

# 視認性を重視したサイエンス教材の開発 (1)<sup>1)</sup>

## — 二酸化炭素の発生と性質に関する実験 —

三品佳子\*・加藤慎也\*\*・村松 隆\*\*\*

Development of Science Teaching Materials in Consideration of High Visibility.  
- Experiment on Gas Generation and Characters of Carbon Dioxide -

Yoshiko MISHINA, Shinya KATO and Takashi MURAMATSU

**要旨:** 二酸化炭素の発生と性質に関する実験法として、着色変化や反応物の減少に伴う物質生成量の増加などを直接目で確認し、化学反応式に密接させて省察できるサイエンス教材を開発した。これは、実際の現象変化を視認し、量的把握を加え、より深化した理解に基づく表現力やコミュニケーション力の育成に役立つ。

**キーワード:** 環境科学実験, 二酸化炭素, 物の溶け方, 燃焼

### 1. はじめに

学校の授業の中で、二酸化炭素を材料に取り上げた教材は多数ある。燃焼の仕組み、人の体のつくりと働き、地球温暖化、世界の中の日本（資源エネルギー）など、扱われる内容も様々である。環境教育との関連では、二酸化炭素が自然環境や暮らしに密接した物質であることから、例えば燃焼の学習に、環境影響やライフスタイルに関わる課題などを入れ、発展的な学びへ誘導する工夫もなされている。<sup>2)</sup>

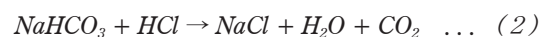
ところで、新しい学習指導要領では、教科（特定しない多くの教科）に言語活動を取り入れ、思考力・判断力・表現力の育成を強化することが指摘されている。<sup>3)</sup> 例えば、自然を題材とした体験型の総合学習では、自然の実態を直接目で確かめ、その変化・変容に量的把握を加え、多面的・多角的な解釈とコミュニケーション（振り返り）が行われている。理解の深化を図る視認性を重視したサイエンス教材は、まさにこのような取り組みの中で活用されるものである。

著者らは、視認を意図したサイエンス教材の構築を進めている。本報では、二酸化炭素の発生と性質に関する実験法について報告するが、二酸化炭素の水への溶解が、「どのようにどのくらい」進むのか、燃焼で

二酸化炭素が発生するが、「どのように起こり、どのくらい」発生するかという、動的な過程を目視し、容量的な変化をみることを重視した。物質の化学反応や状態変化などの動的プロセスを定量的に追跡し、現象理解を深化させるための教材である。

### 2. 二酸化炭素の性状と視認

二酸化炭素（気体）を捕集するには幾つかの方法がある。炭酸ナトリウムに酸を加えて発生させる方法、炭酸カルシウムに塩酸（または酢酸）を加えて発生させる方法、炭酸水素ナトリウム（重曹）を加熱もしくは酸を加えて発生させる方法、炭酸水素ナトリウムにコハク酸と水を加えて発生させる方法などがよく知られている。本研究では、多量の二酸化炭素を穏やかな条件で捕集できること、発生過程と仕組みが分かりやすいことを考慮し、炭酸ナトリウム水溶液と塩酸の反応を取り上げた。炭酸ナトリウム水溶液に塩酸を滴下する反応は、次式に示すように2段階の過程からなる。



\* 宮城教育大学理科教育講座, \*\* 宮城教育大学教職大学院, \*\*\* 宮城教育大学環境教育実践研究センター

指示薬としてフェノールフタレインとメチルオレンジの混合溶液を用いて塩酸をゆっくり滴下していくと、まず、(1) 式の反応が進み、フェノールフタレインの変色域 (pH 8 ~ 10) で、溶液色が赤から黄色 (フェノールフタレインが赤から無色になり、メチルオレンジによる黄色の呈色が残る) に変わる。さらに滴下を続けると、液性がメチルオレンジの変色域 (およそ pH3.1 ~ 4.4) に達し、(2) 式の反応によって溶液の色が黄色から赤色に変わる。このメチルオレンジの変色域で二酸化炭素が最も激しく発生することになる。

このように、炭酸ナトリウム水溶液への塩酸の滴下をゆっくり行くと、混合指示薬の呈色変化によって、反応を段階的に追跡でき、二酸化炭素発生仕組み (化学反応の仕組み) をよく理解することができる。しかも、反応過程で発生する二酸化炭素をゴムふうせんに捕集すると、(1) 式から分かるように、塩酸の滴下当初は、あまり膨らまないが、(2) 式に到達する段階で急激に膨らみ出すことや、塩酸の滴下量を多くして行くと、(3) 式 ((1) 式と (2) 式の和をとった反応式) に示すように、見かけ上一段階反応として多量の二酸化炭素が激しく発生する。実験操作の方法を変えると、反応の中身や反応の性質の側面を眺められるという例である。



### 3. 視認性を重視したサイエンス教材

#### (1) 二酸化炭素の発生実験

炭酸ナトリウム水溶液への塩酸の滴下実験を明瞭に観察するために、図1に示すような発生装置を組み立てた。反応容器は 300mL の三口丸底フラスコ (a) で、これに炭酸ナトリウム水溶液 100mL (炭酸ナトリウム (無水) 24g を水 100mL に溶かした溶液 (25℃)) を入れる。これにフェノールフタレイン液 0.5mL (フェノールフタレイン 1g をエタノール水溶液 (エタノール : 水 = 4:1v/v) 100mL に溶かした溶液)、メチルオレンジ 0.5mL (メチルオレンジ 0.1g を水 100mL に溶かした溶液) を入れる。溶液は赤色を呈する。

図1のb(酸溶液用注射器)には3N塩酸水溶液100mLを入れる(三方栓g1で予め閉じておく)。フ

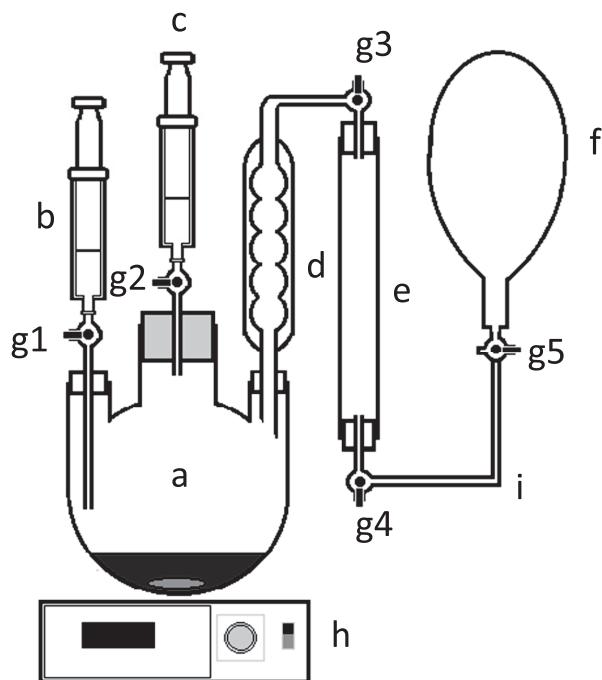


図1. 二酸化炭素の発生装置(教卓演示用)

a: 三口栓付丸底フラスコ(300mL), b: 酸溶液用注射器 (ガラス製100mL), c: 注射器(ガラス製100mL, 種類の異なる応用実験等で使用する), d: 水滴防止コンデンサー (長さ15cm), e: 塩化カルシウム管 (外径2cm,長さ20cmのガラス管), f: ゴムふうせん (最大35cm程度膨らむバルーン), g1~g5: 三方栓 (医療用アクリル製小型三方コック), h: マグネチックスターラー, i: 外径5mm(内径3mm)シリコンチューブ (注射器cの使用法については、引用文献および脚注4)を参照のこと)

ラスコ内 a で発生する二酸化炭素が、水滴防止用のコンデンサー (d) と水分除去用の塩化カルシウム管 (e) を経て、ゴムふうせん (f) に集まるように、全ての三方栓 (g1 から g5 まで) の開閉を調整する。マグネチックスターラー (h) で溶液を攪拌させながら、三方栓 g1 を開いて注射器 b 中の塩酸をフラスコ内 (a) へゆっくり滴下する。この実験で観察される様子を表1にまとめた。

#### (2) 二酸化炭素 (気体) の精製

ゴムふうせんに集めた気体には、発生装置内の空気も入り込んでいる。ふうせんに捕集した二酸化炭素を使って、気体の溶解度実験などを行うためには、捕集した二酸化炭素の純度を高める必要がある。本研究で行った純度を高める操作を図2に示す。図2のaのようにゴムふうせんに接続した試験管を液体窒素中に入

表1. 炭酸ナトリウム水溶液の塩酸による中和反応(図1の装置を使用)

滴下した塩酸量/mL	フラスコ内の変化	ゴムふうせんの膨らみかた
0	赤色	
50	赤色(変化なし)	わずかに膨らむ
60	幾分赤みが薄くなる	ほんの少し膨らむ
80	オレンジ色、泡が出始める	さらにゆっくりと膨らみ始める
90	黄色、溶液が泡立つ	膨らみが速くなる
130	黄色 激しい泡	膨らみがさらに速くなる
140	赤色になる。泡が出なくなる	膨らみが止まる

炭酸ナトリウム水溶液 (24g/100mL(25℃)) , 塩酸 : 3N HCl  
 この実験スケールで、およそ4リットル相当の二酸化炭素(ゴムふうせんが直径20cm程度の大きさに膨らむ)を捕集できる。

れるとbのように、試験管内部に白い固まり(ドライアイス)が生ずる。この段階で三方栓の一方から水流ポンプで試験管内の空気を脱気する。脱気は試験管を液体窒素から取り出して行う。数分間脱気した後、三方栓を閉じて試験管内のドライアイスを利用してゴムふうせんに膨らませる。このような方法でガスの精製

を行い溶解度実験等に利用した。

(3) 二酸化炭素(気体)の水への溶解実験

図3は、二酸化炭素の溶解度の温度依存性を示したものである。<sup>5)</sup> 比較のため、酸素についても示した。二酸化炭素は、図3から分かるように、1気圧10℃のものでは、水1容に二酸化炭素1.2容が溶ける。つまり、1本の注射器に10℃の水10mLを入れ、別の注射器に10℃の二酸化炭素12mL(注射器目盛)を入れ、二酸化炭素を水側の注射器に移す。10℃に保ちながら注射器をよく振ると、注射器内の気体は消えることになる。

この実験は一見簡単そうに見えるが、実際は、温度など一定条件を満たす操作が面倒で、予想通りの結果が得られないことが多い。演示実験や生徒実験には向かない。そこで、二酸化炭素の水に対する溶解度実験

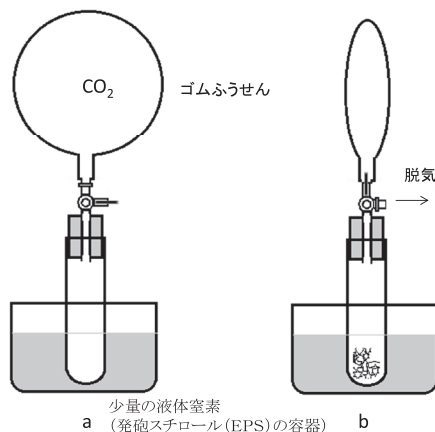


図2. 二酸化炭素(気体)の精製とドライアイス

a:炭酸ガス発生装置を用いて収集した炭酸ガスの密閉容器を液体窒素に入れた場合、b:炭酸ガスが凝集してドライアイスがつくられる。ふうせんがしぼんだ後、容器を液体窒素から取り出し、三方栓を通してアスピレーター(あるいは脱気用のポンプ)で空気を脱気する。c:脱気後、bのドライアイスを利用し、より純度の高い炭酸ガスを注射器に捕集する。

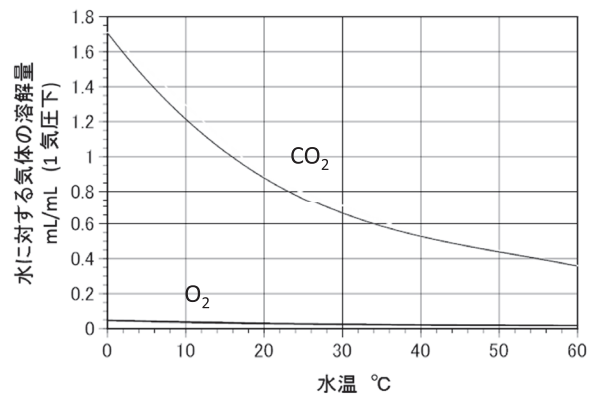


図3. 水に対する気体の溶解度 (cm³/cm³)

水と接している気体の圧力が1気圧のとき、水1mL中に溶けている気体の量を標準状態に換算した体積として求めたもの。

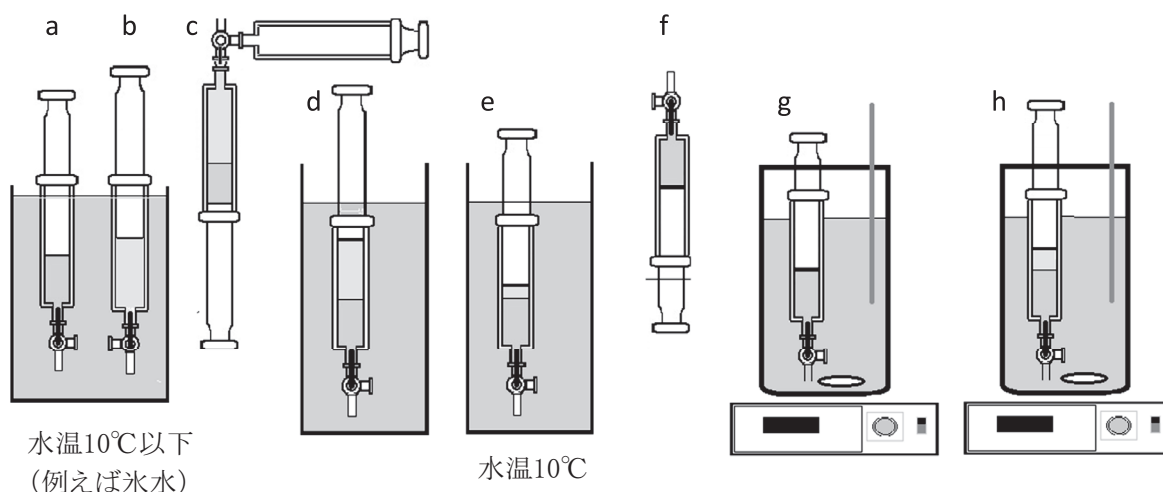


図4. 二酸化炭素の溶解実験(溶解度に関する実験、10°Cの飽和溶液を基準)

説明

まず、50mL注射器に10mLの水を吸い上げ (a)、別の50mL注射器に二酸化炭素(目盛15mL)を入れる(b)。aとbの注射器に三方栓をとりつけ密閉し、氷冷した水(10°C以下)中に注射器を入れ、約5分間放置する。注射器の目盛に変化が無くなくなっていることを確認したら、注射器同士を三方栓で結び、二酸化炭素をaの注射器に移す(c)。この注射器を10°Cの恒温水槽の中に入れ、時々注射器を取り出してよく振り、目盛が変化しなくなるまで(約10分程度)水槽中に静置する(e)。二酸化炭素は水に溶解気体量は減少するが、過剰量使用しているため過剰分が残る。この過剰分を注射器から押し出す(f)。f内の水溶液が10°Cにおける二酸化炭素の飽和溶液である。この注射器を10°C以上の所定温度の水槽に入れると、最初はgのように気体は全く見えないが、しばらくすると気泡が発生し始め、水温に応じた量の二酸化炭素が現れてくる(h)。注射器を使った実験では、この溶解の温度変化は可逆的である。同様の実験を他の気体(例えば、空気や窒素ガス、酸素ガスなど教材用に市販されているボンベガス)を使って比較すると、気体の種類によって全く異なった変化が見られる(視認の比較)。

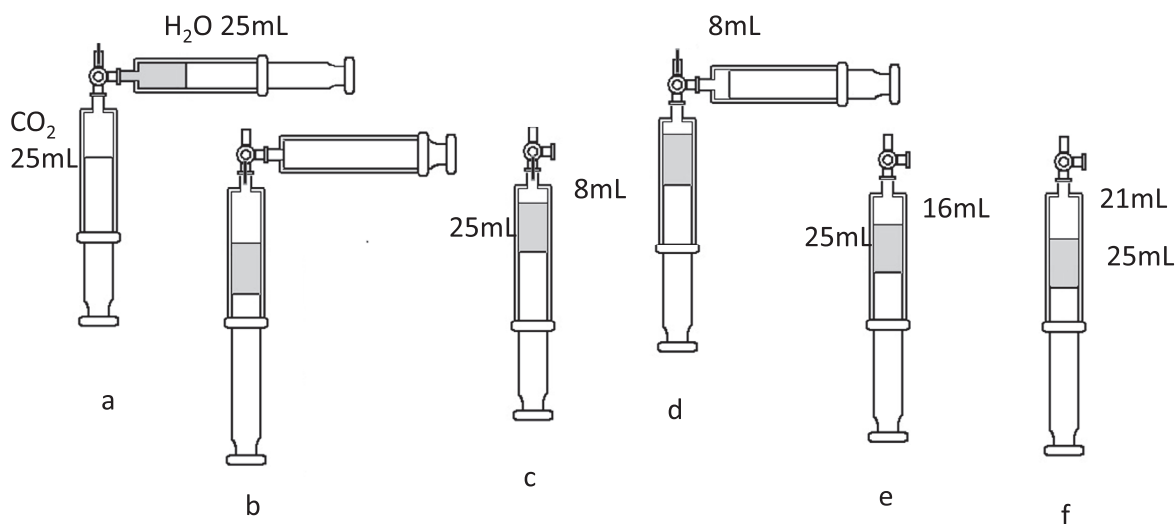


図5. 二酸化炭素の溶解に関する実験(気体の分圧の影響、1気圧定温(20°C)実験)

説明

aに示すように、二酸化炭素(目盛25mL)の入った注射器に蒸留水25mLを静かに移す。注射器の目盛は合計50mLとなる(b)。このbの注射器を三方栓で密閉しよく振ると(約2分程度)、注射器内の気体の一部が水に溶解cようになる。図中の値(mL)は約20°Cで行った時の実測値で、8mLの二酸化炭素が残留していた。そこでこの8mLの気体量と同じ容量の空気を注射器内に導入する(d)。導入当初その気体の容積はeのように16mLとなるが、注射器をよく振り内容物を混ぜると、注射器内の気体部分が占める容積は21mL(f)のようになった。fとdの差は水の水蒸気圧等では説明できない。密閉系において気液平衡が成立する条件では、気体の液体への溶解量は、液体と平衡にある気体の分圧に比例する。このような実験は不思議な現象として、小学校や中学校でのサイエンススクール(出前授業、模擬授業)でも利用できる。

として、視認しやすく簡単な方法を検討した。その結果を図4に示す。また、溶解度実験の応用として分圧の影響をみる実験例を図5に示す。

(4) ドライアイスを使った状態変化

図6にガラス製のピストンを使い、二酸化炭素の状態変化で液化した二酸化炭素を観察する方法を示す。ピストンの上げ下げを素早く行って見られる現象変化で、容器内と外部との熱の移動は無視できるため、ピストンによる体積変化は定温の断熱的膨張・圧縮による状態変化である。

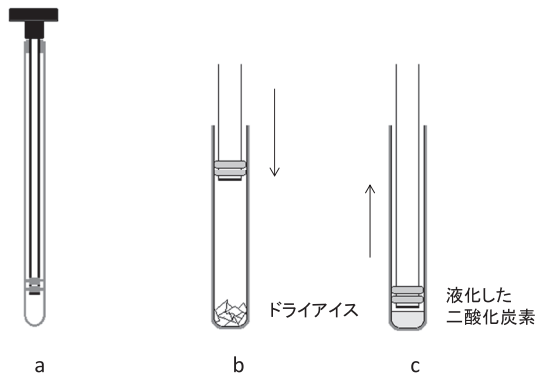


図6. ドライアイスを用いた状態変化(液態の二酸化炭素の観察)

a: 圧力式発火器 (耐圧ガラス管 (外形 10mm) に金属製のピストンを取り付けた道具), b: a の内部にドライアイス (粉体) を少量入れ, 上部からピストンを押して圧力をかける. c: ピストンが押されると, 気体が圧縮されドライアイスが溶けて液化した二酸化炭素を見ることが出来る. 次にcの段階で, ピストンを急に引き上げると, 体積が膨張し, 二酸化炭素は固体すなわちドライアイスに変化する.

(5) 燃焼実験 (二酸化炭素と酸素の定量)

二酸化炭素の実験として、アルコールの燃焼実験を取り上げる。この燃焼実験では、燃焼に用いるアルコール量に関係せず、密閉容器内でアルコールの炎が消えるまでに、どの位の酸素量が使われ、どの位の量の二酸化炭素が発生したのかを見る。

アルコールの燃焼の特徴として、①完全燃焼させる条件を設定しやすい、②燃焼の化学反応式が単純で、現象変化を量論的に解釈しやすい、③実験装置を簡単に組み立てることができる、ことが上げられる<sup>5)</sup>。燃焼実験では、アルコール以外に、例えばろうそくを利用できる。装置内の着火部を図7のように作り、目的に応じて選択できるようにするとよい。

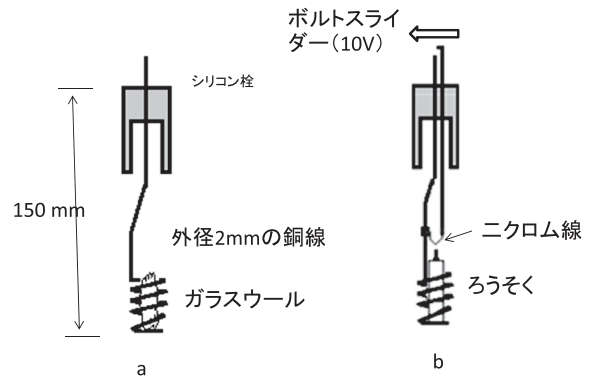


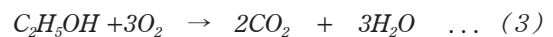
図7. 着火方式の異なる燃焼カートリッジ

a: 投げ込み方式, b: 内部着火方式. 図8の燃焼用の三口フラスコに取り付ける燃焼カートリッジである.

図7 aの方法は、ガラスウールにアルコール4滴程度浸み込ませ (エタノールでおよそ0.1g), 燃焼容器の外で着火し, 直ちに密閉容器に入れる方法である. bの方法は、予め密閉容器内に固定し, ニクロム線の赤熱を利用してろうそくに炎をつける方法である (ろうそくの燃焼の場合にはbの方法がよい). アルコールの着火をbの方法で行うと、ニクロム線の赤熱で、アルコールが着火する前に気化し、アルコール蒸気が容器内を満たすので注意が必要である。

図8は、投げ込み方式 (図7 a) で燃焼実験を行う場合の燃焼実験装置を示したものである。エチルアルコールの燃焼実験方法を以下に述べる。

アルコールの燃焼は、炎が明るく、燃えている様子が分かりやすいエチルアルコールを選んだ。エチルアルコールの完全燃焼は次式で与えられる。



エチルアルコール4滴 (約0.1g) をガラスウールに滴下し、容器外で着火させる。ガラスウールでアルコールが燃え始めるので、カートリッジを素早く容器内に入れ密栓する。約5秒間程度の燃焼で炎が消える。エチルアルコール4滴を容器外の開放形で燃焼させると、約10秒間は燃焼を続けるが、燃焼時間がおよそ5秒程度ということは、容器内に未燃焼のアルコールが残っており、燃焼に必要な酸素が全て使われたと言うことになる。この実験で、酸素がどのくらい使われ、そして二酸化炭素量がどのくらい発生したかを“視認

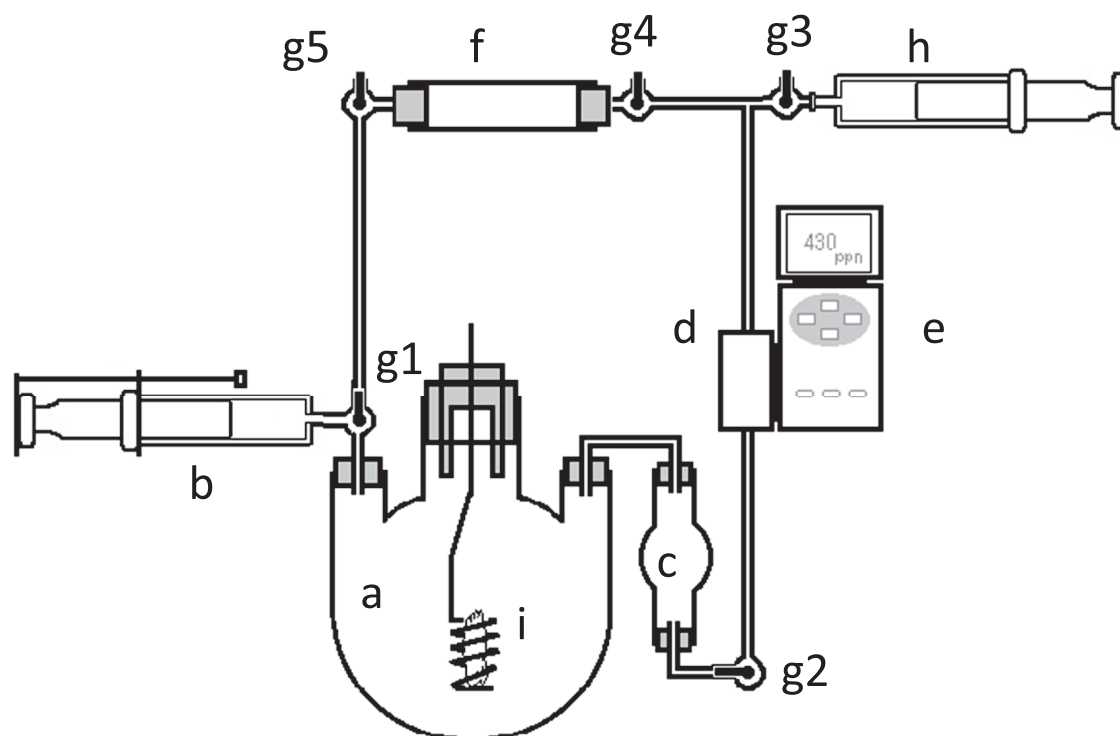


図8. 投げ込み方式の燃焼装置(教卓演示用)

a: 三口丸底フラスコ (200mL 耐熱性の広口ピン TS42/29), b: 注射器 (ガラス製 100mL, 容器内酸素消費量測定用, ストッパー付), c: 塩化カルシウム管 (長さ 10cm), d: 空気ポンプ (100mL/min), e: 空気ポンプに連結した CO<sub>2</sub> メーター (d と e を合わせて CO<sub>2</sub> フローメーター), f: ソーダー石灰カラム (二酸化炭素吸収用, 外形 2cm 長さ 10cm ガラス管), g1, g2, g3, g4: 三方栓, h: 注射器 (ガラス 100mL, 二酸化炭素吸収量測定用), i: 燃焼部 (外径 3mm 銅線でまいたらせん内部にガラスウールをつめたもの)

#### 説明 (燃焼実験操作)

1. 注射器 b と h には窒素ガスを充填しておく。これは図 9 に示すように燃焼によって失われた容器内の酸素ガスや発生した二酸化炭素の量を計量するために用いる。燃焼を始める前は、三方栓 g1 と g2 を操作して、a, b, c で一つの閉じた空間をつくる。およそこの空間の酸素が燃焼で使われる。
2. 図 8 の i は図 7 の a に示した投げ込み式 (カートリッジ式) の着火部で、これをフラスコから外に取り出し、銅らせん中心のガラスウールにエチルアルコール 4 滴を滴下する。次にガラスウールに火をつけ、炎が出ていることを確認しながら素早く燃焼容器 a の中に入れ密閉する。(注: 炎をゆっくり燃焼容器に入れると、炎が周囲から空気を巻き込み (炎と一緒に外から酸素が容器に入り込む)、正しい結果が得られない場合があるので注意すること。)
3. エチルアルコールがフラスコの密閉容器の中で燃えている間 (5 秒程度) は、発熱で容器内の気体が膨張するが、膨張により容器内の気体が外部に漏れないように密栓を強くしておく。注射器 b にストッパーを取り付けているのはこのためである。エチルアルコールの炎が消え、容器内の気温が室温に戻る間、注射器 b の窒素ガスがフラスコ容器内に吸い込まれていく。容器内が外圧 (すなわち 1 気圧) になると注射器 b のピストンが動かなくなる。この段階でフラスコに移動した窒素ガスを量取りする。これがエチルアルコールの燃焼で生じた見かけの体積変化 X (減量値) である。
4. 次に燃焼後の容器内に閉じ込められた気体を内部循環させ、気流中に含まれる水と水蒸気、二酸化炭素 (気体) を次のような手順で取り除いていく。まず、容器内の気体が a → c → d → h → f → a の経路で循環できるように、三方栓 g1, g2, g3, g4, g5 の開閉をセットする。なお、g1 のコックで注射器 b を遮断しておく。次に、空気ポンプ (d) を作動させ気体を内部循環させる。この循環で、まず、燃焼で発生した a の中に含まれる水と水蒸気は塩化カルシウム管 (c) で除かれる。また、生成した二酸化炭素は d の空気ポンプに接続された二酸化炭素センサー (e) で濃度 (ppmv) がモニターされ、その後、f (ソーダー石灰カラム) に入り、二酸化炭素 (気体) が吸収される。気体の吸収でその分減圧化するので、減圧した分の窒素ガスが注射器 h から経路中へ供給される。この循環により、気流圧が常に外圧 (1 気圧) に保たれ、水分と二酸化炭素が除かれていく。注射器 b で読み取られた量が燃焼で使われた酸素量と発生した二酸化炭素量の合計であり、見かけ上減量値として与えられる。また、注射器 h で読み取られた値は燃焼で発生した二酸化炭素量である。(いずれも値の読み取り値に、水の蒸気圧を考慮していない)。

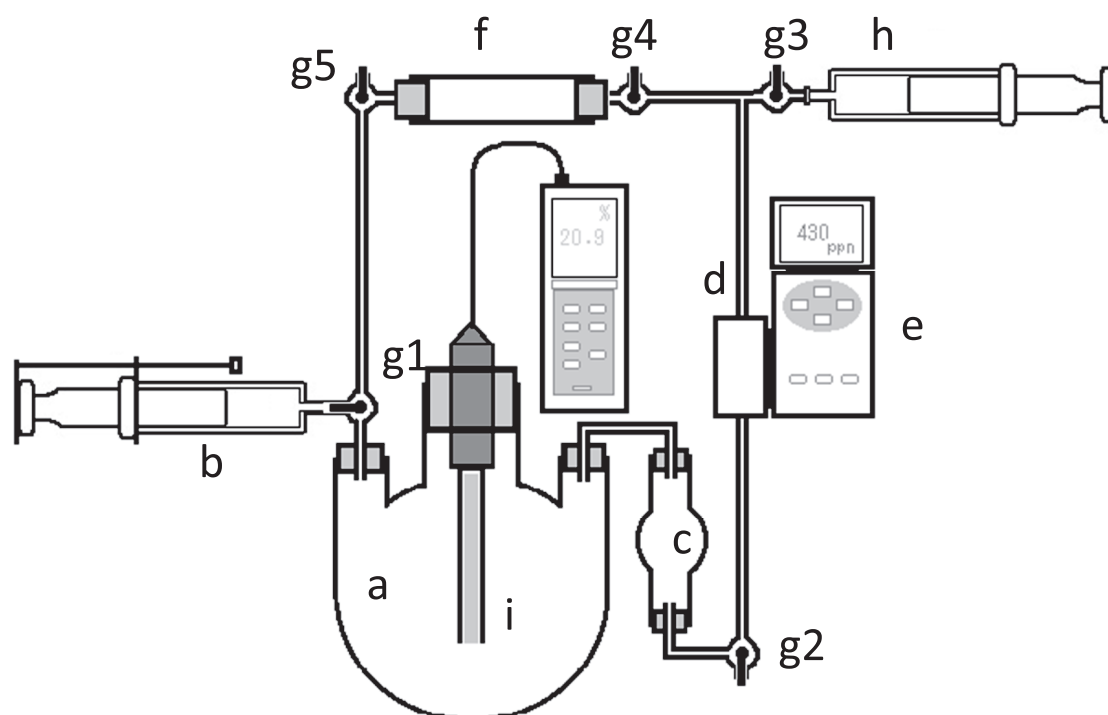


図9. 燃焼で使われた酸素量を測定する装置

a: 三口丸底フラスコ (200mL 耐熱性の広口ピン TS42/29), b: ガラス製 100mL 注射器 (ストッパー付), c: 塩化カルシウム管 (長さ 10cm), d: 空気ポンプ (100mL/min), e: 空気ポンプに連結した CO<sub>2</sub> メーター (d と e を合わせて CO<sub>2</sub> フローメーター), f: ソーダー石灰カラム (CO<sub>2</sub> 吸収用、外形 2cm 長さ 10cm ガラス管), g1, g2, g3, g4, g5: 三方栓, h: 二酸化炭素吸収量測定用 100mL 注射器, i: 酸素濃度測定センサー (DO センサー、大気濃度観測モード)

すること”が重要な要素である。(3)式から分かるように、燃焼後に生成する水と水蒸気を除去すれば、反応は酸素 3 容の減で二酸化炭素 2 容の増に相当する変化なので、注射器 (ガラス製) を用いて体積変化を計量することで反応の中身を理解できる。その実験操作を図 8 にまとめた。

図 8 に述べた操作で、燃焼反応の定量的扱いを以下のように実験結果の一例として述べる。

4 滴のエチルアルコールの密閉容器内での燃焼によって、正味の体積変化 (減少量 X) は注射器 b の目盛で 13mL (X=13mL)。発生した二酸化炭素量 (= 二酸化炭素の吸収量 (注射器 h)) は 19mL (Y=19 mL)。

燃焼で使われた酸素量 Z (mL) は

$$Z=13 + 19= 32\text{mL}$$

よって  $Z:Y = 32:19 = 3.3:2.0 \sim 3:2$

となり、(3)式の変化と一致した結果を得た。

この実験では使われた酸素量が 32mL という事は、燃焼室の容積がおよそ 330mL で、その中に含まれて

いた酸素量は  $330 \times 0.209 = 69\text{mL}$  だから、燃焼に使われた酸素量 32mL は全体の 46% を占める。アルコール数滴の燃焼で容器に含まれる酸素のおよそ半分が使われたことになる。

このような燃焼による酸素の消費量 (減量) を調べるために、図 9 のような装置を組み立てた。酸素濃度計 (大気測定モード) を用いて、気流中の酸素濃度 (%) を求めてみると、燃焼前の酸素濃度 20.9% が、燃焼後に 10.9% に減少していた。すなわち  $(10.9/20.9) \times 100 = 52\%$ 、すなわち、燃焼で使われた酸素量は全体のおよそ半分の 48% で、前述の結果 (46%) と一致している。アルコールの燃焼実験が、視認を重視したサイエンス教材として位置づく根拠は、ごくわずかな量のアルコール量 (数滴) の燃焼でも、酸素の減量と二酸化炭素の増量を大きな容量変化 (注射器のピストンの動き) として目で確かめることができるということ、そして、二酸化炭素とソーダー石灰、水と塩化カルシウムの反応が進む様子を視認できることで、

それぞれの物質の性質や役割を理解しやすくなることが上げられる。

#### 4. さいごに

視認性を重視したサイエンス教材の開発として二酸化炭素の発生と性質に関する実験方法を検討した。化学反応を追跡し、反応式に従った物質変化を定量的に追跡するための装置をつくり、着色変化、反応物量の減少に伴う生成物の生成量など、現象の動的变化を直接目で確認し、化学式に合わせて解釈し表現できるよう実験方法と手順を工夫した。

本研究で扱うサイエンス教材は、様々な動きを伴う不思議な現象を体感したり、実際の現象を目で確かめながら、内容を省察したり、量的把握を加えて理解を深め、表現力やコミュニケーション力の強化に役立てることができる。

本研究は、著者らの環境科学分析技術<sup>7a, 7b)</sup>を背景に、小中学校における理科実験教室<sup>8)</sup>や高校コアサイエンス活動<sup>9)</sup>での取り組み経験を活かし、大学学部講義(環境関連科目)、教職大学院での学校研究、現職教員のための各種研修用教材として活用できるようにまとめたものである。

#### 引用文献および脚注

- 1) この研究は環境教育及び環境科学実験教材の開発の一環で行ったものである。シリーズの型の研究として三品佳子、視認性を重視したサイエンス教材の開発(2) - オゾンの発生と性質に関する実験(未投稿)がある。
- 2) 国立教育政策研究所教育課程研究センター, 2007, 環境教育指導資料小学校編第3章, p43-82.

- 3) 文部科学省, 2008, 小学校学習指導要領新学習指導要領・生きる力。
- 4) 例えば, 注射器 c に 3*N* 水酸化ナトリウム水溶液をいれ, 反応後の酸溶液へ滴下し, フラスコの水溶液をアルカリ性に変える。ゴムふうせんに捕集した二酸化炭素が次第に溶液に吸収されていく様子を観察できる。加えて pH を調節すれば指示薬の色の変化も同時に起こさせることもできるなど, 装置をつかった実験を工夫することができる。
- 5) 化学便覧基礎編改訂 5 版, 丸善, 気体の溶解度, II - 144
- 6) 燃焼実験に使用するアルコールとしてはエタノール, 2-プロパノール(イソプロピルアルコール)が適当である。燃焼で, 炎が明るく, 容器内での炎の様子を明瞭に観察できる。メチルアルコールは最も燃えやすいが炎が見えにくい。さらに, ブタノールに始まる C4 以上のアルコールは不完全燃焼しやすく燃焼実験にはあまり適さない。
- 7) a) 三品佳子・三好直哉・村松隆, 2014, ため池水中の溶存態有機物の分画と同定に関する実験法の開発(II) - 腐植物質の物性評価に関する簡易実験法 -, 環境教育研究紀要, 16, pp.1-6, b) 三好直哉・三品佳子・村松隆, 2013, ため池水中の溶存態有機物の分画と同定に関する実験法の開発, 環境教育研究紀要, 15, pp. 49-55
- 8) 村松隆, 2014, 平成 26 年度岩沼市教育委員会事業 只野文哉記念小中学校科学技術奨励事業第 9 回サイエンス・スクール。
- 9) 村松隆, 2014, 環境理解とその実験的検証, 平成 26 年度コア SSH 探求講座(仙台第三高等学校)