

# 高等学校「化学」におけるパフォーマンス課題を取り入れた探究活動

## －ペンタンの蒸気圧を求める探究活動の実践を通して－

内海良一

高等学校「化学」において、パフォーマンス課題を取り入れた探究活動の実践研究を行った。設定した課題は「ペンタンの蒸気圧を測定しよう」である。この課題を解決するためには単元「気体の性質」の基礎的知識・概念を総合的に用いる必要がある。活動の目的を実験の要点を書き記したリーフレットを作成することとし、学習者にループリック（評価指標）を示すことで到達目標を明示した。この活動は学習者が基礎的知識・概念を習得するために有効であった。さらに実験により得られた情報をいかに関連づけて表現すればよいのか、また、どのように要点を明確に示すのかについて考えることができた。探究活動の評価は作成したリーフレットを基に行った。ループリックに基づく学習者の自己評価と授業者の評価を検証した結果、パフォーマンス課題の文脈において、基礎的知識の活用や、実験技能の発揮に関して、達成の度合いを評価することができた。

### 1. はじめに

本校理科では、知識基盤社会における理科の役割は、科学的に探究する活動を通して得られた結果（情報）を活用し、それらの情報から導き出した自らの考えを表現する能力を高めることであると考え、2013年度より「知識基盤社会における理科の役割」というテーマで実践研究に取り組んできた。これまでに明らかになったのは、授業者が探究活動により得られた結果に対して関連付けることができる事項を明確にし、結果を分析・解釈する視点を与えることが重要であるということである。これを踏まえて、探究活動にパフォーマンス課題を取り入れた実践研究を始めた<sup>1,2)</sup>。

パフォーマンス課題とは、リアルな文脈において、知識や技能を総合して使いこなすことを求めるような課題である<sup>3)</sup>。パフォーマンス課題は単元で学ばせるべき中核部分を「本質的な問い」に転換し、「本質的な問い」に対する「永続的な理解」を基にして作成される。ループリック（評価指標）は課題作品と生徒の実態に即して作成される。

高等学校「化学」においては、2010年よりジグソー法などの協調的学びの手法を取り入れた探究活動の実践研究を行ってきた<sup>4)</sup>。2012年度よりグループワークを単元の主たる構成要素として取り入れた「協調学習テキスト」<sup>5)</sup>の開発に着手し、「化学基礎」および「化学」の単元において、3年間の計画

に基づき協調的学びを取り入れた探究活動の実践研究を行っている。

昨年度、単元「気体の性質」では4つの探究活動を実施した。(1)「大気圧を測定しよう」、(2)「絶対零度を測定しよう」、(3)「揮発性物質の分子量を測定しよう」、(4)「ペンタンの蒸気圧を測定しよう」である。単元「気体の性質」を包括的に貫くのは分子運動論に転移可能な「粒子概念」である。そのため、ボイル＝シャルルの法則やドルトンの分圧の法則などを「粒子概念」に基づいて相互に関連づける探究活動を取り入れて単元を構成し、さらに「ペンタンの蒸気圧を測定しよう」をパフォーマンス課題として位置付けることにした。

### 2. 研究の目的・方法

本研究の目的は、単元「気体の性質」におけるパフォーマンス課題を開発し、その有効性を検証することである。さらに、評価方法の開発と評価の妥当性の検証を目指した。

高等学校「化学」において、パフォーマンス課題を取り入れた初めての実践経験となる。後述の4. **パフォーマンス課題の実践**に示すように、「本質的な問い」および「永続的理解」を設定し、「到達目標」と予備的ループリックを作成した。初めての実践であるため、予備的ループリックは作品（リーフレット）を基にして作成したものではない。作品を

集めた段階でルーブリックを改良することにした。

これまで、探究活動の評価は、活動後に学習者が作成する実験報告書を基に行ってきた。しかし、今回は次年度以降学習者の後輩たちが同じ実験をするときに役立つリーフレットを作成することを目的として、作成したリーフレットを評価の対象とすることにした。

実施の詳細を以下に、単元構成を表1に示した。

実施期間 2015年10月21日～12月2日（12時間）

場 所 附属中・高等学校化学教室

対 象 高等学校第2学年化学選択クラス

（化学Ⅱウ）（男子20名、女子14名）

単 元 気体の性質

目 標

1. 実験を通して、ボイル-シャルルの法則や分圧の法則を理解する。
2. 気体の性質に関して探究し、気体を粒子モデルで表現できる。
3. 実験で得られたデータをグラフなどを用いて処理する方法を習得する。
4. 日常生活や社会において利用されている気体に興味や関心を持つ。

表1. 単元構成

時間	内 容	探究活動
1	気体の圧力	大気圧の大きさを求める（班活動）
2	状態図	二酸化炭素の液化（観察）
3	ボイルの法則（1）	大気圧を求めよう（実験）
4	ボイルの法則（2）まとめ	大気圧を求めよう（データ処理）
5	シャルルの法則	絶対零度を求めよう（実験）
6	気体の状態方程式	
7	状態方程式と分子量	揮発性物質の分子量測定（実験）
8	混合気体、分圧の法則	
9	パフォーマンス課題（1）	予備実験（工夫すべき点の検討）
10	パフォーマンス課題（2）	本実験
11	パフォーマンス課題（3）	リーフレット作成
12	理想気体と実在気体	

### 3. ペンタンの蒸気圧測定について

メスシリンダーを水槽の中に逆さに立て、その中に一定量の空気を入れる。メスシリンダーの口から少量のペンタンを入れると、ペンタンはメスシリンダー内の水中を上っていき、空気が閉じ込められている空間に達すると、空間部分の体積は次第に増加する。しばらくして気液平衡に達し、ペンタンが見かけ上、気化しなくなると、空間部分の体積は一定となる。体積の増加分がペンタンの蒸気の体積である。

ここで、混合気体の全圧  $P =$  大気圧  $P_a$  として、ペンタンの蒸気圧  $P_p$  を求める。はじめにメスシリンダーに入れた空気の体積を  $V_i$ 、ペンタンを入れて気液平衡の状態になった空気とペンタンの蒸気の混合気体の体積を  $V_f$  とすると、ペンタンの蒸気の体積は  $V_f - V_i$  である。従って水蒸気圧を無視すると、ペンタンの蒸気圧  $P_p$  は次式により求めることができる。

$$P_p = P_a \times \frac{V_f - V_i}{V_f}$$

例えば、大気圧が  $1.018 \times 10^5 \text{ Pa}$  で  $V_f = 72.0 \text{ mL}$ 、 $V_i = 30.0 \text{ mL}$  であるとき、

$$P_p = 1.018 \times 10^5 \times \frac{72.0 - 30.0}{72.0} = 5.94 \times 10^4 [\text{Pa}]$$

$21^\circ\text{C}$  における水蒸気圧は  $0.025 \times 10^5 [\text{Pa}]$  であるから、これを考慮してペンタンの飽和蒸気圧を計算すると次のようになる。

$$P_p = (1.018 - 0.025) \times 10^5 \times \frac{72.0 - 30.0}{72.0} = 5.79 \times 10^4 [\text{Pa}]$$

Wagner 式<sup>6)</sup> を用いて算出したペンタンの蒸気圧を表2に示す。 $21^\circ\text{C}$  では  $5.83 \times 10^4 \text{ Pa}$  であり、実験値は良い一致を示した。

さらに、メスシリンダー内の空気  $30 \text{ mL}$  を飽和させるために必要なペンタンの量を求める。 $21^\circ\text{C}$ 、 $5.79 \times 10^4 \text{ Pa}$ 、 $72 \text{ mL}$  のペンタンの物質質量  $n$  は

$$n = \frac{5.79 \times 10^4 \times 0.072}{8.31 \times 10^3 \times (21 + 273)} = 1.71 \times 10^{-3} [\text{mol}]$$

ペンタン  $\text{C}_5\text{H}_{12}$ 、 $72$ 、密度は  $0.626 \text{ g/cm}^3$  であるから、 $30 \text{ mL}$  の空気を飽和させるために必要なペンタンの

表2. ペンタンの蒸気圧

温度 /℃	蒸気圧 / ×10 <sup>4</sup> Pa	温度 /℃	蒸気圧 / ×10 <sup>4</sup> Pa	温度 /℃	蒸気圧 / ×10 <sup>4</sup> Pa
0	2.42	10	3.75	20	5.61
1	2.54	11	3.91	21	5.83
2	2.65	12	4.08	22	6.06
3	2.77	13	4.25	23	6.29
4	2.90	14	4.42	24	6.53
5	3.03	15	4.61	25	6.78
6	3.16	16	4.79	26	7.04
7	3.30	17	4.99	27	7.30
8	3.45	18	5.19	28	7.57
9	3.60	19	5.40	29	7.85

体積は次式により、0.196mLである。

$$72[\text{g/mol}] \times 1.71 \times 10^{-3}[\text{mol}] / 0.626[\text{g/cm}^3] = 0.197[\text{cm}^3]$$

さらに、予備実験を行い0.3mL以上で飽和することを確かめた。探究活動では0.5mLを用いた。

#### 4. パフォーマンス課題の実践

表3のようにパフォーマンス課題を設定した。蒸気圧を測定する方法を一から考えさせる展開が理想的だとは思いますが、限られた時間の中で、実験方法を学習者が自分たちだけの既習の知識・概念を活用して考え出すことは事実上不可能であると思われた。そのため、方法の概略は授業者から与え、予備実験をしながら、実験方法で工夫すべき点を考えさせることにした。また、なぜこの方法で蒸気圧が求まるのか、その原理について考えさせた。

表4に示す予備的ルーブリックを作成し、作品を集めた段階でルーブリックを再検討することにした。実験方法は[資料1]実験ワークシートを参照

されたい。

さらに、表5にパフォーマンス課題を取り入れた探究活動の指導過程を示した。また、図2には授業者が到達目標(評価5)としたリーフレットを示した。また、表6には予備実験後に各班から提出された「工夫すべき点」を示した。すべての班で「空気30mLを正確にはかる方法」が検討された。「メスシリンダー内へのペンタンの入れ方」も多くの班で工夫していた。

リーフレット作成の意図を明確にするために、作成の目的と、予備的ルーブリックを学習者に提示した。



図1. ペンタンの蒸気圧を求める実験

表3 パフォーマンス課題

○パフォーマンス課題 「ペンタンの蒸気圧を測定しよう」
○本質的な問い ペンタンの蒸気圧を測定するためにはどのような実験を行えば良いか。混合気体において、成分気体の体積や混合気体の体積は何を表しているのか。
○永続的理解 ・一定温度、一定圧力では気体の体積は気体の種類によらず物質量に比例する。 ・気体の全圧は、各成分気体の分圧の和である。 ・蒸気圧は一定温度では一定値を示す。

表4. 予備的ルーブリック

評価	評価の観点
5 すばらしい	①～③について原理を含めてわかりやすく表現している。
4 良い	①～③をわかりやすく表現している。
3 普通	①混合気体の体積・温度を測定する方法が図を用いて示されている。 ②測定結果からペンタンの蒸気圧の求め方が示されている。 ③水蒸気圧を考慮するとどうなるのか示されている。
2 あと一歩	①～③のうち、2つの項目しか示されていない。または、説明や表現の方法に工夫を要する。
1 努力が必要	①～③のうち、1つの項目しか示されていない。

表5. パフォーマンス課題の指導過程

学習内容	学習活動	指導上の留意点・評価
第1時 パフォーマンス課題について 課題の確認 予備実験	<p>学習者への説明 パフォーマンス課題とは知識やスキルを総合して使いこなすことを求めるような課題のことをいう。作品をもとに、「思考力・判断力・表現力」を評価することが目的であることを説明した。</p> <p>・パフォーマンス課題の提示 「ペンタンの蒸気圧を測定しよう」</p> <p>・予備実験を行い班ごとに工夫すべき点を考えた（計画書提出）。 ○気化促進のための工夫 ペンタンの入れ方，振り混ぜる回数等</p>	<p>役割分担の確認 安全めがねの装着指示 メスシリンダー内の気圧が上がりすぎないように，注意を促す。</p>
第2時 生徒実験 結果の共有 考察 終結	<p>・各班の計画に基づき，実験を行った。 1 数回の測定を行い，平均値を求めた。 2 分圧の法則より，ペンタンの蒸気圧を求めた。</p> <p>・グループ内で結果を共有した後，ホワイトボードを利用してグループ間で結果を共有する。</p> <p>・結果について考察を行う。 水蒸気圧を考慮すると，ペンタンの蒸気圧はいくらになるかについて考察した。</p> <p>・次の授業で，今日の実験を基にして飽和蒸気圧の求め方を1枚のリーフレットにまとめることを予告。</p>	<p>水温を1/10目盛まで記録しているか。 【観察・実験の技能】 廃液の処理が適切であるか。 【観察・実験の技能】</p> <p>体積比＝物質量比であることを理解しているか。 【思考・判断・表現】</p>
第3時	<p>リーフレット作成 作成の目的・要領 ・実験の内容を1枚のリーフレットに簡潔にまとめることで，内容に対する理解を深めることが目的である。後輩たちが同じ実験をするときに，参考にするためのリーフレットづくりを求めた。このとき，ループリック（予備的ループリック）を提示した。</p>	グループ毎に行う。
事後指導	<p>作品を返却し，授業者の評価とアドバイスをそれぞれの生徒に配布した。授業者の評価は作品を見て変更したループリックで行ったこと（不利にはならない）を説明。</p>	
備考	<p>教科書：高等学校化学（啓林館），協調学習テキスト「7 気体」 準備物：ペンタン，メスシリンダー，スタンド，アーム，水槽，駒込ピペット，ゴム栓</p>	

表6. 各班で工夫した内容

班番号	工夫した内容
1	空気30mLを正確にはかる方法。メスシリンダーを横にして振る。
2	空気30mLを正確にはかる方法。メスシリンダー内へのペンタンの入れ方。
3	空気30mLを正確にはかる方法。メスシリンダー内へのペンタンの入れ方。気化の促進方法（振る回数）。
4	空気30mLを正確にはかる方法。気化の促進方法（振る回数）。
5	空気30mLを正確にはかる方法。メスシリンダー内へのペンタンの入れ方。気化の促進方法。
6	空気30mLを正確にはかる方法。気体の温度と水温を一定に保つ工夫。気化の促進方法。
7	空気30mLを正確にはかる方法。水温を変えない工夫。気化の促進方法。
8	空気30mLを正確にはかる方法。メスシリンダーを温めない。ペンタンの量のはかり方。
9	空気30mLを正確にはかる方法。気体の温度，水温を一定にする方法。メスシリンダーを温めない。ペンタンの入れ方

## ペンタンの蒸気圧を求めよう！

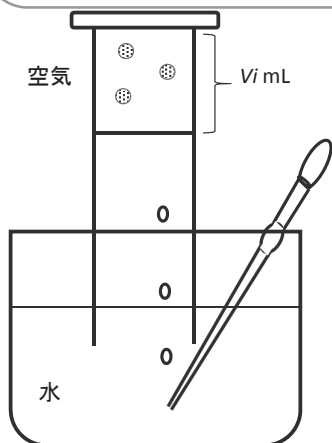
- 1 メスシリンダーに空気を 30mL 入れる。  
☆駒込ピペットでびったり
- 2 ペンタン 0.5mL を入れる  
☆駒込ピペットで、もらさない！
- 3 空気をペンタンの蒸気で飽和させる。  
①円を描くように揺する (1分)  
②ゴム栓をして振り混ぜる (10回)

4 測っておこう  
大気圧 1018hPa  
水温 21°C

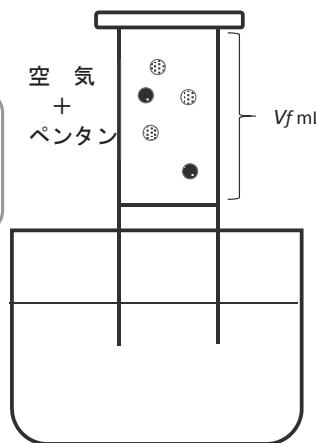
### 原理

- a 混合気体の全圧は大気圧に等しい。
- b 成分気体の体積の割合はモル分率に等しい。

$$\text{○ペンタンの蒸気圧} = \text{全圧} \times (V_f - V_i) / V_f$$



ペンタンの蒸気  
分体積が増加す  
るよ！



### 今日の結果

$V_i=30$ ,  
 $V_f=72$   
求めた値  
 $5.9 \times 10^4 \text{Pa}$  (21°C)

※水蒸気圧を考えると全圧は水蒸気圧分小さくなる。  
21°Cでの水蒸気圧は  
 $0.25 \times 10^4 \text{Pa}$   
ペンタンの蒸気圧は  
 $5.8 \times 10^5 \text{Pa}$  (21°C)

図2. 到達目標リーフレット

## 5 ルーブリックとアンカー作品

実際に学習者が作成したリーフレット（作品）から、評価の基準となるアンカー作品を選び出し、図3～図5に示した。図3は水蒸気圧について誤った理解をしているものの、総合的に判断して、平均的な作品と思われた。水蒸気圧の取り扱いを誤った作品を、予備的ルーブリックにより評価すると、「2あと一步」になる。「気体の性質」において、「蒸気圧」は「化学平衡」と関わるため、非常に難解な概念である。複雑な概念を組み合わせる学習過程で、1つの概念について誤った理解をしていますが、評価の段階ではある程度許容されるようにルーブリックを変更した。さらに自己評価が「4 良い」、「5 すばらしい」の作品の中で、質の高さを感じさせる記述を調べたところ、次のような表現があった（図4）。「ペンタンは気化し続けるのでこの動作を素早く済ませる」、および「ピペットから出た泡が複数存在すると30mLの目盛りに合わせようとして超えてしまうことがあるので、空気の泡は1つずつ入れる。」これらの表現は「実験中に精密な観察を行っている」証拠であると考えられる。さらに「はやく

ペンタンが飽和するようにメスシリンダーを横にして水面の面積が大きくなるように気化を促進する」は「既習の知識を総合して課題解決のために思考している」と理解することができる。そのため、「4 良い」の評価の観点を「実験方法に、班で工夫した点や実際に実験をしてみて分かった情報が書き加えられている」と、より具体的にした。さらに、メスシリンダーを横にするアイデアを採用しているのは1班しかなく、「5 すばらしい」の観点到「独創性がある」を加えることにした。さらに、自己評価するとき何を独創的だと判断したのかを具体的に記述させることにした。一方で、「1 努力を要する」についても、なぜそう考えたのか具体的な内容を記述するように変更したいと考えている。

表7. ルーブリック (改良後)

評価	評価の観点
5 すばらしい	独創性がある作品である。 何を独創的だと自己評価したのか具体的に書いてください。
4 良い	①実験方法に班で工夫した点や、実際に実験をしてみて分かった情報が書き加えられている。 ②原理の説明や、結論を導く際に、a～cの知識や考え方のすべてが適切に用いられている。
3 普通	①実験方法が図を用いて示されている。 ②原理の説明や、結論を導く際に、次の知識や考え方のうち、2つ以上が適切に用いられている。 a アボガドロの法則 (気体の体積比は気体の物質質量比に等しい) b 分圧の法則 (成分気体の分圧は全圧と成分気体のモル分率の積で表される。) c 水蒸気圧 (混合気体の全圧は水蒸気圧分小さくなる。)
2 あと一歩	実験方法に班での工夫が記されていない。 a～cの知識や考え方が適切に用いられていない。
1 努力が必要	2に達しない。 具体的に努力すべき内容だと思うことを書いてください。

## 6 成果と課題

学習者の予備的ルーブリックに基づく自己評価と人数、授業者の改良後のルーブリックに基づく評価と人数を表8に示した。自己評価と指導者の評価の差が「2」開いているグループについて考察する。「自己評価5、授業者の評価3」の5名について、この内3名は水蒸気圧の取り扱いが間違っていることが理由である。残り2名は実験の原理・方法について、重大な誤解があり、正しい理解を促すために事後指導を行った。「自己評価2、授業者の評価4」の1名は自己肯定感が低いと思われる。「自己評価1、授業者の評価2」の2名と合わせて事後指導を行った。

表8. 学習者の自己評価と授業者の評価と人数

評価	授業者の評価				
	5	4	3	2	1
自己評価 5	4	3	5	0	0
4	4	2	2	1	0
3	0	5	2	0	0
2	0	1	1	0	0
1	0	0	0	2	0

自己評価と授業者の評価が「2」開いている作品は7点(22%)であり、今後ルーブリックや授業方法を改善していくことで、この差はさらに縮まると予想される。学習者の自己評価と授業者の評価が一致することは、学習者が自己の学習をモニタリングできていることを示している。今回の評価では、到達目標をルーブリックを提示して明確にすることに

より、気体に関する基礎的知識が蒸気圧を測定するという文脈において、どの程度活用されたのか、また、実験技能がどの程度発揮されたのかについて、段階的に評価することができたと考えられる。

事後アンケートの結果を表9, 10に示した。これによれば、すべての生徒が設問「グループで協力して実験を進めることができた。」に対し、「とてもそう思う」、「そう思う」と肯定的評価をしている。また、「グループで議論して、理解が深まった。」に対しても、ほとんどの生徒が肯定的な評価をしている。「気体についてさらに深く学ぼうと思った。」については74%が肯定的回答であった。

このように事後アンケートからは、学習者は協力して探究活動に望み、協同で実験結果をまとめることができたと感じていることがわかる。自由記述欄では、リーフレット作成について1名の生徒が、その必要性に疑問を投げかけていたものの、人に伝える難しさや、要点をまとめることの重要性が認識されたと思われる記述が多かった。

一方で、目標と評価基準が明確であれば、作品もつくりやすく、8割以上の作品が評価5または4になると予想していたが、自己評価で5または4が66%、授業者による評価では59%で予想よりも少なかった。アンケートの自由記述から、リーフレットの作成は初めての体験であり、実験の要点を1枚のリーフレットにまとめることが思いの外難しかったことが原因であると思われる。

学習者の作成したリーフレットを見て一番感じたことは、文字が多いことである。できる限りの情報を盛り込もうとしている。しかし、分かりやすく伝えるためには、不要な情報を削り、重要な事項の関

連性についてモデル等を用いて明確に示す工夫が必要である。今回のパフォーマンス課題では、得られた情報をいかに取捨選択するのか、どのように要点

を明確に示すのかについて考える良い機会になったと思われる。

表9. アンケートの結果

	とても	そう思う	そうは 思わない	全く違う
1 実験は楽しい	35%	59%	3%	3%
2 蒸気圧を求める実験に積極的に取り組んだ	48%	42%	10%	0%
3 グループで協力して実験を進めることができた。	65%	35%	0%	0%
4 グループで議論して、理解が深まった。	58%	36%	3%	3%
5 混合気体の全圧と分圧の意味が分かった。	58%	36%	6%	0%
6 実験を通して飽和蒸気圧の意味がより深く理解できた。	52%	42%	6%	0%
7 水蒸気圧を考慮してペンタンの蒸気圧が求められた。	58%	42%	0%	0%
8 気体についてさらに深く学ぼうと思った。	29%	45%	26%	0%

表10. 事後アンケートの自由記述より（抜粋）

- ・実験手順を読むだけ、聞くだけだと原理の理解も曖昧になるが、自分の力で考えたことで、他の単元よりも理解できた。
- ・普段あまり意識はしていないが決められた手順通りに実験するだけではなく、工夫することで理解が深まった。
- ・1枚の紙にまとめるのは予想以上に難しかった。自分は分かっているのに人に伝えるのは難しいと思った。
- ・リーフレットをつくるには実験をしっかり理解していないといけない。思ったよりも工夫などを書くのが難しかった。今後リーフレットをつくることがあったら、もっと詳しく書けるようにしたい。
- ・リーフレットで説明することでさらに理解が深まった。受け身でなく勉強になった気がする。
- ・分圧などがしっかりと知識として定着した。実験方法の工夫を考えるのは良いことだと思った。
- ・実験の要点をまとめるのが難しいと感じた。

**実験**

ペンタンの蒸気圧

**目的** ペンタンC<sub>5</sub>H<sub>10</sub>の蒸気圧を測定する。

**原理** 水槽内に立てたメスリンダー内に空気を入れる。

ここにメスリンダー内で気化させると、メスリンダー内の気体の体積はペンタンの蒸気の体積分だけ増加する。混合気体の全圧は大気圧に等しく、モル分率は体積比率に等しいから、ペンタンの蒸気圧を求めることができる。

**準備物** メスリンダー (100mL)、水槽、駒込ピペット x 2、温度計

**注意事項** 1. ペンタンの蒸気は吸い込まないこと。

2. 安全帽がねを着用すること。

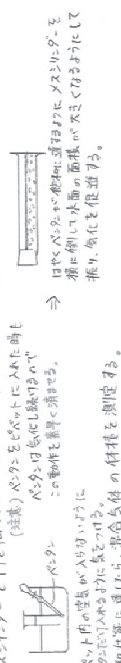
**方法** 1. 水の入ったメスリンダーを水槽の中に倒立させ、空気を30.0mL入れる。



2. 水温を測定する。



3. 駒込ピペットを用いてペンタン0.5mLをメスリンダー内に注入すると、ペンタンは水面より上に動いて気化を促進させる。



4. 体積変化を測定する。

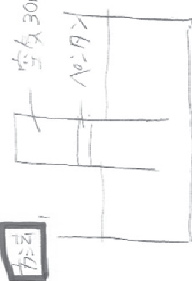
**ペンタンの蒸気圧の算出**  
 1) 水蒸気圧を考慮しない  

$$P_{\text{蒸気}} \times \frac{V_{\text{混合気体}}}{P_{\text{大気}} \times V_{\text{混合気体}}} = P_{\text{大気}} \times \frac{V_{\text{混合気体}}}{V_{\text{混合気体}}}$$
 混合気体のモル分率  
 今回の実験では同じ量の空気の体積は30.0mL

**ペンタンの蒸気圧を測る**

**目的** ペンタンC<sub>5</sub>H<sub>10</sub>の蒸気圧を測定する。

**原理** 水槽内に立てたメスリンダー内に空気を入れる。ここに揮発性物質であるペンタンを加えてメスリンダーを気化させると、メスリンダー内の気体の体積はペンタンの蒸気の体積分だけ増加する。混合気体の全圧は大気圧に等しく、モル分率は体積比率に等しいから、ペンタンの蒸気圧を求めることができる。



4. 体積比率に等しいから、混合気体の体積を測定する。

**結果** 水温 13℃ 体積 30.0 [mL] 蒸気圧の体積 22 [mL]

**蒸気圧の体積**  
 水蒸気圧を無視した場合  

$$1.025 \times 10^5 \times \frac{22}{101.3} = 4.3365 \times 10^4$$
 大気圧 = 全圧である。⇒ ペンタンの蒸気圧の体積

0 水蒸気圧を考慮しない場合  
 水温 13℃のときの水蒸気圧:  $1.4977 \times 10^4$   

$$4.3365 \times 10^4 - 1.4977 \times 10^4 = 4.185675 \times 10^4$$
 ペンタンの蒸気圧 水蒸気圧のときの蒸気圧

図 3. アンカー作品 (評価 3)

**実験**

ペンタンの蒸気圧

**目的** ペンタンC<sub>5</sub>H<sub>10</sub>の蒸気圧を測定する。

**原理** 水槽内に立てたメスリンダー内に空気を入れる。

ここにメスリンダー内で気化させると、メスリンダー内の気体の体積はペンタンの蒸気の体積分だけ増加する。混合気体の全圧は大気圧に等しく、モル分率は体積比率に等しいから、ペンタンの蒸気圧を求めることができる。

**準備物** メスリンダー (100mL)、水槽、駒込ピペット x 2、温度計

**注意事項** 1. ペンタンの蒸気は吸い込まないこと。

2. 安全帽がねを着用すること。

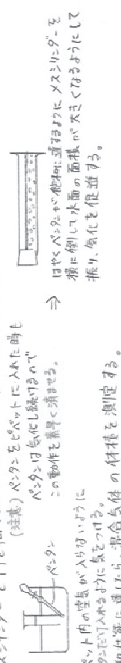
**方法** 1. 水の入ったメスリンダーを水槽の中に倒立させ、空気を30.0mL入れる。



2. 水温を測定する。



3. 駒込ピペットを用いてペンタン0.5mLをメスリンダー内に注入すると、ペンタンは水面より上に動いて気化を促進させる。



4. 体積変化を測定する。

**ペンタンの蒸気圧の算出**  
 1) 水蒸気圧を考慮しない  

$$P_{\text{蒸気}} \times \frac{V_{\text{混合気体}}}{P_{\text{大気}} \times V_{\text{混合気体}}} = P_{\text{大気}} \times \frac{V_{\text{混合気体}}}{V_{\text{混合気体}}}$$
 混合気体のモル分率  
 今回の実験では同じ量の空気の体積は30.0mL

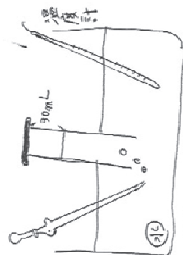
図 4. アンカー作品 (評価 5)



# 混合気体と蒸気圧 ヘンリーの蒸気圧を求めようへ

## <方法>

- ① 水槽にマスシリンダーをたてて空気を30ml入れろ。  
この時空気を少し入れ、残りエスポートで入れろとらまといく。
- ② 水温を測定し、10℃にエスリンダーをマスシリンダー内に注入し  
気化させる。マスシリンダーにふたをして10回ほどよく振れば早く気化す。
- ③ 飽和状態に達したら混合気体の体積を測定する。



マスシリンダーの  
目盛り部分を  
水位より下にする。  
温度がかわれば

## <原理>

混合気体の全圧は大気圧と等しく、モル分率は体積比率に等しいから、  
混合気体の体積からヘンリーの蒸気圧を求めることができる

## <結果>

水蒸気圧を無視  
 $1.025 \times 10^5 \times \frac{24.33}{54.33} = 0.459 \times 10^5$

水蒸気圧を考慮  
 12℃の水蒸気圧は  $1.4013 \times 10^3$   
 $(1.025 \times 10^5 - 1.4013 \times 10^3) \times \frac{24.33}{54.33} = 0.452 \times 10^5$

(北方)  
 (大気圧) ×  $\frac{(100\% \text{の体積})}{(全量) \text{の体積}}$   
 (大気圧 - 蒸気圧) ×  $\frac{(100\% \text{の体積})}{(全量) \text{の体積}}$

図5. アンカー作品 (評価4)

## 参考・引用文献

- 1) 大方祐輔他 (2015), 「知識基盤社会における理科の役割 (2)」, 『広島大学学部・附属学校共同研究機構研究紀要』, 第43号, pp.143-152.
- 2) 井上純一, 「高等学校『生物』におけるパフォーマンス課題を取り入れた探究活動」, 『広島大学附属中・高等学校 中等教育研究紀要』, 第61号, pp.53-61.
- 3) 西岡加名恵, 田中耕治 (2009), 「『活用する力』を育てる授業と評価」, 学事出版, 2009年.
- 4) 内海良一, 「ジグソー法による協調的学びに基づく電導度滴定の単元開発-創造性への効果と自己質問による評価」, 『広島大学附属中・高等学校 中等教育研究紀要』, 第57号, 2010年3月, pp.67-78.
- 5) 内海良一, 平松敦史, 大方祐輔, 岸本亨子, 「協調学習テキスト I ~ III」, 広島大学附属高等学校, 2015年.
- 6) W. Wagner, *Cryogenics*, 13, 470 (1973).

## [資料1] 実験ワークシート

混合気体と蒸気圧 —ペンタンの蒸気圧を求めよう—

**目的** ペンタン  $C_5H_{12}$  の蒸気圧を測定する。

**原理** 水槽内に立てたメスシリンダー内に空気を入れる。ここに揮発性物質であるペンタンを加えてメスシリンダー内で気化させると、メスシリンダー内の気体の体積はペンタンの蒸気の体積分だけ増加する。混合気体の全圧は大気圧に等しく、モル分率は体積比率に等しいから、ペンタンの蒸気圧を求めることができる。

**準備**

器具：メスシリンダー(100mL)、水槽、駒込ピペット、温度計、ゴム栓、廃液入れ  
薬品：ペンタン

**注意事項**

- 1 ペンタンの蒸気は吸い込まないこと。廃液は回収すること。
- 2 安全めがねを着用すること。

**方法**

- 1 水の入ったメスシリンダーを水槽の中に倒立させ、空気を 30.0mL 入れる。各班で工夫してちょうど 30.0mL を入れる方法を考えよ。
- 2 水槽内の水温を測定する。
- 3 駒込ピペットを用いてペンタン 0.5mL をメスシリンダー内に注入すると、ペンタンは水面に上り行って一部が気化しメスシリンダー内の気体の体積は増加する。メスシリンダーを円を描くように動かして、気化を促進せよ。さらにゴム栓をして振り混ぜるなど、各班で工夫して、ペンタンがはやく飽和に達する方法を考えよ。
- 4 飽和状態に達したら、混合気体の体積を測定する。

**結果**

	水温 [°C]	はじめの体積 [mL]	終わりの体積 [mL]	ペンタンの蒸気の体積 [mL]
1				
2				
3				
4				
5				

**結論**

水蒸気圧が無視できるとして、ペンタンの蒸気圧を求めよ。

**考察**

- 1 水蒸気圧を考慮すると、ペンタンの蒸気圧はいくらになるか。水蒸気圧は表 1 の値を用いよ。

- 2 実験で測定した空気とペンタンの混合気体はペンタンの蒸気で飽和していることを論理的に示せ。

- 3 実験の概要をリーフレットにまとめよ。

表 1 水蒸気圧

温度 / °C	圧力 $\times 10^3$ Pa	温度 / °C	圧力 $\times 10^3$ Pa	温度 / °C	圧力 $\times 10^3$ Pa	温度 / °C	圧力 $\times 10^3$ Pa
0	0.6107	10	1.2276	20	2.3379	30	4.2432
1	0.6566	11	1.3124	21	2.4866	31	4.4928
2	0.7055	12	1.4023	22	2.6435	32	4.7552
3	0.7577	13	1.4975	23	2.8091	33	5.0306
4	0.8131	14	1.5983	24	2.9836	34	5.3199
5	0.8722	15	1.7049	25	3.1675	35	5.6235
6	0.9349	16	1.8178	26	3.3612	36	5.9420
7	1.0016	17	1.9373	27	3.5652	37	6.2724
8	1.1206	18	2.0636	28	3.7798	38	6.6261
9	1.1478	19	2.1970	29	4.0057	39	6.9930

年 組 番 名前

班番号

実験日時 2015 年 月 日 曜日 限 気温 °C 気圧 hPa

共同研究者