

2021 年度 風工学研究拠点 共同研究成果報告書

研究分野：室内環境

研究期間：2021 年度

課題番号：21212011

研究課題名（和文）：熱帯のイスラム文化圏に適したクールビズの模索

研究課題名（英文）：Study seeking for Cool-BIZ tailored to tropical countries with Islamic culture

研究代表者：萩島理

交付決定額（当該年度）：425,000 円

※ページ数の制限はありません。

※成果等の説明に図表を使用させていただいて構いません。（カラーも可）

※提出して頂いた成果報告書をホームページでの公開を予定しております。

1. 研究の目的

熱帯圏に位置するマレーシア、インドネシアは年間を通じて日最高気温が 30℃を超える熱帯に位置する故に、今後の地球規模気候変動による気温上昇と経済発展により冷房エネルギー消費は更に増加する事が予測される。その対策としては建物の断熱性能向上や附帯設備のエネルギー効率向上に加え、省エネでクールライフを目指すライフスタイルの変容も重要である。しかし、熱帯圏ではオフィスや商業施設の大半では冷房設定温度は日本に比べ低く、エネルギー多消費型のライフスタイルがアッパークラスからミドルクラスの間で定着しつつある。また、イスラム教徒が国民の多くを占める事から多くの女性が自宅外では長袖アームカバー、ロングドレスやフルレングスのパンツを着用しヒジャブで頭・首・肩を覆っている。こうした高い clo 値の被服はシンガポール、タイなどに比べても低い推奨冷房設定温度と関連している事が指摘されている。

こうした背景を踏まえ本研究は、アジアの熱帯圏におけるオフィスなどでの過剰冷房抑制を可能とする Cool-BIZ を提示する事を最終目標とする。本課題においては、現地のオフィスで着用される事を想定して、インナー及びヒジャブに日本で開発されている夏向けのクール繊維を用いた場合の暑熱感の把握を目的とする。

2. 研究の方法

図 1 に示す 2 種類の素材（クール繊維及び綿 100%）でほぼ同一形状の 3 種類の衣服（インナーヒジャブ、インナー用 T シャツ、ボトムインナー）に関して、熱抵抗及び蒸発熱抵抗の計測を行った。実験は東京工芸大学の人工気候室において行い、発汗サーマルマネキン（米国 MTNW 社製 Newton 20-zone sweating thermal manikin アジア人男性モデル）を用いた。

実験条件を表 1 に示す。2 種類のアンサンブルに対し、風速 3 ケースを設定し、着衣熱抵抗計測のための Dry 条件、着衣蒸発熱抵抗計測のための Wet 条件の 2 通りの条件にて計測を行った。なお、室内温湿度及びマネキン表面温度の設定値は既往研究及びサーマルマネキンに関する国際基準 ASTM F2370などを参照して決定している。



表 1 実験条件

	Dry 条件 (熱抵抗計測)	Wet 条件 (蒸発熱抵抗計測)
空気温湿度	21℃, 50%	34℃, 40%
気流速度	0.2, 0.8, 2.0m/s	0.2, 0.8, 2.0m/s
マネキン表面温度	34℃	34℃
注水量	0 ml/(m ² h)	400 ml/(m ² h)
実験回数	2 回	4 回
備考	マネキン加熱開始後 60 分間連続計 測	マネキン加熱・注水開始 後 120 分間連続計 測

各実験ケースにおいては、マネキン近傍の 3 高度 (0.6, 1.1, 1.6 m) にて空気温度および相対湿度 (testo435 本体およびマルチプローブ, RTR-53A) 及び風速 (testo435) を連続測定している。

以上に加え、模擬皮膚で覆ったマネキン表面を湿潤状態にする Wet 条件において、赤外線サーモグラフィ (TH9100MR, NEC) によりマネキン表面温度を測定した。

3. 研究成果

注水によりマネキンを覆う模擬皮膚表面を完全湿潤にした Wet 条件における着衣状態での表面温度分布を赤外線放射カメラで捉えた結果を図 2 に示す。クール繊維とコットン繊維の表面温度を比較すると、風速 0.2m/s ではクール繊維の方が低温であるのに対し、0.8m/s では逆にコットン繊維の方が低温となっている。これは、0.2m/s では蒸発がより盛んなクール繊維が低温に保たれていたのに対し、0.8m/s ではクール繊維は蒸発量が大きい故に衣服の一部は乾燥が始まった事により冷却効果が得られず高温になったと解釈できる。

図 3 に繊維 2 種、風速 3 条件での着衣熱抵抗の同定結果を示す。背中や胸部において熱抵抗が大きくなっているのは、マネキン表面と衣服の間の空気層による熱抵抗が原因である。これに対し上腕や脚部は衣服とマネキンの密着性が高い事から熱抵抗は小さくなっている。着衣がマネキンに密着した部位における風速の影響は一様ではないが、多くの場所で風速が大きくなると熱抵抗はやや小さくなる傾向が見られる。

次に、Dry 条件における実験データに基づき、マネキン皮膚表面一周辺空気間の対流熱損失の効率、即ち熱コンダクタンスを着衣無し、着衣あり (クール繊維及びコットン繊維) に対して式 (1) 及び (2) により算出した。

$$Q_c = h_{nude}(T_s - T_a) \quad (1)$$

$$Q_c = h_{clothes}(T_s - T_a) \quad (2)$$

ここで、 T_s , T_a はマネキン皮膚表面温度、周辺空気温度 [°C]、 Q_c は対流熱損失 [W/m²]、 h_{nude} および $h_{clothes}$ は着衣無し及び有りの状態での熱コンダクタンス [W/(m²K)] である。なお、着衣無しの条件における h_{nude} は対流熱伝達率と同意である。風速 2 条件及び繊維 2 種類に対する着衣有無による熱コンダクタンスの比 $\eta = h_{clothes}/h_{nude}$ を図 4(a) に示す。同様に、マネキン皮膚表面一周辺空気間の蒸発熱損失の効率、即ち物質輸送コンダクタンスを着衣無し、着衣あり (クール繊維及びコットン繊維) に対して式 (3) 及び (4) により算出した。

$$Q_e = r \cdot k_{nude}(P_s - P_a) \quad (3)$$

$$Q_e = r \cdot k_{clothes}(P_s - P_a) \quad (4)$$

ここで、 P_s , P_a はマネキン皮膚表面の飽和水蒸気分圧と周辺空気の水蒸気分圧 [Pa]、 Q_e は蒸発熱損失 [W/m²]、 k_{nude} および $k_{clothes}$ は着衣無し及び有りの状態での物質輸送コンダクタンス [kg/(m²Pa)]、 r は相変化熱 [kg/J] である。なお、風速 2 条件及び繊維 2 種類に対する着衣有無による物質輸送コンダクタンスの比 $\gamma = k_{clothes}/k_{nude}$ を図 4(b) に示す。

まず、図 4(a) 対流熱コンダクタンスについては、わずかに厚さ 0.15~0.5mm 程度の単層の衣服であっても、着衣無し条件の値に比べ 45~80% 程度に低減する事が分かる。この着衣による放熱の阻害は 0.2m/s に比べ 0.8m/s の方がより顕著である。また、0.2m/s においてはクール繊維とコットン繊維において殆どその影響に違いは無いのに対し、0.8m/s においてはクール繊維の方が 10% 程度放熱量が低くなっている。即ち、皮膚温度と周辺外気温度の差が大きい条件においては、夏用衣料として近年開発されたクール繊維のインナーよりも、寧ろ、昔ながらの綿 100% の下着の方が着衣熱抵抗は小さくて済む場合がある、と言える。

一方、図 4(b) 蒸発熱放散の効率比に関しては、衣服とマネキン皮膚表面の密着度の高い上腕、胸、脚部においてクール繊維の値がコットン繊維に比べ大きい事が分かる。特に、大腿部においてクール繊維は着衣無し条件に比べ蒸発が 30~40% 程度促進されている。一方、肩や腹部、背中などにおいて γ の数値が 1 を大きく下回っているのは、衣服-皮膚表面間の空気層の抵抗の影響である。即ち、着衣が皮膚表面に密着する状況では微細構造を有する衣服が液水の蒸発を促進し、水蒸気輸送に対する抵抗ではなく、寧ろフィンのような作用を示していると解釈できる。

従来、衣服の蒸発熱放散に対する影響のモデル化においては、皮膚表面、着衣外表面、周辺空気の 3 ノードによる蒸発熱抵抗のネットワーク図を用いる事が一般的であるが、本研究の結果は、着衣が発汗を促進する効果を有しうる事、その場合には蒸発熱抵抗は負値を示す事を示唆している。一方、繊維単体の熱・湿気性能の定量的評価の手法を定めた ASTM F1868-17 においては、平板状の湿潤発熱プレートを用いた実験手法が定められているが、ここでは液水を通さず水蒸気のみを通すフィルムで湿潤面を覆い、繊維サンプルを濡らさずに水蒸気輸送抵抗を測定する事になっている。このような測定手法を用いた場合は、輸送抵抗が負値を示す事は恐らくないであろう。暑熱環境で発汗する状態に適応するように開発された近年のクール繊維の特性を定量的に把握するためには、現行の枠組には限界がある事が示唆される。

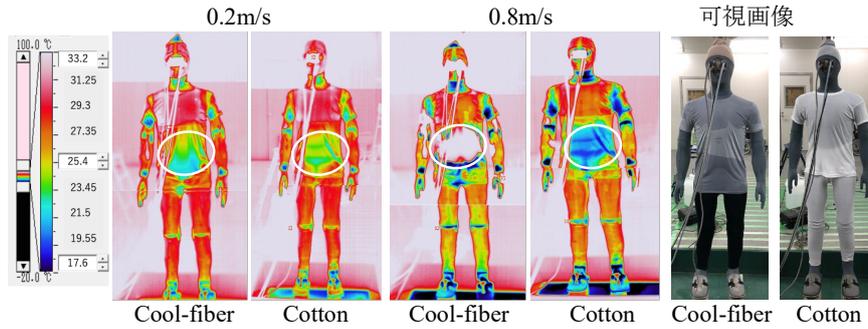


図2 Wet条件における着衣マネキンの熱画像

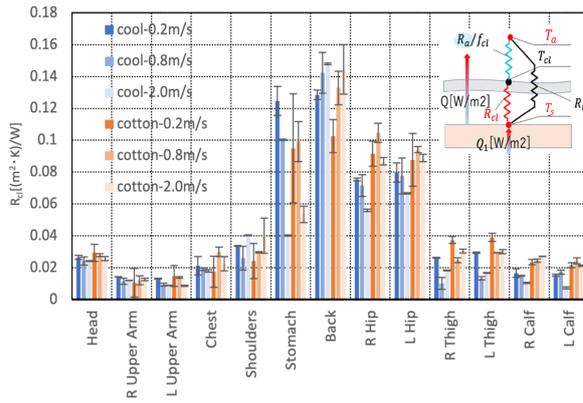


図3 繊維2種、風速3条件における着衣熱抵抗の同定結果

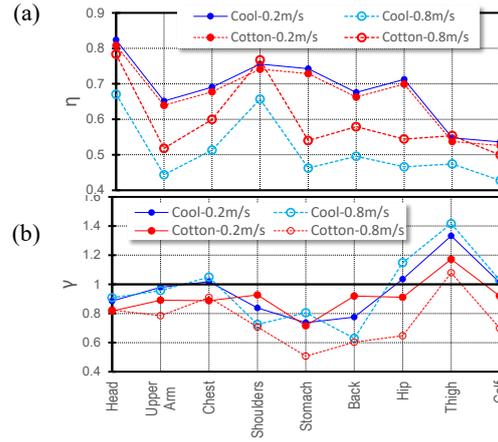


図4 着衣の有無によるマネキン皮膚表面一周辺空気間の対流(a)及び蒸発(b)の熱放散効率の比

4. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者には下線)

〔雑誌論文〕(計0件)

該当無し

〔学会発表〕(計1件)

1. Shigefumi Ishibashi, Aya Hagishima, Yoshihide Yamamoto, Experimental determination of thermal performance of cool fiber clothing, Proceedings of 23th Cross Straits Symposium on Energy and Environmental Science and Technology (23th CSS-EEST), 2021.12.2-3.

〔図書〕(計0件)

該当無し

〔その他、産業財産権、ホームページ等〕

該当無し

5. 研究組織

(1) 研究代表者

萩島理 (九州大学大学院総合理工学研究院・教授)

(2) 研究分担者

1. Sheikh Ahmad Zaki Bin Shaikh Salim (Assoc. Prof., Malaysia-Japan International Institute of Technology, Universiti Teknologi Malaysia)

2. 水谷 国男 (東京工芸大学工学部工学科建築コース・教授)

3. 山本 佳嗣 (東京工芸大学工学部工学科建築コース・准教授)

6. 要約 (Abstract, 英文)

Research Theme

Study seeking for Cool-BIZ tailored to tropical countries with Islamic culture

Representative Researcher (Affiliation)

Aya Hagishima (Kyushu University, Japan)

Summary

The ultimate goal of this research is to present a Cool-BIZ that enables the control of excessive air-conditioning in offices and other places in the tropical regions of Asia. The objective of this project is to identify the thermal characteristics of clothing made of cool fibres developed in Japan for summer, assuming that they will be worn in offices in the regions. Specifically, thermal resistance and evaporative thermal resistance were measured for three garments (inner hijab, inner T-shirt and bottom innerwear) made of two different materials (cool fibres and 100% cotton) and of almost identical shapes.

The experiments were conducted in a climate chamber at the Tokyo Polytechnic University and used a sweating thermal mannequin.

A comparison of the surface temperature distribution of cool and cotton fibres in the clothed state under conditions where the mannequin surface was fully moistened showed that cool fibres were cooler at a wind speed of 0.2 m/s, whereas at 0.8 m/s, the cotton fibres were cooler. This is because at 0.2 m/s, cool fibres, which evaporate more actively, remained cooler, whereas at 0.8 m/s, cool fibres evaporated more, and therefore some parts of the garment started to dry out, resulting in a higher temperature with no cooling effect.

Based on the experimental data, the efficiency of convective and evaporative heat loss between the mannequin skin surface and the surrounding air, i.e. conductance, was then calculated for unclothed and clothed (cool and cotton fibres), and the ratio of thermal conductance with and without clothing was calculated for two fibre types and two wind speed conditions.

As a result, it was observed that the thermal conductance of a single-layer garment with a thickness of only 0.15-0.5 mm was reduced by 45-80% compared to the value without the garment. There was no difference between cool and cotton fibres at 0.2 m/s, whereas at 0.8 m/s the cool fibre had a 10% lower heat dissipation than the cotton fibre. On the other hand, the efficiency ratio of evaporative heat dissipation was higher for cool fibres than for cotton fibres in the areas, where the garment and mannequin skin surface are in close contact. In particular, evaporation was accelerated by 30-40% in the thighs with cool fibres compared to the unclothed condition. In other words, when the garment is in close contact with the skin surface, the microstructure of the garment is possible to promote the evaporation of liquid water, which can be interpreted as acting more like a fin, rather than a resistance to water vapour transport.