

伝熱面積を考慮した人体表面3次元モデルに関する研究

鳥居 孝行^{*1}, 藏澄 美仁^{*2}, 土川 忠浩^{*3}, 大和 義昭^{*4}, 松原 斎樹^{*2}

^{*1}京都府立大学人間環境科学研究科, ^{*2}京都府立大学人間環境学部環境デザイン学科,

^{*3}兵庫県立姫路工業大学環境人間学部環境人間学科, ^{*4}株式会社くろがね工作所

Three-dimensional human body surface model in consideration of the heat transfer area

Takayuki TORII^{*1}, Yoshihito KURAZUMI^{*2}, Tadahiro TSUCHIKAWA^{*3},

Yoshiaki YAMATO^{*4}, Naoki MATSUBARA^{*2}

^{*1}Graduate School of Human Environmental Science, Kyoto Prefectural University,

^{*2}Department of Environmental Design, Kyoto Prefectural University,

^{*3}Humanities for Environmental Policy & Technology, Himeji Institute of Technology,

^{*4}Kurogane Kosakusyo Ltd.

ABSTRACT: A three-dimensional human body surface model was developed and its validity was verified. Use of the three-dimensional human body surface model enables accurate calculation of the amount of heat exchange between the human body and the environment in a numerical simulation. A non-contacting three-dimensional digitizer was used for measurement, with a nude male in the standing posture selected as the subject. The simulation model was comprised of about 11,400 triangular polygons. Verification of the validity of the simulation model was performed by comparison of the heat transfer area. The results showed that the difference between the convection area of the simulation model and the human body was 0.4%. In addition, the differences in radiation area and contacted surface area between them were 2.6% and 9.5%, respectively.

Key words: human body model, heat transfer area, numerical simulation, heat exchange

要旨: 人体と周囲環境との間の熱交換量を数値シミュレーションにより正確に求めることを可能とする実測による人体表面3次元モデルの開発をし、その有効性を検証した。人体表面3次元モデルは、伝熱面積を考慮して開発した。実測は非接触3次元デジタイザを用いて、立位・裸体の成人男性1名を被験者としておこなった。シミュレーションモデルを構成する面の数は、約11,400個であった。シミュレーションモデルの有効性の検証は、人体の対流伝熱面積、人体と床面との接触伝熱面積及び人体の放射伝熱面積の比較によりおこなった。その結果、シミュレーションモデルと人体の対流伝熱面積の差は0.4%であった。また、放射伝熱面積の差は2.6%であった。床面と人体との接触伝熱面積の差は9.5%であった。開発した汎用モデルの有効性を伝熱面積の視点から検証した。

キーワード: 人体モデル 伝熱面積 数値計算 熱交換

1. はじめに

人体と人体の周囲環境は、熱放射・対流・伝導・蒸散などの経路によりたえず熱の交換をしている。これまで、人体と周囲環境との間の熱交換量を求めるために、被験者実験によるデータが多く用いられてきた。一方、被験者実験は、被験者に多大な負担がかかるため、人体形状モデルを用いたシミュレーションによる研究もおこなわれている。これまで様々な手法で人体モデルが作製されてきたが、シミュレーションの精度は、組み込む人体モ

デルに影響される。

横山 (1993)は、人体熱モデルを精度よくモデル化するために、人体を16部位に分割し球と円筒で近似して人体モデルを作製した。被験者17名の身体各部位を実測して、それぞれの部位の長さ、半径および表面積がほぼ同じになるように考慮した。しかし、極めて単純な形状のモデルであり、人体の複雑な形状を表現できていない。鈴木ら(1999)は、人体形状モデルの簡略化を検討する目的で、スライディングゲージで人体形状を計測してモデルを作

製した。同一被験者の体表面積・有効放射面積および人体と矩形面との間の形態係数を実測し、モデルの有効性を比較・検討している。そして、構成するポイントを減少させた簡略モデルについても有効性を比較・検討している。しかし、この方法では、一範囲の実測に10～15分の時間を要し、被験者に多大な負担を強いる。尾関ら(1999)は、人体の有効放射面積を数値計算により求めるために、市販のモデリングソフトを用いたモデルを作製した。身長・体表面積・人体と矩形面との間の形態係数および有効放射面積を既往の研究の実測による結果と比較・検討しているが、人体モデル作製の元となった人体の実測値との比較・検討がされていない。大森ら(2003)は、人体表面における顕熱輸送を放射・対流連成解析によって求めるために、立位・女性型のマネキンの形状を模して人体モデルを作製した。モデルの表面積および身長を示しているが、模したマネキン自体が人体形状とは異なった形状である。さらにマネキンがとる姿勢も人間の姿勢とは違いがある。真鍋ら(2002, 2003)は、人体と矩形面との間の形態係数を求めるために、人体断面形状データを107の水平面で測定し、それらの間で三角形を発生させた人体モデルや、非接触の3次元スキャナで人体を撮影してモデルを作製した。数値計算により人体モデルの体表面積や形態係数は求めているが、その算出結果と被験者実験の結果との比較・検討は全くおこなっていない。

以上のように、人体形状モデルを作製した既存の研究には、人体を精度よく近似できていないものや、モデル作成の元となった人体を用いた実験結果との比較によるモデルの有効性を検証していないものが多い。また、人体モデルの作製には被験者の負担が大きく多大な労力が必要なために、健康者のみが対象とされてきた。

そこで、本研究では、高齢者や乳幼児など身体的理由により全く実測の対象とされていなかった体格や、体型、姿勢の熱交換量算定のために必要な係数値を求めることを可能にすること、そして、数値シミュレーションに応用可能な人体表面3次元モデルの作製方法の提案とその妥当性を明らかにし、人体表面3次元モデルの作製方法を確認することを目的とした。人体表面は、非接触3次元デジタイザによって測定した。そして、人体表面3次元モデルと周囲環境との間の熱交換量算定のために必要な人体係数値を数値シミュレーションにより求め、被験者実験により求めた値と比較することにより、人体表面3次元モデルの有効性を検証した。

非接触3次元デジタイザによる人体表面の3次元座標の測定は、被験者を撮影することには変わらないが、撮影に要する時間は短時間である。部位ごとに撮影をおこなうので、撮影を中断することも可能なため被験者の負担は極めて少ない。非接触3次元デジタイザにより撮

影・作製した人体表面3次元モデルのデータを蓄積し、データベースを作成することによって、様々な体型・体格・姿勢の人体に応用できるようになる。そして、数値シミュレーションに応用することにより、より正確な温熱環境の設計・制御方法に貢献し、温熱環境のユニバーサルデザイン化が実現できるものと考えられる。

2. 人体表面3次元モデルの構築

2.1 実測計画

実測は京都府立大学人間環境学部内の実験室でおこなった。非接触3次元デジタイザ(以後、3Dスキャナと称する。MINOLTA社製 VIVID 700)から約2m離れたところにターンテーブルを設置し、その上で被験者に提示した姿勢を保持させた。ターンテーブルを30度ずつ回転させて人体表面を撮影した。撮影時間は1ショットにつき0.6秒程度である。人体全体を囲い込むように撮影するために、人体を頭～胸付近・胸～腰付近・腰～足付近の3区分の撮影範囲に分けて撮影した。その際、3Dスキャナも上下させ取り残しの部分がないようにした。入り組んだ部分である上肢と体側付近や両下肢の接触部・足裏部等の人体表面は凹凸が多いので、個別に撮影した。撮影した画像の張り合わせ作業を円滑にすすめるために、被験者の体表面に一边1cm程度の三角形に切ったビニールテープを約15cm間隔で貼り付けた。撮影に要した時間は、30分程度であった。

本研究の目的には、モデル作成とその有効性の検証であるため、基本姿勢の立位を対象とした。被験者には、無理のない立位姿勢(蔵澄ほか, 2003)を、実測時を通して保持させた。教示した立位の姿勢は以下のとおりである。

背筋を伸ばし、顔を前に向け、顎を自然に引く状態とする。下肢は踵を軽くつけ、爪先を自然に開いた状態とする。両上肢は自然に伸ばし、手掌を体側に向けた状態で体側部に接触するものとする。このとき、手首は自然に伸ばし、手指は軽く接触する状態とする。

被験者は、成長が一段落した実測時30歳の健康な成人男性1名(実測時、身長174.8cm・体重62.98kg)とした。被験者のBMI (Body Mass Index) は20.7で、BMIからみた被験者の体型は標準であった。被験者は、スパッツのみを着用し、ほぼ裸体に近い状態とした。頭髮の影響を抑えるために、頭部には、水泳用のシリコンキャップを着用した。

被験者には、事前に十分な実験内容の説明をおこない、実験に参加することの同意を得た。なお実験後、報酬を支払った。

2.2 人体表面3次元モデルの作製

3Dスキャナによる撮影により得られた約40枚の画像を張り合わせて、人体を十数万の点で近似した人体表面

3次元モデルを作製した。3D スキャナは、人体表面のみを撮影するため、作製した立位姿勢の人体表面3次元モデルは、接触している踵や体側部と手掌の間などの表面形状はない状態となった。なお、種々の姿勢を測定する場合、入り組んだ部分などは撮影できないことが考えられる。それらの部分はカメラアングルや撮影範囲の変更による撮影をおこない、張り合わせる過程で撮影不可能な部分の形状を模擬することが可能と考える。

作製した人体表面3次元モデルは、構成している点の数が約11万点、構成する面の数が約22万個と著しく多い詳細なものになった。そのため、パーソナルコンピュータを用いた数値計算などの処理を行うには膨大な時間がかかり、汎用性に欠ける。そこで、実測モデルの表面積との差が1%以下となるようにデータ数を減少させた汎用性のあるシミュレーションモデルを作製した。シミュレーションモデルを構成する点の数は、20分の1程度となった。データの減少方法については、体表面の形状が単純な部分の点密度が複雑な部分より低くなるようにした。以後の考察では、このシミュレーションモデルを使用することにした。Fig. 1に作製した人体表面3次元シミュレーションモデルを示す。人体表面3次元シミュレーションモデルのデータをTable 1に示す。

なお、Table 1に示した表面積は、後述するプログラムを用いて算出した。

2.3 数値計算プログラムの作成

人体表面3次元モデルの全表面積、人体表面3次元モデルと床面との接触伝熱面積および人体表面3次元モデルの対流伝熱面積、人体表面3次元モデルの放射伝熱面積および人体表面3次元モデルと矩形面との間の形態係数を求める数値計算プログラムを作成した。

人体表面3次元モデルは、微小三角形で構成されている。人体表面3次元モデルの全表面積、人体表面3次元モデルと床面との接触面積および人体表面3次元モデルの対流伝熱面積を求めるプログラムは、全体表面、床面との接触面および対流に関わる面を構成する微小三角形の面積を計算し、各微小三角形の面積を積算して求めるものとした。

矩形面と人体表面3次元モデルとの間の形態係数を求めるためのプログラムは、まず、モデル上の各三角形の重心と矩形面上の点とを結ぶ線分と、他の三角形との交点の有無を判定し、微小三角形の可視不可視を判断する。次に見えると判断した三角形について、鍾面積分法により形態係数を求め、それらを全て積算することで、矩形面上の点との人体と間の形態係数を求めた。最後にそれらを、Newton-Cotes法を用いて数値積分し、人体表面3次元モデルの有効放射面積および人体表面3次元モデルと矩形面との間の形態係数を求めるものとした。



Fig. 1 Three-dimensional human body surface simulation model.

Table 1 Three-dimensional human body surface model's data

	Number of points	Rate(%)	Number of polygons	Rate(%)	Surface area(m ²)	Rate(%)
Measured model	113796	100	227549	100	1.7311	100
Simulation model	5690	5.00	11337	4.90	1.7245	99.62

3. 人体係数値

人体係数値の実測をした被験者は、3D スキャナ実測による撮影の時と同一の被験者とした。また、着衣についても、3D スキャナ実測による撮影の時とほぼ同様とし、ブリーフと頭部にシリコンキャップを着用した状態とした。姿勢についても同じ姿勢とした。

3.1 人体の全体表面積および

人体の対流伝熱面積

3.1.1 人体の全体表面積の実測計画

体表面積の実測には、直接採取法を用いた。直接採取では体表への貼付物として石膏・雁皮紙などが多く用いられてきたが、貼付物の乾燥に多くの時間が必要となり、被験者の姿勢維持に過度の負担を強いることになる。そこで本研究では、被験者にあまり負担がかからず、比較的精度よく測定でき、平面展開も容易なことから、貼付物として不織布サージカルテープ（ニチバンホワイトテープ、幅 12, 25, 50, 75mm）を用いた。

体表面に不織布サージカルテープを隙間のないように重ね合わせるようにして貼り付けた。テープが重なる部分には油性ペンでマーキングした後、貼り付けたサージカルテープを一枚一枚慎重に剥がし、ケント紙に平面展開した。マーキングした部分を除き、被覆に要したテープの面積を、デジタイザ（KD4310, Graphtec 製、読み取り精度 0.025mm）とコンピュータを使って自作のプログラムにより面積を求めた。

3.1.2 人体の対流伝熱面積の実測計画

人体の対流伝熱面積は、全体表面積から気流に開放されていない体表面積を引いて求める方法(藏澄ほか, 2003)で求めた。

気流に開放されていない体表面積である非対流面積を得るために、被験者に透明なアクリル板の上で定義した立位姿勢をとってもらい、水性アクリル絵の具（Liquitex, Acrylic gouache, Crimson 5.1R 4.0/13.6）を水に溶いたものをエアブラシ（Toricon, ハンドピース Y300）とエアコンプレッサー（Toricon, ミニコンプレッサ 168）で、被験者に塗り残しがないよう念入りに吹きつけた。そして、絵の具が附着しなかった体表面を油性ペンで境界を引くことにより明らかにし、その体表面を非対流面積とした。

得られた非対流面の面積を、全体表面積と同じ方法で求めた。

3.1.3 人体の全体表面積および

人体の対流伝熱面積の実測結果

Table 2 に、実測による人体の全体表面積および対流伝熱面積の実測結果を示す。実測により求めた人体の全体表面積を、藏澄らの算出式（藏澄ほか, 1994）により求めた体表面積の値 1.765m²と比較すると、その差は約 3% となった。以後、有効対流面積率、人体と床面との間の接触面積を全体表面積で除した値（以後、人体と床面との間の接触面積率と称す。）および有効放射面積率を求める際には、ここで実測により求めた人体の全体表面積を用いることとした。

人体の有効対流面積率を求めた研究は、藏澄ら(2003)の研究があり、立位・裸体の有効対流面積率は、0.92 としている。本研究の値は 0.94 となり、ほぼ同じ値となった。

3.2 人体と床面との接触伝熱面積

3.2.1 人体と床面との接触伝熱面積の実測計画

人体と床面との接触伝熱面積の測定には、透明フィルム透写法（藏澄ほか, 1997）を用いた。透明フィルムを貼り付けた透明なアクリル板の上で被験者に定義した立位姿勢をとってもらい、接触部分を透明フィルムに写し取った。

得られた人体と床面との間の接触面の面積を、全体表面積と同じ方法で求めた。

3.2.2 床面と人体との接触伝熱面積の実測結果

実測により得られた人体と床面との接触面積率は、0.0127 となった。既存の研究によって得られている人体と床面との接触面積率との比較を Table 3 に示す。藏澄ら(1997, 1998)や宮本ら(2001)らの値とほぼ同じ値となった。

Table2 Surface area and effective convection area factor of the human body

Surface area (m ²)	Non-convection area (m ²)	Convection area (m ²)	Effective convection area factor(N.D.)
1.8116	0.1054	1.7062	0.942

Table 3 Comparison of contacted surface area ratios in the previous studies

Investigator	Year	Area ratio (N.D.)	Number of subjects	
			Male	Female
Kurazumi et al.	1997	0.01	15	-
Kurazumi et al.	1998	0.01	-	15
Miyamoto et al.	2000	0.01	13	13
Authors	2003	0.0127	1	-

Area ratio is contacted surface area ratio.

3.3. 人体の放射伝熱面積および人体と矩形面との間の形態係数

3.3.1 人体の放射伝熱面積および人体と矩形面との間の形態係数の実測計画

人体の放射伝熱面積および人体と矩形面との間の形態係数を立体角投射法則に基づいた写真撮影法（堀越ほか、1977）により実測した。写真撮影は、35mm一眼レフカメラ（Nikon F4）に、正射影魚眼レンズ（OP Fisheye- Nikkor, 10mm F=5.6）を装着して行った。撮影装置は、鉄製のアングルを用いて自作した。作製した装置は、高さ 50 cm ごとにクイックシューを取り付け、カメラを素早く脱着出来るようにした。装置の下にはキャスターを取り付け、床の上を自由に移動可能とした。

実測の基準となる仮想平面および設定座標系を Fig. 2 に示す。立位姿勢の人体の臍奥 10cm の位置から床面に降ろした鉛直線と床面との交点を原点とした。原点から正面壁、背面壁方向に向かって引いた垂線を D 軸とし、正面壁方向を正、背面壁方向を負とした。原点から側面壁方向に向かって引いた垂線を X 軸とし、右側壁面方向を正、左側壁面方向を負とした。同様に、原点から床面、天井面方向に引いた鉛直線を Y 軸とし、天井面方向を正、床面方向を負とした。人体を取り囲む仮想空間(200cm×200cm×300cm)の壁面を 50cm 角メッシュに区切りその交点を撮影位置とした。

3.3.2 人体の放射伝熱面積および人体と矩形面との間の形態係数の実測結果

実測により得られた画像は、合計で 194 枚であった。これらの画像をデジタイザ（KD3320 Graphtec 製、読み取り精度 0.025 mm）で読み取り、パーソナルコンピュータ

一で処理を行うことで、各矩形面上の点と人体との間の形態係数を求めた。その値を数値積分することにより、各矩形面と人体との間の形態係数を算出した。なお、数値積分には Newton-Cotes 法を用いた。

得られた各矩形面と人体との間の形態係数から、形態係数の相反原理により人体の放射伝熱面積を求めた。その結果を Table 4 に示す。

既存の研究によって得られている人体の有効放射面積率との比較を Table 5 に示す。既存の研究では人体と床面との接触面積を有効放射面積に含めているので、本研究の結果も人体と床面との接触面積を含めた値と比較した。

既存の研究により求められた値は、実験方法や姿勢条件の違いが影響しはつきがあるが、本研究と同じ方法で行われた土川ら(1988, 1991)および鈴木ら(1999) の実験結果との差は約 2% と小さく、ほぼ同様の値となった。

以上により、本研究で実測により求めた人体の係数と数値計算により求める人体表面 3 次元モデルの係数値の比較・検討が可能となった。

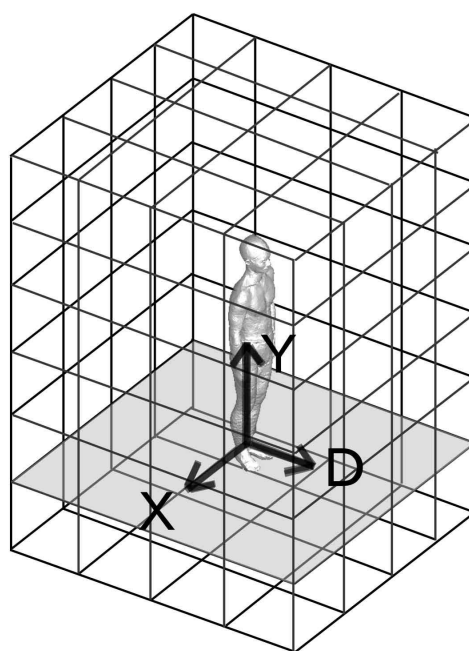


Fig. 2 Coordinate system for the measurements of the configuration factors between the point and the human body. Lines crossing points are the measurement points.

Table 4 Effective radiation area factor of the human body

Contacted surface area(m ²)	Radiation area (m ²)	Effective radiation area factor (N.D.)	
		Included contacted surface area	Excluded contacted surface area
0.0229	1.3948	0.783	0.770

Table 5 Comparison of effective radiation area factors in the previous studies

Investigator	Year	Factor (N.D.)	Number of subjects	
			Male	Female
Bohnenkamp et al.	1931	0.83	31	30
Bandow et al.	1935	0.83	42	26
Bedford	1935	0.83	2	-
Hardy et al.	1938	0.78	2	-
Guibert et al.	1952	0.77	3	-
Fanger et al.	1970	0.73	10	10
Tsuchikawa et al.	1988	0.80	3	-
Tsuchikawa et al.	1991	0.80	3	1
Suzuki et al.	1999	0.775	2	-
Authors	2003	0.783	1	-

Factor is effective radiation area factor.

4. 人体表面 3 次元モデルの有効性

4.1 対流伝熱面積

数値計算により求めた人体表面 3 次元モデルの対流伝熱面積と実測により求めた人体の対流伝熱面積との比較を行った。人体表面 3 次元モデルの対流伝熱面積は、全表面積から床面との接触部の面積を除いた値を用いた。その結果を Table 6 に示す。実測により求めた人体の対流伝熱面積と数値計算により求めた人体表面 3 次元モデルの対流伝熱面積との差は 0.4% となり極めて小さな値となった。また、有効対流面積率は、実測により求めた人体の値が 0.942、数値計算により求めた人体表面 3 次元モデルの値が 0.938 となった。

4.2 接触伝熱面積

数値計算により求めた人体表面 3 次元モデルと床面との接触伝熱面積と実測により求めた人体と床面との接触伝熱面積との比較を行った。その結果を Table 6 に示す。実測により求めた人体と床面との接触伝熱面積と数値計算により求めた人体表面 3 次元モデルと床面との接触伝熱面積との差は、約 9.5% となった。また、床面との接触面積率は、実測により求めた人体の値が 0.0127、数値計算により求めた人体表面 3 次元モデルの値が 0.0139 となった。これらの差は、床面との接触伝熱面積が体表面積

などの値と比べて極めて小さく、実測による誤差が大きく影響したためと思われる。

4.3 放射伝熱面積

数値計算により求めた人体表面 3 次元モデルの放射伝熱面積と実測により求めた人体の放射伝熱面積との比較をおこなった。放射伝熱面積および有効放射面積率の比較結果を Table 6、人体と矩形面との間の形態係数の比較結果を Table 7 に示す。

Front wall(正面壁), Rear wall(背面壁), Right side wall(右側面壁), Left side wall(左側面壁), Ceiling(天井面)の実測により求めた人体と矩形面との間の形態係数と数値計算により求めた人体 3 次元モデルと矩形面との間の形態係数については、差はほとんどなかった。一方 Floor(床面, Y=0.5m)については、約 14% とその違いが大きくなった。他の壁面に比べ距離が近いために、僅かな形状の違いが影響したためと考えられる。

実測により求めた人体の放射伝熱面積と数値計算により求めた人体表面 3 次元モデルの放射伝熱面積との差は 2.6% となり小さな値となった。有効放射面積率は、実測により求めた人体の値が 0.770、数値計算により求めた人体表面 3 次元モデルの値が 0.790 となった。

以上より、対流・伝導・放射による伝熱面積の視点から人体表面 3 次元モデルの有効性が検証されたと考える。

5. まとめ

人体と周囲環境との間の熱交換量を数値シミュレーションにより求めることを可能とする実測による人体表面 3 次元モデルの開発をし、対流・伝導・放射の各伝熱面積の視点から有効性を検証した。これにより、実測時間・拘束時間とも短時間であり、また撮影を中断することも可能なため、被験者の負担は極めて少ない。従って、高齢者や乳幼児など身体的理由により全く実測の対象とされていなかった様々な体型・体格・姿勢の人体に応用でき、より正確な温熱環境の設計・制御方法に貢献し、温熱環境のユニバーサルデザイン化が実現できるものと考えられる。

今後は、被験者数を増やし、様々な姿勢で人体 3 次元

Table 6 Comparison of the heat transfer area between the human body and the simulation model

	Convection area (m ²)	Effective convection area factor (N.D.)	Rate (%)	Contacted surface area (m ²)	Contacted surface area ratio (N.D.)	Rate (%)	Radiation area (m ²)	Effective radiation area factor (N.D.)	Rate (%)
Subject	1.7062	0.942	100	0.0229	0.0127	100	1.3948	0.770	100
Simulation model	1.6995	0.938	99.61	0.0251	0.0139	109.5	1.4315	0.790	102.6

Table 7 Comparison of configuration factors between simulation model and rectangular planes

Plane	Configuration factor (N.D.)	
	Subject	Simulation model
Front (1.0m)	0.242	0.245
Back (1.0m)	0.239	0.244
Right side (1.0m)	0.182	0.184
Left side (1.0m)	0.180	0.181
Celling (2.5m)	0.064	0.066
Floor (-0.5m)	0.093	0.080

モデルを作製し、それらの有効性を検証していく予定である。それにより、本研究で提案した人体表面3次元モデルの作製方法のさらなる妥当性を明らかにしたいと考えている。

6. 謝辞

実測およびデータ処理にご協力いただいた、京都府立大学学生の九手貴行君、山本哉君、脇阪高輔君に感謝申し上げます。

7. 参考文献

- BANDOW, F. and BOHNENKAMP, H.(1935): Uber die Bestimmung der Strahlungsfläche des Menschen aus seiner elektrischen Kapazität. Pfluger's Archiv für die Gesamte Physiologie, 236, 427/434
- BEDFORD, T. (1935): The effective radiating surface of the human body. Journal of Hygiene, 35(3), 303/306
- BOHNENKAMP, H., and PASQUAY, W. (1931): Untersuchungen zu den Grundlagen des Energie- und Stoffwechsels. III Mitteilung. Pfluger's Archiv für die Gesamte Physiologie, 228, 69-75
- FANGER, P.O., ANGELIUS, O., and JENSEN, P.K. (1970): Radiation data for the human body. Journal of Applied Physiology, 5, 338/373
- GUIBERT, A., and TAYLOR, C.L. (1952): Radiation area of the human body. Journal of Applied Physiology, 5, 24/37
- HARDY, J.D., and DuBois, E.F. (1938): Basal metabolism, radiation, convection and vaporization at temperatures of 22 to 35 °C. Journal of Nutrition, 15, 477/497
- Horikoshi T. and Kobayashi Y (1977): Configuration factors between a rectangular solid as a model of the human body and rectangular planes, for evaluation of the influence of thermal radiation on the human body 1. Calculation of configuration factors for the rectangular solids, 日本建築学会論文報告集, 253, 91/100
- 藏澄美仁, 堀越哲美, 土川忠浩, 松原斎樹 (1994): 日本人の体表面積に関する研究, 日本生気象学会雑誌,

31(1), 5/29

- 藏澄美仁, 大和義昭, 山本志津恵, 松原斎樹 (1997): 姿勢の違いを考慮した平均皮膚温算出法に関する研究, 日本生気象学会雑誌, 34(4), 101/112
- 藏澄美仁, 松原斎樹, 古川倫子, 藤原三和子, 上麻美, 植木弥生, 長井秀樹, 山本志津恵 (1998): 姿勢の違いと日本人の平均皮膚温算出法, 日本生気象学会雑誌, 35(4), 121/132
- 藏澄美仁, 土川忠浩, 大和義昭, 角谷孝一郎, 松原斎樹, 堀越哲美 (2003): 姿勢と人体の有効対流面積率に関する研究, 日本生気象学会雑誌, 40(1), 3/13
- 真鍋正規, 山崎均, 小島昌一 (2002): スキャンラインによる人体の形態係数計算, 日本建築学会計画系論文集, 551, 37/44
- 真鍋正規, 酒井孝司 (2003): 3次元デジタイザによる人体モデルの作製について, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海)環境工学II, 511/512
- 宮本征一, 富田明美, 堀越哲美 (2000): 床座位を中心とした各姿勢における接触面積比の再現性に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, 532, 23/27
- 大森敏明, 梁禎訓, 加藤信介, 村上周三 (2003): 大規模・複雑シミュレーション用放射伝熱解析法の開発第1報—モンテカルロ法をベースとした高精度放射伝熱解析法, 空気調和・衛生工学会論文集, 88, 103/113
- 尾関義一, 小西正哲, 成田千恵, 田辺新一 (1999): 数値計算による人体の有効放射面積の評価, 日本建築学会計画系論文集, 525, 45/51
- 鈴木健次, 垣鏑直 (1999): 体表面積と形態係数に基づいた人体形状モデルの開発, 日本建築学会計画系論文集, 515, 49/55
- 土川忠浩, 小林陽太郎, 堀越哲美, 三輪恵美, 藏澄美仁, 平山慶太郎 (1988): 実測による人体の有効放射面積および人体と矩形面との間の形態係数に関する研究 - 青年男子に対する裸体・着衣、立位・椅座位の場合 -, 日本建築学会論文報告集, 388, 48/57
- 土川忠浩, 堀越哲美, 近藤恵美, 藏澄美仁, 平山慶太郎, 小林陽太郎 (1991): 実測による人体の有効放射面積および人体と矩形面との間の形態係数に関する研究 - 青年女子に対する実測および青年男子に対する実測 -, 日本建築学会論文報告集, 428, 67/75
- 横山慎太郎 (1993): 生体内熱移動現象, 北海道大学図書刊行会, 193/200

<連絡先>

鳥居孝行

〒606-8522

京都市左京区下鴨半木町 1-5

京都府立大学人間環境科学研究科人間環境工学研究室

