

非接触型放射温度計を用いた  
舗装工事における表面温度管理の手引き（案）

平成31年3月  
つくば舗装技術交流会

## 目 次

1.	総説.....	1
1.1	概説.....	1
1.2	本手引きの適用にあたっての注意.....	1
2.	放射温度計.....	2
2.1	特徴.....	2
2.2	仕様項目.....	2
2.3	仕様例.....	4
3.	放射温度計による測定例.....	5
4.	測定精度，校正について.....	9
5.	測定方法.....	10
6.	サーモグラフィについて.....	12

## 1. 総説

### 1.1 概説

非接触型放射温度計（以下、放射温度計）は、一般に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放射温度計の赤外線センサを用いて測定し、温度を測るものです。そのため、被測定物に接触させずにその対象物の表面温度を測定できることから、アスファルト舗装の施工中に使用する場合、迅速かつ安全に舗装の表面温度を測定することが可能であると考えられます。

### 1.2 本手引きの適用にあたっての注意

この手引きは、放射温度計をアスファルト舗装舗設中の表面温度管理に使用する場合の留意事項などを示しています。放射温度計には様々な種類があり、また対象となるアスファルト混合物の性質も種々異なるため、記述にあたっては、標準的な性質や使用方法について述べていることを考慮してください。

## 2. 放射温度計

### 2.1 特徴

#### 放射温度計のしくみ

一般的に、放射温度計は物体から放射される赤外線をサーモパイル（赤外線センサ）により感知します。

サーモパイルでは、入射した赤外線の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、回路を回してマイクロコンピュータに入力されます。そして、マイクロコンピュータにより基準温度や放射率による補正の後、“温度”に換算され測定値として本体の液晶画面に表示されます。

### 2.2 仕様項目

放射温度計固有の仕様項目として、基本的には測定温度範囲・精度などが挙げられます。また、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が重要です。また、測定する際には、温度ドリフトや測定波長範囲なども留意する必要があります。

各測定器メーカーのカタログから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があるため、一般的には使用目的に合った機器を選定することが重要です。ただしアスファルト表面温度管理の目的で使用する場合、一般的な仕様で十分であることが多いため、項末に望ましい仕様例を示します。

#### 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。

一般的に、標的サイズは被測定物より小さいものを選定する必要があります。被測定物より標的サイズが大きいと、放射温度計による測定値は周囲の物体の温度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。

標的サイズ／測定距離（測定視野）は、測定距離(D)と標的サイズ(S)の比で定義されていることが多いです。Dの値がSに比べて大きいほど、遠距離からの測定に適していると言えます。したがって、被測定物が小さい場合、または測定範囲を小さくする必要がある場合などは、Dの値がSに比べて大きい機器を選定する必要があります。なお、測定距離(D)と標的サイズ(S)の比が一律でない機種もあるため、測定距離と標的サイズの関係をあらかじめ確認しておくことが重要です。

## 放射率

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物性値に左右されます。このため、放射温度計で温度を正確に測定する場合には、あらかじめ放射率を調べ、放射温度計に設定する必要があります。

機器により、放射率の設定ができるものと固定のものがあります。表-1には様々な物体の放射率の代表値を示します。アスファルト（混合物）は、0.90~0.98となります。

表-1 放射率測定値（例）※

物質	温度（℃）	放射率	
人間の皮膚	32℃	0.98	
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℃	0.80~0.95
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
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（平滑面）	0~200℃	0.95	
セラミック	陶器	20℃	0.90
	ほうろう	22℃	0.95
石こう	20℃	0.80~0.90	
煉瓦（赤色）	0~200℃	0.93~0.95	
繊維	93℃	0.90	
布（黒）	20℃	0.98	
紙（黒）		0.90	

※ 真鍋 隆（赤外線技術 第9号（1984）P68~82）より抜粋

## 温度ドリフト

温度ドリフトとは、黒体炉の温度を一定に保ち、放射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、周辺温度変化1℃あたりに換算した値です。

放射温度計を保管場所から使用場所に移動させる際、急激な環境温度の変化は、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させ、測定誤差の要因となります。ただし、測定器ごとにどの程度温度ドリフトに影響されやすいか等、カタログに記載されていない場合もあります。したがって、冬季に温かい車の中から取り出した放射温度計を直ちに測定にするなどは避けるようにして、外気温に一定時間慣らすことが必要となります。

## 2.3 仕様例

一般的な放射温度計の機種仕様例を表-2に示します。

表-2 放射温度計の仕様例

放射温度計	NO.1	NO.2	NO.3	NO.4
測定範囲	-20~315℃	-40~400℃	-40~500℃	-50~500℃
測定精度	-20~100℃ ; ±2℃	0℃以下 ; ±5℃	-20~100℃ ; ±2℃	-50~-0.1℃ ; ±10%rdg
	上記以外 ; ±2%rdg	1~199℃ ; ±2℃	上記以外 ; ±2%rdg	0~200℃ ; ±2℃
		200℃以上 ; ±1%rdg		200.1~500℃ ; ±1%rdg
分解能	1℃	1℃	100℃未満 ; 0.1℃	
			100℃以上 ; 1℃	
放射率	固定 (0.95)	切替式 (0.85,0.90,0.95 )	切替式 (0.30~1.00)	切替式 (0.10~1.00)
スポット比	8 : 1	15 : 1	10 : 1	41.67 : 1
レーザーマーカ	スポット式 (中心から 1.4cm 上)	サークル式 (中心部)	スポット式 (中心から 1.4cm 上)	2ビームレーザー マーカ式

### 3. 放射温度計による測定例

温度を測定するにあたり、それらの値に誤差が生じるには様々な要因があります。前述したような測定器の設定だけでなく、測定方法や測定環境などの様々な条件により誤差が生じる可能性があります。ここでは、舗装表面温度を様々な条件下で測定した例を示し、各パラメータが測定結果にどの程度影響を与えるか検討した結果について述べます。

#### 角度、距離

対象となるアスファルト混合物と、放射温度計の距離および角度を変化させた場合の測定結果を表-3に示します。

距離および角度の違いによる測定値の差異は認められませんでした。ただし、今回は一般的な測定距離と思われる100cmまで測定しましたが、先述した標的サイズ/測定距離（スポット比）を十分考慮に入れて測定することが重要です。つまり、距離によっては測定したい対象物より標的サイズが大きくなってしまいう可能性があり、測定誤差を生じさせる要因となります。

表-3 距離および測定角度を変化させた測定例

距離 (cm)	0°	30°	45°
40	20°C	20°C	20°C
80	20°C	20°C	20°C
100	21°C	20°C	20°C

#### テクスチャ

密粒度アスファルト混合物およびポーラスアスファルト混合物について、舗装体表面のテクスチャの違いによる測定値への影響を調査した結果を表-4に示します。

同一環境温度下における測定値には、表面テクスチャの違いによる差異は認められない結果となりました。一定温度でない場合については後述します。

表-4 テクスチャの異なるアスファルト混合物の測定例

恒温室温度	20°C	40°C
密粒混合物	20°C	40°C
ポーラス混合物	20°C	40°C

## 水分

水分の有無による測定値への影響を確認した結果を表-5 に示します。アスファルトの種類により大きな差はありませんが、水が介在した場合としていない場合とを比較すると1～2℃低下することがわかりました。表面温度計では、一番手間にあるものの表面温度を測定するため、水の表面温度を計測したと考えられます。

なお、実際の舗装工事では転圧機械から散布した水により、舗装体から水蒸気が出る場合があります。その際は水蒸気の温度が測定値に影響することとなります。

表-5 水の有無による測定例

アスファルトの種類	水無し	水膜 4mm	測定値の差
ストリートアスファルト 60/80	19	17	2
ポリマー改質アスファルトⅡ型	18	16	2
ポリマー改質アスファルトⅣ型	18	17	1

## 転圧時の表面温度

アスファルト舗装工事の転圧時の表面温度測定を想定し、約 120℃から自然冷却する過程において、放射温度計と表面温度計で測定値を比較しました。測定方法は、図-1 に示すように 30cm×30cm×5cm のホイールトラッキング供試体を作製し、中央部(①)の放射温度計の温度を測定温度になったことを確認した後に、②～④を放射温度計および接触型温度計を用いて表面温度を測定し、その差を確認しました。測定結果を表-6 および 7 に示します。また、赤外線画像を図-2 に示します。

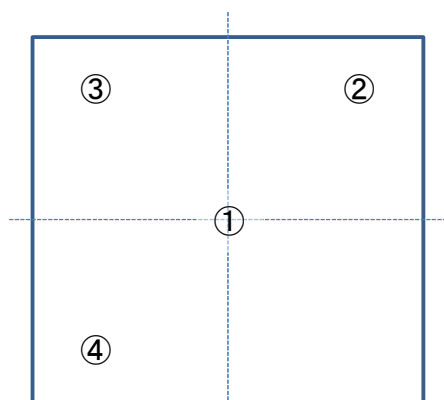


図-1 供試体の温度測定位置



写真-1 測定状況

まず①を 120℃から約 10℃刻みで放射温度計にて測定し、その温度を基準として②～④を放射温度計および接触型表面温度計で比較した。

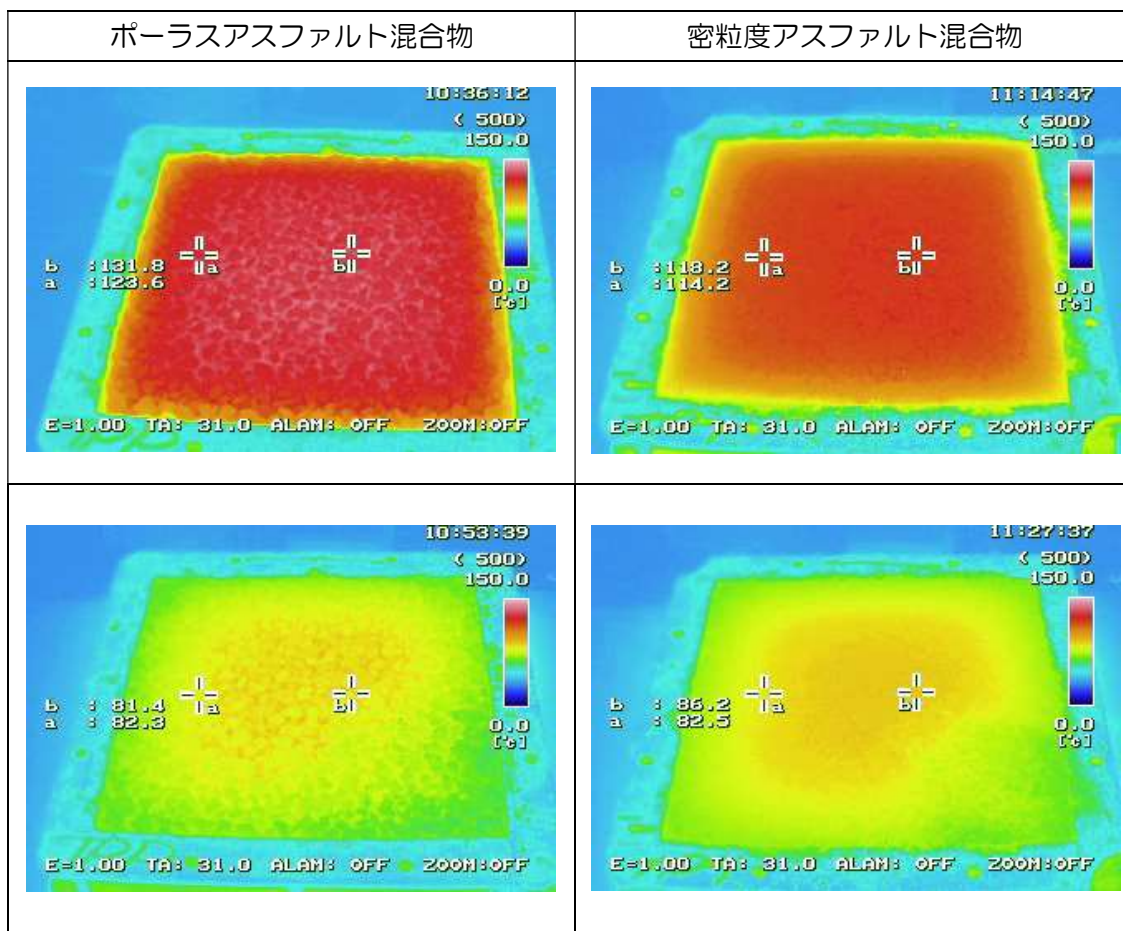


表一六 測定結果（ポーラスアスファルト混合物, 左；放射温度計, 右；表面温度計）

測定位置	経過時間																備考
	0		0:03:11		0:06:03		0:08:37		0:12:21		0:17:27		0:29:53		0:44:14		
①	126℃		120℃		109℃		101℃		90℃		81℃		71℃		59℃		中央部
②	122	92.5	114	93.1	98	95.5	86	79.7	82	65.6	71	59.8	65	60.2	54	50.9	右上
③	123	103.1	115	99.3	105	93.8	94	84.7	85	73.2	75	66.1	67	61.3	56	54.9	左上
④	121	91.0	109	92.7	103	83.4	93	75.0	82	70.5	75	62.0	66	63.5	56	51.6	左下
平均値	122	95.5	113	95.0	102	90.9	91	79.8	83	69.8	74	62.6	66	61.7	55	52.5	
標準偏差	1.00	6.60	3.21	3.70	3.61	6.55	4.36	4.85	1.73	3.85	2.31	3.20	1.00	1.68	1.15	2.14	個々の標準偏差
	2.30																放射温度計の標準偏差
放射-接触	26.5		180		11.1		11.2		13.2		11.4		4.3		2.5		測定値の差

表一七 測定結果（密粒度アスファルト混合物, 左；放射温度計, 右；表面温度計）

測定位置	経過時間																備考
	0		0:04:00		0:07:36		0:12:15		0:17:40		0:27:50		0:39:20				
①	121℃		111℃		100℃		91℃		81℃		71℃		62℃		中央部		
②			113	107.3	104	95.1	89	88.0	81	78.2	72	71.2	66	62.6	59	57.5	右上
③			119	108.1	106	96.9	96	87.3	85	78.8	78	72.0	67	62.7	60	56.3	左上
④			119	108.5	105	93.6	95	83.3	84	78.0	76	71.7	68	61.9	60	57.4	左下
平均値			117	108.0	105	95.2	93	86.2	83	78.3	75	71.6	67	62.4	60	57.1	
標準偏差			3.46	0.61	1.00	1.65	3.79	2.54	2.08	0.42	3.06	0.40	1.00	0.44	0.58	0.67	個々の標準偏差
	2.14																放射温度計の標準偏差
放射-接触			9.0		9.8		6.8		4.7		3.4		4.6		2.9		測定値の差



図一 二 赤外線画像（上；測定開始時, 下；放射温度計 80℃時点）

図-3は、表-6 および7から放射温度計と表面温度計の測定値の差を求め、放射温度計の測定値に対してプロットしたものです。温度が高いほど測定値の温度差が大きくなり、ポーラスアスファルト混合物では、密粒度アスファルト混合物よりも計測値の差が大きいことがわかります。また赤外線画像より、ポーラスアスファルト混合物は表面に露出している骨材より凹部の温度が高いことが確認されました。このことから、放射温度計に比べ表面温度計の温度が低い理由は、表面温度計では露出している骨材の温度を測定しているのに対し、放射温度計は凹部を含めた測定視野内の温度の平均値を表示しているためであると考えられます。

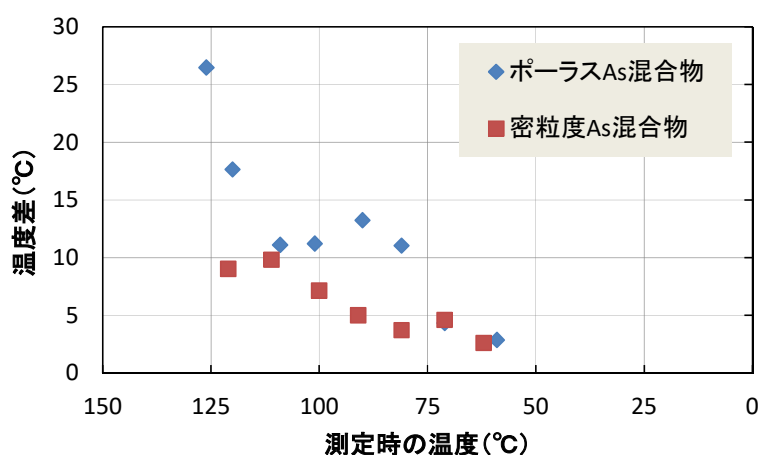


図-3 放射温度計と表面温度計の測定値の差

### 測定環境の影響

アスファルト舗装工事の転圧時の表面温度測定を想定し、放射温度計、表面温度計、熱電対（貼付、埋設）の測定値を比較しました。（表-8）表面温度計は風で金属板が直接冷却され、他の温度計よりも低温側になる傾向にあります。熱電対は、埋設や貼付が必要なため、定点観測には向いていますが、任意の点の測定には向いていません。また、高温の舗装に固定することが非常に難しいといえます。したがって、放射温度計は舗設現場において表面温度を測定する温度計として最も有効な温度計であるといえます。

表-8 測定温度に影響しやすい要因

項目	熱電対 (表面埋設)	放射温度計	熱電対 (表面貼付)	接触式温度計
気温の影響	—	小	大	大
風の影響	—	小	小	大
測定の難易度	埋設が必要	容易	貼付が困難	容易
現場適用性 (総合判断)	○	◎	△	△

#### 4. 測定精度，校正について

一般的には補完的な立場でしか使用されていない放射温度計ですが，精度はどれくらいなのでしょう？

2章で示しているように，放射温度計には測定器ごとに測定精度が記載されています。また，製造メーカーから検査成績証明書やトレーサビリティ体系図を発行してもらい，記載されている器差を放射温度計の表示温度から差し引くことで測定温度とします。

#### トレーサビリティ

トレーサビリティは、『Traceable であること』となり，本来は起源をたどれるという意味ですが，計量標準では「企業が保有している標準器（計量，計測の基となる計測器）または標準物質の値，計量，計測器の値がどの程度の不確かさで国家標準とつながりを持っているかを明確にすること」です。日本におけるトレーサビリティ制度は「計量法校正事業者登録制度（JCSS）」として計量法により導入されたものです。この制度によって，測定値の信頼性が自己証明ではなく，第三者による証明によって確保されています

放射温度計と一般的に舗装現場で温度管理に用いられている接触型表面温度計のそれぞれの特徴を表-8 に示します。

舗装現場において放射温度計を使用する際は，温度測定の実理や測定値に与え得るパラメータや，測定温度範囲などの放射温度計の特徴を十分に把握したうえで使用することが重要であると考えます。

表-8 放射温度計と接触型温度計の違い

項目	放射温度計	接触型表面温度計
応答速度	早い	遅い
測定状態（距離）	離れての測定が可能	接触しなければならない
測定する場所	一番手前にある物質の表面温度	表面温度センサが接触している物質の温度
測定精度	測定者による誤差が生じにくい	測定にはある程度コツが必要となり，誤差の要因ともなる
安全性	非接触での測定が可能であるため，安全	重機との近接作業になり，危険を伴う

## 5. 測定方法

### 赤外線によるアスファルト舗装の表面温度の測定方法(案)

#### 1. 目的

施工時や供用中のアスファルト舗装表面の温度を安全かつ迅速に測定する。

#### 2. 適用範囲

アスファルト舗装の施工時における敷均しから交通開放までの舗装表面および、供用中の舗装表面の温度測定に適用し、主に現場で実施する。

#### 3. 測定器具

##### (1) 非接触型放射温度計

放射温度計は物体から放射される赤外線や可視光線の強度を測定することで、対象物の温度を非接触で測定する装置である。舗装現場での測定が可能な携帯式のものとする。また、放射温度計は下記規格を満たすものとする。

##### 1) 放射率

0.90~0.98 での測定が可能なものとする。

##### 2) 標的サイズ

ある測定距離において、放射温度計の測定対象と規定した標的の大きさを標的サイズという。多くの測定機種では測定距離  $D$  と標的サイズ  $S$  の比  $D/S$  が定義されている。 $D/S$  が大きいほど、遠距離からの測定に適していると言えるため、舗装表面の温度測定を想定した場合、値が大きいものが望ましい。なお、 $D/S$  が一律でない機種もあるため、測定距離と標的サイズの関係をあらかじめ確認しておく。

##### 3) 精度 (器差)

校正証明書等に記載されている標準温度計との器差が、 $\pm 2^\circ\text{C}$  または  $\pm 2\% \text{rdg}$  (表示温度の  $\pm 2\%$ ) 以内のものとする。

##### 4) 分解能

$1^\circ\text{C}$  以下とする。

##### 5) レーザーマーカ

レーザーマーカを表示するものとする。標的サイズが確認しやすいことから、上下2点、あるいはサークルタイプが望ましい。

#### 4. 測定方法

##### (1) 測定原理

全ての物体は赤外線を放射している。放射温度計は、この放射されている赤外線の強さ、つまりエネルギー量を計測器の赤外線センサが検知し、エネルギー量から物体の温度に換算している。エネルギー量を温度に換算する際のパラメータである放射率は、理想黒体であれば1になるが、一般的な物質は0~1の間にある。

## (2) 測定

### 1) 測定準備

- ① 放射率を設定する。
- ② 舗装表面に放射温度計を向ける。このとき、測定面と放射温度計との間に、測定面からの放射エネルギーを遮る障害物および、水蒸気、煙、粉塵等がないことを確認する。

### 2) 測定

測定面と測定者との距離は、測定箇所の状況が視認できる 1.5m 以内を標準とする。

## 5. 結果の整理

### (1) 結果の算出

放射温度計の表示温度(°C)から校正証明書等に記載されている器差(°C)を差し引いて測定温度(°C)とする。

### (2) 報告事項

- 1) 測定箇所
- 2) 放射率
- 3) 器差(°C)
- 4) 測定距離  $D$ (cm)、測定角度
- 5) 測定エリアの短径  $S$ (cm)、長径(cm)
- 6) 表示温度(°C)、測定温度(°C)

## ○注意事項

### (1) 日常点検

電池の残量に注意する。また、放射温度計先端部の窓の汚れは、放射エネルギーの吸収及び散乱による測定誤差の原因となるため、窓の清掃を行う。

### (2) 放射率の決定方法

放射率の決定方法には、①文献に物理定数として記載されている放射率を利用する方法、②接触式温度計との比較で放射率を調べる方法および③黒体スプレーやテープを使用して放射率を調べる方法がある。

#### ①文献で調べる

最も簡易な方法としては、文献を利用する方法であるが、アスファルトの放射率は文献や放射温度計の取扱説明書により異なる。その場合、放射温度計の取扱説明書に記載されている放射率を利用する。

#### ②接触型温度計と比べる

測定部分の近くに接触型温度センサを置いて、接触型温度計と放射温度計の計測値が等しくなるように放射率を設定する。ただし、この時以下の点に注意する。

- ・接触型温度センサのトレーサビリティが確保されていること

- 放射温度計の標的エリアと接触型温度センサの大きさをおおむね一致させること
- 測定部分の表面が滑らかで接触式温度センサと十分接触していること
- 測定部分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

### ③黒体スプレー、テープを利用する

測定物の一部に黒体スプレーを塗り、黒体スプレーの放射率を設定した放射温度計で温度を測る。次に黒体スプレーを塗っていない部分の計測値が先ほどの温度と等しくなるように放射率を設定する。

### (3) 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、放射温度計の周囲温度が急に変化すると測定値に温度ドリフトが生じ、測定誤差が発生するため、測定場所において十分時間が経過してから測定する。

## 6. サーマグラフィについて

非接触で物質の表面温度を計測する機器は、放射温度計のほかにサーモグラフィがあります。放射温度計が局所的な標的エリアからの赤外線エネルギーを平均温度として表示するのに対し、サーモグラフィは、測定範囲内の赤外線エネルギーの分布を画像化して表示するカメラのことであり、温度測定の原理は放射温度計と大きな差はありません。

サーモグラフィは赤外線エネルギーの強弱による温度分布が表示されることから、構造物の異常個所の特定にも利用されています。例えば、建築分野では外壁タイルの浮きの調査などに使用されています。また土木分野においても、アスファルト舗装や道路橋床版の内部異常個所を対象とした非破壊調査等に使用されている例があります。

特定の箇所の温度を素早く把握するためには放射温度計の使用が有効ですが、広域の温度分布を確認したい場合は、サーモグラフィを併用することも有効と考えられます。なお使用に際しては、各機器の取り扱い説明書や留意事項を参考にしてください。

### 【参考資料】

- つくば舗装技術交流会：放射温度計の適用技術と測定法に関する調査検討，TPT Report No. 15, pp. 33~59, 2015.12
- つくば舗装技術交流会：放射温度計の適用技術と測定法に関する調査検討，TPT Report No. 16, 印刷中

非接触型放射温度計を用いた舗装工事における表面温度管理の手引き（案）

---

平成 31 年 3 月 31 日 初版発行

編集 つくば舗装技術交流会  
発行

<http://www.pwrc.or.jp/tpt/index.html>

