

高日射反射舗装上の温熱環境把握に関する研究

Thermal environment measurement of the pavement which conducted high reflection paint

酒井孝司*¹ 露木拓哉*² 村田泰孝*³ 松尾 陽*⁴ 三木勝夫*⁵ 村瀬俊和*⁶
 Koji SAKAI Takuya TSUYUKI Yasutaka MURATA Yoh MATSUO Katsuo MIKI Toshikazu MURASE

Abstract

As one of the techniques which mitigate the urban heat island which becomes recently serious, it is considered that solar heat high reflection coating material is applied in the pavement. In this paper, thermal environment measurement and subjects survey were carried out for the purpose of a grasp of urban high-temperature relaxation effect in applying solar heat high reflection coating material to the pavement. Effective radiation and sensible heat quantity of the reflection area in calculated summer from the measurement result became about 80% of the ordinary area. And it clarified that an heat emission from the ground level to the atmosphere could be reduced by the application of high reflection coating material. From a questionnaire result, it was shown that there were no deterioration of the thermal environment that human body consists by the high reflection pavement.

キーワード：高日射反射塗料，舗装，ヒートアイランド，熱環境実測，被験者実験

Key Words：High reflection paint, Pavement, Heat island, Measurement, Subject survey

1. はじめに

都市の人工被覆(建物・舗装面等)は，日射を吸収・蓄熱して高温となり，夜間に大気へ顕熱を放出することが確認されている¹⁾²⁾。人工被覆が集約的に存在する都市部では，この現象が顕著となり，人工排熱の増加に伴ってヒートアイランドを引き起こしている。ヒートアイランド現象は，地方都市においても顕在化しており³⁾，我が国の人工被覆全体において，対策を講じることが急務と考えられる。

人工被覆の高温化緩和手法として，表面の緑化や，保水性，日射反射性の向上が考えられ，建物・駐車場の緑化や，保水性舗装，高日射反射塗料に関する研究が多くなされている^{4)~7)}。従来，高反射塗料は白色が主流であったが，近赤外線領域における分光反射率を選択的に大きくした白色以外の高日射反射塗料⁸⁾⁹⁾が開発されている。そのため，既存の建物や舗装面等の人工被覆全般への適用自由度が向上しており，今後の高温化緩和対策として有望と考えられる。

人工被覆のうち舗装面は暗色であるため，日射を吸収し易い。また，都市面積の約20%を占めると推計されているため¹⁰⁾，高日射反射塗料の適用による効果が期待できる。

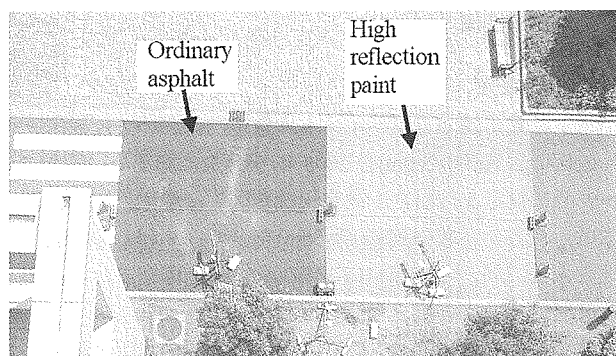


Fig.1 Measurement field

一方，舗装の日射吸収低下に伴って長波長放射が減少する反面，反射日射が増加するため，舗装近傍の歩行者の温熱環境は，悪化する恐れがある。近藤ら¹¹⁾は，温熱環境について数値流体解析(CFD)による検討を行い，舗装面に高日射反射塗料を適用した場合の人体温熱環境悪化の可能性が低いことを示唆している。しかし，実際の舗装に高日射反射塗料を適用した場合について，高温化緩和効果や，人体への影響について実測した例は少ない。

そこで，本研究では，高日射反射塗料を舗装に適用した場合の都市高温化緩和効果を定量的に把握することを目的とし，高日射反射塗料を適用した舗装(以下，反射区と略す)と一般舗装(以下一般区)の温熱環境の同時測定と被験者実験を行った。本報では，高日射反射舗装の都市高温化緩和効果と，高日射反射舗装が人体の放射環境に及ぼす影響について検討した結果について報告する。

*1 明治大学理工学部助教授 (〒214-8571川崎市多摩区東三田 1-1-1) e-mail: sakaik@isc.meiji.ac.jp

*2 明治大学大学院理工学研究科博士前期課程

*3 崇城大学工学部助教

*4 東京大学名誉教授

*5 三木デザイン事務所所長

*6 三木デザイン事務所主任

(原稿受付：2007年3月27日)

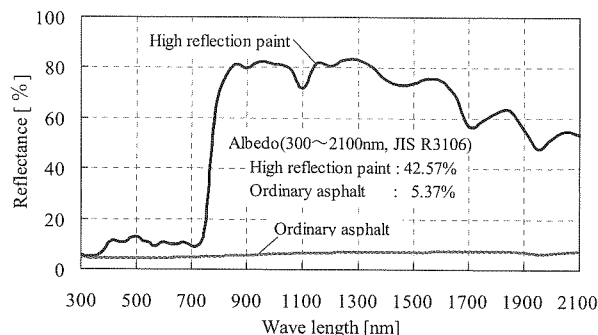


Fig.2 Spectrum reflectance
(Japan Paint Inspection and testing Association)

1. Propeller anemoscope and anemometer
2. Thermometer and hygrometer with radiationshield
3. Data logger
4. Pyrheliometer, precision pyrgeometer
5. Vertical temperature distribution
6. Surface temperature
7. Globe thermometer

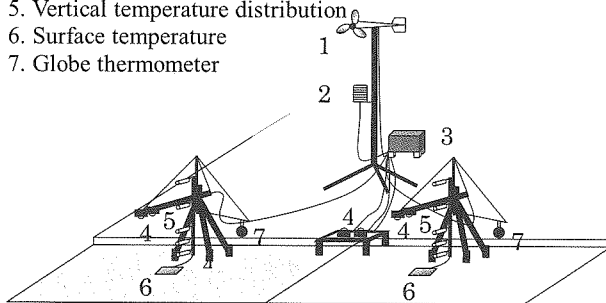


Fig.3 Outline of measurement system

2. 熱環境実測

2.1 測定概要

東京都品川区の日本ペイント(株)敷地内において反射区と一般区の区域(5.0×5.0m)を 2005 年 5 月末に施工し、同年 7 月～9 月に測定を行った。測定状況を図 1 に示す。施工の際には、双方の区域の舗装(厚 5cm)を全て掘り起こした後、地表面まで同一の舗装材(アスファルト)を再施工した。更に反射区では、舗装表面に高反射塗料を塗布している。

各舗装の分光反射率を図 2 に示す。なお、分光反射率は、Labsphere 社製 SPECTRALON により校正した値である¹²⁾¹³⁾。全波長領域(300～2100nm)における日射反射率(JIS R3106)は、一般区 5.37%、反射区 42.57%で、表面色(マンセル表色系¹⁴⁾)は、一般区 N2、反射区 N4 である。

測定項目は、全天日射量(地上 0.3m)、反射日射量(地上 1m)、大気放射量(地上 1m)、地表面長波長放射量(地上 1m)、垂直温度(地中 1, 5cm, 地表面, 地上 10, 30, 50, 100, 150cm)、グローブ温度(地上 0.5m)、風向・風速(地上 2.5m)である。温度測定には T 型熱電対(0.3 mmφ)を用い、1 分間隔で計測を行った。測定システムの概要を図 3 に示す。なお、反射日射計、長波長放射計からみた各区の形態係数は 83.4%、一方からみた他区の形態係数は 1.8%であった。試験区域の外周部はレンガ舗装、芝生面で、各区からみたそれぞれの形態係数は同程度であった。そのため、他区の影響は小さく、外周からの影響は双方同程度であるものと判断し、測定・解析を行った。

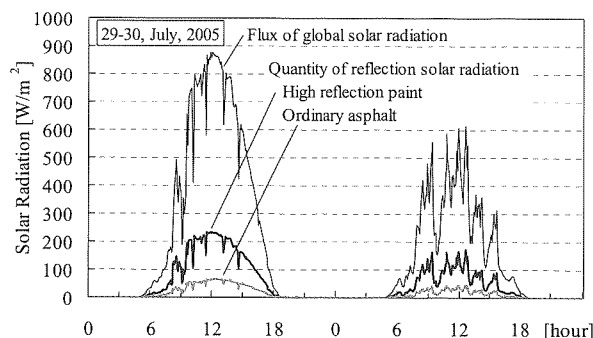


Fig.4 Flux of global and reflective solar radiation

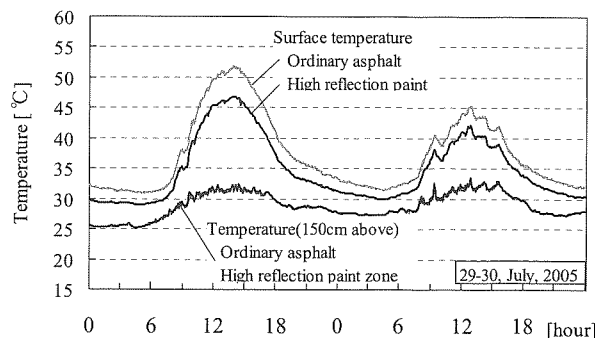


Fig.5 Surface temperature and outdoor Air temperature

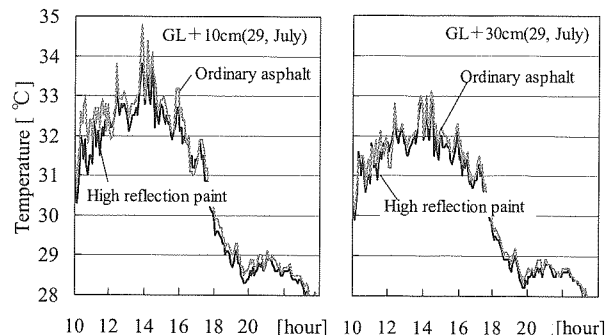


Fig.6 Air Temperature of GL+10, 30cm

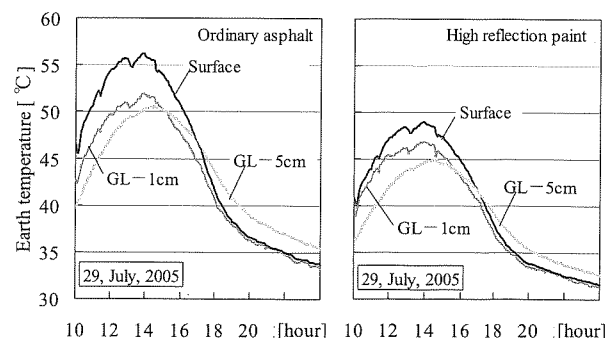


Fig.7 Earth Temperature

2.2 実測結果

高日射反射塗料を舗装に適用した場合の熱環境把握を目的に、2005 年 7 月 29 日(晴天)、30 日(曇天)の測定結果を用いて、反射区と一般区の熱環境について比較・検討を行う。図 4 に全天日射量と各区の反射日射量の経時変化を示す。反射区の反射日射量は一般区に比べ 3 倍程度大きくなっている。測定結果より求めた日射反射率は、一般区 7%、反射区 25%であった。各区の反射率が、図 2 と異なる原因と

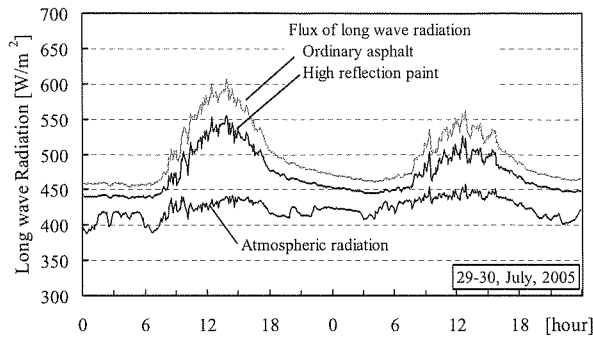


Fig.8 Flux of long wave radiation and atmospheric radiation

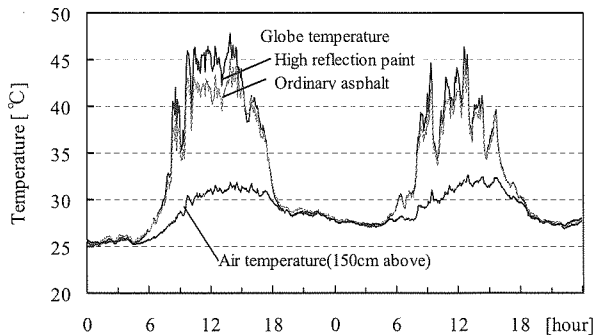


Fig.9 Globe temperature (50cm above)

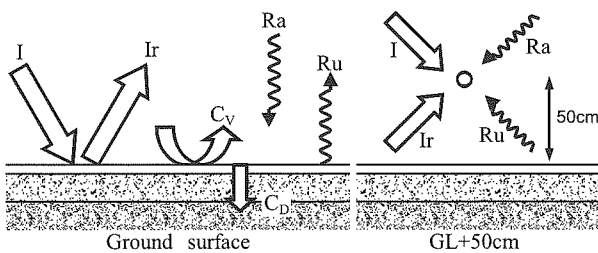


Fig.10 Heat balance model

して、周辺からの反射の影響が含まれていることや、施工1ヶ月後の測定であったため、汚れや劣化の影響により舗装の反射特性が変化したことが考えられる。

図5に各区の表面温度と地上150cmの空気温度を示す。また、図6に、晴天日における地上10cmと30cmの気温変化を示す。反射区の表面温度は一般区に対して終日低くなり、晴れの日で最大約5℃、曇りの日および夜間で約2℃低くなっている。地上10cmの空気温度では、反射区が一般区に比べて僅かに高い。地上30cm・150cmの空気温度には差がみられない。今回の実測では、測定面が狭いため、周辺の顕熱輸送量が測定面からの輸送量より大きく、空気温度への影響が少なかったものと思われる。

図7は、晴天日における各区の地中1cmと5cmの温度である。表面温度に対応して、反射区の地中温度が終日低い。高反射塗料の適用により、日中の日射蓄熱を抑制可能と考えられる。

図8に大気放射量と各区の上向長波放射量を示す。表面温度に対応して、終日反射区が一般区に比べて低い値となっている。その差は、晴天日で最大約50W/m²、夜間および曇天日で約20W/m²程度であった。晴天日14時の実効放

射量は、一般区151.7、反射区104.5W/m²となり、反射区では、大気への長波長放射を1/3程度低減する結果となった。以上の結果から、高反射塗料を適用した舗装では、一般舗装に比べ、反射日射量が大きくなること、表面温度および長波長放射量が低くなること、地中温度が低く保たれることを確認した。

図9に、各区の地上50cmにおけるグローブ温度を示す。晴天日に、反射区が一般区に比べて最大約4℃高い。曇天日では差異が小さく、夜間においてはほとんど差がみられない。反射区において、日中グローブ温度が高くなるのは、表面温度低下に伴う長波放射量の低減を、反射日射量の増加分が上回ったためと考えられる。従って、舗装面に高日射反射塗料を適用した場合、反射日射の増大による人体温熱環境悪化の可能性が示唆される。

2.3 熱収支解析

高日射反射舗装の都市高温化緩和効果を定量的に把握することを目的に、実測結果を用いて、地表面と高さ50cmにおける熱収支解析を行う。解析に際し、図10に示す熱収支モデルを作成した。地表面の熱収支を式(1)、地上50cmの微小点における放射熱取得を式(2)に示す。なお、式(2)では、天空、各区測定面の形態係数を1と仮定している。

$$S_s = (I - I_r) + (R_a - R_u) - C_v - C_D \quad (1)$$

$$S_g = I + I_r + R_a + R_u \quad (2)$$

ここで、 S_s :地表面熱収支量[W/m²]、 S_g :放射流入量(地上50cm)[W/m²]、 I :全日射量[W/m²]、 I_r :反射日射量[W/m²]、 R_a :大気放射量[W/m²]、 R_u :上向長波放射量[W/m²]、 C_v :地表面から大気への顕熱輸送量[W/m²]、 C_D :表面から地中への熱伝導量[W/m²]。

式(1)中の C_v 、 C_D については、直接測定していないため、実測値を用いて、 C_v 、 C_D の推定を行う。

まず、地中内への熱伝導を、式(3)のフーリエ式¹⁴⁾によって評価する。なお、アスファルトの熱伝導率には、一般的な値¹⁴⁾を使用した。

$$C_D = -\lambda \frac{d\theta}{dx} \approx -\lambda \frac{\theta_s - \theta_{5cm}}{\ell} \quad (3)$$

ここで、 λ :舗装の熱伝導率(0.727)[W/(m・K)]、 θ_s :地表面温度[°C]、 θ_{5cm} :地中5cmの舗装温度[°C]、 ℓ :評価長さ(0.05)[m]。

前章で検討した測定日の結果を用い、式(3)から求めた地中への熱伝導量を図11に示す。反射区・一般区ともに、日中は日射の影響により、表面温度が地中温度より高く、逆に夜間は地中温度が表面温度より高くなり、熱流の向きが逆転している。日中、地表面から地中に流れる熱量は反射区が大きく、夜間に地中から地表面に流れる熱量は一般区が大きい。また、日中よりも夜間に熱量の差は大きくなる。一般区では、地中における日中の蓄熱、夜間の熱放出が、反射区に比べて大きいと考えられる。

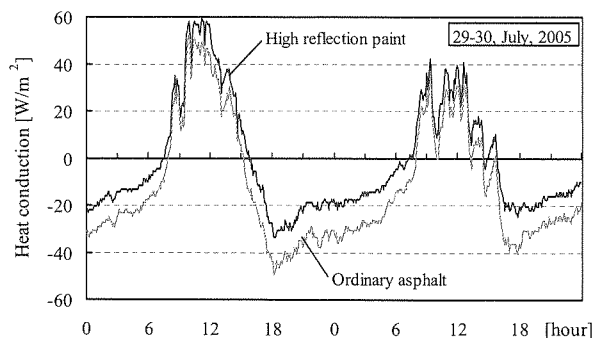


Fig.11 Flux of heat conduction (0→5cm in underground)

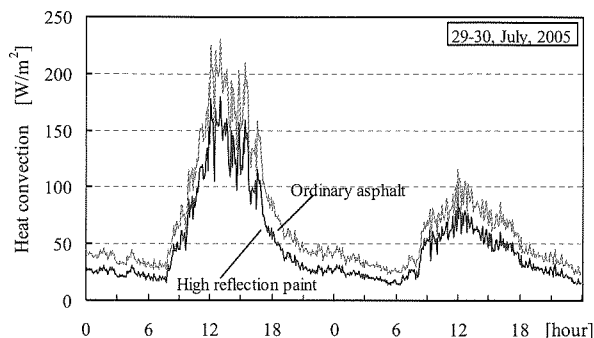


Fig.12 Flux of sensible heat transfer

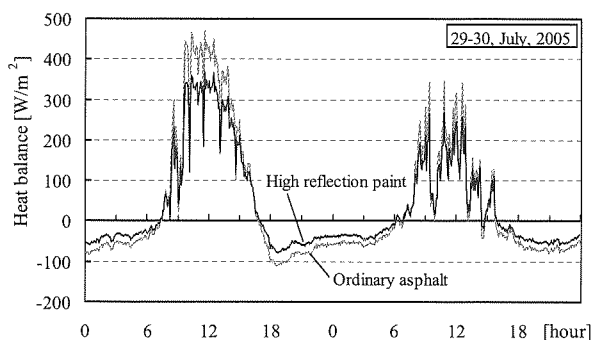


Fig.13 Total heat balance on ground surface

次に、地表面の顕熱輸送量を式(4)のニュートンの冷却則で評価する。対流熱伝達率は、式(3)のユルゲスの式¹⁴⁾により求めた。なお、風速には、式(6)の1/4乗則により、空気温が一定となる地上0.5mに換算した値を用いた。

$$C_V = \alpha_c (\theta_s - \theta_f) \quad (4)$$

$$\begin{cases} \alpha_c = 5.8 + 3.9v & (0 < v \leq 5) \\ \alpha_c = 7.1v^{0.78} & (v > 5) \end{cases} \quad (5)$$

$$v = (h/H)^{0.52} v_H \quad (6)$$

ここで、 α_c :対流熱伝達率[W/m²], θ_f :空気温度[°C],
 v :風速[m/s], v_H :実測風速[m/s], H :実測高さ(2.5)[m],
 h :換算高さ(0.5)[m]

式(4),(5)より求めた各区の顕熱輸送量を図12に示す。反射区の表面温度低減により、顕熱輸送量も一般区に比べて反射区で終日低下している。最大値は一般区で約230W/m², 反射区で約180W/m²となり、その差は最大約50W/m²となっている。二日間の積算値は反射区が一般区に対して28%減少している。

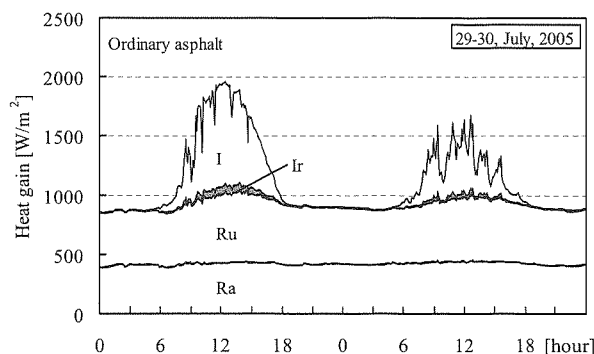


Fig.14 Total heat gain of globe point (GL+50cm)

上記で算出した地中熱伝導量、顕熱輸送量と実測結果を用い、式(1)で地表面の熱収支を算定した。式(1)より求めた各区の地表面熱収支を図13に示す。地表面では日中に熱を吸収し、夜間に放出している。反射区は一般区に比べて熱取得、熱損失ともに少なく、その差は日中最大約90W/m², 夜間で約30W/m²である。日中は反射日射量が熱取得差の大きな要因となっている。

地表面熱収支と同様に、式(2)で地上50cmの微小点における放射熱取得量を算定した。算定結果を図14に示す。日中に反射区で最大約120W/m²高い値となり、夜間では差が小さい。なお、反射区の一般区に対する増加割合は、最大+6%(日中)、夜間では-2%、二日間の積算値は+0.9%であった。従って、高日射反射舗装を導入した場合、上部空間の放射環境が若干悪化することが確認できる³⁾。

2.4 夏期における熱収支評価

2005年7~9月の3ヶ月間の反射日射、熱伝導、実効放射、顕熱輸送量の積算量について考察する。それぞれの結果を図15~18に示す。反射日射は、総じて反射区が一般区に比べて大きく、3ヶ月間の積算量から求めた日射反射率は反射区約25%、一般区約6%となった。3ヶ月積算の反射日射量は、反射区81kWh/m², 一般区20kWh/m²となり、反射区が一般区の4倍程度であった。反射日射が、周辺建物等に吸収された場合、都市の高温化を増長する危険性がある。そのため、本反射塗料は、天空率が大きい舗装面への適用が妥当と思われる。

地表面から地中に流れる伝導熱量は、日中(日出~日没)と夜間に分けて積算している。日中(図の正值)では、各区

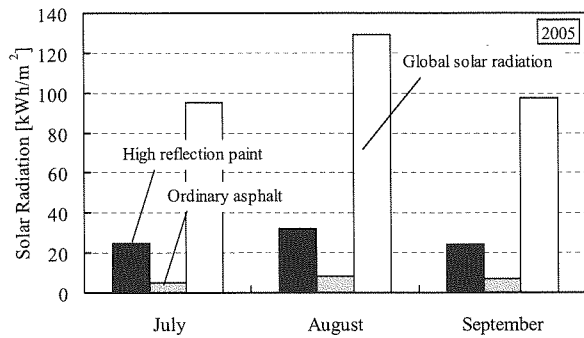


Fig.15 Solar radiation(global, reflection)

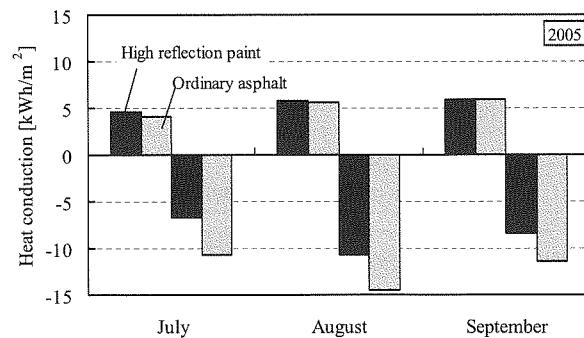


Fig.16 Heat conduction (0→5cm in underground)

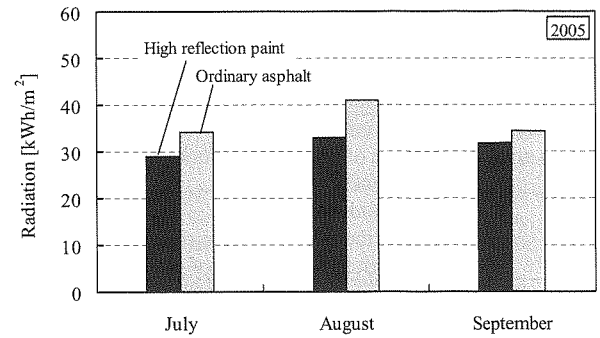


Fig.17 Effective radiation

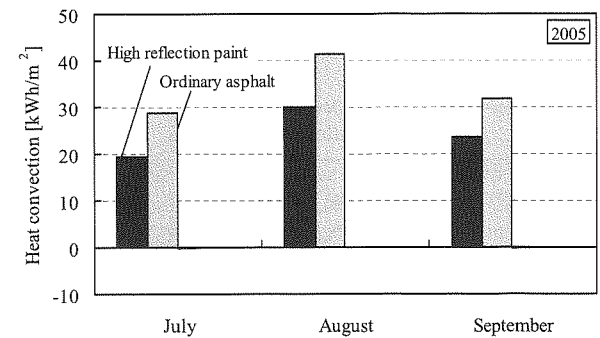


Fig.18 Sensible heat transfer

で差がみられない。一方、夜間、地中から地表面へ流れる伝導熱量(図の負値)は、反射区が一般区に比べて、30%程度小さい値となった。これは、反射舗装により、地面への蓄熱が減少した結果と考えられる。

実効放射・顕熱輸送は、双方とも、一般区が反射区に比べて大きい。顕熱輸送は、地表から大気(正值)と、大気から地表(負値)を分けて積算しているが、負値は小さい値であった。3ヶ月積算の実効放射量は反射区 93kWh/m²、一般区 109kWh/m²、顕熱輸送量は反射区 83kWh/m²、一般区 116kWh/m²となり、反射区における3ヶ月間積算値の低減割合は、実効放射約 14%、顕熱輸送 28%となった。実効放射と顕熱輸送を合計した場合の低減割合は、約 22%となる。

舗装の天空率を 1 とし、反射日射の大気吸収がないと仮定すると、舗装からの大気への正味の熱放出は、実効放射と顕熱輸送と考えられる。この場合における本高反射塗料の都市高温化緩和効果は 20%程度と考えられる。しかし、通常の舗装の天空率は 1 より小さいため、反射日射が周辺建物等に吸収され、効果が減少する可能性がある。そこで、舗装面からの反射日射が、周辺物に及ぼす影響について概算を行う。反射日射を完全拡散と仮定し、1 次反射のみを考慮した場合、周辺物が吸収する反射日射量は、式(7)となり、係数 $(1 - F_{sky})a_{nb}$ は、吸収割合とみなせるだろう。

$$A_{nb} = (1 - F_{sky})a_{nb}I_r \quad (7)$$

ここで、 A_{nb} : 周辺物の反射日射吸収量[W/m²],
 F_{sky} : 天空率[-], a_{nb} : 周辺物の日射吸収率[-]

任意の天空率、日射吸収率について係数を求めると、図 19 となる。

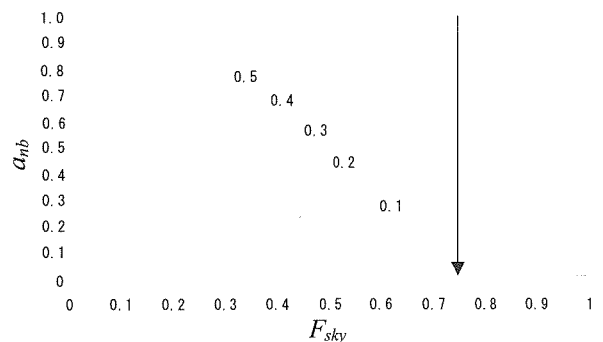


Fig.19 Absorption rate of reflective solar radiation

反射区の一般区に対する反射日射増加量(3ヶ月積算)は、前述値より、61kWh/m²である。また、実効放射の削減量は 16kWh/m²、顕熱輸送の削減量は 33kWh/m²となる。図 19 の吸収割合が 0.25 程度以上となると、反射日射吸収量が実効放射削減量を上回る。これは、周辺物が完全黒体の場合、天空率が 0.75 以下に相当する。舗装の天空率が 0.75 以上であれば、少なくとも顕熱輸送による都市高温化緩和効果(14%程度)が期待できる。以上より、高反射塗料を天空率 0.75 以上の舗装に適用した場合、夏期において 14%以上(最大 20%)程度の都市高温化緩和効果が得られると考えられる。

3. 被験者実験およびアンケート調査

前章の実測結果において、高反射舗装の導入に伴う上部空間の放射環境悪化が示唆された。本章では、高反射舗装が人体の放射環境に及ぼす影響を把握する目的で行った被験者実験と被験者へのアンケート結果について検討する。

Table.1 Question contents of subjects survey

Attribute	Sex, Age, Constitution(sensitive to heat), Basal metabolism, Clothing
Contents (both area)	Thermal comfort : Whole of body, Head, Foot Sensitiveness : Solar radiation, Wind, Radiation from ground surface, Temperature difference of ground surface.

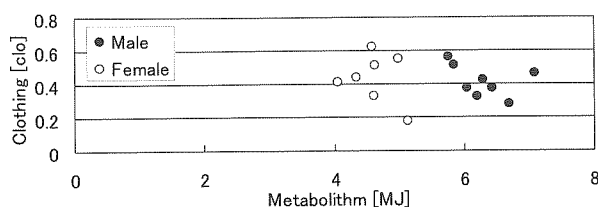


Fig.20 Attribute of subjects

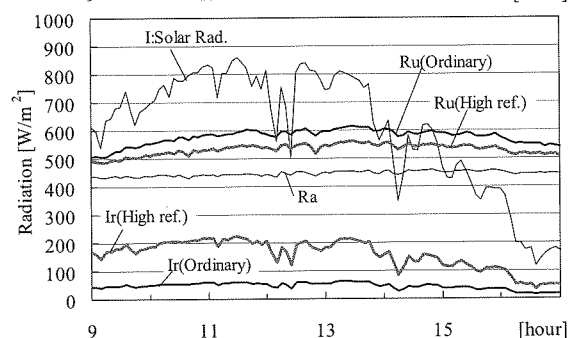
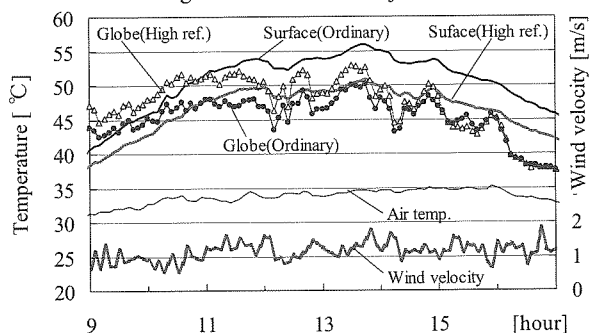


Fig.21 Weather condition

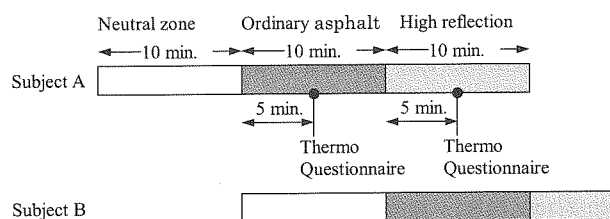


Fig.22 Subjects survey procedure

3.1 被験者実験概要

2005年8月4日の10:30~12:00, 14:00~15:00に、前章の実測地において被験者実験を実施した。被験者は20代の男性8人、女性7人の計15人である。表1に調査項目を示す。被験者の着衣量と基礎代謝量を図20に示す。なお、基礎代謝量は、OMRON・KaradaScanによる測定値、着衣量は、ASHRAE¹⁵⁾による着衣計算表から算出した値である。当日の測定値を図21に示す。傾向は、前章晴天日と同等である。調査手順を図22に示す。被験者はまず、10分間一般区

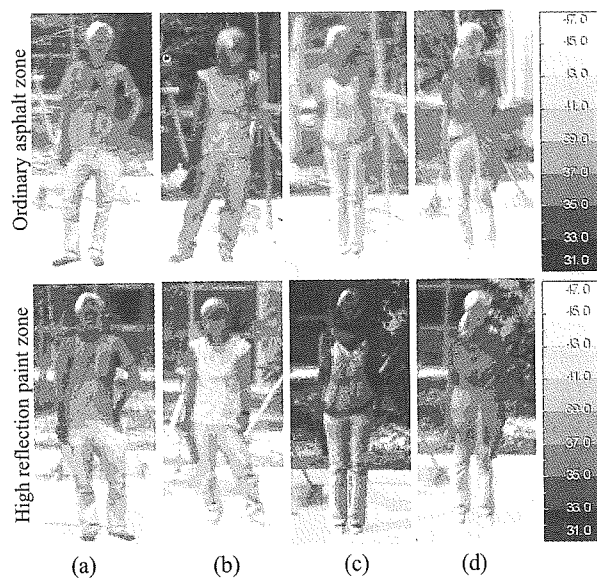


Fig.23 Thermal image example of subjects

近傍において身体を外気温、日射に慣らし、一般区中央において直立安静状態で10分間身体を暴露、次に反射区に移動し、直立安静状態で10分間身体を暴露させた。各区に移動して5分後に、赤外線放射カメラで被験者全身の熱画像を撮影し、被験者へのアンケートを実施した。また、最後に舗装接触温度と快適感について、双方を比較させた。なお、被験者には、区の種別を教えていない。

被験者間では、日射量の条件に最大 300W/m^2 の差異が生じているが、同一被験者の各区間における差異は平均で 50W/m^2 以下であった。今回の実験は、各被験者による相対評価であるため、アンケート結果への影響は少ないものと判断し、以降の解析を行った。

3.2 被験者の熱画像

着衣が薄手のシャツとデニムであった4名の熱画像を図23に示す。上着の色は(b)黒色、(c)紺、他は白色、デニムの色は全て紺である。なお、被験者15名の足元平均表面温度は、一般区 40.29°C 、反射区 39.10°C とほぼ同程度であった。全身の表面温度の傾向として、被験者(a)はほぼ同程度で、(c),(d)は一般区に比べて反射区での温度が低い。被験者(b)は、反射区での温度が高い結果となった。上着が黒色であった被験者(b)では、日射、反射日射、放射全てを吸収しやすかったため、反射区で温度が高くなったものと考えられる。他の被験者では、着衣の日射吸収率が小さく、また、長波長放射率は黒色と同等と考えられるため、長波長放射量の少ない反射区において、表面の温度が低くなったものと思われる。今回の測定では、短波放射に比べて、長波放射が人体表面温度に、より大きな影響を及ぼす結果となった。

3.3 アンケート結果

アンケートの質問と、一般区及び反射区における回答の集計結果を図24に示す。各設問の提示尺度は、等間隔となるよう、既往の研究を参考に定めている^{16)~19)}。なお、

温冷感(体全体):「体全体として温度の感じはいかがですか？」

Whole of body: "How do you feel about temperature of whole of a body?"

Ordinary	非常に暑い 13%	暑い 67%	やや暑い 20%
High Ref. 0%		Hot 67%	Slightly hot 33%

温冷感(頭部):「頭部付近の温度の感じはいかがですか？」

Head: "How do you feel about temperature of head?"

Ordinary	非常に暑い 27%	暑い 33%	やや暑い 27%	どちらでもない 13%
High Ref.	Very hot 13%	Hot 47%	Slightly hot 27%	neutral 13%

温冷感(足元):「足元付近の温度の感じはいかがですか？」

Foot: "How do you feel about temperature of foot?"

Ordinary	非常に暑い 27%	暑い 33%	やや暑い 27%	どちらでもない 13%
High Ref.	Very hot 13%	Hot 27%	Slightly hot 47%	neutral 13%

上下温度差:「頭・上半身と下半身・足元で温度の差を感じますか？」

Temperature difference: "How do you feel about temperature difference of head to foot?"

Ordinary	上半身のほうが暑い 33%	感じない 13%	下半身のほうが暑い 53%
High Ref.	head rather than foot 33%	no feel 20%	foot rather than head 47%

日射感:「日射をどのように感じますか？」

Solar radiation: "How do you feel about solar radiation?"

Ordinary	非常に強い 47%	強い 40%	やや強い 13%
High Ref.	Very strong 27%	Strong 47%	slightly 27%

気流感:「体全体として風をどのように感じますか？」

Wind: "How do you feel about wind?"

Ordinary 0%	強い 27%	やや強い 53%	7%	やや弱い 7%	7%
High Ref. 0%	Strong 13%	slightly strong 67%	either 13%	slightly 7%	

放射感:「下からの放射熱や照り返しを感じますか？」

Radiation from ground: "How do you feel about radiation or reflection from ground surface?"

Ordinary	感じる 33%	やや感じる 27%	感じない 40%
High Ref.	feel 20%	slightly feel 27%	no feel 53%

快適感:「快適性ははいかがですか？」

Comfort: "How do you feel about thermal comfort?"

Ordinary	非常に不快 7%	不快 47%	やや不快 40%	どちらでもない 7%
High Ref. 0%	discomfort 27%	slightly discomfort 47%	neutral 20%	sl. Com 7%

表面温度感:「路面を手で触ると、A区とB区、どちらが熱いと感じますか？」

Surface temperature: "Which do you feel hot, area A or B?"

Surface	Ordinary asphalt 87%	High ref. 13%
---------	-------------------------	------------------

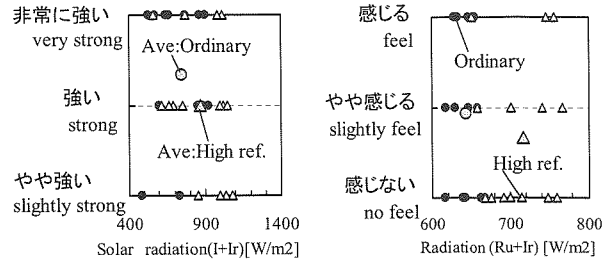
快適感:「A区とB区、どちらのほうが快適だと感じますか？」

Thermal comfort: "Which do you feel comfort, area A or B?"

Comfort	Ordinary 20%	High refraction paint 80%
---------	-----------------	------------------------------

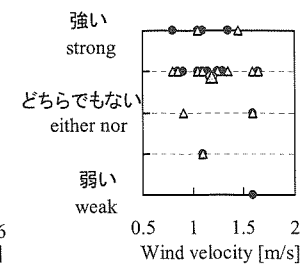
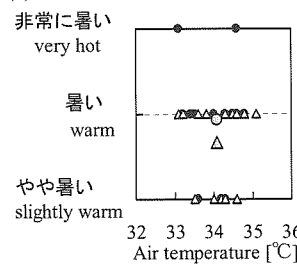
Fig.24 Sum of questionnaire

結果には、語感の影響が含まれるため、図は日英併記とした。グラフ全体の傾向として、一般区が反射区に比べて、熱環境が「悪い」側の評価となった。各項目でみると、温冷感(体全体)では、一般区で「非常に暑い」13%が、反射区ではみられない。温冷感(頭部)・温冷感(足元)では、反射区における「非常に暑い」の回答割合が一般区に比べて少ない。日射感・放射感では、反射区で「強く感じる」の割合が少ない。快適感では、一般区で「非常に不快」が7%であったが、反射区ではみられない。また、反射区では、「不快」



(a) Solar radiation(日射感)

(b) Radiation(放射感)



(c) Temperature(温度感)

(d) Wind velocity(風速感)

Fig.25 Relation between measurement and answer

以上の回答割合が少ない。上・下半身の温度差では、両区ともに下半身の方が暑いと回答した人が高い割合を占めた。両区の比較では、舗装接触温冷感是一般区が反射区に比べ熱いと感じる人の割合が多かった。また、80%の被験者は反射区の方が快適であると回答した。なお、一般区が快適と回答をした被験者らは、風が吹いたことを要因として挙げていた。これらの結果は、2.2節の熱環境評価結果と逆の傾向を示している。この原因として、3.2節で考察した被験者着衣の日射吸収率が考えられ、今回の測定では、短波放射に比べて、長波放射が人体表面温度および温冷感評価により大きな影響を及ぼしたと思われる。

図25に、被験者が暴露された時の日射、放射、気温、風速の実測値と、各々に対する心理量のアンケート結果を示す。日射量、放射量は、反射区が一般区に比べて100~200W/m²程度高い値であったが、日射感、放射感の平均値では、一般区が反射区に比べて、若干「強い/感じる」側の評価となった。温度感では、一般区が「暑い」側の評価となっているが温度の平均値は、同程度である。風速感では、評価、風速ともに区による差異はみられない。

以上より、反射区では、人体に入射する反射日射が大きくなるが、心理量では逆に快適側の評価となった。反射日射の増加は、日射量の1割程度であるため、知覚されなかったものと考えられる。また、着衣表面の温度は、一般区が反射区に比べて若干高かったため、一般区の評価が悪くなったと思われる。被験者数が少ないことから、定量的な評価は困難であるが、反射舗装の適用により、人体が知覚可能となるような放射環境の悪化は少ないと思われる。

4. 結論

本論文では、太陽熱高反射塗料を舗装に適用した場合の都市高温化緩和効果の把握を目的とし、熱環境実測と被験

者実験を行った。得られた結果を以下にまとめる。

熱環境実測結果から、高反射塗料を適用した舗装では、一般舗装に比べ、反射日射量が大きくなること、表面温度および長波長放射量が低くなること、地中温度が低く保たれることを確認した。日中のグローブ温度は、高反射舗装が一般舗装に比べて高くなるため、反射日射の増大による人体温熱環境悪化の可能性が示唆された。

夏季3ヶ月の熱収支算定結果から、反射区の反射日射量は、一般区の4倍程度となり、周辺地物の高温化を増大する可能性があることがわかった。舗装面からの反射日射が、周辺物に及ぼす影響について概算を行った結果、高反射舗装は、天空率0.75以上の場合で14%以上、天空率1で20%程度の都市高温化緩和効果が得られることを示した。

被験者の表面温度測定では、一般区に比べて反射区での温度が低い結果が得られた。これは、被験者着衣の日射吸収率がグローブ球に比べて小さいため、短波放射に比べて、長波放射が表面温度により大きな影響を及ぼしたためである。従って、着衣の日射吸収率が小さい場合、反射日射の増大による人体温熱環境悪化は少ないと考えられる。

アンケート結果では、80%の被験者は反射区の方が快適であるとの回答が得られた。今回の測定では、短波放射に比べて、長波放射が人体表面温度により大きな影響を及ぼした結果、反射区が快適とのアンケート評価となったものと考えられる。また、反射日射の増加は、日射量の1割程度であるため、知覚されなかったものと考えられる。被験者数が少ないことから、定量的な評価は困難であるが、反射舗装の適用により、人体が知覚可能となるような放射環境の悪化は少ないと思われる。

以上より、高日射反射舗装は、天空率が大きい場合、一定の都市高温化緩和効果を有することを示した。また、着衣の日射吸収率が低い場合、人体放射環境に及ぼす影響が少ないことが示唆された。

参考文献

- 1) 森山：ヒートアイランドの対策と技術，学芸出版，2004.
- 2) 近藤：クールルーフ，建築雑誌，pp.60-61，2005.6
- 3) 齊藤，久保，酒井，石原：中規模都市のヒートアイランド現象に関する研究，第1報，熊本市における気温・湿度分布の長期定点観測，日本建築学会環境系論文集，No.611，pp.59-66，2007.1
- 4) 城川，松尾，三木，村瀬：遮熱塗装の日射熱防除効果，日本建築学会大会学術講演梗概集，D-II，pp.35-36，2001.9
- 5) 森，近藤，長澤：高反射塗料の遮蔽性能に関する研究(その1-2)外壁の日射反射率と自然室温に関する実験による検討，他，日本建築学会大会学術講演梗概集，D-II，pp.183-186，1997.9
- 6) 梅田，深尾，並木，内池，長瀬：太陽光発電による給水方法を用いた保水性舗装に関する実験的研究，日本建築学会環境系論文集，No.605，pp.71-78，2006.7
- 7) 酒井，石原，真鍋：低日射吸収率塗料の遮熱性能に関する研究，太陽エネルギー学会太陽/風力エネルギー講演論文集，pp.543-546，2003.9
- 8) 露木，酒井，松尾，村田，村瀬，三木：太陽熱高反射塗料を施した舗装の

熱環境測定，日本太陽エネルギー学会太陽/風力エネルギー講演論文集，pp.161-164，2006.10.

9) 藤本，岡田，近藤：高反射率塗料の日射反射性能に関する研究，環境系論文集，No.601，pp.35-42，2006.3

10) 遮熱性舗装技術研究会：遮熱性舗装技術資料，2004.

11) 安部，大木，天明，近藤：放射線成CFD解析による高反射率舗装上の人体温冷感の検討，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.673-674，2006.9

12) JISR3106：板ガラス類の透過率・反射率・放射率・日射熱取得率の試験方法，日本工業標準調査会，1998.3

13) 酒井，永村，井川：建築材料の日射反射率の算出方法，その1,2，日本建築学会大会学術講演梗概集，D-2，pp.141-144，2006.9

14) 田中，武田，足立，土屋，岩田：最新建築環境工学，井上書院，2006.3

15) ASHRAE：Clothing Insulation and Permeation Efficiency，Chapter 8，Thermal Comfort，Fundamental，ASHRAE Handbook，pp.8.10-8.11，2005.

16) 成田，田辺，尾関，故西：日射の波長特性が温熱感に与える影響に関する研究，日本建築学会計画系論文集，No.545，pp.29-35，2001.7

17) 井原，石井，齊藤，大井：屋外温熱環境の評価に関する被験者実験，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.381-382，2000.9

18) 吉澤，大岡，沢崎，都築，左古井：屋外暑熱環境の温熱性評価に関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.655-666，2005.9

19) 鄭，堀越，宮本：建築外部空間の日射を含んだ熱放射環境が人体の温冷感に及ぼす影響，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.547-548，1996.9