

一般財団法人 日本塗料検査協会
東支部 検査部 比留川 伸 司

1. はじめに

平成 24 年度に経済産業省より、2つの省エネルギー塗料に関する委託事業の公募があった。一つは平成 24 年度エネルギー使用合理化基盤整備事業(塗料の省エネルギー性能評価方法調査)であり、もう一つは、タイ国における高日射反射率塗料の省エネルギー性実証実験であった。本件は、一般社団法人 日本塗料工業会と共同で行った塗料の省エネルギー性能評価方法調査について報告する。

2. 目的及び背景¹⁾

我が国における省エネルギー対策は喫緊の課題であり、特に住宅・建築物等の民生部門におけるエネルギー消費の増加幅が大きいことから、さらなる省エネルギー対策を進めることが急務とされている。

主に住宅の屋根、外壁等に塗布される塗料は、塗膜による被塗物の表面保護、美観の維持などが本来の機能であるが、最近では省エネルギー性能に着目した機能性塗料の製造及び販売が伸長しつつあり、今後、これらの省エネルギー塗料を活用した住宅の省エネルギー対策の推進が期待される場所である。

しかしながら、現在は塗料の省エネルギー性能の定量的な評価方法が存在しないため、製造事業者は独自基準による省エネルギー評価を行っている現状にあり、最終ユーザーの製品選択に際して省エネルギー性能を判断する共通の指標がないことは、今後期待される省エネルギー塗料の市場拡大に向けて大きな課題である。

本調査は、住宅用省エネルギー塗料の健全な市場の形成及び我が国における省エネルギー対策推進のため、省エネルギー塗料の性能評価方法の調査検討を行い、最終ユーザーにおける省エネルギー塗料選択の際の判断指標を作成することを目的とする。

3. 省エネルギー性能評価方法の基礎情報の収集・分析

塗料の遮熱性能評価方法として、塗料メーカーのホームページ等に掲載されているのは、遮熱塗料と一般塗料について、モデル試験による日射条件下での異なる塗料における表面や裏面の温度の違い、同じく実建物(工場等)の屋根の表面と裏面及び室内の温度の違いなどで比較されている例が多い。JIS の評価方法規格類における塗料の遮熱性能の評価に関して、JIS K 5602 (2008 年制定)「塗膜の日射反射率の求め方」、JIS K 5675 (2011

年制定)「屋根用高日射反射率塗料」があり、分光反射率の測定値から基準太陽光の分光放射照度分布を用いて日射反射率を求めている。文献については、高日射反射率塗料と一般塗料の遮熱性能の比較として、測定箇所(温度の違いによる評価、及び上記の JIS 関連の日射反射率の影響などが報告されている。また、実建物や近似モデル棟による冷暖房機の長期間での消費電力に関する報告もされている。

建材の断熱性能に関しては、JIS 等の評価方法規格類で熱流の測定が行われているが、熱箱法等による大規模な測定装置となるケースが多い。熱流計による測定例として、JIS A 1412-2「熱絶縁材の熱抵抗及び熱伝導率の測定方法—第 2 部：熱流計法」、JSTM J 6112「建築用構成材の遮熱性能試験方法」等が示されている。建築用ガラスフィルム、板ガラス類、複層ガラス、熱反射ガラス等の JIS の遮熱性能の評価法では、分光透過率・分光反射率を測定し、そこから日射透過率・日射反射率、日射遮蔽性、熱コンダクタンス(1/熱抵抗)等を計算により求めている。

4. 塗料の省エネルギー性能評価方法の検討

4.1 性能評価試験の概要

日射反射性能、断熱性能、熱放射性能の少なくとも一つを有する塗料を省エネルギー塗料とし、市販されている省エネルギー塗料に関する性能評価試験を実施した。性能評価試験には省エネルギー塗料 7 種類と比較用一般塗料 1 種類の合計 8 種類を用い、太陽光近似光源の放射照度制御や照射(日射)の有無、塗装試験片をはさんだ上部箱空間(室外側相当 BOX)と下部箱空間(室内側相当 BOX)の温度制御により夏・冬の気象条件をモデル的に設定した条件で、試験塗膜を通過する熱流による評価を行った。熱流等を測定することにより、熱授受を熱量として求めることができ、省エネルギー基準に基づき評価することができる。また、熱授受に影響する塗膜性能としては、日射反射性能、断熱性能、熱放射性能の 3つが主要因と考えられ、また市販の省エネルギー塗料もこれらの諸機能のうちの 1つまたは複数の組み合わせを謳うものがほとんどであるため、熱流に加えて、塗膜の日射反射率、熱伝導度、放射率の測定も行い、省エネルギー性能考察の一助とした。なお、日射反射率については、塗膜の色(明度)に大きく依存することが分かっている

ため、無彩色系で3種類（N4、N6、N8）、有彩色系で2種類（青系、赤系）の塗色について試験を行った。

4.2 試験装置及び試験条件

4.2.1 試験装置

試験装置の概略図を図4-1に示す。

- (a) 光照射装置：太陽光に近似した分光分布をもつメタルハライドランプ
- (b) 試験板：試験板は、アルミニウム板（裏面全面に断熱フィルムを貼付）
- (c) 熱流計
- (d) 温度測定器
- (e) 風量測定器
- (f) 透明板（室外側相当BOXからの日射取入れ窓）
- (g) 室内外温度測定器
- (h) 試験BOX

4.2.2 試験条件

1) 放射照度設定条件

夏条件：約 $1\text{kW}/\text{m}^2$

冬条件：約 $0.5\text{kW}/\text{m}^2$

2) 風量条件

室内側及び室内側： $100\text{L}/\text{min}$

3) 温度条件

夏条件：室内側 28°C

室外側 35°C

冬条件：室内側 18°C

室外側 10°C

4.3 性能評価試験に用いた省エネルギー塗料の塗膜特性

性能評価試験に用いた市販の省エネルギー塗料（一部は「省エネ塗料」と記載）を表4-1に示す。それぞれの塗料の製品説明における省エネルギー機能から、高日射反射率を特長とするもの、断熱性能を特長とするもの、断熱性能と熱放射性能の両方を特長とするもの、の3グループに分類されるので、グループ毎に結果のまとめと考察を行うこととした。

4.4 各試料の省エネルギー性能に関わる熱・光学特性の測定結果

各試料の日射反射率、放射率、熱コンダクタンス測定結果を表4-2に示す。なお、日射反射率は塗色によって異なるため塗色ごとの測定値を示し、熱コンダクタンスは熱伝導率測定結果と塗装仕様中の理論膜厚から計算により求めた値を示している。なお、試料C1及び試料Dについては、膜厚効果を確認するため、それぞれ複数の膜厚についても測定を行った。また、試料Dについては、プライマーの色（明度）による日射反射率の違いを確認するため、明度の異なる2種類のプライマー（P1、P2）ごとの測定を行った。

高日射反射率を特徴とする省エネルギー塗料は、いずれもJIS K 5675：2011「屋根用高日射反射率塗料」が規定する日射反射率に適合する省エネルギー塗料であるが、塗色（明度）による日射反射率の差はあるものの、いずれも一般塗料に比べて17～26%ほど高い日射反射率を有するものであることを確認した。

高断熱性を特徴とするグループCの試料は、別の上塗り塗料を必要とするタイプの塗料であるため、試料本体の日射反射率の測定は行わなかった。熱伝導率（測定値）と膜厚（メーカー値）から求めた熱コンダクタンスの値

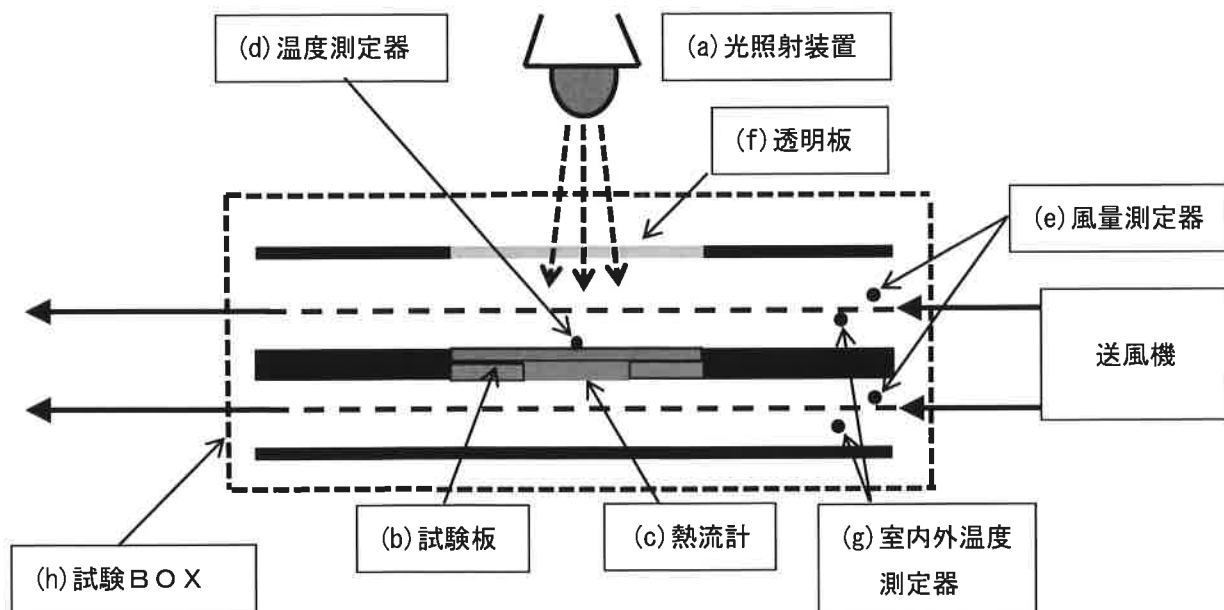


図4-1 装置概略図

は、膜厚の増加に伴い、一般塗料やBグループの塗料に比べると低い値を示した。尚、グループCの試料は、別の上塗塗料を塗装したものを測定用試料としたため、修正放射率の値はあくまで「参考値」である。

高放射と高断熱を特徴とするDグループの試料は、プライマーの種類に関係なく一定の日射反射率を示し、かつそのレベルは同じ塗色の高日射反射率塗料よりもやや高い日射反射率を示した。また、修正放射率や熱コンダクタンスはCグループ（断熱塗料）の試料に近いものであった。

4.5 まとめ

4.5.1 熱流と日射反射率

各省エネルギー塗料及び一般塗料について夏条件下で得られた熱流と日射反射率の測定値を1つの図にプロットすると図4-2のようになる。すべての測定値についてほぼ相関が見られ、試験した試料の範囲では、日射反射率の影響が大きいことが分かった。また、グループC及びグループDの省エネルギー塗料のプロットは同じ直線幅内の下方に位置する傾向があり、このことは、日射反射以外の効果が熱流値を下げた可能性を示唆している。

以上より、一定の条件下で熱流測定をすることにより、塗料の種類に関係なく、省エネルギーに寄与する機能を

表 4-1 一般塗料及び省エネルギー塗料

塗料		製品説明における主な省エネルギー機能			製品の特長	試料No.
		日射反射率	放射率	熱伝導率		
1	一般塗料	—	—	—	A: 一般塗料	A1
2	省エネ塗料	○	—	—	B: 日射反射	B1
3		○	—	—		B2
4		○	—	—		B3
5		○	—	—		B4
6		—	—	○	C: 断熱	C1
7		—	—	○		C2
8		—	○	○	D: 放射 & 断熱	D

表 4-2 塗膜の測定結果（日射反射率、放射率、熱コンダクタンス）

塗料	グループ	試料 No.	日射反射率 %					修正放射率 (注)			熱コンダクタンス W/(m ² ・K)
			N4	N6	N8	青系	赤系	N4	N6	N8	
一般塗料	A: (一般)	A1	11.3	26.0	53.7	6.4	6.9	0.90	0.88	0.88	3300
省エネ塗料	B: 日射反射	B1	35.8	50.9	70.3	23.7	29.6	0.90	0.89	0.89	2600
		B2	39.6	53.4	70.8	28.3	28.3	0.90	0.90	0.89	1900
		B3	35.0	52.5	67.2	23.9	30.0	0.89	0.89	0.88	2700
		B4	—	45.2	—	—	—	—	0.89	—	2900
	C: 断熱	C1	—	—	—	—	—	—	0.93	—	590
		C2	—	—	—	—	—	—	0.94	—	100
	D: 放射 & 断熱	D-P1	54.2	—	—	—	—	—	0.93	—	367
		D-P1*	—	54.5	—	—	—	—	0.93	—	183
		D-P2	—	54.7	—	—	—	—	0.93	—	367

(注) 修正放射率：垂直放射率の測定値に修正係数を掛けて換算した値

総合的に把握できそうなことが確認できた。

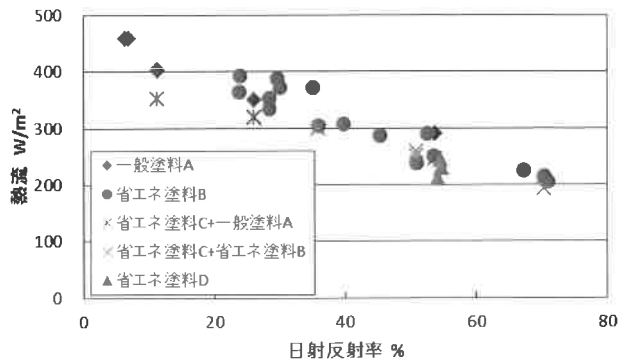


図 4-2 省エネルギー塗料における日射反射率と熱流との関係

4.5.2 熱流と修正放射率

各省エネルギー塗料及び一般塗料について、修正放射率と夏日射条件下で得られた熱流と測定値をまとめてプロットすると図 4-3 のようになる。

今回試験を実施した一般塗料及び省エネルギー塗料の修正放射率は 0.88 ~ 0.94 であり、夏日射条件下における熱流と修正放射率の間に明確な相関は認められなかった。

なお、米国の「Cool Roof Paint」性能評価は日射反射率と放射率で行われており、この 2 つの特性値から、一定の照射条件下で塗膜表面温度の上昇をシミュレーションしているが、今回の試験に用いた塗料の範囲では、夏条件で日射反射率が 10% 高くなると約 5℃、20% 高くなると約 10℃ の表面温度低下効果があり、一方、放射率については、放射率を 0.05 上げててもその効果は約 0.5℃ にとどまる（日射反射率効果の 5 ~ 10%）と報告されており、今回の結果もこれと符合する結果であった。

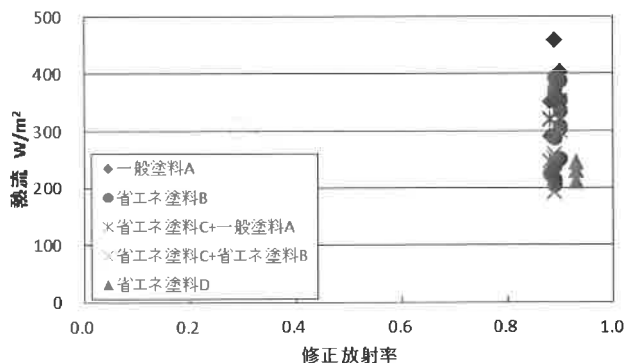


図 4-3 省エネルギー塗料における修正放射率と熱流との関係

4.5.3 熱流と熱コンダクタンス

熱コンダクタンスと熱流との関係についても考察を行ったが、明確な相関は確認できなかった。今回の熱流測定においては、熱流センサーのノイズ抑制や熱容量の影響低減を目的に、熱流センサーメーカーや各種の文献が推奨する方法として、熱流センサー上に断熱フィルム（厚さ：2 mm、熱コンダクタンス：20W/(m²・K) を装着して試験を行ったが、このことによる熱流低下（約 30%）の影響が考えられる。但し、測定値の順位への影響はないと考える。

5. まとめ

塗膜を介しての熱流の測定手法として、本試験にて実施した性能評価方法は、設定する測定条件及び熱流の測定値の安定性・再現性が十分にあり、省エネルギー塗料と一般塗料の省エネルギー性能差を熱流測定により比較できることを確認した。省エネルギー塗料と一般塗料を横並びに評価するための本試験方法をベースにした塗料の省エネルギー性能の評価方法を提案したい。

尚、信頼性の更なるを向上に向け下記の事項を検討する予定である。

- ・ 試験装置の検討①標準板 ②試験面温度分布 ③検出限界 ④その他
- ・ 年間省エネルギー量のシミュレーション計算
- ・ 規格化に向けた各種検証データの収集

謝辞

本実証事業の遂行にあたり、終始ご指導、ご助言を頂きました省エネルギー塗料性能評価手法作成委員及び性能評価方法調査 WG 委員の方々に心より感謝いたします。

参考文献

- 1) 三菱化学テクノロジーサーチ、平成 24 年度エネルギー使用合理化基盤整備事業（塗料の省エネルギー性能評価方法調査）「経済産業省委託事業」報告書、2013-03.