

# 太陽熱高反射率塗料の日射反射特性および温度低下機構に関する研究

Study of Solar Reflectance Characteristic and Mechanism of Temperature Depression in Solar Heat High Reflectance Paint

一般塗料部門 建築塗料事業部  
Generally Coating Division  
Architectural Coating Dept.



櫻田 将至  
Masashi SAKURADA



松野 英則  
Hidenori MATSUNO



高橋 浩二  
Kouji TAKAHASHI

## 要 旨

都市部においては、地球温暖化に加えて建築物の太陽熱吸収によって起きるヒートアイランド現象が問題となっている。太陽光を受けることによって温度上昇および蓄熱した建築物が、周辺地域の外気温度を上昇させることがヒートアイランド現象の原因と考えられ、特に夜間に熱放出をして熱帯夜を引き起こす等近隣住民の不快感を招く。また、蓄熱した建築物は室内への熱流入によって室内の空調負荷を増加させ、冷房等の過剰運転を引き起こす原因となる。従って、太陽光を受けることによる建築物の温度上昇および蓄熱を抑制することは、ヒートアイランド現象の緩和と同時に室内の空調負荷を低減することを可能とする。これらのことから、冷房等の過剰運転を抑制することで二酸化炭素の排出量を削減でき、地球温暖化の抑制にも繋がるとの期待も高まっている。

本研究は、建築物に多用され、蓄熱しやすい材料であるコンクリートを対象として、太陽熱高反射率塗料の日射反射および日射透過特性を把握したうえで、塗装仕様としての日射反射率の算定方法、塗装仕様の設計方法の確立、建築物に太陽熱高反射率塗料を塗装した際の温度低下に関する効果検証を目的として行った。

その結果、都市部等において温度上昇および蓄熱した建築物が引き起こすとされるヒートアイランド現象の緩和、並びに地球規模での環境問題にまで発展している地球温暖化を抑制する目的で使用する太陽熱高反射

率塗料の日射反射特性を明らかにし、温度低下機構を解明するため、太陽熱高反射率塗料の日射反射性・日射透過性および下層の日射反射性が塗装仕様としての日射反射特性に及ぼす影響を明確にしたうえで、塗装仕様としての日射反射特性の算定方法、透過性を利用した太陽熱高反射率塗料の塗装仕様としての日射反射特性の検討およびRC造建築物に太陽熱高反射率塗料を塗装した際の温度低下に関する効果検証を行った。その結果、塗料を構成する原料毎に日射反射特性が異なることを見出し、コンクリート建築物における温度低下効果への影響を定量的に把握し、透過性を利用した太陽熱高反射率塗料の塗装仕様に関する理論を構築できた。また、太陽熱高反射率塗料は、実際の建築物に塗装することによって温度低下が得られ、建築物の内外部における温度負荷の低減を可能とする材料であることを示すことができたものとする。

## Abstract

The heat island phenomenon in urban cities has become a material for subject of discussion. It is considered that it is generated by a temperature rise due to the heat release from urban structures which have a high heat absorptance and are warmed by solar radiation during the daytime. The temperature rise in a room from the heat stored in building leads to the excessive running of refrigerated air-conditioning. Therefore, it is possible to depress the heat island phenomenon and the air-conditioning load by preventing the temperature rise and the thermal storage due to the radiation of the sun. Decreasing the excessive running of refrigerated air-conditioning can reduce CO<sub>2</sub> emissions, and it is expected to slow down the global warming.

This report describes on the solar reflectance ability of the paint system, which consists of a top coating and an under coating, design method on the selection of the paint and thickness, and verification of the temperature abatement of concrete buildings by the coating, after studying about the characteristics of the solar heat high reflectance paint.

This study was started to verify that painting the surfaces of structures in the city with solar heat high reflectance paint would mitigate the heat island phenomenon. I believe this is realized by obtaining worthwhile conclusions

- (1) The effect of the raw material which constitutes a coating material and the reflection characteristics has been clarified.
- (2) It is verified that the temperature of a concrete building is decreased by painting with this kind of paint.
- (3) The calculation method of solar reflectance of a paint system is useful to determine the solar reflectance of coatings.

## 1. はじめに

日本においては、ヒートアイランド現象を緩和させるために様々な技術が適用され、検証が行われている。そのなかで建築物表面や地表面の被覆改善方法として太陽熱高反射率塗料の塗装や屋上緑化等による改善が注目されている。太陽熱高反射率塗料については、建築物表面の日射反射性を高くすることで建築物の温度上昇および蓄熱を抑制することができ、かつ被塗物の保護、美観を提供することもできる。従って、太陽熱高反射率塗料を建築物表面に塗装することで、建築物の温度上昇および蓄熱を抑制し、ヒートアイランド現象の緩和が可能であると考えられている。

太陽熱高反射率塗料としての光学特性は、塗料が、樹脂・顔料の種類、それらの構成割合、塗装膜厚によって影響を受けることを考慮すると、これらに関する体系的な資料が必要である。

また、建造物へ適用した際の懸念事項として、汚れの付着による反射性低下と年間を通した温度低下が室内に及ぼす影響が挙げられる。塗装すると、塗膜は一般的に排気ガスや砂塵等の影響を受け、塗膜表面に汚れが付着する。汚れの付着は反射性を低下させる要因として考えられるが、塗装後の時間経過によって、どの程度反射性が落ちるかについての報告はない。さらに、夏季における温度低下が注目されている本塗料であるが、反射性を上げていれば冬季の日中においても温度低下は生じると考えられる。それを考慮して、シミュレーションを行い、地域によっては空調負荷が高くなることを指摘する例もあるが、その前提となる仮説のもととなる実際の建造物における冬季の温度測定結果に関する報告は少ない。

以上の点を鑑み、本研究では次の検討を行った。

- (1) 顔料の種類が塗膜の日射反射特性に及ぼす影響

太陽熱高反射率塗料が建築物の熱環境に大きな影響を及ぼす光学特性、いわゆる太陽熱の反射性、吸収性、透過性について、建築分野に使用される顔料を中心とした塗料の原料ごとに、顔料の混合比、厚さを変化させて実験を試み、それらの影響を検討した。

## (2) 日射透過率を考慮した、太陽熱高反射率塗料の日射反射率

下塗り層の特性として、日射反射率および太陽熱高反射率塗料の膜厚を変化させ、日射反射率および日射透過率を測定し、その結果に基づき太陽熱高反射率塗料の塗装仕様としての日射反射率の求め方を提案した。

## (3) 太陽熱高反射率塗料を塗布した、コンクリートの人工照射による温度変化の検証

コンクリート試験体に塗装したときの温度低下の効果を実測し、太陽熱高反射率塗料の塗布により、コンクリート建築物の温度を低下できることを実証するとともに、塗装仕様としての日射反射率の求め方の妥当性を検証した。

## (4) 建築物への太陽熱高反射率塗料の塗装による、温度低下の検証

RC造建築物について、屋根コンクリートスラブ外面・内面および天井面の温度測定を行い、太陽熱高反射率塗料の塗装により、コンクリートの温度上昇を抑制し、コンクリートが周辺地域に及ぼす温度負荷の影響を少なくできることを確認した。また、太陽熱高反射率塗料の効果の持続性と経年での塗膜の色調変化についても検討した。

なお、本研究は茨城大学大学院理工学研究科における研究成果<sup>1)</sup>であり、本報では上記(1)を抜粋し、報告する。

## 2. 実験

### 2.1 試験体および実験方法

#### 2.1.1 塗膜の構成原料

##### (1) ベースとなる樹脂の選定

建築物用塗料に用いられる代表的な樹脂として、エポキシ樹脂、アクリルウレタン樹脂、ふっ素樹脂について、可視光線および近赤外線領域における分光特性の評価を行った。塗膜の作製時には、アプリケーションナー10ミルを用いた。エポキシ樹脂、アクリルウレタン樹脂、ふっ素樹脂の3種類で、試験体の分光反射率および分光透過率を測定した結果を図1に示す。いずれの樹脂も分光反射率は10%程度と低く、また分光透過率は90%程度と高く、分光吸収率はほぼゼロであった。従って、顔料の影響評価には、樹脂の影響を少なくするため透過性の高いふっ素樹脂を選定し、以下の実験に用いた。

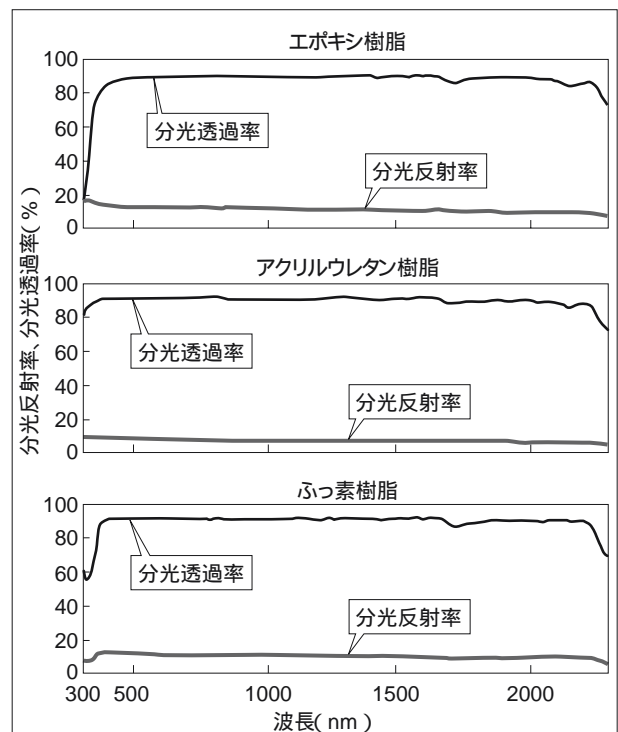


図1 樹脂の分光特性

## (2) 顔料の種類

白色、黒色、青色、赤色、黄色の色分類のなかで、着色を目的とした着色顔料を用いた。選択した着色顔料の一覧を表1に示す。なお、カラーインデックス(C.I.)の登録されているものは、その番号を記載した。

表1 着色顔料一覧

色	顔料名	C.I. Pigment-
白 色	二酸化チタン A B C D	White 6
黒 色	アゾメチンアゾ顔料(O)	-
	ペリレン系顔料(O)	-
	焼成顔料 A(I)	Black 28
	焼成顔料 B(I)	Black 27
	焼成顔料 C(I)	Brown 29
	焼成顔料 D(I)	-
	カーボンブラック	Black 7
青 色	アンスラキノン系顔料(O)	Blue 60
	銅フタロシアニン( X(O)	Blue 15:2
	銅フタロシアニン( X(O)	Blue 15:4
	無金属フタロシアニン(O)	Blue 16
	焼成顔料(I)	Blue 28
赤 色	キナクリドン系顔料(O)	Violet 19
	アゾ顔料(O)	Red 170
	ジケトピロロピロール系顔料(O)	Red 254
	ペリレン系顔料(O)	Red 178
	アンスラキノン系顔料(O)	Red 177
	赤色酸化鉄(I)	Red 101
黄 色	ベンズイミダゾロン顔料(O)	Yellow 154
	イソインドリノン系顔料(O)	Yellow 109
	キノフタロン系顔料(O)	Yellow 138
	バナジウム酸ビスマスイエロー(I)	Yellow 184
	焼成顔料(I)	Yellow 53
	黄鉛(I)	Yellow 34
	黄色酸化鉄(I)	Yellow 42

(O): 有機顔料 (I): 無機顔料

## 2.1.2 試験体の作製および評価

## (1) 塗料の作製

塗料配合は、各種原料を表2に示した比率としたもので、樹脂固形分に対する顔料質量比(P/B)を低水準と高水準とした。

表2 塗料配合

	二酸化チタン		カーボンブラック	
	樹脂	62	62	62
溶剤	38	38	38	38
顔料	37	54	4	8
消泡剤	0.2	0.2	0.2	0.2
P/B	低水準	高水準	低水準	高水準
	0.6	0.9	0.06	0.13

	有機顔料(O)		無機顔料(I)	
	樹脂	62	62	62
溶剤	38	38	38	38
顔料	6	12	24	36
消泡剤	0.2	0.2	0.2	0.2
P/B	低水準	高水準	低水準	高水準
	0.1	0.19	0.38	0.57

## (2) 塗膜の作製

塗料を混合した後、アプリケーション6ミルと10ミルを用いて塗布した。このほかPP(ポリプロピレン)容器(32mm)に20ccの評価用塗料を流し込んで硬化させ、塗膜の厚さを前2者に比べ圧倒的に大きくしたものを用意して、塗膜の厚さを3水準とした。

## (3) 塗膜の評価

塗膜は分光光度計(島津製作所製UV-3100PC)を用いて、可視光線および近赤外線領域における分光反射率および分光透過率を測定した後、JIS A 5759(建築窓ガラス用フィルム)に規定される算出方法を用いて、日射反射率、日射透過率を算出した。なお、標準白色板には、ふっ素樹脂系(PTFE)標準白色板を用いた<sup>2)</sup>。

### 3. 結果および考察

#### 3.1 試験体の膜厚

作製方法に対する試験体の膜厚平均値を纏めた結果を表3に示した。アプリケーション6ミルで作製した場合には、全体平均膜厚で40μm程度となった。これに対して、アプリケーション10ミルで作製した場合には70μm程度となり、PP容器で作製した試験体は9mm弱の厚さとなった。

表3 各試験体の膜厚平均値

P/B	作製方法	膜厚平均値 (μm)
低水準	アプリケーション6ミル	39.8
	アプリケーション10ミル	73.7
	ポリプロピレン容器	8779.3
高水準	アプリケーション6ミル	42.5
	アプリケーション10ミル	72.5
	ポリプロピレン容器	8710.7

#### 3.2 日射反射率および日射透過率

P/Bと膜厚の条件を変えて顔料分類別に日射反射率および日射透過率の測定結果を表4に示した。

表4 日射反射率(%)および日射透過率(%)

色	P/B	低水準						高水準							
		作製方法		6ミル		10ミル		PP容器		6ミル		10ミル		PP容器	
		顔料名		e	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e
白色	1	二酸化チタンA( Ps:0.03 )	28.8	60.8	33.6	50.4	43.1	0.0	/	/	/	/	/	/	
	2	二酸化チタンB( Ps:0.25 )	74.3	8.2	76.0	3.0	76.5	0.0	75.1	4.5	75.7	2.4	75.8	0.0	
	3	二酸化チタンC( Ps:0.28 )	75.2	10.5	80.1	6.8	81.1	0.0	78.3	7.2	80.5	2.8	81.2	0.0	
	4	二酸化チタンD( Ps:0.8 )	66.6	12.2	68.7	5.0	68.0	0.0	71.3	9.2	73.0	2.8	72.5	0.0	
黒色	1	アゾメチンアゾ顔料	15.9	25.3	17.7	15.4	18.4	0.0	18.4	19.2	20.3	12.6	21.3	0.0	
	2	ペリレン系顔料	12.1	18.6	12.6	11.9	12.3	0.0	13.9	14.0	14.2	8.2	14.4	0.0	
	3	焼成顔料A( Cu-Cr-Mn )	5.9	0.1	5.9	0.0	5.5	0.0	5.9	0.0	5.9	0.0	5.5	0.0	
	4	焼成顔料B( Cu-Cr-Co )	9.8	3.8	10.0	0.2	8.4	0.0	10.3	0.5	10.4	0.1	9.2	0.0	
	5	焼成顔料C( Mn-Bi )	17.5	1.7	18.6	1.1	16.9	0.0	18.9	1.7	19.2	0.3	17.7	0.0	
	6	焼成顔料D( Fe-Cr )	18.0	6.2	18.5	0.6	17.2	0.0	18.4	3.3	18.7	0.3	17.4	0.0	
	7	カーボンブラック	4.1	0.0	4.1	0.0	3.9	0.0	4.0	0.0	4.0	0.0	4.0	0.0	
青色	1	アンスラキノン系顔料	8.4	16.8	8.5	11.3	8.1	0.0	8.9	13.2	9.0	9.2	8.9	0.0	
	2	銅フタロシアニン( )	10.1	24.8	10.7	15.4	10.6	0.0	10.5	17.3	11.0	10.9	10.7	0.0	
	3	銅フタロシアニン( )	12.8	19.9	12.9	12.8	13.2	0.0	14.0	14.7	14.3	10.3	14.6	0.0	
	4	無金属フタロシアニン	11.8	22.0	12.7	16.1	13.6	0.0	/	/	/	/	/	/	
	5	焼成顔料( Co-Al )	19.1	23.3	19.1	10.8	19.4	0.0	19.7	13.9	20.0	8.0	20.0	0.0	
赤色	1	キナクリドン系顔料	30.8	17.6	31.5	10.0	33.0	0.0	25.2	19.9	25.1	12.4	26.1	0.0	
	2	アゾ顔料	20.8	23.4	20.8	15.2	22.2	0.0	26.4	19.0	27.4	10.4	28.0	0.0	
	3	ジケトピロロピロール系顔料	25.3	22.3	24.7	16.6	25.0	0.0	28.0	20.5	30.3	14.8	31.5	0.0	
	4	ペリレン系顔料	24.1	19.9	25.2	11.5	25.4	0.0	29.5	16.1	30.6	8.6	30.9	0.0	
	5	アンスラキノン系顔料	11.2	35.5	12.1	23.7	13.5	0.0	13.6	32.4	13.6	23.6	15.8	0.0	
	6	赤色酸化鉄	32.0	3.1	32.5	1.4	33.0	0.0	32.0	2.6	32.4	0.8	32.7	0.0	
黄色	1	ベンズイミダゾロン顔料	20.0	26.7	22.0	16.3	22.9	0.0	27.5	20.2	29.9	11.3	30.2	0.0	
	2	イソインドリノン系顔料	19.7	33.7	22.9	22.3	26.0	0.0	27.6	21.5	29.7	13.8	30.0	0.0	
	3	キノフタロン系顔料	20.9	24.4	22.7	14.5	22.6	0.0	29.3	17.9	31.2	9.9	31.5	0.0	
	4	バナジン酸ビスマスイエロー	47.6	8.1	48.8	2.9	49.1	0.0	53.4	6.4	54.1	2.0	53.9	0.0	
	5	焼成顔料( Ti-Ni-Sb )	43.0	3.9	43.1	0.4	42.3	0.0	45.2	1.1	45.2	0.1	43.9	0.0	
	6	黄鉛	41.3	12.3	42.7	6.6	43.7	0.0	45.1	13.1	47.2	4.9	47.6	0.0	
	7	黄色酸化鉄	31.7	11.4	32.6	5.9	32.6	0.0	31.1	9.3	31.7	5.4	30.6	0.0	

Ps: 一次粒子径(μm) e: 日射反射率(%) e: 日射透過率(%)



### 3.2.1 P/Bが日射反射率および日射透過率に及ぼす影響

有機顔料(O)、無機顔料(I)、カーボンブラックの中から選んだ顔料数点について、アプリケーション6ミルで作製した場合のP/Bが日射反射率に及ぼす影響を図2に、P/Bが日射透過率に及ぼす影響を図3に示した。

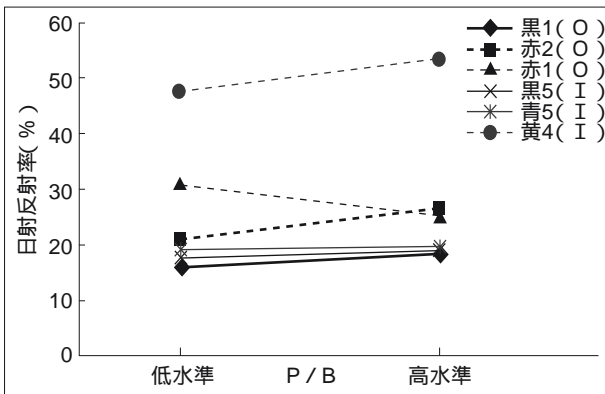


図2 P/Bに対する日射反射率(%)

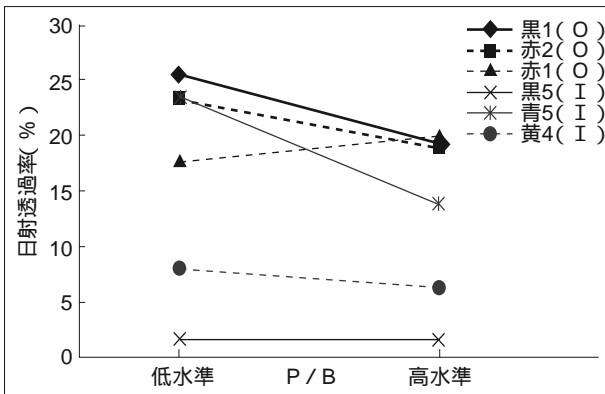


図3 P/Bに対する日射透過率(%)

有機顔料について観察すると、黒色1の様にP/Bの増加に伴って日射反射率は変化が少なく、かつ、日射透過率は低くなるCase1、赤色2の様に日射反射率は高くなり、かつ、日射透過率は低くなるCase2および赤色1の様に日射反射率が低くなり、かつ、日射透過率が高くなるCase3が確認された。他の顔料についての結果も併せて観察すると、Case1とCase2となるものがほぼ同数であった。Case3を示すものは赤色1のみである。塗膜設計においてはCase1、Case3ではP/Bを低水準とすることで日射反射率を高くすることができ、Case2ではP/Bを高水

準とすることで日射反射率を高くできる。

無機顔料について観察すると、黒色5の様にP/Bの増加に伴う日射反射率、日射透過率の変化が少ないCase4、青色5の様に日射反射率の変化が少なく、日射透過率は低くなるCase5および黄色4の様に日射反射率は高くなり、日射透過率は変わらないCase6が確認された。大部分の無機顔料はCase4であり、白色2、青色5はCase5、白色3、白色4、黄色4はCase6であった。塗膜設計においてはCase4、Case5ではP/Bを低水準とすれば良いことを示しており、Case6ではP/Bを高水準とすることで日射反射率を高くすることができる。

### 3.2.2 膜厚が日射反射率および日射透過率に及ぼす影響

有機顔料、無機顔料の中から選んだ顔料数点および、カーボンブラック、二酸化チタンについて、P/Bを低水準とした場合の膜厚が日射反射率に及ぼす影響を図4に、日射透過率に及ぼす影響を図5に示した。

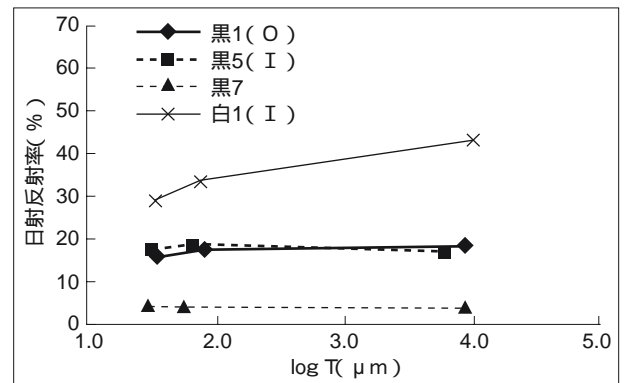


図4 膜厚に対する日射反射率(%)

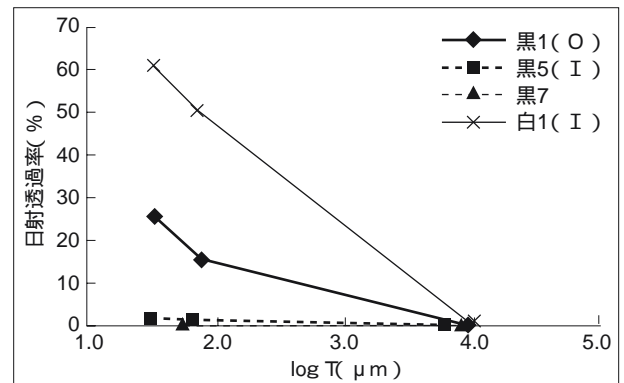


図5 膜厚に対する日射透過率(%)

日射反射率については、白色1を除く全ての顔料において膜厚の増加に伴う日射反射率の変化は確認されなかった。日射反射率は、表面における反射特性が大きく影響するため、膜厚の影響が現れないものと理解できる。日射透過率については、全ての顔料において膜厚の増加に伴う低下が確認され、PP容器で作製した試験体では、いずれの顔料においても日射透過率がゼロとなる。日射透過率は光が透過した後の特性であるから膜厚が大きいほど小さくなるのは容易に理解できる。ここで、 $\log$ は10を底とする対数であり、 $T$ の単位は $\mu\text{m}$ 、日射反射率および日射透過率は%で表されているものとする。なお、白色1については、膜厚の増加に伴い、日射反射率が向上した。白色1を用いた塗料は、 $P/B$ の水準、アプリケーションの種類に関わらず、塗膜の隠蔽性が確保できなかったことが要因として上げられる。

#### 4. まとめ

建築物用途として一般的な顔料について、樹脂分に対する顔料質量比( $P/B$ )、塗膜厚さが日射反射率および日射透過率に及ぼす影響を検証した結果を要約すると以下の通りである。

(1) エポキシ樹脂、ウレタン樹脂、ふっ素樹脂では、分光反射率は樹脂の種類によらず、いずれも低い値を示す。分光透過率については、ふっ素樹脂が最も高く、光吸収の影響が少ないことから、太陽熱高反射率塗料に用いる樹脂として適していると言える。

(2) 樹脂分に対する顔料質量比( $P/B$ )が日射反射特性に及ぼす影響は、有機顔料と無機顔料で挙動が異なる。有機顔料は、 $P/B$ の増加に伴って日射反射率の変化が少ない、もしくは高くなり、日射透過率は低くなる顔料が多い。無機顔料は、 $P/B$ の増加に伴い日射反射率および日射透過率の変化が少ない顔料が多い。

(3) いずれの顔料でも膜厚を変化させても日射反射率に大きな変化は確認されない。一方、膜厚の増加に伴い日射透過率は低下し、膜厚が十分に大きい場合は全ての顔料で0%であった。

(4) 白色顔料に用いる二酸化チタンの場合、その粒径が $0.25\mu\text{m}$ 程度以上であれば日射反射率が高く、日射透過率は低い。

(5) 黒色の有機顔料では日射反射率、日射透過率ともに高い。無機顔料として用いた焼成顔料は、金属の種類で日射反射率と日射透過率が異なる。焼成顔料(鉄-クロム)で最も高い日射反射率となった。カーボンブラックはいずれの条件でも全ての黒色顔料より日射反射率が低く、日射透過率は0%であった。

(6) 使用した全ての青色顔料で日射反射率より日射透過率が高く、日射反射率は無機顔料より有機顔料の方が低い。日射透過率はフタロシアニン銅塩 結晶形が最も高い値を示した。

(7) 赤色顔料の日射反射率、日射透過率は顔料によって傾向が異なる。日射反射率は有機顔料であるキナクリドン系顔料と無機顔料である赤色酸化鉄で高い結果となった。日射透過率は無機顔料と比べると使用した全ての有機顔料で高く、アンスラキノン系顔料が最も高

---

かった。

(8)黄色の無機顔料の日射反射率は、有機顔料の日射反射率より高く、他の色の顔料より高い。しかし、日射透過率は有機顔料に比べて低い。バナジン酸ビスマスイエローの日射反射率が最も高く、イソインドリン系顔料で日射透過率が最も高い値を示した。

#### 参考文献

- 1) 櫻田将至：太陽熱高反射率塗料の日射反射特性および温度低下機構に関する研究、茨城大学大学院博士学位論文(2009)
  - 2) 高橋浩二他：標準白色板の簡易作製方法の検討、日本建築学会大会学術講演梗概集(A-1)、pp.455-456、(2009)
-