3　熱力学第二法則

3–1 [**Carnot サイクルの仕事**]: Caronot サイクルは，外に正の仕事をすることを示せ.

3–2 [**K から C へ**]: Kelvin の原理から，Clausius の原理を導け.

3–3 [**真空膨張の不可逆性**]: 理想気体を真空に対して断熱膨張させる過程が不可逆であることを示せ.

3–4 [**仕事 → 熱**]: 仕事 $W(>0)$ をすべて熱に変換する過程は不可逆過程であることを示せ.

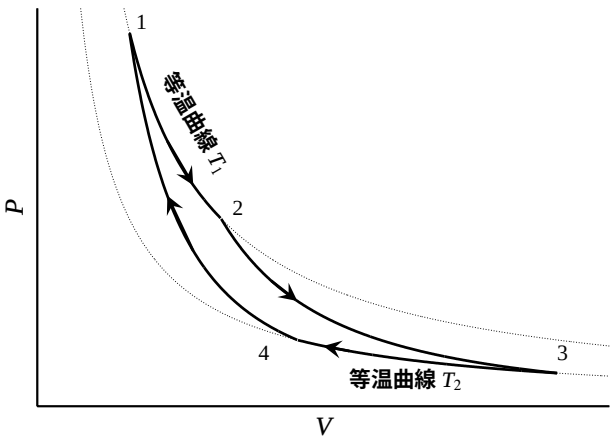
3–5 [**サイクル回数と効率**]: 熱効率はサイクルを動かす回数に依存しないことを示せ.

3–6 [**Carnot サイクルの熱効率**]: 与えられた熱力学的温度 $T_1, T_2(>T_1)$ の元での Carnot サイクルの効率は，T_1 と T_2 だけで表せることを示せ.

3–7 [**熱効率の限界**]: 与えられた熱力学的温度 $T_1, T_2(>T_1)$ の元での Carnot サイクルよりも効率の悪いサイクルは不可逆サイクルであることを示せ.

3–8 [**Carnot サイクルの熱効率 (計算編)**]: n モルの理想気体を作業物質として，右図のような状態変化をさせる Carnot サイクルの効率を求めよ.

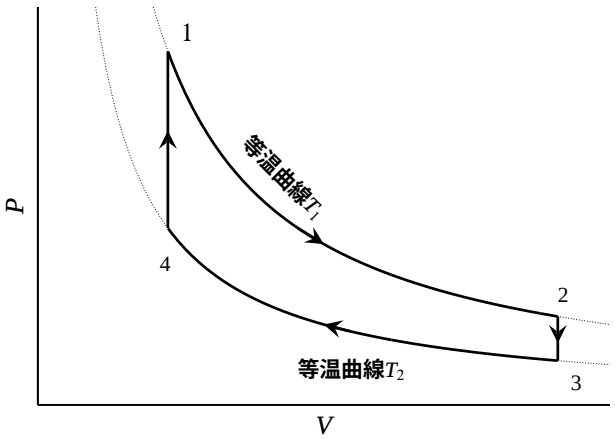
具体的なサイクル過程は次のとおりである．まず，状態 1 において温度 T_1 の高熱源と接触させながら等温膨張する．状態 2 から断熱膨張させ，温度を T_2 に下げ，状態 3 に移行する．ここで低熱源 T_2 に接触させながら等温圧縮し，状態 4 に移行し，断熱圧縮して最初の状態 1 に戻す．サイクル過程には摩擦等の不可逆過程はなく，全ての状態変化は準静的であるとする．



3–9 [**摩擦のあるシリンダー**]: シリンダー内に気体を入れ，体積を V から微小体積 ΔV だけ膨張させる．このとき気体の受け取る熱量を $d'Q$ とする．逆に，$V+\Delta V$ から微小変化させるときに気体の受け取る熱量を $d''Q$ は $-d'Q$ であることを示せ．また，ピストンを動かすときに一定の摩擦力 F があるときに，$d'Q$ と $d''Q$ の関係を求めよ.

3–10 [**摩擦のあるシリンダーでの熱効率****]: 問 **3–8** において，過程 $3 \to 4$ の等温圧縮する際に，シリンダーとピストンの間に一定の摩擦力 F が働いていたとする．このときの，熱効率を求めよ.

3–11 [**スターリング・サイクルの熱効率**]: 図のようなサイクルをスターリング・サイクルという．理想気体を作業物質としてこの熱機関の熱効率を求めよ．



$1 \to 2$: 温度 T_1 での等温膨張

$2 \to 3$: 等積過程での冷却

$3 \to 4$: 温度 T_2 での等温圧縮

$4 \to 1$: 等積加熱

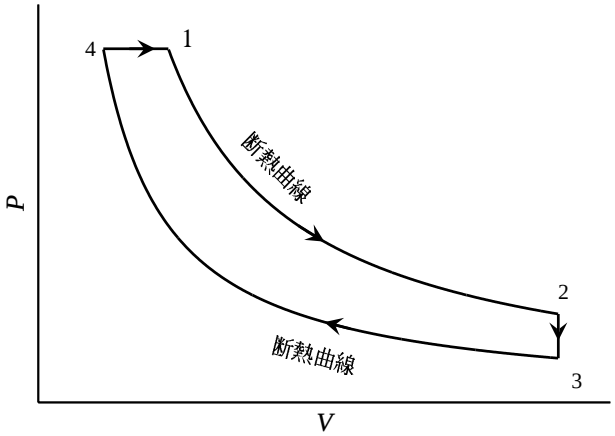
3–12 [**ディーゼルサイクルの熱効率**]: 図のようなサイクルをディーゼル・サイクルという．理想気体を作業物質としてこの熱機関の熱効率を求めよ．

$1 \to 2$: 断熱膨張

$2 \to 3$: 等積過程での冷却

$3 \to 4$: 断熱圧縮

$4 \to 1$: 等圧加熱



3–13 [**理想気体の換算熱**]: 理想気体の準静的過程において、微小熱を絶対温度で割った量 $d'Q/T$ が全微分であることを示せ．

3–14 [**理想気体の真空膨張**]: 1 モルの理想気体を，温度 T_1, 体積 V_1 の状態から真空に対して断熱膨張を行い，体積 V_2 の状態となった．このときのエントロピー変化を求めよ．

3–15 [**理想気体の真空膨張 2**]: 1 モルの理想気体を，温度 T_1, 体積 V_1 の状態から準静的断熱過程により、体積 V_2 まで膨張させ，その後に体積一定の元で前問の最後の状態まで変化させる過程でのエントロピー変化を求めよ．

3–16 [**Carnot サイクルでのエントロピー変化**]: 問 **3-8** の各過程でのエントロピー変化を調べよ．