

# 遮熱塗装システムの開発

## Development of an Infrared Reflective Coating System



関西ペイント販売(株)  
建設塗料本部(東京)  
建築塗料技術部  
中井一寿  
Kazuhisa  
Nakai



関西ペイント販売(株)  
建設塗料本部(東京)  
建築塗料技術部  
大森弘勝  
Hirokatsu  
Omori



関西ペイント販売(株)  
建設塗料本部(東京)  
建築塗料技術部  
寫田真一  
Shinichi  
Shimada

### 1. はじめに

近年、二酸化炭素などの温室効果ガスの増加による地球温暖化が国際的問題となっており、1997年12月に京都で開催された気候変動枠組条約第3回締約国会議(COP3, 京都会議)では、先進国及び市場経済移行国の温室効果ガス排出の削減目的を定めた京都議定書が採択された。この京都議定書は2005年2月に発効し、日本に対しては、温室効果ガスを1990年比で、2008年～2012年に6%削減することを義務付けている。<sup>1)</sup>

日本国内に視点を向けると、都市部の気温が周辺部に比べて高くなる「ヒートアイランド現象」が顕在化してきている。気象庁のデータでは、東京の年平均気温は、過去100年で2.9℃の上昇がみられ、他の大都市の平均上昇気温2.4℃、中小規模の都市の平均上昇気温1℃に比べて、大きな上昇値を示している。

気温上昇の原因には、地球温暖化の影響もあるが、「ヒートアイランド現象」を含む都市温暖化の傾向が、顕著に現れている。この「ヒートアイランド現象」の主な要因としては、

- ① 市街化の進行などによる地表面被覆の変化
- ② エネルギー使用の増大に伴う人工排熱の増大
- ③ 都市形態の変化による弱風化

などが挙げられる。

都市部での気温上昇は、真夏日・熱帯夜の増加、熱中症発生者数の増加、都市型集中豪雨の発生など、都市部での生活者に対して様々な影響を及ぼしている。しかも、「ヒートアイランド現象」による温暖化は、空調使用の増大を招き、その排熱で「ヒートアイランド現象」が更に進行するという悪循環に陥り、空調用のエネルギー消費量を増大させてしまっている。

このような、「ヒートアイランド現象」を抑制するべく、大都市自治体では様々な取り組みを行っており、東京都ではモニタリング(ヒートアイランド観測網)の整

備強化・自然環境の確保・風の道への配慮などの都市レベルでの対策のほか、建物敷地・道路・建築物の被覆や人工排熱の抑制を中心とした対策を行っている。<sup>2)</sup>

建物敷地や建築物の被覆対策としては、屋上や壁面の緑化とともに、反射性(遮熱性)の高い塗料や仕上げ材の使用などにより、建物躯体の蓄熱を抑制する方法があり、これらは実施工可能な技術として進展しつつある。<sup>3)</sup>

このような状況を踏まえ、建築物、特に最も日射の影響を受けやすい屋根に着目し、「遮熱塗装システム」の検討を行った。以下、その検討経緯について報告する。

### 2. 遮熱塗装システムの考え方

「遮熱塗装システム」は、外気温が室温よりも高くなる条件で、**図1**に示すように外壁または屋根材などを經由して室内に伝わる熱移動を抑制することを目的とした塗装システムである。特に、日射の影響を受けやすい屋根に塗装することで、室内の温度上昇を抑制し、夏季の空調機器の稼働率を減らし、省エネルギー化に結びつけることを狙いとしている。

一般に「遮熱塗装システム」の設計においては、上塗り塗色の選択が重要であり、上塗りに白または淡彩色を用いた場合での設計が有効である。これは、陽射しが強く、暑く乾

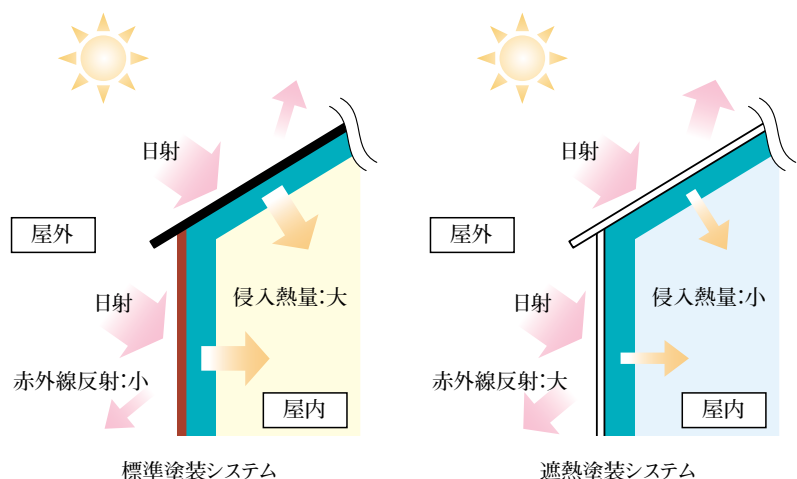


図1 遮熱効果のイメージ

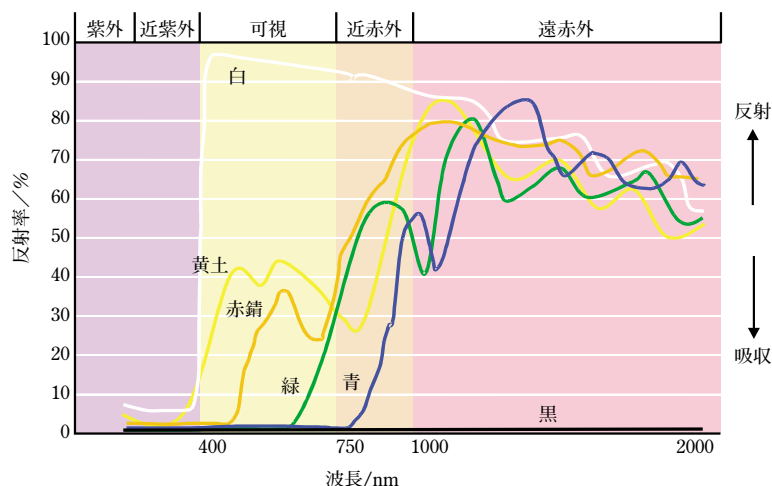


図2 各着色顔料の分光反射率

乾燥した気候の地域（例えばアラビア半島など）では、白い外壁の建築物を比較的多く見うけることができる。これは昼間の強烈な日射を反射することで、室内の温度上昇を和らげるためであり、室内の温度上昇を抑制するための古くからある知恵の一つである。

しかしながら、日本国内における住宅屋根の塗色では一般的に黒をはじめとした濃彩色がほとんどである。その理由として、白または淡彩色の屋根では太陽光が反射しやすく、反射光が近隣住民などに影響を与える場合があること、建築物のカラーデザイン上、屋根には濃彩色が使用されるケースが多いためである。そのため、今回の「遮熱塗装システムの開発」においては、黒および濃彩色で遮熱効果を得るための検討を行ってきた。

これまでの検討で、図2に示すように一般的な黒の着色顔料であるカーボンブラックは、他の着色顔料と比べ、赤外線領域の光をほとんど吸収することが確認できている。

第一段のシステム設計として、上塗りにアクリルシリコン樹脂系水性塗料「コスモシリコン」を用いて遮熱色設計（カーボンブラックを使用しない塗色設計）を行い、中塗りに熱伝導率が極めて低い「ドリームコート」を組み合わせた屋根遮熱・断熱塗装システムを開発した（「ドリームコート屋根断熱工法」）。

このシステムは、遮熱性・断熱性に加え、波型スレートの亀裂に対応できる柔軟性や中性化防止機能、金属屋根の雨音を低減する遮音機能も有しており、省エネルギー対応だけでなく、屋根材の長寿命化に伴う省資源化にも貢献できる塗装システムである。<sup>4)</sup>

しかし、「ドリームコート屋根断熱工法」では、中塗りの「ドリームコート」をエアレススプレーで塗装するため、周辺への飛散・養生などの面で、住居や工場などの密集した都市部では施工が困難なことから、特別な施工を必要としない、刷毛・ローラー塗装可能な塗装システムが求められてきた。

そこで、遮熱機能にのみ着目し、金属屋根用上塗りとして

多くの施工実績のある弱溶剤一液アクリルシリコン樹脂塗料「スーパーシリコンルーフペイント」、および窯業系屋根瓦用の塗り替え塗料として使用されてきた弱溶剤二液アクリルシリコン樹脂塗料「ヤネMシリコン」を上塗りとして用い、「ドリームコート屋根断熱工法」で培ってきた遮熱システムを適用した「アレス屋根遮熱システム」を開発することとした。

### 3. 遮熱塗装システムの設計

#### 3.1 赤外線反射塗装システムについて

図2に示すように、赤外線領域の光をほとんど吸収してしまうカーボンブラックを使用しない、もしくは赤外線領域の反射率の高い特殊黒系顔料を使用して濃彩色を設計すれば、濃彩色が中心の屋根用上塗り塗料だけでも十分な遮熱機能、つまり赤外線反射機能を付与することが可能であると考えられる。

しかしながら、塗料中に高濃度で顔料を配合することは困難であり、赤外線を塗膜表面で反射することのみならず、赤外線が塗膜を透過することも想定しなければならない。

スーパースリコンルーフペイントカーボングレー遮熱色（CN-30近似色：日塗工標準色見本帳より）塗膜の分光反射率および透過率を測定した結果を図3に示す。上塗り塗膜としておおよそ標準的な膜厚の40μmでも、かなりの量の赤外線が上塗り塗膜を透過していることが確認できる。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（JIS R 3106:1998）に基づき、上塗り塗膜の780nmから2100nmにおける赤外線反射率および透過率を算出した結果、赤外線反射率が45%、透過率が25%となった。屋根の塗り替えにおいては既存旧塗膜が濃色の場合がほとんどであり、遮熱上塗りのみを塗装した場合は、透過した赤

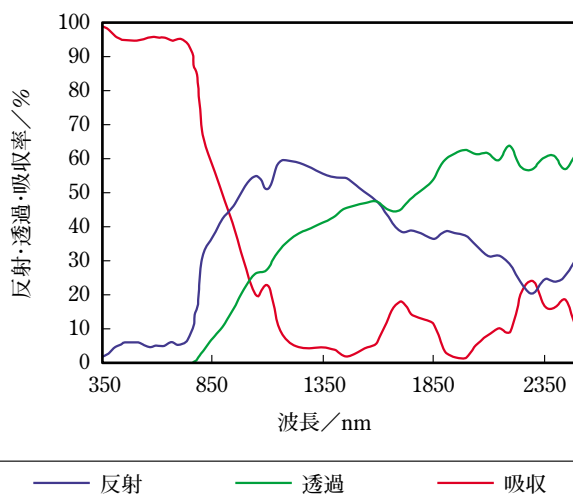


図3 スーパーシリコンルーフペイント カーボングレー遮熱色の分光反射・透過・吸収率（膜厚：40μm）

新技術

外線が旧塗膜に吸収され、屋根材を經由して室内に熱が伝わっていくことが類推できる。

そのため、透過して下塗り層もしくは基材に吸収される赤外線を効率的に反射させることを主眼において、**図4**に示すように上塗りのみならず、下塗りでも赤外線を反射させる塗装システムの検討を行った。

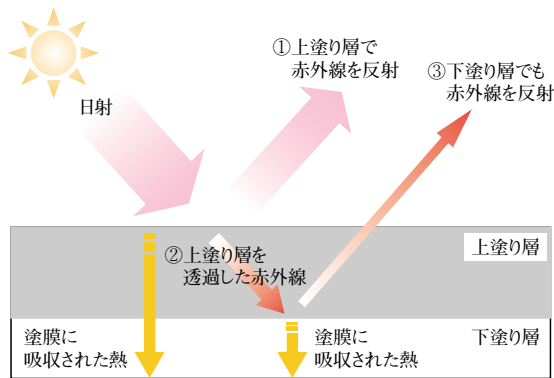


図4 赤外線反射塗装システムの模式図

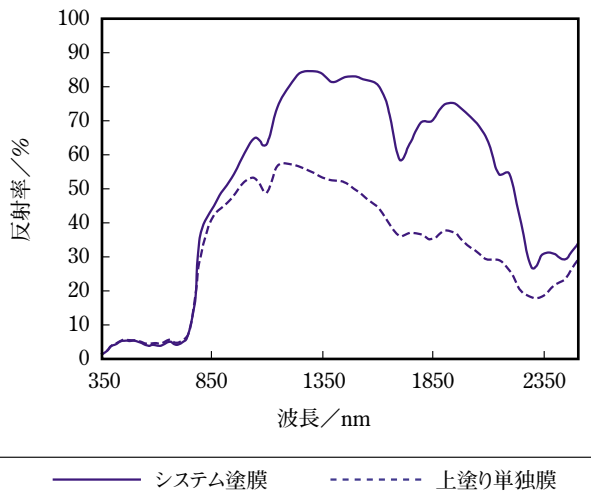


図5 スーパーシリコンルーフペイント カーボングレー遮熱色のシステム塗膜および上塗り単独膜の分光反射率

**図2**に示すようにチタン白は赤外線反射率が高い着色顔料であることがわかる。そこで、下塗りに反射率の高いチタン白を使用した「アレスクールプライマー」を塗装し、上塗りに遮熱色を塗装したシステムと上塗り単独膜の分光反射率を比較した(**図5**)。下塗りに専用の「アレスクールプライマー」を塗装することで、システム塗膜では赤外線領域の反射率が上塗り単独膜よりも高くなり、780nmから2100nmにおける赤外線反射率を60%まで高めることができた。

上塗りをカーボングレー色とした場合の標準塗装システムと遮熱塗装システムの分光反射率を測定した結果を**図6**に示す。標準塗装システムの赤外線反射率は3%程度と非常に低いのに対して、遮熱塗装システムを採用することで、大幅に赤外線反射率を上げることが可能になる。

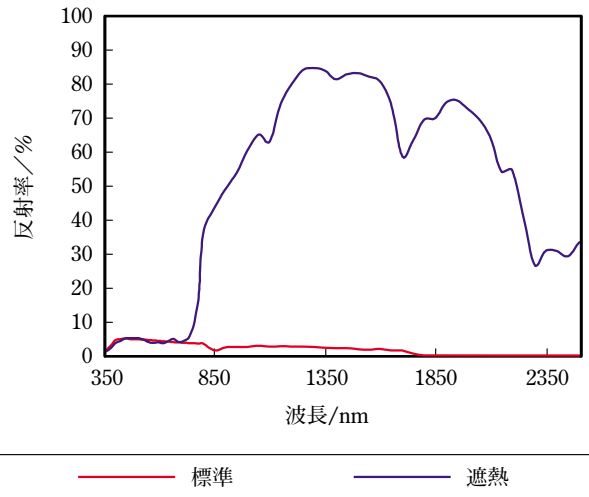


図6 スーパーシリコンルーフペイント カーボングレー標準色および遮熱色の分光反射率(下塗り:アレスクールプライマー)

### 3.2 仮想モデルでの温度低減効果シミュレーション

遮熱塗装システムの本来の目的は、屋根など日射の影響を受けやすい箇所に塗装することで、塗膜の表面温度上昇を抑え、その結果として室内の温度上昇を抑制することにある。

そこで、**図7**に示すような鋼板屋根を有する構造の建物を想定し、上塗りにカーボングレー標準色または遮熱色を塗装した際、屋根の表面温度、小屋裏の空気温度、および室内天井面の温度がどのように変化するかを熱収支計算を行うことでシミュレーションした。

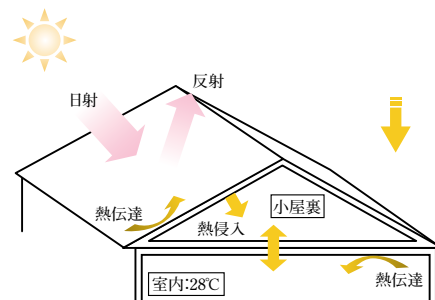


図7 遮熱効果シミュレーション用屋根モデル図

計算を行うにあたって、条件を簡略化するため、小屋裏の換気および外壁からの熱侵入を省略した。また、遮熱効果シミュレーションのための計算条件は**表1**の条件を採用し、屋根および天井を断熱処置しないものとした。

また、屋根の日射反射率をシステム塗膜の赤外反射率と同一とみなし、反射成分以外は全て吸収するものとして日射吸収率を設定し、カーボングレー遮熱色の日射吸収率を40%とした(カーボングレー標準色:95%, ホワイト:15%)。

このような条件のもと、室内空気温度を28°Cとした場合の計算結果を**図8.1~8.3**に示す。標準色と比べ、遮熱色を塗装した場合、屋根の表面温度で27°C、小屋裏の空気

表1 遮熱効果シミュレーションのための計算条件

1: 建物の概要	
幅	15m
奥行	10m
屋根勾配	24.2° (4.5/10勾配)
天井面積	150m <sup>2</sup>
小屋裏妻壁部面積	45m <sup>2</sup>
2: 計算条件 (気象条件および熱貫流率など)	
気象条件	7月下旬の晴天時(日射量および太陽高度)
場所	東京
外気温度	7月下旬の晴天時の気温変化を想定(最高気温33.5℃と仮定)
室内空気温度	28℃(一定)
屋根面総合熱伝達率	63kW/m <sup>2</sup> ・℃
天井面総合熱伝達率	33kW/m <sup>2</sup> ・℃
屋根の熱貫流率	16kW/m <sup>2</sup> ・℃
妻壁の熱貫流率	14kW/m <sup>2</sup> ・℃
天井の熱貫流率	13kW/m <sup>2</sup> ・℃
日射(赤外線)吸収率	標準色:95%, 遮熱色:40%, (ホワイト:15%)

温度で14℃の温度低減効果が出るとの計算結果が得られた。また、小屋裏を経由して室内に熱が侵入する際に、天井面の温度を上昇させるが、同様に標準色と比べ、天井面の温度が5℃低下し、日中天井面を経由して室内に侵入する熱量も50%程度減少するという概算値が得られた。

比較として、ホワイト色を用いた場合の計算結果も記載しているが、カーボングレー遮熱色以上の温度低減効果が類推できる。

実際の条件では、小屋裏の空気温度が上昇することで、外気温との温度差が生じ、その結果として小屋裏の自然換気が促進されるため、計算値ほどの温度差は発生しない可能性が高い。しかし、計算で示されるように天井面の温度が高くなれば、平均輻射温度を高めることになるため、室内の熱環境の快適性を低下させるとともに、侵入熱により冷房機器への熱負荷を増大させることになる。

### 3.3 遮熱塗装システムの温度低減効果の検証 (ラボ試験)

実験室で複数の試験体を精度よく測定するため、図9のような条件にて試験を行った。

外部からの熱を供給するためにハロゲンランプを使用し、光源と試験体との距離を固定した。この際に、夏季の日中を想定し、標準塗装システムで塗装した試験体の表面の温度が70~80℃になるように条件設定を行った。次に、試験体表面から移動した熱の放散を防ぐ目的で、試験体を設置する上面以外は発泡スチロール板で組み立て、実験室内の空調の影響を抑えるため、ランプ照射後の試験体表面

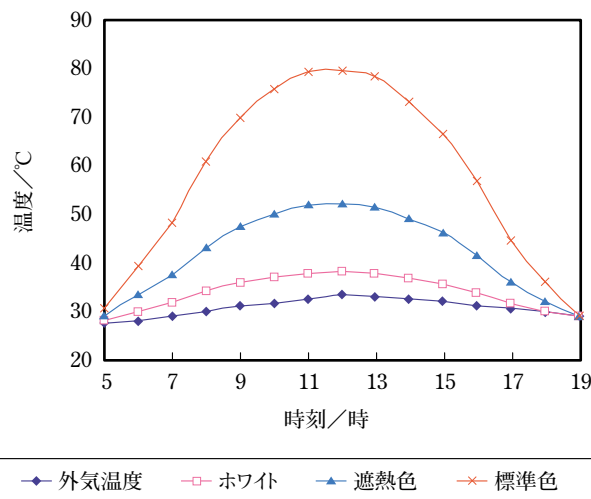


図8.1 遮熱効果シミュレーション結果(1:南面屋根表面温度変化)

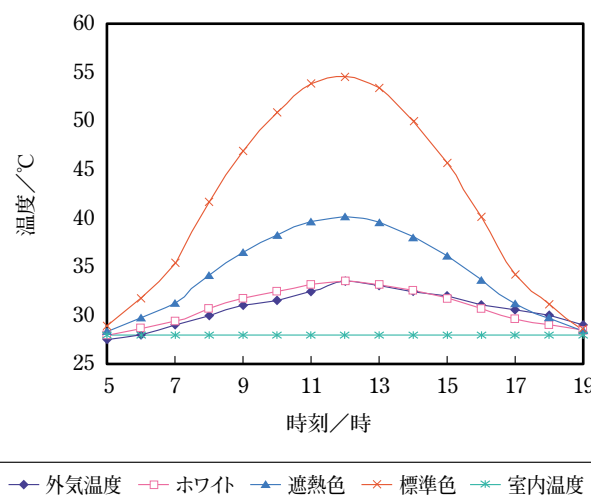


図8.2 遮熱効果シミュレーション結果(2:小屋裏の空気温度変化)

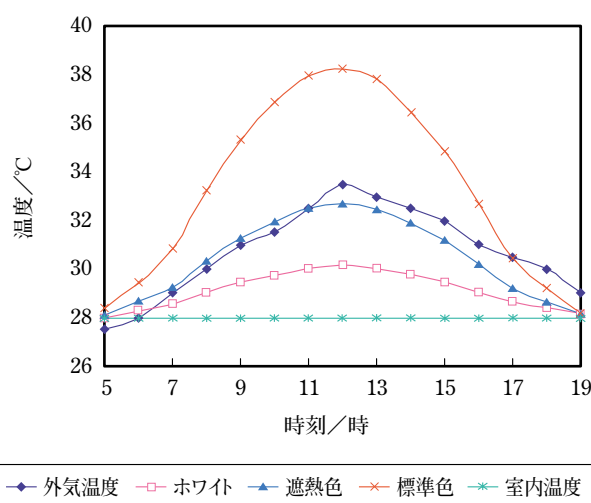


図8.3 遮熱効果シミュレーション結果(3:室内天井面の温度変化)

新技術



光源 : ハロゲンランプ (100V・300W)  
 光源までの高さ : 55cm  
 試験板 : 50cm×50cmブリキ板 (0.3mm厚)  
 側面および底面 : 発泡スチロール  
 (50cm×50cm, 厚さ: 30mm)  
 試験温度 : 23℃

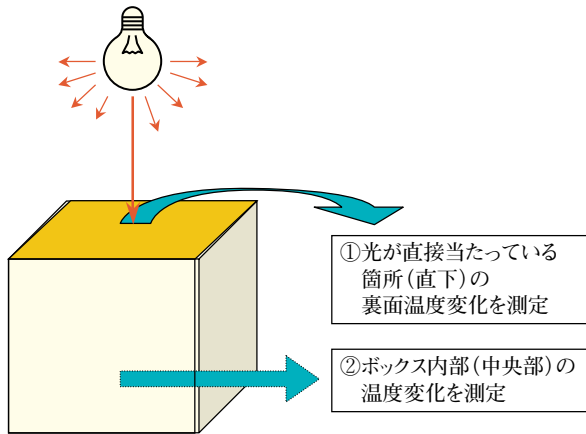


図9 遮熱性能の確認試験方法

と箱内部の温度を経時で測定した。試験体の塗装仕様は表2に示す。

上塗り塗色をコーヒブラウン色とした場合の測定結果を図10.1に示す。試験体の裏面温度はランプ照射直後から約10分間で急激に上昇し、ボックス内部の温度は約20分間でやや穏やかに上昇し、ともにその後はほぼ一定温度となっている。標準塗装システムと遮熱塗装システムを比較した場合、試験体裏面では約15℃、ボックス内温度では約2℃の温度差が生じ、室内温度上昇の低減効果が認められた。

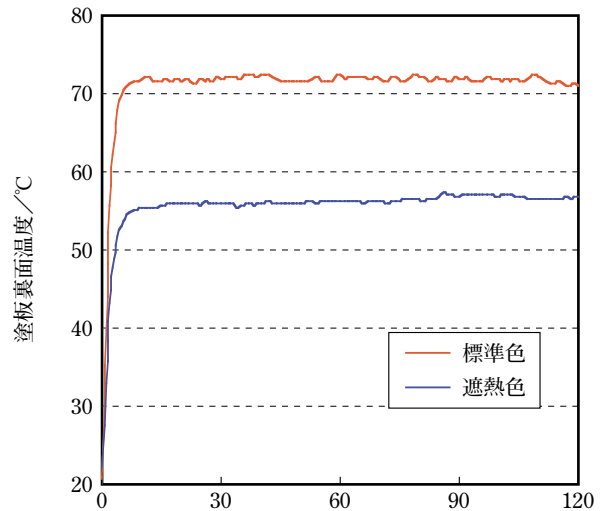
コーヒブラウン以外の他の塗色でも同様の傾向が見られ、図10.2に示すようにいずれの塗色でも、標準色と比べ遮熱色では試験体裏面温度が15℃程度低下することが確認できた。但し、ホワイト色で同様の温度測定を行った場合、遮熱色を塗装した試験体に比べ、裏面温度がさらに10℃程度低下することが認められた。

このようにして行った検証試験結果は計算結果に近い値となっており、上塗り塗膜および塗装システムで赤外線反射率を高めることで、遮熱機能の付与が可能であることを示している。

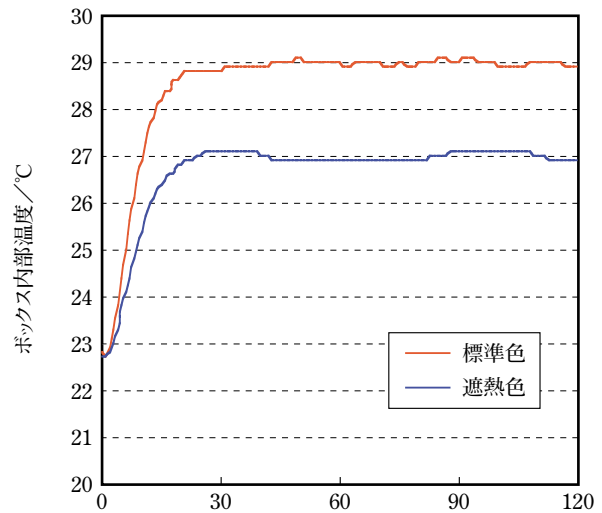
### 3.4 実物件での検証

シミュレーション計算、およびラボ試験の結果、遮熱塗装システムは室内温度上昇の低減に効果があることを示すデータが得られたことから、実物件にて温度低減効果の確認を行った。

図11に示す建物の屋根を標準塗装システムおよび遮熱塗装システムで塗り分け、屋根の表面温度を経時で測定することで、遮熱効果を検証した。なお、ラボ試験と同様に上塗り塗色はコーヒブラウン色とし、表2に示す塗装仕様にて施工を行った。



①塗板裏面温度 ハロゲンランプ照射時間/分



②ボックス内温度 ハロゲンランプ照射時間/分

図10.1 遮熱性能確認試験結果(コーヒブラウン色)

表2 遮熱効果検証試験の塗装仕様

工程	塗料	塗付量 (kg/m <sup>2</sup> /回)	塗り回数	標準塗装システム	遮熱塗装システム
下塗り	エポキシ樹脂系錆止め塗料	0.15	1	スーパーザウルス赤錆色	アレスクールプライマー
上塗り	スーパーシリコンルーフペイント	0.13	2	コーヒブラウン標準色	コーヒブラウン遮熱色

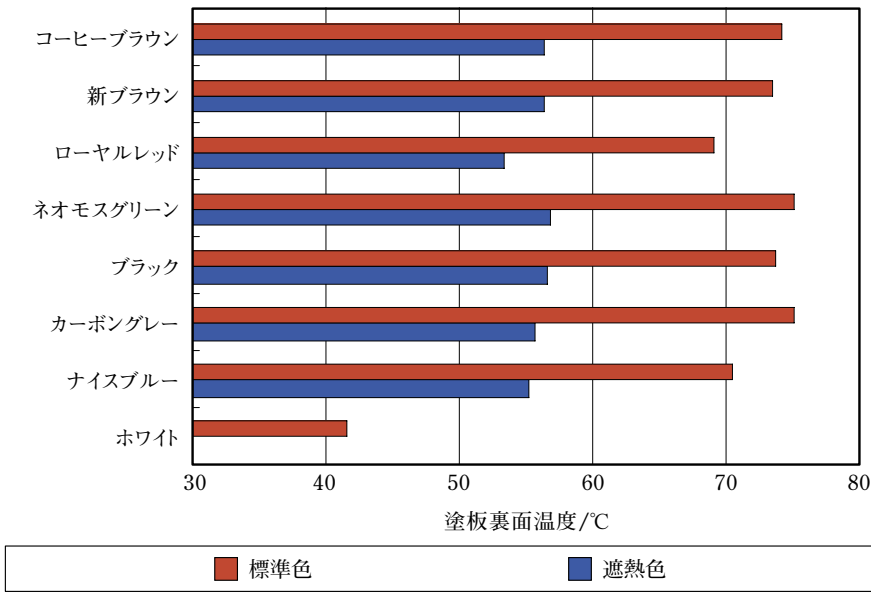


図10.2 遮熱性能確認試験結果 (各色の遮熱効果)

写真1の通り塗膜外観からは標準色と遮熱色を判別することは困難である。しかしながら、日中の屋根表面温度は図11のサーモグラフィー画像で示すように大きな差(標準色: 68.7℃、遮熱色: 56.8℃)が認められ、日射の影響を受けやすい南面では、表面温度の最も高くなる12時から13時で約10℃の温度低減効果が認められた(図12)。また、日射影響が比較的少ない北面でも約5℃の温度低減効果が認められ、遮熱塗装システムで施工することの有効性を確認することができた。また、屋根材の温度上昇が抑制されることで、屋根材自身にかかる熱負荷を軽減させることも可能になる。



写真1 スーパーシリコンルーフペイント標準色と遮熱色を塗り分けた物件写真(塗色:コーヒーブラウン色)

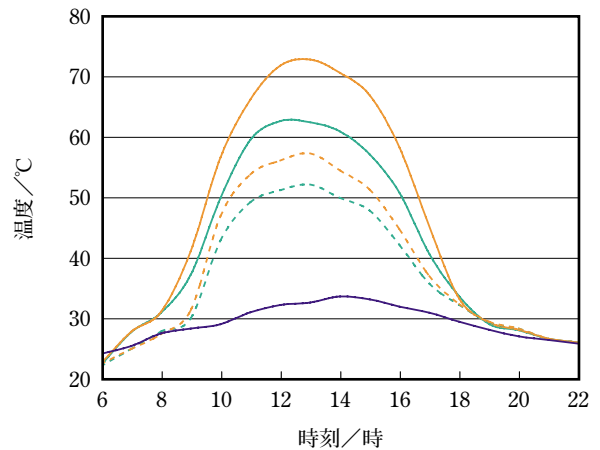


図12 スーパーシリコンルーフペイント標準色と遮熱色を塗り分けた物件の表面温度変化(H16年8月晴天時)

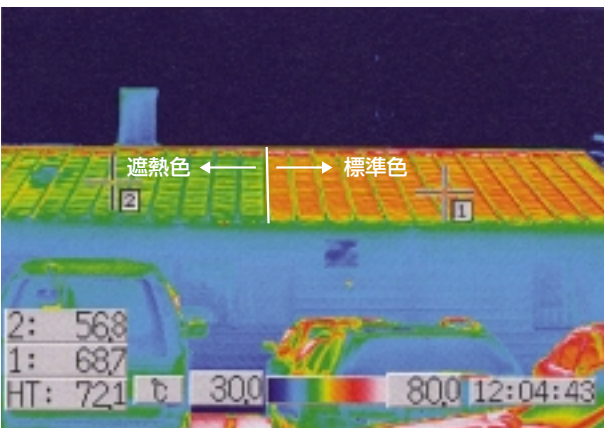


図11 スーパーシリコンルーフペイント標準色と遮熱色を塗り分けた物件のサーモグラフィー画像

### 3.5 標準塗装仕様

「アレス屋根遮熱システム」の標準塗装仕様を表3、表4に示す。上塗りの遮熱色については、屋根用塗色として人気の高いコーヒーブラウン、新ブラウン、ローヤルレッド、ネオモスグリーン、カーボングレー、ナイスブルー、ブラック(ネオブラック)のほかチョコレート、ビーバーレッド、ジェットブラック、モスグリーン、ナスコンを設定している。

表3 金属系屋根材（トタン屋根・鋼板屋根）塗り替え仕様

工 程	塗 料	塗付量 kg/m <sup>2</sup> /回	塗装間隔 23℃	塗装方法	希釈率
	処 置				wt%
素地調整	高圧洗浄・3種ケレン程度の処置を行い、劣化塗膜（膨れ・ワレ・浮き）、ゴミ、汚れなどを入念に除去した清浄な面にする。				
補修塗り	アレスクールプライマー	0.14～0.17	16H～7D	ハケ・ローラー	0～10
下塗り				ハケ・ローラー・スプレー	
上塗り(1回目)	スーパーシリコンルーフペイント 遮熱色	0.12～0.15	2H～7D	ハケ・ローラー・スプレー	5～15
上塗り(2回目)				ハケ・ローラー・スプレー	

表4 窯業系屋根材（波型スレート屋根・新生瓦）塗り替え仕様

工 程	塗 料	塗付量 kg/m <sup>2</sup> /回	塗装間隔 23℃	塗装方法	希釈率
	処 置				wt%
素地調整	劣化した旧塗膜や表面の化粧層、砂、ホコリ、コケなどは高圧水洗やワイヤーブラシでの清掃を行うなどして入念に除去して下さい。その後、水分がなくなるまで1～2日程度、十分に乾燥させてください。				
下塗り	屋根強化プライマーEPO	0.20～0.40	4H～7D	ハケ・ローラー・スプレー	無希釈
中塗り	アレスクールプライマー	0.15～0.20	16H～7D	ハケ・ローラー・スプレー	0～10
上塗り(1回目)	ヤネMシリコン 遮熱色	0.15～0.20	4H～7D	ハケ・ローラー・スプレー	5～15
上塗り(2回目)				ハケ・ローラー・スプレー	
縁切り	上下の瓦が塗料で接着している箇所は、皮すきなどで縁切りを行ってください。（瓦の上下に隙間がないと結露などの影響で、素材の腐食・漏水・カビの発生などにつながる恐れがあります。）				

#### 4. おわりに

日本において、屋根の日射反射率を高め、夏季の室内の温度上昇を抑制する方法は、夏季の日中の平均気温が高くなる関東地方以西の東海、近畿、中国、四国、九州地方、および沖縄などの南西諸島で特に有効だと考えられる。<sup>5)</sup>

北海道、東北地方などでは屋根から侵入する熱量が減少するため、冬季の暖房コストが増大する可能性も示唆されるが、この地域においても近年、夏季の日射による屋根の温度上昇を全く無視することはできない。また、この地方では降雪などの影響もあり、金属系屋根材を使用する住宅が多く、屋根表面の温度上昇が室内空気温度の上昇に直結する可能性も捨てきれない。

夏季における室内空気の温度上昇については、建築物の断熱性など構造的な要因もあるが、断熱材が十分でない住宅の際には、「アレス屋根遮熱システム」も省エネルギー改修としての有効な選択肢の一つとなるであろう。

また、体育館や倉庫、工場など、大きな空間で外壁に比べ屋根面積の占める割合が大きく、換気回数の少ない建築物に対しては、さらなる効果を発揮する可能性が高い。ISO 14001を取得し、環境マネジメントに力を入れている企業が増えてきている現在の状況では、夏季の冷房に関わるエネルギー消費を抑えるという意味でも重要性を増してきている。

さらには、夏季のエネルギー消費の抑制は、人工排熱の削減につながり、都市部におけるヒートアイランド対策の一

部を担うことができる。

遮熱技術については屋根だけでなく、戸建て住宅においては外壁にも、また道路などに対しても有効な技術であり、これらを総合的に組み合わせ、適切に利用すれば都市部におけるヒートアイランド緩和にも少なからず効果をもたらす可能性を秘めた技術である。

今後とも、今回紹介した「遮熱塗装システム」のように、塗装が環境改善に役立てるような技術の開発に注力するとともに、外壁材および路面舗装材への展開を行っていきたい。

#### 5. 参考文献

- 1) 環境省ホームページ  
「気候変動枠組条約・京都議定書」  
<http://www.env.go.jp/earth/ondanka/cop.html>
- 2) 東京都環境局公式ウェブサイト 「東京の環境」  
東京都のヒートアイランド対策  
<http://www2.kankyo.metro.tokyo.jp/heat/>
- 3) 東京都環境局公式ウェブサイト 「東京の環境」  
ヒートアイランド対策シンポジウム～熱汚染への挑戦に向けて～  
<http://www2.kankyo.metro.tokyo.jp/heat/index.htm>
- 4) 廣瀬哲也, 長島清二: 塗料の研究, No.142 p55-59 (2004)
- 5) 近藤靖史: 建築雑誌, vol.120, No.1534 p60-61 (2005)