

光反射・熱放射機能形エネルギー節減塗料

『ケーデーエコクール』

Energy Saving Paint with Function of
Light Reflection and Heat Emission
"KD ECO-COOL"

一般塗料本部 汎用塗料部
Architectural Coating Department



水野 民雄
Tamio MIZUNO



西川 賢一
Kenichi NISHIKAWA



館山 陽介
Yousuke TATEYAMA



櫻田 将至
Masashi SAKURADA

1. はじめに

都市では、郊外に比して蒸発散のほとんどないビルや道路など太陽光を吸収・蓄熱しやすい人工構造物が多い。そのため、夏季の日中はコンクリートや鋼材等の表面温度が50 以上になることがあり、建物内の冷房負荷を上昇させるとともにヒートアイランドの一因になっている¹⁾。

これらの対策として、光の高反射・熱の高放射塗料を建材表面に塗布し表面温度を低減することを考え、その効果を試算した²⁾。その結果、建材表面に日射反射率の大きな材料を用いることにより晴天日の日中の表面温度を大幅に低減できること、また、建材表面に長波長放射率(以下放射率と称する)の大きな材料を用いることにより昼夜ともに表面温度を若干低減できることが分かった³⁾。

上記試験結果を踏まえ、太陽光を高反射するとともに熱を高放射する機能性塗料の開発を行うこととし、塗装試験板による分光反射率・分光放射率の測定、熱伝導率等の測定、電子顕微鏡写真による観察、大日本塗料(株)那須工場内倉庫及びモデルハウスによる温度低減効果把握実験を行った。また、その結果をもとに工場モデルでの温度低減効果の試算及び年間冷房負荷低減効果の試算等を行った。

本報では、ケーデーエコクール(以下エコクールと略称)の物性試験結果、大日本塗料(株)那須工場内倉庫及びモデルハウスでの温度測定結果、工場モデルでの温度低減効果及び冷房負荷低減効果試算結果を報告する。

2. 光高反射・熱高放射塗料

2-1 太陽光と黒体の分布放射エネルギー

図1に海面高さにおける太陽光の分光放射エネルギー分布と黒体の分光放射エネルギー分布(プランクの放射則)を示す。この図から、太陽光は0.5 μm 付近の波長をピークとする放射エネルギー分布をもち、27 前後の黒体は10 μm 付近の波長をピークとする放射エネルギー分布を持つことが分かる。

それゆえ、数 μm 以下の波長では反射率が大きく数 μm 以上の波長では放射率の大きな材料(塗料)を開発することにより、太陽光が照射される屋外での構造物の温度上昇を抑制できることが予測される。

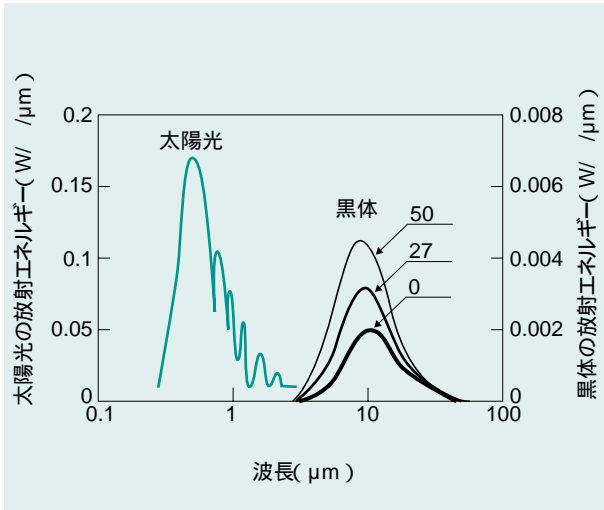


図1 太陽光及び黒体の分光放射エネルギー分布

2-2 日射反射率と放射率

日射反射率と放射率の関係を図2に示す⁴⁾。酸化した亜鉛鉄板は、日射反射率が小さいため、太陽光を吸収し晴天日の日中の温度上昇が大きくなる。また、放射率が小さいため、放射冷却による表面温度の低下効果が小さい。一方、開発目標とした日射反射率0.9、放射率0.9の材料(塗料)は、太陽エネルギーの吸収が小さく、一部吸収した太陽エネルギーを高放射することから晴天日の日中の温度上昇を抑制でき、また、夜間の放射冷却による温度低減効果もある。

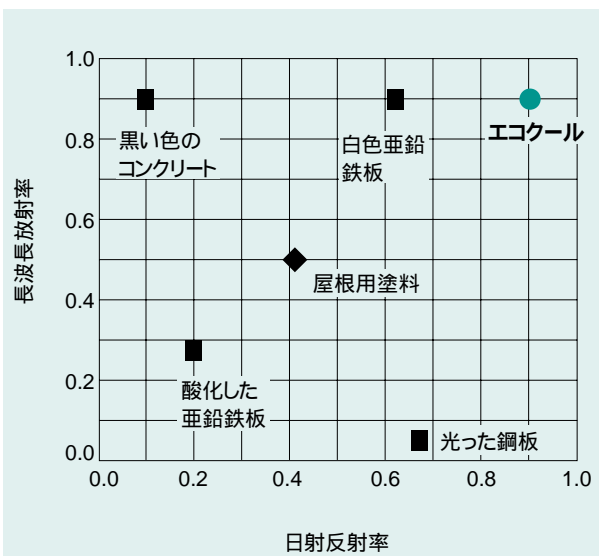


図2 日射反射率と長波長放射率

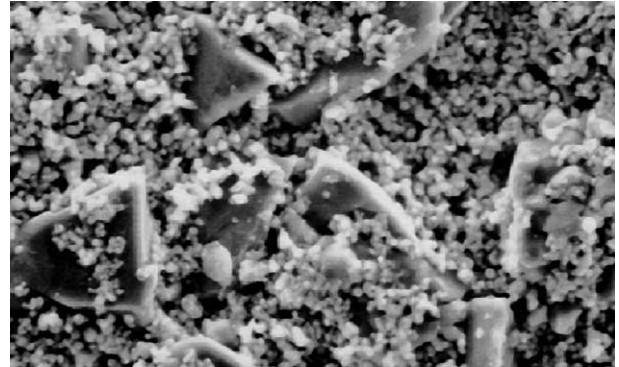


写真1 エコクールの電子顕微鏡写真

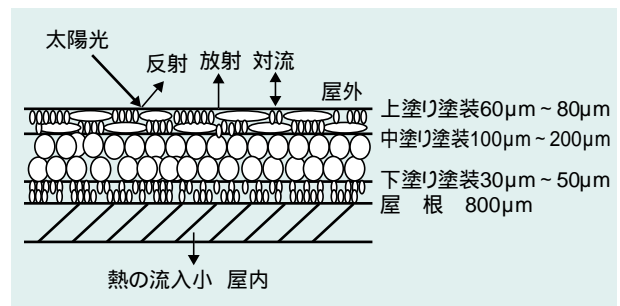


図3 エコクールの断面図

2-3 エコクール

エコクールの表層付近の電子顕微鏡写真を写真1に、塗装断面図を図3に示す。エコクールは、下地材に適した下塗り、光の反射及び断熱効果のある中空ビーズを含有する中塗り、反射放射効果のある上塗り塗装からなり、厚さが190～330μmの弾性塗料である。

(1) 汚れ防止機能

初期の光高反射・熱高放射機能を長期にわたり保持するためには、塗膜面への汚れ物質の付着を防止する必要がある。汚れの発生は、汚染物質の堆積、固着、しみ込み等で生じる。

エコクールは、以下の汚れ防止対策をとっている。

(a) 帯電電圧の低下

汚れは帯電電圧が大きい程、また、その半減期が長い程付着しやすい。エコクールは、次に示すように、半減期が短く汚れが集まりにくい。

エコクールの半減期：30秒

一般塗料の半減期：300～400秒

(b) 表面の硬質化

エコクールは、塗膜表面に写真1の示すようなセラミック系粒子を規則正しく配列し、硬質の表層を形成することで光高反射、熱高放射を達成するとともに、内部に汚れ物質をしみ込ませないようにしている。

(2) 塗装仕様

エコクールは、屋根、外装、貯水槽等にその特長である光の高反射・熱の高放射機能を発揮する。カラートタン面への塗装仕様を以下に述べる。

(a) プライマー

カラートタン面への塗装は焼付塗膜面に直接塗装する場合と塗替え塗膜面に塗装する場合がある。いずれも下塗りには、付着性及び耐久性の良い変性エポキシ樹脂塗料を採用している。

(b) 中塗り

夏冬や日夜の温度差によりタンが伸縮する。中塗りには、伸縮に耐えられるような弾性機能を有する塗料を採用している。また、上塗り塗料を透過してきた一部の光を反射するとともに断熱効果を有する中空ビーズを含有する塗料を採用している。

(c) 上塗り

上塗りには、屈折率、形状、寸法の異なる多くの顔料の中から特殊なセラミック系粒子を選定し、樹脂とのコンピネーションによる光高反射・熱高放射機能及び長期にわたりその機能を維持するための上述の汚れ防止機能を有する塗料を採用している。

これらのプライマー、中塗り、上塗りからなる塗装システムにより長期にわたる付着性、光高反射・熱高放射性、汚れ防止機能を完成させたものがエコクールである。

なお、コンクリート面、FRP面、ステンレス面、アルミ面などには、プライマーの代わりにピュアエポキシ樹脂塗料、特殊シーラーを使用する。エコクールは、下塗り塗料を代えることにより幅広い用途に適用できる。

3. 物性試験結果

3-1 分光反射率測定結果

エコクール、白色亜鉛鉄板及び屋根用塗料の分光反射率測定(測定器:株オプティサーチ、マルチスペクトロラジオメーターMSR-7000)結果を図4に示す。日射の分光分布を考慮した平均日射反射率(JIS A 5759)は、エコクールが92%、市販断熱塗料が82%、白色亜鉛鉄板が62%、屋根用塗料が41%であった。

3-2 分光放射率測定結果

分光放射率測定(株島津製作所、FTIR-8000分光放射率測定装置)結果を図5に示す。波長10 μ m付近の放射率は、エコクールと白色亜鉛鉄板がいずれも約90%、屋根用塗料が約50%であった。なお、放射率の測定は、試験片及び黒体の温度を約130 $^{\circ}$ Cとし、黒体の放射エネルギーに対する試験片の放射エネルギーの比から求めた。

3-3 その他物性試験結果

エコクールの諸物性の試験結果を表1に示す。耐衝撃性(デュボン式:500gの錘を500mmの高さから落下)、耐屈曲性(90度折り曲げ)、付着性(2mm基盤目テープ法)、耐酸性(5%硫酸水溶液浸漬)、耐水性(水道水浸漬)の試験を実施し、いずれも良好な結果であった。また、サンシャインウエザオメーターによる1,000時間の促進耐候性試験の結果、日射反射率は初期値を保持すること、塗膜上の問題がないことが確認された。

表1 エコクール物性試験結果

試験項目	試験条件	試験結果
耐衝撃性	デュボン式500 × 500mm	合格
耐屈曲性	90度折り曲げ	合格
付着性	2mm基盤目テープ法	100/100 合格
耐酸性	5%硫酸水溶液浸漬	1.5ヶ月 合格
耐水性	水道水浸漬	1.5ヶ月 合格
促進耐候性試験	サンシャインウエザオメーター 1000時間	合格

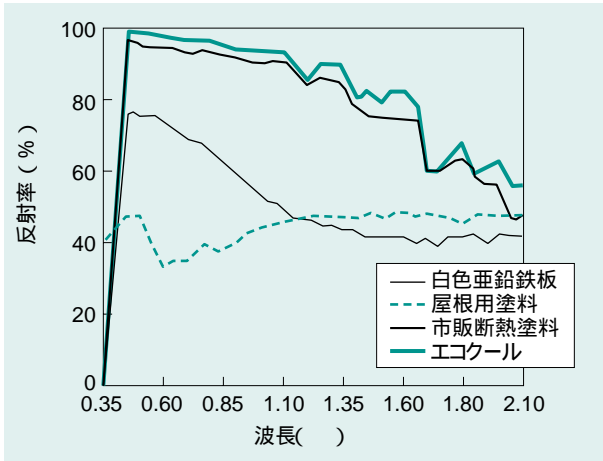


図4 分光反射率測定結果

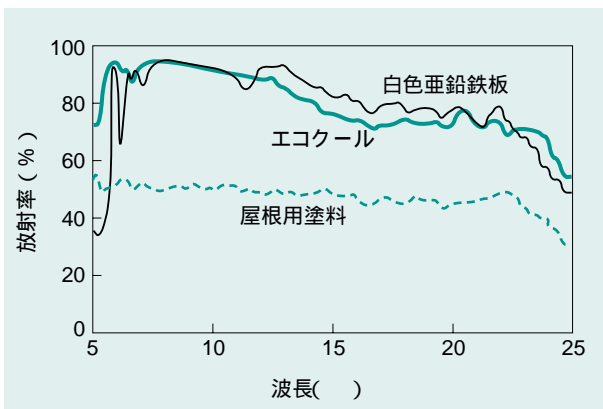


図5 分光放射率測定結果

4. 屋外性能実験結果

4-1 大日本塗料(株)那須工場内倉庫

写真2に示した大日本塗料(株)那須工場(栃木県)に於いて、夏場の倉庫内温度上昇を防止する目的でエコクールを屋根表面及び外壁に塗装して、塗装部分と未塗装部分の屋根表面温度及び室内温度の測定を行った。

屋根面部材は焼き付け鋼板0.8mm内側に5mmの断熱材が入っているものである。図6に測定期間中最も外気温の高かった日(2001年8月14日)の屋根表面温度及び室内温度の測定結果を示す。

12時の時点では、エコクールの塗装を行った屋根表面温度43.2、室内温度(天井面より10cm内側の箇所)37.3に対して、従来塗装では屋根表面温度59.9、室内温度50.7で、エコクール塗装面は従来のものと比

べて屋根面で16.7、室内温度で13.4低く、エコクールによる温度低減効果が大きいことが確認された。



写真2 大日本塗料(株)那須工場内倉庫での性能比較実験状況

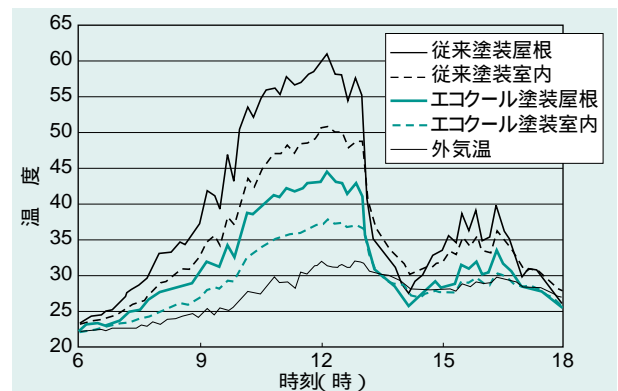


図6 大日本塗料(株)那須工場内倉庫の温度測定結果

4-2 モデルハウス

写真3に示すようなモデルハウス2棟を大日本塗料(株)那須工場内に設置して、1棟の外側表面にエコクールを、別の1棟に一般白色塗料を塗布して内外表面温度及び室内温度を測定した。屋根面は厚さ0.5mmのカラー鋼板に3mmの断熱材、天井はパーティクルボードに50mmの断熱材、外壁は0.35mmのエンボス鋼板に40mmの断熱材、内壁は4mmの塩ビクロスベニヤ、床(G.L.370mm)は厚さ12mmの耐水合板で施したものである。(カクイチ建材工業(株)モデル:あおい)

図7にモデルハウスでの温度測定結果を示す。(測定日:2000年8月)



写真3 モデルハウスでの性能比較実験状況

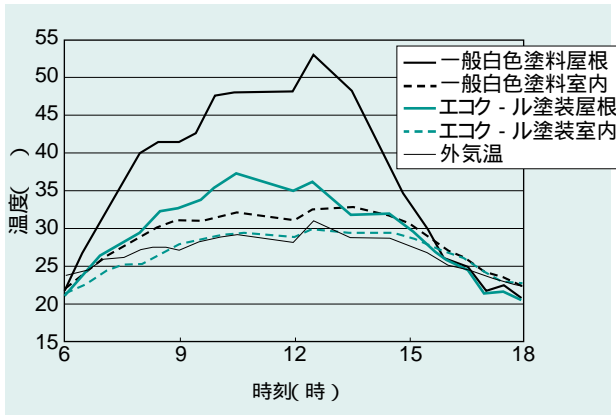


図7 モデルハウスの温度測定結果

5. 解析結果

5-1 温度低減効果

エコクールを東京地区の工場の屋根及び壁面に適用した場合の夏季晴天日の温度低減効果を汎用伝熱解析プログラム「Quick Therm」を用いて試算した。

(1) 試算条件

試算条件を表2に示す。床面積4,500 の工場を対象とし、屋根部断熱材5mm、壁部断熱材35mm、窓無し、内部発熱無しの条件で試算した。

表2 温度低減効果試算条件

形状	幅45m、奥行100m、高さ10m
屋根	外表面から塗料、鉄板0.8mm、ポリエチレンフォーム5mm
壁	外表面から塗料、鉄板0.8mm、ウレタンフォーム35mm、鉄板0.8mm
床	コンクリートスラブ150mmが地面と接する
工場内	照明無し、器具発熱無し、無人、換気無し、空気温度均一
気象	東京、8月、晴天日

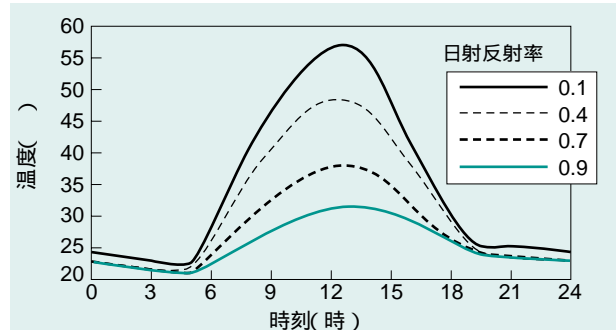


図8 工場の屋根表面温度試算結果(夏季晴天日)

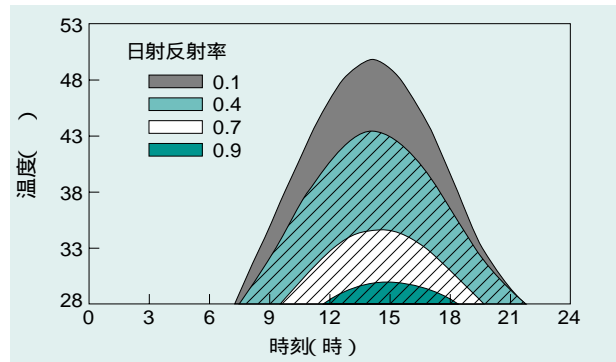


図9 工場の室内温度試算結果(夏季晴天日)

(2) 工場の屋根及び室内温度試算結果

屋根表面温度試算結果を図8に示す。屋根表面温度は、日中、日射量の増大とともに日射反射率の影響が顕著に表れ、12時には、日射反射率0.9の材料(エコクール等)は、日射反射率0.1の材料(コンクリート等)より25程度、0.4の材料(一般屋根用塗料等)より17程度低減できることがわかる。

工場内空気温度の試算結果(28以上の値を表示)を図9に示す。工場内を28以下に冷房する場合、日射反射率0.4の材料(一般屋根用塗料等)は、図の斜線以下の面積に相当する冷房負荷を生ずるが、日射反射率0.9の材料(エコクール等)は、緑で示す面積に相当する冷房負荷まで大幅に低減できることがわかる。

5-2 冷暖房負荷低減効果⁵⁾

(1) 冷暖房負荷試算条件

床面積1,485 の工場を対象とする表3に示す試算条件で屋根の日射反射率と年間の冷暖房負荷との関係を求めた。試算は空気調和衛生工学会作成の「マイ

クロピーク」を改良した鹿島建設(株)の「空調負荷算定プログラム」(NPEAK)を用いた。

ただし、冷房は6月～9月、室温26℃、湿度50%、暖房は12月～3月、室温22℃、湿度40%、いずれも8時から19時まで運転するとした。換気負荷は、別途専用設備を設置することとし冷暖房負荷から除いた。

表3 冷暖房負荷低減効果試算条件

形状	幅27m、奥行55m、高さ4.2m
屋根	(外表面から)塗料、鉄板1mm、ポリエチレンフォーム0～20mm、中空層、石膏ボード10mm
壁	(外表面から)塗料、鉄板1mm、ウレタンフォーム25mm、鉄板1mm、ガラス面積360(北及び南面120、東及び西面60)
床	コンクリートスラブ150mm、モルタル30mm、スチレン発泡板25mm、割栗石120mm、土
工場内	照明20W/、器具発熱0～81W/、人0.02人/、空気温度均一
運転	夏季:室温26℃、湿度50%RH、冬季:室温22℃、湿度40%RH 冷暖房運転:8:00～19:00
気象	東京の各月毎・各時刻毎の平均気温、湿度、日射量、放射量

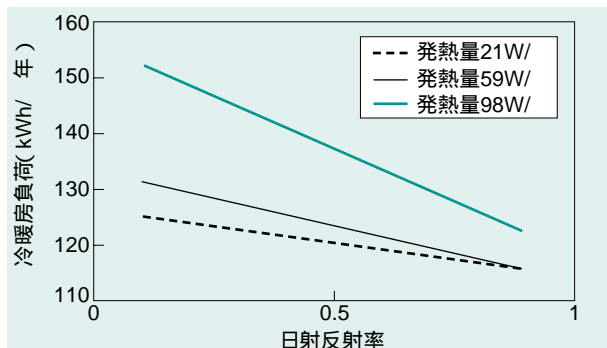


図10 年間冷暖房負荷試算結果

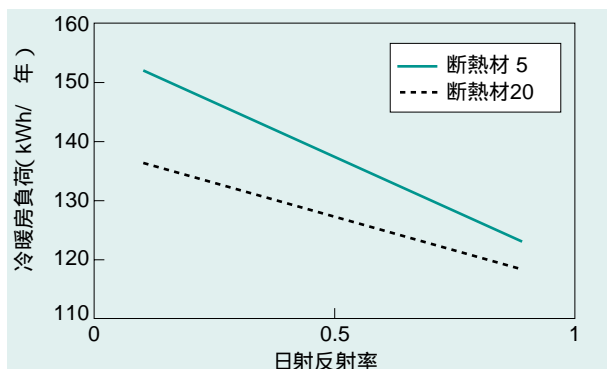


図11 断熱材5mm及び20mmの年間冷暖房負荷試算結果

(2) 冷暖房負荷試算結果

図10に工場の屋根部断熱材5mm一定のときの年間冷暖房負荷試算結果を示す。冷暖房負荷は、屋根部の日射反射率が大きいほど低減される。また、その低減

効果は、内部発熱量が大きいほど大きい。

図11に工場の内部発熱量が98W/一定のときの年間冷暖房負荷試算結果を示す。冷房負荷と暖房負荷を加算した年間冷暖房負荷は、日射反射率が大きくなる程少なくなる。また、断熱材5mmの方が20mmより年間冷暖房負荷が大きくなるが、断熱材20mm、日射反射率0.4の屋根材を用いた場合の年間の冷房負荷は、断熱材5mm、日射反射率0.7の屋根材とほぼ同じであり、日射反射率の大きい屋根材を用いることにより断熱材を薄くすることも可能と思われる。

6. おわりに

エコクールは、屋根用塗料や一般白色塗料と比較して、晴天日の屋外構造物の表面温度の上昇を抑制できること、耐久性に優れ表面が汚れにくく光の反射・熱の放射機能が他の塗料に比べ持続すること、冷房負荷を低減できること等が明らかになった。特に、モデル試算により工場の屋根などへ有効性が確認された。

エコクールは、工場の屋根、建物の屋上、低温タンク等への適用により省エネルギー効果が期待できる。

謝辞

本研究を行うにあたり、ご指導及びご助言いただきました鹿島建設(株)建築本部寺内伸氏並びに技術研究所二階堂稔氏に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 太田勝矢、二階堂稔、高木賢二：鹿島建設技術研究所年報 第43号(1995.12)
- 2) 二階堂稔、寺内伸、水野民雄、石原真興、館山陽介：日本建築学会大会学術講演梗概集(1998.9)
- 3) 二階堂稔：社団法人遠赤外線協会会報、Vol.10/No.3(1999)第3号
- 4) 小原俊平：建築の熱設計(鹿島出版会)p.98
- 5) 二階堂稔、寺内伸、水野民雄、石原真興、館山陽介：日本建築学会大会学術講演梗概集(1999.9)