

遠赤外線・近赤外線

1. 赤外線とは

1.1 赤外線の定義

文献①によれば、赤外線の定義は「赤色光 0.74 μm-波長 1000 μm までの領域に相当する電磁波」であるが、遠赤外線については更に細分化されていて学会や業界毎に区分方法がまちまちである。参考としてその例を紹介する。(図1参照)

1) 遠赤外線用語 JIS 原案：「遠赤外線」「赤外線放射」

物質などに吸収されると、他の様態のエネルギーに変換されることなく、直接的に分子や原子の振動エネルギーや回転エネルギーに変換される波長域の赤外線放射。

注記：用語の併記は JIS 化分科会でも統一できなかったことによる(平成6~7年 通産省の委託による「遠赤外線用語の標準化のための原案作成委員会」での答申)。また、波長域についても数値を定義せず、「学会、協会により3, 4もしくは5 μm のいずれかが下限値として決められている」との記述にとどまった。

その他の遠赤外線(波長域区分方法)の定義として以下の例がある。

2) IEC 60050-841 (1983-01) International Electrical Vocabulary. Industrial Electro heating

4 μm~1mmまで

3) 日本エレクトロヒートセンター

3 μm~1mmまで

4) 遠赤外線協会

3 μm~1mmまで

なお当社が赤外線ヒーターの販売代理店をしているアイルランド・Ceramicx 社では赤外線をそれぞれ以下のように定義している。

- 1) 近赤外線 0.78 μm~1.5 μm まで
- 2) 中間赤外線 1.5 μm~3.0 μm まで
- 3) 遠赤外線 3.0 μm~1mm まで

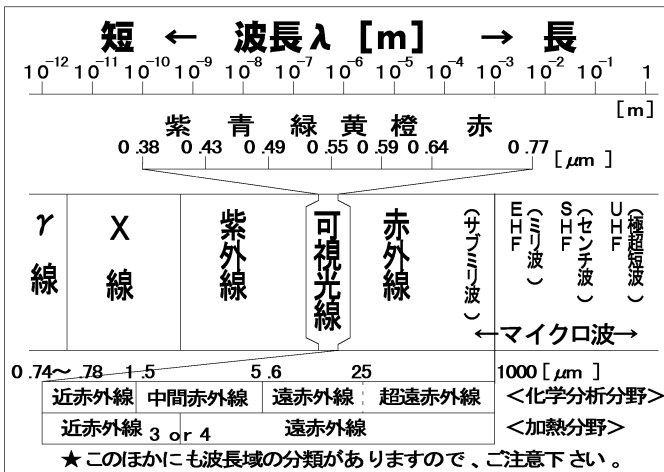


図1 電磁波の波長領域 (一部抜粋)

1.2 赤外線の特徴

- 赤外線の熱作用

赤外線は被加熱物に吸収されたときに強い熱作用をもたらすため加熱分野によく使用される。伝熱の3形態(伝導・対流・放射)の放射とは、狭義には赤外線を利用した伝熱形態のことであるといえる。
- 媒介物が不要・光速での移動

赤外線を物質が吸収することより加熱するため、媒介物が不要で真空でも使用できる。また、赤外線は光速で移動する。

- 赤外線の発生

原子あるいは分子の熱運動により発生するので絶対零度(-273°C)以上の全ての物質から赤外線は放射される。
- 波長と温度の関係

温度の高い放射体は波長が短く、よりエネルギーを強く持っている。(ヴィーンの変位則・シュテファン・ボルツマンの法則)
- 熱移動の方向

赤外線放射による熱移動は必ず温度が高い方から低い方向に向けて起こる。互いが同じ温度の場合は温度変化がおこらない。
- 赤外線放射と物体の関係

放射が物体の表面に入射したとき、それは反射、吸収、透過の3つの成分に分かれる。入射に対するそれぞれの割合は反射率ρ、吸収率α、透過率τと定義され、次の式が成り立つ。

$$\rho + \alpha + \tau = 1$$

つまり、吸収率の割合が高ければ反射率と透過率の割合は低くなる。また、吸収率α=1の物体、つまりあらゆる波長のエネルギーを完全に吸収してしまう物体を黒体という。

2. 赤外線加熱のメリット

赤外線の加熱利用は乾燥・成形・硬化・熱接合・焼結・滅菌などのプロセスに利用される。ほとんどの用途において、赤外線加熱は対流による加熱より優れている。その理由を以下にあげる。

- 伝熱効率が良い

赤外線加熱は対流のように空気を通じた伝熱ではなく、ヒーターから放射されるエネルギーが直接被加熱物に向かうので効率がよい。熱流束も大きいので処理速度も速い。

シュテファン・ボルツマンの法則から、赤外線による伝熱エネルギーは放射体の絶対温度の4乗と吸収体の絶対温度の4乗の差に比例する。一方対流加熱による伝熱エネルギーは加熱物と被加熱物の温度差に比例する。対流は伝熱しにくいので加熱に時間がかかり、熱が無駄に筐体に伝導してしまう。赤外線加熱は伝熱効率がよく短い時間で加熱が可能で、無駄な熱伝導も少ない。
- 省スペース

伝熱効率がよいので炉を小型化できる。従って、スペースをとらず導入費用が安い。
- 立ち上がりが早い

対流加熱と比べ、予熱時間が短い。近赤外線のハロゲンヒーターは立ち上がり数秒、面状石英ヒーターは3-4分、セラミックヒーターは6-8分程度で昇温する。対流はまず空気を温め、炉内を温めないといけなないので時間がかかる。
- コントロールが容易

プラスチックのシート加熱などで、均一の加熱が必要な時、赤外線加熱では面状のヒーターでゾーン別にコントロールしたり、棒状のヒーターを両端の発熱線巻き数を増やしたりする。対流のヒーターの場合はコントロールが難しい。
- クリーンな環境

赤外線加熱は空気を媒介としないため、粉塵が少なく、クリーンな加工が可能。

3. 赤外線各法則

3.1 シュテファン・ボルツマンの法則

ある温度にある黒体から放射される全放射エネルギー量を表す。全放射エネルギー量は、黒体の絶対温度の4乗に比例する。従って温度が高くなると急速にその放射エネルギー量が増加する。

$$E_b = \sigma T^4 [W/m^2]$$

E_b = 黒体放射能 (全放射エネルギー量)

σ = シュテファン・ボルツマン定数
= $5.67 \times 10^{-8} W/(m^2 \cdot K^4)$

T = 絶対温度[K]

実在の物体の場合にはその物体の全放射率 ε を用いて

$$E = \varepsilon \sigma T^4 [W/m^2]$$

となる (指向性がない場合)。

上記のとおり全放射エネルギー量は絶対温度の4乗に比例する。 ε を一定で、吸収体 (ワーク) と放射体 (ヒーター) の温度差が $300^\circ C$ のときと $100^\circ C$ のときの放射エネルギー量を比較すると、

$$(300 + 273)^4 \div (100 + 273)^4 \approx 5.57$$

従ってエネルギー総量は5倍以上となり、温度に対する依存性が非常に大きいことがわかる。

3.2 キルヒホッフの法則

全放射率 ε と全吸収率 α は熱平衡状態にある場合、等しい。つまり、

$$\varepsilon = \alpha$$

である。拡散面で灰色体の場合、よく吸収する物体は、よく放射エネルギーを放出する。

3.3 プランクの法則

黒体の放射発散度 (ある波長での放射する放射エネルギー強さ) を温度と波長の関係として表す。

$$E_{b,\lambda} = \frac{C_1}{\lambda^5 [e^{C_2/\lambda T} - 1]} [W/m^2 \cdot \mu m]$$

$E_{b,\lambda}$ = 黒体の単色放射能

λ = 波長 [μm]

T = 絶対温度 [K]

C_1 = 定数 $3.742 \times 10^8 W \cdot \mu m^4 / m^2$

C_2 = 定数 $1.439 \times 10^4 \mu m \cdot K$

放射発散度 $E_{b,\lambda}$ が最大になる波長 λ は、温度が高くなるほど短くなる。

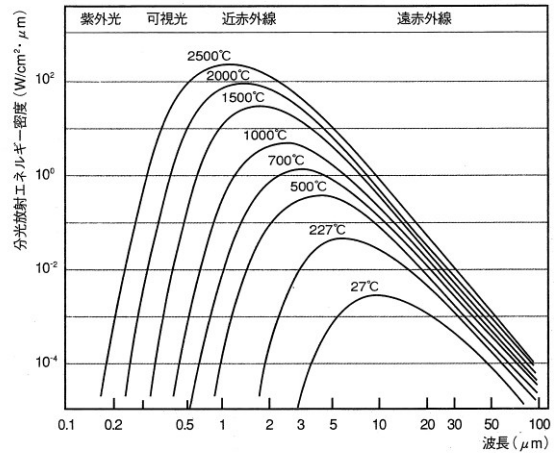


図2 各温度における黒体の分光放射エネルギー密度 (文献①より)

3.4 ヴィーンの変位則

黒体からの熱放射のうち、最大強度の得られる波長 $\lambda_{max} [\mu m]$ は、絶対温度 $T [K]$ に反比例する。

$$\lambda_{max} = 2897/T [\mu m]$$

図2でもわかるように温度が高くなるほどピーク波長が短くなる。太陽の表面温度は約 $5778 K$ なので、ピーク波長を上記式から求めると、

$$2897 / 5778 \approx 0.5 \mu m$$

となり可視光がピーク波長となる (黒体ではないので若干の誤差はある)。同様に、 $2000^\circ C$ ($2273 K$) のハロゲンヒーターは約 $1.27 \mu m$ で $500^\circ C$ ($773 K$) のセラミックヒーターは約 $3.7 \mu m$ となる。

3.5 逆2乗の法則

点光源 (微小面積の放射源) からでて空間のある点に到達する放射の強さは、その間の距離の2乗に反比例して変化する。

この法則は光源が大きければ大きいほどあてはまらなくなり、大きいパネルでの加熱や炉では適応できない。

4. 赤外線加熱の注意点

- 赤外線の選択吸収性
物質により吸収する波長と吸収率 (=放射率) が異なり、加熱されやすいものと加熱されにくいものがある。プラスチックやゴムなどの高分子材料や、塗料、繊維、穀物、人体などの水分を含んだものは赤外線 (特に中～遠赤外線) をよく吸収するが、アルミや金などは波長にもよるがほぼ反射してしまうので、赤外線加熱は効率が悪い。これを利用して、吸収物に赤外線ヒーターをより集中して照射させるために反射板として利用できる。
- 赤外線の直進性
赤外線は電磁波の一種なので放射体 (ヒーター) から 360° 放射し、直進する。従って、アルミ反射笠などを使用し、加熱対象物に放射エネルギーを集中させることが必要である。また加熱対象物が平面の場合、赤外線加熱が最適だが複雑な形状の製品は赤外線加熱のみでは対応が難しいので対流と組み合わせで加熱するのが効果的である。

● 水分を含んだ加熱の注意点

水の場合、水の厚さが1~10 μm では遠赤外線吸収の選択性があると言える。水は、波長3 μm および、6 μm の遠赤外線を吸収する(吸収選択性)と言われている。水分子の基準振動数を波長に換算すると、2.66、2.73、6.27 μm となることによる。

しかし、単分子状(水蒸気)での話であり、通常の水には適用されない。水の厚さが1~10 μm では選択性があると言えるが、1mm以上の厚さの水膜は、3 μm 以上の遠赤外線をほぼ100%吸収する、と報告されている(図3参照)。

また、赤外線加熱は加熱対象物の水分を蒸発させることになる。この水蒸気は赤外線放射の効率を悪くするので、取り除く必要がある。このとき空気の流れを利用して水蒸気を除くことが多い。従って水分を含んだ物の乾燥・硬化などでは対流と放射の両方を利用し効率よく加工するのが良い。

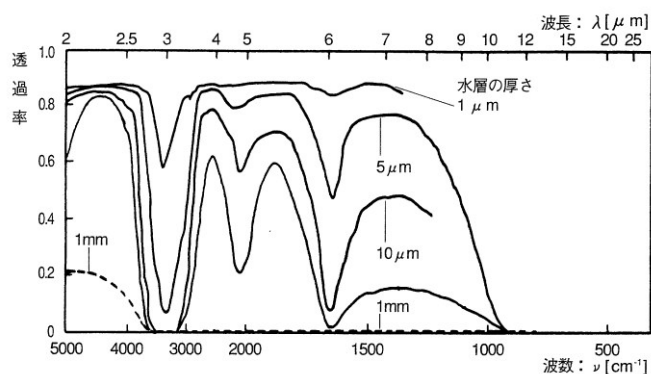


図3 水の吸収係数の波長依存性(文献①より)

● 安全対策

万が一ラインが止まった時、ヒーターには熱が残っているため、冷却したり、物理的にヒーターの熱がワークにいかないようにシャッターを設けたりするなどの安全対策が必要である。

● 冷却

特に近赤外線のヒーターは放射エネルギーが強いので反射板や筐体、あるいは端子部の耐熱温度を上回る場合がある。その場合、冷却機構が必要である。

5. 遠赤外線と近赤外線の違い

近赤外線は波長が短い(0.78 μm ~1.5 μm)ので必然的に温度が高い放射体(ハロゲンヒーターの場合、発熱体は2000°C以上)になる(ヴィーンの変位則)。また温度が高いので遠赤外線ヒーターと比べて放射エネルギーが非常に強いヒーターでもある

(シュテファン・ボルツマンの法則)。通常、近赤外線ヒーターはハロゲンランプ・ハロゲンヒーターのこと指す。このヒーターは発熱線にタングステン線を使用しており、温度による抵抗の変化が大きいので、ピークまでの昇温が数秒でできるというメリットがある。

中赤外線・遠赤外線は上記の逆で、近赤外線と比べて波長が長く放射体の表面温度は300°C~700°C程度である。立ち上がりは石英ヒーターで3~4分、セラミックヒーターで6~8分かかる。

遠赤外線ヒーター・近赤外線ヒーターの使い分けは被加熱物がどの波長を吸収するかによる。それは、被加熱物の材質、厚さ、表面の状態、色に大きく依存する。

例えば、印刷物のインクの乾燥や紙の乾燥場合、加熱効果では遠赤外線に分があるが、インクや紙の乾燥には近赤外線が優るとい報告が多い。これは近赤外線の方が高温で、熱流束も大きいため、多少吸収率が悪くても早いラインスピードで乾燥ができる場合が多いということである。

塗装の焼き付けや乾燥では水分を含んでいるため、近赤外線よりも中~遠赤外線をよく吸収する。

透明なプラスチックでは近赤外線は透過・反射する部分が多く、遠赤外線加熱が適しているが、黒いプラスチックの場合、近赤外線も遠赤外線も厚みにもよるか吸収する部分が多い。ただし厚みがあるとパワーの強い近赤外線ではシート表裏の温度差が大きくなるため、注意が必要である。

用途別の波長の適用については次ページに赤外線ヒーターの用途表を Ceramicx 社 web サイトより引用したので参照されたい。

なお、各種ヒーターは、遠赤外線のみあるいは近赤外線のみを放射するわけではなく、放射する波長のピークや分布の仕方で性能が決まる。発熱体の種類を選択するには、加熱・乾燥などの目的と対象物の赤外線吸収率を把握し、どのように加熱するか、最適な赤外線加熱を検討しなければならない。

6. 日本ヒーターの赤外線ヒーター

当社では用途に合わせ、近赤外線から遠赤外線まで幅広く取り扱いをしている。詳細は各ヒーターの製品紹介を参照されたい。

波長域：遠赤外線

1. [遠赤外線シーズヒーター](#)
型式：IIR (ストレート型)・BUIR (U字型)
備考：SUSのシーズヒーターにセラミックコーティングをしたヒーター。堅牢で、曲げも自在にできる。
2. [セラミックヒーター \(面状\)](#)
型式：FTE・FFE他 (アイルランド・Ceramicx社製)
備考：面状のヒーターなので面状のワーク加熱に適している。熱電対も内蔵でき、ゾーンコントロールにも適している。
3. [クリーンヒーター](#)
型式：IRP
備考：面状セラミックヒーター。ユニットになっており取付が簡単。クリーン度が高いところにも使用可能。
4. [反射笠付セラミックヒーター \(棒状\)](#)
型式：IRI
備考：反射笠付で取付が簡単

波長域：中~遠赤外線

5. [反射笠付石英ヒーター \(棒状\)](#)
型式：QIA
波長域：中~遠赤外線
備考：反射笠付で取付が簡単
6. [石英ヒーター \(面状\)](#)
型式：FQE・HQE (アイルランド・Ceramicx社製)
備考：面状のセラミックヒーターと比べ、中赤外線よりで、昇温スピードが速い。
7. [赤外線塗装乾燥器](#)
型式：ADT-51 α L
備考：車体塗装乾燥用ユニット

波長域：近赤外線

8. [ハロゲンヒーター](#)
型式：QIR
備考：立ち上がりが早く、出力も高い。反射笠はオプション。

7. 参考文献

- ①実用遠赤外線 人間と歴史社 高田紘一 江川芳信 佐々木久夫 編著 1992年2月27日初版第1刷
- ②遠赤外線の利用技術とその応用・例 応用技術出版 高嶋廣夫 1989年2月10日第6刷発行
- ③赤外線・紫外線利用技術 東京都立工業技術センター(中小企業技術者短期講習会テキスト) 平成8年2月発行
- ④理科年表 丸善株式会社 国立天文台 平成8年11月30日発行
- ⑤エレクトロヒート応用ハンドブック オーム社 日本電熱協会 1990年3月31日発行
- ⑥光エネルギー工学 養賢堂 円山重直 2004年4月30日初版発行
- ⑦Ceramicx社 web サイト <https://www.ceramicx.com/>

8. 赤外線ヒーター用途表

下記表1は、赤外線を使用する主な用途と適当な波長の表である。

セラミックヒーターおよび石英ヒーターの供給元であるアイルランド・Ceramicx社のwebサイトより引用した。

当該表は参照用で、保証するものではない。

表1 赤外線ヒーター用途表

用途	英語	近赤外線	中赤外線	遠赤外線
塗装				
アクリル塗装乾燥 (鋼板)	Paint Drying steel Panels-Acrylic		○	○
アルキド塗装乾燥 (鋼板)	Paint Drying steel Panels-Alkyd		○	○
エポキシ塗装乾燥 (鋼板)	Paint Drying steel Panels-Epoxy		○	○
エポキシラッカー	Epoxy Lacquer	○	○	

用途	英語	近赤外線	中赤外線	遠赤外線
プラスチック				
PVC ペーストキュアリング	PVC Paste Curing		○	○
ABS 成形	ABS Forming		○	○
ポリスチレン成形	Polystyrene Forming		○	○
ポリエチレン成形	Polyethylene Forming		○	○
ポリプロピレン成形	Polypropylene Forming		○	○
車体	Car Bodies		○	
プレラッカリング	Prelacquering	○		
粉体塗装	Powder Paint	○		
PVC 収縮	PVC Shrinking		○	○

用途	英語	近赤外線	中赤外線	遠赤外線
接着材				
水性	Water Based	○	○	
エンド重合	End Polymerisation	○		
紙ラベル	Paper Labels			○
グルーコーティング (紙)	Glue Coating on Paper			○

用途	英語	近赤外線	中赤外線	遠赤外線
食品				
殺菌	Pasteurisation/Sterilisation	○		
熱安定化	Thermal Stabilisation	○		
ロースティング	Roasting		○	○

用途	英語	近赤外線	中赤外線	遠赤外線
繊維				
カーペット (裏材ラテックス)	Latex Backing Carpet			○
カーペット (裏材PVC)	PVC Backing Carpet			○

用途	英語	近赤外線	中赤外線	遠赤外線
スクリーン印刷				
Tシャツスクリーン印刷	Screen printed T-Shirts		○	○
ヒートセット	Heat Setting Transfers			○
ダイヤル (スピードメーター等)	Plastic Instrument Dials			○
看板 (アルミ)	Aluminum Fascia Panel		○	