

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：20202008
研究課題名（和文）：局所気流下の着衣人体における部位別着衣透湿抵抗の測定
研究課題名（英文）：Measurement of Local Clothing Evaporative Resistance of Clothed Human Body under Local Airflow Conditions
研究代表者：田辺 新一
交付決定額（当該年度）：500,000 円（特定課題）

本研究の目的は発汗サーマルマネキンを用いて、様々な気流および衣服のぬれの条件における人体部位別の着衣熱抵抗および着衣蒸発熱抵抗を測定することである。気流や人体の動きが着衣熱抵抗・蒸発熱抵抗に与える影響については、これまで多くの研究グループによって検討が行われているが、人体部位別に検討した研究は極めて少ない。また湿潤衣服では着衣熱抵抗が減少することが知られている。現在開発が行われている人体熱モデルを用いてより詳細な熱環境評価を部位別に行うためには、気流・人体の動きが着衣熱特性に及ぼす影響、および衣服の含水量と着衣熱抵抗の関係を明らかにする必要がある。そこで本研究では、気流下および湿潤着衣人体における部位別着衣熱特性値を測定し、気流・衣服のぬれが部位別着衣熱特性値に与える影響を分析した。

2 研究の方法

2.1 【実験 A】気流下における着衣熱抵抗・蒸発熱抵抗の測定概要

図 1 に測定位置を、表 1 に実測条件を示す。気流による部位別の着衣熱特性の変化を明らかにすることを目的に、東京工芸大学人工気候室にて実験を行った。気流速度と着衣熱特性値の関係を分析するために、気流速度 0.15, 0.4, 1.0, 2.0 m/s の 4 つの実験条件を設けた。測定中のマネキンは立位姿勢とした。各条件に対し、着衣熱抵抗を測定する「Dry 測定」、および着衣蒸発熱抵抗を測定する「Wet 測定」の 2 つの測定条件を設けた。測定時間は ISO 9920 (2007) ¹⁾ が定める測定方法に従い、Dry 測定では最低でも 30 分以上、Wet 測定では最低でも 60 分以上を確保し、マネキン表面温度および表面熱流束が 10 分以上定常となっていることを確認した上で測定を終了した。





Dry 測定では、マネキン表面温度と周辺環境に温度差を設け、部位別着衣熱抵抗を測定した。実験室の温熱環境は、作用温度を 21°C、相対湿度を 50%、気流速度を 0.15, 0.4, 1.0, 2.0 m/s とし、マネキンは全部位において表面温度を 34°C に制御した。

Wet 測定では、高温環境において部位別着衣蒸発熱抵抗を測定した。実験室の温熱環境では、作用温度を 34°C、相対湿度を 50%、気流速度を 0.15, 0.4, 1.0, 2.0 m/s とした。マネキン表面温度は、マネキンと周辺環境間での顕熱移動が生じないように、周辺環境の作用温度と等しくすべての部位において 34°C に制御した。マネキンの発汗量については、事前実験にて模擬皮膚の水分が飽和状態を維持できる発汗量を確認し、400 mL/(m²・h)を目安に、部位ごとに調整した。

表 1 実測条件

表 2 に着衣条件を示す。昨年度の研究では、模擬皮膚の着用の有無による裸体 2 条件 (Nude 1, Nude 2) に加え、夏季に着用すると想定される着衣 2 条件 (En C, En G) を設定した。本研究では、昨年度と同様の裸体 2 条件 (Nude 1, Nude 2)、着衣 2 条件 (En C, En F) について測定を行った。なお、実験では少なくとも 2 回以上洗濯し、乾燥状態の衣服をマネキンに着せた。

表 2 着衣条件

| Nude 1 | Nude 2 | En C | En F |
|---|---|--|---|
|  |  |  |  |
| Nothing | Knitted fabric 'Skin' | Brief (C) Socks (C and A) Polo shirt (C and P) Long pants (C) Sneakers (C) | Socks (C and A) Under shirt (C) Long-sleeved shirt (C) Long pants (W and P) Belt (L) Shoes (L) |
| (C), (A), (P), (L), and (W) imply Cotton, Acrylic, Polyester, Leather, and Wool, respectively | | | |

2.2 【実験 B】 湿潤状態における着衣熱抵抗の測定の概要

衣服の含水量と部位別着衣熱抵抗の関係を明らかにすることを目的に、東京工芸大学人工気候室にて実験を行った。実験室の温熱環境は、実験 A における「Dry 測定」と同様、作用温度を 21°C、相対湿度を 50%、気流速度を 0.15 m/s に制御し、マネキンは全部位において表面温度を 34°C に制御した。

本実験では、En C, En F の 2 条件について測定を行った。着方による測定値の差異を確認するために、1 つの着衣条件につき 2 回の測定を行った。水が滴り落ちない湿潤状態の衣服をマネキンに着せた。

2.3 各温熱特性の計算方法

2.3.1 部位別着衣熱抵抗

図 2 に皮膚-衣服-環境間における熱回路を示す。着衣熱抵抗は一般的に”clo”という単位で表され、「1 clo=0.155(m²·K)/W」として、式(1)を用いて単位換算できる。任意の部位 *i* における、全着衣熱抵抗 $I_{t[i]}$ および着衣外表面における熱抵抗 $I_{a[i]}$ は、マネキン表面と環境の温度差 $t_{sk[i]} - t_o$ と顕熱損失量 $Q_{t[i]}$ より、式(2), (3)を用いて算出される。基礎着衣熱抵抗 I_{cl} は、全着衣熱抵抗 $I_{t[i]}$ から着衣面積比を考慮した着衣外表面の熱抵抗 $I_{a[i]} / f_{cl[i]}$ を差し引いた値として、式(4)より算出される。なお、着衣面積比 $f_{cl[i]}$ の算出には式(5)を用いた²⁾。

$$\square = 0.155 \square \quad (1)$$

$$\square_{\square[\square]} = \frac{\square_{\square,\square[\square]} - \square_{\square}}{0.155 \square_{\square[\square]}} \quad (2)$$

$$\square_{\square[\square]} = \frac{\square_{\square,\square,\square,\square[\square]} - \square_{\square}}{0.155 \square_{\square,\square,\square[\square]}} \quad (3)$$

$$\square_{\square[\square]} = \square_{\square[\square]} - \frac{\square_{\square[\square]}}{\square_{\square[\square]}} \quad (4)$$

$$\square_{\square[\square]} = 1 + 0.31 I_{cl[i]} \quad (5)$$

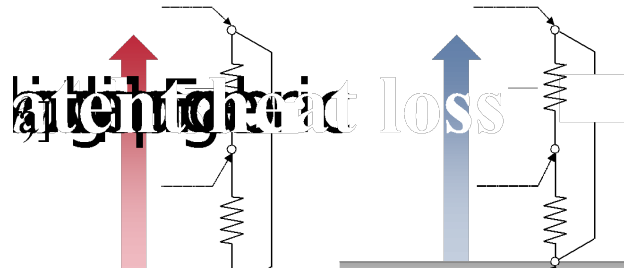


図 2 皮膚-衣服-環境間における熱回路 (左：顕熱、右：潜熱)

2.3.2 部位別着衣蒸発熱抵抗

本研究では Heat Loss 法³⁾に基づき着衣蒸発熱抵抗を算出した。Heat Loss 法とは、マネキン表面温度 $t_{sk[i]}$ と環境の作用温度 t_o を等しくすることでマネキンからの顕熱損失を極力小さくし、マネキンからの供給熱量 $Q_{manikin[i]}$ を蒸発熱損失 $Q_{e[i]}$ として蒸発熱抵抗を算出する方法である。全着衣蒸発熱抵抗 $R_{et[i]}$ および着衣外表面における熱抵抗 $R_{ea[i]}$ は、模擬皮膚表面と環境の水蒸気圧差 $p_{sk,ff[i]} - p_a$ と蒸発損失量 $Q_{e[i]}$ より、式(6), (7)を用いて算出される。基礎着衣蒸発熱抵抗 R_{ecl} は、全着衣蒸発熱抵抗 $R_{et[i]}$ から着衣面積比を考慮した着衣外表面の蒸発熱抵抗 $R_{ea[i]} / f_{cl[i]}$ を差し引いた値として、式(8)より算出される。水蒸気圧 p は Antonic の式⁴⁾を用いて、温度 t と相対湿度 RH より式(9)から算出した。なお、実験時の模擬皮膚は飽和状態にあるものとし、模擬皮膚表面における相対湿度 $RH_{sk,ff[i]}$ は 100% として計算した。

$$\square_{\square[\square]} = \frac{\square_{\square,\square[\square]} - \square_{\square}}{\square_{\square[\square]}} \quad (6)$$

$$\square_{\square[\square]} = \frac{\square_{\square,\square,\square,\square[\square]} - \square_{\square}}{\square_{\square,\square,\square[\square]}} \quad (7)$$

$$\square_{\square[\square]} = \square_{\square[\square]} - \frac{\square_{\square[\square]}}{\square_{\square[\square]}} \quad (8)$$

$$\square = \square_{\square} \left(18.956 - \frac{4030.18}{\square + 235} \right) \times \square_{\square} \quad (9)$$

2.3.3 着衣蒸発熱抵抗の補正

Heat Loss 法を適用するためには等温条件 ($t_{sk[i]} = t_{sk,ff[i]} = t_o$) を満たす必要があるが、実際は模擬皮膚に含まれる水分の蒸発により、模擬皮膚表面温度 $t_{sk,ff[i]}$ が低下し ($t_{sk[i]} < t_{sk,ff[i]} = t_o$)、模擬皮膚-環境間で顕熱移動が生じる。我々の研究グループでは 2019 年度以前の研究により、模擬皮

膚表面温度の低下に伴う顕熱移動の影響を部位別に補正する方法を提案している⁵⁾。以下、着衣蒸発熱抵抗の補正方法について詳述する。

模擬皮膚表面温度 $t_{sk[ij]}$ が低下した状態 ($t_{sk[ij]} < t_{sk,ffij} = t_o$) において、マネキンからの供給熱量 $Q_{manikin[ij]}$ は、模擬皮膚からの蒸発熱損失量 $Q_{e[ij]}$ と模擬皮膚-環境間の顕熱移動量 $Q_{env[ij]}$ の和となる。したがって、蒸発熱損失量 $Q_{e[ij]}$ は式(10)のように表される。また、模擬皮膚-環境間の顕熱移動量 $Q_{env[ij]}$ は、模擬皮膚表面と環境の温度差 $t_{sk,ffij} - t_o$ と湿潤衣服における全着衣熱抵抗 $I_{t,we[ij]}$ を用いて式(11)のように表される。なお、模擬皮膚から環境への熱流を正としているので、 $t_{sk,ffij} < t_o$ という条件下では、式(11)より算出される $Q_{env[ij]}$ は負値となる。

$$Q_{e[ij]} = Q_{manikin[ij]} - Q_{env[ij]} \quad (10)$$

$$Q_{env[ij]} = \frac{Q_{manikin[ij]} - Q_{e[ij]}}{I_{t,we[ij]}} \quad (11)$$

式(11)における模擬皮膚表面温度 $t_{sk,ffij}$ は、Wang ら⁶⁾による推定法に基づき、式(12)より求められる。湿潤状態における全着衣熱抵抗 $I_{t,we[ij]}$ は、乾燥衣服に対する全着衣熱抵抗の減少率 ΔI_t を用いて式(13)より求められる⁷⁾。乾燥衣服に対する全着衣熱抵抗の変化率 ΔI_t は衣服の部位別含水量 w_{ij} を用いて式(14)より求められる⁷⁾。衣服の部位別含水量 w_{ij} は、実験前後に測定した衣服の質量差から衣服の含水量 $w_{i,whole}$ を求め、衣服の含水量 $w_{i,whole}$ に全身に対する各部位の体表面積比 A_i / A_{whole} を乗じることで、式(15)のように算出される。

$$t_{sk,ffij} = 34.0 - 0.0132 \cdot I_{t,we[ij]} \quad (12)$$

$$I_{t,we[ij]} = I_{t,dry[ij]} \cdot \left(\frac{1 - \Delta I_t}{100} \right) \quad (13)$$

$$\Delta I_t = (1.0 \times 10^{-7} \cdot w_{ij}^3) - (1.6 \times 10^{-4} \cdot w_{ij}^2) + (1.0 \times 10^{-1} \cdot w_{ij}) \quad (14)$$

$$w_{ij} = w_{i,whole} \cdot \left(\frac{A_i}{A_{whole}} \right) \quad (15)$$

式(10), (12)より蒸発熱損失量 $Q_{e[ij]}$ 、模擬皮膚表面温度 $t_{sk,ffij}$ を求め、式(6)-(9)に代入することで蒸発熱抵抗を算出した。

2.3.4 部位別透湿効率係数

各部位における全透湿効率係数 $i_{m[ij]}$ および着衣透湿効率係数 $i_{cl[ij]}$ は、式(16), (17)より算出される。 L_R はレイス係数であり、ここでは 16.5 K/kPa とした。

$$i_{m[ij]} = \frac{h_{e,cl[ij]}}{(h_{e,cl[ij]} + h_{e,sk[ij]}) \cdot \rho_a} = \frac{0.155 \cdot h_{e,cl[ij]}}{\rho_a \cdot \rho_a} \quad (16)$$

$$i_{cl[ij]} = \frac{h_{e,cl[ij]}}{(h_{e,cl[ij]} + h_{e,sk[ij]}) \cdot \rho_a} = \frac{0.155 \cdot h_{e,cl[ij]}}{\rho_a \cdot \rho_a} \quad (17)$$

2.3.5 部位別衣服含水量

式(18)に部位別衣服含水量の算出式を示す。部位別衣服含水量 w_{ij} は、任意の衣服 j における含水量 w_{ij} を実験前後の衣服の質量差より求め、衣服 j に覆われる部位面積に対する対象部位 i の面積を乗じることで求められる。

$$w_{ij} = \sum_{i=1}^n w_{i,j} \cdot \frac{A_i}{A_{total,j}} \quad (18)$$

3 研究成果

3.1 気流速度と着衣熱抵抗および蒸発熱抵抗の関係

図3に $I_{t,wind} / I_{t,static}$ と気流速度の関係、図4に Dry 測定時における着衣内表面温度の測定結果を示す。 $I_{t,wind} / I_{t,static}$ は、静穏気流条件で測定された熱抵抗 $I_{t,static}$ と気流下における熱抵抗 $I_{t,wind}$ の比を表しており、 $I_{t,wind} / I_{t,static}$ の値が小さいほど気流による熱抵抗の減少割合が大きいことを意味する。図3より、気流の当たる人体前面に位置する部位では背面に位置する部位に比べて、気流速度の増加に伴う I_t の減少割合が大きい。また、Upper arm では長袖の En F に対して半袖の

En Cの方が、気流による I_t の減少割合が大きくなっている。Stomach, Backでは、シャツの裾をズボンに入れたEn Fに比べて、裾をズボンに入れないEn Cの方が I_t の減少割合が大きい。着衣内表面温度は気流速度の大きい条件ほど低く、特に皮膚-衣服間の空気層が大きいStomach, Backで表面温度の低下が顕著に見られる。着衣条件間で比較すると、着衣内表面温度はCalfを除いてEn Fの方が高く保たれている。

人体背面の部位において熱抵抗の減少が小さかった原因として、衣服を貫通する気流の影響が小さかったことが挙げられる。また、着衣内表面温度および皮膚-衣服間空気層の温度が高く保たれ、皮膚からの顕熱損失の増加が抑制されたために、En Fの方がEn Cに比べて気流による着衣熱抵抗の減少が小さくなったと考えられる。

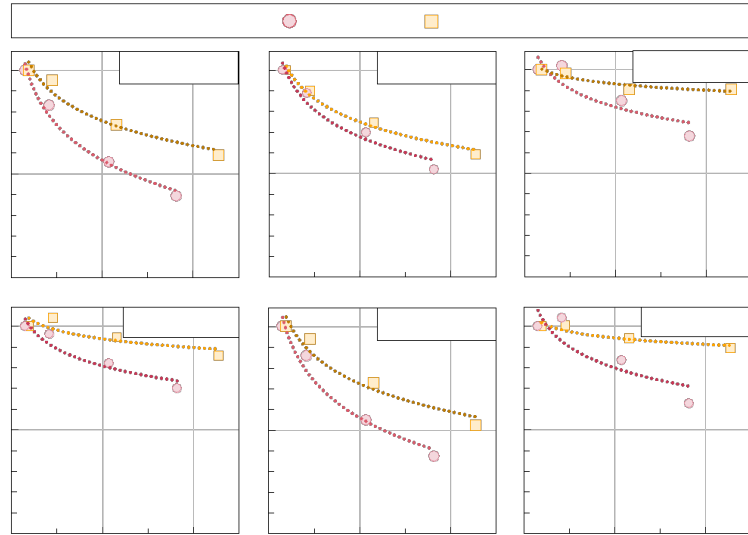


図3 $I_{t,wind} / I_{t,static}$ と気流速度の関係

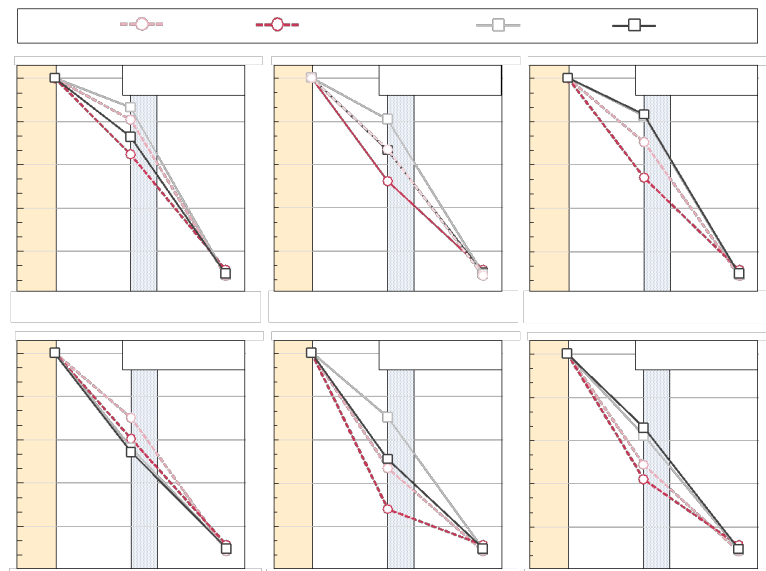


図4 Dry測定時における着衣内表面温度の測定結果

図5に $R_{et, wind} / R_{et, static}$ と気流速度の関係、図6に Wet 測定における着衣内表面温度の測定結果を示す。 R_{et} も I_t と同様、人体正面に位置する Chest, Stomach において R_{et} の減少割合が大きくなっている。また、Stomach, Back では裾にズボンを入れない En Cの方が、裾をズボンに入れた En Fに比べて R_{et} の減少割合が大きくなっている。また、図6より全部位において着衣内表面温度の低下が見られるが、これは衣服のぬれに伴う着衣表面からの蒸発熱損失に起因するものである。本実験で測定された R_{et} は、着衣内表面温度の低下に伴い生じる皮膚-環境間の顕熱損失の影響を含むと考えられる。En Fに比べ En Cの方が気流に伴う R_{et} の減少が大きいこと、および Stomach において気流に伴う R_{et} の減少が大きいことの一因として、着衣表面温度の低下による皮膚-衣服間の顕熱移動の増加が考えられる。

今後より正確に着衣蒸発熱抵抗を得るためには、衣服をぬらさず測定する方法、もしくは衣服表面からの蒸発熱損失に伴う表面温度の低下を推定する方法が必要であると考えられる。

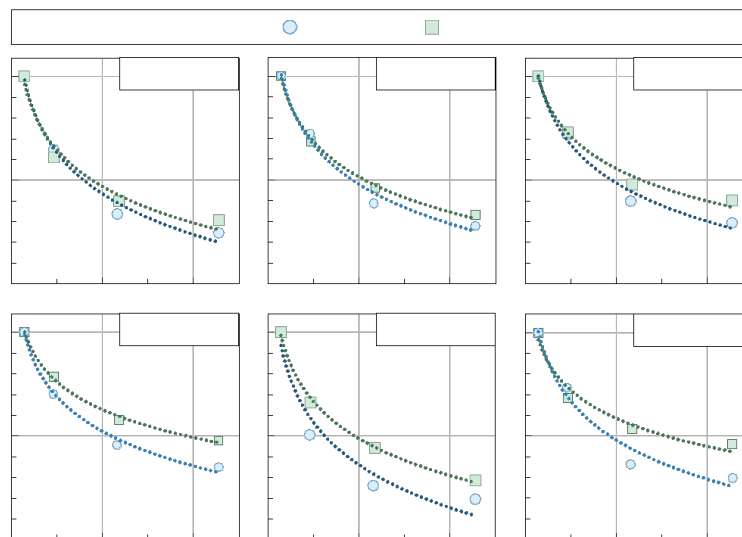


図5 $R_{et, wind} / R_{et, static}$ と気流速度の関係

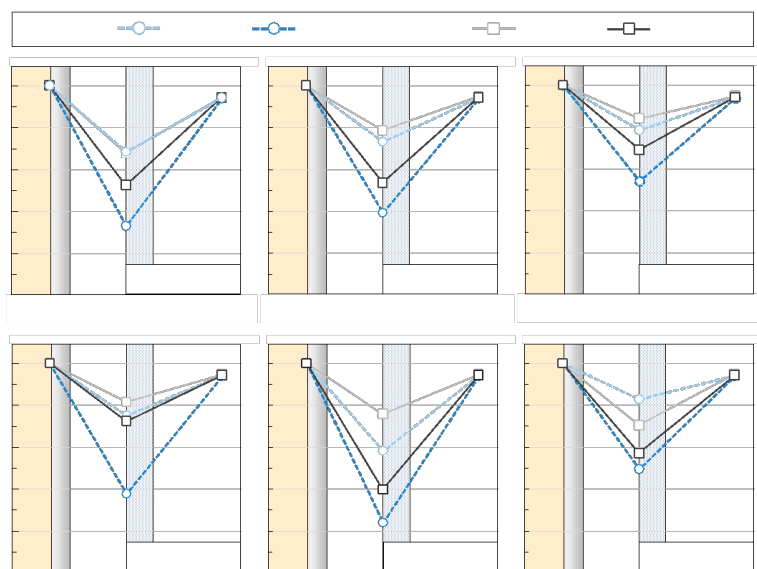


図6 Wet 測定時における着衣内表面温度の測定結果

以上の実験結果より、気流速度の増加に伴い着衣熱抵抗および蒸発熱抵抗は減少し、その減少傾向は着衣条件や人体部位間で差が生じることが示された。したがって人体熱モデルを用いて人体生理量を予測する際、気流速度の影響を考慮した上で着衣の物性値を入力することで、生理量予測値の精度が向上する可能性が考えられる。

3.2 着衣の含水量と着衣熱抵抗の関係

図7に部位別着衣含水量と着衣熱抵抗減少比 ($I_{t, wet} / I_{t, dry}$) の関係を示す。図7より部位別含水量の増加にしたがい、着衣熱抵抗は概ね線形に減少することが明らかになった。全身に対する着衣熱抵抗の減少比は衣服条件間の差が小さく、近似直線の傾きも概ね一致した。

図7の全身に対するデータについて回帰分析を行い、式(19)を得た。式(19)を用いることで衣服湿潤時における着衣熱抵抗の減少を推定することが可能である。なお、式(19)は、衣服の含水量 w_{whole} が 200g 以上、通気性・吸水性を有する軽装 ($I_{t, whole} < 1.65 \text{ clo}$) について適用が可能である。

$$\frac{I_{t, wet}}{I_{t, dry}} = -8.4 \times 10^{-4} \cdot w_{whole} + 0.93 \quad (19)$$

含水量と $I_{t, wet} / I_{t, dry}$ の関係を部位別にみると、Chest, Shoulder, Upper arm, Hip では衣服条件間の差異が小さい。これは、Chest, Shoulder, Upper arm, Hip ではマネキン表面-衣服間に生じる空隙が小さいため、皮膚-衣服-環境間の熱移動に対して、重ね着や衣服素材の及ぼす影響が小さくなったと考えられる。Stomach, Back では、En F に比べて En C の方が含水による I_t の減少が大きくなっているが、これはシャツの重ね着および裾の開閉状態が影響していると考えられる。En C ではシャツの裾をズボンに入れていないため、衣服面での蒸発が促進され衣服の表面温度が大きく低下し、マネキンからの顕熱損失量が増大したと考えられる。一方、En F では重ね着に加えて、裾をズボンに入れベルトを着用していたことで、衣服内表面温度および皮膚-衣服間空気層の温度が高く維持され、マネキンからの顕熱損失の増加が抑制されたと考えられる。Thigh, Calf も同様に、En C に比べて En F のスラックスはマネキンに対して余裕のある形状であったため、着衣表面温度および皮膚-衣服間空気層の温度が低下し、 I_t の減少が大きくなったと考えられる。Thigh, Calf では、En F の方が En C に比べて含水量が小さくなっているが、これは衣服を構成する材料の違いが影響していると考えられる。En C のズボンは綿製、En F のスラックスはウールとポリエステル混紡であり、吸水性は綿に比べてウールやポリエステルの方が小さいため、En F の含水量が小さくなったと考えられる。

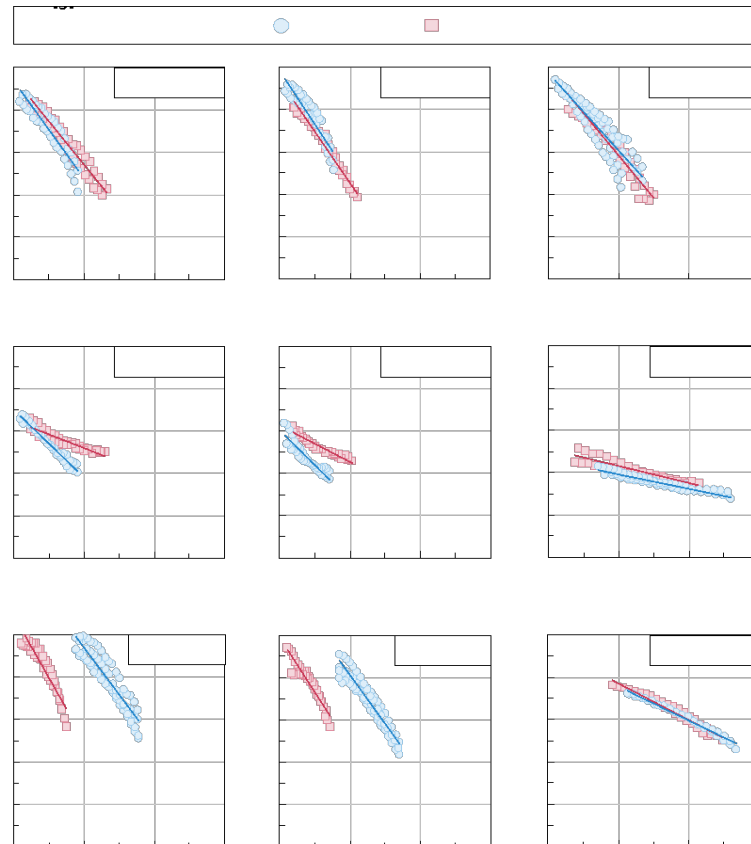


図7 部位別着衣含水量と着衣熱抵抗減少比 ($I_{t, wet} / I_{t, dry}$) の関係

以上よ

すること

が確認された。衣服の含水による着衣熱抵抗の減少は、重ね着や衣服開口の状態、皮膚－衣服間空気層の厚さ、衣服素材の吸水性能が影響を受けると考えられる。皮膚－衣服間気候の温度を高く維持できる衣服ほど、含水による着衣熱抵抗の減少が小さいと考えられる。

本研究では気流速度 0.15 m/s の条件で測定を行ったが、気流速度の増加により着衣外表面での蒸発熱損失が増加しさらに表面温度が低下することが考えられる。衣服のぬれと気流の相互影響、ならびに空気温度や相対湿度が蒸発熱損失量に与える影響については今後より詳細に検討を行う必要があると考えられる。また、環境が非定常的に変化する場合や発汗を伴う状況においては、衣服における吸放湿に伴う発熱・冷却が生じる。非定常時における衣服の吸放湿現象を再現し、人体生理量の予測精度をさらに向上させるためには、既往研究および本研究の結果をもとに人体熱モデルに着衣層を設ける必要があると考えられる。

記号

| | | |
|---------------|---------------------------|---------------------------|
| A | : 体表面積 | [m ²] |
| f_{cl} | : 着衣面積比 | [-] |
| h_c | : 対流熱伝達率 | [W/(m ² ·K)] |
| h_e | : 潜熱伝達率 | [W/(m ² ·kPa)] |
| h_r | : 線形化放射熱伝達率 | [W/(m ² ·K)] |
| I_a | : 着衣外表面の熱抵抗 | [clo] |
| I_{cl} | : 基礎着衣熱抵抗 | [clo] |
| I_t | : 全着衣熱抵抗 | [clo] |
| i_{cl} | : 着衣透湿効率係数 | [-] |
| i_m | : 全着衣透湿効率係数 | [-] |
| L_R | : ルイス係数 (=16.5 K/kPa) | [K/kPa] |
| p_a | : 周辺環境における水蒸気圧 | [kPa] |
| p_{sk} | : 皮膚表面における水蒸気圧 | [kPa] |
| $p_{sk,f}$ | : 模擬皮膚表面における水蒸気圧 | [kPa] |
| Q | : 皮膚から環境への顕熱損失量 | [W] |
| Q_e | : 模擬皮膚から環境への蒸発熱損失量 | [W] |
| Q_{env} | : 周辺環境からの顕熱移動量 | [W] |
| $Q_{manikin}$ | : マネキンからの供給熱量 | [W] |
| R | : 着衣熱抵抗 ($R = 0.155 I$) | [(m ² ·K)/W] |
| R_{ea} | : 着衣外表面境界空気層の蒸発熱抵抗 | [(m ² ·kPa)/W] |
| R_{ecl} | : 基礎着衣蒸発熱抵抗 | [(m ² ·kPa)/W] |
| R_{et} | : 全着衣蒸発熱抵抗 | [(m ² ·kPa)/W] |
| RH_a | : 環境の相対湿度 | [%] |
| $RH_{sk,f}$ | : 模擬皮膚表面の相対湿度 (100%を仮定) | [%] |
| t_{cl} | : 着衣外表面温度 | [°C] |
| t_o | : 作用温度 | [°C] |
| t_{sk} | : 皮膚 (マネキン) 表面温度 | [°C] |
| $t_{sk,f}$ | : 模擬皮膚表面温度 | [°C] |
| w_t | : 衣服含水量 | [g] |
| ΔI_t | : 含水に伴う全着衣熱抵抗の変化率 | [%] |

サフィックス

| | |
|-----------|--------------|
| cl | : 着衣時 |
| $clothed$ | : 衣服が人体を覆う部分 |
| dry | : 衣服乾燥時 |
| i | : マネキンの部位番号 |
| $nude$ | : マネキン裸体条件 |
| $static$ | : 静穏気流下 |
| wet | : 衣服湿潤時 |
| $whole$ | : 全身 |
| $wind$ | : 気流下 |

参考文献

- 1) ISO 9920 : Ergonomics of the thermal environment estimation of the thermal insulation and evaporation resistance of a clothing ensemble, International organization for standardization, 2007
- 2) McCullough, E.A., Jones, B.W., Huck, J. : A comprehensive data base for estimating clothing insulation, IER technical report, Vol.84, No.1, pp.26-47, 1984
- 3) Wang, F., Cao, C., Kuklane, K., Holmér, I. : Determination of clothing evaporative resistance on a sweating thermal manikin in an isothermal condition: Heat loss method or mass loss method?, Annals of occupational hygiene, Vol.55, No.7, pp.775-783, 2011
- 4) Parsons, K. : Human thermal environments, The effect of hot, moderate, and cold environments on human health, comfort, performance, Third edition, CRC press, 2002
- 5) Nomoto, A., Takahashi, Y., Yoda, S., Ogata, M., Tanabe, S., Ito, Y., Aono, Y., Yamamoto, Y., Mizutani, K. : Measurement of local evaporative resistance of typical clothing ensemble using a sweating thermal manikin, J. Environ. Eng., Vol.84, No.761, pp.653-660, 2019
- 6) Wang, F., Kuklane, K., Gao, C., Holmér, I. : Development and validity of a universal empirical equation to predict skin surface temperature on thermal manikins, J. Therm. Biol., Vol.35, No.4, pp.197-203, 2010
- 7) Lu, Y., Wang, F., Peng, H., Shi, W., Song, G. : Effect of sweating set rate on clothing real evaporative resistance determined on a sweating thermal manikin in a so-called isothermal condition($t_{\text{manikin}}=t_o=t_r$), Int. J. Biometeorol., Vol.60, No.4, pp.481-488, 2016.4

4 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計0件)

該当なし

〔学会発表〕(計1件)

1. ○依田 柁, 野元 彬久, 久山 遼, 小川 裕太郎, 秋元 瑞穂, 藤井 香菜子, 田辺 新一, 人間-熱環境系快適性数値シミュレータ(その70)姿勢の違いが人体部位別着衣熱抵抗・蒸発熱抵抗に与える影響, 2021年度日本建築学会大会(2021年9月発表予定)

〔図書〕(計0件)

該当なし

〔その他, 産業財産権, ホームページ等〕

該当なし

5 研究組織

(1) 研究代表者

田辺 新一 (早稲田大学・理工学術院創造理工学部建築学科・教授)

(2) 研究分担者

1. 野元 彬久 (早稲田大学・理工学術院創造理工学研究科建築学専攻・博士2年)
2. 依田 柁 (早稲田大学・理工学術院創造理工学研究科建築学専攻・修士2年)
3. 久山 遼 (早稲田大学・理工学術院創造理工学研究科建築学専攻・修士1年)
4. 秋元 瑞穂 (早稲田大学・理工学術院創造理工学研究科建築学専攻・修士1年)
5. 藤井 香菜子 (早稲田大学・理工学術院創造理工学研究科建築学専攻・修士1年)
6. 小川 裕太郎 (早稲田大学・理工学術院創造理工学部建築学科・学部4年)
7. 水谷 国男 (東京工芸大学・工学部工学科建築コース・教授)
8. 山本 佳嗣 (東京工芸大学・工学部工学科建築コース・准教授)
9. 青野 友紀 (東京工芸大学・工学研究科建築・風工学専攻・修士2年)
10. 伊藤 志歩 (東京工芸大学・工学研究科建築・風工学専攻・修士1年)

Research Theme

Measurement of Local Clothing Evaporative Resistance of Clothed Human Body under Airflow Conditions

Representative Researcher (Affiliation)

Shin-ichi Tanabe (Professor, Department of Architecture, Waseda Univ., Dr. Eng.)

Summary • Figures

In this study, we analyzed the effects of airflow and wetting clothing on local clothing insulation and local clothing vapour resistance using a sweating thermal manikin.

- 1) Clothing insulation and clothing vapour resistance measured in this experiment decreased with increasing air velocity in the environment. The tendency of the decrease was affected by the condition of the layered clothing, the thickness of the air layer between skin and clothing, and the condition of the opening of the clothing. In addition, this tendency was clarified to be different for each body parts.
- 2) The decrease in clothing insulation due to airflow was considered to be affected by the increase in sensible heat loss from the human body caused by the decrease in air temperature between skin and clothing, in addition to the increase in convective heat transfer at the outer surface of the clothing.
- 3) The decrease in clothing vapour resistance measured in this experiment includes the effect of sensible heat loss from the human body due to the decrease in the surface temperature of the clothing, in addition to the increase in the amount of moisture transferred by the airflow. For a more accurate measurement of the clothing vapour resistance, a method is considered necessary to compensate for the effect of temperature decrease due to moisture evaporation from the surface of the clothing.
- 4) As a result of measuring the change in the clothing insulation during wetting and drying process, it was clarified that the clothing insulation decreased approximately linearly with the increase in the moisture content of clothing. Since the amount of evaporative heat loss on the outer surface of the clothing may vary depending on the ambient air temperature, relative humidity, and air velocity, more detailed studies are needed in the future.