

■遠赤加熱の理論(2)遠赤外ヒータの波長帯域別放射エネルギー分率の測定

1 測定の意義

遠赤外ヒータが発する放射パワーのうち、実際に遠赤外域((社)遠赤外線協会では $3\mu\text{m}$ 以上と定めている)において放射されている分がどれくらいの割合を占めているか、という問題は重要である。なぜならば、「遠赤外ヒータを高温で用いると近赤外域からの放射パワーが多くなり、もはや遠赤外ヒータとではなくなる。遠赤外域での放射を利用したいヒータは従って低温で用いるべきもので、それ故に放射パワーが小さく、効率的ではない(パワー不足である)」などという俗説が、欧米では信じられているからである。

このため(社)遠赤外線協会では、これまでに委託した調査研究などを通じ、このような知見を得るための測定方法を調べ、検討を加えてきた。ただしそれらの方法には、いくつかの問題があり、また調査期間の短さもあって、各種遠赤外ヒータに関し必要なデータを蓄積することは出来なかった。しかし近年、簡易的な実測による評価方法が協会の自主研究により確立し、国内各社のヒータを用いた測定データの蓄積と解析が完了した。この成果はいずれ国外にも発表されるべきものであるので、ここでもその概略を報告する。

2 測定方法

(1) 放射温度計の利用

測定は遠赤外ヒータの表面温度を放射温度計で測定するのと全く同じやり方を取る。放射温度計の目盛りはもちろん温度になっているが、これはその実際の電気出力(mV)を、黒体炉を用いて温度目盛りに校正しているからである。黒体の温度とそこからの放射パワー(の波長分布)との関係は Planck の法則で決まっているから、放射温度計の mV 出力から、放射パワーの値が得られることになる。すなわち、放射温度計で測るのは、温度ではなく、放射パワーに関係付けられる電気出力である。

放射温度計としては、波長域 $0.2\sim 15\mu\text{m}$ において感度を有するタイプである。通常の遠赤外ヒータを使用可能な温度範囲で用いた場合、そこからの放射パワーはほぼこの波長域に入る。 $15\mu\text{m}$ 以上の波長域での放射パワーの割合は、ヒータ温度 300°C で 12%くらいであるから、この部分が測定に関与しないとしても大きな誤差にはならないであろう。そこでこれを全波長域の放射パワー測定計器と位置づける。

(2) フィルターの利用

我々が簡便に知りたいのは、この全波長域に相当する放射パワーの値に対し、 $3\mu\text{m}$ より波長の長い遠赤外域の値と、それより短波長の近赤外域の値が、それぞれどのくらいの比率を占めているかである。このようにして全波長域放射パワー、遠赤外域放射パワー、近

赤外域放射パワー、ならびに互いの比率が得られる。ここで遠近の波長域を分けるのにはフィルターを用いる。実際に入手出来たフィルターは、 $4\mu\text{m}$ 以下のショートパスフィルターと $5\mu\text{m}$ 以上のロングパスフィルターであったので、 $15\mu\text{m}$ 以下の全域用、 $5\sim 15\mu\text{m}$ の遠赤外域用、 $4\mu\text{m}$ 以下の近赤外用の実質 3 基の放射温度計を使って、それぞれの波長域の放射パワーを測るということになる。

測定結果は、我々が欲しい厳密に $3\mu\text{m}$ を境にした比率ではないが、大雑把に遠・近の放射パワーの寄与割合の傾向は把握できるであろう。なおフィルターにはそれぞれ感度特性があるため、それらを介した放射計の場合は、全域放射計の感度特性にさらにそれら感度特性を乗じてデータの処理を行う。すなわち、フィルターを介した場合の mV 出力から放射パワーへの換算は、Planck の式にその(フィルターを介した)放射温度計の分光感度を乗じて積分することにより得られる。

(3) 遠赤外ヒータの測定

遠赤外ヒータとしては面状ヒータを用いたが、目下国内で使用されているものの多くが集まったので、これら全てを対象とした。測定は放射面を上向きして設置した遠赤外ヒータに通電し、供給電力を調整し、(ヒータ表面の定点が)所定の温度で一定に保たれるような状態に達した後、ヒータ表面の適当な視野範囲に向けた放射温度計 3 基のそれぞれの mV 出力を記録する。実際には放射温度計は 1 基で、その前に装着したフィルターを切り替えて測定する。温度を何段階かに変えてこのような測定を行い、一つのヒータについての測定を終える。

3 遠赤外ヒータの放射特性の違い

これ等ヒータのほとんどはヒータ素材の分光放射特性データが別途得られており、同じ遠赤外ヒータでも、大きく黒体型(全波長域で放射率が高いタイプ)と遠赤外域型($3\mu\text{m}$ 以下あるいは $4\sim 5\mu\text{m}$ 以下において放射率が低く、それより長波長域で放射率が高いタイプ)とに分けられたため、後述のように得られた結果をタイプの違いにより比較することが出来た。

4 測定結果

(1) タイプの異なる 2 種の遠赤外ヒータについての結果

タイプの異なる 2 種の遠赤外ヒータとして、ヒータ表面の放射素材が図 1 に示すような分光放射率を持つものを選択した。一方は全波長域においてほぼ一定の放射率を示すものであり、すなわち黒体型である。もう一方は $3\mu\text{m}$ 以下の領域では放射率はほぼ 0 で、 $5\mu\text{m}$

以上の波長域では 1 に近い放射率を示すものであり、これは遠赤外域型に当たる。この 2 種の遠赤外ヒータのそれぞれにつき、全域、近赤外域、遠赤外域の 3 つの帯域別放射パワーを、ヒータ温度を変えつつ、上に述べた方法で求める。

この結果を図 2 に示す。左側が黒体型ヒータ、右側が遠赤外域型ヒータについての結果である。この両図の上の方の図は全域、遠赤外域、近赤外域の放射パワーをヒータ温度に対しプロットしたものである。下の方の図は、これら各帯域の放射パワー同士の比として、全域放射パワーに占める近赤外域放射パワーの割合、同じく全域放射パワーに占める遠赤外域放射パワーの割合、さらに近赤外域放射パワー対遠赤外域放射パワーの比を取って、ヒータ温度に対しプロットしたものである。

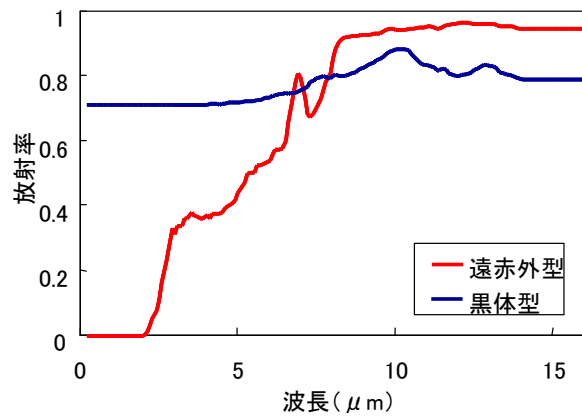
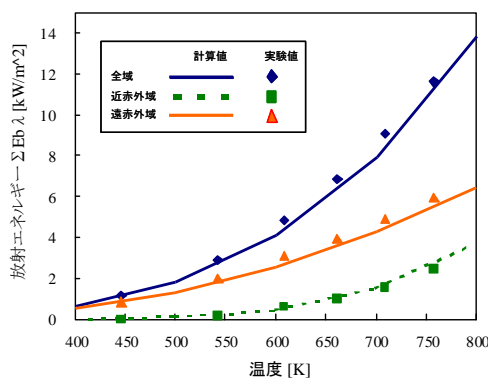
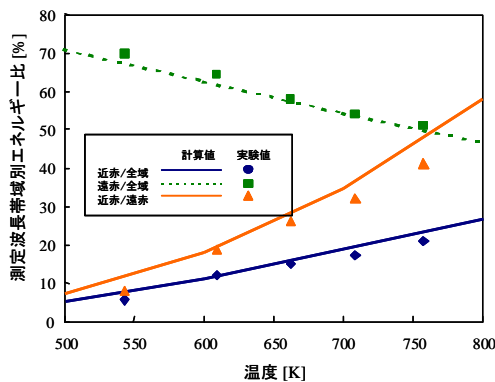
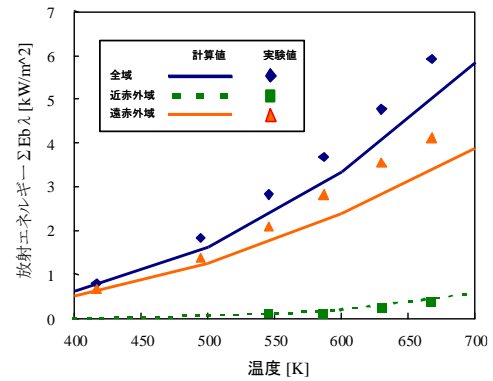


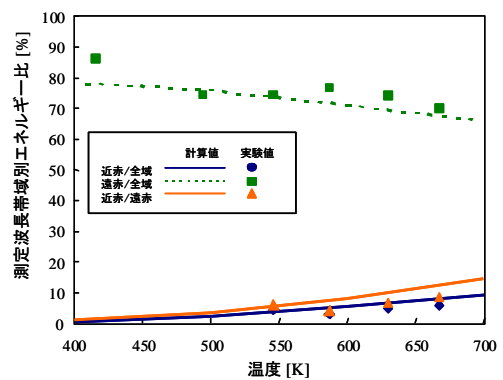
図 1 分光放射率のタイプが異なる 2 種の遠赤外ヒータ：黒体型と遠赤外域型。



放射E
VS.
温度



放射E比
VS.
温度



黒体型ヒータ

遠赤外型ヒータ

図 2 放射エネルギー（比）VS 温度（実測と計算）

(2) 実測値と計算値

図2には実線、点線等で計算値も併せて示している。測定に用いた2種の遠赤外ヒータについては、それぞれのヒータの放射素材の分光放射率が別途測定されている。このデータと、ヒータ表面温度の測定値とから、Planckの式を用いて、3種の放射計からの出力に相当する(測定波長帯域、分光感度特性を考慮した)放射パワーおよびその間の比率を求めることが出来る。

実測値と計算値との比較では、遠赤外域型ヒータにおいてややずれが見られるが、概ね良い一致を示しており、この方法が簡易法として実用に耐えうるものであることを示していると言えよう。

5 結果についての考察

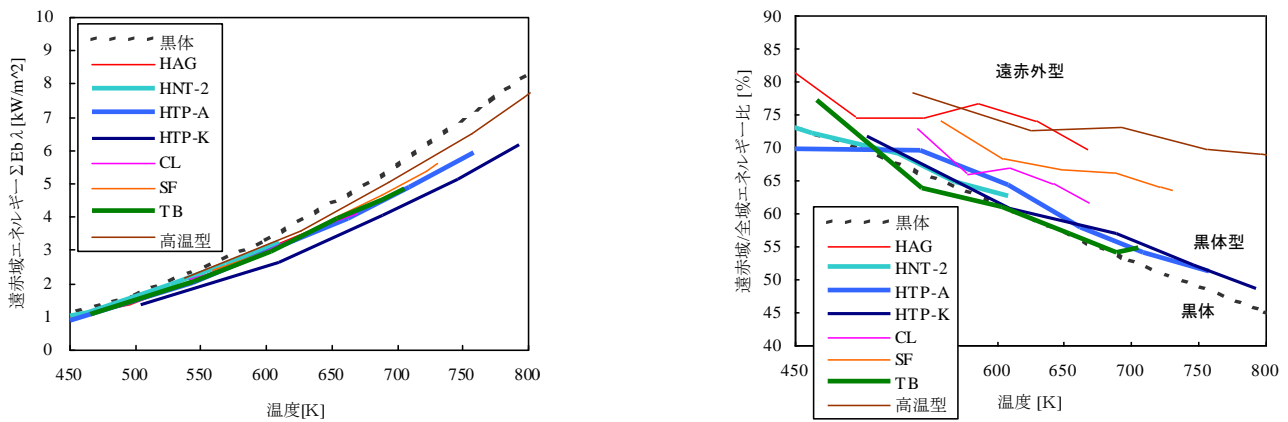
図2から見られることは、先ず遠赤外域型ヒータでは当然ながら、放射パワーのほとんどが遠赤外域に属し、近赤外域の分は僅かであること、また遠赤外域型ヒータからの遠赤外域放射パワーは高温においても、黒体型ヒータからのそれと匹敵していることが分かる。黒体型ヒータでは、全放射パワーに占める遠赤外域の放射パワーの比率は、温度の上昇に伴い減少し、一方近赤外域の放射パワーの比率は増加するのに対し、遠赤外域型ヒータでは高温になっても近赤外域からの放射の割合は増えず、ほとんどが遠赤外域において放射されていることが分かる。

遠赤外域型の遠赤外ヒータは、それが耐えうるどんな高温状態で用いても、放射パワーのほとんどを遠赤外域において放射するという特徴をもつ。黒体型の遠赤外ヒータであっても、おそらく用いられている最高の温度においても、遠赤外域で放射されるパワーの割合の方が、近赤外域で放射されるパワーの割合よりも大きいであろうことが、グラフを外挿すれば容易に推定できる。

6 我が国で実際に使用されている各種遠赤外ヒータへの適用

(社)遠赤外線協会で購入した8種類の遠赤外ヒータに本方法を適用した結果を図3に示す。各ヒータを構成している放射素材の分光放射率はそれぞれに異なるが、黒体型、遠赤外域型がそれぞれ4種類ずつであった。図3において、黒体型に属するものは太線で、遠赤外域型に属するものは細線でそれぞれ表記している。図の左は遠赤外域放射パワーの温度による違いを示しているが、ヒータのタイプによらず、各ヒータは高温下においても、黒体に近い放射パワー量を放射していることが分かる。また右の図は全放射パワーに占める遠赤外域放射パワーの割合が温度により、どのように変化するかを見たものであるが、遠赤

外域型ヒータは、放射パワーを遠赤外域において放射する割合が、黒体よりはるかに大きいことが分かる。この傾向は特に高温下において顕著である。一方黒体型遠赤外ヒータは黒体と同等の放射特性を有している。



遠赤外域放射エネルギー

遠赤／全域比

図 3 遠赤外域エネルギー比率のヒータ選別による違い

7 本方法に対する評価

遠赤外ヒータが、中でも遠赤外域型のタイプに属するヒータが、このように、高温下でもその放射パワーのほとんどを遠赤外域において放射しているということは、実はヒータ放射素材の分光放射率から推定され(今回の計算値のように)得る知見ではあった。しかし、そのような解析を系統的に行ったという報告はなく、本当にそのような計算が正しいと言えるのか、という心配はかなり以前からあり、実際に遠赤外域放射パワーを測定して見なければという受け止め方が成されていたと思われる。

今回の測定は、帯域の異なるフィルターを使い分けることにより、放射温度計により測定した放射エネルギーを波長帯域別に求めたものであり、いろいろな計算処理はあったものの、概ね実測したものと考えてよかろう。遠赤外ヒータの特長がはっきりと確かめられたと言えよう。

今回は望ましい波長帯域のフィルターを用いることが出来なかったが、もしも期待したように $3\mu\text{m}$ を境としたローパス、ハイパスのフィルターが使えていれば、今回の結果よりも遠赤外域型と黒体型の特徴の違いがより一層明確になったのではないだろうか。