

第1章 質量計概説

1.1 質量計測の目的

人々が質量計測を始めたのは約1万年前とされるが、6000年前頃には既に体系的な度量衡が完成していたといわれている。精密質量計測のきっかけは、都市国家が発達し貴金属や宝石の取引における公平性という要求が発端とされている。現在も取引上の質量計測が重要な位置を占めていることに異論のないところであるが、以下に示すように取引以外の用途でも広く質量計測が行われることとなり、品質管理や科学技術の発展になくはならない計測の1つとなっている。図1.1.1に古代エジプトの書物に描かれた天びんを示す。

(1) 商取引の公正性や証明のための計測

計量法に基づき、国家の質量標準にトレーサブルで精度的にも規定の公差以内であることを証明

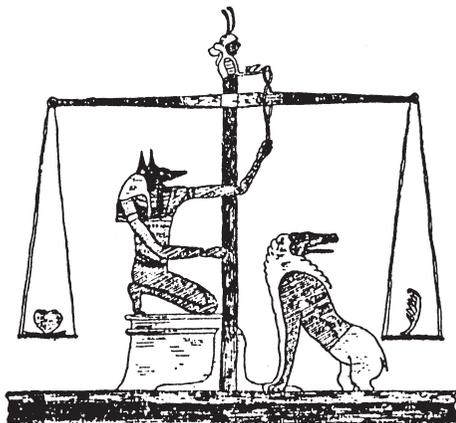


図1.1.1 古代エジプトの書物に描かれた天びん

する、検定証印あるいは基準適合証印のある、特定計量器を用いて計量する。図1.1.2に検定証印および基準適合証印の形状を示す。

(2) 各種の製造のための調配合

各種の原材料の調合や配合は、製造工程における重要なプロセスであり、その良否は製品品質に影響を及ぼすから、極めて大事である。なお薬局における調合は、商取引とみなされるので、特定計量器を用いなければならない。

(3) 定量袋詰

製品の出荷のためには一定量を袋詰めするが、規定どおりに詰められていることが重要であり、一般に後工程で重量選別機を用いて不良品の排除が行われている。

(4) 化学分析のための精密質量計測

完成した製品の評価、品質管理、公害などの測定や分析、その他いろいろな分析で質量計測が必要であり、質量計測における重要な用途の1つとなっている。

(5) 健康管理

赤ちゃんの誕生から、幼稚園、小学校、中学校、高等学校、大学と、体重測定は誰もが経験したところである。成人になっても健康診断で時々



図1.1.2 検定証印(左)、基準適合証印(右)



図 1.1.3 自動身長体重計の例



図 1.1.4 自動重量選別機の例

計測し、健康管理のための重要な目安となっている。病院などで行われる体重測定は証明行為となり、特定計量器を用いて行う（図 1.1.3 参照）。

(6) 品質管理・生産管理

同一な製品が間違いなく生産されていることを検証するための方法として、質量により判定する方法が簡便で便利ことが多い。例えば欠品の検出、充てん量のチェックなどである。多量生産品ではこれらの用途に自動重量選別機が多用され品質管理・生産管理に活躍している（図 1.1.4 参照）。

(7) 入出庫管理

入出庫の個数管理用として、1個当たりの質量から皿上の個数を瞬時に換算するカウンティングスケールは、入出庫の管理に最適である。特に、試料が互いに絡まって他の方法では計数しにくい部品でも、瞬時に計数できる特徴により、多くの場所で使用されている（図 1.1.5 参照）。

(8) 高感度を利用した応用測定（その1）

検出感度の高いことを利用した応用測定に、熱天びん、磁化率測定、表面張力測定、粒度測定、付着力測定などがある。



図 1.1.5 カウンティングスケールの例

(9) 高感度を利用した応用測定（その2）

質量計測は、全体の中のごくわずかな変化を精度よく検出できる特徴があり、これを利用して摩耗量を計測したり、半導体製造工程における成膜工程の前後で質量計測し、質量変化から平均厚さを求めて品質管理に利用する方法がある。また大きな容器ごとに植物をはかりに載せ、水分の補給や制御、生育状況の研究を質量計測で行う方法がある。

(10) 比重、密度およびこれを利用した真が ん判定

アルキメデスの原理に基づき、空気中と水中で計量した質量から比重あるいは密度を求める。応

用例として、金の密度が高く同じ密度の偽物が作りにくいことを利用して、真がんに判定に利用されている。

(11) 水分・揮発分の測定

乾燥装置と組み合わせて乾燥前後の質量値から水分・揮発分を求める方法および試料を加熱するなどして出てきた水分を吸湿材に吸着し、吸着剤の質量変化から水分を求める方法がある。

1.2 質量と重量と力

はかりとは、「任意の物体の質量を、その物体に作用する重力を利用して計測するために使用される計量器」であると、OIML 国際勧告 R76-1「非自動はかり」の冒頭に定義されている。計量法でも「質量計」と明記されているように、はかりとは、①重量ではなく質量を計測表示するものでなければならないが、②測定手段としてはその物体に作用する重力すなわち重量を検出し、それを質量に換算して表示する計量器、という内容になる。

人工衛星内のように無重力の場所においては重量を検出できないが、慣性質量を利用して質量そのものを計測することができる。しかし前記のOIMLの定義に従えば、この種の測定装置は、はかりから除外されることになる。

力に関していえば、単位がニュートン (N) で表現されていると常識的に質量とは区別しやすい。以前は重量キログラム (kgf) で表示されているものもあったが、1999年9月までに全ての単位が国際単位系に統一され、重量と質量とが区別しやすくなっている。

質量はその物体の固有の量であるから、宇宙空間であれ、月面上であれ、1 kg の質量はあくまで 1 kg であって全く不変である。重量は引力の作用によりその物体が引っ張られる力であるから

地球上で 60 N の体重は月面上では 10.2 N に減少し、人工衛星内のように無重力状態ではゼロになって人体も空間に浮かんでしまうことになる。

従来の機械式はかりを大別すると、既知質量の分銅やおもりと未知質量の被計量物の両者に同時に作用する重力を比較計量して質量を表示する方式の天びん、さおはかり、振子式はかりの類および重力を直接計測するばねはかりとに分かれる。

ばねはかりは一般に精度が低いため、使用場所による地球重力の差を無視してもあまり問題ならなかった。言い換えると、従来は質量と重量を混同しても実質的に大きな支障を生じなかったのである。しかしながら、ばねはかり同様基本的には重量測定器である高精度の各種電気式はかりが普及するにつれ、質量と重量とをはっきり区別した上、地域的な重力の差を考慮に入れないと実用上支障を生じることが多くなってきた。

図 1.2.1 に示したように、例えば東京において 1.0000 kg を表示する重量計測式の電気式はかりをそのまま鹿児島で使用すると、全く同一の分銅を計量した場合でも 0.9996 kg を表示し、札幌では 1.0007 kg という表示値が得られる。もし月面

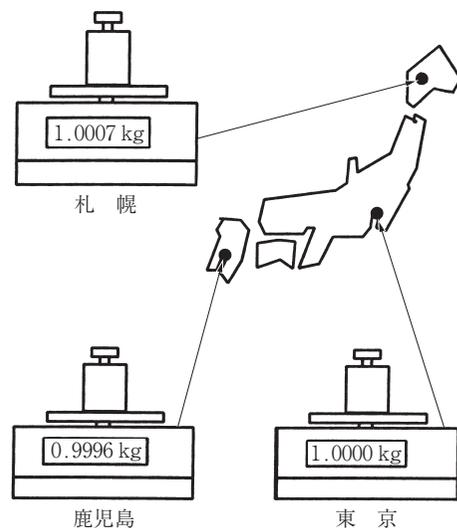


図 1.2.1 重力差による表示の差

上であれば約1/6の0.17 kgを表示するはずである。

このような問題に対処するため、改正前の計量法では重力加速度の違い (g) (0.001 m/s² 刻み) で日本全域を16区に分け、個々のはかりの使用地域の指定や補正を行っていたが、現計量法では [資料3] に示すように、特定計量器の見やすい位置に重力加速度の大きさの範囲を表記することにより、個々のはかりの使用地域の指定や補正を行っている。

地域差による質量の表示誤差は東京基準の日本国内では±1/1 000未満であるから、目量の数も800以下のはかりについては地域差のことは考えなくてもよいことになっている。

質量、重量、力の関係をニュートンの法則に立ち返って整理してみる。まず一般的な力については

$$\text{力 (N)} = \text{質量 (kg)} \times \text{加速度 (m/s}^2\text{)} \\ \dots\dots\dots (1.2.1)$$

で定義されるから、地球上の重量は力の一種として同様に

$$\text{重量 (N)} = \text{質量 (kg)} \times \text{その場所の重力の加速度 (m/s}^2\text{)}$$

で表すことができる。もし重量を kgf 単位で表示しようとするれば、1 kgf=9.80665 N と定義づけられていることから、次式で与えられる。

$$\text{重量 (kgf)} = \text{質量 (kg)} \times \text{その場所の重力加速度 (m/s}^2\text{)} / 9.80665 \dots\dots\dots (1.2.2)$$

電気式はかりの大半は実質的に重量測定器でありながら質量を表示するから、重量計としては完全なものであっても、質量計としては使用場所 (主として緯度と高度) に応じて表示値が変化することになるから、使用場所に応じた重力補正または感度調整が必要になる。

1.3 用語

1.3.1 一般

(1) はかり (weighing instrument)

物体に作用する重力を利用して、その物体の質量を計測するために使用する計量器。その操作の方法に従ってはかりは、自動はかりまたは非自動はかりに分類される。

(2) 非自動はかり (non-automatic weighing instrument)

計量結果を得るために計量過程で操作者の介入を必要とするはかり。非自動はかりには、次のものがある。

- ・目盛付きはかりまたは目盛なしはかり。
- ・自動指示はかり、手動指示併用はかりまたは手動指示はかり。

[注記] 計量結果を得るということには、表示が安定している場合、操作者による表示値の読取り、印刷出力の発行を行うなど、計量結果の受入れに関する決定のような計量結果に影響を及ぼす行動を取ることを含む。

(3) 自動はかり (automatic weighing instrument)

計量結果を得るために計量過程で操作者の介入を必要としないはかり。

(4) 電気式はかり (electronic weighing instrument)

電子装置を組み込んだはかり。電子はかりともいう。

(5) 料金はかり (price computing instrument)

表示した質量値および単価を基にして、料金を自動的に計算するはかり。

(6) 値付けはかり (price-labelling instrument)

質量値、単価および料金のラベル（商品の値札など）を発行するはかり。例：ラベルプリンタ付きのはかり。

(7) 床下計量

試料をつり下げて計測する、例えば比重測定のため試料を水中で計量する場合などをいう。上皿式の電気式はかりの多くは器物底部に床下計量を行うために開口部を持ち、付属品としてのフックを使って簡単に床下計量ができるようになっていいる。また偏置誤差を厳しく問題にするような場合にもこの方法は有効である。

(8) 精度等級 (accuracy class)

誤差を指定された限界内に保つための計量要件に適合する計器の等級。

(9) 基準分銅 (weight)

検定および使用中検査において標準として参照される分銅。検定および使用中検査を受ける分銅であって、定量おもりおよび定量増おもりよりも計量特性の優れた分銅。

分銅は JIS B8103 では実量器として定義されている。

(10) 自己補正機構

はかりに内蔵された分銅を用いて、自動あるいは手動により調整および感度変化の補正を行う機構。

(11) 計量台

荷重受け部を内蔵した台。被計量物をこの上に載せることによって計測する（皿、載せ台、プラットフォーム、台、その他）。

(12) さ お

機械式台はかりの測定指示部、目盛付きのさお、送りおもり、増おもりなどで構成され、計量台の力伝達機構とリンクして釣り合いを取ることによって計量値を得る。

1.3.2 主構成要素

(1) 荷重受け部 (load receptor)

荷重を受けるために設けられたはかりの部分。皿または台ともいう。

(2) 荷重伝達装置 (load transmitting device)

荷重受け部に作用している荷重によって生じた力を、荷重計量装置に伝達するはかりの部分。

(3) 荷重計量装置 (load measuring device)

荷重伝達装置から伝達された力を釣り合わせる平衡装置と表示装置または印字装置とによって荷重の質量を計量するはかりの部分。

(4) 指示計

電気式はかりの場合、荷重センサからの信号を演算処理し質量値を表示する計器。「インジケータ」ともいう。

(5) 水平器 (level indicator)

はかりの水平状態を示す器具。例：水準器

(6) 水平装置 (levelling device)

はかりを基準水平位置に設定するための装置。例：水平調整脚など

(7) 零点設定装置 (zero-setting device)

空掛け（被計量物が載ってない状態）のときに表示を零に設定するための装置。

非自動零点設定装置、半自動零点設定装置、自動零点設定装置および初期零点設定装置がある。

(8) 自動零点設定装置 (automatic zero-setting device)

操作者の介入なしで、自動的に表示を零に設定するための装置。

(9) 初期零点設定装置 (initial zero-setting device)

電源投入後に、はかりが使用される前に自動的に表示を零に設定するための装置。

(10) 零トラッキング装置 (zero-tracking device)

ある限度内で零点指示を自動的に維持するための装置。

(11) 風袋引き装置 (tare device)

何らかの荷重が荷重受け部上にあるとき、表示を零に設定するための装置。

— 加算式風袋引き装置 (additive tare device) : 正味荷重に対する計量範囲は変わらない風袋引き装置。

— 減算式風袋引き装置 (subtractive tare device) : 正味荷重に対する計量範囲が減少する風袋引き装置。

風袋引き装置の機能

— 非自動風袋引き装置 (non-automatic device) : 操作者によって荷重が釣り合わされる。

— 半自動風袋引き装置 (semi-automatic device) : 単一の手動操作によって自動的に荷重が釣り合わされる。

— 自動風袋引き装置 (automatic device) : 操作者なしで荷重が自動的に釣り合わされる。

(12) プリセット風袋引き装置 (preset tare device)

総量または正味量の値から、事前に設定された風袋量を差し引いて計量結果を表示する装置。正味荷重に対する計量範囲はそれに応じて減少する。

(13) 表示固定装置

計量結果の表示を固定する装置。

(14) 休み装置 (locking device)

はかりの装置全体または一部を動かなくするための装置。

(15) オートパワーオフ

一定時間計量動作がないと自動的に電源を切ってしまう機能。電池で動作する機器に多く用いられ、連続して計量したい場合などには、この機能を解除することができる機器もある。

1.3.3 計量特性

(1) ひょう量 (maximum capacity)

加算式風袋量を考慮に入れない最大計量能力。

(2) 最小測定量 (minimum capacity)

それ未満では計量結果に過大な相対誤差を生じる可能性のある荷重の値。

(3) 計量範囲 (weighing range)

最小測定量とひょう量との間の範囲。

(4) 実目量 (d : actual scale interval)

目量 (e) より小さい目量の表示であり、はかりの器差または計量値の決定に使用することができる。補助的な表示装置および拡張表示装置の表示も含まれる。

[注記] 実目量の表示は、取引または証明に使用できない。

(5) 目量 (scale interval)

隣接する実目量を除く、目盛標識のそれぞれが表す物象の状態の量の差。感量 (はかりが反応することができる質量の最小変化) も含む。

質量の単位で表される、次の値。

— アナログ指示において、二つの連続した実目量を除く目盛標識に対応した値の間の差。

— デジタル表示において、二つの連続した実目量を除く表示の間の差。

(6) 目量の数 (number of scale interval)

$$n = \frac{\text{Max}}{e}$$

ここに、 n : 目量の数、Max : ひょう量、 e : 目量

(7) 荷重 (load)

負荷された被計量物の重力加速度の大きさに基づき生じる力。

(8) 最大安全荷重 (maximum safe load)

永続的に計量特性を変えずに、はかりが支え得る最大静的荷重。

(9) 多目量はかり (multi-interval instrument)

その計量範囲が異なる目量 (e) を持った部分計