

クロスカリキュラム 化学×物理（SSH 物理 I ・ SSH 化学 I ）に関する検証

目的

化学の課題を物理の知識・技能及び数理モデルの考え方を活用して解決するための科学的思考力・判断力・表現力を育成する。

令和2年度における課題・改善点

【課題】

- ・各クラスにおけるクロスカリキュラムの講義形式にばらつきがあった。

【改善点】

- ・どのクラスにおいても質の高い安定したクロスカリキュラムを続けていくため、授業形式をイメージしやすい教材を開発する。

仮説

クロスカリキュラムの実施回数を増加させることで、段階的に気体の法則における物理と化学の関連性について知識を整理して活用できるようにする。また、実在気体の振る舞いをファンデルワールス方程式や物理のモデル化の視点で考察することができるように、シミュレーションソフトを授業で活用することで化学の課題を物理の知識を活用して解決するための科学的思考力・判断力・表現力をさらに伸ばすことができると考える。

方法

令和3年度より、物理のカリキュラムの指導時系列を見直したため、昨年度と同様のタイミングでの実施が難しくなった。令和2年度では、物理と科学が同タイミングで気体分野を指導することができていたが、今年度は初めに化学が気体の法則を扱い、次に物理が気体の法則を扱った。したがって、気体の法則に入ったタイミングでチームティーチングを組む指導形態から化学→物理の順でリレー授業としながらもそれぞれの違いを意識させながら実践を行った。

回数	学習内容	クロスカリキュラム内容	評価規準
1	ボイル・シャルルの法則	圧力の決定方法の物理と化学の違いを理解する。 具体的な問題に対してボイルシャルルの法則を適応し、適切な物理量で表現する。	理想気体の分子量・圧力・体積・温度を、状態方程式から決定できる。
2	気体の状態方程式 気体の分子量測定	物理と化学との違いとして単位の違いを踏まえて、 n [mol] の気体の標準状態における物理量から理想気体の状態方程式を導く。 化学から気体の状態方程式の応用として気体の分子量の測定方法を理解する。	想気体の分子量・圧力・体積・温度を、状態方程式から決定できる。 理想気体の状態方程式を用いて、気体の分子量を測定できることを理解できる。
3	混合気体	気体の混合について化学の扱い方（等温混合）と物理の扱い方（断熱混合）を比較し、どちらもドルトンの分圧の法則が成立することを確認する。	内部エネルギーの保存や状態方程式を用いて、等温混合・断熱混合のそれぞれについてドルトンの法則を示し、活用することができる。

また、実在気体に関するクロスカリキュラムは実在気体の数学的表現（数理モデル）としてのファンデルワールス気体を扱い、定性的なとらえ方を化学にて行い、定量的なとらえ方を物理で行うこととするため、チームティーチングでの指導を行った。

「実在気体の状態変化」に関する授業実践

本授業は化学と物理教諭2名で授業を進行した。生徒はグループワークを数回実施する。

導入：化学担当教諭による「実在気体が理想気体に近づく条件の復習・ファンデルワールス方程式の導入」
化学ではすでに実在気体を扱っている。実在気体が理想気体に近づく条件を気体分子の挙動に触れながら確認し、発展的扱いであったファンデルワールス方程式を導入し、各パラメータの説明を加えた。

分子間力と温度の関係においては、気体の運動エネルギーの総和と分子間力の位置エネルギーが内部エネルギーを示すことを触れ、エネルギーの立場からも実在気体が理想気体に近づく条件を確認した。

展開：物理担当教諭がファンデルワールス方程式に対して、一定圧力下での高温条件および一定温度下での低圧条件で理想気体の状態方程式に近似できることを、生徒の考察を交えながら実践した。

次に、実在気体のZ因子のシミュレーションソフトを活用しながら、分子間力のパラメータと気体自身の体積のパラメータの一方を固定し、一方を変化させたときの挙動をシミュレートし、二酸化炭素や水素についてZ因子の変化を数学的かつ化学的に考察した。

評価・検証

本実践で用いたルーブリック及びワークシートを示す。

○ルーブリック

群馬県立高崎高等学校 SSH物理I (クロスカリキュラム 物理×化学) ルーブリック ver.4

NO	観点	規準	評価				生徒評価	教員評価	理由
			4	3	2	1			
1	知識	化学の課題を物理の知識と結び付けて知識を活用することができる	<input type="checkbox"/> 分子間力、気体自身の体積の影響を考慮し、実在気体の振る舞いをモデル化して説明できた	<input type="checkbox"/> 分子間力、気体自身の体積の影響を考慮し、実在気体の振る舞いを説明したが、モデル化による説明に乏しかった		<input type="checkbox"/> 分子間力、気体自身の体積の影響を考慮できず、実在気体の振る舞いを説明できなかった			
2	知識		<input type="checkbox"/> ファンデルワールスの状態方程式において、分子間力と分子自身の体積の影響を表す項の両方の妥当性を理解できるようになった	<input type="checkbox"/> ファンデルワールスの状態方程式において、分子間力と分子自身の体積の影響を表す項のうち一方の妥当性を理解できるようになった		<input type="checkbox"/> ファンデルワールスの状態方程式において、分子間力と分子自身の体積の影響を表す項のどちらも妥当性を理解できなかった			
3	思考力 判断力 表現力	化学の課題を物理の知識・技能と結び付けて思考することができる	<input type="checkbox"/> ワークシートのfigure2の読み取り方を理解し、 $Z=PV/nRT$ の式と実在気体の振る舞いを対応させて考察することができる	<input type="checkbox"/> ワークシートのfigure2の読み取り方を理解したが、 $Z=PV/nRT$ の式と実在気体の振る舞いを対応させて考察することができない		<input type="checkbox"/> ワークシートのfigure2の読み取り方が理解できない			
4	主体性 協働性(コミュニケーション力)	実験実習や考察を主体的かつ協働的に取り組むことができる	<input type="checkbox"/> 今回の授業に主体的かつグループで協力して取り組むことができた	<input type="checkbox"/> 今回の授業に主体的に取り組むことができたが、グループで協力して取り組むことができなかった	<input type="checkbox"/> 今回の授業にグループ全体としては協力して取り組むことができたが、主体的に取り組むことができなかった	<input type="checkbox"/> 今回の授業には主体的かつグループで協力して取り組むことはできなかった			

ワークシート

テーマ：状態方程式における理想気体と実在気体の比較

<理想気体について>

- 理想気体は「 $Z = \frac{PV}{nRT}$ 」と「 $Z = 1$ 」を無視する。
- 理想気体は気体の状態方程式「 $PV = nRT$ 」が成立する。

<実在気体について>

- 実在気体は分子間力と気体自身の体積を考慮する。
- Figure1~2 は実在気体に対する $Z = \frac{PV}{nRT}$ の関係を測定したものである。理想気体の場合は $Z = 1$ である。
- Figure1 は圧力が $1.013 \times 10^5 \text{Pa}$ で一定の条件下において、温度を変化させたときの Z の値を示している。
- Figure2 は温度が 400K で一定の条件下において、圧力を変化させたときの Z の値を示している。

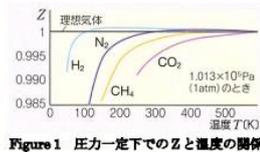


Figure 1 圧力一定下でのZと温度の関係

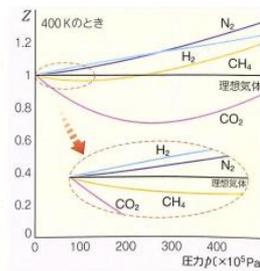


Figure 2 温度一定下でのZと圧力の関係

上記を踏まえ、物理と化学で学んできた考え方をを用いて、以下の問に答えよ。

問1 Figure1 およびFigure2 から、実在気体が理想気体に近づく条件を温度と圧力に注目して示せ。

問2 また、そのようになる理由を「分子間力」と「分子自身の体積」の観点から考察せよ。

① ____温において、

② ____圧において、

<実在気体のファンデルワールスの状態方程式について>

・ 実在気体はファンデルワールスの状態方程式「 $\left(P + \frac{a}{V_m^2}\right)(V_m - b) = RT$ 」が成立する。

表1 ファンデルワールスの状態方程式のa及びbの値

気体	a/Pa m ⁶ mol ⁻²	b/m ³ mol ⁻¹
水素H ₂	24.8×10^{-3}	26.7×10^{-6}
窒素N ₂	141×10^{-3}	39.2×10^{-6}
二酸化炭素CO ₂	365×10^{-3}	42.8×10^{-6}

問3 実在気体が問1の条件下では理想気体に近づくことをファンデルワールスの状態方程式から説明せよ。

① 1013hPa の圧力で一定かつ____温において

② 400K の温度で一定かつ____圧において

問4 ファンデルワールスの状態方程式シミュレーターを用いて、以下の(1)(2)でZの値の振る舞いがあるか、Figure2を観察せよ。

- bを一定にして、aを増加させる
- aを一定にして、bを増加させる

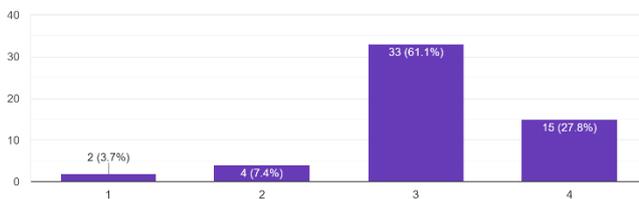
問5 問4の検証を踏まえ、Figure2において、 $100 \times 10^5 \text{Pa}$ 付近でCH₄、CO₂のZの値が1より小さくなっている理由を考察せよ。

問6 問4の検証を踏まえ、Figure2において、 $400 \times 10^5 \text{Pa}$ 付近でH₂、N₂、CH₄のZの値が1より大きくなる理由を考察せよ。

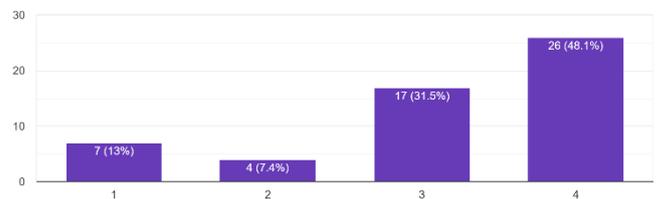
実施結果・考察

1月31日現在で実践済みのクラスでの結果を示す。

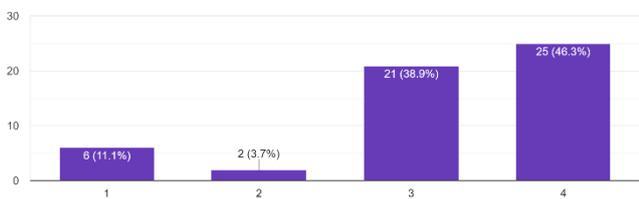
項目1「(実在気体の振る舞いのモデル化について...ができる) についての評価値を選んでください。54件の回答



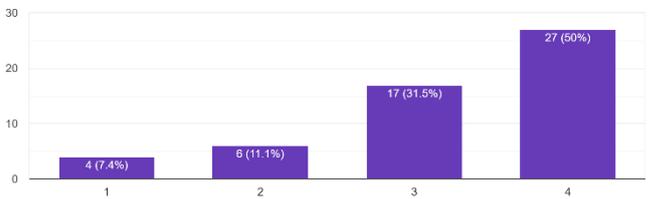
項目2「(ファンデルワールスの状態方程式について...ができる) についての評価値を選んでください。54件の回答



項目3「(化学の課題を物理の知識・技能と結び付け...ができる) についての評価値を選んでください。54件の回答



項目4「(演習での考察を主体的かつ協動的に取り組...ができる) についての評価値を選んでください。54件の回答



項目1について、多くの生徒が評価値「3」となっている。評価記述をみると、実在気体のふるまいのイメージはわかるが、そのイメージを数学的に表すことを「モデル化」と表していることが理解できず、評価値「4」を付けられなかった生徒が散見された。しかし、自己評価上で分かったと考えていても実際に理解しているかどうか、グーグルフォームを使った理解度確認テストを実施した。

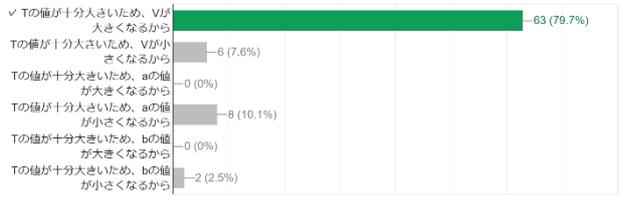
○理解度確認テスト

(1)一定圧力で、高温において実在気体が理想気体とみなせる理由を、ファンデルワールスの状態方程式を用いて説明した文章のうち最も適切なものを選び。

$$\left(P + \frac{an^2}{V^2}\right)(V-bn) = nRT$$

- Tの値が十分大きいので、Vが大きくなるから
- Tの値が十分大きいので、Vが小さくなるから
- Tの値が十分大きいので、aの値が大きくなるから
- Tの値が十分大きいので、aの値が小さくなるから
- Tの値が十分大きいので、bの値が大きくなるから
- Tの値が十分大きいので、bの値が小さくなるから

(1)一定圧力で、高温において実在気体が理想気体...用いて説明した文章のうち最も適切なものを選び。
正解 63/79 件

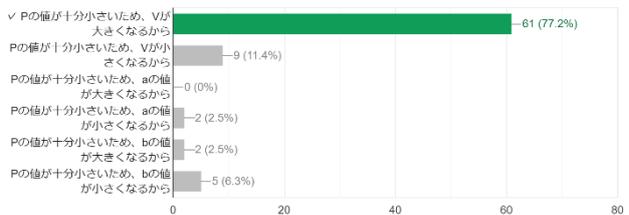


(2)一定温度で、低圧において実在気体が理想気体とみなせる理由を、ファンデルワールスの状態方程式を用いて説明した文章のうち最も適切なものを選び。

$$\left(P + \frac{an^2}{V^2}\right)(V-bn) = nRT$$

- Pの値が十分小さいので、Vが大きくなるから
- Pの値が十分小さいので、Vが小さくなるから
- Pの値が十分小さいので、aの値が大きくなるから
- Pの値が十分小さいので、aの値が小さくなるから
- Pの値が十分小さいので、bの値が大きくなるから
- Pの値が十分小さいので、bの値が小さくなるから

(2)一定温度で、低圧において実在気体が理想気体...用いて説明した文章のうち最も適切なものを選び。
正解 61/79 件

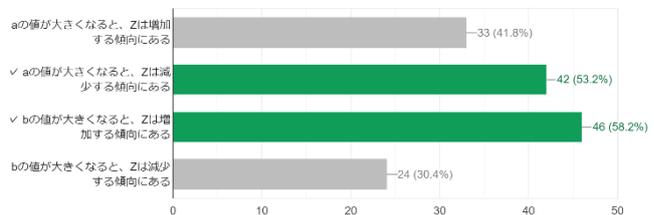


(3)ファンデルワールスの状態方程式をふまえ、温度が一定の状態における気体の圧縮因子Z=(PV/nRT)のふるまいについて述べた文章のうち、適切なものを2つ選び。

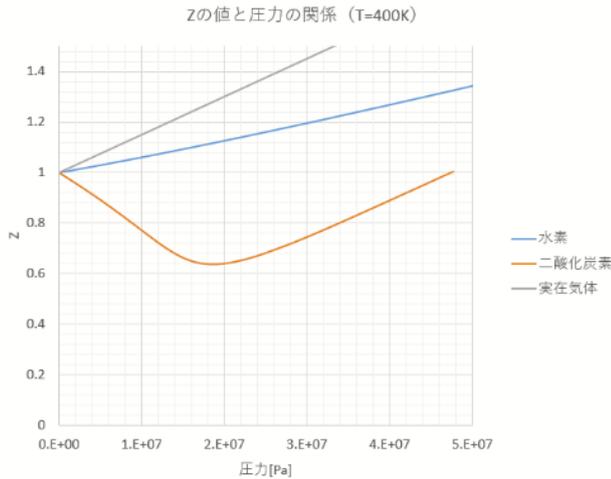
$$\left(P + \frac{an^2}{V^2}\right)(V-bn) = nRT$$

- aの値が大きくなると、Zは増加する傾向にある
- aの値が大きくなると、Zは減少する傾向にある
- bの値が大きくなると、Zは増加する傾向にある
- bの値が大きくなると、Zは減少する傾向にある

(3)ファンデルワールスの状態方程式をふまえ、...について述べた文章のうち、適切なものを2つ選び。
正解 34/79 件

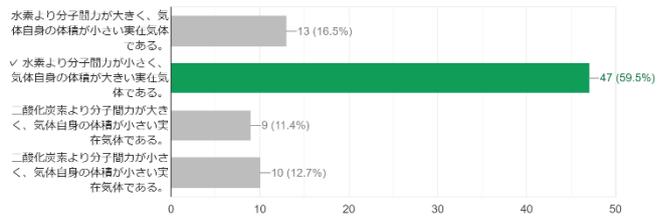


(4)Z-P図の灰色の曲線で表される実在気体の特徴を記述した文章のうち最も適切なものを1つ選べ。ここで、Zは気体の圧縮因子であり、 $Z = (PV/nRT)$ である。



- 水素より分子間力が大きく、気体自身の体積が小さい実在気体である。
- 水素より分子間力が小さく、気体自身の体積が大きい実在気体である。
- 二酸化炭素より分子間力が大きく、気体自身の体積が小さい実在気体である。
- 二酸化炭素より分子間力が小さく、気体自身の体積が小さい実在気体である。

(4)Z-P図の灰色の曲線で表される実在気体の特徴を...は気体の圧縮因子であり、 $Z = (PV/nRT)$ である。
正解 47/79 件



設問 (1) (2) の正解率が高く、設問 (3) 「ファンデルワールスの状態方程式をふまえ、温度が一定の状態における気体の圧縮因子 $Z = (PV/nRT)$ のふるまいについて述べた文章のうち、適切なものを2つ選べ。」の正答率が低い傾向にあり、生徒はファンデルワールス方程式の変数の意味はわかるが、変数の挙動については十分に理解ができていない可能性がある。特に、正答と逆の組み合わせを答える生徒が一定数おり、ファンデルワールス方程式の a 項と b 項の符号をそのまま回答している傾向がある。

また、設問 (4) は架空の実在気体を設定し、その性質を実際の気体と科学的に比較する思考力を問う設問である。正解率は 60% 程度となっており、40% の生徒は Z 因子と圧力の関係を読み取り、実在気体の性質をパラメータ a, b と対応させて考察するまでには理解を深められていないと考えられる。単純な記憶との対応ではなく、仮説を立てて検証する科学的な思考を用いて課題を解決できる段階まで引き上げるためにも繰り返し実践をしていきたい。

成果・課題・改善点

【成果】

- ・令和3年度では今回のクロスカリキュラムで育成したい能力の定着を図る客観テストを開発した。
- ・60%の生徒は知識としての実在気体とのふるまいを数理モデルの1つであるファンデルワールス気体としてとらえることができるようになった。

【課題】

- ・40%の生徒はZ因子と圧力の関係を読み取り、実在気体の性質をパラメータ a, b と対応させて考察するまでには理解を深められていないと考えられる。

【改善点】

- ・2変数関数の取り扱い、物理の単元の波動でも扱うことになる。同等の思考を要する課題を作成し、その定着を継続して図る。