

高放射材の赤外分光放射率の角度依存性評価

中島 敏晴^{*1)} 磯田 和貴^{*1)}

Angle dependence evaluation of infrared spectral emissivity for high-emissivity materials

Toshiharu Nakajima^{*1)}, Kazutaka Isoda^{*1)}

キーワード：高放射材，分光放射率，角度依存性，放射温度計

Keywords：High-emissivity material, Spectral emissivity, Angle dependence, Radiation thermometer

1. はじめに

赤外分光放射率測定は，暖房機器をはじめとして各種発熱体や放射材などの性能評価において，重要な計測手法の一つである。また，赤外分光放射率データから求める任意波長域における積分放射率（全放射率）は，放射温度計による温度測定での重要な設定パラメータとして利用されている⁽¹⁾。放射温度計を用いた測定では，正面付近からの測定が最適であるが，斜め方向からの測定にならざるを得ない状況も多く，このような条件での正確な温度測定には測定角度における分光放射率データが必要となる。しかし，これまでの角度ごとの放射率特性評価事例は特定の波長域のみであり，様々な波長域を対象とした角度ごとの分光放射率を評価した事例はない。

本研究では，加熱された高放射材の表面温度を正確に測定するために，分光放射率の角度依存性について評価を行い，この結果から角度毎の放射率データを求め，表面温度測定への補正に活用したので，その結果について報告する。

2. 実験内容

2.1 サンプルおよび評価のための計測システムの構築

サンプルは，黒色塗料塗布板2種（A社，O社），発熱体2種である。黒色塗料塗布板は，アルミ板をベースに塗膜厚は約20～40 μmとした。評価前にマッフル炉を用いて，昇温速度100℃/1時間の条件で500℃まで昇温させ，さらに500℃雰囲気中に2時間曝して焼鈍した。発熱体は，アルミナを基板とする小型ヒータおよびセラミックファイバーを母材とするブロック型ヒータである。

計測システムは，既存の赤外分光放射率測定システムと新たに製作した試料加熱装置および発熱体用評価治具を組み合わせて構築した。

2.2 測定方法および全放射率の算出方法 測定は，黒色塗料塗布板を試料加熱装置で100，200，300，400，500℃に加熱し，発熱体の小型ヒータとブロック型ヒータ

は，定格電圧を印加したときの表面温度を測定し，これを試験温度とした。測定角度範囲は，黒色塗料塗布板0～70度，発熱体0～85度とした。分光放射率測定の波長域はいずれも2～20 μmである。

任意の波長域（ λ_1 ， λ_2 ）と温度 T における全放射率 $\epsilon_a(\lambda_1, \lambda_2, T)$ は，次式から求めることができる。

$$\epsilon_a(\lambda_1, \lambda_2, T) = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \{L_s(\lambda, T) - L_e(\lambda, Tr)\} d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \{L_b(\lambda, T) - L_e(\lambda, Tr)\} d\lambda} \quad \dots(1)$$

ここで， $L_b(\lambda, T)$ 及び $L_s(\lambda, T)$ は，それぞれ温度 T における黒体及びサンプルの分光放射輝度スペクトルで， $L_e(\lambda, Tr)$ は室温 Tr における背景放射の分光放射輝度スペクトルである。各サンプルの分光放射率の角度特性結果から，角度ごとの分光放射輝度を計算し，(1)式を用いて波長域8～14 μmの全放射率を求めた。これを補正值として放射温度計に設定し，100～500℃に加熱させた黒色塗料塗布板を，角度0～70度の範囲で10度間隔の角度ごとにおける表面温度を測定した。角度0度での放射率を用いた補正前と，角度ごとに求めた放射率を測定角度ごとに設定し，補正後の温度測定結果を比較した。

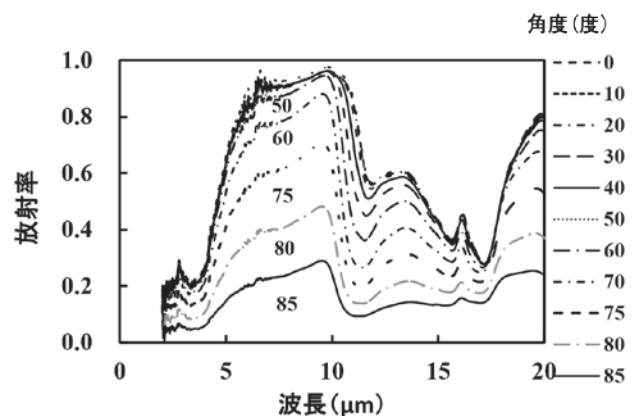


図1. 小型ヒータ 分光放射率角度特性
印加電圧 AC40V 表面温度 415℃ 角度範囲 0～85度

3. 結果と考察

3.1 角度依存性評価結果 小型ヒータの分光放射率角度特性を図1に示す。角度が大きくなると放射率が低下する、角度-放射率の一般的な特性が現れていた。角度0~40度では、放射率変動が2.0%以内と小さく、角度変化による影響はなかった。また、ブロックヒータは小型ヒータと同様の特性を示していた。

黒色塗料塗布板2種のうち、A社塗料は小型ヒータと同様の特性を示していた。なお、測定の実現性は±3.0%以内であった。0度の放射率を基準とした、角度毎の放射率変動の結果を図2に示す。100℃では60度以上、300℃以上では50度以上の角度で放射率補正が必要であることがわかった。O社塗料の分光放射率の角度特性結果を図3に示す。波長8.3 μmを境界として、長波長域ではA社塗料と同様の特性を示すが、短波長域では角度が大きくなると放射率が高くなる反転現象が見られた。

3.2 表面温度測定結果 分光放射率の角度依存性評価結果を用いて、(1)式から求めたA社塗料とO社塗料の波長域8~14 μmにおける角度-放射率特性を図4に示す。また、角度-温度特性については、O社塗料の表面温度500℃の結果を例として図5に示す。0~40度の範囲では、補正前後での差異はなく補正の必要はないと思われるが、50度では4.0℃の誤差となった。また、70度では18.0℃と誤差はさらに増加した。これらの結果から、角度ごとに放射率を設定して測定することは、測定の正確さ向上に有効な方法であることがわかった。なお、測定精度は温度上限を500℃として、温度値の±0.5%以内であった。

4. まとめ

本研究では、高放射材を対象とした波長域2~20 μmでの分光放射率の角度特性評価を行い、各サンプルの角度依存性が確認できた。また、その結果から求めた波長域8~14 μmの全放射率をパラメータとして、任意温度に加熱した黒色塗料塗布板の表面温度を検出波長8~14 μmの放射温度計を用いて測定した。結果は、温度上限500℃、角度範囲0~70度の条件で、±0.5%以内の精度での測定が可能であることがわかった。

今後は、他波長域に検出感度を持つ放射温度計で同様の評価を行い、高放射材の表面温度測定のための精度向上を図る。また、各種放射材や機能性材料などの特性評価に活用することで、新たな製品開発に寄与していく。

(平成27年7月13日受付, 平成27年8月12日再受付)

文 献

- (1)石井順太郎他:「黒色表面の分光放射率測定」, 第22回日本熱物性シンポジウム予稿集, pp.97-99 (2001)

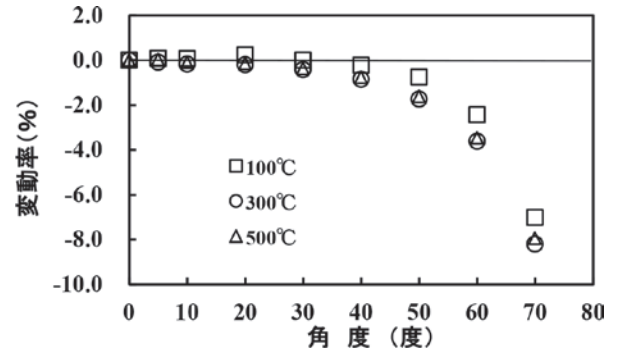


図2. A社塗料 0度の放射率を基準とした角度毎の放射率変動
表面温度100, 300, 500℃

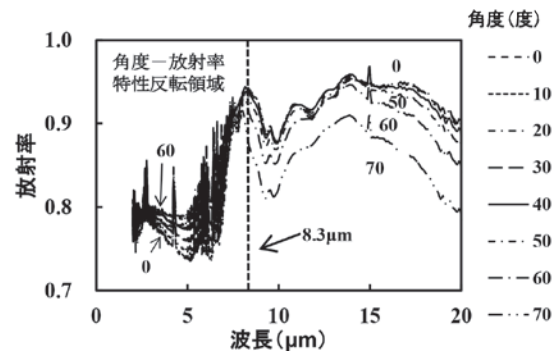


図3. O社塗料 分光放射率角度特性
表面温度500℃ 角度範囲0~70度

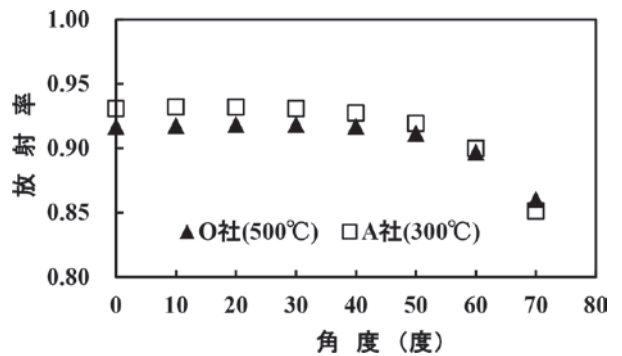


図4. A社塗料およびO社塗料 角度-放射率特性
波長域8~14 μm

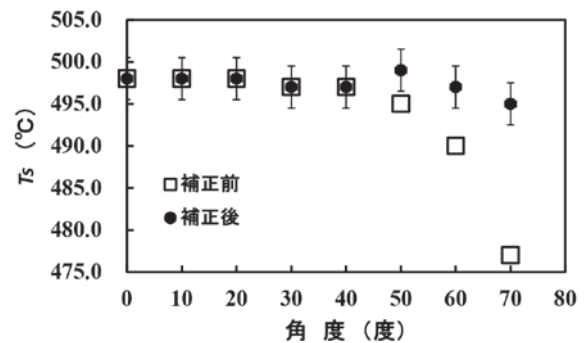


図5. O社塗料 角度-温度特性
波長域8~14 μm 表面温度500℃