現場のノウハウとマイクロメータの不確かさ

日高鉄也

1.　はじめに

　数年前に「測定の不確かさ」という国際文書（GUM）を見て、“穴は大きめに、軸は小さめ”に加工するという現場のノウハウを思い出したのでマイクロメータの不確かさを調べてみた。なお、このノウハウは、最近の品質管理では利用されていないことを付け加えておく。

2.　測定の不確かさ

2.1　国際規格による不確かさを求め方

　7国際機関が参加した国際文書（略称GUM）で、測定の不確かさの求め方が決められている。次にそのフローチャートを示す。

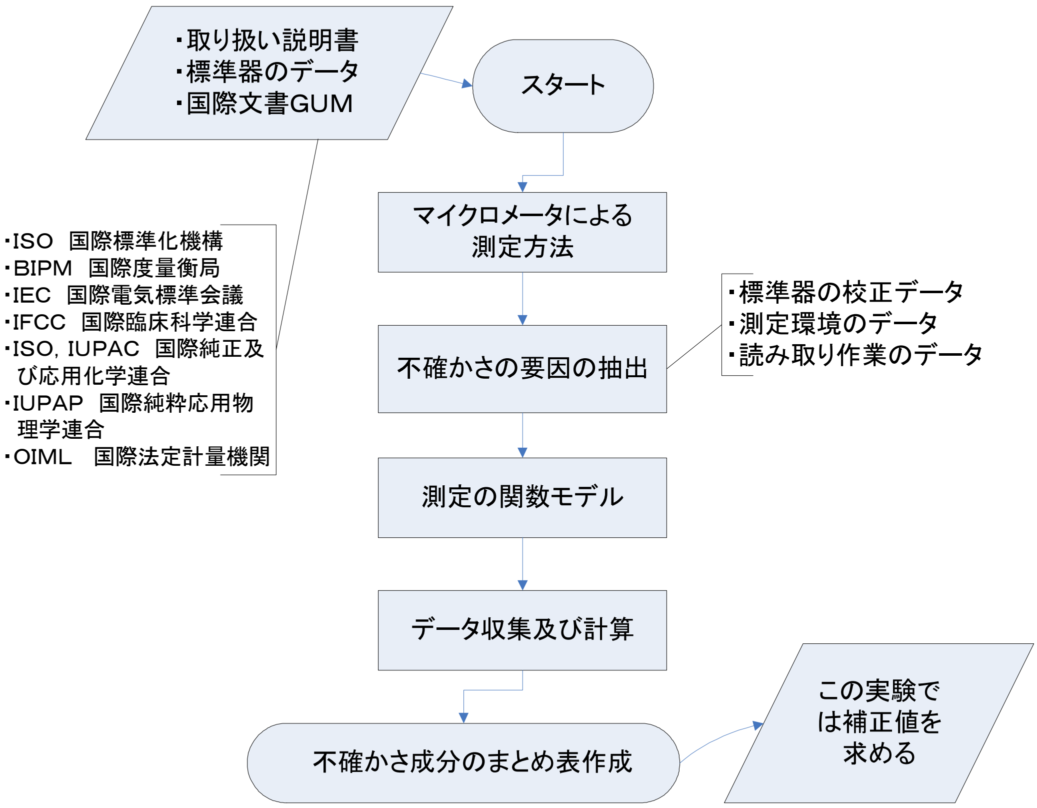

図１　測定の不確かさを求めるフロー図の例

2.2 マイクロメータの測定の不確かさの事例

（1）マイクロメータの校正

マイクロメータの校正は、標準器をブロックゲージとして行う。校正作業は手順書を作成してその方法に従って校正作業を行う。校正作業は定期検査と呼ばれている場合もあり、測定の不確かさを求めていない場合が多い。

（2）マイクロメータの測定の不確かさの要因抽出

測定の不確かさの要因の抽出は、一般的に特性要因図を用いて行う場合が多い。その例を図2に」示す。

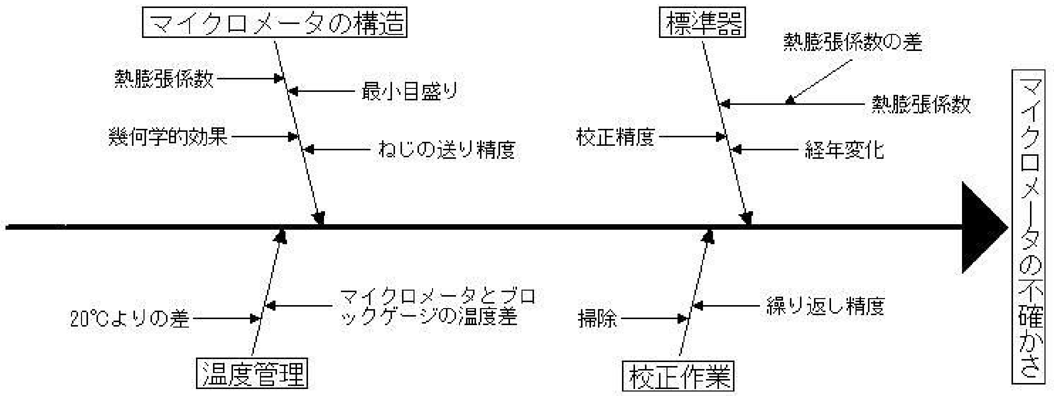

図2　特性要因図

2.2 測定の繰り返しなどの測定方法

・マイクロメータの種類：0～25 までの分解能 0.001mmのデジタルマイクロメータ
・測定者：1 名
・繰り返し：3 回
・日にちを変えて反復：2 日
・ゼロ点のセット：測定日のはじめにゼロ点をセットして、その日の測定ではゼロ点の調整は行なわない。
・測定の順番：0→5→10→20→25→0→5→10→20→25
・不確かさの表示方法：測定範囲全体に同じ不確かさを適用
・測定データの個数：24 個、1測定点当たりの測定回数は 6 回

2.4 測定データ

表1に測定したデータを示します。

表1 測定データ表（マイクロメータの表示値-ブロックゲージの表示値）

		ブロックゲージの表示値mm(校正成績書の値μm)				
		5（0.00）	10（0.02）	20（0.01）	25（0.03）	
第 1 日	r1	4.999	9.998	19.997	24.997	
	r2	4.999	9.998	19.997	24.997	
	r3	4.999	9.998	19.997	24.997	
第 2 日	r4	4.999	9.998	19.997	24.997	
	r5	4.999	9.998	19.997	24.997	
	r6	4.999	9.998	19.997	24.998	

表2のデータをブロックゲージの表示値と校正成績書の値を用いて変換します。
変換値＝［読み値-{ブロックゲージの表示値＋（校正成績書の値）}］×1000
r1＝〔4.999-{5.000＋（0）}］×1000＝-1μm

表2 ブロックゲージの表示値によるデータ変換（校正成績書の値によるデータ補正）表の補正結果　単位：μm

		ブロックゲージの表示値mm(校正成績書の値μm)				
		5（0.00）	10（0.02）	20（0.01）	25（0.03）	
第 1 日	r1	−1	−2.02	−3.01	−3.03	
	r2	−1	−2.02	−3.01	−3.03	
	r3	−1	−2.02	−3.01	−3.03	
第 2 日	r4	−1	−2.02	−3.01	−3.03	
	r5	−1	−2.02	−3.01	−3.03	
	r6	−1	−2.02	−3.01	−2.03	

2.5 器差補正を行わない場合（測定範囲全体）の標準偏差

校正結果の使い方として、校正成績書で不確かさの値をある測定点に限定しなくて、マイクロメータの測定範囲全体を同じ不確かさを付ける場合の例です。

表2のデータ 24 個の値を表計算ソフトのエクセルを利用して計算する。
標準偏差＝0.832μm となります。
t表の適用
t23＝2.069
自由度＝23（N−1）、N：測定回数
両側確率＝0.05
0.832×2.069＝1.73μm

3．測定の不確かさの算出

不確かさの計算方法は、（社）日本計量振興協会の「不確かさの事例集」を参考

にして説明する。

3.1 関数モデル

　標準器にブロックゲージを使い、マイクロメータの校正の関数モデルの説明を行う。

　マイクロメータの器差は次のように示す。

　$E = I - T + L_i$ ・・・・・・・（1）式

記号の説明

$E =$ 器差

$I =$ マイクロメータの指示値

$T =$ 標準ブロックゲージの長さ

$L =$ 各種補正項

合成標準偏差は、次の式から導かれます。

$u^2(E) = u^2(I) + u^2(T) + u^2(L_2)$ ・・・・・・・（2）式

記号の説明

$u(I) =$ マイクロメータの指示値の標準偏差

$u(T) =$ 標準ブロックゲージの不確かさ

$u(L_i) =$ 各種補正項の不確かさ

3.2 各成分の標準偏差

1）マイクロメータの指示値の標準偏差：$u(I)$

①読み取り分解能：$u(I_1)$

デジタル表示の最小分解能は 1 μm であるから矩形分布と考えると、

$u(I_1) = 1\mu m / \sqrt{3} = 0.58\mu m$

となる。

②繰り返し性の標準偏差：$u(I_2)$

表2のデータから求めた

$u(I_2) =$ 1.73 μ m

となる。

$u(I) = \left[u^2(I_1) + u^2(I_2)\right]^{1/2} = \left[(0.58\mu m)^2 + (1.73\mu m)^2\right]^{1/2} = 0.182\mu m$

2）　標準ブロックゲージの不確かさ：$u(T)$

①　校正証明書の値の無補正 $u(T_1)$

　ブロックゲージには寸法許容差があり、JIS1 級 25mm の場合は、0.30 μ m であり無補正で使用するから矩形分布として、

　$u(T_1) = (0.3\mu m) / \sqrt{3} = 0.17\ \mu m$

　となる。

②標準ブロックゲージの経年変化 $u(T_2)$

25mm、JIS1 級、校正間隔 3 年として計算すると、

$\pm(0.05+0.5\times10^{-3}\times25)\times3=0.1875$

となり、

$u(T_2)=(0.1875\mu m)/\sqrt{12}=0.054\mu m$

となります。

従って、$u(T)=\left[u^2(T_1)+u^2(T_2)\right]^{1/2}=\left[(0.17\mu m)^2+(0.03\mu m)^2\right]^{1/2}=0.17\mu m$

となる。

3）各種補正項による標準偏差：$u(L_i)$

① 熱的効果 $u(L_{thermal})$

長さ計の校正における熱的効果による標準偏差 $u(L_{thermal})$ は、GUM事例H．1.2より導かれた次の式で表すことができる。

$u^2(L_{thermal})=L^2(\delta\theta)^2u^2(\alpha_s)+L^2(\delta\alpha)^2u^2(\theta)+L^2\theta^2u^2(\delta\theta)+L^2u^2(\theta)u^2(\delta\alpha)$ ・・・（3）式

ここで、

$L=$ ブロックゲージの長さ

$\alpha=$ マイクロメータの熱膨張係数

$\alpha_s=$ ブロックゲージの熱膨張係数

$\theta=$ マイクロメータの 20℃からの偏差

$\theta_s=$ ブロックゲージ 20℃からの偏差

$\delta\theta=\theta-\theta_s$ は、マイクロメータとブロックゲージの温度差

$\delta\alpha=\alpha-\alpha_s$ は、熱膨張係数の差を表す。

校正の作業は、ブロックゲージとマイクロメータを定盤の上で温度ならしを行い、又材質も同じですから $\delta\theta=0,\delta\alpha=0$ と考えられます。従って、（3）式は（4）式のようになる。

$u^2(L_{thermal})=L^2\theta^2u^2(\delta\alpha)+L^2{\alpha_s}^2u^2(\delta\theta)+L^2u^2(\theta)u^2(\delta\alpha)$ ・・・・（4）式

a）マイクロメータとブロックゲージの熱膨張係数の差：$u(\delta\alpha)$

マイクロメータとブロックゲージの熱膨張係数は、$(11.5\pm1)\times10^{-6}K^{-1}$ の範囲です。従って、それぞれの分布は $\pm1\times10-6K^{-1}$ を限界値とする矩形分布と考えると、

$u(\delta\alpha)=\sqrt{u^2(\alpha)+u^2(\alpha_s)}=\sqrt{2}\times(1\times10^{-6}K^{-1})/\sqrt{3}=8.17\times10^{-7}K^{-1}$ となる。

b）マイクロメータとブロックゲージの温度差：$u(\delta\theta)$

（4）式は、校正作業を定盤の上で温度ならしを行ってマイクロメータとブロックゲージの温度差をゼロとしてありますが、それは平均値がゼロであって温度のばらつきは±0.5℃という状況でマイクロメータとブロックゲージの温度差による不確かさの計算を行う。

従って、両者の温度差の標準偏差は矩形分布と考えて、

$u(\delta\theta)=(0.5℃)/\sqrt{3}$ ＝0．29℃ となる。

c)マイクロメータの温度の 20℃からの偏差値：$u(\theta)$
校正室の温度範囲は 23℃を中心に±3℃であり、
$u(\theta) = \left[(3℃)^2 + (3℃ / \sqrt{3})^2\right]^{1/2}$ ＝3.46℃
と見積もる。

次に、L＝25mm として、以上の結果を式（4）に代入して計算しますと、

$$u^2(L_{thermal}) = L^2\theta^2u^2(\delta\alpha) + L^2{\alpha_s}^2u^2(\delta\theta) + L^2u^2(\theta)u^2(\delta\alpha)$$
$$= (25mm)^2 \times (3℃)^2 \times (8.17 \times 10^{-7}K^{-1})^2$$
$$+ (25mm)^2 \times (11.5 \times 10^{-6}K^{-1})^2 \times (0.29℃)^2$$
$$+ (25mm)^2 \times (3.46℃)^2 \times (8.17 \times 10^{-7}K^{-1})^2$$
$$= 1.570 \times 10^{-8}mm^2$$
$$u(Lthermal) = 0.13\mu m$$

と見積もる。
②幾何学的効果：$u(L_{geometric})$
幾何学的効果はマイクロータの測定面間（アンビル側とスピンドル側）平行度と平面度から生じる。文献（不確かさの事例集、(社)日本計量振興協会）によると、
$u(L_{geometric})$ ＝0.14μｍ である。

3.3 バジェットシート

以上の結果から、マイクロメータの不確かさは表3のようになる。

表3　マイクロメータの不確かさのバジェットシート

マイクロメータの校正の不確かさ成分		各成分の不確かさ	感度	u(E)への寄与	タイプ
マイクロメータの指示値の標準偏差 $u(I)$		1.82	1	1.82	B
①	読み取り分解能 $u(I_1)$	058			B
②	繰り返し性/ランダム性 $u(I_2)$	1.73			A
標準ブロックゲージの長さの標準偏差 $u(T)$		0.18	1	0.18	
①	校正値の無補正 $u(T_1)$	0.17			B
②	経年変形 $u(T_2)$	0.05			B
各種補正項による標準偏差 $u(L_i)$ ①熱的効果 $u(Lthermal)$				0.13	
a）	マイクロメータとブロックゲージの熱膨張係数の差	$8.17\times10^{-7}k^{-1}$	$L\times\theta$	0.06	B
b）	マイクロメータとブロックゲージの温度差 $u(\delta\theta)$	0.29℃	$L\times\alpha_s$	0.09	B
c）	マイクロメータの温度の 20℃からの偏差値 $u(\theta)$	3.46℃	$L\times(\delta\alpha)$	0.07	B
②幾何学的効果 $u(L_{geometric})$		0.1 4μm	1	0.14	B
二乗和		3.3813 μm^2			
合成標準偏差		1.83μm			
拡張不確かさ k＝2		3.7 →4μm			

4．現場のノウハウと測定の不確かさの関係

検査で合格した部品を使っても測定の不確かさが影響すると表4の状態が起きる。この例は、すきまばめ（JIS B 0401 10H7, g6）でもすき間が無くなって、組み付け作業が困難になる。

製造現場では、“穴は大きめに、軸は小さめに”加工するということが先輩から後輩へノウハウとして受け継がれているのは、経験的に測定の不確かさを避けるた

めではなかろうか。

表 4　測定の不確かさを考慮した場合のすきまの状態

<table>
<tr><td>項目</td><td>穴径
はめあい</td><td colspan="2">軸径
はめあい</td></tr>
<tr><td>呼び寸法</td><td>10H7</td><td colspan="2">10g6</td></tr>
<tr><td>規格の上限</td><td>0.012</td><td colspan="2">-0.005</td></tr>
<tr><td>規格の下限</td><td>0</td><td colspan="2">-0.014</td></tr>
<tr><td>測定の不確かさ</td><td colspan="3">0.004</td></tr>
<tr><td>実際に起こりうる軸の最大寸法：a</td><td>9.999</td><td rowspan="2">最大すきま
S＝c－b</td><td rowspan="2">すきま
有り
0.037</td></tr>
<tr><td>実際に起こりうる軸の最小寸法：b</td><td>9.982</td></tr>
<tr><td>実際に起こりうる穴の最大寸法：c</td><td>9.996</td><td rowspan="2">最小すきま
s＝d－a</td><td rowspan="2">すきま
なし
-0.003</td></tr>
<tr><td>実際に起こりうる穴の最小寸法：d</td><td>10.012</td></tr>
</table>

参考文献

1)「計測における不確かさの表現ガイド」日本規格協会
2)「測定の不確かさを知っていますか」日本計量振興協会
3)「不確かさの事例集」日本計量振興協会

以上