な差は見られないが、FC, C に比べて ES/C は発汗時の放熱が大きく、発汗停止後の放熱低下が速く、潜熱効果が大きい傾向がある。

(5) その他の検証実験および調査検討

発汗マネキンと被験者実験あるいはコンピュータシミュレーションとの対応について被験者実験の文献値(皮膚温)を発汗マネキンに入力し、外気温度と供給電力との関係について調べた。被験者実験における皮膚温分布を発汗マネキン皮膚温として設定し、外気温22, 25, 28°C 、湿度30%RH程度において、立位・裸体条件(短パン着用)で、皮膚温(胸・上腕・大腿・下腿)、放熱量を測定した。皮膚温は外気温の変化に合わせて文献値の被験者の皮膚温と合わせることができた。放熱量は外気温が高く(低)くなると減少(増加)し、外気温の変化に対する感度を確認できた。

また、発汗マネキンに関する研究開発の状況についてJICST検索(1998.10.7)を実施したところ、発汗マネキン関連の研究開発は1994年以降も研究論文が出されており、防護服などの衣服評価、自動車内環境評価などの視点から研究・開発が進められていることがわかった。

2.3 応用事例研究STEP6/L4-2(平塚研との共同研究)

温熱環境適合性(休息環境適合性:住宅、けいはんな)に関する応用事例研究として、平塚研と協力して寝具等の製品評価実験を実施した。夏を想定した条件下で、素材とかたさの異なる4点の敷布団を体型の異なる被験者に供した時の横たわり心地と寝床内気候に関する主観申告と物性値(体圧分布、沈み量、寝床内温湿度)を調べ、横たわり感、むれ感・暑熱感の経時変化、発汗マネキンでの計測評価との対応関係について解析した。

(1) 実験内容

① 測定項目

- a)主観指標:仰臥時の横たわり心地および温冷感・湿潤感に関する主観申告、被験者属性アンケート調査

b)物性値指標:体圧分布・沈み量測定(体圧分布・沈み量測定装置;平塚研)、寝床内温湿度(胸部・背部)、体重減少量、高性能発汗マネキンによる測定(寝床内気候、消費電力;堅田研)

② 実験条件

a)試料寝具:素材または硬さの異なる市販敷き寝具4種。同一のシーツを掛けて使用。

b)被験者:体型の異なる成人男女各2名計4名。着衣はTシャツ、短パン。3時間仰臥時は肌掛け布団を掛け、寝返り不可。

c)環境条件:28℃×60%RH。3時間仰臥時は照度20ルクス以下。

(2)被験者実験における温熱評価に関する結果

① 温冷感湿潤感に関する主観申告の結果

被験者4名とも時間経過につれ「暑い、むれる、湿っている、総合的に不快」の方向となり、3時間後ではほぼ全ての水準で最高値となった。この4項目の相関は、経過時間毎においても非常に高く、同義的に解釈されたようである。試料間の差は100分経過頃に顕著に見られたが、その順位は被験者間では一致せず、それぞれの被験者にとって初日の試料が、最も暑い、むれる、湿っている、不快とされた。

② 被験者の寝床内温湿度の結果

a)寝床内温度:4名に共通して、60分経過頃までは上昇傾向、その後は36.5℃付近で頭打ち状態となり、試料間の差はほとんど認められなかった。さらに100分経過以降では、胸部で汗の蒸発によると思われる0.5℃程度の温度低下が認められた。

b)寝床内湿度:被験者によって上昇挙動は異なり、試料順位は一致せず、また各被験者の胸部と背部間においても一致しなかったが、それぞれの被験者にとって初日になる試料の胸部湿度の上昇が早い傾向が認められた。試料間の差は、1種において背部の湿度上昇が胸部に比べて遅いという特徴が見られ、背部が接する試料敷き寝具の素材違いを反映した結果であると思われる。

③ 主観申告と寝床内温湿度との関係

4名に共通して、100分経過頃までの主観申告の順位と、その被験者の同じく100分経過頃までの胸部湿度の順位が一致することがわかった。また各被験者の主観申告と胸部湿度の時間経過による変化パターンとが、総じて対応することがわかった。

(3)発汗マネキン実験

寝床内気候(温湿度)の変化について、被験者実験と同じ条件下で、並行して発汗マネキンによる測定を実施するため、被験者実験で見られた温湿度の変化パターン(60分以降で温度、湿度急上昇)を発汗マネキンで再現した。

供給電力(保温性)では、やわらかい(沈み量が大きい)布団の方が保温性大の傾向が見られた。これはマネキンボディが沈み込む布団ほど接触が大きくなるためと思われる。寝床内温度について、胸では汗の蒸発のためと思われる温度低下が見られたが、密閉系となる背ではさほど温度は低下しなかった。寝床内湿度の差は小さかったが、十分に乾燥させた布団(羊毛混の布団)はほかのものより5%RH以上湿度が低くなった。

被験者の寝床内温湿度の変化パターンを発汗マネキンで模擬することができ、試料間の熱的な相違についても計測することができた。

写真 1

応用事例研究 STEP 6 / L 4 - 2

被験者実験（3時間 / 15分毎に主観申告調査）

写真 2

応用事例研究 STEP 6 / L 4 - 2

発汗マネキン（寝位）

写真 3

発汗マネキン・姿勢変化状態（NUDE）

立位（多量発汗） / 寝位 / 座位

写真 4

発汗マネキン
ポロシャツ
スラックス着用

多量発汗

第 1 3 章 座位姿勢の形態・操作適合性の 指標化技術の研究開発

第 13 章 座位姿勢の形態・操作適合性の指標化技術 の研究開発

横須賀研究室 B

ABSTRACT

This purpose is to propose indices for static and motor characteristics suitability of sitting posture by the works as follows;

(1)*Development of indices for suitability of postures through long-term sitting*; The indices to evaluate suitability of sitting posture was validated by the analysis of measurement data of back shape of ten subjects, and changes in posture, body pressure distribution, and subjective evaluations in a long-term sitting on the conditions of six seats.

(2)*Development of a evaluation system for suitability of sitting posture*; A system has developed to measure and evaluate suitability of sitting posture easily. This system was constructed with a mat type body pressure distribution sensor using 164 channels of thin load cells, and back shape measurement device using 50 channels linear potentiometers. The practicability of the system was confirmed by the experiments on the conditions of ten subjects and five office chairs.

(3)*Development of indices for suitability of operating motion based on the human body model and measurement of physiological/motor factors*; A human body model has been developed for conducting useful personal computer simulations to evaluate physical work loads associated with the sitting position and leg motions. To derive factors influencing the ability of operation and the physical work load of the arms, the picture recording method of arm motion and the method measuring hand operation have been developed. The methods have been applied to a practical situation of computer work.

1. 研究開発目標

1.1 まえがき

本研究開発では、生活空間の快適性向上を図る上で最も基本となる製品の人間への適合性に関して、特に身体負荷に注目した計測・評価技術確立し、座位姿勢の形態・操作の適合性を向上させるのための評価・設計指針を提案することを目的としている。

1.2 開発目標

座位作業の負荷低減の為に現場適用型の簡易センサとパソコンレベルで構成する座位姿勢の形態適合性計測評価システムと非接触視線計測評価システム、操作部配置の推奨域呈示を含む操作適合性の指標化技術を研究開発する。

本年度は、姿勢・操作解析と人体負荷モデルによる形態・操作適合性の簡易な評価技術の確立とまとめを行う。さらに、実用型姿勢計測評価システムの改良試作と評価・検証を行い、実用型システムの最終仕様をまとめる。

1.3 平成 10 年度計画

(1) 長時間座位姿勢実験による姿勢形態適合性の指標化解析

長時間座位姿勢実験による形態適合性指標としての疲労感の主観評価と姿勢、体圧分布等の同時計測データの解析から、実用型姿勢計測評価システムを用いた簡易評価法の確立と形態適合性指標の最終形をまとめる。

(2) 実用型姿勢計測評価システムの開発

実用型簡易姿勢計測評価システムの改良試作と応用事例実験を含めた評価・検証を行い、実用型システムの最終仕様をまとめる。

(3) 人体モデル及び生理行動量による操作適合性の指標化解析

全身負荷推定モデルの改良と追加の負荷解析実験を行い、操作適合性指標の最終形をまとめる。また、協力研究として形態動態適合性プラットフォームに座位負荷推定モデルを組み込み、機能改良・検証を行い最終仕様をまとめる。

2. 研究開発成果の概要

2.1 長時間座位姿勢実験による姿勢形態適合性の指標化解析

本年度は、昨年度行った長時間疲労評価実験の解析を進め、身体形態特徴別の適合性指標推定式の導出を行った。身体形態特徴については、正中背面形状について、従来のS字型、直線型、猫背型の3分類を解析の際には、表 13-2.1 に示すように、さらに部位毎（胸椎部、腰椎部）の湾曲度合いに分類し、グループ化した。

表 13-2.1 背面形状の分類

		S字型	直線型	猫背型
胸郭部	湾曲型	○		○
	平坦型		○	
腰椎部	湾曲型	○		
	平坦型		○	○

上記、背面形状分類を用いて、形態特徴別に部位別疲労指数と体圧分布との関係を解析したところ、疲労主観評価（疲労指数）と部位別支持割合の間には、胸郭部および腰椎部の形態特徴別の傾向が見られた。例えば、図 13-2.1 に示すように、肩部の疲労指数において、胸椎湾曲型の被験者については、胸椎支持割合と危険率5%以下の正の相関（ $R=0.428$ ）が認められた。一方、胸椎平坦型の被験者では、危険率5%以下の反対の傾向（ $R=-0.436$ ）が見られた。これより以下のような指標式を導出した。

$$(\text{肩部疲労指数}) = 1.851 \times (\text{胸椎支持割合}) + 0.099 \quad \cdots \text{胸椎湾曲型}$$

$$-4.216 \times (\text{胸椎支持割合}) + 0.871 \quad \cdots \text{胸椎平坦型}$$

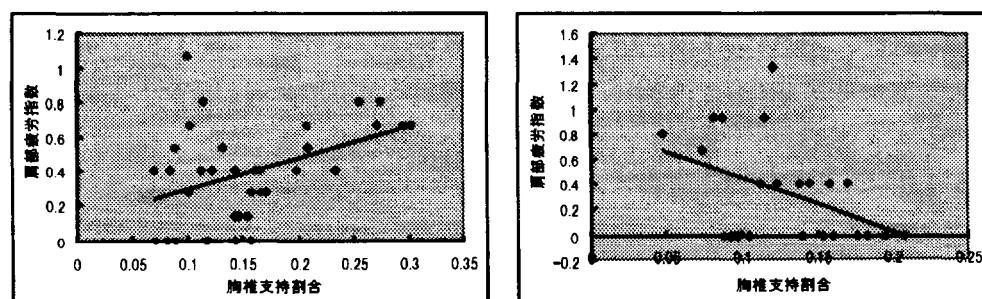


図 13-2.1 肩部疲労指数と胸椎支持割合(左:胸椎湾曲型、右:胸椎平坦型)

また、図 13-2.2 に示すように、腰部の疲労指数については、腰椎湾曲型の被験者では、腰椎支持割合と危険率 1 % 以下の負の相関 ($R=0.478$) が認められた。一方、腰椎平坦型の被験者では、危険率 5 % 以下の正の傾向 ($R=-0.551$) が見られた。以上より、以下の指標式を導出した。

$$\begin{aligned} (\text{腰部疲労指数}) &= -5.581 \times (\text{腰椎支持割合}) + 1.518 \cdots \text{腰部湾曲型} \\ &6.692 \times (\text{腰椎支持割合}) - 0.094 \cdots \text{腰部平坦型} \end{aligned}$$

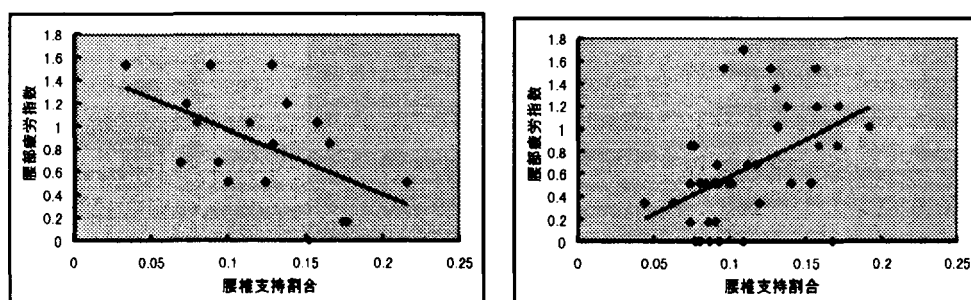


図 13-2.2 腰部疲労指数と腰椎支持割合(左:腰部湾曲型, 右:腰部平坦型)

また、殿部疲労指数については、図 13-2.3 に示すように座骨部支持割合と危険率 0.1 % 以下の高い相関 ($R=0.491$) が認められた。これより、以下のような指標式を導出した。

$$(\text{殿部疲労指数}) = 4.700 \times (\text{座骨部支持割合}) - 1.983$$

大腿部疲労指数については、図 13-2.4 に示すように大腿部支持割合と危険率 10% 以下の弱い相関 ($R=0.009$) が見られた。これより、以下のような指標式を導出した。

$$(\text{大腿部疲労指数}) = 0.265 \times (\text{大腿部支持割合}) + 0.131$$

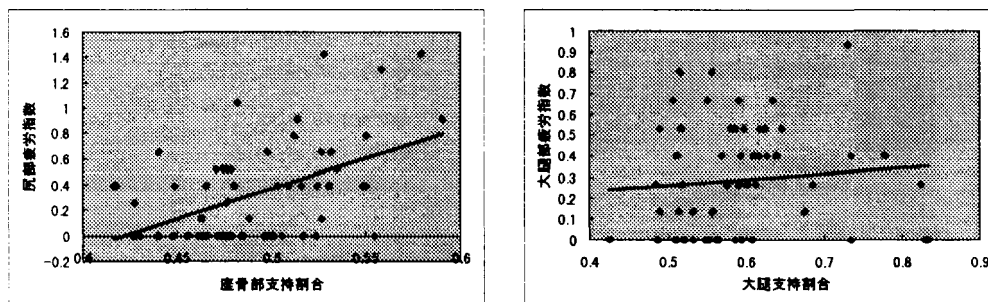


図 13-2.3 殿部疲労指数と座骨部支持割合 図 13-2.4 大腿部疲労指数と大腿部支持割合

また、下腿部疲労指数は、足を置く位置と身体的位置関係の影響から下肢長と相関の高い身長を変数として指標式を導出した。

以上より、各部位の疲労指数は、背面形状特徴別の部位別体圧支持割合を変数とする指標式を用いて推定が可能となった。また、これらを合計した総合疲労指数を簡易的な適合性評価指標として用いることも可能である。

2.2 実用型姿勢計測評価システムの開発

実用型姿勢計測評価システムでは、作業椅子に対して人間が着座したときの支持圧力などを計測し、指標化解析より導出される評価指標に基づき座位姿勢の適合性を評価できるシステムを目的としている。本年度は、昨年度改良した体圧分布計測システムおよび背面形状計測装置の計測ソフトウェアを作成し、計測データから前節で示した部位別疲労指数を推定し、総合疲労指数を呈示する評価システムとして構成し、全体を実用型姿勢計測評価システムとして完成した（カラー図参照）。

実際に評価にシステムを用いる際には、計測された体圧分布は、座高を変数として構築したマット上の身体特徴点位置座標推定式により推定された特徴点位置を用い、部位別の支持割合を計算し特徴量化される。また、計測した背面形状は従来の視覚的分類により、S字型、直線型、猫背型のいずれかを入力する。この分類に応じて、体圧支持割合を入力変数として前節で説明した推定式から各部位別の疲労指数が計算される。したがって、実際のシステム運用にあたっては、ユーザは計測さえすれば、中でのデータ・フローは意識せずに、適合度を見ることが可能であるようにシステムを構築した。

図 13-2.5 に画面の出力イメージと疲労指数推定の流れを示す。計算された疲労指数は、計測データとともに部位別で視覚的に表示し、線形和の形で総合疲労指数も表示されるものとした。実際には、これらの指標により適合度合いを判断すれば良いことになる。

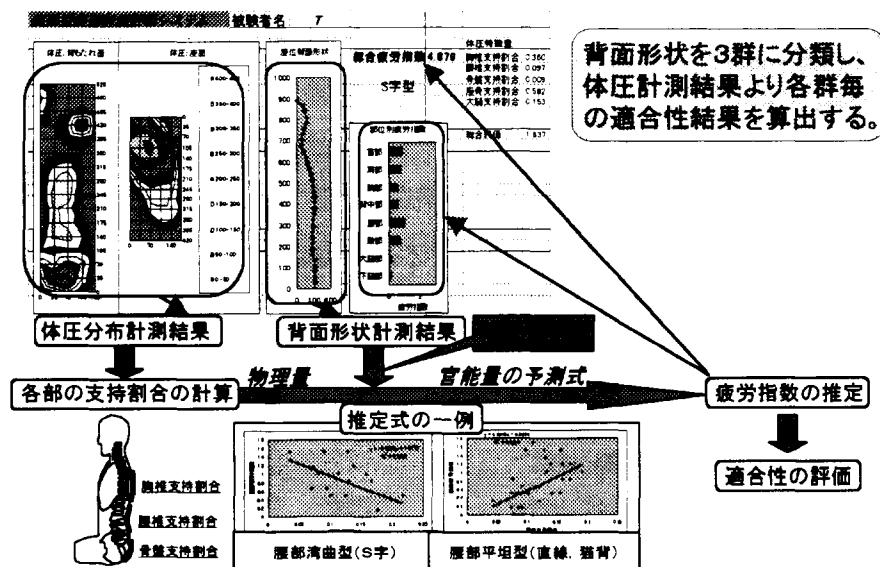


図 13-2.5 出力イメージと疲労指数推定の流れ

本システムの評価実験として、健常男性3名を用いて、比較的背もたれの大きいオフィスチェア2脚の長時間疲労評価実験、また応用事例実験においては、健常男性4名について、オフィスチェア評価実験を行い、システムの妥当性を検証した。また、本システムを用い、健常男性10名についてオフィスチェア5脚の体圧分布および背面形状を計測、検証を行った結果、広い用途で本システムが適用できることを確認した。

2.3 人体モデルおよび生理行動量による操作適合性の指標化

本研究開発では、座位の姿勢及び上肢・下肢を用いた操作における身体負担を軽減させることを狙いとして、人体モデルおよび生理行動量による操作適合性の指標化に取り組んできた。ここで人体モデルは身体内負担をシミュレートするものであり、ここでは座位のマクロな姿勢・操作の身体内負担評価ツールとして広く適用できる評価システムを構築することを目標としてきた。

基本構成上必要なリンクモデルを用いた身体内部関節のモーメント推定手法、座位や動作時の負担を評価する指標を、シミュレーション及び評価実験、検証実験により導出・改良を加えると共に、平成9年度、平成10年度は本手法をシミュレーションツールとして構成する上での、構成要件、各段階における推定手法の検討を行った。その拡大適用として、協力研究である形態・動態ブラットフォームに本シミュレーション（座位姿勢負担推定シミュレータ部）を搭載することとし、平成10年度は、部分の細部仕様の見直し及びシミュレーション動作環境の検討を行った。細部仕様の見直しについては、モデルの三次元化に伴う関節点位置推定手法の追加、見直し等を実施した。

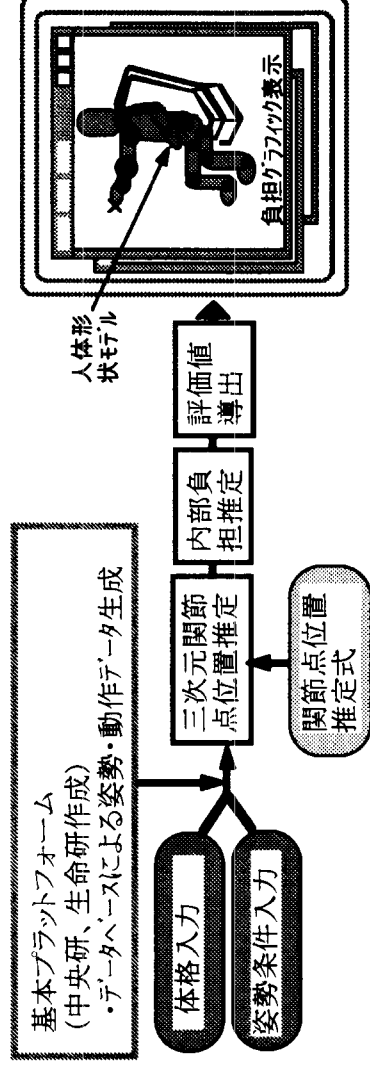


図 13-2.6 形態・動態ブラットフォーム座位姿勢負担推定シミュレータ部

手指部を用いて行われる操作の負荷感覚を主観的に評価するための評価用語の検討を進めた。手指部での操作負荷の発生するメカニズムを視覚負荷、制御負荷、身体支持負荷に分けて検討を行った。さらにポインティングデバイスをを用いてターゲットを指示する操作を例題として操作負荷感覚を構成する要素を操作のフェーズ毎に「操作方法のわかりやすさ」「ターゲットへの近づきやすさ」「ターゲットへの合わせやすさ」「操作結果のわかりやすさ」の4つに分類した。この4つに分類された操作負荷感覚構成要素毎にできるだけ多くの評価用語を準備した。つぎに実際の負荷感覚に合った評価用語を選択するため、操作形態の異なる数種類の入力装置を用いた評価実験を行った。熟練者による評価実験を行い、操作性に対する総合評価値と準備された各評価用語の評価値との相関値を算出し、操作の負荷感覚を評価する評価用語を選択した。さらに、再現性の高い評価作業を行いやすいように負荷感覚評価用紙の整備を行った。

写真・図の説明

上：実用型姿勢形態適合性評価システム

本年度に製作した実用型姿勢計測評価システムの構成図を示す。本システムは背面形状計測装置と体圧分布計測装置（体圧マット）及び計測制御・解析用パソコンより構成した。評価者は、被験者の背面形状を計測し、その形態を定性的に分類、入力する。計測した体圧分布は人体特徴点に対応した体圧支持割合に換算され、背面形状分類別の適合性指標式に代入することにより部位別の疲労度合いが推定される。これらの結果を総合的に表示し、適合性評価システムとした。

下：形態・動態プラットフォーム座位姿勢負荷推定シミュレータ部

形態・動態プラットフォームの一部として搭載された座位姿勢負荷シミュレーターの概要を示す。任意のユーザが入力、もしくは形態・動態プラットフォームの基本部から受け渡される体格、体型などの人体条件、姿勢・動作条件、椅子条件、操作機器条件に応じて、人体リンクモデルを用いた座位の関節モーメント及び姿勢負荷評価指標値などの身体負荷指標を計算、グラフィック表示可能とした。

第 1 4 章 身体接触感覚指標化技術の 研究開発

第 1 4 章 身体接触感覚指標化技術の研究開発

平塚研究室

Today, requirements to industrial products are expanding far beyond the scope of functionality to the area of comfort and easiness to use. With these background, Hiratsuka Research Lab. has been involved in the study of walking comfort and lying comfort, which human being spent large part in daily life, for the purpose of establishing indices of comfort and evaluation method of conformity of the products based on these indices.

For the development of production-type systems, which has been developed in 1997, general software improvement and the conversion of software to fit the Windows-environment, which is the new operating system on PC, and made the integrated system for the evaluation of comfort of Up-Right Standing Position.

As an application, research effort has been made on the fatigue of human up-right standing position in the context of physical properties of floor characteristics. In particular, based on the observations made during Heisei-9, a prototype of floor-mat was actually made which suppress easy fatigue and through the questionnaire test, desirable range of the characteristics was found. Also, they were correlated to the long-term fatigue (chronic fatigue). Lastly, physiological approaches, which had been pointed out during pre-stage evaluations, was adopted in understanding the relationship between fatigue of long-hour standing work and sliding.

Positioning the system developed in 1997 for the prediction of Lying Comfort as “Production System” of Lying Comfort Measurement System, software improvement had been made, which includes handling easiness, and executable in Windows-environment. To verify the performance of the new system, subject test has been made, whose results has been again fed back to the system, making the system with high maturity.

1. 研究開発目標

1. 1 まえがき

「人間感覚計測応用技術の研究開発」の一つとして平塚研究室（横浜ゴム平塚製造所内）では、「身体接触感覚指標応用技術の研究開発」を分担している。これは、私たちの日常生活に多くの時間的関わりを持っている「歩く（立つ）」と「横たわる」という場面における歩き心地感覚及び寝心地感覚の指標を抽出し、その知見による適合性（快適性）の追求を行ってきた。

1. 2 開発目標

歩き心地感覚指標化技術の研究開発では、平成 9 年度に製作した実用システムのプロトタイプをさらに実用的使用に耐えうる装置にするため、全般的なソフトの改良と OS ソフトであるウインドウズにおいて使用できるソフトに変更し、立ち心地指標を統合したシステムにする。応用研究として人の立位状態での疲労と床材の物理量との関連も研究しており平成 9 年度の知見をもとに、疲れにくいマットを試作し、実際の現場でのアンケート調査から、マットの物理量適性範囲の特定を図ると共に長期の疲労（慢性疲労）との関連付けを行う。また、プレ最終評価での指摘事項である生理学的アプローチの追加実験も長時間の立位作業や歩行時の疲労とすべりとの関連性についても解明する。

寝心地指標化技術の研究開発では、平成 9 年度に製作した横たわり心地を推測するシステムを寝心地実用計測システムとして位置づけ、さらに操作性を含めたソフトの改善を行い OS ソフトであるウインドウズにおいて使用を可能にする。また性能確認のため被験者実験を行い、計測実用システムの評価をソフトに反映した完成度の高いシステムにする。

2. 研究開発成果の概要

2. 1 歩き心地感覚指標化技術の研究開発

(1) 歩き心地感覚計測実用システムの研究開発

開発した実用システムは大きく分けて2部分からなる。PC-98 処理部は I 期に開発された路面かたさ測定装置及び路面すべり測定装置を制御すると共に両刺激量を出力し、Win95 処理部は出力された刺激量及び評価式係数セット等のデータベースを取り扱って心地指標を計算するものである。

PC-98 処理部は装置制御の都合上、この部分はMS-DOSをOSとして作成しており平成5年度に製作した刺激量測定装置の制御用パソコンが有するプログラムに代え本プログラムをインストールすると、路面の測定結果はパソコン内に cvs 形式のデータベースとして集積され、必要に応じて適当な媒体にファイルすることが出来る。

図 14-2.1 に Excel で開いた例として示す。なお ARK_LDATAB1 は路面名とかたさ刺激量の対、CSR1 は路面名とすべり刺激量の対となっている。

図 14-2.1 刺激量データベースの Excel での表示例。左側の列は路面名と刺激量の対 (ARK_LDATAB1)、右側の列は路面名とすべり刺激量の対 (CSR1) を示している。

図 14-2.1 刺激量データベースの

Win95 処理部は、Windows95/98 対応のアプリケーションである。図 14-2.2～2.4 に示す3個のテキストボックスから、データ (かたさとすべり)、評価式係数セットを、キーボードあるいはデータベースを開いて入力し、次いで入力したデータをクリックすると、指標値が計算表示できる。

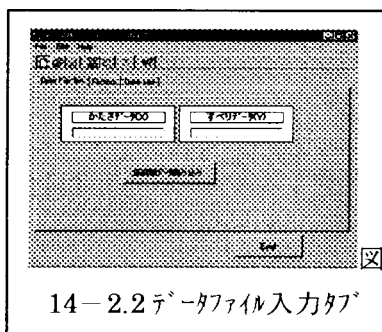


図 14-2.2 データファイル入力タブ

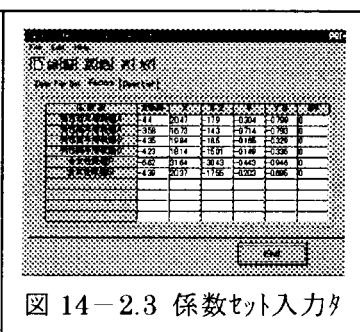


図 14-2.3 係数セット入力タブ

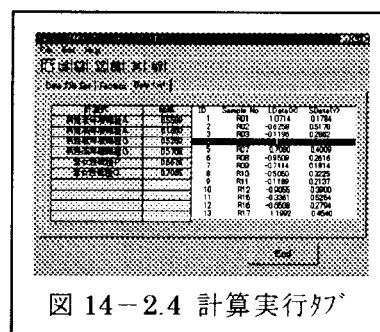


図 14-2.4 計算実行タブ

本プログラムは Excel のブックとしてデータ、係数セット及び計算結果を転送でき、実用での使い勝手がきわめて柔軟なものとなった。

(2) 立位姿勢保持における床の適合性の指標化

a. 疲労しにくいマットの試作

平成9年度の研究成果から疲労しにくいマットの物理量として、下表に示すようにかたさ、弾性率、弾性率の線形性を設定し、2種類のマット A,B を製作した。

名称	かたさ	弾性率	線形性
マット A	1.09	4 kgf/cm ³ 以下	0.99
マット B	1.07	3 kgf/cm ³ 以下	1.00
目標値	0.8～1.2	5 kgf/cm ³ 以下	0.95～1.0

b. 試作マットの調査結果と適性範囲の特定

試作マットA,Bについて、市場で使用しアンケート調査を行った。

・調査の対象：スーパーマーケット5店舗のレジスター41名（全員女性でレジ経験1年以上、20～64才）

・調査方法：現行の床とマットA,Bを1日使用後の自覚症状調べ及びアンケート調査を行った。但し、マットA,Bの順番は店によって替えて行い、A,Bを続けて使用することは避けて、1日以上の間隔を空けた。

図14-2.5に自覚症状調べの結果を図14-2.6にマットAと従来品との比較を示す。

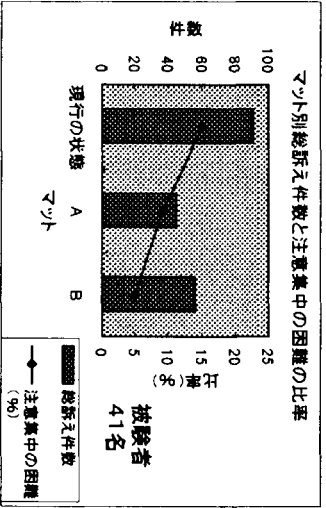


図 14-2.5 自覚症状調べの

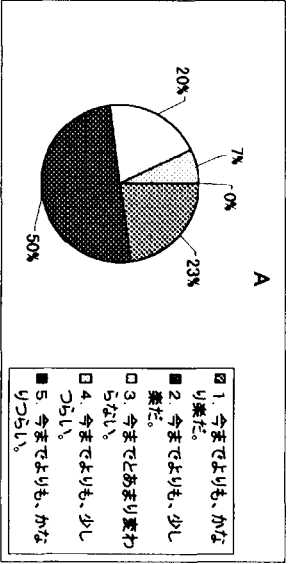


図 14-2.6 従来品との比較

これらの図から、へばりを表す注意集中の困難の比率、総訴え件数とも現行床よりマットA,Bの方が少なく、マットA,Bを敷いた場合の方がへばりが少なく、疲労に対して効果があることが実証できた。

またマットA,Bの比較について解析すると次のことが判明した。

- ・年齢が高い人はAの方が疲れない傾向にある。
- ・肥満度が高い人はAの方が疲れない傾向にある。
- ・疲労蓄積の大きい人はAの方が疲れない傾向にある。
- ・ハーヒールを履いている人はAの方が疲れない傾向にある。

これは、身体的に弱者の傾向のある人、ハイヒールを履いている人はマットAの方が疲れない傾向にあると言える。

更に詳細に生理的反応を解析した結果、刺激量「バランス感覚」を見いだし、物理量として「安定感」を導出した。安定感の測定結果はマットA：-0.05、マットB：0.03で、マットAの方が安定感に優れていた。安定感の詳細については本論編で述べるが、身体的に弱者を対象とした場合、立位疲労しにくい床の物理量として、かたさ、弾性率、弾性率の線形性の他に、この安定感を追加して提示することにした。

c. 弱者を想定したマットの試作
物理量としての安定感を0以下とし、弱者を想定したマットを試作した。

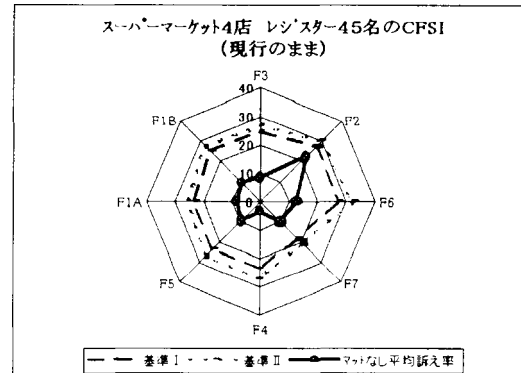
名称	かたさ	弾性率	弾性率の線形性	安定感
マットZ	1.02	4 kgf/cm ³ 以下	1.00	-0.04

d. 慢性疲労の調査結果と解析

試作マット Z について、前回同様実際の作業現場でアンケート調査を行った。

- ・調査の対象：スーパーマーケットのレジスター 45 名（女性）
- ・調査方法：現行の床で蓄積的疲労徴候調査（CFSI）を実施し、その後マット Z 使用 1 ヶ月後の CFSI を実施した。

CFSI（蓄積的疲労徴候調査）とは、心身の症状、状態などに関する 81 項目からなり、右表にある 8 特性区分に分類される。図 14-2.7 に現行



F1A	不安徴候
F1B	抑鬱状態
F2	一般的疲労感
F3	イライラの状態
F4	労働意欲の低下
F5	気力の減退
F6	慢性疲労
F7	身体不調

図 14-2.7 現行床での CFSI

床での CFSI を示し、このパターンはタイプ I - f 2, f6 に相当し、全体に一般的疲労感を表す F2 が最も突出しており、さらに慢性疲労を表す F6 が次に多く、精神的側面より身体的側面の疲労が読みとれる。マット Z を使用した場合、身体的側面の疲労の減少が見られた。

これらの研究から床の物理量として、かたさ、弾性率、弾性率の線形性、安定感が長期疲労に有効な指標であることが実証できた。

（3）長時間立位時の疲労における生理学的アプローチの検討

プレ最終評価での指摘事項である生理学的アプローチの検討として長時間の立位作業や歩行時の疲労について、すべり抵抗の異なる 11 種類の試料床を用いた官能検査を行った。被験者は成人男子 7 名（年齢 22～37 歳）、成人女子 7 名（年齢 23～34 歳）で、履物には男子の場合には紳士硬底靴、女子の場合には底の硬いパンプスを用いた。官能検査後、得られた基礎資料を分散分析した結果、すべりに関する立位長期疲労予測尺度および歩行長期疲労予測尺度の相関は高く、立位において疲労すると予測された試料床は歩行においても疲労すると予測された。

これらの予測尺度と刺激量すべり（C.S.R）は $C.S.R = 0.6$ 付近を頂点とする凸状の良好な対応を示したことから、床のすべりによる疲労の程度を予測できるとともに、すべりには最適な範囲があることがわかった。下腿（前脛骨筋および腓腹筋）の筋電図、足を動かした際に足部に生じる加速度、立位などの動作時の床反力、重心動揺などの生理パラメータを用いたすべりとの関連性については本論編で述べる。

2. 2 寝心地感覚指標化技術の研究開発

（1）寝心地実用計測システム

装置は敷き寝具硬さ測定部、体圧分布測定部があり計測制御部（パソコン）は1台で共有している。各測定部それぞれにデータ収集用の専用ボードがP Cに組み込まれており、ソフトウェアもそれぞれ固有に動作させる。硬さ測定部では球面の一部を用いた治具に錘を載せていったときの沈み量（基準表面からの変位）と荷重を測定しテキストファイルにする。体圧分布センサに治具を置き、前述した方法と同様に錘を付加して、30ピクセル間隔の3×3ポイントある範囲の9ポイントの平均階調値を求めその点の画像階調値とする。被験者による体圧分布測定では画像取り込み後に身体後正中線階調を求め、ピクセル単位で階調の数列をテキストファイルにした。

ソフトウェア部は身体後正中線形状の計算と横たわり心地の推定を行う。硬さ測定データから得られた荷重－変位特性に治具に錘を付加したときの平均階調値を対応させる。過去に同条件で行われた任意の被験者の沈み量と体圧分布データを用い、階調と沈み量のデータを入力する。これらのデータによりそれぞれに線型の回帰式を

求め0～255の階調と沈み込みの表を作成し、人の場合の沈み量／治具の沈み量の比を各階調について求める。任意の寝具については硬さと体圧分布の治具の実験のみを行い、前述の比を乗じることによって階調と沈み量の関係を推定する。評価寝具それぞれについて階調と沈み量の関係表を作成する。この表を基に身体後正中線上の階調値から沈み量を計算し、さらには臀部沈み量や腰部角度の説明変数を計算し、横たわり心地の評価値（目的変数）を求めて横たわり心地を予測する。

計算手順としての仕様を図14-2.8に示した。

測定例として寝具かたさ測定部による4種類の和式様敷き寝具の荷重と沈み込み量との関係を図14-2.9に示した。寝具Aは特殊構造型繊維のマットレス、Bは凹凸型ウレタンフォームマットレス、Cはポリエステル弾性体と綿の混合布団、Dは不織布綿の布団である。かたさの順位は5、10、

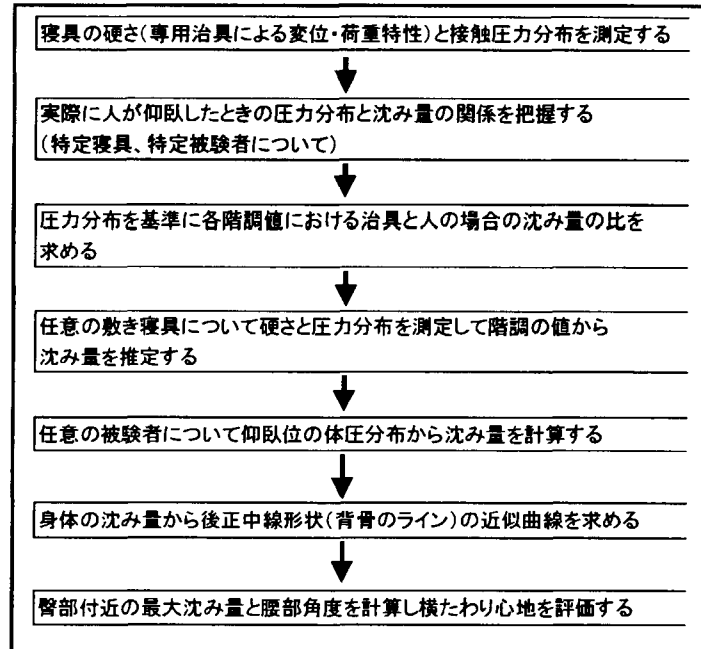


図14-2.8 実用システム計算仕様

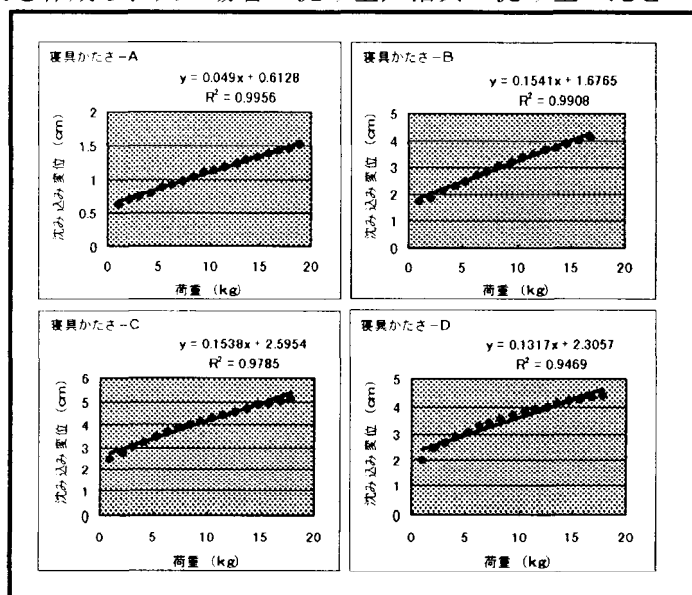


図14-2.9 和式様敷き寝具4種の硬さ測定結果

15kg 付加時の変位で比較するといずれもかたさは $A \gg B > D > C$ であった (表 14-2.1)。

上記かたさの情報と体圧分布から推定した実用計測システムの例を次に示す。和式様寝具、女性痩身の被験者における身体後正中線形状の水圧差方式による測定結果と実用システムによる

寝具	付加荷重		
	5kg	10	15
A	8.6mm	11	13
B	24	32	40
C	34	41	49
D	30	36	43

表 14-2.1 寝具硬さ

(付加荷重と基準表面からの沈み込み変位)

計算例を図 14-2.10 に示した。本年度は、寝心地実用計測システムをさらに操作性や精度を高めるための改善を行った。ウインドウズにおけるシステム制御や解析ソフトウェアの評価まで含めた完成度の高いシステムとした。

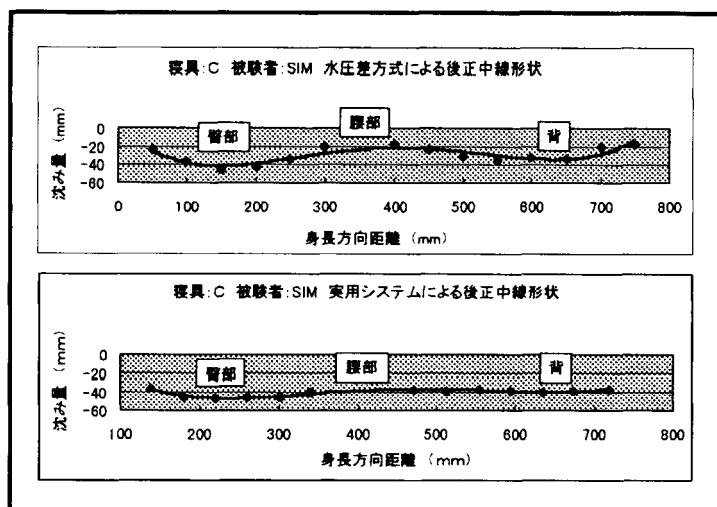


図 14-2.10 水圧差センサと実用システムの後正中線比較(女性・痩身)

図、写真の説明

上 : 歩き心地感覚計測実用システムの研究開発

路面かたさ測定装置及び路面すべり測定装置の制御及び両刺激量からの各種のデータベースを取り扱って心地指標を計算する実用システム

下 : 寝心地感覚計測実用システムの研究開発

男性肥満型の被験者が柔らかい寝具に横たわった場合の体圧分布と沈み量の例

男性肥満型被験者が柔らかめの敷き寝具に横たっており腰のあたりに強い接触が見られ横たわり心地を悪くしていると考えられる。

第 1 5 章 人間感覚計測データの 共有化・共通化の研究開発

第15章 人間感覚計測データの 共有化・共通化の研究開発

中央研究室

To develop basic methodology common to each laboratory concerning the human sensory measurement application technology, we have been conducting R&D on the following items, with the cooperation of relevant laboratories.

- (1) Development of questionnaire for subjective stress responses
- (2) Development of simulation system which evaluates the adaptability of human movement
- (3) Development of estimation technique on clothing microclimate in consideration of clothing materials (Joint researches with Nara Women's University)
- (4) Construction of database system which stores experimental data and developed simulation software
- (5) Construction of a handbook which stores various indices, methods, models and developed in this projects
- (6) Verification of human sensory indices by a simulated living environment presentation system

1. 研究開発目標

1. 1 人間感覚計測データの共有化・共通化の研究開発

(1) ストレスの共通主観評価手法の確立

ストレス評価に係わる標準的評価技術の確立を目指し、これまでに開発した一過性ストレスの共通主観評価手法について、応用事例の場で実作業を想定した検証実験を行う（応用事例研究、ストレスSG協力研究）。また、フィールド状況下での眼球停留関連電位（関西学院大学との共同研究）を計測するため、脳波と眼球運動記録用超小型データレコーダを開発し、日常的な屋内や屋外での歩行や自転車運転など運動状況下での作業負荷時の眼球停留関連電位の計測を可能とする。

(2) 形態・動態適合性評価システムの構築

形態・動態適合性評価のためのプラットフォームシステムを開発する。このシステムの上に、形態・動態SG内の研究室の成果を反映した形態・動態適合性評価システムを開発する（生命研共同研究、形態・動態SG協力研究）。

(3) 衣料品等の熱・水分に関する対人適合性評価技術の確立

生地の物理特性を含めた形での生理・感覚的評価技術の確立を目指し、同じ衣服を長時間着用した場合の人への影響を生理反応から明らかにする（奈良女子大共同研究）。

(4) 人間感覚データベースモデルの構築

プロジェクトの成果を集約した人間感覚データベースモデルを構築する。このために、これまで8年間の研究開発で得られたデータ、研究論文、コンピュータソフトウェアを洗い出し、これを人間感覚に対する研究者の視点、製品設計に従事する設計者の視点などで整理し、データベースとして構築する（全研究室協力研究）。

(5) 人間感覚計測マニュアルの構築

プロジェクト内で開発された、人間の生理データからストレス、疲労、覚醒などの感覚の度合いを推定する手法、製品や環境を人間感覚データに基づき評価する手法、開発した計測機器などについてまとめ、人間感覚計測マニュアルを構成する。(全研究室協力研究)。

1. 2 人間感覚指標を応用した休息環境に関する事例研究

これまでに個別あるいは共同・協力研究にて開発された指標を用いて現実的な場面における指標の一般性の検証と個別指標の統合化、生理指標に及ぼす環境要因の評価と環境の複合効果、実生活場面での指標の検証を行う。あわせて、応用事例企画委員会を通して計画および成果について有識者の意見を求め、より効果的な研究開発の推進を図る(応用事例研究)。

2. 研究開発成果の概要

2. 1 人間感覚計測データの共有化・共通化の研究開発

(1) ストレスの共通主観評価手法の確立

これまでに開発した一過性ストレス共通主観評価手法と主観入力装置の有効性を検証するために、ストレスサブグループの協力研究として応用事例研究の場で一過性ストレス質問紙を試用し、約30人回の被験者実験を行ってデータを採取した。解析を行い、他の研究室の解析結果を合わせ、本質問紙の有効性の確認を行った。

本年度は実場面を想定した、給湯プラント模擬作業における一過性ストレスの評価実験を行った。使用したタスクは、画面(エコロジカル型、従来型)2種類と作業難易度が異なる2種類の計4種類であった。解析の結果、画面の主効果が「集中感」(エコ型<従来型)に、難易度の主効果が「総合ストレス度」「抑鬱」「疲労」(難>易)の3つの項目に認められた。また画面、難易度の両主効果が「無気力」「眠たさ」(エコ型>従来型、難<易)「緊張」「難しさ」(エコ型<従来型、難>易)の4つの項目に認められた。

以上のことから画面の効果については、エコロジカル型を操作する際には緊張感が生じにくく、あまり集中する必要もないが、反面眠気も増加する傾向があった。すなわち、エコロジカル型は、操作性の観点から優れているといえるが、これは反面ヒューマンエラーの原因となる眠気や集中力の低下をまねくとも推察された。従って、エコロジカル型画面を実場面に使用する際には、集中力を喚起し眠気を防止するために、画面表示の改良や外部環境による刺激付加などが必要であると考察される。

難易度の効果については、作業が難しくなると、緊張や疲労が高まる傾向がみられた。これは作業員のストレスを高め、健康を阻害すると推察された。従って難度の高い作業を行う際は、作業員の健康とヒューマンエラーの防止のために、作業時間の低減を検討する必要があると考察される。

(2) 形態・動態適合性評価システムの構築

形態・動態適合性評価のためのプラットフォームシステムを開発する。さらに、このシステムの上に、形態・動態SG内の研究室の成果を反映した形態・動態適合

性評価システムを開発する。

具体的に構築された形態・動態適合性評価システムの概略と、これに反映された各研究室の成果は以下のとおりである。

1) 中央研

色々な体型を持つ人間の群に対して、対象とする空間や製品が如何に適合しているかを評価するものであり、具体的には以下のような機能を持っている。

- ・分類した体型を持つ人体形状を3次元として再現する。
- ・動態計測データに基づく3次元人体の姿勢変更（ビデオ的再生）を行う。
- ・姿勢変更に伴う占有空間を表示する。

2) 生命研

階段の昇降動作に伴う快適性を評価するものであり、具体的機能は次のとおりである。

- ・3次元人体形状を用いて階段昇降データを再現する。
- ・昇降動作は階段の形状（踏み面幅と蹴上の高さ、段数）、被験者属性（年齢層、身長など）によりデータを選択し、再現する。
- ・各部位の位置、速度、加速度、関節トルク等を計算し、階段評価用の指標関数に従って適合性指標を計算する。

3) 横須賀研

座位姿勢における快適性を評価するものであり、次のような具体的な機能をもつ。

- ・3次元人体に椅子に座る姿勢をシミュレーションさせる。
- ・椅子の面の角度と人体の身長体重などを指定し座位適合性を計算する。
- ・座位姿勢は横須賀研が指定した方式に従って計算する。

4) 吉祥院研

脚部にかかる圧力刺激に関する快適性を評価するものであり、具体的には次のような機能を実現している。

- ・3次元人体の脚部をイメージとして表示する。
- ・いくつかある（用意された）下半身衣料（サンプル）を選択する。
- ・選択されたサンプルの圧力が値で表示される。
- ・この状態での快適性（計測値）が表示される。

5) 平塚研

寝具（ベッド）の快適性を評価するものであり、次のような機能を持つ。

- ・被験者の中から表示する人体を選択する。
- ・4種類のマットレスから一つを選択する。
- ・この状態で背中の中線とマットレスとの接触曲線を表示する。
- ・接触曲線はB-Spline 曲線である。ただし既に計算した曲線の画像を表示する。
- ・この状態での快適性（計測値）を表示する。

(3) 衣料品等の熱・水分に関する対人適合性評価技術の確立

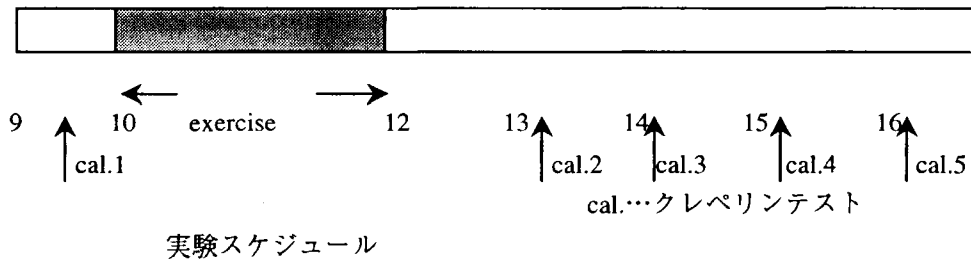
a. 研究目的

人は衣服に対して、意識的・無意識的にさまざまな機能を期待している。その中で、“着心地”は、人の主観的のみならず生理的にも大きな影響を与える。これま

での研究により、短時間の着用で衣服素材の差が、生理的に大きく影響することが明らかにされている。しかしながら、日常生活では、衣服はいったん着用されると半日は同じものを着用されるのにもかかわらず、長時間着用した場合による人への影響は、どのようなものか明らかにされていない。そこで、本実験では、日常生活を想定して、9:00～16:00の7時間、同じ衣服を着用した場合の生理反応を調べた。

b. 実験方法

被験者は健康な女子学生7名とし、実験は温湿度をコントロールできる人工気候室で行われた。環境条件は、比較素材が夏物用衣料であることを考慮し、夏の気候を想定して、室温30℃、相対湿度60%とした。実験衣服は、通気性、吸湿性の異なる3種類の衣服を用いた。測定項目は直腸温、皮膚温(胸、前腕、大腿、下腿の計4点)、衣服内気候(胸、背部の2点)、心拍数を1分後毎に測定し、主観評価として、定期的に快適感、温熱感、湿度感、集中度を申告してもらった。実験は、午前中に軽い自転車エルゴメーターによる運動をはさみ、9:00から16:30までに定期的にクレペリンテストを行った。(下図参照)



c. 結果

3種類の衣服のうち通気性・吸湿性の良好なtypeCにおいて、運動後半における直腸温の上昇度が小さくなっていた。しかし、全日を通じて3種類の衣服の間には、差は認められなかった。

d. 考察

今回着用した衣服は、通気性・吸湿性の共に良好なtypeCにおいて、他の2種類よりヒトに与える温熱的な負荷が小さかったといえる。しかし、その差が現れるのは、運動後半のみであり、運動終了後から実験終了まで差は認められなかったことから、暑熱環境であっても安静状態であれば、今回用いた素材では身体への負荷は変わらないと考えてよいだろう。さらに、精神作業課題としてクレペリンテストを行ったが、差は認められなかったことから、長時間着用による、精神・心理面にも何ら影響がないといえる。しかし、長時間着用による研究が今後行う必要はないとはいえないだろう。というのも、今回使用した衣服は夏物衣料品であるので、素材そのものが薄く、熱・水分移動が行いやすい。一方、冬場での衣服の着用を考えると、重ね着によって熱・水分が移動しにくくなる。今後の展望として、長時間着用による身体への影響を考える場合、冬物下着などを検討していく必要があるだろう。

(4) 人間感覚データベースモデルの構築

プロジェクトの成果を集約した人間感覚データベースモデルを構築した。これま

で8年間の研究開発で得られたデータ、研究論文、コンピュータソフトウェアを再度、洗い出し、これを人間感覚に対する研究者の視点、製品設計に従事する設計者の視点などで整理し、データベースとして構築した。

本データベースは次のような機能を持っている。

- ・利用者ナビゲーション機能

データベースを利用する人は様々である。人間感覚に関する研究者はストレスとか疲労などの視点からデータを探すであろう。また、製品設計者は家とか椅子とか言った、その設計者が開発する対象製品の視点から入るであろう。このような視点を階層構造として提供し、利用者をデータに導く機能である。

- ・キーワード検索機能

データベースの中から必要な情報を探す最も一般的な手法がキーワード検索である。本データベースではデータの登録と同時に、そのデータに対するキーワードを登録している。手法は一般的であるが、既存のデータベースには無い、人間感覚に着目したキーワードが納められている。

- ・概要と内容の提供

人間感覚データは一般には理解するに易しくないものである。そこで、データ本体とは別に、これの概略を説明する、文章を主とした情報を提供している。利用者が当該のデータにアクセスした場合、先ず最初にこの概略説明が提示される。

- ・関連情報検索機能

例えば1つの製品を開発するためには、多くのデータを必要とする。本データベースでは、あるデータから、これに関連するデータを呼び出すことが可能であり、また、この関連は人間感覚データの観点から構成されているものであり、利用者に必要十分なデータを提供するものとする。

(5) 人間感覚計測マニュアルの構築

a. 目的・意義

人間感覚計測応用技術開発プロジェクトにおいて、開発された評価指標および評価シスムなどの研究成果を、ドキュメント化することで最終成果物にするとともに、一般に普及させる。

b. 対象

企業の製品開発、評価において、人間を計測し評価する際の設計技術者や、人間の生理理や心理に関する研究に従事している者（学生を含む）が使用する。
内容レベルは大学の人間工学関連学科卒業程度の知識を有する者。

c. 目次

人間感覚計測マニュアル（以下マニュアル）は、人間感覚プロにおいて開発された、評価指標、データ分析手法などの開発成果の詳細を、ドキュメントとして集約した（第1編 評価指標、第2編 評価システム）。これを手引きに、企業の設計技術者、及び大学の人間工学関連学科卒業程度の予備知識で、心身状態（ストレス、疲労、覚醒など）、（音、熱、視）環境適合性、製品適合性等を評価することができる。

d. 構築の手順

目次にもとづき、それぞれの編ごとに共通フォーマットを設け、第1稿の執筆を行った。マニュアルとしての統一感を出すだけでなく、ユーザーが利用しやすいような記述にしよう配慮した。その後、内容を簡潔にまとめ、読者が使いやすいようにした方がよいとの意見から、構成内容の検討を行った。

2. 2 人間感覚指標を応用した休息環境に関する事例研究

環境指標の有効性と一般性の検証および個別指標の統合化（Step 2）。環境の複合感覚の評価と総合的評価指標の構成（Step 5）。更に生理、環境、製品の各グループで開発した指標の実生活場面での検証（Step 6）を行った。

本年度の主たる研究内容は上記の実生活場面での検証実験を推進するための実験計画内容の詰めを行い、詳細計画を策定および個々の実験手順を決定すると共に具体的な実験場面の設定および応用事例研究で使用する実験装置の設置調整を行い、京都府のけいはんなプラザ内スーパーラボ棟に構築した応用事例実験場を中心にStep 2～Step 6の本実験を実施した。あわせて、環境Gに設置した応用事例解析WGにて複合環境（視・音・温熱）のデータ解析手順の策定から解析までを推進した。

以下にその概要を記す。

a. 環境指標の統合化（Step 2）

- ・ 実験E 1：視環境統合指標の構成

b. 環境の複合感覚の評価と総合指標の構成（Step 5）

- ・ 実験E 5、6：安静椅座位と冬の環境条件

c. 実生活シミュレーション（Step 6）

- ・ 実験L 3 A, B：短期覚醒に及ぼすカーテン／壁紙の効果
- ・ 実験L 4-1：人とシミュレータにおける温冷感
- ・ 実験L 4-2：人とマネキンに及ぼす寝具の効果
- ・ 実験L 6：筋疲労と入浴効果

以上の研究計画に沿ってをすべての実験および解析を終了し、これらの研究成果について平成11年2月24日に開催した応用事例企画委員会にて最終報告を行い了承された。

〔カラーページの説明〕

人間感覚データベースの構成

完成した人間感覚データベースモデルの構成を表示画面にて示す。検索は各種ナビゲーション（基本的構成／研究者用構成／設計者用構成／生活者用構成）およびキーワードによって行われる。また、表示／ダウンロードされるデータとして論文、計測データ類が格納されている。

応用事例研究

関西文化学術研究都市「けいはんなプラザ」内に構築した環境提示刺激システムを用いて行った応用事例実験の風景を示す（E3、L1等は応用事例Gでの実験記号）。

第 16 章 研究開発調整・管理

第 16 章 研究開発調整・管理

新エネルギー・産業技術総合開発機構

1. 研究開発調整・管理

本プロジェクトにおける「人間感覚指標化技術」及び「人間感覚指標応用技術」の2分野をとりまとめ、全体的な研究開発調整・管理を行った。

2. 技術調査

海外の進んだ研究開発動向を調査し、研究開発を効率的に推進するため、海外動向調査を実施した。

2. 1 快適なVR等の映像提示技術に関わる動向調査

(1) 出張者氏名 : 斎田 真也

(2) 所属 : 工業技術院 生命工学工業技術研究所 人間情報部

(3) 出張期間 : 平成10年8月20日 ~ 平成10年8月30日

(4) 出張目的 :

(a) 人間感覚計測応用技術のプロジェクトにおける、立体視適合性評価技術に関わる研究に資するため、画像の提示・評価技術に係る国際会議である「ヨーロッパ視覚学会 (European Conference on Visual Perception)」に出席して、「影と視差手がかりの奥行き類似性と相互作用 (Similarity and interaction of shadow and disparity cues of depth)」について発表するとともに、関連研究者との討論、意見交換を通じて当該研究開発に資する情報の収集を行うこと。

(b) バーミンガム大学ハンフリーズ教授 (Glyn Humphreys)、ゲオルグソン教授 (Mark Georgeson) 他8名を訪問し、視覚空間認知について、特にPET (陽電子画像診断装置) やfMRI (機能的核磁気共鳴画像装置) による視覚的注意技術について議論するとともに当該分野の研究動向を調査すること。

(5) 出張先、訪問先及び主な面会者

・オックスフォード大学 (学会会場)

・訪問先: 英国バーミンガム市

主な面会者: Dr. Glyn Humphreys (University of Birmingham)

Dr. Mark Georgeson (University of Birmingham)

・訪問先: 英国ロンドン市

主な面会者: Dr. Ian P. Howard (University of York)

2. 2 人間感覚計測応用技術に係る海外動向調査

(1) 出張者氏名 : 太田 稔智

(2) 所属 : 応用技術開発室

(3) 出張期間 : 平成10年9月5日 ~ 平成10年9月13日

(4) 出張目的 :

人間感覚計測応用技術のプロジェクトでは、生理、環境、製品の3つのグループ

に分かれて研究開発を進めている。このうち、生理グループでは、筋疲労、精神疲労、覚醒状態を定量化するための装置の試作及び、新しい指標の開発を目指しており、心理、生理、疲労のメカニズムの解明が必要不可欠である。また、環境グループでは、住環境、職場環境の評価、改善を目指し、視・温熱・音振動環境を総合的に評価出来る指標の作製を進めている。これらの普及のためには、人間の感覚・知覚や生理の計測及びそれらの作業環境との関係など、（地域や人種にとらわれない）世界的な研究の動向調査が重要な課題である。

そこで、南アフリカ共和国で開催される「世界人間工学会議（Global Ergonomics Conference）」に出席し、上記技術分野について最新情報を入手するとともに、技術的交流を図る。

（５）出張先及び主な面会者：

・南アフリカ共和国、ケープタウン市、ケープタウン大学ビジネススクール
（カンファレンス会場）

主な面会者：Dr. John Abeysekera(Lulea University of Technology)
Dr. Coenraad Calitz(Stellenbosch University)

２．３ 形態動作適合性指標化に係る動向調査

（１）出張者氏名：横井 孝志

（２）所属：工業技術院 生命工学工業技術研究所 人間環境システム部

（３）出張期間：平成１０年１０月４日～平成１０年１０月１１日

（４）出張目的：

人間感覚計測応用技術プロジェクトにおいて進めている動作適合性指標化技術の開発に資するため、米国シカゴ市で開催されるヒューマンファクタと人間工学に関する学会第４２回会議（The 42th Annual Meeting of the Human Factors and Ergonomics Society）に出席し、最新の研究成果や研究動向を収集するとともに、「立ち座り動作における空間寸法とバイオメカニクスの、心理学的側面（Space-dimension and biomechanical and psychological aspects in the standing-up and sitting-down movements）」について発表すること。

（５）出張先及び主な面会者

・米国シカゴ市（Hyatt Regency Chicago）

主な面会者：Dr. Mike McCoy (Illinois University of Technology)
Dr. Keiichi Sato(Illinois University of Technology)

２．４ 超低周波振動評価技術に係る動向調査

（１）出張者氏名：中村 則雄

（２）所属：工業技術院 生命工学工業技術研究所 人間環境システム部

（３）出張期間：平成１０年１１月１４日～平成１０年１１月２０日

（４）出張目的：

ニュージーランド国クライストチャーチ市で開催される「騒音制御工学国際会議（Inter Noise 98）」に出席し、超低周波及び低周波音の知覚構造の解明に関

して意見交換と資料の収集を行うとともに、「低周波騒音不快度の定性的・定量的統計解析を用いた指標化モデルの提案 (Proposal of model which indicates unpleasantness of low frequency noise using each of qualitative and quantitative statistical analysis)」について発表すること。

(5) 出張先 :

・ニュージーランド国クライストチャーチ市 (Christchurch Conference Center)

2. 5 人間感覚計測応用技術に係る海外動向調査

(1) 出張者氏名 : 太田 稔智

(2) 所属 : 応用技術開発室

(3) 出張期間 : 平成10年11月22日 ~ 平成10年11月27日

(4) 出張目的 :

産技プロジェクト「人間感覚計測応用技術」では、生理、環境、製品の3つのグループに分かれて研究開発を進めている。このうち、生理グループでは、筋疲労、精神疲労、覚醒状態を定量化するための装置の試作および、新しい指標の開発を目指しており、心理、生理、疲労のメカニズムの解明が必要不可欠である。また、環境グループでは、住環境、職場環境の評価、改善を目指し、視・温熱・音振動環境を総合的に評価出来る指標の作製を進めている。

そこで、シドニーで開催される「第7回騒音の生物学的な効果に関する国際会議 (Noise Effects '98)」に出席し、上記技術分野について最新情報を入手するとともに、技術的交流を図る。

(5) 出張先及び主な面会者 :

・オーストラリア国、シドニー市 (Sydney Convention and Exhibition Center)

主な面会者 : Dr.Dylan Jones(Cardiff University)

Dr.Staffan Hygge(KTH-Royal Institute of Technology Center
for Built Environment Laboratory of Applied Psychology)

本報告書の内容を公表する際は、あらかじめ
新エネルギー・産業技術総合開発機構
応用技術開発室の許可を受けて下さい。

電 話 03-3987-9388
FAX 03-3987-9396