

建築用膜材のふく射特性の測定と ヒートアイランド抑制効果解析

Measurement on Radiative Properties of Membrane Material for Construction and Analysis of Reduction Effect of Heat Island Phenomena

吉田 篤正 木下 進一 村上 裕紀
Atsumasa YOSHIDA Shinichi KINOSHITA Hiroki MURAKAMI

大阪府立大学大学院工学研究科機械工学分野 Department of Mechanical Engineering,
Graduate School of Engineering, Osaka Prefecture University

Corresponding author: Atsumasa Yoshida, E-mail: ayoshida@me.osakafu-u.ac.jp

ABSTRACT

Recently, in many cities, thermal air pollution has arisen from superfluous progress of the increase in artificial waste heat and covering, and loss of natural space. Consequently, in the city, compared with the suburbs, temperature becomes high and the heat island phenomenon has appeared. As the measures, it is very important to control the radiation. Therefore, we notice membrane materials which have small solar absorptance. In this study, we selected three membrane materials of polytetra fluorine ethylene (white, gray, yellow green), and these solar absorptances and infrared emissivities were measured. These solar absorptances were 0.19, 0.53, 0.70 and infrared emissivities were about 0.9. We applied the measured values to the math calculation and evaluate surface temperature for construction and sensible heat flux to the atmosphere. Consequently, the surface temperature is lower and the sensible heat flux decreases. So, it is expected that membrane materials mitigate the heat island phenomenon.

キーワード： ヒートアイランド, 建築用膜材, ふく射特性

Key Word : Heat island phenomena, Membrane material for construction, Radiative properties

1. 緒 言

近年、都市域において、気温が周りの地域より高くなるヒートアイランド現象が生じている。早急に解決しなければならない問題となっている。原因としては、都市の表面材料の急速な人工化や、家庭やビルからの大量の排熱などが挙げられる。そこで、ヒートアイランド対策の一つとして、建物のふく射特性を制御することが考えられる。従来は、日射吸収率の高い人工表面材料が多くを占めていた。しかし、近年、日射吸収率の小さい建築用膜材、高反射性塗膜が普及している。これらの利用で、表面温度の低下と大気への顕熱フラックスの減少が期待されている。

Table 1 Color and thickness of specimens

	species	color	thickness (mm)
1	membrane	white	0.55
2	membrane	gray	0.55
3	membrane	green	0.55
4	painted coating	white	0.15
5	painted coating	yellow green	0.19
6	painted coating	gray	0.10

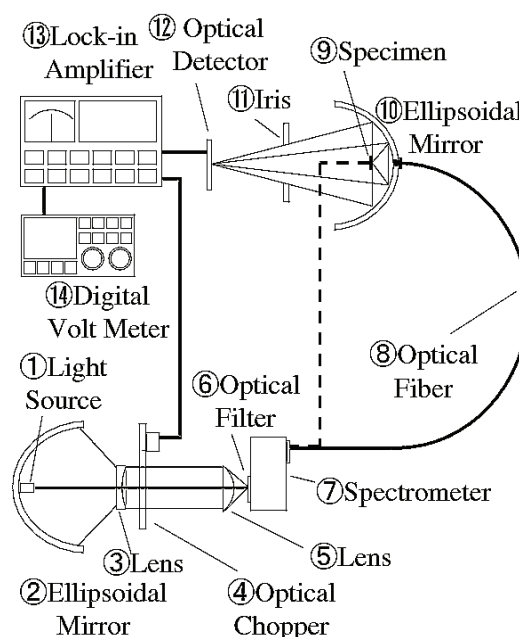


Figure 1 Measurement system using an ellipsoidal mirror and an optical fiber cable

本研究では、3種類の建築用膜材、3種類の高反射性塗膜およびコンクリートを取り上げ、これらの可視から近赤外域における分光反射率、透過率および赤外域の放射率を測定した。また、その物性値を基に、ヒートアイランド対策の数値計算をし、測定試料を用いた建築物の表面温度と大気への顕熱フラックスを用いて評価を行った。

2. 測定試料

表 1 に建築用膜材および高反射性塗膜の色と厚さを示す。建築用膜材 (2500×2500mm) の基布はポリエステル、コーティング材は塩化ビニル樹脂である。高反射性塗膜はビニル樹脂膜 (300×300×1.94mm) に塗布して製作した。また、表の左の番号は試料番号であり、コンクリートを試料 7 とした。

3. 日射反射、透過特性

3.1 測定装置及び測定方法

可視～近赤外域 (0.5～1.6μm) における垂直入射半球反射率・透過率スペクトル測定装置の概要を図 1 に示す。この波長域において日射の 83.7% をカバーできている。光源部にはハロゲンランプ①を使用し、回転楕円体面鏡②の第 1 焦点に設置する。回転楕円体面鏡法で集光された光束は、その第 2 焦点に設置した両凹レンズ③によって



Figure 2 Field measurement of solar reflectance and transmittance for membrane material

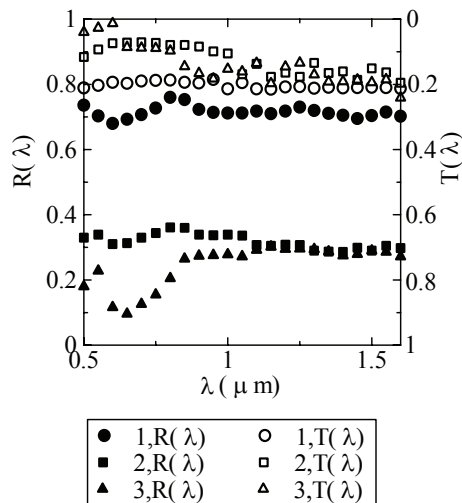


Figure 3 Hemispherical reflectance and transmittance spectra of membrane materials for construction

平行光束に近づけ、光学チョップ④で断続光にした後に、平凸レンズ⑤で集光し、光学フィルタ⑥と回折格子分器⑦により単色光に変換する。光学チョップで断続光とされた光束は、ロックインアンプ⑧を使用することにより背景光の影響を除去する。また、光学フィルタを使用することにより高次の回折光の混入を防ぐ。分光器から出た単色光は、セルフオックマイクロレンズ付光ファイバ⑧を通り、試料⑨ (直径 13mm) に指向入射される。

試料は同材質の材料から別途小片を切り出して作製した。光ファイバの位置を反射測定の際は図中の実線、透過測定の際は点線の位置に設置する。回転楕円体面鏡⑩の第 1 焦点に設置された設置された試料で反射または透過された光は集光され、その第 2 焦点に設置された検知器⑪により検知される。出力が最大になるポイントに検知器を設置し

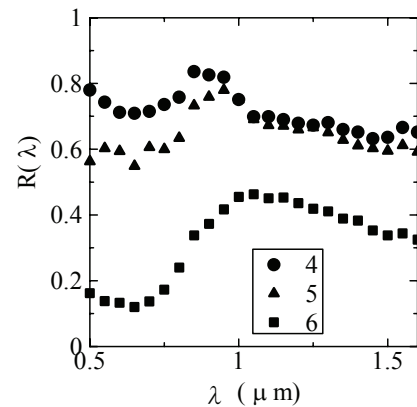


Figure 4 Hemispherical reflectance spectra of high reflectance painted coatings

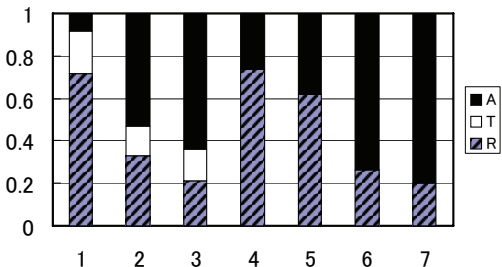


Figure 5 Solar properties of membrane materials for construction and high reflectance painted coatings

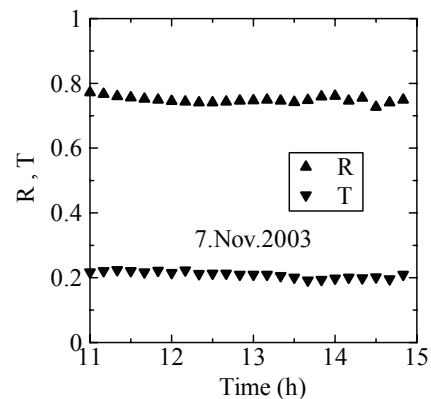


Figure 6 Solar properties of sample (No.1) obtained from field measurement

測定する。検知器から電流出力は電圧変換された後、ロックインアンプにより位相検波増幅され、デジタルマルチメータ④に出力される。

建築用膜材の反射率、透過率の入射角依存性を検討するために、屋外において、全天日射計を用いて日射反射率、透過率を測定した。測定の様子を図2に示す。膜材の設置高さは2mであり、膜下15mmの位置で透過日射量を、膜上10mmの位置で全天日射量と反射日射量を測定した。

3.2 測定結果および考察

測定した建築用膜材の分光半球反射率 $R(\lambda)$ 、透過率 $T(\lambda)$ を図3、測定した高反射性塗膜の分光半球反射率 $R(\lambda)$ を図4に示す。建築用膜材の分光半球透過率はどの膜材もほぼ等しい値を示した。分光半球反射率は白い試料が高く、有色試料はそれに比べ小さい値を示した。高反射性塗膜の試料6以外は顕著な分光特性は示さなかった。試料6は可視域で反射率0.2以下の小さい値を示すが、近赤外域で0.4前後のやや大きな値を示した。日射の波長による重みをかけて積分した試料の日射反射率 R 、透過率 T 、吸収率 A を図5に示す。図6は2003年11月7日の屋外での試料1の日射反射率 R 、透過率 T を時系列で表したものである。日射反射率、透過率は日射の入射角の影響を受けていないことがわかる。各図の数字(1-7)は2章で定義した試料番号を表す。

4. 赤外放射特性

十分に広がりを持った、コンクリート、および建築用膜材(1000mm×1000mm)の半球入射-赤外放射率(5~50 μ m)を測定した。試料を地面に固定し、高さ0.5mの位置に長短波放射計を設置し大気からの赤外半球放射量 L_{in} 、試料からの赤外半球放射量 $L\uparrow$ を測定し、T型熱電対で試料表面温度 T_h を測定した。これらの値は式(1)によって関係付けられる。

$$L\uparrow = \varepsilon \sigma T_h^4 + (1 - \varepsilon) L_{in} \quad (1)$$

式(1)より放射率 ε を求める。

$$\varepsilon = \frac{L\uparrow - L_{in}}{\sigma T_h^4 - L_{in}} \quad (2)$$

次に、高反射性塗膜(15mm×15mm)の赤外放射率 ε を同様に測定した。しかし、面積が小さいため $L\uparrow$ の測定が

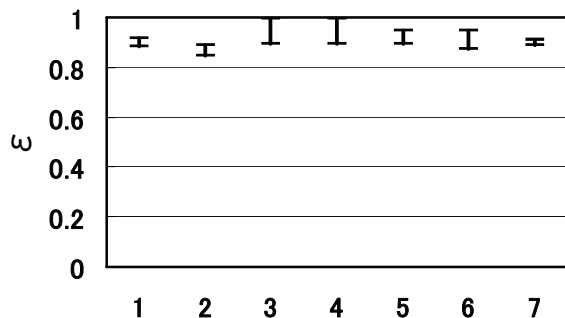


Figure 7 Infrared emittance of membrane materials for construction and high reflectance painted coatings

困難である。そこで、赤外放射温度計でふく射温度 T_r を測定し、 $L\uparrow = \sigma T_r^4$ とし同様に求めた。測定はいずれも日射の影響のない夜間に行った。測定試料の赤外放射率を図7に示す。測定は各試料につき3回行い、その最大値および最小値をエラーバーで示している。図の横軸の数字(1-7)は2章で定義した試料番号を表す。

5. ヒートアイランド対策としての評価

5.1 評価方法

本研究では、3、4章で求めた試料の反射率、透過率及び赤外放射率の結果を用いて、建造物の表面材料を変えた場合に、大気に対しての対流伝熱(顕熱)、建物への熱負荷(表面温度)がどのように変化するかを評価した。気象条件としては、真夏の典型的な状態を想定した。全天日射量 S 、大気からの赤外放射量 L_{in} および風速 U を図8に示す。気温は後述の計算結果を表す図9、10に示す。

5.2 モデルと数値計算の方法

屋上面から高さ2mの位置に建築用膜材を設置した場合①、高反射性塗膜を屋上面に塗布した場合②の二通りの評価を行った。屋上面下は、天井上部から、モルタル2cm、コンクリート17cm、断熱材(住宅用グラスウール)10cm、内装材1cmの30cmで構成されているものとした。文献値から用いた天井部の各物性値を表2、また図5および図7の測定結果から算出した各試料の日射反射率 R 、透過率 T 、赤外放射率 ε 、を表3に示す。表中にある熱伝導率

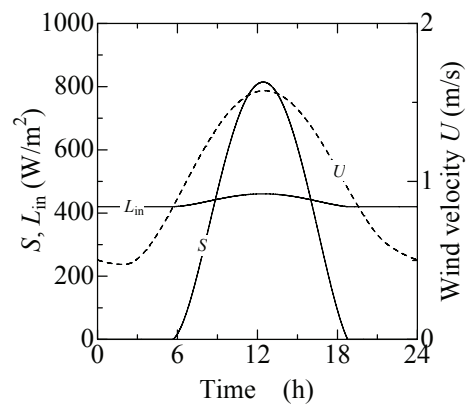


Figure 8 Given daily variation of solar radiation and wind velocity

Table 2 Physical properties of roof materials

	mortar	concrete	insulation	interior material
R	0.2	-	-	-
ε	0.8	-	-	-
λ	1.4	1.64	0.033	0.151
C	2.4×10^6	1.9×10^6	2.8×10^4	0.92×10^6

Table 3 Physical properties of samples

Number	1	2	3	4	5	6
R	0.72	0.33	0.21	0.74	0.62	0.26
T	0.20	0.14	0.15	-	-	-
ε	0.90	0.87	0.94	0.94	0.91	0.90
λ	0.100	0.100	0.100	-	-	-
C	1.8×10^6	1.8×10^6	1.8×10^6	-	-	-

λ , 比熱容量 C の各単位は, (W/m \cdot K) と(J/m $^3\cdot$ K)である.

表面熱収支の関係から, 建築用膜材及び屋上面へ入る正味ふく射流束 R_n , 顕熱流束 H , さらに屋上面から天井内に向かう伝導熱流束 G の収支は式(3)で表される. ただし, 屋上表面は乾燥しているため潜熱流束は無視できると考えた.

$$R_n = H + G \quad (3)$$

顕熱流束 H の計算において, 対流熱伝達率 h_c (W/m $^2\cdot$ K) としてユルゲス(Jurges)の式を用いた. 屋上面および膜材の表面・裏面における顕熱流束 H は, 表面温度を T_s , 空気の温度を T_{air} とし式(4), (5)より求めた.

$$H = h_c(T_s - T_{air}) \quad (4)$$

$$h_c = 5.3 + 3.6U \quad (U < 5[m/s]) \quad (5)$$

伝導熱流束 G は熱伝導率 λ を用いて式(6)で表す.

$$G = -\lambda \frac{T_s - T_{inside}}{dx} \quad (6)$$

ここで, T_{inside} は屋上面直下の天井層の温度である. また, 天井内部への熱伝導は非定常一次元熱伝導方程式(7)を陽解法により数値的に解く.

$$\frac{\partial T_{inside}}{\partial t} = a \frac{\partial^2 T_{inside}}{\partial x^2} \quad (7)$$

数値計算を行うため, 天井内の各分割層の厚さを 10mm とした. 境界条件として, 天井の一番下の部分(室内側表面温度)を 25 $^{\circ}$ C とし, 初期条件として天井内温度に 30 $^{\circ}$ C (一様)を与えた. また, 建築用膜材を設置したとき, 膜材と屋上面との間の空間の気温は, 風の吹き抜けが十分あるものとし外気温と等しいとした. 膜材の熱容量はないものとし, 表面・裏面の温度は同一であると仮定する. 初期条件の影響がなくなる 7 日後の計算結果で評価を行った.

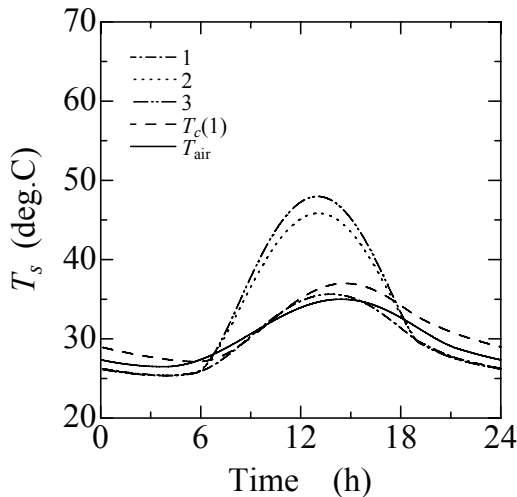


Figure 9 Surface temperature of membrane and air temperature

5.3 計算結果および考察

次に計算結果を示す. 図 9 に建築用膜材の表面温度及び気温を示す. 図中の $T_c(1)$ は, 膜材(試料 1)下のコンクリートの表面温度を表す. 図 10 に高反射性塗膜, コンクリートの表面温度及び気温を示す. 図 11 に建築用膜材(白), 高反射性塗膜(白)及びコンクリートの対する顕熱流束を示す.

これらより, 屋上表面がコンクリートである場合に比べ, 建築用膜材及び高反射性塗膜を用いたことで表面温度が低下する. また, 高反射性塗膜に比べ建築用膜材のほうが, 表面温度が低下する. 夜間ほどの材料もほぼ気温と同じ値となる. 建築用膜材の表面温度は日射量の最大値が出現する 12 時に最大値になるが, 屋上表面がコンクリートである場合は, 最高気温が現れる 15 時くらいに表面温度も最大となる. コンクリートに比べ, 建築用膜材及び高反射性塗膜を用いた場合の方が, 対する顕熱流束が小さくなる. 特に試料 1 においては日射反射率が高いこと, 吸収率が小さいこと, 膜材が存在することによる屋上面で受ける日射量が小さいことから顕熱流束が極めて小さくなる.

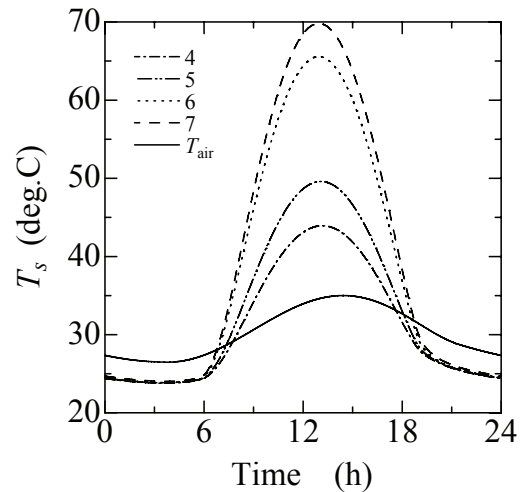


Figure 10 Surface temperature of high reflectance painted coating and air temperature

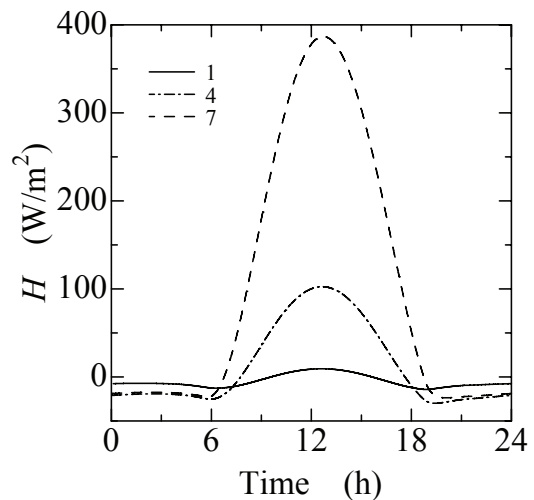


Figure 11 Sensible heat flux from the surface to the atmosphere

6. 結言

建築用膜材, 高反射性塗膜およびコンクリートの可視から近赤外域における放射特性を測定し, その物性値を基にした数値計算により測定試料を用いた建築物の表面温度と大気への顕熱流束の評価を行い以下の知見を得た.

- (1) 建築用膜材を用いることにより, 建物屋上の表面温度が低下し, 建物への熱負荷が小さくなる.
- (2) 大気に対する顕熱輸送量が小さくなるため, 表面近傍の気温の抑制として効果がある.

謝辞

本研究費の一部は(財)能村膜構造技術振興財団の援助を受けて行われた. また, 建築用膜材の試料は太陽工業(株)の提供である. あわせて, ここに謝意を表す.

(Received June 9, 2006, Accepted July 11, 2006)