

# 空気中の酸素濃度の測定

—使い捨てカイロを用いた簡易で実感を伴った実験—

\*池 山 剛

Determination of oxygen concentration in the atmosphere  
—The simple experiment with actual feeling by use of a disposable pocket heater as an absorber—

IKEYAMA Takeshi

## Abstract

A simple experimental method to determine the oxygen concentration in the atmosphere is proposed. A disposable pocket heater is used as an oxygen absorber without opening its inner packages. Volume of air and its change after the oxygen consumption is easily observed by using a plastic syringe in which the disposable pocket heater is set. To finish the experiment in 15 minutes, some necessary technique is also proposed. By the simple experiment, the amount of the oxygen is shown to be approximately one-fifth of the air with an actual feeling of the volume decrease.

**Key words :** oxygen (酸素)  
atmosphere (大気)  
disposable pocket heater (使い捨てカイロ)  
plastic syringe (プラスチック製注射器)

## 1. はじめに

空気の組成は、中学校理科第一分野の「身のまわりの物質とその性質」において、「窒素78%、酸素21%、その他の気体1%」であると示されている<sup>1)</sup>。また、小学校教科書第6学年「ものの燃えかたと空気」においても、「空気の、およそ4/5はちっ素で、およそ1/5は酸素である。」と述べられており<sup>2)</sup>、燃焼や呼吸の理解へとつながる基本的な事項である。

酸素濃度を実験的に求める方法は、これまでにいろいろ提案されてきた<sup>3~7)</sup>。現在では気体検知管を利用するのが最も簡便で一般的と思われるが、数値として示される濃度に実感が伴わないところが難点である。

コバルト錯体を酸素の可逆吸収剤としてこの目的に利用する齋藤ら<sup>4)</sup>によって報告された方法は、高等学校以上では適切な方法の一つと考えられるが、錯体の準備、内容の理解などを考えると、例えば小学校で利用するのに適切とはいえない。

一方、酸素吸収剤として使い捨てカイロを用いる演習実験の提案もなされている。水に伏せたビーカーに水面が20%上がることを見せるものであるが、2時間を要するとのこと<sup>6)</sup>で、授業の1時間の中で用いるには十分ではない。

また、使い捨てカイロから鉄粉を取り出し、酸素吸収管を作って、空気をこれに通すことにより空気中の酸素を除き、体積変化から酸素濃度を測定する提案<sup>7)</sup>

\* 宮城教育大学教育学部理科教育講座

もなされているが、装置の製作が必要である。

今回、使い捨てカイロを分解することなく酸素吸収剤として用い、反応時間に注目して実験を行い、その結果にもとづいて、小中学校の1時間の中で大気中の酸素濃度を求めるための、より直接的で簡便であり、しかも実感を伴った方法を提案する。



図3 先端のチューブを折り曲げ、輪ゴムで固定する

## 2. 実験

はじめに、適切な測定時間間隔を知るために、使い捨てカイロとともに注射器内に密封した空気の体積を一定時間間隔で読み取り、その時間変化を測定した。

器具：使い捨てカイロ<sup>8)</sup>(93mm×55mmなど、大きすぎないもので、貼るタイプでないもの)、注射器(プラスチック製100mLで最小目盛1mLのもの)  
**【注意】** シリンダーとの摩擦を減らし、動きをなめらかにするためにゴムの部分にワセリン等を塗布する)、シリコンチューブ(内径3mm×外形5mm×長さ40mm程度、注射器の先につけ、これを折り曲げて輪ゴムでとめることにより注射器を密閉する)、輪ゴム

実験操作：

- ① 注射器の内筒を引き抜く。使い捨てカイロを注射器の中にまらめてセットして(図1a)、できるだけすきまがなくなるように内筒を押し込む(図1b)。

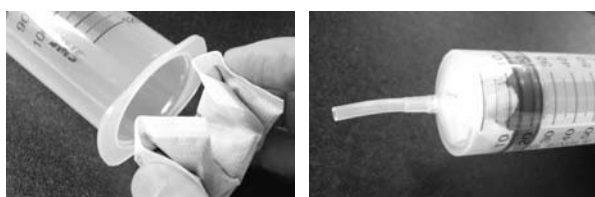


図1 a) カイロを入れる b) 内筒を押し込む

- ② 注射器に空気を100mLまで吸い込み(図2)、注射器の先端につけたシリコンチューブを折り曲げ、輪ゴムで固定して注射器を密閉する(図3)。



図2 空気を吸い込む

- ③ 一定時間間隔(例えば2分など)で目盛りを読み取る。**【注意】** 読み取る際、軽くピストンを前後させ、最も力のかからない安定な位置を探す。これには、ピストンをそのとき停止している位置から10mLほど押し込んで手を離し、膨張して停止したときの体積と、そこから10mLほど引き出して手を離し、収縮して停止したときの体積とを読み取り、その中間の値をとる。これらの操作は、空気が漏れないよう先端のチューブを押さえながら行う。

## 3. 結果と考察

注射器内の気体の体積の時間変化の実験結果を図4に示す。測定の時間間隔を変えたものを(1)~(3)とし、その時間間隔を図中に示した。

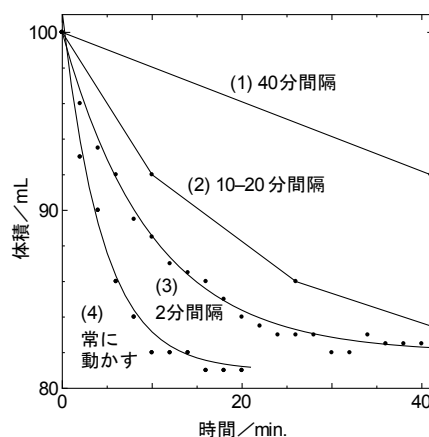


図4 気体の体積の時間変化

(1)、(2)は測定点を直線で結び、(3)、(4)は最適化曲線を示す。

本来、測定の時間間隔を変えてもグラフの点の間隔が変わるだけで、グラフの形には影響しないはずであるが、図4は明らかに測定の時間間隔が短いほど体積変化が速いことを示しており、体積の読み取り操作が結果に影響していることを示している。

このことは、注射器を静置しておくだけでは、注射

器内の空気は、使い捨てカイロの袋の中の空気と入れ替わりにくいが、操作③の読み取り時のようにピストンを前後させると入れ替わりやすくなる、と考えると説明できる。これは、使い捨てカイロを本来の目的に利用するには、適当な発熱量で反応を一定時間持続させることが必要であるため、空気の流入量が適切になるように袋の素材が選ばれていることによるものと考えられる。例えば緒言に述べた文献<sup>6)</sup>において、水面が上がるのに時間を要するのも、このことが原因と考えられる。

そこで、体積読み取り時だけでなく、絶えずピストンを平衡位置の前後で動かし続け、読み取りは2分間隔で行ったところ、図4(4)の結果を得た。明らかに(1)～(3)よりも変化は速くなっており、上の説明が正しいことがわかる。

図4(4)より、この条件では、開始から15～20分後には体積変化が終了する。

以上のことから、酸素の割合を求める目的には、時間変化の測定は不要であるのでこれを省略して、空気中の酸素濃度の決定の実験方法として、次のマニュアルを得る。

を読み取り、その中間の値をとる。これらの操作は、空気が漏れないよう先端のチューブを押さえながら行う。

④ その1～2分後にもう1度体積測定を行って体積が変化していないことを確認して、これを最終的な目盛の読み  $V_1$  (mL) とする。(もし体積がさらに減少しているときには、この操作を繰り返す。)

⑤ 体積の減少分  $(100\text{mL} - V_1)$  の、元の空気の体積  $(100\text{mL} - V_0)$  に対する割合として、次式により空気中の酸素の割合を決定する。

$$O_2(\%) = \frac{(100\text{mL} - V_1)}{(100\text{mL} - V_0)} \times 100$$

この方法により、空気中の酸素の割合を決定する。

実験を現職の小学校の先生28名(2名1班で14班)を対象に実施(2013年度教員免許状更新講習)した結果を次表に示す。

表 空気中の酸素の割合を求める実験の結果

班	$V_0$ / mL	$V_1$ / mL	$O_2$ (%)
1	15	82	21%
2	15	82	21%
3	13	82	21%
4	13	82	21%
5	10	81	21%
6	15	83	20%
7	15	83	20%
8	15	83	20%
9	12	82	20%
10	10	82	20%
11	20	85	19%
12	20	86	18%
13	15	86	16%
14	10	90	11%
平均 (14個のデータすべて)			19%
平均 (14班を除く13個)			20%

この表から、ほぼすべての班で20%前後の結果が得られること、全体の平均は(19～)20%となることが示された。

なお、表中1つの班だけが極端に小さい値を出しているが、その結果を見ると  $V_1 = 90\text{mL}$  となっており、

空気中の酸素濃度の決定

実験操作：

① 注射器の内筒を引き抜く。使い捨てカイロを注射器の中にまるめてセットして(図1a)、できるだけすきまがなくなるように内筒を押し込む(図1b)。目盛を読み取り、これを使い捨てカイロの体積  $V_0$  (mL) とする。

② 注射器に空気を100 mLまで吸い込み(このとき、空気の体積 =  $100\text{ mL} - V_0$ )、注射器の先端につけたシリコンチューブを折り曲げ、輪ゴムで固定して注射器を密閉する(図2)。

③ 15分間、絶えずピストンを安定な位置の前後 ±10mL程度で動かし続けた後、体積を読み取る。

**【注意】** 読み取る際、軽くピストンを前後させ、最も力のかからない安定な位置を探す。これには、ピストンをそのとき停止している位置から10mLほど押し込んで手を離し、膨張して停止したときの体積と、そこから10mLほど引き出して手を離し、収縮して停止したときの体積と

体積が一定になったとの判断が早すぎたことが原因と考えられる。実験をやめる前に気づいて、さらに1～2分操作を続け、体積が減少しないかどうかを確認することができれば避けられたと考えられるが、いろいろな原因で平均値から大きく外れる結果が出ることはある程度避けられないと考えて、大きく外れるデータを除外して平均を取ることを指導することも正しい扱いであろう。

この実験における誤差の原因は、実験操作①で $V_0$ を求める際に使い捨てカイロの間にすきまができることと、操作③④で注射器内筒の最も力のかからない安定な位置として読み取る体積 $V_1$  (mL) に不確かさが伴うことである。しかし、上に見たとおり、この実験は空気の1/5が酸素であるということを示すには十分な精度をもつことが示された。

なお、ここで用いたプラスチック製の注射器の代わりにガラス製の注射器を使うと、動きはより滑らかになり、精度は上がるが、シリンダーから内筒を引き抜いて、また差し込む際に、まっすぐに入れないと内筒が動かなくなってしまうことがあり、壊しやすいこと、またプラスチック製に比べ単価が高いことなどが問題となる。

また、使い捨てカイロを用いるため、測定中に温度が上昇するのではないかと思われるかもしれないが、注射器の中にある酸素は20mLと少量であるため、温度変化はほとんど無視できる。

#### 4. 結論

酸素吸収剤として、適切な大きさの使い捨てカイロ<sup>8)</sup>を分解せずにそのまま利用し、空気の体積測定にプラスチック製注射器を用いる簡便な実験によって、注射器のシリンダーが吸い込まれることを観察することができた。

反応時間を15分程度に短くするには、使い捨てカイロの袋内の空気を入れ替えるために、実験中、絶えず注射器のピストンを安定な位置の前後で動かし続けることが有効であることが示された。

提案された実験マニュアルにより、空気のおよそ5分の1が酸素であることを、簡便な実験によって実感を持ってとらえ、その割合を数値として求めることが可能になった。

#### 参考文献・注釈

- 1) 新編 新しい科学 1分野上、東京書籍、2006、p.62.
- 2) 新しい理科 6上、東京書籍、2005、p.8.
- 3) 岡村保、化学教育 1964、12、96.
- 4) 齋藤一夫、荻野和子、板橋英喜、大槻勇、稲辺良、早坂孝志、東海林恵子、中鉢豊、国井恵子、石山公、佐々木真理、化学と教育1980、28、451. (採録：化学と教育2004、52、809.)
- 5) 岩田敦子、神崎夏子、化学と教育 1989、37、663.
- 6) 光文書院ホームページ <http://www.kobun.co.jp/idea/rika/05.html> (2013年9月現在).
- 7) 株式会社ガステック 学校教材技術支援センター ホームページ [http://www.gastec.co.jp/shien/pdf/data\\_104.pdf](http://www.gastec.co.jp/shien/pdf/data_104.pdf) (2013年9月現在).
- 8) 今回は株式会社白元の「ぬくたろーミニ (93mm×55mm)」を用いたが、注射器の中に入れることができ、隙間が大きくならないような、適切な大きさ、やわらかさのものであれば、これに限らない。

(平成25年9月30日受理)