

# 不確かさとは —概要と考え方—

産業技術総合研究所 計量標準総合センター  
田中 秀幸

# 測定の信頼性確保

あなたの測定結果は正確ですか？

ちゃんとした測定器を用いて、正しい手順で測定したので、正確です。

その測定された値は本当に正しい値なのですか？

誰が正確だとチェックしているのですか？

あらゆる量(時間, 質量, 長さ...)は国家標準研究所によって設定されている。その国家標準研究所の値と比較することによって、信頼性が確保される。

トレーサビリティ制度

第三者機関が正確に測定を行っているかどうかの審査をして、合格したところが認定を受けている。

試験所認定制度

# 試験所認定制度

校正・試験を行う事業所が、正しく組織を運営し、妥当な校正・試験を行っているかを、事業所からの申請に基づき、基準に適合しているかどうかを審査し、認定を与える制度。

日本で広まっている試験所認定制度

(独)製品評価技術基盤機構が運営

・JCSS(計量法に基づく校正事業者登録制度)

・JNLA(新JIS法に基づく試験事業者登録制度)等

(公財)日本適合性認定協会が運営する制度

安心、安全な社会を目指すうえで、あらゆる分野で試験所認定制度は急速に広まっている！

これらの審査はISO/IEC 17025 (JIS Q 17025) 試験所及び校正機関の能力に関する一般要求事項 に対して適合しているかどうかによって行われる。

# ISO/IEC 17025 (JIS Q 17025)

ISO/IEC17025は世界中で用いられている、試験所認定制度のための規格。本規格に適合していると認定を受けた試験所、校正機関が作成した試験報告書・校正証明書は全世界で通用する。

ISO/IEC 17025とは？

試験所・校正機関向けの品質システム規格

…組織をちゃんと運営するための指針

苦情処理をどうするか、機密保持をどうするか、文書管理、…

その中に、どのように試験・校正を行うのか、ということも規定。

用いる方法の妥当性確認、サンプリング、結果の報告、**トレーサビリティの確保**、…

**トレーサビリティを確保しなければ、試験所認定を取得できない！**

# トレーサビリティ

質量では

標準供給 プランク定数 **トレーサビリティ**



↓ ↑ 比較(校正)  
シリコン球

↓ ↑ 比較(校正)  
特定標準器: 標準分銅群

↓ ↑ 比較(校正)  
社内標準等の分銅(標準器)

↓ ↑ 比較(校正)  
普段測定で用いているはかり(測定器)

**計量法第百三十四条**  
経済産業大臣は、計量器の標準となる特定の物象の状態の量を現示する計量器又はこれを現示する標準物質を製造するための器具、機械若しくは装置を指定するものとする。

どれくらいうまく比較できているのか？

# トレーサビリティ

トレーサビリティとは

個々の校正が**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連付けることができる測定結果の性質。

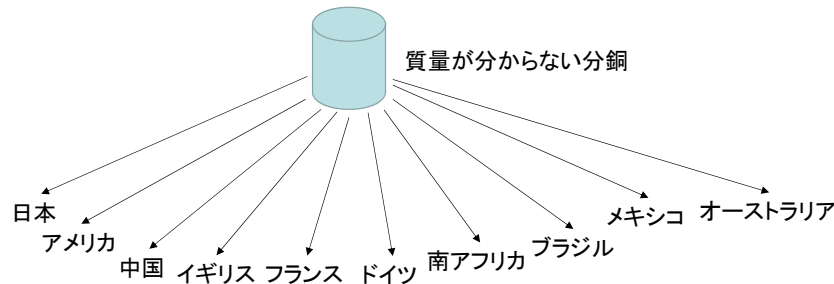


トレーサビリティを確保するためには**不確かさ**が必要！

# 国際比較

なぜ、特定標準器(国家標準)の値は正しいのでしょうか？

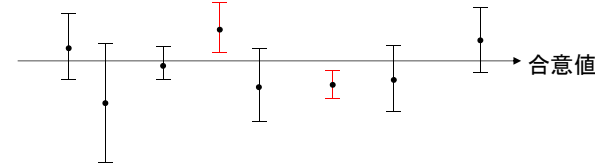
国際比較を行うことによって正しさを担保！



各国で分銅の質量を測定し、その結果を持ち寄って、値が一致していれば各国で正しい値を供給できている！

疑問: でもちょっとくらい値は異なってしまうのでは？  
そうになったら駄目なのか？

# 国際比較



比較結果: 赤で示したものは同等とみなせない

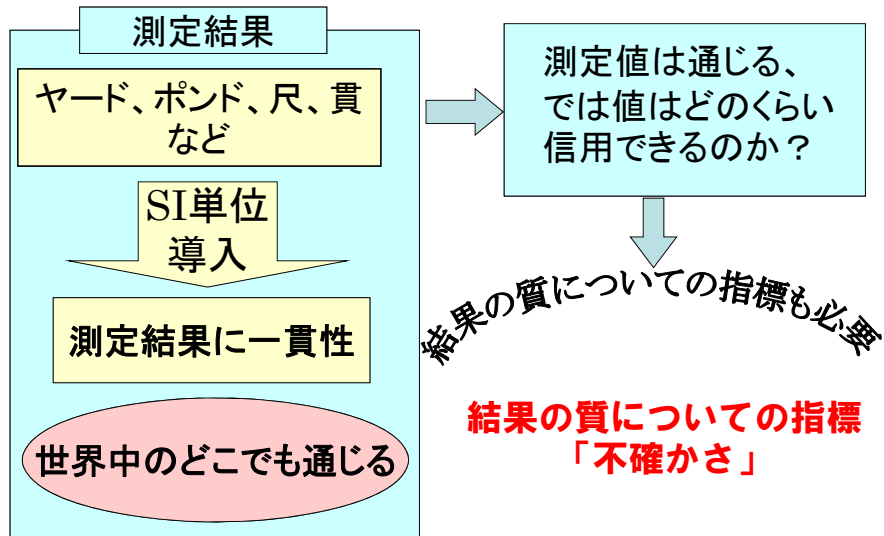
エラーバーの範囲内で一致していればOK！

ではこのエラーバーの大きさって一体何？



このエラーバーは「誤差」ではなく、「不確かさ」を表している。

## なぜ今、不確かさを評価なのか？



## GUMについて

- GUM・・・Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (ISO/IEC Guide98-3, JCGM100)
- 不確かさとはなにか、不確かさの評価法等が規定されている文書。不確かさ評価はこの文書に則って行う。
- 日本語版:「測定における不確かさの表現のガイド [GUM]ハンドブック」として日本規格協会より単行本が発行

## VIMについて

- VIM・・・International vocabulary of metrology -- Basic and general concepts and associated terms (ISO/IEC Guide99, JCGM200)

日本語版: JIS Z8103:2019 「計測用語」に VIM記載のほとんどの用語が取り入れられている。

## 不確かさとは (Z8103)

不確かさ・・・測定値に付随する、合理的に測定対象量に結び付けられ得る値の広がりの特徴付けるパラメータ。



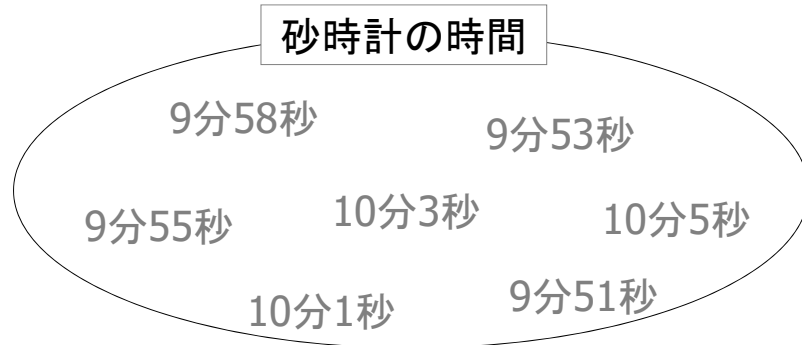
簡単に言うと

不確かさ・・・広がり特徴づけるパラメータ

不確かさは、**測定の広がり?**を表す。

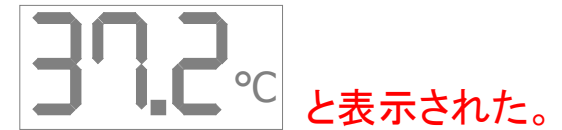
## 広がりとは

同じ測定を繰り返した場合であっても、必ずしも同じ測定結果が得られ続けるとは限らない・・・ばらつき！



## 広がりとは

体温計で体温を測ったら、



体温が37.15 °Cから37.25 °Cの間にあることを示すよって、「体温は、37.15 °C~37.25 °Cのどこに値があるか分からない」ということである。

前スライドで解説した「ばらつき」と、この知識の限界による測定値の曖昧さを合わせて「広がり」と呼んでいる。  
(以降誤解を生まない範囲で、「広がり」の意味で「ばらつき」を使うこともある。)

## 余談

ばらつき？広がり？

- ・GUMハンドブック・・・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。
- ・JIS Z8103:2019・・・測定値に付随する、合理的に測定対象量に結び付けられ得る値の**広がり**を特徴付けるパラメータ。

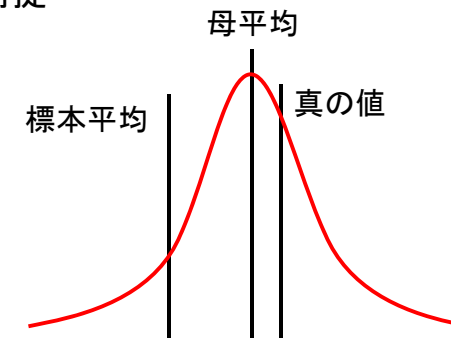
JIS Z8103では従来から「ばらつき」という用語が規定されていた。「(測定の)ばらつき」・・・測定値がそろっていないこと、またふぞろいの程度。

上記の「ばらつき」の意味には、知識の曖昧さは含まれていない！  
(VIMには「ばらつき」が定義されていない！)  
よって、新しく知識の曖昧さも含む意味を込め「広がり」とした。

## 誤差と不確かさの違い(1)

誤差・・・真の値は分かるんだ、という前提  
一般的な誤差の定義・・・測定値－真の値

不確かさ・・・私たちが知ることができる知識には限界がある、という前提



## 誤差と不確かさの違い(2)

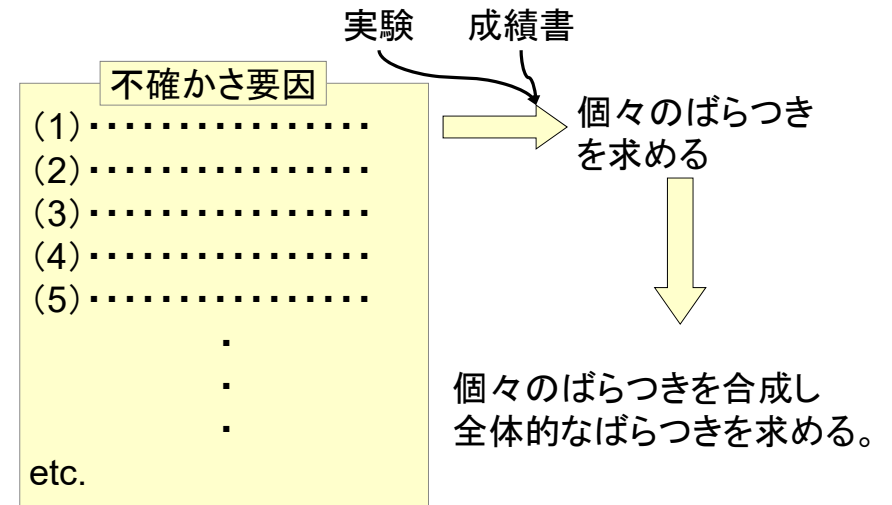
私たちが知ることができる値は真の値ではなく、真の値に最も近いであろうと思われる値の推定値である。

さらにその推定した値の周りで広がりを持つ。

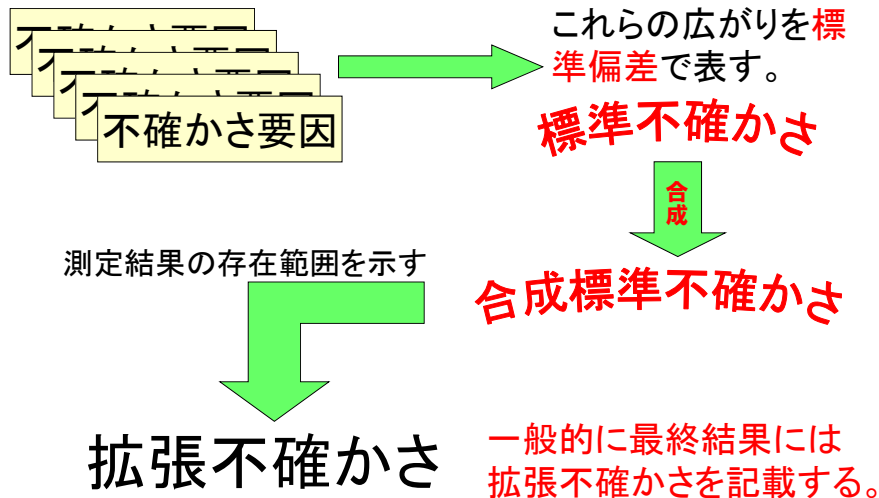
広がり要因は？ 広がり大きさは？

個々の広がり大きさを調べ、その広がりが全部合わさった時の広がりを求める。

## 不確かさ評価の流れ



## 不確かさの用語



## 不確かさ評価の分類

不確かさ評価とは...個々の要因によって起こるばらつきを求め、それを合成することで全体のばらつきを求める。

タイプAの評価...実験からデータを得てばらつきを求める。  
タイプBの評価...実験以外の方法でばらつきを推定する。

不確かさ評価では、ばらつきを「標準偏差」で表わす。標準偏差とは...正確な言い方ではないが、「ばらつきの平均値」を表わしている。

注意:タイプA, タイプBはあくまでも実験データからばらつきを求めるか否かということを表す。ある要因がタイプAかタイプBか重要ではない。

# 分散・標準偏差について

例: ある製品の質量測定(g)

$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$
87.5	86.2	90.1	88.4	87.0

平均:  $\bar{x} = \frac{87.5+86.2+90.1+88.4+87.0}{5} = 87.84 \text{ g}$

平均値からの距離  
(残差) 単位: g

- 87.5-87.84=-0.34 (平均値からの距離)<sup>2</sup>
- 86.2-87.84=-1.64
- 90.1-87.84=2.26
- 88.4-87.84=0.56
- 87.0-87.84=-0.84

単位: g<sup>2</sup>

残差の二乗和  
単位: g<sup>2</sup>

8.9320

データの個数-1  
(自由度)で割る  
単位: g<sup>2</sup>

標準偏差

平方根  
単位: g

1.494

分散

2.233

# タイプBの不確かさ評価

なぜタイプBの不確かさ評価が必要なのか

- 標準器の校正の不確かさ...使っている標準の不確かさ評価まで行わなくてはならない?
- 再現することが難しい不確かさ要因...実験室の温度が変化することによって測定結果が変動するならば、1年間実験室の温度を測りつづけなければいけない?
- そもそも測定できない不確かさ...使っている温度計は±0.5℃でしか温度が分からないのだけど、その測れなかった±0.5℃の間の曖昧さの評価は?



確率分布を仮定して標準偏差を推定する

確率分布を仮定するには合理的な判断材料が必要。

- 実際に実験を行わないので、
- ・コストの節約
  - ・時間の節約
  - ・人手の節約
- に大きく貢献する。

# 確率分布の例

矩形分布(一様分布)	三角分布	U字分布	正規分布
最もよく使われる分布 限界値のときなどに適用。	よく使われる分布。 中心が多く、端に いくほど少なくなる 分布に適用。	周期的に変化する 要因に対して適用。 「温度」「高周波の インピーダンスマッ チング」	校正証明書などで 不確かさが分かっ ている時に適用。
$\frac{a}{\sqrt{3}}$	$\frac{a}{\sqrt{6}}$	$\frac{a}{\sqrt{2}}$	$\frac{U}{k}$

# 不確かさ要因の単位

不確かさの要因には、実際に行っている測定と同じ単位で表されるものと、異なる単位で表されているものがある。

例: 金属棒の長さ測定

同じ単位で評価された要因

測定の繰返しによる不確かさ  
マイクロメータの校正の  
不確かさ  
単位: mm

異なる単位で評価された要因

温度変化による不確かさ  
単位: °C

異なる単位で表されているものはその出力量の単位  
に変換しなければならない! **これが感度係数!**

温度による金属棒の長さの不確かさ(mm)  
= 熱膨張係数(°C<sup>-1</sup>) × 金属棒の長さ(mm) × 温度の不確かさ(°C)

# 不確かさの合成法

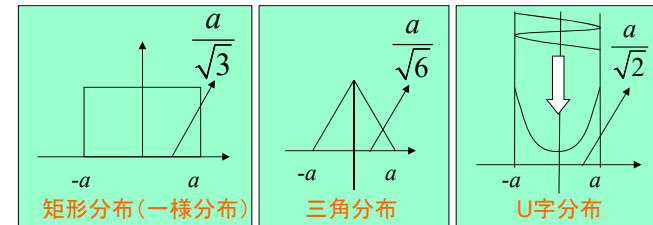
感度係数によって、各不確かさの単位はすべて出力量の単位に変換されている。

単位がそろえられた不確かさを合成するときには二乗和の平方根を用いる。この合成された不確かさのことを合成標準不確かさと呼び、 $u_c(y)$ で表す。

$$u_c(y) = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + \dots}$$

# 測定結果の存在範囲

合成標準不確かさは、報告される測定結果(出力量の値)がどの程度の広がりを持っているかを標準偏差で表したものである。

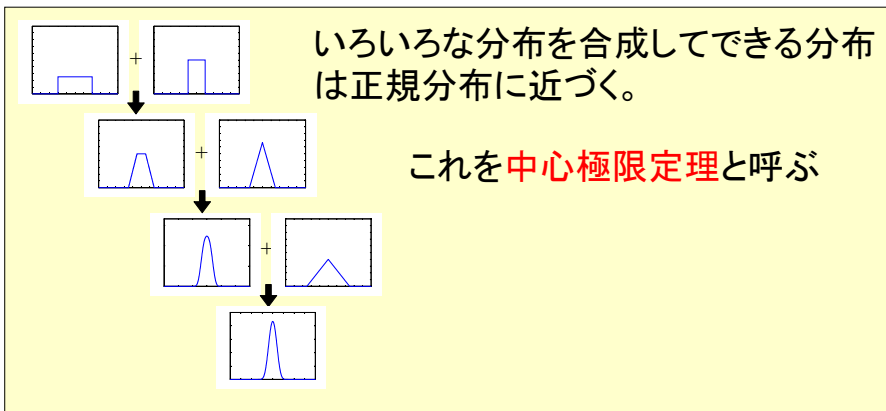


上記3つの確率分布の値の存在範囲は、すべて $\mu \pm a$ であるが、標準偏差はすべて異なる。

つまり、標準偏差から値の存在範囲を知るためには、確率分布の形を知ることが必要！

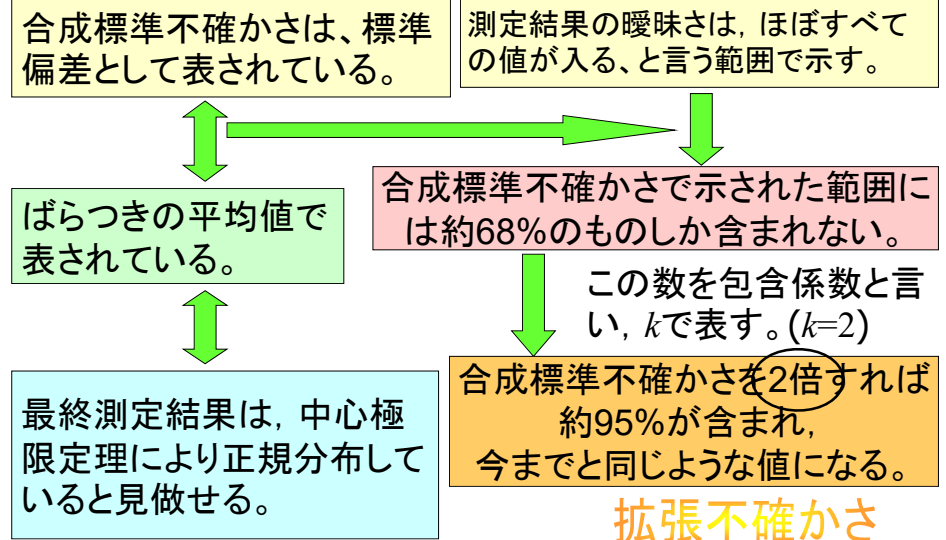
しかし、出力量の分布は、各入力量の分布が足し合わされたものになるため、測定それぞれによって分布の形は異なるのでは？

# 中心極限定理

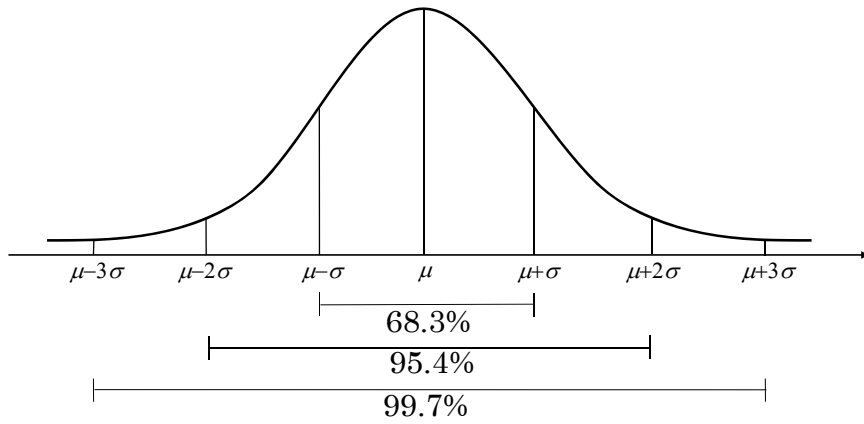


標準偏差が合成標準不確かさとなる最終測定結果の分布は、中心極限定理によって正規分布していると見なせる。

# 拡張不確かさ



# 正規分布



$\mu \pm 1\sigma$ : 68.3%  
 $\mu \pm 2\sigma$ : 95.4%  
 $\mu \pm 3\sigma$ : 99.7%

の値が含まれる。

# 不確かさを算出する桁数

- GUM7.2.6(抜粋) 推定値 $y$ の数値とその標準不確かさ $u_c(y)$ 又は拡張不確かさ $U$ は、余分な桁数の数字を与えない方がよい。通常 $u_c(y)$ ,  $U$ を引用するには、**多くとも2桁**の有効数字で十分である。

**2桁目の値は到底信用することはできない！！**

不確かさの値が、「4.5」と「4.3」というものであったとすると、「4.5のほうが4.3より0.2大きい」と考えるのは問題がある。この程度であれば、「**両者とも同じ値である**」と考えるべきだろう。

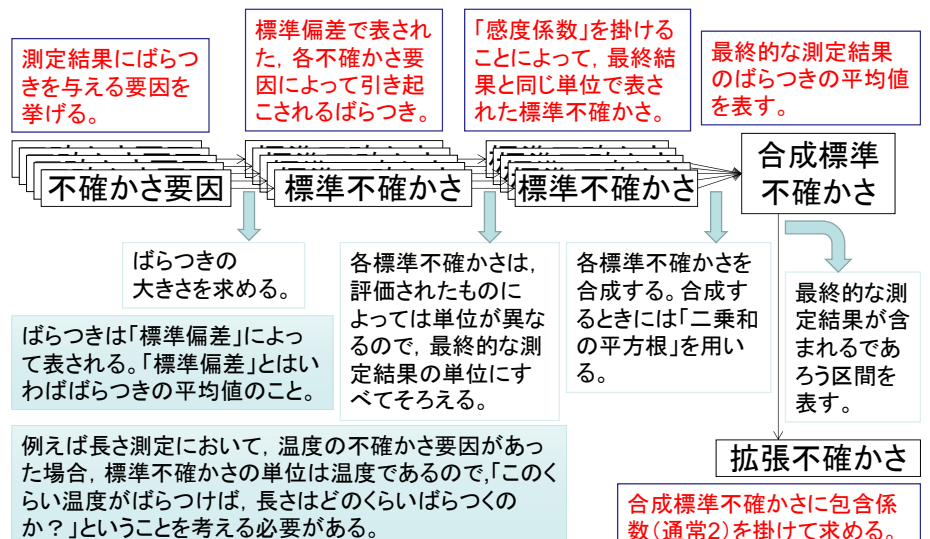
# バジェットシート例

プラスチックの引張降伏応力測定の場合(提供(株)DJK・JAB RL510)

測定結果	量	値の値	不確かさ要因	標準不確かさ	感度係数	標準不確かさ(MPa)	寄与率	備考
$P_V$	降伏荷重	3661.37 N	$u(P_V)/P_V$ ロードセル校正証明書上の相対標準不確かさ	正規分布 0.00565 N/N	$\frac{P_V}{D} = F_Y = 61.2891 \text{ N/mm}^2$	0.03371 MPa	2.1%	ロードセルの校正証明書より、拡張不確かさの寄与率
$t$	試験片の厚さ	4.00 mm	$u(t)$ 厚さ測定の不確かさ	矩形分布 0.00362 mm	$\frac{P_V}{t^2} = -15.32 \text{ N/mm}^2$	0.04692 MPa	4.1%	$u(t) = u(t)$ の合成。
			$u(d)$ 読み取りの四捨五入による不確かさ	矩形分布 0.00287 mm	$-\frac{P_V}{t^2} = -15.32 \text{ N/mm}^2$	0.04424 MPa	3.6%	最小分解能0.001 mmデジタル外筒マイクロメーターで測定を行うが、規格では、0.01 mmの精度と規定されているため。
			$u(d)$ ノギスの校正の不確かさ	正規分布 0.00102 mm	$-\frac{P_V}{t^2} = -15.32 \text{ N/mm}^2$	0.01563 MPa	0.5%	計測の校正証明書より、拡張不確かさの寄与率を考慮する。
$b$	試験片の幅	10.04 mm	$u(b)$ 幅測定の不確かさ	矩形分布 0.003072 mm	$\frac{P_V}{t \cdot b^2} = -6.104 \text{ N/mm}^2$	0.01875 MPa	0.7%	$u(b) = u(b)$ の合成。
			$u(d)$ 読み取りの四捨五入による不確かさ	矩形分布 0.00287 mm	$-\frac{P_V}{t \cdot b^2} = -6.104 \text{ N/mm}^2$	0.0176 MPa	0.6%	最小分解能0.001 mmデジタル外筒マイクロメーターで測定を行うが、規格では、0.01 mmの精度と規定されているため。
			$u(d)$ ノギスの校正の不確かさ	正規分布 0.00105 mm	$-\frac{P_V}{t \cdot b^2} = -6.104 \text{ N/mm}^2$	0.0064 MPa	0.1%	計測の校正証明書より、拡張不確かさの寄与率を考慮する。
$F_Y$	引張降伏応力	61.2891 MPa	$u(F_Y)$ 人による標準不確かさ	正規分布 0.2301 MPa	1	0.2301 MPa	90.2%	社内技術レビューミーティングのデータを分散分析し求める。人の寄与率。
			$u(F_{YSA})$ 試験片による標準不確かさ	正規分布 0.0082 MPa	1	0.0082 MPa	2.9%	社内技術レビューミーティングのデータを分散分析し求める。従って、試験片のばね定数による標準不確かさを考慮する。両者合成した際の寄与率の寄与率として算出される。
			$u(F_{YREP})$ 測定値の繰り直しによる標準不確かさ	正規分布 0.0082 MPa	1	0.0082 MPa	2.9%	社内技術レビューミーティングのデータを分散分析し求める。従って、試験片のばね定数による標準不確かさを考慮する。両者合成した際の寄与率の寄与率として算出される。
合成標準不確かさ		0.2317 MPa	相対合成標準不確かさ		0.37%			
拡張不確かさ(k=2)		0.5 MPa	相対拡張不確かさ		0.60%			

モデル式  $F_Y = \frac{P_V}{t \cdot b} + \epsilon_{SAM} + \epsilon_{PER} + \epsilon_{REP}$   
 測定結果  $F_Y = 61.3 \text{ MPa} \pm 0.5 \text{ MPa} (k=2)$   
 測定結果: バジェットシートの返函にモデル式を書いておくこと。

# 不確かさの求め方





## 最後に

- 測定結果には必ず不確かさが含まれる。測定結果を過信しすぎないように。(特にデジタル表示に注意！)
- 正しい測定結果とは、測定された値の平均値などの報告された値のみではない。その周辺の値も正しい測定結果の候補である。よって、不確かさの記述を伴ってはじめて完全な測定結果の表明と言える。
- 不確かさとは、評価した人がどの程度よくその測定を知っているのか、どれだけ誠実に測定に向き合っているのか、ということを反映する鏡のようなものである。測定に対する知識が増えれば、問題解決力の上昇に繋がる！