

2024 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：2024 年度

課題番号：24242009

研究課題名（和文）： 発汗サーマルマネキンを用いた部位別の蒸発熱伝達率の測定

研究課題名（英文）: Measurement of evaporative heat transfer coefficients for individual human body segments using a sweating thermal manikin

研究代表者：森上伸也

交付決定額（当該年度）：320,000 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

建築や都市空間における通風設計を適切に行うためには、人体の温熱快適性を正確に予測することが求められる。特に、夏季では発汗とその蒸発が熱放散に寄与するため、これらの影響を考慮した評価が不可欠である。既往研究では人体正面と側面における部位別の蒸発熱伝達率の測定を行った。

そこで本研究では既往研究の風向角に加えて測定できていなかった条件について、発汗サーマルマネキンを用いて人体背面に対する風向角における立位の蒸発熱伝達率を測定し、データベースの作成を行う。

2. 研究の方法

通風型人工気候室と発汗サーマルマネキンを用いて各部位の蒸発熱伝達率を測定する実験を行った。表 1 に実験条件を示す。実験は、Wet 条件で測定した発熱量から Dry 条件で測定した対流と放射による熱伝達量の測定結果を差し引くことで、蒸発による熱伝達量を算出するために、発汗の有無による Wet と Dry の 2 条件を行った。蒸発によって低下する模擬皮膚温が気温よりも低くならないようにするため、Wet 条件の気温は 26℃とし、マネキン表面温度は 33℃とした。今回は立位で人体背面の風向角における測定を行った。図 1 に風向角の設定と実験の様子を示す。風向角は人体正面にあたる風を 0° として、本報では背面からあたる風の 180° で測定した。

表 1 実験条件

項目	Wet	Dry
気温 T_a [°C]		26
壁面温度[°C]		26
相対湿度[%]		60
風速[m/s]		0.1, 0.5, 1.0
マネキン表面温度[°C]	33	Wetの模擬皮膚温測定値
発汗量[ml/m ² ・h]	500	0
着衣	模擬皮膚	なし
風向角	180°（人体背面）	

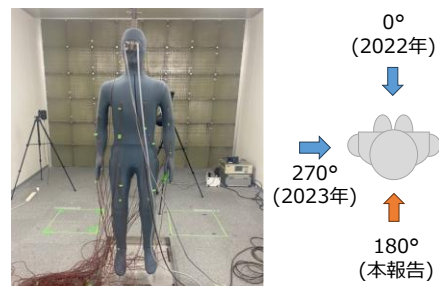


図 1 風向角の設定と実験の様子

3. 研究成果

3.1 部位別の模擬皮膚温

図 2 に風向角 180° における Wet 条件の模擬皮膚表面温度の測定結果を示す。風速が速くなるほど模擬皮膚表面温度が低下する傾向が確認された。特に、風速 1.0 m/s の条件では、L Upper Arm および Back の模擬皮膚表面温度が気温（26℃）を下回る結果となった。これは、蒸発による放熱が促進され、顕熱は受熱になっていると考えられる。そのため、これらの部位はマネキ

ンによる顕熱伝達量の測定が困難であることから、蒸発熱伝達率の解析から除外することとした。

3.2 部位別の放熱量

図3に風向角180°におけるWet条件の総放熱量を示す。総放熱量は風速が速くなるほど増加する傾向を示した。特に、風速1.0 m/sの条件では、上肢(L Hand, R Hand)で顕著な増加が確認された。これは、風速が速くなることで蒸発熱伝達量が促進されたためであると考えられる。また、風下側にあたるChestにおいて風速1.0m/sで総放熱量が増加した。風速が速くなると、風下側の部位の蒸発熱伝達にも影響を及ぼす可能性がある。

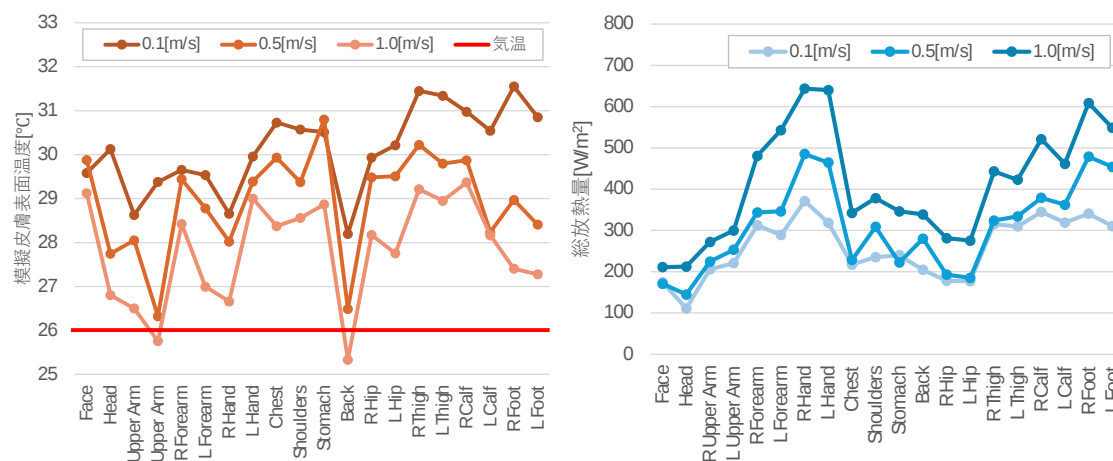


図2 風向角180°におけるWet条件の模擬皮膚温 図3 風向角180°におけるWet条件の総放熱量

図4に風向角180°における部位別の顕熱伝達量を示す。顕熱伝達量は風速によらず同様の傾向を示した。これは風速が速い条件では、蒸発による熱伝達量の増加により皮膚温が気温や壁温に近づき、その結果、顕熱伝達量に変化が生じなかった可能性がある。

図5に風向角180°における部位別の蒸発熱伝達量を示す。蒸発熱伝達量は風速が速くなるほど増加する傾向を示した。また、HandやFootなどの末端部における蒸発熱伝達量が増加する傾向を示した。風速0.1 m/sと0.5 m/sの間では、熱伝達量が同程度の部位があるが、風速1.0m/sではすべての部位で熱伝達量が他の条件よりも高かった。

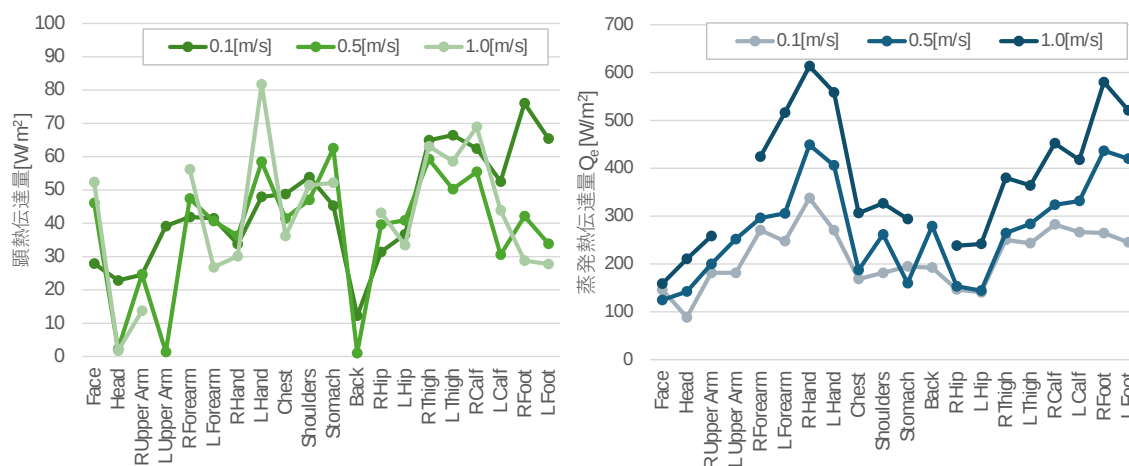


図4 風向角180°における部位別の顕熱伝達量 図5 風向角180°における部位別の蒸発熱伝達量

3.3 部位別の蒸発熱伝達率

図6に風向角180°における部位別の蒸発熱伝達率を示す。末端部(HandやFoot)は他の部位に比べて高い傾向を示した。風速1.0m/sではすべての部位で他の条件よりも高い値を示した。

図7に風向角ごとのL HandおよびFaceの蒸発熱伝達率を示す。0° および 270° のデータは先行研究の結果2)~3)である。L Handの蒸発熱伝達率は風向角 270° で 1.0m/s の場合が最も高い値を示した。Faceの180° における蒸発熱伝達率は、風下側に位置することから風速によらずおおむね一定の傾向を示しており、通風環境下における局所的な風の影響や風向角を考慮する必要があるといえる。

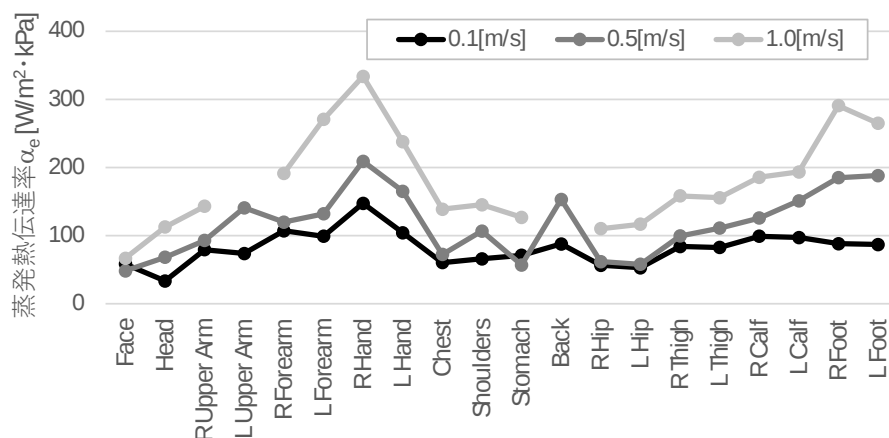


図6 風向角 180°における部位別の蒸発熱伝達率

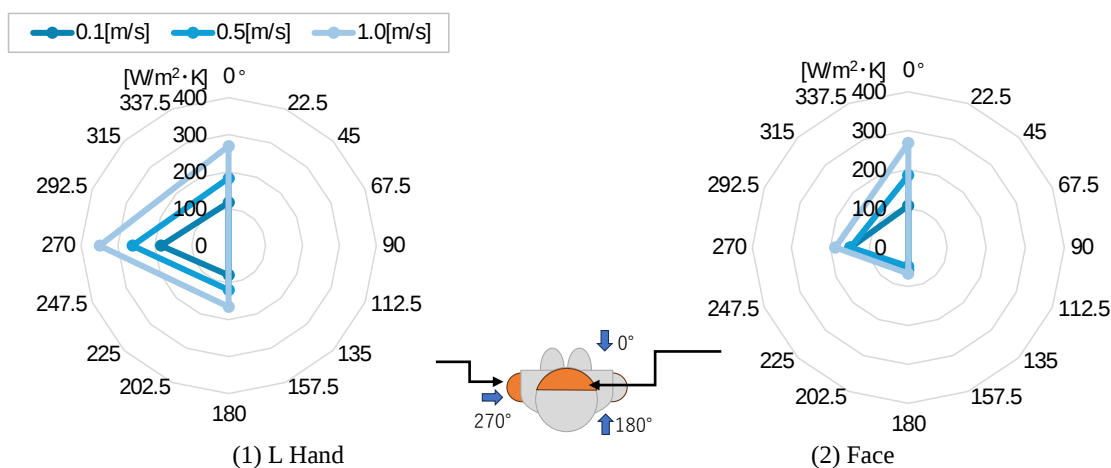


図7 風向角と蒸発熱伝達率の関係

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 1 件)

1. 森上伸也、岩崎恵悟、発汗サーマルマネキンを用いた部位別の蒸発熱伝達率の測定、2025年度日本建築学会学術講演梗概集(九州)、口頭発表予定

〔図書〕(計 0 件)

〔その他、産業財産権、ホームページ等〕(計 0 件)

5. 研究組織

(1) 研究代表者

森上伸也 豊田工業高等専門学校

(2) 研究分担者

1. 山本佳嗣 東京工芸大学

2. 塚本健二 佐藤工業株式会社

3. 岩崎恵悟 豊田工業高等専門学校

6. 要約 (Abstract, 英文)

Research Theme Measurement of evaporative heat transfer coefficients for individual human body segments using a sweating thermal manikin

Representative Researcher (Affiliation): Shinya Morikami (National Institute of Technology, Toyota College)

Summary • Figures

Accurately predicting thermal comfort in architectural and urban spaces is crucial for effective ventilation design, especially during summer when sweating and evaporation contribute to heat dissipation. Previous studies have measured evaporative heat transfer rates on the front and sides of the body, but wind direction angles on the back have not been sufficiently investigated. This study aims to measure the evaporative heat transfer rate at various wind angles on the human back using a sweating thermal manikin, thereby expanding the existing database.

Experiments were conducted in a ventilation-based artificial climate room using a sweating thermal manikin to measure evaporative heat transfer rates on different body parts. Two conditions—wet (sweating) and dry (no sweating)—were tested, and the heat transfer from evaporation was calculated by subtracting the convective and radiative heat transfer measured in dry conditions from the total heat measured under wet conditions. The temperature was set at 26° C in the wet condition to prevent the simulated skin temperature from falling below the ambient temperature. The wind direction was set at 180° to simulate wind blowing from the back.

The results showed that as wind speed increased, the simulated skin temperature decreased, with significant cooling on the upper arms and back. Evaporative heat transfer rates increased with wind speed, particularly for the hands and feet. In contrast, sensible heat transfer remained constant across different wind speeds. The study also found that wind speed affected heat transfer rates on the downwind side of the body, such as the chest, highlighting the importance of considering localized wind effects and wind direction in ventilation design.

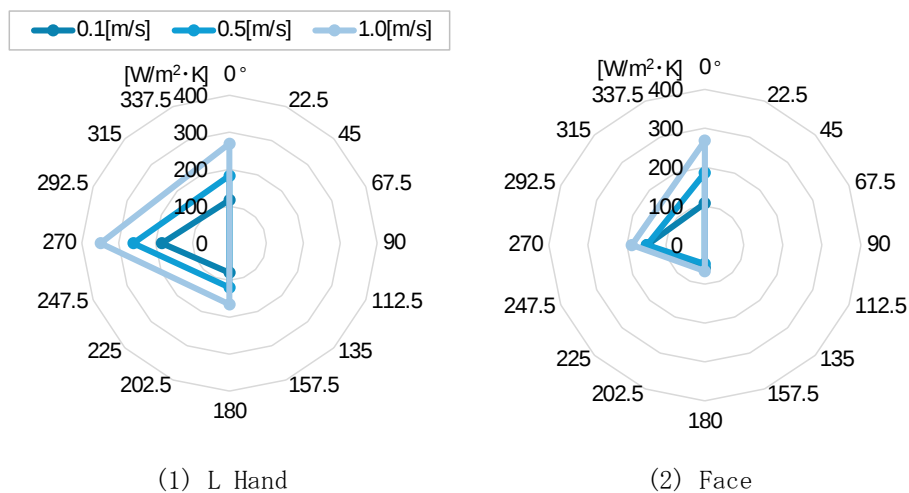


Figure Relationship between wind direction and evaporative heat transfer coefficient