

第17回 内燃機関の基本サイクル(1/3)

1. 熱機関の種類

熱から仕事を取り出す機械 → 熱機関

実用になった最初の熱機関, → Newcomen の蒸気機関(1712頃より3/4 世紀)である。

Watt の蒸気機関 (1776)年, 分離凝縮器他。

オットーの4行程ガス機関(1876)

ディーゼルの圧縮着火機関(1893特許)

熱機関では, 作業物質(流体)がサイクルを行う(ロケットエンジンは例外)。

(1) 加熱方式による分類

内燃式 --- 作業物質自身が燃焼し発熱する。(例:ガソリンE. その他)

外燃式 --- 作業物質を外部より加熱する。(例:蒸気原動所)

(2) 作業物質の入れ替えの有無による分類

オープンサイクル --- 1サイクルごとに作業物質が入れ替わるサイクル。(例:内燃式機関全て)

クローズドサイクル --- 同一の作業物質を繰り返し用いるサイクル。(例:蒸気原動所)

(3) 作業物質の相による分類

ガスサイクル --- 主に気相で行われるサイクル (完全ガスの諸関係式を用いる)

蒸気サイクル --- 気相と液相にまたがって行われるサイクル(蒸気表, 線図を用いる)

2. 空気標準サイクル(内燃機関の理論サイクル)

以下の仮定のもと, 実際の内燃機関のサイクルを単純化したサイクル

(1) 作業物質は空気($N_2:O_2:etc.=78:21:1$)である。

(2) 空気は比熱一定の完全ガス(狭義の完全ガス)である。

(3) 外燃式のクローズドサイクルである。

(4) 可逆サイクルである。

3. オットーサイクル

火花点火機関の空気標準サイクル

火花点火機関のサイズ

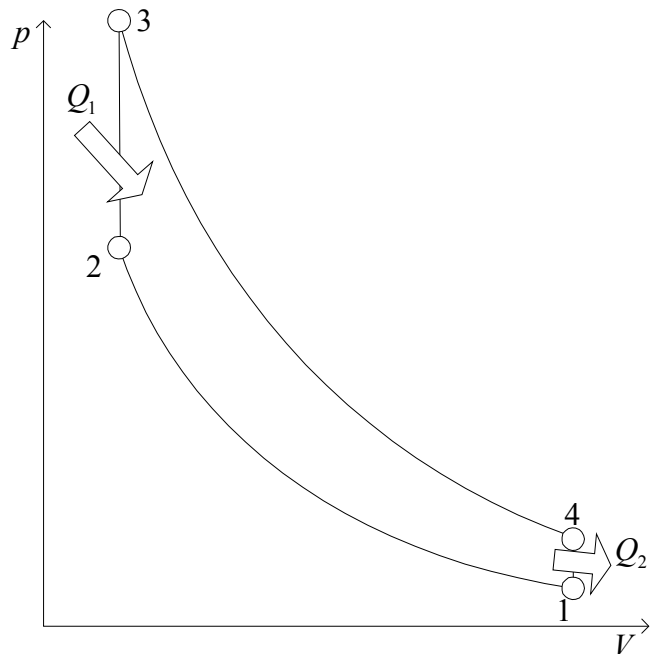
(1) シリンダとピストン L_h, D

(2) クランクと行程長 $2R=L_h$

(3) すき間容積 V_2 と

行程容積 $V_h=V_1-V_2$

(4) 圧縮比 $\epsilon = \frac{V_1}{V_2} = \frac{V_4}{V_3}$



サイクルの各部分

1: 吸気

1-2: 断熱圧縮

2-3: 点火して燃焼(等積加熱)

$$\text{加熱量 } Q_1 = G c_v (T_3 - T_2)$$

3-4: 断熱膨張

4-1: 掃気, 燃焼ガスと吸気の置換(等積冷却)

$$\text{冷却量 } Q_2 = G c_v (T_4 - T_1)$$

熱効率は

$$\eta = \frac{\text{仕事}}{\text{加熱量}} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}$$

各点の温度は

(1) T_1 (吸気温度) は与えられるとする。

(2) T_2 (圧縮後の温度) は断熱変化の式から, $TV^{\kappa-1} = \text{const.}$

$$T_2 = T_1 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\kappa-1} = T_1 \epsilon^{\kappa-1}$$

(3) T_3 (加熱後の温度) は作業物質1kg当たりの加熱量 q に依存

---> 燃料と空気の混合比に依存

$$T_3 = T_2 + \frac{Q_1}{G c_v}$$

(4) T_4 (膨張後) は断熱変化の式から

$$T_4 = T_3 \left(\frac{V_3}{V_4} \right)^{\kappa-1} = T_3 \frac{1}{\epsilon^{\kappa-1}}$$

各点の圧力, 体積, 温度をまとめて表に示す。

	V	p	T
1	V_1	p_1	T_1
2	V_1/ϵ	$p_1 \epsilon^{\kappa}$	$T_1 \epsilon^{\kappa-1}$
3	V_1/ϵ	$p_1 \alpha \epsilon^{\kappa}$	$T_1 \alpha \epsilon^{\kappa-1}$
4	V_1	$p_1 \alpha$	$T_1 \alpha$

$$\text{熱効率: } \eta = 1 - \frac{1}{\epsilon^{\kappa-1}}$$

4. 熱効率を向上させるには

(1) 圧縮比 ϵ を大きくする

(2) 比熱比 κ を大きくする(?)

圧縮比を高くすると下記が生じやすくなる。

(1) 火花点火前に自然着火する(早期着火)。

(2) 点火後に火炎で未燃部分が断熱圧縮され, 火炎到達前に自然着火する(ノッキング)。

実際のガソリン機関: $\epsilon < 10$ となる。
熱効率は 20% 弱。

5. $T-S$ 線図の考察

断熱変化(等エントロピー変化)では

$$dS = \frac{dQ}{T} = 0 \quad \text{鉛直線}$$

等積変化では

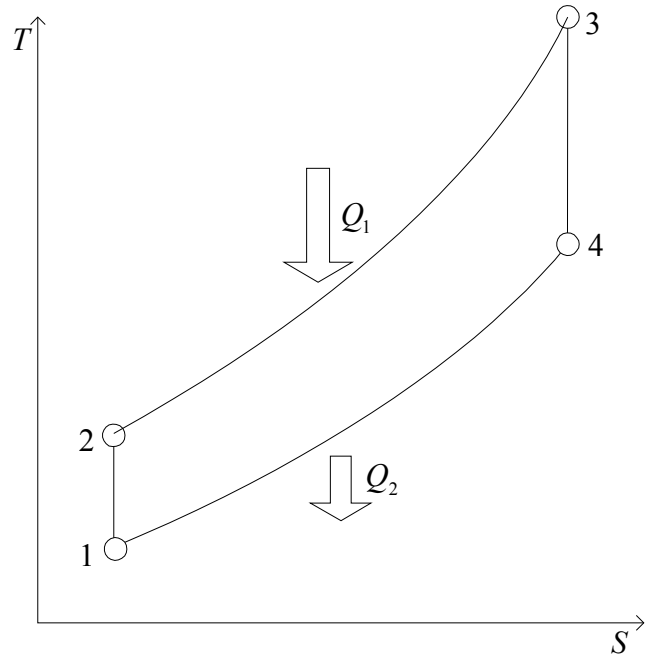
$$dS = \frac{dQ}{T} = G c_v \frac{dT}{T}$$

より

$$S - S_0 = G c_v [\ln T]_0 = G c_v \frac{T}{T_0}$$

つまり,

$$T = T_0 e^{(S-S_0)/(G c_v)} \quad \text{指数関数}$$



6. 実際のガソリン機関の問題点

- (1) 圧縮比を高くできないため、熱効率が低い。
- (2) 調速(負荷に応じた出力調整)には、絞り変化(throttling)による吸気圧調整を使用。

吸気量 $G = \frac{p_1(V_1 - V_2)}{R T_1}$ を減らし、燃料消費量を少なくする。

排気と吸気のポンプ仕事を増やし、出力を小さくする。

このため、軽負荷での熱効率が極めて低い。

- (3) シリンダのサイズを大きくすると、ノッキングが生じ易くなる。
大出力に向かない。