

## 車いす乗車人体と環境との熱交換に関する研究

—サーマルマネキンを用いた熱伝達率、面積比、熱抵抗値の測定—

正会員 ○土川 忠浩\*1 正会員 藏澄 美仁\*2

正会員 松原 斎樹\*3

温熱環境 車いす 熱伝達率  
C<sub>lo</sub> 値 サーマルマネキン 面積増加率

## 1. はじめに

建築空間における温熱環境設計・評価研究は、様々な人体や空間に対して行われるようになって来ているが、車いす使用者に対するものは希少である。著者らは車いす乗車人体に対する温熱環境設計・評価方法の基礎資料整備を目的として、これまでに実測による車いす乗車人体の有効放射面積および形態係数を実測した<sup>1)</sup>。

本研究では、サーマルマネキンを用いて、まず車いす乗車人体の①放射および対流熱伝達率の測定を行う。次に乗車時の車いすの熱抵抗をいわば着衣熱抵抗と同様に考え、②車いす乗車面積比( $f_{w-cl}$ )および③車いす乗車熱抵抗値 ( $I_{w-cl}$ ) を実測することを目的とする。

## 2. 車いす乗車マネキンの放射・対流熱伝達率の実測

## 2-1. 実験の概要

人工気候室内において、定常状態 ( $t_a=22^\circ\text{C}$ ,  $\phi_a=50\%rh$ ,  $t_{a,MRT}$ ,  $v \leq 0.1\text{m/s}$ ) における車いす (自走用標準車いす: 日本ウイールチェア) 乗車裸体マネキン (京都電子工業製 THM-117S/217S:  $t_b=33^\circ\text{C}$  一定) 表面での放射熱伝達率および対流熱伝達率を測定した。(写真1)。

サーマルマネキンの表面の放射熱伝達率および総合熱伝達率は、放射センサ (Captec,RF シリーズ広帯域仕様,厚さ 0.25mm, 応答時間: 約 50ms) と熱流束センサ (Captec,HF シリーズ,厚さ 0.4mm, 応答時間: 約 200ms, 片面黒体塗料吹き付け) の両方を近接して貼り付け、その測定値を用いて算定できるものとした。マネキンは左右対称として扱い、左側のみを測定対象とし、平均皮膚温算出のための Hardy-DuBois の 7 点法に対応する部位 8ヶ所を 5 秒間隔で測定した。

マネキンの部位  $i$  の対流熱伝達率  $h_{ci}$  および放射熱伝達率  $h_{ri}$  は、放熱量の測定値を用い次式で求めた。

$$h_i = Q_{Ti} / (t_{si} - t_a) \quad (1)$$

$$h_{ri} = R_i / (t_{si} - MRT) = R_i / (t_{si} - t_a) \quad (2)$$

$$h_{ci} = h_i - h_{ri} \quad (3)$$

ここで、

$h_i$ : 部位  $i$  の総合熱伝達率 [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ]  
 $h_{ri}$ : 部位  $i$  の放射熱伝達率 [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ]  
 $h_{ci}$ : 部位  $i$  の対流熱伝達率 [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ]  
 $Q_{Ti}$ : 部位  $i$  の総合熱伝達量 (熱流センサ値) [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]  
 $R_i$ : 部位  $i$  の放射熱伝達量 (放射センサ値) [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]  
 $t_{si}$ : 部位  $i$  の温度 [ $^\circ\text{C}$ ]  
 $t_a$ : 周囲空気温度 [ $^\circ\text{C}$ ]  
 $MRT$ : 平均放射温度 [ $^\circ\text{C}$ ]

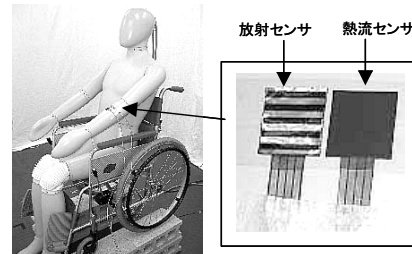


写真1  
サーマルマネキンと放射・熱流センサ

## 2-2. 結果及び考察

車いす乗車マネキンの放射熱伝達率、対流熱伝達率および総合熱伝達率の測定結果を表1に示す。

放射熱伝達率については、足背が最も大きく、大腿前が最も小さくなった。マネキン各部位における面と周囲面 (マネキン自身の他の部位表面との関係を含む) との形態係数の違い等が影響しているものと考えられる。対流熱伝達率については、マネキン下部位 (下腿前、足背) が大きく、上部位にかけて小さくなる傾向を示した。

表1 車いす乗車マネキン測定部位の熱伝達率測定結果

部位	熱伝達率 [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ]		
	放射	対流	総合
前額	4.16	1.93	6.09
胸乳	4.16	1.72	5.87
臍部	3.67	2.24	5.91
前膊外	3.63	3.05	6.69
手背	4.16	3.96	8.12
大腿前	2.71	2.98	5.69
下腿前	4.76	4.03	8.80
足背	4.66	5.11	9.77

## 3. 車いす乗車面積比の実測

## 3-1. 実測の概要

車いす乗車面積比の測定には、前述のサーマルマネキンを使用した。測定する面積比は、マネキン裸体状態で車いすに乗車した「車いす乗車面積比」と、男性用着衣 (表2: 冬季を想定) 状態で乗車した「着衣+車いす乗車面積比」の2ケースについて測定した。

面積比は Seppanenn ら<sup>2)</sup> の理論に基づき、デジタルカメラを用いた写真撮影法による実測を行って算出した。撮影は、マネキン中心 (腹部奥約 10cm) とした半径 4.33m の半球を想定し (図1)、水平角方向 ( $\alpha$ ) は 15deg ずつ 24 点、仰角方向 ( $\beta$ ) は 0deg と 60deg の 2 点

Heat exchange between the human body with his wheel chair and the environment - Measurement of heat transfer coefficients, wheel chair area factors and thermal insulation values of wheel chair using by the thermal mannequin -

TSUCHIKAWA Tadahiro, KURAZUMI Yoshihito and MATSUBARA Naoki

で、その組み合わせ計 48 箇所の撮影点から行った。

撮影した画像を印刷し、デジタイザを用いてマネキンおよび車いすの部分の投影面積を測定した。その際、人体と車いすの熱的な関係を考慮して、車いすの座席のシート部分（合成繊維）、アームレスト（合成繊維等）、アームレスト下部側面部分（アルミ金属板）および背もたれの部分（合成繊維）が影響するものとして、それらを写像部分を面積算定に加えた。それら以外の車輪、スポーク、フレーム等は面積算定から除外した。そして、車いす乗車時の投影面積を、車いすに乗っていない状態（マネキンに対し極力熱的に影響が少ないような椅子型自作架台に載せた状態）の投射面積で除すことにより面積比を算定した。

### 3-2. 結果および考察

角度毎に面積比を算出し、その平均値を算定した結果、表 3 に示すように、車いす乗車面積比( $f_{w-cl}$ )は 1.18[ND]となった。また、着衣+車いす乗車面積比は 1.28[ND]となった。同じサーマルマネキンを用い、ほぼ同じ着衣状態で、椅座状態を測定した大和ら<sup>3)</sup>の着衣面積比の測定結果は 1.12[ND]であった。

## 4. 車いすの熱抵抗値の実測

### 4-1. 実測の概要

熱伝達率測定の場合と同様、人工気候室内において、サーマルマネキンを用いて測定を行った。マネキン乗車時の車いす熱抵抗値[clo]は、Seppanenn ら<sup>2)</sup>の理論を適用して求めることとした。具体的には次の式を用いた。

$$I_{wt} = (t_s - t_a) / 0.155 \cdot Q_t \quad (4)$$

$$I_{wa} = (t_n - t_a) / 0.155 \cdot Q_n \quad (5)$$

$$I_{w-cl} = I_{wt} - I_{wa} / f_{w-cl} \quad (6)$$

ここで、

- $I_{wt}$ : 車いす乗車時のマネキンの熱抵抗値 [clo]
- $I_{wa}$ : 車いす非乗車時のマネキンの熱抵抗値 [clo]
- $I_{w-cl}$ : 車いすの熱抵抗値 [clo]
- $Q_t$ : 車いす乗車時の熱損失量 [ $W/m^2$ ]
- $Q_n$ : 車いす非乗車時の熱損失量 [ $W/m^2$ ]
- $t_s$ : マネキンの平均皮膚温 [ $^{\circ}C$ ]
- $t_n$ : 周囲空気の温度 [ $^{\circ}C$ ]
- $t_a$ : 周囲空気の温度 [ $^{\circ}C$ ]
- $f_{w-cl}$ : 車いす乗車面積比[N. D.]

上式における、車いす乗車面積比は前節で実測した値を使用した。

前節と同様、マネキンを裸体状態で車いすに乗車させた状態での車いすの熱抵抗値と、着衣状態（表 2）で車いすに乗車しているときの熱抵抗値（すなわち、着衣+車いすの熱抵抗値）の 2 つのケースで実測を行った。

### 4-2. 結果および考察

測定結果を表 4 に示す。車いすの熱抵抗値[clo]は、0.16[clo]となった。また、着衣+車いすの熱抵抗値は 0.89[clo]となった。ほぼ同じ人工気象室内温熱条件で、ほぼ同じ着衣の組み合わせの熱抵抗値を測定した大和ら<sup>4)</sup>の結果は 0.53[clo]であった。これらのことから、車いすの熱

抵抗値は、車いす乗車人体にとって無視し得ないもので、比較的大きな熱抵抗になっているものと推察される。

## 5. まとめ

車いす乗車人体に対する温熱環境設計・評価方法の基礎資料整備を目的として、まず、サーマルマネキンを用いて車いす乗車人体の①放射・対流・総合熱伝達率の測定を行った。次に乗車時の車いすの熱抵抗をいわば着衣熱抵抗と同様に考え、②車いすの乗車面積比を求めた結果、面積比( $f_{w-cl}$ )1.18[ND]を得た。さらに③車いすの熱抵抗値を実測した結果、0.16[clo]を得た。

### 【引用文献】

- 1) 土川忠浩, 蔵澄美仁, 大和義昭, 鳥居孝行, 実測による車いす乗車人体の有効放射面積および空間構成面との間の形態係数の検討, 日本建築学会学術講演梗概集 (D-2 環境工学 II), pp.513-514, 2004
- 2) Seppanenn, O., Mcnall, P.E., Munson, D.M., Sprague, C.H.: Thermal insulating value for typical indoor clothing ensemble, ASHRAE Transactions, 78(1), pp.120-130, 1972
- 3) 大和義昭, 蔵澄美仁, 橋田美奈, 鳥居孝行, 松原斎樹: 姿勢の違いと着衣熱抵抗に関する研究, 人間と生活環境, 10(2), pp.108-116, 2003

### 【謝辞】

本研究の実施につきまして姫路工業大学（兵庫県立大学）学生の加生武秀君、西塚幸子さん、上西智之君、京都府立大学学生の福井理恵子さん、堀口明子さん、山下千華さん、坂本英彦さん、窪悟志君、松本太郎君、椋木美緒さんにご協力をいただきました。記して感謝申し上げます。

表 2 サーマルマネキン着用衣（全て男性用）

着衣名称	素材 (%)	重量 (g)
長袖シャツ	綿 (100%)	184
ズボン下	綿 (100%)	153
トレーナー	綿 (100%)	384
ズボン	綿 (70%) ポリエステル (30%)	424
ブリーフ	綿 (100%)	51
靴下	綿 (100%)	51
運動靴	合皮 (27.0cm)	563
合計	-	1,810

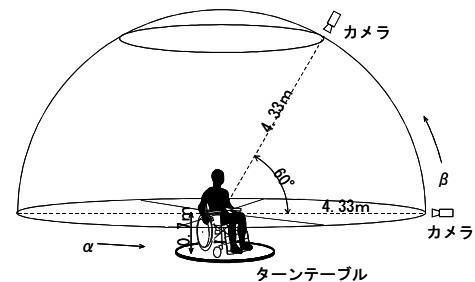


図 1 車いす乗車面積比実測のための半球座標系

表 3 面積比測定結果と既往研究(大和ら<sup>3)</sup>)との比較

面積比 [ND]		
本研究		大和ら <sup>3)</sup>
車いす	着衣+車いす	椅座・着衣
1.18	1.28	1.12

表 4 熱抵抗値測定結果と既往研究(大和ら<sup>3)</sup>)との比較

熱抵抗値 [clo]		
本研究		大和ら <sup>3)</sup>
車いす	着衣+車いす	椅座・着衣
0.16	0.89	0.53

\*1 兵庫県立大学 環境人間学部 環境人間学科 助教授・博(工)  
 \*2 京都府立大学 人間環境学部 環境デザイン学科 助教授・博(工)  
 \*3 京都府立大学 人間環境学部 環境デザイン学科 教授・工博

Assoc. Prof., School of Human Science and Environment, Univ. of Hyogo, Dr.Eng.  
 Assoc. Prof., Faculty of Human Environment, Kyoto Prefectural Univ., Dr.Eng.  
 Prof., Faculty of Human Environment, Kyoto Prefectural Univ., Dr.Eng.