

吉野達矢^{*1}
親川昭彦^{*2}
梅干野晃^{*3}
巖 泰潤^{*4}
小川俊輔^{*5}

本研究では、屋外に開放的な膜構造建築物に着目して、その膜下空間に形成される夏季の熱放射環境の特性を、太陽放射領域の短波長放射（波長域 $0.3 \sim 3 \mu\text{m}$ ）と常温域熱放射の長波長放射（波長 $10 \mu\text{m}$ 前後）を中心とした実測調査によって検討した。その結果、①日中には、膜材料（日射反射率 74%，日射透過率 12%，日射吸収率 14%）の表面温度上昇に加え、膜材料を透過した日射が地面や壁面に吸収され、それらの表面温度が上昇し、風の弱い晴天日における膜下中央部（ $h=1.2\text{m}$ ）の平均放射温度は、外気温より 4°C も高くなることを把握した。②夜間には、膜材料の表面温度は外気温またはそれ以下になるが、膜下空間の地面や壁面の表面温度は日中に地面や壁面に吸収された日射熱が大气放射冷却によって放散され難いため、それらの表面温度は膜下空間の気温より高く、早朝でも膜下空間の平均放射温度は 2°C 程度高い値を示した。

近年、膜構造建築物は、これまでの構造的な工夫や材料の開発等による豊富なデザイン性、経済性、耐震性、短い工期、及び透光性等の長所を活かし、適用範囲を広げてきた。特に都市の半屋外空間を形成する施設（例えば、屋外通路の上屋）への利用増加が著しい。一方都市では、ヒートアイランド現象が深刻化し、平成15年度には政府によってヒートアイランド対策大綱¹⁾が示されるなど、環境配慮の認識が高まっている。このことから、膜構造建築物についても環境的アプローチが必要になると考える。

以上のように、これまでの研究では、膜材料の環境物理的な特性と、膜材料の透光性という長所が逆に熱負荷の過剰となるような空間、すなわち、屋根と壁に囲まれた膜構造の建築空間が主な研究対象になっていた。

- *1 太陽工業株式会社 技術研究所 博士(工学)
- *2 太陽工業株式会社 技術企画室
- *3 東京工業大学大学院 教授 工学博士
- *4 東京工業大学大学院 特別研究員 博士(工学)
- *5 東京工業大学大学院 大学院生

候への影響の把握を試み、屋外に開放的な膜構造の建築空間（以下、膜下空間）に着目した。本研究では、膜下空間における夏季の熱放射環境の特性を、太陽放射領域の短波長放射^{注1)}と常温域熱放射の長波長放射^{注2)}を中心とした実測調査によって把握したので、報告する（図1）。構成は次の通りである。①膜構造の建築空間における夏季日中の短波長放射は、水平照度分布の日変化と六方向（東西南北、上下）日射量の日変化を把握することにより確認した。②長波長放射については、得られた短波長放射の知見を踏まえ、地物からの常温域熱放射を表す熱画像等を用いて、その膜下空間における長波長放射分布の日変化を検討し、さらに平均放射温度（MRT）を用いて、膜下空間の中央部の地上高さ1.2mにおける各地物から受ける熱放射の影響を考察した。

2 実測概要

2.1 対象建築物とその周辺における形態と構成材料

本研究で実測対象は、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2）。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程度である。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、西側は森に向かって開放されている。

特に、次節以降の主な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図3に示すとおりである。その周囲4 π （全球）は、膜30%、地面40%、建物20%の割合で構成されている。上方向は、屋根材である

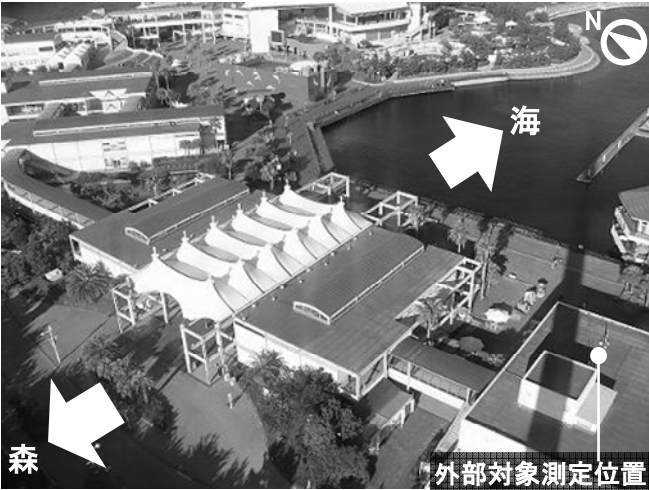


図2 実測対象地周辺の様子と外部気象測定位置

表1 測定点周辺構成材料の物性値

膜材料の日射に対する物性値		
反射率	透過率	吸収率
74%	12%	14%

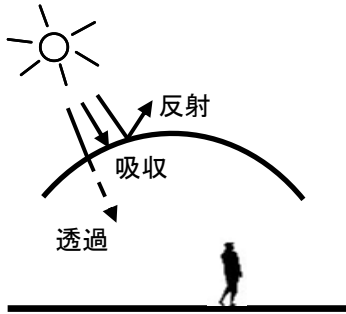


図4 膜材料の日射に対する物性の概念図

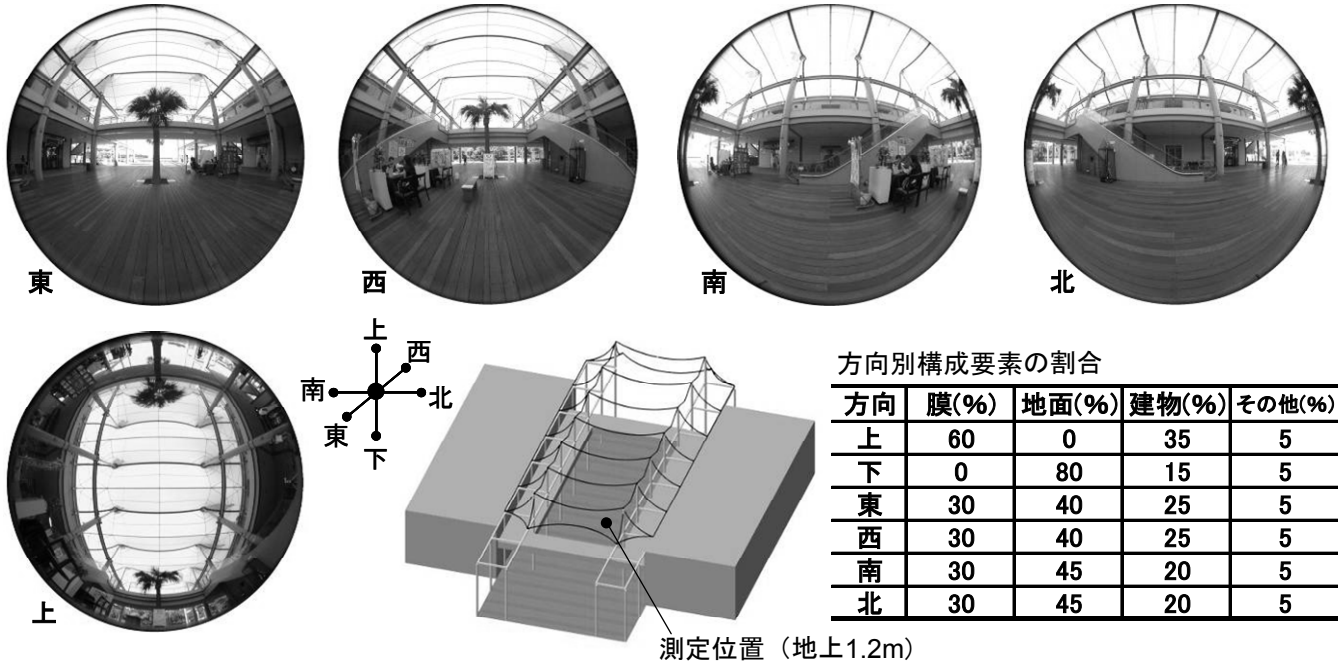


図3 六方向の短波長放射と長波長放射の測定地点における空間形態と構成材料

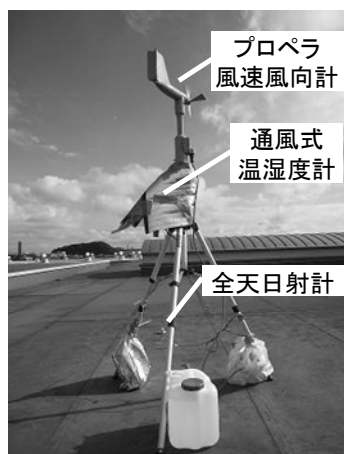


図5 外部気象測定機器

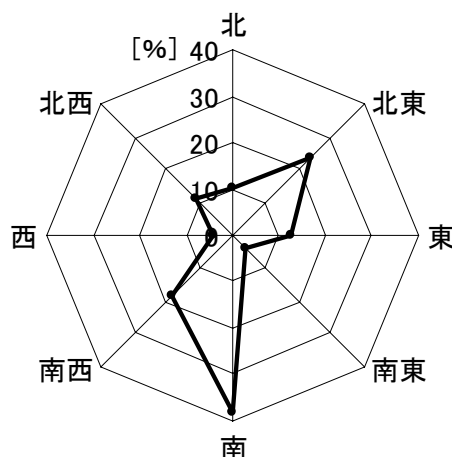


図6 測定期間中の風向

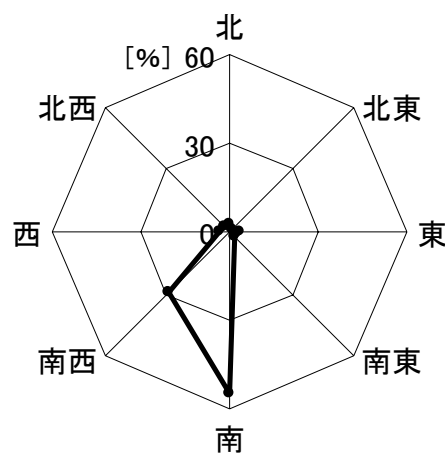


図7 放射環境測定日の風向
(9月20日, 21日)

表2 外部気象の測定項目と測定機器

項目	機器	備考	測定精度
気温・相対湿度	熱電対, 電子式高分子湿度センサ (通風式温湿度計)	熱電対: T型100 μ m(直径) 相対湿度: 5~95%(測定範囲)	相対湿度: $\pm 5\%$
風速・風向	プロペラ式風速風向計	風速: 0.4~70m/s(測定範囲) 風向: 0° ~540°	風速: ± 0.3 m/s(6m/s以下) 風向: $\pm 5^\circ$
水平面全天日射量	日射計	波長域: 0.3~2.8 μ m	$\pm 5\%$

膜材料が上方向 2π (半球) のうちの60%程度を占め, 残りは南北の建物の屋根と天空が占めている。下方向は, 下方向 2π のうち80%を木材の地面が占めている。

膜材料の日射に対する光学特性は, 表1, 図4の通りである。膜下空間の中央部の広い地面は, 木材の細長い板が敷き詰められており, 南北の外側はタイルの地面となっている。南側と北側はコンクリートの建物が配置されており, 膜下空間の中央部の南北側にはエスカレーターが設置されている。

2.2 各測定項目の実測期間

測定は, 外部気象, 熱放射環境, 表面温度に分けられる。外部気象の測定は, 8月29日~9月26日に24時間の連続測定を行い, 台風が接近した9月5日~8日の間は測定を中止した。短波長・長波長放射に関する測定は一日を通して晴天であった9月4日, 9月20日, 9月21日の3日間に行なった。膜及び地面の表面温度の測定は外部気象の測定期間と同様の時期に行った。

2.3 実測期間における気象

外部気象は, 気温, 相対湿度, 風速, 風向, および全天日射量について測定した。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の建物屋上において, 高さ2mの位置で測定を行った(図2, 図5)。その他の測定に関する詳細は表2を参照。

全測定時期における日平均気温は21.8 $^{\circ}$ C~27.6 $^{\circ}$ Cであり, 短波長放射・長波長放射の測定を行った晴天日(以下, 放射測定日)の日平均気温は26.4 $^{\circ}$ Cであった。全測定時期におけ

る風速の日平均値は0.7m/s~5.8m/sであり, 放射測定日の日平均風速は1.8m/sであった。図6に示すように, 測定期間中の風向は, 南, 南西の風が6割の頻度であり, 放射測定日の卓越風も南風であった(図7)。対象物の同地域となる横浜気象台の夏季のデータ(7月, 8月)⁷⁾によると, 日平均気温は25.6 $^{\circ}$ C, 日平均風速は3.3m/s, 卓越風は南西風ある。すなわち, 本実測の時期が主に9月に行われたものの, 同地域の夏季の気象条件で実測が行われたといえる。

3 膜下空間における短波長放射の実態

日射が透過する膜材料に覆われている建築空間の熱放射環境を調査するため, まずそこにおける日中の短波長放射の状況を明らかにする必要がある。ここでは, はじめに, 膜下空間の地面に届く短波長放射の分布の確認に容易である照度計を用いて, 地面における光領域の水平面照度分布の日変化を実測によって確認した。次に, 膜材料の透過日射の影響を大きく受ける膜下空間の中央部において, 地上高さ1.2mにおける六方向(東西南北, 上下)日射量の日変化を確認した。

3.1 測定概要

図8に示すように, 水平面照度の測定位置は, 2F 渡り廊下による地面レベルの水平面照度への影響等を考慮した上で, 膜下空間の照度分布の様子が確認できる9点(a1~c3)の測定点を選定した。水平面照度分布の測定は, 照度計を用いてa1~c3の順番に, 一日3回東西からの直達日射が入射しやすい8時と16時, そして膜材料を透過する日射の影響が確認しやすい12時に行った。

六方向日射量の測定は、図9の断面図に示すように、人の生活高さを考慮し地上高さ1.2mとした。六方向日射量の測定は、二方向が同時に測定できる日射計を用いて、上下、東西、南北の順番に行った。測定は、一日5回、日出直後の6時、東から日射入射がある9時、日中太陽高度が最高となる12時、西から日射入射がある15時、日没直前の17時に行った。装置は日射計（測定波長域 $0.3 \sim 2.8 \mu\text{m}$ ）と照度計（測定波長域 $0.4 \sim 0.7 \mu\text{m}$ ）を用いた。なお、水平面照度および六方向日射量の測定は、外部の全天日射量が一定であることを確認した上で行なった。

3.2 膜下空間における短波長放射

(1) 水平面照度の面分布とその日変化

測定時刻ごとの膜下空間の水平面照度（以下、照度）分布を図10に示す。8時における東側の測定地点の照度は直達日射の影響によって全天空照度（55000lx程度）の90%以上にあたる50000lx程度が測定されたが、直達日射の当たらない西側の測定地点の照度は、全天空照度の5%以下にあたる1000~2000lx程度であった。なお、周囲を遮るものが少ない中央の測定地点では全天空照度の13%にあたる6500lxが測定された。

12時頃に膜下空間における照度は、太陽高度が最も高くな

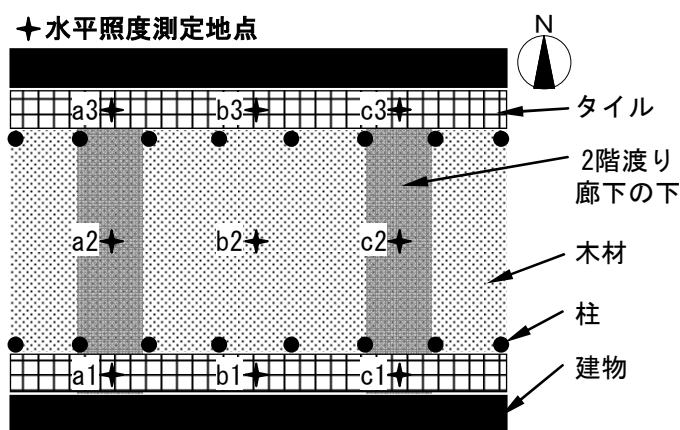


図8 水平面照度測定位置

るため、膜材料を透過した日射の影響を大きく受ける。特に、膜材料を透過した日射の影響を最も受けている中央部の照度（b2）は全天空照度（100000lx）の7%程度にあたる7000lxであった。なおこの時、上方にある渡り橋の日射遮蔽の影響で、a2やc2の測定地点は中央部（b2）に比べ低い値（5000lx程度）となっている。

16時頃における照度分布では、直達日射の入射がある西側（全天空照度の70%：25000lx程度）が最も高く、東側が全天空照度（36000lx）の4%程度の1500lxであった。この時、中央部のb2の照度は、上方にある渡り橋の日射遮蔽の影響を受けるが、全天空照度の7%にあたる2600lxを示した。

以上、膜下空間の中央部地面における水平面照度は、開放方向から直達日射が入射する早朝を除くと、膜材料の透過日射と相互反射等によって全天空照度の10%前後で変動した。

(2) 膜下の中央部における六方向日射量

ここでは、膜材料を透過する日射の影響を最も受けている膜下空間の中央部で、人の生活高さの地上高さ1.2mにおける短波長放射の入射方向別の度合いを明らかにするため、六方向（東西南北、上下）日射量の日変化を確認した。

図11-Aに測定点における六方向から入射した日射量を測定時間帯別に示したものと、図11-Bに全天空照度に対する各

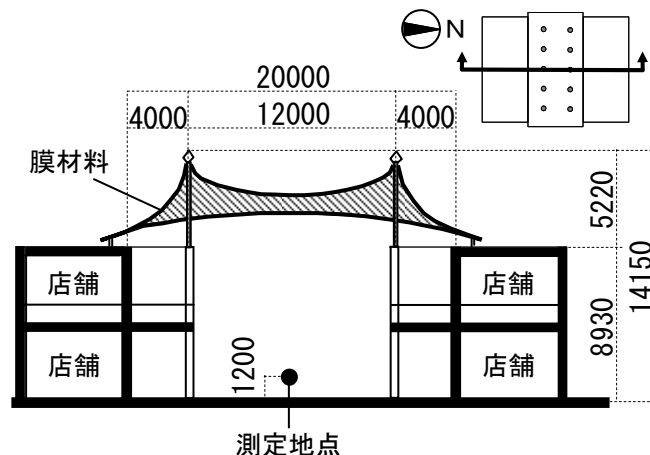


図9 実測対象空間の規模と測定位置

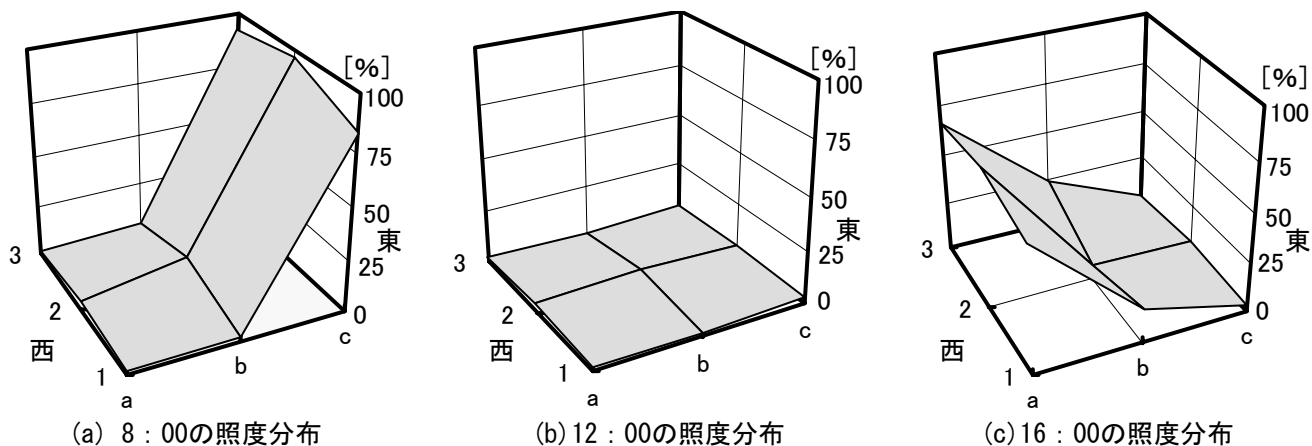


図10 全天空照度に対する各測定点の水平面照度比の日変化

方位の日射量の比を測定時間帯別に示す。なお、図 11-B の 9 時と 15 時は、12 時の値とほぼ同等なため省略した。

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 130 W/m^2 と一日を通して最も多かった。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なる。12 時の日射入射量は最高 70 W/m^2 であり、全天日射量の 9% が透過した。なお、地面からの日射反射量は東方向から 130 W/m^2 （全天空日射量の 99%）が入射する時、 30 W/m^2 程度（全天空日射量の 27%）であった。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測定点へ入射する日射量は約 20 W/m^2 程度（全天空日射量の 6%）であった。

以上より、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 6 時頃を除くと、膜材料を透過した日射の影響を最も受けていた。

4 膜下空間における長波長放射の実態

膜構造の建築空間における長波長放射環境は、その空間を囲んでいる膜材料、地面（木材）、および建物の壁面等といった周囲の構成地物から放射する熱によるものであり、日中の短波長放射の影響を大きく受ける。膜下空間における短波長放射の実態については 3 節で確認したので、ここではその知見を踏まえ、膜構造の建築空間を構成する膜材料や地面（木材等）や建物の壁面等によって形成される長波長放射環境の日変化を、熱画像を用いて把握する。さらに膜材料と地面の表面温度の日変化については熱電対を用いた接触測定法によって明らかにした。

4.1 測定概要

(1) 全球熱画像の測定

全球熱画像の測定は、筆者らが開発した全球熱画像収録システム^{8), 9), 注3)}を用いて、膜構造の建築空間における長波長放射環境の特徴が捉えやすい膜下空間の中央部の地上高さ 1.2m 地点で行った（図 9、図 12、表 3）。短波長放射と同様に一日が晴天日であった 9 月 4 日、9 月 20 日、9 月 21 日に行なった。全球熱画像の測定時刻は、蓄冷を確認するために日出前の 5 時と 7 時、東側から日射の入射がある 9 時、日中最高太陽高度となる 12 時、西側から日射の入射がある 15 時、日没直後の 18 時、周囲地物への蓄熱の様子を確認するための 19 時と 20 時に行った。

(2) 接触測定法による膜面および地面の表面温度の日変化

測定は、ハンダ被覆した熱電対（T 型、 $\phi 100 \mu\text{m}$ ）を用いて 8 月 29 日～9 月 26 日に一分間隔で連続測定を行なった。測定位置は図 13 に示すように、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。地面の場合、構成材料による差の確認を試み、木材とタイルの 2 種類の材料をそれぞれ中央部と南北側の建物の沿いにおいて 4 箇所測定を行った。

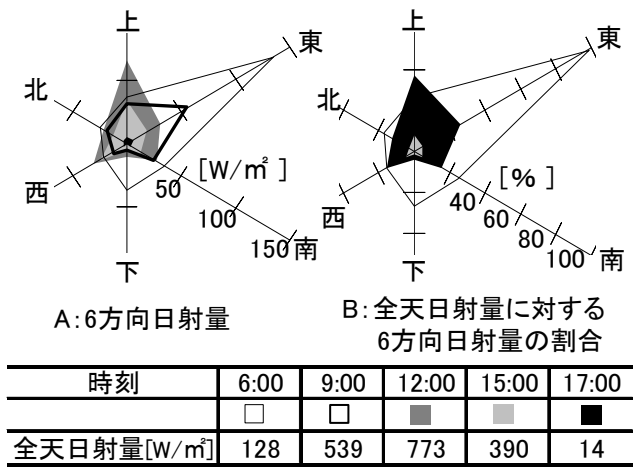


図 11 9月21日の六方向日射量の日変化

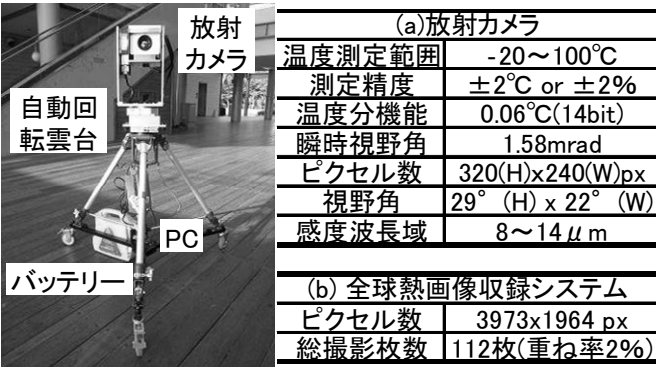


図 12 全球熱画像の外観と仕様

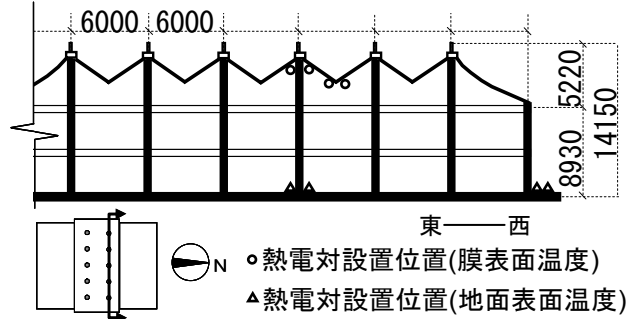


図 13 膜材料表面温度の熱電対測定位置

4.2 測定場所における長波長放射

(1) 全球熱画像による長波長放射の日変化

ここでは、対象空間の主な構成材料となる膜材料、地面（木材）、および建物の壁（コンクリート）を中心にそれらの表面温度の日変化の傾向を確認する。各時間帯の全球熱画像を図 14 に示す。

日出前の 5 時頃、膜材料の表面温度は大気への放射冷却によって外部気温に比べて 2°C 程度低く、膜材料によって大気への放射冷却が遮られている地面（木材）は外部気温より 1°C 程度高い傾向が見られた。一方、地面（木材）より熱容量が大きい建物の壁面は、前日日中の蓄熱や大気への放射の遮蔽によって、外部気温に比べ 3°C 高い部分が多く、設備放熱によるものと見られる北方向の壁面の一部は外部気温より最高 5°C も高かった。この傾向は、日出（5:30 頃）によりすぐ変

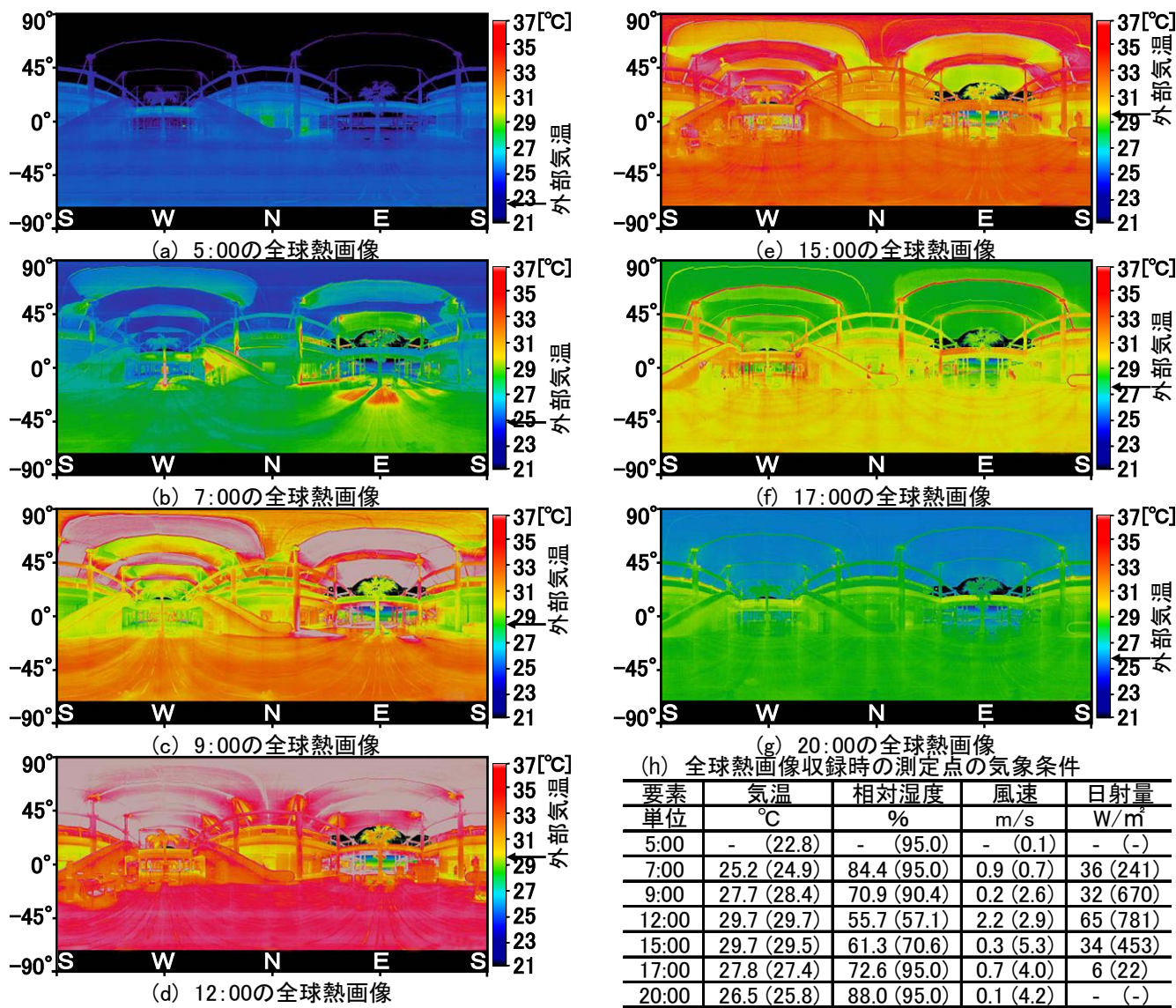
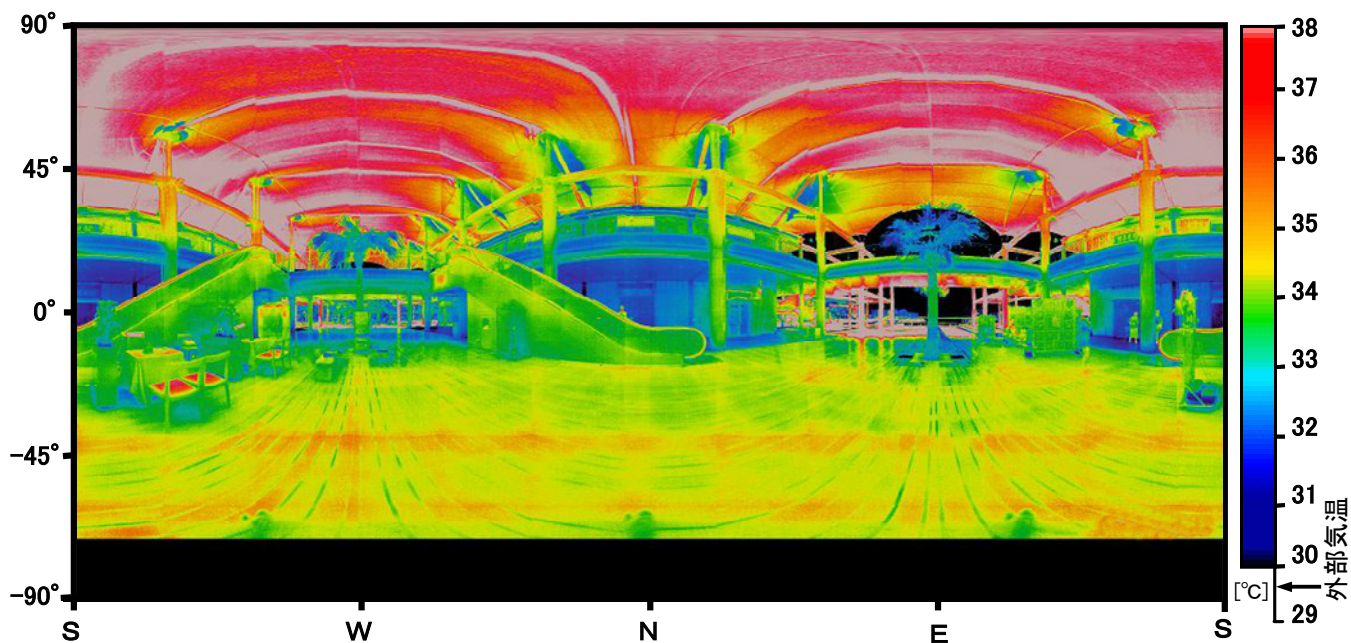
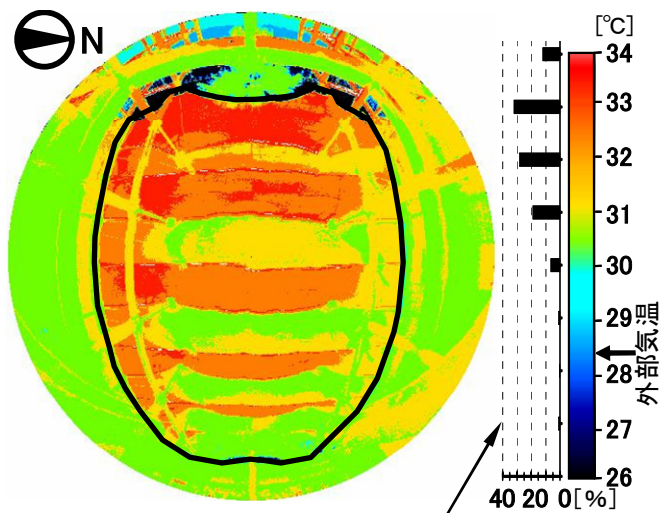


図14 全球熱画像による長波長放射の日変化

注: ()内は外部気象





膜材料の表面温度分布を表したヒストグラム

図16 2007/9/21 9時の上方向 2π からの放射

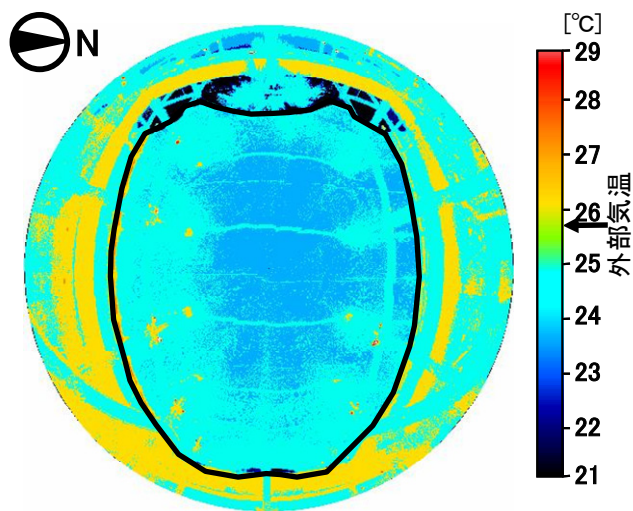


図17 2007/9/21 20時の上方向 2π からの放射

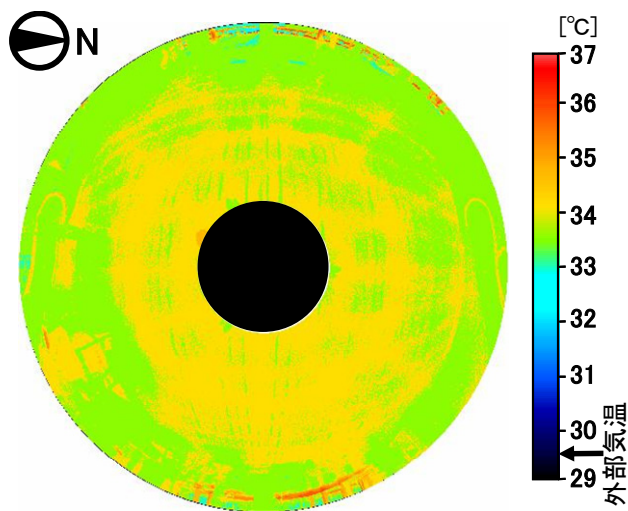


図18 2007/9/21 15時下方向 2π の地面からの放射

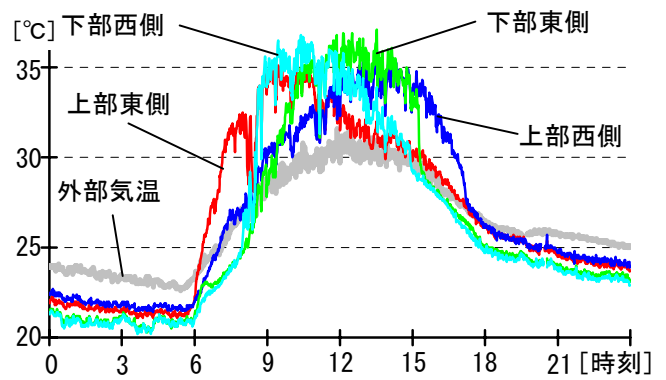


図19 膜材料表面温度の日変化

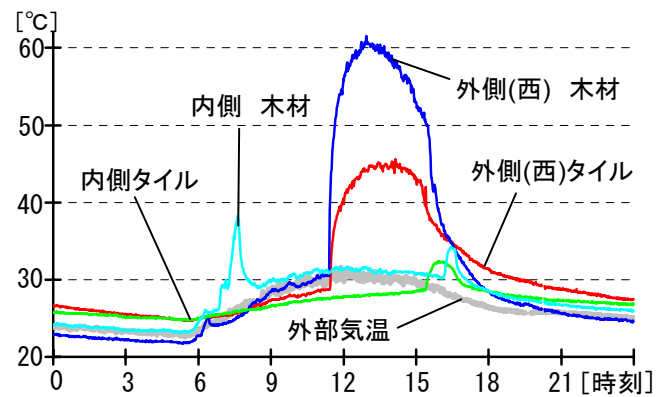


図20 地面表面温度の日変化

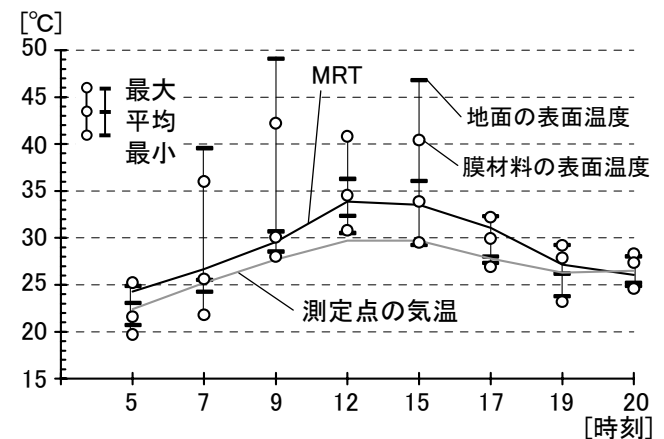


図21 膜材料と地面の表面温度とMRTの日変化

化し、1 時間程度の直達日射の影響で、すべての構成材料の表面温度の上昇がみられた。特に受熱日射量の多い膜材料や地面の部分における表面温度上昇が著しかった。9 時になると、東側を向いている膜材料の表面温度は、外部気温より最高 9°C 程度高くなり、地面の表面温度も外部気温より 4°C 程度高くなった。

太陽高度が最も高い 12 時頃には、膜材料のほとんどの部分が外部気温より 7°C 以上高い 37°C を超えており、膜材料を透過した日射の影響を主に受ける地面では、外部気温より 4°C 高い 34°C 以上を示す部分もあった。これは 12 時の熱画像を拡大した図 15 をみるとより確認しやすい。15 時頃、太陽高度が西側に傾くにつれて膜材料の透過日射量も 12 時頃に比

べ減少するので、膜材料や地面の表面温度は12時頃に比べ低下している傾向がみられた。一方、熱容量の大きい南北の壁面の表面温度は、12時頃からの変化があまりみられなかった。

日没直前の17時頃になると、膜材料の表面温度はほぼ外部気温と等しくなる一方、地面の表面温度はまだ外部気温より2℃程度高かった。それ以降、膜材料や地面の表面温度は対流や放射によって低下し、日没から3時間程度経過した20時頃には、気温相当あるいはそれ以下まで低下していた。ただし、熱容量の大きい建物の壁面等は外部気温以上の表面温度を保っていた。なお、全球熱画像の地面付近に横に伸びている縞模様は、赤外線放射カメラと撮影対象面との角度によって生じる温度差とみられる。

以上、膜材料の表面温度は、日出前、大気への放射冷却によって外部気温より2℃程度(21℃)低いが、日中にはその受熱日射量の程度によって、外部気温より最高7℃(37℃)も高くなることが確認された。また、地面から大気への放射が遮られ、日出前の地面(木材)の表面温度は外部気温相当または若干高い傾向であったが、膜材料の透過日射と相互反射の影響を最も受ける12時頃には最高34℃まで上昇した。なお、熱容量の大きい建物壁面の表面温度は、前日の蓄熱と膜材料によって大気への放射冷却が遮られ、日出前にも外部気温より3℃程度高かった。

(2) 上下方向2πにおける長波長放射の分布

ここでは、前項での構成材料の日変化の傾向を踏まえ、膜材料および地面の表面温度分布を詳細に分析する。分析には、測定点から上方向をみた膜材料の熱画像と、測定点から下方向をみた地面の熱画像を用いる。

図16に膜の形態による膜材料の表面温度の差がもっとも明確な、9時の上方向2πの熱画像を示す。黒のラインは膜と壁の境界線である。熱画像の右のグラフは、境界線内の膜材料の表面温度分布を表したヒストグラムである。膜材料の表面温度は、31℃から34℃付近に分布し、3℃程度の温度幅がある。膜表面の平均温度は32.2℃であり、外部気温である28.4℃よりも4℃程度高くなっている。膜材料の表面温度に分布が生じているのは、膜の形態による受熱日射量の差が熱容量の小さい膜材料の表面温度に反映された結果と考えられる。

また、日没後の膜材料の表面温度が確認できる20時の上方向2πの熱画像(図17)をみると、日中上昇した膜材料の表面温度は、放射冷却により20時頃に外部気温より2℃程度低下していた。日没後、熱容量が小さい膜材料の表面温度幅は、対流や放射による冷却により、1℃未満まで低下していた。

地面の表面温度の分布が確認できる15時頃の下方向2πの熱画像を図18に示す。地面の場合は、膜材料の透過日射など短波長放射の蓄熱により、その表面温度が34℃まで上昇し外部気温に比べ4℃程度高くなっている。膜下空間の中央部地面の表面温度は、3節で前述したように、渡り廊下など周囲に障害物が少ないため、透過日射が当たりやすく、その周囲の地面(32℃)に比べ2℃程度高くなっていた。

以上、熱容量の小さい膜材料では膜の形態に起因する受熱日射量の差によって3℃程度以内の表面温度の幅が生じたが、夜間になるとその幅は1℃未満となっていた。一方、地面(木材)の表面温度では、膜材料の透過日射量の影響の度合いによって2℃以内の温度の幅が確認された。

(3) 接触測定法による膜面および地面の表面温度の日変化

膜材料と地面の表面温度の日変化を接触測定法による連続データを用いて考察する。

図19に示すように、膜材料の表面温度は膜材料に直達日射が当たらないときは外部気温以下となり、その日変化の範囲は21℃～37℃であった。日中、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、夜間における1℃程度の各測定部位の温度差は、波形状をしている膜の形態によって、上部における気流停滞の傾向と考えられる。この詳細については、本論文の論外であるので省略する。

図20は材料(木材、タイル)や天空への開放程度による地面の表面温度の日変化を示す。膜にほぼ覆われている木材の地面の温度は24℃～38℃の範囲で変化し、東側や西側から直達日射の入射による温度上昇を除き、日中に32℃まで上昇した。これは同時時間帯に膜に覆われているタイルの地面の表面温度より4℃程度高い温度であり、熱画像(最高温度34℃)との差は測定位置に起因するものと考えられる。なお、夜間におけるタイルの地面の表面温度は、日中の蓄熱が保持され、気温より2℃以上高かった。一方、膜にほぼ覆われていない地面の日中最高の表面温度は、木材とタイルでそれぞれ60℃と45℃まで上昇した。

以上、膜材料の表面温度は、日出前に大気への放射冷却によって外部気温に比べ最大2℃程度低い21℃であったが、日中は外部気温より最高7℃(37℃)も高くなった。膜下空間の地面(木材)の表面温度は、日出前に外部気温に比べ1℃程度高い24℃であったが、膜材料の透過日射量の影響を最も受ける12時頃には外部気温よりも4℃程度高い34℃まで上昇した。

4.3 平均放射温度の日変化

本節では、人間の温熱感覚に影響する一つの指標である平均放射温度(MRT)を用いて、膜下空間における長波長放射環境の日変化を考察する。MRTは、全球熱画像収録装置により取得した周囲4πの熱画像を平均し算出した。図21に示すように、膜下空間の中央部高さ1.2mにおけるMRTの日変化を、5～20時のMRTと膜材料および地面の表面温度分布の推移によって確認した。

日中、MRTは膜材料と地面の平均表面温度とほぼ同じ推移であり、常に膜下空間の気温よりも2℃以上の高い値であった。また、MRTは12時頃、最も高くなり、膜下空間の気温より4℃高い34℃まで上昇した。これは、膜材料の温度上昇と、膜材料を透過した日射による地面の温度の上昇等による結果である。一方、5時のMRTが膜材料や地面の平均表面温度よりも高いのは、4.2で熱画像を用いて確認したように、膜材

料によって大気への放射冷却が遮られた建物の壁面における蓄熱によるものと考えられる。

以上より、膜下空間の中央部高さ 1.2m における MRT は、膜材料によって大気への放射冷却が遮られた地面や建物の壁面の蓄熱で日出前も気温より 2℃程度高く、12 時頃には膜材料の温度上昇や、膜材料の透過日射と相互反射の影響による地面や建物の壁面等の温度上昇によって、気温より 4℃も高くなった。

5 まとめ

本研究では、屋外に開放的な膜構造建築物に着目して、その膜下空間に形成される夏季の熱放射環境の特性を、太陽放射領域の短波長放射（波長域 0.3～3 μm ）と常温域熱放射の長波長放射（波長 10 μm 前後）を中心とした実測調査によって検討した。その結果、①日中には、膜材料（日射反射率 74%、日射透過率 12%、日射吸収率 14%）の表面温度上昇に加え、膜材料を透過した日射が地面や壁面に吸収され、それらの表面温度が上昇し、風の弱い晴天日における膜下中央部（h=1.2m）の平均放射温度は、外気温より 4℃も高くなることを把握した。②夜間には、膜材料の表面温度は外気温またはそれ以下になるが、膜下空間の地面や壁面の表面温度は日中に地面や壁面に吸収された日射熱が大気放射冷却によって放散され難いため、それらの表面温度は膜下空間の気温より高く、早朝でも膜下空間の平均放射温度は 2℃程度高い値を示した。

以上、屋外に開放的な膜構造の建築空間における熱環境の特性を把握するため、まず熱放射環境に関する検討を行った。今後は、気流性状や気温分布等も含めて微気候の特性を検討していきたい。

【謝辞】

本研究の実測調査にあたり、株式会社横浜八景島の方々には施設利用の際などで、多大なるご協力をいただいた。ここに記して謝意を表する。

【参考文献】

- 1) ヒートアイランド対策大綱, 2004. 3
- 2) 佐野武仁: 膜構造建築に用いる塩ビ膜とフッ素樹脂膜の光特性と熱特性に関する実験研究, 日本建築学会計画系論文集 第 451 号 pp19-27 1993. 09
- 3) 山口温, 佐野武仁: 膜構造建築に用いる四フッ化エチレン膜樹脂の汚れと経年変化に関する実験研究, 日本建築学会計画系論文集 第 546 号 pp23-29 2001. 08
- 4) 佐野武仁: 大空間エアドームの夏季, 中間期における垂直温度分布の実測と推定に関する研究, 日本建築学会計画系論文集 第 472 号 pp21-29 1995. 06
- 5) 佐野武仁: 大空間エアドームの夏期の熱負荷の推定に関する研究, 日本建築学会計画系論文集 第 489 号 pp37-46 1996. 11
- 6) 武田仁, 本田貴久, 中田貴之: 光触媒建築用膜材料の蒸発冷却実測調査とシミュレーションー建築用膜材料を使用した愛知万博休憩所とモックアップの検証ー, 日本建築学会環境系論文集 第 608 号 pp23-29 2006. 10
- 7) 横浜気象台のデータ(気象庁 HP 2007. 10)
- 8) 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 245 号, pp35-41, 1998. 6
- 9) 梅干野晃, 浅輪貴史, 何江, 平野絢也, 涌井隆史: 全球熱画像を用いた市街地生活空間の熱放射環境評価, 日本赤外線学会誌, 第 16 巻 2 号, 2007

【注】

- 注 1) 短波長放射は、太陽放射（直達日射、天空日射）およびその地物からの反射を対象とし、波長 0.3～3 μm の放射。
- 注 2) 長波長放射は、屋根面、地面、及び建物壁面等といった生活空間を構成する面からの常温域の熱放射で波長 10 μm 前後の放射。
- 注 3) 筆者らが開発した全球熱画像収録システムは、赤外線放射カメラを鉛直方向と水平方向に自動回転させることで、収録地点の周囲 4 π （全球）方向の放射温度分布を取得し、全球の熱画像を作成するシステムである⁸⁾。

Characteristics of the summer radiant environment in the semi-enclosure space of a membrane structure

Tatsuya YOSHINO^{*1}
Akihiko OYAKAWA^{*2}
Akira HOYANO^{*3}
Tae-yun AUM^{*4}
Shunsuke OGAWA^{*5}

SYNOPSIS

This study is an attempt to reveal the characteristics of the summer radiant environment in a membrane structure, semi-enclosure space, by field survey on short wavelength radiation (range: $0.3\sim 3\ \mu\text{m}$) and long wavelength radiation (range: around $10\ \mu\text{m}$). The following findings were obtained: ①The Mean Radiant Temperature at the height of 1.2 m in the central part was higher than the air temperature of the space by 4°C at noon, due to increased surface temperature on membrane (solar reflectance: 74%, solar transmittance: 12%, solar absorptivity: 14%) and the wooden floor by transmission solar radiation, interreflection, and direct solar radiation; ②The Mean Radiant Temperature was higher than the air temperature of the space by 2°C before dawn because of the heat storage of wooden floor and walls of building where radiation cooling to the atmosphere was obstructed by the membrane in the night.

*1 Advanced Structures R&D Department, Taiyo Kogyo Corporation, Dr. Eng.

*2 Advanced Structures R&D Department, Taiyo Kogyo Corporation

*3 Professor, Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology, Dr.Eng.

*4 Fellow, Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology, Dr.Eng.

*5 Graduate Student, Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology, Dr.Eng.