



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2

「これであなたも専門家・不確かさ編」

温度計測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

斉藤 尚子

講演内容

- ・国際温度目盛とトレーサビリティ
- ・デジタル温度計の
出張(現地)校正における不確かさ
- ・恒温槽(保管庫・試験槽等)が
装備する指示計器付温度計の
不確かさ

国際温度目盛とトレーサビリティ

SI基本単位の定義変更予定

SI基本単位7つのうち4つの定義が変更予定

質量の単位**キログラム**→プランク定数

電流の単位**アンペア**→電荷素量

物質量の単位**モル**→アボガドロ定数

熱力学温度の単位**ケルビン**→ボルツマン定数

2018年の第26回国際度量衡総会(CGPM)を目標に
準備が進められている。

熱力学温度の単位の定義

理想気体の場合の例

$$\underbrace{\frac{1}{2} m \overline{v^2}}_{\text{1個の単原子分子の平均の運動エネルギー}} = \frac{3}{2} k T$$

質量
 二乗平均速度
 熱力学温度
 ボルツマン定数

「ケルビン, K, は, 熱力学温度の単位である: その大きさは, 単位 $\text{s}^{-2}\text{m}^2\text{kgK}^{-1}$ (それは JK^{-1} に等しい) で表したときの**ボルツマン定数** k の数値が正確に $1.380\,658 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ に等しくなるように設定される。」

ボルツマン定数が定義されれば, 原子の平均運動エネルギーを測定することにより熱力学温度を得ることが可能となる。

一次温度計

一次温度計は、良く理解された物理系に基づく温度計で、熱力学温度と他の独立した量の関係を表す状態方程式が未知定数や温度に顕著に依存する定数を用いずに明示的に記述できるもの。

**例) 定積気体温度計, 音響気体温度計, 雑音温度計,
絶対放射温度計, 誘電率気体温度計**

基本動作原理によるボルツマン定数の測定が各国で行われている。

現在の温度の単位

現在の定義

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

産業界では、温度測定においては、国際温度目盛（ITS-90）を使用しているため、SI基本単位の定義が変わっても、産業界への影響はない。

- * 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

定義定点	温度	補間計器	定義定点	温度	補間計器
He(V)	0.65K (-272.5°C) 3K 4.2K 5K	$^3\text{He}/^4\text{He}$ 蒸気圧 温度目盛 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 気圧温度計	Hg(t)	234.3156K (-38.8344°C)	白金抵抗 温度計
e-H ₂ (t)	13.8033K (-259.3467°C)	白金抵抗 温度計	H ₂ O(t)	273.16K (0.01°C)	
e-H ₂ (V)	17K		Ga(m)	302.9146K (29.7646°C)	
e-H ₂ (V)	20.3K		In(f)	429.7485K (156.5985°C)	
Ne(t)	24.5561K (-248.5939°C)	白金抵抗 温度計	Sn(f)	505.078K (231.928°C)	フランクの 放射則
O ₂ (t)	54.3584K (-218.7916°C)		Zn(f)	692.677K (419.527°C)	
Ar(t)	83.8058K (-189.3442°C)		Al(f)	933.473K (660.323°C)	
			Ag(f)	1234.93K (961.78°C)	
			Au(f)	1337.33K (1064.18°C)	
			Cu(f)	1357.77K (1084.62°C)	

V: 蒸気圧 t: 三重点
 m: 融解点 f: 凝固点

温度標準の校正手法の区分(呼称)

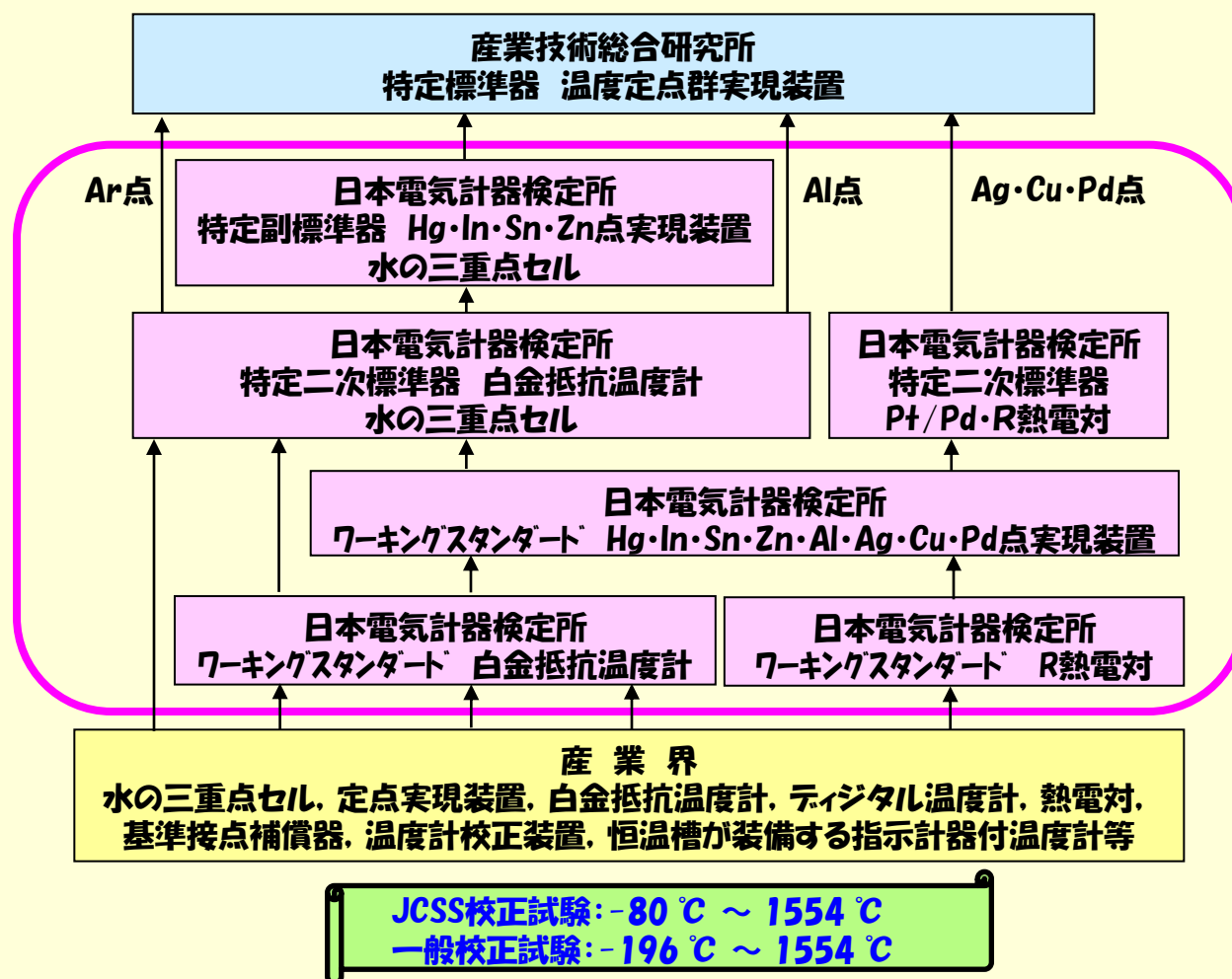
* 接触式温度計

(白金抵抗温度計, ガラス製温度計, 熱電対,
指示計器付温度計, 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33事業者(平成28年8月現在)

接触式温度計のJEMICにおけるトレーサビリティ体系



接触式温度計の校正方法

- ・ **定点校正**: ITS-90の温度定点実現装置を標準器として、接触式温度計の出力測定を行う。
- ・ **比較校正**: 比較用温槽・電気炉等の熱源を介して、標準白金抵抗温度計や貴金属熱電対の標準器と校正品となる接触式温度計の比較測定を行う。

デジタル温度計の出張(現地)校正 における不確かさ

デジタル温度計の使用上の注意

- ・計器には**各種設定**がある。
→校正証明書に校正条件として記載されている。
- ・**センサを変える**と温度値が変わる。
→校正証明書にセンサの製造番号が記載されている。
- ・**測定状態**(熱流出入)によって測定値が異なる。
- ・**熱履歴**による変化が生じる。
- ・**測定環境**(自己加熱・基準接点)の影響を受ける。

比較校正に使用する機器

- ・標準器：指示計器付温度計
- ・熱源：温度計校正装置
- ・氷点 / 基準接点補償器（必要に応じて）
- ・温湿度計
- ・電圧計（出張校正では必要）

デジタル温度計の比較校正手順

標準器に変動がないか確認する。
(0℃における校正値の確認など)



標準器のセンサと校正品のセンサを
温度計校正装置の底まで挿入する。



温度計校正装置を校正温度に設定し、安定するまで待つ。



標準器と校正品の表示値をそれぞれ読む。



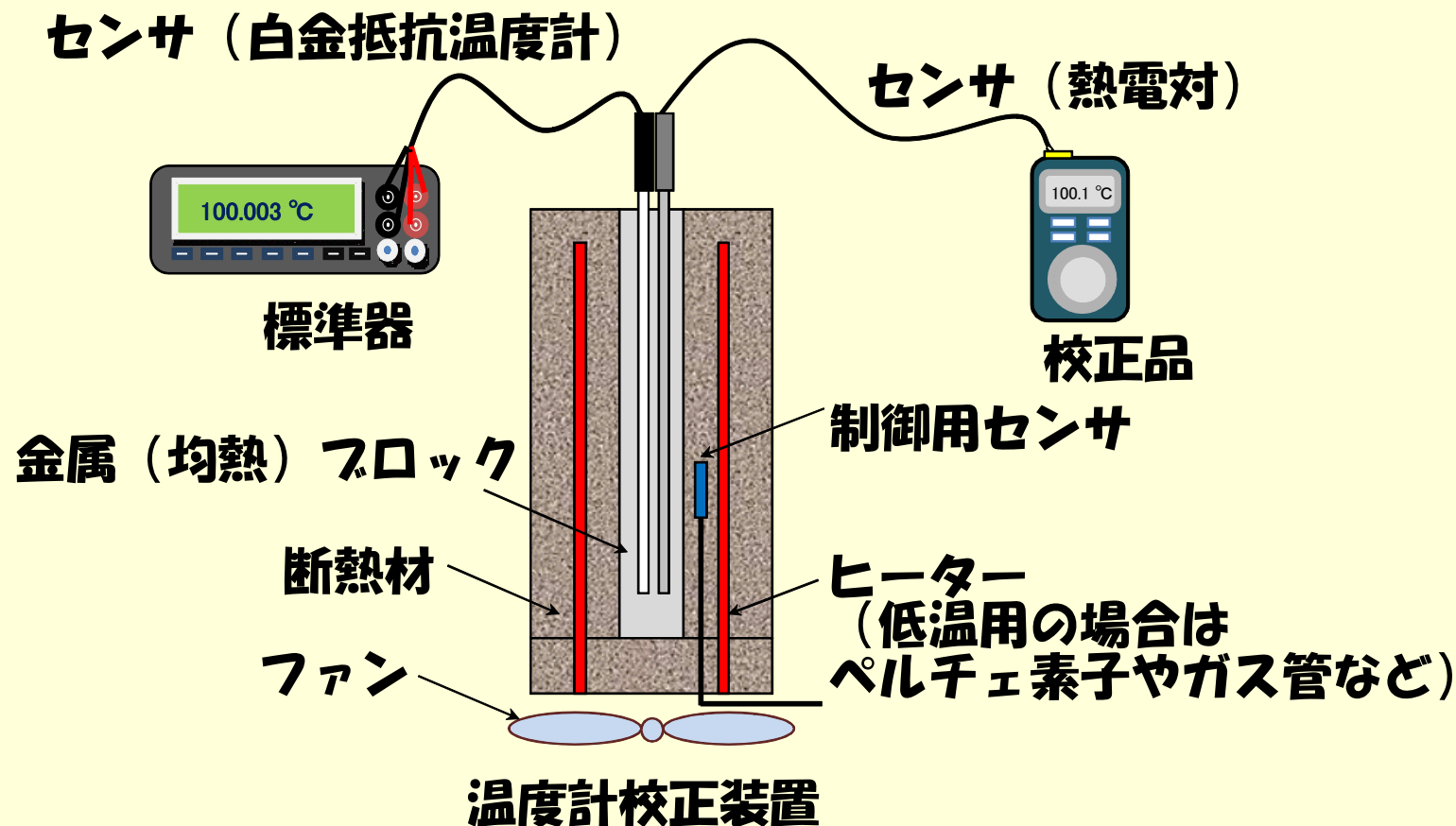
校正品の再現性の評価をする。



それぞれの表示値と標準器の補正值等から
校正結果(不確かさを含む)を算出する。

校正点により繰り返し返す

デジタル温度計の比較校正例



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
 - 長期安定性
 - 内挿特性式の不確かさ
 - 自己加熱の影響
 - 分解能
 - 周囲温度の影響
 - 測定中の安定性
- ・ **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
 - 分解能
 - 熱流入
 - 周囲温度の影響
 - 直線性
- ・ **測定系に起因する不確かさ**
 - 温度計校正装置の安定性
 - 温度計校正装置の温度分布

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て標準不確かさとする。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。

長期安定性:

校正毎の経年変化の最大値を矩形分布とするか、あるいは複数回の経年変化から標準偏差を求め、標準不確かさとする。

内挿特性式の不確かさ:

標準器の校正結果を温度目盛(温度範囲)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)との差を不確かさとする。各校正点の差の最大値を矩形分布するか、あるいは標準偏差を求め、標準不確かさとする。

標準器に起因する不確かさの評価

自己加熱の影響:

標準器のセンサが測温抵抗体の場合、測定において自己加熱を生じ、その影響が校正値に含まれる。自己加熱は液中と気中で異なるため、校正時と使用時で条件が変わる場合は、その差を矩形分布とみなして、標準不確かさとする。

分解能:

標準器の最小桁を2で割り、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:

標準器の周囲温度変動に伴う指示値の最大差を矩形分布とみなして、標準不確かさとする。特にセンサが熱電対の場合は影響が大きい。

測定中の安定性:

標準器の測定値のばらつきを正規分布として、標準不確かさとする。

校正品に起因する不確かさの評価

測定中の安定性:

校正品の測定値のばらつきを正規分布として、標準不確かさとする。

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標準不確かさとすることが多い。

分解能:

校正品の最小桁を2で割り、矩形分布とみなして、標準不確かさとする。

校正品に起因する不確かさの評価

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標準不確かさとする。

周囲温度の影響:

校正品の周囲温度変動に伴う指示値の最大差を矩形分布とみなして、標準不確かさとする。特にセンサが熱電対の場合は影響が大きい。

直線性:

校正結果を算出するに当たり、校正品の直線性を矩形分布とみなして、標準不確かさとする。

測定系に起因する不確かさの評価

温度計校正装置の安定性:

比較校正にかかる時間以上での温槽のばらつきを、標準不確かさとする。

温度計校正装置の温度分布:

校正品の形状を考慮した深さ方向の温度勾配(垂直方向の温度分布)と標準器と、校正品の位置すなわち、均熱ブロック孔の位置による温度差(水平方向の温度分布)の最大値を矩形分布とみなして標準不確かさとする。

デジタル温度計の不確かさバジェット

0.1℃分解能のデジタル温度計を校正した場合

要 因	不確かさ	単位	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							
校正の不確かさ	0.020	℃	正規	2	1	0.010	∞
長期安定性	0.050	℃	矩形	1.732	1	0.029	∞
内挿特性式の不確かさ	0.010	℃	矩形	1.732	1	0.006	∞
自己加熱の影響	0.050	℃	矩形	1.732	1	0.029	∞
分解能	0.0005	℃	矩形	1.732	1	0.000	∞
周囲温度の影響	0.050	℃	矩形	1.732	1	0.029	∞
測定中の安定性	0.003	℃	正規	1	1	0.003	9
校正品に起因する不確かさ							
測定中の安定性	0.025	℃	正規	1	1	0.025	9
測定の再現性	0.100	℃	矩形	1.732	1	0.058	∞
分解能	0.050	℃	矩形	1.732	1	0.029	∞
熱流入	0.000	℃	矩形	1.732	1	0.000	∞
周囲温度の影響	0.100	℃	矩形	1.732	1	0.058	∞
直線性	0.005	℃	矩形	1.732	1	0.003	∞
測定系に起因する不確かさ							
温度計校正装置の安定性	0.050	℃	正規	1.732	1	0.029	29
温度計校正装置の温度分布	0.100	℃	矩形	1.732	1	0.058	∞
合成標準不確かさ 及び 有効自由度						0.122	3315
拡張不確かさ (信頼の水準約95 %, $k = 2$)						0.244	
校正証明書に記載する拡張不確かさ (信頼の水準約95 %, $k = 2$)						0.3	

恒温槽(保管庫・試験槽等)が 装備する指示計器付温度計の 不確かさ

恒温槽の試験の需要

JIS C 60068-3-5 環境試験方法－電気・電子－

第3-5部：温度試験槽の性能確認の指針

JIS C 60068-3-6 環境試験方法－電気・電子－

第3-6部：支援文書及び指針－温湿度試験槽の性能確認の指針

日本試験機工業会

JTM K 07 温度試験槽－性能試験方法及び性能表示方法

JTM K 08 温度試験槽における温度の不確かさの評価方法

JTM K 09 温湿度試験槽－性能試験方法及び性能表示方法

JTM K 10 温湿度試験槽における湿度の不確かさの評価方法

JTM K 11 温度試験槽及び温湿度試験槽の安全基準



JCSS校正ではない。

恒温槽(保管庫・試験槽等)が 装備する指示計器付温度計のJCSS校正

恒温槽自体は計量器としては認められない



恒温槽が装備する指示計器付温度計は
計量器として認められる。



**2016年1月より
JCSS校正が開始された。**

昨年度の発表から不確かさの要因が変わっている。

恒温槽(保管庫・試験槽等)が 装備する指示計器付温度計の校正方法

恒温槽が装備する指示計器付温度計の校正方法は、標準器の示す温度と指示計器付温度計の示す温度を交互に測定し、比較校正するものである。手順としては**デジタル温度計の比較校正**と同じである。

「標準器のセンサを恒温槽が装備する指示計器付温度計の測温部と接触又は近傍1点に設置する」か、または「恒温槽内の任意の1点に設置する」

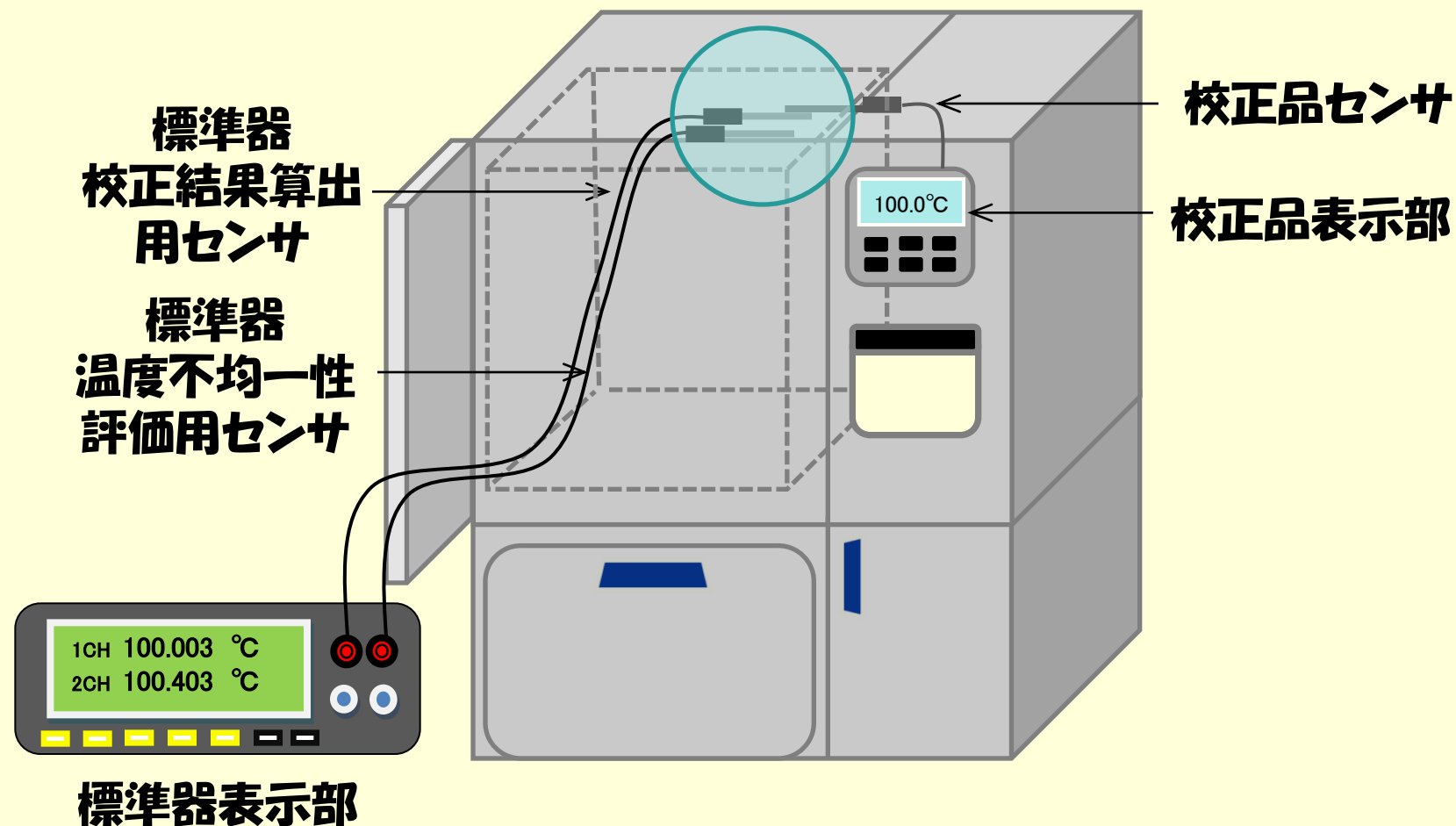
参考文献

独立行政法人 製品評価技術基盤機構 認定センター
JCSS技術的要求事項適用指針 補足ガイド

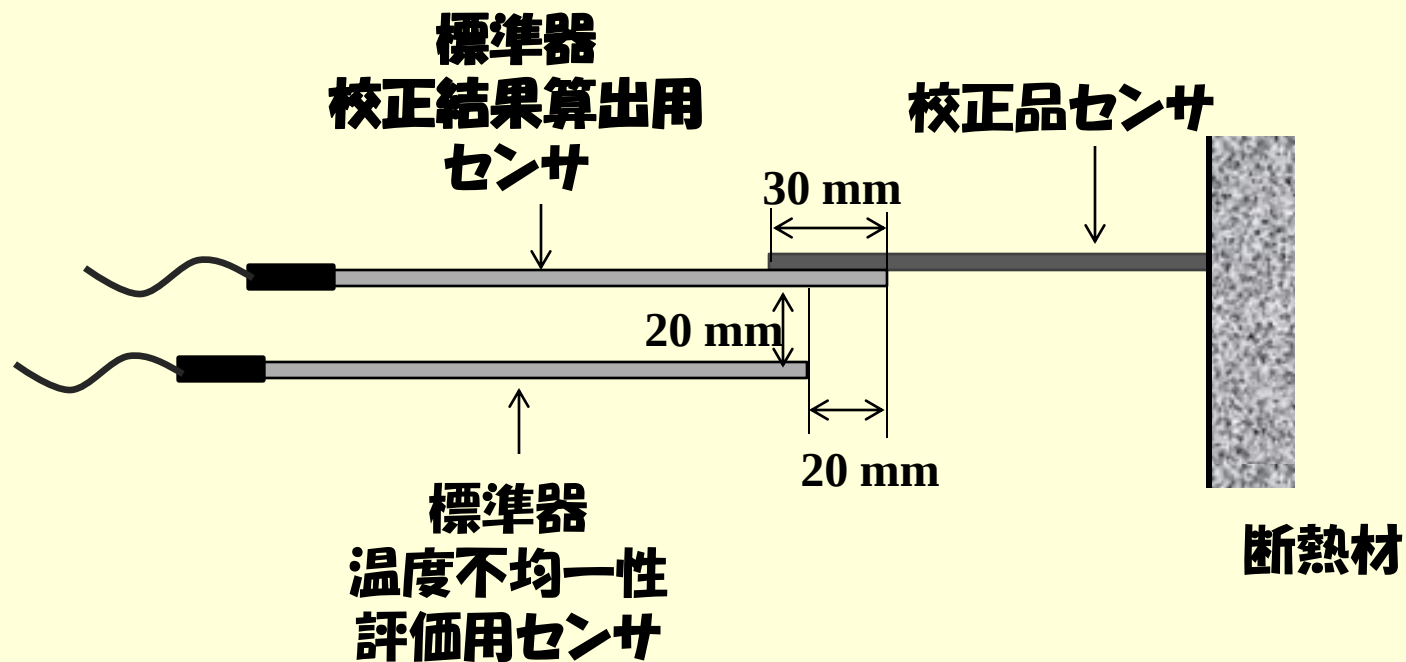
日本試験機工業会

JTM K 12 温度試験槽及び温湿度試験槽の特性評価と
校正に関するガイドライン

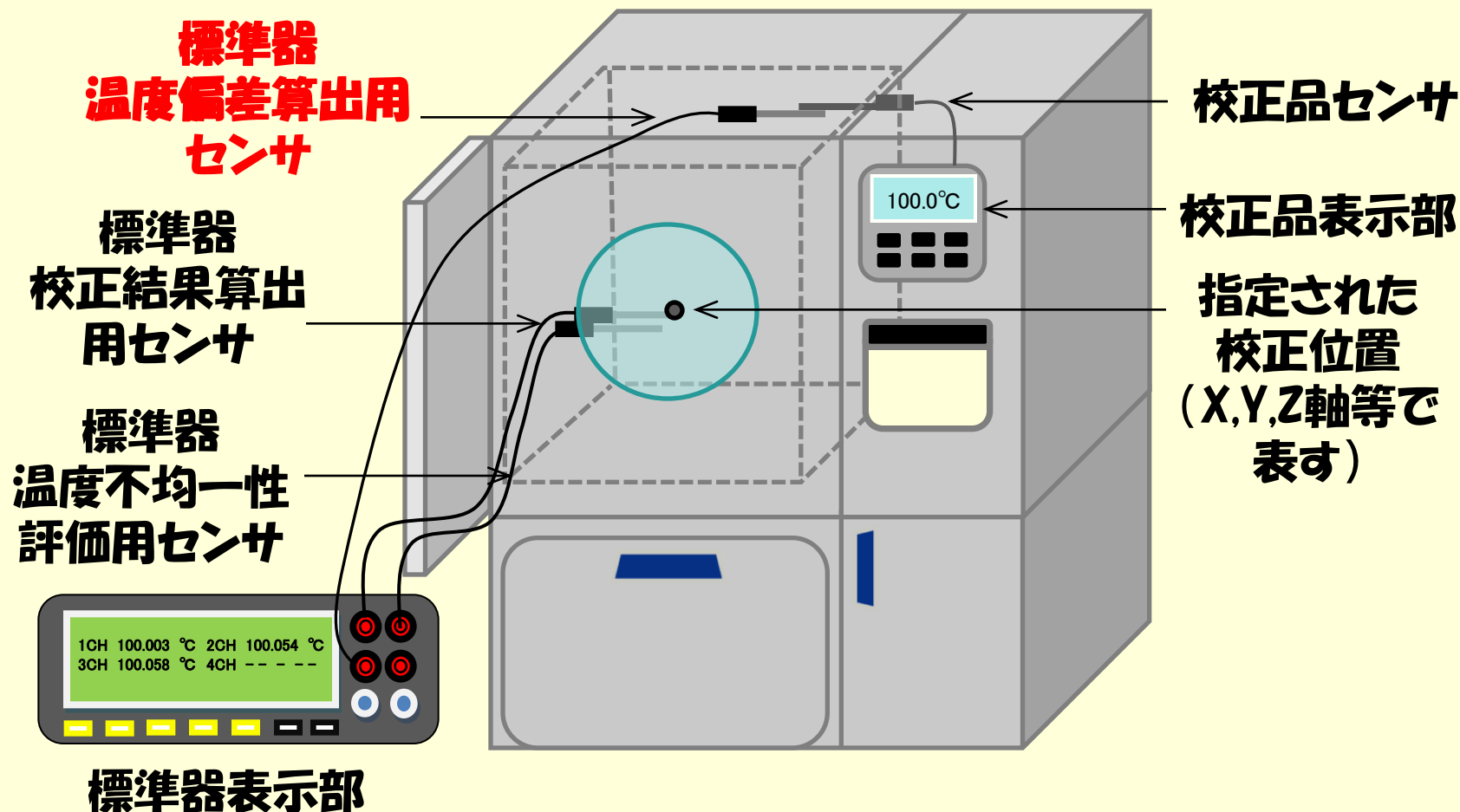
近傍1点の場合の校正設置図



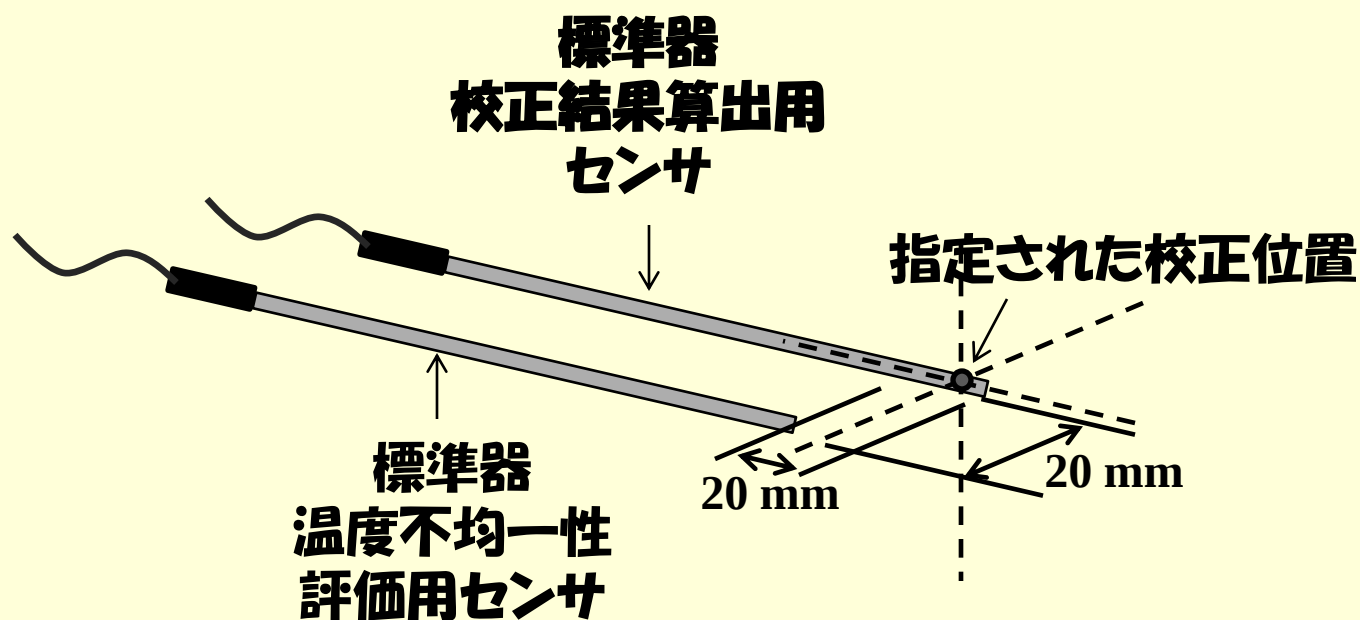
センサ位置 拡大図



任意の1点の場合の校正設置図



センサ位置(任意の1点) 拡大図



恒温槽(保管庫・試験槽等)が装備する 指示計器付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
 - 長期安定性
 - 内挿特性式の不確かさ
 - 自己加熱の影響
 - 分解能
 - 周囲温度の影響
 - 測定中の安定性
 - 測温部近傍の温度不均一性
- ・ **校正品に起因する不確かさ**
 - 測定中の安定性
 - 分解能
 - 温度入力周辺の温度変動
 - 標準器の設置位置による
温度偏差
 - 直線性

異なる不確かさの要因

測温部近傍の温度不均一性

標準器を槽内に設置する時に、その都度生じる測温部の位置のばらつきに起因する不確かさである。恒温槽の温度検出部に対して上下又は左右±数十 mmの範囲で測定した2箇所の測定値の差を矩形分布とみなして、標準不確かさとする。

温度入力周辺の温度変動

校正品の温度入力部周辺の温度変動に伴う指示値の最大差を矩形分布とみなして、標準不確かさとする。一般的にはメーカー仕様の温度係数から算出する。

評価及びメーカー仕様入手が困難な場合は、NITEのJCT21301S01技術的要求事項適用指針補足ガイド(指示計器付温度計(恒温槽装備))の参考値を使用しても良い。(例:恒温槽においてセンサが熱電対の場合は片幅1.0℃、測温抵抗体の場合は片幅0.5℃)

異なる不確かさの要因

標準器の設置位置による温度偏差

標準器を槽内の任意の点に設置する場合は、恒温槽が装備する指示計器付温度計の検出部付近と標準器の検出部との温度偏差の最大値を矩形分布とみなして、標準不確かさとする。したがって、標準器を恒温槽が装備する指示計器付温度計の測温部と接触又は近傍1点に設置する場合は、不確かさは不要である。

測定系(熱源等)に起因する不確かさは不要となる。

この不確かさが、
昨年発表した不確か
さ要因から追加
になっている。

恒温槽(保管庫・試験槽等)が装備する 指示計器付温度計の不確かさバジェット

0.1℃分解能の恒温槽が装備する指示計器付温度計を校正した場合

要 因	不確かさ	単位	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							
校正の不確かさ	0.020	℃	正規	2	1	0.010	∞
長期安定性	0.050	℃	矩形	1.732	1	0.029	∞
内挿特性式の不確かさ	0.010	℃	矩形	1.732	1	0.006	∞
自己加熱の影響	0.050	℃	矩形	1.732	1	0.029	∞
分解能	0.0005	℃	矩形	1.732	1	0.000	∞
周囲温度の影響	0.050	℃	矩形	1.732	1	0.029	∞
測定中の安定性	0.023	℃	正規	1	1	0.023	9
測温部近傍の温度不均一性	0.005	℃	矩形	1.732	1	0.003	∞
校正品に起因する不確かさ							
測定中の安定性	0.000	℃	正規	1	1	0.000	9
分解能	0.050	℃	矩形	1.732	1	0.029	∞
温度入力部周辺の温度変動	0.500	℃	矩形	1.732	1	0.289	∞
標準器の設置位置による温度偏差	0.202	℃	矩形	1.732	1	0.117	∞
直線性	0.050	℃	矩形	1.732	1	0.029	∞
合成標準不確かさ 及び 有効自由度						0.319	333149
拡張不確かさ (信頼の水準約95 %, $k = 2$)						0.638	
校正証明書に記載する拡張不確かさ(信頼の水準約95 %, $k = 2$)						0.7	

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
湿度, 長さ, 質量, 圧力, トルク等

ホームページ: <http://www.jemic.go.jp/>

JEMIC

検索