

機械製作実習 スターリングエンジン - 熱力学からの Introduction -

京都大学 大学院工学研究科機械理工学専攻
牧野俊郎

0. はじめに
1. “熱力学”のおさらい
2. Stirling エンジン
3. “機械製作実習”でつくる Stirling エンジン
4. おわりに

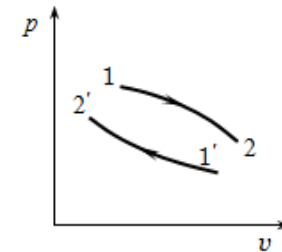


図1 作動流体の膨張と圧縮

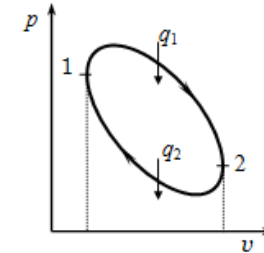


図2 熱力学のサイクル

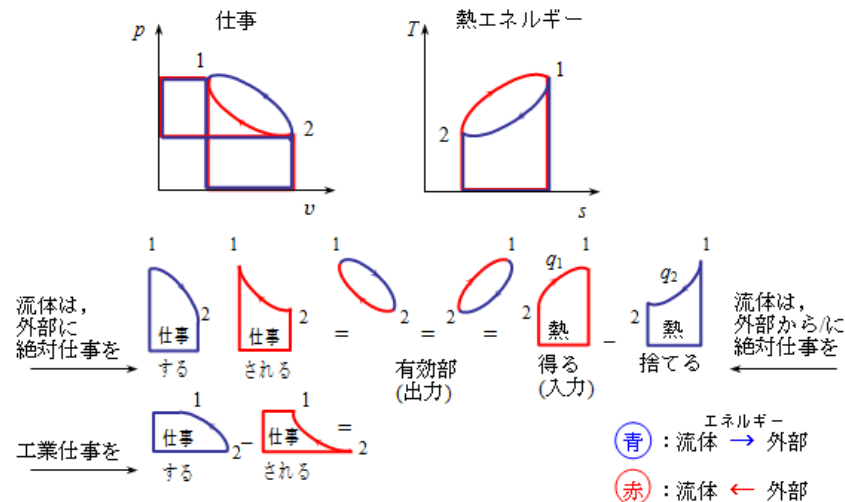
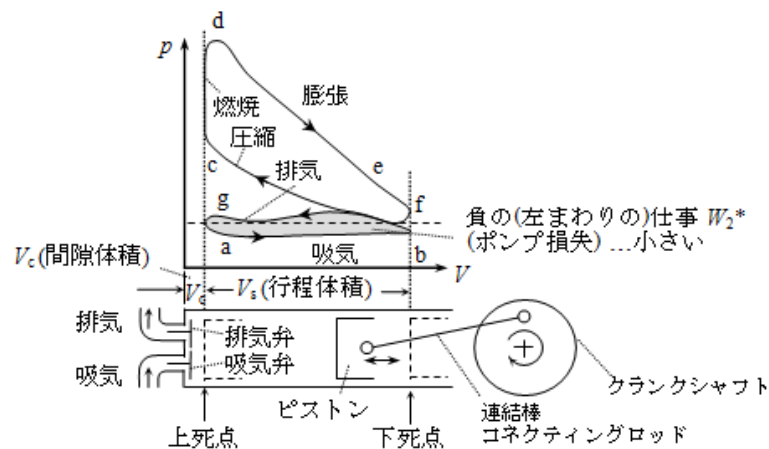


図3 熱力学サイクルにおける熱エネルギーと仕事の収支

表1 工業熱力学のサイクル

	(閉鎖系) 密閉/容積型 往復(reciprocal)運動 ... 小規模も、可動型も	(開放系) 定常流動系 回転(rotary)運動 ... 大規模エネルギーも、設地型も
内燃機関 ... エネルギー源: 高級燃料 作動流体:	Otto/ Diesel サイクル ... のりもの 燃焼ガス	Brayton サイクル ... 航空機・火力発電 燃焼ガス
外燃機関 ... エネルギー源: なんでもあり 作動流体:	Stirling サイクル ... エネルギー・環境? 空気	Rankine サイクル ... 火力/ 原子力発電 H ₂ O

(*: この表は、サイクルのポピュラーな機構・用途を示すものであり、サイクルを厳密に分類するものではない)



a: 吸気弁を開く b: 吸気弁を閉じる f: 排気弁を開く g: 排気弁を閉じる

図4 4行程ガソリン火花点火機関

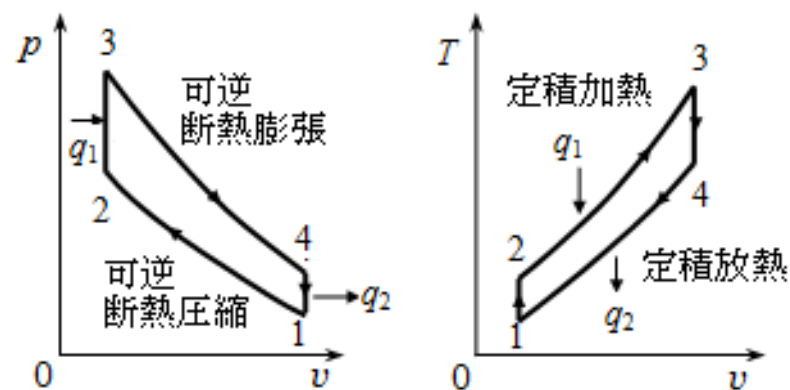


図5 Ottoサイクル ($p-v$ 図と $T-s$ 図)

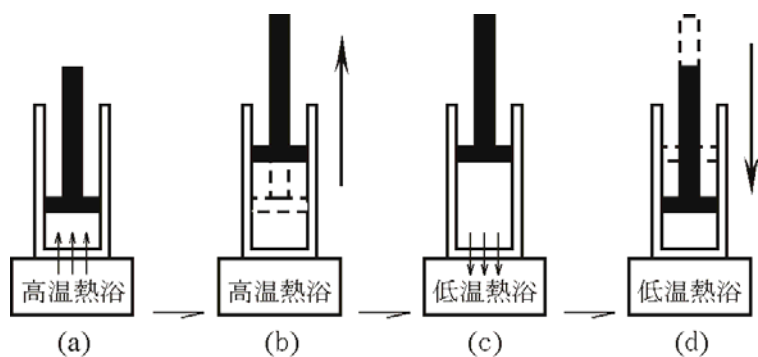
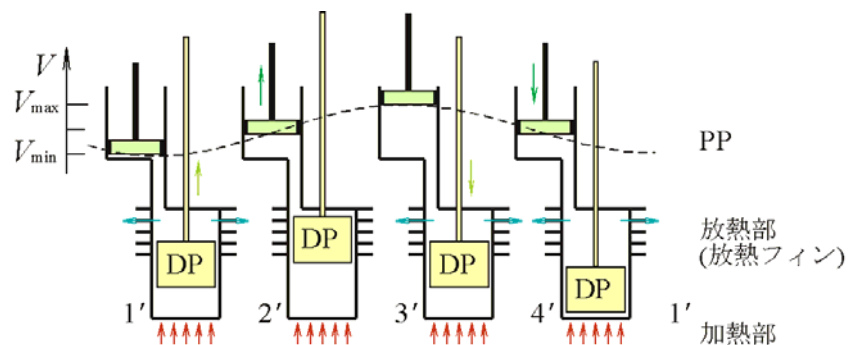


図6 密閉型外燃機関の考え方



理想的には、

	$(V \cong \text{const.})$	heating $q_1 \uparrow$	$(V \cong \text{const.})$	cooling $q_2 \downarrow$
p	\uparrow	\downarrow	\downarrow	\uparrow
V	\rightarrow	\uparrow	\rightarrow	\downarrow
T	\uparrow	\rightarrow	\downarrow	\rightarrow

図7 ディスプレーサーつきの外燃機関

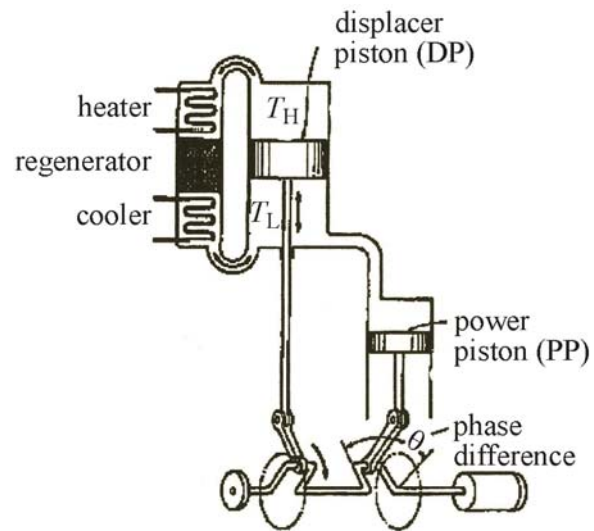


図8 再生器つきの Stirlingエンジン

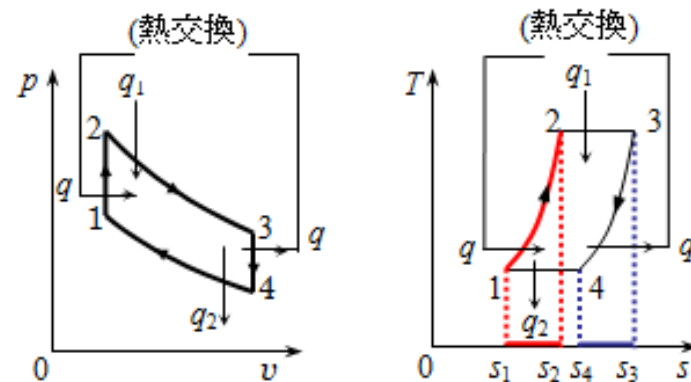


図9 熱力学の Stirlingサイクル (p - v 図と T - s 図)

Note 1 熱力学の理想：定温過程

一般に、熱力学の第一法則

$$dq = du + dW \quad dq = dh + dW_i \quad (1)$$

において、次の関係が成立する。

$$dq = Tds \quad dq = Tds \quad (2)$$

$$du = df + Tds + sdT \quad dh = dg + Tds + sdT \quad (3)$$

$$dW = pdv \quad dW_i = -vdp \quad (4)$$

定温変化($dT=0$)の場合、式(1)~(3)から、次の式が得られる。

$$Tds = df + Tds + sdT + dW \quad Tds = dg + Tds + sdT + dW_i$$

式(4)をあわせると、仕事については、次のとおりである：

$$dW = -df = pdv \quad dW_i = -dg = -vdp \quad (5)$$

$$W_{12} = -(f_2 - f_1) = \int_{12} pdv \quad W_{i12} = -(g_2 - g_1) = - \int_{12} vdp$$

式(2)から、熱エネルギーについては、次のとおりである：

$$dq = d(Ts) = Tds \quad dq = d(Ts) = Tds \quad (6)$$

$$q_{12} = T(s_2 - s_1) \quad q_{12} = T(s_2 - s_1)$$

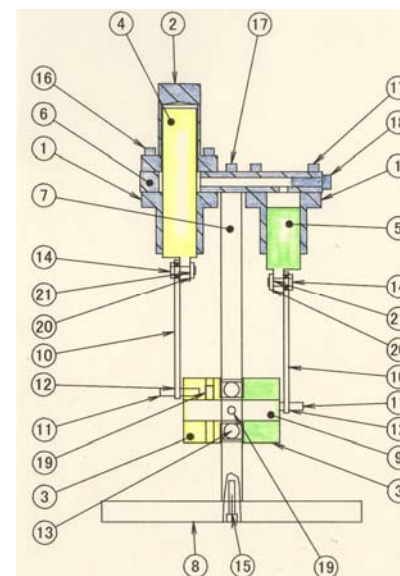
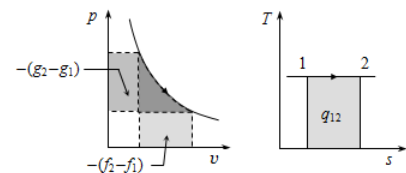


図10 “機械製作実習”でつくる Stirlingエンジン

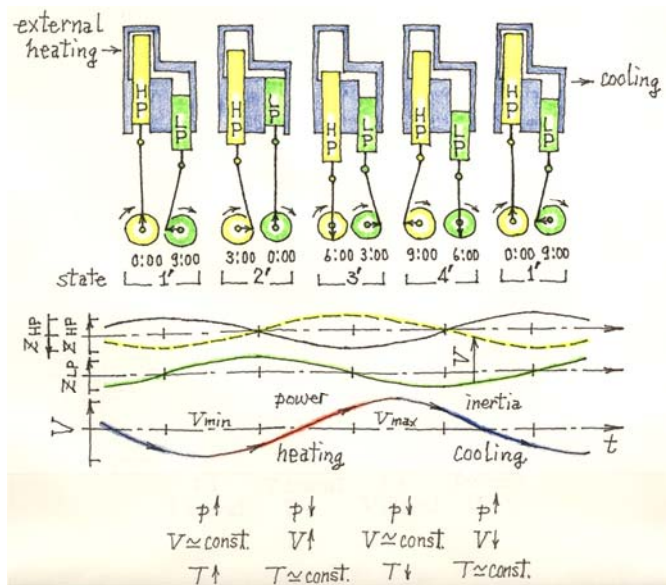


図11 2ピストン型外燃機関の位相図

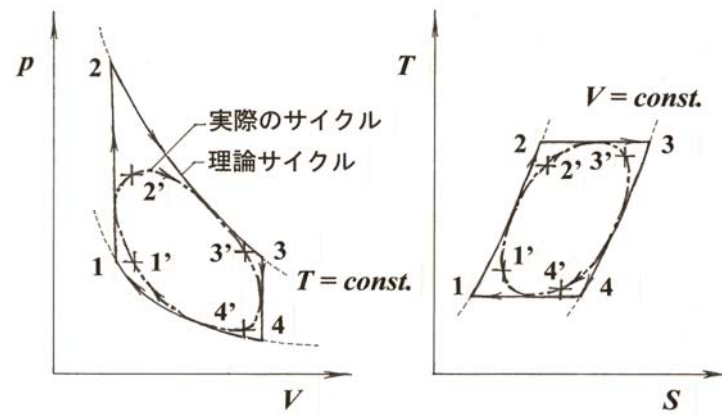


図12 2ピストン型の外燃機関のサイクル (p - V 図と T - S 図)