

## 日射を受ける模擬植物葉面の熱収支と表面温度

### HEAT BALANCE AND SURFACE TEMPERATURE OF IMITATION PLANT LEAVES HEATED BY SOLAR RADIATION

地域環境計画分野 佐土谷 圭佑

フラクタル日除けは壁面等が持つ代表寸法より小さいことで対流熱伝達率が大きくなる効果を持ち、日射環境下における都市表面温度の低下が示されている。本研究では模擬植物がフラクタル日除けと同様の効果があるか検討した。模擬植物の表面温度低下効果を検討するため、湿気伝達率及び熱画像で計測した表面温度を用いて熱収支式より、模擬植物と平板の対流熱伝達率を算出した。その結果、模擬植物の方が表面温度は約 6.6~7.5℃低く対流熱伝達率は約 2.03 倍大きくなった。

Fractal awnings has a large convective heat transfer coefficient than the wall by typical dimension smaller it and reduction of urban surface temperature by them. In this study, we examined imitation plant has the same effect as the fractal awnings. As the method, heat transfer coefficient of imitation plant and flat plate were calculated by using a moisture transfer coefficient and the heat balance. As the result, surface temperature of imitation plant was 6.6~7.5 degree lower and heat transfer coefficient of them was 2.03 times greater compared with flat plate.

#### 1. 研究の背景・目的

酒井・中村らによって植物の葉を模した構造であるフラクタル日除けが提案されている。フラクタル日除けを用いて都市表面温度を低下させることでヒートアイランド現象適応策になると注目されている。フラクタル日除けによる日射環境下での表面温度低下効果と暑熱緩和対策について蝦名らが検討しており、フラクタル日除けとコンクリートの表面温度を比較した際、フラクタル日除けの表面温度の方が約 10℃低くなり、MRT と SET\*の比較では、MRT で 12℃、SET\*で 5℃フラクタル日除けありの街区で低く推移することが示された。またフラクタル日除けの表面の分割数が増加するほど代表長さが小さくなり対流熱伝達率も増加し、それにより対流成分の増加による表面温度上昇抑制効果が示されている<sup>1)2)</sup>。これらよりフラクタル日除けは、代表寸法が小さくなることで対流熱伝達率が大きくなる効果を持ち、日除けの表面温度が高くならず日除け下の熱環境が良好であることが示されている。

よって本研究では、この研究に倣い市販された模擬植物を用いた場合に、フラクタル日除けと類似の効果を持つかどうかについて研究する。以下の検討では、市販の模擬植物を用いた葉群と平板を対照しつつ、対流熱伝達率と表面温度の測定結果を分析する。

#### 2. 実験供試体の概要

実験で使用する平板供試体と模擬植物供試体を図 1、図 2 に示す。供試体は、図 1 のように箱形フレームを用いており、メッシュ状の天板の上に塩化ビニル板(平板供試体の場合)または模擬植物(模擬植物供試体の場合)を設置している。模擬植物の葉の形状は、厚さ 0.2mm、平面寸法約 70mm×55mm の楕円形であり、模擬植物供試体の表面には約 250 枚の単葉が存在する。模擬植物及と平板はともに、素材の違いで生じる日射吸収率の影響を無くすために黒色塗料で塗装した。

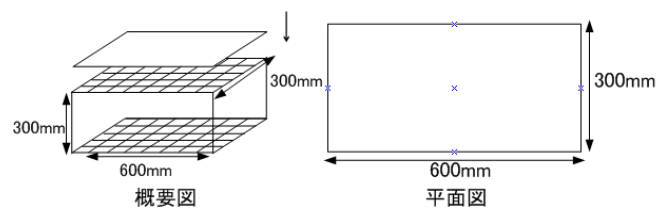


図 1 平板供試体概要図

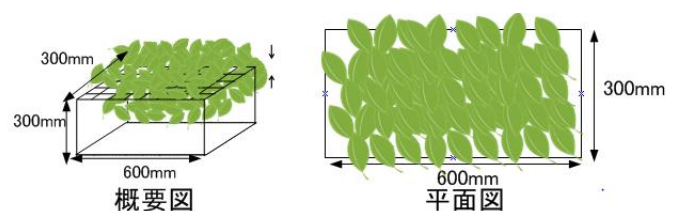


図 2 模擬植物供試体概要図

### 3. 供試体の湿気伝達率計測実験

作成した実験供試体について、ろ紙法により対流熱伝達率を計測する。ろ紙の水分蒸発をより求めた湿気伝達率から対流熱伝達率に変換する。湿気伝達率は式(1)で求め、対流熱伝達率は式(2)より求める。

$$E = k(X_{sat} - X_a) \quad (1)$$

$$h_f = Le \cdot c \quad (2)$$

$E$	ろ紙からの蒸発量	[kg/(m <sup>2</sup> ・s)]
$k$	湿気伝達率	[kg/(m <sup>2</sup> ・s・kg/kgDA)]
$X_{sat}$	ろ紙表面の飽和絶対湿度	[kg/kgDA]
$X_a$	空気中の絶対湿度	[kg/kgDA]
$h_f$	対流熱伝達率	[W/(m <sup>2</sup> ・K)]
$Le$	ルイス数=0.83	[-]
$c$	湿り空気比熱	(kJ/kgDA・K)

ろ紙法により平板供試体、模擬植物供試体の葉群、及び葉群から取り出した単葉の3種類の対流熱伝達率の計測を行う。単葉のみと葉群の比較は周囲に葉があることの影響を検討するためである。

また対流熱伝達率は、文献(長谷場)によって示された強制対流時の平均熱伝達率(Eckert と Drake の式)を使用した。(Eckert と Drake の式)を式(3)に示す。<sup>3)4)</sup>

$$h_f = 0.664Pr^{1/3}v^{-1/2}\lambda \frac{1}{2}u^2 \quad (3)$$

$h_f$	対流熱伝達率	[W/(m <sup>2</sup> ・K)]
$Pr$	プラントル数	[-]
$v$	空気の動粘性係数	[m <sup>2</sup> /s]
$\lambda$	熱伝導率	[W/(m・K)]
$l$	代表長さ	[m]
$u$	風速	[m/s]

#### 3. 1 単葉と葉群の対流熱伝達率の比較

恒温槽内に供試体を設置し、ろ紙法により対流熱伝達率の計測を行った。表1に実験条件を示す。気温と相対湿度はアスマン通風計にシース型熱電対を取り付けて計測した乾球温度と湿球温度より算出した。恒温槽内の風の条件はファンにより空気が攪拌される状態のままとし、供試体近傍の風速を熱線風速計にて計測した。ろ紙設置部分及び計測箇所を図3と図4に示す。平板型供試体には 250mm×500mm のろ紙を取付け、中央部の 50mm 角を切り離して蒸発量を測定した。ろ紙の裏面にはプラスチックフィルムを置き、ろ紙とプラスチックフィルムを一体として秤量した。模擬植物供試体は、中央付近の葉の2枚を測定対象とし、葉と同じ形状にろ紙を切り取り、葉に貼り付けて測定した。模擬植物の葉は水分を通す材料であったため、葉の裏面にプラスチックフィルムを貼り付け、裏面からの蒸発を遮断した。ろ紙の表面温度は、0.5mmφ のシース型熱電対を差し込み計測した。

ろ紙の秤量は3回行い、その平均値から求めた対流

表1 実験条件

	恒温槽	ダクト
気温	25.1℃	19.4℃
相対湿度	39.4%	39.4%
実験時間	30 分	
風速		
(平板)	0.68m/s	1.73m/s
(模擬植物)	0.62m/s	1.68m/s
実験回数	平板 3 回 模擬植物 2 枚×3 回 単葉 2×枚 3 回	平板 3 回 模擬植物 2 枚×3 回
代表長さ		
(平板)	0.063m	0.070m
(模擬植物)	0.45m	0.60m

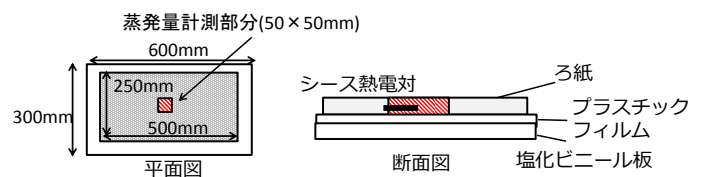


図3 ろ紙貼り付け平板供試体 断面図

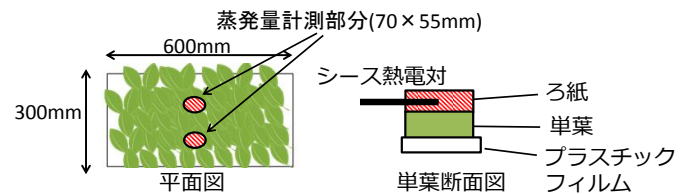


図4 ろ紙貼り付け模擬植物供試体 断面図

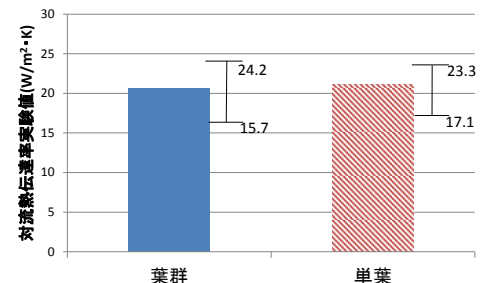


図5 葉群と単葉の実験値平均

熱伝達率を図5に示す。図5の結果、葉群の対流熱伝達率は20.6[W/(m<sup>2</sup>・K)]であり、単葉では21.1[W/(m<sup>2</sup>・K)]であり、両者の差は小さい結果となった。

#### 3. 2 対流熱伝達率の理論値と実験値の比較

恒温槽とは異なる風速条件における実験値を追加するため、供試体を実験用ダクト(断面450mm×450mm)に設置して、恒温槽と同様の方法で対流熱伝達率を測定した。測定条件は表1に示す。恒温槽とダクトでは気流の乱れなど異なる点が多いが、ここでは風速と代表長さの違いのみに注目して分析を行う。図6において、対流熱伝達率の理論式(式3)から計算される理論値と、恒温槽内及びダクト内で測定した対流熱伝達率を比較する。理論式に使用する代表長さの値は表1を使用する。恒温槽内では、風向が一定ではないため、長

さと幅の平均値を代表長さとして使用し、ダクト内は強制対流のため、気流方向に設置した平板と葉の気流方向の長さを代表長さとした。

図6より各実験値の平均値と理論式で求めた値を比べると、実験値の方が大きくなることがわかった。一方、実験値の回帰直線の傾きは0.968とほぼ1と近い値になった。理論式的前提とする気流条件が実験条件とどの程度共通するかは不明であるが、回帰直線の傾きがほぼ1となったことにより、代表長さと対流熱伝達率との間の関係は理論式の通りに現れたことになる。

#### 4 供試体の表面温度と熱収支の分析

以上より、模擬植物の対流熱伝達率が平板より大きいことが検証されたが、本節では、日射環境下で模擬植物と平板の表面温度を比較する。供試体を日射の当たる屋外環境下に設置した場合の供試体表面温度を熱画像より計測し、供試体の平均表面温度を算出する。

##### 4.1 実験期間・場所

2014年12月24日(晴天日)に、大阪市立大学の学舎屋上にて実験を行った。熱画像の撮影は、13:17~13:20、13:26~13:29、13:47~13:49の3時刻で行った。ここでは、13:17~13:20を「撮影時間1」とし以下時系列順に「撮影時間2」「撮影時間3」と称する。熱画像の空間平均を計算し、葉の平均表面温度とする。

##### 4.2 実験方法

模擬植物供試体と平板供試体を地面と水平に設置し、供試体を中心とし、東西南北の正方位方向から下方へ45°の傾斜させた角度で熱画像を撮影した(図7)。

続いて、各方位から計測した熱画像より平均表面温度を求める方法を以下に示す。例として撮影時間1における撮影場所Eでの熱画像における表面温度計測結果を図8、図9に示す。表面温度計測範囲は図8図9の点線部であり、熱画像の表面温度の計測結果のヒストグラムを示した。この計測方法により求めた熱画像の各撮影場所における平均温度の結果を図10図11に示す。測定の結果、撮影方向により平板供試体では最大で約3.5°C差が模擬植物供試体では最大約7.0°Cの差が生じた。模擬植物の撮影方向による表面温度差が大きくなった理由として、模擬植物を構成する個々の葉について考えると、葉面の法線が太陽方向を向くときに葉面温度は最も高くなると考えられる。一方撮影される熱画像では、葉面の法線がカメラの方向を向くときに、葉の見掛けの面積が画像上で最大になる。したがって、葉から見た方位が太陽と一致する位置にカメラを置いて撮影するとき、熱画像において高温の葉の占める面積が大きくなると考えられる。このようにして、葉群を撮影した熱画像には、撮影方向によって表面温度の違いが生じるため、模擬植物供試体の平均表面温度を定義する計測方法を検討する。

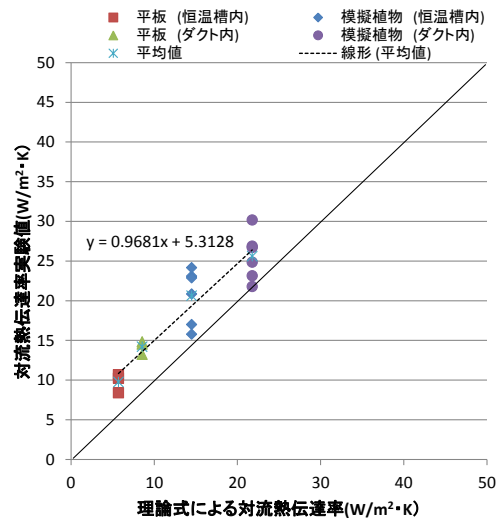


図6 供試体の実験値と理論値との比較

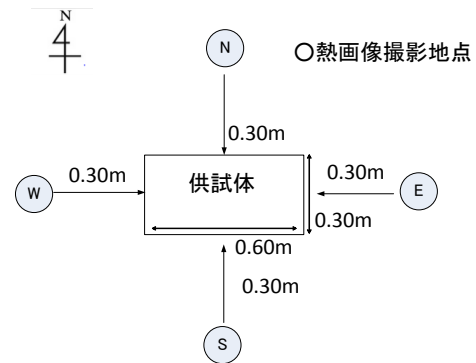


図7 実験供試体と熱画像撮影地点

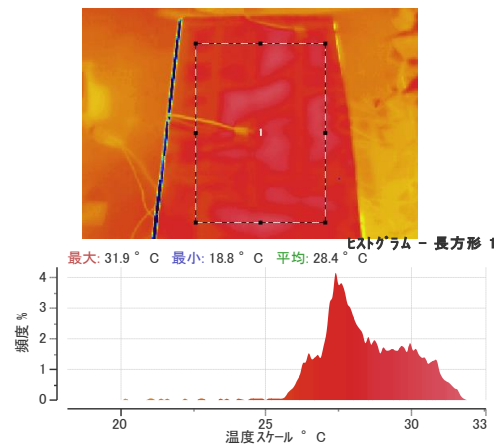


図8 平板供試体撮影場所1熱画像

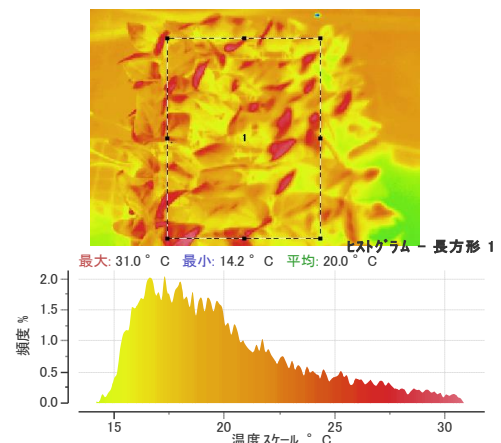


図9 模擬植物供試体撮影場所1熱画像



#### 4. 3 熱画像による平均表面温度の定義と計測結果

模擬植物供試体の表面温度を計測する方法として熱画像より平均表面温度を定義する方法を以下に示す。模擬植物の単葉の方向がランダムであると仮定すると、模擬植物葉面の断面図は図 12 のように想定でき、単葉の法線ベクトルの合成図は図 13 のように水平上向きで表される。それらの法線ベクトルに対し、ベクトルを分解する向きに単葉が存在するならば、図 14 のように表されることになり、図 15 のような断面が地面と水平な平面に数多く存在しているならば、模擬植物供試体の葉面を代表するモデルとして図 15 に示されるような正四角錐の形で構成されていると仮定し検討する。

一般論としてある多面体の平均表面温度 $T_{Ave}$ は各面の面平均温度 $T_i$ と面積 $S_i$ を用いて式(4)で表される。

$$T_{Ave} = \frac{\sum_i^n T_i S_i}{\sum_i^n S_i} = \frac{1}{4}(T_1 + T_2 + T_3 + T_4) \quad \text{式 4}$$

また熱画像で表面を計測するため、熱画像に投影される面積は、その点からの見かけの面積となり、ある観測点から見た場合の見かけの面積 $ds'$ は、平面の面積 $ds$ 、平面の法線ベクトルと平面から観測点の視線ベクトルとのなす角を $\theta$ とすると図 16、式(5)で表される。

$$ds' = ds \times \cos \theta \quad \text{式 5}$$

式(4)と式(5)より観測点の一つである観測点 S から正四角錐の各面の法線ベクトルと観測点との視線ベクトルのなす角を $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$ とすると観測点 S から撮影した熱画像の平均温度 $T_S$ は、面の面平均温度 $T_1 \sim T_4$ 、面積 $S_1 \sim S_4$ を用いて、式(4)と式(5)より式(6)で表され、図 17 に概念図を示す。

$$T_S = \frac{T_1 S_1 \cos \theta_1 + T_2 S_2 \cos \theta_2 + T_3 S_3 \cos \theta_3 + T_4 S_4 \cos \theta_4}{S_1 \cos \theta_1 + S_2 \cos \theta_2 + S_3 \cos \theta_3 + S_4 \cos \theta_4} \quad \text{式 6}$$

その他の 3 点(E、N、W)の観測点からの正四角錐の各面の法線ベクトルと観測点との視線ベクトルのなす角も同様に $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$ を用いて表すことができ、各方位の熱画像の $T_E, T_N, T_W$ は式(7)~(9)で表される。

$$T_N = \frac{T_2 S_2 \cos \theta_1 + T_3 S_3 \cos \theta_2 + T_4 S_4 \cos \theta_3 + T_1 S_1 \cos \theta_4}{S_2 \cos \theta_1 + S_3 \cos \theta_2 + S_4 \cos \theta_3 + S_1 \cos \theta_4} \quad \text{式 7}$$

$$T_N = \frac{T_3 S_3 \cos \theta_1 + T_4 S_4 \cos \theta_2 + T_1 S_1 \cos \theta_3 + T_2 S_2 \cos \theta_4}{S_3 \cos \theta_1 + S_4 \cos \theta_2 + S_1 \cos \theta_3 + S_2 \cos \theta_4} \quad \text{式 8}$$

$$T_W = \frac{T_4 S_4 \cos \theta_1 + T_1 S_1 \cos \theta_2 + T_2 S_2 \cos \theta_3 + T_3 S_3 \cos \theta_4}{S_4 \cos \theta_1 + S_1 \cos \theta_2 + S_2 \cos \theta_3 + S_3 \cos \theta_4} \quad \text{式 9}$$

ここで正四角錐は、上面の各面の面積が等しいことより、 $S_1 = S_2 = S_3 = S_4 = S$ とすると、 $T_S, T_E, T_N, T_W$ とを用いて表面モデル図全体の平均温度 $T_{Ave}$ は式(10)で表される。

$$\begin{aligned} & T_S + T_E + T_N + T_W \\ &= \frac{S(T_1 + T_2 + T_3 + T_4)(\cos \theta_1 + \cos \theta_2 + \cos \theta_3 + \cos \theta_4)}{S(\cos \theta_1 + \cos \theta_2 + \cos \theta_3 + \cos \theta_4)} \quad \text{式 10} \\ &= 4T_{Ave} \end{aligned}$$

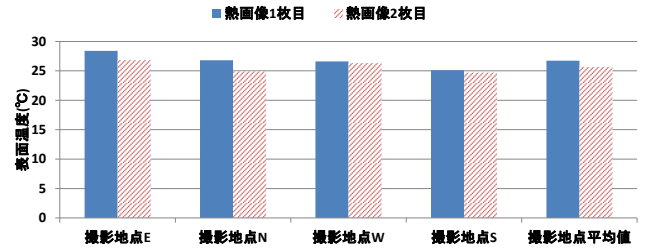


図 10 撮影時間 1 平板供試体熱画像平均表面温度

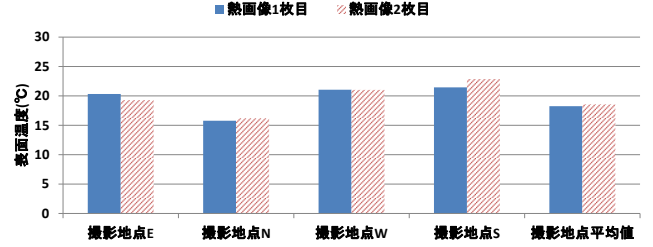


図 11 撮影時間 1 模擬植物供試体熱画像平均表面温度

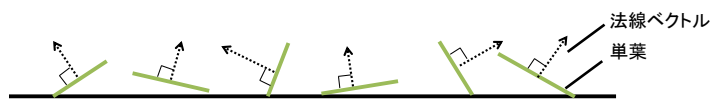


図 12 模擬植物供試体表面断面図

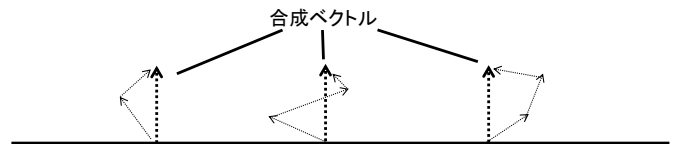


図 13 模擬植物葉面法線ベクトル合成ベクトル

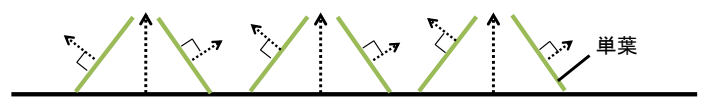


図 14 模擬植物葉面合成ベクトル分解図

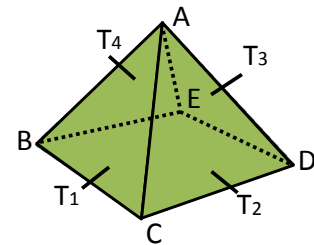


図 15 模擬植物供試体葉面モデル図

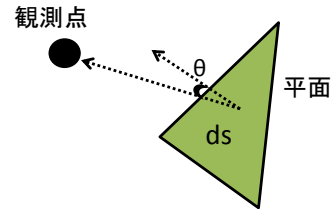


図 16 観測点からの見かけの面積 概要図

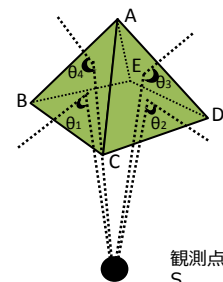


図 17 観測点からの表面温度算出概念図

式(10)より、各観測点から撮影した熱画像の表面温度 $T_S + T_E + T_N + T_W$ の平均値は、模擬植物供試体葉面モデル図の計測対象面の面平均温度として扱うことができると考えられる。

続いて模擬植物供試体を熱画像で撮影すると、熱画像に投影された面は、葉群と葉群から透過した下地の平板部分の2箇所からなるため、平板を含む模擬植物供試体の平均表面温度 $T_s^*$ は、葉群の熱画像面積率 $F$ 、各単葉の熱画像投影面積 $A_{ti}$ 、各単葉の平均表面温度 $T_{si}$ より式(11)で示される。ここで模擬植物供試体の葉群のみの平均表面温度を $T_s$ と定義すると式(11)は式(12)で表され、 $T_s$ は式(13)で表される。

$$T_s^* = \frac{1}{A} \sum_i F \times A_{ti} \times T_{si} + (1-F) T_a \quad \text{式 11}$$

$$T_s^* = F T_s + (1-F) T_a \quad \text{式 12}$$

$$T_s = \frac{1}{F} (T_s^* - (1-F) T_a) \quad \text{式 13}$$

式 13 による模擬植物供試体の表面の葉面部分のみの平均温度 $T_s$ を模擬植物供試体の表面温度とする。

この計測方法より計測した模擬植物供試体と平板供試体における各撮影時間における熱画像の平均表面温度計測結果を、図 18 に示す。図 18 より、各撮影時間について模擬植物供試体の方が平板供試体よりも平均表面温度は約 6.6~7.5°C程度低くなることがわかった。これより、模擬植物供試体の表面温度上昇抑制効果を確認できた。

#### 4.4 熱収支式における分析

実験供試体表面の熱収支式は、非常に大きい平面の場合で考え1次元的に検討すると図 19 のように考えられ、熱収支式を式(14)~式(19)に示す。日射量は上下の水平面全天日射量の計測値を使用する。長波放射量は実験供試体表面と地表面との温度差がないものとし $L_2 = 0$ とし、 $L_1$ は熱画像の平均表面温度を使用し算出する。対流は日射量と長波放射量の残差より求め、表面と裏面の温度差は無いものとし $H_1 = H_2$ とする。表 2 に実験条件を示す。続いて各撮影時間における熱画像の平均表面温度計測結果と撮影時間中に計測した気象条件の時間平均を使用して、熱収支式より計測した熱流成分と対流熱伝達率の計測結果を図 20、図 21 に示す。

図 20 より、対流成分は模擬植物供試体の方が約 31.5~36.0(W/m<sup>2</sup>)大きくなることがわかり、模擬植物供試体の対流成分の増加による表面温度上昇抑制効果が確認できた。図 21 より熱収支式より算出した対流熱伝達率の平均値は平板供試体が約 9.95[W/(m<sup>2</sup>・K)]で模擬植物供試体が約 20.2[W/(m<sup>2</sup>・K)]であり、模擬植物供試体の方が大きくなることがわかった。またこの実験値は、恒温槽での実験値と平板供試体、模擬植物供試体ともにほぼ一致し、両実験の供試体表面における対流熱伝達率計測の妥当性も確認できた。

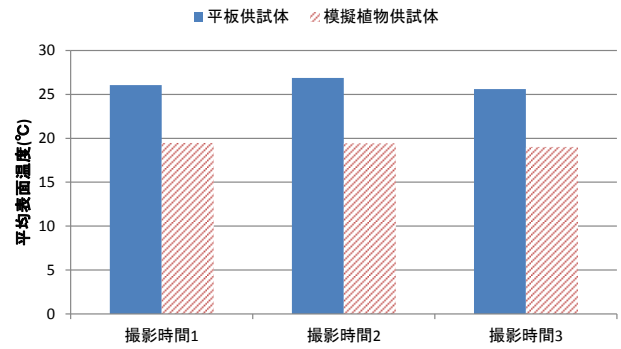


図 18 撮影時間別 供試体平均表面温度

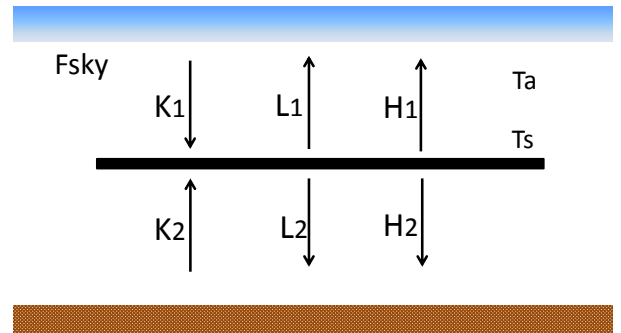


図 19 実験供試体熱収支式

表 2 実験条件

	撮影期間 1	撮影時間 2	撮影時間 3
気温( $T_a$ )	9.9°C	10.5°C	10.8°C
上面日射量( $K_1$ )	434[W/m <sup>2</sup> ]	418[W/m <sup>2</sup> ]	384[W/m <sup>2</sup> ]
下面日射量( $K_2$ )	77.2[W/m <sup>2</sup> ]	72.0[W/m <sup>2</sup> ]	61.4[W/m <sup>2</sup> ]
長波放射量( $L_1$ )			
平板供試体	169[W/m <sup>2</sup> ]	171[W/m <sup>2</sup> ]	163[W/m <sup>2</sup> ]
模擬植物供試体	137[W/m <sup>2</sup> ]	135[W/m <sup>2</sup> ]	132[W/m <sup>2</sup> ]

$$K - L - H = 0 \quad \text{式 14}$$

このとき

$$K = K_1 + K_2, \quad L = L_1 + L_2, \quad H = H_1 + H_2$$

$$K_1 = a J_s \quad \text{式 15}$$

$$L_1 = \epsilon_s F_{sky} (\sigma T_s^4 - J_a) \quad \text{式 16}$$

$$J_a = \epsilon_a \sigma T_a^4 \quad \text{式 17}$$

$$\epsilon_a = 0.51 + 0.066 \sqrt{f} \quad \text{式 18}$$

$$H_1 = h_f (T_s - T_a) \quad \text{式 19}$$

$a$	日射吸収率	[-]
$J_s$	日射量	[W/m <sup>2</sup> ]
$\epsilon_s$	長波放射率	[-]
$T_s$	表面温度	[K]
$J_a$	大気放射量	[W/(m <sup>2</sup> ・K <sup>4</sup> )]
$\sigma$	ステファン・ボルツマン係数(=5.67×10 <sup>-8</sup> )	[-]
$F_{sky}$	天空率	[-]
$\epsilon_a$	大気放射率	[-]
$f$	水蒸気圧	[hPa]
$h_f$	対流熱伝達率	[W/(m <sup>2</sup> ・K)]
$T_a$	気温	[K]

#### 4. 5 夏季条件での表面温度上昇抑制効果の検討

本実験では、冬季における模擬植物の表面温度低下効果しか検討できていないため、熱収支式で算出した対流熱伝達率の計測結果を用いて、夏季の気象条件を与えた際の供試体の表面温度上昇抑制効果を検討する。冬季の実験と同様に供試体は水平置きに設置した場合で検討する。気象条件として、大阪市における拡張アメダスの8月の1番日射量の多い8月17日における1981~2000年の標準年データを使用する。本研究では、両供試体の日射吸収率は0.95で行っており平板と模擬植物の表面温度差が大きくなる条件で行っていたので、実環境に近い日射吸収率0.80の場合の結果と合わせ、供試体の表面温度の変化を図22に示す。

図22より、日射吸収率0.95の場合では、平板と模擬植物の表面温度が最大になった13時において、平板温度は59.4℃まで上昇しているが、模擬植物表面温度は46.6℃と平板よりも12.8℃程度表面温度が低くなっていることがわかった。また13時同様、日射量の比較的大きな時間帯である10時~14時の間においても供試体の表面温度差は約10.9~13.4℃程度であり、日射吸収率0.80の場合では、約9.1~11.2℃程度であった。これらより気象条件は異なるが、冒頭で述べたフラクタル日除けやアサガオと同程度の表面温度差が生じていることが想定され、また夏季の条件での表面温度上昇抑制効果は冬季以上であることが想定された。

### 5 まとめ

#### 5. 1 実験結果まとめ

- (1) 模擬植物供試体と平板供試体の空気力学的代表長さの異なる2種の供試体について対流熱伝達率を測定した。風速の異なる2種の条件下で測定した対流熱伝達率の実験結果から、代表寸法が及ぼす対流熱伝達率への影響について、実験値と理論値が概ね一致する結果が得られた。
- (2) 供試体の表面温度計測と熱収支の分析結果として模擬植物供試体及び平板供試体について、赤外線放射カメラを用いて平均表面温度を比較した。その結果、冬季の気象条件下で、模擬植物の表面温度は平板と比べて約6.6~7.5℃低くなる結果を得た。計測した表面温度を用いて熱収支式より供試体表面の対流熱伝達率を算出した結果、模擬植物の方が大きくなるのがわかり、その対流熱伝達率の実験値は恒温槽での実験値と平板供試体、模擬植物供試体ともにほぼ一致し、両実験の供試体表面における対流熱伝達率計測の妥当性も確認できた。また熱収支式より得られた対流熱伝達率より夏季条件に模擬植物を水平置きで設置した際の表面温度上昇抑制効果も想定された。

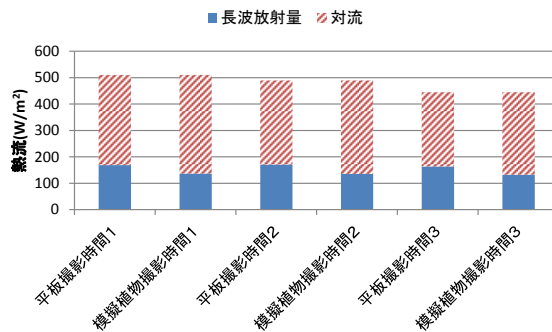


図20 熱流成分算出結果

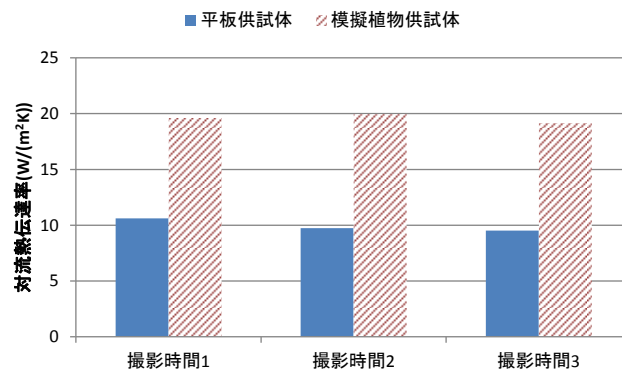


図21 対流熱伝達率算出結果

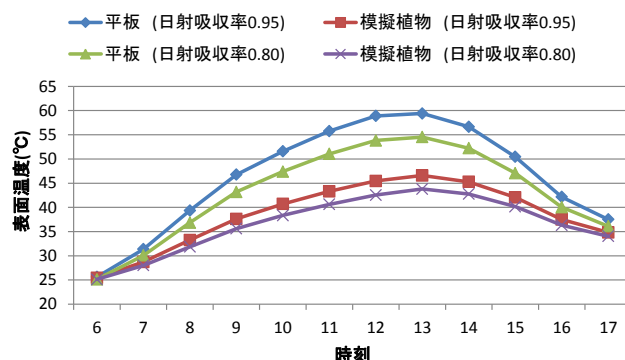


図22 夏季条件での平板と模擬植物供試体の表面温度

#### 5. 2 今後の展望

今後の展望として①本研究で対象とした模擬植物以外の形状でも代表長さが小さいことによる冷却効果があることが想定されるため、伝熱面の小さな面で構成されるような形状のものについて、表面温度低下効果を検討する。②平板と葉を濡らした場合において、蒸発量の差より伝達率を求める方法等を検討する。

#### 【参考文献】

- 1) 蝦名 聖二 他：日射遮蔽による屋外暑熱環境の緩和に関する研究その1 フラクタル日除けによる暑熱環境緩和効果の実測評価，日本建築学会大会学術講演梗概集 pp.893-894, 2013
- 2) 蝦名 聖二 他：日射遮蔽による屋外暑熱環境の緩和に関する研究その2 フラクタル形状日除けの表面温度特性の形状依存に関する実験，日本建築学会大会学術講演梗概集 pp.895-896, 2013
- 3) 長谷場 徹：植物の葉面境界層輸送係数，農業気象学 40巻・1号 pp.63-72, 1984
- 4) Eckert, E.R.G. and Drake, R.M., Jr. : Heat and Mass Transfer. McGraw-Hill, New York pp.530, 1959



## 討議

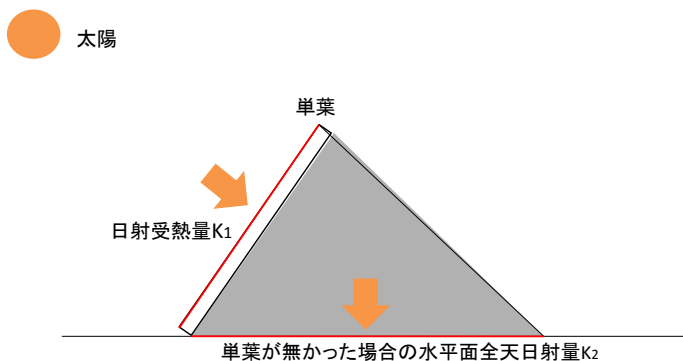
### 討議[鍋島先生]

模擬植物供試体の単葉の重なりによる効果によって影が生じることで、実際に単葉が受ける日射量は熱収支式と異なるが、どのように考慮しているのか？

また影の効果による表面温度の低下の効果が対流による低下として検討されているのでは？

### 回答

熱収支式を考慮する上での、日射量は水平面全天日射量を使用している。ここで平板は水平面全天日射量を平板のみで受けるが、模擬植物は多くの単葉にて受け、その日射受熱量は単葉ごとによって異なる。例えば下図において単葉が日射方向を向いていた際に影が生じた場合を検討する。下図において、単葉が受ける日射受熱量を  $K_1$  とすると、単葉が無かったときに地表面が受ける水平面全天日射量は  $K_2$  で表され、下図より  $K_1=K_2$  と考えられる。これより供試体表面の水平面全天日射量は、水平投影面積が等しい本実験の場合では、両供試体で等しくなると考えられる。



続いて表面温度の計測方法について検討する。非常に大きい平面に模擬植物を設置し、その中心部分の表面温度を計測するのであれば、模擬植物の中心部分に表面温度計測機器を設置し中心付近の模擬植物の平均表面温度を計測すると考えられる。本研究では、大きさの関係で小さな平面における模擬植物により検討しているため、周囲4方向から模擬植物の表面温度を撮影しているが、それは本質的には非常に大きい平面と同様のことを行っている。ゆえに、模擬植物の平均表面温度は、本研究のように周囲4方向から定義して問題ないと考えている。また熱収支に関しても非常に大きい平面で考えるのであれば、周辺で計測した平均表面温度より長波放射量を定義するであろう。このため本研究で計測した平均表面温度より長波放射量を算出し、対流を求めるという点では、大きな矛盾点はないと考えられた。

### 討議[重松先生]

平板の面積と模擬植物の葉群の総面積の違いは？

熱収支式で用いる面積は総面積を用いるべきでは？

### 回答

平板は約  $0.3 \times 0.6 \text{m}$  の長方形であるため面積は約  $0.18 \text{m}^2$  であるのに対し、模擬植物の葉の面積は約  $2.5 \times 10^{-3} \text{m}^2$  である。この葉が表面には約 250 枚存在するため、約  $0.63 \text{m}^2$  になる。よって模擬植物の方が総面積で比較した際は約 3.47 倍程度大きいと考えられた。しかし、熱収支式を考える上では先ほどの回答と同様に1次元で検討しており、日の当たらない場合は熱交換には寄与しないとすると、葉群の総面積ではなく、水平投影面積が熱収支式で用いる面積と考えられた。

### 討議[矢持先生]

実際の植物を使用する効果と比較した際に、模擬植物を採用する理由については？

### 回答

実際の植物は蒸散作用があり、顕熱を大気へと放散する作用を減少させる作用を持ち、ヒートアイランド現象の抑制対策となるが、模擬植物は顕熱放散を減少させる役割がないことから、植物に変わるわけではない。しかし模擬植物の代表寸法が小さいことによる表面温度低下効果は暑熱緩和効果において期待できる。(模擬植物が植物に代替になるわけではないため、指摘を受け背景から外した。)

本研究では模擬植物がフラクタル日除け同様、表面温度上昇抑制効果があり、対流熱伝達率が大きいことが示されたため、表面温度が低下することにより放射熱の低減効果等および熱容量が大きい壁面等に比べた場合の夜間の表面温度低下が期待できるため、模擬植物による暑熱緩和効果において期待できると考えられた。

### 討議[水谷先生]

フラクタル日除けではなく模擬植物を採用する理由については？

### 回答

フラクタル日除けは、フラクタル図形を元に構成されているが、今回の研究において構成面の代表寸法が小さいものであれば、同様の効果があることがわかったため、模擬植物やフラクタル日除けだけにとらわれず、構成面の代表寸法が小さい形状の物であれば、導入しやすい形ものを選べばよいと考えられる。その点では、フラクタル日除けよりも模擬植物の方が汎用性が高いと考えた。

### 討議[大島先生]

植物と模擬植物どちらを使用するのがよいのか？

### 回答

模擬植物は緑化の代替にはならないが、表面温度低下効果は有用性がある、前述のように利用価値があると考えられる。