

2020 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：2020 年度
課題番号：20202006
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 Cool-BIZ tailored to tropical countries with Islamic culture
研究代表者：Sheikh Ahmad Zaki Bin Shaikh Salim
交付決定額（当該年度）：400,000 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し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

経済成長と中間層拡大を背景に大規模な都市開発が進むマレーシアやインドネシアは、建築部門の早急な省エネ低炭素化が喫緊の課題である。一方で、南アジアの両国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高効率な空調照明の機器効率を上げることは勿論であるが、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。特に、熱帯圏ではオフィスや商業施設の大半では非常に低い設定温度で居住者の有無によらず常に冷房を運転させるなど、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は定着しつつある。また、現地は年間を通じて日最高気温が 30℃を超える高温多湿な気候条件である上に、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省エネ低炭素なライフスタイルの普及を目指し、オフィスなどの執務空間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、マレーシア・インドネシアにおけるオフィスで着用される事を想定して、インナーや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

マレーシア及び日本の国際共同研究である本課題は、当初、二種類の素材（クール繊維及び綿 100%）のヒジャブを着用した条件における温熱快適性に関する被験者実験をマレーシアで実施する一方、日本では東京工芸大学の発汗サーマルマネキンを用いたヒジャブの熱抵抗及び蒸発抵抗計測を実施する計画であった。しかし、新型コロナウイルスの感染拡大によりマレーシアでは 2020 年度は大学における実験・研究活動が許可されない状態であったため、被験者実験を実施する事はできなかった。発汗サーマルマネキンを用いた実験についても、当初想定に比べ規模を大幅に縮小せざるを得ない状況に鑑み、繊維（クール繊維及び綿）の単層衣服の熱抵抗・蒸発抵抗をサーマルマネキンにより計測する、というシンプルなターゲットを設定した。

2.1 計測条件

実験条件として、繊維 2 種類（クール繊維及び綿 100%、各々 ケース名として Cool 及び Cotton と略記）の衣服アンサンブル（キャップ+T シャツ+ボトム一式）を立位のサーマルマネキンに着用させ、マネキンを正面から一様風速（0.2m/s 及び 0.8m/s の 2 条件）に曝露させる合計 4 ケースを設定し、マネキンの乾燥条件及び発汗条件（Dry, Wet と略記）について、それぞれ 2 回の計測を行った。加えて、マネキン皮膚表面—衣服間の空気層及び繊維層の総合抵抗（熱抵抗及び蒸発熱抵抗）を計測するため必要となるマネキン皮膚表面—周辺空気間の境界層抵抗測定のため、衣服を着用しない条件(Nude と略記)においても、マネキンの乾燥条件及び発汗条件にて計測を行った。以下、実験ケースは Dry-Cotton-0.2、という形式でマネキンの発汗状態、

着用衣服種類、曝露風速の略称を並べて記述する。

マネキン乾燥状態では室内気温 21℃、相対湿度 50%として 1 時間連続測定を行い測定期間の最後の 20 分のデータを定常と見なし解析に用いる。一方、マネキン発汗状態では室温及びマネキン温度を 34℃で同一条件とする事で、マネキン表面での対流熱輸送を出来る限り小さくするとともに、室内相対湿度は 40%としている。発汗条件ではマネキン表面で生じる蒸発と対流のバランスから表面温度制御がより困難になる事から、マネキンの温度制御（電気加熱）開始から 2 時間の連続計測を行い、最後の 20 分間のデータを解析に用いている。

2.2 熱抵抗の計測結果

各部の着衣熱抵抗の推定結果を図 1、着衣の蒸発熱抵抗の推定結果を図 2 に示す。なお、マネキンの着衣前後の空気曝露表面積の増加率 f_{cl} は 1.1 と仮定している。

着衣熱抵抗は 0.02~0.14 m²K/W の範囲で部位によるばらつきが大きく **Stomach, back hip** が特に大きな値を示す。この 3 か所は対流及び物質輸送における境界層の代表長さが大きい。加えて、**hip** は T シャツインナーとボトムが 2 層になっている部分が多い。また **stomach** および **back** は布と皮膚表面の間に空気層が生じやすい部位である。よって、この 3 箇所が他に比べ大きな熱抵抗となった事とは整合していると言える。また、2 回の実験繰り返しの際のマネキンの姿勢の微妙な違いが空気層部分の熱抵抗の違いに繋がったと考え、同定された抵抗値のバラツキが大きい事も首肯できる。測定の **repeatability** を考えると、繰り返し回数 2 回の平均によって風速及び繊維種別による熱抵抗の比較を行うのは厳しい部位が多かった、と言える。比較的ケース内の標準偏差が小さかったのは、大腿左右とふくらはぎ左右でいずれも繊維層とマネキンとの密着性が高い部位である。これらの部位において同一風速での繊維による違いを確認すると、cool より cotton の方が熱抵抗はやや大きくなっている。また、その差は大腿部の方が顕著である。

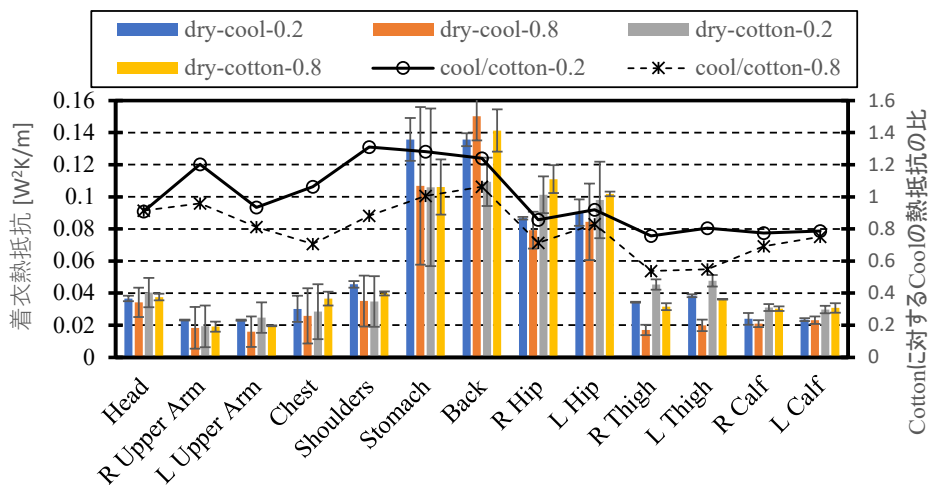


図 1 各部の着衣熱抵抗の測定結果

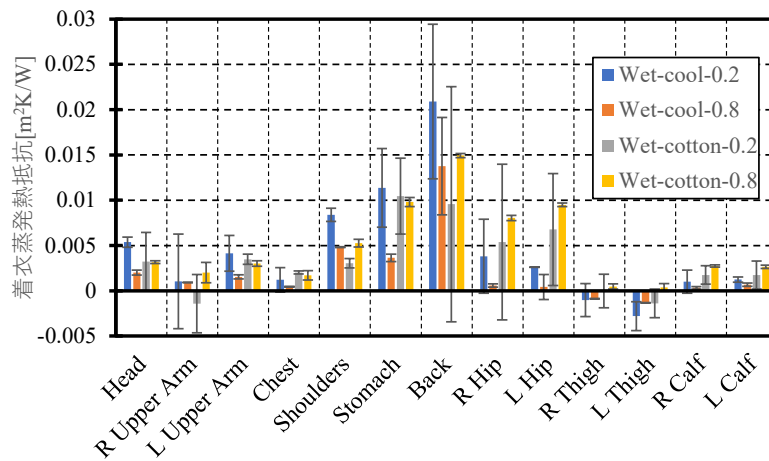


図2 各部の着衣蒸発熱抵抗の測定結果

蒸発熱抵抗についてはも各部位毎に大きな違いがあるが、Stomach 及び Back の値が他に比べ大きい点は類似している。一方、hip は風速及び繊維種別の違う 4 条件で値がかなり異なっている。これらの部位は他に比べて 2 度の反復によるバラツキが大きい事から、代表性のある結果を得るためには実験の繰り返し回数 2 回では不十分であると考えられる。

蒸発抵抗がマイナスの値となったケースは、着衣状態と nude 状態という 2 つの独立した実験において得られる総合蒸発抵抗の差を取る、という操作の仮定において、最終目標である着衣蒸発抵抗が計測誤差に埋もれてしまった為と考えられる。熱抵抗・蒸発熱抵抗が小さい繊維単層のアンサンブルを対象とした今回の実験は、計測精度の影響を受けやすい challenging なものであったと言えることができる。

繊維種別・風速条件の異なる 4 ケースのいずれにおいても 2 回の実験の差が比較的少ない部位は、chest、shoulder である。chest は同一風速で比較すると cotton の蒸発熱抵抗が cool に比べ大きな値となっている。一方、Shoulder については、0.2m/s では cool の方が抵抗大、0.8m/s では同程度となっている。

3. まとめ

立位における発汗サーマルマネキンを用いて、クール繊維及び綿の夫々について、インナー上下及びキャップのアンサンブルの熱抵抗及び蒸発熱抵抗の計測を行った。各ケースの実験回数が 2 回と少なかった事から、実験毎の抵抗の推定値のバラツキが大きく繊維種別による違いを明確に確認出来た部位は限定的であった。熱抵抗における実験誤差が小さかった部位については、綿に比べクール繊維は 53~80%の値となった。

単層繊維による衣服を測定対象とした本実験は実験の様々な誤差の影響を受けやすい厳しい条件であった事から、残念ながら繊維種別の蒸発熱抵抗に対する影響を定量化するには至らなかった。今後は、サーマルマネキン発汗条件における加熱量の時変動特性など、非定常過程についてより詳細な解析を行い、抵抗値算出において適切な制御状態の特定方法の検討を行うとともに、繊維サンプルによる蒸発速度計測などのアプローチを併用する事で、クール繊維を用いたイスラム系衣服の緩和効果についての包括的な分析を継続する予定である。

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)

[学会発表] (計 0 件)

[図書] (計 0 件)

〔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

Assoc. Prof. Sheikh Ahmad Zaki Bin Shaikh Salim

Department of Mechanical Precision Engineering, Malaysia-Japan International Institute of Technology (MJIT), Universiti Teknologi Malaysia (UTM), Malaysia

(2)研究分担者

1. 萩島理：九州大学大学院総合理工学研究院・教授
2. 池谷直樹：九州大学大学院総合理工学研究院・准教授
3. Fakhrizal Akbar: MJIT, UTM, master student
4. Mohd Fitri Yakub; MJIT, UTM, senior lecturer
5. 水谷国男
6. 山本佳嗣

6. 要約(Abstract, 英文)

Research Theme

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

Representative Researcher (Affiliation)

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

Summary • Figures

The ultimate goal of this research is to present Cool-BIZ, which enables the suppression of excessive cooling in offices and other office spaces, with the promotion of energy-saving and low-carbon lifestyles in the tropical regions of Asia. The purpose of this project is to grasp the effect of cool fibers used for innerwear and hijabs, which have been developed for mitigating thermal comfort in summer in Japan.

A series of experiments by using a sweating thermal manikin was conducted in Tokyo Polytechnic University in order to measure thermal resistance and evaporative thermal resistance of two types of clothing ensemble (cap + T-shirt + bottom) under the uniform wind speed (0.2 m/s and 0.8 m/s). Two types of fibers, namely cool fiber and cotton were adopted for a comparison, resulting in 4 cases. In each case, the same experiment was repeated twice to test the repeatability.

Estimated values of resistance for two experiments for each case varied widely, resulting in relatively large measurement errors especially for evaporative heat resistance. Although the body part where the difference depending on the fiber type could be clearly confirmed was limited, thermal resistance of cool fiber was quantified as 53 to 80% compared to the cotton ensemble. With regard to the evaporative heat resistance, we could not identify the statistically significant difference between cool fibers and cotton.

As a future task, we will conduct a more detailed analysis of unsteady processes of evaporation and convection observed in the current manikin experiments, seeking for the methodologies to identify appropriate conditions of heating control of the manikin. Furthermore, experiments to measure evaporation rate using small fiber samples other than clothes will be conducted at a different environmental chamber.