

# 透湿性防水膜を用いた蒸発冷却 パネルの試作と屋外実験による 暑熱緩和効果の検証

# PROTOTYPE OF EVAPORATIVE COOLING PANEL BY USING MOISTURE PERMEABLE WATERPROOF MEMBRANE AND VERIFICATION OF HEAT MITIGATION EFFECTS BY OUTDOOR EXPERIMENTS

黒川航太郎 — \* 1 西岡真穂 — \* 2  
鍋島美奈子 — \* 3

Kotaro KUROKAWA — \* 1 Masatoshi NISHIOKA — \* 2  
Minako NABESHIMA — \* 3

キーワード：  
蒸発冷却, 透湿性防水膜, 屋外実験, ヒートアイランド

Keywords:  
Evaporative cooling, Moisture permeable waterproof membrane,  
Outdoor experiment, Urban heat island

As an adaptation measure to hot environments, this study proposes a cooling method that stores water inside a moisture permeable waterproof designed in a bag shape and promotes evaporation from its surface. In this study, panel made of a moisture permeable waterproof membrane was set under a tent, and experiments were conducted to verify its heat mitigation effects. On a sunny day in summer, it was found the panel surface temperature decreased by about 7 degrees due to evaporation, and the glove temperature under a tent decreased by about 0.5 degrees.

## 1. はじめに

近年、地球温暖化やヒートアイランド現象に伴う夏季の温熱環境の悪化が深刻な問題となっている。特に東京や大阪など都心部では、ヒートアイランド現象による平均気温の上昇が顕著であり、環境省のヒートアイランド対策マニュアルによると、100年間の日本の平均気温の上昇が約1.5℃であるのに対し、東京の平均気温の上昇は約3.3℃となっており、他の主要都市でも同様の傾向がみられる<sup>3)</sup>。ヒートアイランド現象により猛暑日・熱帯夜が増加し、熱中症などの被害も深刻化していることもあり、夏季の屋外温熱環境を改善することが求められている。屋外の暑熱環境対策としては、日射の遮蔽・地物表面温度の低減対策が有効であるとされており、筆者らは蒸発冷却を利用した暑熱環境の改善手法に注目している。蒸発冷却を利用した暑熱環境の改善手法としては、複数の既往研究がある。例えば、平山ら(2015)は親水・吸水処理を施したルーバーの上部から水を滴下し、日射を遮蔽し壁体を通する空気を冷却するシステムを開発した<sup>4)</sup>。また、三坂ら(2016)は親水性を有する不織布に水を散布したテントユニットにより垂直面における表面温度を低下させ、放射環境を改善するシステムを開発した<sup>5)</sup>。

本研究では、屋外における暑熱環境の新たな改善手法として、透湿性防水膜を用いた蒸発冷却パネルを提案している。透湿性防水膜とは液水を通さず水蒸気のみを透過する膜であり、主に結露防止の目的で木造建築物の外壁などに使用されている。蒸発機構の概念は、透湿性防水膜を袋状とし、その内部に水を貯留し、表面からの蒸発を促すものである(図1)。蒸発冷却パネルは内部に水を貯留し薄い水の膜を常時形成するため、広範囲に蒸発面を広げることが容易となる。実用形態の一例として、透湿性防水膜を用いて製作した薄型の蒸発冷

却パネルを、図2のように屋外のテント下に設置することを想定しており、蒸発冷却パネルによる日射遮蔽と蒸発による表面温度低下によりテント内部に涼しい日陰空間を形成する。

本研究は、透湿性防水膜を用いた蒸発冷却パネルをテント下に設置した場合の暑熱緩和効果を屋外実験により確認することを目的としている。

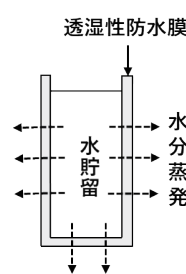


図1 蒸発冷却パネルの概念図

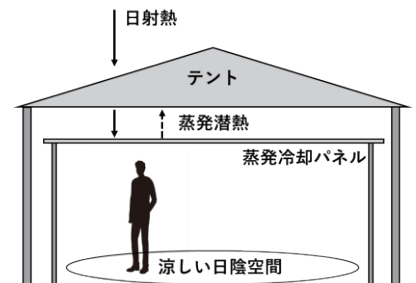


図2 蒸発冷却パネルの実用形態例

## 2. 研究の方法

### 2.1 蒸発冷却パネルの製作

本研究の蒸発冷却パネル(以下、パネルと称する)は手作りであり、その製作の懸念点として、透湿性防水膜(ポリエステル不織布とポリエチレン多孔質フィルムのラミネート加工品)(以下、膜と称する)を袋状に設計した際のつなぎ目部から水漏れが生じることが予想された。その防止のため、つなぎ目部が水面よりも上部にあることが望ましい。そこで、つなぎ目部が水面よりも上にあるような箱状のパネル

本稿は2021年度日本建築学会大会(東海)及び同年度日本建築学会近畿支部研究発表会の発表内容<sup>1)2)</sup>で構成し、これらの内容の追加、一部修正を施したものである。

\*1 大阪市立大学大学院工学研究科 前期博士課程  
(〒558-8585 大阪市住吉区杉本3-3-138)

\*2 大阪市立大学大学院工学研究科 教授・博士(工学)

\*3 大阪市立大学大学院工学研究科 教授・博士(学術)

\*1 Graduate Student, Graduate School of Engineering, Osaka City Univ.

\*2 Prof., Graduate School of Eng., Osaka City Univ., Dr.Eng.

\*3 Prof., Graduate School of Eng., Osaka City Univ., Ph.D.

を製作した。まず図3のように、膜の上に、パネル底面の骨格となる内部分をくり抜いた400 mm×900 mmのプラスチックダンボール、パネル側面の骨格となる80 mm×900 mm、80 mm×395 mm(2個)のプラスチックダンボールを並べ、接着剤で接着する。そして、側面部の骨格となるプラスチックダンボールを立てることで、図4のような箱状のパネルを製作した。ここで、底面の骨格と膜は点接着、側面の骨格と膜は面接着としているため、底面には水が入り込むが、側面には水が入り込まない。そのため、このパネルの蒸発面積は底面の400 mm×900 mmの部分だけである。なお、図4のように側面のプラスチックダンボールの穴部分にチューブを通しパネル内に給水を行う。

### 2.2 実験概要

大阪市立大学屋上で実験を実施した。テント膜材との二重構造におけるパネルの暑熱緩和効果を検証するために、1.2 m 四方の実験用テントを2帳製作した。一方に上述した透湿性防水膜のパネル(「蒸発ありパネル」)、もう一方に蒸発面に薄い透明フィルムを張り付け蒸発を阻害した「蒸発なしパネル」を設置し(図5)、それぞれを「蒸発ありテント」「蒸発なしテント」とし、図6のように屋上に配置した。なお、実験を実施した屋上は図8のような外縁のみがある状態であるため、風に対する障害は微小と考える。測定項目・測定機器・測定位置については表1及び図7に示しており、「蒸発ありテント」と「蒸発なしテント」の結果を比較することで蒸発による暑熱緩和効果を確認する。また、本研究においては、日射透過率が異なる白・黒・透明3種類のテント膜材<sup>注1)</sup>を使用しており、「蒸発ありテント」のテント膜材を白・黒・透明と変えることで、暑熱緩和効果が最も大きく現れるテント膜材を明らかにすることも目的としている。実験日は2020/8/7、8/12、8/15、8/17、8/18、8/19(白テント)、8/20、8/21(黒テント)、8/29、8/31(透明テント)の10日間であり、分析時間は気温が高くなる12:00～15:00としている。

表1 測定項目

測定項目	測定機器	測定点
テント外日射量	全天日射計	テント外1点
テント内透過日射量	精度:ISO9060(二次標準)	蒸発ありテント内1点
テント膜材表面温度(内側)	英弘精機社 MS-801F	各テント1点ずつ
パネル表面温度(外側、内側)	熱電対	各パネル2点ずつ(外側と内側)
温度	温湿度センサー	各テント内及びテント外1点ずつ
相対湿度	温度 精度:±0.5℃ 湿度 精度:±3%RH	
グローブ温度	Vaisala社 HMP-60	各テント内1点ずつ
風向・風速	グローブ温度計	テント外1点
	超音波風向風速計	
	精度:風速12m/sで±2%	
	GILL社 PGWS-100	

### 3. 実験結果及び考察

#### 3.1 パネル表面温度に与える蒸発の効果

「蒸発ありテント」と「蒸発なしテント」のパネル表面温度を比較する。代表日として、分析時間帯を通して日射量が安定していた2020/08/15(白テント)の結果を用いる。全天日射量の時刻変化を図9に、パネル表面温度・気温・湿球温度の時刻変化を図10に示す。湿球温度は測定した温湿度より Sprung の式を用いて求め、蒸発ありパネル表面温度に期待し得る最低温度として参考に示している。なお、パネル表面温度はテント膜材側(外側)とテント内部側(内側)を測定しているが、テント内の湿熱環境に影響がある内側の表面温度で主に考察を行う。図10を見ると「蒸発ありパネル」の表面温度は「蒸

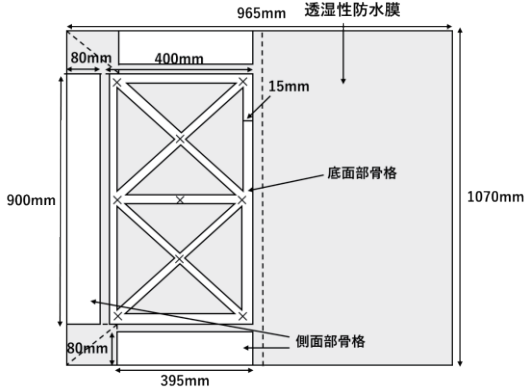


図3 蒸発冷却パネルの模式図(組み立て前)

※側面部骨格は全面接着、底面部骨格は点接着(図の×印)。また、図の点線は膜の折り目を表している。

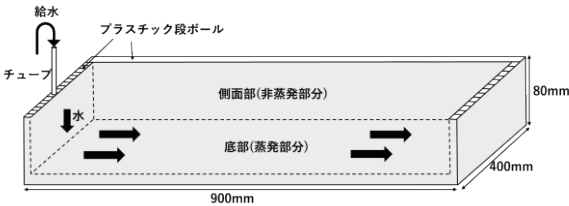


図4 蒸発冷却パネルの模式図(組み立て後)

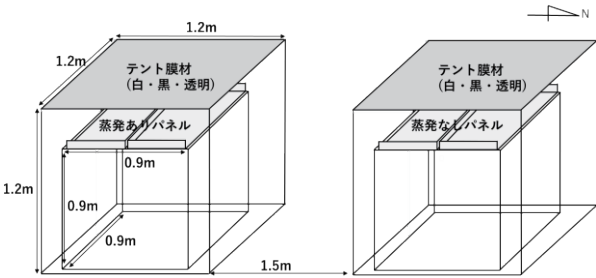


図5 実験用テントの模式図

※南側に「蒸発ありテント」、北側に「蒸発なしテント」を配置

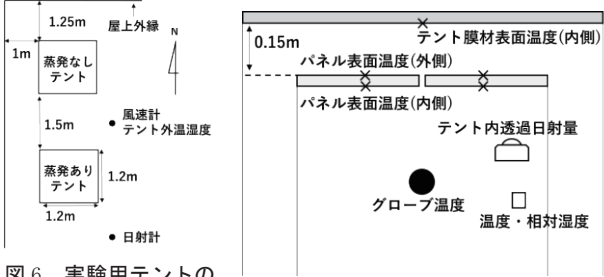


図6 実験用テントの配置図

図7 測定点の位置関係



図8 実験用テントの写真

発なしパネル」の表面温度よりも約 6.3℃低下している。また、「蒸発なしパネル」の表面温度が気温より常に高くなっているのに対して、「蒸発ありパネル」の表面温度は常に気温以下の値を維持しており、このことから、蒸発により表面温度上昇を抑制できていることを確認することができた。

### 3.2 パネルからの蒸発量

蒸発量に関して、本研究におけるパネル形状ではパネルの隅角部に力がかかり、実験中に隅角部の膜がわずかに破損し水漏れが生じてしまった。そのため、パネルからの蒸発量の実測値は得ることができなかった。そこで、蒸発量の参考値として、式(1)よりパネルにおける蒸発速度を試算する(式中の記号の意味は記号一覧表にまとめて記載)。蒸発速度は蒸発面と空気の水蒸気圧差に比例するため、パネルを図 11 のような蒸発モデルとして考えると、膜の透湿抵抗 $R'_f$ と湿気伝達抵抗 $R'_c$ を与えることで蒸発速度を求めることができる。

$$E = \frac{1}{R'_f + R'_c} (f_s(t_{ps,w}) - f_a) \quad \dots (1)$$

本研究で用いた膜の $R'_f$ は、7.40 Pa m<sup>2</sup> h/g であることが大田らの測定で得られている<sup>6)</sup>。 $R'_c$ は実験日の 12:00～15:00 の平均風速における値として、2.72 Pa m<sup>2</sup> h/g を用いる<sup>注2)</sup>。これらを用いて蒸発量を算定すると、パネルにおける蒸発速度は 238 g/(m<sup>2</sup>h) となった。また、求めた蒸発速度を水面における蒸発速度で割ることで、パネルの蒸発効率 $\beta$ を求める。ここで水面における蒸発速度は、 $R'_f = 0$  及び表面温度はパネル表面温度と同じであるとし、式(1)より求めた。結果、 $\beta$ は 0.37 であった。近藤<sup>7)</sup>によると牧草地における蒸発効率が 0.2～0.4 程度であるため、およそ同じ程度の蒸発効率となっている。

### 3.3 グローブ温度に与える蒸発の効果

「蒸発ありテント」と「蒸発なしテント」について、グローブ温度により、テント内の温熱環境を比較する。

#### 1) グローブ温度測定における問題点

各テント内でグローブ温度を測定したが、「蒸発ありテント」のパネル表面温度が「蒸発なしテント」のパネル表面温度より低いにも関わらず、「蒸発ありテント」内のグローブ温度が高い値となっていた(図 12)。原因として、図 13 のようにテント間の距離が近いことで、南側の「蒸発ありテント」に日射が遮られ、「蒸発なしテント」に入射する床面反射日射量が小さくなっていると推測された。後日、鉛直下向き設置した日射計を用いて各テントの床面反射日射量を測定した結果が図 14 である。推測通り、「蒸発なしテント」における床面反射日射量が、「蒸発ありテント」よりも小さくなっていることが分かる。なお、14:20 ごろからは両者同じ値をとっているが、これはこの時間帯ごろからテントが建物の陰に入ってしまう床面反射日射がなくなったためであると考えられる。

#### 2) グローブ球の熱収支分析

1)で述べたようにテント内のグローブ温度が床面反射日射量の影響を受けてしまっているため、実測値のグローブ温度ではテント内の温熱環境を評価できない。そこで、グローブ球の熱収支を考えることで二つのテント間に生じるグローブ温度差を推定することとした。中村の手法<sup>8)</sup>に従い、グローブ球を微小立方体であるとみなし、グローブ温度は微小立方体の各面における表面温度の平均値であると考え、二つのテントのグローブ温度差は式(2)より求めることができる。

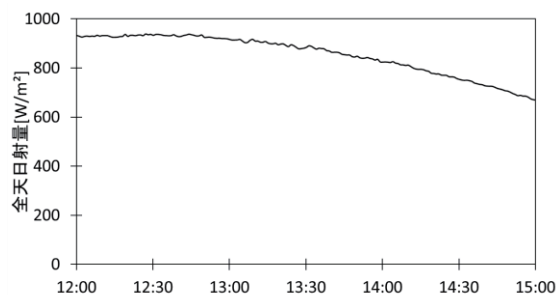


図 9 水平面全天日射量の時刻変化 (2020/8/15)

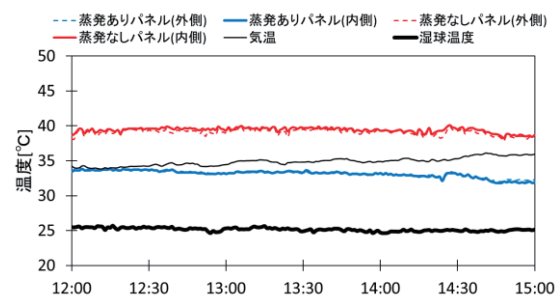


図 10 パネル表面温度の時刻変化 (2020/8/15)

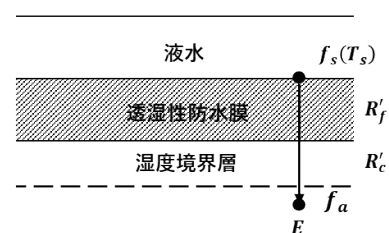


図 11 蒸発冷却パネルの蒸発モデル

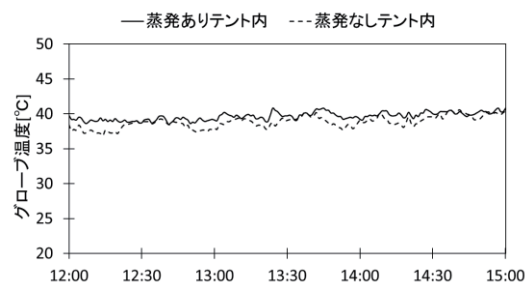


図 12 グローブ温度(測定値)の時刻変化 (2020/8/15)

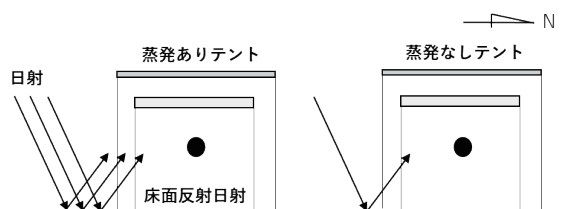


図 13 二つのテントの位置関係

※テント間の距離が近く、南側の「蒸発ありテント」に日射がさえぎられている状態

$$\Delta t_g = \sum_{n=6}^i \frac{t_{gs,i,d}}{6} - \sum_{n=6}^i \frac{t_{gs,i,w}}{6} \quad \dots (2) \text{ 注3)}$$

微小立方体の熱収支は図 15 のように考えることができるため、微小立方体の各面における熱収支式は式 3 のように表すことができる。

$$\begin{aligned} \varphi a_g I_p - \varphi \varepsilon_p \varepsilon_g \sigma \{ (t_{gs,i,(d,w)} + 273.15)^4 - (t_{ps,(d,w)} + 273.15)^4 \} \\ - \alpha_c (t_{gs,i,(d,w)} - t_a) = 0 \quad \dots (3) \text{ 注4)} \end{aligned}$$

式(3)にパネル表面温度、気温、テント内透過日射量を代入することで、「蒸発ありテント」「蒸発なしテント」における微小立方体の各表面温度をそれぞれ求める。ここで、「蒸発ありテント」と「蒸発なしテント」でパネルからの放射量が異なるため、テント床面に入射する放射量も異なり、床面から微小立方体に入射する放射量にも差が生じると考えられる。しかし、床面からの放射量差が微小立方体に与える影響はパネルからの放射量差が微小立方体に与える影響と比較すると小さいと見做して、微小立方体の下面表面温度( $t_{gs,6,d}$ 、 $t_{gs,6,w}$ )は同じ値とみなす。よって、式(2)より二つのテント間に生じるグローブ温度差を求めることができる。表 2 の値を用いてグローブ温度差を計算した結果、「蒸発ありテント」では「蒸発なしテント」よりもグローブ温度が 0.53℃低いと評価されることが分かった。

表 2 12:00～15:00 における各項目の平均値

測定項目	記号	値
テント内透過日射量	$I_p$	86[W/m <sup>2</sup> ]
蒸発ありパネル表面温度	$t_{ps,w}$	33.1[°C]
蒸発なしパネル表面温度	$t_{ps,d}$	39.4[°C]
気温	$t_a$	34.8[°C]

### 3.4 日射透過率が異なるテント膜材による比較

#### 1) 白テント、黒テント、透明テントで実験を行う意図

3 種類のテント間に生じる温熱環境の差異はパネルからの長波放射量とテント内透過日射量によって決まる。テント膜材の日射透過率は透明テント、白テント、黒テントの順に大きいため、テント内透過日射量はこの順に大きいと予想される。また、テント膜材の日射吸収率は黒テント、白テント、透明テントの順に大きいため、テント膜材からパネルへの長波放射量はこの順に大きいと予想される(図 17)。しかし、透過日射と長波放射が合わさって各テント下の温熱環境にどのように影響するかは簡単に予想がつかない。そこで、各テントでのパネルからの長波放射量差及びテント内透過日射量差からテント間に生じるグローブ温度差を求め、3 種類のテントでの温熱環境を比較する。

#### 2) パネル表面温度差

白テント、黒テント、透明テントにおけるパネル表面温度を比較する。しかし、各テントにおける実験は別日に行っており、気象条件が異なるため結果をそのまま比較することはできない。そこで、各実験日の日射と気温の条件を黒体に対する相当外気温で統合して表現し、比較できるようにする。本研究では日射と気温の測定値を用い、式(4)より相当外気温を算出した。式(5)および式(6)はそれぞれ夜間放射、大気放射の算出式である。

$$t_{sat} = t_a + \frac{\alpha_l - J_n}{\alpha_c + \alpha_r} \quad \dots (4)$$

$$J_n = \sigma(t_a + 273.15)^4 - J_a \quad \dots (5)$$

$$J_a = \sigma(t_a + 273.15)^4 (0.526 + 0.0065\sqrt{f_a}) \quad \dots (6)$$

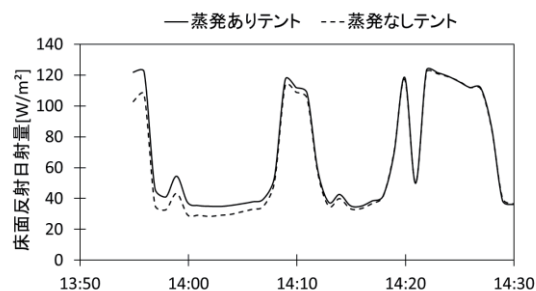


図 14 床面反射日射量の時刻変化 (2020/10/14)

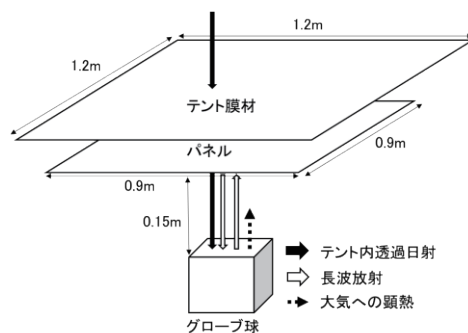


図 15 テント内グローブ球(微小立方体近似)の熱収支

● 白テント(蒸発あり) ■ 黒テント(蒸発あり) ▲ 透明テント(蒸発あり)  
○ 白テント(蒸発なし) □ 黒テント(蒸発なし) △ 透明テント(蒸発なし)

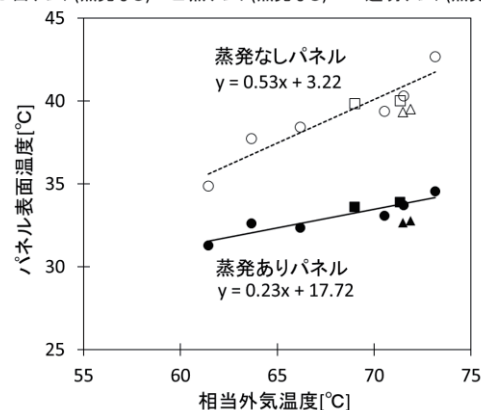


図 16 白テント、黒テント、透明テントでのパネル表面温度  
(各実験日における 12:00～15:00 の平均値)

図 16 は横軸に相当外気温、縦軸にパネル表面温度をとり、各実験日で 12:00～15:00 の平均値をプロットしている。白テントは 6 日分のデータがあるため、白テントの結果のみで回帰直線を書き、黒テント、透明テントでの結果と比較する。図 16 より、どのテント膜材においても「蒸発ありパネル」は「蒸発なしパネル」よりも表面温度が 6℃程度低くなっており、相当外気温が大きくなるにつれて、その差が大きくなっていることが分かる。また、「蒸発ありパネル」の表面温度を各テントで比較すると、黒テントは回帰直線上、透明テントは回帰直線よりもわずかに下側であり、蒸発の有無と比べるとテント膜材の違いによって生じるパネル表面温度差は小さいことが分かる。



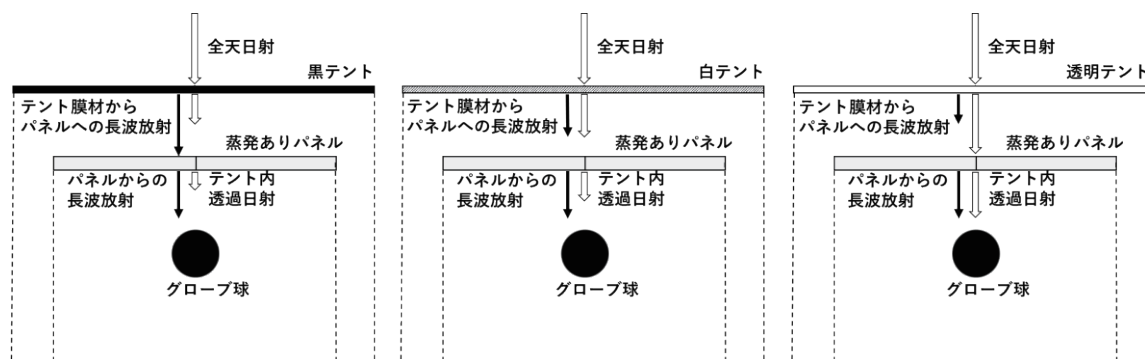


図 17 白テント、黒テント、透明テント内のグローブ球に作用する日射と長波放射

### 3) テント内透過日射量差

図 18 は横軸に全天日射量、縦軸にテント内透過日射量を取り、各実験日で 12:00～15:00 の平均値をプロットしている。図 16 と同様に白テントの結果のみで近似直線を書き、黒テント、透明テントにおける結果と比較する。テント内に透過する日射量は透明テント、白テント、黒テントの順に大きいことが分かる。

### 4) グローブ温度差の推定

黒テントと白テント、透明テントと白テントの間に生じるパネルからの長波放射量差とテント内透過日射量差をそれぞれ求め、各放射条件の量差によって生じるグローブ温度差を推定する。ここでは、「蒸発ありテント」下の温熱環境について比較する。まず、パネルからの長波放射量差に関して、図 16 の回帰直線より、相当外気温度が 69.0 °C の時、白テントと黒テントのパネル表面温度差は 0 °C、相当外気温度が 71.9 °C の時、白テントと透明テントのパネル表面温度差は -1.48 °C となる。これをパネルからの長波放射量差に換算すると黒テントでは 0 W/m<sup>2</sup>、透明テントでは -9 W/m<sup>2</sup> となる<sup>注5)</sup>。次にテント内透過日射量に関して、図 18 の回帰直線より、全天日射量が 792 W/m<sup>2</sup> の時、白テントと黒テントの透過日射量差は -27 W/m<sup>2</sup>、全天日射量が 814 W/m<sup>2</sup> の時、白テントと透明テントの透過日射量差は +37 W/m<sup>2</sup> となる(図 19)。このそれぞれの放射量差をグローブ温度差に換算する。3.3 の 2) で求めたテント間のグローブ温度差はパネル表面温度の違いのみによって生じているため、グローブ温度差をパネルからの長波放射量差で割ることで、パネルからの長波放射量の増分に対するテント内グローブ温度の上昇分を求めることができる。同様に、テント内透過日射量のみを変えてテント間のグローブ温度差を求め、その値をテント内透過日射量差で割ることで、テント内透過日射量の増分に対する、テント内グローブ温度の上昇分を求める。結果、パネルからの長波放射量が 100 W/m<sup>2</sup> 増加するとテント内グローブ温度は 1.39 °C 上昇し、テント内透過日射量が 100 W/m<sup>2</sup> 増加するとテント内グローブ温度は 1.53 °C 上昇することが分かった。これらの値に図 19 における放射量差をかけることで、白テントに対するグローブ温度差を求めた(図 20)。図 20 より、黒テントは白テントよりもグローブ温度が 0.42 °C 低い、透明テントは白テントよりもグローブ温度が 0.44 °C 高いと評価されることが分かった。

### 4. おわりに

盛夏の気象条件において、透湿性防水膜を用いた蒸発冷却パネルをテント下に設置した場合の暑熱緩和効果を屋外実験により検証し、以下の結果を得た。

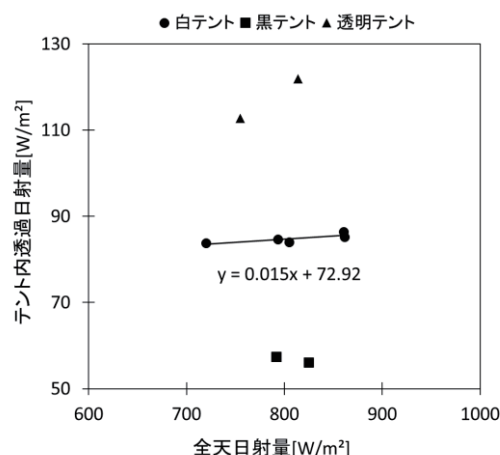


図 18 白テント、黒テント、透明テントでのテント内透過日射量 (12:00～15:00 の平均値)

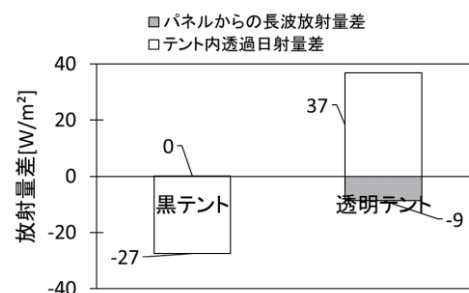


図 19 白テントに対する放射量差

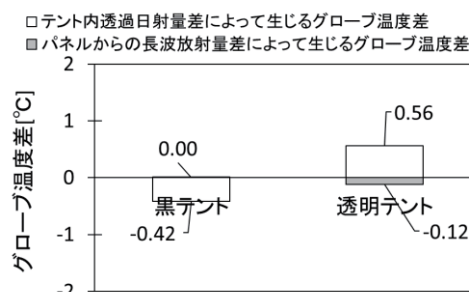


図 20 白テントに対するグローブ温度差

- ① 「蒸発ありパネル」の表面温度は「蒸発なしパネル」の表面温度よりも約 6.3 ℃低下し、また、気温よりも低く維持されることが実験により確認された。グローブ温度においては、推定値ではあるものの、「蒸発ありテント」内のグローブ温度は「蒸発なしテント」内のグローブ温度よりも約 0.53 ℃低いと評価された。
- ② 実験より得られたパネル表面温度とテント内透過日射量から、日射透過率が異なる白テント、黒テント、透明テント間に生じるグローブ温度差を推定すると、黒テント内のグローブ温度が最も低いと評価された。よって、日射透過率の小さい黒テントを用いるときに暑熱環境緩和効果が最も大きく現れることが分かった。

本研究により、蒸発冷却パネルによる暑熱緩和効果を確認することができ、屋外環境下における暑熱対策技術の一つとして活用が期待できる。今後は、実用化に向けて、水漏れが生じない蒸発冷却パネルの製作に取り組む必要がある。

# 謝辞

本研究を行うにあたり、研究当時大阪市立大学大学院生であった大田侑誠氏に多大な協力を得た。ここに深く感謝の意を表します。

# 注記

- 注1) 上下2方向一体型日射計(波長域 305nm～2800nm)を、テント膜材及びパネルの上方15cmと下方15cmにそれぞれ設置し、対象物の日射量(入射・反射・透過)を測定し、日射反射率と日射透過率を求めた。日射反射率、日射透過率は白膜材で0.54、0.43、黒膜材で0.04、0.02、透明膜材で0.09、0.90、パネルで0.17、0.20であった。
- 注2) 分析時間帯における平均風速は2.53 m/sであったため、ユルゲスの実験式より対流熱伝達率は15.5 W/(m<sup>2</sup>・K)である。以下に示すルイスの関係式より湿気伝達抵抗を求めた。
- $$\alpha_c = \frac{L_e P \cdot C_{pa}}{0.622 R'_c} \dots (7)$$
- 注3)  $t_{gs,1} \sim t_{gs,4}$ は微小立方体の側面表面温度であり、 $t_{gs,5}$ 、 $t_{gs,6}$ は上面と下面の表面温度である。また、添え字 $w$ 、 $d$ はそれぞれ「蒸発ありテント」「蒸発なしテント」を指す。
- 注4)  $t_{gs,5}$ を求める際は、微小六面体上面からパネルへの形態係数である0.92を使用。 $t_{gs,1} \sim t_{gs,4}$ を求める際は、微小六面体側面からパネルへの形態係数である0.22を使用。
- 注5) 式(8)を用いてテント間に生じるパネルからの長波放射量差を求めた。

$$L_p = \varepsilon_p \sigma (t_{ps,w} + 273.15)^4 \dots (8)$$

# 参考文献

- 黒川航太郎, 西岡真稔, 鍋島美奈子: 透湿性防水布を用いた蒸発冷却パネルに関する実験的研究-(その3)屋外暑熱環境下における暑熱緩和効果-日本建築学会学術講演梗概集(東海), pp2083～pp2084, 2021. 9
- 黒川航太郎, 大田侑誠, 西岡真稔, 鍋島美奈子: 透湿性防水膜を用いた蒸発冷却パネルに関する実験的研究-(その3)屋外暑熱環境下における蒸発冷却パネルの効果-, 日本建築学会近畿支部研究発表会, 2021. 6
- 環境省: ヒートアイランド対策マニュアル, 2012. 3
- 平山由佳理, 太田 勇, 梅干野晃: 親水・吸水性塗膜を施した表面濡れ性が高いパッシブクーリングルーバーシステムの開発と屋外実験による基本性能の把握, 日本ヒートアイランド学会論文集, Vol110, pp24～34, 2015

記号一覧表

記号	
$a$	黒体の日射吸収率[-] (0.9)
$a_g$	グローブ球の日射吸収率[-] (0.95)
$C_{pa}$	湿り空気比熱[J/(kg・K)]
$E$	蒸発速度[g/m <sup>2</sup> h]
$f_a$	水蒸気圧[Pa]
$f_s(t_{ps,w})$	$t_{ps,w}$ (蒸発ありパネル表面温度)における飽和水蒸気圧[Pa]
$I$	全天日射量[W/m <sup>2</sup> ]
$I_p$	テント内透過日射量[W/m <sup>2</sup> ]
$J_a$	大気放射量[W/m <sup>2</sup> ]
$J_n$	夜間放射量[W/m <sup>2</sup> ]
$L_e$	ルイス数[-] (0.90)
$L_p$	パネルからの長波放射量[W/m <sup>2</sup> ]
$P$	大気圧[Pa]
$R'_c$	湿気伝達抵抗[Pam <sup>2</sup> h/g]
$R'_f$	透湿性防水膜の透湿抵抗[Pam <sup>2</sup> h/g]
$t_a$	気温[℃]
$t_{ps,d}$	蒸発なしパネル表面温度(内側)[℃]
$t_{ps,w}$	蒸発ありパネル表面温度(内側)[℃]
$t_{sat}$	相当外気温度[℃]
$\Delta t_g$	グローブ温度差[℃]
$t_{gs,i,d}$	蒸発なしテント下の微小立方体の面 <i>i</i> における表面温度[℃]
$t_{gs,i,w}$	蒸発ありテント下の微小立方体の面 <i>i</i> における表面温度[℃]
$\alpha_c$	対流熱伝達率[W/(m <sup>2</sup> ・K)]
$\alpha_r$	放射熱伝達率[W/(m <sup>2</sup> ・K)]
$\varepsilon_g$	グローブ球の長波放射率[-] (0.95)
$\varepsilon_p$	パネルの長波放射率[-] (0.90)
$\sigma$	ステファン・ボルツマン定数[W/(m <sup>2</sup> ・K)]
$\varphi$	形態係数[-] (上面:0.92、側面:0.22)

- 三坂育正, 松林康子, 斉藤拓也, 大石祐一, 岸野英樹, 石丸 泰, 堀口恭代: 親水性を有する不織布を用いたテントユニットによる暑熱環境緩和に関する研究, 環境情報科学学術研究論文集, Vol130, pp31～36, 2016
  - 大田侑誠, 西岡真稔, 鍋島美奈子: 透湿性防水布を用いた蒸発冷却パネルに関する研究-(その3)透湿抵抗測定法の比較検討-, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸), pp769～pp770, 2019. 9
  - 近藤純正: 水環境の気象学-地表面の水収支・熱収支-, 朝倉書店, pp228～pp229, 2004. 12
  - Nakamura, Y.: Expression Method of the Radiant Field on a Human Body in Buildings and Urban Spaces, Journal of Architecture and Planning (Transactions of AIJ), Vol1376, pp29～pp35, 1987. 6
- 中村泰人: 建築都市空間内の人体に対する熱放射場の表現方法について, 日本建築学会計画系論文集, 第376巻, pp29～pp35, 1987. 6

[2022年1月28日原稿受理 2022年4月14日採用決定]