

### 干渉フィルタを用いた光高温計

安部, 照夫 / ABE, Teruo / 林, 俊孝 / 岡田, 秀三 / OKADA, Shuzo / HAYASHI, Tositaka

---

(出版者 / Publisher)

法政大学工学部

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学工学部研究集報 / 法政大学工学部研究集報

(巻 / Volume)

11

(開始ページ / Start Page)

61

(終了ページ / End Page)

66

(発行年 / Year)

1975-03

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00004212>

# 干渉フィルタを用いた光高温計

阿部 照夫・\*林 俊孝\*・岡田 秀三\*\*

## Optical Pyrometer with Interference Filter

Teruo ABE\*, Tositaka HAYASI\* and Syūzō OKADA\*\*

### Abstract

The filament temperature of an optical pyrometer lamp is derived theoretically, assuming the transmission coefficient of the optical system. The calculated values are about 4°C higher than the measured values using a micro-pyrometer, showing fairly good agreement.

Near the eye-piece of an optical pyrometer, generally a red glass is inserted as a monochromatic filter, making the effective wave length of light about 0.65  $\mu\text{m}$ . But here, a red glass is replaced by interference filters, making the wave length 0.65, 0.60, 0.55, 0.50 or 0.45  $\mu\text{m}$  respectively. When the wave length is made shorter, the calibration of the optical pyrometer through the use of a standard ribbon lamp showed a deviation of indication to a higher temperature, in measuring with an instrument calibrated at wave length 0.65  $\mu\text{m}$ . On the contrary, the calibration through the use of a black body furnace showed a deviation to the lower, and the amount of deviation is about 35°C in measuring temperature of 1,500°C, using light of wave length 0.45  $\mu\text{m}$ , as compared with datum measured at wave length 0.65  $\mu\text{m}$ . These deviations of indicated temperature agreed exactly with the theoretical values as derived from lamp or furnace temperature.

In general, orange or yellow light of about 0.60  $\mu\text{m}$  wave length is more preferable to the red light now commonly being employed, as a monochromatic light of an optical pyrometer.

### §1. ま え が き

光高温計では波長0.65  $\mu\text{m}$  の赤い光の輝度によって高温を測定する。単色光を得るために色ガラスの吸収を利用するかぎり、肉眼で感ずる光のうちで赤の端に近い光を使うのは当然である(赤以外では、天野清の緑色の光を使った結果の報告があるにすぎない)。しかし現在は干渉フ

\* 法政大学工学部

\*\* 光洋電子工業(株)

フィルタによって、どの波長の単色光をも容易に得ることができるので、光高温計に使う光の波長をいろいろ変え、標準電球または黒体炉と輝度合わせを行なった。また計器目盛と電球温度との関係を求め、これを使って実験結果が理論とよく一致することを確めた。

## § 2. 標準電球による校正

### 2.1 測定

光高温計を普通のやり方で、すなわち校正表に指定してある直流電流を標準電球に流して点灯

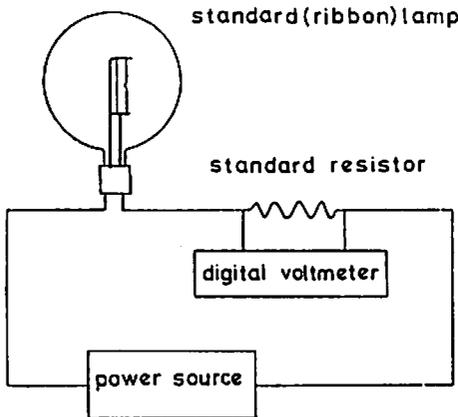


Fig. 1 Schematic diagram of standard lamp circuit

し、その輝度と光高温計の内部電球の輝度とを一致させて校正した。Fig. 1 の点灯回路において、標準電球は大形真空電球であり、交流を整流して交流分を0.2%程度にした直流定電流電源によって輝度温度900ないし1,500°Cで点灯した。標準電球も光高温計の内部電球もフィラメントに遅れが大きいので、じゅうぶんに時間をおいて一定になってから測定した。

光高温計をそのまま、すなわち赤ガラスのフィルタを通して実効波長0.65 $\mu\text{m}$ で測定したときと、赤ガラスの代わりに波長0.65, 0.60, 0.55, 0.50または0.45 $\mu\text{m}$

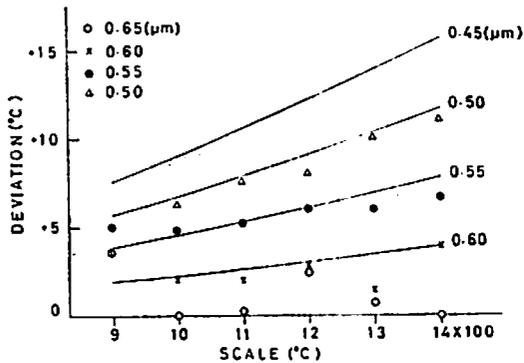


Fig. 2 Deviation when calibrated with standard lamp

の干渉フィルタを光路に入れて測定したときとの結果を比較した。標準電球も光高温計もともに波長0.65 $\mu\text{m}$ の光で測って正しいように校正してあるので、ほかの波長の光で測ると指度に偏差が生ずる。光高温計に赤ガラスを入れて輝度合わせしたときの指度を基準にとり、干渉フィルタを使って輝度合わせしたときの偏差を Fig. 2 に点で示す。なお波長の短い光を使うと、比較的低い温度では放射エネルギーが弱くて測定できない。

### 2.2 指示温度と電球温度

黒体のスペクトル放射輝度 $N$ は近似的に次の Wien の式で表わされる。

$$N = c_1 \lambda^{-5} \exp(-c_2/\lambda T) \quad (1)$$

$\lambda$ : 光の波長 ( $\lambda = 0.65 \times 10^{-6} \text{m}$ )

$T$ : 黒体の絶対温度 [K] (正しい光高温計では、その指度を絶対温度で表わした値と一致する)

$c_2 = 0.014388 \text{ [m} \cdot \text{K]}$

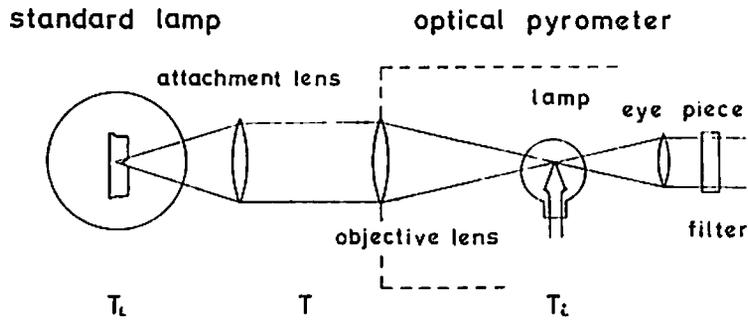


Fig. 3 Calibration of optical pyrometer by standard lamp

Fig. 3 に示す光学系を使って、輝度温度  $T$  で標準電球を点灯するときは、

$$\begin{aligned} \exp(-c_2/\lambda T) &= \tau_L \exp(-c_2/\lambda S_L) \\ &= \tau_L \varepsilon_L \exp(-c_2/\lambda T_L) \end{aligned} \quad (2)$$

$T_L$ : 標準電球フィラメントの真温度 [K]

$S_L$ : 標準電球フィラメントの輝度温度 [K]

$\tau_L$ : 標準電球のガラスと校正に使う補助レンズとを総合した、光の透過率

$\varepsilon_L$ : 標準電球の温度  $T_L$  におけるタングステンの、波長  $\lambda$  の光に対するスペクトル放射率<sup>2)</sup>

であり、したがって次の式が成り立つ。

$$1/T_L = 1/T + \lambda/c_2 \cdot \ln(\tau_L \varepsilon_L) \quad (3)$$

Fig. 3 の光学系で、輝度温度  $T$  のスペクトル放射エネルギーによって光高温計を輝度合わせしたとき、内部電球との間には次の式が成り立つ。

$$\begin{aligned} \tau_i \exp(-c_2/\lambda T) &= \exp(-c_2/\lambda S_i) \\ &= \varepsilon_i \exp(-c_2/\lambda T_i) \end{aligned} \quad (4)$$

$T_i$ : 内部電球フィラメントの真温度 [K]

$S_i$ : 内部電球フィラメントの輝度温度 [K]

$\tau_i$ : 光高温計の対物レンズと内部電球のガラスとを総合した、光の透過率

$\varepsilon_i$ : 内部電球の温度  $T_i$  におけるタングステンの、波長  $\lambda$  の光に対するスペクトル放射率<sup>2)</sup>

$$\therefore 1/T_i = 1/T - (\lambda/c_2) \cdot \ln(\tau_i/\varepsilon_i) \quad (5)$$

式(3)と式(5)とをまとめると次の式になる。

$$1/T_i = 1/T_L - (\lambda/c_2) \cdot \ln(\tau_L \varepsilon_L \tau_i/\varepsilon_i) \quad (6)$$

標準電球も光高温計も波長  $0.65\mu\text{m}$  で校正してある。波長  $0.65\mu\text{m}$  において、上記の温度の関係を計算した結果を Table に示す。ただし  $\tau_L = \tau_i = 0.82$  としている。いずれもガラス1枚につき表面の反射率が9.5%でありガラスによる光の吸収がないとし、ガラス2枚を通過するから総

Table Temperature of scale and lamps

Standard Lamp (°C)		Scale (°C)	Pyrometer Lamp (°C)				
$T_L$	$S_L$	$T$	$T_i$	$S_i$	$S_{im}$	$S_{ic}$	$S_i - S_{ic}$
965	912.5	900	938	888			
1,077	1,014.5	1,000	1,045	986	910		
1,191	1,117	1,100	1,153	1,083	1,070	1,078	5
1,306	1,219	1,200	1,262	1,181	1,169	1,178	3
1,422	1,322.5	1,300	1,371.5	1,278	1,256	1,267	11
1,539	1,425.5	1,400	1,482	1,375	1,362	1,374	1
1,658	1,529	1,500	1,593	1,472	1,455	1,469	3

注：表の数値はKでなくて°Cで表わした。

合した透過率は82%となる。Table の  $T$  と  $T_L$  との関係は田治米亮造の報告<sup>3)</sup>と一致している。

内部電球はフィラメントが細いのでマイクロピロメータによって波長  $0.65\mu\text{m}$  の光で輝度温度を測り、その実測値を  $S_{im}$  とする。この光は内部電球のガラスを通過してその表面反射によって9.5%だけ強さが弱まっているので、補正すると、フィラメントの輝度温度  $S_{ic}$  を得る。 $S_i$  と  $S_{ic}$  とを比較すると計算値より測定値が  $4^\circ\text{C}$  低い程度であり、よく一致している。

### 2.3 波長と指示温度との関係

以上は  $\lambda=0.65\mu\text{m}$  の赤い光を使ったときの計算であり、Fig. 2 に示すとおり干渉フィルタを使っても赤ガラスを使ったときと波長が同じならば測定値は同じである。干渉フィルタを入れて、別の波長  $\lambda'$  を使って測定しても標準電球は同じ電流を流して真温度は同じく  $T_L$  であるが、光高温計に入射する波長  $\lambda'$  のスペクトル放射エネルギーは  $\tau_L \varepsilon_L' c_1 \lambda'^{-5} \exp(-c_2/\lambda' T_L)$  であり、この光を受けて光高温計で輝度合わせしたときの関係は次のとおりになる。

$$\tau_i \tau_L \varepsilon_L' \exp(-c_2/\lambda' T_L) = \varepsilon_i' \exp(-c_2/\lambda' T_i') \quad (7)$$

$T_i'$ : 波長  $\lambda'$  を使って輝度合わせしたときの内部電球温度 [K]

$\varepsilon_L'$ : 温度  $T_L$  における、波長  $\lambda'$  に対するタングステンのスペクトル放射率<sup>2)</sup>

$\varepsilon_i'$ : 温度  $T_i'$  における、波長  $\lambda'$  に対するタングステンのスペクトル放射率<sup>2)</sup>

$$\therefore 1/T_i' = 1/T_L - (\lambda'/c_2) \cdot \ln(\tau_i \tau_L \varepsilon_L' / \varepsilon_i') \quad (8)$$

であり、この内部電球温度  $T_i'$  に相当する計器の目盛  $T'$  は式(5)と同様に次の式で与えられる。

$$1/T' = 1/T_i' + (\lambda/c_2) \cdot \ln(\tau_i/\varepsilon_i) \quad (9)$$

$\varepsilon_i$ : 温度  $T_i'$  における、波長  $\lambda$  の光に対するタングステンのスペクトル放射率

式(8), (9)および式(3)より

$$1/T' = 1/T + (\lambda - \lambda')/c_2 \cdot \ln(\tau_L \tau_i) + \lambda/c_2 \cdot \ln(\varepsilon_L/\varepsilon_i) - \lambda'/c_2 \cdot \ln(\varepsilon_L'/\varepsilon_i') \quad (10)$$

右辺の第3, 第4項はともに小さく、しかも互に打消しあう方向であり、実際に計算してみたところ  $T'$  に対して  $0.2^\circ\text{C}$  以下の誤差としてきくのみであるから省略してよい。こうして計算した

結果が Fig. 2 の実線であり、実測値とよく一致している。なお、Table からわかるとおり  $T_L > T_i$  であって、短い波長を使うほど偏差がプラスになる。

### §3. 黒体炉による校正

黒体炉を一定温度に保ち、光高温計に使う光の波長を変えて測った結果を Fig. 4 に点で示す。

波長  $\lambda=0.65\mu\text{m}$  の光で輝度合わせしたときの黒体炉の温度  $T$  と内部電球温度  $T_i$  との関係は式(5)である。もし光の波長  $\lambda'$  で輝度合わせしたときは式(4)および(5)は形を変えて

$$\tau_i \exp(-c_2/\lambda'T) = \varepsilon_i' \exp(-c_2/\lambda'T_i') \quad (11)$$

$T_i'$ : 内部電球フィラメントの真温度 [K]

$$\therefore 1/T_i' = 1/T - \lambda'/c_2 \cdot \ln(\tau_i/\varepsilon_i') \quad (12)$$

となる。フィラメント温度  $T_i'$  のときに、誤差のない計器の指示温度  $T'$  は式(9)であるから、次の関係が成立つ。

$$1/T' = 1/T - \lambda'/c_2 \cdot \ln(\tau_i/\varepsilon_i') + \lambda/c_2 \cdot \ln(\tau_i/\varepsilon_i) \quad (13)$$

または

$$1/T' = 1/T + (\lambda - \lambda')/c_2 \cdot \ln \tau_i - (\lambda \ln \varepsilon_i - \lambda' \ln \varepsilon_i')/c_2 \quad (14)$$

この式から波長による指示温度の偏差  $T' - T$  が求まる。計算結果は Fig. 4 の曲線であり、実測値とよく一致する。

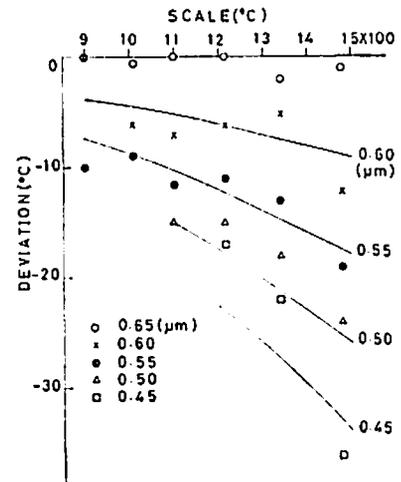


Fig. 4 Deviation when calibrated with black body furnace

### §4. 考 察

干渉フィルタを使うことにより光高温計で使う光の波長を任意に選ぶことができた。現在の標準電球で容易に校正できることを明らかにした。理論的計算による修正を加えるだけで、任意の波長を使った光高温計を作ることができる。

光高温計の波長を変えることの得失はすでにのべられているとおりであり<sup>1)</sup>、この実験でも確認した。現在使っている波長  $0.65\mu\text{m}$  の赤い光は眼が疲労するから、一ぱん用の光高温計には  $0.60\mu\text{m}$  付近の橙色ないしは黄色の方が有利であり、 $0.65\mu\text{m}$  に比べて不利な点はほとんどない。 $0.50\mu\text{m}$  などの短い波長の光は、放射率の補正が小さいという利点はあるが、途中にあるわずかの煙によって温度を低く示すことが実験中に認められ、また Fig. 2 および 4 でわかるとおり  $1,000^\circ\text{C}$  以下の測定ができないので、特殊の用途に限られる。

### §5. む す び

光高温計内部電球のフィラメント温度を理論的に求めた。この結果はマイクロピロメータに

よる測定とよく一致した。

光高温計内にある赤ガラスの代りに干渉フィルタを入れることによって、測定に使う単色光の波長をいろいろに変えた。波長 $0.65\mu\text{m}$ において校正した光高温計を用いて標準電球の輝度と比較した結果、光の波長が短いほど温度を高く指示した。黒体炉を使って比較すると逆に低い温度を示し、 $1,500^{\circ}\text{C}$ ではその偏差の最大値は $35^{\circ}\text{C}$ であって標準電球による場合の約2倍である。

ある波長の光を使って、標準電球または黒体炉と光高温計内部電球とのスペクトル放射輝度が一致したときの、内部電球温度に相当する計器目盛温度を理論的に計算した。この値と $0.65\mu\text{m}$ の赤い光を使った計器との目盛との差が上記の偏差であり、測定値とよく一致した。したがって、波長を変えた光高温計を使ってもその校正は容易にできる。

一ばん用の光高温計には現在の波長 $0.65\mu\text{m}$ の赤い光よりも、やや短い波長 $0.60\mu\text{m}$ 付近の光を使う方が有利である。

#### 参 考 文 献

- 1) 日本学術振興会製鋼第19委員会編：高温測定と溶鋼温度，p.29，日刊工業新聞社，昭和35年。
- 2) Int. Crit. Table V p.243 (1929).
- 3) 田治米亮造：マツダ光高温計用標準電球・日本学術振興会第19小委員会資料，昭和13年3月28日。