衣服の設計指針 —高性能発汗マネキンの開発—

森 下 禄 郎

1. はじめに

衣服は装飾や象徴などの意味だけでなく、身体を保護し外界からの危害や汚染から守るという機能を発揮するものとして着用されている。

我々が衣服の着用時に感じる快適性の主要因は衣服と皮膚との間の微小空間に着目した衣服内気候、衣服圧、肌触りの3つである。中でも高温高湿なわが国では特に「汗」に対する興味は尽きず、温熱・湿潤感と密接な関連がある衣服内気候（衣服内微小空間の温度、湿度、気流）については古くから数多くの研究がなされている¹⁾。

衣服の快適性に関する研究のアプローチには1) 生理学的、2) 材料学的、3) 心理学的、4) 感覚計測的アプローチがあるが、より快適な衣服を開発する視点から見ると、その目標値を物性値で示すプロセスが必要であり、上記の1)～3)のアプローチだけでは目的は達せられない。快適性とは何かを把握し、感覚量と対応する測定装置により計測できるようにする感覚計測的アプローチは一見遠回りに思えるが、衣服の設計のためには有効である^{2,3)}。

衣服内気候の観点からみた快適な衣服の設計とは、外界の環境条件や人体の活動状況に応じて水分や熱を移動もしくは遮断して衣服内気候を絶えず快適域に保つような調節機能を創り込むことと言えるであろう。しかし、実際の環境—衣服—人体の系で考えると、環境条件、人体の活動状態、衣服の着用状態が多様であり、さらに水分と熱の移動現象は相互に作用する複雑な現象であることから、材料学的アプローチによる衣服の材料物性から直ちに着用時の快適性と結び付けるのは困難を極める。

また、衣服材料（生地）の評価は一定の温湿度環境の中で衣服材料の熱・水分移動特性を測定することは可能

であるが、それらはあくまでも材料としての物性値を計測するもので、実際の着用状態にある衣服としての熱・水分移動特性の計測には限界がある場合が少なからずある。そこで、サーマルマネキンが考案されたが、これは発汗が考慮されておらず、その後現れた発汗マネキンでは、姿勢変化が難しい、多量発汗状態を作りにくい、皮膚温や発汗量を経時的に変化させることが難しいなどの点で人体の状態を充分には再現できていない点があり、衣服の熱・水分移動特性を的確に評価できていないこともある⁴⁾。これらの課題を解決し、実際の人体により近い状態を再現できるマネキン型シミュレータの開発が期待されている。

東洋紡では1980年以降、一貫して繊維素材および製品の熱・水分の移動現象に注目し、着用する立場に立った研究を進め、感覚計測の考え方に基づいて、各種のシミュレータを開発してきている。このような背景をベースとして、堅田研究室（東洋紡績株式会社総合研究所）は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の研究開発」において、人間感覚指標応用技術の研究開発・評価シミュレータ等の開発（衣服の設計指針—高性能発汗マネキンの開発—）に取り組んでいる。

2. 研究開発計画

2.1 全体計画

発汗量、皮膚温について、実際の人体により近い状態を模擬できる高性能発汗マネキンを開発するため、第Ⅰ期は（1）発汗機構を主とする高性能発汗マネキン製作のための要素技術の開発、（2）発汗量、皮膚温に関する人体計測技術の開発および、（3）快適性評価技術の開発を行った。中心のテーマは高性能発汗マネキンの発汗機構を主とする要素技術の開発である。第Ⅱ期には高

Development of Simulator for the Micro-climate within Clothing: Key Technology for Sweating Thermal Manikin

著者紹介 ROKURO MORISHITA

Research Institute, Toyobo Co., Ltd.

東洋紡績株式会社総合研究所 主任部員

著者は繊維工学、感覚計測分野を専門とされる。

本稿では、人間感覚指標応用技術の研究開発・評価シミュレータ等の開発における発汗マネキンの発汗機構の考え方について述べられている。

図1 「衣服の設計指針」の全体計画

図2 高性能発汗マネキンのコンセプト

性能発汗マネキンを製作し、温熱・湿潤感に関する快適性指標への応用を研究する。図1に全体計画を示す。

2.2 第I期(平成2年度～平成6年度)研究計画

2.2.1 高性能発汗マネキンの開発

高性能発汗マネキンの方向性を確立するため、発汗マネキンに適用可能な各種の発汗機構(スキンモデル)、発汗量均一化などの要素技術について研究、開発を行った。

2.2.2 人体計測技術(発汗量、皮膚温)の開発

発汗マネキンへの入力データが得られるような装置の一つとして、人体の皮膚温・発汗量を複数のセンサで、できるだけ衣服の着装状態を乱さずに測定できる皮膚温・発汗量自動計測装置を開発した。

2.2.3 快適性評価技術の開発

温熱・湿潤感に関する感覚量解析手法及び人体による衣服内微小空間の温湿度計測技術について研究した。

2.3 第II期(平成7年度～平成10年度)研究計画

第I期の要素技術をベースとして高性能発汗マネキンの組立て技術の研究を進め、平成9年度に製作する予定である。また、各種シミュレータなどによる指標応用技術についても並行して取り組む。

3. 研究開発概要

3.1 第I期研究開発概要

3.1.1 高性能発汗マネキンの開発

発汗量、皮膚温について、実際の人体により近い状態を模擬できる高性能発汗マネキン構築のための要素技術を開発するため、気相・液相の基本的な発汗機構、発汗量・皮膚温を経時的に変化できる発汗機構などについて研究した^{4,5)}。

発汗マネキンに必要な機能として、1) ボディの分割による皮膚温・発汗量(少～多量発汗)の分布、2) 運動や外気条件の変化を想定した皮膚温・発汗量の経時変化、3) 人体の状態を想定した姿勢変化(立つ・寝る・座る)を実現できることを目指している(図2)。これ

図3 スキンモデルの構成

らの機能を満足するためのキーファクタは発汗マネキンに適用するスキンモデルである。各種のマネキンおよびスキンモデルを調査し、発汗マネキンに適用可能な発汗機構として図3に示す基本モデルを抽出した^{6,7)}。基本モデルはボディ、産熱機構、発汗機構およびこれらの制御機構、さらにボディ表面に送られた汗(水)を保持・拡散させる模擬皮膚から構成される。これに基づいて各種のスキンモデルを作成し、評価研究を行った。以下に開発した主なスキンモデルを紹介する。

(1) 平板モデル⁷⁾: 90mm×130mmの真鍮板ボディに発汗孔(φ1mm)を6個設けチューブポンプで送水する。送り込まれた水はボディ表面の模擬皮膚に拡散し、ボディ裏面にあるヒータで加熱され模擬皮膚から蒸散する。模擬皮膚材料として濾紙、焼結金属板、金属不織布、ガラスフィルタ、高密度ポリエチレン多孔質材、織編物などについて吸水性や水拡散性について比較評価した^{4,5,7)}。模擬皮膚としては供給された水を保持すること、素速く拡散させることのバランスが重要である。

(2) 椅座型モデル: 人体と着座面の空間がほとんどない接触系における発汗現象を再現させるための加圧機構を基本モデルに付加したスキンモデルである⁷⁾。椅子を想定した素材の異なる表皮材、クッション材等の積層体と模擬皮膚間の温湿度測定を行える。着座状態を想定した微小空間の温湿度変化を測定できる⁸⁾。

(3) 積層モデル: ボディを円筒状に構成(高さ300mm,

図4 スキンモデル (システム) の例: 積層モデル

図5 測定例 (積層モデル)

外径290mm) し、電磁弁をCPU制御により間欠開閉する機構を設けたモデルである⁷⁾。図4に装置の構成を示す。このモデルを用いて発汗量を変えて、衣服内気候を測定した例を図5に示す。発汗量による差が発汗の初期と停止後の衣服内温湿度に特徴的に表れている⁸⁾。

(4) 経時変化モデル: 運動などによる人体の変化を想定し、CPU制御により皮膚温、発汗量を経時的に変化できるシステムである⁸⁾。送水機構にはステッピングモータ内蔵型のマイクロポンプを用いた。計測・制御ソフトウェアにより、発汗ボディの皮膚温・発汗量を自動的に経時変化させ、表面温湿度、模擬皮膚の水分率、供給電力などを計測できる⁹⁾。

(5) 液体の汗モデル: 運動時のように多量の液体の汗で皮膚が濡れて、べたつき感、ぬれ感、冷え感などを感じるような状態を想定したものである。発汗孔の間隔を変えた発汗ボディを作製した⁸⁾。円筒ボディでの多量発汗でも模擬皮膚材料の吸水性、水拡散性、保水性等のバランスが重要であり、模擬皮膚の上を多孔質膜で覆うと発汗を抑制してしまうことなどが明らかになった⁹⁾。

3.1.2 人体計測技術 (発汗量、皮膚温) の開発

発汗量や皮膚温の測定のため衣服の着装状態をできるだけ乱さずにセンサが装着でき、皮膚温、局所発汗量をリアルタイムで連続的に自動記録できる装置について研究した。大学などの外部機関へのアンケート調査から局所発汗量計測技術の問題点として、従来の換気カプセル法ではカプセルに乾燥ガスを送り込むため、発汗能力を測る方法としては有効であるが、衣服着用時の自然な状態での有効発汗量の測定には不向きであることがわかった⁶⁾。これに対し、衣服内温湿度に近似した絶対湿度の湿潤空気を皮膚上に設置したカプセル内に流入し絶対湿度の増加分から発汗量を計測する (湿潤空気流入方式) 装置を製作した^{7,8)}。この方式によればより実態に近い有効発汗量の測定が期待できる。人体でのテスト結果から、汗を回収する空気として、乾燥空気または湿潤空気を用いた場合の発汗挙動 (発汗漸減現象など) について調べ、カプセル流入空気の湿潤状態によって計測される発汗量が異なることが分かった^{9,10)}。

3.1.3 快適性評価技術の開発

温熱・湿潤感に関する感覚量と人体やシミュレータなどによる衣服内微小空間の温湿度の測定結果との対応関係を解析するため、着用テスト等の感覚量を曖昧さを許容して抽出できる手法について検討した^{7,8)}。ファジ理論を導入した重回帰式と、従来手法による重回帰式とを比較検討した結果、寄与率は従来法に比べてファジ重回帰式の方が高く、官能値の中心値との差は総じて±0.1段階以下であることが分かった⁹⁾。また、衣服内微小空間の温湿度計測技術では、市販の温湿度センサを比較評価し、検出部周囲の空気の流通性を改良し、人体と衣服の間の空気の微妙な流れを精度よく計測できるように改良を行った⁷⁻⁹⁾。

3.2 第Ⅱ期の研究開発概要¹¹⁾

3.2.1 第Ⅱ期の研究開発計画

第Ⅱ期では、(1) 高性能発汗マネキンの開発、(2) 指標応用技術の研究を行う。高性能発汗マネキンは平成9年度に製作予定であり、1) 「立つ、座る、寝る」の姿勢ができる、2) 多量 (液相) 発汗が可能、3) 就寝時や運動を想定して、皮膚温・発汗量の経時変化をシミュレートできるなどの機能を備えることを目標としている (衣服の設計という観点から、頭部、手掌、足、関節などの部位での産熱・発汗は考慮していない)。最も重要な課題は、多チャンネル化 (ボディ分割) および産熱・発汗機能に影響を与えず、姿勢変化が可能な全身ボディの構成技術を検討することである。高性能発汗マネキンによる指標応用技術の研究では、衣服評価の指標化案について検討する。

3.2.2 高性能発汗マネキンの組立て技術の研究

姿勢変化が可能となるボディの構成技術进行研究するため、関節部を有する部位について姿勢変化が可能な関節の機械的機構を検討した。平成7年度では脚型発汗マネキン(右脚、関節部=膝)を作製した。発汗ボディは立位、椅座、横臥の状態に変更でき、大腿前部、大腿後部、下腿部、それぞれ24個の発汗孔($\phi 1\text{ mm}$)を設けた。発汗はチューブポンプを用いて $300\text{ g/m}^2 \cdot \text{h}$ まで設定可能で、各部位ごとに皮膚温を設定できる。表面皮膚温、衣服内温湿度、消費電力が各部位ごとに計測できる。

3.2.3 スキンモデル等による指標応用技術の検討

第I期に開発したスキンモデルを活用し、綿、ウールなどの肌着等の保温性、敷寝具関連素材の熱・水分の移動特性に関する評価を実施し、温熱・湿潤感の観点からの指標について研究中である。

3.3 今後の予定

第I期では、発汗マネキンを構築するためのスキンモデルを中心とする要素技術についてはほぼ捉えることができた。今後は、複数のスキンモデルを姿勢変化もできるように人体形状に構成する際に生ずる制限条件や課題に関する技術について研究を進め、高性能発汗マネキンを構築し、快適性指標の応用について研究していく予定である。図6に高性能発汗マネキンの構成イメージを示す。

図6 高性能発汗マネキンの構成イメージ

4. おわりに

将来、人間感覚計測プロジェクトの開発技術が集積され、着用時の温熱・湿潤快適性だけでなく感性なども包含した高度な衣服設計システムが構築され、幅広い環境変化や特殊環境下に対応できる衣服や、人体の弱いところ(冷え性、暑がり等)を補うような衣服、防護機能と快適性を両立できる衣服などの開発が深化することに期待したい。本研究は通産省工業技術院の産業科学技術研

究開発「人間感覚計測応用技術」の一環として新エネルギー・産業技術総合開発機構の委託を受けて実施した研究成果の一部である。

参考資料

- 1) 原田隆司, 土田和義; 繊維誌, 22, 406 (1981).
- 2) 原田隆司; 繊維誌, 27, 200 (1986).
- 3) 土田和義, 原田隆司; 日本繊維消費科学会第1回衣服の快適性に関する国際シンポジウム予稿集, 168 (1988).
- 4) 森下祿郎, 斎藤 実, 土田和義, 原田隆司; 日本繊維消費科学会第3回衣服の快適性に関する国際シンポジウム予稿集, 84 (1994).
- 5) 森下祿郎, 斎藤 実, 谷口清士, 森 真人, 福岡重紀; 日本繊維機械学会第47回年次大会研究発表予稿集 (1994).
- 6) 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; 平成3年度人間感覚計測応用技術の研究開発委託研究成果報告書 第4編 相関・評価技術の研究開発 (第2分冊), p.441 (1992).
- 7) 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; 平成4年度人間感覚計測応用技術の研究開発委託研究成果報告書 第4編 相関・評価技術の研究開発 (第3分冊), p.997 (1993).
- 8) 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; 平成5年度人間感覚計測応用技術の研究開発委託研究成果報告書 第4編 相関・評価技術の研究開発 (第3分冊), p.909 (1994).
- 9) 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; 平成6年度人間感覚計測応用技術の研究開発委託研究成果報告書 第(3)編 本論編 (第5分冊) 相関・評価技術の研究開発, p.725 (1995).
- 10) 石丸園子, 斎藤 実, 森 真人, 福岡重紀, 日本生理人類学会衣服研究部会第1回衣服-環境系シンポジウム予稿集, 3 (1994).
- 11) 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; 平成7年度人間感覚計測応用技術の研究開発委託研究成果報告書 第II編 (第4分冊) 人間感覚指標応用技術の研究開発, p.89 (1996).

(平成8年6月25日受理)