

平成12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  
温熱環境の標準化

平成13年3月

社団法人 人間生活工学研究センター



## 目 次

1. まえがき	1
2. 成果報告	
2. 1 要約	2
2. 2. 業務実施計画	5
2. 2. 1. 研究開発の目的	5
2. 2. 2. 研究開発の細目	5
2. 2. 3. 研究実施場所	8
2. 2. 4. 委託期間	8
2. 2. 5. 実施計画日程	9
2. 2. 6. 研究体制	10
2. 2. 7. 実施計画の変更	12
2. 2. 8. 委員会	13
2. 3. 実施結果	17
2. 3. 1. 動的温熱環境評価技術の開発	17
2. 3. 1. (1) 人体熱モデルによる評価技術の開発	17
2. 3. 1. (2) サーマルマネキンによる評価技術の開発	43
2. 3. 1. (3) 被験者実験による環境の評価技術の開発	58
2. 3. 2. 身体各部位の温熱感受性の解明	68
2. 3. 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	81
2. 3. 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	84
2. 4. 結論	102
2. 4. 1. 技術開発	102
2. 4. 2. 國際標準化	106
2. 5. あとがき	109
2. 6. 参考文献	110
2. 6. 1. 動的温熱環境評価技術の開発	110
2. 6. 2. 身体各部位の温熱感受性の解明	110
2. 6. 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	110

2. 6. 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	1 1 1
3. 研究発表・講演、文献、特許等の状況	1 1 1
3. 1. 研究発表、講演（口頭発表）	1 1 1
3. 2. 文献（業界誌、学会誌などへの投稿）	1 1 1
3. 3. 特許等	1 1 1
3. 4. その他の公表（プレス発表など）	1 1 1
4. 付録	1 1 2
4. 1. 海外調査報告	1 1 2
4. 1. 1. サーマルマネキンに関する動向調査	1 1 2
4. 1. 2. 温熱感受性に関する技術動向	1 1 5
4. 1. 3. ISO の海外動向	1 1 8
4. 2. 委員会の議事録	1 2 5
4. 2. 1. 動的温熱標準化技術審議委員会	1 2 5
4. 2. 2. 動的温熱標準化技術開発委員会	1 3 7
4. 3. シンポジウムの資料	1 5 8
4. 3. 1. シンポジウムのまとめ	1 5 8
4. 3. 2. シンポジウムの討論の記録	1 6 1
4. 3. 3. オルセン氏のコメント	1 7 1
4. 3. 4. シンポジウム予稿集	1 7 2

## 1. まえがき

人々は四季折々の環境変化の中で、自然環境の利用、夏季の冷房、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に関しては、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、これらの規格は、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もので、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。

温熱環境分野は国際規格の制定が比較的進んでおり、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。

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、サーマルマネキン等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”環境を構成する方向性を与えるものである。

人体熱モデルによる評価技術の開発は、人間感覚計測応用技術である人体熱モデルを用い、熱環境数値計算(CFD)と、“人体熱モデル”的組み合わせで、床温と室温の許容、推奨範囲に関する数値計算データベースを構築し、被験者実験によるデータベースで補完を行うことを最終的目的とし、“人体熱モデル”的システム改良と実験的検証を実施した。

また、サーマルマネキンの評価技術の開発は、作製した成人サーマルマネキンを用いて、不均一温熱環境下で、身体20部位の温度と熱損失量を測定し、サーマルマネキンによって測定した不均一温熱環境の等価温度と、被験者の温冷感と比較し、比較的高い精度でサーマルマネキンを使い等価温度で、不均一温熱環境下の温冷感が予測可能なことが明らかとなった。

夏季の高温多湿の環境から空調室内へ移動した場合の被験者実験では、暑熱環境の違いが空調環境への移動後にも心理反応に影響し、ほぼ定常状態に達したと考えられる移動後30分以降もその影響が残っていることを示した。また、身体各部位の温熱感受性の研究では、青年男女、高齢男女に夜被験者実験で、頭部ではグループ間に差がないが、軀幹部よりは末梢部へいくほど、上半身よりは下半身で標準偏差が大きく、部位差が存在する等の基礎的な知見を得た。

研究と共に人間－生活環境系会議と連携し「不均一温熱環境の国際標準－特に床暖房について」をテーマに公開シンポジウムを開催し、生活空間における床暖房について方向付けを行った。

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、より的確かつ汎用性のある動的温熱環境評価技術を開発し、これらの技術を一般的な生活環境を評価する指標として、今後ISOに提案する予定である。

## 2. 成果報告

### 2. 1. 要約

生活空間における温熱環境評価に関する規格は、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もので、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、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。

本研究では、非定常・不均一な温熱環境の快／不快を評価する評価技術を開発し、評価基準を構築するとともに、より現実的な生活空間の熱的適合性の評価を可能にし、この研究成果を基に温熱環境の評価方法について ISO に提案することを目的に進めてきている。

そのために、①動的温熱環境評価技術の開発、②身体各部位の温熱感受性の解明、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、④関連技術の調査研究とデータベース化を主要な課題とし、一部を九州芸術工科大学に再委託、工業技術院生命工学工業技術研究所と共同研究する体制で、平成 11 年度から 3 年間の計画で行ってきている。

本年度、人体熱モデルによる評価技術の開発では、人間感覚計測応用技術開発プロジェクトの成果である“人体熱モデル”を用い、熱環境数値計算（CFD）と、“人体熱モデル”的組み合わせでシステム改良を行い、被験者実験による実験的検証を実施し、不均一温熱環境を評価する手法として有効であることを確認した。

サーマルマネキンでは、作製した成人サーマルマネキンを用いて、不均一温熱環境下で、身体 20 部位の温度と熱損失量を測定し、サーマルマネキンによって測定した不均一温熱環境の等価温度と、被験者の温冷感と比較し、比較的高い精度でサーマルマネキンを使い等価温度で、不均一温熱環境下の温冷感が予測可能なことが明らかとなった。

トランジェントの人体影響を調査するための被験者実験では、移動後にも心理反応に影響することや、男女高齢者ならびに青年男女による温熱感受性の研究では、躯幹部よりは末梢部へいくほど部位差が存在する等の基礎的な知見を得た。

研究と同時に、人間－生活環境系会議と連携し「不均一温熱環境の国際標準－特に床暖房について」をテーマに公開シンポジウムを開催し、床暖房の基準値について方向付けを行った。

温熱環境の快適性に関する評価法の開発は主に、ISO/TC159（人間工学）/SC5（物理的環境）/WG1（温熱環境）の専門家委員会のメンバーが行っている。

日本では、九州芸術工科大学の柄原教授が、ISO/TC159/SC5 の国内委員会並びに、同 WG1 の主査を担当するとともに、本研究開発を推進する委員会の委員長として温熱環境評価の規格化を推進している。

本研究で対象とする主な規格は、ISO7730 であり、床暖房基準ならびにトランジェント基準の改定案ならびに人体熱モデルによる評価法、サーマルマネキンによる評価法を新たな規格として素案を検討し、平成 13 年度にはまとめる予定である。

## 2. REPORT OF THE RESULT

### 2.1. SUMMARY

Standards that predict thermal comfort of living environment are designed to evaluate spaces of uniform and constant thermal conditions, while the actual living spaces are not necessarily uniform or constant, as there could be radiation from windows or heated floor which causes vertical temperature variation, or draft which causes temperature variation over time.

Our studies are aimed to develop evaluation technique to predict human comfort/discomfort of non-uniform, non-constant thermal environment, to establish evaluation criteria for more realistic prediction of thermal comfort of living spaces and, in all, to make a proposal of ISO standard(s) for evaluation method of thermal environment.

In the 3 year plan started in 1999 fiscal year being supported by National Institute of Bioscience and Human-Technology, we have conducted, in cooperation with Kyushu Institute of Design, projects of (1) Development of technique to evaluate dynamic thermal environment, (2) Analysis of thermal sensitivity of human body sections, (3) Establishment of criteria for thermal comfort of non-uniform, non-constant living environment and (4) Survey of related techniques and conversion to database.

In the project of "Development of evaluation technique" by means of virtual human body thermal model, this year, we concluded through human testee experiments that a combined and improved system of "Numerical simulation of thermal environment using computational fluid dynamics (CFD)" and "Human body thermal model" which is the result of the development project of "Application of human sense measurement technique," is an effective method to evaluate non-uniform thermal environment.

In the thermal mannequin project, a constructed thermal adult mannequin was used to determine relation between temperature and heat loss of 20 human body sections. Comparison of the equivalent temperature of non-uniform thermal environment derived from the measurements of thermal mannequin, and the thermal feeling of human testees revealed that the former can predict in a high accuracy the human feeling of non-uniform thermal condition.

Human testee experiments to find the effect of transient conditions, revealed that such conditions gave psychological effect after the transition. The thermal sensitivity study of aged and young male and female testees gave us some fundamental knowledge of limb sensitivity, which showed more local variance than the central body in the sensitivity against changes.

In parallel with the studies, we, jointly with Human Environmental Systems Counsel, held an open forum titled "International standards for non-uniform thermal environment, especially floor heating," to discuss the fundamental concept of criteria for floor heating.

Development of prediction method of thermal comfort/discomfort is undertaken mainly by the members of the national committee for ISO/TC159 Ergonomics / SC5 Ergonomics of physical environment / WG1 Thermal environment. The national committee for TC159/SC5 is chaired by Prof. Tochihara of Kyushu Institute of Design who is also the leader of the national WG1 and the committee chairman of the above studies for standardization of thermal environment evaluation.

The reference standard of these studies is ISO 7730, for which a revising proposal of floor heating criteria and transient conditions and an addition proposal of prediction methods by the human body thermal model and the thermal mannequin will be drafted towards the end of 2001 fiscal year.

## 2. 2. 業務実施計画

### 2. 2. 1. 研究開発の目標

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態は、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に「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指向性を与える。

### 2. 2. 2. 研究開発の細目

#### 2. 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。

#### 2. 2. 2. (1). 1) 人体熱モデルによる評価技術の開発

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2.2.2.(1).3)の被験者実験との対応付け、および後述2.2.2.(2)身体各部位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。

床暖房熱環境評価モデルを構築するために人体熱モデルの改良を行うとともに文献データとの対比シミュレーションを行う。また、後述2.2.2.(1).3)の被験者実験で得られるデータを基に、評価技術の3種の整合性を図る。

#### 2.2.2.(1).2) サーマルマネキンによる評価技術の開発

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2.2.2.(1).3)における被験者実験結果、および後述2.2.2.(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。

成人用サーマルマネキンの性能確認を行い、これを用いて各種の温熱環境下での快適性評価技術の開発を行うとともに、後述2.2.2.(1).3)の被験者実験で得られるデータを基に、3種の評価技術の整合性を図る。

#### 2.2.2.(1).3) 験者実験による環境の評価技術の開発

前述2.2.2.(1).1)および2.2.2.(1).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、具体的な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 2. 2. 2. (1). 1) および 2. 2. 2. (1). 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。

被験者実験手法に基づきサーマルマネキン、並びに人体熱モデルの評価方法の整合性の基礎となる被験者実験を行い、3つの評価技術の対応付けを行う。

## 2. 2. 2. (2). 身体各部位の温熱感受性の解明

身体部位を刺激することが可能な、気流または加熱・冷却等による刺激装置（局所温冷刺激装置）を作成する。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。

局所温冷刺激装置を用いて得られた予備実験の結果をもとに、各種温熱環境下で被験者実験を行い局所温冷感についての基礎データの蓄積を図る。

## 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

先述 2. 2. 2. (1) 動的温熱環境評価技術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。

どのような場面を対象にするか、どのように基準値を構成するか、などの基本的な方向性に加え、具体的な場面について検討する。

## 2. 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

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。

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具体的に継続調査する。また前年度の動的温熱環境に関する研究動向の解析に加え、関係する研究機関での動的温熱環境評価技術の動向とISOの動向を継続調査する。

## 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

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より具体的なスケジュールを含めた計画を立案する。計画に基づき本年度は関係学会と連携しシンポジウムを開催する。

## 2. 2. 3. 研究実施場所

### 2. 2. 3. (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）

### 2. 2. 3. (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：サーマルマネキンとその制御システム

### 2. 2. 3. (3). 経済産業省 産業技術総合研究所

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. 2. 4. 委託期間

平成12年4月1日から平成13年3月31日まで

## 2. 2. 5. 実施計画日程

研究開発項目	平成12年									平成13年		
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
2.2.2.												
(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							▲					→
2)サーマルマネキンによる評価 技術の開発					▲	▲						→
3)被験者実験による環境の評価 技術の開発												→
(2)身体各部位の温熱感受性の解明												→
(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												→
(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												→
・ユーザーニーズと評価技術の 調査ならびに動的環境評価技 術に係る研究動向と I S O 動向の調査												→
・動的温熱環境評価データベース 構築												→
(5)国際規格骨子作成並びに国際 標準化活動計画立案 ・シンポジウムの開催										○		→
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 実施計画日程表

## 2. 2. 6. 研究体制

### 2. 2. 6. (1) 研究組織及び管理体制

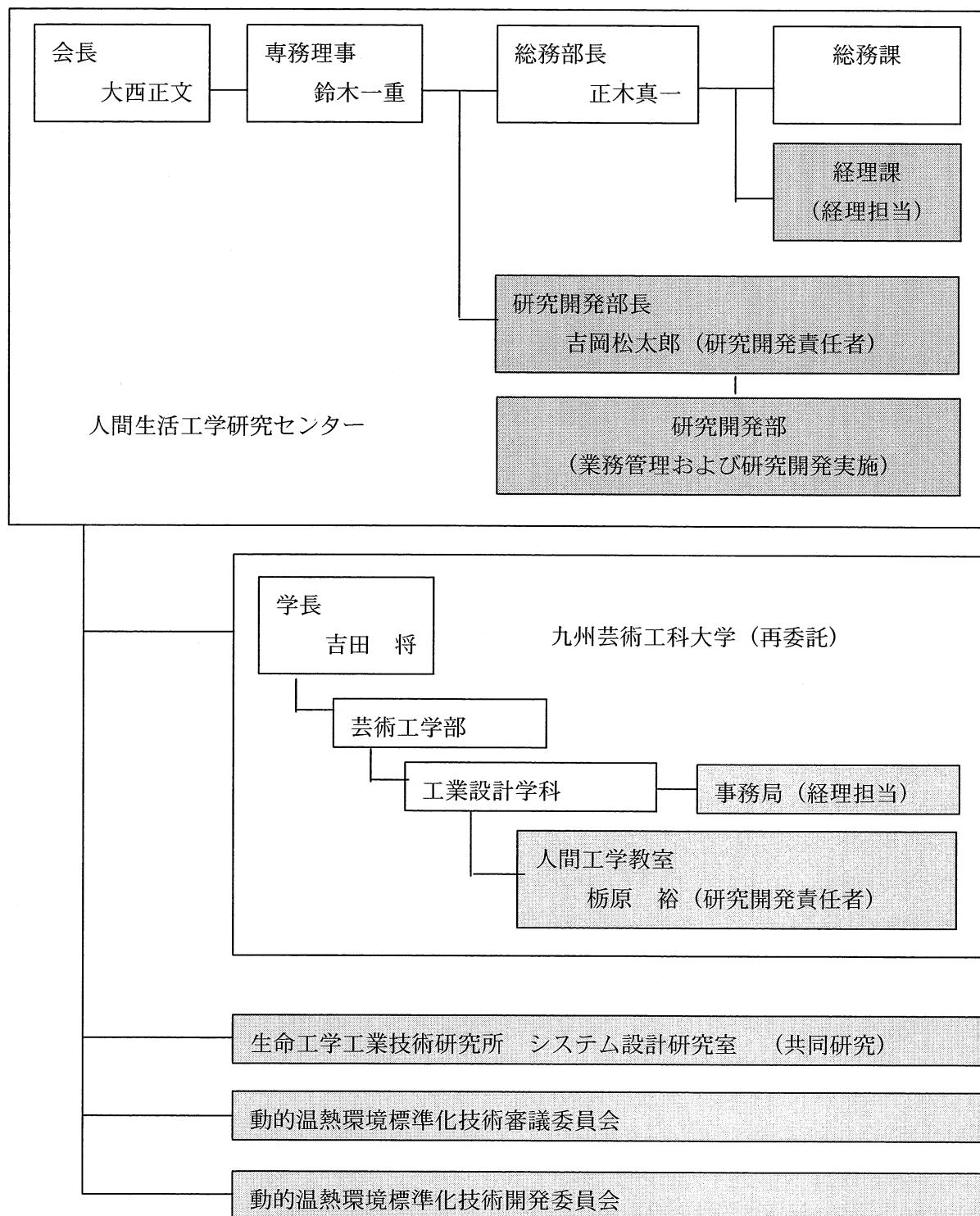


図2 研究開発体制と管理体制

2. 2. 6. (2) 研究者氏名及び人員

2. 2. 6. (2). 1) 研究者氏名

表1 研究者一覧

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	2.2.2.(1).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.(1).1)、2.2.2.(2)、 2.2.2.(4)
渡辺 孜	人間生活工学研究センター研究開発部 研究員	2.2.2.(1).1)、2.2.2.(1).3) 2.2.2.(2)、 <u>2.2.2.(4)</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	2.2.2.(5)
中嶋 純子	人間生活工学研究センター 研究開発部 研究員	2.2.2.(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	2.2.2.(4)
柄原 裕	九州芸術工科大学 教授	2.2.2.(1).2)、2.2.2.(1).3) 2.2.2.(3)

アンダーラインは変更事項（平成12年9月1日）

2. 2. 6. (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
2.2.2.(1).1)	人体熱モデルによる評価技術の開発	3
2.2.2.(1).2)	サーマルマネキンによる評価技術の開発	1
2.2.2.(1).3)	被験者実験による環境の評価技術の開発	<u>2</u>
2.2.2.(2).	身体各部位の温熱感受性の解明	2
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
2.2.2.(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
2.2.2.(5).	国際規格骨子作成並びに国際標準化活動計画立案	<u>2</u>

2. 2. 6. (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

## 2. 2. 7. 実施計画の変更

### 2. 2. 7. (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

契約金額を 33,999,000円から 33,488,700円に変更する。

#### 2) 変更理由

契約金額の減額は、国内の技術調査を効率的に実施し経費の節減を図る。

#### 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12年11月16日

### 2. 2. 7. (2) 業務委託契約約款による届出（第3条第1項）

#### 1) 変更事項

動的温熱環境標準化技術委員会委員の変更（表3に詳細を記入）

#### 2) 変更理由

企業委員の移動に伴う委員の変更

#### 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12年5月25日

### 2. 2. 7. (3) 業務委託契約約款による届出（第3条第1項）

#### 1) 変更事項

研究員の変更および研究員の研究項目の追加（表1、表2に詳細を記入）

#### 2) 変更理由

研究員の退職に伴う変更ならびに研究の効率化に伴う研究員の研究項目の追加

#### 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12年9月1日

## 2. 2. 8. 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。

①動的温熱環境標準化技術審議委員会

②動的温熱環境標準化技術開発委員会

また、本研究開発は、(財)日本規格協会と連携を図りつつ実施する。

### 2. 2. 8. (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3回開催する。

#### 1) 委員会の構成

動的温熱環境標準化技術審議委員会は以下の委員で構成する。

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
委員長 委員	柄原 裕	九州芸術工科大学 工業設計学科 人間工学教室 教授
	池田 耕一	厚生労働省 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
	澤田 晋一	厚生労働省 産業医学総合研究所作業条件適応研究部 主任研究官
	澤地 孝男	国土交通省省 建築研究所 第5研究部室長
	竹森 利和	大阪ガス(株) 研究開発部 シニアリサーチャー
	都築 和代	経済産業省 産業技術総合研究所 生命工学工業技術研究所 主任研究官
	堀越 哲美	名古屋工業大学 大学院 工学研究科 教授
	長野 和雄	九州芸術工科大学 工業設計学科 人間工学教室 助手
	山崎 起助	(財)ヒートポンプ・蓄熱センター技術・広報部 部長
オブザーバー	松尾 隆和	タバイエスペック(株) 環境設備部長
	中山 泰	経済産業省 製造産業局 人間生活システム企画チーム長
	福水 健文	新エネルギー・産業技術総合開発機構 研究開発業務部長
事務局	山村 修蔵	(財)日本規格協会 技術部長
	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
	渡辺 孜	人間生活工学研究センター 研究開発部 研究員

アンダーラインは変更事項(平成12年5月25日)

## 2) 委員会の開催および審議事項

平成12年度に本委員会を3回開催し、以下の事項について審議を行った。

### ①第1回動的温熱環境標準化技術審議委員会

開催日： 平成12年6月19日（月）14：00～16：00

開催場所： 航空会館 801会議室

主要議題： 平成12年度の事業計画と各研究課題の進め方。

審議結果： 事業計画ならびに個別課題の進め方、シンポジウムの基本方針が承認された。

ISO 提案を考慮し、本事業に係わる「言葉の定義を整理する」こと。

### ②第2回動的温熱環境標準化技術審議委員会

開催日： 平成12年10月16日（月）14：00～16：00

開催場所： 航空会館 802会議室

主要議題： 「言葉の定義」、シンポジウム開催概要、個別課題の進捗状況

審議結果： 事業計画や関係する国際規格等から選択した言葉について審議し了承された。

シンポジウム開催内容、個別課題についても承認された。

### ③第3回動的温熱環境標準化技術審議委員会

開催日： 平成13年3月5日（月）14：00～16：00

開催場所： 航空会館 502会議室

主要議題： 本事業の目標とISOへの提案、個別課題の進捗状況、シンポジウムのまとめ

審議結果： 事業計画に目標と個別課題の関係ならびにISO提案概要、ならびにシンポジウムで討議された床暖房の方向について審議し、いずれも承認された。

## 2. 2. 8. (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な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、本研開発の具体的な方向性を決定する。

本委員会は本年度5回開催する。

### 1) 委員会の構成

動的温熱環境標準化技術開発委員会は以下の委員で構成する。

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
委員長 委員	柳原 裕	九州芸術工科大学 人間工学教室 教授
	磯田 憲生	奈良女子大学 大学院 人間環境学科 教授
	竹森 利和	大阪ガス(株) 研究開発部 シニアリサーチャー
	都築 和代	経済産業省 産業技術総合研究所生命工学工業技術研究所 主任研究官
	長野 和雄	九州芸術工科大学 工業設計学科人間工学教室 助手
	堀越 哲美	名古屋工業大学 大学院 工学研究科 教授
オブザーバー	中山 泰	経済産業省 製造産業局 人間生活システム企画チーム長
	福水 健文	新エネルギー・産業技術総合開発機構 究開発業務部研究業務室長
	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
	渡辺 孜	人間生活工学研究センター 研究開発部 研究員

### 2) 委員会の開催および審議事項

平成12年度に本委員会を4回開催し、以下の事項について審議を行った。

#### ①第1回動的温熱環境標準化技術開発委員会

開催日： 平成12年5月26日（金）14：00～17：00

開催場所： 航空会館 705会議室

主要議題： 平成12年度の事業計画と各研究課題の進め方。

審議結果： 事業計画ならびに個別課題の進め方、シンポジウムの基本方針が承認された。

シンポジウムは人間－生活環境系会議が開催する学会11月5、6日のいずれかの日に共催することを決定した。

## ②第2回動的温熱環境標準化技術開発委員会

開催日：平成12年8月21日（月）14：00～17：00

開催場所：京都リサーチパーク

主要議題：個別課題の進め方、シンポジウムの開催と論点、および言葉の定義。

人体熱モデルの基本技術について特に説明を実施、非定常温熱環境評価実験について被験者実験の進捗状況が報告された。

審議結果：学会とのシンポジウムの共催について了解が得られた。特に本事業で不均一温熱環境に関する規格を検討していることを広く知って貰うことも重点の一つとする。

## ③第3回動的温熱環境標準化技術開発委員会

開催日：平成12年12月15日（金）13：00～15：40

開催場所：航空会館

主要議題：シンポジウムのまとめ、事業の目標と規格提案および個別課題の進捗状況、非定常温熱環境評価の被験者実験の結果についてその概要が報告された。サーマルマネキンによる評価実験結果の概要が報告された。

審議結果：シンポジウムの討議を参考に床暖房の基準値について、今後の方向をまとめた。

尚本結論はISOのTC159/SC5/WG1に委員長が報告する予定。

## ④第4回動的温熱環境標準化技術開発委員会

開催日：平成13年2月16日（金）13：00～15：30

開催場所：航空会館

主要議題：シンポジウムのまとめ、事業の目標と規格提案および個別課題の進捗状況、非定常温熱環境評価の被験者実験の結果について、サーマルマネキンによる評価実験結果、人体熱モデルのシミュレーション結果ならびに局所温冷覚刺激被験者の結果の概要についてそれぞれ説明された。

審議結果：シンポジウムの討議を参考に床暖房の最終方向をまとめた。

事業の目標と規格提案では、現在の国際規格の床暖房ならびにトランジェントの基準値について改定案を検討する。

不均一温熱環境の評価方法として局所温熱感受性を考慮したサーマルマネキンによる評価方法、人体熱モデルによる評価方法を長期的に提案することを承認された。

## 2. 3. 実施結果

### 2. 3. 1. 動的温熱環境評価方法の開発

#### 2. 3. 1. (1) 人体熱モデルによる評価技術の開発

##### 1) はじめに

日本における現在までの床暖房の研究の成果を統合し、床温と室温の許容、推奨の範囲に関するデータベースを構築しようとする時、以下のような課題がある。

- ①研究機関毎に、環境試験室の仕様が違う
- ②研究機関毎に、実験方法が違う
- ③実験毎に、被験者の性別や年齢、被験者数が違う。

被験者実験を行う場合、被験者の数が多いのは望ましいが、国内の過去の実験では、被験者数が10人以下の場合が多い。

そこで、本プロジェクトでは、熱環境数値計算（以下CFDと記述）と、”人体熱モデル（床暖房版）”との組み合わせで、数値計算データベースを構築し、被験者実験の結果によるデータベースの補完を行うことを目的としている。

この事業で使っている“人体熱モデル”は、通商産業省工業技術院の人間感覚計測応用技術開発プロジェクトで大阪ガス(株)が開発したシミュレーションシステムで、このシステムを改良し生活空間における不均一温熱環境評価技術として基準化しようとするものである。

##### 2) 検討課題

###### ①熱環境数値計算手法の開発

被験者実験を行う環境試験室をCFDによって再現するために、計算に用いるパラメータの感度解析を、2次元モデルで行う。パラメータとしては、計算格子数、ふく射率、カーテンのモデル化の方法を検討した。

次に、2次元モデルによって得られた知見を用いて、3次元モデルでの解析を行い、3次元モデルでの計算結果と、環境試験室で得られた計測結果の比較より、モデル化の妥当性を検討する。更に、この計算結果を、人体熱モデルへの境界条件に適用できるような仕組みを構築するものとする。

###### ②人体熱モデルのシステム改良と実験的検証

床座で、床温・環境温度が均一な環境での、被験者実験結果と“人体熱モデル”による計算結果を比較し、“人体熱モデル”的実験との検証を行う。

次に、床温と環境温度が違う床暖房環境（不均一環境）での被験者実験結果と、“人体熱モデル”的結果を比較し、不均一環境での、人体熱モデルの検証を行う。

##### 3) 具体的な検討方法

各課題に対する検討方法は以下のように行った。

###### ①熱環境数値計算手法の開発

床暖房時の床近傍での自然対流の影響を“人体熱モデル”を用いた計算に加味するために、

②の人体熱モデルのシステム改良と実験的検証 における環境試験室での計測データと、汎用の3次元流体解析プログラムを組み合わせて用いる。

尚、環境試験室のモデル化は以下の手順で行った。

- A. 実際の環境試験室の寸法より、まず2次元の計算格子を作成する。ここでは、環境試験室内にある、床暖房パネル、天井パネル、カーテン、断熱パネル等、計算に関する内部の物体をモデル化できるように、計算格子の必要な部分を細かくした。
- B. 流入境界条件、流出境界条件と、床暖房パネルの表面温度を設定し、その他のパラメータについて、感度解析を行う。
- C. Bで求めたパラメータを使い、3次元モデルを作成する。
- D. Cの3次元モデルで、計算を行い、床近傍での自然対流の値、上下方向の温度分布を算出する。この計算結果を、環境試験室での計測データで検証し、“人体熱モデル”の部位単位での、境界条件にコンバートし、影響を加味させることを可能にする。

## ②人体熱モデルのシステム改良と実験的検証

被験者実験との対比で改良システムの検証を加えシステムを補強するものとする。

ここでは、8人の健康な青年女子を、被験者とし、24℃の均一状態での生理反応を計測し、“人体熱モデル”による計算結果との比較を行い、均一状態でのモデルの精度を検証する。

次に、床暖房の温度を3水準（25, 30, 35℃）に固定し、環境温度を3水準（18, 21, 24℃）と設定し、合計9条件について被験者実験を行ない、床暖房環境における“人体熱モデル”的結果との比較検証を行う。

## 4) 検討結果

### ①熱環境数値計算手法の開発

#### 【環境試験室のモデル化】

今回の被験者実験に使用する環境試験室の寸法図を次ページの、図3に示す。環境試験室の中の、実際の床暖房空間すなわち被験者のいる空間は、下部の床暖房パネルと、上部の天井パネル、側面3方をカーテンで囲まれ、残り1方には、断熱パネルが設置されている空間である。この床暖房パネルは、環境試験室の床面から、25cm浮かせたところにある。床暖房パネルは、3.6m四方の空間に設置されており、温水がこのパネル全面に流れる設計となっている。環境試験室には、1方向の面全面から、空調からの風が流入し、反対方向の面全面で強制排気される。被験者のいる位置を無風な状態に近づけるために、流入面側下部と流出面側下部に断熱パネルを設置し、カーテンからの隙間風で、排熱を行うようにしている。

CFDで用いるパラメータの感度解析を行うために、まず、2次元モデルを考えることとした。2次元モデルであることから、環境試験室の中央断面上にあると考え、床暖房パネル、天井パネル、カーテンおよび断熱パネルをモデル化した。流入境界を流速固定境界とし、出口側には、強制排気による流速固定境界と、計算の安定性を確保するための、自由流出境界を設定した。計算条件の詳細については、表5に示した。流体の物性には、通常の空気の物性値を用いた。非圧縮流体として計算を行うこととし、系全体で温度差がほとんどないことから、浮力の効果は、Boussinesq近似で、考慮することとした。

## ●シミュレーション上のモデル

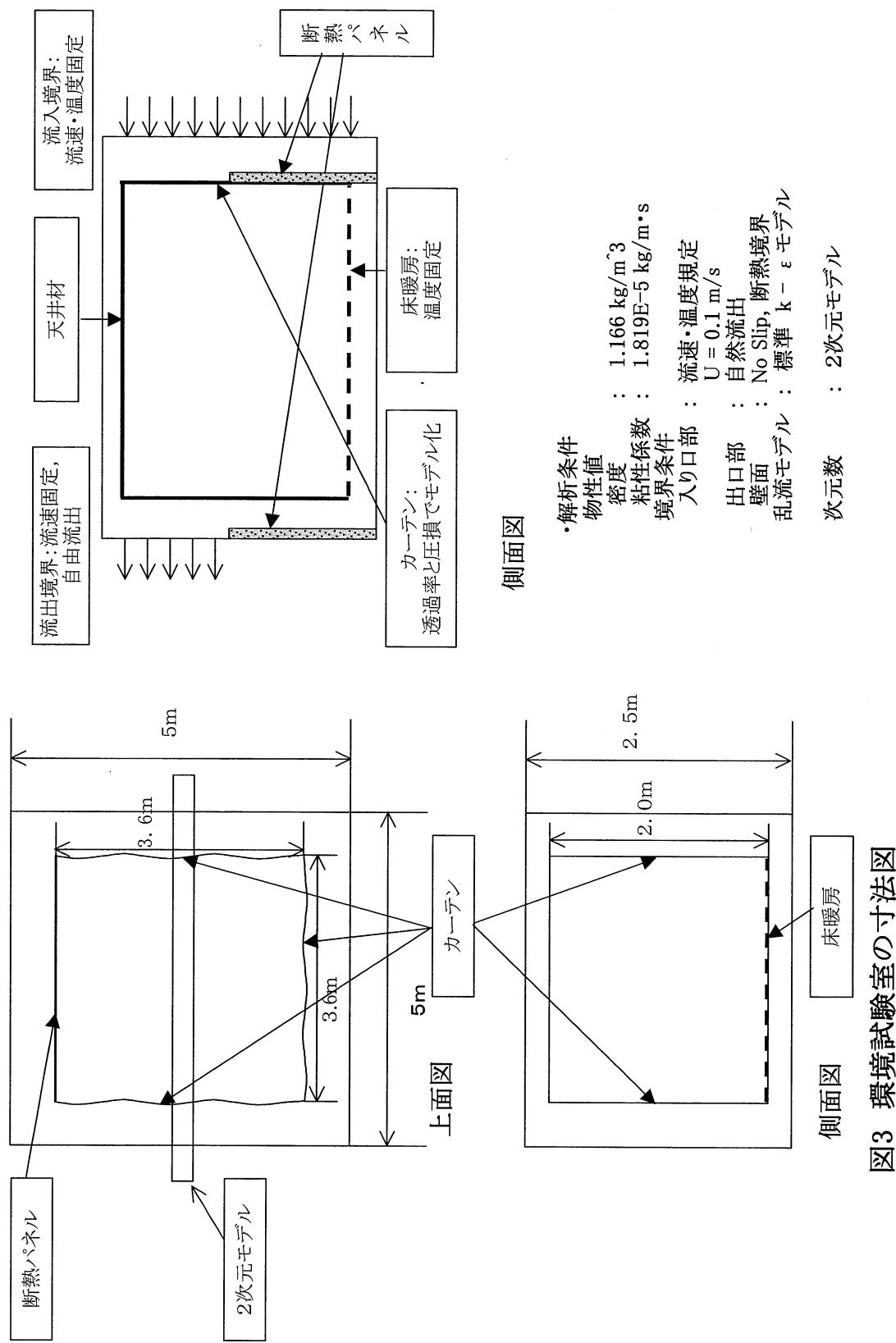


図3 環境試験室の寸法図

表5 計算条件

項目	計算条件
1. 尺寸	5 m × 5 m × 2.5 m (環境試験室全体) 3.6 m × 3.6 m × 2 m (カーテンと床暖房に囲まれた空間)
2. 物性値 空気	密度 : $1.166 \text{ kg/m}^3$ 、 粘性係数 : $1.819 * 10 * 10^{-5} \text{ kg/m} \cdot \text{s}$ 定圧比熱 : $1004.5 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$ 、 熱伝導率 : $2.41 * 10^{-2} \text{ J/m} \cdot \text{s} \cdot \text{K}$
3. 境界条件 入口部 壁面	流速設定 : 0.1 m/s 、 流速規定 : 0.1 m/s + 自由流出 No Slip
4. その他 乱流モデル 非圧縮定常解析 浮力の効果	①標準 $k-\varepsilon$ モデル ②Modified Production $k-\varepsilon$ モデル ③Re Normalization Group $k-\varepsilon$ モデル Boussinesq 近似
5. その他モデル化したもの ・空気流入口側において断熱パネル : 遮蔽板としてモデル化 ・カーテン ・圧損 ・輻射率	開口率と圧損でモデル化 綿の透過率 : $8 * 10^{-3} \sim 2.8 * 10^{-2}$ : 北見工大 繊維材料の輻射性質より ① $8 * 10^{-3}$ ② $2 * 10^{-2}$ $1/2 * \rho * C_f * V_n$ ex : 0.1 m/s で 1.7Pa ①1.7Pa ②17Pa ①0.80 ②x0.7 ③x0.3 ④x1.2

## 【メッシュ分割数の検討】

CFDを行う場合、計算精度を求めるためには、メッシュを非常に細かく切る必要があるが、このメッシュ数に比例して、計算時間も多くなるという問題がある。3次元での解析を目的としていることから、必要な精度を保ちつつ、メッシュ数を少なくできるように検討を行った。

図4にメッシュ数を3段階に設定した時の、それぞれの温度コンター図と、速度ベクトル図を示す。上段のモデルのメッシュ数は、33×40の1320であり、中段では、55×43の2365である。下段は、98×58の5684である。これらの図より、温度コンターとしては、大きな違いは見られないことがわかる。速度ベクトル図を比較してみると、下段くらいのメッシ

ュ数がないと、流れ場における細かい現象を再現できていないことがわかる。この検討より、この後の解析は、5684メッシュの入力データをベースとして行うこととした。

### 【 カーテンの物性値の検討 】

今回の解析で、環境試験室をモデル化しようとする時、物性値が特定できないものに、カーテンがある。綿の透過率が、 $8 * 10^{-3} \sim 2.8 * 10^{-2}$  であるとの報告はなされていたが、厚手のカーテンにそのまま適用できるかどうかは不明である。ここでは、カーテンの透過率を $5 * 10^{-3}$ と $3 * 10^{-2}$ に設定して、比較計算を行った。またカーテンを通過する時の、圧損も考えられるが、これはより物性値を決めることが難しいため、圧損を1.7Paと、17Paになるように設定して、計算を行った。

図5にこの検討結果を示す。カーテンの透過率を $5 * 10^{-3}$ と $3 * 10^{-2}$ にした場合の、結果の比較より、透過率を大きくすることにより、空調から環境試験室内に流入する冷たい空気が、床暖房空間内に流れ込む割合が高くなり、空間内の温度が微妙に低くなっていることが判る。圧損を大きくした上段と下段の比較では、床暖房によって暖められた空気の上昇する方向が微妙に変わっていることが判った。

カーテンの透過率と圧損の設定は、どちらも、非常に微妙なパラメータとなることがわかったのだが、これについては、実際の実験との比較により、再度検討したいと思う。

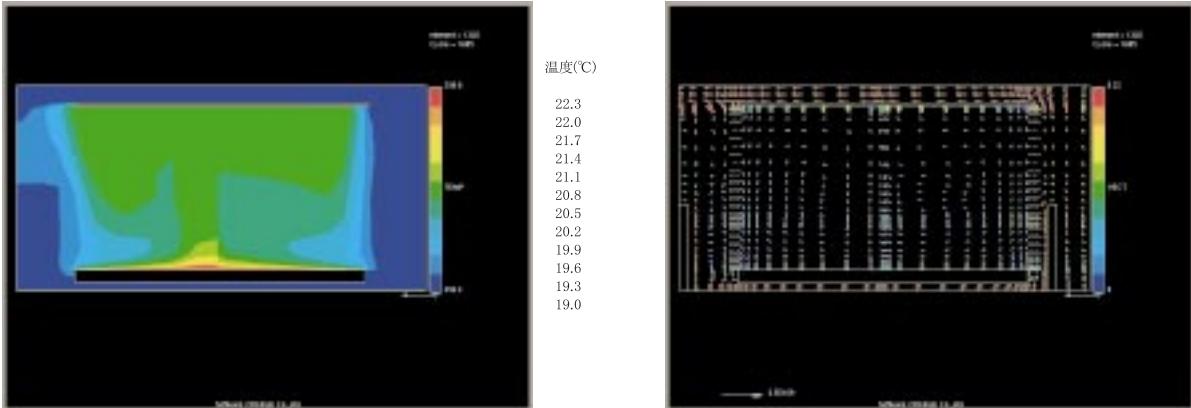
### 【 乱流モデルの検討 】

本解析に使用する汎用3次元流体解析プログラムには、乱流をモデル化するものとして、標準 $k - \varepsilon$ モデル、Modified Production(MP) $k - \varepsilon$ モデル、Re Normalization Group(RNG) $k - \varepsilon$ モデルの3種類が組み込まれている。モデル化の確認のため、この3モデルでの比較計算を行った。

図6にこの結果を示す。標準モデルとMP $k - \varepsilon$ モデルでは、床暖房によって暖められた空気の上昇する方向が変わっており、全体的な流れ場も違っているように思われる。RNG $k - \varepsilon$ モデルとの比較では、床暖房によって暖められた空気の上昇する方向が微妙に変わっていることと、収束までの時間が4倍かかることがわかった。乱流モデルの選択により、計算結果に違いが出ることは判ったが、どれを用いていいのかという判断は非常に難しいことだと思われる。

今後の解析では、様々な分野で使われてきた実績のある標準の $k - \varepsilon$ モデルを使うこととした。

#### メッシュ数に関する検討

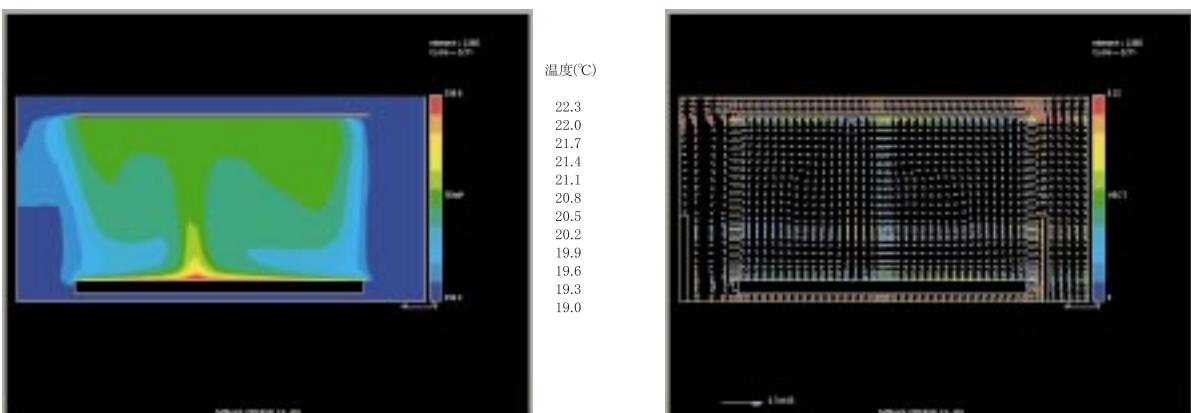


**温度センター図**

(環境温度:21°C 床暖房温度:30°C 格子数:1320)  
輻射を考慮せず

**速度ベクトル図**

(環境温度:21°C 床暖房温度:30°C 格子数:1320)  
輻射を考慮せず

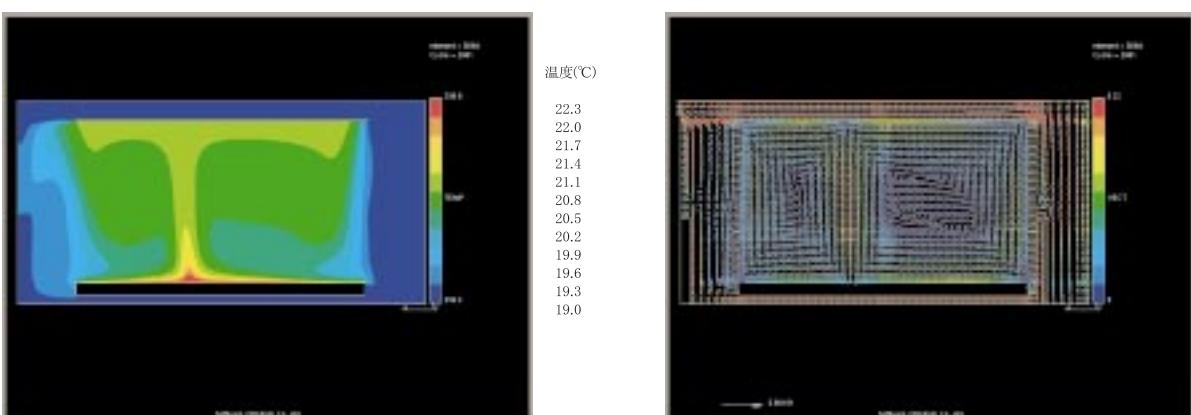


**温度センター図**

(環境温度:21°C 床暖房温度:30°C 格子数:2365)  
輻射を考慮せず

**速度ベクトル図**

(環境温度:21°C 床暖房温度:30°C 格子数:2365)  
輻射を考慮せず



**温度センター図**

(環境温度:21°C 床暖房温度:30°C 格子数:5684)  
輻射を考慮せず

**速度ベクトル図**

(環境温度:21°C 床暖房温度:30°C 格子数:5684)  
輻射を考慮せず

**図4 メッシュ数に関する検討**

## カーテンの物性の検討

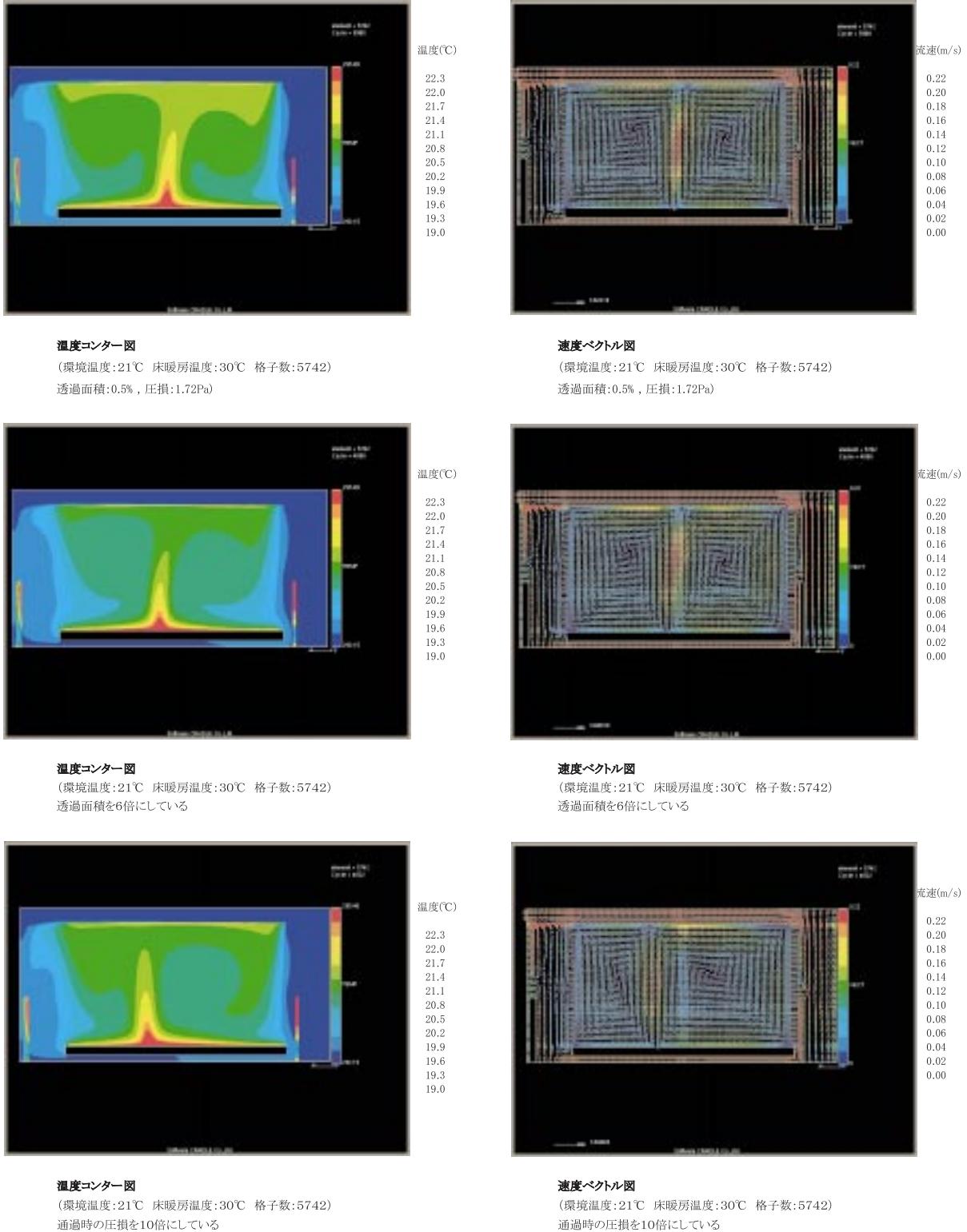


図5 カーテンの物性に関する検討

## 【 輻射率の検討 】

床暖房での環境を解析する場合には、輻射に関する計算が重要となってくる。床暖房の、表面板材の輻射率の値や、今回の環境試験室で被験者の居る空間の回りを囲ったカーテンの輻射率の値は、便覧等に載っているというものではない。機械工学便覧には、檜板材の輻射率が0.87～0.91であるとなっている。ぶなの木の場合には、0.89～0.935だと記述した文献もある。そこで、本解析では、床材の輻射率を、0.8を基準として、7掛け、3掛けと1.2倍した場合について、比較計算を行った。

図7にその結果を示す。上段から順に、輻射の計算をしない場合、輻射率を0.8とした場合、0.56とした場合、0.24とした場合、0.96とした場合となっている。

この結果より、輻射を考慮しない場合には、当たり前のことであるが、天井面や、流入・流出口の下部にある断熱パネルの温度が上がっていないことがわかる。輻射を考慮した場合には、基本的には、輻射率が大きくなるほど、天井の暖まり方も大きく、被験者の居る空間全体の温度が高くなっていることが判る。ただ、0.96まで、大きくすると、上昇気流と空調からの気流の関係で、被験者の居る空間の温度がほんの少し、下がって見えることは、非常に興味深いことである。これらの結果から、今後、輻射率は、0.9前後に設定することとする。

## 【 3次元での計算 】

これまでに得られた知見をもとに、ここでは3次元モデルでの解析を行った。厚さ方向に28分割した、メッシュ数16万のモデルであり、部屋の中央断面で分割した左右対称モデルとしている。

図8に計算結果を示す。上段より、部屋の中心から0.2m, 0.5m, 0.8m, 1.1mの断面での、温度コンターと速度ベクトル図を示す。最下段には、21°Cの等温面を示した。これらの図より、3次元モデルでは、部屋の中央部で、上昇気流が起こっており、サイドのカーテンに近づくにつれて、その上昇流が弱くなっていることが判る。2次元モデルとの比較においては、部屋の中央部での断面の性状が、近いことが判った。被験者が実際にいるところは、部屋の中央部分であり、部屋の温度場や流れ場の状態を把握するには、2次元モデルも有効に使えると言える。

実験値との比較したものを表6と図8に示す。ここでは、部屋の中心断面から25cmの断面で、流れ方向での部屋の中心位置と、下流側に15cmずれた位置での高さ方向の温度プロファイルを示した。実測値として、床面から0.1m, 0.6m, 1.1mでの温度を示した。これより、計算では、床面に近づくに従い温度が上昇することが判るが、実測値では、高さ方向でそれほど大きくは変化していないことが判る。

計算の精度を上げるためにには、実際の温度プロファイルをサーモグラフィーでとり、中央断面での、上昇流の状態を確認する必要があるといえる。

## 乱流モデルの検討

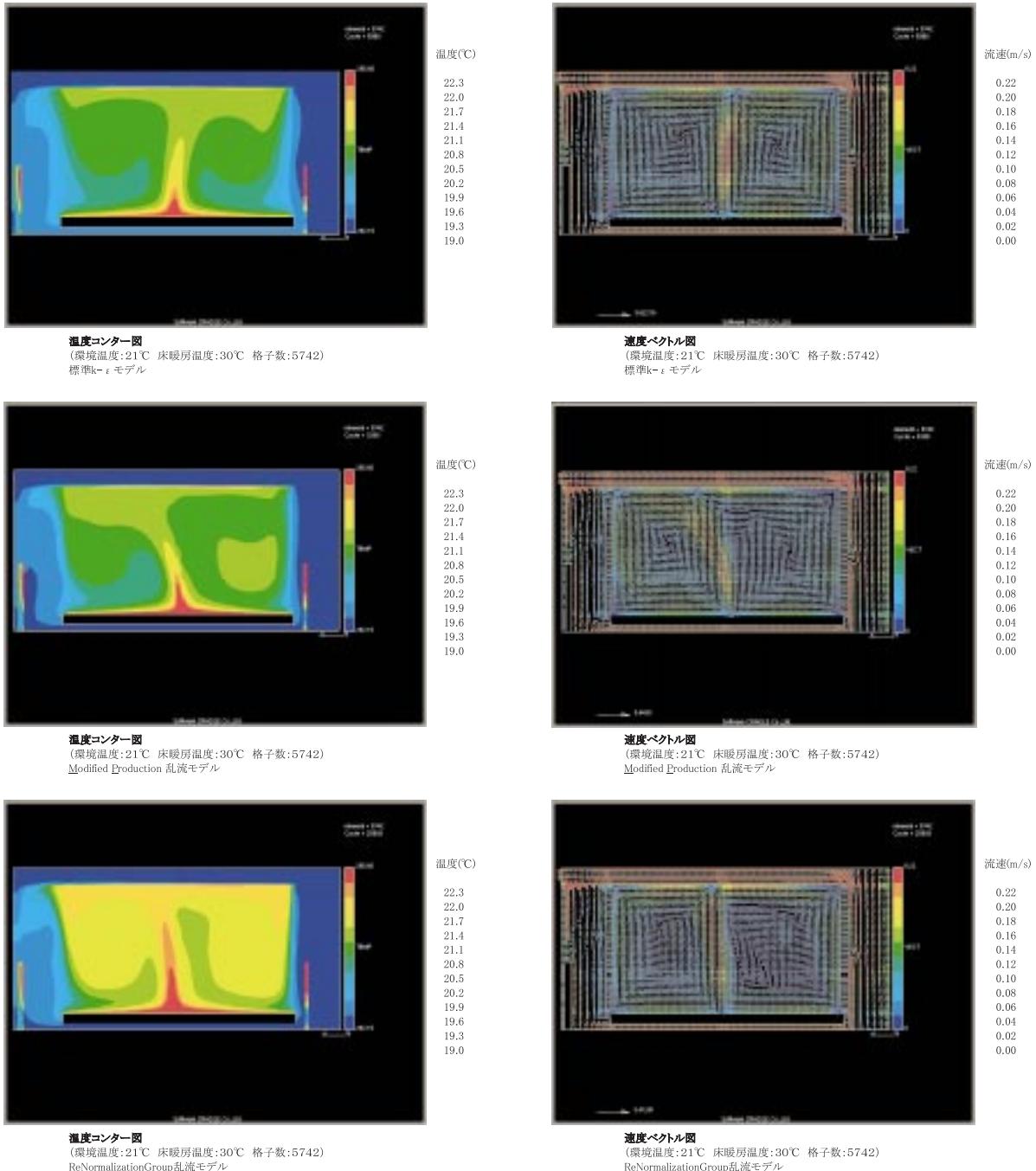


図6 乱流モデルに関する検討

輻射の計算に関する検討

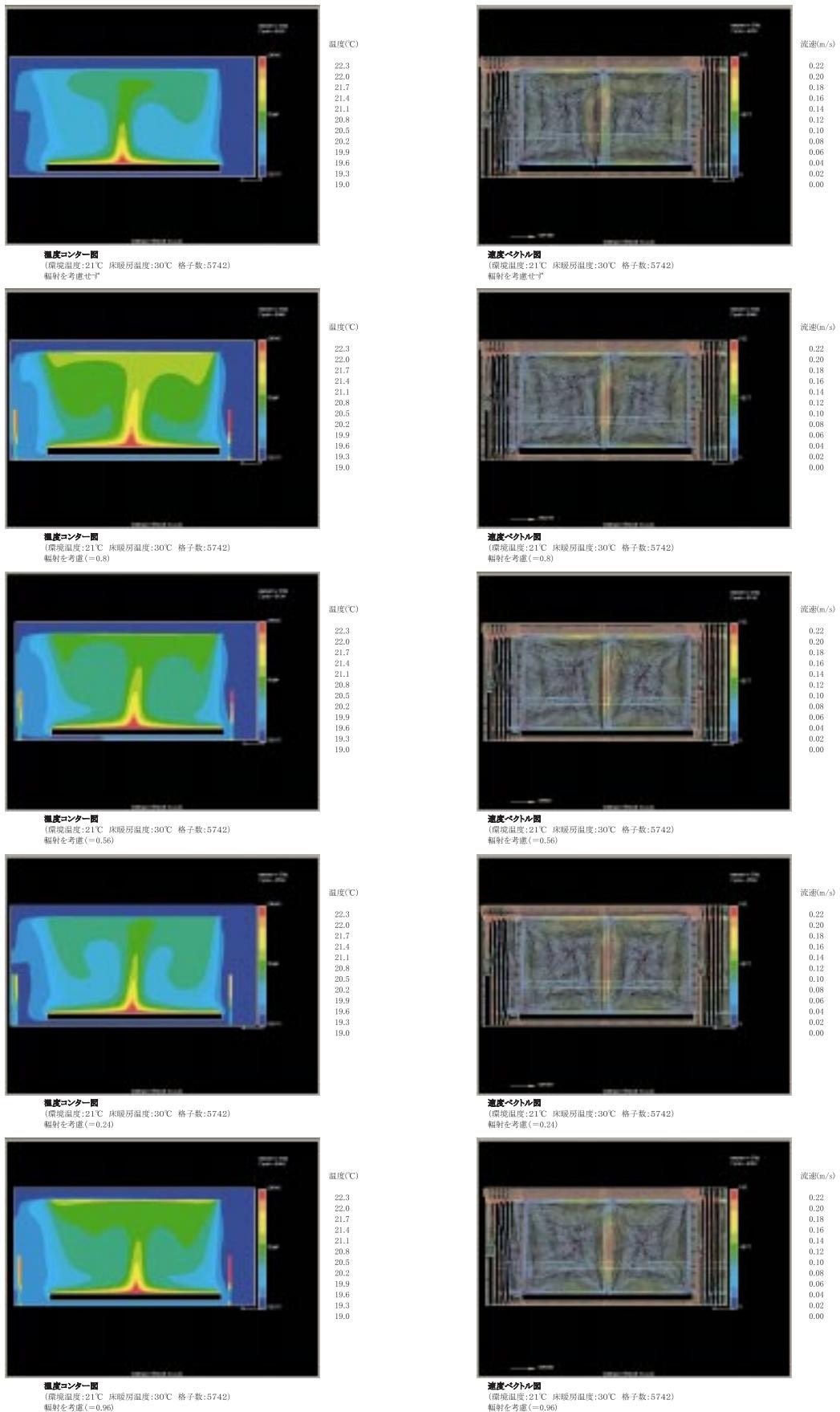


図7 輻射の計算に関する検討

### 3Dモデルの結果

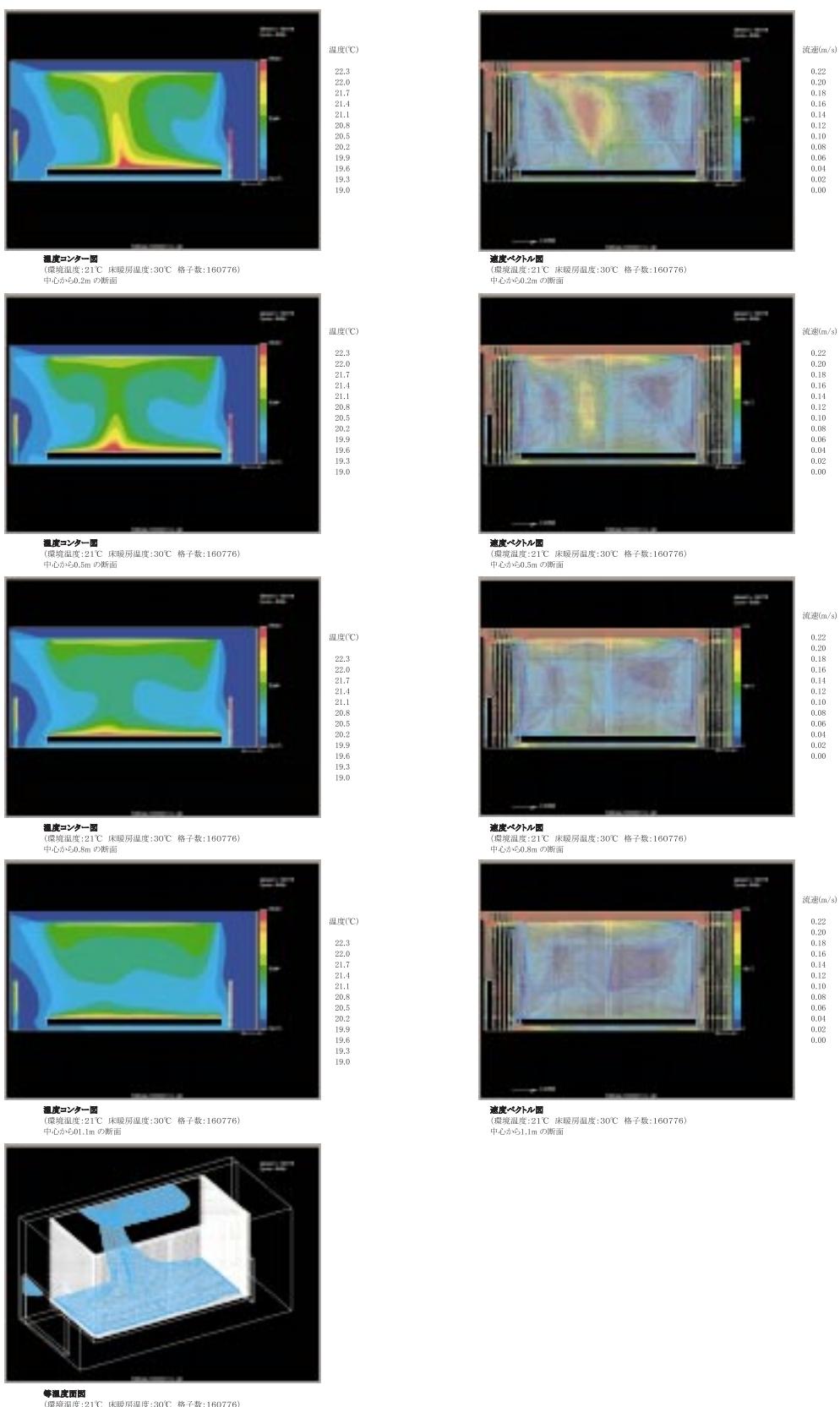


図8 3D モデルによる計算結果

表6 実験結果とCFDの比較

高さ	at 0.020	at 0.175	実測
0.075	22.35	23.05	
0.100			21.50
0.125	21.95	22.55	
0.175	21.65	22.25	
0.225	21.45	22.05	
0.275	21.35	21.85	
0.325	21.25	21.75	
0.375	21.15	21.65	
0.425	21.05	21.55	
0.475	21.05	21.45	
0.525	20.95	21.35	
0.555	20.95	21.35	
0.600	20.95	21.25	21.10
0.645	20.95	21.25	
0.675	20.85	21.25	
0.725	20.85	21.15	
0.775	20.85	21.15	
0.825	20.85	21.15	
0.875	20.85	21.05	
0.925	20.85	21.05	
0.975	20.85	21.05	
1.025	20.85	21.05	
1.075	20.85	21.05	
1.100			21.20
1.125	20.85	21.05	

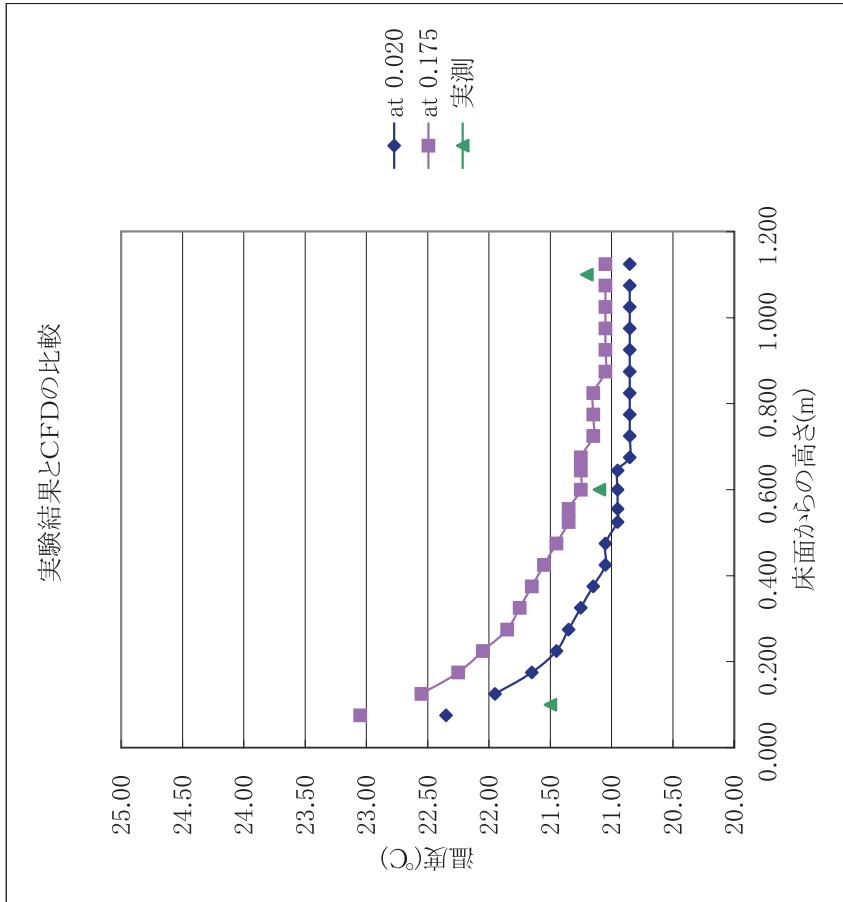


図9 実験結果とCFDの比較

## ② “人体熱モデル” のシステム改良と実験的検証

### 【 被験者実験 】

#### ・人工気候室・設定温熱環境条件

実験は奈良女子大学人工気候室で行った。実験にはA室 (W 5 m \* D 5 m, H 2.5 m)、前室にはB室 (W 3 m \* D 3 m, H 2.5 m) を用いた。設定条件は、前掲した表7に示す様に気温と水温を組み合わせて10条件、相対湿度は40%、気流速度は0.1 m/s以下とした。暴露姿勢は、床座の姿勢で実験を行った。なお、前室は気温23°C相対湿度40%とし、椅子座安静を保った。

表7 実験条件

床暖房温度 (°C)	35	○	○	○
	30	○	○	○
	25	○	○	○
	24			○
		18	21	24
		環境温度 (°C)		

#### ・測定項目および方法

温熱環境要素の気温および黒球温度は、室内中央床上高さ0.1 m, 0.6 m, 1.1 mで測定した。床温は熱電対を貼り付けて測定し、赤外線放射温度計でも測定した。相対湿度は大型アスマン通風乾湿球温度計で測定した。人体反応として皮膚温は、0.1 mmφ T熱電対を皮膚表面15点にテープで貼り付け、30chハイブリッドレコーダーを用いて10秒間隔で測定した。平均皮膚温はHardy&DuBoisの12点体表面積重み平均で算出した。心理反応として、全身および部位別温冷感(9段階)、快適感(7段階)、室温評価(7段階SD法)等の申告を、10分毎に受けた。

#### ・被験者

被験者は奈良女子大学の健康な女子8名とした。被験者の特徴は、前掲した表8に示したとおりである。着衣は、トレーナ上下・長袖Tシャツ・下着・靴下でほぼ1cloであった。

#### ・実験手順

被験者は気温23°C、相対湿度40%の前室に入室し、設定着衣を着用し、測定装置を取り付け、椅子座安静を保ち、約30分後に人工気候室Aに入室する。設定条件下に床座で90分間暴露させた。

#### ・計測データの取り扱い

各計測データについては、設定条件下で90分間暴露された時の、最後10分間のデータの平均値を用いるものとした。

表8 身体的特徴

	身長(cm)	体重(kg)	体脂肪率(%)	年齢(yr)
平均	159	53	25	22
標準偏差	4.18	4.38	5.34	3.07

### 【 人体熱モデル 】

#### ・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、気管支などの生理的、熱的特性を含む人体組織系と、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っている。

#### ・衣服モデル

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。

#### ・接触熱環境モデル

本プロジェクトでは、人体と床面の接触面では、作用温度を考慮せず、接触床面と人体表面の温度が、一致するものとしてモデル化を行っている。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。

#### ・接触部の確定

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」は床と接触しないとした。

#### ・境界条件

被験者実験と条件を合わせるために、“人体熱モデル”に作用する環境温度およびふく射温度については、実験で計測された各々の温度から、“人体熱モデル”的各部位の高さで補間して求めた。接触部温度については、各実験において計測された臀部下部温度を、接触温度とした。湿度については、40%とし、気流速度は0.1 m/s以下とした。

### 【 均一環境での被験者実験と人体熱モデルの計算結果との比較 】

室温と床温を24°C一定とした条件での、実験結果と計算結果の比較を表9と図10, 11に示す。表9は、部位別皮膚温の値であり、それを図示したものが、図10, 11である。図11では、計測結果の平均値と、標準偏差を同時に表示している。

均一環境の場合、“人体熱モデル”で計算される平均皮膚温と実験結果との差が0.1°Cである。

り、部位毎の差の平均でも1°C以下となった。14の部位の内、10の部位で、実験値と計算値の差が標準偏差内にあることからも、実験と計算は非常によく一致しているといえる。

後節に示す表19には、“人体熱モデル”による、体重減少量と、部位毎のHeat Fluxを示した。

また、以下の式で、平均皮膚温から求められる、全身温冷感の値も、表28に示しておく。

$$T_{skin} < 34.3 : TS = 0.5837 \times T_{skin} - 15.48217$$

$$T_{skin} \geq 34.3 : TS = 1.4133 \times T_{skin} - 43.93745$$

ここで、 $T_{skin}$ ：平均皮膚温(°C), TS：全身温冷感式である。この式は、“平成10年度人間感覚計測応用技術の研究開発 委託研究報告書”の中で、不均一環境条件下での温冷感予測式として構築されたものを、引用している。

#### 【 床暖房環境での被験者実験と“人体熱モデル”的計算結果との比較 】

床暖房の温度を3水準(25, 30, 35°C)に固定し、環境温度を3水準(18, 21, 24°C)と設定した条件での、実験結果と計算結果の比較を表10～18と図12～29に示す。

表10～18は、部位別皮膚温の値であり、それを図示したものが、図12～29である。図12～29奇数番号の図は、各被験者の実験結果そのものを表しており、偶数番号の図では、計測結果の平均値と、標準偏差を同時に表示している。表19には、“人体熱モデル”による、体重減少量と、部位毎のHeat Fluxを示した。

表20～32には、被験者実験結果と“人体熱モデル”的比較のための資料を示した。

表20には、部位毎の実験結果と計算結果の差の平均を示した。表21は、その差の、実験結果の皮膚温に対する比率の平均を、表22は、その差の、実験結果の標準偏差に対する比率を示した。表23には、平均皮膚温の実験結果と計算結果の差を、表24には、その差の平均皮膚温に対する比率を、表25には、その差の標準偏差に対する比率を示した。表26には、計算結果が、被験者実験の標準偏差内にある部位の個数を示した。

表27と28には、それぞれ実験結果と計算結果から求められた平均皮膚温より算出した全身温冷感を示した。

これらの表より、次のことがわかった。

床暖房温度と環境温度が違う不均一環境の場合の、“人体熱モデル”で計算される平均皮膚温と実験結果との差は、環境温度が24°Cの場合は、0.4°C以下となるものの、環境温度が低くなるに従い、その差が大きくなつた。環境温度が18°Cの場合は、その差は1°Cくらいになっている。

今回の解析では、全ての接触面に対し、同じ臀部温度を、境界条件として与えている。また大腿部、足部の場合、周方向には4分割しており、その一つの面に接触境界条件を設定しているが、実際は、その面の両端に境界条件を与える必要があり、結果として、接触面の影響を非常に受けやすいこととなる。実験結果との比較では、足部や大腿部の方が、差が大きいことから、接触境界条件の設定について、もう一度検討が必要であると言える。

また、平均皮膚温から求められる、全身温冷感の値も、示しておく。

## 5) まとめ

この事業では、熱環境数値計算（C F D）と、“人体熱モデル”の組み合わせで、床温と室温の許容、推奨範囲に関する数値計算データベースを構築し、被験者実験の結果によるデータベースの補完を行うことを最終の目的とし、今年度は、熱環境数値計算手法の開発と、“人体熱モデル”のシステム改良と実験的検証という、2つのテーマを目標とした。

熱環境数値計算手法の開発では、実際の環境試験室をC F Dで再現するためのパラメータ解析を行い、必要なパラメータを求めることができた。3次元計算も行い、実際の環境試験室での3次元的な流れを再現できる可能性を見出すことができた。

“人体熱モデル”のシステム改良と実験的検証ということでは、まず均一環境では、平均皮膚温は0.1°C差と非常に実験に近く、各部位の温度も、平均で1°C以内の差ということで、精度よく求められていることが判った。床温と室温が違う不均一環境では、環境温度が24°Cの場合は、実験に近い値が求まることがわかった。しかし、18°Cの場合は、その差が1°Cくらいとなり、少し大きくなることが判った。これは、実際の実験よりも、接触面の影響を受けやすいモデルになっていることが考えられ、この点について、もう一度検討が必要といえる。

表9 Ta-Tf(24-24)

	前額	胸	背中	腰	脛	手背	大腿・前	大腿・後	下腿・前	下腿・後	足背	脣部	足底	平均皮膚温	
1	35.2	35.9	34.7	36.9	34.6	33.6	32.9	34.1	31.8	32.7	31.5	32.5	32.1	33.2	34.0
2	35.9	36.1	35.0	36.6	34.8	34.1	34.0	34.3	33.7	33.1	31.3	25.6	32.4	25.1	33.9
3	35.0	34.0	34.4	37.1	34.1	32.8	32.2	35.4	31.4	35.0	32.3	28.5	32.5	27.9	33.6
4	35.6	35.3	34.8	36.6	33.9	33.4	33.5	33.9	32.9	33.2	32.2	31.9	32.3	32.2	34.0
5	35.0	36.0	35.3	36.5	35.1	34.9	33.8	35.7	31.7	33.3	31.9	33.0	33.3	34.1	34.5
6	35.2	35.6	34.2	36.8	35.0	32.9	31.7	36.0	35.2	32.3	32.2	28.3	28.3	31.6	34.0
7	35.0	35.5	34.3	36.3	33.9	34.3	32.6	35.3	31.6	34.6	31.1	32.8	33.0	33.6	34.1
8	34.2	36.7	35.5	37.3	35.5	33.1	28.6	36.6	31.7	33.1	32.5	25.6	32.8	25.5	33.7
平均值	35.2	35.6	34.8	36.8	34.6	33.7	32.4	35.2	32.5	33.4	31.9	29.8	32.5	29.8	34.0
計算結果	34.4	35.1	35.0	35.2	34.9	33.8	31.6	34.7	32.9	33.0	30.8	35.2	32.3	34.1	

表10 Ta-Tf(24-25)

	前額	胸	背中	腰	脛	手背	大腿・前	大腿・後	下腿・前	下腿・後	足背	脣部	足底	平均皮膚温	
1	35.0	36.1	34.7	36.8	34.9	33.7	32.2	34.2	31.7	32.3	31.3	27.8	32.2	27.7	33.6
2	35.9	36.4	35.0	36.5	35.0	34.2	33.0	34.7	33.1	33.0	31.6	25.1	31.9	24.8	33.9
3	35.0	34.3	34.3	37.2	34.0	33.1	32.8	36.0	31.8	34.1	33.5	26.9	32.2	27.0	33.7
4	35.6	35.0	34.6	36.7	33.9	33.8	33.7	33.6	32.9	33.0	31.9	27.4	31.8	27.4	33.6
5	35.3	36.3	35.3	36.8	35.6	33.2	35.3	35.7	32.6	33.5	31.6	28.0	33.2	27.8	34.4
6	35.5	35.5	33.6	36.9	35.3	32.6	30.9	36.7	35.6	32.6	33.1	27.3	31.7	26.1	34.0
7	35.3	35.6	34.4	36.6	34.4	34.6	31.7	35.5	34.3	34.4	32.7	27.3	32.9	27.2	34.1
8	34.4	36.7	35.8	37.2	35.3	33.1	26.6	36.5	33.7	32.3	31.4	24.7	32.6	24.8	33.6
平均值	35.2	35.7	34.7	36.9	34.8	33.8	31.8	35.4	33.2	33.2	32.1	26.8	32.3	26.6	33.9
計算結果	34.4	35.0	35.0	35.2	34.9	33.8	31.7	34.7	33.0	33.0	30.9	35.2	32.3	34.1	

表11 Ta-Tf(21-25)

	前額	胸	背中	腰	脛	手背	大腿・前	大腿・後	下腿・前	下腿・後	足背	脣部	足底	平均皮膚温	
1	34.4	36.1	33.9	36.9	34.3	32.2	27.8	33.8	31.8	31.0	29.7	24.3	32.4	25.1	32.5
2	35.0	36.5	34.1	36.7	35.5	31.2	34.3	32.2	31.3	30.3	28.4	33.8	24.4		
3	34.4	33.2	33.0	36.9	33.9	31.8	30.1	35.8	28.4	33.7	29.6	25.6	32.7	26.7	32.4
4	34.5	34.6	33.7	36.6	33.4	33.1	29.1	35.0	31.0	30.8	29.6	23.5	33.9	23.7	32.4
5	35.4	35.8	33.3	36.7	34.5	32.9	30.1	35.5	33.6	32.5	34.3	23.1	34.2	25.1	33.4
6	34.3	35.4	33.8	36.9	31.7	31.8	25.4	34.5	32.0	29.0	33.5	23.5	31.8	25.5	32.2
7	35.1	36.0	33.8	37.0	34.7	33.0	25.4	36.6	32.2	36.0	31.8	22.8	32.2	25.3	33.3
8	35.1	36.4	35.4	37.0	34.7	32.2	26.6	36.1	32.8	30.9	30.7	24.0	33.9	26.2	33.1
平均值	34.8	35.5	33.9	36.8	33.1	32.8	28.2	35.2	31.8	31.9	31.2	24.4	33.1	25.3	32.8
計算結果	33.9	35.1	35.1	35.3	35.0	33.3	30.3	34.5	32.7	32.8	30.1	35.6	32.1	33.9	

表12 Ta-Tf(18-25)

	前額	胸	背中	腰	脛	手背	大腿・前	大腿・後	下腿・前	下腿・後	足背	脣部	足底	平均皮膚温	
1	33.8	35.6	33.0	36.9	33.8	32.1	28.2	33.6	31.4	30.3	29.4	27.3	32.4	27.9	32.4
2	34.8	36.5	33.4	36.7	32.2	34.7	27.5	34.0	30.9	31.3	30.0	28.2	33.9	25.9	32.9
3	33.5	31.7	33.3	36.8	32.9	31.6	29.7	32.6	29.5	30.1	28.4	28.7	34.6	31.4	31.7
4	34.1	34.3	32.9	36.8	33.5	32.5	23.9	33.5	30.4	29.3	28.2	22.0	34.3	23.2	31.5
5	34.9	35.4	33.7	36.4	34.0	32.1	28.3	35.2	33.2	34.5	34.5	23.0	34.6	26.4	33.2
6	33.4	34.9	32.8	37.0	31.9	31.7	26.1	35.1	30.3	32.1	32.2	23.2	31.8	26.5	
7	34.3	34.8	34.2	36.4	33.7	30.5	23.1	35.0	31.4	32.7	34.2	22.3	34.3	23.1	32.2
8	35.2	36.3	35.1	36.4	34.4	32.6	24.4	35.1	31.9	30.0	29.6	23.3	33.8	27.0	32.6
平均值	34.2	34.9	33.6	36.7	33.3	32.2	26.4	34.3	31.1	31.3	30.8	24.7	33.6	26.4	32.3
計算結果	33.1	34.7	34.7	34.9	34.6	32.5	27.4	33.8	31.8	32.0	32.1	27.8	35.5	31.3	33.0

表13 Ta-Tf (24-30)

	前額	胸	背中	腹	腰	腕	手背	大腿·前	大腿·後	下腿·前	下腿·後	足背	脣部	足底	平均皮膚溫
1	35.6	36.1	34.7	36.8	34.9	33.9	33.7	34.1	33.5	33.5	31.6	27.5	34.5	29.5	34.0
2	35.7	36.4	35.5	36.6	35.5	34.2	36.8	35.0	35.3	34.4	32.7	27.4	36.7	29.4	35.0
3	35.0	35.4	34.4	37.4	34.8	34.3	33.7	36.6	32.7	32.0	31.4	28.4	35.3	30.9	34.1
4	35.2	35.2	34.8	36.4	34.2	33.5	33.7	34.9	33.1	33.1	31.9	31.2	35.1	33.1	34.0
5	34.8	36.1	34.8	36.9	35.4	34.5	34.1	35.7	34.4	32.7	30.5	32.2	36.3	34.0	34.5
6	35.2	36.2	35.1	36.9	35.8	33.9	33.5	36.3	36.1	34.9	35.1	28.1	34.4	30.8	34.9
7	35.7	33.2	34.7	36.5	33.5	32.3	36.0	33.7	34.6	32.6	32.6	27.2	36.5	30.0	33.8
8	35.3	36.5	35.7	36.3	34.6	33.0	30.6	36.3	33.3	32.1	33.4	26.8	29.6		
平均值	35.3	35.6	35.0	36.7	34.8	33.2	34.0	35.8	34.0	33.5	32.6	28.6	35.53	30.9	34.3
計算結果	34.4	34.9	34.9	35.1	34.8	33.7	31.7	34.8	33.1	33.1	33.2	31.2	35.5	33.2	34.1

表14 Ta-Tf (21-30)

	前額	胸	背中	腹	腰	腕	手背	大腿·前	大腿·後	下腿·前	下腿·後	足背	脣部	足底	平均皮膚溫
1	34.9	35.7	33.2	36.7	33.7	33.7	32.5	33.9	32.6	31.0	30.2	29.3	35.2	30.8	33.3
2	35.3	36.4	34.5	37.2	35.5	34.5	27.1	36.2	32.6	31.3	31.4	24.4	35.0	27.3	33.5
3	34.5	35.8	30.5	31.8	37.3	37.3	31.8	30.6	36.7	35.4	30.6	29.3	33.7	28.3	33.8
4	35.0	34.4	34.2	36.5	33.6	32.6	30.9	33.7	32.0	33.0	31.4	29.0	35.4	33.4	33.1
5	34.4	36.0	34.4	36.8	34.7	33.7	32.4	36.3	34.0	32.5	32.5	28.9	36.6	32.5	34.1
6	34.5	35.3	33.9	36.9	34.9	33.9	32.4	35.6	33.7	33.8	32.4	29.5	33.8	34.0	34.1
7	35.6	34.4	34.5	36.4	32.3	32.7	28.7	35.3	33.5	33.3	32.8	25.4	37.3	28.5	33.2
8	35.0	36.5	35.6	36.8	33.6	31.8	27.3	35.2	32.6	31.6	27.6	26.3		31.5	32.9
平均值	34.9	35.6	33.8	36.1	34.5	33.8	30.4	34.6	33.4	32.7	31.1	27.7	35.29	30.8	33.5
計算結果	34.0	35.2	35.2	35.3	35.0	33.4	30.5	34.6	32.8	32.9	33.0	30.4	36.0	32.8	34.0

表15 Ta-Tf (18-30)

	前額	胸	背中	腹	腰	腕	手背	大腿·前	大腿·後	下腿·前	下腿·後	足背	脣部	足底	平均皮膚溫
1	33.3	35.7	32.4	36.8	33.7	32.2	26.0	33.0	30.5	31.1	30.3	28.8	34.7	33.3	32.3
2	34.3	34.3	33.4	36.5	35.1	25.9	25.0	35.2	32.1	33.2	34.6	23.8		27.6	31.9
3	32.3	31.3	32.5	36.9	32.5	30.5	26.6	34.6	29.8	28.8	27.8	24.0	33.3	30.1	31.0
4	34.4	34.3	32.5	36.6	32.8	30.5	27.4	32.2	28.1	31.0	30.3	25.9		32.1	31.5
5	34.7	36.1	33.4	36.4	34.3	32.8	27.8	35.6	32.9	31.4	31.9	26.9	37.5	30.6	33.2
6	34.2	35.3	32.4	37.0	33.7	31.4	27.7	34.9	31.1	30.9	30.9	24.3	37.8	30.2	32.3
7	33.6	35.0	32.5	36.2	34.9	30.6	26.6	34.5	32.1	31.0	31.2	23.1	37.7	25.8	32.1
8	35.0	36.1	35.2	36.5	34.2	31.8	25.2	33.3	33.6	30.0	30.2	24.0		29.4	32.5
平均值	34.0	34.8	33.0	36.6	33.9	30.7	26.5	34.2	31.3	30.9	30.9	25.1	36.19	29.9	32.1
計算結果	33.2	34.8	34.7	35.0	34.6	32.6	28.0	34.0	32.0	32.2	32.4	28.5	36.0	32.4	33.3

表16 Ta-Tf (18-35)

	前額	胸	背中	腹	腰	腕	手背	大腿·前	大腿·後	下腿·前	下腿·後	足背	脣部	足底	平均皮膚溫
1	35.2	35.8	35.0	36.6	34.1	33.2	31.7	33.9	32.9	32.3	30.2	30.9	33.8	33.7	33.6
2	35.6	35.7	34.8	36.6	36.0	34.6	33.5	34.5	34.5	32.3	32.4	28.8	35.1	32.4	34.3
3	34.3	33.8	33.3	36.9	35.0	33.5	31.1	36.3	32.7	33.3	31.9	32.2	35.2	36.0	33.9
4	35.2	34.9	33.8	36.4	34.3	31.9	31.5	33.5	31.0	32.4	32.4	28.2	34.6	33.3	33.0
5	35.0	35.9	34.4	36.7	35.2	33.6	32.1	35.4	33.9	32.4	34.1	30.4	38.0	34.2	34.2
6	35.5	35.8	34.3	36.6	35.7	34.5	34.9	36.4	34.6	32.7	32.8	30.3	38.4	34.1	34.6
7	35.5	35.5	34.4	36.4	36.4	33.4	32.7	35.2	34.1	33.7	33.5	27.9	37.0	31.8	33.5
8	35.8	31.3	35.3	36.6	35.4	32.5	30.3	36.3	35.0	31.6	31.8	26.7	35.2	31.4	33.5
平均值	35.3	34.9	34.4	36.6	34.3	33.4	32.2	35.2	33.6	32.6	32.4	29.4	35.93	33.4	33.8
計算結果	34.5	34.8	34.8	35.1	34.7	33.8	32.0	34.9	33.2	33.3	33.3	31.5	35.5	33.5	34.2

表17 Ta-Tf(21-35)

	前額	胸	背中	腹	腰	頸	手背	大腿·前	大腿·後	下腿·前	下腿·後	足背	臀部	足底	平均皮膚溫
1	34.5	35.9	33.7	36.9	34.7	34.3	30.3	35.8	31.5	31.2	30.1	36.7	34.7	33.6	33.6
2	35.5	35.8	34.0	36.6	35.3	31.3	27.5	35.1	33.8	31.8	34.6	26.4	34.3	33.1	33.3
3	34.3	34.9	33.7	37.2	34.0	33.2	29.1	34.1	30.9	29.9	30.1	31.0	38.5	36.7	33.0
4	35.0	32.9	33.0	36.5	33.9	32.5	28.5	34.3	31.3	29.4	31.1	25.5	37.5	32.4	32.3
5	34.4	35.6	33.9	36.6	33.8	33.2	30.8	35.8	33.4	31.6	31.9	28.4	39.0	34.0	33.5
6	35.1	33.8	34.5	37.0	35.7	33.2	31.3	36.6	34.4	31.3	31.0	26.8	36.8	32.7	33.7
7	35.1	34.5	34.9	36.6	34.8	32.2	27.4	34.4	29.9	33.6	32.9	28.5	36.1	34.1	33.1
8	35.5	36.1	35.1	36.4	35.3	31.9	26.6	36.3	32.3	30.6	32.6	26.8	37.7	33.2	33.3
平均值	34.9	34.9	34.1	36.7	34.7	32.7	28.9	35.3	32.2	31.2	31.9	27.9	37.1	33.9	33.2
計算結果	34.0	35.1	35.1	35.2	34.9	33.4	30.8	34.7	33.0	33.1	33.3	30.8	36.1	33.5	34.0

表18 Ta-Tf(18-35)

	前額	胸	背中	腹	腰	頸	手背	大腿·前	大腿·後	下腿·前	下腿·後	足背	臀部	足底	平均皮膚溫
1	34.1	35.5	32.9	36.9	33.8	33.2	30.4	34.6	30.9	29.7	30.2	30.4	37.7	35.1	33.0
2	34.9	35.7	32.9	36.5	34.8	31.2	26.2	35.4	32.5	32.7	34.1	25.8	34.3	33.6	33.0
3	33.1	32.2	32.3	37.0	33.3	31.7	24.7	35.2	28.7	28.8	29.2	32.3	38.5	37.4	31.9
4	34.5	34.1	33.6	36.6	33.5	31.5	26.1	33.7	29.9	26.4	29.2	22.8	37.9	32.2	31.4
5	33.9	35.4	33.2	36.6	33.7	33.1	30.8	36.2	32.2	30.2	31.1	27.4	39.1	34.2	33.1
6	34.5	33.4	30.4	36.9	32.8	31.0	27.0	35.2	31.4	31.1	30.2	25.4		33.0	31.9
7	35.0	34.9	34.2	36.7	34.8	31.7	26.2	33.6	31.2	31.5	34.0	24.8	37.6	31.4	32.6
8	34.9	36.3	35.4	36.6	34.7	31.3	25.1	34.6	31.7	30.5	31.6	26.2	38.5	33.9	32.8
平均值	34.4	34.7	33.1	36.7	33.9	31.8	27.1	34.8	31.1	30.1	31.2	26.9	37.7	33.9	32.5
計算結果	33.3	34.8	34.8	35.0	34.7	32.7	28.5	34.2	32.3	32.5	32.7	29.1	36.2	33.0	33.4

表19 体重減少量と各部位のHeat Loss Rate

気温 (°C)	床温 (°C)	体重減少量 (g)	HEAT LOSS RATE FROM SKIN SURFACE [W]												HAND			FOOT			R.					
			HEAD			NECK			TORSO			ARM			HIGH			FOREARM			CALF			R.		
U.R.	U.L.	R.	U.R.	U.L.	R.	U.R.	U.L.	R.	U.R.	U.L.	R.	U.R.	U.L.	R.	U.R.	U.L.	R.	U.R.	U.L.	R.	U.R.	U.L.	R.	U.R.	U.L.	R.
18.0	25.0	72.98	18.16	2.59	23.85	4.95	8.19	8.22	4.06	4.06	5.40	5.67	5.67	5.67	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	
18.0	30.0	73.80	17.84	2.57	23.28	4.87	7.73	7.76	4.02	4.02	5.22	5.79	5.79	5.79	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	
18.0	35.0	74.55	17.67	2.56	22.87	4.82	7.35	7.38	3.99	3.99	5.04	5.04	5.04	5.04	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	
21.0	25.0	76.07	15.69	2.22	21.42	4.38	7.25	7.27	3.63	3.63	4.71	4.71	4.71	4.71	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	
21.0	30.0	77.92	15.45	2.21	21.07	4.32	6.96	6.99	3.58	3.58	4.64	4.64	4.64	4.64	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	
21.0	35.0	88.09	15.20	2.24	22.26	4.38	6.62	6.65	3.61	3.61	4.50	4.50	4.50	4.50	2.05	2.05	2.05	2.05	2.05	2.05	2.05	2.05	2.05	2.05	2.05	
24.0	24.0	97.51	13.85	2.05	23.54	4.25	7.16	7.18	3.45	3.45	4.62	4.62	4.62	4.62	2.53	2.53	2.53	2.53	2.53	2.53	2.53	2.53	2.53	2.53	2.53	
24.0	25.0	99.68	13.79	2.06	23.85	4.27	7.11	7.13	3.46	3.46	4.57	4.57	4.57	4.57	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52	
24.0	30.0	108.07	13.81	2.13	24.93	4.37	6.81	6.83	3.52	3.52	4.54	4.54	4.54	4.54	2.16	2.16	2.16	2.16	2.16	2.16	2.16	2.16	2.16	2.16	2.16	
24.0	35.0	115.22	13.57	2.16	25.94	4.42	6.65	6.67	3.54	3.54	4.46	4.46	4.46	4.46	2.07	2.07	2.07	2.07	2.07	2.07	2.07	2.07	2.07	2.07	2.07	

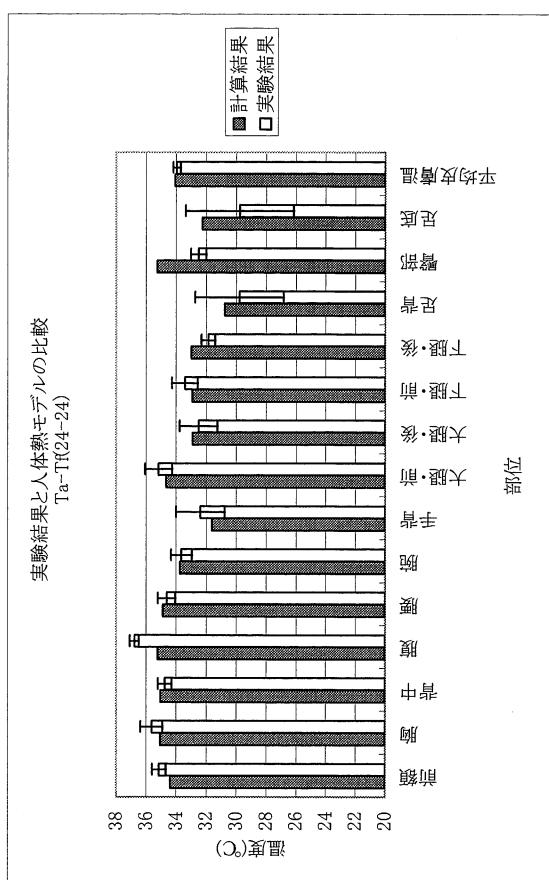


図11 Ta-Tf(24-24)

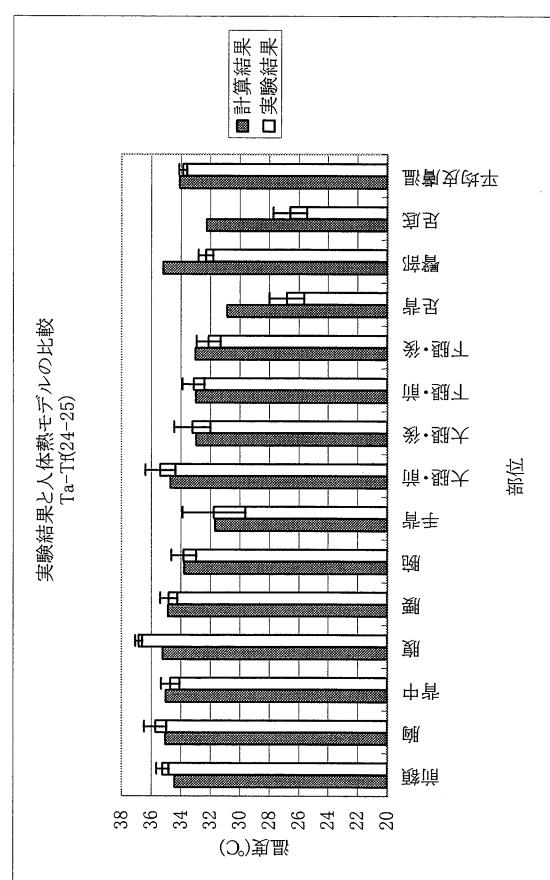


図13 Ta-Tf(24-25)

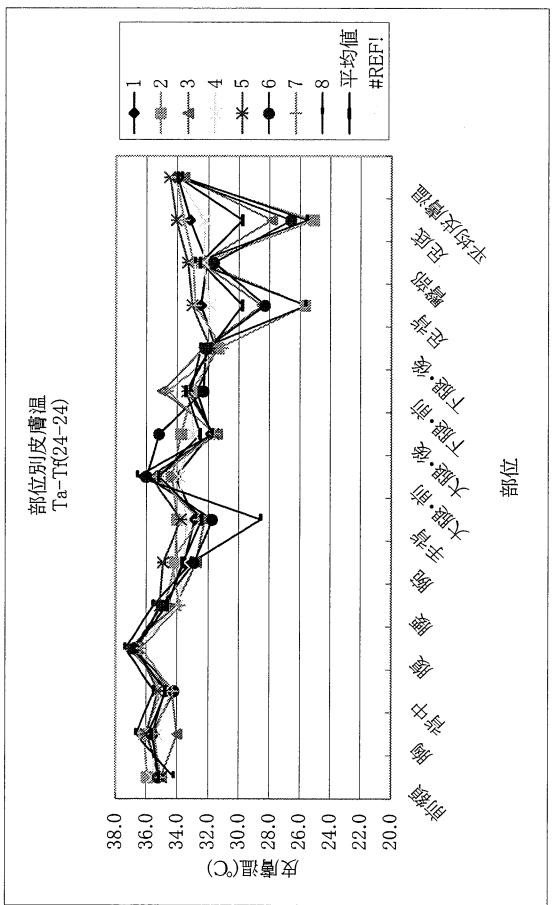


図10 Ta-Tf(24-24)

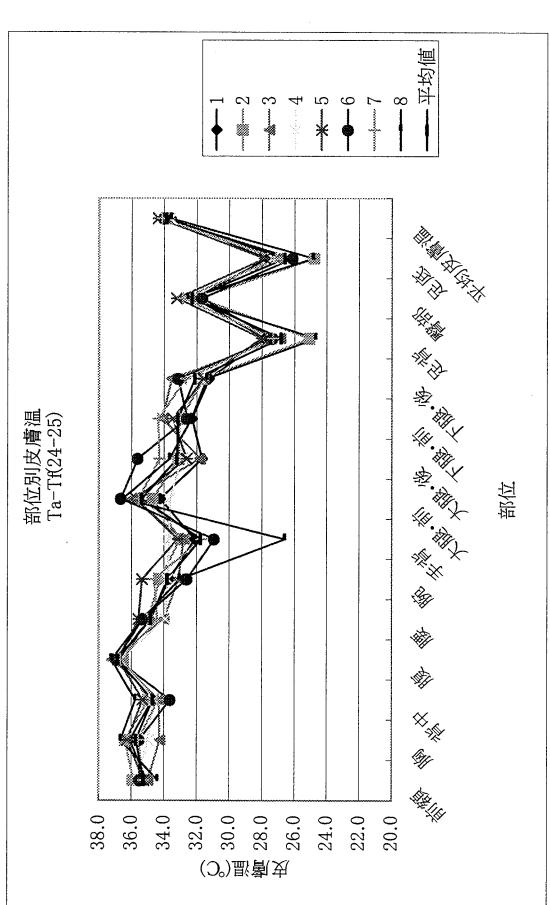


図12 Ta-Tf(24-25)

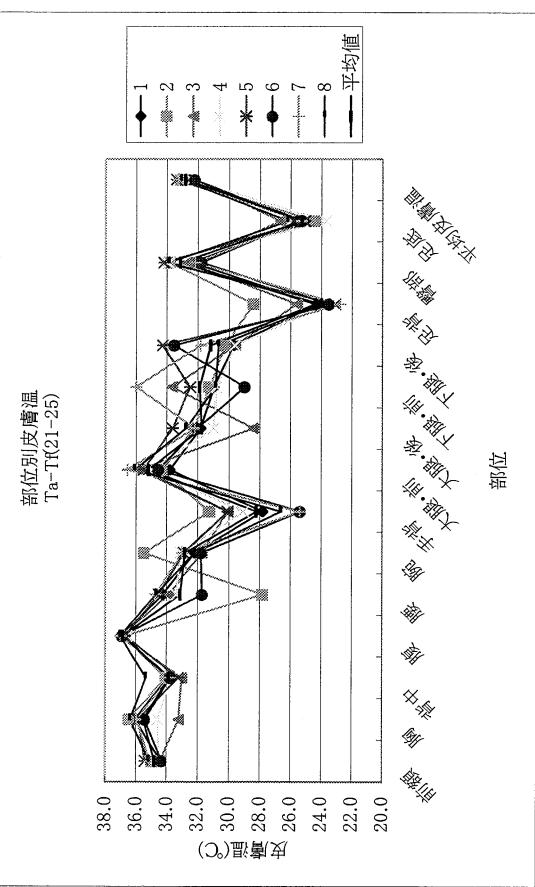


図14 Ta-Tf(21-25)

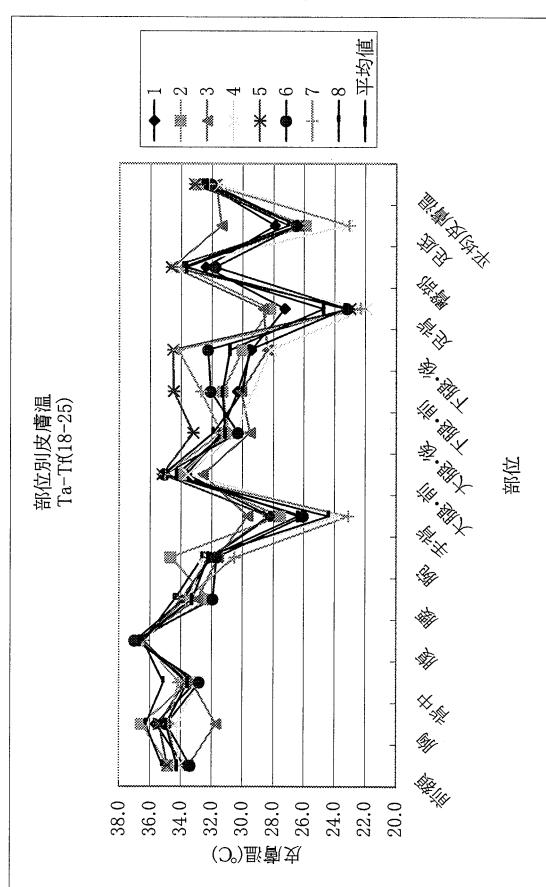


図17 Ta-Tf(18-25)

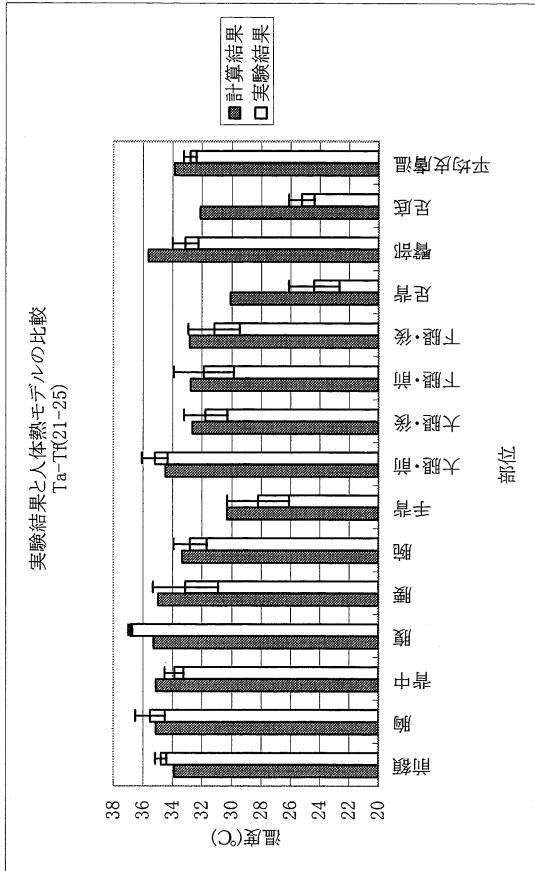


図15 Ta-Tf(21-25)

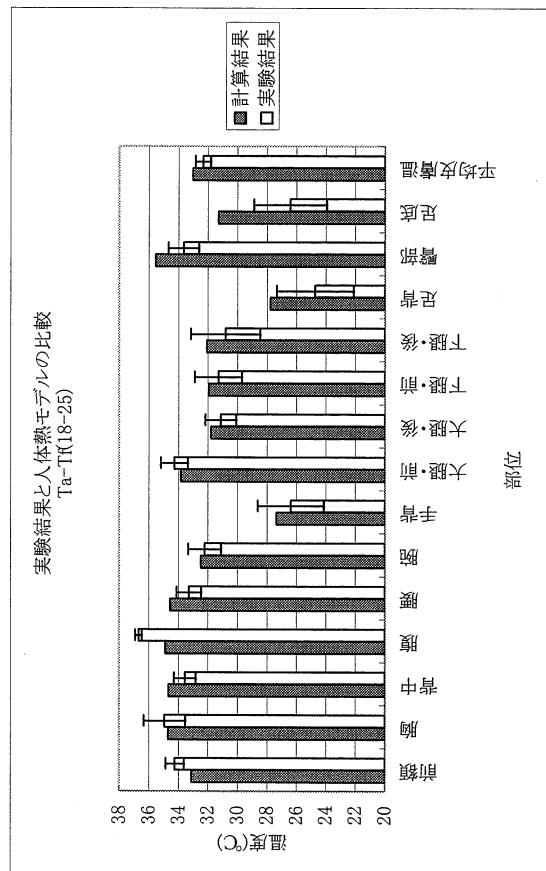


図17 Ta-Tf(18-25)

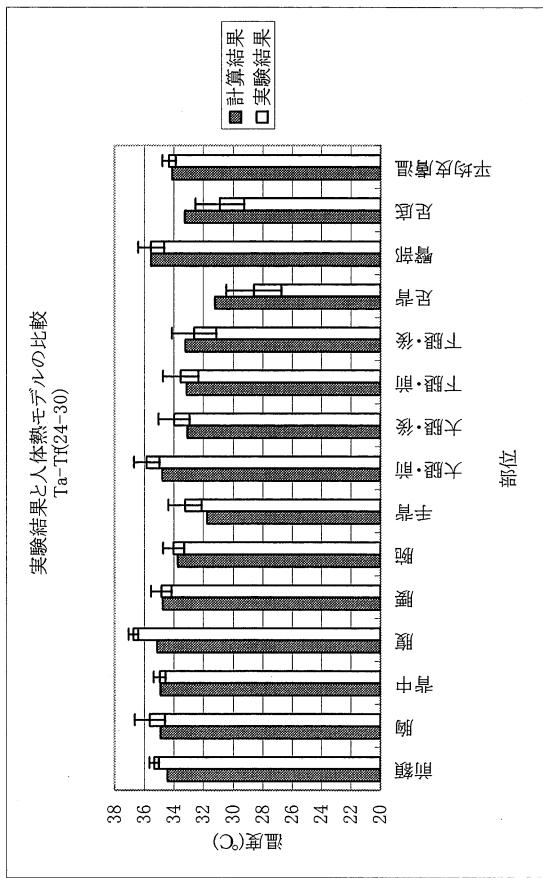


図19 Ta-Tf(24-30)

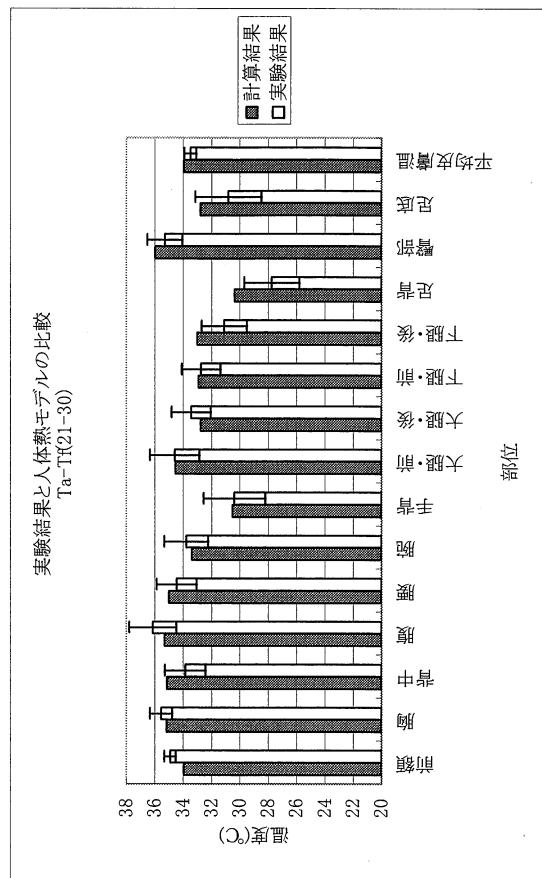


図21 Ta-Tf(21-30)

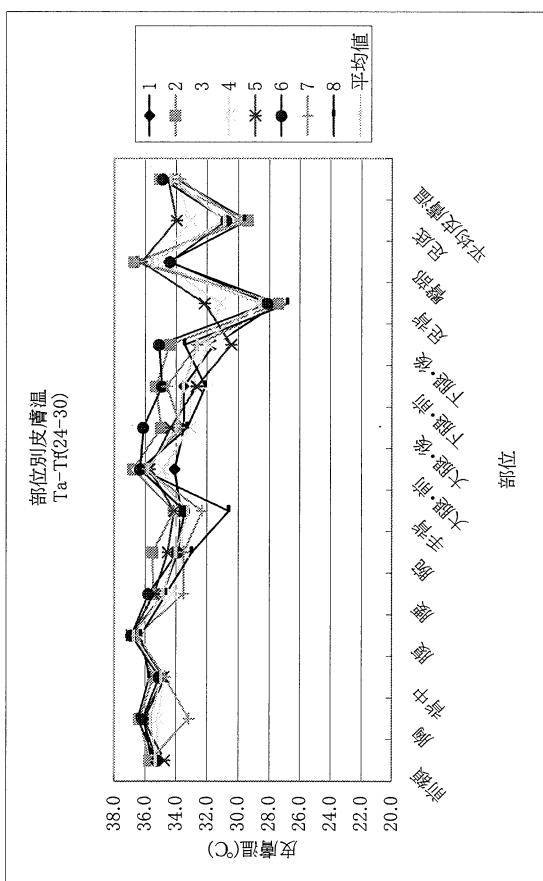


図18 Ta-Tf(24-30)

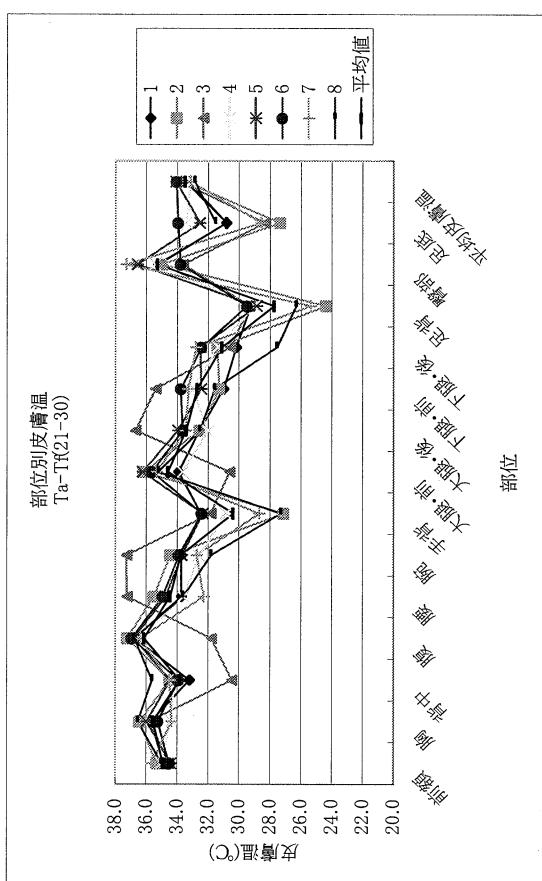


図20 Ta-Tf(21-30)

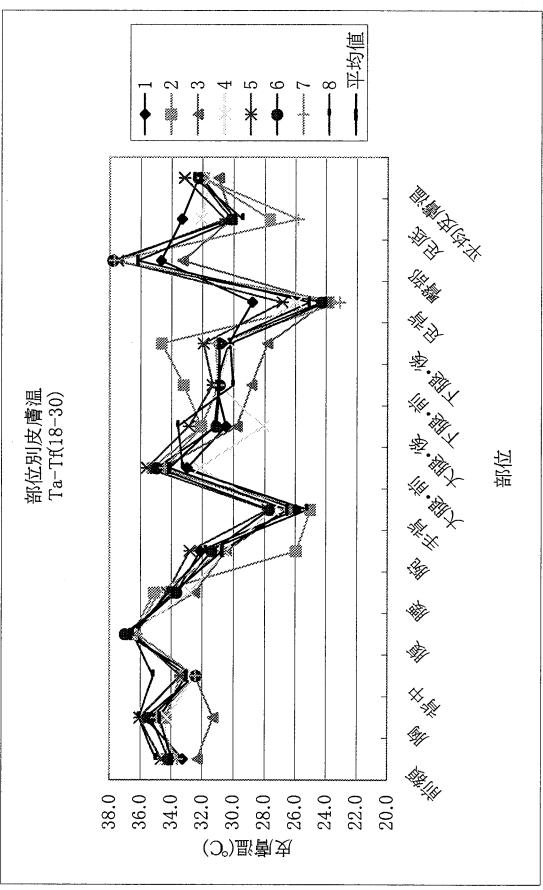


図22 Ta-Tf (18-30)

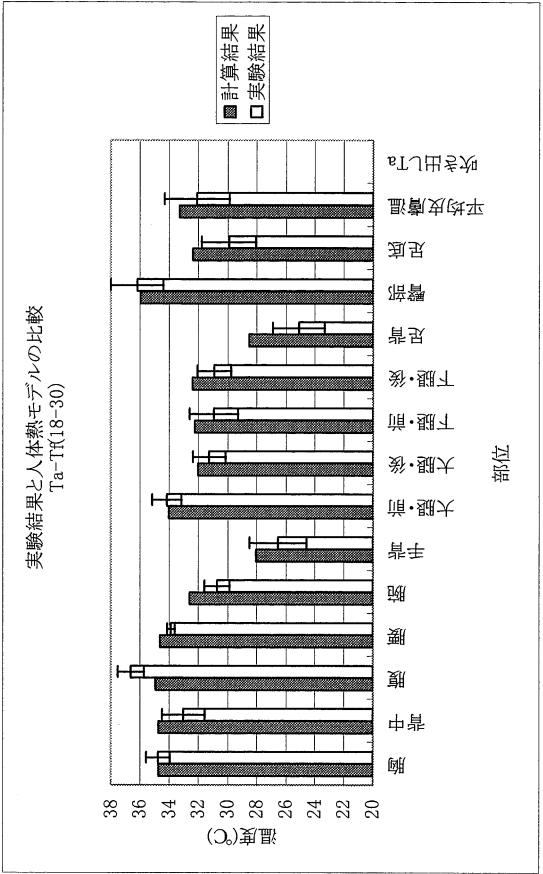


図23 Ta-Tf (18-30)

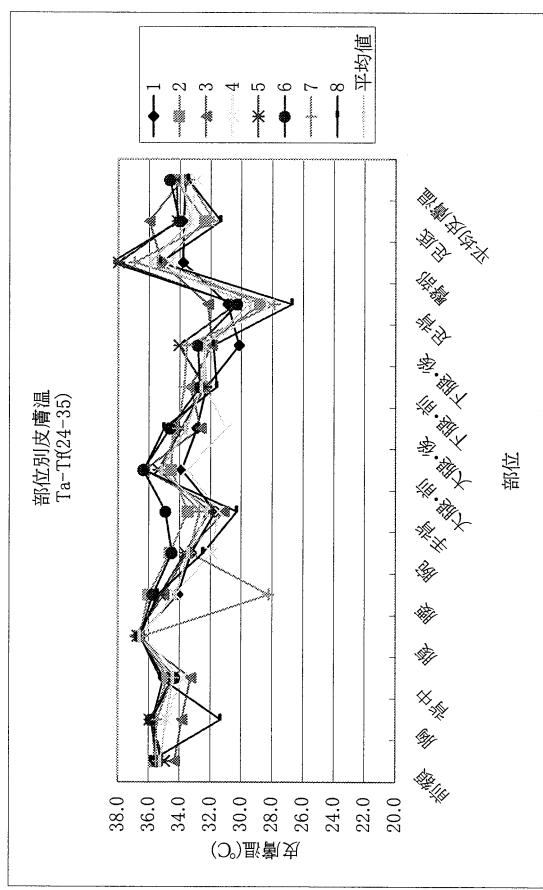


図24 Ta-Tf (24-35)

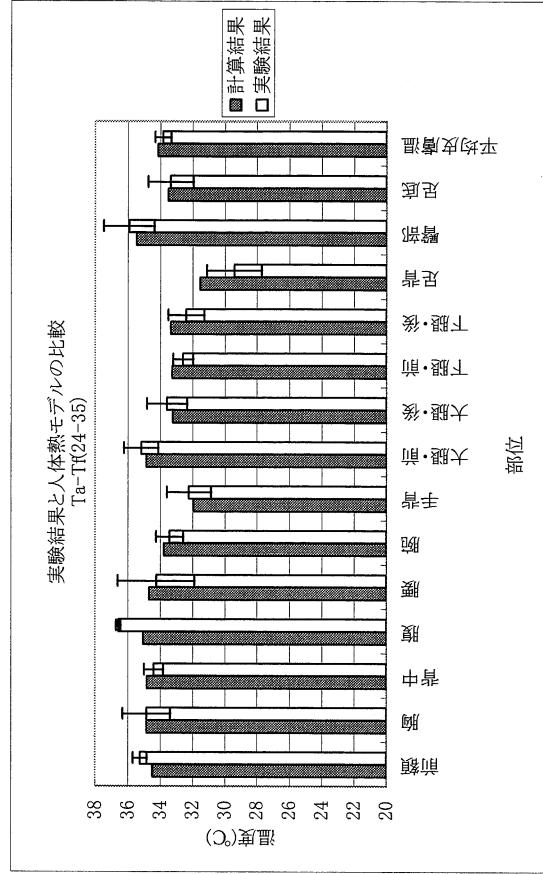


図25 Ta-Tf (24-35)

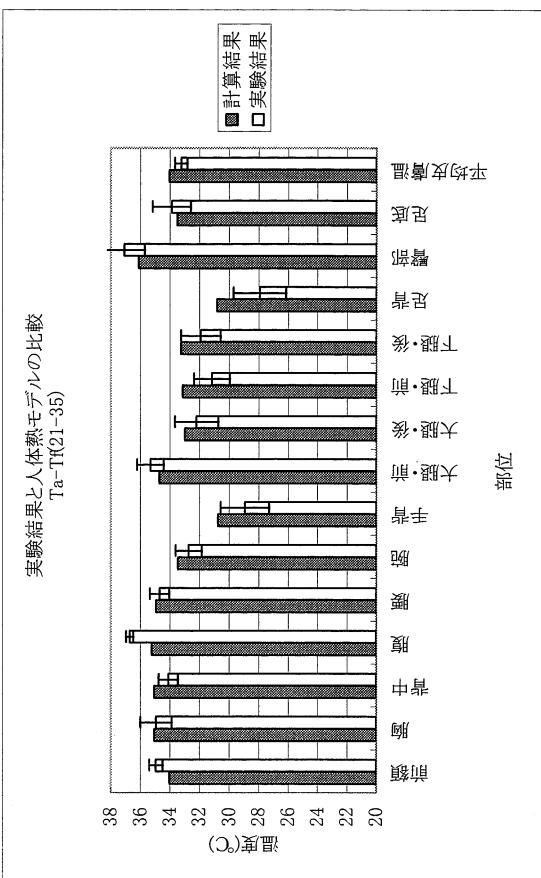


図27  $T_a-T_f(21-35)$

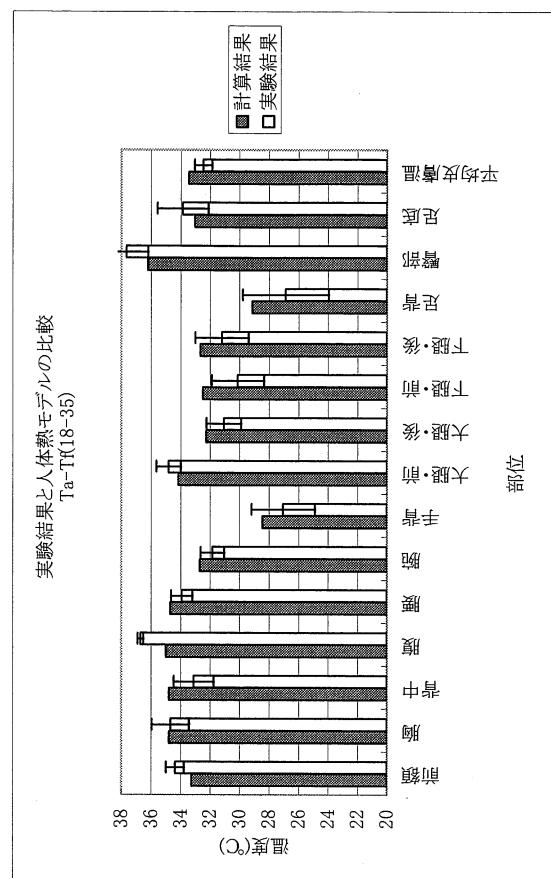


図29  $T_a-T_f(18-35)$

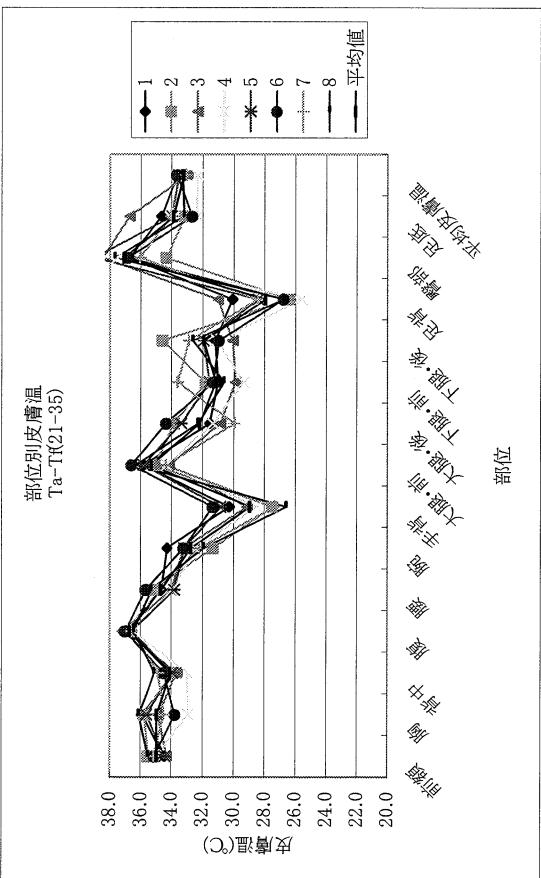


図26  $T_a-T_f(21-35)$

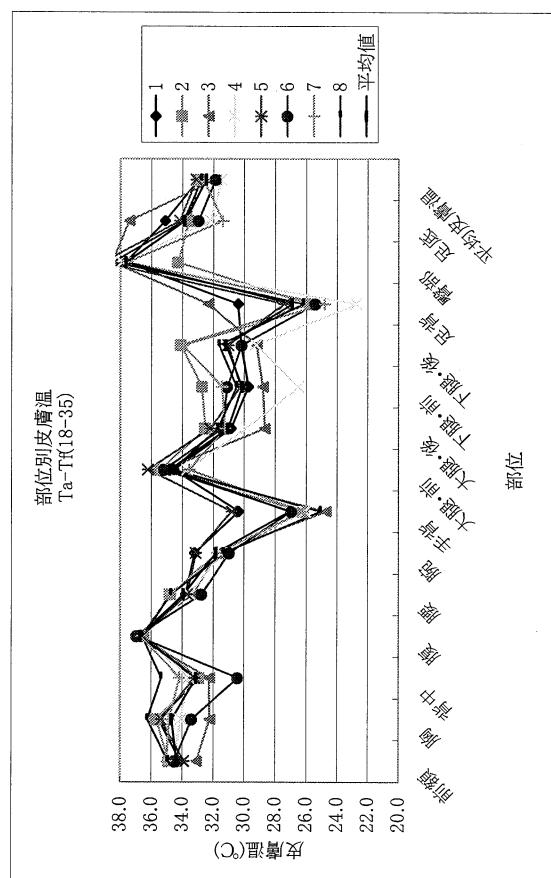


図28  $T_a-T_f(18-35)$

## 集計結果

表20  $T_p - T_{p\_c}$  の部位の平均

		$T_p$		$T_{p\_c}$		部位の平均	
		床	暖房	床	暖房	床	暖房
床	35	1.27	1.09	0.63			
暖房	30	1.29	0.91	0.93			
床	25	1.40	1.59	1.30			
暖房	24	1.40	1.05	0.94			
床	18	21	24	24			
暖房					環境温度(℃)		

表21  $T_p - T_{p\_c}$  の部位の平均

		$T_p$		$T_{p\_c}$		部位の平均	
		床	暖房	床	暖房	床	暖房
床	35	0.98	0.80	0.33			
暖房	30	1.19	0.46	0.21			
床	25	0.71	1.05	0.22			
暖房	24	0.71	1.05	0.10			
床	18	21	24	24			
暖房					環境温度(℃)		

表23  $T_{skin\_c} - T_{skin}$  : 平均皮膚温

		$T_{skin}$		$T_{skin\_c}$		平均皮膚温	
		床	暖房	床	暖房	床	暖房
床	35	3.25	3.03	0.92	0.91		
暖房	30	3.04	0.01	0.01	0.01		
床	25	2.95	0.02	0.03	0.01		
暖房	24	2.95	0.00				
床	18	21	24	24			
暖房					環境温度(℃)		

表24  $T_{skin\_c} - T_{skin}$  : 平均皮膚温

		$T_{skin}$		$T_{skin\_c}$		平均皮膚温	
		床	暖房	床	暖房	床	暖房
床	35	3.45	3.91	4.26			
暖房	30	3.24	4.06	4.57			
床	25	3.38	3.65	4.27			
暖房	24	3.38	4.33				
床	18	21	24	24			
暖房					環境温度(℃)		

表25 標準偏差内にある部位の個数

		$T_{skin}$		$T_{skin\_c}$		標準偏差内にある部位の個数	
		床	暖房	床	暖房	床	暖房
床	35	7	7	10			
暖房	30	9	11	8			
床	25	7	7	8			
暖房	24	7	10	10			
床	18	21	24	24			
暖房					環境温度(℃)		

表26 標準偏差内にある部位の個数

		$T_{skin}$		$T_{skin\_c}$		標準偏差内にある部位の個数	
		床	暖房	床	暖房	床	暖房
床	35	3.45	3.91	4.26			
暖房	30	3.24	4.06	4.57			
床	25	3.38	3.65	4.27			
暖房	24	3.38	4.33				
床	18	21	24	24			
暖房					環境温度(℃)		

表27 全身温冷感(実験の平均皮膚温から計算)

		$T_{skin}$		$T_{skin\_c}$		全身温冷感(実験の平均皮膚温から計算)	
		床	暖房	床	暖房	床	暖房
床	35	3.45	3.91	4.26			
暖房	30	3.24	4.06	4.57			
床	25	3.38	3.65	4.27			
暖房	24	3.38	4.33				
床	18	21	24	24			
暖房					環境温度(℃)		

表28 全身温冷感(人体熱モデルの平均皮膚温から計算)

		$T_{skin}$		$T_{skin\_c}$		全身温冷感(人体熱モデルの平均皮膚温から計算)	
		床	暖房	床	暖房	床	暖房
床	35	3.45	3.91	4.26			
暖房	30	3.24	4.06	4.57			
床	25	3.38	3.65	4.27			
暖房	24	3.38	4.33				
床	18	21	24	24			
暖房					環境温度(℃)		

表29 腹部皮膚温(実験)

		$T_{skin}$		$T_{skin\_c}$		腹部皮膚温(実験)	
		床	暖房	床	暖房	床	暖房
床	35	37.65	37.08	35.93			
暖房	30	36.19	35.29	35.53			
床	25	33.64	33.12	32.31			
暖房	24	32.50	32.50	32.50			
床	18	21	24	24			
暖房					環境温度(℃)		

表30 平均皮膚温(実験)

		$T_{skin}$		$T_{skin\_c}$		平均皮膚温(実験)	
		床	暖房	床	暖房	床	暖房
床	35	32.46	33.23	33.83			
暖房	30	32.10	33.50	34.32			
床	25	32.33	32.80	33.86			
暖房	24	32.33	32.80	33.96			
床	18	21	24	24			
暖房					環境温度(℃)		

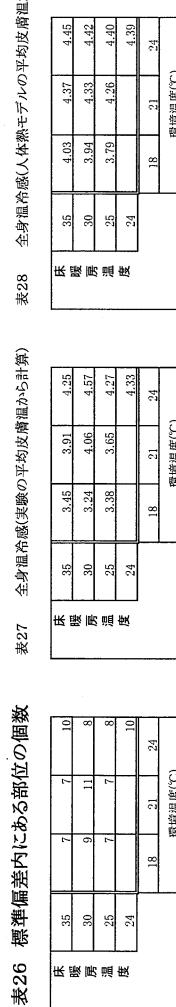
表31 平均皮膚温(計算)

		$T_{skin}$		$T_{skin\_c}$		平均皮膚温(計算)	
		床	暖房	床	暖房	床	暖房
床	35	33.44	34.03	34.16			
暖房	30	33.29	33.96	34.11			
床	25	33.04	33.85	34.08			
暖房	24	33.04	33.85	34.08			
床	18	21	24	24			
暖房					環境温度(℃)		

表32 全身温冷感の差

		$T_{skin}$		$T_{skin\_c}$		全身温冷感の差	
		床	暖房	床	暖房	床	暖房
床	35	0.57	0.46	0.19			
暖房	30	0.69	0.27	-0.16			
床	25	0.42	0.61	0.13			
暖房	24	0.42	0.61	0.06			
床	18	21	24	24			
暖房					環境温度(℃)		

図30 全身温冷感の比較



## 2. 3. 1. (2) サーマルマネキンによる評価技術の開発

### 1) はじめに

人々が生活を営む温熱環境の物理的要因として、温度、湿度、風速及び放射温度があり人間側の要因として活動量そして着衣量、計 6 個の要因を知ることにより温熱環境を評価することが出来る。その要因の 1 つである着衣量を得るには熱損失量を測定する必要があり、測定器具としてサーマルマネキンが開発された。1941 年 Gagge により銅製人体模型が作成されて以来、様々な、より人体の発熱に近いマネキンが作成され、実験が行われてきた。最近では ISO にて車内温熱環境における評価をサーマルマネキンにて作成中である。しかしながら、マネキンを用いての測定は認知度が低く、マネキン実験の測定値は被験者実験時と少なからず誤差が生じるものであり、過去の実験から見てもマネキンの実験と被験者の実験を行うことはあっても、同条件にて比較、検討した実験は少ない。

### 2) 目的

今回、成人サイズのサーマルマネキンと被験者実験の結果を比較し、どの程度の差異があるのか把握することでサーマルマネキンの信頼性を検証する事を本研究の目的とする。

### 3) 実験例

ここで、サーマルマネキン実験で特に重要な実験を 2 つ、最近の研究を 1 つ紹介する。

1941 年ピアス研究所(米国)において、Gagge らが、clo 値の提案を行った。当時、3 つの体の熱交換に関して興味を持っていた研究集団、すなわち熱に関する技術者、医者そして生理学者は、それぞれの固有な熱の単位を用いて行っていた。しかし、clo 値の提案により、互いの情報交換が容易になった。この研究において Gagge らは、「室温 21.2°C、湿度 50% rh、気流速度 20 ft/m(0.1 m/s) の環境下において、椅子座静位の成年男子が快適さを維持するために必要な衣服の熱抵抗である」と、定義している。<sup>1)</sup>

1988 年に Wyon らは、マネキンを実際の環境に応用することを目的として、サーマルマネキンを用い車内の熱環境について実験した。車内での局所的な熱損失は、快適やドラフトの感覚と、冷えによる筋肉の損傷の危険を決定するという結果を示した。サーマルマネキン各部の熱損失から、温熱的に均一な環境に暴露した場合の熱損失を基準とした ET(Equivalent Temperature) という指標を用いて評価した。<sup>2)</sup>

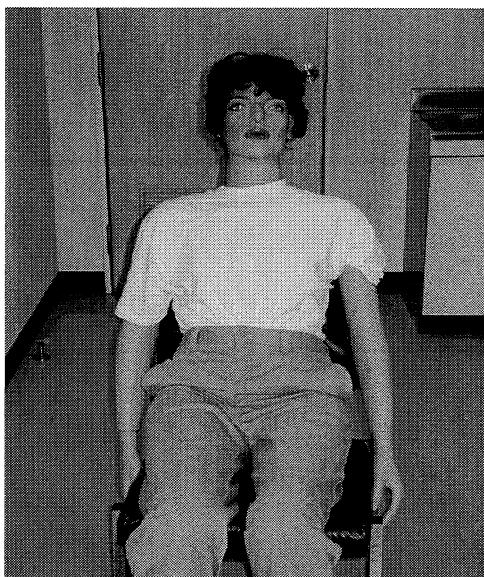
最近、ET を用いて、サーマルマネキンによる車両内評価方法の国際基準の作成が行われている。ISO(国際標準化機構) は、多くの IS(国際標準規格)を開発している。今回、新しい IS として、ISO/NP14505: Evaluation of the Thermal Environments in Vehicles(車両内の温熱環境評価)の作成を試みている。通常の車両内温熱環境(乗用車、トラック、列車、飛行機をも含む)は隙間風、局部の冷暖房など、均一な環境とは程遠い環境である。そのため、従来の被験者を用いての評価では非常に困難である。この車両内温熱環境の評価をサーマルマネキンで行い、その評価法の基準を提案するものである。<sup>3)</sup>

その他、サーマルマネキンを用いた実験は ET が提案される前は主に衣服量の評価に用いられ、近年では温熱環境の評価に用いようと、様々な実験が行われてきた。その一方で、サーマルマネキンの開発も行われ、より人体に近い発熱方法の開発、発汗機能の開発など、ヨーロッパを中心に行われている。

#### 4) サーマルマネキン

今回使用したサーマルマネキン (EVA) は、上半身 10 部位、下半身 10 部位の計 20 部位に分割されており、それぞれが独自に制御可能。マネキン表面を銅線にて発熱させ、外部に接続したコンピュータにて、皮膚表面温度、熱損失量を測定可能である。発汗機能はついていない。(図 31)

サーマルマネキンの制御方法として皮膚温一定、熱損失量一定、Comfort 制御の 3 方法がある。



Comfort 制御は以下の Fanger が提唱した快適方程式を基に制御が行われている。

$$\text{Skin temperature} = 35.7 - 0.028 * \text{heat loss} (\text{°C})$$

$$\text{Skin temperature} = 36.4 - 0.054 * \text{dry heat loss} (\text{°C})$$

以上の方程式を基に、環境条件にあわせた皮膚温、熱損失量の制御を行う方法にて制御を行う。つまり、皮膚温一定制御とは異なり、様々な環境条件で皮膚温の値も変動する制御方法である。

図 31 サーマルマネキン

#### 5) 等価温度について

Equivalent Temperature (ET) は温度、湿度、風速、放射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 32 に示す。

まず、均一環境（気温と放射温度が等しく、風速 0.05 m/s 以下、湿気 50 % の環境）で、サーマルマネキンを用いてこの均一環境の温度変化による値の変化の回帰直線を作成する。次に、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）にサーマルマネキンを設置し、その条件における値を測定する。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、不均一な環境が均一な環境に置き換えるとどのような値を示すかを知ることが出来る。通常、被験者実験も同条件にて行われ、被験者の主観評価を用いて不均一環境を評価することが出来る。

サーマルマネキンを用いた ET 測定の流れを、図 32 にして以下に示す

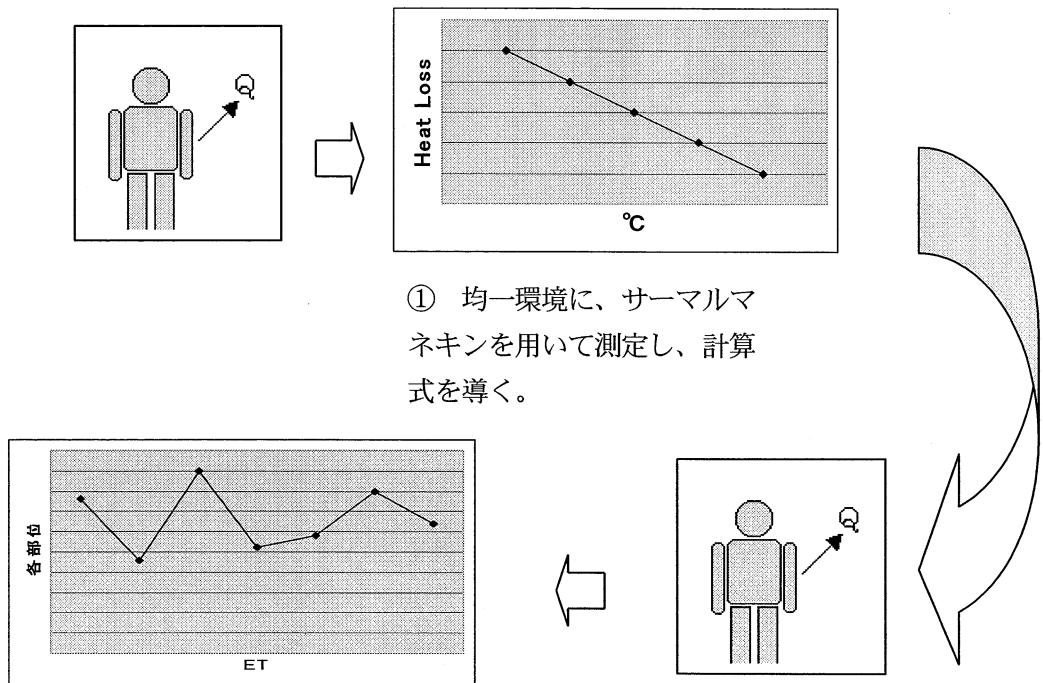


図3.2 サーマルマネキンを用いたETの測定

このような手順により、評価しにくい不均一温熱環境を、ETを用いることにより評価を行うことができる。

## 6) 実験方法

### (a) サーマルマネキンを用いた均一環境測定

実験は九州芸術工科大学大学特殊生態実験室にて行った。サーマルマネキンを椅子に座らせ、中央に設置した。サーマルマネキンの前後左右に衝立を設置、室内の条件を温度一定、湿度50%、風速0.1 m/s以下、放射温度と室内温度は一定である均一温熱環境条件を作った。

サーマルマネキン制御は今回の測定はComfort制御を使用した。

### ア) 環境条件

サーマルマネキンを用いたETの測定方法の基準となる回帰式を求めるため、均一温度環境条件にて温度のみを変化させ、室内条件で5条件、サーマルマネキン条件が裸体と着衣条件で計10条件にて行った。全条件を以下に示す。(表33) 着衣条件は上半身Tシャツ、下半身綿製ズボン、靴下である。

条件	温度(℃)	マネキン
1	22	裸体
2	22	着衣
3	24	裸体
4	24	着衣
5	26	裸体
6	26	着衣
7	28	裸体
8	28	着衣
9	30	裸体
10	30	着衣

表3 3 均一環境実験条件

(b) サーマルマネキンを用いた不均一温熱環境測定

先に行った均一温熱環境で求めた計算式を基に、不均一温熱環境をサーマルマネキンでデータを取り、評価を行う。実験室は九州芸術工科大学1号館5階の客員室を使用。部屋の簡易図を以下に示す。(図33)

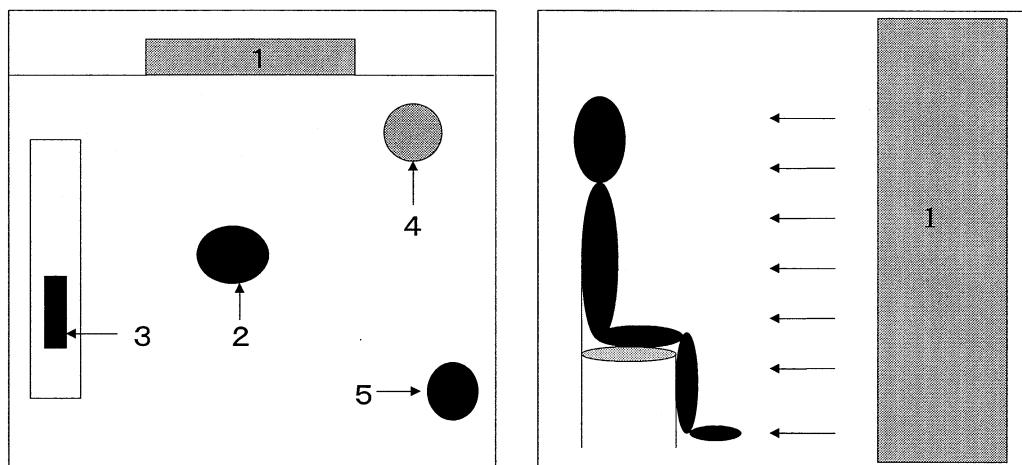


図3 3 実験室簡易見取り図

1：風発生装置 2：サーマルマネキン 3：コンピュータ  
4：アスマン式乾湿計 5：グローブ温度計

(ア) 環境条件

環境条件は“気温 22°C, 風速 0.1 m/s 以下” “気温 22°C, 風速 1m/s” “気温 28°C, 風速 0.1 m/s 以下” “気温 28°C, 風速 1m/s” の計 4 条件 (湿度は 50%)、サーマルマネキンは着衣状態 (Tシャツ、綿製ズボン、靴下) で、座位状態である。前面の風発生装置は座位状態のマネキン前面に風が満遍なく当たる様に設置した。(図 34)

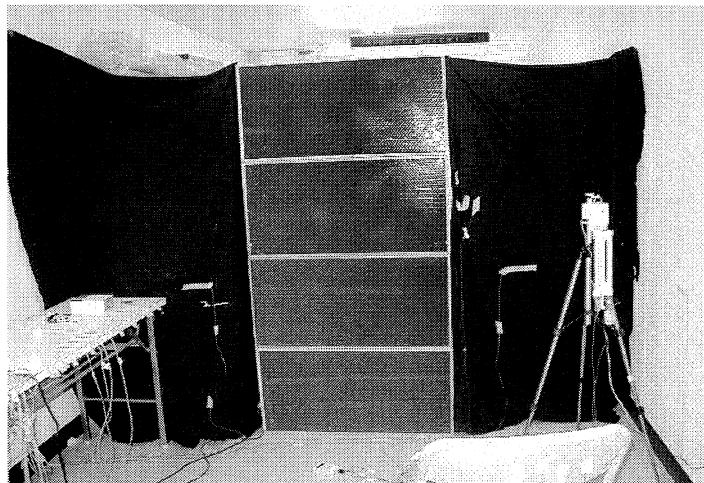


図34 風発生装置

サーマルマネキンの測定は、室内温度を一定にした後、サーマルマネキンを起動(風がある条件ではこのとき一緒に起動させる)。コンピュータ画面上の皮膚温及び熱損失量の経過グラフが定常になったところで測定を開始し、約30分間測定を行った。

#### (c) 被験者を用いた不均一温熱環境の実験

被験者実験はサーマルマネキンの実験と比較するためにサーマルマネキンと同条件にて行った。被験者は健康な男子大学生20名(平均年齢 $22.2 \pm 3.2$ 歳、身長 $170.9 \pm 11.1$ cm、体重 $61.8 \pm 16.2$ kg)とした。温冷感、快適感の申告尺度は図35に示す。被験者はまず中央に設置した椅子に座り、全てのデータを一定にさせるため、20分間待機してもらう(図36)。少し間を置いた後、10分間の測定を行う。被験者はなるべく動かないように、皮膚温、熱損失量を測定する(図37)。測定後、被験者に主観申告をしてもらう。

温冷感						
暑い			寒い			
3	2	1	0	-1	-2	-3
快適感						
快				不快		
0	1	2	3	4		

図35 主観評価申告

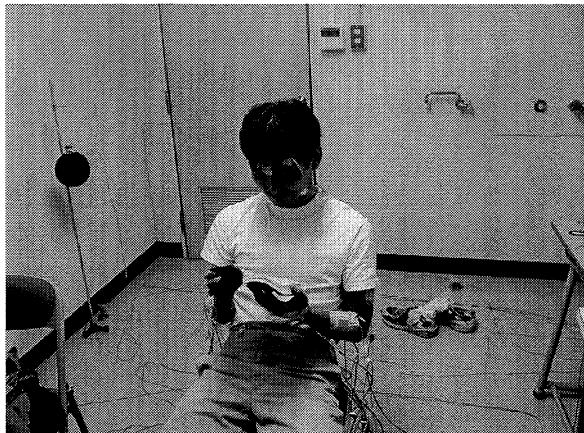


図3 6 被験者安静状態

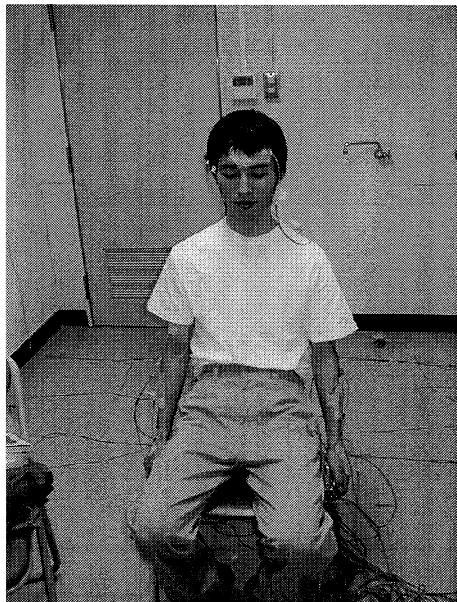


図3 7 被験者測定状態

#### (ア) 環境条件

環境条件は“気温 22°C, 風速 0.1m/s 以下” “気温 22°C, 風速 1m/s” “気温 28°C, 風速 0.1m/s 以下” “気温 28°C, 風速 1m/s” の計 4 条件（湿度は 50%）、被験者はサーマルマネキンと同じ着衣状態（Tシャツ、綿製ズボン、靴下）で、座位状態である。

#### (イ) 热流計

今回、被験者実験に熱損失量を測定するために熱流計（英弘精機 MF-9）を使用した。これを被験者の身体 20 部位に貼り付け、熱損失量を測定する（図 3-8）。出力値は mV であるが、以下の計算式を用いて熱損失量 (W/m<sup>2</sup>) に変換する。身体 20 部位は次の通りである。（額・後頭部・胸・背中・左右上腕・左右上腕・左右手・下腹部・尻部・左右大腿上部・左右大腿下部・左右下腿・左右足）

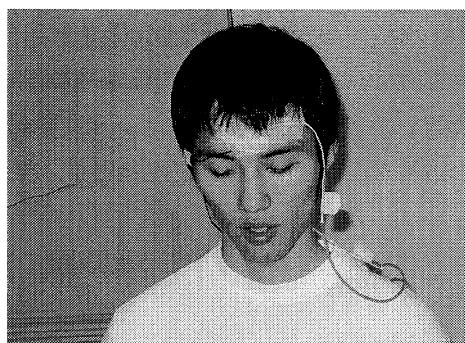


図3 8 热流計

熱流計の計算式

$$Q = E/C \{1 + (t - 20) \times 0.001\}$$

Q : 通過(放散)熱量 W/m<sup>2</sup>(kcal/m<sup>2</sup>·h)

E : 热流計出力電圧 mV

C : 热流計感度 mV/W·m<sup>-2</sup>(mV/kcal·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>)

尚、熱流計感度は使用する器具 1 つ 1 つ異なる。

#### (ウ) 皮膚温

皮膚温はサーミスタを用いて熱流計と同様に 20 部位の測定を行った。

## 7) 実験結果と考察

以下に全ての実験より得たデータ結果を載せる。図 39 は均一環境実験によるサーマルマネキンの回帰式を求めたグラフ、図 40 は図 39 で求めた計算式を元に不均一環境を ET にて表したグラフ、図 41～44 は被験者の主観評価と ET の関係式、図 45 は熱損失量の、図 46 は皮膚温のサーマルマネキンと被験者における測定値の比較である。

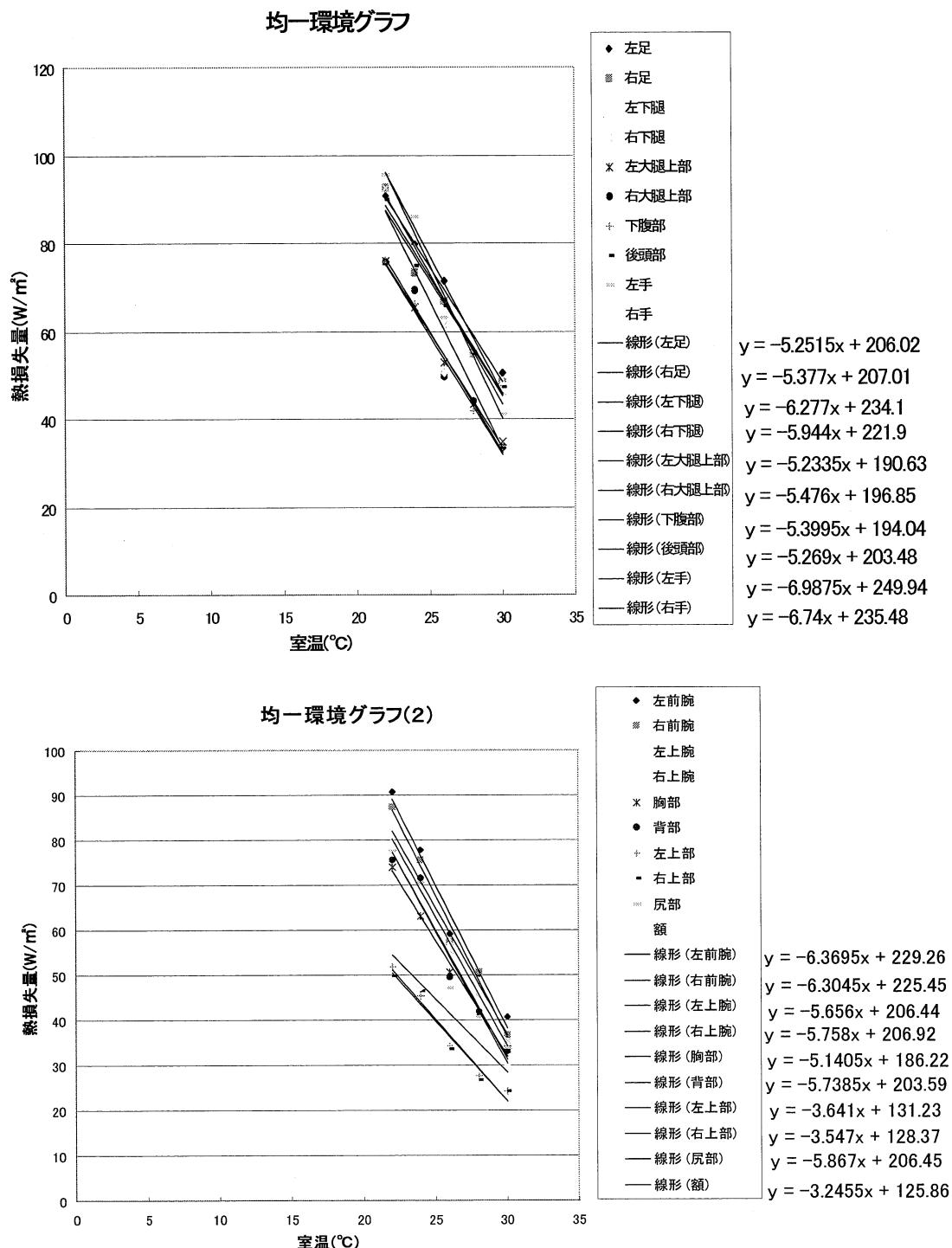


図 39 サーマルマネキンを用いた均一環境評価

図39の回帰方程式が、サーマルマネキンを用いてETで使用する計算式となる。この方程式に不均一温熱環境の熱損失量値を入力することにより、等価温度(ET)を求めることが出来る。

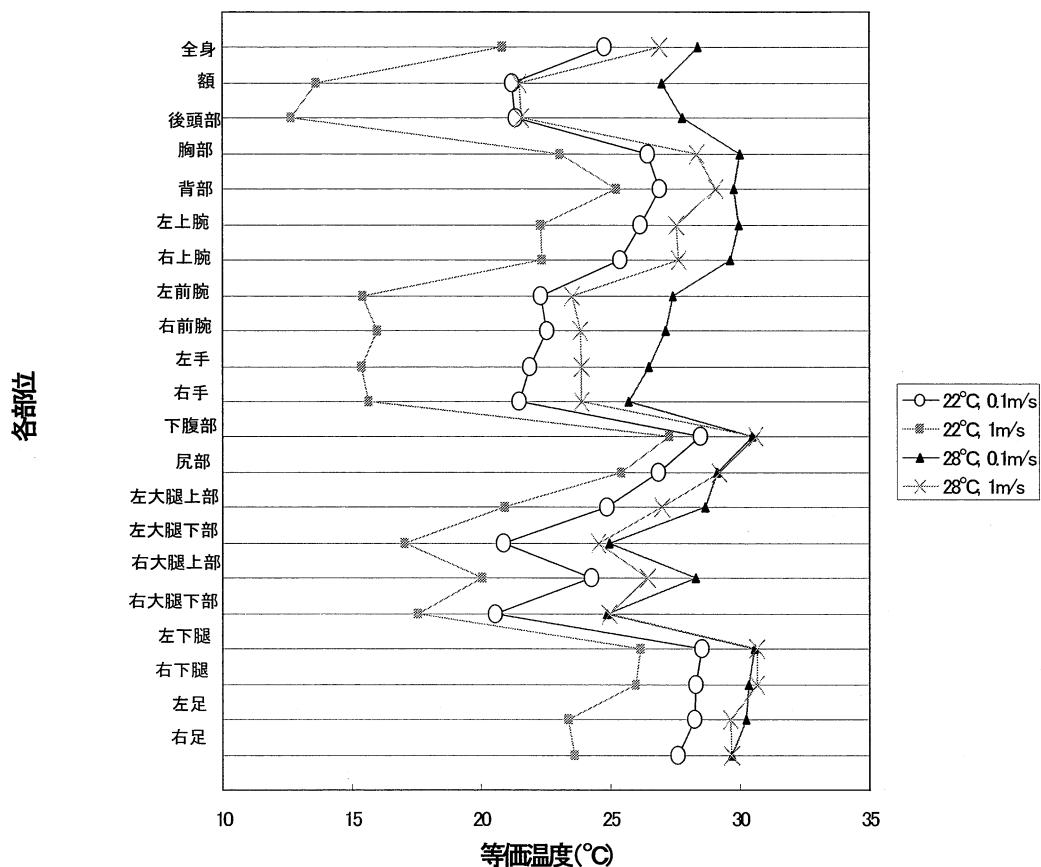


図40 ET(°C)による不均一環境評価

図40はサーマルマネキンを用いて不均一温熱環境を測定したときの部位毎の等価温度を表したグラフである。尚、全身の値は体表面積の重み付け平均によって計算されている。

条件22°C、風速1m/sの時は、明らかにETの値が低いのが解る。特に左右前腕、左右手、後頭部など、皮膚が風に暴露されている個所のETが低い。しかし、28°C、1m/s条件は22°C時の風の影響よりも影響が若干少ないように見られる。22°C条件では風がある状態と無い状態ではすべての個所において差が出ているにもかかわらず、28°C条件では下腹部、左右大腿下部においてはほぼ同じ値を示し、左右下腿に至っては、若干ではあるが風がある条件のほうが高い値を示している。下腹部、左右大腿下部は座位状態であるため、風の影響を受けにくいためであるが、下腿部は通常ならば最も前面に出ている部分であり、風の影響を受けやすい部位であるはずである。

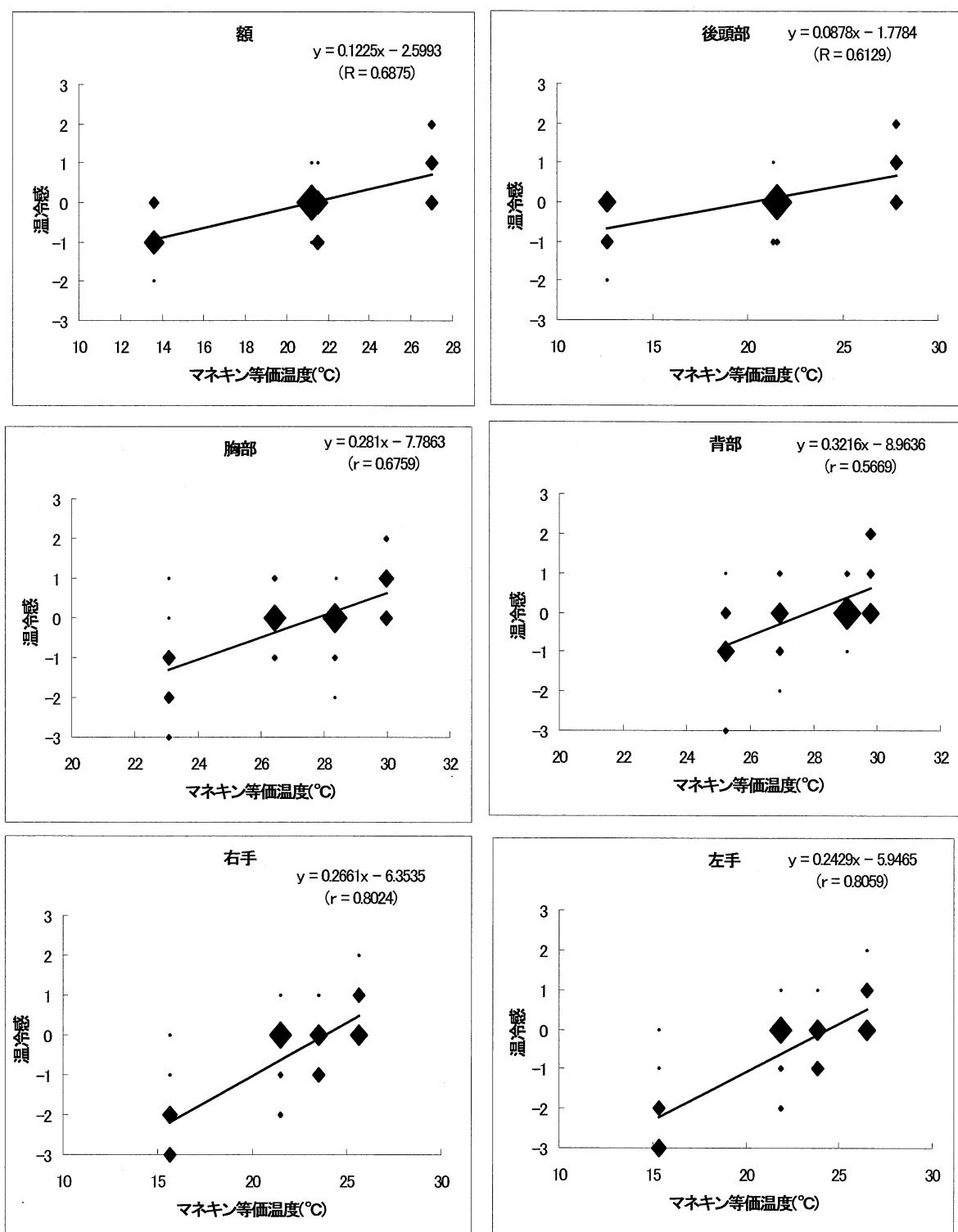


図4.1 ET(°C)と主観評価の関係について (1)

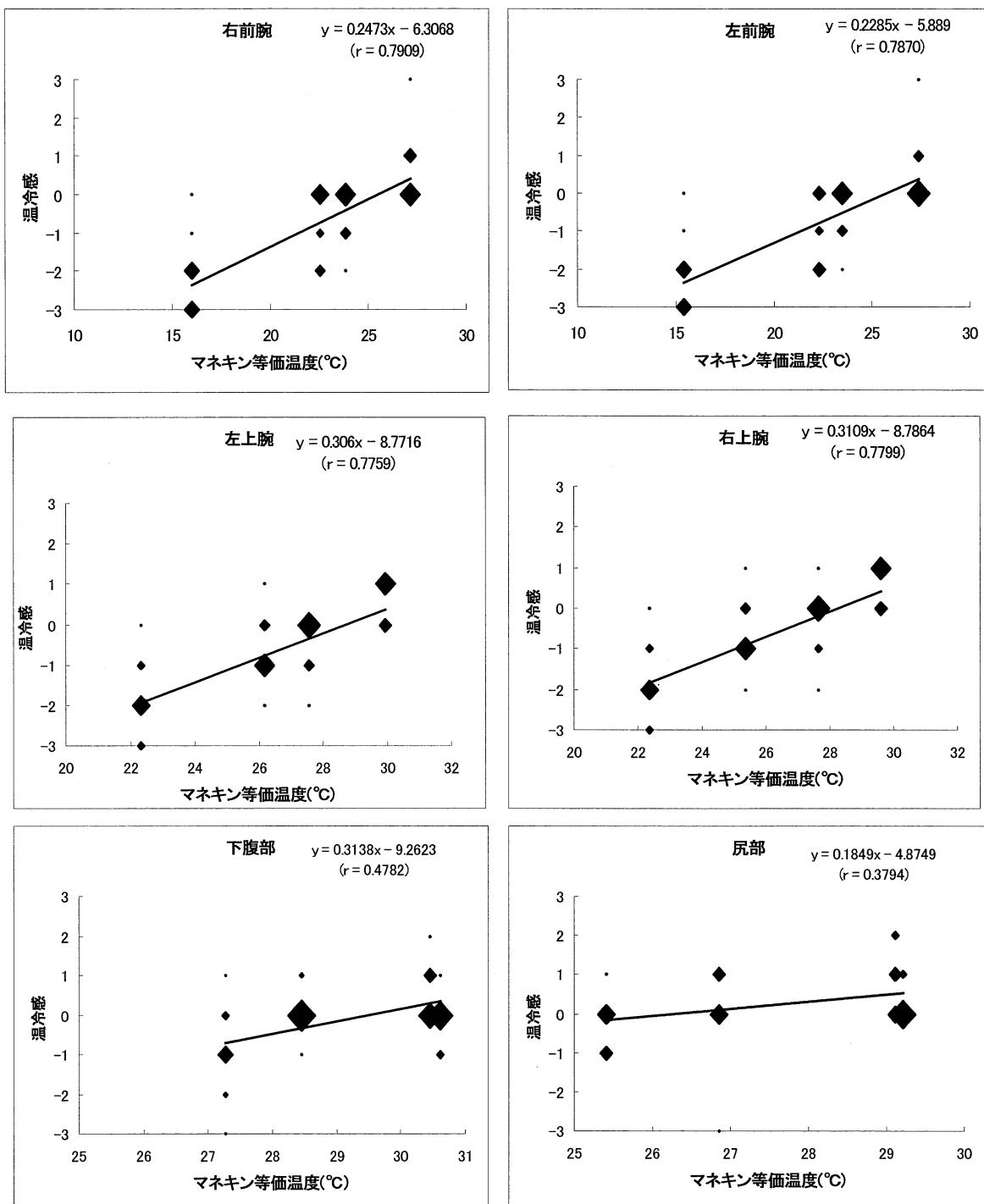


図4-2 ET(°C)と主観評価の関係について(2)

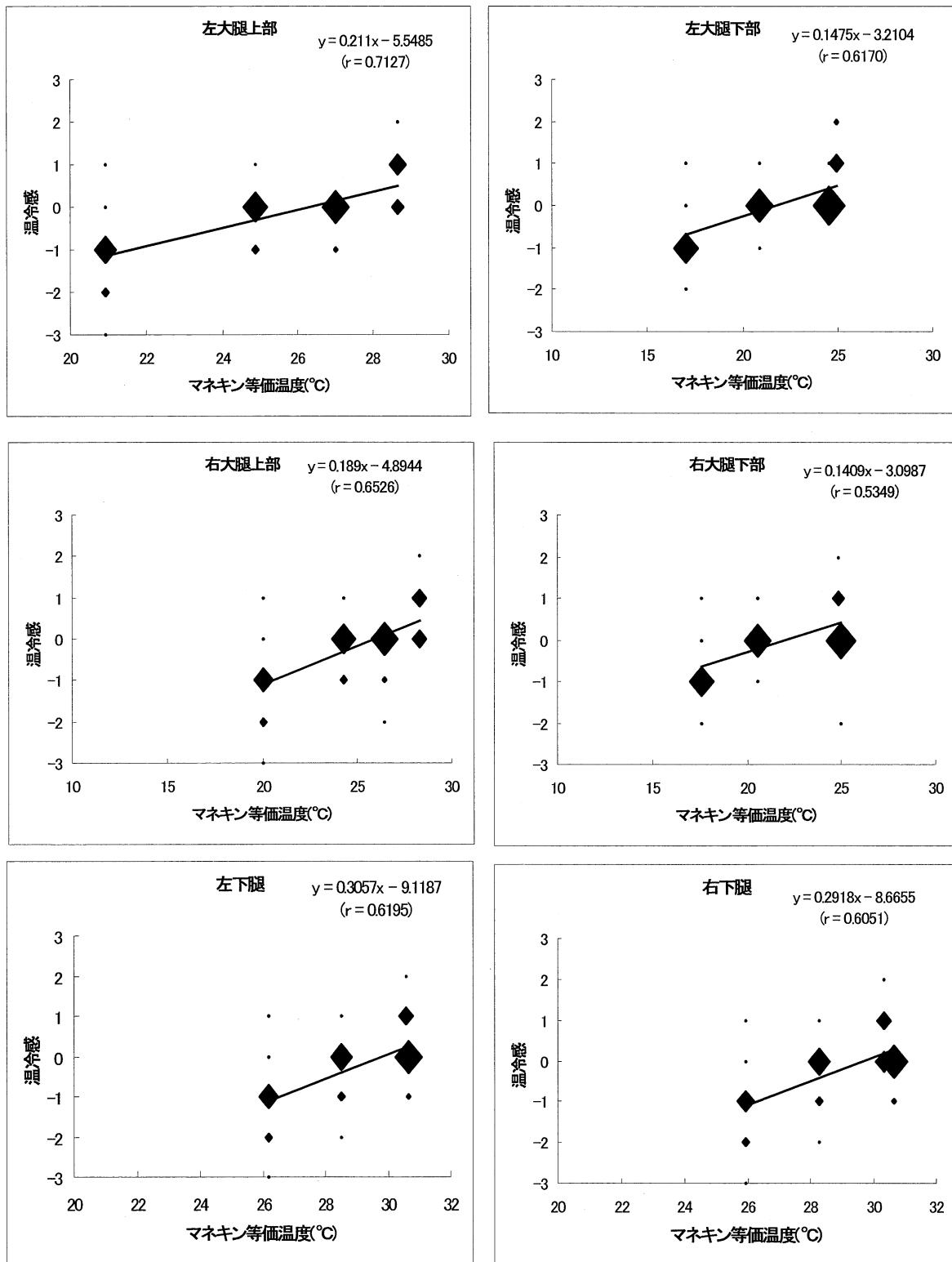


図4 3 ET(°C)と主観評価の関係について

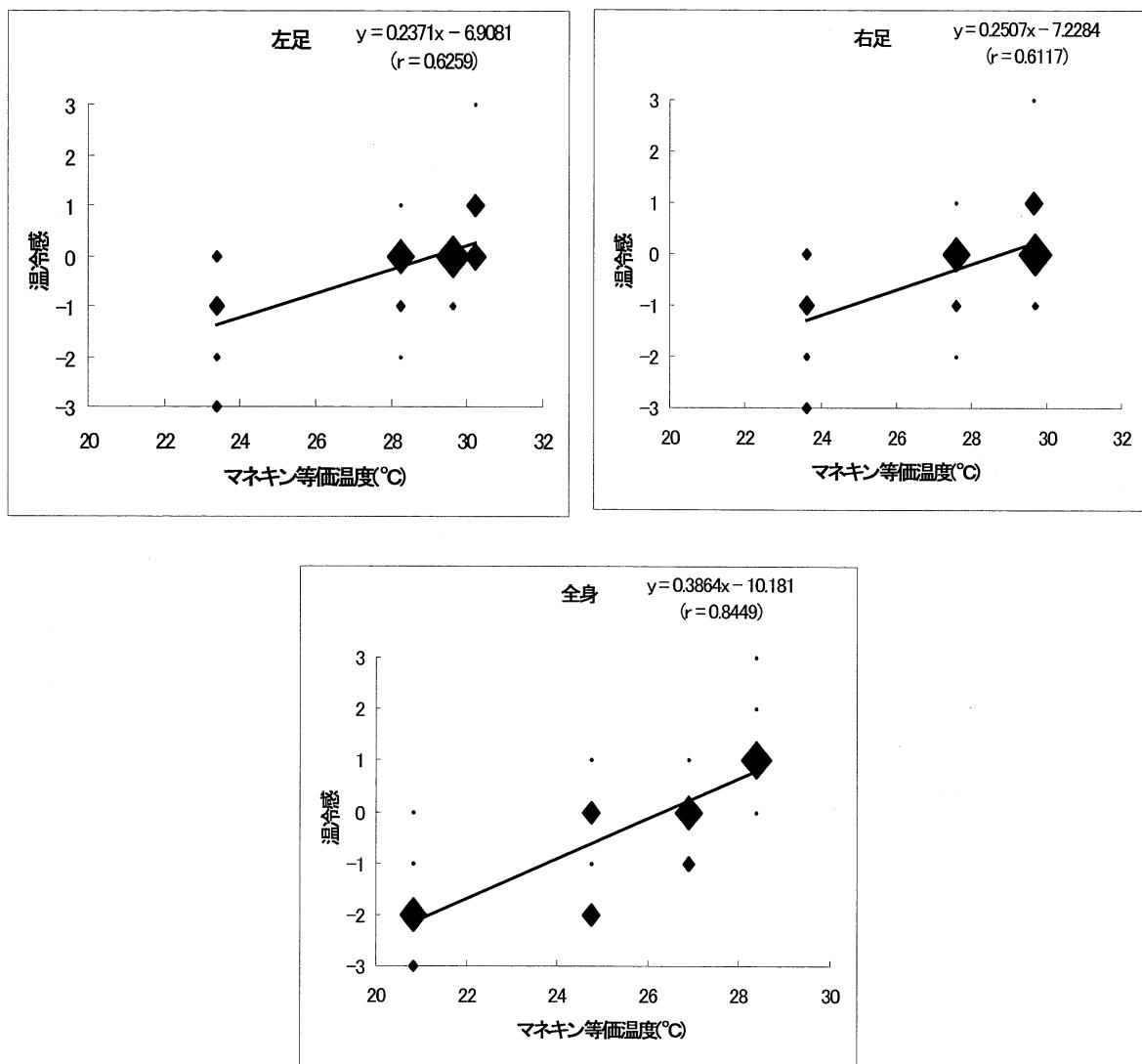


図44 ET(°C)と主観評価の関係について(4)

図41～44はサーマルマネキンによって測定した不均一温熱環境のETと、被験者の温冷感と比較したグラフである。温冷感は、同じ申告とする例が多いので印の大小でその数を示した。等価温度と温冷感との相関関係は、0.38(尻部)～0.81(左手)で全ての条件で有意( $p < 0.05$ )であった。等価温度と全身温冷感の相関係数は0.85( $p < 0.01$ )で、高い相関性が認められた。

先に述べた様にET値は28°Cの2条件は下半身において非常に近くなっているので、被験者の主観評価において最も回答が集中している部分が同じである。つまり、被験者の感覚も28°C条件において風の影響が受けにくい事になる。これにより、同じ風速でも22°Cと28°Cでは、サーマルマネキンで測定した値と同様に被験者の主観評価にも影響の違いが出ることがわかる。

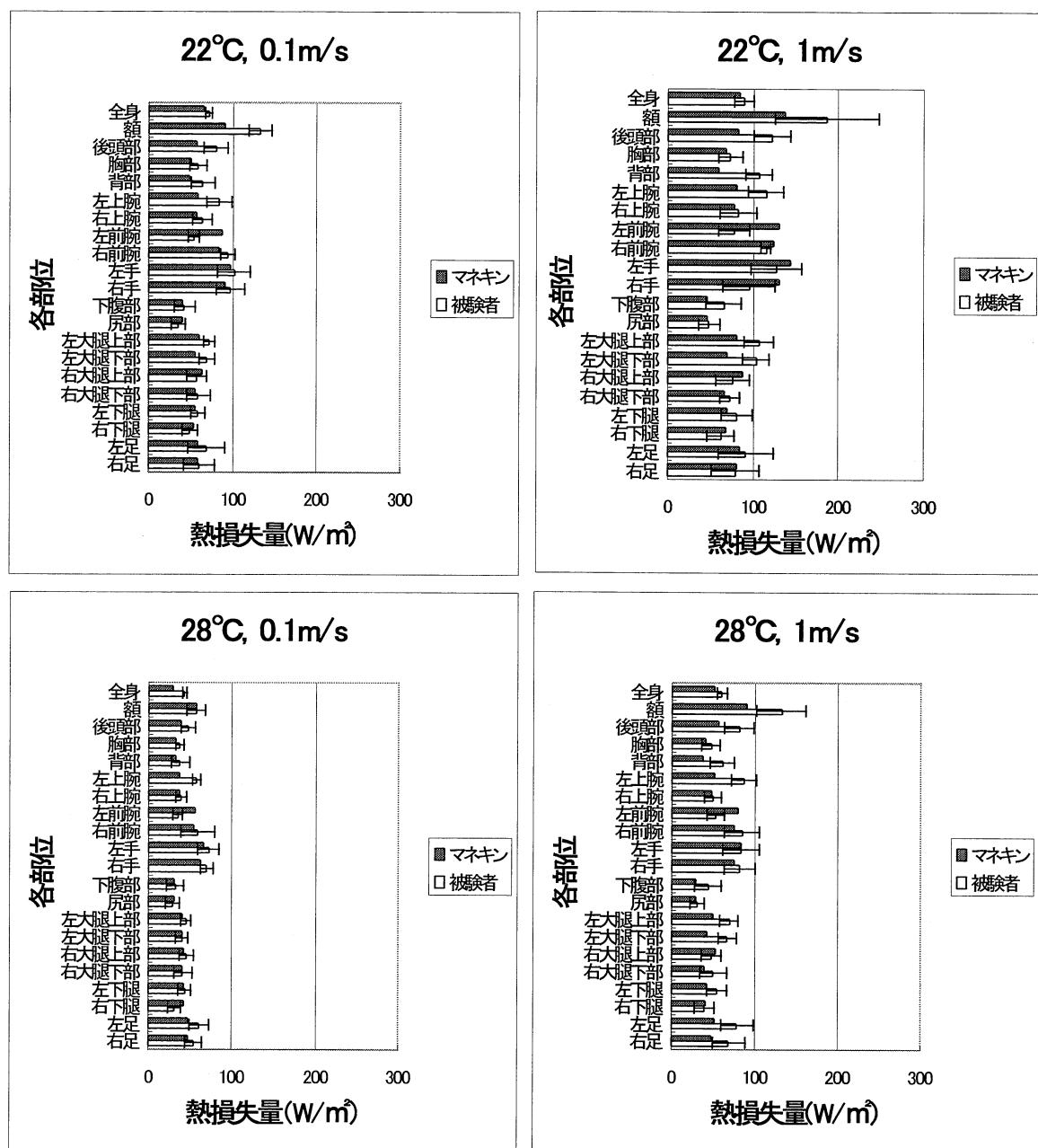


図4-5 热损失量によるサーマルマネキンと被験者の比較

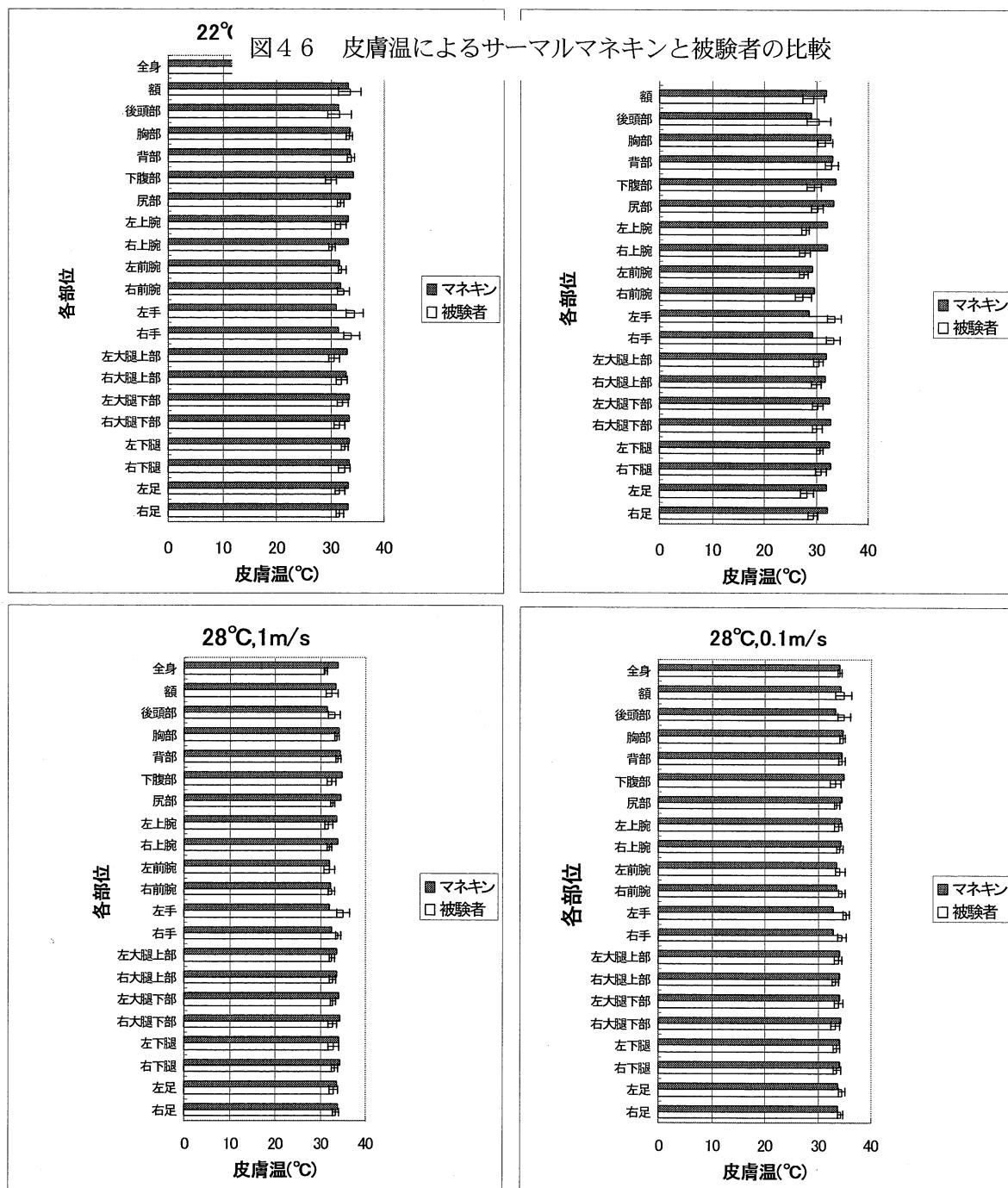


図 16 皮膚温によるサーマルマネキンと被験者の比較

図 45, 46. は熱損失量、及び皮膚温において被験者実験とサーマルマネキンでの不均一環境実験で測定した値を比較したグラフである。被験者の値は 20 名の平均値と標準偏差を表している。

熱損失量は温度条件の差から見ると 28°C 条件より 22°C 条件のほうが、さらに風速が速い時の方が被験者との差が大きい。特に 28°C, 1 m/s 条件時では下半身で被験者の値がサーマルマネキンの値を上回った。部位毎に見ると、全条件で頭部被験者とサーマルマネキンの熱損失量に大きな差が出ている。これは、頭部では血流分布が比較的大きいことが影響したものと思われる。また、身体部位によって

は、被験者の熱損失量とサーマルマネキンの熱損失量がかなり異なることが認められ、部位別の係数の必要性が認められた。身体各部位の温熱感受性実験の成果に期待したい。

皮膚温は全条件において若干サーマルマネキン測定値の方が高い値を示しているものの、被験者測定値とほぼ同じ値を示している。従って、皮膚温に関しては、サーマルマネキンは Comfort 制御を行えば人間にかなり近い値を示した。その他は多少の誤差があるものの、大きな差は見られなかった。

## 2. 3. 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

本実験の目的は、非定常温熱環境の一つである、室温のステップ変化時の人体影響を調査することである。これまでにもこうしたステップ的に変化する温熱環境を評価した研究はあるが、扱っている被験者数が2～6名と少なく、心理反応の検討が十分ではなかったと考えられる。本実験では被験者数を30名とし、夏期屋内外を想定した2室(暑熱室・冷房室)を移動した際の人体影響を検討した。

### 2) 方法

#### a) 期間

2000年6月6日(火)～7月25日(火)の期間に行った。

#### b) 場所

図47に示す九州芸術工科大学特殊生態実験室ホモトロンNo.4、No.5を使用した。

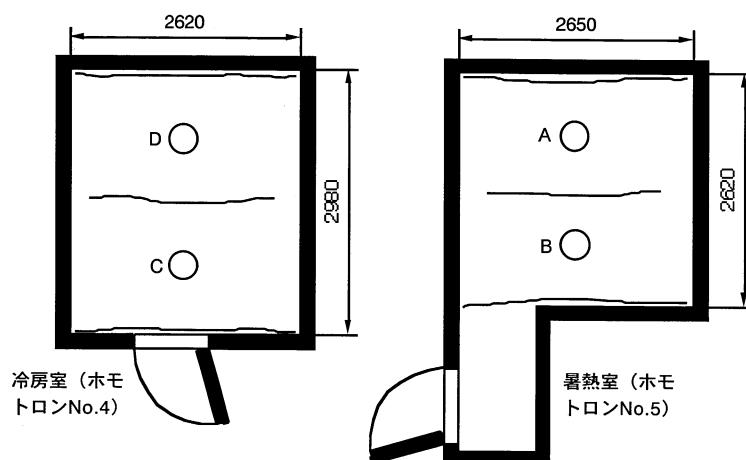


図47 人工気候室(九州芸術工科大学特殊生態実験室)

#### c) 実験条件

ホモトロンNo.4を空調環境、ホモトロンNo.5を暑熱環境として以下の条件に設定した。このうち図48に示す6条件の組合せについて実験を行った。以下、凡例を図48のようにし結果を表記する。

ホモトロンNo.4 空調環境を想定 (22、25、28、31°C・55%)

ホモトロンNo.5 暑熱環境を想定 (34、37°C・70%)

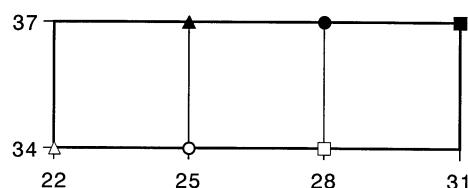


図48 実験条件

d) 被験者

20～23才 (Mean 21.8) の健康な九州芸術工科大学男子学生30名を採用した。暑熱室から空調室へ移動する組合せ6条件のすべてに参加した。被験者に対し、実験前日からの禁酒と十分な睡眠、実験開始1時間前からの喫煙・刺激物（カフェインなど）の禁止、実験中の居眠りや必要以上の運動の禁止など、被験者の生理状態を統制するため注意を促した。実験中被験者は椅子座安静状態にあった。

e) 着衣

実験中被験者は綿Tシャツ、綿ズボン、綿靴下、スリッパ、トランクス（約0.5clo）を着用した。

f) 測定

アスマン通風乾湿計で乾湿球温度、グローブ温度計にてグローブ温度を椅子人体のほぼ中心である床上700mmで測定した。鉛直方向の気温分布および周壁温、床温、天井温、皮膚温 (Hardy-DuBois の7点) はT型熱電対 (0.2mm φ) を用いて測定した。測定間隔は10秒であった。暑熱室から空調室に移動した30名のうち、14名の被験者については各条件ごとに実験開始直後・室移動時・実験終了後の3回体重を測定した。

心理反応の測定には図49に示す評定用紙を用いた。項目は温冷感 (7段階および直線尺度)、不快感 (4段階および直線尺度)、許容不可能者率 (許容できる・許容できないの2択)、不満足者率 (満足・不満足の2択) の計6項目であった。

[I] 現在の温熱環境について該当する個所に印を付けてください。 No. _____						
寒い → 暑い						
-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
快適 → 非常に不快						
0	1	2	3			
[II] 現在の温熱環境を						
<input type="checkbox"/> 許容できる			<input type="checkbox"/> 許容できない			
[III] 現在の温熱環境に						
<input type="checkbox"/> 満足			<input type="checkbox"/> 不満足			

図49 評定用紙

### g) 実験手順

ホモトロンNo.4、No.5にそれぞれ2名ずつ入室し、それぞれの温度条件のもとで、心理申告を2分ごとに行つた。50分後、図47のA席とD席の被験者が、B席とC席の被験者が入れ替わり、着席後更に50分間申告を繰り返した。室の移動にかかった時間は約2分であった。

### 3) 結果及び考察

#### a) 湿湿度条件

表34に温湿度の測定結果を示す。表34より、暑熱室については温度・湿度とも当初の設定条件通りであり、変動も小さかった。空調室についても、温度条件は設定条件通りであったが、37-31°C、37-25°C条件でやや変動が大きかった。湿度条件はやや高めで55~58%であった。しかし、概ね意図した条件通りに設定されたと考えられる。

表34 温湿度条件結果

温度	暑熱室 (N o 5)			空調室 (N o 4)		
	設定温度	平均	標準偏差	設定温度	平均	標準偏差
①34°C-28°C	34°C	34.07	0.10	28°C	27.97	0.08
②34°C-25°C	34°C	34.10	0.08	25°C	24.63	0.35
③34°C-22°C	34°C	34.12	0.12	22°C	21.17	0.15
④37°C-31°C	37°C	37.04	0.12	31°C	31.41	1.53
⑤37°C-28°C	37°C	36.99	0.10	28°C	27.98	0.08
⑥37°C-25°C	37°C	37.06	0.09	25°C	25.14	1.57

湿度	暑熱室 (N o 5)			空調室 (N o 4)		
	設定湿度	平均	標準偏差	設定湿度	平均	標準偏差
①34°C-28°C	70%	68.68	1.53	50%	54.99	2.14
②34°C-25°C	70%	69.34	0.97	50%	57.11	2.63
③34°C-22°C	70%	69.30	1.31	50%	57.08	3.44
④37°C-31°C	70%	67.71	5.51	50%	55.34	3.10
⑤37°C-28°C	70%	68.18	1.33	50%	58.32	2.29
⑥37°C-25°C	70%	71.06	5.25	50%	55.04	1.73

#### b) 平均皮膚温の経時変動

図50、図51は同一暑熱条件から各空調条件へ移動した場合の経時変動の結果について、図52、図53は各暑熱条件から同一空調条件へ移動した場合の経時変動の結果について、平均皮膚温を被験者の平均で表したものである。

図50より、暑熱環境で3条件とも約20~30分後に約36.2°Cで安定する。3条件とも移動後20分程度で安定する。図51より、暑熱環境で3条件とも約15~20分後に約35.5°Cで安定する。34-28°C、34-25°C条件では移動後10分程度で安定する。34-22°C条件では移動後40分程度で安定する。

図52より、移動後約5分までは同様の値で下がるが、それ以降は34-28°C条件の方が37-28°C条件よりも高くなる。図53より、移動後約5分までは同様の値で下がるが、それ以降は34-25°C条件の方が37-25°C条件よりも高くなる。体重測定の結果、37°C条件に曝露された場合の方が34°C条件の場合よりも体重減少量が大きかった。また実験中に被験者を観察したところ、明らかに37°C条件の場合に大量に発汗していた。したがって、着衣に付着した汗によって奪われた蒸発熱損失が34°C条件からの移動の場合よりも37°C条件からの移動の場合の方が大きかったため、移動後の温度条件が同じであるにもかかわらず、皮膚温に差が表れたと考えられる。

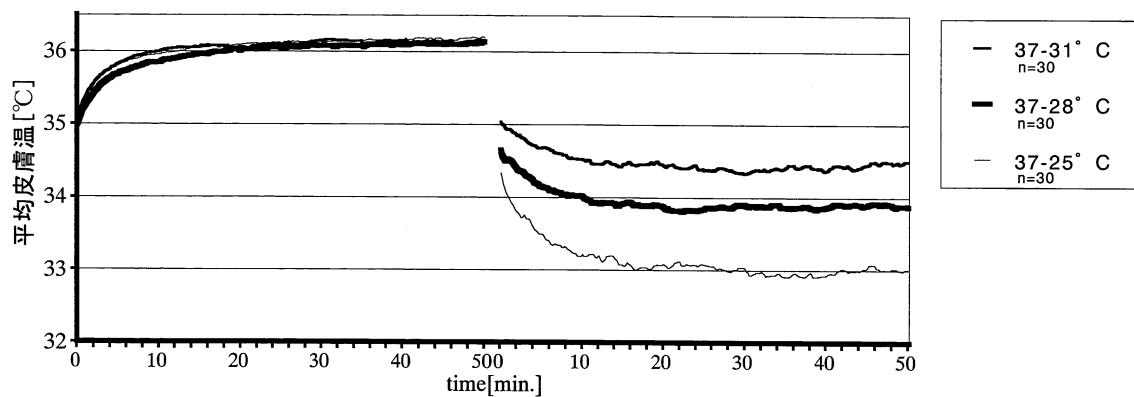


図 51 平均皮膚温の経時変動 ( $37^{\circ}\text{C} \rightarrow 31, 28, 25^{\circ}\text{C}$  条件)

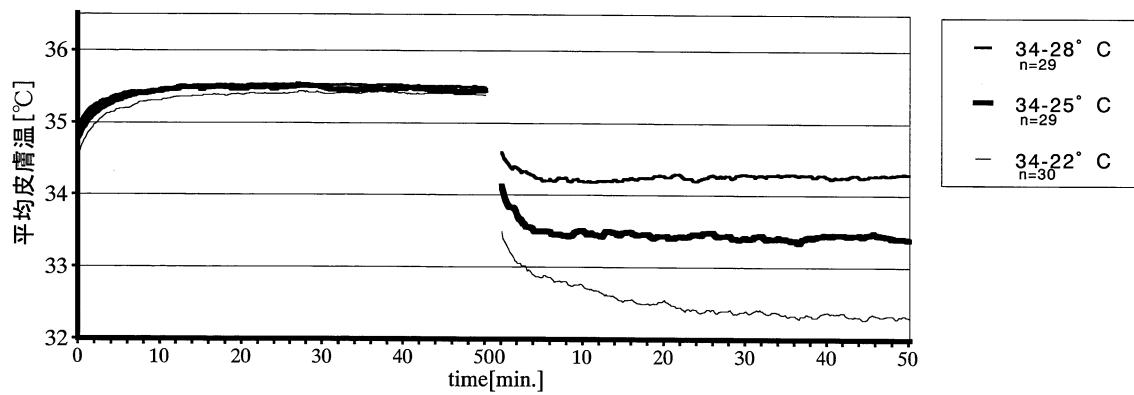


図 52 平均皮膚温の経時変動 ( $34^{\circ}\text{C} \rightarrow 28, 25, 22^{\circ}\text{C}$  条件)

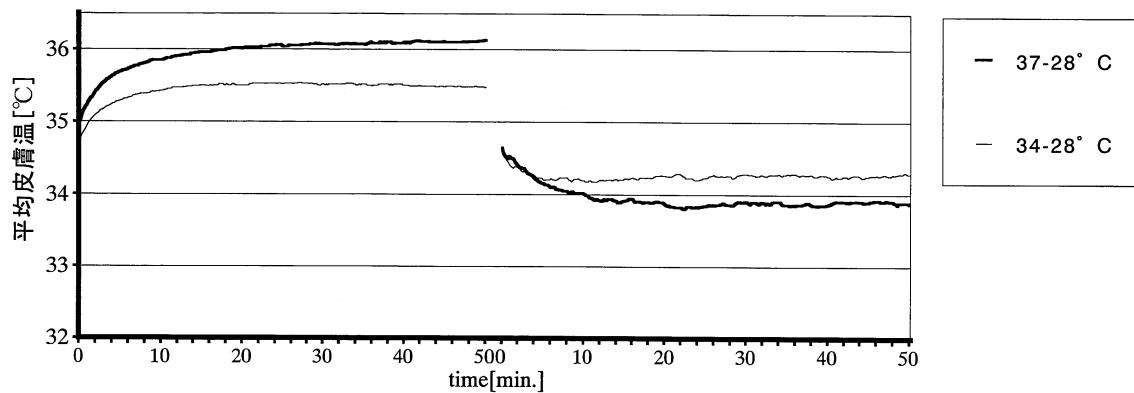


図 53 平均皮膚温の経時変動 ( $37, 34^{\circ}\text{C} \rightarrow 28^{\circ}\text{C}$  条件)

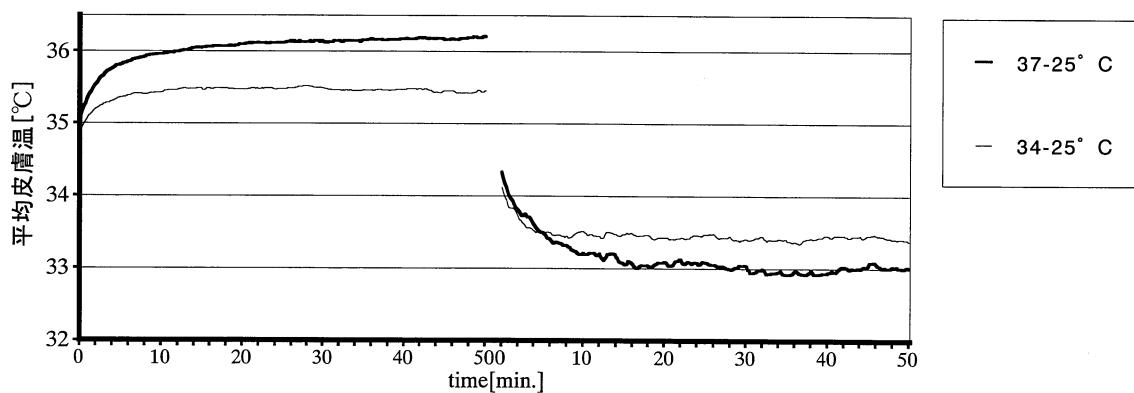


図 54 平均皮膚温の経時変動 ( $37, 34^{\circ}\text{C} \rightarrow 25^{\circ}\text{C}$  条件)

### c) 心理量の経時変動

図 55-a～55-f、図 56-a～56-f は同一暑熱条件から各空調条件へ移動した場合の経時変動の結果について、図 57-a～57-f、図 58-a～58-f は各暑熱条件から同一空調条件へ移動した場合の経時変動の結果について、尺度ごとに表したものである。

#### <温冷感について>

図 55-a、図 55-b、図 56-a、図 56-b より、どの条件においても移動直後に実験を通して最も寒い側に申告され、その後約 10 分かけて暑い側へシフトし、約 20 分以降は 37-31°C、34-28°C 条件で中央よりわずかに暑い側、37-28°C 条件で中央、34-25°C 条件で中央よりわずかに寒い側、37-25°C、34-22°C 条件で中央より寒い側でほぼ安定する。

図 57-a、図 57-b、図 58-a、図 58-b より、移動後、34-28°C 条件よりも 37-28°C 条件の方が、34-25°C 条件よりも 37-25°C 条件の方が寒い側に申告される。これは、発汗量の違いによって皮膚温に差が表れたことが反映されたものと考えられる。すなわち、34°C 条件からの移動の場合よりも 37°C 条件からの移動の方が皮膚温が下がったため、移動後の温度条件が同じであるにもかかわらず、37°C 条件の方が温冷感が低くなったと考えられる。

#### <不快感について>

図 55-c、図 55-d より、移動後 37-28°C 条件が最も快適側で推移する。図 55-d より、37-28°C、37-25°C、37-31°C 条件の順に快適となる。

図 56-c、図 56-d より、34-28°C 条件は移動直後から安定している。34-25°C、34-22°C 条件については約 20～30 分かけて快適側にシフトし、その後安定する。移動直後は 34-28°C 条件が最も快適である。安定してから 34-25°C、34-28°C、34-22°C 条件の順に快適となる。

図 57-c、図 57-d より、移動後、直線尺度では 34-28°C 条件よりも 37-28°C 条件の方が不快側に申告され、4 段階尺度ではほぼ同じである。これも、37°C 条件からの移動の方が多量の発汗が元で温冷感が下がったために、快適感が上がったと考えられる。しかし温冷感の差は小さかったために 4 段階尺度では明確な差が現れなかったと考えられる。図 58-c、図 58-d より、34-25°C 条件よりも 37-25°C 条件の方が快適側に申告される。これについても、37°C 条件からの移動の方が多量の発汗が元で温冷感が下がり熱的中立よりも寒い側に申告されたために、37°C 条件からの移動の方がかえって不快と申告されたと考えられる。

#### <許容不可能者率について>

図 55-e、図 56-e より、移動直後から終了まで、どの組合せ条件においてもほぼ 0% であった。すなわち、移動後の温熱環境が条件・時間経過にかかわらず許容できると申告されており、本実験においては、許容不可能者率によって条件間の検討を捉えることが困難であった。

#### <不満足者率について>

図 55-f、図 56-f より、移動後約 10～20% 前後で変動し続けており、条件間による差異は明確に捉えられなかった。

図 57-f、図 58-f より、移動後しばらくは変動し続けるが、約 30 分経過後は 34-28°C 条件よりも 37-28°C 条件の方が低く、37-25°C 条件よりも 34-25°C 条件の方が低い。すなわちこれは、より快適と申告された条件でより不満足者率が低くなっている、不快感の場合の傾向を支持している。

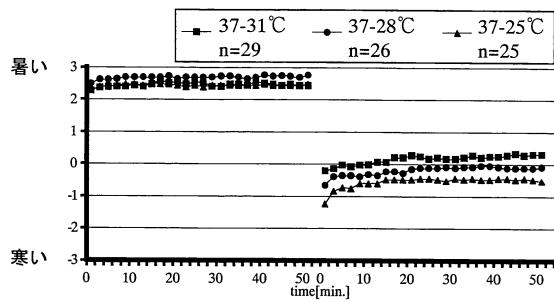


図 55-a

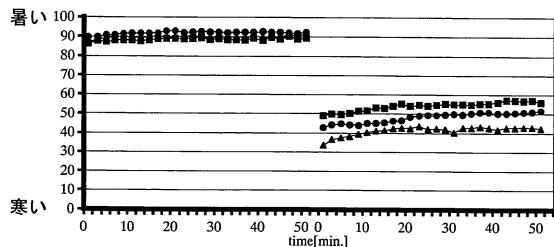


図 55-b

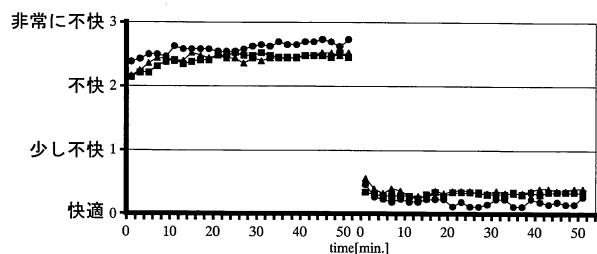


図 55-c

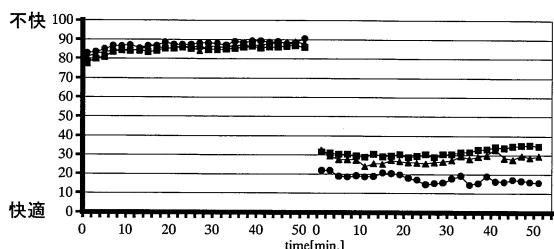


図 55-d

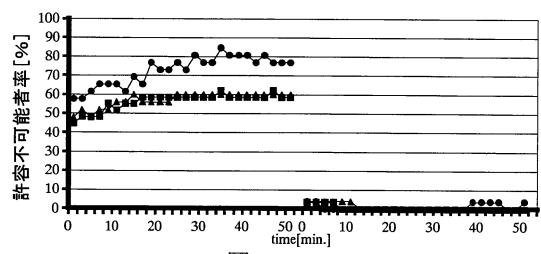


図 55-e

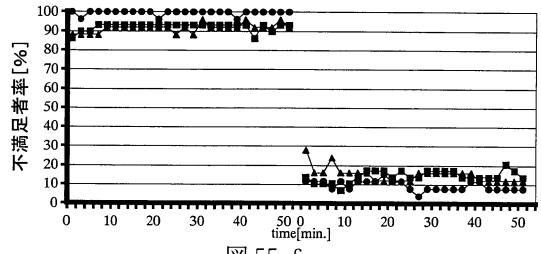


図 55-f

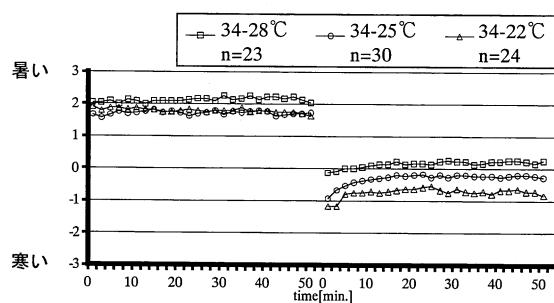
図 55 各申告の経時変動  
(37°C→31、28、25°C条件)

図 56-a

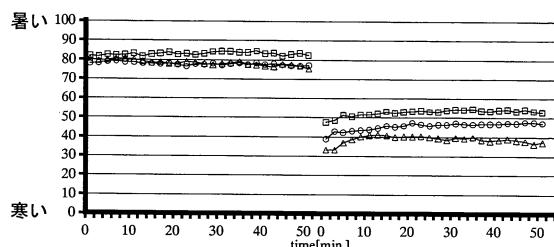


図 56-b

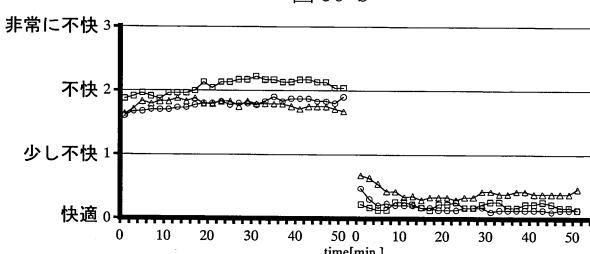


図 56-c

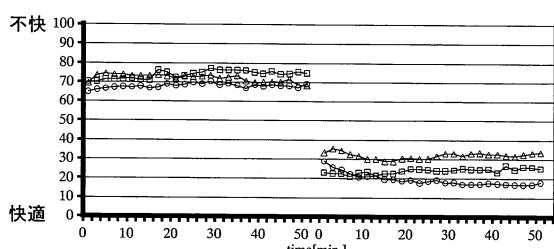


図 56-d

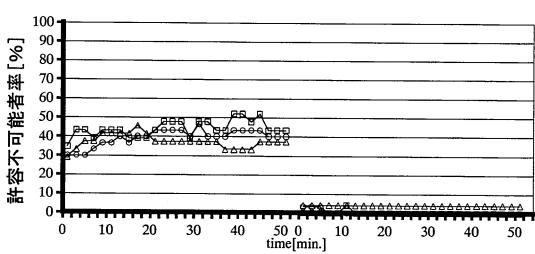


図 56-e

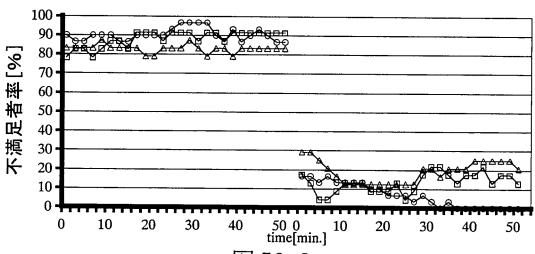


図 56-f

図 56 各申告の経時変動  
(34°C→28、25、22°C条件)

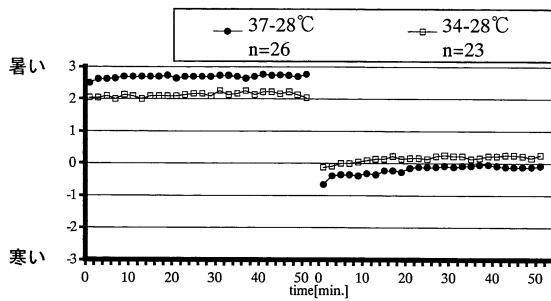


図 57-a

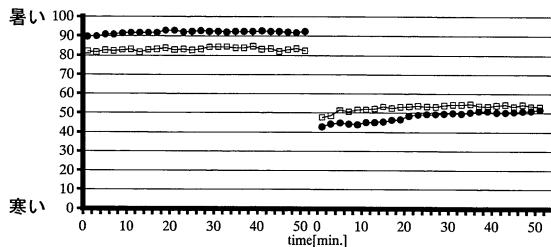


図 57-b

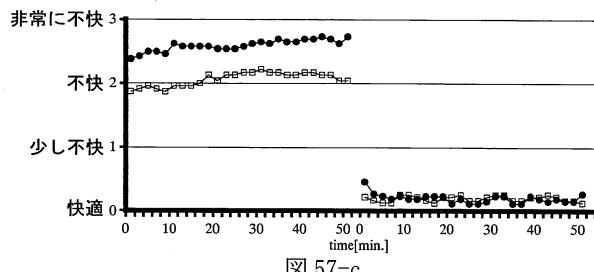


図 57-c

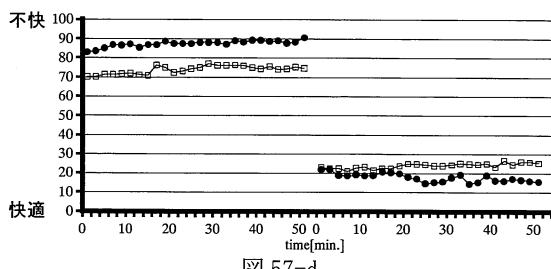


図 57-d

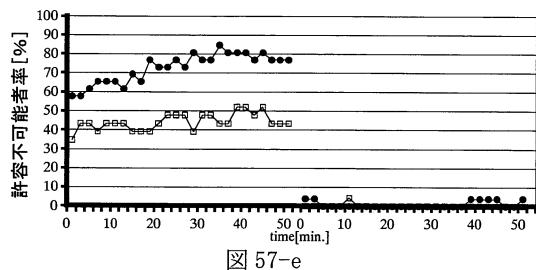


図 57-e

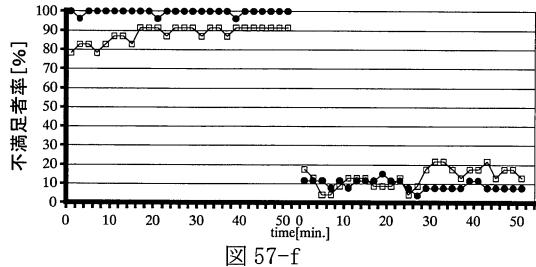


図 57-f

図 57 各申告の経時変動  
(37、34°C→28°C条件)

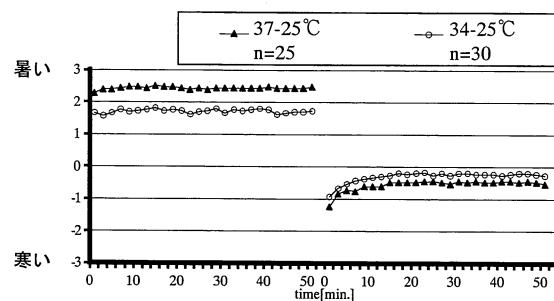


図 58-a

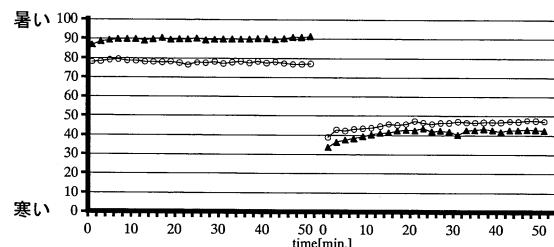


図 58-b

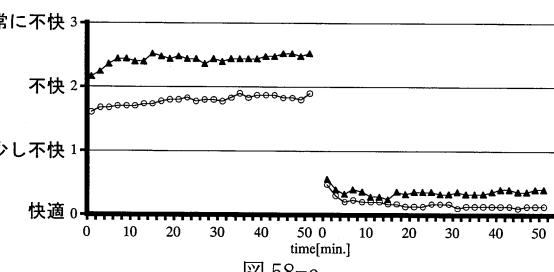


図 58-c

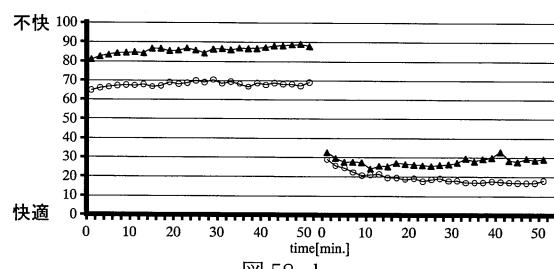


図 58-d

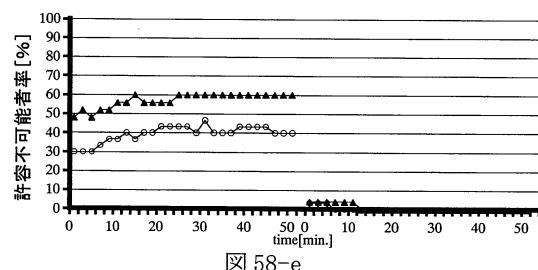


図 58-e

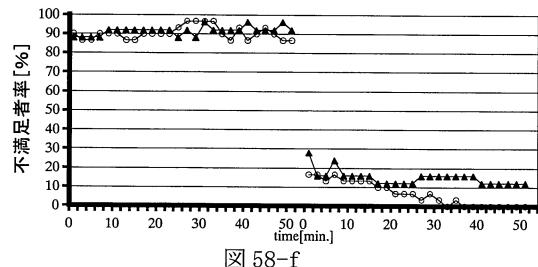


図 58-f

図 58 各申告の経時変動  
(37、34°C→25°C条件)

### c) 室温と温冷感の関係

図 59-a～図 59-c に暑熱条件 34°C、37°C 条件ごとに移動後の室温と温冷感の関係および回帰直線を示す。図 59-a～図 59-c には代表として移動後 0 分（移動直後）、2 分、50 分（退室直前）のものを示した。表 35 は各時間・暑熱条件ごとの直線回帰式、決定係数を示したものである。

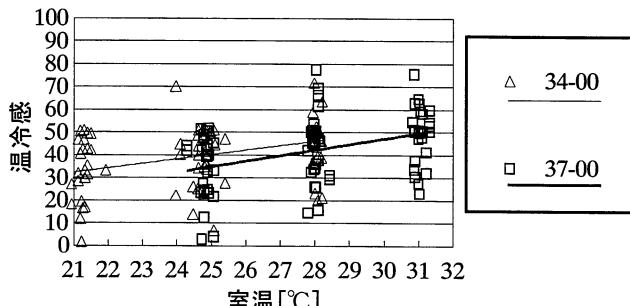


図 59-a

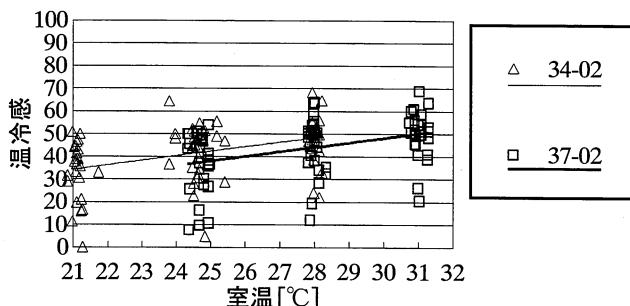


図 59-b

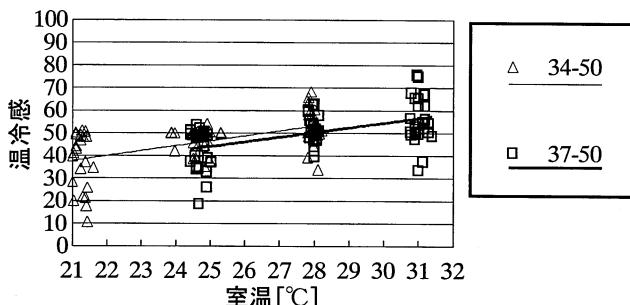


図 59-c

図 59 室温と温冷感の関係

図 59 および表 35 の決定係数より、各温度条件のデータのばらつきが、時間を経るごとに小さくなっている。非定常状態では人体の環境に対する反応に特に個人差が大きいことを示す結果であると考えられる。どの時間においても、37°C 条件からの移動の方が、34°C 条件からの移動の場合より、回帰直線が右側にある。このことは、皮膚温の低下によって 37°C 条件からの移動の方が同じ温冷感を得るために室温が高くなったことを表していると言える。また、時間を経るごとに回帰直線が少しづつ左側へ移動しているのがわかる。これは、温冷感の経時変動において、移動後寒い側の申告から徐々に熱的中立あるいは暑い側に申告される結果と一致する。

表 35 各暑熱条件・時間ごとの直線回帰式および中立室温

前室条件	min.	直線回帰式	決定係数	x:f(x)=50	f(xMAX)	xMAX
34	00	$f(x) = 1.97E+0*x + -9.01E+0$	0.147	29.95	46.54	28.20
34	02	$f(x) = 2.04E+0*x + -8.55E+0$	0.183	28.70	48.98	28.20
34	04	$f(x) = 1.88E+0*x + -2.81E+0$	0.181	28.09	49.96	28.07
34	06	$f(x) = 1.61E+0*x + 4.50E+0$	0.167	28.26	49.90	28.20
34	08	$f(x) = 1.42E+0*x + 9.82E+0$	0.129	28.30	49.96	28.27
34	10	$f(x) = 1.34E+0*x + 1.20E+1$	0.114	28.36	49.96	28.33
34	12	$f(x) = 1.56E+0*x + 7.55E+0$	0.174	27.21	51.81	28.37
34	14	$f(x) = 1.65E+0*x + 5.84E+0$	0.209	26.76	52.32	28.17
34	16	$f(x) = 1.67E+0*x + 4.48E+0$	0.207	27.26	51.74	28.30
34	18	$f(x) = 1.68E+0*x + 4.75E+0$	0.204	26.93	52.18	28.23
34	20	$f(x) = 1.77E+0*x + 2.69E+0$	0.219	26.73	52.66	28.23
34	22	$f(x) = 1.80E+0*x + 2.52E+0$	0.268	26.38	53.51	28.33
34	24	$f(x) = 1.79E+0*x + 2.05E+0$	0.254	26.79	52.83	28.37
34	26	$f(x) = 1.81E+0*x + 1.49E+0$	0.262	26.80	52.89	28.40
34	28	$f(x) = 2.11E+0*x + -5.78E+0$	0.337	26.44	53.87	28.27
34	30	$f(x) = 1.97E+0*x + -1.78E+0$	0.282	26.28	53.71	28.17
34	32	$f(x) = 2.01E+0*x + -3.02E+0$	0.298	26.38	53.66	28.20
34	34	$f(x) = 2.06E+0*x + -3.73E+0$	0.321	26.08	54.30	28.17
34	36	$f(x) = 2.05E+0*x + -4.48E+0$	0.302	26.58	53.33	28.20
34	38	$f(x) = 2.14E+0*x + -6.70E+0$	0.323	26.50	53.80	28.27
34	40	$f(x) = 2.13E+0*x + -6.41E+0$	0.310	26.48	54.08	28.40
34	42	$f(x) = 2.03E+0*x + -3.32E+0$	0.282	26.27	54.07	28.27
34	44	$f(x) = 2.08E+0*x + -4.98E+0$	0.295	26.43	53.53	28.13
34	46	$f(x) = 2.24E+0*x + -8.70E+0$	0.348	26.21	54.47	28.20
34	48	$f(x) = 2.36E+0*x + -1.24E+1$	0.339	26.44	54.08	28.17
34	50	$f(x) = 2.22E+0*x + -9.00E+0$	0.319	26.58	53.60	28.20
37	00	$f(x) = 2.46E+0*x + -2.67E+1$	0.172	31.18	50.37	31.33
37	02	$f(x) = 2.06E+0*x + -1.36E+1$	0.163	30.87	50.88	31.30
37	04	$f(x) = 1.88E+0*x + -8.20E+0$	0.176	30.96	50.64	31.30
37	06	$f(x) = 1.83E+0*x + -6.63E+0$	0.175	30.95	50.65	31.30
37	08	$f(x) = 1.85E+0*x + -6.55E+0$	0.181	30.57	51.23	31.23
37	10	$f(x) = 1.74E+0*x + -2.60E+0$	0.179	30.23	51.86	31.30
37	12	$f(x) = 1.93E+0*x + -7.37E+0$	0.185	29.73	53.04	31.30
37	14	$f(x) = 1.79E+0*x + -3.21E+0$	0.183	29.73	52.69	31.23
37	16	$f(x) = 1.86E+0*x + -4.25E+0$	0.197	29.17	54.02	31.33
37	18	$f(x) = 1.94E+0*x + -5.65E+0$	0.248	28.69	55.21	31.37
37	20	$f(x) = 1.80E+0*x + -1.76E+0$	0.219	28.76	54.53	31.27
37	22	$f(x) = 1.70E+0*x + 1.71E+0$	0.195	28.41	54.87	31.27
37	24	$f(x) = 1.89E+0*x + -4.25E+0$	0.246	28.70	54.91	31.30
37	26	$f(x) = 1.91E+0*x + -4.67E+0$	0.233	28.62	55.17	31.33
37	28	$f(x) = 2.08E+0*x + -8.96E+0$	0.257	28.35	56.00	31.23
37	30	$f(x) = 2.32E+0*x + -1.64E+1$	0.260	28.62	56.22	31.30
37	32	$f(x) = 1.90E+0*x + -3.70E+0$	0.230	28.26	55.64	31.23
37	34	$f(x) = 1.87E+0*x + -2.99E+0$	0.230	28.34	55.48	31.27
37	36	$f(x) = 1.86E+0*x + -2.15E+0$	0.235	28.04	56.07	31.30
37	38	$f(x) = 2.03E+0*x + -7.01E+0$	0.270	28.08	56.67	31.37
37	40	$f(x) = 2.26E+0*x + -1.36E+1$	0.259	28.14	57.21	31.33
37	42	$f(x) = 2.25E+0*x + -1.27E+1$	0.322	27.87	57.88	31.37
37	44	$f(x) = 2.20E+0*x + -1.14E+1$	0.296	27.91	57.46	31.30
37	46	$f(x) = 2.12E+0*x + -8.80E+0$	0.256	27.74	57.41	31.23
37	48	$f(x) = 2.21E+0*x + -1.12E+1$	0.303	27.69	58.19	31.40
37	50	$f(x) = 2.08E+0*x + -8.15E+0$	0.293	27.96	57.16	31.40

※ x:f(x)=50 は温冷感が 50 となるときの室温、xMAX は回帰式の室温範囲の最大値

各時間・暑熱条件ごとの直線回帰式から熱的中立温度（温冷感が50となるときの室温）を算出し、表35に回帰式および決定係数と併せて示している。表35にイタリック文字で示すように、34°C条件からの移動後10分までは熱的中立温度を外挿して求めている。この算出された熱的中立温度の経時変動を図示したものが図60である。これより、熱的中立温度が時間を経るごとに下がり、37°C条件で約36分、34°C条件で約30分程度で安定していることがわかる。また、常に37°C条件からの移動の方が熱的中立温度が高く、50分を経過した実験終了直前においても約1.5°C程度の差がみられる。

この図60は熱的中立を得るために条件が、温熱環境のステップ変化後、時間的に変化することを明確に表していると考えられる。また、暑熱環境から空調環境へ移動する場合、暑熱環境の違いが空調環境への移動後にも心理反応に影響し、ほぼ定常状態に達したと考えられる移動後30分以降もその影響が残っていることを示している。この影響の残留は着衣に付着した汗が蒸発によって熱を奪い続けていたためであると考えられる。

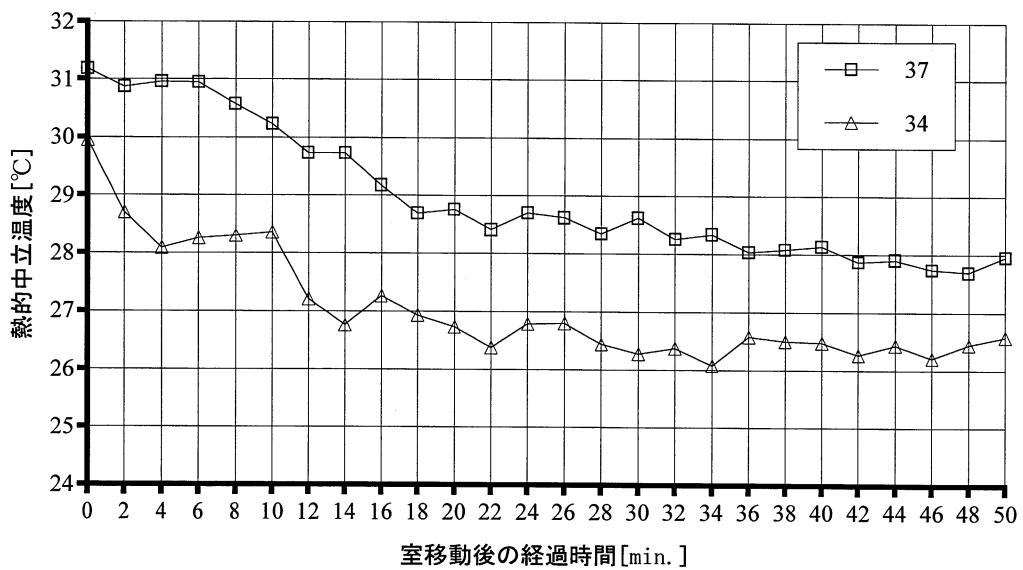


図 60 热的中立温度の経時変動

## 2. 3. 2. 身体各部位の温熱感受性の解明

### (1) はじめに

人体の局所的な温熱感受性をとらえるための手法としては、感受性の一対比較法や温点・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、データの取得に多くの時間・労力を必要とし、被験者への負担が大きいため、高齢者等を対象に測定するには困難であり限界がある。その上、既往研究は青年を対象に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。

温熱感受性といった場合、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る。それら温熱要因が皮膚にある受容器を刺激し、感覚を引き起こす強さや同時に起こった場合の優先順位、ならびに、体温調節反応を引き起こす効果などは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モデルやサーマルマネキンによる乾性放熱を使用した評価方法を確立するための基礎資料を得る目的で、もっとも基本的な方法として、局所温冷刺激装置を製作し、接触による温度刺激（および・または熱流移動）に対する人体の局所的な温熱感受性である温覚・冷覚に関わるデータを集積するための被験者実験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部の温度はペルチエ素子とプローブに隣接したファンによってコントロールされる。

センサプローブ内には、一番外側から皮膚温測定用熱電対、対流センサーが配置される。ペル

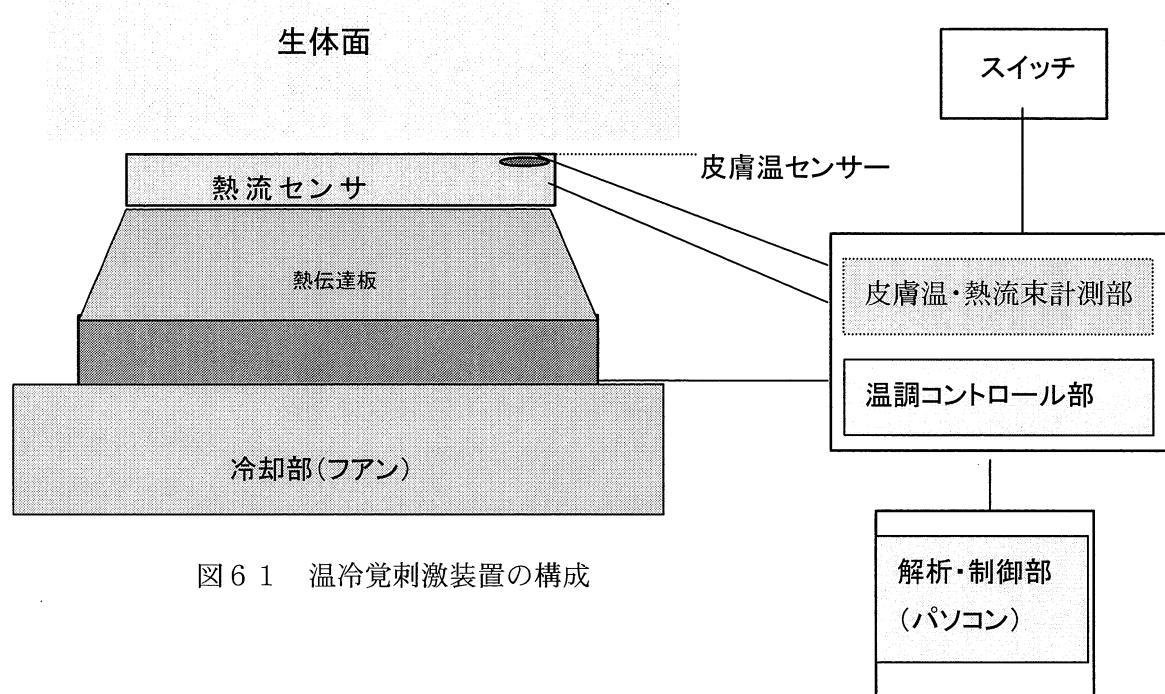


図 6-1 温冷覚刺激装置の構成

チエ素子で作られた熱は、熱伝導の良いアルミで作られた熱伝達板を移動し、熱流センサに集約する。ペルチエ素子による熱伝達板の加熱・冷却によって、効率的で均一な温度分布となるような温度調節を実現させることができ、温覚閾値・冷覚閾値それぞれを試行するときには、スムーズな温度変化を助長するために、プローブ根本部に隣り合うファンを作動して冷却する。

測定に際しては、まず温覚または冷覚モードを設定するとともに、プローブの表面温度を設定する。プローブの温度が設定になったら、画面に、「プローブを測定する皮膚に押しつけてください」、という指示が出るので、プローブを測定部位に当てる。すると、PCがプローブ温を皮膚温と等しくなる温度まで制御して、さらに $\pm 30\text{W/m}^2$ の範囲内で熱流量が15秒（当初は30秒）間安定すると、計測が可能な画面に移る。その後、画面上のスタートボタンをクリックし、さらに15秒間の安定をとった後に、温覚の場合は、プローブの表面温度が上昇し、冷覚の場合はプローブの表面温度が下降する。

被験者には、身体の皮膚表面に接触したプローブの表面の変化を“暖かい”または“冷たい”と感じた時点で、スイッチを押してもらうように教唆した。

温覚閾値・冷覚閾値に関しては、どの物理量をもって評価するのかは、明確には定められていないわけではない。確かに、暖かさや冷たさを感じるのは、熱流、つまり、熱の移動に伴って生じる現象であり、それら熱流を皮膚の表面にある温受容器と冷受容器が刺激を受け、神経に伝えることによって、それらの感覚が生じる。本研究では、物理量として温度ならびに熱流束の計測が可能であるので、それらの関係を確認するために、スイッチを押した時点での皮膚とプローブの間の温度ならびに熱流量、さらに、開始からスイッチを押すまでの温度変化および熱流積算値を検討対象とする。

## 2) 実験条件

実験は気温28°C、湿度60%RHの人工気候室において行い、午前は9時入室、午後は13時入室と開始時刻を統一した。

被験者は、男性は上半身は裸で、下半身はビキニパンツの上にショートパンツ1枚を着用した。女性は、上半身はブラジャー1枚、下半身はビキニショーツの上にショートパンツ1枚とした。

計測時の被験者の姿勢は、椅子座安静状態とした。被験者は、背もたれ、腕おきのついた高さ調節の可能な椅子に深く腰掛け、足は高さ15cmの木製台に置いて、リラックスした状態で実験を行った。ただし、腰、大腿後部、臀部の計測にあたっては、背もたれや座面が計測の邪魔になるので、実験用丸椅子に座りかえ、計測を行った。

高齢被験者は温覚と冷覚実験を2日間に分けて行った。しかし、青年被験者については、同日に行った。青年女子被験者については、性周期を考慮して、卵胞中期にあたる低温期（月経開始6～9日目）に実験を行った。

## 3) 計測項目

基礎項目として、身長、体重、人体5カ所の皮下脂肪厚（腹、上腕、背中、大腿、下腿）を標準的な方法で計測した。

人体の核心温として、舌下温、耳内温の測定を行った。

人体の表面温度として、身体の代表的な8カ所（額、胸、背、上腕、手背、大腿、下腿、足背）について皮膚温サーミスタセンサをサージカルテープで貼付し、皮膚温の連続計測を行った。

温覚・冷覚閾値は、以下に示す部位について計測を行った。

1. 手掌 2. 前額 3. 頬 4. 前頸部 5. 胸 6. 下腹 7. 後頸部 8. 肩胛
9. 腰 10. 上腕 11. 前腕 12. 手背 13. 手掌 14. 臀部 15. 大腿前部
16. 大腿後部 17. 下腿 18. 踝 19. 足底

#### 4) 調査項目

アンケート用紙による調査項目は、大きく3つに分かれる。

- ① 前夜から当日にかけての睡眠、食事や健康状態などその日の体調を尋ねる。
- ② 生年月日を始め、既往症、日頃の生活状態、運動状態、健康状態などを尋ねる。
- ③ その時の全身の温熱感覚について尋ねる。

- ・身体全体の温冷感（9段階、-4：非常に寒い、-3：寒い、-2：暖かい、  
-1：やや暖かい、0：どちらともいえない、+1：やや暖かい、+2：暖かい、  
+3：暑い、+4：非常に暑い）
- ・快適感（7段階、-3：非常に不快、-2：不快、-1：やや不快、  
0：どちらともいえない、+1：やや快適、+2：快適、+3：非常に快適）
- ・乾湿感（7段階）
- ・気流感（6段階）
- ・頭、手、足、躯幹部などの身体各部部位の温冷感（同）
- ・発汗度（5段階）
- ・環境に対する評価
  - 許容度（1：受け入れられる、0：受け入れられない）
  - 満足度（1：満足、0：不満足）
  - 好み（+1：もっと暖かくしたい、0：変えたくない、-1：もっと涼しくしたい）

#### 5) 実験手順

被験者は人工気候室に入室するとともに、承諾書の提示を行う。それらに記入漏れがないかを確認後、被験者はあらかじめ用意されているブラジャー・ショートパンツなどに着替えを行う。被験者の着替え後、検者が指定の部位へ皮膚温測定用サーミスタセンサを貼付する。その後、検者により被験者の身長、体重など基礎項目の測定が行なわれる。次に被験者は、椅子座安静状態を保ち、アンケート用紙に記入を行う。30分経過後に、被験者はその時の温冷感や快適感など温冷感アンケート用紙への記入を行う。同時に舌下温測定用センサーを舌の下に挟み込み、口を閉じ5分間保つ。舌下温測定中に、耳内温の測定も行う。舌下温・耳内温計測終了、ならびに温冷感アンケートの記入終了後に、検者から実験方法の説明を受ける。実験開始45分から、手掌部の温覚または冷覚閾値測定を試行し、被験者が実験内容を十分理解しているかどうかを確認後、本実験を開始する。被験者は、温覚モード、冷覚モード、どちらかを先に測定し、その後、残り

のモードで測定を行う。2つのモード測定終了後に、皮膚温測定用サーミスター センサーははずされ、着替えを行い、実験終了となる。

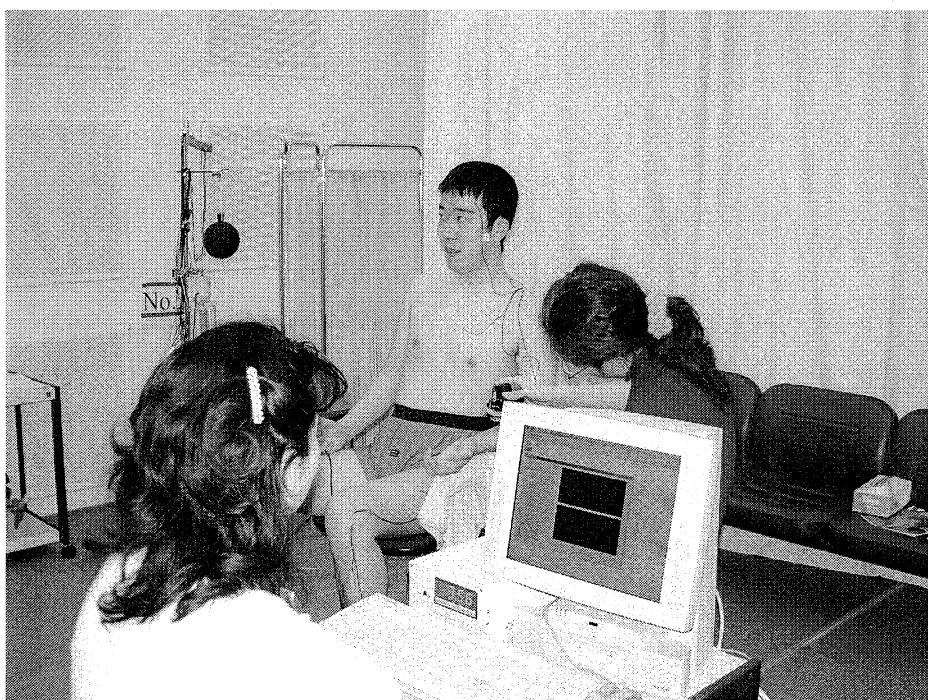
#### 6) 実験期間

平成12年12月に予備実験を行い、本実験は平成13年1月10日から3月9日の期間に実施した。約2ヶ月渡って本実験を行ったが、実験期間中に高齢者、若年者、男女が出来るだけ混合して、時期による偏りがないように組み合わせて行った。

#### (3) 結果

実験時の風景を図62に示す。

図62 実験風景



実験に参加した被験者の身体特性をグループ毎の平均値とSDを表36に示す。

表2に入室30分後で、実験開始前の体内温と主観申告のグループ毎の平均値とSDを示す。現在、皮膚温については整理中であるので、耳内温と舌下温について4グループを比較すると、ほとんど差は認められなかったが、舌下温よりも耳内温が0.3~0.5°C程度高くなっている。先行研究の

表36 被験者の身体特性

	人数	年齢(歳)	身長(cm)	体重(kg)	皮下脂肪厚(mm)				
					腹	背中	腕	大腿	下腿
青年男性	16	24.2	172.2	71.2	16.4	17.2	12.0	13.5	12.2
		2.0	5.9	15.3	10.8	9.9	5.8	6.4	3.9
青年女性	15	24.7	159.9	54.6	14.4	18.2	16.0	20.7	15.3
		2.4	5.7	11.4	6.6	7.9	4.7	5.7	4.0
高齢男性	16	67.4	161.9	61.0	17.0	19.3	11.8	10.5	9.8
		1.6	4.0	7.2	6.6	5.6	6.0	3.1	4.2
高齢女性	16	64.9	150.5	60.2	22.8	31.7	20.8	18.6	14.8
		3.0	5.3	8.9	7.4	5.9	5.1	6.6	4.9

上段はグループの平均値。下段はSD。

結果と同様であった。全身の温冷感申告は、-2：涼しい～+2：暖かいの範囲にあり、4グループの結果を比べると、平均値では、-0.1～0.7 のどちらともいえない近傍の申告値となった。また、グループ間で比べてみると、高齢男女の間に約1段階の差が認められたが、青年男女間には差が認められなかった。快適感申告においては、平均値で0.1～1.0の範囲にあり、どちらともいえない～やや快適の範囲になっていた。許容できると答えた人の割合は、どのグループも80%以上となり、特に高齢女性で97%と最も高く、青年女性で80%と最も低かった。満足度できると答えた人の割合は、88%と高齢女性でその割合は高かったが、青年男性で56%、高齢男性で70%と男性で満足度は低かった。

表37 溫覚・冷覚計測直前の体内温と主観申告

	耳内温(°C)	舌下温(°C)	主観申告		
			温冷感	快適感	許容度
青年男性	37.6	37.1	0.7	0.6	93.8
	0.3	0.3	1.4	1.4	
青年女性	37.6	37.1	0.6	0.1	80.0
	0.3	0.2	1.6	0.9	
高齢男性	37.5	37.2	-0.1	0.3	87.9
	0.2	0.4	1.6	1.0	
高齢女性	37.9	37.4	0.9	1.0	96.9
	0.3	0.1	1.2	0.9	

上段はグループの平均値。下段はSD。

許容度、満足度は%。

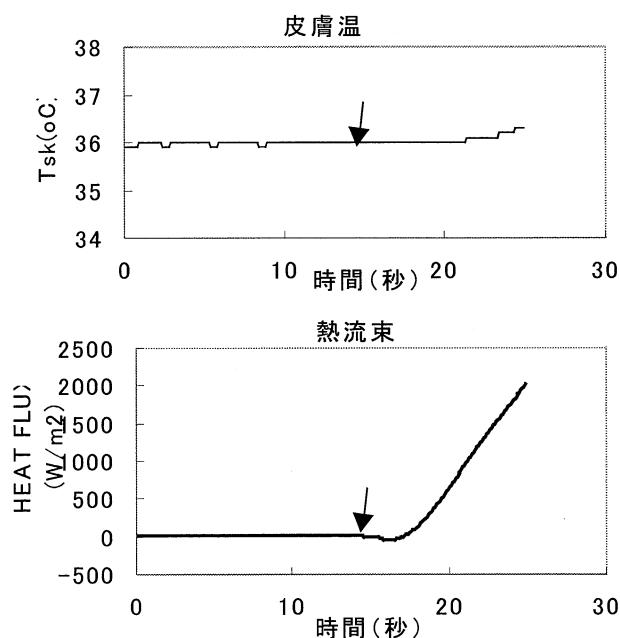
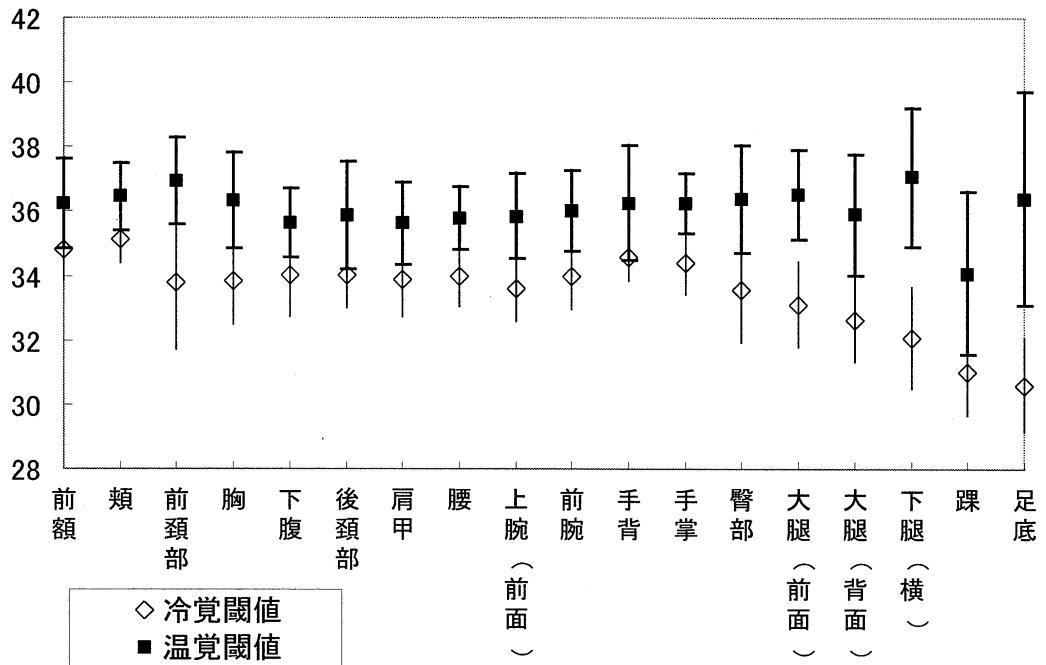


図63 被験者Aの上腕における温覚閾値測定データ  
(矢印は、実験スタート15秒後のプローブ温度・熱流変化開始時を示す)

青年男性



青年女性

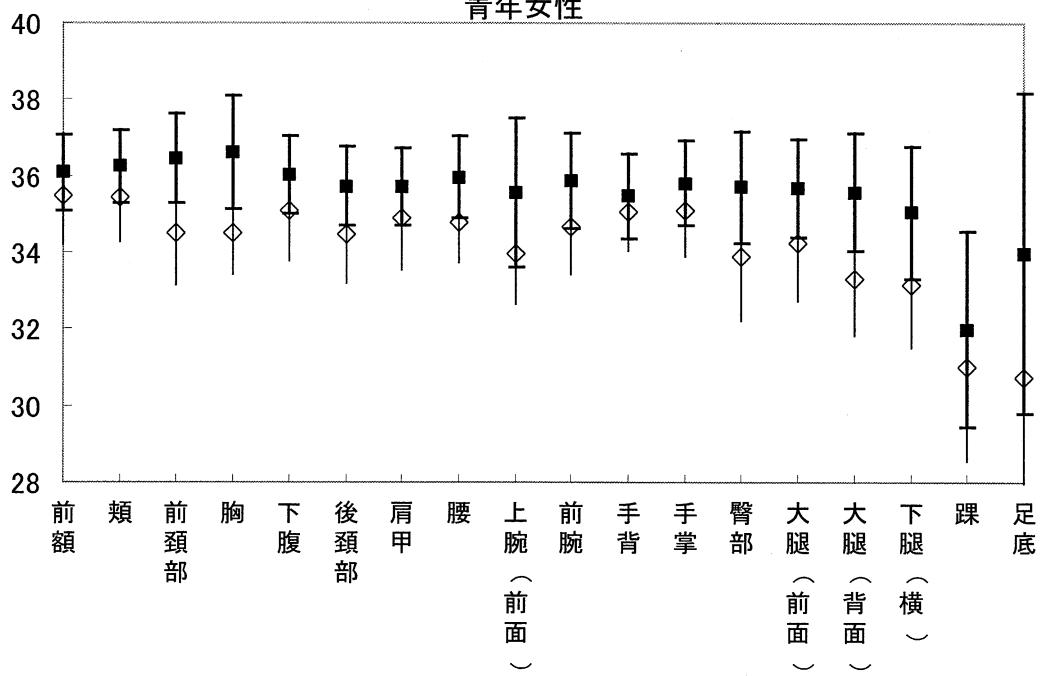


図 64 青年被験者グループの温覚・冷覚を感じた時点の部位毎の温度の平均値と S D

図 63 に被験者 A の上腕における温覚閾値測定での皮膚温と熱流束の変化の一例を示す。実験手順のところで述べた通り、プローブ温と皮膚温が等しく、つまり、熱流のやりとりがなくなつた時点から測定は開始されており、さらに 15 秒間の安定状態がとられた後に、熱流束が増加して

おり(下図)、かなり遅れて皮膚温もわずかに上昇している(上図)様子が見られる。熱流束は  $2000\text{W/m}^2$  まで直線的に上昇しているが、皮膚温の変化はわずかに  $0.3^\circ\text{C}$  程度である。

図 64 と図 65 に温覚・冷覚を感じた時点の温度を部位毎に被験者グループ別に平均値と S D で示す。青年男子のデータで温覚閾値についてみると、温覚閾値は  $36^\circ\text{C}$  近傍となるが、標準偏差(SD)

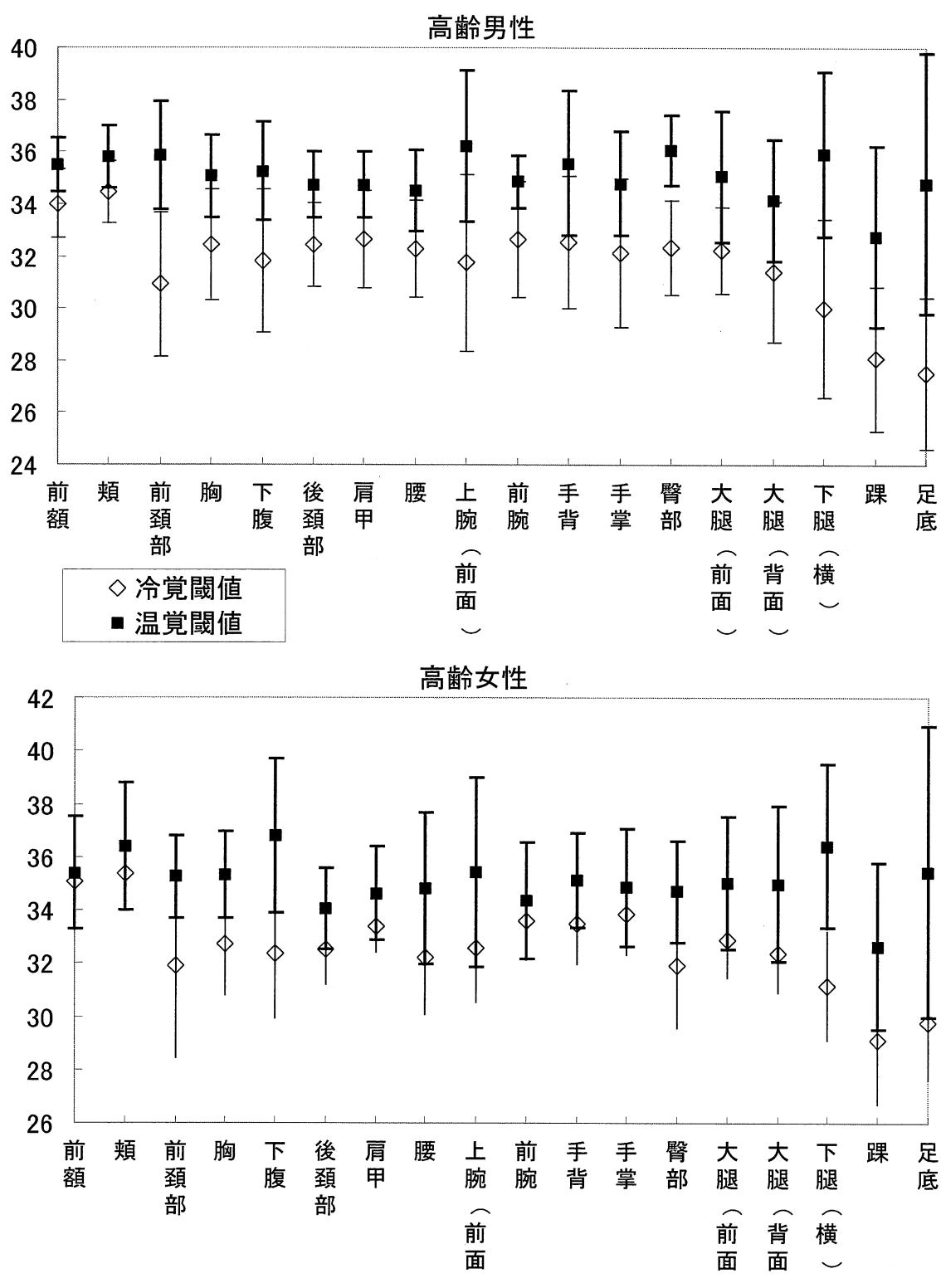


図 65 高齢被験者グループの温覚・冷覚を感じた時点の部位毎の温度の平均値と S D

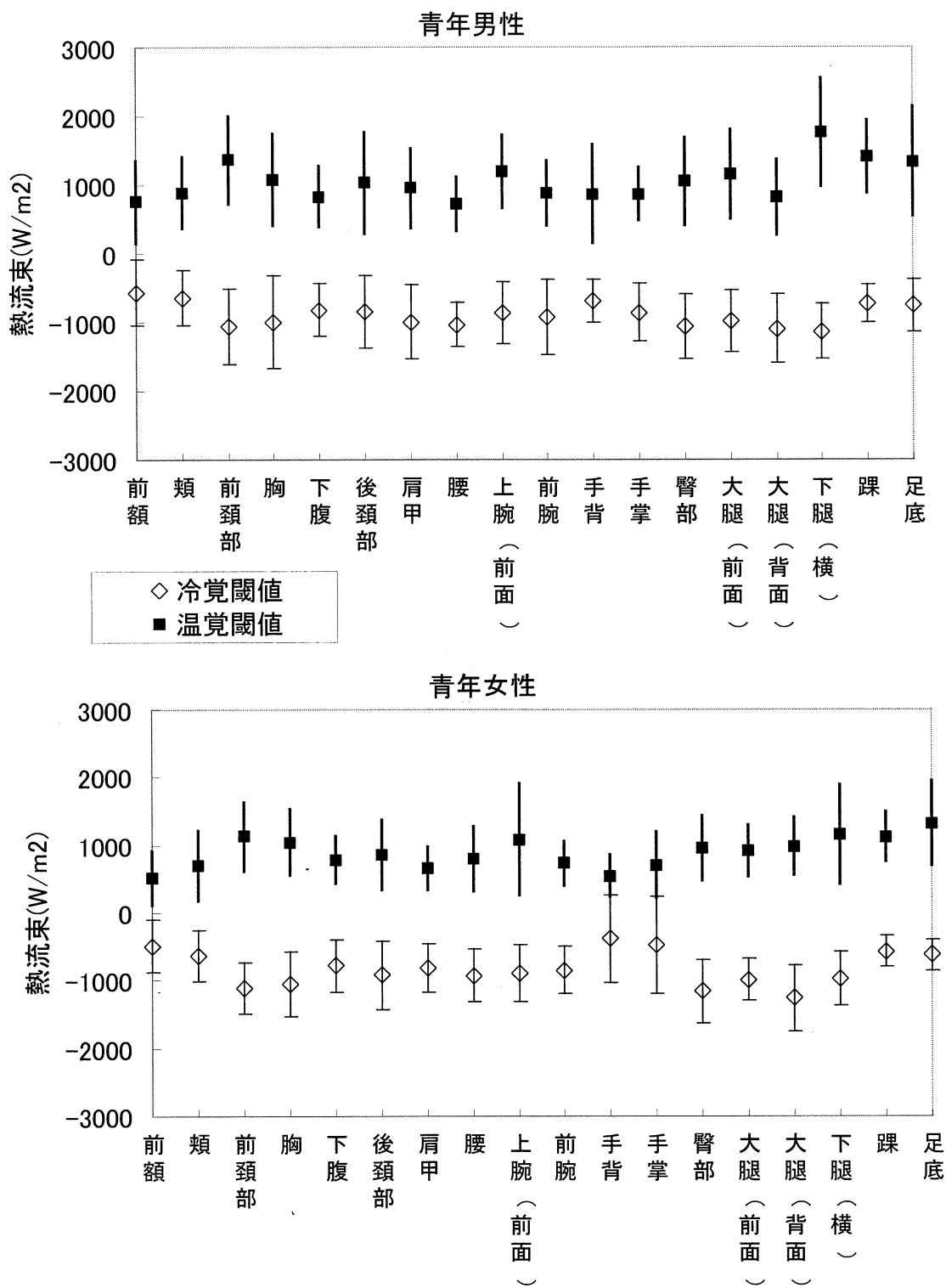


図 6 6 若年被験者グループの温覚・冷覚を感じた時点の部位毎の熱流束の平均値と S D

は躯幹部よりも末梢部で、上半身よりも下半身で大きくなる傾向があり、下腿、踝、および足底のSDが大きかった。温覚閾値の平均値は、踝で低かった。冷覚閾値については、温覚閾値より

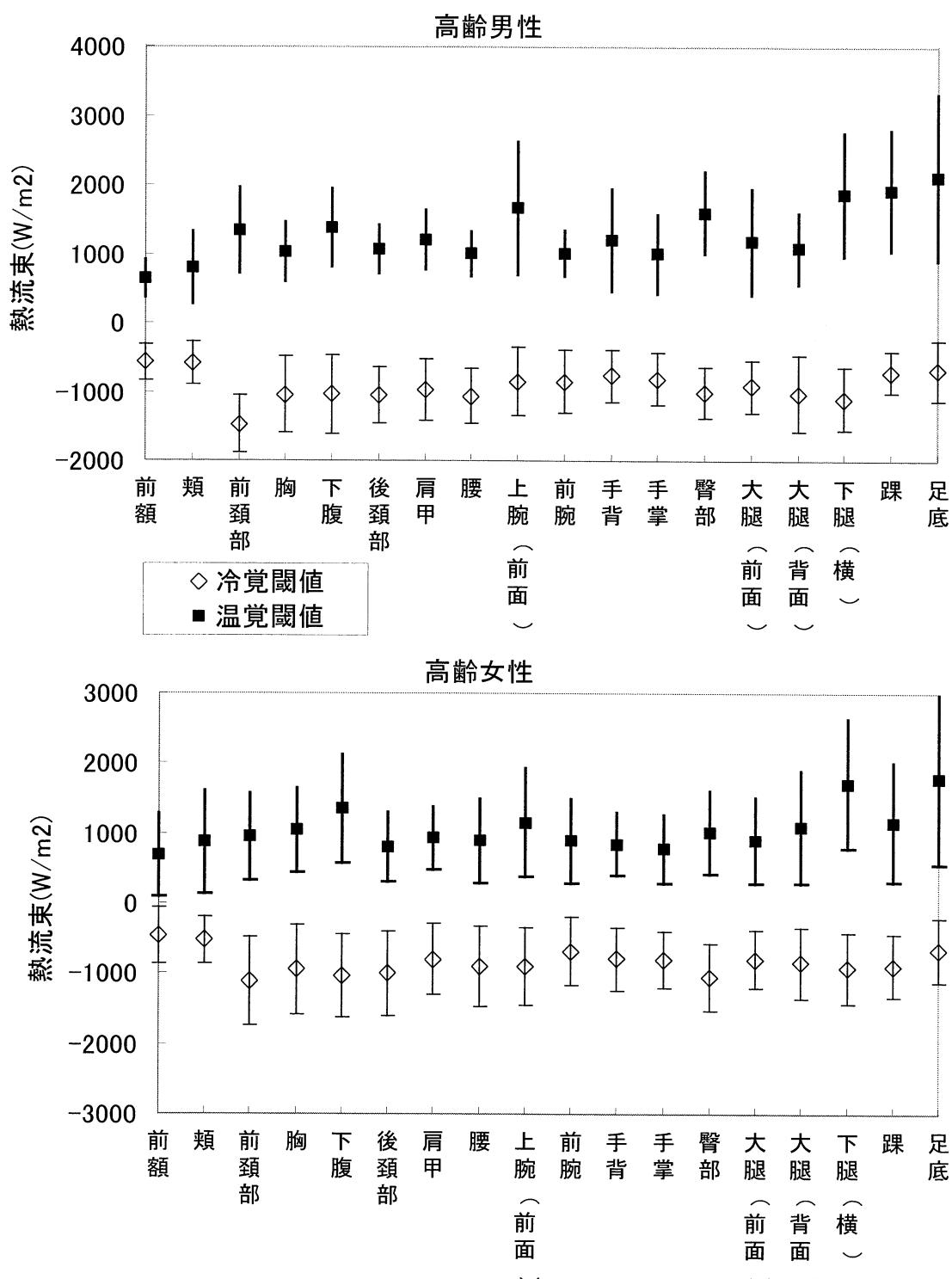


図6.7 高齢被験者グループの温覚・冷覚を感じた時点の部位毎の熱流束の平均値とSD

も顕著に、上身から下半身に向けて冷覚閾値は低くなり、また、下半身の中でも床に近い高さの低い部位ほど冷覚閾値は低くなった。また、温覚閾値と冷覚閾値の身体部位による分布傾向を4

グループ間で比べてみると、踝が温覚閾値および冷覚閾値の両方において他のどの部位よりも低くなる傾向があった。また、標準偏差が躯幹部よりも末梢部で大きくなる傾向も同じであったが、標準偏差が高齢者の方が大きくなかった。平均値そのものを4グループで比較してみると、温覚閾値には大きな差が認められないが、冷覚閾値においては、高齢群が青年群に比べて冷覚閾値は低くなっていた。

表38 各グループにおける各部位の温覚・冷覚を引き起こした皮膚温の変化度

冷覚	青年男性		青年女性		高齢女性		高齢男性	
	average	SD	average	SD	average	SD	average	SD
前額	-0.6	1.0	-0.3	0.7	-0.4	0.3	-0.7	0.9
頬	-0.5	0.5	-0.4	0.7	-0.4	0.3	-0.6	0.7
前頸部	-1.7	1.7	-1.2	0.8	-2.7	3.4	-3.4	2.2
胸	-1.5	1.5	-1.1	0.9	-1.9	1.9	-1.8	1.6
下腹	-0.9	0.8	-0.6	0.8	-2.3	2.6	-2.1	1.8
後頸部	-1.0	0.8	-0.8	0.8	-1.7	1.4	-1.5	0.9
肩甲	-1.2	1.0	-0.7	0.8	-1.0	0.9	-1.4	1.0
腰	-1.2	0.7	-0.8	0.7	-1.7	1.8	-1.3	0.8
上腕(前面)	-1.1	0.7	-0.8	0.6	-1.7	1.6	-1.4	1.1
前腕	-1.3	1.4	-0.6	0.5	-1.0	0.9	-1.3	1.3
手背	-0.6	0.5	-0.2	0.6	-1.1	1.1	-1.2	1.0
手掌	-1.0	0.9	-0.2	1.0	-1.2	0.8	-1.3	1.1
臀部	-1.6	1.8	-1.3	0.9	-2.1	2.1	-1.7	1.1
大腿(前面)	-1.5	1.3	-0.9	0.6	-1.2	0.8	-1.5	1.0
大腿(背面)	-1.9	1.3	-1.6	1.4	-1.6	1.5	-2.2	2.7
下腿(横)	-2.1	1.4	-1.0	0.7	-1.8	1.8	-2.4	2.2
踝	-1.2	0.8	-0.4	0.2	-1.6	1.2	-1.2	0.5
足底	-1.8	1.3	-0.8	0.6	-1.3	0.9	-1.5	1.3

温覚	青年男性		青年女性		高齢女性		高齢男性	
	average	SD	average	SD	average	SD	average	SD
前額	0.7	0.9	0.4	0.5	0.6	0.9	0.6	0.4
頬	0.7	0.6	0.5	0.8	1.1	1.9	0.8	0.7
前頸部	1.4	1.0	0.9	0.9	1.1	1.4	1.8	1.5
胸	0.9	1.1	0.9	0.9	1.5	1.9	1.1	1.0
下腹	0.6	0.6	0.5	0.5	2.7	3.1	1.8	1.4
後頸部	1.0	1.3	0.6	0.7	0.8	1.4	1.0	0.9
肩甲	0.7	0.8	0.4	0.6	1.2	1.3	1.0	0.6
腰	0.4	0.4	0.4	0.6	1.8	3.6	1.0	0.5
上腕(前面)	1.1	0.7	1.1	2.0	2.3	3.8	2.8	2.7
前腕	0.7	0.7	0.4	0.3	1.1	0.9	1.0	0.8
手背	0.9	1.3	0.2	0.2	1.1	1.4	1.6	1.8
手掌	0.7	0.4	0.4	0.7	0.8	0.8	1.1	1.0
臀部	1.0	1.1	0.6	0.7	1.0	1.1	2.6	2.2
大腿(前面)	1.4	1.3	0.6	0.5	1.6	2.7	1.8	2.5
大腿(背面)	0.9	1.3	0.7	0.6	2.3	3.3	1.3	1.2
下腿(横)	2.6	2.1	1.1	1.1	3.9	3.6	3.7	3.6
踝	2.0	1.6	0.9	0.7	2.3	3.5	3.6	3.3
足底	4.4	2.8	2.9	3.0	5.3	5.7	5.5	4.9

表3 9 各グループにおける各部位の温覚・冷覚を引き起こした熱流束の積算値

冷覚	青年男性		青年女性		高齢女性		高齢男性	
	average	SD	average	SD	average	SD	average	SD
前額	-20093.6	27087.7	-33292.8	43427.8	-37347.1	80073.8	-22978.6	57515.8
頬	-22625.2	21718.1	-33347.1	39408.8	-30058.3	35569.5	-28197.1	59149.3
前頸部	-206684.0	312505.2	-239751.4	168834.9	-112820.5	183698.1	-67017.0	48785.2
胸	-117620.0	137969.8	-118964.5	114818.6	-102008.1	136926.2	-63424.8	56752.0
下腹	-152963.3	203558.5	-117735.4	119161.3	-49538.9	59911.3	-39400.1	58753.3
後頸部	-114702.8	128686.6	-90833.3	63529.5	-59673.5	68822.2	-53132.3	65664.1
肩甲	-70208.5	84952.7	-102570.9	79489.7	-77265.7	85478.7	-41758.8	60716.8
腰	-112465.2	181779.7	-86514.8	51152.1	-68978.2	42437.9	-49691.9	52110.1
上腕(前面)	-96860.6	98726.4	-67363.6	60375.5	-57042.5	51184.5	-46271.5	40477.6
前腕	-52860.4	58199.9	-74751.4	79171.9	-76598.7	100473.6	-39208.0	34444.3
手背	-65984.9	79696.3	-59059.1	57605.0	-32988.3	28456.9	-8547.3	33383.3
手掌	-60306.5	44104.2	-67475.8	75606.4	-54948.9	64846.6	-13351.2	42860.7
臀部	-139175.5	174571.2	-92038.6	75254.5	-108094.6	186138.4	-81528.9	64373.3
大腿(前面)	-65803.6	74927.5	-78957.1	46953.2	-84024.9	101032.2	-51170.2	41646.2
大腿(背面)	-92611.8	114758.4	-167107.3	328148.3	-105184.1	106920.6	-111555.8	111269.8
下腿(横)	-109327.2	129194.6	-153268.7	205304.1	-113258.0	100271.5	-55221.8	48520.3
踝	-94542.7	87173.6	-48555.0	26520.4	-45702.2	35494.5	-18373.9	10387.6
足底	-56540.7	62896.4	-62570.3	66119.4	-65851.3	62426.8	-27921.5	19952.0

温覚	青年男性		青年女性		高齢女性		高齢男性	
	average	SD	average	SD	average	SD	average	SD
前額	34785.9	52882.7	23289.3	18677.2	36295.2	60743.4	14789.9	21751.5
頬	56498.3	106088.8	39305.7	56939.8	34936.7	37898.3	24354.1	48963.8
前頸部	54836.5	55720.0	84127.7	53614.8	79657.0	72695.9	45557.5	43556.1
胸	60276.9	55465.9	54796.1	46325.1	58012.6	81891.8	42305.1	56883.1
下腹	123685.3	122029.0	89026.6	74737.0	32000.5	30738.4	22820.1	23687.2
後頸部	34733.9	27132.5	54571.5	36710.5	59637.6	93863.4	27214.6	29481.9
肩甲	46291.5	33663.6	58412.2	35889.9	43170.3	53901.4	17176.7	24335.8
腰	54631.4	58972.5	46073.4	19887.7	23489.2	23084.5	23631.0	37035.4
上腕(前面)	106799.3	150905.2	151954.0	162802.0	59318.4	43956.0	68803.9	159465.7
前腕	49550.4	45551.2	49899.4	37929.2	36116.3	42645.7	18813.6	16119.4
手背	40430.1	40975.0	83676.9	87267.4	50945.2	114157.0	12042.4	13608.0
手掌	39010.8	53510.6	50064.2	44292.5	31976.6	25176.6	23020.1	45767.2
臀部	58435.7	59397.9	140987.9	118558.5	58310.8	81798.3	33556.5	45419.3
大腿(前面)	56480.7	65870.7	95586.9	135572.2	68899.8	67369.2	28531.2	26864.1
大腿(背面)	91979.5	111305.3	64809.9	62296.4	39220.8	54258.8	32001.9	26402.9
下腿(横)	200699.3	206802.0	230704.8	233286.9	161789.0	141546.5	49642.4	49063.9
踝	94973.5	152989.8	206129.0	208892.2	95895.5	90918.2	40069.7	24230.3
足底	261592.5	332288.9	336873.7	386951.8	129614.2	91282.5	86284.3	75672.3

次に、各被験者グループの温覚・冷覚を感じた時点での部位毎の熱流束の平均値と標準偏差を図66と図67で示す。青年男性のデータでみると、温覚が生じるのは 700~1700W/m<sup>2</sup> の範囲であり、冷覚に比べて全体的にその値は高く、頭部が最も低く、他に手部で少なかったが、頸部周りや下腿以下の踝、足底で高くなっていた。冷覚が生じるのは 500~1100W/m<sup>2</sup> の範囲であり、頭

部が最も低く、腰、臀部、大腿、下腿で高くなっていた。

表 38 に各グループの各部位におけるプローブの変化開始時から温覚・冷覚を引き起こした時までの皮膚温の変化度を平均値と標準偏差で示す。同様に、表 39 に各グループの各部位におけるプローブの変化開始時から温覚・冷覚を引き起こした時までの熱流束の積分値を平均値と標準偏差で示す。冷覚閾値について皮膚温変化度でグループ間の違いを検討してみると、前額や頬ではほとんど差が認められない。しかし、前頸部では高齢群と青年群の差が非常に大きく、高齢群の方が冷覚が生じるために大きな皮膚温低下度が必要であった。また、他の部位に関しても、概して高齢群の方が青年群に比べて冷覚を生じる皮膚温低下度は大きかった。一方、温覚について比較すると、冷覚同様、前額は 4 グループ間に差を認めない。しかし、冷覚同様、高齢群に比べて青年群の皮膚温上昇度は小さかった。しかし、全部位で比較すると、下腹、上腕、臀部、下腿、足裏で皮膚温上昇度が他の部位に比べて大きくなる傾向は 4 グループとも高齢・青年に関わらず顕著であった。次に、熱流束の積分値を用いて、4 グループ間の比較を行うと、冷覚閾値に関しては、皮膚温変化度と非常によく似たプロポーションを持った。同様に、温覚閾値に関しても比較してみると、皮膚温変化度によく似たプロポーションであった。そこで、図 68 に皮膚温変化度と熱流束の積分値との関係を示す。

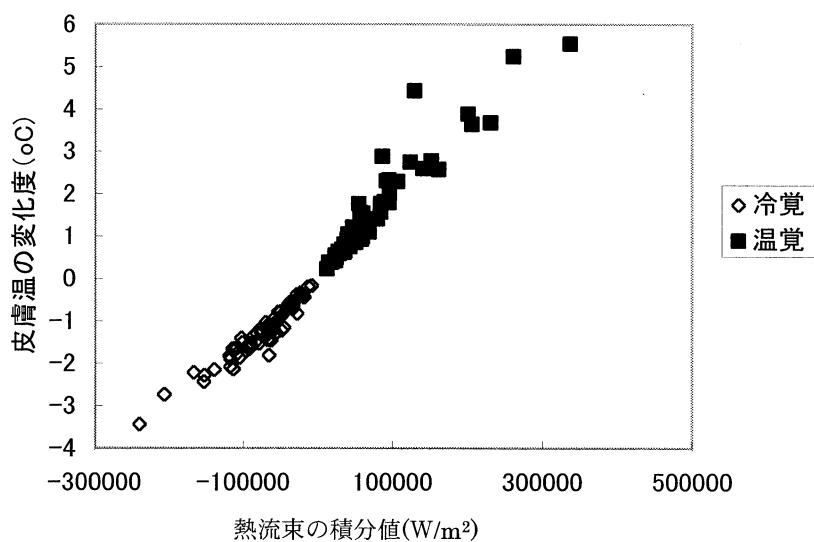


図 68 温覚・冷覚生起時の皮膚温変化度と熱流束の積分値との関係

皮膚温変化度と熱流束の積分値との関係は、ここに示すように、ほぼ直線関係が成り立つ。概略  $100000\text{W}/\text{m}^2$  の熱移動が、 $2\text{ }^\circ\text{C}$  の皮膚温変化度と相当していると推測される。しかし、温覚・冷覚とともに  $+100000\text{W}/\text{m}^2$  以上、または、 $-100000\text{W}/\text{m}^2$  以下ではばらつきが大きくなっている。

#### (4) 考察

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されてきた(Stevens, J. C., Marks, L. E., & Simonson, D. C. 1974)。また、昨年度の予備実験の結果では、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>大腿の順となり、温覚と冷覚の感受性には部位差があることを示唆していた。本結果からも、前述の部位差が存在することを示唆する結果が得られた。また、部位差は青年群ではそれほど顕著ではないが、傾向を認めることは可能であった。青年群と高齢群を比較してみると、それらの部位差が消失するのではなく、より、助長する傾向、つまり、もともと感受性が低い部位が、高齢化とともにより低くなっているという傾向が確認できた。また、性差について比べた場合、青年群では、男性よりも女性の方が、ほとどの部位に関しても感受性が高い傾向が示された。また、高齢群についても、差がある部位とない部位とでわかれだが、感受性が低い部位に関しては、男性の方がより低くなる傾向が認められた。今後さらに、統計処理を行って、検討していく必要がある。

これまで温熱感受性の計測には皮膚温による閾値が求められていたが、今回、熱くも寒くも感じない、という熱流変化がほぼ0 ( $\pm 30\text{W/m}^2$ 以内) になった時点から温覚・冷覚閾値を独立して計測する方法でデータ収集を行った。その上、温覚・冷覚閾値を評価する方法として、皮膚温のみならず、熱流束の瞬時値ならびに、変化度や積分値によっても比較する事が可能であった。

一般に、生活環境の中では、物質の温度が同じでも木材よりも金属の方が冷たく感じるといったことを経験する。これは、温度覚受容器が温度そのものというよりは、実際には皮膚と物体との間の熱エネルギーの流れを感じし、神経に伝えていることを示唆している。今後は得られたデータと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必要がある。

また、本研究では、体温調節モデルやサーマルマネキンから得られるデータを元に、人の感覚を推定するプログラムを構成する目的の基礎資料として、身体18部位の温覚・冷覚閾値を計測したが、それらを皮膚温変化度や熱流束積分値としてではなく、全身感覚を構成していく局所感覚ととらえて表現していく方法を検討していく必要がある。

さらに、人体は衣服により防護されているが、皮膚が暖かさ・冷たさを感じる時は、接触ばかりでなく、風の流れの速さや温度によっても感じ方は異なり、遠く離れたところからの熱放射によっても影響を受ける。今後さらに、接触による温覚・冷覚閾値以外の他のモダリティによる温覚・冷覚閾値のデータ取得方法ならびに評価方法についても検討していく必要があると考えられる。

## 2. 3. 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

### 2. 3. 3. (1) 非定常な温熱環境快適性の基準値の構成

#### 1) はじめに

・非定常な温熱環境については、ISO7730 “Ergonomics of the Thermal Environment – Determination of the PMV and PPD Indices and Specification of the Conditions for Thermal Comfort” の改定のなかで、「暑熱環境から冷房室に移動したときには、最初の 30 分間は PMV/PPD が正確に算出出来ない」との標記があるに過ぎなかった。

これらの記述に対し、日本の夏季の厳しい生活環境を考慮また、実験として時系列的に感覚値を把握し、実際の基準値について被験者実験により検討を行った。

#### 2) 結論

実験条件ならびにその結果については前記、被験者実験による環境の評価技術の開発について詳述したので、ここでは省略する。特に今回の被験者実験では、日本の厳しい夏場を考慮し暑熱環境として温度 34、37°C、湿度 70%RH の条件を設定した。また、心理量、生理量について 2 分間隔の申告とし時系列的な変化をとらえることが出来た。

被験者実験により得られた結論は、暑熱室から冷房室に移動した時の、非定常状態の温冷感変動の定量化が可能となった。

## 2. 3. 2. (2) 不均一な温熱環境快適性の基準値の構成

#### 1) はじめに

これまで不均一な温熱環境の一つとして床暖房環境を重点に検討を行った。

昨年度は、ISO159/SC5/WG1 の主査であるオルセン氏を招き、本事業の委員ならびに関係者の参加を得て、講演会・意見交換会を開催し、日本における新たな提案のための考え方について理解を得る活動を行ってきた。

本年度は国内の研究者、日本と類似した生活空間にある韓国的第一人者を招き、意見交換、ならびに討論を行うことにより、日本における研究者の意見を集約し、床暖房における基準値の方向付けを行うこととした。

そのために関連学会と連携し、公開講座としてのシンポジウムを開催した。

#### 2) シンポジウムの開催

シンポジウムの開催に当たり、動的温熱環境標準化技術開発委員会で討議し実施事項を明確に決定し実施した。

##### ①関連学会

生活空間に関連する学会としては、人間一生活環境系会議、日本建築学会、空気調和・衛生工学会等多数の学会があるが、人間、建築、生活環境等の学際的な学会である人間一生活環境系会議と共にすることになった。

平成 12 年 11 月 5 ~ 6 日に開催される学会の一部を本事業の公開シンポジウムとして

人間－生活環境系会議が主催、社団法人人間生活工学研究センター、新エネルギー・産業技術総合開発機構と共に開催した。

## ②講演者、テーマの選定

シンポジウムの全体テーマとして「不均一温熱環境の国際標準－特に床暖房について」とし、これまでに日本の研究者が行った研究について委員会で討議し以下の内容を講演できる方を選定することとした。

- ・日本の研究歴史、研究の流れを概括的に説明し聴衆に概要を理解できる内容。
- ・具体的な床暖房の違いによる感覚の違い等の研究。
- ・床暖房による低温やけどに関する研究。
- ・床暖房に関する基準値の設定に関する研究
- ・韓国におけるオンドルの実態、ISO7730の制定、開廷の動きに関する講演等を主たるテーマと講演者を以下のように選定した。

司会：不均一温熱環境の国際標準－特に床暖房について

(熱環境標準化技術開発委員会 委員長 州芸術工科大学)

## テーマと講演者

- ・ISOにおける不均一温熱環境評価について

B.W.Olesen (ISOTC159/SC 5/WG1 Ergonomics of the thermal environment 主査 ドイツ)

- ・日本における床暖房の快適性評価研究の流れ (渡邊 慎一 大同工業大学)
- ・床暖房使用時の室温・床温の推奨範囲とその策定経緯 (桑沢 保夫 建築研究所)
- ・床暖房使用時の熱的快適性評価 (堀 祐治 早稲田大学 総合理工学研究センター)
- ・電気カーペットと温水暖房の快適範囲の比較 (磯田 憲生 奈良女子大学大学院)
- ・温水床暖房の長時間接觸事例と低温やけどの閾値 (鍋島 美奈子 大阪市立大学)
- ・韓国のオンドル使用実態と基準について (孫章烈 漢陽大学 韓国)

## 3) シンポジウムのまとめ

平成12年11月6日(東京 早稲田大学)に実施したシンポジウムについてその概要をまとめた。

### ①開催概要

- ・開催日時・場所：平成12年11月6日(月) 13:30~17:00 場所：早稲田大学国際会議場
- ・主催：人間－生活環境系会議
- ・共催：社団法人人間生活工学研究センター 新エネルギー・産業技術総合開発機構
- ・資料作成：予稿集：60頁×300部 (講演予稿集 関連ISO抜粋)  
資料集：30頁×100部 (関連ISO抜粋)

### ②参加者等

#### 【参加者等】

- ・開催案内送付先概要：HQL会員企業、住宅・住宅設備関連団体、その他個人等送付。  
合計163カ所

・参加者概要（HQL 関係者）

- イ) 学会員、学生等の人間－生活環境系会議の関係者・・・会員
- ロ) 上記以外の参加者・・・・合計 53名

3) シンポジウムでの討議の総括

ISO7730 や ISO/CD13732-2 では、床温度の推奨範囲は 19~29℃である。一方、我が国や韓国で推奨されてきた床温度の範囲は、ISO の値よりもかなり高いことが明らかになった。その理由としては、以下のことが考えられる。

1. 日本の住宅は断熱性が低く、室温も低いことが多いため、床温度が高くないと快適性が得られない。
2. 日本では、床に座ったり寝転んだりすることが多いため、床温度は高いほうが好まれる。
3. 日本の床暖房は、床温度は高くても、部屋面積は狭く平均放射温度は低くなるため、床温度の推奨値は高くなる。
4. ISO では 7730 により、ある範囲での室温が確保されていることを前提として、床温度の推奨がなされている。我が国では、冬季には室温が低く、室温が推奨範囲にならないために、温熱快適性を得るために床温度はより高い範囲にある必要がある。
5. 床暖房の方式が、温水式か電気式かによっても快適範囲が異なる。

以上の結論について ISO159/SC5/WG 5 の委員会に説明する予定である。（柄原委員長）

尚、シンポジウムの詳細なまとめ、ならびに当日の質疑討論の内容、要項集は資料の項に添付する。

## 2. 3. 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

### 2. 3. 4. (1) 動的温熱環境評価に係わる調査研究

#### 1) はじめに

平成11年度は、動的温熱環境に関する海外の技術動向調査を重点に行った。関連する研究は、その後も国内外で多数行われており、本年度も非定常、不均一な温熱環境に関する技術動向の調査を継続して行った。昨年度の調査方法に加え、本年度は、日本の国内の研究動向、関連学会の最新の研究動向についても調査も行った。

#### 2) 調査の対象・方法

調査方法については、昨年度の方法を踏襲し、国内外の研究論文の最近の文献を重点に調査を行った。

##### ①調査対象

動的温熱環境に関する国内外の研究論文のうち、以下のものを対象とした。

- ・床暖房に関する研究
- ・不均一の環境に関する研究
- ・非定常環境に関する研究
- ・ISO7730 に関する研究

##### ②調査方法

昨年度と同じように、上記の研究に関するキーワードを、検索キーとして使用し、日本科学技術情報センター（JICST）の“JOIS(JICST Online Information System)”を用いて検索を行った。主な検索対象をJICSTとしたが、最新のものについては、関連学会の文献についても調査した。JICSTでは、日本国内のものとしては、日本建築学会、空気調和・衛生工学学会、日本人間工学会、日本機械学会、日本生理人類学会等の論文が検索され、海外では、ASHRAE Transaction のものが検索された。

検索結果における各文献のAbstractより、本調査の条件に合う文献を選択・入手し、入手した文献及びそれに関連した文献を調査・分類し、まとめた。

#### 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最近の文献を集めた。検索に用いたキーワードは以下のとおりである。

- ・床暖房 \* 温冷感
- ・床暖房 \* 温熱環境
- ・Floor \* Heating
- ・Thermal \* Sensation + Contact / Conductive (床暖房関連を選択)
- ・Thermal \* Comfort + Contact / Conductive (床暖房関連を選択)
- ・接触 \* 温熱環境
- ・接触 \* 温冷感

## ②不均一温熱環境

ここでは、不均一（非対称）の温熱環境について研究した、最近の文献を集めた。検索に用いた。 キーワードは以下のとおりである。

- 不均一 \* 温冷感
- 不均一 \* 温熱環境
- 非対称 \* 温冷感
- 非対称 \* 温熱環境
- Thermal \* Sensation
  - + No Uniform / Uneven / Asymmetric / Up Down / Vertical
- Thermal \* Comfort
  - + No Uniform / Uneven / Asymmetric / Up Down / Vertical

## ③非定常温熱環境

非定常の温熱環境について研究した最近の文献を集めた。検索に用いたキーワードは以下のとおりである。

- Thermal \* Sensation
- Thermal \* Comfort

## ④ISO7730

ここでは、ISO7730について研究した最近の文献を集めた。検索に用いたキーワードは以下のとおりである。

- ISO \* 7730

## 4) 調査結果

JICSTで用いた検索キーと、検索結果を表40に示した。JICSTで検索した結果の要約より、内容を判断して購入した文献のタイトル・著者・出典およびAbstractをまとめたものを、表41-1～43-4に示した。これらは資料の項に掲載する。

検索結果より、床暖房についての研究がなお増加し続けていることが判るとともに、最近の研究の対象が、非対称・不均一な環境や、接触と温冷感等、より詳細な分野に広がってきていることが判る。

## 5) 研究の動向

渡邊[1]は、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ついてまとめている。ここでは、国内の各研究機関の研究経過と、その成果としての、床暖房の至適条件・推奨条件・限界条件が、載せられている。また永村等[2]は、床温・室温の推奨、許容範囲について、国内・海外の文献を比較し、また、その時代変化についても、述べている。

Zhang等[3]は、国内の床暖房下の快適な床表面温度範囲を知る事を目的とし、日本国内の関連文献を分析している。ここでは、快適な床表面温度は、1450例の若年者で26～30℃、最頻値28℃、平均28.1℃、31例の高齢者での最頻値は30℃、平均値は27.2℃であった。許容できる床表面温度と室温は、若年者で20～35℃、15～30.5℃、老年者

で各々24～30℃、18～20℃であった。これらから、80%以上の被験者が快適だと思える床表面温度は26～30℃、室温は21～23℃が適切な範囲であると結論されている。

空気調和・衛生工学会[4]には、床暖房使用時の室温・床温の推奨範囲とその策定経緯が、述べられている。最近の研究の動向として、一般論ではなく、個々の条件の違いによる影響を調べられたものが多くなっていると思われる。蔵澄等[5, 6]は、床加温環境における姿勢の違いが、人体に及ぼす影響を調べ、日本の生活空間では、姿勢別に温熱環境評価をする必要性を明確にした。

前田等[7]は、室温と床温が、高齢者に及ぼす影響を調べ、室温が21℃での、床部加温の有効性を確認している。しかし、室温がより低く、床温との温度差が大きい場合や、より長時間その環境にいる場合には、生体への負担が大きく、注意が必要としている。深井[8]は、床面冷却時の熱的生理心理反応について、個人差・男女差を調べている。ここでは、以下のようなことが明らかとなった。

- ①床接触温については、床暖房時の結果[10]と同様に、個人差・男女差とも小さい
- ②床接触温が32℃付近で床温感が中立となる
- ③床温快適感、床温希望には男女差が見られ、男性は中立よりも冷たい側の床温感が得られる条件を好み、女性は中立付近の床温感の得られる条件を好む傾向が見られた。

北海道立寒地住宅都市研究所[9]は、滋賀と北海道という建築常識の大きく違う地域での室内環境を調べ、同じ温風暖房で、滋賀エアコン暖房と断熱性に優れた札幌の蓄熱暖房を比較すると、ほぼ同じ温度環境で、温熱感に大きな違いを感じている。

また深井等[10]は、床暖房の仕上げ材の違いによって床接触温度が異なり、結果として、接触温冷感が違ってくるという報告をしている。松井[11]、寺野等[12]は、床暖房の仕上げ材の違いによる接触温冷感を定量的に評価しようという試みを述べている。これに関連し、土田等[13]は、纖維集合体の構成要因と接触温冷感との関係について、検討している。

大森[14]は、シミュレーション(以後CFD)による室内温熱環境を紹介している。その中で、高度なシミュレーションプログラムを誰にでも使える環境が整った時、メッシュ作成・境界条件設定・解析スキームの選択等を十分に理解しないで行い、現実と乖離した解析結果を得てそれをそのまま信用してしまう恐れを述べている。数値解析の基本と解析対象の実際の現象を十分に理解した上で、シミュレーションプログラムをツールとして使いこなすという原則を忘れないようにすることが重要である。

鳥海等[15]は、自然対流場の気流・温度性状に関する研究をされ、模型実験とCFDとの比較をされた。ここで、気流性状は断面発熱・床面発熱とともに可視化実験に比較的近いものが得られている。尾関等[16]、庄司等[17]は、それぞれ、人体熱モデルとCFDとの組み合わせでの快適性評価に関する研究を行われている。

工藤等[18, 19]では、サーマルマネキンとCFDとの組み合わせで、温熱環境の評価がなされている。これらのことから、CFDというものが、室内温熱環境の評価の一手法として、用いられるようになってきたことが判った。

Kawahara等[20]は、被験者に及ぼす不均一温熱環境の影響を、床吹き出しと放射パネルを備えた人工気候室において、検討がなされた。また、富田等[21～24]は、窓ガラス

の断熱性能および外気温度を変化させた場合の温熱環境を測定し、床暖房時における窓面コールドドラフトの室内温熱環境に及ぼす影響の定量的な把握を行っている。

研究動向のまとめに使用した文献は以下の通りである。

- [1] 渡邊真一 (名古屋工大) : 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 NO.37 PAGE.433-436 1999
- [2] 永村一雄, 鄭華美, 中根芳一, Z H A N G L (大阪市大) : 文献調査による床暖房時の温熱環境評価に関する基礎的研究 床温・室温の推奨, 許容範囲について : 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集 VOL.1996, NO.Pt 3 PAGE.1149-1152 1996
- [3] Z H A N G L, E M U R A K, NAKANE Y (O s a k a C i t y U n i v.) : 日本における床暖房関連論文に基づく最適床表面温度についての提言 : Appl Hum Sci VOL.17, NO.2 PAGE.61-66 1998
- [4] 社) 空気調和・衛生工学会 床暖房のアメニティ評価に関する研究 (4) 報告書 1994
- [5] 蔵澄美仁, 松原斎樹, 山本志津恵, 長井秀樹 (京都府大 人間環境); 大和義昭 (北州ハウジング); 鳴海大典 (大阪大) : 姿勢の違いが伝導熱交換量に与える影響に関する研究 : 日本生気象学会雑誌 VOL.35, NO.2 PAGE.85-94 1998
- [6] 蔵澄美仁, 松原斎樹 (京都府大 人間環境); 植木弥生 (日本クレスコ); 上麻美 (南大阪マイホームサービス); 長井秀樹 (メテック北村); 山本志津恵 (島津総合科学研); 古川倫子 (旭化成ホームズ); 藤原三和子 (日新サービス) : 床加温環境における姿勢の違いが人体へ及ぼす影響 : 日本生気象学会雑誌 Vol.36, NO.1 PAGE.3-19 1999
- [7] 前田享史, 佐藤晶彦, 田中かづ子, 横山博子, 川畑絹代, 田中正敏 (福島県医大医); 浦野雅司 (松下電工) : 室温と床温が高齢者に及ぼす影響 第2報: 日本生理人類学会誌 VOL.4 特別号 1 PAGE.7-8 1999
- [8] 深井一夫 (横浜国大) : 床面冷却時の温熱生理心理反応 床座での床接触温と快適性 : 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集 VOL.1997, NO.Pt 1 PAGE.73-76 1997
- [9] (北海道寒地住宅都市研究所) : バリアーフリー住宅の室内環境調査 : 寒地住宅都市研究所年報 VOL.1998 PAGE.107-108 1999
- [10] 深井一夫 (横浜国大); 永村一雄 (大阪市大) : 床仕上材熱抵抗が異なる床暖房における床接触温と温度感覚に関する被験者実験による検討 : 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集 VOL.1996, NO.Pt3 PAGE.1153-1156 1996
- [11] 松井勇, 湯浅昇, 米久田啓貴 (日本大 生産工); 沖倉優代 (沖倉一級建築士事務所) : 各種床仕上げ材料を用いた暖房床の接触温熱感の評価方法に関する研究 : 日本建築学会構造系論文集 NO.517 PAGE.31-37 1999
- [12] 寺野真明, 佐藤康仁 (松下電工 解析技研) : 床暖房関連商品における接触温冷感定量化技術の開発 : 松下電工技報 NO.69 PAGE.19-24 1999
- [13] 土田和義, 河合貴美子 (東洋紡績 総研); 大村有香, 山田敏郎 (金沢大) : 繊維集合体の構成要因が熱伝導特性に及ぼす影響の解析 : 日本繊維製品消費科学会年次大会・研究発表要旨 VOL.2000 PAGE.34-35 2000

- [14] 大森敏明 (東京ガス) : 室内環境を診る シミュレーションによる室内温熱環境評価 : 非破壊検査 Vol.48, NO.3 PAGE.133-140 1999
- [15] 鳥海達郎, 松尾陽, 加治屋亮一 (明治大); 酒井孝司 (熊本大) : 自然対流場の気流・温度性状に関する研究 (その1) 模型実験と数値解析の比較 : 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集 VOL.1999, NO.1 PAGE.269-272 1999
- [16] 尾関義一, 小西正哲, 植村健 (旭硝子 中研); 大柿聰 (旭硝子アメニテック) : 人体モデルと対流・放射連成モデルの総合連成解析による快適性評価に関する研究 (その2) 人体モデルと人体形状を考慮した対流・放射連成モデルとの総合連成シミュレーション : 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集 VOL.1997, NO.Pt 1 PAGE.97-100 1997
- [17] 庄司祐子, 竹森利和 (大阪ガス); 中島健 (神戸大) : 人体着衣熱モデルとCFDの連成システムに関する研究 対流・ふく射・水分移動連成シミュレーション : 日本伝熱シンポジウム講演論文集 VOL.37th, NO.VOL.1 PAGE.169-170 2000
- [18] 工藤圭子, 森川泰成, 市原真希 (大成建設 技研) : 放射・対流連成による温熱環境解析に関する研究 その1 サーマルマネキンへの適用 : 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集 VOL.1996, NO.Pt3 PAGE.1297-1300 1996
- [19] 工藤圭子, 森川泰成, 市原真希 (大成建設 技研) : 数値解析におけるサーマルマネキンとその周辺の熱環境に関する研究 その1 人体モデル形状について : 大成建設技術研究所報 No.29 PAGE.283-288 1996
- [20] Air-conditioning with under floor air supply : Comfort in non-uniform thermal environment : Y Kawahara, K Emura, M Nabeshima, K Bougaki, K Madoya : Building Services Engineering Research and Technology 20(1) PAGE.1-7 1999
- [21] 富田和彦, 白土博康, 保科秀夫 (北海道工試); 三上正樹, 青木徹, 中村充, 寺田浩一 (北海道ガス 技開研); 真賀幸八, 鈴木弘之 (サンポット) : 床暖房における窓面コールドドラフト抑止に関する研究 (その1) 実住宅における床暖房時とパネル暖房時の室内温熱環境測定 : 寒地技術論文・報告集 VOL.14 PAGE.660-664 1998
- [22] 富田和彦, 保科秀夫, 白土博康 (北海道工試); 三上正樹, 青木徹, 中村充, 寺田浩一 (北海道ガス 技開研); 真賀幸八, 鈴木弘之 (サンポット) : 床暖房における窓面コールドドラフト抑止に関する研究 (その2) 窓面コールドドラフトの室内温熱環境に及ぼす影響 : 寒地技術論文・報告集 VOL.14 PAGE.665-669 1998
- [23] 富田和彦, 白土博康, 保科秀夫 (北海道工試); 三上正樹, 青木徹, 中村充 (北海道瓦斯); 真賀幸八, 鈴木弘之 (サンポット); 田代勉 (サンポットエンジニアリング) : 床暖房における窓面コールドドラフト抑止に関する研究 (第1報) 実住宅における床暖房時とパネル暖房時の室内温熱環境測定 : 北海道立工業試験場報告 No.297 PAGE.43-49 1998
- [24] 富田和彦, 白土博康, 保科秀夫 (北海道工試); 三上正樹, 青木徹, 中村充 (北海道瓦斯); 真賀幸八, 鈴木弘之 (サンポット); 田代勉 (サンポットエンジニアリング) : 床暖房における窓面コールドドラフト抑止に関する研究 (第2報) 窓面コールドドラフトの室内温熱環境に及ぼす影響 : 北海道立工業試験場報告 No.297 PAGE.51-61 1998

表40 検索結果

File Name	検索キーワード	JCST 検索結果					JQUICK 検索結果					選択	運搬	
		1995	1996	1997	1998	1999	2000	1995	1996	1997	1998	1999		
101 床暖房	温冷感	2				1	1	2	0				0	0
102 床暖房	温熱環境	80	1	13	8	17	37	43	0				0	0
103 Floor	Heating	139	1	23	31	28	53	30	64	4	13	15	23	6
104 Thermal Sensation	Contact	3		1		2		2	0				0	20
105 Thermal Comfort	Conductive	1			1			1	0				0	0
106 接触	温冷感	14		1	1	3	5	4	4	1			1	1
107 接触	温熱環境	24			3	6	12	3	11	0			0	0
201 不均一	温冷感	9			3	3	2	1	9	1			1	1
202 不均一	温熱環境	30		3	7	7	8	5	27	0			0	0
203 非対称	温冷感	0							0	0			0	0
204 非対称	温熱環境	1				1		0	0	0			0	0
205 Thermal Sensation	No Uniform	0						0	0				0	0
	Uneven													
	Asymmetric													
	Up Down													
	Vertical													
206 Thermal Comfort	No Uniform	1						1	0				0	0
	Uneven													
	Asymmetric													
	Up Down													
	Vertical													
301 ISO	7730	合計	306	2	41	54	66	121	22	132	0	66	0	22

出展

学会Link

日本建築学会

日本生理人類学会

日本生活環境系シンポジウム

人間－生活環境系シンポジウム

日本伝熱学会

日本伝熱シンポジウム

日本太陽エネルギー学会

空気調和・衛生工学会

日本機械学会熱工学シンポジウム

日本人間工学会

<http://wwwsoc.nacsis.ac.jp/>

<http://www.aj.or.jp/aijhomej.htm>

<http://www.jspa.net>

<http://wwwsoc.nacsis.ac.jp/htsj/index-j.htm>

<http://wwwsoc.nacsis.ac.jp/jses/index.html>

<http://wwwsoc.nacsis.ac.jp/shase/index.html>

<http://plaza8.mbn.or.jp/~jes/>

## 6) 代表的な文献

本調査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、資料とし文献集としてまとめデータベース化する。

## 7) まとめ

本調査研究では、動的温熱環境に関する最近の研究内容について、動向調査を行うとともに、整理分類しまとめを行った。調査分野としては、以下のものを対象とした。

調査結果としてまとめたとおり、床暖房についての研究がなお増加し続けていることと、最近の研究の対象が、非対称・不均一な環境や、接触と温冷感等、より詳細な分野に広がってきていることが明らかとなった。

## 2. 3. 4. (2) ヒューマンコンフォートメータ

### 1) 調査の目的

生活環境における温熱環境の快適性評価技術として、さまざまな形態のサーマルマネキンが開発され使用されている。これらの温熱環境評価装置は、概略の温熱環境を評価することができるため自動車産業界や住宅建設業界において活用されてきたが、手足や体の左右で異なる不均一温熱環境を評価するには精度が下がったり、人間の温熱感覚を計測するには多くのノウハウが必要とされる。

そこで最新技術動向の把握の1手段として、平成2年度から平成9年度まで実施された産業科学技術研究開発プロジェクト「人間感覚計測応用技術」において研究開発された最新型のサーマルマネキン（以下ヒューマンコンフォートメータと称する）について調査研究を行った。

ヒューマンコンフォートメータは、原子力発電所などの大型プラントの総合集中制御室や、自動車・産業機械のキャビン等の作業現場のパーソナル空間での温熱に関する人間の快適性を評価するための計測装置として研究開発されたもので、不均一な温熱環境を簡単に評価できることが特徴とされている。

### 2) ヒューマンコンフォートメータの構造

#### ①ハードウエア

人体形状ボディー、電源制御ボックス、コンピュータ、及び配線類から構成され、ボディーには温熱感覚エレメントを、額、胸、手、足等合計12箇所に取り付けてある。図69にヒューマンコンフォートメータの外観を、表44に主要スペックを示す。人体形状ボディーの身長は155cm～175cmの範囲で可変であり、肘や膝等の関節は人体と同じように曲げ及び捻りが可能として姿勢を変えられる構造が採用されている。全身の材質は樹脂（FRP）を基本として、軽量で強度を持たせ、全体重量は、配線類を含めて約26kgに抑えられている。

人体形状ボディに取り付けている温熱感覚エレメントは、ヒータと熱電素子の2層の発熱体で構成され、ヒータを内部温度制御に、熱電素子を表面温度制御に、それぞれ用いられている。つまりヒータは、加熱制御によって温度を上下することができることから、エレメントの内部温（人間では皮下組織の温度に相当する）の制御に用いるのによく適合し、一方熱電素子は、温度勾配をつけることが可能なことから、表面温（人間では皮膚表面温に相当）の制御に用いるのに適している、と考えられるからである。また、クロ一値を考慮するために、さらに表面にヒータを取り付ける、周囲の断熱材及びリード線から外周部へ逃げる熱量の低減化を図るために、断熱材補償ヒータを追加する、ヒータ部にプリントヒータを採用し、よりコンパクト化を図る、等の特長がある。これらにより、人体のどの部位の皮膚温にも対応した制御が実現されている。

温熱感覚エレメント以外に、湿度センサを8個、気流速センサを9個、放射温度センサを6個、それぞれ部位別に取り付け、温熱感覚への変換精度の向上が図られている。また、温熱感覚エレメントやセンサ類の配線は、体内で一旦腹部へ集め、腰部から束ねて体外へ導き、約1mの長さでコネクタ端子へ接続し、コネクタから先は、延長ケーブル（長さ10m）を使用し、制御装置へ接続する方式が採用されている。

コンピュータは、汎用パソコンで、CPUは Pentium II プロセッサ (2.66MHz) を搭載している。モニタは液晶パネルを用いて、可搬性を考慮してできるだけ軽量、コンパクト化を図られている。

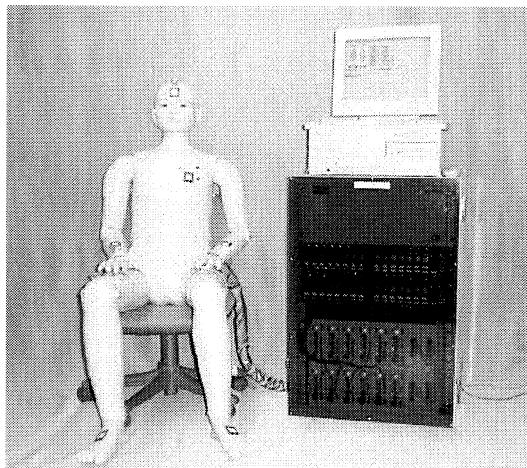


図69 ヒューマンコンフォートメー

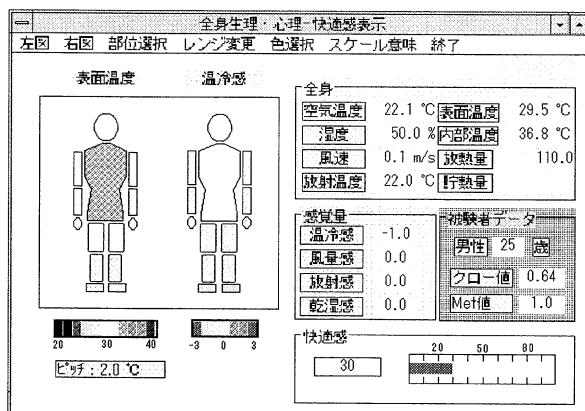


図70 計測データ表示例

表44 ヒューマンコンフォートメータの主要諸元

	目	目 標 値
評価対象	空間	中央制御室等の職場環境空間
	温熱範囲	等価温度：20°C～30°C（空気温度、気流、湿度、放射温度の複合された温熱環境）
主要諸元	全 体 形 状	成人と等身大
	身 長	1.55～1.75m可変
	重 さ	30kg以下
	関 節 部	首、肩、肘、手首、腰、股、膝、足首の14箇所
感覚メント	感覚エレメントの数	12個
	発熱機能	熱電素子、ヒータにより部位別発熱量調節可能
	発汗機能	ソフトによる発汗熱量の補正
	感 度	個人及び年齢による感度調節可
センシング機能	空 気 温 度	頭、胸、左右腕、左右下腿 6箇所
	放 射 温 度	上下、前後、左右方向の 6箇所
	湿 度	頭、胸、左右腕、左右大腿、左右下腿の 8箇所
	気 流 速	頭、額、胸、左右腕、左右大腿、左右下腿の 9箇所

## ②ソフトウエア

ソフトウェアは、大きく分けると全身統合ソフトと快適性判断ソフトから構成され、前者はDOS上で、後者はウィンドウズ上で動作するように構成されている。全身統合ソフトは、人体形状ボディの部位別に埋め込んだ12個の温熱感覚エレメントを自動運転制御させるもので、ヒューマンコンフォートメータに取り付けた各センサから作用温度を計算し、各エレメントを、全身の放熱量が一定に保たれるように、環境とバランスさせるように制御されている。

快適性判断ソフトには、これまでに行った被験者実験による環境及び生理量と温熱感覚の重相関解析による結果が組み込まれている。説明変数は、上下別空気温度、各壁面温度、部位別皮膚温、上下別湿度、上下別気流、及びクロ一値となっており、目的変数は、それぞれ、熱的快適感、全身温冷感、全身風量感等の温熱感覚となっている。成果報告書を確認した限りにおいては、良好な重相関係数が得られ、比較的精度の高い温熱環境評価が可能となっている。

快適性表示画面の一例を図70に示す。この画面は、温熱環境の状態と、それに対して反応した温熱感覚エレメントの状態と、これらと人間の温熱感覚のデータベースとの演算の結果出力された温冷感、風量感、熱的快適性等の各温熱感覚が表示されている。画面の左半分には人間の形を2体並べて表示させ、左側に温熱感覚エレメントの状態（人間の生理量に相当する）を、右側に温熱感覚を、それぞれ部位別に表示されている。画面の右半分の上側は数値表示とし、部位別及び全身を選択できるようになっている。画面の右下には、これらを統合した熱的快適性が表示され、評価する空間の温熱に関する快適性が表示されるようになっている。

このようにして、温熱感覚エレメントを運転することにより、出力として温熱感覚、環境指針等が得られ、この結果から、空調システムの改善、空間設計の改善等に応用することができるものと判断される。

## 2) ヒューマンコンフォートメータの性能調査

このサーマルマネキンの不均一温熱環境の評価性能を確認するため、現実の作業空間の計測を行った。屋内空間では不均一温熱環境が少ないため、極端な不均一温熱環境での調査研究を実施するための手段として、屋外に設置された大型土木機械キャビンでのクールダウン計測を行った。大型土木機械の場合、オペレータは1日中キャビン内で食事も含めて勤務時間を過ごす作業空間であるため空調性能が重要な要素である点と、キャビン容積は小さくガラス面積が大きいため天候により温熱環境が左右される点から、不均一温熱環境の評価には適切な対象であると判断している。対象機械の諸元や試験条件は以下の通りであり、図3、図4にその状況を示す。

- ・対象機械：車体重量は約30,000kg、全長約10mの積込機械。
- ・実験環境：気温41℃、湿度10%の7月下旬の砂丘に機械を設置。  
日照による影響を少なくするため、正午（南中時）に測定を実施。
- ・試験条件：90分屋外放置した後にエンジンを始動。  
最大エンジン回転数、冷房最強の状態で90分計測。  
エアコン用フィルタは新品交換し、フロンガスも規定量、規定圧力に充填。

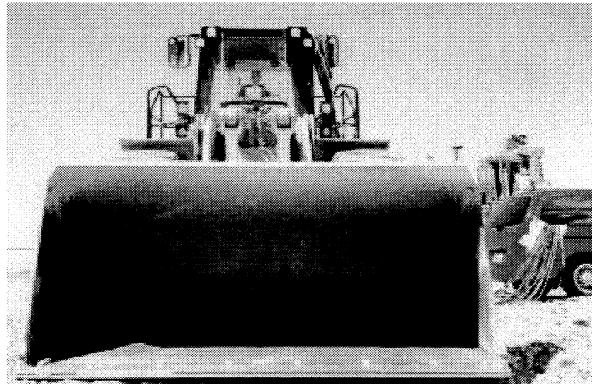


図71 計測対象土木機械

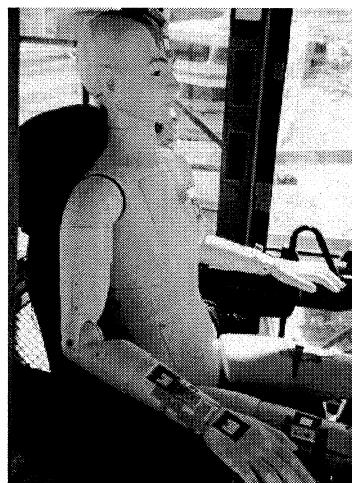


図72 計測状況

気象条件によって温熱環境の状況は大きく変化するために、今回のデータが車両の空調性能と断定することは危険であり、あくまで参考値として判断する必要がある。また本来ならば人間の官能評価との対比が必要であるが、今回の試験は人間にとては過酷な条件であるため、ヒューマンコンフォートメータのみの計測とした。

今回の計測でヒューマンコンフォートメータは人間の肌での12部位の表面温度、湿度、風量、輻射熱を計測して、それぞれの部位の放熱量を推定計算している。クーラの場合、オペレータの皮膚表面から放熱されることにより人は涼しいと感じるため、その放熱量を推定することになる。エアコン起動時は、放熱の応答が早く放熱量の多い方が望ましく、特にクールダウンテストの場合、頭部や胸部が他の部位より早く冷える方が（頭寒足熱の方が）人間は涼し

く感じる。定常状態においては、全ての部位において同じ程度の放熱になることが望ましい。エアコン容量が大きくなるほど室内温度が全体的に降下するため、体表面からの放熱量も増加する。

ヒューマンコンフォートメータによるキャビン温熱環境の過渡特性と、定常特性の計測結果を図73、74に示す。グラフの横軸は時間、縦軸は放熱量（電力量で表示）である。電力量が大きいほど放熱量は大きく、その部位は涼しいと判断する。図73は、キャビンのエアコンがどのようにオペレータの肌を冷やしているかを示す。エアコンを起動すると、まず頭部と胸部が冷やされていき、30分以内で全身が冷えていくことがわかる。クーラの場合、頭部や胸部を他の部位より早く冷やす方が快適であるため、この条件下ではキャビンの温熱環境は非常に良く設計されていることが分かる。

エアコンを起動して10分以上経過しなければヒューマンコンフォートメータは放熱反応を示されていない。この理由は、人間の場合、少なくとも皮膚温度が35°C以下にならなければすばやく感じないため、35°C以下で反応するように設定してあるからである。

図74はキャビン温熱環境の定常特性を示す。各部位の放熱量の差は最小0.2W～最大0.4Wと0.2W以内に収まっており、通常の土木機械のキャビンと比較すると一様に冷えていることが分かる。さらに、頭部と胸部の放熱量は他の部位の放熱量よりも多く、定常状態においても頭寒足熱の快適な状態にあることが分かる。吹出口が左右のピラーに上下に2つづつ設置されており、一方は頭部に、他方は胸部に向けられていることから、良好な結果が得られたと判断される。

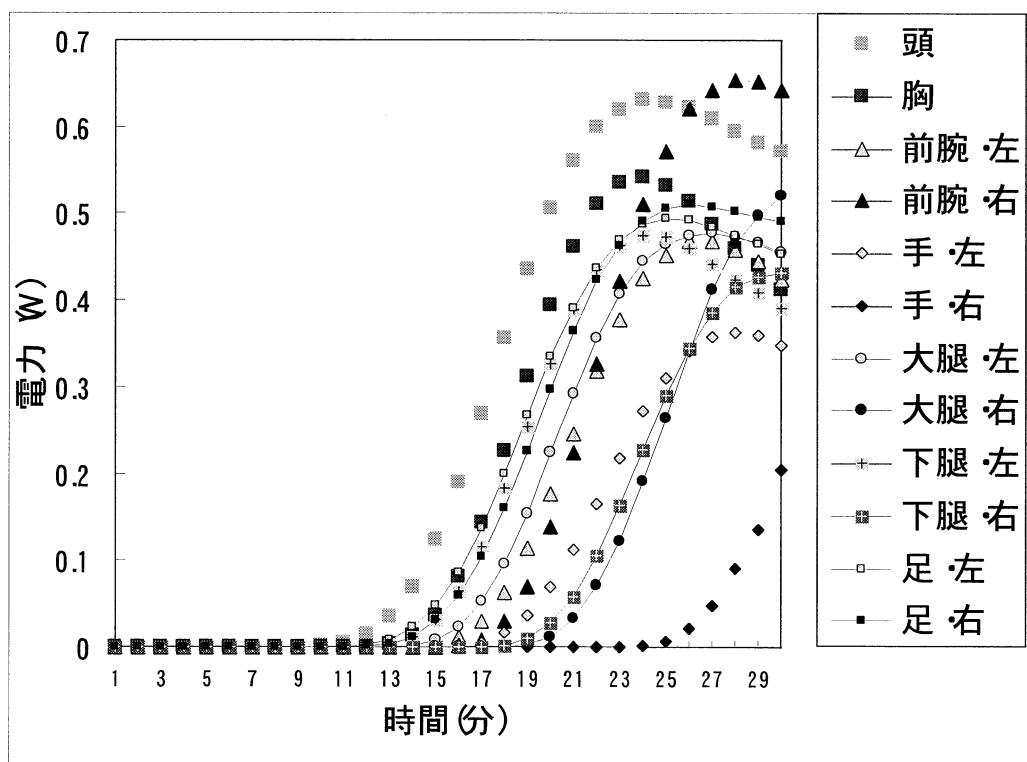


図73 ヒューマンコンフォートメータ計測結果例（エアコン起動時過渡特性）

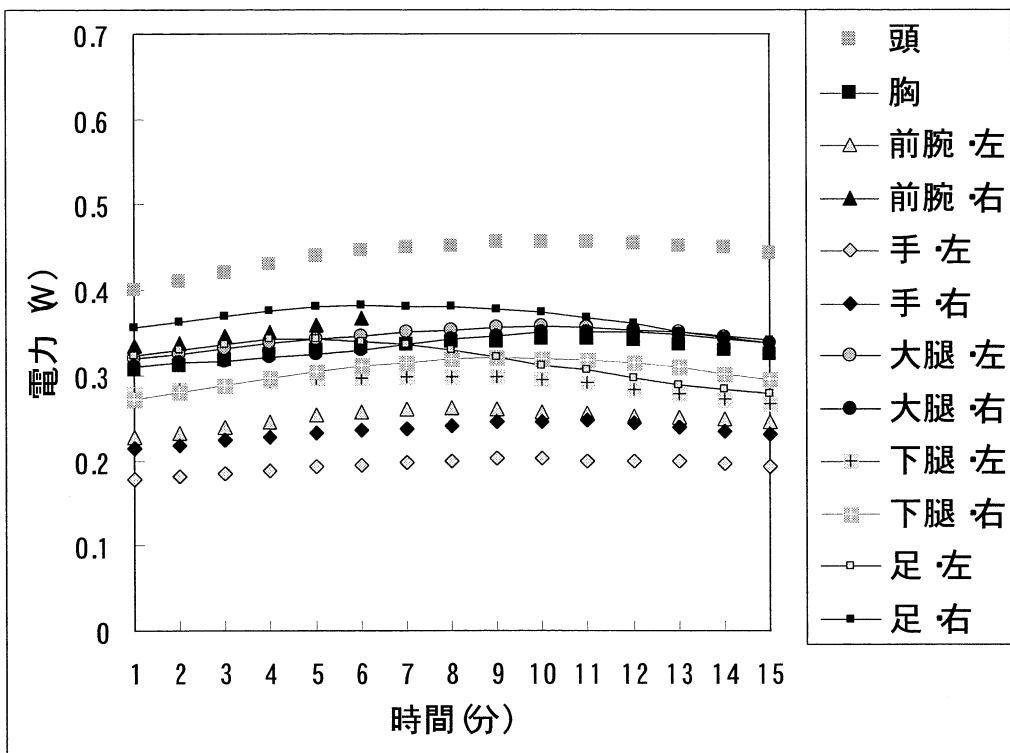


図7-4 ヒューマンコンフォートメータ計測結果例（定常特性）

### ③調査結果

今回のヒューマンコンフォートメータによる試験では、人体の上下方向における不均一温熱環境の状況が数値で確認できた点で有効性が確認された。特に各部位の冷却状況を細かく時系列変化で評価できる点は、快適な空間設計のための解析評価装置として有用性が高い。また扱いやすさの点でも、従来のサーマルマネキンではマネキンの表皮の張巡らされたヒータの断線が多いために取り扱いに注意を要していたが、ヒューマンコンフォートメータでは断線の危険も少なく実用性は高いと判断される。ただし、コントローラ～マネキン間のケーブル数が多く、重量もかなりあるためにケーブルの取り扱いが面倒であり、コントローラ～マネキン間のワイヤレス化がヒューマンコンフォートメータの改良を要する点とされる。

今後の調査研究としては、現実の温熱環境における試験計測を実施してヒューマンコンフォートメータによる温熱評価と被験者による官能評価との相関から最新のサーマルマネキンの性能評価を行う予定である。

## 2. 3. 4. (3) 動的温熱環境評価データベース構築

### 1.) はじめに

動的温熱環境に関する技術動向調査の結果や、動的温熱環境の被験者実験等の基礎的なデータを得ることが出来るが、現状のままでは、調査結果、入手データが散逸し、将来の標準化の妨げになりかねない。そこで、入手した技術調査結果、論文、報告書、実験結果等を電子資料化するためのデータベース化マッピングリストを検討し、これまでに入手した各種の基礎資料の分類マップを作成する。

### 2) マッピングリスト作成の考え方

ここでは、入手した技術調査結果、論文、報告書、実験結果について、各論文単位、データ単位で、マッピングリストを作成することとした。表 47 の報告資料 3 を例に、論文と類型項目のマッピングリスト作成の考え方を示す。

この論文では、非対称または不均一な熱放射環境を表現するための、いくつかの指標を提案されている。また、その指標の有効性を確認するために、左右非対称な熱放射環境における被験者実験をなされ、温冷感・部位温冷感を測定されている。測定結果である、環境要素の気候の中の“温冷感”と、人間の感覚の中の皮膚感覚の一つである“温覚・冷覚”的項目と、論文の相関度が高いと考えられる。被験者実験を行われていることから、個人の属性としての“年齢”や“性別”、“全身体重”や“寸法（身長）”に相関度が高いと考えられ、個人の温冷感覚の嗜好に間接的に影響があると考えられる、“出身地”については、やや高いとした。

このようにして、各文献と類型項目とのマッピングリストを作成していった。

### 3) データベースの仕様

データベースへのマッピングリストを作成した資料は以下のとおりである。

#### ①技術動向調査資料

- (1)平成 11 年度成果報告書
- (2)関係する委員会の委員から提供された技術報告書
- (3)平成 11 年度に入手した文献資料
- (4)平成 12 年度の(1)、(2)に関する資料
- (5)平成 12 年度に入手した文献資料

#### ②実験結果等

- ・被験者実験等で得られた実験結果のデータ

各資料に対し、類型項目との、相関の度合いを調べ、データベースへのマッピングリストを作成した。この類型項目は、社団法人人間生活工学研究センターで行っている基準に従って

行った。

表 45 は、平成 11 年度の成果報告書を対象としたマッピングリストである。

表 46 は、平成 11 年度に技術開発委員会の磯田委員より提供された論文を対象としたリストである。

表 46-2 は、表 46 に対応する磯田委員の論文リストを示した。

表 47 は、平成 11 年度に技術開発委員会の堀越委員より提供された論文を対象としたリストである。

表 47-2 は、表 47 に対応する堀越委員の論文のリストを示した。

表 48 は、平成 11 年度に入手した文献資料（成果報告書 10. 2）を対象としたリストである。

表 49 は、第 24 回人間－生活環境系シンポジウムの 1 セッションとして開催された、「不均一温熱環境の国際標準－特に床暖房について」というシンポジウムの予稿集の、各論文を対象として作成している。表 49-2 には、予稿集の目次のリストを示しておく。

表 50 は、今年度入手した資料を対象としたリストである。

本年度はモデルとして、表 45～47 までの各資料の一ページ毎に、スキャニングを行い、一つの論文を一つの pdf ファイルとして、電子資料化を行った。その他の主要な文献類については、今後電子化を実施する。 表 45～47 後に記載する。

#### 4) データベース検索のイメージ

今回の資料をデータベース化した場合の、検索のアプローチとしては、フリーキーワードによる検索手法を考えている。キーワード検索の場合には、目的とするデータ等に関する用語を自ら考える必要があるが、実際のユーザはある程度経験を積んだ方々であると想定されるため、特に問題は無いと思われる。

フリーキーワードを用いる際の利点としては、ユーザが目的とする情報を連想することで出てくる“キーワード”で検索が行えることがある。キーワードは、どの階層においてもありえるため、様々な検索結果を引き出すことが可能と考えられる、逆に設定されていないキーワードでは、情報にヒットしないという欠点があるが、これに関しては、キーワードと項目の関係を、ユーザがフィードバックして設定できるように設計されるので、ある程度カバーされるものと思われる。

表45 DB:マッピングリスト

研究項目		個人属性		生活状況		体力		筋力		柔軟性		骨盤		骨格		関節		筋肉		皮膚		内臓		心身		精神的特徴		行動特性		代償特徴		環境要因	
資料		年齢	性別	年齢	性別	年齢	性別	年齢	性別	年齢	性別	年齢	性別	年齢	性別	年齢	性別	年齢	性別	年齢	性別	年齢	性別	年齢	性別	年齢	性別	年齢	性別	年齢	性別		
報告資料 (General)	編文																																

(figme L/3)

研究項目		個人属性		生活状況		体力		筋力		柔軟性		骨盤		骨格		関節		筋肉		皮膚		内臓		心身		精神的特徴		行動特性		代償特徴		環境要因	
資料		年齢	性別	年齢	性別	年齢	性別	年齢	性別	年齢	性別	年齢	性別	年齢	性別	年齢	性別	年齢	性別	年齢	性別	年齢	性別	年齢	性別	年齢	性別	年齢	性別	年齢	性別		
報告資料 (General)	編文																																
報告資料1	doc																																
報告資料2	doc																																
報告資料3	doc																																
報告資料4	doc																																
報告資料5	doc																																
報告資料6	doc																																
報告資料7	doc																																
報告資料8	doc																																
報告資料9	doc																																
報告資料10	doc																																
報告資料11	doc																																
報告資料12	doc																																

表46 DB:マッピングリスト

表46—2 磯田委員の研究報告資料一覧

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. p373~374
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. p817~818
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	日本建築学会大会学術講演梗概集(九州) 1998.9. p393~394
第2報 一 気温と床温の姿勢別許容温度の検討 一	
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 一 平均皮膚温・快適感・温冷感の影響について 一	空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集 1997.8. p1089~1092 (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 一 接触部位に及ぼす影響について 一	空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集 1997.8. p1093~1096 (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 一 弱冷青年女子の場合 一	空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集 1998.5. p1421~1424 (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 一 壁冷却と併用した場合 一	空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集 1999.9. p1509~1512 (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	ハウスクノマ研究ノート 第12号 1996.6. p31~39
9. 床暖房温度の皮膚温および温熱的快適感に及ぼす影響に関する研究	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 一	日本建築学会計画系論文報告集 第417号 1990.11. p19~27 Journal of Archit. Environ. Engng, AJU, No.417, Nov. 1990
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)	
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. p31~37
12. 夏季における好まれる気温の個人差に関する研究	

表47 DB: マンビューラリスト

項目番号	分類項目名	分析形式	分析結果												行動特徴												行動特徴											
			性別			年齢			性状			力作集め			交際・動作			操作			反応時間			生活			活動			生活			活動			生活		
資料	報告資料1	文																																				
報告資料1	報告資料1	文	○	△	○	○	△	○	○	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○				
報告資料2	報告資料2	文	○	△	○	○	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○					
報告資料3	報告資料3	文	○	△	○	○	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○					
報告資料4	報告資料4	文	○	△	○	○	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○					
報告資料5	報告資料5	文	○	△	○	○	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○					
報告資料6	報告資料6	文	○	△	○	○	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○					
報告資料7	報告資料7	文	○	△	○	○	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○					
報告資料8	報告資料8	文	○	△	○	○	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○					
報告資料9	報告資料9	文	○	△	○	○	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○					
報告資料10	報告資料10	文	○	△	○	○	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○					
報告資料11	報告資料11	文	○	△	○	○	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○					
報告資料12	報告資料12	文	○	△	○	○	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○					
報告資料13	報告資料13	文	○	△	○	○	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○					
報告資料14	報告資料14	文	○	△	○	○	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○					
報告資料15	報告資料15	文	○	△	○	○	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○					
報告資料16	報告資料16	文	○	△	○	○	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○					
報告資料17	報告資料17	文	○	△	○	○	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○					
報告資料18	報告資料18	文	○	△	○	○	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○					

表47-2 堀越委員の研究報告資料一覧

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" 1985.9.
2. INDICATION OF THE EFFECT OF ASYMMETRIC THERMAL RADIATION ON THE HUMAN PHYSIOLOGICAL AND PSYCHOLOGICAL RESPONSES	
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 1990.7. p21~28
4. 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	日本建築学会計画系論文報告集 第515号 1999.1. p57~62
5. 床暖房時の気温と床温が胡坐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 1996.2. p7~14
6. 热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) 1996. p.29~37
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 1997.7. p33~38
8. 灰燼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 1997.7. p47~52
9. 灰燼採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 1997.7. p39~45
10. 灰燼と電気カーペットの併用が人体に及ぼす影響と温熱的効果	日本建築学会計画系論文集 第515号 1999.1. p63~68
11. 各種着衣条件下における立位姿勢の人体の投影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 1998.11. p47~52
12. 建築・室内環境における熱的快適性の表現・評価に関する研究	人間と生活環境 5(2) 1998. p.51~58
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) 1994. p.40~45
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 1999.2. p433~436
15. 気温のステップ変化時に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) 1988. p61~67
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報告	Ann. Physiol. Anthropol. 6(4) 1987. p.255~266
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
18. RESPONSES OF HUMAN SKIN TEMPERATURE AND THERMAL SENSATION TO STEP CHANGE OF AIR TEMPERATURE	J. therm. Biol. Vol.18, No. 5/6, pp.377~380, 1993

## 2. 4. 結論

### 2. 4. 1. 技術開発

#### 【 得られた成果 】

##### (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

熱環境数値計算（C FD）と、“人体熱モデル”の組み合わせで、床温と室温の許容、推奨範囲に関する数値計算データベースを構築し、被験者実験の結果によるデータベースの補完を行うことを最終の目的とし、今年度は、熱環境数値計算手法の開発と、“人体熱モデル”的システム改良と実験的検証を実施した。

- ・熱環境数値計算手法の開発では、実際の環境試験室を C FD で再現するためのパラメータ解析を行い、必要なパラメータを求めることができた。
- ・3 次元計算も行い、実際の環境試験室での 3 次元的な流れを再現できる可能性を見出すことができた。
- ・“人体熱モデル”的システム改良と実験的検証では、均一環境では、平均皮膚温は 0.1°C 差と非常に実験に近く、各部位の温度も、平均で 1 °C 以内の差で、精度よく求められていることが判った。
- ・不均一環境(床温と室温が違う)では、環境温度が 24°C の場合は、実験に近いが、18°C の場合は、その差が 1 °C 位と、少し大きくなることが判った。これは、接触面の影響を受けやすいモデルになっていると考えられる。

###### 2) サーマルマネキンによる評価技術の開発

- ・作製した成人サーマルマネキンを用いて、均一温熱環境（気温と放射温度が等しく、風速 0.05 m / s 以下、湿度 50%）での、等価温度（Equivalent Temperature; ET）を求めた。すなわち、人工気候室 22、24、26、30°C の均一温熱環境下で、サーマルマネキン 20 部位の熱損失量を測定し、各々の部位で室温と熱損失量の回帰方程式を求めた。
- ・上記計算式を基に、不均一温熱環境をサーマルマネキンで評価するために等価温度を測定し、さらに、被験者の申告と比較検討した。不均一温熱環境下で（4 条件下）、身体 20 部位の温度（皮膚温）と熱損失量を測定し、サーマルマネキンによって測定した不均一温熱環境の等価温度と、被験者の温冷感と比較した。
- ・等価温度と温冷感との相関関係は、0.38(尻部)～0.81(左手)で全ての条件で有意( $p<0.05$ )であった。
- ・等価温度と全身温冷感との相関係数は 0.85( $p<0.01$ )であり、比較的高い精度で、サーマルマネキンによる等価温度で、不均一温熱環境下の温冷感が予測可能なことが明かとなった。

###### 3) 被験者実験による環境の評価技術の開発

非定常温熱環境の一つである、室温のステップ変化時の人体影響を調査するために、被験者数を30名とし、夏期屋内外を想定した 2 室を移動した際の生理反応、心理反応を検討した。

暑熱屋外を想定した人工気候室（34、37°C いずれも相対湿度70%）に50分間滞在後、冷房室を想定した人工気候室（22、25、28、31°C いずれも相対湿度55%）に移動し、さらに50分

間椅座位で留まった。物理量は20秒毎に、心理量は2分毎に連続測定した。

- ・各時間・暑熱条件ごとの直線回帰式から熱的中立となる室温を算出した。これより、熱的中立温度が時間を経るごとに下がり、約30分程度で安定することが認められた。
- ・常に37°C条件からの移動の方が熱的中立温度が低く、50分を経過した実験終了直前においても約1.5°C程度の差がみられた。暑熱環境から空調環境へ移動する場合、暑熱環境の違いが空調環境への移動後にも心理反応に影響し、ほぼ定常状態に達したと考えられる移動後30分以降もその影響が残っていることを示している。
- ・この影響の残留は着衣に付着した汗が蒸発によって熱を奪い続けていたためであると考えられた。

## (2) 身体各部位の温熱感受性の解明

身体各部位の温熱感受性の解明を目的として、青年男性16名、青年女性15名、高齢男性16名、高齢女性16名の合計63名について、昨年度試作した局所温冷刺激装置を用いて、気温28°C、相対湿度60%に保たれた人工気候室内で全身18ヶ所について、温覚閾値・冷覚閾値を計測する実験を行った。

- ・主な結果は、頭部ではグループ間に差がないが、躯幹部よりは末梢部へいくほど、上半身よりは下半身で標準偏差が大きく、部位差が存在した。
- ・また、青年群よりは高齢群の方が感受性は低かったが、特に、末梢部における感受性の低下が著しかった。

## (3) 非定常かつ不均一な生活空間の温熱快適性の基準値の構成

### 1) 非定常な温熱環境

- ・非定常な温熱環境については、ISO7730 “Ergonomics of the Thermal Environment – Determination of the PMV and PPD Indices and Specification of the Conditions for Thermal Comfort” の改定のなかで、「暑熱環境から冷房室に移動したときには、最初の30分間は PMV/PPD が正確に算出出来ない」との標記があるに過ぎなかった。

被験者実験により、暑熱室から冷房室に移動した時の、非定常状態の温冷感変動の定量化が可能となった。

### 2) 不均一な温熱環境

シンポジウム「不均一温熱環境の国際標準-特に床暖房について」の開催により、国内外の研究成果が以下のようにまとめられた。

- ・ISO7730 や ISO/CD13732-2 では、床温度の推奨範囲は19~29°Cである。一方、我が国や韓国で推奨されてきた床温度の範囲は、ISO の値よりもかなり高いことが明らかになった。その理由としては、以下のことが考えられる。

①日本の住宅は断熱性が低く、室温も低いことが多いため、床温度が高くないと快適性が得られない。

②日本では、床に座ったり寝転んだりすることが多いため、床温度は高いほうが好まれる。

③日本の床暖房は、床温度は高くて、部屋面積は狭く平均放射温度は低くなるため、床温

度の推奨値は高くなる。

④ISO では 7730 により、ある範囲での室温が確保されていることを前提として、床温度の推奨がなされている。我が国では、冬季には室温が低く、室温が推奨範囲にならないために、温熱快適性を得るために、床温度はより高い範囲にある必要がある。

⑤床暖房の方式が、温水式か電気式かによっても快適範囲が異なる。

#### (4) 動的温熱環境評価に係わる調査研究と動適温熱環境評価データベース構築

・床暖房に関する研究がなお増加して続けられていることが解る共に、最近の研究の対象が非対称・不均一な環境や、接触と温冷感等、より詳細な分野に広がっていることが明らかとなった。また、データベース構築の分類整理が出来た。

#### 【 当初の目標に照らした達成状況とその要因 】

##### (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

・3次元計算も行い、実際の環境試験室での3次元的な流れを再現できる可能性を見出すことができた点、ならびに“人体熱モデル”的システム改良と実験的検証では、均一環境では、平均皮膚温は0.1°C差と非常に実験に近く、各部位の温度も、平均で1°C以内の差で、精度よく求められていることが判った点は、予想通りの結果である。  
・不均一環境(床温と室温が違う)では、環境温度が24°Cの場合は、実験に近いが、18°Cの場合は、その差が1°C位と、少し大きくなることが判った。これは、接触面の影響を受けやすいモデルになっていることが考えられる。  
・あらたな不均一温熱環境を評価する手法として有効であることが確認されたのは、期待通りの結果であった。

###### 2) サーマルマネキンによる評価技術の開発

・比較的高い精度で、サーマルマネキンによる等価温度で、不均一温熱環境下の温冷感が予測可能なことが明かとなった。  
・20部位毎の等価温度により、不均一温熱環境の特徴が把握出来ることが認められたが、さらに、各部位毎の快適範囲を求める必要性があることが示された。  
・また、身体部位によっては、被験者の熱損失量とサーマルマネキンの熱損失量がかなり異なることが認められ、部位別の係数の必要性が認められた。

###### 3) 被験者実験による環境の評価技術の開発

・被験者実験により、サーマルマネキンでは評価が難しい非定常状態での温冷感の申告の変動を定量化することができた。  
・しかしながら、非定常状態の温度と時間に係わる PPD (予測不満足者率) を算出するまでには至らなかった。今後検討を要する。

##### (2) 身体各部位の温熱感受性の解明

・本年度は、当初の計画通り、昨年度試作した局所温冷刺激装置を用いて予備実験ならびに、

青年・高齢被験者、延べ 63 名について本実験を行い、温覚・冷覚閾値についてのデータ収集を行い、概略については、分析を終了して当初の目的は達成した。しかし、さらに、統計的分析を行い、部位差や年齢差を明確にする必要がある。

- ・また、その結果をふまえ、局所の温熱感受性から全身的な評価に組み上げていくための詳細な検討について、未だ検討の余地が残る。その原因としては、計測部位の絞り込みや、実験手順の構成など予備実験に時間を使つたためと考えられた。

#### (3) 非定常かつ不均一な生活空間の温熱快適性の基準値の構成

- ・当初予定通り暑熱環境から冷房環境に移動したときの、非定常状態の温冷感変動の定量化が可能となった。PPD の算出には実験数を考慮し今後検討を要する。
- ・不均一温熱環境では、床暖房時の国際標準に我が国の成果を考慮した方向付けが、予定通り明らかとなった。

#### (4) 動的温熱環境評価に係わる調査研究と動適温熱環境評価データベース構築

計画通り関連技術の調査ならびに技術動向の把握が出来た。これらの調査結果をデータベースとして電子ファイル化を今後進める

### 【 今後の課題 】

#### (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熱環境数値計算手法の開発では、パラメータの微妙な設定によって計算結果が違ってくることから、環境試験室での実測値との比較検討を、より詳しく行う必要がある。

被験者数が 8 名とやや少ない。今年度行った被験者実験の信頼性を上げるためにも、来年度も同様な実験を行う予定である。

②“人体熱モデル”への境界条件を考えたときには、Hardy&DuBois の 12 点法による計測点だけでなく、床暖房との接触面での皮膚温と、その近傍の皮膚温を同時に取り、部位全体としての皮膚温の算出が必要である。

##### 2) サーマルマネキンによる評価技術の開発

①均一温熱環境下での、身体 20 部位別の等価温度の快適範囲を被験者（16 名以上）実験により作成する。また、新しい人工気候室において、均一温熱環境下での等価温度と熱損失量の関係式を完成する。

②人工気候室内において、上下温度差を含む不均一温熱環境下でのサーマルマネキン実験と被験者実験を行う。床暖房使用時のサーマルマネキンの熱損失量を求める。

##### 3) 被験者実験による環境の評価技術の開発

①30 名の被験者実験により、暑熱室から冷房室に移動した際での非定常状態の温冷感の定量化が可能となった。

②逆に、冷房室から暑熱室への移動に伴う非定常状態での温冷感変動を明らかにする実験を行う。

#### (2) 身体各部位の温熱感受性の解明

- ・本年度は、当初の計画通り、昨年度試作した局所温冷刺激装置を用いて予備実験ならびに、青年・高齢被験者、延べ63名について本実験を行い、温覚・冷覚閾値についてのデータ収集を行った。
- ・局所毎に得られた温熱感受性を全身的な評価に組み上げていくための詳細な検討を行う必要がある。また、年齢差や性差についても、統計手法を用いて、考慮に入れるべきかどうか検討し、それらをどういった形で組み込んでいくのか明確にする必要がある。

#### (3) 非定常かつ不均一な生活空間の温熱快適性の基準値の構成

- ①暑熱環境から冷房環境に移動したときの、非定常状態の温冷感変動の定量化が可能となつたが、逆の状態、すなわち、冷房室から暑熱環境に移動した際の検討も必要である。しかしながら、PPDの算出は、今後検討を行う。
- ②不均一温熱環境では、床暖房時の国際標準に我が国の成果を反映するため、規格案の作成と関連団体との意見交換、調整が必要である。

#### (4) 動的温熱環境評価に係る調査研究と動適温熱環境評価データベース構築

- ・継続的な関連技術の調査と入手した資料の電子化を進める。

### 2. 4. 2. 国際標準化

#### 【 得られた成果 】

本事業の目標と個別課題のアウトプットならびにISOへの提案との関係を整理し、研究目標、事業目標と規格提案とを明確にした。整理した結果を図74として示す。

#### (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

- ・あらたな不均一温熱環境（接触温熱：床暖房環境）を評価する手法として有効であることが確認された。

##### 2) サーマルマネキンによる評価技術の開発

- ・サーマルマネキン等価温度により、不均一温熱環境の評価が、かなりの精度で出来ることが明らかとなった。

##### 3) 被験者実験による環境の評価技術の開発

- ・暑熱環境から冷房環境に移動したときの非定常状態の温冷感変動の定量化が可能となった。

#### (2) 身体各部位の温熱感受性の解明

- ・人体熱モデルやサーマルマネキンによる評価方法をサポートする、局所温冷感に関する基礎データが得られた。

(3) 非定常かつ不均一な生活空間の温熱快適性の基準値の構成

- ・床暖房時の国際標準に我が国の成果を加えるためのシンポジウムを開催し、意見交換、調整を図ることが出来た。
- ・非定常温熱環境下の温冷感変動の定量化が可能となった。

(4) 動的温熱環境評価に係わる調査研究と動適温熱環境評価データベース構築

動的温熱環境に関連する ISO の動向（海外調査）等が明らかになり今後の活動の方向が明確になった。

【 当初の目標に照らした達成状況とその要因 】

(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

- ・あらたな不均一温熱環境（接触温熱：床暖房環境）を評価する手法として有効であることが確認されたことは計画通りであった。

2) サーマルマネキンによる評価技術の開発

- ・サーマルマネキンの有効性の確認が出来たが、精度の高い確認実験を行う必要がある。

3) 被験者実験による環境の評価技術の開発

- ・ほぼ予定通り非定常状態の被験者実験が行なわれ定量かが出来た。PPD の算出を今後検討する必要がある。

(2) 身体各部位の温熱感受性の解明

- ・当初計画通り進めることが出来た。さらに詳細な解析を加え評価方法に反映させる。

(3) 非定常かつ不均一な生活空間の温熱快適性の基準値の構成

- ・不均一温熱環境、すなわち、床暖房時の国際標準に我が国の成果を加えることが可能となった。非定常温熱環境下の温冷感変動の定量化が可能となった。

(4) 動的温熱環境評価に係わる調査研究と動適温熱環境評価データベース構築

実施スケジュールに多少のズレがあったが予定通りの成果が得られた。

【 今後の課題 】

①前述した今後の課題を実施し、国際標準の提案に結び付けたい。

②標準化のため課題を整理し国際標準課計画を明確にする。

# 動的温熱環境標準化事業のアウトプット（要素）

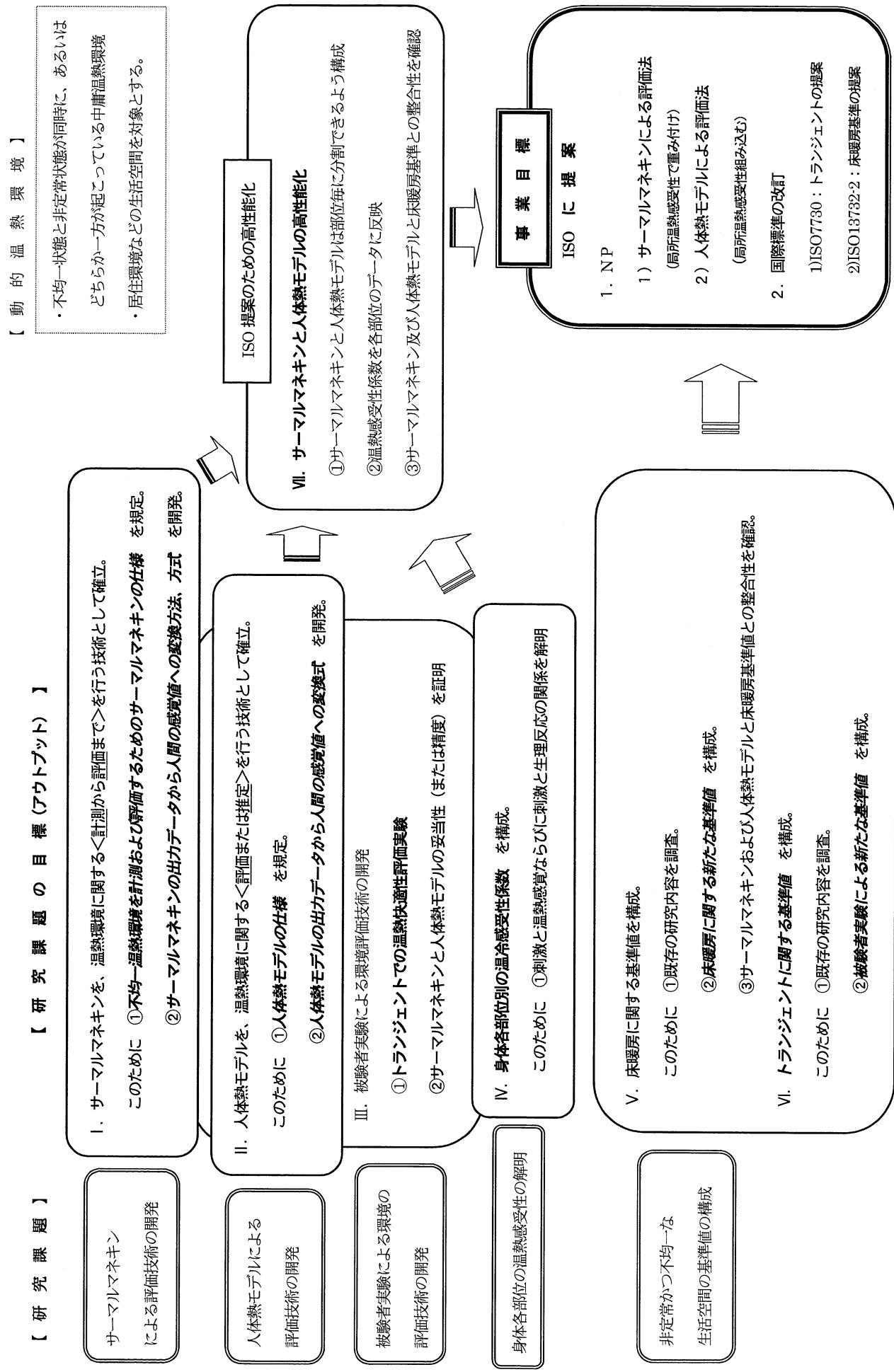


図74 事業目標とアウトプットならびにISOの提案

## 2. 5. あとがき

本研究は、経済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、本年度が第二年目である。

ものを中心とした技術開発から、開発の視点を人間の側におき、使いやすさ・心地よさを感じられる製品や快適な生活、環境、自然との共生を構築するための新たな技術の創出が求められている。社団法人人間生活工学研究センターは、この視点で社会、生活、人、もの作り等をとらえ積極的なアプローチを試みてきている。当初の「人間感覚計測応用技術」プロジェクト、現在の「人間行動適合型生活環境創出システム技術」プロジェクトもまたこの視点の実現のために進めてきている。

豊かな、快適な、心地よい等々の個人のもって生まれたものや、その生活環境等によって育まれる感覚に係わる快適な生活空間の評価手法、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、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11月韓国漢陽大学の孫章烈教授を招聘し、またOlesen博士の出席も得、人間－生活環境系会議と連携し「不均一温熱環境の国際標準－特に床暖房について」をテーマに、シンポジウムを開催し、床暖房の基準値について討議をおこなった。生活環境としての家・空間の環境と暖房温度について、多くの意見が出され、関係する研究者が相互に意見交換を行ったことは、今後床暖房等の基準値を考えていくうえで有効であった。

本年度は、何れの課題もそれぞれの評価技術を開発し、基礎的なデータを積み重ね評価手法の有効性を確認する研究に重点をおいた。人体熱モデルによる評価技術の開発では、熱環境数値計算(CFD)と、“人体熱モデル”の組み合わせでシステム改良を行い、被験者実験による実験的検証を加え、不均一温熱環境を評価する手法として有効であることを確認した。

サーマルマネキンでは、測定した不均一温熱環境の等価温度と、被験者の温冷感と比較し、比較的高い精度でサーマルマネキンを使い等価温度で、不均一温熱環境下の温冷感が予測可能なことが明らかとなった。トランジェントに関する被験者実験では、移動後にも心理反応に影響することや、男女高齢者ならびに青年男女による温熱感受性の研究では、軀幹部よりは末梢部へいくほど部位差が存在する等の基礎的な知見を得ることが出来た。次年度はこれらの評価手法によるデータの蓄積を図り、日本発の生活空間の快適性評価に関する新たな提案をまとめて行く。

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、新た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ことを目指している。

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と審議を戴いた。また、経済産業省製造産業局人間生活システム企画チーム、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。

## 2. 6. 参考文献

各個別の研究課題に関連する参考文献は以下の通りである。個別課題毎に分類して明示する。

### 2. 6. 1. 動的温熱環境評価技術の開発

#### 2. 6. 1. (1) 人体熱モデルによる評価技術の開発（特になし）

#### 2. 6. 1. (2) サーマルマネキンによる評価技術の開発

- 1)Gagge, A.P., Burton, A.C., Bazett, H.C. (1941) A practical system of units for the description of the heat exchange of man with his environment, *Science*, 94, 2445, 428-431
- 2)Wyon, D.P., Larsson, S., Forsgren, B., Lundgren, I. (1989) Standard procedures for assessing vehicle climate with a thermal manikin, *SAE Technical paper*, 890049, 1-11.
- 3)Development of Standard Test Methods for Evaluation of Thermal Climate in vehicles, EU-project SMT4-CT95-2017.

#### 2. 6. 1. (3) 被験者実験による評価技術の開発（特になし）

### 2. 6. 2. 身体各部位の温熱感受性

- 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.
- Nigel A.S. Taylor, 2000,Regional differences in cutaneous thermal sensitivity, *Envionmental Ergonomics* IX, 237-240
- J.D.Cotter, A.Zeyl, E.Keizer and N.A.S.Taylor, The role of local skin temperature in determining the perception of local and whole-body thermal state, *Envionmental Ergonomics* VIII, 85-88, 1997
- 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
- 2. 6. 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（特になし）
- 2. 6. 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
- 2. 6. 4. (1) 動的温熱環境評価に係わる調査研究（文通に組み込む）
- 2. 6. 4. (2) ヒューマンコンフォートメータコンフォートメータ
  - 1) 松木照幸等：“作業環境における温熱快適性評価手法に関する研究”、平成6年度日本人間工学会関西支部大会講演論文集、P.45-48、1994年
  - 2) 高橋良昭等：“温熱感評価用感覚エレメントの研究開発－単体構造の検討及び人体生理反応との比較－”、第18回人間－生活環境系シンポジウム報告集、P.13-16、1994年
  - 3) 松木照幸等：“ヒューマンコンフォートメータの研究開発”、日本機械学会第72期通常総会講演会講演論文集（I）、No.95-1、P.477-478、1995年
  - 4) 松木照幸等：“ヒューマンコンフォートメータの研究開発”、纖維学会誌 FIBER Vol.52、No.9、P.362-365 1996年
  - 5) 松木照幸等：“ヒューマンコンフォートメータの研究開発”、'97関西伝熱セミナー予稿集、P.29-32、1997年
- 2. 6. 4. (3) 動的温熱環境評価技術データベース構築（特になし）

### 3. 研究発表・講演、文献、特許等の状況

#### 3. 1. 研究発表、講演（口頭発表）

今年度の発表は行わなかった。

#### 3. 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。

#### 3. 3. 特許等

特許等の出願は無し。

#### 3. 4. その他の公表（プレス発表など）

今年度新聞発表等は行わなかった。

## 4. 付録

### 4. 1. 海外調査報告

#### 4. 1. 1. サーマルマネキンに関する動向調査

サーマルマネキンを用いての調査研究は、以下のような内容で、各国の研究室で行なわれている。我が国では、現在活発に使用している研究室は、文化女子大学被服衛生研究室（田村教授）と早稲田大学建築学科（田辺助教授）である。特に、田辺研究室では、温熱環境の評価にサーマルマネキンを利用している。

##### （1）海外調査のスケジュール

平成12年年5月に行なわれたデンマーク、コペンハーゲン市での ISO/TC 159/SC5/WG1 第37回国際委員会に引き続き、同じく5月に開催された Health and Performance in the Cold のワークショップに参加した。

##### （2）訪問先

Oulu Regional Institute of Occupational Health  
オウル市、フィンランド

##### （3）調査概要

同ワークショップのなかで、サーマルマネキンを使用した研究例が報告された。主な研究内容、研究者、研究場所は以下の通りである。

訪問先と概要は以下の通り。

Thermal manikins in research and standards

*Ingvar Holmér*

Climate Research Group

National Institute for Working Life

Solna, Sweden

Interlaboratory trial of thermal manikin based on thermal insulation of cold protective clothing in accordance with ENV 342

*Hannu Anttonen*

Oulu Regional Institute of Occupational Health

Oulu, Finland

Standardisation of measuring clothing thermal resistance with thermal manikin

*Jiang Zhihua and Shen Yuhang*

The Quartermaster Research Institute

Beijing, China

Test research of a new generation thermal manikin

*Krzysztof Soltynski, Maria Konarska, Jerzy Pyryt, Andrzej Sobolewski*

Central Institute for Labour Protection

Warsaw, Poland

Manikin needs in sport field

*Hayet Sari*

Service Recherche Avancée, DECATHLON Campus

Villeneuve d'ascq, France

Comfort temperatures for sleeping bags

*Bård Holand*

Extreme Work Environment, SINTEF Unimed,

Trondheim, Norway

Use of a thermal manikin for prediction of local effects of thermal asymmetry and consequent discomfort risks

*Victor Candas*

CEPA du CNRS

Strasbourg Cedex, France

Assessment of the physiological wear comfort of garments via a thermal manikin

*Volkmar T.Bartels and Karl-H.Umbach*

Hohenstein Institutes,

Boennigheim, Germany

Research of human non-evaporative heat diffusion pattern and mathematical model at low temperatures

*Yang Tingxing*

The Quartermaster Research Institute

Beijing, China

Factors affecting the equivalent temperature measured with thermal manikins

*Mats Bohm<sup>1</sup>, Olle Norén<sup>1</sup>, Ingvar Holmér<sup>2</sup>, Håkan O. Nilsson<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Swedish Institute of Agricultural Engineering, Uppsala, Sweden

<sup>2</sup> National Institute for Working Life, Solna, Sweden

The use of thermal manikin in the field

*Håkan O. Nilsson*

Climate Research Group, National Institute for Working Life

Solna, Sweden

Presentation of a Dummy REpresenting Suit for Simulation of human heatloss(DRESSMAN)

*Erhard Mayer*

Fraunhofer-Institut für Bauphysik,

Holzkirchen, Germany

Development of a breathing thermal manikin

*Thomas Lund Madsen*

Technical University of Denmark

Lyngby, Denmark

Simulation of human respiration with breathing thermal manikin

*Erik Bjørn*

Indoor Environmental Engineering, Aalborg University,

Aalborg, Denmark

Measurement of indoor air quality by means of a breathing thermal manikin

*Henrik Brohus*

Aalborg University, Sohngaardsholmsvej,

Aalborg, Denmark

The importance of a thermal manikin as source and obstacle in full-scale experiments

*Peter V . Nielsen*

Aalborg University

Aalborg, Denmark

Extraction of data from sweating manikin tests

*Harriet Meinander*

VTT Chemical Technology,

Tempere, Finland

Use sweating articulated manikin SAM for thermophysiological assessment of complete garments

*Niklaus Mattile*

Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research, EMPA,

St.Gallen, Switzerland

CYBOR sweating concept

*Wolfgang Uedelhoven<sup>1</sup> and Bernhard Kurz<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Bundeswehr Institute for Materials, Explosives, (WIWEB), Erding, Germany

<sup>2</sup> Institute for Applied Ergonomics (IfaErg), München, Germany

One week seating simulation test with a thermal foot model

*K Kuklane<sup>1,2</sup>, I Holmér<sup>1</sup>, G Giesbrecht<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> National Institute for Working Life, Solna, Sweden

<sup>2</sup> Luleå University of Technology, Dept. of Industrial Ergonomics, Luleå, Sweden

<sup>3</sup> University of Manitoba, Lab. for Exercise and Env. Medicine, Winnipeg, Canada

#### 4. 1. 2. 溫熱感受性に関する海外調査

##### (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。また、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り、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。

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。なかでも、人体熱モデルから温熱環境評価を行うためには、人体熱モデルはこれまで人体内の熱移動にその主眼が置かれ、開発されてきた。しかし、本研究の目的とするのは、人体の熱的状態や体温調節を予測するだけではなく、不均一や非定常な環境に置かれたときに、人はどういう感覚を生じるのか、ということを予測し、それらを評価に活かしていくことが必要とされる。その目的を達するために、人体の局所的な温熱感受性を計測し、定量化するための計測技術を開発し、データ収集を行ってきた。そこで、局所的な温熱感受性の計測技術に関する国際動向や、非定常・不均一な環境における人体の体温調節に関する研究の国際動向を調べるために、The 9<sup>th</sup> International conference on Environmental Ergonomics (第9回 環境人間工学に関する国際会議) に参加した。

##### (2) 調査の概要

###### 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：環境人間工学に関する国際会議出席
- ④渡航先国：ドイツ
- ⑤期間：平成12年7月30日～8月4日

###### 2) 調査訪問先及び主な調査項目

調査訪問先：第9回 環境人間工学に関する国際会議出席：7月30日～8月4日

調査項目：温熱感受性および温熱環境評価に関する研究の調査

### 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	7月30日(日)	成田発 フランクフルト着 フランクフルト発 ドルトムント着	13:30 17:35 21:00 22:00	JL-0407 LH-254	フランクフルト 乗り換え
2	7月30日(日) ~4日(金)	ドルトムント			ドルトムント泊
3	8月4日(金)	ドルトムント発 フランクフルト着 フランクフルト発 成田着	18:30 19:30 20:25 15:40	LH-123 JL-0408	フランクフルト 乗り換え

### (4) 調査内容

#### 1) 環境人間工学に関する国際会議出席

ドイツ、ドルトムントの Hotels Mercure において、招待講演 13 題、口頭発表 42 題とポスター発表 24 題の研究発表が行なわれ、参加者は 27 カ国から 150 名であった。

本国際会議でのトピックを以下に掲げる。

Heat Stress and Thermoregulation (熱ストレスと体温調節)

Work and Exercise in Hot Environment (暑熱環境における労働と運動)

Cold Stress (寒冷ストレス)

Sensation and Comfort (感覚と快適)

Clothing (衣服)

Protective Garment and Equipment (防護服と装備)

Modelling, Manikins and Techniques (モデリング、マネキンと計測技術)

Immersion (侵漬)

Clinical Problems (医療上の問題)

本プロジェクトにおける温熱感受性の解明に関しての研究に關係が深かったのは、Nigel A.S. Taylor による講演”Regional differences in cutaneous thermal sensitivity”であった。その内容は、前年度の報告書内で、温熱感受性の基礎でレビューしたものと半ば同一であったが、新しい研究として、前回の Environmental Ergonomics VIII で J.D.Cotter, A.Zeyl, E.Keizer and N.A.S.Taylor が発表した”The role of local skin temperature in determining the perception of local and whole-body thermal state”

において興味深い知見についても報告された。これまでも、顔の感受性は非常に高いことを除けば、相対的に皮膚はほとんど均一な温熱感受性を持つということが言わされてきた。それに加えて、3つの傾向があることが明らかになった。一つ目は、手と足は局所感受性が高く、局所の不快性を持つが、それらは全身の温冷感や不快感に与える影響は小さい。それゆえ、これら局所的な高い感受性を持つ部位は衣服のデザインには重要であり、行動性の体温調節反応にはおそらくそれほど重要ではない。二つ目は、頭部は相対的に高い温熱感受性を示すが、全身的な温冷感や不快感もまた左右する。全身の不快感に影響を与えるこのような部位は、全身的な不快感が増すことにより、熱ストレスを最小にすることを目的として行動を導き出すために、体温調節の見地からは特殊な理由を請け負っている。三つ目に、同じ部位であっても加熱と冷却に関しての感受性には差が生じる。その部位は、等しい温覚ではなく、冷覚に対して全身感覚を生じる傾向を示す。

以上の知見が本プロジェクトにおける局所温熱感受性の部位差に関するものといえるかどうか、検討が必要であろう。

体温調節モデリングに関しては、Peter Tikuisis が講演した”Functional modelling in human thermoregulation to thermal stress”において、これまでの著名な体温調節モデルの概略が紹介されていた。また、本研究に関連のあるものとしては、以下の論文が挙げられる。

- D. Boehringer, M. Hexamer, M. Meine and J. Werner : Validation of the Guyton model of circulation applied to physical exercise
- M. Richards : Physiological studies of humans wearing fire fighter clothingsystems for the validation of a sweating manikin
- G. Vanhoutte, M. Verhoye, E. Raman and A.-M. Van der Linden : An in- vivo non-invasive study of the thermoregulatory function of the rat tail using magnetic resonance angiography (MRA)
- I. Yermakova and N. Maslovskaya : A modeling approach for evaluation of human ability to withstand hot environment
- G.G. Giesbrecht, M. Hulzer, X. Xu, C. Marrao and A. Chochinov : Efficacy of torso rewarming using a human model for severe hypothermia
- P. Tikuisis, G.G. Giesbrecht, D.A. Eyolfson and X. Xu : Examination of a prediction model of shivering fatigue
- A. Buxton, A. Huggins and D. Glynn : A Virtual Thermal Manikin
- I.-H. Kang and T. Tamura : Development of an infant-size movable sweating thermal manikin and its application for evaluating an infant's environment

以上

#### 4. 1. 3. ISO の海外動向の調査

##### 4. 1. 3. (1) ISO/TC 159/SC5/WG1 第 37 回国際委員会議事報告書

###### 1) 開催概要

①開催年月：平成 12 年 5 月 21 日～22 日

②場所：デンマーク、コペンハーゲン市、デンマーク規格協会会議室

③出席者：

議長 Olesen (ドイツ)

委員 Malchaire (ベルギー) Langkilde (デンマーク) Hassi (フィンランド)

Candas, Gabay (フランス) Alfano (イタリア) Sawada, Tochihara, Yoshida (日本)

Holmér (スウェーデン) Bassey, Crockford, Havenith, Parsons (イギリス)

###### 2) 議事内容

1. 開会 9:00 から会議を開始した。

2-3 : 議題に沿って会議が進行された。その途中で、出席者の自己紹介が行われた。

4 : 前回の議事録(N350: ドキュメントナンバー350のこと。以下略記)が承認された。

また、今回の議事予定表(N352)が承認された。

5 : 議長からの報告

会議の最初にすべての審議資料が行き渡っているかを確認してそれにドキュメントナンバーをつける作業は、時間の浪費なので、今後は次の手順をとることになった。

- ・議長が会議の 2 ヶ月前に会議案内と予備の議事予定表を委員に送る。
- ・審議資料は遅くとも 14 日前に全委員に送る。
- ・議長は 10 日前に各審議資料にナンバリングをして正式の議事予定表を作成する。
- ・すべての審議資料は WORD97 で作成して、委員に配布する。
- ・インターネットを利用する可能性も検討することになった。

5.1 (1) CEN/TC 122 "Ergonomics", CEN TC228 "Heating systems in buildings", CEN/TC 156 "Ventilation of Buildings", CEN/TC 162 "Protective clothing", ISO TC205 "Building environment design" and ASHRAE (working Plan, Doc. N351).との関連についての現在の状況が報告された。

(2) 現在の作業の進捗状況が、作業プラン表(N366)を用いて説明された。IS09920(clo)が改定に廻される。皆さん、改定に賛成するように。が、コメントを委員に配布  
(〆切：2000 年 6 月 15 日)。

(3) 13732-2 (moderate Surface)は、Technical Specification として発表される事となる (以前の Technical Report)。

(4) 15266 (Long Term)は、7730 (PMV/PPD) に含める事となった。

(5) CEN/TC 156 では、空気質についても取り扱う事となっている。人間の反応という観点からは、人間工学の関与も必要なものでは。

## 5.2 人間工学標準化の分類について

3分類のなかで((1)Basic Standard, (2)General Standard, (3)Product Standard),

当WGは(1) Basic Standardに属する事が確認された。

6 : NP 13732 „Method for the assessment of human responses to contact with surfaces“

### 6.1 Part 1: „Hot Surfaces“ : Parsons, N353

EN132021を基本的には原本としている。ただし、重複が多いのでもう少しまとめる。“痛み”も含める事。火傷の項で、材料名だけでなく伝導度の数値も必要（表4だけでは不充分）。Part3と書式を合わせる事。低温火傷の資料を澤田が提出する事（〆切：2000年8月1日）。液体への接触は含まない。2001年3月にCD化を予定。

### 6.2 Part 3: „Cold Surfaces“ : Holmer, N363

タイトルが確認された。Part1,2に合わせて用語や定義を用いる。ECプロジェクトによる結果で、接触と棒の握りに分けて、“Pain”, “Numbness”, “Freezing” の三段階評価である。Holmérが、訂正案を各委員に配布する（〆切：2000年11月1日）。

7 : ISO CD14415 „The application of International Standards for people with special requirements“ (N 354) : Yoshisa

DISとなった。コメントは概略受け入れられ、柄原が改定案をOlesenに送り、さらにチェック後、Cathyへ。

8 : ISO/DIS 12894 “Medical supervision of individuals exposed to extreme hot or cold environments”: McCaig

文案に対し、暑熱と寒冷の定義の数値をなくす。直腸温38.5°Cが個人レベル、38.0°C平均的人間とする。公式の投票手順を踏むためにSC5のFishmanに提出することになった。

9 : ISO 8996: „Determination of metabolic heat production“ : Gebhardt

Gebhardtが、遅れている改訂版を6月までに委員へ送り、8月1日までにその原案にコメントを寄せる事とした。

10.1: Revision of ISO 7933 “Analytical determination and interpretation of thermal stress using calculation of required sweat rate” (N. 357) : Marchaire\_Malchaire  
Malchaireが昨年11月にだした案にたいして何のコメント出なかった。プログラムに簡単な訂正があったが、OlesenはCathyニチェック後送り、これをCDとする事となった。ただし、タイトルは以下のように変更する。Analytical determination and interpretation of heat stress using calculation of the predicted heat strain.

10.2: ISO NP 15265 „Risk assessment of stress or discomfort in thermal working conditions“ (N 342)

Malchaireが経過報告した。BIOMED-projectによって提案された規格原案である。

“Assessment for prevention”にすべきか、“strategy”を含めるか、“risk assessment”がここでは何を意味するかなど、タイトルについて議論。

法律用語との不適合の可能性あることが問題となった。

本規格原案は個々人とその健康リスクを評価するのではなく、平均的・代表的個人を対象としたものであることが強調された。寒冷環境も含めるべきとの指摘があった。

修正した CD15265 を委員に配布してコメントを受けることとなった（〆切：1999年10月1日）。

1 1 : NP15265 "Risk assessment" N358 : Malchaire

Malchaire が出した案にはコメントがなかった。Holmer と Hassi は、寒冷のリスクアセスメントとの調整が必要なために、表 6 と 5.2.3 節について、6 月中旬までに Malchaire へ送る。

1 2 : NP 14505: „Evaluation of the thermal environments in vehicles“ N361 : Holmer  
Holmér が次回までに改定案を。Part1,2 はほとんど変わらない。Par3 に被験者による評価を入れては？（Parsons）（〆切：2000 年 11 月 1 日）2001 年には CD したい。

1 3 : NP 15743 „Working practices for cold environments“ (N 359) : Hassi  
Hassi の原案をほぼ了承した。2000 年 9 月に CD 化したい。

1 4 : ISO TR 11079 Cold Environments (N 362) : Holmer

Holmér が報告した。局所冷却の項目の追加、インターネットによる IREQ 計算プログラムの公開などであった。シンボル、用語の統一行う。衣服では、fcl を含む。9 月末までに、プログラムを委員に送る。タイトルが以下のように変更された。Analytical determination and interpretation of cold stress using calculation of the required clothing insulation (IREQ) and local cooling effects.

Wind Chill の E-mail シンポの紹介があった。WCI 以外の、例えば、“痛み”や“かじかみ”を示し、天気予報ににも使える指標が欲しい。資料を集めて、NP となりうるか検討する。

1 5 : ISO EN 7730 “Ergonomics of the Thermal Environment – Determination of the PMV and PPD Indices and Specification of the Conditions for Thermal Comfort” (N360) : Olesen

新しいタイトルを以下のようにする。Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort effects. Olesen が経過報告した。付表 E を変更する事、Adaptation の付表をなくす事、より高い PMV 値に対する設計法の推奨を変える事、空気の質と湿度に関する項目は省略する事、同様なプログラムを作成する事等が議論された。修正案を次回の会議までに配布することになった（〆切：2000 年 11 月 1 日）。

1 6 : NP 15742 „Determination at the combined effect of the thermal environment, air pollution, acoustics and illumination on humans“ (ISO/TC159/SC5/N115) Parsons  
へ情報を集める事となった。

1 7 : ISO 規格の世界各国の国内基準への適用

日本では ISO 7243 (WBGT) が、JIS Z8504 が今春発刊された事が報告された。

1 8 : 新規提案

天気と事故との関係、天気予報にも使える指標、複合影響などについて意見が述べられた。

1 9 : 次回以後の会議日程と開催場所

その後の ISO 会議の予定が以下のように決まった。

2000年12月4日～5日（ロンドン）

2001年9月19日～20日（ナポリ）

2002年9月29日～30日（福岡）

20：閉会

15：00に会議が終了した。

#### 4. 1. 3. (2) ISO/TC159/SC5/WG1 第38回国際委員会議事報告書

##### 1) 開催概要

①開催年月：平成12年12月4日～5日

②場所：イギリス、ロンドン市、BSI会議室

③出席者：

議長Olesen（ドイツ）

委員Malchaire（ベルギー）Langkilde（デンマーク）Hassi（フィンランド）

Candas, Girault（フランス）Alfano（イタリア）Sawada, Tochihara（日本）

Holmér（スウェーデン）Havenith, Parsons, Talal（イギリス）Den Hartog（オランダ）

##### 2) 議事内容

###### 1：開会

10：00から会議を開始した。

2～3：議題に沿って会議が進行された。その途中で、出席者の自己紹介が行われた

4：前回の議事録(N367)が承認された。

また、今回の議事予定表(N368)が承認された。

###### 5：議長からの報告

(1) CEN/TC 122 "Ergonomics", CEN TC228

(2) 7243 (WBGT)については、ACGIHと不一致の点もあるので、USに会議への出席を依頼することとなった。

(3) "Heating systems in buildings", CEN/TC 156 "Ventilation of Buildings", CEN/TC 162 "Protective clothing", ISO TC205 "Building environment design" and ASHRAEとの関連についての現在の状況が報告された。ASHRAEでも、PMV, PPDを使用することとなることが報告された。

(4) 現在の作業の進捗状況が、作業プラン表(N351)を用いて説明された。13732-2 (moderate Surface)、14415（障害者）は、Technical Specificationとして発表される事となる（以前のTechnical Report）。

(5) ISO/TC159/SC4(Control Center)の環境条件については、デンマークよりコメントした。

(6) Iso/Tc39(Textile):WG17 サーマルマネキンの試験法について標準作りを行なっている。

寝袋（）、サバイバルスーツ（）が各自担当している。

(7) ISOの書式について確認が行なわれ、テンプレートを委員に送ることとなった。

すなわち、/は用いず、A<sup>-3</sup>とする。掛け算の表示はAxBxC、25A（B-C）の様にする。

こととなった。各200-300語で原案担当者が執筆する。日本の同様な状況を、柄原が報告した。

6 : Revision of ISO 7933 Analytical determination and interpretation of heat stress using calculation of the predicted heat strain (N. 369) : Malchaire

Malchaire が出した案にたいして何のコメント出なかった。コペンハーゲン会議以降にプログラムの変更はない。これを翌年 1 月には CD とする事となった。シンボルは 13731 を使うが、1 部は附属書 E に入れる。附属書の定義は以下の様にする。

附属書 A: 標準

附属書 B: 参考

附属書 C: 参考

附属書 D: 標準

附属書 E: 標準

決議 89 : Malchaire は、コメントに従って修正した文書(7933)を主査 Olesen に送る。主査は、ウェーン協定に基づき CD 投票にかけるために SC5 事務局に送る。

7 : Revision of ISO 9886 Evaluation of thermal strain by physiological measurements (N. 370) : Malchaire

各国からのコメントに関して検討がなされた。鼓膜温測定に、を追加する、との英国の提案は採用されない。倫理委員会の承認、インフォームドコンセプトが必要であることを書くこと。局所皮膚温の限界を 4 から 15°C に変更する。最大発汗率は、1L/時間とする。澤田が、平均皮膚温の算出式に 7、12 点法を追加することを提案したが、採用されなかった。

決議 91 : Malchaire は、コメントに従って修正した文書(9886)を主査 Olesen に送る。主査は、ウェーン協定に基づき DIS 投票にかけるために SC5 事務局に送る。

8 : ISO EN 7730 Ergonomics of the Thermal Environment – Determination of the PMV and PPD Indices and Specification of the Conditions for Thermal Comfort” (N371) : Olesen  
新しいタイトルは、effects を除き、Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort とする。附属書 A の適応は省略する。図 H については、さらに論議が必要。7933 の改定で得られた衣服のポンプ作用による蒸発や対流熱損失の知見を加える。ドラフトの方向性の違いを考慮した、新しいドイツの提案についても考える。文献の量を減らす。

決議 92 : Olesen は、コメントに従って修正した文書(7933)を主査 Olesen に送る。主査は、ウェーン協定に基づき CD 投票にかけるために SC5 事務局に送る。

9 : ISO TR 11079 Cold Environments (N 362) : Holmer

Analytical determination and interpretation of cold stress calculation of the required clothing insulation (IREQ) and local cooling と改定する。

7933 と同様にシンボルを追加する。附属書にプログラム。追加した文献を入れる。気道、眼球に対する寒冷影響をまとめた。クロ値で Collected と Resultant の違いを明かとする。

附属書 A: 標準

附属書 B: 参考

附属書 C: 参考

附属書 D: 参考

附属書 E:参考

附属書 F:参考

附属書 G:参考

附属書 H:参考

決議 90 : Holmer は、コメントに従って修正した文書(11079)を主査 Olesen に送る。主査は、ワイン協定に基づき CD 投票にかけるために SC5 事務局に送る。

10 : NP 15743 Working practices for cold environments (N373) : Hassi

Hassi の原案が提出されたが、あまりにも長文で ISO の書式にも合っていないので、改定後委員に送付する。2001 年 5 月には、寒冷障害に関する報告書も提出される(柄原、澤田参加)。15265 (寒冷障害) との関連についても論議された。Risk Assessment と Working management (Work Practice) の両方を含み、さらに寒冷と暑熱を一緒にしてはとの論議があった。BS8800(1989) を参照する事。タイトルは Strategy for risk assessment, management and work practice in cold environment と変更する。

2001 年 4 月に、WD だし、DIS レベルで寒冷と暑熱の統合についても考える。

11 : NP 14505: Evaluation of the thermal environments in vehicles : Holmer

被験者実験も加え、4 つに分割する・

Part1:既存の規格を用いての総論

Part2:等価温度(マネキン)の定義と測定法

Part3:等価温度の解釈(快適範囲)

Part4:被験者実験法

Holmer が次回までに Part1, 2 改定案、CD 化を目指す。Part4 は、英國が原案作成。

12 : ISO 8996: Determination of metabolic heat production : Gebhardt

Gebhardt の改訂版が、かなり遅れているので、支障があれば Malchaire が担当する。

13 : Revision of ISO 9920 Estimation of thermal insulation and evaporative resistance of a clothing (N376) : Havenith

5 年毎の改定では、承認がえられたが、次回に向けて Havenith が改定作業を進めることとなった。

Havenith が提出した問題点をもとに論議し、文献がある人は Havenith に送ることとなった。

14 : Revision of ISO 11399 Principal and application of relevant International Standards: Olesen, Parsons

Holmer の提案により、ISO の内容概要を 200-300 words で、インターネット上で公開する

15 : NP 13732 Method for the assessment of human responses to contact with surfaces

Part 1: Hot Surfaces : Parsons

CEN と同じ番号となる予定。低温火傷の日本の資料を澤田が提出する事。液体への接触は含まれない。CEN/TC122/WG3 が検討を重ねている。

Part 3: Cold Surfaces (N374) : Holmer

CEN/TC122/WG3 が 2000 年 9 月に詳細に検討した文書である。ISO としていくには、国によっては、規制が厳しすぎる。子供には適用できない事を明示。タッチとグリップの違いを説明すべき。

決議 93 : SC5/WG1 は、 SC5 を介して CEN/TC122 に、 13732-1、 3 を CEN/TC122/WG3 に作業項目として置くように要望する。この作業は、 CEN が ISO に先行して行なうというウィーン協定に基づく。

NP 13732 Method for the assessment of human responses to contact with surfaces

Part 3: Moderate temperature Surfaces : Olesen

決議 94 : SC5/WG1 は、 SC5 を介して CEN/TC122 に、 13732-2 を CEN/TC122/WG11 に作業項目として置くように要望する。この作業は、 CEN が ISO に先行して行なうというウィーン協定に基づく。

16 : NP 15742 Determination at the combined effect of the thermal environment, air pollution, acoustics and illumination on humans (ISO/TC159/SC5/N115) : Parsons

ASHRAE でも同様なことを行なっているので、 Parsons へ資料を集める事となった。複合影響の学術誌もある (J of Combined Effects)。

17: New Work Item on a standard for evaluation of outdoor climate for weather reports  
天気予報にも使える指標が、 Web 上で論議されているので成果を待ちたい。

18 : ISO 規格の世界各国の国内基準への適用

英国では、以下の規格が制定された。

BS7963:2000 Ergonomics of the thermal environment – Guide to the assessment of heat strain in workers wearing personal protective equipment

さらに、生理測定のモニターについても原案が作られつつある・

19 : 新規提案

寒冷と暑熱との不一致は、 Risk assessment, management and work practice の原案に待って論議したい。

20 : 次回以後の会議日程と開催場所

2001 年 9 月 19 日～20 日 (ナポリ)

2002 年 9 月 29 日～30 日 (福岡)

21 : 閉会

16 : 3 0 に会議が終了した。

決議 95 :

ISO/TC159/SC5/WG1 は以下の分野の研究を優先すべきとした。将来の規格化の戦略ともなる。

第 1 位 :

寒冷・暑熱による温熱負担の回復

第 2 位 :

太陽放射による人体反応 (衣服を含む)

不均一温熱環境の影響

第 3 位 :

温熱環境の反応の個人差

高温表面接触時の人体反応

#### 4. 2. 委員会の議事録

##### 4. 2. 1. 動的温熱環境標準化技術審議委員会

以下に各委員会の議事録を掲載する。

###### (1) 第1回委員会

## 議事録

1. 会議名 : 平成12年度 第1回動的温熱環境標準化技術審議委員会
2. 議題 : 平成12年度の事業計画
3. 開催日時 : 平成12年6月19日(月) 14:00~16:00
4. 開催場所 : 航空会館 801会議室(港区新橋1-18-1)
5. 出席者 : 栢原委員長 池田 長野 山崎 松尾各委員  
オブザーバー: 新谷(NEDO) 桂(KRI) 福田(JSA)  
HQL: 大矢 渡辺
6. 作成日 : 平成12年6月22日 担当: 渡辺

### 【議事概要】

平成12年度 第1回委員会の議事次第、資料一覧、出席表は別紙参照

本年度第一回委員会の開催で、主要議題は、(1)実施計画・研究計画の審議、(2)シンポジウムの基本方針の検討である。

質疑・討論の後承認された。以下にその概要をまとめた。

#### 1. 委員長の選任および新任の委員の紹介

資料審議1-1委員名簿の紹介と、引き続き栢原委員を委員長に推薦し、各委員の承認を得て選任した。12年度の新委員: 長野(九州芸術工科大学) 松尾(タバエスペック株)

#### 2. 平成12年度委託事業実施計画の概要(審議1-2)

事務局より資料に基づき、本事業の考え方、目標を説明するとともに、昨年度の実施内容、本年度の実施事項について説明し質疑・討論を行った。

本年度は、計測評価、データの蓄積、並びに被験者実験を中心に評価技術相互の整合性の確認を重点的に進め、標準化のための基本的なデータを蓄積することに重点を置く。また、本事業は平成13年度で終了するが、14年度以降も継続してISOへの提案のための活動を行う。

### 質疑・討論

Q. 全体計画の中で各種の言葉の定義について質疑、討議された。

A. 本事業の正式の事業名とテーマ名は、審議1-2の参考にある名称、テーマ名が正式名称。

本日の資料の一部に名称が異なる部分を訂正し了解された。

「非定常」、「transients」、「動的温熱環境」等のことばについて具体的な内容について討議さ

れた。この定義について後の個別研究課題の中でも意見が出され討議され、考え方、定義を整理しまとめることに決定した。

今回、議論になった表現以外も含め検討することが、ISO の素案・提案等を考える上でも必要である。

Q. 審議 1－2 (4p) に「上下温度差を含む床暖房の・・」とあるが「含む」は「及び」とどのように違うのか。どちらが主体になるのか。

A. 「含む」であって「及び」ではない。床暖房を中心に検討する。特に日本や韓国等の生活として「床に座る、ねころぶ」ことが日常的であり、ヨーロッパなどと大きく違う点である。この点を中心に検討する。

### 3. 各研究項目の研究計画の概要

#### 1) サーマルマネキンの評価技術（審議 1－3：九州芸術工科大学研究計画）

資料に基づき「サーマルマネキンの評価方法」の実験の考え方について説明。

研究の目標は、不均一環境の評価方法を確立し、その有効性を被験者実験の対比により明らかにする。不均一温熱環境の評価手法として等価温度を用いる。

等価温度：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表すもの。（11年度成果報告書 p-71 参照）

具体的には、同一の不均一温熱環境に、サーマルマネキンと被験者を曝し、等価温度による評価と被験者の申告による評価を行い、その一致度を比較する。

環境条件として、風の強さ、風の当たる位置（前面、側面、後面）の条件を考えている。

この実験を行う場合に、他の評価手法、熱モデル、局所熱感受性とも対比できるよう、実験条件等を3者話し合って検討する。また適用範囲も明らかにできるであろう。

#### 2) 被験者実験による環境の評価技術の開発（審議 1－3：非定常温熱環境評価実験計画概要）

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。この評価については ISO の改定案でも具体的な内容が明らかでなく、30分以上経たないと評価できないとしているのみである。実際には時間との関係でどれくらいの不満足者率があるか検討した例がなく、今回この点をクリアにする。

6月初めから開始している被験者実験の内容について資料に基づき長野委員より説明があり、2つの環境実験室を使い、被験者20名以上（九州芸術工科大学学生を採用）で、空調環境4条件、暑熱環境2条件の組合せで6条件のデータを取るために進めている。環境計測項目、人体計測項目は資料参照。

心理量の評価は19頁のアンケート用紙により2分間毎に実施している。

尚、先の動的温熱環境標準化技術開発委員会の討議、予備実験の結果から一部条件を変更した。

#### 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

この件に関しては、上下温度差を含めた床暖房の評価基準について本年度シンポジウムを開催

することを重点とする。

#### 4) 人体熱モデルによる評価技術の開発

サーマルマネキンの評価で実施される被験者実験の条件を主体に、前年度に引き続き接触温熱についてのシミュレーションを中心に検討を進める。

#### 5) 質疑・討論

Q. 人体熱モデルのシミュレーションはパソコンレベルで可能なのか、大型のコンピュータのレベルなのか。

A. パソコンレベルではむりで、ワークステーションレベルで行うものである。

Q. 小型サーマルマネキンは赤ん坊のマネキンか。デンマークで見たように思うが。

A. デンマークでなくスウェーデンで研究していたもので、スウェーデンの労働生活研究所で未熟児のサーマルマネキンを作成した。これをモデルにいろいろ調べ、温熱環境の評価に使えると判断し、九州芸術工科大学で生後6ヶ月の乳児の標準体型をもとに作成した。

表面温度を一定にした場合に放熱量がどのように変化するか計測する。

小型サーマルマネキンについては平成11年度委託事業成果報告書参照（P-54：事務局）

Q. 成人用サーマルマネキンは同じものか。

A. 方式は似ているが精度は違う。ちょうど一週間ぐらい前に最終的な調整を終え使えるレベルにある。これを使ってまずは均一環境の基礎データを取って、均一温熱環境ではどのような温熱パターンがあるのかを整理し、これとの比較で不均一温熱環境ではどうなるかを検討する。

Q. マネキンについて成人用とベビー用があるがこれからどう使うのか。

A. これから使うのはすべて成人用サーマルマネキンで、これで比較を行う。このマネキンは身長168cmの女性の形である。

この討議の中でもトランジェント、ドラフト等についてその意味する内容について意見交換が行われた。この件に関しあらためて定義・意味するところを整理することとした。

また、柄原委員長からドラフトに対し、ヨーロッパがプロジェクトを構成し新たな検討を行っている状況、ISO 7730の接触温冷感については明らかにデータが不足している状況について説明がなされた。

以上にて個別課題の討議を終了しいずれも承認された。

### 4. シンポジウムの開催について

5月26日の動的温悦環境標準化委員会で討議・決定したシンポジウム開催の基本方針（審議1-4）について、またその後の進捗状況の報告が柄原委員長から行われ進め方について審議した。

#### 1) その後の進捗状況

(1) 開催日の決定：平成12年11月6日（月）午後2. 5時間

- (2)講演者の選定：磯田（奈良女子大学） 渡辺（名古屋工業大学） Olesen（Velta 社  
　　ドイツ）孫（漢陽大学 韓国）の各氏の了解を得た。  
　　坊垣（建築研究所）永村（大阪市大）両氏に代わり深井（横浜国大：低温  
　　火傷の研究）堀（早稲田大学：床暖房の研究）両氏にお願いする。
- (3)予稿集：4p／人の講演要旨を作成し予稿集とする。
- (4)理事会への提案：学会理事会は8月に延びそう。何度も説明済みで了解は得られであろう。

## 2) 質疑・討論

- Q. 学会のスケジュールとの関係はどうなっているのか。
- A. 5日の初日は、学会による別のシンポジウムが開催され6日の午後はこのシンポジウム  
　　だけ開催される。1会場で開催するので一つだけである。
- Q. 講演は日本語で行うのか。通訳は。
- A. 日本語で行い、大事なところはOlesen氏には誰かが通訳する。図表は英語で書くように  
　　お願いする。  
　　また、講演する先生には事前に主旨を説明し、それに対する意見・考え方を述べてもら  
　　うようとする。  
　　関連して当日のシンポジウムの運営について意見が出され、このシンポジウムは公開講座と  
　　することについて了承された。これらの討議を経てこの方針が承認された。

## 5. 今後の日程について

資料に基づき12年度の委員会の開催予定等を説明。

動的温熱環境標準化技術審議委員会を本年度3回開催し、次回は10月、最終回は2月に開  
　　催する予定を承認。

次回開催の日程は、8月末頃に最終的に日程を確認して10月に開催することとした。

以上

## (2) 第2回委員会

### 議事録

1. 会議名 : 平成12年度 第2回動的温熱環境標準化技術審議委員会
2. 議題 : 言葉の定義、シンポジウムの開催及び個別課題の進捗状況
3. 開催日時 : 平成12年10月16日（月） 14:00～16:00
4. 開催場所 : 航空会館 802会議室（港区新橋1-18-1）
5. 出席者 : 柄原委員長 池田 澤田 澤地 都築 長野 松尾 山崎各委員  
オガサワラ：新谷（NEDO） 桂（KRI） 橋本（JSA）  
HQL：大矢 渡辺
6. 作成日 : 平成12年10月23日 担当：渡辺

#### 【議事概要】

平成12年度 第2回委員会の議事次第、資料一覧、出席表は別紙参照

今回は、第1回審議委員会で討議された事業に関する(1)言葉の定義、(2)シンポジウムの開催概要(3)個別課題の進捗状況について討議を行った。以下にその概要をまとめる。

#### 1. 温熱環境に関する「言葉の定義」（資料 審議2-1）

本事項は、第1回審議委員会で提起された点であり、また、今後ISOに提案する場合における範囲、言葉の意味を明確にする点からも重要であり討議を行った。

事務局より資料に基づき、①温熱環境としてイメージ及びそれに関連する言葉の定義、②個別の言葉の定義について説明し討議を行った。

Q. これ以外の言葉は無いのだろうか。

A. 今回取り上げた「言葉」は、ISO7730、ISO159/SC5/WG1 341-1999.5.21.の提案、HQLの委託業務実施計画の中で使われているものを取り上げた。

共通する事項でよく使われる言葉、本事業を進めていく上で必要と判断したもので、今後新たなものがあれば加えてゆきたい。

討議の中で、トランジェントに関する3項目の対象があり、これらの具体的な内容について堀越委員から解説がなされた。

また、ISO159/SC5/WG1では、①建築 ②空調（労働衛生等）③温熱の3分野を担当しており、ISOで取り上げている言葉を見た場合、①、②は主に省エネ、心理的な面からの取組であり、③はヒューマンレスポンス、生理・心理面が主体でありニュアンスの違いがこの面からも出てくる。

討議の上、基本的な事項として言葉の定義が承認された。

## 2. シンポジウムの開催について（資料 審議 2－2）

事務局より資料に基づき、人間－生活環境系会議と共に開催すること。共催の内容について説明を行った。特にこのシンポジウムは NEDO の委託事業の一環として実施するものであり、公開講座として行う。従ってシンポジウムだけの参加は無料とする。

1) 開催場所・日時等：平成 12 年 11 月 6 日(月)13:30~17:00

早稲田大学国際会議場（井深大記念ホール）

2) テーマ：不均一温熱環境の国際規格－特に床暖房について

3) 講師・及びテーマ：司会：柄原委員長。講師 7 名のテーマを紹介。特に韓国の実態を知るために漢陽大学教授の孫氏を招聘し、またオルセン氏には ISO の制定の経過の説明に加え、日本の実態の理解のため講師として参加して貰う。

都築委員から各講の師紹介、テーマの位置付けについて解説された。

4) シンポジウムの狙い

ISO の規格に対する提案の方向付けを行うことを目標とする。これまでこのようなテーマで関係者が一堂に集まり討議された例が少ない。その意味でも日本の中での相互の意識確認のためにも役立つと考えられる。

5) 予稿集について

学会の予稿集とは別に、シンポジウム単独の予稿集と資料集を作成する。学会の会員の方には資料集を配布し、シンポジウムだけの参加者には予稿集を配布する。(目次一覧添付)

6) その他

シンポジウムの広報状況について資料に基づいて説明（事務局）

以上について質疑を行い特に大きな問題もなく承認された。

## 3. 個別課題の進捗状況について

1) 人体熱モデルを使用した評価技術の開発（資料 審議 2－3－1）

資料に基づき本年度の研究内容について説明された。

本年度は、床暖房時の床近傍の自然対流や輻射の影響－特に上下の温度差を考慮するために

①環境実験室での温度、室温等を計測し、このデータをシミュレーションに反映させる。  
②8名の被験者実験を行い、21℃の均一環境での生理反応を計測し、人体熱モデルによるシ

ミュレーション結果と対比し均一状態での人体熱モデルの精度を検証する。

③上記の被験者実験により生理反応から温冷感を予測する関係式を開発する。

以上の説明の後、床暖房方式について、環境実験室の壁面の状態、気流の条件、着衣の条件等について質疑、討論が行われた。

2) サーマルマネキンによる評価技術の開発（資料 審議 2－3－2）

資料に基づき不均一温熱環境評価法としてサーマルマネキンの有効性を確認するための被験者実験について説明がなされた。

被験者を行うとともに、同じ条件でサーマルマネキンを用いて計測し等価温度等を測定し、マネキン実験と被験者実験の評価結果を比較検討し有効性を確認する。

- ①環境条件として気温、気流を変えた4条件 ②被験者として健康な男子学生20名
- ③衣服はパンツ、長ズボン、半袖Tシャツ、靴下を着用（マネキンも同様）
- ④測定部位：全身を20部位に分割し部位毎に、皮膚温、熱流量を計測する。
- ⑤データ採取：全身の温冷感、全身の快適感をISOの基準に従って申告により採取
- ⑥実験手順：身体に各種のセンサーを取り付け実験室ないで座位にて安静にし、皮膚温、熱損失量を測定し、その後温冷感、快適感の申告を受ける。

以上の概要説明の後、着衣のclo値、材質について、安静時間、室内環境に対応するまでの時間等について質疑討論を行った。計測センサー等を取り付けるのに約60分掛かりかなり時間が要するとの説明もなされた。サーマルマネキンとして評価方法の提案を行うのか、具体的な提案について質疑がなされ、今後のデータによっては提案の内容も変化していく。

### 3) 局所温冷覚被験者実験について（資料 審議2-3-3）

資料に基づき説がなされた。特に高齢者や女性の被験者を採用するために、今後環境温度を寒くない温度（28°C）を採用する。

- ①実験は、約25mm×25mmの刺激部（加熱・冷却）を被験者の各部位に当て、約0.3°C/secの条件で加熱、または冷却し被験者が熱さ又は冷たさを感じる温度を計測する。
- 人体の部位は、10~20部位を予定している。

- ②被験者は60才代の高齢の男女、20~30才代の男女各15名以上を採用する。

- ③実験は10月中旬からスタートする予定であるが、予備実験、計測器の調整等を行ってから実施する。

- ④測定項目は一般項目として皮膚温、体内温として口腔温、耳内温、身長、体重、皮下脂肪等を測定し、身体各部の温度、温冷感、快適感等の主観申告によるデータを採取する。

これらの被験者実験では、刺激部の人体各部位への当て方が重要であり、訓練を下計測者が実験を行う必要がある。予備実験等を行い計測の部位、方法を決めてゆく予定である。

以上の説明の後、部位毎、年齢の違い、個人差の有無、局所温冷覚刺激実験の動的温熱環境での位置付けやサーマルマネキンへの展開等の質疑討論がなされた。

### 4) 非定常温熱環境評価実験の経過について（資料 審議2-3-4）

資料に基づき説明がなされた。特にこの被験者実験は平成12年6月6日～7月25日に実施され、現在採取したデータの解析中である。

- ①実験は、健康な男子学生32名にて、暑熱環境→空調室(30名)、空調室→暑熱環境(15名)の2種類のトランジエント状態について実験を行った。

- ②環境測定：気温、湿度、グローブ温度、壁面温度等を計測。③生理量として皮膚温、体重
- ④心理量として、温冷感、快適感、許容度、満足度を申告により2分間毎に採取。

1実験に要する時間、1日に実施する回数、時間印紙の取り扱い等について質疑討論された。また、被験者の状態により変化するものとして、朝食の状況、昼食の条件（厳密には揃っていない）、使用する椅子の条件等についても質疑が行われた。

以上個別課題についておのおのの質疑討論を経て進捗状況、実験の計画等が承認された。

以上

### (3) 第3回委員会

## 議事録

1. 会議名 : 平成12年度 第3回動的温熱環境標準化技術審議委員会
2. 議題 : シンポジウムまとめおよび個別課題と事業目標
3. 開催日時 : 平成13年3月5日(月) 14:00~16:00
4. 開催場所 : 航空会館 502会議室(港区新橋1-18-1)
5. 出席者 : 栢原委員長 池田 磯田 澤田 長野 松尾 山崎各委員  
オガサハ : 新谷(NEDO) 桂(KRI) 橋本(JSA)  
HQL : 大矢 渡辺
6. 作成日 : 平成13年3月9日 担当: 渡辺

### 【議事概要】

平成12年度 第3回委員会の議事次第、資料一覧、出席表は別紙参照

今回は、年度まるであり個別課題と事業目標を中心に、(1)シンポジウムのまとめ、(2)個別課題の進捗状況 (3)個別課題と事業目標の考え方議題として討議を行った。

以下にその概要をまとめる。

### 1. シンポジウムのまとめ (資料 審議3-1)

資料に基づき、昨年11月6日早稲田大学国際会議場で開催したシンポジウムについて、PR状況、参加者の概要、当日の討議の結果について事務局より報告した。

特に、シンポジウムのまとめは、動的温熱環境標準化技術開発委員会で討議しまとめてきたものである。また本結論をISOの委員会に栢原委員長が報告する予定である。

尚、集計した参加者は、学会会員以外で当日シンポジウムだけに参加された人数である  
上記説明に加え、委員長から以下のコメントがあった。

オルセン氏のコメントにもあるように非常にたくさん研究があることを解って貰ったと思う  
し、2つのISOの改訂に合わせて(ISO7730、CD13732-2の改訂)我々の感和えを活かして  
ゆきたい。具体的にはISOの委員会に報告する。さらに改定案として提案してゆく。

Q. 討議のまとめの第3項について(部屋の広さと平均放射温度の関係)、床に敷き詰める暖房の広さが狭いと有意味か、また、床面積と暖房面積の比が小さい言うことなのか。

A. 具体的には部屋が狭いためと言うことであり、部屋が狭いと形態係数が小さくなり、他のものが変わらないから、相対的に部屋の温度が低くなる。

ISOの基本的な考え方は、ISO7730が存在することが前提で不均一温熱環境の数値がある。  
従って前提がない条件で温度だけで議論すると意味がおかしくなる。

討議のまとめについての質疑討論で、第5項の温水式と電気式の暖房方式と快適範囲についての討議がなされた。表面温度が同じでありながら改訂範囲が違うのは、接触している部分での

温度が電気式では高くなるためのあり、数値的な記述をするときは加熱方式を明記しておくのが望ましい。その他最近の温水方式、電気加熱方式のカーペットとその制御方式による、平均温度／局所の温度／快適等について討議された。

Q. 当日の参加者の概要はどのような内容であったか。

A. 当日の参加者について、HQL 会員企業の参加者、非会員の参加者についてその概要を説明。非会員の企業では、昨年の 3 月に開催したオルセン氏との討論会に参加した企業や、業界紙代表の参加等があった。

## 2. 個別課題の進捗概要

1) 人体熱モデルによる評価技術の開発（資料 審議 3 - 2 - 1 参照）

資料に基づき進捗状況の説明がなされた。特に熱環境数値計算（CFD）と人体熱モデルとの組合せで数値計算データベースを構築し、被験者実験の結果によるデータベースの補完を行うことを目的にしている。

そのために資料にあるように、熱環境計算手法を確立するために実際の環境実験室の環境を実測し比較した結果、人体熱モデルのシステムの改良と被験者実験の状況と検証について説明された。

Q. 最終ページ資料にある部位別の皮膚温分布を求めるために環境実験室の計測が必要なのか。

A. その通りです。今の資料は、概要を理解するために作成したもので、輻射やその他の影響を考慮していないので部分的にずれがあります。

特性を考慮しなくてこれだけ一致するのでかなり良い結果になると思います。

Q. データベースの補完を行うとのことですが、具体的にはどんな使い方になるのですか。

A. 被験者実験として 9 条件行っていますが、この間にある環境温度、例えば 19°C、20°C で床暖房温度が 17、18°C の場合にどのようになるかを考えた時、この条件を与えてシミュレーションを行えば実験していいところの結果が得られることになる。

補完の意味は、基本的には人を基準にとるが、それ以外の条件の場合や、多数の回数を行うようなばあいにはこれを使って行うことです。

Q. ある何点かの条件で実験を行い、それに対してモデルを追わし込めば、他のいろんな条件下のデータも実際に測らなくてもかなりの精度で推測できると理解して良いか。

A. その通りです。

(3) 第3回委員会

## 議事録

1. 会議名 : 平成12年度 第3回動的温熱環境標準化技術審議委員会
2. 議題 : シンポジウムまとめおよび個別課題と事業目標
3. 開催日時 : 平成13年3月5日(月) 14:00~16:00
4. 開催場所 : 航空会館 502会議室(港区新橋1-18-1)
5. 出席者 : 栃原委員長 池田 磯田 澤田 長野 松尾 山崎各委員  
オブザーバー: 新谷(NEDO) 桂(KRI) 橋本(JSA)  
HQL: 大矢 渡辺
6. 作成日 : 平成13年3月9日 担当: 渡辺

### 【議事概要】

平成12年度 第3回委員会の議事次第、資料一覧、出席表は別紙参照

今回は、年度まるであり個別課題と事業目標を中心に、(1)シンポジウムのまとめ、(2)個別課題の進捗状況 (3)個別課題と事業目標の考え方議題として討議を行った。

以下にその概要をまとめる。

### 1. シンポジウムのまとめ (資料 審議3-1)

資料に基づき、昨年11月6日早稲田大学国際会議場で開催したシンポジウムについて、PR状況、参加者の概要、当日の討議の結果について事務局より報告した。

特に、シンポジウムのまとめは、動的温熱環境標準化技術開発委員会で討議しまとめてきたものである。また本結論をISOの委員会に栃原委員長が報告する予定である。

尚、集計した参加者は、学会会員以外で当日シンポジウムだけに参加された人数である上記説明に加え、委員長から以下のコメントがあった。

オルセン氏のコメントにもあるように非常にたくさん研究があることを解って貰ったと思うし、2つのISOの改訂に合わせて(ISO7730、CD13732-2の改訂)我々の感和えを活かしてゆきたい。具体的にはISOの委員会に報告する。さらに改定案として提案してゆく。

Q. 討議のまとめの第3項について(部屋の広さと平均放射温度の関係)、床に敷き詰める暖房の広さが狭いと有意味か、また、床面積と暖房面積の比が小さい言うことなのか。

A. 具体的には部屋が狭いためと言うことであり、部屋が狭いと形態係数が小さくなり、他のものが変わらないから、相対的に部屋の温度が低くなる。

ISOの基本的な考え方は、ISO7730が存在することが前提で不均一温熱環境の数値がある。従って前提がない条件で温度だけで議論すると意味がおかしくなる。

討議のまとめについての質疑討論で、第5項の温水式と電気式の暖房方式と快適範囲について

の討議がなされた。表面温度が同じでありながら改訂範囲が違うのは、接触している部分での温度が電気式では高くなるためのあり、数値的な記述をするときは加熱方式を明記しておくのが望ましい。その他最近の温水方式、電気加熱方式のカーペットとその制御方式による、平均温度／局所の温度／快適等について討議された。

Q. 当日の参加者の概要はどのような内容であったか。

A. 当日の参加者について、HQL会員企業の参加者、非会員の参加者についてその概要を説明。非会員の企業では、昨年の3月に開催したオルセン氏との討論会に参加した企業や、業界紙代表の参加等があった。

## 2. 個別課題の進捗概要

### 1) 人体熱モデルによる評価技術の開発（資料 審議3-2-1参照）

資料に基づき進捗状況の説明がなされた。特に熱環境数値計算（CFD）と人体熱モデルとの組合せで数値計算データベースを構築し、被験者実験の結果によるデータベースの補完を行うことを目的にしている。

そのために資料にあるように、熱環境計算手法を確立するために実際の環境実験室の環境を実測し比較した結果、人体熱モデルのシステムの改良と被験者実験の状況と検証について説明された。

Q. データベースの補完を行うとのことですが、具体的にはどんな使い方になるのですか。

A. 被験者実験として9条件行っていますが、この間にある環境温度、例えば19°C、20°Cで床暖房温度が17、18°Cの場合にどのようになるかを考えた時、この条件を与えてシミュレーションを行えば実験していいところの結果が得られることになる。

補完の意味は、基本的には人を基準にとるが、それ以外の条件の場合や、多数の回数を行うようなばあいにはこれを使って行うことです。

Q. ある何点かの条件で実験を行い、それに対してモデルを追わし込めば、他のいろんな条件下のデータも実際に測らなくてもかなりの精度で推測できると理解して良いか。

A. その通りです。

その他人体熱モデルの構成、条件として与えられるべき項目、ビジュアル化の程度、実測値と計算値の精度向上、図で表示された中の差異の程度等詳細な質疑を行い承認された。このシミュレーションシステムの公開などは、どのようにになっているのかとの質疑もあり、今後何らかの形で利用・確認ができるようにしたい。

### 2) サーマルマネキンによる評価技術の開発（資料 審議3-2-2）

資料に基づき不均一温熱環境評価法としてサーマルマネキンの有効性を確認するための被験結果について報告された。

熱損失量におけるサーマルマネキンと被験者の比較では、気流がないときや気温が高いときに両者が比較的一致し、気流があるときや、気温が低いときには差があるようである。

顔の部分での差が大きく出ているのは、人間では一点での測定であり、マネキンでは顔全体の値である。また、計測センサーが1cm×2cmの小さいものであるためと考えられる。

皮膚温の比較では、手などでは多少違いがあるがほとんど差がないと言える。

人体各部位ごとのマネキン等価温度と温冷感の相関を見た。各部位毎の相関係数を見てみるとかなり高いようであり、全身で見ると  $r = 0.8449$  であり、 $r^2$  が  $0.71$  となりかなり高い相関となる。最終的には各温熱環境における各部位と等価温度の関係を導き出し、快適範囲を作成することを目標としている。

今後の実験としては 80% の人が快適と感ずる範囲を導き出すことが必要で、これを 16 名位で実験し範囲を決めてゆく。

以上の説明の後討論を行った。ここで表されている温冷感は部位別に取ったものか、基準の温度、風の条件 0.1m と無風との違いや基準条件等について討議された。また、快適性の範囲を決めるのは部位に毎に決めるのか、パターンに認識的に行うのか。

### 3) 非定常温熱環境評価実験の結果について（資料 審議 3-2-3 参照）

資料に基づき暑熱環境から空調室に移動した場合の経時変化、および室温と温冷感についてその概要が報告された。

皮膚温は、暑熱環境（37°C）ではその環境にはいって 20～30 分で約 36.2 °C に安定し、空調室移動後は、20 分程度で安定する。空調室へ移動した後の皮膚温は、発汗の影響を受けているとみられる点がある。

この発汗の影響は空調室への移動後の温冷感にも現れている。（この解析結果については資料参照されし。）

温冷感のばらつき、日本から提案する場合の概要、オフィスの温度設定等の問題として提案するのか等の討議がなわれ承認された。

### 4) 局所温冷覚刺激実験について（資料 開発 3-2-4 参照）

現在被験者実験の最終段階でありその概要について資料に基づき説明された。詳細な解析はこれからであり、今回は実験の状況の報告であった。

今後の予定としては、これらの局所温冷感の結果を、人体熱モデルやサーマルマネキンなどの評価方法への反映のために、抹消の影響が出ないような条件について検討する。

以上の討議を得て全体としての進め方が承認された。

## 3. 個別課題の位置付けと事業目標について（資料 審議 3-3）

事務局より資料に基づき最終的に、床暖房、トランジエントの基準に対する改訂の提案、並びに不均一な温熱環境を評価する方法として人体熱モデル、サーマルマネキン方を提案する考えを説明した。

このような提案に対する西欧の対応としては、熱モデルを考えた場合、基本的には賛成だがどのようなソフトを使うかが問題になるだろう。日本でも同じことが言える。

以上

#### 4. 2. 2. 動的温熱環境標準化技術開発委員会

以下に委員愛の議事録を掲載する。

##### (1) 第1回委員会

### 議事録

1. 会議名 : 平成12年度 第1回動的温熱環境標準化技術開発委員会
2. 議題 : 平成12年度の事業計画
3. 開催日時 : 平成12年5月26日(金) 14:00~17:00
4. 開催場所 : 航空会館 705会議室(港区新橋1-18-1)
5. 出席者 : 栢原委員長 磯田 都築 竹森 長野各委員  
オペザーバー: 森田(MITI) 桂(KRI) 福田 峰岸(JSA)  
HQL: 大矢 渡辺
6. 作成日 : 平成12年5月30日 担当: 渡辺

#### 【議事概要】

平成12年度 第1回委員会の議事次第、出席表、資料一覧は別紙参照

本年度の第一回委員会の開催で、主要議題は(1)実施計画・研究計画の審議、(2)シンポジウムの基本方針の検討である。以下にその概要をまとめる。

#### 1. 委員長の選任

資料開発1-1委員名簿の紹介と、引き続き栢原教授を委員長に推薦し、委員の承認を得て選任した。

#### 2. 平成12年度委託事業実施計画の概要(開発1-2)

事務局より資料に基づき、本事業の考え方、目標を説明するとともに、昨年度の実施内容、本年度の実施事項について説明し質疑・討論を行った。

本年度は、計測評価、データの蓄積、並びに評価技術相互の整合性の確認を重点的に進め、標準化のための基本的なデータを蓄積することに重点を置く。また、本事業は平成13年度で終了するが、14年度以降も継続してISOへの提案のための活動を行う。

質疑

Q. ISO提案を13年度に行うための基本方向をまとめるのであれば、もっとターゲットなり項目を絞って行うべきでないか。より具体的に集約して行った方がよいと思うがどうであろうか。

A. 今年度の研究計画に関わることであり、また国際規格にもいろんな内容・段階がある。今ある規格の範囲について的確かどうかとの議論や、新しい評価手法が妥当かどうか、現在の規格に対する修正点、または新たな提案を含めてISOに提案することを検討する。

また、いかに集約するかは重要なことであり、これから13年度も含め検討していく。

事業は、13年度で終了となっているが、14年度には国際会議の開催することも予定してい

るので、シンポジウムの内容も含め日本の提案を行いたい。  
以上討議ののち承認された。

### 3. 各研究項目の研究計画の概要

1) サーマルマネキンの評価技術（柄原委員長の説明：開発 1 – 3 : 九州芸術工科大学研究計画）  
資料に基づきサーマルマネキンの評価方法についての実験の考え方について説明。

研究の目標は、不均一環境の評価方法を確立し、その有効性を被験者実験の対比により明らかにする。

不均一温熱環境の評価手法として等価温度を用いる。（サーマルマネキンの手法として常用）  
等価温度：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表すもの。（11年度成果報告書 p·71 参照）

具体的には、同一の不均一温熱環境に、サーマルマネキンと被験者を曝し、等価温度による評価と被験者の申告による評価を行い、その一致度を比較する。

環境条件として、風の強さ、風の当たる位置（前面、側面、後面）の条件を考えることを考えているこの実験を行う場合に、他の評価手法、熱モデル、局所熱感受性とも対比できるよう、実験条件等を 3 者話し合って検討して行いたい。

2) 被験者実験による環境の評価技術の開発（開発 1 – 3 : 非定常温熱環境評価実験計画概要）

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。この評価については ISO の改定案でも具体的な内容が明らかでなく、30 分以上経たないと評価できないとしているのみである。実際には時間との関係でどれくらいの不満足者率があるか検討した例がなく、今回この点をクリアーにする。

具体的な研究計画について資料に基づいて長野委員より説明があり、2 の環境実験室を使い、被験者 20 名以上（九州芸術工科大学学生を採用）で、空調環境 4 条件、暑熱環境 3 条件の組合せで 6 条件のデータを取る。環境計測項目、人体計測項目は資料参照。

尚、心理量の評価は 2 頁目のアンケート用紙により 2 分間毎に申告を行う。

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

この件に関しては、上下温度差を含めた床暖房の評価基準について本年度シンポジウムを開催することを重点とする。

以上 3 項目について討議を行った。

### 4) 質疑

Q 非定常の実験で温度差が 3 ℃で行う提案になっている。最近の室内外の温度差は、5 ℃以内あるいは、7 ℃が提案されているのが多い。また 22 ℃、25 ℃は空調でも寒い環境で、省エネでも 28 ℃が推奨されているが、25 ℃を中心に設定されているが少し寒いのではないだろうか。

A. 予備実験での状況では、少し低めであるように思われる。温度的には、オフィスの温度設

定や、デパートの玄関だけ低くしている等いろんな環境で設定されている。温度的にはこれから設定を検討できる。トランジエントを考えた場合、生活するのとは別に低い環境もあり得ると考えられる。

Q. 温度の設定、それ以外にも男子学生で実験をする等の設定になっているが、この条件について根拠となる基準が何かあるのでしょうか。国際規格化の汎用性・説得力があるのか。

A. このような実験では部屋の数、裸になって時間を要する、女性の生理等から順番として男子からスタートするのが一般的である。また、34°Cについては日本の夏として一般的にとられる条件で、現実的環境である。ヨーロッパでは34°Cはあり得ない環境である。

アメリカの一部では有るが、ヨーロッパ特に、デンマーク、スウェーデンではあり得ず、その面では、よくある30°C以下、めったにない37°Cを選んでいる。25°Cは空調の場面ではよくある条件である。これを高くしようとの動きはあるが実際には25°Cくらいが多い。トランジエントでは一回は良い気分になるとの考えも込めている。予備実験の結果を見て全体的に温度について検討することも考えられる。

Q 生理量を測定するのにやはりアンケート以外の方法はないのだろうか。

PPDを測定するのになにを指標とするかを考えた場合、基本的には本人が「気分が良い」かどうかであり、勝手にこちらが良いはずだと決めることはできないのでアンケートが多い。

Q 温度条件等色々あるがマネキンの試験方法そのものがISOに提案できるか。

A. マネキンに関しては車両ないの温熱環境の評価手法としてWDの段階である。マネキン自体はいずれも欧州のマネキンが対象となっている。日本で作れないかと言えばできると思う。特許があるわけでもないし、多少のノウハウがあるようだが極めて高価である。

以上のほか、個々の実験条件（着衣、スリッパ）、施設内容（壁、床他）、実験期間、湿度を変える場合、暖房の環境の場合等について討議された。

結論として温度の設定については高くするとの意見もでており、予備実験の結果を検討して対処する。その他の項目については3テーマの連携をとって進めることとなった。

##### 5) 身体各部位の温熱感受性の解明（開発1－3：共同研究の12年度研究計画）

資料に基づいて昨年度の研究の概要と、本年度の研究の中心について説明。

本年度は、局所温冷刺激装置を使って身体各部位（頬、腕、手、足の各部等）の温熱感受性を検討する。刺激装置により加熱ないし冷却した場合に、熱さ、冷たさを感じる温度を被験者の申告で（SWを押す）測定することになり、各部位の温度に対する閾値を得ることができると考えられる。

20名以上の被験者について実験を行い、データ収集を行う予定である。

得られたデータの整理・活用方法についての意見やそれらを使用した温熱感受性に基づく環境評価などの有効性などについての質疑応答ならびに有効性について議論された。

上記の実験は接触による加温・冷却であるが、現実的には、接触の例は限られているため、気流による温熱感受性の検討を行う必要性についても議論された。

また、ISO/TC159に関連したドラフト感についての論文がドイツから発表されており、それら

を考慮する必要があるということも付け加えられた。

#### 4. シンポジウムの開催について

シンポジウムの開催について討議し、以下の概要にて進めることとに決定した。

##### 1) 連携する関係学会について

学会名：人間－生活環境系会議（会長 田村 照子 文化女子大学 教授）  
事務局：文化女子大学 被服衛生学研究室

##### 2) 開催日時

平成12年11月5日（日）～6日（月）に開催される第24回人間－生活環境系シンポジウムの1セクションを、本事業のテーマで開催する。

日時は、基本的に午後の開催とするが、学会事務局と折衝の上決定する。

##### 3) 開催場所：早稲田大学 国際会議場（井深ホール）

##### 4) シンポジウムの概要

本シンポジウムの開催については、すでに学会の理事会の承認を得ている。

最終決定は学会の理事会（7月開催）の承認によるが、以下の内容について提案する。

①11月5、6日のいずれかの午後、3時間位を当テーマについてのシンポジウムとする。

②当センターは学会と共に開催する。（学会からHQLに共催願いを出す。）

③当センターが行うシンポジウムは公開講座とする。

(1) テーマ：不均一温熱環境の国際標準－特に床暖房について

(2) 司会：桝原委員長

(3) 講演者：磯田委員 堀越委員(or 渡辺) 永村(大阪市大) 坊垣(建研) 山岸(新潟県立大)氏の順で依頼 海外研究者：Olesen(来日中) 孫(韓国代表：招聘)

講演者から10～15分程度、テーマに関する見解を述べてもらう。

磯田委員：電気カーペット、温水床暖房などの違いについて

堀越委員（渡辺氏）：研究のレビュー

永村氏：低温火傷に関する研究

坊垣氏：日本の研究の歴史・研究の流れ

山岸氏：

Olesen氏：PMV,PPDの新提案を検討中でありこの考え方。（別の学会で来日中）

孫氏：オンドルや韓国の実態について。

尚、講演者への依頼は桝原先生が行い、6月中には決定したい。

##### （4）予稿集

・学会が作成する要旨集のうち当シンポジウム部分を、別冊として表紙をつけて作成する。

## 5) 今後スケジュールと担当

### (1) 概略スケジュール

- ・5月26日：第1回開発委員会：基本案検討・決定
- ・6月19日：第1回審議委員会：討議
- ・7月：学会理事会に提案
- ・8月21日：第2回開発委員会
- ・11月5～6日・シンポジウムの開催

今後7月の理事会に詳細内容を提案し承認を得る。

### (2) 担当業務

主に柄原委員長とHQLが分担して進める。

#### (1) 柄原委員長

- ・パネラーへの出席依頼
- ・理事会への説明
- ・その他

#### (2) (社)人間工学研究センター

- ・必要な予算の検討（講演者の謝金、韓国からの招聘、予稿集）
- ・本シンポジウムのPR（HQL会員企業その他へのPR、ホームページに掲載する等）
- ・本シンポジウム用の予稿集の作成

以上

## (2) 第2回委員会

# 議事録

1. 会議名 : 平成12年度 第2回動的温熱環境標準化技術開発委員会
2. 議題 : 個別課題の進捗状況他
3. 開催日時 : 平成12年8月21日(月) 14:00~17:00
4. 開催場所 : 京都リサーチパーク(株)
5. 出席者 : 栃原委員長 磯田 都築 竹森 長野 堀越各委員  
オフザーバー: 新谷(NEDO) 桂(KRI)  
HQL: 大矢 渡辺
6. 作成日 : 平成12年8月28日 担当: 渡辺

### 【議事概要】

平成12年度 第2回委員会の議事次第、出席表、資料一覧は別紙参照

主要議題、(1)個別の実施計画、(2)シンポジウムの開催、(3)関連する言葉の定義について討議を行った。今回は、評価技術の一つとして検討している「人体熱モデル」の概要について竹森委員から説明を受けた。以下に議事の概要をまとめます。

### 1. 個別課題の実施計画

#### 1) 人体熱モデルの概要について

人体熱モデル: 「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をモデル化し、数値解析によって人体皮膚温等の生理反応を予測するためのモデル」

開発の経緯、特長等について、資料・ビデオにて説明があり、質疑を行った。

#### 2) 人体熱モデルの実施計画について(開発2-1-1参照)

資料に基づき12年度の実施計画が説明され質疑討論を行った。

Q. 床座の姿勢についてはどのような形になるのか。

A. お尻をつけて足は投げ足の状況で考えている。

Q. この被験者実践での床暖房の目的は何処にあるのか。着衣1.0cloはどの程度の環境を考えているのか。

A. 一般的にトレーナーの上下、長袖シャツで考えており約1.0clo弱になる。

Q. 日本の木造家屋では冬場に10~15℃になることは間々ある。環境温度/床暖房の温度のバランスを考え、もう少し低温の環境温度を考慮する必要はないだろうか。

A. 確かに少し高めにシフトしているので低温の方についても調整する。快適なところを中心にして上下に振る方向を考える。

その他、被験者実験の施設の大きさ、床温度の計測の方法、床温度分布、気温の計測、気流の

計測等について討議された。

3) 局所温冷覚被験者実験について（開発 2－1－2 参照）

昨年度製作した温冷覚刺激装置を使い「身体各部位の温覚・冷覚閾値を計測する」計画について説明があり討議を行った。現在、計測のために装置の調整中。

Q. 計測前にどれくらいの時間をかけるか、被験者の熱的状態等が一定になる条件を設定することが必要ではないか。多数の実験を行うのであれば季節の影響、実験順番等を考慮する必要があるのではないか。

A. 極力外部の影響が無くなる条件を設定する。

その他、血流の計測、刺激の大きさ（面積）、人体熱モデルの中にこの成果が組み込めるか、加熱の速度、年齢と機能と計測応答性、局所刺激と感覚等について討議された。

4) 非定常温熱環境評価実験の経過について（開発 2－1－3 参照）

6月6日～7月25日までに実施した被験者実験の経過について報告された。

全被験者32名　暑熱室→冷房室：30名　冷房室→暑熱室：15名　両方参加：13名  
得られたアンケートの回答約14,000枚：現在解析のために電子化を進めている。

Q. 室間の移動時間はどれくらい掛かるのか。

A. なかなかスムースに行かない。通常では2分くらい、3分以内に収まっていればだいたい良い。部屋の間が約3mあり、サーミスター・センサーをつけての移動であり時間が掛かる。

Q. 何か差がでてきているか。

A. 2分間ごとにデータを取っており経時的な差がでることを期待しているが、まだ解析できていないので何とも言えない。

以上3つの個別課題について討議・審議され、討議内容を考慮し実験を進めることで承認された。

## 2. シンポジウムについて

1) これまでの進捗状況（開発 2－2－1 参照）

平成12年11月6日開催するシンポジウムについて都築委員より進捗状況が報告された。概要は以下の通り。

- ①8月11日開催の学会の理事会に企画委員会（学会）として、趣意書（開発 2－2－1）に基づき「11月6日の午後は趣意書のテーマで共催することを提案」し了承された。
- ②学会の予稿集の原稿をそのまま、本予稿集に使うが、原稿仕様が未だ決まっていない。
- ③個々の講演者との折衝は、Olesen 氏は9月20日までに原稿はOKの返事を得ている。孫氏もOKの返事を貰っている。（柄原委員長）

### 「討議」

学会との共催について、今回の「不均一環境に関する快適性」に関するテーマは、関連する学会も色々あり、意見のできるところだろうから、広く他の学会にも声を掛けた方が良かったのではないか。建築学会のサブワーキングでも検討していることであり考慮できたと思う。

国際標準の話であり日本の中では人間工学会にも話をした方が良いのではないか。

人間－環境系会議として関連学会と協賛しているが、その中の1シンポジウムとして「不均一温熱環境」を特別に人間生活工学研究センターと共に開催するのであり、会員以外でも無料で参加できるなど、色々情報を提供した方がよい。討議の結果以下の措置をとることとした。

### 「結論」

共催について、今から対処できないところもあり、今回の開催について、人間工学会、建築学会など関連する学会に情報提供することに決定した。広く関係する方々の意見ができるような方法を取る。例えば、建築学会の雑誌に案内を出して貰うようにする。

## 2) シンポジウムの論点の整理（開発2-2-2参照）

事務局の主旨：ISO 提案のステップとして位置付けているが、委員会として具体的にどんな内容を基準化しようとしているかを明確にしておく必要があるだろうと考え提案した。提案内容を具体化してシンポジウムに出した方が良いと考えた。

### 「討議」

今回、事務局の提案は少し無理があるのではないか。現実的には未だ早い。今回、提案すると「唐突」との印象になる。国際標準に関連する研究をしている研究者が多数有り、これらの意見をすべて考慮されたうえでの提案ではない。

委員会で提案をまとめるのであれば、第一回のシンポジウムで各研究者の意見がでて、それをまとめるなどのやり方が必要ではないか。

国内での意見がどの方向に向いているか意見を得る情報収集の場、また快適性の範囲が19～29℃と出ているが、これに関して日本からこれでよいのか意見を集約させる場と考える。既に、ISOで基準案が出ていることを知って貰うことが必要であり、学会の場で提案することは、学会としての見解と取られることになる。それにはそれなりの手続きが必要である。いずれにしても、基準値を決めていく場合には、関係する学会を巻き込まないと相互に理解された基準にならない。

### 「結論」

今回は、本意委員会で「不均一温熱環境の国際標準の検討」を行っていることを先ず知って貰う。この行っている主旨・内容を説明し関連する方の意見等を集めます。

従って今回は意思表明であり、関連の研究者、データの保有者の意見を求める形を取り、その後再度シンポジウムを開くか意見のまとめかたを考える。本事業は3年間で行うものであり、ISOの改訂について出来るだけ方向付けを行うよう進める。

具体的には、シンポジウムの開催に当たり、司会者の方から、ISO が既に提案した基準、これに対する我々の提案・考え方を説明する。場合によっては ISO の資料提出も検討する。

### 3. 動的温熱環境標準化に関する言葉の定義について（開発 2－3 参照）

第一回動的温熱環境標準化技術審議委員会にてトランジェント／非定常との関係で言葉の定義が問題となり、今回関係する資料から言葉の使われ方等をまとめた。

非定常について、drift、ramps、cycles、transients についての考え方、位置付けについて説明があった。

資料の中の不均一／非定常の概念については、この考え方でよいのではないか。

非定常について、non-steady state・・・となっているが、un-steady state・・・と表現されるのが普通である。

具体的な言葉の定義を、都築委員の協力を得て整理する。

### 4. その他

#### 1) 次回の開催について

10月16日（月）：第2回動的温熱環境標準化技術審議委員会

11月7日（火）：第3回動的温熱環境標準化技術開発委員会

#### 2) HQL ニュースについて

社団法人人間生活工学研究センターで実施して HQL ニュースを発行している。希望のある方は電子メールで送付している。この委員会のメンバーで希望があれば連絡して下さい。

#### 3) 前回の議事録

同封しているので意見がある場合に事務局に連絡を下さい。

以上

### (3) 第3回委員会

## 議事録

1. 会議名 : 平成12年度 第3回動的温熱環境標準化技術開発委員会
2. 議題 : シンポジウムのまとめ、課題の進捗状況他
3. 開催日時 : 平成12年12月15日（金） 13:00～15:40
4. 開催場所 : 東京 新橋 航空会館
5. 出席者 : 委員 : 栄原委員長 磯田 都築 長野 堀越各委員  
オブザーバー : 桂 (KRI) 栗原 (MITI) 新谷 (NEDO) 橋本 (JSA)  
HQL : 大矢 渡辺
6. 作成日 : 平成12年12月18日 担当 : 渡辺

### 【議事概要】

平成12年度 第3回委員会の議事次第、出席表、資料一覧は別紙参照

今回の主要議題は、(1)シンポジウムのまとめ、(2)個別課題の進捗状況、(3)事業の目標と規格提案内容 でありこれらについて討議を行った。討議の概要は以下の通り。

### 1. シンポジウムのまとめについて

シンポジウムの開催概要、開催案内の送付先、参加者の概要について、資料開発3・1により事務局から報告。

シンポジウムのまとめとして、本委員会で討議し床暖房についての方向付けを行うための討議を行った。参考資料としてシンポジウムで出た質問内容をまとめ各委員に配布した。

委員長からQ&Aとして作成するよう要請有り、後日事務局でまとめる。

### 【シンポジウムのまとめの討議概要は以下の通り。】

- 1) オルセン氏の講演に対する田中先生の「湿度についてどのように考えるか」との質問に対し、「この流れと湿度の問題は特別に考えていない。湿度の問題は別な観点からの評価が必要ではないか。」
- 2) 渡辺先生に対するオルセン氏の「上限37℃は高いのではないか」との質問について、これが床暖房を考えるときの一つの大きな問題となる。  
この高温があると言うことを認識して欲しいとの答えであった。

ISOの接触に関して3部作があり、1. 熱、やけど、2. 快適性、3. 補償であり、安全性に関する基準が別にあるので、その中で床暖房のに関するものは快適性の評価を目的にしている。

持田先生の話、設計と評価の問題について具体的な条件の選定された考え方等について質問があ

り、桑澤先生からそれぞれの限界線の作成は実用上の判断を加えて行ったとの説明があった。個々の質問と回答は別途作成する質疑応答集を参照されたし。

今回のシンポジウムで主に出てきたこと

1. 床温が日本・韓国で高いのは、暖房方式による違い、床座を含めた生活様式の違いから来ていることが大きい。
2. 热収支の実験によって基準値を決めるべきではないか。

オルセン氏にシンポジウムに参加して分かったこと、その他感じたことについてコメントを出すように求めているが、期間的に短いので未だコメントは届いていない。

#### ISO7730 の改訂の動き

このシンポジウムで「今ある基準をどうすれば良いかを出したかったがそこまではでなかった」。ISO の資料集にあるようにオルセン氏がやろうとしている 7730 に関しては、改訂の最中で CD の段階であり、2000 年 1 月が第一段階、2002 年 7 月がファイナルターゲットになっている。

その中にどのように入れていくのが可能である。ただ、13732-2 に関しては投票が終了しており、TS (technical specification) になっている。改訂は基本的には 5 年後、いつでも意見があれば文章で提出とのコメントが付いている。英語のチェックが終わると TS になる。この中では数値的にはほとんど変わっていない。靴を履いた状態で温度 19~26℃ にしようと言うことは、前の 7730 と同じである。ただ、素足で床に座る場合には、低温やけどの心配があるので気をつける。床暖の場合には、どのような素材の場合には 1 分間の床座でどの範囲がよいかについて床材毎に適する温度範囲が記載されている。今回の我々の結論を、すでに出された温度が 19~26 度がよいの中に、どのように入れることが出来るのか問題になってくる。

#### 【 今後の方針の討議 】

19~26, 19~29 に関する数字について、シンポジウムの結果から少し変えて良いのではないか、未だ早いのかについて、論議し考えていきたい。

##### 1) 床との関わりでの住宅の断熱性

日本の場合とヨーロッパの場合で建物の断熱性が違う。その場合、加熱量に対して暖房の熱負荷で室温が決まってくる。従って室温は、加熱量の関わりが断熱性能を表しておることになり、ヨーロッパでの議論、即ち、ヨーロッパでは断熱性能が高いからそんなに加熱しなくとも室温が高くなり、日本では断熱性能が低いため、更に室温を上げながら加熱量を増して室温を補うようなことが必要であり、床温を上げないと快適にならない。

床温の上限を決めるのには断熱性能を考えておかないといけないし、热収支も絡んでくる。どのように関連づけるか検討しなければならない。

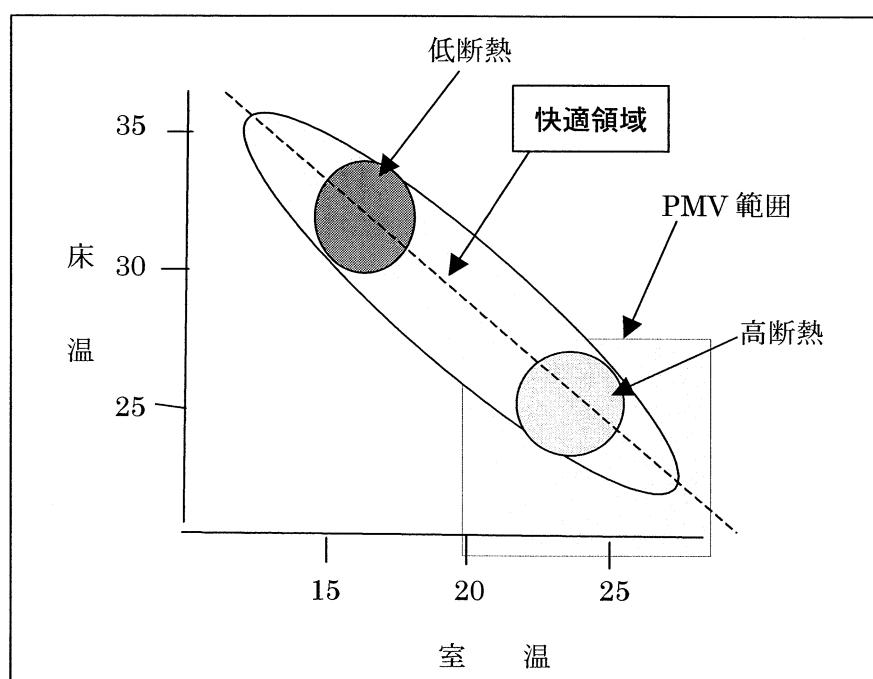
### 柄原先生の提案

発表された先生方の内容を大まかに見ると、オルセン氏の新しい提案では、快適性をあまり望まない範囲として17~31°Cの床温があり、空調学会では25~31°C、その他のデータで18~32°Cのものもある。範囲から見ると上はあまり変わらないが、下が少しずつ違っている。

### 磯田先生のコメント

これまでの実験に関して下図を使って室温－床温と快適性の範囲についての見解が説明された。

室温と床温と快適範囲の概念図



床温と室温との関係で快適な領域を見ると、概略左上がりの線で、その領域として楕円の範囲が快適領域と考えて良い。

室温が15°Cの場合には左上の方が快適な領域と言えるものであり、また温度が高く20~25°Cの場合には、床温は25°Cを下回る範囲快適な領域があると考えられる。

すなわち、縦軸の床温は、ある面で部屋に対して加熱量を表しているものであり、高断熱の場合は、25°Cの床温であっても断熱量が大きいから室温も高く維持することが出来る。

これに対して、低断熱の方は加熱量を増やしていくないと室温を維持することが出来ない。このような考え方でこの線の上に快適な温度が乗ってくるであろうとの考えで、快適範囲を決めてきていた。

断熱の性能が違えば当然、床温を上げてやらないと熱バランスがとれないし、室温も維持できず、人間にとっても快適な条件でなくなる。

### 柄原先生のコメント

まとめると 19~26°C、19~29 度というのは断熱性の高い住宅の環境での快適な範囲といえ、断熱性の低い東アジアの住宅環境では床温を高くしないと、室温も上がらないし快適な環境も得られないと言える。

### 堀越先生のコメント

快適範囲は、第 1 次的には床温と室温の組合せで決まるだろうが、ラディエーションの大きさが違う。日本の家の大きさは例えば、4畳半や 6 畠であり、ヨーロッパの部屋はもっと大きいため、低温であっても放射量が違うので熱量を考えるべきである。

TS というのが熱量の二乗に関係すると考えていかないといけない。

平均放射温度で表現するのであれば良いのだが、床温で表現するのは相当無理がある。床暖房だから床温でコントロールするのではない。床からの放熱量だから放熱量でコントロールするのであれば問題ない。また、電気暖房と温水暖房とでは違いがあり、電気暖房の場合であれば床温を決めない。従って床温での表現は考え直すことが必要である。

どのように表現（記述）すべきかについての議論。特に、ISO では明らかに数値が出ているがこれをどう考えるか。

数値だけ取り上げるのでなく、PMV の考え方は一応熱収支から出ているのである。これを満たした上で、床温が限界表現として与えられている（ISO の考え）。だから我々が考えているのとは違うものであり、床暖房での数字ではない。

PMV が満足された上で表された数字であり、PMV を満足する範囲で床温はこの範囲にしなければならない数字である。従ってこれは基準でなく限界であると考えられる。

例えば低温やけどが 35°C で問題となれば、図の中に 35°C の制限ラインが設定されることになる。このような味合いの制限条件であると考えられる。

### 柄原先生

日本で PMV が何故使われないか

PMV の範囲内にないのに無理遣り使わせようとしているからと考えるのか。

逆に室温を上げなければならない環境にあるため床暖房をしている。

韓国も同じように考えられる。

### 湿度に対する考え方

ヨーロッパでは湿度のことを考えなくても良い。アメリカは広い温度範囲を持っていて風土が違うので ISO には乗り気でないし、イタリア、スペインでも北欧とは違う考え方をしている。

柄原先生

我々の意見を言うとしたら、住宅の断熱性能、熱環境の違いで、範囲を区別する形にすべきか。

堀越先生

住宅の条件と言うより、むしろ熱収支に立脚した方法であればどこでも利用できる。単に断熱性の問題でなく考えられる。単に床温でなく、平均放射温／床温／気温の関係で基準化することが考えられる。

表現の仕方として PMV／床温の組合せ、or 連携させた形で表した方がよい。しかし、日本の高湿度環境は適用しにくい。夏の期間を利用できなくなるのは問題である。

関連して、PMV、ISOに対するアメリカ、南ヨーロッパの取組も紹介され、現状の ISO7730が北欧中心に決められており、世界的に利用されていないのが実状である。

## 2. 個別課題の進捗状について

### 1) 人体熱モデルによる評価技術の開発について

開発 3-2-1 に基づき説明がなされた。

①床暖房による自然対流や輻射の影響を考慮するため、被験者実験を行う環境試験室でのデータを計測し、床近傍での実態をシミュレーションに反映させる計画について説明・討議された。

②生理反応から温冷感を予測するための被験者実験の計画について説明・討議なされた。

何れも前回の委員会でも意見交換され、それを考慮して計測条件がつかされた。

本実験は 12 月に予備的なシミュレーションを行い、1 月から実験との対比を行う予定。

### 2) サーマルマネキンによる評価技術の開発について

開発 3-2-2 に基づき不均一環境におけるサーマルマネキンと被験者実験の結果について報告がなされた。

本実験は、実験終了した状況であり、データの解析等は今後に期待される。実験としては

①健康な男子学生 20 名を対象に不均一環境で、環境温度、風速を変え、合計 4 条件で計測し、身体 20 部位の熱流量、皮膚温を計測とともに温冷感、快適感を案家とで取得した。

②サーマルマネキンを使い、環境温度を変え、人体と同等の場所の皮膚温、熱損失量を裸体の場合、着衣の場合を計測し基礎データを入手した。

更に、被験者実験と同じ 4 条件で 20 部位及び全身の熱流量と等価温度を計測した。

これらの結果について、マネキンの各部位と等価温度の関係、風速を変えた場合の身体各部位の熱損失量、温冷感とマネキン等価温度の関係等が速報的の報告された。

### 3) 非定常温熱環境評価実験の結果報告について

開発 3-2-3 に基づき前回の委員会に報告された内容に、更に解析を加え報告された。解析は以下の項目についてなされ、その概要が報告された。

暑熱環境から空調室へ移動した場合の

①温度の影響、②平均皮膚温の変化、③心理量の変化（温冷感について、不快感について、その他）についてグラフを交え報告された。

### 4) 局所温冷覚刺激実験について

高齢者、若年者について予備実験を開始し、その結果から 1 月から、高齢者（60 才以上の男女各 10 名以上、出来れば 16 名位）、若年者（20~30 才代の男女各 10 名以上、出来れば 16 名位）について実験を開始する。

計測点は人体各部位 20 部位を予定しており、人工気象室（温度 28 °C、60 %）にて行う。本被験者実験について年齢、男女を混合して計測できる方向を検討している。

特に、委員から被験者人数の増加、高齢者と若年者を混合計測を行う方が望ましいとのコメントがあった。

以上各個別課題の進捗状についてついて報告がありそれぞれ質疑を行った。

## 3. 個別課題の位置付けと事業目標の考え方

開発 3-3 動的温熱環境標準化事業のアウトプット（素案）に基づき事務局より説明を行った。

### 1) 基本的な点での訂正・追加

- ①中庸温熱環境：サーマルマネキンによる評価技術に中庸温熱環境・・・と表現している。これは「不均一温熱環境」とすべきである。これは本事業の対象として動的温熱環境の言葉の定義を行っており（前回の委員会）これに基づき整理する。
- ②サーマルマネキンの出力データから人間の感覚値への変換式開発。  
変換式は無理であり、変換方法ないし変換方式と考えるべきである。
- ③ISO 改訂への提案は、ISO7730、ISO13732-2 の改訂とすること。床暖房の基準は 13732-2 に該当する。

### 2) 討議の概要

今回は、本事業の差移住目標である、ISO への提案につなげるための方向付けを行う目的自由な討議を行った。

- ・ ISO への提案は、本意委員会だけで決めるのか、or 決められるのかとの提起もあり、本年度その一環として、広く関係者に認識して貰うためにシンポジウムを開催した。  
ISO の手続き手順から考えれば、特に国内の統一意見が無くても提案できるが、広く意見を求め合意を得られるのが望ましいが、これまでの例でもかなり問題がありそう。
- ・ 変換方式そのものが提案に入るのか。特に感覚値はばらつきが多くこれを基準化するのは問題が大きすぎるのではないか。

- ・ISO 改訂には5年位のスケジュールで考えられている。またこれまでのISOへのNPは10年位（吉田氏の日本からの提案）のスケジュールとなっている。  
等々いろいろ意見が出され、継続して討議し方向付けを行うことになった。

#### 4. 報告書の作成について

- ①開発3－4に基づき事務局より説明。特に3月21日に成果報告書を事務局に提出する。
- ②その他：次回の委員会の開催

開発委員会：2月16日（13時～）

審議委員会：3月5日（14時～）

#### (4) 第4回委員会

## 議事録

1. 会議名 : 平成12年度 第4回動的温熱環境標準化技術開発委員会
2. 議題 : 個別課題の進捗状況、事業目標とISO提案
3. 開催日時 : 平成13年2月16日(金) 13:00~15:40
4. 開催場所 : 東京 新橋 航空会館 703会議室
5. 出席者 : 委員 : 栢原委員長 堀越 都築 長野 竹森各委員  
オザバ : 桂(KRI) 栗原(MITI) 春日(NEDO) 橋本(JSA)  
事務局(HQL) : 吉岡 大矢 渡辺
6. 作成日 : 平成13年2月20日 担当 渡辺

### 【議事概要】

平成12年度 第4回開発委員会(最終回)の議事次第、出席表、資料一覧参照。

今回の主要議題は、個別課題の進捗状況及び事業目標と規格提案内容でありこれらについて討議を行った。都議の概要は以下の通り。

### 1. シンポジウムのまとめ

本議題は、前回の委員会でも討議し方向付けを行ってきた。特にISO7730やISO/CD13732-2では、床温度の推奨範囲を19~29°Cとしているが、日本や韓国では推奨された範囲は、ISOの値よりかなり高いことが明らかになり、その理由等について栢原委員長からまとめの報告がなされ(資料:開発4-1 3項参照)、以下の討議を行った。

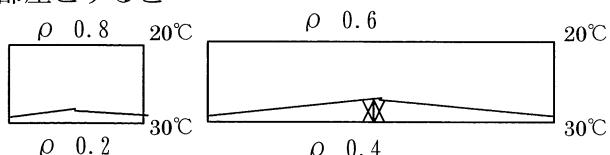
2. 項について:「・・・欧米では床温が低くても良いのではなく」、「日本では、床に座ったり寝ころんだりするので日本では高い方が望ましい」とした方が良い。

3. 項について:考え方として部屋の面積と平均放射温度の関係について質問があり以下の説明があった。(堀越先生の説明)

$$\sum_i \rho_{s-i} \tau_i \text{において 右図の部屋とすると}$$

小さい部屋の温度

$$0.2 \times 30 + 0.8 \times 20 = 22^\circ\text{C}$$



大木部屋の温度

$$0.4 \times 30 + 0.6 \times 20 = 24^\circ\text{C} \quad \text{と算出され、大きい部屋の平均放射温度が高くなる。}$$

5. 項について:日本や韓国の床温が高いための説明でない。技術的に加熱方法によっても快適な範囲が異なること説明している。温水式は温度が一定で、その温度より高くなることはないが、電気式は熱量が一定であり温度が高くなることがある。従って温度では快適性

の範囲が表せない。

床暖房のシンポジウムの結果を（上記まとめも含め）ISO159/SC 5/WG 1 の委員会に報告する。床暖房の基準値について規定している CD13732-2 は数年後に改訂されるので、日本の考えを取り入れられるように進めていきたい。

シンポジウムの状況から現状の ISO で規定している数値は日本では使えない等についてオルセン氏は理解しているのではないかとも思われる。

Q. 床暖房の温度の違いは生活習慣、暖房方法等から起因するだけなのだろうか。日本人と欧米人の人種的な違いに起因する環境温度の違いはないのだろうか。

A. 暖房のほうでは人種的な違いは見られる場合があると言われる。ヨーロッパでは快適域には違いないと考えているが、実際には違いがある。生理機能自身が気象条件により対応の仕方が違っており、季節により代謝量が違うデータも出ている。但し多数の例があるわけではない。

Q. この ISO の改訂について積極的 or 有力な国やオルセン氏以外のキーマンはどんなところでしょう。

A. これに関しては、国ではデンマーク。キーマンはデンマークのファンガー氏である。ヨーロッパは日本みたいに研究者が多くなく限られている。従って、研究内容もそれが限定して行っているのが実態で、それぞれの得意分野を作っている。ファンガーやオルセン氏が ISO を作ろうとスタートしたもので、最初から項目の担当を決めて研究を行ってきている。

これらのメンバーを納得させれことが出来れば ISO の採用・改訂が可能となる。

## 2. 個別課題の進捗状況

委員長から課題のまとめと来年度の進め方を含めて説明するよう要請があった。

### 1) 人体熱モデルの評価技術について（資料 開発 4-2-1 参照）

資料に基づき現在進めている熱環境数値計算手法を確立するために実際の環境実験室の環境計測結果より、流入境界の温度を設定し、乱流モデル、カーテンのモデル化の検討と、輻射を考慮した場合のシミュレーション結果について報告された。（資料参照）

また、人体熱モデルの計算結果と床座均一環境での被験者実験の比較について実験の一部が説明された。最終的に 8 名の被験者により 10 条件の結果を得て比較検討する。

報告の後、室内の温度環境のシミュレーションについて、温度の高い部分が中心に集中しているのは、特殊な空調条件によるものではないか、また温度の上昇流がシャープで特殊な形態を示していないか等について討議された。

気流の条件を 0. 1 m/s と無風に近い条件でのシミュレーションでは、床暖房の上昇気流は中心で発生していく。

人体熱モデルでシミュレーションした図と被験者実験からの実験データとの違い、特にボ

トムの温度が逆方向になっているが何に起因するのか等の議論がなされた。来年度の目標としては、人間の感覚との位置付けを明確にするために、現在の被験者実験の結果とシミュレーション結果との対比を行ってその結果を基に、本年度の 8 名に追加して、平成 13 年度にも 8 名の被験者実験を行う考えを持っている。

## 2) サーマルマネキンによる評価技術の開発について（資料 開発 4-2-2 参照）

資料に基づき、サーマルマネキンを用いた実験と被験者実験との比較結果について概要が報告された。

被験者実験では、男子大学生 20 人で実施し、サーマルマネキンと同じ身体の 20 部位について皮膚温、熱流量の計測を行い、温冷感、快適感の心理量を計測した。

熱損失量におけるサーマルマネキンと被験者の比較では、気流がないときや気温が高いときに両者が比較的一致し、気流があるときや、気温が低いときには差があるようである。顔の部分での差が大きく出ているのは、人間では一点での測定であり、マネキンでは顔全体の値であるための違いと考えられる。

皮膚温の比較では、手などでは多少違いがあるがほとんど差がないと言える。人体各部位ごとのマネキン等価温度と温冷感の相関を見た。各部位毎の相関係数を見てみるとかなり高いようであり、全身で見ると  $r = 0.8449$  であり、 $r^2$  が 0.71 となりかなり高い相関となる。

最終的には各温熱環境における各部位と等価温度の関係を導き出し、快適範囲を作成することを目標としている。

今後の実験としては 80 % の人が快適と感ずる範囲を導き出すことが必要で、これを 16 名位で実験を行い範囲を決めてゆく。

不均一温熱環境をどのような環境条件にするかがポイントでありこの環境を決める。第三に上下の温度差のある実験を考慮してマネキンの評価を行ってゆく。

以上の説明の後討論を行った。

床暖房とマネキンの関連を考慮するときに、床暖房の環境にマネキンを置いた方がよいのか、表面を一定とする快適方程式を用いる方法を取るのがよいのか、特にシミュレーションとの対比を行う場合に同じ実験室で行ったものを対比するのが望ましい。

部位別の温冷感と快適感の関係において部位毎の重み付けを出来ないのか。顔が快適であって手が寒く、足が快適な場合があるとしたとき、全体としてどのような快適感になるのか。各部位は、皆同じ値として平均化することになるのだろうか。

現在の ISO で（自動車関連）検討されているのは、最終の図にあるような中に、80 % の人が快適と感ずる範囲を設定し、この範囲の中にある場合は快適と判断する。パターン認識で行う形になる。

## 3) 非定常温熱環境評価実験の結果について（資料 開発 4-2-3 参照）

資料に基づき暑熱環境から空調室に移動した場合の経時変化、および室温と温冷感につい

てその概要が報告された。

男子学生 30 名の被験者により、暑熱環境から空調室に移動する実験を行った。その間 2 分間隔で心理量を測定し、環境温度、生理量は 10 秒ごとに計測を行った。暑熱環境から空調室へ移動した場合の経時変化の概要は次の通りであった。

皮膚温は、暑熱環境 (37°C) ではその環境にはいって 20 ~ 30 分で約 36.2 °C に安定し、空調室移動後は、20 分程度で安定する。空調室へ移動した後の皮膚温は、発汗の影響を受けているとみられる点がある。

この発汗の影響は空調室への移動後の温冷感にも現れている。(ここでの解析結果については資料参照されたし。)

以下の質疑討論がなされた。

移動した直後の心理反応と生理反応の差が、時間的な遅れなのかもっと別な原因によるのか、同じように皮膚温と主観との対比でみることができるのであるのか。この場合にデータとしてきれいな形で現れるか否か疑問である。

37 °C から 25 °C に移動する時の血圧はどのような変化になっているのか。血圧は測定していないが、口頭では問題ないと言っているが、心理的に NO の状態 (血圧) かもしれない来年度に向けた研究は、空調室から暑熱環境への移動について、15 名を更に増加して実施するか検討する。

本実験については平均皮膚温と温冷感の関係をさらに検討する。実験を追加するかどうかは今後解析して決める。

#### 4) 局所温冷覚刺激実験について

現在被験者実験の最終段階でありその概要について口頭で説明があった。

被験者として、60 歳以上の高齢者、20~30 才代の若年者を相互に混ぜながら、室温 28°C、湿度 60% の人工気象室で実験中である。既に高齢者男女各 10 名、若年男性 10 名を終了し女性を数名残している。各年齢の男女各 10 名を予定していたが、16 名に増加する。

高齢者の実験では、加熱刺激では、あまり熱さを感じないから急に熱いと感じる状況になったり、冷却刺激では全くその逆の状況が見られる。知覚に対する鋭敏性のおとろえによるものか。このような状況でありながら環境に対する許容率が若年者より高いことが見られる。詳細は、被験者実験の結果を解析し明確にしてゆく。

今後の予定としては、これらの局所温冷感の結果を、人体熱モデルやサーマルマネキンなどの評価方法への反映のために、抹消の影響が出ないような条件について検討する。

また、最終的には感受性の係数化を検討する予定である。

以上の説明の後質疑討論を行った。

感受性の係数は、若年者と高齢者では違い、加熱刺激と、冷却刺激で係数は別になるのか等の質疑討議を行った。

以上の討議を得て全体としての進め方が承認された。

### 3. 個別課題の位置付けと事業目標について（資料 開発4－3）

事務局よりこれまで進めてきた研究課題とそのアウトプット目標、並びに国際規格として提案する事項について、素案の説明を行った。

本年度第1回の開発委員会でもISOに提案する事項について、概括的な考えをまとめてきたが、これまでの研究の成果、並びにシンポジウム等のまとめから、事業目標とISOへの提案概要をクリアにした。

ISO7730の改訂項目としてトランジェント、ISO13732-2の改訂として床暖房基準を提案する。新規評価方法として、不均一温熱環境の評価を行う方法として、温熱感受性係数を反映した人体熱モデルによる評価方法並びにサーマルマネキンによる評価方法を提案する。

次年度の実施すべき大きな課題として考えてゆきたい。

本提案について討議し方向付けを行った。

委員長からNP、TR等の言葉の意味、提案の過程について説明があった。即ち NP→TR→TS →IS になる過程となる。TRでとまるものもある。

まず提案の名称を決めることからスタートする。提案は国にこだわらず行うことが出来、新たな提案として受け付けられる。

この素案にあるトランジェントの改定、床暖房の基準値の改訂については、是非来年度にまとみたい。特に長い文章でなくても良い。1ページくらいの文章にしてまとめて提案したと考えている。（委員長から）

マネキンや人体熱モデルをどのような位置付けで提案しようと考えているのか。目的は一緒であるが方法は違うやり方があると言う提案と考えるのか。

一つはIS化が目的だが、TR、TSレベルでの公表も考えられるし、最終的には一つの基準にたいしいろんな評価方法があるものとして提案できると考えている。

そのような面で、研究課題とアウトプットにあるように、サーマルマネキンは計測し評価する方法として、人体熱モデルは評価し推定する方法として提案できると考えている。

個々の細かな内容については置くとして、全体としてこの方向で進めていくことが承認された。

以上

4. 3. シンポジウムの資料
4. 3. 1. シンポジウムのまとめ

## シンポジウムのまとめ

### その1 シンポジウム開催概要

「快適な生活空間の創造のための温熱環境の標準化」の平成12年度事業として、平成12年11月6日（東京 早稲田大学）に実施したシンポジウムについてその概要をまとめます。尚、本シンポジウムは、第24回人間－生活環境系シンポジウムの1セッションを、本事業のシンポジウムとして共催しました。

#### I. 開催概要

1. 開催日時・場所：平成12年11月6日(月) 13:30~17:00  
場所：早稲田大学国際会議場
2. 開催：主催 人間－生活環境系会議  
共催 社団法人人間生活工学研究センター  
新エネルギー・産業技術総合開発機構
3. テーマ・講演者：不均一温熱環境の国際標準－特に床暖房について  
講演者：オルセン（独） 渡邊慎一 桑沢保夫 堀祐治 磯田憲生  
鍋島美奈子 孫章烈（韓国） 栄原裕（司会）の各氏
4. 資料作成  
予稿集：60頁 300部（講演予稿集 関連ISO抜粋）  
資料集：30頁 100部（関連ISO抜粋）

#### II. 開催のまとめ

##### 1. 参加者等

- 1) 開催案内送付先概要 (HQL)  
HQL会員企業  
住宅・住宅設備関連団体  
その他個人等に開催案内を送付。 合計163カ所

##### 開催案内送付先概要

機関	学会	民間団体	官庁関係	民間企業	その他
件数	4	4	23	123	9

## 2) 参加者概要 (HQL 関係者)

①学会員、学生等の人間－生活環境系会議の関係者

②上記以外の参加者 合計 53名



### 参加者概要 (53名)

#### (1)事前申込み

事前申し込み：44名（うち 6名欠席）

当日申し込み：15名

#### (2)参加者の内訳

HQL会員企業等：9社(14名)

非会員企業：18社(35名)

その他：4名

#### 参加者の所属等

機 関	民間団体	官庁関係	企業	その他
参加者	7	1	42	3

参加者例 団体：(財)ベターリビング 電気床暖房工業会

企 業：(株)インテリアタイムス社 日本冷凍冷房新聞社

官 庁：通産省生活産業局住宅産業窯業建材課

## 2. 資料集 (予稿集、資料集の配布状況)

1) 予稿集：本シンポジウムだけに参加する人を中心に配布。

当日参加者：53冊 講演者等：14冊 等 配布合計130冊

#### 予稿集配布先一覧

用途	当日参加者	送付希望	講演者等	HQL送付	その他
部数	53	10	14	21	32

その他：学会会員、企業等で当日の追加希望及び最近の配布

2) 資料集：人間－生活環境系会議の会員の方に配布。残り部数無し。

## 3. シンポジウム

1) 開催時間：13：30～17：00

うち 講演者プレゼンテーション：13：45～16：30 (165分：25min／人)

質疑応答・討議 : 16：30～17：00 終了(17:00)

2) 記録

シンポジウムの開始から終了までビデオに収録し記録として保存する。

別紙：シンポジウムの質問事項を参照

3) 討論の総括

第3回開発委員会の討議の上で最終まとめとする。

## 【 参考 】

平成12年12月15日、平成13年2月16日に開催された第3回、第4回動的温熱環境標準化技術開発委員会で討議し、以下のまとめを行った。

### シンポジウムでの討議の総括

ISO7730 や ISO/CD13732-2 では、床温度の推奨範囲は 19~29°C である。一方、我が国や韓国で推奨されてきた床温度の範囲は、ISO の値よりもかなり高いことが明らかになった。その理由としては、以下のことが考えられる。

1. 日本の住宅は断熱性が低く、室温も低いことが多いため、床温度が高くないと快適性が得られない。
2. 日本では、床に座ったり寝転んだりすることが多いため、床温度は高いほうが好まれる。
3. 日本の床暖房は、床温度は高くて、部屋面積は狭く平均放射温度は低くなるため、床温度の推奨値は高くなる。
4. ISO では 7730 により、ある範囲での室温が確保されていることを前提として、床温度の推奨がなされている。我が国では、冬季には室温が低く、室温が推奨範囲にならないために、温熱快適性を得るために床温度はより高い範囲にある必要がある。
5. 床暖房の方式が、温水式か電気式かによっても快適範囲が異なる。

以上の結論について ISO159/SC5/WG 5 の委員会に説明する予定である。(柄原委員長)

以上

#### 4. 3. 2. シンポジウムの討論の記録

### シンポジウムの討論の記録

～～講演、討論に於ける質疑応答、コメント等の記録～～

今回開催したシンポジウムで、各講演者の報告内容は、予稿集、ビデオ記録等に残されている。このまとめは、講演者の内容に対する質疑応答及び全体討議で出された質疑応答等をまとめた。

#### I. 個別講演者に対する質問

司会：柄原先生（九州芸術工科大学）

本シンポジウムの開催主旨、テーマに対する考え方を説明

下記の講演者から20分で報告を受け、個別の質疑及び全体討議を行った。

#### 1. オルセン博士の講演 : ISOにおける不均一温熱環境評価について

##### Q. 田中先生の質問（福島県立医科大学）

湿度の問題をどのようにお考えでしょうか。また、床暖房では乾燥しすぎになるのでこの点もどのように考えておいででしょうか。

##### A. オルセン博士の回答

湿度のことについてご質問ですが、湿度は勿論温的快適性とPMV式に影響します。しかし、床暖房は空間の湿度を何ら変えるものではありません。いくつかの体の部位に対する温的快適性は絶対湿度です。蒸気圧、身体と皮膚の違い、即ち身体と皮膚の間で行われる発汗による熱交換です。しかし、床暖房は空間に湿度を加えたり、湿度を除去するものではありません。床暖房は相対湿度を変えるかもしれません。対流暖房と輻射暖房である床暖房を比較すると、冬には床暖房の方が対流暖房より気温が低くなります。気温がより低いので、相対湿度が高くなります。従って、非常に乾燥するという環境の問題はより小さくなります。

また、ヨーロッパでの研究によればカーペットやベッドに発生する家ダニについて、床暖房の場所では温度が高く相対湿度が低く、このような環境のもとでは家ダニは生存できません。

#### 2. 渡辺先生の講演 : 日本における床暖房の快適性評価研究の流れ

##### Q. オルセン博士の質問

名古屋工業大学の研究例について、人間が暑いと感じ始める27℃までの気温を推奨され、

一方34℃までの床温度を受け入れられていますが、もっとさげる必要がないでしょうか。

#### A. 渡辺先生の回答

名古屋工業大学に所属していましたが、私が直接研究をしたわけではありません。従つて私がお答えするのが良いか解りません。推定すると、実験の条件として、裸体に近い状態になっておりますので、着衣の影響で若干高い値まで快適域になったのではないかと思います。

### 3. 桑沢先生の講演 : 床暖房使用時の室温・床温の推奨範囲とその策定経緯

#### Q. 持田先生の質問（北海道大学）

シンポジウム報告集34pの図-1について、2, 3お伺いしたい。

これは、縦軸：気温、横軸：床温で、床温も放射温度の一つですから、放射暖房は気温を低くしても快適を得られるだろうと言うのがメリットで、気温を低くして、かつドラフトをなるべく起こさないで放射熱で快適にする目的があります。

これは暖房用ですから室内の風速がほぼ一定で、冬衣服を着ている状態を想定して、質問するのですが、

①この左下りの傾斜は、風速の大小を表します。熱伝達論的に考えると、勾配は対流熱伝達率分の放射熱伝達率になりますから、結局室内の風速を表すことになります。熱平衡式から考えると、横軸はあり得ないと思います。逆に言うと横軸は、風速が無限大を意味します。熱平衡式の中で、対流熱伝達率が分母に入りますので。

②右下側の右上がりの線について、どのように解釈されるかお伺いたい。放射暖房では気温が低くても、放射温度を高くして、それで快適さを保っていく。右上がりの線は気温も、放射温も高いことを意味しますので、この場合のメリットは何処にあるのでしょうか。

#### A. 桑沢先生の回答

簡単にお答えさせていただきます。先ず左下の線ですが、人体の熱収支を正確に考えると先生のご理論による風速に相当するものかもしれません。けれども、ここでこの線を決めたのは先ほどちょっと出ていましたけれども、被験者実験の結果、申告値に基づいています。それは元を辿っていけば風速なのかもしれません。けれども実用的な範囲ということを考えていたので、これは単に線形で結んでしまったとういことになります。

正確には先生のお話のようにしたら解けるのかもしれません、ここでは単に実験条件が合ったところの快適性、温冷感ということですね、この範囲を超えて下がり過ぎないようなところ、ですから気温が上がれば床温が多少下がってもいいよと言うようなところで線を決めています。

それから、右側の線は、実は温冷感とは直接関連のないところで決めております。こ

れを何故決めたかというと、実質的にどれくらいの範囲内で作られているかということなのですが、右側の線は結局外気と室内の気温の差、それから建物の断熱性によって決まります。実際に床を暖房して、暖めるとそういう関係になってきます。その時こちら側の線を決めていかないでどこまでも認めていってしまうことになります。非常に断熱性の悪い家でも床暖房だけで無理やり床を暖めて気温が低くても、それでいいですよということになります。それですと、実用的な目標範囲ということを考えますと、非常に断熱性が悪くても床暖でまかなってあげればいいということになり、空調学会としてはあまり望ましくないだろうということもあります。以上のように、右側の線は先ほどの温冷感の話とは違うところで出てきたとういことになっております。

#### 4. 堀先生の講演　　：床暖房使用時の熱的快適性評価

##### Q. 堀越先生の質問（名古屋工業大学）

実験では、温度分布を無くすように空調をおこなわれていますね。と言うことは実際に床暖房の場合には、自然対流が起きるのですから、温度勾配がつくわけです。ですからそれは再現されていないことになりますね。空調をやると言うことは、我々でもそうですが、実際の環境で床暖房する場合には、エアコンを使っていないとすれば熱伝達も自然対流によって起こるわけです。換気を行って温度を一定に保つことは強制換気を行っていることになります。

その問題と、局部の件ですが、実験の中で求められているのですが、温度勾配が無い場合の中立のデータを出されています。温度勾配があって温度分布が付いたときに各局部が熱的に中立だと感じる作用温度は、必ずしも同じではないと思うのですが、その点はどのようにお考えでしょうか。

##### A. 堀先生の回答

最初のご質問で、実際の床暖房環境では垂直方向の温度勾配がつくのではないかと言う点に関してですが、我々も、実際の熱環境に近い垂直温度分布を評価する必要があると考えました。しかしながら、ここである温度勾配を仮定してしまいますと、その温度勾配による影響が、熱的快適性にどのように影響するかがわからないため、様々な温度勾配での評価を行う必要が生じてしまいます。そのため今回は、実際には生じるであろう温度勾配による影響を排除し、床面温度とそれ以外の温度に特化した形で実験を行うことにしました。ただ最終的には、どのような上下温度差が付いた環境でも作用温度の分布を求めることで、熱的快適性の評価が行えるのではないかと考えております。

二番目のご質問で、実際に上下温度差が付いた場合に各局部が熱的に中立と感じる作用温度は変わってくるのではないかということですが、私自信も変わると考えております。変わる要因としては、人体全体の血流量や温度の違いがあり、例えば下半身の暖めた場合と冷やした場合では、頭部が熱的に中立と感じる作用温度は異なるものと思われます。そのため、今後それらの要因を含めた局部の中立温度を考えていきたいと考えております。

言い換えますと、局部の中立作用温度とは申しましたが、実際の人体各部位では、血流を含め、着衣の状態や発汗の影響等を考慮する必要があります。できれば最終的には、局部ごとの SET\* という言い方も変ですが、局部ごとに、他の人体各部位の影響をも含め、周囲の環境から得られる熱環境指標を表せないかと考えております。

#### 5. 磯田先生の講演 : 電気カーペットと温水暖房の快適範囲の比較

Q. 質問無し

#### 6. 銀島先生の講演 : 温水床暖房の長時間接触事例と低温やけどの閾値

Q. 質問無し

#### 7. 孫先生の講演 : 韓国のオンドル使用実態と基準について

Q. 質問無し

## II. 全体討論に於ける質疑・討論

各先生方からの報告を頂きましたが、今回のシンポジウムのタイトルに沿った内容での質問をお願い致します。

### Q. 堀越先生の質問（名古屋工業大学）

快適値を決められるときに、非常に風通しが良くて、隙間風が多く、そこで床暖房で快適さをつくって、そこで過ごすのはあまり良くないとお話しであるが、床暖房をするというのは、それも高断熱・高気密住宅を推進するのが前提とするように伺いました。

私の意見は、放射暖房のよさは、風が吹いてもなんだろうが、暖めることが出来ることだろと思うし、今の日本の住宅の方向に関しては疑問があり、むしろ「夏涼しくて冬暖かくするためにトロディショナルな住宅の中に床暖房を取り入れていく」方策があるのだと思うが、如何でしょうか。ご意見をお聞かせいただきたい。至適域を決めるということで。

### A. 桑沢先生の回答

この委員会のなかで確かに断熱性の低い住宅の場合はあまり望ましくは無いだろうということで、こういったことになりました。これが本当に正しいのかというの、中々難しいところだと思います。

これは委員会が行われていましたのは 1990~94 年で、当時は高気密化、高断熱化ということが一般的に進められていた時代的な背景もありました。今でも確かに省エネルギー化と

ということで進められていますが、先生のおっしゃるように、必ずしも高気密、高断熱にする必要があるかというところで、快適性のところとは別の話で、省エネルギーという観点からいったと思います。これらを総合的に捉えたときに空調学会としては、このような答えを出さざるを得なかったという面が確かにあります。見方によっては確かに多少低い気温のところでも放射によって爽やかな快適性が得られるということも勿論考えられますので、それはまた別の見方をしたときには当然あり得る解だと思います。

**Q. 堀越先生の質問（名古屋工業大学）**

どうも有り難うございました。もう一つは、小西先生のご意見、磯田先生のご意見もそうですが、床温と気温の組合せだけと言う言い方をすると、住宅自身の断熱性によって温度勾配が決まってくるし、自然対流の問題と、強制対流の問題もでてくるし、その辺をどう押さえるかを決めないと基準化も難しくなると思ったので、こんな考え方もあると思ったのですが、ご意見をお願いします。

**A. 磯田先生の回答**

ご意見の断熱性能というのが当然あるので、断熱性の悪いところでは基本的には床暖房だけではちょっと無理だろうというふうに思うのです。当然エアコンを使って暖めなければならないし、或いはストーブを使って暖めて、そして床暖も併用するという形になるだろうと思うのです。それらを一体でうまく評価できる資料ができるのだろうかとおもいます。

それぞれのケースについて全部変わってくるので、それをどう評価に入れるかというところが問題ではないかなと思います。

**Q. 司会（柄原先生）の質問（九州芸術工科大学）**

この話を少し進めたいと思います。床暖房の温度は、ISO の基準では 19~26 or 29°C と温度は設定されています。けれども、今回、多くの先生方の発表を見ると、室温との関係でとの前提があるが、かなり高い温度の提案、32~33°Cとの案がでてきています。

ヨーロッパでは床は断熱性の高い住宅が普通で、暖房は室温がそれほど低くないことを前提に、19~26°Cの温度がでていると思いますが、この間上げで良いのかに付いてオルセンさんから意見をお聞きしたと思います。

**A. オルセン氏の回答**

受け入れられる最高床温度は、どれだけの熱が必要かでなく、人間が受け入れられる温度が何度かということで決められるべきです。欧州では床暖房で平方メートル当たり 100W 加熱することが出来、外壁や窓から 1 メートルまでのところでは、もう少し高く 35°C、即ち平方メートル当たり 160W まで上げることができます。一般的には、典型的な部屋では、加熱が 1 平方メートル当たり 120W で床温度が高過ぎず、快適性の問題もありません。快適性がえられる床温度を決めるのは、受け入れられる温度がいくらかということです。

しかし、日本や韓国のような特殊なケースでは、人が床によく座ったり寝転んだりします。

ですから、身体の多くの表面部分が床に接触します。だから、床温度は、平均温度や外部温度にも影響します。しかし、身体と床の間に直接熱伝導がおきます。床温度が皮膚温度より低い限り、衣服によるより高い断熱があるのでそれほど多くの熱損失はありません。この場合は、もし室温が低ければ、床温度を高くすることができるでしょう。

これらの研究をみると、受け入れられる限界がどれだけか明確ではありません。多分 32℃ というのは妥当かもしれません。それより相当高いとは思いませんが。床に座ったり寝転んだりする場合は、床温度条件を決めるだけでは不十分で、受け入れられる水温の条件、或いは、電気のインプット条件を決める必要があります。何故なら、しばらく後には、接触部の温度が上がり、高い水温でも受け入れられず、床のほかの部分が 32℃ でも受け入れられないことがあります。

#### Q. 田中先生の質問（福島県立医科大学）

各先生方のかなりバリエーションがあるのは、目的が違うのではないかと思います。外国においては、椅子の生活が主であり、日本においてはまた別な生活があり、韓国においては韓国の生活があります。そのおのおの目的が何にあるか考えることが必要です。今、快適性と言いましたが、先ほどの快適性の定義も違うわけです。日本ですと東北地方では、床温が非常に低く 0℃ 位になることもあります。足の感覚がにぶくなりますので、ある程度温度が高ければよいと言うのであるか、或いは逆に高温の場合熱やけどをしないのが良いのか、目的によって床温の設定条件が違ってきます。いろいろな床温の幅があるのでないでしょうか。ですから安全性を第一に考えるべきではないでしょうか。

建築研究所の桑沢先生の研究に私も加わっていますが、そのところでは省エネルギーをかなり意識しています。床温だけで、床暖だけでそれでよいのかと言うことですが、アラスカの住宅の調査ではマイナス 30℃ の外気温においても床暖だけで充分といった報告書もみられます。それは機密性がいいから、結局床から来たそんなに高い床温でなくても、それが均一に分布するとのことであり、条件と目的によって床温の設定は違ってくると思います。

（ここで、ご意見の目的は、研究の目的を言うのか、どうかの質問があり）

ここで言う目的とは、床暖房を何のためにするかと言う目的であります。快適性と言うことは、かなり個人の好みの要素が加わります。

安全性と言うことは、別になければならないものであり、従って温度はかなり広い範囲に基準がなければならぬと思います。日本のビル管理法の温湿度条件でも、温度範囲はかなり広く取ってあります。そういう面からも、快適性より安全性を主にしているのではないでしょうか。

#### Q. 持田先生の質問（北海道大学）

何の指標でもそうですが、指標を使う目的は、評価と設計或いは制御や管理に使われると思います。設計の時には、普通、快適状態を対象にしますので範囲が限られるのですが、評

価の時は、熱い、快適、寒いと非常に広い範囲に使われます。基準化するときの一つの目的は、省エネルギーがあると思います。我々人間が、省エネルギーでかつ快適な基準がどうあるべきかを考えることが根本で、その場合中心が人間にあります。

熱環境指標を考えてみると、まず第一に人間がある環境におかれたときにその心理的な状態が合わなければなりません。

二つ目は、生理学的な状態値も合わなければならぬし、これは実験から求めなければならない。それからもう一つ大切なことは、熱いとか寒いとかと言うことは、人間と環境との間の熱のやり取りの結果生ずる問題であります。空調設計では熱負荷計算をするが、建物に対する熱負荷計算と同じように、人間に対する熱負荷計算、熱収支が成り立たなければならぬ。そうしますと人体実験の結果からのみで基準値を決めるのは、非常に片手落ちで、その背後には、3つ目の熱バランスが保障されなければならない。

人間も自然界の一員でありますから、高い方から低い方に熱が流れるのは当たり前で、先ほどの軸は気温と平均輻射温、或いは床温を取りますと垂直とか水平はあり得ない。

これから指標や基準を作る上で熱バランスをきちんと考へて貰いたいと思います。

その上で、堀先生にお伺いしたいが、先ほどの堀越先生のご意見にも関係しますが、各部位毎の作用温度を計算して、出来れば部位毎のSET<sup>\*</sup>を作り、出来ればいいと、おっしゃったのですが、その前に作用温度はどのように計算したのですか。

放射熱伝達率も、対流熱伝達率も各部位毎に全然違いますね。それから平均放射温度も違いますね。そうしますと、作用温度をどうやって計算されたのでしょうか。

#### A. 堀先生の回答

MRT は、人体各部位の中心位置に微小球を仮定して計算しています。実際には人体の各表面部分と、周壁面との放射熱伝達を計算した方が正確になりますが、今回は簡易的に微小球を仮定しています。また、放射熱伝達率や、気流速度には一定の値を代入しています。もちろん各部位ごとの形状や放射率を加味すれば、より正確な作用温度が導かれることになりますが、それは同時に人体の姿勢や着衣など様々な要素が限定されることになります。

今回報告いたしましたのは、不特定な不均一熱環境に対して、作用温度の垂直方向の分布を基準に用いることで、簡便に熱的快適性の評価が行えないかを試みたもので、言い換れば、ある作用温度の垂直分布を持つ空間に人が位置した際、どの程度の熱的快適性が得られるかを予測するものであり、人体の向きや、着衣等人体表面の細かな状態については特定しておりません。そのため、窓面の存在など水平方向の熱環境の不均一性や気流の向き等が快適性に及ぼす影響については考慮されないことになりますが、実際のところ微小球に基準を設けた場合に人体とどの程度の相関が見られるかを確認する上で、また、汎用性の点から、このような簡易的手法を用いています。

#### Q. 持田先生の質問（北海道大学）

形と大きさを持っているから、それぞれの大きさにたいする平均放射温度があるはずです。従って、通常のグローブ温度計だけで測っては誤りもあると思います。例えば頭のところは、

15cm 位のグローブ温度計で測っても良いが、手などは非常に小さいから 5cm 位のグローブ温度計で測らなければならないと思います。

このようなことを考慮して先ほどの各部位の作用温度は計算されたのでしょうか。

#### A. 堀先生の回答

現段階では考慮しておりません。ご指摘の通り人体各部位が受ける放射の影響は、それぞれの部位の形状を考慮する必要があり、例えば胴体部分の熱流について考えた場合では、胴体を輪切りにし、表面部分と周壁面、手や足などそのほかの人体部位との相互放射、または接触、さらには血流等を考慮する必要があります。人体を単純な形状にモデル化して表面部分の熱流を算出してもよかったです、その表面温度にしても、様々な不均一熱環境下や人体の姿勢や着衣条件で多様に異なってくるため、正確な試算は困難になります。

もちろん先生のご指摘のとおり、各部位の形状を考慮することは重要であり、先ほどの堀越先生よりいただいたご指摘の際に、各部位ごとの SET\*を考えたいと申しましたのも、私自身、人体局部ごとに、これら種々の熱流を出来る限り計算し、局部の温熱指標を求めることが理想だと考えるからであります。

#### 司会のオルセンさんへの質問に対し

##### Q. 持田先生のコメント（北海道大学）

田中先生の目的が違うのではないかの意味は、例えばヨーロッパでは床温が低いのは靴を履いているからではないでしょうか。日本ですと体温が 37℃ とすれば、床温が高ければ熱は足から逃げないから高いと気持ちがいいといえると思います。

##### Q. 司会（柄原先生）のオルセンさんへの質問

快適範囲を ISO で定めるより、安全域を定める方が必要でないかとの意見に対しオルセンさんはどうお考えですか。

#### A. オルセン氏の回答

安全は健康の問題であるが、安全域も定めることはできます。しかし、快適域に基づいて設計温度を定めねばなりません。床温度を設計するときに、外気温を考慮にいれなければなりません。-30℃とか -10℃ とか、設計する場所によって決まります。そのような外気温は年に 1 週間かも知れないが、それにしてもその期間受け入れられる快適性が必要であります。

我々は、受け入れられる安全域でなく快適性に基づかなければなりません。安全域に関して CEN では、冷たい表面と熱い表面について別の規格を定めています。そこでは、やけどや凍傷の防止が中心になります。我々の指針として快適性要件を用いて床温度を決めるべきであります。

##### Q. 堤先生の質問（琉球大学）

目的が違うとの話で、磯田先生の実験等を見せていただきますと、大部分がエアコンデ

イショナーとフロアヒーティングの組合せになっているわけですが、実験条件を揃える意味だと思います。ヨーロッパのスタンダードは多分フロアヒーティングだけで室温をコントロールしようと考えていると思っていたのですが、これから作ろうとするのは、組合せの規格なのかフロアヒーティングだけの規格なのでしょうか。

#### A. オルセン氏の回答

今日、殆どの新しい建物で床暖房されている場合は、それが唯一の暖房です。床暖房が本格的に始まった20年前には、建物はそれほどよく断熱されていませんでした。従って、当時は床暖房とその他の暖房、エネルギーを大量に消耗するラジエーター式暖房、の組み合わせでした。しかし、今日では殆どの家では1平方メートル当たり100Wの熱荷重で、即ち床暖房だけでまかなえるということです。大きな建物では、室内空気の質の問題で換気システムをもっているところがありますが、外気を取り入れるときに予熱して冷たい外気を直接とりいれることはできません。それ以外、暖房としては床暖房が唯一の暖房です。

どのような床温が受け入れ可能かという設計基準があれば、この部屋とか家が床暖房だけで充分か、他の暖房が必要か容易に計算できます。でないと床温が高すぎて不快適感を持ちます。

#### Q. 堤先生の質問（琉球大学）

高すぎる温度とか、皮膚温より高い温度は、かなり不快に感じると思っていたのですが、どのような報告例はありませんか。例えば、磯田先生の実験では。

#### A. 磯田先生の回答

我々のところでやった場合は、床温に対しての評価は34～35℃まではかなり高い評価が得られています。大体一時間ですけども。

#### A. 孫先生から韓国の例についてコメント

韓国の例ですけども、29℃というと、皆笑うと思います。それから、私はマンションに住んでいますが、高気密、高断熱ですが、床暖房でもあまり温度が上がりません。かなり、物足りないというか淋しさを感じます。それで家内は温かさを感じるために毎日お風呂に行きます。私は田舎に家がありますが、たまに田舎に行って温かさを感じてきます。

29℃になっても不快適ではないと思いますね。しかし、そこまでというのは、韓国では話にならないと思います。換気のことですが、床暖房と換気を行う場合、60階、70階という建物になると自然換気は無理なので、中央エアコンディションになります。床暖房とエアコンディションを入れることをやっているわけですが、床暖（オンドル）が好きですので仕方ありません。そうしないと売れませんので業者としてはお金がかかっても両方入れてしまいます。韓国の事情ですがお話をしました。

#### 司会：柄原先生のまとめ的なコメント

全体的な日本とか、韓国の様子を見ると、居住の姿勢の問題、住宅の構造の問題等を考えると 19~26°C、もしくは 29°C と言うのは、上の方は物足りないのではないかと言う意見が多いがこれで宜しいのでしょうか。

これはもう文化と、住宅の構造の問題がかなり利いてくるので、これをどのように活かしていくか、実際の数字は、温度はどの位がいいかは解らないのですが、高い温度を基準、標準化の中に入れるのは問題になるのではないか。

#### Q. 堀越先生のコメント

先ほど持田先生がおっしゃっていました、人体の熱収支を考えなければならぬとの意見については全く同感で、床温と気温だけで話を進めていられるが、実は床の接触面での熱流があるので、その熱流をとらえてやらないと、結局、床面の材料の問題についても熱流で考えれば、熱的には解決する問題であると思います。そのようなものをとらえて評価することを考えていきたい。

#### Q. 梶井先生のコメント（近畿大学）

先ほども作用温度をどのようにするかとのお話がありましたが、実際に我が国ですと、窓の冷却とか、あるいは隙間があるとか色々問題があるので、実際にサーモグラフィーなどで家屋の中を調査すると非常にバラエティに飛んだ熱環境です。ですからそれを、最近のような、均一化された集合住宅とか、或いは、高気密・高断熱の方向と、過去の日本の伝統的な家屋、例えば、窓を開ければ展開するような自然と、そのような自然と共生できる住宅にも、その不均一な環境にこの規格を適用するのかどうか問題があります。しかし生活態度として、我々が、放射、対流伝導を上手く使うとか、床の微温暖房を有効に使うのが、今後の省エネルギー化に向けて使い方と不均一の問題を一緒に考えていかなければならないと思っています。

以上

#### 4. 3. 3. オルセン氏のコメント

The 24<sup>th</sup> Symposium on Human – Environment System,  
Waseda University, 5-6 November, 2000.

It was a great pleasure for me to participate in the above symposium and especially in Symposium II: "Symposium on International Standards for Non-Uniform Thermal Environments- With reference to Floor Heating Systems" At the moment the recommended floor temperatures for comfort are based on European and American studies, where the only contact between the floor and the person is the feet (shoes). This do not take into account the traditional habits in Asia, where a person may often sit, lie or sleep on the floor. There is a need to take that into account in the future standards. It was interesting to see how many studies, which have been done in Japan and Korea on this subject. Several good over views where presented at the symposium. It was, however also clear that it could be difficult to compare the different studies because of different test procedures. Also many studies are with a very limited number of subjects, which makes it difficult to give significant results due to big individual differences from one person to the other. But the existing studies forms a very good basis for planning some additional studies and then establish criteria for acceptable floor temperatures, when sitting or lying on a floor.

I look forward to follow the progress with these research plans in Japan

Yours sincerely

Dr. Bjarne W. Olesen

Chair ISO TC159/SC5/WG1 „Ergonomics of the thermal environment“

4. 3. 3. シンポジウム予稿集

シンポジウム

## 不均一温熱環境の国際標準

— 特に床暖房について —

予 稿 集

平成 12 年 11 月 6 日

早稲田大学 国際会議場

井深大記念ホール

主催 人間－生活環境系会議

共催 社団法人 人間生活工学研究センター

共催 新エネルギー・産業技術総合開発機構

社団法人人間生活工学研究センターが、新エネルギー・産業技術総合開発機構の委託を受け、平成11年度から3年間の計画で、「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」に係わる研究開発を実施してきています。本シンポジウムは、平成12年度の委託事業の一環として、「不均一温熱環境の国際標準の現状と今後の規格の方向付け」を行うことをねらいとし、人間－生活環境系会議と共に実施するものです。

## — 目 次 —

1. 不均一温熱環境の国際標準－特に床暖房について	1
桝原 裕 (動的温熱環境標準化技術開発委員会 委員長) (九州芸術工科大学)	
2. ISO における不均一温熱環境評価について	3
B.W.Olesen (ISOTC159/SC5/WG1 Ergonomics of the thermal environment 主査 ドイツ)	
3. 日本における床暖房の快適性評価研究の流れ	9
渡邊 慎一 (大同工業大学)	
4. 床暖房使用時の室温・床温の推奨範囲とその策定経緯	13
桑沢 保夫 (建設省建築研究所)	
5. 床暖房使用時の熱的快適性評価	17
堀 祐治 (早稲田大学 総合理工学研究センター)	
6. 電気カーペットと温水暖房の快適範囲の比較	21
磯田 憲生 (奈良女子大学大学院)	
7. 温水床暖房の長時間接触事例と低温やけどの閾値	25
鍋島 美奈子 (大阪市立大学)	
8. 韓国のオンドル使用実態と基準について	29
孫章烈 (漢陽大学 韓国)	
9. 資料	37
・ ISO 7730-1994 抜粋 (HQL) Moderate thermal environments—Determination of the PMV and PPD indices And specification of the conditions for thermal comfort	
・ 参考資料 (HQL) Draft ISO/CD13732-2 1999.10 (ISO/TC159/SC5/WG1) Thermal Environment—Method for the Assessment of Human Responses to Contact with Surfaces (ISO13732) Part2 : Human Contact with Surfaces at Moderate Temperature	

## シンポジウム：不均一温熱環境の国際標準—特に床暖房について

柄原 裕

九州芸術工科大学 人間工学教室

### Symposium on International Standards for Non-Uniform Thermal Environments – With Reference to Floor Heating Systems

Chair: Yutaka TOCHIHARA

Department of Ergonomics, Kyushu Institute of Design

The technical committee of the ISO (International Organization for Standardization: TC159, Ergonomics; SC5, Environmental Ergonomics; WG1, Thermal Environments) has been active in the development of International Standards (IS). ISO 7730, for example, introduced PMV and PPD for evaluating thermal comfort. Since, however, non-uniform thermal environments are common in real living situations, there is a need for the IS to evaluate these environments. To do so, we recently began a research project - with the assistance of the Japanese Government - on the standardization of non-uniform thermal environments.

There has been discussion about revising ISO7730 and developing a new work item for evaluating thermal comfort of floor heating systems: "Human contact with surfaces at moderate temperature (ISO/CD13732-2)". This is particularly needed because most of the ISO members are European and did not take into account the Japanese life-style in which it is common to sit or lie on the floor. Information from Japan is necessary to develop an IS which suits Japanese cultural norms.

This symposium will summarize findings on thermal comfort and floor heating systems by Dr. Olesen (Chair of the TC159/SC5/WG1), by Prof. Sohn (Korean researcher on ondol heating systems), and by a number of Japanese researchers.

開催趣旨： ISO（国際標準化機構） / TC159（人間工学） / SC5（環境人間工学） / WG1（温熱環境）国際専門家委員会では、多くの国際標準を制定してきた（表 1 参照）。温熱環境の快適性評価の分野では、ISO7300 が現在制定され、PMV や PPD の指標が作られている。しかしながら、これらの標準は、「均一・定常」な温熱環境を想定したものであり、「不均一・非定常」な温熱環境の評価は、一部は考慮されているものの、大変不足しているのが現状である。ところが、現実の生活空間では、「不均一・非定常」な空間が普通であり、国際標準の制定に向けての研究が必要とされている。

ISO の国際専門家委員会の中でも、ISO7730 の改

定や、接触時の温熱環境に焦点を合わせた新標準の開発が論議されている。また、我が国においても、冬季の床暖房の普及が著しく、その使用に際しての快適範囲や許容範囲に関する研究も数多く報告されている。ところが、欧米では、我が国で一般に認められるような、床暖房時に床に座ったり寝転んだりすることを想定した研究例はなく、従来の欧州発の国際標準では、国際標準が我が国の生活形態に合わないことが指摘されている。

また、本 WG の国際標準は、14415（高齢者、障害者）を除き、全てヨローッパの原案によるものである。そこで、通産省は新規産業支援型国際標準開発事業のなかで、平成 11 年度から 3 カ年間「快適な生

活空間の創造のための動的温熱環境の標準化」のプロジェクト（委員長：柄原 裕）を立ち上げ、「不均一・非定常」な温熱環境の標準化に向けた研究を推進している。

今回、ISO 国際専門家委員会主査であり、不均一温熱環境（床暖房を含む）評価基準のドラフト作成

の中心でもある Olesen 博士と、韓国におけるオンドル研究の第一人者である孫教授、さらには、国内で床暖房の研究を実践してきた研究者を招き、我が国の研究成果を生かした国際標準の制定が可能となるように、本シンポジウムを企画した。

表1 本 WG が作成した、もしくは計画中の国際標準

	暑熱環境	中庸温熱環境	寒冷環境
評 価 基 準	7243 WBGT 指標	7730 PMV, PPD 指標	11079 IREQ 指標
	7933 必要発汗率	10551 主観申告	9886 生理測定
	9886 生理測定	9886 生理測定	5743 作業現場
	13732-1 接触火傷	13732-2 接触	13732-3 接触凍傷
	14415 高齢者、障害者	14415 高齢者、障害者	14415 高齢者、障害者
	14505 車両	14505 車両	14505 車両
支 援 基 準	11399 原則と適用, 8996 代謝量, 9920 C I o 値：衣服量 7726 測定機器, 12894 事前健康診断, 13731 単位・記号 15265 リスクアセスメント		

## International Standards for Non-Uniform Thermal Environments

B. W. Olesen, Ph.D.,  
Chair ISO TC159 SC5 WG1 "Ergonomics of the thermal environment"  
D. F. Liedelt "Velta" GmbH, Norderstedt/Germany

### 1. INTRODUCTION

The main purpose of most buildings and installed heating and air conditioning systems is to provide an environment that is acceptable and does not impair health and performance of the occupant. The knowledge on the thermal climate parameters, their influence on the occupants and the influence of buildings and systems on these parameters are to day relatively well known and established in international standards. To be able to evaluate thermal comfort criteria for the relevant thermal parameters must be known together with methods for prediction (design stage) or measurements at these parameters (commissioning and operation stage). Also during testing and development of new products there is a need for testing and evaluating the impact on thermal comfort.

The paper presents some of the criteria which are being proposed in existing international standards or standards in progress. Issues like air velocity and local thermal comfort parameters like radiant asymmetry and floor temperatures are being discussed.

### 2. CRITERIA FOR LOCAL THERMAL COMFORT (NON-UNIFORMITY)

The environmental parameters which constitute the thermal environment are: Temperature (air, radiant, surface), humidity, air velocity and the personal parameters: clothing together with activity level..

Criteria for an acceptable thermal climate is specified as requirements to the general thermal comfort (PMV-PPD or operative temperature (air- and mean radiant temperature), air velocity, humidity) and to local thermal discomfort (draught (mean air velocity, turbulence intensity, air temperature) vertical air temperature differences, radiant temperature asymmetry, surface temperature of the floor). Such requirements can be found in standards and guidelines like EN ISO 7730 [1], CR 1752 [2] and ASHRAE 55-92 [3].

For most of the thermal parameters it has been possible to establish a relation between the parameter and a predicted percentage of people finding the conditions unacceptable. People may be dissatisfied due to the general thermal comfort (PMV, Operative temperature) and/or dissatisfied due to local thermal comfort parameters (draught, radiant asymmetry etc). To day there exist no method for combining these percentages of dissatisfied persons to give a good prediction of the total number of persons finding the environment unacceptable. Also there is very little information on the combined influence of general and local thermal comfort parameters.

The chosen level of thermal comfort may be influenced by what is technical possible, economy, energy use, environmental pollution and performance. Therefore it is suggested in the revision of ISO EN 7730 and ASHRAE-55 to specify different levels of acceptance like in CR 1752. Individual countries or a contract between client and designer can then specify which levels must be used. Table 1 gives recommended levels of acceptance for three classes of environment [3].

Table 1: Three categories of thermal environment. Percentage of dissatisfied due to general comfort and local discomfort (CR 1752 [3].)

Category	Thermal state of the body as a whole		Local Thermal Discomfort			
	PPD %	Predicted Mean Vote	Draught Rate, DR %	Vertical Air Temp. difference %	Warm or Cool Floor %	Radiant Temperature Asymmetry %
A	< 6	-0.2 < PMV < + 0.2	<15	< 3	< 10	< 5
B	< 10	-0.5 < PMV < + 0.5	<20	< 5	< 10	< 5
C	< 15	0.7 < PMV < + 0.7	<25	< 10	< 15	< 10

It is mainly people at light sedentary activity who are sensitive to local discomfort. The diagrams and Table 2 apply to this group of people with a thermal sensation for the whole body close to neutral. At higher activities people are less thermally sensitive and consequently the risk of local discomfort is lower.

The criteria based on the three classes in Table 1 are in Table 2 listed for local discomfort parameters (radiant temperature asymmetry, vertical air temperature differences and floor surface temperatures).

Table 2. Recommended categories for local thermal discomfort parameters

Category	Vertical air temp. diff. K	Floor surface temperature °C	Radiant temperature asymmetry K			
			Warm ceiling	Cool ceiling	Cool wall	Warm wall
A	< 2	19 - 29	< 5	< 14	< 10	< 23
B	< 3	19 - 29	< 5	< 14	< 10	< 23
C	< 4	17 - 31	< 7	< 18	< 13	< 35

## 2.1 Draught

The air velocity in a space can lead to draught sensation, but may also lead to improved comfort under warm conditions. The draught model, which are included both in ASHRAE Standard 55 and ISO EN 7730, is listed below:

$$DR=((34-t_a)^*(v-0.05)^{0.62})*(0.37*v*T_u+3.14)$$

where:

DR is the draught rating, i.e. the percentage of people dissatisfied due to draught;

$t_a$  is the local air temperature in °C;

v is the local mean air velocity in m/s; and

$T_u$  is the local turbulence intensity in per cent.

The model of draught is based on studies comprising 150 subjects exposed to air temperatures of 20-26°C, mean air velocities of 0.05-0.4 m/s and turbulence intensities of 0-70%. The model applies to people at light, mainly sedentary activity with a thermal sensation for the whole body close to neutral. The sensation of draught is lower at activities higher than sedentary and for people feeling warmer than neutral.

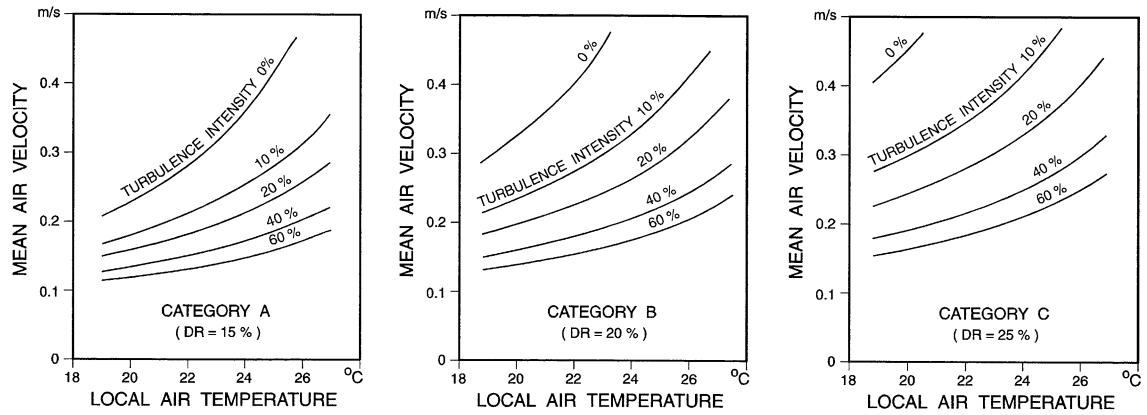


Figure 1. Mean air velocity as a function of local air temperature and turbulence intensity for the three categories of the thermal environment.

Recent studies by Griefahn [4] indicate that this model must be modified to take into account length of exposure and activity level. Studies by Toftum et. al. ([5], [6],[7],[8]) show additional influence of the velocity directions. The two studies do not agree completely with the above draught model. According to Griefahn the models predict too low DR percentages while according to Toftum et. al. it predicts too high values.

The study by Toftum et. al. [8] has also verified the diagram in ASHRAE 55-92, where an elevated ambient temperature may be compensated by an increased air velocity if the occupant has individual control (ceiling fans, open windows).

Further research related to draught will be available through an ASHRAE research project, which will be finished in spring 2000.

The influence of air velocity on the general thermal comfort and on local thermal comfort has been studied quite extensively both in USA, Europe and Japan. The effect of air velocity has not only been studied with sedentary people in general thermal comfort; but also with people at higher activity levels and who are on the warm or cold side of comfort.

## 2.2 Vertical air temperature difference

A high vertical air temperature difference between head and ankles may cause discomfort. The values in Table 2 apply when the temperature increases upwards. People are less sensitive for decreasing temperature.

The studies have mainly been made with seated people in general thermal comfort. There is a need to extend the studies with people at other activity levels.

## 2.3 Floor temperature

If the floor is too warm or too cool, the occupants may feel uncomfortable due to warm or cool feet. For people wearing light indoor shoes, it is the temperature of the floor rather than the material of the floor covering which is important for the comfort. In Figure 2 is shown the percentage of dissatisfied as a function of the floor temperature.

For spaces, which people are occupying with bare feet, both floor temperature and floor material are important for comfort. (Table 3 - ISO/CD13732-2).

The studies on floor temperatures and comfort has been made for the situation, where only the feet are in contact with the floor. In Asia it is often common to sit or lie on the floor. This may have an effect on the preferred floor temperature. Several studies have also been made in Japan and Korea, but often with a very limited number of subjects. It is here very

important to distinguish between electrical heated floors and water based floor heating systems.

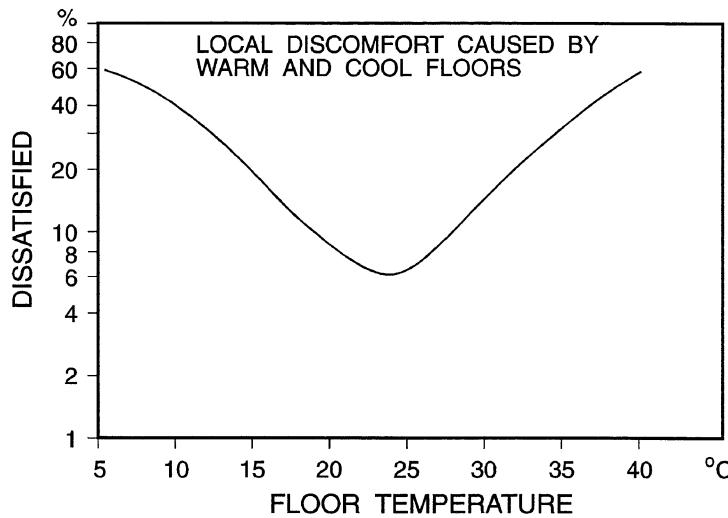


Figure 2: Local thermal discomfort caused by warm or cold floors

Table 3: Comfortable floor temperatures for standing people on typical floor constructions; sedentary people prefer temperatures 1-2 °C higher.

Floor construction on concrete	Heat loss to foot measured according to DIN 52614		Optimum floor temperature		Recommended floor temperature range °C	
	1 min. kJ/m <sup>2</sup>	10 min. kJ/m <sup>2</sup>	1 min. °C	10 min. °C	1 min. 10% dissatisfied	10 min. 15% dissatisfied
Textile layer	17	75	19	24	8-30	20-28
Wilton-carpet	20	91	21	24.5	12-30.5	21-28
Sisal-carpet	14	123	23	25	15.5-31	22.5-28
Needled felt sheet	21	111	22	25	13-30.5	22-28
5 mm cork	26	145	24	26	17-31	23-28
Pinewood floor	29	124	25	25	18.5-31	22.5-28
Oakwood floor	36	182	26	26	21.5-31.5	24.5-28
Wooden floor	38	134	26.5	25.5	22-31.5	23-28
Vinyl-asbestos tile	80	485	30	28.5	28-32.3	27.5-29
PVC-sheet with felt underlay	49	242	28	27	24.5-32	25.5-28
PVC-sheet (2 mm)	60	365	29	27.5	26-32	26.5-28.5
5 mm tessellated floor on gas concrete	60	301	29	27	26-32	26-28.5
5 mm tessellated floor on 20 mm cork	63	211	29	26.5	26.5-32	25-28
2.5 mm hard linoleum on wood	46	176	28	26	24-32	24-28
2.2 mm hard linoleum on concrete	45	296	28	27	23.5-32	26-28.5
Painted concrete floor	77	487	30	28.5	27.5-32.5	27.5-29
Concrete floor	50	298	28.5	27	24.6-32.0	26-28.5
Marble	75	511	30	29	27.5-32.5	28-29.5
Concrete slab finished with steel trowel	63	475	29	28.5	26.5-32	27.5-29
Concrete slab finished with wooden float	60	419	29	28	26.0-32	27-29

## **2.4 Radiant asymmetry**

Radiant asymmetry may also cause discomfort. People are most sensitive to radiant asymmetry caused by warm ceilings or cool walls (windows). Recommended criteria are listed in Table 2 for warm ceiling, cool wall, cool ceiling or/and warm wall. Radiant asymmetry is rarely a problem in ventilated/air-conditioned spaces, except at high illumination levels and at large window areas. Direct solar radiation should be avoided in the occupied zone, by means of building design or solar shading devices.

In industrial work places it is mainly the radiant asymmetry from overhead radiant heaters or a hot roof which may cause a problem. The values established for sedentary persons are too conservative for the higher activity levels and higher ceilings in industry.

A study by Langkilde et al. [9] shows that significantly higher radiant asymmetry are acceptable. Based on criteria similar to the above requirements of less than 5% dissatisfied, the recommended asymmetry limit is 10 -14°C .

In this area there is a great need for research, before it is possible to predict the total number of dissatisfied in a space.

## **3. DISCUSSION AND CONCLUSION**

Except for draught (air velocity) the local thermal discomfort parameters like vertical air temperature differences, floor surface temperatures and radiant temperature asymmetry have mainly been studied for younger, sedentary people in general thermal comfort. The studies have in most cases only looked at one factor.

There is a need to extend the study on local thermal comfort parameters for other type of activities and subject groups.

To be able to predict the combined influence of the thermal environment on people it is also important to obtain more information on the combined effect of general and local comfort and when exposed to several local discomfort parameters at the same time.

As there are very large individual responses to the thermal environment it is very important to use relative large number of subject to be able to get statistical acceptable results.

## **REFERENCES**

1. ISO EN 7730, 1994. Moderate thermal environments - Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort". International Standards Organization. Geneva
2. CR 1752, 1998. Ventilation for Buildings: Design Criteria for the Indoor Environment. CEN, Brussels.
3. ASHRAE Standard 55-1992. Thermal environment conditions for human occupancy. ASHRAE , Atlanta.
4. Griefahn, B.: Bewertung von Zugluft am Arbeitsplatz. Fb 828, Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund.
5. Toftum, J., Nielsen, R., 1996a: Draught sensitivity is influenced by general thermal sensation. International Journal of Industrial Ergonomics, 18 (4), 295-305.
6. Toftum, J., Nielsen, R., 1996b: Impact of metabolic rate on human response to air movements during work in cool environments. International Journal of Industrial Ergonomics, 18(4), 307-316.
7. Toftum, J., Zhou, G., Melikov, A., 1997: Airflow direction and human sensitivity to draught. CLIMA 2000, Brussels.
8. Toftum, J., Melikov, A., 2000: Human response to air movement. Part 1: Preference and draught discomfort. ASHRAE Project 843-TRP, Technical University of Denmark (in press).
9. Langkilde, G., Gunnarsen, L. and Mortensen, N., 1998: "Comfort limits during infrared radiant heating of industrial spaces". CLIMA 2000, Copenhagen.



## 日本における床暖房の快適性評価研究の流れ

渡邊慎一

名古屋工業大学大学院 VBL

### A Review of the Effect of Floor Heating on Human Physiological and Psychological Responses in Japan

Shin-ichi WATANABE

Nagoya Institute of Technology

Floor heating systems have recently come into wide use in Japan. Many researchers have carried out their research on floor heating from different points of view in order to create a comfortable living environment. These researchers have provided valuable information for residents, i.e. comfortable conditions, optimal conditions and limiting conditions of floor heating systems. The objective of this paper is to illustrate the comfortable, optimal and limiting conditions of floor heating systems on a graph which contains abscissas and ordinates indicating air temperature and floor temperature, respectively. This review contributes to the advance of research regarding floor heating systems.

#### 1.はじめに

一般に、床暖房は上下の気温差が小さく、また床からの熱放射や床との接触による加温により、快適性の高い暖房方式であると言われている。日本においても近年、多くの住宅に導入されている。床暖房に関する研究は様々な観点から数多くの研究が報告されている。床暖房研究の文献調査は、主として床暖房の快適域を明らかとするための一部として行われてきた。1985年に坊垣<sup>1)</sup>は、国内外の熱放射に関する文献をまとめ、床暖房の許容条件・快適条件を提示した。1990年に永村<sup>2)</sup>は、国内外の文献を対象とし、床表面温度の許容値についてまとめ、低温火傷に関する接觸温度と接觸時間の関係で表現できることを報告した。1992年に須永ら<sup>3)</sup>は、床温と空気温の組合せで許容限界・推奨範囲を図示し、快適感の評価が高くなる範囲が存在することを報告した。1996年に張ら<sup>4)</sup>は、国内外の文献を対象として、青年・高齢者別に床温の推奨・許容値やその分布を調査した。

本研究はこれらの研究をふまえ、日本における床暖房に関するその後に発表された論文も含め、主として被験者を用いた床暖房の人体生理・心理反応に及ぼす影響を取り扱った研究を、各研究機関毎に概観し、それらの研究成果の中で気温と床温で表現できる快適条件・推奨条件・限界条件等を図示し、今後の床暖房研究の資料とすることを目的としている。

#### 2. 調査対象文献

調査対象とした文献は、1) 日本建築学会大会学術講演梗概集、2) 日本建築学会論文報告集、3) 空気調和・衛生工学会論文集、4) 空気調和・衛生工学会

学術講演会講演論文集、5) 日本生気象学会雑誌、6) 人間-生活環境系シンポジウム報告集である。対象とした論文は、主として被験者を用いた床暖房の人体生理・心理反応に及ぼす影響を取り扱った論文で、1975年以降に学会等に発表された原著論文および報文とした。抽出した論文の総計は131編である。Fig. 1に、本研究で抽出した論文数を発表年毎に示す。論文の数が、必ずしも床暖房に関する研究の進度を示しているとは限らないが、床暖房に対する関心の度合いを示す一つの目安になるものと考えられる。1975年に、床暖房に関する研究<sup>5)</sup>の萌芽がみられ、1980年代に入ると、毎年多くの研究成果が発表されている。このような中で、1989年に空気調和・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」が設置され、多くの研究が行われた。

#### 3. 各研究機関の研究経過およびその成果

以下に、大学および研究所などの各研究機関が中心となって行った、床暖房の人体に及ぼす生理・心理

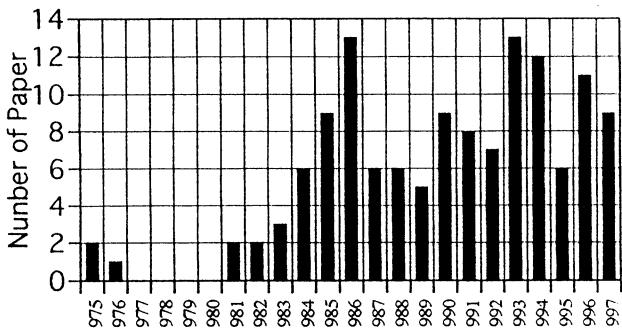


Fig. 1 Trend of the Number of the Paper

的影響に関連した研究の経過および成果を記す。ここで、各研究機関毎に研究の経過を記する目的は、各研究機関の床暖房に対する研究の特色と継続的な研究の成果を示すためである。以下、便宜的に代表機関毎にまとめ、抽出した論文の発表年順に記す。これらの研究成果の中で、快適条件・推奨条件・限界条件等が気温と床温の組み合わせで表現できる場合には、それらを図示する。図中の括弧内は、(第一著者、被験者姿勢、被験者着装状態、電気式または温水式、発表年、引用文献番号)を示す。

#### 1) 東京工業大学～豊橋技術科学大学

人工気候風洞を用いて、気温、気流、湿度および放射熱の人体に及ぼす影響を、被験者実験により継続的に実施している。この一連の研究の中で、床暖房に関する研究は1975年に最初の論文<sup>5)</sup>が発表され、その後、着衣条件等を変え実験が行われた<sup>6, 7)</sup>。1985年には、床との接触による熱伝導を考慮した作用温度を用いて床暖房の評価を試みる論文<sup>8)</sup>が発表された。

#### 2) 東京都立大学 (Fig. 2)

不均一な熱放射が人体に及ぼす熱的影響を取り扱った一連の研究<sup>9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16)</sup>を行っている。その中で、床暖房を対象とした研究は、1976年に発表された論文<sup>9)</sup>があり、室温の下限値を提案している。1992年からは床暖房の快適性に主眼をおいた研究を開始し、様々な気温と床温を組合せた条件下で一連の被験者実験を行い、人体に及ぼす熱的影響を把握し、等快適ラインを提案している<sup>17, 18, 19, 20, 21, 22, 23)</sup>。また、暖房方式による至適域の相異に関する研究<sup>24, 25)</sup>も行っている。また、これらの研究の端緒として床暖房の既存研究の文献調査を行っている<sup>3)</sup>。

#### 3) 奈良女子大学 (Fig. 3)

床暖房に関する研究は、1981年に発表された床面温度が睡眠に及ぼす影響を取り扱った研究<sup>26, 27)</sup>から開始された。1982年には、被験者自身に床温を自由に選択させ、好まれる床温および室温を明らかにした研究<sup>28)</sup>を発表している。その後、様々な条件下で被験者実験を行い床暖房の人体への影響および温熱的中立となる条件を明らかにしている。それらの研究には、姿勢の違いによる影響に関する研究<sup>29, 30, 31)</sup>、直接床座と間接床座の違いによる影響に関する研究<sup>32, 33)</sup>、床仕上げ材の違いによる影響に関する研究<sup>34)</sup>、床暖房と温風吹き出し暖房を比較した研究<sup>35)</sup>などがある。また、被験者に高齢者を用いた研究<sup>36, 37, 38)</sup>も行われている。これは他の研究グループが主として青年被験者を用いている点と比較して、注目される研究である。

#### 4) 横浜国立大学

1982年に、床暖房時の温熱環境を物理的に把握し、さらに、被験者の生理心理的反応を測定した論文<sup>39)</sup>を発表している。その後、主として床面と人体との接触温に着目し、被験者実験を行っている<sup>40, 41, 42, 43)</sup>。

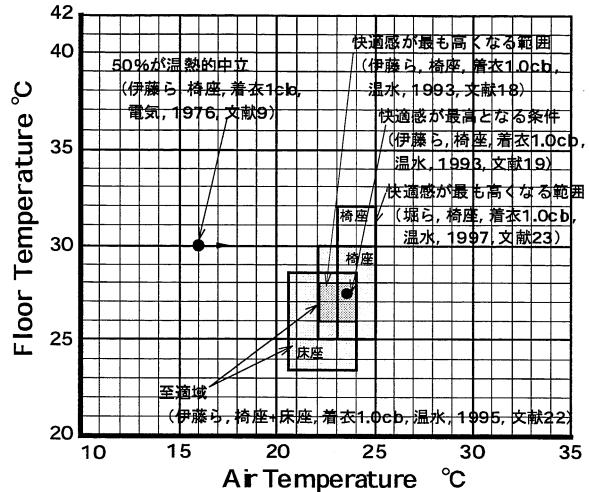


Fig. 2 Optimal, Recommendation, Limiting Conditions of the Floor Heating (Tokyo Metropolitan University)

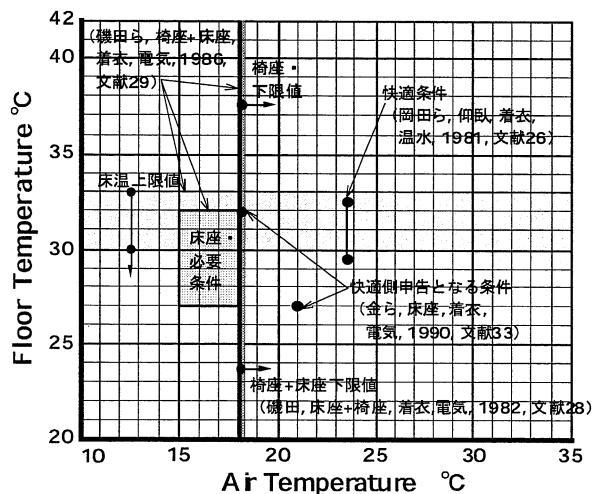


Fig. 3 Optimal, Recommendation, Limiting Conditions of the Floor Heating (Nara Women's University)

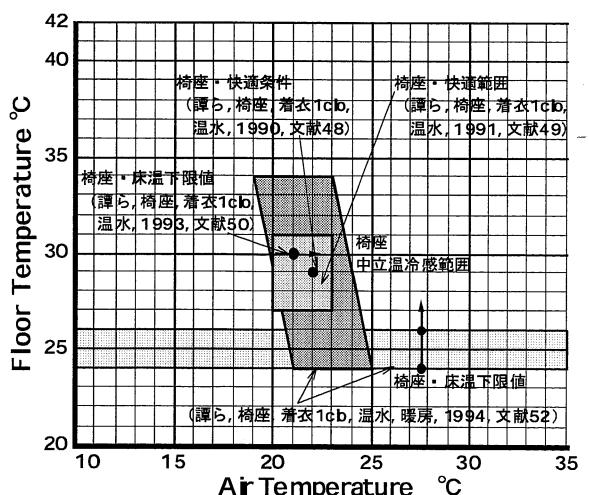


Fig. 4 Optimal, Recommendation, Limiting Conditions of the Floor Heating (The University of Tokyo)

## 5) 東京大学 (Fig. 4)

気温および熱放射が人間の温熱感覚に及ぼす一連の研究<sup>44, 45, 46, 47)</sup>を行っている。1989年から開始された空気調和・衛生工学会「床暖房のアメニティ評価に関する研究委員会」の活動に参加し、その一環として被験者実験を行い、床暖房の人体に及ぼす影響を明らかにしている<sup>48, 49, 50)</sup>。また、接触温熱感を考慮した至適域の提案も行っている<sup>51, 52)</sup>。

## 6) 大阪市立大学 (Fig. 5)

1985年の論文<sup>53)</sup>では、主として足裏のみを加温した場合の生理心理的影響を把握している。その後、1989年から開始された空気調和・衛生工学会「床暖房のアメニティ評価に関する研究委員会」の活動に参加し、多くの成果を上げている。床暖房研究の文献調査を国内外の論文を対象として行い、床温の許容値を考察している<sup>2)</sup>。また、被験者実験を行い床暖房の人体に及ぼす影響を把握し、さらに至適域の提案も行っている<sup>54, 55, 56, 57)</sup>。また、研究委員会の活動をまとめ、他研究グループのデータと併せ、床暖房データ・ベースを作成している<sup>58, 59, 60)</sup>。その後、人体と床との接触部に着目し、人体接触部位モデルを開発し、伝熱解析を行っている<sup>61, 62, 63)</sup>。

## 7) 建設省建築研究所 (Fig. 6)

床暖房の快適条件を明らかにすることに主眼を置いて一連の研究を行っている。これらの研究により、床暖房時の快適範囲<sup>64)</sup>、許容条件<sup>65, 66)</sup>、目標条件<sup>67)</sup>を提案している。また、空気調和・衛生工学会「床暖房のアメニティ評価に関する研究委員会」の活動にも参加している。

## 8) 早稲田大学

1987年に床暖房パネルを用いた被験者実験を行い、その快適性に関して考察している<sup>68)</sup>。その後、低温輻射暖房・温風暖房・床暖房の暖房方式の違いによる、エネルギー消費の違いを明らかとする体感実験を行っている<sup>69, 70, 71, 72, 73)</sup>。

## 9) 名古屋工業大学 (Fig. 7)

1990年には、韓国のオンドルについての実測調査が報告<sup>74)</sup>されている。その後、胡座姿勢による一連の被験者実験が行われ、生理的・心理的な観点から床暖房の人体への影響の解明と至適域の提案<sup>75, 76, 77, 78, 79)</sup>が行われた。またこれと平行して、放射熱授受の評価に必要となる胡座人体の有効放射面積率および形態係数を導出している<sup>80, 81, 82)</sup>。そして、相互反射や伝導を考慮した伝導修正作用温度の検討を行い<sup>83, 84, 85)</sup>、数値解析により床暖房時の温熱環境の予測が可能<sup>86)</sup>であることを示している。

## 10) 近畿大学 (Fig. 8)

1990年に接触温冷感測定器を試作し、接触部の熱流を測定している<sup>87)</sup>。その後、被験者実験を行い床暖房の快適性を考察している<sup>88, 89)</sup>。

## 11) 北海道大学 (Fig. 9)

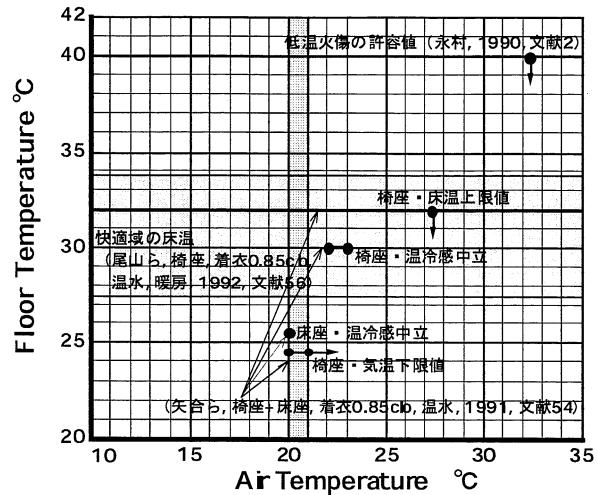


Fig. 5 Optimal, Recommendation, Limiting Conditions of the Floor Heating (Osaka City University)

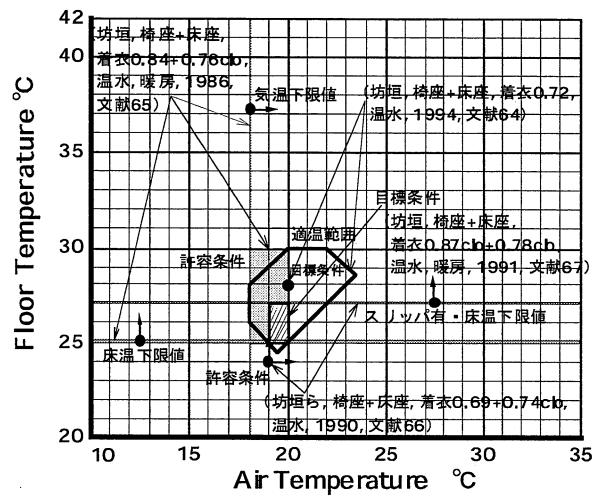


Fig. 6 Optimal, Recommendation, Limiting Conditions of the Floor Heating (Building Research Institute)

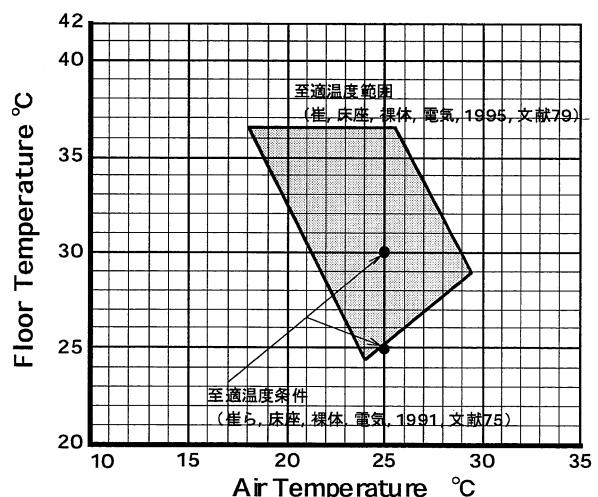


Fig. 7 Optimal, Recommendation, Limiting Conditions of the Floor Heating (Nagoya Institute of Technology)

1996年に床暖房を省エネルギーの観点から捉え、寒冷地における床暖房の適応限界を明らかにしている<sup>90, 91, 92)</sup>。

## 12) その他の研究

鳴海ら<sup>93, 94)</sup>は、床暖房時の姿勢の違いが生理心理反応に及ぼす影響を、被験者実験を行い考察している。八町<sup>95, 96)</sup>は接触温冷感に着目し被験者実験を行っている。植崎ら<sup>97)</sup>は不均一なふく射場における部位温冷感を被験者実験によって把握している。葉袋ら<sup>98)</sup>は、輻射暖房時の温熱環境を測定し、被験者の快適性を考察している。山田ら<sup>99)</sup>は、低温火傷について伝熱学的な解析により、その発生の可能性を明らかにしている。舟越ら<sup>100)</sup>は、放射冷暖房単独とルームエアコンとの併用が被験者の快適性に与える影響を、被験者実験によって把握している。

## 4.まとめ

本研究は、1975年～1997年に日本において発表された、主として被験者を用いた床暖房の快適性評価を取り扱った研究を概観し、各研究機関の研究の特徴とその経過を示した。またこれらの研究成果の中で、気温と床温で表現できる至適条件・推奨条件・限界条件等を図示し、今後の床暖房研究の基礎資料として提示した。

本論文は下記の論文を加筆・修正したものである。  
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、pp. 433-436, 1999

### 引用文献

- 空気調和・衛生工学を空衛工学、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集を空衛大会、日本建築学会大会学術講演梗概集を建築大会、日本建築学会計画系論文集を建築論文集、人間－生活環境系シンポジウム報告集を人間－生活シンポと記す。
- 1) 坊垣：空気調和・衛生工学, 59 (4) 26) 岡田ら：建築大会, 681-682, 1981  
, 343-349, 1985 27) 岡田ら：建築大会, 165-166, 1983
- 2) 永村：空衛大会, 1237-1240, 1990 28) 磯田：日本生気象学会雑誌, 19 (3)  
3) 須永ら：建築大会, 995-996, 1992 , 75, 1982
- 4) 張ら：空衛大会, 1149-1152, 1996 29) 磯田ら：第10回人間－生活シンポ
- 5) 井上ら：日本建築学会関東支部研究, 128-131, 1986  
報告集, 89-92, 1975 30) 磯田ら：建築大会, 949-950, 1986
- 6) 平山ら：建築大会, 911-912, 1984 31) 李ら：建築大会, 817-818, 1997
- 7) 山口ら：建築大会, 515-516, 1985 32) 金ら：建築大会, 345-346, 1987
- 8) 平山ら：建築大会, 555-556, 1985 33) 金ら：建築論文集417, 19-29, 1990
- 9) 伊藤ら：建築大会, 445-446, 1976 34) 金ら：建築大会, 891-892, 1989
- 10) 伊藤ら：空衛大会, 573-576, 1985 35) 磯田ら：建築大会, 373-374, 1996
- 11) 伊藤ら：建築大会, 519-520, 1985 36) 複本ら：建築大会, 731-732, 1991
- 12) 伊藤ら：建築大会, 951-952, 1986 37) 複本ら：空衛大会, 17-20, 1993
- 13) 伊藤ら：建築大会, 953-954, 1986 38) 複本ら：建築大会, 349-350, 1994
- 14) 伊藤ら：建築大会, 353-354, 1987 39) 川島ら：第6回人間－生活シンポ,
- 15) 伊藤ら：建築大会, 355-356, 1987 61-64, 1982
- 16) 桃田ら：建築大会, 895-896, 1989 40) 深井ら：空衛大会, 1153-1156,
- 17) 堀ら：建築大会, 997-998, 1992 1996
- 18) 伊藤ら：空衛大会, 77-80, 1993 41) 深井ら：建築大会, 365-366, 1996
- 19) 伊藤ら：空衛大会, 81-84, 1993 42) 深井：空衛大会, 73-76, 1997
- 20) 伊藤ら：空衛大会, 1317-1320, 43) 深井ら：建築大会, 403-404, 1997  
1994 44) 田中ら：建築大会, 933-934, 1984
- 21) 伊藤ら：空衛大会, 1321-1324, 45) 三ツ峰ら：建築大会, 551-552, 1985  
1994 46) 清水ら：建築大会, 955-956, 1986
- 22) 伊藤ら：空衛大会, 1241-1244, 47) 三ツ峰ら：建築大会, 957-958, 1986  
1995 48) 謝ら：空衛大会, 1225-1228, 1990
- 23) 堀ら：建築論文集, 37-44, 1997 49) 謝ら：空衛大会, 165-168, 1991
- 24) 桃田ら：建築大会, 1001-1002, 50) 謝ら：空衛大会, 85-88, 1993  
1992 51) 沖倉ら：空衛大会, 1285-1288,
- 25) 桃田ら：建築大会, 1387-1388, 1994 52) 謝ら：空衛大会, 1289-1292, 1994  
1993

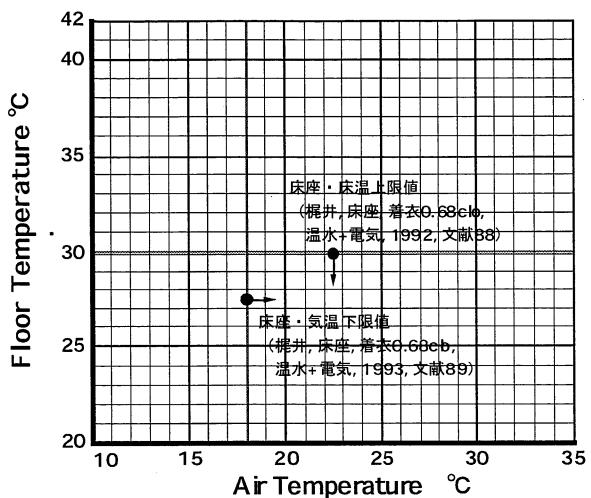


Fig. 8 Optimal, Recommendation, Limiting Conditions of the Floor Heating (Kinki University)

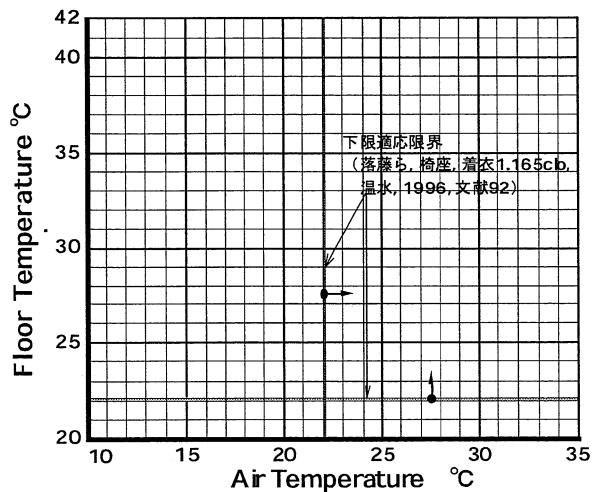


Fig. 9 Optimal, Recommendation, Limiting Conditions of the Floor Heating (Hokkaido University)

- 53) 永村ら：建築論文集 353, 21-31, 1985 78) 崔ら：建築論文集 480, 7-14, 1996  
1985 79) 崔：博士論文, 1995
- 54) 矢合ら：空衛大会, 829-832, 1991 80) 宮本ら：建築大会, 1321-1322,  
55) 尾山ら：空衛大会, 833-836, 1991 1993
- 56) 尾山ら：建築大会, 993-994, 1992 81) 宮本ら：建築論文集, 27-33, 1996
- 57) 尾山ら：建築大会, 1051-1052, 1993 82) 宮本ら：建築論文集 497, 33-38,  
1997
- 58) 永村：空衛大会, 1-4, 1993 83) 宮本ら：空衛大会, 989-992, 1994
- 59) 永村ら：空衛大会, 5-8, 1993 84) 宮本ら：建築大会, 351-352, 1994
- 60) 尾山ら：空衛大会, 9-12, 1993 85) 宮本ら：建築論文集 498, 45-49,  
61) 鄭ら：第19回人間－生活シンポ, 1997  
10-13, 1995 86) 宮本ら：第19回人間－生活シンポ  
62) 鄭ら：建築大会, 235-236, 1995 , 166-169, 1995
- 63) 鍋島ら：空衛大会, 1097-1100, 1997 87) 梶井：建築大会, 859-860, 1990  
64) 坊垣：空衛大会, 1297-1300, 1994 88) 梶井：第16回人間－生活シンポ,  
14-17, 1992
- 65) 坊垣：第10回人間－生活シンポ, 89) 梶井ら：空衛大会, 73-76, 1993  
291-294, 1986 90) 落藤ら：空衛大会, 657-660, 1996
- 66) 坊垣ら：空衛大会, 1233-1236, 91) 落藤ら：空衛大会, 661-664, 1996  
1990 92) 落藤ら：空衛大会, 665-668, 1996
- 67) 坊垣：空衛大会, 161-164, 1991 93) 鳴海ら：第20回人間－生活シンポ  
68) 木村ら：建築大会, 349-350, 1987 , 129-132, 1996
- 69) 木村ら：空衛大会, 325-328, 1988 94) 鳴海ら：建築大会, 405-406, 1997
- 70) 木村ら：空衛大会, 329-332, 1988 95) 八町：建築大会, 163-164, 昭和58
- 71) 木村ら：空衛大会, 333-336, 1988 96) 八町：建築大会, 925-926, 昭和59
- 72) 木村ら：建築大会, 729-730, 1988 97) 植崎ら：建築大会, 521-522, 昭和60
- 73) 田辺ら：空衛大会, 993-996, 1994 98) 葉袋ら：建築大会, 897-898, 1989
- 74) 崔：空衛大会, 1229-1232, 1990 99) 山田ら：第14回人間－生活シンポ  
95-98, 1990 , 115-117, 1990
- 75) 崔ら：建築大会, 741-742, 1991 100) 舟越ら：第16回人間－生活シンポ  
10-13, 1992
- 76) 崔ら：空衛大会, 845-848, 1991
- 77) 酒井ら：建築大会, 999-1000, 1992

## 床暖房使用時の室温・床温の推奨範囲とその策定経緯

桑沢保夫

建設省建築研究所

### **Recommend floor and air temperature range when using a floor heating system, and the settle process**

KUWASAWA Yasuo

Building Research Institute, Ministry of Construction

Recommend floor and air temperaturerange was settled on in the committee which was provided for the Society of Heating, Air-Conditioning and Sanitary Engineers of Japan. In this paper, the range when using a floor heating system, and the settle process are being explained. The purpose of the committee was to examine at the floor heating system in the way of investigating, experimenting, computing and so on. The recommendation range was settled on based on the result of the subjective experiments.

Some differences are seen when comparing the recommendation range with the international standard value. The 1st point of difference is about whether or not it is heating a floor surface aggressively. The 2nd point of difference is the wear coating form of the footing. As for the international standard value, it is desirable to be reflected for a use state of the floor heating system in Japan.

#### 1. はじめに

本報では筆者が委員として参加していた社) 空気調和・衛生工学会に設けられた委員会において策定された、床暖房時の室温、床温の推奨範囲とその策定経緯について述べ、国際的な基準値などとの比較を行う。

#### 2. 委員会活動の概要

上記委員会の概要は以下の通りである。  
名称：床暖房のアメニティ評価に関する研究委員会  
委員長：1990～1993 年貝塚正光（明治大学教授）  
1994 年 鎌田元康（東京大学教授）  
活動期間：1990～1994 年  
目的：文献調査、実態調査、アンケート調査、被

験者実験、数値計算などにより床暖房システムに検討を加え、床暖房をアメニティの面から詳細に評価するとともに、作り出される温熱環境の予測方法の確立と設計目標値の提案を行うことを目的とする。

#### 研究内容：

- ①床暖房に関する既存文献の収集と整理。
- ②床暖房使用者に対するアンケート調査とモニタ一調査。
- ③室内温熱環境の実測と被験者申告実験。
- ④床面の接触温感についての実験。
- ⑤暖房時の温熱環境数値予測法の確立。<sup>1)</sup>

#### 3. 推奨範囲策定の経緯

上記の委員会においてはそれぞれ少しづつ違つ

た見地から三グループが別々に被験者実験を行った。いずれも床暖房の快適性を定量的に評価する手法の開発を最終的な目的としているが、以下のような点で違いが見られた。

冰村は3時間程度の長時間にわたる被験者実験の影響と、椅座と床座の違いに主に着目して実験を行った。

坊垣は、年齢層の違い、床仕上げ材の違い、暖房方式の違いに特に注目して実験を行った。

鎌田らは暖房方式による違いと、床表面温度と気温の組み合わせと快適性の関連に主に注目して実験を行った。

以上のようにして行われた実験ではあるが、室温と床温の組み合わせによって評価が決まって来るという点では、実験によって数値にすれば見られるものの、ほぼ同じ形の出力が得られることがある。そこで、それらの結果の中でも青年男女を対象とした実験で曝露時間1時間程度のデータを統合し、床暖房を行う際の床表面温度・室温の推奨範囲として示すこととした。

#### 4. 床暖房を行う際の床表面温度・室温の推奨範囲<sup>2)</sup>

##### 4. 1 目的

床暖房を行う上で、健康や快適性などの面を配慮して、実際に使用するときの床表面温度と室温の推奨範囲を示す。

##### 4. 2 概要

まず、健康面からみた限界値を優先した。次に、基本的には温冷感申告が±1に収まる範囲を限界値とし、さらにコールドドラフトの影響も考慮して推奨範囲とした。

ただし、日本での実際の生活においては、椅子に座るスタイル（椅座）と床に直接座るスタイル（床座）の双方があり、それぞれのスタイルに適当な範囲があると考えられる。しかし、今回は床座の場合にはデータ数があまり多くないといった理由から、推奨範囲としてはそれぞれの場合に適当とされる範囲を分けずに、まとめて示すことと

して、実際の運用は使用状況を考慮して設計者や使用者、管理者に判断してもらう事とした。

#### 4. 3 定義

あとで使用する、「床表面温度」と「室温」は次の定義によるものとする。

##### 1) 床表面温度

一般に在室者が占めていると考えられる場所付近で、空気に触れている床表面の平均的な温度

##### 2) 室温

一般に在室者が占めていると考えられる場所付近における、床上 60cm 付近の空気の平均的な温度

#### 4. 4 推奨範囲（図参照）

床暖房実験の際には椅座のときに比べて床座のときの温冷感申告値の方が 0.9 程度高い値となることがこれまでの実験からわかっている。そこで、以下ではこのことを踏まえてそれぞれの値を決めた。

##### 1) 床表面温度の最低値

被験者実験の結果から、接触を続いている足裏の皮膚温が低下しない範囲、また椅座の場合に室温 19 °C 以上で -3 以下の温冷感申告が 10% を越えない範囲として、25 °C を最低値とする。

##### 2) 床表面温度の最高値

ある程度の時間直接接していても火傷しない安全な範囲、また椅座の場合に室温 19 °C 以上で +2 以上の温冷感申告がほぼ 10% を越えない範囲として、31 °C を最高値とする。

##### 3) 室温の最高値

被験者実験の結果から、椅座で +2 以上の温冷感申告が 10% を超えない範囲とする。室温が 19 ~ 23 °C 付近、床表面温度 25 ~ 31 °C 付近では温冷感申告が床表面温度にあまり影響されないことを考慮して、床表面温度とは関係なく 23 °C を室温の最高値とする。

##### 4) 快適性からみた床表面温度と室温の最低値

被験者実験の結果から、室温が 18 °C 程度になると温冷感申告は床表面温度に影響される事がわ

かっている。そこで、椅子のときに -3 以下の温冷感申告値が 10%を越えない床表面温度と室温の組み合わせを限界値として、以下の式で示される直線も床表面温度と室温の最低値とする。

$$Ta = -0.5 \times Tf + 32.5$$

#### 5) 床表面温度と室温の差の最高値

断熱があまり良くない場合や外気温が非常に低い場合には、床表面温度と室温の差が大きくなりコールドドラフトの影響が大きくなる。そこで、一般的の使用状況なども考慮して床表面温度と室温の差（床表面温度－室温）は 10 °Cを最高値とする。

ただし、外気温が非常に低い場合や、断熱性能が低い既存の住宅の場合には、室温 18 °C以上であれば床表面温度と室温の差（床表面温度－室温）は 12 °Cを最高値とする。

### 4. 5 目標範囲

推奨範囲の中でも比較的中立に近い温冷感を得られる範囲として椅子と床座の使用を考慮して、床表面温度 28 °C、気温 21 °Cを中心とした範囲（境界は明確には示さない）を、床暖房を行う際の目標範囲とする。

### 4. 6 注意

この推奨値は、おもに温水式の床暖房で使用することを考慮して作成されているので、電気式の床暖房などで、人体と接触している部分の温度が極端に上昇してしまうような場合には適用できないので注意が必要である。また、温水式の場合でも長時間動かずに床に接触する場合は、床表面温度を低めにすること。

### 5. 国際的な基準値などとの比較

ここで示した推奨範囲を海外における国際的な基準値と比較するといくつかの違いが見られる。

その中でも大きな違いは床表面がある温度になる時の前提条件にある。ここで示している推奨範囲は、床暖房によって積極的に床表面を上昇させることにより室温も上昇させて快適な温熱環境

を得ようとしている場合について検討しているのに比べて、海外の文献では意図しない床温度の変化に対して基準を設けている様に見られる。そのため、前者では床温度を上げることによって室温をある程度下げができる様な結果を示しているが、後者では気温との関連には特にふれられていない。

また、もう一つの大きな違いとしては室内における足元の着衣形態の違いである。われわれの実験条件では日本での冬季の室内における通常の着衣状態として、足元はソックスのみ、もしくはその上にスリッパを着用した状態で行っているが、海外においてはこれよりも着衣量の多いことが通常の状態と考えられる。

いずれの違いにしても、床表面温度に関しては今回示した推奨範囲の方がより高い範囲まで有効としていることに合致する。

以上のことを加味して考慮すると、基準値の間に違いあってもその使用状況（前提条件）が違うことを考えれば、いずれの値も特におかしな値であるとはいえない。しかし、あえて述べるならば、国際的な基準値として示されるものには、日本における床暖房の使用状況などうまく反映できるようなものとなっていることが望ましいと考えられる。

### 参考文献

- 1) 社) 空気調和・衛生工学会 床暖房のアメニティ評価に関する研究委員会報告書、1990年
- 2) 社) 空気調和・衛生工学会 床暖房のアメニティ評価に関する研究（4）報告書、1994年

Table 1 Average of thermal sensation vote and difference of it between sit on chair and floor

Temp. revel air	Temp. revel floor	Ave. of TSV		
		Chair	Floor	Difference
18°C	24°C	-1.3	-0.2	+1.1
18°C	26°C	-1.3	-0.7	+0.6
18°C	28°C	-1.0	+0.3	+1.3
20°C	24°C	-0.8	-0.3	+0.5
20°C	26°C	-0.7	-0.4	+0.3
20°C	28°C	-0.4	+0.5	+0.9
20°C	30°C	-0.5	+1.3	+1.8
22°C	28°C	-0.5	+0.6	+1.1
22°C	30°C	+0.2	+0.7	+0.5
		sum		+8.2

If higher than this floor surface temperature, continues contact, a temperature of the skin doesn't decline and there is not it, being cold even if it sits on the chair.

Table 2 Ratio of TSV which is to -3 (%)

Air temp. revel	Floor temp. revel (°C)				
	24	26	28	30	32
24°C				0	0
22°C			0	5	6
20°C		14	10	9	7
18°C	39	19	27		

Table 3 Ratio of TSV which is more than or equal to +2 (%)

Air temp. revel	Floor temp. revel (°C)				
	26	28	30	32	34
24°C			4	22	25
22°C	0	0	18	22	
20°C	2	3	0		
18°C	4	7			

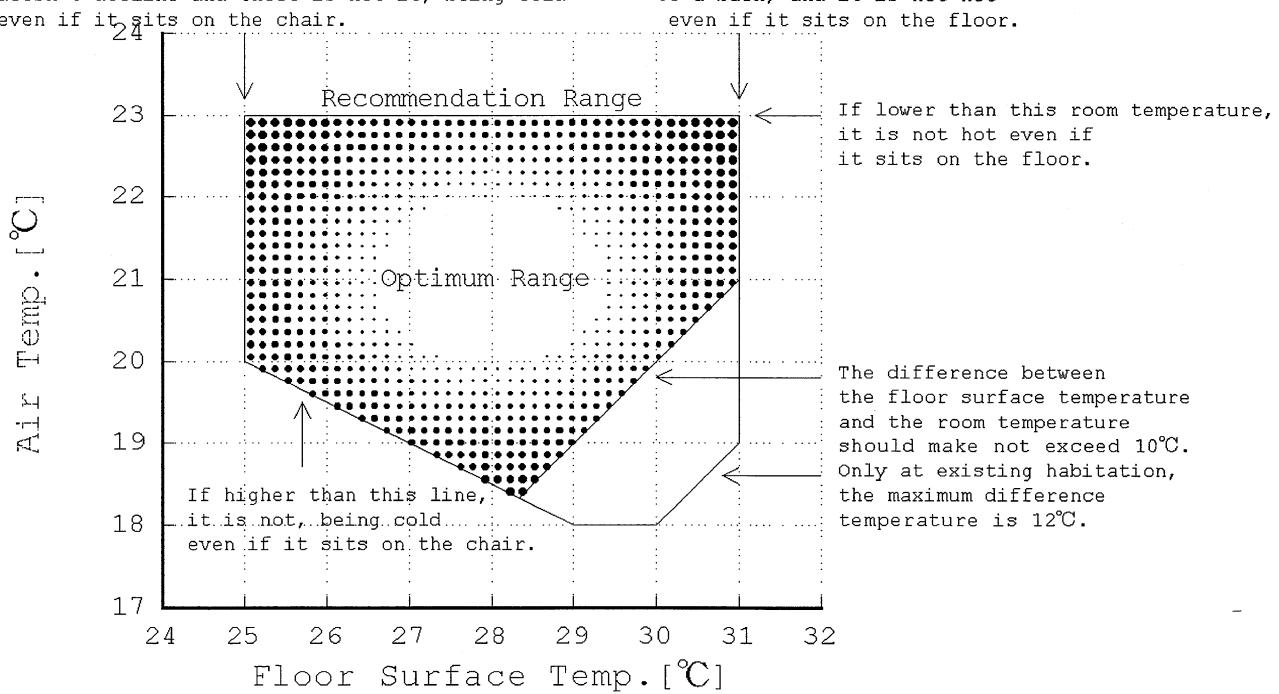


fig.1 Recommend floor and air temperature range when using a floor heating system,

## 床暖房使用時の熱的快適性評価

○堀祐治<sup>1)</sup>、伊藤直明<sup>1)</sup>、須永修通<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> 早稲田大学理工学総合研究センター、<sup>2)</sup> 東京都立大学大学院

### Evaluation of Thermal Comfort in Floor Heating

Yuji Hori<sup>1)</sup>, Naoaki ITO<sup>1)</sup>, Nobuyuki SUNAGA<sup>2)</sup>

1) Advanced Research Institute for Science and Engineering, Waseda University

2) Tokyo Metropolitan University, Graduate School of Engineering

In an ordinary heated room, the thermal environment becomes non-uniform due to drafts, cool surfaces, and so forth. However, most thermal indexes assume a uniform thermal environment. Thus, it is difficult to evaluate non-uniform thermal environments numerically. In addition, evaluations of thermal environments are usually based on thermal sensation. Instead, these evaluations should be based on thermal comfort because it is primarily comfort condition which determines temperature distribution. In other words, given similar thermal sensations, there are differences in thermal comfort depending on temperature distribution. On this basis, a prediction method using thermal comfort applied to non-uniform thermal environments is necessary to accurately evaluate thermal environments. This paper presents the results of an experiment researching the effect of floor and air temperature on thermal comfort in floor heated environments. Further, we examine the results of the thermal comfort evaluation method in non-uniform thermal environments. The effect of a combination of floor and air temperatures was surveyed over a wide range. More than six hundred human subjects participated in the experiment. This experiment clarifies the relationship between the combination of floor and air temperature, and thermal comfort for the human body. From analysis of these results, an evaluation method for thermal comfort based on local thermal sensation was developed. This new method provides a thermal comfort predictor for non-uniform thermal environments.

#### はじめに

床暖房は、高い快適性が得られ、エネルギー的にも有効な手法と言われている。しかしながら、現在の熱環境指標のほとんどが温度分布の均一な状態を適用の条件としていることから、床暖房のように不均一な温度分布が形成される室内環境が人体にどのような温熱感覚をもたらすかを数量的に示すことが難しく、引いてはエネルギー消費の有効性を比較する手段がない。これまで、床暖房に関する多くの研究報告がなされ、一部に快適な床暖房の床や空気の温度範囲が示されているが、それぞれに限定された条件にのみ適応されるものであり、床(暖房)面積、壁・窓からの熱流、人体の着衣量や姿勢、また床への加温方式など、無数に想定される室内熱環境に対して快適性を保証するものではない。

床暖房などの不均一熱環境の評価、または適切な設定温度の推奨が困難なのには、大きく二つの理由があげられる。その一つが、現在の熱環境指標の適応条件である。通常の室内熱環境が不均一な状態であるにも関わらず、指標の多くは均一かつ標準的な熱環境にのみ適応を限っており、床暖房のような不

均一熱環境の評価が行えない。またもう一つには、熱環境評価の多くが全身温冷感を基準としていることがあげられる。たとえ中立な温冷感が得られる場合であっても、熱環境の不均一性によっては、充分な快適性が得られないことも考えられる。室内の空気調和は、人が快適かつ健康な生活を確保する重要な生活行動であり、熱環境調整には快適性の保持を前提とした、エネルギー消費の高効率化が必要である。従って、熱環境の評価は熱的快適性によって示されるべきであり、通常の室内が多様な条件を持つことを鑑みれば、不均一な熱環境から得られる熱的快適性の予測・評価手法が求められる。

ここでは、床暖房時の温熱感覚を明らかにすることを目的とした延べ 600 名を越える被験者実験の結果について触れ、床暖房時(不均一熱環境)における熱的快適性評価手法の検討結果について記述している。なお本報は、文献 1)~4)に基づき作成したものであることを付言しておく。

#### 床面温度と空気温度が温冷感に与える影響

暖房の目的は冬季の寒さを防ぐことが第一であり床暖房も、外界条件に対して充分な暖かさが得られ

る設備計画と運用がなされる。Figure 1 は、暖房環境の評価実験の結果から、全身温冷感を室内の床面温度と空気温度で整理して表したものである。図中には、等しい全身温冷感が得られた床面温度と空気温度の組み合わせ(等温冷感ライン)を記している。なお、この実験では、特に床面温度が人体の温熱感覚に与える影響を明確に測るために、床面温度と空気温度のみを設定条件とし、その他の壁面や天井面温度は空気温度にほぼ等しく、気流も静穏な環境で評価を行っている。

図に示されるように、床面温度が高温となるに従って低い空気温度でも等しい温冷感が得られる。全身温冷感を基準にして+0.5~-0.5 を許容される範囲と考えるならば、図中の網掛け部分に該当する床面温度と空気温度の組み合わせが必要になり、冬季の暖房時であることを鑑みれば、エネルギー消費の観点から-0.5 の線上の組み合わせが適切な床と空気の温度設定だと考えられる。

またこの実験結果では、床面温度の変動が全身温冷感に与える影響は、空気温度の変動の 1/10 程度であることが示されている。すなわち、全身温冷感が中立 (=0) となる条件は、床面温度と空気温度がともに 23.6°C の均一な状態を基準に、床面温度がそれよりも 6°C 程度高い場合 ( $T_f=30.0^{\circ}\text{C}$ )、空気温度は 0.6°C 低い 23.0°C で中立な全身温冷感が得られる。この床面温度が全身温冷感に与える影響は、Operative Temperature や PMV\*等の指標において計算される割合\*\*\*と比較して小さくなっている。その理由には、OT や PMV が室(または人体)の代表点で算出されるのに対し、人体が床に対して縦長な形状を持っていることが要因と思われる。また推測ではあるが、全身温冷感が放射による影響と比べて空気温度に依存する傾向が強いとも考えられる。いずれにせよ、現在の熱環境指標による室の代表値では、床暖房時の全身温冷感を正しく表すことが困難だと言える。本実験条件については、床面温度と空気温度を用いることで、全身温冷感を精度よく示すことができた ( $r^2=0.96$ ) \*\*\*が、これは、限定された実験条件の結果であることを明言しておく。

#### 床面温度と空気温度が熱的快適性に与える影響

床暖房時の全身温冷感は、床面温度と空気温度を用いることで、ほぼ正確に評価できることが示された。しかしながら、等しい全身温冷感が得られる床面温度と空気温度には無数の組み合わせがあり、組み合わせによる熱環境の不均一性の違いは熱的快適性に影響を及ぼすものと考えられる。

Table 1: Condition of evaluation experiment.

Air velocity = 1.0m/s	Humidity = 40%																			
Metsabolic rate = 1.0Met	Cloth = 1.0clo																			
The total number of Subjects = 678																				
The average age of Subjects = 23.1 years																				
The length of exposure = 60min.																				
In a sitting position																				
Dimensions of test chamber : 3.6m×3.6m h=2.6m																				
Component parts of floor: Hot-water heating mat covered with plywood.																				
Scales for evaluation (Near terms in English)																				
<table border="1"> <thead> <tr> <th>[ Thermal sensation ]</th> <th>+4</th> <th>+3</th> <th>+2</th> <th>+1</th> <th>0</th> <th>-1</th> <th>-2</th> <th>-3</th> <th>-4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Never acceptable</td> <td>Hot</td> <td>Warm</td> <td>Slightly warm</td> <td>Neutral</td> <td>Slightly cool</td> <td>Cool</td> <td>Cold</td> <td>Never acceptable</td> </tr> </tbody> </table>		[ Thermal sensation ]	+4	+3	+2	+1	0	-1	-2	-3	-4	Never acceptable	Hot	Warm	Slightly warm	Neutral	Slightly cool	Cool	Cold	Never acceptable
[ Thermal sensation ]	+4	+3	+2	+1	0	-1	-2	-3	-4											
Never acceptable	Hot	Warm	Slightly warm	Neutral	Slightly cool	Cool	Cold	Never acceptable												
<table border="1"> <thead> <tr> <th>[ Thermal comfort ]</th> <th>+3</th> <th>+2</th> <th>+1</th> <th>0</th> <th>-1</th> <th>-2</th> <th>-3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Very comfortable</td> <td>Comfortable</td> <td>Slightly comfortable</td> <td>Neutral</td> <td>Slightly uncomfortable</td> <td>Discomfortable</td> <td>Very uncomfortable</td> </tr> </tbody> </table>		[ Thermal comfort ]	+3	+2	+1	0	-1	-2	-3	Very comfortable	Comfortable	Slightly comfortable	Neutral	Slightly uncomfortable	Discomfortable	Very uncomfortable				
[ Thermal comfort ]	+3	+2	+1	0	-1	-2	-3													
Very comfortable	Comfortable	Slightly comfortable	Neutral	Slightly uncomfortable	Discomfortable	Very uncomfortable														

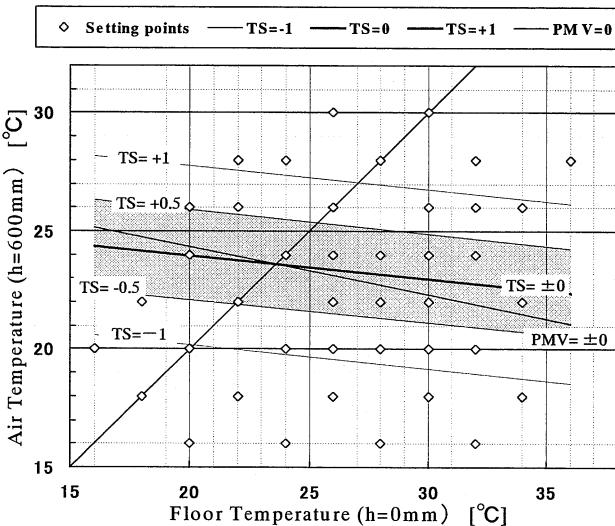


Figure 1: Distribution of equivalent thermal sensation from various combinations of floor temperature and air temperature.

Figure 2は、同実験の熱的快適性と全身温冷感の関係を示したものである。ここで、熱的快適性は不満足者率で表すものとし、床面温度と空気温度の差 ( $\Delta T=T_f-T_a$ ) で整理している。どの  $\Delta T$  の条件でも全身温冷感が中立な場合に不満足者率が少なくなっている。しかしながら、温冷感が中立な場合であっても、不満足者率には差が生じている。全身温冷感がほぼ中立で、もっとも不満足者率が少ない場合を  $\Delta T$  の条件で比較すると、床面温度が空気温度よりも低い場合は、40%程度の不満足者率が生じているのに対し、床面温度が空気温度よりも 4°C 程度高い場合には、不満足者率が 20%程度と少なく、床暖房時の快適性が高いことを示している。ただ、 $\Delta T=+8$  の場合には、不満足者率が、25%程度に増加しており、床面温度が空気温度よりも高すぎる場合にも快適性が損なわれると考えられる。

Figure 3は、不満足者率を室内の床面温度と空気温度で整理して表したものである。図中には床面温度と空気温度の組み合わせによって同等な不満足者

率が得られると予測される等快適ラインを記しているが、本実験条件では、空気温度 22°C～24°C、床面温度 24°C～28°C の範囲でもっとも不満足者率が少なく、その組み合わせからはずれるに従って増加している。すなわち、中立な全身温冷感が得られることが、快適な熱環境を実現する上で必要な条件になるが、床面温度と空気温度の差によって、熱的快適性には違いが生じ、本実験条件に限って言えば、全身温冷感の中立が得られ、かつ、床面温度が空気温度よりも 4°C～6°C 程度高い場合にもっとも高い快適性を得ることができる。

### 床暖房時の熱的快適性評価

このように、床暖房時にはたとえ温冷感が中立であっても、床面温度と空気温度の組み合わせによって熱的快適性には差が生じる。この快適性の違いは、床面温度と空気温度の不均一性によって生じたものであり、2Node-model を基礎とし、全身温冷感を基準とした既往指標では表せない、熱環境の不均一性がもたらす熱的快適性への影響である。室内熱環境は熱的快適性によって評価されるべきであり、そのためには床暖房時の床面温度と空気温度の違い、あるいは空気の垂直温度分布など、熱環境の不均一性の影響をとらえる手法が必要になることから、ここに、局部温冷感に基づく不均一熱環境下の熱的快適性評価手法を提案する。

ここで、室内に周囲と比べて高温部が存在する床暖房などの不均一熱環境で、全身温冷感が等しいにもかかわらず熱的快適性が異なる理由について鑑みると、様々な熱環境の不均一性が、人体の局部温冷感に差を生じることが要因ではないかと思われる。すなわち、たとえ中立な全身温冷感が得られる場合であっても、不均一な熱環境は人体上の温冷感に分布を生じ、局所的な暑さ寒さの存在が熱的快適性に影響するものと考える。そこで、不均一熱環境下の熱的快適性を評価するためには、まず、人体局部の温冷感を明らかにする必要があると考えた。

Figure 4は、前述の実験における局部温冷感とそれぞれの局部位置における作用温度との関係を調べ、局部温冷感が中立となる作用温度（「局部中立作用温度」とする）を示したものである。

Figure 4に示されるように、頭部では 22.3°C で中立な局部温冷感覚が得られていたが、足首部では作用温度 26.7°C と、局部中立作用温度は、頭部から足部にかけてほぼ直線的に高くなっている。

環境の作用温度と局部中立作用温度との差が熱的快適性を損なう要因と考えれば、通常の室内にみら

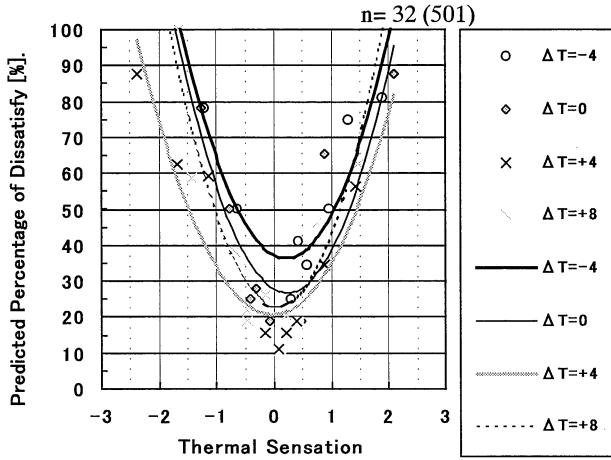


Figure 2: The correlation between thermal sensation and Predicted Percentage of Dissatisfy.

where,  $\Delta T$  is the difference between the floor temperature and air temperature, subtract air temperature from floor temperature.

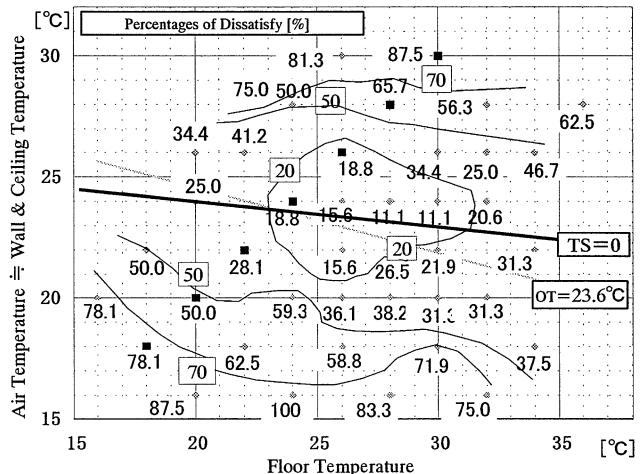


Figure 3: Distribution of PPD from various combinations of floor temperature and air temperature..

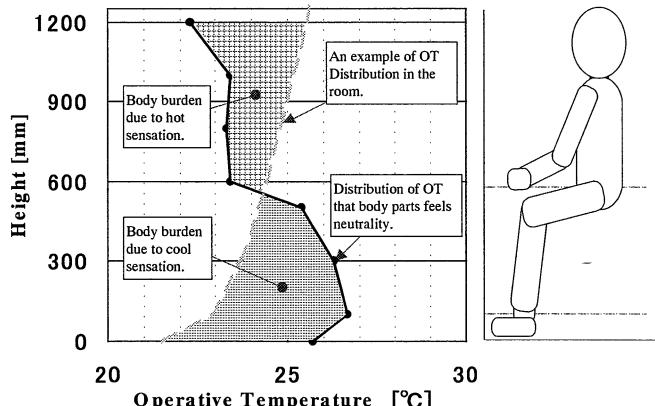


Figure 4: Distribution of OT that body parts feels neutrality. & Hot and cool sensation from room.

れる作用温度の分布では、Figure 4のように室内上部の温度が下部に比べ高い場合がほとんどであり、全身温冷感が中立な場合であっても、人体には局部的な負荷（局部中立作用温度からのずれ）が存在し、局部では熱的不快感を感じていると考えられる。そこで、この、室の作用温度と局部中立作用温度との差を積算することで、不均一熱環境下における熱

的快適性を導く予測式の作成を試みた。熱的快適性に影響するずれの大きさを「TCL：熱的快適性に影響する負荷」として Expression1 に、また、この TCL を用いて不均一熱環境下の不満足者率を予測した式を、Expression 2 に示す。

$$TCL = \sum_0^{1650} (OTh - OPh) / 1651 \quad \dots \dots \quad \text{Expression 1}$$

$h$  : Height of body part from floor [mm]  
 $OTh$  : OT of room environment [°C]  
 $OPh$  : OT that body parts feels neutrality [°C]  
 $TCL$  : Load index for Thermal Comfort [°C]

$$PPDn = 14.2 \times TCL + 5.66 \quad \dots \dots \quad \text{Expression 2}$$

$PPDn$  : PPD in Non-Uniform Thermal Environment[%]

この式による不満足者率の予測結果を実験結果とあわせてFigure 5に、また床面温度と空気温度の組み合わせから得られる不満足者率の予測結果をFigure 6に示す。

予測値と実験結果の相関は  $r=0.86$ 、また、床面温度と空気温度で整理した不満足者率(PPDn)の予測結果は、Figure 3の分布結果に一致し、本手法によって、床暖房時(不均一熱環境下)の熱的快適性をほぼ表すことができたと考える。

#### まとめ

床暖房時(不均一熱環境)の熱的快適性は、全身温冷感によってのみ起因されるものではなく、人体の局部温冷感についても考慮する必要がある。本文中では、充分な快適性が得られる室温と床面温度の範囲を示してはいるが、これは、室内の不均一な温度部位を床面のみとし、床面以外の空気温度及び周壁・天井面温度には温度分布のない、限定された条件にのみ当てはまるものである。現行の ISO や ASHRAE における熱環境の基準では、均一かつ標準的な熱環境が仮定された熱環境指標、もしくは床・天井面などの限られた部位における限界値などが示されてはいるものの、不均一熱環境を評価する指標、特に快適性のレベルを示す指標や推奨される温度範囲は示されていない。ある意味、個人差や嗜好、文化・風習が大きな要因となる室内熱環境調整では、特に人体の健康に関わる限界のみを示すことで充分とも考えられるが、省エネルギーと経済性の観点からは、より効率的な快適環境の実現が求められる。そのためには、実際の不均一な熱環境を総合的に評価し、快適性のレベルを予測する指標や基準が必要になる。本報ではその一手法として、局部温冷感が中立と感じる作用温度と環境の作用温度との

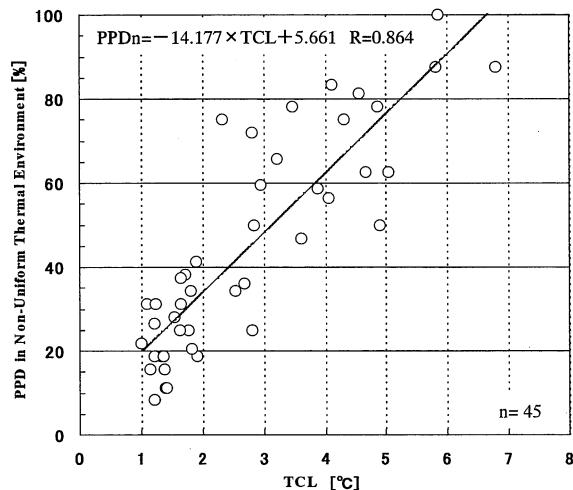


Figure 5: Theoretical estimates of PPD.

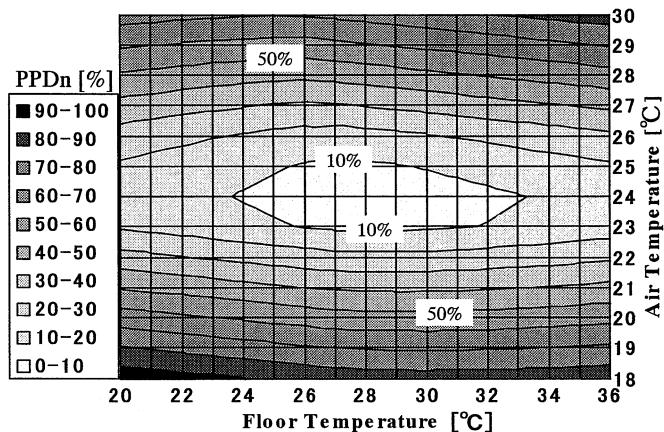


Figure 6: Calculation result of PPD from various combinations of floor temperature and air temperature.

差を人体への負荷と考え、全身で積算した負荷の総量を熱的快適性評価の指標として不均一熱環境下の不満足者率を求める式を導いた、「局部中立作用温度による熱的快適性評価手法」を提案している。

\*床面温度が空気温度と比べて著しく高温な場合 PMV の算出条件に準じないが、温冷感の代表的指標として参考までに示した。

\*\*本実験条件では、床面温度が人体中心部の OT に与える影響が、計算上では、空気温度の変動による影響の 1/5 程度になる。

\*\*\* 一つの実験設定につき被験者 16 名の平均をとった全身温冷感申告を、床面温度と空気温度を用いて重回帰分析を行った結果。

#### 参考文献

- 1) Y.Hori, N.Ito, N.Sunaga : Study on Establishing an Equivalent Thermal Comfort Chart for Comparative Evaluation of Heating Systems, The 2nd International Conference on New Energy Systems & Conversions, 285/290, 1995
- 2) 堀祐治,伊藤直明,須永修通,室恵子:不均一熱環境における熱的快適性の評価に関する研究－床面温度が熱的快適性に及ぼす影響と局部温冷感による熱的快適性予測について－,日本建築学会計画系論文報告集,No.501,37/44,1997
- 3) 須永修通,堀祐治,伊藤直明,室恵子:放射(室内表面温度)の評価,日本建築学会環境工学委員会,第 28 回熱シンポジウム, 51/60, 1998
- 4) 堀祐治,伊藤直明:熱的快適性を考慮した暖房時の温熱的許容限界基準について,日本建築学会大会学術講演梗概集,D-2,357/358,1998

第24回 人間—生活環境系会議シンポジウム資料  
電気床暖房および温水床暖房の効果について  
磯田憲生（奈良女子大学）

1. はじめに

温水や電熱を利用した床暖房装置が新築の住居に普及しており、簡易な床暖房である電気カーペットは一般家庭でかなり使用されている。床暖房は放射熱を利用した快適で経済的な暖房方式と言われており、空気暖房に比べ放射熱を利用した床暖房システムは比較的低い室温で人体に暖かさを与えていている。しかしながら、熱放射面積が2~3畳の広さの小さな電気カーペットの場合には、暖かさを得るために床温度を上げることになり、また、接触部位での加熱量がそのまま維持されるため高温となり、接触部位への影響が懸念される。そこで、電気パネル、電気カーペットおよび温水を用いた床暖房の人体影響について検討した。被験者は青年女子で人工気候室内の床暖房装置の上に暴露された。

2. 人体皮膚温への影響

図1に面発熱パネル(2m\*3m)を用いた場合の椅子座および床座における皮膚温の経時変動の一例を示す。気温15°C、床温37°Cの場合椅子座で暴露すると足底部位を除き低下する傾向がみられ、末梢部で顕著に低下する。足底では約6°C上昇し、床温の影響が認められる。60分経過後、床座に姿勢を変えると臀部、足背、下腿前の床と接触する部位は顕著に上昇し、臀部では40°Cとなる。その後低下するが、これは熱さのために身体を動かしたことと考えられ、接触部位での限界温度を示唆するものと考える。足背でも同様な傾向が見られる。

図2に電気カーペットを用いた場合の皮膚温の経時変動を示す。床の加熱量は40W/mで、床温は27.5°Cとなる。前半の40分は断熱材の上での床座であり、後半は直接床座である。図1と同様な傾向が認められ、臀部や足背の皮膚温上昇がみられる。

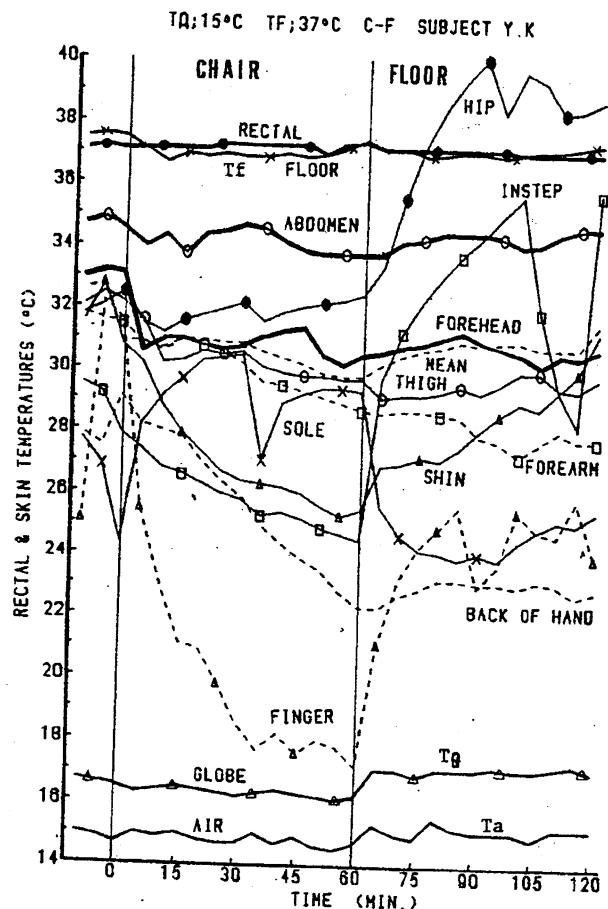


Fig. 1. Changes of Skin Temperature, Rectal Temperature, Ta and Tg. (Ta 15°C, Tf 37°C)

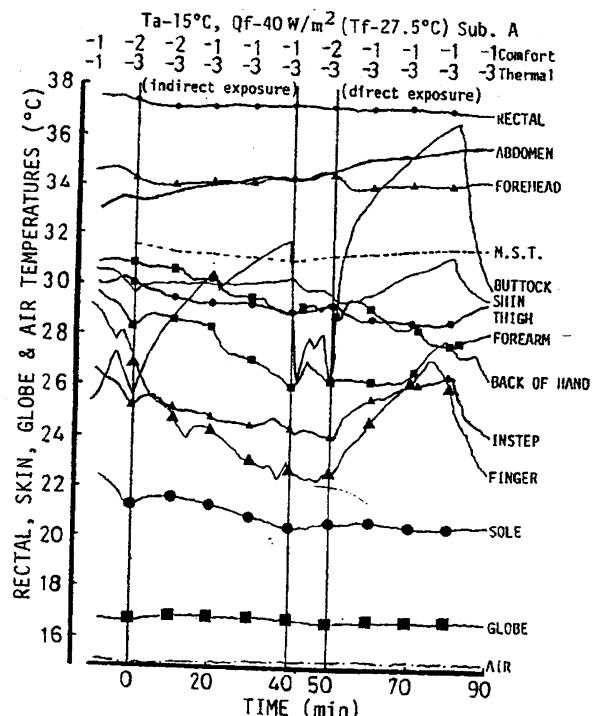


Fig. 2. Changes of Skin Temperature, Rectal Temperature, Ta, Tg, and Thermal Sensation.  
(Ta 15°C, Tg 27.5°C)

平均床温は低いにも関わらず接触部位で顕著な上昇がみられるのは、加熱量がそのまま維持されることによる影響と考えられる。

図3に電気床暖房(カーペット)における加熱量と臀部接触部温との関係を示す。気温15°Cでは、直接床座で60W/mの加熱量では40°Cをこえ、気温18°C、50W/mでも同様な傾向にある。また、断熱床座では、直接床座に比べ約6°C低くなり、床温度の影響は小さいと言える。

図4に温水床暖房における床温と接触部温との関係を示す。床座、椅子座、仰臥姿勢において床に接触する部位である腰部、臀部、下腿後、足底の皮膚温を取り上げる。床座の姿勢では上半身の部位では床温の影響は見られず、床に接触している臀部と足底で高くなる傾向にある。椅子座では足底のみが床に接触しており皮膚温は高くなる。仰臥姿勢では腰部、臀部、下腿後で皮膚温上昇が見られ、一部36°Cを超えており。足底は床座、椅子座に比べ低い。

### 3. 床暖房装置の影響の比較

気温18°C、床座における電気パネル、電気カーペット、温水の床暖房装置の人体影響を検討する。

図5に床温と平均皮膚温との関係を示す。皮膚温にはばらつきがあるが、床温が高い程平均皮膚温は高くなる傾向が見られる。電気カーペットでは他に比べ高い傾向にあり、床温30°Cで33.5~34.5°Cとなる。これに対し、温水床暖房ではほぼ32°Cとかなり低い。電気パネルはこれらの間にあり、ばらつきがみられる。これらのこととは電気床暖房の皮膚温に及ぼす影響が大きいことを示しており、接触部位での温度が高いことを示唆している。この原因として加熱量がそのまま維持されることが考えられる。

図6に床温と温冷感申告との関係を示す。床温度が高くなると、温冷感は暖かくなる傾向にあり、装置の違いによる大差は見られないが、強いてあげ

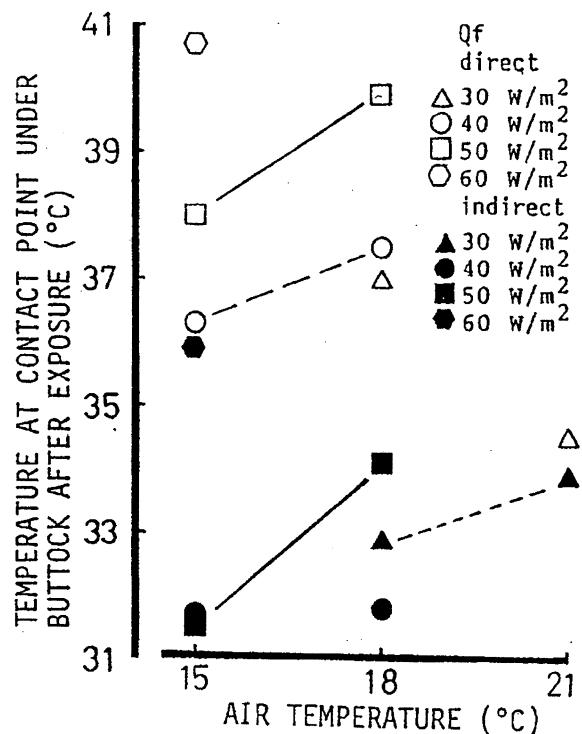


Fig. 3. Relation Between Air Temperature and Temperature at Contact Point under the Buttocks.

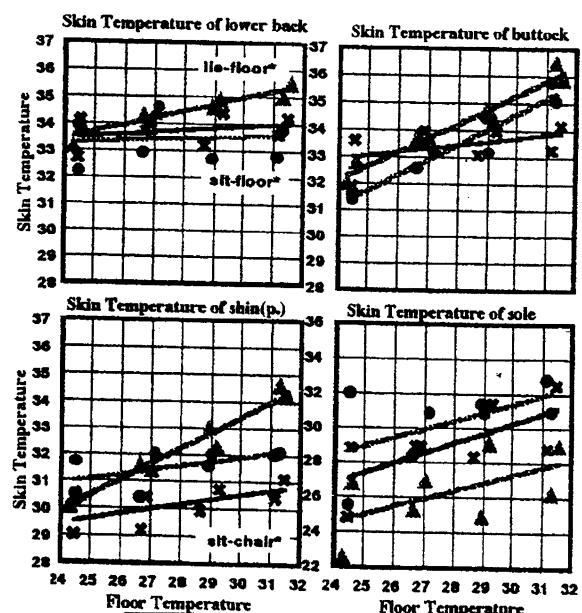


Fig. 4. Relation between Floor Temperature and Contact Point Skin Temperature.

ると電気カーペットでやや暖かい傾向にある。これは熱画像でみると加熱ヒーター線上の温度が他にくらべ高くその影響が考えられる。

図7に床温度と快適感の関係を示す。床温度27°C~32°Cにおいて快適側の申告がみられる。電気カーペットでは床温度が高い方が快適側の申告が増加するが、大差は見られない。気温18°Cでは床温度30°C前後が快適条件と考えられる。

図8に床温度と床温度に対する満足度申告との関係を示す。電気カーペットでのやや不満の申告割合が多い傾向がみられ、温水床暖房ではほとんど満足側である。また、床温度が高いと満足割合が増える傾向にある。このことは床温度がある程度高くないと暖かさが得られないことを示唆している。

以上のことより、電気カーペットでは、床温度の分布に高低差が大きく、皮膚温や温冷感申告に影響が認められる。また、高温時の接触部位温度が高くなることが示唆され、低温焼けなどの危険性が考えられる。これに対し、温水床暖房では皮膚温への影響も少なく、快適感や満足感も満たしているが、気温がさらに低い場合には効果が少ないことが予想される。また、電気パネルの床暖房では、床温度の分布は均一になるが、接触部位の発熱量は維持されるので加熱量の限界を考える必要があり、50W/m程度が上限と考える。

#### 4. 電気床暖房装置での快適温度

図9に気温と床温度の組み合わせ条件における床座姿勢での快適感申告を示す。快適感の平均値をもとに等申告線を引いた物である。気温15°C~21°C、床温度22°C~37°Cの範囲では、気温18°C、床温度32°Cにおいて最も快適感が高くなる。申告0以上の範囲はかなり広くなる。

図10に床温度に対する満足度を床座、椅子座別に気温別に示す。床座では床温度32°Cの場合に満足度は高くなり、気温18°Cで最も高い。椅子座では37°Cで高いが、床座に比べるとかなり低い。

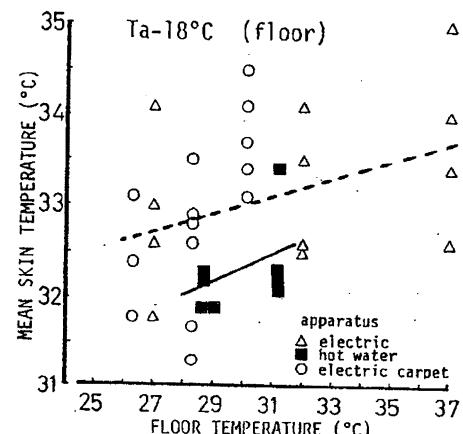


Fig. 5. Relation between Floor Temperature and Mean Skin Temperature for each Apparatus.

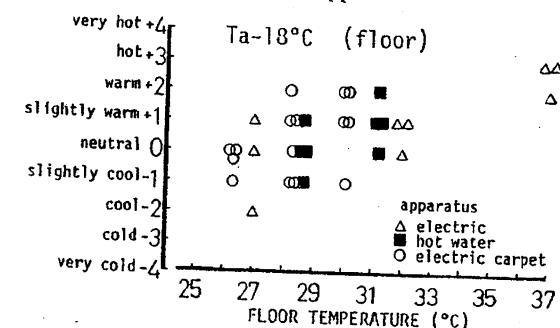


Fig. 6. Relation between Floor temperature and Thermal Sensation Vote.

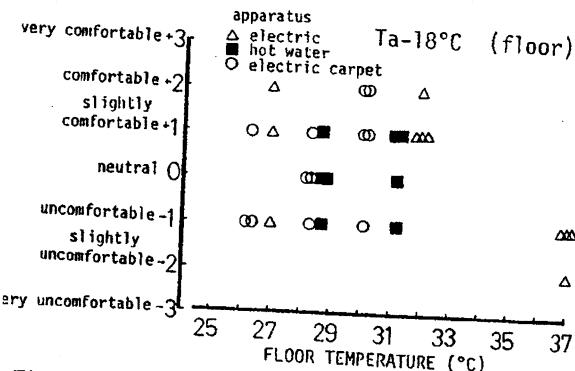


Fig. 7. Relation between Floor Temperature and Comfort Vote.

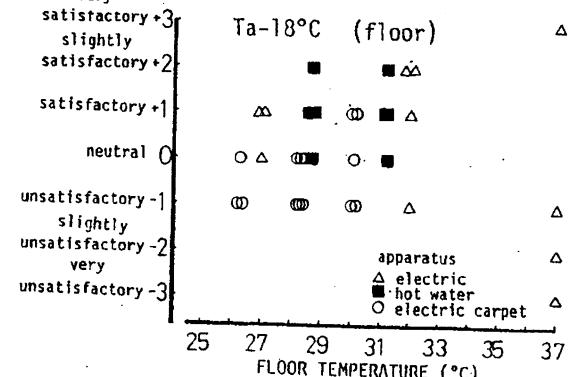


Fig. 8. Relation between Floor Temperature and Feeling of Satisfaction.

## 5. おわりに

電気床暖房装置（パネル、カーペット）および温水床暖房装置の効果について検討した。

電気カーペットでは、床温度分布が大きく、平均床温度が同じ場合には他に比べ高温部があり、皮膚温および申告に影響していると考えられる。また、接触部位の温度が高くなり、40°Cをこえる場合が見られる。このことは低温火傷の可能性を示唆すると考える。

電気パネルでは、床温度が均一になり、電気カーペット程の影響は見られないが、接触部位での温度上昇はみとめられ、加熱量の上限として50W/m程度が考えられる。

温水床暖房では、他に比べ皮膚温影響が少なく、申告でも高い評価が得られる。しかし、気温が低い場合には床温度をあげる必要があり、室温を18°C以下では効果が少ないと考える。

- 【文献】1) 崔英植他3人：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7~14、1996年2月  
 2) 深井一夫他1人：床暖房時の床温の評価日本建築学会大会学術講演梗概集、1996年9月  
 3) 金鳳愛他3人：Influence of Floor Heating Temperature on the Human Body Seated on the Floor,日本建築学会計画系論文報告集、第417号、19~29、1990年  
 4) 磯田憲生他2人：床暖房と温風吹き出し暖房の人体影響に関する研究、日本建築学会学術講演梗概集、1996年9月  
 5) Hardy, J. D. and Dubois, E. F. : The Technic of Measuring Radiant & Convection, Journal of Nutrition, Vol. 15, No. 5, 1938  
 6) 花田、三平他：婦人用下着の熱抵抗の計測に関する研究、織物誌22、(10)、1981年  
 7) 李 周妍他3人：温水床暖房の気温及び床温の人体影響に関する研究、日本建築学会学術講演梗概集、817~818、1997年9月

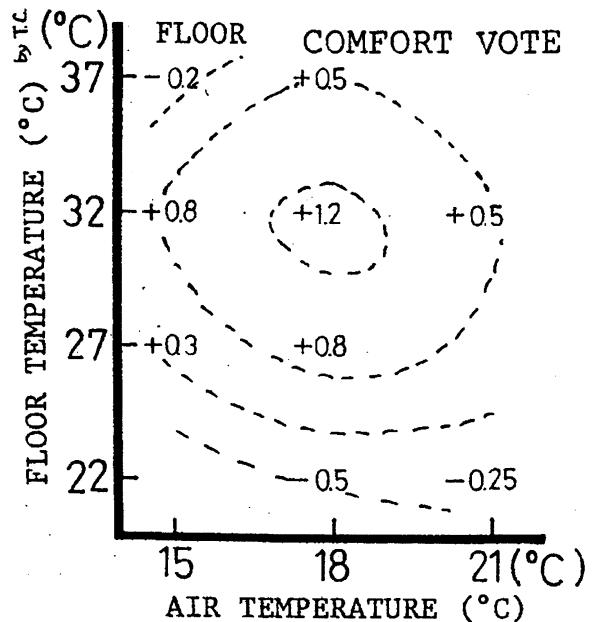


Fig. 9. Comfort Vote for each sitting Posture in Combined Condition of Ta and Tf.

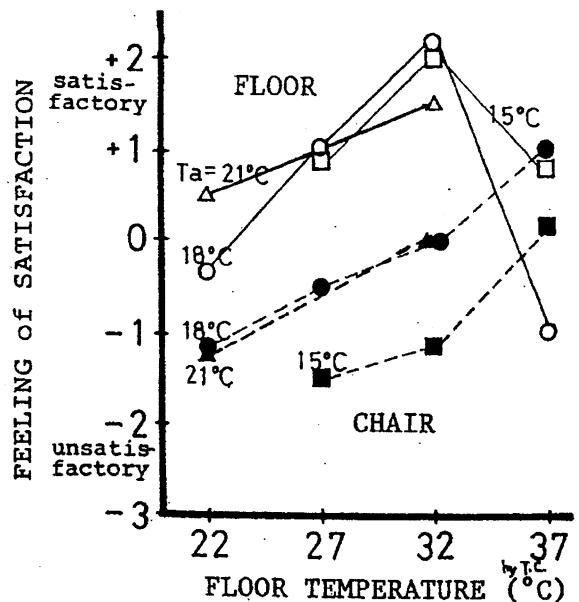


Fig. 10. Relation between Floor Temperature and Feeling of Satisfaction for each Sitting Posture.

## 温水床暖房の長時間接触事例と低温やけどの閾値

○ 鍋島美奈子<sup>1)</sup>, 永村 一雄<sup>2)</sup>, 深井 一夫<sup>3)</sup>

<sup>1),2)</sup> 大阪市立大学, <sup>3)</sup> 横浜国立大学

A temperature that does not feel hot to the skin may cause moderate temperature burn if the skin is kept contact with it for a long time. In this paper some previous researches on the moderate temperature burn are arranged and three figures of the time-surface temperature thresholds are quoted from them. As the latest experimental result by Suzuki et al. (1991), superficial dermal burn (SDB) was found 5 hours later at 41°C exposure in rats. This paper also examines the human skin temperature in contact with the floor and the enclosed floor surface temperatures of the hot water floor heating system that are closely related to the moderate temperature burn. The examinations were carried out twice, in February and in October 1997. First the floor surface temperatures were examined at an apartment for a week in February. The system was controlled water temperatures at three levels, 54°C, 56°C and 60°C. The floor surface temperatures were about 32°C through this examination. At hot water level 60 °C, the enclosed floor surface temperatures by a female subject were constantly about 41°C during 60 minutes. Then SDB was not found in the subject. Second floor surface temperatures and skin temperatures were examined at an environmental chamber in October. The system was controlled water temperatures at five levels, 60°C, 65°C, 75°C, 80°C and 86°. The longest exposure time was 6 hours and then the enclosed floor surface temperatures by a male subject were about 43°C. During the 6 hours exposure the shoulder blade skin temperatures were between 39 and 40°C, and SDB was not found in the male subject.

### 1はじめに

筆者らは低温やけど防止を目的とした温水床暖房の安全基準を策定するために、文献調査や被験者実験、数値解析など一連の研究をすすめている<sup>1,2,3</sup>。本報では、低温やけどの閾値について既往の研究成果を整理するとともに、筆者らがおこなった被験者実験のなかでも危険性の高い条件である長時間接触の事例について報告する。

### 2 低温やけどの閾値

低温やけどは熱源温度と接触時間の二つの大きな媒介変数が関与して発生するやけどである。鈴木<sup>4</sup>は熱源の温度が 60°C 未満から体温以上によるものを低温やけど (moderate temperature burn) と定義している。以下に低温やけどの病態生理の解明に取り組んだ既往研究を年代順に示す。

1932 年 Hudack and McMaster<sup>5</sup> はマウスの耳介に温水循環回路を備えたガラス製容器を接触させる実験をおこない、60°C 1 分、67°C 20 秒で壊死が生じたと報告している。

1943 年 Leach<sup>6</sup> はモルモットの皮膚面に金属性容器を接触させる実験の結果、皮膚の不可逆的損傷が生じる臨界温度は 50~55°C に存在すると報告している。

1947 年 Moritz<sup>7</sup> らは、豚皮を使い皮膚壊死を生じさせる条件の時間・温度閾値曲線を求めている (Figure 1)。豚の場合、低い温度では 44°C、6 時間の接触で表皮壊死が確認されている。

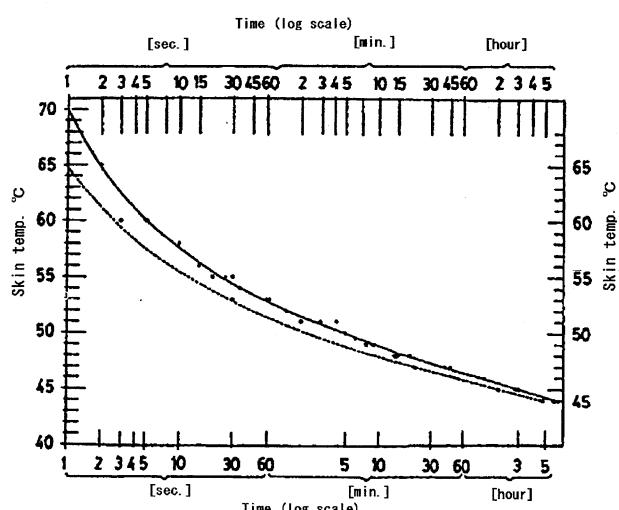


Fig.1 This is quoted from the paper by Moritz<sup>7</sup>. Time-surface temperature thresholds at which cutaneous burning occurs. The lower curve indicates threshold at which irreversible epidermal injury of porcine skin is sustained. The upper curve indicates the threshold at which epidermal necrosis of porcine skin occurs.

1991年 Suzuki<sup>8</sup>らは、ラットの皮膚に温水循環回路を備えたガラス製容器を接触させる実験をおこない、やけどの重傷度ごとに時間・温度閾値を整理し臨界状態を求めている(Figure 2)。ラットの腹部では41°Cで5時間、あるいは40°Cで10時間接触をおこなった場合に、表皮壊死(SDB)が確認されている。また、血流不良モデルのラットを用いた実験もおこない、正常なラットに比べて臨界点、臨界線が低温側へ移動することを明らかにした(Figure 3)。

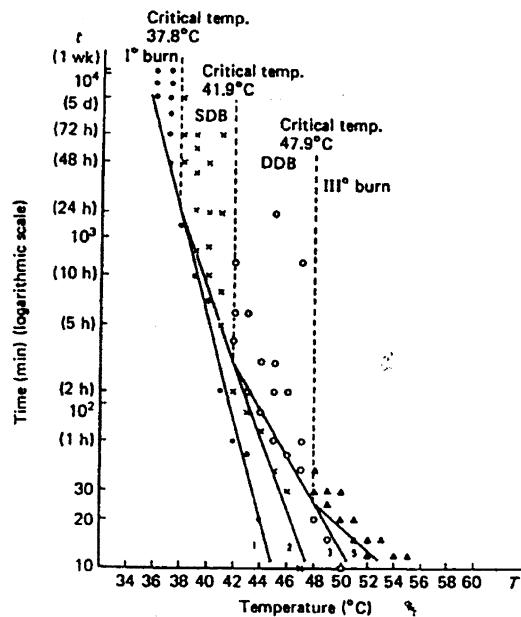


Fig.2 This is quoted from the paper by Suzuki<sup>8</sup>. Time – surface temperature thresholds and superthresholds at which I° burn (erythema), SDB (superficial dermal burn), DDB (deep dermal burn) or III° burn (full skin thickness burn) occurs.

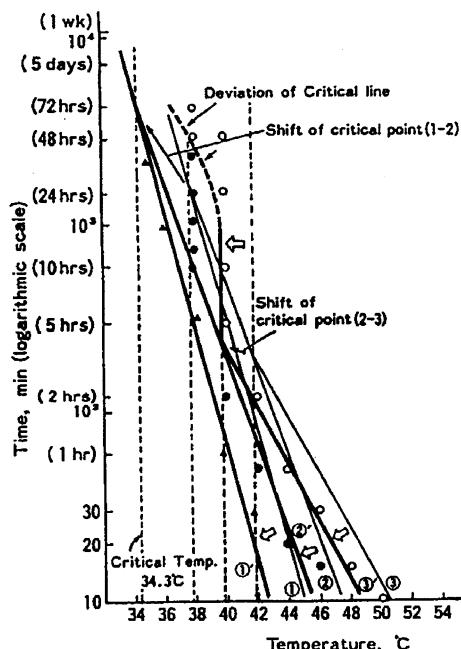


Fig.3 This is quoted from the paper by Suzuki<sup>4</sup>. Time – surface temperature thresholds at which I° burn, SDB or DDB occurs. The bold lines ①', ②', ③' are threshold curves of ischemic skin; the fine lines ①, ②, ③ are threshold curves of normal skin.

### 3 温水床暖房の長時間接触事例

温水床暖房使用時の状況を考えると、床表面温度が32~35°Cと高めに設定されている場合、床と人体が接触している床面の温度(以下、接触温度)が40°Cを超えることは珍しくない。このような状態が一定時間継続すれば、動物と人間の違いは多少あるにせよ、低温やけどの危険性がないとは言えない。

以下に、筆者らが1997年におこなった温水床暖房の被験者実験のなかから、とくに高温設定で長時間接触の事例について紹介する。なお、実験に際しては、被験者が低温やけどをおこさないよう細心の注意をはらっている。

#### 3.1 集合住宅の実測

防音フローリングを設置している都内のマンションのリビングにおいて、1997年2月17日より温水床暖房の連続運転をおこない、18~21日の4日間実測をおこなった。室内の平面図をFigure 4に示し、図中のA-A'の断面図をFigure 5に示す。Figure 4に点線で示すように、室内には3枚の温水パネルが並列に配置されており、温水の経路はパネルごとに分かれている。温水温度は6段階の調節ができる、今回は約60°C, 56°C, 54°Cの設定でおこなった。室内温度は成り行きに任せた。

室中央の床面に張り付けた熱電対上に、被験者が(I)床座、あるいは(III)仰臥し、接触温を測定する実験と、(II)BL方式の試験体を置き、閉塞温を測定する実験の3種類についておこなった。代表的な1日の実験タイムテーブルをFigure 6に示す。被験者は健康な26歳の女性1名、実験時の服装はセーターとズボン、下着で約0.9(clo)、90分間の実験中は主に読書などを過ごしている。

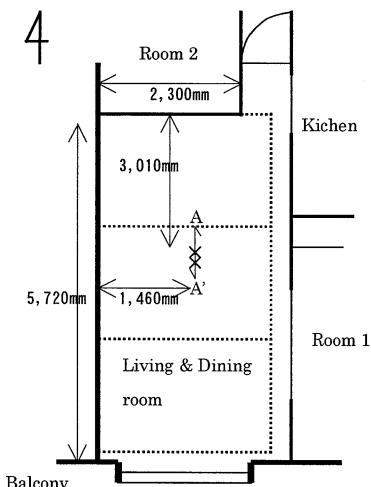


Fig. 4 The floor plan of an apartment  
× shows measurement point.

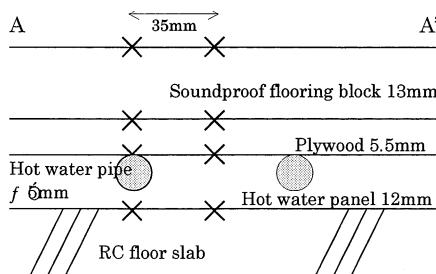


Fig. 5 The floor section of an apartment  
× shows measurement point.

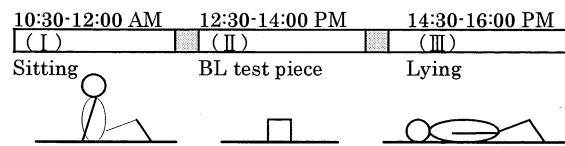


Fig. 6 Time schedule of the experiment

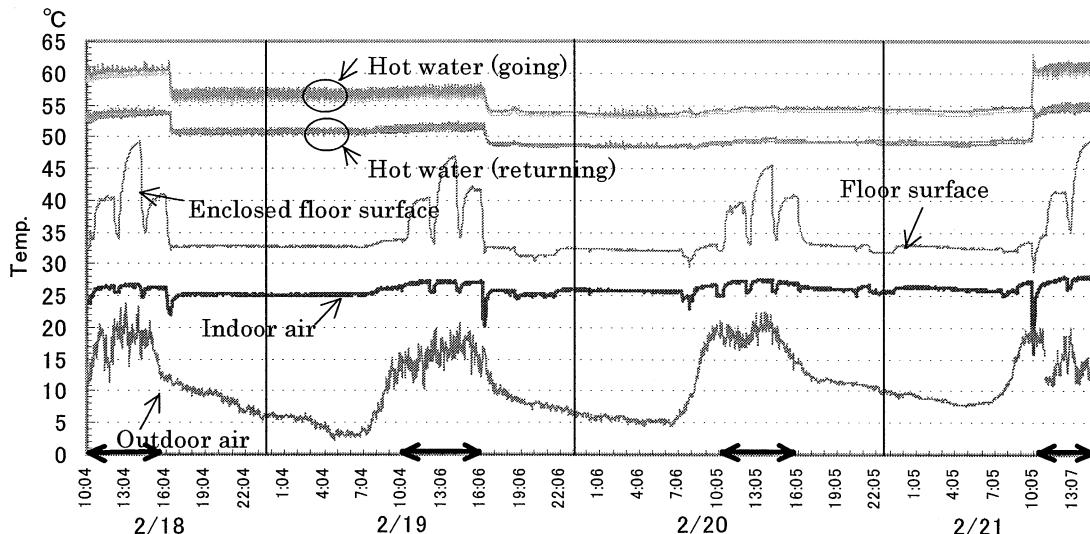


Fig. 7 The floor surface temperatures and the enclosed floor surface temperature by human body or by the BL test piece were examined at the Living Room of the apartment in Tokyo during a week in February 1997. ←→ shows an exposure period.

2/18～2/21までの実測結果をFigure 7に示す。床表面の温度は実験時間中を除いて、ほぼ32°C程度である。実験(I)床座、(III)仰臥では人体と床面の接触温度が実験開始30分後にはほぼ定常状態に達し、30分以降90分までは40°C～42°Cで推移している。一方、(II)BL試験体(直径20cm、厚さ5cmの断熱材+20kgの重り)で閉塞された温度は定常に達することなく90分間上昇しつづけ、45～49°C程度になっている。人体とBL試験体との違いは明らかである。

### 3.2 実験用戸建て住宅の実測

実験は環境試験室内に設置された実験用の戸建住宅(2階建てモデルの1階部分のみ、熱負荷7.3kcal/m<sup>2</sup>h°C)にて、1997年10月6日から4週間の日程でおこなわれた。室内は耐熱防音フローリング(熱伝導抵抗0.15m<sup>2</sup>°C/W)仕上げである。Figure 8に実験室平面、Figure 9に床断面を示す。

被験者は健康な成人男性2名であり、仰臥、または床座姿勢で1～6時間の接触実験をおこなった。温水温度はパネル入口付近で60～86°C、床表面は30～35°C、室内空気温度は特に制御しなかったが、20～24°C程度であった。

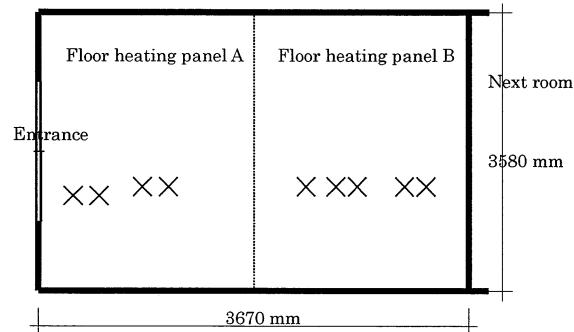


Fig. 8 The floor plan of an experimental house  
× shows measurement point.

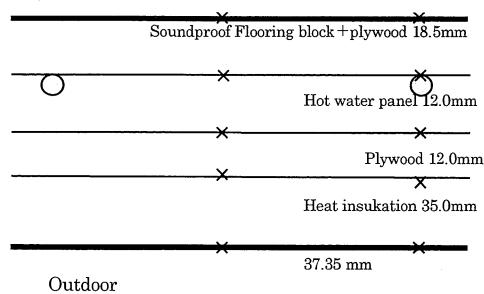


Fig. 9 The floor section of an apartment  
× shows measurement point.

Figure 10 は入温水 75°C 設定で 6 時間接触をおこなった被験者 B の皮膚温変化である。姿勢の影響を受けやすい臀部に比べ、背部の皮膚温は比較的安定している。背部皮膚温は実験開始後 30 分でほぼ定常に達し、その後は徐々に上昇しながら約 2 時間半で 40°C に達している。しかし、それ以降は 39~40°C の間で微妙に変化し、40°C を大きく越えることはなかった。臀部下で計測した床面の接触温度は前半 45~43°C で推移し、後半は 43~41°C に下がっている。接触温度と皮膚温の差は最大 5°C 程度である。被験者は厚手の冬用パジャマを着用していたので、発汗・蒸発の影響も考えられる。

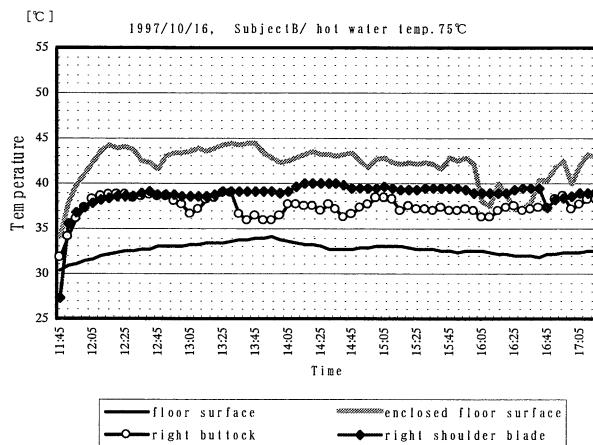


Fig. 10 Changes of the floor surface temperature, the enclosed floor surface temperature and skin temperature (buttock and shoulder blade) are shown during 6 hours. Subjects put on pajamas for winter.

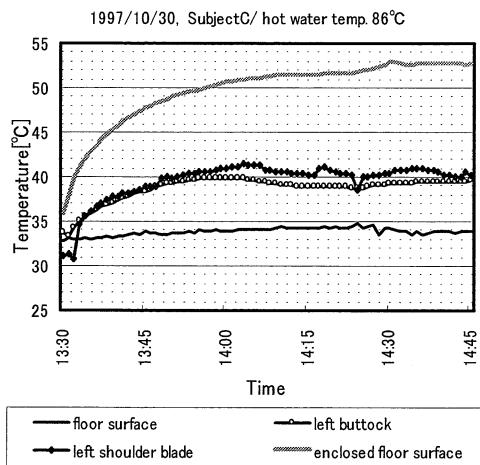


Fig. 11 Changes of the floor surface temperature, the enclosed floor surface temperature and skin temperature (buttock and shoulder blade) are shown during 75 minutes. Subjects put on pajamas for winter.

Figure 11 は入温水 86°C 設定時の被験者 C の経時変化であり、背部皮膚温が実験開始 20 分経過後から 40°C を越え、その後 40~41°C で推移した。接触温度は 1 時間経過後に 53°C に達しており、皮膚温と接触

温度は最大 12°C 程度の差があった。臀部皮膚温が 40°C を超えることはなかったが、60 分を経過した時点で「耐えられないほど熱い」という申告があったので実験は 75 分で終了した。いずれの実験でも被験者に低温やけどの兆候はみられなかった。

## 5まとめ

低温やけどのに関する既往研究で提案されている時間-温度閾値曲線から、接触温度 40°C 付近の閾値を調べた。また、集合住宅と実験用戸建て住宅で温水床暖房接触実験をおこない、人体と床面の接触温度、接触部位の皮膚温に関する計測結果を紹介した。

被験者実験では被験者が実際に低温やけどを起こさないような条件設定をしているので、低温やけど発症の判断材料を得るためにには、実測で得られたデータをもとに、さらに危険度の高い条件について数値解析をおこなう必要がある。詳細は筆者らの既報<sup>1,2,3</sup>を参照されたい。

## 【謝辞】

本研究は東京ガス・大阪ガス・東邦ガス 3 社からの委託研究の一部であり、実験をおこなうにあたっては、大阪ガス商品開発部の定國氏にご尽力いただいた。また、本実験は野上雅浩氏（住宅金融公庫）に負うところが大きい。ここに記して謝意を表します。また、本研究は、平成 12 年度文部省科学研究費補助金一般研究（B）「接触温を考慮した床暖房設計基準の提案と竣工検査用模擬足の開発」（代表 永村一雄）と、平成 11 年度財団法人トステム建材産業振興財団「基礎床暖房方式の熱的性能評価手法に関する調査研究」（代表 鍋島美奈子）の援助を受けた。ここに記して感謝します。

## 【引用・参考文献】

- <sup>1</sup> 鍋島美奈子、永村一雄、深井一夫：床暖房の接触温度と安全性の評価－耐熱防音フローリング仕様の集合住宅の事例、日本生理人類学会誌、Vol.3, No.1, pp.7-11, 1998
- <sup>2</sup> 鍋島美奈子、永村一雄、深井一夫：防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講演論文集, 1097 - 1100, 1997
- <sup>3</sup> 鍋島美奈子、永村一雄、深井一夫：防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（その 2）実験用戸建て住宅の事例、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, 1429 - 1432, 1998
- <sup>4</sup> 鈴木隆：低温熱傷「最新の熱傷臨床—その理論と実際—」平山峻、島崎修次 編著、克誠堂出版, pp.410-422
- <sup>5</sup> S. Hudack and P.D. McMaster : The gradient of permeability of skin vessels as influenced by heat, cold and light, Journal of Experimental Medicine, Vol. 55, 431 - 439, 1932
- <sup>6</sup> E.H. Leach, R.A. Peters and R.J. Rossiter : Experimental thermal burns, especially the moderate temperature burn, Journal of Experimental Physiology, Vol. 32, 67 - 86, 1943
- <sup>7</sup> A.R. Moritz and F.C. Henriques : Studies of Thermal Injury II - Relative Importance of Time and Surface Temperature in Causation of Cutaneous Burns, The American Journal of Pathology, Vol. 23, No. 5, 695 - 720, 1947
- <sup>8</sup> T. Suzuki, K. Aihara and Y. Hirohata : Experimental studies of moderate temperature burns, Burns, Vol.17, No.6, 443 - 451, 1991

## Transition and State of Thermal Environment of Ondol(Korean Floor Heating System)

Jang-Yeul Sohn  
Hanyang University, Seoul, KOREA

### 1. Introduction

There are four distinctive seasons in Korea; a continental climate in winter and an oceanic climate in summer, showing a large temperature difference throughout the year. Because of this climate condition, the warm house in winter and the cool house in summer was needed for dwellers and the floor heating system called 'Ondol' was developed for the winter living. Koreans usually sit on the floor without wearing shoes and the body(feet) has a direct contact with the floor surface. Most Korean prefer a warm floor temperature when sitting and lying. Therefore, thermal comfort change according to the variation of the floor surface temperature.

This article deals with the historical transition and some research results about thermal environment in Ondol space.

### 2. Korean Floor Heating System

#### 2.1 Brief history of Ondol

Ondol has been used for over 1,500 years in Korea. The development of the Ondol system could be categorized into two eras; the era of the traditional Ondol heating system which supply heating air under the floor and the era of using embedded hot water pipes. The fuel of the system used straw, firewood etc. earlier and used coal and oil with development of industry

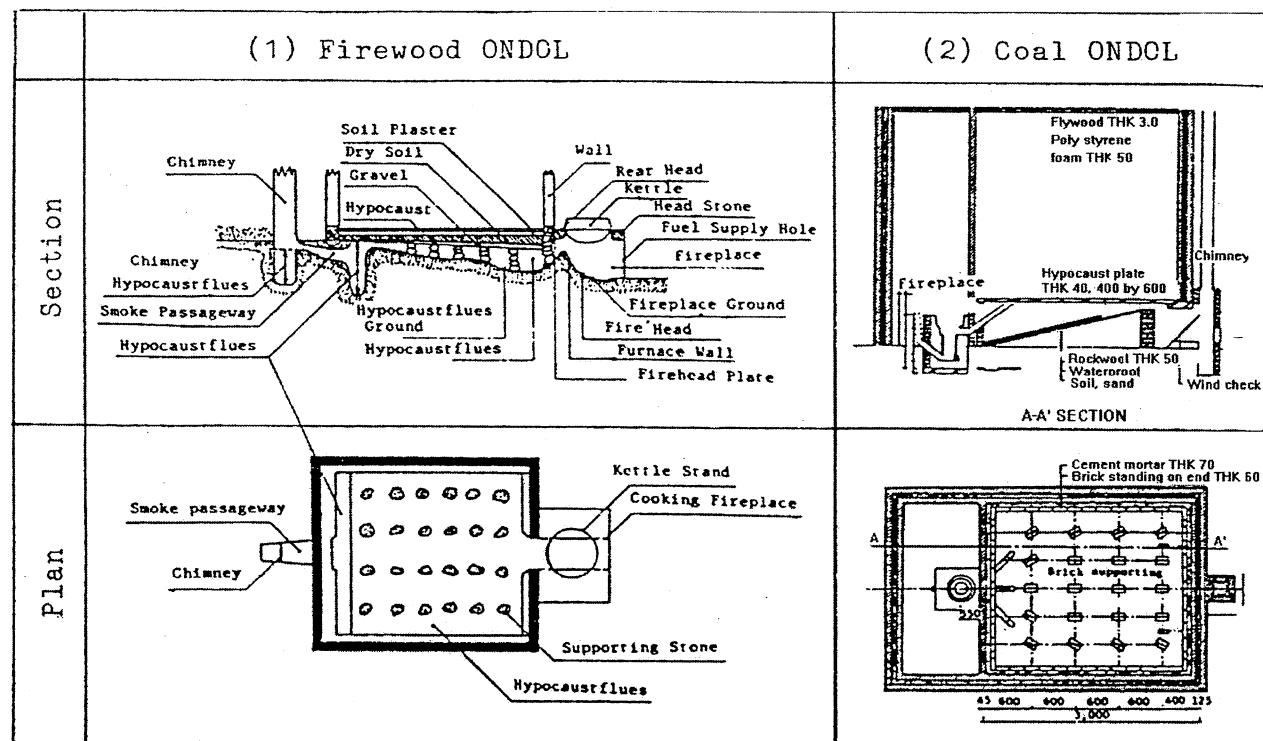


Fig. 1-Conventional Ondol

## 1) Conventional Ondol

As shown in Fig. 1, the structure of conventional Ondol was one in which heated air passes through a hypocaust flues after combustion and a hypocaust is heated up and then radiates heat into the room space. The temperature of different parts of a room floor varied, thus temperature of the places nearest and farthest to the fireplace were not even. Floor temperature distribution is shown in Fig. 2. Although people were in the same space, the difference of temperature preference existed according to the age of them. The floor temperature was relatively hot because there was an amount of infiltration air in the house.

## 2) Hot Water Ondol

As the traditional system became modernized, hot water Ondol(See Fig.3) came into use widely. Hot water passes through embedded pipes and heat radiation from the floor surface makes occupants comfortable. It is used in most housing(residences, apartments) as well as some hotels and hospitals. A large- scale heating source of district heating system is adapted in large housing complexes in new towns.

### 2.2 Present Design criteria

The design criteria of the floor heating system in apartments is "the Code for the Equipment Criteria of Building", established early 1980s, and it prescribes the heating equipment criteria of apartments and the installation criteria of Ondol. The structure of the hot water Ondol is basically divided into a base layer, a heating storage layer and a insulating layer on a concrete slab.(Fig. 4)

Table 1 shows the required performance criteria of Ondol components.

### 3. Thermal Environment in Ondol

#### 3.1 Thermal comfort in asymmetric thermal radiation

There are problems in applying the comfort criteria which have been used in other countries to Korean without adjusting them because heating methods and thermal sensation are different between Koreans and other countries. As it is known that the V.R.T.(Vector Radiant Temperature) evaluates asymmetric radiation in some researches, V.R.T. was used to describe the environmental quality of these spaces.

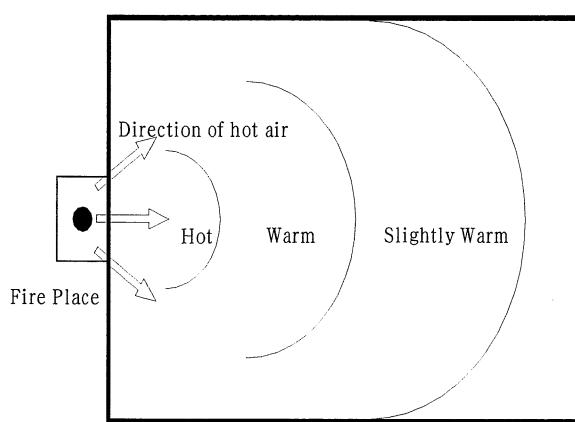


Fig. 2-Floor temperature distribution of  
traditional Ondol

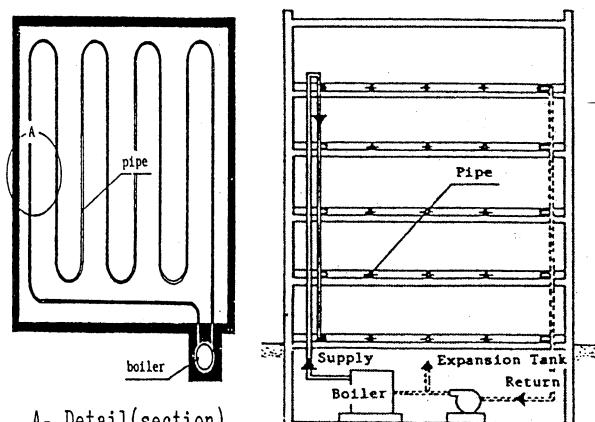
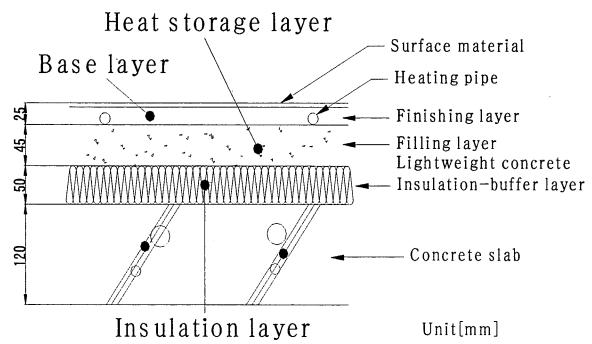


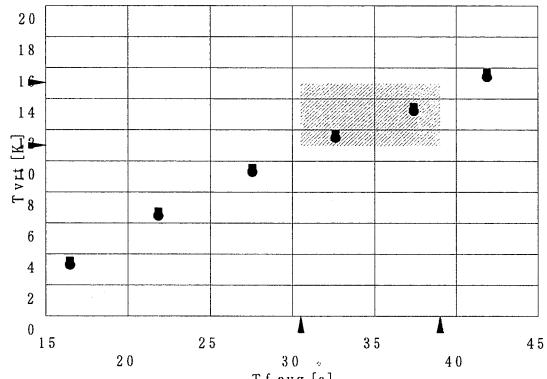
Fig. 3-Hot water Ondol

**Table. 1-Composition detail of Ondol**

Classification	Korean Building Code	Korea Nat'l Housing Corporation Code
Heat storage layer	aggregate below Thk.40mm, mortar, concrete	gravel(70cm) or macadam
Insulation layer	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ the lowest layer : 0.5[kcal/m<sup>2</sup> h]</li> <li>□ middle layer : 1.0[kcal/m<sup>2</sup> h]</li> <li>□ none of insulation rule in the central heating or district heating</li> </ul>	□ □
Finishing layer (coated thickness of pipe upside)	15~25mm	22mm mortar
Pipe diameter	diameter : above 15mm	15.88mm bronze pipe
Pipe Pitch	below 150~300 mm	200~250mm
Hot water supply temperature	□ □	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ Unit heating: 60~50~□</li> <li>□ Central heating: 70~80~□</li> <li>□ District heating: 60~45~□</li> </ul>
Floor surface temperature	□ □	□ □



**Fig. 4-An example of detail of Ondol Structure**



**Fig. 5-The scatter diagram of V.R.T. and floor surface temperature**

Fig. 5 shows the experimental result on floor surface temperature. Both the upper and lower limits of V.R.T. were defined to determine the optimum comfort limits on the heated floor space. The lined area of Fig. 5 represents the optimum V.R.T. range in a floor heated space. Table 2 shows the standards and research results on floor temperature and V.R.T. in the heating season. Most of the results on floor temperature were established by convective heating systems. Therefore the low limits of floor Temperature are much lower than the results in this article.

### 3.2 Thermal comfort in the Partial Ondol Heating System

Koreans are familiar with the thermal sensation by contact with the warm floor. Therefore, even though room temperature is within the comfort range, the thermal sensation will be different according to the floor surface temperature. Recently, the heating loads of residential buildings have been reduced owing to the increased thermal insulation and airtightness of the buildings. Consequently, the Ondol floor surface temperature can be maintained lower than the past. The Partial Ondol Heating System is devised to rise the floor surface temperature higher.

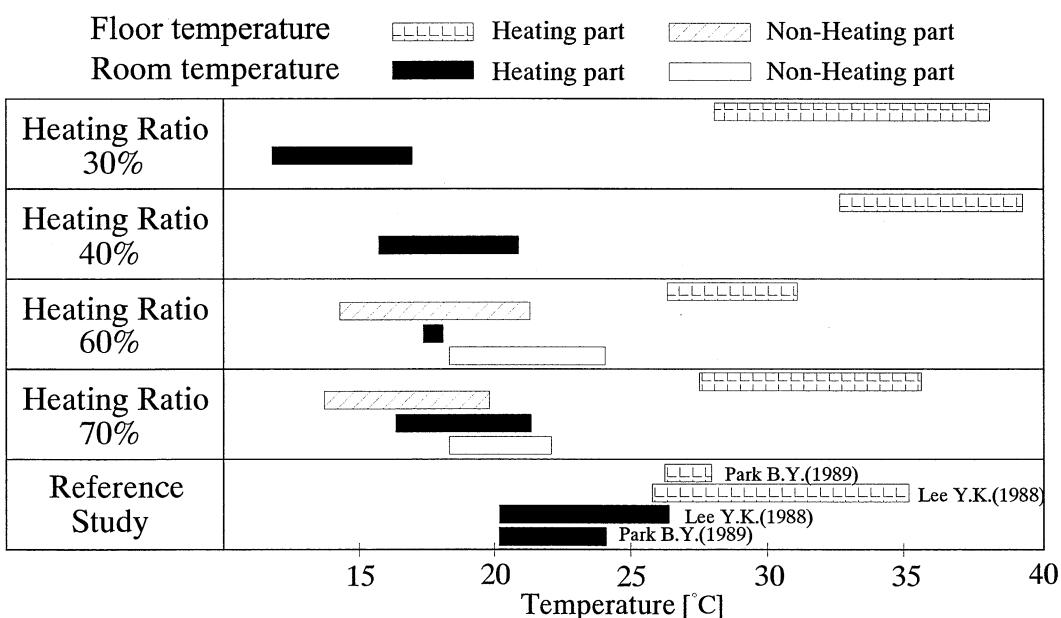
The experiment was conducted with a subject in the test room of the Ondol system which can be heated partially was constructed. The comfort zone according to the heating ratios changes shown in Table 3. The range of a comfort zone is changed according to heating ratios. In particular, the comfortable floor temperature is lower than that of a partial heating according to the increase of heating ratios. Fig. 6 shows that the comfort range of a floor temperature and a indoor temperature according to the heating ratio. According to the increasement of the heating ratio, the comfort range of floor temperature falls and that of room temperature rises. But the range of an indoor comfort temperature is lower than the existing comfort range in the case of partial heating because respondents felt comfortable in a high floor temperature in spite of a low indoor temperature.

**Table. 2-Standards and results of experiment for optimum comfort**

Source	Floor Surface temperature	V.R.T [K]		Indoor air Temperature	Reference
		H	V		
ISO-7730	29 19□26	10	5(ceiling)	OT (20□24)	Floor heating / convective heating (ISO, 1984)
ASHRAE 55-1981	18□20	10	5		(ASHRAE, 1981)
Nevins et al.	23.7□27.8			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, 0.7clo (Olesen, 1985)
Yoon et al.	30.6□38.8		11-15		floor heating

**Table. 3-Comfort zone with heating ratio**

Indices	PMV range	Heating Ratio	
		60 %	100 %
Room	-0.3□0.3	18.20□20.36□	18.78□20.70□
	-1.0□1.0	15.70□22.86□	16.32□23.07□
Floor	-0.3□0.3	31.94□44.62□	25.97□29.73□
	-1.0□1.0	28.82□37.75□	21.59□34.12□
OT	-0.3□0.3	19.00□21.10□	19.10□21.14□
	-1.0□1.0	16.55□23.51□	16.73□23.52□
MRT	-0.3□0.3	20.00□21.80□	20.50□22.60□
	-1.0□1.0	17.68□25.26□	17.99□25.52□



**Fig. 6-Comfort range of temperature in partial heating system**

## references

- (1) PARK B.Y. (1989) : Study on the Thermal Comfort Zone in Apartment House(I), Journal of the Architectural Institute of Korea, Vol.5, No.6, pp257-264
- (2) LEE O.K. (1988) : Distribution of Thermal Environmental Elements and Neutral condition on each posture of the Human body in an Apartment house, Thesis for master's degree, Hanyang University, Korea
- (3) YOON Y.J., PARK S.D., SOHN J.Y. (1992): Optimum Comfort Limits Determination through the Characteristics of Asymmetric Thermal Radiation in a Heated Floor Space, ONDOL, The Annals of Physiological Anthropology Vol.11, No.5, pp517-522
- (4) BAIK Y.K., AHN B.W., SOHN J.Y. (1995): The Characteristics of Thermal Environment and Comfort zone under the Partial ONDOL Heating System, The 5th International Symposium on Building and Urban Environmental Engineering and Management, Kumamoto, Japan, pp207-212
- (5) SOHN J.Y. (1986) : Ondol in Korea and New Heating Plan, Journal of Heating, Air-Conditioning and Sanitary Engineers of Japan, Vol.61, No.4,
- (6) SOHN J.Y. (1986) : The State of Thermal Sensation Researches in Korea and Thermal Comfort in Ondol Space, The 10th Symposium on Man-Thermal Environment system in Tokyo, Japan, pp93-98

人間一生活環境系会議（事務局）  
〒151-0053 東京都渋谷区代々木3丁目22番1  
文化女子大学 被服衛生学研究室内  
Tel&Fax:03-3299-2336

第24回人間一生活環境系シンポジウム実行委員会  
〒359-1192 所沢市三ヶ島2-579-15  
早稲田大学人間科学部  
Tel:042-947-6760 Fax:042-938-1318

本シンポジウムに関する問い合わせ先  
社団法人 人間生活工学研究センター  
〒530-0003 大阪市北区堂島1-2-5  
堂北ダイビル3F  
Tel:06-6346-0234 Fax:06-6346-0456

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  
研究開発業務部研究業務室 にご連絡下さい。