

学習内容の関連を踏まえた思考力・判断力・表現力の育成に関する研究
～第3学年物理「気体の内部エネルギーと比熱」の実践を通して～

鹿児島県立錦江湾高等学校

教 諭 東 寛 久

1 単元の概要

(1) 単元名 「第3編 物質と原子 第1章 熱と物質の状態」

(2) 単元について

ア 単元の内容

この単元では、主に「物体に熱を加えると物体の状態にどのような変化が起こるか」、「気体の圧力や温度は、気体分子の力学的な運動とどのような関係があるか」、「気体について、エネルギー保存則がどのような形で成り立っているか」など、物質の熱や状態に関する基本的な内容や法則について学習する。第一法則は、気体が吸収したり放出したりする熱エネルギーも含めたエネルギー保存則であり、この法則に基づいて気体の状態やその変化に関する基本的な内容を学習する。また、この単元の学習内容は、センター試験をはじめとする多くの大学入試問題で取り扱われており、原子や分子の運動に関する知識は、多くの自然科学分野、工学分野を学ぶ上での基礎となる。

イ 単元の目標

- 物質の三態における粒子の状態や、気体の状態変化における気体がされる仕事や吸収・放出する熱量について、興味・関心をもって考えようとする。 【関心・意欲・態度】
- 気体分子の運動と圧力の関係、気体の状態変化におけるエネルギーのやりとりについて、式やグラフ、図で表現することができる。 【思考・判断・表現】
- ボイル・シャルルの法則に関する実験や観察について計画立案できる。また、観察、実験の結果を分析して考察し、式やグラフを用いて結果をまとめることができる。 【観察・実験の技能】
- 気体分子の運動エネルギーと気体の内部エネルギーの関係、熱力学の第一法則、気体の状態変化における熱効率や比熱比を理解している。 【知識・理解】

(3) 生徒の実態

本校は、1学年理数科2学級、普通科4学級があり、本授業は、普通科理系コースの学級で行う。生徒は、授業に積極的に取り組み、課題等の提出も良好である。物理に関する興味・関心も高く、物理で学んだことが「様々な自然科学分野、工学分野などに役に立つ」、「自らの進路や将来の職業に有益である」と考えている生徒が多い。

一方で、多数の生徒が「物理は不得意である」と感じており、特に、第3学年の「物理Ⅱ」の学習内容になるとその傾向が顕著になってきている。

その主な理由として、次の2点が考えられる。

- ① 新しい内容を学習する時点で、関連する既習内容を忘れている。
- ② 物理は、公式を覚えないと問題が解けないと思っており、作図やグラフでイメージをつかむことを軽視している。

したがって、①に対しては、授業において学習内容に関連する既習内容の復習を取り入れるなどの工夫を心掛けている。例えば、運動量保存や力積の学習において運動方程式に触れたり、単振動においては波動の復習を取り入れたりしている。また、電磁気においては、重力場での仕事やエネルギーと関係付けて考えさせるような指導を心掛けている。

②に対しては、公式だけに頼らず、作図やグラフなどを利用して物理現象をイメージするような指導を心掛けている。例えば、力積や運動量保存ではベクトルの図をかくように助言し、視覚的に理解できるように指導している。

本単元の「第3編 物質と原子 第1章 熱と物質の状態」の学習では、目に見えない気体分子の運動や状態量を式で表現できなければならないが、生徒にとって式のイメージはつかみにくく理解が困難である。そのため、式の説明だけでなく、グラフや図を多用した授業を展開する必要がある。例えば、気体の状態変化はP-Vグラフを用いて考察させたり、熱力学第一法則はモデル図をかかせてエネルギーの増減をイメージさせたりする授業を展開する。ここでは特に、仕事の正負、熱量の放熱と吸熱、内部エネルギーの増減の判断が難しい。そこで、既習単元「第2編 電気と磁気 第1章 電場 第3節 電位」の学習との関連性を考慮した指導を計画する。「電位」の学習では、特に、電荷を運ぶ静電気力や外力がする仕事の正負を判断するのが難しいので、式だけでなくベクトルの図をかかせ、それを基に判断させる深化指導を行った。

2 学習内容の関連を踏まえた「判断基準」の設定

(1) 単元の評価規準

関心・意欲・態度	思考・判断・表現	観察・実験の技能	知識・理解
気体の状態変化や気体のエネルギーについて関心を持ち、意欲的に探究しようとするとともに、科学的な見方や考え方を身に付けている。	気体の状態変化やそれに伴うエネルギー保存に関する事物・現象に法則性を見だし、論理的・科学的に考察し、導き出した考えを的確に表現している。	気体の状態変化やそれに伴うエネルギー保存の利用に関する観察・実験などを行い、基本操作を習得するとともに、それらの過程や結果を的確に記録、整理することができる。	気体の状態変化やそれに伴うエネルギー保存の利用に関する基本的な概念、原理・法則を理解し、知識を身に付けている。

(2) 指導計画（全7時間）

単元	学習事項	時間	目 標
第3編 物質と原子 第1章 熱と物質の状態	物質の状態	1	「物理Ⅰ」で学習した熱運動について想起し、自ら進んで物質の三態における粒子の状態を考えようとする。【関心・意欲・態度】 - 温度と熱運動の関係をを用いて、物質の各状態における熱運動の様子を考え、熱運動の激しさをモデル図で表現する。【思考・判断・表現】
	気体の法則	2	- ボイル・シャルルの法則などの気体に関する法則、理想気体の状態方程式を理解し、式を用いて圧力、体積、温度を算出する。【知識・理解】 - 減圧するとボールや菓子の袋がどのように変化するかを推測し、簡易真空装置を用いた実験を行い、ボイル・シャルルの法則を用いて考察する。【観察・実験の技能】
	気体の分子運動	2	- 既習内容である運動量と力積の関係をを用いて、気体分子の運動から気体の圧力について考える。【思考・判断・表現】 - 気体分子の運動エネルギーと気体の内部エネルギーの関係、温度と内部エネルギーの関係を理解し、エネルギーを算出する。【知識・理解】
	気体の内部エネルギーと比熱	2 〔本時 1／2〕	- 気体がされる仕事や放出・吸収する熱量について、また、気体の状態変化における熱効率について、興味・関心をもって意欲的に考えようとする。【関心・意欲・態度】 - 気体の状態変化やエネルギーのやりとりについて、ボイルの法則や仕事の定義、熱力学の第一法則を踏まえて考察し、式やグラフ、モデル図を用いて表現する。【思考・判断・表現】

(3) 「判断基準」の設定

本時では、特に理解が難しい、仕事の正負、熱量の放出と吸収、内部エネルギーの増減を明確にイメージさせ、思考力・判断力・表現力の育成を図ることがポイントとなる。そのために、既習単元の「電位」の学習での、静電気力や外力が電荷を移動させるときの仕事の正負における指導との関連を考慮して、「判断基準」を設定し、それに基づく補充指導、深化指導を検討した。

既習単元「第2編 電気と磁気 第1章 電場 第3節 電位」

○ 電荷を移動させるときの仕事 → 式と併せてベクトルの図の活用による仕事の正負のイメージ化



本時「第3編 物質と原子 第1章 熱と物質の状態 第4節 気体の内部エネルギーと比熱」

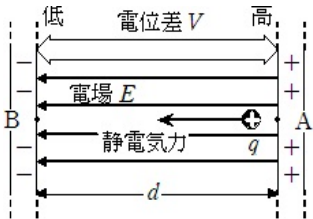
① ボイルの法則 → 式と併せてグラフによる表現

② 仕事と温度変化 → グラフの活用による仕事の正負、温度の上昇と下降のイメージ化

③ 熱力学第一法則

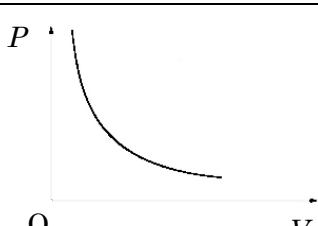
→ モデル図の活用による仕事の正負、熱の放出と吸収、内部エネルギーの増減のイメージ化

ア 既習単元「第2編 電気と磁気 第1章 電場 第3節 電位」の学習で設定した「判断基準」

評価規準（思考・判断・表現）	
電場中で電荷を移動させるとき、静電気力や外力がした仕事を考えることができる。	
思考判断に基づく表現内容（評価の対象）	
表現方法（発言、式、モデル図）	
判断の要素	
電場中での仕事、電位差とエネルギー、静電気力を表現したモデル図の活用	
判断基準B	
電場中で電荷を移動させるときの静電気力や外力がする仕事を、 $W = qV$ （ W : 仕事、 q : 電気量、 V : 電位差）を用いて式で表現している。	
【予想される生徒の表現例】 $W_{A \rightarrow B} = qV_{AB} = q(V_A - V_B)$	
C状況生徒への指導	
電場中で正電荷が受ける静電気力の向きを考えさせる。次に、仕事の定義を想起させ、移動する向きが力の向きと同じ場合に仕事が正となることを確認させる。また、外力の場合は静電気力と反対向きになることを確認させる。	
判断基準A	
(判断基準Bに加えて) 電場中での静電気力と外力をモデル図で表現し、仕事の定義から仕事の正負を判断している。	
【予想される生徒の表現例】 図で、電場の向きが左向きするとき、正電荷に働く静電気力は左向き、外力は右向きである。よって、静電気が動いた向きが左向きするとき、静電気がした仕事は正、外力がした仕事は負となる。	
	
B状況生徒への指導	
電場中の正電荷を、重力場中の質量と同じように考えてモデル図をかかせ、静電気力や外力の向きと電荷が動いた向きから仕事の正負を判断させる。	

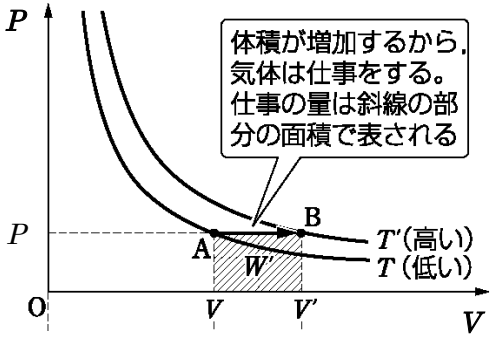
イ 本時「気体の内部エネルギーと比熱」の「判断基準」

① ボイルの法則

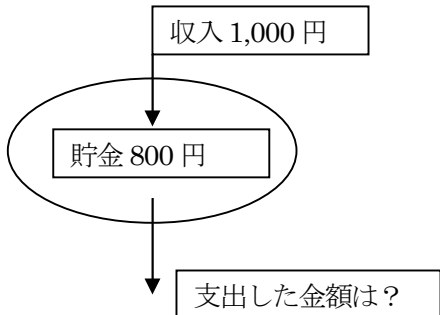
評価規準（思考・判断・表現）
一定量の単原子分子理想気体について、温度一定のもと、圧力と体積がどのような関係になるかを考え、表現することができる。
思考判断に基づく表現内容（評価の対象）
表現方法（発言、式、グラフ）
判断の要素
ボイルの法則、圧力と体積の関係、 $P-V$ グラフ
判断基準B
一定量の単原子理想気体の等温変化においてボイルの法則（ $PV = \text{一定}$ ）が成立することを考え、圧力 P と体積 V の関係について式を用いて表現している。
【予想される生徒の表現例】
$PV = \text{一定}$, $PV = P'V'$, $P = \frac{\text{一定}}{V}$ となり圧力と体積の関係は反比例
C状況生徒への指導
一定量の単原子分子理想気体ではボイルの法則が成立することを確認させる。
判断基準A
(判断基準Bに加えて) 圧力と体積の関係を $P-V$ グラフで表し、等温曲線になることを表現している。
【予想される生徒の表現例】 圧力と体積の関係は反比例なので、グラフで表すと
 となる。
B状況生徒への指導
圧力と体積が反比例の関係であることから、 $P-V$ グラフで表すと PV 面積が一定となることを考えさせる。

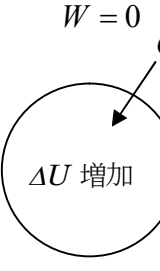
② 仕事と温度変化

評価規準（思考・判断・表現）
定積変化や等圧変化における、気体が（する・される）仕事と温度変化（上昇・下降）の関係を考え、判断することができる。
思考判断に基づく表現内容（評価の対象）
表現方法（発言、式、グラフ）
判断の要素
仕事の式 $W = P\Delta V$ 、仕事の次元、 $P-V$ グラフの活用
判断基準B
気体が（する・される）仕事を、 $W = P\Delta V$ を用いて考えている。
【予想される生徒の表現例】
等圧変化は $W = P\Delta V$ より、 $W = P(V' - V)$
定積変化は $\Delta V = 0$ なので、 $W = P\Delta V$ より、 $W = 0$

C 状況生徒への指導	
仕事の定義 $W = F \cdot x$ (仕事=力×力の向きに動かした距離) を使って考えさせる。	
判断基準 A	
(判断基準 B に加えて) P-V グラフで囲まれた面積が、気体の (する・される) 仕事を表すことを理解し、また、二つの等温曲線を使って、体積の (増加・減少) と温度の (上昇・下降) の関係を考えている。	
【予想される生徒の表現例】 P-V グラフで囲まれた面積は仕事の次元をもち、等圧変化において気体のする仕事は、P-V グラフの面積より $W = P(V' - V)$ また、二つの等温曲線の関係より、体積が増加すると温度が上昇することが分かる。 また、定積変化においては面積=0 となるので、仕事はしない、されない。	
B 状況生徒への指導	
P-V グラフで囲まれた面積が仕事の次元をもつことを考えさせる。また、温度の異なる等温曲線を使って、体積変化と温度変化の関係を考えさせる。	

③ 熱力学第一法則

評価規準 (思考・判断・表現)	
気体の状態変化に伴う、内部エネルギーの (増加・減少) と、熱量の (放出・吸収)、気体が (する・される) 仕事の関係について考えることができる。	
思考判断に基づく表現内容 (評価の対象)	
表現方法 (発言、式、モデル図)	
判断の要素	
内部エネルギー、熱力学第一法則、P-V グラフの活用	
判断基準 B	
熱力学第一法則を使って、気体の温度変化や体積変化から、内部エネルギーの変化 ΔU や出入りした熱量 Q を考えている。	
【予想される生徒の表現例】 熱力学第一法則より、等圧変化では $\Delta U = Q + W$ 定積変化では $W = 0$ なので $\Delta U = Q$ となり、内部エネルギーの変化は、出入りした熱量に等しい。	
C 状況生徒への指導	
熱力学第一法則を、身近な例 (例えばお金の収支など) に置き換えて増減を考えさせ、式で表現させる。	

判断基準 A	
(判断基準Bに加えて) 熱力学第一法則をモデル図で表し、仕事や熱量の(正・負)から内部エネルギーの(増加・減少)を判断している。	
【予想される生徒の表現例】 等圧変化 仕事をする場合  仕事をされる場合  定積変化 熱を吸収する場合 $W = 0$  熱を放出する場合 $W = 0$ 	
B 状況生徒への指導	
モデル図を用いて熱力学第一法則を考えさせる。内部エネルギーの変化は温度の変化によって決まること、仕事の正負は体積の変化で考えることを確認させる。	

4 検証授業の実際

(1) 本時の目標

気体の状態変化やエネルギーのやりとりについて、ボイルの法則や仕事の定義、熱力学の第一法則を踏まえて考察し、式やグラフ、モデル図で表現することができる。 【思考・判断・表現】

① ボイルの法則

一定量の単原子分子の理想気体について、温度一定の下、圧力と体積がどのような関係になるかを考え、表現することができる。

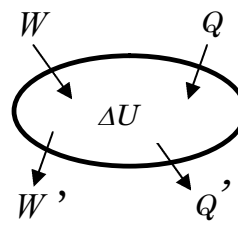
② 仕事と温度変化

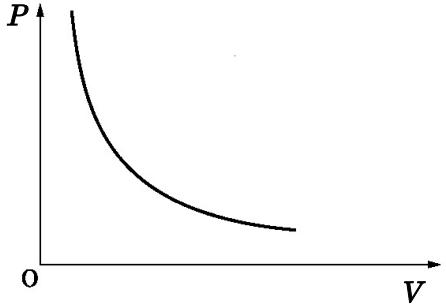
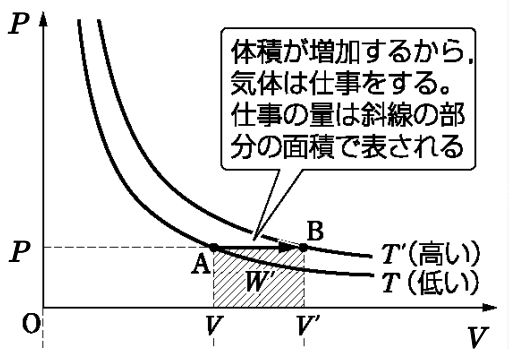
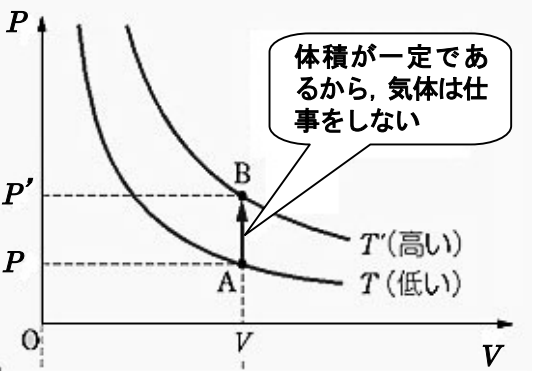
定積変化や等圧変化における、気体が(する・される)仕事と温度変化(上昇・下降)の関係を考え、判断することができる。

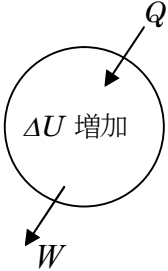
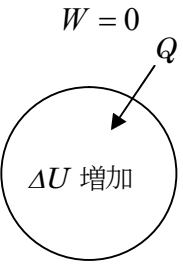
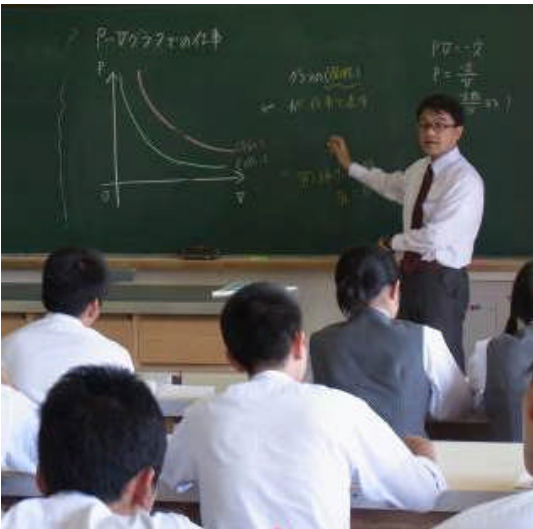
③ 熱力学第一法則

気体の状態変化に伴う、内部エネルギーの(増加・減少)と、熱量の(放出・吸収)、気体が(する・される)仕事の関係について考えることができる。

(2) 本時の実際

過程	時間	学習活動	指導上の留意点
導入	10分	○ 気体の法則に関する知識を復習する。 - 気体の状態方程式 $PV = nRT$ - 気体の内部エネルギーの変化 $\Delta U = \frac{3}{2}nR\Delta T$ - 熱力学第一法則 $\Delta U = Q + W$ - 気体が行う仕事 $W = P\Delta V$	○ 熱力学第一法則は、モデル図を用いて確認させる。 

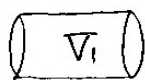
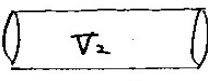
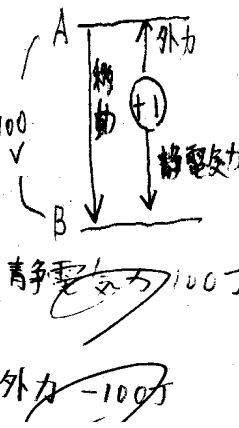
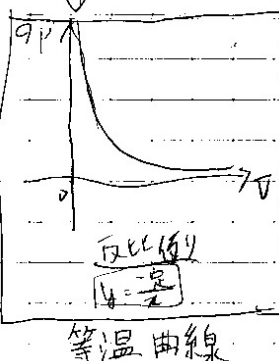
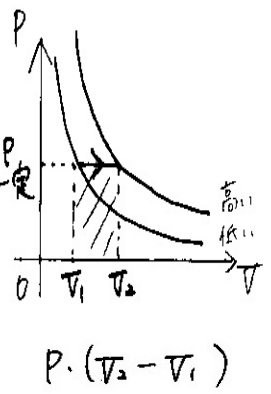
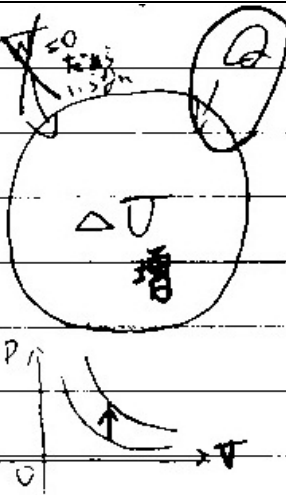
展開①	10分	○ 温度一定の下、一定量の理想気体には、どのような法則が成立するか式で表す。 $PV = \text{一定}$ ○ ボイルの法則をP（圧力）－V（体積）グラフで表し、隣の生徒と確認する。 	○ ボイルの法則を忘れていた生徒には、ノートや教科書等で確認させる。 ○ グラフがかけない生徒には、物質と温度が一定のとき、気体の圧力Pと体積Vが反比例の関係になることを助言する。 ○ 生徒が考えたグラフは、間違っていたとしても消さないように指示する。
展開②	15分	○ 等圧変化、定積変化において気体が行う仕事を、$W = P\Delta V$を用いて考え、表す。 等圧変化 $W = P(V' - V)$ 定積変化 $W = 0$ ○ 温度の異なる二つの等温曲線をP－Vグラフで表し、どちらの曲線の温度が高いか考える。 ○ それぞれの変化において、気体が行う（される）仕事はグラフ上のどこで表されるかを考え、斜線等の印を付ける。 等圧変化  ○ グラフ上の面積より、仕事は 等圧変化 $W = P(V' - V)$ 定積変化 $W = 0$	○ 等圧変化は、圧力一定で体積が変化する変化、定積変化は、体積が変化しない変化であることを強調し、確認させる。 ○ 同体積で温度が高いとき、圧力がどうなるかを考えるように助言する。 ○ P－Vグラフで面積を求めると、仕事の次元をもつことを確認させる。 定積変化  ○ グラフから求めた仕事と、P－Vグラフから求めた仕事は、一致することを確認させる。

展開 ③	10分	○ 等圧変化と定積変化において、熱力学第一法則がどのように成立するかを考察し、式で表す。 等圧変化 $\Delta U = Q + W$ 定積変化 $\Delta U = Q$ ○ 熱力学第一法則を、モデル図を用いて表現する。 等圧変化 定積変化 仕事をする場合 熱を吸収する場合  	 ○ 熱力学第一法則を考えるときには、式だけではなく、モデル図をかいて考えるよう助言する。
まとめ	5分	○ P-Vグラフやモデル図を用いることで、気体の状態変化のイメージが理解できたか互いに評価し合う。	○ 物理現象を理解するには、公式だけに頼らず、モデル図やグラフなどを活用してイメージをもつことの大切さを指導する。

(3) 「判断基準」を生かした指導

設定した補充指導、深化指導を行うことにより、生徒の表現に高まりが見られた。以下は、その表現例である。

	既習単元「電位差」	本時①	本時②(等圧変化の例)	本時③(定積変化の例)
C 状況の ときの 表現 例	問題 A点はB点より100V高電位である。AからBへ+1Cの電荷を移動させるとき、電場がする仕事と、外力がする仕事を求めよ。 -100J 仕事の正負を理解していない。	一定量 気体 温度一定 ↓ ボイルの法則 ボイルの法則 ボイルの法則を理解できておらず、式を用いた表現ができない。	自分の考え わかりません! どのように考えればよいかわからない。 (誤答した生徒はいなかった。)	定積変化 (体積Vが一定) $W = 0$ 熱力学第一法則を理解できていないため、吸収する熱量と内部エネルギーの関係を考えることができない。
補充 指導	正電荷は、電位の高い方から低い方に静電気力を受けること、外力の場合は静電気力と反対向きになることを確認させる。	一定量の単原子分子の場合、温度が一定のとき、圧力と体積の関係を表すボイルの法則が使えることを確認させる。	仕事の定義を確認させ、等圧変化の場合、気体が(する・される)仕事を、圧力と体積変化を用いてどのように表すことができるかを考えさせる。	熱力学第一法則を、お金の収支を例に挙げて説明し、熱量と内部エネルギーの正負を考えながら式を用いて表現させる。

B 状況のときの表現例	$W = 1 \times 100$ $= 100$ $W = -1 \times 100$ $= -100$ 静電気力がする仕事と外力がする仕事について、正負を考慮しながら $W = qV$ を用いて求めている。	ボイルズ ↓ ボイルの法則 PV が一定 一定量の理想気体の等温変化では、圧力と体積の積が一定であることを、式を用いて表現している。	圧力 P が一定 ①  ②  気体がした仕事 ΔW $\Delta W = P \cdot \Delta V$ $= P \cdot (V_2 - V_1)$ 等圧変化において気体がする仕事を、式を用いて表現している。	定積変化 (体積 V が一定) $W = 0$ よって熱力学第一法則 $\Delta U = Q + W$ より $\Delta U = Q$ 吸収する熱が全て内部エネルギーの増加になることを、熱力学第一法則を使って式で表現している。
深化指導	電場中の正電荷を、重力場中の質量と同様な形でモデル図をかかせ、静電気力や外力の向きと電荷が動いた向きから仕事の正負を考えさせ、式で求めた仕事と比較させる。	式から、P と V が反比例の関係であることを考えさせ、グラフで表現させる。	P - V グラフで囲まれた面積は、仕事の次元をもつことを考えさせ、面積で求めた仕事と式で求めた仕事を比較させる。	仕事や熱量の正負、内部エネルギーの増減を正しく判断し、確かなイメージを形成するために、熱力学第一法則をモデル図で表して考えさせる。
A 状況のときの表現例	 電場の向きを基に、正電荷に働く静電気力と外力の向きをモデル図で表現することで、仕事の正負を正しく判断している。	PV が一定  圧力と体積の関係が反比例になることを考え、それをグラフで表し、等温曲線になることを表現している。	 温度の異なる二つの等温曲線をグラフで表し、グラフの面積から気体がする仕事を表現している。	 熱力学第一法則をモデル図で表し、内部エネルギーの増加と吸収する熱量の関係を考えると同時に、グラフによる表現もしている。

4 研究の成果と課題 (○…成果, ●…課題)

(1) 学習内容の関連を踏まえた指導

○ 今回検証授業を行った分野は、電磁気学と熱力学という異なる分野であるが、共に仕事やエネルギーの概念を必要とする。そこで、仕事やエネルギーの概念を基にして科学的に思考・判断・表現する場面において、「電位」の学習で行った指導と関連付けて「気体の内部エネルギーと比熱」の学習の「判断基準」を設定した。

特に、本時の気体の状態変化における仕事の正負や熱の吸収と放出、エネルギーの増減については、式で表して考えるだけではイメージがつかみにくく理解しにくい。そこで、「電位」の学習において、静電気力と外力がした仕事の正負について、式だけでなくモデル図をかかせて思考・判断させる深化指導を行っておき、それを踏まえて本時では、グラフやモデル図を活用した補充指導、深化指導を行った。これにより、生徒は、グラフやモデル図で表現する能力が高まり、また、表現したグラフやモデル図を活用することにより、仕事の正負や熱の吸収と放出、エネルギーの増減を正しく思考・判断できるようになった。

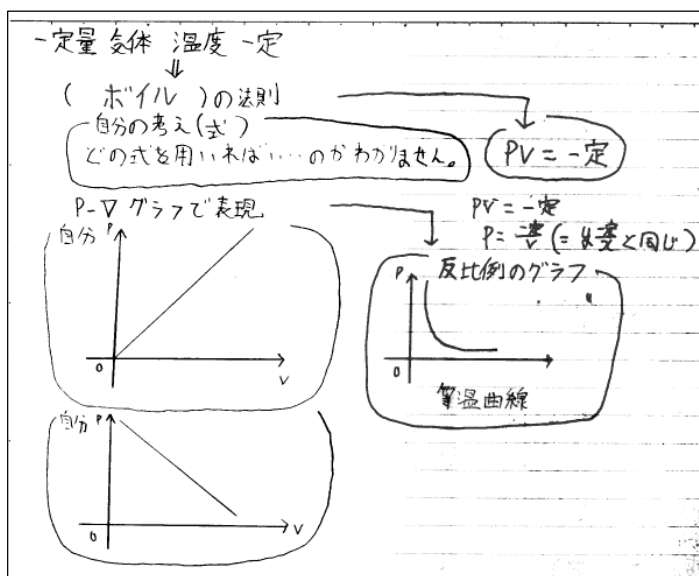
● 「電位」の学習において、モデル図をかかせて思考・判断させる深化指導を行ったが、本時の初めの段階ではC状況の生徒の割合が多かった。これは、グラフやモデル図のかき方を忘れており、十分定着していなかったためであると考え。そこで、今後も様々な分野において、生徒自身にグラフやモデル図をかかせ、かいたグラフやモデル図を活用して思考・判断させる学習を取り入れていきたい。

また、高等学校物理の初期の段階で学習する、力学分野の「仕事とエネルギー」の定着が不十分だったことも、本時の初めの段階でC状況の生徒が多かった理由だと考える。そこで、「判断基準」の設定には、後に学習する学習内容との関連を幅広く考え、それぞれの分野での学習における活用を考慮して、補充指導、深化指導を工夫することが必要である。

(2) 「判断基準」を基にした指導と評価について

○ これまでの評価は、定期考査や模擬試験の結果の分野別分析等に偏って行ってきたが、今回、グラフやモデル図で表現したり、それを用いて思考・判断したりする「判断基準」を設けたことで、生徒がどのように物理現象を捉え、思考しているのかをより明確に把握し、評価することができた。そして、生徒の表現例を予想していたことで、授業中に素早く補充指導、深化指導を行うことができた。

右の生徒のノートの例を見ると、ボイルの法則を式で表すことができず、圧力や体積の関係を比例であると捉えていたことが分かる。そして、生徒がどの段階の理解が不十分なのかを把握してすぐに、補充指導、深化指導を行うことで、式やグラフで表現できるようになった。



生徒のノートの例

● 理科は、平成24年度高等学校入学者（現第2年生）より新しい学習指導要領が適用され、物理は、2単位科目の「物理基礎」と4単位科目の「物理」となった。現3年生までの「物理Ⅰ」、「物理Ⅱ」とは学習内容の配分に変更があるため、学習する順列や各単元の目標が変わってくる。したがって、新科目に対応した適切な評価規準や「判断基準」の設定が必要となる。特に、学習内容が多い4単位科目の「物理」については、限られた時間で効果的に進める補充指導、深化指導の十分な研究と計画が必要である。