

(実験指針P55~P56)

密度の測定

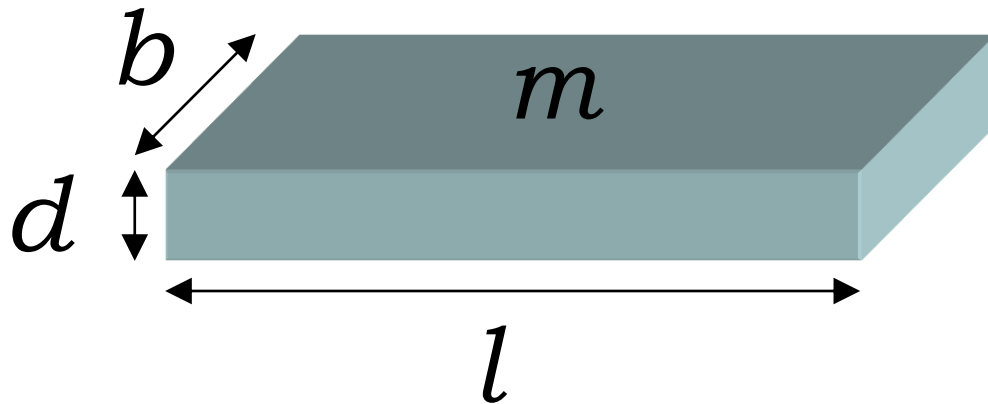
目的

金属板の密度を測定して、板の材質を求める。

直方体の密度の間接測定

間接測定・・・複数の測定された物理量から、
目的とする物理量を計算する方法

例) 密度の測定 (材料固有の値)



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

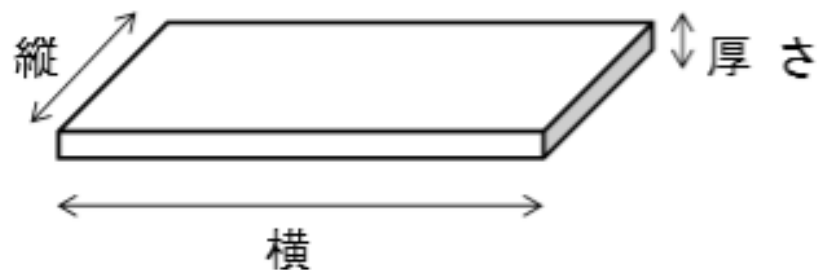
測定量 l 、 b 、 d 、 m

~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。



ノートの例を参考に
読み取った結果を記録し、
計算を行う

計算式

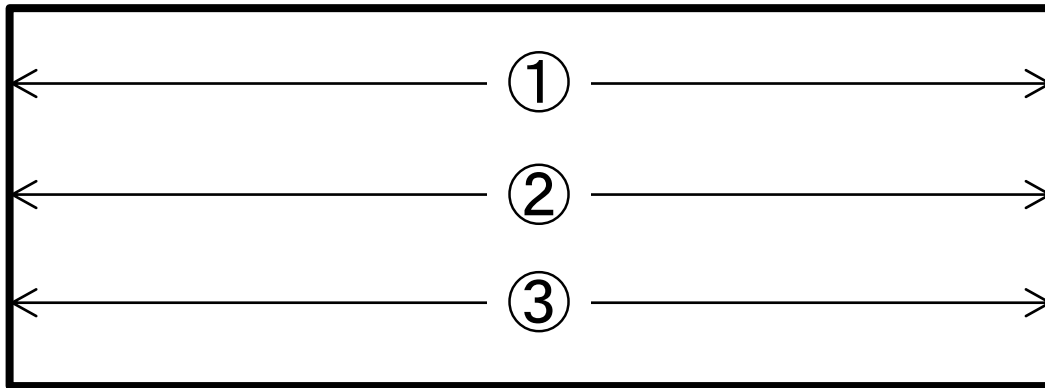
$$\rho = \frac{m}{lbd}$$

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

lの測定

使用器具 直尺

(直尺の目盛の単位[cm, mm]を確認し、分解能を記録)



測定箇所

板が理想的な直方体と考え、 l の長さを
3か所測定する(読み取る)。

・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
.	.	.
.	.	.
.	.	.
.	.	.

ノートの例に従って、
長さを読み取って、
ノートに記録していく

($n=3$ であることに
注意する)

平均値 $\bar{l} = 230.533$ mm

標準偏差 $\sigma_1 = 0.0577$ mm

標準不確かさ $\delta l_A = \frac{\sigma_1}{\sqrt{n}} = \frac{0.0577 \text{ mm}}{\sqrt{3}} = 0.0333$ mm

分解能 $\delta l_B = 0.1$ mm

合成標準不確かさ $\delta l = \sqrt{(\delta l_A)^2 + (\delta l_B)^2} = \sqrt{(0.0333 \text{ mm})^2 + (0.1 \text{ mm})^2}$
 $= 0.105$ mm

計算を簡単にする
ために、分解能を
そのまま代入した

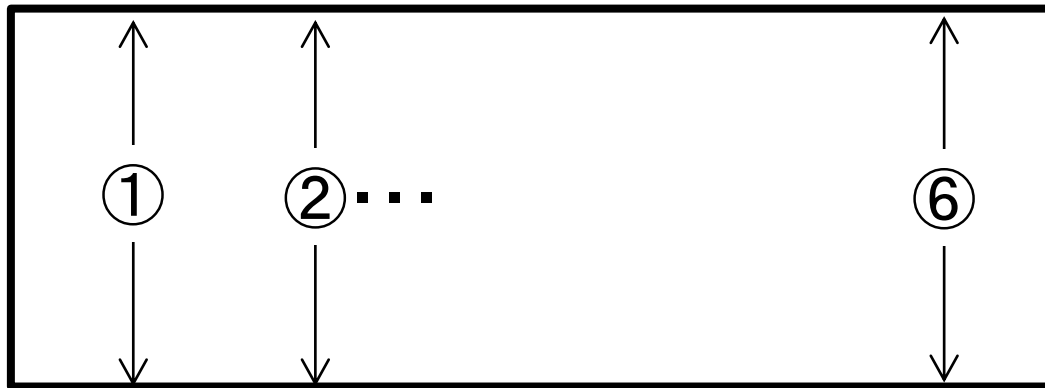
拡張不確かさ ($k=2$ 倍) の
計算は、ここでは
行わない。

b の測定

使用器具 ノギス

(ノギスの目盛の単位[cm, mm]を確認し、分解能を記録)

予備測定として、直尺で b を測定し、
ノギスの測定結果と比べよ



測定箇所

b の長さを6か所測定する(読み取る)

・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
.		
.		
.		
.		

ノートの例に従って、
長さを読み取って、
ノートに記録していく

($n=6$ であることに
注意する)

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

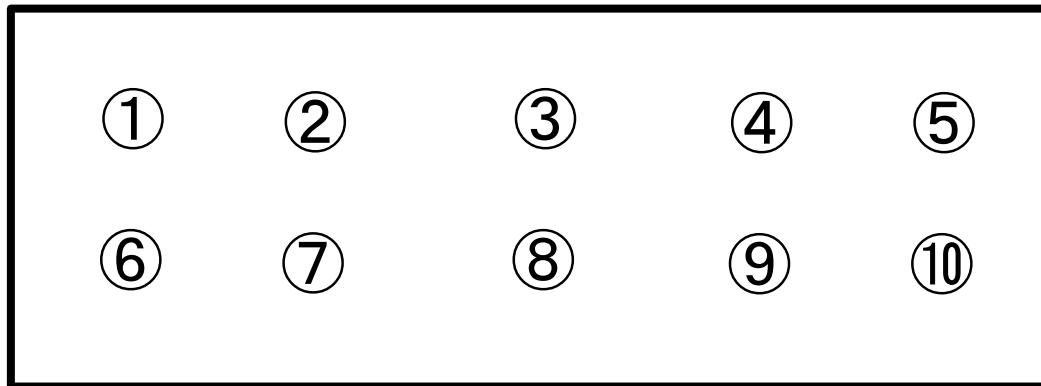
分解能 $\delta b_B = 0.05$ mm

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

d の測定

使用器具 マイクロメータ
(分解能を記録)

予備測定として、ノギスで d を測定し、
マイクロメータの測定結果と比べよ



測定箇所

厚さ d を10か所測定する(読み取る)

・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
.			
.			
.			
.			

← 直接読み取ったデータ
零点誤差はまだ引いていない

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 $\sigma_d = 0.00360 \text{ mm}$ ↑ 零点誤差を引く

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 $\delta d = \sqrt{(\delta d_A)^2 + (\delta d_B)^2}$
 $= \sqrt{(0.00113 \text{ mm})^2 + (0.001 \text{ mm})^2} = 0.00150 \text{ mm}$

ノートの例に従って、
長さを読み取って、
ノートに記録していく

($n=10$ であることに
注意する)

m の測定

各教卓に1-2台置いてある
手が空いた時に、各自で
測定しなさい

使用器具 電子天秤

- ・電子機器では、使用器具の社名と型番を記録する。
- ・器具の分解能を記録する



質量 m を3回測定する(読み取る)

・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/cm³)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。

$$\bar{\rho} = \frac{\bar{m}}{\bar{l}\bar{b}\bar{d}} = \frac{\overset{\text{㉓}}{131.2300}}{\underset{\text{㉒}}{23.0533} \times \underset{\text{㉑}}{5.30700} \times 0.396890} = \frac{\overset{\text{㉓}}{131.2300}}{\underset{\text{㉒}}{48.5570}}$$

$$= \underset{\text{㉑}}{2.70259} \text{ g/cm}^3$$

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

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

例に従って
密度の最終結果を
求めていく

計算は丁寧に記録していくこと

$$\circ 2.703 \pm 0.007$$

$$\times 2.703 \pm 0.03$$

$$\circ 2.70 \pm 0.03$$

・不確かさの検討