

平成 30 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：平成 30 年度
 課題番号：18185001
 研究課題名（和文）：
 発汗サーマルマネキンを用いた人体部位別着衣透湿指数の測定
 研究課題名（英文）：Measurement of Typical Clothing Ensemble permeability index for each body part using sweating thermal manikin
 研究代表者：田辺 新一
 交付決定額（当該年度）： 0 円（資金準備型）

1. 研究の目的

本研究の目的は発汗サーマルマネキンを用いて様々な着衣の組み合わせにおける人体部位別の着衣蒸発熱抵抗を測定することである。本研究の学術的な特色・独創的な点は、快適性と省エネルギー性の両立という観点から、部位別に着衣透湿抵抗を測定することにある。部位別着衣透湿抵抗を得ることにより我々がこれまで開発したモデルの予測精度が向上すると考えられる。また、部位別の着衣透湿抵抗に関するデータベース作成し広く公開することで暑熱環境下のシミュレーションモデルの一助になることが期待される。

2. 研究の方法

2. 1. 実験概要

図 1 に測定位置を、表 1 に実測条件を示す。発汗サーマルマネキンを用いた部位別基礎着衣熱抵抗および着衣蒸発熱抵抗を測定することを目的に、2018 年 11 月 22 日から 12 月 1 日に東京工芸大学人工気候室にて実験を行った。1 つの着衣条件に対し、顕熱条件と潜熱条件の 2 つの実験条件を設けた。実験時間は顕熱条件では少なくとも 60 分間、潜熱条件では少なくとも 120 分間とし、定常状態での測定を行った。また、繰り返し誤差を確認するために、顕熱条件、潜熱条件でそれぞれ 2 回ずつ測定を行った。顕熱条件の場合は 1 回目の測定後、着衣をマネキンから全て脱衣させた後、再度着用させ、続けて 2 回目の測定を行った。潜熱条件の場合は 1 回目の測定後、着衣に含まれた水分を十分に乾かし、2 回目の測定を行った。

顕熱条件では、マネキン表面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、空気温度および放射温度を 21°C、相対湿度を 50%、気流速度を 0.1 m/s とし、マネキン表面温度は全ての部位において 34°C に制御した。

潜熱条件では、高温環境にて、部位別着衣蒸発熱抵抗を測定した。実験室の温熱環境は、空気温度および放射温度を 34°C、相対湿度を 40%、気流速度を 0.4 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、周辺環境の空気温度および放射温度と等しくし、全ての部位において 34°C に制御した。また、発汗量に関しては ASTM F2370¹⁾などに明確な基準が設けられていないため、既往の研究²⁾を参考にし、模擬皮膚に含まれる水分が飽和状態を保つことができるよう、約 400 mL/(m²・h)とした。

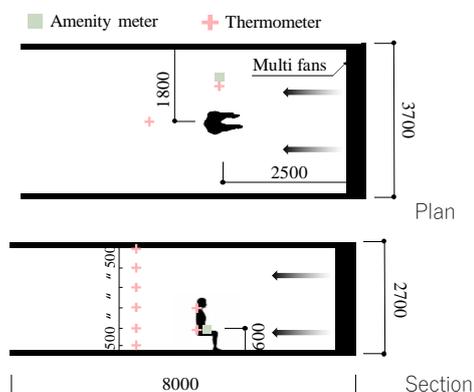


図 1 測定位置

表 1 実験条件

		Dry	Wet
Air temp.	[°C]	21	34
RH	[%]	50	40
Air velocity	[m/s]	0.1	0.4
MRT	[°C]	21	34
Skin temp.	[°C]	34	34
Sweating rate	[mL/(m ² ・h)]	-	400

図 2 に着衣の組み合わせを示す。本研究では、模擬皮膚の着用の有無による裸体 2 条件に加え、夏季に着用すると想定される着衣 8 条件の計 10 条件とした。En A から En H の着衣は、屋外 (En A)、自宅内 (En B、D)、オフィスカジュアル (En C)、オフィス内 (En E、F、G)、作業現場内 (En H) を想定した 8 種の男性用着衣の組み合わせとした。なお、実験に使用した着衣は少なくとも 2 回以上洗濯したものを用いた。

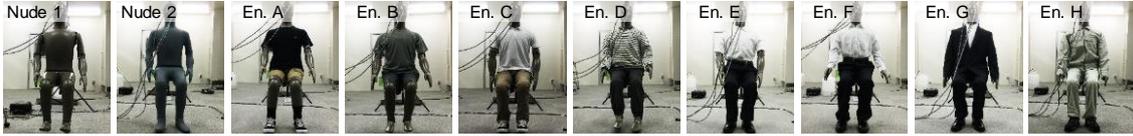


図 2 着衣の組み合わせ

2. 2. 各温熱特性値の計算方法

図 3 に皮膚から環境間における熱回路を示す。皮膚から周辺環境の間における熱移動は放射、伝導、対流による顕熱移動と、蒸発による潜熱移動に分けられる。本項では部位別の基礎着衣熱抵抗、基礎着衣蒸発熱抵抗、着衣透湿係数それぞれの計算方法を示す。

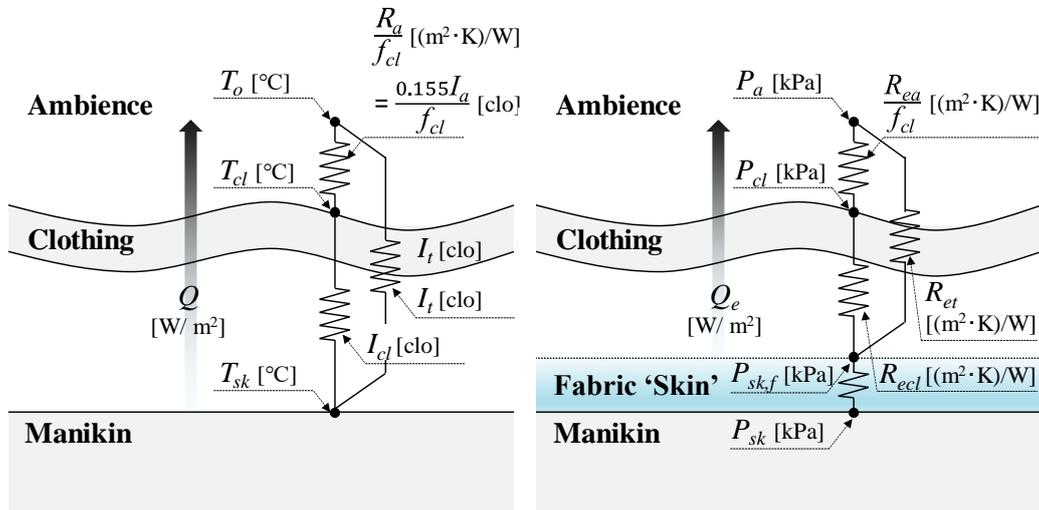


図 3 皮膚から環境間における熱回路 (左：顕熱、右：潜熱)

2. 2. 1 部位別基礎着衣熱抵抗

任意の部位 i における、全着衣熱抵抗 $R_{t,i}$ および着衣外表面の熱抵抗 $R_{a,i}$ は、皮膚温と周辺環境における温度差 $t_{s,i} - t_o$ と熱損失量 Q_i を用いて式(1)、(2)のように表すことができる。基礎着衣熱抵抗 $R_{cl,i}$ は全着衣熱抵抗 $R_{t,i}$ から着衣面積率を考慮した着衣外表面の熱抵抗 $R_{a,i} / f_{cl,i}$ を差し引いた値として、式(3)のように表される。着衣面積率 $f_{cl,i}$ の算出には式(4)を用いた³⁾。なお、着衣熱抵抗は式(5)のように単位換算することができる。

$$R_{t,i} = (t_{s,i,cl} - t_o) / Q_{i,cl} \quad (1)$$

$$R_{a,i} = (t_{s,i,nude} - t_o) / Q_{i,nude} \quad (2)$$

$$R_{cl,i} = R_{t,i} - R_{a,i} / f_{cl,i} \quad (3)$$

$$f_{cl,i} = 1 + 0.31 \times I_{cl,i} \quad (4)$$

$$R = 0.155 \times I \quad (5)$$

2. 2. 2 部位別基礎着衣蒸発熱抵抗

着衣蒸発熱抵抗の計算方法には Mass Loss 法 (以下, ML 法) と Heat Loss 法 (以下, HL 法) の 2 種類がある^{4) 5)}。ML 法とはマネキン表面からの水分蒸発量と蒸発潜熱を用いることで蒸発熱量 $Q_{e,whole}$ を求める方法である。HL 法とは皮膚温と周辺環境の作用温度を等しくすることで、顕熱移動がないものとみなし、マネキンからの部位別供給熱量 $Q_{manikin,i}$ を部位別蒸発熱量 $Q_{e,i}$ とする方法である。ML 法ではマネキン全身からの蒸発熱量 $Q_{e,whole}$ のみ測定可能であり、部位別の測定は難しい。一方, HL 法はマネキンからの部位別供給熱量 $Q_{manikin,i}$ を用いて蒸発熱抵抗を算出するため、部位別の測定を行う場合は HL 法が適している。

HL 法を用いる場合、任意の部位 i における、全着衣蒸発熱抵抗 $R_{et,i}$ および着衣外表面の蒸発熱抵抗 $R_{ea,i}$ は、模擬皮膚表面と周辺環境における水蒸気圧差 $p_{s,f,i} - p_a$ と蒸発熱損失量 $Q_{e,i}$ を用いて式(6)、(7)のように表される。基礎着衣蒸発熱抵抗 $R_{ecl,i}$ は、式(3)と同様に、式(8)のように表される。水蒸気圧 p は Antoine の式⁶⁾を用いて温度 t と相対湿度 RH より式(9)のように算出した。なお、実験時は模擬皮膚に含まれる水分は飽和状態に達しており、模擬皮膚表面における相対湿度 $RH_{s,f} = 100$ として計算した。

$$R_{et,i} = (p_{s,f,i,cl} - p_a) / Q_{e,i,cl} \quad (6)$$

$$R_{ea,i} = (p_{s,f,i,nude} - p_a) / Q_{e,i,nude} \quad (7)$$

$$R_{ecl,i} = R_{et,i} - R_{ea,i} / f_{cl,i} \quad (8)$$

$$p = \exp\left(18.956 - \frac{4030.18}{t + 235}\right) \times RH \quad (9)$$

HL 法で着衣蒸発熱抵抗を求めるためには等温条件 ($t_{s,f} = t_o = t_s$) を満たす必要がある。しかし、Wang ら⁵⁾は、模擬皮膚に含まれる水分が蒸発した際の放熱により模擬皮膚表面温度 $t_{s,f}$ が低下するため、厳密に等温条件 ($t_{s,f} = t_o = t_s$) を満たすことは難しいと指摘している。実際は、模擬皮膚表面温度 $t_{s,f}$ と周辺環境の作用温度 t_o およびマネキン表面温度 t_s との間に温度差が生じ、非等温状態 ($t_{s,f} < t_o = t_s$)、となり顕熱移動が生じる。

よって、本研究で使用した発汗サーマルマネキンやその他のマネキンを用いて等温条件 ($t_{s,f} = t_o = t_s$) を再現し、正確な全蒸発熱抵抗 $R_{et,i}$ を測定するためには模擬皮膚表面温度 $t_{s,f,i}$ の低下に伴う顕熱移動を考慮する必要がある。そこで、本研究では Lu ら⁷⁾による、全身に対する着衣蒸発熱抵抗の補正方法を部位別に対して適用し、式(6),(7)を着衣内水分量 w_t を用いて式(10),(11)のように補正し、全着衣蒸発熱抵抗 $R_{et,i}$ および着衣外表面の蒸発熱抵抗 $R_{ea,i}$ を算出した。

$$R_{et,i} = \frac{\exp\left(18.956 - \frac{4030.18}{269 - 0.0132 \times Q_{manikin,i}}\right) \times 100 - \exp\left(18.956 - \frac{4030.18}{t_a + 235}\right) \times RH_a}{Q_{manikin,i} + \frac{t_o - (34.0 - 0.0132 \times Q_{manikin,i})}{R_{t,i} \times (1 - 1.0 \times 10^{-9} \times w_{t,i}^3 + 1.6 \times 10^{-6} \times w_{t,i}^2 - 1.0 \times 10^{-3} \times w_{t,i})}} \quad (10)$$

$$R_{ea,i} = \frac{\exp\left(18.956 - \frac{4030.18}{269 - 0.0132 \times Q_{manikin,i}}\right) \times 100 - \exp\left(18.956 - \frac{4030.18}{t_a + 235}\right) \times RH_a}{Q_{manikin,i} + \frac{t_o - (34.0 - 0.0132 \times Q_{manikin,i})}{R_{a,i}}} \quad (11)$$

2. 2. 3 部位別着衣透湿係数

任意の部位 i における着衣透湿係数 $i_{cl,i}$ は、基礎着衣熱抵抗 $R_{cl,i}$ 、着衣蒸発熱抵抗 $R_{ecl,i}$ 、ルイス係数 L_R より式(19)のように表される。ここで、ルイス係数 L_R は一定値の 16.5 K/kPa とする。

$$i_{cl,i} = R_{cl,i} / (R_{ecl,i} \times L_R) \quad (10)$$

3. 研究成果

表 2 部位別の着衣の温熱特性

		Face	Head	Upper Arms	Arms	Hands	Chest	Shoulders	Stomach	Back	Hips	Thighs	Calves	Feet	Whole	
Nude 1	I_a	[clo]	0.54	0.71	0.66	0.68	0.63	0.67	0.70	0.84	0.65	0.92	0.70	0.66	0.57	0.70
Nude 2	I_{cl}	[clo]	0.67	0.79	0.75	0.77	0.76	0.76	0.79	0.86	0.99	1.16	0.84	0.75	0.72	0.82
	R_{ea}	[(m ² ·Pa)/W]	7.45	16.8	13.3	7.50	6.07	9.95	16.0	9.01	20.0	23.5	9.88	7.82	5.88	13.4
En. A	I_{cl}	[clo]	0.01	0.00	0.39	0.00	0.00	0.50	0.51	1.28	1.13	1.78	0.40	0.07	0.62	0.53
	R_{ecl}	[(m ² ·Pa)/W]	0.03	0.01	7.25	0.00	1.70	6.50	11.6	32.4	39.7	49.4	5.96	2.34	18.2	13.4
	i_{cl}	[-]	0.00	0.00	0.51	0.00	0.00	0.72	0.42	0.37	0.27	0.34	0.63	0.26	0.32	0.37
En. B	I_{cl}	[clo]	0.00	0.00	0.48	0.00	0.00	0.90	0.78	2.45	1.76	2.10	0.59	0.00	0.01	0.70
	R_{ecl}	[(m ² ·Pa)/W]	0.00	0.00	6.15	0.66	0.65	9.76	17.1	40.9	49.2	51.4	10.6	1.09	3.48	14.5
	i_{cl}	[-]	0.00	0.00	0.73	0.00	0.00	0.87	0.43	0.56	0.34	0.39	0.52	0.03	0.03	0.46
En. C	I_{cl}	[clo]	0.00	0.02	0.34	0.00	0.00	0.52	0.37	1.23	0.97	1.33	0.43	0.56	0.65	0.54
	R_{ecl}	[(m ² ·Pa)/W]	0.00	0.00	3.40	0.00	0.00	5.20	10.2	30.3	26.1	31.1	4.28	9.31	25.0	11.3
	i_{cl}	[-]	0.00	0.00	1.00	0.00	0.08	0.95	0.34	0.38	0.35	0.40	1.00	0.56	0.24	0.45
En. D	I_{cl}	[clo]	0.01	0.00	0.98	0.78	0.03	1.20	0.98	2.80	1.65	2.42	0.84	0.62	0.02	1.01
	R_{ecl}	[(m ² ·Pa)/W]	0.00	0.00	19.1	15.2	3.99	13.1	21.0	56.1	43.6	53.6	15.1	15.9	2.65	20.9
	i_{cl}	[-]	0.00	0.00	0.49	0.48	0.05	0.87	0.44	0.47	0.36	0.43	0.52	0.37	0.07	0.45
En. E	I_{cl}	[clo]	0.00	0.01	0.54	0.00	0.00	0.80	0.77	1.66	1.40	1.44	0.54	0.64	0.99	0.72
	R_{ecl}	[(m ² ·Pa)/W]	0.00	0.00	9.68	0.00	0.95	9.78	12.2	32.2	27.0	37.1	8.75	14.4	47.3	16.0
	i_{cl}	[-]	0.00	0.00	0.52	0.00	0.02	0.77	0.59	0.49	0.49	0.37	0.58	0.44	0.20	0.42
En. F	I_{cl}	[clo]	0.00	0.00	0.82	0.60	0.01	0.86	0.86	1.61	1.45	1.31	0.65	0.66	0.64	0.77
	R_{ecl}	[(m ² ·Pa)/W]	0.00	0.00	17.5	9.18	2.51	15.8	19.0	33.9	36.0	40.4	8.64	14.2	51.5	19.4
	i_{cl}	[-]	0.00	0.00	0.45	0.62	0.03	0.51	0.43	0.45	0.38	0.31	0.70	0.48	0.12	0.38
En. G	I_{cl}	[clo]	0.00	0.03	1.80	1.54	0.15	2.13	1.76	3.65	2.28	2.06	0.87	0.69	0.97	1.39
	R_{ecl}	[(m ² ·Pa)/W]	0.00	0.00	39.3	25.6	4.52	27.3	33.2	59.0	56.4	50.0	14.5	12.8	59.3	29.1
	i_{cl}	[-]	0.00	0.00	0.41	0.53	0.27	0.69	0.48	0.56	0.38	0.38	0.53	0.41	0.15	0.39
En. H	I_{cl}	[clo]	0.00	0.00	0.84	0.71	0.08	1.25	0.87	2.09	1.39	0.93	0.47	0.59	1.12	0.80
	R_{ecl}	[(m ² ·Pa)/W]	0.00	0.00	21.7	12.3	2.88	28.1	23.8	52.9	42.5	20.4	6.83	9.95	58.5	20.6
	i_{cl}	[-]	0.00	0.00	0.37	0.54	0.24	0.42	0.34	0.37	0.31	0.43	0.65	0.58	0.18	0.37

表 2 に部位別着衣温熱特性値を示す。結果は 2 回の測定結果の平均値を示している。なお、Arm や Foot などの四肢部位に関しては、左右の測定値の平均を示している。顕熱条件、潜熱条件のいずれの条件においても、全ての部位に対して繰り返し誤差は 5% 以下となり、実験結果の再現性は高かった。

着衣外表面の熱抵抗 I_a は裸体状態である Nude1 より測定され、全身で 0.70 clo であった。この値は、日本建築学会環境基準⁸⁾や ISO9920⁹⁾に記載されている静穏気流環境下の着衣外表面の熱抵抗値と概ね一致する。また、着衣外表面の蒸発熱抵抗 R_{ea} は模擬皮膚を着用した Nude2 により測定され、全身で 13.4 (m²·Pa)/W であり、既往の研究¹⁰⁾の測定値である 14.2 (m²·Pa)/W と概ね一致した。以上のように、裸体条件での全身に対する測定値の妥当性を検証した結果、本研究における実験結果は既往研究の実験結果と概ね同様であることを確認した。また、着衣条件に関しては、部位別の基礎着衣熱抵抗 $I_{cl,i}$ および基礎着衣蒸発熱抵抗 $R_{ecl,i}$ は Chest、Back、Pelvis などの着衣が重なっている部位の値が大きく、Head、Neck、Hand などの裸体の部位の値が小さい傾向となり、得られた部位別の測定値は着衣状態をよく再現した。

今回測定された全身の着衣透湿係数 $i_{cl,whole}$ は 0.37 から 0.46 の範囲となり、McCullough¹¹⁾や Oohori¹²⁾の測定結果と同様の結果となった。しかし、部位別に着目すると、Foot に関しては、スニーカーを着用した En A、En C に比べ、革靴を着用した En E、En F、En G や安全靴を着用した En H は基礎着衣蒸発熱抵抗 R_{ecl} の値が約 2 倍大きく、着衣透湿係数 i_{cl} の値が小さいことから、素材による透湿性の違いが確認できる。また、靴を履いている条件における Foot の着衣透湿係数 i_{cl} は全身の透湿係数 $i_{cl,whole}$ に比べ、値が小さい。En B、En D、En E、En F、En G、En H などの着衣の組み合わせは重ね着をしている Chest、Stomach、Back、Shoulder、Hip などの部位に関しては、全身に比べ、いずれの着衣においても基礎着衣熱抵抗 $I_{cl,i}$ と基礎着衣蒸発熱抵抗 $R_{ecl,i}$ の値が大きい。特に、Stomach は上半身と下半身の着衣が重なる部位であり、全身の基礎着衣熱抵抗 $I_{cl,whole}$ と基礎着衣蒸発熱抵抗 $R_{ecl,whole}$ に比べ、いずれも約 2 倍の差が生じている。

En C に関して、Upper arm、Chest、Thigh の着衣透湿係数 $i_{cl,i}$ は他の着衣条件に比べ、高い値となった。原因として、En C は細身の体型を想定した着衣であったため、他の着衣条件と比較し、水分移動の状態が異なることが考えられた。通常、模擬皮膚表面から水分が蒸発し、着衣を通して周辺環境へと水分が移動する。しかし、En C では模擬皮膚と着衣の接触する面積が大きく、模擬皮膚と着衣の間に空隙が生まれず、マネキンから吐出された

水分の多くが模擬皮膚表面でなく、着衣外表面で蒸発したことで、蒸発熱抵抗が小さくなったと考えられる。そのため、発汗サーマルマネキンを用いた実験を行う際はマネキンの大きさに対する服のサイズやゆとりに注意する必要がある。

本研究で測定したいずれの着衣条件においても、部位別の基礎着衣熱抵抗 $I_{cl,i}$ 、基礎着衣蒸発熱抵抗 $R_{ecl,i}$ 、着衣透湿係数 $i_{cl,i}$ には着衣の素材や重ね着の状態などによって大きな部位差が生じていることが明らかになった。したがって、部位別の人体生理量や熱的快適性などの評価を行う場合、部位別の着衣温熱特性値を考慮する必要がある。部位ごとに人体生理量や熱的快適性を予測する数値計算モデルなどに対して、本研究の成果を用いることで部位ごとの適切な評価が可能になると考えられる。

記号

A	: 体表面積 [m ²]
L_R	: ルイス係数 [K / kPa] = 16.5
Q	: 皮膚から環境への熱損失量 [W/m ²]
Q_e	: 模擬皮膚から環境への蒸発熱損失量 [W/m ²]
$Q_{manikin}$: マネキンからの供給熱量 [W/m ²]
R	: 着衣熱抵抗 [(m ² ·K)/W] = 0.155× I [clo]
R_a	: 着衣外表面の熱抵抗 (裸体時) [(m ² ·K)/W] = 0.155× I_a [clo]
R_{cl}	: 基礎着衣熱抵抗 [(m ² ·K)/W] = 0.155× I_{cl} [clo]
R_t	: 全着衣熱抵抗 (着衣時) [(m ² ·K)/W] = 0.155× I_t [clo]
R_{ea}	: 着衣外表面の蒸発熱抵抗 (裸体時) [(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 (着衣時) [(m ² ·kPa)/W]
f_{cl}	: 着衣面積比 [-]
i_{cl}	: 着衣透湿係数 [-]
p_a	: 周辺環境における水蒸気圧 [kPa]
p_{cl}	: 着衣外表面における水蒸気圧 [kPa]
p_s	: 皮膚表面における水蒸気圧 [kPa]
$p_{s,f}$: 模擬皮膚表面における水蒸気圧 [kPa]
t_a	: 空気温度 [°C]
t_{cl}	: 着衣外表面温度 [°C]
t_o	: 作用温度 [°C]
t_s	: 皮膚表面温度 [°C]
$t_{s,f}$: 模擬皮膚表面温度 [°C]
w_t	: 着衣内水分量 [g]

サフィックス

cl	: 着衣時
i	: マネキンの部位番号
$nude$: 裸体時
wet	: 湿潤状態
$whole$: 全身

参考文献

- 1) American society for testing and materials F2370 : Standard test method for measuring the evaporative resistance of clothing using a sweating manikin, American society for testing and materials, 2016
- 2) Wang, F., Kuklane, K., Gao, C., Holmér, I. : Development and validity of a universal empirical equation to predict skin surface temperature on thermal manikins, Journal of thermal biology, Vol.35, No.4, pp.197-203, 2010.5
- 3) 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
- 4) Tamura, T., Kanji, S., Okanishi, R., Kishino, J. : Measurement method of the evaporative heat resistance of clothing using a sweating thermal manikin, Experimental study on the difference between heat loss and mass loss method, Journal of the Japan research association for textile end-uses, Vol.58, No.1, pp.90-97, 2017 (in Japanese)

- 田村照子, 官治沙奈恵, 岡西良平, 岸野淳 : 発汗サーマルマネキンによる蒸発熱抵抗の測定, Heat Loss・Mass Loss 法の差異に関する実験的検討, 日本繊維製品消費科学会論文集, 第58巻, 第1号, pp.90-97, 2017
- 5) 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
 - 6) Parsons, K., Human thermal environments, The effect of hot, moderate, and cold environments on human health, comfort, performance, Third edition, CRC press, 2002
 - 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 ($t_{\text{manikin}}=t_a=t_r$), International journal of biometeorology, Vol. 60, No.4, pp.481-488, 2016.4
 - 8) Architectural Institute of Japan : Architectural Institute of Japan Environmental Standards, Standards for evaluation of indoor thermal environment using thermal manikin (in Japanese), Architectural Institute of Japan, 2015
一般社団法人日本建築学会 : 日本建築学会環境基準, サーマルマネキンを用いた室内温熱環境評価法基準・同解説, 一般社団法人日本建築学会, 2015
 - 9) International organization for standardization 9920 : Ergonomics of the thermal environment, estimation of the thermal insulation and evaporation resistance of a clothing ensemble, International organization for standardization, 2007
 - 10) Wang, F., Havenith, G., Mayor, T.S., Kuklane, K., Leonard, J., Zwolinska, M., Hodder, S., Wong, C., Kishino, J., Dai, X : Clothing real evaporative residence determined by means of a sweating thermal manikin, A new round-robin study, Proceedings of the 10th international meeting on thermal manikins, pp.1-7, 2014.9
 - 11) McCullough, E.A., Jones, B.W., Huck, J. : Data base for estimating clothing insulation: ASHRAE transactions, Vol.91, pp.29-47, 1985
 - 12) Oohori, T., Berglund, L.G., Gage, A.P. : Comparison of current two-parameters indices of vapor permeation of clothing-as factors governing thermal equilibrium and human comfort, ASHRAE Transactions, Vol.91, pp.85-101, 1984

4. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

1. 野元 彬久, 高橋 好斗, 依田 柊, 尾方 壮行, 田辺 新一, 伊藤 駿, 青野 友紀, 山本 佳嗣, 水谷 国男, 発汗サーマルマネキンを用いた部位別着衣蒸発熱抵抗の測定, 日本建築学会環境系論文集, 第 84 巻, 第 761 号, 2019.7 (2019 年 4 月 10 日 採択決定)

〔学会発表〕(計 3 件、○は発表者)

1. ○高橋 好斗, 野元 彬久, 依田 柊, 尾方 壮行, 田辺 新一, 伊藤 駿, 青野 友紀, 山本 佳嗣, 水谷 国男, 人体-熱環境系快適性数値シミュレータ(その 65) 部位別着衣蒸発熱抵抗および透湿係数の測定, 2019 年度日本建築学会大会(2019 年 9 月発表予定)
2. ○高橋 好斗, 野元 彬久, 依田 柊, 尾方 壮行, 田辺 新一, 伊藤 駿, 青野 友紀, 山本 佳嗣, 水谷 国男, 人体温冷感・快適感予測モデルに関する研究(その 12) 部位別着衣蒸発熱抵抗および透湿係数の測定, 2019 年度空気調和・衛生工学会(2019 年 9 月発表予定)
3. ○Akihisa Nomoto, Yoshito Takahashi, Shu Yoda, Masayuki Ogata, Shin-ichi Tanabe, Shun Ito, Yuki Aono, Yoshihide Yamamoto and Kunio Mizutani, Measurement of local evaporative resistance of typical clothing ensemble using a sweating thermal manikin, ISES-ISIA2019 (投稿中)

〔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. 尾方 壮行 (早稲田大学・理工学術院総合研究所・次席研究員)
2. 野元 彬久 (早稲田大学・理工学術院創造理工学部建築学専攻・博士 1 年)
3. 高橋 好斗 (早稲田大学・理工学術院創造理工学部建築学専攻・修士 2 年)
4. 依田 柊 (早稲田大学・理工学術院創造理工学部建築学専攻・修士 1 年)
5. 水谷 国男 (東京工芸大学 工学部建築学科・教授)
6. 山本 佳嗣 (東京工芸大学 工学部建築学科・准教授)
7. 伊藤 駿 (東京工芸大学大学院 工学研究科 建築学・風工学専攻・修士 2 年)
8. 青野 友紀 (東京工芸大学大学院 工学研究科 建築学・風工学専攻・修士 1 年)

6. 要約(Abstract)

研究課題名

発汗サーマルマネキンを用いた人体部位別着衣透湿指数の測定

研究代表者名 (所属)

田辺 新一 (早稲田大学創造理工学部建築学科 教授・工学博士)

内容

- 1) 本研究では、発汗サーマルマネキンを用いて夏季を想定した 8 種類の着衣の組み合わせにおける部位別基礎着衣熱抵抗および基礎着衣蒸発熱抵抗を測定し、測定値より部位別着衣透湿係数を算出した。
- 2) 着衣蒸発熱抵抗の算出方法には ML 法と HL 法の 2 種類が存在し、それぞれの計算方法の特徴を述べた上で、部位別の測定には HL 法が適していること、またその補正方法について述べた。
- 3) 本研究で測定した、全身に対する着衣の温熱特性値は既往の研究結果と概ね一致し、実験結果の妥当性を確認した。特に全身に対する着衣透湿係数はいずれの着衣の組み合わせにおいても 0.37 から 0.46 の範囲となり、既往の実験結果とほぼ一致した。一方で、部位別の基礎着衣熱抵抗、基礎着衣蒸発熱抵抗、着衣透湿係数は、着衣の素材や重ね着の状態などによって全身に対する値に比べ 2 倍程度大きい部位が存在し、部位差が大きいことが分かった。よって、部位ごとの人体生理量や熱的快適性などを詳細に評価する際、全身均一ではなく、部位別に着衣の温熱特性を考慮する必要がある。
- 4) 本研究における En C のように、模擬皮膚と着衣の接触面積が大きい場合、吐水された水分が模擬皮膚表面でなく、着衣外表面で蒸発することで着衣蒸発熱抵抗の測定結果に大きな影響を及ぼす可能性が示された。したがって、発汗サーマルマネキンを用いた実験を行う際はマネキンの大きさに対する服のサイズやゆとりに十分注意する必要があると考えられる。