小形の黒体炉の試作とその性能評価†

服部 晋*・秋山 光一**

Trial Manufacture of the Small Blackbody Furnace and the Estimation of Characteristics

Susumu HATTORI* and Koichi AKIYAMA**

1. ま え が き

放射温度計校正用の黒体炉では、その性能や性能の評価方法が不明確な状態にとどまっている場合が多い。この報告では、このような現状の改善に役立てるために、試作した小形の黒体炉の構造と性能評価の方法を紹介する。この黒体炉は、小形で簡易な構造の割に開口が大きく、放射温度計校正用の黒体炉としても十分に使える性能を有している。

2. 試作黒体炉の構造と制御性能

試作した黒体炉の概略を Fig. 1 に示す。空洞壁は、熱伝導率が比較的大きく、酸化によって高い放射率が得られるニッケル製のブロックで構成し、絶縁管に通した $\phi 0.5$ のニクロム線を、このブロック外周側面の軸方向に切った溝にアルミナセメントで直接埋め込んで固定して加熱している。炉の周囲の断熱は、3層のステンレス製放射シールド板と層間に詰めたセラミックウールで行い、炉前面は、ステンレス板でアスベスト板をはさんで作った断熱板で断熱している。

炉の温度は、空洞底部中心の直下に設置した PR 熱電対で検出し、設定電圧との差によって温度制御のための偏差出力を得ている。温度の制御は、この偏差出力をチョッパアンプで 10 倍に増幅して後、工業用の

Fig. 1 Black body furnace

† 第 26 回応用物理学関係連合講演会で発表 (昭 54・3)

* 計量研究所 東京都板橋区加賀 1-10-4

** 岡山県工業技術センター 岡山市今保 661

(Received May 14, 1979)

PID 温度調節計に入力する方法で行っている。

この黒体炉は、空洞壁を構成するブロックに直接ヒーターが設置されているために、熱効率と応答性にすぐれ、(1)255 W で 800℃ に維持できる、(2)0.1℃ の安定性を有する、(3)100℃ の温度変更では 20 min 以内に定常状態が得られる、などの特徴がある。

3. 温度分布の評価

温度分布は、空洞壁の熱抵抗を電気抵抗に置き換えた計算と、開口部を断熱煉瓦で閉じて、その中心部に設けた $\phi 5$ の穴から絶縁管に通した裸の PR 熱電対を差し込んで測定する方法とによって評価した。Fig. 2 に設定温度 800℃ でのその計算結果と実測値とを示す。この図に示す計算値は、ブロックの側面 S_s の熱流密度 q_s と、底面 S_b の熱流密度 q_b とを等しいとみなし ($q_s = q_b$)、その部分からの熱損失 $Q_{sb} (= q_s S_s + q_b S_b)$ と前面からの熱損失 Q_f との和が実測の加熱電力に等しいと置いて、 Q_f と Q_{sb} の比率を変えて得たものである。図の P は、この比率 Q_f / Q_{sb} を意味する。

温度分布の実測では、熱電対の挿入長が短い状態では、熱伝導誤差などの影響が大きいと考えられるが、挿入長が長い状態では比較的よい精度で測定されていると期待できる。また、底部では、测温接点を底面に接触させた测温値と 5 mm 引き出した测温値との差が 0.5℃ 以下であることから推定して、测温誤差は無視できる程度と考えられる。この測定法では、空洞壁の温度を若干低く評価するが、その誤差は小さいと考えられ、その誤差を無視すれば、この測定から空洞壁の温度分布は、 $P=1$ の条件で算出された温度分布にほぼ等しいと推定できる。

Fig. 2 Temperature distribution in the central axis of the black body furnace

この実験では、開口部に栓をすることによって、開口部からの放射による熱損失（推定量約 30 W）と対流による熱損失が断たれ、約 50 W の熱損失の低下が観測された。この熱損失をブロックの前面からの熱損失とみなせば、栓のない状態では、空洞壁は $P \approx 1.5$ の計算値に対応する温度分布になる。

以上の実験と考察とから推定すれば、栓のない状態での空洞壁の温度低下量は、栓のある状態とない状態での温度低下量の差の 5 倍程度と考えられる。

4. 放射特性の評価

空洞形の黒体では、開口部のしぼりの有無による分光放射輝度の変化から、温度分布が一様な空洞の実効放射率（空洞放射率と呼ぶ）をある程度推定できる¹⁾。ここでも、この方法を採用し、内面に窒化ボロンを塗布して反射率を高めた断熱煉瓦製の中心部に、 $\phi 5$ ののぞき窓のある栓を開口部に設置した状態でののぞき窓の分光放射輝度 ($L_{\lambda 1}$) と、栓を除去した直後の分光放射輝度 ($L_{\lambda 2}$) とを比較して空洞放射率を評価した。この測定では、さらに、栓を除去した後の定常状態で分光放射輝度 ($L_{\lambda 2}$) を測定して、空洞内温度分布の変化の影響を評価した。Fig. 3 に、測定波長 $0.65 \mu\text{m}$ の単色高温計²⁾による測定結果を示す。この図では、おのおのの分光放射輝度の測定値を、のぞき窓からの測定値に対する比に換算して示しており、二つの曲線の差は開栓前の温度分布が維持されている開栓直後と、開栓後の定常状態での分光放射輝度の差を表わす。

しぼりのない状態（開口面積 S ）での空洞放射率 ε_0 は、その状態の実効放射率を ε 、しぼり付き（開口面積 $\bar{S}$ ）での実効放射率を $\bar{\varepsilon}$ 、しぼり度 $(S - \bar{S})/S$ を n とすれば、次式で近似することができる。

$$\bar{\varepsilon} \approx \varepsilon + \varepsilon(1 - \varepsilon_0)\rho n \quad (1)$$

ここで、 $(1 - \varepsilon_0)$ は Kirchhoff の法則が空洞に対し

Fig. 3 Change of the spectral radiances by the contraction of aperture area

ても成立するとみなした場合の空洞の反射率、 ρ はしぼりによって空洞内に戻される放射の平均放射密度の、しぼりのない状態での観測方向に出射する放射束密度に対する割合を表わす係数で、しぼりから発散する放射束までも含む実効的な反射率である。(1)式を利用し、 $\rho = 0.5 \pm 0.2$ とみなして、Fig. 3 の実験結果 ($\bar{\varepsilon}/\varepsilon = 1.002 \pm 0.001$) とその実験条件 ($n \approx 0.95$) を入れて計算すれば、この黒体の空洞放射率は $\varepsilon_0 = 0.996 \pm 0.004$ と評価できる。

Fig. 3 で、二つの曲線の差を輝度温度差に換算すれば、 800°C の場合で 0.36°C となる。この輝度温度差は、開口に栓をした状態での空洞壁面の温度分布と栓のない状態での温度分布の違いによって生じたものとみなせる。空洞壁面の温度低下量と空洞の輝度温度の低下量との関係は、温度低下量が大きくない条件ではほぼ比例する。したがって、第 3 章での評価結果とここでの輝度温度差とから推定すれば、温度分布が一様な空洞と比較して、この空洞の場合は温度勾配のために -1.8°C 程度の輝度温度誤差を生じていると考えられる。

また、この黒体では、開口の周辺部では中心部に対して $0.5 \sim 1.0^\circ\text{C}$ の輝度温度の低下が実測された。

以上の実測と考察とから、設定温度 800°C では、温度勾配のために、中心部を規定する場合で -1.8°C 、開口部全面を規定する場合で -2.5°C 程度の系統的な輝度温度の誤差を生ずると評価できる。

5. あとがき

この黒体では、以上の考察と実験により、設定温度が 800°C の場合は、実効温度表示³⁾で、空洞放射率 0.996 ± 0.004 、実効温度 $797.5^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ (開口平均) $\sim 798.2^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ (開口中心) と評価した。

この黒体は、変角分光放射計内に設置する目的で試作したために構造が限定されたが、放射温度計校正用のみを目的とすれば、設計の自由度が大きく、さらに性能の向上を期待できる。ここで示した校正法は、それらにとっても有効であろう。

参考文献

- 1) 服部：空洞放射体の実験的な評価法，第 12 回 SICE 学術講演会予稿集，p. 141 (1973)
- 2) 河村，林，服部：シリコン単色高温計，計測自動制御学会論文集，15-1，71/76 (1979)
- 3) 服部：実効温度による空洞放射体の特性表示，計測自動制御学会論文集，15-6，846/847 (1979)