

放射温度計のすべて

株式会社堀場製作所 2008年12月

はじめに

HORIBAは、低温領域測定（-50～500℃）をターゲットとして、1986年に放射温度計を開発、発売しました。本誌は、お客様により便利に使用していただくことを目的として発行いたしました。皆様のニーズに応えられるものと確信しております。

今後ともHORIBA放射温度計をよろしくお願いいたします。

目次

放射温度計の誕生	1
放射温度計の誕生によって、温度計を接触させずに物体の温度をはかることが可能になりました。 ここでは、放射温度計の概要について記載しています。	
温度とは	2
温度とはどういうものか、また、時代とともに、温度計はどのように変化し、 温度の単位はどうやって決められたかを記載しています。	
赤外線と放射温度計	6
放射温度計は赤外線のエネルギー量を測定して温度をはかります。 ここでは、赤外線とは何か、について説明します。	
放射温度計のしくみ	10
放射温度計と赤外線センサのしくみを説明します。	
放射温度計の選び方	11
よく検討せずに目的に合わない放射温度計を購入してしまったら大変です。 放射温度計を正しく選べるよう、特に大切な仕様・項目を挙げて解説します。	
製品ラインアップ	16
HORIBAの放射温度計ラインアップを記載しています。	
放射温度計の用途例	18
様々な場面で活用される放射温度計の用途例を記載しています。	
放射率の正しい設定の仕方	21
放射率とは何か、また、放射率を正しく設定するにはどうしたら良いかを解説します。	
測定上の注意点	27
その他放射温度計を使う際に注意すべき点を解説します。	
Q&A	28
お客様からよく寄せられる質問に対して、お答えします。	
技術用語	33
本書に登場する専門用語を解説します。	

本書の内容を無断で複製・転載することは禁止されています。

©Copy right HORIBA,Ltd.1998 Printed in Japan

本書の複写複製、および内容の一部転載などについてのお問い合わせは下記にお願いします。

〒601-8510 京都市南区吉祥院宮の東町2番地 株式会社 堀場製作所

TEL (075) 313-8121

1998.2	初版発行
1998.5	改訂1
2000.12	改訂2
2005.03	改訂3
2008.12	改訂4

放射温度計の誕生

ある物体が熱い・冷たいという主観的な感覚を、その度合いを含め客観的・定量的に表して人に伝えたい、という要求は古くからありました。

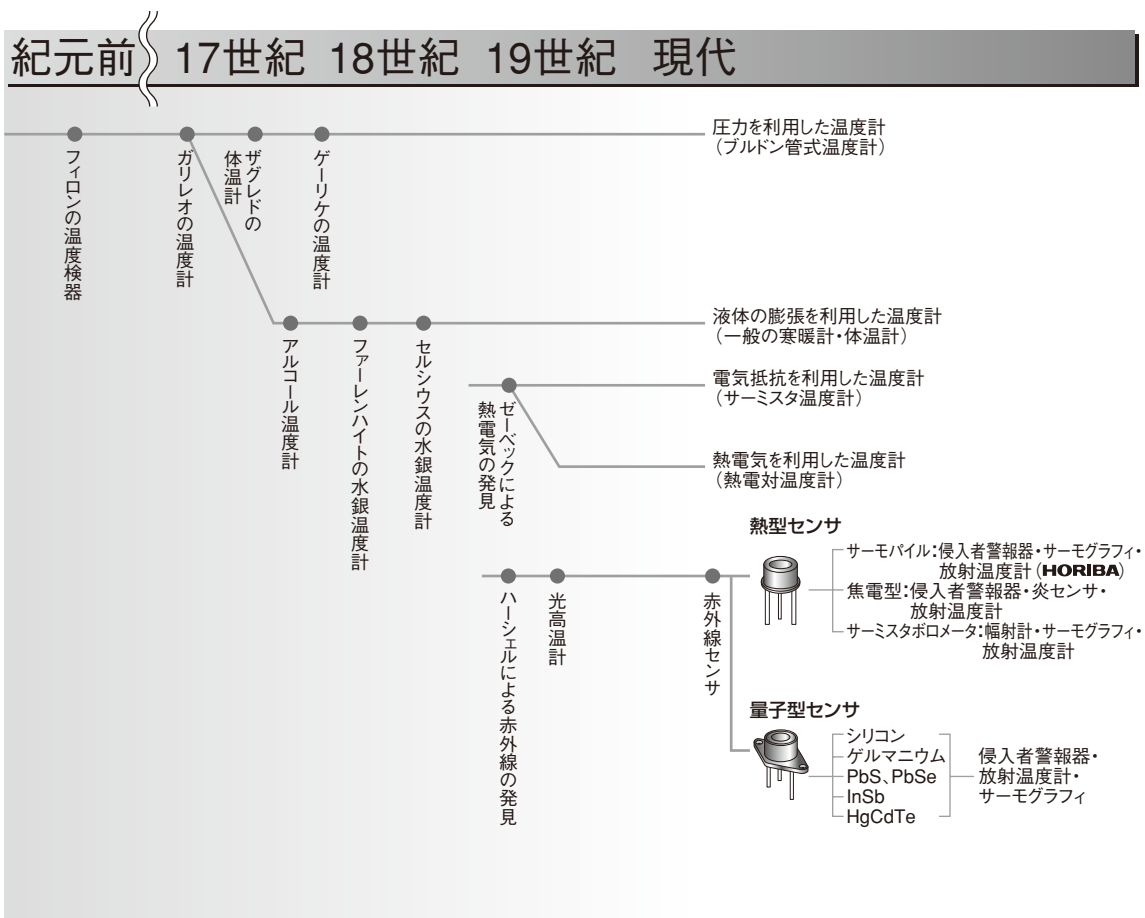
現在用いられている多くの温度計は、物体の持つ熱エネルギーがその物体に接する他の物体に伝わる性質を利用したもので、接触型温度計とよばれています。

接触型温度計の原形を作ったのは、イタリアの物理学者ガリレオ・ガリレイで、この温度計は温度変化による空気の膨張・収縮を利用したものでした。その後、さまざまな改良が行われ、現在はアルコールや水銀を用いた温度計が一般的に知られていますが、その測定原理は大きくは変わっていません。

ところが、1800年にイギリスの天文学者ハーシェルによって赤外線が発見され、その後の研究で、次第に高性能の赤外線センサがつくられるようになりました。

そしてこれらの赤外線センサを利用して、従来の温度計とはまったく異なる『放射温度計』が誕生したのです。

放射温度計は、被測定物の表面から放出される赤外線放射エネルギーを赤外線センサを用いて計測し、被測定物の温度をはかります。このため、被測定物に接触させずに、その物体の表面温度をはかることができます。

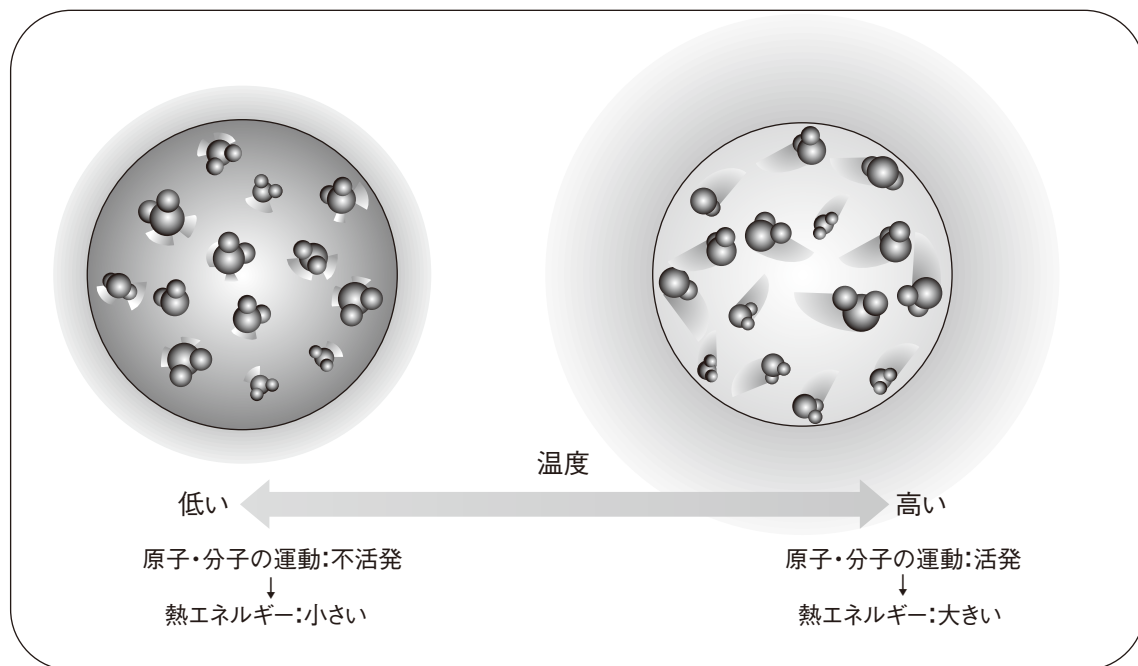


温度とは

例えば寒さや暑さが厳しいときに気温を調べてみたり、体調が悪いときに体温計を使ったりと、私たち日常生活で何気なく温度を測定します。

では、温度とはいったいどういうものなのでしょうか？

熱エネルギー

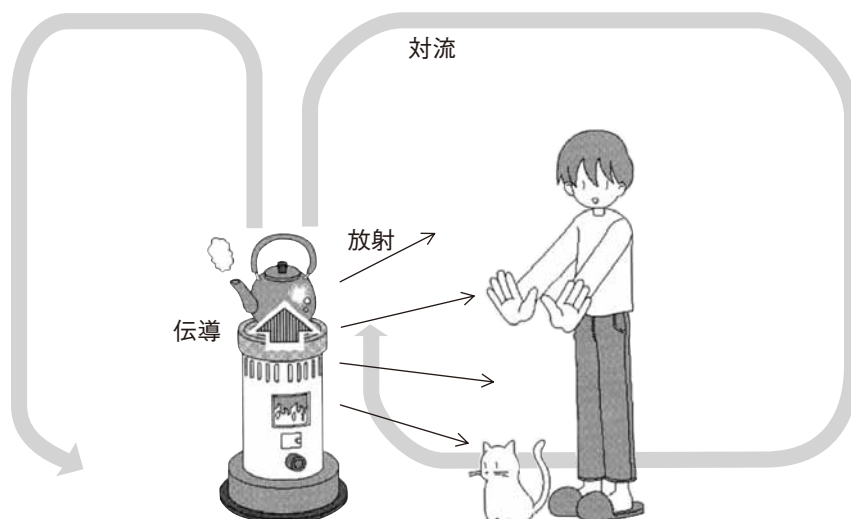


全ての物質は、原子や分子によって構成されています。これらの原子や分子は、その物質の温度が高いときには活発に、低いときには不活発に、絶えず運動しています。この原子や分子の運動エネルギーの平均値を熱エネルギーといいます。

温度とは、物質の持つ熱エネルギーを数値化して表したもののなのです。

熱の伝わり方

熱の伝わり方には、伝導・対流・放射という3種類の形態があります。



伝導

「伝導」とは、互いに接触した温度の高い物体から低い物体へと熱エネルギーが移動することです。伝導によって、高温の物体と低温の物体の温度差は次第に小さくなり、最終的に温度が等しくなって熱エネルギーの移動は止まります。

接触式の温度計では、このような伝導の性質を利用して対象物体とセンサが熱平衡（技術用語P35）に達した状態で温度を測定しています。

対流

「対流」は、水や空気などの流体が暖められると軽くなって上昇し、冷やされると重くなって下降することによって循環することです。この循環によって熱が伝えられます。

放射

「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すが、これだけではピンとこないかもしれませんね。身の回りでは、たとえばストーブに手を近づけるだけで、直接手を触れなくても暖かく感じるすることができますが、これは手がストーブからの放射エネルギーを感じ取ったからです。この場合は、手が赤外線センサの役割をしているわけです。これと同じ原理で、物体から放射される赤外線エネルギー量を赤外線センサが検知し、その赤外線の量から物体の温度を測定するのが放射温度計です。

温度計の歴史と単位

温度計はどのような変遷をたどり、また、温度の単位はどのようにして決められたのでしょうか？

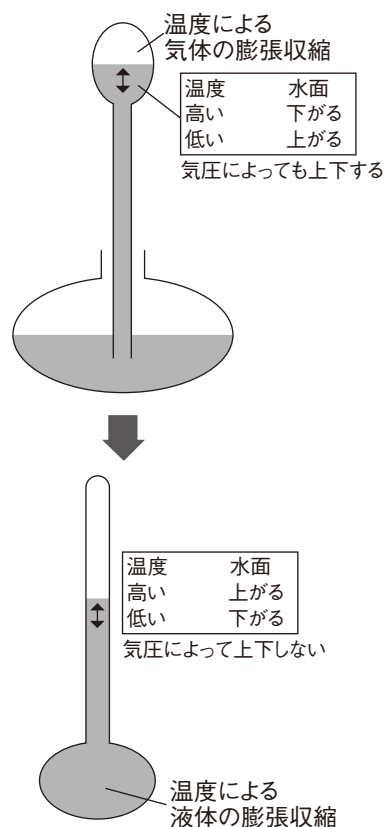
1603年にガリレオ・ガリレイが作った温度計は、気体である空気の膨張・収縮を利用したものでした。しかし、その空気を封じ込めている水が外気にさらされた構造だったため、温度を示す水面の高さが気圧の影響を受けてしまいました。その後、液体を管に封じ込めた温度計が開発され、気圧の影響を受けずに温度変化を観察することができるようになりました。

このようにして温度計の精度が良くなると、管の中の液面の上下を観察するだけでなく、管に規則正しい目盛りをつけて、定量的に測定しようとする人が現れました。

1701年、イギリスの物理学者アイザック・ニュートンは、融けかけた氷に温度計を差し込んだときの温度計の液面の位置をゼロとし、人の体温を測ったときの位置を12として、その間を12等分することを提案しました。当時の温度計は水やアルコールの膨張・収縮を利用したもので、当然、測定範囲も精度もかなり限られていました。

1720年、ドイツの物理学者ファーレンハイトは、水やアルコールの代わりに水銀を利用した温度計を開発しました。水銀は水の氷点より低い温度でも、また、沸点より高い温度でも液体のままであり、膨張・収縮の仕方も温度にかかわらずほとんど一定です。このため、ファーレンハイトの温度計は測定範囲も精度も格段に改善されたものとなりました。

ファーレンハイトは、彼の実験室で得られた最低温度（これは氷と食塩水を混ぜて得られた温度でした）をゼロとし、水の氷点を32度、沸点を212度とした目盛を提案しました。これは「ファーレンハイト目盛」（技術用語P35）として現在でもアメリカ、カナダなどで日常的に用いられ、単位°F（華氏）で表されています。



1742年スウェーデンの天文学者セルシウスは水の沸点をゼロとし、水の氷点を100度とする目盛を提案しました。その後、水の氷点を0度、沸点を100度に修正されましたが、水が液体の状態であるときの温度範囲を100等分するので、ラテン語で“100歩”を意味する言葉から「センチグレード目盛」と名付けられました。現在も一般的にはそう呼ばれていますが、その後の国際会議で正式名称は「セルシウス目盛」(技術用語P34)と決められました。この目盛は現在、日本を含む多くの国々で用いられ、単位 $^{\circ}\text{C}$ (摂氏)で表されています。

これらの単位のほか、物理学の分野では、絶対温度(技術用語P34)(単位K)が用いられています。これは1848年イギリスの物理学者ケルビンが提唱した温度の単位で、熱力学温度と呼ばれています。絶対温度は物理的現象を式で表すのに大変適しています。

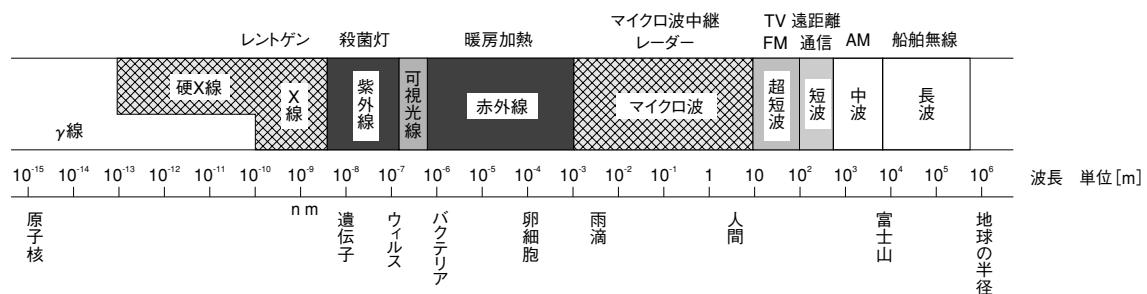
絶対温度では、水の氷点は $0^{\circ}\text{C}=273.15\text{K}$ となります。

赤外線と放射温度計

赤外線とは

赤外線は電波や可視光線、紫外線と同様に電磁波の1種です。

可視光線の長波長側（波長約 $0.78\mu\text{m}$ ）より大きい波長を持ち、肉眼では見えません。波長の上限は文献などによって異なり、明確な定義はありませんが、約1mm程度とされ、一部マイクロ波の領域と重なります。



熱放射に関する発見

赤外線は1800年、イギリスのハーシェルによって発見されました。

彼は、天王星を発見した天文学者として有名ですが、プリズム分光計で太陽光を観測していた時に、太陽スペクトルの赤色部の外側（長波長側）の何も見えない部分の温度が周りの温度よりも高いことに気づいたのです。彼は、この部分には目に見えない光（熱線）が存在すると考えました。可視光線よりも長波長側にある、この目に見えない光のことを「赤外線」といいます。

1835年には、フランスの物理学者アンペールによって赤外線が可視光線と同じように干渉や屈折などの性質をもつ光であることが、明らかにされました。

ハーシェルが赤外線の観測に用いたのは、液体温度計でした。これは赤外線センサとしては低感度で、太陽光の強力な赤外線以外の観測は不可能でした。

1821年、ドイツの物理学者ゼーベックが、2種類の異なる金属を接続して、一方の端のみを加熱または冷却して他方の端と温度に差があるようにすると、電流が流れる現象（熱起電力）（技術用語P35）を発見しました。現在、工業における温度計測に最も多く利用されている熱電対（技術用語P35）はこの現象を応用した温度検知器で、わずかな温度差でも検知することができます。

1840年に熱電対を直列につないだ熱電対列（サーモパイル）が発明されると、これは赤外線の観測に応用され、赤外線の研究がさかんに行われるようになりました。そして、これらの研究によって、物体の温度と放射エネルギーとの関係が次第に明らかになっていきました。

1860年、ドイツの物理学者キルヒホッフは、放射エネルギーを吸収しやすい物体は、同時に放射もしやすいという現象に注目し、物体の吸収率と放射率（21ページ「放射率とは一黒体との比率」をご覧ください）との関係に関して「物体が放出する放射エネルギーの量とその物体の吸収能の比は物質の性質には無関係で、その物体の温度と放射の波長のみで決まる」という法則（キルヒホッフの法則）を発見しました。彼がこの法則に基づいて唱えた、完全黒体（全ての波長の放射を完全に吸収する物体）という概念は、後続の熱放射研究の道を開きました。

1884年、オーストリアの理論物理学者ボルツマンは、「黒体から放射される全エネルギー量はその黒体の絶対温度の4乗に比例する」という法則（ステファン・ボルツマンの法則）を熱力学の理論から導き出しました。

1900年、ドイツの理論物理学者プランクは、黒体が放出する放射エネルギー密度を、放射の波長とその黒体の絶対温度で表す式を導き出しました。これはプランクの放射則（技術用語P36）として知られています。

赤外線センサ

放射温度計には「赤外線センサ」が不可欠です。

「赤外線センサ」は、赤外線を感知するセンサのことで、動作原理によって「熱型」と「量子型」の2種類があります。

「熱型」赤外線センサ

赤外線を受けることによって生じるセンサ素子の温度変化を、抵抗の変化あるいは熱起電力（技術用語P35）や焦電効果などの物理的現象の変化としてとらえ、電気信号として出力します。赤外線の微弱な熱エネルギーを感度よくとらえ、接触型の温度センサと基本原理が同じであるものが多く、素子の冷却が不要で安価であるのが特徴です。

「量子型」赤外線センサ

赤外線を受けるセンサ素子が赤外線の光量子（光子）によって直接励起され、この励起によって生じるセンサ素子の抵抗や電圧などの電気的な性質またはは量の変化を電気信号として出力します。赤外線に対する感度は「熱型」に比べてさらに高いのですが、高感度を得るためには素子の冷却が必要なものが多く、一般に装置として大型で高価になります。

放射温度計

放射温度計には、利用する赤外線の世界領域によって、全放射温度計と単色放射温度計、部分放射温度計があります。

全放射型温度計は、赤外線の世界領域のほとんど全てを利用するもので、ステファン・ボルツマンの法則に基づいています。

ステファン・ボルツマンの法則は、物体がその絶対温度に応じた可視光線や赤外線を熱エネルギーとして放射していることに関係するもので、

「黒体から放射される全エネルギー量は、黒体の絶対温度の4乗に比例する」ことが述べられています。

$$W = \sigma T^4$$

W:単位面積当たりの全放射エネルギー [W・cm⁻²]

σ:定数 (Stefan-Boltzman定数 5.67×10^{-8} [W・cm⁻²・K⁻⁴])

T:黒体の絶対温度 [K]

一方、単色放射温度計、部分放射温度計は、特定の波長、あるいは特定の波長域の赤外線を利用します。被測定物の放射特性 (22ページ「被測定物の放射特性」をご覧ください) や測定環境を考慮して、適切な波長あるいは波長領域を選択的に利用することで、より精度の高い温度測定が可能となります。

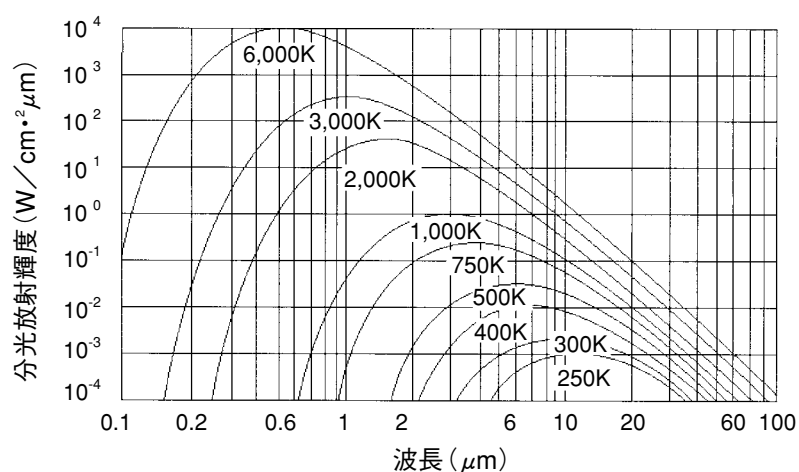


図1 物体の温度と放射エネルギーの関係

プランクの放射則（技術用語P36）に基づいて、物体の温度と放射エネルギーの関係をグラフにすると図1のようになります。この図から、物体の温度が高いほど短波長の光が多く放射され、温度が低いほど長波長の光が多く放射されることがわかります。つまり、高温の物質を測定する場合は短い波長を、低温の場合は長い波長を利用すると、より精度のよい測定ができるのです。

また、大気中に含まれている水蒸気（ H_2O ）や炭酸ガス（ CO_2 ）は、特定の波長の赤外線を強く吸収します。このため、大気中で全放射温度計による測定を行うと、被測定物の放射が正しく温度計に伝わらず、精度の高い温度測定は難しくなってしまいます。

しかし、 $8\sim 14\mu\text{m}$ の波長領域には、大気の影響による吸収はほとんどありません（図2）。したがって、この領域の波長を利用することによって、大気の影響を受けずに被測定物の温度を測定することができます。

この $8\sim 14\mu\text{m}$ の波長領域は「大気の窓」と呼ばれ、放射温度計の高精度測定に重要な意味を持っています。

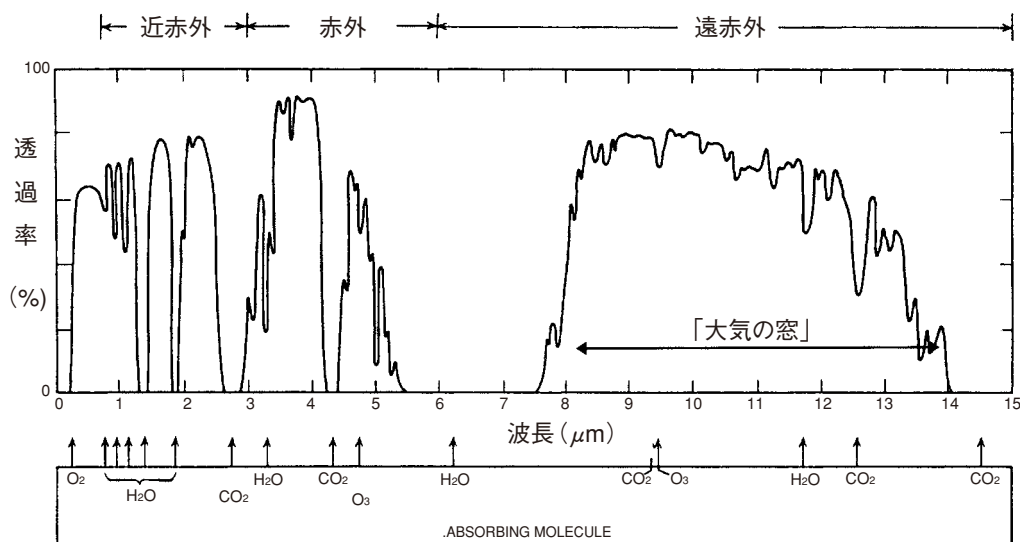


図2 大気における赤外線透過率

放射温度計のしくみ

放射温度計の構成

HORIBAでは、放射温度計のセンサとしてサーモパイル（赤外線センサ）を用いています。物体から放射された赤外線がレンズなどの光学系でサーモパイルへ集光されます。

サーモパイルでは、入射された赤外線エネルギーに応じた出力信号が発生し、このサーモパイル自身の温度を測る基準温度センサの出力信号とともに、回路を通してマイクロコンピュータに入力されます。

マイクロコンピュータで、基準温度や放射率（21ページ「放射率とは一黒体との比率」をご覧ください）による補整の後、温度に換算され、液晶に温度表示されます。

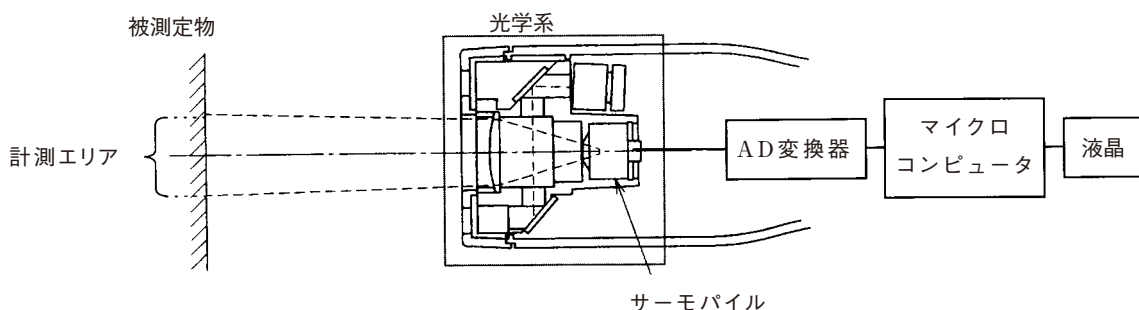


図3 放射温度計の構成

サーモパイルについて

サーモパイルは、複数の熱電対（技術用語P35）を直列に接続した熱電対列の温接点側を受光部としています。さらに受光部には金ブラック（技術用語P33）などの増感処理を施しており、赤外線を吸収しやすいようにしてあります。

冷接点側は熱が逃げやすいように配置されています。

サーモパイル受光部（温接点）へ赤外線が入射すると、入射した赤外線の量に応じて温接点と冷接点との間に温度差が生じ、その差に応じた熱起電力（技術用語P35）が発生します。

ここで温度を知るためには、冷接点側の温度を測定し、この温度による補正を行う必要があります。そこで冷接点の温度を得るために、放射温度計内部でサーモパイル自身の温度を測定しています。

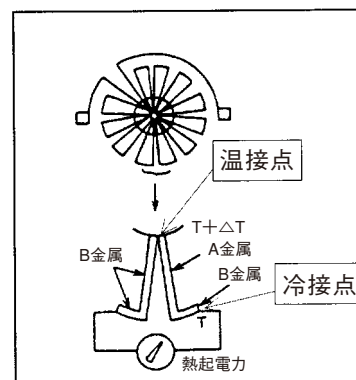


図4 サーモパイル

放射温度計の選び方

近年の放射温度計の低価格化には目を見張るものがあります。これは、特にユーザ各位の用途拡大と各メーカーのコストダウン努力によるものと思われます。現在では仕様や価格帯を含め、極めて多くの種類の放射温度計が製品化されているため、放射温度計を選定するとき悩むことも多いでしょう。いくら安くなったといっても、よく検討もせずに目的に合わない物を購入してしまったら大変です。ここでは、放射温度計を購入する際の正しい選び方を解説しますので、参考にしてください。

放射温度計の選定に重要な仕様項目

温度計を選ぶとき重要とされる仕様項目として、センサの種類・測定温度範囲・精度などが挙げられます。放射温度計では、これらに加えて、標的サイズ／測定距離（測定視野）、放射率設定機能の有無などに注意してください（12ページをご覧ください）。また温度ドリフト（技術用語P33）や測定波長範囲などの項目も重要です（14ページをご覧ください）。

カタログで各メーカーの仕様を比較する場合、いくつかの項目はメーカー間で若干の基準の違いなどがあるようです。また、仕様ですべての性能を見極めるのは難しい面もあります。製品を購入してから、使用目的に合わないということにならないよう、特に次の項目を参考に放射温度計を選定するとよいでしょう。

標的サイズ／測定距離（測定視野）

放射温度計の計測エリアを、その測定距離における標的サイズ（測定視野）として表しています。

標的サイズは被測定物より小さいものを選んでください。

被測定物より標的サイズが大きいと、放射温度計は被測定物の周囲も含めて計測してしまい、正確な温度計測は望めません。このように、放射温度計の視野を被測定物が満たしていない状態を「視野欠け」といいます。

では標的サイズが一番小さいものを選べばよいのか、というと、そう単純ではありません。放射温度計には「面積効果」という現象があるからです。

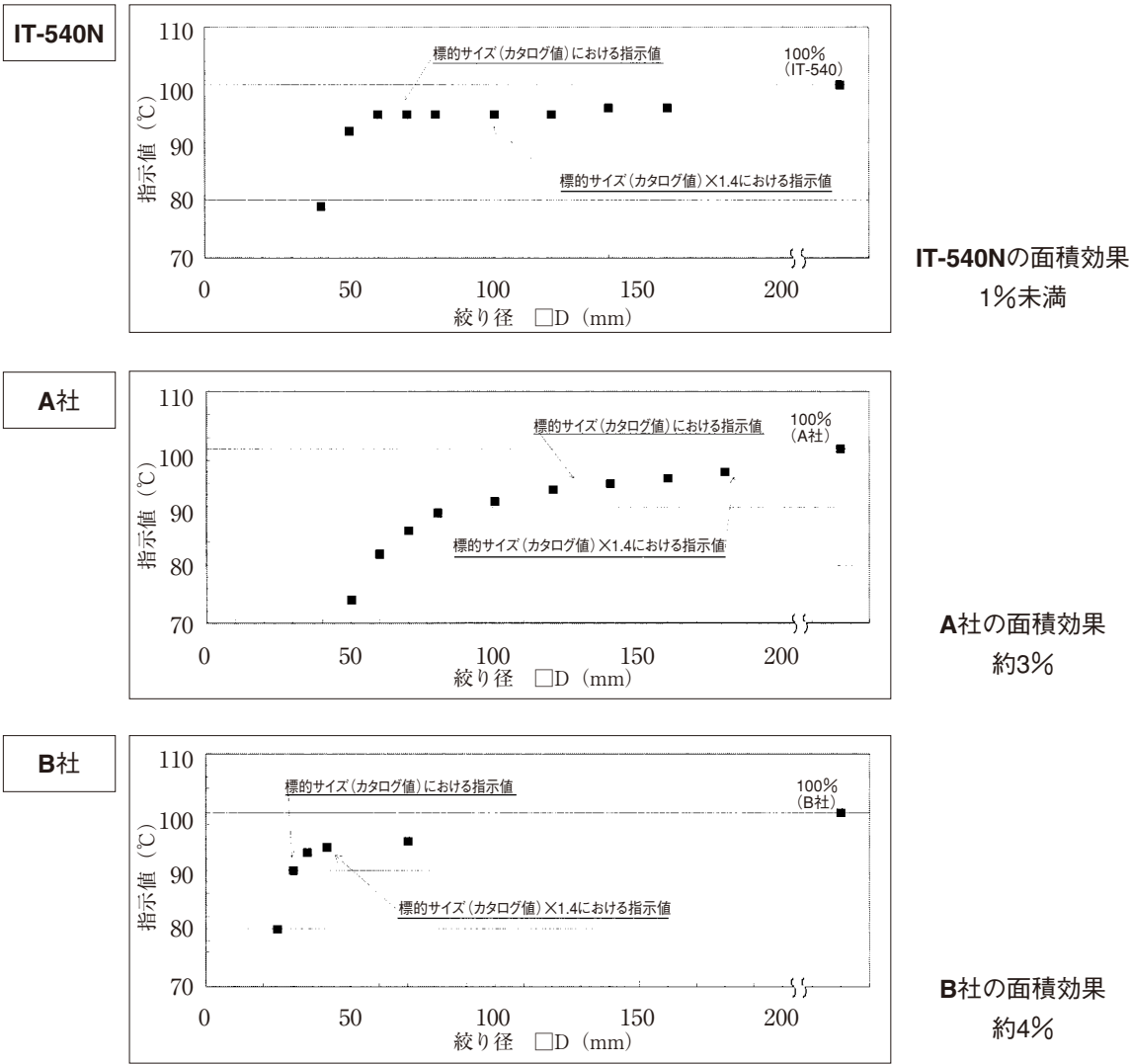
面積効果は視野欠けとは反対に、仕様上の標的サイズを満たす大きさをもつ被測定物でも、その大きさの違いによって温度計の出力に変化を生ずる現象です。面積効果は光学系の開口しほりによる回折、対物レンズなどでの散乱、鏡筒内（光学系内壁など）での反射、入射光による検出素子の加熱などが原因となって生じる現象で、放射温度計のハード特有の問題です。

JISの放射温度計性能表示通則では、仕様に面積効果の記載をすることになっていますが、各メーカーでこれを記載したものはあまり見られません。しかし、特に被測定物が小さい場合には、標的サイズが小さいだけでなく、できるだけ面積効果の小さい放射温度計を選ぶことが重要となります。図5は、HORIBAのIT-540Nと他の市販温度計の面積効果の実測例です。

放射率設定機能

放射温度計は、被測定物表面からの放射エネルギーの強度を測定して温度を求めます。物体から放射される放射エネルギーの強度は、物体の温度だけでなく「放射率」と呼ばれる物体固有の係数（21ページ「放射率とは一黒体との比率」をご覧ください）によって決まります。このため、放射温度計で温度を測定する際には、あらかじめこの値を調べ、放射温度計に放射率補正値を設定しておく必要があります。放射率が正しく求められていないことも測定誤差の要因となります。

放射率の正しい設定の仕方については後に解説しますが、放射温度計に必要な機能として、放射率を設定できる機能がなければ正しい温度測定はできません。



※面積効果の影響の測定は、標的サイズの1.5倍以上の開口をもつ黒体炉（技術用語 P33）、または安定した熱源の前に、規定の標的サイズに相当する開口のしぼりとその1.4倍以上の開口径をもつしぼりを設置して、それぞれのしぼりに対する放射温度計の指示値の差を求めることによって行います。

※面積効果は以下の式で求められます。

$$\text{面積効果 (\%)} = \frac{[\text{標的サイズ (カタログ値)} \times 1.4 \text{ における指示値}] - [\text{標的サイズ (カタログ値)} \text{ における指示値}]}{[\text{標的サイズ (カタログ値)} \text{ における指示値}]} \times 100$$

(作成1998年1月)

図5 面積効果の実測例

温度ドリフト

放射温度計を保管場所から使用場所に移動させるなど、環境温度を急に変わると赤外線センサや光学系の温度変化によって測定値に温度ドリフトが生じ、測定誤差が発生します。

通常、カタログ等に記載されている温度ドリフトの値は、温度計の周囲温度の変化に対し、十分時間が経過したときの指示差を「周囲温度変化1℃あたりの値」に換算して表されます。ところが過渡的な温度ドリフトについては、対策が難しく、また評価方法として定められたものがないために、カタログには記載されていないのが実状です。

実際に市販されている放射温度計でも、図6の実測例のように特性が異なります。放射温度計は接触式の温度計に比べて応答が速く、測定時間が数秒で完了できますが、環境の急変に対して十分な注意が必要です。

測定波長範囲

放射温度計の選び方の最後になりましたが、測定波長範囲は放射温度計を選択する上で極めて重要なポイントです。

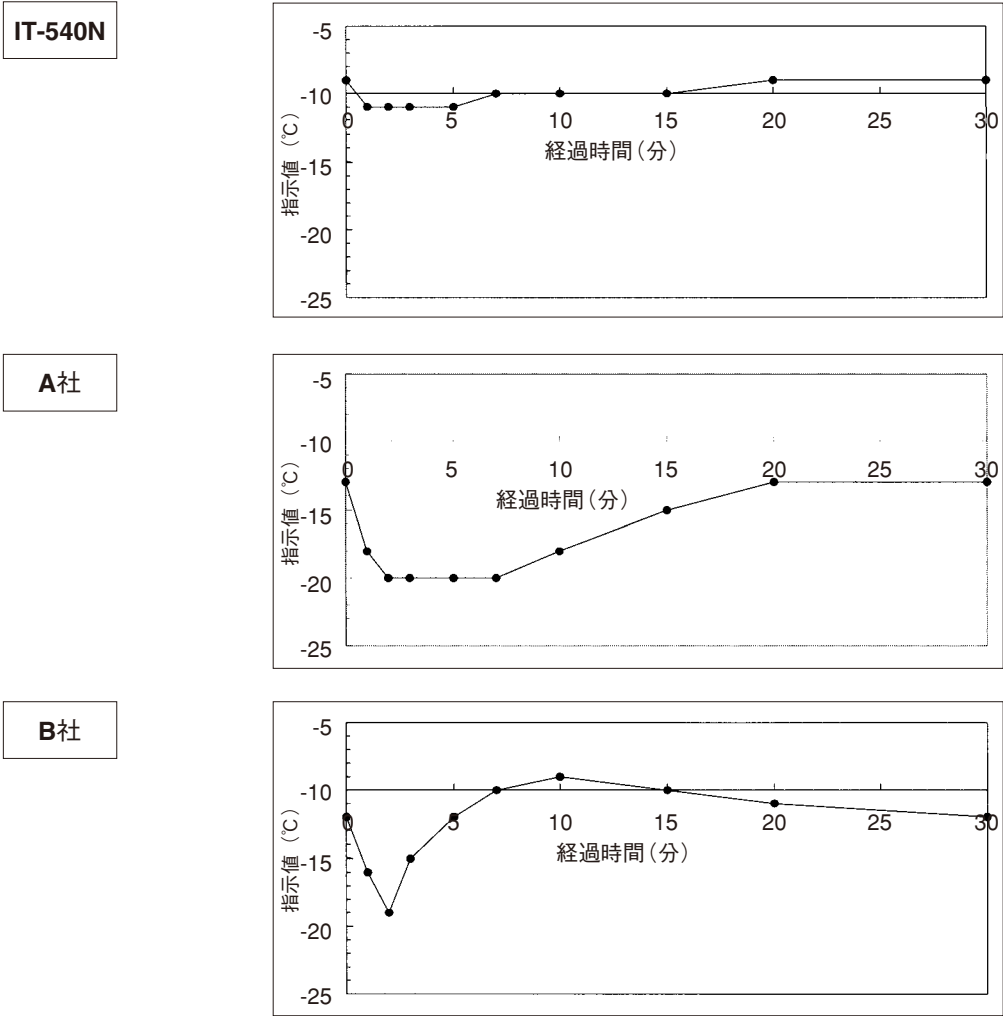
① 温度と測定波長範囲

プランクの放射則（技術用語P36）によると、物体の温度が高いほど短波長の光が多く放射され、温度が低いほど長波長の光が多く放射されます。つまり、高温の物質を測定する場合は短い波長を利用する放射温度計が適しており、低温の物質を測定する場合は長い波長を利用する放射温度計が適しています。

② 被測定物と測定波長範囲

12ページ「放射率設定機能」で、実際の物体の放射エネルギーは、温度だけでなく、その物体固有の放射率によって決まるということを述べましたが、一般に、物質の放射率は赤外線の波長域によって異なります。つまり、物質によっては、特定の波長域の赤外線を放射しないこともあり得るのです。

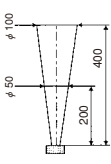
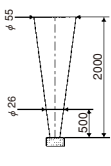
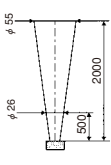
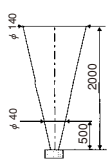
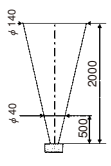
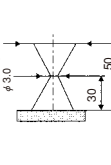
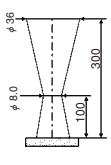
このため、測定する物体の放射特性に合った測定波長範囲の放射温度計を選ぶ必要があります。22ページに代表的な物質（金属、ガラス、プラスチックなど）の放射特性について解説しますので、参考にしてください。



※気温26℃の部屋に保管していた放射温度計を5℃の部屋へ持ち込み、約-10℃の黒体炉（技術用語P33）を測定したときの測定値の変化を示したグラフです。

（作成1998年1月）

図6 温度ドリフトの実測例

設置タイプ		面測定		アナログ出力 (出力0～1V) ・警報出力		面測定		アナログ出力 (出力4～20mA)		スポット測定		アナログ出力 (出力4～20mA)	
レーザーマーク	型式	マーカなし	オブション	オブション	マーカなし	マーカなし	マーカなし	マーカなし	マーカなし	マーカなし	マーカなし	マーカなし	マーカなし
外観	IT-230												
標準価格	¥125,000 (税抜)	¥70,400 (税抜)	¥80,400 (税抜)	¥49,000 (税抜)	¥58,000 (税抜)	¥84,000 (税抜)	¥84,000 (税抜)						
測定温度範囲	0～300℃	-50～500℃	0～1000℃	-50～500℃	0～1000℃	0～500℃	0～500℃	0～500℃					
測定視野図													
用途例	製紙・木材加工 合成樹脂加工 電気・電子製品 食品 ダンボール箱の組立工程での接着剤検知に タイヤ圧縮成形後の温度測定に ドライヤーの検査工程での測定に 鉛・かまぼこなどの食品の加熱・練り工程での温度測定に のり・佃煮などのビン詰直後の温度管理に 健在の品質管理に セメント・ミキサー内の温度管理に												

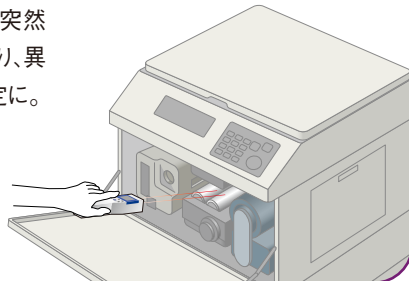
●記載の内容は改良のため予告なく変更することがあります。 ●実際の商品の色は、印刷の関係で写真と多少異なる場合があります。

放射温度計の用途例

電機・電子

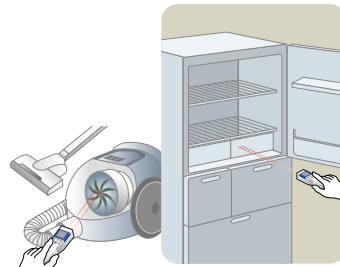
●複写機の発熱チェック

定期的な測定により、突然の故障を未然に防いだり、異常時の異常箇所の特定に。



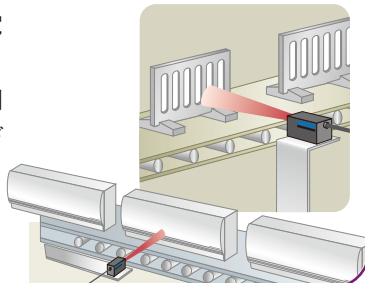
●家電製品の内部温度

出荷前の性能確認や研究開発に。
放射温度計なら瞬時に測定でき、効率の良い試験が可能です。



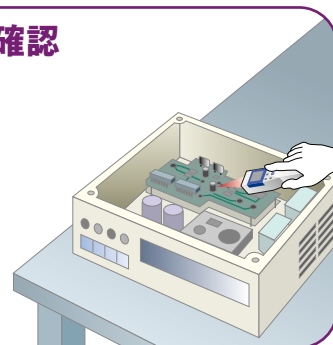
●空調機の温度チェック

出荷前の性能確認や研究開発に。
放射温度計なら瞬時に測定でき、効率の良い試験が可能です。



●電子部品の発熱量確認

通電時の各部位を測定し、不良部品などで発生する異常発熱をチェック。
スポットタイプの放射温度計 (IT-540S/IT-550S) なら、微少な電子部品でも測定可能です。

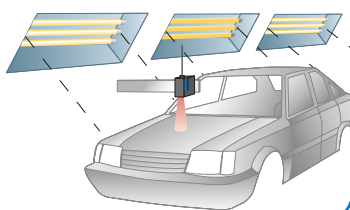


その他 ●モーターの温度測定 ●ポット、炊飯器の断熱チェック ●アイロンの発熱面の検査工程 ……など

自動車

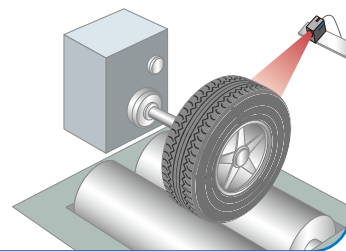
●自動車塗装工程の温度管理

乾燥時の温度を測定し、最適な温度と時間になるように制御。仕上り時の品質向上につながります。



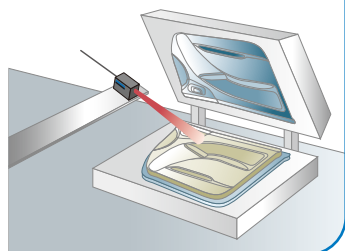
●タイヤの耐久試験

試験中の温度変化を記録。
放射温度計による非接触測定で、回転していても測定可能。応答速度も速いため、一瞬の温度変化も見逃しません。



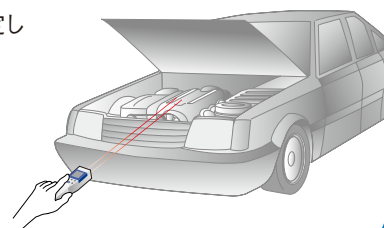
●自動車内装部品成形時の温度管理

成形時の温度を測定。最適温度で成形されているかを確認することで、品質向上につながります。



●自動車各部のメンテナンス

非接触温度測定で、異常発熱箇所を瞬時に特定します。

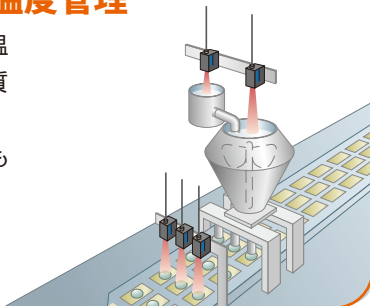


その他 ●自動車のシートの接着工程 ●エアコンの性能評価 ●ヘッドライトの温度測定 ……など

食 品

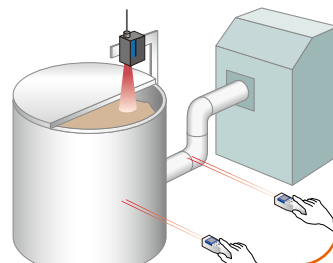
● 飴や蒲鉾などの温度管理

練り工程など、各工程の温度を測定することで、品質向上につながります。
非接触なので、衛生上も安心です。



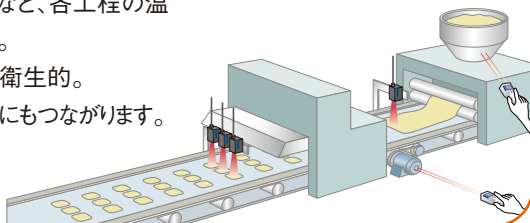
● 酒、味噌、醤油などの温度管理

発酵温度を管理することで、味や香りなど、品質向上につながります。



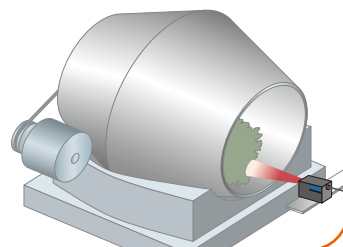
● クッキー、パンなどの温度管理

生地を冷却や、オーブンの焼き上げなど、各工程の温度を管理。
非接触で衛生的。
品質向上にもつながります。



● お茶などの焙煎工程時の温度管理

焙煎工程中の温度を常時測定。
種類の違いによる焙煎温度と焙煎時間を確実に管理することができます。



その他 ● 低温保存食品の温度チェック ● 調理温度の確認 ● 揚げ物油の温度チェック …など

ゴム・樹脂

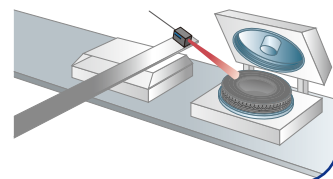
● ゴムの練り工程の温度管理

ゴムの練り工程は、ゴムに可塑性をもたせる大事な工程です。温度を管理することで、品質向上につながります。



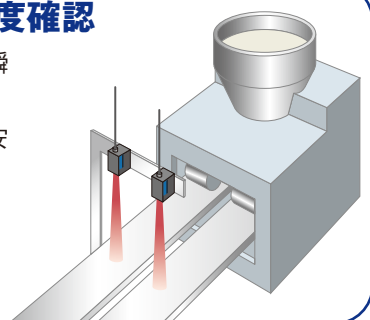
● タイヤの生産工程の温度管理

タイヤの圧縮成形工程では、加熱温度／時間により耐久性が大きくかわります。温度管理をすることで、品質向上、製品の均質化につながります。



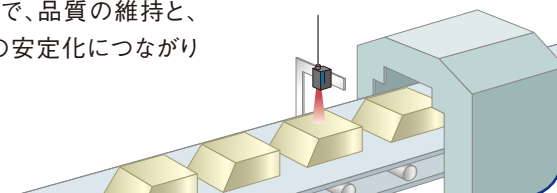
● 射出成形時の温度確認

成形後の製品の温度を瞬時に測定。
品質が向上し、製品の安定化にもつながります。



● 樹脂成形後の熱処理工程の温度管理

成形後の熱処理時の温度を制御。最適温度に保つことで、品質の維持と、製品の安定化につながります。

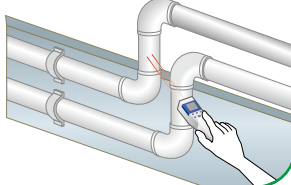


その他 ● ゴムの圧延加工の温度チェック ● ゴム製コンベアの温度チェック ● ビニールシース加工時の温度測定 …など

設備保全

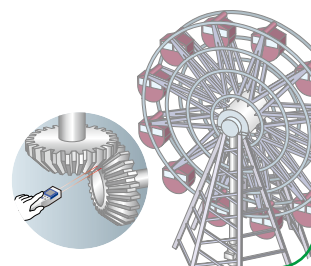
●配管の表面温度確認

異常加熱や冷結などの確認に。放射温度計なら、任意のポイントを素早く確認でき、事故の未然防止につながります。



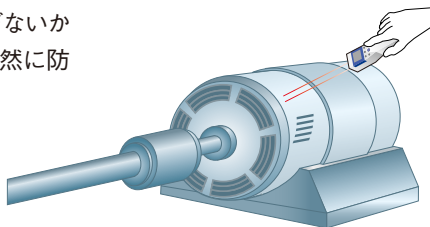
●遊園地などの遊具の異常温度確認

安全のための保守点検に。駆動部や電気系統などの異常温度確認が、非接触で簡単に可能です。



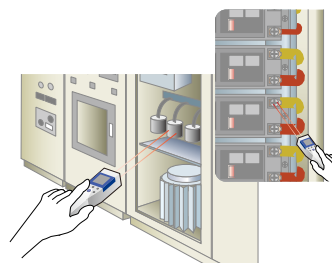
●エレベーター機械室の異常温度確認

定期的な保守点検に。異常な温度上昇がないかを確認し、事故を未然に防ぎます。



●電気設備の異常温度確認

非接触なので、感電の心配もありません。定期的に測定することで、漏電による故障や工場火災を未然に防ぎます。

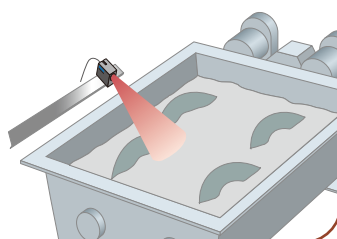


その他 ●空調設備の定期点検 ●燃焼炉外壁の定期点検 ●ボイラー外壁の定期点検 …など

建築・土木

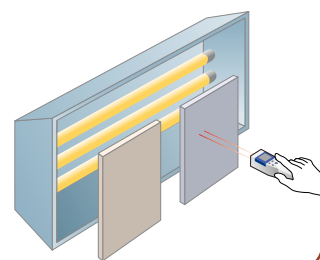
●生コンクリートの温度測定

生コンクリート練り工程時の温度を測定。最適温度になるよう制御することで、コンクリートの品質が向上。



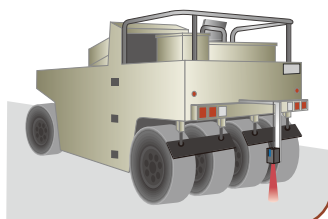
●断熱材の断熱効果チェック

断熱材の断熱効果を、非接触で瞬時に測定。研究開発時や、最終製品の品質管理、製品ごとの性能比較などに。



●アスファルト舗装時の温度チェック

アスファルト敷設後の温度を測定し、最適温度になってから転圧作業を実施。作業温度を管理することで、仕上りや耐久性が向上します。



●ヒートアイランド防止資材、屋上緑化の効果確認

赤外線反射塗料や、保水ブロックなどのヒートアイランド防止資材や、屋上緑化の効果を、何も処理していないところと比較して確認。放射温度計なら、非接触で簡単に表面温度が測定できます。



その他 ●路面の凍結時の温度チェック ●壁材など建材の製造工程での温度測定 …など

放射率の正しい設定の仕方

放射率とは—黒体との比率

物体から放射される赤外線量は、大きくはその物体の材質や表面状態(凸凹など)に依存します。放射率を説明する上で「黒体」という概念があります。「黒体」はその表面に入射するあらゆる波長を吸収し、反射も透過もしない理想の物体です。一方、現実の物体では多少なりとも、反射、透過があります。そこで、黒体を基準とした理想的な全放射エネルギー W と物体が放射するエネルギー W' との比率を算出します。この比率を放射率といい、通常 ϵ で表します。

$$\epsilon = W' / W$$

放射率は測定物体に関わる固有の定数で、理想的な黒体を1、完全反射体を0とする0～1の値で定義づけられています。

ところで、物体表面に放射エネルギーが入射すると、そのエネルギーは物体に吸収されるか(吸収率 α)、表面で反射されるか(反射率 ρ)、あるいは物体を透過するか(透過率 τ)に分かれます。しかし、分かれたエネルギーは増えることも減ることもありませんので、入射したエネルギーを1とすると次の関係が成立します。

$$\alpha + \rho + \tau = 1$$

また、ドイツの物理学者キルヒホッフは、放射エネルギーを吸収しやすい物体は同時に放射しやすいという現象に注目し、放射率と吸収率は等しいという法則を発見しました(キルヒホッフの法則)。

$$\epsilon = \alpha$$

たとえば、光沢のある金属では、ほとんどが反射率90%以上です。

したがって、反射率は $\rho=0.9$ となり、また光は透過しないので透過率 $\tau=0$ ですので、

$$\epsilon = \alpha = 1 - (\rho + \tau) = 0.1$$

となります。鏡面光沢金属の放射率は一般にこのように低いのです。

被測定物の放射特性

一般に、物質の放射率は熱エネルギーとして放射される赤外線波長域によって異なりますが、このことを専門的には「物質が分光特性(技術用語P36)を持っている」と言います。放射温度計が利用している測定波長範囲によっては、被測定物の分光特性や測定環境のガスの影響(ガスの分光特性によるものです)で測定できない場合があります。そこで、代表的な例として金属、ガラス、プラスチックおよびその他の物質についてそれぞれの放射特性(放射率)の概要を説明します。

金属

一般的に金属表面は、酸化の程度によって放射率が大きく異なります。また、金属の放射率も分光特性をもっているため、測定温度範囲によって放射率(実効放射率)が異なります。金属表面の温度を測定する場合、その温度で検出可能な、できるだけ短い波長を利用した放射温度計を用いた方が、放射率の変化に対する誤差を小さく押さえることが可能です。14ページ「温度と測定波長範囲」で述べた理由で、低温物体の温度測定では、長波長域の放射温度計が使用されますが、一般に金属の放射率は長波長側では低いため、反射光の影響が大きく測定には十分な注意を要します。特に、低温の光沢金属面を放射温度計測する場合は、あらかじめ放射率がわかっている塗料を塗るか、テープを表面に貼り付けて測定が行われています。

ガラス

一般に、ガラスは $2\mu\text{m}$ 以下の短波長域では高い透過率を持ちますが、 $3\sim 4\mu\text{m}$ では半透明であり、 $5\sim 8\mu\text{m}$ またはそれ以上の赤外線波長域では、ほとんど不透明です(不透明であるほど放射率は高い)。したがって、ガラス表面の低温域での測定は $5\mu\text{m}$ 以上の測定波長範囲の放射温度計を使用して精度良く測定することができます。

プラスチック

射出成形品や押し出し成型品など、板またはブロック状のプラスチックは、ポリエチレン・ポリプロピレンなど一部の材質を除けば、放射率が比較的高く安定しているため、放射温度計測での測定が精度良く行えます。しかし、プラスチックも薄手のシートやフィルム状の場合は、ガラスと同様に、特定の波長で部分的には透明体であるため、温度測定には特定の波長が使われることがあります。プラスチックは種類が多く、成分によっても分光特性が異なるので、波長の選択および放射率の設定には注意を要します。

その他の物質

塗料は、低温域では放射率が高く、分光特性もほぼ平坦で、放射温度計則に適しています。低温域での放射温度計測が難しい金属も、表面が塗装されていれば、精度良く測定を行うことができます。

また、紙なども同様ですが、一般的に、動植物は放射率が高く、分光特性も平坦で、放射温度計による温度計測を精度良く行うことができます。

最後に、容器に入った水やオイルなども放射率が高く放射温度計測は可能ですが、金属表面の油膜となると、油種に関わらず膜厚によっては放射率がかなり低くなりますので、注意が必要です。

放射率の求め方

放射温度計で温度を測定する際には、あらかじめこの値を調べ、放射温度計に放射率補正值の設定を行っておく必要があります。放射率は文献や実測によって求めます。ここでは、放射率の求め方とそのとき注意すべき点について説明します。

文献で調べる

放射率の求め方のひとつは、文献に物理定数として記載されている放射率を調べる方法です。このとき、その放射率を測定したときの測定条件（測定時の物体の温度、表面状態、波長など）に注意して、これから測定する温度測定条件と合致するものを選ぶことが重要です。表1に、放射率の文献値の例を示します。

接触式温度計と比べる

測定部分の近くに熱電対、サーミスタ、金属抵抗体などの接触式温度センサを置いて測定物を加熱し、接触式温度センサと放射温度計の指示値が等しくなるように放射率設定値を調整します。こうして得られた放射率をこの測定物の放射率とします。このとき以下の点に注意してください。

- ☐ 接触式温度センサの熱容量が測定物に比べて十分小さいこと
- ☐ 測定物体の表面がなめらかで、接触式温度センサと十分接触していること
- ☐ 測定物の温度が周囲の室温より50℃程度高くなるように加熱すること
(高い温度の方が精度よく放射率を求めることができます。)

黒体スプレー、黒体テープを利用する

黒体スプレーを利用して、放射率を求める手順は以下の通りです。

1. 被測定物の一部に黒体スプレーを塗った後、被測定物を加熱します。
2. 黒体スプレーの放射率の値を放射率設定値とした放射温度計で、黒体スプレーを塗った部分を測定します。
3. 続けて黒体スプレーを塗っていない部分を測定して、先に測った黒体スプレーを塗った部分の温度と指示値が等しくなるように、放射率設定値を調整します。
4. 調整によって得られた放射率をこの測定物の放射率とします。

黒体テープを貼る場合も、同様の手順で放射率を求めることができます。

このとき以下の点に注意してください。

- ☐ 測定物の温度が周囲の室温より50℃程度高くなるように加熱すること
- ☐ 黒体スプレー、黒体テープの耐熱温度を超えないように加熱すること

表1 放射率の例

物質	温度	放射率
人間の皮膚	32℃	0.98
地上に生えている木		0.5-0.7
なめし皮		0.75-0.80
木炭の粉		0.96
グラファイト粉		0.97
塗料 黒色つや消し	0-100℃	0.95
白色ラッカ	40-100℃	0.8-0.95
ゴム 黒色硬質	20℃	0.94
白色軟質	20℃	0.86
光沢のある硬質	20℃	0.945
マイカ 細粉		0.44
厚い層		0.72
アスファルト	常温	0.90-0.98
コンクリート	0-100℃	0.94
セメント	0-200℃	0.96
砂	常温	0.90
土	常温	0.92-0.96
水	常温	0.92-0.96
ガラス パイレックス	0-300℃	0.92
平滑面	0-200℃	0.95
石英ガラス	320℃	0.75
板	20℃	0.94
ファイバーガラス	20℃	0.75
セラミック 陶器	20℃	0.90
ほうろう	22℃	0.92
ほたる石		0.3-0.4
石こう	20℃	0.8-0.9
煉瓦 赤色	0-200℃	0.93-0.95
耐火粘土		0.70-0.80
石灰		0.3-0.4
繊維	93℃	0.90
布 黒色	20℃	0.98
紙 黒		0.9

Emissivity：真鍋 隆（赤外線技術 第9号（1984）P68～82）より抜粋

放射率が違う場合、どの程度の誤差が生じるか？

被測定物からの放射エネルギーの量と温度の関係は直線関係ではないため、たとえば放射率の設定を5%間違えても、温度測定値の誤差も5%というわけではありません。放射率設定誤差が測定値に与える影響は、放射温度計が利用している赤外線の波長や対象物の温度によって異なります。

物質の放射率を ϵ 、放射率設定値を ϵ_0 とすると、放射率設定誤差Eは次の式で表されます。

$$E(\%) = (\epsilon_0 / \epsilon - 1.00) \times 100$$

下表に、放射特性の式から求めた、各対象物温度における放射率設定誤差と温度測定誤差の関係の表を示します。

表2 各対象物温度における放射率設定誤差と温度測定誤差の関係

対象物温度 (℃)	設定誤差 (%)			
	1%	2%	5%	10%
	-1%	-2%	-5%	-10%
0	0.3	0.5	1.2	2.3
	-0.3	-0.5	-1.4	-2.9
50	-0.2	-0.5	-1.2	-2.2
	0.3	0.5	1.3	2.7
100	-0.6	-1.2	-3.0	-5.7
	0.6	1.3	3.2	6.8
150	-0.9	-1.9	-4.6	-8.8
	1.0	1.9	5.0	10.4
200	-1.3	-2.5	-6.1	-11.8
	1.3	2.6	6.6	13.9
250	-1.6	-3.1	-7.7	-14.8
	1.6	3.3	8.3	17.4
300	-1.9	-3.8	-9.3	-17.8
	2.0	3.9	10.1	21.1
350	-2.3	-4.5	-10.9	-21.0
	2.3	4.6	11.9	24.9
400	-2.6	-5.2	-12.6	-24.2
	2.7	5.4	13.7	28.8

上段	放射率として高すぎる値を設定した場合の温度測定誤差(℃)
下段	放射率として低すぎる値を設定した場合の温度測定誤差(℃)

たとえば、放射率が0.90、温度が300℃の物体を、誤って放射率0.95と設定して放射温度計で測定した場合、放射率設定誤差は5%となり、表より-9.3℃が得られます。つまり、このとき放射温度計は291℃を表示することがわかります(3%の誤差)。この放射温度計の測定精度が1%であっても、放射率設定誤差が大きければ、それ以上の誤差を生じてしまうのです。

測定上の注意点

放射温度計で正しい温度を測定するためには、測定対象物からの赤外線を遮るものや背光（技術用語P35）などの余分な赤外線をできるだけ取り除くことが大切です。

光路中の吸収および散乱

測定面からの発煙、鋼材などの熱処理や食品の加工・調理に伴う水蒸気層、装置から飛散するミスト、遠隔測定での大気成分ガスによる吸収ガスなどによって、被測定物からの放射エネルギーが吸収または散乱し、測定誤差が生じます。

燃焼ガスや大気中に含まれる H_2O 、 CO_2 、 CO は赤外線に特定の吸収帯をもちますが、およそ $1\mu\text{m}$ 以下、 $3\sim 4\mu\text{m}$ 、 $8\sim 14\mu\text{m}$ などの波長では吸収がほとんどなく無視できます。 H_2O の場合、霧状で視界が遮られるような場合は吸収・散乱が無視できず、測定誤差が生じます。

窓の汚れ

光路中に置かれた窓が汚れると、放射エネルギーの吸収および散乱により、測定誤差が生じます。温度計の対物レンズの汚れについても同様で、面積効果（12ページ「標的サイズ／測定距離（測定視野）」をご覧ください）が増大する不都合を生じる他、吸収による測定誤差を生じます。ダスト、ミストなどでレンズを汚すおそれのある場合は、オプションのパージ管、エアパージユニットの使用についてご相談ください。

背光の影響

加熱炉内の被測定物を測定する場合には、炉壁からのエネルギー放射が物体表面で反射して放射温度計に入り、誤差になります。放射シールド板または放射シールド管を用いる方法が確実です。放射シールド板は、その光が被測定物に入射しないよう、耐熱板などの板を被測定物の近くに設置します。放射シールド管は、加熱炉内の被測定物で背光源の方向が特定できない場合に使用します。いずれの場合もシールド効果を高めるため、内壁（板の場合は被測定物側）の反射光をおさえ、自己放射をさけるため必要に応じて冷却します。

Q&A

Q 色の違うものでも測れる？

測れます。原理的には色による誤差は生じません。

物体の色の違いは、物体表面が可視光線領域の波長の光の一部を吸収し、残りを拡散反射することによって生じます。青色の波長の光が拡散反射されれば青く、赤色の波長の光が拡散反射されれば赤く見えます。また、可視光線領域の波長の光が全て吸収されれば黒く、全て拡散反射されれば白く見えます。

放射温度計では、可視光線領域の波長の光ではなく、赤外線領域の波長の光を測定しています。このため、原理的には色による誤差は生じません。

ただし、塗料などの顔料の材料によっては、わずかに放射率が異なる場合があります。

Q 空気の温度は測れる？

空気の温度を測ることはできません。

空気は、赤外線の放射エネルギー量が非常に小さい(放射率が小さい)ので、測定することはできません。

これは同時に、空気は赤外線の吸収率が小さい、つまり空気が赤外線をほとんど吸収しないということでもあります。赤外線にこのような性質があるおかげで、空気中の別に置かれた対象物から放射された赤外線を透過することによって、その対象物の温度を測定することができるのです。キルヒホッフの法則を思い出していただけたでしょうか(21ページをご覧ください)。

ところで、晴れた空に放射温度計を向けて測定するとどうなるのでしょうか？

この場合は、下限の測定レンジオーバーになります。

理由は、宇宙空間から放射される非常にわずかな赤外線エネルギー(一部は大気中で吸収されます)と大気層からのわずかな放射エネルギーを測定していることになるからです。

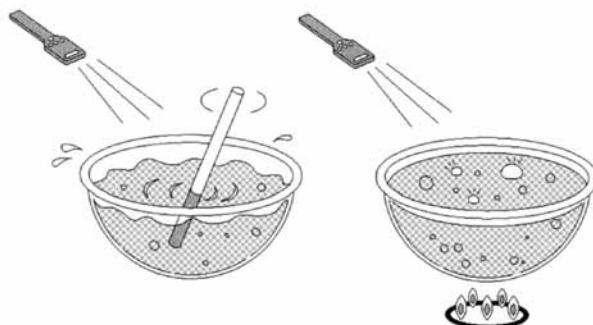
Q 水の温度は測定できる？

表面の温度を測定することができます。
また、攪拌している状態では、内部と表面の温度の差はほとんどなく、精度よく測定することができます。

次のような場合は表面と中心部の温度差が生じます。

- 鍋などで加熱中の水では、暖められた水が上部へ移動する自然対流現象によって、内部でも大きな温度差が生じます。
このため、比較する部分によっては内部より表面の方が高温になることがあります。
- さらに加熱して、沸騰直前の水では、内部より表面の方が低温になります。これは、表面からの水蒸気の発生量が著しく増加し、このとき大量の気化熱が奪われるためです。

また、表面から白い湯気が発生している状態では、湯気による赤外線の散乱の影響で測定誤差が大きくなります。



Q 透明なプラスチックは測れる？

ブロックや厚い板状のプラスチックなど、放射率の高いものは測定できます。

28ページの「色の違うものでも測れる？」でも触れましたが、放射温度計は可視光領域ではなく赤外線領域の波長の光を測定していますから、可視光線領域で透明か不透明かということは、放射温度計で測定できるか否かには関係ありません。

そこで、問題はそのプラスチックが赤外線領域で透明か不透明かによることになります。不透明であれば吸収率が大きく、放射率も大きい(キルヒホッフの法則:21ページをご覧ください)ため測定が可能です。

一般にプラスチックは非常に種類が多く、放射率もさまざまです。また、薄い板状のものやフィルム状のプラスチックは放射率が低く、中には測定できないものがあります(ポリエチレンやポリプロピレンなど)。しかし、同じ種類のプラスチックでも、ブロックや厚い板状のプラスチックは放射率が高く、測定が可能です。

Q どこまで離れて測れる？

被測定物からの赤外線を遮る物質がない限り、どこまででも離れて測定することができます。ただし、放射温度計の視野（標的サイズと測定距離の関係）に注意が必要です。

放射温度計では、被測定物からの赤外線を遮る物質がない限り、どこまででも離れて測定することができます。

ただし、放射温度計の標的サイズの大きさは、測定対象物までの距離（測定距離）によって変わります。離れれば離れるほど視野が広がって、広い範囲の温度を測定することになるので、被測定物の周囲にまで視野が広がってしまうこともあります。したがって、離れても、被測定物が放射温度計の標的サイズより大きい場合であれば、正確に測定できます。

Q 高周波や磁力の影響は？

対象物の近くで床面などのような比較的一定温度の場所を測定してみて、指示がふらついたり、誤動作を起こさないことを確認したうえで測定を行うとよいでしょう。

通常の電波影響に対する対策は施していますが、高電磁場においては、指示誤差やCPUの誤動作だけでなく、装置の故障を招く場合もあります。

対象物が大きい場合は、放射温度計との距離を離すことで誤動作を避けることができます場合があります。対象物の近くで床面などのような比較的一定温度の場所を測定してみて、指示がふらついたり、誤動作をおこさないことを確認したうえで測定を行うとよいでしょう。

Q 接触式の温度計とでは、どちらが精度がいいの？

表面温度の測定では、以下のように放射温度計の方がより精度よく測定できる場合があります。

放射温度計は原理的に物体の表面の温度を測定するので、表面の温度を測定する場合に限って接触式との比較を試みます。

接触式の温度計では、接触面積による誤差（姿勢誤差）が大きくなる場合があります。また、紙などの熱容量が小さい物質など、接触によって温度が変化するようなものに対しては正しい値を得ることは困難です。また、加熱・冷却中の物体など、接触させている温度センサーと物体との熱平衡に達するまでの時間が十分に確保できない場合も正しい値を得ることが困難です。

非接触の放射温度計では赤外線エネルギーを高速で測定するため、熱容量が小さい物質や温度変化中の物質も精度よく測定することができます。

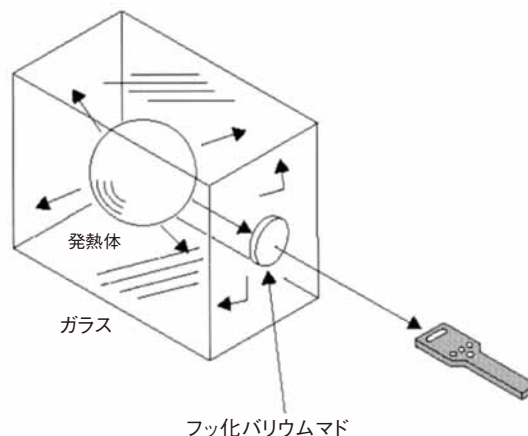
	接触式温度計	放射温度計
ゴム	△	○
水	○	○
		29ページをご覧ください。
フィルム	△	△
プラスチック	△	○
食品（表面）	—	○
食品（内部）	○	—
電子回路	△	○
金属	○	○
		ただし、黒体スプレー・黒体テープ使用 24ページをご覧ください。

Q 真空チャンバー内を測定できる？

赤外線は真空を透過するので、測定することができます。ただし、実際の測定にはフッ化バリウムマド（オプション）を使用してください。

赤外線は真空を透過するので、原理的には測定することができます。

しかし、実際に測定されるときには、オプションのフッ化バリウムマド（φ40×4t）を使用してください。通常のガラス窓は測定波長領域の赤外線を透過しないので、真空容器内の物体の温度測定はできません。フッ化バリウムマドを使用する際、赤外線がフッ化バリウムマドを透過するときに減少することから、この補正を放射温度計の放射率設定値変更でおこなう必要があります。



Q 金属を測定できる？

黒体テープや黒体スプレーを使用して測定できます。

通常、低温域においては金属は放射エネルギーが小さいため正確な測定を行うことが難しいとされています。

この場合は、黒体テープや黒体スプレー等を使用して測定してください。

ただし、黒体テープの耐熱温度は180℃以下、黒体スプレーの耐熱温度は300℃以下です。



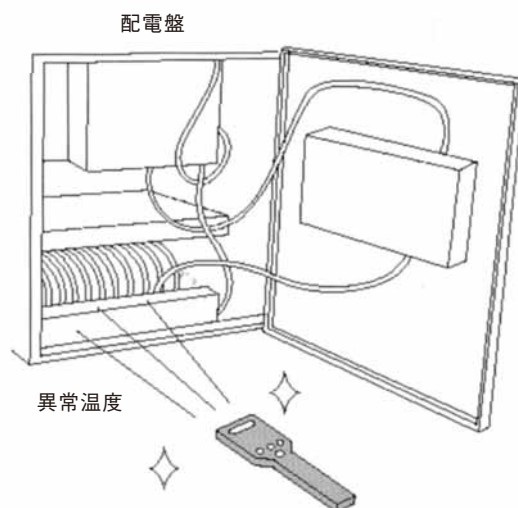
Q 設備の保守点検に放射温度計を使いたいのですが？

アラーム機能付きのIT-540N／S／E／NHが便利です。

配電盤等の電気設備で接触不良による温度の異常をすばやく検知することは非常に重要です。

IT-540N／S／E／NHでは、基準温度を超えるとアラーム音とツインビームマークの点滅でお知らせする機能があります。

温度表示を目視確認しなくてもよく、作業効率が向上します。



Q ガラス越しに測定できますか？

ガラスの代わりにフッ化バリウムマド(オプション)を使用して測定してください。

一般に使用されている石英ガラスでは2.5 μ mより長い波長の光は吸収されてしまいます。

HORIBAの放射温度計は、2.5 μ mより長い波長の光を用いて測定するため、ガラス越しに測定することはできません。

ガラスの表面温度を計測してしまうからです。

ガラスの代わりにフッ化バリウムマドを使用して、測定してください。

技術用語

● 応答速度

温度計の仕様項目の1つで、測定にかかる時間の目安となります。この値が小さいほど、測定にかかる時間が短いことを意味します。ただし、メーカーによって基準が異なることがありますので、注意が必要です。

HORIBAでは黒体炉(技術用語P33)の前に設置したシャッターを閉じた状態から開いたとき、温度計が示す最終指示値の95%の値に達するまでの時間(95%応答)を示しています。しかし、90%応答または63.2%応答などの時間を表示しているメーカーもあり、この場合95%応答で表示するより小さな値となります。

● 温度ドリフト

温度計の仕様項目の1つで、測定環境の温度変化に対する安定性の目安となります。

この値が小さいほど、測定環境の温度変化に対する安定性が高いことを意味します。

黒体炉(技術用語P33)の温度を一定に保ち、温度計の周囲温度のみを変化させたときの温度計の指示値の変化を周囲温度変化1℃あたりに換算した値です。一般に、周囲温度の変化後、温度計が十分に安定した後に得られる指示値で評価されます。

● キルヒホッフの法則

ドイツの物理学者キルヒホッフが1859年に発見した熱放射に関する法則です(21ページ「放射率とは—黒体との比率」をご覧ください)。

● 金ブラック

金を細かい粒子状に形成して、赤外線を吸収しやすくしたものです。可視光線も吸収しやすいので黒く見えます。

● 黒体炉

放射温度計を校正するための装置です。黒体空洞と、黒体空洞を一定の温度に加熱または冷却する機構とで構成されます。

黒体空洞は、不透明な壁で囲まれた空洞で観測用の小さな穴が開いています。空洞外部からはこの穴を近似的に放射率 $\epsilon=1$ を持つ「黒体」とみなすことができます。

● 再現性

温度計の仕様項目の1つで、同一条件(測定周囲温度、黒体炉温度)で繰り返し測定した場合の測定値のバラツキの度合いです。この値が小さいほど性能が優れています。

● サーマパイル

熱型赤外線センサの1つで、多数の熱電対(技術用語P35)を直列につないだものです。HORIBAの放射温度計に使用されています(10ページ「サーモパイルについて」をご覧ください)。サーモパイルの温接点、冷接点は、それぞれ熱電対の測温接点、基準接点に該当します。

● 視野欠け

放射温度計の視野を被測定物が満たしていない状態をいいます(12ページ「標的サイズ／測定距離(測定視野)」をご覧ください)。

● 焦電型赤外線センサ

熱型赤外線センサの1つで、焦電効果(技術用語P34)を利用しています。パイロセンサともいいます。HORIBAでは、ガス分析計などの内部に用いられる焦電型赤外線センサも製造しています。

● 焦電効果

自発分極(電場を加えない状態でも電荷がプラスとマイナスに分かれて分布していること)している結晶またはセラミックスを加熱すると、温度の変化によって分極の状態が変わり、結晶表面に電荷が誘発されます。この現象を焦電効果といいます。

● ステファン・ボルツマンの法則

1884年にオーストリアの物理学者ボルツマンが熱力学の理論から導き出した、熱放射に関する法則です(8ページ「放射温度計」をご覧ください)。

● 絶対温度

物質の特異性に依存しない温度目盛として、1848年イギリスのケルビンによって提唱されました。熱力学的温度またはケルビン温度ともいい、熱力学の法則に基づいています。国際温度目盛によって、水の三重点(液体、固体、気体の3つの状態で共存する温度) $0.01^{\circ}\text{C}=273.16\text{K}$ と定義されています。

● セルシウス目盛

スウェーデンの天文学者アンデルス・セルシウスが1742年に提案した温度目盛です(4ページ「温度計の歴史と単位」をご覧ください)。セルシウス目盛を「摂氏」というのは、セルシウスの中国語表記「攝爾修」に由来しています。

● 測定視野(標的サイズ／測定距離)

放射温度計の仕様の1つで、放射温度計が温度を測定している領域のことです。HORIBAでは、標的サイズとそれを実現する測定距離で示しています。

標的サイズは、被測定物上における測定領域の大きさで、直径などで表されます。

測定距離は、温度計先端から被測定物までの距離です。

● 熱起電力

導体中に温度勾配があって両端に温度差があるとき、温度差にほぼ比例した起電力（電圧）が発生します。これを熱起電力といいます。熱電気と呼ばれる現象において発生している電位差のことです。

● 熱電対

熱起電力（技術用語P35）を利用する温度センサで、2種の異なる金属の線の両端を接合したものです。

熱電対で温度をはかるときには、一方の接合部を被測定物に接触させ、他方の接合部は基準温度（0℃）に保ちます。被測定物に接触させる接合部を測温接点、0℃に保たれる接合部を基準接点といいます。

● 熱平衡状態

温度の異なる2つの物体を接触させると、温度の高い物体から低い物体へ熱エネルギーが移動します。これによって、2つの物体の温度差は次第に小さくなり、最終的に温度が等しくなって熱エネルギーの移動は止まります。このように熱エネルギーが全く移動しなくなったとき、2つの物体は熱平衡状態にあるといいます。

● 背光

放射温度計の誤差要因の1つです。放射温度計と被測定物が置かれた空間を形成する壁（床や天井を含む）からの放射のことです。背光が誤差になりやすいのは、被測定物の放射率が低く、かつ背光の放射源となっている壁などの温度が放射温度計本体の温度と大きく異なる場合です。また被測定物の付近に高温の熱源がある場合には大きな誤差を生じる場合があります。

● ファーレンハイト目盛

ドイツの物理学者ファーレンハイトが1720年に発明した水銀温度計に定めた温度目盛です（4ページ「温度計の歴史と単位」をご覧ください）。

ファーレンハイトは、まずニュートンの提案に従って、融けかけた水で得られた水銀液面の位置を0度、人の体温で得られた水銀液面の位置を12度としましたが、この間隔は粗すぎたため目盛を8倍細かくして96度としました。次にこの目盛で水の氷点を測定したところ、それぞれ32度弱、212度弱の値を得ました。そこで、水の氷点を32度、沸点を212度として目盛を定めました。最終的に定められた目盛では、体温は98.6度となります。

ファーレンハイト目盛を「華氏」というのは、ファーレンハイトの中国語表記「華倫海」に由来しています。

● プランクの放射則

ドイツの物理学者プランクが1900年に発見した熱放射に関する法則です。

黒体が放出する放射エネルギー密度を、放射の波長とその黒体の絶対温度の式で表しました。この式に物体固有の放射特性を掛け合わせるによって、物体の温度と放射エネルギーの関係を完全に表すことができます。

$$W_{\lambda} = \epsilon_{\lambda} C_1 \lambda^{-5} [\exp(C_2 / \lambda T) - 1]^{-1}$$

ここに、 W_{λ} : 物体の-分光放射輝度

λ : 波長

C_1 : 放射の第1定数 ($3.74 \times 10^4 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \mu\text{m}^4$)

C_2 : 放射の第2定数 ($1.44 \times 10^4 \mu\text{m} \cdot \text{K}$)

T : 絶対温度 (K)

ϵ_{λ} : 分光放射率

● 分光特性

物質の光に対する透過率や反射率などの性質は光の波長によって異なります。これをその物質の分光特性といいます。波長毎に求めてグラフや表として示されます。

● 放射率

黒体（入射するあらゆる波長を吸収し、反射も透過もしない理想の物体）が放射する全放射エネルギーと実際の物体が放射するエネルギーの比です（21ページ「放射率とは—黒体との比率」をご覧ください）。

● 面積効果

放射温度の標的サイズよりも大きい被測定物であっても、その大きさによって温度計の出力が影響される現象です。放射温度計を選ぶときに気をつけなければならないポイントの一つです（12ページ「標的サイズ／測定距離（測定視野）」をご覧ください）。

MEMO

HORIBA

ハイテクの一步先に、いつも。

株式会社 堀場製作所

〒601-8510 京都市南区吉祥院宮の東町2 (075)313-8121 (代)

<http://www.horiba.co.jp> e-mail: info@horiba.co.jp

〈お問い合わせ〉

カスタマーサポートセンター

フリーダイヤル

0120-37-6045
