

環境配慮型太陽熱高反射率塗料の開発

○奥田 章子*¹ 堀 長生*¹
笠井 康吉*² 長岡 亮介*²

1. はじめに

近年、地球規模の環境問題として、地球温暖化、ヒートアイランド現象、省エネルギー等があげられ、環境と密接な関係にある建設業界においてもそれらの環境問題に対する対処が急務である。最近では、対策技術のひとつとして、主に工場等の屋根へ太陽熱高反射率塗料(以下、高反射率塗料)や熱遮断塗料を採用することが注目されている。

一般的に淡色系塗料の方が分光反射性能に優れている¹⁾が、屋根用塗料においては、意匠上、濃色系が好まれる。また、濃色系の高反射率塗料にはクロム系顔料が用いられる場合が多い。そこで、クロムフリーの高性能な熱線反射顔料を用い、かつ優れた熱線反射性能が継続的に発揮される環境配慮型の高反射率塗料の開発を目指した。

ここでは、あらかじめ選定した熱線反射性能に優れるクロムフリーの無機系特殊焼成顔料を用いた、高耐候性低汚染型ふっ素樹脂ベースの高反射率塗料について、防汚性、熱線反射性能及び分光反射性能を明確にした結果を報告する。

2. 試験概要

2.1 試験体

試験体の種類を表1に示す。試験体は、アロジン処理したサイズ 120×240×0.5mm²のアルミ板に下塗りとして変成エポキシ樹脂塗料(グレー)を塗布し、中塗りとして白色ふっ素樹脂塗料(艶消し)を塗布し、表1に示す各種上塗り塗料を塗り重ね後、常温で1週間養生したものとした。開発品としては、クロムフリーの熱線反射顔料を用いた黒色の高反射率塗料2種類、比較品としては、クロム系の熱線反射顔料を用いた黒色の高反射率塗料1種類である。

また、比較対照として、黒、グレー及び白色の一

般塗料3種類、市販の黒及び白色の特殊熱遮断塗料2種類を加えた全8種類とした。市販比較品も含め、いずれも高耐候性溶剤型ふっ素樹脂をベースとしており、市販比較品以外については、低汚染化の効果を評価する目的で、親水化による低汚染化処理無しと有りの2タイプとした。

2.2 試験項目及び試験方法

2.2.1 親水性試験

試験体を作製後、14日間室内で養生し、協和界面科学製「DropMaster」にて試験体表面の水接触角を測定して親水性を評価した。

2.2.2 防汚性試験

(財)土木研究センター法(防汚材料評価促進試験方法I)に準じた防汚性試験によって、各試験体の防汚性を評価した。試験手順を以下に箇条書きで示す。

1)0.5wt%カーボンブラック懸濁液を汚れ物質とし、

表1. 試験体一覧

試験体の種類	低汚染化処理	試験体記号	
		防汚性試験前	防汚性試験後
高反射率塗料黒; クロムフリー-開発品	無し	a①	a②
	有り	A①	A②
高反射率塗料黒; クロムフリー-開発品	無し	b①	b②
	有り	B①	B②
高反射率塗料黒; クロム系比較品	無し	c①	c②
	有り	C①	C②
一般塗料黒	無し	d①	d②
	有り	D①	D②
一般塗料グレー	無し	e①	e②
	有り	E①	E②
一般塗料白	無し	f①	f②
	有り	F①	F②
市販比較品黒; 熱遮断型		G①	G②
市販比較品白; 熱遮断型		H①	H②

試験体表面へ 200g/m²吹き付け、60℃の恒温槽で 1 時間焼き付け乾燥した。

2)室温まで冷却し、水道水流水下で、ガーゼを用いて試験体表面の汚れ物質を軽く洗い落とした。この時、縦、横、縦の順で、ガーゼで汚れ物質を拭き取った。

3)室温で 3 時間乾燥後、各試験体について測色し、色差 ΔE を算出して防汚性を評価した。

2.2.3 熱線反射性能試験

写真1に示す試験装置を用いて、防汚性試験前後の試験体表面に赤外線ランプを 10 分間照射し、表面温度を経時的に測定して最大表面温度を求め、簡易的に熱線反射性能を評価した。なお、試験は 23℃50%の恒温恒湿槽内で実施した。

2.2.4 分光反射性能試験

分光反射率計「Field Spec PROJ」ANARITICAL SPECTRAL DEVICES,INC 製を用いて、防汚性試験前後の各試験体について波長 350~2500nm における反射率を測定した。白色の硫酸バリウム結晶反射板による反射率を 100% (基準値)として、ハロゲンランプ及び屋外での太陽光による反射率をそれぞれ測定した。なお、ハロゲンランプによる反射率の測定面積は約 ϕ 20mm で、太陽光による測定面積は約 ϕ 100mm である。

3. 試験結果及び考察

3.1 親水性試験結果

図1に開発品の水接触角を測定した結果を示す。これより、親水化処理有りの開発品 A①及び B①はいずれも、親水化処理無しの a①及び b①と比較して水接触角が小さくなっており、親水化(低汚染化)の効果が認められた。

3.2 防汚性試験結果

各試験体の防汚性試験における色差 ΔE を図2で比較する。これより、以下の点が明らかとなった。

1)一般塗料白の低汚染化処理無し f の ΔE が最も大きく、次いで市販比較品白 H の ΔE が大きかった。これら 2 種類の試験体については、防汚性が低いことが明らかとなった。

2)低汚染化処理有りの一般塗料白 F の ΔE は、試験した試験体の中で最も小さく、低汚染化処理の効果が大きいことを確認した。また、一般塗料白 F に次いで、市販比較品黒 G 及び開発品低汚染化処

理有り B の ΔE が小さく、防汚性に優れた。

3)開発品 b と一般塗料グレー e についても、低汚染化処理有りの B 及び E の色差 ΔE の方が小さく、低汚染化処理の効果が認められた。

4)一般塗料黒 e については、低汚染化処理した E の ΔE の方が大きい、外観上の差異は認められなかった。

3.3 熱線反射性能試験結果

(1) 防汚性試験前後の熱線反射性能

各試験体の防汚性試験前後の熱線反射性能試験結果を図 3 に示す。これより、次の点が明らかとなった。

1)防汚性試験前の最大表面温度を白色の試験体と比較すると、一般塗料白の f 及び F よりも市販比較



写真1. 熱線反射性能試験装置

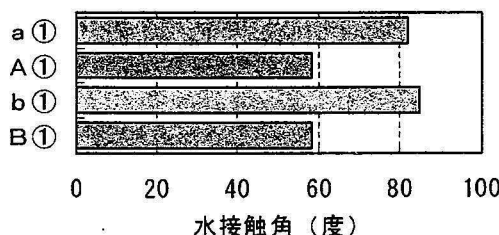


図1. 水接触角測定結果

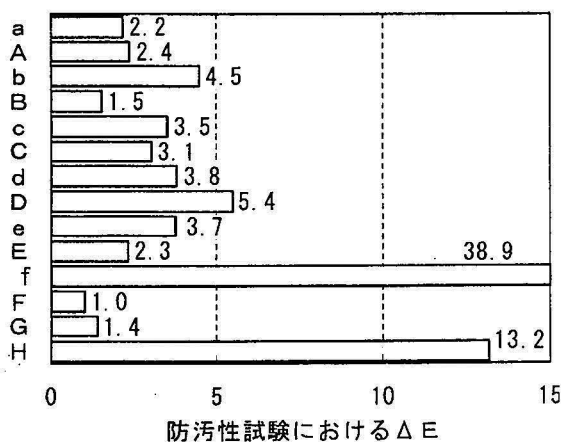


図2. 防汚性試験結果 (色差 ΔE)

品白Hの方が約3℃低く、太陽熱の遮断効果が僅かに認められた。

2)防汚性試験前の最大表面温度を黒色の試験体間で比較すると、市販比較品 G も含め、クロムフリーの開発品 a、A、b、B とクロム系の比較品c及び C は、最大表面温度が一般塗料黒 d 及び D よりも14℃前後低く、熱線反射効果が明瞭に認められた。また、比較品のクロム系と開発品のクロムフリーの各高反射率塗料において、性能に差は認められなかった。

3)高反射率塗料黒開発品の低汚染化処理有りのAとBは、防汚性試験前後の最大表面温度がほぼ同じであった。一方、低汚染化処理無しクロム系比較品c、市販比較品 G 及び H、低汚染化処理無し一般塗料白fは、防汚性試験後に最大表面温度が上昇した。

(2) 防汚性と熱線反射性能との関連性

黒色高反射率塗料の試験体について、防汚性試験前後の明度L値と最大表面温度との関係を調査し、図4に示す。これより、低汚染化処理の有無に関係なく、黒色試験体の防汚性試験後の明度の変化は小さく、外観上の変化は小さい。しかし、低汚染化処理をしないと、防汚性試験後の最大表面温度の上昇が大きい。したがって、低汚染化処理によって、汚れによる熱線反射性能の低下を抑えることが可能であることが判明した。

3.4 分光反射性能試験結果

(1) 各試験体の分光反射スペクトル

低汚染化処理有りの各試験体について、波長 350 ~ 2500nm の太陽光の反射スペクトルを図5に示す。これより、以下の点が明らかとなった。

1)一般塗料白Fは、波長 350~1350nm 付近の反射率が特に高い。一方、カーボンブラックを含有する一般塗料黒 D 及び一般塗料グレーEは、いずれの測定波長においても太陽光を反射しなかった。

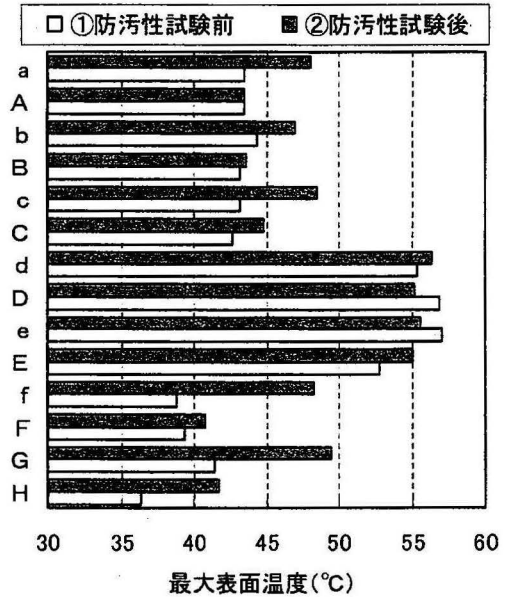


図3. 防汚性試験前後の最大表面温度

△a①~c①: 防汚性試験前 ▲a②~c②: 防汚性試験後
○A①~C①: 防汚性試験前 ●A②~C②: 防汚性試験後

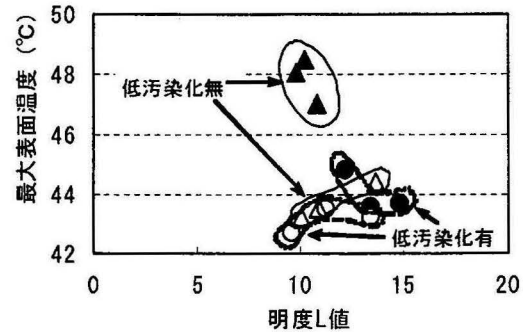
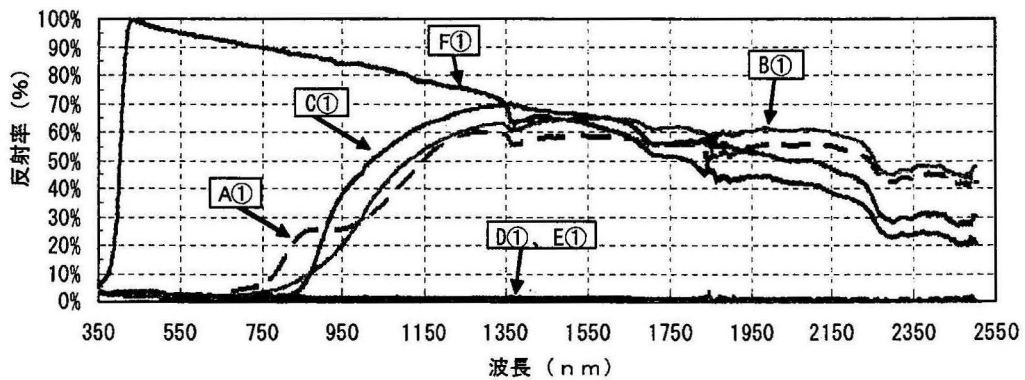


図4. 防汚性試験前後の熱線反射性能



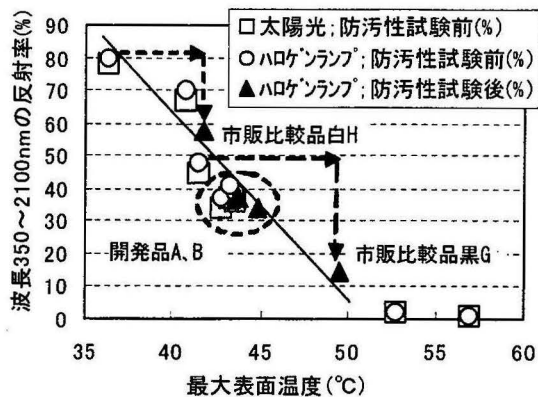


図 6. 分光反射性能と熱線反射性能との関係 (1)

2)開発品 A 及び B は、750nm 付近から太陽光の反射が認められ、波長 1350nm 付近から長波長側では一般塗料白 F とほぼ類似する反射率を示した。また、開発品間で、特に著しい反射率の差は認められなかった。

(2) 反射率と熱線反射性能との関連性

ハロゲンランプ及び太陽光による各試験体の反射率の測定データのうち、波長 350～2100nm の反射率の平均値を算出し、防汚性試験前の赤外線ランプ照射による最大表面温度との関係を求め、図 6 に示す。

また、同様に、熱エネルギーに変換される赤外域の波長 750～2100nm の反射率の平均値を算出し、最大表面温度との関係を求め、図 7 に示す。これより、以下の点が明らかとなった。

- 1)ハロゲンランプと太陽光との測定結果を比較すると、赤外線領域の波長 750～2100nm の反射率においては太陽光による測定結果の方がやや高いが、波長 350～2100nm においては、ほぼ類似する傾向を示した。
- 2)クロムフリーの開発品 A①及び B①、クロム系の比較品 C①は、全てほぼ類似する分光反射性能を示した。
- 3)赤外線ランプ照射による熱線反射性能試験結果と分光反射率計による反射率測定結果との間には、ほぼ相関関係が認められた。

(3) 反射率と防汚性及び熱線反射性能との関連性

防汚性試験後に赤外線ランプ照射による最大表面温度及びハロゲンランプによる反射率を測定した

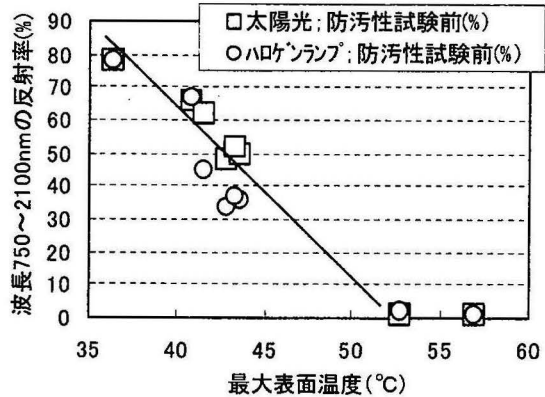


図 7. 分光反射性能と熱線反射性能との関係 (2)

結果を図 6 に併記する。これより、以下の点が明らかとなった。

- 1) 防汚性試験後に熱線反射性能が低下した市販比較品黒 G 及び白 H は、反射率の低下が見られた。一方、開発品 A 及び B は、防汚性試験後も反射率が低下せず、熱線反射性能が低下しなかった。
- 2)塗膜表面が汚れると反射率が低下し、熱線反射性能が低下する。つまり、経年的に汚れると熱線反射性能が著しく低下すると考えられる。開発品 A 及び B は、優れた防汚性により反射率が低下せず、熱線反射性能を長期間維持できると判断される。

4. まとめ

クロムフリーで高性能な熱線反射顔料を用いて、高耐久性低汚染型ふっ素樹脂をベースとした環境配慮型太陽熱高反射率塗料を開発した。防汚性、熱線反射性能及び分光反射性能を評価した結果を以下にまとめる。

- 1)クロムフリーの開発品は、クロム系顔料を用いた比較品と同等の熱線反射性能及び分光反射性能を示すことを確認した。
- 2)低汚染化によって防汚性を向上した結果、分光反射性能の低下が起こらず、熱線反射性能が継続的に発揮されることを確認した。

[参考文献]

- 1) 逢坂 他：太陽熱高反射塗料の性能に関する研究その 1, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp1119～1120, 2006. 9
- 2) 田坂 他：高反射率塗料製品の日射反射性能に関する研究(その 3), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp667～668, 2006. 9

環境配慮型太陽熱高反射率塗料の開発

その2 促進耐候性試験による耐候性評価結果

○奥田 章子*1 堀 長生*1
岡本 享*2 長岡 亮介*2

1. はじめに

近年、ヒートアイランドや省エネルギー対策として、工場等の屋根へ太陽熱高反射率塗料(以下、高反射率塗料)を採用するケースが増加している。

一般的に明度の高い淡色系塗料の方が分光反射性能に優れているが、屋根用塗料においては意匠上、濃色系が好まれる。濃色系の高反射率塗料には、重金属のクロムが含有されていることが多く、また、既に市販されている高反射率塗料は、塗膜が汚れると熱線反射性能が著しく低下するという問題があった。

筆者らは、屋根に採用の多い濃色系で、クロムフリーの高性能な熱線反射顔料を選定し、低汚染型の高耐候性ふっ素樹脂塗料をベースとした環境配慮型の高反射率塗料の開発を目指した^{1)~3)}。

前報「環境配慮型太陽熱高反射率塗料の開発」³⁾では、開発中のクロムフリーの高反射率塗料が優れた熱線反射性能を示し、かつ防汚性に優れるため、長期的に熱線反射性能が発揮されることを実験的に示した。本報では、ふっ素樹脂塗料ベースの高反射率塗料の高耐候性を検証・確認する目的で、促進耐候性試験を実施した結果を報告する。

2. 試験概要

2.1 試験体

試験体の種類を表1に示す。試験体は、アロジン処理した50×70×0.5mmのアルミ板に下塗りとして変成エポキシ樹脂塗料(白)を塗布し、中塗りとしてアクリルウレタン樹脂塗料(白)を塗装し、表1に示す各種上塗り塗料を塗り重ね後、23℃50%の恒温恒湿槽で1週間養生したものとした。

試験体は、2種類のクロムフリーの熱線反射顔料を

用いた高反射率塗料開発品2種類、クロム系の熱線反射顔料を用いた高反射率塗料比較品1種類、比較対象の一般塗料の計4種類とした。また、色は、黒及びグレーの2色とし、全8種類を試験体とした。なお、グレーはN-4(明度L値40)を目標として調色した。いずれも低汚染型、高耐候性の溶剤系ふっ素樹脂をベースとした。

2.2 試験項目及び試験方法

2.2.1 促進耐候性試験

スガ試験機(株)製「サンシャインウェザーメーター」による促進耐候性試験を「JIS K 5400 塗料一般試験方法」に準じて4,000時間まで実施した。試験前、試験開始後1,000時間毎に各試験体について測色及び60度鏡面光沢度の測定を実施し、色差(ΔE)、光沢保持率(%)を算出して耐候性を評価した。

2.2.2 熱線反射性能試験

写真1に示す試験装置を用いて、促進耐候性試験前後の試験体表面に赤外線ランプを10分間照射し、表面温度を経時的に測定して最大表面温度を求め、簡易的に熱線反射性能を評価した。なお、試験は23℃50%の恒温恒湿室内で実施した。

2.2.3 分光反射性能試験

分光反射率計「Field Spec PROJ」ANARITICAL

表1 試験体一覧

試験体名(上塗り塗料の種類)	黒	グレー(N-4)
高反射率塗料;クロムフリー 開発品A	A-1	A-2
高反射率塗料;クロムフリー 開発品B	B-1	B-2
高反射率塗料;クロム系 比較品C	C-1	C-2
一般塗料	D-1	D-2

SPECTRAL DEVICES,INC 製を用いて、促進耐候性試験前後の各試験体について波長 350~2500nm における反射率を測定した。白色の硫酸バリウム結晶反射板による反射率を 100% (基準値)として、ハロゲンランプによる反射率を測定した。なお、ハロゲンランプによる反射率の測定面積は約 ϕ 20mm である。

3. 試験結果及び考察

3.1 促進耐候性試験結果

図1及び図2に促進耐候性試験 4,000 時間までの光沢保持率(%)の経時変化を示し、図3及び図4に色差 (ΔE)の経時変化を示す。これより、以下の点が明らかとなった。

- 1) 図1及び図2より、促進耐候性試験 4,000 時間実施後の光沢保持率(%)はいずれの試験体も 80%以上を示し、図3及び図4より、色差 (ΔE)はいずれの試験体も小さい値を示した。このことから、いずれの試験体も高耐候性を示し、熱線反射顔料の添加によって耐候性が著しく低下しないことを確認した。
- 2) 図1より、促進耐候性試験 4,000 時間実施後の光沢保持率を黒の試験体間で比較すると、一般塗料黒 D-1 がやや高く、次いで高反射率塗料 B-1、C-1、A-1 の順であった。
- 3) 図2より、グレーの試験体間で光沢保持率を比較すると、いずれの試験体も 4,000 時間終了時に 90%程度を示し、一般塗料と高反射率塗料との間に差は認められなかった。
- 4) 図3より、黒の試験体間で色差 (ΔE)を比較すると、一般塗料黒と比較して比較品のクロム系高反射率塗料黒 C-1 がやや色差 (ΔE)の値が大きく、その他の試験体は類似する値を示した。
- 5) 図4より、グレーの試験体間で色差 (ΔE)を比較すると、比較品のクロム系高反射率塗料の色差 (ΔE)が最も小さく、一般塗料グレーよりも小さか

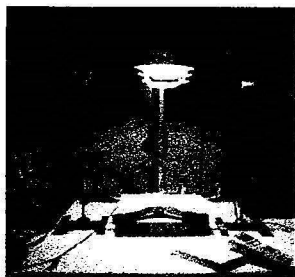


写真1 熱線反射性能試験装置

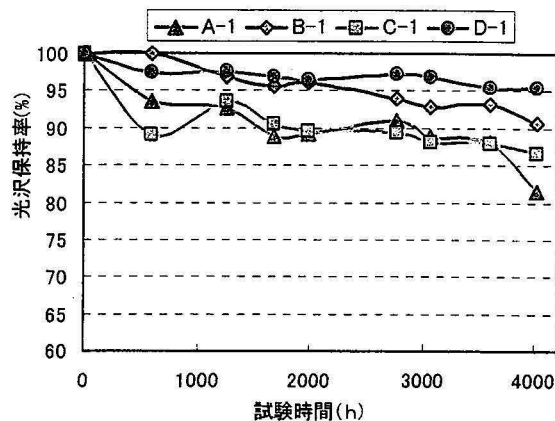


図1 促進耐候性試験における光沢保持率;黒

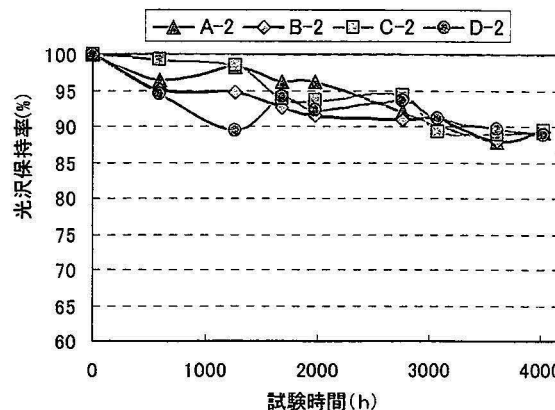


図2 促進耐候性試験における光沢保持率;グレー

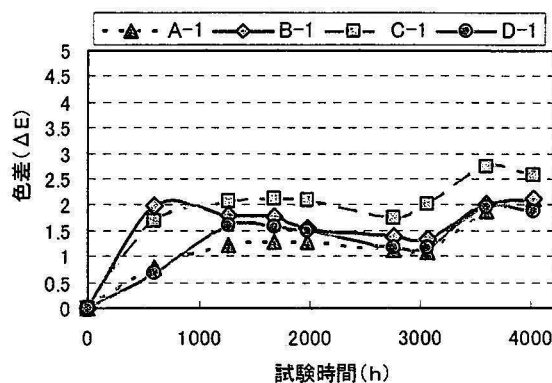


図3 促進耐候性試験における色差 (ΔE);黒

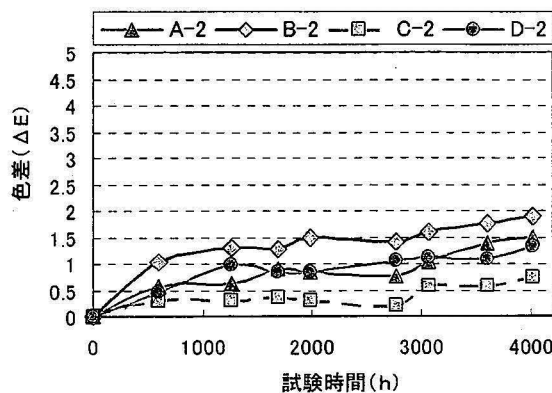


図4 促進耐候性試験における色差 (ΔE);グレー

った。

3.2 熱線反射性能試験結果

3.2.1 促進耐候性試験前後の熱線反射性能

促進耐候性試験前後の各試験体について、赤外線ランプを 10 分間照射した際の最大表面温度を測定した結果を図5に示し、熱線反射性能を比較した。これより、次の点が明らかとなった。

- 1) A-2 グレーを除き、いずれの高反射率塗料も促進耐候性試験後において、試験前と比較して熱線反射性能が低下する傾向は認められなかった。試験体によっては促進耐候性試験後に1℃程度、表面温度が低下するものも認められた。
- 2) 促進耐候性試験の実施に関係無く、いずれの高反射率塗料も、一般塗料の黒及びグレーと比較して10℃程度の温度上昇抑制効果が認められた。

3.2.2 明度との関連性

促進耐候性試験前後の各試験体の明度 L と赤外線ランプ照射による熱線反射性能との関係を図6に示す。これより、黒及びグレーともに、一般塗料と同じ色(明度 L)の高反射率塗料は、高反射率顔料を含有するため熱線反射性能が向上して、最大表面温度が低下することが確認できる。

3.3 分光反射性能試験結果

3.3.1 促進耐候性試験前後の分光反射性能

促進耐候性試験前後の黒色の各試験体について、波長 350~2500nm の分光反射率を測定した結果を

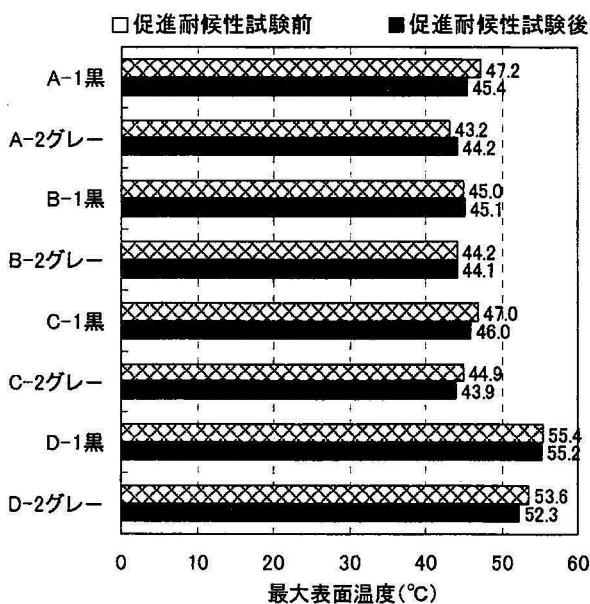


図5 促進耐候性試験前後の熱線反射性能

図7及び図8に示す。また、分光反射率測定結果から「JIS R 3106 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」に準じて日射反射率を算出し、図9で比較した。なお、日射反射率は「JIS A 5759 建築用ガラスフィルム」に準じて算出しても類似する値が得られた。これより、

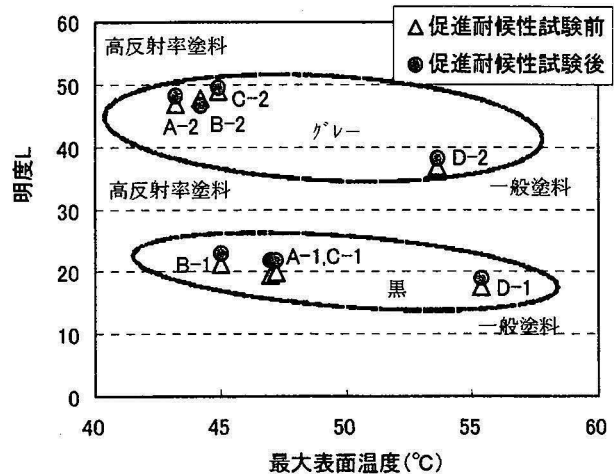


図6 明度と熱線反射性能

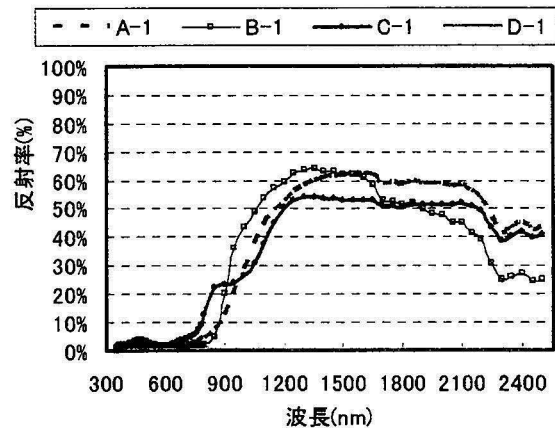


図7 促進耐候性試験前の分光反射スペクトル

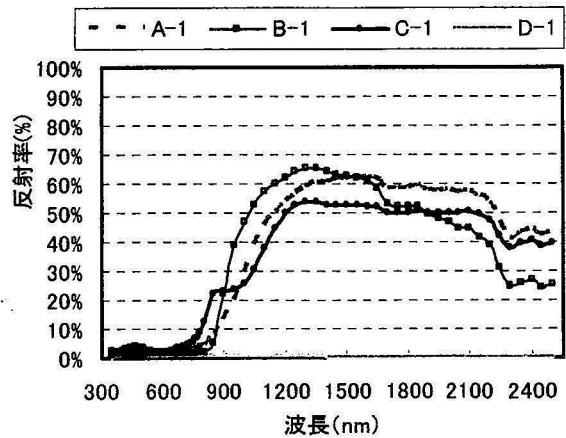


図8 促進耐候性試験後の分光反射スペクトル

以下の点が明らかとなった。

- 1) 図7及び図8より、促進耐候性試験前後の反射スペクトルは類似し、差は認められなかった。図示しないが、黒の試験体と同様に、グレーの試験体についても促進耐候性試験後、反射スペクトルに変化は認められなかった。
- 2) 図9より、促進耐候性試験後の日射反射率は、試験前と類似する値であることを確認した。

3.3.2 熱線反射性能との関連性

熱線反射性能と分光反射性能との関係を調査する目的で、各試験体の赤外線ランプ照射時の最大表面温度と日射反射率を図10に示す。これより、試験体の種類、促進耐候性試験の実施に関係無く、赤外線ランプ照射時の最大表面温度と日射反射率は、相関関係を示すことを確認した。つまり、開発した高反射率塗料は高耐候性で日射反射率が低下しないため、促進耐候性試験の実施の有無によらず、分光反射性能(日射反射率)と熱線反射性能とは相関関係にあると言える。

4. まとめ

クロムフリーで高性能な熱線反射顔料を用いて、低汚染型の高耐候性ふっ素樹脂をベースとした環境配慮型太陽熱高反射率塗料を開発した。ここでは、促進耐候性試験を実施して、耐候性を評価した。結果を以下にまとめる。

- 1) 黒及びグレーの高反射率塗料について促進耐候性試験を4,000時間実施した結果、いずれの試験体も色差(ΔE)は3以下、光沢保持率は80%以上を示し、良好な耐候性を確認した。
- 2) 促進耐候性試験前後の試験体について熱線反射性能、分光反射性能を評価した結果、促進耐候性試験後も熱線反射性能及び分光反射性能が低下する傾向は認められなかった。
- 3) 試験体の種類、促進耐候性試験の実施の有無に関係無く、日射反射率と赤外線ランプ照射時の熱線反射性能との間には、相関関係があることが確認された。
- 4) 以上のことから、開発したクロムフリーの高反射率塗料は、低汚染性のため汚れによる日射反

射率の低下が起りにくく、かつ高耐候性であることから、長期的に熱線反射性能が継続して発揮されると考えられる。

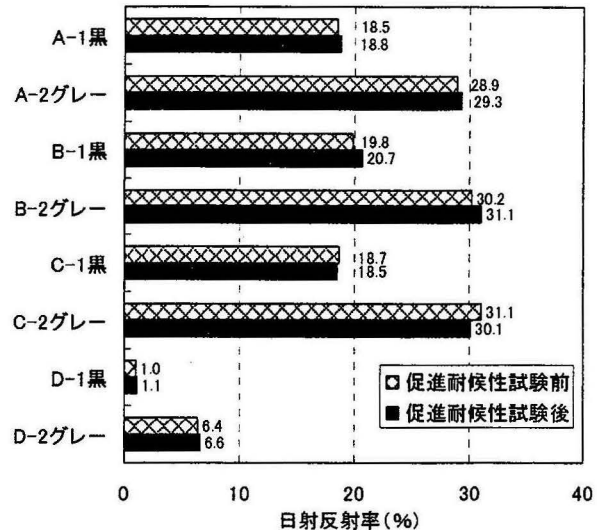


図9 促進耐候性試験前後の日射反射率

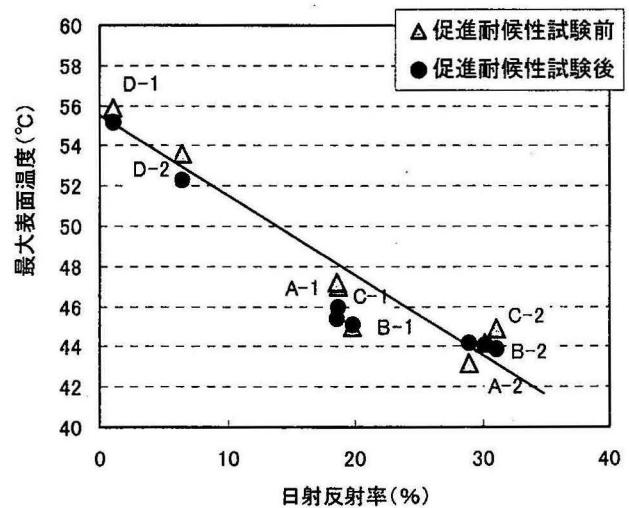


図10 促進耐候性試験前後の熱線反射性能

[参考文献]

- 1) 長岡、笠井、堀、奥田：環境配慮型太陽熱高反射率塗料の開発 その1 熱反射性能，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp827～828，2007. 8
- 2) 奥田、堀、笠井、長岡：環境配慮型太陽熱高反射率塗料の開発 その2 分光反射性能，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp829～830，2007. 8
- 3) 奥田、堀、笠井、長岡：環境配慮型太陽熱高反射率塗料の開発，日本建築士学会大会 2007 年大会学術講演会研究発表論文集，pp11～14，2007. 10

*1 (株)大林組 技術研究所

*2 AGC コーテック (株)

Technical Research Institute, OBAYASHI Corporation

AGC Coat-Tech Co.Ltd