

手 動 天 び ん

○ 概要

質量測定に用いられる手動天びんは、原理的に構造が簡単で精度よく測定できる。とくに基準器として使用されるものは感量がひょう量の 1/100,000 以下であるので、精度を確保するためには相応の構造条件を備えており、管理もそれなりに行わなければならない。

また、文末に手動天びんを使用しての分銅校正方法（置換法）も記してあるので、分銅校正の際に参考にしていただければ幸いである。

○ 原理

手動天びんの空掛けにおけるつり合いが右図で示されるとき、そのつり合い式は、

$$W_0ga = P_0ga' + Ggd$$

となる。

ここで、

a, a' : 腕の長さ

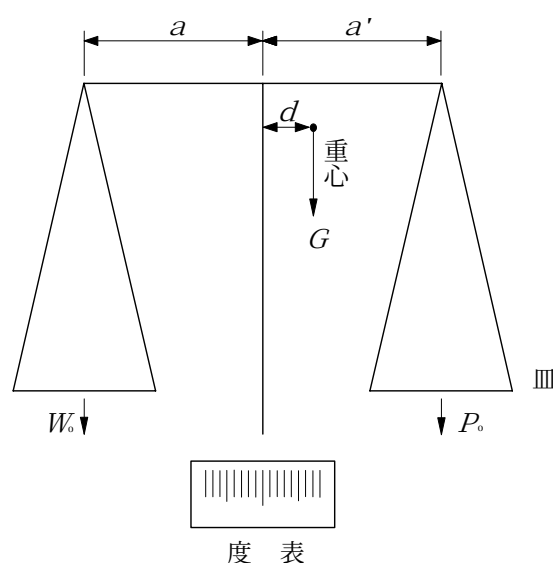
d : 支点とさおの重心間の水平距離

G : さおの質量

W_0 : 重点に作用する空掛け時の質量

P_0 : 力点に作用する空掛け時の質量

g : 重力の加速度



次に左皿に被計量物 W をのせ、右皿に空掛けのつり合い位置と同じつり合い位置になるように分銅 P をのせてつり合わせる。この時のつり合い式は、

$$(W_0 + W)ga = (P_0 + P)ga' + Ggd$$

となる。空掛けにおけるつり合い位置と同じつり合い位置にしているので、

$$Wga = Pga'$$

となる。手動天びんは $a = a'$ に作られているので $W = P$ となり、右皿にのせた分銅の表記質量を読み取ることによって容易に被計量物の質量が判る。

このような原理に基づく手動天びんは、はかりの中で最も構造が簡単で、しかも精度が高い。

○ 構造

右図に手動天びんの標準的な構造を示す。

手動天びんのさおには、支点刃 F を中心にして左右等距離の位置に重点刃 A と力点刃 B とがあり、つり合い位置を調整するために用いられる調子玉と、感じの微調整を行うために用いられる重心玉とが取り付けられている。

重点刃と力点刃には、それぞれの刃受を介して皿が懸垂されるようになっており、つり合い状態を鋭敏にするため、刃と刃受面はよく研がれている。

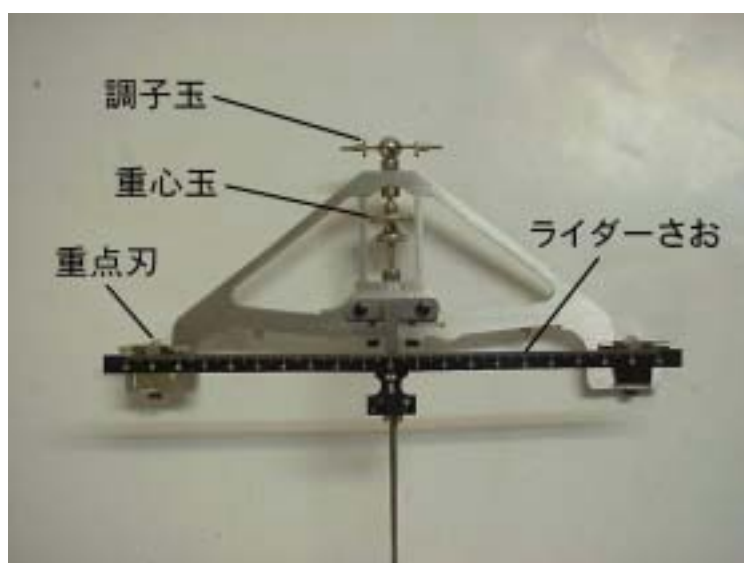
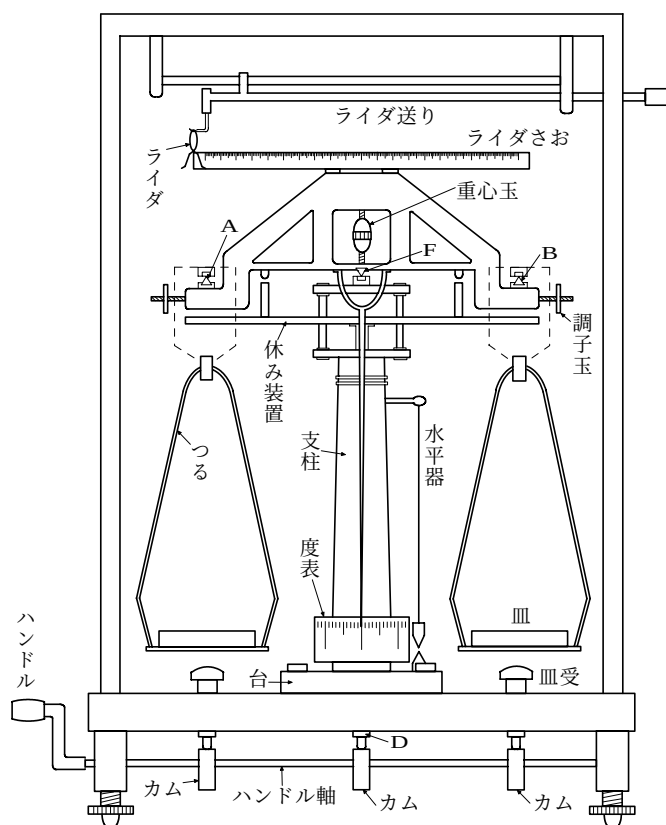
分銅の乗せ下ろしによる衝撃により、刃または刃受が損傷しないように休み装置が設けられている。

ハンドルを回すと、ハンドル軸に

取り付けられたカムと棒 D によって休み装置は下げられ、さおは支柱上部に固定された支点刃受で支えられ、同時に皿も懸垂されて作動状態になる。

つり合いの視定は、さおに固定されている指針と、支柱の下部に固定された度表によって行われる。水平器も見やすいところに取り付けられている。

微小分銅の乗せ下ろしと同じ効果を得るために、ライダおよびライダさおで行えるようにしてある。



○ 外観検査

以下の構造の技術基準は、計量法基準器検査規則（平成 5 年 10 月 27 日通商産業省令第 71 号）を採用している。

(1) 表記事項

つぎの表記事項を見やすい箇所に、誤記や誤認のおそれなく鮮明に表記されており、しかも容易に消滅するものであってはならない。

- ① 器物番号
- ② ひょう量
- ③ 感量

(2) 度表と指標

- ① 度表の目盛線の太さは、目幅の長さの $1/6$ 以下であり、かつ 0.1mm をこえるものであること。
ただし、目盛をレンズにより拡大して読むものには適用しない。
- ② 度表の目盛線の太さは、均一であること。
- ③ 度表の目幅は、 1mm 以上であること。
ただし、目盛をレンズにより拡大して読むものには適用しない。
- ④ 度表の目幅は、均一であること。
この場合において、目幅の $1/10$ 以内の誤差は許される。
- ⑤ 度表の目盛線は、相互に対応するものにあっては、その大きさその他の性質が均一であること。
- ⑥ 指標の指示部分の太さは、度表の目盛間隔の $1/5$ をこえないこと。
- ⑦ 指標の指示部分は、あらゆる目盛線に重なるか又は達していること。
ただし、指針の先端部分が目盛面と同一の平面上にあるものにあってはこの限りではない。
指針と先端部分が目盛板と同一の平面上にあるものは、指針の先端部分と目盛線との距離が 0.5mm を超えてはならない。
- ⑧ 指標の指示部分と目盛面との間隔は、 1mm をこえないこと。
- ⑨ 指標の指示部分は、度表の目盛がある範囲以上に動くこと。
- ⑩ 指標が目盛面の上を目盛面と常に同一の間隔を保って移動すること。

(3) 刃と刃受け

- ① 刃受け面は、なめらかであること。
- ② 刃と刃受けのかたさは、ロックウェル C 硬さ 57 以上であること。
- ③ 刃と刃受けには、きず、焼きひび又は腐食のないこと。
- ④ 刃と刃受けとは、その接触すべき面の $2/3$ 以上が互いに接触していること。

(4) 調子玉（零点調整機構）

調子玉は、容易に遊動するものであってはならない。

(5) 休み装置

休み装置は、てこの両ひじに対して均等かつ同時に作用するものでなければならない。

(6) 懸垂装置

懸垂装置は、作動しているとき又は休み状態から作動状態に移るときに、著しく動揺するものであってはならない。

(7) 水平器及び水平調整用ねじ

基準天びんには、角度 20 分の傾きを感じずる水平器及び水平調整用のねじが付されていなければならない。ただし、ひょう量が 20kg 以上のものにあつては、水平調整用ねじが付されていることを要しない。

(8) 風よけ

感量がひょう量の $1/20000$ 以下又は 1mg 以下の手動天びんには、風よけが取り付けられていなければならない。ただし、感量がひょう量の $1/150000$ 以上のものであつて、そのひょう量が 20kg 以上のものにあつては、この限りではない。

(9) ライダーさお

ライダーさおは、その目盛線又は切り込みのうち中央部及び左右両端にあるものの位置がそれぞれ支点の刃及び両端の刃の位置と一致し、かつ、すべての目盛線又は切り込みが等間隔に付されているものでなければならない。

(10) ライダー掛け

ライダー掛けは、円滑に作動するものであり、かつ、ライダーさおに平行に移動させることができるものでなければならない。



○ 性能検査項目

以下の性能の技術基準は、計量法基準器検査規則（平成5年10月27日通商産業省令第71号）を採用している。

(1) 器差

さおの両腕の長さは、かなり正確に調整されているが完全に等しくはない。支点と重点間の水平距離が a 、支点と力点間の水平距離が $(a + \Delta a)$ なる手動天びんで、左皿に被計量物をのせ、右皿に分銅をのせて測定したとする。つり合わせた分銅の質量を P とすると、測定結果に $P \times (\Delta a / a)$ の誤差が生じる。

$P \times (\Delta a / a)$ を器差と言い、 P の値を手動天びんのひょう量に相当する質量によって検査する。

(2) 偏置誤差（四隅の誤差）

分銅を皿の中心からはずれた位置にのせたために生じる誤差を、偏置誤差という。

分銅を皿の中心から前後にずれた位置にのせたときに誤差が生じるのは、重点刃、支点刃、力点刃の配置が不平行であることに起因する。

分銅を皿の中心から左右にずれた位置にのせたときに誤差が生じるのは、主に刃先の丸みに起因する。検査は、ひょう量の約1/4の荷重を皿の中央位置にのせた場合と、皿の半径の1/3だけ中心から前後または左右にずらした位置にのせた場合とを比較して行う。

(3) 静止点の変化

同じものを繰り返し測定しても、同じ静止点を示さない。静止点が変わる主な原因は、つぎの通りである。

- ① 刃先や刃受面にきずがある場合や刃先が丸くなった場合、あるいは刃受面の平面度が悪い場合など。
- ② 刃や刃受に、ほこりが付着している。
- ③ 休み装置の働き不良のために、刃が刃受にのる位置が変わる。
- ④ 刃を固定しているねじ、指針のとめねじ、調子玉、重心玉などにゆらみがある。
- ⑤ 外部に振動がある。
- ⑥ 室内に気流がある。
- ⑦ その他 帯磁、帯電、温度変化、湿度変化 等。

静止点の変化の検査は、空掛けおよびひょう量に相当する荷重について行う。とくに空掛けにおける静止点をゼロ点という。

(4) ゼロ点の変化

ゼロ点を変化させる外部条件のうちで、もっとも大きな影響を与えるのは温度変化である。温度変化があると、さおに部分的伸縮が生じたり、熱応力による刃の移動が生じてゼロ点が変化する。

こうした外部条件の影響をさけるために、温度の安定したところで検査をするように心がけなければならない。ゼロ点変化の検査は、器差検査をしている間に生じるゼロ点の変化について行う。

(5) 感じ

手動天びんには適当な大きさの感じがあり、その感じは、荷重の大きさによって変化しないほうが取り扱う上で都合が良い。

手動天びんの支点・重点および力点が一直線上にあるように調整されていると、感じは荷重の大小と無関係に一定の大きさになる。しかし、実際には垂直方向に3点を一直線上に配置することはきわめて困難である。かりに一直線上に配置できたとしても、多年の使用により刃の沈降や摩耗は避けられず、そのために3点の関係位置が変わる。したがって、感じの大きさは荷重の大小と無関係に一定に保ちにくい。

空掛けにおける感じおよびひょう量における感じがそれぞれ適当な大きさであるか、また大きな相違がないかについて検査をする。

(6) ライダさおの目盛の誤差

支点と重点の間の水平距離が a 、ライダさおのこれに相当する距離が $(a+\Delta a)$ なる手動天びんで、質量 R のライダを重点に相当する目盛にかけた場合には、質量 R のライダを重点側の皿の上にのせた場合に比べて、 $R \times (\Delta a/a)$ の誤差が生じる。

普通天びんでは、この誤差はあまり問題にならないので、ライダさおの中央の目盛と両端の目盛が、それぞれ対応する刃と一致しているかの検査は外観検査ですましている。

極微手動天びんでは、この誤差が大きく影響してくるので、ライダさおの目盛の誤差について検査を行うことにしている。その許容限度は、天びんの感量の10倍のライダー（1mg未満にあっては1mgとする）を使用し、感量の1/2である。その読み方は、実際に付されている標識の数字とは無関係に、左端の目盛線を0、中央の目盛線を1、右端の目盛線を2として読む。この読み方で測定すると、ライダーの移動量 $\times$ ライダーの質量＝実質上はかりに負荷された質量となり、符号は右に加えた働きか左に加えた働きかを示すものとなる。

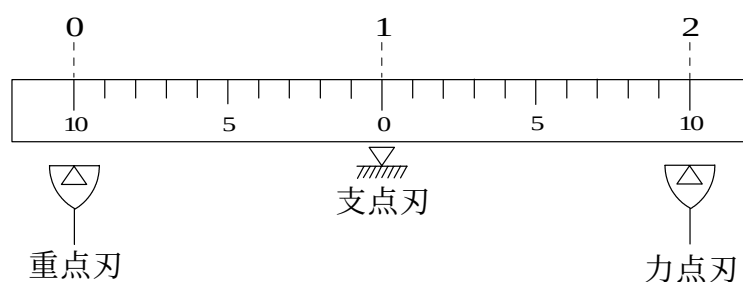


図 ライダー目盛さおの読み方

○ 性能検査方法

(1) 検査用具

- ① ひょう量に相当する質量の分銅 2 組
- ② ひょう量の約 1/4 に相当する質量の分銅 2 組
- ③ 組分銅（調整用分銅として 500mg 以下の分銅） 1 組
- ④ ライダさおが取り付けられている手動天びんにあっては、感量の 10 倍に相当する質量（感量の 10 倍に相当する質量が 1mg 未満のときは 1mg）のライダ 1 個
- ⑤ その他 ピンセット、はけ、鹿皮又は布、手袋 等。

(2) 検査する上での注意事項

- ① 手動天びんの据え付け場所：人が出入りするところや室内に気流の生じる所をさけ、外部の振動の伝わらない所を選び、堅牢な台を使用する。また、直接日光にさらしたり、近くに熱源のある所を避ける。
- ② 手動天びん操作上の注意：作動ハンドルの操作は、刃が刃受に接触するまではゆっくり回し、接触した後は速やかに回して作動状態にする。皿への分銅ののせ卸しおよび調子玉による調整などの操作は、必ず休み装置を休ませた状態で行う。ただし、感じ分銅をのせる場合は、半休み状態または作動状態で行ってもよい。調整を行ったときは、しばらく放置後、定常状態に復帰してから検査を行うこと。観測のとき以外は、休み装置を休み状態にしておくこと。

(3) 観測について

手動天びんにあっては、振動法による。

- ① 度表には数値が付されていないが、第 1 図に示すように中央の目盛を 10 にして読み取る。
- ② 第 2 図に示すように 1～2 回むだ振りさせた後、連続した回帰点を 5 点読み取る。もし回帰点を 1 点でも読み損じた場合は、それまで読み取ったすべての値を捨て、改めて 5 点連続して回帰点を読み取ること。
- ③ 回帰点を読み取るときは、度表の 1 目盛の 1/10 まで読むこと。
- ④ 連続した 5 点の回帰点の読みを x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 とすると、静止点 n は、次の式によって求まる。

$$n = \frac{1}{2} \left\{ \frac{1}{3} (x_1 + x_3 + x_5) + \frac{1}{2} (x_2 + x_4) \right\}$$

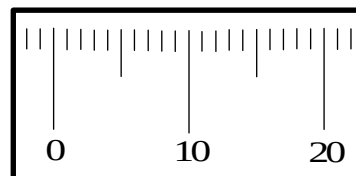


図1 度表の読み方

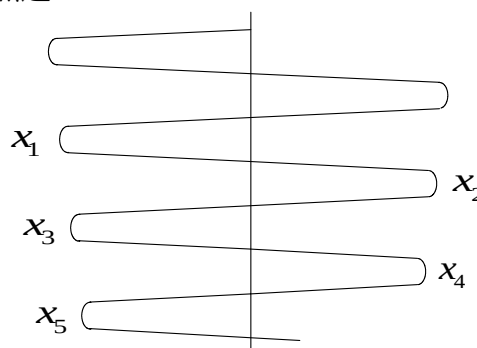


図2 回帰点の読み方

(4) 検査の手順

- ① 準備：手動天びんが、水平に据え付けられているかを確認する。ライダを用いるときは、ライダをライダさおの中央の目盛の位置にかける。手動天びんを作動させて、静止点が度表の目盛の中央付近（9～11）に示すように調子玉で調整する。
- ② 空掛け状態の静止点と感じ：静止点 n_0 を 3 回繰り返して求める（振幅を変え* 3 回測定する。図 3）。空掛け状態で感じ分銅を一方の皿に加えて、静止点を求める $n_0\Delta$ （図 4）。感じ分銅 Δ としては、感量に相当する質量の分銅を用いる。空掛けにおける静止点 n_0 が、10 より大きいときは感じ分銅は右皿にのせ、 n_0 が 10 より小さいときには左皿にのせる。

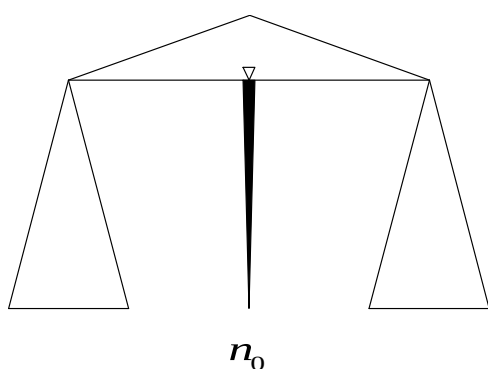


図3 空掛け静止点

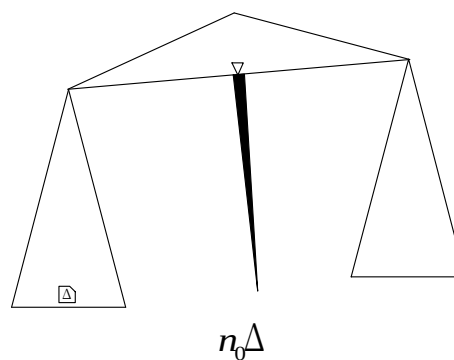


図4 空掛け感じ静止点

* 静止点は、休み装置等のあるものは完全に休み装置を働かせてから、それぞれの各静止点を求める。回帰点は、刃と刃受けの接触部の状態とさおの慣性モーメント、空気の粘性抵抗の関数で振幅の大小の影響を受ける。従って静止点の安定再現性はさおの振幅を変えて行わなければならない。

極微天びんは、原則として小振りのみが使用されるため、振幅は統一する事が望ましいが、極微天びん以外では、大振り、中振り、小振りの中のいずれか 2 通りは必ず行う必要がある。

天びんの振幅	小振り	1 目～3 目程度
	中振り	3 目～7 目程度
	大振り	7 目～10 目程度

- ③ ひょう量の静止点 n_1
- (a) 空掛け状態での休みでひょう量に相当する質量の分銅 w_1 、 w_2 を左右のそれぞれの皿の中央位置にのせる。
- (b) 手動天びんを作動状態にして静止点が中央付近（9～11）にあることを確かめる。静止点が中央付近にないときは、調整用分銅Aを用いて静止点が中央付近にくるようにする。この場合、調整用分銅を左皿にのせたときは(-)とし、右皿にのせたときは(+)として読み取る。

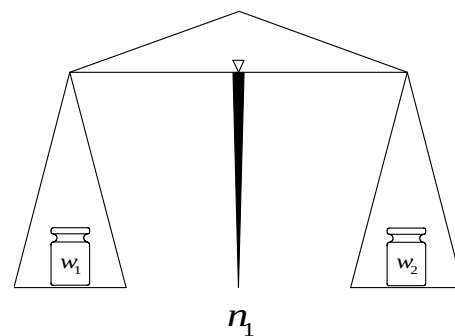


図5 ひょう量の静止点

- (c) 静止点 n_1 を3回繰り返して求める。
- ④ ひょう量感じの静止点 $n_2\Delta$
- (a) 3回目のひょう量状態において感じ分銅を一方の皿にのせる。
- (b) 静止点 $n_2\Delta$ を求める。

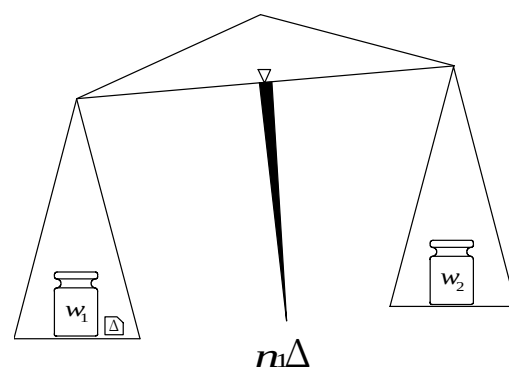


図7 ひょう量感じ静止点

- ⑤ ひょう量（交換）状態における静止点 n_2
- (a) 静止点 n_1 を求めたときに左皿にのっていた分銅は右皿の中央位置に、右皿にのっていた分銅は左皿の中央位置にのせかえる。
- (b) ③(b)の要領に従って行い、調整用分銅を使用したときはそこで述べられたきまりに基づいて、調整用分銅Bの質量値を読み取る。

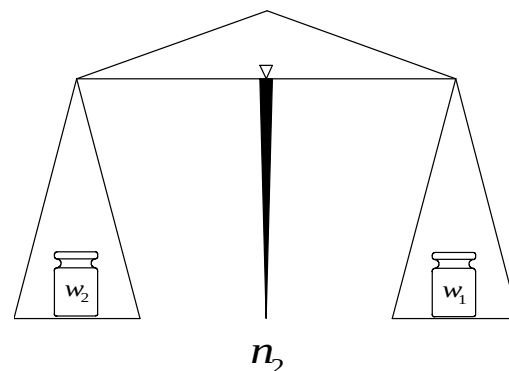


図6 ひょう量交換静止点

- (c) 静止点 n_2 を求める。
- ⑥ 戻り空掛けの静止点 n_0'
- (a) 皿にのっていた全ての分銅をおろし、静止点 n_0' を2回繰り返して求める。
- (b) 空掛け状態において感じ分銅を一方の皿にのせ、静止点 $n_0\Delta'$ を求める。

⑦ 四隅の誤差

- (a) ひょう量の約 1/4 に相当する質量の分銅 m_1 、 m_2 を左右のそれぞれの皿の中央位置にのせ静止点 n_d を求める。

(注) この検査に使用する分銅は底面が一つであることを原則とする。つまり数個使用するときには積み重ねて使用する。ひょう量の約 1/4 に相当する質量とは 1/4 を含めてより重いものの事である。例えばひょう量 500g の四隅を 100g で行ってはならない。125g 又は 200g というような質量である。

- (b) 分銅を交換して静止点 n_c を求める。
 (c) 皿の中央位置にある分銅を前後に偏置させたときの静止点 n_a (図 8-(3)) を求める。

(注) この場合左皿と右皿とが図 8-(3) と逆であっても差し支えない。

- (d) 分銅を左又は右に偏置させたときの静止点 n_b (図 8-(4)) を求める。図のように片方の皿の分銅を右にずらしたらもう一方の皿の分銅も右にずらす。その際には皿が支柱等にあたらないように充分注意する。
 (e) 分銅を左又は右に偏置させたときの状態 (d) に感じ分銅を一方の皿に加えたときの静止点 $n_b \Delta$ を求める。

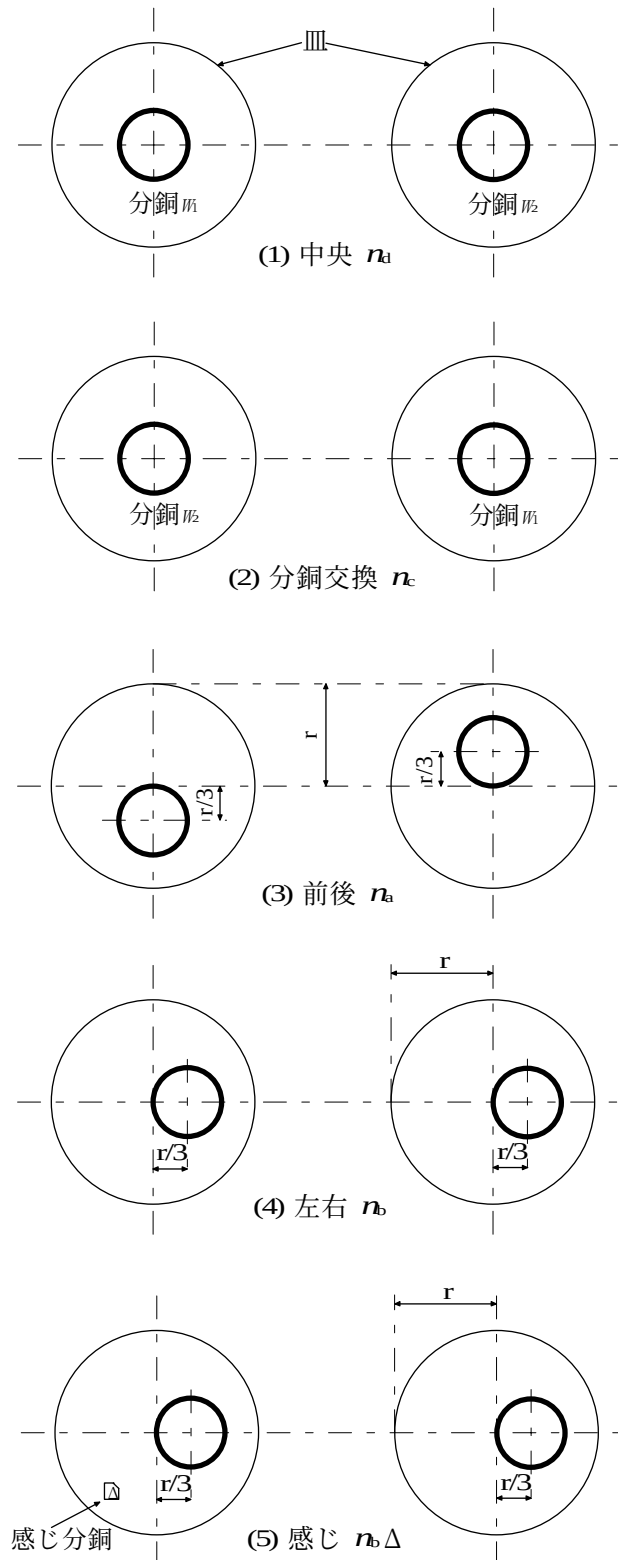


図8 偏置誤差の検査手順

⑧ 観測結果の処理

- (1) 空掛けにおける静止点の平均
- $\overline{n_0}$
- を求める。

$$\overline{n_0} = (\sum n_0) / 3$$

- (2) 空掛けにおける感じを求める。

空掛け感じ = (3 回目の n_0) $\sim n_0 \Delta$ = 空掛けの感じ分銅により生じる変位の絶対値を感量当たりにしたもの

- (3) ひょう量における静止点の平均
- $\overline{n_1}$
- を求める。

$$\overline{n_1} = (\sum n_1) / 3$$

- (4) ひょう量における感じを求める。

ひょう量感じ = $|n_1 - n_1 \Delta|$ = ひょう量の感じ分銅により生じる変位の絶対値を感量当たりにしたもの

- (5) 戻り空掛けにおける静止点の平均
- $\overline{n_0'}$
- を求める。

$$\overline{n_0'} = (\sum n_0') / 2$$

- (6) 戻り空掛けにおける感じを求める。

戻り空掛け感じ = $| (2 \text{ 回目の } n_0') - n_0 \Delta' |$ = 戻り空掛けの感量当たりの

感じ

- (7) 空掛け感じの平均を求める。

空掛け感じの平均 = ((2)+(6)) / 2

- (8) 器差 E を求める。

$$E = \Delta \times \frac{\overline{n_1 + n_2} - \overline{n_0}}{2} + \frac{A + B}{2}$$

- (9) 四隅の誤差を求める。

$$\text{前後の誤差} = \{ \Delta \times |n_a - n_c| \} / |n_b - n_b \Delta|$$

$$\text{左右の誤差} = \{ \Delta \times |n_b - n_c| \} / |n_b - n_b \Delta|$$

- (10) 静止点変化の最大を求める。

(a) 空掛けにおける静止点変化の最大 = (n_0 の最大) - (n_0 の最小)

(b) ひょう量における静止点変化の最大 = (n_1 の最大) - (n_1 の最小)

- (12) 感じの開きを求める。

感じの開き = $| (\text{空掛け感じの平均}) - (\text{ひょう量感じ}) |$

(13) 使用前後の零点変化を求める。

$$\text{零点変化} = |\overline{n_0} - \overline{n_0'}|$$

⑨ 判定

以下の性能の技術基準は、計量法基準器検査規則（平成 5 年 10 月 27 日通商産業省令第 71 号）を採用している。

次に掲げるすべてについて適合しているときを合格とする。

- (1) 器差 E $\leq$ ひょう量/20000
- (2) 四隅の誤差 $\leq$ 感量の 1/2
- (3) 静止点の変化 $\leq$ 感じの 1/10
- (4) 感じ $\geq$ 1/2 度目（度表の目幅の 1/2 の変位）
- (5) 感じの開き $\leq$ 小なる感じの 1/2
- (6) 零点の変化 $\leq$ 空感じの 1/3

○ 手動天びんを使用しての分銅の校正

手動天びんを使用して分銅を校正する場合の代表的な方法として置換法がある。以下に置換法を用いた分銅の校正手順を示す。

(a) 右皿に標準分銅を、左皿に粗分銅をのせて、静止点 a を求める。この場合、分銅は皿の中央にのせ、皿が動揺しないようにする。また、静止点は度表のほぼ中央にくるようにする。このためつり合わせ分銅を加えることもある。

(b) 感じ分銅（天びんの感量に相当する質量の分銅） Δ を皿に加えて静止点 $a\Delta$ を求める。感じ分銅は、静止点 a が度表の中央より左側にあるときは左皿に、右側にあるときは右皿にのせる。

(c) 感じ分銅と右皿の標準分銅をおろして、代わりに校正すべき分銅をのせて静止点 e を求める。

度表の中央付近でつり合わないときには、調整用分銅 m を加えてつり合わせる。

調整用分銅を左皿にのせたときは（－）、右皿にのせたときは（＋）とする。

(d) 調整用分銅と右皿の校正すべき分銅をおろし、代わりに標準分銅をのせて静止点 b を求める。

(e) (b) と同じように、感じ分銅 Δ を加えて静止点 $b\Delta$ を求める。

(f) 器差の計算

校正すべき分銅のみかけの器差を求める。

$$\text{みかけの器差} = \{\Delta \times (e - c)\} / d + m$$

ここで、

Δ : 感じ分銅の質量

e : 校正すべき分銅をのせたときの静止点

c : 標準分銅をのせたときの静止点の平均値
($a + b$)/2

d : 感じの平均値 $\{(a \sim a\Delta) + (b \sim b\Delta)\} / 2$

m : 調整用分銅の質量。左皿にのせたときは（－）、右皿にのせたときは（＋）とする。

校正すべき分銅の器差は、

$$\text{器差} = (\text{みかけの器差}) + (\text{標準分銅の器差})$$

と、なる。

