

■遠赤外線放射塗料とその利用

1. はじめに

熱は人間の生活に欠かせないものであり、食物の調理をはじめとして、暖房などその利用によって人類は発展を遂げてきた。

加熱の方法はさまざまであるが、赤外線放射による加熱も有用な方法の一つである。

また塗装は工業的に確立された簡単なプロセスで物体表面の性質を改質することができる方法である。当社では耐熱塗料のパイオニアとして一般的な塗料が付与する意匠性、素材の表面保護に加え、高温時においても耐食性、耐候性、非粘着性などの機能を付与する塗料の開発を行い、熱とは密接な関係をもってきた。また、受動的に熱に耐え品質を保持するだけでなく、熱そのものを積極的に制御する塗料も手掛けてきた。そこで赤外線放射塗料について、伝熱機構との関係を説明しながら紹介を行う。

2. 熱を制御する原理

熱の移動には、大きく 3 つの移動形態がある。我々が熱利用する場合、真空中での使用はあまりなく、多くは自然の大気中で使用するので常に下記の 3 つの形態が複雑に絡み合い、熱の移動が行われている。

1) 熱伝導

熱エネルギー（個々の分子の運動）が隣の分子に伝播されることによる熱の移動。

ひとつの物体内部で温度差が生じた場合、熱は高温部から低温部に移動している。

2) 熱伝達（対流）

流体を自由に動き回れる分子が、熱エネルギーを持って移動をすることによる熱の移動。物体表面から周辺空気への放熱、通風口から外気への放熱が該当する。

3) 熱放射（輻射）

物体が熱を電磁波の形で放出することによる熱の移動。原子や分子の熱運動により放出され、絶対零度でない限り、物体は必ず熱放射を行い自身の熱エネルギーを失っている。

2. 1 熱伝導¹⁾

物体の内部を温度の高いところから低い部分へ熱が順次伝わっていく現象を熱伝導と呼ぶ。固体であれば非金属の場合結合している原子間の振動によって熱が伝わる。金属の場合は原子間の振動とともに自由電子の移動も熱を運ぶといわれている。

一般に、固体より液体、液体より気体の方が熱伝導は弱い。これは、熱振動を伝えるための原子の密度が小さくなるためである。

熱伝導の速さは、その物体内での温度勾配、つまり長さの比率による温度差が大きいことに比例するが、普通伝導体である銅やアルミニウムなどの金属は熱の良導体である。ガラスなどの非金属固体では、桁違いに熱伝導が低くなる。液体の水は金属の銅の 1/600 以上の低さとなり、気体の空気では、不良導体といってよく、銅の 1/20000 となる。真空では、熱振動を伝える原子がなくなるので伝導熱の伝播はない。

熱伝導において媒質中に温度勾配がある場合にその勾配に沿って運ばれる熱流束の大きさを規定する物質量を熱伝導率という。表 1 に各物質の熱伝導率を示す。

表 1 各物質の熱伝導率

物質	熱伝導率($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)
鉄	84
銅	398
アルミニウム	236
水	0.6
ポリエチレン	0.41
エポキシ樹脂	0.21
木材	0.15-0.25
羊毛	0.05
空気	0.0241

2. 2 熱伝達(対流)

対流伝熱は気体または液体が流体として振る舞い、その移動により熱が伝えられることを指す。冬場のエアコンを使った暖房では、エアコンから吹き出した暖かい空気は天井付近にとどまり床近くは温度が低い状態となることがある。加熱された空気は密度が低く上方にたまるのがその原因であるが、サーキュレーター等で空気を攪拌することで天井付近の空気が床付近に移動し、足元を暖かくすることができる。これが対流伝熱である。

対流は伝熱の重要な一要素であるが、固体である塗膜では起こらないため詳しい説明は割愛する。

2. 3 熱放射(輻射)

熱放射というのは、熱伝導や熱伝達(対流)とはまったく異なるエネルギー伝達の一形態である。すなわち、高温物体内で分子の運動によって発生した熱エネルギーの一部が放射エネルギーになり、電磁波の形で空間を伝わる現象である。したがって、熱エネルギーをもつすべての物体からエネルギー放射が行われていると考えてよい。³⁾物体の放出する熱放射量は、物体の絶対温度の4乗に比例しており、下式のように表される。

$$\text{物体の熱放射量 (W)} = \text{定数} \times \text{放射率} (\epsilon) \times (\text{物体表面の絶対温度 [K]})^4$$

$$\text{定数} \rightarrow \text{「ステファン・ボルツマン定数」} = 5.67 \times 10^{-8} \text{ [W/m}^2 \text{K}^4\text{]}$$

放射率 \rightarrow 熱線(赤外線)の放出されやすさを示す値。

物体に加えられた熱が100%放射された状態を「放射率=1.0(100%)」と表わす。

温度差のある2つの固体面間での放射熱のやり取りは、この熱放射量の差と見ることができる。つまり、物体表面から放出される単位面積あたりの熱放射量(Q)は、下記のように絶対温度の4乗に比例する形式となる。

$$\begin{aligned} \text{熱放射量: } Q \text{ [W/m}^2\text{]} &= \text{係数1} \times \text{係数2} \times \text{ステファン・ボルツマン係数} \\ &\times \{(\text{面1の絶対温度 [K]})^4 - (\text{面2の絶対温度 [K]})^4\} \end{aligned}$$

係数 1 は、放射係数と呼ばれるもので、伝熱が行われる 2 つの面の放射率の関数となる。

平行な無限大の 2 つの平面間の放射係数は $1/\{(1/\varepsilon_1) + (1/\varepsilon_2) - 1\}$ で表される。

(ε_1 、 ε_2 はそれぞれの面の放射率)

係数 2 は形態係数と呼ばれ、2 つの面の形状、相対位置関係で決まる。

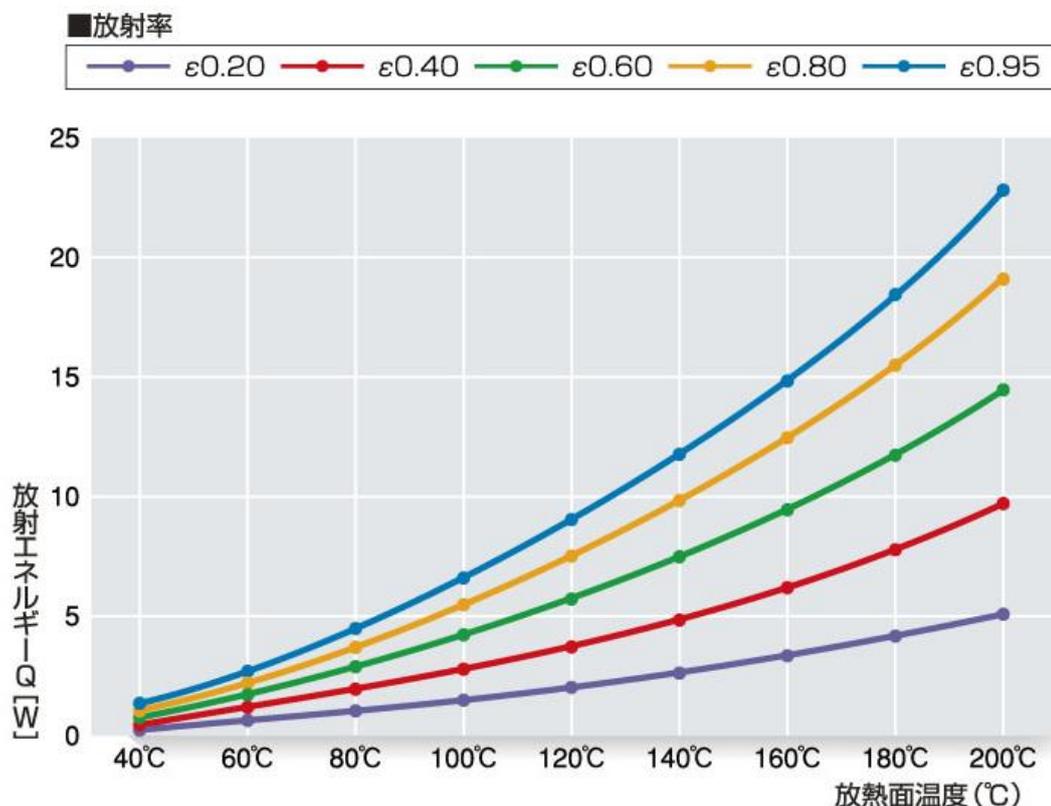
一般的に、2 つの物体間の熱放射量を求める場合は、面の反射を考慮せず、一方が他方を完全に包み込んでいる (形態係数=1) と仮定して計算を行うので、上式は

熱放射量: $Q [W/m^2] = \text{ステファン・ボルツマン係数} \times \text{放射率 } \varepsilon \times \{(\text{面 1 の絶対温度} [K]^4 - \text{面 2 の絶対温度} [K]^4)\}$

となり、熱放射量 (Q) は、放射率 (ε) 及び 2 つの物体の温度差に比例する。つまり熱放射 (輻射) による熱移動には、放射率 (ε) 及び 2 つの物体の温度差が重要な役割を持つ。

図 1 に放射率が異なる板を各温度に加熱した場合の放射エネルギーを示す。この図からも、放射率及び温度が高い程放射エネルギーが大きくなることがわかる。

図 1 放熱面の放射率と放射エネルギー (放熱面積: $0.01 m^2$)



3. 赤外線放射塗料

赤外線放射塗料は前項で説明した「熱放射」を利用したコーティング剤である。従来の、塗膜の熱伝導率向上による放熱ではなく、熱放射（輻射）を利用した放熱効果により、効果的に基材自体や雰囲気温度を下げるができる。

放熱塗料の構成は一般的な塗料と同じくバインダー、フィラー（着色顔料および体質顔料）、各種添加剤、溶剤から成り立っている。そのうち塗膜として残る成分は溶剤以外の成分となる。

高い放射率を成立させるためには塗膜中に、できるだけ高い放射率を持つ物質を、できるだけ大量に配合することが必要である。各物質はそれぞれの波長に応じた固有の放射率を持っているため、各々の物質の放射特性を把握した上で、赤外線領域全体で放射率が高くなるように材料を組み合わせることが重要である。しかし、単純に高い放射率を持つ物質を大量に添加しただけでは、放射率以外の塗膜に求められる性能を確保するのは難しい。そのため、耐熱性、耐食性や耐薬品性等、目的の性能も考慮に入れた配合比率の見極めが必要となる。

バインダーは、目的の使用温度域に応じて異なる樹脂設計を行う。高温度域の場合は、耐熱耐久性に優れたストレートシリコーン樹脂や無機系樹脂を使用し、低～中温度域では密着性に優れた有機樹脂や有機変性シリコーン樹脂等を使用する。

フィラーもバインダーと同様、目的の使用温度域に応じて選定する必要がある。例えば、一般的な着色顔料として、黒顔料はカーボンブラックがよく使用される。カーボンブラックは全赤外線領域で非常に高い放射率が得られるが、300℃以上の高温度域に長時間晒されると熱分解してしまう。そのため高温度域の場合は耐熱性が高く、かつ高温度域で放射率変化の少ない顔料を選定している。

赤外線放射塗料では、600℃まで各目的温度に応じて、近赤外線（0.75～1.5μm）から遠赤外線（15～100μm）までの、各赤外線領域での放射率が高くなるように、上述の材料選定を踏まえて配合設計を行うことで、低温から高温まで安定した熱放射効果を得ており、かつ諸物性を確保している。

3. 1 「赤外線放射塗料」の紹介

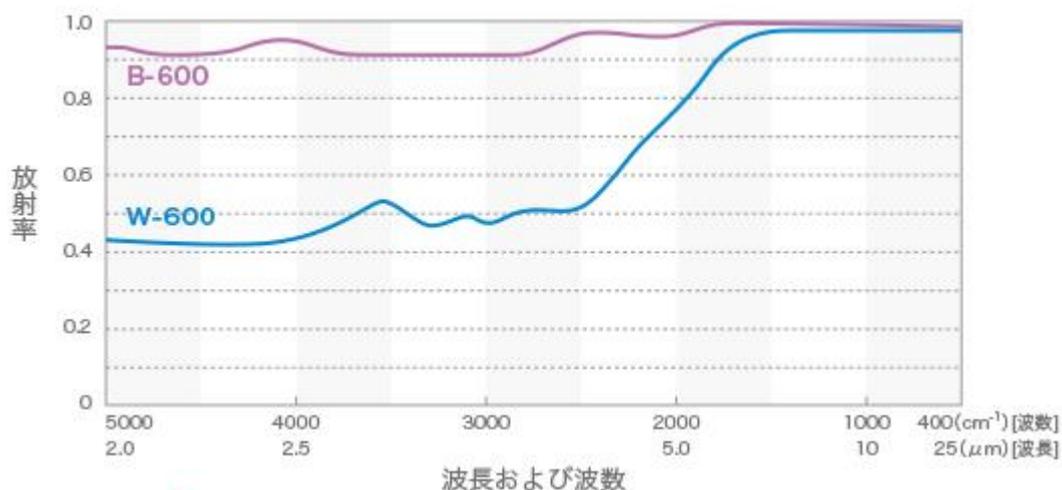
特徴として、耐熱性、付着性にすぐれ、塗膜硬度も高く強靱であり、加熱環境に長期間晒されても、塗膜が破壊されない。塗装は容易で、一般的な塗料と同様の方法で塗装可能。

注意点として、比重の重い顔料を使用しているため、顔料が沈降しやすく、均一に攪拌するために念入りに攪拌が必要である。効果を発揮するためにも十分な攪拌が望ましい。

図2は二種類の赤外線放射塗料の500℃における分光放射率を示している。

B-600は広い波長域で良好な放射率を示し、W-600は遠赤外線領域の5.0μ以上で放射率が高い。

図2 赤外線放射塗料の500℃における分光放射率



以下にそれぞれの塗料の仕様を示す。

オキツモ高効率輻射塗料
B-600 (黒)

耐熱性	600℃	乾燥	焼付	構成	1コート
色調	黒	艶	艶消	容姿	1液型

特長	赤外線領域で全域的(全波長域)に放射率が高い特性をもっています。暖める用途には一番適しています。
-----------	--------------------------------------------------

適用素材 アルミ、鉄、ステンレス

用途 暖房機、サウナ、加熱ヒーター一部、保温器具、熱交換器具、その他熱利用全般

塗装仕様

前処理	脱脂 又は ブラスト	
塗装方法	スプレー、静電塗装	
希釈剤	スプレー	50B、100Bシンナー
	静電塗装	0.6、0.7、0.8シンナー
希釈率	スプレー	20～30wt%
	静電塗装	20～50wt%
標準膜厚(Dry)	35～50μm	
塗装回数	1回	
標準使用量	300g/m ² /回	
予備乾燥	80～100℃×10分	
乾燥	180℃×20分(※1)	

(※1) 被塗物が加熱により発煙しますので、対策として、実使用前に空焼き又は350℃以上×30分以上の焼付を行ってください。

* 補修を行う場合は、サンドペーパー(#600～#1000)にてブツ等を取り除いてから再塗装し、焼付乾燥してください。

荷姿 1Kg、4Kg、16Kg

塗装時における注意事項

- [塗装環境] ・通気性の悪い環境下での使用は避けてください。
- [前処理] ・素材表面の油分、水分、汚れは溶剤脱脂やブラストにより十分に除去してください。
・ブラスト処理を行うことによって更に密着性が向上します。
・前処理を行った被塗面は錆びやすいので速やかに塗装をしてください。
- [塗料調整] ・耐熱塗料は比較的顔料が沈殿しやすいため、使用前には十分な攪拌が必要です。
攪拌が不十分な場合は剥離や光沢異常の原因となります。
・希釈には必ず指定の希釈剤を使用してください。
・他塗料の混入は避けてください。また、塗料中に水、油などの異物が混入すると塗膜異常の原因となります。

- ・塗装前には100～160メッシュ程度のステンレス製金網で濾過してから使用してください。
- [塗 装] ・加熱されている状態の素材には塗装しないでください。
 ・ペイントタンク中の塗料は、自動攪拌機で攪拌を行いながら塗装してください。
 ・膜厚は指定された範囲内になるように管理してください。過剰膜厚で塗装された場合、加熱後、塗膜のフクレが生じる場合があります。
- [乾 燥] ・指定された条件で乾燥してください。乾燥不良の場合、硬度不足などの性能不良が起こることがあります。
 ・焼付乾燥時に有機ガスが発生しますので換気、排気を十分に行ってください。
- [そ の 他] ・塗膜が熱により軟化を起こす場合がありますので、塗膜に熱いものを乗せたりするときは注意してください。
- [廃 棄] ・塗料の使用残や廃液の処理は専門業者に依頼し、廃棄する場合は国や地方自治体の法規に従ってください。
- [取扱い注意] ・可燃性の有機溶剤を使用しているため、火気のある所では使用しないでください。
 ・皮膚や粘膜、特に眼などには刺激性があるため、接触しないよう十分注意してください。接触した場合は多量の水で洗浄してください。
 ・詳細な内容については、製品ごとの安全データシート(MSDS)をご参照ください。

**オキツモ遠赤外線放射塗料
W-600**

耐熱性	600℃	乾燥	焼付	構成	1コート
色調	白	艶	艶消	容姿	1液型

特 長 遠赤外線領域(長波長域)の放射率が高い特性をもっています。
 (近・中赤外線をカットして、遠赤外線のみを放射したい場合)
 水系タイプです。

適用素材 ステンレス、 ガラス

用 途 暖房機、サウナ、加熱ヒータ一部、保温器具、熱交換器具、その他熱利用全般

塗装仕様

前 処 理	アルカリ脱脂
-------	--------

塗装方法		スプレー、静電塗装
希釈剤	スプレー	蒸留水
	静電塗装	蒸留水
希釈率	スプレー	0 ~ 20wt%
	静電塗装	10 ~ 30wt%
標準膜厚 (Dry)		30 ~ 50 μm
塗装回数		1回
標準使用量		280g/m ² /回
予備乾燥		80 ~ 120℃ × 10分
乾燥		250℃ × 20分 (※1)

(※1) 被塗物が加熱により発煙しますので、対策として、実使用前に空焼き又は350℃以上×30分以上の焼付を行ってください。

* 本塗料は強アルカリ性ですので、皮膚に付いた場合は、直ちに水か湯で洗い落としてください。

* 補修を行う場合は、サンドペーパー(#600~#1000)にてブツ等を取り除いてから再塗装し、焼付乾燥してください。

荷 姿

1 Kg、 4 Kg、 16 Kg

以上