膜構造建築物の半屋外生活空間に形成される夏季の微気候に関する実測調査

FIELD MEASUREMENT OF THE SUMMER MICROCLIMATE IN THE SEMI-ENCLOSED SPACE UNDER A MEMBRANE STRUCTURE

梅干野 晃 — * 1 何 江 — * 2
小川俊輔 — * 3 嚴 泰潤 — * 4
吉野達矢 — * 5 親川昭彦 — * 6

Akira HOYANO — * 1 Jiang HE — * 2
Shunsuke OGAWA — * 3 Tae-yun AUM — * 4
Tatsuya YOSHINO — * 5 Akihiko OYAKAWA — * 6

キーワード:

膜構造建築物, 半屋外空間, 実測調査, 気温分布, 気流分布, 熱快適性

Keywords:

Membrane structure, Semi-enclosed space, Field measurement, Air temperature, Air velocity, Thermal comfort

The present paper describes a field measurement to investigate the summer microclimate in the semi-enclosed space under an actual membrane structure. The microclimate was analyzed, and thermal comfort was evaluated using the measurement data of vertical air temperature and velocity distributions, surface temperature distribution, etc. Analysis results show that solar transmission through the membrane structure had a greatest impact on the thermal environment in the living space under the membrane structure. The SET* in the living space was 2-3°C higher than air temperature from the early morning to the late afternoon on a clear sky day.

1. はじめに

近年, 日射遮蔽や昼光利用・通風利用等の観点から, 高反射性・高透光性や軽量性等の特徴を有する建築用膜材で建設された膜構造建築物は, 半屋外空間を形成する都市施設(例えば, 屋外通路やバス待合所の上屋)への利用が増加している。しかし, 膜材料を透過した日射等の影響が大きく, 夏季においては膜下空間に形成されている熱環境についてさらに改善の余地が残されている。

筆者らは, 膜材料の透過日射や, 膜による天空への放射の遮蔽や通風・換気の状態等が膜構造建築物に形成される微気候に及ぼす影響の把握を試み, 屋外に開放的な膜構造建築物(図1)を対象にその建築空間(以下, 膜下空間と称す)を中心とした夏季の実測調査を行った。既報^{1,2)}において, 膜下空間における太陽放射領域の短波長放射(波長域0.3~3 μ m)と常温域熱放射の長波長放射(波長10 μ m前後)の特性を中心に実測データを解析した結果を報告した。本報では, 膜下空間における気温・風速分布性状について解析した結果を報告すると共に, 日射の影響を考慮した平均放射温度(MRT)や標準新有効温度(SET*)を用いて膜下生活空間の熱快適性の評価を行う。

これまで, ガラスの屋根面で覆われた密閉な室内空間となるアトリウムの内部環境について既に多くの調査および研究がなされている。半屋外を形成する建築空間の生活環境の改善を目的に行われてきた研究として, 辻原ら^{3~5)}によるアーケード空間を対象とした実測調査と温熱環境の評価があるが, 半屋外空間に形成される微気候に関する研究は未だ少ないと言える。既往研究のような半屋外空間(アーケード)に比較すると, 本研究の対象とした膜下空間は以下のような特徴がある。(1) 屋根を構成する材料は薄い膜材料(厚さ1mm程度)であり, その日射反射率が高く(70%以上), 日射透過率も比較的

図1 本実測調査対象とした膜構造物の外観(俯瞰)

図2 膜下空間の微気候形成に及ぼす主な熱環境要素

^{*1} 東京工業大学大学院 教授・工博
(〒226-8502 横浜市緑区長津田町 4259-G5-2)
^{*2} 東京工業大学 特別研究員・NEDO プロジェクト研究員・工博
^{*3} ㈱NTT ファシリティーズ 工修
^{*4} ㈱ハニル機械電気コンサルタント 博士(工学)
^{*5} 太陽工業㈱技術研究所 博士(工学)
^{*6} 太陽工業㈱技術企画室

^{*1} Prof., Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.
^{*2} Fellow, Project Researcher, Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.
^{*3} NTT FACILITIES, INC., M. Eng.
^{*4} Haniil Mech. Elec. Consultants Ltd., Dr. Eng.
^{*5} Advanced Structures R&D Dept., Taiyo Kogyo Co., Dr. Eng.
^{*6} Advanced Structures R&D Dept., Taiyo Kogyo Co.

図3 膜下空間の中央部から撮影した写真(左図:西→東 右図:南→北)

低い(10%程度)。(2)半屋外空間を覆う膜屋根面は波形のように複雑な形状となっている。(3)図2のように、膜下空間においては対向する両方向は建物で密閉されており、それと垂直な両方向は屋外に開放されている。屋外に開放な方向にはそれほど長い空間を形成していないため、外部風による通風効果が期待できる。

2. 測定の概要

2.1. 測定対象

本研究の実測対象は、神奈川県横浜市金沢区に位置しているサスペンション膜構造建築物である(図1)。対象空間は風通しのある2面開放型の空間であり、レジャー施設の休憩スペースまたは通路として利用されている。膜下空間の中央部から各方向を撮影した写真を図3に示す。空間の大きさは幅20m、高さ10~15mである。それを覆っている膜は、支柱とケーブルで凹凸のある形状となっている。膜下空間の上方向が膜材料に覆われており、その南側と北側には2階建ての建物が配置されている。また東側は海に向かって、西側は森(樹高は約15m)に向かって開放されている。図4のように、両側建物付近の床はタイル仕上げであるが、それ以外の床面は板張りである(全床面の約7割を占めている)。

後述する6方向日射量と全球熱画像の測定地点となる膜下空間の中央部の地上高さ1.2mにおける空間形態および構成材料は表1に示すとおりである。この測定点の周囲4 π (全球)は、膜面30%、地面40%、建物20%の割合で構成されている。上方向では、膜面・建物・その他の割合はそれぞれ60%、35%、5%である。下方向では床面が支配的であり、その割合が80%である。

2.2. 測定方法

外気温、外気の相対湿度、風速、風向、および水平面全天日射量を外部気象の測定項目とした。外部気象の測定は、周囲の障害物や建物の影響を考慮し、対象の膜構造建築物に隣接した地上10mの建物屋上(図1の右下)において屋上から高さ2mの位置で行った。なお、測定データは1分間隔で記録した。

膜材料を透過する日射の影響が最も大きい膜下空間の中央部(図4)で、人の生活高さとして地上高さ1.2m(図5)において6方向からの入射日射量と全方向の放射温度を表す全球熱画像を測定した。6方向日射量の測定は、外部の水平面全天日射量が安定していることを確認した上で下記の5つの時間帯に実施した。1)日出直後の6時、2)東から日射入射がある9時、3)日中太陽高度が最高となる12時、4)西から日射入射がある15時、5)日没直前17時。方位別日射量を測定した6方向は表1の東・南・西・北・上・下と略称し、それぞれに番号①~⑥を付け、図4と図5に明記している。また、全球熱画像の測定には、筆者らが開発した全球熱画像収録システム⁶⁾を使用した。全球熱画像の観測は以下の8つの時間帯に行った。1)日出直前5時、2)日出直後の7時、3)9時、4)12時、5)15時、6)17時、7)日没直

表1 膜下空間の中央部(高さ1.2m)からみた方位別構成要素の割合

方向(番号)	割合(%)			
	膜面	床面	建物表面	その他*
東(①)	30	40	25	5
南(②)	30	45	20	5
西(③)	30	40	25	5
北(④)	30	45	20	5
上(⑤)	60	0	35	5
下(⑥)	0	80	15	5

*その他は天空および屋外の周囲地物を示す。

表2 測定項目と測定機器の主な仕様

測定項目	装置	仕様	測定精度
気温・表面温度	T型熱電対	線径:0.1mm	±0.1℃
相対湿度	電子式高分子湿度センサ	測定範囲:5~95%	±5%
外部風速	プロベラ式風速風向計	測定範囲:0.4~70m/s	±0.3m/s
外部風向		測定範囲:0~540°	±5°
膜下風速	超音波三次元風速計	測定範囲:0~40m/s	±0.1m/s
膜下風向	(測定位置:図6の h_3, h_4)	測定範囲:0~360°	±2°
膜下風速	Tr式微風速計(図6の h_1, h_2)	測定範囲:0.1~25m/s	±0.1m/s
全天日射量	日射計	波長域:0.3~2.8 μ m	±5%
6方位日射量			±10%
表面温度分布	赤外線放射カメラ	波長域:8~14 μ m	±2℃

図4 膜下空間の床面の構成材料と測定位置

図5 実測対象物の北西方向の断面と測定点の位置

図6 実測対象物の東南方向の断面と測定点の位置

図7 解析対象期間における外部気象条件と膜下空間の湿度

後19時、8)20時。

膜下の床面から膜裏面近傍までの鉛直方向に4点(図5の $h_1 \sim h_4$)の測定点を設け、気温・相対湿度・風速の鉛直分布を測定した。これらの高さは以下のとおりである。 $h_1=0.1\text{m}$ 、 $h_2=1.2\text{m}$ 、 $h_3=11\text{m}$ 、 $h_4=12\text{m}$ (膜裏面の頂点から1m程度)。また、測定点 h_3 においては膜下空間の風向も測定した。

熱電対を用いて、膜面の山部と谷部の裏側表面温度および膜下空間の床表面温度を測定した。測定位置は、膜材料の場合、東西方向の波形状であるため、直達日射の照射有無や気流による影響を考慮し、4箇所とした(図6のa~d)。床面においては、構成材料による差を把握するために、木材とタイルの二種類の材料についてそれぞれ中央部に1点づつ図6の測定点eとfを設けた。

なお、表2に主な測定項目とその測定器の仕様を示す。

3. 測定の結果

外部気象および膜下空間における気温・風速分布等についてそれぞれ2007年8月29日~9月26日に24時間の連続測定を行った。この測定期間の晴天日を代表日として6方向日射量と全球熱画像の測定を実施した。本報では、晴天日を含む9月19~22日の4日間に測定したデータを中心に解析を行い、その測定結果を考察する。

3.1. 解析対象期間の気象状況

図7に解析対象とした4日間の外部気象条件等を示す。初日(9/19)の天候は晴れ時々曇りであったが、二日目から三日間の晴天が続いた。この期間の日最低・最高気温はそれぞれ22℃、30℃前後であった。初日を除き、図中の風配図より外部の卓越風は南風であることが読み取れる。以下に、外部風速は一日を通して比較的弱い二日目(9/20)および比較的強い三日目(9/21)に着目し、測定結果を考察することにした。なお、両日とも平日であったため、来園者は比較的少なかった。

表3 膜下空間の中央部(高さ1.2m)における方位別日射量(9月21日)

時刻	方位別日射量[W/m²] (水平面全日射量に対する割合[%])					
	東	南	西	北	上	下
6:00	135 (99)*	35 (26)	22 (16)	24 (18)	36 (26)	36 (27)
9:00	56 (10)	24 (4)	14 (2)	20 (3)	32 (6)	4 (1)
12:00	31 (4)	26 (3)	30 (4)	22 (3)	65 (8)	9 (1)
15:00	17 (4)	14 (4)	23 (6)	12 (3)	34 (9)	5 (1)
17:00	4 (26)	2 (15)	3 (16)	2 (12)	6 (38)	1 (5)

*) 内の数字は屋上で測定した同時刻の水平面全日射量に対する割合(%)

図8 解析対象期間における膜下空間の表面温度と気温の時間変化

図9 膜下空間の中央部の測定点で収録した12時の全球熱画像

3.2. 膜下空間における方位別入射日射の分布特性

9月21日に測定した時間帯別の6方向日射量を表3にまとめた。太陽高度が低い6時と9時は東からの日射の入射量が多く、6時における東からの日射量が135W/m²で一日を通して最も多かった。そのときの屋外水平面全日射量に対する割合は99%であった。このときに地面(下方向)からの日射反射量は36W/m²で全日射量の27%であった。太陽高度が高くなる12時頃は、膜材料を透過した上方向からの日射入射量が最も多く65W/m²であり、全日射量の8%に相当した。測定点の西側は隣接している森の日射遮蔽によって、午後に太陽高度が下がっても西方向から測定点へ入射する15時の日射量は少なく約23W/m²(全日射量の6%)であった。そのときに、上方向からは全日射量の9%に相当する34W/m²の透過日射を受けた。

以上の結果より、膜下空間の中央部の地上高さ1.2mでは、開放方向から直達日射が入射する早朝6時頃を除くと、膜材料を透過した日射の影響を最も大きく受けていることがわかった。

3.3. 膜面と床面の温度変化特性

上記4日間に熱電対により測定した膜材料と床の表面温度および膜下の気温(地上高さ1.2m)を図8に示す。同図より、晴天日において膜表面に直達日射が当たらない時間帯には膜材の表面温度は外気温以下となり、その日変化範囲は21~37℃であった。日中に生じた

図 10 夏季晴天日の 9 時～19 時における外部風速・風向および膜下空間の風向・鉛直風速分布の時間変化 (10 分おきの測定データによる)

各測定部位の表面温度差は、主に受熱日射量の差によるものと考えられる。夜間に生じた 1°C 程度の各測定部位の温度差は、波形状をしている膜下空間の上方に停滞している空気温度差によるものと思われる。ここで、太陽高度が最も高い正午頃 (9/21) に収録した全球熱画像を図 9 に取り上げ、膜下空間の表面温度分布について考察する。同図で見られるように、膜面の殆どの部分が外気温より 7°C 以上高い 37°C に上昇しており、膜を透過した日射の影響を主に受ける床面では、外気温より 4°C 高い 34°C 以上を示す部分も存在していた。

また、床の表面温度の日変化について、図 8 に示す 9/21 のグラフより、木材の床面では (図中の e) 膜面からの透過日射の影響により日中は外気温より 1°C 前後高くなっていた。そして日中の透過日射が床へ蓄熱されていることと、膜材料が床面から天空への放射を遮蔽することにより、夜間でも木材の床面温度は外気温を 1°C 前後上回っていることが見られた。タイルの床面では (図中の f) 日中 9 時～15 時の時間帯に外気温より低い温度を示していたが、床への透過日射の蓄熱により午後 15 時以降から朝方まで外気温より 2°C 前後高い温度を保っていた。夜間から早朝にかけては木材の床面よりもタイルの床面温度の方が 1°C 程度高かった。

3.4. 膜下空間における風速の鉛直分布

図 10 に晴天日 (9/20 と 9/21) の 9 時～18 時における膜下空間の鉛直風速分布や外部風速等の時間変化を示す。同図の左図を見ると、9/20 には、午前と午後の外部風の主風向はそれぞれ東と西方向であった。すなわち、風が午前には海の方から流れており、午後 (13 時以降) になると海に向かって流れていた。また、午前中の外部風速が 1m/s 前後であるのに対して、膜下空間では高さ 11m までの風速は 1m/s 程度強い 2m/s 前後であった。これは、海面近傍では上空より強い海風が流れていることによる結果と思われる。午後では外部風速は $2\sim 4\text{m/s}$ の範囲であり、13 時以降に徐々に低下していた。このときに、膜下空間の風速は高さ 11m の位置では外部風速の半分以下に減衰していた。それ以外の位置 (膜裏面近傍や床面近傍、高さ 1.2m) では変化が

図 11 膜下空間の鉛直風速分布 (上図: 9/20, 下図: 9/21)

少なく、 0.5m/s 前後であった。

図 10 の右図に示した 9/21 のグラフに注目すると、前日 (9/20) に比べ、日中の卓越風は南風であり、風速は $1\sim 2\text{m/s}$ 強かった。しかし、膜下空間の風向は不安定で東か南方向に揺らしていた。また、膜下空間の風速は前日と同様な減衰の様子を示していた。南風または南西風が吹いた午後に膜下生活空間 (高さ 1.2m) の風速が大きく低下し

ていることは、膜下空間の開放部の西側に位置する森等の影響によると考えられる。

膜下空間における時刻別風速鉛直分布(毎正時の瞬時値)を示す図11からもわかるように、膜裏面近傍の風速は最大でも1m/s以下であり、殆どの時間帯には0.5m/s前後であった。この結果から、膜裏面近傍に空気が停滞していることが推測できた。

3.5. 膜下空間における気温の鉛直分布

図12に膜下空間における気温鉛直分布の時間変化を示す。同図は、前記2日間の晴天日における6時～20時までの期間に10分間隔で測定したデータを用いて作成したものである。9/20の10時～13時を除き、膜裏面近傍の気温(図中の h_4)は最も高いことが示されている。9/20の10時～13時の時間帯には膜裏面近傍の気温は外気温より0.5℃程度低くなっていた。これは、前述したようにこの時間帯に膜下空間を流れていた海風による通風冷却効果と言える。

図13は、前記両日について膜下空間の生活高さ1.2m(図中の h_2)の気温と外気温との相関を示すものである。海の方から風が流れた9/20の午前中(9時～13時)には膜下空間の気温は外気温より低くなっていることが見られた(図中の○マーク参照)。これに対して、9/21においては膜下空間の気温が外気温を上回っている場合は前日より多くなっていた。

膜下空間における時刻別気温鉛直分布(毎正時の瞬時値)を示す図14により、前記両日ともに生活空間高さ1.2mの気温は床面近傍の気温よりも0.5℃前後低くなっていた。9/20の午前中(9～12時)に外気より低温の海風が流れてきたため、高さ1.2mの気温に比べ、膜下空間の上方(h_3)の方が若干低いことが見られた。これに対して、海風が流れていなかった9/21の午前中では、後者の方が1℃弱高くなっていた。

膜裏面近傍(h_4)の気温は殆どの時間帯に外気温より高くなっていた。両者の差が正午以降に徐々に増大していき、日没直後(18時頃)に最大となり、その最大値は約1.5℃であった。

4. 膜下生活空間における温熱環境の評価

4.1. 平均放射温度(MRT)

熱放射場が人体に及ぼす熱的影響を評価するためには、その評価指標の一つとして平均放射温度(MRT)を用いることとした。梅干野らが開発した全球熱画像収録システムは、周囲全方位(4π)から測定点に到達する放射エネルギーを計測することにより、周囲の放射温度分布を表現する全球熱画像を作成することができる。収録された全球熱画像を用いて式(1)でMRTを算出することができる。

$$MRT = \sqrt[4]{\sum \phi_i T_{si}^4} \quad (1)$$

T_{si} : 周囲空間の閉鎖面にある微小面*i*の放射温度[K]

ϕ_i : 測定点から微小面への形態係数[-]

膜下空間の中央部高さ1.2mにおいて、測定した9/21の5時～20時のMRTを図15に示す。8時から12時までMRTは膜下空間の気温より0.5～3℃低かったが、12時以降には逆転して1℃以上の高い値を示していた。MRTは15時頃に最高となり、膜下空間の気温より約4℃高い34℃に達した。これは、膜材料の温度上昇と、膜材料を透過した日射に起因する床面の温度上昇等による結果である。また、膜材料により建物壁体や床から大気への放射冷却が遮られ、建物壁体や床に日中吸収された日射熱が蓄熱された結果、朝方6時までMRTは膜下空間の

図12 夏季晴天日の6～20時における膜下の鉛直気温分布の時間変化

図13 外気温と膜下空間(高さ1.2m)の気温との相関

図14 膜下空間の時刻別鉛直気温分布(上図:9/20, 下図:9/21)

表4 日射を考慮した平均放射温度の算出式⁴⁾

$$T_{r*} = T_r + \frac{a}{h_r} \cdot \left(\frac{A_r}{A_D} \right) \cdot J \quad (2)$$

$$J = \sum_{i=1}^6 F_i \cdot J_i \quad (3)$$

T_{r*} 日射を考慮した平均放射温度[K]

T_r 平均放射温度[K]

a 人体(着衣)の日射吸収率[-] (0.7と設定)

h_r 人体(着衣)に対する放射熱伝達率[W/(m²・K)] (4.1と設定⁷⁾)

A_r 人体(着衣)の有効放射面積[m²] (1.276と設定⁸⁾)

A_D 人体の体表面積[m²] (1.72と設定⁹⁾)

J 人体(着衣)に当たる全方向からの平均日射量[W/m²]

J_i 立方体のi方向を向いた面に対する日射量[W/m²]

F_i 立方体のi方向を向いた面から周壁全体を見る等価形態係数⁴⁾ [-]

人体を微小立方体に置き換えた場合のxyz直角座標に沿っておいたi面からの人体形状に見合った重み係数。以下の設定値を用いた⁴⁾。

$F_1=F_2=F_3=F_4=0.168$ (図4に示した①～④方向の側面)

$F_5=0.138$ (上面), $F_6=0.190$ (下面)

図15 晴天日(9/21)における膜下生活空間の気温, MRT, SET*

気温より2℃前後の高い温度を保っていた。

透過日射が膜下空間の放射環境に及ぼす影響について日射を考慮したMRTを用いて評価することにした。日射を考慮したMRTは表4の式(2)で算出した。MRTの算出には、人体を微小六面立方体に仮定した中村らのモデル⁴⁾を適用し、表4に示した等価形態係数や人体の日射吸収率等の設定値を使用した。9/21の6時～17時に測定した6方向日射量やMRT等を用いて日射を考慮したMRTを算出し、その結果を図15に示す。同図より、日射を考慮していないMRT(全球熱画像による値)に比べ、日射を考慮した方が6時～15時の時間帯では1～3℃、その他の時間帯では1℃近く高くなっていた。また、12時には膜材料からの透過日射が最も多いため、日射を考慮したMRTは最大となり、その値は膜下空間の気温より6℃高い36℃であった。

4.2 標準新有効温度(SET*)

熱放射、気温、気流、湿度を考慮した温熱快適性指標であるSET*を用いて膜下生活空間(地上高さ1.2m)における温熱快適性を評価した。SET*の算出には、Gaggeら⁹⁾に提案された人体熱平衡モデルをもとに作成されたプログラムを用い、人体の着衣量と代謝量をそれぞれ0.5clo(半袖シャツとズボンの着衣状態)と1.5Met(ゆっくりした歩行時)に設定した。図15に、9/21の6時～17時に測定した気温や風速等のデータを用いて算出したSET*を示す。図中のSET*に注目すると、6時から15時までSET*の値は気温より2～4℃高くなっており、最高で31℃に達した。16時以降のSET*は気温以下に低下した。

5. まとめ

屋外に開放的な膜下空間(半屋外空間)を有する膜構造建築物を対象として、膜下空間に形成される夏季の微気候について実測調査を行った。本報では、夏季晴天日における気流性状や気温分布等に関する実測データの解析により、以下の知見を得た。

- 1) 日射透過率10%程度・日射反射率70%以上の膜材料で構成された膜構造建築物においては、日中、日射を受けた膜の表面温度は外気温より4℃前後高い温度に上昇していた。
- 2) 膜材料で覆われた膜下空間においては、日中、膜から透過日射の影響により床面の温度は膜下空間の気温より2～3℃程度高かった。夜間では、床への透過日射の蓄熱および膜材料による天空への放射遮蔽により床表面温度は気温より2℃前後高い温度を保っていた。
- 3) 床表面の温度上昇や床への蓄熱により、生活高さ1.2mの気温は床面近傍の気温よりも0.5℃前後低くなっていた。
- 4) 海風による通風があった場合、膜下空間の気温は外気温以下に低下した。外部風による通風が行われていなかった場合、膜下空間の気温は外気温より若干高くなっていた。
- 5) 波形状をしている膜屋根の裏面付近の気温は殆どの時間帯に外気温より高いことに加え、その風速は常に弱い(0.5m/s前後)ことから、そこに空気が停滞していることが確認できた。
- 6) 夏季晴天日において、膜下生活空間におけるSET*は日中に気温より2～4℃高くなっており、最高で31℃に達した。

本実測対象とした膜下生活空間においては、光環境や通風環境について良好的であったが、膜材料からの透過日射等による床表面温度の上昇がその温熱環境悪化をもたらす主要因であることが明らかになった。今後の膜構造建築の設計においては、日本の伝統的な土間空間のように蒸発冷却による床表面温度の上昇緩和手法や建築的な工夫等の導入を検討すべきことが示唆された。

謝辞

本実測調査の実施にあたり、実測対象施設の関係者には施設の利用等で多大なるご協力を頂いた。ここに記して深謝の意を表す。

参考・引用文献

- 1) 吉野達矢, 親川昭彦, 梅干野晃, 嚴泰潤, 小川俊輔: 膜構造の建築空間における夏季の熱放射環境に関する実測, 膜構造研究論文集2007, No. 21, pp. 65-74, 2007. 12
- 2) 梅干野晃, 何江, 中大窪千品, 矢ヶ部信吾, 小川俊輔, 嚴泰潤: 膜構造建築の生活空間の熱放射環境に関する実測調査と予測評価, 赤外線学会誌, 第17巻2号, pp. 40～47, 2008. 9
- 3) 辻原万規彦, 中村泰人ほか: 温暖多照地域における全蓋型アーケード内部の気温分布性状, 日本建築学会計画系論文集, 第508号, pp. 43～50, 1998. 6
- 4) 辻原万規彦, 中村泰人ほか: 温暖多照地域における全蓋型アーケード内部の温熱環境の評価, 日本建築学会計画系論文集, 第514号, pp. 43～50, 1998. 12
- 5) 辻原万規彦, 平栗靖浩, 川井敬二, 田中稔, 河上健也: 遮光膜を設置した全蓋型アーケード内部の温熱環境評価, 日本建築学会計画系論文集, 第578号, pp. 55～61, 2004. 4
- 6) 浅野耕一, 梅干野晃, 山田貴代, 松永徹志: 建築外部空間における熱環境解析のための3次元熱画像の作成に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, 第508号, pp. 35～41, 1998. 6
- 7) 土川忠浩, 坂本英彦, 蔵澄美仁, 大和義昭: 建築空間における歩行時の人体放射・対流熱伝達率に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集(九州)環境工学II, pp. 399～400, 2007. 8
- 8) 尾関義一, 小西正哲, 成田千恵, 田辺新一: 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, 第525号, pp. 45～51, 1999. 11
- 9) A.P. Gagge, A.P. Fobelets, L.G. Berlund: A standard predictive index of human response to the thermal environment, ASHRAE Transactions 91-B, pp.709-731, 1986

[2008年10月20日原稿受理 2008年12月25日採用決定]