

まえがき

この規格は、工業標準化法第 12 条第 1 項の規定に基づき、独立行政法人製品評価技術基盤機構（NITE）/財団法人日本規格協会（JSA）から、工業標準原案を具して日本工業規格を制定すべきとの申出があり、日本工業標準調査会の審議を経て、経済産業大臣が制定した日本工業規格である。

この規格の一部が、技術的性質をもつ特許権、出願公開後の特許出願、実用新案権、又は出願公開後の実用新案登録出願に抵触する可能性があることに注意を喚起する。主務大臣及び日本工業標準調査会は、このような技術的性質をもつ特許権、出願公開後の特許出願、実用新案権、又は出願公開後の実用新案登録出願にかかわる確認について、責任はもたない。

JIS R 1802 には、次に示す附属書がある。

附属書 A（参考）熱電対の校正例

附属書 B（参考）熱電対の校正の不確かさの評価例

附属書 C（参考）測定装置の設置例

附属書 D（参考）熱電対の取付けによる不確かさの評価例

附属書 E（参考）表面温度の算定例

附属書 F（参考）表面温度の不確かさの評価例

目 次

	ページ
1. 適用範囲	1
2. 引用規格	1
3. 定義	1
4. 測定装置	1
4.1 熱電対の校正	1
4.2 表面温度の測定	2
5. 測定の手順と方法	3
5.1 準備	3
5.2 測定方法	3
6. 表面温度の算定及び不確かさの評価	4
6.1 表面温度の算定	4
6.2 表面温度の不確かさの評価	5
7. 記録	5
附属書 A (参考) 熱電対の校正例	6
附属書 B (参考) 熱電対の校正の不確かさの評価例	9
附属書 C (参考) 測定装置の設置例	11
附属書 D (参考) 熱電対の取付けによる不確かさの評価例	12
附属書 E (参考) 表面温度の算定例	16
附属書 F (参考) 表面温度の不確かさの評価例	18

遠赤外ヒータの表面温度測定方法－熱電対法

Methods for surface temperature measurement of far infrared heaters by
thermocouples

1. 適用範囲 この規格は、加熱機器に用いる遠赤外ヒータ（以下、ヒータという。）の高温域の表面温度を、K 熱電対又は R 熱電対を用いて測定する方法及び測定の不確かさを評価する方法について規定する。

2. 引用規格 次に掲げる規格は、この規格に引用されることによって、この規格の規定の一部を構成する。これらの引用規格は、その最新版（追補を含む。）を適用する。

JIS C 1602 熱電対

JIS Z 8117 遠赤外線用語

JIS Z 8401 数値の丸め方

JIS Z 8703 試験場所の標準状態

JIS Z 8704 温度測定方法－電気的方法

3. 定義 この規格で用いる主な用語の定義は、JIS C 1602、JIS Z 8117、JIS Z 8401、JIS Z 8703 及び JIS Z 8704 によるほか、次による。

- a) 比較校正装置 比較校正を行うときに用いるもので、一定の温度を安定に保つことができる装置。
- b) 標準熱電対 比較校正を行うときに標準器として用いる熱電対で、校正されたもの。
- c) 熱電対素線 熱電対の両脚となる金属線又は合金線。
- d) 被校正熱電対 校正される熱電対。
- e) 測温接点 熱電対の素線を接合した接点で、温度を測る位置に置かれるもの。
- f) 基準接点 熱電温度計を構成する装置の一部で、熱電対と銅導線との接続点を一定の温度に保つようにしたもの。
- g) 熱電能 ($\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$) 熱電対の感度で、 1°C 当たりの熱起電力量 (μV)。

4. 測定装置

4.1 熱電対の校正 熱電対の校正は、次の装置類を用いて比較校正を行う。その構成図を図 1 に示す。

- a) 比較校正装置 使用温度域において、温度を均一で一定に保つことのできるものを用いる。
- b) 基準接点 基準接点は、JIS Z 8704 に規定されたものを用いる。
- c) デジタル電圧計 デジタル電圧計は校正された分解能が $0.1 \mu\text{V}$ 以上のものを用いる。
- d) 標準熱電対 JIS C 1602 の標準熱電対に規定された R 熱電対を用いる。

- e) 被校正熱電対 JIS C 1602 の特性を満足する K 熱電対（線径 0.10 mm 以上 0.32 mm 以下）又は R 熱電対（線径 0.10 mm 以上 0.30 mm 以下）とする。

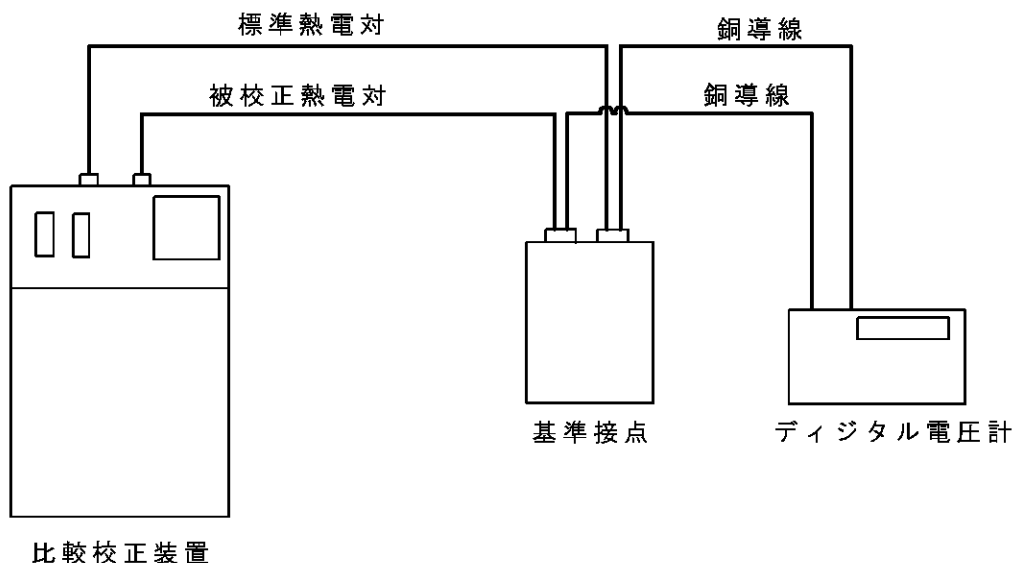


図 1 熱電対の校正（比較校正）

4.2 表面温度の測定 遠赤外ヒータの表面温度の測定は、次の装置類を用いて行う。その構成は図 2 に示す。

- a) 基準接点 4.1 b)に同じ。
- b) デジタル電圧計 4.1 c)に同じ。
- c) 熱電対 4.1 e)に同じ。

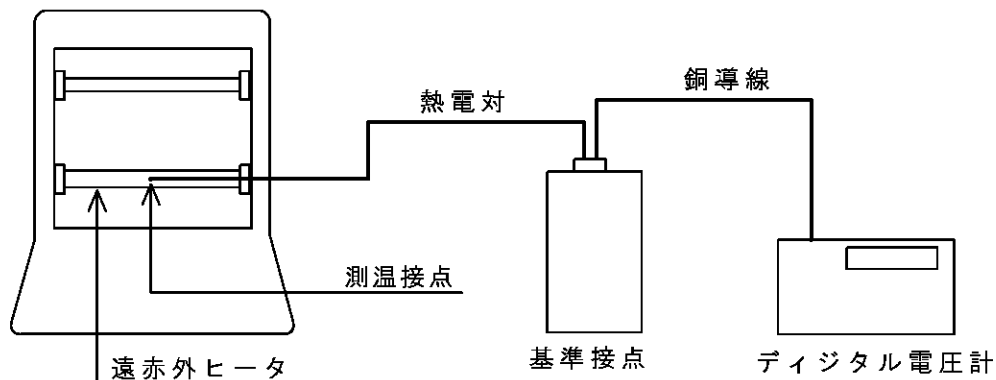


図 2 遠赤外ヒータの表面温度の測定装置例

5. 測定の手順と方法

5.1 準備

5.1.1 熱電対（被校正熱電対） 被校正熱電対は、測定に必要な熱電対を用意する。その熱電対は、測定温度が 300 ℃までの場合は K 熱電対で線径が 0.10 mm 以上 0.32 mm 以下、測定温度が 100 ℃以上の場合は R 熱電対で線径が 0.10 mm 以上 0.30 mm 以下で規定の長さのものとする。

5.1.2 熱電対の校正 熱電対の校正は、図 1 によって測定温度とその近傍の 3 点以上の温度で比較校正を行う。校正値に基づき測定に用いる熱電対 1 本ごとに必要な温度範囲及び分解能で熱起電力表を作成する。（附属書 A 参考）

5.1.3 校正の不確かさの評価 校正した値に影響を及ぼす不確かさの要因を取り上げ、次の式によって不確かさを算定する。不確かさは、必要とするけた数まで求め、JIS Z 8401 によって数値を丸める。（附属書 B 参考）

$$U_1 = k \cdot u_c$$

$$u_c^2 = \sum_{i=1}^n (u_i)^2$$

ここに、
 U_1 : 校正の拡張不確かさ
 u_c : 校正の合成標準不確かさ
 u_i : 校正の各要因の標準不確かさ
 k : 包含係数（通常 $k=2$ ）
 n : 校正の不確かさの要因数

5.2 測定方法

5.2.1 測定状態 測定状態は、JIS Z 8703 に規定する常温（5～35 ℃）の範囲で一定にし、可能な限り無風状態にして、ヒータの表面温度が変動しないようにする。この条件を満足するには、附属書 C 図 1 に例示する網などで周囲を囲うとよい。

5.2.2 測定装置の設置 測定装置の設置は、図 2 の測定装置を 5.2.1 の規定を満たす測定場所に設置する。（附属書 C 参考）

5.2.3 熱電対の取付け 表 1 に従って、5.1.2 で校正した熱電対を図 3 に示すとおりヒータの表面に測温接点を接点が密着するように拡大鏡などで確認しながら、接着剤で取付け⁽¹⁾、乾燥させる⁽²⁾。（附属書 D 参考）

注⁽¹⁾ 接着剤を付けすぎない。

注⁽²⁾ 接着乾燥した後、拡大鏡で接着部分にはがれ、き裂などがないことを確認する。

表 1 熱電対の取付方法

熱電対の種類	線径 mm	適用温度範囲 ℃	接着剤	熱電対固定用 接着剤	接着長さ mm
K	0.10～0.32	300 以下	銀ペースト	絶縁性接着剤	10
R	0.10～0.30	100 以上			

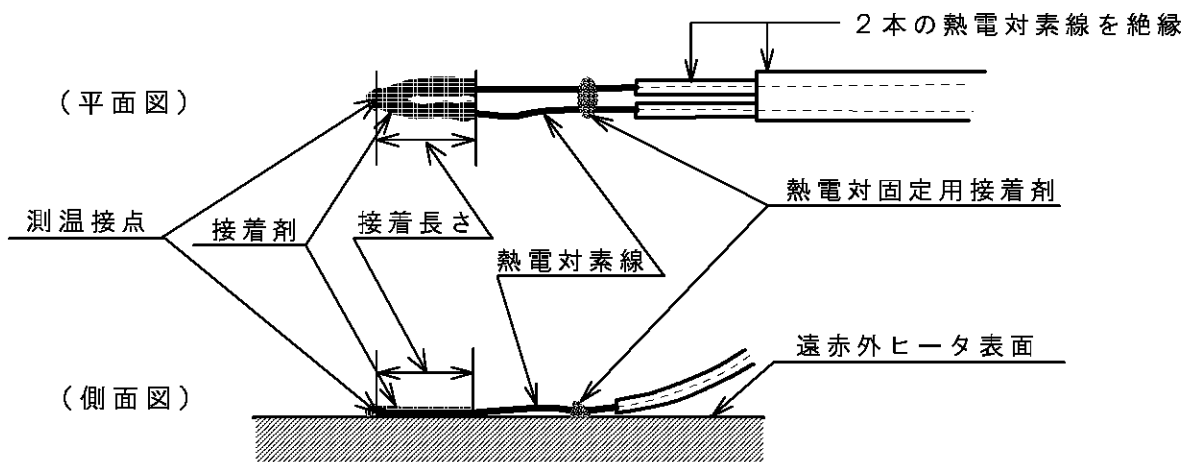


図 3 熱電対の接着方法

5.2.4 表面温度の測定 表面温度の測定は、熱電対を取り付けた後、ヒータを加熱し、表面温度が安定したら、表 2 のとおり＋熱起電力及び－熱起電力（＋の極性を反転する。）を交互に 5～10 回ずつ測定し、＋熱起電力及び－熱起電力（＋の極性を反転する。）の絶対値を平均したものを測定値とする。又は、極性を反転する方法と同等の方法で測定する。

表 2 測定値

	1	2	3	4	5	単位 μV
＋熱起電力	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	$m^{(3)}$
－熱起電力	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5	N_m
測定値	E_1	E_2	E_3	E_4	E_5	$E_m^{(4)}$

注⁽³⁾ m は測定回数 ($m=5\sim10$)

$$^{(4)} E_i = \frac{|P_i| + |N_i|}{2} \quad (i=1\sim m)$$

5.2.5 表面温度測定後の熱電対の校正 5.2.4 の測定の後、熱電対を接着箇所近傍で素線を切断し、新たに測温接点を作成する。この熱電対を 5.1.2 と同様の校正を行う。

6. 表面温度の算定及び不確かさの評価

6.1 表面温度の算定 測定点における表面温度は、表 2 の測定値から次の式によって平均熱起電力 ($\bar{E}$) を求め、5.1.2 の校正で作成した熱起電力表を用い、温度に換算する。(附属書 E 参考)

$$\bar{E} = \frac{\sum_{i=1}^m E_i}{m}$$

ここに、 $\bar{E}$: 平均熱起電力 (μV)
 E_i : 測定値の熱起電力 (μV)
 m : 測定回数 (5～10)

6.2 表面温度の不確かさの評価 表面温度の不確かさは、6.1 で求めた表面温度の値に影響を及ぼす不確かさの要因を取り上げ、次の式によって不確かさを算出する。不確かさは、必要とするけた数まで求め、**JIS Z 8401** によって数値を丸める。(附属書 F 参考)

$$U_2 = k \cdot u_c$$

$$u_c^2 = \sum_{i=1}^n (u_i)^2$$

ここに、
 U_2 : 表面温度の拡張不確かさ
 u_c : 表面温度の合成標準不確かさ
 u_i : 表面温度の各要因の標準不確かさ
 k : 包含係数 (通常 $k=2$)
 n : 表面温度の不確かさの要因数

7. 記録 測定結果には、次の事項を記録する。ただし、必要のない項目は省略してもよい。

- a) 遠赤ヒータの名称及び種類 例 遠赤外ヒータ (セラミックヒータ)
- b) 遠赤ヒータの形状及び寸法 例 棒状, 径〇〇mm, 長さ〇〇mm
- c) 測定箇所 例 中央部の 1 点
- d) 測定装置 例 K 熱電対, 電子零接点, デジタル電圧計 (型式 : 〇〇)
- e) 周囲温度 例 $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$
- f) 測定した表面温度, 表面温度の拡張不確かさ及び包含係数 例 $〇〇^{\circ}\text{C}$, $〇〇^{\circ}\text{C}$ ($k=2$)
- g) 測定年月日 例 2005 年 3 月 20 日
- h) その他必要事項

附属書 A（参考）熱電対の校正例

この附属書は、本体に関連する事柄を補足するもので、規定の一部ではない。

温度を精度良く測定し、測定温度の不確かさを評価するためには、測定に使用する熱電対を校正しておく必要がある。次の A.1, A.2 に、280～320 ℃の範囲の 5 点（280 ℃, 290 ℃, 300 ℃, 310 ℃及び 320 ℃）の温度において、K 熱電対を比較校正し、熱起電力表を作成した一例を示す。

A.1 測定 K 熱電対を絶縁管に通し、標準熱電対の測温部と K 熱電対の測温部とを近接させるように固定し、比較校正装置の中に深く挿入する。そして、デジタル電圧計の熱起電力の指示値が安定した後、標準熱電対及び K 熱電対の熱起電力を測定し、比較する。標準熱電対及び K 熱電対の熱起電力の測定は、附属書 A 表 1 に示すように K 熱電対及び標準熱電対の熱起電力を、+熱起電力及び-熱起電力（+の極性を反転する）で交互に行い、測定した後、附属書 A 表 2 に示すように測定値を求める。そして、附属書 A 表 3 に示すように測定値から、平均値、繰返しの不確かさ及び校正炉の温度を求める。附属書 A 表 3 は 320 ℃における例であるが、他の校正温度についても同様に求める。

ここでは、標準熱電対には校正された R 熱電対を用いている。

附属書 A 表 1 測定順序

単位 μV		
測定順序	K 熱電対	標準熱電対
1	KP_{11}	—
2	—	RP_1
3	KP_{12}	—
4	KN_{11}	—
5	—	RN_1
6	KN_{12}	—
7	KP_{21}	—
8	—	RP_2
9	KP_{22}	—
10	KN_{21}	—
11	—	RN_2
12	KN_{22}	—

KP_{mn} : K 熱電対の+熱起電力

KN_{mn} : K 熱電対の-熱起電力（極性を反転）

RP_{mn} : 標準熱電対の+熱起電力

RN_{mn} : 標準熱電対の-熱起電力（極性を反転）

($m=1, 2$) ($n=1, 2$)

附属書 A 表 2 測定値

単位 μV		
	K 熱電対	標準熱電対
+	KP_1	RP_1
+	KP_2	RP_2
-	KN_1	RN_1
-	KN_2	RN_2

$$KP_m = \frac{KP_{m1} + KP_{m2}}{2}$$

$$KN_m = \frac{KN_{m1} + KN_{m2}}{2}$$

($m=1, 2$)

附属書 A 表 3 校正例 (320 °C)

	標準熱電対	K 熱電対
測定値 μV	+2 597.6	+1 3082.4
	+2 596.5	+1 3081.4
	-2 597.4	-1 3082.6
	-2 598.8	-1 3083.7
熱起電力の絶対値の平均 μV	2 597.6 (ER)	1 3082.5 (EK)
熱起電力の標準偏差 μV	0.95	0.94
熱電能 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	9.4	41.2
温度表示の標準偏差 $^\circ\text{C}$	0.10	0.02
繰り返しの不確かさ ⁽¹⁾ $^\circ\text{C}$	0.07	0.01
校正炉の温度 $^\circ\text{C}$	320.3	—

注⁽¹⁾ 温度表示の $\frac{\text{標準偏差}}{\sqrt{a}}$ (a は繰り返し数。ここでは $a=2$)

A.2 計算(熱起電力表の作成) 各温度で校正した後計算した例を附属書 A 表 4 に示す。計算の手順は、次の 1)～6) に示す。

なお、附属書 A 表 4 の ER 及び EK は、各校正温度 (*) における標準熱電対及び K 熱電対の測定熱起電力で、附属書 A 表 3 に記載のある熱起電力の絶対値の平均に当たる。

[計算の手順]

- 1) 標準熱電対の測定熱起電力 (ER) を温度に変換し、校正温度 (*) を求める。
- 2) 校正温度 (*) における K 熱電対の基準熱起電力 (E_{K_0}) を JIS C 1602 の基準熱起電力表から求める。
- 3) K 熱電対の基準熱起電力 (E_{K_0}) と測定起電力 (EK) との差 (ΔE_m) をとる。
- 4) 5 組の校正温度 (*) 及び測定熱起電力誤差 (ΔE_m) から、その関係を最小二乗法によって次の式で表す。

$$\Delta E_c = a \cdot T_0 + b \cdots \cdots (1)$$

ここに、 ΔE_c : 熱起電力誤差 (μV)
 T_0 : 基準温度 ($^\circ\text{C}$)
 a, b : 係数

ここでは、関係式を直線で表したが、散布図が曲線であれば二次曲線で表す。

- 5) 基準熱起電力 (E_{K_0}) に最小二乗法によって求められた熱起電力誤差 (ΔE_c) を加え、補正された熱起電力 (E_{K_c}) を導く。
- 6) 5) を繰り返すことによって各校正温度 (*) の間の基準温度 (T_0) に対する補正された熱起電力 (E_{K_c}) を必要なだけ補間して表にし、その後の温度測定に用いる。ただし、補間するのは校正した温度範囲内に限る。

附属書 A 表 4 校正の計算例

ER	T_0	EK_0	EK	ΔE_m	ΔE_c	EK_c
2 208.3	280.2 *	11 391.6	11 431.7	40.1	39.0	11 430.6
—	285.0	11 588.3	—	—	37.9	11 626.1
2 304.8	290.3 *	11 806.2	11 841.9	35.7	36.6	11 842.8
—	295.0	12 001.5	—	—	35.5	12 037.0
2 401.5	300.2 *	12 218.9	12 253.8	34.9	34.3	12 253.2
—	305.0	12 415.9	—	—	33.2	12 449.1
2 498.9	310.3 *	12 635.4	12 663.9	28.5	32.0	12 667.4
—	315.0	12 831.5	—	—	30.9	12 862.3
2 597.6	320.3 *	13 050.4	13 082.5	32.1	29.6	13 080.0

ER : 標準熱電対による測定起電力 (μV)

T_0 : 基準温度 (*は ER を温度に換算した校正温度でもある。) ($^{\circ}C$)

EK_0 : JIS C 1602 の熱起電力表から T_0 を熱起電力に換算したもの (μV)

EK : K 熱電対による測定熱起電力 (μV)

ΔE_m : 測定値から求められる熱起電力誤差 ($EK - EK_0$) (μV)

ΔE_c : 最小二乗法によって求められる熱起電力誤差 (μV)

EK_c : 補正された熱起電力 ($EK_0 + \Delta E_c$) (μV)

附属書 B（参考）熱電対の校正の不確かさの評価例

この附属書は、本体に関連する事柄を補足するもので、規定の一部ではない。

不確かさを評価する場合、測定される状況を詳細に検討し、その測定に影響を及ぼす要因と値を抽出する作業が大切である。

校正の不確かさを評価した一例を、**附属書 B 表 1** に示す。要因として、**附属書 B 表 1** の 1)～9)について考えた。合成標準不確かさ及び拡張不確かさは、次の式によって求めた。

なお、**附属書 B 表 1** の例は、**附属書 A** の校正（280～320 ℃）において、K 熱電対の比較校正を行ったときのものである。

$$U = k \cdot u_c \dots\dots\dots (1)$$

$$u_c^2 = \sum_{i=1}^n (u_i)^2$$

ここに、

- U : 校正の拡張不確かさ
- u_c : 校正の合成標準不確かさ
- u_i : 校正の各要因の標準不確かさ
- k : 包含係数（通常 $k=2$ ）
- n : 校正の不確かさの要因数

附属書 B 表 1 熱電対の校正の不確かさの評価例

	不確かさの要因	値	分布	除数 ⁽²⁾	変換係数 ⁽³⁾	標準不確かさ ⁽⁴⁾ ℃
標準温度	1) 標準熱電対の校正不確かさ ⁽⁵⁾	0.3 ℃	正規分布	1	1	0.3
	2) デジタル電圧計の不確かさ ⁽⁶⁾	1.38 μV	一様分布	$\sqrt{3}$	0.093	0.07
	3) 基準接点(氷点)の安定性 ⁽⁷⁾	0.01 ℃	正規分布	1	1	0.01
	4) 繰返しの不確かさ ⁽⁸⁾	0.07 ℃	正規分布	1	1	0.07
K 熱電対	5) デジタル電圧計の不確かさ ⁽⁶⁾	1.38 μV	一様分布	$\sqrt{3}$	0.024	0.02
	6) 基準接点(氷点)の安定性 ⁽⁷⁾	0.01 ℃	正規分布	1	1	0.01
	7) 繰返しの不確かさ ⁽⁸⁾	0.01 ℃	正規分布	1	1	0.01
	8) 比較校正装置の不均一性 ⁽⁹⁾	0.15 ℃	一様分布	$\sqrt{3}$	1	0.09
	9) 内挿の不確かさ ⁽¹⁰⁾	2.66 μV	正規分布	1	0.024	0.06
	合成標準不確かさ	—	—	—	—	0.33
	拡張不確かさ(k=2)	—	—	—	—	0.66

注⁽²⁾ 値を標準偏差に直すもので、その数は値の分布によって異なる。

⁽³⁾ 熱電能 [1 ℃上昇する間に变化する熱起電力量(μV)] の逆数であり、ここでは起電力値を温度に変換するために用いている。

⁽⁴⁾ $\frac{\text{値} \times \text{変換係数}}{\text{除数}}$

⁽⁵⁾ 標準熱電対の校正の不確かさの値は、第三者機関に依頼して校正を行い、その成績書に記載されている不確かさ 0.6 (k=2) ℃を包含係数 2 で除し、0.3 ℃とした。また、標準熱電対のドリフトも考える必要があると思われるが、標準熱電対として用いた R 熱電対は経時変化が少なく、測定温度も低く、測定時間も短いことから除外した。

⁽⁶⁾ デジタル電圧計の不確かさの値は、本来、標準熱電対と同様に校正して明らかにしていなくてはならないが、購入して新しく経時変化はしていないものと考え、仕様書の確度を引用し、1.38 μV とした。

⁽⁷⁾ 基準接点には、一番不確かさを少なくすることができる氷点を用いた。その安定性の値は、JIS Z 8704 “温度測定方法—電気的方法” 10.3.2 にある注意を守って使用すれば、0.01 ℃の正確さを保つことができるという記述から、0.01 ℃とした。

⁽⁸⁾ 繰返しの不確かさの値は、校正時に+の熱起電力及び極性を反転させた-の熱起電力をそれぞれ 2 回ずつ測定し、その標準偏差を $\sqrt{a}$ (a は繰返し数。ここでは a=2) で除したものを引用した。標準温度では 0.07 ℃、K 熱電対では 0.01 ℃であり、附属書 A 表 3 の繰返しの不確かさと同じである。

⁽⁹⁾ 比較校正装置の不均一性の値は、比較校正装置の熱電対差込部の奥から 5 cm の距離まで温度分布を調べ、その範囲での最高温度と最低温度との温度差が 0.3 ℃であったため、0.3 ℃の 1/2 で 0.15 ℃とした。

⁽¹⁰⁾ 内挿の不確かさの値は、校正を行ったときに測定した各校正点の熱起電力の残差を次の式によって求めて、2.66 μV とした。

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^f (\Delta E_{m,i} - \Delta E_{c,i})^2}{f - g}}$$

ここに、

S : 内挿の不確かさ(μV)

$\Delta E_{m,i}$: 測定熱起電力と基準起電力の差(μV)

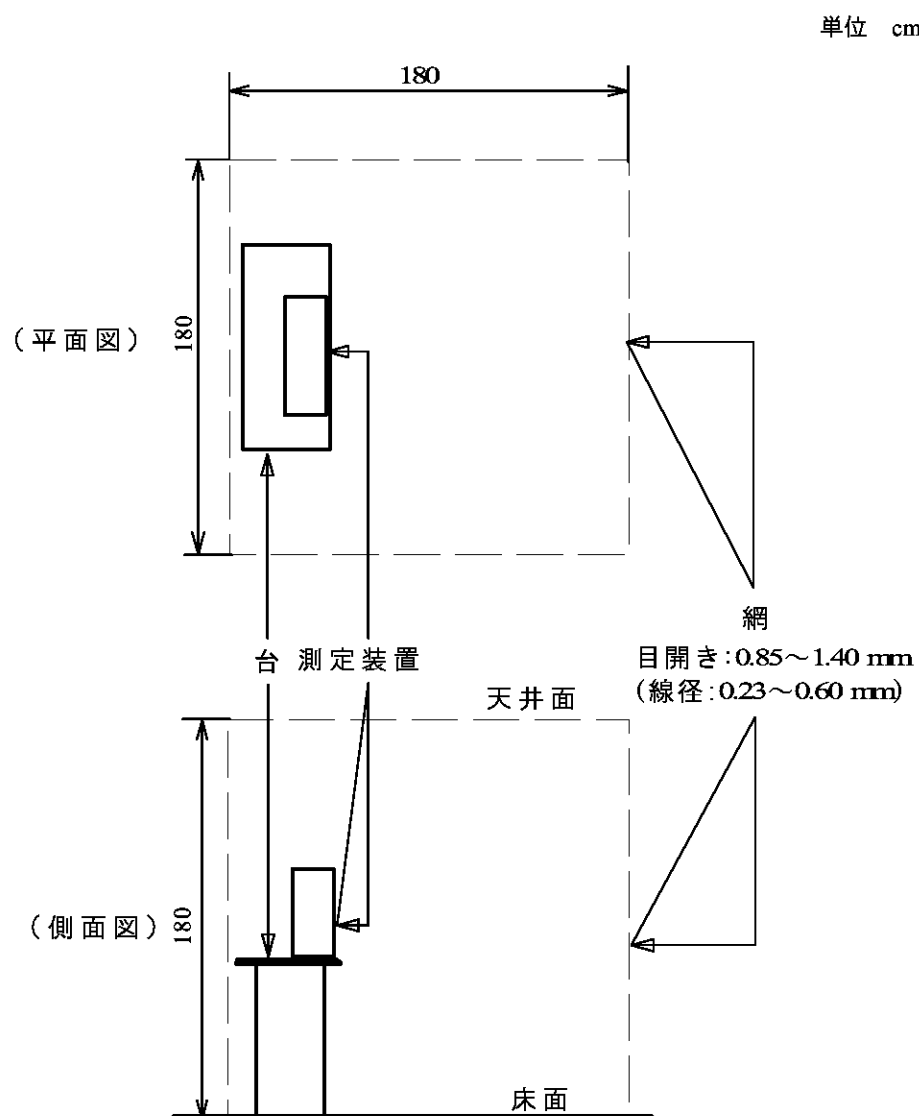
$\Delta E_{c,i}$: 最小二乗法によって求められる熱起電力誤差(μV)

F : 校正点の数(f=5)

G : 式(1)の係数の数(g=2)

附属書 C（参考）測定装置の設置例

この附属書は、本体に関連する事柄を補足するもので、規定の一部ではない。



点線部分の 5 面を網で囲う。
測定装置は網面から約 50 cm 以上離れた場所に設置する。

附属書 C 図 1 測定装置の設置例

附属書 D（参考）熱電対の取付けによる不確かさの評価例

この附属書は、本体に関連する事柄を補足するもので、規定の一部ではない。

表面温度を測定する場合、どれだけ最良の取付方法によって測温接点を取付けても、熱電対を試料表面に取付けることによる表面温度の乱れや試料表面と測温接点との温度差の不確かさはなくならないため、評価することが必要である。

熱電対の取付けによる不確かさを評価した一例を、次の 1)～3)に示し、評価した結果のまとめを**附属書 D 表 1**に示す。不確かさの要因として、熱電対の線径（熱電対の脚から伝導で失われる熱及び測温接点中の温度降下）、接着剤の熱伝導率及び接着剤と試料の放射率の差を考慮した。

なお、熱電対は銀ペーストによって 10 mm 接着し、約 300 °C では K 熱電対、約 600 °C では R 熱電対を用い、合成標準不確かさ及び拡張不確かさの算出は、次の式によって求めたものである。

$$U = k \cdot u_c$$

$$u_c^2 = \sum_{i=1}^n (u_i)^2$$

ここに、
 U ： 熱電対の取付けによる拡張不確かさ
 u_c ： 熱電対の取付けによる合成標準不確かさ
 u_i ： 熱電対の取付けによる各要因の標準不確かさ
 k ： 包含係数（通常 $k=2$ ）
 n ： 熱電対の取付けによる不確かさの要因数

附属書 D 表 1 熱電対の取付けによる不確かさ

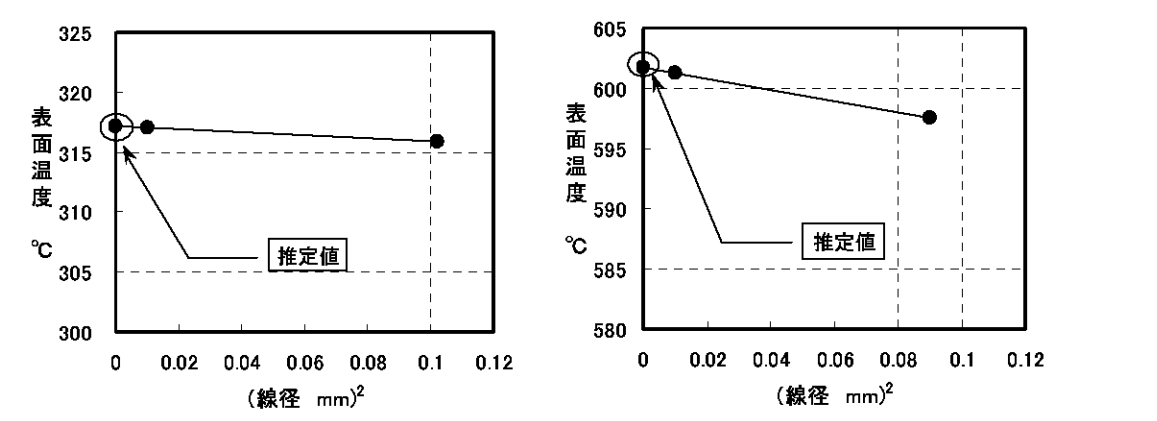
単位 °C

不確かさの要因	標準不確かさ			
	300 °C		600 °C	
	φ 0.10 mm	φ 0.32 mm	φ 0.10 mm	φ 0.30 mm
1.1) 熱電対の脚から伝導で逃げる熱	0.06	0.69	0.23	2.37
1.2) 測温接点中の温度降下	0.29	0.92	1.04	3.18
2) 接着剤の熱伝導率	0.00	0.06	0.00	0.00
3) 接着剤と試料の放射率の差	1.44	2.57	3.38	5.80
合成標準不確かさ	1.47	2.82	3.54	7.03
拡張不確かさ ($k=2$)	2.94	5.64	7.08	14.06

1) 熱電対の線径による不確かさ

1.1) 熱電対の脚から伝導で失われる熱による不確かさ 熱電対の脚から伝導で失われる熱量は、線径の二乗に比例して大きくなるため、理想的には無限に細い線径の熱電対で測定するのがよい。したがって、**附属書 D 図 1**に示すように φ 0.32 mm（又は φ 0.30 mm）と φ 0.10 mm の熱電対による測定温度を直線でつなぎ、φ 0 mm のときの温度を求めれば、この不確かさにおいて、理想状態の表面温度が推定できる。ここで、測定値が 3 点以上ある場合は、曲線で推定する。本来の表面温

度は理想状態の推定値と測定値の間にあると考え、熱電対の脚から伝導で失われる熱による不確かさを約 300 ℃及び約 600 ℃において求めた結果を**附属書 D 表 2**に示す。



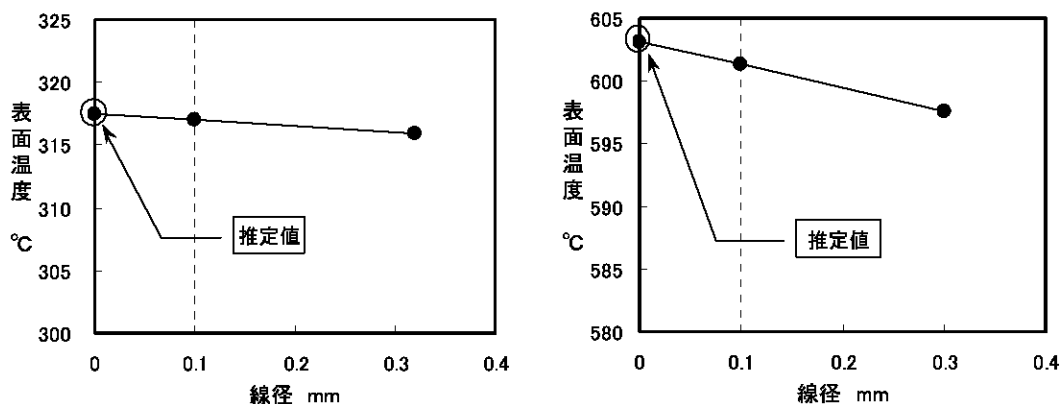
附属書 D 図 1 熱電対の脚から伝導で失われる熱による推定（左図：約 300 ℃，右図：約 600 ℃）

附属書 D 表 2 熱電対の脚から伝導で失われる熱による不確かさ

単位 ℃				
表面温度条件	線径	推定値	測定値 ⁽¹⁾	不確かさ ⁽²⁾
約 300 ℃	0.10 mm	317.1	317.0	0.06
	0.32 mm		315.9	0.69
約 600 ℃	0.10 mm	601.7	601.3	0.23
	0.30 mm		597.6	2.37

注⁽¹⁾ 熱電対を銀ペーストで接着し、測定される温度。
注⁽²⁾ 本来の表面温度は推定値と測定値の間にあると考え、不確かさは、
$$\frac{|\text{推定値} - \text{測定値}|}{\sqrt{3}}$$
で求められる。

1.2) 测温接点中の温度降下による不確かさ 测温接点中の温度降下は、線径に比例して大きくなるため、理想的には無限に細い線径の熱電対で測定するのがよい。したがって、**附属書 D 図 2**に示すようにφ 0.32 mm（またはφ 0.30 mm）とφ 0.10 mmの熱電対による測定温度を直線でつなぎ、φ 0 mmのときの温度を求めれば、この不確かさにおいて理想状態の表面温度が推定できる。測定値が3点以上ある場合は、曲線で推定する。本来の表面温度は理想状態の推定値と測定値の間にあると考え、测温接点中の温度降下による不確かさを約 300 ℃及び約 600 ℃において求めた結果を**附属書 D 表 3**に示す。

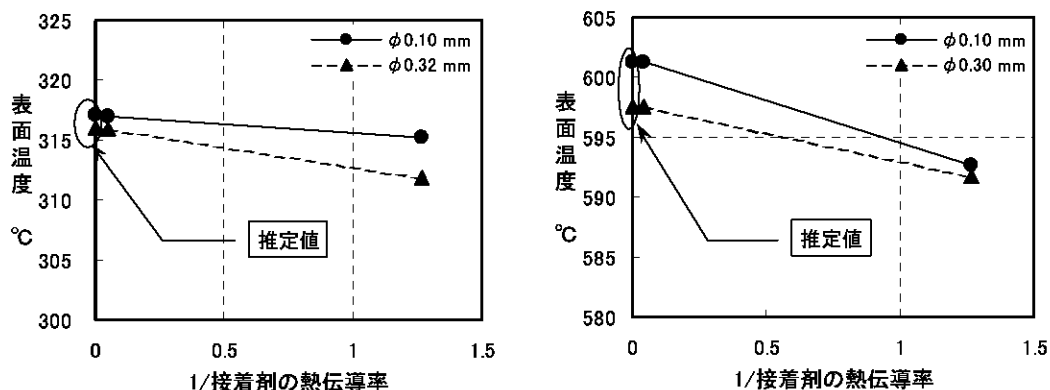


附属書 D 図 2 測温接点中の温度降下による推定（左図：約 300 °C，右図：約 600 °C）

附属書 D 表 3 測温接点中の温度降下による不確かさ

単位 °C				
表面温度条件	線径	推定値	測定値 ⁽¹⁾	不確かさ ⁽²⁾
約 300 °C	0.10 mm	317.5	317.0	0.29
	0.32 mm		315.9	0.92
約 600 °C	0.10 mm	603.1	601.3	1.04
	0.30 mm		597.6	3.18

- 2) 接着剤の熱伝導率による不確かさ 接着剤の熱抵抗による断熱や接着剤中の温度降下は接着剤の熱伝導率の逆数に比例して大きくなるため、理想的には接着剤の熱伝導率は無限に大きい方がよい。したがって、附属書 D 図 3 に示すように熱電対を銀ペースト（熱伝導率：300 °Cでは 40 W/m・K，600 °Cでは 290 W/m・K）で接着したときの測定温度と耐熱性無機（セラミックス系）接着剤（熱伝導率：0.79 W/m・K）で接着したときの測定温度を直線でつなぎ、接着剤の熱伝導率の逆数が 0 のときの温度を求めれば、この不確かさにおいて理想状態の表面温度が推定できる。測定値が 3 点以上ある場合は曲線で推定する。本来の表面温度は理想状態の推定値と測定値との間にあると考え、接着剤の熱伝導率による不確かさを約 300 °C及び約 600 °Cにおいて求めた結果を附属書 D 表 4 に示す。



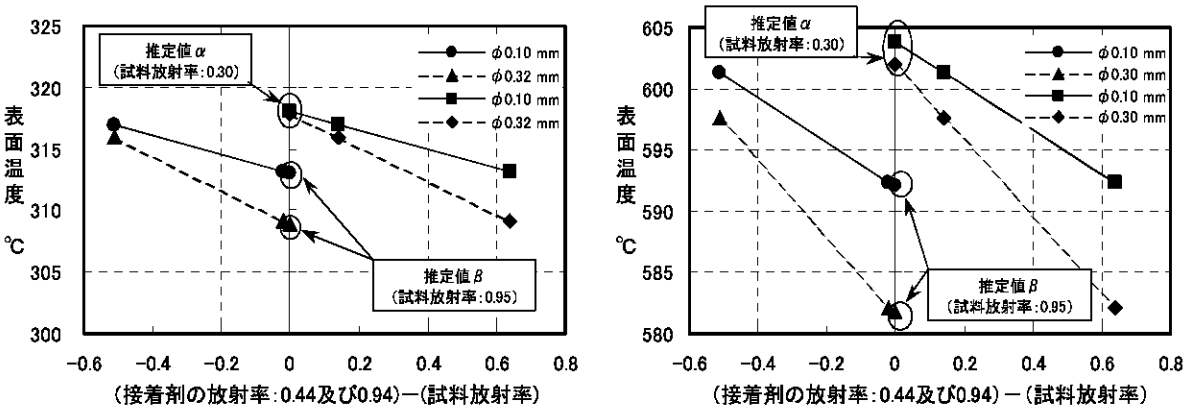
附属書 D 図 3 接着剤の熱伝導率による推定（左図：約 300 °C，右図：約 600 °C）

附属書 D 表 4 接着剤の熱伝導率による不確かさ

単位 °C				
表面温度条件	線径	推定値	測定値 ⁽¹¹⁾	不確かさ ⁽¹²⁾
約 300 °C	0.10 mm	317.0	317.0	0.00
	0.32 mm	316.0	315.9	0.06
約 600 °C	0.10 mm	601.3	601.3	0.00
	0.30 mm	597.6	597.6	0.00

3) 接着剤と試料の放射率の差による不確かさ 接着剤と試料の放射率が違うと測定箇所と試料で放射熱量が違ってくるため、理想的には接着剤と試料の放射率の差はない方がよい。したがって、附属書 D 図 4 に示すように熱電対を銀ペースト（放射率：0.44）で取付けて測定した温度と熱電対を銀ペーストで取付け、銀ペーストの上に黒体塗料（放射率：0.94）を塗って測定した温度から接着剤の放射率と試料放射率の差が 0 のときの温度を求めれば、この不確かさにおける理想状態の表面温度が推定できる。ただし、試料放射率は未知なので、仮に 0.30～0.95⁽¹³⁾ とおき、試料放射率が 0.30 のときの推定値 α と試料放射率が 0.95 のときの推定値 β を求める。本来の表面温度は推定値 α と推定値 β の間にあると考え、接着剤と試料の放射率の差による不確かさを約 300 °C 及び約 600 °C において求めた結果を附属書 D 表 5 に示す。

注⁽¹³⁾ 考えられるセラミックス材料の放射率



附属書 D 図 4 接着剤と試料の放射率の差による推定（左図：約 300 °C，右図：約 600 °C）

附属書 D 表 5 接着剤と試料の放射率の差による不確かさ

単位 °C				
表面温度条件	線径	推定値 α	推定値 β	不確かさ ⁽¹⁴⁾
		試料放射率：0.30	試料放射率：0.95	
約 300 °C	0.10 mm	318.1	313.1	1.44
	0.32 mm	317.9	309.0	2.57
約 600 °C	0.10 mm	603.8	592.1	3.38
	0.30 mm	601.9	581.8	5.80

注⁽¹⁴⁾ 本来の試料の表面温度は、推定値 α （試料放射率：0.30 のとき）と推定値 β （試料放射率：0.95 のとき）の間にあると考えると、不確かさは $\frac{|\text{推定値 } \alpha - \text{推定値 } \beta|}{2 \times \sqrt{3}}$ で求められる。

附属書 E（参考）表面温度の算定例

この附属書は、本体に関連する事柄を補足するもので、規定の一部ではない。

E.1 測定面の温度分布が均一であると仮定し、1 点を測定して表面温度とした場合の算定例を**附属書 E 表 1** に示す。

測定対象は、ダミー試料（セラミックス板、以下略。）及び電気ストーブの遠赤外ヒータ 3 種類で、測定方法は、+ 熱起電力及び - 熱起電力（+ の極性を反転させたもの）を交互に 10 回ずつ測定し、それぞれの絶対値を平均したものを測定値($\bar{E}$)としている。

なお、使用した熱電対は、ダミー試料では $\phi 0.10$ mm の K 熱電対、遠赤外ヒータでは $\phi 0.30$ mm の R 熱電対である。使用した遠赤外ヒータは、表面にセラミックス溶射をした石英管ヒータを水平方向に設置したもの（遠赤外ヒータ α ）、表面にセラミックス溶射をした石英管ヒータを垂直方向に設置したもの（遠赤外ヒータ β ）及び表面にセラミックス塗装をしたシーズヒータを垂直方向に設置したもの（遠赤外ヒータ γ ）である。

E.2 表面温度の分布が均一でない場合、ある程度広がりをもった面積の表面温度について考えなくてはならない。測定したい面域（以下、ターゲットゾーンという。）の周囲の複数点（3 点）の温度を測定して平均温度を求め、表面温度とした場合のダミー試料の算定例を**附属書 E 表 2** に示す。また、遠赤外ヒータについても同様に算定し、4 つの測定をまとめた結果を**附属書 E 表 3** に示す。使用熱電対や測定対象は、測定点が 1 点の場合と同じであるが、測定箇所は、ターゲットゾーンの直径を、ダミー試料で 10 mm、遠赤外ヒータは α と β で 9 mm、 γ で 6.5 mm とし、**附属書 E 図 1** に示す箇所を測定している。

附属書 E 表 1 表面温度の算定例（測定点が 1 点の場合）

	ダミー試料	遠赤外ヒータ α	遠赤外ヒータ β	遠赤外ヒータ γ
測定値(E_j) μV	12 962.6 12 977.1 12 970.4 12 967.6 12 967.5 12 967.4 12 971.9 12 972.9 12 976.2 12 971.3	5 260.0 5 263.0 5 255.3 5 261.9 5 260.2 5 260.8 5 259.9 5 262.5 5 268.2 5 267.9	5 355.6 5 344.1 5 343.6 5 335.5 5 352.7 5 348.5 5 352.8 5 359.4 5 351.7 5 338.4	5 366.1 5 380.2 5 368.7 5 369.7 5 366.7 5 386.3 5 381.2 5 370.1 5 383.4 5 379.1
測定値の平均熱起電力($\bar{E}$) μV	12 970.5	5 262.0	5 348.2	5 375.1
表面温度(熱起電力)のばらつき ⁽¹⁵⁾ μV	4.40	3.84	7.67	7.60
熱電能 $\mu V/^\circ C$	41.4	11.5	11.5	11.5
表面温度 ⁽¹⁶⁾ $^\circ C$	317.1	572.2	579.7	582.1
表面温度のばらつき $^\circ C$	0.11	0.33	0.67	0.66

注⁽¹⁵⁾ 表面温度（熱起電力）のばらつき $= \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (E_j - \bar{E})^2}{n-1}}$, ($n=10$)

⁽¹⁶⁾ 附属書 A の校正で作成した熱起電力表によって測定値の平均熱起電力を温度に変換したものである。

附属書 E 表 2 表面温度の算定例（測定点が 3 点の場合）〔ダミー試料〕

	測定箇所 i	測定箇所 ii	測定箇所 iii
測定値(E_{ij}) μV	12 904.3	12 962.6	12 967.3
	12 908.8	12 977.1	12 971.5
	12 899.3	12 970.4	12 977.5
	12 904.1	12 967.6	12 971.3
	12 904.8	12 967.5	12 971.1
	12 908.0	12 967.4	12 956.8
	12 906.2	12 971.9	12 967.5
	12 906.9	12 972.9	12 979.4
	12 914.3	12 976.2	12 976.3
	12 911.5	12 971.3	12 972.9
各測定箇所の測定値の平均熱起電力($\bar{E}_i$) μV	12 906.8	12 970.5	12 971.2
表面温度（熱起電力）のばらつき ⁽¹⁷⁾ μV	4.92		
熱電能 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	41.4		
各測定箇所の温度 ⁽¹⁸⁾ $^\circ\text{C}$	315.6	317.1	317.6
表面温度(各測定箇所の温度の平均) $^\circ\text{C}$	316.8		
表面温度のばらつき $^\circ\text{C}$	0.12		
各測定箇所の温度の平均の不確かさ ⁽¹⁹⁾ $^\circ\text{C}$	0.60		

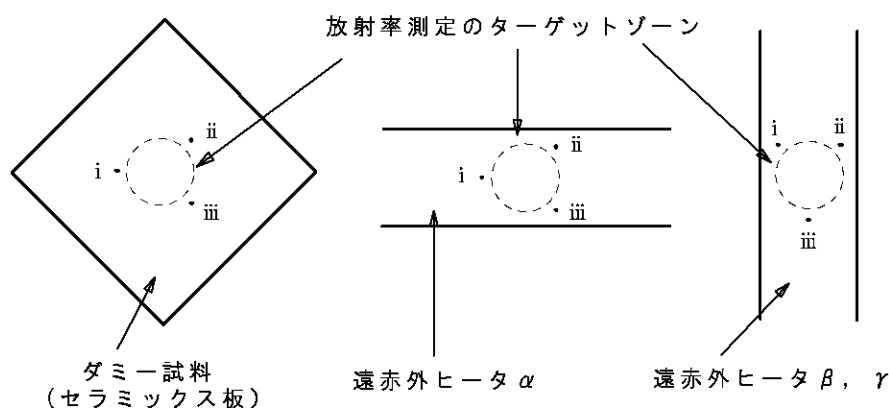
注⁽¹⁷⁾ 表面温度（熱起電力）のばらつき $= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (E_{ij} - \bar{E}_i)^2}{mn-1}}$, ($m=3, n=10$)

- ⁽¹⁸⁾ 附属書 A の校正で作成した熱起電力表によって各測定箇所の測定値の平均熱起電力を温度に変換したものである。
- ⁽¹⁹⁾ 各測定箇所の温度の標準偏差を $\sqrt{a}$ によって除したものである (a は測定箇所の数)。この不確かさはサーモグラフィーで測定して求めてもよい。求め方は同様である。

附属書 E 表 3 表面温度の測定結果（測定点が 3 点の場合）

単位 $^\circ\text{C}$

	ダミー試料	遠赤外ヒータ α	遠赤外ヒータ β	遠赤外ヒータ γ
表面温度(各測定箇所の温度の平均)	316.8	575.1	572.1	578.0
表面温度のばらつき	0.12	0.53	1.03	0.66
各測定箇所の温度の平均の不確かさ ⁽¹⁹⁾	0.60	4.57	3.82	2.56



附属書 E 図 1 測定箇所

附属書 F（参考）表面温度の不確かさの評価例

この附属書は、本体に関連する事柄を補足するもので、規定の一部ではない。

表面温度の不確かさを評価した例を**附属書 F 表 1** 及び**附属書 F 表 2** 示す。不確かさの要因として、熱電対のドリフト量，熱電対の校正の不確かさ，表面温度のばらつき，熱電対の取付けによる不確かさ，複数点を測定した場合はさらに各測定箇所の温度の平均の不確かさを加えたものを取り上げた。（**附属書 B**，**附属書 D** 及び**附属書 E** 参照）

なお，ここで示す不確かさの評価は，**附属書 E** で例示した測定についての，それらの要因を取り上げ，合成不確かさ，拡張不確かさは次式によって求める。

$$U = k \cdot u_c$$

$$u_c^2 = \sum_{i=1}^n (u_i)^2$$

ここに，
 U ： 表面温度の拡張不確かさ
 u_c ： 表面温度の合成標準不確かさ
 u_i ： 表面温度の各要因の標準不確かさ
 k ： 包含係数（通常 $k=2$ ）
 n ： 表面温度の不確かさの要因数

附属書 F 表 1 表面温度の不確かさの算定例（測定点が 1 点の場合）

要因	標準不確かさ			
	ダミー試料	遠赤外ヒータ α	遠赤外ヒータ β	遠赤外ヒータ γ
熱電対のドリフト量 ⁽²⁰⁾	0.10	0.05	0.05	0.05
校正の不確かさ ⁽²¹⁾	0.33	0.36	0.36	0.36
表面温度のばらつき ⁽²²⁾	0.11	0.33	0.67	0.66
熱電対の取付けによる不確かさ ⁽²³⁾	1.47	7.03	7.03	7.03
合成標準不確かさ	1.51	7.06	7.11	7.07
拡張不確かさ($k=2$)	3.02	14.12	14.23	14.14

単位 ℃

- 注⁽²⁰⁾ 測定の前後に校正して求めた二つの校正曲線の測定温度での差を $\sqrt{3}$ で除した値。一様分布で評価する。
- ⁽²¹⁾ 被校正熱電対を校正したときに求めた不確かさ。K 熱電対を 300 ℃付近で校正したときの不確かさは 0.33 ℃で，R 熱電対を 600 ℃付近で校正したときの不確かさは 0.36 ℃であった。
- ⁽²²⁾ **附属書 E 表 1** の結果を用いた。
- ⁽²³⁾ **附属書 D 表 1** で求めた熱電対の取付けによる不確かさを用いた。

附属書 F 表 2 表面温度の不確かさの算定例（測定点が3点の場合）

単位 °C

要因	標準不確かさ			
	ダミー試料	遠赤外ヒータ α	遠赤外ヒータ β	遠赤外ヒータ γ
熱電対のドリフト量 ⁽²⁰⁾	0.10	0.05	0.05	0.05
校正の不確かさ ⁽²¹⁾	0.33	0.36	0.36	0.36
表面温度のばらつき ⁽²⁴⁾	0.12	0.53	1.03	0.66
熱電対の取付けによる不確かさ ⁽²³⁾	1.47	7.03	7.03	7.03
各測定箇所の温度の平均の不確かさ ⁽²⁵⁾	0.60	4.57	3.82	2.56
合成標準不確かさ	1.63	8.41	8.08	7.52
拡張不確かさ(k=2)	3.26	16.82	16.16	15.04

注⁽²⁴⁾⁽²⁵⁾ 附属書 E 表 3 の結果を用いた。

参考 ある広がりをもった面の平均温度を表面温度とすると、その面の温度のばらつきが表面温度の不確かさの大きな要因となるため、できるだけ均一な面をサーモグラフィーによって確認してから測定することが表面温度の不確かさを小さくすることになる。