

2023 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：2023 年度

課題番号：23232006

研究課題名（和文）：曝露気流の方向及び姿勢が人体表面の対流熱伝達率と静圧に及ぼす影響

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 年度に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った。2023 年度は、立位において気流方向を正面流、側面流、背面流に変化させた条件下で同様の実験を行った。

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立位で設置し、サーマルマネキンを対象に人体表面の CHTC 及び静圧、表面風速の測定を行った。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（Validyne 製 DP45）を用いてサーマルマネキン表面の静圧を測定した。人体表面の風速測定には、無指向性の風速プローブ（日本カノマックス 製 Model6333, 0976-15 プローブ）を用いた。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, 1.0, 2.0m/s の 5 条件とした。

3. 研究成果

本研究では、まず人体表面の局所風速をアプローチ風速で除した風速比（AVR）の測定を行った。低風速条件では、人体の熱上昇流により後流域で風速比が大きくなる傾向が見られた。0.5m/s 以上の風速条件では、AVR 分布がほぼ一致しており、熱上昇流の影響が小さいことがわかった。次に、人体表面の対流熱伝達率について、上半身の後流域では、低風速条件では CHTC の値に変化が見られず、1.0m/s 以上の風速条件で急激に増加する様子が見られた。これは、風速比同様、低風速条件では、アプローチ風よりも熱上昇流の方が支配的であるためと考えられる。人体表面の静圧をアプローチ風の動圧で基準化し人体の風圧係数分布を算出した。1.0m/s 以上の高風速条件では発熱条件と非発熱条件の間に差はほとんど見られなかったのに対し、0.5m/s では、人体の熱上昇流が支配的となり、全体的に静圧が負側にシフトした。全身平均の CHTC を既往研究と比較すると、桑原らや持田らの回帰曲線とほぼ一致した。また、各風向における全身平均の CHTC を比較すると、側面流のみ局所値が若干小さい結果となった。これは測定点位置の偏りに起因するものと考えられ、桑原らの既往研究と同様に、風向による CHTC の差異はほとんどないという結論が得られた。今後は立位姿勢の CFD 解析を行なっていく予定である。

4. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者には下線)

(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, 南條莉花: 低風速気流曝露時における人体各部位の静圧および対熱伝達率に関する研究, 第 47 回人間-生活環境系シンポジウム報告集, B-2, 2023.12
2. 南條莉花, 桃井良尚, 宮本征一, 義江龍一郎: 立位人体表面の風速・対流熱伝達率・静圧の測定, 2023 年度 (第 53 回) 空気調和・衛生工学会学術研究発表会論文集, A-14, 2024.3

[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)

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. In FY2023, similar experiments were conducted under conditions in which the airflow direction was changed to forward flow, side flow, and backward flow while the thermal manikin was in a standing position.

A thermal manikin (TM) was installed 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. Omnidirectional probes were used to measure air velocity on the surface of the human body.

As a result, the following findings were obtained.

- Air velocity ratio (AVR) which is the air velocity on the human body surface divided by the approach air velocity was calculated. Under low air velocity conditions, the AVR tended to be larger in the wake region due to the thermal plume of the human body. Under air velocity conditions of 0.5 m/s or more, the AVR distribution was

almost consistent, and it was found that the influence of the thermal plume was small. (Fig.3)

- The CHTC of the human body surface, in the wake region of the upper body, the CHTC value did not change under low air velocity conditions, but it increased under air velocity conditions of 1.0 m/s or more. This is thought to be because the thermal plume is more dominant than the approach airflow under low air velocity conditions. (Fig. 4)
- The static pressure on the human body surface was normalized by the dynamic pressure of the approach airflow to calculate the wind pressure coefficient (C_p) distribution on the human body. Under high air velocity conditions of 1.0 m/s or more, there was almost no difference between the heated and non-heated conditions. On the other hand, at 0.5 m/s, the thermal plume of the human body became dominant, and the C_p values shifted to the negative side overall. (Fig.5)
- When comparing the whole-body averaged CHTC with previous studies, it was almost consistent with the regression curves of Kuwabara et al. and Mochida et al. (Fig.6)
- In addition, when comparing the whole-body averaged CHTC for each airflow direction, the local values were slightly smaller only for the side flow. This is thought to be due to bias in the measurement positions. As with the previous study by Kuwabara et al., it was concluded that there was almost no difference in CHTC due to airflow direction. (Fig. 7)

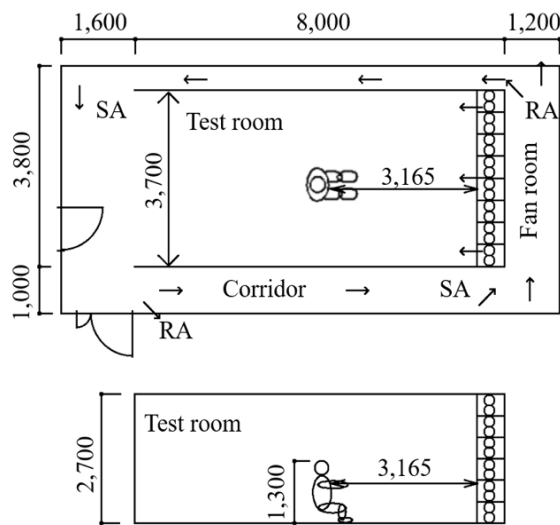


Fig.1 Schematic diagram of test room

Table1 Experimental conditions

Air flow Direction	Forward, Side, Backward
Air flow Velocity	$U=0, 0.25, 0.5, 1.0, 2.0$ m/s
TM surface Temperature	34.0°C or non-heated
Test room	26.0°C

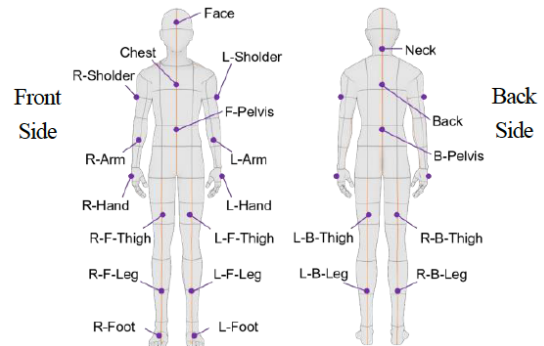


Fig.2 TM shape and measurement point

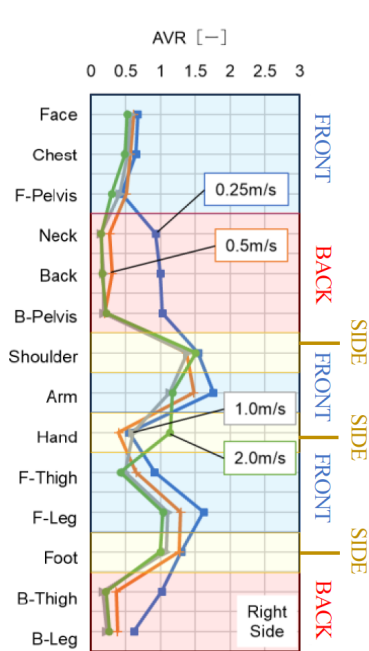


Fig.3 Average velocity ratio for forward flow at each body part

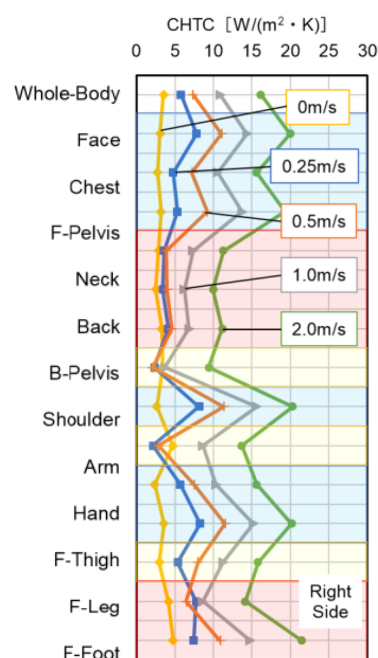


Fig.4 Local CHTC for forward flow at each body part

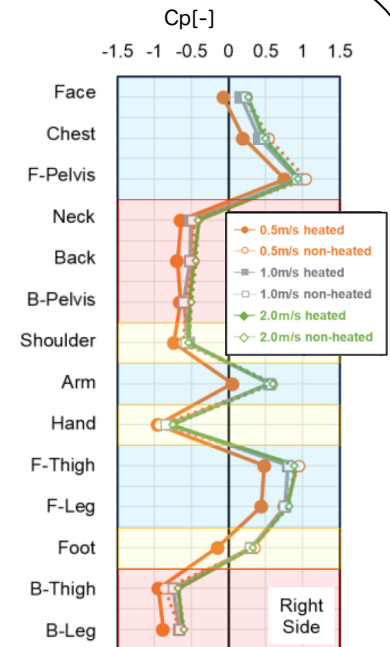


Fig.5 Cp for forward flow at each body part

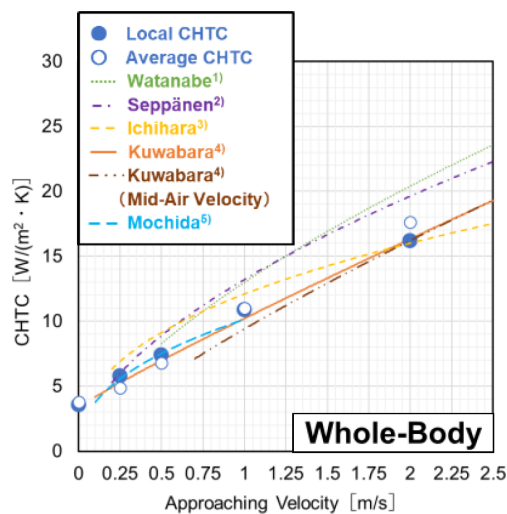


Fig.6 CHTC for forward flow with approaching velocity of whole body

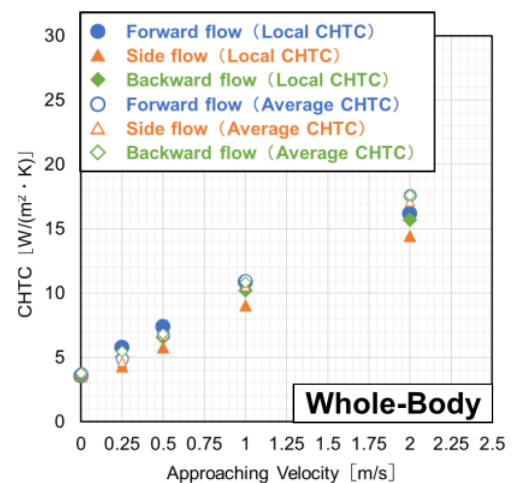


Fig.7 CHTC (all direction) with approaching velocity of whole body