

足部トルソーを用いた靴下の保温性測定装置の設計

山崎 陽平^{*1)}, 辻坂敏之^{*1)}

Design of a Socks Thermal Insulation Measurement Device

Using a Foot Torso

YAMAZAKI Yohei^{*1)}, TSUJISAKA Toshiyuki ^{*1)}

靴下の暖かさ（保温性）は、一般的に「KES」と呼ばれる装置を使って、熱の伝わりやすさ（熱伝導率）や空気の通りやすさ（通気性）などの性質を測って評価する。物理的な値だけでは判断が難しいこともあるため、さらに、実際に人が履いて感じた暖かさなどの「官能検査」もあわせて行い、総合的に判断する。官能検査を行わなくても靴下の暖かさを正確に測れる装置があれば、靴下の性能を簡単にチェックできるようになり、より快適で高性能な靴下の開発につながる。

本研究では、足部トルソーの中に温水を流して、実際の人の足の状態に近い環境を再現し、その表面の温度を測ることで靴下の保温性を評価できる装置を開発した。この装置で、「足の部位によってどれくらい熱が逃げやすいか」や、「靴下を履いたときと履いていないときで、どれくらい暖かさに違いがあるか」といった点を調べることも可能である。

1. 緒言

繊維製品の保温性や熱伝導率は、一般的に JIS L 1927 に準拠して測定される。しかし、靴下は筒状の形状をしているため、測定の際には裁断して平面状にする必要がある。この方法では、靴下本来の形状や着用時の状態を反映した評価が困難となる。そのため、着用時の状態を再現した靴下の保温性を適切に評価する新たな測定手法の開発が求められている。

先行研究では、この課題を解決するために、瓶に温水を入れ、その水温変化を測定する手法¹⁾やペットボトルに水を入れ、気温を変化させた時の表面温度を測定する手法²⁾等が提案されている。近年、足の部位ごとに異なる編み組織を採用した機能性靴下が多数販売されており、それらの特性を評価するには、より人体環境に即した状態で、足部

各部位の温度変化を把握することが重要である。本研究では、足部トルソーに温水を循環させることで人体環境を模擬し、その表面温度を測定することで靴下の保温性を評価する測定装置を開発したので報告する。

2. 靴下の保温性測定装置の設計

2.1 装置の概要

今回設計した靴下の保温性測定装置の全体図を図1に示す。本装置の特徴は、約 37℃の温水を足部トルソー内に循環させることで、足部の放熱特性を含めた人体環境を模擬できる点にある。表面温度の変化は熱電対により測定するため、測定点を任意に設定でき、多様な機能性靴下の評価が容易に行える。また、本装置は移動可能であり、当セ

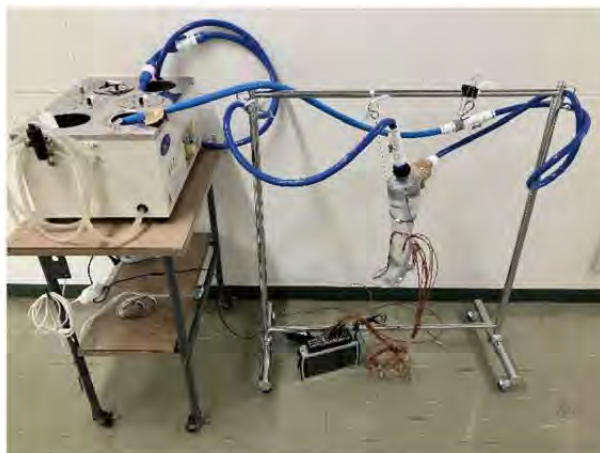


図 1 装置全体図

^{*1)} ローカルプロダクト科

ンター内に限らず、100 V 電源が使用できる環境であれば、恒温室や屋外においても測定が可能である。

本装置の使用方法として、2 種類の測定方法を設定した。一つ目は、恒温槽で加温した温水をポンプにより足部トルソーへ継続的に循環させ、その表面温度の変化を測定する方法（以下、「測定方法 1」）である。二つ目は、ポンプを停止し、供給側および排出側のホースのコックを閉じることで温水の循環を停止させた状態で、足部トルソーの表面温度の変化を測定する方法（以下、「測定方法 2」）である。

2.2 熱電対の精度について

2.2.1 熱電対による温度測定方法

足部トルソー表面温度のモニタリングに（株）チノー製被覆 T 熱電対 JIS クラス 2 を 11 チャンネル利用した。T 型熱電対の JIS クラス 2 の精度は $\pm 1^{\circ}\text{C}$ であり、加えて個別の熱電対でも差があることから、プレハブ恒温恒湿器（タバリエスベック（株）製 TBR-3 型）の温度を 5°C 、 13°C 、 20°C に設定し、各熱電対にて気温を 20 分間測定した時の平均値を求めた。同時に校正済みフッ素樹脂被膜温度計（日本計量器工業（株）製 JC-2216）で気温を測定し、熱電対の温度と比較して精度を確認した。なお、プレハブ恒温恒湿器内での送風機風量の影響を軽減するため、機器の周りを風除けで覆い風速 0.4 m/s 以下とし、気温の測定は、風除け内側で足部トルソーから約 50 cm 離れた空中に熱電対を設置し、恒温槽で加温した温水をポンプにより足部トルソーへ継続的に循環させて測定している。

2.2.2 測定結果

2.2.1 における各熱電対の測定結果の平均値を図 2、図 3、図 4 に示す。図 2 での最小値は CH3 の 7.3°C 、最大値は CH10 の 8.2°C 、図 3 での最小値は CH3 の 14.7°C 、最大値は CH9、CH10 の 15.5°C 、図 4 での最小値は CH3、CH4 の 20.6°C 、最大値は CH11 の 21.3°C であった。

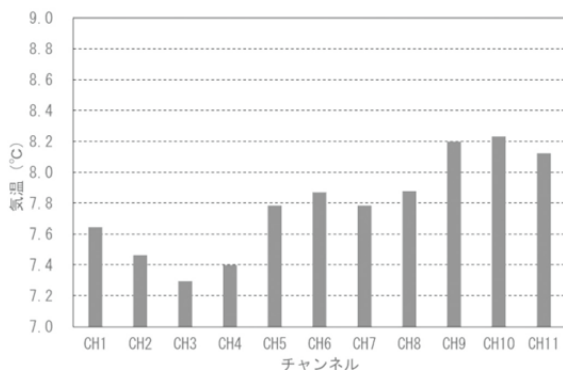


図 2 各熱電対の平均値(設定温度 5°C 20 分間測定)

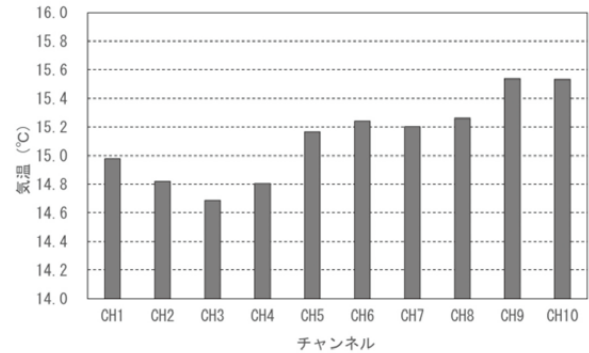


図 3 各熱電対の平均値(設定温度 13°C 20 分間測定)

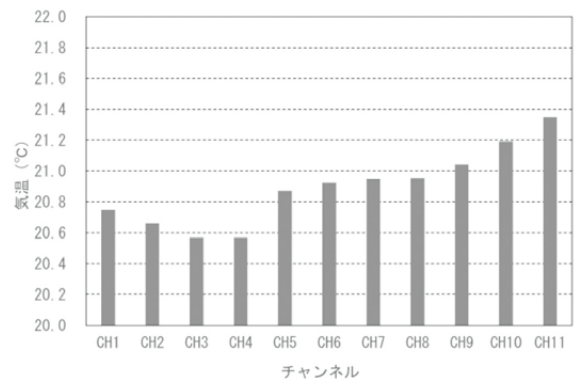


図 4 各熱電対の平均値(設定温度 20°C 20 分間測定)

2.2.3 熱電対の精度確認

2.2.2 の結果から、各チャンネルの測定値における最小値と最大値の差は、設定温度にかかわらず 1°C 以内であった。一方で、他のチャンネルに比べて系統的に低温または高温を示すチャンネルが存在することが確認された。そこで、全 11 チャンネルのうち、最も高温を示した CH11 および最も低温を示した CH3 を除外し、残る 9 チャンネルを温度傾向に基づいて低温群・中温群・高温群の 3 群に分類した。各群から代表チャンネルを 1 つずつ選定し、これら 3 チャンネルの測定値の平均を算出した。この平均値と、校正済みフッ素樹脂被膜温度計（日本計量器工業（株）製 JC-2216）による測定値を比較した結果を図 5、図 6、図 7 に示す。

図 5、図 6、図 7 から、温度差 0.2°C 以内で 3 つのグループに分類することが可能であることがわかったため、「CH1、CH7、CH8 の平均値」をつま先部（図 8）に、「CH2、CH6、CH9 の平均値」を足裏部（図 9）に、「CH4、CH5、CH10 の平均値」を足首上部（図 10）に貼り付け、測定点とした。また、「CH3 および CH11」は室温の測定点として使用し、温度測定実験を実施した。

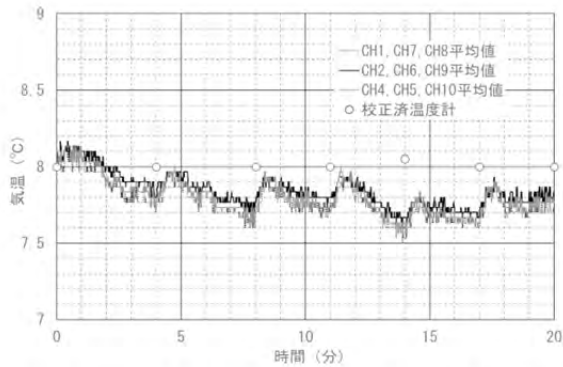


図 5 校正済温度計と熱電対3つの平均値の比較
(設定温度 5 °C 20 分間測)

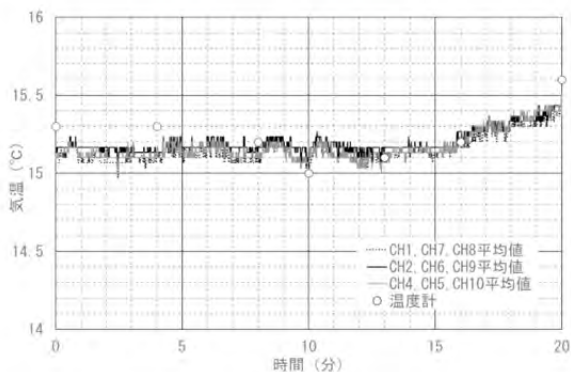


図 6 校正済温度計と熱電対3つの平均値の比較
(設定温度 13 °C 20 分間測)

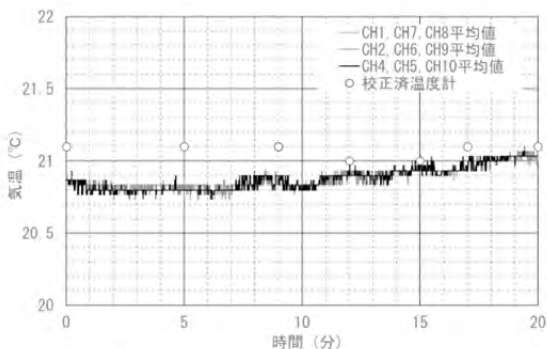


図 7 校正済温度計と熱電対3つの平均値の比較
(設定温度 20 °C 20 分間測)



図 8 測定点 (つま先)



図 9 測定点 (足裏)



図 10 測定点 (足首上部)

3. 靴下の保温性確認のための実験方法

3.1 足部トルソー各部位の表面温度測定

プレハブ恒温恒湿器を 3 °C または 13 °C に設定し, 足部トルソーに靴下を履かせず, 測定方法 1 の条件で, つま先, 足裏, 足首上部の温度変化を測定した.

3.2 靴下着用による足部トルソー各部位の表面温度測定

プレハブ恒温恒湿器を 3 °C または 13 °C に設定し, 足部トルソーに靴下を履かせ, 測定方法 2 で恒温槽の水温が約 36 °C ~ 37 °C の時に温水の循環を止めた条件で, つま先, 足裏, 足首上部の温度変化を測定した.

4. 結果及び考察

4.1 靴下非着用での足部トルソー各部位の表面温度変化

3.1 の測定結果を図 11, 図 12 に示す. 循環する水温は気温によらず一定であるが, 気温が低下するにつれて足部表面温度も低下する傾向が確認された. サーモグラフィーを用いた実際の足底温度測定結果と比較すると, 冬季では 24 °C ~ 31 °C, 秋季では 27.5 °C ~ 31.7 °C^{*3} であることが報告されている. これに対し, 本装置を用いた測定では, 恒温室設定温度 3 °C において足裏温度は 26.0 °C ~ 27.7 °C, 恒温室設定温度 13 °C においては 29.1 °C ~ 30.9 °C であった. これらの結果から, 本装置が人体の足部における温度環境を適切に模擬できることが示唆された. また, 足首上部の表面温度は, つま先および足裏に比べて常に 1 °C ~ 2 °C 程度高い傾向がみられた. この要因として, つま先や足裏の方が足首上部よりも放熱量が多いためであると考えられる.

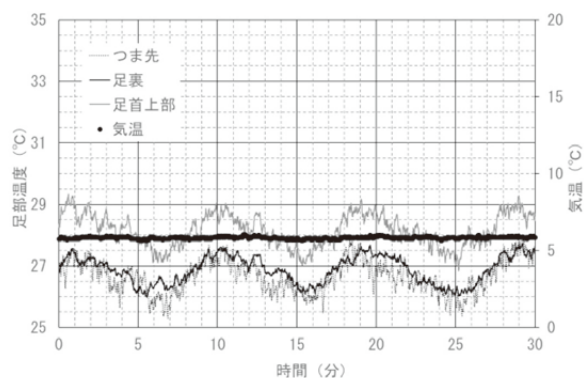


図 11 温水循環時の足部各部位の表面温度変化
(靴下無 恒温室設定温度 3 °C)

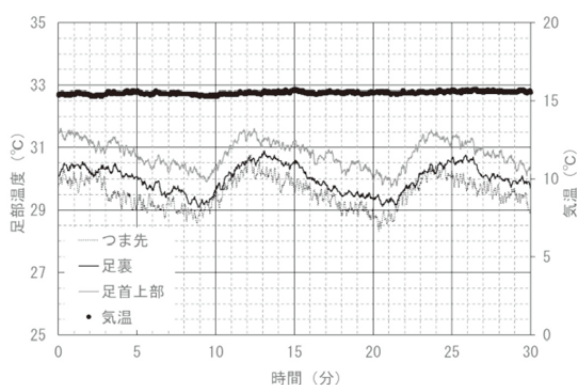


図 12 温水循環時の足部各部位の表面温度変化
(靴下無 恒温室設定温度 13 °C)

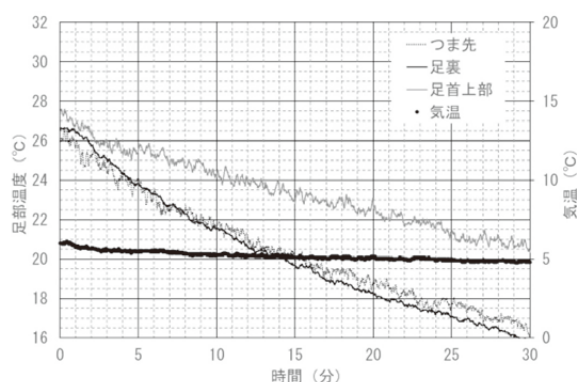


図 13 足部各部位の表面温度変化
(靴下無 恒温室設定温度 3°C)

4.2 靴下着用による足部各部位の表面温度変化

3.2 の測定結果を図 13, 図 14, 図 15, 図 16 に示す。本測定では温水の循環を停止しているため、表面温度が継続的に低下する様子が確認された。靴下非着用時(図 13 および図 15)と靴下着用時(図 14 および図 16)の温度低下を比較した結果、靴下着用時の方が温度低下が小さく、靴下による保温効果が認められた。足部各部位の温度変化に着目すると、足首上部はつま先および足裏に比べて常に表面温度が高い傾向にあった。また、靴下を着用することで、つま先および足裏の表面温度により明確な差が生じることが確認された。さらに、周囲温度が低い条件では、各部位間の温度差がより大きくなる傾向がみられた。

5. 結言

本研究での主な結果は次のとおりである。

- 1) 足部トルソーに温水を循環させ、足部各部位の表面温度を測定することで、「各部位の放熱性の違い」や「靴下の有無による保温性の差」を評価することが可能であった。これにより、本装置が人体環境を模擬した靴下の保温性測定に有用であることが示された。
- 2) つま先および足裏は、足首上部に比べて放熱量が多いことが明らかとなった。
- 3) 本装置を用いることで、官能評価が困難な低温環境においても、足部各部位の保温性をより効果的に評価できる可能性が示唆された。

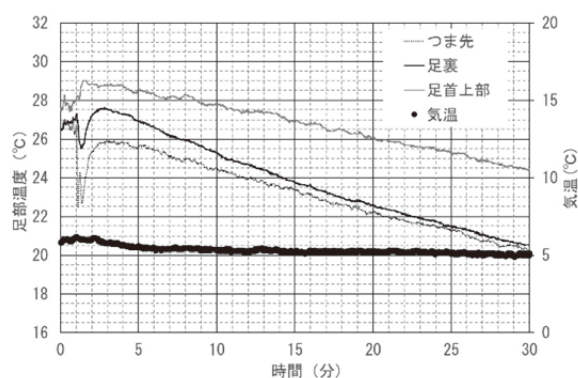


図 14 足部各部位の表面温度変化
(靴下有 恒温室設定温度 3°C)

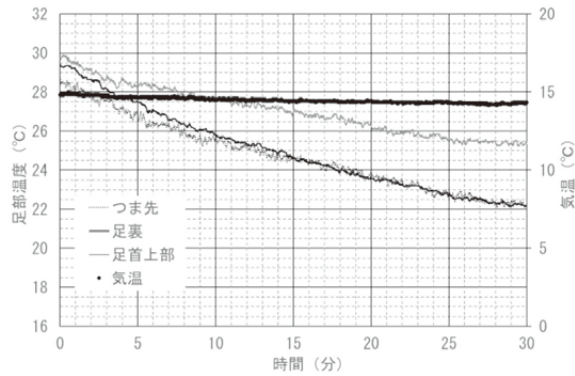


図 15 足部各部位の表面温度変化
(靴下無 恒温室設定温度 13 °C)

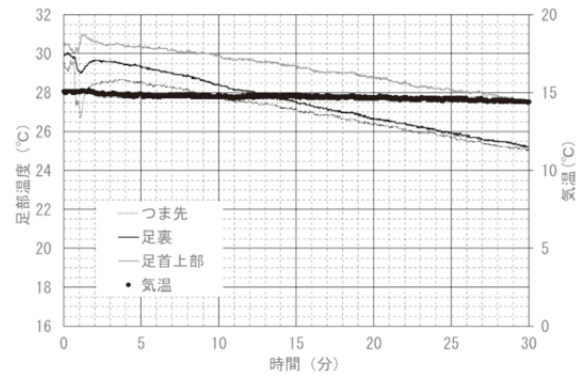


図 16 足部各部位の表面温度変化
(靴下有 恒温室設定温度 13 °C)

参考文献

- 1) 楊 燕, 富田明美, 高橋勝六, 衣服の保温性能評価指標としての布の熱移動特性, 日本家政学会誌 Vol.59 No.8 583~593 (2008)
- 2) 橋詰 史則, 古畑 雅弘, 靴下のあたたかさの測定に関する研究, Report of the Industrial Research Institute of Niigata Prefecture No.38 2009
- 3) 高取明正, 奥田博之, 関場香, 谷崎勝朗 サーモグラフィを用いた冷え性の病態生理学的検討気温の変化と冷え性患者の皮膚表面温度分布の関係について, 環境病態報告 62, 1991