

# 各種繊維製品の特殊環境下における機能及び品質性能評価

## *Evaluation of Function and Quality of the Textiles by Various Weather Conditions in Some Climatic Rooms.*

石倉 信作\* 山本 貴則\*  
Shinsaku Ishikura Takanori Yamamoto

(2000年7月10日 受理)

キーワード：人工気象室，速乾性毛布，防寒服，ダウンジャケット，融雪マット

### 1. はじめに

特殊環境室として設置されている人工気象室，変温室，加圧減圧室は，温度，湿度，日射，雪，雨，風，気圧等の地球上での気象条件が幅広く作り出せるように設計された施設である。これらの特殊環境室を利用し，多くの産業界の技術要請に応えるため，これまで各種製品の性能，品質等の評価試験を行う設備開放業務により技術支援を行ってきた。各種の試験評価の中でも，環境条件に応じて機能性を付与した繊維製品の評価試験を数多く行ってきた。

その代表的な例としては，速乾性に優れた毛布，保温性に優れた防寒衣，断熱性に優れたダウンジャケット，導電性機能を応用したグラフィット繊維融雪マット等がある。本報告では，繊維製品に注目し，特殊環境下で実験した数種の繊維製品の開発事例を，主要施設の紹介をまじえて評価測定の概要を報告する。

### 2. 特殊環境室の仕様

#### (1)人工気象室

当室では，温度，湿度，日射，降雨，風，降雪など，地球上の幅広い気象条件を再現できる様に設計された大型環境実験室である。この人工気象室では，衣服や機能性繊維材料の評価試験をはじめ，機械材料や電子部品，大型機器などの品質，機能性に関する試験以外に，人体への生理・心理的影響に対する模擬環境のシミュレーションなどが行える。人工気象室の主な仕様は，表1のとおりである。

表1 人工気象室仕様

項目	規格
有効容積	5.7m×7.0m×H4.0m
温度	-40～60℃±1℃
湿度	30～90%R.H±5%R.H
降雨	30～200mm/h：3段階
降雪	10m <sup>2</sup> ：1,000mm/日
日射	400～1,000kcal/h・m <sup>2</sup>
風力	2～10m/sec：4m <sup>2</sup>

#### (2)変温室

当室では，温度と湿度を主体とした環境条件の設定が可能である。変温室には主室と副室があり，独立した環境制御が可能であり，特に主室は-50～80℃の幅広い温度制御ができる。このように，変温室では，温度，湿度に対する製品や材料の品質，機能性の評価試験に利用される以外に，主室と副室による温湿度の差を応用して電気製品や建築材料などの品質評価試験を行うことができる。変温室の主な仕様は，表2のとおりである。

表2 変温室（主室，副室）仕様

項目	(主室)規格	(副室)規格
有効容積	4.3m×3.0m×H2.5m	4.0m×2.6m×H2.5m
温度	-50～80℃±0.75℃	-40～60℃±0.75℃
湿度	20～95%R.H±5%R.H	20～95%R.H±5%R.H
日射	400～1,000kcal/h・m <sup>2</sup>	

#### (3)加圧減圧室

当室では，高度3,000mから地下1,000m相当の高低気圧差の制御で，気圧，温度，湿度の環境条件が再現でき，

\* 生産技術部 繊維感覚計測グループ

機械部品の性能評価だけでなく人体生理機能、スポーツ医学などの試験にも応用できるよう設計されている。

加圧減圧室の主な仕様は表3のとおりである。

表3 加圧減圧室仕様

項目	規格
有効容積	3.0m×3.0m×H3.5m
圧力	71~109kPa
温度	-30~40°C±0.75°C
湿度	30~80%RH±5%R.H

### 3. 日射試験による速乾性毛布の乾燥機能評価

#### (1) 開発内容と目的

消費者ニーズと生活様式の変化から、寝具製品の性能要求も多種にわたっており、中でも、清潔感から洗濯可能な速乾性毛布のニーズが高くなっている。泉州毛布メーカーと合繊メーカーが共同で、速乾性に優れたマイヤー毛布を商品開発した。そこで、従来のマイヤー毛布（2枚合わせタイプ）と比較し、日射による毛布の乾燥時間効果による速乾性の性能比較を行った。

#### (2) 試験方法

関西地区の冬の晴れた昼間の温度 10°C、湿度 33%R.H、日射強度 450~540kcal/h・m<sup>2</sup>を考慮し<sup>1)</sup>、人工気象室において上記の環境温度湿度の条件で試験を行った。図1に、日射装置と毛布の乾燥試験風景を示す。

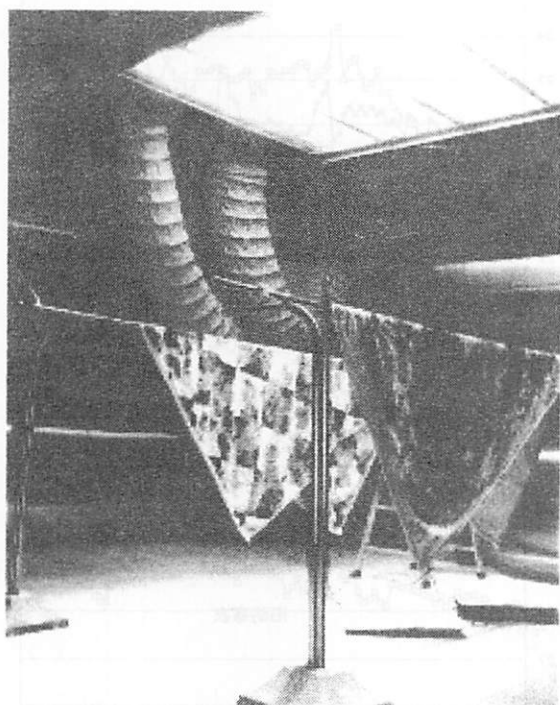


図1 日射装置と毛布試験乾燥風景

解析機器は、安立計器㈱温湿度センサー（温度：サーミス

タ、湿度：高分子センサー）を使用し、神栄㈱データストッカー TRH-DM2にて計測・解析した。

試験毛布は、アクリル素材の2枚合わせマイヤー毛布と速乾性マイヤー毛布の2試料を用いた。

試験に、毛布が洗濯可能な全自動洗濯機を使用し、洗濯、脱水後、ポリエチレン袋に試料を別々に収納密閉し、試験開始直前に開封した。人工気象室内で開封後、図1に示すように、日射装置の下でパイアス方向に物干し竿に掛けて同時に乾燥させた。上、中、下段に各測定ポイントにおける温湿度の算術平均値を毛布の乾燥効果における温湿度の代表値とした。

#### (3) 結果

2タイプ種類の毛布内部の日射に伴う温度変化を図2に、湿度変化を図3に示した。

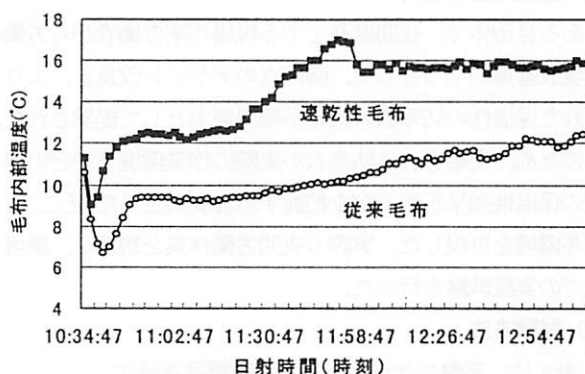


図2 日射に伴う2タイプ毛布内部の温度変化

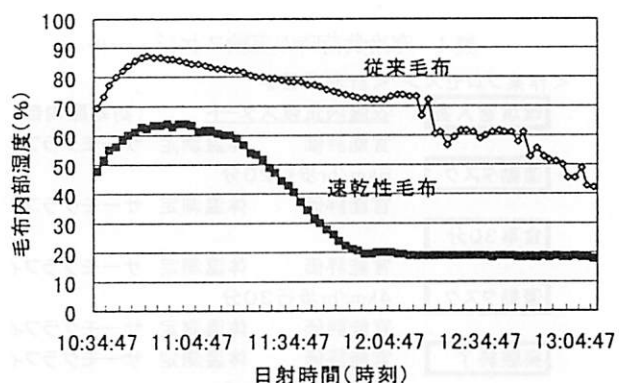


図3 日射に伴う2タイプ毛布内部の湿度変化

毛布内部の温度変化は、時間経過に伴い2試料のマイヤー毛布に違いが現れ、日射時間が約80分経過して速乾性毛布の内部温度が室温（10°C）より、約3°Cの温度上昇が計測されたが、従来毛布の内部温度は、この段階で約10°Cの状態から内部温度が徐々に上昇し始めた傾向にある。また毛布内部の湿度変化は、速乾性毛布が約80分で湿度20%とほぼ定常に達したが、従来毛布はなお湿度の低下傾向が見られ、水分が残っている。これらの現象とし

て、速乾性毛布は、日射からの赤外線、可視光線等による加熱効果で毛布内部の熱蓄積が多くなり内部が乾燥され、毛布内部の温度上昇と湿度減少により環境湿度よりも急激な湿度低下で、過乾燥したことを示唆している。一方、従来毛布は、なお水分が残っているため、日射による加熱、乾燥で徐々に湿度低下は緩やかである。これらの結果から、速乾性毛布は従来毛布より顕著に乾燥効果が優れていることがわかった。毛布の乾燥効果の違いとしては、目付けの軽量化、素材、毛布構造を変えたことにより、速乾性毛布が従来毛布よりも優れた速乾性能を有していることがわかり、新商品としての製品価値が検証された。

#### 4. 寒冷暴露における防寒衣の衣服内気候と保温性

##### (1) 開発内容と目的

ある自治体で、夜間勤務をする現場作業労働者から労働環境改善策の一つとして、防寒衣のデザイン改良と、より優れた保温性の防寒衣の支給が職場要求として提案された。そのため、支給される防寒衣が実際の作業環境下でどの程度の保温性効果があるかを把握する必要が生じた。そこで、真冬環境を再現した、実際の夜間労働作業を想定し、環境室での実証試験を行った。

##### (2) 試験方法

表4に、実験スケジュールと実験概要を示す。

実験は、食事、トレッドミルによる運動などを実験タスクに入れ、夜間労働作業をシミュレーションした。

表4 寒冷負荷時の実験スケジュール

<作業プロセス>	<計測項目>
<b>環境室入室</b>	衣服内気候スタート (防寒服内部) 官能評価 体温測定 サーモグラフィ
<b>運動タスク</b>	6km/hr歩行20分 官能評価 体温測定 サーモグラフィ
<b>食事30分</b>	官能評価 体温測定 サーモグラフィ
<b>運動タスク</b>	4km/hr歩行30分 官能評価 体温測定 サーモグラフィ
<b>実験終了</b>	官能評価 体温測定 サーモグラフィ 衣服内気候エンド

試験する防寒衣は、60g ライナー付の旧防寒衣と新防寒衣の2試料について比較検討した。着衣状態は、防寒衣以外は全て同じにし、軍手装着で実験を行った。

図4に、今回試験した真冬環境(0°C)を想定した変温室(主、副室)での実験風景を示す。

解析装置として、体表皮膚温測定にはNEC三栄(株)サーモグラフ 6T62 (HgCdTe センサー -40~2, 000°C)を使用した。衣服内気候は、安立計器(株)湿度センサー(温度:サーミスタ, 湿度:高分子センサー)を側胸部, 背中,

首部の3カ所に装着し、神栄(株)データストッカー TRH-DM2にて計測・解析を行った。

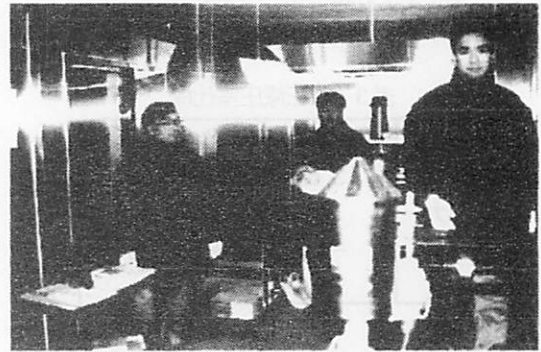


図4 真冬環境での作業労働の実験風景

また体温測定には、外耳温度計を利用し、測定時は室温環境で計測した。被験者は男性3名、補助者1名である。官能評価は、快適感、温冷感についてSD法で行った。

##### (3) 結果

##### (A) 官能評価

温冷感は2試料の防寒衣に顕著な優劣はなかったが、快適感では新防寒衣にあっては「快適」と感じる度合いが強いという被験者によるアンケート結果から判断できた。

##### (B) 衣服内気候

図5, 図6に、2試料の防寒衣着用における背中部, 側胸部周辺の衣服内温度変化を示した。背中部, 側胸部周辺とも新防寒衣の内部温度の方が高いことが観察できる。

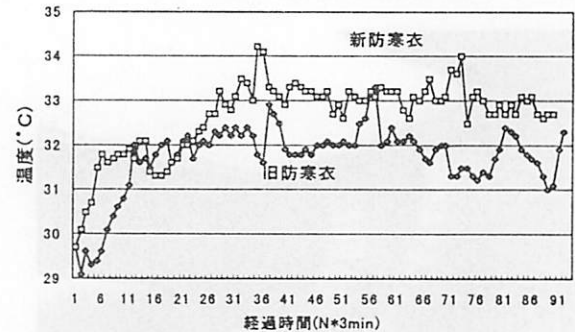


図5 防寒衣の衣服内気候 (背中部)

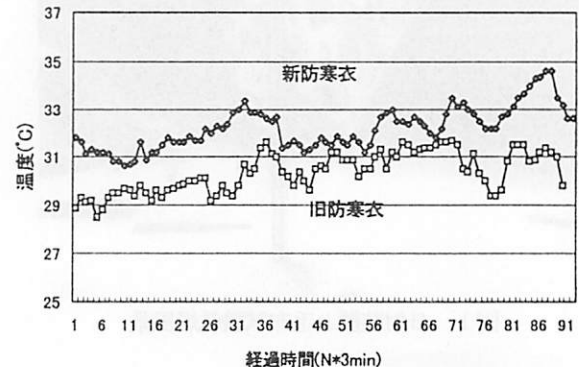


図6 防寒衣の衣服内気候 (側胸部)

(C) 外耳温（見かけ体温）変化

図7に、2試料の防寒衣着用時における外耳温（見かけ体温）を示している。環境室に入室後90分までは、体温の違いはほとんどないが、入室時間が増すほど旧防寒衣は新防寒衣よりも見かけ体温が低く、約0.5°Cの差がある。

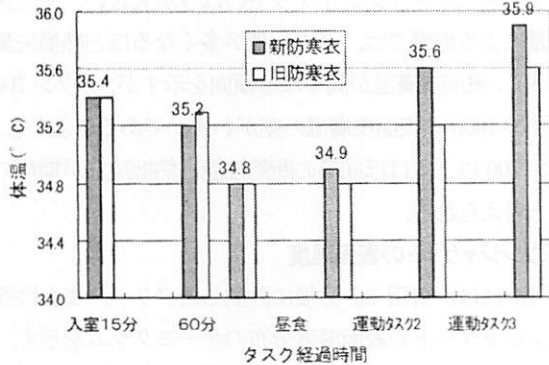


図7 寒冷暴露時における体温変化

通常、体温が低下すると体温調節機能が作用し熱生産が生じる。寒冷により体表面熱量が奪われるため、体温調節に伴う生理作用等が起こるからである<sup>2, 5)</sup>。体温差0.5°Cが、体表面熱量でどの程度違いがあるか単純にカロリー換算比較すると、人体比熱を0.83<sup>2)</sup>として、体重60kgで、約12.45Kcalと計算でき、これだけのカロリー差が生じている。今回の防寒衣着用の場合、保温効果の差が寒冷負荷による体表面から奪われる体熱放散量の違いとして現れている。保温効果の小さい旧防寒衣では新防寒衣よりも外表面から奪われる熱放散量が多いためである。次に、運動タスク2, 3後では見かけ体温が上昇している。これは運動によって熱生産が生じているためである。しかし、旧防寒衣の保温効果が新防寒衣よりも小さいため、体表面熱量が奪われる度合いが大きい。そして奪われる体熱放散が多い分、保温効果の違いによる熱放散の差が見かけ体温に影響が生じているためであろう。

(D) サーモグラム（以下、熱画像）

図8と図9に、旧防寒衣と新防寒衣を着衣し夜間労働を想定した寒冷暴露5時間の外表面の熱画像を示す。

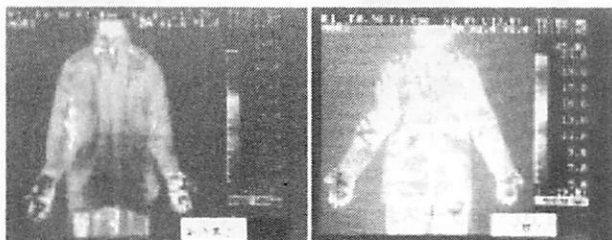


図8. 新防寒衣の外表面 図9. 旧防寒衣の外表面

2タイプ防寒衣の外表面の熱画像データから、旧防寒衣は新防寒衣よりも表面温度が高く、衣服からの放熱が高いことが視覚評価できた。

すでに衣服内気候から、新防寒衣が背中部と脇部で衣服内温度が高いことは判断できたが、さらに寒冷負荷の実験スケジュールのプロセスごとに、計測した防寒衣内部の人体表面温度をサーモグラフィ解析により比較した。

図10と図11は、新、旧防寒衣の寒冷暴露5時間後における防寒衣内部の人体表面の熱画像を示す。人体表面の防寒衣の熱画像による温度表示で違いが観察できる。（本稿末頁にカラー掲載）

次に、衣服内部の人体表面の肌着から露出している首筋付近の皮膚温比較から、新旧防寒衣服の保温性能を比較検討した。図12と図13は、熱画像データを画像処理により首筋付近の露出皮膚部だけトリミングした熱画像の比較データである。（本稿末頁にカラー掲載）

図14は、各験スケジュールプロセスで計測した防寒衣内部の体表面熱画像から、首筋の皮膚露出部位の平均皮膚温変化を示している。

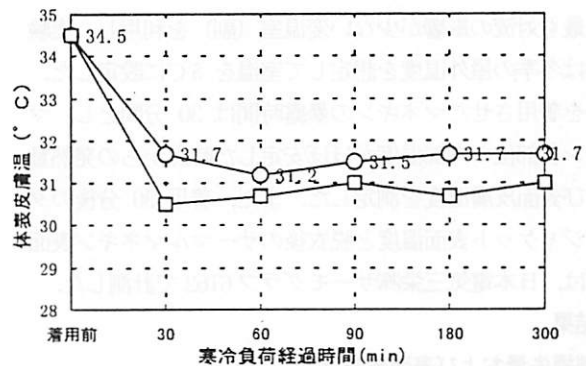


図14 首筋の皮膚露出部位の平均皮膚温

露出部の平均皮膚温比較は、初期の状態を除き、新防寒衣では常に平均皮膚温が高いことを示している。そして寒冷暴露5時間後における体表面の平均皮膚温差は0.7°Cであるが、体重60kgの人で単純にカロリー換算比較すると、約34.86Kcalの熱消費量の違いがあり、保温効果として大きな効果を発揮している。

以上、官能評価、衣服内気候、体温変化、サーモグラフィのいずれの評価試験においても、新防寒衣の保温性が旧防寒衣よりも優れていることが検証された。

5. サーマルマネキンによるダウンジャケットの断熱性評価

(1) 開発内容と目的

サーマルマネキン（以下マネキン）は、人間の着衣状態における衣服の温熱特性を再現するための人体模型（ダミー）であり、さまざまな温熱環境における衣服の断熱性能（熱抵抗）を定量的に測定することができる。そこで、防寒衣として着用されるダウンジャケットのダウン量が衣服の断熱性能に及ぼす影響について検討するため、ダウン量が異なるジャケットを着衣させたマネキンを均一な低温環境に一定時間暴露し、その時におけるマネキンの熱損失量や表面の皮膚温度の計測を行った。

## (2) 試験方法

当所にあるマネキンは、標準女性サイズの立位体で、頭部から脚部まで13部位に分割され、それぞれの部位では、内部ヒータにより内部温度や発熱量、表面皮膚温度などを独立して制御することができる。今回の試験では、マネキン各部位の内部温度を40℃になるように制御して計測を行った。着用試料には、ジャケットの中綿であるダウンの量を550g（以下ダウン550）、700g（ダウン700）、1,000g（ダウン1000）に変えた3種類のダウンジャケットを用いた。また、ダウンジャケットとの断熱性を比較するためにフリースも用いて裸体のマネキンに着用させた。環境室は、最も対流の影響が少ない変温室（副）を利用し、実験条件は冬季の屋外温度を想定して室温を5℃に設定した。試料を着用させたマネキンの暴露時間は30分間とし、マネキン各部位の内部温度がほぼ安定した時点からの発熱量および表面皮膚温度を測定した。また、着用30分後のダウンジャケット表面温度と脱衣後のサーマルマネキン表面温度は、日本電気三栄（株）サーモグラフ6T62で計測した。

## (3) 結果

### (A) 熱損失量および表面皮膚温度

図15には、5℃の環境温度に暴露し、内部温度がほぼ安定した時点から測定したマネキン胸部の発熱量を単位面積当たりに換算して求めた熱損失量と表面皮膚温度の関係を示す。

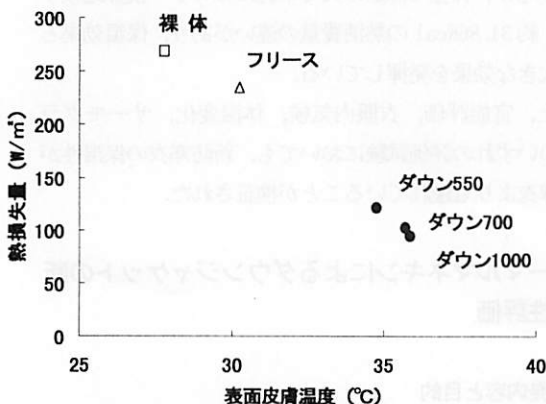


図15 フリースおよびダウンジャケット着用による熱損失量と表面皮膚温の関係

マネキン内部の温度は40℃で制御されているが、環境温度が低いために、裸体時では熱損失量が多く、また表面皮膚温が低くなっている。一方、フリースやダウンジャケットの着用時では、熱損失量が小さく、表面皮膚温も高くなっているのがわかる。これはフリースやダウンジャケットが熱抵抗となっているためであり、その効果（断熱性能）はフリースよりダウンジャケットのほうが大きい。またダウン量による影響では、ダウン量が多くなるほど熱損失量が小さく、表面皮膚温が高くなる傾向を示すが、ダウン700とダウン1000の表面皮膚温の差がわずかであることから、ダウン700以上ではほぼ同等の断熱性能（熱抵抗）が期待できると考えられる。

### (B) ダウンジャケットの表面温度

図16には、着用30分後に計測したフリースまたは各ダウンジャケットの表面温度分布のサーモグラムを示す。サーモグラムの左側および下部に表示された波形は、カーソル位置の温度波形を示す。フリース着用では、肩から胸部周辺の温度が高く、衣服とマネキンが接触している部分からの放熱量が多くなっていることがわかる。ダウンジャケット着用では、肩から首の付け根周辺の温度が高くなっているが、フリース着用時のように広範囲にわたる高い温度分布は見られない。しかし、キルティングの部分や縫製部分からの放熱が見られるように、今後の製品開発においては、保温性の改善と併せて縫製部門が重要な検討課題になるであろうと提案した。

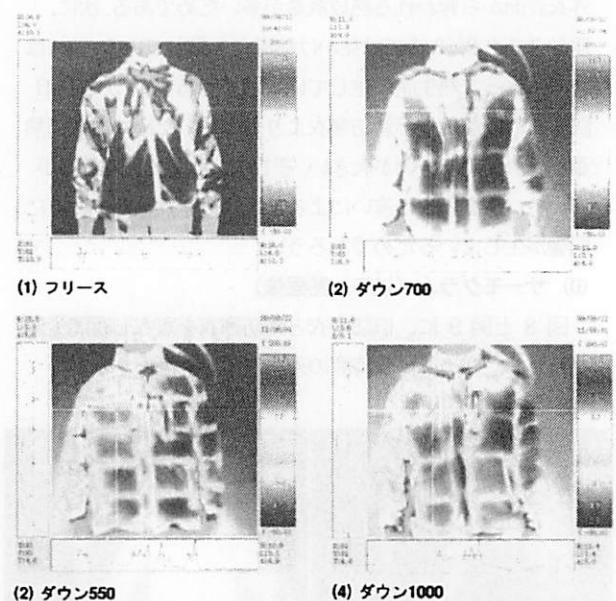


図16 フリースおよびダウンジャケット着用時の表面温度分布

このように衣服の保温性機能に関する製品開発においては、着衣による断熱性（熱抵抗）は、衣服内部に存在す

る空気層の状態や被服面積によって変化する<sup>3)</sup>。そのために、衣服の保温性機能などを物理的かつ総合的に測定する必要がある。また人体からの熱損失や放熱状態を把握するためには、多様な特殊環境条件下において人体と周囲の温熱環境との熱交換を模擬的に測定し、シミュレーション評価試験を行うことが重要となる。

## 6. 融雪・凍結防止マットの表面温度測定と品質評価

### (1) 開発内容と目的

多用途にわたって融雪や凍結防止の効果が得られるように開発されたグラファイトヒータを埋め込んだ融雪・凍結防止マット（以下融雪マット）の品質評価を行うために、降雪の環境条件のもとで融雪マット表面の温度分布と着氷・融雪効果について計測を行った。

### (2) 実験方法

融雪マットを人工気象室内に敷き、 $-10^{\circ}\text{C}$ の環境温度で降雪を行った。降雪装置の原理上、降雪の粒径や降雪量、降雪面積については制御することができないが、一定の試験条件を得るために降雪用の水量を一定にする調整を行った。着氷後の融雪マットの表面温度は、サーモグラフィシステム（NEC三栄製 TH31-701）により測定した。着氷量や融雪効果については、ビデオ等により目視判定を行った。今回は、マット表面の温度分布について記述する。

### (3) 結果

図 17 には降雪前に測定した融雪マットに埋設するグラファイトヒータの温度分布を示す。サーモグラムの左側および下部に表示された波形は、カーソル位置の温度波形を示す。ヒータによる発熱部分（以下、ヒータ部）では最大温度  $42.8^{\circ}\text{C}$ 、平均温度でも約  $15^{\circ}\text{C}$  を示した。一方、ヒータ部以外では最小温度が  $-5.1^{\circ}\text{C}$ 、平均温度でも約  $2.2^{\circ}\text{C}$  であり、ヒータ部とそれ以外の部分での温度分布に大きなばらつきが見られた。

図 18 には、グラファイトヒータを埋設（マットによるカバーを行う）した状態で、融雪マットの着氷前の表面温度分布を示す。グラファイトヒータの温度分布のばらつきがマットでカバーすることにより若干改善され、ヒータ部以外でも平均表面温度が  $5.6^{\circ}\text{C}$  となっているが、依然としてヒータ部の温度が最も高く、融雪マットの温度分布にばらつきが見られた。図 19 は、降雪時の融雪マット表面温度を示す。着氷による影響で融雪マット全体の表面温度は下がるが、最小温度で  $1.2^{\circ}\text{C}$ 、平均温度は  $4.3^{\circ}\text{C}$  を示し、融雪マットの表面温度が  $0^{\circ}\text{C}$  以上であり、融雪・凍結防止の効果を発揮すると考えられる。

ビデオによる融雪効果の目視判定においても、サーモグ

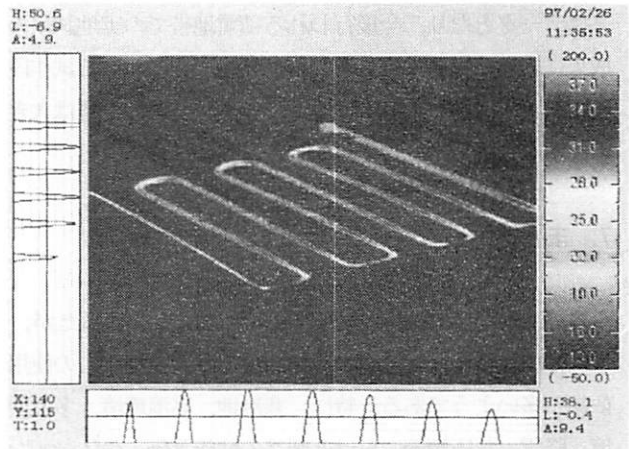


図 17 グラファイトヒータの表面温度分布

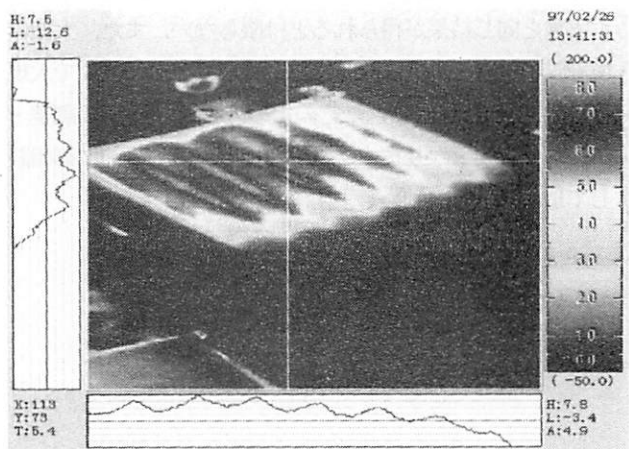


図 18 グラファイトヒータを埋設した融雪マットの表面温度分布（降雪前）

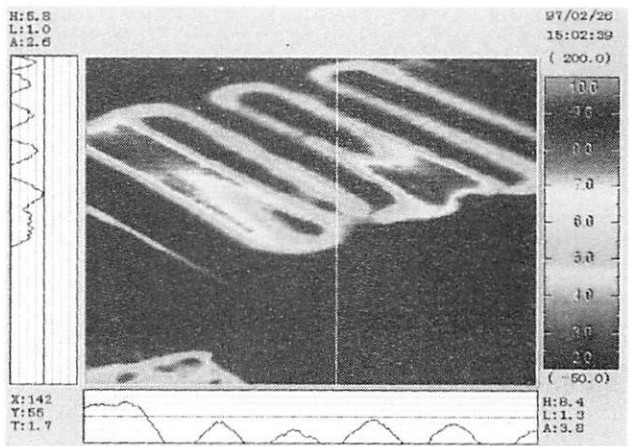


図 19 降雪時の融雪マットの表面温度分布

ラフィにより測定した温度分布の結果と同様に、ヒータ部の雪が完全に溶けているのに対して、ヒータ部以外では雪が残る様子が確認された。しかしヒータによる伝熱の影響により、氷と水の混じった様な状態が見られたが、路面が凍結している様子は見られなかった。

このように、人工気象室を利用し降雪環境下での融雪マットの評価試験は、融雪効果や凍結や着氷防止のための

基礎データとなり、今後行われる積雪地帯での実地試験の成果に大きく影響することから、商品開発における試作段階で、実用に沿った特殊環境下での実証試験の意味は大きい。

## 7. まとめ

本報告では、繊維関連の開発事例に焦点を絞ったが、これまで、特殊環境施設の設備開放では多業種からの使用依頼が多いようである。特に、寒冷地、高温環境、多湿環境、降雪、気圧調節における製品の性能評価、生体計測など、多種多様な実験依頼を受けている。

今回、4つの開発事例について報告したが、必ずしもラボ実験と同じ結果が得られるとは限らない。また、大型環境施設の試験、実験に際しては、費用、実験、時間で大規模作業となる場合がある。そのため、実験には、事前調整・調査等が重要となります。設備使用の際は、事前に御相談して頂くことをお勧めします。

なお、この報告は、グループ紹介 Home Page でも PR 紹介しています。参考文献の末尾にある URL にアクセスして頂ければ、他の設備利用状況・実績もご覧になれます。

## 8. 参考文献

- 1) 気象国立天文台編, 理化年表, 気 70 (261)~気 73 (263)
- 2) 中山昭雄編, 温熱性理学, 理工学社
- 3) 社団法人空気調和・衛生工学会, 快適な温熱環境のメカニズム 豊かな生活空間をめざして, 丸善 (株) (1997)
- 4) 吉田敬一, 小林茂雄, 柳許子, 津田欣子, 前島雅子 共著, 衣生活の科学, 改訂7版弘学出版 (株) (1998)
- 5) 通産省生活産業局, 人間生活工学検討委員会報告書
- 6) グループ紹介 Home Page 下記からでも閲覧できます。  
<http://www.tri.pref.osaka.jp/group/sense>  
<http://old-web.tri.pref.osaka.jp/group/sense>

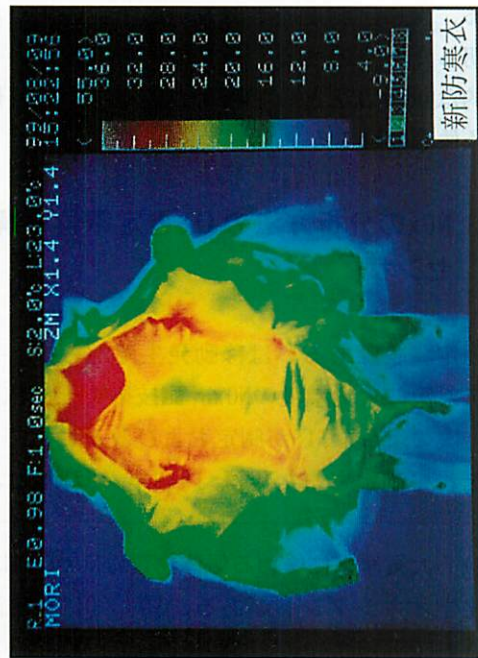


図 10 新防寒衣の内部

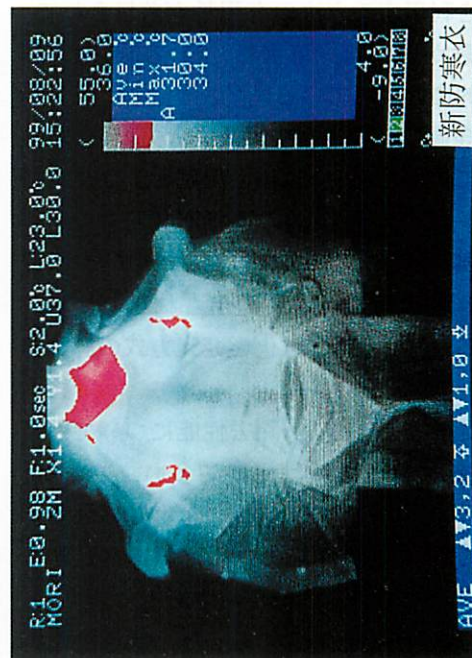


図 12 新防寒衣の露出部平均皮膚温

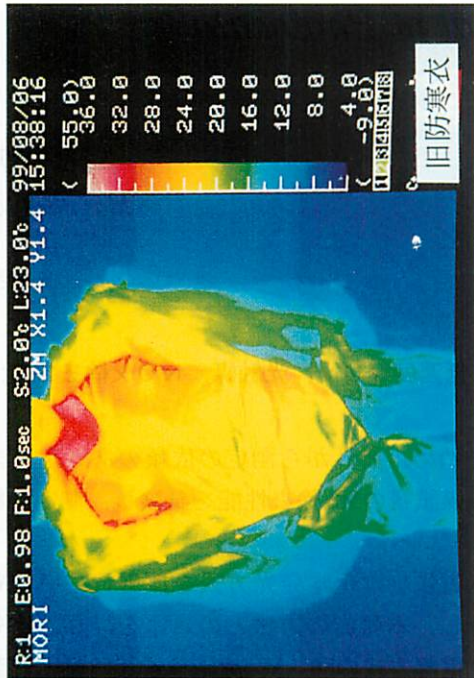


図 11 旧防寒衣の内部



図 13 旧防寒衣の露出部平均皮膚温