

熱機関を理解する

北海道岩見沢緑陵高等学校 大屋 泰宏

10年ほど前ある予備校の模擬試験問題に、冷蔵庫から発生する熱に関する単純だが正答率のよくない問題があった。エネルギーが保存されることはわかっている、先入観から意外な勘違いが起きてしまった事例をもとに熱力学第一法則とヒートポンプ（冷蔵庫）の仕組みを考えさせ生徒の興味関心を生む授業展開を考える。

キーワード 熱力学第一法則 ヒートポンプ 冷蔵庫 模擬試験問題

1. 授業の概要

熱力学第一法則の授業では、圧気発火気の演示や、断熱膨張による雲の発生演示などを行い、断熱状態でも仕事により温度変化があることを強調する。

本授業では、その発展的な内容としてヒートポンプを扱い、その原理の理解から知識の定着を図る。

2. 学習内容

- ① 熱機関の熱と仕事の関係

$$Q1 = W + Q2$$

- ② 熱力学的第一法則

$$\Delta U = Q1 - W$$

ΔU : 内部エネルギー
の変化量
 W : 外にする仕事
 $Q1$: 得る熱量
 $Q2$: 失う熱量

ヒートポンプにおいては、循環物質に注目して考え物質に入る熱を $Q1$ と物質から出る熱を $Q2$ とすると

$$\Delta U = (Q1 - Q2) - W$$

ここで、循環するたびに物質がもとの状態にもどるように設計されているので $\Delta U = 0$ となる。

$$0 = (Q1 - Q2) - W$$

$$\therefore Q1 = W + Q2$$

3. 授業の進め方

- (1) 基礎事項の復習

学習直後は知識の定着が悪く次のような対話になる

問) 「気体の温度を温めるためにはどうしたらよい？」

答) 「火で温める」

問) 「他には」

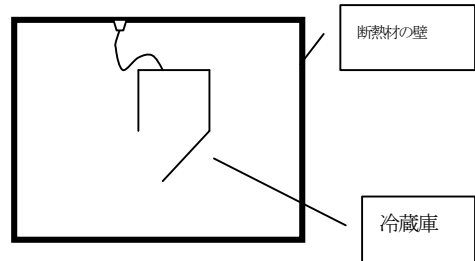
答) 「・・・」

そこで前時に続き、圧気発火器の実験をおこない、断熱状態でも気体に仕事をすることで、温度すなわち気体の内部エネルギーが増加することを確認する。

- (2) 模擬試験の問題

次の問題を提示する。(断熱されていることを強調する)

問1) 図のように外部から完全に断熱された部屋に冷蔵庫があります。ドアを開けた状態で電源を入れ放置すると部屋の温度はどうなるか。選択肢から選びなさい。



【選択肢】

- 1 温度が上がる 2 温度が下がる 3 変わらない

答えは 1 である。

間違え例としては、選択肢2「断熱されている状態なので冷蔵庫により温度が下がる」選択肢3:「エネルギーは保存されるから変わらない」がある。

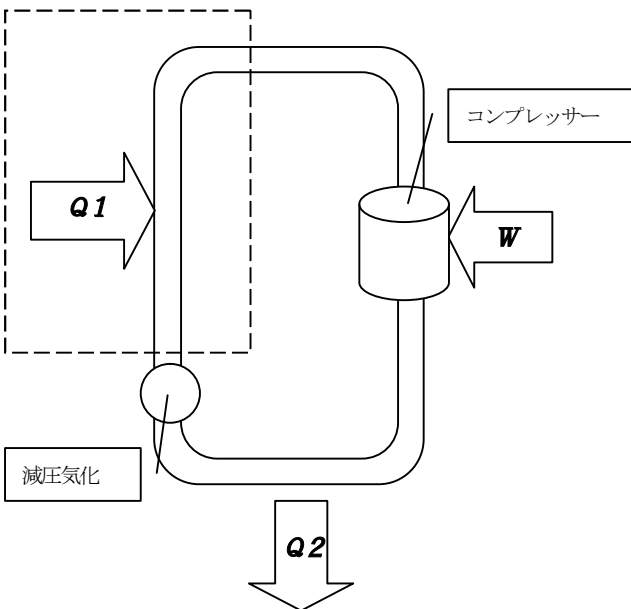
正解の選択肢1と答えた生徒に、その理由を説明してもらおうと「冷蔵庫の後ろは熱いから」という理由を答えることが多い。「でも冷蔵庫は開いているから冷やされるよね」と返すと、きちんと理解している者以外は答えが詰まる。

そこで「断熱されていると強調したけど、実はちょっと穴が開いているんだけどわかる？」と質問すると考え出す。

シンプルな図だけに見つからない。説明の際コンセントについては「少しリアルさを出す程度」に書いているふりをするためたまされる。コンセントからのエネルギー供給があることを伝えると選択肢3の生徒も納得する。選択肢2の生徒には、もしそうなれば地球温暖化も解決できちゃうよと笑いに持っていくこともできる。

問1で終わってしまうと生徒にとっては少々もやもやした感じがのこる。それはそもそも冷蔵庫の仕組みはどうなっているのかという疑問である。そこで、次の問題を提示する。

問2) 下図は冷蔵庫の仕組みを示した図である。図のQ1、Q2、W、 ΔU の正しい関係式を選びなさい。



ΔU : 作業物質 (冷蔵庫を循環する冷却媒体) の内部エネルギーの変化量

$Q1$: 冷却で吸収する熱

$Q2$: 放熱板からの発生する熱

W : コンプレッサーの仕事

- 1 $\Delta U = Q1 - Q2 + W$
- 2 $\Delta U = Q2 - Q1 + W$
- 3 $\Delta U = Q1 - Q2 - W$
- 4 $\Delta U = Q2 - Q1 - W$
- 5 $\Delta U = 0$
- 6 $\Delta U > 0$
- 7 $\Delta U < 0$

エネルギーと仕事の関係について慣れてきた生徒は正解の1を選ぶことはできる。(2 学習内容 で示したWは外へする仕事であるのに対して、ここでのWは循環物質がされる仕事である)

しかし、もうひとつの正解 5 を選ぶことができる生徒は少ない。循環物質の温度は循環するたびに元に戻ることを教えていく。(もし元に戻らないとオーバーヒートしてしまう)

結局1と5の式から

$$Q2 = Q1 + W$$

となる。

問1の答えと比較し、コンプレッサーの仕事W がコンセントから供給された電気エネルギーであることを生徒に確認して模擬試験の問題に関わる授業展開が終わる。

(3) ヒートポンプについて

最後にヒートポンプの概要を話題として話してまとめる。

冷蔵庫、クーラーなど冷却には代替技術が乏しくヒートポンプが昔から利用されてきた。しかし近年は加熱の技術としても省エネルギーの観点からこの技術の利用が進んでいる。技術的にも1kWあたりの冷却・加熱能力を現す成績係数COPも改善されてきている。

また、熱源として大気を利用することが多いが、地中の熱や太陽熱を利用したり、河川、井戸水などの水の冷却効果を利用する種類がある。

4 まとめ

この授業をはじめたのは、10年ほど前にある模擬試験の問題を解説したことがきっかけだが、生徒の反応は良く、私は、通常の授業では必ず扱うようにしている。

座学の授業の場合、教員から生徒へ一方的に説明してしまうと、生徒は思考せずひたすら板書をノートに写すだけになる。また、実験においてもただ手順に従って作業をするだけでは学習にならない。生徒に思考させるためには、投げかける問題に意外性があり、その結論に対して驚きや納得が必要になる。

ここで示した授業案は、そうした意外性を含み、日常生活に密着した内容を学習した法則によって考えることで生徒の納得をえることができるもだと考える。