

論文

遠赤外線分光放射照度測定方法の開発

中島 敏晴* 山本 哲雄* 岩永 敏秀* 中村 広隆*

Development of a Far-Infrared Spectral Irradiance Measurement Method

Toshiharu Nakajima*, Tetsuo Yamamoto*, Toshihide Iwanaga*, Hirotaka Nakamura*

We investigated development of a method measure far-infrared spectral irradiance. The experimental system combined and built a Fourier transform infrared spectrometer (FTIR) and integrating sphere coated with gold. We removed the influence of normal temperature radiation from the output (the blackbody furnace and far-infrared heater) of FTIR, and corrected it. Then we sought the spectral irradiance of the blackbody furnace, to correct the experimental system. We found the spectral irradiance (the actual measurement) of the far-infrared heater from the spectral irradiance of the blackbody furnace, and the output of corrected FTIR. We found the spectral irradiance (the theoretical value) of the far-infrared heater from the arithmetic expression of illumination by direct light. We did comparative examination of the actual measurement and the theoretical value. If the distance was within 10 to 25cm at 2 to 15 microns in the wavelength range using the experimental system, we found it possible to measure spectral irradiance for the far-infrared heater with comparatively small exothermic capacity.

キーワード：遠赤外, 分光放射照度, 分光放射率, 黒体, FTIR

Keywords : Far-infrared, Spectral infrared irradiance, Spectral emissivity, Blackbody, Fourier transform infrared spectrometer,

1. はじめに

産業界で赤外放射を利用した加熱や乾燥に利用される発熱体をはじめ, 家電製品の放射暖房機器に利用される各種発熱体などの赤外分光放射特性を評価する場合, 一般的に分光放射率や分光放射輝度測定によって評価している。

この方法は, 発熱体表面の一部からの放射量を測定しているが, 殆どの発熱体は表面温度分布が様ではなく, また, 実際に被加熱物に照射される赤外放射量を正しく評価しているとはいえない。そこで, 被加熱物が実際に受けている放射量, すなわち分光放射照度測定が求められている。

しかし, 分光放射照度測定の研究は古くから実施されているにもかかわらず, 測定技術は未だに確立されていない。確立されていない理由として,

- ①トレーサビリティ制度において, $2.5\mu\text{m}$ 以上での波長領域における分光放射照度標準が未整備である。
- ②測定器から離れた位置にある放射体からのエネルギーを測定するため, 測定する放射エネルギーが微弱であり, 高感度の検出器が必要である。
- ③測定光路中の大気に含まれる水蒸気や CO_2 などによる吸収の影響を評価することが必要である。

などが挙げられる。

本研究では, 放射輝度標準である黒体炉からの分光放射輝度を計算処理によって分光放射照度を求めて値付けし, これをもとに測定器出力から分光放射照度を求める方法について検討したので報告する。

*光音グループ

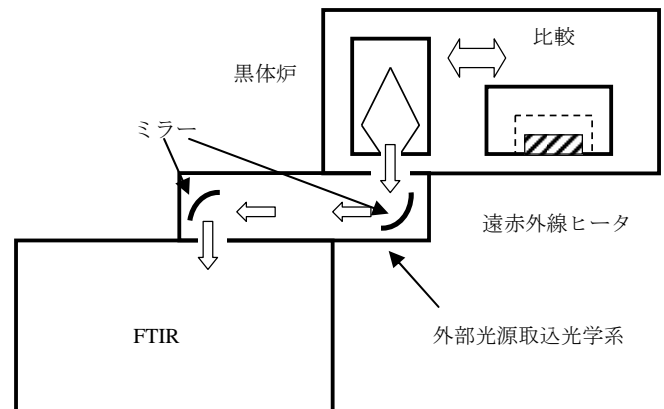


図1. 分光放射特性測定システム概要

2. 実験方法

2.1 遠赤外線ヒータの分光放射特性 既存のフーリエ変換赤外分光光度計 VARIAN FTS 6000 (FTIR) を用いて, 実験で使用する遠赤外線ヒータ (定格出力 300W, 直径 15mm, 発熱部長さ 200mm) に AC100V を印加し, 30 分経過後の分光放射特性 (分光放射率, 分光放射輝度) を測定した。FTIR の検出器はペルチェ冷却 DTGS を使用した。この測定システムを図 1 に示す。

2.2 実験システムの試作 FTIR に, 金コーティング積分球や X-Y-Z ステージ, 基準放射源や発熱体などを組み合わせて, 分光放射照度測定のための実験システムを試作し

た。これを図2に示す。

既存の分光放射特性測定システム(図1)は、外部光源取込光学系の開口部と黒体炉を向き合わせ、黒体炉からの赤外放射を直接FTIRに取込んでいる。これに対して試作した実験システムでは、外部光源取込光学系の開口部と黒体炉の間に積分球を設置し、黒体炉からの赤外放射は積分球を介してFTIRに取込む構造とした。

金コーティング積分球の開口部には、基準放射源や発熱体からの熱的影響をできるだけ小さくするために、アルミ板(150mm×150mm×1mm, 中心に直径25mmの穴)の遮熱板を取り付けた。

金コーティング積分球は、直径100mmで開口部径は直径25mmである。

測定は、まず黒体炉からの放射を黒体炉と積分球開口部との距離(P)を75mmの位置で測定した。次に、遠赤外線ヒータからの放射を、積分球と開口部との距離を30cmから10cmまで、5cm間隔で接近させながら各々の距離において測定した。

3. 実験結果

3.1 遠赤外線ヒータの特性 分光放射率特性を図3に、分光放射輝度特性を図4に示す。この遠赤外線ヒータは、表面がセラミックコーティングされた製品で、セラミックス材特有の放射特性である、4μmから5μmにかけて急に放射率が高くなる性質を持っていることが測定結果から分かった。

また、5~20μmの波長域における全放射率は $\epsilon = 0.91$ であった。

3.2 実験システムから求めたFTIR出力 黒体炉600°Cと遠赤外線ヒータの各距離における赤外放射を積分球に対して行いFTIR出力を得た。また、積分球の開口部を積分球内面コーティングと同様の金コーティング板(直径25mm)で塞ぎ、FTIR出力を求めた。この結果を図5に示す。

積分球の開口部を塞いで求めたFTIR出力は常温放射出力であり、黒体炉や遠赤外線ヒータの出力に必ず重畳する。

常温放射とは、FTIR内部に組み込まれている電子回路や可動部などの発熱により周囲温度よりも高くなるため、FTIR内部から外側に向かう放射である。

本来、常温放射出力は放射の方向からマイナスの値となるはずであるが、測定データの計算処理上プラスの値となって出力されていた。なお図5は、常温放射出力を分かりやすくするために、マイナスに反転したグラフで表示した。

正確なFTIR出力を得るためには、この常温放射の影響を除去することが必要であり、各出力値からこの常温放射出力値を除去した。除去した補正結果のうち、遠赤外線ヒータの距離10cmの出力グラフを図6に示す。

遠赤外線ヒータ出力は、積分球からFTIRに入射する放射エネルギーが微弱であり、短波長側では積分球から測定器

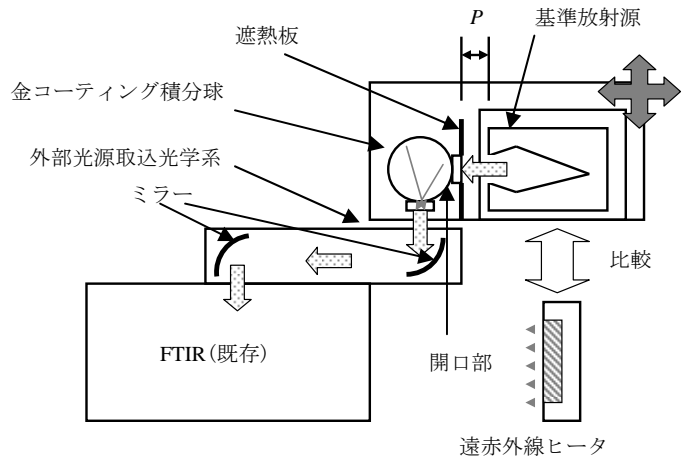


図2. 試作した実験システム概要

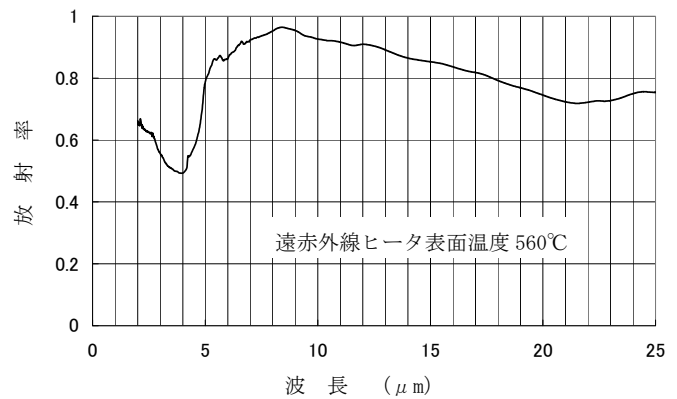


図3. 遠赤外線ヒータの分光放射率特性

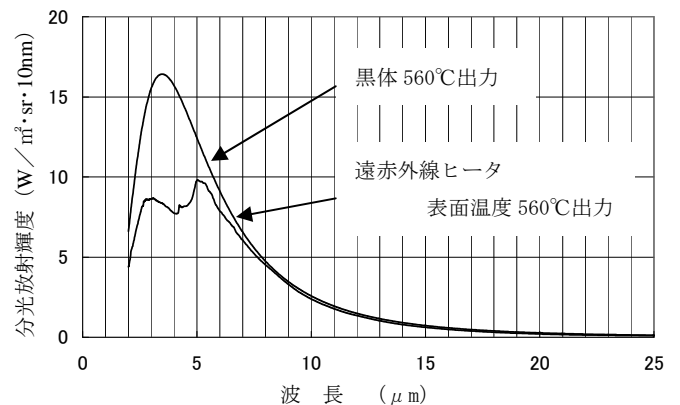


図4. 遠赤外線ヒータの分光放射輝度特性

に向かって放射されているが、長波長側では測定器から積分球に向かって放射されていることも予想され、正確な測定値を得るためには、さらにこの影響も評価する必要があると思われる。

3.3 黒体炉の値付け 実験システムを校正する方法として、基準放射源の黒体炉の出力である分光放射輝度から、

下記の(1)式により分光放射照度を求めた。

$$E(\lambda) = A L(\lambda, T) / P^2 \quad (1)$$

ここで $E(\lambda)$: 黒体炉の分光放射照度

A : 黒体炉開口部面積

$L(\lambda, T)$: 黒体炉分光放射輝度

P : 黒体炉開口部から積分球開口部までの距離

黒体炉からの分光放射照度を求めることによって, FTIR 出力への値付けが可能となり, これから求めた遠赤外線ヒータの分光放射照度を図7に示す。

4. 分光放射照度の実測値と理論値の比較

4.1 分光放射照度の理論値 実験システムで求めた分光放射照度の検証方法として, 直接照度の計算から求めた分光放射照度との比較を行った。これは, 今回の実験で使用した遠赤外線ヒータと同じ形状の光源である直線光源による照度計算式を用いた。

計算にあたっては, 次の条件を設定した。

- ①遠赤外線ヒータ(直線光源)の発熱部全域から, 同じ分光放射輝度の値が放射されている。
 - ②遠赤外線ヒータから FTIR の間で, 吸収の影響はない
- なお(2)式中の $L(\lambda, T)$ は, 図4で示す遠赤外線ヒータの分光放射輝度である。

$$E(\lambda) = \frac{L(\lambda, T) \cdot D(a + \sin a \cdot \cos a)}{P} \quad (2)$$

ここで $E(\lambda)$: 分光放射照度

$L(\lambda, T)$: 分光放射輝度

D : ヒータ直径

P : 距離

a : 発熱体中央部と端部のなす角度

この式から求めた分光放射照度(理論値)を図8に示す。

4.2 実測値と理論値の比較結果 実験システムで求めた分光放射照度(図7)と直接照度による照度計算式から求めた分光放射照度(図8)を比較する方法として, 実測値を理論値で除算し理論値とのズレを検証した。この結果を図9に示す。

波長 $2\mu\text{m}$ において距離 $10\sim 25\text{cm}$ のとき $\pm 15\%$ 以内, $15\mu\text{m}$ において距離 $10\sim 20\text{cm}$ のとき $\pm 20\%$ 以内であった。

距離 25cm 以上では, 波長 $10\mu\text{m}$ よりも長波長帯では 30% 以上のズレが見られた。特に距離 30cm の場合, 大きなズレが見られるが, これは 30cm の距離における積分球開口部の視野範囲よりも, 遠赤外線ヒータの発熱部長さが相当小さく「視野欠け」が生じ, 周囲からの迷光(赤外放射)を同時に拾う結果となる。また, 積分球へ入射する放射エネルギーが微弱で, 今回使用したペルチェ冷却 DTGS 検出器では検出感度が低く, 微弱な信号に追従できなかったことなどが原因と考えられる。

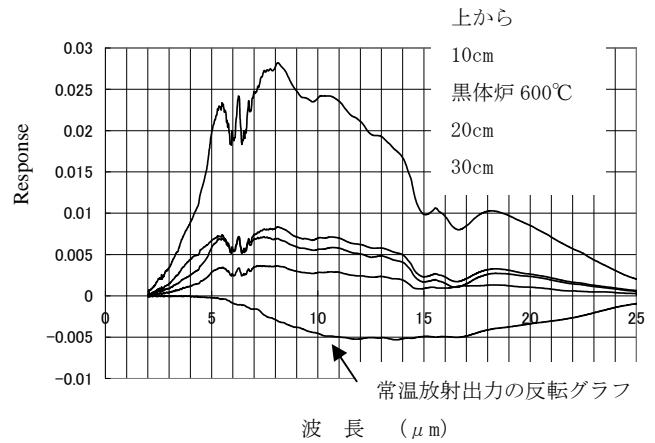


図5. 黒体炉 600°C及び距離別 FTIR 出力

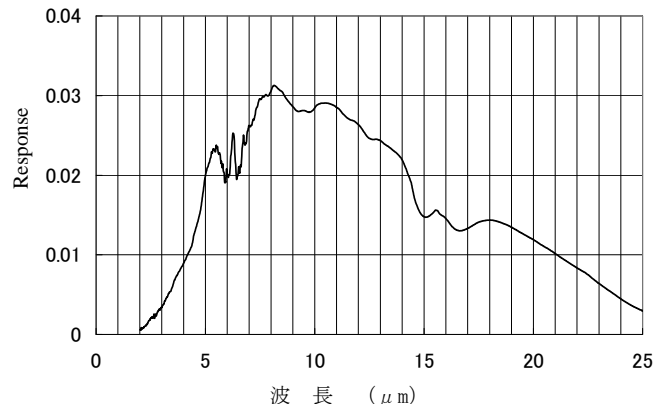


図6. 常温放射の影響を除去した後の距離 10cm の FTIR 出力

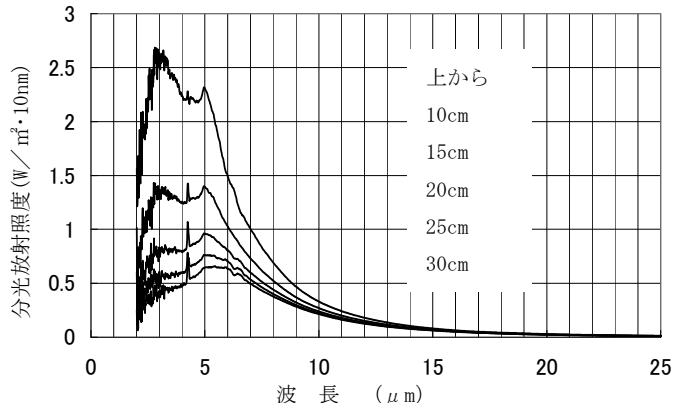


図7. 波長別分光放射照度(実測値)

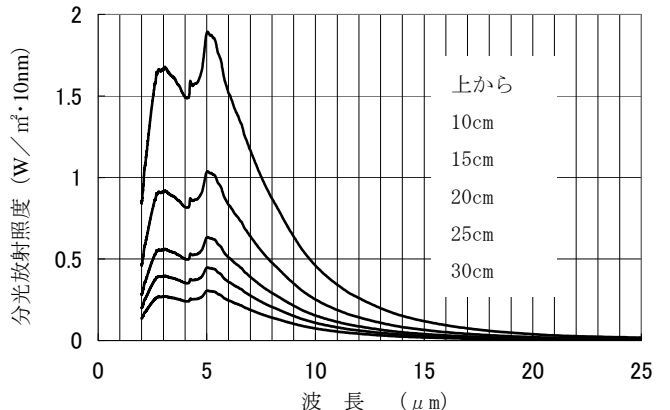


図8. 距離別分光放射照度(理論値)

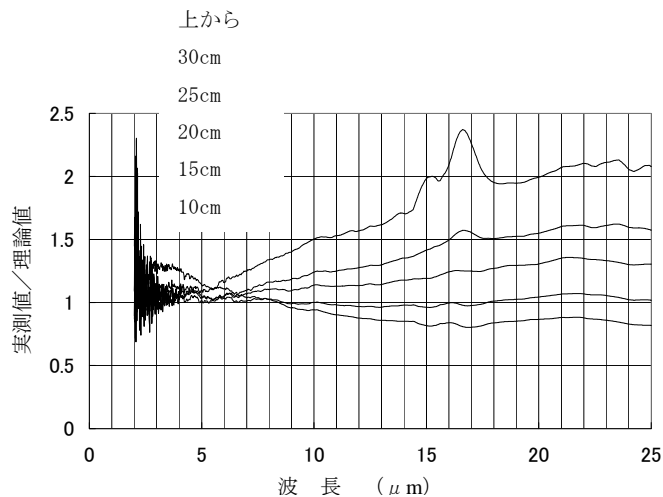


図9. 実測値/理論値

5. まとめ

金コーティング積分球を既存のFTIRと組み合わせて実験システムを構築し、波長領域2~25 μm における分光放射照度測定方法の検討を行った。

比較的熱容量の小さい遠赤外線ヒータを対象として、積分球とヒータとの距離を10~25cm以内、測定波長域を2~15 μm の条件において分光放射照度測定が求められることが分かった。しかし、積分球とヒータ間の距離が大きくなるほど、また、長波長域になるほど放射エネルギーは微弱になり、より高感度の検出器が必要となる。

今後は、22 μm 付近まで感度を持つ広帯域MCT検出器を用いて同様の実験を行い、特に15 μm 以上の長波長域での特性を詳細に評価することを検討している。

また、同容量で発熱面積の大きい平板状のヒータや、容量の異なるヒータについても評価しデータの蓄積に努め、最終的に測定方法を確立させることで、依頼試験として対応可能な体制を整備していく。

(平成20年7月4日受付, 平成20年8月5日再受付)

文 献

- (1) 大谷文雄, 中川靖夫, 谷治環, 児玉佳孝, 大久保和明:「遠赤外分光放射照度標準の開発」, 照明学会誌, 第79巻 第8号A, Pp377-383(1995)
- (2) 笹森宣文, 山本哲雄:「赤外分光放射照度測定システムの開発」, 東京都立工業技術センター研究報告 第26号, pp21-24(1997)
- (3) 笹森宣文, 角田朋尚:「赤外分光放射率測定の精度向上」, 東京都立工業技術センター研究報告, 第24号, pp41-44(1995)
- (4) 照明学会編:「ライティングハンドブック」, オーム社, pp223-224 (1987)
- (5) 照明学会編:「光の計測マニュアル」, 日本理工出版会, pp12-13 (1990)
- (6) 久野治義著:「赤外線工学」, 社団法人電子情報通信学会, pp53-56 (1998)