

電子天びんの誤差要因と対策について

株式会社エー・アンド・デイ
菅野将弘

はじめに

電子天びんの中で、分解能(ひょう量を最小表示で割った値)が高いもの(1/10万以上)は、ほとんどが電磁平衡式を採用している。その中で最小表示が0.1 mg以下のものは、分析天びんと呼ばれ、様々な計量現場で使用されており、最小表示0.0001 mg(0.1 μg)のウルトラマイクロ天びんまで製品化されている。分析天びんは、分解能が高いため、計量精度には温湿度変化だけではなく、重力加速度、気圧、振動などの環境外乱の影響を受けやすい。これは、天びんの感度が人間の感性を大きく超えていて、人には感じられない環境の変化も検出してしまうためである。今回は、これらの環境外乱による誤差要因と対策について説明する。

1. 電磁平衡式の原理

図1に電磁平衡式の構造図を示す。支点によって支持される棒の左右にそれぞれ皿と位置センサー及び電磁駆動部が配置され、皿上の質量を支点で受け、棒が平衡になるように電磁駆動部にて制御する。具体的には、棒の変位が皿上に質量の載る前後で常に同じ位置になるように、コイルに電流を流し、電磁石で力を発生させ、位置センサーで位置の制御を行っている(零位法)。この電流の大きさが重量値となり、零位法を利用することで高分解能を実現している。零位法に対して、ひずみゲージ

式、容量式などの方式は変位法と呼ばれる。

2. 使用時の注意点(誤差要因と対策)

2-1. 静電気の影響

冬の乾燥した時期、クリーンルームなどの低湿度の部屋での樹脂や粉などの計量では、計量値が安定しないことがある。この時には、帯電した樹脂や粉などが影響を及ぼしていると考えられる。このような帯電物は、静電誘導により、周囲のものに逆符号の電荷を発生させ、電荷同士のクーロン力が計量の誤差として表われる。なお、この電荷は、時間と共に空気や計量皿などにゆっくりと放出される。図2に帯電物を近づけた時、図3に帯電物を測定した時の計量値の挙動を示す。

- ① 帯電物が近づいた時には、計量皿が帯電物と逆符号となるため、引き合ってしまう。この事により、皿に上方向の力が加わり、表示値はマイナス方向へドリフトしてしまう。
- ② 帯電物が計量皿よりも広いものを計量する場合、皿から突出した部分が筐体と引き合い、皿に下方向への力が加わり、計量値がプラス方向へドリフトしてしまう。

対策としては、除電と遮蔽である。除電器にて積極的に帯電物を除電してから計量する。または、帯電物を金属でシールドされた箱状の中に入れて計量することで、

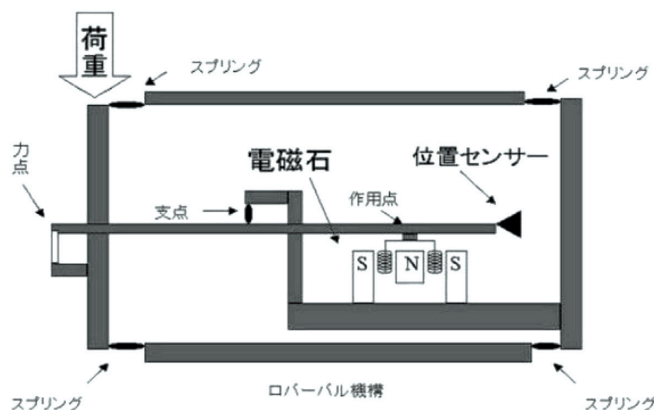


図1 電子天びんの構造図

$$W = N \cdot F = N \cdot n \pi D B I$$

W : 荷重 D : コイルの直径

N : さお比

B : 磁気回路の磁束密度

F : コイルの力

I : 電流値

n : コイルの巻数

静電気の電気力線が周囲に影響を及ぼさずに計量する事が可能である(図4)。

2-2. 対流の影響

温かい温度の試料を計量した場合、マイナス方向へのドリフトがある(図5)。これは、周囲温度よりも高い温度の試料を計量した場合、皿付近にて対流による上昇気流が発生するためである。上昇気流は皿を軽くする方向に働くため、表示値はマイナス方向となる。このドリフトは試料が周囲温度に馴染むと上昇気流が減り、表示値が増加していく。

対策としては、①試料などは、事前に電子天びんと同じ環境温度に馴染ませておく。②試料などを直接手で持たずに、手袋を装着、またはピンセットなどで操作をする。③急激な温度変化のある場所に電子天びんを設置しない。

2-3. 風(空気の流れ)による影響

風が計量皿に当たると計量値が不安定になる。特に分析天びんは人が感知しにくい弱い風でも表示が不安定になる事がある。

風の影響を受け易い場所は以下である。

- エアコンの吹き出し口
- 部屋の出入り口の近く
- 天びんの近くを人が歩く場所

対策としては、風が当たらない場所へ移動、天びん全体を風防で覆い、直接風が当たらないようにする(図6)。

2-4. 振動による影響

天びんに振動が伝わると、計量値が不安定になる。特に低周波の振動には注意が必要となる。振動が発生しやすい状況は以下である。

2階以上のフロア(高層ビル)、風の強い日、免震構造の建物で地震が発生した時、地盤の弱いところ(埋立地、川岸、海岸)で特に風の強い日など。

対策としては、計量スピード(Response)を安定側へ変更、除振台の使用(図7)、1階の壁際に設置するなどである。

2-5. 温度による影響(感度ドリフト)

室内の温度が変化すると、天びんの計量値も変化する。この計量値の変化は感度ドリフトとして定義される。感度ドリフトはカタログや仕様書にppm(1/100万)で記載されている。

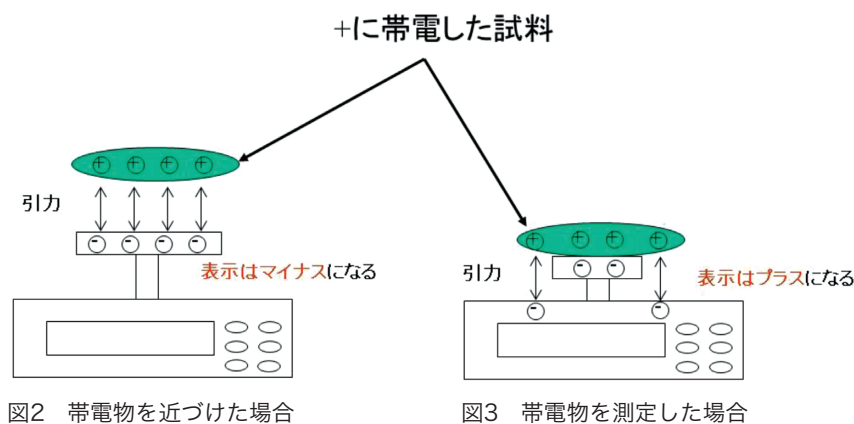


図2 帯電物を近づけた場合

図3 帯電物を測定した場合

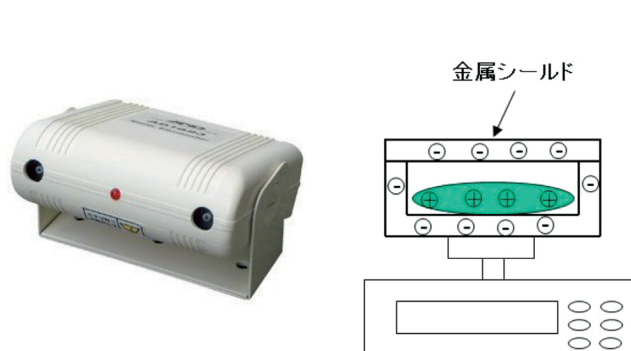


図4 除電器と金属シールド

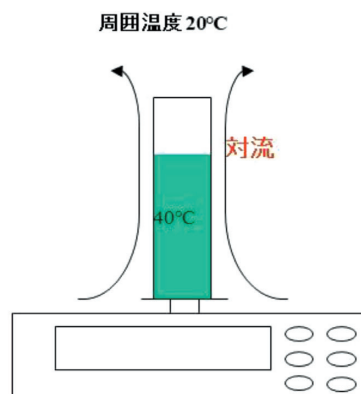


図5 対流の影響

例) ひょう量200 g, 最小表示0.1 mgで感度ドリフトのスペックが, $\pm 2 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ の天びんがあった場合, 室温が2 $^\circ\text{C}$ 変化することで以下のように計量値が変化する場合がある。

$$\begin{aligned} & 200.0000 \text{ g} \times (\pm 2 \text{ ppm}/^\circ\text{C}) \times 2 \text{ }^\circ\text{C} \\ &= 200.0000 \times (\pm 2/1000000) \times 2 \\ &= \pm 0.0008 \text{ g} \end{aligned}$$

よって, 199.9992~200.0008 gの表示となる可能性がある。対策としては, 室内の温度変化が無いようにする必要がある。

2-6. 重力による誤差

2-6-1. 重力とは

地球上の物体は, 地球の中心に『万有引力』と地球の自転に伴う『遠心力』を絶えず受けている。重力は, 万有引力と遠心力の合力となる。重力の大きさ(F)は, 重力加速度(g)と物体の質量(m)の積で表す。電子天びんは構造上, 試料にかかる重力を質量として測定している。そのため, 重力加速度が変わると, 表示値も変化する。重力加速度は, 緯度と標高によって変わる。



図6 天びん全体を覆う風防



図7 除振台付き電子天びん

2-6-2. 場所による重力加速度の変化(図8)

A. 緯度による変化

地球の自転により遠心力が発生し, 万有引力と反対の力が作用する。これは, 赤道付近が最大で両極が最小になる。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, 両極では大きくなる。

北海道の重力加速度>沖縄の重力加速度

B. 標高による変化

同じ緯度であれば, 標高が高い方が地球の中心からの距離が長くなるので, 重力加速度は小さくなる。

標高が低い場所の重力>標高が高い場所の重力

例)500 g分銅を地表で測定した場合と標高100 m地点で測定した場合,

その差は, -0.0157 gとなる。

$$500.0000 \text{ g} \times (\text{地球の半径})^2 \div (\text{地球の半径} + 100 \text{ m})^2 = 499.9843 \text{ g}$$

(地球の半径は6371000 m)

重力の影響を無くすため, 分解能の高い電子天びんは, 使用する現地にて校正を行う。

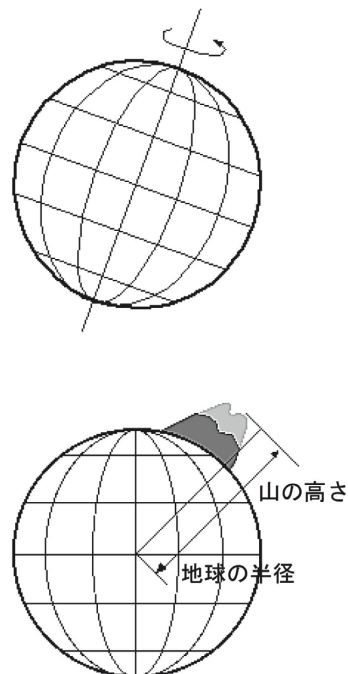


図8 重力による誤差

2-7. 傾斜による誤差(図9)

電子天びんでは、天びんに対し、垂直方向にかかる力(質量×重力)を検出し表示している。天びんが傾いて設置された場合は、物体にかかる力(質量×重力)が、天びんに対して垂直な成分と水平な成分に分解される。この場合も、天びんにとって垂直な成分の力のみを検出し表示するので、本来の質量よりも表示値が軽くなる。

対策は、水平器を使用して、天びんを水平に設置する。

2-8. 浮力による誤差

空気は約 1.2 kg/m^3 (0.0012 g/cm^3)の密度があり、最小表示 0.1 mg 以下の分析天びんでの計量には、試料にかかる浮力影響が出てくる。

例) 200 g のステンレス分銅(密度 8 g/cm^3)を測定する場合

気圧 1000 hPa で空気の密度が 0.0012 g/cm^3 とすると

$$\begin{aligned}\text{浮力} &= \text{空気の密度} \times \text{分銅の体積} \\ &= 0.0012 \text{ g/cm}^3 \times 200 \text{ g} \div 8 \text{ g/cm}^3 \\ &= 0.03 \text{ g}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{気圧が} 980 \text{ hPa} \text{に变化した場合、浮力による誤差は} \\ \text{浮力の誤差} &= 0.03 \text{ g} - 0.03 \text{ g} \times 980 \text{ hPa} / 1000 \text{ hPa} \\ &\approx 0.6 \text{ mg}\end{aligned}$$

前日の気圧が 1000 hPa で校正した天びんに、台風などの影響で 980 hPa の条件下で同じ 200 g の分銅を載せ

ても、天びんの表示は 200.0006 g となる。

3. まとめ

分析天びんでの計量、特にマイクロ天びんを使用する場合は、環境による外乱の影響を小さくする必要がある。分解能が高ければ高いほど環境による外乱の影響を受け易く、誤差として大きく表れるためである。上記、対策の他にも、通電時間を長く(可能であれば電源は抜かない)したり、計量する際に風防のドアは、できるだけ小さく閉鎖したり、被計量物に体温が移らないようにするなどが考えられる。

また、弊社では、マイクロ天びんを設置する環境を連続的にモニターし、同時に天びんの性能の確認を行う『計量環境評価ツール：AND-MEET(Measurement Environment Evaluation Tool)』を提案している。これは、一定時間の環境状態と計量値の繰返し性を評価することで、環境の要因か天びん自体の計量性能の不良なのかを明確にし、対策を講じることで、正しい計量を行えるようサポートするツールである。天びん使用者が安心して計量作業が行える環境を提案していく事も重要であると考えられる。

〈参考文献〉

第28回センシングフォーラム 『生産ライン用天びんの繰返し性に関する考察』出雲/深見/土舘/佐藤
第28回センシングフォーラム 『分析天びんの基本性能に関する考察』 出雲/深見/佐藤

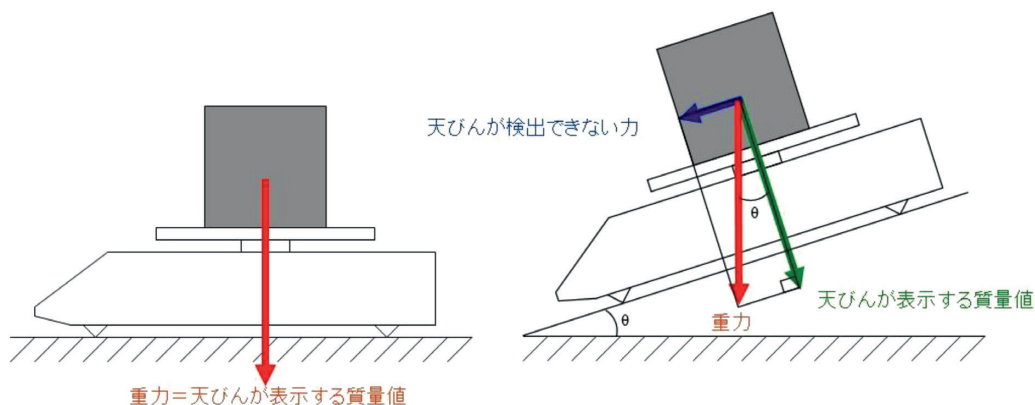


図9 傾斜による誤差

■執筆者

菅野将弘

株式会社エー・アンド・デイ 第1設計開発本部 第5部

364-8585 埼玉県北本市朝日1-243

TEL : 048-593-1362

<https://www.aandd.co.jp/>