

ガソリン發動機のサイクルの initial condition, 吸入効率及び熱効率の計算

所 員 田 中 敬 吉

目 次

1. 序	764
2. サイクルの initial condition	765
(1) 残留瓦斯の影響	765
(2) 燃料の氣化に依る影響	768
(3) 氣筒壁より受ける熱量に依る影響	769
(4) 壓縮衝程の初めの温度	770
3. 吸入効率及び燃焼の前後の容積比	771
(1) New charge と残留瓦斯との割合	771
(2) 吸入効率	772
(3) 燃焼に依る容積の變化及び燃焼瓦斯の熱量値 H_u/V	773
4. 理論的熱効率の修正値	774
5. 附 録	776
(1) 燃焼瓦斯及び空氣の分子量	776
(2) 燃焼瓦斯の mean specific heat	776
(3) 燃料瓦斯の分子量及び容積	777
(4) 計算値の修正	778
(5) 混合氣の specific heat の考察	780

1. 序

ガソリン發動機の熱効率を計算より求むる場合一定の壓縮比 ε に對して壓縮衝程の初めの温度 t_B 及び壓力 p_B (第 1 圖参照) を規定しなければならない。之は大氣の温度 t_s , 壓力 p_s と共に下の影響を受ける。即ち (1)各々の作用衝程の後に氣筒内に残る残留廢氣の温度及び壓力, (2)流入する new charge が氣筒壁其他より受取る熱量, (3) 燃料の氣化に依る影響, (4)吸氣管及び吸氣瓣の抵抗に依る流入空氣の depression 等である。

これ等のものを考慮に入れて壓縮衝程の初めの温度 t_B 及び壓力 p_B 即ち initial condition を求め得る。又 new charge と残留瓦斯との割合より吸入効率を計算し得る。更に使用燃料に依る燃焼の前後の瓦斯の容積比 δ を計算し得べく、かくして實際の場合に近い理論的熱効率を計算より求めることが出来る。前號に記載したものは此の温度 $t_B = 100^\circ\text{C}$ 、壓力 $p_B = 1 \text{ kg/cm}^2$ と假定して計算した場合である。

ガソリン發動機の等容積サイクルの initial condition は RICARDO が壓縮比 $\epsilon = 5$ の場合に就て計算したものがあつたが、此の方法は一般の計算に適しない。以下の initial condition の計算は A. HANSEN の方法を大體使用し之に PFLAUM の JS-diagram を使用したものである。以下の計算もベンゾールとガソリンの 1:2 の重量比の燃料を用ひその理論的過不足なき空氣量に對する燃焼の場合の計算値である。

理論的熱効率に對し氣筒内に於ける指示熱効率を計算する爲めには壓縮衝程、爆發及び作用衝程に於ける熱損失を適當に考慮しなければならない。此の熱損失は勿論實驗より求む可きものであつて、斯くして求めた指示熱効率は直接氣筒内より測定した indicator 線圖より求めた値に略一致しなければならない。これ等の問題は續報に譲る可く目下計算中である。

2. サイクルの initial condition

(1) 残留瓦斯の影響

先づ残留瓦斯の影響のみを考へる。燃料の氣化及び氣筒壁等より熱を受ける影響を無視しこれらの影響は後節に譲る。

排氣瓣を閉ぢた時氣筒内に残る残留瓦斯の重量を G_r とし、new charge (空氣と燃料瓦斯との混合) の流入量を G_{ch} とすれば氣筒内の瓦斯の總量は

$$G = G_{ch} + G_r$$

として表される。今温度

$T_r =$ 混合前の残留瓦斯の温度

$T =$ 残留瓦斯に依て温められた混合氣の温度

(1) ガソリン發動機の熱効率計算値の一例 航空研究所彙報 No. 110 Oct. 1933

(2) H. R. RICARDO Schnellanfende Verbrennungsmotoren 1932 63-80 頁

(3) A. HANSEN Thermodynamische Rechnungsgrundlagen der Verbrennungskraftmaschinen und ihre Anwendung auf den Höhenflugmotor. Forsch. Heft 344 1931

(4) W. PFLAUM JS-Diagramme für Verbrennungsgase 1932 V. D. I. Verlag.

T^* = 残留瓦斯の存在せざる理想的の場合の混合気の温度

とし、壓力

p_r = 排氣瓣を閉じた時の氣筈内の壓力

p_B = 吸氣瓣を閉じた時の氣筈内の壓力

とすれば瓦斯方程式より

$$G = \frac{p_B V_B}{TR}, \quad G_r = \frac{p_r V_A}{T_r R_r},$$

$$G^* = \frac{p_B V_B}{T^* R^*}$$

を得る。但し G^* は氣筈内に残留瓦斯の残らない理想的の場合を表す。而してこれ等の瓦斯の分子量

m (kg/Mol) が略等しい關係 (附録(1)参照) より近似的に $R = R_r = R^*$ と置き得る (附録(4)参照)。故に上の瓦斯方程式より

$$\left. \begin{aligned} \frac{G_{ch}}{G^*} &= \frac{G - G_r}{G^*} = \frac{T^*}{T} - \frac{p_r T^*}{p_B T_r} \frac{1}{\varepsilon} \\ \frac{G_r}{G^*} &= \frac{p_r T^*}{p_B T_r} \frac{1}{\varepsilon} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

を得る。但し $\varepsilon = V_B/V_A =$ 壓縮比 を表す。

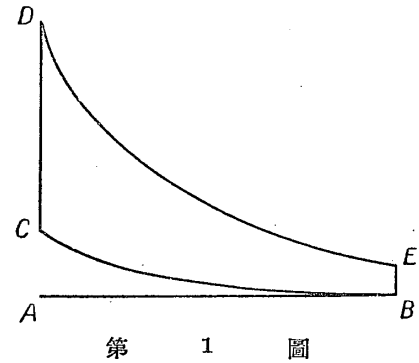
温度 T は T^* と残留瓦斯に依て温められた額だけの相違がある。之は new charge と残留瓦斯との完全なる混合の條件より求め得る。即ち

$$\frac{G_r}{G^*} C_{pr}(T_r - T) = \frac{G_{ch}}{G^*} C_{pch}(T - T^*)$$

なる關係式を得べく、 C_{pch} 及び C_{pr} は new charge 及び残留瓦斯の mean specific heat at constant pressure を表す。

之に (1) 式を代入すれば

$$\frac{G_L}{G^*} = \frac{C_{pr}(T_r - T)}{C_{pch}(T - T^*)} \frac{1}{\varepsilon} \frac{p_r}{p_B} \frac{T^*}{T_r} \dots\dots\dots (2)$$



第 1 圖

となり更に (1) 式より

$$T = \frac{T^*}{\frac{G_{ch}}{G^*} + \frac{p_r T^*}{p_B T_r} \frac{1}{\epsilon}} \dots\dots\dots (1.a)$$

を得る。此の (1.a) を (2) 式に代入すれば

$$\left(\frac{G_{ch}}{G^*} \right) + \frac{G_{ch}}{G^*} \left[\frac{p_r}{p_B} \frac{1}{\epsilon} \left(\frac{C_{pr}}{C_{pch}} + \frac{T^*}{T_r} \right) - 1 \right] + \frac{T^*}{T_r} \frac{1}{\epsilon} \frac{p_r}{p_B} \frac{C_{pr}}{C_{pch}} \left(\frac{p_r}{p_B} \frac{1}{\epsilon} - 1 \right) = 0 \dots\dots\dots (3)$$

となり。 $\frac{G_{ch}}{G^*}$ の二次式を得る。即ち G_{ch}/G^* は

$$p_r/p_B, \epsilon, T^*/T_r, C_{pr}/C_{pch}$$

なる四つの独立変数に依つて変化する。

これ等の四つの変数の値を求めんに、先づ 1:2 のベンゾールガソリンの混合燃料の理論的過不足なき空気量の燃焼の場合残留瓦斯の 0~1000°C の mean specific heat $C_{pr} = 0.2794$ Kcal/1°C/kg (附録(2)参照), 空気の 0~100°C の mean specific heat $C_{pch} = 0.241$ Kcal/1°C/kg ならば

$$\frac{C_{pr}}{C_{pch}} = \frac{0.2794}{0.241} = 1.159$$

を得る。茲に C_{pch} は空気に對する mean specific heat を採つたが實際は燃料瓦斯を含むが故にこの混合気の specific heat をとらねばならない。然し燃料瓦斯の重量は空気量の約 1/15 に相當し、之に依る影響は小さく且つその specific heat を文献より見出し得ない故に近似値として空気のもの採つたのである (第 4 章参照)。

次に残留瓦斯の温度は平均値として $t_r = 1000^\circ\text{C}$ 即ち $T_r = 1273^\circ\text{K}$ と置き、大氣の温度を 15°C 即ち $T^* = 288^\circ\text{K}$ と置く。故に

$$\frac{T^*}{T_r} = \frac{288}{1273} = 0.2262$$

となる。

更に大氣の壓力を 760mm 即ち 1.033 kg/cm^2 と假定し、排氣瓣を閉じたときの氣筒内の壓力 p_r を之に等しいものと假定 (RICARDO 63 頁参照) する。吸氣瓣を閉じたときの氣筒内の壓力 p_B は一般の practice に従ひ大氣壓より 8% 程度の depression があるもの (HANSEN 11 頁参照) とし $p_B = 0.950 \text{ kg/cm}^2$ と假定す、故に

$$\frac{p_r}{p_B} = \frac{1.033}{0.950} = 1.088$$

となる。

以上の假定より壓縮比 ϵ に對する G_{ch}/G^* 及び G_r/G^* を求め得べく、(1.a) 式より溫度 T 、從つて残留瓦斯に依る new charge の溫度の上昇値 $\Delta t_r = T - T^*$ を計算し得る。これ等の計算値を第 1 表に示す。

第 1 表より壓縮比の増加に従ひ G_{ch} は増加し、 G_r は減少する。從つて残留瓦斯に依つて溫められる溫度差 Δt_r は壓縮比の増加と共に減少する。之は排氣衝程の終りの溫度 t_B が一般に壓縮比の増加と共に減少することより更に其の程度を増すもの (1) の 552 頁の表参照) と考へていゝ。

(2) 燃料の氣化に依る影響

燃料の氣化に依る吸入空氣の溫度の低下を考ふるにベンゾールとガソリンの 1:2 の混合燃料 1 kg に必要な理論上の空氣量は

$$L_{\min} = 1.211 \text{ kg} \times 12.0 \text{ ncbm} = 14.5 \text{ kg}$$

となり、之に對して燃料の氣化熱はベンゾールに於ては 95.5 Kcal/kg 、ガソリンに於ては平均値として 75.9 Kcal/kg (之は RICARDO 31 頁の表中より平値均として求めたもの) であるから、1:2 の混合燃料に對しては 82.4 Kcal/kg となる。故に空氣の 1 kg 宛の失ふ熱量は

$$\frac{82.4}{14.5} = 5.68 \text{ Kcal/kg}$$

にして、空氣の specific heat は $0 \sim 100^\circ\text{C}$ の平均値が $0.241 \text{ Kcal/}^\circ\text{C}$ であるから、燃料を完全に氣化する爲めに

$$\frac{5.68}{0.241} = 23.6^\circ\text{C}$$

だけ空気の温度の低下を來す。

然し乍ら氣化器吸氣管及び吸氣瓣等よりの加熱の爲め實際に氣筒に入る new charge の温度の低下は上の値より遙に小さく、實際の温度の低下はその半分と考へられる。之を $\Delta t_{(D)}$ で表し round no. として

$$\Delta t_{(a)} = -10^{\circ}\text{C}$$

と置く。

次に燃料の氣化に依る new charge の容積の増加を考ふるに燃料が吸氣瓣を閉ぢるまでに全部氣化するものと假定し、 80°C 、 760 mm の場合を採れば(附録(3)参照)上の燃料瓦斯の比重が $\gamma_{Br(D)} = 3.178\text{ kg/m}^3$ となり、燃料 1 kg の容積は

$$V_{Br(D)} = 0.315\text{ m}^3/\text{kg} (80^{\circ} 760\text{mm})$$

となる。此の 1 kg の燃料に對する空気の理論的必要量 14.5 kg の容積は

$$V_L = 14.51\text{ m}^3 (80^{\circ} 760\text{ mm})$$

となるから兩者の容積比は

$$\frac{V_L}{V_{Br(D)}} = \frac{14.51}{0.315} = \frac{1}{0.022}$$

即ち總容積は空気のみの場合の 1.022 倍に増加する。

HANSEN は此の容積の増加の爲めに上に出した空気の温度の低下に對して修正を加へねばならないことを述べて居るが之は誤りである。

(3) 氣筒壁より受ける熱量の影響

new charge は吸入衝程の間に氣筒壁及びピストン頭部等より熱を受ける。此の影響は氣筒の構造及び運轉の状態に依つて變化し正確な値を求め得ないが實驗の結果此の影響を無視し得ない。

現在の普通の水冷式航空發動機の此の影響を決定する爲めに D. V. L. に於て下の提言を與へて居る (HANSEN⁽³⁾ 9 頁)

1. 水冷航空發動機の氣筒壁の温度は一定であつて之を 200°C と假定する。
2. 氣筒壁より熱を受ける爲めの new charge の温度の上昇は氣筒壁の温度と new charge の温度との差に比例しその $\frac{1}{3}$ に等しい。

気筒壁より温められる前の new charge の温度は下のものよりなる。

即ち

- a. 吸入する空気の温度 t_s
- b. 燃料の酸化に依る温度の変化 $\Delta t_{(a)}$
- c. 残留瓦斯との混合に依る温度の変化 $\Delta t_{(r)}$

故にこれ等のものに依る new charge の温度は

$$t_{(a, a, r)} = t_s + \Delta t_{(a)} + \Delta t_{(r)}$$

となる。

而して気筒壁より熱を受ける爲めの new charge の温度の上昇は

$$\begin{aligned} \Delta t_{(w)} &= \frac{1}{3} \left[200 - t_{(a, a, r)} \right] \\ &= \frac{1}{3} \left[200 - t_s - \Delta t_{(a)} - \Delta t_{(r)} \right] \end{aligned}$$

となる。

(4) 壓力衝程の初めの温度 T_B

以上より壓縮衝程の初めの温度は

$$T_B = T_s + \Delta t_{(r)} + \Delta t_{(w)} + \Delta t_{(a)}$$

となり $T_s = 273 + t_s$ と置き $\Delta t_{(w)}$ に上の値を代入すれば

$$T_B = 340 + \frac{2}{3} \left[t_s + \Delta t_{(r)} + \Delta t_{(a)} \right]$$

となり, $\Delta t_{(a)} = -10^\circ\text{C}$ と置けば

$$T_B = 333 + \frac{2}{3} \left[t_s + \Delta t_{(r)} \right]$$

を得る。更に $t_s = 15^\circ\text{C}$ と假定すれば

$$T_B = 343 + \frac{2}{3} \Delta t_{(r)}$$

となる。

$\Delta t_{(r)}$ の値は (1) 節より計算される故に斯くして T_B の値を求め得る。此の値も第 1 表に示す。此の T_B 及び (1) 節に述べた $p_B=0.95\text{kg/cm}^2$ がサイクルの initial condition である。

第 1 表 発動機の initial condition の表

大気の温度 $t_s=15^\circ\text{C}$, 大気の圧力 $p_s=760\text{mm}=1.033\text{kg/cm}$ とし, 残留瓦斯の温度 $t_r=1000^\circ\text{C}$, 圧力 $p_r=p_s$ とし、ベンゾールとガソリン 1:2 の重量比の燃料の理論的空気量の燃焼に対するものについての計算である。

ε	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8
G_{ch}/G^*	.7563	.7794	.7977	.8132	.8264	.8378	.8480
G_r/G^*	.0492	.0447	.0410	.0379	.0352	.0328	.0308
$Z_r = \frac{G_{ch} + G_r}{G_{ch}}$	1.065	1.057	1.051	1.047	1.043	1.039	1.036
T	358	349	343	338	334	331	328
$\Delta t_r = T - T_s$	70	61	55	50	46	43	40
T_B	390	384	380	377	374	372	370
$G_{B(ch)}/G^*$	.6892	.7053	.7169	.7261	.7349	.7414	.7476
$Z_r' = \frac{G_{B(ch)} + G_r}{G_{B(ch)}}$	1.071	1.063	1.057	1.052	1.048	1.044	1.041
G^*/G^{**}	1.149	1.123	1.103	1.086	1.073	1.061	1.051
η_v	.792	.792	.791	.789	.789	.787	.786
L (ncbm)	13.14	13.04	12.96	12.90	12.85	12.80	12.76
V (ncbm)	13.64	13.54	13.46	13.40	13.35	13.30	13.26
V ($0^\circ 760\text{mm}$)	12.74	12.65	12.57	12.51	12.47	12.42	12.38
$\delta = \frac{V}{L}$	1.038	1.038	1.038	1.039	1.039	1.039	1.039
H_u/V	785	791	796	799	802	805	808

3. 吸入効率及び燃焼前後の容積比

(1) new charge と残留瓦斯との割合

吸入衝程の終りに於て気筒内の new charge (燃料を含んだ) の重量を $G_{B(ch)}$ とし,

残留瓦斯の重量を G_r とすれば其の總量は

$$G_B = G_{B(ch)} + G_r = \frac{p_B V_B}{R T_B}$$

となる。然るに第 2 章 (1) 節に於ては残留瓦斯のみの影響を獨立に考ふる爲め之を

$$G = G_{ch} + G_r = \frac{p_B V_B}{R T}$$

と置いた。

残留瓦斯の重量 $G_r = \frac{p_r V_c}{T_r R_r}$ は變らざる故に T より T_B への温度の上昇 (第 1 表参照) は new charge の重量が低下することを示す。

$$\text{今} \quad Z_r = \frac{G_{ch} + G_r}{G_{ch}} \quad Z_r' = \frac{G_{B(ch)} + G_r}{G_{B(ch)}}$$

と置けば Z_r は G_{ch}/G^* 及び G_r/G^* より既に第 1 表に示せる如く計算される。而して第 2 章 (1) 節の (1) 式より

$$\frac{G_{B(ch)}}{G^*} = \frac{T^*}{T_B} - \frac{G_r}{G^*}$$

なる關係式を得べく、此の計算値を用ひて Z_r' を求め得る。 Z_r' は残留瓦斯と new charge との總量と new charge との比を示すもので之より氣筒内に残る残留瓦斯と new charge との割合 $G_r/G_{B(ch)}$ を見出し得る。

第 1 表に示す如く new charge に對して残留瓦斯の割合は壓縮比と共に減少する。 Z_r と Z_r' との相違は大きくないが $G_r/G_{B(ch)}$ と G_r/G_{ch} の相違は相當に大きいものであつて壓縮比を 5 より 8 に上げるとき残留瓦斯と new charge との比 $G_r/G_{B(ch)}$ は 0.071 より 0.041 まで減少する。

(2) 吸入効率

以上の計算より吸入効率即ち氣筒内に入つた new charge の量と大氣の温度及び大氣の壓力を以て new charge が衝程容積を占めた量との比を求めることが出来る。

今

$$G^{**} = \frac{p_s}{T_s R} (V_B - V_A), \quad G^* = \frac{p_s V_B}{T_s R}$$

と置けば吸入効率は

$$\eta_v = \frac{G_{B(ch)}}{G^*} \times \frac{G^*}{G^{**}}$$

として與へらる可くこれ等の $G_{B(ch)}/G^*$ 及び G^*/G^{**} は

$$\frac{G_{B(ch)}}{G^*} = \frac{T^*}{T_B} - \frac{G_r}{G^*}, \quad \frac{G^*}{G^{**}} = \frac{p_B}{p_s} \frac{V_B}{V_B - V_A} = \frac{p_B}{p_s} \frac{\epsilon}{\epsilon - 1}$$

として計算し得る。

第 1 表の計算値より吸入効率は 壓縮比に依つて僅かに變化し 高壓縮比となるに従ひ僅かに小さくなる。壓縮比の増加と共に 残留瓦斯の % が減少し, new charge の流入量 $\frac{G_{B(ch)}}{G^*}$ は増加するが, 衝程容積の増加に依つて $\frac{G^*}{G^{**}}$ は減少し, 計算の結果は此の影響の方が大きいものとなることを示す。

壓縮比 5 の場合 RICARDO の出した吸入効率は .762 で之は $p_B = .985$, $t_s = 0^\circ\text{C}$ のときの値である。之を我々の場合に換算すれば $.762 \times \frac{288}{273} \times \frac{.95}{.985} = .776$ となり 我々の計算値 .792 と 2% に近い相違がある。

(3) 燃焼に依る容積の變化及び燃焼瓦斯の熱量値 H_u/V

V を燃焼の後の燃焼瓦斯の容積, L を燃焼前の new charge と 残留瓦斯との總容積とすれば

$$\text{容積比 } \delta = \frac{V}{L}$$

として與へられる。今 1kg の燃料の燃焼の場合を考ふことゝすれば此の場合の残留瓦斯の容積はその分子量が new charge の分子量と大差なきを以て (附録(1)参照) 近似値として (2) 節の Z_r' の式及び瓦斯方程式より

$$V_r = L_0 (Z_r' - 1)$$

と置き得る。但し L_0 は 1kg の燃料の燃焼するに必要な空氣量と 燃料の氣化に依つて生ぜる燃料瓦斯との總和である。

故に

$$L = L_0 + V_r = L_0 Z_r'$$

となり、燃焼瓦斯の容積は

$$V = V_0 + V_r = V_0 + L_0(Z_r' - 1)$$

となる。但し V_0 は 1 kg の燃料が燃焼して成生する燃焼瓦斯の容積にして之より容積比 δ を求め得る。

以上の L , V 及び δ を第 1 表に示す。容積比 δ は壓縮比の變化に對して殆んど變らず $\delta = 1.038 \sim 1.039$ となる。

燃焼瓦斯の容積 V を ($0^\circ 760\text{mm}$) の値に換算する爲めには ncbm に 0.9339 を乗すればよい。之より燃焼瓦斯 $1\text{m}^3(0^\circ 760\text{mm})$ に對する燃料の熱量値 H_u/V [$\text{Kcal}/\text{m}^3(0^\circ 760\text{mm})$] を計算することが出来る。燃焼瓦斯の容積は壓縮比の増加と共に残留瓦斯の容積が減少する爲め減少する。従つて H_u/V は壓縮比の増加と共に増加することゝなる。

以上第 2 章及び第 3 章に於ける計算は new charge, 燃焼瓦斯及び残留瓦斯と new charge との混合瓦斯の三つの瓦斯恒數を總て等しいものと假定して計算を進めた。之に對する修正が無視し得ることを附録 (4) に示す。

4. 理論的熱効率の修正

以上の initial condition の値を用ひて PFLAUM の JS-diagram より理論的熱効率 η_i を計算すれば (計算方法は拙文⁽¹⁾参照) 第 2 表に示す如き値を得る。表中の η_i' は此の前⁽¹⁾の計算値を表すもので凡ての壓縮比に對し initial condition として $p_B = 1\text{kg}/\text{cm}^2$, $T_B = 373^\circ\text{K}$, $H/V = 839\text{Kcal}/\text{m}^3(0^\circ 760\text{mm})$, $\delta = 1.036$ と置いた場合である。

理論的熱効率の兩者の相違は最大に於ても 1% であつて initial condition を實際に近い値としても大して修正することを要しない。而して新しき理論的熱効率の値も前に出した

$$\eta_i = 1 - \left(\frac{1}{2}\right)^{0.268}$$

なる實驗式によく一致する。

然しサイクルの最高壓力 p_D 及び最高溫度 T_D の相違は相當大きいものである。

「サイクル」の理論的熱効率を出す場合壓縮衝程に於てなす仕事量は空氣の JS-diagram より求めたものである。實際の場合には空氣と燃焼瓦斯と残留瓦斯との混合氣體の壓縮であるから其の specific heat C_p は空氣の場合と多少の相違を來す筈である。

燃料の氣體としての specific heat C_p は文獻より見出し得ないが空氣と燃料との重量

比が 14.5:1 であるから燃料の重量は全重量の 6.5% に相當する。故に燃料の氣體としての specific heat C_p の値が空氣のものと同様に 100% の相違がある場合に於ても混合體の specific heat は 6.5% の相違を來す程度である (附録 (5) 參確)。

又残留瓦斯を含む爲めの specific heat の變化は 0~500°C の平均値をとつて new charge を空氣と假定すれば new charge に於ては $C_p = .245$ Kcal/1°/kg, 残留瓦斯を考慮した爲めの全體の瓦斯に對しては之が $C_p = .246$ Kcal/1°/kg となる程度 (附録(5)參照) であつて無視して差支なし。

斯る精しい修正は燃焼瓦斯の JS diagram の精度を考ふればその不必要なことを知る。燃焼瓦斯の JS-diagram はガソリンとベンゾールの中間の値として瓦斯油に對する diagram であつて, PFLAUM の所謂第 1 種の燃料として上の程度の變化は全く無視して作つたものである。

以上の initial condition を基礎として「サイクル」中の熱損失を適當に假定すればサイクルの各點に於ける實際に近い溫度及び壓力, 指示熱効率, 指示平均有效壓力, 指示燃料消費率等を計算し得る。これ等の計算は續報に譲る。

第 2 表 「サイクル」の熱効率

サイクルの initial condition は第 1 表の値をとる

壓縮比 ϵ	5	6	7	8
p_B	0.950	0.950	0.950	0.950
T_B	390	380	374	370
H_u/V	785	776	802	808
$\delta = V/L$	1.038	1.038	1.039	1.039
p_C	8.81	11.35	14.03	16.90
T_C	723	757	789	823
p_D	35.21	43.90	52.63	61.47
T_D	27.85	2819	2850	2880
p_E	5.16	5.15	5.12	5.08
T_E	2041	1983	1939	1906
η_i	.349	.382	.408	.429
η'_i	.350	.378	.405	.424

5. 附 録

(1) 燃焼瓦斯及び空気の分子量

ベンゾールとガソリンの 1:2 の重量比の混合燃料が理論的空氣量を以て燃焼するときの燃焼瓦斯の成分の容積 % は彙報 110 號 548 頁の表より

$$v_{N_2} = \frac{9.50 \text{ncbm}}{12.76 \text{ncbm}} = .744 \quad v_{CO_2} = \frac{1.75}{12.76} = .137 \quad v_{H_2O} = \frac{1.51}{12.76} = .119$$

として與られる故に其の分子量は下の如し

$$\begin{aligned} m_g &= m_{CO_2} v_{CO_2} + m_{H_2O} v_{H_2O} + m_{N_2} v_{N_2} \\ &= 44 \times .137 + 18 \times .119 + 28.02 \times .744 \\ &= 29.02 \text{ kg/Mol} \end{aligned}$$

次に空氣の分子量は

$$\begin{aligned} m_L &= m_{N_2} v_{N_2} + m_{O_2} v_{O_2} \\ &= 28.02 \times .7925 + 32 \times .2075 \\ &= 28.85 \text{ kg/Mol} \end{aligned}$$

理論的空氣量の new charge の空氣と燃料瓦斯との容積 % は附録 (3) より

$$v_L = \frac{1}{1.022} = .978 \quad v_{Br(D)} = \frac{.022}{1.022} = .022$$

となる故に其分子量は

$$\begin{aligned} m_{ch} &= m_L v_L + m_{Br(D)} v_{Br(D)} \\ &= 28.85 \times .978 + 92.10 \times .022 \\ &= 30.24 \text{ kg/Mol} \end{aligned}$$

但し燃料瓦斯の分子量 $m_{Br(D)}$ は附録 (3) を参照のこと。

(2) 燃焼瓦斯の mean specific heat.

燃焼瓦斯の 0° より 1000°C までの等壓に對する平均の specific heat は

$$\begin{aligned}
 C_{pm} &= C_{pmCO_2} v_{CO_2} + C_{pmH_2O} v_{H_2O} + C_{pmN_2} v_{N_2} \\
 &= 11.44 \times .137 + 8.98 \times .119 + 7.35 \times .744 \\
 &= 8.11 \text{ Kcal/1}^\circ/\text{Mol} \\
 c_{pm} &= \frac{C_{pm}}{m_g} = \frac{8.11}{29.02} = .2794 \text{ Kcal/1}^\circ/\text{kg}
 \end{aligned}$$

但し CO_2 , H_2O 及び N_2 の mean specific heat の値はの SCHÜLE⁽⁵⁾ 表より求めたものである。

(3) 燃料瓦斯の分子量及び容積

ガソリンの炭素と水素との重量比が 85:15 なるとき之より計算されるガソリンの平均の成分は近似的に $\frac{1}{2}(C_7H_{16} + C_7H_{14})$ と考へていゝ。此の分子量は 99.12kg/Mol となる。ベンゾール C_6H_6 の分子量は 78.05kg/Mol である。故にベンゾールとガソリンの 1:2 の重量比の燃料瓦斯の分子量は

$$m_g = \frac{78.05 + 2 \times 99.12}{3} = 92.10 \text{ kg/Mol}$$

となる。

之の 80°C, 760mm に於ける 1m³ の重量は

$$\gamma_g = \frac{92.10}{28.98} = 3.178 \text{ kg/m}^3$$

但し $28.98 = 22.41 \times \frac{353}{273} \text{ m}^3$ にしてその 1kg の容積は

$$V_g = \frac{1}{3.178} = 0.3147 \text{ m}^3/\text{kg} \text{ (80}^\circ\text{760mm)}$$

となる。

空気の 1kg の 80°760mm の容積は 1/0.9995 m³ である故に 14.5 kg に對する容積は

$$V_{Lmin} = \frac{14.5}{.9995} = 14.51 \text{ m}^3 \text{ (0}^\circ\text{760mm)}$$

(5) W. SCHÜLE Neue Tabellen und Diagramme für technische Feuergase.

である。故に空気と燃料瓦斯との容積比は

$$\frac{V_{L\min}}{V_g} = \frac{14.51}{0.315} = \frac{1}{0.022}$$

となる。

(4) 計算値の修正

第 2 章 (1) 節の瓦斯方程式

$$G = \frac{p_B V_B}{TR} \quad G_r = \frac{p_r V_A}{T_r R_r} \quad G^* = \frac{p_B V_B}{T^* R^*}$$

に於て R は残留瓦斯と new charge との混合に対する瓦斯恒數, R_r は残留瓦斯の瓦斯定數, R^* は new charge の瓦斯恒數を表す。此の三つの瓦斯恒數の値の相違を考慮に入れるときは第 2 章 (1) 節の (1) 式は

$$\left. \begin{aligned} \frac{G_{ch}}{G^*} &= \frac{T^* R^*}{TR} - \frac{p_r T^* R^*}{p_B T_r R_r} \frac{1}{\varepsilon} \\ \frac{G_r}{G^*} &= \frac{p_r T^* R^*}{p_B T_r R_r} \frac{1}{\varepsilon} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)'$$

となる即ち R^*/R 及び R^*/R_r を含むこととなる。

今 1 Mol に対する瓦斯恒數を \mathfrak{R} とすれば

$$\frac{R^*}{R_r} = \frac{\mathfrak{R}/m_{ch}}{\mathfrak{R}/m_r} = \frac{m_r}{m_{ch}} = \frac{29.02}{30.24} = \frac{1}{1.042} = .960$$

$$\frac{R^*}{R} = \frac{\mathfrak{R}/m_{ch}}{\mathfrak{R}/m_{mix}} = \frac{m_{mix}}{m_{ch}}$$

なる關係を得る。 m_r 及び m_{ch} は附録 (1) に既に求めたが残留瓦斯と new charge との混合に対する分子量 m_{mix} は未だ求めて居ない。

之を求むる爲めに 1st approximation として第 1 表の G_r/G_{ch} をとる。即ち $\varepsilon = 5 \sim 8$ に対して $G_r/G_{ch} = .065 \sim .036$ ならば

$$\frac{G_r}{G_{ch}} = .065 \text{ のときは } G_r = \frac{.065}{1.065} = .061, \quad G_{ch} = \frac{1}{1.065} = .939 \text{ となり}$$

$$\frac{G_r}{G_{ch}} = .036 \text{ のときは } G_r = \frac{.036}{1.036} = .039, \quad G_{ch} = \frac{1}{1.036} = .961 \text{ となる。}$$

$$\therefore G \frac{\mathfrak{R}}{m_{\text{mix}}} = G_{ch} \frac{\mathfrak{R}}{m_{ch}} + G_r \frac{\mathfrak{R}}{m_r}$$

なる関係式より

$$\frac{1}{m_{\text{mix}}} = \frac{.939}{30.24} + \frac{.061}{29.02} = .03315,$$

$$\frac{1}{m_{\text{mix}}} = \frac{.961}{30.24} + \frac{.035}{29.02} = .03312$$

或は $m_{\text{mix}} = 30.17 \text{ kg/Mol}, \quad m_{\text{mix}} = 30.19 \text{ kg/Mol}$

故に $m_{\text{mix}} = 30.18 \text{ kg/Mol}$ を平均値として求め得る。

故に $\frac{R^*}{R} = \frac{m_{\text{mix}}}{m_{ch}} = \frac{30.18}{30.24} = \frac{1}{1.002} = .998$

となる。

此の $\frac{R^*}{R} = .998 = a, \quad \frac{R^*}{R_r} = .960 = b$ と置けば第 2 章 (1) 節の (3) 式は

$$\left(\frac{G_{ch}}{G^*}\right)^2 + \frac{G_{ch}}{G^*} \left[\frac{p_r}{p_B} \frac{b}{\epsilon} \left(\frac{C_{pr}}{C_{pch}} + \frac{T^*}{T_r} \right) - a \right] + \frac{T^*}{T_r} \frac{b}{\epsilon} \frac{p_r}{p_B} \frac{C_{pr}}{C_{pch}} \left(\frac{p_r}{p_B} \frac{b}{\epsilon} - a \right) = 0 \dots \dots \dots (3)'$$

となる。之より G_{ch}/G^* 及び G_r/G^* の修正値を求め得べく従つて第 2 章及び第 3 章に求める總ての値を修正することが出来る。

斯る修正値を下表に示す。本文に於て求めた値第 1 表と下の第 3 表との相違は壓縮比 ϵ の小さいときに大きく壓縮比の大きくなるにつれて小さくなる。

G_r/G^* の相違は最大に於て 4% に達するが之の initial condition T_B に及ぼす影響は小さく T_B の最大の相違は 3°C, $G_{B(ch)}/G^*$ の最大の相違は 1%, Z_r' の最大の相違は 0.3% に過ぎない。

種々の假定の正確さを考へて以上の如き修正を施す必要なきことを知る。

第 3 表 第 1 表の計算値の修正値

ε	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8
G_{ch}/G^*	.7653	.7862	.8038	.8185	.8313	.8424	.8520
G_r/G^*	.0473	.0430	.0394	.0364	.0337	.0315	.0295
$Z_r = \frac{G_{ch} + G_r}{G_{ch}}$	1.062	1.055	1.049	1.044	1.041	1.037	1.035
T	354	347	341	336	332	329	326
$\Delta t_r = T - T_s$	66	59	53	48	44	41	38
T_B	387	382	378	375	373	370	368
$G_{B(ch)}/G^*$	.6958	.7092	.7204	.7299	.7380	.7446	.7509
$Z_r' = \frac{G_{B(ch)} + G_r}{G_{B(ch)}}$	1.068	1.061	1.055	1.050	1.046	1.042	1.039

(5) 混合気の specific heat の考察

前節に於て壓縮比 5 及び 8 に對する

$$G_r = .061 \quad G_{ch} = .939 \quad m_{mix} = 30.17$$

$$G_r = .039 \quad G_{ch} = .961 \quad m_{mix} = 30.19$$

を得た、 G_r は残留瓦斯の重量 %、 G_{ch} は空氣と燃料瓦斯との混合である new charge の重量 % を表す。

燃焼瓦斯の specific heat C_p は計算より求められるが new charge に對するものは求められない。

new charge の空氣と燃料との重量比は

$$\text{空氣} = \frac{14.5}{15.5} = .935, \quad \text{燃料} = \frac{1}{15.5} = .065$$

であるから new charge の specific heat

$$C_{pch} = C_{pL} \times .935 + C_{pBr(D)} \times .065$$

として表し得べく $C_{pBr(D)} = 2C_{pL}$ の場合をとつても

$$C_{pch} = C_{pL} (1.065)$$

となり new charge と空気との specific heat の相違は 6.5% の相違となるのみである。

次に new charge の specific heat を空気と同一と假定すれば燃焼瓦斯の specific heat は 0-500°C の平均値として (附録(2)参照)

$$\begin{aligned}C_{pmg} &= 10.58 \times .137 + 8.57 \times .119 + 7.11 \times .744 \\ &= 7.759\end{aligned}$$

$$C_{pmg} = \frac{C_{pmg}}{m_g} = \frac{7.759}{29.02} = .2674 \text{ Kcal/1}^\circ\text{/kg}$$

となり空気は

$$C_{pmL} = .245 \text{ Kcal/1}^\circ\text{/kg}$$

である。故に混合氣の値は壓縮比 5 及び 8 の場合に對して

$$C_{pmmix} = .245 \times .939 + .267 \times .061 = .246 \text{ Kcal/1}^\circ\text{/kg}$$

及び

$$C_{pmmix} = .245 \times .961 + .267 \times .039 = .246 \text{ Kcal/1}^\circ\text{/kg}$$

となつて空気の場合 ($C_{pmL} = .245$) と殆んど變らない。