

酸素を発生させる装置の工夫

Development of apparatus for the oxygen preparation

自然系（理科）コース 砥谷 健治
アブジャイエット
岡崎 和子

I はじめに

中学校の1年生の化学分野「身のまわりの物質」では、酸素、二酸化炭素、窒素、水素、アンモニアの5つの気体について学習する。そこでは窒素を除く4つの気体について実験を行うことになっている。この中で、二酸化炭素、水素、アンモニアについては教科書の実験方法で気体を捕集し性質を調べることができる。しかし、酸素については教科書の方法では酸素が十分捕集できず、性質を調べる実験がうまくいかなかった。

教科書の酸素の実験では、図1のような装置を使用し、二酸化マンガンをオキシドールを加える方法と酸素系漂白剤に約80℃の湯を加えて酸素を発生させる方法が提示されている（竹内ら、2001）。また、平成18年度より使用の教科書では図1の装置を使って過炭酸ナトリウムに60℃の湯を加える実験が提示されている（竹内ら、2005）。この実験方法を改良するにあたり、この実験における問題点は次の2つであると考えた。

- ① 発生装置の三角フラスコ内にたくさんの空気があり、捕集した気体中の酸素の濃度が低くなる。
- ② 酸素の発生量が十分でないため、捕集できる酸素が少なく、火のついた線香が激しく燃える反応（以後、線香反応と呼ぶ。）が見られないので、酸素の性質の確認ができない。

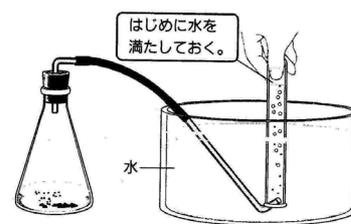


図1 教科書の実験方法（竹内ら、2001）

そこで、酸素発生装置を工夫し、線香反応が見られるほどの酸素の発生の条件を探し、さらに身のまわりにある物質を使って酸素を発生させる実験方法を考えた。

II 教科書の実験

はじめに、従来の装置（三角フラスコ使用）の問題点を具体的にするために、教科書の実験装置を使用した実験を行った。

【実験1】 粉末酸素系漂白剤に80℃の湯300 cm³を加える。
（竹内ら、2001）

<準備物>

酸素系漂白剤（ワイドハイター、花王株式会社）、80℃の湯、三角フラスコ、ゴム栓（ガラス曲管用の穴のあいたもの）、ガラス曲管、ゴム管、ゴム栓、試験管、試験管立て、水槽、水、マッチ、線香

<方法>

1. 500 cm³の三角フラスコの中に酸素系漂白剤を10 g入れた後、80℃の湯300 cm³加え、出てくる気体を水上置換法で集める。
2. 捕集した気体を確認するために、火のついた線香を試験管の中に入れ、反応を確認する。
3. 酸素系漂白剤の量を20 g、30 gと変えて実験を行う。



図2 酸素系漂白剤（粉末）



図3 三角フラスコを使用した実験装置



図4 線香反応

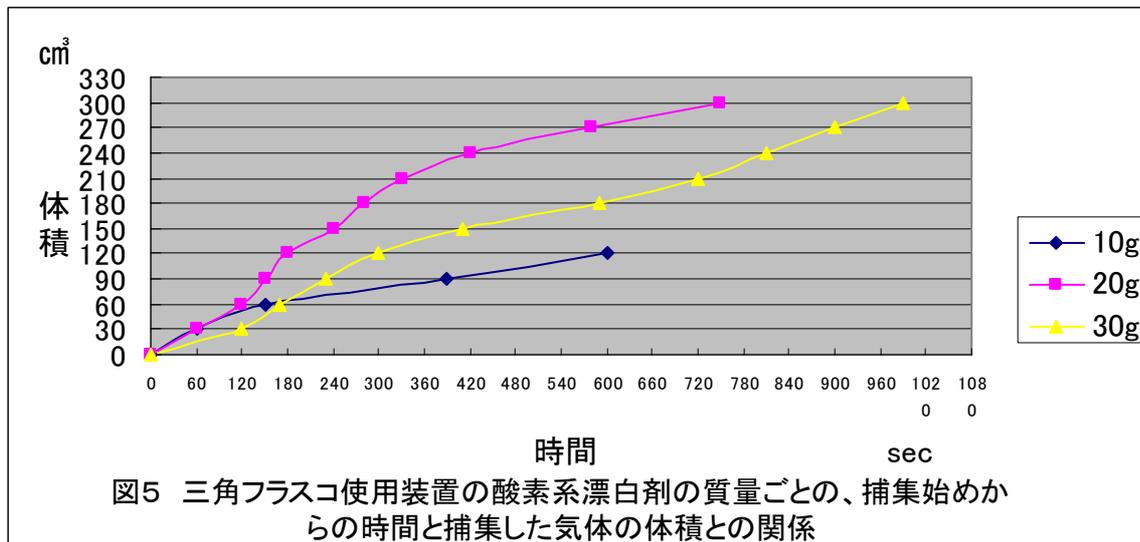
<結果>

- ・ 酸素系漂白剤 10g の場合、線香は明るくなる程度で線香反応は見られなかった。
- ・ 20g では、試験管 8 本目 (240cm³) 以上から線香反応が見られた。
- ・ 30g では、試験管 7 本目 (210cm³) 以上から線香反応がみられたが、7 本目を捕集するのに 12 分かかった。

表1 三角フラスコ使用装置の酸素系漂白剤の質量による捕集した気体の体積と捕集し始めからの時間の関係

体積 質量	1本目	2本目	3本目	4本目	5本目	6本目	7本目	8本目	9本目	10本目	集めた気体の 体積の合計
	30cm ³	60	90	120	150	180	210	240	270	300	
10g	1'00" ×	2'30" △	6'30" △	10'00" △							115cm ³
20g	1'00" ×	2'00" ×	2'30" ×	3'00" △	4'00" △	4'40" △	5'30" △	7'00" ○	9'40" ○	12'30" ○	330cm ³
30g	2'00" ×	2'50" ×	3'50" ×	5'00" △	6'50" △	9'50" △	12'00" ○	○	○	16'30" ○	300cm ³

- ※ 表中の本数は、捕集に使用した試験管 (容積 30 cm³) の本数である。
- ※ 表中下段の記号は、試験管の中に火のついた線香を入れたときの反応で
○：線香反応が見られた △：線香が明るくなった ×：変化なし である。



【実験 2】 過炭酸ナトリウム (2Na₂CO₃ · 3H₂O₂) に湯 60℃を加える。(竹内ら、2005)
 実験 1 と同じ装置を使い、酸素系漂白剤のかわりに過炭酸ナトリウム 20g を使用し、それに 60℃の湯 300cm³を加えた。

過炭酸ナトリウムに湯を加えた時の反応を次に示す。



<結果>

6本目の試験管から線香反応がみられた。気体捕集時間は実験1と比べて短くなったが、気体の発生量がかかなり多くなった。

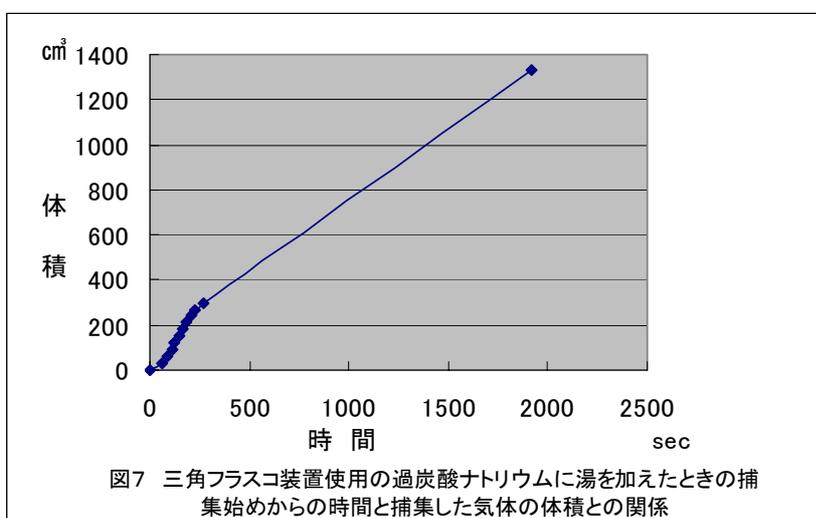


図6 過炭酸ナトリウム

表2 三角フラスコ使用装置で過炭酸ナトリウムに湯を加えたとき、捕集した気体の体積と時間の関係

過炭酸ナトリウムの質量	湯の温度	集めた気体の体積	発生始めからの時間と線香の反応						
			1本目	2	3	4	5	～	44
20g	60°C	30cm ³		60	90	120	150	～	1330
		1330cm ³	1'00"	1'30"	1'50"	2'00"	2'30"	～	32'00"
			×	×	×	×	△	○	○

※ 表中の記号は表1と同様である。



予想より気体の発生量が多かったため、グラフの途中の記録がとれていない

実験1・2よりわかったことは、以下のとおりである。

- ① 酸素系漂白剤より過炭酸ナトリウムが酸素の発生量が多かった。
- ② 線香反応が見られたのは、実験1で8本目、実験2では6本目以降の試験管であった。
- ③ 線香反応が始まるまでの気体捕集の時間は、実験1で約10分、実験2で約3分であった。
- ④ 実験2では、線香反応がでるまでの時間はちょうどよいが、その後の気体の発生量が多すぎた。
- ⑤ 気体の発生終了後、薬品が残っていたものがあった。

Ⅲ 実験方法の検討及び結果

1 課題の設定と解決策

実験1.2の結果から、次の二つの課題を設定した。

- ① 発生装置内の空気の量を減らす。
- ② 授業中に線香反応を見るための条件を見つける。

これらの解決策として

- ①写真のフィルムケースを使う。
- ②反応時の温度と薬品の量を変えてみる。

以上のことを考えた。

2 写真のフィルムケースを使用した装置の開発

(1) 写真のフィルムケースの実験への適合性

写真のフィルムケースの材質は、**HDPE** 高密度ポリエチレンであった。ポリエチレンについて以下にまとめる。

ポリエチレン (玉虫ら、1986)

- ・ エチレンの重合体。
- ・ 透明ないし半透明の固体で、酸、アルカリ、溶剤に耐えるが、高温炭化水素およびハロゲン化炭化水素には溶ける。
- ・ 電気絶縁性、耐水性、防湿性、耐寒性が良好で、代表的な熱可塑性樹脂として各種容器、電線被覆、繊維、包装材料などに用いられている。

この実験ではアルカリ性の試薬を使用するので、写真のフィルムケースはこの実験に相当であると判断した。

(2) 発生装置の工夫

フィルムケースを使った実験装置は、フィルムケース内の空気の量を減らすことはできるが、容積が小さいため、薬品の量も少なくしなければならない。そこで、反応を活性化するために、フィルムケースを湯の中につけて、反応時の温度を保つことにした。

まず、フィルムケースのふたの部分に穴を開け、湯の中に沈めて発生した気体を集めるという方法を考えた (図8)。この方法は、フィルムケースを水を入れた試験管で押さえているため、手がだんだんと疲れてきた。これでは授業中の実験として適当ではないと判断した。

次に考えたのは、従来の装置で使用していたゴム栓 (ガラス曲管用の穴のあいたもの) とガラス曲管、ゴム管をつなげたものをフィルムケースにつけた装置 (以後、これをフィルムケース装置と呼ぶ。図 9-1,2,3 参照) である。温度を保つためにフィルムケースのまわりを湯で温めた。これは、フィルムケースを湯の入ったビーカーにつけておくだけでよく、生徒にも簡単に扱える装置であると考えた。このため、この装置を用いて実験を行うことにした。

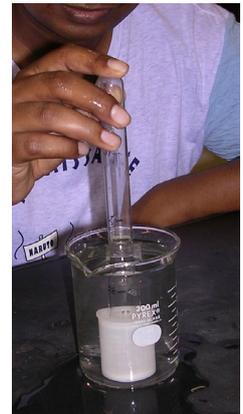


図 8 ふたに穴を開けたフィルムケースを湯の入ったビーカー中に沈めた。



図 9-1 フィルムケース装置を組み立てる前



図 9-2 フィルムケース装置を湯の入ったビーカーにつけ、水上置換法で気体を捕集した。

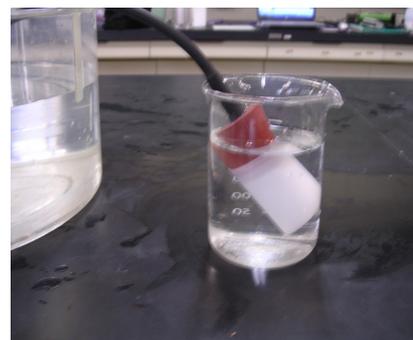


図 9-3 フィルムケース装置の拡大図

3 授業中に線香反応を見るための条件

授業中に線香反応を見るため、酸素が多く発生した過炭酸ナトリウムを使用し、湯の温度と過炭酸ナトリウムの質量を変えて実験を行った。

【実験 I】 湯の温度を変える（フィルムケース装置使用）

過炭酸ナトリウムが 4 g のとき、湯の温度 50℃、60℃、80℃と変えて、捕集できる気体の体積を比べる。フィルムケースに入れる湯の温度とビーカーに入れる湯の温度は同じとする。

< 準備物 >

過炭酸ナトリウム 4 g、湯（50℃、60℃、80℃）、三角フラスコ、ゴム栓（ガラス曲管用の穴のあいたもの）、ガラス曲管、ゴム管、ゴム栓、試験管、試験管立て、水槽、水、マッチ、線香

< 方法 >

- 1 フィルムケースの中に過炭酸ナトリウムを 4 g 入れ、80℃の湯 20 cm³加える。
- 2 1 を 80℃の湯の入っているビーカーにつけ、出てくる気体を水上置換法で試験管に集める。
- 3 捕集した気体が入っている試験管の中に、火のついた線香を入れ、反応を確認する。
4. 湯の温度を 60℃、50℃と変えて実験を行う。

< 結果 >

表3 フィルムケース装置使用の過炭酸ナトリウムに加えた湯の温度による捕集できた気体の体積と捕集始めからの時間との関係

体積 温度	1本目	2本目	3本目	4本目	5本目	6本目	7本目	8本目	9本目	10本目	集めた気体の 体積の合計
	30cm ³	60	90	120	150	180	210	240	270	300	
50℃	2'20" ○	3'50" ○	5'20" ○	6'35" ○	8'15" ○	10'15" ○	12'50" ○				210cm ³
60℃	2'20" ○	3'35" ○	4'45" ○	5'55" ○	7'10" ○	8'30" ○	10'15" ○	12'30" ○			240cm ³
80℃	15" ○	30" ○	50" ○	1'15" ○	1'20" ○	1'40" ○	2'00" ○	2'20" ○	3'05" ○	3'30" ○	360cm ³

※ 表中の記号は表 1 と同様である。

<わかったこと>

- ① 湯の温度が、50℃、60℃、80℃のどの温度でも試験管1本目から線香反応がみられた。
- ② 線香反応がでる気体を集めるのにかかった時間は、一番長くかかったものでも2分あまりであった。

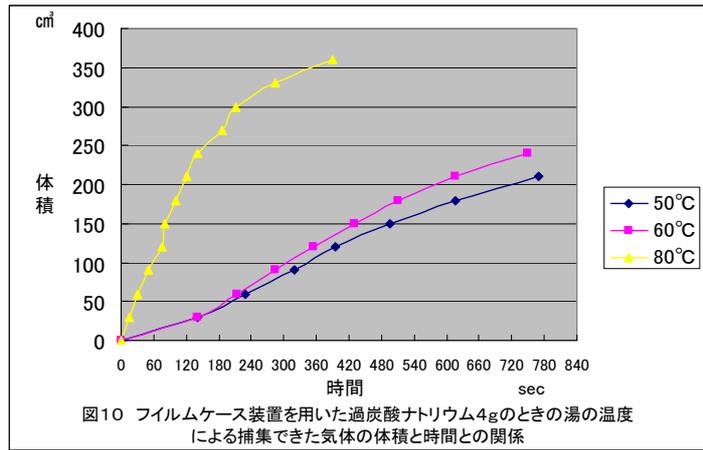


図10 フィルムケース装置を用いた過炭酸ナトリウム4gのときの湯の温度による捕集できた気体の体積と時間との関係

【実験Ⅱ】 過炭酸ナトリウムの質量を変える（フィルムケース装置使用）。

湯の温度が 60℃のとき、過炭酸ナトリウムの質量を 2 g、4 g、6 g と変えて捕集できる気体の体積を比べる。

<準備物>、<方法>ともに、実験3に同じ。

<結果> ※ 表中の記号は表1と同様である。

表4 フィルムケース装置使用の湯60℃での過炭酸ナトリウムの質量による捕集できた気体の体積と時間との関係

体積 質量	1本目	2本目	3本目	4本目	5本目	6本目	7本目	8本目	9本目	10本目	集めた気体の 体積の合計
	30cm ³	60	90	120	150	180	210	240	270	300	
2g	2'00" ○	3'10" ○	4'20" ○	5'45" ○	7'55" ○	12'55" ○					180cm ³
4g	2'20" ○	3'35" ○	4'45" ○	5'55" ○	7'10" ○	8'30" ○	10'15" ○	12'30" ○			240cm ³
6g	1'55" ○	3'00" ○	3'55" ○	4'45" ○	5'35" ○	6'25" ○	7'25" ○	8'25" ○	9'45" ○	11'25" ○	400cm ³

<わかったこと>

- ① 過炭酸ナトリウムの質量が 2 g、4 g、6 g すべての質量に対しても1本目の試験管から線香反応が見られた。
- ② 線香反応がでる気体を集めるのにかかった時間は、一番長くかかったものでも2分あまりであった。

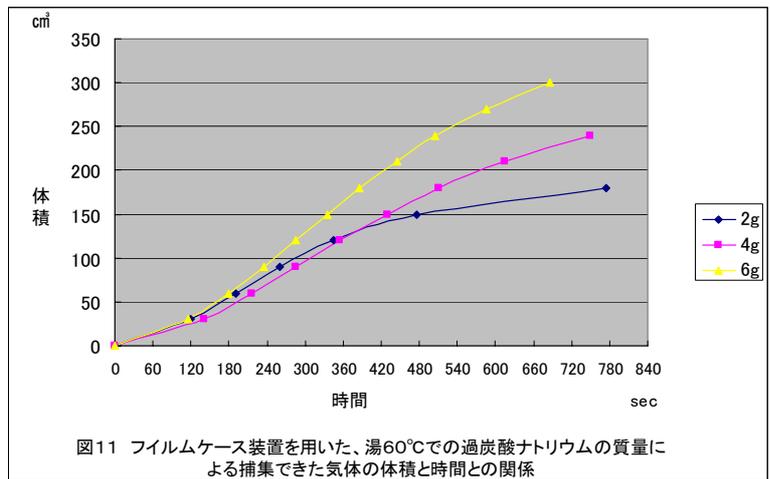


図11 フィルムケース装置を用いた、湯60℃での過炭酸ナトリウムの質量による捕集できた気体の体積と時間との関係

フィルムケース装置を使用した場合、容器内の空気を減らすことができ、実験Ⅰ、Ⅱのどの条件で酸素を発生させても試験管1本目から線香反応がみられた。これらのことより、この実験装置は酸素の生徒実験にとっても有効であると考えた。

4 フィルムケース装置を使用し、身の回りのものを使った実験

身の回りのものを使った実験として、実験1で使用した粉末酸素系漂白剤（ワイドハイター、花王株式会社）に湯を加えた実験と、ジャガイモに過酸化水素水をかける実験を行った。ジャガイモは、過酸化水素水から酸素を発生させるときに細胞内のカタラーゼ（酵素）が触媒としてはたらくことがわかっている。

【実験Ⅲ】酸素系漂白剤 4g に 80℃の湯を加える。
（フィルムケース装置使用）

＜準備物＞、＜方法＞ともに、実験Ⅰに同じ。

＜結果＞

試験管 2 本分の気体を集めることができ、2 本ともに線香が見られたが、捕集した際に泡が発生した（図 12）。



図 12 フィルムケースの装置を用いた酸素系漂白剤の実験の様子

表 5 フィルムケース装置を用いた、酸素系漂白剤の実験

粉末漂白剤の質量	湯の温度	集めた気体の体積	発生始めからの時間と線香の反応		
			1本目	2	3
			30cm ³	60	90
4g	80℃	60cm ³	1'00" ○	11'00" ○	

※ 表中の記号は表 1 と同様である。

【実験Ⅳ】過酸化水素水にジャガイモ（フィルムケース装置使用）
（竹内ら、2005）

＜準備物＞

- ・ 実験Ⅰの装置を使用する。
- ・ 過炭酸ナトリウムと湯のかわりに、過酸化水素水とジャガイモを使用する。

＜方法＞ 実験Ⅲに同じ

ただし、フィルムケースを湯につけなかった。後で、40℃の湯につけるとジャガイモに含まれるカタラーゼがよくはたらくということがわかった。



図 13 触媒として実験に使用したジャガイモ



図 14-1 フィルムケース装置を用いて過酸化水素水とジャガイモから、酸素を捕集している実験の様子

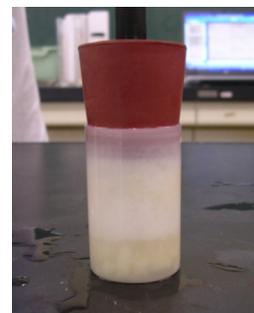


図 14-2 フィルムケース内で反応する過酸化水素水とジャガイモ

< 結果 >

表 6 フィルムケース装置を用いた、過酸化水素水とジャガイモの実験

ジャガイモの質量	過酸化水素の濃度	集めた気体の体積	発生始めからの時間と線香の反応		
			1本目	2	3
			30 cm ³	60	90
3 g	3%	3 cm ³	10'00" ×		
3 g	10%	10 cm ³	10'00" ×		
5 g	10%	35 cm ³	6'15" ○	10'00" ○	
10 g	10%	50 cm ³	4'20" ○	10'00" ○	

※ 表中の記号は表 1 と同様である。

< わかったこと >

- ・ 過酸化水素の濃度が 3% (オキシドール) では、ジャガイモから捕集できるほどの酸素が発生しなかった。
- ・ 過酸化水素水の濃度 10%、ジャガイモ 5g 以上で、試験管 1 本目から線香反応が見られた。捕集するのに要する時間も授業中に生徒実験で使える範囲であった。

III まとめ

本課題探求の成果として、①～⑤を得ることができた。

- ① フィルムケース装置を使用すると容器内の空気の量を減らすことができ、効率よく酸素を捕集することができた。
- ② 湯につけて温度を保つことで薬品の反応を活性化することができ、短時間で酸素が発生し、授業中に生徒実験で使えることがわかった。
- ③ この装置を使用すると、過炭酸ナトリウムの場合は質量が 2 g 以上で湯の温度が 50℃ 以上のものを使用したときに線香反応が見られた。
- ④ この装置を使用した酸素系漂白剤の場合は質量が 4 g、80℃の湯が必要であった。
- ⑤ ジャガイモを触媒にした場合、過酸化水素の濃度が 10%、ジャガイモが 5 g 以上で線香反応が見られた。

以上のことから、このフィルムケース装置を使った実験方法は、中学校理科の酸素における生徒実験で有効であり、多くの生徒が線香反応を見ることが期待できる。

今後の課題としては、フィルムケースの装置が他の気体の発生に使えるかということと、フィルムケース以外で反応の様子が見やすい透明な容器を探すことがあげられる。

なお、本課題研究を行うにあたり、武田 清助教授に助言をいただいたので、記して感謝する。

IV 文献

- 竹内敬人ほか、2001. 中学校理科 1分野上. 啓林館 H13.2.28 検定済
 竹内敬人ほか、2005. 中学校理科 未来へひろがるサイエンス 第1分野(上). 啓林館 H17.2.10 検定済
 玉虫文一ほか、1986. 理化学辞典(第3版増補版). 岩波書店