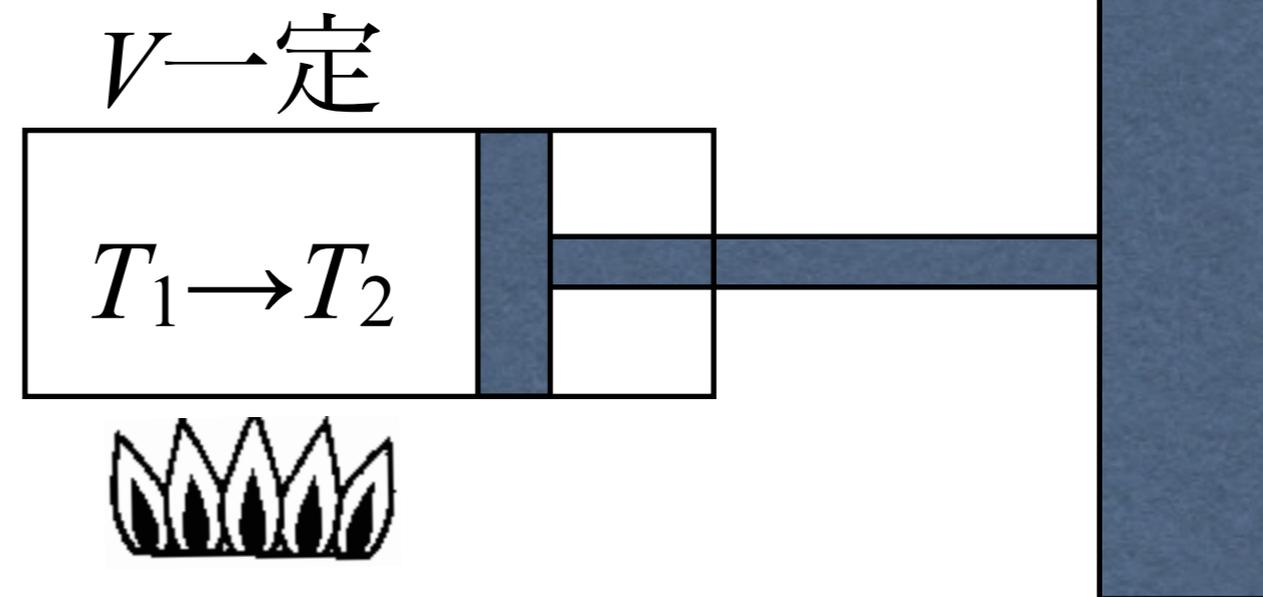


定容過程

isovolume



$$dU = dQ + dW = dQ - P \underbrace{dV}_{=0}$$

$$\left(\frac{dU}{dT}\right)_V = \left(\frac{dQ}{dT}\right)_V \equiv C_V$$

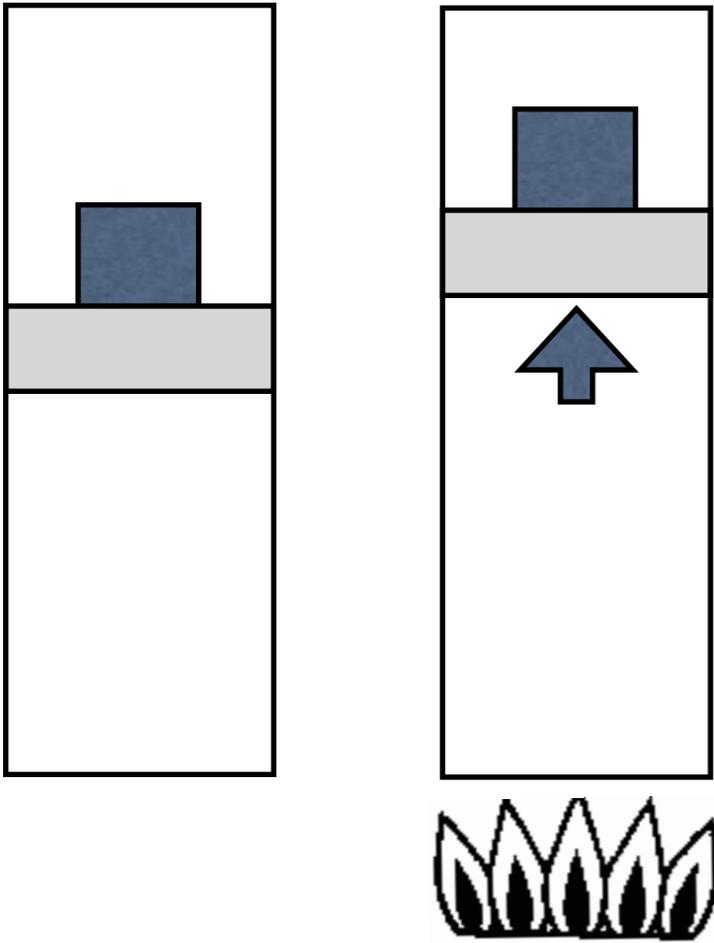
$$dU = C_V dT, \quad \Delta U = \Delta Q = \int_{T_1}^{T_2} C_V dT = C_V (T_2 - T_1)$$

$$dS = \frac{dQ}{T} = C_V \frac{dT}{T}$$

$$\Delta S = C_V \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T} = C_V \ln \frac{T_2}{T_1}$$

$$\Delta H = \Delta(U + PV) = \Delta U + nR\Delta T = (C_V + nR)\Delta T = C_P \Delta T$$

# 等圧過程 isobaric



$$H \equiv U + PV$$

$$dH = dU + d(PV) = dU + PdV + VdP$$

$$(dH)_P = dU + pdV = \delta Q - PdV + PdV = \delta Q$$

$$\left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_P = \left(\frac{\delta Q}{dT}\right)_P \equiv C_P$$

$$H = U + PV = U + nRT$$

$$\left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_P = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_P + nR$$

理想気体では、 $U$ は温度だけの関数

$$= \frac{dU}{dT} + nR$$

$$C_P = C_V + nR$$

## 等圧過程その2 isobaric

$$dH = C_P dT, \quad \Delta H = C_P (T_2 - T_1)$$

$$\Delta H = \Delta(U + PV) = \Delta U + nR\Delta T$$

$$\Delta U = (C_P - nR)\Delta T = C_V \Delta T$$

$$dS = \frac{dQ}{T} = C_P \frac{dT}{T}$$

$$\Delta S = C_P \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T} = C_P \ln \frac{T_2}{T_1}$$

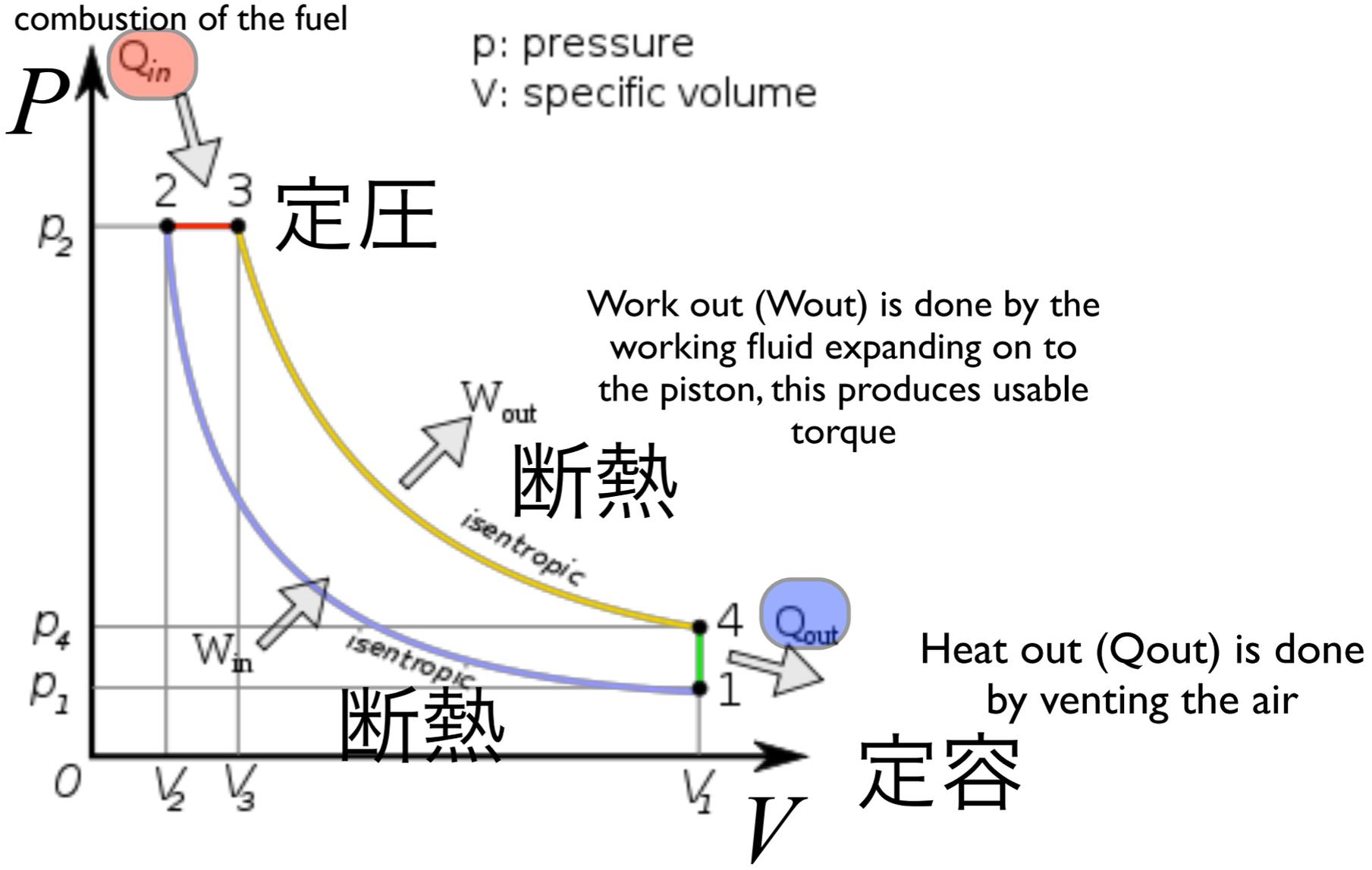
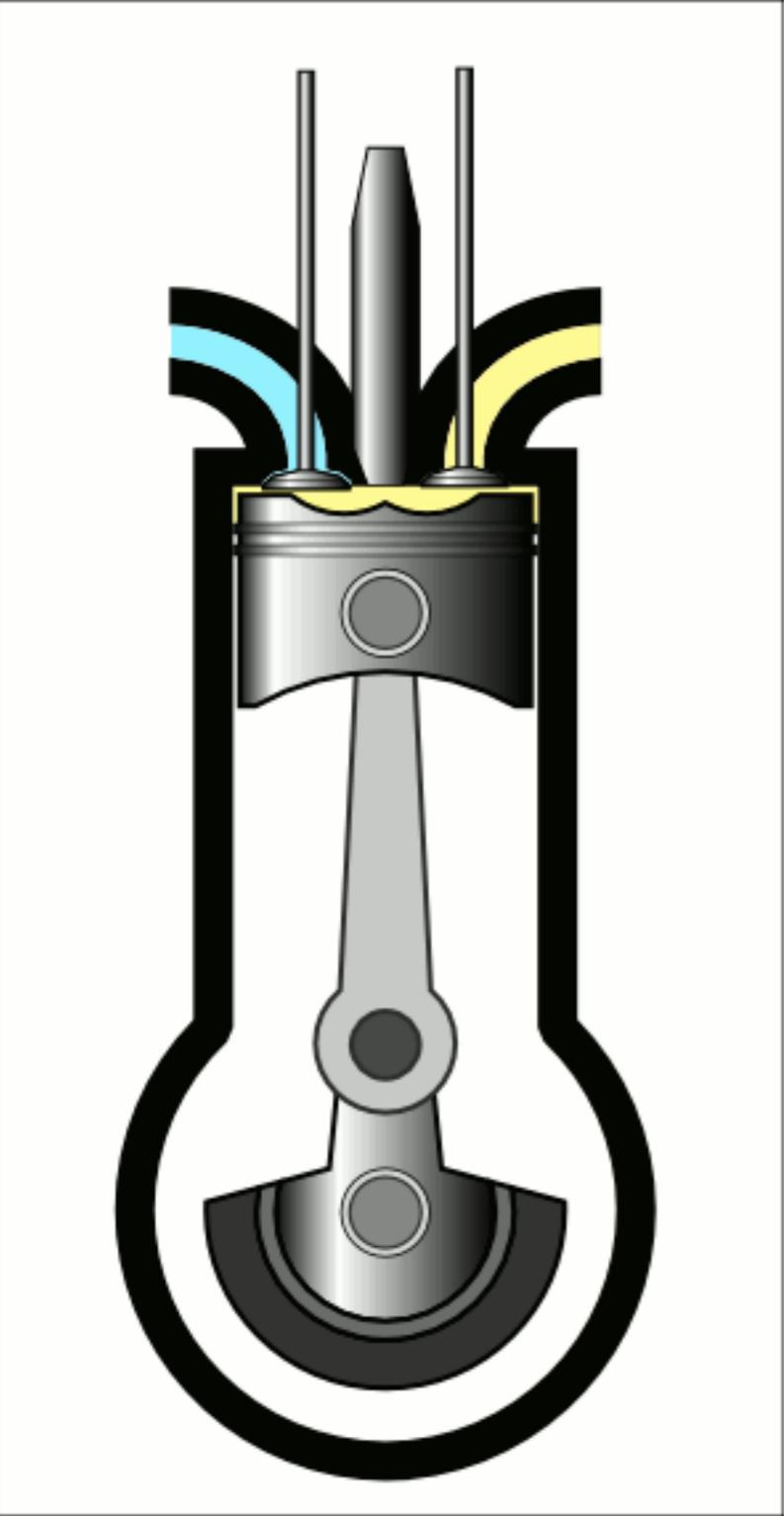
$$P = \frac{nRT_1}{V_1} = \frac{nRT_2}{V_2}, \quad \frac{T_2}{T_1} = \frac{V_2}{V_1}$$

# 熱機関・熱力学サイクル

## 内燃機関・エンジン

機械工学：トヨタのプリウスの開発者が、熱機関のサイクルの計算をしているビデオあり (Project-X)！！

# Diesel Cycle



Work  $W_{in}$ : 断熱圧縮  $T_2 > T_1$  is done by the piston  
 compressing the working fluid

- ディーゼルエンジン 効率 < 40%

圧縮比が高く、燃焼室内の空気過剰率が大きいいため、作動ガスの比熱比が高く熱効率が高いと言われている。ただし、これは大型低速エンジンの場合であり、高速エンジンでは損失も多い。2010年現在の大型船用ディーゼルの熱効率が50%に達するのに対し自動車用ディーゼルの熱効率は40%、ガソリン機関の熱効率が30%程度、ガソリンアトキンソンサイクル機関の熱効率は30%台後半である。

拡散燃焼なので、黒煙やPMが発生しやすいうえに、燃焼室内が高温高圧かつ希薄燃焼域（軽負荷時は30:1から60:1）で酸素と窒素も過多であるためNO<sub>x</sub>も発生しやすい。

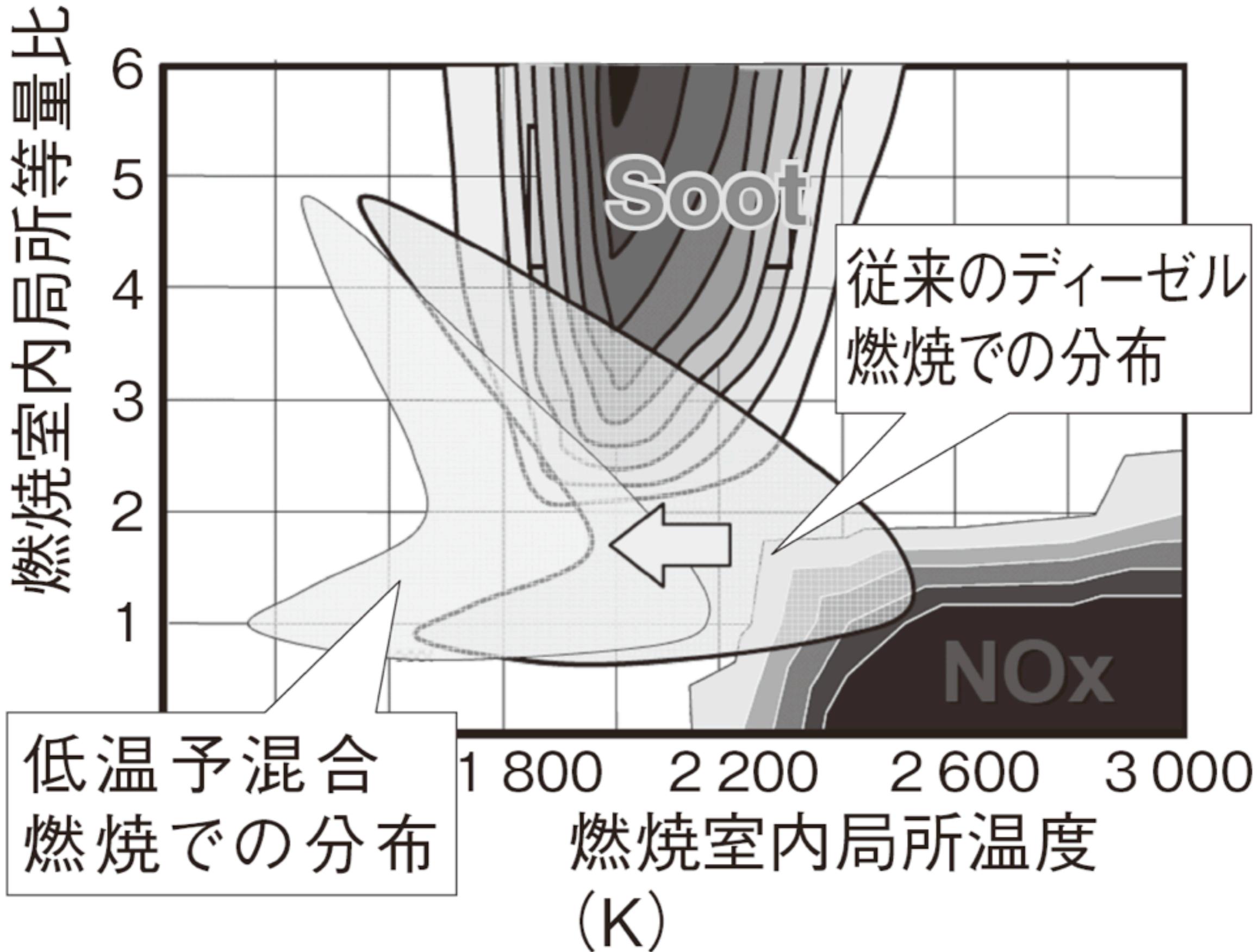
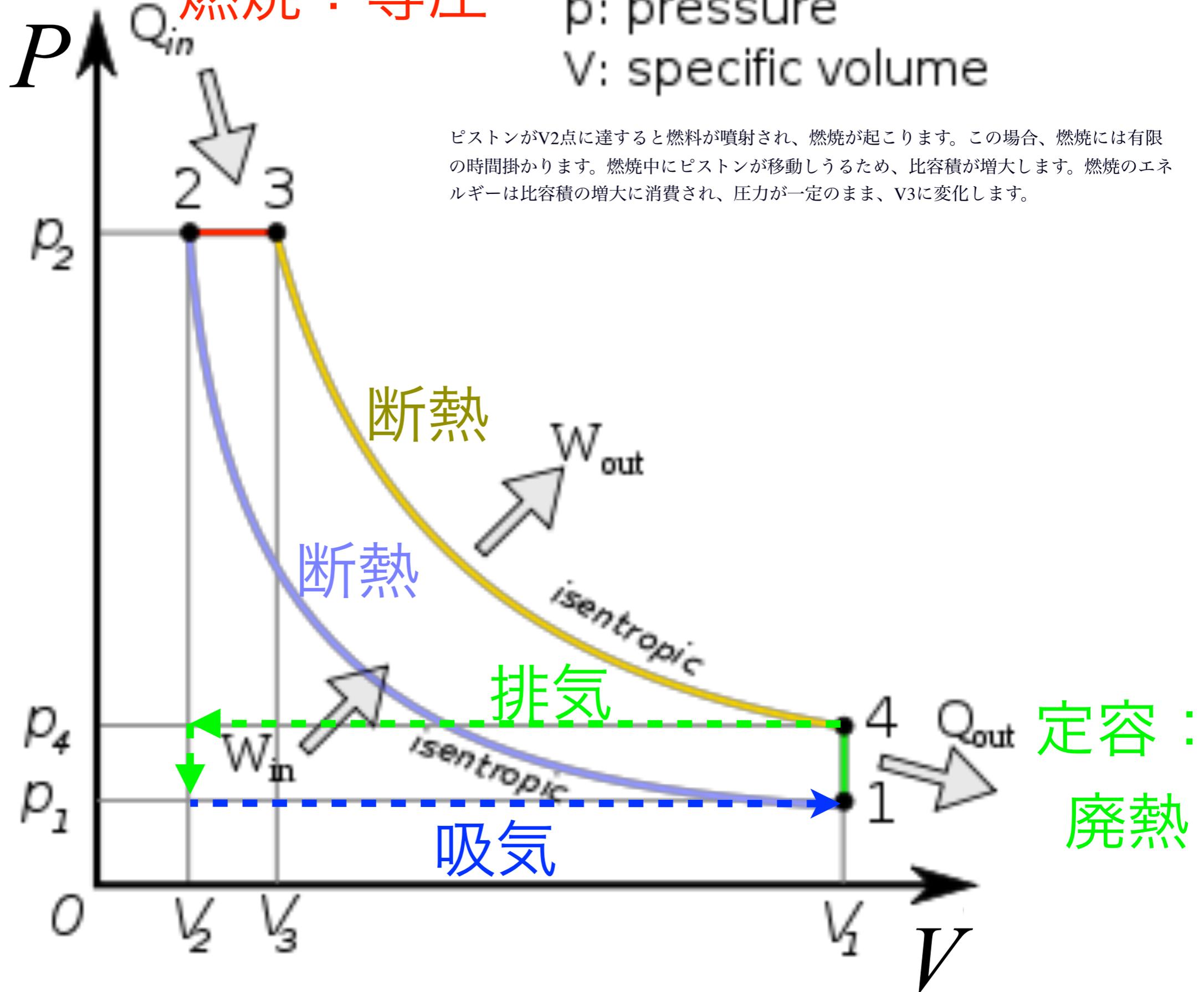


図1 低温予混合燃焼での温度等量比分布

# 燃烧：等压

p: pressure  
V: specific volume

ピストンがV<sub>2</sub>点に達すると燃料が噴射され、燃烧が起こります。この場合、燃烧には有限の時間掛かります。燃烧中にピストンが移動しうるため、比容積が増大します。燃烧のエネルギーは比容積の増大に消費され、圧力が一定のまま、V<sub>3</sub>に変化します。



$$Q_{\text{in}} = C_P(T_3 - T_2), \quad P_2 = nR\frac{T_2}{V_2} = nR\frac{T_3}{V_3}, \quad T_3 = T_2\frac{V_3}{V_2}$$

$$Q_{\text{in}} > 0$$

$$Q_{\text{out}} = C_V(T_1 - T_4), \quad V_1 = nR\frac{T_1}{P_1} = nR\frac{T_4}{P_4}, \quad T_4 = T_1\frac{P_4}{P_1}$$

$$Q_{\text{out}} < 0$$

$$\Delta U_{\text{cycle}} = \Delta Q_{\text{cycle}} + \Delta W_{\text{cycle}} = 0$$

$$-\Delta W_{\text{cycle}} = \Delta Q_{\text{cycle}} = Q_{\text{in}} + Q_{\text{out}} = C_P(T_3 - T_2) + C_V(T_1 - T_4)$$

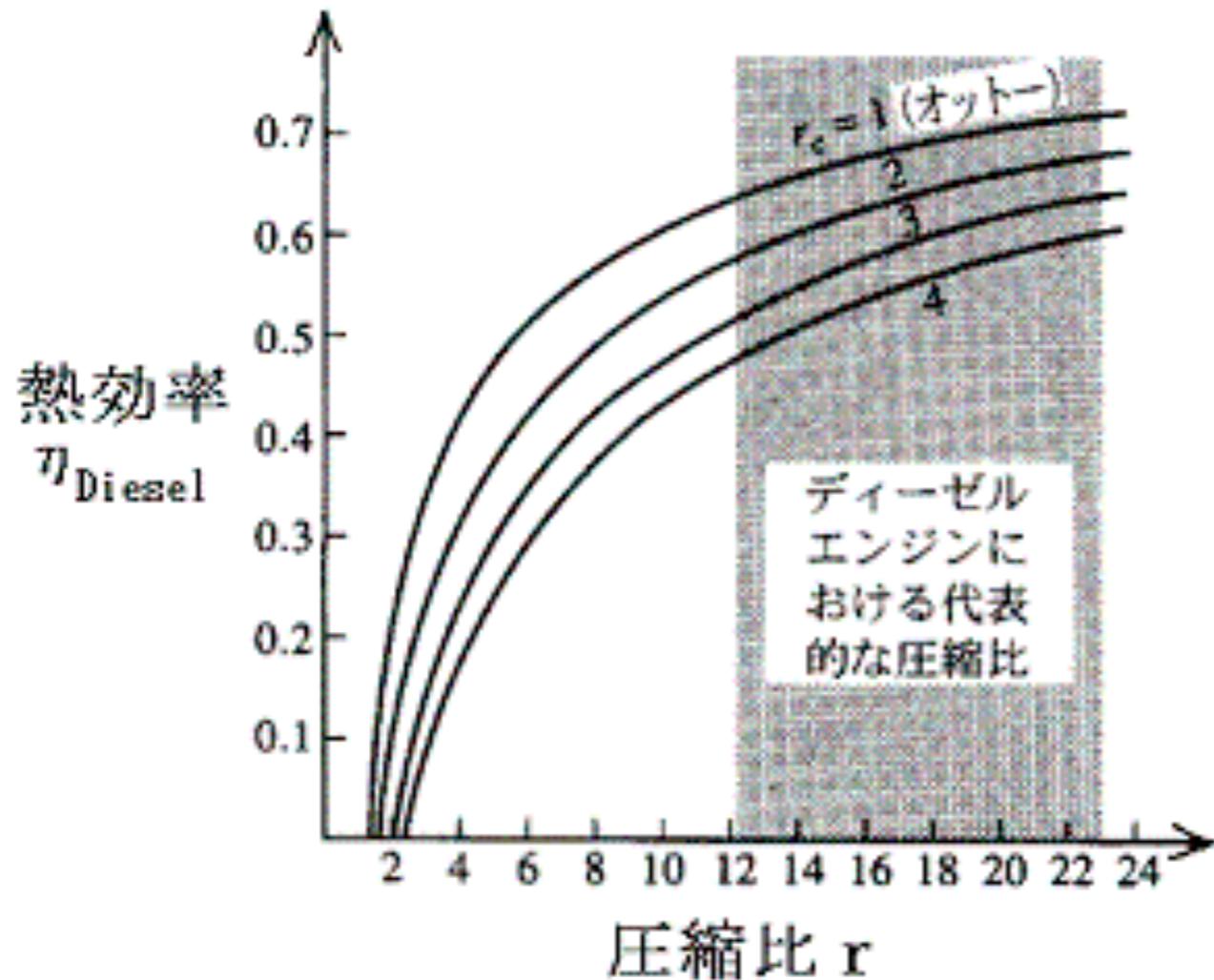
$$\eta = \frac{-\Delta W_{\text{cycle}}}{Q_{\text{in}}} = 1 - \frac{1}{\gamma} \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} = 1 - \frac{1}{\gamma} \frac{V_1(P_4 - P_1)}{P_2(V_3 - V_2)}$$

$$= 1 - \frac{P_4 - P_1}{\gamma P_2 \left( \frac{V_3}{V_1} - \frac{V_2}{V_1} \right)}$$

$$P_1 V_1^\gamma = P_2 V_2^\gamma, \quad P_1 = P_2 \left( \frac{V_2}{V_1} \right)^\gamma$$

$$P_2 V_3^\gamma = P_4 V_1^\gamma, \quad P_4 = P_2 \left( \frac{V_3}{V_1} \right)^\gamma$$

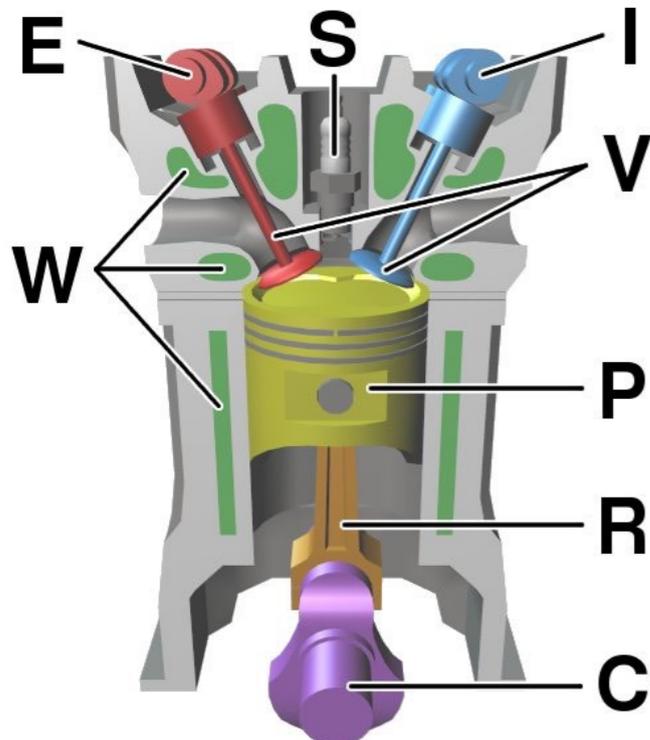
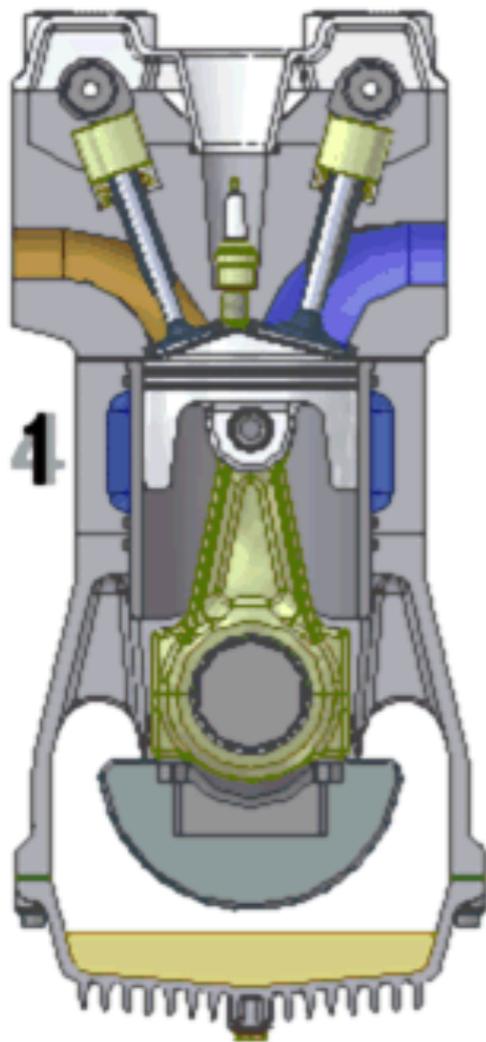
$$\eta = 1 - \frac{\left( \frac{V_3}{V_1} \right)^\gamma - \left( \frac{V_2}{V_1} \right)^\gamma}{\gamma \left( \frac{V_3}{V_1} - \frac{V_2}{V_1} \right)}$$



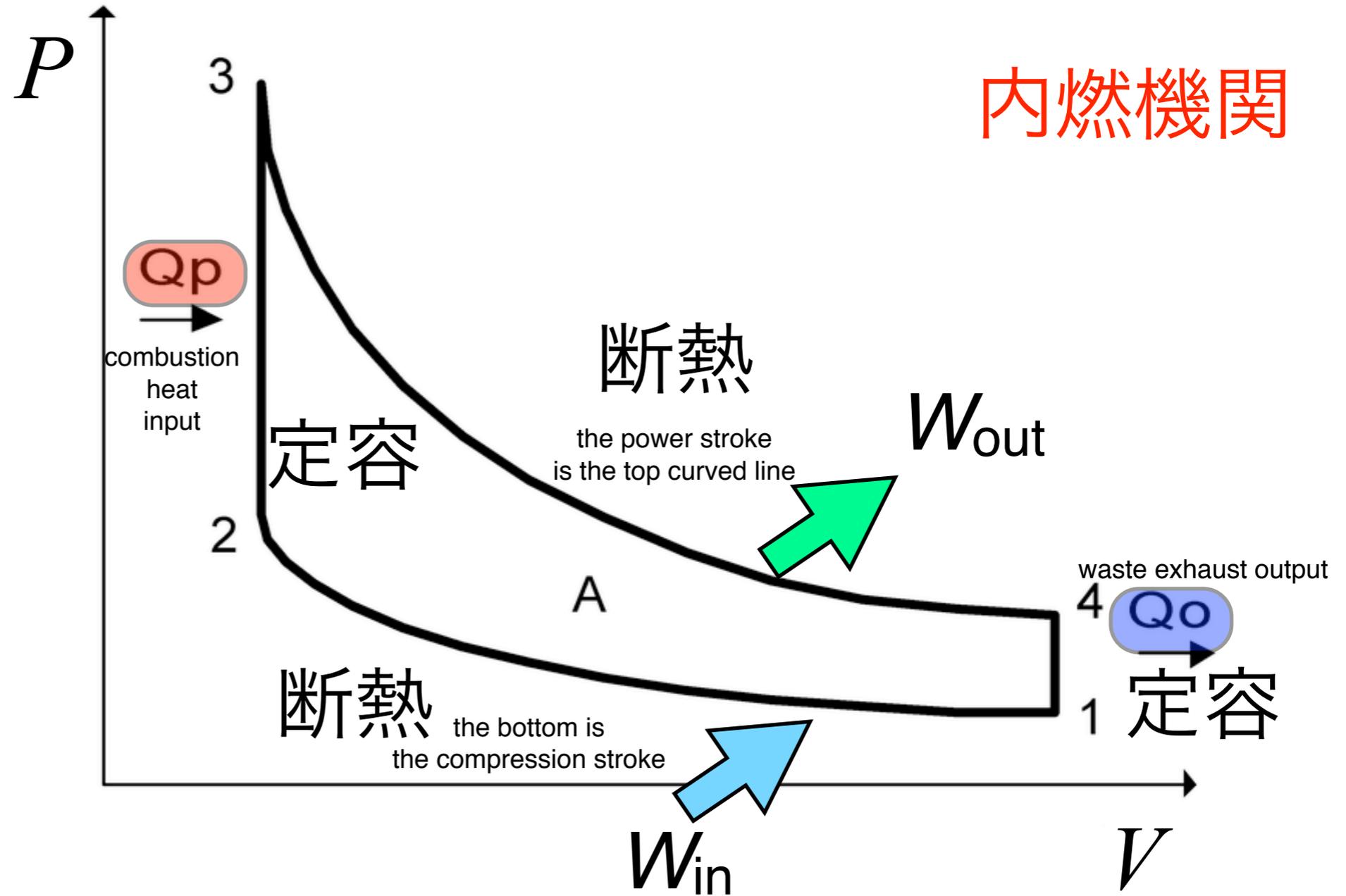
$$r = \frac{V_1}{V_2}, \quad r_c = \frac{V_3}{V_2}$$

# four-stroke ("Otto cycle")

the power stroke is the top curved line, the bottom is the compression stroke



内燃機関



- 1-2. Intake stroke: Air and vaporized fuel are drawn in.
- 2-3. Compression stroke: Fuel vapor and air are compressed and ignited.
- 3-4. Combustion stroke: Fuel combusts and piston is pushed downwards.
- 4-1. Exhaust stroke: Exhaust is driven out.

4ストローク機関のシリンダー周辺構造 C-クランクシャフト E-排気カムシャフト I-吸気カムシャフト P-ピストン R-コネクティングロッド S-点火プラグ V-バルブ 赤:排気用、青:吸気用 W-冷却水ジャケット 灰色部分はシリンダーブロック

● ガソリンエンジン 効率 20%

# フォーストロークガソリンエンジン

$\alpha$ : ガス吸入 (膨張)

A: 断熱圧縮

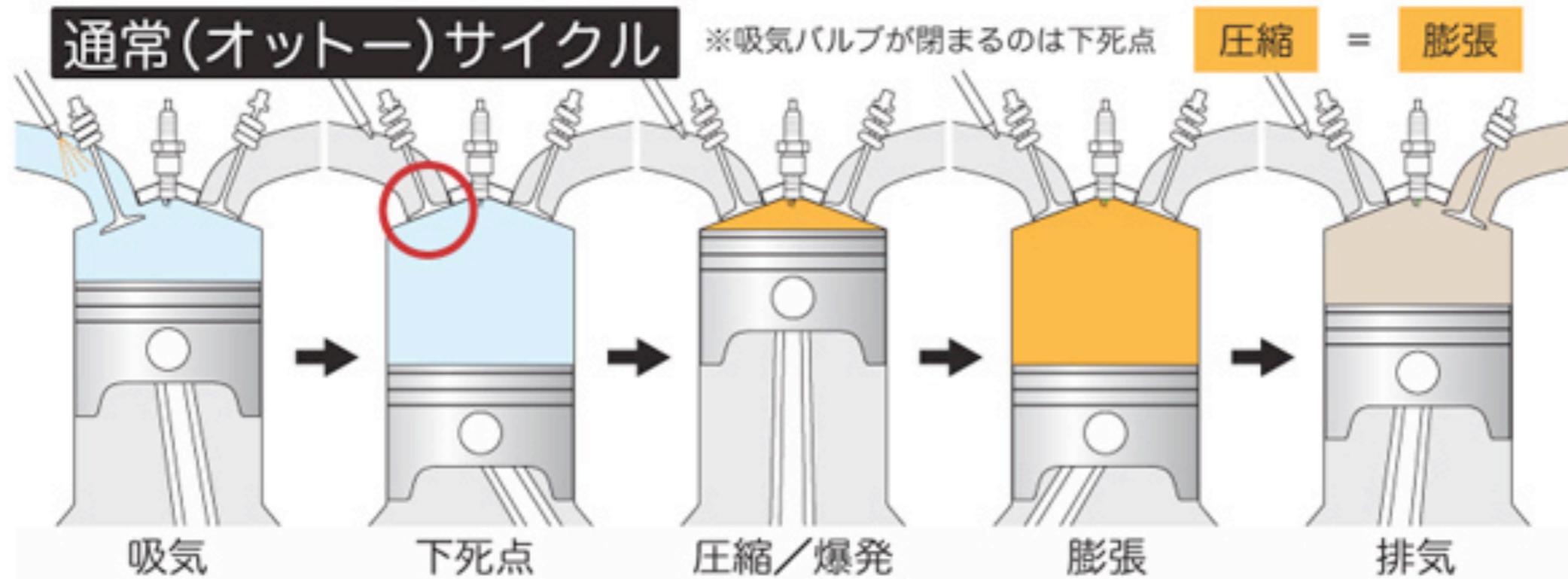
B: スパーク点火  
(定容加熱)

C: 断熱膨張

D: 定容冷却

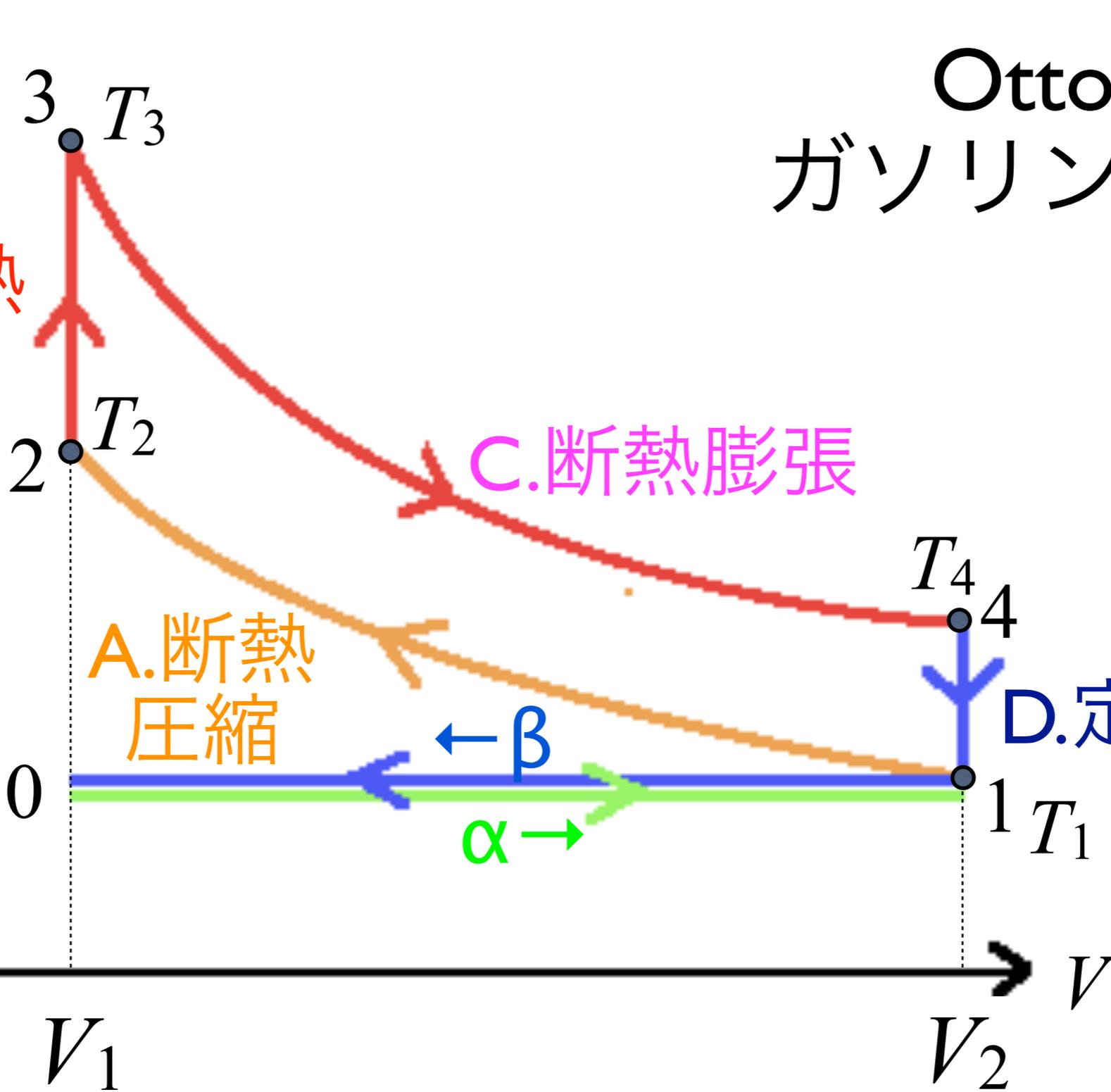
$\beta$ : ガス排出 (圧縮)

膨張二回, 圧縮二回  
計 4 回(4 stroke)



# Otto cycle ガソリンエンジン

B. 定容加熱



A. 断熱  
圧縮

C. 断熱膨張

D. 定容冷却

0

$V_1$

$V_2$

1  $T_1$

$T_4$

4

2  $T_2$

3  $T_3$

図 1

$\alpha \rightarrow$ :  
定圧膨張 (燃料吸入)  $0 \rightarrow 1$ ,

$\leftarrow \beta$ :  
定圧圧縮 (排出)  $1 \rightarrow 0$

はお互いにキャンセルアウト

図1でのABCDのサイクルを考える。 $n$ モルの気体は理想気体でその定容熱容量は $C_V$ である。

問1 熱が発生する（系内に熱が入る）のはどの過程か？

ABCDで解答せよ。また、その時の熱量 $Q_{in}$ を $C_V$ と温度で表せ。熱が系に入ってくる時 $Q_{in} > 0$ である。

問2 熱を系の外に排出するのはどの過程か？ ABCDで解答せよ。また、その時の熱量 $Q_{out}$ を $C_V$ と温度で表せ。熱が系から出ていく時 $Q_{out} < 0$ である。

問3 理想気体の内部エネルギー $U$ は温度だけの関数であり、 $dU = C_V dT$ と書くことができる。A, Cの断熱過程において、 $TV^{\gamma-1} = \text{一定}$ （あるいは $PV^{\gamma} = \text{一定}$ ）であることを  
 $dU = C_V dT = -PdV$ を変数分離し積分して証明せよ。ただし、 $\gamma = C_P / C_V$ で、理想気体の場合 $C_P - C_V = nR$ である。

問4 問3で得られた結果を使って、Aの過程での仕事 $\Delta W$ を  $dW = -PdV$  を積分して求めよ。Cの過程では $\Delta W$ はどうか最終結果のみを示せ。

問5 このサイクルを一周したときの、仕事の総和 $\Delta W_{\text{total}}$ を求めよ。

問6 このサイクルを1周した時の、熱の出入りの総和 $\Delta Q_{\text{total}}$ を求めよ。

問7 このサイクルを1周した時の、内部エネルギー変化 $\Delta U_{\text{total}}$ を求めよ。

問8 このサイクルを1周した時の、エントロピーの変化 $\Delta S_{\text{total}}$ を求めよ。ヒント： $dS = dQ / T$ を積分せよ。

問9 このサイクルの効率 $\eta$ をABCD過程で系に入った熱と外にした仕事で定義せよ。

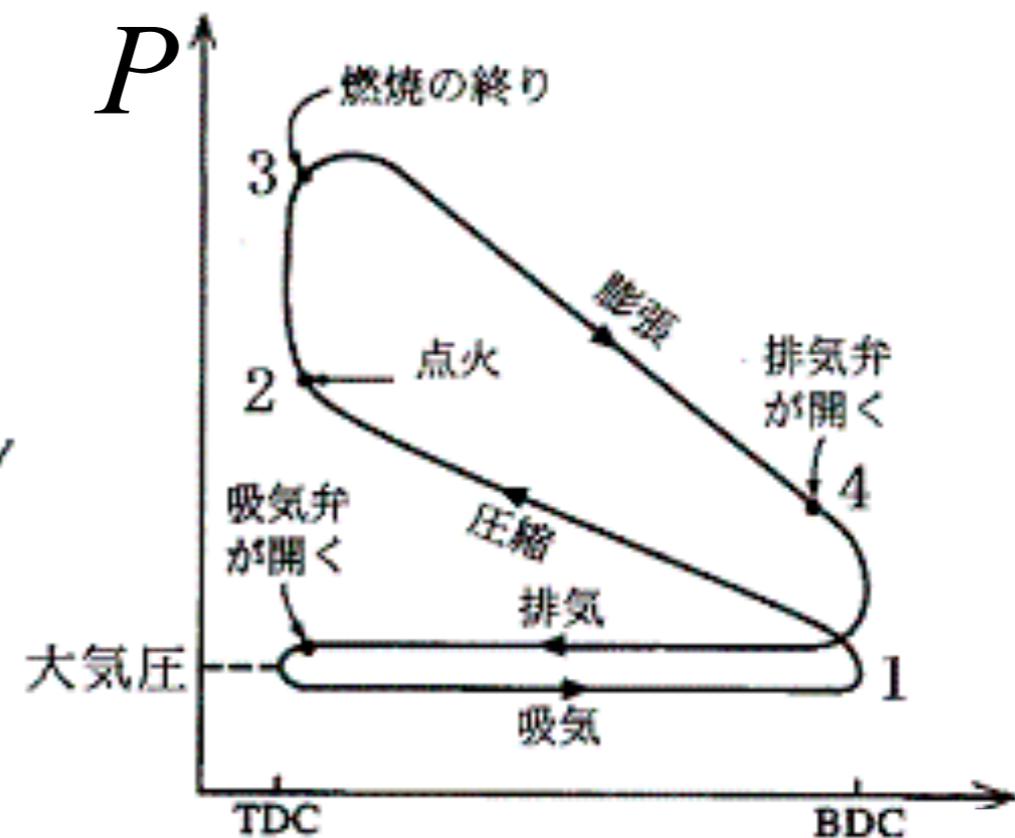
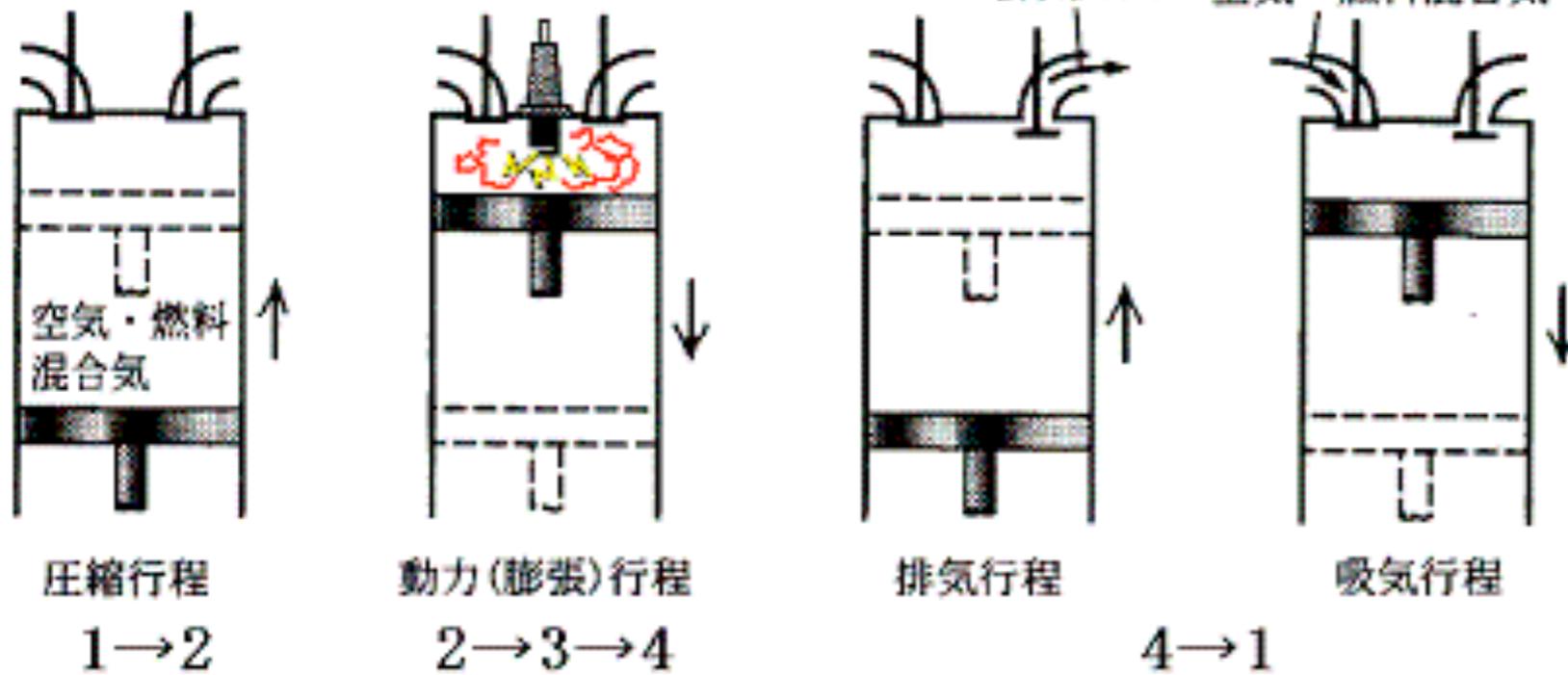
問10 このサイクルの効率 $\eta$ を,  $V_1, V_2, \gamma$ であらわせ。

問11 圧縮比 $V_1/V_2$ が1/10である時, 効率はいくらになるのか数値を求めよ。理想気体の場合  $C_V = (3/2)nR$ である。

問12 ガソリンが気化した空気では $\gamma=1.3$ となる。このときの効率の値を求めよ。圧縮比 $V_1/V_2$ は1/10である。

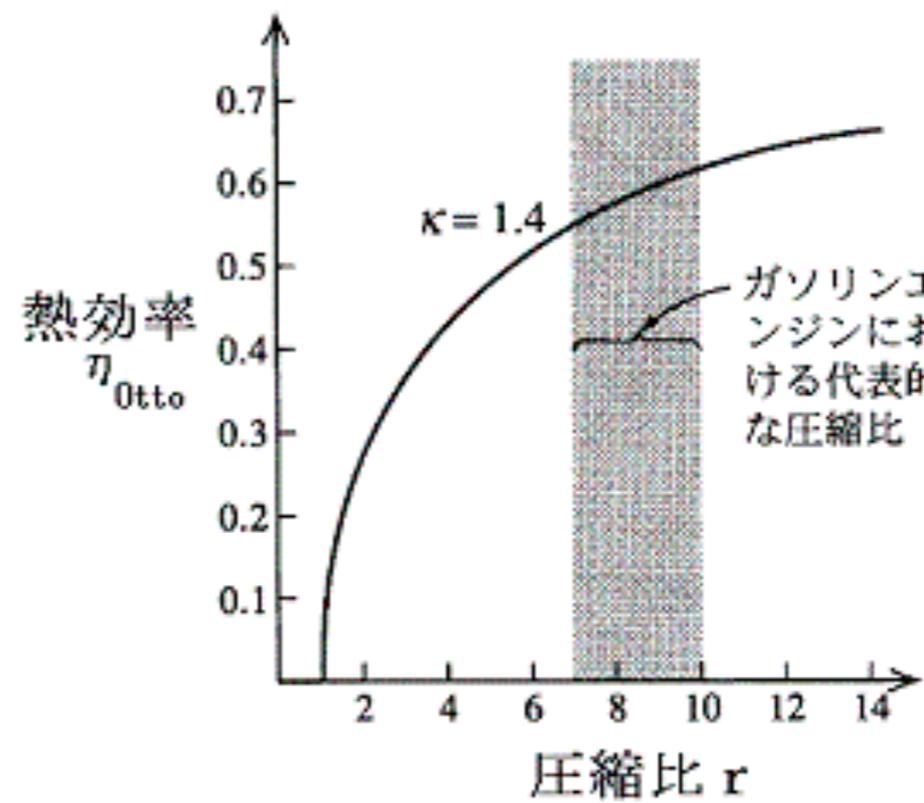
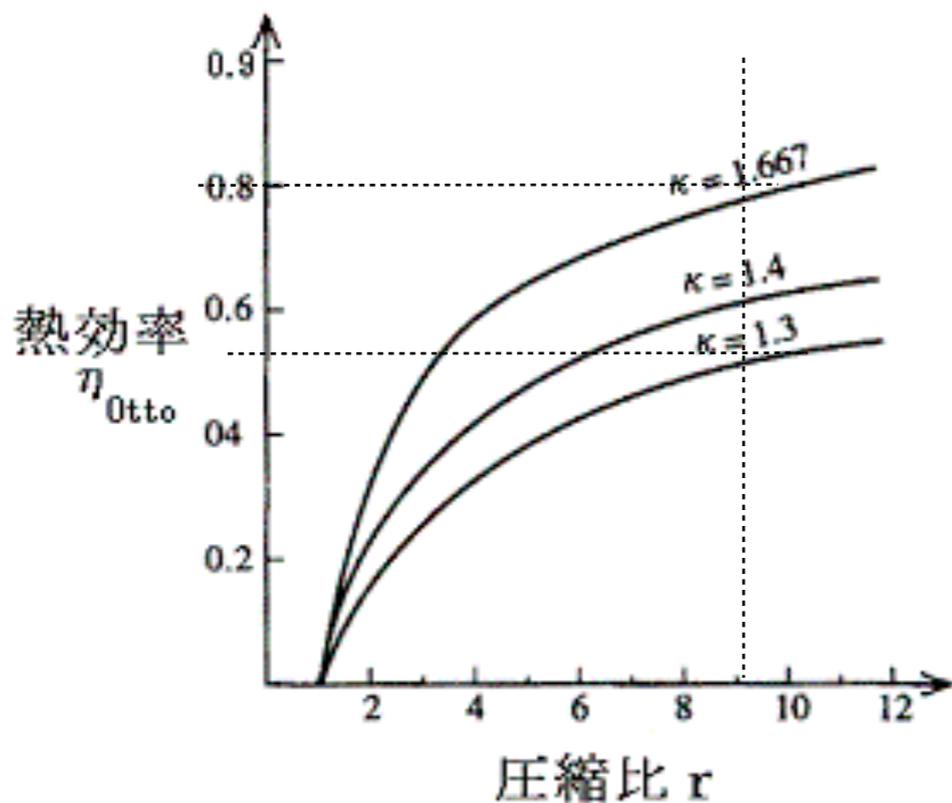
問13 カルノーサイクルで, 高温源 $T_H$ から熱をもらい低温源 $T_L$ に熱を棄てて仕事を取り出す。カルノーサイクルの効率 $\eta_C$ を $T_H$ と $T_L$ で示せ。結果だけ示せ。途中の計算結果は必要ない。

問14 ガソリンエンジンの最高温度2000 Kを $T_H$ とし室温300 Kを $T_L$ として $\eta_C$ を計算せよ。問11で得られた $\eta$ と比較してどちらの効率が高いかを示せ。



[http://fnorio.com/0102heat\\_engine\(gas\\_cycle\)I/heat\\_engine\(gas\\_cycle\)I.htm](http://fnorio.com/0102heat_engine(gas_cycle)I/heat_engine(gas_cycle)I.htm)

かつてのエンジンは圧縮比が8を超える程度だったが、様々な技術改良によって現在はこれを12程度まで上げることができるようになった



ガソリン燃料  $r = 1.3$

燃焼による温度上昇  $\Delta T = 1200\text{ K}$  とした場合 温度の最大瞬間値  $T_{\max}$  は断熱圧縮で上昇した  $T_2$  等の温度に  $\Delta T$  を加えた値になります。  $r = 6 \sim 10$  で  $T_{\max} = 1815 \sim 1953\text{ K}$  となります。  $T_1 = T_0 = \text{大気温度} = 300\text{ K}$  とする。

**解答** ABCDのサイクルを考える。 $n$ モルの気体は理想気体でその定容熱容量は $C_V$ である。

問1 熱が発生する（系内に熱が入る）のはどの過程か？ ABCDで解答せよ。また、その時の熱量 $Q_{in}$ を $C_V$ と温度で表せ。熱が系に入ってくる時 $Q_{in} > 0$ である。

問2 熱を系の外に排出するのはどの過程か？ ABCDで解答せよ。また、その時の熱量 $Q_{out}$ を $C_V$ と温度で表せ。熱が系から出ていく時 $Q_{out} < 0$ である。

**解答** ABCDのサイクルを考える。 $n$ モルの気体は理想気体でその定容熱容量は $C_V$ である。

問1 熱が発生する（系内に熱が入る）のはどの過程か？ ABCD

で解答せよ。また、その時の熱量 $Q_{\text{in}}$ を $C_V$ と温度で表せ。熱

が系に入ってくる時 $Q_{\text{in}} > 0$ である。

**B過程**

$$dU = dQ - \underbrace{P dV}_{=0}$$

(2点+3点)

$$(dU)_V = dQ = \left( \frac{\partial U}{\partial T} \right)_V dT = \left( \frac{\partial Q}{\partial T} \right)_V dT = C_V dT$$

$$\underline{Q_{\text{in}} = C_V (T_3 - T_2)}$$

問2 熱を系の外に排出するのはどの過程か？ ABCDで解答

せよ。また、その時の熱量 $Q_{\text{out}}$ を $C_V$ と温度で表せ。熱が系か

ら出ていく時 $Q_{\text{out}} < 0$ である。

**解答** ABCDのサイクルを考える。 $n$ モルの気体は理想気体でその定容熱容量は $C_V$ である。

問1 熱が発生する（系内に熱が入る）のはどの過程か？ ABCD

で解答せよ。また、その時の熱量 $Q_{\text{in}}$ を $C_V$ と温度で表せ。熱

が系に入ってくる時 $Q_{\text{in}} > 0$ である。

**B過程**

$$dU = dQ - \underbrace{P dV}_{=0}$$

(2点+3点)

$$(dU)_V = dQ = \left( \frac{\partial U}{\partial T} \right)_V dT = \left( \frac{\partial Q}{\partial T} \right)_V dT = C_V dT$$

$$\underline{Q_{\text{in}} = C_V (T_3 - T_2)}$$

問2 熱を系の外に排出するのはどの過程か？ ABCDで解答

せよ。また、その時の熱量 $Q_{\text{out}}$ を $C_V$ と温度で表せ。熱が系か

ら出ていく時 $Q_{\text{out}} < 0$ である。

**D過程**

$$\underline{Q_{\text{out}} = C_V (T_1 - T_4)}$$

(2点+3点)

問3 理想気体の内部エネルギー $U$ は温度だけの関数であり、 $dU=C_V dT$ と書くことができる。**A**,**C**の断熱過程において、 $TV^{\gamma-1} = \text{一定}$ （あるいは $PV^{\gamma} = \text{一定}$ ）であることを $dU=C_V dT=-PdV$ を変数分離し積分して証明せよ。ただし、 $\gamma = C_P/C_V$ で、理想気体の場合 $C_P - C_V = nR$ である。

問3 理想気体の内部エネルギー $U$ は温度だけの関数であり、 $dU=C_V dT$ と書くことができる。**A, C**の断熱過程において、 $TV^{\gamma-1} = \text{一定}$ （あるいは $PV^\gamma = \text{一定}$ ）であることを $dU=C_V dT=-PdV$ を変数分離し積分して証明せよ。ただし、 $\gamma = C_P/C_V$ で、理想気体の場合 $C_P - C_V = nR$ である。

$$dU = \underbrace{dQ}_{=0} - PdV = -\frac{nRT}{V}dV = C_V dT$$

$$\frac{C_V}{nR} \frac{dT}{T} = -\frac{dV}{V}, \quad \frac{d \ln T}{dT} = \frac{1}{T}$$

$$\frac{C_V}{nR} d(\ln T) = -d(\ln V), \quad d\left(\frac{C_V}{nR} \ln T\right) = d(-\ln V)$$

$$d(\ln T^{\frac{C_V}{nR}}) = d(\ln \frac{1}{V}), \quad \ln T^{\frac{C_V}{nR}} = \ln \frac{1}{V} + \underbrace{C''}_{=\ln C'}$$

$$T^{\frac{C_V}{nR}} = \frac{C'}{V}, \quad VT^{\frac{C_V}{nR}} = C', \quad (V^{\frac{nR}{C_V}} T)^{\frac{C_V}{nR}} = C'$$

$$V^{\frac{nR}{C_V}} T = C, \quad \frac{nR}{C_V} = \frac{C_P - C_V}{C_V} = \gamma - 1$$

$$TV^{\gamma-1} = C$$

(10点)

# Poissonの関係式

$$T^c V = \text{const.}$$

$$PV = nRT$$

$$P^c V^{c+1} = \text{const.}$$

$$PV^{1+c^{-1}} = PV^\gamma = \text{const.}$$

$$\gamma = 1 + c^{-1}$$

$$\begin{aligned} \gamma &= 1 + c^{-1} = 1 + \frac{nR}{C_V} \\ &= \frac{C_V + nR}{C_V} = \frac{C_P}{C_V} \quad (> 1) \end{aligned}$$

問4 問3で得られた結果を使って, A,Cの過程での仕事 $\Delta W$ を  $dW = -PdV$  を積分して求めよ。Cの過程での仕事 $\Delta W$ はどのようなのか最終結果だけ示せ。

A:

問4 問3で得られた結果を使って, A,Cの過程での仕事 $\Delta W$ を  $dW = -PdV$  を積分して求めよ。Cの過程での仕事 $\Delta W$ はどうなるのか最終結果だけ示せ。

A:

$$TV^{\gamma-1} = T_1V_2^{\gamma-1} = T_2V_1^{\gamma-1}$$

$$dW = -PdV = -\frac{nRT}{V}dV = -nRT_1V_2^{\gamma-1} \frac{1}{V^{\gamma-1}V}dV$$

$$= -nRT_1V_2^{\gamma-1}V^{-\gamma}dV$$

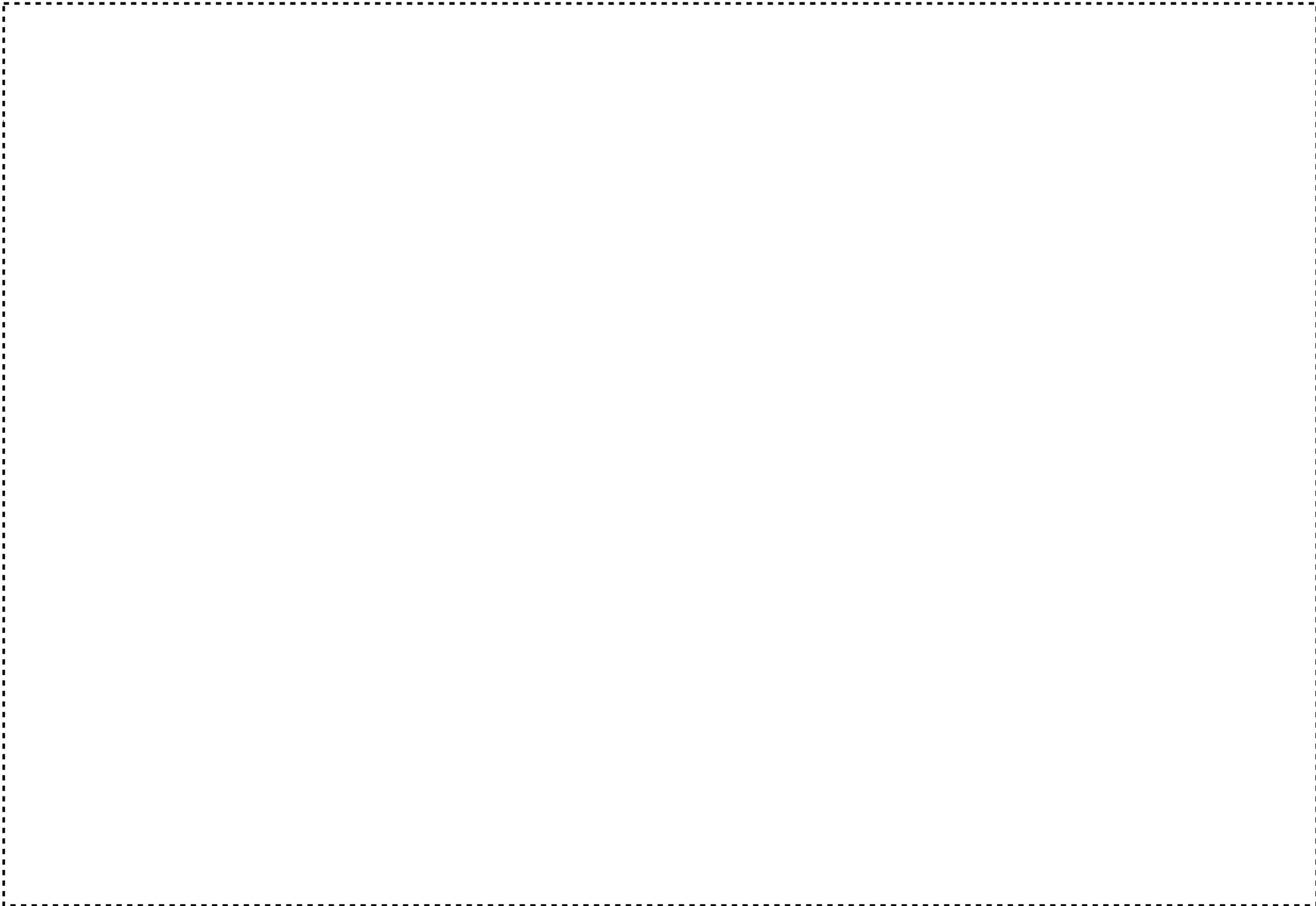
$$\Delta W_A = -nRT_1V_2^{\gamma-1} \int_{V_2}^{V_1} V^{-\gamma}dV = -nRT_1V_2^{\gamma-1} \left[ \frac{1}{-\gamma+1} V^{-\gamma+1} \right]_{V_2}^{V_1}$$

$$= \frac{nRT_1V_2^{\gamma-1}}{\gamma-1} (V_1^{-\gamma+1} - V_2^{-\gamma+1})$$

$$= \frac{nR}{\gamma-1} (T_2V_1^{\gamma-1}V_1^{-\gamma+1} - T_1V_2^{\gamma-1}V_2^{-\gamma+1})$$

$$= \frac{nR}{C_P/C_V - 1} (T_2 - T_1) = \frac{nRC_V}{C_P - C_V} (T_2 - T_1) = C_V(T_2 - T_1)$$

(10点 最後の答えだけは5点)



C:

同様に

$$TV^{\gamma-1} = T_3V_1^{\gamma-1} = T_4V_2^{\gamma-1}$$

$$dW = -PdV = -\frac{nRT}{V}dV = -nRT_3V_1^{\gamma-1}\frac{1}{V^{\gamma-1}V}dV$$

$$= -nRT_3V_1^{\gamma-1}V^{-\gamma}dV$$

$$\Delta W_C = -nRT_3V_1^{\gamma-1} \int_{V_1}^{V_2} V^{-\gamma}dV = -nRT_3V_1^{\gamma-1} \left[ \frac{1}{-\gamma+1} V^{-\gamma+1} \right]_{V_1}^{V_2}$$

$$= \frac{nRT_3V_1^{\gamma-1}}{\gamma-1} (V_2^{-\gamma+1} - V_1^{-\gamma+1})$$

$$= \frac{nR}{\gamma-1} (T_4V_2^{\gamma-1}V_2^{-\gamma+1} - T_3V_1^{\gamma-1}V_1^{-\gamma+1})$$

$$= \frac{nR}{C_P/C_V - 1} (T_4 - T_3) = \frac{nRC_V}{C_P - C_V} (T_4 - T_3) = C_V(T_4 - T_3)$$

(5点)

問5 このサイクルを一周したときの，仕事の総和 $\Delta W_{\text{total}}$ を求めよ。

問6 このサイクルを1周した時の，熱の出入りの総和 $\Delta Q_{\text{total}}$ を求めよ。

問7 このサイクルを1周した時の，内部エネルギー変化 $\Delta U_{\text{total}}$ を求めよ。

問5 このサイクルを一周したときの，仕事の総和 $\Delta W_{\text{total}}$ を求めよ。

等容過程では， $dV = 0$ なので $dW = -PdV = 0$

$$\Delta W_{\text{total}} = \Delta W_A + \Delta W_C = C_V (T_2 - T_1 + T_4 - T_3) \quad (10 \text{点})$$

問6 このサイクルを1周した時の，熱の出入りの総和 $\Delta Q_{\text{total}}$ を求めよ。

問7 このサイクルを1周した時の，内部エネルギー変化 $\Delta U_{\text{total}}$ を求めよ。

問5 このサイクルを一周したときの，仕事の総和 $\Delta W_{\text{total}}$ を求めよ。

等容過程では， $dV = 0$ なので $dW = -PdV = 0$

$$\Delta W_{\text{total}} = \Delta W_A + \Delta W_C = C_V (T_2 - T_1 + T_4 - T_3) \quad (10 \text{点})$$

問6 このサイクルを1周した時の，熱の出入りの総和 $\Delta Q_{\text{total}}$ を求めよ。

断熱過程では $dQ = 0$ ， $\Delta Q_{\text{total}} = C_V (T_3 - T_2 + T_1 - T_4)$

(10点)

問7 このサイクルを1周した時の，内部エネルギー変化 $\Delta U_{\text{total}}$ を求めよ。



問5 このサイクルを一周したときの，仕事の総和 $\Delta W_{\text{total}}$ を求めよ。

等容過程では， $dV = 0$ なので $dW = -PdV = 0$

$$\Delta W_{\text{total}} = \Delta W_A + \Delta W_C = C_V (T_2 - T_1 + T_4 - T_3) \quad (10 \text{点})$$

問6 このサイクルを1周した時の，熱の出入りの総和 $\Delta Q_{\text{total}}$ を求めよ。

断熱過程では $dQ = 0$ ， $\Delta Q_{\text{total}} = C_V (T_3 - T_2 + T_1 - T_4)$

$$(10 \text{点})$$

問7 このサイクルを1周した時の，内部エネルギー変化 $\Delta U_{\text{total}}$ を求めよ。

$$\Delta U_{\text{total}} = \Delta Q_{\text{total}} + \Delta W_{\text{total}} = 0$$

(5点)

問8 このサイクルを1周した時の、エントロピーの変化  $\Delta S_{\text{total}}$  を求めよ。ヒント： $dS = dQ / T$ を積分せよ。

問8 このサイクルを1周した時の、エントロピーの変化  $\Delta S_{\text{total}}$  を求めよ。ヒント： $dS = dQ / T$ を積分せよ。

断熱過程では $dQ = 0$ なので $dS = 0$

$$dS = \frac{dQ}{T} = C_V \frac{dT}{T}$$

$$\Delta S_B = C_V \int_{T_2}^{T_3} \frac{1}{T} dT = C_V \ln \frac{T_3}{T_2}$$

$$\Delta S_D = C_V \int_{T_4}^{T_1} \frac{1}{T} dT = C_V \ln \frac{T_1}{T_4}$$

$$\Delta S_{\text{total}} = \Delta S_B + \Delta S_D = C_V \ln \frac{T_3 T_1}{T_2 T_4}$$

$$\frac{T_1}{T_2} = \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1}, \quad \frac{T_3}{T_4} = \left( \frac{V_2}{V_1} \right)^{\gamma-1}$$

$$\frac{T_3 T_1}{T_2 T_4} = 1, \quad \Delta S_{\text{total}} = 0$$

(10点 最後の答えだけは2点)

問9 このサイクルの効率 $\eta$ をABCD過程で系に入った熱と外に

した仕事で定義せよ

問10 このサイクルの効率 $\eta$ を,  $V_1, V_2, \gamma$ であらわせ。

問9 このサイクルの効率 $\eta$ をABCD過程で系に入った熱と外にした仕事で定義せよ。

$$\eta = -\Delta W_{\text{total}} / Q_{\text{in}}$$

(5点)

問10 このサイクルの効率 $\eta$ を,  $V_1, V_2, \gamma$ であらわせ。

問9 このサイクルの効率 $\eta$ をABCD過程で系に入った熱と外にした仕事で定義せよ。

$$\eta = -\Delta W_{\text{total}} / Q_{\text{in}}$$

(5点)

問10 このサイクルの効率 $\eta$ を,  $V_1, V_2, \gamma$ であらわせ。

$$\begin{aligned}\eta &= -C_V (T_2 - T_1 + T_4 - T_3) / C_V (T_3 - T_2) \\ &= (T_3 - T_2 + T_1 - T_4) / (T_3 - T_2) = 1 + (T_1 - T_4) / (T_3 - T_2)\end{aligned}$$

$$T_1 = T_2 \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1}, \quad T_4 = T_3 \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1}$$

$$1 + \frac{T_1 - T_4}{T_3 - T_2} = 1 + \frac{T_2 - T_3}{T_3 - T_2} \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1}$$

$$\eta = 1 - \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1}$$

(5点 最後の答えだけは1点)

問11 圧縮比 $V_1/V_2$ が $1/10$ である時、効率はいくらになるのか

数値を求めよ。理想気体の場合  $C_p = (2/2)R$  である

問12 ガソリンが気化した空気では $\gamma=1.3$ となる。このときの効率の値を求めよ。圧縮比 $V_1/V_2$ は $1/10$ である。

問13 カルノーサイクルで、高温源 $T_H$ から熱をもらい低温源 $T_L$ に熱を棄てて仕事を取り出す。カルノーサイクルの効率 $\eta_c$ を $T_H$ と $T_L$ で示せ。結果だけ示せ。途中の計算結果は必要ない。

問14 ガソリンエンジンの最高温度 $2000\text{ K}$ を $T_H$ とし至温 $300\text{ K}$ を $T_L$ として $\eta_c$ を計算せよ。問11で得られた $\eta$ と比較してどちらの効率が高いかを示せ。

問11 圧縮比 $V_1/V_2$ が1/10である時, 効率はいくらになるのか  
数値を求めよ。理想気体の場合  $C_V = (3/2)nR$ である。

(5点)

$$\gamma - 1 = nR/C_V = 2/3 = 0.666666.. \quad \eta = 1 - 0.1^{2/3} = 0.785$$

問12 ガソリンが気化した空気では $\gamma=1.3$ となる。このときの  
効率の値を求めよ。圧縮比 $V_1/V_2$ は1/10である。

問13 カルノーサイクルで, 高温源 $T_H$ から熱をもらい低温源 $T_L$   
に熱を棄てて仕事を取り出す。カルノーサイクルの効率 $\eta_c$ を  
 $T_H$ と $T_L$ で示せ。結果だけ示せ。途中の計算結果は必要ない。

問14 ガソリンエンジンの最高温度2000 Kを $T_H$ とし至温300 Kを  
 $T_L$ として $\eta_c$ を計算せよ。問11で得られた $\eta$ と比較してどちら  
の効率が高いかを示せ。

問11 圧縮比 $V_1/V_2$ が1/10である時、効率はいくらになるのか  
数値を求めよ。理想気体の場合  $C_V = (3/2)nR$ である。 (5点)

$$\gamma - 1 = nR/C_V = 2/3 = 0.666666.. \quad \eta = 1 - 0.1^{2/3} = 0.785$$

問12 ガソリンが気化した空気では $\gamma=1.3$ となる。このときの  
効率の値を求めよ。 圧縮比 $V_1/V_2$ は1/10である。

$$\eta = 1 - 0.1^{0.3} = 0.498 \quad (5点)$$

問13 カルノーサイクルで、高温源 $T_H$ から熱をもらい低温源 $T_L$   
に熱を棄てて仕事を取り出す。カルノーサイクルの効率 $\eta_c$ を  
 $T_H$ と $T_L$ で示せ。 結果だけ示せ。途中の計算結果は必要ない。

問14 ガソリンエンジンの最高温度2000 Kを $T_H$ とし至温300 Kを  
 $T_L$ として $\eta_c$ を計算せよ。問11で得られた $\eta$ と比較してどちら  
の効率が高いかを示せ。

問11 圧縮比 $V_1/V_2$ が1/10である時, 効率はいくらになるのか  
数値を求めよ。理想気体の場合  $C_V = (3/2)nR$ である。 (5点)

$$\gamma - 1 = nR/C_V = 2/3 = 0.666666.. \quad \eta = 1 - 0.1^{2/3} = 0.785$$

問12 ガソリンが気化した空気では $\gamma=1.3$ となる。このときの  
効率の値を求めよ。 圧縮比 $V_1/V_2$ は1/10である。

$$\eta = 1 - 0.1^{0.3} = 0.498 \quad (5点)$$

問13 カルノーサイクルで, 高温源 $T_H$ から熱をもらい低温源 $T_L$   
に熱を棄てて仕事を取り出す。カルノーサイクルの効率 $\eta_c$ を  
 $T_H$ と $T_L$ で示せ。 結果だけ示せ。途中の計算結果は必要ない。

$$\eta_c = 1 - T_L/T_H \quad (5点)$$

問14 ガソリンエンジンの最高温度2000 Kを $T_H$ とし室温300 Kを  
 $T_L$ として $\eta_c$ を計算せよ。問11で得られた $\eta$ と比較してどちら  
の効率が高いかを示せ。



問11 圧縮比 $V_1/V_2$ が1/10である時, 効率はいくらになるのか  
数値を求めよ。理想気体の場合  $C_V = (3/2)nR$ である。 (5点)

$$\gamma - 1 = nR/C_V = 2/3 = 0.666666.. \quad \eta = 1 - 0.1^{2/3} = 0.785$$

問12 ガソリンが気化した空気では $\gamma=1.3$ となる。このときの  
効率の値を求めよ。 圧縮比 $V_1/V_2$ は1/10である。

$$\eta = 1 - 0.1^{0.3} = 0.498 \quad (5点)$$

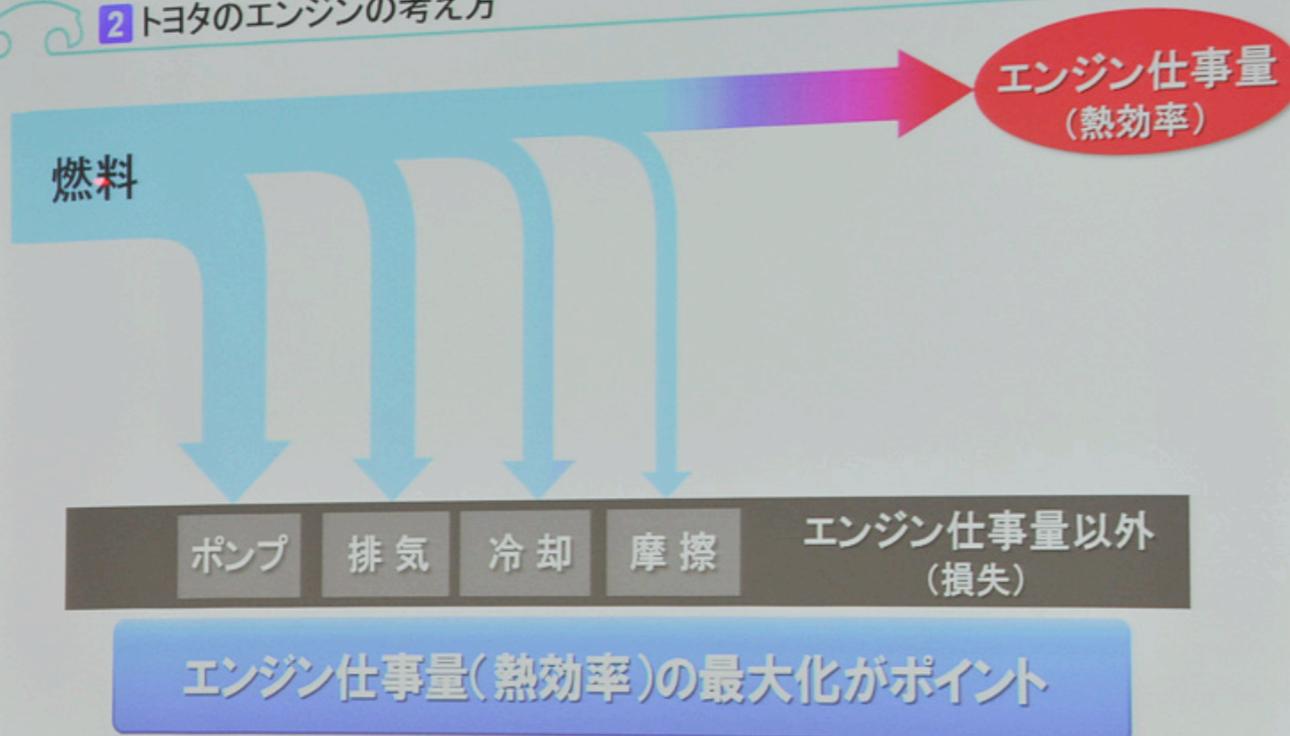
問13 カルノーサイクルで, 高温源 $T_H$ から熱をもらい低温源 $T_L$   
に熱を棄てて仕事を取り出す。カルノーサイクルの効率 $\eta_c$ を  
 $T_H$ と $T_L$ で示せ。 結果だけ示せ。途中の計算結果は必要ない。

$$\eta_c = 1 - T_L/T_H \quad (5点)$$

問14 ガソリンエンジンの最高温度2000 Kを $T_H$ とし室温300 Kを  
 $T_L$ として $\eta_c$ を計算せよ。問11で得られた $\eta$ と比較してどちら  
の効率が高いかを示せ。  $\eta_c = 1 - 300/2000 = 0.85, \eta_c > \eta$

(5点)

## 2 トヨタのエンジンの考え方



## 4 1.3ℓ ガソリンエンジン

- 燃焼改良**
- 急速燃焼
    - 高性能・高タンブルポート
  - 高圧縮比(13.5)
    - 圧縮比バラツキ低減(燃焼室容積公差縮小etc)
    - 大量クールドEGR
    - 新構造ウォータージャケットスペーサー
    - 4-2-1 排気管
- 損失低減**
- ポンピングロス・冷損低減
    - アトキンソンサイクル
    - 大量クールドEGR
    - VVT-iE (電動-VVT) (電動可変バルブタイミング機構)
  - 低フリクション
    - ピストンスカート表面改質
    - 新構造ウォータージャケットスペーサー
    - 樹脂コートベアリング
    - 低フリクションチェーン
    - 曲げロス低減補機ベルト

**最大熱効率:38%**



Rewarded with a smile

TOYOTA

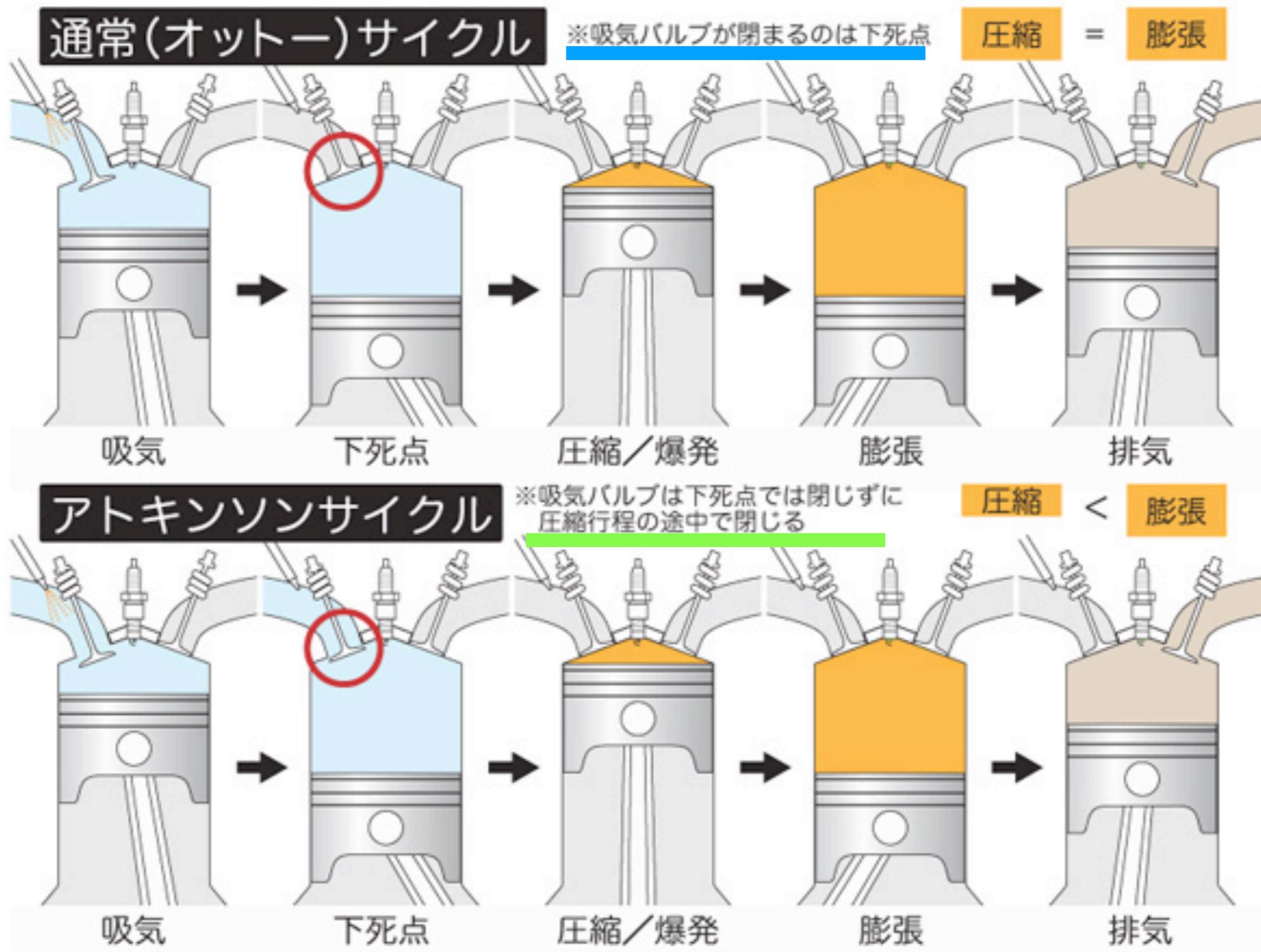
## 3 高熱効率・低燃費エンジン群

		HV用エンジンに 織り込んできた技術	コンベエンジンで 磨き上げた技術
燃焼改良	1 急速燃焼		●
	2 高圧縮比化	●	●
損失低減	3 ポンピングロス低減		
	1 アトキンソンサイクル	●	
	2 大量クールドEGR	●	
	4 低フリクション	●	●

● :織り込み、磨き上げてきた技術

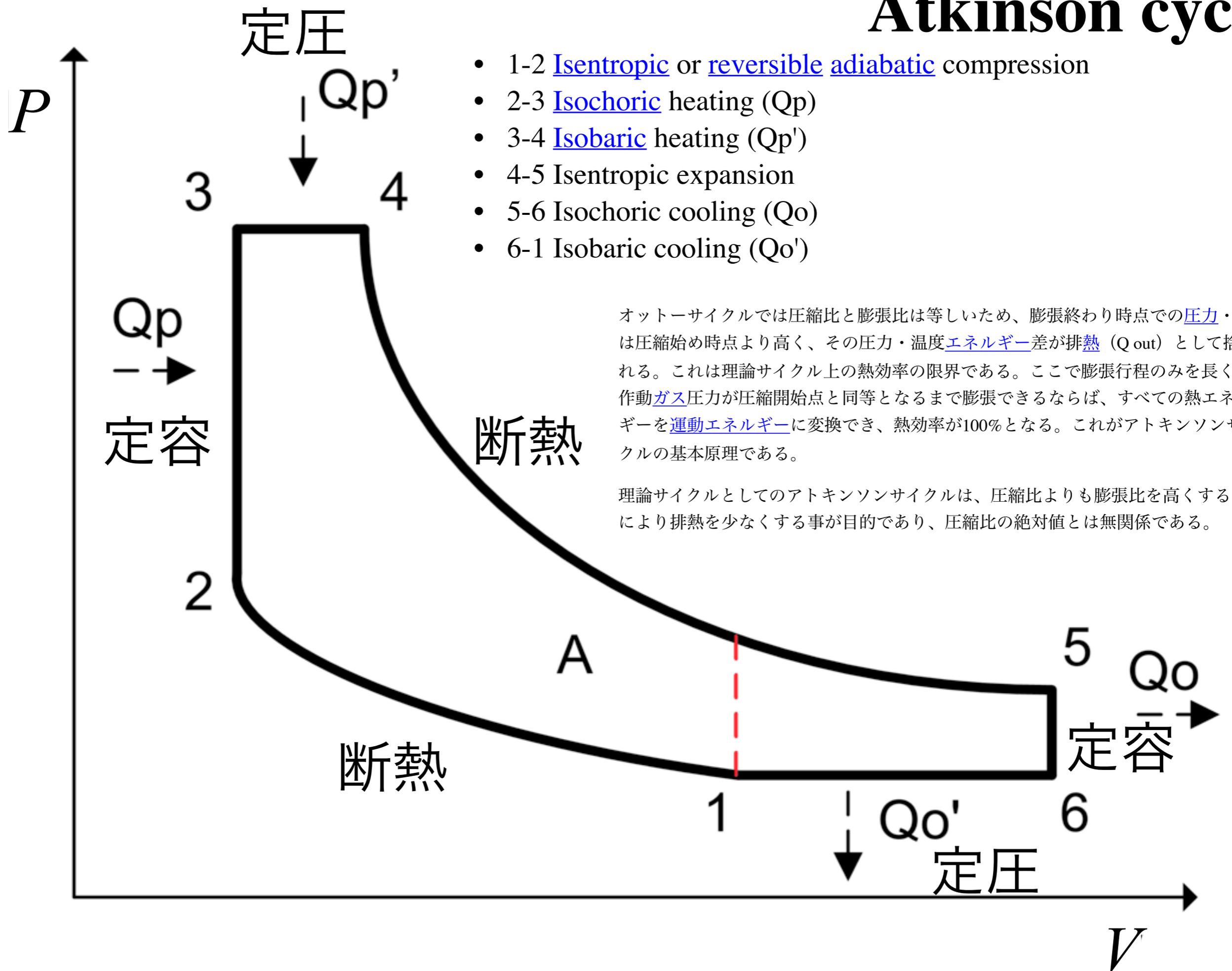
Rewarded with a smile

TOYOTA



熱効率は従来型のガソリンエンジン（36%程度）を上回る最大38%まで向上  
 ハイブリッド車（HV）に用いてきた「アトキンソンサイクル」と呼ばれる効率のよい燃焼方式をベースに、不足するパワーを従来型エンジンで磨いた技術などで補い、10%以上の大幅な燃費向上を実現。

# Atkinson cycle



- 1-2 [Isentropic](#) or [reversible adiabatic](#) compression
- 2-3 [Isochoric](#) heating ( $Q_p$ )
- 3-4 [Isobaric](#) heating ( $Q_{p'}$ )
- 4-5 Isentropic expansion
- 5-6 Isochoric cooling ( $Q_o$ )
- 6-1 Isobaric cooling ( $Q_{o'}$ )

オットーサイクルでは圧縮比と膨張比は等しいため、膨張終わり時点での[圧力](#)・[温度](#)は圧縮始め時点より高く、その圧力・温度[エネルギー](#)差が[排熱](#) ( $Q_{out}$ ) として捨てられる。これは理論サイクル上の熱効率の限界である。ここで膨張行程のみを長くし、作動[ガス](#)圧力が圧縮開始点と同等となるまで膨張できるならば、すべての熱エネルギーを[運動エネルギー](#)に変換でき、熱効率が100%となる。これがアトキンソンサイクルの基本原理である。

理論サイクルとしてのアトキンソンサイクルは、圧縮比よりも膨張比を高くすることにより排熱を少なくする事が目的であり、圧縮比の絶対値とは無関係である。