

令和2年度SS物理 熱力学第一法則の実感の伴った理解を促す授業のデザイン  
～知識構成型ジグソー法の授業構成による「関連付ける力」の育成も意図して～

## 0. はじめに (教材観)

本授業で扱う熱力学第1法則は、様々な点で重要度の高い法則である。「エネルギーの保存」という点では、これまで力学分野で力学的な仕事とエネルギーの関係は示されていたものの、発生する（あるいは吸収する）熱量に関する記述はなく、ここで初めて熱（量）も扱うことになり、より広い意味で「エネルギーの保存」について考えることができるようになる（後に学ぶ、大学入試でも出題率の高い「電磁誘導」の難易度の高い問題を解く際には必須の概念である）。また、「熱が上がった」などと日常的な会話で耳にするように、「熱」と「温度」の概念は未分化の状態のまま放置されやすい。これに対し、熱力学第1法則では、数式で温度に関わる「内部エネルギー」と「熱（量）」が明確に区別されており、概念の分化の必要性を感じさせることができる。

他にも重要度が高いことを示す例はあるが、その中でも高校物理の段階で重要なポイントは以上の通りである。

## 1. 目的

熱力学第1法則を構成する物理量の関係性を知識構成型ジグソー法によりデザインされた授業で見出すことを通し、熱力学第1法則に対する実感の伴った理解を促すことに加え、イノベータに必要な資質・能力である「関連付ける力」（副次的に、「質問力」も）を育成する。

## 2. 本質的な問い

「内部エネルギー」と「仕事」、そして「熱」の間には、どのような関係が成立するか。

回答例)

・内部エネルギーは物体が外部から仕事をされたり吸熱したりすることによって増加し、逆に外部に仕事をしたり放熱したりすることによって減少する。（そして、これらは物質の三態全てで成立する。）

## 3. 達成目標

- ①エキスパート活動で用意された各実験を通し、「仕事」、あるいは「熱」と「内部エネルギー」との間に成立する関係を各エキスパート活動に対応した形で見出すことができる。
- ②エキスパート活動を通して見出した各物理量の間関係をまとめ、班で熱力学第1法則が示す物理量の間関係を見出すことができる。

## 4. レディネス

本授業に関わる、以下の事項については既に学習済みである。

- ・内部エネルギーは物質を構成する原子・分子の熱運動のエネルギーと原子・分子間に作用する力による位置エネルギーの総和である。一般的に、温度が高い（低い）ほど内部エネルギーは大きい（小さい）。理想気体の場合、内部エネルギーは熱運動のエネルギーの総和である。気体分子運動論を経て、単原子分子理想気体と二原子分子理想気体の内部エネルギーの式を導出した。
- ・気体が外部に対して仕事をしているか、あるいは外部から仕事をされているかは、気体の体積の

増・減で判断することができる。 $P$ - $V$  グラフの面積から、圧力が変化する場合に気体が外部にする仕事を求める方法について学習した。

## 5. 関連項目

物理基礎・物理の全教育内容、ただし高校物理では、波動との関連は希薄である。

## 6. 扱う内容

### ○E フェーズ

- ・各エキスパート活動を通して見出した「内部エネルギー」、「仕事」、「熱(量)」の関係をまとめ、物理法則を創出することができる。(ある一面を説明するものではなく、多面的で汎用性が高い。)

### ○C フェーズ

- ・各エキスパート活動で扱っている熱現象を「内部エネルギー」、「仕事」、「熱(量)」と関連付け、解釈することができる。

### ○I フェーズ

- ・各エキスパート活動で得られた実験結果を班員に説明することができる。

## 7. ICE フレームによる授業の構造化

### 1 時間目

#### ○I1: 物体の温度を上げるためには、どうすれば良いか?

→熱力学第1法則が示す、「内部エネルギーを増加させるためには、加熱をしたり、外部から仕事をすればよい」という1つの側面にアプローチしやすくするための、導入的な問い。ここで様々な意見が得られると良い。

#### ○I2: 「内部エネルギー」、「気体が行う仕事」の復習

→つい最近学習した概念ではあるが、ここで一度復習をしておく。

#### ○C1: 「内部エネルギー」と「仕事」、そして「熱」との間に成り立つ関係を思いつく限り全て記述しなさい。

→「内部エネルギーを増加させるためには、外部から仕事をしたり、加熱をしたりすればよい。」という旨の記述ができれば、この段階では十分である。

#### ○C2: エキスパート活動

##### ■Ex1 気体の圧縮実験

- ①シリンダー内の気体をピストンでゆっくり圧縮した場合と勢いよく圧縮した場合とで、シリンダー内の気体の温度変化に差はあるか。また、そう考えた理由をできるだけ詳しく説明せよ。
- ②シリンダー内にトイレットペーパーをちぎって入れ、実際に実験をしてみよ。そして、その結果を記述せよ。
- ③実験結果と①での記述をふまえ、この実験から見出すことができる、『「内部エネルギー」、「仕事」、「熱」との間に成り立つ関係を記述せよ(全部用いなくても良い)。』という問いに対する答えを考えよ。

→ここで入手できるパズルのピースは、「気体が外部からされる仕事が大きくなるほど、温度の上昇は大きくなる、つまり内部エネルギーの増加量は大きくなる」ということである。この

実験では、熱量に関する情報は得られない。

余裕があれば・・・運動量について既に学習しているため、

- ④一定の速さ  $w$  で近づいてくるピストンに、質量  $m$  の気体分子が速さ  $v(>w)$  でピストンの面に対して垂直に弾性衝突をする状況を考える。気体分子の衝突によりピストンの速さは変化しないと考えた時、気体分子は衝突の前後でどれだけ運動エネルギーが変化するか、計算せよ。

→この問題は、本エキスパート活動で扱っている実験を理論的に考察させるためにある。計算により、近づいてくるピストンに弾性衝突をすると、運動エネルギーが増加する、つまり気体分子全体で考えれば内部エネルギーが増加することが分かる（のちにポアソンの式につながる）。

### ■Ex2 気体の膨張実験

- ①丸底フラスコ内の空気を注射器を引いて膨張させた場合、空気の温度は変化するか、しないか。変化すると考えた場合、温度は上がるか、下がるか。そう考えた理由もできるだけ詳しく説明せよ。

→今回使用する実験器具では、圧縮発火のように、気体を勢いよく膨張させた場合とゆっくり膨張させた場合とで、顕著な変化までは見られない。したがって、膨張させる過程については、ここでは特に言及しない。

- ②実験器具を使い、実験をしてみよ。

- ③実験結果と①での記述をふまえ、この実験から見出すことができる、『「内部エネルギー」、「仕事」、「熱」との間に成り立つ関係を記述せよ（全部用いなくても良い）。』という問いに対する答えを考えよ。

→ここまでで入手できるパズルのピースは、「気体が外部に対して仕事をすると、温度は下がる、つまり内部エネルギーは減少する」ということである。⑤まで進んだ場合、熱（量）に関する情報も得られる。

余裕があれば・・・運動量について既に学習しているため、

- ④一定の速さ  $w$  で遠ざかっていくピストンに、質量  $m$  の気体分子が速さ  $v(>w)$  でピストンの面に対して垂直に弾性衝突をする状況を考える。気体分子の衝突によりピストンの速さは変化しないと考えた時、気体分子は衝突の前後でどれだけ運動エネルギーが変化するか、計算せよ。

→この問題も Ex1 の④同様、本エキスパート活動で扱っている実験を理論的に考察させるためにある。計算により、遠ざかっていくピストンに弾性衝突をすると、運動エネルギーが減少する、つまり気体分子全体で考えれば内部エネルギーが減少することが分かる（のちにポアソンの式につながる）。

- ⑤④まで終わった人は、注射器を引いたり、押したりを繰り返した時の温度変化の様子を観察し、なぜそのような変化をするのか、理由を考えてみよ。

→ここまで到達できる生徒は少ないと思われる。注射器を押したり、引いたりを繰り返すと、手から伝わる熱や、注射器のピストンと内壁が擦れることにより発生する摩擦熱により、気体の温度が徐々に高くなっていく。したがって、ここまで到達した生徒は、「気体が外部に対して仕事をすると内部エネルギーは減少し、吸熱すると内部エネルギーは増加する」というピースを得ることができる。

### ■Ex3 水の攪拌実験

- ①断熱性のマグに 200 ml の水を入れ、3分間振り続けると、水の温度はどうなるか。温度が

上がる、下がる、変化しない、をはっきりさせ、そう考えた理由も説明せよ。

②ペットボトルに水を200ml入れ、3分間振り続けた場合、①の場合と比べ、水の温度はどうなるか。そう考えた理由も説明せよ。

③断熱性のマグ、ペットボトルに水200mlを入れ、実験をしてみよ。

④実験結果と①や②の記述を基に、この実験から見出すことができる、『「内部エネルギー」、「仕事」、「熱」との間に成り立つ関係を記述せよ（全部用いなくても良い）。』という問いに対する答えを考えよ。

→①と②の比較で重要なことは、外部から水に仕事がされることに加え、人体からの吸熱を伴う②の方が温度上昇が大きい、ということである。したがって、ここで入手できるパズルのピースは、「(水の) 内部エネルギーは外部から仕事をされたり、吸熱をしたりすることによって増加をする」ということである。Ex2で⑤の考察にたどり着けなかった場合、この実験ではじめて熱量に関する情報が得られる（自明だが・・・）。

#### ○C3:エキスパート活動で得た知識の共有

→実験結果を「内部エネルギー」の変化や「仕事」、場合によっては「熱（量）」と関連付けながら説明ができると良い。

#### ○ジグソー活動

##### ①C4：CanBeMap（柞磨昭孝氏 考案）の作成によるエキスパート活動の整理

→エキスパート活動で班員が持ち帰った情報を振り返り、必要に応じて修正を加えながらCanBeMapを作成させ、情報を整理して「内部エネルギー」、「仕事」、そして「熱（量）」の間に成立する関係を見出しやすくさせる。その際、「確実に言えること（言いすぎでない）」と「推測できること（言いすぎな部分もOK）」を明確に区別させる。時間が余れば、ここまでの活動で「思い浮かんだ問い」や探究の可能性のある、「深めたい問い」の欄にも付箋紙を貼らせ、副次的ではあるが「質問力」の育成も図る。ここで1時間目の授業を切る意図は、次の授業までの間、潜在意識の中で知識を関連付ける時間を確保することにある。

## 2時間目

#### ○ジグソー活動

②E1：CanBeMapを見ながら、「内部エネルギー」、「仕事」、そして「熱（量）」の間に成り立つ関係を班で考え、意見をまとめる。

→できるだけ自由な意見交換ができる環境を整える。

#### ○E2：クロストーク

→C1で提示された問いに対する答えはどうあるべきか、クラスで議論する。その際、今回のエキスパート活動における実験では扱わなかった、放熱についても言及できると良い。また、今回の実験では、物質の三態のうち気体と液体についてのみ扱った。熱力学第1法則は、物質の三態全てで成立する法則である。固体についても成立するのではないか、という指摘ができる生徒がいると、なお良し。

#### ○E3：各自での最終的な意見の記入

→ここでの記載内容でEフェーズに到達できたかどうかの評価を行う。なお、Eフェーズに到達できていないと判断した場合、IフェーズとCフェーズのどちらのフェーズなのかは、裏面のエキスパート活動の記載内容で判断する。

2年 組 番 氏名 \_\_\_\_\_

**1. 物体の温度を上げるためには、どうすれば良いか？**

**2. 内部エネルギーと仕事、そして熱(量)との間に成り立つ関係を思いつく限り全て記述しなさい。**

**3. エキスパート活動**

各実験班を一度解体し、以下の3つの活動に( )内の人数を割り振る。

- Ex1 気体の圧縮 (1人)                      ■Ex2 気体の膨張 (1人)
- Ex3 断熱容器内での水の攪拌とペットボトル内での水の攪拌の温度変化の比較 (2人)

※各エキスパート活動の詳細は裏面に掲載されている。そこに書き込むこと。

**4. 本時のICEルーブリック(関連付ける力)**

Iフェーズ	Cフェーズ	Eフェーズ
○各エキスパート活動で得られた実験結果を班員に説明することができる。	○各エキスパート活動で扱っている熱現象を「内部エネルギー」、「仕事」、「熱(量)」と関連付け、解釈することができる。	○各エキスパート活動を通して見出した「内部エネルギー」、「仕事」、「熱(量)」の関係をまとめ、物理法則を創出することができる。

**5. エキスパート活動で得た知識の共有**

再び実験班に戻る。各エキスパート活動でどんな課題に取り組み、どんな結果が得られたか等、情報を交換し、必要に応じてポイントを裏面に書き込む。

**6. シグソー活動**

**①CanBeMapを作成し、エキスパート活動を整理する。**

各エキスパート活動を通して明らかになった、「確実に言えること(言いすぎでない)」と「推測できること(言いすぎな部分もOK)」を整理するため、班で相談しながらCanBeMapを作成する。可能な限り「思い浮かんだ問い」と「深めたい問い」も考え、CanBeMap上に付箋紙を貼り付けること。

【1時間目はここまで】

**②CanBeMapを見ながら、「2.」の問いに対する、グループの意見をまとめる。**

グループの意見

**7. クロストーク**

まずは各班で考えた、「内部エネルギー」と「仕事」、そして「熱(量)」との間に成り立つ関係を発表する。それらをふまえた上で議論をする。

Memo欄

**8. 各自の最終的な考えの記入**

「内部エネルギー」と「仕事」、そして「熱(量)」との間に成り立つ関係【評価対象】

**9. 本時の活動に対する自己評価**

自己評価	自己評価の理由	教員評価
フェーズ		フェーズ

**10. 本授業の「関連付ける力」の育成に対する効果について**

- 1: 全く培えなかった
- 2: あまり培えなかった
- 3: ある程度培うことができた
- 4: 十分に培うことができた

回答欄:

**11. 「こうすると良いんじゃないか」という授業への意見があったら記入してください。**

※自分で担当するエキスパート活動の手前の□に✓する。

□ **エキスパート活動1：気体の圧縮実験**

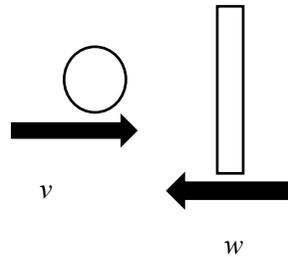
- ① シリンダー内の気体をピストンでゆっくり圧縮した場合と勢いよく圧縮した場合で、シリンダー内の気体の温度変化に差はあるか。また、そう考えた理由をできるだけ詳しく説明せよ。

- ② シリンダー内にトイレットペーパーをちぎって入れ、実際に実験をしてみよ。その結果を以下のスペースに記述せよ。

- ③ 実験結果と①での記述をふまえ、この実験から見出すことができる、『「内部エネルギー」、「仕事」、「熱」との間に成り立つ関係を記述せよ（全部用いなくても良い）。』という問いに対する答えを考えよ。

【評価対象】

- ④ 一定の速さ  $w$  で近づいてくるピストンに、質量  $m$  の気体分子が速さ  $v(>w)$  でピストンの面に対して垂直に弾性衝突をする状況を考える。気体分子の衝突によりピストンの速さは変化しないと考えた時、気体分子は衝突の前後でどれだけ運動エネルギーが変化するか、計算せよ。



□ **エキスパート活動2：気体の膨張実験**

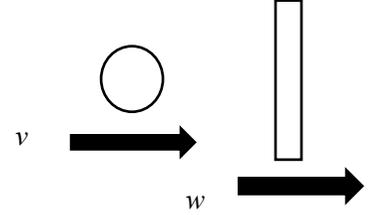
- ① 丸底フラスコ内の空気を注射器を引いて膨張させた場合、空気の温度は変化するか、しないか。変化すると考えた場合、温度は上がるか、下がるか。そう考えた理由もできるだけ詳しく説明せよ。

- ② 実験器具を使い、実験をしてみよ。その結果を以下のスペースに記述せよ。

- ③ 実験結果と①での記述をふまえ、この実験から見出すことができる、『「内部エネルギー」、「仕事」、「熱」との間に成り立つ関係を記述せよ（全部用いなくても良い）。』という問いに対する答えを考えよ。

【評価対象】

- ④ 一定の速さ  $w$  で遠ざかっていくピストンに、質量  $m$  の気体分子が速さ  $v(>w)$  でピストンの面に対して垂直に弾性衝突をする状況を考える。気体分子の衝突によりピストンの速さは変化しないと考えた時、気体分子は衝突の前後でどれだけ運動エネルギーが変化するか、計算せよ。



- ⑤ ④まで終わった人は、注射器を引いたり、押したりを繰り返した時の温度変化の様子を観察し、なぜそのような変化をするのか、理由を考えてみよ。

□ **エキスパート活動3：水の攪拌実験**

- ① 断熱性のマグに200mlの水を入れ、3分間振り続けると、水の温度はどうなるか。温度が上がる、下がる、変化しない、をはっきりさせ、そう考えた理由も説明せよ。

- ② ペットボトルに水を200ml入れ、3分間振り続けた場合、①の場合と比べ、水の温度はどうなるか。そう考えた理由も説明せよ。

- ③ 断熱性のマグ、ペットボトルを振る前の水温を測定してから実験をせよ。結果は以下の表に記入せよ。

	マグ赤	マグ黒	マグ銀	PET 1	PET 2	PET 3
前						
後						
$\Delta T$						

- ④ 実験結果と①や②の記述を基に、この実験から見出すことができる、『「内部エネルギー」、「仕事」、「熱」との間に成り立つ関係を記述せよ（全部用いなくても良い）。』という問いに対する答えを考えよ。

【評価対象】

# CanBeMap

確実に言えること

推測できること

「内部エネルギー」と「仕事」、そして「熱（量）」の間には、どのような関係が成立するか。

生まれた問い

「確実に言えること」を書いていて思い浮かんだ問い

深めたい問い