

2022 年度 風工学研究拠点 共同研究成果報告書

研究分野：強風防災 or 室内環境 or 屋外環境 or 分野横断・異分野連携 or 新型コロナウイルス
研究期間：2022 年度
課題番号：
研究課題名（和文）：発汗サーマルマネキンを用いた発汗蒸発モデルとぬれ面積率に関する研究
研究課題名（英文）：Study on sweating and evaporative model and skin wettedness by using sweating thermal manikin
研究代表者：森上 伸也
交付決定額（当該年度）： 420,000 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

暑熱環境における人体温熱生理反応を精度よく予測することは温熱快適性や熱中症の予防などの観点から重要であるといえる。一般的な人体温熱生理モデルにおける蒸発熱伝達率は、式(1)のようなルイスの関係を利用して対流熱伝達率から算出することが多い。

$$LR = \frac{\alpha_e}{\alpha_c} = 16.5[\text{K/kPa}] \quad (1)$$

ここで、LR はルイス係数[K/kPa]、 α_e は蒸発熱伝達率[W/m²·kPa]、 α_c は対流熱伝達率[W/m²·K]である。昨年度の研究では椅子座で実験を行い、低風速の場合におけるルイス係数について問題点を明らかにした。今年度の研究では昨年度の実験に加えて立位時における蒸発熱伝達率を測定した。

また、ルイス係数を利用せずに蒸発熱伝達率を直接算出できるようになると、人体の蒸発による熱伝達量を算出する場合に、ぬれ面積率が重要になる。そこで今年度の研究では蒸発熱伝達率の測定に加えて、ぬれ面積率の測定を試験的に実施することを目的とした。本報告書ではぬれ面積率の測定が試験的であったことから、蒸発熱伝達率の測定結果のみ記載する。

2. 研究の方法

部位別の蒸発熱伝達率を測定するために人工気候室とマネキンを用いた実験を行った。表 1 に実験条件を示す。実験は東京工芸大学風工学研究センター2階にある通風型人工気候室で行った。実験は発汗の有無による 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°C とし、マネキン表面温度は 33°C とした。また、模擬皮膚温を熱電対で直接測定し、測定値を Dry 条件のマネキン皮膚温に設定した。風速は 0.1m/s、0.5m/s および 1.0m/s の一定風とした。マネキンの姿勢は椅子座とした。発汗量は模擬皮膚が十分に飽和するよう 1 時間あたり 500ml/m² とした。放射温度は成り行きとした。相対湿度は 60% とした。

表 1 実験条件

項目	Wet	Dry
気温 T _a [°C]	26	26
壁面温度 [°C]	26	26
相対湿度 [%]	60	60
風速 [m/s]	0.1, 0.5, 1.0	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

図 1 にマネキン表面付近の熱回路を示す。Wet 条件の場合、模擬皮膚温は汗の蒸発によってマネキン表面温度の設定値よりも低下するため、マネキンの 20 部位に熱電対を縫い付けて模擬皮膚温を 1 分間隔で測定した。熱電対は 1 部位あたり 2 点で計 40 点とした。蒸発熱伝達量は Wet 条件の総放熱量 Q_w から Dry 条件の総放熱量 Q_d を差し引くことで測定した。Wet 条件における定常状態の皮膚表面の熱収支式を式(2)に示す。

$$Q_w = Q_E + Q_d \quad (2)$$

ここで、 Q_w はマネキンの発熱量 [W/m^2]、 Q_E は蒸発による熱移動量 [W/m^2]、 Q_C は対流による熱移動量 [W/m^2]、 Q_R は放射による熱移動量 [W/m^2] である。また、発汗がない Dry 条件の場合における皮膚表面の熱収支式は式(3)である。

$$Q_d = Q_C + Q_R \quad (3)$$

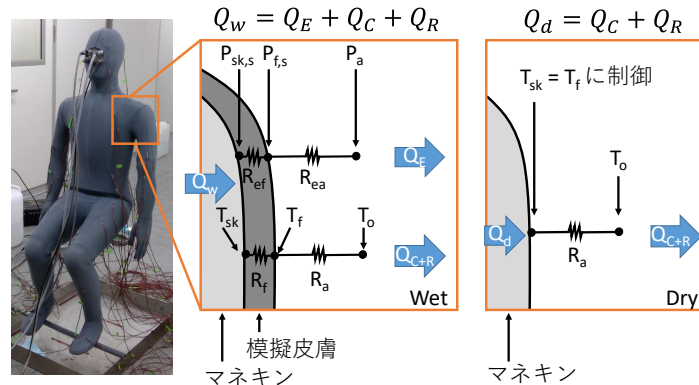


図 1 マネキン表面付近の熱回路

3. 研究成果

図 3 に部位別の蒸発熱伝達量を示す。すべての部位で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 などの四肢における蒸発熱伝達量が増加する傾向を示した。

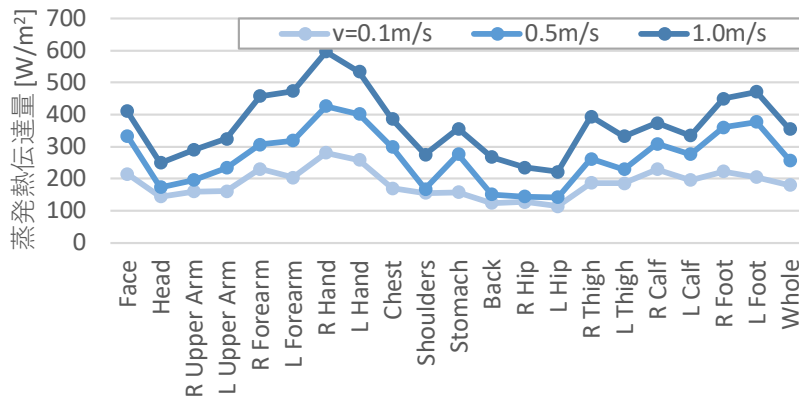


図 2 部位別の蒸発熱伝達量

図 4 に部位別の蒸発熱伝達率を示す。Forearm、Hand、Foot などの蒸発熱伝達率は他の部位に比べて高く、概ね既報の椅子座の結果と同じ傾向を示した。

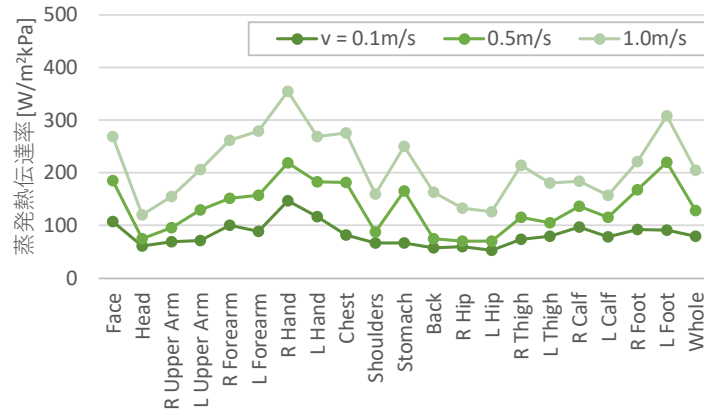


図4 部位別の蒸発熱伝達率

図5に風速と全身における蒸発熱伝達率の関係を示す。椅子座時と同様に全身の蒸発熱伝達率は風速が速くなるほど大きな値となる傾向を示した。実験回帰式は風速と対流熱伝達率の関係式を求める一般的な方法と同様に対数近似の次式(4)から求めた。

$$\alpha_c = B \cdot v^n \quad (4)$$

表3に部位別の蒸発熱伝達率の算出式において実験回帰式から得られた係数を示す。Forearm、Hand、Footなどの四肢部が高く、Head、Hip、Backなどの躯体部や風下側に位置する部位が低くなる傾向を示した。

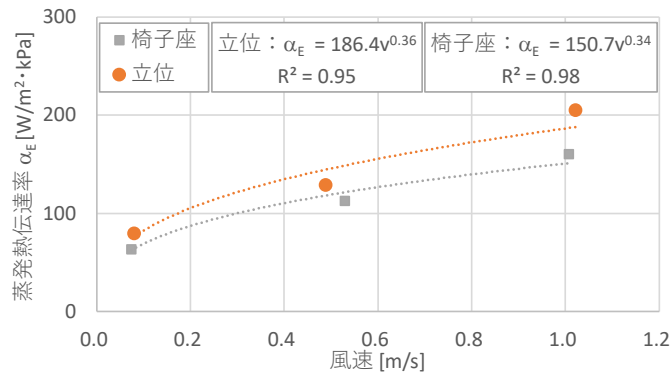


図5 風速と全身における蒸発熱伝達率の関係

表3 蒸発熱伝達率算出式の係数

部位	B	n	部位	B	n
Face	254.2	0.35	Back	130.8	0.36
Head	106.0	0.24	R Hip	109.7	0.27
R Upper Arm	138.2	0.30	L Hip	107.7	0.31
L Upper Arm	190.8	0.41	R Thigh	185.0	0.39
R Forearm	230.1	0.35	L Thigh	156.9	0.29
L Forearm	248.4	0.43	R Calf	174.1	0.24
R Hand	317.9	0.32	L Calf	149.3	0.26
L Hand	250.4	0.31	R Foot	216.7	0.34
Chest	265.2	0.47	L Foot	307.4	0.48
Shoulders	136.0	0.31			
Pelvis	243.5	0.52	Whole	186.4	0.36

図6に部位別のルイス係数を示す。ルイス係数を求めるにあたり、部位別の対流熱伝達率は既往研究¹⁾の算出式から求めた値を使用した。一般的に蒸発熱伝達率 α_e は対流熱伝達率 α_c からルイス係数 $LR = 16.5^\circ\text{C}/\text{kPa}$ を用いて算出する式(5)が利用される。

$$\alpha_e = a_c \cdot LR \quad (5)$$

本研究結果では風速が 0.5m/s 以上の強制対流の条件においては概ね 16.5 に近い値を示しているが、0.1m/s の条件ではすべての部位で 16.5 よりも高い値を示し、2021 年度の研究と同様の結果となった。また Head のルイス係数が大きくなった原因は、算出に利用した Head の対流熱伝達率が頭髪の影響などで小さい結果であったためだと考えられる。

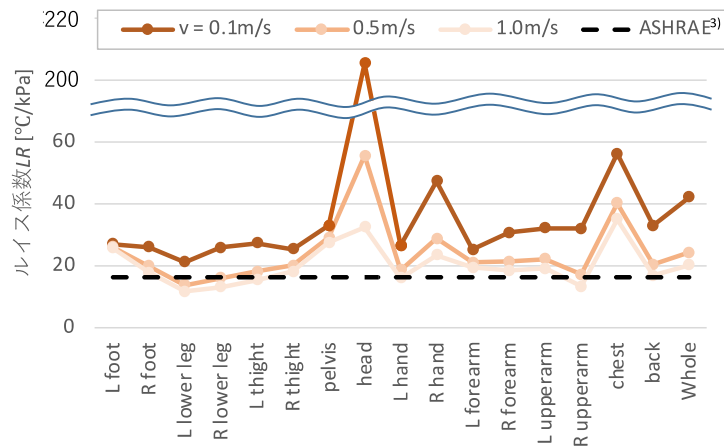


図6 部位別のルイス係数

参考文献

1) Richard de Dear, Edward Arens, Zhang Hui, Masayuki Oguro: Convective and radiative heat transfer coefficients for individual human body segments, International Journal of Biometeorology Vol.40(3), pp.141-156, 1997.6

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)

- 1.
- 2.

[学会発表] (計 1 件)

1. 森上伸也、水谷国男: 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 その2 裸体立位時の結果、日本建築学会学術講演会 (近畿)、2022年9月発表予定
- 2.

[図書] (計 0 件)

- 1.
- 2.

[その他, 産業財産権, ホームページ等]

- 1.
- 2.

5. 研究組織

(1) 研究代表者

森上伸也

(2) 研究分担者

1. 水谷国男
2. 永瀬瑠真

6. 要約 (Abstract, 英文)

Research Theme: Study on sweating and evaporative model and skin wettedness by using sweating thermal manikin

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

Summary • Figures

In this study, evaporative heat transfer coefficients for standing on each part were measured by using sweating thermal manikin. The experiments were conducted in climate controllable wind tunnel of Tokyo Polytechnic University. Evaporative heat transfer coefficients were measured by wet and dry conditions for separating from measured heat loss to latent and sensible heat.

The regression formula of evaporative heat transfer coefficients α_e was suggested following equation by based on typical prediction formula of convective heat transfer.

$$\alpha_e = B \cdot v^n$$

Where, v is mean air velocity[m/s], B and n are coefficients [ND].

The coefficients calculated from experiment is shown in table1. It is considered to better that evaporative heat transfer coefficient is calculated from this equation and these coefficients directly than calculated from the Lewis ratio and convective heat transfer coefficient.

Table1 Coefficients obtained from regression formula

Part	B	n	Part	B	n
Face	254.2	0.35	Back	130.8	0.36
Head	106.0	0.24	R Hip	109.7	0.27
R Upper Arm	138.2	0.30	L Hip	107.7	0.31
L Upper Arm	190.8	0.41	R Thigh	185.0	0.39
R Forearm	230.1	0.35	L Thigh	156.9	0.29
L Forearm	248.4	0.43	R Calf	174.1	0.24
R Hand	317.9	0.32	L Calf	149.3	0.26
L Hand	250.4	0.31	R Foot	216.7	0.34
Chest	265.2	0.47	L Foot	307.4	0.48
Shoulders	136.0	0.31			
Pelvis	243.5	0.52	Whole	186.4	0.36