

平成11年度

新エネルギー・産業技術総合開発機構研究受託成果報告書

新規産業支援型国際標準開発事業
快適な生活空間の創造のための
動的温熱環境の標準化

平成12年3月

社団法人 人間生活工学研究センター

要旨

生活環境における熱的適合性の評価は、ISO7730 に代表される均一・定常状態にある空間での評価基準があるが、現実の生活環境では、室内の上下温度差、温度分布の時間的な変化など必ずしも均一・定常状態にあるわけではない。

本研究では、このような非定常・不均一な動的温熱環境を評価するため、人体熱モデル、サーマルマネキン等の評価技術を開発し評価基準を策定するとともに、より現実的な空間の熱適合性の評価を可能にする。さらに人工的に非定常・不均一環境を作ることにより人の温冷感を損なうことなくより効率的な冷暖房を行って、快適環境を創造する方向性を与えるものである。

温熱環境の国際規格は、多くの場合欧州主導でなされており、日本人をはじめ東洋人の生活環境、温熱感覚と異なる結果が出されることも少なくない。このため本研究の成果を国際標準化へつなげ、東洋人を含めた熱環境評価基準の提案に結びつけてゆく。

重要語

動的温熱環境 熱的快適性評価 (Prediction of Thermal Comfort) 人体熱モデル (Human Thermal System) サーマルマネキン 温冷感 非定常・不均一 上下温度差 温度分布
東洋人の温熱感覚 ISO 7 7 3 0

Report from the Project for Developing International Standards for New Industries on the standardization of dynamic thermal environments used to create comfortable living spaces

Abstract

Standards like ISO7730 that predict thermal comfort in living environments are commonly used to evaluate spaces where conditions are constant and uniform, but conditions are neither constant nor uniform in real living environments because rooms undergo temperature swings as well as temperature distributions that change over time.

The present research yielded standards as well as evaluation technologies like human thermal systems and thermal dummies that allow us to predict thermal comfort in real spaces because they apply to dynamic thermal environments where conditions are inherently transient and inconsistent.

We then artificially created a transient and inconsistent environment that was heated and cooled more efficiently without infringing on the human sense of hot or cold, and thus laid the groundwork for creating more comfortable environments.

International standards pertaining to thermal environments have come mainly out of Europe,

but few of these are directed toward the very different living environments and thermal sensitivities of Asian peoples like the Japanese. Results from the present research can therefore fill in gaps in international standardization that will lead to thermal environment assessment standards which encompass the people of Asia as well.

Important terminology

Dynamic thermal environments	Prediction of thermal comfort	Human thermal system	
Thermal dummies	Sense of hot and cold	Transient and inconsistent	Temperature swings
Temperature distribution	Sense of hot and cold among Asian people	ISO7730	

目 次

1. まえがき	1
2. 業務実施計画	2
2. 1. 研究開発の目的	2
2. 2. 研究開発の細目	2
2. 3. 研究実施場所	6
2. 4. 委託期間	6
2. 5. 実施計画日程	7
2. 6. 実施計画の変更	8
3. 研究体制	9
3. 1. 研究組織及び管理体制	9
3. 2. 研究者氏名及び人数	10
4. 委員会	11
4. 1. 動的温熱環境標準化技術審議委員会	11
4. 1. 1. 動的温熱環境標準化技術審議委員会の構成	11
4. 1. 2. 動的温熱環境標準化技術審議委員会の開催	12
4. 2. 動的温熱環境標準化技術開発委員会	13
4. 2. 1. 動的温熱環境標準化技術開発委員会の構成	13
4. 2. 2. 動的温熱環境標準化技術開発委員会の開催	14
5. 研究開発実施結果及び考察	16
5. 1. 動的温熱環境評価技術の開発	16
5. 1. 1. 人体熱モデルによる評価技術の開発	16
5. 1. 2. サーマルマネキンによる評価技術の開発	50
5. 1. 3. 被験者実験による環境の評価技術の開発	89
5. 2. 身体各部位の温熱感受性の解明	116
5. 2. 1. 温熱感受性・温熱感覚に関する基礎	116
5. 2. 2. 局所温冷刺激装置の製作	127
5. 2. 3. 均一・定常環境における被験者実験の実施と検討	131
5. 2. 4. 局所温冷覚刺激装置による予備実験の計画と検討	139
5. 3. 非定常かつ不均一な生活空間の温熱的快適性の基準値の構成	145
5. 4. 動的温熱環境評価に係わる調査研究と 動的温熱環境評価データベース構築	157
5. 4. 1. 調査の目的	157

5. 4. 2.	調査の方法	157
5. 4. 3.	分類	158
5. 4. 4.	調査文献サマリー	159
6.	結論	174
6. 1.	研究成果	174
6. 1. 1.	動的温熱環境評価技術の開発	174
6. 1. 2.	身体各部位の温熱感受性の解明	174
6. 1. 3.	非定常かつ不均一な生活空間の温熱的快適性の基準値の構成	175
6. 1. 4.	動的温熱環境評価に係わる調査研究と 動的温熱環境評価データベース構築	175
6. 2.	今後の技術的課題	175
6. 2. 1.	動的温熱環境評価技術の開発	175
6. 2. 2.	身体各部位の温熱感受性の解明	175
6. 2. 3.	非定常かつ不均一な生活空間の温熱的快適性の基準値の構成	176
6. 2. 4.	動的温熱環境評価に係わる調査研究と 動的温熱環境評価データベース構築	176
6. 3.	国際標準化へのアプローチ	176
6. 3. 1.	活動の経過	176
6. 3. 2.	国際規格の骨子ならびに国際標準化計画	176
6. 3. 3.	国際標準化の進捗状況	178
7.	あとがき	179
8.	参考文献	180
8. 1.	動的温熱環境評価技術の開発	180
8. 1. 1.	人体熱モデルによる評価技術の開発	180
8. 1. 2.	サーマルマネキンによる評価技術の開発	180
8. 1. 3.	被験者実験による環境評価技術の開発	181
8. 2.	身体各部位の温熱感受性の解明	181
8. 2. 1.	温熱感受性・温熱感覚に関する基礎	182
8. 2. 3.	均一・定常環境における被験者実験の実施と検討	183
8. 2. 4.	局所温冷覚刺激装置による予備実験の計画と検討	184
8. 3. 1.	非定常かつ不均一な生活空間の温熱的快適性の基準値の構成	185
9.	研究発表・講演、文献、特許等の状況	186
9. 1.	研究発表、講演（口頭発表）	
9. 2.	文献（業界誌、学会誌などへの投稿）	
9. 3.	特許等	
9. 4.	その他の公表（プレス発表など）	
10.	付録	187
10. 1.	海外調査報告	187

10.1.1. サーマルマネキンに関する動向調査	187
10.1.2. 温熱感受性に関する技術動向	194
10.2. 関連技術の資料一覧	198
10.3. 委員会の議事録	205
10.3.1. 動的温熱標準化技術審議委員会	205
10.3.2. 動的温熱標準化技術開発委員会	211
10.4. その他	218
10.4.1. オルセン博士の講演内容	218
10.4.2. オルセン博士との意見交換会の内容	229
10.4.3. オルセン博士の講演資料 (OHP)	234

1. まえがき

人々は四季折々の環境変化の中で、自然の環境をうまく取りいれたり、夏場の冷房、冬季の暖房等快適な生活環境を求めて工夫を凝らしてきている。これらの生活環境における熱的適合性評価は、ISO-7730:1994【Moderate thermal environment- Determination of the PMV & PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort：中等度温熱環境－PMV（温度、湿度、輻射等の熱要因条件から快適感を与える指標）と、PPD（熱環境の不快の程度を示す指標）による、快適熱環境の仕様】に代表される評価基準が作られている。

しかし、この熱環境条件評価に係る規格は、いずれも、均一・定常状態にある空間での評価基準として規格化されている。一方、現実の生活空間では、窓からの輻射や床暖房による上下方向での温度差の存在、風や温度分布の時間的変化などから、必ずしも、均一・定常状態に有るわけではない。また、世に言われる”頭寒足熱”つまり、頭部と足部での温度差があることにより、より快適と感ずることも少なくない。

温熱環境分野は他分野と比較すると国際規格の制定が進んでおり、現在の検討項目は、より詳細な分析方法で、より特殊な環境へと移行している。本研究開発が目指している「不均一・非定常な温熱環境」は、一部の国際標準規格で評価基準が示されているものの、現時点では、ほとんど無いに等しい。また、このような不均一・非定常な温熱環境は、暑熱、中庸、寒冷の、どの温熱環境でも珍しいものでなく、現在、ISOの参加国の中でも新たな研究の対象として、大きな関心が持たれている。

本研究では、不均一・非定常な温熱環境を持つ空間の快／不快を評価する技術として、人体熱モデルによるシミュレーション、サーマルマネキンによる人間に代わる評価技術を開発し、それによる評価基準の策定を行い、人工的にこのような環境を作り出すことにより人間の温冷感を損なうことなく、より効率的で”快適”な環境を構成する方向性を与える。

人体熱モデルによる評価技術の開発は、社団法人人間生活工学研究センターが中心に進め、人間感覚計測応用技術（工業技術院産業科学技術研究制度）の成果である人体熱モデルを改良し、これまでに報告された実験結果との比較より、全体的な傾向がシミュレーション結果と実験結果で、一致することが確認されている。また、サーマルマネキンの評価技術の開発は、九州芸術工科大学が実施し、作成した小型のマネキンを用いて不均一温熱環境の評価を試み、等価温度の有効性を検証するとともに、小型マネキンの成果から成人用マネキンの設計・製作につなげることができた。一方、身体各部位について温熱感覚と生理反応を明らかにするために、生命工学工業技術研究所との共同研究により、均一・定常環境におけるPMVの有効性について高齢者被験者実験で比較検討した。また、局所温冷刺激装置を製作し被験者により温覚・冷覚閾値を計測・検討しその有効性を確認した。これらの研究と同時に、動的温熱環境標準化技術審議委員会での研究方向に関する審議、ならびに動的温熱環境標準化技術開発委員会での具体的な展開のための審議等を行うとともに、本研究に関係するTC159/SC5/WG1のConvenerであるOlesen博士を招聘し、委員会メンバーとの意見交換会を開催し相互の認識を深めることが出来た。

不均一・非定常な温熱環境では被験者実験だけでは再現性が難しいなどの問題点があり、「サーマルマネキン」や、先進的な評価技術である「人体熱モデル」を使用して、よりの確かつ汎用性のある動的温熱環境評価技術を開発し、これら技術を一般的な生活環境を評価する指標として規格化する、具体的には、本研究開発の成果を基にした提案をISOに対して提出する第一歩を踏み出したものである。

2. 業務実施計画

2. 1. 研究開発の目的

生活環境における熱的適合性評価は、ISO-7730:1994【Moderate thermal environment - Determination of the PMV & PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort : 中等度温熱環境-PMV (温度、湿度、輻射等の熱要因条件から快適感を与える指標)と、PPD (熱環境の不快の程度を示す指標)による、快適熱環境の仕様】に代表される評価基準が作られている。

しかし、従来標準化されている熱環境条件評価に係る規格は何れも「均一・定常」状態にある空間、つまり空間的に均一な温度分布を持ち、かつ、その分布状態も時間的に変化のない状況下での評価基準として規格化されているものである。

一方、現実場面での空間の熱的状态は、窓からの輻射の影響や上下方向での温度傾斜の存在、室内気流や温度分布の時間的変化などから、必ずしも「均一・定常」状態にあるわけではない。特に、気流や輻射などにより作り出される時間的な温湿度状態の変化は、見かけ上は同一の温湿度状態を持つ空間であっても、定常場での温冷感とは異なる反応を示す。また、世に言われる「頭寒足熱」、すなわち、頭部と足部での温度差があることにより、より快適と感ずることも少なくなく、こうした、不均一かつ非定常な状態を人工的に作り出すことによりエネルギー的にも効率的で「快適」な環境を構成することも可能である。

そこで、本研究では、このように、非定常・不均一な温湿度分布を持つ空間の快/不快を評価する評価技術を開発し、それによる評価基準の策定を行う。これにより、より現実的な空間の熱的適合性の評価を可能にすると同時に、前述のように、人工的に非定常・不均一場を作ることにより人間の温冷感を損なうことなく、より効率的な冷暖房を行うための方向性を与える。

2. 2. 研究開発の細目

2. 2. 1. 動的温熱環境評価技術の開発

居住や作業のための空間、自動車等車両内空間の熱的適合性評価は、こうした空間設計における熱負荷設計や、既存空間の熱的適合性評価を行うために利用する。このため、特に、設計段階での空間の熱的環境条件の設定やそれに基づく熱負荷設計には、仮想的空間内での適合性評価を可能にするシミュレーション技術が必要になる。また、既設空間での適合性評価には実際の空間内に居住する人間に代わって環境の評価を可能にするサーマルマネキンによる評価技術が有効である。ここでは、不均一かつ非定常的な温湿度環境下での人間の温冷感を評価および予測するための技術として、以下の3つの研究開発を行う。

(1) 人体熱モデルによる評価技術の開発

担当：(社)人間生活工学研究センター

人体熱モデルとは、コンピュータの中で人間の熱移動や表面皮膚温及び皮膚表面での熱収支をシミュレーションするものである。コンピュータの中に作り出された仮想的な環境に本モデルを置き、仮想空間での人体の熱的反応を模擬し、そのシミュレーションデータから与えられた空間

での熱的適合性を評価する。

このシステムは工業技術院の「人間感覚計測応用技術」プロジェクトで基礎技術が開発されたものであり、温度や気流などの影響を含めた種々の場面での熱環境条件に対し人体の熱移動をモデル化（人体熱モデル）したコンピュータ・ソフトウェアにより、生理的な体温調節機序と体内および皮膚表面での熱移動等の生理反応を、数値解析によって予測する。また、本モデルでは動静脈吻合血管による体温調節機序や、広域循環と微小循環を考慮した2系統循環網を組み込むことで、時間変動を伴う身体部位別の熱移動の予測を可能にしている。本研究開発の中ではこのシミュレーション技術を駆使し、種々の条件下での人間の熱的反応データの取得を行い、後述（3）による被験者実験との対応付け、および後述2. 2. 2. の温熱感受性データとの対応付けから、仮想環境条件下での快適性評価技術を開発する。なお、本技術は、住宅やオフィス等の空間設計における環境負荷予測のために利用する。

本年度は以下の研究開発を行う。

（a）人体熱モデルの改良

評価技術3種のレベルを調整するために、後述①-iii)の被験者実験で得られるデータを基に、人体熱モデルの問題点を検討し、これを改良する。

（2）サーマルマネキンによる評価技術の開発

担当：九州芸術工科大学（再委託）

サーマルマネキンとは、人間を代替し、環境に対する人間の熱収支を計算し、快適感を指標として出力する装置である。このような装置は、現在、幾つかのものが試作されている。しかし、現時点では実際の人間の快適感との整合性が実証されていない。本研究開発の中で、この装置の実用化を行う。この技術は、例えば、自動車を炎天下の中に長時間置いた場合の環境を評価する場合のような、実際の人間を使った実験では人体に危険を及ぼす可能性がある場合、さらには繰り返し実験することが被験者では難しい場合などに使用されるものである。

本研究開発の中では空間における人間の活動量などをパラメータとした不均一環境での人体の産熱・放熱量を算出するハードウェアマネキンの実用化システムを構成し、種々の熱的環境条件下での身体部位別の産熱、放熱、皮膚温データと、後述（3）における被験者実験結果、および後述2. 2. 2. の温熱感受性データとの対応付けから、既設空間の動的熱環境評価を可能にする評価技術を開発する。

本年度は以下の研究開発を行う。

（a）サーマルマネキンの改良

評価技術3種のレベルを調整するために、後述（3）の被験者実験で得られるデータを基に、サーマルマネキンの問題点を検討し、これを改良する。

(3) 被験者実験による環境の評価技術の開発

担当：以下の3者が連携して実施

(社) 人間生活工学研究センター
九州芸術工科大学 (再委託)
生命工学工業技術研究所 (共同研究)

前述(1)および(2)の評価方法が、どの程度有効であるかを確かめるには被験者実験が不可欠である。環境を左右する要素として、温度、湿度、気流、これらの空間的偏りおよび時間変動の計測方法、これらの記述方法、被験者の属性と主観評価の計測方法および記述方法に関する手法を開発する。この技術は、オフィス環境や住宅環境などの、実際に人間が生活している場を計測するのに適したものであり、また、先述の人体熱モデルおよびサーマルマネキンによる評価技術の基礎となるデータを得るためにも利用される技術である。

本研究開発の中では、温熱的環境を左右する要素として、温度、湿度、気流、及び輻射を考慮し、これらの空間的偏りや時間変動下での、属性別被験者の部位別体表面温度(皮膚温)分布の計測と主観評価量を取得する方法を開発し、具体的設定環境における被験者実験を行う。この実験で得られたデータを基に、前述(1)および(2)の評価技術の検証を行う。

本年度は以下の研究開発を行う。

(a) 被験者実験手法の検討

環境を左右する要素として、温度、湿度、気流、これらの空間的偏りおよび時間変動の計測方法、これらの記述方法、被験者の属性と主観評価の計測方法および記述法に関する手法を検討する。

(b) 被験者実験の実施と本計測の手法立案

(a)の検討に基づき、被験者実験を行い、前述(1)と(2)の検討を踏まえ、次年度に実施する本計測で使用する実験手法を立案する。

2. 2. 2. 身体各部位の温熱感受性の解明

担当：以下の2者が連携して実施

生命工学工業技術研究所 (共同研究)
(社) 人間生活工学研究センター

身体部位を刺激することが可能な、気流または放射による刺激装置(局所温冷風刺激装置)を製作する。これを用いて、被験者およびサーマルマネキンを使った実験的研究を行い、身体部位に対する刺激量と温熱感覚ならびに刺激量と生理反応との関係を身体部位毎について明らかにするとともに温熱感覚と生理反応との相関関係を明らかにする。これを基礎に、刺激量からの申告値を求める予測式や刺激量から生理反応を求める予測式などを構成する。これにより、モデルやシミュレーションからの部位毎の温冷感予測や刺激に対する感覚予測、生理反応量予測を可能とする。また、サーマルマネキンでの刺激に対する熱流データと被験者実験データと比較から、部

位毎の体温調節特性を明らかにし、物理計測装置（コンフォートメーターなど）からの温冷感予測や刺激に対する感覚予測を可能とする。

本年度は以下の研究開発を行う。

(a) 局所温冷風刺激装置の製作

身体部位を刺激することが可能な、気流または放射による刺激装置を製作する。

(b) 被験者実験の実施と検討

局所温冷風刺激装置を用いて被験者実験を実施し、基礎的なデータを得る。このデータを基に、次年度で行う本実験の立案を行う。

2. 2. 3. 非定常かつ不均一な生活空間の温熱的快適性の基準値の構成

担当：九州芸術工科大学（再委託）

先述の2. 2. 1. の各研究による知見を基に、実際の生活環境を対象に各技術の整合性を検証した後、この計測データを基に、非定常かつ不均一な生活空間での動的温熱環境に関する快適性の基準値を構成する。

本年度は以下を実施する。

(a) 基本方針の検討

どのような場を対象にするか、どのように基準値を構成するか、などの基本的な方向性を検討する。

2. 2. 4. 動的温熱環境評価に係る調査研究と動的熱環境評価データベース構築

担当：（社）人間生活工学研究センター

動的熱環境評価に係る国内外の研究状況及び、当該領域に係るISOの動向調査を行うとともに、将来の本テーマに係る国際規格提案のバックデータを提供するための動的熱環境評価データベースを構築する。

本年度は以下を実施する。

(a) ユーザーニーズと評価技術の調査

国内調査を主体に、企業へのヒアリングなどを実施し、動的温熱環境に関するユーザーニーズおよび評価技術の現状を調査する。

(b) 動的環境評価技術に係る研究動向とISO動向の調査

海外調査を主体に、企業、大学、研究機関でのヒアリング等を実施し、動的温熱環境評価技術の動向とISOの動向を調査する。

2. 2. 5. 国際規格骨子作成並びに国際標準化活動計画立案

担当：（社）人間生活工学研究センター

国際標準化については、ISO/IEC 専門業務用指針に基づき、国際規格名、適用範囲など骨子についてまとめるとともに、今後の国際標準化活動についてスケジュールを含めた計画を立案する。

2. 3. 研究実施場所

(1) 社団法人人間生活工学研究センター

大阪府大阪市北区堂島1丁目2番5号（堂北ダイビル3階）

機械装置設置：人体熱モデル稼働用コンピュータ（リース物件）

(2) 九州芸術工科大学 人間工学教室

福岡県福岡市南区塩原4-9-1

機械装置設置：サーマルマネキン

(3) 通商産業省 工業技術院 生命工学工業技術研究所 システム設計研究室

茨城県つくば市東1丁目1番

機械装置設置：局所温冷刺激装置（リース物件）

2. 4. 委託期間

平成11年8月26日から平成12年3月31日まで

2. 5 実施計画日程

研究開発項目	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
2.2.1. 動的温熱環境評価技術の開発								
(1) 人体熱モデルによる評価技術の開発								
(a) 人体熱モデルの改良								
(2) サーマルマネキンによる評価技術の開発								
(a) サーマルマネキンの改良								
(3) 被験者実験による環境の評価技術の開発								
(a) 被験者実験手法の検討								
(b) 被験者実験の実施と本計測の手法立案								
2.2.2. 身体各部位の温熱感受性の解明								
(a) 局所温冷風刺激装置の製作								
(b) 被験者実験の実施と検討								
2.2.3. 非定常かつ不均一な生活空間の温熱的快適性の基準値の構成								
(a) 基本方針の検討								
2.2.4. 動的温熱環境評価に係る調査研究と動的熱環境評価データベース構築								
(a) ユーザーニーズと評価技術の調査								
(b) 動的環境評価技術に係る研究動向とISO動向の調査								
2.2.5. 国際規格骨子作成並びに国際標準化活動計画立案								
動的温熱環境標準化技術審議委員会の開催		○						○
動的温熱環境標準化技術開発委員会の開催		○		○			○	

図1 実施計画

2. 6. 実施計画の変更

2. 6. 1. 業務委託契約約款による変更申請（第36条第2項）

(1) 変更事項

- 1) 契約金額を46,992,750円から46,798,500円に変更する。
- 2) 契約金額の減額は、海外調査渡航費を1,427,250円減額し、その他特別費に海外研究者招聘費として1,233,000円を計上することで行う。

(2) 変更理由

海外調査を効率的に進めるため、ISO/TC159/SC5/WG1のConvenorを日本に招聘し委員会での講演と意見交換会を行う。

これにより海外の実態把握を効率的に行い、経費の節減を図った。

(3) 変更の影響

研究計画は当初予定通り遂行可能である。

2. 6. 2. 業務委託契約約款による届出（第3条第1項）

(1) 研究者の研究項目の追加（3. 2. 研究者氏名及び人数を参照）

1) 変更事項

研究者の研究項目の追加

2) 変更理由

研究テーマの進捗の度合いに対応し研究を効率的に推進するために、研究者の研究項目を追加する。

3) 変更の影響

研究計画は当初予定通り遂行可能である。

4) 変更期日

平成11年12月3日

(2) 委員会委員の追加

1) 変更事項

動的温熱環境標準化技術審議委員会委員の追加（4. 1. 委員会氏名を参照）

2) 変更理由

本研究開発に関する産業界および一般の生活のニーズや活用の方向をよりの確に把握し、研究を効率的に推進するために委員を追加する。

3) 変更の影響

研究計画は当初予定通り遂行可能である。

4) 変更期日

平成11年9月1日

3. 研究体制

(1) 研究組織及び管理体制

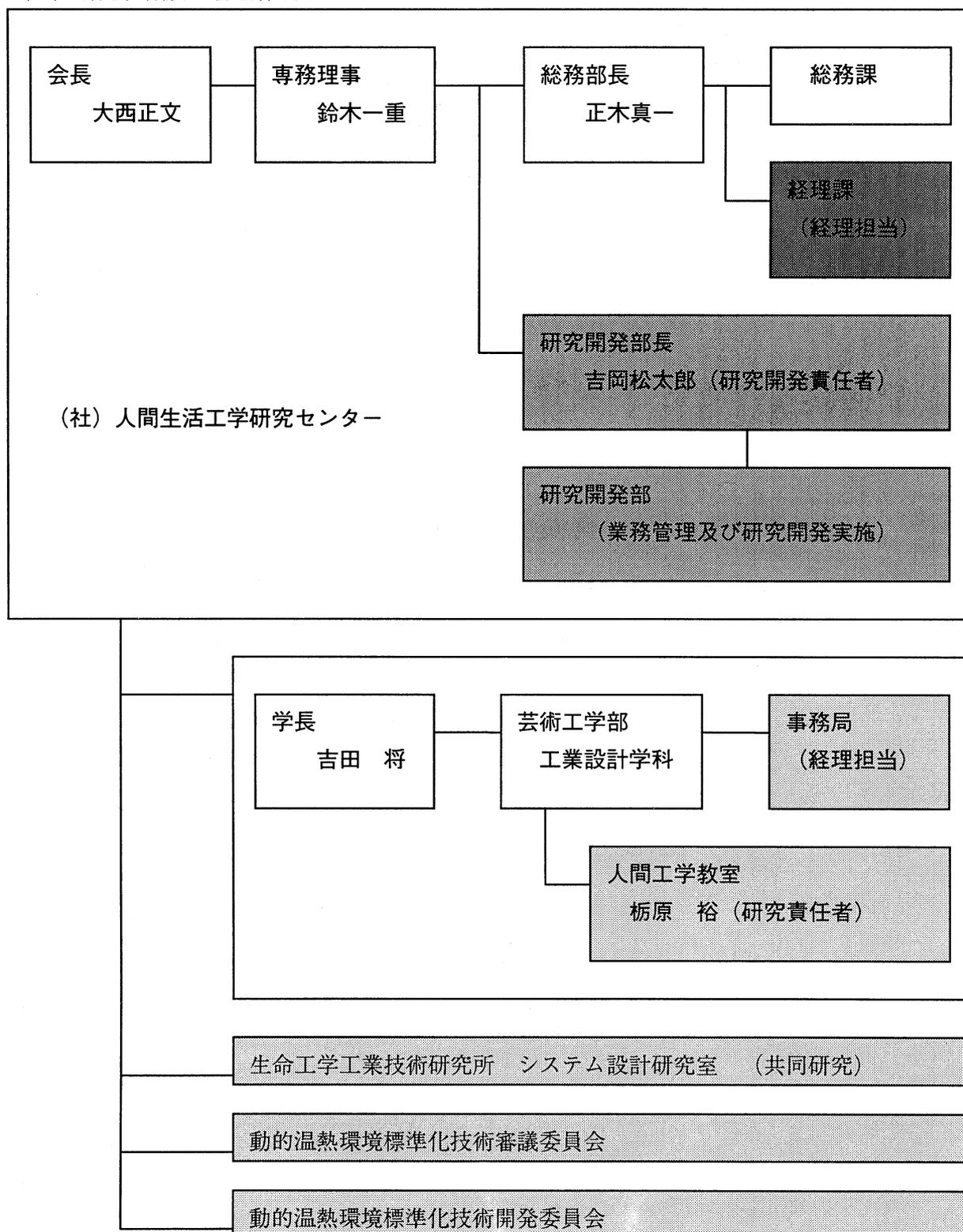


図2 研究組織と管理体制

3. 2. 研究者氏名及び人員

3. 2. 1. 研究者氏名

表1 研究者と研究項目

氏名	所属・役職	研究項目番号
吉岡 松太郎	人間生活工学研究センター 研究開発部長	(1)
大矢 高司	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	2. 2. 2、 2. 2. 4
渡邊 孜	人間生活工学研究センター 研究開発部 研究員	(1)、 <u>(3)</u>
川西 美輝子	人間生活工学研究センター 研究開発部 研究員	(3)、 <u>2. 2. 2.</u>
中嶋 純子	人間生活工学研究センター 研究開発部 研究員	2. 2. 5
藤本 貴子	人間生活工学研究センター 研究開発部 研究員	2. 2. 4
栃原 裕	九州芸術工科大学 教授	(2)、 (3)、 2. 2. 3

注) アンダーライン：変更届出した事項（研究項目の追加）

3. 2. 2. 研究者人数

表2 研究者の人数

番号	研究実施項目	人数
(1)	人体熱モデルによる評価技術の開発	2
(2)	サーマルマネキンによる評価技術の開発	1
(3)	被験者実験による環境の評価技術の開発	3
2. 2. 2	身体各部位の温熱感受性の解明	2
2. 2. 3	非定常かつ不均一な生活空間の温熱的快適性の基準値の構成	1
2. 2. 4	動的温熱環境評価に係る調査研究と動的熱環境評価データベース構築	2
2. 2. 5	国際規格骨子作成並びに国際標準化活動計画立案	1

3. 2. 3. 経理担当者及び業務管理者

(1) 経理担当者

社団法人人間生活工学研究センター 総務部 経理課

田中 浩子 TEL.06-6346-0234 FAX.06-6346-0456

(2) 業務管理者

社団法人人間生活工学研究センター システム担当課長

大矢 高司 TEL.06-6346-0234 FAX.06-6346-0456

4. 委員会

本研究開発は次の2つの委員会からの答申を受けて実施される。

- (a) 動的温熱環境標準化技術審議委員会
- (b) 動的温熱環境標準化技術開発委員会

また、本研究開発は、総合調査を担当する(財)日本規格協会と連携を図りつつ実施する。

4. 1. 動的温熱環境標準化技術審議委員会

本研究開発で開発した技術が、我が国の産業界や一般の生活の中において、どのような要求(ニーズ)があり、どのように活用されるべきかを本委員会に諮問し、本委員会からの答申を受けて、本研究開発のその方向性を明確にする。

本委員会は本年度2回開催した。

4. 1. 1. 委員会の構成

本委員会は、以下の委員で構成する。

平成11年9月1日に産業界および一般のニーズを的確に把握するために委員の追加を行った。

表3 動的温熱環境標準化技術審議委員会 委員名簿

区分	氏名	所属及び役職
委員	澤地 孝男	建設省 建築研究所 第5研究部室長
	澤田 晋一	労働省 産業医学総合研究所作業条件適応研究部 主任研究官
	池田 耕一	厚生省 国立公衆衛生院 建築衛生学部長
	磯田 憲生	奈良女子大学 大学院 人間環境学科 教授
	堀越 哲美	名古屋工業大学 大学院 工学研究科 教授
	栃原 裕	九州芸術工科大学 人間工学教室 教授
	都築 和代	工業技術院 生命工学工業技術研究所 システム設計研究室主任研究官
	竹森 利和	大阪ガス(株) 研究開発部 研究主鑑
	山崎 起助	(財)ヒートポンプ・蓄熱センター 技術・広報 部長
	吉田 良一	タバイエスペック(株) 環境設備部 参事補
オブザーバー	千野 雅人	通商産業省 生活産業局 人間生活システム企画室長
	萩山 久雄	新エネルギー・産業技術総合開発機構 基盤技術研究開発室長
	山村 修蔵	(財)日本規格協会 技術部長
事務局	吉岡 松太郎	人間生活工学研究センター 研究開発部長
	大矢 高司	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
	渡邊 孜	人間生活工学研究センター 研究開発部 研究員

注) アンダーライン: 変更届出した事項 (委員の追加)

4. 1. 2. 動的温熱環境標準化技術審議委員会の開催

本委員会は2回開催し、以下の事項を審議した。

(1) 第1回動的温熱環境標準化技術審議委員会

1) 開催日時 :平成11年11月1日(月)、14時00分~16時00分に東京都港区の航空会館8階会議室で開催した。

出席者、議題、審議事項は以下の通り。

開催日時	平成11年11月1日(月) 14時00分~16時00分
出席者	栃原委員長 池田 磯田 澤田 澤地 竹森 都築 吉田 山崎各委員 千野 桂 春日 福田各オブザーバー 事務局:吉岡 大矢 渡辺
議題	動的温熱環境標準化開発事業の進め方 1. 委託事業の概要 2. 委員会の概要 3. 検討課題と進め方(国際標準への対応) 委員長から資料に基づき、ISO改訂について ①ISO7730の流れ ②床暖房の流れ ③車両の流れの3つについて説明 関連して澤田委員から国際委員会の報告がなされた。
審議結果	1. 事業全体の進め方について質疑の後承認された。 2. 国際標準への対応について 1) ISO7730改定案(N341)について ・項目5)Local thermal discomfort、7)Non-steady state thermal environments を対象に検討する。 ・床暖房、上下温度等日本などの生活様式に合った基準の提案を検討する。 ・Transientでは日本でよく検討されている通風、高温多湿が考慮されていず、 湿度の問題も考えるべきである。 2) 開発委員会の提案について ・上記に関連するOlesen氏の論文を集める。 ・関係する日本の研究論文を調査する。 ・日本などの東アジアの関連する内容を規格に盛り込み提案する。 3) ISOへの提案について、正式の手順をとって進めること。

(2) 第2回動的温熱環境標準化技術審議委員会

1) 開催日時:平成12年3月13日(月)、14時00分~14時30分 東京都港区蔵前工業会館8階会議室で開催した。

本委員会はこれまでの活動のまとめ並びにOlesen博士の講演と意見交換会を併せて開催した。

Olesen博士の講演と意見交換会は審議委員会のメンバーの紹介で一般の方の参加も認めた。

第2回委員会の出席者、議題、審議事項は以下の通り。

開催日	平成12年3月13日 14時00分～14時30分
出席者	栃原委員長 池田 磯田 澤田 都築 竹森 山崎 吉田各委員 千野 高橋 新谷 桂 長野各オブザーバー 事務局：大矢 渡辺
議題	11年度委託事業活動のまとめ 事務局より以下の議題について資料にて報告 1.研究成果の概要 2.11年度委員会活動のまとめ 3.今後のスケジュール：12年度事業計画案、委員会活動概要
審議結果	各議題について質疑の後 いずれも承認された。

(3) 海外研究者との意見交換会

1) 開催日時 :平成12年3月13日(月) 14時30分～16時30分に東京都港区の蔵前工業会館会館8階会議室で委員会の終了後引き続きOlesen博士の講演と意見交換会を開催した。

なお、Olesen博士の講演内容を資料に添付した。

Olesen博士の講演と意見交換会の出席者、議題は下の通り。

開催日	平成12年3月13日 14時30分～16時30分
出席者	Bjarne W.Olesen 博士 栃原委員長 池田 磯田 澤田 都築 竹森 山崎 吉田各委員 千野 高橋 新谷 桂 長野各オブザーバー 事務局：鈴木 大矢 渡辺 紹介参加者：高橋 岩本 佐々木 阪場 その他：林(通訳) 伊藤(録音)
議題	1.日本のプロジェクトの考え方と概要(栃原委員長) 2.オルセン氏の講演(講演資料参照) 3.意見交換会

4. 2. 動的温熱環境標準化技術開発委員会

本研究開発で開発する技術の具体的内容について検討し、また、「動的温熱環境標準化技術審議委員会」からの答申を受けて、研究開発の具体的な方向性を決定する。

本委員会は本年度3回、開催した。

4. 2. 1. 動的温熱環境標準化技術開発委員会の構成

本委員会は、温熱環境に関連する各技術分野の専門家を結集し以下のいいんで構成した。

表4 動的温熱環境標準化技術開発委員会 委員名簿

区分	氏名	所属及び役職
委員	磯田 憲生	奈良女子大学 大学院 人間環境学科 教授
	堀越 哲美	名古屋工業大学 大学院 工学研究科 教授
	栃原 裕	九州芸術工科大学 人間工学教室 教授
	都築 和代	工業技術院 生命工学工業技術研究所システム設計研究室 主任研究官
	竹森 利和	大阪ガス(株) 研究開発部 研究主鑑
オブザーバー	千野 雅人	通商産業省 生活産業局 人間生活システム企画室長
	萩山 久雄	新エネルギー・産業技術総合開発機構 基盤技術研究開発室長
	山村 修蔵	(財)日本規格協会 技術部長
事務局	吉岡 松太郎	人間生活工学研究センター 研究開発部長
	大矢 高司	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
	渡邊 孜	人間生活工学研究センター 研究開発部 研究員

4. 1. 2. 動的温熱環境標準化技術開発委員会の開催

本委員会は3回開催し、以下の事項を審議した。

(1) 第1回動的温熱環境標準化技術開発委員会

1) 開催日時 : 平成11年9月25日(土)、14時00分~16時00分に東京都港区の新虎ノ門実業会館9階会議室で開催した。

出席者、議題、審議事項は以下の通り。

開催日	平成11年9月25日(土) 14時00分~17時00分
出席者	栃原委員長 堀越 都築各委員 オブザーバー:新谷 事務局:吉岡 大矢 渡辺
議題	動的温熱環境標準化開発事業の進め方 1. 委託事業の概要について 2. 委員会の概要 3. 委員会の検討課題と進め方 1) ISO改訂の動向 : 委員長から資料(人間工学ISO/JIS便覧)に基づき説明 2) ISOに対する取り組みについて 各委員が討議した。
審議結果	1. 事業全体の進め方について質疑の後承認された。 2. 討議の結果以下の基本方向で進める。 ISOでは必ずしも文献主義ではない。論理的に不足する部分もあり、全てがヨーロッパ基準である。日本、アジアの特性に合った点を組み入れる。 1) 非定常・不均一について関係する日本の論文を整理する。 2) 新たに実験をする必要な項目を整理する。 3) 現状の技術を整理し、オルセン氏を招聘し意見交換する。 4) 関係学会と連携しシンポジウムを開催し関係者に知ってもらう。 以上の討議にて進め方を決定した。

(2) 第2回動的温熱環境標準化技術開発委員会

1) 開催日時 :平成11年11月1日(月)14時00分~17時00分に東京都港区の新虎ノ門実業会館7階会議室で開催した。

出席者、議題、審議事項は以下の通り。

開催日	平成11年11月26日(金) 14時00分~17時00分
出席者	栃原委員長 堀越 磯田 竹森 都築各委員 オブザーバー:千野 高橋 新谷 事務局:大矢 渡辺
議題	不均一・非定常関連研究の概要 1. 不均一・非定常関連研究の報告 ・堀越委員から環境の不均一性に関する研究の概要、ISOの問題点の報告 ・磯田委員から関係の研究の概要とISOの問題点の報告 ・栃原委員からISOの技術的なバックデータについて報告 2. ISO改訂の活動計画について 3. オルセン氏の招聘について
審議結果	1. プロジェクトとしての優先的検討項目 1) 上下温度差:ISOでは技術的な検討が不足しており、新たなデータが望まれる。 2) 床暖房 :データ不足であり日本の生活様式を反映させることが可能かも。 3) トランジェント:データ不足である。 2. ISO改訂の活動計画:12年度は関係学会と連携しシンポジウムを開催する。 3. オルセン氏の招聘を3月13日行う。 栃原委員長から本人の了解を得られたとの報告

(3) 第3回動的温熱環境標準化技術開発委員会

1) 開催日時 :平成11年11月1日(月)14時00分~17時00分に東京都港区の新虎ノ門実業会館7階会議室で開催した。

出席者、議題、審議事項は以下の通り。

開催日	平成12年2月14日(土) 14時00分~17時00分
出席者	栃原委員長 堀越 磯田 竹森 都築各委員 オブザーバー:桂 長野 新谷 福田 事務局:吉岡 大矢 渡辺
議題	不均一・非定常関連研究の概要 1. 不均一・非定常関連研究の報告 ・堀越委員から内外のポイントとなる報告書の研究方法と結果について整理して報告 ・磯田委員から床暖房に関する各種報告の相互位置づけの報告 ・非定常温熱環境の基準値の考え方について栃原委員から報告 ・海外の関連技術調査の報告 2. オルセン氏との意見交換会の概要
審議結果	不均一・非定常関連研究 1. これまでの研究内容の報告等を参考にISOの改訂に反映させるために、まとめ方を整理する。 2. 海外技術調査について各委員に調査一覧を配付し(追加分も含め)、資料入手等個人の希望に答える。 3. オルセン氏との意見交換会には委員の紹介があれば参加出来ることとする。

5. 研究開発実施結果及び考察

5. 1. 動的温熱環境評価技術の開発

5. 1. 1 人体熱モデルによる評価技術の開発

従来の生活環境快適性評価に関する国際規格は、温度、湿度、気流等が均一で、一定の状態にある場合を中心に考えられてきた。しかし、現実の生活環境は、上記の諸要因が絶えず変化しており、不均一・非定常な環境にあるといえる。

本委託業務は、次の3つの生活環境を中心に検討を行う。

①接触温熱環境：日本の床暖房・炬燵等の生活環境

②上下温度差環境：室内の上下で温度差がある場合の生活環境

③非対称環境：人を中心にして左右の環境が非対称である場合の生活環境

これらの生活環境を人体熱モデル、サーマルマネキン、被験者実験等により、比較・検討を行い、相互の関連を明らかにし評価基準の策定を行うための人体熱モデルの評価技術について検討を行う。

本研究の目的は、接触温熱環境において人体の生理反応をシミュレーションできるように「人体着衣熱モデル」を改良することである。また、改良した「接触熱環境人体着衣熱モデル」を用いてシミュレーションを実施し、接触熱環境の評価基準策定に必要な課題を抽出する。

ここでは、上記目的を達成するために実施した「人体熱モデルの改良」と「接触熱環境シミュレーション」の方法について述べる。

(1) 人体着衣熱モデルの改良

1) 人体着衣熱モデル

本研究では、庄司ら(1997)により提案された「人体着衣熱モデル」を改良した。ここでは、この「人体着衣熱モデル」の概要について述べる。

・ 人体熱モデル

人体熱モデル(竹森ら, 1995)は、骨、筋肉、脂肪等の人体組織や血管、気管支など生理的、熱的特性を含む人体組織系(図3)と、体温情報として結合された深部温(T_{core})と平均皮膚温(T_{skin})に基づき血管反応、発汗、ふるえ代謝などの生理的調節を行う人体調節系からなる。

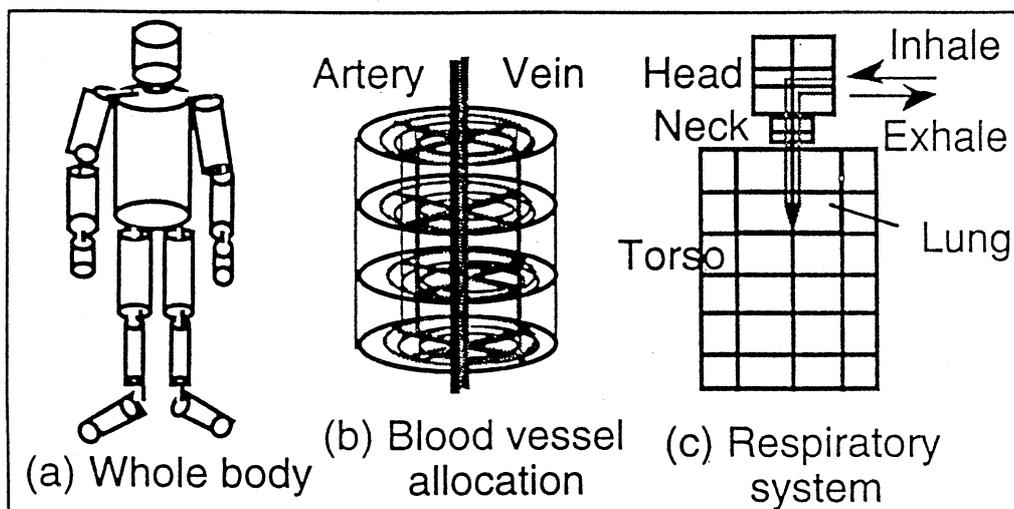


図3 人体熱モデル

・衣服熱モデル

衣服系での物理現象は熱と水分の移動である。衣服内機構を構成する要因を図4示す。衣服熱モデルとして、ここでは非定常条件にも適用できる熱と水分の移動問題を同時に考慮したFuのモデル(Fu, 1995)をプロトタイプにしている。

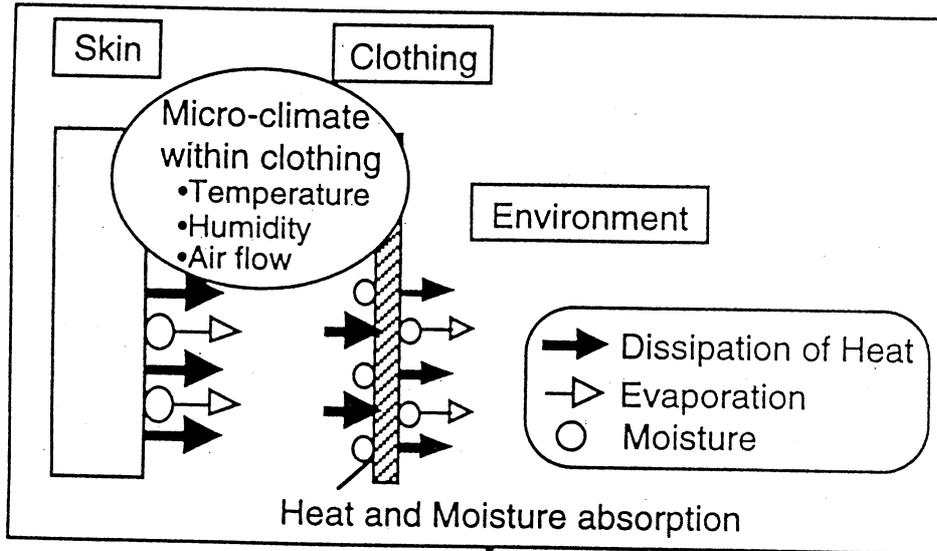


図4 衣服熱モデル

2) 接触熱環境人体着衣熱モデル

ここでは、本研究で改良した「接触熱環境人体着衣熱モデル」について述べる。

室内環境の温熱環境指標としては、簡易に算出することができる作用温度が広く用いられている。この作用温度は、人体と環境間の対流と輻射による熱授受の関係から導き出される指標であるため、伝導による熱授受は考慮されていない。立位や椅子座位であれば、床面と人体との接触面は足裏のみであり、人体全体表面に対する接触面の割合である接触面積比は小さい。従って、伝導による熱授受は、輻射または対流による熱授受と比較し小さいと考えられるため考慮されていない。しかし、日本古来の床座は、立位や椅子座位に比べ接触面積比が大きく、伝導による熱授受が多くなると考えられる。宮本ら(1999)は伝導修正作用温度を導出し、熱伝導を考慮している。

本研究では、接触面では作用温度を考慮せず、接触床面と接触人体表面の温度が一致するとしてモデル化を行った。つまり、接触熱抵抗は考慮していない。また、接触部の生理反応は非接触部のそれとは異なると考えられるが、今回はこれを考慮していない。

この場合、接触熱環境として計算パラメータになるのは、「接触温度」、「接触空気厚」、「接触面積比」である。「接触温度」とは、接触部の床暖房表面温度、「接触空気厚」とは、接触部での人体と衣服間の空気層厚さ、「接触面積比」とは、人体全表面積に対する接触部面積の比である。

(2) 接触熱環境シミュレーション

ここでは、上で述べた「接触熱環境人体熱モデル」を用いて、接触熱環境シミュレーションを行った。本シミュレーションの目的は

- ① 「接触熱環境人体熱モデル」の検証
- ② 評価基準策定のための課題抽出

である。この目的を達成するために以下の手順で接触熱環境シミュレーションを実施した。ただし、本シミュレーション結果の評価に用いた実験は李等(1997)により報告されている床暖房実験である。また、すべてのシミュレーションにおいて、床暖房は接触部のみに影響を与え、床暖房の室内環境に与える影響は考慮していない。

1) 着衣条件の作成

実験結果と比較検討を行うために、被験者の着衣条件をモデル化した。実験時の被験者の着衣は、トレーナ上下・長袖Tシャツ・下着・靴下ではほぼ0.92cloであった。この条件に対応するように着衣モデルを作成した。

2) 接触部の確定

今回比較検討を行った実験の文献には接触位置・面積に関する情報が記述されていないため、他の文献等を使用して接触位置・面積を推定した。

宮本ら(1999)は人体と床面との接触面積を、感光紙を用いて測定しデジタイザーを用いて求めている。この実験の被験者身体データを表5に示す。接触面積比は0.035から0.050の範囲にあり、その平均は0.043である。この文献では、大腿上部が床面に接触するかどうかによって接触面積比が大きく変化すると述べられている。また、筆者が床座した場合、床に接触した場所はお尻から大腿上部にかけて足の側面であった。そこで、本研究では「接触熱環境」である部位を「胴体後下部」、「大腿側面上部」、「足側面」とし「下腿」は床と接触していないとした。

表5 被験者身体データ

身長 cm	体重 kg	全体表面積 m ²	接触面積 m ²	接触面積比
166.2	65.1	1.69	0.059	0.035
172.2	53.6	1.58	0.061	0.039
168.2	73.0	1.78	0.078	0.044
171.1	62.7	1.69	0.074	0.044
174.6	69.5	1.79	0.083	0.046
168.0	55.6	1.58	0.062	0.039
167.0	61.8	1.65	0.075	0.045
168.0	64.8	1.69	0.085	0.050
166.0	69.2	1.73	0.076	0.044
175.0	60.4	1.68	0.076	0.045
166.1	55.9	1.57	0.065	0.041
			平均	0.043

3) 接触熱環境モデルと従来の熱環境モデルの比較

接触熱環境モデルと従来の熱環境モデルのシミュレーション結果を比較し、改良したプログラムが適正に作動することを確認した。計算に使用した条件を以下の表に示す。

表6 計算に使用した熱環境

室内熱環境	気温	°C	20
	湿度	%	40
	輻射	°C	20
	気流	m/s	0
接触熱環境	接触温度	°C	40
	接触空気厚	cm	0.01
	接触面積比	-	0.046

ここでの接触面積比は、人体全表面積に対する接触熱環境条件を設定した面積の比である。図5に接触熱環境を設定した部位を示す。黒色で示した要素が接触熱環境を設定した表面要素である。上で述べたように床暖房と接触すると考えた部位は「胴体後下部」、「大腿側面上部」、「足側面」である。胴体部位の最下部裏側要素1面、大腿部位の上部側面要素2面左右で4面、足部位の最下部要素以外の側面4面左右で8面、合計13面に接触熱環境条件を設定した。

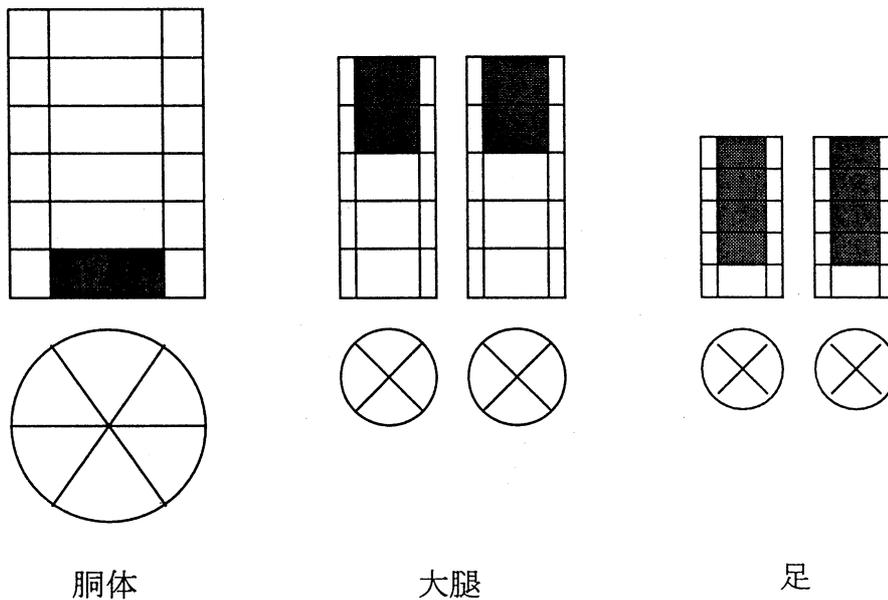


図5 接触熱環境条件を設定した部位

4) パラメータスタディ

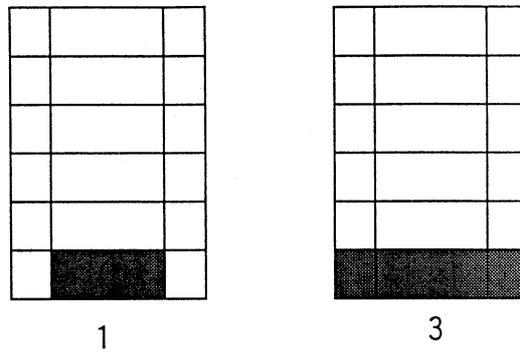
接触熱環境モデルにおいて、計算パラメータとなる「接触温度」、「接触空気厚」、「接触面積比」と「気温」がシミュレーション結果に与える影響を評価するためにパラメータスタディを実施した。表7に計算条件を示す。ここでの基本値とは、他の計算パラメータの応答を求めているときに固定した値である。例えば、接触温度の感度を求めるときには、他の計算パラメータの値として基本値を使っている。また、接触面積比は、接触熱環境条件を設定する計算要素の数を変化させて作成している。

図6に示すように「胴体」では 1,3、「大腿」では、0,1,2,3(両側で 0,2,4,6)、「足」では 4,5(両側で 8,10)面の要素に接触熱環境条件を設定した。従って、計算ケース数は、 $2 \times 4 \times 2 = 16$ である。

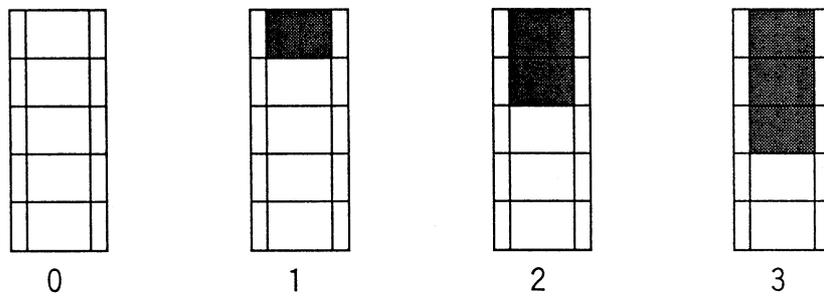
また、応答を調べた値は、「頭額」、「胸」、「背中」、「腹」、「腰」、「前腕」、「手背」、「大腿前」、「大腿後」、「下腿前」、「下腿後」、「足背」、「お尻」、「足底」の皮膚温と「直腸温」、「平均皮膚温」である。これは、後述の実験時に測定された項目である。ただし、今回の計算では接触熱環境を「大腿側面」、「足側面」としたため、「大腿前」と「大腿後」、「下腿前」と「下腿後」、「足背」と「足底」は境界条件に対して対称な位置関係にあり同じ値になる。従って、グラフには片方のみ表記した。

表7 パラメータスタディに用いた計算条件

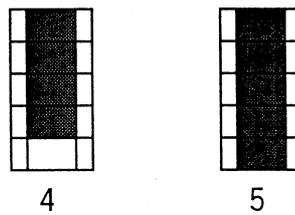
	計算パラメータ		基本値	
室内熱環境	気温	°C	20	16,17,18,19,20,21,22,23,24
	湿度	%		40
	輻射	°C		20
	気流	m/s		0
接触熱環境	接触温度	°C	40	25,26,27,28,29,30,31,32,33,34,35 36,37,38,39,40,41,42,43,44,45
	接触空気厚	cm	0.01	1,0.5,0.2,0.1,0.05,0.02,0.01 0.005,0.002,0.001,0.0005,0.0002 0.0001
	接触面積比	-	0.046	0.026,0.030,0.036,0.040,0.046 0.050,0.056,0.060 0.049,0.053,0.059,0.063,0.069 0.073,0.079,0.083



(a) 胴体



(b) 大腿



(c) 足

図6 パラメータスタディで使用した接触熱環境条件設定要素

5) 実験に対応したシミュレーション

ここでは、李ら(1997)により報告されている実験条件に対応したシミュレーションを行い、温冷感を算出した。ただし、床暖房のような局部加熱における温冷感の算出式が提案されていないため、ここでは従来から使用されている算出式を用いた。

実験で使用されている床暖房は水循環式床暖房装置であり、床パネルの厚さは12mm、7cm幅の板の中に7mmφホースが組み込まれている。また、設定条件は、室温を18℃とし、温水の温度を30℃、35℃、40℃、45℃とした4条件と、室温を23℃とし、温水の温度を25℃、30℃、35℃、40℃とした4条件、合計8条件である。相対湿度は40%、気流速度は0.1m/s以下にされている。被験者の着衣は、上述の通り、トレーナ上下・長袖Tシャツ・下着・靴下でほぼ0.92cloである。被験者は床座で60分間設定条件に暴露されている(実験の詳細は文献参照)。

この実験に対応したシミュレーションを行うためには接触温度を求める必要がある。実験では接触温度が測定されていないため、室温と温水の温度から接触温度を推定する必要がある。鍋島ら(1997)は実験と数値解析により接触温度と温水・表面温度などの関係を明らかにしている。表8に数値実験で求められた温水の温度、室温、接触温度の関係を示す。

今回、比較検討を行う実験の床暖房と同じ条件でないため、直接この値を用いることは出来ないが、この結果から温水が10℃変化することにより接触温度が約2℃程度変化することが分かる。従って、比較検討を行う実験では5℃刻みで温水の温度を変化させていることから、接触温度は1度程度変化したと考えられる。また、温水の温度が50℃、室温が20℃の場合で接触温度が40℃程度であることから、今回の比較検討を行う実験(最大の温水温度:45℃)では、接触温度は最大で40℃程度であったと考えられる。以上の考察から、今回のシミュレーションでは接触温度を36℃、37℃、38℃、39℃、40℃と変化させて計算を行った。これは、それぞれ温水の温度で25℃、30℃、35℃、40℃、45℃に対応するとした。

また、接触部についての記載が文献にないため、接触熱環境条件を「2,3,3 接触熱環境モデルと従来の熱環境モデルの比較」で計算した時と同じ部位・位置に設定した。つまり、「胴体下部後」、「大腿上部側面」、「足側面」である。この場合、接触面積比は0.046になる。さらに接触空気厚は0.01cmとした。また、計算の初期条件は、前室条件から作成している。計算時間は60分とした。表9に計算条件をまとめておく。

表8 数値解析により求められた温水・室温と接触温度の関係

温水の温度(℃)	室温(℃)	接触温度(℃)
80	23	46.1
70	22	43.8
60	21	41.6
50	20	39.3

表9 実験に対応したシミュレーションの計算条件

項目	値		備考	
室内熱環境	気温	℃	18,23	
	湿度	%	40	
	輻射	℃	20℃	
	気流	m/s	0	
接触熱環境	接触温度	℃	36,37,38,39,40	温水の温度 25,30,35,40,45 に対応
	接触空気厚	cm	0.01	推定値
	接触面積比	-	0.046	推定値
計算時間	分	60		

6) 温冷感の算出式

本研究では、シミュレーション結果を用いて温冷感(PMV)を推定し、実験結果と比較した。推定式を以下に示す。

$T_{skin} < 34.3$ の場合

$$PMV = (0.5837 \times T_{skin} - 15.48217 - 4) \times 1.5$$

$T_{skin} \geq 34.3$ の場合

$$PMV = (1.4133 \times T_{skin} - 43.93745 - 4) \times 1.5$$

ここで、 T_{skin} は平均皮膚温である。この算出式は、従来の熱環境において算出された推定式であり、本来、本研究に直接用いることは出来ない。しかし、今回のような接触熱環境に対する PMV の推定式が確立していないため、本研究では上記推定式を使用した。

(3) 結果

ここでは、シミュレーション結果及びその考察について述べる。

1) 接触熱環境モデルと従来の熱環境モデルの比較

表10、図7に接触熱環境モデルと従来の熱環境モデルを使用してシミュレーションを行った計算結果を示す。

接触熱環境モデルは、従来の熱環境モデルにくらべ、下半身の皮膚温が高くなることが確認できる。これは、「お尻」、「大腿」、「足」に接触熱環境条件を設定しているためである。「下腿」は、このシミュレーションでは床面と接触していないと考えているため、皮膚温の上昇はほとんど見られない。また、上半身でも「手背」で若干の皮膚温上昇が確認できるが、これは、血流によるものと考えられる。

この計算結果から、今回改良を行ったプログラムが正常に作動することが確認できた。

2) パラメータスタディ

表11～表14、図8～図19にパラメータスタディを行った計算結果を示す。

表11、図8～図10は「気温」を、表12、図11～図13は「接触温度」、表13、図14～図16は「接触空気厚」、表14、図17～図19は「接触面積比」を変化させた場合の計算結果である。

図は、それぞれ上半身、下半身、平均皮膚温について分けてある。また、接触面積比については、◆で示したものは胴体の接触要素が1つの場合、◇で示したものは胴体の接触要素が3つの場合である。

・考察

平均皮膚温が大きく変化するの、「気温」を変化させた場合だけである。「気温」が1℃変化すると「平均皮膚温」が0.23℃程度変化するのに対して、「接触温度」が1℃変化しても「平均皮膚温」は0.025℃変化しないことが明らかになった。従って、「平均皮膚温」に対する「接触温度」の感度は「気温」に比べ10分の1程度である。これは、接触面積比が0.046であることから、座位であっても接触面積比が小さいからであると考えられる。「接触空

気厚]、「接触面積」はほとんど「平均皮膚温」に影響を与えないことが明らかになった。これは、上半身の皮膚温でも同じ傾向であり、接触熱環境である「接触温度」、「接触面積比」、「接触空気厚」が変化してもほとんど、上半身の皮膚温は変化していない。

これに対して、下半身の皮膚温は接触熱環境によって大きく変化することが明らかになった。これは、接触熱環境を下半身である「お尻」、「大腿側面上部」、「足側面」に与えたためである。特に「接触温度」により、接触している部位の皮膚温が大きく変化することが明らかになった。同様に「接触面積比」も、「接触面積比」を変化させた部位の皮膚温は大きく変化することが明らかになった。

しかし、接触熱環境条件を設定した部位以外の皮膚温はほとんど変化していないが、「手背」の温度は「接触温度」、「接触面積比」を変化させることにより若干変化することが確認できた。

「接触空気厚」は0.01cm以下では、ほとんど皮膚温に影響を与えていない。接触部では、空気層はほとんど無いと考えられることから、「接触空気厚」は、接触熱環境条件で考慮する必要はないと考える。

3) 実験に対応したシミュレーション

表15、表16、図20に実験に対応した熱環境条件でシミュレーションを行った計算結果を示す。表15は室温が18℃の場合、表16は室温が23℃の場合の計算結果である。図20には室温が18℃、23℃の場合の計算結果をグラフ表示した。また、表17にシミュレーション結果から求めた全身温冷感の推定値を示す。また、図21、図22、図23に実験結果の皮膚温、全身温冷感、全身快適感を示す。

・考察

実験時の皮膚温測定場所について詳細な記述が文献にないため、皮膚温の絶対値については、ここでは問題にしない。

シミュレーションにより、実験結果を傾向的に再現できたと考えられるが、いくつかの相違が見られる。実験では、「手背」、「前腕」の皮膚温が、温水の影響を強く受け、室温が18℃の場合、温水の変化により4℃程度変化しているが、シミュレーション結果ではほとんど変化していない。これは、手が低い位置にあったためであると考えられる。つまり、非接触部の部位であっても、床暖房に近い場合は、床暖房からの「輻射」と、床暖房によって暖められた空気の「対流」の影響を強く受けると考えられる。同様なことが「足背」、「足底」の皮膚温に見られる。

実験では、「足背」、「足底」の皮膚温は、室温が18℃の場合、温水の温度が変化することにより3℃程度変化しているが、シミュレーションでは1℃程度しか変化していない。シミュレーションでは、「足背」、「足底」は床暖房に接していると考えているため、「手背」、「前腕」に比べて温水の影響を受けているが、「手背」と同様に床暖房に近い「足背」、「足底」は床暖房からの直接的な伝導だけではなく、「輻射」と「対流」の影響も受けられていると考えられる。

シミュレーション結果と実験結果では、温冷感についてはほぼ一致している。これは、今回の温冷感の推定式が平均皮膚温のみの関数であり、平均皮膚温は気温に大きく依存するからである。つまり、実験結果では、温水の温度が変化してもそれほど平均皮膚温に影響が無く、温冷感に影響を与えていない。従って、気温のみによって温冷感が左右されている。同様にシミュレーション結果も温水の影響が平均皮膚温にほとんど影響を与えていないため、従来の平均皮膚温をもちいた温冷感の推定式が実験結果と一致したと考えられる。

一方、実験結果の全身快適感では、気温が低くても温水の温度が高い場合、快適感が高くなることが示されている。これは、快適感は平均皮膚温といった平均的な値ではなく、部位毎の諸生理反応に影響されることを示唆している。

(4) まとめと今後の課題

1) まとめ

本研究では、接触熱環境をシミュレーションできるように人体着衣熱モデルを改良し、パラメータスタディと実験結果との比較検討を行い、評価基準策定に必要な課題を抽出した。

①パラメータスタディ

パラメータスタディを実行し、以下のことが明らかになった。

- ・接触熱環境の計算パラメータは、「接触温度」、「接触面積比」、「接触空気厚」である。この中で、「接触空気厚」は、ほとんど皮膚温等に影響を与えていないため、今後考慮する必要が無い。
- ・実際には、「接触空気厚」は非常に小さいか、空気層は無いと考えられるため、「接触熱環境人体着衣熱モデル」を用いてシミュレーションを実行するときには、非常に小さな値、例えば、0.001cmを使用すればよい。
- ・「接触温度」、「接触面積比」は皮膚温に大きな影響を与えるが、「気温」のように平均皮膚温が大きく変化するほどの影響を与えていない。
- ・接触している位置によって、皮膚温分布が変化するため、部位別の皮膚温分布をシミュレーションするためには、「接触面積比」だけではなく、「接触位置」が計算パラメータとして必要になる。

② 実験結果との比較

実験結果と比較し、以下のことが明らかになった。

- ・全体的な傾向はシミュレーション結果と実験結果で一致する。
- ・座位のような姿勢では、「手」や「足」などの部位は床暖房に近い位置にあるため、床暖房からの直接的な「伝導」だけでなく、「輻射」と「対流」の影響をうける。今回のシミュレーションでは、床暖房からの「伝導」しか考慮していないため、実験結果を詳細に再現できていない。
- ・床暖房の環境評価を人体熱モデルで実行するためには、床暖房からの「輻射」および「対流」の影響を正しく評価する必要がある。

2) 今後の課題

接触温熱環境の評価基準を策定する手順として以下の方法が考えられる。

- ①被験者実験を行い、温冷感・快適感などの心理反応と生理反応などの客観的な項目を計測し、その相関を明らかにする。
- ②接触温熱環境に対する生理反応を予測する人体熱モデルを開発する。
- ③様々な接触温熱環境において、生理反応をシミュレーションし温冷感・快適感を推定する。

a) 被験者実験の課題①

従来、平均皮膚温などが、温冷感・快適感の評価式に用いられてきたが、床暖房のような接触熱環境における温冷感・快適感と生理反応の関係が明らかになっていないので、早期に局部加熱と温冷感・快適感の関係を明らかにする必要がある。

b) シミュレーションの課題②、③

本研究で、接触熱環境をシミュレーションできるように人体着衣熱モデルを改良した。しかし、実験との比較を行うことによって、接触していない部位も床暖房の影響を受けることが明らかになった。つまり、「輻射」と「対流」の影響である。今回のシミュレーション

では、床暖房の影響は接触部のみを考慮し、床暖房が室内環境に影響をあたえないとした。しかし、実験との比較を行って、床暖房が室内環境に影響を与え、それが皮膚温に影響を与えていることが明らかになった。従って、床暖房による「輻射」と「対流」の影響を明らかにする必要がある。従来の人体熱モデルにおいて、不均一な「輻射」と「対流」の影響を考慮することはできるので、床座など各姿勢における形態係数、床暖房における対流の影響(気温の分布)を明らかにすれば良い。前者については宮本ら(1999)は床座の場合を評価している。

また、今回のシミュレーションでは、接触温度を仮定して計算を行った。接触温度の考え方は2つある。1つは、接触温度と室内環境との関係を明らかにし、接触温度は人体側の影響を受けないと仮定する。従って、シミュレーションでは、接触温度が境界条件になる(今回の方法)。室内環境、例えば気温や気流、床表面温度が熱環境側のパラメータとなり、これにより一意的に接触温度が決まると考える。しかし、一般的に考えて、人体側の生理反応が床表面温度に影響を与えると考えられるため、この方法では問題が残る。2つめは、接触温度も未知数と考えると、室内環境により接触温度と人体側の生理反応が決定されると考える。例えば、温水などの温度を熱環境と考えれば、温水の温度と修正熱伝達率でモデル化を簡単に行うことができる。同様に床表面温度を熱環境と考えることもできるが、この場合はモデル化に工夫が必要である。

つまり、温熱環境の評価基準として何を熱環境パラメータとして考えるかの問題であるが、本研究では床表面温度を熱環境パラメータとして考えるのが自然であると考えられる。この場合のモデル化については後で述べる。

c) 床表面温度を熱環境パラメータとした場合のモデル化

今、気温を T_a 、床表面温度(接触していない部分)を T_f 、温水の温度を T_w とすれば、以下の式が成り立つとする。

$$h \times (T_f - T_a) = h' \times (T_w - T_f)$$

ここで、 h は床表面での熱伝達率、 h' は床材の影響を含んだ修正熱伝達率である。ここで、温水の温度も熱環境パラメータとすれば、気温と床表面温度、温水の温度から修正熱伝達率が求まり、以下の式で接触部の熱移動 Q を考えることができる。

$$Q = h' \times (T_w - T_f')$$

ここで、 T_f' は接触温度である。この場合、温水の温度も熱環境パラメータになり問題が複雑化するので、温水の温度を固定する方法も考えられるが問題点も多い。

表10 従来の熱環境モデルと接触熱環境モデルの比較

測定項目	従来の熱環境モデル	接触熱環境モデル
前額	33.3	33.3
胸	34.4	34.4
背中	34.3	34.4
腹	34.8	34.8
腰	34.7	34.6
前腕	32.1	32.1
手背	29.2	29.6
大腿前	32.9	33.4
大腿後	32.9	33.4
下腿前	31.7	31.8
下腿後	31.7	31.8
足背	27.5	30.9
お尻	34.3	35.2
足底	27.5	30.9
直腸温	37.2	37.3
平均皮膚温	32.6	32.9
		(°C)

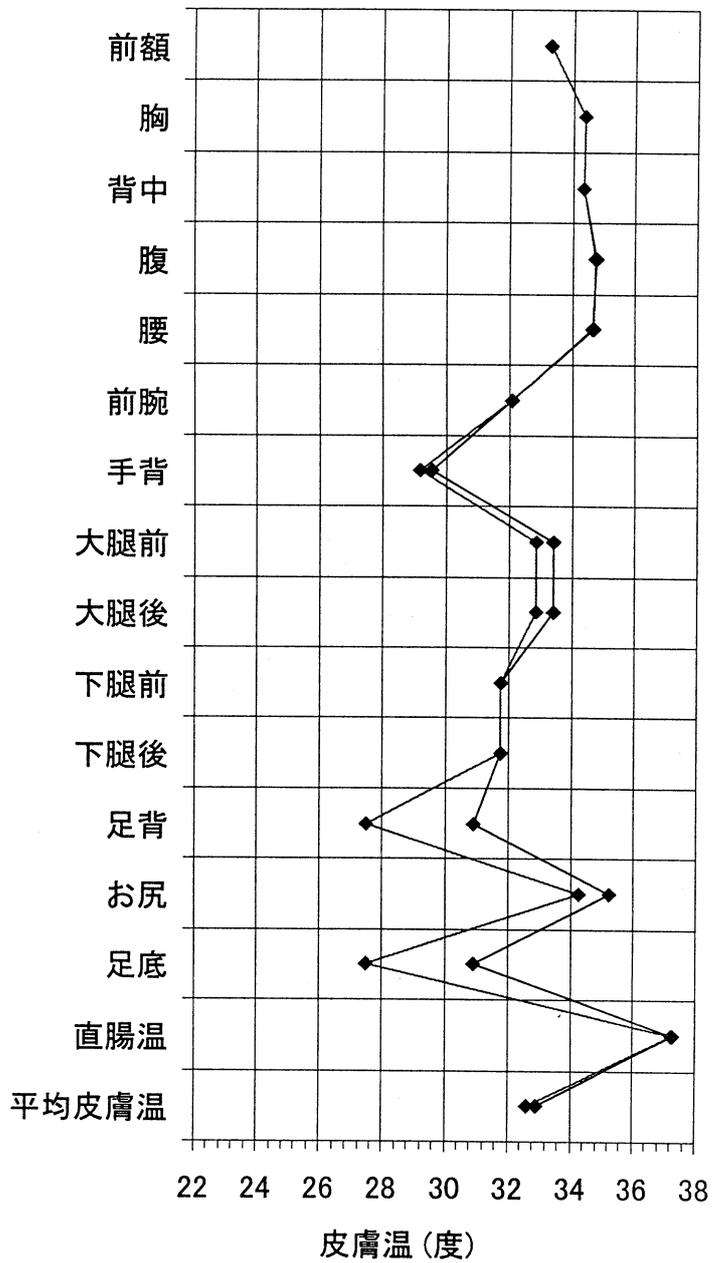


図7 従来の熱環境モデルと接触熱環境モデルの比較

表11 パラメータスタデイ(気温)

気温 (°C)	16	17	18	19	20	21	22	23	24
前額	32.4	32.6	32.8	33.1	33.3	33.5	33.7	34	34.2
胸	33.9	34	34.2	34.3	34.4	34.5	34.6	34.7	34.8
背中	33.9	34	34.1	34.2	34.4	34.5	34.6	34.7	34.8
腹	34.4	34.5	34.6	34.7	34.8	34.9	34.9	35	35.1
腰	34.2	34.3	34.4	34.5	34.6	34.7	34.8	34.9	35
前腕	31.4	31.5	31.7	31.9	32.1	32.4	32.6	32.9	33.1
手背	24.9	26.1	27.3	28.5	29.6	30.5	31.3	32	32.6
大腿前	32.6	32.8	33	33.2	33.4	33.6	33.8	34	34.2
大腿後	32.6	32.8	33	33.2	33.4	33.6	33.8	34	34.2
下腿前	30.8	31	31.3	31.5	31.8	32	32.2	32.4	32.7
下腿後	30.8	31	31.3	31.5	31.8	32	32.2	32.4	32.7
足背	29.8	30	30.3	30.6	30.9	31.3	31.7	32.1	32.4
お尻	35.1	35.1	35.1	35.2	35.2	35.3	35.4	35.4	35.5
足底	29.8	30	30.3	30.6	30.9	31.3	31.7	32.1	32.4
直腸温	37.3	37.3	37.3	37.3	37.3	37.3	37.3	37.2	37.2
平均皮膚温	32	32.2	32.5	32.7	32.9	33.1	33.4	33.6	33.8

表12 パラメータスタディ(接触温度)

接触温度(°C)	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45		
前額	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	
胸	34.4	34.4	34.4	34.4	34.4	34.4	34.4	34.4	34.4	34.4	34.4	34.4	34.4	34.4	34.4	34.4	34.4	34.4	34.4	34.4	34.4	34.4	34.4
背中	34.4	34.4	34.4	34.4	34.4	34.4	34.4	34.4	34.4	34.4	34.4	34.4	34.4	34.4	34.4	34.4	34.4	34.4	34.4	34.4	34.4	34.4	34.4
腹	34.8	34.8	34.8	34.8	34.8	34.8	34.8	34.8	34.8	34.8	34.8	34.8	34.8	34.8	34.8	34.8	34.8	34.8	34.8	34.8	34.8	34.8	34.8
腰	34.8	34.8	34.8	34.8	34.8	34.7	34.7	34.7	34.7	34.7	34.7	34.7	34.7	34.7	34.6	34.6	34.6	34.6	34.6	34.6	34.6	34.6	34.6
前腕	32.1	32.1	32.1	32.1	32.1	32.1	32.1	32.1	32.1	32.1	32.1	32.1	32.1	32.1	32.1	32.1	32.1	32.1	32.1	32.1	32.1	32.1	32.1
手背	28.8	28.9	28.9	29.0	29.0	29.1	29.1	29.2	29.2	29.3	29.3	29.4	29.4	29.4	29.5	29.5	29.6	29.6	29.7	29.7	29.7	29.8	29.8
大腿前	32.5	32.6	32.6	32.7	32.7	32.8	32.9	32.9	33.0	33.1	33.1	33.2	33.2	33.3	33.4	33.4	33.5	33.6	33.6	33.6	33.7	33.7	33.7
大腿後	32.5	32.6	32.6	32.7	32.7	32.8	32.9	32.9	33.0	33.1	33.1	33.2	33.2	33.3	33.4	33.4	33.5	33.6	33.6	33.6	33.7	33.7	33.7
下腿前	31.7	31.7	31.7	31.7	31.7	31.7	31.7	31.7	31.7	31.7	31.7	31.7	31.7	31.7	31.7	31.8	31.8	31.8	31.8	31.8	31.8	31.8	31.8
下腿後	31.7	31.7	31.7	31.7	31.7	31.7	31.7	31.7	31.7	31.7	31.7	31.7	31.7	31.7	31.7	31.8	31.8	31.8	31.8	31.8	31.8	31.8	31.8
足背	26.9	27.1	27.4	27.7	28.0	28.2	28.5	28.8	29.1	29.3	29.6	29.9	30.1	30.4	30.7	30.9	31.2	31.5	31.7	32.0	32.0	32.2	32.2
お尻	33.4	33.6	33.7	33.8	33.9	34.0	34.2	34.3	34.4	34.5	34.6	34.8	34.9	35.0	35.1	35.2	35.4	35.5	35.6	35.7	35.7	35.8	35.8
足底	26.9	27.1	27.4	27.7	28.0	28.2	28.5	28.8	29.1	29.3	29.6	29.9	30.1	30.4	30.7	30.9	31.2	31.5	31.7	32.0	32.0	32.2	32.2
直腸温	37.2	37.2	37.2	37.2	37.2	37.2	37.2	37.2	37.2	37.2	37.3	37.3	37.3	37.3	37.3	37.3	37.3	37.3	37.3	37.3	37.3	37.3	37.3
平均皮膚温	32.5	32.5	32.5	32.6	32.6	32.6	32.7	32.7	32.7	32.7	32.8	32.8	32.8	32.8	32.9	32.9	32.9	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0

表13 パラメータスタディ(接触空気厚)

接触空気厚 (cm)	1E+0	5E-1	2E-1	1E-1	5E-2	2E-2	1E-2	5E-3	2E-3	1E-3	5E-4	2E-4	1E-4
前額	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3
胸	34.4	34.4	34.4	34.4	34.4	34.4	34.4	34.4	34.4	34.4	34.4	34.4	34.4
背中	34.3	34.3	34.3	34.3	34.4	34.4	34.4	34.4	34.4	34.4	34.4	34.4	34.4
腹	34.7	34.7	34.8	34.8	34.8	34.8	34.8	34.8	34.8	34.8	34.8	34.8	34.8
腰	34.6	34.6	34.6	34.6	34.6	34.6	34.6	34.6	34.6	34.6	34.6	34.6	34.6
前腕	32.1	32.1	32.1	32.1	32.1	32.1	32.1	32.1	32.1	32.1	32.1	32.1	32.1
手背	29.5	29.5	29.5	29.5	29.6	29.6	29.6	29.6	29.6	29.6	29.6	29.6	29.6
大腿前	33.1	33.1	33.2	33.3	33.3	33.4	33.4	33.5	33.5	33.5	33.5	33.5	33.5
大腿後	33.1	33.1	33.2	33.3	33.3	33.4	33.4	33.5	33.5	33.5	33.5	33.5	33.5
下腿前	31.8	31.8	31.8	31.8	31.8	31.8	31.8	31.8	31.8	31.8	31.8	31.7	31.7
下腿後	31.8	31.8	31.8	31.8	31.8	31.8	31.8	31.8	31.8	31.8	31.8	31.7	31.7
足背	29.3	29.5	29.9	30.2	30.5	30.8	30.9	31	31	31	31	31	31
お尻	35.4	35.4	35.4	35.4	35.4	35.3	35.2	35.2	35.2	35.1	35.1	35.1	35.1
足底	29.3	29.5	29.9	30.2	30.5	30.8	30.9	31	31	31	31	31	31
直腸温	37.3	37.3	37.3	37.3	37.3	37.3	37.3	37.3	37.3	37.3	37.3	37.3	37.3
平均皮膚温	32.8	32.8	32.8	32.9	32.9	32.9	32.9	32.9	32.9	32.9	32.9	32.9	32.9
													(°C)

表14 パラメータスタディ(接触面積比)

接触面積比 (-)	0.026	0.030	0.036	0.040	0.046	0.050	0.056	0.060	0.063	0.069	0.073	0.079	0.083
前額	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3
胸	34.4	34.4	34.4	34.4	34.4	34.4	34.4	34.4	34.4	34.4	34.4	34.4	34.4
背中	34.3	34.3	34.4	34.4	34.4	34.4	34.4	34.4	34.4	34.3	34.4	34.4	34.4
腹	34.8	34.8	34.8	34.8	34.8	34.8	34.8	34.8	34.7	34.7	34.7	34.7	34.7
腰	34.6	34.6	34.6	34.6	34.6	34.6	34.6	34.6	34.6	34.6	34.6	34.6	34.6
前腕	32.1	32.1	32.1	32.1	32.1	32.1	32.1	32.1	32.1	32.1	32.1	32.1	32.1
手背	29.4	29.5	29.5	29.6	29.6	29.6	29.7	29.7	29.7	29.6	29.7	29.8	29.8
大腿前	32.9	32.9	32.7	32.7	33.4	33.4	34.4	34.4	32.9	32.9	33.4	34.4	34.4
大腿後	32.9	32.9	32.7	32.7	33.4	33.4	34.4	34.4	32.9	32.9	33.4	34.4	34.4
下腿前	31.7	31.7	31.8	31.8	31.8	31.8	31.8	31.8	31.8	31.7	31.8	31.8	31.8
下腿後	31.7	31.7	31.8	31.8	31.8	31.8	31.8	31.8	31.8	31.7	31.8	31.8	31.8
足背	30.9	30.9	30.9	30.9	30.9	31	30.9	31	30.9	30.9	31	31	31
土尻	35.2	35.2	35.2	35.2	35.2	35.2	35.2	35.2	35.9	35.9	35.9	35.9	35.9
足底	30.9	30.9	30.9	30.9	30.9	31	30.9	31	30.9	30.9	31	31	31
直腸温	37.2	37.2	37.3	37.3	37.3	37.3	37.3	37.3	37.2	37.2	37.3	37.3	37.3
平均皮膚温	32.8	32.9	32.9	32.9	32.9	33	33	33	32.9	32.9	33	33	33.1

(°C)

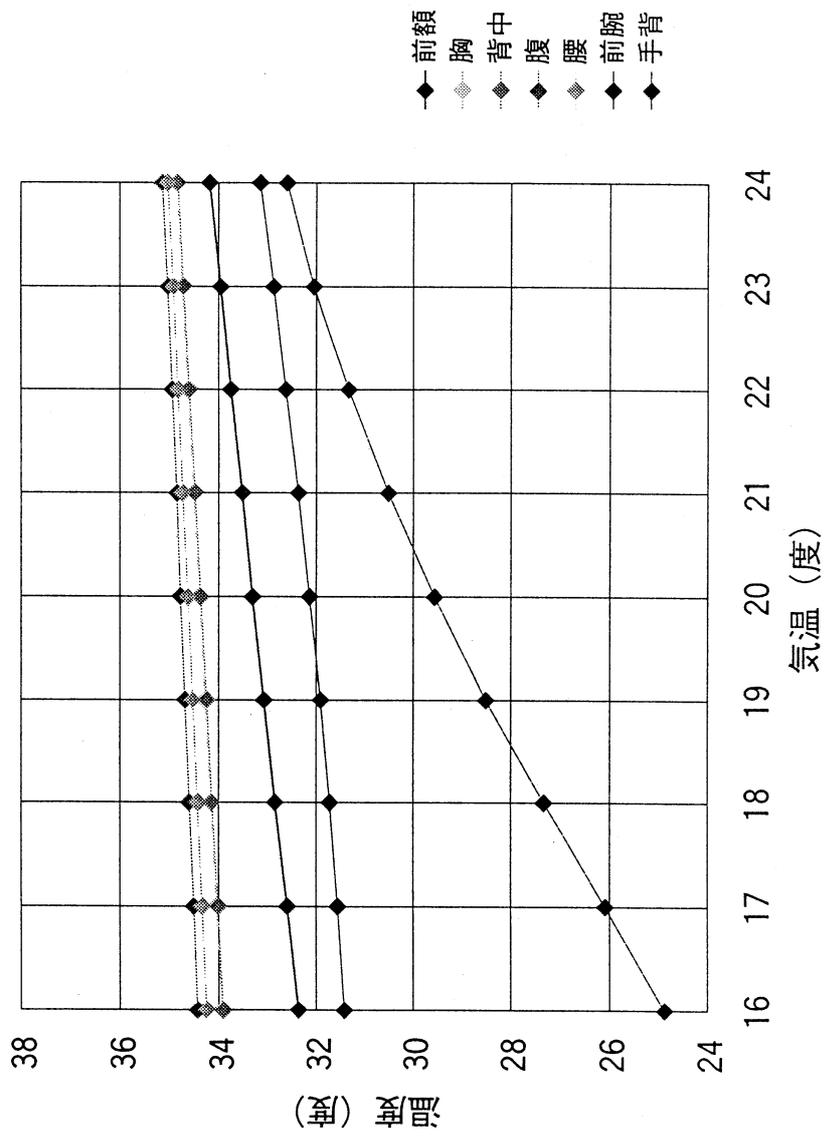


図8 パラメータスタディ(気温、上半身)

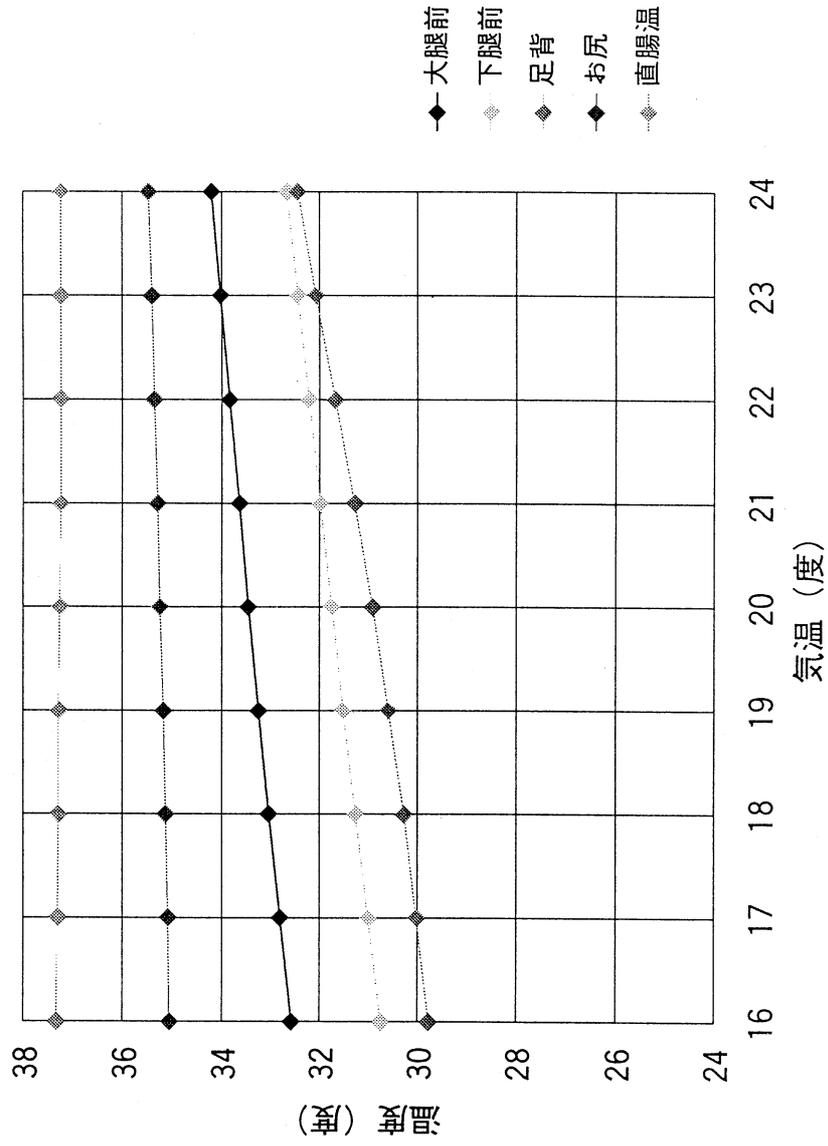


図9 パラメータスタグダイ(気温、下半身)

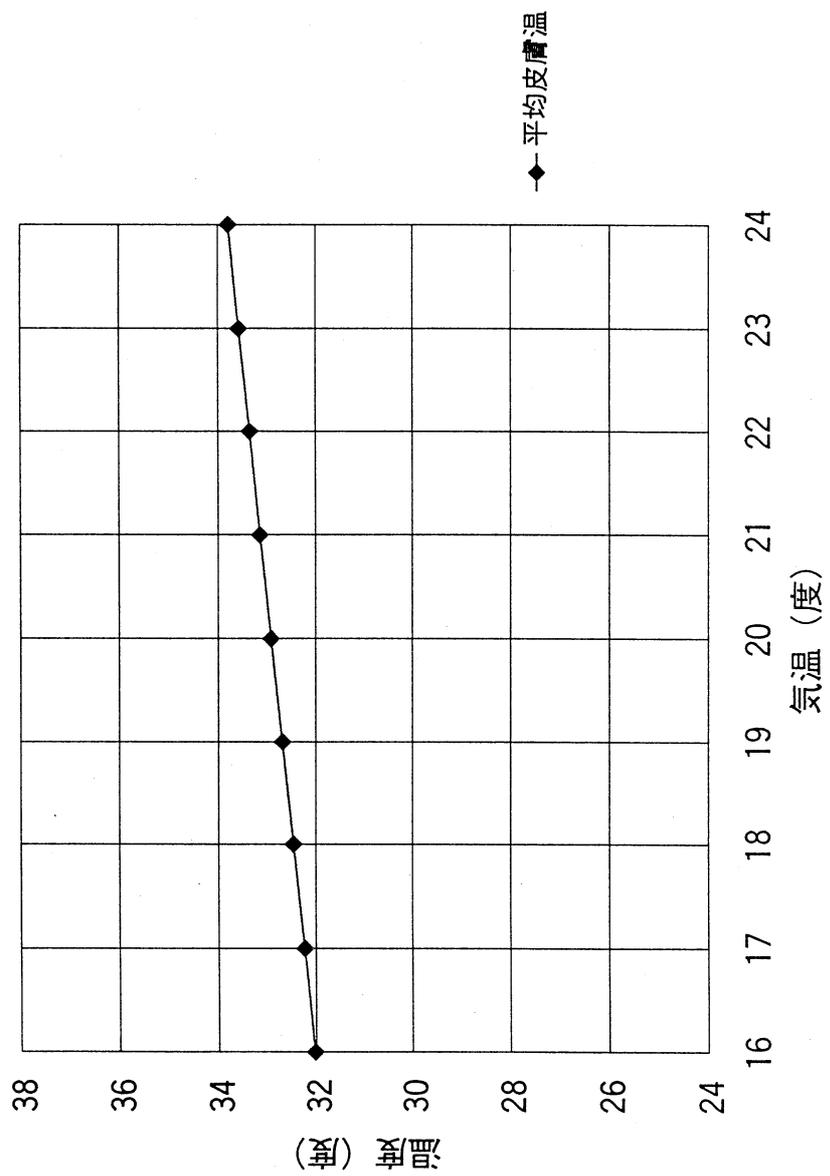


図10 パラメータスタディ(気温、平均皮膚温)

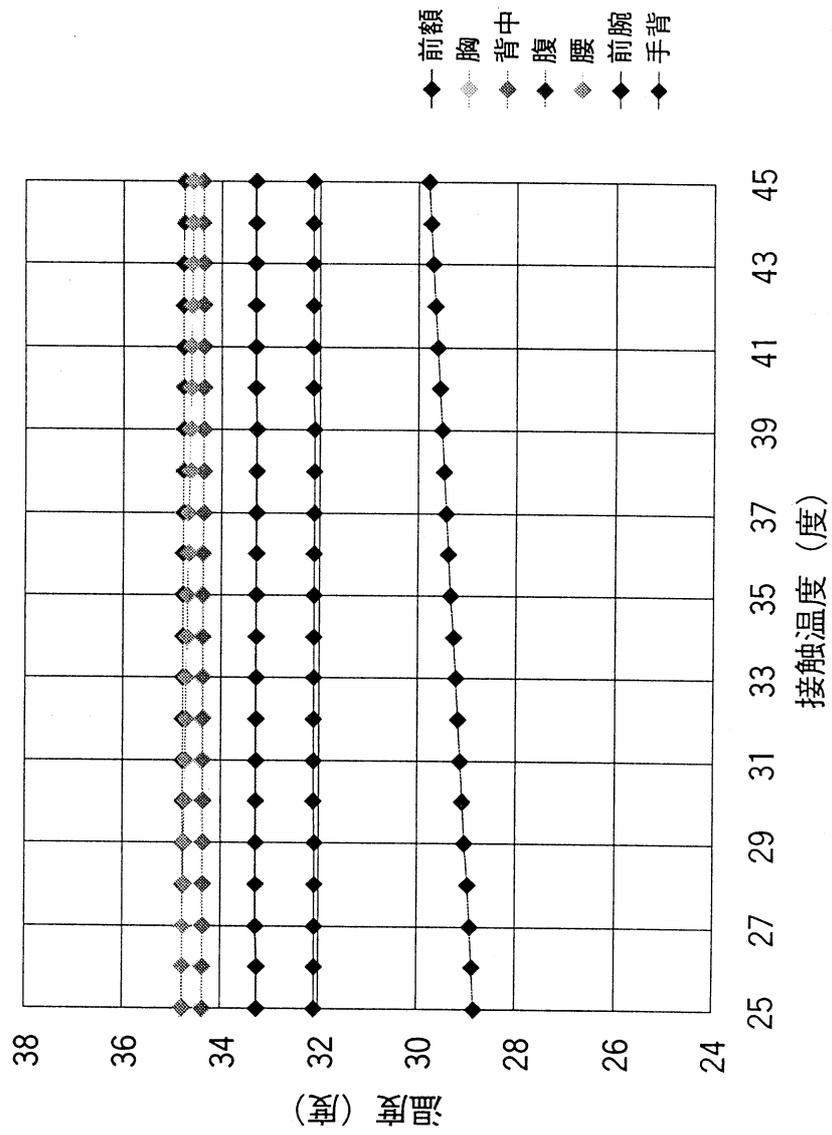


図11 パラメータスタディ(接触温度、上半身)

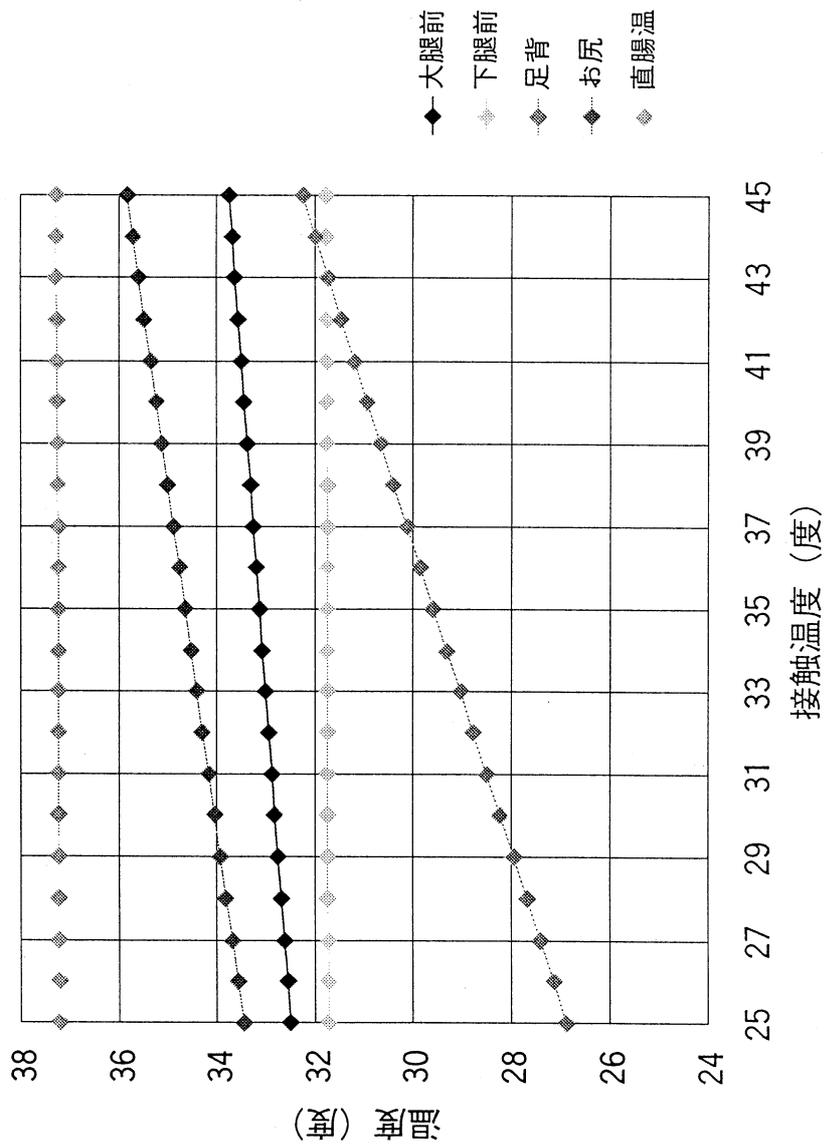


図12 パラメータスタディ(接触温度、下半身)

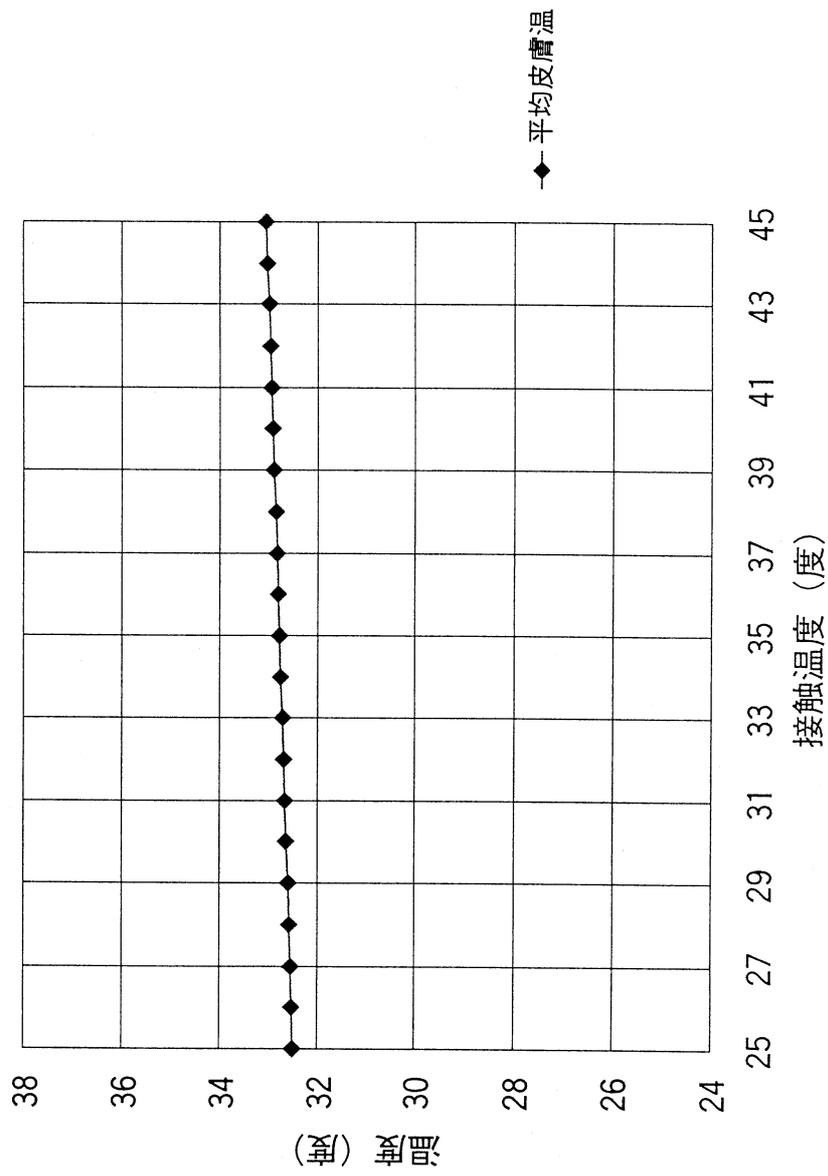


図13 パラメータマスターダイ(接触温度、平均皮膚温)

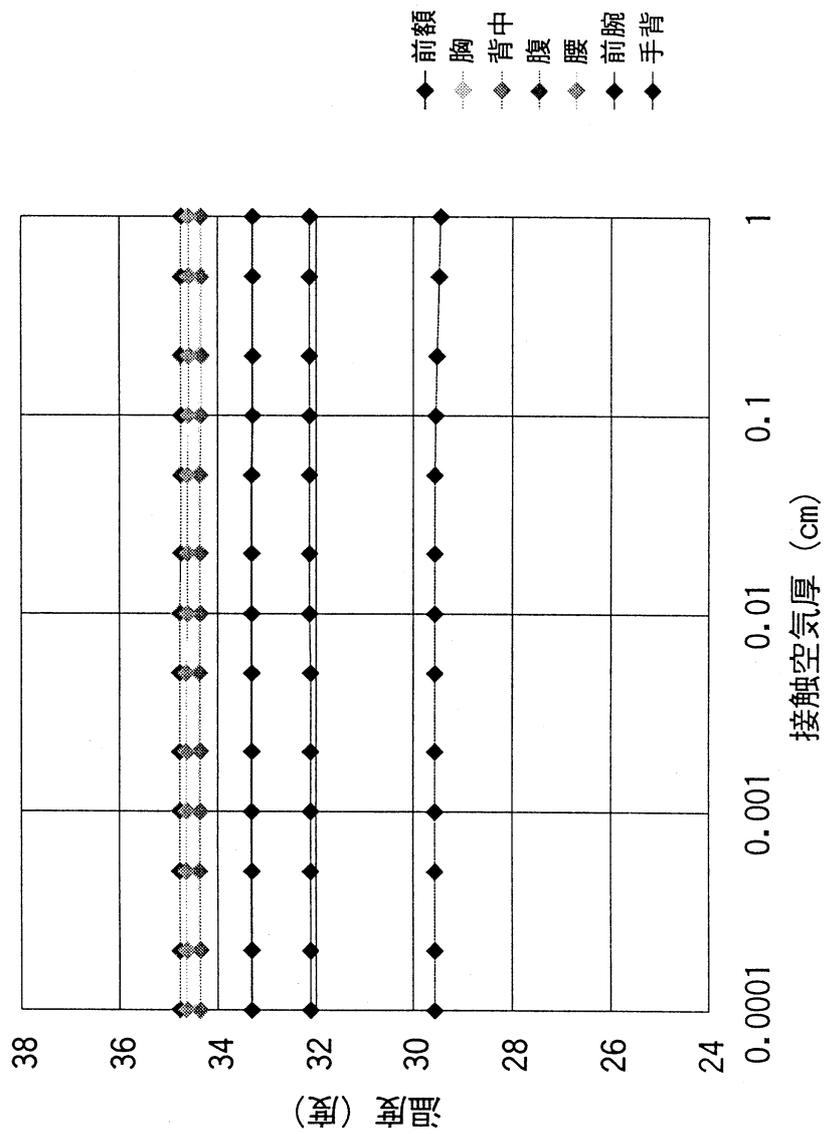


図14 パラメータスタディ(接触空気厚、上半身)

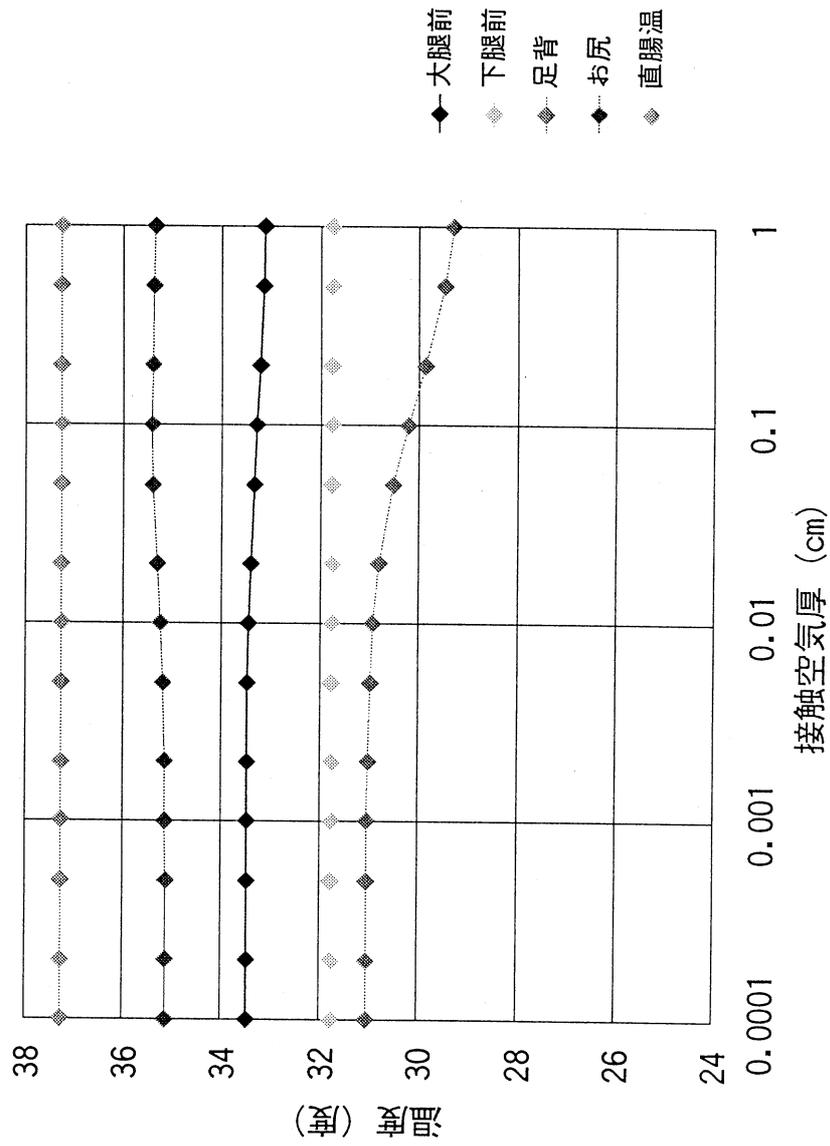


図15 パラメータスタディ(接触空気厚、下半身)

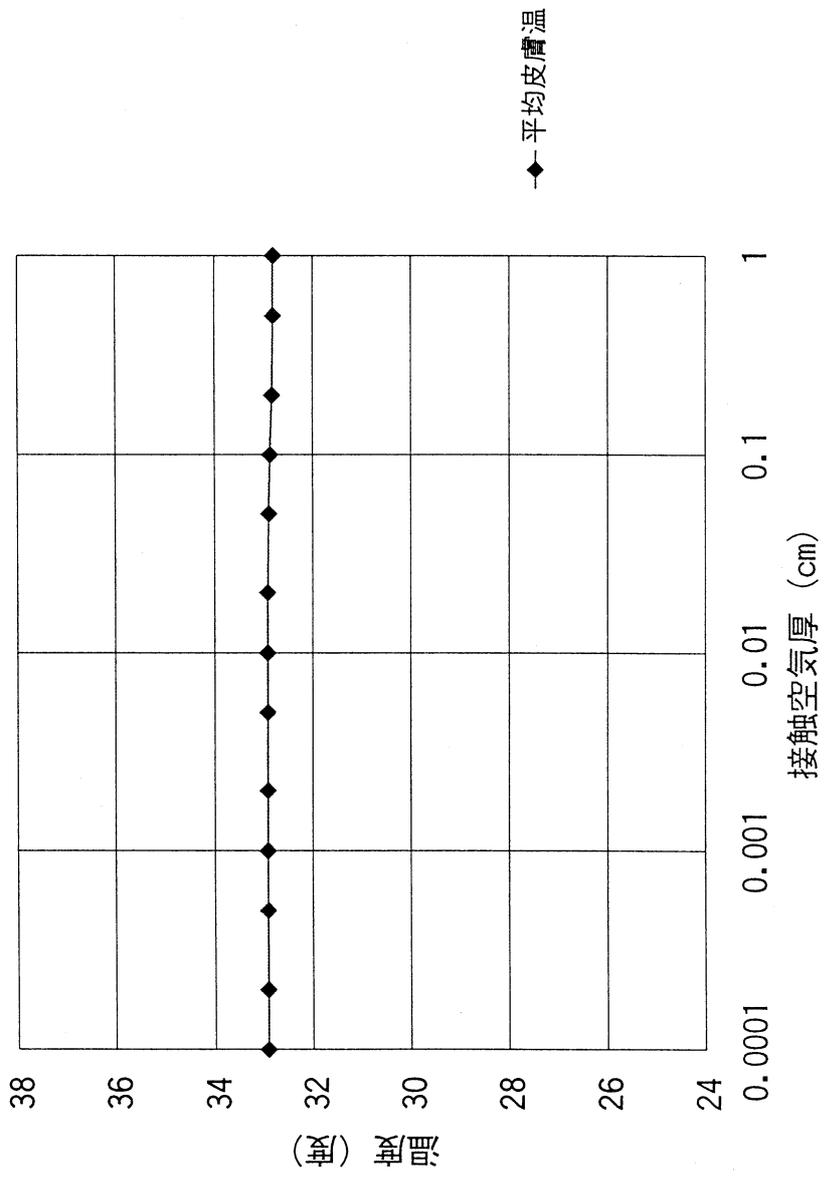


図16 パラメータスタディ(接触空気厚、平均皮膚温)

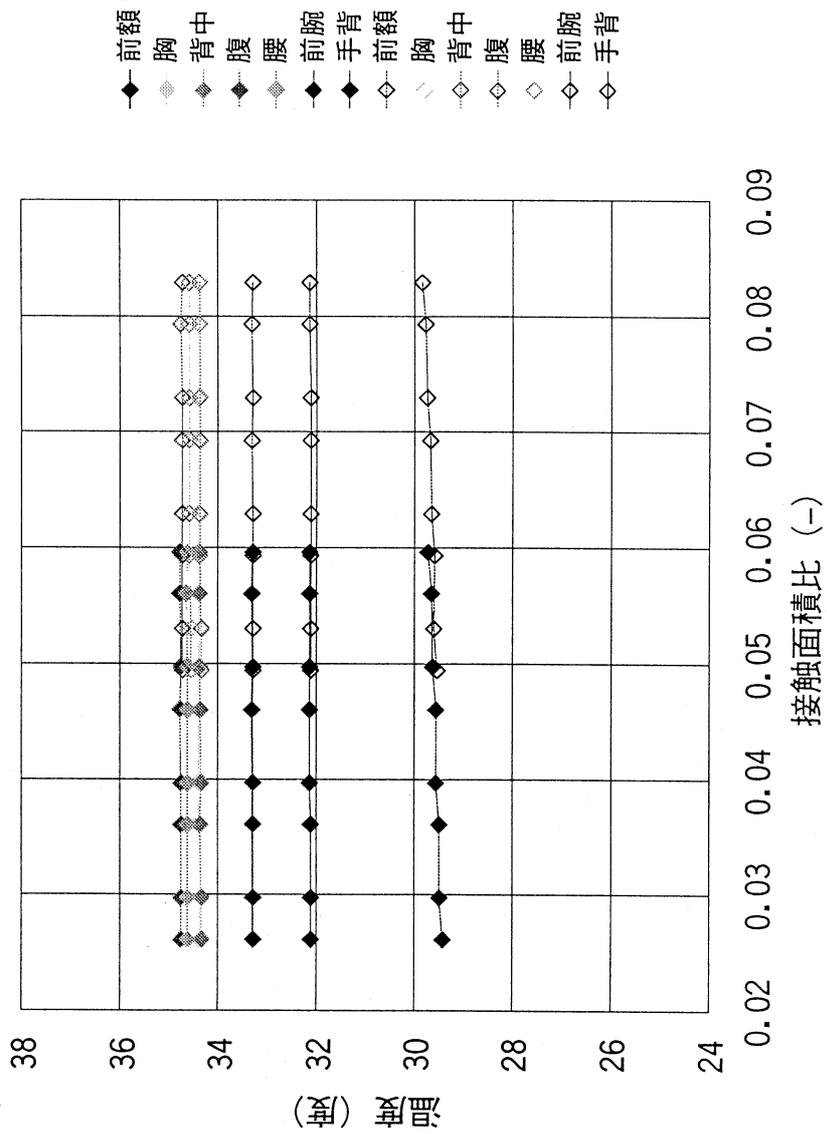


図17 パラメータスタディ(接触面積比、上半身)

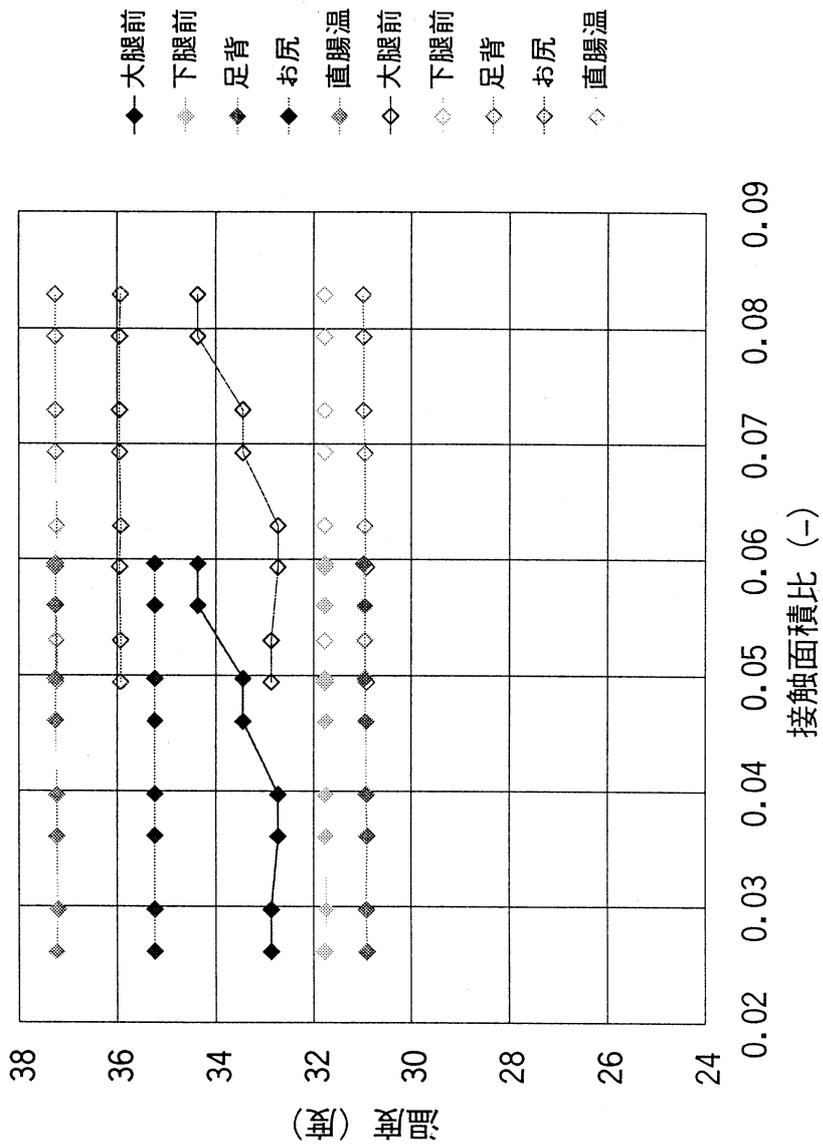


図18 パラメータスタディ(接触面積比、下半身)

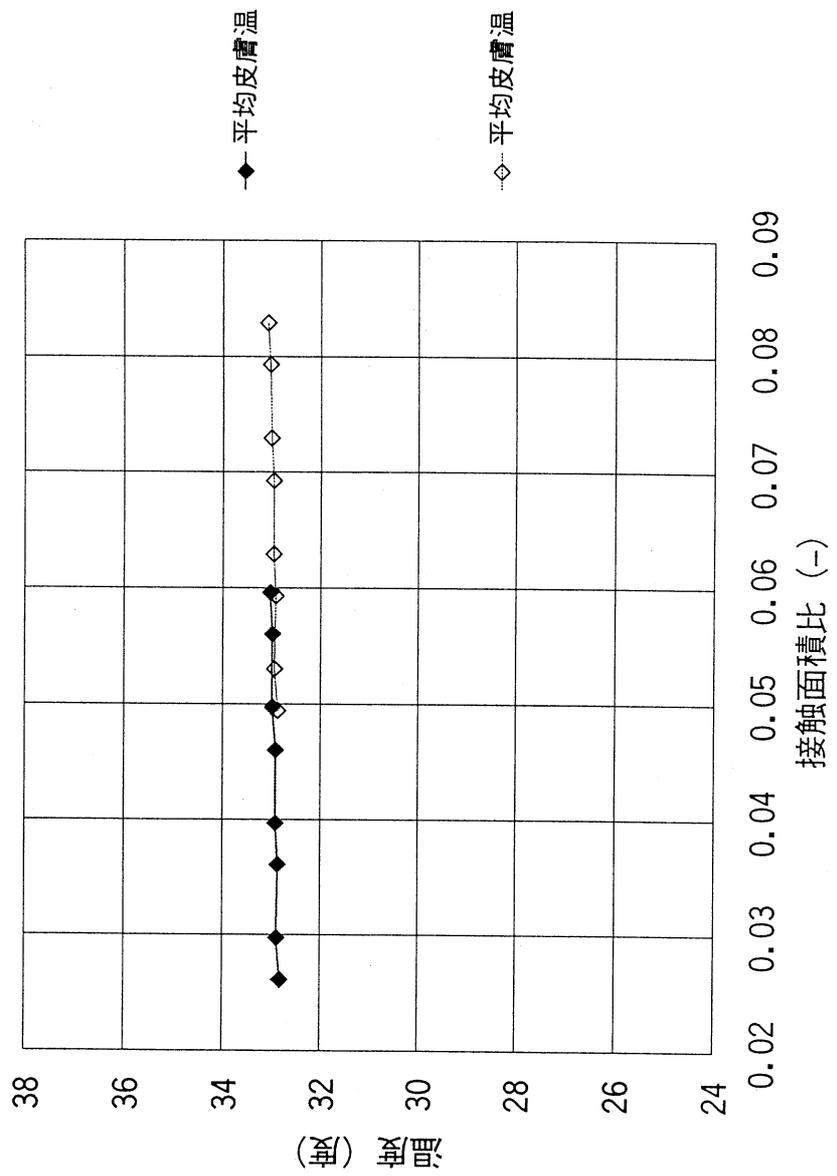


図19 パラメータスタディ(接触面積比、平均皮膚温)

表15 気温が18℃の場合の計算結果

温水温度 (°C)	30	35	40	45
接触温度 (°C)	37	38	39	40
前額	32.8	32.8	32.8	32.8
胸	34.2	34.2	34.2	34.2
背中	34.1	34.1	34.1	34.1
腹	34.6	34.6	34.6	34.6
腰	34.5	34.5	34.4	34.4
前腕	31.7	31.7	31.7	31.7
手背	27.2	27.2	27.3	27.3
大腿前	32.8	32.9	33	33
大腿後	32.8	32.9	33	33
下腿前	31.3	31.3	31.3	31.3
下腿後	31.3	31.3	31.3	31.3
足背	29.5	29.8	30	30.3
お尻	34.8	34.9	35	35.1
足底	29.5	29.8	30	30.3
直腸温	37.3	37.3	37.3	37.3
平均皮膚温	32.4	32.4	32.4	32.5
				(°C)

表16 気温が23℃の場合の計算結果

温水温度 (°C)	25	30	35	40
接触温度 (°C)	36	37	38	39
前額	33.9	33.9	34	34
胸	34.7	34.7	34.7	34.7
背中	34.7	34.7	34.7	34.7
腹	35	35	35	35
腰	35	34.9	34.9	34.9
前腕	32.9	32.9	32.9	32.9
手背	31.9	31.9	32	32
大腿前	33.8	33.8	33.9	34
大腿後	33.8	33.8	33.9	34
下腿前	32.4	32.4	32.4	32.4
下腿後	32.4	32.4	32.4	32.4
足背	31.1	31.3	31.6	31.8
お尻	34.9	35.1	35.2	35.3
足底	31.1	31.3	31.6	31.8
直腸温	37.2	37.2	37.2	37.2
平均皮膚温	33.5	33.5	33.5	33.5
				(°C)

表17 計算結果から推定したPMV

気温(°C)	温水(°C)	PMV
18	25	-0.9
18	30	-0.9
18	35	-0.8
18	40	-0.8
23	30	0.1
23	35	0.1
23	40	0.1
23	45	0.1

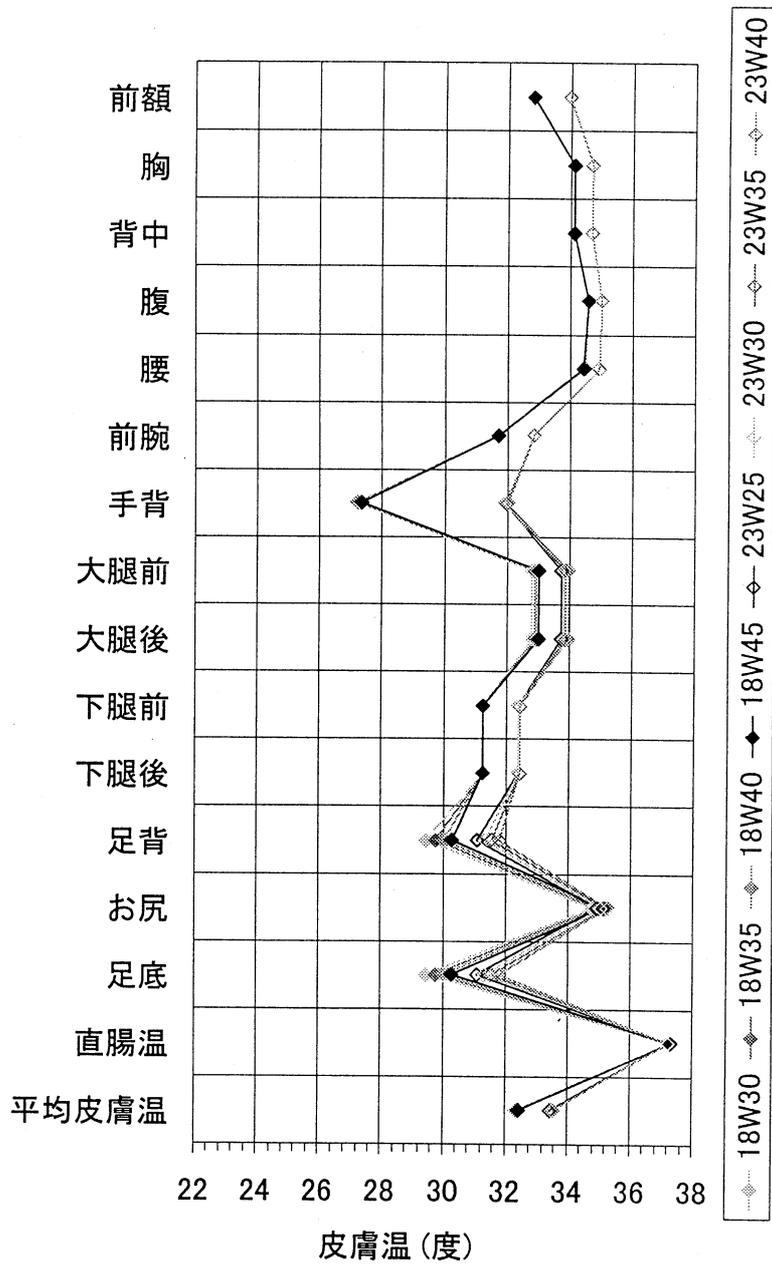


図20 実験に対応した計算結果

床座の場合の皮膚温

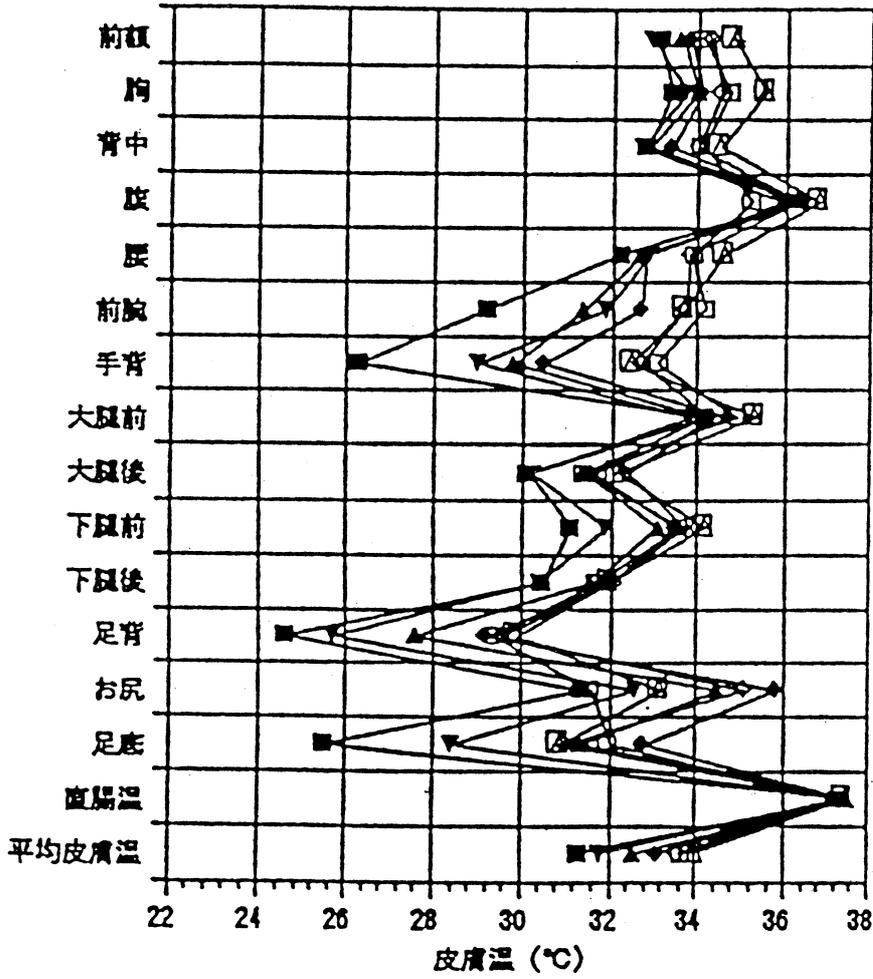


図21 実験結果

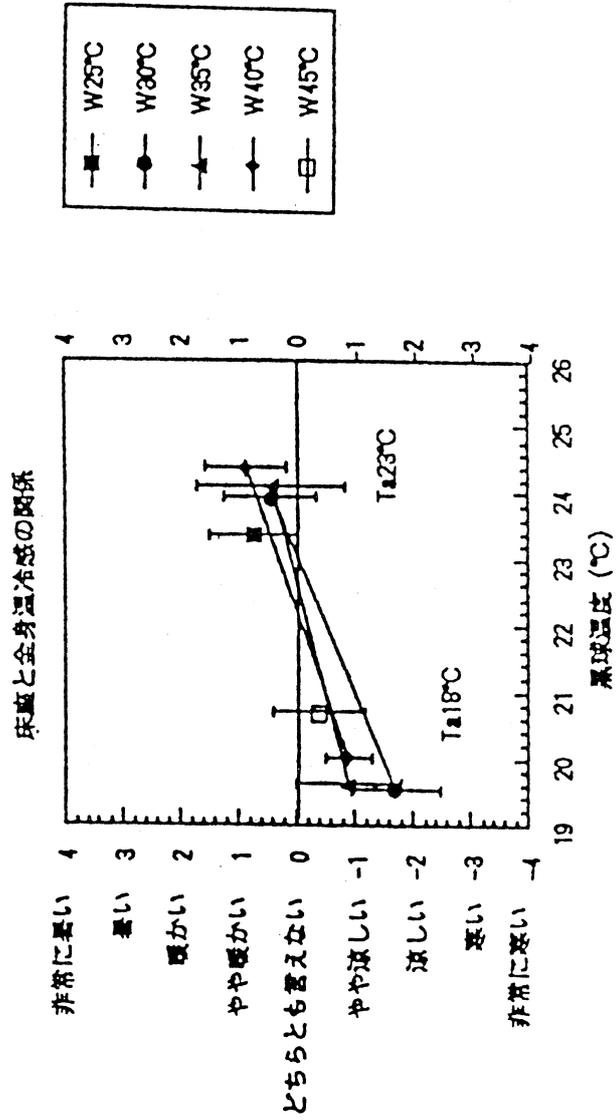


図22 実験結果(温冷感)

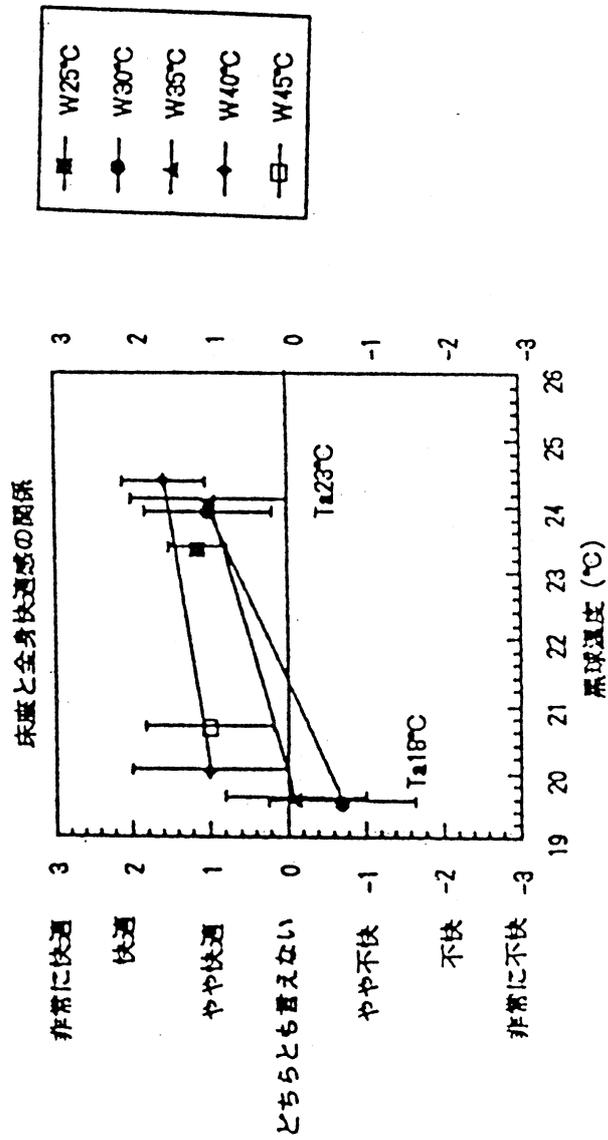


図23 実験結果(快適感)

5. 1. 2. サーマルマネキンによる評価技術の開発

(1) サーマルマネキン

1) はじめに

人間の感じる暑い寒いという温冷感は環境における温度、湿度、風速、放射温度の4つと、人体側における着衣量、代謝量の2つとの合計6つの要素によっておおよそ決まると考えられている。また、この6つの要素による熱の対流、放散、及び、伝導による総合的熱効果を測定する技術としてサーマルマネキンがある。

サーマルマネキンは人間の発熱状態を再現したマネキン人形である。身体がいくつかの部分で分割されており、それぞれの部分の温熱を独立してコントロール出来るシステムを持っている。現在は発汗機能、血液の循環による熱移動などの技術的に製作、維持が困難な機能上の問題がある。また、異なるタイプによる発熱位置の違いなどが指摘されている。

このように人体における生理現象が再現されていないため、サーマルマネキンによる測定は人間の被験者による実験から得られた経験、及び、知識に広く依存している。

しかしながらサーマルマネキンの有効性として、

- 発熱に関する反応を数値化できる
- マネキンであるので長時間の使用が可能で、被験者実験のような危険性がない
- 実験での測定において迅速で、正確で、そして、再現性がある
- 熱に対する反応の予測、及び、モデリングのために経済的な機器であるなどが挙げられる。

2) サーマルマネキン

今回の研究を行う上で参考としたサーマルマネキンはいくつかの種類がある。これらのサーマルマネキンはいくつかの種類に分けられ、まずマネキンを構成する素材の違いが上げられる。

当初は金属を用いられたものであったが最近ではプラスチックや、ウレタン材を用いたものもある。また、同じ素材であっても中身が中空であるものと中身が詰まっているタイプがある。

次に発熱方式の違いが挙げられ、深部発熱方式と表面発熱方式の2タイプがある。

最後に測定方法に関してはサーマルマネキンの皮膚表面直下の構造を左右するため重要と思われる。この温度センサとしては皮膚表面に埋め込むタイプと、サーマルマネキンを使用する際に表面に貼付するタイプがある。

以下に実例を記す。

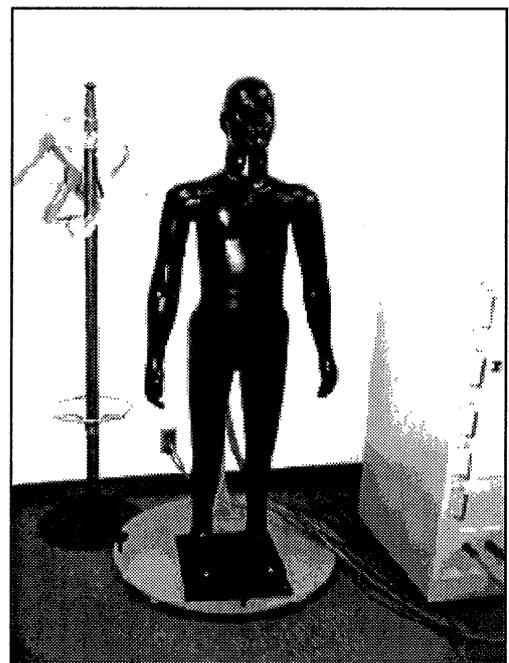


図24 京都電子工業サーマルマネキン

京都電子工業で制作されたものでアルミニウムを用いたサーマルマネキン¹⁾(図24)であり、中身は中空でありその中に発熱体を持つ内部発熱方式のものである。内部に温度制御用のセンサを持っておりこれによりサーマルマネキンの体温を制御している。このセンサは深部温を測定するためのもので皮膚表面の温度を測定するためには温度センサを使用前に貼付する必要があるタイプのものである。

このサーマルマネキンは金属製であるためかなりの重量があるため扱いには注意が必要となる。

Holmer らにより制作された AIMAN(図25)²⁾とよばれるサーマルマネキンである。発熱方法は表面発熱方式で抵抗線をマネキン表面に張りつけ、これによって発熱するものである。また、この発熱用の抵抗線のさらに1層上に測定用の抵抗線が貼り付けられており、この抵抗線に流れる電流の変化により温度を測定するものである。



図 2 5 A I M A N



図 2 6 サーマルマネキン B 2

上記に同じく Holmer らによって制作された B2(図26)と呼ばれるサーマルマネキンで未熟児をモデルにしたマネキンである。これは発熱用の抵抗線と測定用の抵抗線との2層からなっており、前者で発熱を行い、後者で測定を行うものである。

文化女子大学で製作された赤ちゃんタイプのサーマルマネキン(図27)³⁾であるが、このマネキンはプラスチックの外殻を持ちこの表面に発熱体である抵抗線を張りつけてある。外殻を持つために内部は中空である。また、測定用のセンサは発熱体に用いられている抵抗線を利用している。

また、このベビータイプのサーマルマネキンは発汗機能を持ったタイプのものである。

成人の女性を再現したサーマルマネキン(Chako と呼ばれる)(図28)⁴⁾もある。このマネキンは表面がアルミ合金鋳造製のもので内部は中空である。また、ボールベアリング機構からなる関節を股関節と膝関節にもっており姿勢変化が行えるようになっている。この部分にはジャバラ状の皮膚があり関節部位の動きに対応している。

皮膚表面に温度制御用ヒータがまかれサーミスタセンサが組み込まれている。



図27 発汗サーマルマネキン



図28 Chako

この他にも人体の部分のみを再現したサーマルマネキンがあり頭部のみ Thermal Head Model (Holmer and Nilsson 1997)⁵⁾ と呼ばれるものや Thermal Hand Model と呼ばれるものがありこれらのサーマルモデルは全身を再現したものよりもその部位に関してよりも細かく測定ができるように作られている。

また、おなじように下腿より下の部分を再現したサーマルマネキン(図29)も作られている(Kuklane 1995)⁶⁾。



図29 Foot Thermal Model

3) サーマルマネキンの用いられ方

サーマルマネキンは当初衣類の熱抵抗を測定するために作られたものである。しかし、最近では単純に衣類の熱抵抗を求めただけではなく様々な状況で用いられてきている。ここではその紹介を行う。

1994年に西村らは、姿勢変化による着衣熱抵抗の変化を測定するためにサーマルマネキンを用いている。これは単純衣類の抵抗値を測定するのではなく姿勢変化により同じ衣服においてどれだけの熱抵抗の変化が起こるかを測定したものである。ここでは姿勢変化とあるように用いられたサーマルマネキンはいくつかの関節において変形が可能である。この実験からは立位と椅座位において熱抵抗に変化が見られたとしている。⁷⁾

1996年に田辺らは、小型バス車室内温熱環境のサーマルマネキン、数値計算モデルによる評価においてサーマルマネキンと数値計算モデルを用いて得られた結果から温熱環境の評価を行っている。この実験では温熱環境における要因を制御できる人工気候室ではなく小型バス車室内という日常の生活において人間が接している温熱環境を実験の対象としている。⁸⁾

1999年に桑原らにより高風速域における人体対流熱伝達率の実測において高風速域という不均一温熱環境において実験を行っている。これは屋外では風速が1.0m/s以上になることが多く、これまで提案されてきた実験式では対処できないために新たな計算式を提案することを目的としている。人間の被験者を用いた実験では計算式を求めることは発熱量をもととした計算式を求めることは困難でありサーマ

ルマネキンをを用いることが適した実験であると思われる。⁹⁾

1995年にHolmer等により行われた車室内に関する快適性を評価することを目的とした実験がある。この実験では車両内においてサーマルマネキンをを用いて得られた結果と人間の被験者を用いて得られた主観評価による結果を比較したものである。この比較に用いられたサーマルマネキンが接する温熱環境の温度を表すためにEHT(Equivalent Homogenous Temperature)という値を用いて評価を行っている。この値を用いることにより車両内という不均一な温熱環境を評価することが可能であるとしている。また、この実験に用いられているサーマルマネキンは全身を36箇所分割しているものである。¹⁰⁾

1997年にThermal Manikin Testingで紹介されたMethods for handwear, footwear and headgear evaluationでは人間の手の部分を再現したサーマルマネキンと頭部を再現したサーマルマネキンをを用いて手袋と帽子の断熱性を評価した実験が行われている。この実験では身体の一部だけを覆う衣類を評価することを目的としている。この場合に全身を再現したサーマルマネキンでは不要な部分を動かす必要があり経済的ではないと思われる。このような部分だけを対象とした実験を行えることもサーマルマネキンの特徴である。⁵⁾

4) まとめ

サーマルマネキンは衣服の熱抵抗を測定するための機器として誕生し、この衣服の評価に関しては多くの実験が行われており規格としてISO9920¹¹⁾となっている。このISO-9920のよなISO規格の温熱環境を評価に関するものがISO-14505として現在規格化されつつある。

今回は前記の様々なサーマルマネキンを参考としサーマルマネキンの自主製作を行う。また、製作したサーマルマネキンをを用いて不均一温熱環境の評価を行うことを目的とした。これはサーマルマネキンをを用いることにより、ある温熱環境における反応を明確に数値化することが出来るという特徴を生かした実験である。そして、同じ実験が人間の被験者を用いた場合に評価が困難であることからサーマルマネキンをを用いた実験に適していると思われる。

(2) サーマルマネキンの製作

1) サーマルマネキン (Prot Baby)

ここでは乳児型のサーマルマネキンの作成を行い作成する時の注意点等を明らかにする。

- ① Head Front
- ② Head Back
- ③ Torso Front
- ④ Torso Back
- ⑤ Arm Right
- ⑥ Arm Left
- ⑦ Leg Right
- ⑧ Leg Left

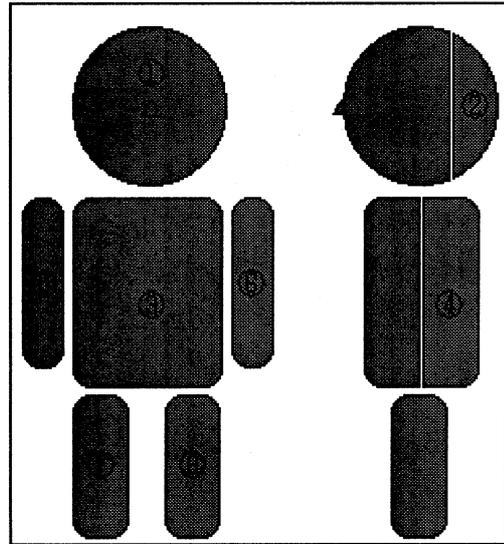


図 3 0 Prote Baby の分割状態

図 3 0 は乳児タイプのサーマルマネキンの分割部位を示したもので全身を 8 ヶ所に分割している。

発熱方式は表面発熱型で皮膚表面下のニクロム抵抗線により発熱している。また、温度測定に関しては皮膚表面に張ってあるニクロム抵抗線により各部分の表面全体の平均温度として測定できる。これにより形状として不規則な人体表面を点で測るのではなく総合的に測定が可能である。

この他の仕様に関する詳細を次に示す。

2) Prot Baby の製作

Prot Baby は次の図 3 1 に示した手順で製作された。

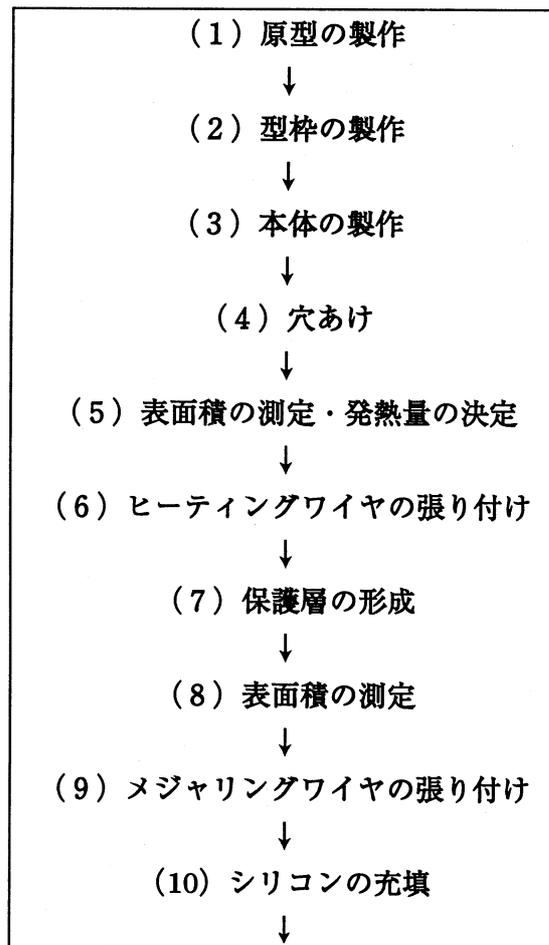


図31 Prot Babyの製作手順

a) 原形の製作

ここでは完成後のマネキンの形を決める原型の製作について述べる。サーマルマネキンの製作が始めてであることと、扱いやすさを考慮して生後6ヶ月頃の幼児を製作することにした。この原形のサイズを表18に記す。

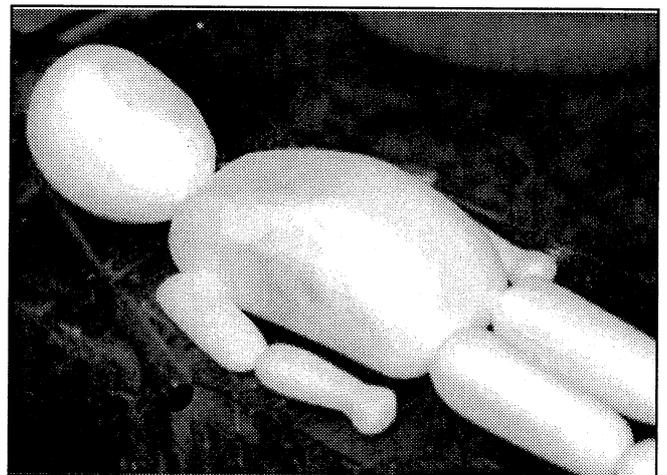


図32 原形接合前

表 1 8 Prot Baby 参考寸法^{1 2)}

身長	64.9cm (4 ヶ月～5 ヶ月)
股下	18.93cm (3～4 ヶ月)
最小腹囲項	34.43cm (11 ヶ月)
前腸骨棘高	27.11cm (3～4 ヶ月)
膝高	14.6cm (11 ヶ月)
ふくらはぎ高	11.87cm (1 年 1 ヶ月)
肩峰幅	14.6cm (11 ヶ月)
頸付根囲	23.82cm(3～5 ヶ月)
乳頭囲・胸囲	42.69cm (3～5 ヶ月)
腹囲	40.84cm (3～5 ヶ月)
殿囲	42.54cm (3～5 ヶ月)
上腕囲	14.61cm (3～5 ヶ月)
体幹垂直囲	69cm (3～5 ヶ月)
背部長	20cm (3～5 ヶ月)
腕間接囲	10.61cm (3～5 ヶ月)
掌囲	10.44cm (3～5 ヶ月)
外果高	2.7cm (3～5 ヶ月)
足長	2.23cm (3～5 ヶ月)
大腿囲	25.36cm (3～5 ヶ月)
ふくらはぎ囲	25.36cm (3～5 ヶ月)
頭囲	41.2cm (3～5 ヶ月)
体重	7.155kg (3～5 ヶ月)

原形の材料としてはウレタン材（ソリッドタイプ）を用いた。型紙を作り寸法を合わせ、やすりなどで削り、頭、両手、両足、胴体と合計 6 つのパーツに分けて作製した（図 3 2）。これらをエポキシ樹脂(接着剤)で接合したものが図 3 3 である。

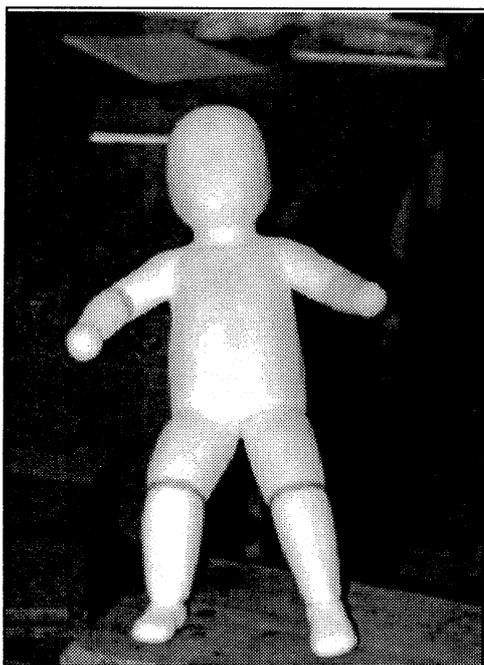


図 3 3 原形接合後

接合した人形をポリエステル樹脂（エステル）やサーフェスマット(グラスファイバー)でコーティングし、これを2～3層つけた（図3 4）。ポリエステル樹脂は硬化剤(パーメック)を混合することで硬化する。注意点としてこの硬化剤の量は普段 2%ぐらいであるが温度によって硬化剤の量を変えていく必要がある。夏場の作業では 1%ぐらいが良いと思われる。その他の諸条件や目的によって任意に比率を変える必要がある。サーフェスマットを貼り付けていくときも気泡が中に残らないように作業しなければならない。その後ペーパーとサンダーで平滑にした（図3 5）。



図 3 4 保護層の形成

この原形を用いていくつかの型枠を製作したい場合はポリエステル樹脂（エステル）やサーフェスマット(グラスファイバー)の保護層を厚くする必要がある。



図3 5 表面の研磨

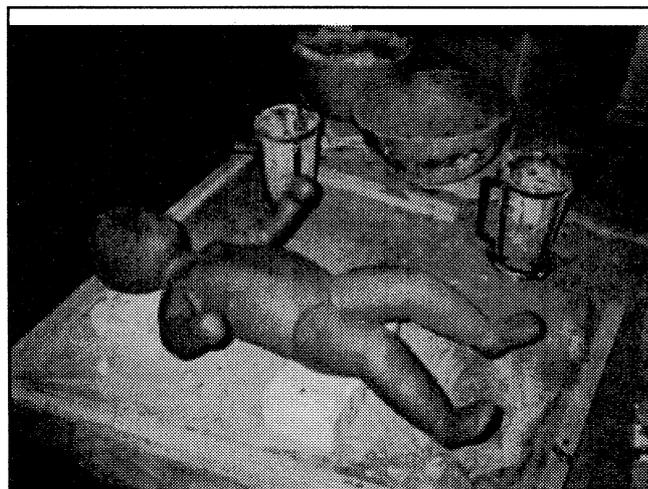


図3 6 アクリルラッカーパテ（赤錆）塗装後

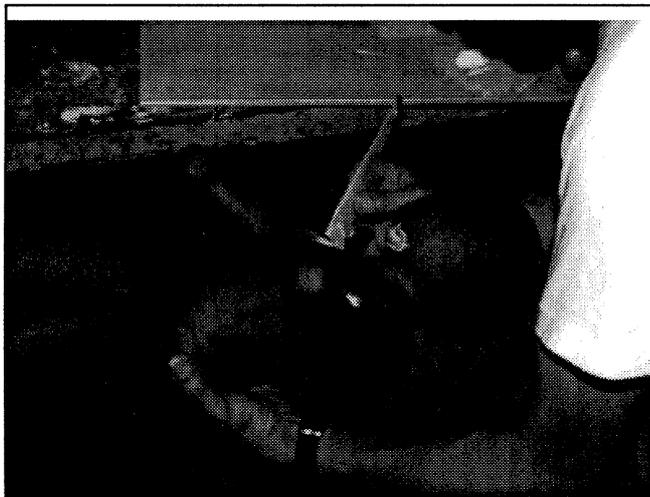


図 3 7 穴埋め作業

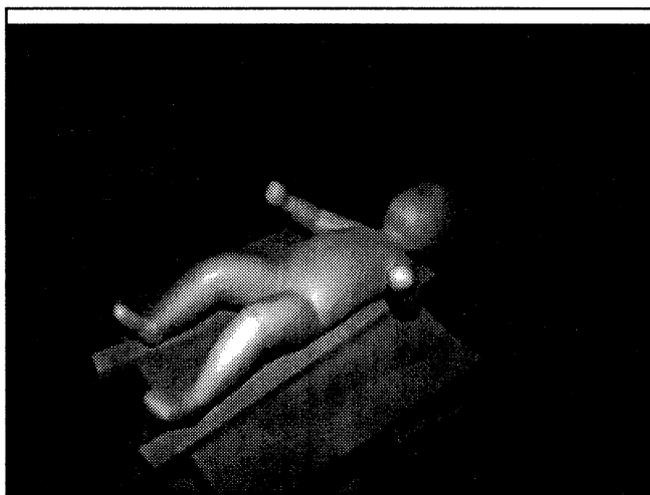


図 3 8 原型の完成

その上から次の加工がしやすいようにとアクリルラッカーパテ（赤錆）と呼ばれる薬品で表面を仕上げた（図 3 6）。このアクリルラッカーパテはウレタン材の小さな穴を埋めてしまう効果がある（図 3 7）。これは型枠作製において樹脂がこの穴に流れ込むのを防ぎ、型枠を抜きやすくする効果がある。また、塗装の効果もあり全体が錆色になった。このアクリルラッカーパテを 8 層塗りサンドペーパーで平滑にし、水磨ぎにより更に表面を均一にした。

層が薄いところにはポリパテを用い、その上にさらにアクリルラッカーパテをスプレーガンで噴射するという作業を 4～5 回繰り返した。

これらの作業が終了した後に、アクリルラッカーパテは非常にはがれ易いのでこの上から更にクリア（ラッカー・サーフェサー）といわれる薬品をスプレーガンで噴射した（図 3 8）。この時

点で表面が平滑でなければ次からの作業がより困難を極めると思われる。最後に表面をより滑らかに仕上げるためコンパウンドやワックスで仕上げた。全体的に原形作りの作業では、薬品を塗る→ペーパーがけ、及び、水磨ぎ→薬品塗りの繰り返しで、いかに皮を厚くせずに表面を滑らかに仕上げるかが大事なところである。

b) 型枠の製作

ここでは a) で製作したマネキンの原形を用いて型枠を製作する。

この型枠によりマネキンの本体を大量に、すばやく複製するためのものである。

まず、原型には型枠の分割に合わせて粘土の壁を製作、この形により型枠の分割を決める。

次に原型にポリエステル樹脂を塗り、これが乾いてしまう前にその上からポリエステル樹脂を用いてサーフェスマットを2重に貼り付ける。更にこの上にクロス（サーフェスマットより厚めのグラスファイバー）、その上にマット（クロスより厚めのグラスファイバー）を貼り付けた（図39、図40）。この時の貼付にもポリエステル樹脂を用いる。



図39 型枠の製作



図40 ポリエステル樹脂硬化前

今回製作した型枠は前後方向、上下方向に分割でき形状が複雑な上半身背部は更に左右に分割できるように製作した(図4 1)。また、薬品の投入口も同じ上半身背部に円形状に製作した。また、この型枠に使用したポリエステル樹脂は熱により変形するため、型枠の保存には注意が必要である。



図4 1 完成した型枠

c) 本体の製作

本体の製作には発泡ウレタンを用いた。この発泡ウレタンは非常に加工がやり易く、耐久性も程よく持ち合わせている優れた素材である。しかし、薬品が硬化するのが非常に速いため(1~2分で硬化を始める)迅速な作業を必要とする。

この作業を行う時には本体と型枠の取り外し易くするためにワックスやシリコンスプレーを用いて、互いの表面が接着しにくい状況にしておく必要がある。これはマネキン本体だけではなく型枠を傷つけないためでもある。

この時に発泡ウレタンを使用した際に型枠の各パーツを合わせる時ガムテープとクリップで合わせたのが、発泡により内部の熱と圧力がかなりのものであるため型枠自体も変形してしまった。完成した本体は数カ所で硬化不良を起こしており発泡ウレタンの加工し易いという特性が失われた部分があった(図4 2)。このように人形を一度で製作することは困難である。上半身と下半身を別々に製作し硬化後にボンドなどで接着する方法が望ましい。

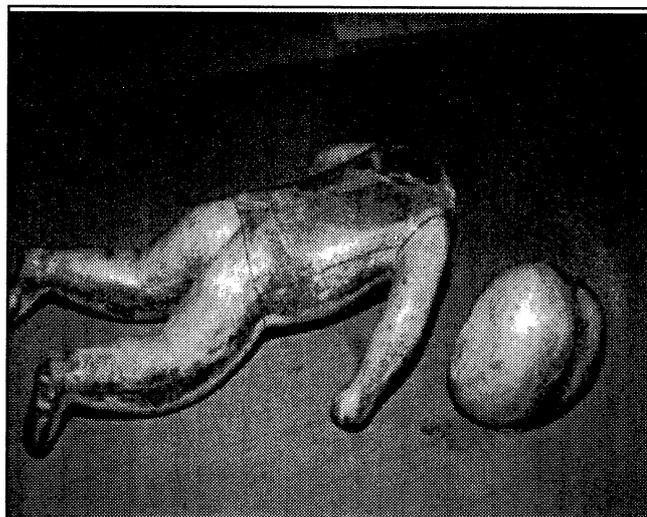


図4 2 完成後のマネキン本体

d) 穴あけ

出来上がったマネキンを首から切断し、胴体と頭部にケーブルを通すための穴を開ける。また、本体の強度を考えて直径3センチほどの穴が開ける。抵抗線とケーブルを接合するための穴も測定部位毎に1つずつ、合計8つの穴を開けた。

e) 表面積の測定・発熱量の決定

ここでの表面積の測定はマネキンの発熱量を決定するためのものである。今回使用した方法はテープを用いたものである。

まず、テープの単位面積当たりの重量を量り、その後マネキンの各部位の表面に隙間なく貼り付けた全テープの重量と比較して面積を割り出す方法である。この時用いるテープには後に取り外すことも考慮して粘着力の強くないものを使用した(図43)。

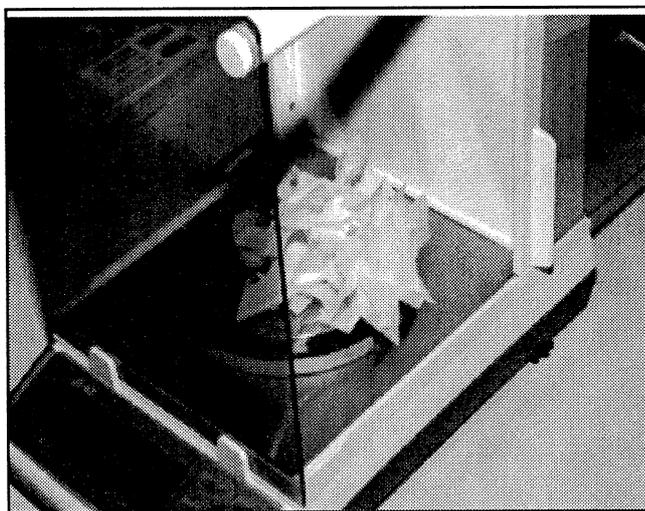


図43 テープの計量

次に発熱量の決定を行い、それに付随した電圧、電流、抵抗値、抵抗線の長さを求める。今回は0歳時の基礎代謝量を元に計算した。

●0歳時の基礎代謝量【1日あたりの単位体重に対する基礎代謝量】と年齢と性別の関係¹²⁾

表19 0歳時の基礎代謝量

	1975年	1979年
男性	59.0 kcal/kg/日	59.5 kcal/kg/日
女性	60.2 kcal/kg/日	60.6 kcal/kg/日

これを参考にして今回は60.0kcal/kg/日で計算した。
次の計算式に従い必要な値を求めた。

- ・ $60.0 [\text{kcal/kg/日}] \div 24 [\text{h}] = 2.5 [\text{kcal/kg/h}]$
 $1 \text{ kcal/h} = 0.86 \text{ W}$
- ・ $2.5 [\text{kcal/kg/h}] \times 0.86 [\text{W}] = 2.15 [\text{W/kg}]$
- ・ $7.155 [\text{kg}] \times 2.15 [\text{W/kg}] = 15.38 [\text{W/人}]$
- ・ $15.38 [\text{W/人}] \div 0.311 [\text{m}^2] = 49.48 [\text{W/m}^2]$

以上の計算式により Prot Baby の単位面積当発熱量は49.48[W/m²]。これより抵抗値、各部分の発熱量を求めた。電圧は全て10Vの設定で行った。

しかしながら、後の実験により発熱量が少ないため低温環境での実験が行えなかったために電圧を20Vに設定を変更したため次に記す表20・21では電圧が20V、発熱量が100W/m²となっている。表20、21では Prot Baby の詳細なデータを記す。

表20 Prot Baby のデータ

名前	表面積(m ²)	発熱量(W)	抵抗値(Ω)
Head Front	0.043	2.16	46.2
Head Back	0.014	0.72	139.6
Torso Front	0.049	2.43	41.2
Torso Back	0.032	1.61	62.0
Arm Right	0.028	1.40	71.4
Arm Left	0.028	1.39	71.8
Leg Right	0.056	2.79	35.8
Leg Left	0.058	2.89	34.6

表21 Prot Baby のデータ

名前	抵抗線の値(Ω)	抵抗線の径(mm)	貼付け長さ(m)	貼付け間隔(mm)
Head Front	10.8	0.35	4.29	10.2
Head Back	92.1	0.120	1.52	9.6
Torso Front	8.7	0.400	4.73	10.4
Torso Back	20.1	0.260	3.07	10.6
Arm Right	26.9	0.230	2.65	10.7
Arm Left	26.9	0.230	2.67	10.5
Leg Right	6.8	0.450	5.20	10.9
Leg Left	5.5	0.500	6.24	9.4

以上が Prot Baby のデータであり、この数値がサーマルマネキンの特性を決定するため、使用目的を考慮した上で割り振りが要求される。

f) ヒーティングワイヤの張り付け

各パーツ毎に表 20、21 で示した抵抗線（ヒーティングワイヤ）を貼っていく。ここで使用した抵抗線はニクロム線である。

まず全身に釘を打ち付けてそれに沿って決まった長さの抵抗線を表 21 に示した間隔で貼っていく（図 44）。

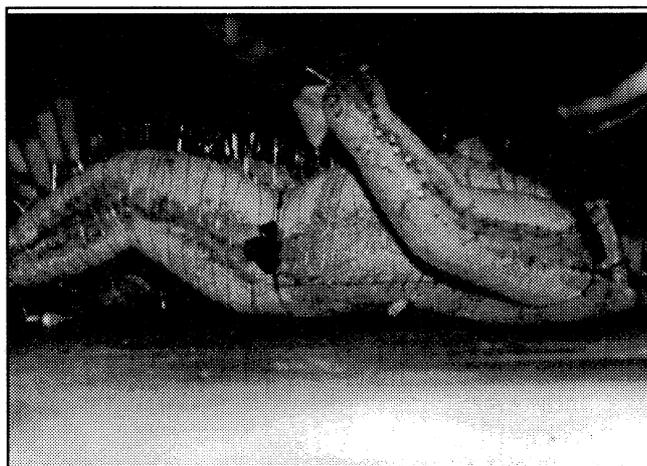


図44 ヒーティングワイヤの張り付け

抵抗線が浮きあがっているところは瞬間接着剤を使用して貼り付けを行った。一番貼り付けに困難であったのは頭部の後ろ、脇の下、股の下である。脇の下、股の下は隙間が狭く指が入らなかったため、頭部の後ろは抵抗線の径が細く断線しやすかったためである。

今回発泡ウレタンが予想どおりに発泡しなかったためこういう方法をとった。しかしながらこの方法では時間がかかりすぎることや、抵抗線が浮いてしまう等の問題がある。これらのことから瞬間的に硬化し、硬化後に硬度の高い接着剤を探す必要がある。

また、抵抗線自体が細いものを使用することも考えられる。

g) 保護層の形成

この作業はヒーティングワイヤーとメジャリングワイヤが接触しないために前工程の抵抗線を覆うものである。

まず、型枠作りなどで使用したポリエステル樹脂を用いて一層覆い。覆った後でヒーティングワイヤを張るために用いた釘を抜いた。この釘抜きの際にポリエステル樹脂と一っしょに抵抗線を剥がしてしまったため、3ヶ所ほど断線が生じた。断線した箇所はヒューム管を用いて修理したので問題はない。

この後、さらにポリエステル樹脂にプラスティック粉末を混ぜたものを全身に塗装。この粉末

は樹脂の流動性を弱めるためのものである。樹脂のみであると流動性が強く流れ落ちてしまうため、硬化後に凹凸を削る作業が多くなってしまうためである。2層形成した後に表面を平滑にするためにペーパーがけを行った。ここでのペーパーがけは樹脂と共に抵抗線も削りとりてしまわないように注意が必要である（図4 5）。

次にシリコンでコーティングを行った。シリコンとポリエステル樹脂は接合しないためシリコンバインダーという薬品を用いてシリコンが接着できるようにした。今回使用したシリコンはペースト状のものではなく液状のクイックシリコンを使用した（図4 6、4 7）。

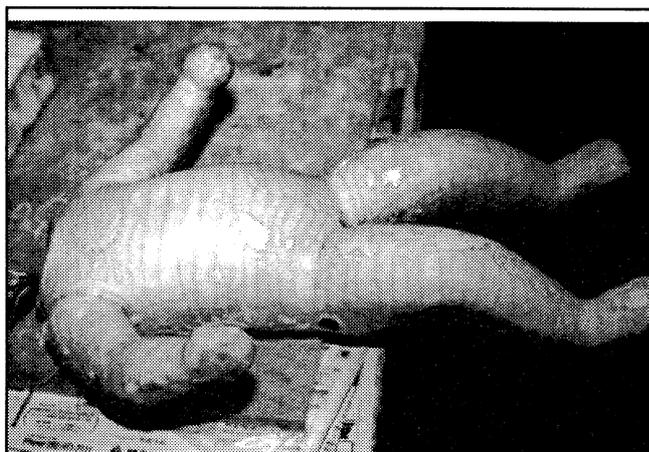


図4 5 ポリエステルでヒーティングワイヤをコーティング



図4 6 シリコンでのコーティング後の胴体



図47 シリコンでのコーティング後の頭部

h) 表面積の測定

ここでの表面積の測定は6) で得られた結果での誤差を確認する目的と、最終的にコンピュータに打ち込む数値を得るためのものである。

用いた方法は6) で使用したものと同一方法である。

i) メジャリングワイヤの張り付け

今回使用した温度センサ(メジャリングワイヤ)用の抵抗線はカンタル線と呼ばれる物である。抵抗値はすべて $119\Omega/m$ であり、それぞれに必要な長さは $0.9243m$ である。このメジャリングワイヤはある程度粗に張って良い。ただし、ヒーティングワイヤと交差するようにしながら全体に張り付ける(図48)。

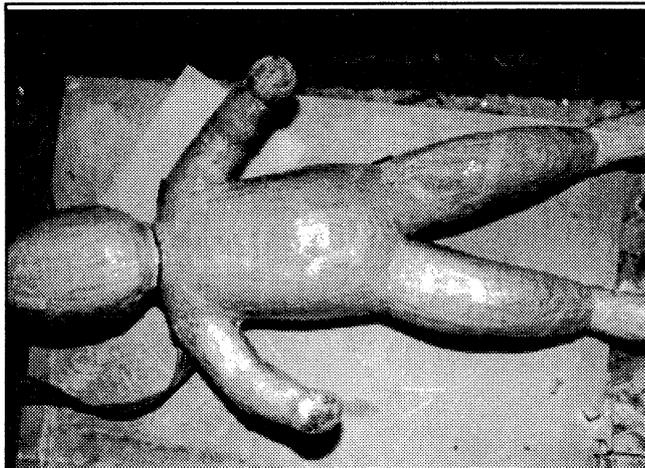


図48 メジャリングワイヤの張り付け後

これはマネキンの表面の温度を測る抵抗線である。この抵抗線により表面温度を局部的ではなく表面全体の平均温度として測ることが可能である。

抵抗線を直接シリコンの上に接着することはできないためマネキンの表面にシリコンバインダーを塗りこみ、十分に乾いた後でサージカルテープを用いて貼り付けていった。ここで用いた抵抗線はヒーティングワイヤに用いられた他の抵抗線に比べて非常に細く、切断しないように気をつけなければならない。次の表 2 2 はメジャリングワイヤの各部位ごとの間隔を示している。

表 2 2 メジャリングワイヤの張り付け間隔

部位	抵抗線の間隔(mm)
Head Front	33.4
Head Back	11.1
Torso Front	37.4
Torso Back	24.9
Arm Right	21.6
Arm Left	21.5
Leg Right	43.1
Leg Left	44.6

j) シリコンの充填

ここではヒーティングワイヤ、及び、メジャリングワイヤとケーブルを接続するための穴を埋めこむためにシリコンの充填である。穴があいたままではヒーティングワイヤとメジャリングワイヤが接触したり断線する危険性があるために行った。シリコンであれば取り外しが容易にできるためである。図 4 9 は完成したマネキンである。

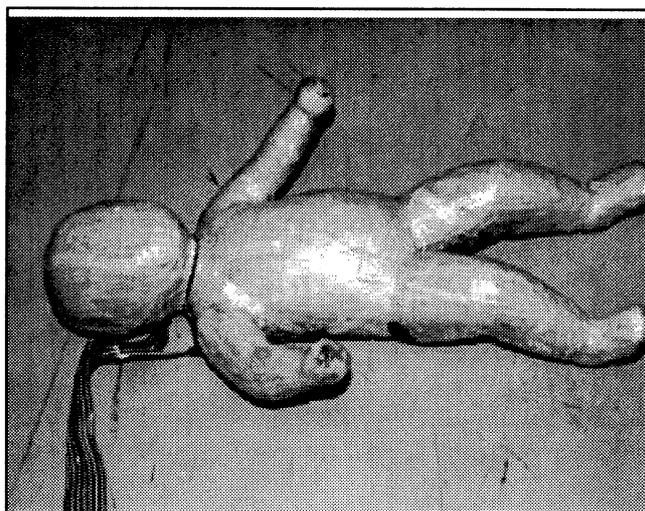


図 4 9 Prot Baby の完成

3) まとめ

このサーマルマネキンは初めて製作したものであり、製作中やその後に多くの問題点が明らかになった。

- メンテナンスのし難さ

これは今回の製作方法ではケーブルの断線など内部での故障の修理には適していない。故障の1番の原因としては抵抗線の断線である。また、内部のケーブルの断線に対しては完全に接着部位を取り外す必要がある。

- 測定用抵抗線の熱抵抗率の低さによる実験データの不明瞭さ

今回使用した抵抗線では熱抵抗率が低く温度上昇による抵抗値の変化が鈍かった。このために日々の抵抗値の変動と明らかな差が出ない結果となり、今回の不明瞭さの結果となったといえる。この問題は熱低効率の高い抵抗線を張り付けることにより解決した。

- 本体の発泡ウレタンの硬度

これは本体に使用した発泡ウレタンが発泡不良のため結晶化を起こしてしまった。この結晶化した部分は他の部分よりも重く、柔軟性がなくなっている。

(3) サーマルマネキンによる不均一温熱環境評価理論

1) はじめに

人間を取り巻く温熱環境として気温、湿度、風速、放射温度があり人間側の要因として発熱量そして着衣量がある。これらの要因は単独では測定可能である。衣類などはclo値として評価されることが知られている。しかしながら、これらの要因を総合的に評価することは単独でそれぞれの要因を測定するだけでは組み合わせが無限となり評価することは困難である。また、人間の被検者を用いた場合も明確に数値化できないために困難である。そこでサーマルマネキンを用いることにより様々な要因の組み合わせからなる日常の温熱環境を明確な数値として表すことが出来る。そしてそのデータを人間の被検者を用いて得られたデータと比較することにより温熱環境を評価することが出来る。また、今回の評価法について二つの規格を参考にした。

ISO/NP 14505¹³⁾では車内空間の温熱環境を評価するためにEquivalent Temperature (ET) という指標を用いてある。この規格では評価の方法としてサーマルマネキンが用いられている。

EU-project SMT4-CT95-2017¹⁴⁾においても車両内での温熱環境を評価するために上記のETを用いられている。ここで用いられている方法はISO/NP 14505でも用いられる方法を含んでいるものである。

ここでは今回の実験を行う上で用いる計算式と、温熱環境の評価方法について示す。

2) ISO/NP 14505¹³⁾

a) 導入

ISO（国際標準化機構）は、多くのIS（国際標準規格）を製作しており、我が国でも、最近、ISを積極的に標準規格として採用することが決定されている。なかでも、ISO/TC159（人間工学）/SC5（環境人間工学）/WG1（温熱環境）の専門家委員会は、多くの国際標準規格(PMV等)を製作した実績がある。同専門家委員会は、新しいISとして、ISO/NP14505: Evaluation of the thermal environments in vehicles（車両内の温熱環境評価）の製作を試みている。これは、従来評価が難しかった、車両内（乗用車、トラック、列車、飛行機をも含む）の温熱環境の評価を、サーマルマネキンで行い、その評価法の基準を提案するものである。

b) 温熱環境

ISO/NP14505では、暑熱環境や寒冷環境では従来のIS（7243、7933、TR11079）を使用し、中等度の環境でも、均一な環境では従来のIS（7730）を使用することを定義している。しかしながら、車両内では、このような均一な温熱環境は希である。例えば、車両のエアコンは空調機として強力であるために送風口の位置や、向きによって身体部分により影響の程度が異なる。また、太陽による放射の影響や、窓の開放による風などの自然の影響もあり、車両内の温熱環境が不均一になることの方が多い。次に温熱環境を構成する要因をあげる。

放射

車両内において、太陽による放射の影響はきわめて重要な要素である。最終的な効果は窓ガラスの場所や、壁材、車両内の広さ、車両の色などによって決まってくる。もっとも重要なものはガラス窓をすり抜けドライバーに直接当たる日光である。太陽が頭上にあるときはその影響を受ける範囲が小さいが、太陽が低くなってくると最近の自動車はフロントガラスが大きいこともあり影響される範囲は広がる。

風速

車両内において風は珍しいものではない。運転しているときに窓を開けていたり、HVACシステムによっても風は起きている。風のあたっている部分とそうではない部分とでは冷やされ方に違いが出てくる。

蒸発による熱移動

湿度に関しては車両内においては、ほぼ均一な状態にある。よって、測定点は一箇所で充分であろう。高い放射や、対流により蒸発による熱移動は影響を受けるが、その程度は小さい。

産熱量

ドライバーや乗客の産熱量はシートなどに着座しているが、ある程度の産熱量を発生すると思われる。そして、この産熱量の値は、どのような道路を走行するかによって違いが生じてくると思われる。

衣服の断熱性

車両内の衣服の断熱性は、シートに座ることにより空気層が圧縮されるなどして幾分低下するが、シートそのものの断熱性があるので一方では増加する。

衣服の断熱性に関しては、従来のISO-9920のclo値が規格化されている。

Equivalent Temperature

Equivalent Temperature (ET) は気温、放射、風速、湿度などにより影響を受けている温熱環境を一つの値としてあらわすものである。このETを用いた環境評価法を図50に示す。

まず、均一な環境（気温と放射温が同じであり、風速0.05メートル以下、湿気50%の環境）での被験者を用いた主観評価や体温計測を行うことにより、ある温度でヒトが感じる感覚（暑い、寒い、涼しい、暖かい、快適など）を設定する。

次に、ヒトが発するある不均一な環境下（夏に直射日光の当たるクーラーのきいた部屋など）での熱量と同等の均一な環境下での発熱量を比較することにより、不均一な環境をETという値で表すことができる。

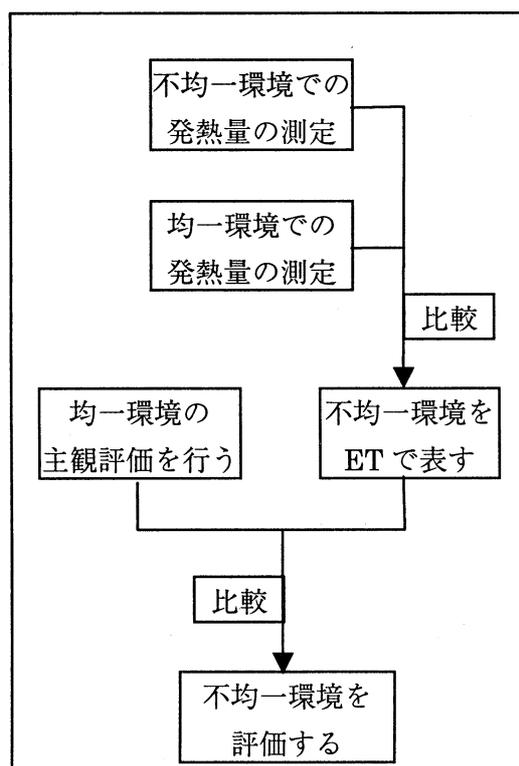


図50 ETによる車両内の温熱環境評価法のしくみ

最後に、ETを前もって評価した均一環境のある温度（ET）での感覚と比較することにより不均一な環境を評価する。

このようにさまざまな要因により評価しにくい不均一な環境がETを用いることにより評価を行うことができる。

c) ISO/NP14505の特徴

ISO/NP14505は従来までの暑熱環境（ISO 7243、ISO7933）、寒冷環境（ISO/TR11079）、快適環境（ISO7730）に関する評価法のような不特定の空間の評価と違い、対象を車内空間と限定している。また、温熱環境を先のEquivalent Temperature（ET）という指標であらわす点が特徴的である。そして、もう一つ特徴が温熱環境の評価に被験者の代わりにサーマルマネキンを使うところである。

最後にこの規格で用いられている理論や式は後に示す。

3) EU-project SMT4-CT95-2017

前記のISO/NP14505と違い、この規格では測定の手段としてサーマルマネキンだけではなく温度センサーをマネキンの表面に貼付したものや、コンフォートメータを身体形状にあわせて配置したものなどに分けられている。このようにサーマルマネキン以外のセンサを利用して温熱環境を評価するようにしている。そこでサーマルマネキン以外のセンサを利用していることから先に示したETについてもそれぞれのセンサについて異なるETを設定している。

この規格ではETについて具体的な数値を求め、この数値をもとに環境を評価している。このETに関する数式は後に記述する。

最後にこの規格で使用されている手法や手順はISO14505が最終的に規格化されるときにも用いられるものと思われる。そのため、この規格で温熱環境を決定する要因は先に記したISO/NP14505と同じものである。

この規格で用いられているETに関する計算式は次の実験に用いられる式に示す。

4) 実験に用いられる計算式

サーマルマネキンは人間の代替として、もしくは、人間でははっきりとした値がでないことや、再現性に乏しいという問題点を解決するための機器であり、その用途は衣類の断熱性の評価、温熱環境の温冷感の評価などである。

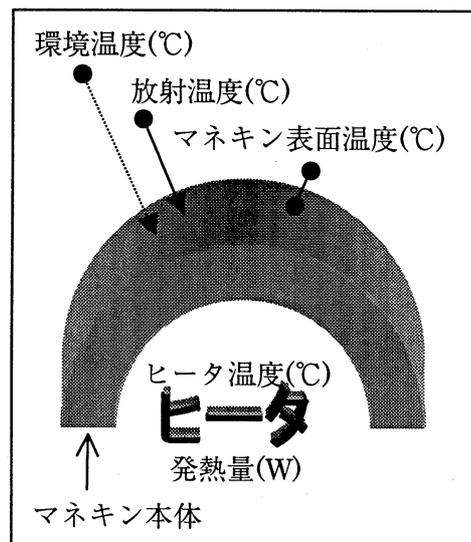


図51 サーマルマネキンと環境の相関図

サーマルマネキンを測定する要因としては左の図51のように環境温度、放射温度、マネキン表面温度、ヒータ温度、及び、発熱量が上げられる。

これらの要因を測定するに当たり t_a 、 t_r は環境からの影響であり、 Q は消費された電力量によ

り計測可能である。 t_h は京都電子工業のマネキンに必要なものであるが内部センサにより計測。最後に t_{sk} はサーマルマネキンの表面温度であり皮膚温度とみなしている。また、この計測にはサーミスタなどの温度センサーを実験時に貼付するタイプと、表面に張りつけてある抵抗線の抵抗値の変化により計測するタイプがある。前者は点での測定となり、後者は面での測定となり全表面の平均値として測定している。

また、以下には主に温熱環境の温冷感の評価を目的として使用される式を記す。

熱抵抗¹⁵⁾：

サーマルマネキン自体の持つ熱抵抗や、その他の目的の熱抵抗を求める場合に用いる。

$$I_m = \frac{t_{sk} - t_a}{Q/S_m}$$

- I_m ；熱抵抗
- t_{sk} ；表面（皮膚）温度
- t_a ；環境温度
- Q ；発熱量
- S_m ；マネキンの表面積

全体の熱損失の合計からの熱抵抗（prEN 342：1995）¹⁶⁾：

サーマルマネキンの熱損失を全体の熱抵抗から求めるもの。

$$I_{t,r} = \frac{\left\{ \left(\sum_i f_i \times T_{si} \right) - T_a \right\} \times A}{\sum_i H_{ci}}$$

$m^2\text{°C}/W$

$$f_i = \frac{a_i}{A}$$

- $I_{t,r}$ ；熱抵抗
- T_{si} ；部分での表面（皮膚）温度
- T_a ；環境温度
- H_{ci} ；部分での発熱量
- a_i ；部分の表面積
- A ；全表面積

部分の熱損失の合計からの熱抵抗（prENV 342：1997, prEN 342：1995）¹⁶⁾：

サーマルマネキンの熱損失を部分の熱損失から求めるもの。

$$I_{t,r} = \sum_i f_i \left(\frac{(T_{si} - T_a) \times a_i}{H_{ci}} \right)$$

$\text{m}^2\text{C}/\text{W}$

$$f_i = \frac{a_i}{A}$$

- $I_{t,r}$; 熱抵抗
- T_{si} ; 部分での表面（皮膚）温度
- T_a ; 環境温度
- H_{ci} ; 部分での発熱量
- a_i ; 部分の表面積
- A ; 全表面積

もしくは、

全身の熱抵抗¹⁷⁾ :

上記とは別の方法であり、各部分での熱抵抗を合計するもの。

$$I_m = \frac{\overline{t_{sk}} - \overline{t_a}}{Q / S_m}$$

$$= \sum_i \frac{Q_i}{Q} \times I_{mi}$$

ただし、 $Q = \sum_i Q_i$ 、 $S_m = \sum_i S_{mi}$ 、 $\overline{t_{sk}} = \sum_i t_{ski} \times \frac{S_{mi}}{S_m}$ 、

$$\overline{t_a} = \sum_i t_{ai} \times \frac{S_{mi}}{S_m}$$

- I_m ; 全身の熱抵抗
- $\overline{t_{sk}}$; マネキン平均表面（皮膚）温度
- $\overline{t_a}$; 環境温度
- Q ; 発熱量
- S_m ; マネキンの表面積
- Q_i ; 部分での発熱量
- I_{mi} ; 部分での熱抵抗
- S_{mi} ; 部分の表面積
- t_{ski} ; 部分での表面（皮膚）温度
- t_{ai} ; 環境温度

熱損失¹⁷⁾：

今回参考にしたサーマルマネキンでは供給される電力消費がそのまま熱損失であると考えられることから使用はしないが、式であらわすと下記のようなになる。

$$Q_{meas} = h_c(T_s - T_a) + h_r(T_s - T_r) + h_k(T_s - T_k)$$

- Q_{meas} ；実際の条件で測定された熱損失
- h_c ；対流熱伝達係数
- T_s ；マネキン表面（皮膚）温度
- T_a ；空気温度
- h_r ；放射熱伝達係数
- T_r ；環境の主要放射温度
- h_k ；伝導熱伝達係数
- T_k ；接触部分の表面温度

E T (Equivalent Temperature) 値¹⁸⁾：

不均一な環境をE Tという一つの値に置き換える場合に使用する。

$$Q_{EQ} = h_{cl}(T_s - T_{EQ})$$

$$T_{EQ} = T_s - \left(\frac{Q_{meas}}{h_{cl}} \right)$$

- Q_{EQ} ；一定の標準環境での熱損失
- h_{cl} ；乾燥状態での熱伝達率
- T_s ；マネキン表面（皮膚）温度
- T_{EQ} ；均一環境温度
- Q_{meas} ；実際の条件で測定された熱損失

室内環境温冷感の評価¹⁾：

人の感じる暑い、寒いという温冷感は環境における温度、湿度、風速、放射温度の4つと、人体側における着衣量、代謝量の2つ、合計6つの要素によって決まると考えられている。特に人の温冷感は人体からの発熱量（代謝量）に依存していると考えられている。

不均一な環境下においても人体各部位からの発熱量が計測できれば温冷感評価が行えると考えられる。そこで、E T (Equivalent Temperature) を用いる方法が考えられる。実際の不均一な温熱環境と人工気候室などで実現可能な均一な温熱環境でのそれぞれの発熱量と T_{EQ} とを結び付けるものである。

T_{EQ} とは均一温熱環境下（環境温度と放射温度が等しく、静穏気流0.05 m/h、相対湿度5

0%、上下温度差のない環境)での作用温度と定義されている。

・マネキンの発熱量と均一温熱環境下の作用温度との間には比例関係があるため

$$\frac{Q}{S} \propto T_{EQ} \quad \dots \textcircled{1}$$

・また、マネキンの全発熱量は各部分の発熱量の総和なので $Q = \sum Q_i$ より

$$\begin{aligned} \frac{Q}{S} &= \sum_i \frac{Q_i}{S} \\ &= \sum_i \left(\frac{S_i}{S} \right) \times \left(\frac{Q_i}{S_i} \right) \quad \dots \textcircled{2} \end{aligned}$$

・そして、発熱量と作用温度には比例関係があることより、部位毎の $E T_i$ を考えると。

$$\frac{Q_i}{S_i} = A_i \times T_{EQi} + B_i \quad \dots \textcircled{3}$$

と仮定すると、

$$\frac{Q}{S} = \sum_i \left(\frac{S_i}{S} \right) \times (A_i \times T_{EQi} + B_i) \quad \dots \textcircled{4}$$

よって、 A_i 、 B_i が分かれば式④より部位ごとの $E T_i$ を求めることができる。

$$T_{EQi} = \left(\frac{Q_i}{S_i} - B_i \right) / A_i \quad \dots \textcircled{5}$$

このような実際の温熱環境の評価にはヒータ温度を一定にしたサーマルマネキンを用いる。まず、あらかじめ調べてあるサーマルマネキン固有の式④と、そのマネキンの発熱量の計測による値との計算によって、各部位の T_{EQi} 、また、全身についての T_{EQ} を求めることができる。

そして、均一環境下での臨床結果と比較することにより快適性の評価を行うことができる。

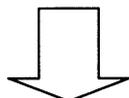
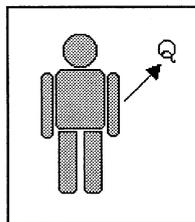
次にこのことを図52に示す。

1. 人工気候室 (均一温熱環境)

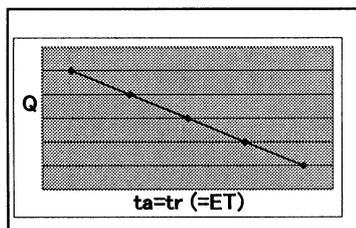
$$t_a = t_r$$

50%RH

$$V_{air} = 0.05 \text{ m/s}$$



2. 人工気候室での発熱量と作用温度との関連付け

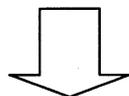


Q: 人工気候室でマネキンを一定温度に保つのに必要な発熱量

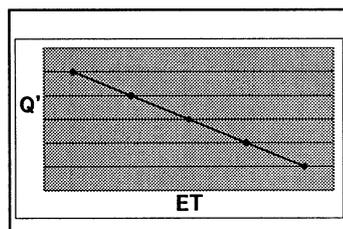
t_a : 気温

t_r : 放射温

ET: 作用温度

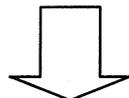


3. 実際の空間での発熱量と作用温度との関連付け



Q': 実際の空間での発熱量

Q'からETを求める。

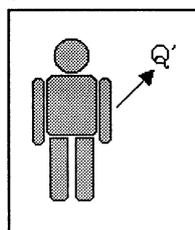


4. 実際の温熱空間

$$t_a \neq t_r$$

X%RH

$$V_{air} = X \text{ m/s}$$



- Q ; 全身の発熱量 (W)
- S_i ; 部分の表面積 (m²)
- S_m ; マネキンの表面積 (m²)
- A_i ; 比例定数
- Q_i ; 部分での発熱量 (W/m²)
- B_i ; 定数

図 5 2 不均一温熱環境の評価

Different equivalent temperatures¹⁴⁾ :

ここでのETは使用されるセンサによって、Whole body equivalent temperature、Segment equivalent temperature、Directional equivalent temperature、Omnidirectional equivalent temperature の4つに分けられている。この4つの中でサーマルマネキンを用いている2つを次に示す。

Whole body equivalent temperature

$$t_{eq,whole} = t_{sk,whole} - Q_{whole} / h_{cal,whole}$$

$$t_{sk,whole} = \sum (t_{sk,n} * A_n) / \sum A_n$$

$$Q_{whole} = \sum (Q_n * A_n) / \sum A_n$$

$$h_{cal,whole} = Q_{whole,cal} / (t_{sk,whole} - t_{a,cal})$$

- t_{eq, segment} ; 均一環境での気温
- t_{sk, whole} ; サーマルマネキン全身表面温度
- Q_{whole} ; 全身発熱量
- h_{cal, whole} ; 熱伝達係数
- t_{sk, n} ; サーマルマネキン部分表面温度
- A_n ; サーマルマネキン部分面積
- Q_n ; サーマルマネキン部分発熱量
- Q_{whole, cal} ; 全身発熱量
- t_{a, cal} ; 熱伝達係数確定時の気温

Segment equivalent temperature

$$t_{eq,segment} = t_{sk,segment} - Q_{segment} / h_{cal,segment}$$

$$t_{sk,segment} = \sum (t_{sk,n} * A_n) / \sum A_n$$

$$Q_{segment} = \sum (Q_n * A_n) / \sum A_n$$

$$h_{cal,segment} = Q_{segment,cal} / (t_{sk,segment} - t_{a,cal})$$

- $t_{eq, segment}$; 均一環境での気温
- $t_{sk, segment}$; 部位サーマルマネキン全体の表面温度
- $Q_{segment}$; 全体発熱量
- $h_{cal, segment}$; 熱伝達係数
- $t_{sk, n}$; 部位サーマルマネキンの部分表面温度
- A_n ; 部位サーマルマネキンの部分面積
- Q_n ; 部位サーマルマネキンの部分発熱量
- $Q_{segment, cal}$; 全体発熱量
- $t_{a, cal}$; 熱伝達係数確定時の気温

最後に変換比を記す。

$$1 \text{ W} = 0.86 \text{ kcal/h}$$

$$1 \text{ Met} = 50 \text{ kcal/m}^2 \text{ h} = 58.4 \text{ W/m}^2$$

$$1 \text{ clo} = 0.18 \text{ m}^2 \text{ h}^\circ\text{C/kcal} = 0.155 \text{ m}^2\text{C/W}$$

5) まとめ

ここではサーマルマネキンを用いる上で必要となる計算式と温熱環境を評価するために用いるものを示した。前者に関してはすでに確定したものであるが、後者に関しては、まだ確定されていないものもあり、最終的に温熱環境を評価するのは人間であるために人間の被検者を用いた実験で得られた結果により変更されることが考えられる。

(4) サーマルマネキンによる不均一温熱環境評価実験

1) はじめに

今回行った実験では自主制作したサーマルマネキンの試運転を兼ねたものである。(3)に示した2つの規格は評価する手段としてサーマルマネキンを用いていることから、サーマルマネキンの起動実験を行う上で温熱環境の評価を行うこととした。(2)で制作したPBを用いて実験を行った。

この実験は人間が日常生活でふれている不均一温熱環境が均一温熱環境でどれくらいの気温に

相当するのかを評価するものである。人間の被験者を用いた場合では、ある温熱環境における被験者の反応を明確な数値として得ることが困難である。そこで、ここで行う実験はサーマルマネキンの特徴である発熱量を明確な数値として得ることができるという特徴を生かすために行ったものである。

今回実験を行う上で用いる計算式については(3)に記す計算式を用いた。また、温熱環境の評価方法についても前記に従った。

2) 測定場所

実験は特殊生態実験室の人工気候室4番で(九州芸術工科大学)において1999年に行った。実験風景の写真を図53、図54に示す。

サーマルマネキンは仰向けの状態でタオルを二つ折りにしたものの上に寝かせてある。また、高さを出すために高さ約80cmの机と高さ約20cm網目状の台の上に設置した。そして、これらは人工気候室内の中央に置かれた。温度計はサーマルマネキンと同じ高さに設置した。この温度計から得られる気温はサーマルマネキンの各部位での体温の測定タイミングと同じ間隔でパソコンに記録され、同じに体温を34℃で一定に保つように制御を行った。サーマルマネキンの配置は本実験において全て同じ状態で行った。

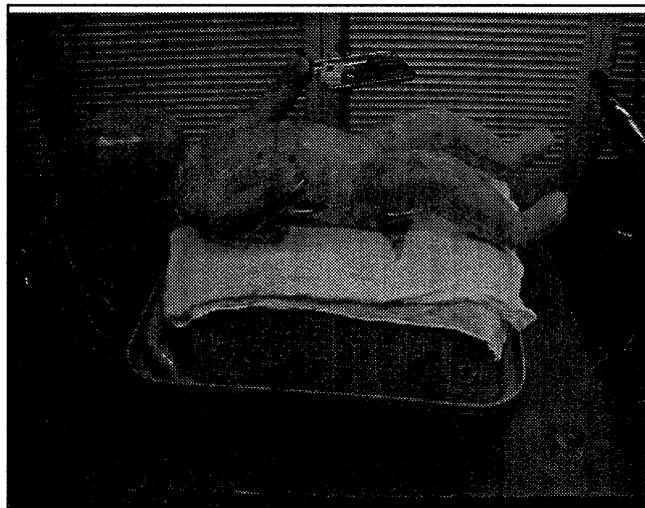


図53 裸体時実験状況

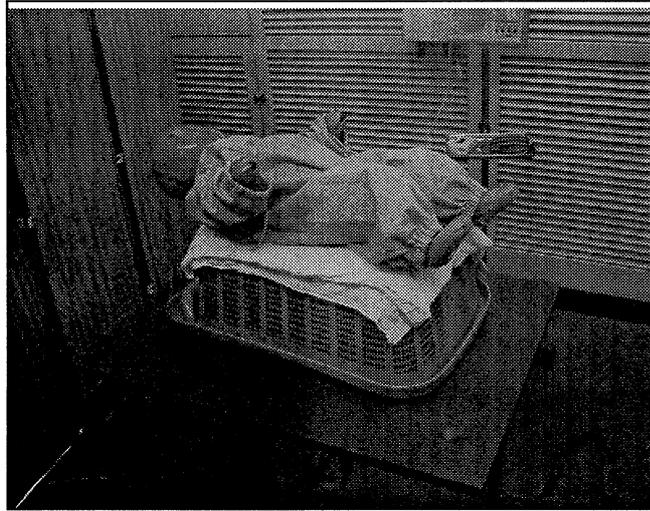


図 5 4 着衣時実験状況

3) PBを用いた実験

今回の実験で使用したサーマルマネキン(2)で示したPBと呼ばれるサーマルマネキンで生後6ヶ月の幼児をモデルにしたサーマルマネキンである。これはヒーティングワイヤと呼ばれる発熱用の抵抗線とメジャリングワイヤと呼ばれる測定用の抵抗線との2層からなっており、前者で発熱を行い、後者で測定を行っている。詳細は(2)を参照のこと。

また、このサーマルマネキンは全身を8箇所に分割されており、それぞれの部分を独立して制御することが可能である。それぞれの部位は温度をある一定の温度に保つ一定温度制御と、ある一定の発熱量に保つ一定発熱量制御が可能である。今回は表面温度を34℃とした。

a) 均一温熱環境

ここでの均一温熱環境は放射温度が気温と同等、風速は0.05 m/s以下、湿度を50%の状態である環境とした。これら以外の条件については気温を22℃、24℃、26℃、28℃、30℃の5条件とした。また、着衣条件を裸と着衣の2条件とし合計10条件の実験を行った。これらについてPBを用いて結果を得た。

設定条件をまとめたものを表23に記す。

表 2 3 均一温熱環境の設定条件

Case	気温 (°C)	着衣条件
0	22	裸体
1	24	裸体
2	26	裸体
3	28	裸体
4	30	裸体
5	22	着衣
6	24	着衣
7	26	着衣
8	28	着衣
9	30	着衣

b) 均一温熱環境での測定結果

以上の条件により行われた実験結果を図 5 5、図 5 6 に示す。 図 5 5 は裸体時の結果で、図 5 6 は着衣条件での結果である。

この結果は同じ着衣条件において温度と発熱量を関連させたグラフで身体各部と全身において近似直線とその関数の式を得たものである。ここで得られた公式は不均一温熱環境の結果を得たときに使用する。

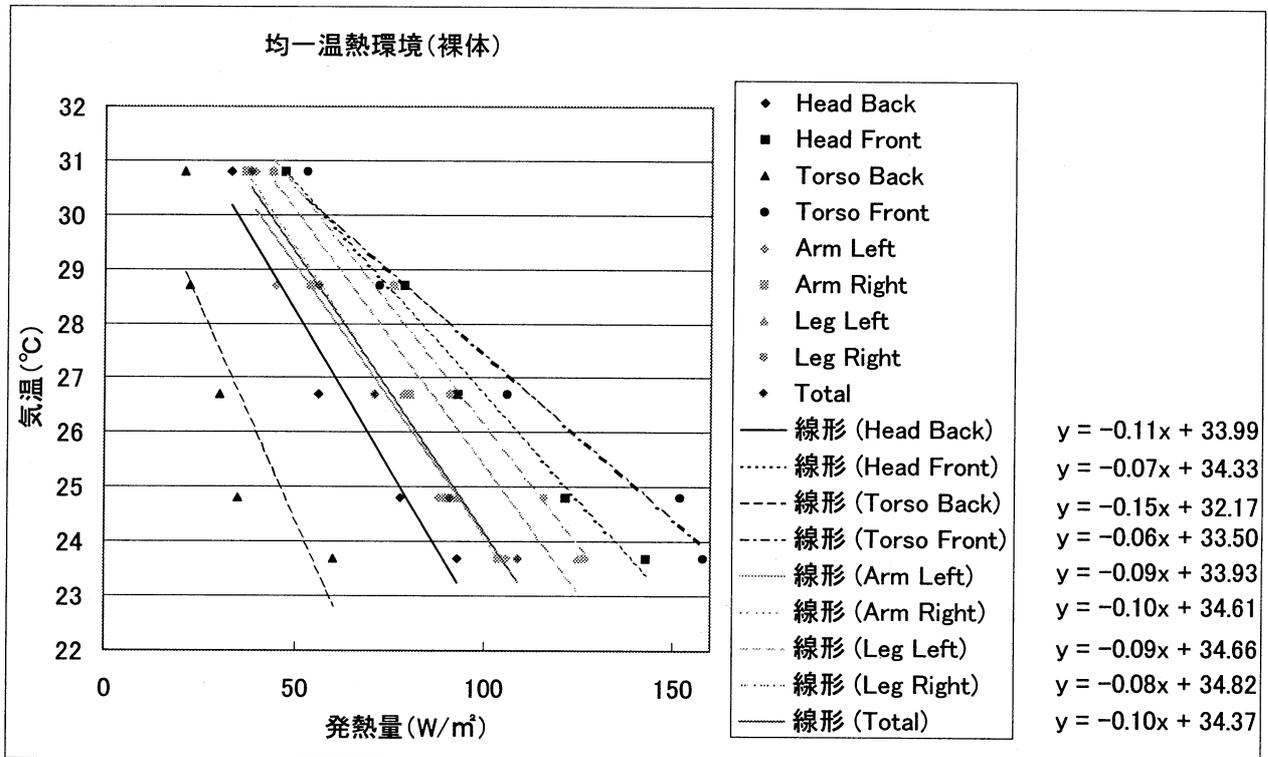


図 5 5 均一温熱環境 (PB裸体)

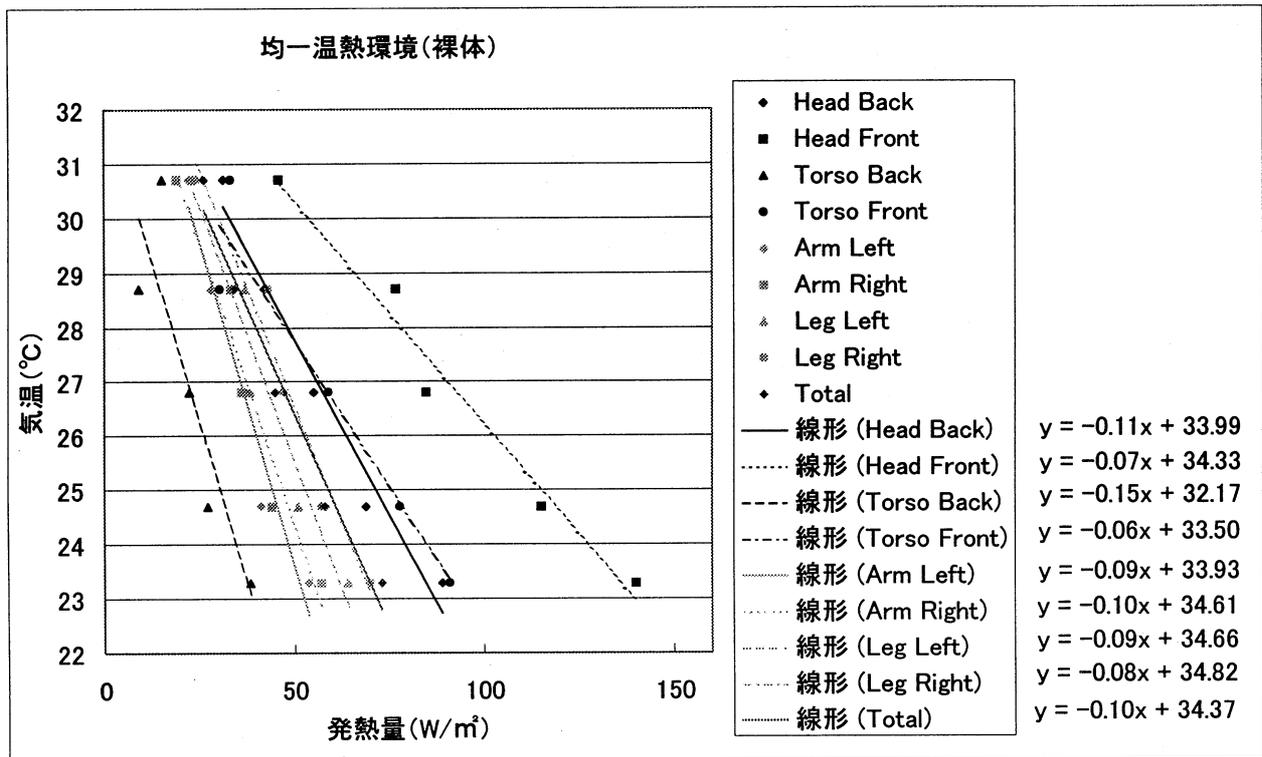


図 5 6 均一温熱環境(PB着衣)

c) 不均一温熱環境

不均一温熱環境は放射温と気温が同じではなく、風があるという人間が日常生活で触れている温熱環境であるとした。また、今回は発汗機能を用いていないため湿度に関しての評価は期待できないため湿度に関しては均一温熱環境と等しく 50%とした。

そこで、ここでの環境条件は各条件において気温は全て 26℃に設定した。湿度については 50%。風速を 0.05 m/s と 1 m/s の 2 種類とした。放射は頭頂側または左腕側に向けて 50 cm 離れたところから電器ストーブを 300 ワットの出力とした。これらの組み合わせで合計 5 条件とし、着衣条件を裸体と着衣の 2 つとし、不均一温熱環境は合計 10 条件で行った。風はマネキンの頭部から 50 cm ほど離れた場所から扇風機で水平方向に風を出した(図 5 7)。ここで扇風機を用い足元から風を起こした理由としては車両内においてエアコンディショナー等を用いた場合に身体の一部だけが風にさらされる状況が起こりうることを考慮し、放射に関しても乗車中に太陽からの放射を受けることを考慮し条件に付け加えた。

ここでの不均一温熱環境の設定条件を次の表 2 4 に記す。

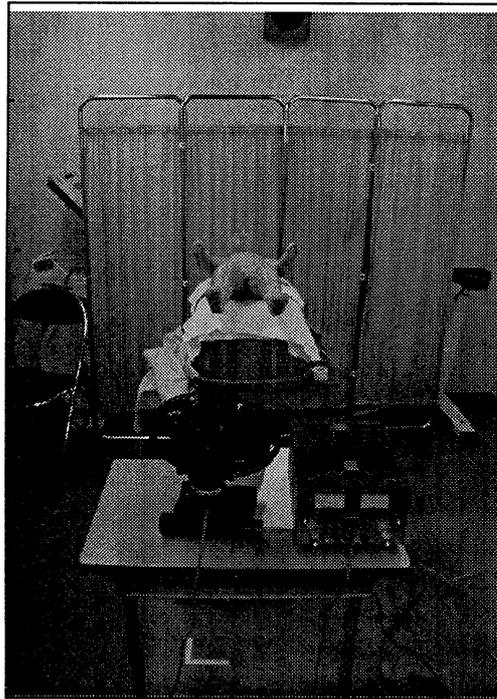


図 5 7 不均温熱一環境実験風景

表 2 4 不均一温熱環境の設定条件

C a s e	気温 (℃)	放射位置	風速 (m/s)	着衣条件
0	2 6	なし	1. 0	裸体
1	2 6	頭頂	0. 0 5	裸体
2	2 6	左腕	0. 0 5	裸体
3	2 6	頭頂	1. 0	裸体
4	2 6	左腕	1. 0	裸体
5	2 6	なし	1. 0	着衣
6	2 6	頭頂	0. 0 5	着衣
7	2 6	左腕	0. 0 5	着衣
8	2 6	頭頂	1. 0	着衣
9	2 6	左腕	1. 0	着衣

d) 不均一温熱環境での測定結果

前記に示す環境設定で得られた結果を次の表 2 5、表 2 6 に記す。表 2 5 は裸体時を示し、表 2 6 は着衣時である。

表 2 5 不均一温熱環境(PB裸体)

裸体	Case 0	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
Head Front	23.71	24.32	24.63	24.63	25.24
Head Back	27.51	28.09	27.05	28.67	27.98
Torso Front	23.01	23.80	23.80	23.80	23.38
Torso Back	29.06	28.43	27.34	29.37	29.06
Arm Right	25.15	26.72	26.30	25.67	26.20
Arm Left	27.27	25.90	28.64	27.56	27.17
Leg Right	19.71	25.27	24.66	20.67	19.37
Leg Left	24.66	26.69	26.23	24.56	24.38
Total	24.59	25.81	25.61	25.30	24.79

表 2 6 不均一温熱環境(PB着衣)

着衣	Case 5	Case 6	Case 7	Case 8	Case 9
Head Front	21.68	24.52	23.95	25.50	25.25
Head Back	25.18	27.25	25.44	30.08	27.63
Torso Front	17.19	21.86	20.48	21.33	21.22
Torso Back	20.70	27.12	24.74	27.36	27.36
Arm Right	24.11	25.14	24.52	24.11	28.04
Arm Left	23.63	25.75	26.93	22.93	25.75
Leg Right	21.92	24.14	23.80	21.58	21.92
Leg Left	20.99	23.97	23.78	21.18	22.48
Total	21.54	23.97	23.78	21.18	22.48

この結果を先に得ていた均一温熱環境での発熱量と気温の近似直線から得られた公式に当てはめると図 5 8、図 5 9 のような結果となる。

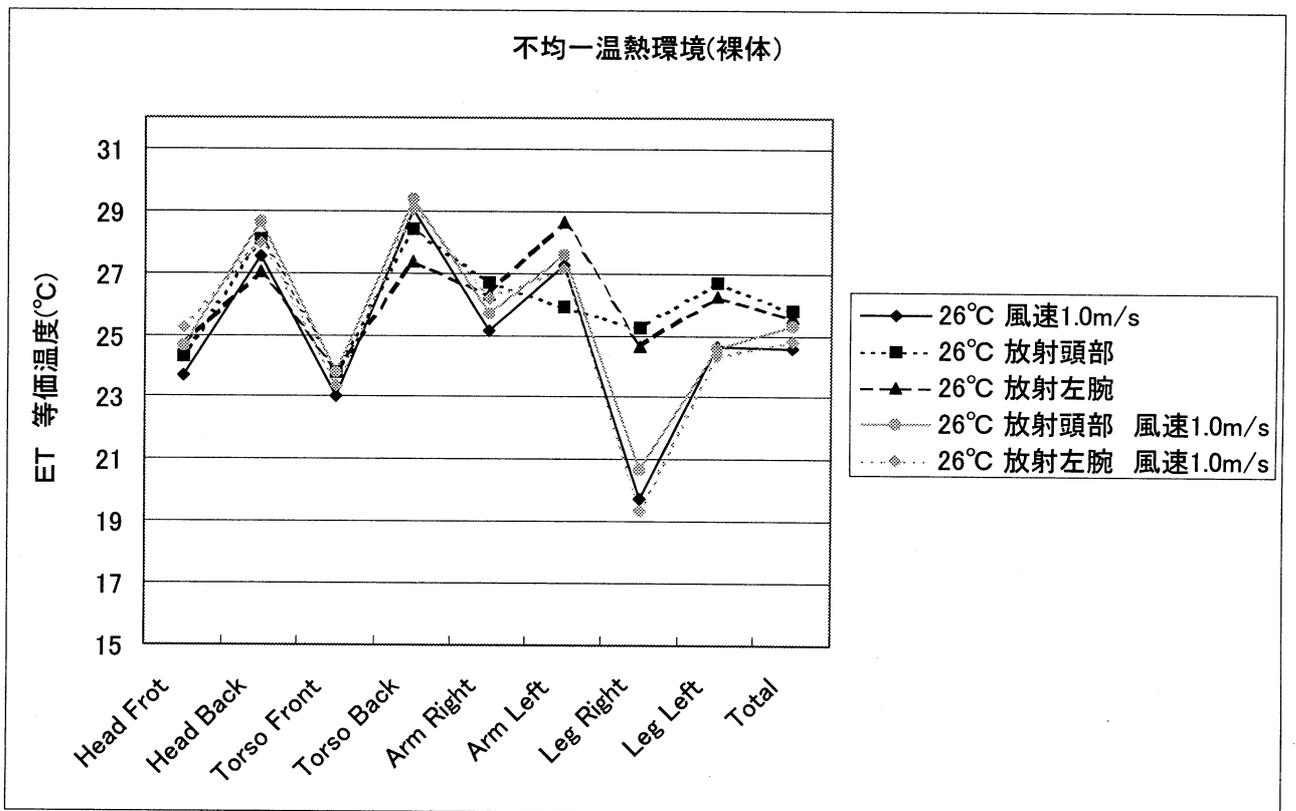


図5 8 不均一温熱環境 (PB裸体)

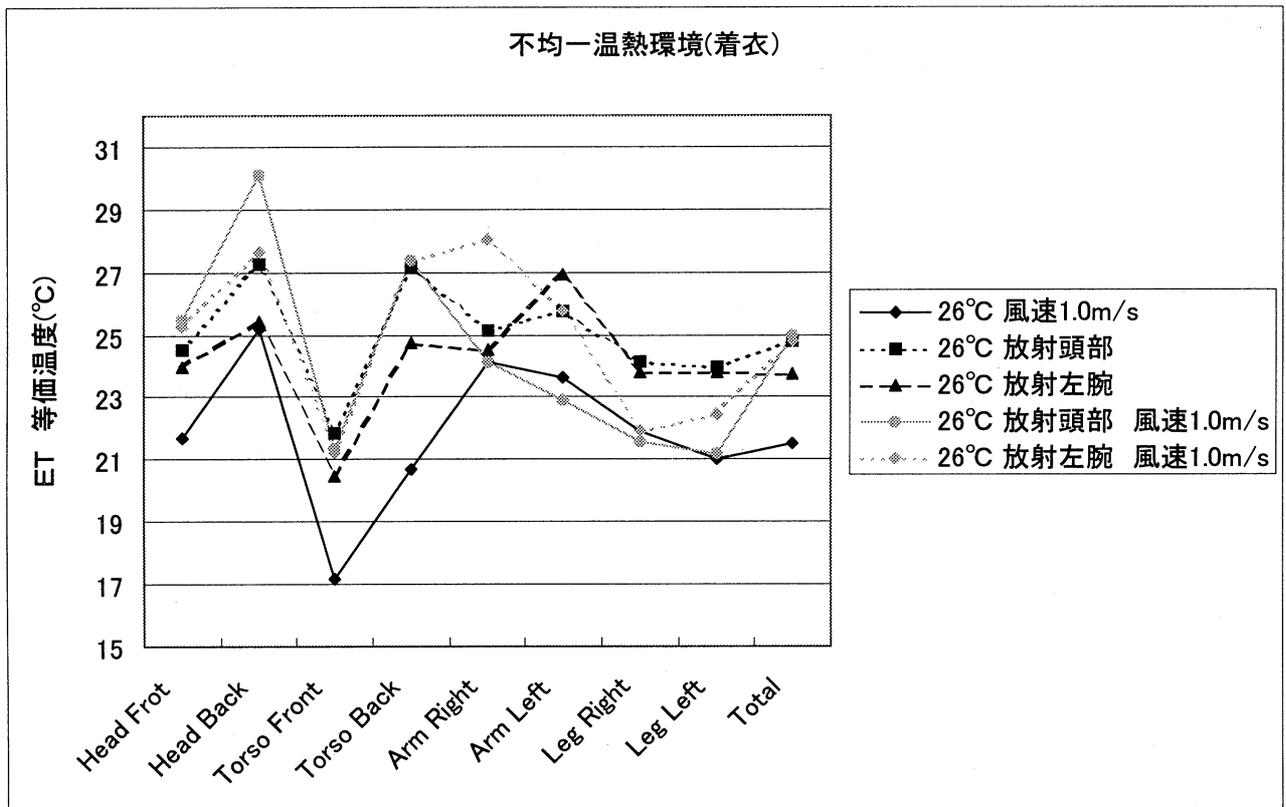


図 5 9 不均一温熱環境 (P B着衣)

- Torso Back と Head Back における温度が他の部分に比べて変化が少ない
これは Torso Back と Head Back がタオルと接した状態であるためであり周囲の環境の影響を受けないためと考えられる。
- 風が 0.05 m/s の環境条件において脚部の等価温度が高い
これは、この環境条件において風が脚部に直接吹きつけているために熱が奪われるためと思われる。
- 裸体条件の方が着衣条件に比べて変動が少ない
熱損失量では着衣時よりも裸体時の方が高く服を着ることにより熱の損失が抑えられている。しかしながら、均一温熱環境における熱損失量も抑えられているために着衣時の結果の方が変動があると考えられる。

今回行った実験では 26°C における不均一温熱環境が均一温熱環境においてどれだけに相当するのかを評価したわけであるが、その不均一温熱環境の結果を相互に比較することによって不均一温熱環境どうしの比較も可能と思われる。

(5)まとめ

以上結果より、サーマルマネキンが不均一温熱環境の評価に有効である可能性が示された。しかしながら、成人のサーマルマネキンによる結果と被験者実験による結果比較検討し、その一致度を検定することが不可欠である。

そこで、以下のようなサーマルマネキンを作製し、同時に行う被験者実験の結果と比較する。以下に、必要とされる特性、条件を記す。

構成部位は、出来るだけ細かい方が好都合であるが、ISO規準（検討段階）では、以下の19個所に人体の構成部位分割することが推奨されている。

- ①前頭部 ②後頭部 ③左上腕部 ④左前腕部 ⑤左手
- ⑥右上腕部⑦右前腕部 ⑧右手 ⑨胸部 ⑩背中⑪腰部
- ⑫左大腿上部⑬左大腿下部 ⑭左下腿部 ⑮左足⑯右大腿上部
- ⑰右大腿下部⑱右下腿部⑲右足 計19個所

関節の可動性

着衣、椅子に着席、床に座ることが出来るように。すなわち、両肘、両膝、股関節、肩にジョイントを設け、任意の姿勢が取れるようにすることが必要である。

材質

重量が重過ぎず、一人でも移動が可能な程度とする。しかも表面の処理が容易なようにプラスチック素材とすること。

サイズ

日本人の平均的な身長とする（170cm程度）。

発熱方式

表面に貼られている抵抗線（ヒーティングワイヤー）に電流を流し、抵抗線が発熱することで発熱状態の再現を行う。電流の量は、マネキン体内から出ているケーブルから制御ボックスを通してパソコンにて制御を行えること。

温度測定方式

熱による抵抗線の抵抗値の変化を測定し、この割合により各部位の平均的溫度変化を読み取ることが出来ること。

5. 1. 3. 被験者実験による環境の評価技術の開発

(1) はじめに

夏期には毎年、体の冷えやだるさを訴える人々が出現する。これは、冷房に起因するいわゆる冷房病の一症状である。冷房病は、体が長時間冷やされたり、暑いところから冷房の効いた室内へ、また冷房の効いた室内から暑い屋外へといった短時間の激しい温度変化により起こるものと考えられている。症状を引き起こす要因は冷房だけでなく衣服や環境などとの複合的な影響が考えられるが、主に冷房（温度の下げすぎ）による長時間の「冷え」の状態や、外気との急激な温度差にさらされることによって現れるものと想像される。

室内外の温度差で冷房病を引き起こさないためには、室外と室内の温度差を一定以下にすべきであるとされ、「建築物における衛生的環境の確保に関する法律（ビル管理法）」では「居室の温度は28℃以下で外気との差は7℃以下にすべきとしており、これ以上温度差が大きくなると人体の体温調節機構に何らかの影響が及ぼされることが示唆される。しかしながらこの点に関する人体影響に関しては実験的には明らかにされておらず、また現実の日本の夏ではそれ以上の温度差に人体がさらされていることも十分考えられる。さらに、冷房室内外に出入りした際の非定常な温熱環境では、同じ気温でも、定常な温熱環境とは異なる生理心理反応が生じることが予測される。

そこで、夏期冷房時の室内外を想定した、温度差のある2つの実験室間の頻回移動が、非定常時の人体の生理心理反応に及ぼす影響を明らかにし、上記の基準の妥当性を検討することを目的に実験を行った。

(2) 方法

1) 実験場所：

実験は人工気候室2室にて行った。

2) 環境条件

実験は個々にコントロールが可能な、隣接する2つの人工気候室を使用した。一方を高温室としもう一方を低温室として温熱条件を設定した。高温室のほうは暑熱環境として気温35℃、相対湿度60%に設定し、低温室のほうは冷房環境を再現するため気温21℃または28℃、相対湿度60%に設定した。

両室とも平均放射温度は気温と等しく、気流速度は被験者付近で0.2m/sであった。

3) 被験者

被験者は20歳から23歳までの健康な女子大学生10人であった。表2.7に被験者の身体的特徴を示した。

4) 着衣条件

被験者の実験中の着衣は、夏季の一般的な衣服として、Tシャツ（綿100%）、とキュロット（綿100%）を用意した。被験者個人の下着（ショーツ、ブラジャー）を着用のうえ、Tシャツ

とキュロットを着用した。なお実験中の被験者の着衣による熱抵抗値は 0.3Clo と算出された。

5) 測定項目

(生理的項目)

皮膚温 : サーミスタ温度計(日機装 YSI 製)にて、図60に示す人体表面の皮膚温7点を1分ごとに測定した。測定部位は、前額、胸部、腹部、上腕、前腕、大腿、下腿、足背である。この7点で測定された皮膚温から Hardy & DuBois の7点法により平均皮膚温を算出した。

直腸温 : 前項の皮膚温と同様に、サーミスタ温度計を用い、肛門内約12センチにおける温度を1分ごとに測定した。なお、平均皮膚温および直腸温から平均体温を算出した。

血圧 : 実験中電子式の自動血圧計(オムロン製)により、右上腕部において3~10分ごとに測定した。

心拍数 : メモリー型心拍計(ヴァイン社製)により実験中の心拍数を1分ごとに測定した。

体重および体重減少量 : 被験者の体重は、実験開始直前および終了直後に、人体天秤(メトラ社製)を用いて、 ± 1 グラムの精度で測定した。その差より体重減少量を算出した。

(心理的項目)

快適感 : 表28に示す主観的尺度を用い、実験中3から10分ごとに被験者の申告を受けた。

温冷感 : 表29に示す主観的尺度を用い、快適感と同じ時間に申告を受けた。

その他の申告 : 表30から32に示す、環境に対する許容度、発汗の程度、全身のだるさ、に関して、温冷感と同じ時刻に申告をうけた。また、表33に示すように実験前後に自覚症状の有無について日本産業安全学会による項目に関して申告を受けた。

6) 実験手順

表34に実験条件名を、図61に実験の手順を示す。

実験は、個々にコントロールが可能な隣接する2つの人工気候室を使用し、冷房環境(気温 21°C または 28°C 、相対湿度60%、以下低温室と記す)と暑熱環境(35°C 、相対湿度60%、以下高温室と記す)を設定して、この2室の繰り返し暴露とした。なお高温条件は夏期における屋外の気温を、低温条件は同じく夏期における冷房の効いた室内の気温を模したものである。

被験者は気温 25°C 、相対湿度60%の前室にて更衣し、測定のための電極や皮膚温センサー類を装着した後、自覚症状に関するアンケートに回答し、体重を測定した。以上の準備が完了した段階で皮膚温と心拍の連続測定を開始し、気温 25°C 、湿度60%の低温室に移動し、高温室-低温室間の移動実験を開始した。

低温室の温度と2室の滞在時間については4条件を設定し、低温室を 21°C に設定し各室を10分おきに移動(以下A条件と記す)、同じく40分おきに移動(同B条件)、低温室を 28°C に設定し10分おきに移動(同C条件)、同じく40分おきに移動(同D条件)とした。トータル2室暴露時間は各条件とも165分であり、A、C条件においては16回の出入り、B、D条件においては4回の出入りを行ったことになる。また、コントロール実験として、低温室を 26.5°C の一定条件に設定し165分間同室に暴露させた場合(同E条件)の測定も行った。

1名の被験者あたりこの5条件すべてを実施し、被験者10人×5条件で合計50例の実験を行った。AからEの各実験条件の実験順序は、すべてランダムに行った。また、低温室から高温室への移動にかかる運動負荷を均一にするため、B、D、E条件においては同一室内で10分ごとに2室間の移動と同じ行動を模擬的に実施した。

表27 被験者の身体的特徴

Subject	Height (cm)	Weight (kg)	BMI (kg/m ²)
1	167	62.0	22.2
2	160	51.7	20.2
3	146	50.8	23.8
4	166	56.3	20.4
5	163	47.5	17.9
6	158	45.8	18.3
7	155	53.3	22.2
8	166	59.0	21.4
9	159	46.5	18.4
10	163	52.0	19.6

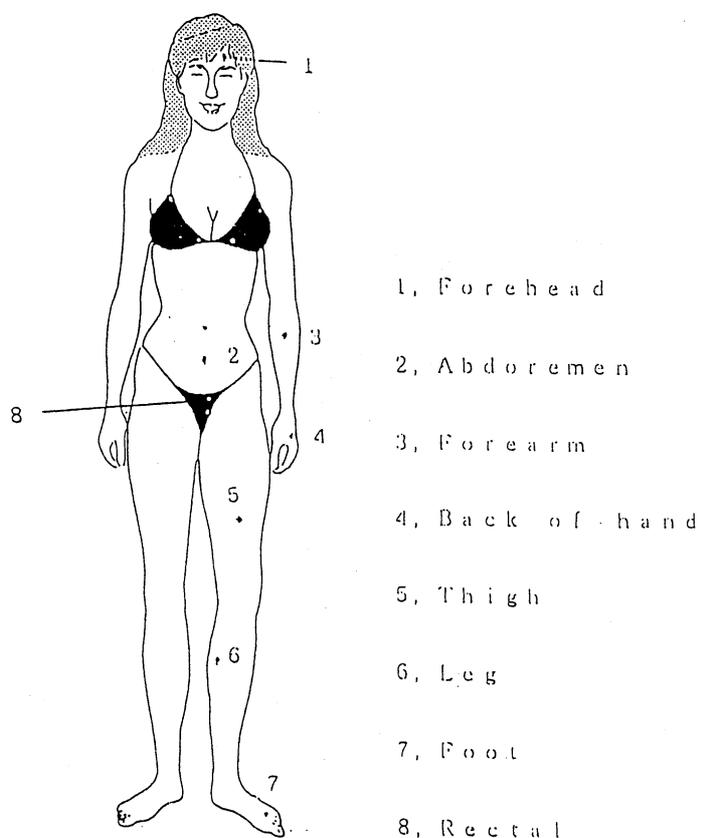


図60 皮膚温の測定部位

表 2 8 快適感

- 3	非常に不快
- 2	不快
- 1	やや不快
0	どちらとも言えない
+ 1	やや快適
+ 2	快適
+ 3	非常に快適

表 3 1 発汗の程度

0	汗をかいていない
1	少し汗ばんでいる
2	汗をかいている
3	かなり汗をかいている
4	流れるほど汗をかいている

表 2 9 温冷感

- 4	非常に寒い
- 3	寒い
- 2	涼しい
- 1	やや涼しい
0	どちらとも言えない
+ 1	やや暖かい
+ 2	暖かい
+ 3	暑い
+ 4	非常に暑い

表 3 2 疲労感

0	だるくない
1	ややだるい
2	だるい
3	非常にだるい

表 3 0 環境に対する許容度

0	この環境を受け入れられない
1	この環境を受け入れられる

表 3 3 自覚症状アンケート

I 群			II 群			III 群		
1	頭がおもい		11	考えがまとまらない		21	頭がいたい	
2	全身がだるい		12	話をするのがいやになる		22	肩がこる	
3	足がだるい		13	いらいらする		23	腰がいたい	
4	あくびがでる		14	気がちる		24	いき苦しい	
5	頭がぼんやりする		15	物事に熱心になれない		25	口がかわく	
6	ねむい		16	ちょっとしたことが思い出せない		26	声がかすれる	
7	目が疲れる		17	することに間違いが多くなる		27	めまいがする	
8	動作がぎこちない		18	物事が気にかかる		28	まぶたや筋肉がピクピクする	
9	足もとがたよりない		19	きちんとしていられない		29	手足がふるえる	
10	横になりたい		20	根気がなくなる		30	気分がわるい	

表 3 4 実験条件名

Interval	Air Temperature (low)	
	21℃	28℃
10分	A	C
40分	B	D

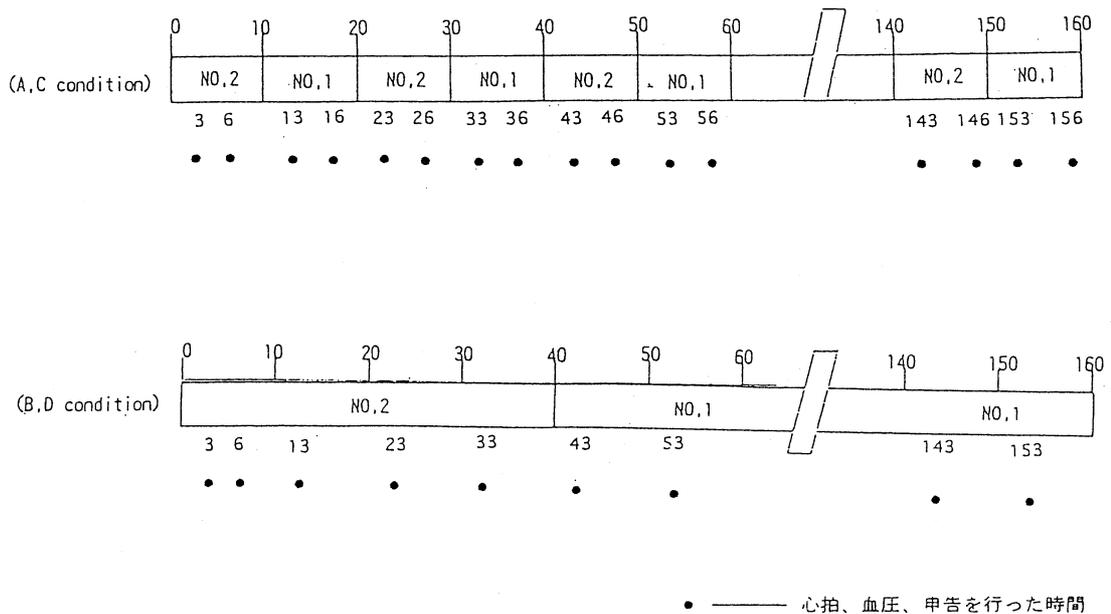


図 6 1 手順

(3) 結果および考察

1) 生理的データの経時変動

図62にA条件における各部位および平均皮膚温、直腸温、平均体温、心拍数の経時変動を被験者10人の平均値で示す。

前額における皮膚温(t_1)は前室では34.8℃だったのが高温室に移動するとすぐに上昇を始め、10分間で36.3℃まで上昇する。高温室にて10分の滞在の後低温室に戻ると前額皮膚温は下降をはじめ、10分間で33.8℃まで低下する。以後も高温-低温室の入退室に伴い前額皮膚温は上昇・下降を繰り返し、高温室ではほぼ36.3~4℃、低温室では33.9~34.0℃程度に変化する。

身体躯幹部における皮膚温として腹部皮膚温(t_2)が測定された。実験開始時は34.6℃であったのが高温室では35.7℃に上昇し低温室では34.9℃程度に低下する。以後、高温-低温室の入退室を繰り返すごとに上昇時の最大値および下降時の最低値は共に上昇の傾向をみせ、それぞれ36.3℃および35.4℃に変化する。

手部における皮膚温については、前腕部の皮膚温(t_3)も入退室により上昇および下降を同様に繰り返すがその最大値・最小値ともそれぞれ35.0~1℃、32.2~3℃程度であった。また手背部の皮膚温(t_4)は前室では33.3℃程度であったのが高温室では最初は35.5℃まで上昇し、低温室では32.2~3℃程度に低下する。入退室を繰り返すにつれ高温室での最高温度は低くなり、実験終了前では35.1℃程度となった。

足部における皮膚温は、大腿、下腿、および足背で測定された。下腿部皮膚温(t_5)は、入退室開始前は33.0℃であったのが高温室では34.7~9℃、低温室では32.8~9℃に変化し、高温室での最高皮膚温は時間がたつにつれ高くなる傾向がみられる。下腿における皮膚温(t_6)は、前室では31.1℃であったのが高温室では最初は33.6℃後に33.1℃程度に上昇、低温室では29.5℃後に30.0℃前後に変化する。変化の幅および皮膚温の最低温は下腿部皮膚温が一番大きく、低くなった。これは被験者の着衣が軽装であったことの影響が大きいと考えられる。足背における皮膚温(t_7)は、入退室開始前は32.3℃であったのが、高温室では34.9℃後に34.6℃、低温室では31.7~8℃に変化する。

また、直腸温(t_8)の変化は皮膚温の変化とは若干異なる様相を呈した。前室条件では37.09℃であった平均値は高温室に移動すると低下しその低下は15分程度続き37.03℃となる。15分後、すなわち低温室移動5分経過時あたりから直腸温は上昇に転じ、その10分後、つまり2回目の高温室移動5分経過あたりで37.08℃まで上昇する。その後も「高温室に入室すると低下、低温室に入室すると上昇、変化のサイクルは皮膚温より5分ほどずれる」という各部位の皮膚温とは異なる変化のパターンを示しながら変化し続ける。なお入退室に伴う最高・最低温度は時間がたつにつれ上昇し続け、実験終了時付近では37.13~7℃程度となった。

これら皮膚温の変化のパターンをまとめると、時間がたつにつれ変化の最高・最低温度がだんだん上昇する(特に最高温度)部位は腹部および直腸温といった躯幹部温度で、また最高・最低温度とも経時にともなって変化せず毎回ほぼ同じである部位は大腿、下腿、足背および前額の、足部および躯幹部に近く着衣に隠れない部位であった。

a-平均

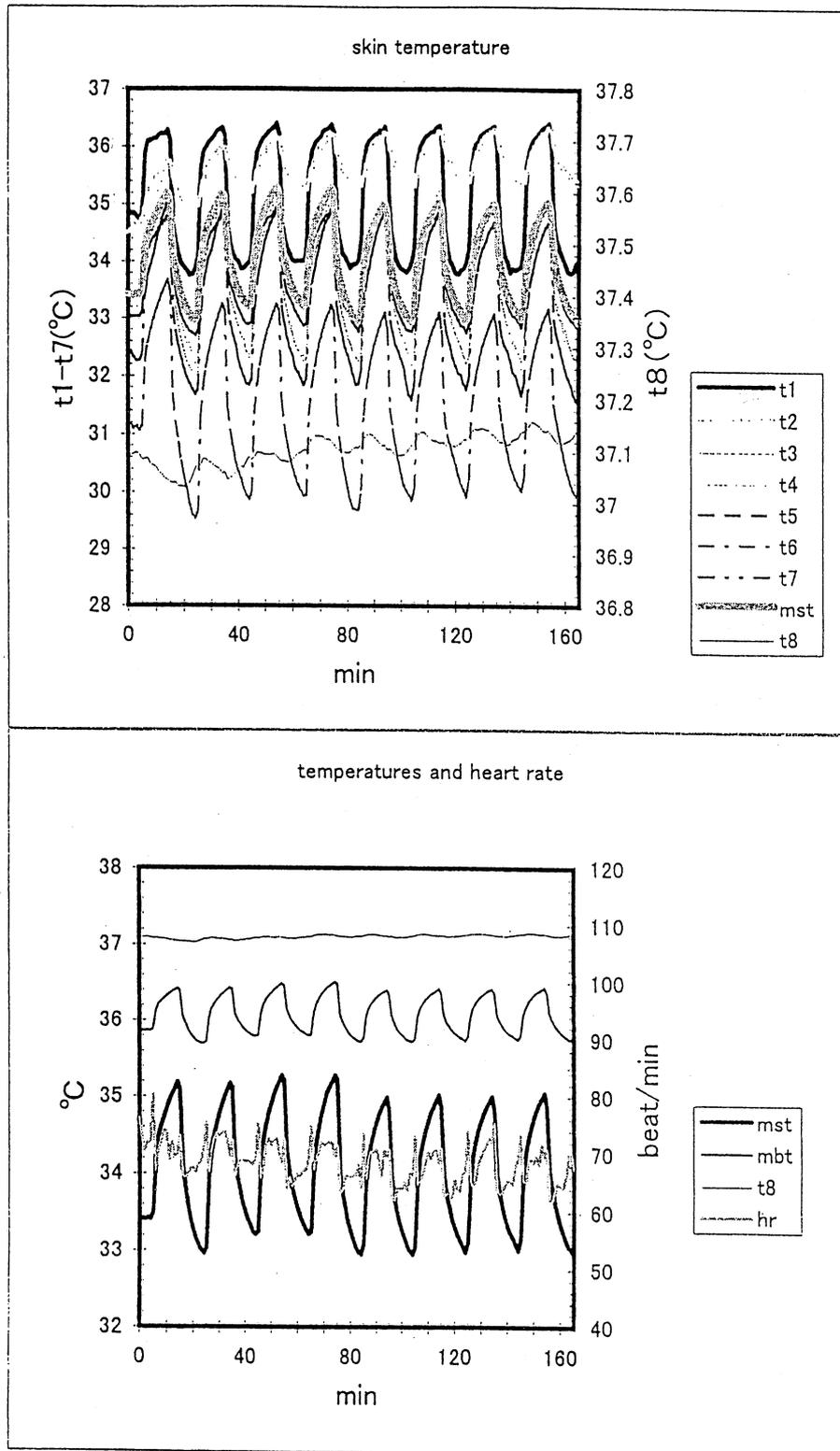


図6 2 A条件における各部位および平均皮膚温・直聴温・平均体温・心拍数の経時変動

手部である前腕と手背の皮膚温は最低温度をほぼ同じレベルを保つものの、最高温度は時間の経過に従いだんだん低下する傾向がみられた。

7部位の皮膚温を重み平均して得られた平均皮膚温の経時変動は、後半はやや低下するものの入退室に伴う変化は毎回ほぼ同じ温度であった。すなわち実験前は33.4℃であったのが高温室入室で35.0~2℃まで上昇し、また低温室入室後は32.9~33.2℃まで低下した。

平均皮膚温と直腸温を重み平均して得られる平均体温も平均皮膚温同様の变化を示し、入退室開始前は35.9℃、入退室開始後高温室ではほぼ36.3~5℃、低温室では35.7~8℃に変化した。

心拍数の経時変動に関しては、皮膚温同様環境温度によって変化が見られた。前室条件では毎分約74拍であったのが高温室では約70拍、低温室では約66拍程度に変化する。前室時に心拍数が多かったのは実験開始直後の緊張の影響が考えられる。

図63にB条件における各部位および平均皮膚温、直腸温、平均体温、心拍数の経時変動を被験者10人の平均値で示す。

前額の皮膚温は前室では34.7℃であったが、高温室入室後すぐに36.3℃まで上昇し、その後も40分間同じレベルを保つ。低温室に移動すると同様に急激に低下し33.8℃になり、その後も33.7℃程度で安定している。4回・40分毎の入退室でほぼ同じ変動を繰り返す。

腹部皮膚温は前室では34.6℃であったのが高温室移動後は徐々に上昇して40分後には36.1℃になる。その後低温室に移動すると最初の15分程で34.6℃に低下しその後も同じレベルを保つ。繰り返した時の皮膚温もほぼ同じであった。

手部皮膚温は、前腕は前室では32.9℃であったのが高温室移動後は上昇をし続け移動後40分では35.6℃になる。低温室移動後は急激に低下し40分間皮膚温は低下し続け、滞在40分で31.4℃となった。手背の皮膚温も同様の变化をみせ、前室では33.1℃程度であったのが高温室滞在40分で35.7℃、その後低温室滞在40分で30.9℃になる。なお手背皮膚温のその後の変化は入退室を繰り返した場合はさらに下降の程度は大きくなり、入退室2回目の低温室2回目では30.3℃まで低下がみられた。

足部皮膚温は、大腿では入退室開始前は33.1℃であったのが高温室に移動すると上昇しつづけ40分後には35.3℃になる。低温室移動後は40分間低下し続け32.2℃になる。繰り返した2回目もほぼ同じ皮膚温となる。下腿の皮膚温は前室条件では31.0℃だったのが高温室では40分後には34.5℃まで上昇し、低温室に移動後は急激かつ大幅に低下し40分後には28.7℃まで低下する。繰り返した場合には高温室・低温室での皮膚温とも1回目の移動より0.3℃程度低くなった。足背の皮膚温は前室条件では31.9℃であったのが高温室では35.8℃まで上昇し、低温室では下腿同様40分間大きく低下し続け30.6℃になった。繰り返した場合もほぼ同じ結果であったが、2回目の低温室ではさらに0.3℃程度大きく低下した。

b-平均

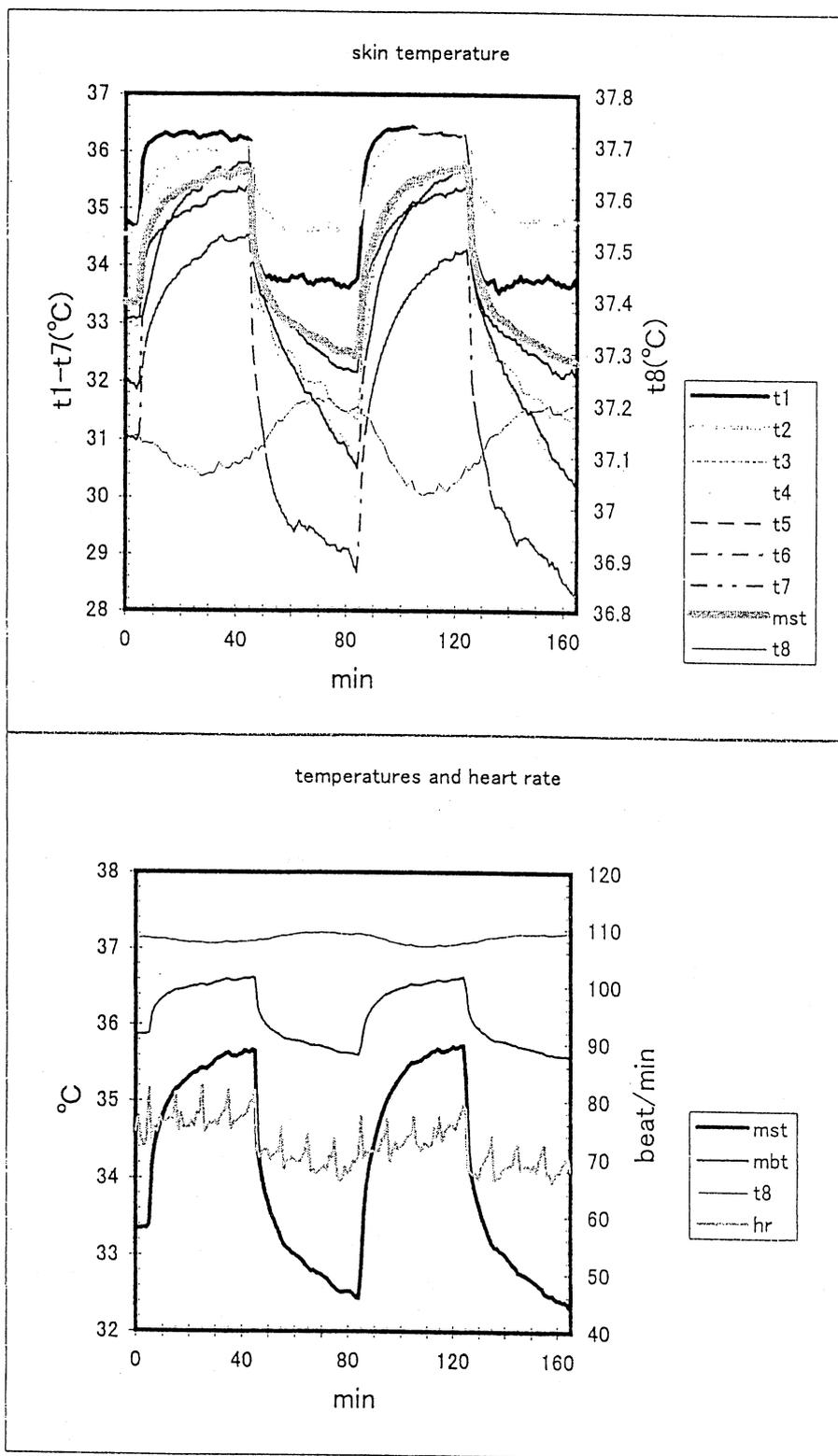


図 6 3 B 条件における各部位および平均皮膚温・直聴温・平均体温・心拍数の経時変動

平均皮膚温は、前室では33.4℃であったのが高温室に移動後は最初の20分で2.0℃上昇しその後も上昇し続け40分後には35.7℃程度になった。低温室移動後は最初の10分で33.3℃まで低下し、その後も低下し続け最終的に32.4℃になった。繰り返した2回目にもほぼ同様の変化がみられた。

直腸温は、A条件の時と同様に皮膚温とは逆位相に近い変化を示した。実験開始時には37.14℃であったのが高温室移動後20～25分間低下し続け最低温は37.06℃であった。その後の直腸温は上昇に転じ、低温室移動後も上昇を続け上昇開始後40分で最高値である37.2℃になった。直腸温の最高値・最低値は皮膚温のそれより40分程遅れて最高・最低値を示した。また2回目のくりかえしでもほぼ同じ結果が得られた。

平均体温は、入退室開始前が35.9℃、高温室では最高36.6℃、低温室では最低35.6℃となった。

心拍数は前室では76拍、高温室では78拍程度、低温室では70拍程度に変化した。なお実験中は10分に1回数歩歩くという動作を行ったため、経時変動値はその影響をうけるところ5～6拍程度数値が上昇した。

図64に、C条件における各部位および平均皮膚温、直腸温、平均体温、心拍数の経時変動を被験者10人の平均値で示す。

前額の皮膚温は前室では34.8℃であったのが高温室入室後は36.2℃に上昇し、低温室移動後は35.3℃に低下する。その後の繰り返しでもほぼ同様の変化を示した。

躯幹部における皮膚温は他の条件同様腹部にて測定された。前室では34.8℃であったのが高温室移動後は35.7℃まで上昇し、低温室移動後若干低下し35.4℃になった。その後入退室を繰り返した場合に高温室での最高温度は36.1～2℃、低温室での最低温度は35.6～7℃になり入退室開始直後よりはやや高くなる傾向を示した。

手部における皮膚温は、前腕においては前室で33.1℃であったのが最初の高温室では35.2℃に上昇、低温室では34.2℃に低下した。2回目以降は高温時には35.3～5℃に低温時は34.2～4℃に皮膚温は収束する傾向がみられた。手背における皮膚温は前室では33.3℃であったのが高温室では35.5～7℃、低温室では34.3～5℃にそれぞれ変化した。

足部における皮膚温は大腿部では前室では33.3℃だったのが高温室では35.1℃程度に上昇し低温室では34.1～3℃に変化した。下腿における皮膚温は前室は31.2℃で、1回目の高温室移動後は33.7℃に、同じく低温室移動後は32.3℃に変化した。2回目以降は高温室では34.1～2℃に、低温室では32.4℃前後に変化した。また足背の皮膚温は、前室では32.3℃であったのが高温室では34.8℃、低温室では33.5℃になり、2回目以降の移動では高温室では35.5～6℃、低温室では34.4℃前後に収束するのが観察された。

各部位の皮膚温の変動をまとめると、移動回数が増えると皮膚温が高めになるものの基本的にはあるレベルに収束する傾向がみられた。

平均皮膚温も上記と同じ傾向を示し、前室では33.6℃であったのが高温室では1回目は35.2℃、2回目以降は35.5℃前後に変化し、また低温室では1回目の入室では34.4℃に変化したのが2回目以降は34.5～6℃に変化した。

c-平均

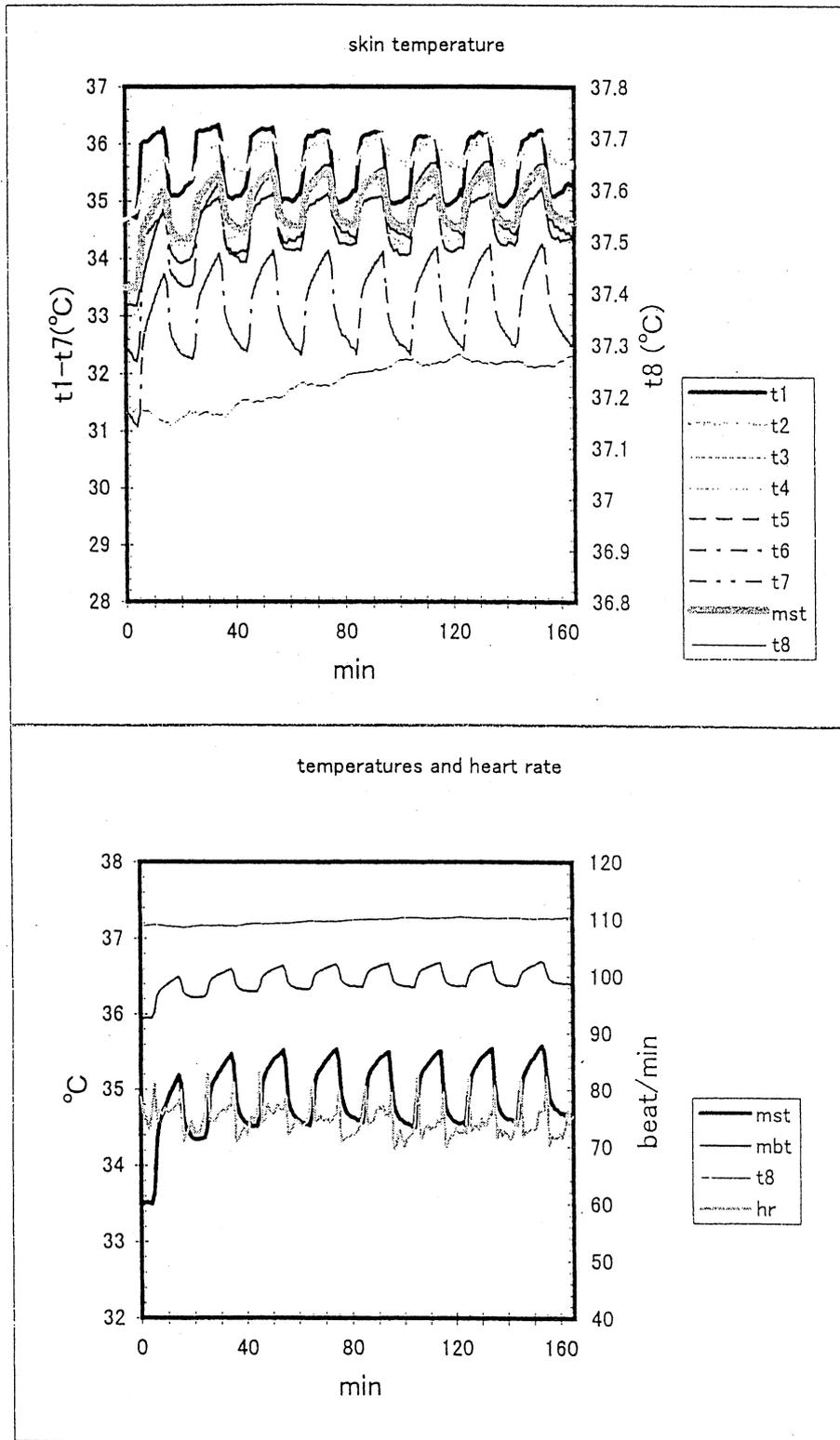


図6 4 C条件における各部位および平均皮膚温・直聴温・平均体温・心拍数の経時変動

以上、皮膚温の変化をまとめると、1回目の移動では皮膚温の変化は小さめであるが2回目以降はある一定のレベルに収束した。部位によっては躯幹部皮膚温のように上昇傾向が続いた部位もあった。

直腸温の変化は、入退室にはあまり影響をうけなかった。前室では37.18℃であったのが高温室入室後37.13℃に低下する。低温室移動後は上昇し、以後それを繰り返すが回を重ねるにつれ高温室入室による低下の幅が小さくなり、全体としては上昇傾向を示し、最終的には37.28℃付近まで上昇した。

平均体温は、平均皮膚温同様の变化を示し、前室では36.0℃程度、高温室では36.6℃程度になり、低温室では36.3～4℃に収束する傾向がみられた。

心拍数は、実験前の値は76拍程度であったが、高温室では78拍程度、低温室では73拍前後に変化した。

図65に、D条件における各部位および平均皮膚温、直腸温、平均体温、心拍数の経時変動を被験者10人の平均値で示す。

前額の皮膚温は前室では34.8℃であり、高温室移動後は最初の10分間で36.1℃に上昇し、その後もほぼ同じレベルを保つ。低温室に移動すると最初の10分間で35.1℃に低下しその後は約0.1℃高くなるがほぼ同じ程度であった。

躯幹部における皮膚温は前室では34.7℃であったのが高温室入室後は上昇し続け40分後には36.1℃になった。低温室に移動したあとはいったん35.3℃まで低下するがその後0.2℃程度上昇した。2回目の移動では高温室・低温室ともに皮膚温は1回目より0.1～2℃程度高い値となった。

手部における皮膚温は、前腕では前室で32.8℃であったのが高温室では35.4～5℃、低温室では34.2℃に変化した。手背は、前室では33.3℃であったのが高温室では35.6℃程度、低温室では34.4℃程度に変化した。前腕・手背とも移動1回目と2回目の変化の傾向には差異はみられなかった。

足部の皮膚温は、大腿部は前室では33.2℃だったのが高温室へ移動した後は35.2℃程度、低温室では34.3℃程度に変化した。下腿の皮膚温は前室では30.8℃だったのが高温室では34.6℃、低温室では31.9℃程度になり、足背の皮膚温は前室の32.6℃から高温室では35.9℃程度、低温室では34.2℃程度に変化した。ともに、移動の1回目・2回目の違いはほとんどみられない。

部位別皮膚温の変化の傾向をまとめると、1回目の移動では高温室での皮膚温上昇の程度とスピードは2回目に比べやや小さく遅いものの、それ以外は同じ傾向を示し、皮膚温はそれぞれの最高値・最低値にすみやかに収束する傾向がみられた。

平均皮膚温は、前室では33.4℃であったのが高温室では35.6℃程度となり、低温室では34.5℃程度となった。変化の傾向は上記の各部位のそれと同様であった。

以上をまとめると、皮膚温の変化の傾向は、D条件においては他の条件に比べはやく最高温度・最低温度に収束し、繰り返しの影響も一部部位以外はほとんどみられなかった。

d-平均

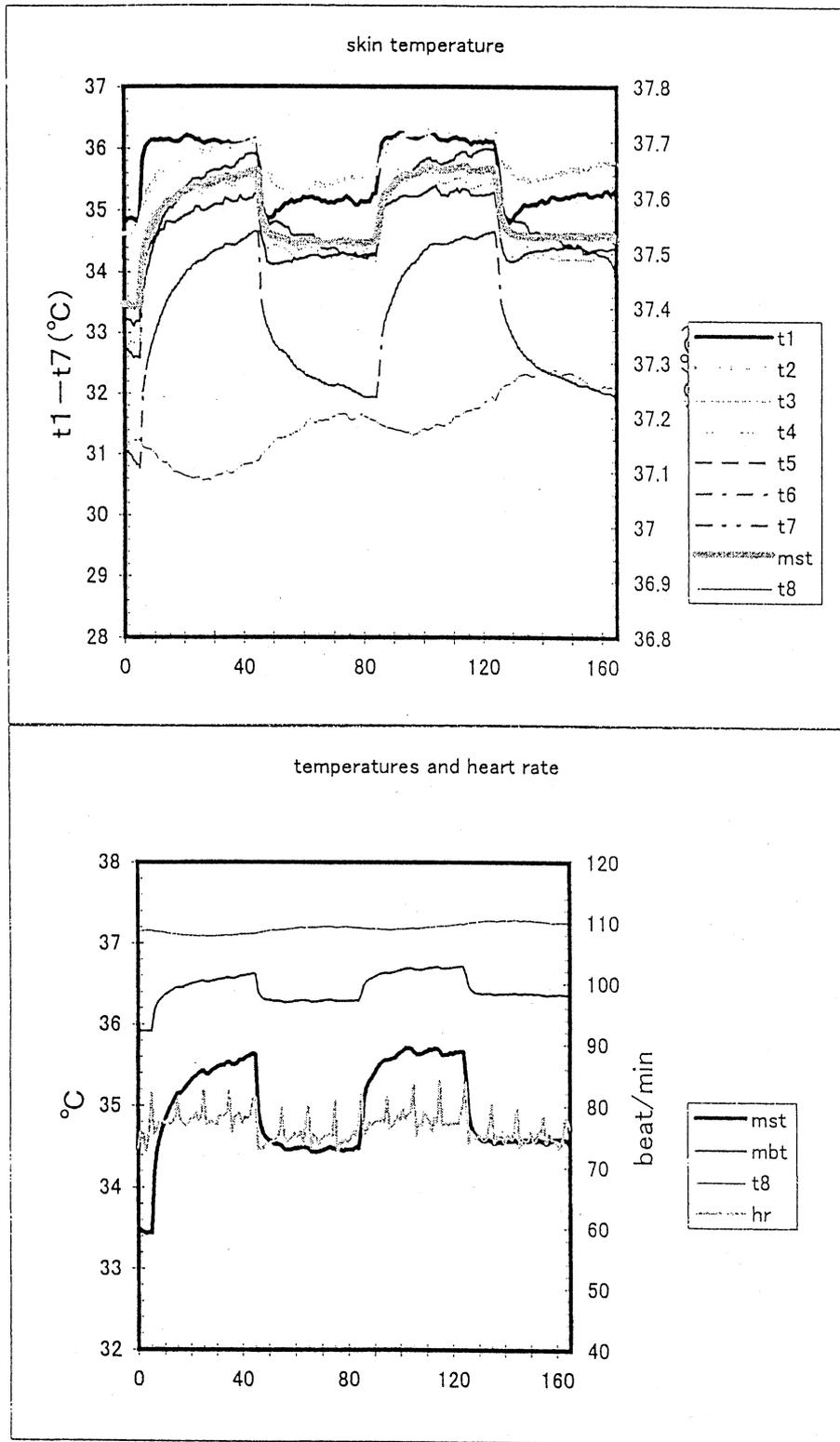


図 6 5 D 条件における各部位および平均皮膚温・直聴温・平均体温・心拍数の経時変動

直腸温の変化は、他の条件同様皮膚温とは異なる傾向を示した。前室では37.16℃だったのが高温室入室後は低下し実験開始30分で37.09℃になり、以後は上昇し75分時には37.20℃になった。その後20分間はやや低下し37.17℃になった後再び上昇、140分時には37.28℃になりその後もほぼ同じレベルで推移した。低温室に入室してもその室温が比較的高いため、人体は蓄熱傾向にあったものと推察される。

平均体温は、平均皮膚温に近い傾向を示し、前室条件では35.9℃であったのが高温室では36.7℃前後、低温室では36.3℃前後に変化した。平均皮膚温同様、1回目の移動では皮膚温の上昇が2回目に比べ遅く幅も小さかったが、それ以外の傾向は1回目・2回目ほぼ同じであった。

心拍数は、前室では77拍程度であったのが、高温室では80拍程度、低温室では76拍程度となった。

図66に、E条件における各部位および平均皮膚温、直腸温、平均体温、心拍数の経時変動を被験者10人の平均値で示す。

前額の皮膚温は、前室の34.7℃から0.3℃程度上昇し35.0℃を実験中保った。

躯幹部の皮膚温は、前室での34.8℃からその後80分間位上昇し続け35.8℃程度になり、その後も上昇傾向を示し36.0℃程度になる。

手部の皮膚温は、前腕は前室の33.0℃からやや上昇し33.3℃程度、手背は前室の33.2℃から60分間位上昇し33.6℃になりその後はやや低下し最終的に33.2℃程度になる。

足部の皮膚温は、大腿では前室では33.1℃であったのが33.6℃程度になりほぼ一定を保つ。それに対して下腿の皮膚温は前室では31.3℃であったのが最初31.4℃まで上昇した後低下し続け、実験終了時には30.5℃であった。足背皮膚温はさらに低下が大きく、前室では32.1℃であったのがその後10分で32.6℃に上昇した後は低下し続け、最終的には30.7℃まで低下した。

平均皮膚温は、前室では33.5℃であったのが30分後には33.9℃に上昇、その後はほぼ同じレベルを保ち続けた。

以上、皮膚温の変化をまとめると、上昇しつづけた躯幹部、低下し続けた足部抹消の皮膚温をのぞいては、ほぼ一定のレベルに保たれていた。

直腸温は、前室では37.18℃であったのが30分間で低下し37.07℃になり、その後は上昇し実験終了時には37.13℃に回復した。他の実験条件同様、直腸温は皮膚温とは異なる推移を示した。

平均体温は、平均皮膚温同様、前室に比べて実験室では若干上昇しその後同じレベルを保ったが、その振幅は0.1~2程度で変化は小さかった。

心拍数は、前室では74拍だったのが設定室では70拍程度で、時間の経過に従い若干減少する傾向がみられた。

e-平均

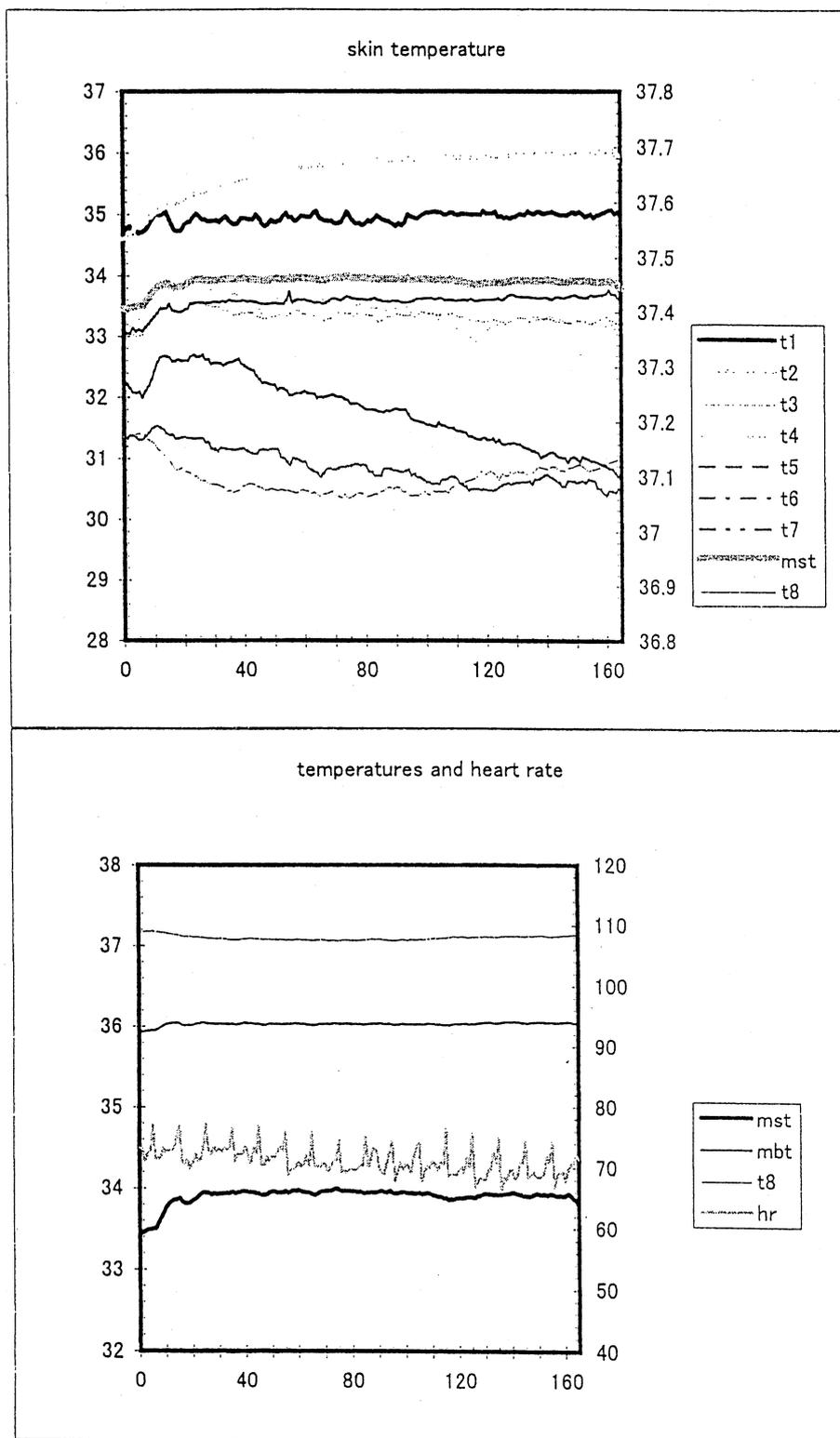


図 6 6 E 条件における各部位および平均皮膚温・直聴温・平均体温・心拍数の経時変動

2) 部位別皮膚温の比較

図67上に、胸部皮膚温 (t_2) を実験条件ごとの被験者10人の平均値を経時変動で示す。

高温室・低温室の入退室に伴い皮膚温は変化する。この図からすべての条件において、時間が経つにつれ胸部皮膚温が上昇傾向にあることがわかる。低温室に入ることで低下した皮膚温が、再び高温室に戻ったときには1回目よりさらに大きく上昇する。すなわち、入退室を繰り返していると生理的反応も最初とは異なってくるといえる。

図67中は、同じく手背皮膚温 (t_4) を実験条件ごとの被験者10人の平均値を経時変動で示したものである。胸部とは傾向が異なり、高温室・低温室への入退室による変動はみられるものの、B条件で皮膚温の応答速度に差がみられる以外は繰り返しによる影響はあまりみられない。

図67下は、同様に下腿皮膚温 (t_6) を実験条件ごとの被験者10人の平均値を経時変動で示している。入退室による皮膚温変化は顕著にみられ、B条件では繰り返しの効果もみられ、2回目の高温室での皮膚温上昇が1回目より小さい。それ以外の条件では繰り返しによる影響はあまり顕著ではなかった。

3) 平均皮膚温

図68に平均皮膚温の経時変化を各条件別に平均値で示した。

実験開始時の皮膚温はA条件33.44℃、B条件33.37℃、C条件33.56℃、D条件33.44℃、E条件33.49℃であった。A、C条件は10分ごとに皮膚温の変化がみられた。A条件は高温室で最高35.27℃、低温室で最低32.98℃であり、C条件は高温室で最高35.55℃、低温室で最低33.56℃であった。設定温度の高いC条件の方がA条件よりも高い温度であった。B、D条件は40分ごとに皮膚温の変化がみられた。B条件は実験43分35.65℃まで上昇し、その後33.13℃に下降した。D条件は実験43分35.63℃まで上昇し、その後34.44℃に下降した。設定温度の高いD条件は40分ごとの平均皮膚温の落差はB条件に比べてなかった。E条件は実験開始約15分まで上昇し、その後の変化は少なかった。

高温室と低温室の入退室を繰り返したことによる影響としては、平均皮膚温には応答速度にはみられたが、総じて影響はあまり大きくないといえる。

4) 直腸温

図69に直腸温の経時変化を各条件別に被験者10人の平均値で示した。

A条件は実験開始時37.09℃であった。その後約15分下降し37.04℃になり、それから緩やかに上昇し、最終的に37.14℃になった。B条件は実験開始時37.14℃であった。実験36分時に37.08℃に下降、その後上昇し実験73分時に37.22℃になるが再び下降し、実験106分時には37.03℃になる。その後は上昇し、最終的に37.21℃になった。C条件は実験開始時37.18℃であった。その後約15分下降し37.14℃になり、その後緩やかに上昇し最終的に37.21℃になった。

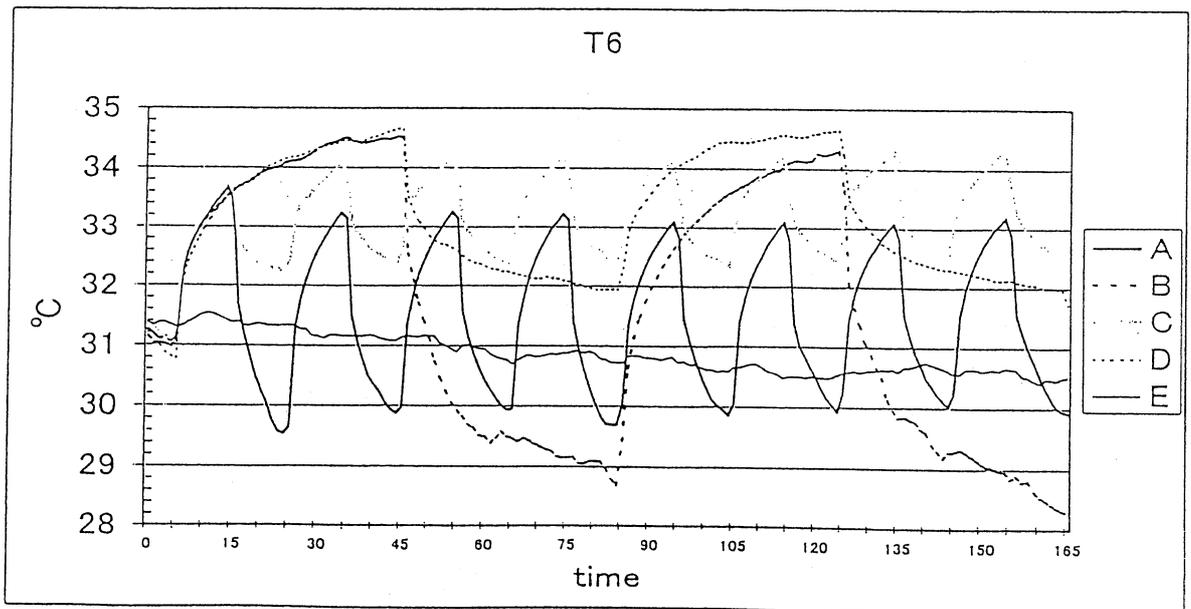
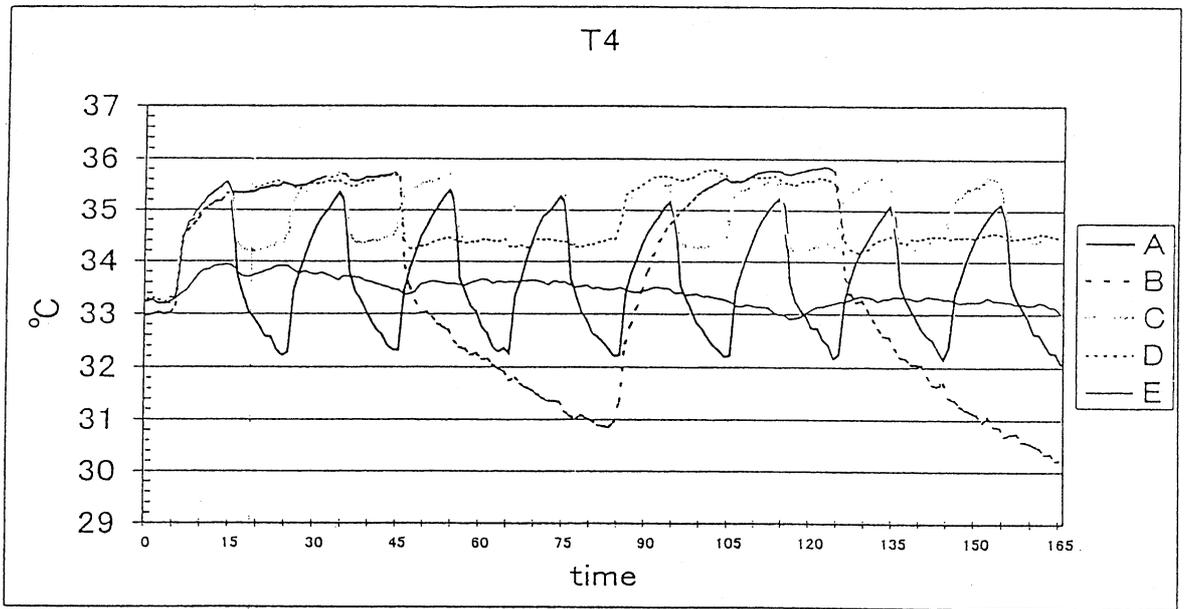
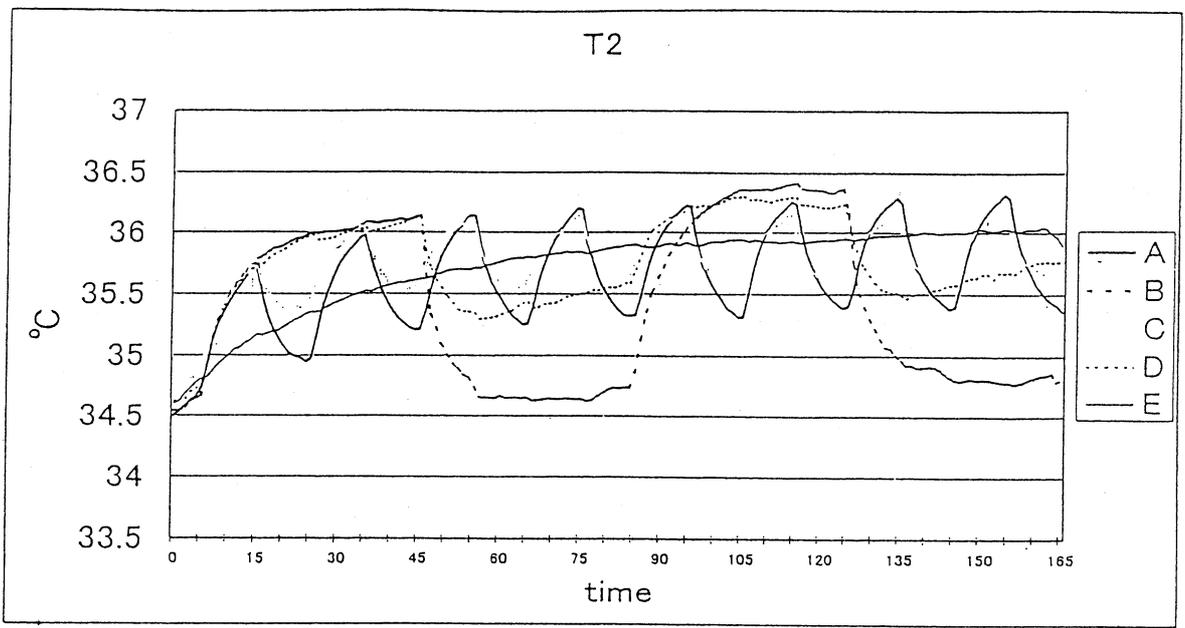


図67 胸部、前腕、下腿部の各皮膚温

D条件は実験開始時37.16℃であった。実験36分時に37.1℃に下降、その後上昇し実験73分時37.21℃になるが再び下降し、実験96分時には37.17℃になる。その後は上昇し、最終的には37.26℃になる。E条件は実験開始時37.18℃であった。その後約15分下降し37.1℃になり、その後はあまり変化せず最終的に37.14℃になった。

直腸温は皮膚温とは異なり、B・E条件以外は総じて上昇傾向を示した。皮膚温に比べ環境による影響が出るのが遅く、また反応も皮膚温とは異なるため、違った傾向を示したと推察される。

5) 心拍数

図70に心拍数の経時変化を各条件別に平均値で示した。

実験開始時の心拍数はA条件74.59拍/分、B条件75.91拍/分、C条件76.49拍/分、D条件76.67拍/分、E条件74.17拍/分であった。A、C条件は10分ごとに心拍数の変化がみられた。A条件は高温室で最高74.56拍/分、低温室で最低62.13拍/分であり、C条件は高温室で最高76.45拍/分、低温室で最低69.56拍/分であった。設定温度の高いC条件の方がA条件よりも高い心拍数であった。B、D条件は40分ごとに変化がみられた。その40分の間でも微妙に変化していたが、B条件は実験43分時79.8拍/分まで上昇し、その後68.3拍/分に下降した。D条件は実験43分時79.85拍/分まで上昇し、その後72.6拍/分に下降した。設定温度の高いD条件の方がB条件よりも高い心拍数であった。E条件は最高74.17拍/分から最低66.1拍/分の間を推移していた。

心拍数の頻回暴露の影響は、AやB条件の温熱刺激のより大きい条件で繰り返しの効果がみられ、それらの条件では時間が経つにつれ心拍数は減少した。

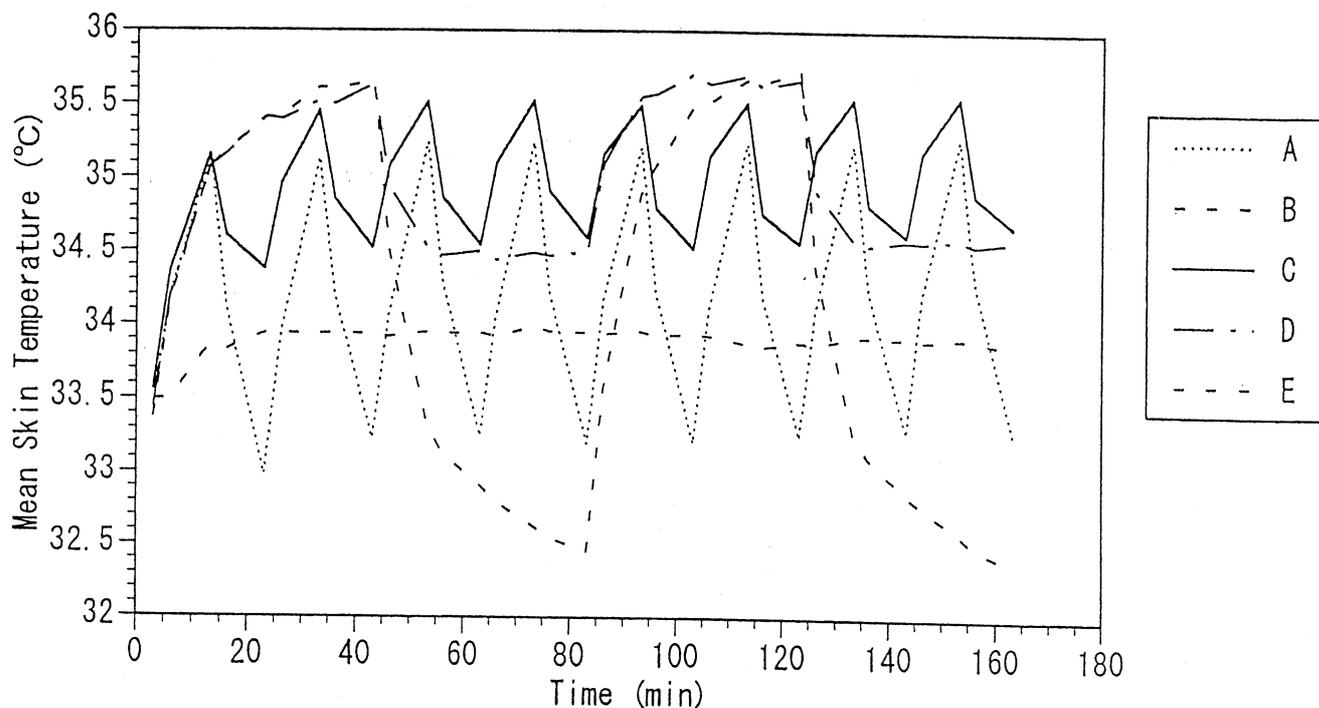


図68 平均皮膚温

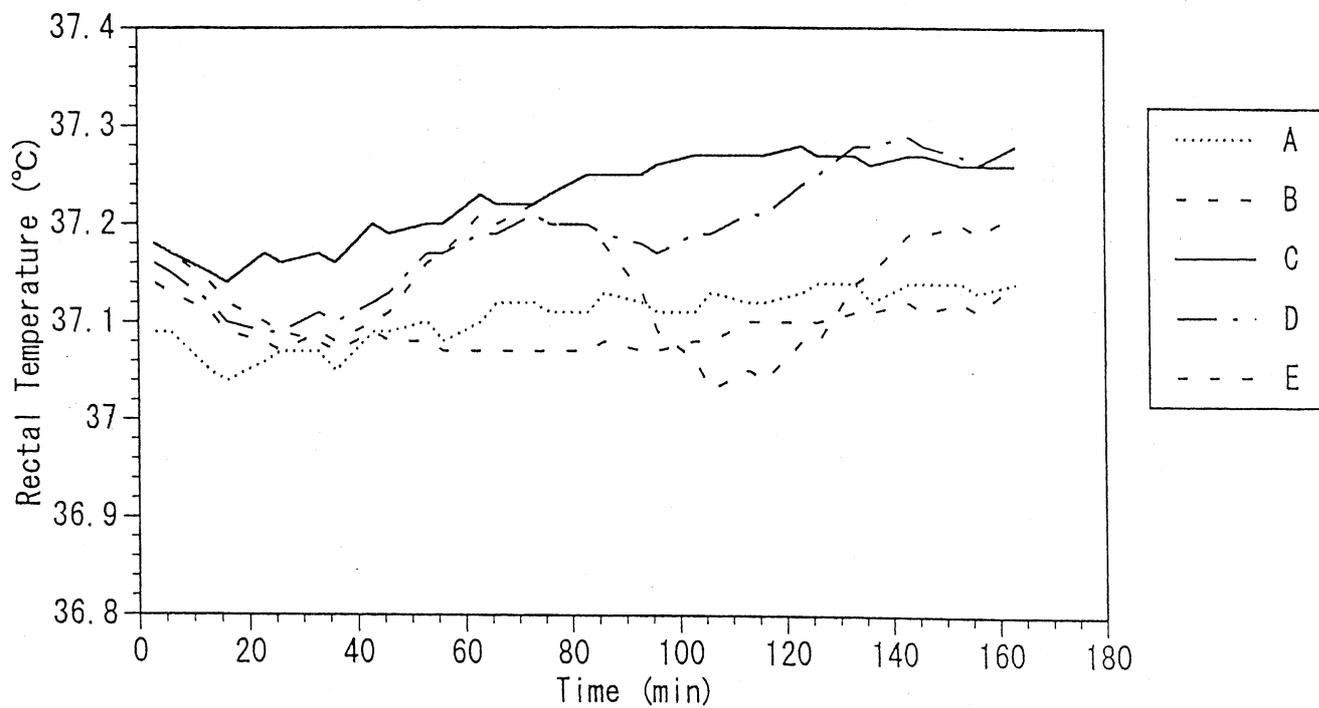


图 6 9 直腸温

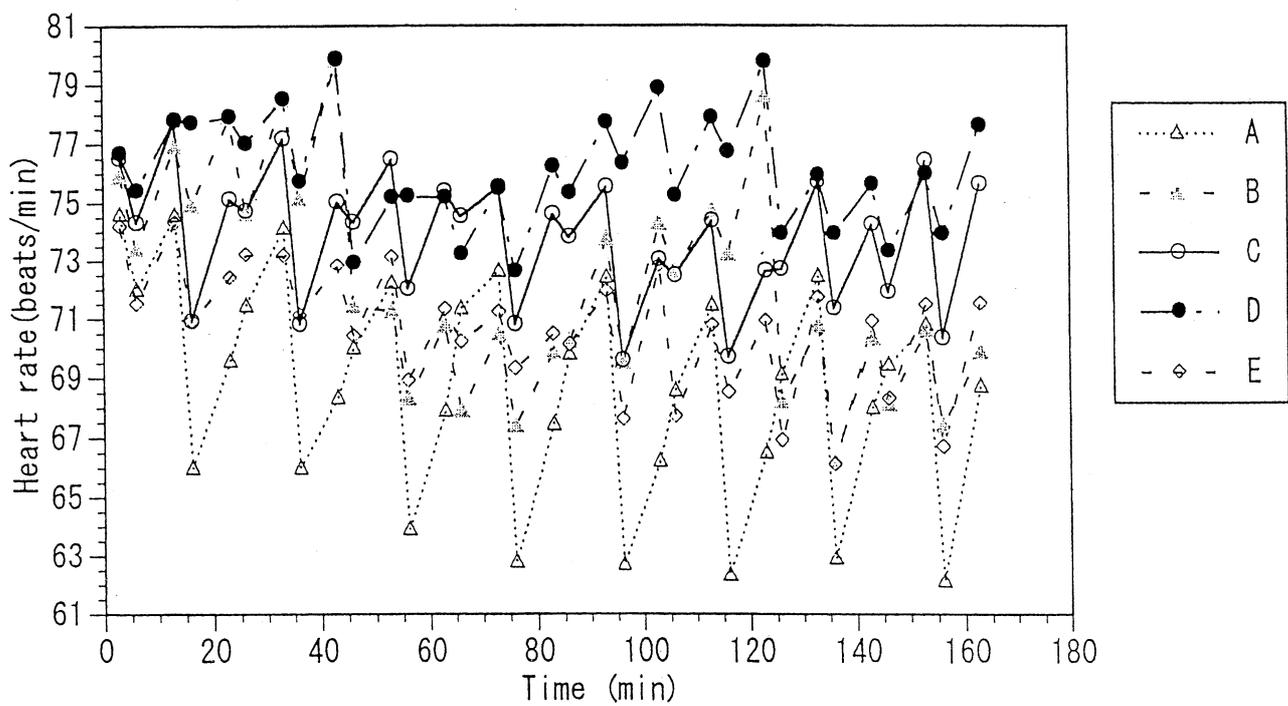


图 7 0 心拍数

6) 血圧

図 7 1 に収縮期血圧の経時変化を各条件別に平均値で示した。

実験開始時の収縮期血圧はA条件98mmHg、B条件97.8mmHg、C条件96.1mmHg、D条件101mmHg、E条件102.3mmHgであった。A、C条件は10分ごとに収縮期血圧の変化がみられた。A条件の最大収縮期血圧は実験163分時の106.7mmHg、最小収縮期血圧は実験133分時の93.3mmHgであった。C条件の最大収縮期血圧は実験136分時の101.9mmHg、最小収縮期血圧は実験93分時の92.8mmHgであった。B条件は40分ごとに収縮期血圧の変化がみられた。その40分の間にも微妙に変化していた。B条件は実験43分時95.8mmHgだったが、その後99.6mmHgに上昇した。実験83分時からは再び下降し89.8mmHgになるが実験126分時には101.7mmHgに上昇した。D条件は実験43分時95.4mmHgまで上昇したが、その後は時間に関係なく最高103.4mmHg最低96mmHgのあいだを変化していた。E条件は最低97.1mmHgから最高110mmHgの間を、時間と関係なく変化していた。途中、実験86分時の110mmHgは直前に移動をした結果あがったものであると考えられる。

頻回暴露の影響は、収縮期血圧に関してはあまり明確には見られなかった。

図 7 2 に拡張期血圧の経時変化を各条件別に平均値で示した。

実験開始時の拡張期血圧はA条件65.6mmHg、B条件63.5mmHg、C条件65.1mmHg、D条件69.6mmHg、E条件65.2mmHgであった。A、C条件は10分ごとに拡張期血圧の変化がみられた。A条件の最大拡張期血圧は実験123分時の72.2mmHg、最小拡張期血圧は実験93分時の62.6mmHgであった。C条件の最大拡張期血圧は実験143分時の70.9mmHg、最小拡張期血圧は実験73分時の62.2mmHgであった。設定温度の低いA条件の落差が大きいことが目立った。B、D条件は40分ごとに拡張期血圧の変化がみられた。その40分の間にも微妙に変化していたが。B条件は実験43分時は64.2mmHgであったが、その後実験83分時には65.4mmHgに上昇した。その後40分下降したが、再び実験126分時から上昇した。D条件は実験43分時63.6mmHgであったが、その後実験73分時には67.8mmHgに上昇した。その後40分下降し、実験126分時から再び上昇した。E条件は最高72mmHgから最低65mmHgの間を変化した。途中、実験86分時の72mmHgは、直前に移動をした結果上昇したと考えられる。

時間が経つにつれ全条件で拡張期血圧は多かれ少なかれ上昇する傾向がみられたが、E条件でも上昇がみられたことから、これは繰り返しの影響というよりもむしろ時間が経ったことの影響と推察される。

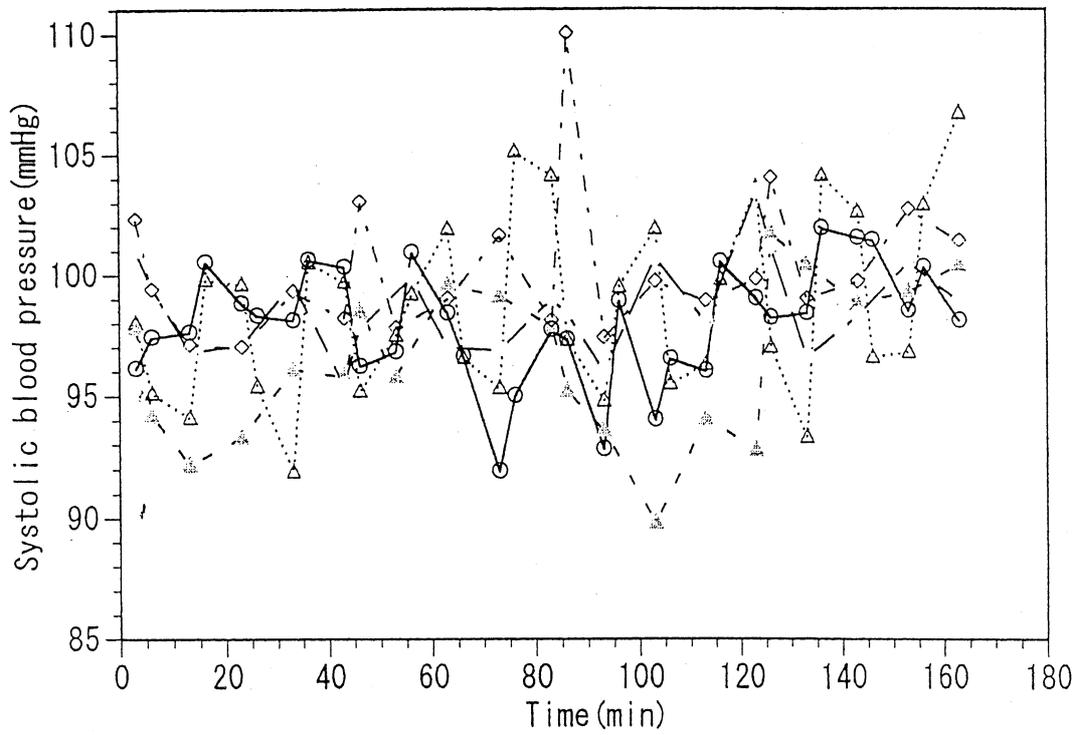


図 7 1 収縮期血圧

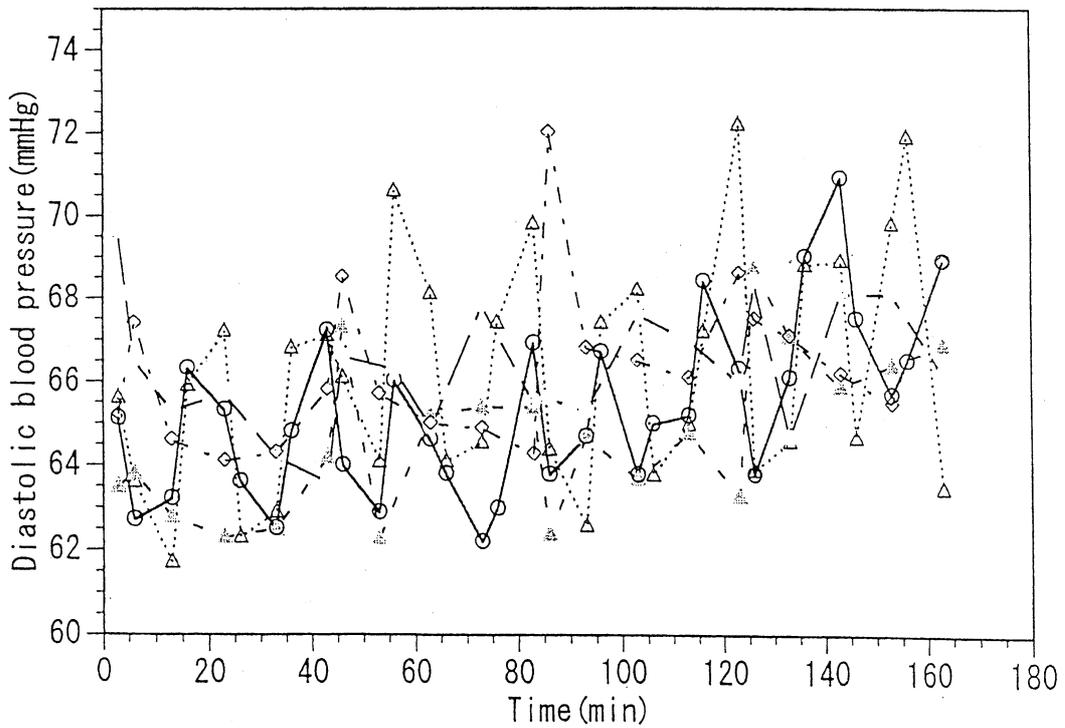


図 7 2 拡張期血圧

7) 快適感

図7.3に快適感の経時変化を各条件別に平均値で示した。快適感とは、温熱的な快・不快に関して申告を受けたものである。

A, C条件は10分ごとに快適感の変化がみられた。実験13分時A条件は-1「やや不快」C条件は-1「やや不快」を申告し、実験23分時ではA条件は0「どちらともいえない」C条件は1「やや快適」を申告した。実験83分時A条件は0「どちらともいえない」と-1「やや不快」の間、C条件は1「やや快適」を申告した。その後実験終了時の実験163分時には、A条件は0「どちらともいえない」C条件は1「やや快適」を申告した。B, D条件は40分ごとに快適感の変化がみられた。実験43分時B条件は-1「やや不快」と-2「不快」の間、D条件は-1「やや不快」よりを申告した。実験83分時B条件は0「どちらともいえない」よりを、D条件は1「やや快適」よりを申告した。その後実験終了時の実験163分時にはB条件は0「どちらともいえない」D条件は1「やや快適」を申告した。E条件は、時間と関係なく0「どちらともいえない」と1「やや快適」の間であると申告した。

非定常の繰り返し暴露の影響としては、A, B条件においては時間が経つほど高温室での申告と低温室での申告の差が小さくなった。A, B条件では2室の温度差が1.4℃と大きいですが、繰り返すうちに慣れのためか感受性が鈍くなる傾向が観察された。対してD条件では2回目の方が1回目より申告の振幅が大きくなった。これはD条件ではかなりの暑熱環境に長時間いるためそのダメージがより大きくあらわれたことが理由と考えられる。

8) 温冷感

図7.4に温冷感の経時変化を各条件別に平均値で示した。A・C条件は10分ごとに温冷感に変化が見られた。実験13分時A・C条件ともに2「暖かい」に近い値を申告した。実験23分時A条件は-1「やや涼しい」と-2「涼しい」の間、C条件は0「どちらとも言えない」に近い値を申告した。B・D条件は、40分ごとに温冷感に変化が見られた。実験43分時B・D条件ともに2「暖かい」と3「暑い」の間に近い値を申告した。実験83分時B条件は-1「やや涼しい」に近い値を申告し、D条件は0「どちらともいえない」に近い値を申告した。E条件は、時間に関係なくほぼ0「どちらとも言えない」に近い値を申告した。

非定常の頻回暴露の影響はA・C条件ではあまりみられず、1室毎の滞在時間の長いB・D条件でより顕著にみられた。B条件では2回目の繰り返しのときは1回目より感覚が鈍くなり2室の申告値の差が小さくなり、反対にD条件ではより顕著になった。温度によってこのような差が生じたのは、その温度が好ましい環境条件か否かといった心理的背景が影響したと推察される。

9) 環境に対する許容度

図7.5に許容度の経時変化を各条件別に平均値で示した。許容度は、温熱環境に関して受け入れられるか受け入れられないかの申告を受けたものである。A・C条件は、10分ごとに温熱環境に対する許容度に変化が見られた。実験開始13分時、A条件は50%、C条件は60%の被験者が、この環境を受け入れられると申告した。実験23分時、A条件は80%、C条件は100%の被験者がこの環境を受け入れられると申告した。B・D条件は40分ごとに変化が見られた。

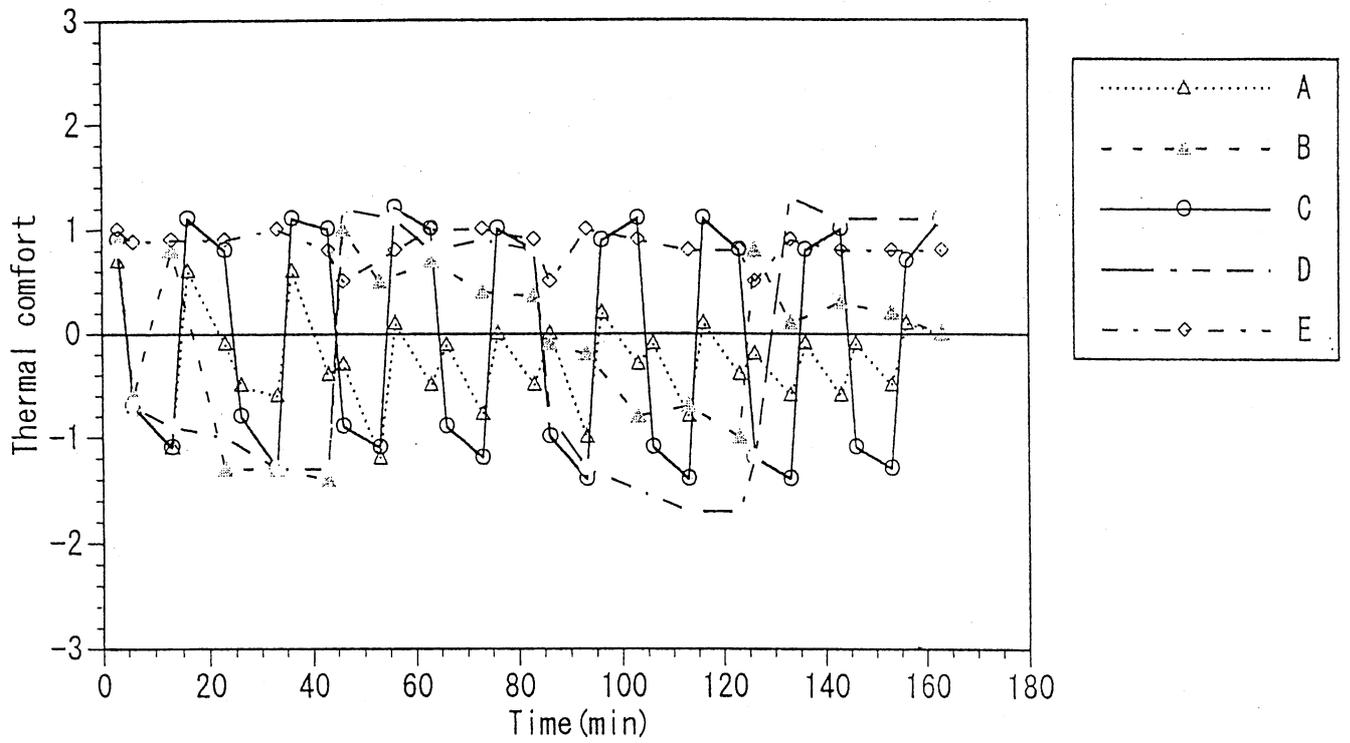


图 7 3 快適感

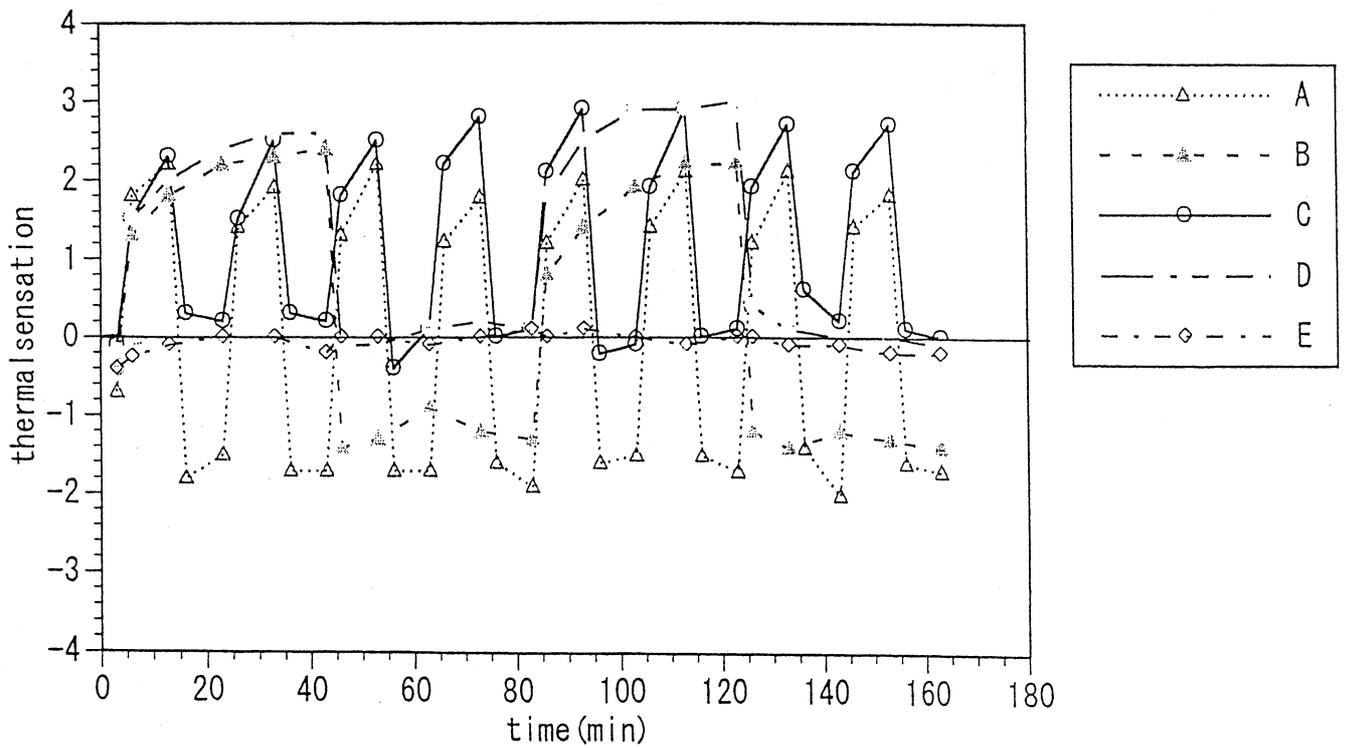


图 7 4 温冷感

実験 43 分時 B 条件は 60%、D 条件は 50%の被験者がこの環境を受け入れられると申告した。実験 83 分時 B 条件は 90%、D 条件は 100%の被験者がこの環境を受け入れられると申告した。E 条件は時間に関係なく、100%の被験者がこの環境を受け入れられると申告した。

非定常の繰り返し暴露の影響は、C 条件以外の A・B・D 条件で比較的良好に観察され、A・B 条件では許容度は時間が経つと高くなり、D 条件では低くなった。快適感や温冷感ともこの許容度は相関していると考えられる。

1 0) だるさ

図 7 6 にだるさの経時変化を各条件別に平均値で示した。A・C 条件は 10 分ごとにだるさに変化が見られた。実験 13 分時 A・C 条件ともに 0「だるくない」と 1「ややだるい」の中間に近い値を申告した。実験 73 分時は A・C 条件共に 1「ややだるい」に近い値を申告した。B・D 条件は 40 分ごとにだるさに変化が見られた。実験 43 分時 B・D 条件は「ややだるい」に近い値を申告した。実験 83 分時は B・D 条件ともに 0「だるくない」と 1「ややだるい」の中間に近い値であった。E 条件は実験終了時まで 0「だるくない」と 1「ややだるい」の中間に近い値を申告した。

頻回暴露の影響としては、どの条件も時間の経過に従いよりだるい側の申告をする傾向が観察された。

1 1) 発汗に対する申告

図 7 7 に発汗に対する申告の経時変化を条件別に平均値で示す。

3 分時 A 条件は 0「汗をかいていない」と 1「少し汗ばんでいる」の中間、実験 43 分時 A・C 条件ともに 0「汗をかいていない」に近い申告をした。B・D 条件は 40 分ごとに発汗の程度に変化が見られた。実験 43 分時 B 条件は 1「少し汗ばんでいる」と 2「汗をかいている」の中間を、D 条件は 2「汗をかいている」を申告した。E 条件は実験終了時までほぼ 0「汗をかいていない」を申告した。

非定常の繰り返しの効果は A 条件ではあまり見られなかったが、B 条件では少なくなり、C・D 条件といった暑熱状態が長く続くものでは、後半上昇する傾向がみられた。

1 2) 自覚症状

図 7 8 は実験前後の被験者の疲労に対する自覚症状を 30 項目の質問内容の合計得点を平均値で表したものである。A・B 条件は、実験前、後の疲労度の数値にあまり差がないが C・D 条件では実験前より実験後のほうが疲労度の数値が高まっている。E 条件では実験前より実験後の疲労度の数値が低くなった。

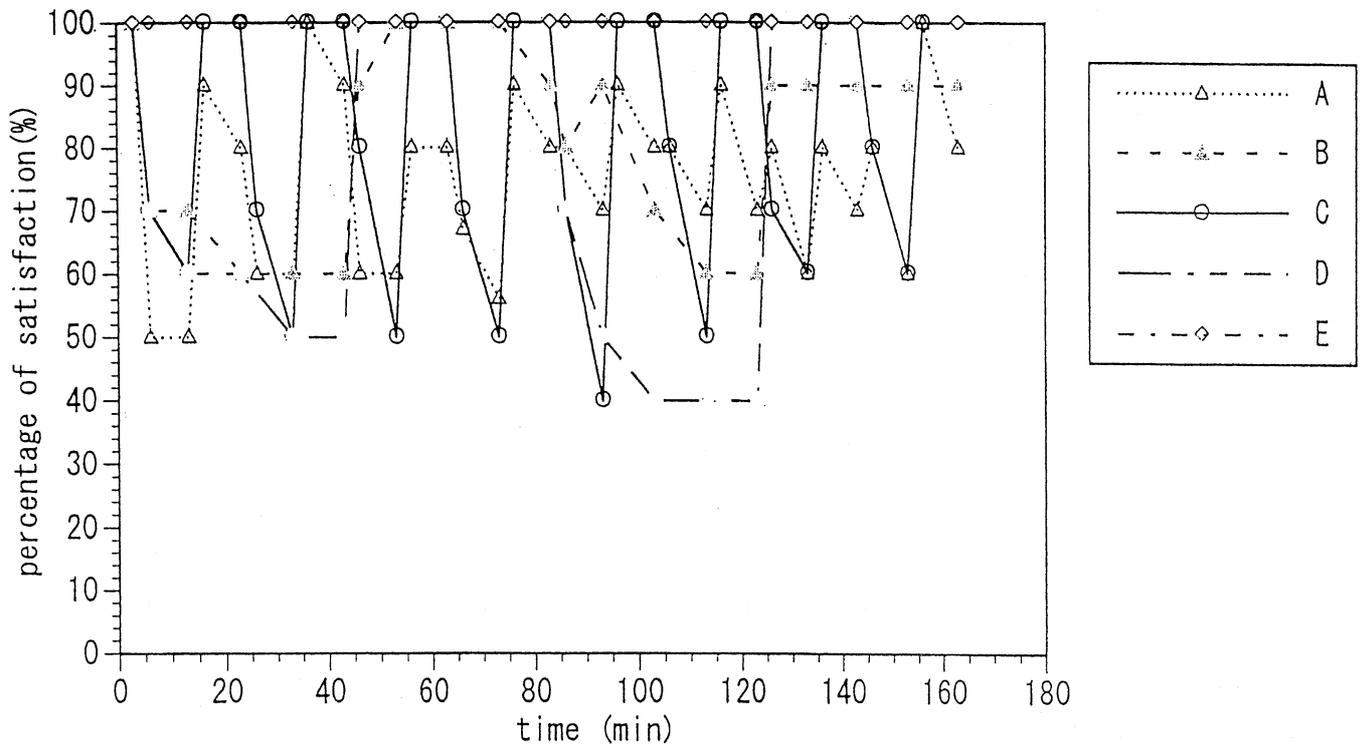


図75 許容度

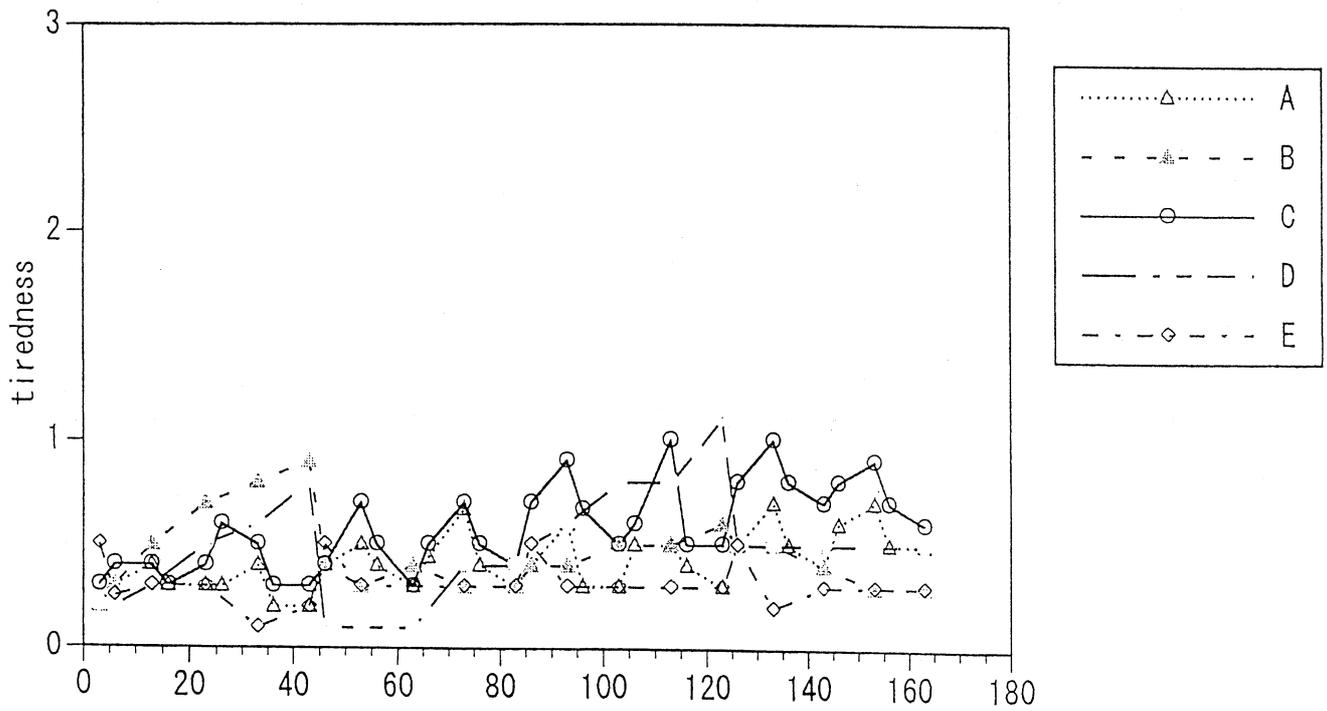


図76 だるさ

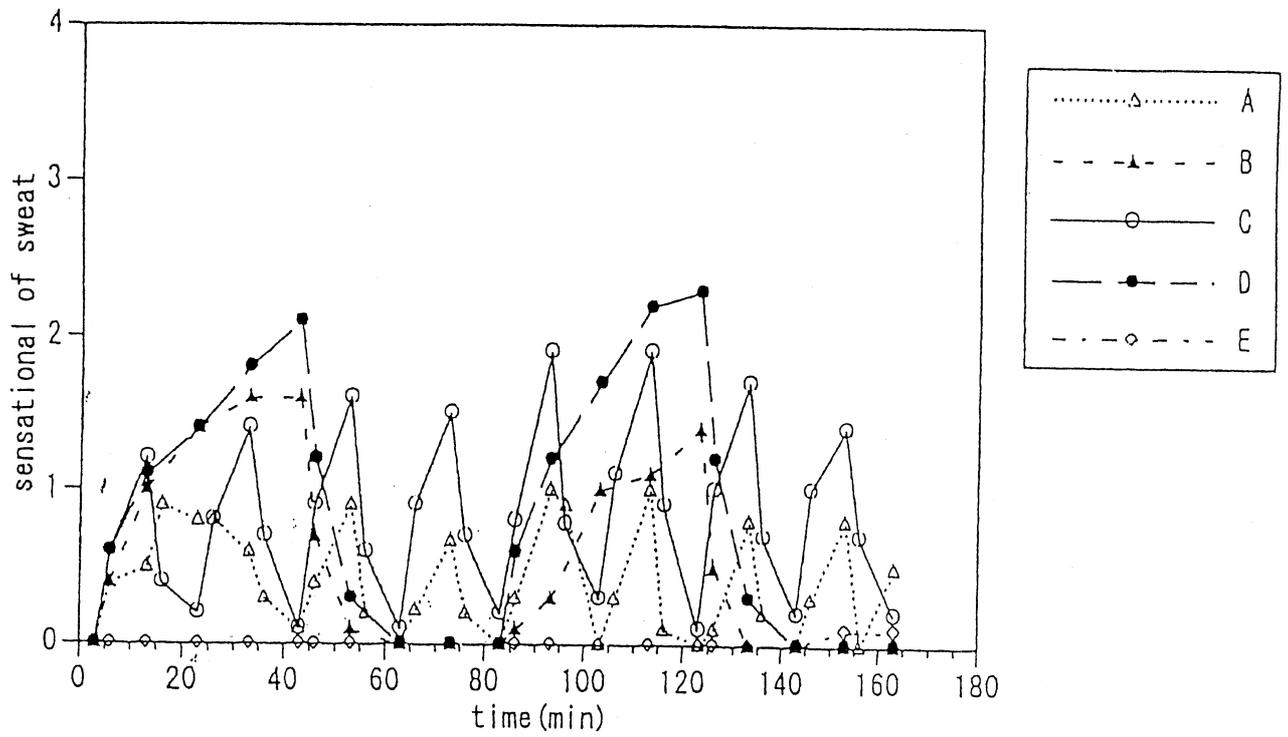


図77 発汗の程度

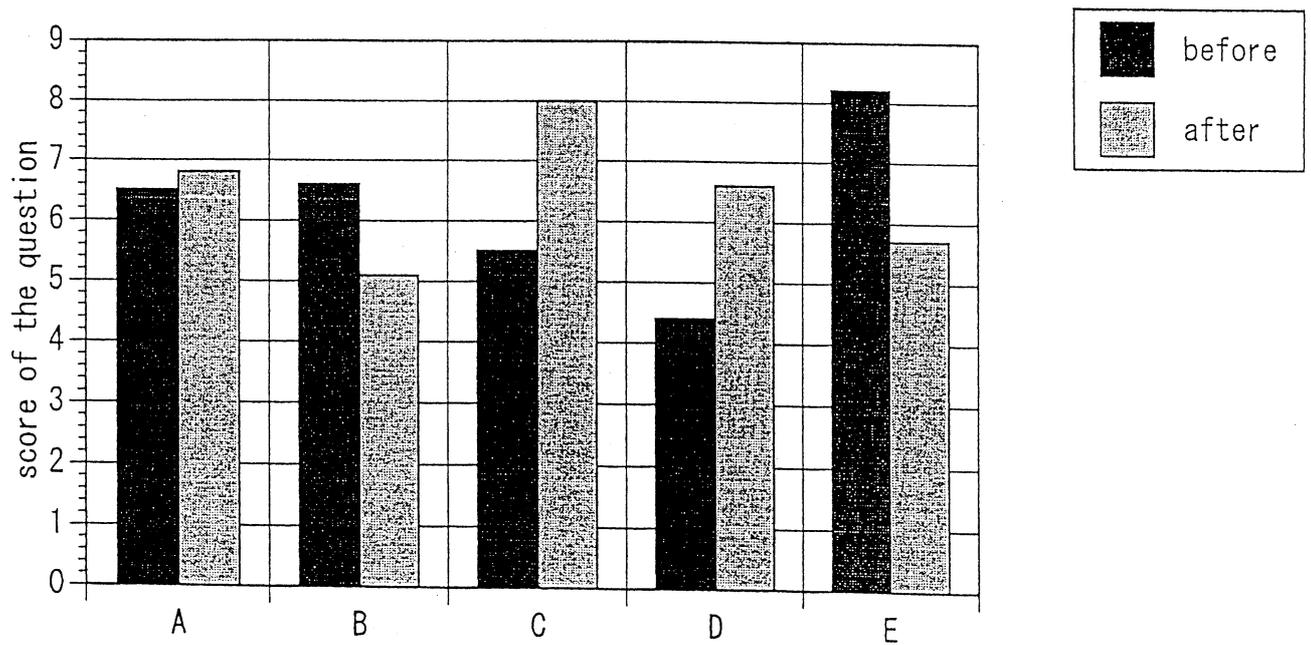


図78 自覚症状

(4) まとめ

非定常の温熱環境、すなわち、夏期の室内外の温度差と滞在時間が生理心理反応に及ぼす影響について、健康な20歳から23歳までの女子10名を被験者として、人工気候室にて気温35℃、湿度60%の高温室と気温21℃又は28℃、湿度60%の低温室を設定し2室を10分又は40分間隔で滞在する実験を行った。実験中、連続して直腸温、各部皮膚温、心拍数、血圧、心理的反応アンケートを行い、以下の結果が得られた。

- 1 非定常環境では、直腸温、許容度、疲労感申告等から、低温室と高温室の差が小さい場合よりも差が大きい方が、人体影響が大きくなった。
- 2 皮膚温は、部位により頻回暴露の影響が異なり、影響のみられた部位とそうでないものがあった。平均皮膚温への繰り返しの影響は小さかった。直腸温は、繰り返しの関わらず上昇がみられた。
- 3 非定常環境での、快適感や温冷感等の主観的申告は、繰り返しの影響が比較的顕著にみられ、その傾向は前室温度や滞在時間によって大きく影響を受けた。
- 4 非定常の温熱環境での、ISOの本分野で多く使用されているPPD (Predicted Percentage of Dissatisfaction 予測不満足率) が求められた例はなかった。今後は、我が国の夏季によく生じるような冷房室内外の温度差に曝された時のPPDを、温度差および滞在時間の観点から求める。

5. 2. 身体各部位の温熱感受性の解明

5. 2. 1. 温熱感受性・温熱感覚に関する基礎

ヒトはふつう周囲温熱環境が変化しても、体内温を一定のレベルに維持しようとする機構を持つ。たとえば、安静の状態から運動へ、あるいは周囲環境条件が変わり生体から周囲への熱放散が変化したときにも、体温を一定に保つには体温調節機構が必要とされる。体温調節機構が働くためには、皮膚表面のみならず体内温も温度受容器によってモニターされていることが必要である。

温度受容器には2種類あり、温受容器は温度の上昇によって活性化され、冷受容器は温度の低下によって活性化される。温度の上昇または低下は体温調節の効果器応答によってうち消される。たとえば、ふるえによる生体内での熱の産生、血管運動調節による体内から皮膚への循環血液による熱運搬の変化、皮膚での潜熱放熱に役立つ汗の産生がヒトにおいてもっとも重要な自律性体温調節反応である。それに加えて、ヒトでは、着衣や室内の空調などの目的をもった活動が行動性体温調節反応として行われている。

温度受容器からの求心性信号が中枢で遠心性信号に変換され、遠心性信号が効果器の活動を制御する。温度受容器の温度受容能は、局所刺激に対して感覚反応と十分な体温調節反応を引き起こす、つまり、皮膚を冷却すると“冷たい”との感覚が生じるとともに、寒冷ふるえによって熱産生が引き起こされ、一方皮膚加温によって“暖かい”との感覚が生じるとともに、皮膚血管拡張または発汗が起こって熱放散を促進する。

ヒトが感じる“暖かい”と“冷たい”といった皮膚などに加えられた刺激を識別する温・冷覚はこれまで温熱感覚や温熱的快・不快とは区別して考えられてきた。しかし、温熱感覚や温熱的快・不快には外部温熱環境のみならず、身体内部温熱環境も含めた全身の温熱状態が深く関与しており、また、行動性体温調節反応を誘因する感覚として重要である。また、自律性体温調節反応は温熱感覚や温熱的快・不快への関与は少ない、つまり、温覚・冷覚は体温調節反応が引き起こされるための皮膚の温度受容器からの信号を意味し、つまり、温覚閾値以上あるいは冷覚閾値以下でのみ自律性体温調節反応は関与すると認識されてきた。しかし、温度感覚だけでなく温熱感覚といった場合、発汗によるぬれ感覚や湿度の湿り感覚、あるいは、放射温、気流温・気流速度など種々の温熱要素の影響を無視できない。また、ぬれ感覚や湿り感覚は発汗量との相関関係が高いことが認められており、自律性体温調節反応との関係も無視できない。そこで、温覚・冷覚は温熱感覚を皮膚で受容する温度受容器の温度受容能と本研究では位置づけ、それらが温熱感覚に及ぼす影響やそれらの相関関係を検討していくことを目的とする。また、温覚・冷覚は深部体温に影響されないと言われているが、これらについてデータが少ない。さらに環境が急変するような場合や深部体温が正常よりも高い、あるいは低い時に自律性体温調節反応の閾値も異なるため、温覚・冷覚閾値も異なり、自律性体温調節反応も影響を受ける可能性が示唆される。

(1) 温覚・冷覚の現象論

1) 温点と冷点

温覚と冷覚とは各々独立した感覚であることは、感覚特異性と生理学的特異性の両方から明ら

かである。感覚特異性を示す根拠のひとつに、皮膚上における温点と冷点の存在がある。これは、温度刺激および電気刺激により温覚または冷覚のみを起こす皮膚上の明確な小領域（径1 mm以下）である。身体の部位別にみた分布密度を表35に示す。一般に冷点のほうが温点よりも密度が高い。

表35 ヒトの皮膚温点および冷点の分布密度

	温点 (/cm ²)	冷点 (/cm ²)
前額		5.5-8.0
鼻	1	8
口唇		16.0-19.0
上記以外の顔	1.7	8.5-9.0
胸	0.3	9.0-10.2
腹		8.0-12.5
背		7.8
上腕		5.0-6.5
前腕	0.3-0.4	6.0-7.5
手背	0.5	7.4
手掌	0.4	1.0-5.0
指（背側）	1.7	7.0-9.0
指（掌側）	1.6	2.0-4.0
大腿	0.4	4.5-5.2
下腿		4.3-5.7
足背		5.6
足底		3.4

温点-Rein, 1925

冷点-Strughold & Porz, 1931より

2) 温覚・冷覚と温度刺激

温覚・冷覚の順応 著しい高温、低温でなく、皮膚温が一定の状態が続くと、温・冷覚は減衰し、最後には消失すると言われている（これを、無関温度と呼ぶ）。この順応温よりも高温は暖かく、低温は冷たく感じる。すなわち、同じ温度刺激を与えてもそのときの順応温により感覚が異なる。この現象が見られるのは順応温がある範囲内にあり、刺激面積が十分大きいときである。

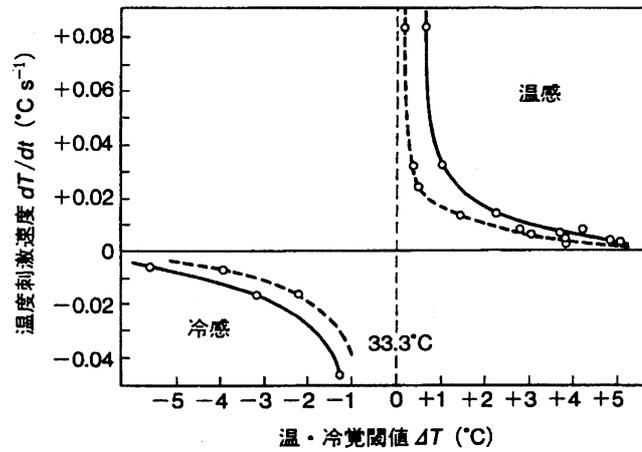
温・冷覚の閾値 温・冷覚の閾値は、温度変化速度 (dT/dt)、順応温レベル、刺激面積、刺激時間などに左右される。

・ 温度変化速度

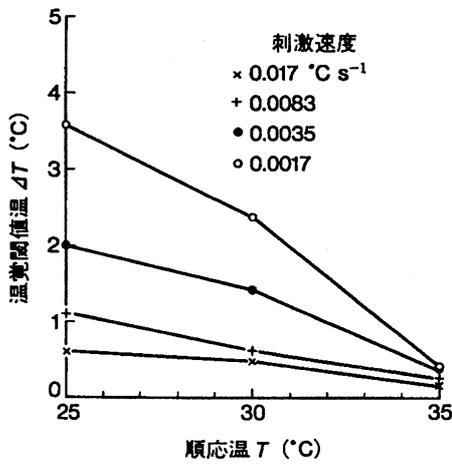
順応温が同じであれば、 dT/dt が大きいほど、温・冷覚を生ずる閾値温 (ΔT) は低く、両者は直角双曲線の関係になる。順応温が高または低温になると、定常状態でも（すなわち、 $dT/dt = 0$ のとき）温または冷覚を生じる。これは刺激面積と部位により異なる。

・ 順応温レベル

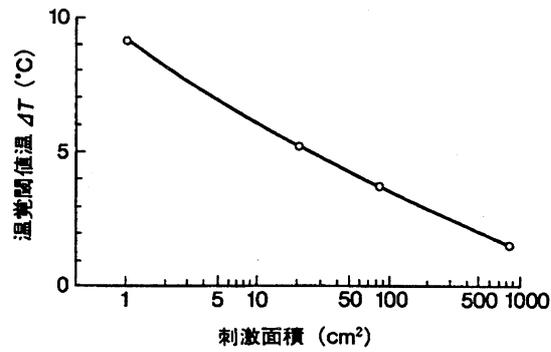
dT/dt が等しい場合は、順応温が低いほど温覚を生じる閾値は大きく、順応温が高いほど冷覚を生じる閾値温は大きい。



(a)



(b)



(c)

図79 ヒトの温覚閾値に対する温度刺激測度(a)、順応温(b)、および刺激面積(c)の影響

- (a) 前腕 (20cm²) を刺激部位として、点線が閾値を、実線が明白な温・冷感を生じた時の刺激の強さを示す
- (b) -0.0017~0.017°C/s の範囲で種々の刺激測度が順応温及ぼす影響を検討
- (c) 温覚閾値に対する刺激面積の影響

a と c は Hensel, 1950; b は Hensel, 1952.

・ 刺激面積

刺激面積が小さいほど、温覚を生じる閾値温は大きくなり、前腕 1—1000cm²の間では約 8°C の差がある。また、体表全体を冷却すると 0.01°C の温度変化でも冷覚を生じるが、1 cm² の刺激ではその 100 倍の温度変化が必要である。刺激面積 (A) と温覚および冷覚閾 (T_w および T_c) の関係は次式で示され (Kenshalo, 1978)、温覚閾に影響が強い。

$$T_w = kA^{-1.0} + C \quad (1)$$

$$T_c = kA^{-0.5} + C \quad (2)$$

・ 弁別閾

弁別閾は Weber の法則に従う。加温の場合、刺激の強さ I が $1-8^{\circ}\text{C}$ の間で、弁別閾 (ΔI) は 0.03 から 0.06°C で、 5°C 付近でもっとも低い。Weber 比 ($\Delta I/I$) は I が $4-8^{\circ}\text{C}$ の間では、温覚で約 0.008 、冷覚で約 0.026 である (Johnson, Darian-Smith, & LaMotte, 1973; LaMotte, 1972)。またこの値は $29-40^{\circ}\text{C}$ の間では順応温の影響を受けない。

3) 温・冷覚の強さ

・ 温度変化に対する温・冷覚の大きさ (動的感覚)

刺激の強さ (P) と温・冷覚の大きさ (S) との間には、他の感覚の場合と同様に、Stevens とのベキ関数の法則 (psychophysical powerlaw) — $S=kP^n$ — が成立する。前腕皮膚 (16cm^2) に順応温 32.5°C から急激な加温または冷却を加えた場合、 n の値は温覚で 1.6 、冷覚で 1.0 である (Stevens & Stevens, 1960)。注目すべきことに、動的温度・冷覚の大きさに対し、温度刺激速度 (dT/dt) はある範囲では、影響を及ぼさない。たとえば、順応温 (35°C) で $1, 2, 5^{\circ}\text{C}$ の温または冷刺激を $0.5, 1, 2^{\circ}\text{C/s}$ で与えてみると、惹起される温・冷覚の大きさは ΔT のベキ関数で表されるが、 dT/dt には関係がない (Molinari, Greenspan, & Kenshalo, 1977) (図 80)。

一方、皮膚温度受容器の求心放電頻度はこの実験で用いた dT/dt の範囲でそれに比例して増加する (Kenshalo & Duclaux, 1977)。この感覚と神経現象とは対応しないといわれている。

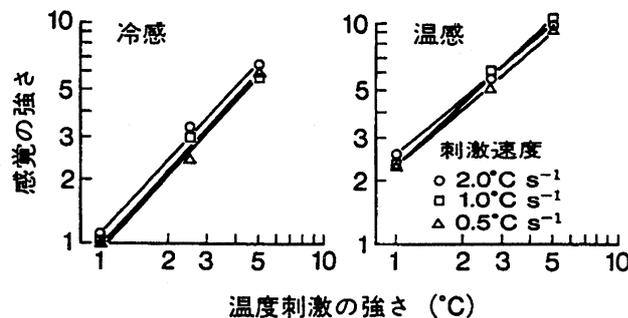


図 80 順応温 35°C 条件下において刺激面積 14cm^2 に対して、種々の温度刺激 ($1-10^{\circ}\text{C}$) を種々の速度 ($0.5-2.0^{\circ}\text{C/s}$) で与えたときの温覚・冷覚の強さ (Molinari, Greenspan, Kenshalo, 1977)

・ 定常温度に対する温覚・冷覚の大きさ (静的感覚)

刺激温 25°C と 40°C との間で一定温の金属熱極 (75cm^2) を手に 30 分間置き、このときの温・冷覚の大きさと温度を推測させてみる。すると、 37°C では推定値はほぼ正しく、これより、高温では実際より高く、低温では実際より低く感ずる (Beste & Hensel, 1977)。低温刺激になると、感度が悪くなり、 27°C と 25°C の定常温は区別することができない。これらのことは他の身体部位でもみられる。次に、左手を 28°C に保った状態で右手を $28-17^{\circ}\text{C}$ の間の一定温に保持したとき、 $28-23^{\circ}\text{C}$ では左右の冷感に差がないが、 23°C 以下になると明らかに差がわかる。他の報告でも結果は同様で、左右の冷覚弁別は $29-26^{\circ}\text{C}$ で最も悪く、 25°C 以下で弁別がよくなるという。 23°C 以下で弁別がよくなるのは、冷覚の量的な差異ではなく、質的な差による「冷た

い」 というよりも 'icy' あるいは徐々に痛覚が発生してくる感覚を伴う。

4) 空間的要素

・ 刺激面積

刺激面積が大きいほど、温・冷覚の閾値は低下し、感覚の大きさも増す（空間的加重）。たとえば、背中の加温刺激で刺激面積（4.7—200cm²）が大きいと、ベキ関数の法則のベキ指数（n）は0.67から2.00へと大きくなる（Stevens, Marks, & Simonson, 1974）（図81）。与える刺激が強いと、面積効果は小さくなり、図において刺激面積毎の温感が収束する800mW/cm²は温痛を起こす強さと大体一致する。

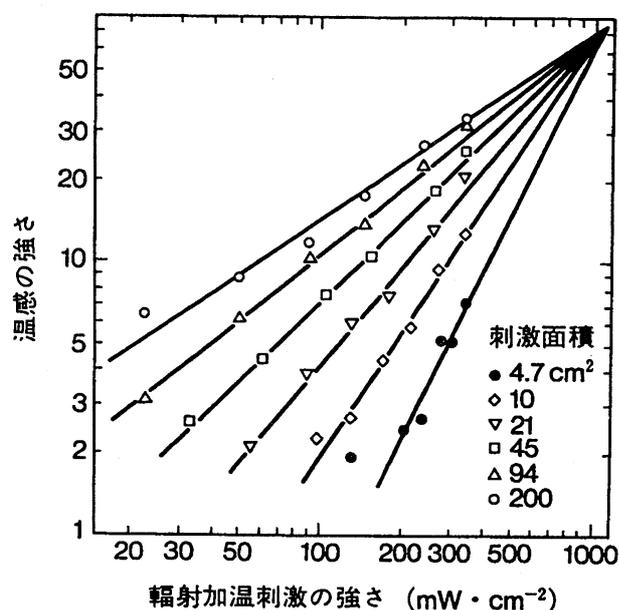


図81 輻射加温刺激を背中に与えたときの刺激面積と温感の強さとの関係
(Stevens, Marks, Simonson, 1974)

・ 神経支配の異なる部位の刺激に対する加重

身体の内側で対称的な2点を同時に刺激した場合は温・冷覚の加重が起こる。前額部の輻射熱刺激を、①一側の小面積、②一側で①の2倍の面積、③両側で各々①の面積に行うと、生じる温覚の強さは②と③で差がない。同様のことは両側手背の輻射熱刺激に対する温覚閾値についてもみられるし、冷覚の強さや閾値についても同様である。ただし、この空間的加重は、対称部位2点刺激で起こるが、非対称部位では起り難い。この加重の少なくとも一部は脊髄で起こると想像されている。なお、この加重は順応温とは無関係であるらしい。

・ 空間弁別

温・冷覚は触・圧覚と異なり、空間的加重は強く、局在定位、2点弁別などの空間的識別はよくない。たとえば、右手と左手、前額の左右、背部と腹部の温刺激をしばしば混同する。前腕輻射熱刺激に対する温覚局在定位の誤答率は触覚のそれより65—100%多い。刺激量が大き

いと正答率はよくなる。被刺激面積の大きさの区別も困難である。2点弁別閾もよくない (Hensel, 1982)。温・冷覚では7) で述べるような触覚を介する空間的錯覚が起こるので、空間弁別はさらに悪くなる。温・冷覚で空間弁別がよくないことは、温度情報の生物学的意義が空間的弁別よりも体温調節の情報源としてより重要であり、空間的加重の方向へ脳内情報処理が進められているためであろう。

部位的差異 同一面積に同一刺激を与えたときの動的温覚は、前額>胸>腹>背>大腿>下腿の順に弱くなるという (Stevens et al., 1974)。

なお、温・冷覚は温度受容器へ加わる空間的温度勾配や方向とは無関係である。

5) 時間的加重

温・冷覚の時間的加重は皮膚熱伝導に伴う温度変化の遅れという要因もあって解析が困難である。前額皮膚一側を2s間輻射熱で加温し直後に他側を2s間加熱したときの温覚の大きさは、一側を4s間加温したときのそれと同じであることなどから、中枢神経系において加重が起こることが想像される。持続時間の異なる輻射熱パルスを与えると、惹起こされる温覚の大きさは0.25sから3sの間では増加するが、それ以上ではその差は小さい。短い強い熱パルスは長い弱いパルスと同じ大きさの感覚を起こす。

6) 非温熱性刺激

皮膚を45℃以上に温めたときに起こる独特の冷感を矛盾感(冷)覚(または逆説冷覚)(paradoxical cold sensation)という。これには冷受容器の活動を伴うことが証明されている。この他、メントールによる冷感、カルシウム静脈注射や局所CO₂に伴う温感、カプサイシン皮膚粘膜塗布による温感、灼熱感、熱痛などが知られており、いずれも皮膚温度受容器の活動変化を介して起こる。

7) 温度感覚と他の感覚との干渉

熱極3本を3本の指にそれぞれあて、刺激してみると、温・冷覚に種々の錯覚が起こる。中心指を無関温度、両側指を高(低)温に保つと、中心指も温かく(冷たく)感ずる。これは中心指で熱極に触れていないと起こらないので、触覚部位への「温・冷覚の放散」(thermal referral)と考えられる。また、両側指を加温(冷却)し、中心指を逆に冷却(加温)すると、中心指冷却のときは中心指に強い冷感が起こり、その逆の組合せのときは、程度は弱いだが、中心指に温感の増強が起こる (Green, 1979)。

冷たい物体は重く感じられる (Weber's deception)。5—1000gの物体の重量感覚を調べると、33℃の物体と45℃の物体とでは差がないが、0℃の物体はいずれの重量で比較しても、約2倍重く感じられる (Stevens, 1979)。この場合、中間温以下では低温であればあるほど重く感じられるが、使用する物体が重いほどこの現象は小さくなる。この効果は極端な小面積を別にすると、刺激面積には関係しない。

(2) 温熱的快・不快感

1) 温・冷覚と温熱的快・不快感

いわゆる温度感覚は皮膚などに加えられた温度刺激を識別する「温・冷覚」であるが、ことは別に、与えられた刺激に対する hedonic な感覚、「温熱的快・不快感」(thermal comfort and discomfort)がある。ASHRAE (アメリカ暖冷房工学学会、1996)では温熱的快感を”the state of mind which expresses satisfaction with the thermal environment”と定義し、国際生理学連合温熱生理学委員会でも同様の定義を用いている。

温熱的快・不快感は温・冷覚とは区別してしかも定量的に取り扱うことができる。表36のようなスケールで主観的評価をさせると、両者は同じ温度刺激に対し、次のような場合で「ずれ」が生じることがわかる。①急激な温度変化に対する両感覚の変化の時間経過が異なる、②温・冷感はほとんど皮膚温により規定されるが、温熱的快・不快感は皮膚温と深部体温の両方に依存する。したがって、深部体温が異なると、同じ温度刺激を快適にも不快にも感ずる。

表36 温・冷感と温熱的快・不快感の評価スケール

ASHRAE・PMV スケール

温・冷感	温熱的快・不快感
1. Cold (寒い)	1. comfortable (快適)
2. Cool (涼しい)	2. slightly uncomfortable (やや不快)
3. slightly cool (やや涼しい)	3. uncomfortable (不快)
4. Neutral (どちらでもない)	4. very uncomfortable (非常に不快)
5. slightly warm (やや暖かい)	
6. Warm (暖かい)	
7. Hot (暑い)	

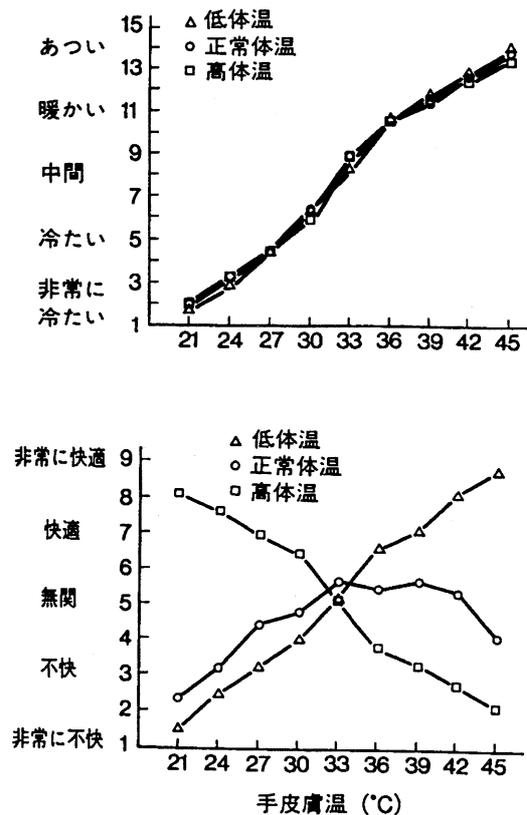
空気調和・衛生工学会スケール

温・冷感	温熱的快・不快感
1. Very cold (非常に寒い)	1. Very comfortable (非常に快適)
2. Cold (寒い)	2. Comfortable (快適)
3. Cool (涼しい)	3. Slightly comfortable (やや快適)
4. slightly cool (やや涼しい)	4. Neutral (どちらともいえない)
5. Neutral (どちらでもない)	5. Slightly uncomfortable (やや不快)
6. slightly warm (やや暖かい)	6. uncomfortable (不快)
7. Warm (暖かい)	7. very uncomfortable (非常に不快)
8. Hot (暑い)	
9. Very hot (非常に暑い)	

2) 温熱的快・不快感と温度刺激

a) 温度感覚と深部体温および皮膚温

温熱的快・不快感は皮膚温だけでは規定されず、深部体温あるいは全身の温熱状態に依存する。深部体温が正常より高ければ、冷皮膚刺激を快く、温皮膚刺激を不快に感ずる。一方、深部体温が低ければ、これと逆のことが起こる (図82)。同様のことは、被験者自身に最も快適と感ずるようには制御させてもみられる。つまり、深部体温が正常よりも高くても低くてもまた等しくても、これを正常から遠ざけようとする温度刺激を不快に感じ、正常に近づけようとする刺激を快適に感ずる (Cabanac, 1981)。



(a)

図82 手背皮膚温に対する温冷感・快適感申告との関係
深部体温を低体温時、正常体温時、および高体温時と
分けた時の手背皮膚温に対する違い (Mower, 1976)

また、温熱的快・不快感は深部体温のみならず、平均皮膚温 (全身皮膚温の空間的平均) によっても規定される。つまり全身の温熱状態により規定される。たとえば、手掌皮膚温を 25°C に保持した状態で、ゆっくりと室温を変化させることにより、手を除いた全身の平均皮膚温を 31°C から 37°C に変化させていくと、手掌温度感覚は次第に不快から快へと変化する。一方、手掌皮膚温を 38°C に固定しておいた場合、同じ操作で快から不快へと変わる。このとき、深部体温はほとんど一定であるので、平均皮膚温のみによっても温熱的快・不快感の変化を惹起することがわかる (Beste & Hensel, 1978)。

Stevens, Marks & Gagge (1969) によると、深部体温と平均皮膚温が正常の場合、皮膚の小領域に加えた加温および冷却刺激 (T) に対する不快感 (それぞれ Dw および Dc) は次式で表される。

$$D_w = 4.27(T - 22)^{0.7} \quad (3)$$

$$D_c = 0.32(22 - T)^{1.7} \quad (4)$$

一方、温・冷覚は深部体温の影響をほとんど受けない (図 8 2 上)。また、平均皮膚温 (全身皮膚温の空間的平均) によってもほとんど影響されないが、温覚閾値は平均皮膚温と深部体温の上昇によりわずかであるが確かに増大するという。これは全身からの温信号による温覚閾値のマスキング現象と想像されている (図 8 3 (Hensel, 1977))。

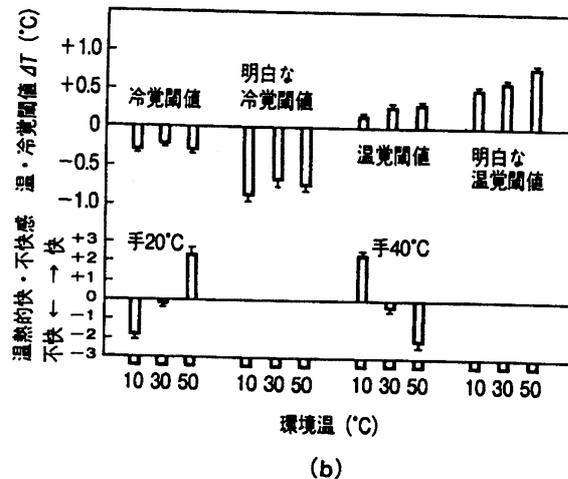


図 8 3 10°C、30°C、50°Cの環境温下における手の温・冷覚閾値ならびに温熱的快・不快感に及ぼす手背皮膚温の影響 (Hensel, 1977; Hensel, 1981)

3) 温熱的快・不快感の生理学的基礎

前項で述べたように温熱的快・不快感は全身の温熱状態すなわち、全身温度情報の統合されたものを反映している。Cabanac, Massonnet, & Belaiche (1972) は被験者に手と前腕の一部を水槽に浸けさせ、本人が最も快適と感ずるよう、水温を制御させたときの選択水温を調べ、次のような実験式を提出している。

$$\text{選択水温} = -0.3T_s (T_{es} - 36.3) + 44 \quad (5)$$

つまり、選択した快適温は食道温 (T_{es})、すなわち、深部体温のセットポイント (この場合、36.3°C) からの T_{es} 偏位と T_s (平均皮膚温) の積で決定される。一方、視床下部温度ニューロンには全身の温度信号が収束しているが、深部体温信号と皮膚温信号との統合様式は上式のような両者の積で示される相乗統合である。また、深部温と皮膚温を独立して変化させたときの自律性および行動性体温調節反応も、両信号の積で示される。一方、体温の調節目標値 (セットポイント) に、実際の平均体温 (深部体温と平均皮膚温の空間的平均で、全身温熱状態を示す) を近づけようとする方向の温度刺激を快適と感ずる。これらのことから、中枢神経系 (主として視床下部) で統合された前身の温度情報は自律性体温調節反応への制御信号となるとともに、温熱的不快感を発生させ、体温調節行動発現に基本的役割を果たしていることが想像される (堀, 1981a, b;

Cabanac, 1981; Hensel, 1982)。

温熱的快・不快感は温度情報の統合神経活動そのものの他に、その統合信号により惹起された自律神経体温調節反応によっても発生する可能性がある。事実、皮膚温や体温が変化し、快・不快感が変化するとき、自律性体温調節反応の発現温度や時期と一致する。また、温不快感は発汗量との間に定量的相関がある。つまり、「汗が出るから」、「皮膚血管が収縮(拡張)するから」、「ふるえるから」不快感が生じるのかという問題である。しかし、自律性体温調節反応が変化していない状態でも、不快感あるいはそれに基づくと考えられる体温調節行動が起こることが知られているので、自律性体温調節反応の温熱的快・不快感への関与の可能性が考えられる。以上を統合した温熱的快・不快感と温・冷感に関する現在の考え方を図84に示す。

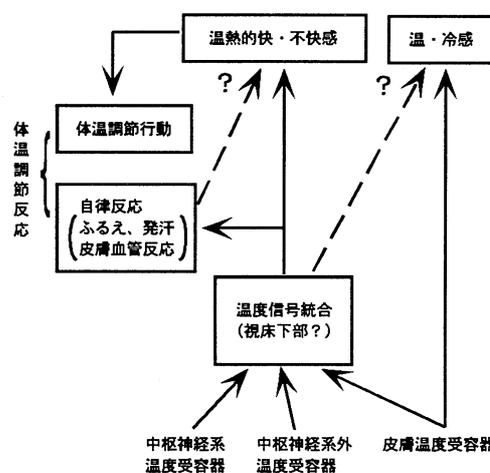


図84 温・冷感と温熱的快・不快感との関係

4) 諸条件下における温熱的快・不快感

a) 快適温熱環境

温熱的快・不快感に関係する環境因子のおもなものは、①環境温、②湿度、③平均輻射温、④風速、⑤着衣状態、⑥被験者の代謝量(活動量)であり、快適感を起こすこれらの組合せが示されている(Fanger, 1970)。このほか、環境温変化の速度が大きいと不快を訴える。不均等な皮膚温分布を作り出す空間的に不均一な温熱環境(上下の温度差、局所気流)や不均一な着衣などは不快感発生につながる。

b) 体温の調節目標値(セットポイント)の変動

前述のように、実際の体温が正常すなわち、調節目標値より高いときは皮膚低温刺激を快く高温刺激を不快に感ずる。体温が調節目標値より低いときはこれと逆のことが起こる。もし、この調節目標値が変化すると、温熱的快・不快感は当然変わってくる。たとえば、発熱は調節目標値が高温側へ移動した状態であるが、発熱の初期には、快適皮膚温は高温側へ移動していた(Cabanac, 1969)。このほか、体温の日内変動や女性の性周期に伴う体温変化も、調節目標値の変動現象とされている。体温上昇期(午前)は体温下降期(午後)に比べ快適皮膚温は高温側に移動している(Cabanac, Hildebrandt, Massonnet, & Stempel, 1976)。また、排卵前期より排

卵後のほうがより高い皮膚温刺激を快く感ずる (Cunningham & Cabanac, 1971)。

c) 男女差および加齢の影響

高温環境におかれると、男性は女性に比べ、深部体温あるいは平均体温が少し上昇しただけで、不快感を訴え、また発汗や皮膚血管拡張が起こる。温度受容器の性質に男女差があるか否かは不明であるが、上記の男女差は中枢神経過程の差に基づくと思われる。

温・冷覚および温熱的快・不快感は高齢者 (70 歳以上) と若齢者 (20-30 歳) とではほとんど差がない。にもかかわらず、ASHRAE (1996) では、室温を高年者で若年者より約 0.5℃高めに保つことを勧告しているが、これは高年者の運動量が若年者より一般に低いことによる。

d) 温度馴化に伴う変化

ヒトを繰り返し寒冷に暴露すると、多くの場合、温熱的快・不快感、全身寒冷感、および熱産生反応などの発現閾値が高くなり、より低い体温にならないと発現しない。手足など局所的寒冷暴露でも同様のことが観察されている (Le-Blanc, 1975)。オーストラリア原住裸体民族、カラハリ砂漠ブッシュマン、ノルウェー・ラップ族などではこの寒冷適応の著しいかたちがみられる (Hammel, 1964)。一方、温帯の人に暑熱暴露を繰り返すと、発汗はより低い環境温あるいは体温で起こるようになる。熱帯人では温帯人より、平均体温が 0.5℃高くなると、不快感を訴えない (Raynaud, Nartineaud, Bhatnagar, Viellefond, & Durand, 1976)。ただ、最も快適な環境温を選択させると、熱帯、温帯、寒帯の出身に関係なく、ほとんど同じであるという報告もある (Fanger, 1970)。

上記の温度馴化に伴う温熱的不快感の閾値の変化は、主として中枢神経系のなかで起こる適応変化によるものである。しかし、皮膚温度受容器の適応的变化もわずかながら関与があるという考えもある。ネコを環境温 30℃と 5℃にそれぞれ 2 ヶ月飼育しても皮膚冷受容器の性質は両者で差がないが、4.7 年にわたって飼育するとその差が明らかになる (Hensel & Schafer, 1982)。寒冷飼育群の皮膚冷受容器は、動的最大応答を示す温度が低温側へ 5℃移動し、その応答も弱くなっている。また定常温における放電頻度も寒冷群でやや低い。線維群応答パターンが低温域で著しいことを考慮すると、これらの性質の変化は、寒冷感覚および体温調節反応の発現閾値温度の低下を少なくとも一部を説明することが可能であろう。温度馴化に関し、中枢神経系でどのような適応変化が起こっているかについては不明である。

5. 2. 2. 局所温冷刺激装置の制作

身体各部位の温熱感受性のうち、温熱感覚に関わる皮膚表面における温覚・冷覚閾値を定量化するために、局所温冷刺激装置を制作する。

(1) 局所温冷刺激装置の概要

本装置は、プローブ内に熱流センサーおよび温度センサーを備え、ペルチェ素子を用いて、皮膚とプローブの間に温度差を生じさせることにより、局所の温覚および冷覚を独立して評価する装置である。拡張性として、血流・圧力・皮膚水分などの計測との連携を有する。

(2) 局所温冷刺激装置の構成

本装置は、プローブ、温調コントロール部、解析・制御部から構成される。

1) プローブ

温度センサー、熱流センサーを組み合わせたセンサー部分の下に熱伝導板を配し、ペルチェ素子からの伝熱にて皮膚-プローブ間に熱流を発生させ、温度センサーにて皮膚温を、熱流センサーにてプローブ-皮膚間の熱流値を出力する。

2) 温調コントロール部

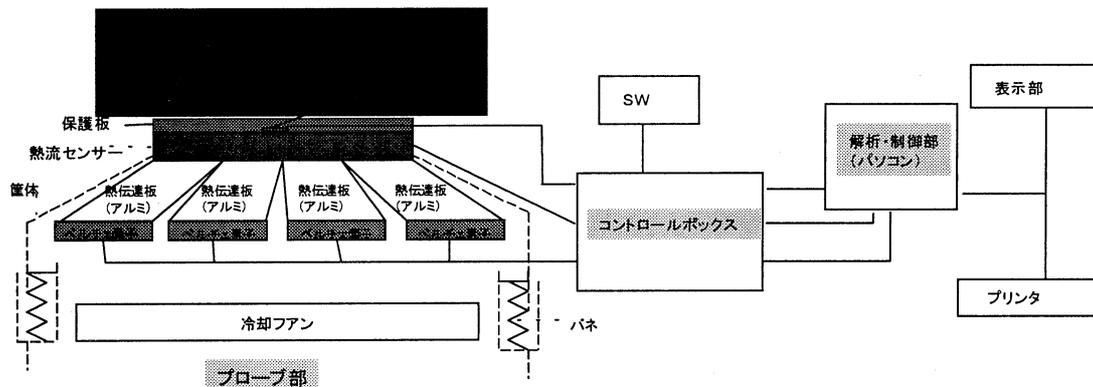
ペルチェ素子に対して、制御部にて設定した温調を可能ならしめる電流を供給する。

3) 解析・制御部

設定された測定条件に基づく温調制御を実現するプログラムを温調コントロール部に指令するとともに、温度センサー、熱流センサー、環境温度などの測定値をリアルタイムでグラフィック表示するほか、年齢・性別などの被検者データとともに測定値をデータベース化する。

装置の構成図および測定のプロフローチャートを次ページに示す。

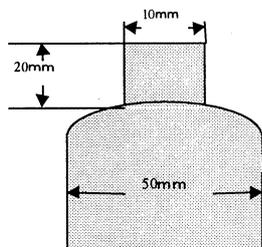
全体構成



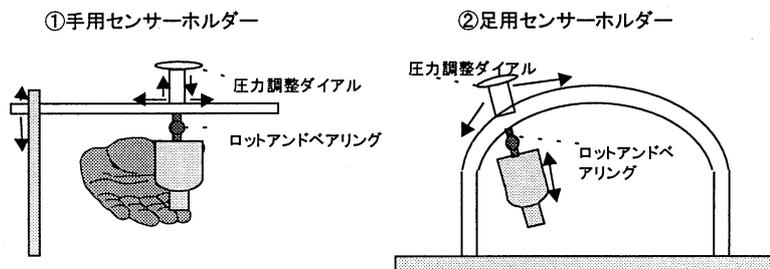
方法

- ・熱流センサーに対し4つのペルチェ素子を使用して加熱・冷却を行う。
- ・各ペルチェ素子は、熱流センサーの各パートに対し加熱・冷却を行い効率的な温調を実現する。
- ・ペルチェ素子の面積からの熱移動を熱流センサーに熱伝達板を経由して集約させる。
- ・ペルチェ素子および熱伝達板を冷却ファンにて冷却する。
- ・筐体には押圧を一定にするバネを設置し一定の押圧での測定を実現することによりセンサー押しつけ圧の変化による測定誤差を軽減する。

プローブ外形



センサーホルダー



ソフトウェア

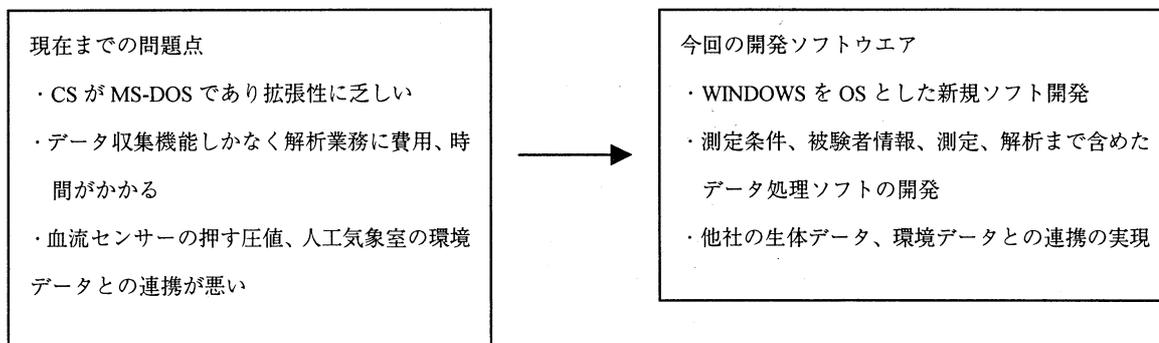


図85 装置の構成

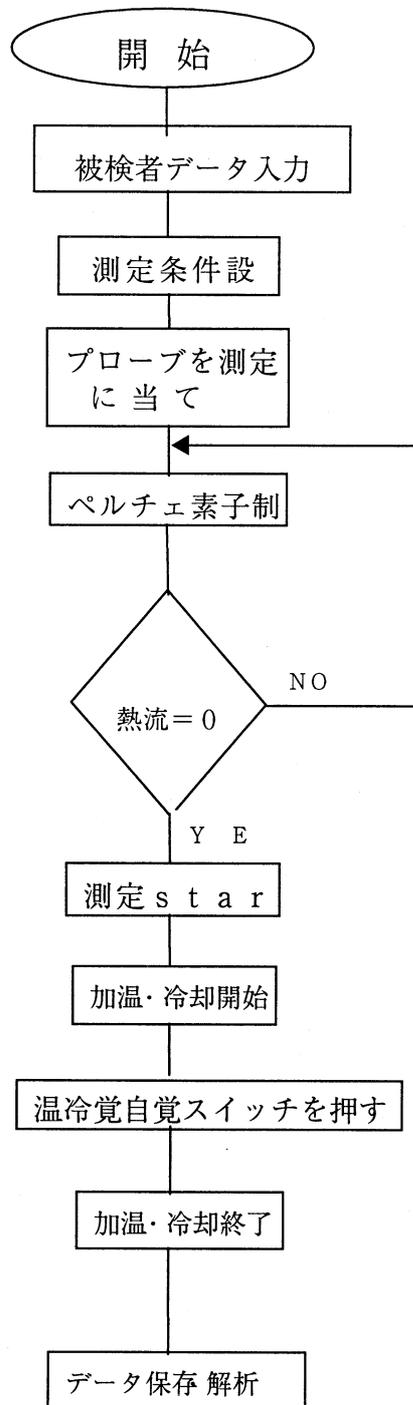


図 8 6 局所温冷刺激装置の測定フローチャート

(3) 試作する研究用機器の使用目的

- ・局所温冷感覚を客観的・定量的に評価する。
- ・異なる年齢層の被験者を対象にデータ取得することより、温覚および冷覚の加齢による変化を定量的に把握することが可能となる。
- ・また、近年増大している糖尿病患者において、3大合併症である糖尿病性神経障害では、温覚・冷覚の過敏および鈍磨が指摘されており、神経障害の診断として温冷感覚を定量的に評価する試みを行われている。したがって、本装置は応用として、糖尿病性神経障害を定量化するパラメータをもたらすことを可能とする。

(4) 局所温冷刺激装置の特徴

- ・皮膚とプローブ間の熱流0時点を基準としてペルチェ素子の温度を加温・冷却し、温感・冷感を感じる時点を探査するため、温覚・冷覚を独立して評価できる。
- ・ペルチェ素子の加温・冷却速度を10段階に設定でき、測定部位・被検者によって最適な測定条件を選択できる。
- ・ペルチェ素子の冷却機構は空冷式を採用し、水冷式では実現できないポータビリティを実現する。
- ・温度センサーと熱流センサーを備えており、皮膚温度のほか、開始から感覚を自覚するまでの温度差、熱流、熱流積分値など多彩なパラメータを研究者に提供できる。
- ・プローブは10mm角、25mm角、50mm角の3種類を装備し、測定部位により最適なプローブが選択できる。
- ・センサーホルダーを製作し、測定者に負担をかけず、一定圧にてプローブを皮膚に押し当てて測定できる。
- ・測定条件、被検者情報の入力から測定・解析までコンピュータで一元管理する。

(5) 局所温冷刺激装置の性能

1) プローブおよび温調コントロール部

温度センサー： 測定範囲 -50~100℃ 温度精度 ±0.1℃

熱流センサー：測定範囲 ±8600W/m² 冷却方式 空冷式

加温・冷却速度 0.1℃/sec~1.0℃/sec (直線性0.2%以内)

温調部外形 :10mm角 25mm角 50mm角

2) 制御・解析部

OS : Windows 98

サンプリング: 10回/秒

被検者情報入力項目:氏名 年齢 性別 メモ 測定部位

測定条件設定項目 :加温・冷却速度 (℃/sec) 最大温度 最小温度

シーケンス (温・冷の刺激を10回まで設定可能)

グラフィック機能 :温度および熱流値をリアルタイムグラフィック

5. 2. 3. 均一・定常環境における被験者実験の実施と検討

これまでの被験者実験は主に青年（大学生）男女について行われてきているので、本報では高齢者男女を対象として実験を行い、既に ISO7730 として規格化されている PMV (Predicted Mean Vote) 平均予測温冷感申告値などについても検討を行う。

(1) はじめに

日本は高齢化社会を迎え、住宅、病院、電車、バス、または公共施設などで室内環境を設定する場合、高齢者にとって生理負担の少ない温熱環境を心がける必要があるが、それらについてのデータ整備は遅れている。高齢者が周囲温熱環境から受ける影響は大きく、脳卒中や心疾患の引き金になったり、あるいは、それらの疾病が寒さ・暑さとの関連が深いことが報告されているためである。暑熱や寒冷環境下で体温調節能力を青年群と比較したり、自分自身で室温をコントロールするような高齢者に関する研究はいくつか散見される。その結果、老化に伴う体温調節機能の低下に対して、高齢者自らが周囲環境を調節する場合には、過冷房・過暖房しやすいという報告がなされている。しかし、望ましい室温設定を目標として中等度温熱環境条件下で体温調節反応と温熱感覚を併せて計測したデータはなく、ISO7730 に示されるように中等度温熱環境では年齢差を考慮しなくていいのかどうか不明である。

これまでの温熱的快適性に関する実験はおもに大学生男女を対象として実験が行われてきており、日本人データに関しても青年データは ISO7730 による中等度温熱環境に暴露した場合の中性温度には、デンマーク人やアメリカ人データとの比較において有意な違いを認めていない。

本研究は、均一・定常環境下において被験者に決まった衣服を着用させて長時間にわたり被験者を暴露した時に、人体の部位間にどの程度の差があるかどうかを明らかにする目的で実験的検討を行った。また、定常状態を確認するたみに、実験時間中継続して生理反応・心理反応を計測することにより、時間的な変動についても検討を行う。さらに、中等度温熱環境において日本人高齢者の温熱感と熱的状态を予測する方法を検討するために行った。

(2) 実験方法

1) 実験期間・場所

1999年12月に、生命工学研究所内の人工気候室において行った。

2) 被験者

被験者には予め、実験内容、実験にともなう危険性、計測項目ならびに報酬に関する説明を口頭で行い、同意が得られたものについて、実験参加承諾書にサインしてもらい、実験を行った。実験第一日目の実験開始前に、身長、体重、皮下脂肪厚など身体特性に関わる項目についての計測を行うとともに、生年月日、出生地、居住地、既往病歴など、および温熱感覚に関わるアンケート調査票に記入を依頼し、基礎データを取得した。

被験者はつくば市に住む60歳以上（平均年齢73.9歳）の健康な高齢者60人（男性26人、女性34人）を被験者とした。被験者の身体特性を表37に示す。人体の体表面積は、身長と体重より藤本・渡辺の式を用いて算出した。

3) 着衣

着衣は同じ素材のトレーナー上下と靴下を用意し、被験者はサイズに合った着衣をパンツの上に着用した。着衣量は ISO9920 より 0.74clo と推定された。

表 3 7 被験者の特性

	被験者数	年齢	身長 (cm)	体重 (kg)	体表面積 *2 (m ²)
男性 + 女性	60	73.9 (6.3)* 1	150 (8)	53.5 (8.3)	1.44 (0.14)
男性	26	75.5 (6.3)	157.6 (5.6)	58.6 (7.5)	1.55 (0.11)
女性	34	73.1 (6.2)	146.1 (6.1)	50.9 (7.4)	1.38 (0.11)

*1 Standard Deviation (標準偏差)

*2 体表面積 = 体重^{0.444} × 身長^{0.663} × 0.008883

4) 実験条件

実験条件を、表 3 8 に示す。気温 23℃、27℃、31℃の 3 条件と相対湿度 30%、60%、90%の 3 条件の組み合わせで 5 条件で行った。いずれも気流は 0.1m/s 以下、平均放射温度は周囲壁面をカーテンで覆ったため、気温とほぼ等しいと考えられた。

表 - 3 8 実験条件

相対湿度 気温	30%	60%	90%
31℃		○	
27℃	○	○	○
23℃		○	

5) 実験手順

一回あたり 2 人～3 人の被験者を入室させ、午前と午後の一回ずつ行った。図 8 7 に 1 回の実験のタイムスケジュールを示す。

実験中の姿勢は椅子座安静状態で、人工気候室で 180 分間それぞれの環境に曝露し、30 分毎に温熱感覚の申告を得た。

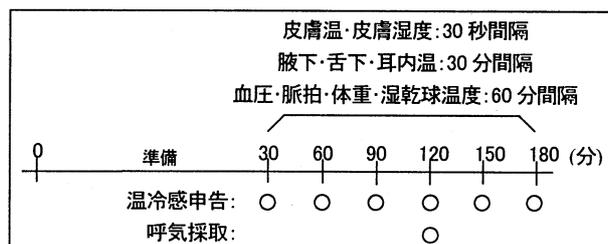


図 8 7 実験スケジュール

申告内容の一部を図88に示す。全身温冷感、部位別温冷感（顔・胸腹・背中・腕手・足の5部位）9段階・快適感、乾湿感、気流感7段階、全身・部位別発汗度5段階、許容度、満足度、希望する環境について申告を得た。

-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
□	□	□	□	□	□	□	□	□
寒非	寒	涼	涼や	いど	暖や	暖	暑	暑非
い常	い	し	しや	えち	かや	か	い	い常
に		い	い	なら	い			に
				いと				
				も				

図88 全身温冷感申告

申告の合間に、被験者の生活状況を知るために、居住生活圏に関する調査と日常的な生活行動についてアンケートを記入してもらった。記入が困難な被験者に関しては、口頭でアンケートを行った。

6) 測定項目

皮膚温：30秒間隔でサーミスターセンサーと携帯用温度記憶装置を用いて（前額・胸部・背部・前腕・手背・大腿・下腿・足背）8点に、サーミスターセンサーをサージカルテープで皮膚に貼付した。平均皮膚温については、Hardy&DuBoisの7点法で算出した。胸部と背部は平均値を腹部とした。

腋下温・舌下温・耳内温：30分間隔で水銀体温計、携帯用体温計、Firsttempを用いて測定した。

血圧・脈拍・体重減少量：60分間隔で水銀血圧計、±1gの精度の体重計を用いたて測定した。

代謝量：被験者が曝露室に入室後120分の第4回申告の後に椅子座安静状態の呼気量を、ダグラスバッグに5分間採取した。代謝量の計算式を下に示す。

気温・湿球湿度：60分間隔でアスマン通風乾湿球湿度計で測定した。

(3) 実験結果

1) 全身温冷感申告

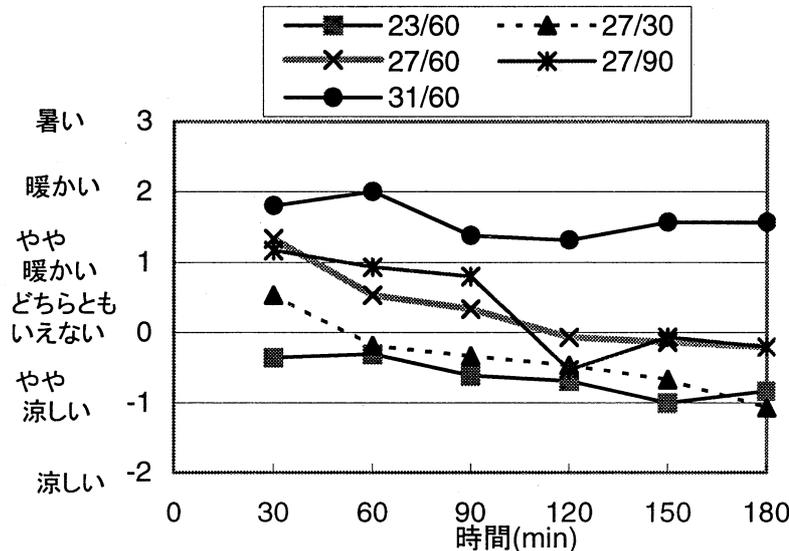


図89 全身温冷感申告の時間変化

被験者の全身温冷感申告について平均値の時間経過を温熱環境条件ごとに図89に示す。気温31℃条件では暴露最初は2：暖かいであり、その後若干の変動はあるものの、約1.5で安定した。気温23℃条件では暴露最初は0：どちらともいえないであったが、時間経過に連れて涼しい側に徐々に移動し、最終30分間は-1：やや涼しいで安定している。気温27℃条件では湿度条件が異なるが、それほど大きな差は認められず、+1：やや暖かい～-1：やや涼しいへ約1段階程度変化している。つまり、27℃条件では実験開始時より180分間の暴露中に涼しい側へ移動していることが認められる。

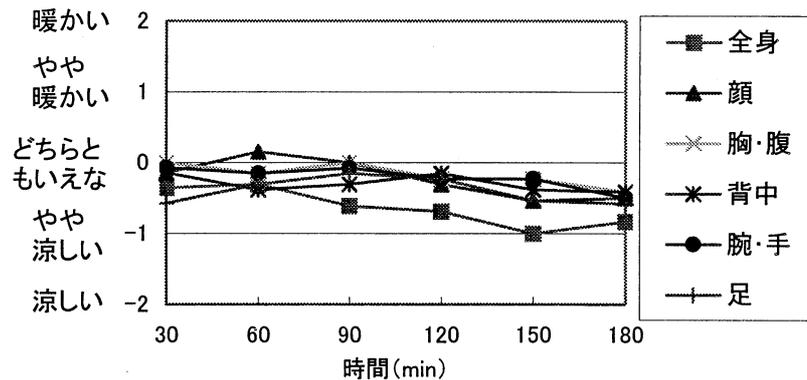


図90 23/60条件における全身・各部位温冷感の時間変動

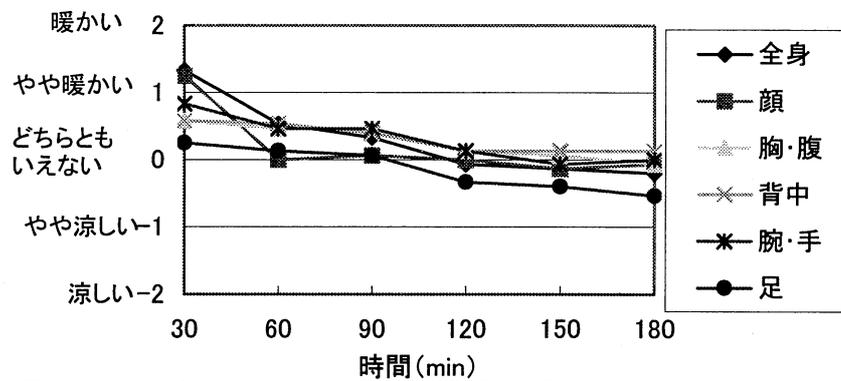


図5 27/60条件における全身・各部位温冷感の時間変動

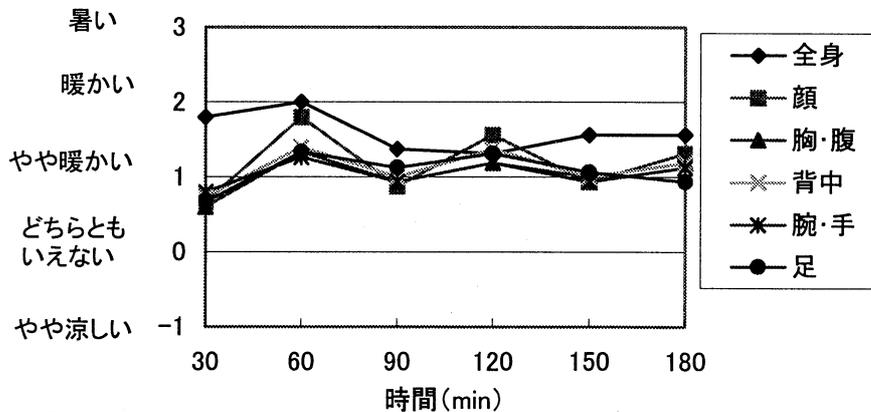


図91 31/60条件における全身・各部位温冷感の時間変動

図90～91に各温度条件における全身・部位別温冷感の時間変動を示す。各条件ともに全身温冷感・部位別温冷感のばらつきは1段階以内の範囲となっている。23/60条件では部位温冷感については時間変動による影響は認められず、全身温冷感のみが変動していた。27/60条件では、30分から60分で大きく変動がみられる。31/60条件では全身温冷感がどの時間帯においてもほぼ一番暑い側申告を示した。

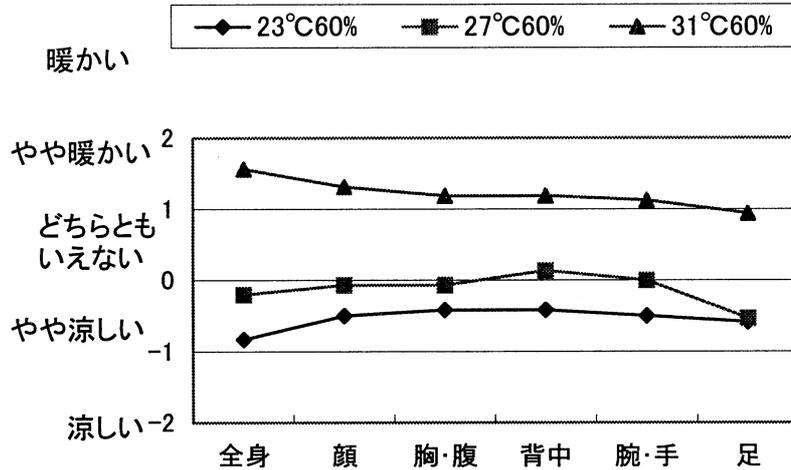


図92 均一定常環境下における部位間の温冷感の違い(180分経過)

図92に180分経過後の全身・部位別温冷感の温度条件による違いを示す。部位別温冷感に対して、全身温冷感が31°C条件では若干に暖かい側にあり、27°C条件ではほぼ同じ、23°C条件では若干涼しい側となり、温度条件により異なる影響が認められたが、均一温熱環境において定常状態にあるとき、ほとんど差が認められないことが明らかになった。

2) 平均皮膚温

被験者の平均皮膚温の時間経過を各温熱環境条件ごとに図93に示す。湿度が等しい場合、気温が低くなるほど皮膚温が低下している。特に、23°C60%条件では、皮膚温が実験時間中ずっと低下していた。気温27°C条件では、湿度による影響はほとんど見られなかった。

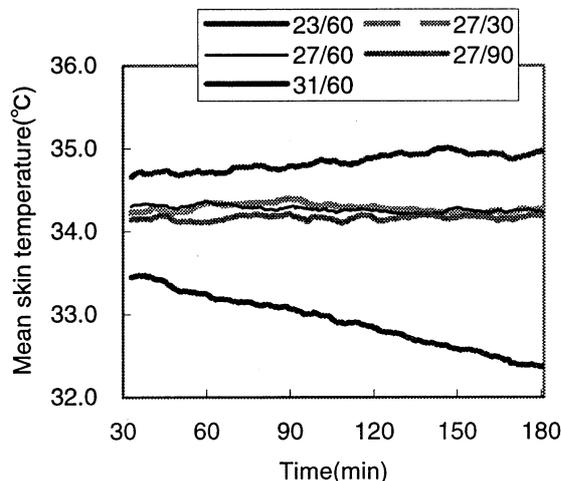


図93 平均皮膚温の変動

3) 代謝量

被験者の代謝量の平均値は、30~40 W/m²となり、温度条件間・湿度条件間に差を認めなかった。

4) 水分蒸発量

体重減少量から求めた水分蒸発量を図94に示す。水分蒸発量は湿度が等しい場合、気温が高くなるほど大きくなり、また、27℃条件では、27℃90%条件が27℃30%と27℃60%条件よりも大きくなった。

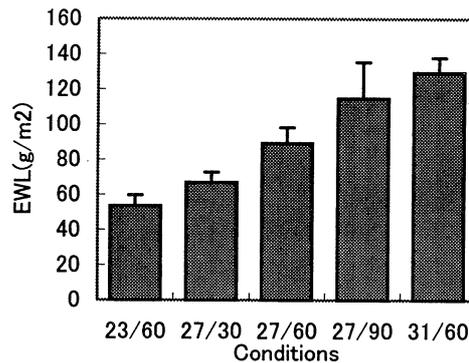


図94 水分蒸発量

代謝量、平均皮膚温、水分蒸発放熱量、および環境条件から求めたぬれ面積率を図95に示す。SET* が大きくなるにつれて、ぬれ面積率は大きくなっているが、特に23~28℃SET*ではほとんど差が認められず0.09程度であるが、29℃SET*で急に大きくなり、ぬれ面積率は27℃90%条件

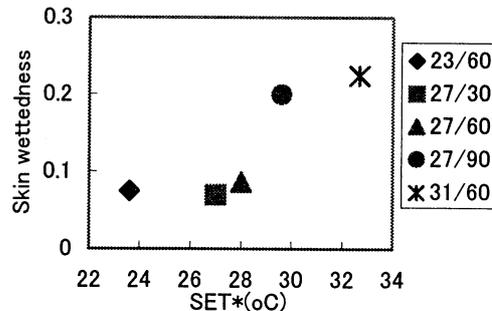


図95 SET*とぬれ面積率との関係

と31℃60%条件でほぼ等しくなった。

5) 全身温冷感とPMV (予測温冷感申告値) との関係

環境条件、着衣量、安静時代謝量(1 Met)から算出したPMV値と被験者の申告から得られた全身温冷感との関係を図96に示す。(図中の直線はPMV値と全身温冷感申告が一致するラインである。)23℃60%条件の時を除いてPMV値は全身温冷よりも0.5~1大きくなっていた。この結果は、代謝量を1 Metと仮定したために生じたものと考えられるため、代謝量を実測値として計算した修正PMVをPMV'として同時にグラフ上に示す。PMV'値は約1段階涼しい側にシフトして23℃60%条件の時を除いてほぼ全身温冷感と一致した。

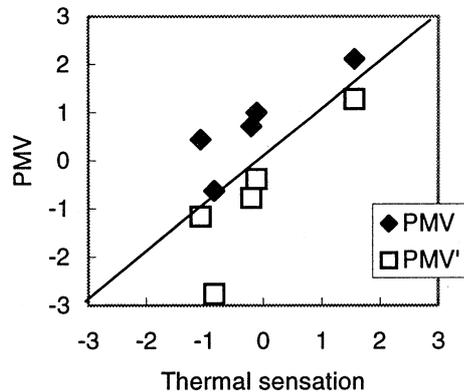


図96 全身温冷感とPMV

6) 温熱的な好み

快適側申告、満足感、許容感の割合を条件毎に図97に示す。許容感には条件間に目立った差は認められず、80%以上が許容できるであったが、27°C90%条件では74%、31°C60%条件では64%と不快側の申告が増え、満足感は31°C60%条件では50%であった。さらに、環境の好みについては、図98に示すとおり、31°C60%条件では80%以上がもっと涼しくしたいと答えていたが、23°C

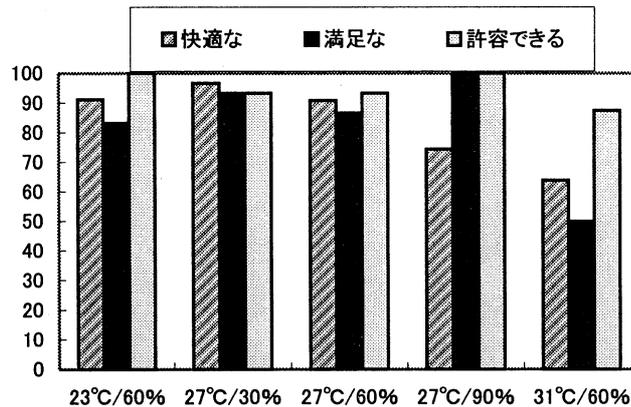


図97 環境に対する評価

60%条件では変えたくないが58%、もっと暖かくしたいが33%と好みがわかれた。

(2) 考察とまとめ

全身温冷感・部位別温冷感について時間変動ならびに部位間による違いを検討したが、大きな時間変動は認められず、また、部位間による違いも1段階以内と小さかった。これらは均一温度条件下において行われたためと考えられた。また、全身温冷感はずしも全部位の温冷感の平均的な値となっているわけではなかった。温覚・冷覚に関する部位的差異は、同一面積に同一刺激を与えたときの動的温覚は、前額>胸>腹>背>大腿>下腿の順に弱くなるといわれてきたが、本実験のような均一環境において全身を暴露し、定常状態に達したような場合は、静的温覚には差が認められないとも考えられる。これについては、さらにデータの集積、ならびに動的温覚についての検討が必要であろう。

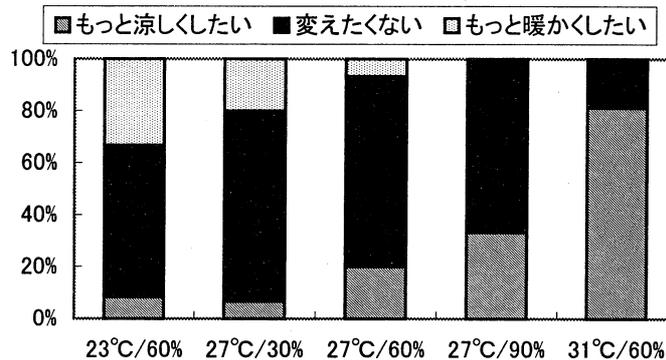


図98 温熱的な好み

23°C60%条件の時、平均皮膚温の低下は著しいが、全身温冷感ではそれほど大きな変化は見られず、低温条件に対して血管収縮による体温調節能力は作動するが、感覚応答の遅れが示唆された。許容感、満足感ならびに快適感申告には23°C60%条件、27°C30%条件と27°C60%条件では差が認められず、好みについては差が認められたことから、快適感や満足感が80%以上であるとはいえ、希望する環境とは必ずしも一致していないことを示していた。高齢者の場合、健康にいいとか、冷房は体に悪い、といった心理的な影響や予防的な側面による回答の可能性も考えられ、さらに検討が必要であろう。

水分蒸発量やぬれ面積率など発汗に係わる生理反応について既往の青年の結果と差を認められなかった。しかし、代謝量は約3割の減少が見られ、この結果は高齢化に伴い基礎代謝が低下するという既往の知見を裏付けるものではあった。これまでの研究で、静穏な椅子座状態においての高齢者の代謝量データがほとんどみあたらないことから、今後さらに検討が必要であろう。従って、温冷感申告値を予測するにあたっては、着衣量と同様、適切な計測値を代入することによりPMVの有効性は確認できたと考えられる。

今後は、不均一や非定常あるいは変動のある定常状態など、実際の居住環境に即した条件設定を行い、実験データを集積するとともに、望ましい室内環境設計を提案していく予定である。

謝辞

本研究は、東海大学工学部建築学科 木下ゆき子さん（指導教官 岩田利枝）との共同研究である。本研究に際し、ご協力いただいた被験者の方々、検者としてご協力くださった吉川肖子（ダイキン工業 MEC 研究所）、水野一枝（獨協医科大学、生命研非常勤職員）に深謝申し上げます。

5. 2. 4. 局所温冷覚刺激装置による予備実験の計画と検討

(1) はじめに

人体の局所的な温熱感覚をとらえるための手法としては、感受性の一对比較法や温点・冷点密度の測定などの研究が行われてきている。しかしそれらの研究は、多くの時間・労力を必要とし、被験者への負担が大きく、障害者、子供、高齢者等の感受性測定には限界がある。その上、青年を対象に既往研究は行われてきているが、被験者数は少なく、さらにデータの集積が必要である。また、温熱感受性と一言でいっても、温覚・冷覚閾値以外に、各部位毎の発汗閾値や発汗量ならびに、それらの全身感覚に及ぼす影響、あるいは、温覚・冷覚に及ぼす接触温、放射温、気流温や気流速度など非常に多くの要因が挙げられ、その上、それらが効果器に体温調節反応を引き起こす効果など異なると考えられる。

本研究では、非定常・不均一環境を評価するために、もっとも基本的な方法として接触による温度刺激に対する人体の局所的な温熱感受性である温覚・冷覚に関するデータを集積するための予備的計測ならびに、予備実験を行ったので報告する。実験1では、局所温熱刺激装置の基本的精度を検討することを目的とし、実験2では予備実験として成年女子3名を対象として部位ごとの温冷覚閾値を求め、検討を行ったので報告する。

(2) 方法

1) 実験装置

局所温冷刺激装置は、センサプローブ、制御部、温冷覚自覚スイッチ、パソコンから構成される。センサプローブ25×25mm部の温度はペルチェ素子によってコントロールされる。測定に際しては、まずモードを設定し、プローブを測定部位に当てる。プローブ温が皮膚温と等しくなった時点で昇温又は冷却をスタートさせ、被験者が温冷感を感じた時点で自覚スイッチを押す。この時の温度変化又は熱流変化をもって閾値とする。

2) 実験条件

実験1・2ともに測定は気温30℃、湿度50%RHの人工気候室内において行い、サーカディアンリズムの影響を考慮し、午前または午後に実験開始時刻は統一した。

実験1では測定器の基本精度をみるために、健康な被験者の前腕を対象にプローブの設定温度を0.1 1.0secに変化させた時の実測温度変化および温度・熱量閾値の変動について検討した。実験は気温30℃、湿度50%RH、不感気流下(0.2m/s以下)の人工気候室内において行い、身体にフィットしないTシャツとショートパンツを着用し、椅子座安静状態において実施した。

実験2では健康な成年女子3名を対象として、その昇温閾値、冷却閾値を測定した。身体における測定部位は前面では前額、背中、前腕、大腿、手掌、の計5点である。設定温度変化速度は0.3℃/Secとした。測定手順は、入室後椅子座安静30分後に順次計測を行った。利き手に自覚スイッチを持ち、暖かさ、あるいは、冷たさを感じた時点で素早く押しってもらう、という作業を行った。

3) 被験者

被験者には予め、実験内容、実験にともなう危険性、計測項目ならびに報酬に関する説明を口頭で行い、同意が得られたものについて、実験参加承諾書にサインしてもらい、実験を行った。実験第一日目の実験開始前に、身長、体重、皮下脂肪厚など身体特性に関わる項目についての計測を行うとともに、生年月日、出生地、居住地、既往病歴など、および温熱感覚に関わるアンケート調査票に記入を依頼し、基礎データを取得した。

被験者の身体特性には表39に示す通りである。

表39 被験者の身体特性

SUBJECT	AGE	HEIGHT	WEIGHT	BSA	BSA/MASS	SKINFOLD THICKNESS (mm)		
	(years)	(cm)	(kg)	(m ²)	(cm ² /kg)	TRICEPS	SCAPULA	ABDOMEN
A	30.0	148.0	60.1	1.50	250.4	24.0	40.0	40.0
B	33.0	163.0	47.5	1.39	291.5	17.0	15.0	11.0
C	42.0	156.0	46.6	1.39	298.7	9.8	8.4	5.2
AVERAGE	35.0	155.7	51.4	1.43	280.2	16.9	21.1	18.7
SD	6.2	7.5	7.5	0.07	26.1	7.1	16.7	18.6

(3) 結果及び考察

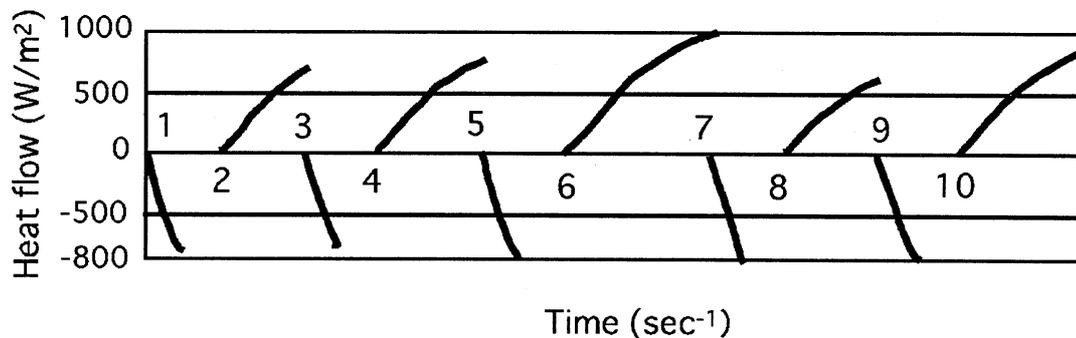


図99 実験中の熱流量の時間変動

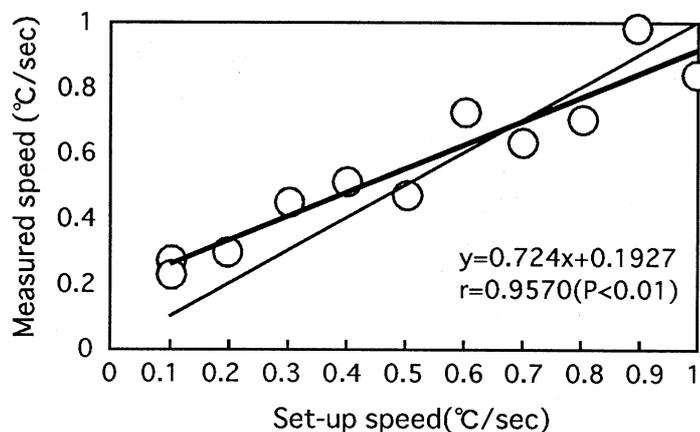


図100 プローブに設定された温度変化速度と実験により得られた温度変化速度との関係

実験1の結果の一例を図99に示す。この図は横軸が時間であり、冷却、加温、冷却、加温、と順に延べ10回の計測熱流量の変動を示す。この図では、冷却時は約 $-800\text{W}/\text{m}^2$ 、加温時は約 $700\text{W}/\text{m}^2$ で安定しており、これによれば冷却・加温閾値は一定の温度変化速度条件下では、かなり高い再現性が認められると考えられる。

図100は昇温・冷却時の温度変化速度の実測値と設定された温度変化速度との関係を示す。温度変化速度の実測値と設定値との間には $r=0.96$ の高い相関関係が示されたが、個々のデータについて見てみると、設定値が $0.6\text{C}/\text{sec}$ 以下では測定値の方が設定値よりも高くなっていた。また、温度変化速度があまりに早いと暖かさ・冷たさを自覚したときにスイッチを押す応答が遅れてしまったり、あまりに遅いと感覚が鈍ってしまう影響などが考えられる。そこで、変化速度を横軸にとり、縦軸に温冷覚閾値温度との関係を図101に示す。温覚閾値・冷覚閾値ともに、変化速度が速いと高く・低くなり、閾値の温度依存性が示された。表40に前腕における冷却・加温時のデータを5試行、1試行5回ずつの平均値とSDで示す。表40に示すように $0.3\text{C}/\text{sec}$ では再現性が高かったために、実験2ではプローブの温度変化速度として $0.3\text{C}/\text{sec}$ 条件を採用することとした。

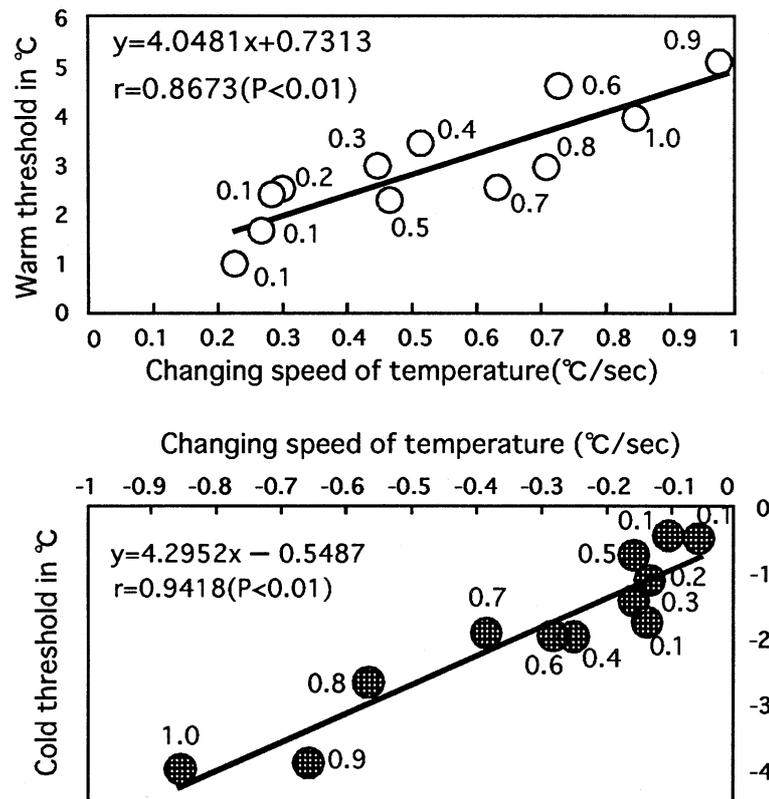


図101 プローブの温度変化速度と温覚閾値温度ならびに冷覚閾値温度との関係

表 4 0 前腕における冷却・加温時の冷覚・温覚自覚時の応答
COOL

	HIT(sec)		Speed (°C/sec)		Skin temp (°C)		Δ skin temp(°C)		Heat flow (W/m ²)	
	avg	sd	avg	sd	avg	sd	avg	sd	avg	sd
1	4.70	0.40	-0.16	0.02	32.90	0.01	-0.75	0.16	-351.55	22.35
2	7.20	1.70	-0.24	0.02	32.85	0.05	-1.74	0.51	-468.10	104.80
3	4.10	1.30	-0.18	0.04	32.95	0.05	-0.76	0.36	-315.50	108.90
4	6.10	0.40	-0.20	0.02	33.35	0.25	-1.20	0.16	-458.25	12.75
5	5.40	0.30	-0.18	0.00	33.30	0.30	-0.97	0.07	-407.55	37.95

HEAT

	HIT(sec)		Speed (°C/sec)		Skin temp (°C)		Δ skin temp(°C)		Heat flow (W/m ²)	
	avg	sd	avg	sd	avg	sd	avg	sd	avg	sd
1	4.70	1.60	0.17	0.03	34.20	0.10	0.81	0.38	294.15	95.25
2	6.10	0.20	0.22	0.01	34.65	0.35	1.30	0.00	350.15	4.95
3	6.10	0.20	0.18	0.00	34.25	0.15	1.11	0.04	393.70	10.30
4	5.00	0.60	0.18	0.01	34.75	0.05	0.90	0.07	332.85	33.85
5	4.20	0.90	0.16	0.03	34.60	0.30	0.67	0.24	268.00	54.40

実験 2 において各被験者の加温・冷却実験により得られた結果を表 4 1 と 4 2 に示す。
 これまでの温覚に関する実験結果では、部位的差異に関して、同一面積に同一刺激を与えたときの動的温覚は、前額>胸>腹>背>大腿>下腿の順に弱くなると言われてきた (Stevens, J. C., Marks, L. E., & Simonson, D. C. 1974)。本結果は、温覚閾値は前額>背中>前腕>大腿>指先の順であり、冷覚閾値は背中>前腕>指先>前額>大腿の順となった。この結果は、一般に寒さを訴える時はいわゆる「背中がぞくぞくする」などといったり、また、暖かさを感じる時には、「頭がのぼせる」などといった格言的な言い回しで使われる身体部位が、それぞれ冷覚閾値・温覚閾値小さい部位、つまり鋭敏な部位として挙げられており興味深い。

今後は計測部位を増やすとともに、データを集積し、既往研究による温点および冷点分布密度との関係などを検討する予定である。

表 4 1 加温時の反応時間、温度変化度、温覚閾値皮膚温、皮膚温変化度ならびに平均熱流量

	HEAT	Subject A		Subject B		Subject C			
		AVE	SD	AVE	SD	AVE	SD	AVE	SD
HIT (sec)	FOREARM	16.30	2.75	5.90	1.56	17.36	2.00	13.19	6.33
	FORHEAD	10.50	1.08	3.30	0.44	4.62	0.79	6.14	3.83
	BACK	30.00	12.21	4.70	0.47			17.35	17.89
	LEG	24.70	1.95	8.80	2.74	8.92	2.27	14.14	9.15
	FINGER	58.60	21.32	6.40	1.27	29.26	7.80	31.42	26.17
Speed (°C/sec)	FOREARM	0.31	0.05	0.05	0.03	0.26	0.02	0.21	0.14
	FORHEAD	0.39	0.05	0.05	0.02	0.16	0.02	0.20	0.17
	BACK	0.29	0.03	0.03	0.01			0.16	0.18
	LEG	0.23	0.01	0.01	0.02	0.18	0.01	0.14	0.12
	FINGER	0.19	0.03	0.03	0.03	0.23	0.02	0.15	0.10
Skin temp (°C)	FOREARM	34.50	0.47	34.90	0.37	34.26	0.94	34.55	0.32
	FORHEAD	34.80	0.13	35.40	0.29	36.36	0.41	35.52	0.79
	BACK	34.70	0.49	34.10	0.23			34.40	0.42
	LEG	35.10	0.33	34.20	0.75	34.16	0.57	34.49	0.53
	FINGER	34.90	0.62	35.50	0.21	35.60	0.11	35.33	0.38
Δ skin temp (°C)	FOREARM	5.05	0.85	1.10	0.42	4.56	0.70	3.57	2.15
	FORHEAD	4.09	0.91	0.48	0.14	0.77	0.19	1.78	2.01
	BACK	8.47	2.94	0.73	0.10			4.60	5.47
	LEG	5.87	0.36	1.96	0.77	1.61	0.43	3.15	2.36
	FINGER	10.57	2.05	1.45	0.40	6.59	1.37	6.20	4.57
Heat flow (W/m ²)	FOREARM	739.20	122.20	380.80	104.76	720.74	111.67	613.58	201.80
	FORHEAD	393.70	30.00	217.50	36.41	283.38	56.43	298.19	89.03
	BACK	678.60	130.33	306.50	21.57			492.55	263.11
	LEG	1186.60	54.23	528.30	151.91	496.90	100.63	737.27	389.45
	FINGER	1514.30	129.18	291.40	51.18	1049.50	123.51	951.73	617.28

表4 2 冷却時の反応時間、温度変化度、冷覚閾値皮膚温、皮膚温変化度ならびに平均熱流量

	COOL	Subject A		Subject B		Subject C		AVERAGE	SD
		avg	sd	avg	sd	avg	sd		
HIT (sec)	FOREARM	8.20	2.13	6.00	0.71	10.52	5.20	8.24	2.26
	FORHEAD	27.50	3.93	5.60	0.81	13.04	2.73	15.38	11.14
	BACK	11.00	2.13	5.70	0.95			8.35	3.75
	LEG	13.30	2.16	9.30	3.21	10.98	1.04	11.19	2.01
	FINGER	14.50	3.55	6.60	2.30	10.58	5.94	10.56	3.95
Speed (°C/sec)	FOREARM	-0.34	0.07	-0.22	0.02	-0.29	0.06	-0.28	0.06
	FORHEAD	-0.45	0.04	-0.19	0.01	-0.26	0.02	-0.30	0.13
	BACK	-0.42	0.08	-0.21	0.02			-0.32	0.15
	LEG	-0.30	0.03	-0.27	0.03	-0.28	0.01	-0.28	0.02
	FINGER	-0.30	0.05	-0.26	0.04	-0.28	0.04	-0.28	0.02
Skin temp (°C)	FOREARM	32.10	0.36	33.00	0.19	31.34	0.62	32.15	0.83
	FORHEAD	34.10	0.21	34.00	0.22	35.52	0.44	34.54	0.85
	BACK	32.00	0.61	32.90	0.22			32.45	0.64
	LEG	31.70	0.52	31.70	0.19	33.06	0.48	32.15	0.79
	FINGER	31.80	1.90	34.90	0.17	34.88	0.75	33.86	1.78
Δskin temp (°C)	FOREARM	-3.00	1.50	-1.32	0.27	-3.27	2.03	-2.53	1.06
	FORHEAD	-12.54	2.66	-1.05	0.20	-3.50	0.91	-5.70	6.05
	BACK	-4.85	1.72	-1.19	0.31			-3.02	2.59
	LEG	-4.00	0.92	-2.60	1.17	-3.01	0.39	-3.20	0.72
	FINGER	-4.74	1.89	-1.79	0.76	-3.16	2.30	-3.23	1.48
Heat flow (W/m ²)	FOREARM	-541.20	55.70	-477.80	55.12	-637.94	255.47	-552.31	80.65
	FORHEAD	-711.40	103.64	-417.00	54.20	-885.26	140.39	-671.22	236.70
	BACK	-519.40	50.64	-448.60	75.71			-484.00	50.06
	LEG	-1007.00	163.61	-730.00	163.44	-793.78	75.12	-843.59	145.06
	FINGER	-922.30	203.77	-345.30	104.11	-603.40	274.69	-623.67	289.03

5. 3. 非定常かつ不均一な生活空間の温熱的快適性の基準値の構成

5. 3. 1. 基本方針の検討

(1) 不均一温熱環境について

床暖房は、古くは古代ローマからその原型が使用されており、理想的な暖房形態のひとつとされてきた。我が国でもマンションを中心に床暖房は冬季に使用され始め、さらに簡易的な電気カーペットは現在広く利用されている。韓国や中国東北部では、オンドルとして昔から、冬季に広く床暖房が使用されている。しかも、欧米の椅子生活とは異なり、その床に座る姿勢が多くその温熱影響は独自のものとなっている。

しかしながら、現在のISO7730 もしくはNP-13732-2 のなかでは、こうした東アジア独自の生活形態を考慮した国際基準はなく、また計画されてもいなし。そこで、本プロジェクトでは不均一温熱環境のなかでも床暖房に特に注目し、上下温度差を含めて、床暖房使用時の快適基準、許容基準を提案することを目的とする。

我が国では、1981年頃から床暖房の生理心理影響に関する論文が多く発表されるようになり、現在も年間約10報に達している。特に、1989年から4年間に渡り、空気調和・衛生工学会で、「床暖房のアメニティ評価に関する研究委員会」が行われたことが、研究を促進したものと思われる。ここで、床暖房の影響を研究した既往研究を整理する。現在まで、床暖房の快適基準・許容基準に関しての幾つかの総説が発表されている。

永村は¹⁾、先の研究委員会のなかで、安全な床暖房のあり方を探るべく、過去の文献にさかのぼって、主に床表面温度と低温火傷や深部体温低下などの生理的限界を調査し、以下のようなことを示した。

- ① 欧米での床表面温度の許容範囲は24～30℃程度でありこの範囲で欧州は低めの、米国は高めの値を提起している。
- ② 日本も米国と同様、30℃前後を許容値としているものが多い。
- ③ 低温火傷の許容限界は、接触温度と接触時間の関係で表され、接触時間との組合せでは、44～51℃に閾値があり、接触時間との組合せでは、44℃－6時間から70℃－1秒間となる。
- ④ 足部加熱時の深部体温低下は「ふるえ」を引き起こすほど周囲温度が低いか否かによって異なるようで、この意味で床暖房時の空気温度は「ふるえ」を生じさせない程度に維持する必要がある。

特に低温火傷については、Moritzらは、人に似た豚の表皮だけでなく、人の表皮そのものを対象に、接触温度44～60℃、接触時間3秒～6時間の火傷を起こさせた実験を行い、44～51℃に“閾値”があること、そして接触温度と接触時間の組合せが44℃－6時間～70℃－1秒間の範囲のとき表皮に付加逆な損傷をもたらすことなどをなどを見出している。またこのとき圧力を加えて接触させた場合、火傷の程度は強度となり、その理由として、血液循環が途絶えて熱の放散がなくなるためであるとしている。

図103はMoritzらが求めた皮膚火傷の閾値である。人の皮膚に対する曝露限界は丸印で示されている。白丸は表皮が破壊される温度の曝露許容時間の最大値を、黒丸は損傷が表皮を貫通して壊死となる温度の曝露時間の最小値を示している。図中の+印は表皮を貫通して壊死となる

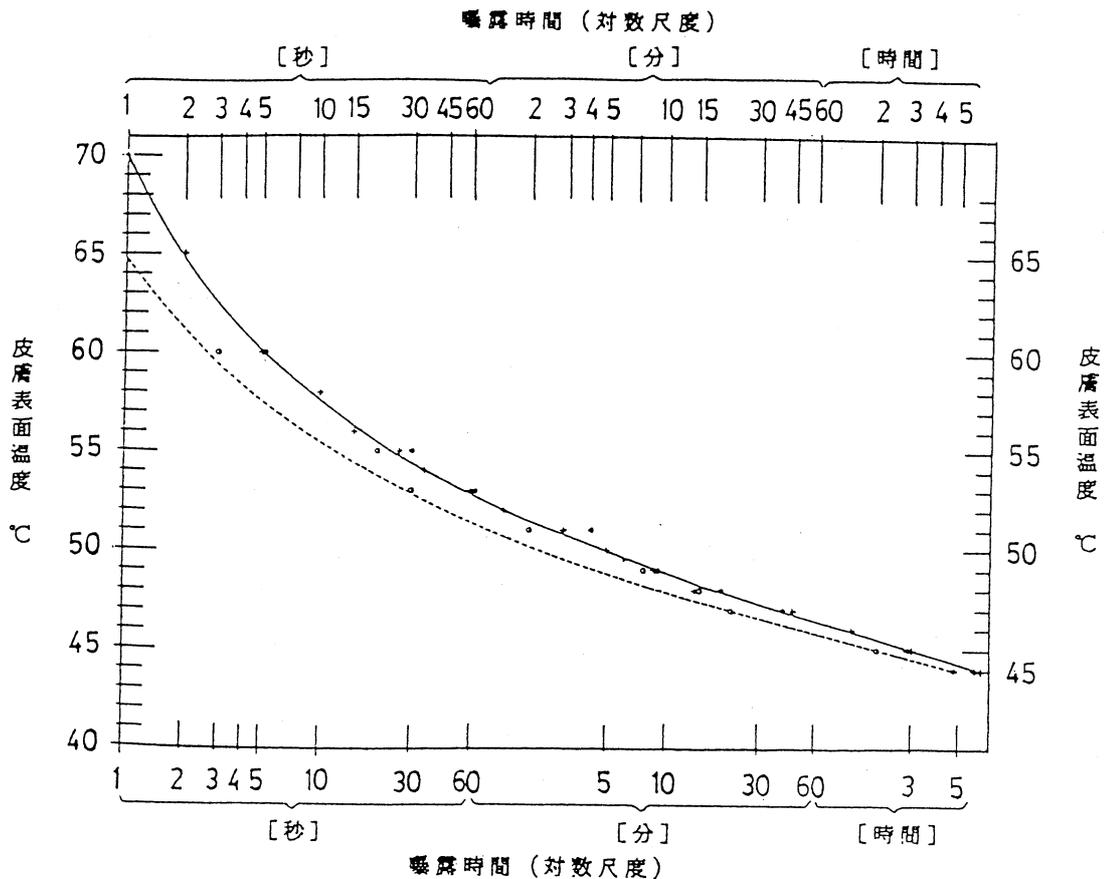


図 1 0 3 皮膚火傷が生ずる接触時間—接触表面温度のいき値

温度で曝露時間が最も短いものの例である。破線は豚の表皮の損傷が付加逆となる閾値を、実線はおなじく壊死となる閾値をそれぞれ示している。

接触温度が 44°C でも同一個所で接触時間が 6 時間以上あれば、低温火傷を起こすことになるので、床表面温度は当然この値以下としなければならない。また 44°C 以下の温度であっても、安全を考えて、じかに床上で不用意に寝込むことを考えると、図 1 0 3 の破線を時間方向に外挿して許容温度を見込んでおく必要がある。この図で推定すると、いくぶん安全側にとって、40°C 以下が低温火傷の許容値であろうか。かりに 40°C を許容値とすると、前節の快適な床表面温度 24~30°C はそれ以下となっているので、少なくとも低温火傷の心配はなくなる。

さらに、張等は²⁾、その後の研究例をも含め、床暖房の床温、室温の快適範囲および許容範囲を青年と高齢者に分けて調べている。室温は青年で 20~24°C、高齢者で 16~20°C のものを抽出している。ただし、著者らも述べているように、高齢者を対象とした場合は研究例が少なく、範囲を限定するのが難しいようであった。

図 1 0 4 は、青年及び高齢者の床温と室温の快適範囲である。青年の場合床温で約 25~32°C (平均温 28.5°C、以下同様)、室温で約 18~25°C (21.5°C) となる。高齢者では、床温、室温の快適範囲は、それぞれ約 22~30°C (26°C)、16~21°C (18.5°C) となっている。高齢者より青年のほうが、床温の快適平均値は約 2.5°C 高くなるのに対し、室温のそれは高齢者より青年のほうが約 3°C 高い。

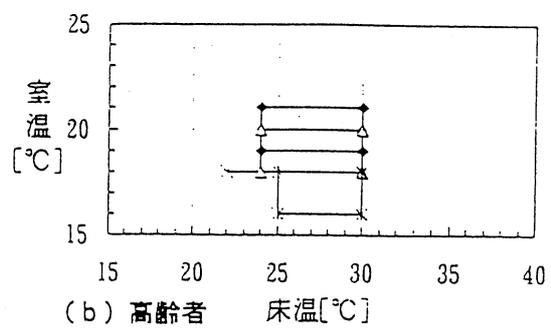
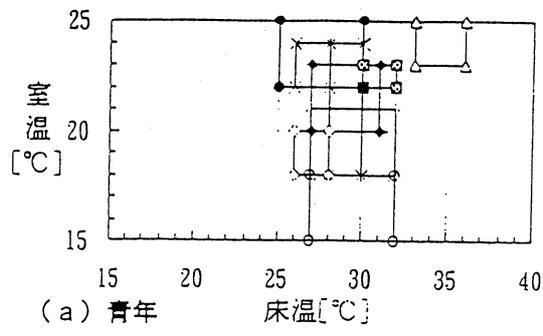


図104 青年及び高齢者の床温と室温の快適範囲

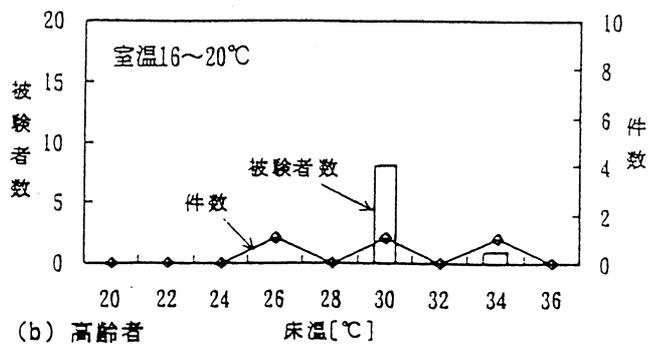
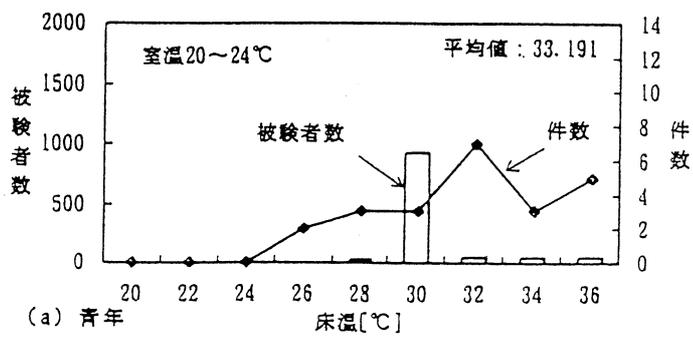


図105 青年及び高齢者の床温の許容値

図105は、青年及び高齢者の床温の許容値である。青年の場合、被験者数と実験件数の両者が重なっている許容値の範囲は、床温 28℃(22人、3件)~36℃(50人、5件)である。また、被験者数での最大度数となった床温許容値は 30℃(924人)、実験件数でのそれは 32℃(7件)である。同じく高齢者では、被験者数でみた床温の許容値は 30℃(8人)、実験件数で見たそれは、床温 26、30、34℃(1件ずつ)である。

Zhang 等³⁾は、同じ結果をさらに要約して以下のようにまとめている。図107は、青年と高齢者の床暖房の快適範囲を示している。許容範囲は図108であり、さらに図106に概略の範囲を示した。すなわち、室温 21~23℃の範囲において、快適範囲は床温最低値が 25℃、最高値が 30℃であった。至適範囲は、26~30℃に相当する。許容範囲は、室温 15~30.5℃で床温は 20~35℃である。

最近、渡邊は⁴⁾、我が国における床暖房の研究の変遷について詳細に記述した総説を発表した。この総説では、図109に各研究機関毎に床暖房の快適範囲、許容範囲を示している。

以上のように、床暖房の快適基準、許容基準については、室温と床温との関連で多くの研究がなされている。しかしながら、研究者の合意を得るまでには至っていない。そこで、関連学会(人間・生活環境系会議 Society of Human-Environment System を予定)において、国際標準化を視野に入れ、上記の項目について我が国を代表する研究者を招いてシンポジウムを開催する。そして、床暖房の快適範囲、許容範囲の基準について、大方の合意を得る。その内容を、総説として、英文学術誌に掲載する。英文原稿を、国際専門家委員会で配布し、海外の委員の理解を得たい。

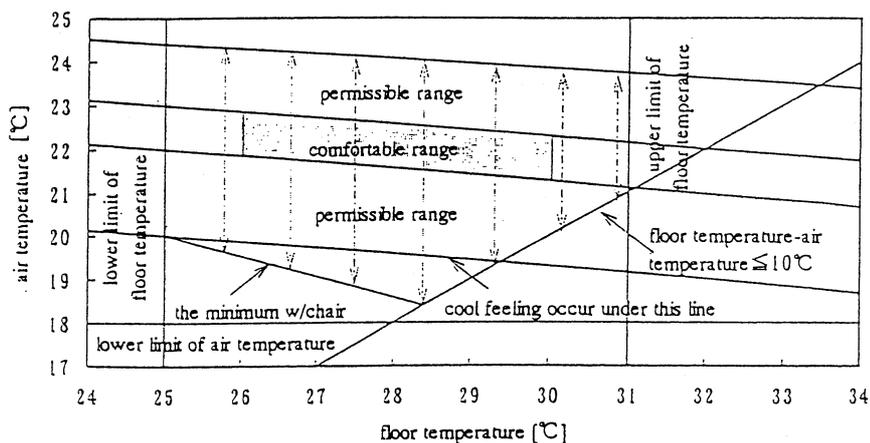


図106 床暖房の快適性の快適範囲と許容範囲の提言

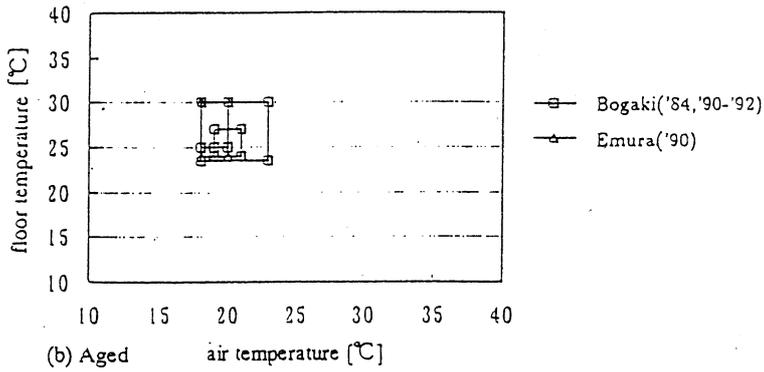
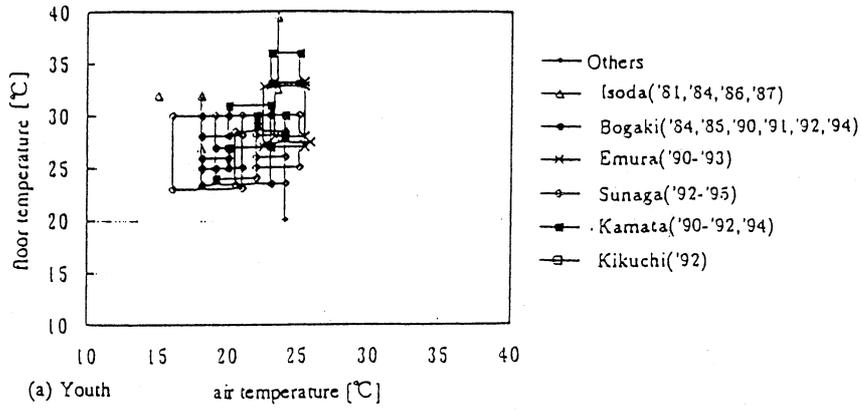


図 1 0 7 青年及び高齢者の床温と室温の快適範囲

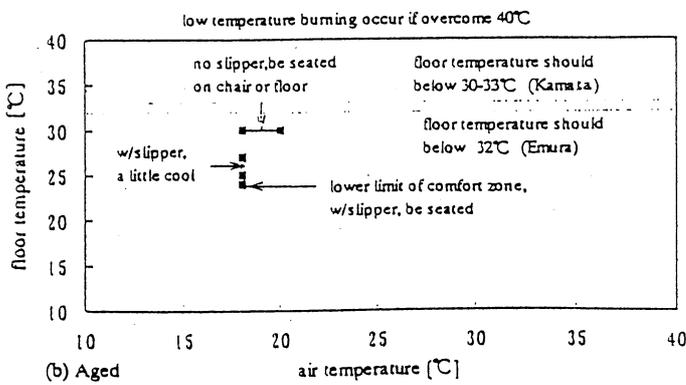
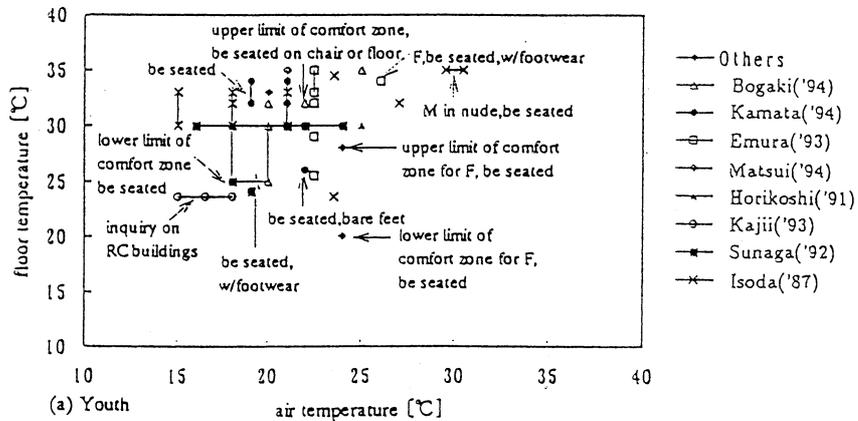
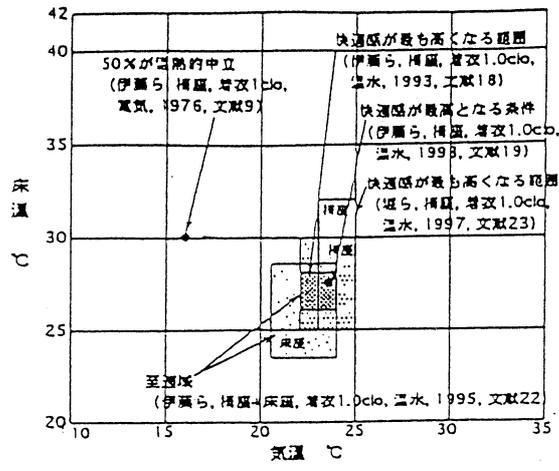
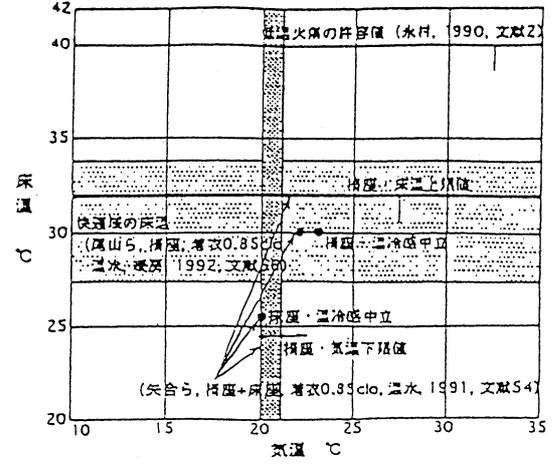


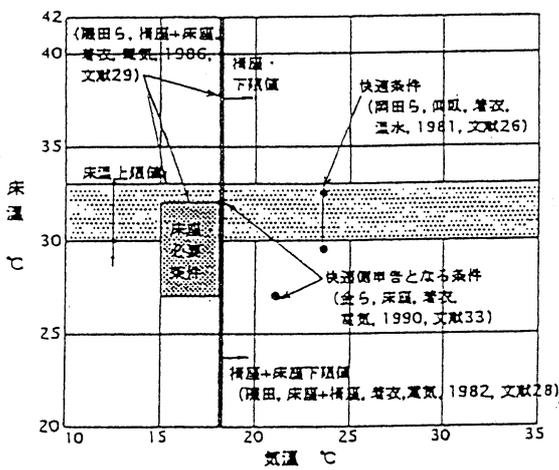
図 1 0 8 青年及び高齢者の床温と室温の許容範囲



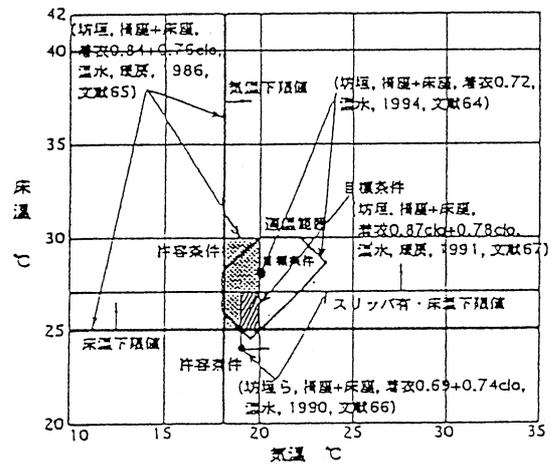
(京都市立大学)



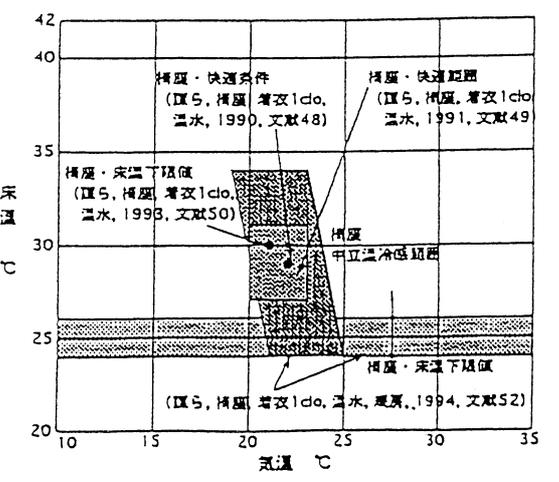
(大阪市立大学)



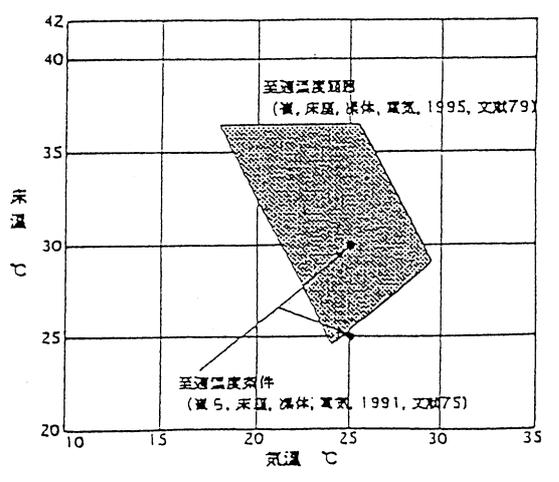
(奈良女子大学)



(建設省建築研究所)



(東京大学)



(名古屋工業大学)

図109 床暖房の快適範囲と許容範囲 (研究機関毎)

(2) 非定常温熱環境について

人体に及ぼす温熱環境の要素として、気温・湿度・気流・放射の環境側4要素と、着衣量・作業量の人体側2要素がある。これらの要素の一つでも変化すれば、人体と温熱環境が熱平衡に達するまでは、その環境はいわゆる非定常の状態ということになるが、ここでは気温のみの変化について取り扱うこととする。

1) 気温変化のパターン

気温変化と一口に言っても、実生活の中ではいくつかのパターンが考えられ、これまでの研究においても温度変化の与え方は異なる。気温変化のパターンとしてはおよそ以下の3つに分類することができる (Hensen, 1990)。

a) ステップ (steps)

ある熱環境から別の熱環境に移動する場合が相当する。初期温度、到達温度、滞在時間などが変数として考えられる。さらに方向 (上昇または下降) によっても分類される。

b) ランプまたはドリフト (ramps or drifts)

単調に時間的変化する場合が相当する。rampはactiveに変化する場合をいい、driftはpassiveに変化する場合をいう。初期温度、温度変化率、滞在時間などが変数として考えられる。さらに方向 (上昇または下降) によっても分類される。

c) 周期的 (cyclical)

正弦波的にあるいは三角波的に変化する場合に相当する。前者は外気温変化、後者は空調のon-off制御などが例として挙げられる。平均気温、ピークからピークまでの振幅や周期、滞在時間などが変数として考えられる。

2) 気温変化による非定常温熱環境評価の既往研究

これまで国内で行われてきた気温変化による非定常温熱環境評価の研究について、気温変化のパターンごとに分類しながら概観する。分類の方法は前節の3通りである。なお、室内外の繰り返し移動の場合、ステップ変化とも周期的変化ともいえるが、ここではステップ変化に分類することとする。

a) ステップ (steps)

磯田ら (1985)

室内外の気温差の身体影響を検討する目的で、1984年7月に実施された。冷房室温を25℃、室外を28、30、32℃の3条件としている。冷房室に30分、室外に30分、冷房室に30分、室外に30分の計120分の実験を各室外温条件ごとに行っている。また、温度変化をさせずに25、26.5、27.5、28.5℃に90分曝露させる条件についても行っている。被験者は青年女子2~6名で椅座安静、夏服

着 (0.35clo程度) であった。測定項目は皮膚温 (Hardy-DuBoisの7点)、舌下温、血圧・心拍、体重、フリッカー値、温冷感9段階、快適感7段階、疲労感であった。

平均皮膚温と温冷感の関係、平均皮膚温と気温との温度差と温冷感との関係から26.5~27℃が冷房温度として望ましいとしている。

磯田ら (1987)

1986年7月に、磯田ら (1985) と同様の方法で条件を変えて実験を行っている。すなわち、26.5℃の室と外界を想定した29.5、31.5、33.5、35.5℃の室を30分ごとに移動を繰り返し、計120分の実験であった。移動間隔を10分、20分とした条件でも行っている。温度変化をさせずに26.5、28、29、30、31℃に曝露させる条件についても行っている。被験者は青年女子2~4名で椅座安静、夏服着 (0.35clo程度) であった。測定項目は皮膚温10点、直腸温、温冷感9段階、快適感7段階などであった。

冷房温度が26~29℃の範囲にあれば快適側の申告が得られ、気温差が5℃を超えると心理的に大きな影響を与え皮膚温を大きく変動させるとしている。

堀越ら (1987)

4種の実験を行っている。4実験とも27℃ (非冷房室) で30分滞在後、実験1は23℃ (冷房室) に3時間滞在、実験2は23℃と27℃を交互に30分ごとに滞在、実験3は27℃に3時間滞在、実験4は籐製の椅子で27℃に3時間滞在するというものであった。被験者は男女各2名で実験中は椅座安静であった。着衣はTシャツとジーンズで、夏の標準的な着衣と考えられる。測定項目は皮膚温 (Hardy-DuBoisの7点と接触部である腸骨節、大腿後、足底の3点)、心理反応は直線評定尺度による7形容詞対であった。

伝導の影響を中心に議論をしており、平均皮膚温に椅子との接触による熱伝導の影響が認められ、また放熱量も無視できるほどは小さくなかった。熱的中性の状態はおよそ気温24℃付近でその時の平均皮膚温はおよそ33℃であった。実験1と実験2では平均皮膚温・平均着衣温に差が見られた。実験1の曝露時間中、皮膚温は低下し続けた。実験条件の違いが温冷感に影響した。実験2に比べ実験1の方が新鮮感・快適性が高い結果となった。

磯田ら (1988)

1987年7月に、磯田ら (1985) と同様の方法で条件を変えて実験を行っている。すなわち、冷房温度を28℃の室と外界を想定した31、33、35℃の室を30分ごとまたは10分ごとに移動を繰り返し、計120分の実験を行っている。温度変化をさせずに28、29.5、30.5、31.5℃に曝露させる条件についても行っている。被験者は青年女子4~6名で椅座安静、夏服着 (0.35clo程度) であった。測定項目は皮膚温10点、温冷感9段階、快適感7段階などであった。

夏服着用、椅座安静状態の在室者に対する冷房温度を決定するために、平均皮膚温が33.5℃~35℃の範囲にあり、変動幅が1℃以内であること。温冷感で「暑い」「寒い」の申告がないこと。快適感で「不快」の申告がないこと。の3条件を考え、これを満たすためには、外気温が28~33℃の範囲では、外気温との気温差は3~5℃以内で冷房温度は26~29℃の範囲となるとしている。短期間移動の場合 (ここでは10分) はこれらの範囲を約1℃拡張できるとしている。

堀越ら (1988、1989)

23℃ (=MRT) に1時間曝露後、90分間、15、18、23、25、30℃ (=MRT) に曝露された。被験者

は青年男子5名で着衣で椅座安静であった。被験者は全ての実験条件に参加しているわけではなく、同一条件にを2度行う場合もあった。測定項目は皮膚温 (Hardy-DuBoisの7点)、体重減少量、水分蒸発放熱量、心理反応は直線評定尺度による温冷感・快適感であった。

気温と温冷感の関係では5分曝露と90分曝露で差異は認められなかったが、温冷感と快適感の関係では認められた。気温の急変時、温冷感の変化は快適感の変化より大きい、変化後の一定気温の曝露時間中には快適感の変化の方が温冷感の変化よりも大きかった。

伊藤ら (1989)

通勤時を想定し、外界から空調された建物へ入室した場合の至適温度を求めることを目的としている。平成元年1、2月における5.6~9.6℃の外界条件から19、22、25℃の実験チャンバーに入り、120分間曝露される。着衣は背広上下、ネクタイ (女子はスーツ、ストッキング)、靴、コートは入室後脱衣。被験者数は各温度条件で2~3名。測定項目は皮膚温 (Roberts et al. 3) 寒暑感、涼暖感、室温の変更希望に関する3択 (室温をa. 下げて欲しい、b. 変えなくて良い、c. 上げて欲しい)。aとcが同数となる温度を内挿して求め、これを至適温度としている。

被験者2名についてそれぞれ至適温度を求めた結果、入室後1時間までは21、23℃前後の低温となり、さらに1時間後には両者とも24℃前後となった。

堀越ら (1990)、Horikoshi et al. (1993)

30℃の部屋と20℃の部屋の相互間を移動する実験である。MRTは気温±1℃以内であった。一方の部屋で測定装置の装着を含めて50分滞在後、室を移り20分滞在した。被験者は青年男子6名であった。測定項目は皮膚温 (Hardy-DuBoisの7点)、舌下温、心理反応は直線評定尺度による温冷感・快適感であった。

環境の変動に対する人体の応答を線形系と仮定して、気温変動に対する人体皮膚温の重み関数 (インパルス応答) の推定を行った結果、気温変化の方向性によって違いが見られた。気温が低い方から高い方へ移る場合よりも高い方から低い方へと移る場合の方が、気温の変化に対する各部位皮膚温の変化率は大きい。温冷感申告の応答は気温の上昇と下降で大きな差異は認められなかったが、快適感申告では双方向での差異が認められた。

垣鏑ら (1998)

暑熱曝露後の冷房時の湿度の違いが人体の生理・心理反応に及ぼす影響について検討している。被験者は健康な学生男女各3名で着衣はTシャツと短パンであった。27℃、60%に10分滞在後、20分間の暑熱曝露 (40℃、60%) し、再び27℃で60分間滞在した。後半の冷房時は80、60、40%の3条件であった。測定項目は蒸汗量、熱流量3点、皮膚温4点、鼓膜温、温冷感、快適感、べたべた感であった。

相対湿度が低い方が蒸汗量は大きい、温冷感のオーバーシュートが大きくなり、熱的中立に至までの回復時間も長かったことから、冷房初期時は高湿にし、その後低湿に移行する方が心理的ストレスを軽減できるとしている。

b) ランプまたはドリフト (ramps or drifts)

Horikoshi et al. (1983)

23℃から約15分かけて30℃または15℃まで変化させ、その後90分間曝露させる実験を行って

る。測定項目は皮膚温 (Hardy-DuBoisの7点) であった。被験者は日本人青年男子、老年男子、アメリカ人青年男子、着衣で椅座安静であった。

環境の変動に対する皮膚温の応答を線形系と仮定して、気温変動に対する人体皮膚温の重み関数 (インパルス応答) の推定を行った結果、30℃の場合15℃の場合よりも重み関数の値が小さくなった。気温上昇か下降かを条件として温度範囲を限定することで、インパルス応答による皮膚温の予測値の実用の可能性があるとしている。

Horie et al. (1985)、堀江ら (1985)、桜井ら (1987a)、Sakurai et al. (1991)

温熱環境要因の人体応答を予測することを目的に実験を行っている。冬期に中立温度21℃から約15から~20分かけて28℃または15℃に変化させ、約2時間曝露し、その後さらに21℃からランダムに変化させた。被験者は男子学生3名で冬期に標準的と思われる着衣 (半袖シャツなど) で椅座安静であった。測定項目は皮膚温、心理反応は温冷感・不快感各11段階であった。

環境の変動に対する人体の応答を線形系と仮定して、気温変動に対する人体皮膚温・温冷感・不快感のインパルス応答を求め、これによる予測値とランダム時の実測値を比較した結果、前額部皮膚温の実測値と予測値は比較的よく対応したが、他の部位ではあまり対応しなかった。温冷感・不快感とも周期性は対応が見られるが、絶対値としては対応しなかった。

堀江ら (1986a、1986b)

温熱環境要因の人体応答を予測することを目的に実験を行っている。夏期に中立温度25℃から約30分かけて31℃または19℃に変化させ、約2時間曝露し、その後さらに25℃からランダムに変化させた。被験者は男子学生3名で冬期に標準的と思われる着衣 (長袖カッターシャツ、セーターなど) で椅座安静であった。測定項目は皮膚温7点、心理反応は温冷感9段階・不快感5段階・良悪5段階であった。

環境の変動に対する人体の応答を線形系と仮定して、気温変動に対する人体皮膚温・温冷感・不快感・良悪のインパルス応答を求め、これによる予測値とランダム時の実測値を比較した結果、手背・大腿・下腿皮膚温の実測値と予測値は比較的よく対応しており、前回 (堀江ら、1985) より改善されたとしている。温冷感については、周期性は対応が見られるが、絶対値としては対応しておらず、不快感と良悪についてはやや対応していた。

桜井ら (1987b、1987c)、Sakurai et al. (1991)

温熱環境要因の人体応答を予測することを目的に実験を行っている。夏期に中立温度25℃に40分滞在後、29℃または19℃に変化させた実験を各2回行った。また25℃からランダムに変化させた条件も行っている。被験者は男子学生9名で夏期に標準的と思われる着衣 (半袖シャツなど) で椅座安静であった。測定項目は皮膚温、心理反応は温冷感・不快感・良悪であった。さらに室温を25℃に保ち、被験者前方1mに2350×1760mmの放射パネルを25℃から85℃まで上昇させ (85℃の時のグローブ温度29℃)、同様の測定を行った。被験者は男子学生4名であった。

環境の変動に対する人体の応答を線形系と仮定して、気温変動に対する人体皮膚温・温冷感・不快感のインパルス応答を求めた結果、気温変動に対する同じ部位皮膚温のインパルス応答について、最初にピークが出る位置に個人差は小さく、再現性もあった。足背・大腿とも上昇時と下降時で応答のピーク位置が異なった。放射に対するインパルス応答についても皮膚温のインパルス応答のピーク位置は安定していた。

成瀬ら (1987a, 1987b, 1987c, 1987d)

50分間17℃の室に滞在後、気温変化率を0.17℃/min.、0.33℃/min.、0.67℃/min.の3条件として28℃まで上昇させた実験と、50分間28℃の条件の室に滞在後、同様の变化率で17℃まで下降させた実験を、着衣量0.3、0.7cloの2条件の計組合せ12条件について行った。実験時期は1986年8月で、被験者は青年男子4名で椅座安静であった。測定項目は皮膚温 (Burtonの3点)、温冷感9段階、快適感4段階であった。

温度変化率が大きくなるほど皮膚温変化率も大きくなった。両着衣条件とも下降期より上昇期の方が皮膚温変化率が大きかった。上昇時・下降時とも、温度変化率が大きくなるほど室温と平均皮膚温の回帰式の回帰係数は小さくなった。すなわち、室温変化に対する皮膚温の追従性が悪くなると考えられた。着衣量が少ないほど温度変化の影響を強く受けていた。

さらに秋期 (1986年10~11月) および冬期 (1987年1月) に実験を行い、実験時期の違いや、1.0cloの場合、心理反応について検討しているが、明確な傾向は得られていない。

c) 周期的 (cyclical)

成瀬ら (1986a, 1986b)

台形型に温度変化させたときの人体応答実験を行っている。すなわち、8月に25℃の室に60分滞在し、15分かけて30℃に上昇させる。30℃で30分曝露後、30分かけて20℃に下降させる。20℃で30分曝露後、再び30分かけて30℃に上昇させる。さらに30℃で30分間曝露するという実験を行っている。9月の実験では20℃のところを22℃として行っている。被験者は青年男子4名、壮年男子1名で椅座安静、着衣量約0.3cloであった。測定項目は皮膚温 (胸部、前腕、下腿)、心理反応は温冷感9段階、快適感4段階であった。

最初の上昇期・下降期、後の上昇期とも、各部位の皮膚温はほとんど時間遅れなしに室温の変化に対応するが、その後室温が一定になってもしばらくの間上昇また下降し続けた。上昇期の変化の割合は前腕がやや大きく、下降期の変化の割合は胸部でやや小さかったが、それ以外は気温とほぼ等しかった。9月の実験での快適域はASHRAE standardよりも下降期でやや低め、上昇期でやや高めとなった。

8月期と同じ条件で10月にも実験を行っており、ほぼ同様の結果となっている。

成瀬ら (1986c)

9月中・下旬に成瀬ら (1986a) と同様の実験条件で気温変化率を変えた実験を行い比較検討している。変化率は0.17℃/min.、0.33℃/min.、0.67℃/min.の3条件であった。被験者は0.33℃/min.で5名、うち1名のみ全条件を経験した。

室温と平均皮膚温の回帰式の回帰係数は0.17℃/min.の時が最も大きかったことから、室温変化の速度が遅いほうが皮膚温の追従性がよいと考えられた。また上昇時より下降時の方が回帰係数が大きく、暑不快域と寒不快域の応答特性の違いが示唆された。

桜井ら (1988a, 1988b)

周期の知覚閾値の上限値を求め、インパルス応答の測定における入力波形の適切な時間幅を検討することを目的とし、気温と放射温をそれぞれ変化させた実験を行っている。気温変化の周期は2分、5分、10分であったが、実験設備の性能上なめらかなサインカーブとはならず、振幅も一

定でなかった。実験期間は1987年9～10月、1988年1月であった。放射変化の周期は2分、5分、10分、20分で、気温変化の実験終了後の1988年1月に行われた。被験者は男子学生9名であった。測定項目は皮膚温、心理反応は温冷感9段階・不快感5段階・良悪5段階であった。

気温の入力変動の振幅に対する反応の振幅の比は、温冷感・不快感・良悪とも周期が短いほど小さくなった。しかし皮膚温は必ずしもそうはならなかった。放射の入力変動の振幅に対する反応の振幅の比は温冷感については気温の場合と同様であったが、不快感・良悪は放射の変動に対して殆ど影響しなかった。

成瀬ら (1988a、1988b)、大倉ら (1989)

温度が変化する場合の温熱環境条件を評価し設計へ結びつけることを目的とし、実験を行っている。23～25℃を中心に±5℃の温度変化を与えた。温度変化率は30℃/h、15℃/h、5℃/hの3種で三角波的に周期変化させており、1～2周期の曝露である。被験者は1各温度変化率につき9名で計27名であり、着衣は約0.7clo、椅座安静であった。実験期間は1987年8～9月であった。測定項目は皮膚温 (Hardy-DuBoisの7点)、温冷感9段階・快適感4段階であった。

温度変化率が小さいほど室温に対する追従性は高くなった。平均皮膚温応答は1週目と2週目で0.7℃の差があった。温冷感申告は室温変化によく対応し、時間遅れがなく、線形的であった。

「快適」と申告した人の比率が80%以上となる温度範囲を求めた結果、温度変化率5℃/hのとき23.2～27.5℃、15℃/hのとき22.5～26.5℃、30℃/hのとき21.3～26.2℃であった。このときの対応する温冷感は「やや涼しい」側にシフトしており、平均皮膚温は33.4～34.4℃の範囲で温度変化率別に差は見られなかった。また、周期別、上昇期・下降期別にも快適範囲を求めて比較している。

大倉ら (1990)

成瀬ら (1988a、1988b)、大倉ら (1989) とほぼ同様の条件で実験を行っている。すなわち約25℃を中心に±5℃の温度変化を、温度変化率15℃/hで与えた。ただし、最初の温度変化を下降側にする条件と上昇側にする条件の2条件を設けている。被験者は男子学生10名で着衣量約0.64clo、椅座安静であった。実験期間は1987年8～9月であった。測定項目は皮膚温 (Hardy-DuBoisの7点)、温冷感9段階・快適感4段階であった。

同様の方法で快適範囲を求めた結果、下降スタート変化は上昇スタート変化に対し、快適温度範囲、平均皮膚温を下げる可能性があるとしている。

3) まとめ

以上、過去20年ほどまでさかのぼり、日本における研究を概観したが、気温のみの変動を扱ったものだけでもその条件の与え方は様々であり、被験者の属性や評価方法、研究の目的までも多様である。ここでは取り上げなかったが、気温と気流を同時に変化させた研究も数多くされている。

いずれにしても、個々の研究では被験者数が少なく、予測不満足者率を考えるには到っていない。被験者数を増やした実験が必要であろう。

5. 4. 動的温熱環境評価に係わる調査研究と動的温熱環境評価データベース構築

5. 4. 1 調査の目的

従来の生活環境の快適性の評価に関する国際規格は、温度、湿度、気流等が均一で、一定の状態にある場合を中心にしたものである。現実の生活環境は、上記の諸要因が絶えず変化しており、不均一・非定常な環境にあると言える。

これに関して、諸外国の研究状況ならびに日本の研究状況、関連文献等を調査し技術の動向を把握する必要がある。

本研究では、動的温熱環境に関する海外の研究状況について調査を行なうとともに、国内の研究内容について、整理・分類し、ISO (the International Organization for Standardization) 改定の素案を検討するための参考とするものである。

5. 4. 2 調査方法

本技術調査においては、以下のような調査の方法を取った。

(1) 動的温熱環境に関する海外の研究状況の調査

動的温熱環境に関する堀越教授 (名古屋工業大学)、磯田教授 (奈良女子大学) の研究の中から、不均一・非定常、床暖房等の、温熱環境に関するキーワードを調査し、日本科学技術情報センター (JICST) の “ JOIS (JICST Online Information System) ” を用いて、検索を行なった。

検索結果における各文献の Abstract より、本プロジェクトの調査の条件に合う文献を選択・入手していった。調査分野としては、以下のものを対象とした。

- 1) 床暖房環境に関連する研究
- 2) 不均一 (非対称) の環境、床暖房以外の上下温度差のある環境に関する研究
- 3) 非定常状態の環境に関連する研究
- 4) ISO7730, N341 に関連する研究

ここでは、特に、米国・ヨーロッパ諸国を重点に調査した。

入手した文献及びそれに関連した文献を調査・分類し、まとめを行なった。

(2) 動的温熱環境に関する国内研究報告書のまとめと ISO への対応

国内のこれまでの研究状況は、堀越教授、磯田教授等の研究報告でかなりの部分が調査されている。前記 1) ~ 3) に関連する研究内容について、ISO7730 の改定の動きに対応し、問題点、国内の関連研究、不足する課題等に整理・分類し、ISO の改定の素案を検討するためのま

とめを行なった。本調査の実施に当たり、本研究に関係する方々の意見、指導を受けて、最終的にまとめを行なった。

5. 4. 3. 分類

(1) 床暖房温熱環境

ここでは、特に床暖房を使用した場合の温熱環境について、研究した文献を集めた。検索に用いたキーワードは以下のとおりであり、

- 1) 床暖房 * 温冷感
 - 2) 床暖房 * 温熱環境
 - 3) Floor * Heating
 - 4) Thermal * Sensation
+ Contact / Conductive
 - 5) Thermal * Comfort
+ Contact / Conductive
 - 6) 接触 * 温熱環境
 - 7) 接触 * 温冷感
- 4)、5) については、床暖房に関連しているものを選択した。床暖房と、他の暖房器具を比較した文献についても、ここに含めるものとした。

(2) 不均一（非対称）の温熱環境、床暖房以外の機器による上下温度差のある温熱環境

ここでは、不均一（非対称）の温熱環境、床暖房以外の暖房・冷房機器を使用した場合の温熱環境について、研究した文献を集めた。検索に用いたキーワードは以下のとおりである。

- 1) 不均一 * 温冷感
- 2) 不均一 * 温熱環境
- 3) 非対称 * 温冷感
- 4) 非対称 * 温熱環境
- 5) Thermal * Sensation
+ No Uniform / Uneven / Asymmetric / Up Down / Vertical
- 6) Thermal * Comfort
+ No Uniform / Uneven / Asymmetric / Up Down / Vertical

(3) 非定常温熱環境

ここでは、非定常の温熱環境について、研究した文献を集めた。検索に用いたキーワードは以下のとおりであり、

- 1) Thermal * Sensation
- 2) Thermal * Comfort

ここで選択された文献の Abstract から、非定常の温熱環境について、研究したものを選択した。

(4) IS07730

ここでは、IS07730 及び Olesen 氏の研究の中で、IS07730 に関連した文献を集めた。検索に用いたキーワードは以下のとおりであり、

1) ISO * 7730

2) AU : OLESEN B W ここで、AU は著者名による検索であることを表している。

5. 4. 3. 調査文献サマリー

(1) 床暖房温熱環境

ここでは、特に床暖房を使用した場合の温熱環境について、研究した文献を示す。

Yoon Y-J 等[2]は、韓国において最もよく見られる床暖房システム「オンドル」における非対称熱放射による最適快適範囲を、実験により調査し、他の椅座における実験との比較を行なっている。表 4 3 に示すように、「オンドル」における快適な床表面温度範囲は、30.6 ~ 38.8 °C であり、他の椅座実験の結果より、高い温度範囲となっている。「オンドル」の環境では、最適な快適範囲を考える場合、雰囲気温度と床表面温度を同時に考慮する必要がある。

Choi Y S[3]は、韓国の伝統的民家の「オンドル」環境での、室内環境と居住者の温冷感を調査した。居住者の室内温熱反応は、座位での生活習慣による床表面と人体との接触面の熱伝導に大きく影響されている実態が把握された。

Banhidi L 等[10]は、各種の暖房方式 (AI ラジエータ, 放射パネル, 床暖房, 壁暖房) について、サーマルマネキンを用いて、人体の熱伝達の変化を比較した。これより、放射型暖房 (放射パネル, 床暖房, 壁暖房) が従来のラジエータに比べ、人体の熱損失抑制効果が高いことがわかった。

Berglund L G 等[5]は、放射天井, ベースボード, 強制空気, カーペット床暖房装置の暖房方法で熱的快適性に対する人間の反応を同一の事務所内で個別に調査し、それぞれを比較した。試験事務所は環境試験室内に設置して作用温度が一定になるように制御した。20 人の被検者が 3 時間にわたって各条件を経験し、一定時間ごとに身体の熱的感覚とそれぞれの環境の許容度を報告している。

単位床面積当たりの消費電力は平均 9.1 BTU/h · ft² で、放射式が最も少なく、居住空間の空気温度分布は床暖房式が最も均一であった。熱的快適性と温冷感については、4 つのシステムで、ほとんど違いはなかった。カーペット床暖房の場合、被験者は、足部で他のシステムより、少し暖かいと感じ、好ましいと感じていることがわかった。

Olesen B W[63]は、ある部屋を種々の方法で加熱して、エネルギー消費量と熱的快適性を実験的に調査した。諸物理量を測定して被験者を用いた実験を実施している。窓面からや通風による

熱損失の総量について、床暖房及び足元暖房の場合に最小、前方と両側の温風方式のコンベクタの場合に最大となり、約 10 %の相異を確認した。

このように、床暖房による温熱環境の中で、特に床座の環境について、海外で研究されているものは、韓国のものであることがわかった。

(2) 不均一（非対称）の温熱環境、床暖房以外の機器による上下温度差のある温熱環境

ここでは、不均一（非対称）の温熱環境、床暖房以外の暖房・冷房機器を使用した場合の温熱環境について、研究した文献を示す。

Loveday D L 等[48]は、冷却天井と置換換気環境を組合せた場合の、温度快適性を設計する上での一般指針を示した。温度快適性の計測は、184 人の主観を含み、冷却天井と壁設置型の置換換気システムを組合せて設置した普通の事務所風試験用の部屋で行った。部屋の実験から、冷却天井は置換換気流れに好ましからざる影響を及ぼすことが分った。つまり、18 ~ 21 °Cの天井温度で境界層を抑制し、14 ~ 16 °Cの低い天井温度では置換換気流れを破壊することがわかった。

Hodder S G 等[1]は、冷却天井・置換換気環境下の椅座安静状態の被験者の熱的快適性について実験した。人工気候室内に典型的な冷却天井・置換換気環境をつくり、天井面温度を変動させた場合の 8 名の女性被験者の熱的快適性について実験した。通常の冷却天井の温度範囲では、椅座安静状態の被験者の全身快適感に対する上下非対称放射温度の影響は小さい。天井面温度が低下するにつれて、「爽快感」は増加する傾向を示すが、さらに検討が必要となっている。

ファンガー教授等は 1985 年に非対称の様々な放射温度と形態における被験者実験による熱的快適性を発表した[11]。非対称の放射温度における不満足率は世界的に広まりドイツの工業規格にもなった。Glueck B[68]は、この検証を行った。新たに暖房された壁と、冷房された壁がある場合、暖房された壁で天井放射冷房が行われた場合について実験し、不満足率を求めた。

Milone A 等[69]は、事務室の雰囲気快適性に関し、壁の温度が 10 °C 程度異なり、放射が非対称になる時の快適性を解析した。年齢 24 - 28 歳の男、20 -28 歳の女を対象に、5、10、15、20 °Cの温度差がある時の快適性の限界を調べた。15 °Cの非対称があると、不快性が急増することが分かった。

Berglund L G 等[64]は、冬期に断熱性の悪い壁面からの放射の影響を調べるため、人工気象室内で、気流温、平均放射温度、湿度を一定に保ちながら、風速、作用温度、壁面温度を変化させ、室内の被験者の感覚を申告形式で求めた。被験者は、50 名であり、0.8 clo、 $0.05 < v < 0.15$ m/s、冷却壁面からの放射非対称温度は、0 ~ 20 K の条件で実験は行なわれた。放射温度の非対称性が、10 K までの場合は、許容されることがわかった。

Berglund L G 等[65]は、0.86 clo の着衣状態 50 人に対して、冬期の室内条件を種々に変化させ、2 時間室内にいた時の応答を調べた。気流は 0.05~0.5 m/s、放射温度を 0~20 K になるように変化させた。結果、壁面からの低放射温度は、空気温度を上げ、作用温度を高めることで補償されることがわかった。居住者は 0.25 m/s 以下、または 10 K 以下の非対称放射温度の影響を受けないこともわかった。

Lacomy T[70]は、72軒の代表的な集合住宅において、18～78才までの着席した72人の人を対象に熱的快適性を評価した。冬と夏に実験を行い、特に熱的に非対称な場合について考察を加えた。

Olesen B W[27]は、天井・床・壁・窓下等にラジエータを有する8種類の暖房システムを使用できる実験室での一連の実験的研究に基づき、温熱快適性を示した。風速・入射日光・断熱改良窓の快適性に及ぼす影響も調べた。

Olesen B W[29]は、冷暖房室内の放射温度非対称、空気速度、鉛直方向の室内温度差、床面温度などの温度パラメータと不満指数の関係について検討した。

この文献より、図110にPMVとPPDの関係を、図111に作用温度とPPDの関係を、図112に放射温度の非対称性と不満指数の関係を、図113に頭部と足部の空気温度差と不満指数の関係を、図114に流速と不満指数の関係を、図115に床温度と不満指数の関係を示している。

Fanger P O、Olesen B W等[11]は、椅座で、0.6 cloの着衣の男女被験者32人または16人を、人体横の冷壁または暖壁、そして冷い天井によって作られた、非対称熱放射環境6条件における温冷感の実験を行なった。暖壁よりも冷壁がより不快であった。さらに、被験者の5%が、不満足となるのは、非対称放射温度差で、冷壁では10℃、暖壁では23℃、冷天井では14℃であり、好まれる作用温度には影響がなかった。図116にこの結果を示す。

Fanger P O、Olesen B W等[31]は、16名の被験者による天井加熱下の温感を実測した。放射温度の非対称性が、身体各部の皮膚温度に及ぼす影響や各部位の熱損失に与える影響の実測値を示した。各被験者の着衣条件は、0.6 cloとなっている。対向二平面間の放射温度差をパラメータとして、不快感を示す人の割合を求め、4°K差で、5%が不快を示すことが分かった。表44には、各条件における被験者が望む温度の平均値を示す。表45には、各部位の不快の範囲を示す。表46には、放射温度の非対称性が、身体各部の皮膚温度に及ぼす影響を示す。表47には、各部位の熱損失に与える影響の実測値を示す。また実際の室において、人体から見た天井の角関係から、天井面の許容表面温度を求める線図を図117に示す。

(3) 非定常温熱環境

ここでは、非定常の温熱環境について、研究した文献の要約を示す。

1) 温度の変化

非定常の温熱環境で、熱的快適性に最も影響を及ぼすものが温度であることは、周知のとおりであり、本節では、主にこの点について、述べるものとする。

まず、温度が周期的に変動する場合について述べる。

Gagge等[15-14]は、熱的快適性と温冷感の非定常状態での違いを、実験により示した。実験では、被験者は29℃定常状態に1時間滞在後、17.5℃と48℃の環境室に移動、環境がステップ的に変化した場合の温冷感を示している。17.5℃の環境に入った場合、被験者は、ただちに寒いと感じ、不快感を訴える。定常状態に戻った時、不快感はすぐなくなるが、温冷感はまだ残る。温冷感、48℃の環境に移動した場合も同じ傾向を示す。温度の低い環境に変化した場合は、温冷感がオーバーシュートすることが見られる場合がある。

Sprague and McNall[15-20]は、椅座状態での、乾球温度の変動の影響を確認した。被験者は、192名の大学生であり、1.2 met, 0.6 clo, $T_r = 25.6\text{ }^\circ\text{C}$, $rh = 45\%$, $v < 0.15\text{ m/s}$ の条件で実験は行なわれた。乾球温度を、三角波的に変化させている。平均変動率は、1.7 ~ 10.9 K/hであり、ピークからピークまでの、振幅は、0.6 ~ 3.3 Kである。全実験は、快適領域である、乾球温度で、25.6 °Cから、開始されている。許容できる変動の範囲は、 $\Delta(T_{ptp})^2 \cdot \text{CPH} < 1.2\text{ K}^2/\text{h}$ となった。ここで、 T_{ptp} は、ピークからピークまでの振幅であり、CPHは、周波数 (/h)である。

Wyon等.[15-23]は、正弦波的に変動する環境温度の影響を確認した。被験者は、16名の学生であり、1.2 met, 0.6 clo, $v < 0.1\text{ m/s}$ の条件で実験は行なわれた。平均変動率は、15 ~ 60 K/hであり、ピークからピークまでの、振幅は、2 ~ 8 Kである。この実験では、許容できる環境温度変化は、全身に対して、1 - 2 Kとなった。

Nevins等[15-24]は、より環境温度の変動の幅が大きい場合について、実験を行っている。被験者は、18名であり、1.2 met, 0.6 clo, $rh = 50\%$, $v < 0.25\text{ m/s}$ の条件で実験は行なわれた。平均変動率は、19 K/hであり、ピークからピークまでの振幅は、10 Kである。平均温度は、25 °Cとしている。この実験では、定常状態の実験 (ex. ASHRAE[25])との明確な差はないとなっている。ただし、生の実験データを見てみると、許容温度変化は、2.8 Kであり、これは、定常状態の結果より、少し小さくなっていることがわかった。

Rohls等[15-26]は、17.5 ~ 29.4 °Cの基準温度に対し、平均変動率を、1.1 ~ 4.4 K/hに、ピークからピークまでの振幅を、1.1 ~ 5.5 Kにした場合の、シリーズ実験を行なっている。被験者は、804名の大学生であり、1.2 met, 0.6 clo, $rh = 50\%$ の条件である。結果は、変動率が、3.3 K/hで、ピークからピークまでの振幅は、3.3 Kまでなら、許容範囲となっているが、これは、定常状態の結果とほとんど同じである。

これらの結果を、図118にまとめた。これらの実験結果は、温度が周期的に変動する場合、ASHRAE's standard[15-7]よりも、保守的な値を示した。ASHRAE's standard[15-7]では、”ピークからピークまでの振幅が、1.1 Kを超える場合、その変動率は、2.2 K/hを越えないようにすべきである。”と述べられている。

温度が単調に時間的に変化する場合(ランプ又はドリフト)については、McIntyre and Griffiths[15-22], Berglund and Gonzalez[15-27, 28], Berglund[15-29], Rohles等[15-30]により、0.5 K/h程度のゆっくりした温度変化の場合、快適な範囲は、定常状態と変わらないとなっている。

2) その他の変化

非定常の温熱環境で、温度以外のパラメータについて、述べるものとする。

温度が変化した場合の、温度の感受性に対する衣服の保温性の影響については、McIntyre and Gonzalez[15-33]により、述べられている。彼らの実験では、被験者を1.1 cloか、nudeで1.1 metか、2.3 metの状態、6 Kのステップ変化の温度環境に曝露した。実験より、一般的に、全身温冷感、着衣量、運動量、季節により、影響を受けることがわかった。安静状態の場合には、衣服の保温性、季節は、温度の感受性に、影響をおよぼさないことがわかった。皮膚温度の変化は、nudeの場合が、着衣の場合より、空気温度への追従性が高いことがわかった。この文献の結論で

は、平均皮膚温は、温冷感の予測には不適切としている。nude の被験者については、運動中より、安静状態の方が、温度感受性が高いことがわかった。

湿度の影響についての文献は、非常に少ない。その中で、Gonzalez and Gagge[15-34], Nevins 等[15-24], Gonzalez and Berglund[15-35], Stolwijk[15-32]により、作用温度が快適範囲内かその近くにある場合、相対湿度の 20 から 60 %までの変動は、熱的快適性に影響をおよぼさないことがわかった。

(4) ISO7730

ここでは、ISO7730 及び Olesen 氏の研究の中で、ISO7730 に関連した文献の要約を示す。

田辺[42]では、Thermal Comfort に関する温冷感小委員会懇談会の中での、Olesen 氏との、懇談の部分をもとめられている。この中の、ISO7730 の紹介の部分を以下に抜粋する。

ISO7730 の基準は、6 節から構成されており、0 節で序論、1 節で目的と適用範囲、2 節で参考となる関連する ISO の他の基準、3 節で PMV の算出法、4 節で PPD の算出法、5 節で許容できる温熱環境に関する考え方が述べられている。

これに付随して Annex があり、A で快適範囲の推奨値、B で各作業下での代謝量、C で衣服の clo 値の推定法、D で PMV-PPD の電算機による計算プログラム、E に相対湿度 50 %の場合の PMV の算出表がある。

ここで重要なのは、Annex の部分は基準の 1 部ではないと明記されていることである。例えば、ISO7730 では、 $-0.5 < PMV < +0.5$ を一つの推奨値としており、これは基準値ではない。言い換えれば、ISO7730 は、快適に近い温熱環境の解析・評価法を定めているのであり、快適範囲は、個々の国々の状況・適用する人々の違いなどによって各々の国で定められるべきであるということである。

Fanger P O[26]では、熱的な快適さを取扱った国際規格 ISO7730 を紹介している。規格に規定された各限度は、居住者の不満足度の%に基づくもので、この規格制定の背景である考え方とその科学的根拠を論述した。この論文に載せられている各条件に対する不満足度を図 1 1 9 ~ 1 2 5 に示した。図 1 1 9 には活動度、clo 値による最適作用温度を示した。図 1 2 0 には運動量の違いによる代謝量を、図 1 2 1 には clo 値の概要を、図 1 2 2 には椅座状態での、足首高さ(0.1m)と頭部高さ(1.1m)における温度差による不満足度を、図 1 2 3 には室内履きを履いた時の床温度の設定に対する不満足度を、図 1 2 4 には暖天井での放射温度の非対称性に対する不満足度を、図 1 2 5 には、冷壁(窓)での放射温度の非対称性に対する不満足度を示した。

Fanger P O[23]では、快適性について検討し、人の熱収支及び快適性に及ぼすパラメータを明確にした。ISO7730 の背後にある考え方の検討し、建築設計時及び既存建築環境への実際の適用について述べた。

Gronau J 等[24]は、ISO7730 に基づいた室内環境、室壁、個人的因子の関連を説明した。

Olesen B W[25]では、ISO7730, ISO7726, ISO7243 を解説し、それらの必要性の概略を述べた。特に、ISO7726 における、温熱環境を表す個々の値の測定方法が示されている。

Olesen B W[22]では、ISO 熱環境に関する WG によって作成された熱環境での労働における安全標準についての説明されている。ここでは、特に、PMV、PPD の計算式が記述されるとともに、clo 値の値を、表にまとめている。この表 4 8 を表に示す。

Olesen B W[20]では、ISO7730 等の規格を例にして、熱的快適性の評価に言及した。PMV と PPD による評価を解説した。

(5) 文献一覧

本調査研究において入手した文献の、タイトル・著者・出典及び Abstract をまとめたものを、10. 2. 関連技術資料一覧に示した。

(6) 代表的な文献

本プロジェクトにおいて入手した文献の中で、特に代表的な論文について、そのコピーを入した。膨大な資料につき本報告書には添付しない。

(7) まとめ

本調査研究では、動的温熱環境に関する海外の研究状況について調査を行なうとともに、国内の研究内容について、整理・分類し、ISO (the International Organization for Standardization) 改定の素案を検討するための、まとめを行なった。

調査分野としては、以下のものを対象とした。

- (1) 床暖房環境に関連する研究
- (2) 不均一（非対称）の環境、床暖房以外の上下温度差のある環境に関する研究
- (3) 非定常状態の環境に関連する研究
- (4) ISO7730、N341 に関連する研究

入手した文献及びそれに関連した文献を調査・分類し、まとめを行なった。

Table 43 Standards and results on optimum comfort limits

SOURCE	FLOOR SURFACE TEMPERATURE [□]	V. R. T [K]		INDOOR AIR TEMPERATURE [□]	REFERENCE
		HORIZONTAL	VERTICAL		
ISO-7730	29 19~26	10	5(ceiling)	OT(20~24)	floor heating / conv. heating (ISO,1984)
ASHRAE 55-1981	18~29	10	5		(ASHRAE, 1981)
Nevins et al.	23.7~37.8			23.7	(Nevins et al.,1964)
Viesmann	29.4~32.2			15.6~21.1	(Nevins et al.,1964)
McIntyre	29.5		20(optimum value : 10)		(McIntyre, 1976)
Olesen et al.		10 20			nude 0.7 clo (Olesen, 1985)
Yoon et al.	30.6~38.8		11~15		floor heating

Table 44 Mean Values of the air temperature preferred by the 16 subjects and the corresponding mean values of the ceiling temperature, the wall temperatures, the mean radiant temperature, and the operative temperature, during the six radiant temperature asymmetries.

Radiant Temp. Asymmetry K	Preferred Air Temp. ℃	Ceiling Temp. ℃	Mean Wall Temp. ℃	Mean Radiant Temp. ℃	Operative Temp. ℃
0	24.1 ±1.6*	24.1	24.1	24.1	24.1
4.5	24.0 ±1.5	34.0	24.2	25.2	24.6
9.2	23.0 ±1.7	43.0	23.4	25.7	24.3
14.1	22.3 ±1.3	52.0	22.9	26.4	24.3
20.4	21.4 ±1.1	63.0	22.2	27.2	24.2
23.6	20.6 ±1.5	69.0	21.5	27.5	24.0

*standard deviation of the sample

Table 45 Percentage of subjects who experienced a local thermal sensation or discomfort

Radiant Temp. Asymmetry K	Local Sensation			Local Sensation		
	Head %	Feet %	Total %	Head %	Feet %	Total %
4.5	12.5	12.5	25.0	0.0	6.3	6.3
9.2	37.5	31.3	56.3	12.5	12.5	25.0
14.1	56.3	43.8	81.3	25.0	37.5	43.8
20.4	75.0	62.5	93.8	56.3	50.0	75.0
23.6	81.3	62.5	87.5	62.5	43.8	68.8

Table 46 Physiological Measurements

Radiant Temp. Asymmetry K	Rectal Temp. °C	Mean Skin Temp. °C	Non- uniformity K
0	36.8 ±.5 ⁺	33.6 ±.5	1.4 ±.3
4.5	36.9 ±.5	33.5 ±.7	1.5 ±.4
9.2	36.8 ±.5	33.5 ±.7	1.7 ±.4
14.1	36.8 ±.5	33.5 ±.7	1.9 ±.4
20.4	36.8 ±.6	33.5 ±.7	2.0 ±.4
23.6	36.8 ±.6	33.5 ±.8	2.2 ±.4

⁺standard deviation of the sample

Table 47 Heat loss from nine regions of the manikin exposed to a uniform thermal environment at 25.3□

Part of Manikin	Head	Back	Chest and Abdomen	Upper Arms	Lower Arms	Hands	Thighs	Lower Legs	Feet	Total
Percentage of Total Area	10	12	15	9	7	6	18	16	7	100
Heat Loss W/m ²	50.7	45.9	32.8	48.3	57.9	56.3	58.1	49.5	51.4	50.2

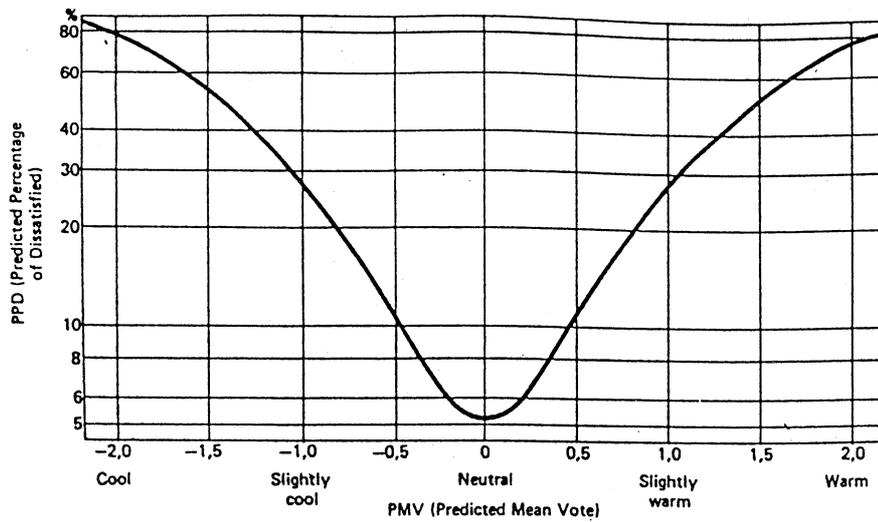


Fig 110 . Relation between the Predicted Mean Vote (PMV) and Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD) indices.

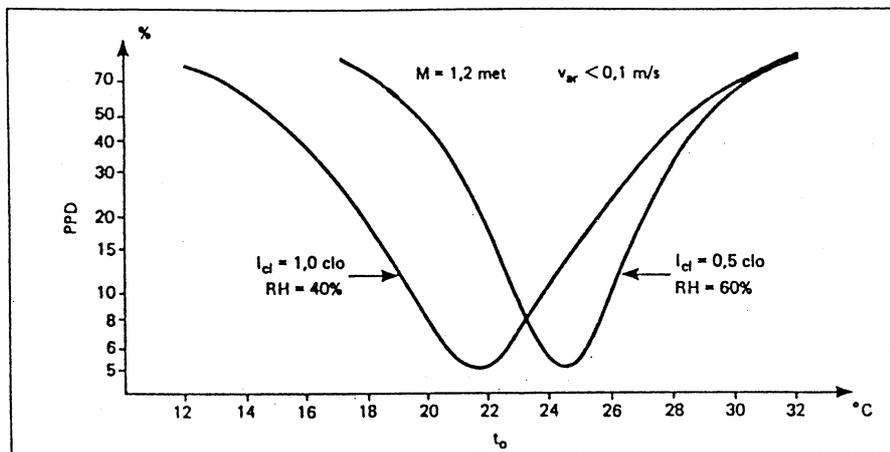


Fig 111. Relation between operative temperature and the Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD) value.

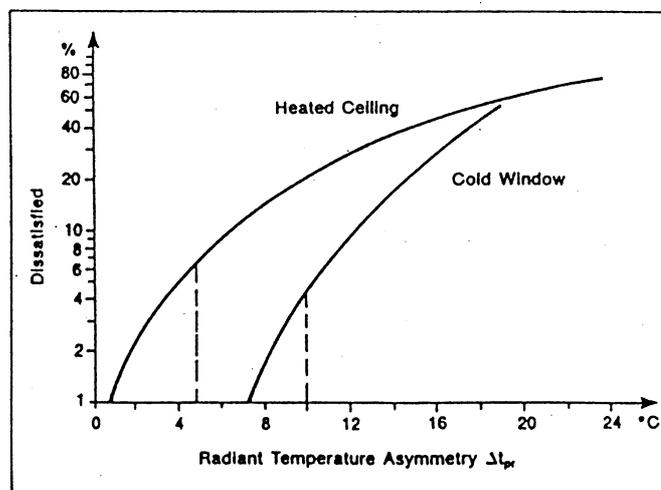


Fig 112. Relation between the radiant temperature asymmetry and the expected number of dissatisfied persons (Fanger et al. 1985).

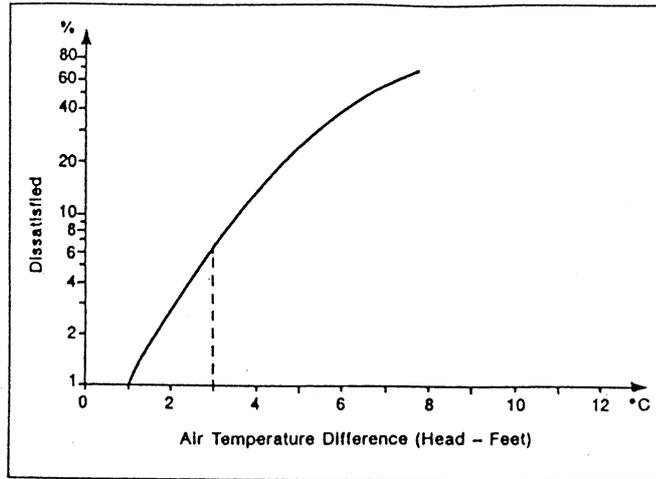


Fig 113 Relation between the vertical air temperature difference and the expected number of dissatisfied people (Olesen et al. 1979).

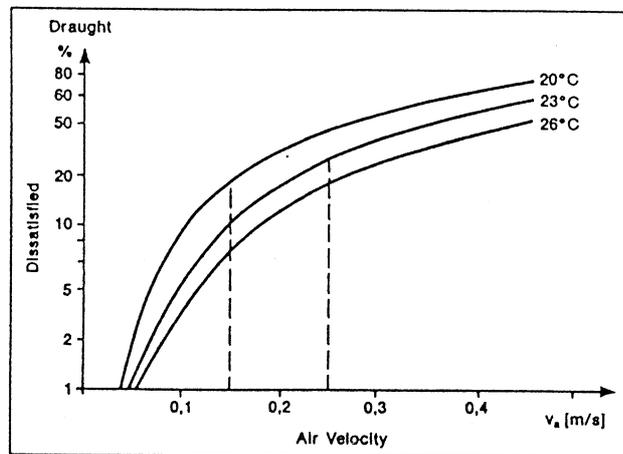


Fig 114. Relation between the air velocity (medium turbulence) and the expected percentage of people, feeling draught (Fanger and Christensen 1986).

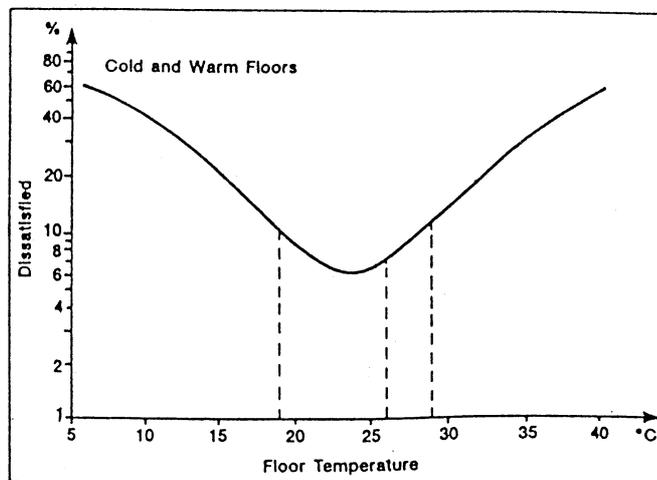


Fig 115 Relation between the floor temperature and the expected percentage of dissatisfied people (with shoes) (Olesen 1977).

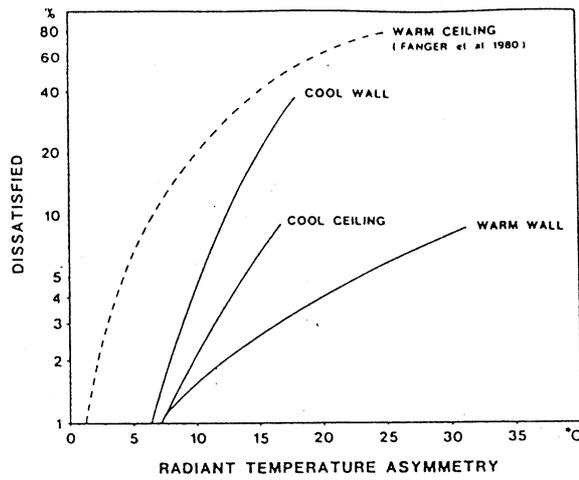


Fig.116 Percentage of people expressing discomfort due to asymmetric radiation to a cool wall, warm wall or cool ceiling as a function of the radiant temperature asymmetry. For comparison, the corresponding curve is shown for a warm ceiling, obtained in an earlier study by Fanger et al. [1].

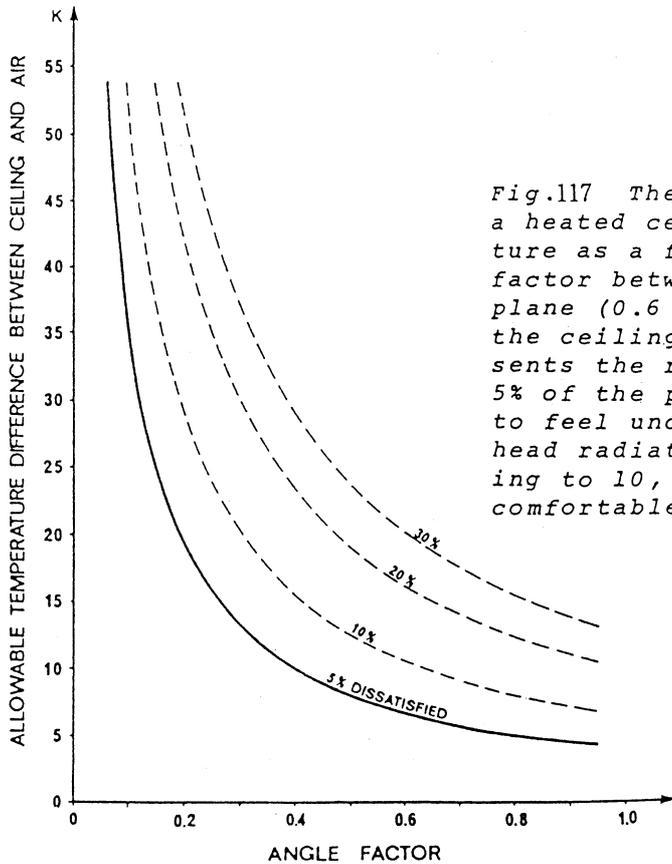


Fig.117 The allowable temperature of a heated ceiling above air temperature as a function of the angle factor between a small horizontal plane (0.6 m above the floor) and the ceiling. The full line represents the recommended limit where 5% of the population are predicted to feel uncomfortable due to overhead radiation. Lines corresponding to 10, 20 and 30% feeling uncomfortable are shown dotted.

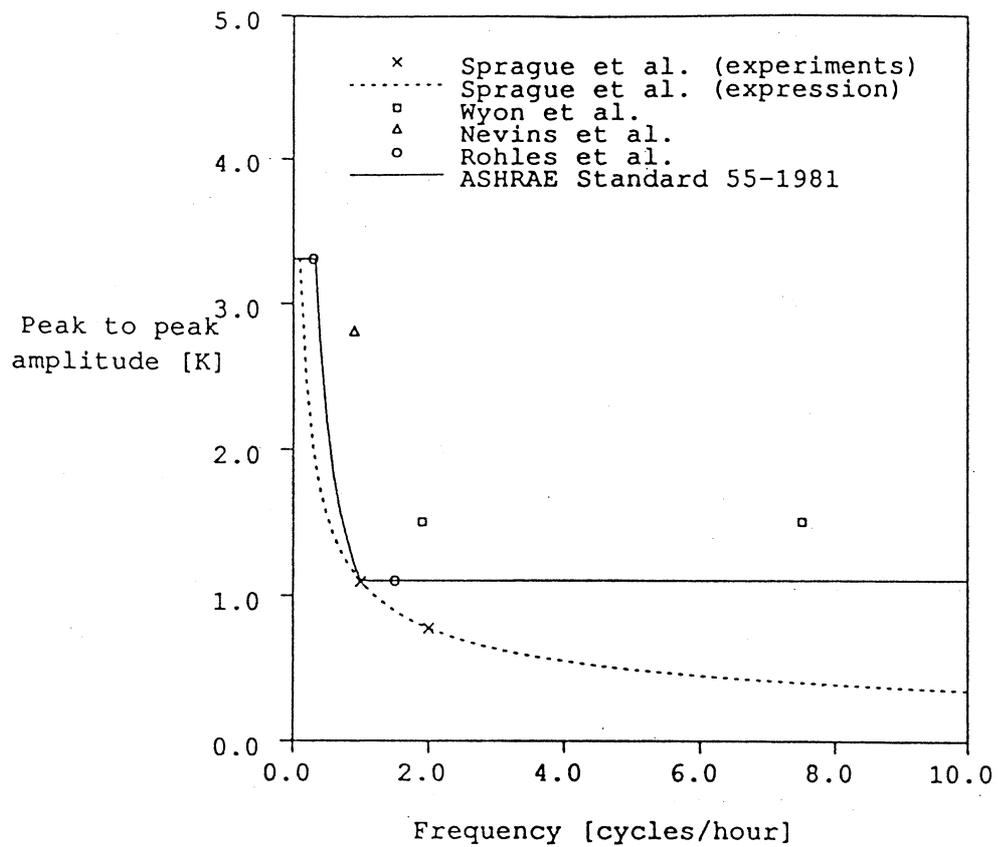


Fig.118 Maximum acceptable peak-to-peak amplitudes of cyclical fluctuating operative temperature as a function of cycle frequency for near-sedentary activity while wearing summer clothing (derived from Sprague and McNall Jr [20],* Wyon [23],* Nevins *et al.* [24], Rohles *et al.* [26], ASHRAE [7]†).

* Operative temperatures estimated from given dry bulb temperatures (see text)

† Value at 0.0 cycles h^{-1} indicates width of steady-state comfort band.

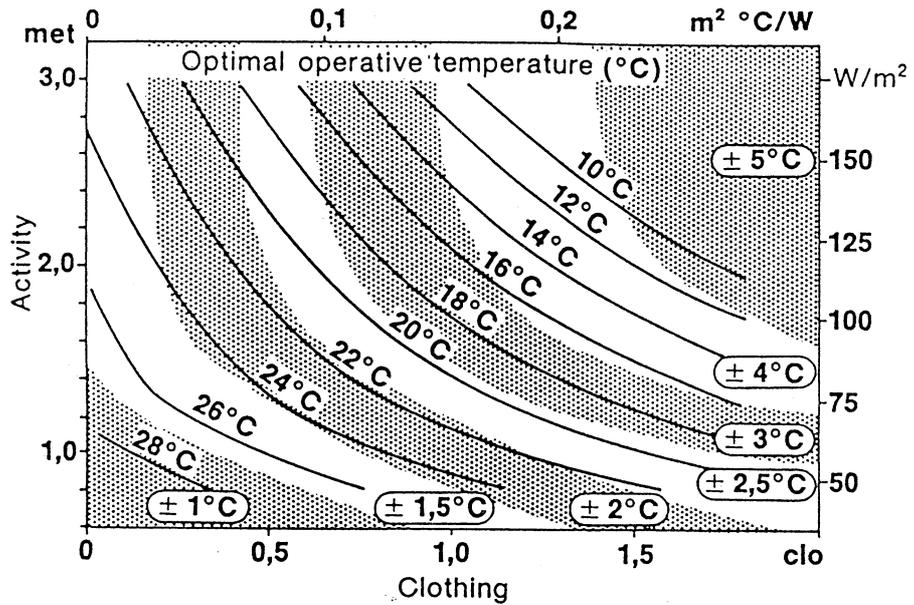
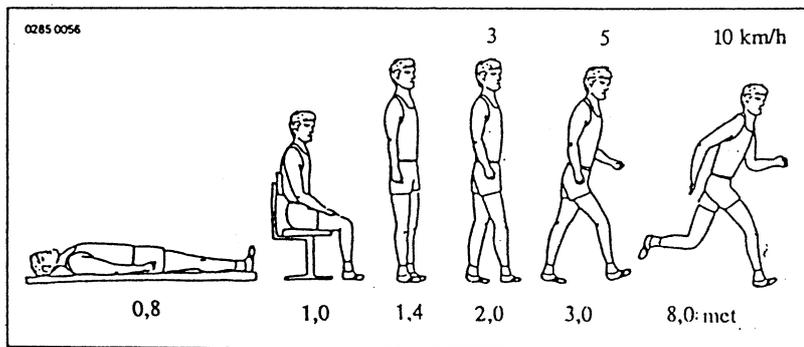
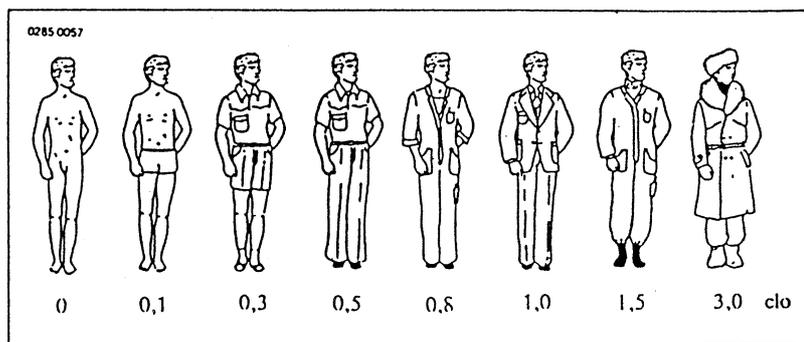


Fig 119 — The optimal operative temperature ($^{\circ}\text{C}$) (curved lines) corresponding to $\text{PMV} = 0$, as a function of activity and clothing levels. The shaded areas indicate the ± 0.5 comfort range (Relative humidity 50% and no artificial air movement). The \pm temperatures inserted in this diagram show the acceptable range of environmental temperatures.

Fig 120 Metabolic rates of different activities (1 met = 58 W/m².)



3 Insulation of typical clothing ensembles (1 clo = 0.155 m² K/W)



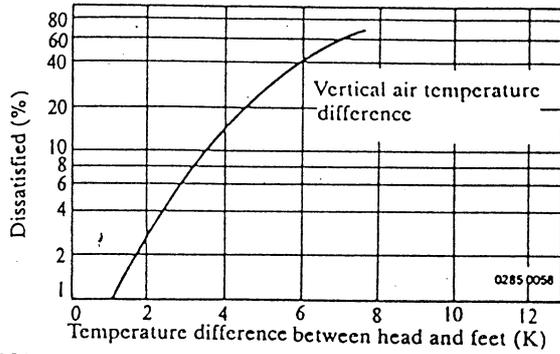


Fig 121 Percentage of dissatisfied persons as a function of the air temperature difference between head (1.1 m) and ankles (0.1 m), when sitting.

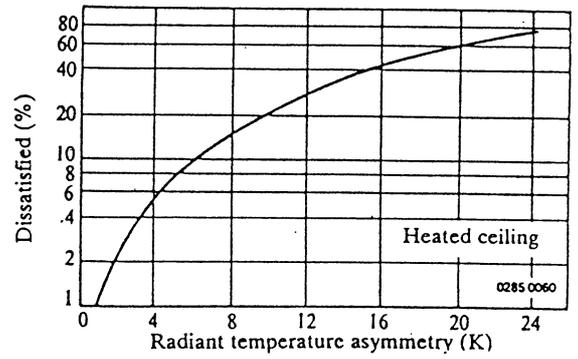


Fig 123 Percentage of dissatisfied persons as a function of the radiant temperature asymmetry caused by a heated ceiling.

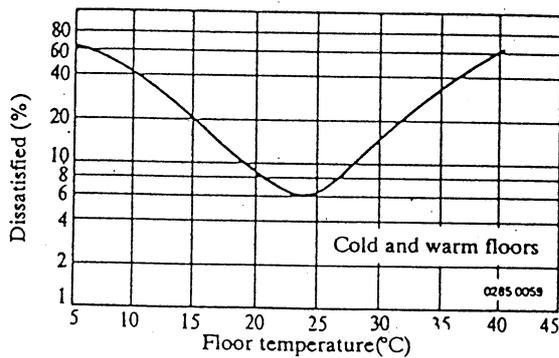


Fig 122 Percentage of dissatisfied among persons wearing light indoor shoes, as a function of the floor temperature.

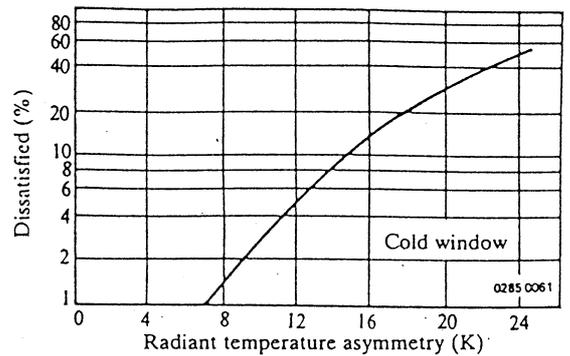


Fig 124 Percentage of dissatisfied persons as a function of the radiant temperature asymmetry caused by a cold vertical area, e.g. a window.

Table 48.1 — Thermal insulation of work clothing and daily wear clothing ensembles (I_{cl}).

Work Clothing	I_{cl}		Daily Wear Clothing	I_{cl}	
	clo	m^2C/W		clo	m^2C/W
Underpants, boiler suit, socks, shoes	0.70	0.110	Panties, T-shirt, shorts, light socks, sandals	0.30	0.050
Underpants, shirt, trouser, socks, shoes	0.75	0.115	Panties, petticoat, stockings, light dress with sleeves, sandals	0.45	0.070
Underpants, shirt, boiler suit, socks, shoes	0.80	0.125	Underpants, shirt with short sleeves, light trousers, light socks, shoes	0.50	0.080
Underpants, shirt, trousers, jacket, socks, shoes	0.85	0.135	Panties, stockings, shirt with short sleeves, skirt, sandals	0.55	0.085
Underpants, shirt, trousers, smock, socks, shoes	0.90	0.140	Underpants, shirt, light weight trousers, socks, shoes	0.60	0.095
Underwear with short sleeves and legs, shirt, trousers, jacket, socks, shoes	1.00	0.155	Panties, petticoat, stockings, dress, shoes	0.70	0.105
Underwear with short legs and sleeves, shirt, trousers, boiler suit, socks, shoes	1.10	0.170	Underwear, shirt, trouser, socks, shoes	0.70	0.110
Underwear with long legs and sleeves, thermo jacket, socks, shoes	1.20	0.185	Underwear, track suit (sweater + trousers) long socks, runners	0.75	0.116
Underwear with short sleeves and legs, shirt, trousers, jacket, thermo jacket, socks, shoes	1.25	0.190	Panties, petticoat, shirt, skirt, thick kneesocks, shoes	0.80	0.120
Underwear with short sleeves and legs, boiler suit, thermo jacket + trousers, socks, shoes	1.40	0.220	Panties, shirt, skirt, roundneck sweater, thick kneesocks, shoes	0.90	0.140
Underwear with short sleeves and legs, shirt, trousers, jacket, thermo jacket and trousers, socks, shoes	1.55	0.225	Underpants, singlet with short sleeves, shirt, trousers, V-sweater, socks, shoes	0.95	0.145
Underwear with short sleeves and legs, shirt, trousers, jacket, heavy quilted outer jacket and overalls, socks, shoes	1.85	0.285	Panties, shirt, trousers, jacket, socks, shoes	1.00	0.155
Underwear with short sleeves and legs, shirt, trousers, jacket, heavy quilted outer jacket and overalls, socks, shoes, cap, gloves	2.00	0.310	Panties, stockings, shirt, skirt, vest, jacket	1.00	0.155
Underwear with long sleeves and legs, thermo jacket + trousers, outer thermo jacket + trousers, socks, shoes	2.20	0.340	Panties, stockings, blouse, long skirt, jacket, shoes	1.10	0.170
Underwear with long sleeves and legs, thermo jacket + trousers, Parca with heavy quilting, overalls with heavy quilting, socks, shoes, cap, gloves	2.55	0.395	Underwear, singlet with short sleeves, shirt, trousers, jacket, socks, shoes	1.10	1.170
			Underwear, singlet with short sleeves, shirt, trousers, vest, jacket, socks, shoes	1.15	0.180
			Underwear with long sleeves and legs, shirt, trousers, V-sweater, jacket, socks, shoes	1.30	0.200
			Underwear with short sleeves and legs, shirt, trousers, vest, jacket, coat, socks, shoes	1.50	0.230

Table 48.2 — Thermal insulation of individual garments (I_{clw}). (To obtain I_{cl} values for clothing ensembles add up I_{clw} values.)

Garment Description	Thermal Insulation, clo (I_{clw})	Garment Description	Thermal Insulation, clo (I_{clw})
Underwear		Thin sweater	0.20
Panties	0.03	Sweater	0.28
Underpants with long legs	0.10	Thick sweater	0.35
Singlet	0.04	Jackets	
T-Shirt	0.09	Light summer jacket	0.25
Shirt with long sleeves	0.12	Jacket	0.35
Panties + Bra	0.03	Smock	0.30
Shirts—Blouses		High Insulative, Fiber-pelt	
Short sleeves	0.15	Boiler suit	0.90
Light weight, long sleeves	0.20	Trousers	0.35
Normal, long sleeves	0.25	Jacket	0.40
Flannel shirt, long sleeves	0.30	Vest	0.20
Lightweight blouse, long sleeves	0.15	Outdoor clothing	
Trousers		Coat	0.60
Shorts	0.06	Down jacket	0.55
Light weight	0.20	Parca	0.70
Normal	0.25	Fiber-pelt overalls	0.55
Flannel	0.28	Sundries	
Dresses—Skirts		Socks	0.02
Light skirt (summer)	0.15	Thick ankle socks	0.05
Heavy skirt (winter)	0.25	Thick long socks	0.10
Light dress, short sleeves	0.20	Nylon stockings	0.03
Winter dress, long sleeves	0.40	Shoes (thin soled)	0.02
Boiler suit	0.55	Shoes (thick soled)	0.04
Sweaters		Boots	0.10
Sleeveless vest	0.12	Gloves	0.05

6. 結論

6. 1. 研究成果

本研究により、平成11年度以下の成果を得ることが出来た。

6. 1. 1. 動的温熱環境評価技術の開発

(1) 人体熱モデルによる評価技術の開発

- 1) 人体熱モデルを、接触温熱環境をシミュレーションできるように改良した。
- 2) 改良した人体熱モデルを用いて、パラメータスタディとこれまでに報告された実験結果との比較を行い評価基準策定に必要な課題を抽出した。
- 3) これまでに報告された実験結果との比較より、全体的な傾向がシミュレーション結果と実験結果で、一致することが確認できた。

(2) サーマルマネキンの評価技術の開発

- 1) サーマルマネキンによる温熱環境評価技術を把握した。
- 2) 小型サーマルマネキンを作製した。
- 3) 作成した小型のマネキンを用いて、不均一温熱環境の評価を試み、等価温度の有効性を検証した。
- 4) 小型マネキンの成果から成人用マネキンを設計し製作につなげることができた。

(3) 被験者実験による環境評価技術の開発

- 1) 暑熱環境（屋外）から冷房室に入退室した際の温冷感や皮膚温の変動を、冷房温度と滞在時間を変更させる実験により明らかとした。
- 2) 非定常温熱環境の評価法についての検討を行った。

6. 1. 2. 身体各部位の温熱感受性の解明

- 1) 温熱感受性・温熱感覚に関する基礎について、温覚・冷覚と温熱的快適性の二つの観点からまとめた。
- 2) 均一・定常環境における被験者実験を実施し、ISO7730によるPMVの有効性について高齢者被験者結果を検討した。また、定常に達するまでのデータを用いて、時間変動の影響ならびに、均一環境下における部位間の変動や部位差について検討した。
- 3) 局所温冷刺激装置の製作について、局所温冷刺激装置の概要、構成、使用目的、特徴、性能の観点から検討し製作した。
- 4) 局所温冷刺激装置による予備実験を行い、本装置の基本的精度について検討ならびに、3名の被験者について温覚・冷覚閾値を計測し検討しその有効性を確認した。

6. 1. 3. 非定常かつ不均一な生活空間の温熱的快適性の基準値の構成
 - 1) 不均一・非定常な温熱環境の中でも、本プロジェクトが提案すべき内容を検討した。
 - 2) 上下温度差をふくめた床暖房の評価基準、非定常な温熱環境の研究成果について調査をおこなった。

6. 1. 4. 動的温熱環境評価に係わる調査研究と動的温熱環境評価データベースの構築
 - 1) 動的温熱環境に関する海外の研究状況の調査結果を得られた。
 - 2) 国内の動的温熱環境に関する研究内容を、整理・分類できた。
 - 3) データベース構築のための基礎調査を行うことが出来た。
 - 4) 関連する ISO の技術的なバックデータについてその必要性が整理できた。

6. 2. 今後の技術的課題
本研究に関する今後の研究課題は以下の通り。

6. 2. 1. 動的温熱環境評価技術の開発
 - (1) 人体熱モデルによる評価技術の開発
 - 1) 従来、平均皮膚温が温冷感の評価式に用いられてきたが、接触熱環境における温冷感と生理反応の関係が明らかになっていないので、早期に局部加熱と温冷感の関係を明らかにする必要がある。
 - 2) 床暖房などに接触していない部位における「輻射」と「対流」の影響を明らかにする必要がある。
 - 3) 床表面温度と接触温度の関係を評価する必要がある。

 - (2) サーマルマネキンの評価技術の開発
 - 1) 成人用サーマルマネキンによる各種不均一温熱環境の評価を試み、被験者実験と比較検討する。

 - (3) 被験者実験による環境評価技術の開発
 - 1) 非定常温熱環境における不満足者率を、室温と時間との関係で明らかにする。

6. 2. 2. 身体各部位の温熱感受性の解明
 - 1) 自律性体温調節の働きを必要としない中等度温熱環境においての不均一・非定常環境を評価するために、人体熱モデルでの身体部分の区分を細かくし、体温調節系を介在しないバイパス的な感覚予測系をモデルに構築することが必要である。
 - 2) 局所の温冷覚閾値に関してのデータ集積が必要である。
 - 3) 局所の温冷覚閾値と温点・冷点分布との関係を解明する必要がある。
 - 4) 温冷覚以外に、放射・気流などの温熱感受性に及ぼす影響を検討する必要がある。

6. 2. 3. 非定常かつ不均一な生活空間の温熱的快適性の基準値の構成
 - 1) 上下温度差を含めた床暖房の評価基準に関してのシンポジウムを開催し、我が国からの提案について大方の合意を得る。
 - 2) 非定常温熱環境の評価基準値の構成について検討する。
6. 2. 4. 動的温熱環境評価に係わる調査研究と動的温熱環境評価データベースの構築
 - 1) 床暖房時の温度差に日本と韓国では違いがあり、また、国内の文献同士の比較においても、快適範囲に違いが見られることから、これらを最終的にどのような提案にまとめるかを、検討する必要がある。
 - 2) 不均一・非定常な環境の、定量的な定義を明確にする必要がある。
 - 3) 動的温熱環境評価のデータベース構築のための継続的な基礎調査を行う必要がある。
6. 3. 国際標準化へのアプローチ
 6. 3. 1. 活動の経過
 - (1) 評価技術開発と関連規格の調査
 - 1) 平成11年度本プロジェクトを開始した。

動的温熱環境の評価技術の現状、関連国際規格の調査と資料の入手並びに整理を行った。
 - 2) 検討すべき課題、現状の規格の技術的なバックデータ等について、本プロジェクトの委員会で検討し検討すべき個別課題を抽出した。
 - (2) 関連規格の動向調査と海外研究者との交流
 - 1) 平成11年10月15日 英国ラフブロー大学パーソンズ教授訪問

ISO/TC159/SC5の国際専門委員会の主査である英国ラフブロー大学パーソンズ教授を訪問し、意見交換を行った。これまでの提案のほとんどは、ヨーロッパからであり、それ以外の諸国からの提案が不可欠である。その意味でも今回の日本のプロジェクトには期待しており支援を惜しまない。
 - 2) 平成12年3月13日 Olesen 博士の講演と意見交換会

ISO/TC159/SC5/WG1のConvenorであるOlesen博士を日本に招聘し、本プロジェクト委員会のメンバーを中心に講演と意見交換会を開催した。動的温熱環境についてヨーロッパの考え方、現在の検討課題等について意見交換を行った。講演の詳細内容は付録に収録した。
 6. 3. 2. 国際規格の骨子ならびに国際標準化活動計画

本年度が国際規格の骨子並びに国際標準化活動計画の策定等の初年度であり、国際規格の検討の著についたところである。

(1) 国際標準化活動計画

標準化計画は以下の内容を基本としている。

1) 平成11年度の活動

本年度は、国際標準化活動のための基本計画の策定を行った。第一年度として関連する国際規格の現状調査を中心に検討を行うとともに、国際的な動きや本プロジェクトの考え方を関係者に理解させるため、国際交流を行った。

2) 平成12年度の活動

平成12年度は、国内的に共通の認識がえられるための活動を重点に進める。そのために関連学会と連携しシンポジウムを開催する計画である。

3) 平成13年度の活動

平成13年度には、これまでの活動の成果として国際規格の骨子を作成する。

(2) 本研究における国際規格案の内容

温熱環境の国際標準規格は、従来から被験者実験に基づく結果や、体熱平衡式に基づくモデルにより開発されてきた。ただし「不均一・非定常な温熱環境」では被験者実験だけでは再現性が難しいなどの問題点が指摘されている。

本研究開発では車両空間の温熱環境評価（NP14505）でも用いられることが決まっている「サーマルマネキン」や、人間感覚計測応用技術（工業技術院産業科学技術研究制度）の成果であり先進的な評価技術である「人体熱モデル」を使用して、よりの確かつ汎用性のある動的温熱環境評価技術を開発し、これら技術を一般的な生活環境を評価する指標として規格化する。

(3) 国際標準化へのアプローチ

温熱環境快適性の評価法の開発は、国際的には主として、TC159/SC5/WG1の専門家委員会のメンバーが行っている。特に、オフィスの温熱環境評価では、PMV、PPDを開発したデンマーク工科大学 Fanger 教授の門下生である Olesen 博士が、車両の不均一温熱環境評価ではスウェーデン労働生活研究所の Holmer 教授が、主導権を持ち研究開発を行ってきた。

一方、国内においては、九州芸術工科大学の柝原教授が、TC159/SC5の国内委員会の主査を行うとともに、同WG1の主査を行い、本研究開発に関連する温熱環境評価の規格化を推進している。同時に同教授は温熱環境の人体への影響に関する我が国を代表する研究者であり、当該領域に係る海外の先述した研究者たちとの交流も深い。

(社)人間生活工学研究センターは、人間工学に関する我が国を代表する機関であると同時に、ISO/TC159/SC3（人体計測）の幹事国業務を行っており、国際規格の制定に関する実績も豊富である。

この柝原教授と(社)人間生活工学研究センターの協力体制を基盤として、国際規格化を推進する。具体的には、本研究開発が終了する平成13年度末までに、本研究開発の成果を基にした提案をISOに対してNP(New item proposal)として提出する。そ

して、本研究開発終了の後も、本研究開発で発足させる委員会を継続し、国際規格制定に向けての活動を継続する計画である。

6. 3. 3. 国際標準化の進捗状況

(1) 規格案適用範囲

規格の名称、適用範囲等は未着手の段階である。現状は検討すべき課題の抽出として関連規格の個別項目を選定した状況にある。

以下の項目について検討を行っている。

(2) 今後の活動

国際標準化活動計画に基づき推進する。

7. あとがき

本研究は、通商産業省が実施する新規産業支援型国際標準開発事業の一つの課題として、平成11年度から3カ年の予定で進めるもので、本年度が第一年目である。

従来の物質科学を中心とした技術開発から技術開発の視点を人間の側におき、使いやすく・心地よく感じられる工業製品並びに快適な生活・環境を構築するための新たな技術の創造が求められている。社団法人人間生活工学研究センターでは、この分野のニーズに応えるべく工業技術院産業科学技術研究開発制度で、人間感覚計測応用技術開発プロジェクトを担当し、現在その成果の幅広い普及につとめている。

豊かな、快適な、心地よい等々の人間個人のもって生まれたものやまたその生活環境等によって育まれる感覚について、国際的な評価手法、評価基準を策定し国際規格に提案するこの研究はこれまでの成果を活かす格好の課題である。

本研究で対象とする快適な生活空間についての国際規格は、主に欧州からの提案がなされており、その生活環境が異なる、例えば日本・韓国などの床座の生活環境とヨーロッパの椅子の生活とでは、快適性の基準も自ずと異なってくるのではないかと思われる。

特に日本では、生活実態に合った床暖房と人間の快適性の関係について、多数の研究が報告されている。本年3月 Olesen 博士を招聘して行った意見交換会でも、床暖房時における快適性の範囲について討議され、生活形態で床暖房の下限温度は変化するのは異論がないようであったが、現在の快適性の基準を変えるにはなかなか結論がでない問題のようである。

本年度の研究では、人体熱モデルを改良しシミュレーションの可能性を検討し、サーマルマネキンでは小型マネキンから成人用マネキンの設計・製作を行って、この研究を進めるための技術インフラが整備された一年であった。次年度はこれらの評価手法と被験者実験の関係を明らかにし、より具体的な評価データの取得を進め、日本初の提案の基礎固めを行うこととなろう。

一方では、現在進めている評価手法の標準化に関する理解を深めること並びに関係学会の協力と支援を受けるためにも、本年度は学会との共同でシンポジウムの開催を予定しており、多数参加されることを期待している。

国際標準が今後の国際競争を左右する大きな力と言われる状況にあり、また国際標準化による新たな評価方法が新しい産業の創生、国際競争力の強化につながると考えられる。この研究による国際規格の提案がその役目を果たす第一歩となれば幸甚である。

おわりに、本研究を進めるうえで、動的温熱環境標準化技術審議委員並びに動的温熱環境標準化技術開発委員の方々の貴重なご意見を戴いた。また、通商産業省生活産業局人間生活システム企画室、新エネルギー・産業技術総合開発機構、財団法人日本規格協会の諸兄のご指導に謝意を表しむすびとしたい。

8. 参考文献

8. 1. 動的温熱環境評価技術の開発

8. 1. 1. 人体熱モデルによる評価技術の開発

- 磯田憲生、久保博子、梁瀬度子(1996)：床暖房と温風吹き出し暖房の人体影響に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 373-374.
- 庄司祐子、竹森利和、松波晴人、中島健(1997)：人体着衣熱モデルの開発(衣服内気候の数値計算モデル), 日本機械論文集(B編), 63, 3085-3091.
- 竹森利和、中島健、庄司祐子(1995)：人体熱モデルの開発(熱的快適性評価のための基本モデル開発), 日本機械論文集(B編), 61, 1513-1520.
- 鍋島美奈子、永村一雄、深井一夫(1997)：床音フローリングを用いた床暖房における接触温度評価 実測と数値解析, 空気調和・衛生工学会学術講演会論文集, 1097-1100.
- Fu, G., A Transient (1995) : 3-D Mathematical Thermal Model for the Clothed Human, Dissertation, Kansas State Univ.
- 宮本征一、堀越哲美、雀英植、酒井克彦(1999)：床座人体における伝導および相互反射放射を考慮した作用温度に関する研究, 日本建築計画系論文集, 515, 57-62.
- 李周妍、磯田憲生、久保博子、梁瀬度子(1997)：温水床暖房の気温および床温の人体影響に関する研究, 日本建築学会大会学術梗概集, 817-818.

8. 1. 2. サーマルマネキンによる評価技術の開発

- 1) 株) 京都電子工業, 1995/4 : サーマルマネキン 取扱説明書
- 2) Håkan Nilsson, Ingvar Holmér, Mats Bohm, Olle Norén : Equivalent Temperature and Thermal Sensation Comparison with Subjective Responses
- 3) 姜 仁亨, 田村 照子, 1999/12 : 発汗サーマルマネキンによる乳児の温熱環境評価, 第 23 回人間-生活環境系シンポジウム報告集 104-107
- 4) 西村 美加, 1995 : サーマルマネキンを用いた椅座位時の着衣熱抵抗に関する研究_学位論文
- 5) Kalev Kuklane, Håkan Nilsson, Ingvar Holmér, 1997/9 : Methods for handwear, footwear and headgear evaluation, Thermal Manikin Testing 23 - 29
- 6) Kalev Kuklane, 1995/6/14 : Making a thermal model
- 7) 西村 美加, 田辺 新一, 長谷部 ヤエ, 1994 : 姿勢による着衣熱抵抗の変化, Ann. Physiol. Anthropol 13(6) 337-343
- 8) 松永 和彦, 須藤 不二夫, 田辺 新一, 1996/12 : 小型バス車室内温熱環境のサーマルマネキン、数値計算モデルによる評価, 第 20 回人間-生活環境系シンポジウム報告集 11-14
- 9) 桑原 浩平, 持田 徹, 近藤 基, 松永 和彦, 1999/12 : 高風速域における人体対流熱伝達率の実測, 第 23 回人間-生活環境系シンポジウム報告集 168-171

- 10) Ingvar Holmér, Håkan Nilsson, Mats Bohm and Olle Norén: Thermal Aspects of Vehicle Comfort, Appl Human Sci, 14(4) 1995
- 11) Ergonomics of the thermal environment – Estimation of the insulation and evaporative resistance of a clothing ensemble, ISO - 9920
- 12) 佐藤方彦監修・佐藤陽彦、栃原裕ら共編：1992/4/20, 技報堂出版株式会社発行「人間工学基準数値数式便覧」 9-11、17-18、21、24-27、30-31、200
- 13) Ergonomics of the thermal environment - Thermal environment in vehicles. Part1 : Principles and methods for assessment of thermal stress.
Evaluation of thermal environment in vehicles. Part 2 : Determination of Equivalent Temperature.
ISO/NP-14505
- 14) Development of Standard Test Methods for Evaluation of Thermal Climate in vehicles, EU-project SMT4-CT95-2017
- 15) Ingvar Holmér, Håkan Nilsson, 1994/9/14: Heated manikins as a tool for evaluating clothing
- 16) Håkan Nilsson: Analysis of two methods of calculating the total insulation, Thermal Manikin Testing 17-22
- 17) 田村 照子, 1985/11/5: 基礎被服衛生学 111-113
- 18) Håkan Nilsson and Ingvar Holmér: Impact of Seat on Thermal Comfort, Proceedings of Indoor Air '93, Vol. 6 127-131

8. 1. 3. 被験者実験による環境の評価技術の開発

栃原裕：冷房と体調，健康情報調査報告書，厚生省、1995

三浦豊彦：外気温を考慮した冷房の至適温度に関する研究
労働科学， 283-337， 1960

三浦豊彦：外気温を考慮した冷房の至適温度に関する研究（軽衣を着用した場合）
労働科学， 198-214， 1962

三浦豊彦：外気温を考慮した夏期の冷房の至適温度に関する実験的研究
労働科学， 403-422， 1963

三浦豊彦：外気温を考慮した夏期の冷房の至適温度に関する実験的研究
労働科学， 295-324， 1964

「建築物における衛生的環境の確保に関する法律（ビル管理法）」，厚生省、1971

8. 2. 身体各部位の温熱感受性の解明

8. 2. 1. 温熱感受性・温熱感覚に関する基礎

ASHRAE(American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers), New York 1966 Standard 55-66, "Thermal comfort conditions."

- Beste, R. & Hensel, H. 1977 Subjective estimation of static temperatures at the palm in human. *Pflugers Archiv*, 386, R47.
- Beste, R. & Hensel, H. 1978 Pleasantness of local static thermal stimuli during changing mean skin temperature. *Pflugers Archiv*, 373, R90.
- Cabanac, M. 1969 Plaisir ou déplaisir de la sensation thermique et homeothermie. *Physiology and Behavior*, 4, 359-364.
- Cabanac, M. 1981 Physiological signals for thermal comfort. In K. Cena & J. A. Clark(Eds.), *Bioengineering, Thermal Physiology and Comfort*. Amsterdam: Elsevier. pp.181-192.
- Cabanac, M., Hildebrandt, G., Massonnet, B., & Stempel, H. 1976 A study of the nycthemeral cycle of behavioural temperature regulation in man. *Journal of Physiology*, 257, 275-291.
- Cabanac, M., Massonnet, B., & Belaiche, R. 1972 Preferred skin temperature as a function of internal and mean skin temperature. *Journal of Applied Physiology*, 33, 699-703.
- Cunningham, D. J. & Cabanac, M. 1971 Evidence from behavioral thermoregulatory responses of a shift in setpoint temperature related to the menstrual cycle. *Journal de Physiologie*, 63, 236-238.
- Fanger, P. O. 1970 *Thermal comfort*. Copenhagen : Danish Technical Press.
- Green, B. G. 1979 Thermo-tactile interactions : Effects of touch on thermal localization. In *Confusions. Perception and Psychophysics*, 26, 295-301.
- D. R. Kenshalo(Ed.), *Sensory Functions of the skin of humans*. New York : Plenum Press. pp.223-240.
- Hammel, H. T. 1964 Terrestrial animals in cold : Recent studies of primitive men. In D. B. Dill(Ed.), *Handbook of Physiology. Sect. IV. Adaptation to the Environment*. Washington, D. C. : American Physiological Society. chap. 26. pp.413-434.
- Hensel, H. 1950 Temperaturempfindung und intracutane Warmebewegung. *Pflugers Archiv*, 252, 165-215.
- Hensel, H. 1952 Physiologie der Thermoreception. *Ergebnisse der Physiologie*, 47, 166-368.
- Hensel, H. 1977 Temperaturempfindung und Affektreaktion bei verschiedener Raumtemperatur vor und nach thermischer Langzeitadaptation. Inauguration dissertation, Marburg.
- Hensel, H. 1980 Thermoreception. In D. J. Anderson(Ed.), *Physiology, past, present and future*. Pergamon Press. pp.65-86.
- Hensel, H. 1981 Thermoreception and temperature regulation. London : Academic Press.
- Hensel, H. 1982 Thermal sensations and thermoreceptors in man. Springfield, Ill. : C. C. Thomas Pub.
- Hensel, H. & Schafer, K. 1982 static and dynamic activity of cold receptors in cats after long-term exposure to various temperatures. *Pflugers Archiv*, 392, 291-294.
- 星 哲郎 1981a 体温調節中枢 中山昭雄 (編) 温熱生理学 理工学社 253-280.

- 星 哲郎 1981b 行動性体温調節 中山昭雄 (編) 温熱生理学 理工学社 313-339.
- Kenshalo, D. R. Sr. 1978 Biophysics and psychophysics of feeling. Handbook of perception. Vol. VI B. New York, San Francisco, London : Academic Press. pp. 29-103.
- Kenshalo, D. R. & Duclaux, R. 1977 Response characteristics of cutaneous cold receptors in the monkey. *Journal of Neurophysiology*, 40, 319-332.
- 小林陽太郎他、事務所建築物内の季節別温熱条件の空間分布、人体皮膚温の実測および温冷感・快適感の申告に基づく暫定的室内環境基準に関する提案、*空気調和衛生工学*, 46(12), 37-96, 1972
- Johnson, K. O., Darian-Smith, I., LaMotte, C., Johnson, B., & Oldfield, S. 1979 Coding of incremental changes in skin temperature by a population of warm fibers in the monkey : Correlation with intensity discrimination in man. *Journal of Neurophysiology*, 42, 1332-1353.
- LaMotte, C. 1972 The sensation of warmth ; Peripheral neural mechanisms.(Johns Hopkins University, Doctoral Dissertation.)
- LeBlanc, J. 1975 Man in the cold. Springfield, Ill. : C. C. Thomas Pub.
- Molinari, H. H., Greenspan, J. D., & Kenshalo, D. R. 1977 The effects of rate temperature change and adapting temperature on thermal sensitivity. *Sensory Processes*, 1, 354-362.
- Mower, G. D. 1976 Perceived intensity of peripheral thermal stimuli is independent of internal body temperature. *Journal of Comparative and Physiology and Psychology*, 90, 1152-1155.
- Raynaud, J., Nartineaud, J. P., Bhatnagar, O. P., Viellefond, H., & Durand, J. 1976 Body temperatures during rest and exercise in residents and sojourners in hot climate. *International Journal of Biometeorology*, 20, 309-317.
- Stevens, J. C. 1979 Thermo-tactile interactions : Some influence of temperature on touch. In D. R. Kenshalo(Ed.), *Sensory functions of the skin of humans*. New York : Plenum Press. pp. 207-222.
- Stevens, J. C., Marks, L. E., & Gagge, A. P. 1969 The quantitative assessment of thermal discomfort. *Environmental Research*, 2, 149-165.
- Stevens, J. C., Marks, L. E., & Simonson, D. C. 1974 Regional sensitivity and spatial summation in the warmth sense. *Physiology and Behavior*, 13, 825-836.
- Stevens, J. C. & Stevens, S. S. 1960 Warmth and cold : Dynamics of sensory intensity. *Journal of Experimental Psychology*, 60 183-192.
- Strughold, H. & Porz, R. 1931 Die Dichte der Kaltpunkte auf der Haut des menschlichen Körpers. *Zeitschrift für Biologie*, 91, 563-571.

8. 2. 3. 均一・定常環境における被験者実験の実施と検討

ISO7730 Moderate thermal environments – Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort

ISO9920 Thermal insulation of clothing

ISO8996 Ergonomics – Determination of metabolic heat production

Tochihara, Ohnaka, Nagai, Tokuda, Kawazhima, 1993: Physiological response and thermal sensation of the elderly in cold and not environments, *Thermal Biology*

Ohnaka, Tochihara, Tsuzuki, Nagai, Tokuda, Kawashima, 1993; Preferred Temperature of the elderly after cold and heat exposures determined by individual self-selection of air temperature, *Thermal Biology*

小林陽太郎ほか、事務所建築物内の季節別温熱条件の空間分布、人体皮膚温の実測および温冷感・適感の申告に基づく暫定的室内環境基準に関する提案、*空気調和衛生工学* Vol.46, No.12, pp.37~96, 1972

Fanger, P.O. 1970. *Thermal comfort*. Danish Technical Press

川島美勝：高齢者に配慮した住宅熱環境の基準と評価方法、日本建築学会環境工学委員会熱環境運営委員会第23回熱シンポジウム

藤本薫喜、渡辺孟(1967)日本人の体表面積に関する研究、*日衛生誌*

Shin-ichi Tanabe :*Thermal Comfort Requirements in Japan*

8. 2. 4. 局所温冷覚刺激装置による予備実験の計画と検討

Hensel, H. 1952 *Physiologie der Thermoreception. Ergebnisse der Physiologie*, 47, 166-368.

Kenshalo, D. R. Sr. 1978 *Biophysics and psychophysics of feeling. Handbook of perception. Vol. VI B. New York, San Francisco, London : Academic Press. pp. 29-103.*

Johnson, K. O., Darian-Smith, I., LaMotte, C., Johnson, B., & Oldfield, S. 1979 Coding of incremental changes in skin temperature by a population of warm fibers in the monkey : Correlation with intensity discrimination in man. *Journal of Neurophysiology*, 42, 1332-1353.

LaMotte, C. 1972 *The sensation of warmth ; Peripheral neural mechanisms.*

Stevens, J. C.& Stevens, S. S. 1960 *Warmth and cold : Dynamics of sensory intensity. Journal of Experimental Psychology*, 60 183-192.

Molinari, H. H., Greenspan, J. D., & Kenshalo, D. R. 1977 *The effects of rate temperature change and adapting temperature on thermal sensitivity. Sensory Processes*, 1, 354-362.

Kenshalo, D. R. & Duclaux, R. 1977 *Response characteristics of cutaneous cold receptors in the monkey. Journal of Neurophysiology*, 40, 319-332.

Beste, R. & Hensel, H. 1977 *Subjective estimation of static temperatures at the palm in human. Pflugers Archiv*, 386, R47.

Stevens, J. C., Marks, L. E., & Simonson, D. C. 1974 *Regional sensitivity and spatial summation in the warmth sense. Physiology and Behavior*, 13, 825-836.

Hensel, H. 1982 *Thermal sensations and thermoreceptors in man. Springfield, Ill. : C. C. Thomas Pub.*

李 旭子、田村照子：ヒトの冷感受性の部位差について、日本家政学会誌、46(11)、1081-1090、1995

李 旭子、田村照子：人体表面の温度点分布（第1報）冷点分布密度の部位差、人間と生活環境、20(1)、30-36、1995

田村照子、李 旭子：人体表面の温度点分布（第2報）温点分布密度の部位差、人間と生活環境、20(1)、37-42、1995

8. 3. 非定常かつ不均一な生活空間の温熱的快適性の基準値の構成

1) 永村一雄、床暖房の人体生理・心理反応に関する研究-その1 文献調査による床表面温度の許容値について、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、1237-1240、1990.

2) 張玲、永村一雄、鄭華美、中根芳一、文献調査による床暖房時温熱環境評価に関する基礎的研究、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、1149-1151、1996.

3) Zhang L, Emura K, Nakane Y, A proposal of optimal floor surface temperature based on survey of literatures related to floor heating environment in Japan, Appl Human Sci, 17(2), 61-66, 1998

4) 渡邊慎一、日本における床暖房の人体生理・心理反応に及ぼす影響に関する研究-の変遷、日本建築学会東海支部研究報告集、433-436、1999.

9. 研究発表・講演、文献、特許等の状況

9. 1. 研究発表、講演（口頭発表）

今年度の発表は行わなかった。

9. 2. 文献（業界誌、学会誌などへの投稿）

業界誌、学会誌などへの投稿は無し。

9. 3. 特許等

特許等の出願は無し。

9. 4. その他の公表（プレス発表など）

今年度新聞発表等を行わなかった。

10. 付録

10. 1. 海外調査

10. 1. 1. サーマルマネキンに関する動向調査

(1) 海外調査の目的

プロジェクト研究「快適な生活空間の創造のための動的温熱環境の標準化」においては、不均一・非定常な温熱環境の評価手法が重要な問題となる。なかでも、不均一な温熱環境の評価にあたっては、温度、放射熱、気流の組み合わせが非常に多種類に渡るため、被験者を用いた研究が難しい。そのため、サーマルマネキンによる評価が国際的にも試みられている。今回の、本プロジェクトでも、サーマルマネキンによる評価を行なうが、不均一温熱環境の評価が行なえるような仕様のサーマルマネキンは国内ではごく希で、製造しているメーカーもなく、海外からの購入が不可避であった。そのため、第3回国際サーマルマネキン評価会議に出席し、海外の幾つかのサーマルマネキンの性能、構造および価格を検討して、購入すべき機種を選定を行なう。さらには、サーマルマネキンを用いた最先端の研究を知り、本プロジェクトを行なう際の問題点についての、知見を得ることを第一の目的とした。

第二の目的は、本プロジェクトが提案しようと試みている ISO（国際標準規格）/TC159（人間工学）/SC5（環境人間工学）の国際専門家委員会の主査英国ラフブロー大学パーソンズ教授と会談することである。すなわち、本プロジェクトと関連する国際規格の動向を聞き、適切な研究手順の助言を受けることである。

(2) 調査の概要

1) 調査担当者

- ・渡航者氏名：栃原 裕
- ・渡航者所属：九州芸術工科大学工業設計学科人間工学教室教授
- ・渡航目的：第3回国際サーマルマネキン評価会議出席および ISO/TC159/SC5 主査
：英国ラフブロー大学パーソンズ教授訪問
- ・渡航先国：スウェーデン、英国
- ・期間：1999年10月12日～18日

2) 調査訪問先及び主な調査項目

- ・第3回国際サーマルマネキン評価会議出席：10月12日、13日
- ・スウェーデン国立労働生活研究所ホルマー教授訪問：10月14日
- ・ISO/TC159/SC5 主査英国ラフブロー大学パーソンズ教授訪問：10月15日～16日

3) 調査日程

以下の日程で調査を行った。

目次	月 日 曜	発着/滞在地	現地時刻	交通機関	摘 要
1	10月12日 (火)	福岡空港発 関西空港着 関西空港発 アムステルダム アムステルダム ストックホルム	07:45 08:45 10:30 15:15 16:20 18:25	NH-432 KL-868 KL-1117	空路、関西空港へ アムステルダム乗り換 えストックホルムへ 〈ストックホルム泊〉
2	10月13日 (水)	ストックホルム			〈ストックホルム泊〉
3	10月14日 (木)	ストックホルム			〈ストックホルム泊〉
4	10月15日 (金)	ストックホルム ロンドン着 (LHR)	07:25 09:10	BA-775	空路、ロンドンへ 〈ラフブロー泊〉
5	10月16日 (土)	ロンドン			〈ラフブロー泊〉
6	10月17日 (日)	(LHR) ロンドン アムステルダム	11:35 13:45 14:35	KL-1010※ KL-867	空路、帰途の旅へ 〈機中泊〉
7	10月18日 (月)	関西空港着 関西空港発 福岡空港着	08:50 13:10 11:45	NH-985	関西空港にて入国の 後、 国内線にて福岡空港へ

(3) 調査内容

1) 第3回国際サーマルマネキン評価会議出席

スウェーデン国立労働生活研究所において、全体で20の研究発表が行なわれ、参加者は13カ国から42名であった。

会議は、以下の4セッションからなり、

Manikins in international standardization (国際標準規格としてのサーマルマネキン) 6篇

Manikin data in mathematical prediction models (数値計算モデルとマネキンデータ) 4篇

Test procedures and interpretation of results (テスト方法と結果の解釈) 3篇

Use of physical models in research (物理モデルの研究への応用) 7篇

次に示すようなプログラムで国際会議は行なわれた。さらに、いくつかのメーカーによるサーマルマネキンのデモが行われた。

Program 3IMM NIWL 1999

Tuesday October 12

- 08:30 Registration at NIWL
- 09:00 Opening remarks by NIWL
- 9:20 ***Manikins in international standardization***
Ingvar Holmer, Thermal manikins in research and testing
Mo Hosni, Thermal manikin survey
Hannu Anttonen, Interlaboratory trial of thermal manikin based on thermal insulation of cold protective clothing in accordance with ENV 342
- 10:20 Coffee break
- 10:50 ***Manikins in international standardization***
Jiang Zhihua, Standardization on Thermal Manikin Testing of Clothing Insulation
Krzysztof Soltynski, Test research of a new generation thermal manikin
Hayet Sari, Manikin needs in sport field
- 11:50 Lunch at NIWL
- 13:00 Tour of the Climate Groups facilities
- 14:00 ***Manikin data in mathematical prediction models***
Victor Candas, Use of a manikin for prediction of local effects of thermal asymmetry and consequent discomfort risks.
Volkmar Bartels, Assessment of the physiological wear comfort of garments Via a thermal manikin
Yang Tingxin, Research on non-evaporative heat diffusion of human body under low temperature and its mathematical model
Bd Holand, Comfort temperatures for sleeping bags
- 15:20 Coffee break
- 15:30 ***Test procedures and interpretation of results***
Mats Bohm, Comparison of instruments for measurement of equivalent temperature in an experimental cab in a climatic chamber
Hakan Nilsson, The use of thermal manikins in the field

	Erhardt Mayer, Presentation of a Dummy Representing Suit for Simulation Of Human heat loss (DRESSMAN)
16:30	Evening information from NIWL
16:40	Back to Hotels
18:00	Guided tour of the Stockholm City Hall
19:00	Dinner at the City Hall

Wednesday October 13

08:50	Opening remarks by NIWL
09:00	<i>Use of physical models in research</i> Thomas Lund Madsen, Development of a Breathing Thermal Manikin Erik Björn, Simulation of Human Respiration with Breathing Thermal Manikins Henrik Brohus, Measurement of Indoor Air Quality by means of a Breathing Thermal Manikin Peter V. Nielsen, The Importance of a Thermal Manikin as Source and Obstacle in Full-Scale Experiments
10:20	Coffee break
10:50	<i>Use of physical models in research</i> Harriet Meinander, Extraction of data from sweating manikin tests Niklaus Mattle, Sweating manikin / Validation tests Wolfgang Uedelhoven, "Cybor Sweating Concept" Kalev Kuklane, One week sweating simulation test with a thermal foot model
12:10	Lunch at NIWL
13:00	Manikin Network Discussions
15:00	Closing remarks and Coffee

2) スウェーデン国立労働生活研究所ホルマー教授訪問

会議終了後、本会議の主催者であるスウェーデン国立労働生活研究所ホルマー教授と意見交換を行なった。彼は、ISO/TC159/SC5/WG1の国際専門家委員会の中でも、特にアクティブな委員であり、渡航者とも15年来の交流がある。特に、1995年には、渡航者はスウェーデン国立労働生活研究所で在外研究を行ない、1999年にホルマー教授は学術振興会の招きで九州芸術工科大学において共同研究を行なっている。彼は、サーマルマネキンの研究実績が15年以上あり、本分野で世界を代表する研究者であり、今回のマネキン選定にあたって貴重な助言を与えた。

さらに、ホルマー教授は、現在、ISO/TC159/SC5/WG1の中で、NP14505: Evaluation of the thermal environments in vehicles (車両内の温熱環境評価)の作成を試みている。これは、従来評価が難しかった、車両内(乗用車、トラック、クレーンをも含)の不均一温熱環境の評価を、サーマ

ルマネキンで行い、その評価法の基準を提案するものである。

現在、本 WG は欧州の代表的車メーカー 6 社と共同研究を実施し、一昨年から車両とマネキンを使った実測が行われており、スペインで夏季のデータ、スウェーデンで冬季のデータを得ている。ホルマー教授は、専門家委員会に成果をまとめ、概要案を提出したので以下に簡単に説明する。

ISO/NP 14505 は従来までの暑熱環境 (ISO 7243、ISO 7933)、寒冷環境 (ISO/TR 11079)、快適環境 (ISO 7730) に関する評価法のような不特定の空間の評価と違い、対象を車内空間と限定している。また、温熱環境を Equivalent Temperature (ET) という指標であらわす点が特徴的である。そして、もう一つ特徴が温熱環境の評価に被験者の代わりにサーマルマネキンを使うところである。

本規格は、以下の 2 部により構成されている。

Part 1: Principles and methods for assessment of thermal stress.

Part 2: Determination of equivalent temperature.

① 熱負荷

ISO/NP 14505 では、暑熱環境や寒冷環境では従来の I S (7243、7933、TR11079) を使用し、中等度の環境でも、均一な環境では従来の I S (7730) を使用することを定義している。しかしながら、車両内では、このような均一な温熱環境は希である。例えば、車両のエアコンは空調機として強力であるために送風口の位置や、向きによって身体部分により影響の程度が異なる。また、太陽による放射の影響や、窓の開放による風などの自然の影響もあり、車両内の温熱環境が不均一になることの方が多い

「放射」

車両内において、太陽による放射の影響はきわめて重要な要素である。最終的な効果は窓ガラスの場所や、壁材、車両内の広さ、車両の色などによって決まってくる。もっとも重要なものはガラス窓をすり抜けドライバーに直接当たる日光である。太陽が頭上にあるときはその影響を受ける範囲が小さいが、太陽が低くなってくると最近の自動車はフロントガラスが大きいこともあり影響される範囲は広がる。一般に、車両内では太陽に曝される身体部位は全身の 20% 以下と考えて良いだろう。

「風速」

車両内において風は珍しいものではない。運転しているときに窓を開けていたり、HVAC システムによっても風は起きている。風のあつたている部分とそうではない部分とでは冷やされかたに違いが出てくる。風に曝される身体部位は、おおよそ全身の 20% 以下である。

「蒸発による熱移動」

湿度に関しては車両内においては、ほぼ均一な状態にある。よって、側定点は一個所で充分であろう。高い放射や、対流により蒸発による熱移動は影響を受けるが、その程度は小さい。

「熱量」

ドライバーや乗客の産熱量は、道路の舗装の程度により影響されるが、概ね以下のようなう。

舗装道路： 70 W/m^2

舗装の悪い道路： 80 W/m^2

オフロード： 90 W/m^2

「衣服の保温性」

車両内の衣服の保温性は、シートに座ることにより圧縮され幾分低下するが、シートそのものの保温性があるので一方では増加する。そのため、車両内でも、衣服の保温性は、従来の I S (9920) のクロ値を、そのまま使用可能であろう。

② Equivalent Temperature (ET)

Equivalent Temperature (ET) は気温、放射、風速、湿度などにより影響を受けている温熱環境を一つの値としてあらわすものである。まず、均一な環境（気温と放射温が同じであり、風速 0 メートル、湿度 50% の環境）での被験者を用いた主観評価や体温計測を行うことにより、ある温度で人間が感じる感覚（暑い、寒い、涼しい、暖かい、快適など）を設定する。次に、人間がいる不均一な環境下（夏に直射日光の当たるクーラーのきいた部屋など）での熱量と同等の均一な環境下での発熱量を比較することにより、不均一な環境を ET という値で表すことができる。最後に、ET を前もって評価した均一環境のある温度 (ET) での感覚と比較することにより不均一な環境を評価する。

このようにさまざまな要因により評価しにくい不均一な環境を ET を用いることにより評価を行うことができる。

この評価を数式で表すと以下のような式が成り立つ。

$$Q_{\text{cal}} = h_{\text{cal}} (t_s - t_{\text{eq}})$$

$$t_{\text{eq}} = t_s - Q/h_{\text{cal}}$$

Q_{cal} ：基準の均一な環境での熱損失量

h_{cal} ：基準の均一な環境での熱伝導率

t_s ：基準の均一な環境での皮膚温

t_{eq} ：基準の均一な環境での気温

Q ：実際の環境での熱損失

③サーマルマネキン

この規格の最大の特徴は、前述したように温熱環境の評価を被験者ではなくサーマルマネキンを用いて行うことである。

サーマルマネキンは温熱環境を測定するための機器で、いくつかの独立してコントロールできる部分を持ち、電気により発熱する等身大のマネキン人形である。サーマルマネキンを用いることによって普通の局部センサーと違い人間自体がその場にいることによる影響や、身体の左右の違い（太陽が腕に当たっている）や、車内の上下間で温度差がある場合などの複合条件を統合して測定できる特徴がある。

また、機械であるため人間の被験者と違い再現性がある。つまり、一度行った実験を再び同じような条件で行うことができる。すなわち、体調や生活習慣の変化や、病気などのさまざまな影響に左右されることなく実験を行える。そして、機械であるため人間による被験者実験のような危険性がないという利点もある。

（４）ISO/TC159/SC5 主査英国ラフブロー大学パーソンズ教授訪問

英国に渡り、英国ラフブロー大学を訪問した。同大学は世界で初めて人間工学科を50年前に開設した大学である。現在同学科の学科長を務め、ISO（国際標準規格）/TC159（人間工学）/SC5（環境人間工学）の国際専門家委員会の主査であるパーソンズ教授と意見交換を行なった。討論の内容は、科学技術だけではなく政治的内容も含むものであった。すなわち、現在本分科会の多くのISOがヨーロッパの大学・研究所から提案されているものであり、しかも本プロジェクトに関して言えば、関連するほとんどすべての規格がデンマーク工科大学の提案であるため、関係者との十分な論議が前もって必要なことが示された。

ただし、ISOが真の国際規格となるためにはヨーロッパ以外の諸国からの提案が不可欠であり、その意味からも、今回の当プロジェクトの成果を期待していること、そのための支援を惜しまないことが述べられた。

10. 2. 温熱感受性に関する技術動向

1. 海外調査の目的

プロジェクト研究「快適な生活空間の創造のための動的温熱環境の標準化」においては、不均一・非定常な温熱環境の評価が重要な課題である。なかでも、不均一な温熱環境の評価にあたっては温度、放射熱、湿度、気流の組み合わせが非常に多種類にわたり、それに時間的な要因である非定常状態を組み合わせるとなると、非常に多くの考慮すべき事柄が挙げられる。快適な生活空間の創造のためには人体への影響を心理面のみでなく、生理面を含めて多面的に把握する必要がある。それらを達成するには、被験者を用いた研究が不可欠である。しかし、全ての動的、すなわち不均一、非定常の組み合わせを実行することは不可能であるし、一部を取り上げて研究するにしても非常に労力を必要とする。また、動的温熱環境評価方法を提案するに際しては、これまでと同じ方法でデータ収集を行えば十分かどうかは検討の余地がある。既知のISO7730に代表されるように、温熱環境評価に関する研究は欧米により多大な貢献がなされ、また、欧米主導でISOが提案されている。そこで、不均一・非定常な温熱環境評価に関わる研究の国際的な動向や研究の現状を調べる必要がある。その目的を遂行するために、**The international congress of biometeology & international conference on urban climatology**（生気象学と都市気候に関する国際会議）に参加した。

2. 調査の概要

2. 1. 調査担当者

- 1) 渡航者氏名：都築和代
- 2) 渡航者所属：生命工学工業技術研究所
- 3) 渡航目的：生気象学と都市気候に関する国際会議出席
- 4) 渡航先国：オーストラリア
- 5) 期間：1999年11月7日～13日

2. 2. 調査訪問先及び主な調査項目

調査訪問先：第15回 生気象学に関する国際会議出席：11月8日～12日

調査項目：温熱環境評価に関わる研究の調査

2. 3. 調査日程

以下の日程で調査を行った。

目次	月 日(曜日)	発着/滞在地	現地時刻	交通機関	摘 要
1	11月7日(日)	成田空港発	21:15	JL-771	<機中泊>
2	11月8日(月)	シドニー着	08:45		<シドニー泊>
3	11月9日(火) ~12日(金)	シドニー			<シドニー泊>
4	11月13日(土)	シドニー発 成田空港着	10:30 18:05	JL-772	

3. 調査内容

生気象学と都市気候に関する国際会議

オーストラリア、シドニーの **Wesley Conference Centre** において、口頭発表とポスター発表あわせて300の研究発表が行なわれ、参加者は50カ国から320名であった。

会議は生気象学と都市気候に大きく2つに分かれるが、そのうち、生気象学に関する国際会議でのメインピックを以下に掲げる

Human and animal biometeorology (人間と動物の生気象学)

Climate change and climate variability (気候変化と気候変動)

Impacts of the biosphere on local climate (地域の気候に及ぼす大気の影響)

Phenology (生物季節学)

Agricultural and forest meteorology (農業と林業の生気象学)

Weather and air quality (天候と空気質)

Bioelectricity and biomagnetism (生物電気と生物磁気)

Indoor climates, air quality and thermal comfort (室内気候、空気質と温熱的快適性)

Meteorology and pathogens (気象学と病原体)

Thermal physiology and adaptation processes (温熱生理学と適応プロセス)

Climate and health; morbidity and mortality (気候と健康、罹患率と死亡率)

Aircraft climates (including radiation effects) 航空機の気候 (放射影響を含む)

Climate, recreation and tourism (気候、レクリエーションと観光)

Atmospheric impacts on forest and agricultural pests (森林と農業害虫に及ぼす大気の影響)

Long-range transport and dispersal of fungi, pollens, and insects (真菌類、花粉と虫の長期移動とまきちらし)

以上のトピックのうち、本プロジェクトと関わりの深い温熱環境の人体影響や評価に関わる以下のセッションに参加した。

11月8日(月)

- 1100-1230 ICB1-MEDICAL, HEALTH, ADAPTATION-CLIMATE CHANGE
- 1400-1530 ICB2-MEDICAL, HEALTH, ADAPTATION-HEAT
- 1600-1730 ICB4-MEDICAL, HEALTH, ADAPTATION-TRENDS

11月9日(火)

- 900-1030 ICB/ICUC1-BUILDING DESIGN & HUMAN COMFORT
- 1100-1230 ICB/ICUC2-URBAN PLANNING, HUMAN ENVIRONMENT & SUSTAINABILITY
- 1400-1530 ICB9-THERMAL STRESS & COMFORT INDICES
- 1600-1730 ICB10-THERMAL STRESS & COMFORT-INDEX APPLICATIONS

11月10日(水)

- 900-1030 ICB/ICUC4-HEALTH AND THERMAL COMFORT IN CITIES - A
- 1100-1230 ICB/ICUC5-HEALTH AND THERMAL COMFORT IN CITIES - B
- 1400-1730 ICB POSTER5- INDOOR CLIMATE & AIR QUALITY
ICB POSTER6- THERMAL PHYSIOLOGY & HEALTH

11月11日(木)

- 900-1030 ICB15-MEDICAL HEALTH, ADAPTATION - CLIMATS VARIABILITY
- 1100-1230 ICB POSTER THERMAL PHYSIOLOGY & HEALTH
- 1400-1530 ICB18-THERMAL STRESS & COMFORT - ADAPTATION
- 1600-1730 ICUC POSTER2 - URBAN ENVIRONMENT

11月12日(金)

- 900-1030 ICB21- THERMAL STRESS & COMFORT - INDOOR CLIMATE - A
- 1100-1230 ICB23 - THERMAL STRESS & COMFORT - INDOOR CLIMATE - B
- 1400-1530 ICUC POSTER3 - URBAN METEOROLOGY

本プロジェクトに関わる温熱環境評価の研究動向は、これまでの PMV に代表される室内環境評価指標をオフィス環境の評価にとどまらず、学校教室へ拡大した温熱環境実測調査や、実測調査と学生を対象とした質問紙調査の併用、および、統制した実験環境下において学生の温熱生理心理反応を計測するといった方向へ拡大していた。教室環境を評価するために、PMV や SET*などの温熱環境評価指標の妥当性や問題点、および、成人とは異なる体温調節が発達途上にある子供が在室する環境における温熱環境評価指標の妥当性や問題等を検証していた。

また、これまでの ISO7730 における局所気流の取り扱い、ドラフトのみ(気流によって身体局所が冷やされる不快感)であった。しかし、本会議が温帯から亜熱帯・乾燥地帯を含むオーストラリアで行われたことにも恩恵があったと考えられるが、気流を使った積極的に使った冷房や気流による衣服の熱抵抗値の減少、ならびに、気流が衣服の開口部やそのものを透過することによる対流熱伝達の増加による効果などの有用性が議論された。

もう一点特筆すべき点は、室内環境は比較的均一・定常状態にある、あるいは、既に IS7730 等で室内環境は PMV 等で評価することが妥当であるという認識の上に、むしろ、室内にとどまらず、Windchill index や WBGT index、Discomfort index を使用する屋外環境を人体への生理的等価温度(Physiological equivalent temperature)で表現しようという温熱環境評価指標が提案された。これは、日射の影響などを含んで評価するものであり、必ずしも快適域のみを対象としていないという意味では、ASHRAE で提案されている SET*と同じと考えられた。また、屋外環境へ SET*を拡張するためのモデル等について発表され、平均放射温度を屋外環境に拡張し、さらに OUT_SET*が提案された。

以下の論文が特に関連深いと考えられる。

(1) ISO7730 の教室環境への拡張に関する研究発表

ICB21.1 An approach to investigating bioclimatic performance for school buildings, Mark Luther, Cameron Fry, David Oppenheim

ICB21.2 Heat comfort in schools, Joseph Bylhouwer

ICB21.3 Thermal comfort and thermophysiological responses of school boys and girls, Kazuyo Tsuzuki

ICB21.4 Thermal neutrality and preference in a hot-arid climate, Richard de Dear, Krzysztof Cena

ICB21.5 Thermal comfort in a mixed media environment, David Malcolm Rowe, Cong Truc Dinh, Warren Gordon Julian

ICB23.3 Keeping cool in the tropics with air movement, Alison Kwok

(2) 気流や衣服の熱抵抗に関する研究発表

ICB23.1 Clothing, climate and architecture, Shin-ichi Tanabe

ICB23.2 Office dress codes, thermal comfort and building energy conservation, Craig Moprgan, Richard de Dear

ICB23.3 Keeping cool in the tropics with air movement, Alison Kwok

(3) 屋外環境を含めた温熱環境評価指標に関わる研究発表

ICB9.1 An universal index for the assessment of the thermal environment – the physiological equivalent temperature PET, Peter Hoppe

ICB9.2 Estimation and calculation of the mean radiation temperature in urban structures from the point of view of human biometeology, Andreas Matzarakis, F Rutz, H Mayer

ICB9.4 An outdoor thermal comfort index (OUT_SET*)-Part 1 – the model and its assumptions, Janelle Pickup, Richard de Dear

ICB10.2 An outdoor thermal comfort index (OUT_SET*)-Part 2 – applications, Richard de Dear, Janelle Pickup

COMB5.3 Thermal comfort in urban open spaces, Bruce Forwood, Simon Hayman, Srinivas Tadepalli

10. 2. 関連技術の資料一覧

動的温熱環境に関する海外技術調査一覧

No	検索KW	JICST 番号	Author	タイトル	タイトル	出典名	Abstract	KW	別	方法	結果
1	上下温度差	98A036963	HODDER S G, LOVEDAY D L, PARSONS K C, TAKI A H	Thermal comfort in chilled ceiling and displacement ventilation environments: vertical radiant temperature asymmetry effects.	冷却天井・置換換気環境における熱的快適性 上下非対称放射温度の影響	Energy and Buildings Vol.27, No.2 Page.167-173 1998	冷却天井・置換換気環境下の椅座安静状態の被験者の熱的快適性について実験した。	快適性;換気;天井;冷却;熱放射	実験	人工気候室内に典型的な冷却天井・置換換気環境をつくり、天井面温度を変動させた場合の8名の女性被験者の熱的快適性について実験した。	通常の冷却天井の温度範囲では、椅座安静状態の被験者の全身快適性に対する上下非対称放射温度の影響は小さい。天井面温度が低下するにつれて、「爽快感」は増加する傾向を示すが、さらに検討が必要である。
2	非対称 床暖房	92A069457	YOON Y-J, PARK S-D, SOHN J-Y	Optimum Comfort Limits Determination through the Characteristics of Asymmetric Thermal Radiation in a Heated Floor Space,"Ondol".	暖められた床空間「オンドル」における非対称放射の特性化による最適快適範囲の決定	Annals of Physiological Anthropology Vol.11, No.5 Page.517-522 1992	オンドルにおける非対称放射による最適快適範囲を理論と実験により、示した。	屋内環境;床暖房;快適性;熱放射;室温;日変化;許容限界	理論/実験	3.2m X 2.4m X 2.3mの実験室で、床温度を20℃~45℃に設定して計測を行い、理論値との比較を行なった。	床暖房空間における快適性を、床座における本実験と、椅座における他の実験結果で、比較されている。
3	床暖房	91A018614	CHOI Y S	Field investigation on indoor environment of traditional Korean house with floor heating system.	韓国伝統上流住宅の温熱環境に関する実測調査	人間-熱環境系シンポジウム報告集 Vol.14th Page.30-33 1990	"ロ"字型韓国伝統住宅での室内環境と居住者の温冷感の反応を調査した。	韓国;独立住宅;温熱環境;計測;温度測定;温度分布;湿度;空気分布;床暖房;温覚	調査	韓国伝統家屋として、gロ字型平面の住宅を調査対象として、室内環境と居住者の温冷感の反応を調査した。	調査期間中の外気温は、-12~5℃、室内は、5~21℃であった。温床暖房のためのグローブ温は、乾球温度より1~2℃高めであった。
4	床暖房	87A0214542	SOHN J Y	The state of thermal sensation researches in Korea and thermal comfort in ONDOL space.	韓国における温熱感覚研究の現状とオンドル空間における熱的快適性	人間-熱環境系シンポジウム報告集 Vol.10th Page.93-98 1986	韓国における温熱感覚と快適性に関する研究の概要、及び、オンドルの歴史と構造について述べる。	韓国;温熱環境;温覚;快適性;暖房装置;床暖房	調査	韓国における温熱感覚と快適性に関する研究の概要、及び、オンドルの歴史と構造について述べる。	これらの研究は、依然として初期段階であり、より多くの発展が望まれる。
5	床暖房	86A027990	BERGLUND L G, GAGGE A P	Human response to thermal conditions maintained in an office by radiant ceiling, baseboard, forced air, and floor heating systems.	放射天井、ベースボード、強制空気、床暖房装置などによって保持された事務所内の熱的条件に対する人間の反応	ASHRAE Transactions (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) Vol.91, No.Pt 2B Page.439-451 1985	放射天井、ベースボード、強制空気、床暖房装置の暖房方法で熱的快適性に対する人間の反応を同一の事務所内で個別に調査し、それぞれを比較した。	放射熱伝達;天井;放熱器;温風暖房;床暖房;暖房装置;事務所;人間;応答;屋内環境;快適性;環境試験;温度;電力消費;許容限界	調査/実験	標題の4種類の暖房方法での熱的快適性に対する人間の反応を同一の事務所内で個別に調査し、それぞれを比較した。試験事務所は環境試験室内に設置して作用温度が一定に保たれていた。20人の被験者が3時間にわたって各条件を経験し、一定時間ごとに身体熱的感覚とそれぞれの環境の許容度を報告。	単位床面積当たりの消費電力は平均9.181TU/h・ft ² で、放射式が最も少なく、居住空間の空気温度分布は床暖房式が最も均一であった。快適性と身体許容度は統計的に差は無く、全体の許容度は平均94%で、被験者の好みの順位は、高い方から床暖房、ベースボード、強制空気、放射天井であった。
6	接触 快適性	99A0475114	BROOKS J E, PARSONS K C	An ergonomics investigation into human thermal comfort using an automobile seat heated with encapsulated carbonized fabric(ECF).	内蔵炭素繊維(ECF)により暖めた自動車座席を用いたヒトの温度快適性に関する人間工学的研究	Ergonomics Vol.42, No.5 Page.661-673 1999	被験者が環境室内の暖められた自動車座席と暖められていない自動車座席に座っている時の主観的客観的快適性データを記録して調べた。	座席;運転者;快適性;自動車;暖房;ヒューマンファクタ;主観評価;炭素繊維	実験	室内環境は、涼しい自動車温度環境(5,10,15,20℃)とした。座席を暖める際には、背中と座部の温度を別々に調節した。	被験者の全体としての感覚は、あらゆる温度において、暖められた座席の方が「わずかに涼しい」という評価に留まった。全体としての不快さは、暖められた座席で5℃近くまで温度が下がったときの「わずかに不快」よりも低いレベルに留まった。
7	接触 快適性	91A0637779	BURCH S D, PEARSON J T, RAMADHYANI S	Experimental study of passenger thermal comfort in an automobile under severe winter conditions.	厳冬条件下における自動車乗客の熱的快適性の実験研究	ASHRAE Transactions (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) Vol.97, No.Pt 1 Page.239-246 1991	厳冬条件下で、シートとバックサポートに電気加熱パッドを入れる事などにより、ウォーミングアップ時間を大幅に短縮でき、快適な環境が得られる。これら暖房システム特性の評価基準を提案する。	冬;自動車;乗客;快適性;カーヒータ;座席;背部;電気加熱;パッド;ダクト;空気加熱器;暖房装置	実験	厳冬条件下で、シートとバックサポートに電気加熱パッドを入れる事などにより、ウォーミングアップ時間を大幅に短縮でき、快適な環境が得られた。	これら暖房システム特性の評価基準を提案した。
8	接触 快適性	84A0410907	NEWBOROUGH M, PROBERT S D	Improving the thermal comfort of sedentary man.	着座者の熱的快適性の改善	Applied Energy Vol.17, No.4 Page.283-299 1984	腰かけている個人の必要をみたすため、とくに設計したいすから熱を与える経済的方法を述べた。	椅子;快適性;老人;老人医学;患者;屋内環境;加熱;温度制御;省エネルギー;経済性	理論	腰かけている個人の必要をみたすためとくに設計したいすから熱を与える経済的方法を述べた。	提示したいすは、楽なはずに座りたい老人病患者などの熱的快適性を改善しようとした。加熱いすは寒い部屋で使うとき省エネルギーに有利である。
9	上下 非対称	92A0608135	SAUNDERS D H, KENNEY T M, BASSETT W W	Factors influencing thermal stratification and thermal comfort in four heated residential buildings.	4軒の住宅建物の暖房における熱的成層と熱的快適性に与える因子	ASHRAE Transactions (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) Vol.98, No.Pt 1 Page.1258-1265 1992	暖冷房を行なう際の、空気の密度の違いによる上下の温度分布が生成される。給気温度が室内上下温度分布を作る主要因である。	住宅暖房;暖房装置;成層;快適性;密度;温度分布;床;天井;給気;温度;換気口;気温;部屋;温風暖房			
10	非対称	91A055486	BANHIDI L, SOMOGYI A, FABO L, SIMON T	Compensation of asymmetric radiant heat loss to cold walls by different heating systems. Analysis with thermal manikin.	冷壁面への非対称放射熱損失の各種暖房方式による補償 熱マネキンによる分析	Environment International Vol.17, No.4 Page.211-215 1991	各種暖房方式(ラジエータ、放射パネル、床暖房、壁暖房)によって試験室を加熱し、熱マネキンを用いて人体の熱伝達の変化を比較した。	空気調和;暖房;快適性;熱損失;熱放射;内装;屋内環境;熱的測定;ヒト;熱伝達	実験	断熱容量0.6,0.8,1.0,1.2W/m ² ・Kの壁で仕切った試験室をラジエータ、放射パネル、床暖房、壁暖房によって加熱し、熱マネキンを用いて人体の熱伝達の変化を比較した。	放射暖房(パネル、床、壁暖房)は従来のラジエータに比べて人体の熱損失抑制効果が著しいことを確認した。
11	非対称	86A001198	FANGER P O, IPSSEN B M, LANGKILDE G, OLESEN B W, CHRISTENSEN N K, TANABE S	Comfort limits for asymmetric thermal radiation.	非対称放射に対する快適性限界	Energy and Buildings Vol.8, No.3 Page.225-236 1985	椅座で、人体横の冷壁、暖壁、冷たい天井によって作られた非対称熱放射環境6条件における温冷感の実験を行なった。	熱放射;快適性;非対称性;曝露試験;人間;温度	実験	椅座で、0.6Cloの着衣の男女被験者32人または16人を、人体横の冷壁または暖壁、そして冷たい天井によって作られた、非対称熱放射環境6条件に曝露した。	暖壁よりも冷壁がより不快であった。さらに、被験者5%満足度とするには、非対称放射温度差で、冷壁では10℃、暖壁では23℃、冷天井では14℃であり、好まれる作用温度には影響がなかった。
12	非対称	84A025454	BANHIDI L	Issues of comfort dimensioning associated with the asymmetrical radiation of the envelopes of living rooms and offices.	居室や事務室の周壁・床・天井で起きる不均質な放射に関連した快適性の程度の問題	CIB 83, Vol.3b Page.195-205 1983	冬季のハンガリーを対象に、不均質な放射が、熱的快適性に及ぼす影響を計算と実験結果で検討した。	居間;事務所;快適性;ハンガリー;冬;熱放射;非対称性;熱収支	理論/実験	計算では建物に関するデータや諸条件を設定して人体の熱収支を考えた。	人体からの放射熱損失を減少させる可能性を追求して、建物の断熱、カーテン等の利用、放射パネルによる加熱など、3種類の手
13	非定常	97A0427825	BROWN J S, JONES B W	A New Transient Passenger Thermal Comfort Model.	過渡期の乗員快適性予測の手法	SAE Technical Paper Series (Society of Automotive Engineers) SAE-970528 Page.7p 1997	温度変化の激しい過渡期の車室内において、時間経過ごとの温度、風速などの環境条件だけでなく、着衣量や初期の身体状態までを考慮することにより、そのときの乗員快適性を既存の手法よりも精度良く予測することを可能にした。	自動車;車室;快適性;温熱環境;衣服;生体工学;前処理;事例研究;効率化;製品開発;性能評価;遷移状態;設計;製品設計	理論	温度変化の激しい過渡期の車室内において、時間経過ごとの温度、風速などの環境条件だけでなく、着衣量や初期の身体状態までを考慮することにより、そのときの乗員快適性を既存の手法よりも精度良く予測することを可能にした。	車両およびその構成部品作製前に空調性能のケーススタディが可能になり、設計業務の効率化ができた。
14	非定常	95A0944934	HOLMER I, NILSSON H, BOHM M, NOREN O	Thermal Aspects of Vehicle Comfort.	乗り物の快適性の熱的観点	Applied Human Science Vol.14, No.4 Page.159-165 1995	乗物内での様々な気象条件下でマネキンの異なる部位の温度を測定し、同一条件下に曝露した被験者の熱感覚や生理的反応との比較した。	自動車;快適性;熱影響;人間工学;夏;冬;換気;熱感度;温度;ヒト	実験	乗物内での様々な気象条件下でマネキンの異なる部位の温度を測定し、同一条件下に曝露した被験者の熱感覚や生理的反応と比較した。	両者の間には高い相関が見られた。マネキンでの結果に基づき、19か所の身体部位の許容温度を示した。トラック、クレーンキャビンの夏期、冬期での熱的環境の評価を行い、熱影響の空間的解決や運転座席の換気が重要である事を示した。
15	非定常	90A0900666	HENSEN J L M	Literature review on thermal comfort in transient conditions.	非定常状態における熱的快適性に関する文献調査	Building and Environment Vol.25, No.4 Page.309-316 1990	住宅やオフィスの従来の快適性理論は、定常状態が多かったが、現実の建物内では構造体、気候、居住者、暖房換気空調システムの相互作用によって非定常である。そこで、室内温度の変動がどの程度まで許容されるか調査を行う。	快適性;資料調査;温熱環境;温度変動;室温	調査/実験	室内温度の変動がどの程度まで許容されるか調査を行った。	室温の周期的変化及びドリフト変化の場合の実験結果を示し、周期的変化は現在のASHRAE基準に合っていることが分った。

№	検索KW	JICST 番号	Author	タイトル	タイトル	出典名	Abstract	KW	別	方法	結果
16	非常	90A0442336	DE DEAR R J, KNUDSEN H N, FANGER P O	Impact of air humidity on thermal comfort during step-changes.	ステップ変化中の熱的快適性に及ぼす空気湿度の影響	ASHRAE Transactions (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) Vol.95, No.Pt 2 Page.336-350	12人の被験者とサーマルマニキンを使って、湿度がステップ上に变化した時の熱的、生理学的、感覚的応答性を調査した。	変化;快適性;湿度;男性;学生;ダミー;熱;生理学;感覚;応答;衣服	実験	12人の被験者とサーマルマニキンを使って、湿度がステップ上に变化した時の熱的、生理学的、感覚的応答性を調査した。	衣服の種類にも影響されるが、一般的には、湿度が上がると下がる時の方が熱的な感覚に及ぼす影響が大きかった。
17	ISO7730	99A018287	MAYER E	Ist die bisherige Zuordnung von PMV und PPD noch richtig? Is used past allocation of MNV and PPD still correct?	従来のPMV(予測平均申告)とPPD(予測不満足率)は今でも正しいか?	Ki Luft- und Kaelletechnik Vol.34, No.12 Page.575-577 1998	ISO7730 によれば、温熱的中立と評価される環境をPMV=1として、可能最小の温熱快適性不満足率は5%になる。しかしこれは、PMV値が0.5の時にPPD値が約15%に達する、という実験室や現場での測定結果と相違する。 この矛盾に対する単純な説明は、Fangerが決めたPPDの定義を本報が説明するように与えている。この結果、増大した不満足度を受容するか、空調に個人ごとの調節可能性を付与する努力を強化するか、のどちらかである。	室内空気;温熱環境;投票;環境試験;アンケート;温度;予測;快適性;空調調和装置;ISO規格	理論	ISO7730 によれば、温熱的中立と評価される環境をPMV=1として、可能最小の温熱快適性不満足率は5%になる。しかしこれは、PMV値が0.5の時にPPD値が約15%に達する、という実験室や現場での測定結果と相違する。	この矛盾に対する単純な説明は、Fangerが決めたPPDの定義を本報が説明するように与えている。この結果、増大した不満足度を受容するか、空調に個人ごとの調節可能性を付与する努力を強化するか、のどちらかである。
18	ISO7730	96A014112	OSELAND N A	Predicted and reported thermal sensation in climate chambers, offices and homes.	人工気候室、オフィス、家庭における予測及び報告された熱感覚	Energy and Buildings Vol.23, No.2 Page.105-115 1995	30人の被験者による異なる熱環境の熱感覚を調査し、ISO7730を用いた予測値と比較した。	温度;温熱環境;事務所;住宅;ISO規格;予測	実験	30人の被験者による異なる熱環境の熱感覚を調査し、ISO7730を用いた予測値と比較した。調査は着衣量と活動レベルに制限を加えた場合と加えない場合で行った。	人工気候室、オフィス、家庭の三つの環境で観測された中立温度は最大2°C異なり、予測値とは最大1°C異なった。熱感覚意見と予測値及び作用温度との相関はあまり見られない。
19	ISO7730	95A0976299	FRANCIS J, EDWARDS R E	Speedy comfort assesment using ISO 7730.	ISO7730を用いた迅速快適評価	Building Services Engineering Reserch and Technology Vol.16, No.3 Page.165-168 1995	快適条件の迅速評価に対するISO7730のAnnexEの適用性を論じた。ISO7730とFanger快適性方程式の差異、及び代謝値と着衣量、感受性の面から不意な適用への危険性について解説した。	ISO規格;快適性;方程式;代謝;衣服	理論	快適条件の迅速評価に対するISO7730のAnnexEの適用性を論じた。	ISO7730とFanger快適性方程式の差異、及び代謝値(M)と着衣量(Clo)、感受性の面から不意な適用への危険性について解説した。
20	ISO7730	95A0517455	OLESEN B W	Vereinfachte Methode zur Vorausberechnung des thermischen Raumklimas.	熱的室内気候の簡易予測計算方法	Heizung, Lueftung, Klima, Haustechnik Vol.46, No.4 Page.219-222,223-225 1995	ISO7730等の規格を例にして、熱的快適性の評価に言及した。PMVとPPDによる評価を解説した。	室内環境;快適性;建築設計;空調調和装置;暖房負荷;冷房負荷;室温;相対湿度;表面温度;ISO[国際機関];予測技法	理論	ISO7730等の規格を例にして、熱的快適性の評価に言及した。	PMVとPPDによる評価を解説した。
21	ISO7730	94A075439	OSELAND N A	A comparison of the predicted and reported thermal sensation vote in homes during winter and summer.	冬季及び夏季家屋内における予測及び報告された温冷感申告の比較	Energy and Buildings Vol.21, No.1 Page.45-54 1994	イングランドの新築家屋居住者による報告温冷感とISO7730によるPMV計算値を比較した。	温度;イギリス;住宅;快適性;冬;夏;ISO規格	理論/実験	イングランドの新築家屋居住者(冬期515名、夏期293名)による報告温冷感とISO7730に基づく予測平均温冷感申告(PMV)計算値を比較した。	報告快適温度はPMV計算値より冬期で5°C、夏期で3°C低く、ISO7730はイギリス家屋の必要暖房レベルを過大評価する。被験者は冬期は「僅かに暖かい」、夏期は「中立」を好むが、冬期には室温が低くても温かく感じる。
22	ISO7730	89A0166514	OLESEN B W, DUKES-DOBOS F N	International standards for assessing the effect of clothing on heat tolerance and comfort.	衣料の耐熱性と快適性に与える影響を検査するための国際基準	ASTM Special Technical Publication (American Society for Testing and Materials) No.989 Page.17-30 1998	ISO熱環境に関するWGIによって作成された熱環境での労働における安全基準についての説明	衣服;耐熱性;快適性;評価基準;安全基準;住環境;労働環境;ISO規格;断熱;温度依存性;標準化;国際規格;衣服内気候	理論	ISO熱環境に関するWGIによって作成された熱環境での労働における安全基準についての説明した。	
23	ISO7730	89A0033742	FANGER P O	Fundamentals of thermal comfort.	熱的快適性の基礎	Advances in Solar Energy Technology, Vol.4 Page.3056-3061 1988	快適性について検討し、人の熱収支及び快適性に及ぼすパラメータを明確にした。ISO7730の背後にある考え方の検討し、建築設計時及び既存建築環境への実際の適用について述べた。	快適性;室内環境;人間;熱収支;パラメータ;ISO[国際機関];建築設計;気流;流速;乱流;隙間風;リスク	理論	快適性について検討し、人の熱収支及び快適性に及ぼすパラメータを明確にした。ISO7730の背後にある考え方の検討し、建築設計時及び既存建築環境への実際の適用について述べた。	
24	ISO7730	87A0491987	GRONAU J, GIRLICH N	Raumlufttemperatur und thermische Behaglichkeit.	室温と熱的快適性	Energieanwendung Vol.36, No.3 Page.97-98 1987	ISO7730に基づいて室内環境、室壁、個人的因子の関連を説明した。	室内環境;室温;快適性;部屋;因子;湿度;通風;壁面;表面温度;行動;衣服;相関	理論	ISO7730に基づいて室内環境、室壁、個人的因子の関連を説明した。	
25	ISO7730	87A0214544	OLESEN B W	New international standards and measuring methods of the thermal environment.	熱的環境に関する新国際基準と測定法	人間-熱環境系シンポジウム報告集 Vol.10th Page.105-112 1986	ISO7730, ISO7726, ISO7243を解説し、それらの必要性の概略を述べた。	温熱環境;国際規格;計測;ISO[国際機関];快適性;ストレス	理論	ISO7730, ISO7726, ISO7243を解説し、それらの必要性の概略を述べた。	
26	ISO7730	85A0526320	FANGER P O	Thermal environmet - Human requirements.	熱的環境 人的諸条件	Sulzer Technicl Review Vol.67, No.3 Page.3-6 1985	熱的な快適性を取扱った新しい国際規格ISO7730を紹介した。規格に規定された各限度は、居住者の不満足度の%に基づくもので、この規格制定の背景である考え方とその科学的根拠を論述した。	熱;環境;快適性;人間工学;ISO規格;暖房;換気;空調調和	理論	熱的な快適性を取扱った新しい国際規格ISO7730を紹介した。	規格に規定された各限度は、居住者の不満足度の%に基づくもので、この規格制定の背景である考え方とその科学的根拠を論述した。
27	OLESEN B W 暖房システム	99A0182455	OLESEN B W	Heizsysteme-Experimentelle Untersuchungen der Thermischen Behaglichkeit.	暖房システム 温熱快適性の実験的研究	Heizung, Lueftung, Klima, Haustechnik Vol.49, No.12 Page.52-57 1998	天井・床・壁・窓下等にラジエータを有する8種類の暖房システムを使用できる実験室での一連の実験的研究に基づき、温熱快適性を示した。風速・入射日光・断熱改良窓の快適性に及ぼす影響も調べた。	暖房装置;温熱環境;快適性;計測機シミュレーション;放熱器;床暖房;天井;窓;風速;直射日光	実験	本報では天井・床・壁・窓下等にラジエータを有する8種類の暖房システムを使用できる2.4m x 4.8m x 2.7m hの実験室での一連の実験的研究に基づき温熱快適性を示した。	風速・入射日光・断熱改良窓の快適性に及ぼす影響も調べた。
28	OLESEN B W ISO7730	95A0937043	OLESEN B W	International standards and the ergonomics of the thermal environment.	熱環境の人間工学と国際規格	Applied Ergonomics Vol.26, No.4 Page.293-302 1995	人体の熱の蓄積をめぐる諸パラメータの関係式、おだやかな熱環境における温度に不満な人の割合の予測式、熱い環境での湿球温度指数と必要発汗、寒い環境での必要衣服断熱と風の影響、その他の要因としての代謝率、衣服、測定法などについて述べた。	国際規格;ISO規格;ヨーロッパ;温熱環境;作業環境;寒冷ストレス;暑熱ストレス;発汗;衣服;衣服内気候;快適性;人間工学;熱負荷	理論	人体の熱の蓄積をめぐる諸パラメータの関係式、おだやかな熱環境における温度に不満な人の割合の予測式、熱い環境での湿球温度指数と必要発汗、寒い環境での必要衣服断熱と風の影響、その他の要因としての代謝率、衣服、測定法などについて述べた。	
29	OLESEN B W	91A0554864	OLESEN B W	The thermal factors critical for design of HVAC systems.	HVAC(冷暖房)システムの設計に不可欠な温度要因	Environment International Vol.17, No.4 Page.217-223 1991	冷暖房室内の放射温度非対称、空気速度、鉛直方向の室内温度差、床面温度などの温度パラメータと不満指数の関係について検討した。	空調調和;建築物;空調調和装置;最適設計;快適性;熱放射;温度分布;流速;乱流混合;必要条件	理論	冷暖房室内の放射温度非対称、空気速度、鉛直方向の室内温度差、床面温度などの温度パラメータと不満指数の関係について検討した。	
30	OLESEN B W	85A0465365	CHRISTENSEN N K, OLESEN B W	Standards for moderate thermal environments.	適度な温熱環境の標準	Applied Ergonomics Vol.16, No.2 Page.137-141 1985	温度環境の快適状況の仕様と計測手順を扱った二つの国際規格の草案がISOで承認された。住居、事務所、病院と軽工業における適正な温度環境に関連した要件および計測について記述した。	温度;労働環境;快適性;ISO規格;感覚;病院;事務所;住宅	理論	温度環境の快適状況の仕様と計測手順を扱った二つの国際規格の草案がISOで承認された。住居、事務所、病院と軽工業における適正な温度環境に関連した要件および計測について記述した。	
31	OLESEN B W 非対称	81A0201961	FANGER P O, OLESEN B W, LANGKILDE G, BANHIDI L	Comfort limits for heated ceilings.	加熱天井に対する快感の限界	ASHRAE Transactions (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Enginners) Vol.86, No.Pt 2 Page.141-156 1980	16名の被験者による天井加熱下の温感を実測した。放射温度の非対称性が、身体の各部の皮膚温度に及ぼす影響や各部位の熱損失に与える影響の実測値を示す。	室内環境;快適性;試験装置;天井;加熱;熱放射;温度分布;温度	実験	デンマーク工科大の環境試験室を用い、16名の大学生を被験者として、天井加熱下の温感を実測した。	対向二平面間の放射温度差をパラメータとして、不快感を示す人の割合を求め、4.K差で、5%が不快を示すことが分かった。放射温度の非対称性が、身体の各部の皮膚温度に及ぼす影響や、各部位の熱損失に与える影響の定量的な評価を示す。また実際の室において、人体から見た天井の角関係から、天井面の許容表面温度を求める線図を示す。なお試験室内の温度は、天井加熱によって平均放射温が上昇するにつれて、乾球温度を下げ、頭が熱く、足が寒い傾向を助長する。

No	検索KW	JICST 番	Author	タイトル	タイトル	出典名	Abstract	KW	別	方法	結果
32	床暖房	94A0845767	Olesen B W	Comparative experimental study of performance of radiant floor-heating systems and a wall panel heating system under dynamic conditions.	熱流動状態における放射床暖房システムと壁パネル暖房システムの性能比較実験研究	ASHRAE Transactions (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) Vol.100, No.Pt 1 Page.1011-1023 1994	放射床暖房システムと壁パネル暖房システムの24時間の内部負荷と相当温度等のデータを示した。	床暖房;壁暖房装置;室内環境;熱負荷;エネルギー消費;省エネルギー;性能評価	実験	12ft.~16ft.~8ftの試験の中でシミュレーションした	24時間の内部負荷と相当温度等のデータを示した。夜間のセットバックの間、室温の減少は、放射システムと低容量の床パネルにおいて最大であった。エネルギー消費の相違は5%以内にとどまった。
33	床暖房	94A0845519	DALE J D, ACKERMAN M Y	The thermal performance of a radiant panel floor-heating system.	放射パネル床暖房方式の熱的性能	ASHRAE Transactions (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) Vol.99, No.Pt 1 Page.23-34 1993	床暖房とダクト方式温風暖房を地下室のある試験住宅で、3年間、双方のエネルギー効率を調査した。	床暖房;温風暖房;熱放射;温度分布;室温;省エネルギー;地下室;快適性	実験	床暖房とダクト方式温風暖房を地下室のある試験住宅で、3年間、双方のエネルギー効率を調査した。	床暖房によりグローブ温度、平均放射温度は高く、室内上下温度差が小さく、快適性を損わずに省エネルギーの可能性がある。同じ室温で制御してエネルギー差は5%以内、床・天井温が高いため熱損失は増す。断熱地下床からの熱損失は20%、暖房中は45%増となる
34	床暖房	87A0189859	SON J Y	韓国におけるオンドルと最近の床暖房計画	韓国におけるオンドルと最近の床暖房計画	空調調和・衛生工学 Vol.61, No.4 Page.331-337 1987	オンドルの歴史と構造について述べ、また、最近の温水オンドルの温水供給システムについて、例を紹介しながら解説した。	韓国;床暖房;地域暖房;熱供給発電;住宅;温水;歴史;構造;省エネルギー	調査	オンドルの歴史と構造について述べ、また、最近の温水オンドルの温水供給システムについて、例を紹介しながら解説した。	
35	非対称	99A056180	BANHIDI L, KORCSOG P	Calculations of the asymmetric radiation in dimensioning for thermal comfort.	熱快適性のための寸法決定における非対称放射の計算	Periodica Polytechnica, Mechanical Engineering Vol.42, No.1 Page.3-15 1998	中央ヨーロッパにおけるプレハブ住宅の熱快適性に関する主要問題として非対称放射がある。提示した放射熱損失と熱利得の計算方法によるハンガリーのプレハブ住宅について実施した計算結果を紹介した。	プレハブ住宅;人間工学;温熱環境;熱放射;非対称性;熱収支;外壁;放射損失;角度依存性	理論	放射熱損失と熱利得の計算方法には各種方法がある。人体の熱収支に基づく計算方法により詳細な計算結果が得られる。	本文では提示した方法によるハンガリーのプレハブ住宅について実施した計算結果を紹介した。
36	ISO7730	98A025050	DONNINI G, NGUYEN V H, LAI D H C, LAFLAMME M, HAGHIGHAT F, MOLINA J, MARTELLO C, LAI H K, CHANG C Y	Field Study of Occupant Comfort and Office Thermal Environments in a Cold Climate.	寒冷気候における居住者の快適性と事務所の熱環境の実地研究	ASHRAE Transactions (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) Vol.103, No.Pt 2 Page.205-220 1997	南Quebec州の12の機械換気事務所建築の標記快適性と熱環境の実地調査の知見を報告した。	室内環境;事務所建築;ケベック;換気装置;温覚;アンケート;衣服;寒冷地;快適性;ANSI規格;ISO規格	調査	ASHRAE研究プロジェクトRP821による、南Quebec州の12の機械換気事務所建築の標記快適性と熱環境の実地調査の知見を報告した。夏冬合計877のテーマを検討し、被験者との対談で質問状への回答と物理的室内環境測定データを得た。	観測した温度最値は快適性モデルの予測、及び中緯度気候試験室での実験データとほぼ一致した。Montreal市民の温冷感と容認度は、予測されたPPDやANSI/ASHRAE標準55よりも非中立温度に対して狭小であった。
37	ISO7730	94A0845742	MCCULLOUGH E A, HONG S	A data base for determining the decrease in clothing insulation due to body motion.	体の動きによる着衣断熱性の減少決定に対するデータベース	ASHRAE Transactions (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) Vol.100, No.Pt 1 Page.765-775 1994	サーマルマネキンを用いて24の室内衣のアンサンブルについて断熱性を調査した。	生体工学;皮膚温;衣服内気候;生体シミュレーション;表面積;下着;作業服;外衣;靴;空気量;断熱材料;保温性;内部発熱;立位;二足歩行	実験	サーマルマネキンを用いて24の室内衣のアンサンブルについて断熱性を調査した。立っている場合、歩いている場合の測定を行った。着衣の面積、歩行速度、被服の空気量、重さ等を変化させて測定した。	ASHRAE55-1972やISO7730の規格の方法で実験が行われた。
38	ISO7730	93A0817062	Olesen B W	Standards for design and evaluation of the indoor thermal environment.	室内温熱環境の設計と評価のための基準	ASHRAE Transactions (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) Vol.35, No.8 Page.20,22-25 1993	温熱環境に関しては国際規格ではISO7730, ASHRAEではStandard 55がある。被服の熱抵抗と活動量から快適な有効温度を示している	室内環境;温熱環境;規格;空調調和装置;衣服内気候;熱抵抗;活量;快適性;温度			
39	ISO7730	91A0667450	BLEY H	Akzeptanz durch Verbesserung der Raumluftqualität.	室内空気質の改善の容認	Heizung, Lüftung, Klima, Haustechnik Vol.42, No.7 Page.416-418 1991	1991年3月、Frankfurtで国際衛生暖房見本市が開催された。	室内空気;品質;建築衛生設備;空調調和装置;ISO規格;温熱環境;指数;送風機;ヒト;臭気;ドイツ;展覧会			
40	ISO7730	89A0124063	MAYER E	Thermische Behaglichkeit in Raeumen. Neue Beurteilungen - und Messmoeglichkeiten.	室内の熱的快適性 新しい評価と測定の可能性	Gesundheits Ingenieur, Haustechnik, Bauphysik, Umwelttechnik. Vol.110, No.1 Page.35-43 1989	温熱環境の研究にはヤグロー氏の研究やファンガー氏の研究がある。後者は国際規格に取り入れられISO7730になった。温熱環境の測定では相当周壁温度や皮膚温度の測定が大切である。	快適性;室内環境;温熱環境;評価;計測;温度;皮膚;空気分布;風速;空調調和装置;心理学			
41	ISO7730	87A0517827	PUENTENER T W, FRANK T, HUBER R	Fenster und thermischer Komfort.	窓と熱的快適性	Schweizer Ingenieur und Architekt Vol.105, No.35 Page.1012-1015 1987	窓は室内の温熱環境に大きな影響を及ぼす。温熱環境はデンマーク工科大学のFanger教授が開発して国際規格になったISO7730による予測平均回答PMVと予測平均不満足率PPDによって評価される	窓;室内環境;温熱環境;快適性;ISO規格;評価基準			
42	ISO7730	87A0281598	田辺新一	Thermal Comfortに関する温冷感小委員会懇談会記録 B.W.Olesen博士・孫章烈博士を囲んで	Thermal Comfortに関する温冷感小委員会懇談会記録 B.W.Olesen博士・孫章烈博士を囲んで	空調調和・衛生工学 Vol.61, No.6 Page.533-535 1987	標準委員会温冷感小委員会のB.W.Olesen博士・孫章烈博士を囲む懇談会のOlesen博士との懇談の部分をもとめた。	温熱環境;委員会制度;ISO規格;標準;室内環境;快適性			
43	ISO7730	85A0497716	HAHNE H	Klima und Arbeit: ISO-Standard 7730 ueber Behaglichkeit in gemoessigtem Klima erschienenem.	気象と労働	Gesundheits Ingenieur, Haustechnik, Bauphysik, Umwelttechnik. Vol.106, No.4 Page.193 1985	国際標準化機構ISOでは1984年8月15日にISO標準7730中層気候における快適性に関する規格を制定した。寒いか暑いかというPMVという指標と、快適か否かというPPDという指標を導入した。	快適性;ISO【国際機関】標準			
44	THERMAL*SENSATION	92A0819533	CORDIER A, GALEOU M, MONCHOUX F, THELLIE R F	Predicting local thermal sensation in a building.	建物内の局所熱感覚の推定	Congress of the International Solar Energy Society Sol World Congr Vol.3,Part.1 Page.3035-3040 1992	住宅内での熱快感には気温・湿度・空気速度だけでは表わせない。人体の局所的熱感覚を合成して、人体全体の感覚を求める生理学的反応モデルを含むソフトウェアを開発した。	快適性;室内環境;温覚;皮膚温;応用プログラム;計算機シミュレーション;建築設計;室温			
45	THERMAL*COMFORT	99A0810053	YIGIT A	Combining Thermal Comfort Models.	温度快適性モデルの結合	ASHRAE Transactions (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) Vol.105, No.Pt 1 Page.149-156 1999	定常状態の体温に関するFangerモデルと身体表面・内部との熱均衡に関するGaggeモデルを結合し、身体部位16箇所の体温分布を予測する計算機モデルを構築した。	快適性;衣服内気候;生体モデル;体温調節;身体部位;生体シミュレーション;衣服;熱抵抗;基礎体温;内部発熱	理論	定常状態の体温に関するFangerモデルと身体表面・内部との熱均衡に関するGaggeモデルを結合し、身体部位16箇所の体温分布を予測する計算機モデルを構築した。衣服繊維層と層間空気を通過する顕熱・潜熱の熱抵抗を計算し、身体部位16箇所に身体表面と身体内部との熱均衡をとって、FangerとGaggeのモデルを結合した。	結合モデルは過渡状態の体表面温度・内部温度・表面湿度を各身体部位について推定可能であり、夏季・冬季に適した5種類の着衣について計算でき、快適性判定に役立つ。
46	THERMAL*COMFORT	99A0167375	BUTERA F M	Principles of thermal comfort.	熱快適性の原理	Renewable & Sustainable Energy Reviews Vol.2, No.1/2 Page.39-66 1998	行動による発生熱、発汗・呼吸・対流・ふく射・伝達による熱損失、衣服による断熱の値を示し、快適さと深いに感じる指数の計算法を示した。平均暖寒感覚指標PMVの計算式と、心理・環境・行動などからPMVがどう変わるかを示した。	体温調節;発熱;熱損失;快適性;温熱環境;環境指数;衣服内気候	理論		

No	検索KW	JICST 番	Author	タイトル	タイトル	出典名	Abstract	KW	別	方法	結果
47	THERMAL*COMFORT	98A0839208	WATSON R D, CHAOMAN K S, DEGREEF J M	Case Study: Seven-System Analysis of Thermal Comfort and Energy Use for a Fast-Acting Radiant Heating System.	事例研究 高速作動放射暖房システムに対する温度快適性とエネルギー使用の7システムの解析	ASHRAE Transactions (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) Vol.104, No.Pt 1B Page.1106-1111 1998	暖房システム改造選択用の比較データ取得を目的とし、19種類の設計で約100の住宅単位から、制御および改造前後のエネルギー消費データを2~4年間モニターした。	快適性;熱放射;暖房;アメリカ;集合住宅;事例研究;測定データ;改造;高速度;省エネルギー	調査	システムには包囲型天井裏設置の電力放射パネル、高速作動・天井設置型放射パネル、輻射暖房、強制送風炉、標準大気型パネル、高速作動・天井設置型放射パネル、輻射暖房、強制送風炉、標準大気型・高効率送風型・地熱利用ヒートポンプ、ガス式強制送風高効率炉を採用した。全て装置は分離した空調システムとした。	暖べい型の放射暖房システムから高速作動放射パネルシステムへの改造は、大きな省エネ効果をもたらす等の知見を得ると同時に、現場データ比較の困難性も呈した。
48	THERMAL*COMFORT	98A0839189	LOVEDAY D L, PARSONS K C, HODDER S G, L D, JEAL TAKI A H	Designing for Thermal Comfort in Combined Chilled Ceiling/Displacement Ventilation Environments.	冷却天井・置換換気環境の組合せにおける温度快適性の設計	ASHRAE Transactions (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) Vol.104, No.Pt 1B Page.901-911 1998	冷却天井と置換換気環境を組合せた場合の、温度快適性を設計する上での一般指針を示した。温度快適性の計測は、184人の主観を含み、冷却天井と壁設置型の置換換気システムを組合せて設置した普通の事務所風の、試験用の部屋で行った。	空調調和;放射熱伝達;快適性;天井;強制換気;主観評価;境界層;気体流;速度分布;現場試験	実験	温度快適性の計測は、184人の主観を含み、冷却天井と壁設置型の置換換気システムを組合せて設置した普通の事務所風の、試験用の部屋で行った。	部屋の特性試験から、冷却天井は置換換気流れに好ましからざる影響を及ぼすことが分った。つまり、18℃~21℃の天井温度で境界層を抑制し、14℃~16℃の低い天井温度で押のけ流れを破壊した。天井温度を下げると、床上0.1mと1.1mの局所空気速度を増加させるなどの知見を得た。
49	THERMAL*COMFORT	98A0323461	EFTKHARI M M	Natural ventilation: Impact of wall material and windows on thermal comfort.	自然換気 壁材と窓が熱的快適性に与える影響	Building Services Engineering Reserch and Technology Vol.19, No.1 Page.43-47 1998	英国Loughborough大学にて軽量可搬型キャビンを用いた実験結果を示した。開口部とガラス面積を変え、中程度及び大きな熱容量の材料を室内に加え、熱環境を測定した。	自然換気;壁材;窓;快適性;温熱環境;開口部	実験	英国Loughborough大学にて軽量可搬型キャビンを用いた実験結果を示した。開口部とガラス面積を変え、中程度及び大きな熱容量の材料を室内に加え、熱環境を測定した。	200mmの中密度コンクリートを加えることで快適性を40%改善できる。6mmのフロートガラスと6mmの低-Eガラスの組合せで25%改善できる。
50	THERMAL*COMFORT	96A0957099	WATSON R D, CHAOMAN K S	Radiant Heating for Thermal Comfort.	熱的快適性のための放射暖房	ASHRAE Transactions (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) Vol.38, No.7 Page.24-28,30 1996	標題パネル暖房方式の有効性を、従来の補助ヒータ付きヒートポンプ及び床暖房方式と比較し考察した。まず熱的快適性に影響する要因を考察し、ついで事例研究として実地の2階建住宅での測定要領を説明した。	住宅暖房;放射熱伝達;快適性;空調調和;温度分布;床暖房;ヒートポンプ;エネルギー消費;省エネルギー;計算機シミュレーション;数学モデル	理論	標題パネル暖房方式の有効性を、従来の補助ヒータ付きヒートポンプ及び床暖房方式と比較し考察した。まず熱的快適性に影響する要因を考察し、ついで事例研究として実地の2階建住宅での測定要領を説明した。	その測定結果はBuilding Comfort解析プログラム(BCAP)による結果と比較し、BCAPの有効性を示した。パネル方式の消費エネルギーはヒートポンプ方式に比べ33%少ない
51	THERMAL*COMFORT	96A0645300	FREESTONE M D, WOREK W M	Radiant Panel Perimeter Heating Options: Effectiveness and Thermal Comfort.	放射パネルペリメータ暖房オプション 効率と熱的快適性	ASHRAE Transactions (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) Vol.102, No.Pt 1 Page.667-675 1996	集中暖房システムを補助放射天井パネルによる部屋のペリメータ暖房の数値的解析をした。部屋の熱的快適性とエネルギー効率について種々異なるパラメータの関数として研究した。	中央暖房;熱放射;パネル;事務所建築;快適性;温熱環境;熱効率;暖房装置;室温;表面温度;断熱;間仕切壁;天井;数値計算;温度分布;計算機シミュレーション	理論		
52	THERMAL*COMFORT	96A0731512	HUMPHREYS R M A	Thermal comfort temperatures world-wide: The current position.	温度と快適性に関する研究:その現状	Renew Energy Vol.8, No.1/4 Page.139-144 1996	建築物の熱的快適性に関する順応的手法の開発について1970年から1995年に至る期間の進展をまとめた。順応的手法は温度変化に対する人間の対応、例えば衣服や運動の調節による対応を生活空間あるいは仕事空間で観察・解析する手法である。	建築設計;快適性;省エネルギー;気象条件;建築様式;雰囲気;衣服;環境順応	理論		燃料消費の少ない快適設計を行うためには、土着あるいは民芸的な建築形式と伝統的な衣服着用効果に着目する必要がある
53	THERMAL*COMFORT	95A0708108	YOST P A, BARBOUR C E, WATSON R	An evaluation of thermal comfort and energy consumption for a surface-mounted ceiling radiant panel heating system.	天井面に取り付けたふく射暖房装置の熱的な快適さとエネルギー消費の評価	ASHRAE Transactions (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) Vol.101, No.Pt 1 Page.1221-1235 1995	標記の目的で、2200平方フィートのモデルハウスに、比較のためのヒートポンプ式の暖房装置と腰枝部分または天井面にふく射暖房装置を設置して試験を行った。	暖房負荷;加熱器;電気加熱;エネルギー消費;快適性;住環境;熱放射;天井;暖房装置;暖房	実験	標記の目的で、2200平方フィートのモデルハウスに、比較のためのヒートポンプ式の暖房装置と腰枝部分または天井面にふく射暖房装置を設置して試験を行った。設備容量は上記の順に、16.7KW、20.5KW、8.1KWで試験を	容量は適当であり熱的な快適さも問題なく、立上りが早く、部屋毎の調節がやり易い点で天井パネルが最も評価が高かった。エネルギー消費も天井面暖房は腰板暖房より52%、ヒートポンプ式より33%少なかった
54	THERMAL*COMFORT	94A0837615	KUELPMANN R W	Thermal comfort and air quality in rooms with cooled ceilings—results of scientific investigations.	冷たい天井をもつ室の熱的快適感と空気品質	ASHRAE Transactions (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) Vol.99, No.Pt 2 Page.488-502 1993	冷却機能と換気機能を分離して考えて、冷たい天井表面は冷却機能を果たし熱的快適感を与えたと論じた。床空間5m~4m~高2.87m、平滑な密封冷却天井表面をもつ試験室を設けた。	冷却;換気;天井;快適性;実験室;ダクト;熱負荷;シミュレーション	実験	床空間5m~4m~高2.87m、平滑な密封冷却天井表面をもつ試験室を設けた。室の幅に沿った幅木出口に沿って換気した。ダクトシステムを備えて、熱負荷をシミュレートした。	実験結果では冷却天井をもつ室の表面温度は室温より低いことが分かった
55	THERMAL*COMFORT	91A0637780	BURCH S D, RAMADHYANI S, PEARSON J T	Analysis of passenger thermal comfort in an automobile under severe winter conditions.	厳冬条件下における自動車乗客の熱的快適性の解析	ASHRAE Transactions (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) Vol.97, No.Pt 1 Page.247-257 1991	最近の車のエンジンはサイズが小さくなる傾向にあり、暖房能力が減少し、乗客の熱的快適性をいかに確保するかを確認するために、乗客と車内環境の間の熱的相互作用について数学モデルを作成した。	冬;自動車;乗客;快適性;カーヒータ;車室;温熱環境;相互作用;数学モデル;シミュレーション;電気加熱;座席;乾取装置;空気加熱器	理論	最近の車のエンジンはサイズが小さくなる傾向にあり、暖房能力が減少し、乗客の熱的快適性をいかに確保するかを確認するために、乗客と車内環境の間の熱的相互作用について数学モデルを作成した。	このモデルは、乗客の熱感の予測を可能にし、冬の車内環境をシミュレーションすることで評価試験を行った。その結果、予測と審査データには良い相関が得られた
56	THERMAL*COMFORT	90A0887180	CORDIER A, MONCHOUX F, THELLIER F, D SELY	Cold surface influence on thermal comfort.	熱的快適性に対する冷却面の影響	Clean and Safe Energy Forever, Vol.2 Page.1094-1098 1990	ダイレクトゲイン式パッシブソーラハウスで、外気温が非常に低く壁面が冷却されていると、熱収支が正であっても室内の放射温度が低いために快適とはならない。模型試験により、壁面の温度が不均一な室内での赤外線の影響について測定を行った。	パッシブソーラシステム;太陽熱利用;暖房;窓;熱取得;直達日射;快適性;冷却;壁面;気温;模型試験;温度分布;赤外線;異方性;表面温度;皮膚	実験	ダイレクトゲイン式パッシブソーラハウスで、外気温が非常に低く壁面が冷却されていると、熱収支が正であっても室内の放射温度が低いために快適とはならない。模型試験により、壁面の温度が不均一な室内での赤外線の異方性について測定を行った。	皮膚の体感温度は赤外線だけでなく、空気の対流も考慮する必要がある
57	THERMAL*COMFORT	88A0387973	OLESEN B W, HASEBE Y, DEAR R J	Clothing insulation asymmetry and thermal comfort.	衣服断熱不均一性と熱的快適性	ASHRAE Transactions (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) Vol.94, No.Pt 1 Page.32-51 1988	同じ断熱性能clo値で衣料の組合せの違う場合5種について、上半身裸体から下半身裸体まで非常に着衣分布状態が異なることによる影響を16の被験者により評価した。	衣服内気候;断熱;不均一性;快適性;衣服;身体部位;比較試験	実験	同じ断熱性能clo値で衣料の組合せの違う場合5種について、上半身裸体から下半身裸体まで非常に着衣分布状態が異なることによる影響を16の被験者により評価した。	着衣状態の不均一が被験者の選択する周辺環境への影響は無く、サーマルマネキンを使った比較試験結果でも着衣不均等分布の影響は無かった
58	THERMAL*COMFORT	83A0151543	ROHLES F H JR, KROHN R J	Thermal comfort as affected by chair style and covering.	いすのスタイルとカバー材料による温熱快適性の影響	Proceedings of the Human Factors Society, Annual Meeting Vol.26th Page.113-117 1982	男女被験者にモデル(役員、管理者、会議、サイド用)とカバー(布、ビニール)とが異なるいすに着座させ、温熱感覚、温熱快適性、およびいすのスタイル、大きさ、快適性からなるいす属性尺度を求めた。	椅子;人間工学;快適性;職材;材料	実験	男女被験者にモデル(役員、管理者、会議、サイド用)とカバー(布、ビニール)とが異なるいすに着座させ、温熱感覚、温熱快適性、およびいすのスタイル、大きさ、快適性からなるいす属性尺度を求めた。	温熱感覚は無影響、温熱快適性は布が大、スタイルは役員、管理者、会議、大きさは役員、快適性は役員、管理者、会議という知見について討議
59	OLESEN B W	99A0728890	OLESEN B W	Heizsysteme. Komfort und Energieverbrauch.	暖房システム 快適性とエネルギー消費	Installation DKZ Vol.119, No.3 Page.127-135 1999	暖房システムの相違による快適性、並びにエネルギー消費の比較は複雑で今まであまり行われなかった。天井暖房、床暖房、ラジエーター暖房、コンベクター暖房温風暖房などを比較した。これらの位置を変えた場合の上下の温度分布を比較した。	暖房装置;快適性;エネルギー消費;性能評価;温度分布	実験	暖房システムの相違による快適性、並びにエネルギー消費の比較は複雑で今まであまり行われなかった。天井暖房、床暖房、ラジエーター暖房、コンベクター暖房温風暖房などを比較した。これらの位置を変えた場合の上下の温度分布を比較した。	
60	OLESEN B W	95A0947815	小金井真, 河野仁志, OLESEN B W	床全面吹出型ディスプレイメント・ベンチレーションに関する実験的研究	床全面吹出型ディスプレイメント・ベンチレーションに関する実験的研究	空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集 Vol. No.Pt 3 Page.1101-1104 1995	ディスプレイメント・ベンチレーションシステム(DV)とは、床面近くの吹出口からやや低温の空気をゆっくり入れ、上部から空気を抜く換気方式である。この方式とMixing方式の比較実験を米国バージニア工科大で行った結果を報告した。	空調調和;換気;吹出;温熱環境;室内空気;換気効率;室内環境;室内空気汚染	実験	ディスプレイメント・ベンチレーションシステム(DV)とは、床面近くの吹出口からやや低温の空気をゆっくり入れ、上部から空気を抜く換気方式である。この方式とMixing方式の比較実験を米国バージニア工科大で行った結果を報告した。	室平均空気交換効率は126~145%であった

No	検索KW	JICST 番	Author	タイトル	タイトル	出典名	Abstract	KW	別	方法	結果
61	OLESEN B W	95A0556732	LIEDEL D F, OLESEN B W	Sinnvoller Einsatz von Fussbodenheizungen in Niedrigenergiehausern.	低エネルギー家屋における床暖房の有効な導入	Energieanwendung Vol.44, No.2 Page.44-49 1995	新しい断熱条件や暖房装置条件によりエネルギー消費を大幅に低減した低エネルギー家屋が導入されるが、この場合の床暖房のメリットを述べた。	床暖房;住宅暖房;省エネルギー;温度制御;室温;断熱構造			窓や壁の断熱効果向上で床と室内の温度差は小さく済む。太陽熱や人の存在で室内温度が上がった場合、この小温度差のお陰で床暖房に自己調節性が生じる。また床暖房は家ダニ排除に有効などのメリットも述べた
62	OLESEN B W	95A0072953	OLESEN B W	Fussbodenheizung auch im Niedrigenergiehaus sinnvoll. Behaglichkeit, Regelfaehigkeit, Energieausnutzung unter der Lupe.	低エネルギー家屋にも有効な床暖房 快適さ、規制能力、エネルギー利用の詳細観察	Waermetechnik Vol.39, No.11 Page.630,632,634-638,640-641 1994	暖房システムは反応時間だけでなく、環境の快適さ、制御システム・分配システム・エネルギー効率を全体的に評価すべきことを説明し、低エネルギー家屋の定義、室内環境の質、規制の権限、エネルギー利用について述べた	床暖房;省エネルギー;住宅;断熱構造;太陽熱利用;空気調和	理論		暖房システムは反応時間だけでなく、環境の快適さ、制御システム・分配システム・エネルギー効率を全体的に評価すべきことを説明し、低エネルギー家屋の定義、室内環境の質、規制の権限、エネルギー利用について述べた
63	OLESEN B W	85A0259423	OLESEN B W	Der Standort des Konvektors ist sehr entscheidend: Energieverbrauch und thermischer Komfort in einem durch unterschiedliche Methodenerwarmten Raum.	コンベクタの位置は大変重要である 種々の方法で加熱された部屋のエネルギー消費量と熱的快適性	Sanitaer + Heizungstechnik Vol.50, No.3 Page.237-243 1985	ある部屋を種々の方法で加熱して、エネルギー消費量と熱的快適性を実験的に調査した。	放熱器;暖房装置;エネルギー消費;快適性;温度;熱損失	実験	ある部屋を種々の方法で加熱して、エネルギー消費量と熱的快適性を実験的に調査した。諸物理量を測定して被験者を用いた試験を実施。デンマーク技術科学調査委員会が研究を行った。	窓面からや通風による熱損失の総量について、床暖房及び足元暖房の場合に最小、前方と両側の温風方式のコンベクタの場合に最大となり約10%の相異を確認した
64	BERGLUND L G	89A0411036	BERGLUND L G, FOBELETS A P R	Occupant acceptance of air motion and asymmetric radiation in neutral and cool environments.	熱的に中立な場合と寒い場合の居住者の気流と非対称放射の感覚	US DOE Rep Page.419-423 1987	冬期に断熱性の悪い壁面からの放射の影響を調べるため、人工気象室内で、気流温、平均放射温度、湿度を一定に保ちながら、風速、作用温度、壁面温度を変化させ、室内の被験者の感覚を申告形式で求めた。	空気分布;熱放射;温熱環境;冬;風速;感覚;非対称性;湿度	実験	冬期に断熱性の悪い壁面からの放射の影響を調べるため、人工気象室内で、気流温、平均放射温度、湿度を一定に保ちながら、風速、作用温度、壁面温度を変化させ、室内の被験者の感覚を申告形式で求めた。	作用温度が人体に及ぼす影響、ドラフトの感じ方と風速および非対称放射温度との関係を考察した
65	BERGLUND L G	87A0418431	BERGLUND L G, FOBELETS A P R	Subjective human response to low-level air currents and asymmetric radiation.	低レベル気流と不均斉ふく射に対する人間の主観的応答	ASHRAE Transactions (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) Vol.93, No.Pt 1 Page.497-523 1987	0.86cloの着衣状態50人に対して、冬期の室内条件を種々に変化させ、2時間室内にいた時の応答を調べた。気流は0.05~0.5m/s、ふく射温度を0~36.Fになるように変化させた結果、壁面からの低ふく射温度は空気温度を上げ、作用温度を高めること	気体流;流速;不均一性;熱放射;応答;衣服内気候;冬;室内環境;快適性;統計解析;湿度;温熱環境	実験	0.86cloの着衣状態50人に対して、冬期の室内条件を種々に変化させ、2時間室内にいた時の応答を調べた。気流は0.05~0.5m/s、ふく射温度を0~36.Fになるように変化させた。	結果、壁面からの低ふく射温度は空気温度を上げ、作用温度を高めることで補償される。居住者は0.25m/s以下、または18.F以下のふく射の不均斉に影響を受けない
66	BERGLUND L G	82A0023176	BERGLUND L G	Revised standards on thermal conditions for human occupancy.	人間居住のための熱的条件に関する改正規格	Habitat Int Vol.5, No.3/4 Page.525-532 1980	ASHRAE(米国暖冷房・空気調和技術者協会)の規程55g人間居住のための熱的環境条件.hは現在改正作業中で1980年に公表予定だが、改正規格は情報により豊富で一層柔軟性がある。	標準;作業環境;衣服;湿度;相対湿度;室内環境;快適性;作業;作業;気流			
67	SOMOGYI A	86A0011978	BANHIDI L J, BESNYOE J, SOMOGYI A, FABO L	Prediction of thermal comfort in a building during a cold spell.	寒冷時における建物内の熱的快適性の予測	Energy Build Vol.8, No.3 Page.175-181	外気温の設計値は極値ではないので、室内温度が設定値20.Cよりも低くなる。この暖房不足の熱的快適性に及ぼす影響の評価法を考案した。	気温;低温;快適性;ハンガリー;冬;予測;暖房	理論	外気温の設計値は極値ではないので、室内温度が設定値20.Cよりも低くなる。この暖房不足の熱的快適性に及ぼす影響の評価法を考案した。	予測平均申告PMVの絶対値と予測不満足度PPD20%を表わすPMV-0.8と0.8の間から外れる。PMVの積分値にて示すもので、典型的な寒冷出現と作業状態に対して、線図を作成し
68	非対称 温熱環境	95A0118843	GLUECK B	Zulaessige Strahlungstemperatur - Asymmetrie.	許容される非対称放射温度	Gesund Ing Haustech Bauphys Umwelttech Vol.115, No.6 Page.285-293 1994	ファンガー教授らは1985年に非対称の様々な放射温度と形態における被験者実験による熱的快適性を発表した。非対称放射温度における不満足率は世界的に広まりドイツの工業規格にもなった。この検証を行った。	熱放射;非対称性;許容量;湿度;快適性;温熱環境	理論	ファンガー教授らは1985年に非対称の様々な放射温度と形態における被験者実験による熱的快適性を発表した。非対称放射温度における不満足率は世界的に広まりドイツの工業規格にもなった。この検証を行った。	新たに暖房された壁と冷房された壁がある場合、暖房された壁で天井放射冷房が行われた場合について実験し、不満足率を求めた
69	非対称 温熱環境	92A0467469	MILONE A, GIUDICE G M I	Limiti del comfort su soggetti esposti a radiazione termica asimmetrica.	非対称熱ふく射に曝露した人の快適性の限界	Condizionamento Aria Riscaldamento Refrig Vol.36, No.5 Page.757-761 1992	事務室の雰囲気の快適性に関し、壁の温度が10°C程度異なり、ふく射が非対称になる時の快適性を解析した。	温熱環境;非対称性;熱放射;曝露;ヒト;快適性;事務室;壁;湿度;男性;女性;熱流束	理論	事務室の雰囲気の快適性に関し、壁の温度が10°C程度異なり、ふく射が非対称になる時の快適性を解析した。	年齢24-28歳の男、20-28歳の女を対象に、5、10、15、20°Cの温度差がある時の快適性の限界を調べた。15°Cの非対称があると、不快性が急増することが分かった。熱流束の差
70	非対称 温熱環境	89A0365899	LAKOMY T	Experimental results of an influence of air and radiant temperatures on men thermal sensations.	集合住宅における人間の熱感知に対する空気温度、ふく射温度の影響に関する実験成果	US DOE Rep Page.461-465 1987	72軒の代表的な集合住宅において、18~78才までの着席した72人の人を対象に熱的快適性を評価した。冬と夏に実験を行い、特に熱的に非対称な場合について考察を加えた。	住宅;温覚;快適性;温熱環境;室内環境;室温;熱放射	理論	72軒の代表的な集合住宅において、18~78才までの着席した72人の人を対象に熱的快適性を評価した。冬と夏に実験を行い、特に熱的に非対称な場合について考察を加えた。	実験結果として空気速度0.2m/s以下の場合の主観的溫度要因を使用した作用温度の計算方法を示した

【 堀越委員の報告 】

研究報告資料一覽

報告書のタイトル	出典名
1. The Influence of Asymmetric Thermal Radiation upon the Human Body JOINT MEETING CIB W17/77 "CONTROLLING INTERNAL ENVIRONMENT"	Sept. 18~20. 1985 BUDAPEST HUNGARY
2. Indication of the Effect of Asymmetric Thermal Radiation on the Human Physiological and Psychological Responses	p 188~193
3. 非対称および不均一熱放射環境の人体影響表現方法の研究	日本建築学会計画系論文報告集 第413号 1990年7月 p21~28
4. 床座人体における相互放射射を考慮した作用温度に関する研究	日本建築学会計画系論文集 第515号 1999年1月 p57~62
5. 床暖房時の気温と床温が胡座人体に及ぼす影響に関する研究	日本建築学会計画系論文集 第480号 1996年2月 p7~14
6. 熱放射源の位置が人体皮膚温・温冷感に及ぼす影響	人間と生活環境 3(1),29/37,1996
7. 床座時の人体による遮蔽を考慮した空間構成面間の形態係数に関する研究	日本建築学会計画系論文集 第497号 1997年7月 p33~38
8. 炬燵使用時における人体の熱的快適性の検討とその温熱効果の定量化	日本建築学会計画系論文集 第497号 1997年7月 p47~52
9. 炬燵探暖が人体に及ぼす熱的影響とその評価方法	日本建築学会計画系論文集 第497号 1997年7月 p39~45
10. 炬燵と電気カーペットの併用が人体に及ぼす影響と温熱的效果	日本建築学会計画系論文集 第515号 1999年1月 p63~68
11. 各種着衣条件下における立位姿勢の人体の投射面積率に及ぼす影響に関する研究	日本建築学会計画系論文集 第513号 1998年11月 p47~52
12. 建築・室内環境における熱的快適性の表現・評価に関する考察	人間と生活環境, 5(2), 139/146, 1998
13. 日本における建築・環境創造分野における人間-熱環境系研究の系譜と今後の課題	人間と生活環境, 1(1), 40 / 45, 1994
14. 日本における床暖房の人体生理・心理反応に及ぼす影響に関する研究の変遷	日本建築学会東海支部研究報告集 第37号 1999年2月
15. 気温のステップ変化時における人体の温冷感と快適感との関係に関する研究 —冬季・着衣男子の場合—	日生氣誌 25(2): 61~67, 1988
16. 冷房空間における気温と滞在時間の人体への影響に関する実験的研究	Ann. Physiol. Anthropol. 6(4): 2255~266, 1987
17. Evaluation and Prediction of the Influence of the Thermal Environment upon the Human Skin Temperatures	The Fourth International Symposium on the Use of Computers For Environmental Engineering Related to Buildings : 72~77
18. THERMAL SENSATION AND COMFORT : Responses of Human Skin Temperature and Thermal Sensation to Step of Air Temperature	J. therm. Biol. Vol.18, No. 5/6, pp.377~380, 1993

資料：不均一（非対称）環境および非定常状態における人体反応に関する研究（1999. 11. 26. HQL委員会資料）（開発2-1-2：当日配布）

本資料により当日研究概要のまとめを報告

【 磯田委員の報告 】 研究報告資料一覽

報告書のタイトル	出典名
1. 床暖房と温風吹き出し暖房の人体影響に関する研究	日本建築学会大会学術講演梗概集 (近畿) 1996.9. p.373~374
2. 温水床暖房の気温および床温の人体影響に関する研究	日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東) 1997.9. p.817~818
3. 温水床暖房の気温および床温の人体影響に関する研究 第2報 - 気温と床温の姿勢別許容温度の検討 -	日本建築学会大会学術講演梗概集 (九州) 1998.9. p.393~394
4. 夏季の床冷却時における姿勢の違いが人体に及ぼす影響に関する研究 第1報 - 平均皮膚温・快適感・温冷感の影響について -	空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集 1997.8. p.1089~1092 (東京)
5. 夏季の床冷却時における姿勢の違いが人体に及ぼす影響に関する研究 第2報 - 接触部位に及ぼす影響について -	空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集 1997.8. p.1093~1096 (東京)
6. 夏季の床冷却時における姿勢の違いが人体に及ぼす影響に関する研究 第3報 - 弱冷青年女子の場合 -	空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集 1998.5. p.1421~1424 (札幌)
7. 夏季の床冷却が人体に及ぼす影響に関する研究 第4報 - 壁冷却と併用した場合 -	空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集 1999.9. p.1509~1512 (富山)
8. 床暖房の人体皮膚温および温冷感に及ぼす影響について	ハウスクハマ研究ノート 第12号 1996.6. p.31~39
9. 床暖房温度の皮膚温および温熱的快適感に関する研究	家政学研究 1991.3. p.50~56
10. Influence of Floor Heating temperature on the Human body seated on the Floor - In the case of electric floor heating system - 床暖房温度の床座の人体に及ぼす影響に関する研究 (電気床暖房装置を使用した場合について)	日本建築学会計画系論文報告集 第417号 1990.11.p.19~27 Journal of Archit. Environ. Engng. AIJ, No.417, Nov. 1990
11. 夏季におけるスポット冷風の温熱的快適性に及ぼす影響に関する実験的研究	日本建築学会計画系論文報告集 第492号 1997.2. p.31~37
12. 夏季における好まれる気温の個人差に関する研究	

10. 3. 委員会の議事録

10. 3. 1. 動的温熱環境標準化技術審議委員会

(1) 第1回動的温熱環境標準化技術審議委員会の議事録

- 1) 開催日時 平成11年11月1日(月) 14時00分～16時00分
- 2) 開催場所 航空会館 8階 会議室
- 3) 出席者 栃原委員長 池田 磯田 澤田 澤地 竹森 都築 吉田 山崎各委員
オブザーバー：千野 桂 春日 福田 事務局：吉岡 大矢 渡辺
- 4) 議題 動的温熱環境標準化の進め方

【議事概要】

第1回委員会の議事次第、出席者座席表、資料一覧は別紙参照

1. 吉岡部長挨拶

人間の生活環境に関する ISO7730 は定常状態での評価法である。今回の事業は、人間感覚プロジェクトの成果(人体熱モデル)を活用し、変動、偏りの環境を適切に評価する方法について研究開発するものである。

事業を進めるに当たり審議委員会と開発委員会を設置し、開発委員会で討議した内容を今日の審議委員会で審議し、研究方向、標準化の方向を明確にして進めていく。

2. 千野室長挨拶(通産省生活産業局人間生活システム企画室)

大型プロジェクトの温熱快適性評価手法の研究成果を活用し、国際標準に日本から提案するこの活動に期待している。

人間感覚プロジェクトは比較的応用に近い研究であり、通産省内部でも周りの関心が高い研究であった。今度の標準化研究は、資源エネルギー庁も関心が深く興味を持っている。マスコミからも質問が多かった。ますます国際標準に日本から提案されていくことが望ましい。

3. 委員紹介と委員長選任

九州芸術工科大学栃原教授を委員長に選任し、各委員の自己紹介を実施した。(主な研究等)

栃原委員長：ISO TC159/SC5/WG5の国内委員会の主査を担当している。

池田委員：室内環境汚染問題(シックハウス)の研究、温熱環境/空気環境の関係が考えられる。

磯田委員：20年前前から温熱環境、床暖房等の住宅の温熱環境と省エネルギーの研究を実施。

澤田委員：労働衛生の研究、作業現場の温熱環境は大きな問題では無いが新しい動きもある。

澤地委員：住宅/冬季の温熱環境の研究、特に換気した場合の上下温度分布の研究等を実施。

竹森委員：人間感覚プロジェクトで人体熱モデルを開発。非定常・不均一でどれだけ活用できるか検討したい。

都筑委員 : 住宅の熱環境、幼児の熱感覚、高齢者の熱感覚等を中心に研究。
吉田委員 : 熱環境設備メーカ、ISO 159/SC5/WG1の国内委員会の事務局を担当。
山崎委員 : 温熱環境、光環境の研究を実施
オブザーバー

桂 : シミュレーション関連の業務を担当、今回は熱モデルのシミュレーションを実施。
春日 : NEDO 萩山室長の代理 : 本事業は、平成10年に13テーマでスタートし、11年度に新規10テーマを採択した。補正分を加え現在30数テーマ実施中
福田 : 日本規格協会山崎部長の代理 : 標準化に関して関連規格資料等で協力可能。

5. 議事 ~動的温熱環境標準化開発事業の進め方について~

- 1) 委託事業の概要について (資料 : 審議 1-1)
- 2) 委員会の概要について (資料 : 審議 1-2)
- 3) 検討課題と進め方 (資料 : 審議 1-3 国際標準への対応)

以上の議題について事務局より説明を行い、質疑応答、今後の進め方について討議した。

4) 討議の要点

栃原委員長より、審議 1-4 参考資料 1~5 を使って ISO の動向について、以下の説明がなされた。

ISO 改定の流れは大きく3つあり、概略次のような動きをしてきている。

その1 : 7730 の流れ

- ・ ISO-7730 (参考資料-1) では、項目 5 の Draught risk (資料-5 頁)、Annex A.1.1、A.1.2. (資料-7 頁) で不均一について記載している。
- ・ 規格は5年毎に再評価の投票を実施。そのための資料として1999年6月に N341 (参考-2) が、提案され、今審議に付されている。
- ・ この N341 で問題なのは、項目 5-1~5-4 (不均一)、項目 7-1~7-3 (非定常) の評価基準として盛り込もうとしている点。
- ・ この項目に対して意見が求められている。

その2 : 床暖房の流れ

- ・ 接触温冷感 (資料-3) についての改定の流れがあり、CD13732 として提案されている。

その3 : 車両の温熱環境の流れ

- ・ NP14505 として1999年6月に提案された。対象を車内空間に限定し温熱環境を ET という指標で表すこと、被験者に代わりサーマルマネキンで評価する方法をとっている。ヨーロッパの ISO に対する取り組みは、ISO 7933 の改定に見られるように、基準改定のために EU 全体のプロジェクトを作り進める動きがある。同様に NP14505 では関係企業も含めた活動となってきている。

上記3つの流れに関連し、1999年6月に開催された TC159/SC5/WG1 の国際委

員会の概要が、出席された澤田委員より報告された。(参考-4)

この中で項目 14 に NP14505、項目 15 で N3 4 1 の改定の提案が記録されている。

N3 4 1 は、ドイツから寒冷環境での評価について提案があり再評価される予定。

澤田委員の印象：

- ・ Olesen 氏が単独で提案しているもので、独自の研究を行っていない。デンマーク工科大学の博士論文を基に作成していようだ。
- ・ 対案を考える場合、類似の研究データは相互に情報交換し、国際的な認識にするのが良い。
- ・ SC5 の Chairman の Ken Parsons が、ISO は CEN 諸国が中心であり、Far East の提案は歓迎するとの発言もあり、日本の活動をフィードバックし議論すれば好印象となるであろう。

各委員より以下の内容の意見が出された。

(1)ISO 7730、N3 4 1 について

- ・ 米国で取られたデータも参考にして Fanger が提案したものであるが、米国としては ISO の基準をそのまま ASHRAE にしたくないとの考えがある。
- ・ PMV インデックスとして +3 から -3 までで 7 段階に分けられているが、申告のスケールとしては、冬季はやや暖かいが快適であり、やや涼しいが気持ちいいとはなりえない。日本人の温度に対する感覚は敏感な感じがし、西欧とは違う感じである。また個人差があり、日本人の感覚では、快適の温度領域が、23℃～31℃までの範囲にある。不均一・非定常では日本人のほうが感じやすく西洋ではあまり反応が無いように思われる。
- ・ 日本では、快適性を評価する場合、湿度の問題を無視することが出来ない。ISO では入っていないけれど、ASHRAE では湿度が入っている。この点は改定の項目として考えられる。
- ・ N3 4 1 の図-4 (床暖房)、図-5 (輻射熱) を用いることについて、建築分野では日本の状況と違うため直接利用すると実態とずれてくる。
- ・ 一般に冷房をよく使っている人は比較的低い温度で快適と感じ、冷え性の人は 30℃位の高い温度で適温と感じている。
- ・ ISO の中に地域を認める表現も必要でないか。そういう面で今度の被験者実験では日本人だけを対象とするのか。・・・対象とするのは日本人だけである。
- ・ 定常状態では差が無い。例えば高齢者でも若者でも定常状態では快適さに差は無いが、スタティックな状況では明らかに差が出てくる。従って、動的温熱を考える場合、新しいデータを出す必要がある。
- ・ 不均一・非定常の言葉の定義、意味をしっかりと整理すること。特に不均一と非定常を分けたほうが良い。混合状態を考えるのは無理ではないか。
- ・ N3 4 1 の 25 頁で、夏季の建物空間の温度基準として 24.5℃は低すぎるのでは。日本では 28℃を省エネ基準としている現状である。
- ・ 同じように、この表の基準には年齢の記述が無く代謝についての考え方が不足している。

- ・PPDが6%、10%はかなり厳しい数値である。中庸温度の環境で高齢者を評価したが差が無く、感覚だけで評価するのは難しい。
熱収支だけで説明のつかないところをどう説明つけるか、これが出来なければ代謝の少ない子供などには厳しい条件になる。
- ・項目5.1の Draught Risk についても、誤差の多いものである。風速計の指向性、乱気流挙動、計測器の応答性、感度など測定機器自体の問題が入ってくる。
このままで基準として利用するのがいいかどうか。
- ・日本人のデータで議論できるような研究を加え、モデルだけでは不足であり、部位の温熱感受性の研究などを加えながら進めるのが良い。
- ・温熱環境を考える場合、光、音など五感に訴える環境のシーンを考えるべきではないか。シーンの違いが作業量の違いに現れないか。
即ち、計測できない雰囲気的なものをシーンとして考える必要があるのでは。他の因子との関係はほかのプロジェクトの検討課題として実施しようと言う動きがある。
- ・シーンの違いを分析すると、個体差のほうが大きな影響も持っているはずである。
- ・欧米の空調の利いた住宅と、アジアの住宅では大きな違いがある。アジアの住宅では上下温度差が3℃以内に収めることは至難の業である。
アジアのニーズは、ISOの欧米の感覚とは、生活ニーズに差がある。

5) 今後の展開のために実施すべき事項

(1) 改定案 N3 4 1 (審議 1-4 参考資料-2) について

項目5: Local thermal discomfort 及び項目7: Non-steady state thermal environments を対象に検討を行う。

背景、日本のデータ等を整理し問題点を明確にし、具体的なデータを対応させる。

- ・特に、上下温度の問題、床暖房等は、日本、中国、韓国などの生活様式に係わるものであり、日本の生活様式に合った基準にする必要がある。
一度提案されたものは新しい委員会に提案し議論することは出来ず、これまでの委員会で討議することになる。
- ・Transient: 高温多湿における冷房、涼しさのための通風等、日本ではよく考えられることが考慮されていない。また夏場の扇風機、冬場の日照なども同じ温度でも違った感覚をもつはず。
- ・湿度の問題として、冬季の過乾燥がある。航空機の中はその典型例である。
ASHRAE Journal(10.1999)では航空機内の湿度について特集を組んでいる。具体的には皮膚のあれ等がありそうで工学的な調査が必要といわれている。
- ・乾燥の問題として、トランジェントヒートロードがある。
乾燥した衣服を着用した状態で室内に入ると、衣服の熱吸収により瞬間的に数100wの熱を出すことが見られる。(通常人間一人が在室すると100w)

(2)不均一・非定常の定義

- ・定義の整理を行って進める。特に、省エネルギーを目的とするものでない。部屋の移動を考えたとき、暑いところから寒いところに入ったときの状況を言う。連続的な変化でなく不連続な変化をさすものである。もちろん両方の部屋はコントロールされた状況にあるものを対象とする。
- ・コントロールについては、
デンマークでは：連続的に空調された部屋を基準としており、**International Temperature Control** である。
オーストラリア、ASHRAE では：**Adaptive Control** であり、人間が許容できる幅が広い。

(3)開発委員会での考え方の確認

すでに進め方について説明されてきたが、

- ①Olesen 氏の論文を集める。
- ②関係する日本の論文を集め整理する。
- ③日本、アジアが経験しやすい内容を規格に盛り込む
そのために、サーマルマネキン、熱モデルを評価方法として取り組む。
最終的には高温・高湿を考えた提案にする。

(4)ISO への提案について

ISO への対案は人間工学会で審議すべきものではないか。当然であり人間工学会の意見を盛り込むのは正式の手続き手順をへて行ってゆく。

国内委員会の委員と重複しているので連携を密にし話してゆく。

以上

(2) 第2回動的温熱環境標準化技術審議委員会の議事録

- 1) 開催日時 平成12年3月13日(月) 14時00分～14時30分
- 2) 開催場所 蔵前工業会館 8階 会議室
- 3) 出席者 栃原委員長 池田 磯田 澤田 竹森 都築 吉田 山崎各委員
オブザーバー：千野 高橋 新谷 桂 長野 事務局：吉岡 大矢 渡辺
- 4) 議題 平成11年度板事業活動のまとめ

【議事概要】

第2回委員会の議事次第、出席者座席表、資料一覧は別紙参照

栃原委員長の司会で委員会を開催した。事務局より前回の議事録を配布し訂正のある場合は後日事務局に報告することとした。

1. 研究成果の概要

事務局より資料に基づき平成11年度の研究の概要について報告した。

3月8日に日本規格協会が主催して、関連10事業の進捗状況連絡会が開催されたが、その折りに説明用に作成した、各研究項目の進捗状況報告書に基づき説明。

質疑の後了承された。

2. 委員会活動のまとめ

動的温熱環境標準化技術審議委員会並びに動的温熱環境標準化技術開発委員会の開催状況について、開催日時、議題、審議状況と結果についてまとめた資料にて事務局より報告した。

特に問題もなく了承された。

3. 平成12年度の事業計画について

事務局より資料にて、平成12年度の研究項目別計画の素案を説明した。

平成11年度は実質6ヶ月の期間しかなく、計画の基礎を固めた状況であり、12年度はこれらの基礎の上に立って、実質的な計測評価を行い、評価技術の確立を図る年であると認識している点を説明し了承された。

以上

(注)

委員会は以上で終了し、引き続き海外研究者として招聘した Olesen 博士の講演と意見交換会を開催した。

この講演・意見交換会には委員会に出席した方々のほかに、委員の紹介、オルセン氏の紹介で出席された方もある。

10. 3. 2. 動的温熱環境標準化技術開発委員会

(1) 第1回動的温熱環境標準化技術開発委員会の議事録

- 1) 開催日時 平成11年9月25日(土) 14:00~17:00
- 2) 開催場所 新虎ノ門実業会館 9階 会議室
- 3) 出席者 栃原委員長 堀越 都築各委員 オブザーバー:新谷
事務局:吉岡 大矢 渡辺
- 4) 議題 動的温熱環境標準化の進め方

【議事概要】

第1回委員会の議事次第、出席者座席表、資料一覧は別紙参照

1. 吉岡部長挨拶

欧州では、ISOを産業活性化策の1つとして政策的に進めているように見られる。今回の事業は、人間感覚プロジェクトの成果を活用するものであり、ISO化するまでの路線を引けるようにしたい。

2. 事業計画の概要(資料-1):資料に基づき概要説明(大矢課長)

3. 委員の紹介、委員長の選任:委員名簿に基づき紹介、委員長に栃原教授を選任

4. 動的温熱環境標準化の進め方について(栃原委員長)

1)TC-159の動向の概要(参考資料:人間工学ISO/JIS規格便覧)

①SC5は、建築、環境などの他の分野と密接な関係にあり各分野の専門家が委員に就任している。

②ISOに新しい分野を作り出すのは難しい。ISO7730の最後は、デンマーク工科大学グループがフォローしており、これを利用するのが現実的でISOに組み込み易い。

③不均一・温熱環境の動き

・ISOになくて、CDになっているもの(CD-13732)があり、接触温冷感の評価法を作る動きである。

・7730の改訂が進められている。(資料-4、N-341はオルセン氏からの提案)かなりの不均一・非定常に係わる項目を入れようとしている。

④車両の室内温熱環境(参考資料p-57)はデータ不足の部分があるが、サーマルマネキンで評価するドラフトが6月に提案された。

以上のように、WG1では、不均一・非定常について色々検討され始め、今、検討しているところに日本から新規ISOを提案するより、この動きを利用して日本に適した評価法を組み込んで行くのが望ましい。

2)ISOに対する取り組みについて

①あまり範囲を広げずに

・人体熱モデル:上下温度すなわち床暖房の生活に於ける快適性。特に日本、中国、韓国、イラン(炬燵使用)などの、床に寝ころぶ、座る習慣のある生活を対象に。

・マネキン:不均一な生活環境の評価

以上の方向についてどのように考えるか。

- ②不均一・非定常環境についてのオルセン氏の提案（N3 4 1）をふまえてどのように取り組むか討議して欲しい。
- ③具体的には、N3 4 1の5項～7項の取り組みについてどう考えるか。

3)討議の概要（資料-4を重点に）

①具体的な ISO、CD などについて

- ・5.4項について、建築分野では使われていないし、無視している。被服の影響があり違ってくるはず。図5のデータのばらつきがわからず、現実としては使っていない。
- ・床暖房に関する5.3項の図4も座っている場合と、いすの生活では違ってくるし、接触暖房と輻射暖房の両方がある。これらをクリアにすべきである。
- ・新しい項目として7項が追加されている。非定常温熱環境そのものであるが、データが無く、単に空調の制御の話である。

TC-159から考えれば、当然生理学的な面が加えられるべきである。

- ・7.3項のトランジェントでは、外部から空調された部屋に入ったときの感覚はばらつき、部屋から外に出るときはばらつきが少ない。個人によって違う。日本の夏ではまた違った感覚があるはずである。

30分のデータの根拠、並びにこれで十分か検討すべき内容である。この部分は、データもない上、ルセンも自信をもてない部分である。データを明確にすれば取り込める部分である。

- ・しかし、建築の面から見ると温熱環境はまだ日本国内でも合意を得られていない部分である。建築では快適性の規格は関係が無い。

②委員会の進め方について

- ・ここで討論している事項は、ISO-Xとして制定しようとするのか。7730に組み入れるためのどうすべきか考えるのか。
- ・ISOには、測定機器の汎用性のあるものが必要。特定の機器を指定しているものもある。
- ・基本戦略として、ISOの不十分なところのデータは追加して新しくする。また、データのないものは追加する。既に、研究が多数なされておりあるものは活用していく。
- ・7730の改定案としてN3 4 1が提案されているが、ISOの悪い点は文献主義でない、論理的におかしな部分もある。全てがヨーロッパ基準である。日本、アジアの特性に合った点を組み入れる。
- ・不均一・非定常に関してルセンに対抗して、新しい提案をして行くのか。関係する日本の研究者から意見を聞きたい。特に、問題となる点はどこか、シンポジウムを開き研究者の意見を聞きたい。

③結論

- ・各種の討議の結果、本委員会として既に、不均一・非定常について改訂が提案されてきており、この委員会として新たなISOを提案するのではなく、以下の方向で進めてゆく。

- (a)非定常・不均一の現状についてオルセン氏の提案を念頭に置き、これでよいのか、関係する日本の論文について、調査整理する。
- (b)あらためて実験を必要とする項目は何か整理する。
- (c)これらの整理したものをベースにオルセン氏を招聘し、委員会で意見交換・討論をする。
- (d)専門の学会でシンポジウムを開き広く意見を聞くと共に、ISO化について関係者に知ってもらう。
- (e)床暖房についての対応：日本の内部でまともでないため標準化にはきついかも。今後検討とする。

4. 今後のスケジュール

動的温熱環境標準化技術開発委員会の開催スケジュールは、次の通りとする。

- 1)第2回委員会の開催・・・11月26日(金)午後14:00～17:00
- 2)第3回委員会の開催・・・平成12年2月14日(月)午後14:00～17:00
- 3)オルセン氏の招聘予定・・・平成12年3月13(月)／14(火) 第2回審議委員会を同時開催

以上

(2) 第2回動的温熱環境標準化技術開発委員会の議事録

- 1) 開催日時 平成11年11月26日(金) 14:00~17:00
- 2) 開催場所 新虎ノ門実業会館 7階 会議室
- 3) 出席者 栃原委員長 堀越 磯田 竹森 都築各委員
ワグナー：千野 高橋 新谷 事務局：大矢 渡辺
- 4) 議題 不均一・非正常関連研究の概要の報告(各委員)他

【議事概要】

第2回委員会の議事次第、出席者座席表、資料一覧は別紙参照

栃原委員長の司会で、議事次第により進行した。委員長の指示で事務局より前回の議事録の報告を行い、修正のある場合は事務局にもうしでることで承認された。

1. 不均一・非正常関連研究の報告

1) 堀越委員の報告(名古屋工業大学 大学院 教授)

- ・事前配布した開発2-1の資料、並びに当日配布された不均一(非対称)環境および非正常状態における人体反応に関する研究資料をもとに報告が行われた。

報告資料では、人間にとっての環境の不均一性について検討し、①上下温度分布、②不均一・方向性のある気流と気温、③熱放射非対称性・不均一性、④床暖房の伝達・放射、⑤炬燵採暖による局所加温の影響など、8項目について具体的に報告された。

特に資料No14については関連する報告書を研究者が同じ見方でまとめたものであり有効に利用出来る資料である。

2) 磯田委員の報告(奈良女子大学 大学院 教授)

- ・当日配布された開発2-2の資料に基づき研究の概要報告がなされた。

床暖房と温風吹き出し暖房の人体への影響、床暖房の気温および床温の人体への影響、特に姿勢別の許容温度の検討及び夏期の床冷却時の皮膚温、人間の快適感、接触部位への影響、時間的非正常性の問題など12件の報告書についての報告がなされた。

報告の中で、ISOの上下温度差が3℃とあることに対して、これでよいのか。また床暖房時の温度差が日本と韓国では違いがある(韓国の方が床温度が高い)実際どれくらいが良いのか。非正常の場合、30分がどれくらいの意味を持つかなどいくつかの問題点が指摘された。(堀越委員)

床暖房についてISOでは18℃~29℃とあり、実態として24℃以下では不快になると例もある。またISOではPPD○%で快適、不快などの表示をするが、姿勢(椅子の生活、床座り)によって熱伝導が異なるので、PPDに対して対応できるのではないか。

一方で、床の加熱方式で違いがあり熱モデルでシミュレーションできないか検討する価値がある等の意見が出された。(磯田委員)

3) 結論として

(1)ISO改訂の提案に対する取り組みについて

開発 2-3 について、先に第 3 回国際サーマルマネキン評価会議に参加し、その後 ISO/TC 159/SC5 の主査と、意見交換した結果に基づき、7730 の改定案 N341 について、制定の根拠となった技術的な背景について以下の報告があった。(栃原委員長)

- ①上下温度差、床暖房の項目については技術的な検討は可成り足りない。日本の生活形態が異なることも含め新しいデータを出してほしい。・・・日本の提案が可能かもしれない
- ②Draught はデータが集まっている。ドイツでは多数のデータがあり新しいプロポーザが来ている。
- ③Radiant：データが少ない。データを出せば考慮されるだろう。
- ④非定常環境：特にデータはない。他の人から借りたものである。
- ⑤Transeints：全く。データがない

以上の内容にもとづき、ISO 7730 の改訂提案、N341 について以下の項目を優先的に検討することとした。今回の報告内容を参考にして、次回までに問題点などの第 1 次案をまとめることとした。

- ①N341 の 5. 2 項目
- ②N341 の 5. 3 項目
- ③N341 の 7. 3 項目

(2)ISO 改訂の提案の活動計画について

開発 2-3 の活動計画素案について討議を行い、12 年度に関係学会と連携してシンポジウムの開催について検討する。

本事業の終了の翌年度に第 10 回国際環境人間工学会が日本（九州芸術工科大学）で開催される。この機会を使い改定案についての理解を深めるよう計画する。

2. オルセン氏の招聘について

11 月中旬にオルセン氏が日本を訪問した。その折りに栃原先生が面談し、3 月 13 日に日本に招聘し、講演と意見交換を行うことへの了解をえた旨の報告があった。

尚、一般公募で参加募集は行わないが、委員の関係者の紹介で参加者を募集することとした。

3. 今後のスケジュールについて

開発 2-4 の資料に基づき、本年度終了までの実施すべき事項、成果報告書の作成の考え方を説明し了承された。

以上

(3) 第3回動的温熱環境標準化技術開発委員会の議事録

- 1) 開催日時 平成12年2月14日(月) 14:00~17:00
- 2) 開催場所 新虎ノ門実業会館 7階 会議室
- 3) 出席者 栃原委員長 堀越 磯田 竹森 都築各委員
ワザバー:千野 高橋 新谷 桂 長野 事務局:吉岡 大矢 渡辺
- 4) 議題 不均一・非定常関連研究のまとめ

【議事概要】

第3回委員会の議事次第、出席者座席表、資料一覧は別紙参照

栃原委員長の司会で、議事次第により進行した。委員長の指示で事務局より前回の議事録の報告を行い修正のある場合は事務局に連絡することで承認された。

1. 不均一・非定常関連研究のまとめについて

1) 堀越委員の報告(名古屋工業大学 大学院 教授)

- ・当日配布された資料(開発3-1-1とする)により説明がなされた。

不均一・非定常に関する研究報告について1932年 Vernon.H.M の木綿わたを詰めたクロス張りグローブ温度計の表面温度測定と被験者の頬の皮膚温との比較の研究から最近の研究まで、研究のエポックとなった30報告について、研究の種別、方法、結果の概要をまとめ報告された。

1980, 1985年の Fanger の報告が現在の ISO 7730 の基礎になるものであり、これに対抗した研究は今のところ無いようである。伊藤先生の報告を解析することで少しは可能性があるかとも考えられる。

2) 磯田委員の報告(奈良女子大学 大学院 教授)

- ・当日配布された資料(開発3-1-2とする)に基づき研究の概要報告がなされた。

床暖房における床温度検討での問題事項について、表面温度の測定方法、被験者の状態、評価方法等についての説明された。研究報告書を考えるとき改めて注意すべき点である。

- ・第2回委員会で堀越委員から報告された「日本における床暖房の人体生理・心理反応に及ぼす影響に関する研究の変遷」に記述された内容と同じ視点で、関係する研究を同一グラフ上にプロットし、日本人の床暖房における快適感を与える最低温度を検討し報告された。どのデータでも共通して快適と言える範囲は、24℃~30℃である。

約24℃は、ISO 7730に示されている19℃よりかなり高いところにある。すなわち床座の生活と靴を履き椅子の生活との違いかとも考えられる。

この結果からも、快適な温度範囲について少し高めに移動して提案する価値はありそうである。

3) 栃原委員長の報告(九州芸術工科大学 教授)

非定常温熱環境の基準値の考え方について説明がなされた。

人体に及ぼす温熱環境要素として、気温・湿度・気流・放射の環境側の要素と、着衣量・作業量の人体側の要素がある。今回は、温度の要素について、気温変化による非定常温熱環境評価の既往研究をまとめて報告された。

2. 海外の関連技術調査について (㈱関西新技術研究所 桂主任の報告)

動的温熱環境に関する堀越委員、磯田委員のこれまでの報告の中から、不均一・非定常、床暖房等の温熱環境に関するキーワードを調査し、JICSTのJOISを用いて検索を行った。検索の中からそのアブストラクトより重要な報告書約70件について一覧表にまとめ報告された。本調査一覧については関係委員に報告し、希望の文献があればそれに答えることが了承された。

3. 研究の進捗状況と成果報告書について

研究報告書の目次、その他事務局より報告した。
各委員の担当については了承された。

4. Olesen 氏の招聘について

事務局より3月13日に開催する、第2回動的温熱環境標準化技術審議委員会と同時に、オルセン氏の講演会と意見交換会の議事次第を説明し、了承された。
本研究プロジェクトの考え方を柘原委員長から報告してもらい、その後オルセン氏の講演、意見交換会とする。
尚、講演は英語で行うが、質疑・意見交換の場合は日本語での意見もOKとするため、通訳をつけることが提案され了承された。

以上

10.4. その他

平成12年3月13日(月)、東京都港区 蔵前工業会館において第2回動的温熱環境標準化技術審議委員会を開催した。

委員会終了後、同会場にて ISO/TC159/SC5/WG1の Convenorである Olesen 博士を招いて講演会、意見交換会を開催した。

Olesen 博士の講演内容を録音し日本語に訳したものを以下に掲載する。

10.4.1. オルセン博士の講演

(栃原) それでは、オルセン博士に60分ほどお話を頂きます。

(オルセン) ご紹介ありがとうございます。もう一度日本に来ることができ、光栄に思います。私が、よく存じ上げている方もいれば、初めてお会いする方もいらっしゃると思います。本日お話しするのは、温熱環境の国際基準の進展です。更に多くの研究が必要とされている分野に焦点を当ててお話しします。各国の温度環境に関する研究の動向についても少しお話しします。

この温熱環境の国際基準化の活動は、ISO Committee が行っています。Committee159 Ergonomics (人間工学) の下に physical environment の sub-committee がありその下に温度環境に関する作業部会の working group 1 があります。私はこの作業部会議長です。この作業部会が始まったのは1978年ごろだと思います。この作業部会から初めての基準が出版されたのが、82年ごろだったと思います。現在までに10から15ぐらいのドキュメントを発表したと思います。メンバーの大半が欧州各国の出身で、欧州のほとんどの国からメンバーが参加しています。カナダ、アメリカ、日本からのメンバーもいます。日本は、85年ごろから参加したと思います。世界の多くの地域をカバーしています。

また、この委員会で作成される基準は欧州各国の基準となります。CEN と呼ばれる欧州の基準があり、ISO があります。多くの場合、この二者が綿密に協力し作業の重複を避けようとします。我々の作業部会は CEN TC122 (人間工学) と共同で作業を行っています。すべての活動は ISO レベルで行われていますが、パブリックレビューや vote の際には、ISO 基準と欧州基準として同時に発表されます。ですから、我々が作成する基準のほとんどが、ISO、EN、数字という並びになっています。

欧州の EN 基準の方が、ISO 基準に比べ強い影響力を持ちます。欧州では、EN 基準がある場合には、任意の書類であり、法律の一部でなければならぬというわけではありませんが、それを各国の国家レベルでの基準として用いなければなりません。ISO 基準の場合には、国家レベルでの基準としてそれを用いることは必須ではありませんし、各国で異なる基準を設けることもでき

ます。ですから、この ISO の作業部会で行っている活動は、欧州の国々の国家的な基準を作る作業といえ、欧州の状況に大きな影響をもちます。

では、それぞれの相互関係についてお話します。我々は温度環境の全域をカバーしております。極端な環境 (extreme environment) の分野では、暖かい環境 (hot environment) の実験的および分析的な評価の方法と基準の策定、10 度以下の冷たい環境 (cold environment) と屋外労働環境についても活動を行っています。基準の大半がストレス評価の方法ですが、生理学的測定による負担 (strain) 測定の方法もあります。

そして、補助的基準 (supporting standard) という基準群があります。ほかの基準を使用する際に必要な基本的情報のための基準です。最終的に、DIS 基準と呼ばれているかは定かではありませんが、シンボルとユニット定義に関する基準です。たとえば、皆様がこの (温度環境の) 問題について、論文を著される場合には、この基準で示されているものと同じシンボルとユニットを用いて、他の国の論文も世界的に理解できるようにする必要があります。我々の補助的基準には着衣による断熱効果、活動レベル、環境の測定方法などがあります。また、主観的評価の利用方法に関する基準もあります。この基準は快適性を評価する際には非常に重要です。熱によるストレスや寒さによるストレスの場合には、ストレスを生理学的に測定することが可能です。しかし、快適性の測定の場合には、快適性を測定できる体の部位を探し出すことは難しく被験者に聞かなければなりません。ですから、ある研究機関の研究と他の研究機関のものを比較するためには、質問内容の基準化を行わなければなりません。質問方法によって、答が変わってしまうことがあるからです。ですから、この質問内容の基準化も重要です。

栃原さんのお話にもありましたが、最近の新しい作業項目についてお話いたします。冷たい表面に触れたときの影響です。いすや机などの適度な温度の表面に接触した際の影響に関する基準は発表され、コメントを受けています。しかし、これは基準として出されるのではなく、technical report (技術報告) として出されます。それは、基準とするには情報量が十分でないと考えているからです。しかし、このような情報は重要であると考え、技術報告として出し、もっと情報が集まれば数年後には基準を作成することができます。我々が作っているドキュメントがすべて最終的な基準になるわけではありません。

また、日本の発案で障害者や高齢者など特別な要求事項を持つ人への基準の応用を検討しています。これも、コメントを受けています。また、もうひとつ重要な作業項目は subcommittee 5 のレベルで行われている環境と音、照明、空気の質の相互作用、複合影響です。ここでも、基準を作るのは難しくもっと多くの情報が必要です。我々の作業項目として活動を開始いたしました。

それでは、基準 7730 についての最近の進展についてお話します。この基準は温度環境の快適性に関するものです。今までの研究を省みながら、どこに更なる研究の必要があるのかを示したいと思います。この基準、7730 は我々が作成した基準のなかで最もよく用いられているものだと思います。

います。欧州だけでなく米国、日本でも論文等に数多く参照されています。多くのコンサルティング・エンジニアらがこの基準を使用しています。研究者のためだけでなく、コンサルティング・エンジニアらのための基準でもあります。コンサルティング・エンジニアらは設計にこの基準を使用しています。ビルの性能評価を委託された際には、基準 7730 のパラメータを満たしているかを確認して性能評価を行います。新製品の評価に使用できますし、労働環境に対して不満が出たときに、基準による推奨される環境との比較を行うためにこの基準を利用します。今まで、この基準は主に快適性の指標、皆様がよくご存知の PMV や PPD などの指標の定義に用いられてきました。局所的な温度不快性や温度の非対称な環境についての情報も一部ありますが、主目的は指標の定義と計算方法にあります。

ISO 基準の一般的な考え方は、方法の基準化を行うことであり、限界を設けることではありません。日本やドイツで室温が何度以上、何度以下であるべきかというような限界を設けることは、ISO の仕事ではありません。しかし、室温の違いによる影響を評価する方法はあるはずです。ですから、要求事項がある場合には、附則にします。各国政府が独自の要求事項を設定することができますが、その要求事項を明確に述べるために使う指標やパラメータは同じものでなければなりません。

適度な温度環境に関連し、長期的影響の評価という作業項目があります。たとえば、夏の室温が 26 度を上回らない空調システムを作る場合に、決して 26 度を上回らないということであれば非常に大規模なシステムが必要です。外が非常に暑い数時間の間室温が 26 度を上回ってもかまわないと考えることも必要でしょう。我々は、要求されている室温より上下した場合の長期的影響を評価する方法を開発しようとしています。また、乗物内の特別な環境の評価も開始しました。パラメータは同じですが、乗物内という非常に閉鎖的な環境で、室内に比べ、非常に非定常かつ過渡的な温度変化に曝露されます。

ISO7730 では、どのようなパラメータが取り扱われているのでしょうか。ここでは、全体的な温度快適性と局所的な温度不快性、つまり体の一部分が異なる温度のパラメータに曝露した場合の状態を話題にしています。全体的な温度快適性については、PMV や PPD などを利用して環境の良し悪しを定義できます。そして、それを効果温度という形で出します。局所的な温度不快性については、放射温度非対称、ドラフト、垂直気温差、床表面温度の 4 つのパラメータが関係します。現在の改訂作業の計画としては、局所的な温度不快性についての情報をより多く規格に含めることです。ISO 規格の場合には、規格の変更は常に可能です。5 年ごとに規格の改訂が必要かどうかを議論しなければなりません。ISO 加盟国が賛成すれば、改訂が行われることとなります。しかし、その規格に関して重要な新素材がある場合には、早期改訂を行うこともできます。迅速に取り込みたい事項がある場合には、修正を行うこともできます。その場合には附則にどの修正で何が変更されたかを明記します。5 年ごとの改訂に固執する必要はありません。改訂が必要であれば、もっと早く改訂を行うこともできます。来年の 5 月に会議が行われますが、その会議において改訂案を出しコメントを頂く予定です。今、新しい研究を始めなければ、今回の改訂に間に合わない

でしょうが、数年後には新たな改訂がありますので、そこに織り込むこともできます。皆様のよう
に、研究期間が半年と決まっているのではなく、適切な研究を行い、その成果を織り込むこと
が重要です。規格の改訂は常に可能です。

全体温度快適性については、着衣、気温、平均放射気温、気流、湿度などについて活動してい
ます。全体的な快適性は、指標として使用することがほとんどですが、効果温度で何度に相当す
るかを計算するためにも使われます。PMV 指標による数値がこのスライドに示されていますが、
このスケールに照らし合わせることで、環境の良し悪しがわかり、環境の質を表現できます。こ
れは、局所的な影響、非対象性を評価するための重要な情報でもあります。ここで、環境の質は
あるパラメータについて不満足な人の数ということが出来ます。また、全体温度快適性の場合に
は、暑くも寒くもない、中立と感じる人が平均的であったとしても、不満足な人はいます。これ
が、温度環境の規格化に関しての大きな課題と問題を示しています。すべての人を満足させる要
求事項を見出すことは、個人差が非常に大きく、難しいのです。ビルや空調システムの設計者は、
もちろん部屋にいるすべての人を満足させたいと考えますが、個人差が大きく不可能です。です
から、最適な策を見出し、それがどれほどよいものかを考えなければなりません。様々なパラメ
ータ、たとえば何人の人が不満に感じるかななどを定義できれば、すばらしいことだと思います。

全体的温度環境については、不満を感じる人数を知るためには、着衣と活動と気温との関係を理
解している必要があります。また、ドラフト、放射温度の非対称、不満を感じる人数などの情報
がありますが、これらの複合的影響がわかりません。ただ単純に、総和を出すという訳にはいき
ません。複合影響については、我々は十分には知りません。皆様が問題を研究する際には、パラ
メータ間の複合的影響も研究する必要もあるでしょう。たとえば、快適指標、つまり不快に感じ
た人の数が 10%以下である場合は、+0.5PMV に相当し、夏の座作業では、23 から 26 度の気温
幅を算出することができます。このようにして、指標から気温への変更を行うことができます。

欧州での新しい考え方は、勧告する快適性のレベルを一つだけにしないことです。たいいていの場
合 10%の不快に感じる人数を想定しています。これは ASHRAE 規格でも同様です。ASHRAE
規格 55 も改訂作業中です。PMV 指標が含まれ、局所的な温度不快性についての情報もより多く織
り込まれるため、[ISO]規格 7730 により近い形になります。この規格は多くの国で使用されるた
め、ひとつのレベルの気温幅だけを推奨するのではなく、等級を推奨することにより、それぞれの
建物の設計に合わせた等級を選ぶことができます。ですから、選ぶ場所、選ぶ等級により推奨
される気温幅は異なります。

全体的温度快適性についての研究が活発に行われています。実地研究も行われています。
ASHRAE 主催のカナダ、オーストラリアで二件、カリフォルニアなど気候の異なる地域での 4
から 5 の研究が行われています。実際のオフィスビルの環境下で、環境と予測値が規格や指標に
どれだけあっているかを研究しています。これは、適応に関係するものです。湿度がどの幅に収
まらなければならないかという議論がされますが、20 から 23 度という狭い温度幅の場合には、

温度快適性のためには湿度はそれほど重要ではありません。しかし、温熱環境下では、湿度が非常に重要です。しかし、たいいていの場合湿度の限界は空気の質によって決定されています。温度環境がその決定に果たすところは少ないのです。ISO7730 では、30 から 70%の相対湿度を推奨していますが、温度以外の理由が大きく関わっています。

気流速度については、デンマーク大学でいくつかの研究が行われています。また、騒音、照明、空気の質の複合影響についても興味深い研究がなされています。今後研究が必要だが、あまり研究がされていない分野に、環境の変化が挙げられます。ISO7730 での基準は恒常的環境における基準です。ある環境から他の環境への移行(transient)についての研究が行われています。気温が同じ場合でも湿度が異なっている場合や、夏に屋外から室内へ移動する場合には室内は冷房されている場合などです。第一の研究は、より寒い環境へ移動した場合には、恒常的環境にいる場合と比べて始めはずっと寒く感じます。その後、ある程度の時間が経つと、恒常的になります。暖かい環境へ移動した場合には、恒常的環境にいるかのようにすぐに暖かく感じます。これらは、基本的な体の反応ということができます。Temperature ramp は transient の一部ですが、急速なものではなくゆっくりとした変化です。ビル内の温度を一日中一定に保っておくのではなく、気温を一日の中で上下させることによりエネルギー消費の節約が可能になります。空調設備が小規模で済むため、省エネの効果が見込まれます。しかし、それが人に与える影響を理解しなければなりません。能率が向上するか下降するかどうかを理解しなければなりません。作業能率に常に高い優先順位が与えられなければなりません。たとえば、オフィスビルの場合には、床面積一平方メートルあたり、従業員の給料の額とエネルギーとシステムの額を比較した場合に、給与額の方が 100 倍高いのです。ですから、人々の能率は非常に重要だということができます。

湿度に関しての研究では、高い湿度での皮膚の湿った感覚の研究がデンマーク大学などで行われています。皮膚が湿っているときには、衣服が不快感を与えることはよくご存知だと思います。限界を設定しようという動きも出ていますが、快適な温度幅の場合には 70 から 80%という高いところまで大きな問題なしにいくことが可能です。デンマーク大学では、低湿度の研究も行われています。低湿度での問題は、皮膚の乾燥感や特にコンタクトレンズをしている人の場合には目の不快感があります。興味深いことは、湿度と室内の空気の質についてどう感じるかということとの関係です。湿度が高ければ、空気に汚染がない場合でも、空気が悪いと感じます。このような複合影響について研究が行われています。

ASHRAE 規格の勧告では、湿度の上限は絶対湿度で 1 キログラムの空気あたり 20 グラムの水分です。下限については、相対湿度でいえば 20 から 30%まで低くなることも可能です。また、気流速度とその影響に関しては多くの研究が行われています。日本でも研究が行われています。気流速度には、二つの側面があります。暑いと感じた場合には、天井の換気扇をつけたりや窓を開けることで、気流速度を上げ、快適性を増すことができます。しかし、その一方で、空調されたビルで最もよく聞かれる不満は気流によるドラフトです。速い気流速度は好まれない一方で、気流速度をあげたいと人が考えるときもあります。これは規格化において大きな問題です。

気流についての研究が多くなされています。ドラフトの感覚と気流の許容度については個人差が非常に大きく、気温の好みの違いよりもその差は大きいかも知れません。気温の上昇に合わせて気流速度を増す場合には、換気扇や窓などで個人調節できることが必要です。そうでなければ、その環境が許容できないからです。ある人は他の人よりずっと速い気流速度を好むかも知れません。つまり、個人調節ができなければ許容度が下がるといえます。ですから、この点で個人調整ができることが重要です。現在の ASHRAE 規格では、このスライドにあるような曲線を描きます。もし、気温が快適温度幅の上限 26 度程度を超えた場合には、気流速度を増すことで快適さを補うことができます。ここで、ご覧のように 2.5 度から 3 度気温が上昇した場合に、気流速度を秒速約 0.8 メートルにあげなければなりません。しかし、これ以上気流速度が増すことは望ましくありません。秒速 0.8 から 1 メートル以上になると、紙が吹き飛んでしまうからです。ASHRAE 規格では、オフィスやスペースにおいて環境の個人調整が可能であれば、これ（気流速度をあげることを）を行うことはできます。中央制御で、空気をたくさん噴射するだけでは許容できません。個人である程度の調整ができる必要があります。

デンマーク大学においても大規模な研究が始まったばかりです。この予測は人間の皮膚のモデルに基づいてなされており、この予測値のグラフが正しいものであると研究結果が示しています。全体的温度環境についての最後に、実地研究について述べたいと思います。何百ものオフィスで何千人もの人が主観的な環境についての意見を述べました。これによると、冷暖房完備のビルでは、我々が基準として用いている PMV モデルで研究結果を非常に正確に予測できることがわかりました。夏には、冷房はなく、窓と自然換気だけのビルについても研究が行われ、快適温度と予測された気温より高くても人々は快適に感じるということがわかりました。高い気温に対してある種の適応があったと思われる。より高い気温を許容できるように耐性が増し、期待感も変わったと思われる。冷房がないなら、気温が高くても仕方ないと考えたのでしょう。この研究では、着衣の違いも評価し、補正されました。活動も評価しようとしたのですが、詳細な活動の評価は困難でした。適応がおこり、期待感が変わればやや高い気温でも許容することができるようになります。ASHRAE では現在このような違いの理由を見出すためのプロジェクトが進行中です。

次に、局所的温度不快性についてお話します。この分野でもいくつかの研究が行われています。規格の改訂の際にはそれらの成果も織り込まれます。床表面温度、垂直気温差、ドラフト、放射温度非対称の 4 つの要因についてお話します。欧州のドキュメントでは、局所的温度についても基準をひとつだけ設けるのではなく、不満を感じる人の割合によってレベルを変えるように求められています。たとえば、垂直気温差の場合は、第一階級は 3% が不満に感じ、第二階級では 5%、第三階級では 10% 不快に感じるという階級が設定されています。ドラフトの場合には、15, 20, 25 の階級を勧告しています。床表面温度の場合には 10 と 15 があります。なぜ、推奨されるレベルがパラメータによって異なっているのでしょうか。ドラフトと床表面温度の場合には、研究では個人差が非常に大きく、常に不満感を覚える人がある程度いるため、不満感を覚える人の割合を他ほど低く抑えることができませんでした。これらの勧告は、研究から得た情報と、現在の技術的

可能性に基づいています。もし、10%以下の人が不快に感じるような気流速度を定義する場合には、気流速度が非常に遅いため、このような規格をシステムのメーカーが満たすことができません。規格を設定するときには、何が技術的に可能かを見る必要があります。

ドラフトの研究については、ドイツで大規模なプロジェクトが行われました。この研究では活動レベルの高い人を研究しました。ドラフトに関する研究によると、ドラフトの感覚は平均気流速度だけで決まるものではなく、空気の温度、気流速度の変動なども関係します。これは、さほど驚くべきことでもありませんが状況が複雑になります。特に変動が大切だということが状況を複雑にします。たとえば、クリーンルームの場合には気流の変動が少なく、通常気流の変動が多い場所と比べた場合により高い気流を受け入れることができます。このような値を合わせてドラフト率と呼ばれる指標ができました。この指標で、不満感を覚える人の割合を推測することができます。でき得る限り、パラメータごとの影響を何人の人が不満感を覚えるかという数値化しておくことが重要です。

研究を行う際にその目的と方法を明確にすることが重要です。このような研究は、主に座作業の人を対象に行われました。活動レベルが高い人に関する研究も行われ、活動レベルの高い人はあまりドラフトに敏感でないということがわかりました。体を動かすことで、ドラフトの状態を自ら作り出しているのです。気流の方向についても、研究が行われました。もっとも、影響があるのは、下からあるいは背後からの気流です。

これまでの局所への温度の影響についての研究では、温熱的に中立、つまり PMV がゼロの人について行われてきました。しかし、たいいていの場合、暖かい場所に一部、冷たい場所に一部分座っていることが多いのです。そのような状態での、局所的な影響を理解する必要があります。冷たい場所に座っていて、ドラフトにさらされた場合に中立の場合に比べてずっと寒く感じます。暖かい場所に座っている場合には、気流が速い場合でも許容することができます。全体的な快適性と局所に及ぼすパラメータの影響を理解しなければなりません。この点については、比較的情報が少ないのです。また、ドラフトに関する研究の被験者の多くが学生の若者です。ここで、他の年代についても研究を行うべきであり、曝露時間を長くする必要もあるでしょう。

放射温度非対称については、デンマークだけでなく、アメリカやイギリスでも 70 年代 80 年代に多くの研究が行われました。非対称の要因となるパラメータは様々です。部屋のある場所が他に比べて放射温度が高いことがあります。最も典型的なのは、寒い環境、たとえば冬の北海道などでは、窓の側は寒く感じて、他の側はそう感じない、あるいは暖かく感じることです。温度のレベルが正しくても、違いが大きすぎるため快適に感じないのです。非対称というのは、小さな平面の表面のあいだでの非対称と換言できるでしょう。つまり、部屋の半分の壁からの放射と残りの半分からの放射を比べたものです。放射のベクトルの違い、これが、放射温度の非対称といえます。

冷たい壁というのはよくあります。また、天井が温まることもあります。このような場合には人はより敏感に非対称を感じます。低い場所の非対称の場合には不満足感を覚える人数が多くなります。天井が冷たい場合には、人々はあまり敏感にはなりません。ここから、頭寒足熱のほうが足寒頭熱より良いといえます。また、人々は暖かい壁に敏感ではありません。

これらの研究のすべてが座った状態の人を対象に行われました。基準では、附則としてこのような数字が推奨されていますが、暖かい天井と冷たい壁だけを対象にしており、他のものは含まれていません。附則のなかで、ひとつだけの勧告を行うのではなく、様々なレベルを出し、物理的に何が可能かを明確にしようとしています。また、これらの研究は全体快適性、つまり温熱的中性の状態を対象に行われました。我々が行った研究では、冷たい窓のシュミレーションを行いました。実験室の片面を冷たくし、窓が冷たくなる様子のシュミレーションを行いました。段階ごとに、被験者にどのように感じるかを聞きました。片面を冷たくするごとに、温熱的中性になるように気温を上げなければなりません。平均放射温度の低さを高い気温で補っていたために、全体的な快適性はあるものの、非対称性はますます高まり、ある時点で不快に感じるようになります。このような研究が暖かい天井、冷たい壁、暖かい壁についてなされました。我々は質問用紙を使って尋ねました。我々が今後知りたいことは、快適な温度幅から少し逸脱した場合に、どれだけ敏感になるかということです。たとえば、冷たい窓の近くに座っている人は、サーモスタットのようです。窓の近くの効果温度は低く、さらにその窓の面からの放射気温は低いので、二つの効果があります。また、どのような複合効果があるのかを知る必要があります。放射温度非対称と気流の複合効果についての研究も 80 年代に一つあります。研究の多くは座った状態の人を対象にしています。放射温度非対称を立った状態の人を対象に天井からの放射を使って行われました。ここでは、天井の高さは3メートルぐらいですが、産業用の建物の場合には、6から10メートルぐらいです。その場合には、天井の低い建物に比べて高い放射温度の非対称を許容することができます。しかし、研究の多くが座った状態の人を対象にしています。快適なレベルから外れた場合や活動レベルの違いによる影響はどのようなかという疑問が出てきます。基本的に被験者の多くはここでも若者でした。

垂直温度差について行われた研究は他の研究に比べてさらに少数です。わずか3つぐらいではなかったかと思います。イギリスのマグネアの研究、私のコペンハーゲンでの研究、そしてこのパラメータのみに絞った研究があります。他にも後になされた研究があるかも知れませんが、英語とドイツ語の文献ではこれぐらいだと思います。この分野は研究するのが非常に難しいのです。特別な環境室を作らなければならないからです。しかし、気温が唯一のパラメータとなるため、放射温度が壁面ごとに異ならないように壁面温度を調整できなければなりません。また、被験者を一時間半ほどの間に 2, 4, 6 度の気温の違いにさらさなければなりません。この研究のすべてが座った状態の人を対象に行われました。この研究で、頭と足の温度の違いと不快に感じる人の数の関係が明らかになりました。研究は30人ほどの被験者で行われました。しかし、この関係がどれほど明確に定義されているかを見ると、図の下の方は正確性があまり高くありません。これは、個人差が大きいからです。しかし、研究を行い数値を出し、規格を作る場合には多数の

被験者が必要です。3, 4, 5人の被験者では十分ではありません。相対値を出すためには、被験者の人数は絶対値を出す場合に比べて少なくてもかまいません。

多くの規格では、この温度差は3度以下であるべきだと推奨されています。もちろん、空調システムによって室内の温度は異なりますが、床冷房の場合には床温度が室温より2,4,6,10度低くてもかまいません。たいていの場合床冷房をつかうと床の温度は部屋の室温より2度から6度低くなります。しかし、この種の評価を行うにあたり重要なことは垂直温度差の影響を考慮に入れるということです。また、ひとつの値だけでなく、様々な階級を推奨することも重要です。この研究もすべて座った状態で快適な状態の人を対象に行われました。体の一部が冷たいところに、別の部位が暖かいところにある状態での研究はありません。また、ここで重要なことは着衣の影響です。この研究で使われた着衣は典型的な軽装で、パンツとシャツでした。たとえば、パンツではなくスカートを着た女性の場合には、より垂直方向の気温差による影響を大きく受けるでしょう。このようなことは研究されていません。

今までにお話しなかった局所的温度の影響に関する研究では、女性と男性の被験者数が同じなので、男女間の比較ができます。同じ活動、同じ着衣の場合には、基本的に男女間の違いはありませんが、この場合、女性は夏には非対称な服装をすることが多いので、これについても研究する必要があります。ここでも、被験者の多くが18歳から25歳の若者です。

垂直気温差について重要なことは、より激しい作業についての研究です。工場で働く人々は立って作業をしたり動きまわったりします。この基準を産業用に使うことができるのか、できなければ他の基準が必要ではないでしょうか。また、快適から少し外れた場合、PMV+1あるいは+0.5のときの状態を研究することも必要です。また、高齢者を対象にした研究を行うのも興味深いと思います。垂直気温差、ドラフトと放射温度非対称との複合効果の研究も必要です。垂直気温差がある場合には、冷たい空気のドラフトが床に沿って発生するという総合効果が見られる場合があります。

サーマルマネキンの使用についてお話しします。デンマークで我々が行った研究の多くは、マネキンを使用しました。もちろん、マネキンは快適かどうかを答えることはできませんが、マネキンを測定機器として使用しました。マネキンとコンピューターモデルだけでは研究はできません。被験者が必要です。しかし、垂直温度差と床に沿ってのドラフトが同時に起こった場合に、気温とドラフトの総合効果で、足からの熱の喪失が増え、寒い感覚を覚えます。マネキンでは放射、ドラフト、気流、気温、相当温度が相互に関連し、どのような影響を及ぼしているかがよくわかりません。我々が知りたいのは、垂直温度差の影響と垂直相当気温です。床に沿ってドラフトがある場合でも、床暖房されていれば、足のあたりの放射温度は高くなります。それで、床暖房されていない場合と同じようにあまり敏感に感じないかも知れません。垂直気温差を考えると、放射や気流の影響を考慮しなければなりません。ここではマネキンが、総合的に測定可能であるというその威力を発揮します。多くの研究では、マネキンのデータが用いられました。

また、非対称性についても調査が行われました。主観的な意見に基づき、10%の人が不快に感じる値から、マネキンのデータから見て様々な体の部位のそのときの熱の喪失はどれぐらいかを知ることができます。このようにしてモデルを作ると、当該の実験を行った実験室内での環境のほかの環境についての影響も見ることができます。ですから、被験者を用いた研究とマネキンやモデルのような優れた計測ツールを複合的に使うことが良いと思います。しかし、それぞれを単独で用いても良い結果は得られません。

最後のパラメータは床温度です。人間の快適性における床と床温度の影響が私の博士論文のテーマだったこともあり、私にとって特関係のある分野です。床の温度と不満感を覚える人の数との相関関係が見られました。全体的温度快適状態の被験者を対象にした実験で、被験者は靴を履いており、多くのアジア諸国で見られるような文化的習慣とは異なり、床に接しているのは足だけでした。しかし、この研究でもすべての人を満足させる気温は見つけれませんでした。最低が6度から7度でした。もし、10%（の不満感を覚える人）を許容するとするならば、19度から29度という数字が出てきます。この29度が欧州で床暖房システムを設計する際の規格となっています。また、外の壁や窓の1メートルについては、表面温度が35度でもかまわないとなっています。これは、人が入っている場所の外にあるもので、設計上寒い冬の日などは高い温度にならないからです。この研究は座った状態、立った状態の両方を対象に行われました。座った状態の人はおよそ1度高く、立った状態の人はおよそ一度低い温度を好むようです。これは、立った状態の人はやや活動が激しく、座った状態よりも多くの熱を発生するためです。また、男女間の違いはありませんでした。しかし、快適から少し外れた場合にはどのような影響があるかを見ていません。これより先に、アメリカのカンサス州立大学で高齢者を対象にした床温度の研究が行われ、高齢者にもこの研究の結果を使うことが可能だとわかりました。しかし、これも床に接しているのは足のみです。床に座ったり、寝転んだりという研究はされませんでした。日本でも、韓国でも床に座ったあるいは寝転んだ状態での研究が行われました。しかし、被験者数が少なく、個人差が大きいのです。統計的な分析を行うためには、多数の被験者が必要です。被験者の数が少なければ、正確性も欠き、よい提言を行うことができません。

靴を履いていない状態での床温度の研究もなされました。この研究では、床の温度だけではなく、床の素材が重要です。また、床に長い間接触するか短い間接触するかによっても許容できるレベルは異なります。熱伝導率が非常に低い床の素材の場合、カーペットなどの場合には、幅広い床温度を許容することができます。木やコルクの床の場合には、その幅は少し狭くなります。しかし、上限はさほど変わりません。足の温度とほぼ同じです。変化が大きいのは、下限の方です。また、石や大理石の床の場合には、受容できる温度幅はさらに狭くなります。これは、裸足の被験者を対象にした実験です。しかし、靴下を履いた場合、つまり靴と裸足の間の場合については、まだ詳細な研究がなされていません。ほとんどの床温度に関する研究では、温水利用の床暖房を対象にしています。多くの場所では電気床暖房が用いられています。もし、床に座っている場合には、床からの放熱を抑えるので、人と床が接している面の温度は、人が接していないところに比べて上昇します。しかし、温水を利用した床暖房の場合には、床の温度は温水の温度より

高くなることはありません。しかし、電気を利用した床暖房の場合には、床がどんどんと暖かくなっても、暖房効果は同じままですので、気温は上昇しつづけます。床暖房を研究するには、この二者間の違いに注目することが重要です。それぞれのシステムについて異なった基準が必要かも知れません。

以上、今後の研究の必要な分野についてお話をしました。また、床に座ったり、寝転んだ状態などを対象に床温度の研究を行うとともに、現存するデータを収集し、さらに何をすべきかを考える必要があります。空港など、人々があまり長く滞在しない場所でも床暖房が用いられており、それに対しても別の基準が必要かも知れません。また、電気を利用した床暖房について研究することも重要です。床が暖かければ、足が温かくなり、より低い室温でも受容できるようになります。床が暖かければ、平均放射温度が上昇するということになり、気温が下がっても同じ効果温度を達成することは可能です。快適から少しはずれた場合に、どうなるかを研究することも必要です。また、ご存知のように様々な姿勢での床温度についての研究がされました。しかし、英語の文献として出版されているものは少ないようです。多くの場合、被験者数が少ないようです。今、皆様がおこなっていらっしゃる研究の場合には、被験者が7人ということですが、それでは統計的な価値をもつためには少なすぎます。過去の研究を振り返り、そこから学ぶことも大切ですが、さらに被験者数を増やすことが大切です。また、局所的影響を研究するためには、被験者に対する質問方法が重要です。もし、大学間での共同研究を計画されているのであれば、異なる機関からのデータを比較できるように、質問方法について合意しておくことが必要です。こうすることにより、利用できるデータ数が増大します。

また、複合的影響が重要だということは、何回かお話をしました。PMVやPPDの指標を使って得られる全体的温熱快適性についてはあまり情報を得ることができません。局地的な不快感のパラメータについても、それほど大規模ではありませんが、データがあります。ここでは、0から30%が不快に感じています。しかし、この二つを合わせた場合にはどうなるのでしょうか。ただ単純に二つの割合を足すことは、エネルギーの節約のところで述べたのと同じで、うまくいきません。不満感を覚える人の総数を得るための良い方法はありません。ですから、局地的な快適要因にいくつか同時に曝露している場合には、それが複合してどのような全体的快適性につながるのかを理解することは難しいのです。

全体的快適性では、気温の変化についてのもっと多くの研究が必要です。また、個人で調整できる環境の場合、その影響はどうかを研究しなければなりません。個人で調整ができるならば、どのように設計すればよいのでしょうか。ある値を念頭に設計するよりも幅を念頭においた設計を行い、個人が調整できるようにしたほうが良いのかも知れません。

局地的なものについては、床温度については既にお話したとおりです。垂直温度差は、今後研究が重要になる分野だと思います。

どのように研究するかを決定することも大切です。研究計画を立て、何が必要ならなら

いかを明確にする必要があります。様々な方法でおこなうことができますが、たとえば、研究に必要な人数と予算を確定し、大学間で役割を分担しながらプロジェクトを行い、最終的に結果を統合することもできるでしょう。ASHRAEで行っている方法は研究プロジェクトを明確化し、3から4ページでプロジェクトと必要な予算や被験者数を説明します。研究を行うときには、自由にできるのではなく、ある方法に従わなければなりません。大学や研究機関などに3から4ページのプロジェクトの説明文を送り、入札を行います。そして、最小の金額で最高の結果を出すことができる機関はどこかということがわかります。入札額が一番低いところが良いとよく言われますが、必ずしも最高の結果を出すわけではないので、質と値段の最適な関係を知ることも重要です。もちろん、このように多量の資金と時間を投資して提案書を書いても、研究を行うことのできない機関も出てきます。しかし、皆様の場合には、計画を作り研究をコントロールすることで、後に様々な機関からの結果を利用できるようにすることが必要だと思います。また、被験者間の個人差が大きいため、多数の被験者が必要になり、研究が高つつき、実験時間が長くなり、実験室も多く作らなければなりません。

これで、私のプレゼンテーションは終わりますが、私のペーパーの中には参考文献の一部を載せておきました。もちろん、もっと多くの文献があるのですが。文献から研究を始めるというのは良い方法ですので、どのような文献があるかについてご参照いただければと思います。

私が重要だと考え、また質疑応答の中でお話したいのは、被験者による主観的な評価の方法です。いつ、どのように快適か不快かを聞くのかというような問題は、研究を始める前に、注意深く議論しておく必要があると思います。また、過去の質問用紙を見ても重要です。

どうもありがとうございました。

(栃原) ありがとうございました。オルセン氏の講演は示唆に富んだものだったと思います。

10. 4. 2. オルセン博士との意見交換会

【訳者注：これ以降の日本の出席者の発言については、書き起こしたままです。オルセン氏の発言は日本語訳です。】

(栃原) せっかく通訳の方も来られていますので、これからは日本語で進めます。自由にご質問をしていただきたいのですが。質問でも、現状について聞きなおすということでも結構です。

(質問者1) 今、先生の方から local temperature difference などのお話を頂き大変参考になりました。ありがとうございました。Local temperature difference の評価を行う場合に、exposure 時間について、ある一定の時間で評価する必要があると思うのですが。その場合に、先生の今までやられていた研究では exposure 時間がどれぐらいで評価されていたかをお聞きしたいのです。

が。それから、新しい研究の中で、exposure 時間についての研究が必要だということを述べておりますが、その場合には、今やっている時間よりずっと長い時間を想定するのかとそのへんことをお聞きしたいのですが。

(オルセン) 過去の研究でのエクスポージャータイムについては、短すぎると思います。パラメータごとに何かが起こるまでに、通常の労働時間ではエクスポージャータイムが何時間かということを決定しなければなりません。ある一定の状態に曝露されるエクスポージャータイムについては、2 から 3 時間より長くなってはいけません。通常の労働時間の場合には、3 時間もすれば昼食に出かけたり、状況が変わったりします。局所的不快感についての研究の多くは、エクスポージャータイムが3時間近くでした。しかし、最初の一時間は全体的温度快適にいたるまでの時間で、残りの時間で違った気温や非対称な温熱環境にさらされます。

体全体の場合には、温度を変える場合には、新しい温度に体が慣れる必要があります。少なくとも、慣れるまで 45 分から 1 時間ほど待たなければならないと思います。気流に関する研究において、ある気流への曝露時間は、わずか 20 分から 30 分で、私の意見では短すぎると思います。テスト全体の 3 時間の中で、様々なレベルの気流に被験者は曝露します。ある研究によると、次のレベルの気流に曝露するまでの曝露時間が長ければ結果が異なるという報告もあります。ですから、曝露時間は重要です。最高が 2 から 3 時間で、そこからもっと短くできないかと議論することもできるでしょう。

(質問者 2) 今の質問に関連して質問します。Maximum exposure time が 3 時間というふうにおっしゃいましたが、それ以上の場合には、体内の日内変動が影響して、internal biological clock rhythm の影響を受けて正しい評価ができない可能性があるという意味で、最高 3 時間で、それをいかに短くしようということを考えておられるのでしょうか。3 時間というのはやはり最大のかたまりで、それを超えると問題が出てくるのかということについてお聞きしたいのですが。

(オルセン) いいえ。我々が行った研究では、一日の時間による影響はあまりありません。一日のなかでの温度変動はありますが、この種の研究ではその影響はあまりありません。3 時間と申し上げたのは、労働している場合には、ひとつの場所に 3 時間以上座りつづけていることは稀だと思うからです。立ち上がって違うことをすると、状況が変わります。また、被験者をどれだけの間実験状態に置くべきかという問題もあります。一日の影響を見るために、私自身 8 時間の実験に被験者として参加しましたが、非常に長く、一日の始めの結果と終わりの結果が違ってくると思います。ですから、3 時間から最高 4 時間が妥当な時間ではないかと思います。しかし、それは、日内変動には関係はありません。

(質問者 2) そうすると、午前の実験と午後の実験と夜間の実験に対する評価においてその違いはほとんど無視してよいと考えてよいのでしょうか。

(オルセン) 我々が行ってきた研究のほとんどは、午前と午後の実験の被験者数についてバラ

スをとっています。夕方や夜に実験を行ったことはありますが、全体的快適性についての夕方や夜の影響を見るための実験でした。しかし、ほとんどの研究が午前中か午後に行われており、その影響はありませんでしたが、午前中と午後の被験者数のバランスをとるようにしています。大きな違いはありませんが、被験者数のバランスをとるように心がけています。

(栃原) 私から質問ですが、今日来ておられる磯田先生らが床暖房の研究をたくさんやられていますが、快適な床温度の範囲についてまとめておられます。多くの研究者が ISO の 19 から 29 よりも 3 から 4 度高いということがほとんどの研究で得られているのですが。磯田先生にもあとから聞きたいのですが、その理由はどのようなことだと考えられますでしょうか。

(オルセン) 高いほうがよいかどうかはよくわかりません。放熱する必要があるので、体温より床温度が高くてはいけません。体温が上がるような床は望ましくありません。たいてい、快適な皮膚表面の温度は 33 から 34 度です。ですから、皮膚表面の温度が 33 から 34 度以上になったときに快適に感じるとは思いません。このような高温で快適に感じるのは気温が低すぎる時だけでしょう。床に座っていても、寝転んでいても 29 度より高くあるべきとは思いません。裸足で床に接触している場合の研究結果を見ると、すべて上限が約 29 度になっています。これらが示していることは、座っていても寝転んでいても 29 度あるいは 30 度以上の床温度は望ましくないということだと思います。もっと重要な要因があると思います。実験を行い、結果を検証することも重要です。その結果、推奨される温度幅が 29 度から 30 度という結果が出た場合には、全体的快適性について床に足のみが接触している場合と全く違った影響があると思います。これは、体の大部分の平均放射気温が高いということであり、床に座ったり寝転んだりしている場合に、足しか接触していないときと比べて気温を下げるができると思います。私は、この理由が重要ではないかと思います。

(栃原) 磯田先生、何か意見はありますか。

(磯田) この図は横軸に気温、縦軸に床温度をとったものです。日本のいくつかの研究成果を書いてあるのですが、赤い線で引いてあるのが建築研究所の研究です。赤い点線で書いてあるのが、東大の研究です。ブルーの線が東京都立大学の線ですが、真中ほどに床温度の 29 度というところに線が書いてあります。日本の場合は椅子座、あるいは床座でも、29 度以上のところをコンフォートゾーンとしている場合が多い。しかし、最も快適性が高い領域はある程度気温が高くて、床温度が 27、8 程度という報告がされています。床座の場合、気温が低くなっても床温度が高ければ、快適であるという報告もあります。

(オルセン) お話をお聞きしていると、床は興味深いと同時に難しいものと感じました。床暖房の効果は 3 つあげることができると思います。床を暖めると平均放射温度が上昇する。それにより、床と接触していない体の部位でも放射温度が上昇します。もちろん、床からの熱で気温が上昇します。また、直接の熱ではありませんが、体の一部からの熱の損失を防ぐことができます。

ですから、研究を行う際には、これらすべてをコントロールすることが重要です。もちろん、気温が低ければ低いほど、高い床温度を望むのは当然でしょう。しかし、被験者に対して質問をし、気温と床温度の最適の組み合わせを見つけなければなりません。また、我々は最適な温度の組み合わせを知りたいだけでなく、最適から外れた場合の影響も知りたいと考えています。最適からどれほどまでの逸脱が受容されるのかを知りたいと考えています。最適のみに合わせた空調システムを設計するのではなく、ときにはある程度の逸脱が許されるものを設計するためには、最適から外れたときの影響を知りたいと考えています。また、先ほど申し上げた上限の 29 度は、それほど変わらないと思います。しかし、下限は変わると思います。19 度から 29 度ということですが、床に座ったり、横たわったりしている場合には、19 度という下限は、先ほどの先生のデータでも見られるように、23 度あるいは 24 度以上まで上がります。ですから、下限は絶対に違ってくると思います。しかし、上限はおそらく同じだと思います。

(磯田) 下限の温度ですが、大体 24 度ぐらいになっています。これは、夏に床を冷やして実験をやりましても、だいたい 24 度以下になると冷たすぎて、不快だという申告が多く出てくるようです。

(オルセン) それは、信じられる話だと思います。

(栃原) いいですか、29 度を上げないでも。その他何かございますか。

(質問者 3) 図 5 ですが、local thermal discomfort が radiant temperature asymmetry によって引き起こされている図がわかりにくいのですが。少なくともこういう空間の場合、天井と床と壁面が 4 つありますよね、こういう部屋を評価する場合に、こちらからは日射が入ってくる、こちらは冷たい外気に冷やされている。あとの二面に関しては、気温とほとんど同等だとしますよね、このような場合にはどのように評価するのですか。

(オルセン) 放射温度非対称の場合には、常にベクトルを見なければなりません。例えば、壁面からの非対称性を見る場合に、この部屋には窓が二面あります。では、非対称性が最も高いのはどこでしょうか。この角に座っている人ではないでしょうか。こちらの方向には、窓はありません。このようにして放射温度の非対称性について評価します。ここで、問題にしているのは表面温度と放射のみで、気温とは関係がありません。このようにして、どこの非対称性が一番高いのかを評価します。また、暖かい壁と冷たい壁との違いがわかりにくいという質問がくるのではないかと予測していました。片面が冷たければ、もう一方の面は暖かいはずで、結果は同じではないかという意見は出てくるとも思っていました。私たちも、それを説明するのが難しかった時期がありました。完璧な説明はありませんが、暖かい壁というのは暖かい壁の表面に近い場合、冷たい壁というのは冷たい壁の表面に近い場合です。壁から遠く離れていた場合には、同じ非対称性でも影響は異なります。壁に近ければより多く曝露するので、距離が関係します。ですから、冷たい壁と暖かい壁を分けているのです。しかし、冷たい壁の研究の場合には注意する必要があります。

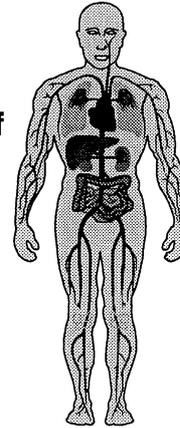
ります。冷たい壁の場合には、ダウンドラフトが起こるので床に沿って冷たい空気が流れます。ですから、研究を行うときには被験者を床より高く上げなければなりません。研究の目的は放射を研究することであり、ダウンドラフトに曝露することは望ましくありません。他のパラメータの影響が及ばないようにしなければなりません。

(質問者4) 一般的な質問ですが、快適とエネルギーの節約は矛盾するというか、一生懸命快適を追求するとエネルギーを使うのではないかと思っているのですが。日本の企業、メーカーが省エネということを考えるときに、いろいろ既存の技術とか既存の機械を一生懸命やっても、なかなか省エネを達成できない。むしろ、人間の快適感の方にアプローチしたほうが、うんと大きな飛躍ができるのではないかとおっしゃる方もいらっしゃるのですけれども、快適感をコントロールすることによって大きな、飛躍的な省エネができるとお考えでしょうか。それから、もしそういうことがあるとすれば、どういうことをやればよいのでしょうか。

(オルセン) たいていの場合、快適性の向上と省エネは同時に達成可能です。しかし、すべての場合において、快適性を向上させたほうが、たとえエネルギーのコストが上がったとしても利点につながります。企業は、生産性とパフォーマンスの向上を享受できるからです。もちろん、生産性やパフォーマンスの向上を数値化するのは難しいのですが、講演の中でお話した、1平方メートルあたりの従業員の給与はエネルギーに使うコストの100倍ということからも、快適性が最も重要だということがわかります。ここで、快適性とエネルギー効率を両方向上した例を挙げたいと思います。HVACシステムを採用している企業の多くが、エネルギーの節約に関心をもっては思いません。たくさん冷暖房を行うことで、システムを売ろうと考えているのではないのでしょうか。エネルギーの節約はシステム規模の縮小につながります。ビルのオーナーや政府は、省エネに関心を持っているでしょうが。我々は、快適性の規格を作成しようとしています。アメリカでも同様の動きがあります。我々が推奨している室温は、冬より夏のほうが高いのです。これはもちろん、夏にそれほど冷房をする必要がなく、冬にそれほど暖房する必要がないということで省エネにつながります。また、室温と外気温の差が少ないため、快適性が向上します。しかし、ビルの経営者やシステムを施工する業者が、我々の勧告に従わないという問題があります。私が、アメリカでASHRAEの会合に参加したときには、空調で室温が20度ぐらいになっているので夏には室内でジャケットを着なくてはいけなく、冬には室温が25度ぐらいになり半袖シャツを着なければならないという状況があります。しかし、エネルギーの節約と快適性の向上は同時に達成可能です。

International Standardization Ergonomics of the Thermal Environment

- Bjarne W. Olesen, PhD.
- D.F.Liedelt "Velta" GmbH, Germany
- Chair ISO/TC159/SC5/WG1 "Ergonomics of the thermal environment"



ERGONOMICS OF EXTREME THERMAL ENVIRONMENT

- ISO EN 7933 Hot environments: analytical determination and interpretation of thermal stress using calculation of required sweat rate
- ISO EN 7243 Hot environments: estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT index (wet bulb globe temperature)
- ISO TR 11079 Evaluation of cold environments: determination of required clothing insulation (IREQ)
- ISO 9886 Evaluation of thermal strain by physiological measurements
- ISO DIS 12894 Medical supervision of individuals exposed to extreme hot or cold environments

ERGONOMICS OF THE THERMAL ENVIRONMENT SUPPORTING STANDARDS

- **ISO 11399 Principles and application of international standards**
- **ISO DIS 13731 Definitions, symbols and units**
- **ISO EN 8996 Determination of metabolic rate (revision)**
- **ISO 9920 Estimation of the thermal insulation and evaporative resistance of a clothing ensemble**
- **ISO EN 7726 Instruments and methods for measuring physical quantities (under revision)**
- **ISO 10551 Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgement scales.**

ERGONOMICS OF THE THERMAL ENVIRONMENT

- **ISO NP 13732 Method for the assessment of human responses to contact with surfaces**
 - Part 1 Hot surfaces
 - Part 2 Moderate surfaces
 - Part 3 Cold surfaces
- **ISO CD 14415 Application of international standards for people with special requirements**
- **ISO NP 15265 Risk of stress or discomfort in thermal working environments**
- **ISO/NP 15743 Working practices for cold indoor environments**

ERGONOMICS OF THE PHYSICAL ENVIRONMENT

- **ISO/NP 15742 Determination of the combined effect of thermal environment, air pollution, acoustics and illumination on humans**

NEW DEVELOPMENTS AND RELATED RESEARCH NEEDS

IN INTERNATIONAL STANDARDS FOR

MODERATE INDOOR THERMAL ENVIRONMENTS

EVALUATION OF THERMAL ENVIRONMENT

- **DESIGN LEVEL**
- **COMMISSIONING**
- **TESTING**
- **COMPLAINTS**

ERGONOMICS OF MODERATE THERMAL ENVIRONMENT

- **ISO EN 7730 Moderate thermal environments: determination of PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort.**
- **ISO/NP 14505 Evaluation of the thermal environment in vehicles**
- **ISO/NP 15266 Assessment of the long term thermal comfort performance of indoor environments**

MODERATE ENVIRONMENTS

- **GENERAL THERMAL COMFORT**
 - PMV / PPD, OPERATIVE TEMPERATURE
- **LOCAL THERMAL DISCOMFORT**
 - Radiant temperature asymmetry
 - Draught
 - Vertical air temperature difference
 - Floor surface temperature

GENERAL THERMAL COMFORT

- **Personal factors**
 - Clothing
 - Activity
- **Environmental factors**
 - Air temperature
 - Mean radiant temperature
 - Air velocity
 - Humidity

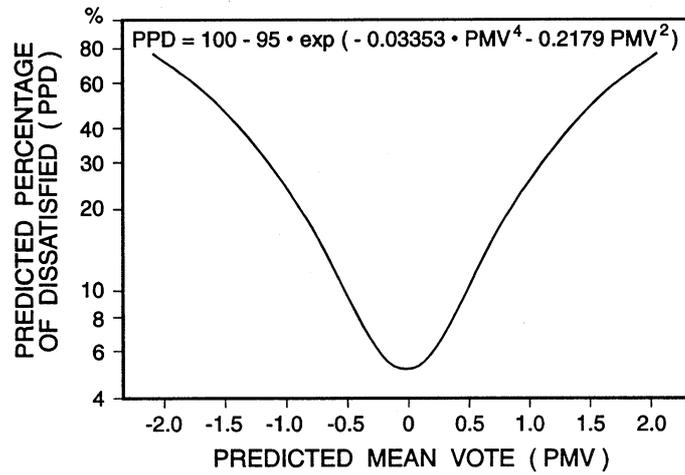
GENERAL THERMAL COMFORT

- **ISO EN 7730**
- **PMV-PPD index**
- **OPERATIVE TEMPERATURE**
- **HUMIDITY**

PMV-index

-3	Cold
-2	Cool
-1	Slightly cool
0	Neutral
+1	Slightly warm
+2	Warm
+3	Hot

GENERAL THERMAL COMFORT



THERMAL COMFORT

- OPERATIVE TEMPERATURE
- $-0,5 < PMV < +0,5$; $PPD < 10 \%$
- SPACES WITH MAINLY SEDENTARY OCCUPANTS :
 - SUMMER CLOTHING 0,5 clo
 - ACTIVITY LEVEL 1,2 met
- $23 \text{ }^\circ\text{C} < t_o < 26 \text{ }^\circ\text{C}$.

GENERAL THERMAL COMFORT

<i>Category</i>	<i>Thermal state of the body as a whole</i>	
	PPD %	Predicted Mean Vote
A	< 6	-0.2 < PMV < + 0.2
B	< 10	-0.5 < PMV < + 0.5
C	< 15	0.7 < PMV < + 0.7

GENERAL THERMAL COMFORT

Type of building/ space	Clothing		Activity met	Category	Operative Temperature	
	Cooling season (summer) clo	season (winter) clo			Cooling season (summer) °C	Heating season (winter) °C
Office	0,5	1,0	1,2	A	24.5 ± 0.5	22.0 ± 1.0
				B	24.5 ± 1.5	22.0 ± 2.0
				C	24.5 ± 2.5	22.0 ± 3.0
Cafeteria/ Restaurant	0,5	1,0	1,4	A	23.5 ± 1.0	20.0 ± 1.0
				B	23.5 ± 2.0	20.0 ± 2.5
				C	23.5 ± 2.5	20.0 ± 3.5
Department Store	0,5	1,0	1,6	A	23.0 ± 1.0	19.0 ± 1.5
				B	23.0 ± 2.0	19.0 ± 3.0
				C	23.0 ± 3.0	19.0 ± 4.0

GENERAL THERMAL COMFORT

- **NEW OR ONGOING RESEARCH**
 - Field studies
 - Adaptation
 - Humidity
 - Increased air velocity
 - Combined effects with noise, light and air quality
- **RESEARCH NEEDS**
 - Transients
 - Temperature ramps
 - Long term evaluation of comfort

Long term evaluation of comfort

$$\text{Weighing factor } wf = \frac{PPD_{\text{actualPMV}}}{PPD_{\text{PMV limit}}}$$

Weighing hours are totalized for a characteristic working period during one year.

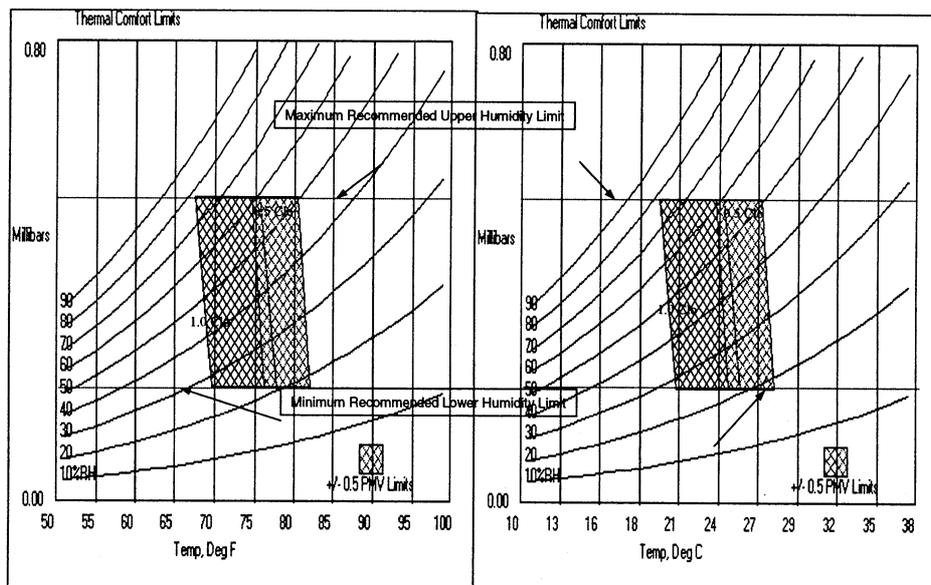
Warm period: $\sum wf \times time$ hours, where $PMV > PMV_{\text{limit}}$

Cold period: $\sum wf \times time$ hours, where $PMV < PMV_{\text{limit}}$

The summation of the product “weighing factor x time” is called “weighing time” in hours. The values may be used for the evaluation of long term comfort conditions. An acceptable weighing time like 100 to 150 hours may be specified.

GENERAL THERMAL COMFORT

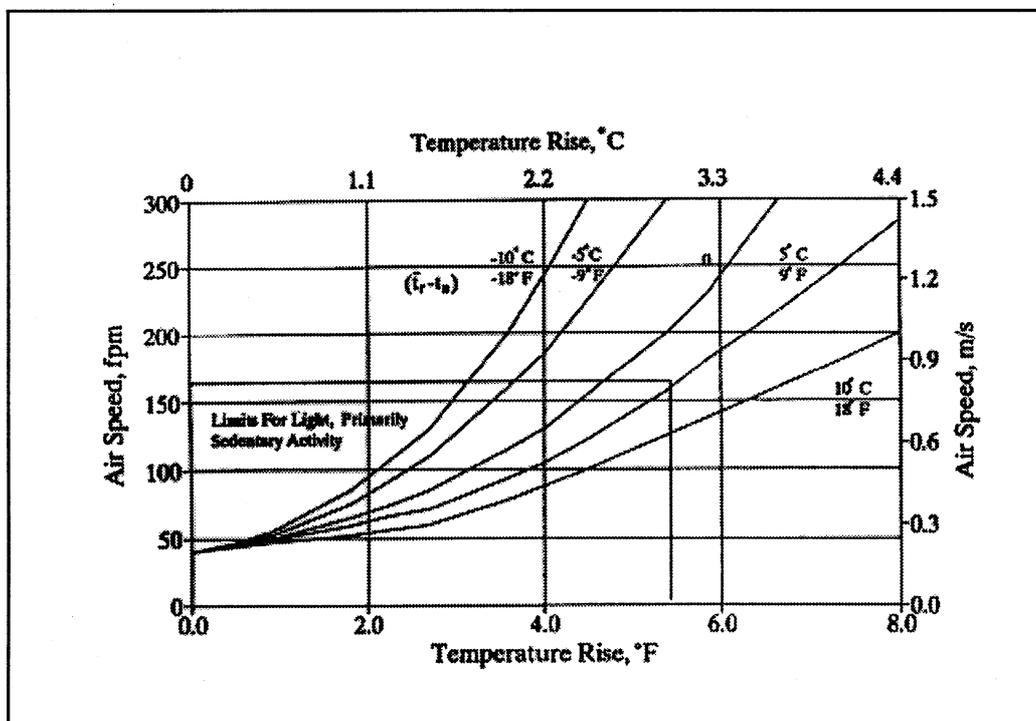
- **HUMIDITY**
 - Low humidity, eye irritation, skin dryness
 - High humidity, wettedness
 - Combined with perception of air quality



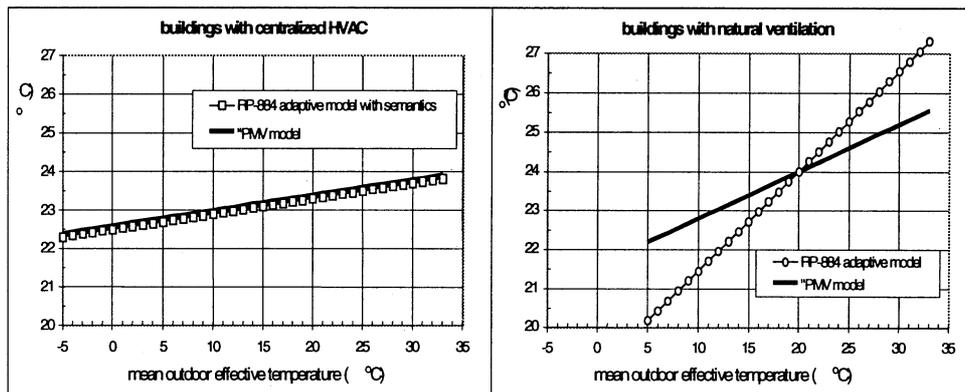
GENERAL THERMAL COMFORT

- AIR VELOCITY

- Preferred air velocity at increased temperature
- Direction of air velocity
- Large individual differences
- Personal control (fans, windows)



FIELD STUDIES Adaptation



LOCAL THERMAL DISCOMFORT

- FLOOR SURFACE TEMPERATURE
- VERTICAL AIR TEMPERATURE DIFFERENCE
- DRAUGHT
- RADIANT TEMPERATUR ASYMMETRI

LOCAL THERMAL COMFORT

<i>Draught Rate, DR</i>	<i>Vertical Air Temp. difference</i>	<i>Warm or Cool Floor</i>	<i>Radiant Temperature Asymmetry</i>
%	%	%	%
<15	< 3	< 10	< 5
<20	< 5	< 10	< 5
<25	< 10	< 15	< 10

DRAUGHT

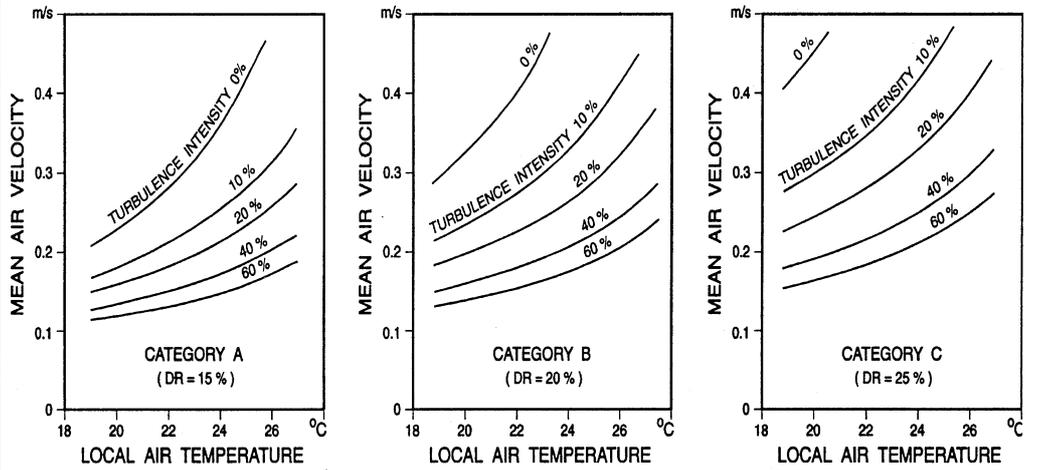
- **NEW STUDIES**

- Higher activity levels
- Direction of air velocity
- Outside general comfort

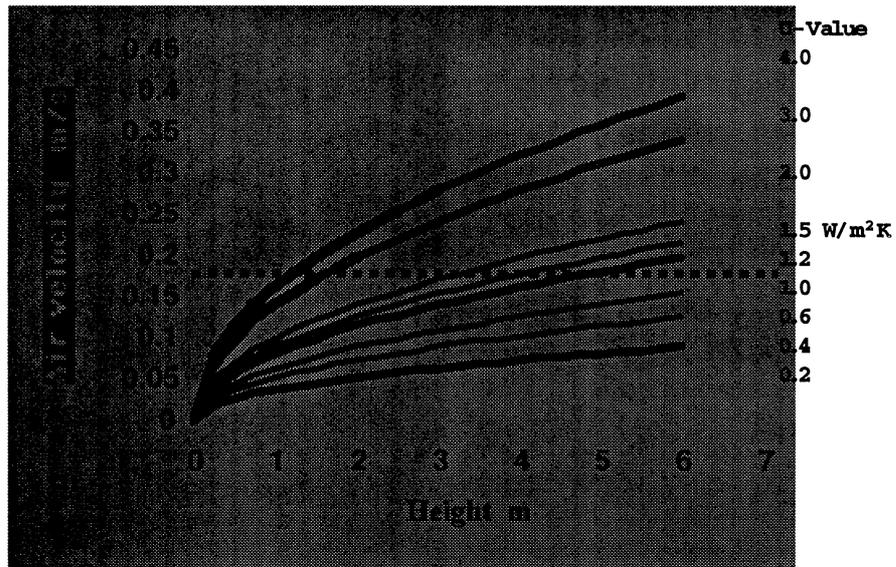
- **RESEARCH NEEDED**

- Other age groups
- Exposure time

DRAUGHT



DOWN DRAUGHT

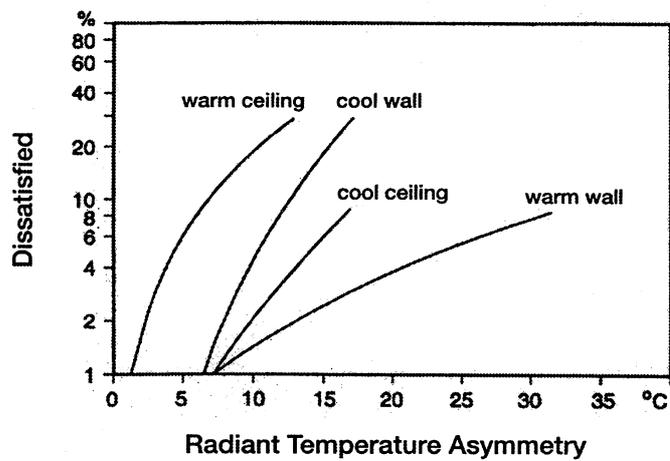


DRAUGHT

- DRAUGHT RATING, DR
- MEAN AIR VELOCITY
- TURBULENCE
- AIR TEMPERATURE

$$DR = (34 - t_a)(v - 0.05)^{0.62}(0.37 v Tu + 3.14)$$

RADIANT TEMPERATURE ASYMMETRY



RADIANT TEMPERATURE ASYMMETRY

- HEATED CEILING: < 5 °C
- COOLED CEILING: < 14 °C
- WARM WALL: < 23 °C
- COOL WALL: <10 °C

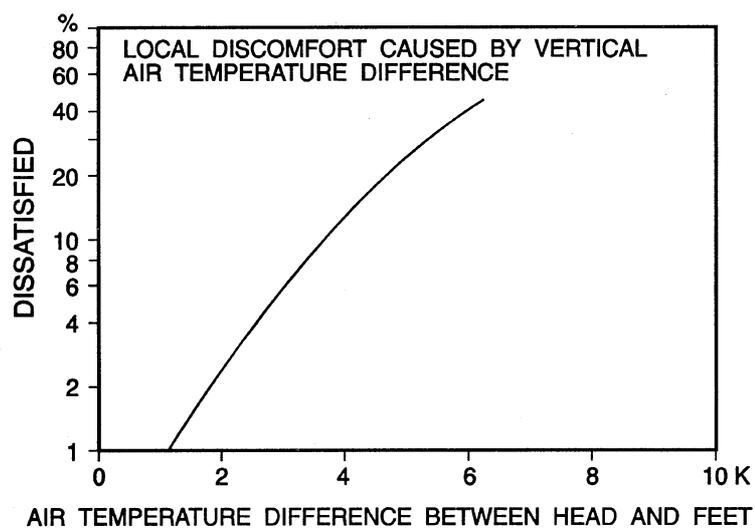
LOCAL THERMAL COMFORT

<i>Radiant temperature asymmetry</i>			
<i>K</i>			
Warm ceiling	Cool ceiling	Cool wall	Warm wall
< 5	< 14	< 10	< 23
< 5	< 14	< 10	< 23
< 7	< 18	< 13	< 35

RADIANT TEMPERATURE ASYMMETRY

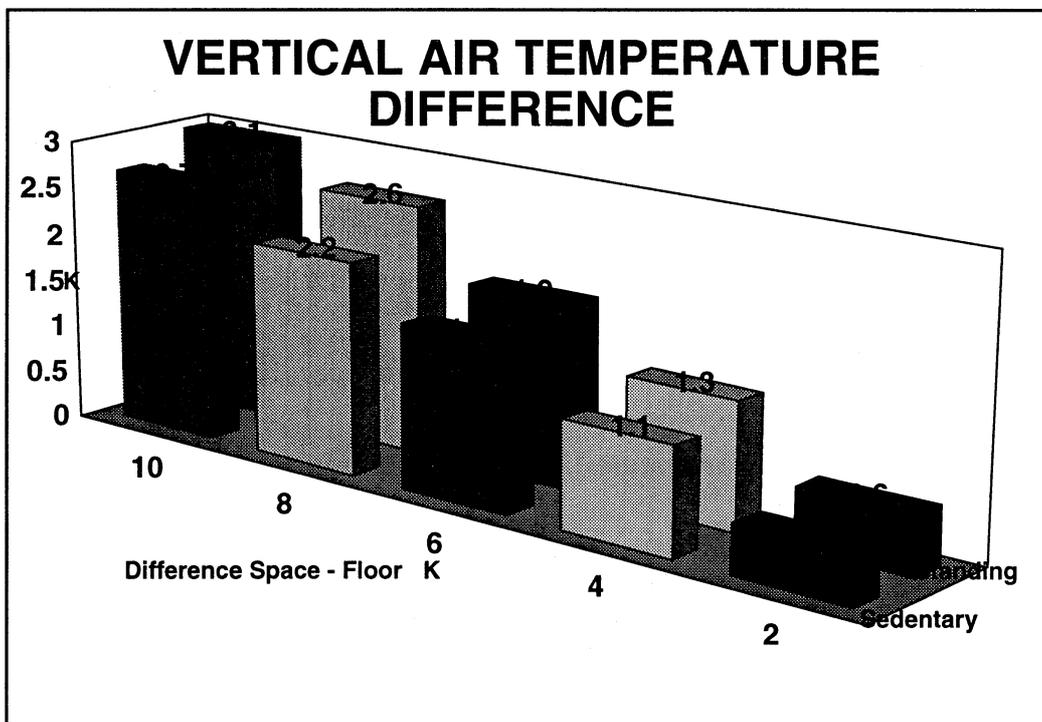
- In general thermal comfort
- Young people
- Mainly sedentary
 - One study with high ceilings and standing
- RESEARCH NEEDS
 - Other age groups
 - Higher activity levels
 - Outside general thermal comfort
 - Combined influence with air velocity
 - » One study by Berglund

VERTICAL AIR TEMPERATURE DIFFERENCE



VERTICAL AIR TEMPERATURE DIFFERENCE

- VERTICAL AIR TEMPERATURE DIFFERENCE Δt_a BETWEEN HEAD AND FEET:
 $< 3 \text{ }^\circ\text{C}$
- SEATED PERSON:
 1.1 m and 0.1 m above floor level



VERTICAL AIR TEMPERATURE DIFFERENCE

<i>Category</i>	<i>Vertical air temp. diff. K</i>
A	< 2
B	< 3
C	< 4

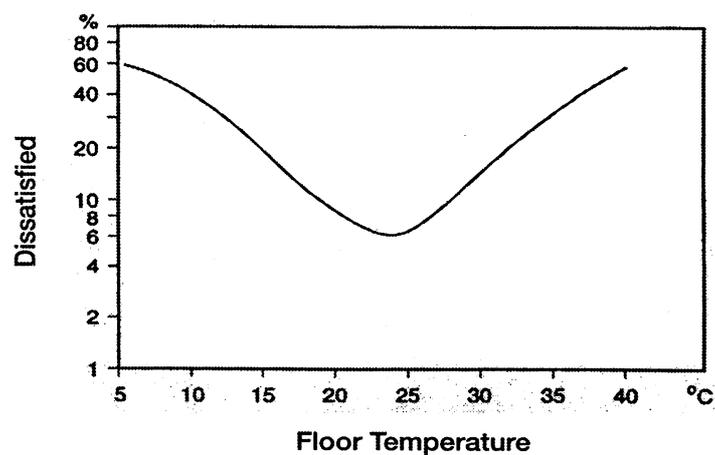
VERTICAL AIR TEMPERATURE DIFFERENCE

- Seated persons
- Subjects in general thermal comfort
- One clothing type, 0.6 clo
- Most studies with increasing temperature
- Young persons
- Female and male have same response

VERTICAL AIR TEMPERATURE DIFFERENCE

- **RESEARCH NEEDS**
 - Other activity levels
 - Outside general thermal comfort
 - Elderly people
- **COMBINED EFFECTS**
 - Radiant temperature asymmetry
 - Draught, air velocity

FLOOR TEMPERATURE



FLOOR TEMPERATURE

- FLOOR TEMPERATURE
- SEATED/STANDING PERSONS:
 $19\text{ }^{\circ}\text{C} < t_s < 29\text{ }^{\circ}\text{C}$

FLOOR TEMPERATURE

<i>Category</i>	<i>Floor surface temperature</i> $^{\circ}\text{C}$
A	19 - 29
B	19 - 29
C	17 - 31

FLOOR TEMPERATURE

- Seated and standing persons
- Young and old
- In general thermal comfort
- Female and male
- Only contact with feet
- With shoes
- Without shoes and floor material
- Water based systems

FLOOR TEMPERATURE

Floor construction on concrete	Optimum floor temperature		Recommended floor temperature range °C	
	1 min. °C	10 min. °C	1 min. 10% dissatisfied	10 min. 15% dissatisfied
Wilton-carpet	21	24.5	12-30.5	21-28
Needled felt sheet	23	25	15.5-31	22.5-28
5 mm cork	24	26	17-31	23-28
Wooden floor	26.5	25.5	22-31.5	23-28
PVC-sheet with felt underlay	28	27	24.5-32	25.5-28
Painted concrete floor	30	28.5	27.5-32.5	27.5-29
Concrete floor	28.5	27	24.6-32.0	26-28.5
Marble	30	29	27.5-32.5	28-29.5

FLOOR TEMPERATURE

- **RESEARCH NEEDS**
 - For other postures like seated or lying on the floor
 - For other activities (walking)
 - Electrical floor heating
- **COMBINED EFFECTS**
 - Outside general thermal comfort

FLOOR TEMPERATURE

- **Several research projects in Japan and South Korea**
- **Compile the studies**
- **Often too few subjects**
- **Statistical analysis**

PERSONAL LOCAL ENVIRONMENT

- Personal control
- Increased comfort
- Design guidelines
- Personal variability

PERSONAL CONTROL

Garment Description	Thermal Insulation clo	Change of Operative Temp. K
Sleeveless vest	0,12	0,8
Thin sweater	0,20	1,3
Light jacket	0,25	1,6
Normal jacket	0,35	2,2

COMBINED EFFECTS

GENERAL AND LOCAL COMFORT

- 5-30% DISSATISFIED GENERAL THERMAL COMFORT
- 0-30% DISSATISFIED LOCAL THERMAL COMFORT
- COMBINED ?

EXPOSED TO SEVERAL LOCAL COMFORT FACTORS

- COMBINED ?

RECOMENDATIONS

GENERAL THERMAL COMFORT FACTORS

- TRANSIENTS
- TEMPERATURE RAMPS
- PERSONAL CONTROL

RECOMENDATIONS

LOCAL THERMAL COMFORT FACTORS

- **Floor temperatures**
 - Position, activity, outside general comfort
- **Vertical air temperature differences**
 - Different age groups, activity, outside general comfort
 - Combined with air velocity
- **Radiant temperature asymmetry**
 - Activity, outside general comfort

RECOMENDATIONS

- **ORGANIZE A COMMON RESEARCH PLAN**
- **UNIVERSITIES AND RESEARCH INSTITUTES
BID ON RESEARCH SUBJECTS**
- **COMBINE RESEARCH AT DIFFERENT
RESEARCH INSTITUTES**
- **USE ENOUGH SUBJECTS FOR STATISTICAL
ANALYSIS**
- **PUBLISH IN ENGLISH LITTERATURE**

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
基盤技術研究開発室 にご連絡下さい。
電話：03-3987-9389 FAX：03-3987-9394