

セラミック系赤外線ヒータの分光放射特性

高木 亨*・松井松長*・玉重繁良*

On Spectral Distribution of Radiation of Ceramic Infrared Radiators

Tohru TAKAGI,* Matsunaga MATSUI*
and Shigeyoshi TAMASHIGE*

* Faculty of Engineering, Fukuyama University

ABSTRACT

Spectral distribution of radiation of ceramic infrared radiators were measured using the filter type spectroradiometer, because the ceramic ir radiators were expected as an energy saving heater, but it was still unknown. Then it became clear that they were the thermal radiator which has high emissivity.

1 まえがき

最近省エネルギー加熱装置として、また中赤外から遠赤外域での高効率の放射体として、数種のセラミック系赤外線ヒータが開発され、普及しつつある。しかし、これらセラミック系ヒータの放射エネルギーの分光分布特性で現在までに公表されているものは、すべて $3\mu\text{m}$ 以上の

波長域における放射エネルギーが、長波長側に向って増加する分布特性が示されている^{1,2)}このような分光分布は不可解なものであり、多くの研究者の間においても疑問視されている。すなわち、セラミック系ヒータからの放射が温度放射であるならば、その分光分布はPlanckの放射則とその物体の分光放射率によって定まるものであって、

* 電子電気工学科

一部の波長における放射エネルギーの増減はあっても同温度の黒体の放射エネルギーのレベルをこえるものではない。また全般的には、分光エネルギーは長波長側において減少すべきものである。このように公表されている特性が温度放射と異なる原因としては、(1)温度放射以外のメカニズムによる放射である、(2)放射の測定方法が適正でないことの二つの場合が考えられる。

本研究は、熱源の省エネルギー化を促進し、電力の有効利用をはかるために、電熱（赤外線加熱）装置設計の基礎となるセラミック系ヒータの分光放射特性を明確にすることを目的として、北陸電力株式会社技術研究所からの依頼により行った。

ここでは、前記の放射特性の相異の原因として、(1)のルミネッセンスにも留意しながら(2)の測定方法に起因するものと考えて、まずセラミック系ヒータの分光放射エネルギーの測定法を考察した。次いで試作した赤外用フィルタ形分光放射計を使用して、分光放射測定を行い、ヒータの分光放射特性、および放射効率について検討した。

2. セラミック系赤外線ヒータ

赤外線放射体としては、従来より(a)赤外線電球、(b)金属および非金属の抵抗発熱体、(c)シーズヒータ、(d)石英管ヒータ、(e)金属板発熱体、(f)ガス赤外線放射体など各種のものがあるが、近年(c)および(d)の改良形である数種類のセラミック系ヒータが開発され、すでに実用化されているものも少ない。これらには、金属管の内部または金属板の内部に絶縁した電熱線を埋設して、金属表面にセラミックスを焼結または溶射した構造のもの、および棒状セラミックスの内部に直接電熱線を埋設したものがある。^{3,4)}

本報では、(株)ジャード製の棒状セラミックス溶射形（以下Aヒータと表示）、(株)中京ネッソ製棒状セラミックス焼結形（以下Bヒータ）、および(株)中京ネッソ製石英管ヒータ（以下Cヒータ）について各種の特性を測定し、比較・検討した。表1にこれらの定格を示す。また図1に外観、図2、3に温度特性を示す。

表1 赤外線ヒータの定格

種類	全長 [mm]	放射部長 [mm]	管外径 [mm]	電圧 [v]	電力 [w]
Aヒータ(J社)	350	245	12.5	100	300
Bヒータ(N社)	330	200	13.0	100	350
Cヒータ(N社)	330	205	15.5	100	350

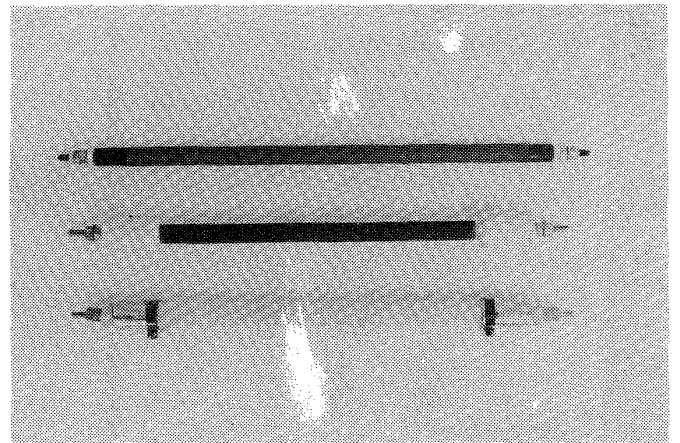
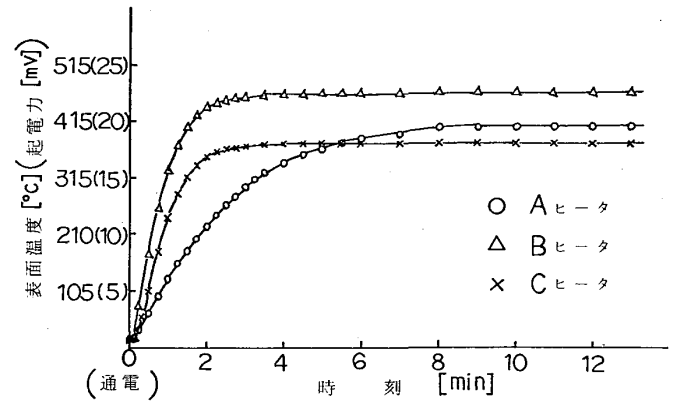
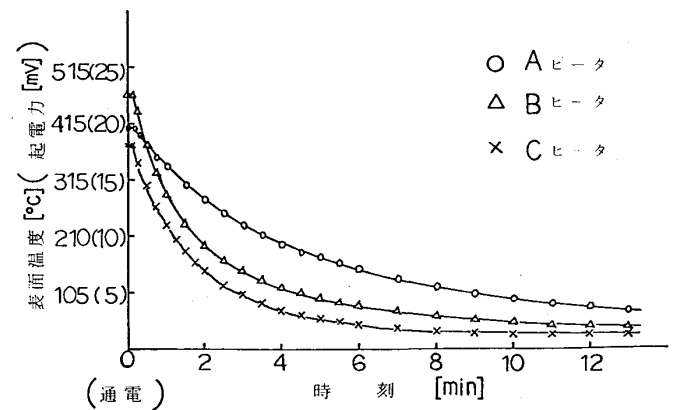


図1 赤外線ヒータ（A、B、Cヒータ）



(a) 上昇特性



(b) 下降特性

図2 赤外線ヒータの熱的応答特性

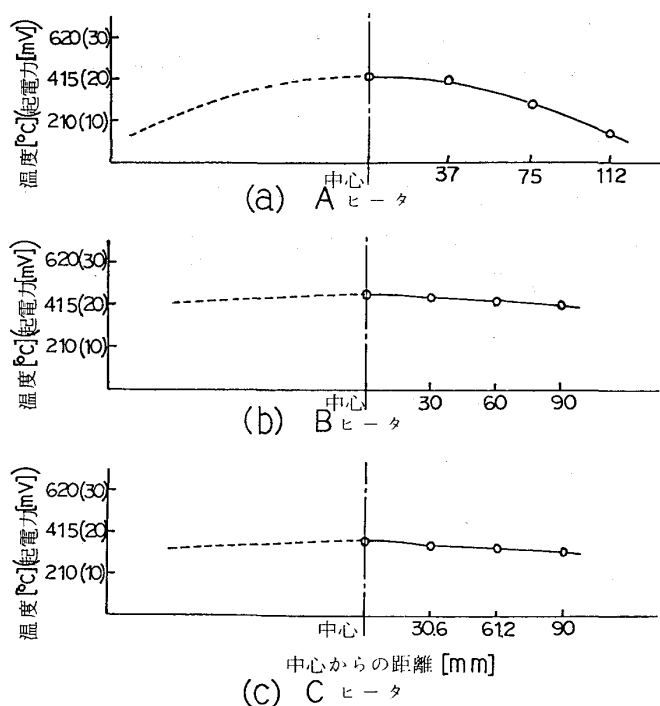


図3 赤外線ヒータの管軸方向の表面温度分布

3. 分光放射特性の測定法の考察

これまでに公表されているセラミック系ヒータの放射特性に関する資料^{1,2)}およびその測定方法を検討した結果、次のような疑問点が見出された。すなわち、複光束形分光光度計の一方の光束(基準光束)をそのままとし、他方(試料側光束)に被測定光束(セラミック・ヒータ)を導入する方法は、基準光束(分光光度計の光源)の分光分布と比較するという意味においては妥当な方法であると考えられる。しかし、その光度計の出力(記録された相対エネルギー強度)は、非黒体である高温度(600°C以上)の光源と低温度(約400°C)の被測定光源との分光放射エネルギーの比であって、本来の分光放射分布、すなわち絶対的な放射エネルギー分布とは全く異なった分布曲線が得られるものと考えられる。

また分光光度計の一方の光束(基準光束)の代わりにセラミック・ヒータと同温度の黒体炉を置き、他方(試料側光束)に被測定光束(セラミック・ヒータ)を導く方法は、同温度の黒体と比較するという意味では妥当な方法である。しかし、その光度計の出力は分光放射率を示していて、放射エネルギー分布ではない。

本来この種の分光エネルギーの測定は、被測定光源と等しい温度および面積の黒体放射源と比較するのが適切な方法である。本研究においても、この方法により実験を行った。

4. フィルタ形分光放射計と分光放射測定法

現在、赤外用分光放射計としての市販品がないため、可変波長フィルタを用いてフィルタ形分光放射計を試作した。図4、5に試作装置の外観、図6に光学系の概略、図7に回路図を示す。この分光放射計の構成要素は次の通りである。

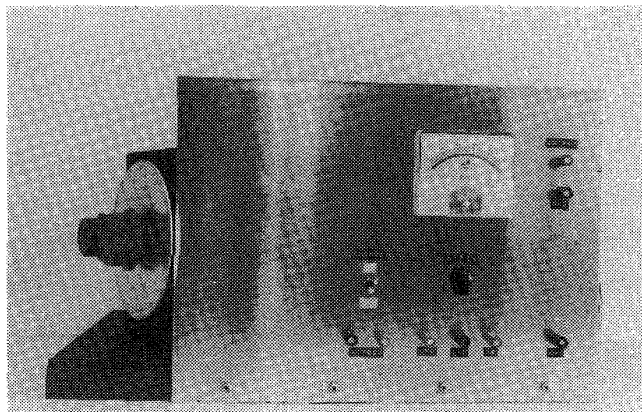


図4 試作分光放射計の外観

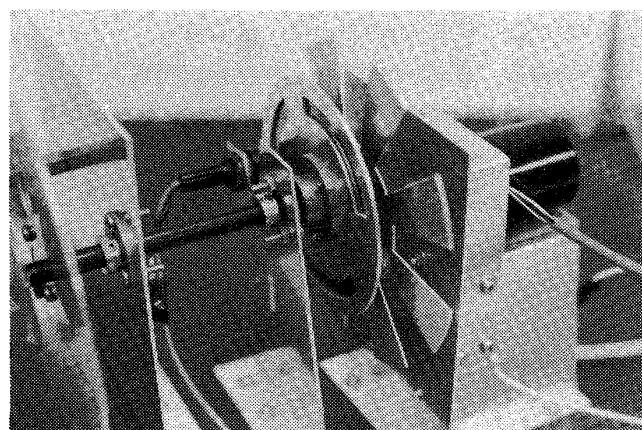


図5 分光放射計の光チョップ可変波長フィルタ検出器の部分

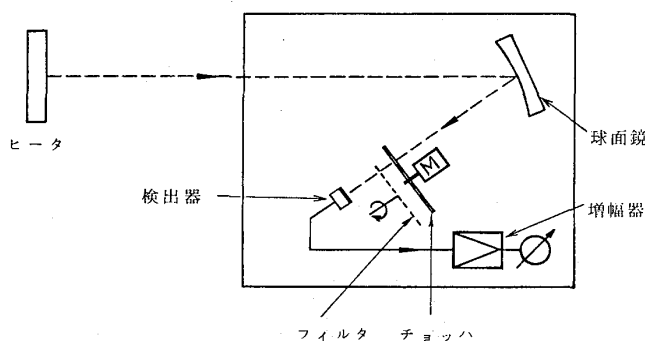


図6 フィルタ形分光放射計の光学系の概要

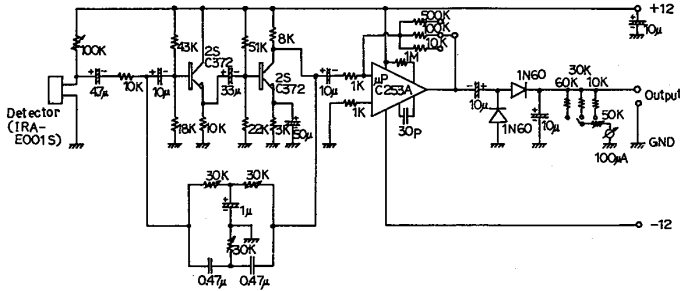


図7 分光放射計の増幅器の回路図

検出器：焦電形検出器，IRA-E001S（村田製作所製，Si窓付）

可変波長フィルタ：Optical Coating Lab. 製（透過波長：2.71, 3.62, 4.49, 4.69, 6.29, 7.87, 8.46, 11.37, 14.15 [μm]

光チョップ：32 Hz（8分割，240 [rpm]

集光鏡：直径200 [mm]，球面鏡

増幅器：32Hz 狭帯域，利得62 [dB]

いま分光放射計に入射する波長 λ での分光放射照度が H_λ [W/cm²]であれば，その出力電圧 V_λ は

$$V_\lambda \approx (H_\lambda A_0 \rho_\lambda - P_\lambda) \tau_\lambda R_\lambda A_v \quad (1)$$

で表わされる。ここで，

- A_0 ：集光鏡の有効面積 [cm²]
- ρ_λ ：集光鏡の分光反射率
- τ_λ ：フィルタの分光透過率
- R_λ ：検出器の分光感度 [V/W]
- A_v ：増幅器の電圧増幅度
- P_λ ：チョップからの分光放射パワー [W]

である。上式で，基準光源と被測定光源がそれぞれ放射計の視野を満す場合（あるいは光源が視野を満さない場合でも，その背景からの放射が光源のそれと比べて無視できる場合）には次のように表わされる。

$$V_\lambda = (N_\lambda \frac{N_c \lambda}{\rho_\lambda}) \rho_\lambda \tau_\lambda R_\lambda A_v \quad (2)$$

ただし， N_λ ：光源の分光放射輝度 [W·cm⁻²·sterad⁻¹· μm^{-1}]

$N_c \lambda$ ：チョップ自体の分光放射輝度 [W·cm⁻²·sterad⁻¹· μm^{-1}]

ここで， $\rho_\lambda \tau_\lambda R_\lambda A_v = K_1$ ， $\frac{N_c \lambda}{\rho_\lambda} = K_2$ と置けば

$$V_\lambda = K_1 (N_\lambda - K_2) \quad (3)$$

となる。いま，ある温度の黒体の分光放射輝度を

$$N_{b\lambda} = (2\pi^5 h c^2 / 15 \lambda^5) \{ \exp(ch/\lambda KT) - 1 \}^{-1} \cdot \pi^{-1} \quad [\text{W} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sterad}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}],$$

これに対する放射計の出力電圧を $V_{b\lambda}$ とすれば， $K_1 = V_{b\lambda} / (N_{b\lambda} - K_2)$ ，これと同温度のヒータを置いたときの出力電圧を $V_{s\lambda}$ とすれば，ヒータの分光放射輝度 $N_{s\lambda}$ は

$$N_{s\lambda} = V_{s\lambda} / K_1 + K_2 \quad [\text{W} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sterad}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}] \quad (4)$$

として求めることができる。ここで(1)式において $H_\lambda A_0 \rho_\lambda \gg P_\lambda$ のときは， $A_0 \rho_\lambda \tau_\lambda R_\lambda A_v = K_\lambda$ として

$$N_{s\lambda} = V_{s\lambda} / K_\lambda \quad [\text{W} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sterad}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}] \quad (5)$$

となる。

5. 測定結果および検討

棒状セラミック・ヒータ2種と石英管ヒータの分光放射特性の測定結果を図8，9に，また比較のためにすでに公表されている放射特性を図10に示す。

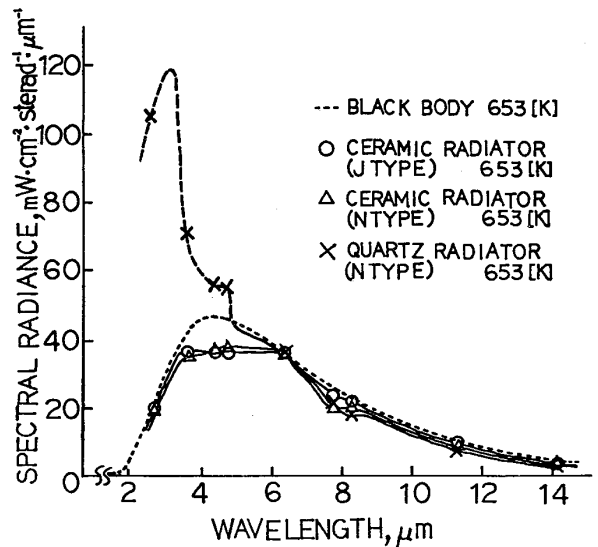


図8 赤外線ヒータの放射エネルギーの分光分布

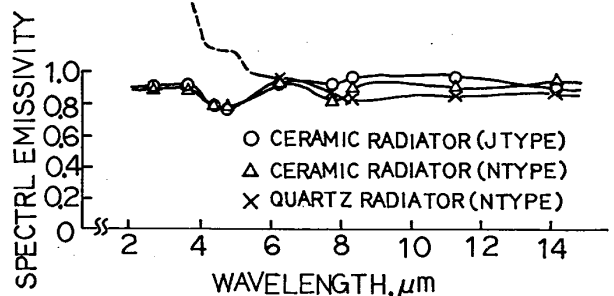


図9 赤外線ヒータの分光放射率

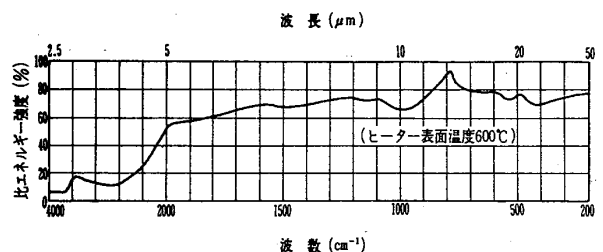


図10 公表されているセラミックヒータの放射スペクトルの一例

5.1 分光放射特性

この結果から2種のセラミック・ヒータの放射エネルギーの分光分布については、ルミネッセンスによると考えられる放射は見出されず、他の温度放射体のそれと比べて特異な点は認められなかった。

図8において、石英管ヒータの分光放射エネルギーは短波長側で黒体のそれよりも大きくなっている。これは、石英管が5 μm以下の波長において半透明であるために、一次放射体である高温のニクロム線(約950 K)からの放射が石英管を透過して出てくるためである。放射率は、2種類のヒータとも高く、Aヒータが0.95以上、Bヒータが0.9以上あった。

5.2 放射効率

図8の分光分布特性から、セラミック・ヒータ(Aヒータ)と石英管ヒータ(Cヒータ)の全放射エネルギーを比較するとセラミック・ヒータは石英管ヒータの約60%であった。またそれぞれのヒータの表面温度を等しくするのに必要な単位面積当りの入力電力を比較するとセラミック・ヒータは石英管ヒータの約60%となった。入力には伝導や対流による損失も若干含まれるが、これらを考慮しても両ヒータの入力比と放射エネルギーの比はよく一致している。このことから、両者の入力差の40%のエネルギーはそのまま石英管ヒータの短波長での放射エネルギーの増加分となっていると考えられる。

いま仮に5 μm以上の波長域で特に高い吸収率をもつ被加熱物を対象として、この両者のヒータを使用する場合を考えると、石英管ヒータはセラミック・ヒータに比べて入力電力が約66%大きくなり、この分だけ加熱効率が低いことになる。

6. むすび

セラミック系ヒータの分光放射特性を明らかにするために、フィルタ形分光放射計を試作し測定した。その結果、分光特性に関する限りいずれも通常の温度放射体であることが確認された。また効率に関しては、中・遠赤外域で高い吸収率をもった被加熱物に対しては、セラミック系ヒータが極めて高く、これまで経験的にいわれてきたことが立証された。

おわりに、この研究を進めるに当たり、ご後援頂いた北陸電力(株)技術研究所荒木唯志課長に謝意を表します。

なお、本報告の要旨は昭和55年10月電気四学会北陸支部連合大会、および同12月赤外線技術研究会例会において発表した。

《参 考 文 献》

- 1) 足立鉄男：遠赤外線適用による省エネルギー化の調査研究，九州電力(株)総合研究所研究報告，No.77007 (昭53)
- 2) (株)ジャード，(株)中京ネッソ：製品カタログ(昭55)，他
- 3) 東芝電材(株)：技術資料 No.E2-2-16(昭54)
- 4) 島田義行，入口紀男：照明学会誌，58(昭49) 179

*それぞれの放射輝度を N_c (セラミック)， N_q (石英管)

$$\frac{N_c(T)}{N_q(T)} \approx \frac{\int_2^{15} N_c(\lambda, T) d\lambda}{\int_2^{15} N_q(\lambda, T) d\lambda}$$