



鉄鋼製造における光計測(2)—温度計測

井内 徹

新日本製鉄(株)第一技術研究所 〒211 川崎市中原区井田 1618

1. は し が き

光計測の一手法である放射測温法は、加熱物体から放射される電磁波を検出することによって、その物体の表面温度(透明物体や気体の場合はバルクの平均温度や内部温度)を測定する方法である。温度計測法として、放射測温法の一般的な特長と弱点を以下のように列記することができる。

特長:

- 1) 非接触測温法。
- 2) 応答が早い($\mu\text{s}\sim\text{s}$ 以下)。
- 3) 感度がよい(温度差 0.1°C 検出)。
- 4) 低温から高温まで測定可能($-100\sim 3,000^\circ\text{C}$)。
- 5) 局所的な点測定から、線、面測定まで可能。

弱点:

- 1) 放射率を知る必要がある。
- 2) 外乱(迷光雑音)を受けやすい。
- 3) 温度範囲によって検出器の種類を選択する必要がある。
- 4) 水蒸気をはじめ中間媒体の吸収・散乱を受けやすい。
- 5) 黒体炉による放射温度計の定期的検定が必要。

周知のとおり、鉄鋼製造プロセスの多くは一貫連続工程で、加熱と冷却の繰返しの中で材料は高速で走行しており、そのため温度計測はプロセスの操業制御と材料品質の管理のためにきわめて重要である。放射測温は上述の多くの弱点にもかかわらず多用されている。このことは放射測温法が典型的な非接触法であるため、複雑多岐にわたる鉄鋼プロセスにとって不可欠な技術であることを物語っている。

放射測温法の最大の問題点は被測定物体の放射率変化と炉内等において顕著な迷光雑音である。

本報では、鉄鋼プロセスを対象にして上記の問題点を克服した2方法の放射測温法¹⁾を概説し、他分野への参考に供したい。一つは迷光雑音の充満した高温炉内測温法、他の一つは温度と放射率の同時測定法である。

2. 高温炉内鋼材の測温法

工業炉内測温は通常、炉内雰囲気温度を測定して炉の操業管理が行なわれているが、近年、余分な加熱を抑えてエネルギーコストの上昇に対処するとともに、材料の抽出温度の変動を小さくして、より適確な品質管理が要求されている。このため、炉内材料の温度を測定することが不可欠となっている。

図1は筆者らによって開発された $1,000^\circ\text{C}$ 以上の高温炉内における鋼材の放射測温法の構成²⁾を示している。被測定物体に対向して、加熱された遮蔽板を設け、炉外に設置された二つの放射計で、それぞれ被測定物体および遮蔽板の裏面の放射輝度を測定する。遮蔽板は炉内熱源からの変動する迷光を遮蔽するとともに、それ自体を既知の基準雑音放射源となさしめて、放射計の検出値からこの基準雑音放射源からの寄与分を補正することにより被測定物体の正確な測温を行なうものである。基準雑音放射源の半径を R 、測定物体との間隔を H としたとき、その比 H/R を十分に小さくして迷光雑音を消去したとき、被測定物体のみかけの温度 T_a は、

$$E_b(T_a) = (E_1 - \rho_a \cdot E_2) / \varepsilon_a \quad (1)$$

から求められる。ここで、 $E_b(T_a)$ は温度 T_a の黒体放射の検出値、 ε_a 、 ρ_a はそれぞれ被測定物体の実効放射率と実効反射率、 E_1 、 E_2 はそれぞれ被測定物体、基準雑音放射源の輝度の、放射計による検出値を表わす。 T_a と被測定物体の真温度 T_1 の差 $\Delta T (= T_a - T_1)$ を許容内にするように H/R を設定することが必要である。また、本方法では ε_a が高く、かつかなり安定していることが必要である。

図2は厚板鋼材を試料とした本方法の測定例を示す。

(1)式に基づいて T_a を求め、あらかじめ試料に溶着したR型熱電対による試料温度 T_1 との差 ΔT を時間の経過とともに測定した。基準雑音放射源の温度 T_2 、炉壁温度 T_3 の変化にかかわらず $\Delta T = \pm 5^\circ\text{C}$ 以内の測定が可能である。

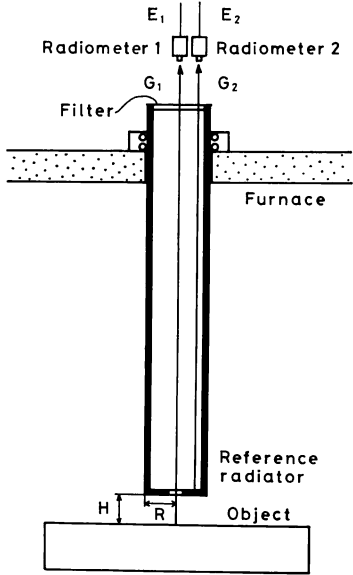


図1 高温炉内鋼材の測温法の概略

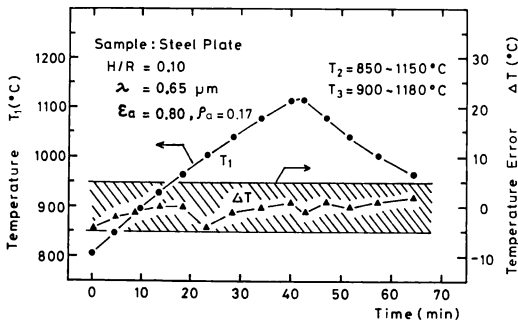


図2 高温炉内での測定例

3. 温度と放射率の同時測定法

放射率は放射測温にとって宿命的な問題である。この問題を克服するためにこれまでいろいろな工夫がなされてきた。2色比温度計はその一例であるが、放射率比が変動する場合には大きな測温誤差を生ずるため注意が必要である。図3は近年開発された、放射率と温度を同時測定する方法の基本構成を示したものである³⁾。この構成では、測定物体面の法線に関して角度 θ で放射計と反射ミラーが鏡面対称的に配置されている。反射ミラーの前面にある回転セクターの開閉に対応して、放射計には次の二つの検出値 E_1, E_2 が相次いで得られる。

$$E_1 = \epsilon_\theta \cdot E_b(T) \quad (2)$$

$$E_2 = \epsilon_\theta \cdot [1 + r \cdot (1 - \epsilon_\theta) \cdot \rho] \cdot E_b(T) \quad (3)$$

上2式から放射率 ϵ_θ が(4)式で、温度 T が(5)式でそれぞれ求められる。

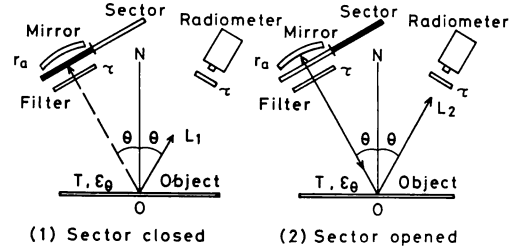


図3 放射率と温度の同時測定法の原理

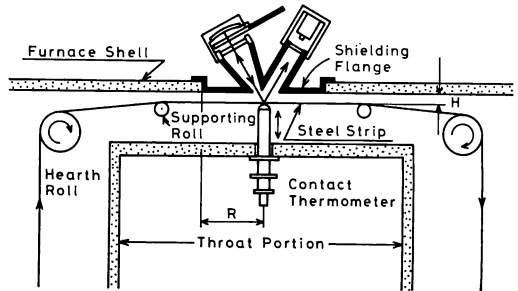


図4 放射率と温度の同時測定法のオンラインシステムの構成

$$\epsilon_\theta = 1 - \frac{1}{r \cdot \rho} \left(\frac{E_2}{E_1} - 1 \right) \quad (4)$$

$$E_b(T) = E_1 / \epsilon_\theta \quad (5)$$

ここで、 r は反射ミラーの反射率、 ρ は測定物体の鏡面反射特性を表わす係数、 $E_b(T)$ は、温度 T 、波長 λ の黒体放射輝度。

図4は、本方法を連続焼鈍炉内冷延鋼板のオンライン測定に応用したときのシステムの概略を示している。この測定システムでは鋼板の微弱な酸化に伴う放射率変化と、 $\pm 10^\circ\text{C}$ 以内の鋼板真温度の同時連続測定が可能となっている。放射率の情報は真温度を求めるだけでなく、放射率に関連する表面情報、この場合では鋼板の酸化状態を把握できる手段ともなっている。

4. あとがき

放射測温法は、はしがきに述べたようなすぐれた特徴を有しているために広く使用されている。なかでも鉄鋼製造分野ではその重要性ゆえに長年にわたり、たえず研究開発が進められている。ここに述べたのは一部の例で、詳しくは文献⁴⁾を参照していただきたい。当文献は温度に関するオリンピックといわれ、10年ごとに開催されるシンポジウム (ISA, AIP 主催) を集大成したものである。このなかで、放射測温の研究に関し、日本から、とくに鉄鋼分野からの貢献が広く認められてい

る.

文 献

- 1) T. Iuchi: "Recent advances and research activities in Japan," *Proceedings on Applications of Radiation Thermometry*, (ASTM, Washington, D. C., 1984) to be published.
- 2) 井内 徹, 田中富三男: "高温炉内鋼材の放射測温法",

計測自動制御学会論文集, **19** (1983) 557.

- 3) 井内 徹, 田中富三男, 渡辺国俊, 江崎 昂, 増田正宏, 平田 久, 井上 忠, 高藤英生: "連続焼鈍炉内冷延鋼板の放射測温法", 鉄と鋼, **70** (1984) 1037.
- 4) J. F. Schooley, ed.: *Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry*, Vol. 5 (American Institute of Physics, New York, 1982).

(1985年7月29日受理)