

## 放射温度測定方法と放射温度校正装置の写しこみの検討

館保法<sup>1)</sup>, 原田築<sup>1)</sup>, 藤原剛<sup>1)</sup>, 真弓信次<sup>2)</sup>, 梶井宏修<sup>1)</sup><sup>1)</sup>近畿大学, <sup>2)</sup>鶴賀電気株式会社

## Measurement method of thermal radiation and transcribing thermal grey scale on thermogram

TACHI Yasunori<sup>1)</sup>, HARADA Kizuku<sup>1)</sup>, HUJIWARA Tsuyoshi<sup>1)</sup>, MAYUMI Shinji<sup>2)</sup>, KAJII Hironobu<sup>1)</sup><sup>1)</sup>KINKI Univ., <sup>2)</sup>Tsuruga Electric Corporation

**Abstract:** Depending on the conditions of use of a radiation thermometer, the accuracy of the thermal radiation output can be low. For this reason, we have developed a calibration furnace to improve the accuracy. After verifying its accuracy, the proposed method will be used to calibrate radiation thermometer. We produced three or more calibration furnaces and used three different temperatures. We considered how to shoot target and calibration furnace in the same screen. In addition, we studied the precision of this measurement method.

**Key words:** globe temperature, emissivity, black mat coating, thermograph, Color bar (TGS (thermal grey scale) )

**要旨:** 放射温度計の使用条件によって、熱放射出力の精度は低い。

このことから、我々は精度向上のために校正炉を製作した。塗料の反射率測定および黒球用塗料の暴露試験を行った。その精度を確かめた後に、放射温度計校正に使用する。

我々はこの校正炉を3個以上製作し (thermal gray scale)、異なる3つ温度に設定した。

熱画像撮影時に、同じ放射温度範囲でTGSを写込んだ。

さらに、この測定方法の精度の高さも検討した。

**キーワード:** 黒球温度 放射率 黒色塗料、放射カメラ、温度カラーバー ( (TGS) Thermalcale)

## 1. はじめに

現在、熱画像計測装置を手軽に手に入れることができ、面の熱の測定が容易になった。価格は1/10以下に下がり、性能面でも精度が向上した。しかし、流通している機器が必ずしも正しい測定値を示しているとは限らない。物体の温度を計測する場合、熱は物体自体から出た熱に反射の熱が加わっている。また、機器の応答の遅れなどから正しい温度が出ていない場合がある。

そこで、今回放射率を幾何学的に決定される形状、材料を求め、正しい放射温度を知るための校正装置を実際に製作し、その校正装置を用いて機器の表示誤差を少なくした放射温度を確認する方法を示す。

考にした。図-1に製作した校正器と簡易な断面図を示す。キルヒホフの法則より、熱放射と熱吸収の割合である放射率と吸収率は、放射率=吸収率の関係がある。放射率が1である理想物体が黒体であり、黒体の吸収率は1である。校正炉の内を理想黒体に近付けるため銅筒内部の放射率を1に近付ける

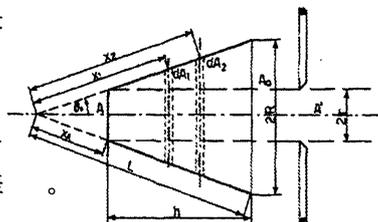


図-2 先端角

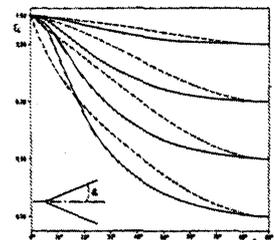


図-3 角度と放射率

## 2. 実験方法

## 2.1 放射温度校正炉製作について

校正炉は内部の温度を一定に保つため魔法瓶を用いた。校正装置形状・仕様はJIS C1612-2004を参

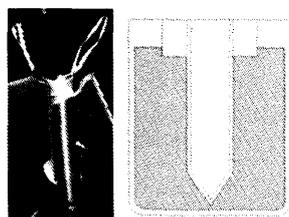


図-1 校正炉の写真および断面

照の材料には熱伝導率の高い電気銅を使用し、長さ270[mm]×内径25[mm]×厚さ3[mm]とした。

先端の角度はP. CAMPANAROとT. RICOLFI(1967)の研究を参考にした。十分に銅筒の長さを確保した状態で放射率毎に先端の角度を狭めていくと狭くなるほど放射率が1に近づくことが分かった。今回は黒色塗料と銅

筒の長さを考慮し、先端の角度を 60[° ]に設定した。

表-1 銅筒の長さ と放射率の関係

α	ε =0.5		ε =0.75		ε =0.9	
	Present	Ref.1	Present	Ref.1	Present	Ref.1
1	0.766	0.6878-0.7914	0.903	0.8626-0.9180	0.960	0.9482-0.9708
2	0.884	0.8394-0.8776	0.949	0.9389-0.9553	0.982	0.9785-0.9848
4	0.959	0.9460-0.9540	0.983	0.9815-0.9842	0.994	0.9936-0.9945
8	0.989	0.9880-0.9887	0.995	0.9956-0.9961	0.998	0.9984-0.9986

表-2 先端の角度と放射率の関係

θ °	ε =0.3		ε =0.5		ε =0.7		ε =0.9	
	Eq.(10)	Gouffé's data						
5°	0.961	0.885	0.976	0.959	0.988	0.988	0.997	0.998
10°	0.868	0.805	0.919	0.922	0.959	0.974	0.988	0.995
15°	0.760	0.741	0.850	0.886	0.922	0.957	0.977	0.991
20°	0.662	0.688	0.785	0.852	0.885	0.939	0.966	0.986
30°	0.520	0.595	0.683	0.781	0.823	0.897	0.945	0.972
45°	0.404	0.478	0.589	0.679	0.761	0.827	0.923	0.948
60°	0.344	0.384	0.537	0.585	0.725	0.762	0.909	0.924
80°	0.305		0.504		0.703		0.901	
90°	0.300	0.300	0.500	0.500	0.700	0.700	0.900	0.900

また、放射率を1に近付けるため、内部に反射率の低い艶消し黒色塗料を塗布した。艶消し黒色塗料の選定は屋内外の放射熱環境で黒色塗装銅板(30[mm]×30[mm] 0.5 t および100×100×0.5t )9種類について暴露試験を行った。

放射温度計および赤外線放射カメラ(波長8~14[μ m])を用いて放射温度分布を測定した。その様子を図-4に、また同時に試料に入射する放射エネルギーの立体角を円周魚眼レンズで確認した様子を図-5に示す。

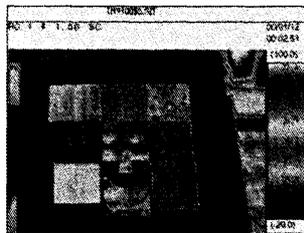


図-4 屋外試験



図-5 円周魚眼レンズ

次に、各試料は紫外、可視および近赤外線分光光度計(島津製UV-3150)を用いて計測を行った。JIS K5602 : 塗膜の日射反射率の求め方にしたがって分光光度計で波長範囲 300~2500[nm]の波長域、紫外、可視および近赤外域の反射率測定を行った。測定の初めに標準白色板(硫酸バリウム製標準白色板)のリファレンスを用いて測定を行った。

フッ素系(Labsphere社SBS-99-010)を用いた場合の反射率を比較すると、水分の影響と考えられる波長分布傾向が見られたため、以後は後者をリファレンスとし湿度の影響を抑えた測定を行った。長波長2.5~25[μ m]範囲はフーリエ変換赤外分光光度計(島津FTIR-8200)、標準反射板はインフラゴールド製反射ターゲット(Labsphere社IRS-94-010)を用いた。日射反射

の各波長のエネルギー割合の係数を乗じた値を合計することで日射に対する反射率を求めた。図-6に塗料材料の波長ごとの日射反射率の変化を示す。図-7は塗料材料の日射反射率の計算値である。長波長2.5~25[μ m]についても同様に常温のエネルギーに対する波長特性値を乗じて求める。

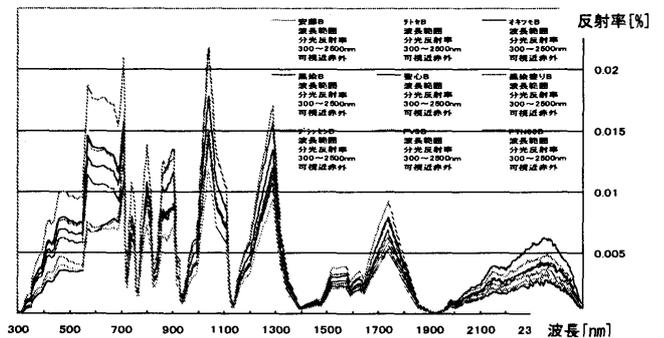


図-6 塗装材料の各波長の反射率

放射温度測定では周辺環境によるが、特にAC-PTN30を塗布した銅板の温度が高くなることが多く、次いでAC-FV3が高かった。AC-PTN30の放射温度が高く日射反射率の計算値が低かった。反射率も低いAC-FV3は結果が安定しなかったため今回は使用しない。長波長領域におけるAC-PTN30の反射率は他の塗装剤より反射が安定していた。

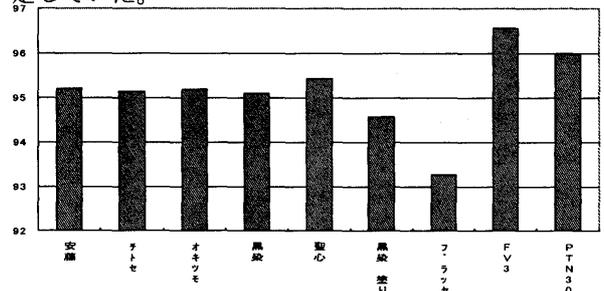


図-7 塗装材料の日射反射率

図-8は塗料材料の可視域波長0.3~0.7[ $\mu\text{m}$ ]の反射率である。黒球の塗料暴露材料の各波長の反射率について1か月を経過すると緩やかに3[%]程度まで増加する傾向が認められた。図-9に近赤外域波長0.7~2.5[ $\mu\text{m}$ ]の反射率を示した。大気中に塗料が暴露されることによって反射率が低下する傾向が認められた。図-10に赤外域の2.5~25[ $\mu\text{m}$ ]の反射測定を示す。

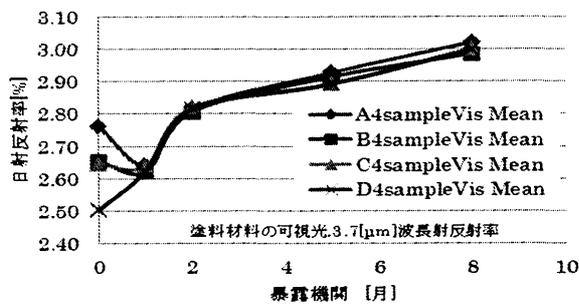


図-8 塗料材料の可視域波長0.3~0.7[ $\mu\text{m}$ ]の反射率

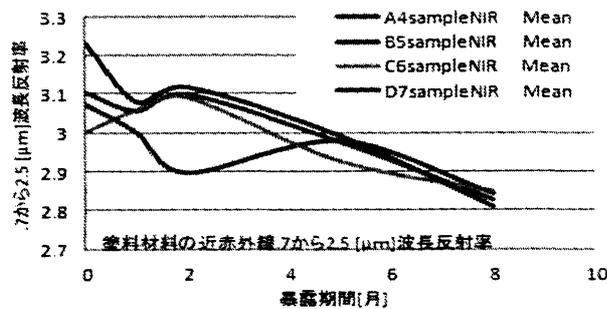


図-9 近赤外域波長0.7~2.5[ $\mu\text{m}$ ]の反射率

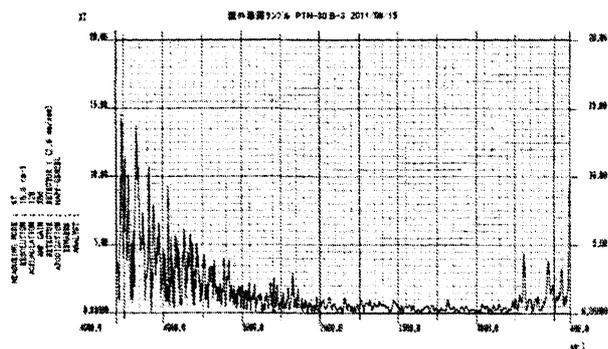


図-10 近赤外域波長測定値

この波長域についても同様に反射率が低下する傾向が認められ、約1年経過し、現在も、屋外暴露試験を続行中である。顕微鏡写真を用いての実測も同時に行い、塗料の風化、固化などを含め検討を続けている。

反射率が96[%]以上の2種について現在、屋外暴露試験を続行中である。

選定した艶消し黒色塗装をグローブ球に塗布して市販のグローブ球との温度・反応速度を比較した。各グローブ球に熱電対をコイル状に巻いたものとまっすぐ

に伸ばしたもの、2つのグローブ球の温度差を測るものを入れて計測した。室温は空調の設定温度を冷房:18[ $^{\circ}\text{C}$ ]にし、室温を下げ安定するまで待ってから暖房:26[ $^{\circ}\text{C}$ ]にし、室温の変化とグローブ球の反応を見た。

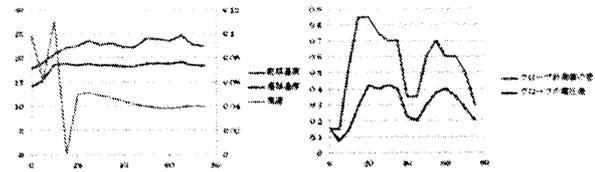


図-11 乾湿温度と風速

図-12 計算値と電圧差

室温の変化に対し艶消し黒色塗料を塗布したグローブ球の方が市販のグローブ球より反応速度が速く、安定するまで2つの温度差は開いていった。また、それぞれの温度を計測して差を求めた場合と電圧差により温度差を求めた場合には差が生じた。

市販のグローブ球は艶消しの加工が十分でないので図-13のように周囲の熱放射を反射する可能性がある。熱画像を撮影する場合などに注意が必要である。

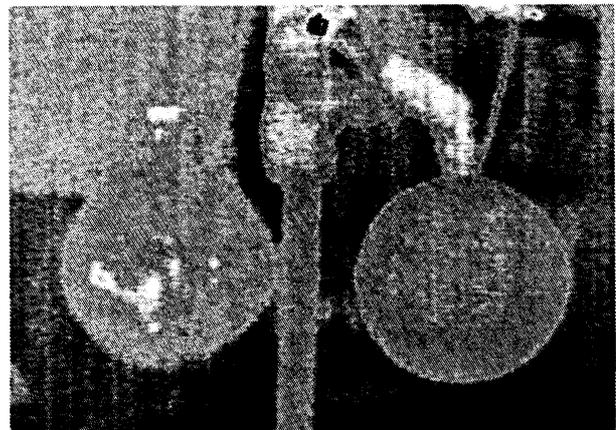


図-13 グローブ球の反射

## 2.2 校正装置の写しこみの検討について

これらを用いて校正装置を3個製作した。魔法瓶毎に温度の違う水を入れ、銅筒と温度計をセットし内部の温度が安定させた後、標準温度計・放射温度計・熱画像計測装置で銅筒内の温度を計測し、それぞれの計測機の精度を3点で調べる。

標準温度計はJSCC(製品評価技術基盤機構)によって校正されたガラス製温度計を使用した。これは1/10の精度まで測ることができる。保証期間が3年ある経年変化の極めて少ない安定した材料で作られた示度の正確なものであるため今回の標準温度計に用いた。

放射温度計はTHI-500を用い、波長域は8~14[ $\mu\text{m}$ ]である。

熱画像計測は撮影時に校正機とその周囲を写し、校

正機は銅筒の穴が写るように撮影する。1点の温度計測では精度が分からないことと、使用した熱画像計測機が、測定した温度周辺は、ある程度正確に計測できるように調整されている可能性があるため最低でも3点で計測し、その点を結ぶことによって計測機器の各温度での測定値をみる。

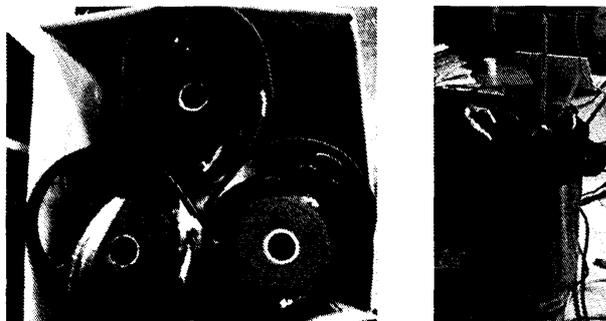


図-14 校正炉と温度計測時の写真

熱画像測定器は温度変化を色のグラデーションで表示し、画面内に温度メモリを表示しているが、校正装置を用いて計測した場合、標準温度計・放射温度計と熱画像計測機の表示が一致するかをみる。

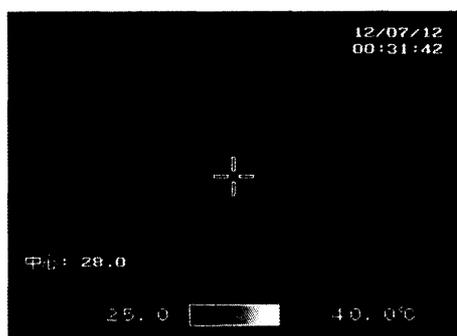


図-15 校正炉写しこみ写真

水温は長時間放置すると温度積層ができるので標準温度計の表示温度が安定するまで、また計測時も定期的に混ぜる。また、今回は長さの違う銅筒を用意し状況や用途に合わせて使い分けられるようにした。寸法は長さ190[mm]×内径25[mm]×厚さ3[mm]となる。精度の検証は同様に行った。

### 3. 結果

製作した校正炉を用いて標準温度計を基準とした実験を行い、銅筒の内部の放射温度が水温と同じ温度を示すという結果が得られた。これによって、製作した銅筒の精度が実際の温度との誤差0.1[°C]以内で計測できることを証明した。

次に睡眠環境の現場を製作しそこに校正機を設置し、標準温度計・放射温度計・熱画像計測機で銅筒内部を計測したが、前述より標準温度計と放射温度計の表示温度は一致したものの熱画像計測機で0.4[°C]の差がみられた。また、計測温度と温度メモリのグラデーシ

ョンが見つらいという使用上の問題も出た。

表-3 各温度計の計測値の差

先端が60°の校正機No.	1	2	3
標準温度計	25.8[°C]	28.8[°C]	31.6[°C]
放射温度計	25.8[°C]	28.8[°C]	31.6[°C]
熱画像計測機	25.4[°C]	28.4[°C]	31.4[°C]

### 4. 考察

計測の結果、熱画像計測機の表示温度には標準温度計との差がみられた。これによって必ずしも、計測機が正しい温度を示しているとは言い難い。

熱画像計測機の温度メモリは内部校正により表示されていることが多く、実際の温度との差が生じている。

また、今回はポットの内部には温度の違う水を使用した安定した温度を保つために蓄熱材を用いてより簡便に精度よく校正する方法も検討したい。過去、電気的な複数個の黒体炉を並べて順にエネルギーの異なる熱放射を熱画像に写しこみ表面の放射温度を比較する方法があった。しかし最近では放射カメラ内部の温度校正値の強度にしたがって、表示が行われ、カラー表示ではカラーバーで示されている。しかしこの方法では外部からの熱放射の影響が反映されない懸念がある。

さらに、測定機器の自己温度管理部分の温度が異なると放射温度測定機器は変換誤差が発生しやすい。したがって、外部校正用の放射温度校正機器が有効に利用できると思われる。

### 5. まとめ

今回製作した放射温度校正器はサイズが小さく、睡眠環境の温度を計測するには適している。しかし、広い環境での計測が必要な場合は口径の大きいものが必要になる。

熱画像計測機は温度指標が見つらく、標準温度計との差があるため校正が必要と考える。

### 6. 文献

- 日本規格協会. 2004. C1612 JIS, 放射温度計の性能試験方法通則, 電気計測, ハンドブック 47:1413/1441.
- P. CAMPANARO, T. RICOLFI. 1967. New Determination of the Total Normal Emissivity of Cylindrical and Conical Cavities, JOSA Vol57:47/50.
- 梶井宏修. 日本睡眠環境学会学術大会, 第17回(第27回睡眠環境シンポジウム):62.

#### <連絡先>

連絡先氏名: 梶井宏修  
 住所: 〒577-8502 東大阪市小若江3-4-1  
 所属: 近畿大学建築学部  
 E-mail アドレス: kajii@arch.kindai.ac.jp