



技術で築く確かな信頼

JEMIC

日本電気計器検定所

JASISコンファレンス

JAIMAセミナー1

「これであなたも専門家・不確かさ編」

温度計校正装置の不確かさ評価事例

日本電気計器検定所

標準部 標準管理グループ

齊藤尚子

講演内容

- ・国際温度目盛とトレーサビリティ
- ・温度計校正装置とは
- ・温度計校正装置の不確かさ
- ・デジタル温度計の不確かさ
(温度計校正装置を標準器とした場合)

国際温度目盛とトレーサビリティ

温度の単位

SI基本単位の1つである

水の三重点の熱力学温度の $1/273.16$

熱力学温度の単位:

(名称はケルビン、単位記号はK): T_{90}

セルシウス温度の単位:

(名称はセルシウス度、単位記号は $^{\circ}\text{C}$): t_{90}

$$t = T - 273.15$$

国際温度目盛 ITS-90の原則

- * 0.65Kからプランクの放射則まで
- * **定義定点**: 実現可能な温度
- * **補間計器**: 定義定点で校正された特定計器
- * ヘリウムの蒸気圧と温度の関係式

ITS-90の定義定点と補間計器



温度標準の校正手法の区分(呼称)

* 接触式温度計

(白金抵抗温度計、ガラス製温度計、
熱電対、温度計校正装置等)

* 放射温度計

校正事業者登録制度(JCSS制度)による
全登録事業者は30事業所(平成26年8月現在)

接触式温度計

温度差のある二つの物体を接触させると、物体の熱が熱い方から冷たい方へ移動しやがて一定になるという状態を**熱平衡**といい、接触式温度計はこの原理を利用したものである。

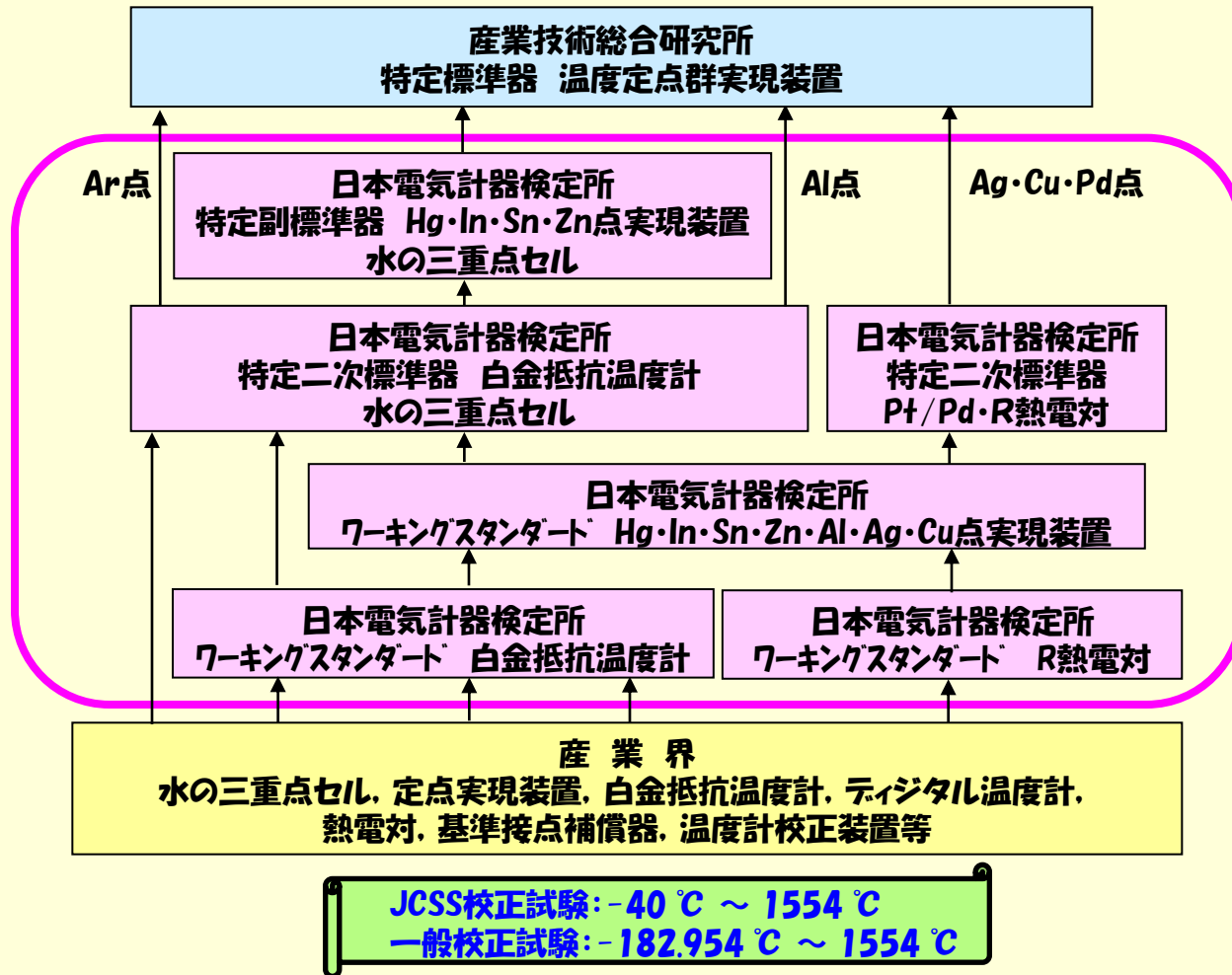
接触式温度計には、白金抵抗温度計や熱電対、ガラス製温度計などがある。

放射温度計

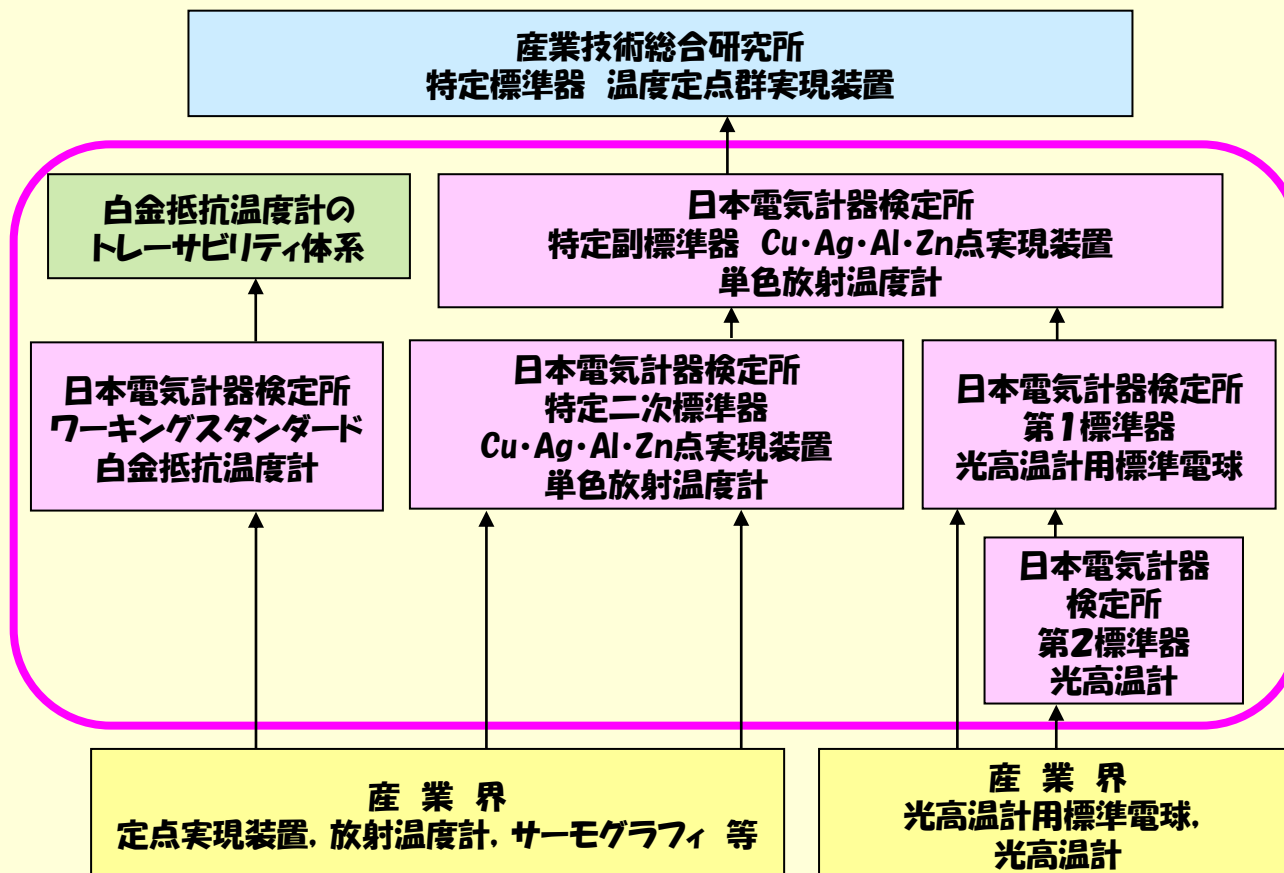
すべての物体はその温度に応じて赤外線を放射している。この性質を利用し、離れた位置から赤外線をとらえ、温度を測るのが**放射温度計**である。

物体の温度と赤外線の強さ(放射エネルギー)、波長の関係から、ある一定の波長域の放射エネルギーを集光することによって温度測定ができるということである。

接触式温度計のJEMICにおけるトレーサビリティ体系



放射温度計のJEMICにおけるトレーサビリティ体系



JCSS校正試験: 400 °C ~ 2000 °C
一般校正試験: -30 °C ~ 2000 °C

温度計校正装置とは

温度計校正装置とは

**熱電対、測温抵抗体、サーミスター
温度計、ガラス製温度計などの接触
式温度計の校正に使用することが
できる温度可変型の熱源である。
一般的に現場用として、ポータブル
タイプが多くみられる。**

温度計校正装置の例



FLUKE



SIKA



ISOTECH



(株)岡崎製作所



(株)千ノ一



山里産業(株)

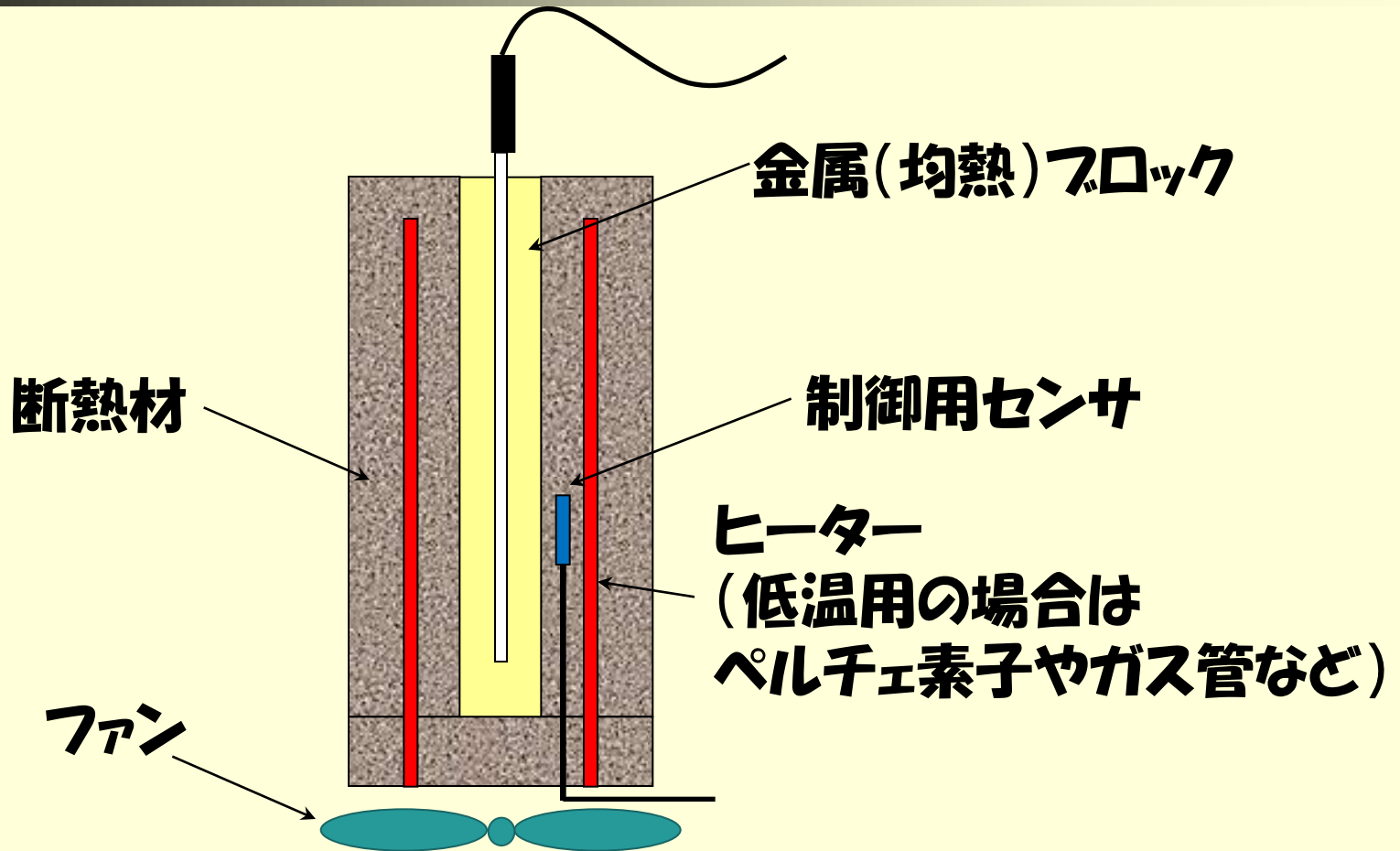


AMETEK DENMARK

温度計校正装置の特徴

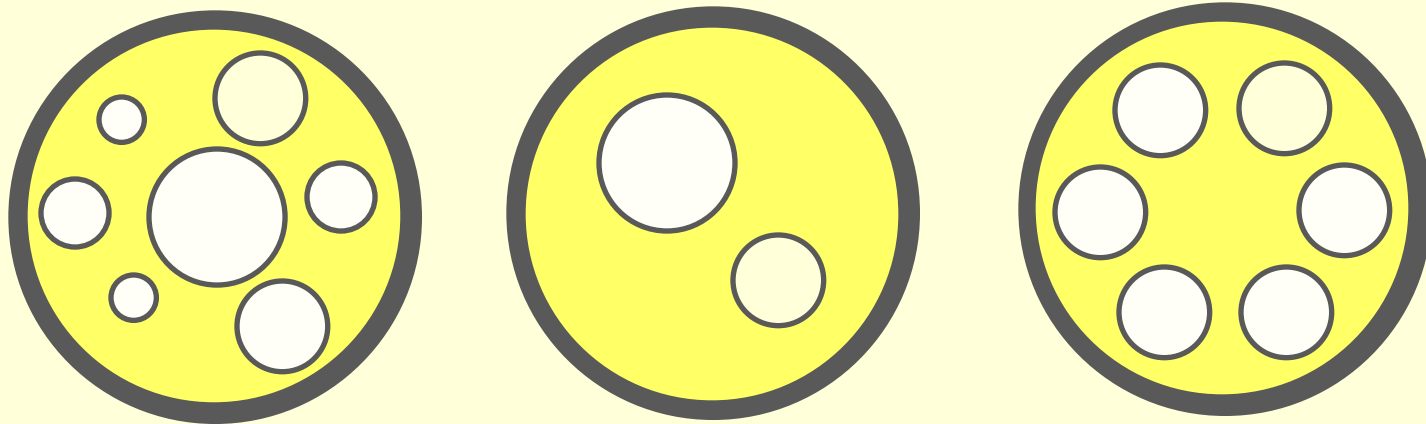
- ・ 温度の昇温、降温が短時間で実現できる。
- ・ 持ち運びが便利。
- ・ 設定分解能が上がり、安定性がよい。
- ・ 挿入長が短い。
- ・ 温度計挿入部が金属(金属ブロック)でできているため、接触状態に注意が必要。

温度計校正装置の構造例



制御用センサ、ヒーター、冷却装置等の位置や数によって性能が異なると思われる。

金属(均熱)ブロックの例

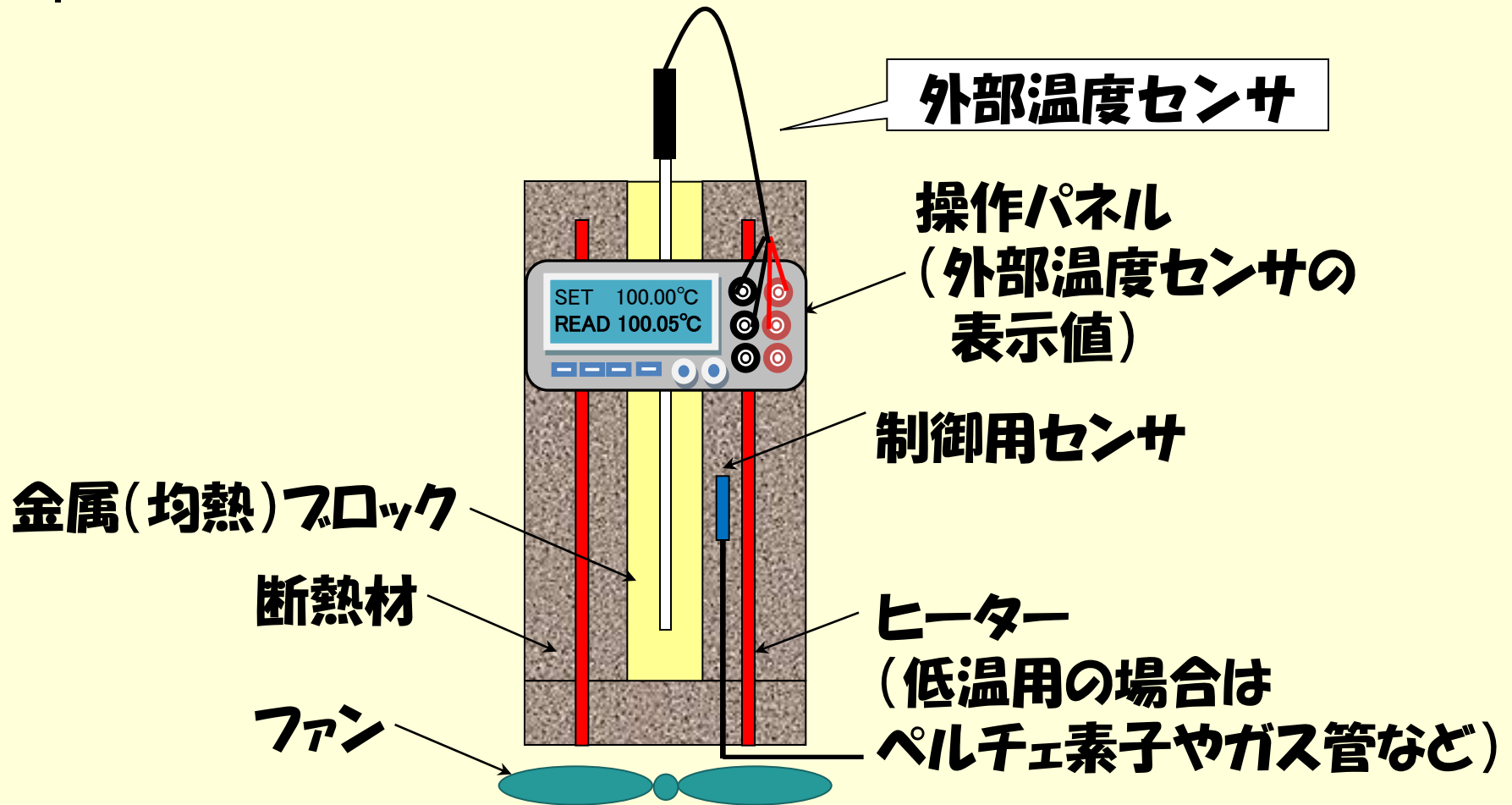


- 各メーカーで様々な種類がある。(又は加工してくれる。)
- 温度計の太さと測温孔の径をできるだけ合わせる。
(インチとセンチメートルの差に注意する。)
- 隙間にアルミパウダー等を充填する。

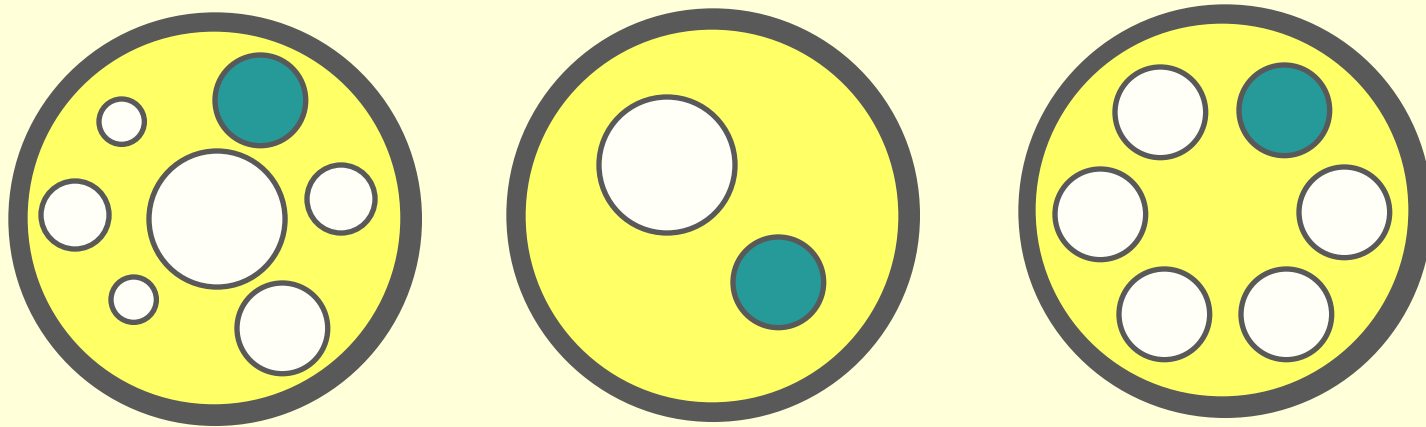
温度計校正装置の進化

従来、内部温度表示が、内部の温度制御と一体化したものが多かったが、近年では、精度(確度)がよく、内部温度表示とは別に、外部センサを接続し、その温度値を表示するタイプが出回るようになった。

新しいタイプの温度計校正装置



金属(均熱)ブロックの例



●の穴に外部温度センサを挿入する。

性能(メーカー仕様参照)の比較

A社

性能	外部温度センサ 無	外部温度センサ 有
使用範囲温度	33℃～650℃	33℃～700℃
分解能	1/0.1	1/0.1/0.01/0.001
精度	±0.45℃	±0.29℃
安定性	±0.04℃	±0.015℃
放射均一性	—	0.05℃
挿入超	160mm	200mm

B社

性能	外部温度センサ 無	外部温度センサ 有
使用範囲温度	50℃～650℃	50℃～700℃
分解能	0.1	0.001
確度	±0.5℃	±0.2℃
安定性	±0.12℃	±0.01℃
放射均一性	±0.1℃	±0.025℃
挿入超	124mm	203mm

温度計校正装置の不確かさ

温度計校正装置の校正手順

標準器の準備をする。(0°Cのチェック等)

標準器のセンサを温度計校正装置の
測温孔に底まで挿入する。

温度計校正装置を校正温度に設定し、安定するまで待つ。

標準器で温度計校正装置の温度を測定する。
温度計校正装置の表示温度を読む。

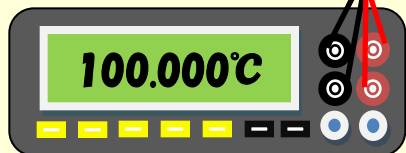
標準器のセンサを底から数cm持ち上げ、温度を測定する。

センサを底に戻す。

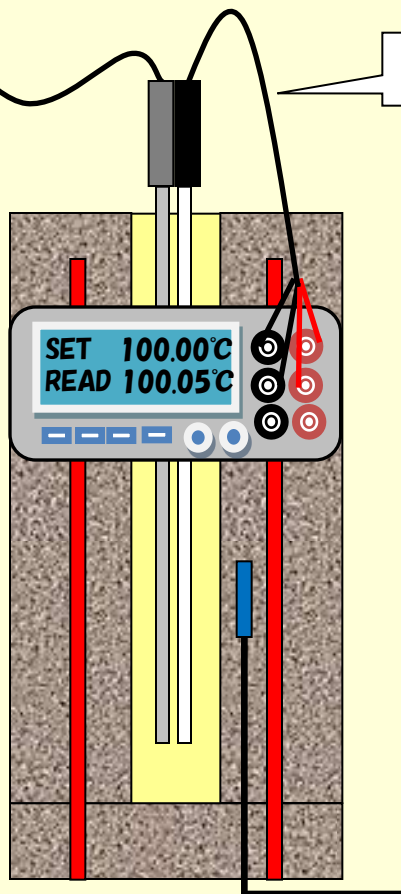
校正点により繰り返し返す

温度計校正装置の校正配置図

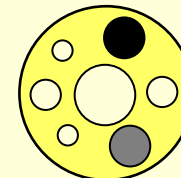
標準器



外部温度センサ



金属ブロックの上面図



- 外部温度センサ
- 標準器

標準器のセンサは、白金抵抗温度計や熱電対が使用され、デジタル温度計、抵抗測定装置、電圧計等で測定する。

温度計校正装置の不確かさの要因

- ・ **標準器に起因する不確かさ**
 - 校正の不確かさ
 - 特性式の残差
 - 長期安定性
 - 測定中の安定性
- ・ **校正品に起因する不確かさ**
 - 熱流入・温度分布
 - 測定の再現性
 - 測定中の安定性
 - 校正品の分解能

標準器に起因する不確かさの評価

校正の不確かさ:

標準器の校正の不確かさであり、校正証明書の値を包含係数で割った値となる。校正点以外の校正の不確かさについては(温度範囲で考える場合)、不確かさの伝播則より求める。

特性式の残差:

標準器の校正結果を温度目盛として使用するために、2次式あるいは3次式の特性式としたときの計算値と実測値(校正値)との差の最大値を矩形分布とみなして標準不確かさとした。

長期安定性:

校正毎の温度差の最大値を矩形分布とみなして、標準不確かさとした。

測定中の安定性:

標準器の数回の測定値の実験標準偏差を正規分布とみなして、標準不確かさとした。

校正品に起因する不確かさの評価

熱流入・温度分布:

センサの挿入長を変えることによる温度差を矩形分布とみなして、センサの熱流入と温度分布の不確かさとした。

測定の再現性:

校正条件を1つ以上変えて、校正を再度行う。温度では測定回数を増やすことが困難であるため、2回の差を矩形分布とみなして不確かさとすることが多い。

測定中の安定性:

校正品の数回の測定値の実験標準偏差を正規分布とみなして、標準不確かさとした。

校正品の分解能:

校正品の分解能を矩形分布とみなして、標準不確かさとした。

温度計校正装置の不確かさバジェット表

標準器をデジタル温度計として、0.01℃分解能の温度計校正装置を校正した場合

不確かさの要因	数値	分布	除数	感度係数	標準不確かさ(℃)	自由度
標準器に起因する不確かさ要因					0.028	
校正の不確かさ	0.006 ℃	正規	1	1	0.006	∞
特性式の残差	0.005 ℃	矩形	1.73	1	0.003	∞
長期安定性	0.030 ℃	矩形	1.73	1	0.017	∞
測定中の安定性	0.021 ℃	正規	1	1	0.021	9
校正品に起因する不確かさ要因					0.027	
熱流入・温度分布	0.040 ℃	矩形	1.73	1	0.023	∞
測定の再現性	0.025 ℃	矩形	1.73	1	0.014	∞
測定中の安定性	0.000 ℃	正規	1	1	0.000	9
分解能	0.005 ℃	矩形	1.73	1	0.003	∞
合成標準不確かさ(℃)					0.039	109
包含係数k=2による拡張不確かさ(℃)					0.08	
校正証明書記載値(℃)					0.08	

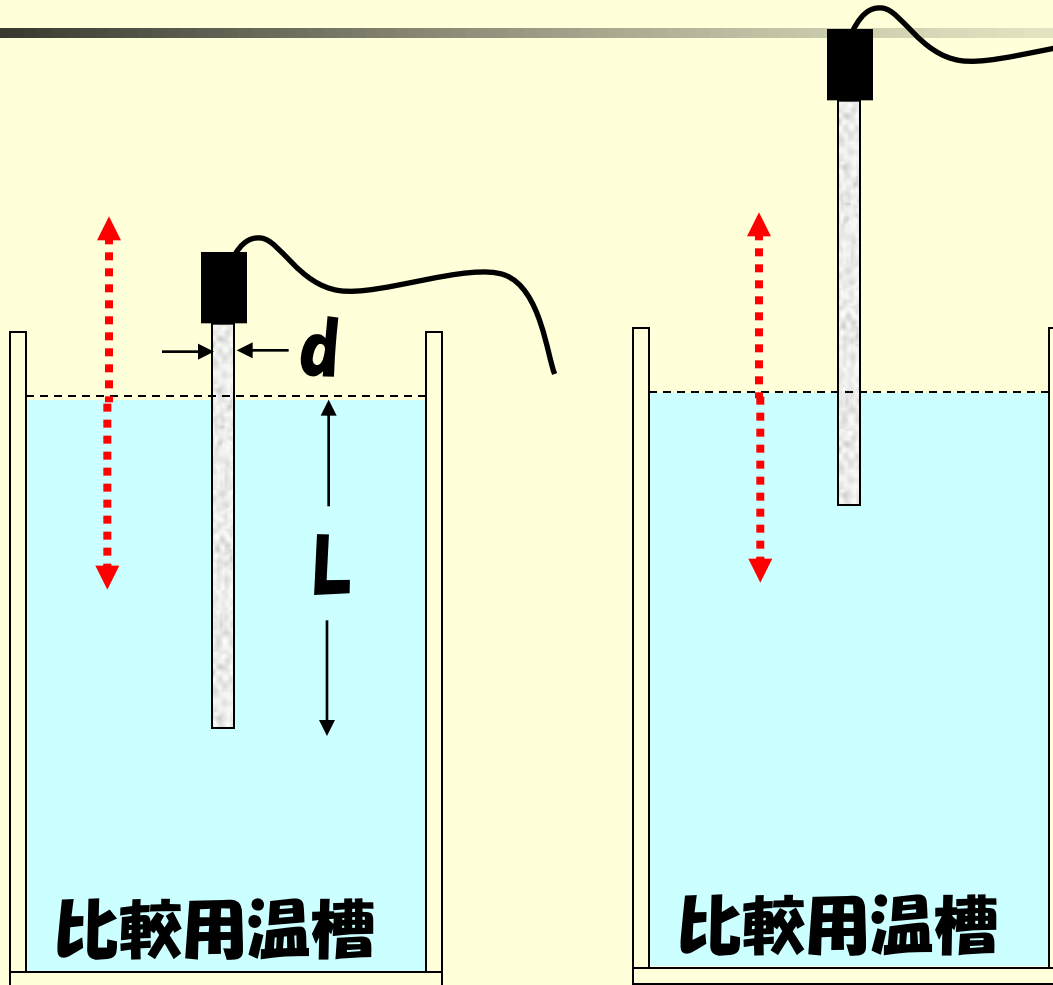
校正の不確かさは、包含係数k=2とした拡張不確かさであり、約95%の信頼の水準をもつと推定される区間を与える。

デジタル温度計の不確かさ (温度計校正装置を標準器とした場合)

温度計校正装置の使用上注意

- 金属ブロックの測温孔の数に対する温度計の本数により、温度計校正装置の温度は変わる。
- 金属ブロックの上を断熱材で覆うと温度計校正装置の温度は変わる。
- 温度計の挿入長は十分に深いことが望ましく、温度計の太さと測温孔の径をできるだけ合わせる。（インチとセンチメートルの差に注意する。）
- 高温においては、挿入する温度計の取っ手等には十分注意をする。

温度計の挿入長



$$L = a \times d$$

L: 挿入長

d: 保護管外径

a: 係数

温度計の挿入長

$$L = a \times d$$

L: 挿入長

d: 保護管外径

a: 係数

**係数は、金属保護管の場合は、
直径の15倍から20倍
非金属保護管の場合は、
直径の10倍から15倍**

デジタル温度計の校正手順

標準器の外部温度センサと校正品を温度計校正装置の測温孔の底まで挿入する。

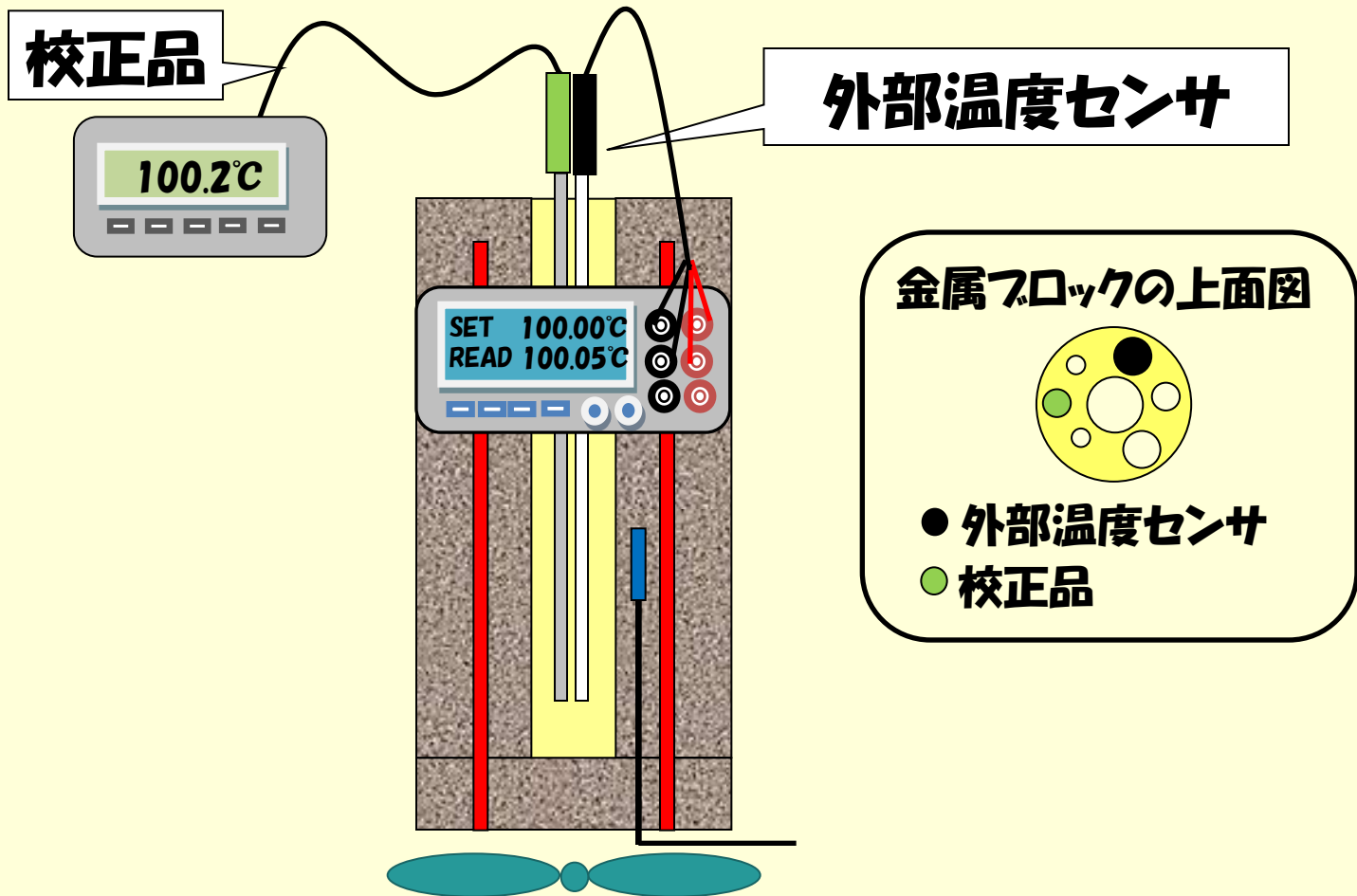
温度計校正装置を校正温度に設定し、安定するまで待つ。

標準器の外部温度センサと校正品の表示値をそれぞれ読む。

それぞれの表示値と標準器の補正值から校正結果を算出する。

校正点により繰り返す

温度計校正装置を使用した デジタル温度計の校正配置図



デジタル温度計の不確かさの要因

- ・ **標準器に起因する不確かさ**
 - 校正の不確かさ
 - 特性式の残差
 - 長期安定性
 - 測定中の安定性
- ・ **温度計校正装置に起因する不確かさ**
 - 垂直方向温度分布
 - 水平方向温度分布
 - 周囲温度の影響
- ・ **校正品に起因する不確かさ**
 - 測定中の安定性
 - 測定の再現性
 - 熱流入
 - 校正品の分解能

標準器に起因する不確かさの評価

校正の不確かさ:

標準器の校正の不確かさであり、校正証明書¹の値を包含係数で割った値となる。校正点以外の校正の不確かさについては(温度範囲で考える場合)、不確かさの伝播則より求める。

特性式の残差:

標準器の校正結果を温度目盛として使用するために、2次式あるいは3次式の特性式としたときの計算値と実測値(校正値)との差の最大値を矩形分布とみなして標準不確かさとした。

長期安定性:

校正毎の温度差の最大値を矩形分布とみなして、標準不確かさとした。

測定中の安定性:

標準器の数回の測定値の実験標準偏差を正規分布とみなして、標準不確かさとした。

温度計校正装置に起因する不確かさの評価

垂直方向温度分布:

金属ブロックの測温孔の挿入深さによる温度分布。底から温度計を数mmずつ引き上げ、その最大差を矩形分布とみなして標準不確かさとする。

水平方向温度分布:

金属ブロックの測温孔の位置による温度差を矩形分布とみなして標準不確かさとする。

周囲温度の影響:

特に低温の校正点においては、影響を受ける。周囲温度を変化させ、その時の再現性を不確かさとする。

校正品に起因する不確かさの評価

測定中の安定性:

標準器の数回の測定値の実験標準偏差を正規分布とみなして、標準不確かさとした。

測定の再現性:

校正条件を1つ以上変えて、校正を再度行う。温度では測定回数を増やすことが困難であるため、2回の差を矩形分布とみなして不確かさとすることが多い。

熱流入:

センサの挿入長を変えることによる温度差を矩形分布とみなして、センサの熱流入として不確かさとする。

校正品の分解能:

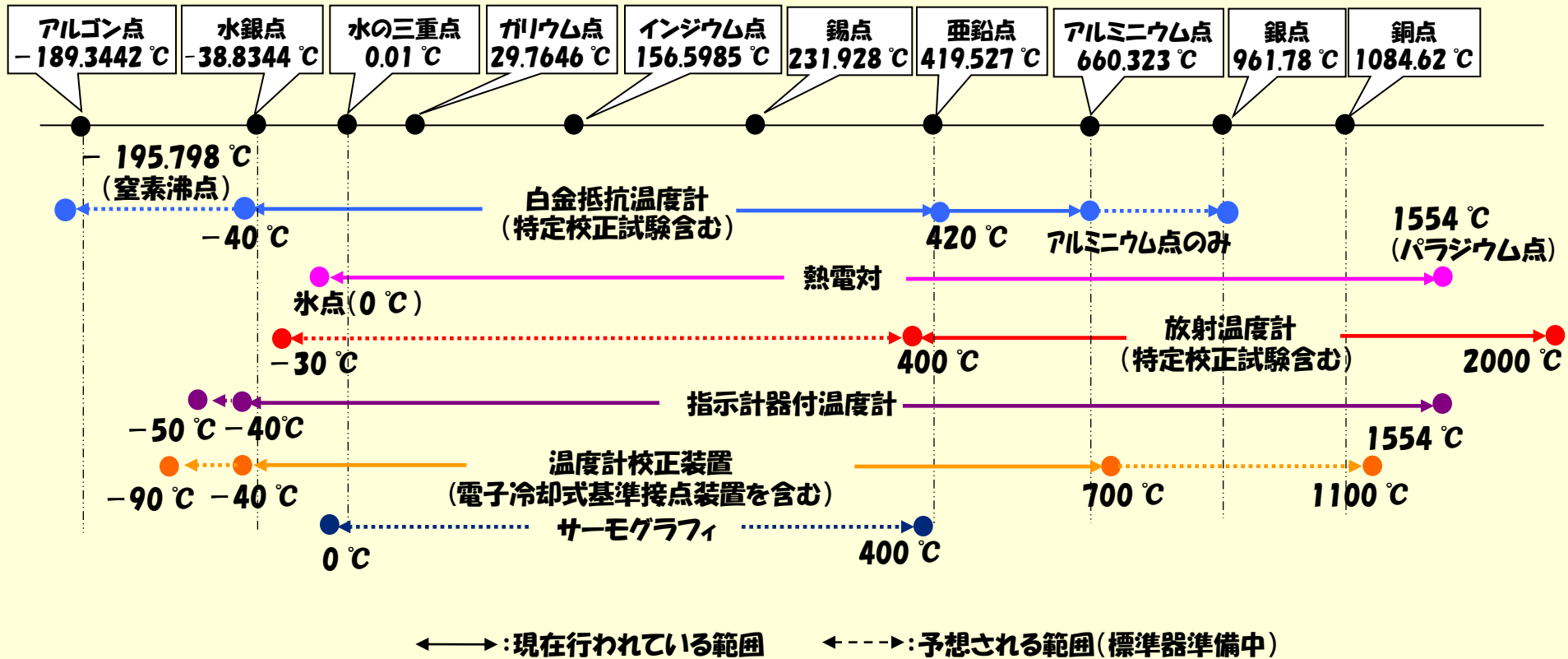
校正品の分解能を矩形分布とみなして、標準不確かさとした。

デジタル温度計の不確かさバジェット表

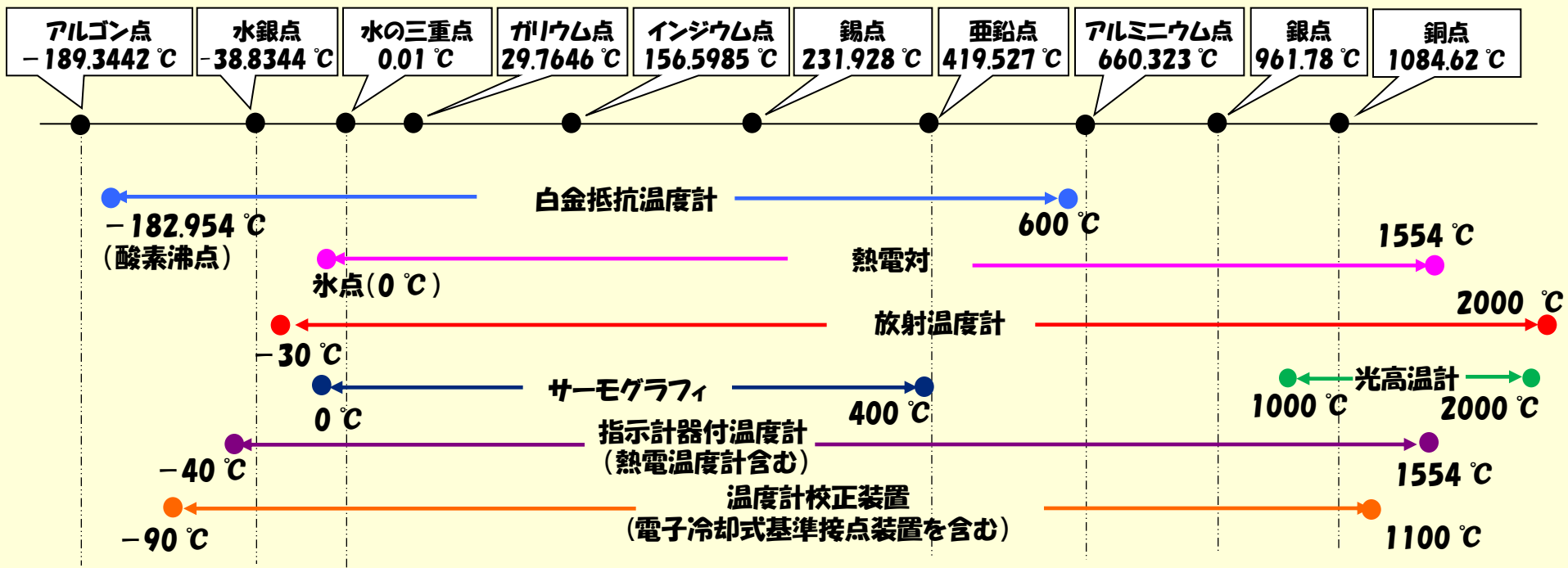
標準器を温度計校正装置として0.1℃分解能のデジタル温度計を校正した場合

不確かさの要因	数値	分布	除数	感度係数	標準不確かさ(℃)	自由度
標準器に起因する不確かさ要因						0.053
校正の不確かさ	0.040 ℃	正規	1	1	0.040	∞
特性式の残差	0.005 ℃	矩形	1.73	1	0.003	∞
長期安定性	0.050 ℃	矩形	1.73	1	0.029	∞
測定中の安定性	0.020 ℃	正規	1	1	0.020	9
温度計校正装置に起因する不確かさ要因						0.087
垂直方向温度分布	0.100 ℃	矩形	1.73	1	0.058	∞
水平方向温度分布	0.100 ℃	矩形	1.73	1	0.058	∞
周囲温度の影響	0.050 ℃	矩形	1.73	1	0.029	∞
校正品に起因する不確かさ要因						0.051
測定中の安定性	0.030 ℃	正規	1	1	0.030	9
測定の再現性	0.050 ℃	矩形	1.73	1	0.029	∞
熱流入	0.000 ℃	矩形	1.73	1	0.000	∞
分解能	0.050 ℃	矩形	1.73	1	0.029	∞
校正の不確かさは、包含係数 $k=2$ とした 拡張不確かさであり、約95%の信頼の 水準をもつと推定される区間を与える。	合成標準不確かさ(℃)				0.11	1546
	包含係数 $k=2$ による拡張不確かさ(℃)				0.23	
	校正証明書記載値(℃)				0.3	

JEMICにおける校正範囲 (JCSS校正)



JEMICにおける校正範囲 (一般校正)



御清聴ありがとうございました

校正の問い合わせ: TEL: **03(3451)6760**

FAX: **03(3451)6910**

E-mail: **Kousei-info@jemic.go.jp**

校正業務: 電気, 時間・周波数, 温度, 光, 磁気等

ホームページ: <http://www.jemic.go.jp/>

JEMIC

🔍 検索