

財団法人 日本塗料検査協会
技術開発部 清水亮作
前川晶三

1. はじめに

近年、地球温暖化現象やヒートアイランド現象が大きな社会問題となっており、特に大都市でのヒートアイランド対策では既設の建築物等に塗るだけで効果が期待出来る「遮熱塗料」の活用が注目されています。そこで、「遮熱塗料」の性能や特徴を客観的に評価できる試験方法が非常に重要となり、標準化の確立が強く望まれています。現在、「高反射タイプの遮熱塗料」については日本塗料工業会を中心に JIS 規格化を進めているところです。

前報までに太陽光の日射スペクトルは、JIS 等の規格（JIS R 3106、JIS A 5759、JIS C 8910）で規定されており、これらは BIRD モデル¹⁾によって算出していたことを示しました。そして、この BIRD モデルを具体化したコンピュータプログラムも公開²⁾されており、地球上の太陽光スペクトルが自在に再現できることを紹介しました。

今回からは、太陽熱高反射塗料による温度抑制効果について検討していきたいと思えます。まず始めに、塗膜の日射反射率と表面温度の関係について室内実験を試みましたので紹介いたします。

2. 塗膜の日射反射率と表面温度の関係

2.1 温度上昇試験の問題点

我々の日々の生活でも、炎天下、“白い物”は“黒い物”より熱くならない現象を体験しています。白い物体は太陽からの日射を反射し、熱エネルギーに変換され難いためです。今更ですが、この原理を活用したのが「太陽熱高反射塗料」であり、日射を反射する程度を数値で示したのが「日射反射率」です。

では、日射反射率と上昇する温度との関係はどうなっているのでしょうか。例えば、日射反射率が10%向上すれば、温度は何℃低くなるのでしょうか。単純で素朴な疑問ですが、たいへん興味深い事ではないでしょうか。これを確認する手法も単純な装置が思い浮かびます。例えば、太陽に見立てた人工光源を塗膜に照射して表面温

度を測定するだけで、その結果は最も現実的で分かり易い指標になるように楽観してしまいます。

しかしながら、このアイデアはそう単純ではなく非常に難しい問題を含んでいます。当然ながら、物体の温度は吸収した日射のエネルギーだけで決まるのではなく、入射するエネルギー、顕熱（空気との伝熱）、長波放射および塗膜裏面への伝熱等、塗膜に働く全ての熱の収支がバランスした時の温度を示します。これらの熱収支のうち、入射するエネルギーの関与のみを考慮すれば良いように思われますが、このような試験は不可能であり、また、例え可能であったとしても得られたデータに意味があるとは思えません（エネルギーは入力されるばかりで出力は無いとする考え方になり、温度は無限度に上昇することでしょう）。

したがって、このアイデアを実現するには、エネルギーの入力と出力のバランス（熱収支）が一定になるような試験条件を決定し、この条件の下で評価しなければなりません。この熱収支の条件が異なる試験結果を比較することは意味を持たないと言えます。では、どのような試験条件に設定すればよいのでしょうか。以下、日塗検で現在検討中のアイデアを紹介いたします。

2.2 温度上昇試験のアイデア

試験条件として重要な点を表1に示しました。また、装置の概略と実機の写真を図1および写真1に示します。なお、ここで示しました要点は現時点で不確定なものであり、更に重要な要因を見落としている可能性もあります。

ここで、試験板と標準板とを並べて設置し、太陽光近似光源を用いて両者を同時に照射する手法を考案しました（図1および写真1）。これは、例え人工光源であってもランプの配光性や寿命等により何時も同じエネルギーの日射量を照射できるとは限らないため、安定した標準板の温度上昇に対する試料の温度上昇を測定する手法です。すなわち、標準板（ここでは、N6グレー、日射反射率=45.9%）の表面温度が60℃に達した時点の

試験板の表面温度を測定します。このように、標準板の温度の違いがあったとしても、安定した測定値を得ること温度上昇を参照することで、入射量の多少の違いや開始とができます。

表1 温度上昇試験の試験条件（アイデア）

要因	考察
入射光 (光源)	実際の太陽光が最も適しているが、時刻や季節、更に天候の影響が顕著であるため室内実験には使用できない。そこで、スペクトルの波長分布（エネルギー分布）が太陽光と近似している人工光源を用いる。人工光源は、試験板を均一に照射できなければならない。 波長範囲 : 300 ~ 2500nm スペクトル分布 : 太陽光と近似 日射量 : 太陽光と近似 (1000 W/m ²)
入射光 (日射量・面積)	試験板に入射するエネルギーを 10W/dm ² に調整するため、100 × 100mm の角穴を開けた断熱性の反射板を試験板の上に設置する。
試験板裏面への伝熱	できるだけ逃がさないように、断熱材の上に試験板を設置する。
試験板からの長波放射	長波放射も太陽熱高反射塗料が有する機能の1つと考える。 しかし、コントロールは難しい。上方に向かって放出された長波放射は、恐らく光源のランプや天井に到達する。そこで反射した放射が何処に向かうのかは不明であるが、一部は試験板面に戻ってくると考えられる。
空気や外壁、ランプ等からの長波放射による入射	これらの一部は試験板面にも到達する。この入力量に対する補正が必要だと考えるが、実情は、成り行き任せである。
試験片の材質と大きさ	試験片の材質や大きさが異なると、ここに蓄熱されるエネルギー量が変わるため、統一しておく必要がある。 大きさ : 150 × 150 × 0.8mm 材質 : ガルバニウム鋼板
試験板の初期温度	試験開始前の試験板の温度は統一しておくことが望ましい。(昇温時間(約15分間)との関係もあるが、数℃程度であれば、問題にはならない。)
試験室温度 (空気への顕熱) 試験板表面の風速	試験板に近い位置の気温(空気の温度)が重要である。ただし、気温の測定は想像以上に困難である。周辺物体からの放射の影響を避けるため、温度センサーに強く通風する必要があるが、試験板面の表面風速は一定に統一しなければならない。
照射の均一性の確保	この試験装置は4灯のランプで照射しており、そのバランス調整は非常に微妙である。また、ランプには寿命があり徐々に出力が低下していくため、何時も同じエネルギーを照射できるとは限らない。 そこで、試料の近傍に標準板を設置し、この標準板の温度上昇に対する試料の温度上昇を測定することとする。
標準板	N6グレー(日射反射率=45.9%)のウレタン塗料 標準板の表面温度が60℃に達した時点の試験板の表面温度を測定する。 ただし、現在、暫定的に用いているものである。より耐候性の高い安定した材料が望ましい。 60℃に決めた理由: 試験開始後、概ね15分くらいで達する温度。 この時間が短いと熱収支のバランスが平衡にならない。一方、時間が長いと試験時間が長く必要。

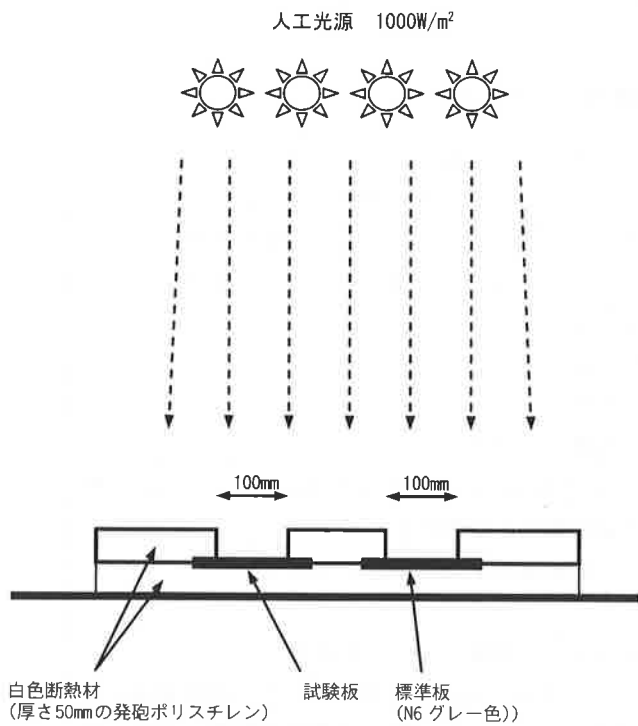


図1 温度上昇試験の装置

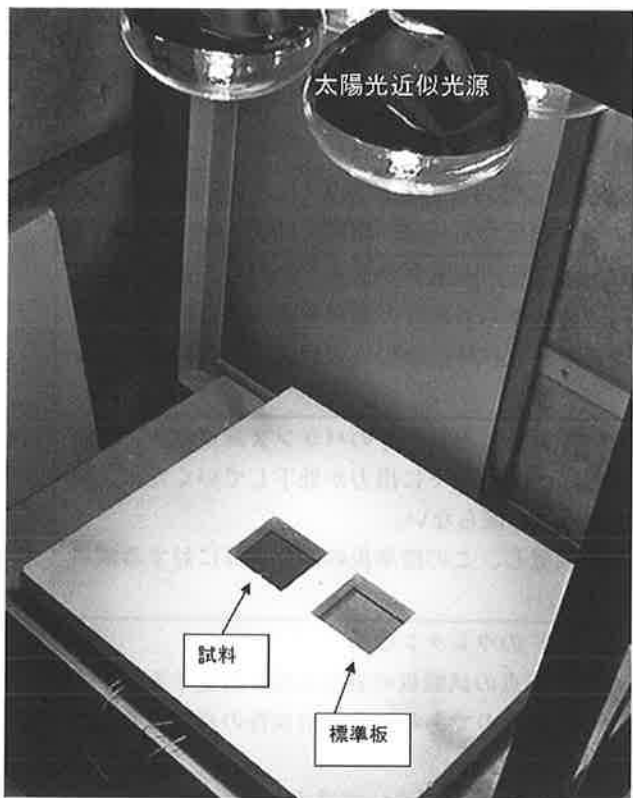


写真1 温度上昇試験の様子

2.3 試料の準備

ここでは、太陽熱高反射塗料にこだわらず、種々の日射反射率を有する塗料を20種類ほど集めてみました。20種類の中には太陽熱高反射塗料も含まれていますが、色も樹脂も用途も異なる様々な塗料です。これらの塗料について、今回考案した方法で試験板を作成し、標準板の表面温度が60℃に達した時点の試験板の表面温度を測定しました。なお、日射反射率はJIS C 8910による重係数(直達日射+拡散日射)を用いて算出しました。

3. 結果および考察

試験の結果を図2に示しました。図2を見ると、塗膜の日射反射率と上昇温度は良好な直線関係を示しています。塗膜の日射反射率は、表面温度の上昇と深く関係しており太陽熱高反射塗料の性能を評価する指標として非常に有効であることが解ります。

今回の試験条件では、日射反射率が10%上がると塗膜表面の上昇温度は約3.3℃低下する結果が得られました。ただし、この結果は熱収支(塗膜に入ってくる熱と出て行く熱)のバランスが今回の試験と同じ場合に限り成立する点に留意する必要があります。

今回、塗膜の日射反射率と上昇温度は良好な直線関係を示すことが解りましたが、再度、図2を良く見ると、この直線関係に乗らないプロットも見受けられます。このプロットは、太陽熱高反射性能に加えて「断熱性能」も併せ持つ塗料のもので、日射反射率から決まる上昇温

標準試料(N6グレー)の表面温度が60℃に達した時の各試料の表面温度

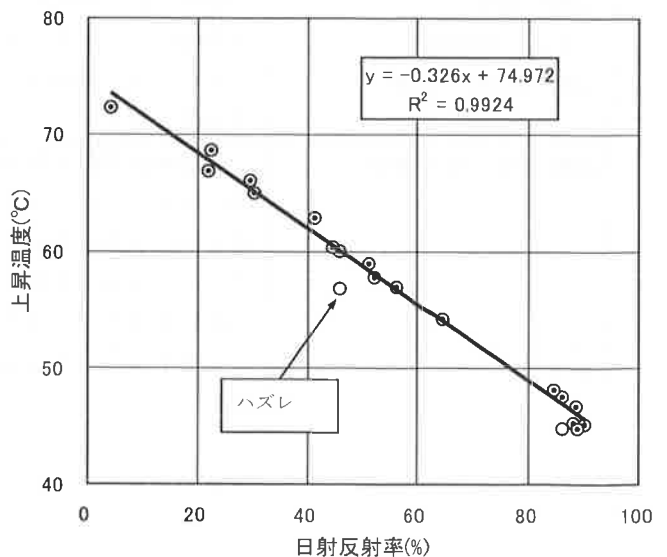


図2 塗膜の日射反射率と塗膜表面温度の関係

度（今回、見出した直線関係）より低い温度に止まっています。この塗料製品では反射性能に加えて、更に何らかの温度抑制効果を発揮しているのでしょうか。このことから、日射反射率を指標とした塗膜の性能評価は、太陽熱高反射タイプ以外の遮熱塗料（例えば、断熱タイプ等）には適用出来ないことが示唆されます。

（余談ですが、この塗料製品のメカニズムはよく解りません。「断熱性能」をアピールしていますが、測定している温度は塗膜表面なので、この試験で「断熱性能」を評価できているとは考え難いと思います。）

4. まとめ

- ・日射反射率と塗膜の温度上昇には良好な直線関係がある。
- ・太陽熱高反射塗料の性能は、日射反射率で評価する手法に間違いは無い。
- ・ただし、日射反射率のみでは太陽熱高反射タイプ以外の塗料製品の性能は、正しく評価することができない。

5. おわりに

今回、太陽熱高反射塗料の性能評価には「日射反射率」

を指標とすることの優位性を改めて確認できました。一方、遮熱塗料には反射性能以外の性能を併せ持つ製品も存在し、これらの塗料製品の性能を正しく評価する手法が未完成であることも認識できました。

日塗検では、今後も塗料メーカーや学術研究者の意見を聞きながら、この新しい塗料について、より有意義で人々の役に立つ試験方法の開発を目指し努力してまいります。

6. 参考文献

- 1) BIRD, R. E. Hulstrom, R. L. and Lewis, L. J. Terrestrial solar spectral data sheets. Solar Energy, 30(6) (1983) 563.
- 2) <http://www.nrel.gov/rredc/>
最近、NREL(米国、国立再生可能エネルギー研究所)のホームページが改新しました。太陽光モデルについても、「SMARTS モデル」を推奨しているようです。「BIRD モデル」については、ホームページ上からは見え難いところに移動されたようですが、「<http://rredc.nrel.gov/solar/models/spectral/>」から Download 可能です(2008年1月1日現在)。

