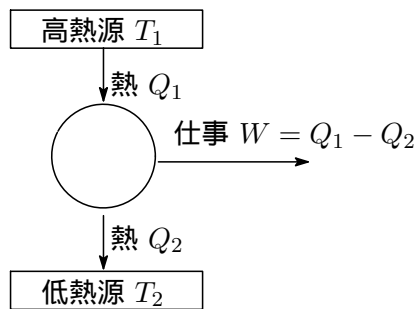


## ケルビンの原理とクラウジウスの原理

[1] ケルビンの原理は、ひとつの熱源を用いて正の仕事を等価な熱に変換するサイクルの存在は否定しない。そのようなサイクルの例をあげよ。

[2] 以下のようなカルノーサイクル  $C$  を考える。ここで、 $T_1 > T_2$ ,  $Q_1 > 0$ ,  $Q_2 > 0$  である。



このとき  $Q_1 \geq Q_2$  であること、従ってカルノーサイクルのする仕事  $W = Q_1 - Q_2$  は  $W \geq 0$  であることを示せ。

[1]

理想気体を熱源に透熱壁で接して準静的等温圧縮する．この過程により，外からなされた正の仕事は熱として熱源に供給される．温度が変わらないので理想気体の内部エネルギーは変化せず，第一法則により仕事は全て熱に変換された．

次に気体を断熱壁で囲み，元の体積に戻るよう断熱自由膨張させる．この際気体は仕事をせず，熱の授受も行わない．従って第一法則から内部エネルギーも変わらず，もとの体積と温度の状態に戻りサイクルをなす．このサイクルは正の仕事を等価な熱に変換している．これが可逆であればケルビンの原理に反することになるが，自由膨張を用いているので不可逆である．

[2]

仮に  $Q_2 > Q_1$  であり，C のする仕事  $W = Q_1 - Q_2$  が負であるとする．カルノーサイクルは可逆であった．逆サイクル  $C^{-1}$  は低熱源から  $Q_2$  を受け取り，高熱源に  $Q_1$  を与え，正の仕事  $-W = Q_2 - Q_1$  をしている．ところで [1] により，正の仕事をそっくり熱に変換するサイクル D が存在する． $C^{-1}$  のした仕事  $-W \geq 0$  を熱として高熱源に与えるように D を調整すれば， $C^{-1}$  と D の合成サイクルは低熱源から高熱源に正の熱  $Q_2$  を移すだけの働きをする．これはクラウジウスの原理に反する．従って  $Q_2 \leq Q_1$  であり， $W \geq 0$  である．