

2022 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：2022 年度

課題番号：22222008

研究課題名（和文）：

サーマルマネキンを用いた変動気流曝露時の対流熱伝達率と静圧の測定

研究課題名（英文）：

Measurement of Convective Heat Transfer Coefficient and Static Pressure for Local Body Part Exposed to Fluctuating Flow using Thermal Manikin

研究代表者：

桃井良尚

交付決定額（当該年度）： 420,000 円

1. 研究の目的

人体表面の対流熱伝達率（以降、CHTC）については、古くから数多くの研究が行われている。近年数値サーマルマネキン（以降、TM）による CHTC の予測研究が見られ、村上・加藤・曾らは、対流・放射連成シミュレーションによる数値サーマルマネキンに関する研究を行っているが、形状が人体を完全に模擬しているとは言い難い。伊藤らは、数値解析用バーチャルマネキンを作成し、水平及び鉛直方向気流条件下での人体表面各部位の CHTC データベースを作成しているが、低風速条件下での CHTC データが十分でない。一方、気流感に関しては、窪田らが気流の弁別閾や因子分析などの研究を行っている。変動風については梅宮らや飯野らが、局所気流の知覚については本間らがそれぞれ研究を行っている。しかし、いずれも周辺物理環境と人間の主観評価とを結びつけるに至っていない。本研究では、気流感が主に皮膚表面風速、皮膚表面の圧力及び対流熱伝達量によって生じると仮定し、最終的には TM 実験及び CFD 解析によって得られる人体表面の「物理量」と被験者実験によって得られる人体各部位別の「気流感」との関係性を明らかにすることを目的としている。

本研究では、2021 年度に椅座位において比較的高風速（風速 2m/s, 1m/s）条件下で定常気流を曝露した時の CHTC 及び静圧を測定した。2022 年度は低風速条件下での一定風速条件及び変動風速条件で同様の測定を行う。

2. 研究の方法

本研究では、東京工芸大学風工学研究センターのアクティブ制御マルチファン人工気候室にサーマルマネキンを椅座位で設置し、サーマルマネキンを対象に人体表面の CHTC 及び静圧の測定を行った。CHTC 測定では、サーマルマネキン表面に熱流センサ（江藤電機製 S11A）と輻射センサ（CAPTEC 製 RF-30）を設置し、各部位で熱流と表面温度を順次貼り替えながら測定した。風圧測定では、CHTC 測定と同じ測定点において風圧板を設置し微差圧計を用いてサーマルマネキン表面の静圧を測定した。サーマルマネキンの表面は 34℃ で一定制御を行い、サーマルマネキンの正面に設置された 48 台の DC ファンをインバーター制御することにより一定風速または変動気流を発生させた。室温は 26℃ とし、風速は 0, 0.25, 0.5, 1.0m/s の 4 条件とした。また、変動風速条件では、風速を各風速条件に対して平均風速±40%の変動を 0.25Hz 周期の矩形波で設定した。

3. 研究成果

本研究では、サーマルマネキンを用いて低風速流曝露時における人体皮膚表面の CHTC と静圧の測定を行った。一定風速を曝露した場合、気流が直接衝突する風上側（顔、胸、腹）では、風速に比例して対流熱伝達率が増加する傾向が見られた。一方、後流域となる風下側（首・背）では熱上昇流が支配的なため、0.25m/s と無風条件に大きな差異は見られず、0.5m/s 以上の風速条件では対流熱伝達の上昇が見られた。一定風速条件と変動風速条件を比較すると、多くの部位ではほとんど差異は見られなかったが、人体後流域（首、背、腰）では、0.5m/s 以上の変動風速条件で一定風速条件と比べて対流熱伝達率が増加し、風速変動による対流熱伝達の促進効果が見られた。

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. 桃井良尚, 宮本征一, 義江龍一郎: 定常気流曝露時における人体各部位の風圧に関する研究, 第46回人間-生活環境系シンポジウム報告集, H-14, 2022.12

[図書] (計 0件)

5. 研究組織

(1) 研究代表者

桃井良尚 (福井大学・准教授)

(2) 研究分担者

1. 義江龍一郎 (東京工芸大学大学・教授)
2. 宮本征一 (摂南大学・教授)

6. 要約 (Abstract, 英文)

Research Theme

Measurement of Convective Heat Transfer Coefficient and Static Pressure for Local Body Part Exposed to Fluctuating Flow using Thermal Manikin

Representative Researcher (Affiliation)

Yoshihisa MOMOI (University of Fukui)

Summary · Figures

Airflow is an important indoor environmental factor that affects thermal comfort. However, the human perception mechanism for airflow has not been clarified. Therefore, we assume that the airflow sensation is affected by the air velocity, pressure, and convection heat transfer on the skin surface. The purpose of this study is to clarify how the psychological quantity for the airflow are affected by those physical quantities. In this study, as a first step, detailed experiments of the wind pressure coefficient and convective heat transfer coefficient (CHTC) on the surface of the human body with the thermal manikin were conducted when exposed to steady airflow.

In FY2021, we measured CHTC and static pressure when exposed to steady air flow under relatively high wind speed (1m/s and 2m/s) in a sitting position. In FY2022, similar measurements were conducted under constant flow conditions and fluctuating flow conditions under low air velocity conditions.

A thermal manikin (TM) was installed in the sitting position in the artificial climate chamber with the active control multi-fan at Wind Engineering Research Center of Tokyo Polytechnic University shown in Fig.1. The TM controlled the surface temperature constantly, and generated an airflow with a constant or fluctuating flow by controlling the 48 DC fans installed in front of the TM with an inverter, and conducted the experiments under the experimental conditions shown in Table 1. Fig.2 shows the measurement points on the TM surface. A radiant heat flux sensor and two heat flux sensors were installed at each measurement point on the TM, and the heat flux and surface temperature of each body part were sequentially replaced and measured. Static pressure taps were installed at the same measurement point as in the convection heat transfer coefficient measurement, and the wind pressure was measured.

As a result, the following findings were obtained (Fig.3).

- When exposed to a constant wind speed, the CHTC tended to increase in proportion to the air velocity on the windward side (face, chest and abdomen) where the airflow directly collided.
- On the other hand, on the leeward side (neck and back), the thermal plume stronger than the surrounding airflow occurs, so there is no significant difference between the no wind condition and 0.25 m/s. An increase in CHTC was observed under the air velocity condition of 0.5 m/s or higher.
- Comparing the constant and the fluctuating air velocity condition, almost no difference was observed at many body parts.
- In the area behind the human body (neck, back and waist), the CHTC increased under the fluctuating air velocity condition of 0.5 m/s or more compared to the constant air velocity condition, and the convective heat transfer was promoted by the fluctuating airflow.

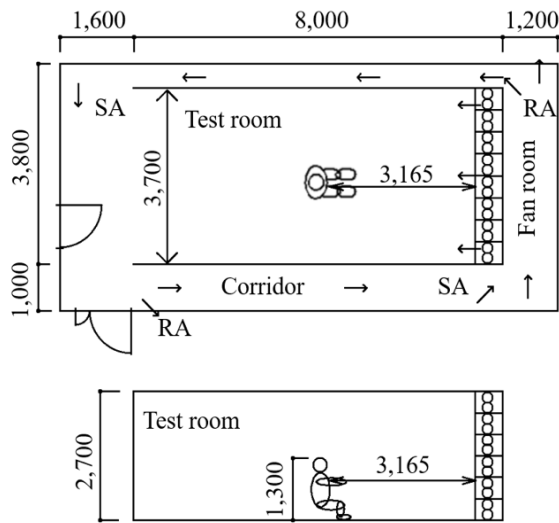


Fig.1 Schematic diagram of test room

Table1 Experimental conditions

Air flow Direction	Forward flow
Air flow Velocity	$U=0, 0.25, 0.5, 1.0$ m/s
Fluctuation	Constant or Fluctuation (Square wave, 40% fluctuation of averaged velocity, 0.25Hz)
TM surface	34.0°C
Test room	26.0°C

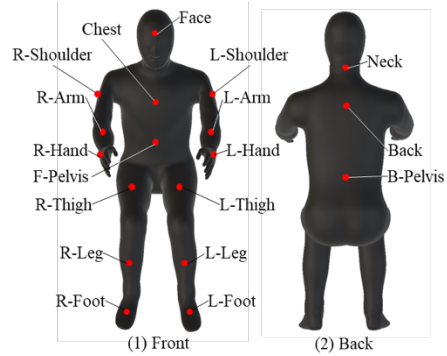


Fig.2 TM shape and measurement point

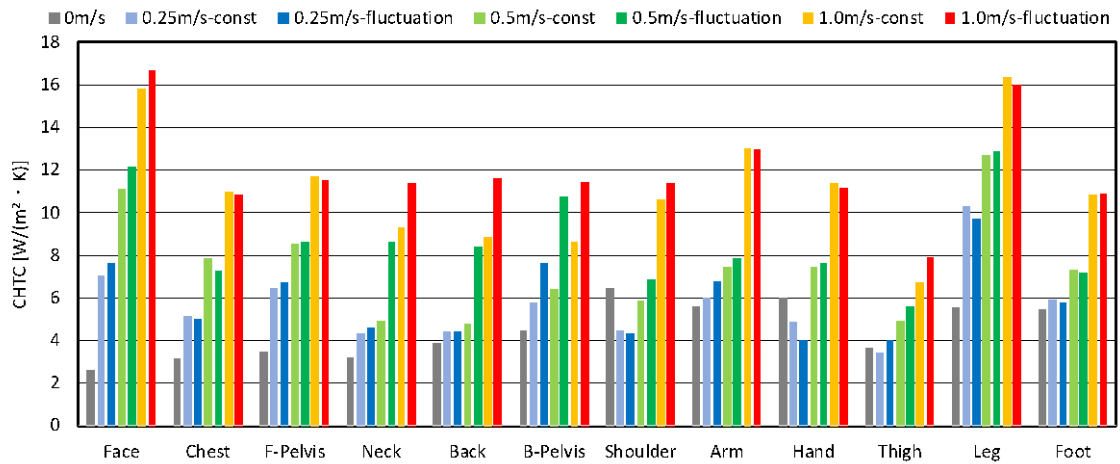


Fig.3 Comparison of CHTC at each body part between constant and fluctuating air flow condition