

第3問 図3—1に示すように、容器X、Yにそれぞれ1モルの単原子分子理想気体が入っている。容器Xの上部は滑らかに動くピストンで閉じられており、ピストンの上にはおもりが載せられている。ピストンの質量は無視できる。容器Yの体積は一定である。容器の外は真空であり、容器Xと、容器Yまたは物体Zが接触した場合にのみ熱のやりとりが行われ、外部の真空や床などとの熱のやりとりは常は無視できるものとする。容器の熱容量は無視できる。また、物体Zの温度は常に $\frac{4}{5}T_A$ に保たれているものとする。

はじめ、容器Xは容器Yと接触しており、ピストンの上には質量 a^5m ($a > 1$)のおもりが載せられている。容器X内の気体の圧力は p_A である。容器X、Y内の気体の温度はともに T_A である。このときの容器X内の気体の状態を状態Aと呼ぶことにする。続いて、図3—1に示すように、以下の操作①～④を順番に行い、容器X内の気体の状態を、 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E$ と変化させた。これらの操作において、気体の状態変化はゆっくりと起こるものとする。気体定数を R とすると、状態A～Dにおける容器X内の気体の圧力、温度、体積、内部エネルギーは表3—1のように与えられる。

操作①(A → B) 容器Xを、容器Y、物体Zのいずれとも接触しない位置に移動させた。次に、ピストン上のおもりを質量が m になるまで徐々に減らした。

操作②(B → C) 容器Xを物体Zに接触させ、容器X内の気体の温度が $\frac{4}{5}T_A$ になるまで放置した。

操作③(C → D) 容器Xを、容器Y、物体Zのいずれとも接触しない位置に移動させた。次に、ピストン上のおもりを質量が a^5m になるまで徐々に増やした。この操作後の容器X内の気体の温度を T_D とする。

操作④(D → E) 容器Xを容器Yと接触させ、容器X、Y内の気体の温度が等しくなるまで放置した。このときの温度を T_E とする。

以下の設問に答えよ。

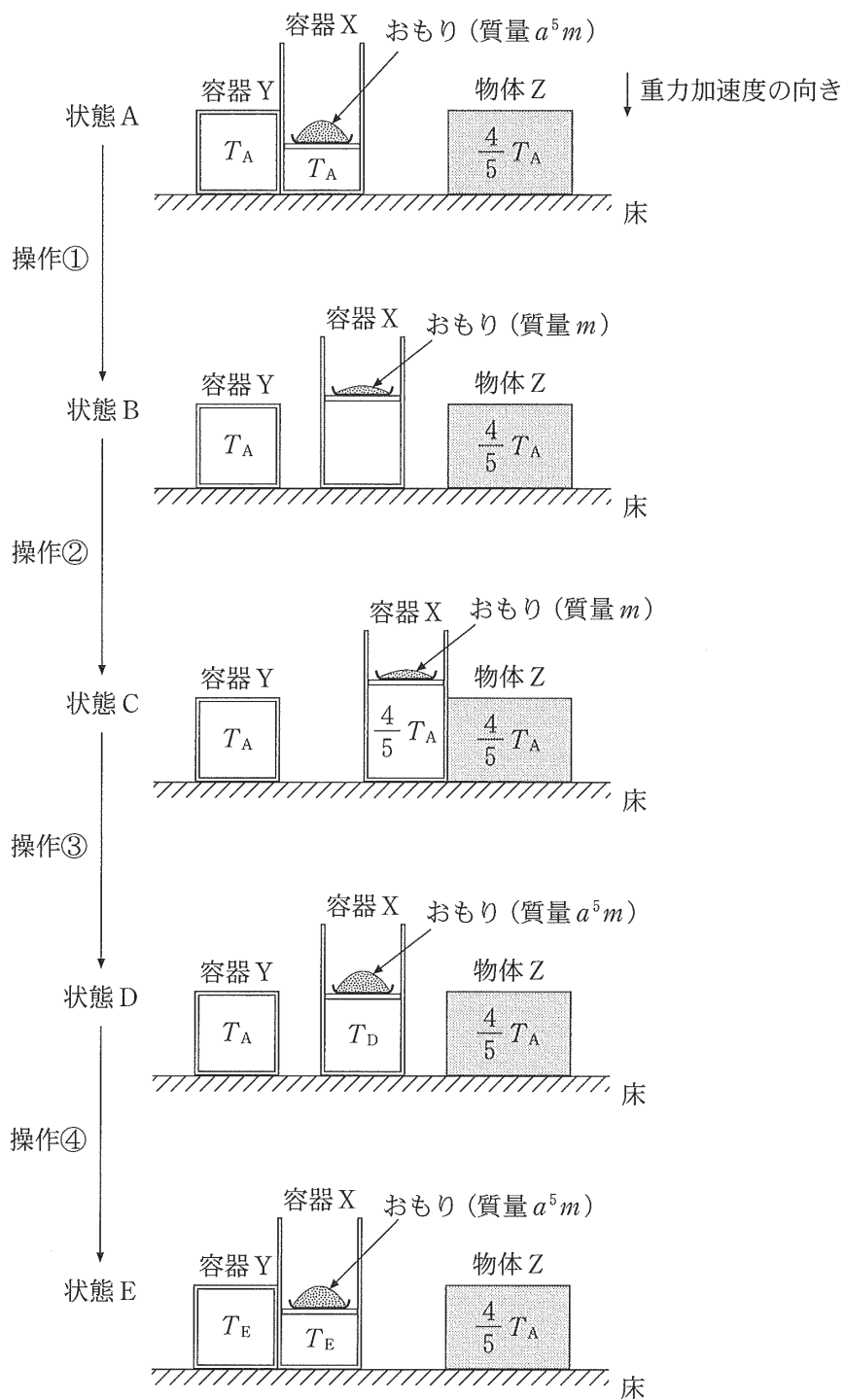


図 3—1

I 操作①～③において、容器 X 内の気体がされた仕事をそれぞれ W_1 , W_2 , W_3 とする。 W_1 , W_2 , W_3 を, R , T_A , a を用いて表せ。

II 操作④による容器 X 内の気体の状態変化(D → E)について、以下の設問に答えよ。

(1) 操作④による容器 X 内の気体の内部エネルギーの変化 ΔU_4 を, R , T_D , T_E を用いて表せ。

(2) 操作④において、容器 X 内の気体がされた仕事 W_4 を, R , T_D , T_E を用いて表せ。

(3) 状態 E における容器 X 内の気体の温度 T_E を, T_A , T_D を用いて表せ。

表 3—1

	圧力	温 度	体 積	内部エネルギー
状態 A	p_A	T_A	$\frac{RT_A}{p_A}$	$\frac{3}{2} RT_A$
状態 B	$\frac{p_A}{a^5}$	$\frac{T_A}{a^2}$	$a^3 \frac{RT_A}{p_A}$	$\frac{3}{2} a^2 RT_A$
状態 C	$\frac{p_A}{a^5}$	$\frac{4}{5} T_A$	$\frac{4}{5} a^5 \frac{RT_A}{p_A}$	$\frac{6}{5} RT_A$
状態 D	p_A	$\frac{4}{5} a^2 T_A (= T_D)$	$\frac{4}{5} a^2 \frac{RT_A}{p_A}$	$\frac{6}{5} a^2 RT_A$

Ⅲ a の値がある条件を満たすとき、操作①～④は、容器 X 内の気体に対して仕事を行うことで、低温の物体 Z から容器 Y 内の高温の気体に熱を運ぶ操作になっている。操作④による容器 Y 内の気体の内部エネルギーの変化を ΔU_Y として、以下の設問に答えよ。

(1) 操作④によって容器 Y 内の気体の内部エネルギーが増加する ($\Delta U_Y > 0$) ととき、操作①～④における容器 X 内の気体の圧力 p と体積 V の関係を表す図として最も適切なものを、図 3-2 のア～カの中から一つ選んで答えよ。

(2) $\Delta U_Y > 0$ となるための a に関する条件を答えよ。

(3) 操作①～④の間に容器 X 内の気体がされた仕事の総和を W 、操作②において容器 X 内の気体が物体 Z から受け取る熱量を Q_2 とする。 ΔU_Y を、 W と Q_2 を用いて表せ。

(4) 状態 E からさらに引き続き、操作①～④を何度も繰り返すと、容器 Y 内の気体の温度は、ある温度 T_F に漸近する。 T_F を、 T_A と a を用いて表せ。

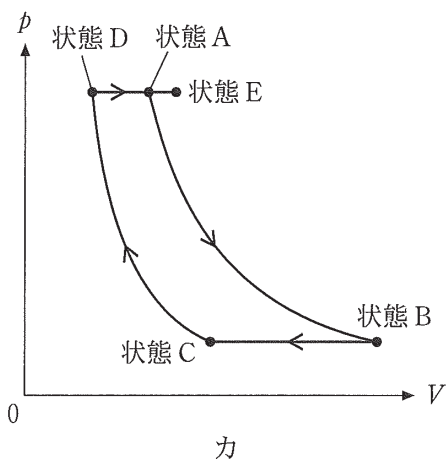
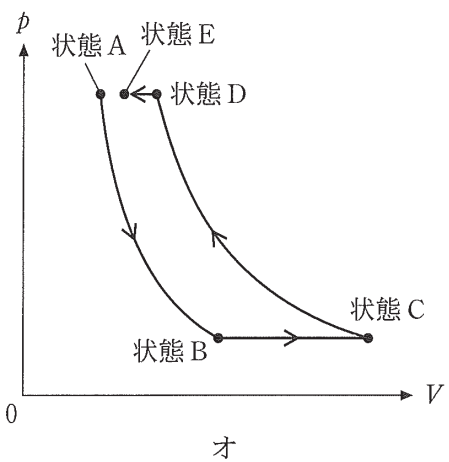
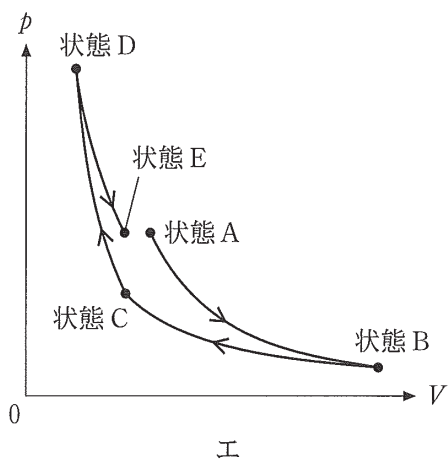
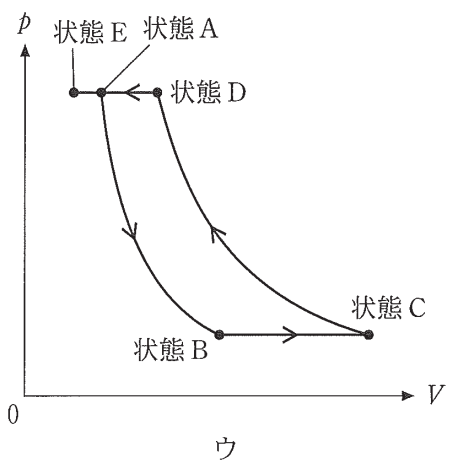
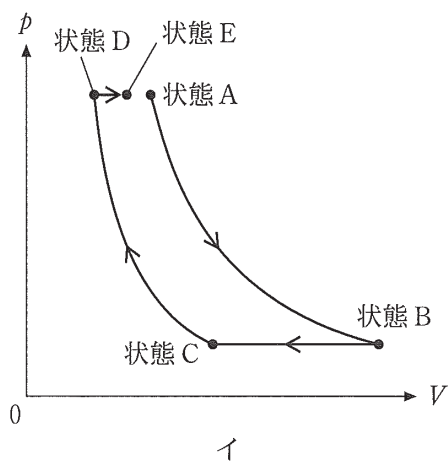
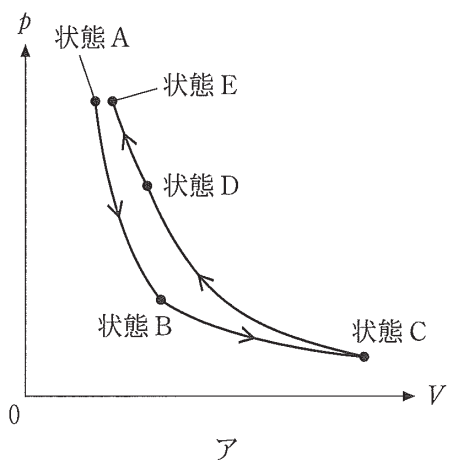


図 3—2