

ニューマテリアルデザイン クイズ

1. カルノーサイクルに関して、以下の文章を読み、設問に答えよ。

理想気体を作業物質とする循環過程であるカルノーサイクルでは、理想気体が高温 T_H と低温 T_L の熱源に接触でき、またバネや重力場中のオモリを動かして可逆的に仕事をすると考える。図1は、圧力-体積 ($P - V$) 平面および温度-エントロピー ($T - S$) 平面での系の状態の変化を表わしている。表1には、3次元単原子理想気体における各断熱、等温過程での、熱の流入 ΔQ や外にする仕事 ΔW 、エネルギーの変化 $\Delta E (= \Delta Q - \Delta W)$ を整理して示した。体積 V の添え字は図1の $P - V$ 平面のそれぞれの状態を示す。

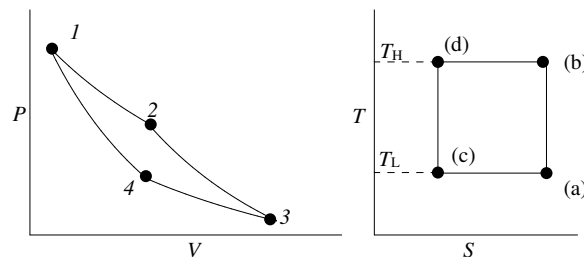


図1: $P - V$ 平面, $T - S$ 平面におけるカルノーサイクル。

表1: カルノーサイクルに伴う各物理量。

過程	$\Delta E/(Nk)$	$\Delta Q/(Nk)$	$\Delta W/(Nk)$
等温膨張 (1 → 2)	0	$+T_H \ln(V_2/V_1)$	(1)
断熱膨張 (2 → 3)	$-\frac{3}{2}(T_H - T_L)$	0	(1')
等温圧縮 (3 → 4)	0	$-T_L \ln(V_3/V_4)$	$-T_L \ln(V_3/V_4)$
断熱圧縮 (4 → 1)	$+\frac{3}{2}(T_H - T_L)$	0	$-\frac{3}{2}(T_H - T_L)$

ただし、 N, k はそれぞれアボガドロ数、ボルツマン定数を表わす。

- (1) 等温膨張 $1 \rightarrow 2$, 断熱膨張 $2 \rightarrow 3$ 過程それぞれで、系がした仕事 ($\Delta W/(Nk)$) を理想気体の状態方程式 $PV = NkT = (2/3)E$ から導け。ここで E はエネルギーを表わす。
- (2) 高温熱源から入った熱がどれだけ仕事に使われたかを示す効率を求めよ。ただし、 $V_1 V_3 = V_2 V_4$ が成立する。
- (3) $T - S$ 平面の状態記号 (a), (b), (c), (d) に、それぞれ対応する $P - V$ 平面の状態を表わす数字 (1, 2, 3, 4) を記せ。
- (4) カルノーサイクルを無限小部分にわけて考えた場合に周囲と交換された熱を δQ とすると、 $\delta Q/T$ という量の積分 S が示量状態量であることを導け。