

マイクロ天びんで安定した計量するための
12の秘訣

μ?

μ?

AND 株式会社 エーアンド・デイ

本社:〒170-0013 東京都豊島区東池袋3丁目23番14号
TEL.03-5391-6128(直) FAX.03-5391-6129
■札幌出張所 TEL.011-251-2753(代) FAX.011-251-2759
■仙台出張所 TEL.022-211-8051(代) FAX.022-211-8052
■宇都宮営業所 TEL.028-610-0377(代) FAX.028-633-2166
■東京北営業所 TEL.048-592-3111(代) FAX.048-592-3117
■東京南営業所 TEL.045-476-5231(代) FAX.045-476-5232
■静岡出張所 TEL.054-286-2880(代) FAX.054-286-2955
■名古屋営業所 TEL.052-726-8760(代) FAX.052-726-8769
■大阪営業所 TEL.06-4805-1200(代) FAX.06-4805-1201
■広島営業所 TEL.082-233-0611(代) FAX.082-233-7058
■福岡営業所 TEL.092-441-6715(代) FAX.092-411-2815

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

マイクロ天びんで、こんな問題を抱えていませんか？

- ▶ 表示が動き続けて止まらない
- ▶ 正しく設置できているのか不安
- ▶ データがバラつく
- ▶ とにかく、何かが変な気がする

マイクロ天びんは、極めて敏感な機器です。その目量 $1\mu\text{g}$ (マイクログラム)は、1円玉(約 1g)の重さの $1/1,000,000$ に相当し、分解能は、例えばエー・アンド・デイ製のマイクロ天びんBM-20で、 $1/22,000,000$ にも上ります。これは、距離に置き換えると、札幌と那覇の間(約 $2,247\text{km}$)を、ほんの 10cm きざみで測れるということになります。

このような感度の高さを思えば、設置環境あるいは操作の仕方によって起こる僅かな外乱が、マイクロ天びんの安定性に大きな影響を及ぼすとしても、なんら不思議ではないでしょう。ところが多くのユーザーにとって厄介なのは、実際に何が測定を不安定にしているのかが、はっきり分からないということなのです。

本冊子は、設置と操作それぞれの面から、マイクロ天びんを不安定にさせる代表的な要因を明らかにし、ご自身で解決する手助けになることを目的としています。

本冊子を一通りお読みいただき、それでも測定を安定させられない、または専門家による直接のアドバイスや使用場所の評価をご希望の場合は、お近くのエー・アンド・デイ営業所までご連絡ください。

目次

本冊子で使用する用語の解説	4
---------------------	---

“設置”に関する秘訣

秘訣 1 たとえ人が感じなくても、振動源となるものは全て避けるか、 隔離しましょう	6
秘訣 2 周囲の温度を安定させましょう	8
秘訣 3 周囲の湿度を安定させましょう	10
秘訣 4 マイクロ天びんが十分にウォームアップされ、部屋の温度や 湿度に馴染むまで待ちましょう	10
秘訣 5 空気の流れや圧力変動を防ぎましょう	12

“操作”に関する秘訣

秘訣 6 静電気を防ぐ、あるいは除去しましょう	14
秘訣 7 天びん計量室内での対流の発生をできるだけ抑えましょう	16
秘訣 8 マイクロ天びんを、体温や呼気から守りましょう	17
秘訣 9 操作中、重量センサーに衝撃や揺れが伝わらないよう 注意しましょう	17
秘訣 10 内蔵分銅による校正機能を測定環境の簡易チェックに 利用しましょう	18
秘訣 11 表示値を読み取るまでの時間を一定に保ちましょう	18
秘訣 12 測定する量が $100\mu\text{g}$ 以下になる場合は、ゼロトラック機能を オフにしましょう	19

本冊子で使用する用語の解説

ゼロ点とスパン値

ゼロ点とは、被計量物が皿に載っていない状態での天びんの出力のことで、測定の基点となります。対してスパン値とは、被計量物が皿に載ることによる出力の変化量のことで、被計量物の正味重量を示します。

スパン値を得るには、被計量物が載せられたときの表示値から、載せる前（ゼロ点）の表示値を引く必要があります。通常の使用では、各測定にあたりリゼロ／風袋引きキーまたはゼロトラック機能*を用いて、表示値を一旦ゼロにします。すると、被計量物を載せたときの表示値がスパン値と同じになります。

*ゼロトラック機能が備わった天びんは、ゼロ点を自動的に追尾し、表示値をゼロに保つことができます。

繰返し性

繰返し性は、同一の質量を同一の測定者が同一の条件下で繰返し測定したときの結果のばらつき具合を示します（これは、天びん自体の性能に加え、測定者や被計量物、測定手順、環境などの要因が、測定値の一貫性を左右するという前提に基づいています）。

一般的に、繰返し性は一連のスパン値から計算された標準偏差 (σ) によって表されます。例えば、標準偏差が0.004mgの場合、複数回行った計量の結果（スパン値）が、それらの平均値 ± 0.004 mgの範囲に約68%の確率で収まるであろうことを意味しています（図1）。

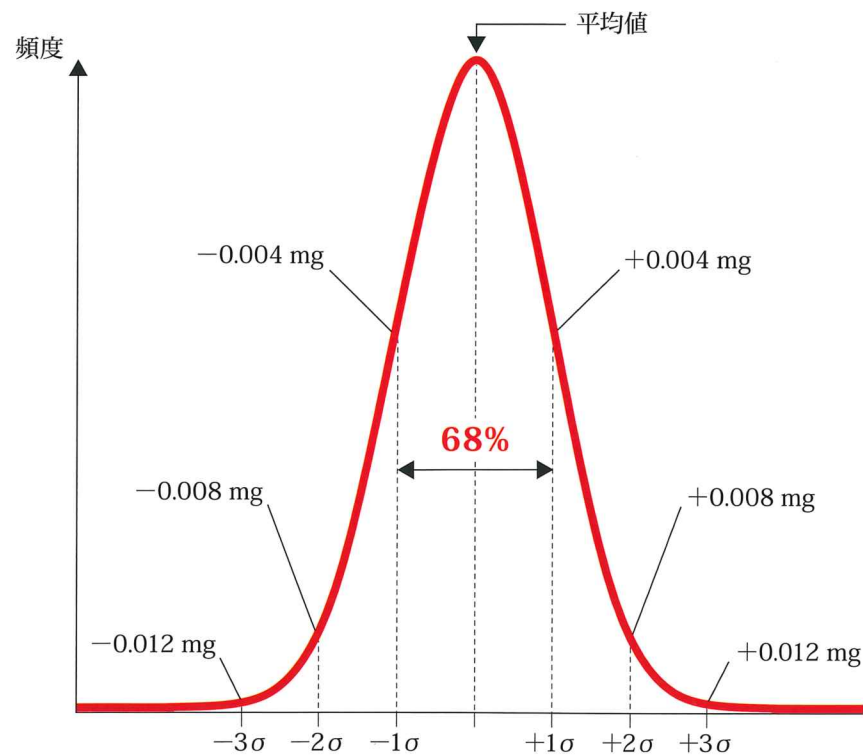


図1. 標準偏差が0.004mgのときに想定される結果の分布

ゼロ点ドリフト

ゼロ点とスパン値は、両方とも周囲の温度変化やその他の原因により変化＝“ドリフト”していきます。

計量の目的は、スパン値を決定することです。そのため、一般的に天びんメーカーは、スパン値のドリフト量についてはカタログ等で規定しています（感度ドリフト）。一方、スパン値に比べ、ゼロ点は環境変化の影響をはるかに受けやすく、そのドリフト量の仕様を公開しているメーカーはほとんどありません。

被計量物を載せたあと表示値がドリフトし続けて止まらない現象は、多くはゼロ点のドリフトを反映しており、スパン値は安定していることが多いです（図2）。ゼロトラック機能が表示をゼロに保つのは、計量が始まる前だけです。

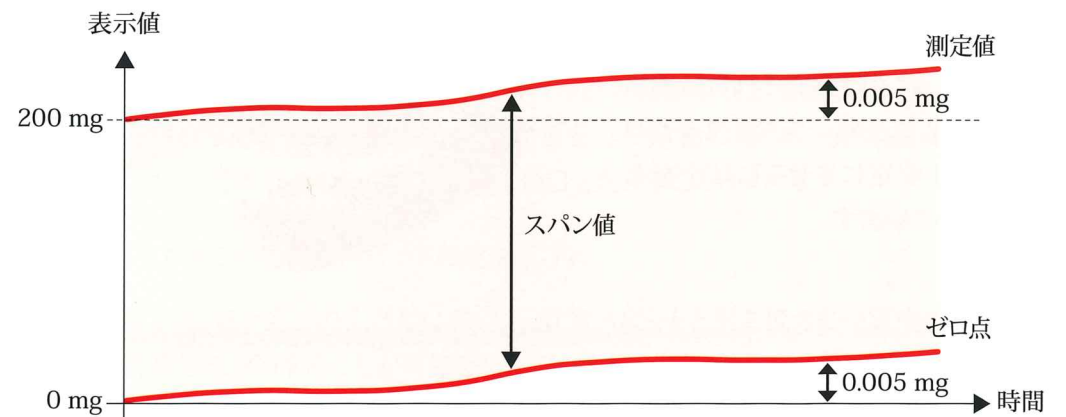


図2. ゼロ点はドリフトしても、スパン値は安定

ゼロ点の急なドリフトや上下変動は、繰返し性を悪化させることでも知られています。このような理由から、マイクログラムの計量を安定させられるかどうかは、いかにゼロ点の動きを抑えられるかに大きくかかっていると云えます。

“設置”に関する秘訣

秘訣 1

たとえ人が感じなくても、振動源となるものは全て避けるか、隔離しましょう

理由

マイクロ天びんは、僅かな振動にも大きく影響されます。例えば、

- 強風による建物（あるいは隣接する建物）のゆっくりとした揺れ
- 海岸沿いにおける高い潮や波
- 人や台車、フォークリフトなどの移動
- 近くを走る電車や自動車
- 遠くで発生した地震

これらによって引き起こされた振動は、人が感知しにくい一方で、マイクロ天びんを不安定にさせるには十分な強さを持っています。



解決策

振動の影響を低減させる方法として、以下のものが挙げられます。

- ① 設置場所は、なるべく壁の近く、部屋の隅を選ぶ。

部屋の中央は強度が弱く、床が揺れやすくなっています。対して部屋の隅は、建物の構造上たいてい支柱となっており、床もしっかりしています。

- ② 人の移動が最小限となる場所を探す。

できれば、人が通り抜けられない行き止まりを選んでください。ドアの近くは、開け閉めによる振動その他の外乱が生じやすいため、避けてください。

- ③ マイクロ天びんは重厚かつ剛性の高い作業台に設置し、そこでは計量以外の作業を行わない。

作業台は、壁や他の作業台、机等から数センチ離し、振動が伝わるのを防いでください。

- ④ エー・アンド・デイ製のAD-1671など、天びんメーカーが推奨するパッシブ型除振台を使用する。



除振台 AD-1671

高額なエアサスペンション方式のアクティブ型除振台は、除振台それ自体が振動源となってしまうため、マイクロ天びんを設置するには適しません。

- ⑤ 地震発生後（発生中は言うまでもなく）、あるいは台風のような低気圧が通過している間は、測定を中止する。

これらの現象によって引き起こされる低周波の振動を安定させる方法は、現在のところ確立されていません。さらに、免震構造を持つ建物の場合、一度地震が発生すると、マイクロ天びんが再び安定するまでに数日を要することがあります。

- ⑥ マイクロ天びんの計量スピード設定を下げる。

今日では、ほとんどの天びんにおいて、計量スピードと引き換えに安定度を上げるなど、応答特性を調節することが可能となっています。

最後に、マイクロ天びんを設置する部屋は、⑦ 大きな通りや重量物の移動ルートから遠く、

- ⑧ 強固な地盤に立てられた剛性の高い建物のできるだけ低い階層、にあることが望まれます。

周囲の温度を安定させましょう

理由

周囲温度の変化は、計量の正確さだけでなく、ゼロ点の安定にも影響します (P.4~5、“ゼロ点とスパン値”及び“ゼロ点ドリフト”参照)。

普段、天びんのゼロトラック機能が作動していると、ディスプレイ上にゼロ点の動きは見えません。ですが、ゼロ点の急速なドリフトや上下変動は、マイクロ天びんの繰り返し性が深刻に悪化する形で表れてきます。

解決策

温度変化の影響を低減させる方法として、以下のものが挙げられます。

- ① 必要に応じてエアコンを使用し、部屋の温度を一定の範囲に保つ。

一日の温度変化は4℃以内 (10~30℃の範囲にて)、短時間での温度勾配は30分間に0.2℃以内であることが望まれます。

- ② 同時に、マイクロ天びんをエアコンの送風口から離し、エー・アンド・デイ製のAD-1672など、外付けの風防で覆う。



卓上風防 AD-1672

空調は、室温を一定の状態に維持する反面、空気の流れ (微風) も生み出します。

しかも、設定された温度近辺でオン/オフ制御を繰り返すため、常に0.5℃程度の小刻みな上下変動=“リップル”を引き起こします。このような温度のリップルをとまなう空気の流れは、マイクロ天びんを特に不安定にすることで知られています (P.12、秘訣5“空気の流れや圧力の変動を防ぎましょう”も併せて参照)。

対策として、マイクロ天びんがエアコンの送風に直接さらされないよう配慮してください。エアコンから距離を置くことに加え、大きな風防でマイクロ天びん全体を覆うことは非常に効果的であると判明しており、強くお勧めします。エアコンとマイクロ天びんの設置場所の間をパーテーションで仕切るのも良いでしょう。

- ③ 熱を発生する機器 (炉、ランプなど) はマイクロ天びんから遠ざけるか、できれば部屋の外へ出す。

動かせない場合は、それらの機器が作動中に測定を行わないようにしてください (P.11、“ケーススタディ”参照)。

- ④ 外気に近い場所 (窓やドアのそばなど) や直射日光が当たる場所への設置は避ける。

また、反対側が屋外となる壁は、室内との温度差が生じる傾向にあります。そのため、マイクロ天びん近くの壁としては、反対側も別の部屋になっているものが理想です。



- ⑤ 熱伝導率が低い、非金属製の作業台にマイクロ天びんを設置する。

作業台は、熱が伝わるのを防ぐため、壁から数センチ離してください。

- ⑥ なるべく広い部屋にマイクロ天びんを設置し、測定時に入室できる人の数を制限する。

小さな部屋の温度は、人の体温で簡単に上昇します。

秘訣 3

周囲の湿度を安定させましょう

理由

ゼロ点ドリフトは、湿度の変化にともなって、重量センサーに水分がゆっくり吸着していったり、あるいはそこから蒸発していったりすることでも引き起こされます。

解決策

必要に応じてエアコンを使用するなどして、湿度を管理してください。

一日の湿度変化は10%以下に抑えるよう推奨します。

秘訣 4

マイクロ天びんが十分にウォームアップされ、部屋の温度や湿度に馴染むまで待ちましょう

理由

通常、マイクロ天びんが通電されてから部屋の環境に馴染むまでには6~8時間、あるいは12時間という長さを要します。この間、ゼロ点ドリフトは特に大きくなり、繰り返し性を悪化させます (P.11、“ケーススタディ”参照)。

解決策

部屋の環境条件を一定に保ちつつ、マイクロ天びんは少なくとも測定を開始する一日前には設置、通電してください。

電源につながれている時間が長くなればなるほど、機器内部の熱均衡がとれ、電子部品の特性も安定します。従って、できればマイクロ天びんは、常に通電状態に置いておくのがベストです。

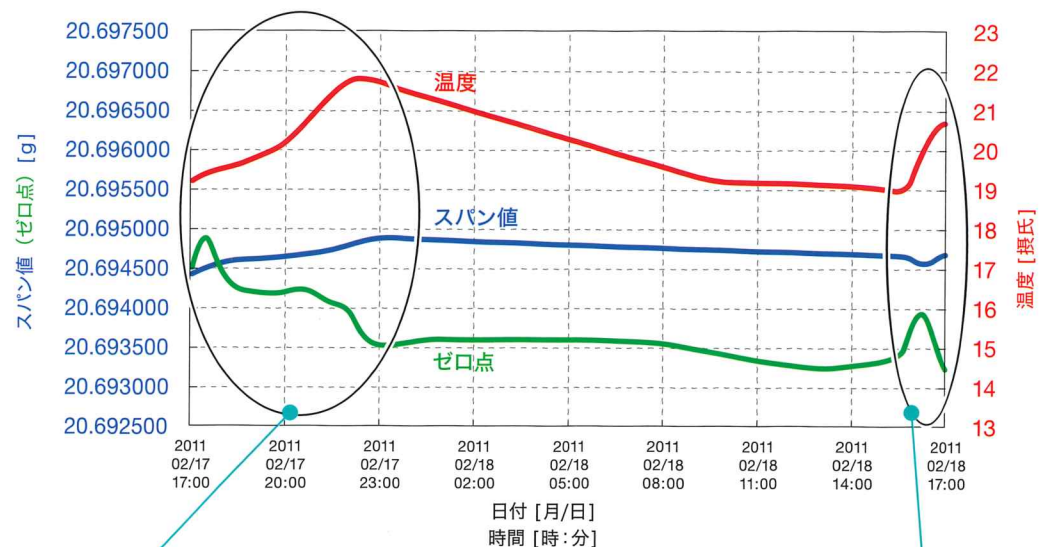
ケーススタディ

下記の2つのグラフは、日本のある大学の研究室に設置されたエー・アンド・デイ製のマイクロ天びん BM-22*を使い、24時間に渡って取得したデータを示しています。内蔵分銅(約20g)を40秒サイクルで自動的に昇降させ測定し、天びんの温度、ゼロ点、スパン値を同時に記録しました(グラフ1)。

さらに、隣り合うスパン値10回分毎に繰り返し性(標準偏差)を計算し、プロットしました(グラフ2)。

ゼロ点と繰り返し性、どちらも温度変化の影響を受けている様子が、はっきりと見てとれます。

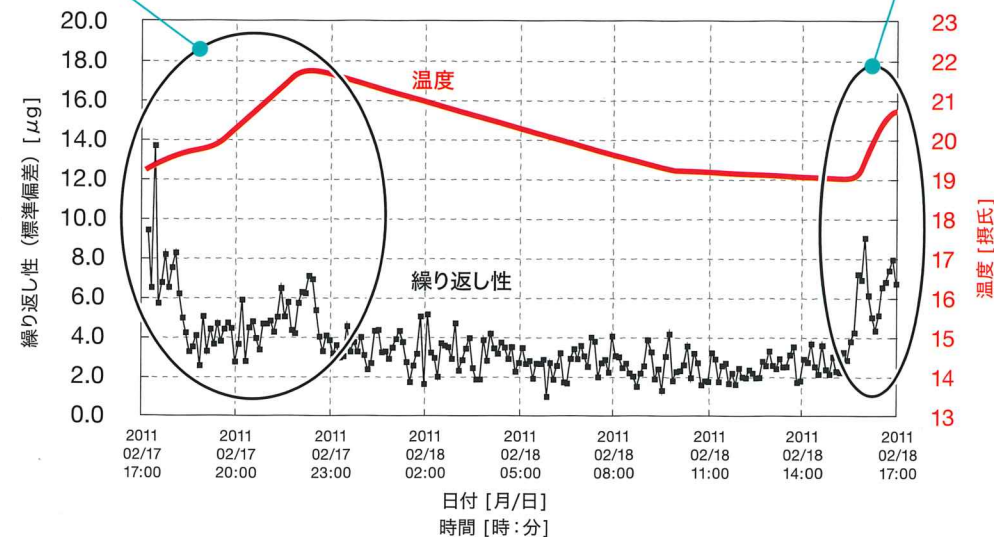
*BM-22は、ひょう量5.1g / 22g、最小表示0.001mg(1μg) / 0.01mgのスマートレンジモデルです。繰り返し性の仕様は、1gの分銅にて0.004mg(4μg)となっています。



グラフ1. 温度・ゼロ点・スパン値、24時間の変化

パワーオンによる、BM-22のウォームアップの影響

近くの加熱炉によって生じた急な温度上昇



グラフ2. 温度および繰り返し性、24時間の変化

空気の流れや圧力変動を防ぎましょう

理由

風や空気の循環は、マイクロ天びんを不安定にします。エアコンからの送風は、天びん本体を揺らすだけでなく、マイクログラムの計量で特に好ましくない、温度の変動を引き起こします (P.8、秘訣2 “周囲の温度を安定させましょう” も併せて参照)。

人の通過、ドアの開閉などによる空気の乱れや圧力変動でも、マイクロ天びんは不安定になります。

解決策

空気の流れや圧力変動の影響を低減させる方法として、以下のものが挙げられます。

- ① エアコンや換気装置など、風が発生する場所からマイクロ天びんを遠ざける。

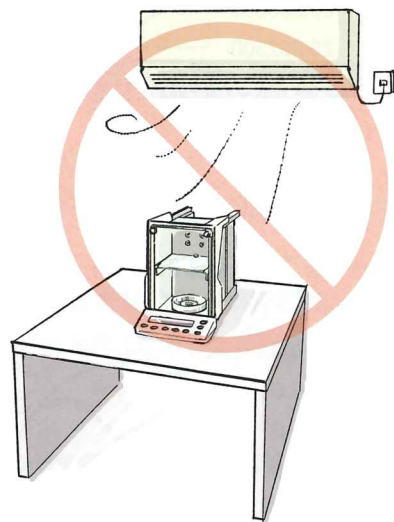
それが難しければ、パーテーションを設けて直接風が当たるのを防いでください。

- ② エー・アンド・デイ製のAD-1672など、外付けの風防でマイクロ天びんを覆う。

空気の動きからマイクロ天びんを守ることに加え、温度変化の影響を和らげる効果もあります。

- ③ 可能であれば、開き戸は圧力変動の原因となりやすいので、引き戸に取り替える。また、通風孔を確保し、部屋が気密になるのを避ける。

もちろん、人や外気が測定を乱すので、ドアの近くにはマイクロ天びんを設置しないでください。



- ④ 気圧に急激な変動が見られるときは、測定しない。

低気圧の通過による強風でビルが揺れることを含め、急な気圧の変化は測定の乱れにつながります (P.6~7、秘訣1 “たとえ人が感じなくても、振動源となるものは全て避けるか、隔離しましょう” も併せて参照)。

安定した計量を行うには、一日の気圧変化は10hPa以下であることが望まれます。

環境を効率的に管理する方法

ここまでで明らかなように、マイクロ天びんの計量を安定させるには、環境条件を整えることが必須となります。そのため、エー・アンド・デイ製のAD-1687のように、主要な環境パラメーターを複数同時に測定できる機器があると大変便利です。

AD-1687は、温度、湿度、気圧、そして振動まで、一台で経時変化を監視し、日付・時刻付きで記録することができます。また、エー・アンド・デイ製の天びんに接続すれば、それらの環境データを天びんから送られてきた重量値と併せて記録することも可能です。



環境ロガー AD-1687

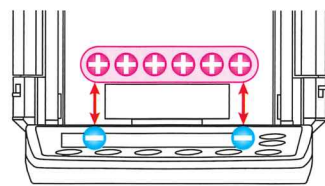
“操作”に関する秘訣

秘訣 6

静電気を防ぐ、あるいは除去しましょう

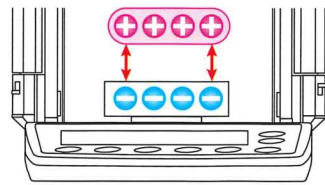
理由

精密計量の大敵であるにもかかわらず、意外と見落とされるのが静電気です。電荷を帯びた物体は、近くの物体に反対の電荷を誘導します。その結果、物体同士が引き合い、安定した測定を行うのが非常に難しくなります。



帯電物を測定したとき

実際より重い値が表示されます。そして、静電気が空気中や計量皿へ逃げていくにつれ、値は変化していきます。



帯電物が近づいたとき

静電気の引力が計量皿を反対方向に引っ張るため、値がドリフトします。

フィルター、薬包紙、プラスチック製マイクロチューブなどは、全て普通に扱っているだけで帯電することがあります。また、静電気は粉体を散らすため、二次汚染の原因にもなります。

解決策

静電気の影響に対処する方法として、以下のものが挙げられます。

- ① 部屋の湿度をRH40%以上に保つ。

それ以下の湿度になると、静電気が発生しやすくなります。特に、乾燥した冬場は人や着衣が容易に帯電するため、注意が必要です。

- ② エー・アンド・デイ製のBM-20/22など、風防ガラスに導電処理が施されたマイクロ天びんを選ぶ。

これで、測定者が帯電していても、計量室内に電気力線が入るのを防ぐことができます。

- ③ 湿度が低いときは、プラスチックやガラス製の計量容器は使用しない。代わりに、金属製の計量容器を使用する。

プラスチックやガラスといった非導電性の材質は、すぐに静電気を引き起こします。

- ④ イオナイザー（除電器）を使用する。もしくは、エー・アンド・デイ製のBM-20/22のように、イオナイザーが内蔵されたマイクロ天びんを使用する。

これが、最も素早く簡単そして確実に、被計量物や計量容器から静電気を除去する方法です。測定前にほんの1~2秒、イオナイザーにかざすだけです。

エー・アンド・デイが採用する直流式イオナイザーは、イオンを運ぶのにファンで風を発生させる必要がありません。従って、細かな粉体試料でも吹き飛ばすことなく、しっかりと除電できます。



除電器 AD-1683



マイクロ天びん BM-20

秘訣 7

天びん計量室内での対流の発生をできるだけ抑えましょう

理由

例えば、被計量物を離れた場所から持ってきて、すぐに測定を開始したとします。この時、その被計量物と周囲との間には、温度差が存在している可能性があります。

被計量物の温度の方が高い場合、その表面付近に暖かい空気の層が発生し、上昇気流となります（図3）。それが被計量物を持ち上げるため、実際よりも軽い値が表示されます。（反対に、低い場合は、重い値が表示されます。）

被計量物が冷めるにつれ、対流は弱まります。すると、表示値が徐々に増えていくので、測定は不安定になります。

また、計量室のドアが開いて中の空気が入れ替わることで、対流は起こります。計量室内部に微妙な温度変化をもたらし、それがドリフトや繰り返し性の悪化につながります。

計量室内に手を入れる行為も、温度の乱れを生じさせます。

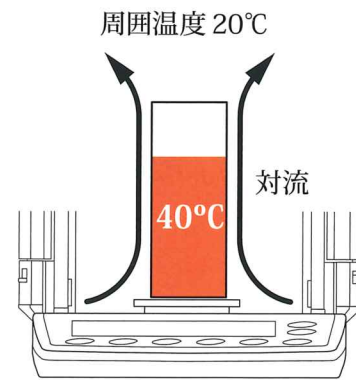


図3. 対流の影響

解決策

被計量物や計量容器はマイクロ天びんの近く、できれば計量室の中に置き、温度が十分に馴染むのを待ってから測定を開始してください。

被計量物を皿に載せる際、ドアはなるべく小さく開け、素早く静かに閉めてください。

被計量物や計量容器を直接手で掴むことは厳禁です。長めのピンセットを用意し、計量室の中に手を入れないようにしてください。

秘訣 8

マイクロ天びんを、体温や呼気から守りましょう

理由

人の身体が発する、あるいは吐息に含まれる熱は、重量センサーに伝わり、ドリフトを引き起こします。強い呼気の場合、空気の流れによっても安定した測定が脅かされます。

解決策

マイクロ天びんには、必要以上に近づかないようにしてください。体温を封じ込めるため、できるだけ白衣やマスクを着用するよう心掛けてください。また、食後は体温が上昇しやすいので、測定を控えてください。

イー・アンド・デイ製のAD-1672など、外付けの風防でマイクロ天びんを保護することが、最も良い対策となります。

秘訣 9

操作中、重量センサーに衝撃や揺れが伝わらないよう注意しましょう

理由

重量センサーがショックを受けると、ゼロ点がばらつき、繰り返し性が損なわれます。

解決策

風防のドアを乱雑に開け閉めして、衝撃を起こさないようにしてください。

被計量物を載せるときは、ピンセットで皿を押さないよう気をつけてください。

天びんのキーは、極力そっと押すか、できればイー・アンド・デイ製のAD-8922Aのような外部コントローラーを使用するようにしてください。（マイクロ天びんが除振台の上に設置されている場合は、垂直に力がかかると傾きが生じて測定が不正確になる恐れがあるため、後者を特にお勧めします。）

加えて、重量センサーの慣らし運転として、実際の測定を始める前に、分銅を1~2回載せる“予備荷重”を行うと良いでしょう。



外部コントローラー AD-8922A

秘訣 10

内蔵分銅による校正機能を測定環境の簡易チェックに利用しましょう

内蔵分銅を使って校正を行い、それに要する秒数を計ってください。もし普段よりも長くかかるようなら、測定環境に何らかの問題があるというサインです。測定を、別の日や時間帯まで延期するのが無難です。

もう一つの方法として、エー・アンド・デイ製のマイクロ天びんBM-20/22であれば、自動的に内蔵分銅（約20g）を10回測定し繰り返し性（標準偏差）を計算する機能が備わっているので、それを利用して与えられた環境下での性能を確認することも可能です。

秘訣 11

表示値を読み取るまでの時間を一定に保ちましょう

マイクロ天びんの動きは、その時々測定者や測定条件に多かれ少なかれ左右されます。被計量物*を載せてから何秒後が、最も表示値が読み取りやすくなるのか、ストップウォッチを用いて見つけてください。もし、それが例えば20秒であったとしたら、その後の測定でも全て20秒後の値を読み取るようにしてください。

*計量容器などを使ってテストしてください

このように測定することで、繰り返し性が向上し、より信頼性の高い結果を得ることができます。

被計量物が粉体の場合、計量容器に注ぐ作業は、マイクロ天びんの外で行うようにしてください。読み取り間隔を一定にしやすく、さらに計量室内の二次汚染を防ぐこともできます。

秘訣 12

測定する量が100 μ g以下になる場合は、ゼロロック機能をオフにしましょう

測定の対象が軽ければ軽いほど、重量の検出はゆっくりになります。そのため、ゼロロック機能を有効にしたままだと、遅い出力値の変化をマイクロ天びんがゼロ点のドリフトと判断し、結果として表示がゼロのまま動かないという現象が起こります。

なお、ゼロロック機能をオフにすると、表示にゼロ点の動きが反映されます。ですので、測定前には毎回ゼロを行うようにしてください。