数値計算による矩形面と全身との形態係数の評価

ANGLE FACTORS BETWEEN HUMAN BODY AND RECTANGULAR PLANES
CALCULATED BY A NUMERICAL MODEL

尾関 義一*, 小西 正哲**, 成田 千恵***, 田辺 新一****

Yoshiichi OZEKI, Masaaki KONISHI, Chie NARITA
and Shin-ichi TANABE

Angle factors between human body and rectangular planes are calculated by a numerical model. Present method, which is applied for predicting the thermal radiation field in a space, is based on a numerical integration method proposed in the previous authors' paper. To confirm the validity of this method, predicted angle factors for both standing and seated persons are compared with those by the experimental method. It was found that predicted figures are met quite well with those by the subjective experiments. From previous results, however, significant difference was found in angle factors between the human body and the front floor. In addition, angle factors between each body surface and rectangular planes including the floor were also investigated.

Keywords : numerical simulation, angle factor, effective radiation area, rectangular plane, human body, standing and seated postures
数値計算, 形態係数, 有効放射面積, 矩形面, 人体, 立位・椅座位

1. はじめに

居室, 車室, アトリウム内部では, 不均一な温熱環境が生じていることがある。本研究では, このような空間での人体の熱的快適性を定量的に評価する数値シミュレーション手法, 及び温冷感指標を開発することを最終の目的としている。別報¹⁾では, 人体形状に応じた有効放射面積及び投影面積を, 数値シミュレーションにより精度良く予測するための計算手法を提案し, その有効性を既往の測定結果との比較により示した。これにより, 人体形状に応じた日射取得熱量分布を精度良く予測することが可能となった。本報では, 人体表面と周囲空間との間の放射熱授受を算出する場合に必要な形態係数を, 文献²⁾に示す著者らの数値積分法により求め, その精度をFangerらの被験者測定結果³⁾, 土川らの被験者測定結果⁴⁾との比較により検討した。本手法により, 人体放熱性状に大きな影響を与える周囲空間との放射熱授受を, 様々な人体形状に対して精度良く予測することが可能となる。

2. 形態係数の算出法に関する既往の研究

人体と周囲空間との間の形態係数の算出には, 写真撮影法^{3), 4)}などによる実験的な手法が用いられている。Fangerら³⁾は, 男女各10人の立位・椅座位および着衣の有無を対象とし, 測定時の煩雑さ

を改善して合計78種類の投影面積を測定し, 矩形面との間の形態係数を評価している。土川ら⁴⁾は, 体型・体格の異なる青年男性3名を対象として, 立位・椅座位の姿勢条件, 着衣・裸体の着衣条件での人体と矩形面との間の形態係数を写真撮影法により評価している。一般に, 写真撮影法などの実験的手法は貴重なデータを提供するが, 取り扱いが煩雑となるため, 様々な姿勢, 体型, 部位別評価, さらに周囲空間の形状に応じた詳細な検討に対し多くの時間を要する。

山崎ら⁵⁾は, 立位姿勢の人体を計測して人体形状モデルを作成し, 壁面上の点との間の形態係数を求めている。さらに, 人体形状を近似する直方体形状を提案している。宮崎ら⁶⁾は, 立位・椅座位の姿勢に対し, 円筒の組み合わせにより人体形状モデルを作成し, モンテカルロ法により矩形面との間の形態係数を評価しているが, 既往の測定結果³⁾との対応に十分な検討がなされていない。土川ら⁷⁾は, 人体を形状モデルで近似した場合の壁面との間の形態係数を求める, 錐面積分に基づく数値計算手法を提案しているが, 具体的な検討はされていない。鈴木ら⁸⁾は, 立位姿勢の2名の人体を計測して人体形状モデルを作成し, 矩形面との間の形態係数を立体角投射法及び写真撮影法により算出し比較している。このように既往の研究において, 人体形状に応じた周囲空間との間の形態係数を数値シミュレーションにより詳細に検討した例は比較的少ない。

* 旭硝子㈱中央研究所 主席研究員・工博

** 旭硝子㈱中央研究所 研究員

*** お茶の水女子大学大学院人間環境科学専攻 大学院生

**** 早稲田大学理工学部 助教授・工博

Research Center, Asahi Glass Co., Ltd., Dr. Eng.

Research Center, Asahi Glass Co., Ltd.

Graduate Student, Dept. of Human Env. Eng., Ochanomizu Univ.

Assoc. Prof., Dept. of Architecture, Waseda Univ., Dr. Eng.

3. 数値シミュレーション手法

3-1 人体形状

人体を形状モデルにより近似し、人体表面における放射・対流熱輸送を解析する場合、及び数値計算により壁面との形態係数を算出する場合には、人体形状及び形状モデルの表面要素分割の影響を受ける。人体形状を模した形状モデルについては、有効放射面積及び形態係数を算出するためのモデル^{5),6),8)}、日射熱取得解析と対流・放射連成シミュレーションにより、人体放熱特性を解析するためのモデル^{9),10)}、人体内部の熱移動を解析するためのモデル¹¹⁾など数多く提案されている。本研究では、不均一環境下における人体部位別放熱性状を精度良く捉えるために、耳、鼻、口、手の指、足の指などの人体表面の凹凸を詳細に表現した3次元モデルを採用する¹²⁾。本報で検討した立位、椅座位の人体形状を図1、本モデルの身長、体表面積を表1に示す。本モデルの身長は、既往の研究で用いられた数値より僅かに高いが、身長、表面積ともにFangerらの結果に近い。本研究では、著者らが提案した日射熱取得解析¹²⁾と対流・放射連成シミュレーション¹³⁾との連成を容易にするため、人体の表面形状をすべて微小四角形で表現し、これを計算最小単位とする。本モデルでは立位、椅座位ともに4396の微小四角形に分割した。

3-2 人体と周囲空間との間の形態係数

人体と周囲空間との間の形態係数 F_{p-A2} は、人体の有効放射面積 A_{eff} 、人体微小面 i と周囲空間微小面 j との形態係数 F_{ij} 、人体微小面 i の面積 A_i を用いて(1)式で求められる³⁾。

$$F_{p-A2} = \sum_i A_i \sum_j F_{ij} / A_{eff} \quad (1)$$

人体微小面 i と周囲空間微小面 j との形態係数 F_{ij} は、文献2)で著者らが提案した数値積分法により、微小面間の遮蔽を考慮して算出する。形態係数算出アルゴリズムは任意形状に対応するため、様々な人体形状及び空間形状に応じた形態係数を容易に算出することが可能となる。

図1. 解析に用いた人体形状

表1 人体形状データ

	本研究	Fanger ³⁾	土川 ⁴⁾	宮崎 ⁶⁾	曾 ⁹⁾
身長(m)	1.75	1.72	1.70	1.71	1.65
表面積(m ²)	1.72	1.74	1.69	1.58	1.70

*Fangerの結果は男女各10名の平均値

*土川の結果は青年男性3名の平均値

図2. 有効放射面積算出のための閉空間³⁾ 図3. 平行光線に対する人体の投影面積

3-3 人体の有効放射面積

人体の有効放射面積 A_{eff} は、形態係数の相反則及び図2に示す半径 r_m の球から人体を見た形態係数 F_{A2-p} を用いて(2)式で求められる。

$$A_{eff} = 4\pi r_m^2 F_{A2-p} \quad (2)$$

球から人体を見た形態係数 F_{A2-p} を図3に示すような平行光線に対する人体の投影面積 A_p で評価すると、人体の有効放射面積 A_{eff} は球座標を用いた(3)式で算出できる³⁾。

$$A_{eff} = \frac{4}{\pi} \int_{\alpha=0}^{\alpha=\pi} \int_{\beta=0}^{\beta=\frac{\pi}{2}} A_p \cos \beta \, d\beta \, d\alpha \quad (3)$$

有効放射面積を(3)式で算出するためには、図3に示した平行光線に対する人体の投影面積 A_p を求める必要がある。この投影面積は、人体表面において平行光線を受ける部位を投影面に対し射影した面積に等しい。この面積を、文献12)で著者らが提案した日射熱取得シミュレーション手法を応用して算出する¹⁾。日射熱取得アルゴリズムは任意の室内形状に対応するため、人体の様々な形状に応じた投影面積を容易に算出することが可能となる。

4. 立位・椅座位における有効放射面積

立位・椅座位での全身と周囲空間との間の形態係数を算出するためには、有効放射面積を予め算出しておく必要がある。本研究では、有効放射面積を算出するための(3)式を数値積分で評価する。積分点は α (方位角)方向に13点、 β (高度)方向に7点設定する。人体を図2に示す球の中心に設置し、人体正面を方位角 0° とする。球の表面上に設定した各積分点と球の中心を結ぶ線分に平行な光線に対し、人体の投影面積 A_p を算出する。算出された有効放射面積 A_{eff} 及び有効放射面積率 f_{eff} ^{註2)}を表2に示す。立位の有効放射面積及び有

表2 有効放射面積及び有効放射面積率

(a)立位

	本研究	Fanger ³⁾	土川 ⁴⁾	宮崎 ⁶⁾
A_{eff} (m ²)	1.276	1.262	1.312	1.317
f_{eff} (-)	0.744	0.725 ± 0.013	0.803 ± 0.005	0.834

(b)椅座位

	本研究	Fanger ³⁾	土川 ⁴⁾	宮崎 ⁶⁾
A_{eff} (m ²)	1.176	1.211	1.214	1.224
f_{eff} (-)	0.691	0.696 ± 0.017	0.740 ± 0.012	0.775

*Fanger, 土川の結果は裸体時

効放射面積率は椅座位よりやや大きく算出されている。これは立位に比べて椅座位姿勢は周囲との放射熱授受に対し、約5%の有効放射面積の減少があることを示す。立位・椅座位の結果とFangerらの被験者実測結果を比較すると、その差は2%以下となった。

5. 立位・椅座位と矩形面との形態係数—人体と矩形面との距離が7mの場合—

5-1 算出条件

既報²⁾で示した形態係数の算出法が、複雑な人体形状と周囲空間を対象としても十分な予測精度を有することを確認するために、全身と様々な矩形面との形態係数を算出し、Fangerの測定結果と比較する。矩形面は、図4に示すように立位の人体形状に対し3種類(前壁A、側壁B、天井C)、椅座位の人体形状に対し6種類(前壁A、側壁前部B、天井前部C、後壁D、側壁後部E、天井後部F)設定する。各矩形面と人体との距離 c はFangerの測定条件と同じ7.0mとする。また、矩形面の縦横の長さはそれぞれ、

$$a/c = 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0, 5.0 \text{ の } 9 \text{ 通り,}$$

$$b/c = 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8,$$

$$2.0, 2.5, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 7.0, 8.0, 9.0, 10.0 \text{ の } 19 \text{ 通り,}$$

合計171通りとした。全身と各矩形面との形態係数を(1)式で算出する際、矩形面を一边が0.7mの正方形に分割し、人体を構成する微小四角形間の遮蔽を考慮する³⁾。

5-2 計算結果・考察

立位・椅座位の人体形状に対し、得られた形態係数をそれぞれ図5-1、図5-2に示す。図5-1、図5-2にはFangerの測定結果も合わせて示す。Fangerらの形態係数と対比して得られた、原点を通る回帰式の傾き(回帰係数)、寄与率(相関係数の2乗: R^2)を表3に示す。

立位・椅座位ともに、 b/c の増加に伴い全身と矩形面との間の形態係数は、単調増加の傾向を示す。 b/c の小さい領域では、形態係数が大きく変化し、 b/c の大きい領域ではほぼ一定となる。

図4. 人体と矩形面との間の形態係数の検討³⁾

図5-1. 人体と矩形面との間の形態係数(立位, $c=7$)

立位においてFangerの測定結果と比較すると、各矩形面に対し a/c が小さい領域では良く一致している。 a/c が大きい領域では、僅かな差異が見られるケースがあるものの、全体的に既往研究と良く対応する。椅座位においてFangerの測定結果と比較すると、人体に対し前方に位置する矩形面A,B,Cではほとんど一致した。後方に位置する矩形面D,E,Fでは、 a/c が大きい領域で測定結果よりやや大きく算出された。腰の曲げ角度、臀部、背中などの僅かな差異が現われたためと思われる。表3に示す回帰係数及び寄与率から、立位・椅座位の予測結果とFangerの測定結果の差異は最大で約4%以下で、人体形状は異なるが十分な精度で一致している。

全身と矩形面との間の形態係数の算出において、Fangerは平行光線を用いているのに対し³⁾、本報では立体角を用いている。立位・椅座位の形態係数の予測結果が測定結果に良く対応していることから、人体から7m程度離れた矩形面を対象とした形態係数の評価に関し、算出法(平行光線、立体角)による明らかな差異はない⁴⁾。これは土川らの結果とも対応している⁴⁾。

図5-2. 人体と矩形面との間の形態係数(椅座位, $c=7$)

表3 形態係数の予測結果とFangerの測定結果との比較

(a)立位			
壁面	前壁	側壁	天井
回帰係数	0.992	0.989	0.963
寄与率	0.999	0.994	0.999

(b)椅座位						
壁面	前壁	側壁前部	天井前部	後壁	側壁後部	天井後部
回帰係数	1.006	0.993	0.993	0.959	0.958	0.986
寄与率	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.998

6. 立位・椅座位と矩形面との形態係数—人体と矩形面との距離が2m以下の場合—

6-1 算出条件

人体と各矩形面との距離を7mとした場合の形態係数に関し、Fangerによる測定結果と予測結果は十分な精度で対応した。一方、土川らは、人体と各矩形面との距離が1m以下となる場合の形態係数に関し、算出法(平行光線、立体角)による差異が生じることを指摘している⁴⁾。本手法で予測した形態係数がこのような場合でも十分な精度を有することを示すために、予測した形態係数と土川らの

測定結果^{4),14)}を比較する。各矩形面との距離 c は、土川らの測定条件と同じ2.0m以下とした。矩形面は、図6に示すように立位の人体形状に対し3種類(前壁A,側壁B,床E)、椅座位の人体形状に対し3種類(側壁C,後壁D,床F)設定した。

6-2 垂直な矩形面に対する形態係数の計算結果・考察

立位・椅座位の人体形状に対し、得られた形態係数を図6に示す。図6にはFanger及び土川らの測定結果も合わせて示す。立位の場合、矩形面A(前壁),B(側壁)に対し $c=2$ として予測した形態係数は、

図6. 人体と矩形面との間の形態係数(立位・椅座位)⁴⁾

Fangerの測定結果にその差が6%以内で一致し、 $c=1$ として予測した形態係数は土川らの測定結果にその差が4%以内で一致した^{注6)}。各矩形面との距離を2.0mとして予測した形態係数には、算出法(平行光線、立体角)による差異は見られない。また、各矩形面との距離を1.0mとして予測した形態係数には、算出法(平行光線、立体角)による差異が見られ、同じ立体角法により得られた形態係数はほとんど一致した。椅座位の矩形面C(側壁)、D(後壁)の場合も、立位と同じ傾向が見られる。土川らの実験の人体形状の詳細が不明であるため同一のモデルで比較はできていないが、本手法で予測した形態係数は、各矩形面との距離が2m以下の場合でも、十分な精度を有することが示された。

6-3 床面に対する形態係数の計算結果・考察

立位の場合、図6.Eに示すように前床に対する形態係数は、足先により後床より大きく算出された。椅座位の場合、図6.Fに示すように前床に対する形態係数は、後床よりさらに大きく算出された。前床に対する形態係数は、足が置かれている b/c が1.0付近まで大

きく変化し、それ以降は緩やかに変化する。立位・椅座位ともに、後床に対する形態係数は土川らの結果にほぼ対応したが、前床に対する形態係数には差異が見られた。この原因について検討する。

(1) 姿勢に関する検討

立位の人体形状の差異が予測結果に与える影響を検討する。検討は、図7に示す猫背形状で行う^{注7)}。前床、後床に対する形態係数の予測結果を図8に示す。前床、後床に対する形態係数の傾向に大きな差は見られなかった。図6.Eに示す形態係数と比較すると、前床で最大3%、後床で最大7%大きく算出された。今回検討した人体形状の差異では、前床、後床に対する形態係数に与える影響が小さいことを確認した。

(2) 部位別の有効放射面積

立位・椅座位の人体形状に対し、人体各部位と床との間の形態係数を算出した。人体の部位分割は、土川らと同様に図9に示す4部位(head, body, arms, legs)とした¹⁴⁾。形態係数を算出するために

必要となる部位別の有効放射面積の算出結果を表4に示す。表4には土川らの測定結果も合わせて示す。有効放射面積が最も大きい部位は、立位・椅座位ともにbodyで全体の約40%を占める。各部位の有効放射面積の比率を立位・椅座位と比較すると、head,bodyには大きな差異は見られないが、arms, legsで立位・椅座位による差が見られる。立位の土川らの部位別の有効放射面積と比較すると、body, legsで約20%, headでは約30%程小さく算出されている。

(3) 部位別の形態係数

算出した部位別の形態係数を図10-1, 図10-2に示す。立位において、前壁(A)を対象とした部位別の形態係数を土川らの測定結果と比較すると、図10-1に示すようにheadで有効放射面積の違いによると思われる最大約18%の差異が見られるが、各グラフの傾向は類似しており比較的良好に対応している。また、全身の形態係数はほぼ一致した。本手法により部位別の形態係数を評価することが可能であることを確認した。次に、前床(B)に対し土川らの測定結果と部位別に比較すると、legsで最大約20%, headで50%以上小さく算出

図9. 部位別の形態係数を評価するための人体部位分割¹⁴⁾

表4 部位別の有効放射面積
(a)立位

	HEAD	BODY	ARMS	LEGS	Whole Body
本研究	0.12 (9%)	0.52 (41%)	0.26 (20%)	0.38 (30%)	1.28 (100%)
土川 ¹⁴⁾	0.17 (12%)	0.61 (42%)	0.25 (17%)	0.47 (33%)	1.44 ^{注8)} (100%)

(b)椅座位

	HEAD	BODY	ARMS	LEGS	Whole Body
本研究	0.12 (10%)	0.45 (39%)	0.29 (25%)	0.31 (26%)	1.17 (100%)

単位[m²]

* 土川らの結果は、青年男性(身長:1.68m, Dubois-Area:1.80 m²)の測定結果

されている。これにより、全身では最大約25%小さく算出された。この原因については明確ではないが、矩形面に近い部位の有効放射面積の差異が、形態係数に顕著に現われたためと考えられる。

椅座位において、前床(C), 後床(D)の部位別の形態係数を比較する。図10-2に示すようにarms, headでは形態係数に大きな差異が生じない。bodyでは前床(C)に対する形態係数が、legsによる遮蔽により後床(D)より最大約30%程小さく算出された。legsでは前床(C)の形態係数が、後床(D)より最大約4倍程大きく算出され、これが全身の形態係数に大きな影響を与えている。

図 10-2. 人体と床面との間の部位別の形態係数(椅座位)

7. まとめ

立位・椅座位の人体形状と周囲空間との間の形態係数を、著者が提案した数値積分法により算出し、既存の実験データとの比較検討を行った。Fanger, 土川らの実験における詳細な人体形状の入手が困難なため人体形状は完全には一致していないが、以下の結論が得られた。

- ①立位・椅座位に対する全身の形態係数を算出するために、有効放射面積及び有効放射面積率を算出した。Fangerらの測定結果との差は2%以下となった。
- ②立位・椅座位について代表的な矩形面との間の形態係数を、人体と矩形面との距離をFangerの測定条件と同じ7mとして算出した。Fangerの測定結果と比較したところ、その差が4%以内で一致する結果が得られた。
- ③立位・椅座位について代表的な矩形面との間の形態係数を、人体と矩形面との距離を土川らの測定条件と同じ2m以下として算出した。土川らの測定結果と比較したところ、床面を除いてその差が4%以内で一致する結果が得られた。
- ④床面との形態係数に関し、立位の人体形状の差異及び立位・椅座位における部位別の検討を行った。今回検討した猫背形状などの人体形状の差異では、形態係数に与える影響が最大7%と小さいことを確認した。土川らが測定した前床に対する形態係数との差異は、矩形面に近い部位の有効放射面積の差異が、形態係数に顕著に現われたためと考えられる。

以上の検討により、本モデルを用いて、種々の人体形状に対する全身、部位別の形態係数の予測が、工学的に十分な精度を持って可能となった。また、周囲空間との放射熱授受を人体形状に応じて数値計算により予測することが可能となった。

注釈1) 本人体モデルでは、姿勢、男女差、体格などを自由に設定しモデル化できることに大きな特徴がある。

2) 人体の有効放射面積 A_{eff} を全身の体表面積 A_{Du} で基準化した指標 ($f_{eff} = A_{eff} / A_{Du}$)。

3) 人体形状を構成する他の微小四角形により遮蔽されているか否かの判定は、対象とする微小四角形と分割された矩形面の中心を結ぶ線分と、すべての微小四角形との交差判定で行う。微小四角形と線分が交差する場合は完全に遮蔽する、交差しない場合は全く遮蔽しない、微小四角形の辺上で交差する場合は50%遮蔽するとしている。

4) 両者の手法の差異は、人体に対するごく近傍の壁面などにおける形態係数に現れる。形態係数算出面が壁面などの有限範囲内に存在する場合には、立体角による算出法が厳密性を有する。一方、太陽からの直達日射の影響を想定した場合、平行光線による算出法が適すると考えられる。

5) 土川らと同様に、足裏と接触している床面との形態係数は1.0とした¹⁴⁾。

6) 各矩形面との距離を2.0mとして予測した形態係数とFangerの測定結果と対比して得られた、原点を通る回帰式の回帰係数は1.060、寄与率は0.991であった。また、各矩形面との距離を1.0mとして予測した形態係数と土川らの測定結果と対比して得られた、原点を通る回帰式の回帰係数は0.960、寄与率は0.990であった。

7) 猫背形状の有効放射面積は1.260 m²である。

8) 人体各部位の有効放射面積の合計は1.50 m²であり、全身に対し測定した有効放射面積1.44 m²より大きい。これは測定誤差及び部位の分割に起因すると考察されている¹⁴⁾。

参考文献

- 1) 尾関義一, 小西正哲, 成田千恵, 田辺新一: 日射が温熱感に与える影響に関する研究(その1~3), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.381-386, 1998.
- 2) 尾関義一, 斉藤恒洋, 大柿聡: 複雑な内部形状を有する大規模メッシュ対応型放射伝熱計算手法に関する研究, 空気調和・衛生工学会論文集, No.62, pp.101-110, 1996.
- 3) Fanger P.O., Angelius O. and Jensen P.K.: Radiation Data for the Human Body, ASHRAE Transactions, Vol.76- II, pp.338-373, 1970.
- 4) 土川忠浩, 小林陽太郎, 堀越哲美, 三輪恵美, 蔵澄美仁, 平山慶太郎: 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, 日本建築学会計画系論文報告集, 第388号, pp.48-59, 1988.

- 5)山崎均,真鍋正規,辛島俊治:人体モデルの形態係数-壁面から見た場合-,日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.157-158, 1983.
- 6)宮崎靖子,斉藤信,瀧下裕:人体モデルを用いた不均一環境の評価に関する研究,人間と生活環境, No.1, pp.92-100, 1995.
- 7)土川忠浩,堀越哲美:人体形状モデルを用いた人体と空間との放射熱授受に関する研究(第1報)有効放射面積および形態係数の算出理論と人体表面3次元座標測定法,日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.355-356, 1996.
- 8)鈴木健次,垣飼直:人体形状モデルの妥当性の検討,日本建築学会東海支部研究報告集第35号, pp.529-532, 1997.
- 9)曾潔,村上周三,加藤信介:人体放熱に関するCFD・放射・湿気輸送連成解析,第11回数値流体力学シンポジウム, pp.283-284, 1997.
- 10)岩本静男:人体放熱モデルによる床暖房室内環境の数値予測,第19回人間-生活環境系シンポジウム, pp.94-97, 1995.
- 11)横山真太郎,角田直人,富樫貴子,濱田靖弘,中村真人,落藤澄:部位別特性を考慮した人体の定常熱移動モデルの開発とその応用,空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp.513-516, 1997.
- 12)尾関義一,荻田嘉之,平松徹也,斉藤恒洋,大柿聡:放射・対流連成解析のための複雑な内部形状,大規模メッシュに対応する日射熱取得計算手法に関する研究,空気調和・衛生工学会論文集, No.66, pp.1-11, 1997.
- 13)尾関義一,加藤信介,村上周三:実験用実大アトリウム内の熱伝達・気流性状に関するCFD解析(その1)CFD・2波長放射連成シミュレーションにおけるサッシュのモデリングに関する研究,空気調和・衛生工学会論文集, No.68, pp.65-75, 1998.
- 14)土川忠浩,堀越哲美,近藤恵美,蔵澄美仁,平山慶太郎,小林陽太郎: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(その2),日本建築学会計画系論文報告集,第428号, pp.67-75, 1991.

主な記号

A_{eff}	: 人体の有効放射面積(m ²)
A_i	: 微小四角形 <i>i</i> の面積(m ²)
A_p	: 人体の投影面積(m ²)
F_{A2-p}	: 球から人体を見た形態係数(-)
F_{ij}	: 人体微小面 <i>i</i> と周囲空間微小面 <i>j</i> との形態係数(-)
F_{p-A2}	: 人体と周囲空間との形態係数(-)
dA_2	: 球上の微小面素(m ²)
i, j	: 微小四角形の番号(-)
r_m	: 有効放射面積を算出するための球の半径(m)
α	: 方位角(°)
β	: 高度(°)

(1998年7月10日原稿受理, 1999年2月26日採用決定)