



精密計量は正しく行えていますか？～ポイントはこちらだ!!～

The weighing errors in electronic balances and how to solve them

For JASIS 2019 New Technology Presentation

天びんの選定



- 被計量物は何か。
- そのために必要なひょう量はいくつか。
- 必要な最小表示はいくつか。
- その他(計量皿の大きさ、風防、除電機能他)

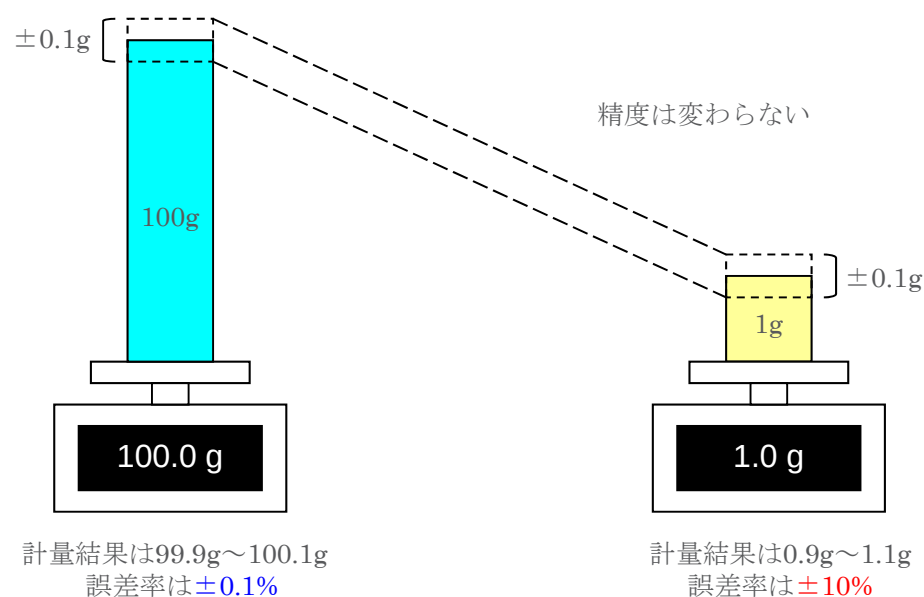
天びんの選定 最小表示と被計量物



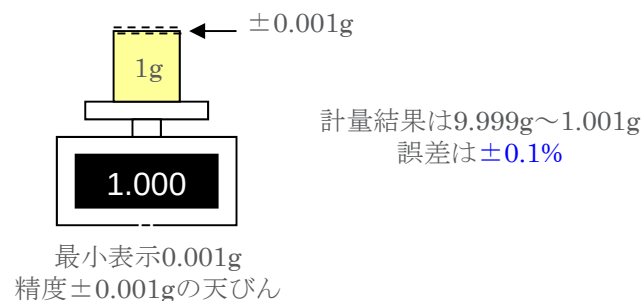
最小表示0.1gの天びんで精度 $\pm 0.1\text{g}$ として
100gと1gを計量する場合。

同じ天びんを使用した場合、
計量物が軽いと誤差は相対的に大きくなる。

軽い計量物で誤差率を小さくしたい場合、
最小表示の小さい天びんを使用する必要がある。



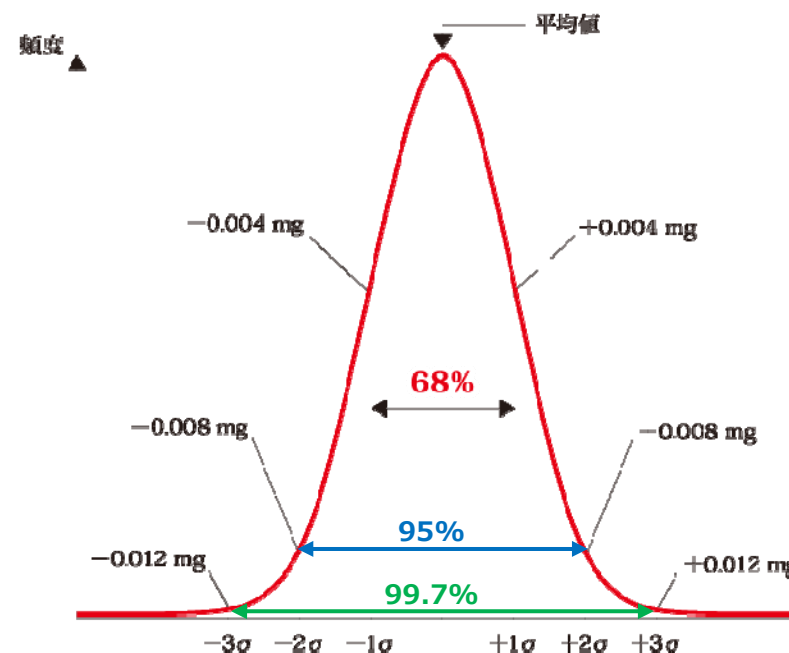
1gの計量物を誤差 $\pm 0.1\%$ で計量する場合、
最小表示0.001g(精度 $\pm 0.001\text{g}$)の天びんが必要。



天びんの選定 標準偏差



- 電子天びんの性能は繰り返し測定による標準偏差で表されます。
- 10回の載せ降ろしを行い、測定値にどれだけバラつきがあるかを表しています。



BM-20の仕様

ひょう量 22g×目量 0.001mg (= 1 μ g)

繰り返し性 0.0025mg (= 2.5 μ g) *

* 1g分銅測定時

2 σ (約95%の信頼区間) = $\pm 5.0\mu\text{g}$

$\pm 5.0\mu\text{g} \leq 10\mu\text{g}$

天びんの選定 最小計量値



USP U. S. Pharmacopeia (米国薬局方)
医薬品の品質の適正を図るための規格

USP Chapter 41 Balances

特に明記しない限り、分析にて物質が正確に計量されるべき際には、測定の不確かさ(偶発および系統誤差)が読み値の0.1%を超えない計量機器で計量が行わなければならない。

測定の不確かさは、少なくとも10回の繰り返し計量した標準偏差 σ の2倍を計量値で割った値が0.001(0.1%)を超えないこと。

天びんの選定 最小計量値



測定の不確かさは、少なくとも10回繰り返し計量した標準偏差 σ の2倍を計量値で割った値が、0.001（0.1%）を超えないこと。

$$\frac{2\sigma}{\text{計量値}} \leq 0.001$$
$$2\sigma \times 1000 \leq \text{計量値}$$

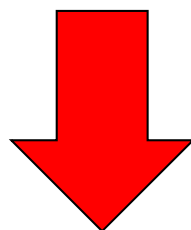
$$\text{最小計量値} = 2000 \times \sigma$$

「最小計量値を計算した天びんでは、最小計量値未満の重さの試料は計量してはいけません」という意味になります。

天びんの測定に関して



- 実際に繰り返し性を求める
 - 10回の載せ降ろしを行い、標準偏差を算出する。

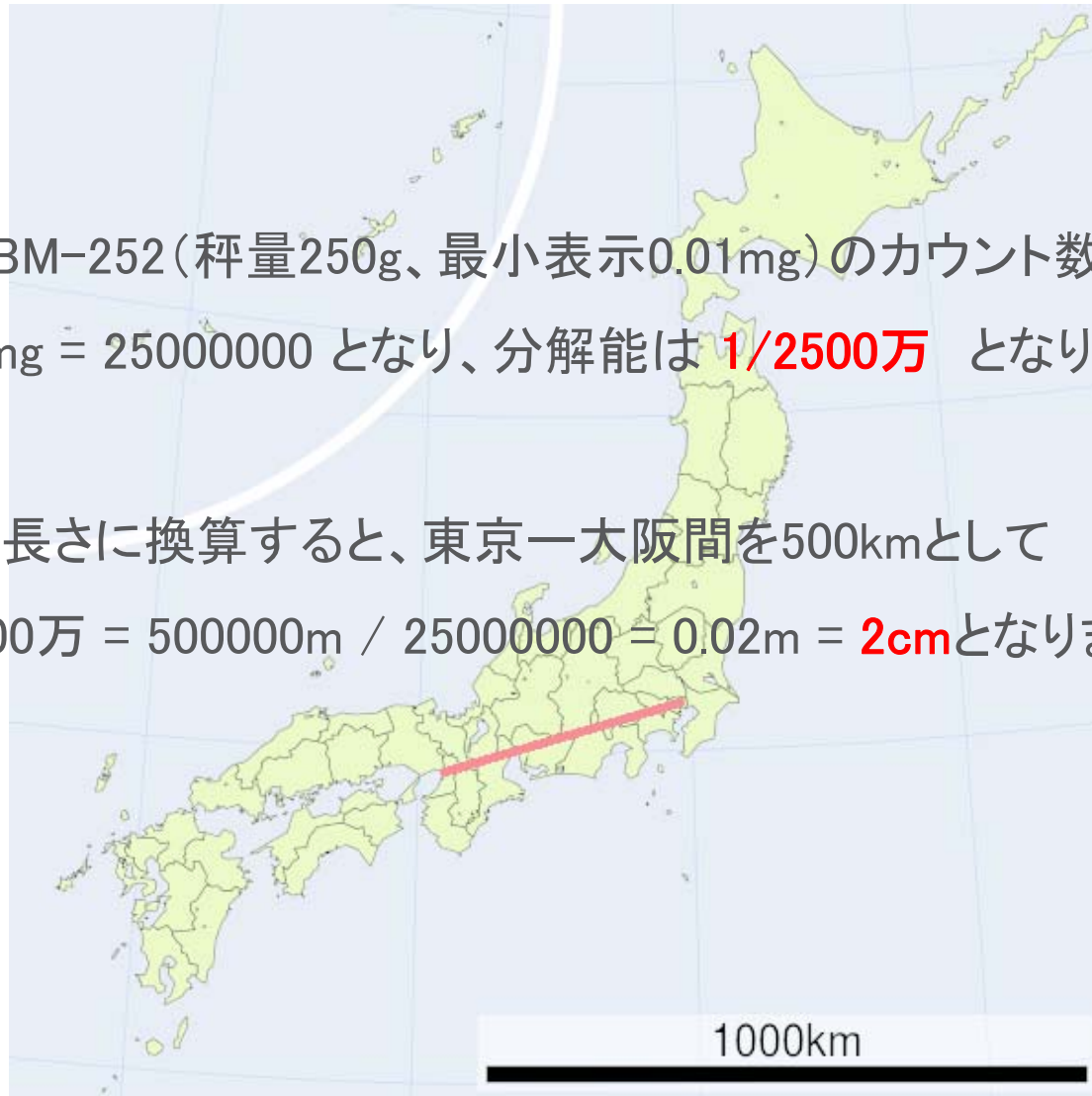


- 標準偏差は、**設置環境**により大きく変化する。

電子天びんの分解能

分析天びんBM-252(秤量250g、最小表示0.01mg)のカウント数は
 $250\text{g} / 0.01\text{mg} = 25000000$ となり、分解能は **1/2500万** となります。

重さではなく長さに換算すると、東京一大阪間を500kmとして
 $500\text{km} / 2500\text{万} = 500000\text{m} / 25000000 = 0.02\text{m} = \textbf{2cm}$ となります。

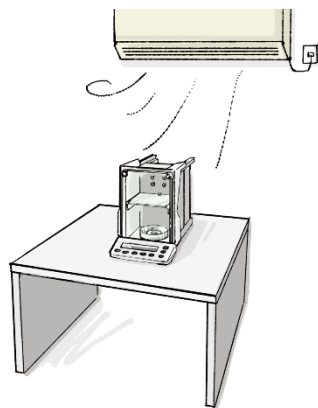


外乱要因

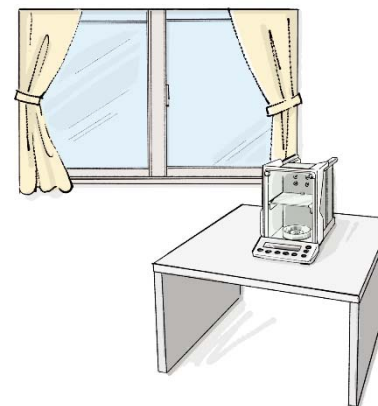
振動



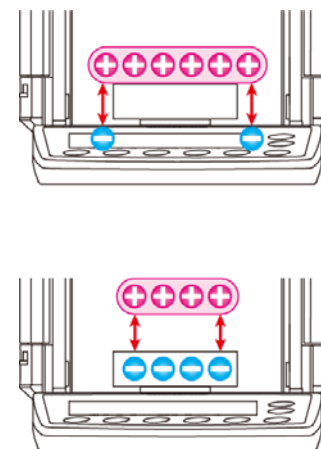
空気の流れ（風）



温度変化



静電気



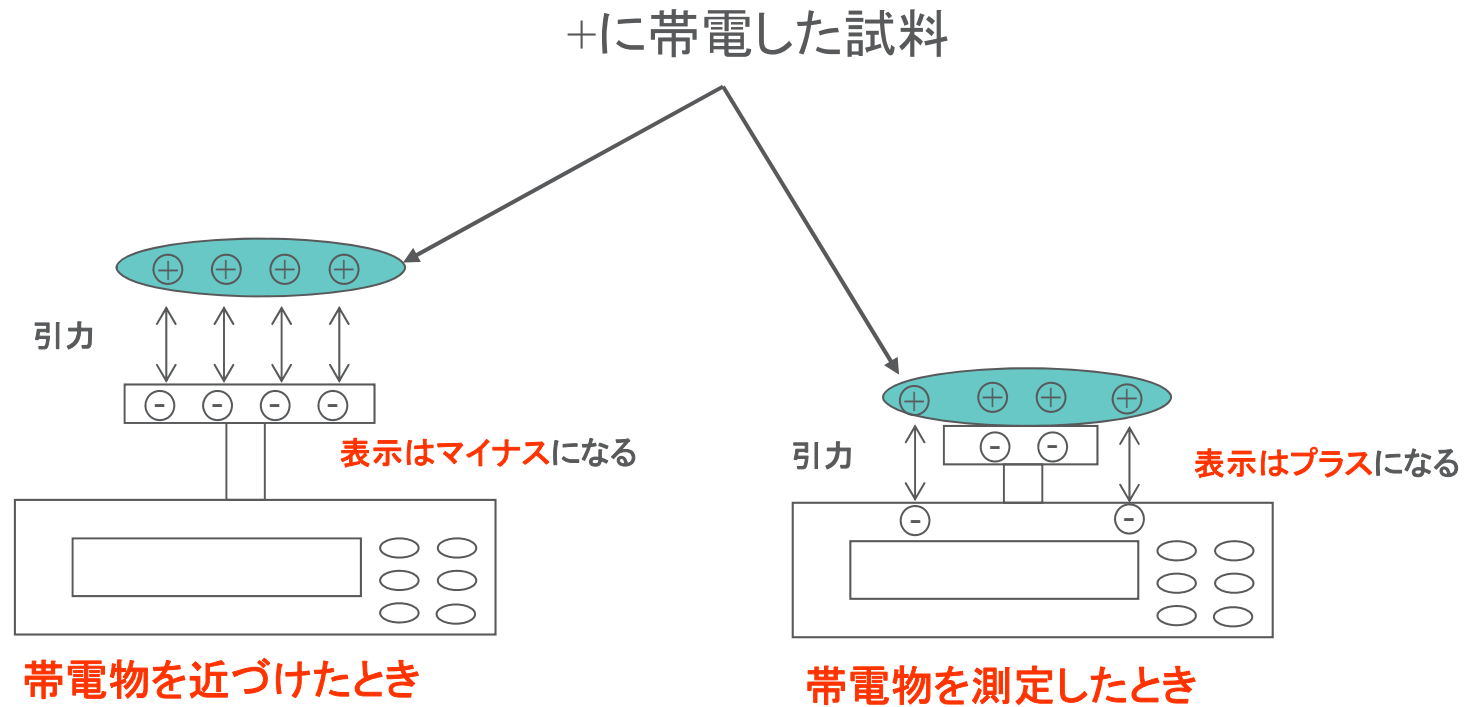
注目すべき誤差要因の種類



1. 静電気(帯電物)の影響
2. 風(空気の流れ)による影響
3. 対流の影響
4. 振動による影響
5. 傾斜による誤差
6. 温度による影響
7. 重力による誤差
8. 浮力による誤差

静電気(帯電物)の影響

静電気の影響



静電気(帯電物)の影響



静電気の発生

- 帯電発生の種類

接触帯電、摩擦帯電、はく離帯電、衝突帯電

- 帯電しやすい物

樹脂製品、ガラス、粉、フィルム、紙などの絶縁物

- 帯電しやすい場所

ベルトコンベアや動きのある製造ライン、乾燥した場所

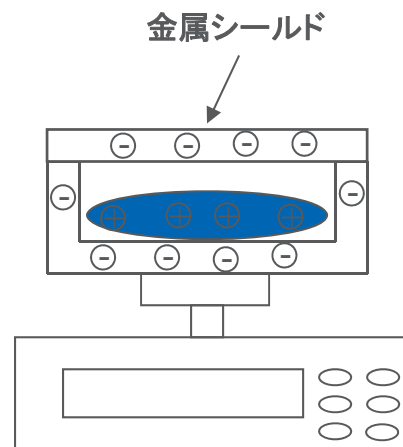
静電気(帯電物)の影響

静電気の対策

対策は、除電と遮蔽(シールド)です。



除電器
AD1683

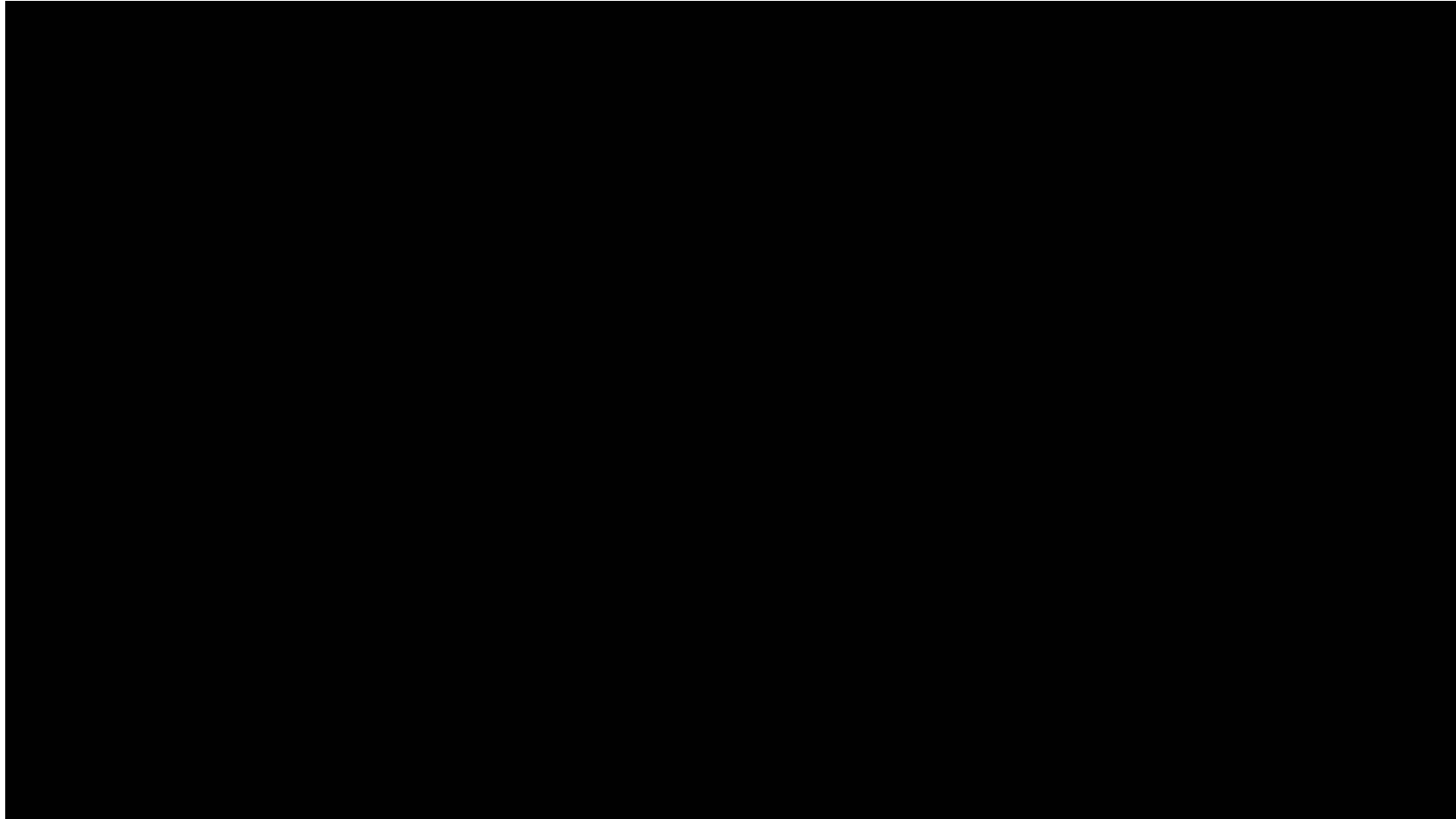


シールド例



静電気測定器
AD1684A

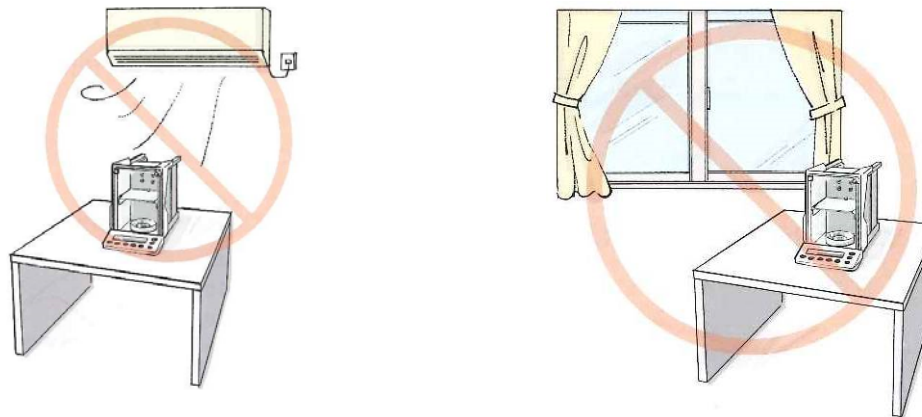
静電気(帯電物)の影響



風(空気の流れ)による影響

風の影響

風が計量皿に当たると計量値が不安定になります。
電子天びんは、人間が感知しにくい弱い風でも表示が不安定になります。



風への対策

- ・風の影響を受けにくい場所に設置する。
- ・風防を付けて、風が直接あたらないようにする。
特に天びんの横方向からの風を防ぐと効果があります。

風(空気の流れ)による影響



新製品 卓上風防(M) AD-1676



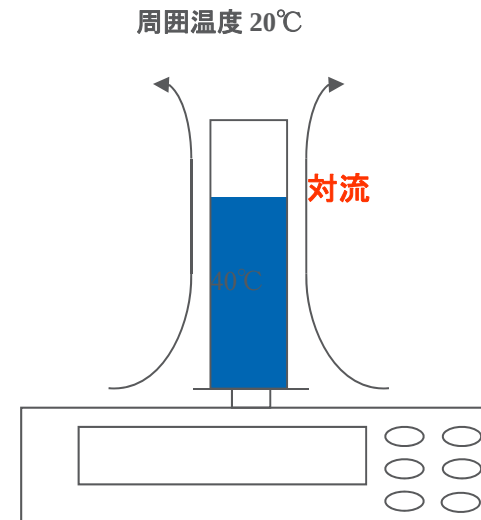
他にもS,Lサイズがあります。
使用している分析天びんや
設置場所の面積から
選択してください。

対流の影響



対流による計量値の変動

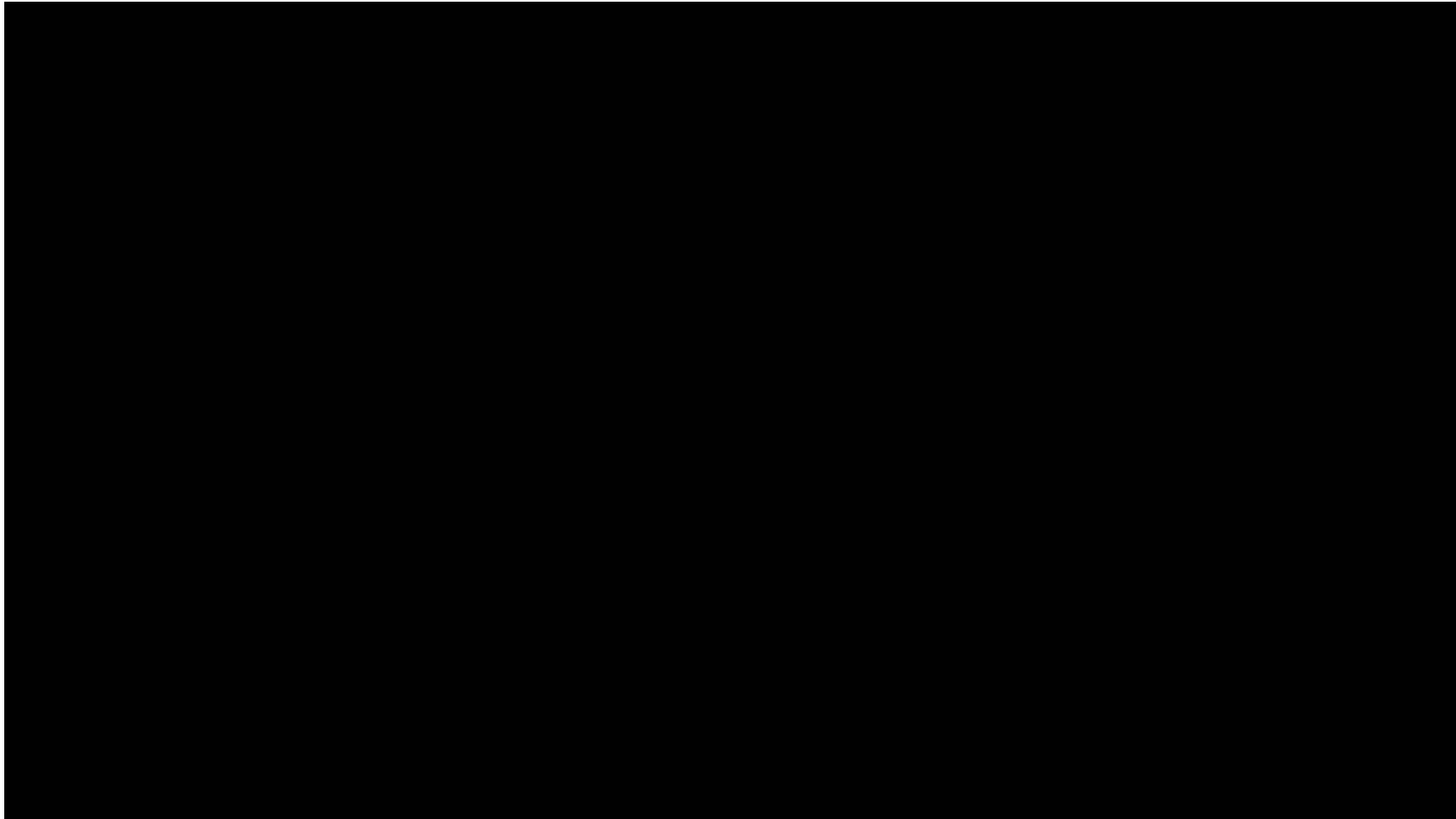
周囲温度と異なる温度の試料があることで、試料周囲の温度が変化し対流を起こします。



対流の対策

- ・試料や風袋は事前に周囲温度になじませます。
- ・試料や風袋は直接手で持たず、ピンセットなどで操作し、体温の伝達を防ぎます。
- ・温度変化のある場所に天びんを設置しない、特に窓や直射日光の当る場所などを避けて設置します。

対流の影響



振動による影響

振動の影響

天びんに振動が伝わると、計量値が不安定になります。
特に低周波の振動には、注意が必要です



振動の対策

- ・計量スピード(Response)を安定側に変更する。
- ・1階の壁沿いに天びんを設置する。
- ・除振台を使用する。

振動による影響

2012年7月3日11時31分

震源: 東京湾

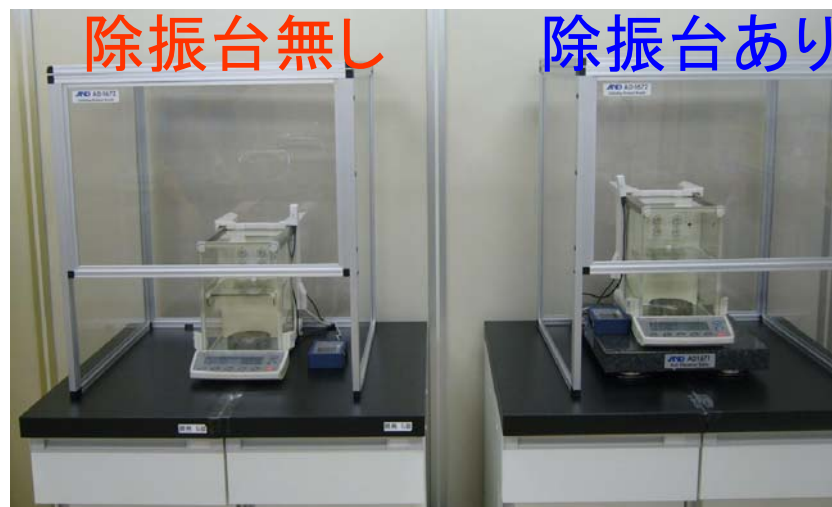
マグニチュード: 5.4

最大震度: 4

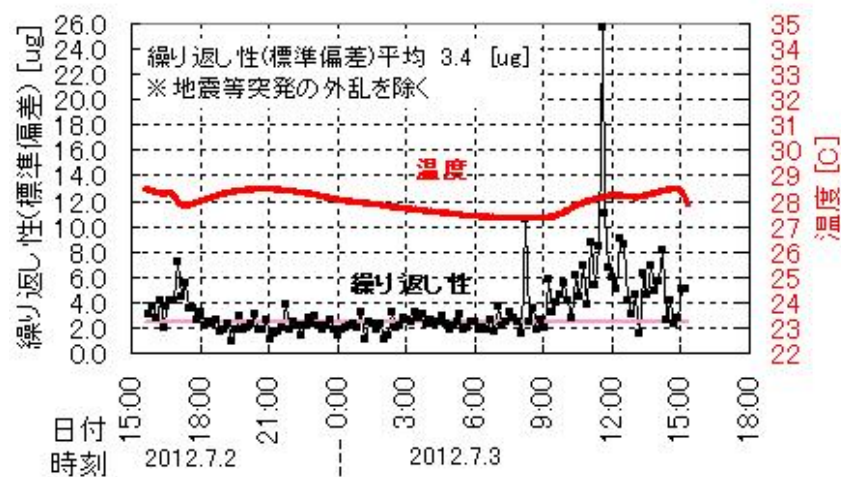
埼玉県北本市: 震度2

除振台の効果

(第29回センシングフォーラム発表資料より)



BM20 FE室 除振台無 2012.07.02-07.03



除振台無し

BM20 FE室 除振台有 2012.07.02-07.03



除振台あり

傾斜による誤差

傾斜の影響

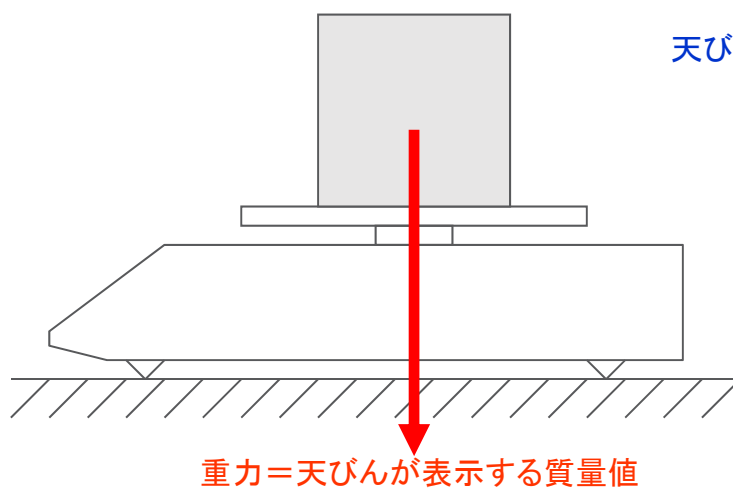


Fig.5

天びんが検出できない力

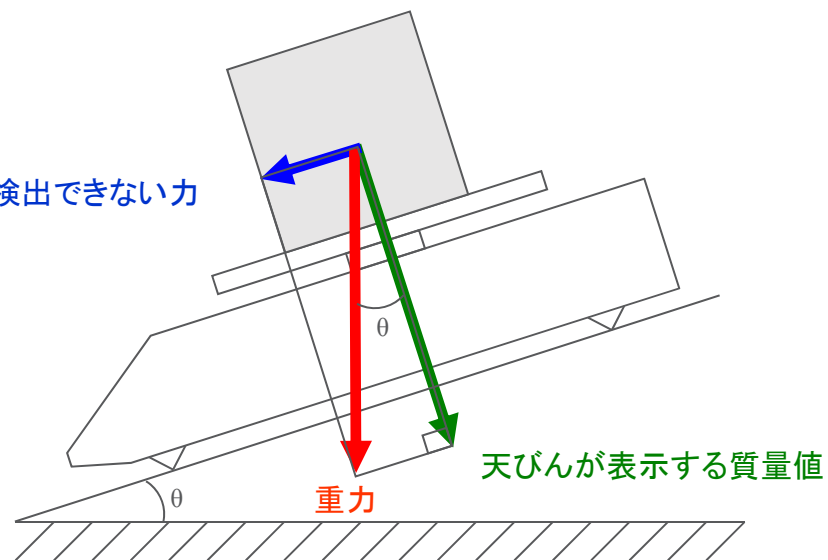


Fig.6

傾斜の対策

水平玉と水平調整機構を使用して、電子天びん本体を水平に設置します。

温度による影響（感度ドリフト）



感度ドリフトとは

電子天びん本体の温度が変化すると、測定値も影響を受けます。
変化量は「感度ドリフト」というスペックで規定されています。

感度ドリフトとは、同じものを温度を変化させて測定したときに、
測定値がどれだけ変化するかを表しています。
変化量の割合はppm (Parts Per Million: 百万分率) で表します。

BM-252の場合、感度ドリフトのスペックは $\pm 2\text{ppm}/^{\circ}\text{C}$ となっています。
これは温度が 1°C 変化することで感度が最大で「 ± 100 万分の2」変化する可能性があることを示しています。

温度による影響(感度ドリフト)



感度ドリフトの計算例

BM-252において25°Cで200.00000gとなるようにキャリブレーションを行いました。その後に周囲温度が26°Cになった場合、感度ドリフトによる測定値の誤差は？

測定値(基準) $\times$ ($ppm / ^\circ C$) $\times$ 温度変化量

$200.00000(g) \times \{\pm 2(ppm / ^\circ C)\} \times \{26(^{\circ}C) - 25(^{\circ}C)\}$

$= 200.00000 \times \frac{\pm 2}{1000000} \times 1$

$= \pm 0.00040(g)$

$= \pm 0.40(mg)$

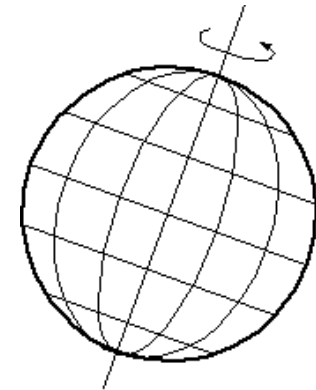
これより、1°Cの変化によって200.00000gに対して最大
 $\pm 0.40mg$ (199.99960~200.00040g) 変化する可能性
があることを示しています。

重力による誤差



緯度による重力加速度の変化

地球は自転により遠心力が発生しています。これは、赤道付近が最大で両極が最小になります。重力は万有引力と遠心力の合力なので、赤道では重力加速度が小さくなり、両極では大きくなります。

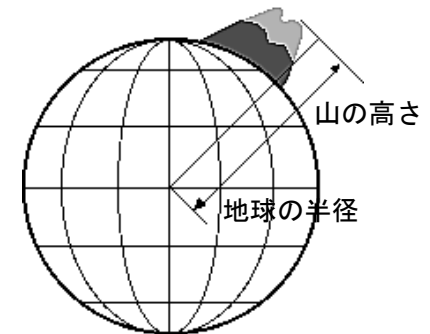


北海道の重力加速度 > 沖縄の重力加速度

標高による重力加速度の変化

標高が低い場所の重力 > 標高が高い場所の重力

例えば、500g分銅を地表で測定する場合と、標高100mの地点で測定する場合、その差は - 0.0157gとなります。



$$500.000g \times \frac{(\text{地球の半径})^2}{(\text{地球の半径} + 100m)^2} = 499.9843g$$

(地球の半径は6371000mとしています)

重力による誤差



重力加速度の影響

製造拠点（茨城）で、100.00gの分銅で校正した電子天びんを国内の各都市に持って行き、同じ分銅を測定するとどうなるでしょう。

場所	重力加速度 (m/sec ²)	分銅の測定値 (g)	製造拠点との 差分(g)
札幌	9.805	100.05	0.05
仙台	9.801	100.01	0.01
茨城(製造拠点)	9.800	100.00	0.00
東京	9.798	99.98	-0.02
名古屋	9.797	99.97	-0.03
大阪	9.797	99.97	-0.03
福岡	9.796	99.96	-0.04
那覇	9.791	99.91	-0.09

※理科年表より

浮力による誤差



空気は約 1.2kg/m^3 (1.2mg/cm^3) 密度があり、最小表示 0.1mg 以下の分析天びんでの計量には、試料にかかる浮力の影響がでてきます。

例) 200g のステンレス分銅(密度 8g/cm^3)を測定する場合

気圧 1000hPa で空気の密度が 0.0012g/cm^3 とすると

浮力 = 空気の密度 $\times$ 分銅の体積

$$= 0.0012\text{g/cm}^3 \times 200\text{g} \div 8\text{g/cm}^3$$

$$= 0.03\text{g}$$

気圧が 980hPa に変化した場合、浮力による誤差は

$$\text{浮力の誤差} = 0.03\text{g} - 0.03\text{g} \times 980\text{hPa} / 1000\text{hPa}$$

$$\doteq 0.6\text{mg}$$

天びんの校正



- 温度による影響
- 重力による誤差
- 浮力による誤差
- 以上の問題を解決するためには、設置場所で天びんを校正(CAL)してください。
 - お手持ちの校正用分銅を使用してください。
 - 内蔵分銅付き天びんの場合は、内蔵分銅によるCALを行ってください。

注目すべき誤差要因の種類



1. 静電気(帯電物)の影響 → 除電、遮蔽する
2. 風(空気の流れ)による影響 → 設置環境に注意する
3. 対流の影響 → 被計量物の温度に注意する
4. 振動による影響 → 設置環境に注意、除振する
5. 傾斜による誤差 → 水平調整する
6. 温度による影響 → 分銅による校正する
7. 重力による誤差 → 分銅による校正する
8. 浮力による誤差 → 分銅による校正する

その他 測定のコツ



- いきなり計量を始めるのではなく、天秤は十分にウォームアップ（通電）し、最初に予備荷重を行いましょう。
- 風防のドアはできるだけ小さく開閉しましょう。
- 被計量物に体温が移らないようにしましょう。
⇒手袋の使用、ピンセットや薬さじの使用など。
- 天びんは定期的に校正をしましょう。

まとめ



- 天びんの選定は、被計量物から
ひょう量や最小表示、標準偏差を考慮しましょう。
- 精密計量の際には、設置環境に十分注意し、
外乱をできるだけ無くしましょう。

おわりに



ご清聴ありがとうございます

ブースNo. **5B-501**
(株)エー・アンド・デイ)に
機器を展示しています。