「人間感覚計測応用技術」特集

ヒューマンコンフォートメータの研究開発

松 木 照 幸・高 橋 良 昭・勝 野 竜

1. まえがき

従来、温熱環境の評価に用いる装置はサーマルマネキンにみられるように発熱体が1層で構成されているため、人体の温熱生理特性に近いとはいえなかった。本研究では、まず2層の発熱体で構成される“温熱感覚エレメント”を開発して人体の温熱生理特性との比較を行い、このエレメントを部位別に複数個埋め込んだ人体形状をした樹脂製のボデーを設計製作した。次に、これらのエレメントを全身で統合化する制御システムと、部位別のエレメントの諸状態から人間の温熱感覚に変換するソフトを開発し、最後に全体システムとして精度の高い温熱快適性を評価できる“ヒューマンコンフォートメータ”を研究開発する。この結果、原子力発電所などの大形プラントの総合集中制御室や、オフィス・住宅・自動車・建設機械キャビン等のパーソナル空間の温熱に関する快適性を、人間に代わり、しかも高精度で評価することが可能となる。

2. 温熱感覚エレメントの開発

人間の温熱生理特性についての各種数値解析モデルを検討し、Stolwijkのモデル¹⁾を参考にすることとした。図1にStolwijkの人体熱モデルと本研究の温熱感覚エレメントの熱モデルの比較を示す。従来の温熱環境評価手法では、温熱エレメントのハードは全て1層で構成されているのに対し、本研究の温熱感覚エレメントは2層で構成されており、より人間の生理特性に近づけることが可能である。この2層構造は熱電素子とヒータで構成し、周囲の断熱材から外周部へ逃げる熱量の低減化を図るため、断熱材補償ヒータ及びリード線補償ヒータを採用した。また、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った。温熱感覚エレメントの外観を図2に示す。

図3に温熱感覚エレメントと人体皮膚温²⁾の比較を示す。これは、温熱感覚エレメントの内部温度（人体の深部温に相当する）を一定に制御した場合の環境温度と表面温度の関係を示したもので、人体のどの部位の皮膚温

図1 温熱感覚エレメントの熱モデル

図2 温熱感覚エレメントの外観

松木 照幸氏

Studies and Development of Human Comfort Meter

著者紹介 TERUYUKI MATSUKI

Komatsu Ltd.

株式会社小松製作所 研究本部中央研究所 農学博士

著者は空調衛生工学を専門とされる。

本稿では温熱環境を人間に代わって詳細に評価するための装置について、要素開発からシステムの構築に至る研究開発の現状を紹介していただいた。

図3 温熱感覚エレメントと人体皮膚温の比較

図4 温熱感覚エレメント電力と人体放熱量の比較

図5 人体形状ボデーの外観

に対しても対応可能なことがわかる。

図4に補償ヒータを組み込む前と、組み込み後の温熱感覚エレメントの特性の比較を示す。補償ヒータ付きの温熱感覚エレメントの放熱特性は、人体にはほぼ一致できている。

この結果、温熱感覚エレメントの表面温度、内部温度及び電力を、人体の部位別の皮膚温、皮下温及び熱流束に、それぞれ一致させることができるという特長を持たせることが可能となった。

3. 人体形状ボデーの開発

温熱感覚エレメントを、額、胸、手、足等合計12箇所に取り付けた、全身の人体形状ボデーの設計及び製作を行った。人体形状ボデーの身長は155cm～175cmの範囲で可変となる構造とした。また、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ような構造をとった。全身の材質は樹脂 (FRP) を基本として、軽量で強度を持たせるようにした。形状はできるだけリアルなものとし、顔面は男女どちらでもない中性的なタイプをねらった。なお、顔面と手足部は人体にできるだけ近づけるため、ソフトなシリコン樹脂で表面を覆う方法とし、他の部位は硬いFRP製のままの表面とした。温熱感覚エレメント以外に、湿度センサと気流速センサは全身でそれぞれ8個ずつ、放射温度センサは6個取り付け、温熱感覚への変換精度を向上させることを図った。

図5に人体形状ボデーの外観を示す。全体重量は、配線類を含めて約26kgで、当初目標の30kgを下回ることができた。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する方式をとった。コネクタから先は、従来の延長ケーブル (長さ5m) を使用し、制御装置へ接続する方式とした。

4. 全身統合用制御系及び快適性判断用ソフトの開発

図6に試作した全身統合用制御系ソフトの概略構成を示す。全体は入力部、全身統合部、快適性判断部及び出力部により構成される。

図7に人体の体内熱移動フローを示す。人体は温暖時には頭、胸のコア部の熱量を各部位の皮膚表面へ移動させ放熱を促進し、寒冷時にはこの逆の制御を行っているが、温熱感覚エレメントではこれらを温度と電力により制御する。すなわち、全身統合用制御系ソフトには主に頭や胸等の体幹部の深部温度を一定に制御する深部温度制御プログラムと、手足等の末梢の各部位の電力を、全

図6 全身統合用制御ソフトの構成

図7 人体熱移動フロー

図9 快適性判断用ソフトの表示例

図8 全身統合用制御ロジック例

身の代謝量より換算した総電力から算出する電力制御プログラムがあり、これらを全身で統合化させることにより、人体と同様の全身の熱移動を電氣的に行う。

図8に全身統合制御ロジックの一例を示す。まず、各部位の空気温度により各部位エレメント電力を設定し、その後、全身の電力が一定になるように各部位に電力を振り分ける調節を行う。また、深部補償とリード線補償の温度制御は、各部位の空気温度により温度を設定して行い、空気温度の急激な変化に対しては、温度設定値に遅れ時間制御を行う。このロジックは一つの例であるが、今後、空気温度測定を行わなくてもエレメント運転がで

きるように検討する必要がある。

快適性判断結果の出力表示についてのソフトの設計及び製作を行った。これは、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得られた温冷感、風量感、熱的快適感等の各温熱感覚を表示するものである。画面の一例を図9に示す。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せるようにし、種々の選択により、画面表示を変更できるようにした。

5. あとがき

人体の各部位別の皮膚温、皮下温及び熱流束に合わせることのできる温熱感覚エレメントの単体、これらを12個埋め込んだ樹脂製の人体形状ボデーを開発できた。今後、これらの複数個のエレメントを制御する全身統合用制御系ソフト、人間の感覚に変換するソフトを開発していく予定である。

謝 辞

本研究は通産省の産業科学技術研究開発制度「実用原子力発電所用運転環境高度化技術の評価」*¹の受託研究の一環として実施したものであり、関係各位に深く感謝致します。

参考文献

- 1) J. A. J. Stolwijk: A mathematical model of physiological temperature regulation in man, NASA CR-1855, 1971.
- 2) 西安信: 温熱生理学(中山昭雄編), P.44, 理工学社, 1981.

(平成8年6月1日受理)

*¹ プロジェクトの項目が、人間感覚計測応用技術ではないが、これは異なる財源を用いているためで、実質的には人間感覚計測応用技術の一環として扱われている。

日本包装学会第10回シンポジウム 品質保証とセンサー(2)

主 催: 日本包装学会

後 援: 繊維学会ほか

日 時: 10月18日(金)

会 場: 大阪科学技術センター(大阪府大阪市西区靱本町1-8-4 電話 06-443-5321)

参加費: 会員10,000円, 非会員12,000円, 学生3,000円

問い合わせ先: 日本包装学会「第10回シンポジウム」係
〒103東京都中央区日本橋茅場町2-6-8
電話 03-5695-4030
FAX 03-5695-1939

日本学術会議第3回界面シンポジウム 「機能材料のための新しい触媒設計」

主 催: 日本学術会議材料工学研究連絡委員会
金属工学研究連絡委員会

日 時: 10月25日(金)

会 場: 日本学術会議講堂(1F)

参加費: 無料 予稿集2,000円 懇親会員3,000円(希望者のみ)

問い合わせ先: 東京大学工学部 教授 沢 田 嗣 郎
電話: 03-3812-2111(内線7236)
FAX: 03-3815-6543