

SOP 13

水の重量測定による容量検定

1. 範囲と適用分野

ここでは、標線まで満たすことで特定の体積の溶液を調製するメスフラスコやその他の測容器の容量検定の仕方について述べる。検定値は、標準温度(20.0°C)における容量で表す。この方法では 0.01% (1 相対標準偏差) より良い再現性で、検定を行うことができる。

2. 原理

検定温度でフラスコに入っている水の質量から、その温度でフラスコに入っている水の体積を計算する。標準温度(20°C)で分注される体積は、分注器の体積膨張を考慮に入れて計算する。容器中の液体の体積は、望みのどんな温度においても、同様の方法で計算できる。

3. 器具

- 分析用天秤。フラスコ中の水の重さを10万分の1の感度で測定でき、水と水を入れて検定される容器の重さを合わせて量ることができるもの、
- $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ の精確さの温度計。

4. 試薬類

- 脱イオン水。

5. 手順

- 5.1 きれいで乾いた空の容器の重さを、栓とともに測る。
- 5.2 検定する測容器に標線まで脱イオン水を満たし、容器内の水の温度が平衡値に達するまで待つ。この温度を記録する。
- 5.3 容器を密閉し、重さをもう一度測る。

6. 計算と結果の表現

6.1 検定温度で測容器に入っている水の体積

測容器に水を満たす前と後の重さの差から、測容器の水の重さを計算する：

$$w(\text{H}_2\text{O}) = w(\text{水を入れた容器}) - w(\text{空の容器}) . \quad (1)$$

空気の浮力を補正して(SOP 21 参照)、含まれる水の質量を計算する。

$$m(\text{H}_2\text{O}) = w(\text{H}_2\text{O}) \left(\frac{1 - \rho(\text{空気})/\rho(\text{分銅})}{1 - \rho(\text{空気})/\rho(\text{サンプル})} \right) . \quad (2)$$

測定した水の温度(t)における容量は

$$V(t) = m(\text{H}_2\text{O})/\rho(\text{H}_2\text{O}, t) . \quad (3)$$

空気が飽和した水の密度は、5°C から 40°C の温度領域では次の式で表される(Jones and Harris, 1992)

$$\begin{aligned} \rho_w / (\text{kg m}^{-3}) = & 999.84847 + 6.337563 \times 10^{-2}(t/^\circ\text{C}) \\ & - 8.523829 \times 10^{-3}(t/^\circ\text{C})^2 + 6.943248 \times 10^{-5}(t/^\circ\text{C})^3 \\ & - 3.821216 \times 10^{-7}(t/^\circ\text{C})^4 \end{aligned} \quad (4)$$

t は ITS 90¹ の温度である。1 万分の 1 の精確さを達成するためには、 t は 0.5°C の範囲内の精確さで測定しなければならない。

6.2 別の温度で分注される体積

ある温度(t_1)で分注された体積を、標準温度または別の温度(t_2)で分注される体積に換算するには、使用している分注器の熱膨張を考慮する必要がある。Pyrex のようなガラス (Corning 7740, Kimble KG-33, Shott Duran, Wheaton 220 など) では、線膨張係数 α_l は、 $32.5 \times 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ 、Kimble KG-35 のようなガラスでは、およそ $55 \times 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ である。

体積膨張係数

$$\alpha_V = (1 + \alpha_l)^3 - 1 \approx 3\alpha_l, \quad (5)$$

が、別の温度における補正体積値の計算に使われる。

$$V(t_2) = V(t_1) [1 + \alpha_V(t_2 - t_1)] . \quad (6)$$

$t_2 - t_1$ が 10°C を超えなければ、または、プラスチックの測容器を使わなければ、この補正は、極めて精確に検定する場合を除いて無視することができる。

¹ 国際実用温度目盛 1968(IPTS 68) は、国際温度目盛 1990 (ITS 90) に代わった。海洋学で使う温度領域においてこれらの温度目盛を換算するには、簡単な式を使うことができる (Jones and Harris, 1992) :

$$t_{90} = 0.0002 + 0.99975 t_{68}$$

温度目盛の小さな違いは、このガイドで述べるガラス容器の検定作業において、ふつうは重要ではない。

6.3 計算例

6.3.1 この計算には、以下のデータを使用した：

$$\begin{aligned}w(\text{H}_2\text{O}) &= 996.55 \text{ g}, \\ \text{検定温度} &= 23.0^\circ\text{C}, \\ \rho(\text{H}_2\text{O}, 23.0^\circ\text{C}) &= 0.997535 \text{ g cm}^{-3}, \\ \alpha_l &= 32.5 \times 10^{-7} \text{ K}^{-1}, \\ \text{秤量の条件：} \\ \rho(\text{空気}) &= 0.0012 \text{ g cm}^{-3},^2 \\ \rho(\text{分銅}) &= 8.0 \text{ g cm}^{-3}.\end{aligned}$$

6.3.2 水の重量を質量に変換する：

$$\begin{aligned}m(\text{H}_2\text{O}) &= 996.55 \times \left(\frac{1 - 0.0012 / 8.0}{1 - 0.0012 / 0.997535} \right) \\ &= 997.60 \text{ g}.\end{aligned}$$

6.3.3 検定温度 23.0°C で測容器に入っていた水の体積を計算する：

$$\begin{aligned}V(23.0^\circ\text{C}) &= 997.60 / 0.997535 \\ &= 1000.07 \text{ cm}^3.\end{aligned}$$

6.3.4 標準温度 20.0°C における測容器の容量、すなわち標準検定容量を計算する：

$$\begin{aligned}V(20.0^\circ\text{C}) &= 1000.07 [1 + 3(32.5 \times 10^{-7})(20.0 - 23.0)] \\ &= 1000.04 \text{ cm}^3.\end{aligned}$$

6.3.5 標準温度 25°C における測容器の容量を計算する。

$$\begin{aligned}V(25.0^\circ\text{C}) &= 1000.04 [1 + 3(32.5 \times 10^{-7})(25.0 - 20.0)] \\ &= 1000.09 \text{ cm}^3.\end{aligned}$$

7. 品質保証

測容器の容量が管理された状態にあることを確認するため、容量を定期的に測定し、20°C に補正した容量の管理図を維持する(SOP 22 参照)。

8. 文献

Jones, F.E. and Harris, G.L. 1992. ITS-90 density of water formulation for volumetric standards calibration. *J. Res. Natl. Inst. Stand. Technol.* **97**: 335–340.

² この値は、海面気圧(1atm)でふつうの実験室温度(~20°C)において行われる並の精確さの測定に適した値である。より精確な値については、SOP 21 の式(1)を参照のこと。