2021 OEGセミナー

実例から解説する校正と不確かさ

～校正証明書に記載されている校正の不確かさとは～

2021年9月10日

沖エンジニアリング株式会社
計測事業部　計測センタ
岩谷　純也

© Copyright 2021 Oki Engineering Co., Ltd.

目次

1．校正について
1.1　トレーサビリティとは
1.2　ISO/IEC17025校正と一般校正

2．不確かさについて
2.1　不確かさの歴史
2.2　不確かさの定義
2.3　不確かさの要因例
2.4　不確かさの評価例
2.5　合成標準不確かさと拡張標準不確かさ
2.6　不確かさ活用例(管理基準)

3．不確かさを小さくするために(高周波電力)
3.1　高周波電力測定装置の不確かさの要因例
3.2　取り換え比較法
3.3　取り換え同時比較法

４．まとめ

© Copyright 2021 Oki Engineering Co., Ltd.

1. 校正について

【校正】とは
基準とする計量器と比較して（被校正対象である）計量器の指示値がどの程度ずれているか確認することであり、その信頼性を表す尺度として不確かさが明示されます。（注1）

校正対象品

電気系の例

- ﾃﾞｼﾞﾀﾙﾏﾙﾁﾒｰﾀｰ
- ﾃﾞｼﾞﾀﾙﾊﾟﾜｰﾒｰﾀｰ
- ｸﾗﾝﾌﾟ電流計
- 標準電圧電流発生器
- 漏洩電流計

他

温度系の例

- 温湿度計
- 表面温度計
- 放射温度計
- ｻｰﾓｸﾞﾗﾌｨ
- 恒温恒湿槽

他

機械系の例

- ﾄﾙｸﾄﾞﾗｲﾊﾞ、ﾄﾙｸﾚﾝﾁ
- ﾄﾙｸﾒｰﾀｰ
- ﾌﾟｯｼｭﾌﾟﾙｽｹｰﾙ
- 電子天秤
- 圧力計

他

※注1 引用元：経済産業省.「計量標準FAQ（全般）」.
https://www.meti.go.jp/policy/economy/hyojun/techno_infra/keiryouFAQ-Z.html(参照2021-07-05)

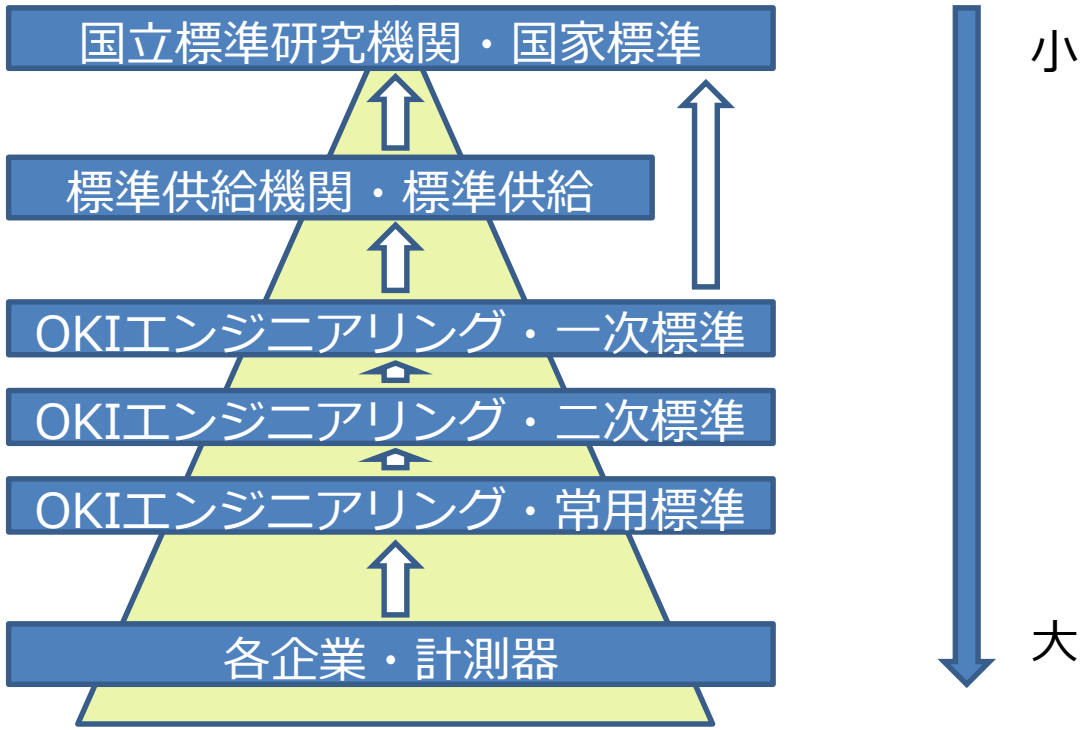
© Copyright 2021 Oki Engineering Co., Ltd.

1.1　トレーサビリティとは

【トレーサビリティ】とは（JIS Z 8103：2019 計測用語より）

個々の校正が測定不確かさに寄与する、切れ目なく連鎖した、文書化された校正を通して、測定結果を参照基準に関係付けることができる測定結果の性質

計量法トレーサビリティ概念図



© Copyright 2021 Oki Engineering Co., Ltd.

1.2　ISO/IEC17025校正と一般校正

ISO/IEC 17025校正

- 計量のトレーサビリティが国家・国際計量標準からつながっていること
  および技術的に的確であり、能力があることを第三者が認めている

一般校正

- 計量のトレーサビリティがとれているか、技術的能力も確認されているとは限らないため、
  依頼する側と校正を提供する側とが一対一の信頼関係により自らが証明する必要がある

	ISO/IEC 17025校正	一般校正
校正証明書に付した認定マーク (国家認定機関のマーク)	あり	なし
技術的能力の証明	認定機関より証明	認定機関で確認されているとは限らないため依頼者による監査が必要
校正の不確かさ表記	必要あり	必要なし

© Copyright 2021 Oki Engineering Co., Ltd.

2. 不確かさについて

(5) 直流抵抗

レンジ	設定値	校正値	校正の不確かさ（信頼の水準約95%、包含係数 k=2）
10 Ω	10 Ω	10.00110 Ω	0.24 mΩ
100 Ω	100 Ω	100.0098 Ω	2.0 mΩ
1 kΩ	1 kΩ	1.000055 kΩ	13 mΩ
10 kΩ	10 kΩ	10.00011 kΩ	0.13 Ω
100 kΩ	100 kΩ	100.0003 kΩ	1.6 Ω
1 MΩ	1 MΩ	0.999978 MΩ	21 Ω
10 MΩ	10 MΩ	9.9988 MΩ	0.9 kΩ
100 MΩ	100 MΩ	99.996 MΩ	60 kΩ

© Copyright 2021 Oki Engineering Co., Ltd.

2.1　不確かさの歴史

【真の値】とは

ある特定の量の定義に合致する値

注記１　　これは完全な測定によって求められると考えられる値である

注記２　　真の値は、本来確定のできないものである（注2）

- かつては…
  - 測定結果の信頼性を表現するための国際的な合意がない
  - 国際度量衡委員会(CIPM)は国際度量衡局(BIPM)に対し勧告を作るよう要請

1993年
Guide to the expression of Uncertainty in Measurement (GUM)発行
【測定における不確かさの表現のガイド】

※注2 引用元：今井 秀孝 『測定における不確かさの表現のガイド[GUM]ハンドブック』. 一般財団法人 日本規格協会, 2020, 245p

© Copyright 2021 Oki Engineering Co., Ltd.

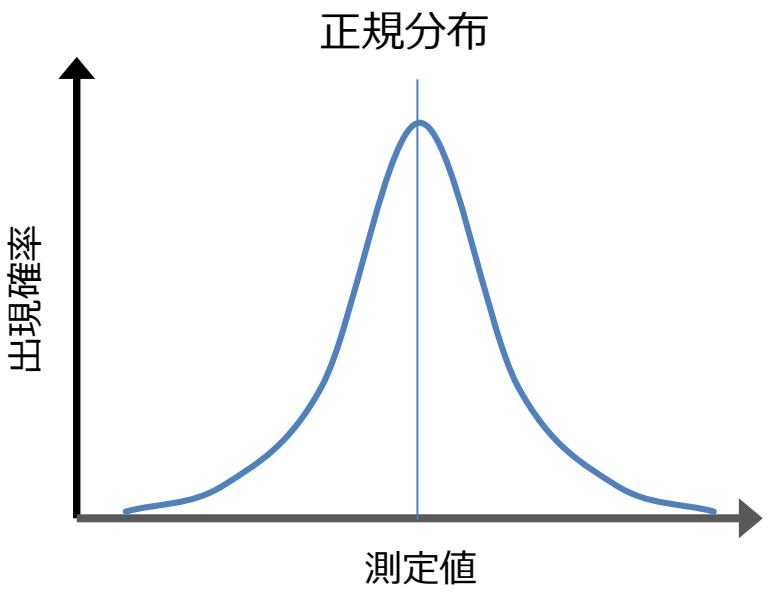
2.2　不確かさの定義

【不確かさ】とは

測定の結果に付随した、合理的に測定対象量に結び付けられ得る値のばらつきを特徴付けるパラメータ（注3）

測定結果には「ばらつき」が存在している

不確かさで表現



※注3 引用元：今井 秀孝 『測定における不確かさの表現のガイド[GUM]ハンドブック』. 一般財団法人 日本規格協会, 2020, 245p

© Copyright 2021 Oki Engineering Co., Ltd.

2.3　不確かさの要因例

直流抵抗器の不確かさ要因例の一部

	不確かさの要因
u_1	繰返し測定による測定のばらつき
u_2	標準器校正の不確かさ
u_3	標準器の経年変化
u_4	標準器の温度影響
u_5	標準器の直線性
u_6	標準器のオフセット電圧
u_7	標準器の湿度影響
u_8	標準器の電源電圧変動影響
u_9	標準器の表示分解能
⋮	

- 測定を繰り返すことによって求める
- 校正証明書や仕様書などから求める

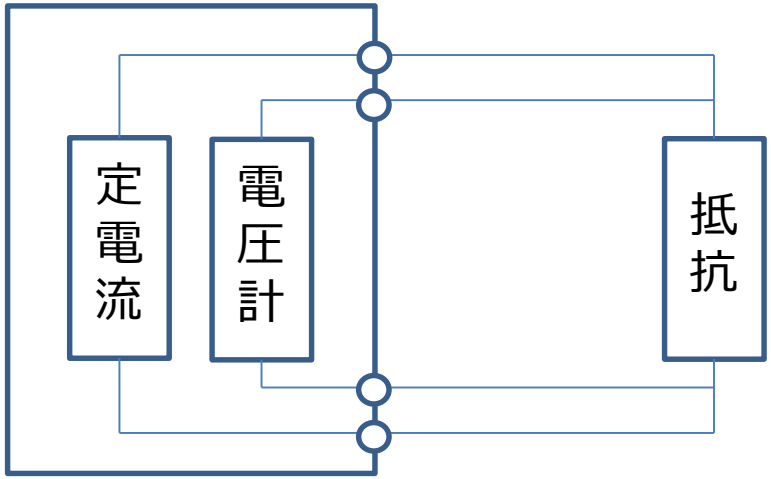
© Copyright 2021 Oki Engineering Co., Ltd.

2.4　不確かさの評価例

条件

- 公称値 1kΩの抵抗
- デジタルマルチメーターを使用
- 4端子測定（右図）
- 測定回数：5回

デジタルマルチメーター(4端子測定法)



4端子抵抗測定結果

公称値	測定値①	測定値②	測定値③	測定値④	測定値⑤
1kΩ	0.999941kΩ	0.999940kΩ	0.999939kΩ	0.999941kΩ	0.999939kΩ

同じ条件で繰返し測定しても同じ測定値を得られるとは限らない

© Copyright 2021 Oki Engineering Co., Ltd.

2.4　不確かさの評価例

公称値	測定値①	測定値②	測定値③	測定値④	測定値⑤
1kΩ	0.999941	0.999940	0.999939	0.999941	0.999939

- 実験標準偏差　$s = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}$

$= 0.000001$

- 標準不確かさ　$u = \frac{s}{\sqrt{n}}$

$= 0.00000045$

ただし、

s：実験標準偏差
n：測定回数
x：測定値
$\bar{x}$：測定値の平均値
u：標準不確かさ

© Copyright 2021 Oki Engineering Co., Ltd.

2.4　不確かさの評価例

	不確かさの要因	値	分布	除数	標準不確かさ	感度係数	標準不確かさ (測定量の単位)	自由度
u_1	繰返し測定による測定のばらつき	0.000001kΩ	---	$\sqrt{5}$	0.00000045kΩ	1	0.00000045kΩ	4
u_2	標準器校正の不確かさ	0.000035kΩ	正規	2	0.0000175kΩ	1	0.0000175kΩ	∞
u_3	標準器の経年変化	0.000075kΩ	矩形	$\sqrt{3}$	0.0000433kΩ	1	0.0000433kΩ	∞
u_4	標準器の表示分解能	0.0000005kΩ	矩形	$\sqrt{3}$	0.0000003kΩ	1	0.0000003kΩ	∞
u_c	合成標準不確かさ						0.0000467kΩ	
U	拡張不確かさ						0.000093kΩ	

拡張不確かさ $U = k \times u_c$

k：包含係数

校正の不確かさ
（信頼の水準約95%、
包含係数　$k = 2$）

校正値

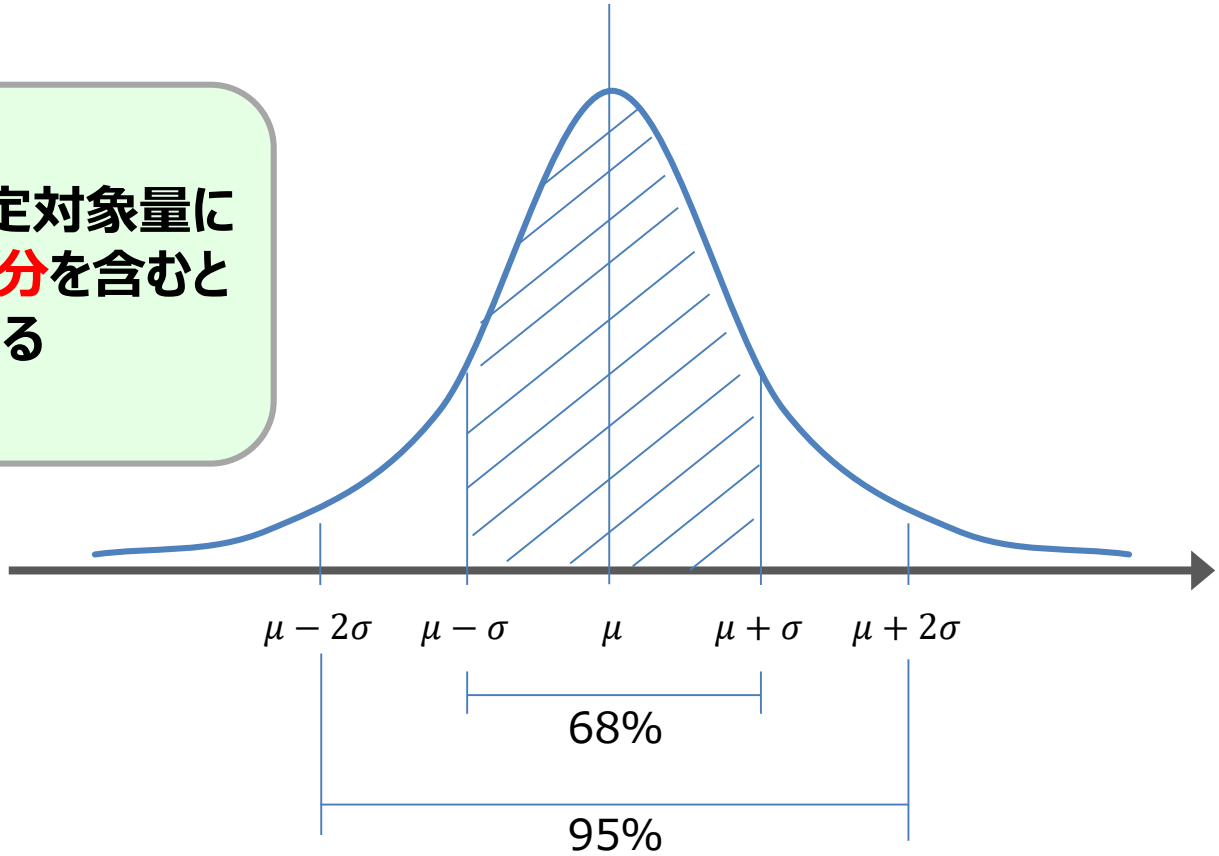
測定結果　0.999940kΩ　±　0.000093kΩ

© Copyright 2021 Oki Engineering Co., Ltd.

2.5　合成標準不確かさと拡張標準不確かさ

- 合成標準不確かさは標準偏差で表されている
  - 測定結果は合成標準不確かさu_cの範囲に約68%の確率で存在する
  - 合成標準不確かさを２倍することで約95%の確率で存在することになる

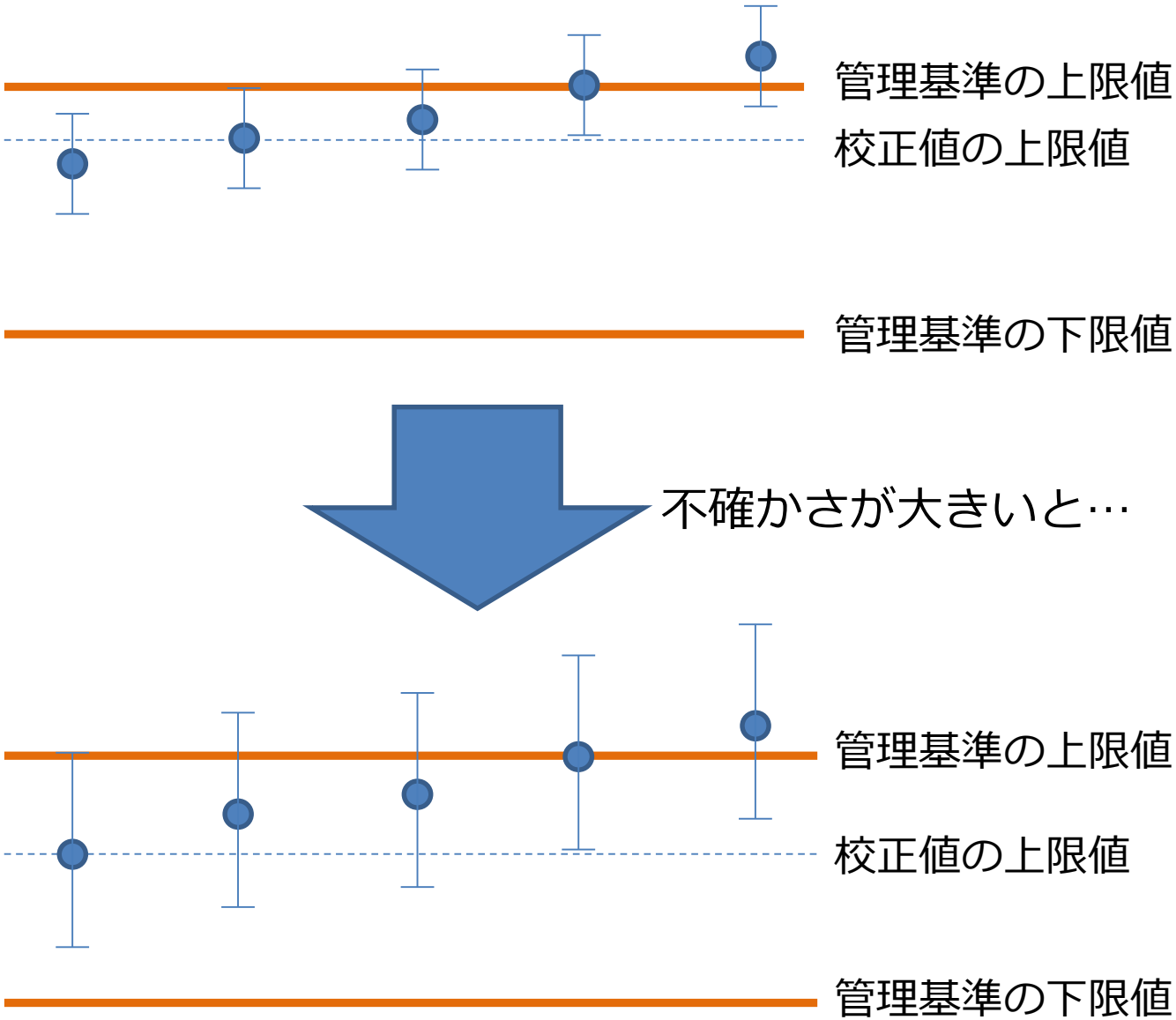
【拡張不確かさ】
測定の結果について、合理的に測定対象量に結び付けられ得る値の分布の大部分を含むと期待する区間を定める量とされている（注4）



※注4 引用元：今井 秀孝 『測定における不確かさの表現のガイド[GUM]ハンドブック』. 一般財団法人 日本規格協会, 2020, 245p

© Copyright 2021 Oki Engineering Co., Ltd.

2.6　不確かさ活用例(管理基準)

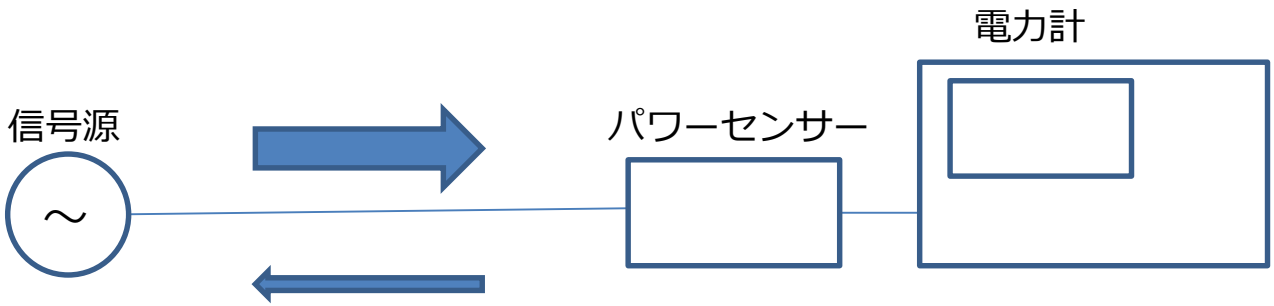


© Copyright 2021 Oki Engineering Co., Ltd.

3. 不確かさを小さくするために(高周波電力)

高周波電力のパワー測定

- 反射の影響を考慮しなければいけない



$$P_{in} = \frac{P_g}{|1 - \Gamma_g \Gamma_X|^2}$$

ただし、

P_{in} ：入射電力
P_g ：出力電力
Γ_g ：信号源の反射係数
Γ_X ：センサの反射係数

$$K = \frac{P_m}{P_{in}}$$

ただし、

K ：校正係数
P_m ：電力計指示値

© Copyright 2021 Oki Engineering Co., Ltd.

3.1　高周波電力測定装置の不確かさの要因例

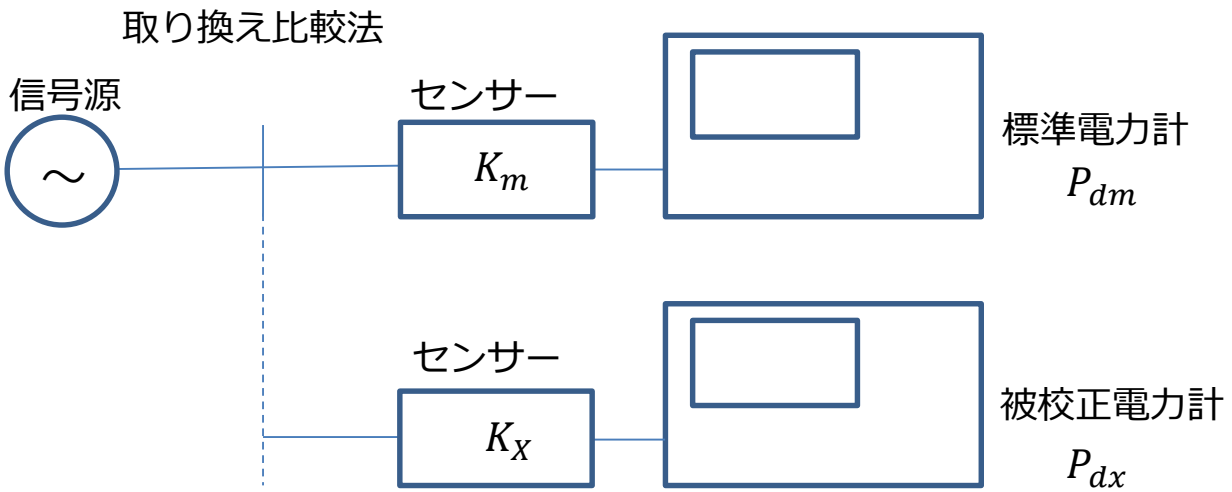
■ 高周波電力測定装置の不確かさ要因例の一部

	不確かさの要因
u_1	繰返し測定による測定のばらつき
u_2	標準器校正の不確かさ
u_3	標準器の経年変化
u_4	標準器の温度影響
u_5	標準器の直線性
u_6	標準器の湿度影響
u_7	標準器の表示分解能
u_8	被測定器の表示分解能
u_9	反射に関する不確かさ
▪	
▪	
▪	

- 影響大
- 小さくするために…

© Copyright 2021 Oki Engineering Co., Ltd.

3.2　取り換え比較法



ただし、

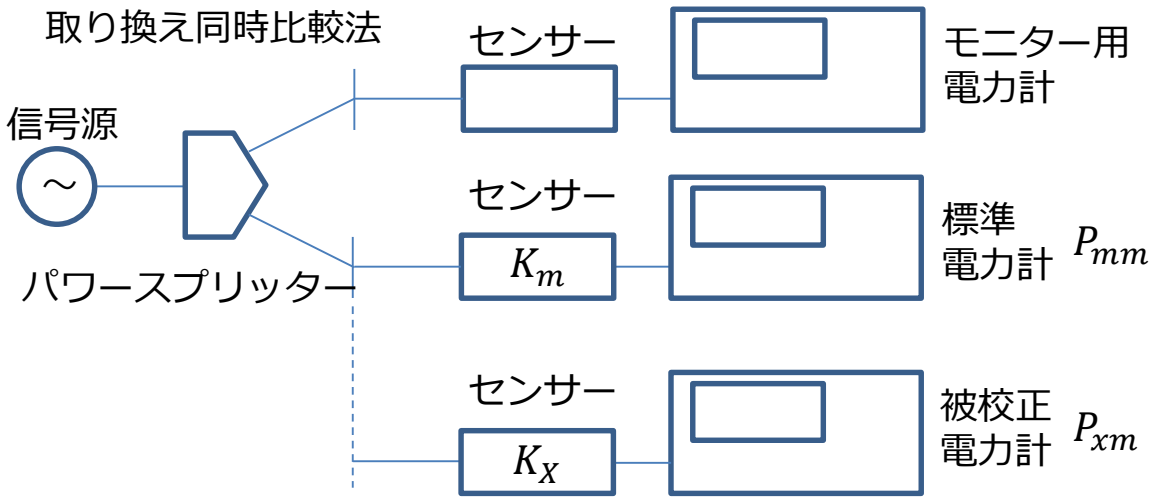
K_X　：被校正器の校正係数
K_m　：標準器の校正係数
P_{dx}　：被校正器の表示値
P_{dm}：標準器の表示値
Γ_X　：被校正側センサーの反射係数
Γ_m　：校正側センサーの反射係数
Γ_g　：信号源の反射係数

- 校正モデル式

$$K_X = K_m \cdot \frac{P_{dx}}{P_{dm}} \cdot \frac{|1-\Gamma_g\Gamma_X|^2}{|1-\Gamma_g\Gamma_m|^2}$$

© Copyright 2021 Oki Engineering Co., Ltd.

3.3　取り換え同時比較法



ただし、

K_X　：被校正器の校正係数
K_m　：標準器の校正係数
P_{xm}　：被校正器の表示値
P_{mm}：標準器の表示値
Γ_X　：被校正側センサーの反射係数
Γ_m　：校正側センサーの反射係数
Γ_{gE}　：等価信号源反射係数

※P_{xm}とP_{mm}はモニター用電力計の表示値を同じにした時の値

- 校正モデル式

$$K_X = K_m \cdot \frac{P_{xm}}{P_{mm}} \cdot \frac{|1-\Gamma_{gE}\Gamma_X|^2}{|1-\Gamma_{gE}\Gamma_m|^2}$$

OKIエンジニアリングでは不確かさをより小さくするために取り換え同時比較法にて校正を行っております

© Copyright 2021 Oki Engineering Co., Ltd.

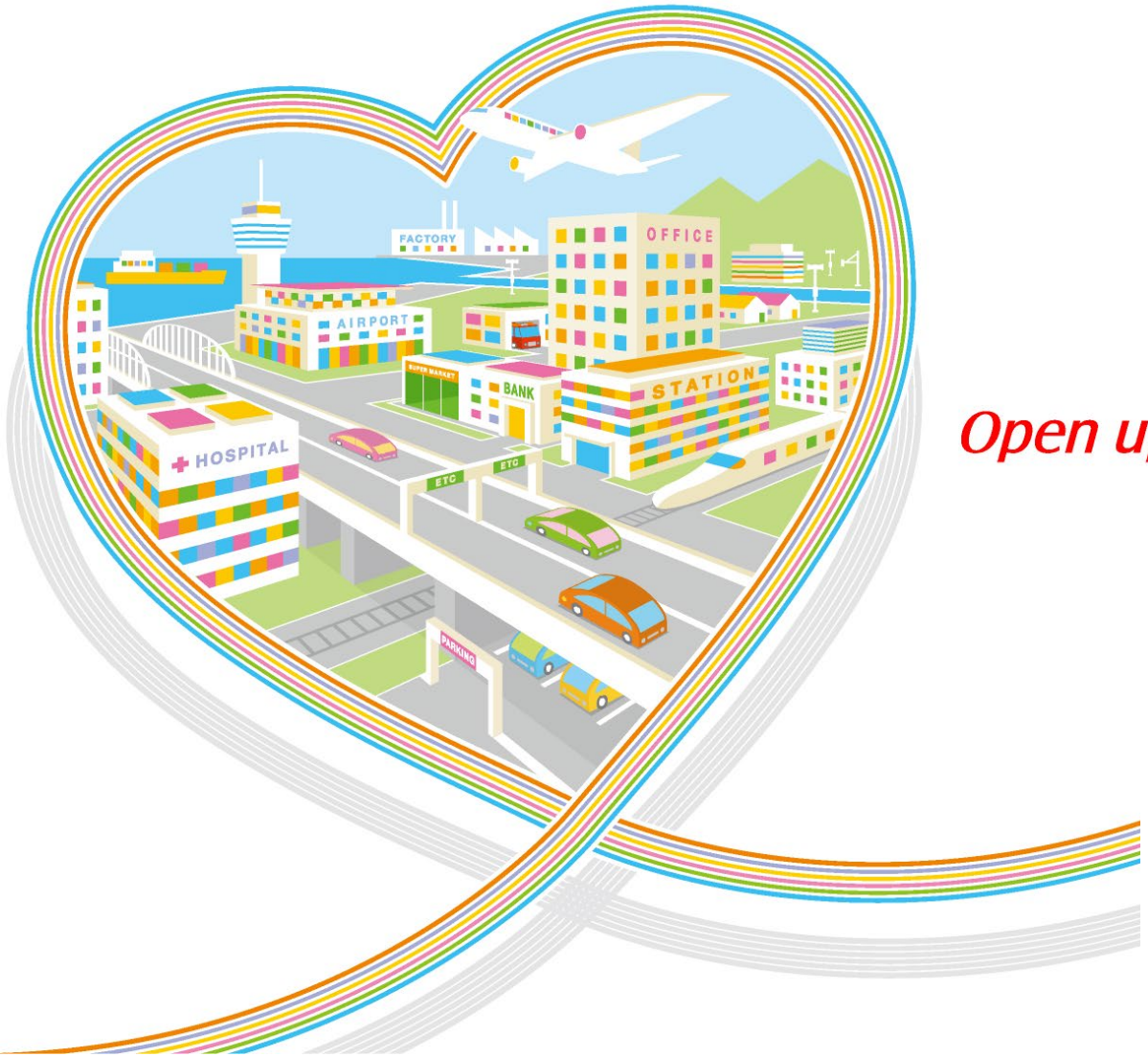
4．まとめ

- 校正のトレーサビリティを証明するためには校正証明書に不確かさの表記が必須
- 不確かさを評価するためには不確かさの要因に関する知識が必要

OKIエンジニアリングでは、1995年にJCSS認定事業者に登録され、2018年にはA2LAも認定されており、幅広い知識と経験に基づいた校正を行っております。
今後も認定範囲を拡大し、お客様のご要望にお応えできるよう取り組んでまいります。
お気軽にお問い合わせください。

© Copyright 2021 Oki Engineering Co., Ltd.

ご清聴いただき、ありがとうございました



Open up your dreams

沖エンジニアリング株式会社
□ 計測事業部
□ 担当　　：岩谷　純也
□ TEL　　：0495-22-7112
□ E-mail ：oeg-keisoku-div@oki.com
□ URL　　：https://www.oeg.co.jp/

© Copyright 2021 Oki Engineering Co., Ltd.