

テクニカルノート

“スポット放射温度計” vs “赤外線サーモグラフィ”



スポット放射温度計
(スポットピロメーター)
1つのスポットの温度を計測

FLIR E40
赤外線サーモグラフィ
は、19,200スポットの
温度を計測

赤外線サーモグラフィも、スポット放射温度計も世界中の企業で使用されている一般的な非接触式温度計測機器です。この2つは同じ原理を利用しています。赤外線エネルギーを検出し、それを温度に変換します。ただし、サーモグラフィにはスポット放射温度計と比べていくつかのメリットがあります。

- スポット放射温度計は、単に1点の温度数値を示すだけですが、赤外線サーモグラフィは温度分布を画像として映し出します。
- スポット放射温度計は、1か所の温度を読み取りますが、赤外線サーモグラフィは、熱画像全体の各ピクセルの温度を読み、示します。
- 赤外線サーモグラフィは、高い画素数のものを選べば、離れたところからでも温度測定が可能です。広いエリアを短時間で効率よく計測できます。

スポット放射温度計は、スポットピロメーターまたは赤外線放射温度計とも呼ばれます。スポット放射温度計は、赤外線サーモグラフィと同じ物理的原理に従って作動するため、1ピクセルだけを計測するサーモグラフィと考えることもできます。このツールは数多くの業務で役立ちますが、たった1か所の温度しか計測できないため、計測者は重要度の高い情報を見逃しやすくなります。ある重要部品の温度が故障温度に近づいており、修理が必要な状態となっていたとしても、気づかないといったことも起こりえます。

数千～数万台のスポット放射温度計に相当

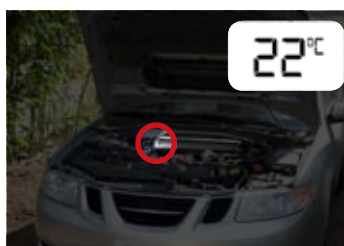
赤外線サーモグラフィも、スポット放射温度計と同様に、非接触で温度を測定し、表示しますが、1箇所のみではなく熱画像上の各ピクセル毎に、温度値を計測します。

つまり、1台の赤外線サーモグラフィでの計測は、数千台のスポット放射温度計での計測に匹敵します。

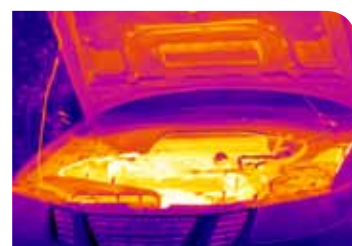
フリーシステムのFLIR E40赤外線サーモグラフィは、160×120ピクセルの画像解像度を実現し、一度に19,200個の温度を計測します。非冷却サーモグラフィのなかでも高画素最上位機種の一つであるFLIR T1050sclは、画像解像度1024×768ピクセルを持ち1回に786,432個の温度数値を読み取ることができます。

時間を節約して熱を“見る”

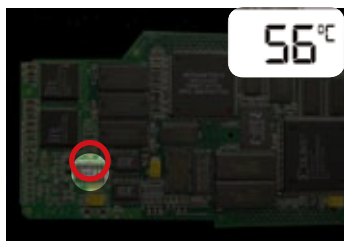
赤外線サーモグラフィは、数千個もの温度数値を読み取るだけでなく、それらを1枚の熱画像に変換します。この画像に検査対象物の温度分布が表示され、計測者は、スポット放射温度計では見逃してしまいがちな、小さなホットスポットを直に見分けることができます。赤外線サーモグラフィの利用は時間の節約にもつながります。数多くの部品がある大きなエリアをスポット放射温度計1台でスキャンする場合、部品1個1個をそれぞれ計測しなければならないので、膨大な時間がかかります。一方、赤外線サーモグラフィが1台あれば、プリント基板の熱放散のチェック、品質チェック、自動車部品での熱の影響の検査、試験所での故障解析などを行うことができます。



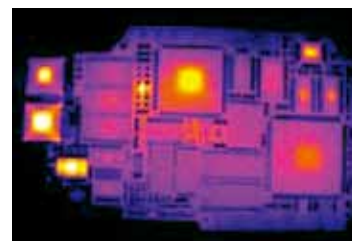
スポット放射温度計では1点の測定



赤外線サーモグラフィで全体を測定することが可能

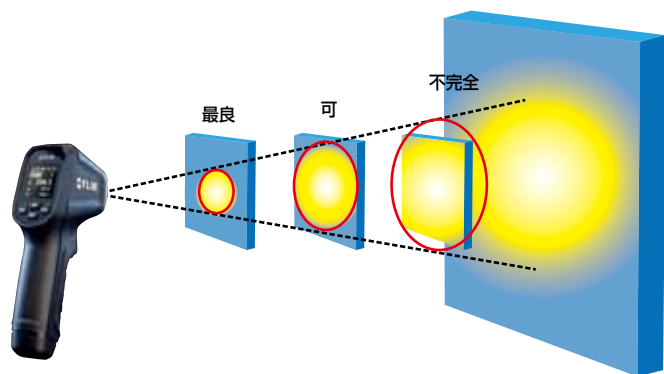


基盤をスポット放射温度計で測定。1点毎の測定となり発熱部のチェックが難しい



赤外線サーモグラフィでは、温度分布表示により、発熱部のチェックが容易

テクニカルノート



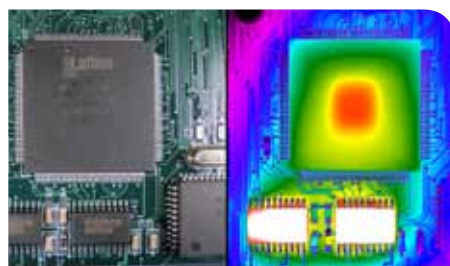
スポット放射温度計で測定対象の温度を正確に計測するためには、ターゲットが、計測スポット全体を覆う必要があります。このため、正確な温度計測を行える距離は限定されます。

スポット放射温度計と比べた赤外線サーモグラフィのもう一つのメリットは、より離れたところから正確に温度を計測できることです。1台のスポット放射温度計がターゲットを計測できる距離は、通常「距離対スポットサイズ比」(D:S) または「スポットサイズ比」(SSR) と表現されます。しかし、その値の根拠や意味とはどのようなものしょう？

スポット放射温度計の「スポットサイズ」は、この機器を用いて正確に計測できる最小面積です。つまり、ターゲットとも呼ばれる温度計測対象は、スポットサイズ全体を覆わなければなりません。測定対象が発する赤外線放射は、スポット放射温度計の光学部品を通り、検出器上に投射されます。測定対象がスポットサイズより小さい場合は、測定対象の周囲にあるものが発する放射エネルギーの一部も検出器に投影されます。したがって、機器は、測定対象の温度だけではなく、その周囲にあるもの温度も合わせた温度を読み取ることとなります。

計測の対象からスポット放射温度計までの距離が遠くなればなるほど、光学部品の特性により、スポットサイズは大きくなります。つまり、ターゲットが小さくなればなるほど、正確な温度計測のためには、ターゲットに接近してスポット放射温度計を構えなければなりません。スポットサイズから目を離さず、ターゲットがスポットサイズ全体を覆うまで近づくことが重要です。万全を期すためには、そこから、さらに一步近づいて計測するとよいでしょう。

スポット放射温度計の場合、そのターゲットまでの距離に対するスポットサイズは、スポットサイズ比 (SSR) によって決まります。



赤外線サーモグラフィは熱を見る事が可能

例えば、SSRが1:30の場合、直径1cmの大きさのスポットの温度は、30cmの距離からなら正確に測ることができます。大きさ4cmのスポットの温度は、120cm (1.2メートル) の距離から測ることができます。ほとんどのスポット放射温度計のSSRは、1:5から1:50です。したがって、直径1センチのターゲットを計測できる距離は、5cmから50cmとなります。

赤外線サーモグラフィの場合、赤外線放射が検出器のマトリクスに投影され、画像の各ピクセルがそれぞれ1つの温度計測値に対応します。この点は、スポット放射温度計とよく似ています。赤外線サーモグラフィメーカー

は、一般的に製品の空間解像度を表す際、SSR値ではなく瞬間視野 (IFOV) を使用します。IFOVは、カメラの検出器アレイの1エレメントの視野と定義されます。理論上、赤外線サーモグラフィのスポットサイズ比は、IFOVによって決定されます。ターゲットが発する赤外線放射エネルギーは、光学部品を通して検出器に投影されるため、投影された赤外線放射は、少なくとも1つの検出器エレメントを完全に覆わなければなりません。

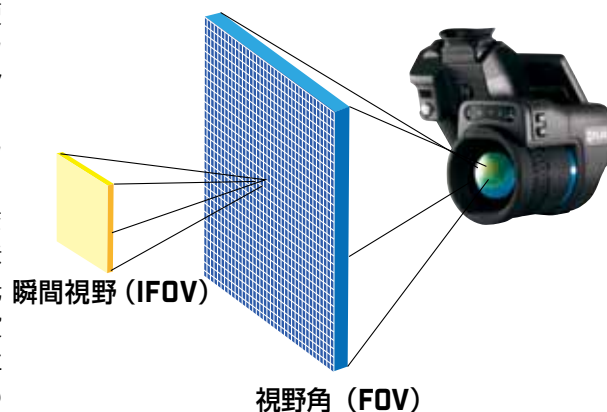
このエレメントは、熱画像の1ピクセルに相当します。つまり理論上は、正確な温度計測を保証するには、赤外線放射が熱画像の1ピクセルを覆えば十分ということになります。

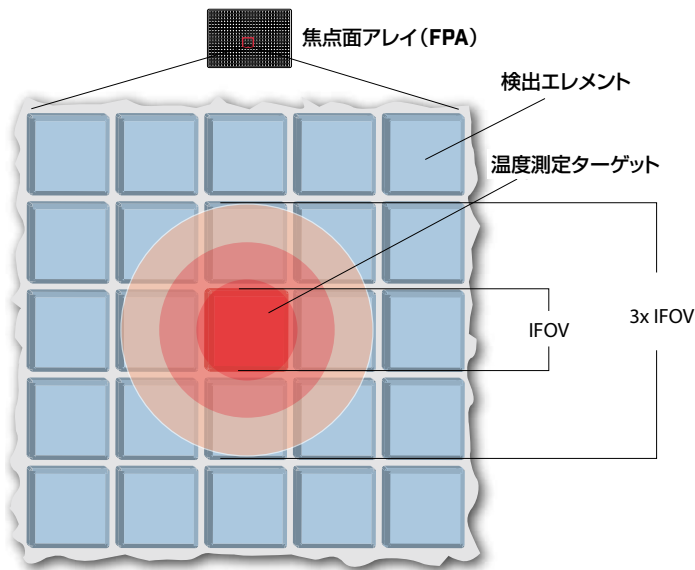
IFOVは、一般的にミリラジアン (ラジアンは、円弧の長さとその半径との比を意味します。1ラジアンは、数学的に円弧の長さが円の半径と等しいときに形成される角度と定義されます。円周は、半径の 2π 倍なので、1ラジアンは、円の $1/(2\pi)$ 、すなわち約57.296度となり、1ミリラジアン0.057度に等しくなります。

赤外線サーモグラフィである温度の計測を行う場合、ターゲットまでの距離は、円の半径に等しく、そのターゲットはほぼ平面だと仮定します。検出器の1エレメントの視野角は小さいため、この角度の正接はそのラジアンで表した値にほぼ等しいと推測することができます。

このことから、スポットサイズを計算すると、IFOV (単位:ミリラジアン (mrad)) を1000で割ってターゲットまでの距離を掛けた値になります。

$$\text{スポットサイズ} = \left[\frac{\text{IFOV}}{1000} \right] \times \text{ターゲットまでの距離}$$





理想的な状況では、投影されたターゲットが最低1ピクセルを覆えばよいはずですが、確実に正確な読みを得るには、投射画像の光学分散を考慮し、1ピクセルよりも広いエリアを覆うようにするのがよいでしょう。

マイクロボロメータ式赤外線サーモグラフィカメラでは、光学収差を考慮し、IFOVの3倍のエリアを覆う、ことを目安としています。つまり、熱画像の場合、ターゲットは、理想的状況なら計測に十分な1ピクセルだけでなく、その周囲のピクセルも覆った方がよいとされています。

この目安を守った場合、実際の光学部品という要因を考慮し、スポットサイズ比を求める式を変更することができます。1xIFOVを使うのではなく、3xIFOVを使用し、次に示す現実に沿った式を得ることができます。

$$x = \frac{1}{\left(\frac{3xIFOV}{1000} \right)}$$

スポットサイズとターゲットまでの距離をcmで、IFOVをmradで表す場合、距離が100cm、IFOVが1mradの場合、スポットサイズは0.1cmとなります。0.1cmのスポットサイズは、100cmの距離から計測することができ、したがって、1cmのスポットサイズを計測できる距離は、1000cmとなります。これは、スポットサイズ比が1:1000であることを示しています。

スポットサイズ比を1:x（1はスポットサイズ、xは距離）として表すために、上記の計算を式に代入すると、xを求めるための式は、次のようになります。

$$x = \frac{1}{\left(\frac{IFOV}{1000} \right)}$$

ここで、IFOVはmrad単位で表されています。

理想の光学部品と実際の光学部品

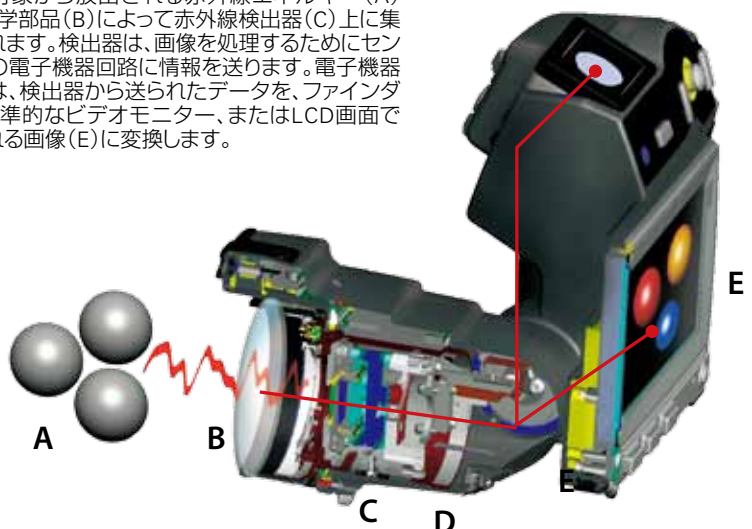
上記の式を用いると、IFOVが1.4mradのカメラの理論的スポットサイズ比は、1:714となります。つまり理論上、直径1cmの測定対象は7メートルを超える距離から計測できることになります。ところが、前述したように、この理論値は、現実の状況とは一致しません。実際の光学部品は、決して完璧なものとはなり得ないという事実を考慮していないからです。検出器に赤外線放射を投射するレンズは、光を分散させ、別の形の光学収差を作り出します。検出器の1ピクセルにターゲットが正確に投射されているという確証を得ることはできま

せん。投射された赤外線放射が、検出器の隣接するピクセルから‘あふれ出る’こともあります。言い換えれば、ターゲット周囲の複数の表面温度が、温度の読みに影響を与える可能性があります。スポット放射温度計と同様に、ターゲットがスポットサイズを完全に覆うだけでなく、スポットサイズ周辺の安全域まで覆った方がより正確な測定になります。この安全域は、測定視野(MFOV)を意味します。MFOVは、赤外線サーモグラフィの実際の計測スポットサイズを表します。これは、正確な温度の読みを得るための最小測定面積と表現することもでき、一般的に、1ピクセルの視野角、IFOVの大きさで表されます。

ここで、IFOVはmrad単位で表されています。

この式に基づき、IFOVが1.4mradのカメラのスポットサイズ比は、1:238となり、直径1cmの測定対象は、2.4メートルをわずかに下回る距離から計測することができることになります。この理論値は、安全域を守ったものであるため、実際より厳格な値です。したがって、実際のスポットサイズ比は、もっと大きくなる可能性があります。ただ、この理論上のSSR値を用いることで、温度の読みの正確さを確保できます。

測定対象から放出される赤外線エネルギー(A)は、光学部品(B)によって赤外線検出器(C)上に集束されます。検出器は、画像処理のためにセンサーの電子機器回路に情報を送ります。電子機器回路は、検出器から送られたデータを、ファインダー、標準的なビデオモニター、またはLCD画面で見られる画像(E)に変換します。

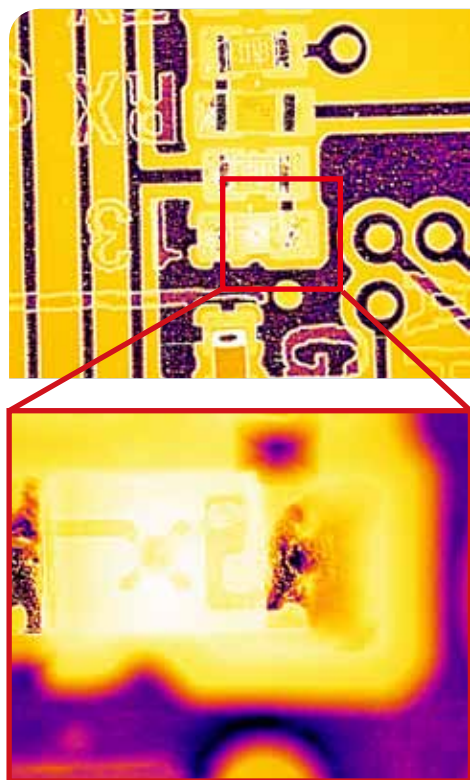


テクニカルノート

スポット放射温度計のスポットサイズ比は、一般的に1:5から1:50の間に収まります。高性能な高価な機種であれば1:40、さらには1:50までのSSRも存在しますが、手頃な価格帯の機種のSSRは、1:5から1:10です。ただし、スポット放射温度計にも光学部品に関しては、赤外線サーモグラフィと同じ光学収差の問題があります。スポット放射温度計を比較する場合、SSR値が理論値なのか、光学部品の不完全性を考慮して補正された値なのかを知る必要があります。

離れた距離からの温度検出

理想的なSSRと実際は異なるということを考慮したとしても、赤外線サーモグラフィとスポット放射温度計とは、計測距離の点で大きく異なります。スポット放射温度計の多くは、1cmのターゲットの計測距離は10cmから50cm程度までしか正確に計測できません。



接写レンズと顕微鏡レンズにより、細かいディテールを撮影し、小さなスポットを計測することができます。これは、スポット放射温度計には、至難の業です。上の画像は4xの接写レンズで、下の画像は15ミクロンレンズで撮影したものです。

一方、赤外線サーモグラフィでは、数メートル離れたところから同じ大きさ(1cm)のターゲットの温度を正確に計測できるものがほとんどです。IFOV 2.72 mradのFLIR E40赤外線サーモグラフィでさえも、1cmのターゲットを120センチ離れたところから計測できます。画素数の高いFLIR T1050sc赤外線サーモグラフィでは、28°の標準レンズで7メートル以上離れたところから1cmのターゲットの温度の計測が可能です。

これらの値は、標準レンズの使用を想定して計算されています。高性能赤外線サーモグラフィの多くは、交換式レンズを特長としています。違うレンズを使用すると、IFOVが変わり、それがスポットサイズ比に影響を与えます。例えば、FLIR T1050sc赤外線サーモグラフィには、28°の標準レンズだけでなく12°の望遠レンズも装備されています。特に遠距離観察用に開発された望遠レンズを用いると、スポットサイズ比は、はるかに大きくなります。12°望遠レンズを使った場合、T1050scのIFOVは、0.20ミリラジアンになります。このレンズがあれば、同じ赤外線サーモグラフィでも、17メートル近く離れたところから1cmのターゲットの正確な温度計測が可能です。

もっと近づく必要があるかどうかの判断

赤外線サーモグラフィは、SSR値に関して言えば、明らかにスポット放射温度計よりも高い性能を発揮しますが、SSR値は、単に正確な温度計測が可能な距離を示すにすぎません。実際、ホットスポットの検出だけが目的であれば、必ずしも正確な温度数値を得る必要ありません。ホットスポットは、たとえターゲットが熱画像の1ピクセルしか覆っていないなくても、見分けられます。温度の読みは正確でなくとも、ホットスポットを検出していれば、測定者は、ターゲットに近づいてターゲットが2ピクセル以上を覆っていることを確かめることによって、その温度の読みの正しさを確認することができます。

非接触で極端に小さい測定対象の温度計測をしたいという要求が高まっています。電子機器回路の検査では、特に

重要です。機器の処理速度が上がるにつれ、機器を収めるパッケージの小型化が求められ、いかに熱を放散し、ホットスポットを見つけるか、そのための手立てを探ることが重要な課題です。スポット放射温度計は、効率的に温度を検出して計測しますが、そのスポットサイズが大きいものは使用できません。しかし、接写用レンズを搭載した赤外線サーモグラフィの中には、1ピクセルのスポットサイズ当たり5 μ m(マイクロメートル)未満まで焦点を絞ることができるものもあります。そのため、研究者、技術者は、極めて微小な温度に計測を行うことができます。

憶測から「見える」化へ

スポット放射温度計は、数値を示すだけです。その数値は、正確とは言えず、憶測の余地が残ります。一方、赤外線サーモグラフィは、熱を「見える」化し、温度計測値だけでなく熱分布の瞬間的画像も示します。この視覚情報と正確な温度計測値の組み合わせにより、素早く正確に温度変化を見つけることができます。憶測は止め、フリーアクセスの赤外線サーモグラフィにグレードアップし、さらに迅速かつ容易に問題を発見しましょう。

サーモグラフィカメラとこのアプリケーションについてより詳しくお知りになりたい場合には、下記をご訪問下さい

www.flir.jp

ここに表示した画像は、示したカメラの実際の解像度を表しておりません。例示目的用だけの画像です。©2015-FLIR Systems Inc. 無断複写・複製・転載を禁じます。(11/15作成)