

促進耐候(光)性試験の歴史と発展(24)

前号より続く

須賀茂雄
木村哲也

5.3.2 測温抵抗体

あらかじめ温度と抵抗値の関係が把握されている金属を温度センサにして、その抵抗値を測定することで温度を求める方法である。熱電対と比べて許容差は0℃近辺で約1/10、600℃近辺で約1/2で安定度が高いが、機械的衝撃や振動に弱い欠点がある。JIS C 1604 測温抵抗体が2013年に改正され、抵抗素子の種類は通常Pt100、Pt500、Pt1000が規定されている。いずれも0℃と100℃の抵抗値の比は、1.3851である。工業用としては使用温度範囲が広く、抵抗温度係数が大きい白金測温抵抗体が最も広く利用されている。使用頻度の高いPt100Ωの温度と規準抵抗値の関係を表27、図82に示す。

表27 測温抵抗体 Pt100Ωの規準抵抗値表

温度(℃)	抵抗値(Ω)	温度(℃)	抵抗値(Ω)
-200	18.52	350	229.72
-150	39.72	400	247.09
-100	60.26	450	264.18
-50	80.31	500	280.98
0	100.00	550	297.49
50	119.40	600	313.71
100	138.51	650	329.64
150	157.33	700	345.28
200	175.86	750	360.64
250	194.10	800	375.70
300	212.05	850	390.48

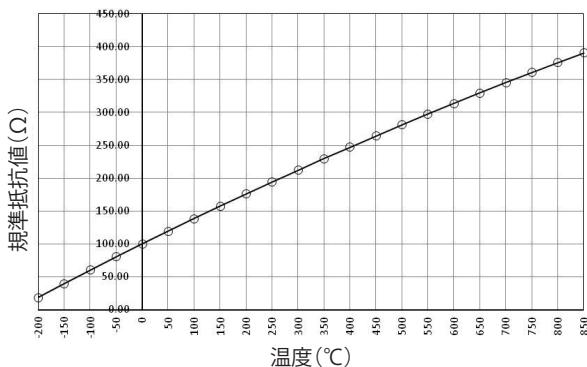
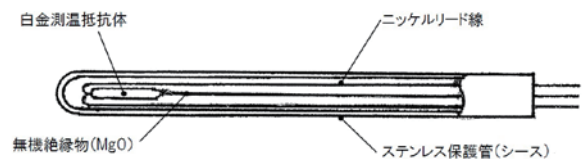


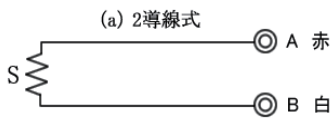
図82 測温抵抗体 Pt100Ωの規準抵抗値と温度の関係

図82を見ても分かるように、温度と規準抵抗値の関係はほぼ直線になっている。通常使用される時は、抵抗素子のままでは扱いづらいので、外部に金属保護管(シース)の覆いをつける。シース測温抵抗体の構造を図83に示す。一般に金属保護管内に白金抵抗素子を挿入し、周囲に無機絶縁物(酸化マグネシウム)の粉末を充填密封し、絶縁性・機密性・耐振性・熱伝導性を保つ構造になっている。測温抵抗体を使用する時には、内部導線との結線方法に2導線式、3導線式及び4導線式の3通りの方法があり、その結線方法と特徴を図84に示す。抵抗値を測定する時に、内部導線の抵抗値まで含めて測定するため、この導線の抵抗を補正する目的である。抵抗素子又は測温抵抗体に測定電流を流し電圧の測定を行うが、この時の測定電流は、直流又は100Hz以下の交流電流を用い、0.5mA、1mA、又は2mAのいずれかを用いる。この電流が大きい程、抵抗体・導線の内部発熱が影響するので、気をつけなければならない。



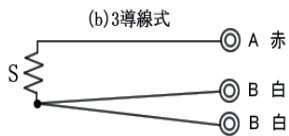
シース測温抵抗体は、金属保護管(シース)の内部に白金抵抗素子を挿入し、無機絶縁物(高純度の酸化マグネシウム)の粉末によって密封充填する。絶縁性、機密性、耐振性、熱伝導性に優れている。

図83 測温抵抗体の内部構造



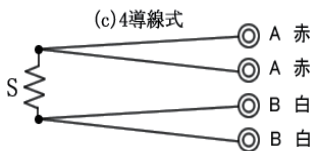
「2 導線式」

測温抵抗体と受信計器間の配線が2本で済む利点を持つが、素子の抵抗に加えて導線抵抗も測定されるため、導線抵抗の補正を必要とする。また温度による導線抵抗の増減までは補正できない。



「3 導線式」

工業計測用として一般的に用いられる結線で、3 導線式計器と組み合わせることで導線抵抗の影響を実用上無視することができる。



「4 導線式」

電圧端子と電流端子が各2つ、計4つの端子を持ち、導線抵抗の影響を受けない測定ができるため標準温度センサなど、精密な温度測定に使用される。

参考) ◎印は端子を、S は抵抗素子を示し、端子と抵抗素子を結ぶ線は内部導線を示す。

図 84 測温抵抗体の内部導線の結線方法

5.3.3 サーマスタ

温度が変わると電気の流れにくさ（抵抗）が変化する電子部品で、小形で衝撃や振動に強く、温度に対する感度が高いため、私たちの暮らしを支えるさまざまな製品に使われている。表 28 に示すように3種類があり目的により選択使用される。ニッケル、マンガン、コバルト、鉄などの酸化物を混合し、焼結したものである。

① NTC サーマスタ (negative temperature coefficient thermistors) は温度の上昇に対して抵抗が減少するサーミスタである。温度と抵抗値の変化が比例的なため、最も使われている。温度検出用センサとしての利用の他、電源回路の突入電流減少用としても使われる。

② PTC サーマスタ (positive temperature coefficient thermistors) は NTC サーマスタとは逆に温度上昇に対して抵抗が増大するサーミスタである。温度

センサのほか、電流を流すと自己発熱によって抵抗が増大し、電流が流れにくくなる性質を利用して電流制限素子として用いられる。またある温度を越えると急激に抵抗が上昇するような非線形の動作をするものは、ヒューズをおきかえる回路保護素子として利用される。

③ CTR サーマスタ (critical temperature coefficient thermistors) はある温度をこえると急激に抵抗が減少する。家電製品の温度上昇に対する温度警報等に用いられる。JIS C 1611 サーマスタ測温体に温度測定に用いるサーミスタの規格が制定されているが、サーミスタとしては、金属の酸化物からなり、抵抗の温度係数が負である抵抗素子で、表面をガラスで被覆したものと定義されているので、上述の①に相当する。使用温度範囲としては、素子互換式は -50 ~ 350°C の範囲である。

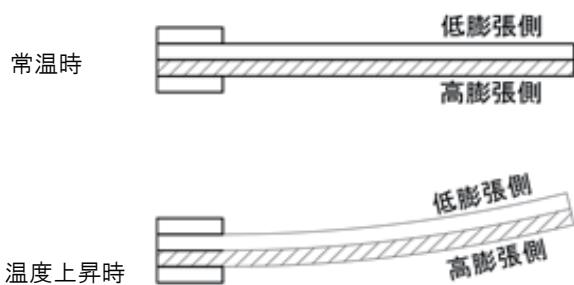
表 28 サーマスタの種類

種類	特性	使用温度範囲 (°C)	特性曲線	用途
NTC Negative Temperature Coefficient	温度上昇とともに抵抗値が減少 (負の温度特性)	-50~400		温度測定
PTC Positive Temperature Coefficient	温度上昇とともに抵抗値が増大 (正の温度特性) (スイッチング特性)	-50~150		温度スイッチ (加熱保護 過電流保護)
CTR Critical Temperature Coefficient	ある範囲で抵抗値が急変 (負の温度特性) (スイッチング特性)	-50~150		温度警報 (ある範囲で感度が高い)

5.3.4 バイメタル

バイメタルとは、熱膨張係数の異なる2種類以上の金属または合金を、堅固に冷間圧延、熱間圧延等で圧着（原子間結合）（接着剤は使わない）して板状に仕上げたもので、図 85-1 のように、温度変化に応じてその湾曲の程度が変わることを利用する目的で造られたもので、温度が上昇すると、熱膨張係数の大きな金属の方がよく伸びるため、熱膨張係数の小さい金属の側へ湾曲する。家庭用電気製品の安全装置等に良く使用されているが、温度計として用いる場合は2枚の金属板を図 85-2 のようにコイル状に丸めて使用し、その回転角を拡大し、上部に温度目盛板を設けている。1750

年頃英国のジョン・ハリソンが高精度の時計を開発する過程で発明した。その後 1898 年スイスの C.E. ギョーム (Guillaume) が発見した室温付近では熱膨張率が 0 の Ni36%-Fe64%の合金インバーを発見、1934 年には Krall が 70% Mn-Cu-Ni 合金が膨張係数が非常に大きく、固有抵抗も極めて大きい特性を持つことを発見し、バイメタルに応用し新しい用途が開けた。JIS C 2530 電気用バイメタルにその種類が規定されているので、その一覧表を表 29 に示す。



熱膨張が異なる 2 枚の金属板を張り合わせたもの。温度変化によって曲がり方が変化する性質。

図 85-1 バイメタルの原理

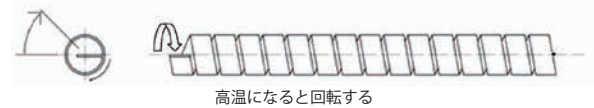


図 85-2 バイメタルの原理

5.3.5 放射温度計

被測定物の表面から放出される赤外線放射エネルギー強度を赤外線センサを用いて計測し、被測定物の表面温度を測定する温度計である。熱の伝わり方には、伝導・対流・放射の 3 つの形態があり、この温度計は、「放射」を利用したものである。放射とは、その物質が持つ熱エネルギーを電磁波 (可視光線や赤外線など) という形態で周囲に放出する現象のことである。熱輻射により黒体から放出される電磁波のエネルギーと温度の関係は、図 86 に示すように熱力学温度の 4 乗に比例するというシュテファン・ボルツマンの法則及びプランクの法則 (物体が黒体であることを前提にしている) による。図 87 の測定原理図に示すように所定の波長範囲のフィルタと受光器とレンズ系を備えた光学系で、測定対象物から発散する放射束を遠隔測定する。

表 29 電気用バイメタル

種類	記号	備考	わん曲係数(1/°C)	比例温度 範囲(°C)	許容温度 範囲(°C)
電気用 バイメタル1種	TM1	低膨張側: ニッケル約36%の鉄ニッケル合金	14.0~20.5×10 ⁻⁶	-20~150	-70~200
		高膨張側: マンガン・銅・ニッケル合金など			
電気用 バイメタル2種	TM2	低膨張側: ニッケル約36%の鉄ニッケル合金	13.8~16.0×10 ⁻⁶	-20~150	-70~350
		高膨張側: 鉄・ニッケル・マンガン合金、 又は鉄・ニッケル・クロム合金など			
電気用 バイメタル3種	TM3	低膨張側: ニッケル約36%の鉄ニッケル合金	9.0~11.0×10 ⁻⁶	-20~180	-70~400
		高膨張側: ニッケル			
電気用 バイメタル4種	TM4	低膨張側: ニッケル約42%の鉄ニッケル合金	10.0~12.0×10 ⁻⁶	+20~350	-70~500
		高膨張側: 鉄・ニッケル・マンガン合金、 又は鉄・ニッケル・クロム合金など			
電気用 バイメタル5種 A	TM5A	低膨張側: ニッケル約36%の鉄ニッケル合金	13.0~16.0×10 ⁻⁶	-20~150	-70~200
		中間層: 銅又は銅合金			
電気用 バイメタル5種 B	TM5B	低膨張側: ニッケル約36%の鉄ニッケル合金	13.0~16.0×10 ⁻⁶	-20~150	-70~350
		中間層: 耐熱銅合金			
電気用 バイメタル6種	TM6	低膨張側: ニッケル約36%の鉄ニッケル合金	12.0~14.5×10 ⁻⁶	-20~150	-70~350
		中間層: ニッケル			
		高膨張側: 鉄・ニッケル・マンガン合金、 又は鉄・ニッケル・クロム合金など			

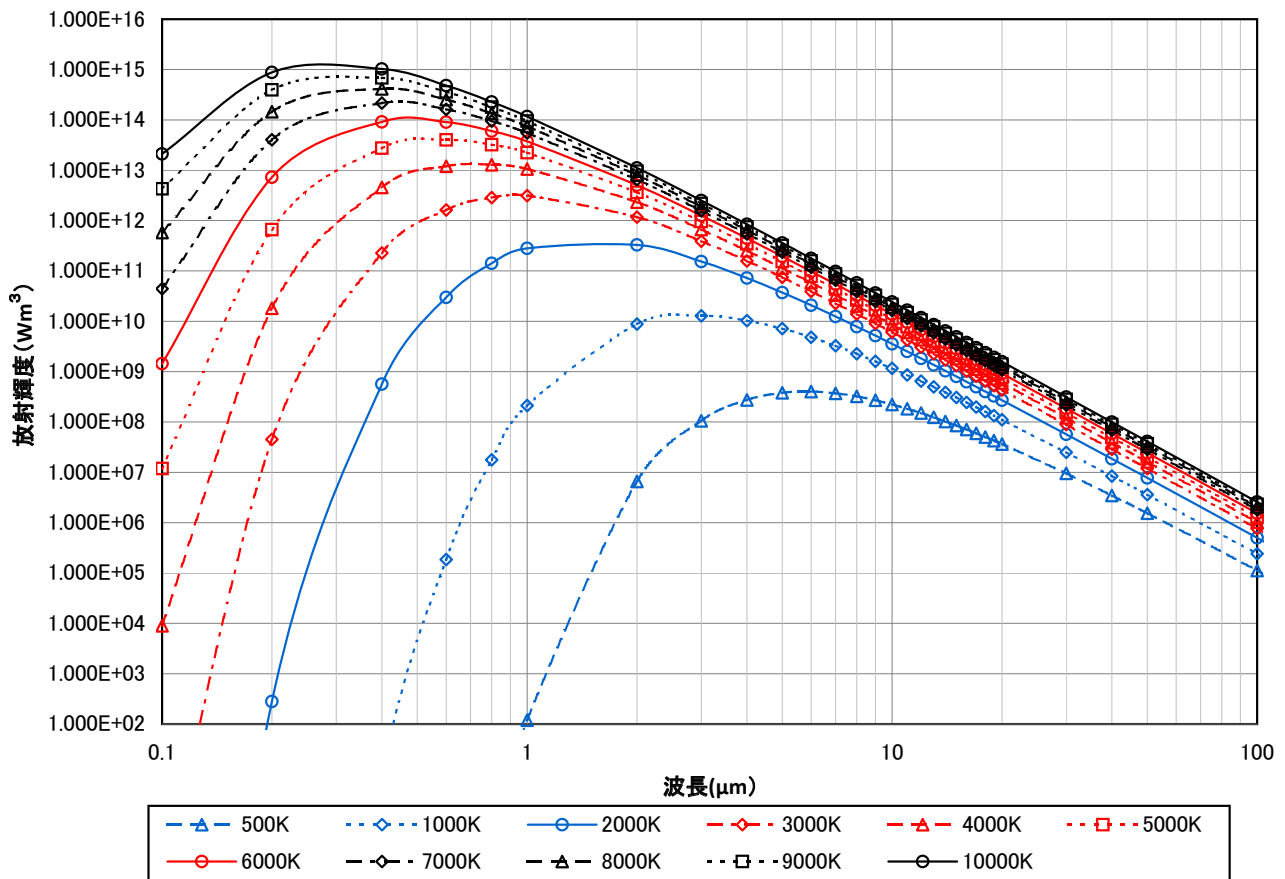


図 86 黒体の各温度における波長と分光放射照度

JIS C 1612 放射温度計の性能試験方法通則では、受光器の測定する波長範囲の違いによって、①単色放射温度計 ②部分放射温度計 ③全放射温度計 ④多色放射温度計 ⑤走査式放射温度計(測定物体を順次走査測定、測定する波長帯域は①～④のいずれか)の5種類について性能の表し方及び試験方法について規定している。用いる受光器・その原理は、表 30 のように、方式により目的に合わせて用いられる。規定した放射発散度を I 、熱力学温度を T とすると、 $I = \sigma T^4$ の関係が成り立つ (σ : シュテファン・ボルツマン定数; $5.670367 \times 10^{-8} \text{Wm}^{-2}\text{K}^4$)。現実の物体は黒体であるとは限らないので、 $I = \varepsilon \sigma T^4$ なる。 ε は放射率 (emissivity) と呼ばれ、物体が熱放射で放出するエネルギー (放射輝度) と同温の黒体が放出する光 (黒体放射) のエネルギーとの比で、 $0 \leq \varepsilon \leq 1$ の係数で、分かりやすく言うと吸収率と同じで、物質の材質・表面状態・測定角度等により異なる。図 88 に示すように固体表面に入射した放射エネルギーは固体表面で反射されたり (反射率: ρ)、内部で吸収されたり (放射率: ε) し

て内部を透過する (透過率 τ)。この間には $\rho + \varepsilon + \tau = 1$ の関係が成り立つ。放射率は、物体からの熱放射の出方の割合で完全放射体に対する比率で、最も多く放射する理想物体を放射率が 1 で「完全放射体」または「黒体」(そこに入射する全てのエネルギーを吸収し、その温度に対応したエネルギーを熱放射する) と呼ばれる。自らはまったく放射せず周囲からの熱放射を完全に反射する物体の放射率は 0 で、鏡面体と呼ばれる。金属の放射率は測定波長が短いほど高く、長いほど低くなる傾向がある。同一物質でも表面が粗いと放射率は高い傾向を示すなど同じ材質でも表面の性状によってその値が異なる。非接触測定の利点は、遠隔測定と熱擾 (じょう) 乱を起こさない測定を行えるというのが最大の利点であるが、非接触式の放射温度計は接触式の温度センサに比べ次の長所・短所がある。

- 1) 赤外線放射を温度測定に利用するため、测温抵抗体や熱電対と比べ応答速度が早くなる。
- 2) 動いている物体の温度測定が可能である。
- 3) 熱容量の小さい物体、熱伝導率の小さい物体、

微小面積の物体の温度測定が可能である。

- 4) 近づくことの出来ない危険な箇所や遠方からの温度測定、食品等衛生的に管理の必要な箇所での温度測定にも適している。
- 5) 研磨された金属のように反射率の高い物体は測定に適さない。
- 6) より正確に温度測定をするには物体によって放射率を設定する必要がある。
- 7) 対象物質の内部温度まで測定する事はできない。
- 8) 測定対象物と光学系の間を受光器の波長範囲を妨げる物質が存在するときは正確な測定ができない。

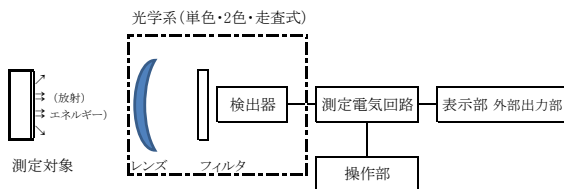


図 87 放射温度計の測定原理図

表 30 放射温度計の分類

種類	検出素子	原理
1) 単色放射温度計	Si、Ge、InGaAs、PbS、PbSe	狭い波長域における放射エネルギーだけを測定
2) 部分放射温度計	Si、Ge、InGaAs、PbS、PbSe	比較的広い波長域における放射エネルギーを測定
3) 全放射温度計	サーモパイル、焦電素子	広い波長域における放射エネルギーを測定。熱の形で受け、素子の温度上昇により測定。主として低温用。
4) 多色放射温度計	Si、Ge、InGaAs	互いに異なる複数の波長域における放射エネルギー間の関係を利用。灰色減光や視野欠けに強い。
5) 走査式放射温度計	Si、InGaAs、PbS、PbSe、InSb、HgCdTe	測定物体を順次走査測定。測定波長域は上記1)~4)。

Si: シリコン
 Ge: ゲルマニウム
 InGaAs: インジウム・ガリウム・ヒ素
 PbS: 硫化鉛
 PbSe: セレン化鉛
 InSb: インジウム・アンチモン
 HgCdTe: 水銀・カドニウム・テルル

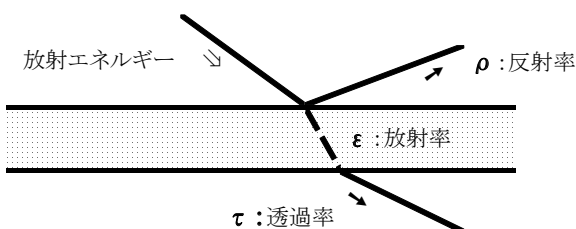


図 88 固体表面の放射エネルギーの変化

【参考文献】

- (1) JIS C 1604 测温抵抗体
- (2) JIS C 1610 熱電対用補償導線
- (3) JIS C 1611 サーミスタ測温体
- (4) JIS C 1612 放射温度計の性能試験方法通則
- (5) JIS C 2530 電気用バイメタル
- (6) IEC 60751 Industrial platinum resistance thermometers and platinum temperature sensors
- (7) IEC 60584-3 Thermocouples - Part 3: Extension and compensating cables - Tolerances and identification system
- (8) (株)チノー 熱電対、测温抵抗体とは