最適な赤外線ヒーターシステムの構築と応用

ヘレウス㈱
ラジエーション システム部　近江　善夫

1．はじめに

「加熱」と聞くと、多くの人は温風加熱のような熱伝導をイメージするのではないだろうか。赤外線は加熱の一種で、輻射加熱に属する。輻射加熱は知識的には知られているものの、まだまだ赤外線を温風と混同して考えているのを見受けることが多い。あるいは特性波長というポイントだけに注目して、それだけで赤外線ヒーターを判断しようとするケースもある。このように赤外線ヒーターの特性を理解していないのは、世の中には赤外線加熱理論を説明した教科書のようなものはあるが、赤外線ヒーターの特徴や使用方法といった実用的な説明書が少なかったのも原因の１つではないだろうか。

数年にわたって、本誌に、各種アプリケーションに対する赤外線ヒーターの応用例を掲載してきたが、今回は赤外線ヒーターそのものに目を留めてみたいと思う。赤外線ヒーターの特性を考え、注意すべきポイントを挙げ、最適な赤外線ヒーター（システム）を実際導入していく時の手がかりとなればと考えている。ご参考になれば幸いである。

2．赤外線の加熱原理

まず初めに、簡単に赤外線加熱の原理を述べておこう。赤外線は「熱」というよりむしろ「光エネルギー」と捉えた方が分かりやすいだろう。赤外線は電磁波の一種で、熱エネルギーを持つ光の波である。図１のように光源から輻射された赤外線光は目的物に照射され、その物質の中でエネルギーが共振吸収される。吸収されたエネルギーは分子（または原子）を振動させ、振動させられた分子間で摩擦熱が発生する。これが赤外線加熱原理である。

こんな質問を受けることがある。「200mmくらい離れたところで何℃くらいあるんですか」。おそらく質問者は温風加熱のイメージで考えているのだろうが、赤外線には途中での温度というものがない。もちろん温度計をそこに置けば、温度計自身が赤外線加熱され何らかの温度が表示されるが、温度計の種類が変われば違う値になる。温度計により赤外線吸収が違ってくるからだ。もし温度を測定するのなら、目的物の温度を測るのが赤外線加熱では理にかなっていると言えよう。

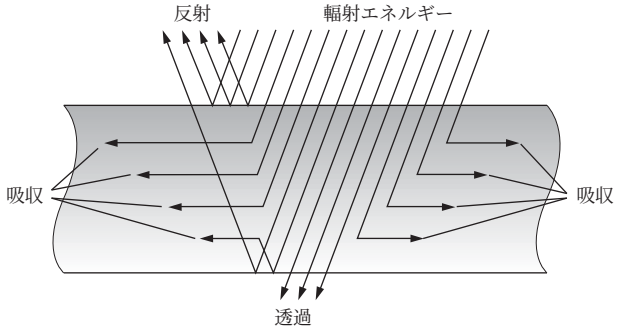

図１　赤外線加熱原理

3．赤外線ヒーターの種類

一般に工業用に用いられるのは、波長範囲で0.8～５μm、温度範囲で400～2,500℃の赤外線である。日本では遠赤外線と近赤外線という２つの分類が一般的だが、ドイツ・ヘレウスでは自社商品群に合わせてさらに細かく分類している。工業用赤外線ヒーターとして表１のように分類できる。なお、赤外線の分類方法は業界で統一されておらず、各社が独自の表現をとっていることが多い。他社製品と比較する場合には熱源温度、波長をご確認いただきたい。

4．赤外線ヒーターの注意ポイント

赤外線ヒーターに投入された電気エネルギーは赤外線となり（可視光になった一部を除いて）、ほぼ100%が熱に変換される。しかし、そのすべてが目的物の加熱に寄与するのではないことに注意したい。いくつもの要因が絡み合って、その目的の加熱効率に影響を及ぼすのである。その中で、一般的によく知られているものに赤外線吸収特性がある（図２）。これは、加熱効率に影響する１つのファクターにすぎないため、これだけにこだわるのは危険である。工業用途で赤外線ヒーターを使用する場合、以下のようなファクターが影響してくることを理解しておくべきであろう。

4．1光源温度のファクター

赤外線ヒーターは表１にも見られるように、工業用赤外線ヒーターと呼ばれているなかでも、その光源温度が500～2,100℃まで広がる。赤外線輻射加熱の原理では、この「光源の絶対温度」の４乗と「対象物の絶対温度」の４乗の差が

１つのファクターになる。「温度の高いヒーターほど強い加熱ができる」というのは感覚的にも分かると思うが、なんと理論的にはその効果は４乗で効くのである。

ただし、このファクターは目的温度が100℃というような低い温度では影響は感じられないかもしれない。むしろ目標温度が高くなった場合に影響する。例えば目標温度を300℃に設定した場合、光源温度500℃の遠赤外線ヒーターでは温度差が小さすぎて目標到達はかなり困難になるが、短波長赤外線ヒーターのような2,100℃の光源では十分な温度差を確保しており、目標達成が容易となる。

赤外線加熱に限らないが、どんなエネルギーも高いところから低いところへしか流れない。このレベル差がエネルギー移動速度に影響するのである。

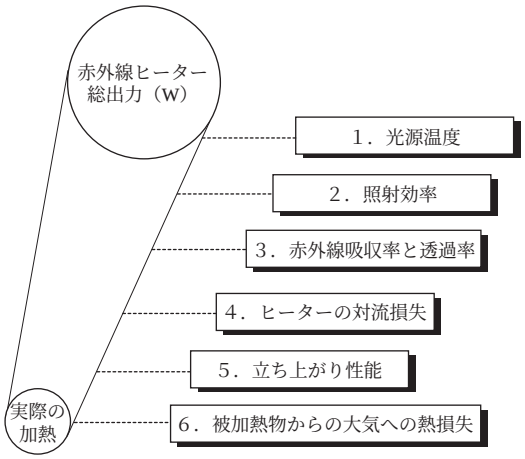

図２　赤外線吸収特性

４．２ヒーターの対流損失のファクター

赤外線ヒーターには、輻射光（赤外線）にはならずに外気へ熱損失として奪われるエネルギー分がある。一般的に、セラミック製や金属製の遠赤外線ヒーターではその表面から赤外線光を輻射するが、表面に外気が当たると熱を奪われてしまうという構造的欠陥を持っている。仮にこれを温風乾燥炉内に設置した場合、外気の影響を大きく受け、所定の赤外線エネルギー量は輻射することはできない。

それに比べ、石英ガラスで光源を覆う構造を持つタイプは、外気が光源に直接当たらないよう配慮されている。特に、当社の短波長赤外線ヒーターおよびカーボンヒーターは熱源部が石英ガラスにすら接触していないので、極めて外気の影響を受けない構造となっている。乾燥風などの風と併用する場合は最適と言えよう。

４．３赤外線吸収率と透過率のファクター

赤外線エネルギーがその対象物に吸収される時に、その物質特有の吸収率が１つのファクターとなる。照射された赤外線は、目的物に当たってから①反射、②吸収、③透過の３つに分かれるが、目的物の加熱に直接寄与するのは吸収されたエネルギーだけである。ゆえに吸収率の適合した波長を持つ赤外線ヒーターの方が、加熱効率が高くなると言える。一般的には次のように分類される。

(1)金属系：１～２μm（短波長）

金属材料では短波長赤外線ヒーターが最適だが、反射率が大きい材料であるため、決して高い加熱効率は得られない。また、その表面状態によっても吸収率は変わる。材質が同じでも、鏡面仕上げと梨地仕上げでは赤外線を受光する実質表面積が違うため、加熱効率にも影響を受けることに注意したい。

(2)樹脂系：２～４μm（中波長）

樹脂系の加熱には中波長赤外線が非常に有効だと言える。特に薄い透明シートのような場合には、波長特性の差がハッキリ出てくる。しかし、色の着いたシートや厚みのある基材では、赤外線光の透過ロスが極めて少なくなるため、短波長赤外線ヒーターであっても同等の吸収率を得られる場合もある。

(3)ガラス系：２～４μm（中波長）

一般的に中波長赤外線ヒーターが適している。厚みが10mmを超えた場合には、短波長赤外線ヒーターの可能性もある。ただ、ガラスの材質には注意したい。石英ガラスのように吸収率の非常に低いものもあるので、ガラスの材質は確

表１　当社製赤外線ヒーターの性能比較表

	石英管サイズ	最長加熱長（m）	発熱体温度＊3（℃）	最大エネルギー波長（μm）	立ち上がり時間（sec）	最大エネルギー密度（kW/m²）＊4	寿命（時間）
短波長赤外線ヒーター＊1	23×11	2.6	1,600～2,100	約1.2	１～２	120	5,000以上
	34×14	3.2	1,400～1,600	約1.6	３～５	100	
中波長カーボンヒーター	φ19	1.5	950～1,200	約2.0～2.4	２～３	100	8,000以上
	33×14	3.0					
中波長赤外線ヒーター	18×８	1.5	800～900	約2.6	１～２min	50	２万～３万
	22×10	2					
	33×15	4					
長波長赤外線ヒーター＊2	セラミックパネル型		500～700	約3.8	約10min	30	２万～３万

＊１：別称：近赤外線ヒーター
＊２：別称：遠赤外線ヒーター
＊３：石英ガラス内の発熱体温度を意味する（石英ガラス管面温度ではない）。長波長赤外線はセラミックパネル表面温度を意味する。
＊４：単位面積１m²当たりに実際に設置できる最大量を意味する。

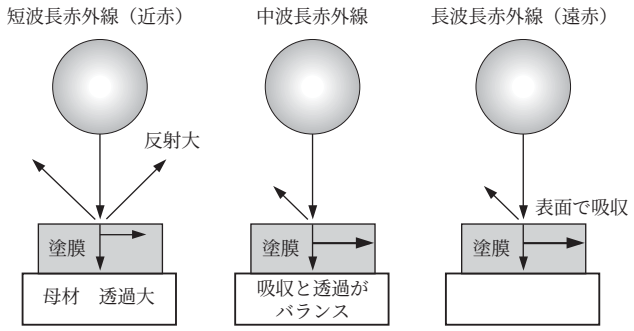

図３　塗膜乾燥

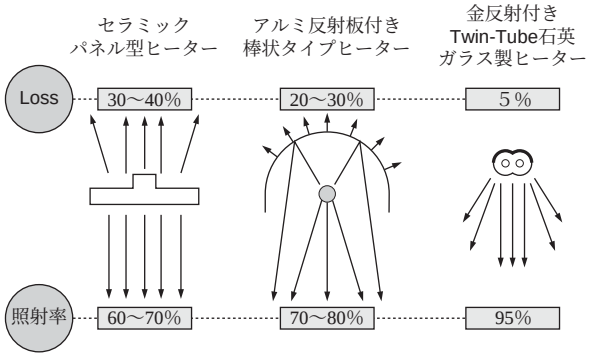

図４　各タイプの照射効率

認する必要がある。

(4)水系乾燥：２～４μm（中波長）

水系乾燥においては、中波長赤外線ヒーターが圧倒的な有効性と実績を持つ。ハロゲンランプとの比較では、乾燥効率が10～50％アップした実績がある。

(5)セラミック系：３～５μm（長波長）

セラミック加熱には、セラミック材料をベースとしたヒーターが波長特性上適している。

確かに吸収率は加熱効率への大きな目安になるのだが、場合によっては吸収率ではなく反対の透過率が重要な意味を持つこともあるから判断が難しくなる。いくつか例を挙げておこう。

４．３ 塗装、コート、接着剤乾燥

塗装乾燥の場合、塗膜は厚みを持つが、上層と下層ができるだけ同じように加熱されることが塗膜仕上がりに影響する。温風乾燥での突沸トラブルは、温風では表面だけを加熱してしまい、極めて表層だけが先に乾くのが原因というのは周知のことである。遠赤外線ヒーターの場合、確かに塗膜材料などとの吸収率は適合するのだが、透過成分が少なすぎるため、温風乾燥と同じように表層だけしか効果を及ぼさないことが多い。

図３に示すように、塗膜乾燥には中波長赤外線が吸収成分と透過成分のバランスが良く、当社の実績でも仕上がりも良好との評価を数多くいただいている。

４．３ 厚みのある樹脂材料における厚み方向への均一加熱

厚みのある樹脂シートを均一加熱したい場合がある。例えば、真空成型やプレス成型用のプラスチックシート加熱がその例になる。特に、エンジニアリングプラスチックのような特殊シートの場合には、赤外線の透過成分が均一加熱に重要な意味を持つことがある。近年、このようなシート加熱に短波長赤外線ヒーターを使用し、その透過性の高い波長を利用する実例が出てきている。

４．４ 照射効率のファクター

赤外線ヒーターから輻射される赤外線光が目的物にどれだけ照射されるかは、加熱効率に大きな影響を持つファクターである。案外見落とされやすいが、実際にはこのファクターの影響が一番大きいと思える。当社の赤外線ヒーターは照射効率を高めるために金反射膜を装着しているが、これは当社独自のもので、目的方向に95％の赤外線光を輻射できる効果を有する。それに比べ、セラミックパネル型ヒーターは背面に30～40％のロスが生じ、アルミ製の反射板を用いても20～30％くらいの熱損失が生じる（図４）。

もし、急速加熱を目的とするなら、当社製品のような照射効率を高めたタイプが有効で、加熱効率で20％くらいはアップすることになる。しかし、パンを焼く時のようにじっくりと何十分・何時間と加熱するようなアプリケーションでは、直接加熱よりも半分くらい周囲（炉内壁）加熱を介して雰囲気温度を高め、２次的にゆっくりと加熱するのが好まれる。目的によって良いヒーターの定義も変わってくるので注意したい。

４．５ 被加熱物からの大気への熱損失

赤外線ヒーターとは直接的には関係ないが、加熱された目的物からの大気への熱損失も考慮に入れておくべきである。温風加熱とは違い、赤外線加熱では周りの大気温度よりも高い温度に目的物温度を上げられる。ということは、加熱された物から大気への熱損失が生じることにもなる。特に目的温度が高いときに影響が大きくなる。また、通常は大気が均一に目的物に触れることは少なく、例えばシートの端部が多く冷却されるなどの不均一温度のトラブルとして影響が現れることもある。均一加熱を求めるときには、外気の影響も十分に考慮する必要があるだろう。

４．６ 立ち上がり性能のファクター

赤外線ヒーターの種類によって、その立ち上がり性能は大きく違ってくる（表１）。また、立ち下がり時間もほぼ同じくらいはかかると考えればよい。近年では、緊急時の対策で動きの速いヒーターを採用する例が多くなってきている。コンバーティング業界では特にそうであろう。

また、赤外線ヒーターの立ち上がり時間は省エネにも関係してくることがある。例えばタクト運転の真空成型では、５分サイクルで加熱は１分だけという例を考える。従来使われているセラミックパネル型の遠赤外線ヒーターでは、立ち上がり時間が10分以上（実際には20～30分）かかるため、目的物を加熱してい

表２　各種材質における総合加熱効率

対象物		短波長赤外線（%）	中波長赤外線（%）	備　考
金属	鏡面	15～20		
	梨地	20～25		
塗装	白色	25～35	30～40	通常、塗装乾燥では温風循環により加熱効率を上げている
	黒色	35～45	40～50	
樹脂シート	薄い透明	10～15	15～25	
	厚い白色	20～35	25～40	太陽の光が透けてこない程度の厚み
	厚い黒色	30～45	35～50	
ガラス	ソーダ系	25～35	30～40	コートされていない場合
	石英系	10～15	10～15	

ない時にも止められないのが現状である。しかし、短波長赤外線ヒーターやカーボンヒーターのような立ち上がりが１～５秒という赤外線ヒーターを使えば、５分間のうち４分間はヒーターを止められ80%近くの省エネを達成できる。欧州では広く利用されているようだが、日本でも短波長赤外線ヒーターの導入が始まっている。なお、設備イニシャルコストは省エネの電気代１～２年分で賄えるとの試算も出ている。

４．加熱効率

ドイツ・ヘレウスでは色々な分野で数多くの納入実績を持つが、独自の実験により目安になる実際の加熱効率を、当社では総合加熱効率と呼び、表２に代表的なものをまとめてみた。これは、特別な囲いを設けず、大気中での加熱における実験で、加熱された対象物からの大気への熱損失を含めた結果である（金反射膜を用い、サンプルは平板状である）。使用の際に、温風炉などのように外気の影響が少ない場合は、さらに良い効率が得られるであろう。逆に、大気開放で搬送速度が速いようなラインでは効果が下がる場合も考えられる。実際には事前テストを行うのが最善であるが、参考値程度で目安にしていただければと思う。

５．赤外線加熱の応用

前述の総合加熱効率を用いれば、ある程度の熱量計算は可能になる。単純な計算方法ではあるが、①単位時間（通常は１時間）の処理量、②比熱、③目的加熱温度差（目的温度－初期温度）の３つを調べて、これを掛け合わせると理論的な熱容量が出てくる。この値を総合効率で割れば、赤外線ヒーターとして必要な熱容量が算出できる。もし、乾燥計算であれば、①を溶媒量に②を蒸発潜熱に変更して、同様の方法で蒸発熱量も算出すればよい。なお、熱量計算は当社でも承っているので、連絡いただければと思う。

実際の応用例をいくつか紹介する。

(1)塗装乾燥の例（写真１）

温風炉の直前に赤外線ゾーンを設置し、乾燥炉全体の短縮が図れる。短時間で指触乾燥を達成できるので、ゴミ付着などの問題解決手段ともなる。複雑な立体物が対象の場合、赤外線ヒーターと対象物の照射距離を大きく取り、温風との併用で温度均一化を図るのが一般的。さらに赤外線を照射しないゾーンを組み合わせて熱伝導による均熱化を図る場合もある。

(2)エンボッシングの例（写真２）

壁紙・床材・レザーに代表されるエンボッシング加工では、エンボッシング直前加熱で赤外線ヒーターが利用されている。近年、素材変更による加熱強化の傾向が強く、中波長赤外線から短波長赤外線へと高出力が図られている。加熱均一性には赤外線ヒーターと基材の距離をできるだけ短くするのがポイントとなる。ヒーター加熱長はシート幅よりも100～200mmくらい長いのが理想的。照射距離は50～100mmが目安である。

(3)真空成型の例（写真３）

真空成型やプレス成型向けの加熱には、従来セラミックパネルヒーターが用いられていたが、目的物の加熱時以外も赤外線ヒーターを止められないという欠

写真３　真空成型の例

写真１　塗装乾燥の例

写真２　エンボッシングの例

写真４　水性印刷の例

点があった。近年、短波長赤外線ヒーターやカーボンヒーターのような応答性の優れたヒーターが採用され、省エネを図ったシステムが導入されている。なお、加熱均一性にはヒーターの本数とそのピッチが大きなファクターになる。当社では独自の均一加熱シミュレーションプログラムを開発しており、ヒーター設置アレンジも承っている。

(4)水性印刷の例（写真４）

近年の印刷業界は水性インクへの取り組みが盛んになってきているが、その乾燥にカーボンヒーターが優れた性能を発揮している。欧州の最大手印刷機メーカーでも全面採用され、その性能の良さは実証済み。

各分野で多くの実績や細かいノウハウがあるが、誌面の都合もあるので紹介程度にさせていただく。安全対策や均一加熱などの詳細な質問があれば、ご連絡願いたい。