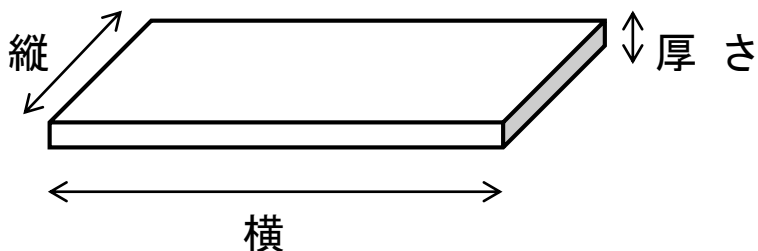


## ~実験ノートの例~

		密度の測定			
実験前	天候	室温	°C	湿度	%
実験後	天候	室温	°C	湿度	%

### 実験方法

- ・ 試料の横の長さ，縦の長さ，厚さ，質量を測定する。
- ・ 横の長さ，縦の長さ，厚さ，質量から，試料の密度を求める。
- ・ 計算された密度の最終結果から，試料の材質を同定する。



### 計算式

$$\rho = \frac{m}{lbd}$$

$$\delta\rho = \rho \sqrt{\left(\frac{\delta l}{l}\right)^2 + \left(\frac{\delta b}{b}\right)^2 + \left(\frac{\delta d}{d}\right)^2 + \left(\frac{\delta m}{m}\right)^2}$$

測定試料 金属板

・直尺を用いた横の長さ  $l$  の測定

使用器具 直尺 分解能 0.1 mm

$a_1$ (mm)	$a_2$ (mm)	$l$ ( mm )
18.2	248.7	230.5
20.3	250.9	230.6
.		
.		
.		
.		

平均値  $\bar{l} = 230.\underline{533}$  mm

標準偏差  $\sigma_1 = 0.05\underline{77}$  mm

標準不確かさ  $\delta l_A = \frac{\sigma_1}{\sqrt{n}} = \frac{0.0577 \text{ mm}}{\sqrt{3}} = 0.03\underline{33}$  mm

分解能  $\delta l_B = 0.1$  mm

合成標準不確かさ  $\delta l = \sqrt{(\delta l_A)^2 + (\delta l_B)^2} = \sqrt{(0.0333 \text{ mm})^2 + (0.1 \text{ mm})^2}$   
 $= 0.\underline{105}$  mm

計算を簡単にする  
 ために、分解能を  
 そのまま代入した

拡張不確かさ ( $k=2$  倍) の  
 計算は、ここでは  
 行わない。

・ノギスを用いた縦の長さ  $b$  の測定

直尺での予備測定 53.1 mm

使用器具 ノギス 分解能 0.05 mm

実験器具の読み間違い  
を防ぐために、  
予備測定をした。

主尺	副尺	$b$ ( mm )
53	15	53.15
53	10	53.10
.		
.		
.		
.		

平均値  $\bar{b} = 53.0700$  mm

標準偏差  $\sigma_b = 0.0763$  mm

標準不確かさ  $\delta b_A = \frac{\sigma_b}{\sqrt{n}} = \frac{0.0763 \text{ mm}}{\sqrt{6}} = 0.0311$  mm

分解能  $\delta b_B = 0.05$  mm

合成標準不確かさ  $\delta b = \sqrt{(\delta b_A)^2 + (\delta b_B)^2} = \sqrt{(0.0311 \text{ mm})^2 + (0.05 \text{ mm})^2}$   
 $= 0.0589$  mm

・マイクロメータを用いた厚さ  $d$  の測定

ノギスでの予備測定 3.95 mm

使用器具 マイクロメータ 分解能 0.001 mm

零点誤差 測定前 0.000 mm 測定後 0.003 mm  
平均 0.00150 mm

---

主尺	副尺	目測	$d$ ( mm )
3.5	46	9	3.969
3.5	46	7	3.967
.			
.			
.			
.			

---

平均値  $\bar{d} = 3.97040 \text{ mm}$

零点誤差を校正  
した平均値  $\bar{d} = 3.97040 \text{ mm} - (0.00150 \text{ mm}) = 3.96890 \text{ mm}$

標準偏差  $\sigma_d = 0.00360 \text{ mm}$

標準不確かさ  $\delta d_A = \frac{\sigma_d}{\sqrt{n}} = \frac{0.00360 \text{ mm}}{\sqrt{10}} = 0.00113 \text{ mm}$

分解能  $\delta d_B = 0.001 \text{ mm}$

合成標準不確かさ  $\delta d = \sqrt{(\delta d_A)^2 + (\delta d_B)^2}$   
 $= \sqrt{(0.00113 \text{ mm})^2 + (0.001 \text{ mm})^2} = 0.00150 \text{ mm}$

・電子天秤を用いた質量  $m$  の測定

使用器具 電子天秤 (??、??) 分解能 ??

$m$ (g)
131.23
131.23
131.23

平均値  $\bar{m} = 131.2300$  g

標準偏差  $\sigma_m = 0$  g

標準不確かさ  $\delta m_A = \frac{\sigma_m}{\sqrt{n}} = \frac{0 \text{ g}}{\sqrt{3}} = 0$  g

分解能  $\delta m_B = 0.01$  g

合成標準不確かさ  $\delta m = \sqrt{(\delta m_A)^2 + (\delta m_B)^2} = \sqrt{(0 \text{ g})^2 + (0.01 \text{ g})^2}$   
 $= 0.01$  g

計算を簡単にする  
ために、分解能を  
そのまま代入した

・密度の計算

$$\bar{l} = 230.\underline{533} \text{ mm} = 23.0\underline{533} \text{ cm}$$

$$\bar{b} = 53.0\underline{700} \text{ mm} = 5.30\underline{700} \text{ cm}$$

$$\bar{d} = 3.968\underline{90} \text{ mm} = 0.3968\underline{90} \text{ cm}$$

$$\bar{m} = 131.2\underline{300} \text{ g}$$

密度(g/cm<sup>3</sup>)を計算するために、長さの算術平均(mm)をcm単位に変換した。

判りきった計算でも、  
計算過程は丁寧に記録しておくこと。

$$\bar{\rho} = \frac{\bar{m}}{\bar{l}\bar{b}\bar{d}} = \frac{131.2300 \text{ g}}{23.0533 \text{ cm} \times 5.30700 \text{ cm} \times 0.396890 \text{ cm}}$$

$$= \frac{131.2300 \text{ g}}{48.5570 \text{ cm}^3} = 2.70259 \text{ g/cm}^3$$

最確値のまとめを参考に、  
密度の計算式に有効数字を  
書き、密度の有効数字を調べ

・最確値まとめ

$\bar{l} = 23.05 \text{ cm}$       有効数字 4

$\bar{b} = 5.307 \text{ cm}$                       4

$\bar{d} = 0.3969 \text{ cm}$                       4

$\bar{m} = 131.23 \text{ g}$                           5

最確値                       $2.70259 = 2.703 \text{ g/cm}^3$

・密度の不確かさの計算

$$\delta l = 0.\underline{105} \text{ mm}$$

$$\delta b = 0.0\underline{589} \text{ mm}$$

$$\delta d = 0.00\underline{150} \text{ mm}$$

$$\delta m = 0.0\underline{1} \text{ g}$$

合成標準不確かさ  
であることに注意

代入する平均値と  
同じ単位を用いる。  
例ではmm単位を用いた。

$$\left(\frac{\delta l}{\bar{l}}\right)^2 = \left(\frac{0.105 \text{ mm}}{230.533 \text{ mm}}\right)^2 = 2.07 \times 10^{-7}$$

$$\left(\frac{\delta b}{\bar{b}}\right)^2 = \left(\frac{0.0589 \text{ mm}}{53.0700 \text{ mm}}\right)^2 = 1.23 \times 10^{-6}$$

$$\left(\frac{\delta d}{\bar{d}}\right)^2 = \left(\frac{0.00150 \text{ mm}}{3.96890 \text{ mm}}\right)^2 = 1.42 \times 10^{-7}$$

$$\left(\frac{\delta m}{\bar{m}}\right)^2 = \left(\frac{0.01 \text{ g}}{131.2300 \text{ g}}\right)^2 = 5.81 \times 10^{-8}$$

$$\Sigma = 1.64 \times 10^{-6}$$

$$\delta \rho = \bar{\rho} \sqrt{\left(\frac{\delta l}{\bar{l}}\right)^2 + \left(\frac{\delta b}{\bar{b}}\right)^2 + \left(\frac{\delta d}{\bar{d}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m}{\bar{m}}\right)^2}$$

$$= 2.70259 \text{ g/cm}^3 \times \sqrt{1.64 \times 10^{-6}} = 0.00346 \text{ g/cm}^3$$



$$\Delta\rho = k\delta\rho = 2 \times 0.00346\text{g/cm}^3 = 0.00692\text{g/cm}^3$$

$$\begin{aligned}\text{最終結果 } \rho \pm \Delta\rho &= (2.703 \pm 0.00692) \text{ g/cm}^3 \\ &= (2.703 \pm 0.007) \text{ g/cm}^3\end{aligned}$$

$$\circ 2.703 \pm 0.007$$

$$\times 2.703 \pm 0.03$$

$$\circ 2.70 \pm 0.03$$

・不確かさの検討

$$\left(\frac{\delta l}{\bar{l}}\right)^2 = 2 \times 10^{-7}$$

$$\left(\frac{\delta b}{\bar{b}}\right)^2 = 1 \times 10^{-6}$$

$$\left(\frac{\delta d}{\bar{d}}\right)^2 = 1 \times 10^{-7}$$

$$\left(\frac{\delta m}{\bar{m}}\right)^2 = 6 \times 10^{-9}$$

各測定量の相対不確かさを1桁でまとめた。

$b$ の相対不確かさ $\Delta b/\bar{b}$ は、他の結果に比べて・・・  
・・・検討した結果を文章でまとめる・・・

・文献との比較

最終結果 (2.703 ± 0.007) g/cm<sup>3</sup>

文献値 アルミニウムの密度 ???? g/cm<sup>3</sup>

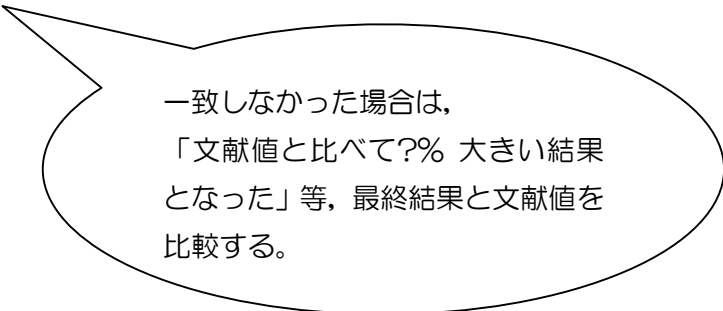
(文献名 ????)

文献値とのずれ

$$\left| \frac{2.703 \text{ g/cm}^3 - \text{????}}{\text{????}} \right| = \frac{\text{????}}{\text{????}} = \text{? ? ? ?}$$

= ???%

「不確かさを考慮した密度の最終結果は、文献値と一致した」



一致しなかった場合は、  
「文献値と比べて?% 大きい結果  
となった」等、最終結果と文献値を  
比較する。