

1 工業的測温の基本的問題

圧延における測温の諸問題を考察する前提として、測温の工業的意味について反省を加えよう。

1.1 測温対象と代表温度

工業的測温対象は空間的ひろがりを持っているのが一般である。また、温度測定を実施して温度測定値をとりだす目的は、それが操業の効率や製品の品質に結びつく意味をもっているからである。ここでは温度測定そのものは目的ではない。以上の要請に対して、温度測定は測温対象の空間的ひろがりや操業効率とに対する代表値抽出の役割をほたさなければならぬ。このようにして得られるものを、代表温度とよぶ。代表温度が得られない場合は温度測定は中止したほうがよい。代表温度の“代表する程度”は、対象と方法と時期に応じて変化する。

1.2 真温度と管理温度

前記の代表温度の概念は、工業的管理上有効な抽出値である 管理温度 の考えに密接な関連を有している。温度測定は正しい真の温度を追求する努力を忘れてはならないが、これのみにとられると本来の目的から外れてしまい、管理上有効な情報に背を向けることになりかねない。

真温度が得られない場合でも、特定の計測法で特定の使用環境の下で得られた温度表示値が代表性を有するならば、これを 管理温度 として積極的に使用しなければならぬ。放射を利用する非接触測温法において、放射率が未知であっても一定のバラッキの範囲内に入っていることが経験上わかっているときには、その表示値は 管理温度 の意味を有している。

1.3 非接触測温法と実効放射率

圧延における測温は、対象が移動する物件であり、機械的形狀や温度範囲が多様であるため非接触測温法を採用する場合が多い。非接触測定では、可視域から赤外域に及び放射を利用した測温法が当然多用されることになる。この場合に、図1に示したように、測定対象と検出器出力信号との中間に介入する種々の因子がある。多くの因子の中で宿命ともいえるものは 放射率 の問題である。固有放射率そのものも、物質の種数、波長、温度、偏光成分、方向によって変化するが、工業的な非接触測温の実際の場合には、さらに 表面形状（あざさ、凹凸、くぼみ等）、酸化の程度、対象の環境（炉内か大気中かなど）、光学系と検出器の分光感度 などが大きく影響を及ぼしてくる。

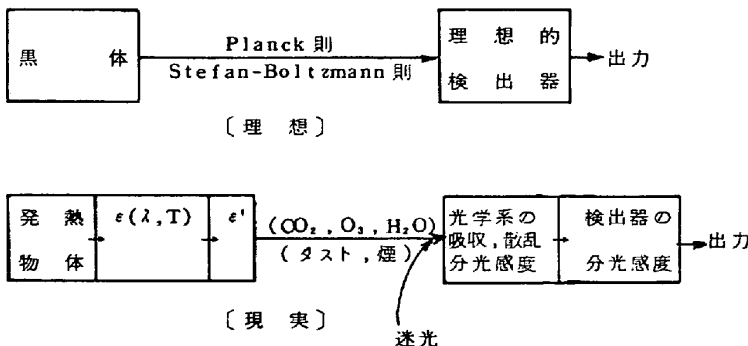


図1 非接触測温上の諸要因

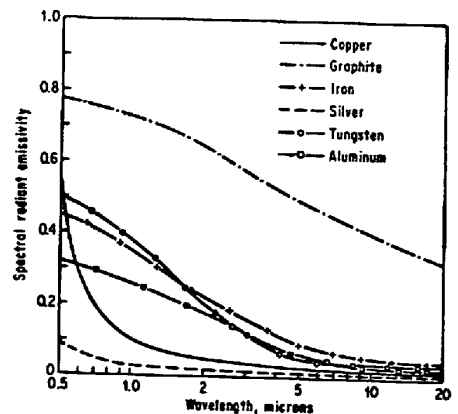


図2 放射率と波長の関係

これらの諸因子は、見掛け上 固有放射率  $\epsilon(\lambda, T)$  を変化させたものとして扱えるので、これらの諸影響を全部ひくくめた工業的な 実効放射率  $\epsilon'$  の概念を導入しなければならない。場合によっては、さらに中間経路の吸収や散乱などの影響もこれに含み込んで考えなければならない。 $\epsilon'$  の値は現場では正確に求めることは不可能な場合が多い。しかし、定まった測定法を定まった測定環境の下で定まった工業的対象に対して実施する場合は、未知ではあるがほぼ一定であるとみなせることが多い。したがって、この場合は表示温度を管理温度として使用できる。また後述する  $n$  の値 を大きくすることができるときは、 $\epsilon'$  の変動の影響を小さくすることができるので管理温度の信頼性はさらに向上する。なお

物理定数表や各種文献に記されている放射率の値は特定の物質が十分な厚さを持ち、鏡のように滑らかな表面をもつ試料物体として作られていて、温度一様な定常状態に保たれていることを前提として調べられた固有放射率の値であるから注意して参照しなければならない。図2に、各種物質に対する固有放射率と波長の関係を示してある。使用する温度計の利用波長域によっても放射率の値が変化することが理解されよう。

測定する温度範囲が限定され、波長範囲と分光感度が限定されると、温度計出力  $W(T)$  に關して近似的に次の関係が成立する。

$$W(T) = \epsilon' \cdot K \cdot T^n \quad (1)$$

表1 分光放射輝度の  $n$  の値

T	波長 $\lambda$ ( $\mu\text{m}$ )					
	0.65	1	2	3	4	5
300K	7.4	4.8	2.4	1.6	1.2	0.9
500K	4.4	2.9	1.4	0.9	0.7	0.5
700K	3.2	2.0	1.0	0.6	0.5	0.4
900K	2.5	1.6	0.8	0.5	0.4	0.3
1100K	2.0	1.3	0.6	0.4	0.3	0.2

ここで、 $n$  の値は波長と温度により変わる。Kは定数である。

$n$  の値を特定波長に關して略算したものが表1である。波長範囲が幅を持ち、計器の分光感度を考慮すると、計算は複雑になるので通常は実測を必要とする。実測によれば、PbS検出器の場合  $100^\circ\text{C} \sim 350^\circ\text{C}$  の範囲で  $n = 7 \sim 9$  であり、赤外ビティコンの場合  $300^\circ\text{C} \sim 550^\circ\text{C}$  の範囲で  $n = 8.5 \pm 0.5$  であった。広い範囲の波長に對して感じるサーモパイル型検出器では  $n$  の値は4に近くなる。(1)式の關係から、

$$\text{真温度}(K) = \text{表示温度} \times \epsilon'^{-\frac{1}{n}} \quad (2)$$

がわかる。したがって、 $n$  の値 を大きくするように波長を選択することができれば、 $\epsilon'$  の影響を小さくすることができる。

#### 1.4 ひろがりを含む温度計測

圧延中の鋼板の表面温度測定の場合など、空間的なひろがりを含む対象に對しては真の測定では不十分であり、できればひろがりを含む俯瞰的計測法を直接的に適用したい。真の測定の正確さに執着するよりも、温度分布の形状に着目した測定を実施するほうが有効な場合も多い。この要請に答えるものが 温度パターン計測 であり、圧延分野での実用化研究が期待される。温度パターン計測の実現のためには、赤外線応用技術 と 空間的分布データ処理技術 の開発が必要となってくる。

赤外線応用技術の開発の前提として、赤外線検出器と赤外線用光学材料の開発が必要である。図3に各種赤外線検出器の特性を、図4に代表的光学材料の透過特性を示す。

温度パターン計測器として使用できる市販の製品の教例を図5から図8に示す。また、将来の課題として考えられる空間的分布データ処理法に關し、図9と図10に予想される情報処理系の教例を示す。

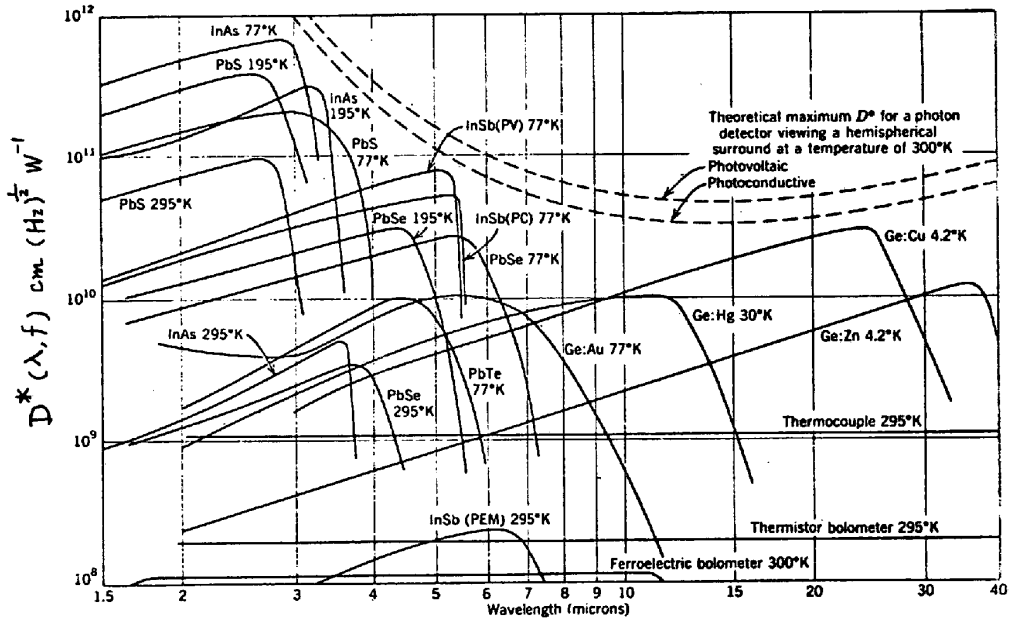


図3 各種赤外線検出器の特性

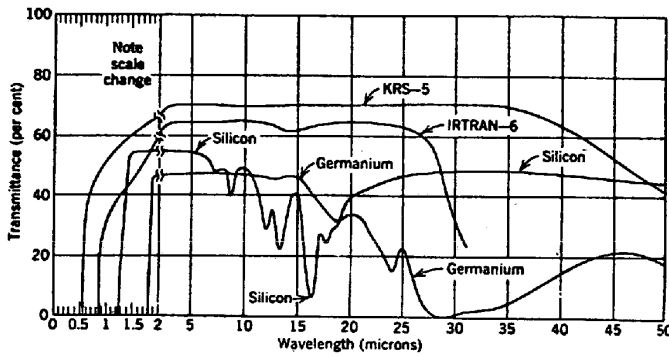


図4 光学材料(2mm)の赤外線吸収

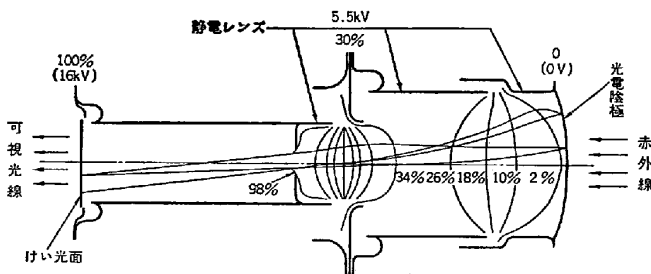


図5 ナイトビジョンのイメージ管

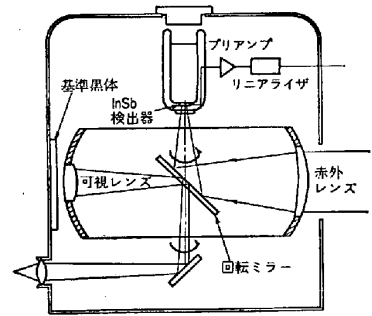


図6 ファグ・サーモプロフィール1次元走行機構

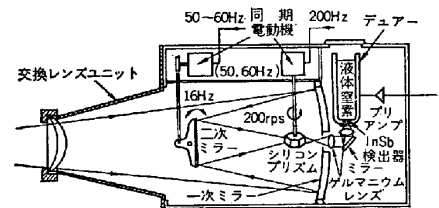


図7 ファグ・サーモビジョン・モデル665カメラ

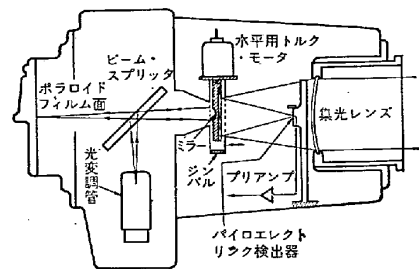


図8 バンゾン・T-6カメラ

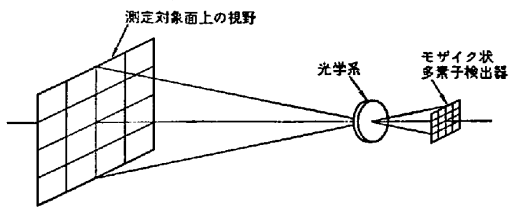


図 10 多素子検出器によるパターン計測

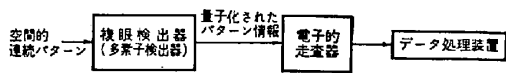


図 9 多素子検出によるパターン情報処理系

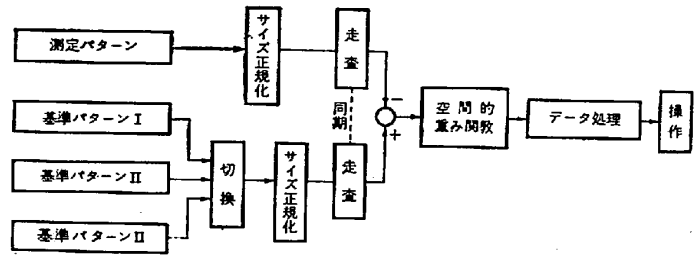


図 10 パターン計測における空間的  
情報処理系統

## 2. 圧延における測温問題

### 2.1 加熱炉の鋼片温度

火焰への射と反射の影響

### 2.2 線材圧延の温度

内部温度  $T_i$  と表面温度  $T_s$  の関連. Cooling control 用の管理温度.

### 2.3 条鋼, 形鋼の温度

冷却時の温度分布とたわみ変形の問題. 熱的残留応力の問題.

### 2.4 圧延ロールの温度

サーマルクラウンと温度分布.  $T_i$  と  $T_s$  の関連.

### 2.5 熱間圧延の温度

温度パターンと  $T_i \sim T_s$  の関連, 空間的バイアスの除去法.

以上の各項目に示す問題点が考えられる.

以上