

## 論文

## 赤外線透過率・反射率の測定による放射率の算出

笹森宣文\*

Calculation of emissivity by measuring reflectance and transmittance

Norifumi SASAMORI

**Abstract** We developed a measurement method for infrared emissivity on objects at room temperature. With this method, the object's infrared reflectance and transmittance was measured by an infrared spectrometer, and infrared absorptance was calculated as "1.0 - (reflectance + transmittance)", and brought out the infrared emissivity equal to infrared absorptance by Kirchhoff's law. The total emissivity, which is necessary for the infrared thermometry, was calculated from the spectral emissivity.

**Keywords** Infrared emissivity, Infrared reflectance, Infrared absorptance, Infrared spectrometer, Kirchhoff's law, Total emissivity

## 1. はじめに

最近、放射温度計による温度測定・温度管理が広く行われているが、測定に当たっては測定対象物の放射率の値を放射温度計に入力しなければ正しく温度を測定することはできない。

また、新しい冷暖房の方式として、壁や天井からの赤外放射によって行う動きもあるが、この際には放射率の高い壁材・天井材を選択する必要がある。

このように、さまざまな材料の放射率の値を、温度別、波長別に知ることがますます求められている。

放射率の測定は、代表的な物質においては数十 から数百 程度までの温度範囲ではすでに行われており、値も発表されている。

放射率とは、黒体からの放射量に対する同じ温度の試料からの放射量の比と定義されており、図1のような方法で測定される。測定試料は熱伝導率や放射率、厚み等の熱特性がすべて異なっているので、各種試料を目的とする測定条件の温度に上昇させ、その温度を測定の間保持させることは非常に困難であり、個人差の入る要素が非常に高い。その結果、放射率の測定はおもに試料の温度設定の課程で誤差が多く発生し、熟練を要する作業となっている。

それに加えて温度が数十 以下の測定の場合には、黒体炉および試料からの放射量が少なくなり、測定値には多くのノイズが重畳されることがある。

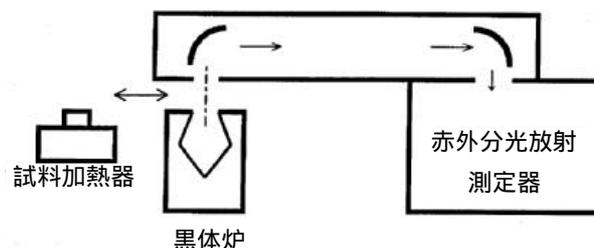


図1 赤外分光放射率の測定方法

物体の反射率・吸収率・透過率を加えた値は100%となる。また、「ある温度における物質の吸収率の値は放射率と同じである」というキルヒホッフの法則がある。

これらの法則を利用し、赤外線を透過しない材料である塗料やレンガなどについて反射率の測定を行い、その値を100%（あるいは1.0）から引くことによって吸収率を求め、次にキルヒホッフの法則を適用してその値を放射率と見なした実験について、発表を行った<sup>1,4)</sup>。

今回、赤外線を透過する材料も考慮に入れ、常温の試料の反射率および透過率の測定値から放射率を算出する方法について実験し、検討を行った。

## 2. 実験方法

実験に用いた試料は、さまざまな放射率の値を網羅するように、放射率の高い試料として「黒化テープ」、放射率の中程度の試料として「銀色塗装板」、放射率の低い試料として「アルミ板」、赤外線を透過する試料とし

\* 計測応用技術グループ

て「アルミナ板,厚さ3mm」および「PET樹脂板,厚さ0.2mm」を用いた。

2.1 反射率・透過率の測定

反射率の測定は,直径10cmの金コーティング積分球とTGS赤外線検出器による反射率測定装置をフーリエ変換型分光光度計の試料室に取り付け,反射率測定位置に何も設置しない場合に反射出力が零であることを確認した後,試料の反射出力と金表面鏡の反射出力を測定し,その比を試料の全反射率の値とした。

透過率は,上記の反射率測定用の積分球を使用し,入射孔に試料を設置した場合と設置しない場合との出力の比をとって全透過率とした。透過率の測定は光の透過が予想されるアルミナ板およびPET樹脂板のみ行った。

反射率・透過率の測定値から分光放射率および全放射率を求める手順を表1に示す。

表1 反射率・透過率から放射率を求める手順

1. 分光光度計に積分球式全反射率測定装置を設定,標準反射板(金コーティング表面鏡)を測定
2. 試料の反射率(%)を測定
3. 光を透過する試料は透過率(%)を測定
4. $100(\%) - (\text{反射率}(\%) + \text{透過率}(\%))$ で吸収率(%)を算出
5. 吸収率(%)を1/100にして放射率(分光放射率)の算出が終了
全放射率を算出するには以下の手順による
6. プランクの放射則を用いて任意の温度の黒体の分光放射出力を算出
7. 黒体の分光放射出力に試料の分光放射率を掛けて試料の分光放射出力を算出
8. 対象波長帯域について,試料および黒体の分光放射出力を積分し,全放射出力を算出
9. (試料の全放射出力)/(黒体の全放射出力)によって,試料の全放射率が算出

なお,ここでの反射率は,試料の正反射率の値に拡散反射率の値も加えた全反射率のことを意味し,同様に透過率も全透過率のことを意味している。

図2に全反射率・全透過率の測定方法および正反射率

・正透過率の測定方法を示す。

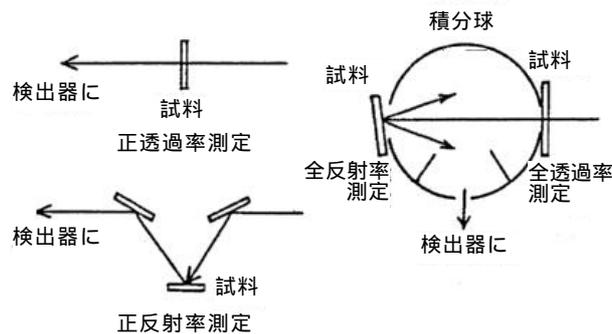


図2 反射率・透過率の測定方法

2.2 放射率の直接測定

放射率の測定は,上記の分光光度計の試料室に上記のTGS赤外線検出器を設置し,常温の放射体の放射量で出力が零であることを確認した後,表面温度80℃の試料の赤外放射出力と,同じく80℃の黒体炉の赤外放射出力を測定し,その比を求めて分光放射率とした。

アルミナ板とPET樹脂板では,試料裏面の加熱板からの放射が試料を通過して重畳されることのないように,放射率の低いアルミ箔を介して試料を加熱した。

3. 測定結果の検討と考察

放射率を直接求めた放射率実測値の結果と,反射率および透過率の測定値から求めた結果を図3に示す。

図3に示される放射率の実測値と計算値を比較すると,さまざまな放射率の試料でもPET樹脂板以外は実測値と計算値は波長全域にわたってほぼ一致した値となっていた。

黒化テープ,銀色塗装板,アルミ板については,反射率の測定値から,1-反射率として放射率を算出した値が放射率実測値と一致していた。一方,アルミナ板については反射率の他に透過率の測定も行い,1-(反射率+透過率)として放射率を算出した結果が放射率実測値と一致していた。

反射率・透過率から求めた場合には短波長域でノイズが少なく,長波長域で若干ノイズが多かった。それに比べて放射率を直接求めた場合は,短波長域でノイズが多く,長波長域でノイズが少なかった。

これらの理由を検討すると以下のことが考えられた。

- 1) 反射率・透過率の測定では,試料に分光光度計内部の赤外光源からの十分な光量の光を当て,その反射光・透過光を測定したために短波長の出力にノイズが認められなかった。
- 2) 測定には,TGS検出器と積分球を用いたため,検出器の出力が積分球を用いない測定の場合の1/100以下

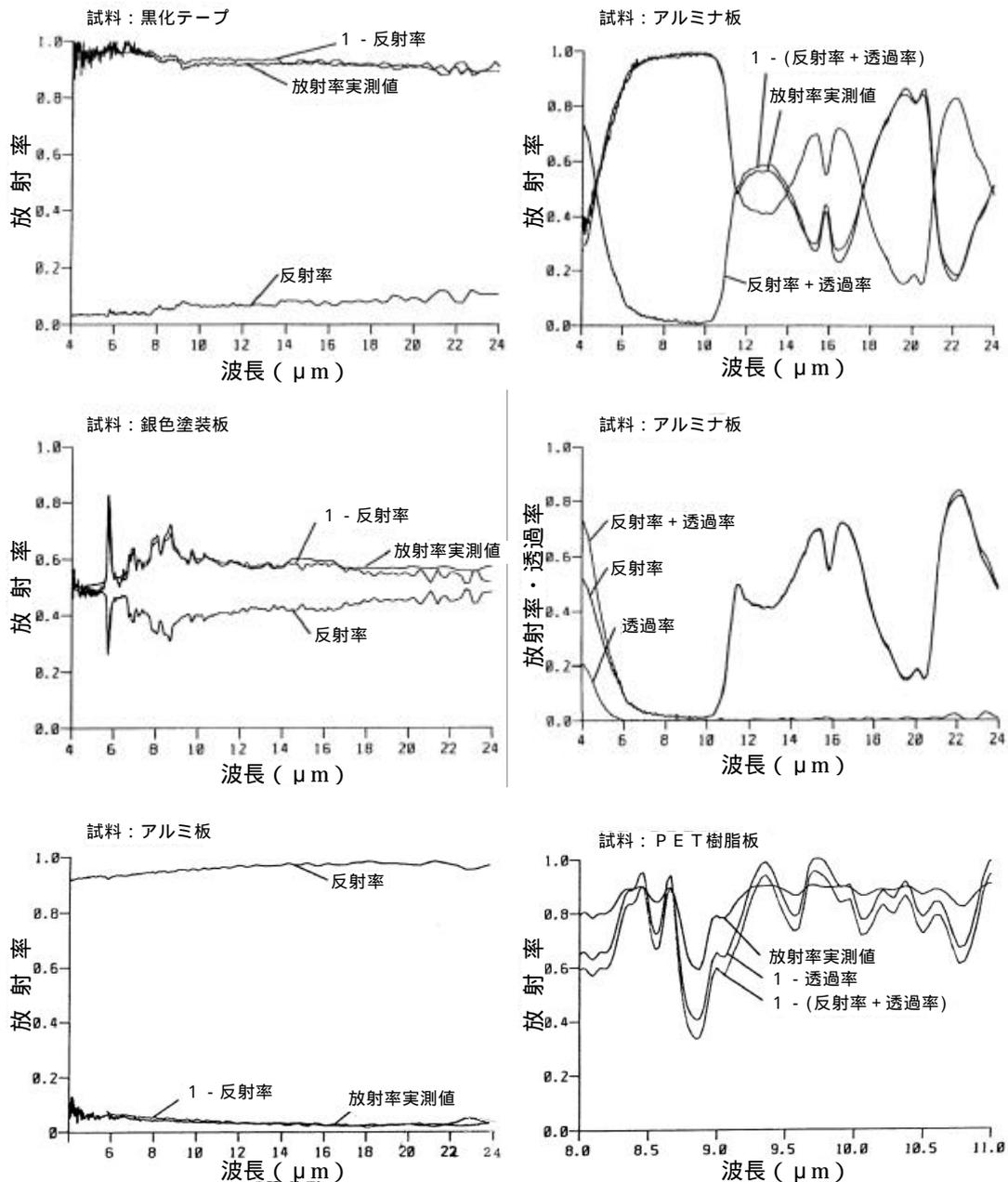


図3 放射率の実測値と計算値

の微弱な値になって、長波長域でノイズが多くなった。

- 3) 試料を加熱して直接放射率を求めた場合は、加熱温度が80 と比較的良かったことから、短波長域での試料からの放射量が少なくノイズが発生し、長波長域になると放射量も比較的多くなってノイズが減少した。

ノイズ以外の、双方の測定結果の差についての検討では、

- 1) 金コーティング表面鏡の反射率を100%としたが、実際は100%ではなく反射率の測定値が違っていた。
- 2) 放射率の測定時に、試料の温度と黒体の温度が違っていたか温度の変動が発生していたために、放射

率の値が正しい値ではなかった、などが考えられた。

PET 樹脂板では、反射率・透過率測定値には高分子化合物特有の数多くの鋭い吸収スペクトルがあったが、80 の放射率ではスペクトルは鈍り、実測値と計算値で放射率が大きく異なっていた。この原因を検討すると、

- 1) 測定上の誤差ではなく、PET 樹脂の吸収率（放射率）が、常温の時と加熱された時とで変化していた。
- 2) PET 樹脂板のように、厚みのある半透明板を裏面加熱した場合には、試料内部の各部分で放射と吸収が発生し、吸収率と放射率とが同じ値とはならない現象がある、などが考えられた。

次に、このようにして求めた分光放射率の値から全放

射率を算出し、比較検討を行った。

全放射率とは、黒体の全波長にわたる分光放射出力積算値に対する試料の同積算値の比である。

ただし、ここでは波長範囲を全波長域ではなく、3～5.5μm と、8～14μm とした。それは、この二つの波長域が放射温度計による温度計測用として広く使用されており、全放射率の値も発表されているからである。

全放射率算出の手順を表1の6.以下に示す。試料の温度は80℃とした。分光放射出力の例として、黒体およびアルミナ板の分光放射輝度を図4に示す。

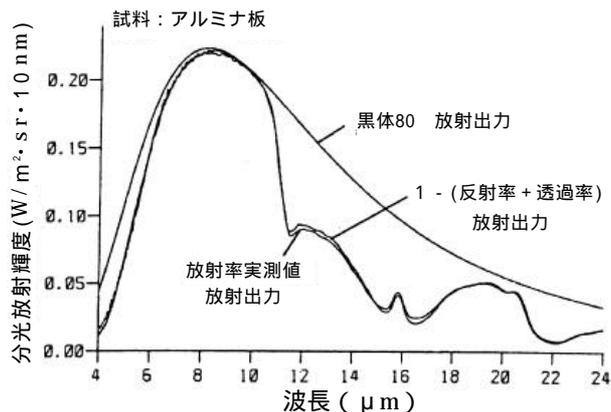


図4 試料の赤外分光放射出力

各試料について全放射率を求めた結果を表2に示す。なお表2において分光放射率実測値とは、全放射率を求める際に用いた分光放射率の値が、分光放射率の測定による実測値であることを表し、分光放射率計算値とは分光放射率の値が透過率・反射率から求めた計算値であることを表している。PET樹脂板を除いて、さまざまな試料において分光放射率を実測した場合と計算によって求めた場合とで全放射率は一致していた。

表2 試料の全放射率の値

試料名	波長 3～5.5μm		波長 8～14μm	
	分光放射率	分光放射率	分光放射率	分光放射率
	実測値	計算値	実測値	計算値
黒化テープ	0.966	0.964	0.919	0.934
銀色塗装板	0.493	0.505	0.606	0.605
アルミ板	0.073	0.073	0.036	0.041
アルミナ板	0.566	0.543	0.798	0.800
PET樹脂板	0.565	0.327	0.841	0.728

#### 4.まとめ

近年、放射温度計の普及が著しいこともあって、各種物質の放射率の値を求める要望が強い。

また、生活環境における周囲の物質の放射率の値は、人体の温熱感に大きな影響を与えている。

しかし、従来行われている放射率の測定は長時間を要し、測定値には個人差が入りやすいものであった。本方式による放射率の算出法は、個人差がなく、短時間で高い精度で放射率の値を導き出すことが可能である。

今回の実験は、常温の物質の放射率および透過率の測定によって算出した放射率の値が、その物を温度80℃という比較的低い温度に上昇させて直接求めた値と、多くの試料で非常に一致していたというものであった。

多くの物質は、温度の多少の変化によっては放射率が変化しないことが確認されているので、数十℃以下の物質の放射率を求める場合に、本方式は非常に有用であると考えられる。

ただし、物質によっては温度の変化によって含有水分の蒸発や相変化、金属であれば酸化等の現象によって放射率が変化するものもある。従って、本方式がすべての物質の、すべての温度範囲の放射率を導き出す方式というわけではない。

今後は各種の物質について温度別の放射率の測定と、温度別の反射率・透過率の測定を行うことによって、本方式を完成させたい。

#### 参考文献

- 1) 笹森宣文：最近の赤外放射加熱，(社)照明学会，55～58(1998)。
- 2) 笹森宣文：赤外線反射率測定による放射率の算出，機械金属連合部会 第30回温度計測研究会，75～78(1998)。
- 3) 笹森宣文：赤外線・紫外線の利用技術，東京都立産業技術研究所，28(1998)。
- 4) 笹森宣文：赤外線反射率測定による放射率の算出，日本赤外線学会 第22回定例研究会，1～4(1999)。(原稿受付 平成11年8月9日)