

# 内燃機關用空氣燃料混合比計に關する 基礎的考察並に實驗\*

所 員 栗 野 誠 一

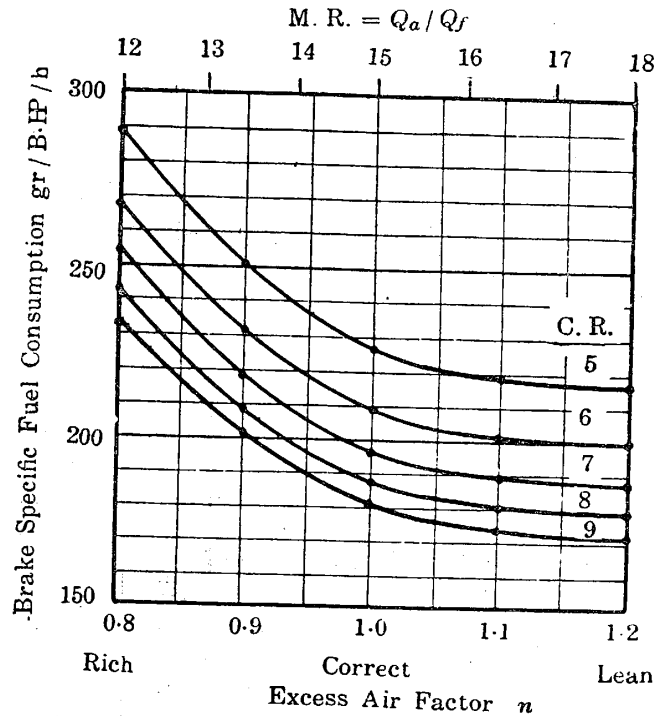
## 目 次

	頁
<b>I. 一般混合比計に關する理論的考察</b>	
1. 緒 言	136
2. 排氣の組成及びその諸性質	137
2.1 排氣の組成	137
2.2 各成分單體ガスの物理的性質	142
2.3 排氣の物理的諸性質の推定	142
3. 混合比計の種類	142
(A) 發動機吸入側にて混合比を求める方法	144
(1) 直接法	144
(2) 間接法	144
(B) 氣筒温度、排氣温度の變化を利用し得るや	145
(C) 排氣組成の變化を利用するもの	147
4. 排氣の化學的處理方法	150
5. 非逆變型排氣利用混合比計	151
6. 一定量空氣(又は酸素)添加再燃焼非逆變型混合比計	152
7. 一定量水素添加再燃焼非逆變型混合比計	155
<b>II. 熱傳導率型混合比計に關する     二三の實驗</b>	
1. 熱傳導率型混合比計の電氣回路	157
2. 電氣回路を流れる電流と熱傳導率の變化	158
3. 熱傳導率の變化による白金線の抵抗變化	160
4. 實驗用發動機	161
5. 實驗の種類	162
6. 實驗結果	162
(i) 通常運轉に於ける計器指示と測定混合比との較正	163
(ii) 飽和用 wet bulb の有無による比較	164
(iii) 排氣中の H <sub>2</sub> O, CO <sub>2</sub> を吸収する場合	165
(iv) 排氣中の CO <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> を吸収する場合	165
(v) ディーゼル發動機排氣に使用する場合	166
(vi) ガソリン以外の燃料を使用する場合(電氣點火機關)	166
(vii) 一定量空氣添加再燃焼法に關する實驗	167
(viii) 一定量水素添加再燃焼法に關する實驗	168
7. 2サイクル機關又は Over lap の大きな 4 サイクル機關に熱傳導率型混合比計を使用するとき起る誤差に就て	169
(a) 吹抜け空氣と燃焼ガスが排氣管内で單に混合のみする場合	170
(b) 吹抜け空氣が排氣管内で排氣と完全混合し再燃焼を起す場合	170
8. 結 論	173
附録 I 燃焼ガスの組成計算法	175
(a) 完全燃焼の場合 ( $n \geq 1$ )	175
(b) 不完全燃焼の場合 ( $n < 1$ )	176
附録 II 各種燃料の理論的空氣量の計算法	183

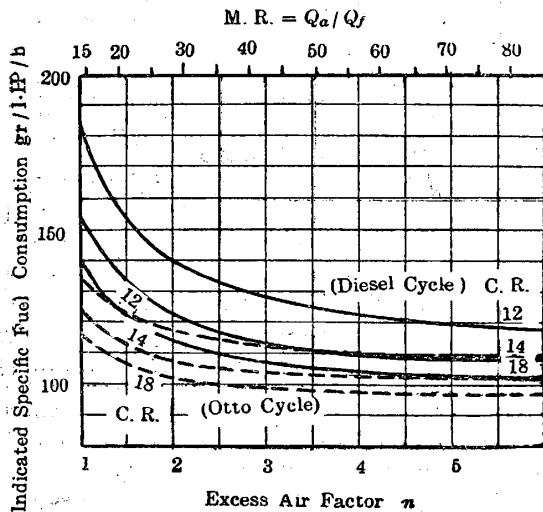
\* 本論文は昭和15年6月7日、航空研究所懇談會第1回定期講演會に於て發表。  
本實驗關係者、技手 山岸琢次郎、大川靜彦。

I. 一般混合比計に關する理論的考察

1. 緒言 氣筒内の燃焼に與る空氣と燃料との混合比(重量比)を瞬間的に且直接指示出来る様な所謂混合比計(Mixture Ratio Indicator)は航空發動機の完全な運轉及び燃料消費量の節約といふ點より見て極めて重要な計器である。發動機の燃料消費率は混合比によつて甚しい影響を受け一定の發動機でその燃料消費率を低下せしめ様といふ場合には、稀薄混合比を使用するより効果的な方法はない。第1圖は電氣點火機關の燃料消費率が混合比によつて如何に變化するかを示す一例であり、第2圖は壓縮點火機關の例である。ディーゼル機關の消費率が少いのは壓縮比が高いといふよりは寧ろガソリン機關に比して遙か稀薄な混合比を使用し得るといふ點にある。



第1圖 電氣點火機關の燃料消費率に及ぼす混合比及び壓縮比の影響。



第2圖 ディーゼル機關の燃料消費率に及ぼす混合比の影響。

電氣點火機關ではその可燃範圍が比較的狭く Mixture Ratio ( $M.R. = Q_a/Q_f$ ,  $Q_a$  = 空氣重量,  $Q_f$  = 燃料重量) で約7~20位の範圍に限られて居り、現在の使用範圍は特殊の場合を除けば、 $M.R. = 9 \sim 14.5$ 位の Rich Side にある。ディーゼル機關では Rich Side では燃料がよく燃えないので  $M.R. = 14 \sim 70$ 位の範圍を使用してゐる。

我國及び諸外國で現在電氣點火機關用として使用されてゐる混合比計は主として排氣中の  $H_2$  の熱傳導率が他のガスに比べ非常に大きいことを利用したケン

ブリツヂ型のものである。この種の混合比計は今日までの様に主として Rich Side でのみ運轉する様な場合には略満足な成績を示してゐるが、この儘では將來性が極めて少い。それは燃料消費率の低下を計るために理論的混合比よりも更に稀薄な混合比を使用する事が必然的に着目されるに至るであらうし、現在既にその傾向を示してゐる。理論的混合比よりも薄い混合比を用ひる場合にはその排氣中には  $H_2$  は存在しない。従て現在のものゝ様に主として  $H_2$  の熱傳導率を利用するものは後に詳述する様に稀薄側に於ける指度の逆變及び精度の低下といふ致命的缺陷を曝露し到底使用に堪えなくなる。本論文はかかる場合の對策を研究することを目的とし混合比計の一般原理に立戻つてその將來性の有無について研究し又從來の熱傳導率型のものに就いてもその致命的缺陷を救ふべき一二の方法を考案しそれに就いて若干の基礎的實驗を試みたものである。

## 2. 排氣の組成及びその諸性質

2.1 排氣の組成 電氣點火機關及び壓縮點火機關の排氣組成に關しては多くの實驗結果がある。<sup>1)~8)</sup>

組成に影響するものは主として次の諸項である。

- (i) 空氣と燃料との混合比  $M.R. = Q_a/Q_f$
- (ii) 燃料の重量組成
- (iii) 燃焼効率

組成に第一義的に影響を及ぼすものは (i) の混合比である。(ii) の燃料組成に依つても當然變化するが、今日電氣點火機關用として使用してゐるガソリン及び壓縮點火機關用のガス油にあつてはその C:H の重量組成は略一定である故アルコール、ベンゾール等の特殊燃料を用ひる場合を除けば大した影響はないものと見てよい。

又 H. C. Gerrish 等の實驗に見る様に供給空氣の全部を燃焼に使用出來ぬことがある。この場合には Rich Side でも少量の  $O_2$  を含み、Lean Side でも少量の  $H_2$ , CO を含むことがある。このことはディーゼル機關では殊に甚しい。然し良好な電氣點火機關ではこの影響は殆んどないものと見てよい。

第 1, 2 表は D'Alleva 氏が  $C_3H_8$  を燃料として電氣點火機關に就て行つた實驗結果である。<sup>1)</sup>

- 1) D'Alleva, B. A. and Lovell, W. G.; Relation of Exhaust Gas Composition to Air-Fuel Ratio. S. A. E. J. Vol. 38, No. 3. (1936) pp. 90/98. p. 116.
- 2) H. C. Gerrish and A. M. Tessmann; Relation of Hydrogen and Methane to Carbon Monoxide in Exhaust Gases from Internal-Combustion Engines. N. A. C. A. Tech. Rep. No. 476 (1933).
- 3) Fenning, Robert W.; The Composition of the Exhaust from Liquid-Fuel Engines. J. Inst. Mech. Engn. March 1916 pp. 185/235.
- 4) H. C. Gerrish and Fred Voss; N. A. C. A. Tech. Rep. No. 616 (1938) pp. 139/146.
- 5) Dichsee, C. B. Exhaust Gas Analysis. Auto. Eng. Vol. XXI, No. 285, Oct (1931) pp. 401/406.
- 6) Best, H. W.; Report on Air-Fuel Ratio Test. S.A.E.J. Vol. XXV. Nov. (1929) pp. 532/534.
- 7) Minter Clarke C.; Interpretation of Exhaust Gas. S.A.E.J. Vol. XXI, Nov. (1927) pp. 537/575.
- 8) 中田金吾; 海軍報告.

第1表 混合比による排気容積組成の變化 (百分率 dry state)

(D'Alleva 氏等の實驗結果)

混合比 M.R.	空氣供給率 $n$	$v'(\text{CO}_2)_N$	$v'(\text{H}_2)_N$	$v'(\text{O}_2)_N$	$v'(\text{CO})_N$	$v'(\text{CH}_4)_N$	$v'(\text{N}_2)_N$
8	0.548	3.9	11.5	0.1	16.3	0.5	67.7
9	0.616	5.3	8.9	0.1	14.8	0.45	70.75
10	0.685	7.0	6.3	0.1	12.0	0.4	74.20
11	0.754	8.7	4.3	0.1	9.3	0.3	77.30
12	0.822	10.3	2.8	0.1	6.8	0.25	79.75
13	0.891	11.9	1.5	0.1	4.1	0.25	82.15
14	0.959	13.5	0.5	0.1	1.5	0.25	84.15
14.6	1.000	14.7	0	0.2	0	0.25	84.85
15	1.028	14.4	0	0.4	0	0.25	84.95
16	1.096	13.4	0	1.8	0	0.20	84.60
17	1.165	12.7	0	2.9	0	0.20	84.20
18	1.234	11.9	0	4.0	0	0.10	84.00
19	1.302	11.2	0	4.7	0	0.10	84.00

第2表 混合比による排気重量組成の變化 (百分率 dry state)

(第1表より計算)

混合比 M.R.	空氣供給率 $n$	$g(\text{CO}_2)_N$	$g(\text{H}_2)_N$	$g(\text{O}_2)_N$	$g(\text{CO})_N$	$g(\text{CH}_4)_N$	$g(\text{N}_2)_N$
8	0.548	6.75	0.90	0.12	17.83	0.31	74.08
9	0.616	8.86	0.68	0.12	15.63	0.27	74.45
10	0.685	11.29	0.46	0.11	12.23	0.24	75.67
11	0.754	13.62	0.31	0.11	9.21	0.17	76.58
12	0.822	15.76	0.20	0.11	6.58	0.14	77.22
13	0.891	17.84	0.10	0.11	3.89	0.14	77.92
14	0.959	21.66	0.03	0.10	1.40	0.13	78.43
14.6	1.000	21.42	0	0.21	0	0.13	78.23
15	1.028	21.02	0	0.42	0	0.13	78.42
16	1.096	19.62	0	1.90	0	0.10	78.37
17	1.165	18.64	0	3.07	0	0.10	78.18
18	1.234	17.51	0	4.26	0	0.05	78.18
19	1.302	16.52	0	5.02	0	0.05	78.41
密度 g/l		1.9769	0.0899	1.4289	1.2501	0.7154	1.2506

第3表及び第3圖は航空3號ガソリン (C:H=0.8476:0.1524) として算出した理論的計算値である。(附録第1) いづれも dry state として計算したもので、第1表と比較すれば理論値と實驗値が極めてよく一致することが明らかである。第3表にはディーゼル機關に使用する様な稀薄混合比  $n > 2$  の場合も共に記入して置いた。燃料はガソリンであつても軽油であつても、その重量組成は殆んど同じであるから排氣組成にも殆んど變りがない。

第3表 航空3號ガソリン (C<sub>7.1</sub>H<sub>15.2</sub>) の排氣ガス體積組成 (dry state)

(理論的計算値 C=0.8476. H=0.1524,)

空氣供給率 $n$	混合比 M. R.	% $v'(\text{CO}_2)_N$	% $v'(\text{H}_2)_N$	% $v'(\text{O}_2)_N$	% $v'(\text{CO})_N$	% $v'(\text{N}_2)_N$
0.548	8.20	3.90	12.11	0	17.20	66.79
0.616	9.22	5.35	8.94	0	14.62	71.09
0.685	10.25	6.93	6.22	0	12.00	74.85
0.754	11.28	8.58	4.23	0	9.30	77.89
0.822	12.30	10.30	2.62	0	6.64	80.44
0.891	13.33	12.05	1.38	0	4.00	82.57
0.959	14.35	13.76	0.45	0	1.46	84.33
1.000	14.96	14.46	0	0	0	85.24
1.028	15.38	14.33	0	0.61	0	85.06
1.096	16.40	13.38	0	1.97	0	84.65
1.165	17.43	12.53	0	3.17	0	84.30
1.234	18.46	11.79	0	4.23	0	83.98
1.302	19.48	11.13	0	5.16	0	83.71
1.370	20.50	10.55	0	5.99	0	83.46
1.438	21.51	10.02	0	6.74	0	83.24
1.507	22.54	9.54	0	7.43	0	83.03
1.575	23.56	9.11	0	8.04	0	82.85
2	29.92	7.10	0	10.90	0	82.00
3	44.48	4.67	0	14.35	0	80.98
4	59.84	3.48	0	16.05	0	80.47
5	74.80	2.78	0	17.05	0	80.17
6	89.76	2.31	0	17.72	0	79.97
8	119.68	1.73	0	18.54	0	79.73
10	149.60	1.38	0	19.04	0	79.58
12	179.52	1.15	0	19.37	0	79.48
14	209.44	0.98	0	19.60	0	79.42
16	239.36	0.86	0	19.78	0	79.36

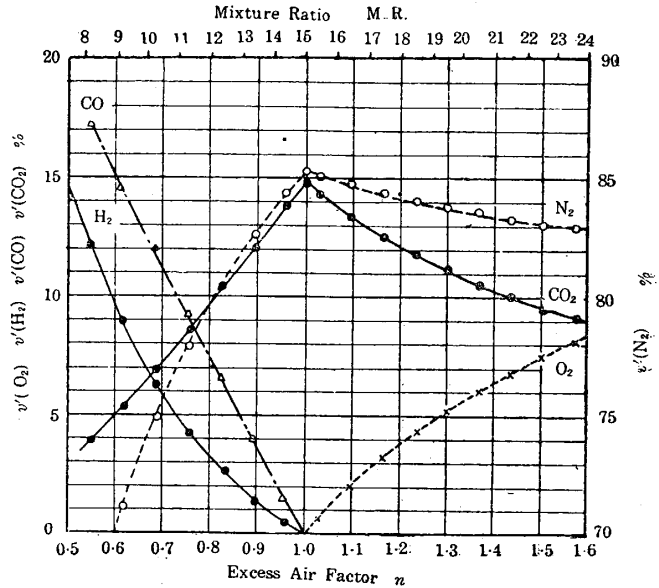
こゝに

$$\text{Excess Air Factor } n = \frac{\text{實際供給空気量}}{\text{理論的最少空気量}}$$

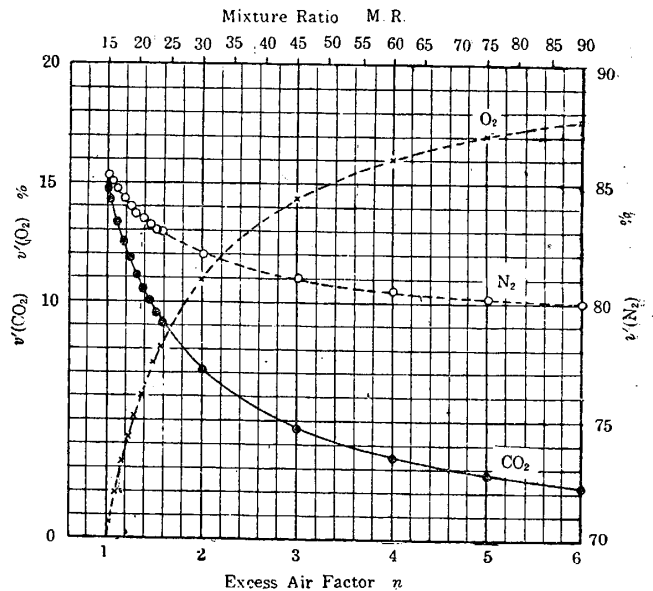
であり  $n=1$  が理論的空気燃焼の場合であり  $n>1$  は Lean Mixture で空気量過剰の場合、 $n<1$  は Rich mixture で空気量不足の場合である。 $n=1$  に相當する混合比 M. R. は第 1 表では 14.6, 第 3 表では 14.96 となつてゐる。この値は燃料に依り多少變化する。第 3 表では  $\text{CH}_4$  が存在しないが第 1 表には僅かながら認められてゐる。H. C. Gerrich 等は  $\text{CH}_4$  の存在を認めてゐない。これは使用發動機の條件によつてある場合にはこれらの未燃炭水化物が排氣中に存在するらしいがいづれにしても

も 0.1~0.5% 程度の微量である故に大勢には大した影響がない。

以後の計算では第 3 表の理論的結果を基礎として計算を行ふこととする。第 4 圖は壓縮點火機關の排氣組成を示すもので、 $\text{CO}_2$  及び  $\text{O}_2$  の容積百分率は夫々  $n$  が増すと共に減少及び増加する。Rich Side ( $n<1$ ) の場合は第 3 圖と同様であるが、燃焼し難いために現在のところではこの範圍は殆んど使用とされてゐない。以上は辨開閉時期の重合が全くない場合又はあつても極めて少い場合であつて辨重合が大きい場合には吹抜け空気又は混合氣が燃焼ガスに混入する故その成分の關係も上述の場合とは多少異つてくる。この場合に就いては改めて後章にて詳述する。



第 3 圖 電氣點火機關排氣の容積組成 (dry state)



第 4 圖 壓縮點火機關の排氣容積組成 (dry state)

第 4 表 排氣成分各單體ガスの物理的性質

Gases	分子 量	密度 $\rho$ kg/Nm <sup>3</sup>	熱傳導率 $k$ cal/cm.sec°C		光屈折率 (Na, 5890Å)	粘 度 $\eta \times 10^7$		比 熱 kcal/Nm <sup>3</sup> °C		Dielectric const.	
			at 0°C	at 20°C		at 0°C	at 500°C	at 0°C	at 1000°C	$\epsilon$	
N <sub>2</sub>	28.02	1.2502	57 × 10 <sup>-6</sup>	1678	1.000299	1840	$c_p$ 0.312 $c_v$ 0.223	0.532 0.243	0.352 0.263	1.000606(8°C)	
O <sub>2</sub>	32.000	1.4278	56.3 × 10 <sup>-6</sup>	1920	1.000271	2120	$c_p$ 0.312 $c_v$ 0.223	0.532 0.243	0.352 0.263	1.000547(0°C)	
CO <sub>2</sub>	44.005	1.9635	34 × 10 <sup>-6</sup>	1380	1.000450	1600	$c_p$ 0.398 $c_v$ 0.309	0.527 0.438	0.583 0.494	1.000985(0°C)	
CO	28.005	1.2496	54 × 10 <sup>-6</sup>	1689	1.000335	—	$c_p$ 0.312 $c_v$ 0.223	0.332 0.243	0.352 0.263	1.000695(0°C)	
H <sub>2</sub>	2.016	0.0899	397 × 10 <sup>-6</sup>	850	1.000139	930	$c_p$ 0.305 $c_v$ 0.216	0.313 0.224	0.321 0.232	1.000364(0°C)	
H <sub>2</sub> O	18.016	0.8038	51.8 × 10 <sup>-6</sup> (100°C) 40.4 × 10 <sup>-6</sup> (0°C)	904	1.000254	975	$c_p$ 0.372 $c_v$ 0.283	0.393 0.304	0.444 0.355	1.00705(145°C)	
CH <sub>4</sub>	16.037	0.7156	64.7 × 10 <sup>-6</sup> (8°C)	1033	1.000444	1201	$c_p$ 0.343 $c_v$ 0.254	0.700 0.611	1.057 0.968	1.000944(0°C)	
Air	28.979	1.2930	56.9 × 10 <sup>-6</sup>	1724	1.000333	1900	$c_p$ 0.312 $c_v$ 0.223	0.332 0.243	0.352 0.263	1.000590(0°C) 1.000576(20°C)	

## 2.2 各成分単體ガスの物理的性質

第4表は各単體ガスの物理的性質である。こゝでは混合比計として出来さうな諸性質のみを擧げておく。

## 2.3 排氣の物理的諸性質の推定

第3表及第4表を用ひて各単體ガスの混合物である排氣の物理的諸性質を推定してみる。排氣ガスは常に  $H_2O$  を含んでゐるが排氣を混合比計に導く迄には殆んど大氣温度近くまで温度が低下し  $H_2O$  の大部分は凝縮し、残部がその温度に相當する飽和状態を保つのが普通である。その程度は温度に依つて異り、實驗状態に依つて甚しく變化し不便であるので混合比計に導く場合には排氣中の残留  $H_2O$  を乾燥劑を用ひて全部吸収して了ふか又は適當の方法によつて Saturated Vapour の影響を打消す様な方法を講ずる。後者の例は熱傳導率型混合比計で對比空氣室の一部に水にて浸した木線糸を挿入して室内の空氣を常に飽和状態を保つ例の如きである。

各成分の密度  $\rho_i$ , 比熱  $C_{pi}$ ,  $C_{vi}$  等を第4表より知ればこれ等の混合物である排氣の  $\rho_{mix}$ ,  $C_{pmix}$ ,  $C_{vmix}$  等は

$$\begin{aligned}\rho_{mix} &= \sum_i v_i' \cdot \rho_i \\ C_{pmix} &= \sum_i v_i' \cdot C_{pi} \\ C_{vmix} &= \sum_i v_i' \cdot C_{vi}\end{aligned}$$

によつて嚴密に求めることが出来る。屈折率  $\mu_{mix}$ , Dielectric Constant  $\epsilon_{mix}$  等も近似的に

$$\begin{aligned}\mu_{mix} &= \sum_i v_i' \cdot \mu_i \\ \epsilon_{mix} &= \sum_i v_i' \cdot \epsilon_i\end{aligned}$$

として求められ、粘度  $\eta_{mi}$ , 熱傳導率  $\kappa_{mix}$  は Kinetic Gas Theory よりも導かれるが<sup>8)9)</sup>、實驗に依れば簡単に

$$\begin{aligned}\eta_{mix} &= \sum_i v_i' \cdot \eta_i \\ \kappa_{mix} &= \sum_i v_i' \cdot \kappa_i\end{aligned}$$

として示される場合が多い。

上の諸式に就いて計算すれば第5表の如く、更に  $n$  について圖示すれば夫々第5~8圖の如くなる。  $\eta$  及び  $C_v$  (kcal/kg°C) を除いてはすべて  $n=1$  を境界として逆變する性質を有してゐる。

## 3 混合比計の種類

排氣の諸性質が以上で一通り明かになつたから、これを基礎としてどんな性質を利用すれば最も良好な混合比計が出来るかといふ問題について検討して見やう。

まづ混合比計として考へられる型式を述べ、その各々について混合比計として成立つか否かの見當をつけて見る。

9) Kenard; Kinetic Theory of Gases.



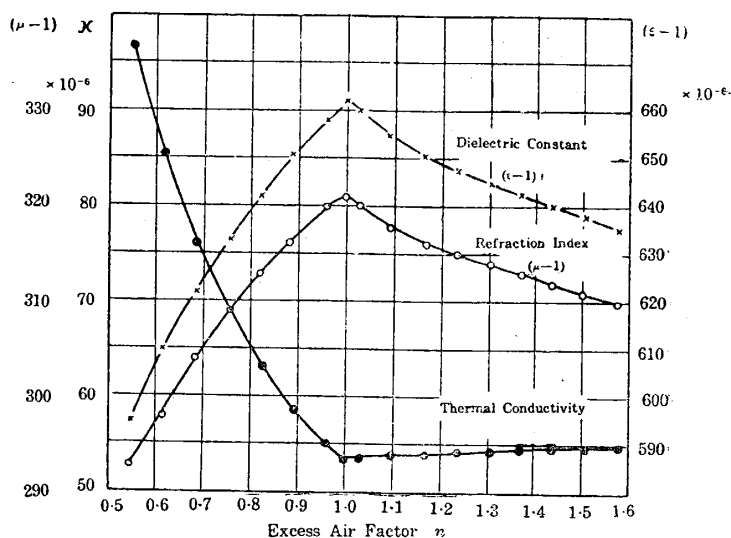
第5表 排氣の物理的諸性質 (dry state)

(燃料組成 C=0.8476 H=0.1524)

空氣供給率 $n$	混合比 M.R.	分子量 M	密度 $\rho$ kg/Nm <sup>3</sup>	熱傳導率 $\kappa \times 10^6$ cal/cm sec°C	光屈折率 $\mu$ (Na.5890 Aに對し)	粘 度 $\eta \times 10^7$ (at0°)gr /cm.sec	比 熱 $C_p$ (at0°C) kcal/ Nm <sup>3</sup> °C	比 熱 $C_v$ (at0°C) kcal/ Nm <sup>3</sup> °C	比 熱 $C_v$ (at0°C) kcal/ kg°C	Di- electric constant $\epsilon$
0.548	8.20	25.492	1.1374	96.76	1.000293	1568	0.3133	0.2247	0.1971	1.000595
0.616	9.22	26.547	1.1846	85.73	1.000298	1590	0.3147	0.2261	0.1909	1.000610
0.685	10.25	27.509	1.2274	76.19	1.000304	1607	0.3162	0.2276	0.1854	1.000622
0.754	11.28	28.290	1.2623	69.13	1.000309	1619	0.3178	0.2292	0.1816	1.000633
0.822	12.30	28.985	1.2932	63.34	1.000313	1626	0.3194	0.2308	0.1785	1.000642
0.891	13.33	29.587	1.3201	58.80	1.000316	1631	0.3210	0.2324	0.1760	1.000651
0.959	14.35	30.102	1.3431	55.32	1.000320	1634	0.3225	0.2339	0.1741	1.000658
1.000	14.96	30.379	1.3555	53.61	1.000321	1634	0.3234	0.2348	0.1732	1.000662
1.028	15.38	30.335	1.3535	53.70	1.000320	1637	0.3231	0.2345	0.1733	1.000660
1.096	16.40	30.237	1.3491	53.93	1.000318	1643	0.3222	0.2336	0.1731	1.000655
1.165	17.43	30.149	1.3452	54.10	1.000316	1648	0.3215	0.2329	0.1731	1.000651
1.234	18.46	30.073	1.3418	54.26	1.000315	1653	0.3208	0.2322	0.1730	1.000648
1.302	19.48	30.005	1.3388	54.40	1.000314	1657	0.3203	0.2317	0.1730	1.000645
1.370	20.50	29.945	1.3361	54.53	1.000313	1661	0.3197	0.2311	0.1730	1.000643
1.438	21.51	29.890	1.3336	54.65	1.000312	1665	0.3193	0.2307	0.1730	1.000640
1.507	22.54	29.842	1.3315	54.75	1.000311	1668	0.3189	0.2303	0.1730	1.000638
1.575	23.56	29.792	1.3275	54.82	0.000310	1669	0.3181	0.2295	0.1729	1.000635
2	29.92	29.588	1.3202	55.29	1.000307	1683	0.3167	0.2281	0.1728	1.000627
3	44.88	29.340	1.3091	55.83	1.000302	1699	0.3146	0.2260	0.1726	1.000615
4	59.84	29.217	1.3036	56.19	1.000300	1707	0.3136	0.2250	0.1726	1.000610
5	74.80	29.142	1.3003	56.24	1.000298	1711	0.3129	0.2243	0.1725	1.000606
6	89.76	29.094	1.2981	56.32	1.000298	1714	0.3125	0.2239	0.1725	1.000605
8	119.68	29.032	1.2954	56.49	1.000296	1717	0.3120	0.2234	0.1725	1.000601
10	149.60	28.997	1.2938	56.56	1.000296	1720	0.3117	0.2231	0.1724	1.000600
12	179.52	28.973	1.2927	56.60	1.000295	1721	0.3115	0.2229	0.1724	1.000599
14	209.44	28.957	1.2921	56.64	1.000294	1722	0.3114	0.2228	0.1724	1.000598
16	239.36	28.945	1.2914	56.66	1.000294	1723	0.3113	0.2227	0.1724	1.000597

(A) 發動機吸入側にて混合比を求める方法

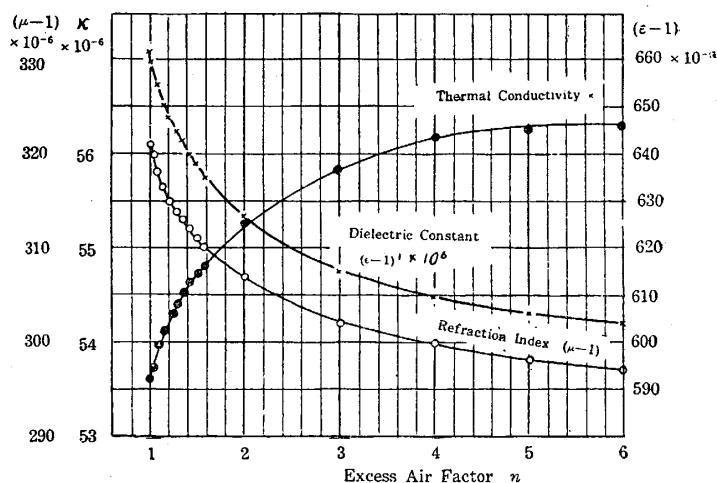
(1) 直接法 (空気量及び燃料の量を直接計測するもの)  
 發動機の吸収する空気重量  $Q_a$  とこれに混入する燃料の重量  $Q_f$  とを別々に適當の方法で計測し計算で  $M. R. = Q_a/Q_f$  を求めるか又は電氣的方法その他を用ひて  $Q_a, Q_f$  の兩者を couple して  $M. R.$  を直示せしめる計器を作ること. この方法も確かに混合比計としての一つの進み方であつて、こ



第5圖 ガソリン機關排氣諸性質の混合比に依る變化

の方法によれば混合比によつて指示が逆變する様なこともなくガソリン、ディーゼル共に用ひられて工合がよいと思ふが次の様な難點を有する。

- (i) 空気密度の如何に關せず空氣重量を直示する様な計器を作らねばならぬこと.
- (ii) Valve Stem 等より洩入する空氣量及びピストンよりクランク・ケースに洩出する空氣量により多少の誤差が伴ふこと.



第6圖 デーゼル機關排氣諸性質の混合比に依る變化

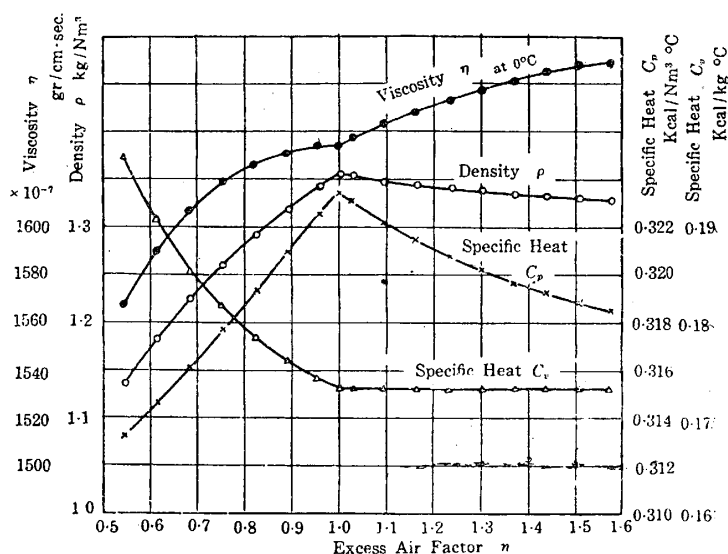
- (iii) 2 サイクル機關及び overlap の大きい 4 サイクル機關では多少の筒抜け損失がある故に指示混合比は實際氣筒中で燃焼する場合の混合比と異つた混合比を與へること.
- (iv) 各氣筒の混合比分配狀況を指示せしむることは一寸困難なこと.

以上の如き種々の難點があるが、ある場合には利用價值がある故に發展せしむる必要がある。

(2) 間接法 (混合氣の物理的性質を利用する方法)

燃焼室内に燃料を直接噴射する場合には、この方法は用ひられないが氣化器を用ひるもの又は吸氣管内に噴射するものでは、ガソリンと空氣との混合氣の物理的諸性質は混合比によつて變化する筈であるから、これを利用すれば一見混合比を直示出來さうである。この方法の最大難點はガソリンの氣化性が不規則、複雑なことである。即ち吸入するガ

ソリンの中で吸入弁を通る迄に吸入管内で氣化するのは極めて一部分に過ぎず、一部は滴状をなし、一部はガソリンの流れとなつて吸入管内を通過する。従つてこの混合氣の屈折率の變化、dielectric constantの變化、熱傳導率の變化、粘度の變化、氣化による溫度降下、燃焼による發生熱量等の諸性質を利用しても混合比を正しく指示せしめるのは至難の術である。餘程特殊の方法を講じない限り執着しない方が賢明さうである。



第7圖 ガソリン機關排氣諸性質の混合比に依る變化

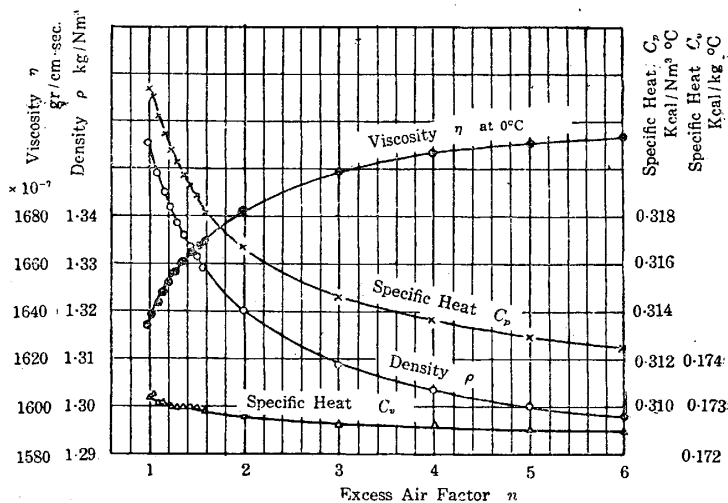
(B) 氣筒溫度、排氣溫度の變化を利用し得るや

發動機の氣筒溫度、點火栓座の溫度及び排氣溫度は混合比に依つて變化する故に、これらに依つて間接的に混合比を知らうと云ふ劃でもあるが、これも相當の缺點を伴ふ。

溫度自身は熱電對又は抵抗變化等を利用すれば至極簡単に測定出来る故に計器としては問題ない。問題はその指示が將して常に正しい混合比の變化を指示するや否やの點にある。

第9圖は地上、絞弁全開無過給Otto cycleの爆發最高溫度が混合比及び壓縮比によつて如何に變るかを示し、第10圖は同じく大氣壓 760 mmHg 迄膨脹したとした場合の排氣溫度が混合比及び壓縮比に依つて如何に變るかを示すものである。

爆發最高溫度は  $n=0.9$  位の Rich Side で最高を示し、これより  $n$  が大きくても小さくても溫度は低下する。最大値が Rich Side で起るのは高溫度に於ける  $CO_2$ ,  $H_2O$  の熱解離に



第8圖 デーゼル機關排氣諸性質の混合比に依る變化

10) 燃焼ガス JS 線圖を利用した理論的推定値である。詳細は次の文献参照、田中敬吉、栗野誠一；ガソリン發動機のサイクルに及ぼす混合比並に壓縮比の影響；航研彙報144號（昭11年8月）p,507/526.

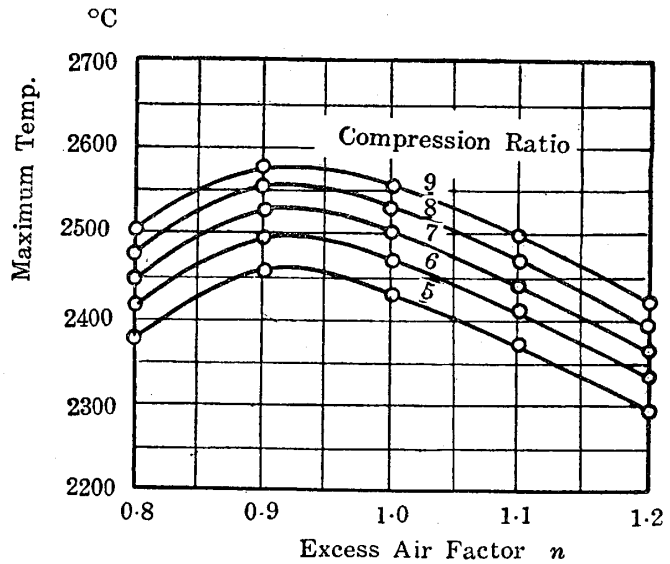
起因するものである。排氣温度の程度では温度が低いと熱解離は殆んど起らないので  $n=1.0$  を中心として稀薄、過濃いづれも温度が低下する。

この圖を見れば一見一定壓縮比の發動機では温度殊に排氣温度の測定に依つて、混合比を推定することが出来さうであるが、これは地上絞弁全開の場合に對するものであつて、實際の發動機では高度の變化、絞弁開度、過給の程度に依つて變化するブースト壓力、及び高度の變化による背壓の變化並に吸入氣の温度低下等の諸影響がすべて効いてくる。第11.12圖はその例を示すものであつて、一定壓縮比  $\epsilon=6$ 、一定空氣供給率  $n=0.9$  地上運轉の下に於いてさへ過給機の出口壓力及び温度によつて爆發最高温度及び排氣温度が如何に變るかを示すものである。氣筒温度及び點火栓座温度は實驗によれば略々爆發最高温度に比例する。

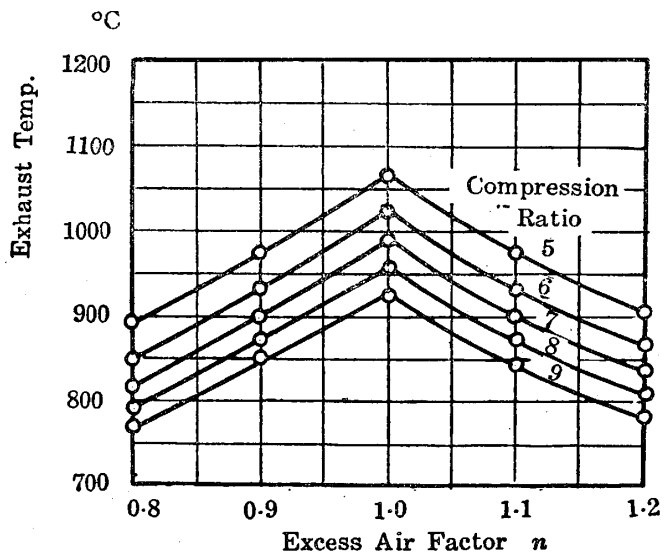
以上を綜合してこの温度變化を利用する混合比計の缺點を列擧すれば次の如くである。

- (i) 氣筒温度、點火栓座温度は氣筒の冷却程度による影響大なること。排氣温度を利用するものは比較的この影響は少い。
- (ii) 混合比指度が逆變し、同一讀みに對して Rich Side 及び Lean Side の二つの

場合あり、その判別を誤る虞れあり。但この缺點は後述の他の混合比計に於ても殆んど總てに付き物の難點であつて、この計器の最も困難な點である。指度逆變しても Rich, Lean のいづれの側にあるかは燃料辨を Rich Side 又は Lean Side に少し變化してみても指針の動きを見れば判別出来さうであるが、逆變點の附近では判別が困難であり、又極端に Lean 又は Rich Side を使用してゐるときはこの判別法を行ふ際に燃燒範圍外にとび出し發動機の停止を來す危険性があり計器として好ましくない。



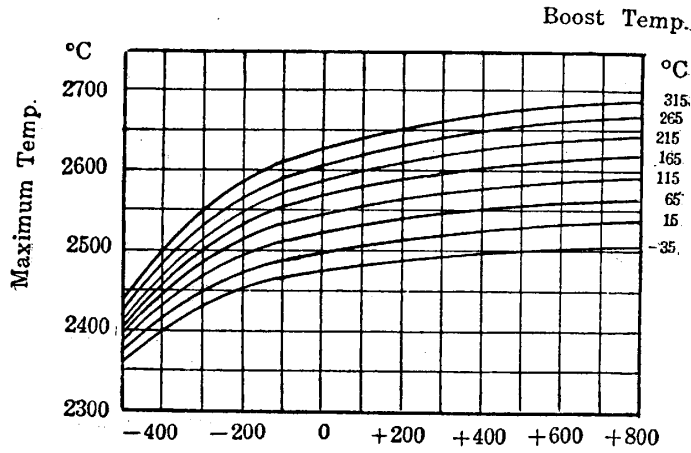
第9圖 混合比に依る最高爆發温度の變化 (地上絞弁全開)



第10圖 混合比に依る排氣温度の變化 (地上絞弁全開)

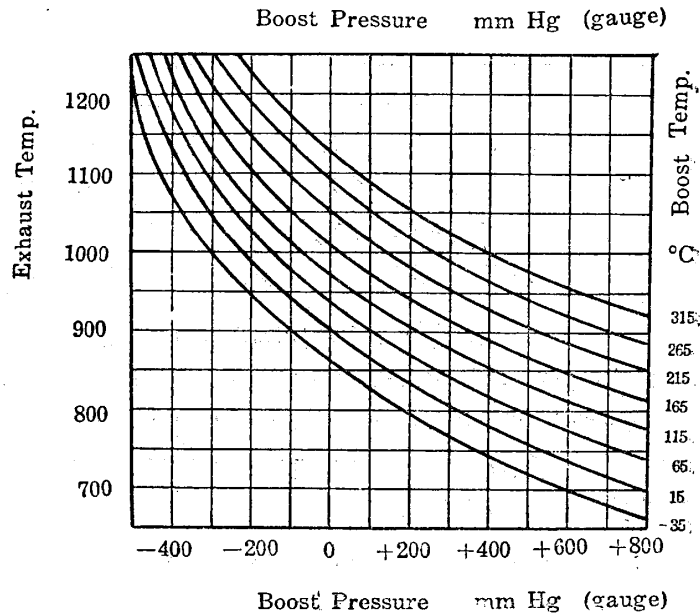
ディーゼル機關の様に Lean Side のみを使用する場合にはこの缺點はない。

- (iii) 壓縮比に依つて變化すること。
- (iv) 同一混合比であるにも關らず吸氣壓力及び溫度に依つて計器指示が變化すること。従つて高度の變化、絞辨の開閉、中間冷却器の働き方等によつても一々影響される。
- (v) 燃焼の仕方従つて點火時期等に依つても影響を受ける。



第11圖 吸氣壓力及び吸氣溫度に依る最高爆發溫度の變化  
( $n=0.9$   $\epsilon=6$  背壓 760mmHg)

- (vi) ノツクの有無に依り指度が變化する。
  - (vii) 2 サイクル及び4 サイクルでも overlap の大なるものでは空氣筒抜けに依り、排氣及び氣筒溫度は低下する故、その影響を受ける。
- (ii) (iv) (vi) (vii) 等が相當致命的缺點である故にこれに對する充分の補正方法を講じない限り殆んど見込みがなさそうである。



第12圖 吸氣壓力及び溫度に依る排氣溫度の變化  
( $n=0.9$   $\epsilon=6$  地上、大氣壓迄斷熱膨脹するものとして推定)

(C) 排氣組成の變化を利用するもの

第3,4圖に明かな様に  $H_2O$  を全部除去した dry state の排氣中には

- (i) Rich Side でのみ存在するガス  $H_2$ ,  $CO$
- (ii) Lean Side でのみ存在するガス  $O_2$
- (iii) Rich, Lean 兩 Side で存在するガス  $CO_2$ ,  $N_2$

である。従つて Rich Side でのみ使用する混合比計は  $H_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $N_2$  を利用すればよく Lean Side でのみ使用するのものには  $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $N_2$  を利用すればよい。

同一計器で Rich Side, Lean Side 共通に使用するには  $CO_2$ ,  $N_2$  を用ふるか又は  $H_2$ ,  $CO$  と  $O_2$  を併用するか又は  $CO_2$  を含む諸ガスを適當に組合せて利用することを要する。

## 成分ガスの組合せによる区分

利用ガス	
(1) CO+(N <sub>2</sub> )	(Rich Side のみ利用可能)
(2) H <sub>2</sub> +(N <sub>2</sub> )	(Rich Side のみ利用可能)
(3) CO+H <sub>2</sub> +(N <sub>2</sub> )	(Rich Side のみ利用可能)
(4) O <sub>2</sub> +(N <sub>2</sub> )	(Lean Side のみ有効, デーゼル機関に有効)
(5) CO <sub>2</sub> +(N <sub>2</sub> )	(Rich, Lean 両 Side 有効, 指示逆變, デーゼル機関に有効)
(6) N <sub>2</sub>	(Rich, Lean 両 Side 有効, 但 Lean Side は感度不良)
(7) H <sub>2</sub> +O <sub>2</sub> +(N <sub>2</sub> )	(Rich, Lean 両 Side 利用可能)
(8) CO+O <sub>2</sub> +(N <sub>2</sub> )	(Rich, Lean 両 Side 利用可能)
(9) CO <sub>2</sub> +O <sub>2</sub> +(N <sub>2</sub> )	(Rich, Lean 両 Side 利用可能)
(10) H <sub>2</sub> +CO+O <sub>2</sub> +(N <sub>2</sub> )	(Rich, Lean 両 Side 利用可能)
(11) H <sub>2</sub> +CO <sub>2</sub> +(N <sub>2</sub> )	(Rich, Lean 両 Side 利用可能)
(12) CO+CO <sub>2</sub> +(N <sub>2</sub> )	(Rich, Lean 両 Side 利用可能)
(13) H <sub>2</sub> +CO <sub>2</sub> +CO+(N <sub>2</sub> )	(Rich, Lean 両 Side 利用可能)
(14) H <sub>2</sub> +CO <sub>2</sub> +O <sub>2</sub> +(N <sub>2</sub> )	(Rich, Lean 両 Side 利用可能)
(15) CO+CO <sub>2</sub> +O <sub>2</sub> +(N <sub>2</sub> )	(Rich, Lean 両 Side 利用可能)
(16) H <sub>2</sub> +CO+CO <sub>2</sub> +O <sub>2</sub> +(N <sub>2</sub> )	(Rich, Lean 両 Side 利用可能)

これらのガスの組合せとその物理的諸性質との combination につき混合比計としての適應性を總括したのが第6表である。密度, 熱傳導率, 光屈折率, 粘度, 比熱, Dielectric constant,  $\gamma$  の諸性質を利用する場合には表中最上段に示す如き諸ガスのみを排氣中より化學的方法その他に依つて残留せしめてその性質變化を利用することを示し, この際は窒素 N<sub>2</sub> は除去し難い故に常にこれを含む。

化學的吸収法による容積變化とは後述の如き適當の化學的方法に依つて排氣中の CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CO 等を吸収せしめ, 吸収前後の容積變化を利用するものである。この時は最上段は吸収されるガスを示す。但し N<sub>2</sub> は吸収され難く残留する故 (N<sub>2</sub>) を以て示す。再燃焼熱量法とあるは排氣中に CO 及び H<sub>2</sub> が存在する場合に, これに酸素又は空気を供給して再燃焼せしめ, その際の發生熱量に依つて混合比を求めんとするものであるがその性質上 Rich Side のみしか使用出来ない。

表中の符號は夫々表上に示す如き意味を示すものである故 Rich, Lean 両 Side 共に有効にして且指示が  $n=1.0$  で逆變せぬためには  $\triangle^{RL}$  が最も良く  $\odot^{RL}, \circ^{RL}$  がこれに次ぎ  $\odot^{RLRL}, \circ^{RLRL}$  は指示逆變する故に適當の方法を講ぜねばならない。

排氣成分中の CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> を化學的に吸収することは比較的容易であるが CO, H<sub>2</sub> を完全に除去又は吸収するには時間を要し混合比計として利用するには幾分困難を感ずるので第6表にはこれらの點についても考慮した。

第6表 混合比計として利用し得る排氣中の各ガス成分及び諸性質の組合せ一覽表

×利用出來ぬもの R. Rich Sideのみ有效 v; 指示逆變するもの  
 ○利用し得る可能性あり L. Lean Sideのみ有效 S; 指示逆變せぬもの  
 ◎稍良しきもの R. L. 兩 Side 有效  
 △非常によろしきもの

利用ガス成分 利用性質	(1) R. CO +(N <sub>2</sub> )	(2) R. H <sub>2</sub> +(N <sub>2</sub> )	(3) R. CO +H <sub>2</sub> +(N <sub>2</sub> )	(4) L. O <sub>2</sub> +(N <sub>2</sub> )	(5) R.L. CO <sub>2</sub> +(N <sub>2</sub> )	(6) R.L. N <sub>2</sub>	(7) R.L. H <sub>2</sub> +O <sub>2</sub> +(N <sub>2</sub> )	(8) R.L. CO +O <sub>2</sub> +(N <sub>2</sub> )	(9) R.L. CO <sub>2</sub> +O <sub>2</sub> +(N <sub>2</sub> )	(10) R.L. H <sub>2</sub> +CO +O <sub>2</sub> +(N <sub>2</sub> )	(11) R.L. H <sub>2</sub> +CO +CO <sub>2</sub> +(N <sub>2</sub> )	(12) R.L. CO +CO <sub>2</sub> +(N <sub>2</sub> )	(13) R.L. H <sub>2</sub> +CO +CO <sub>2</sub> +(N <sub>2</sub> )	(14) R.L. H <sub>2</sub> +CO <sub>2</sub> +O <sub>2</sub> +(N <sub>2</sub> )	(15) R.L. CO+CO <sub>2</sub> +O <sub>2</sub> +(N <sub>2</sub> )	(16) R.L. H <sub>2</sub> +CO +CO <sub>2</sub> +(N <sub>2</sub> )
密度 kg/Nm <sup>3</sup>	×	×	×	×	×	×	×	×	×	R.L. ○	×	×	×	×	×	R.L. v ◎
熱傳導率 cal/cm sec°C	×	×	×	×	×	×	×	×	×	R. ○	×	×	×	×	×	R.L. v ◎
光屈折率 μ	×	×	×	×	×	×	×	×	×	R.L. v ○	×	×	×	×	×	R.L. v ◎
粘度 η	×	×	×	×	×	×	×	×	×	R.L. S ○	×	×	×	×	×	R.L. S ◎
比熱 C <sub>p</sub> kcal/Nm <sup>3</sup> °C	×	×	×	×	×	×	×	×	×	R. ○	×	×	×	×	×	R.L. v ◎
Dielectric constant ε	×	×	×	×	×	×	×	×	×	R.L. v ○	×	×	×	×	×	R.L. v ◎
比熱 C <sub>v</sub> kcal/kg °C	×	×	×	×	×	×	×	×	×	R.L. S ○	×	×	×	×	×	R.L. S ○
$\gamma = \frac{C_p}{C_v}$ 化學的吸收 法による 容積變化	×	×	×	×	×	×	×	×	×	R. ○	×	×	×	×	×	R.L. v ○
再熱 燃量	R. △	×	×	L. △	R.L. v ◎	×	×	R.L. v ○	×	×	×	R.L. S ◎	×	×	×	×
再熱 量	R. ○	R. ○	R. △	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×

これらの combination の内原理的に有望視されるものは二三しかなく、他はいづれも缺陷を有して居り、完全な混合比計を求めることの如何に至難であるかを明示してゐる。

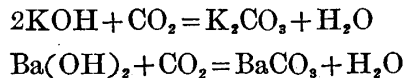
#### 4. 排氣の化學的處理方法

化學的吸収法による容積變化を利用する場合及び(1)~(15)の如く排氣中の一部ガスを吸収せしめてその残留ガスの性質變化を利用しやうとする様な場合には排氣の化學的處理を必要とする。よく知られてゐる方法であるが混合比計として利用可能の如き排氣中の或成分の吸収法を一括して次に示す。

##### (a) CO<sub>2</sub>; Caustic Potassium Solution

純粹な KOH 75gr を水 150cc の割合で溶解したるものに氣體を通過せしめて吸収する吸収は極めて迅速であり、液の耐久性が大きい。少量の CO<sub>2</sub> を吸収せしむるには Ba(OH)<sub>2</sub> を用ひてもよい。

この際の反應式は夫々次の如くである。



CO<sub>2</sub> 吸収量は KOH 1gr に對して約 199.5cc, Ba(OH)<sub>2</sub> 1gr に對して 130.6cc である。CO<sub>2</sub> が排氣の 14.76% (n=1.0) 占めるものとして排氣處理可能量を計算するに KOH 1gr につき 1350cc, Ba(OH)<sub>2</sub> 1gr につき 886cc である。

##### (b) O<sub>2</sub>; Alkaline Pyrogallol

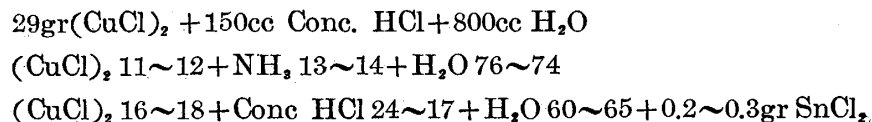
7.5gr の焦性没食子酸 (Pyrogallol) を 75gr の KOH の 150cc の水溶液に加へる處方又は比重 1.55 の KOH 水溶液 135cc に 15gr の Pyrogallol を 15cc の水に溶かしたものを加へて用ひる。後者に於ては KOH 中の 1gr の Pyrogallol は 189.3cc の O<sub>2</sub> を吸収し、NH<sub>3</sub> 性なれば 266cc を吸収する。

O<sub>2</sub> を吸収し赤褐色となる。液は密栓、遮光しておけば暫時貯へられる。溫度 15° 以下では活潑に作用せず3分以上を要し水分、CO<sub>2</sub> 其他酸性氣體を分離したガスを通過せしむるを要する。

##### (c) CO; (CuCl)<sub>2</sub>

CO と CuCl との結合は極めて不安定で振盪に依つても容易に CO を放出すると云はれる。又 CuCl は CO のみならず O<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> その他重炭化水素をも吸収する故あまり排氣分折には適當でない。

一例としては

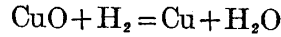


吸収速度は甚だ遅い。

##### (d) H<sub>2</sub> (i) CuO (加熱)

250°C に加熱せる CuO 上に通じ CuO を還元する。





- (ii) パラジウム黒による吸着.  $\text{O}_2$  があれば化学觸媒として働く.  
 吸収速度はいづれもあまり敏速ではない.

5. 非逆變型排氣利用混合比計

3 (c) に示した排氣の成分變化を利用する混合比計の中で Rich, Lean 兩 Side 共に使用出来且指示の逆變しない見込みのもの即第6表中の  $\frac{RL}{S}$  に屬するものに就き有望さうなもの二三につき次に考察する.

- (i) 化学的吸収に依る容積變化を利用するもの.\*

(a)  $\text{CO}_2 + \text{O}_2$  吸収 (第6表(9))

排氣を前述 4 (a) (b) に示した KOH solution 及び Alkaline Pyrogallol solution を連続して通過せしむるか又はその混合液中を通過せしむる時は排氣中の  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$  は吸収されその爲に容積を變化する.

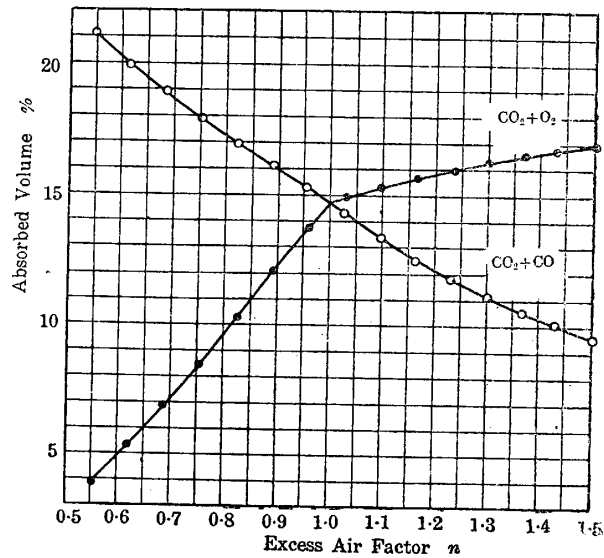
この變化容積を計器に表示せしむるか又は吸収後のガスを吸収前と同一容積まで膨脹するときの壓力變化等を何等かの方法で指示せしむればよい. この時の吸収による容積變化は第 13 圖の如くなり  $n=1.0$  に於ても逆變しない.

この方法の缺點は

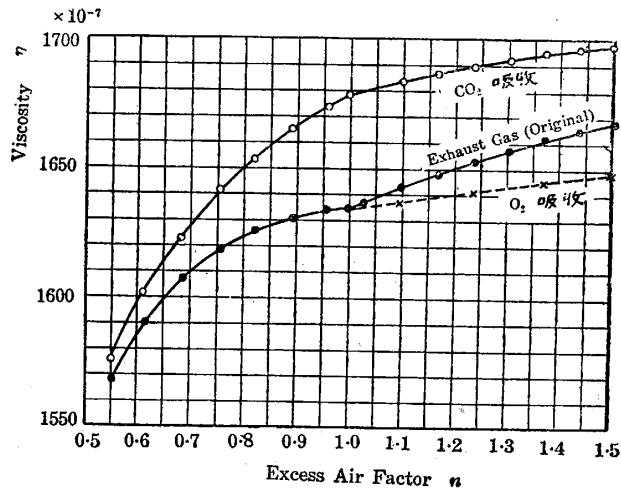
- (i)  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$  吸収剤を用意しておかねばならず, 又屢々交換を要すること
- (ii) 吸収剤の吸収能に限度がある故, 連続的に使用出来ぬこと.
- (iii) 直示型指示器に持つて行くことが一寸困難なこと.
- (iv) Rich Side では精度よきも Lean Side では精度低下すること.

(b)  $\text{CO} + \text{CO}_2$  吸収 (第6表 (12))

前の  $\text{O}_2$  の代りに  $\text{CO}$  を吸収せしめれば第13圖の如く混合比に依り略直線的に變化する



第13圖 化学的吸収法による容積變化



第14圖 排氣ガス粘度の混合比に依る變化

\* 本案は富塚所員の創案に依るもの.

故理想的であるが CO を短時間に完全に吸収することが困難なことが最大缺點である。

(ii) 粘度の變化を利用するもの

- (a) 排氣全部の粘度の變化を利用するもの (第9表 (16))
- (b) 排氣中の  $O_2$  を吸収した残留ガスの粘度變化を利用するもの (第9表 (13))
- (c) 排氣中の  $CO_2$  を吸収した残留ガスの粘度變化を利用するもの (第9表 (10))

いづれも逆變はしないが曲線としてはあまり良好ではない。但しこの $\eta$ は推定値である故いづれ實驗によつて驗める心算である。

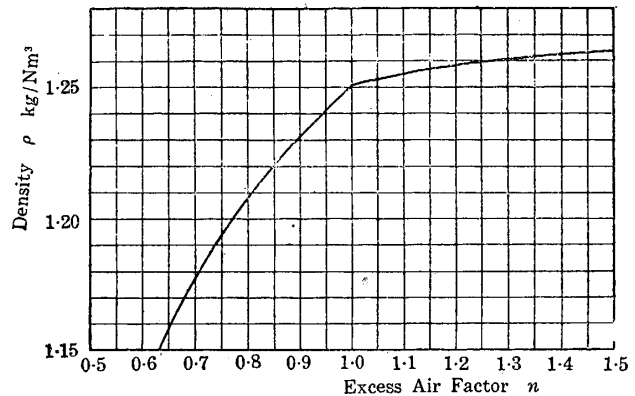
粘度は壓力には無關係であるが溫度により著しく變化する故實施するとせば一定溫度のもとで空氣等の一定ガスとの比較法によるのが良いであらう。

(iii)  $CO_2$  を除いた排氣の密度の變化を利用するもの (第6表 (10))

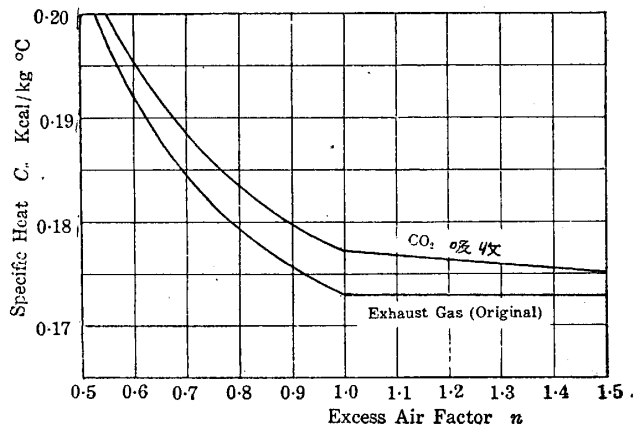
排氣ガスを KOH の溶液中を通過して  $CO_2$  を完全に吸収した後のガスの密度を測定すれば混合比に對して第15圖の如く變化する筈である。非逆變型ではあるが Lean side での感度が低下することが缺點である。ガソリン機關の混合比計としては一寸難しいであらう。

(iv) 比熱  $C_p$  (kcal/kg $^{\circ}C$ ) の變化 (第6表 (10) (16))

第16圖の如く  $CO_2$  を吸収した残留ガスを用ふる方が多少 Lean Side の精度は増すが大したことはなく全排氣の場合と同様 Rich Side に比して甚だしく感度低下し、あまり見込みがなさそうである。



第15圖  $CO_2$  を吸収した残留排氣の密度變化



第16圖 全排氣及び  $CO_2$  吸収排氣の  $C_p$

## 6. 一定量空氣 (又は酸素) 添加再燃燒非逆變型混合比計

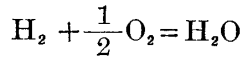
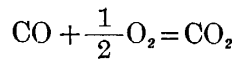
以上を總括して考察するに排氣そのまゝでは勿論のこと  $CO_2$ ,  $O_2$ , CO 等を吸収した残留ガスを用ひて見ても Lean, Rich 兩 Side で指示が逆變せず、又 Lean Side で感度の低下しない混合比計を得ることは相當困難である。その根本原因は排氣が  $n=1.0$  を中心として Lean, Rich 兩 Side で  $CO_2$ ,  $N_2$  の含有割合が逆變し又  $H_2$ , CO は Rich Side にのみ存在し  $O_2$  は Lean Side にのみ存在するによる。依つて指示の逆變を避けるためには  $n=1.0$  の兩側に跨る混合比の範圍を  $n \geq 1.0$  又は  $n \leq 1.0$  の範圍に移動せしめて了へば逆變の現象は全く起らなくなり、第6表中の  $RL_V$  型のものもすべて  $RL_S$  型に導くことが出來さうである。

混合比の使用全範圍を  $n \geq 1.0$  の範圍に移動するには排氣に一定量の  $O_2$  又は空気を混入した後再燃焼せしめたガスを逆變型混合比計に通すればよく、その指示は非逆變型になる。

又  $n \leq 1.0$  の範圍に移動するには一定量の排氣に一定量の  $H_2$  又は  $CO$  を添加したガスを再燃焼後逆變型混合比計に通すればよい。

まづ前者について考へて見る。

全體を Lean Side に移動せしむるために排氣  $1Nm^3$  に對して加ふべき空氣量  $v_a Nm^3$  は使用する最も濃い混合比に依つて定まる。



である故 Rich Side の排氣中に殘存する  $CO$  及  $H_2$  を完全に再燃焼せしめるには  $(CO + H_2)$  の容積の  $\frac{1}{2}$  の酸素又は  $\frac{1}{2} \times \frac{100}{21}(CO + H_2)$  容積の空氣を加へればよい。

例へば第3表で使用最濃混合比を  $M.R. = 8.20$ ,  $n = 0.548$  とすればこれを完全再燃焼させるには乾燥排氣  $100Nm^3$  に對して

$$v_a = \frac{100}{42} \left[ v'(CO) + v'(H_2) \right] Nm^3 = 2.381 \left[ 17.20 + 12.11 \right] = 69.79 Nm^3$$

の割合即 69.79% の空氣を添加すればよい。

酸素のみを加へるときは

$$v_o = \frac{1}{2} \left[ v'(CO) + v'(H_2) \right] Nm^3$$

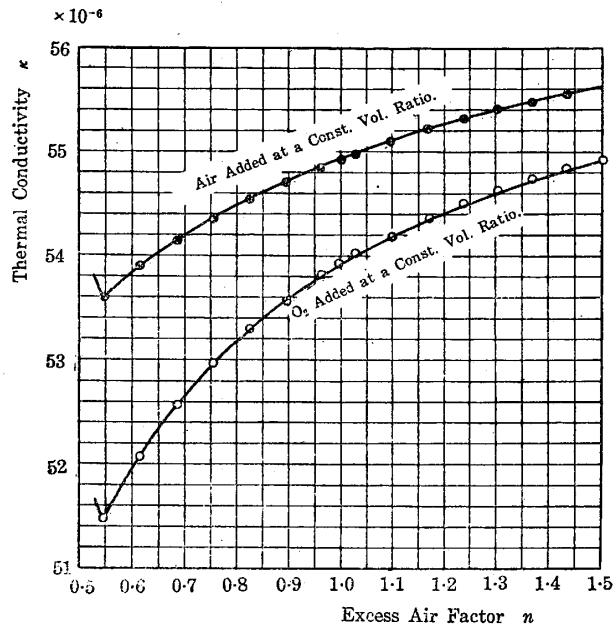
$$= 0.5 \times 29.31 = 14.66 Nm^3$$

即ち排氣の 14.66% の  $O_2$  を要する。

上例の一定量の空氣を加へて燃焼した場合の生成ガスの成分及び熱傳導率を計算すれば第7表の如く、一定量  $O_2$  を添加再燃焼する場合は第8表の如く熱傳導率を圖示すれば第17圖の如くなる。

第5圖の Lean Side のみを Rich Side に移動擴大して使用することになり使用範圍では指示の逆變がない。

$O_2$  添加の場合の方が空氣添加の場合よりも混合比による熱傳導率の變化



第17圖 一定量空氣又は  $O_2$  添加再燃焼ガスの熱傳導率

第7表 第3表排氣にその69.79% (容積) の空気を加へて再燃焼した時の燃焼ガス成分及びその熱傳導率 (dry state 逆變點  $n=0.548$ )

原空氣供給率 $n$	混 合 比 M. R.	% b(CO <sub>2</sub> )	% b(O <sub>2</sub> )	% b(N <sub>2</sub> )	熱 傳 導 率 $\kappa \times 10^6$
0.548	8.20	14.75	0	85.25	53.61
0.616	9.22	13.40	1.93	84.67	53.91
0.685	10.25	12.26	3.59	84.15	54.16
0.754	11.28	11.26	4.97	83.77	54.38
0.822	12.30	10.42	6.17	83.41	54.55
0.891	13.33	9.69	7.22	83.09	54.71
0.959	14.35	9.04	8.14	82.82	54.86
1.000	14.96	8.69	8.63	82.68	54.94
1.028	15.38	8.44	8.99	82.57	54.99
1.096	16.40	7.88	9.79	82.33	55.12
1.165	17.43	7.38	10.50	82.12	55.23
1.234	18.46	6.94	11.13	81.93	55.33
1.302	19.48	6.56	11.67	81.77	55.41
1.370	20.50	6.21	12.16	81.63	55.49
1.438	21.25	5.90	12.60	81.50	55.56
1.507	22.54	5.62	13.01	81.37	55.61
1.575	23.56	5.37	13.37	81.26	55.68

第8表 第3表排氣に一定量O<sub>2</sub>(排氣の14.66%)を加へて再燃焼せしめたガスの成分及び熱傳導率

原空氣供給率 $n$	混 合 比 M. R.	% b(CO <sub>2</sub> )	% b(O <sub>2</sub> )	% b(N <sub>2</sub> )	熱 傳 導 率 $\kappa \times 10^6$
0.548	8.20	20.00	0	76.00	51.48
0.616	9.22	21.26	3.07	75.67	52.09
0.685	10.25	19.06	5.59	75.35	52.58
0.754	11.28	17.25	7.61	75.14	52.98
0.822	12.30	15.77	9.34	74.89	53.31
0.891	13.33	14.52	10.82	74.66	53.59
0.959	14.35	13.44	12.10	74.46	53.82
1.000	14.96	12.87	12.79	74.34	53.95
1.028	15.38	12.50	13.32	74.18	54.03
1.096	16.40	11.67	14.50	73.83	54.21
1.165	17.43	10.93	15.55	73.52	54.38
1.234	18.46	10.28	16.47	73.24	54.51
1.302	19.48	9.71	17.29	73.00	54.64
1.370	20.50	9.20	18.01	72.79	54.76
1.438	21.25	8.74	18.66	72.60	54.85
1.507	22.54	8.32	19.27	72.41	54.95
1.575	23.56	7.95	19.80	72.25	55.03

は大きいが、空気を加へるときの方が混合比に対して直線的變化に近い變り方をする。又  $O_2$  ではポンベを持つて行かねばならぬが空気なれば大氣中より採入れることが出来る故空氣型の方が良いであらう。

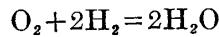
上には熱傳導率について示したが第 5~8 圖で Lean Side の性質のよいものならずべて見込みがある。屈折率  $\mu$ , Dielectric constant  $\epsilon$ , 比熱  $C_p$ , 密度  $\rho$  等いづれもこの方法を應用すれば非逆變型混合比計に利用出来る。

### 7. 一定量水素添加再燃焼非逆變型混合比計

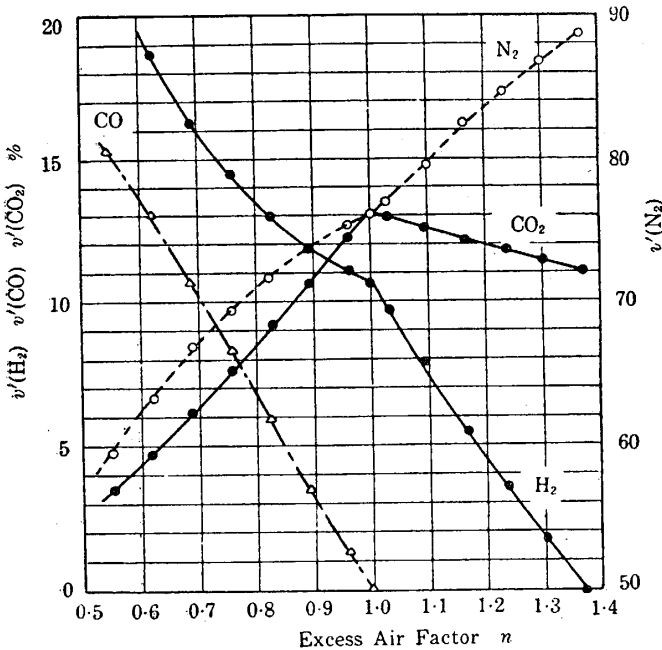
前者は使用範圍を全體として Lean Side に移動して指示の逆變を避けたのであるが、これとは逆に全體を Rich Side の方即ち  $n \leq 1$  の方に移動せしめることも出来る筈である。それには一定量の排氣に一定量の  $H_2$  又は  $CO$  を添加しこれを再燃焼せしめたガスを通常の逆變混合比計に通すればよい。

$H_2$ ,  $CO$  は Rich Side で排氣中に  $O_2$  がない場合には、そのまま存在し單に  $H_2$ ,  $CO$  の成分の割合を増加するのみであるが Lean Side に於ては殘留してゐる  $O_2$  と結合し  $H_2O$ ,  $CO_2$  に變化する。

この場合には添加する  $H_2$ ,  $CO$  の量は使用する最も稀薄な混合比に依つて定まる。



である故使用する最稀薄混合比に於ける  $O_2$  成分の 2 倍容の  $H_2$  又は  $CO$  を添加すばよい。



第18圖 一定量  $H_2$  添加再燃焼ガスの成分變化 (逆變點  $n=1.370$ )

例へば第3表に於て  $n=1.370$  まで使用するとすれば排氣  $100 \text{ Nm}^3$  に対して

$$v_{H_2} = 2 \times 5.99 = 11.98 \text{ Nm}^3$$

即ち 11.98% の  $H_2$  又は  $CO$  を加へて再燃焼せしめれば逆變點は

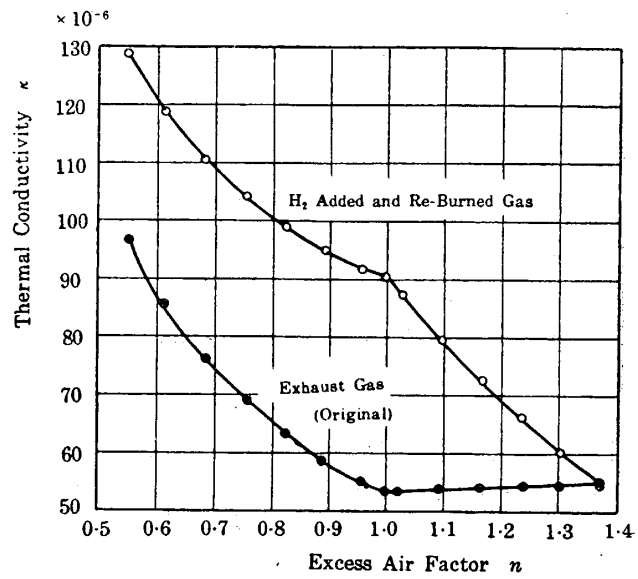
$n=1.0$  より  $n=1.370$  に移り使用範圍で非逆變型となる。

上例の如く  $H_2$  を加へ再燃焼したガスの dry state に於ける成分及び熱傳導率は第9表の如くなる。

熱傳導率は  $n=1.0$  で一寸段がつくが非逆變型となり Lean Side に於ては Rich Side より

も寧ろ精度が良くなる。これに  
 關する實驗は後述する。

CO を加へ再燃焼せしめる方  
 法はCOのみが他のガスに比し  
 て著しく異なる性質を有して居  
 れば利用可能であるが一寸利用  
 出來さうな性質がない故まづ實  
 用になるのはH<sub>2</sub> 添加再燃焼法  
 のみであらう。



第19圖 一定量 H<sub>2</sub> 添加再燃焼ガスの熱傳導率の變化  
 (逆變點  $n=1.370$ )

第9表 一定量 H<sub>2</sub> 添加兩燃焼ガスの成分とその熱傳導率の變化

(逆變點  $n=1.370$ )

原 空 氣 率 供 給 率 $n$	混 合 比 M. R.	% $v(\text{CO}_2)$	% $v(\text{H}_2)$	% $v(\text{CO})$	% $v(\text{N}_2)$	熱傳導率 $\kappa \times 10^6$
0.548	8.20	3.48	21.51	15.36	59.64	128.85
0.616	9.22	4.78	18.68	13.06	63.48	119.02
0.685	10.25	6.19	16.25	10.72	66.84	110.50
0.754	11.28	7.66	14.48	8.30	69.56	104.22
0.822	12.30	9.20	13.04	5.93	71.83	99.04
0.891	13.33	10.76	11.93	3.57	73.74	94.98
0.959	14.35	12.29	11.10	1.30	75.31	91.88
1.000	14.96	13.18	10.70	0	76.12	90.35
1.028	15.38	13.01	9.77	0	77.22	87.23
1.096	16.40	12.61	7.58	0	79.81	79.87
1.165	17.43	12.23	5.50	0	82.27	72.89
1.234	18.46	11.87	3.55	0	84.58	66.34
1.302	19.48	11.53	1.72	0	86.75	60.20
1.370	20.50	11.22	0	0	88.78	54.41

## II. 熱傳導率型混合比計に関する二三の實驗

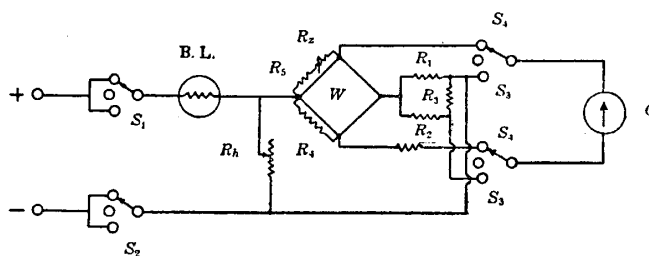
### 1. 熱傳導率型混合比計の電気回路

第1篇に於て考察したる如く混合比計にも種々の形式が考へられるが、こゝではまづ各國及び吾國に於て最も廣く使用せられてゐるケンプリツヂ型の熱傳導率を利用した混合比計について二三の實驗をしたのでその結果について述べる。

使用した混合比計は某社製混合比計である。

本器は發信器、指示器、接續筐より成る。

發信器は内部にホキートストーン電橋を形成せる四本の白金線を藏し、ガス採取管より導かれた排氣の熱傳導率に従つて白金線の溫度が變り、これに伴つてその電気抵抗も變化する。その結果この電橋は不平衡状態とな



第20圖 熱傳導率型混合比計の配線圖一例

る故不平衡電流の變化により混合比を指示せしめることが出来る。

指示器は發信器ホキートストーン電橋の不平衡電流に依りて作動する可動線輪型直流電流計にして指示の振れにより混合比(空氣/燃料)を直示する。又接續筐の開閉器を  $S_3$  に切換へることにより發信器への電流を check する電流計ともなる。

本器はエツヂワイズ型にして上部に一本の夜光塗料を塗れる指針を具へ目盛は空氣對燃料で9より15迄を刻む。目盛13及び9に相當せるところにA及びBの刻印ありて、電流を通ぜざるとき即ち指針の機械的零に於て指針はAを指す(Aよりづれるときは指示器零位調整ネジを回して正す)やうに調整する。

次に指示器回路を  $S_3$  に切換へた場合に指針がBを指すことを要する(抵抗  $R_h$  を調整して合せる)。

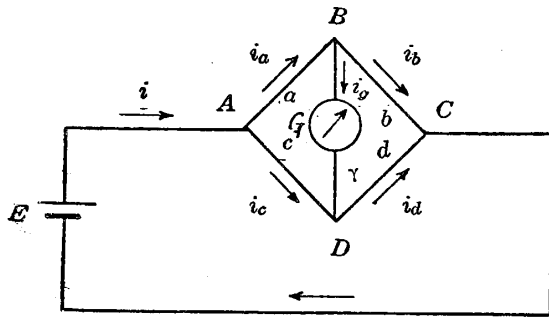
この指示器の内部抵抗は約  $20\Omega$  で全目盛を振らせるに要する電流は約  $700\mu A$  である。

可變抵抗器  $R_h$  は電源の電流を加減調整するものにして  $200\Omega$  の抵抗値を有する。零位調整器  $R_2$  は約  $50\Omega$  の可變抵抗器にして之を加減することにより電橋の平衡を調整し得る。即ち電橋の平衡状態を確めるには電橋の非檢ガス管内に排氣の代りに空氣を充し指示器を  $S_4$  に連結しBを指す様に  $R_2$  を加減する。

切換開閉器を「運」に倒せば電流は  $S_1$  よりバラストランプ B. L. を通り電橋  $W$  と可變抵抗  $R_h$  とに分流し再び  $S_2$  より電源に戻る。B. L. は定電流装置にして電源電壓の變化に拘らず常に一定電流を回路に流さしめんが爲のものである。この電流は個々により多少の相異はあれど大體  $270mA$  内外である。電橋  $W$  を流るゝ電流は  $220mA$  之は可變抵抗  $R_h$  を加減することにより調整出来る。

指示器  $G$  は電橋の檢流計回路に挿入され  $R_3$  は其の感度調整用の抵抗、 $R_4=110\Omega$  は電橋の一邊に並列に挿入され、 $R_1$  及  $R_2$  は接續されて電橋の他の對邊に並列に挿入される。

2. 電気回路を流れる電流と熱傳導率の變化



第 2 1 圖

先づ最も簡単な第21圖の如きホキツト・ストンブリッジの檢流計回路を流れる電流を計算して見る。

ブリッジの各邊の抵抗を  $a, b, c, d$  檢流計回路の全抵抗を  $\gamma$ , 電池及び電池回路の抵抗を  $e$  電池電壓を  $E$  とし各邊を流れる電流を圖の如く定めれば

$$i = \frac{[(a+b+c+d)\gamma + (b+d)(a+c)]E}{D} \tag{1}$$

$$i_g = \frac{(bc-ad)E}{D} = \frac{(bc-ad)i}{[(a+b+c+d)\gamma + (b+d)(a+c)]} \tag{2}$$

$$i_a = \frac{[(c+d)\gamma + (b+d)c]E}{D} = \frac{[(c+d)\gamma + (b+d)c]i}{[(a+b+c+d)\gamma + (b+d)(a+c)]} \tag{3}$$

$$i_b = \frac{[(c+d)\gamma + (a+c)d]E}{D} = \frac{[(c+d)\gamma + (a+c)d]i}{[(a+b+c+d)\gamma + (b+d)(a+c)]} \tag{4}$$

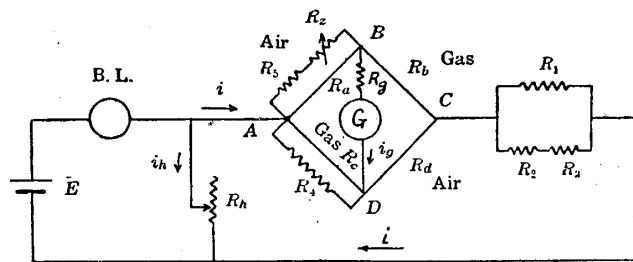
$$i_c = \frac{[(a+b)\gamma + (b+d)a]E}{D} = \frac{[(a+b)\gamma + (b+d)a]i}{[(a+b+c+d)\gamma + (b+d)(a+c)]} \tag{5}$$

$$i_d = \frac{[(a+b)\gamma + (a+c)b]E}{D} = \frac{[(a+b)\gamma + (a+c)b]i}{[(a+b+c+d)\gamma + (b+d)(a+c)]} \tag{6}$$

$$D = (a+b)(c+d)\gamma + (a+b+c+d)e\gamma + (a+c)(b+d)e + [ab(c+d) + cd(a+b)] \tag{7}$$

第20圖にて  $G$  が檢流計回路に入りたる場合即ち混合比計として使用する場合は第22圖の如くなる。

ブリッジの各腕の白金線の抵抗を圖の如く夫々  $R_a, R_b, R_c, R_d$  とすれば上式に於て  $a, b, c, d, \gamma$  等の代りに次の如く考へればよい。



第 2 2 圖

$$a = \frac{R_a(R_5 + R_2)}{R_a + R_5 + R_2}$$

$$c = \frac{R_c R_4}{R_c + R_4}$$

$$b = R_b \quad d = R_d \quad \gamma = R_g + R_i \quad (R_i: \text{電流計の内部抵抗})$$



このセットでは

$$\begin{aligned} R_1 &= 110\Omega & R_2 &= 50\Omega \\ R_3 &= 100\Omega & R_4 &= 20\Omega \\ R_g &= 60\Omega \text{ (發信器により多少異なる)} & \gamma &= 80\Omega \end{aligned}$$

である。

實驗を行ふ場合には  $R_h$  を調整して  $i$  を一定ならしめ、又  $R_z$  を control して  $R_a, R_b, R_c, R_d$  に空気を通した時に  $i_g = 0$  なる様に調整する。

即ち (2) 式より

$$bc = ad \tag{8}$$

なる條件を成立せしめる。即ち

$$\frac{R_b R_c R_4}{R_c + R_4} = \frac{(R_5 + R_z) R_a R_d}{R_a + R_5 + R_z} \quad R_z = \frac{R_a R_b R_c R_4}{[R_a R_c R_d + R_4 (R_a R_d - R_b R_c)]} - R_5 \tag{9}$$

に  $R_z$  を調整すればよいことになる。

今他の抵抗はそのまゝにて  $R_b, R_c$  のみか  $\epsilon$  倍になると考へれば電橋の平衡は破れて  $i_g$  が流れる。その電流は (1) 式より

$$\begin{aligned} b &= R_b \epsilon \\ c &= \frac{R_c \epsilon R_4}{R_c \epsilon + R_4} \\ i_g &= \frac{(bc - ad)i}{[(a + b + c + d)\gamma + (b + d)(a + c)]} \\ &= \frac{\left( \frac{R_b R_c \epsilon^2 R_4}{R_c \epsilon + R_4} - ad \right) i}{\left[ \left\{ a + d + \left( R_b + \frac{R_c R_4}{R_c \epsilon + R_4} \right) \epsilon \right\} \gamma + (R_b \epsilon + d) \left( a + \frac{R_c \epsilon R_4}{R_c \epsilon + R_4} \right) \right]} \tag{10} \end{aligned}$$

若し今  $R_a \doteq R_b \doteq R_c \doteq R_d = w$  と採り、且  $w$  を  $(R_5 + R_z), R_4$  に比して非常に小さく選べば

$$\begin{aligned} a &= w & c &= w\epsilon & \gamma &= R_g + R_i \\ b &= w\epsilon & d &= w \end{aligned}$$

なる故 (10) 式は

$$i_g = \frac{(w^2 \epsilon^2 - w^2) i}{(w + w + w\epsilon + w\epsilon)\gamma + (w\epsilon + w)(w + w\epsilon)} = \frac{w^2(\epsilon^2 - 1)i}{2w(1 + \epsilon)\gamma + w^2(1 + \epsilon)^2} \tag{10}'$$

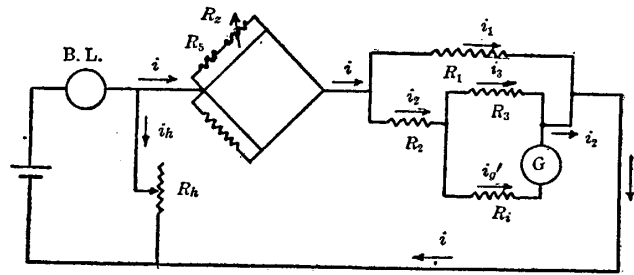
更に  $2w(1 + \epsilon)\gamma$  に對して  $w^2(1 + \epsilon)^2$  は小さいとすれば

$$i_g \doteq \frac{w\epsilon - w}{2\gamma} i = \frac{w\epsilon - w}{2(R_g + R_i)} i \tag{10}''$$

即ち略抵抗變化  $w\epsilon - w$  に比例する電流が流れることを知る。

次に  $i$  を一定に調整するために  $R_h$  を調整し  $G$  を電流計として使用するがこの時の電氣回路は第23圖の如くなる。

$R_i$  は電流計の内部抵抗とし各部の抵抗  $R$  及電流  $i$  を圖の如くすれば



第23圖 指示器を電流計として使用するときの回路

$$i_1 = \frac{R_2(R_1 + R_3) + R_i R_3}{(R_1 + R_2)(R_i + R_3) + R_i R_3} i \tag{11}$$

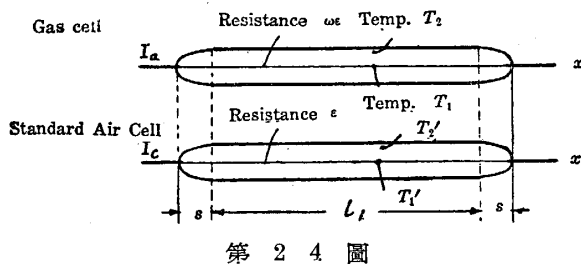
$$i_2 = \frac{R_1(R_i + R_3)}{(R_1 + R_2)(R_i + R_3) + R_i R_3} i \tag{12}$$

$$i_g' = \frac{R_3}{R_i + R_3} i_2 = \frac{R_1 R_3}{(R_1 + R_2)(R_i + R_3) + R_i R_3} i \tag{13}$$

$R_1, R_2, R_3, R_i$  はいづれも一定値を有するから  $i_g'$  は  $i$  に比例した値を示す故  $i$  が一定値を保つか否かは  $i_g'$  によつて確められる。

### 3. 熱傳導率の變化による白金線の抵抗變化

(10)'' にて示される様に  $i_g$  は gas cell の白金線抵抗  $w_e$  と標準空氣 cell の抵抗  $w$  と



第 2 4 圖

の差に比例する故今第 24 圖の如く一つの gas cell (上) と一つの標準空氣 cell (下) の Resistance の差が gas cell に含まれる gas の熱傳導率の變化によつて如何に變るかを調べればよい。

白金線に通る電流によつて發生する熱量は一部はガスの熱傳導により一部は對流により一部は輻射により外部に取去られる。尙その一部は熱線自身の傳導により兩端に逃れ去る。今白金線を通る電流は近似的に相等しく、之を  $i_a$  とすれば熱平衡の條件より

$$i_a^2 w_e + 2 \int_0^s i_a^2 \frac{\rho_{T_1} dx}{A} = \frac{2\pi\kappa(T_1 - T_2)l_1}{\log \frac{r_2}{r_1}} + 2 \int_0^s 2\pi f(\kappa, T_1 - T_2, x) dx + \varphi_1 + \psi_1 + H_1 \tag{14}$$

- $r_1$  ; 管の内半径
- $r_2$  ; 熱線の半径
- $l_1$  ; 管壁平行部分の熱線の長さ
- $s$  ; 管壁平行ならざる部分の熱線の長さ
- $w_e$  ; 長さ  $l_1$  なる熱線の溫度  $T_1$  に於ける抵抗
- $T_1$  ; 熱線の溫度
- $T_2$  ; 管壁のガスの溫度

$\kappa$  ; 熱傳導率

$\rho_{T_1}$ ; 溫度  $T_1$  に於ける熱線の比抵抗

$A$  ; 熱線の斷面積

(21) 式で左邊第1項は平行熱線部分の發生熱量, 第2項は兩端の發生熱量, 右邊第1項は熱傳導による傳熱量第2項は end effect によるもの第3項  $\varphi_1$  は對流に依るもの, 第4項  $\psi_1$  は輻射に依るもの,  $H_1$  は熱線の熱傳導により兩端に逃げるものである。

同様に標準空氣熱線に於ても

$$i_c^2 w + 2 \int_0^S i_c^2 \frac{\rho_{T_1'}}{A} dx = \frac{2\pi\kappa_0(T_1' - T_2')l_1}{\log \frac{r_2}{r_1}} + 2 \int_0^S 2\pi f(\kappa_0, T_1' - T_2', x) dx + \varphi_1' + \psi_1' + H_1' \quad (15)$$

$$i_a^2 w \varepsilon - i_c^2 \omega + 2 \left[ \int_0^S i_a^2 \frac{\rho_{T_1}}{A} dx - \int_0^S i_c^2 \frac{\rho_{T_1'}}{A} dx \right] = \frac{2\pi[\kappa(T_1 - T_2) - \kappa_0(T_1' - T_2')]l_1}{\log \frac{r_2}{r_1}} + 2 \int_0^S 2\pi f(\kappa, T_1 - T_2, x) dx - 2 \int_0^S 2\pi f(\kappa_0, T_1' - T_2', x) dx + (\varphi_1 - \varphi_1') + (\psi_1 - \psi_1') + (H_1 - H_1') \quad (16)$$

$$i_a = i_c, \int_0^S 2\pi f(\kappa_1 T - T_2, x) dx = \int_0^S 2\pi f(\kappa_0, T_1' - T_2', x) dx, \varphi_1 = \varphi_1', \psi_1 = \psi_1', H_1 = H_1'$$

なる故近似的には

$$\therefore i_a^2(w\varepsilon - w) = \frac{2\pi[\kappa(T_1 - T_2) - \kappa_0(T_1' - T_2')]l_1}{\log \frac{r_2}{r_1}} \quad (17)$$

更に  $T_1 - T_2 \div T_1' - T_2' = \theta$  とすれば

$$i_a^2(w\varepsilon - w) = \frac{2\pi(\kappa - \kappa_0)}{\log \frac{r_2}{r_1}} \theta l_1 \quad (18)$$

即ち, 白金線の長さを相當長く撰べば gas による熱傳導率と標準空氣熱線を包む空氣の熱傳導率  $\kappa_0$  との差に比例して夫々の電氣抵抗は變化する。(10)''(18) により  $i_g$  は  $\kappa - \kappa_0$  に比例することを知る。

#### 4. 實驗用發動機

計器に關する基礎的諸實驗は Armstrong Fuel Testing Engine を使用して行つた。發動機の主要諸元は次の通りである。

筒 徑	73mm	壓縮比	4~8	可變 (本實驗は7にて施行)
行 程	89mm			
回轉數	800r.p.m.			

冷却液としては筒温をなるべく一樣に保つため Ethyl Alcohol 冷却を行ひ沸騰點 (約80°C) に保つた。空氣量と燃料消費量を夫々實測して計器指示の混合比との比較を行つた。空

氣量はゴム膜を張つた Surge Tank と  $D=12\text{mm}$  の前川圓形ノズルを用ひて測定し、燃料の流量は一定水頭型流量計に依つて瞬間的に測定した。

實驗は絞弁全開で r.p.m. を一定に保ち空氣量は略一定にしておき燃料の供給量を針弁で調整して混合比を變化し種々の試験を行つた。

又 4 サイクル單筒ディーゼル機關の排氣を用ひてその混合比の測定可能なるや否やに就いても實驗を行つた。

## 5. 實驗の種類

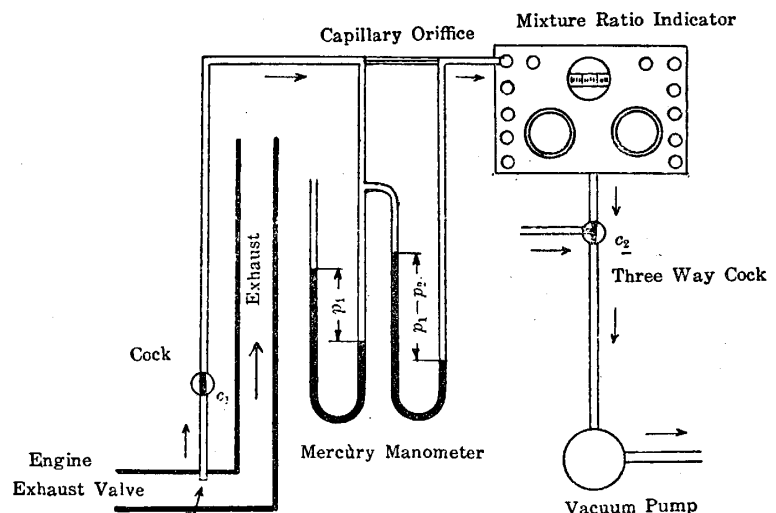
- (i) 通常運轉に於ける計器指示と測定混合比との較正
- (ii) Wet bulb の有無による比較
- (iii)  $\text{H}_2\text{O}$   $\text{CO}_2$ , 吸収
- (iv)  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$  吸収
- (v) ディーゼル發動機排氣に使用せる場合
- (vi) ガソリン以外の燃料を使用する場合
- (vii) 一定量空氣混合再燃焼法に關する實驗
- (viii) 一定量水素混合再燃焼法に關する實驗

## 6. 實驗結果

Armstrong 發動機の内徑 40mm 排氣管の中央に排氣弁より約 150mm 隔て長さ 1m の鋼製排氣採取管を取付け之と約 3 m 上方の混合比計とを内徑 6mm の厚肉布入ゴム管にて結んだ。採取管より排氣管出口迄 800mm あり排氣管の末端は更に煙突に連る排氣管中に挿入してある故空氣が逆流する虞はまづない。採取孔に連る鋼管は 1m 位取らぬとゴムが焼損する。又混合比計に連るゴム管は内部に排氣中の水分が凝縮する故なるべく途中で水が滯溜せぬ様注意して配管することを要する。

混合比計を採取孔より高い位置に置くのも凝縮水を排氣管内に落す爲である。排氣は實驗の都合上真空ポンプで吸引し大氣中に放出した。全體の配置略圖は第 25 圖の如くである。

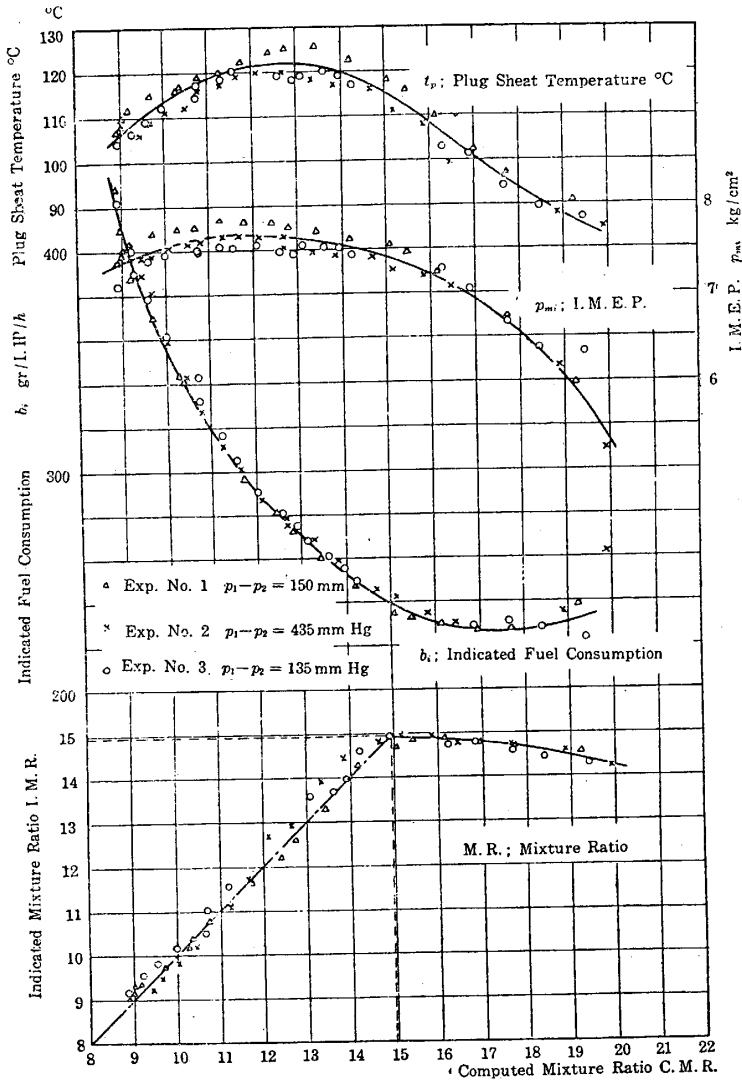
三方コック  $C_2$  の開閉により by path control を行ひ排氣の吸入量を加減することが出来る。混合比計を通過する排氣量は極めて少量なのでこれを毛細管オリフィスを通してしめその前後の壓力差  $p_1 - p_2$  及び入口の壓力  $p_1$  を測つて通過量の目安とした。



第 25 圖 實驗配電圖

(i) 通常運轉に於ける計器指示と測定混合比との較正

C. R. 7, R. P. M. 800 絞弁全開, 點火時期  $-15^\circ$ , 燃料の量を變化して混合比を變化しこの時の指示混合比と空氣量及び燃料の量より計算した混合比との比較を行つた. これと同時に發動機の出力, 燃料消費率, 點火栓座溫度 (Cu-const. 熱電對による) も測定した. 混合比計を通過する排氣の速度を by path control により變化し,  $p_1-p_2$  の三種について實驗した結果を第26圖に示す.



第26圖 通常運轉で混合比を變へたる場合の混合比計指度燃料消費率及び點火栓座溫度の變化 (燃料. 航空3號 C.R.7 絞弁全開 RPM=800. 吸入壓力-6mmHg 吸氣溫度  $24^\circ\text{C}$  冷却液アルコール. 入口溫度  $77.5^\circ\text{C}$ . 出口溫度  $82.5^\circ\text{C}$  ノックなし)

ず, 發動機の混合比が變化しても gas cell, piping, 濾過室等に残留する前の状態の排氣の爲に誤つた指示を與へることがある故に注意を要する.

第26圖上圖は混合比の變化による指示燃料消費率, 指示平均有效壓力, 點火栓座溫度の變化を示してゐる. 前二者は航空發動機の場合と比較して悪く出てゐるが混合比に對する變化

大體に於て指示は正しい混合比を示してゐるが Lean Side の方が誤差が多い. これは熱傳導率の變化が理論的空氣量 (この燃料では M.R. = 14.96) に近付くと共に少くなる爲(第5圖參照)指示器目盛も之に伴ひ13以上になると甚だしく間隔のつまつた不等目盛を刻んであり精度が低下することにもよる.

排氣採集法が適當であり途中に dead Space がなければ指示の遅れは極めて短く, 實用上には問題とならない程度である.

排氣を gas cell に導くには擴散作用を利用してゐる故に混合比計への排氣の流入速度はあまり極端でない限り指示に殆んど影響を與へない. 流入速度が速くなれば多少眞の混合比よりも Rich な指示を與へるべき筈であるが, 此の實驗範圍の流速ではその影響は全く認められない. 唯あまり速度が少い場合には Time lag が大きいのみならず

の傾向は全く同一である。混合比の方は燃料の種類にのみよるべきものである故航空發動機の場合と全く同一である。

消費率は M. R. 17~18 位で非常に減少し (第1圖参照)  $P_{mi}$  は Rich Side に max を有し Rich Side では混合比による變化少く Lean Side で著るしいことは理論的證明を實證してゐる。

點火栓座の溫度は  $P_{mi}$  の變化と大體似た變化をするが Lean Side に於ける低下割合が  $P_{mi}$  よりも急である。M. R. 13 附近で Temp. は最も高くなり Rich, Lean になると共に低下する。M. R. 17 位まで薄くすることの氣筋に對する冷却効果は大體 M. R. 8.5 の Rich Mixture を用ふる場合と同一であることを示してゐる。在來薄い混合比を用ひると氣筋溫度が高くなつて困ると稱し消費率を犠牲として非常に Rich Side を用ひてゐたが、これは M. R. 13 より Rich な M. R. を用ひる範圍に於てのみ云ひ得ることであつて、これより更に薄い混合比の範圍を用ひる場合には濃い M. R. を用ひる程氣筋溫度は上昇する。

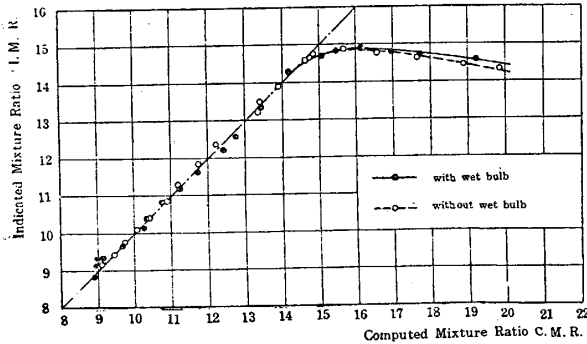
以上の點より考へて將來は必らず M. R. 17 又はそれ以上の Lean Side を用ひ燃料消費率を出来るだけ低下せしめ、これに伴ふ出力の低下はブースト壓力の増大、吸氣溫度の低下によつてつぐなひ大馬力でしかも燃料消費率の少い發動機を實現すべきであると考へる。但しこの場合に混合比の分配に充分の注意を拂ふことを必要とする。こゝに稀薄混合比まで指示し得る計器の重要性を感じる。

現在の計器そのまゝでは最下圖に明かな如く理論的空氣量までは略満足な結果を示してゐるが M. R. 15 以上では指示逆變し且精度の悪しきことは前にも屢述べた所である。

その指示の變化の狀況は第1編の理論的考察とよく一致する。(第5圖参照)

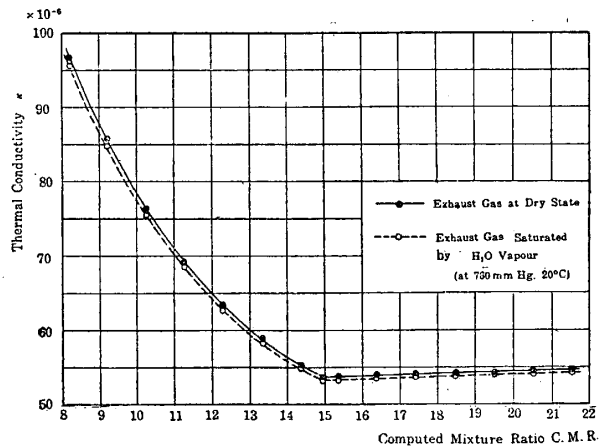
(ii) 飽和用 wet bulb の有無に依る比較

ケンブリッジ型混合比計では排氣中の  $H_2O$  の影響を打消すために gas cell と對比すべ



第27圖 標準空氣室の Wet Bulb を取去り大氣に連ねた場合の指示比較

燃料 航空3號 點火時期 15° B.T.D.C.  
 絞辨開度 全開 大氣溫度 19.0°C  
 回轉數 800R.P.M. 關係濕度 77% 壓縮比 7



第28圖 760mmHg, 20°C の排氣中に  $H_2O$  を飽和する場合と全く含まぬ場合の熱傳導率の比較 (理論値)

9) 田中, 栗野; ガソリン發動機のサイクルに及ぼす混合比並に壓縮比の影響; 航研彙報第 144 號 (昭和11年8月)

き標準空気室中に水を濕した木綿を挿入しその温度に於ける飽和状態に保たしめ排氣中に殘存する H<sub>2</sub>O 分の影響を打消さしめてゐる。この wet bulb を取去つた場合と附した場合との比較實驗を行つた。

その結果は第27圖に示す如く大した指示の變化はなく、最初の電流の大きさの調整如何に依る誤差の方が遙に大なる場合の方が多い。但し wet bulb を附けないと場合によつて指針が多少不安定に細かく振れることがある。

平衡空氣筐内の状態を 760 mmHg 20°C としてその飽和蒸氣量を計算して見るに大體容積百分率にて 2.1~2.5% 過ぎず、この飽和水蒸氣を全く取去つた場合と然らざる場合との排氣熱傳導率の變化は第28圖の如くになりその差は極めて小さく 1% の程度である。依つて Rich Side のみを問題とする混合比計に於ては wet bulb を取去つても實用上差支へない。

(iii) 排氣中の H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> を吸収する場合

發動機排氣を混合比計に入れる前に鹽化カルシウム、濃硫酸、KOH 溶液、鹽化カルシウムの順に順次通過せしめて排氣中の H<sub>2</sub>O 及び CO<sub>2</sub> を全部吸収せしめ混合比計の調整は通常の場合と全く同様に行ひ、混合比計指示と發動機の実際混合比との關係を實驗的に求めて見た。(第29圖) 指示混合比は實際の混合比よりも濃く指示される。

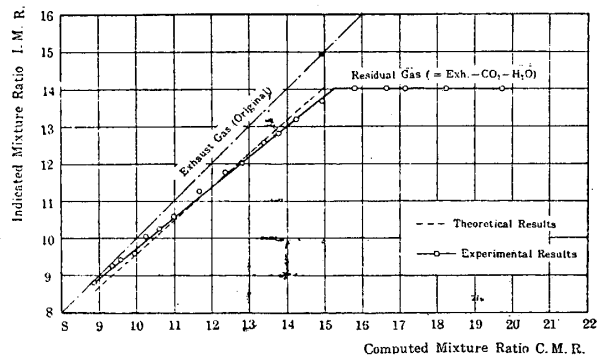
次にこの關係を理論的に考へて見る排氣中の H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> を除いたガスの熱傳導率は排氣その儘のものよりも多少大きくなる。(第30圖)

この關係より例へば實際の混合比が M=13.4 の時の CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O 吸収ガスの熱傳導率は M' 點で示され排氣そのまゝの場合の混合比 M'''=12.5 の時の熱傳導率 M'' に等しい。即ち混合比 13.4 の時の計器指示は 12.5 となる。

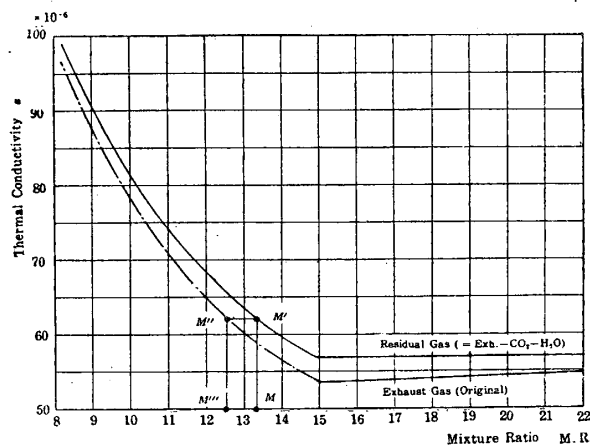
この様にして求めた理論値を第29圖の點線にし示してあるが、實驗結果とよく一致する。

(iv) 排氣中の CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> を吸収する場合

排氣を KOH 溶液及び Alkaline Pyrogallol Solution を通過せしめた後、混合比計に導



第29圖 CO<sub>2</sub> 及び H<sub>2</sub>O を吸収した排氣を熱傳導率型混合比計に通す時の指示變化(wet bulb 付)



第30圖 H<sub>2</sub>O を含まぬ排氣と H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> を除去した排氣の熱傳導率の比較

きて實際混合比と計器指示との關係を測定した。(第31圖)

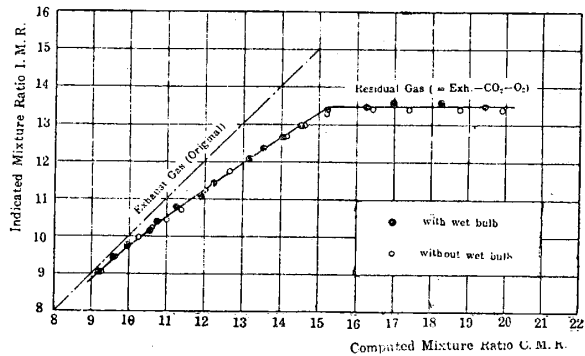
wet bulb を有する場合及び除去した場合に就いて實驗したがその指示には變化がなく實際の混合比よりも濃すぎる指示を與へることは (iii) 同様である。

(v) **ディーゼル發動機排氣に使用せる場合**

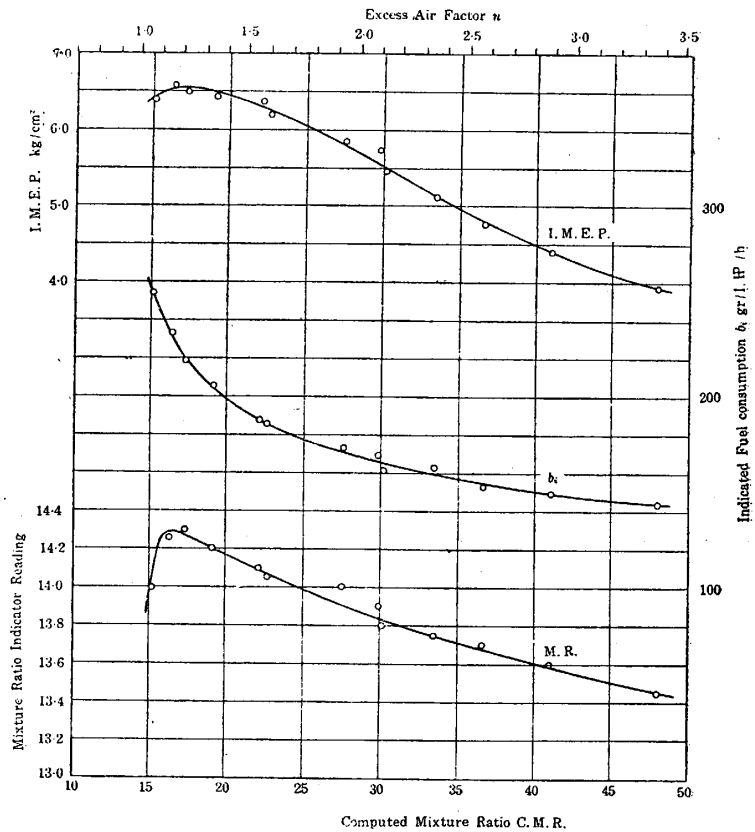
第32圖はこの混合比計を其の儘4サイクル・ディーゼル機關の排氣に適用した場合である。使用燃料は日石二號輕油(理論的空氣量 14.3kg/kg)。回轉一定、空氣絞弁全開で空氣量を一定に保ちつゝ燃料の量のみを次第に減少して行くと燃料消費率及び I. M. E. P. は圖示の如く變化し混合比計指示も 14.3 附近より次第に Rich Side に移る。ディーゼル機關用としては常に理論的混合比よりも稀薄な混合比のみを使用する故に、現在の 13 より逆變點に至る間の目盛を現在の數倍に擴大して使用することを要する。

(vi) **ガソリン以外の燃料を使用する場合(電氣點火機關)**

次に電氣點火機關に於て燃料としてガソリンの代りにベンゾール、メタノール、エチルアルコール等を使用した場合の熱傳導率型混合比計の指示について考察して見る。第33圖は附録第 I の様な方法に依つて理論的に計算した各燃料を使用した時の排氣成分である。(K<sub>pw</sub>=3.8 として計算した) dry state 排氣成分は空氣供給率 n, H/C, O/C の函數である故、燃料が異れば n に対する成分の變化も一般には當然變化する。n ≥ 1 即ち空氣過剩の場合にはベンゾールを除いては成分の差は比較的少いが、n < 1 即ち不完全燃焼の場合は燃料に依つて著しく異なる。



第31圖 CO<sub>2</sub> 及び O<sub>2</sub> を吸収した排氣を熱傳導率型混合比計に通ずる時の指示變化



第32圖 4サイクル・ディーゼル機關に混合比計を使用した時の混合比による計器指示、圖示平均有效壓力、燃料消費率の變化



ガソリン、エチル・アルコール、メチル・アルコールの場合には比較的差が少ないが、ベンゾールは他の燃料に比して著しく異り  $H_2$  成分少く  $CO_2$  が多い。

第34圖はこの排気成分を基礎として算出した熱傳導率の比較を示す。

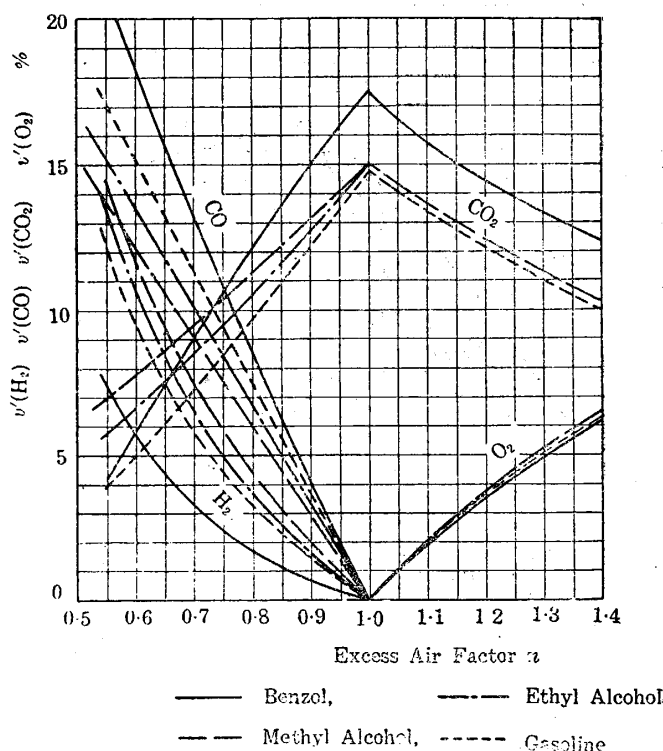
$n < 1$  の側ではガソリンに比してメチル・アルコール、エチル・アルコールは僅に熱傳導率大きくベンゾールは著しく小さい。これは含有  $H_2$  成分の少いことに依る。

第34圖より現在のガソリンに對して正しく目盛つてある混合比計にベンゾール、メチル・アルコール、エチル・アルコール等の燃焼ガスを通した時の指變の變化と、夫々の燃料に對する空氣供給率  $n$  との關係を理論的に推定して見ると第35圖の如き關係が得られる。第36圖は實驗の一例であつて第37圖はこれを  $n$  に對して書き改めたもので第35圖と参照すれば如何に理論値とよく一致するかが判る。

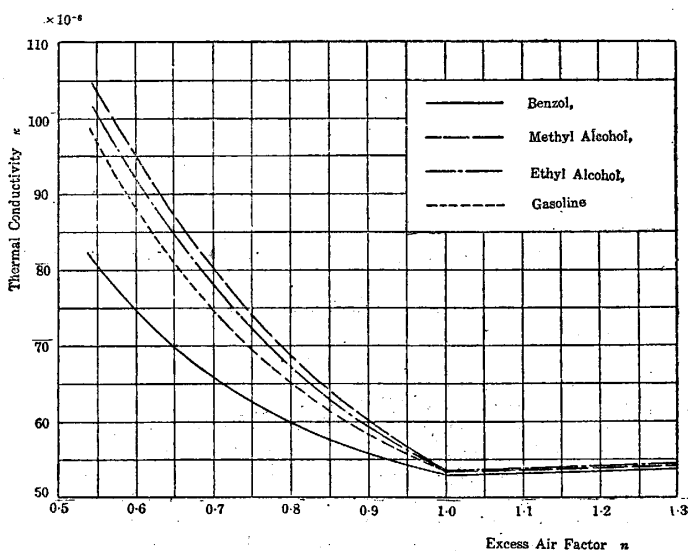
第36, 37 圖で特に注目に値するはベンゾールの可燃範圍のガソリン等に比して著しく廣い點であつて燃料消費率低減を目的として稀薄混合比を使用する場合にベンゾールを混入することの有利なることが推定される。

(vii) 一定量空氣添加再燃焼法に関する實驗

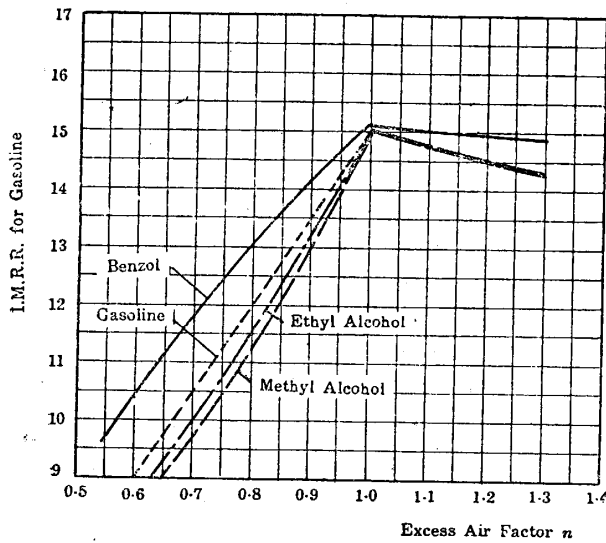
1.6 に述べた如き非逆變型混合比計の原理が實現し得るや否やに就いて豫備的實驗を行つた。第38圖の如く排氣採入により吸引した排氣に、小孔ノズルを通して大氣より吸入した



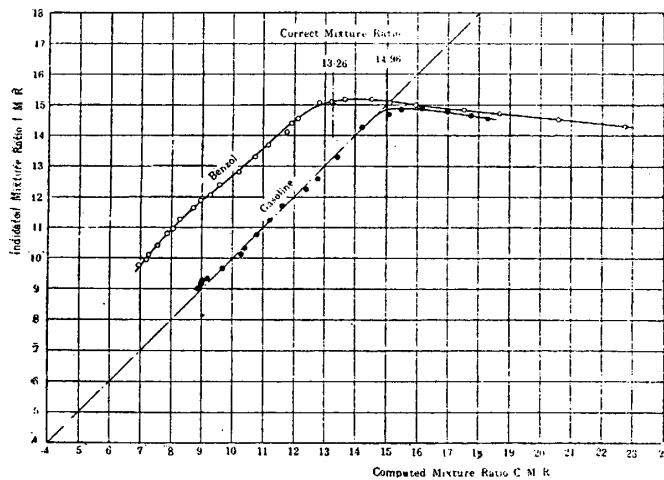
第33圖 ベンゾール、メチル・アルコール、エチル・アルコール、ガソリンを夫々燃料とした時の排氣ガス成分の混合比による變化 (dry state)



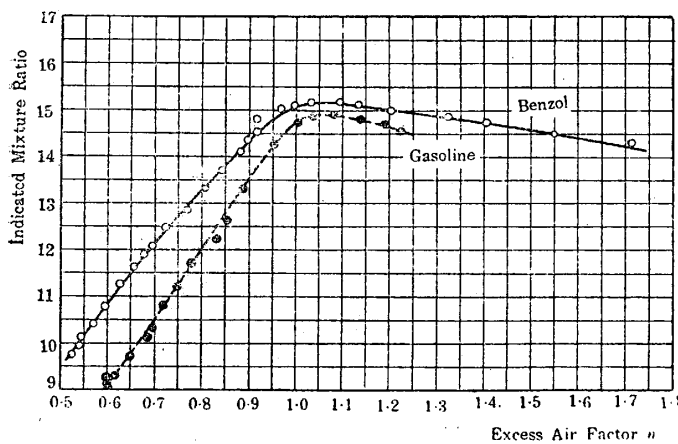
第34圖 燃料による排氣熱傳導率の變化



第35圖 ガソリン用混合比計に他種燃料を用いた排氣を導いた場合の指示變化



第36圖 燃料としてベンゾールを用いた時の混合比計指示



第37圖 第36圖を Excess Air Factor  $n$  に對して書き改めたもの

空気を充分混合しこれを白金石綿を軽く充し外部より電熱コイルに依つて熱したる再燃焼器を通過せしむる時は排氣中に殘存せる  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$  は混合し空氣中の  $\text{O}_2$  と結合して再燃焼を行ひ夫々  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  になる. このガスを通常の如く混合比計を通して真空ポンプにて排出する. Cock  $\text{C}_1$ ,  $\text{C}_2$  を調整して Head  $h_1$ ,  $h_2$  を常に一定に保ち, 排氣と空氣とを同一割合に混合しながら發動機の混合比を變化して行く. 實驗結果は第39圖の如く混合比計指示は逆變せず先に理論的に推定した第17圖と全く同様の傾向が見られ, この原理によつて逆變型混合比計も非逆變型混合比計に改め得ることの可能なるを確め得た.

勿論實用に供する爲には高度の如何に無關係に一定割合で空氣 (又は  $\text{O}_2$ ) と排氣とを混合せしむべき簡単な装置を案出せねばならず相當の困難が豫想される. 混合すべき空氣は大氣より直接吸入するか, 又は過給機出口の空氣の一部を採るか, 又は Air Bomb を持つて行くか, 或は酸素 Bomb 又は液體酸素を利用すべきか, 種々の方法の中いづれが最も良結果を得られかについては今後の研究に待たねばならない.

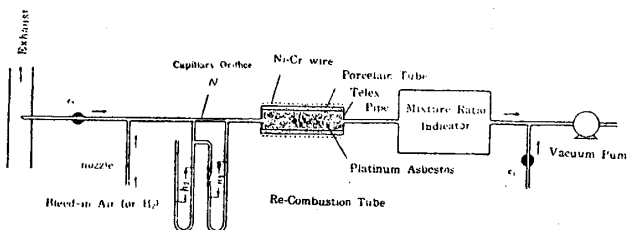
(viii) 一定量水素添加再燃焼法に関する實驗

I.7 に述べた様な一定量水素混合再燃焼型混合比計の原理が

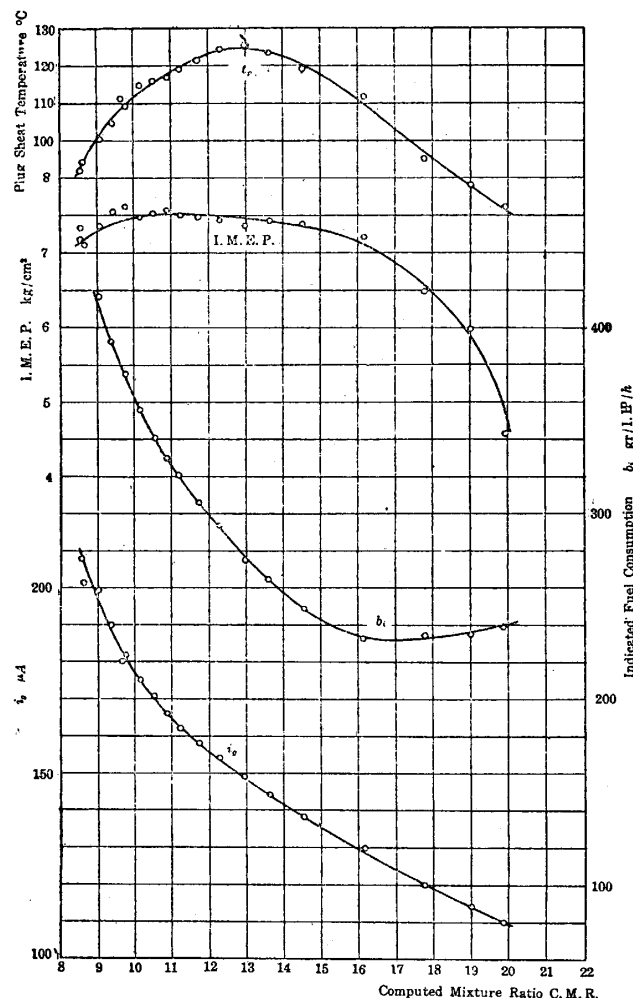
實現出来るや否やに就いて一實驗を行つた。(第40圖) 實驗装置は第38圖と同様で、たゞ空気を導入する代りに減壓弁を通して  $H_2$  bomb に連結し、 $H_2$  を混入すればよい。混入された  $H_2$  は排氣中に殘存する  $O_2$  と再結合

して  $H_2O$  となる。 $H_2$  と排氣とは再燃焼器に入る前に充分に混合せしめ排氣中の  $O_2$  と完全に反應せしむることを必要條件とする。場合によると再燃焼器中で焰が間を置いて生じ其の爲混合比計の指示が不安定に小さく振れることがある故注意を要する。

取扱ひ及び安定性より云へば、この水素混合法よりも前者の空氣又は  $O_2$  混合法の方が勝つてゐる様に感じられるが計器としての精度はこの方が遙に良さそうである。このことは現在の混合比計の Rich Side の方が Weak Side よりも精度の著しく良いことを考へれば當然である。この方法も亦前者と同様實用計器とする爲には排氣に一定割合の水素を混合する装置の研究を要する。又この方法では、どうしても水素の bomb を持つて行かねばならぬので航空計器としては不利であるが、混合比計は必しも連続的に常に働かせて置く必要はなく必要な時にのみ  $H_2$  を供給すればよい故  $H_2$  の量は少量でも良い。



第38圖 一定量空氣(水素)混合再燃焼法實驗裝置



第39圖 一定量空氣添加再燃焼型混合比計の實驗結果

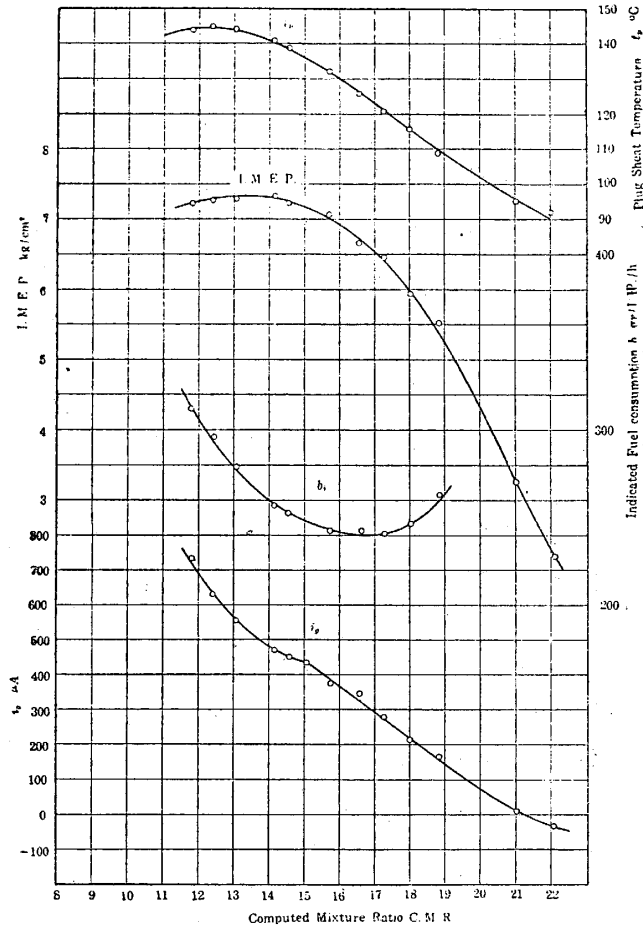
燃料	航空3號	回轉數	800R.P.M.
絞弁開度	全開	吸入壓力	-6mmkg
壓縮比	7	エチル・アルコール冷却	
入口	77.5°C	出口	80°C

### 7. 2 サイクル機關又は overlap の大きな4サイクル機關に熱傳導率型混合比計を使用するとき起る誤差に就いて

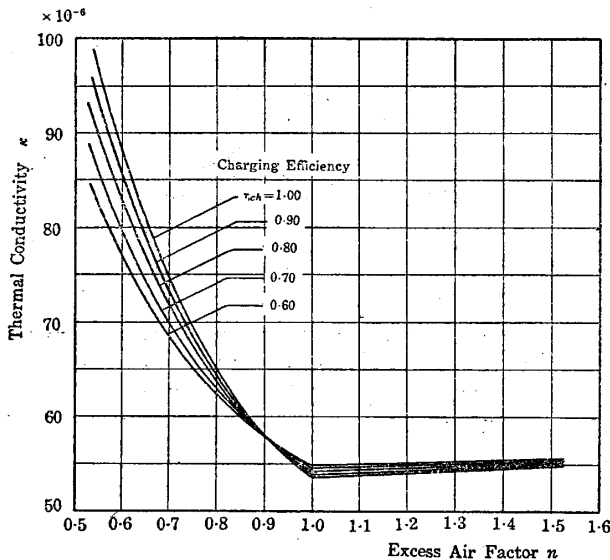
以上種々の觀點より熱傳導率型又はその他の混合比計について考察を重ねて來たが、こゝに近來の發動機の進歩に伴ひ、混合比計は更に一つの大難關に逢着した。それは2サイクル機關又は4サイクル機關で over lap を大きく採り氣筒内の吹抜けを大きくした場合に、混

合比計に大きな誤差を導入して来る可能性がある点である。気筒内ガソリン直接噴射式の發動機では、吹抜けガスは空気であり、これに気筒内燃焼ガスが混合したものが排気となる。従つてその排気を混合比計に導いたのではその示す混合比は気筒内の燃焼に與つた場合の眞の混合比を示さないことになる。この場合に次の如き二つの場合が考へられる。

- (a) 吹抜け空気と燃焼ガスは排気孔を出てから單に混合のみする場合
  - (b) 吹抜け空気と燃焼ガスとが排気孔を出て排気管内に於て再燃焼を行ふ場合
- (a) 及び (b) の場合につき夫々どの程度の熱傳導率の變化が齎されどの程度の誤差が起り得るものかに就いて確めて見る。



第40圖 一定量水素添加混合比計による實驗結果



第41圖 ガソリン筒内直接噴射機關で吹抜け空気がある場合の排気熱傳導率の變化 (排気と吹抜け空気が單に混合するのみで再燃焼せぬとき)

(a) 吹抜け空気と燃焼ガスが排気管内で單に混合のみする場合  
吹抜けの程度を示すものに次の如き給氣效率 (Charging efficiency) を以てする。

$G_{ch}$ ; 供給全空氣重量

$V_{ch}$ ; 供給全空氣容積  $Nm^3$

$G_r$ ; 氣筒内残留空氣重量

$V_r$ ; 残留空氣容積  $Nm^3$

$G_L$ ; 吹き抜け空氣重量

$V_L$ ; 吹き抜け空氣容積  $Nm^3$

$V_G$ ;  $V_r$  の空氣に燃料を吹き込み燃焼した時に生ずる燃焼ガス容積  $Nm^3$

$\delta$ ; 燃焼に依る容積増加率

$$\delta = V_G / V_r$$

$$\eta_{ch} = \frac{G_r}{G_{ch}} = \frac{V_r}{V_{ch}} = \frac{V_G}{V_{ch}\delta} \quad \frac{V_G}{V_{ch}} = \delta\eta_{ch} \quad (1)$$

$$1 - \eta_{ch} = \frac{G_L}{G_{ch}} = \frac{V_L}{V_{ch}} \quad (2)$$

$$\therefore \frac{V_L}{V_G} = \frac{V_L}{V_{ch}} \cdot \frac{V_{ch}}{V_G} = \frac{1 - \eta_{ch}}{\delta\eta_{ch}} \quad (3)$$

$\bar{\kappa}_G$  : 燃焼ガスの熱伝導率 (第5表)

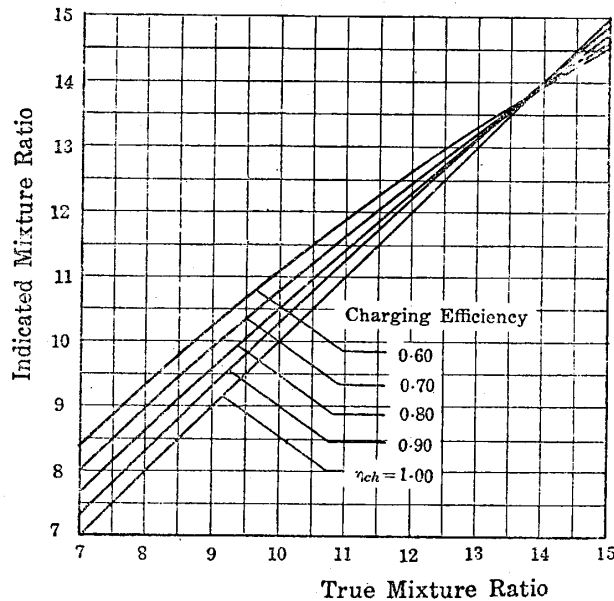
$\bar{\kappa}_L$  : 空気の熱伝導率 (第4表)

$\bar{\kappa}$  : 混合ガスの熱伝導率

$$\bar{\kappa} = \frac{\bar{\kappa}_G V_G + \bar{\kappa}_L V_L}{V_G + V_L} = \frac{\bar{\kappa}_G + \bar{\kappa}_L \frac{V_L}{V_G}}{1 + \frac{V_L}{V_G}} \quad (4)$$

(3) (4) より  $\eta_{ch}$  の種々の値に就て  $\bar{\kappa}$  を求めたものが、第41圖である。即ち吹抜け空気が多くなると共に  $n=0.925$  (M.R.=13.8) より Rich Side では熱伝導率は小さくなり Weak Side では大きくなる。

この線圖より  $\eta_{ch}=1.00$  の場合に正しい混合比を示す様に目盛つた混合比計を吹抜けのある場合に使用する時にどの程度の誤差があるかを推定して見ると Rich Side では第42圖の如く、Weak Side では第43圖の如くなる。M.R.=13.8 より Rich Side では混合比計指示は眞の混合比よりも薄く指示し、M.R.=13.8 より Weak Side では眞の混合比よりも濃過ぎる様に指示する。4サイクル機関で overlap をつけた場合の如く  $\eta_{ch}$  が 0.9 位の場合には Rich Side に於ける誤差は、あまり著しくないが、2サイクル機関の如く  $\eta_{ch}$  が 0.6~0.7 と云ふ様に吹抜け空気が多くなると相當の誤差を伴ふことが豫想



第42圖 吹抜け空気が熱伝導率型混合比計指示に及ぼす誤差 Rich Side (再燃焼せぬとした時)

される故に補正を加へねばならない。若し又  $n \geq 1$  の Weak side 用混合比計として現在の逆變部以上を擴大指示せしむる様な混合比計に對しては、この吹抜け空気の影響は相當大きく効いてくる爲、實用に差支へる。これはこの範圍では排氣の熱伝導率  $\bar{\kappa}_G$  が空気の  $\bar{\kappa}_L$  と非常に近い値を有し、混合比の變化に對し  $\bar{\kappa}$  の變化の少いことに依る。

(b) 吹抜き空気が排氣管内で排氣と完全混合し再燃焼を起す場合。

排氣の溫度が高く、排氣と吹抜け完氣が完全に混合すれば排氣中の不完全燃焼ガス CO,

H<sub>2</sub> は更に吹抜け空気と反応し排気管内で再燃焼を起すことが考へられる。

この場合は前述一定空気供給再燃焼型混合比計の原理を、排気と吹抜け空気との間で自然的に行ふ場合であつて發動機管内の混合比よりも薄い混合比指示を與へることになる。

この時には

(M.R.)<sub>T</sub> ; 眞の混合比(氣管内)

(M.R.)<sub>i</sub> ; 指示混合比

n<sub>T</sub> ; 眞の空氣供給率

n<sub>i</sub> ; 指示空氣供給率

η<sub>ch</sub> ; 給氣効率

とあれば (M.R.)<sub>T</sub> = η<sub>ch</sub>(M.R.)<sub>i</sub>

$$n_T = \eta_{ch} n_i$$

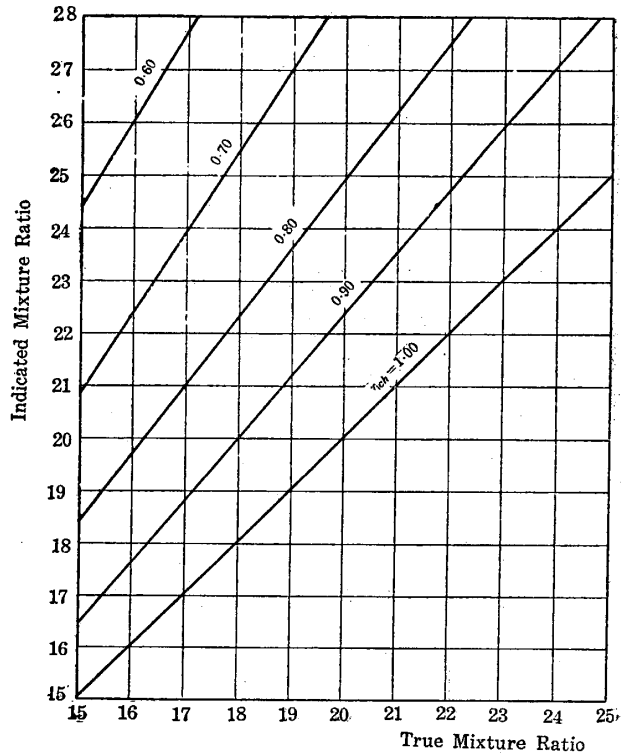
なる關係があり n<sub>T</sub> に対する熱傳導率 κ の變化は第 44 圖の如く全體として Rich Side に移動し、氣管内眞の混合比の Rich Side に逆變點が表はれる。これより眞の混合比を指示混合比との關係を求めたものが第45圖である。實際より Weak すぎる混合比を與へること圖に見る如くその誤差は相當大きいが、η<sub>ch</sub> が何等かの方法で正確に測定出來れば上式の關係により (M.R.)<sub>i</sub> n<sub>i</sub> より (M.R.)<sub>T</sub>, n<sub>T</sub> を求め得る。

以上、(a) (b) の理論的推定に依りいづれの場合にせよ、吹抜け空気に依つて誤差を伴ふことが明かとなつた。これに對する對策として考へられるのは次の諸方法である。

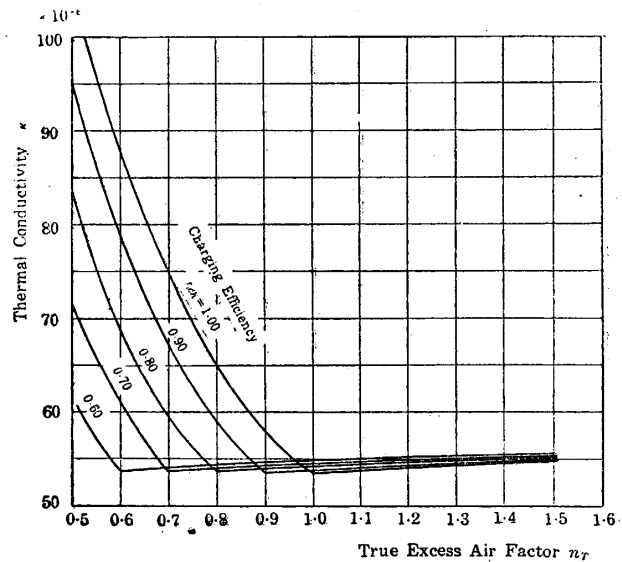
(i) 適當なガス採取辨裝置によつて氣管内の燃焼ガスのみを取出しこれを混合比計に導く方法

(ii) 吹抜け空気と燃焼ガスの排出には時間的の差があることを利用し排気管内より適當の方法で排気のみを吹抜け空気より分離して混合比計に導く方法。

(iii) 排氣及び空氣を完全に混合したまゝ、又はこれを再燃焼せしめたものを混合比計に導き、一方 η<sub>ch</sub> を何等かの方法で測定して η<sub>ch</sub> に對する補正を入れて (M.R.)<sub>T</sub>, n<sub>T</sub> を求める



第43圖 吹抜け空氣が熱傳導率型混合比計指示に及ぼす誤差 (Lean Side, 再燃焼せぬ場合)



第44圖 吹抜け空氣が排氣と完全混合し再燃焼をする場合の熱傳導率の變化

方法.

(iv) 吹抜け空気の影響を受けず單に排氣のみに關係する量を利用した混合比の新しい測定法を見出すこと.

(v) 氣化器附のものでは排氣を再燃焼せしめて、これを混合比計に導き測定すればよい.

これらの諸問題に就いては尙考究中であり、他の機會に詳述する.

8. 結 論

本論文に於て考察した結果を次に綜合する.

(i) ガソリン機關及びディーゼ

ル機關の排氣成分の混合比による變化を理論的に求め、實驗結果とよく一致することを確めた.

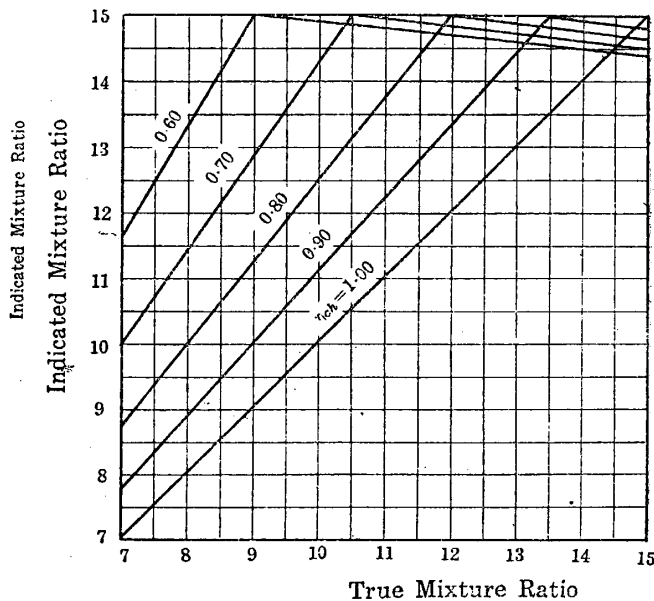
(ii) 排氣の物理的、化學的諸性質に就いて理論的に考察し混合比計としての利用性の有無に就き再検討を行つた.

特に Rich, Weak 兩 Side で同一計器で指示が逆變しないものを得るといふ見地より考察した. その結果殆んど總ての物理的、化學的性質を利用しても、排氣そのまゝを用ひるのでは非可逆型混合比計を得ることは困難であることが判つた. 僅かに見込のあるのは次の諸性質を利用するものである.

- (a) 粘性の變化を利用するもの.(溫度に依る粘性の變化を防ぐことが困難ならん)
- (b) 排氣中の  $CO_2$ ,  $CO$  を化學的に吸収し、その際に生ずる容積變化又は、壓力變化を利用するもの.(但し  $CO$  吸収困難)
- (c) 排氣中の  $CO_2$ ,  $O_2$  を化學的に吸収し、その際に生ずる容積變化又は壓力變化を利用するもの (Weak Side の精度悪しく且 (b) (c) はいづれも連続的に指示せしめることが困難である)
- (d)  $CO_2$  を吸収せる残留ガスの密度又は比熱の變化を利用するもの (共に Weak Side の感度不良)

以上の諸方法により指示逆變はどうか防ぎ得て非逆變型とはなつても、いづれも夫々の缺點を有し特に Weak Side で感度不良となるのが共通の缺點であり實現の見込がない. 但し感度の異なる二重計器を具へれば或は實現出来るかもしれぬ.

(iii) 空氣 (又は  $O_2$ ) を排氣に常に一定割合で混入し、これを再燃焼せしめた上で混合比計に通すればいづれの逆變型混合比計も非逆變型混合比計となる. 即ちガスの性質を常に Weak Side にある様に變化さして了ふものは指示の逆變はない.



第45圖 吹抜け空氣と排氣とが完全に混合再燃焼をなす時に起る混合比計指示誤差

精度はよくないが、安定である故實用の見込がある。熱傳導率型のものに就いては基礎的實驗を行ひ、理論とよく一致することを確めた。

- (iv)  $H_2$  (又は  $CO$ ) を排氣に常に一定割合に混入し、これを再燃焼せしめた後に混合比計に通づれば、いづれの逆變型のものも非逆變型となる。これは排氣の性質を全部 Rich Side に移行せしむる方法で (iii) と逆の方法である。熱傳導率型では  $H_2$  添加により基礎實驗を行ひ、その可能性を確めた。精度は良好なるも不安定になる懼あり。
- (v) 現在使用してゐるケンブリツヂ型の熱傳導率利用の混合比計について検討、實驗を試みた。その結果
- (a) 回路電流を正確に合せば指示は Rich Side では相當正確であるが、Weak Side では逆變し精度は不良である。回路電流の調整不良なる時は誤差は相當大きくなる故に注意を要する。
- (b) 排氣の通過速度は現在の構造では殆んど指示に影響せぬ。
- (c) Rich Side のみを利用する時は現在有してゐる Wet bulb' を除いて了つても誤差は殆んどない。
- (d) 排氣中の  $CO_2$ ,  $H_2O$  又は  $CO_2$ ,  $O_2$  を吸収したガスを混合比計に通して見ると、實際の混合比よりも Rich な混合比を指示するが非逆變型とはならない。
- (e) ディーゼル機關の排氣を現用混合比計に通して見るに、ディーゼル機關用としても使用出来るが、この時は Weak Side のみで使用する故計器の精度を大にするか檢流計電流を増大するを要する。但し 2 サイクル機關の如き吹抜け空氣の多いものでは給氣效率が正確に測定出来これによつて補正するのてなければ大きな誤差を伴ふ。
- (f) 電氣點火機關でガソリンの代りに、ベンゾール、メチル・アルコール、エチル・アルコール等を使用した時の排氣成分の混合比による變化を理論的に推定し、これより排氣の熱傳導率の變化を確めた。
- 空氣供給率  $n$  に對して畫いても、排氣成分は燃料により相當異なる。 $n \geq 1$  の時はベルゾールを除いてあまり燃料に依り變らぬが、 $n < 1$  即 Rich Side では燃料に依り相當變る。ベルゾールは  $H_2$  成分少く  $CO_2$  成分が多い。
- 熱傳導率は  $n < 1$  では、メチル・アルコール、エチル・アルコールは、ガソリンに比して僅に大きく、ベルゾールは著しく小さい。
- 以上の結果より、ガソリンに對して正しく目盛つてある混合比計に他の燃料を用ひた時の指示變化を理論的に推定し實驗とよく一致することを確めた。これにより他の燃料を用ひた時の補正が出来る。
- (g) ベルゾールの可燃範圍は著しく廣く、非常に薄い混合比でも燃焼する。燃料消費率低下の點より見ても注目すべきである。
- (h) 4 サイクル機關で Valve Overlap の大きな場合、又は 2 サイクルの場合の様に空氣の吹抜けが大きくなると混合比計に誤差を生ずる。氣化器付のものでは排氣と吹抜混合氣とをそのまま再燃焼した後に混合比計に入れよばよいが、筈内ガソリン噴射式のもの及びディーゼル機關では、眞の混合比を示さぬことになる。
- 排氣と吹抜け空氣とが、完全に混合のみして再燃焼をしない場合及び混合後再燃焼をする場合に就いて理論的に考察し、どの程度の誤差が生ずるかを確認、その對策について考察した。



附録 I 燃焼ガスの組成の計算法

(a) 完全燃焼の場合 ( $n \geq 1$ )

1 kg の燃料が Ckg の炭素, Hkg の H<sub>2</sub>, Okg の O<sub>2</sub> よりなるとすればこの時起る燃焼の反応式は



上式より 12 kg の C より 22.412 Nm<sup>3</sup> (0° 760mmHg) の CO<sub>2</sub> を生ずる故に Ckg の C よりは  $\frac{C}{12} \cdot 22.412$  Nm<sup>3</sup> の CO<sub>2</sub> を生ずる. 同様に H kg の水素よりは  $\frac{H}{2.016} \cdot 22.412$  Nm<sup>3</sup> の H<sub>2</sub>O を生ずる. 又 Okg の O<sub>2</sub> の體積は  $\frac{O}{32.000} \cdot 22.412$  Nm<sup>3</sup> である. 今 CO<sub>2</sub> の體積を 1 とし他の容積をこれに對する比を以て示せば

$$\left. \begin{aligned} CO_2 & 1 \\ H_2O & h = \frac{12.000}{2.016} \frac{H}{C} = 5.952 \frac{H}{C} \\ O_2 & O_0 = \frac{12.000}{32.000} \frac{O}{C} = 0.3750 \frac{O}{C} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

この時 Ckg 炭素より生ずる CO<sub>2</sub> の容積は

$$a = 22.412 \frac{C}{12.000} = 1.868 C \text{ Nm}^3 \quad (3)$$

である. 故にこれを上の比に乗すれば夫々の體積を求め得る.

この際必要な理論的酸素量は (1) 式より

$$\begin{aligned} 1 \text{ Nm}^3 \text{ の } CO_2 \text{ に對して } & 1 \text{ Nm}^3 \text{ の } O_2 \\ h \text{ Nm}^3 \text{ の } H_2O \text{ に對して } & \frac{h}{2} \text{ Nm}^3 \text{ の } O_2 \end{aligned}$$

燃料自身中に  $a O_0$  Nm<sup>3</sup> の O<sub>2</sub> を含むとすれば 1kg の燃料に對して外部より取入れることを必要とする理論的空氣量は

$$L_{\min} = \frac{100a}{21.0} \left(1 + \frac{h}{2} - O_0\right) \text{ Nm}^3/\text{kg} \quad (4)$$

一般に供給する空氣量は  $L_{\min}$  の  $n$  倍とすれば

$$L = nL_{\min} = \frac{100an}{21.0} \left(1 + \frac{h}{2} - O_0\right) \text{ Nm}^3/\text{kg} \quad (5)$$

$$n \geq 1$$

この中に含まれる窒素の體積は

$$\begin{aligned} ab &= \frac{79.0}{100} L = \frac{79.0}{21.0} an \left(1 + \frac{h}{2} - O_0\right) \\ &= 3.762 an \left(1 + \frac{h}{2} - O_0\right) \end{aligned} \quad (6)$$

$$b = 3.762n \left(1 + \frac{h}{2} - O_0\right) \quad (6)'$$

従て上の如く 1 kg の燃料が理論的空氣量の  $n$  倍の空氣量の下に完全燃焼する場合 ( $n \leq 1$ ) の燃焼ガスの容積は

$$\left. \begin{aligned} v(\text{CO}_2)_N &= a \text{ Nm}^3 \\ v(\text{H}_2\text{O})_N &= ah \text{ Nm}^3 \\ v(\text{N}_2)_N &= ab \text{ Nm}^3 \\ v(\text{O}_2)_N &= aO \text{ Nm}^3 \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

但し上式中  $a, h, b,$  等は (3) (2) (6)' に依り求め

$$O = (n-1)\left(1 + \frac{h}{2} - O_0\right) \quad (8)$$

各成分の容積百分率を  $v$  を以て示せば

$$\lambda = 1 + h + b + O \quad (9)$$

$$\left. \begin{aligned} v(\text{CO}_2)_N &= \frac{1}{\lambda} \\ v(\text{H}_2\text{O})_N &= \frac{h}{\lambda} \\ v(\text{N}_2)_N &= \frac{b}{\lambda} \\ v(\text{O}_2)_N &= \frac{O}{\lambda} \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

燃焼ガスの總容積は

$$v_g = a(1 + h + b + O) = a\lambda \text{ Nm}^3/\text{kg of fuel} \quad (11)$$

$\text{H}_2\text{O}$  を全部凝縮又は吸収せしむる時即 dry state の百分率は

$$\lambda' = 1 + b + O \quad (12)$$

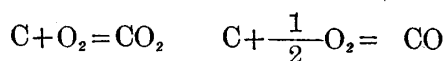
$$\left. \begin{aligned} v'(\text{CO}_2)_N &= \frac{1}{\lambda'} \\ v'(\text{N}_2)_N &= \frac{b}{\lambda'} \\ v'(\text{O}_2)_N &= \frac{O}{\lambda'} \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

$$v_g' = a\lambda' \quad (14)$$

となる。

#### (b) 不完全燃焼の場合 ( $n < 1$ )

この場合には空氣量が不足である爲に 1 kg の C 中  $x$  kg は  $\text{CO}_2$  となるが  $(1-x)$  kg は  $\text{CO}$  となるものとする。その反應式は



である。1 kg の C より  $22.412 \frac{x}{12} \text{Nm}^3$  の  $\text{CO}_2$  と  $22.412 \frac{(1-x)}{12} \text{Nm}^3$  の CO を得ることになり兩者の和が  $22.412 \frac{1}{12} \text{Nm}^3$  となる。即  $\text{CO}_2$  と CO との體積比は  $x : (1-x)$  となる。

同様に 1 kg の  $\text{H}_2$  が不完全燃焼をする爲に  $y \text{kg}$  が  $\text{H}_2\text{O}$  となり  $(1-y) \text{kg}$  が  $\text{H}_2$  のまゝ残るとすれば



である故に  $y \text{kg}$  の  $\text{H}_2$  は  $22.412 \frac{y}{2.016} \text{Nm}^3$  の  $\text{H}_2\text{O}$  となり  $(1-y) \text{kg}$  の  $\text{H}_2$  の體積は  $22.412 \frac{(1-y)}{2.016} \text{Nm}^3$ 、その和は  $22.412 \frac{1}{2.016} \text{Nm}^3$  となる。

この場合には生成ガス  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , CO,  $\text{H}_2$  の間には次の様な水性ガス反應の平衡式が満足されねばならない。



その平衡恒數は

$$K_{pw} = \frac{p_{\text{CO}} \cdot p_{\text{H}_2\text{O}}}{p_{\text{CO}_2} \cdot p_{\text{H}_2}} = \frac{b(\text{CO})_N \cdot b(\text{H}_2\text{O})_N}{b(\text{CO}_2)_N \cdot b(\text{H}_2)_N} \quad (17)$$

こゝに  $K_{pw}$  は絶對溫度  $T$  の函數であつて次式で與へられる。

$t = 0^\circ \sim 1200^\circ\text{C}$  の間では

$$\log_{10} K_{pw} = -1.138 - \frac{2391}{T} - 1.661 \log_{10} T - 0.001968 T + 0.006414 \times 10^{-4} T^2 - 0.0001005 \times 10^{-6} T^3. \quad (18)$$

$t = 1200^\circ \sim 3000^\circ\text{C}$  の間では

$$\log_{10} K_{pw} = 14.524 - \frac{3527}{T} - 3.823 \log_{10} T + 0.000316 T \quad (18)'$$

その計算値は第 I 表の如くである。實際には (17) の反應式は溫度が  $1200^\circ\text{C}$  位までは反應速度が速い故 (18)' に従つて  $K_{pw}$  は變化するが、これ以下の溫度になると反應速度が急減しその爲これ以下の溫度に於ても  $1200 \sim 1300^\circ\text{C}$  に於ける  $K_{pw}$  を保ち恰も過冷却に似た様な現象を呈する。Fielder 氏等の實驗に依ると排氣では  $K_{pw} = 3.0 \sim 4.0$  ( $t = 1180 \sim 1390^\circ\text{C}$  に相當) の間に變化し平均として  $K_{pw} = 3.6$  をあげてゐる。A. D' Alleva 氏等の實驗では  $K_{pw} = 3.0 \sim 5.0$  ( $t = 1180 \sim 1590^\circ\text{C}$ ) の範圍に變化し平均として 3.77 としてゐる。發動機の壓縮比、過給度の如何により異なるであらうが大體  $K_{pw} = 3.8$  ( $t = 1340^\circ\text{C}$  に相當) として計算して大差はない。

上述の如く

- 1) Fielder and Jones; Industrial and Engineering Chemistry, Vol. 14, p. 594 (1922)
- 2) Fielder, Straub and Jones; Industrial and Engineering Chemistry, Vol. 13, p. 51, (1921)

$$\left. \begin{aligned} \frac{b(\text{CO})_N}{b(\text{CO}_2)_N} &= \frac{1-x}{x} \\ \frac{b(\text{H}_2\text{O})_N}{b(\text{H}_2)_N} &= \frac{y}{1-y} \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

なる関係がある故に (17) より

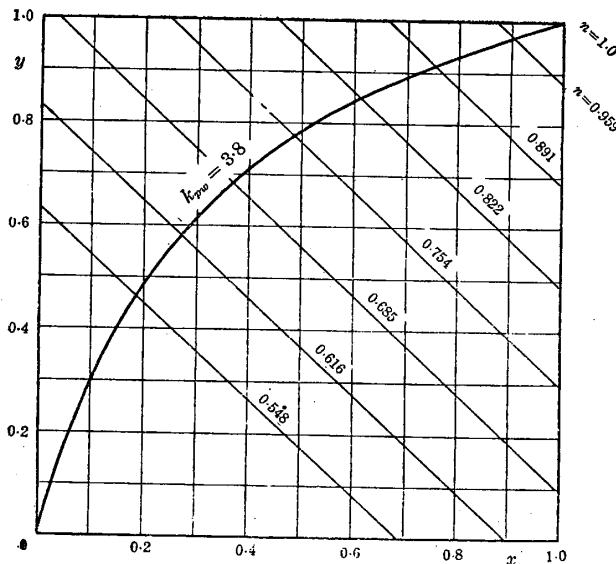
$$K_{pw} = \frac{1-x}{x} \frac{y}{1-y} = \frac{\frac{1}{x} - 1}{\frac{1}{y} - 1} \quad (20)$$

温度  $T$  が定まれば (18) 又は (18)' 式により  $K_{pw}$  が決まり  $x, y$  の関係は定まる。  
 $K_{pw} = 3.8$  に於ける  $xy$  の関係は第 I 圖曲線の如くである。

第 I 表

水性ガスの平衡恒数  $K_{pw}$  の値

$t$ °C	$K_{pw}$
1000	2.035
1200	3.069
1400	4.093
1600	5.047
1800	5.916
2000	6.699
2200	7.413
2400	8.063
2600	8.680



第 I 圖  $K_{pw} = \frac{\frac{1}{x} - 1}{\frac{1}{y} - 1} = 3.8$  (曲線)  
 $1 + x + yh = (2+h)n$  (直線)

次に不完全燃焼に必要な酸素量を求めるに  $a = 1.868C \text{ Nm}^3$  ( $C \text{ kg}$  の  $C$  より生ずる  $\text{CO}_2$  の體積) とすれば生成燃焼ガス中

$$\begin{aligned} ax \text{ Nm}^3 \text{ の } \text{CO}_2 \text{ に対して} & \quad ax \text{ Nm}^3 \\ a(1-x) \text{ Nm}^3 \text{ の } \text{CO} \text{ に対して} & \quad \frac{a(1-x)}{2} \text{ Nm}^3 \\ ayh \text{ Nm}^3 \text{ の } \text{H}_2\text{O} \text{ に対して} & \quad \frac{ayh}{2} \text{ Nm}^3 \end{aligned}$$

燃料自身中に含まるゝ酸素量を  $aO_0 \text{ Nm}^3$  とすれば差引全體として外部より供給すべき酸素は燃料  $1 \text{ kg}$  に対して

$$a\left(x + \frac{1-x}{2} + \frac{yh}{2} - O_0\right)Nm^3 \tag{21}$$

である。特別の場合として理論的空氣量で燃焼する場合即  $n=1$  の場合には上式で  $x=1, y=1$  となる故に

$$a\left(1 + \frac{h}{2} - O_0\right)Nm^3 \tag{22}$$

となる。空氣供給率  $n$  はこの兩者の比である故に

$$n = \frac{a\left(x + \frac{1-x}{2} + \frac{yh}{2} - O_0\right)}{a\left(1 + \frac{h}{2} - O_0\right)} = \frac{x + \frac{1-x}{2} + \frac{yh}{2} - O_0}{1 + \frac{h}{2} - O_0} \tag{23}$$

或は

$$1 + x + yh - 2O_0 = n\left(2 + h - 2O_0\right) \tag{24}$$

燃料 1 kg に対して加ふべき酸素量は (21) 式により與へられてゐる故に空氣を與へるものとすればその中に含まれる  $N_2$  の體積は (21) (23) 式により

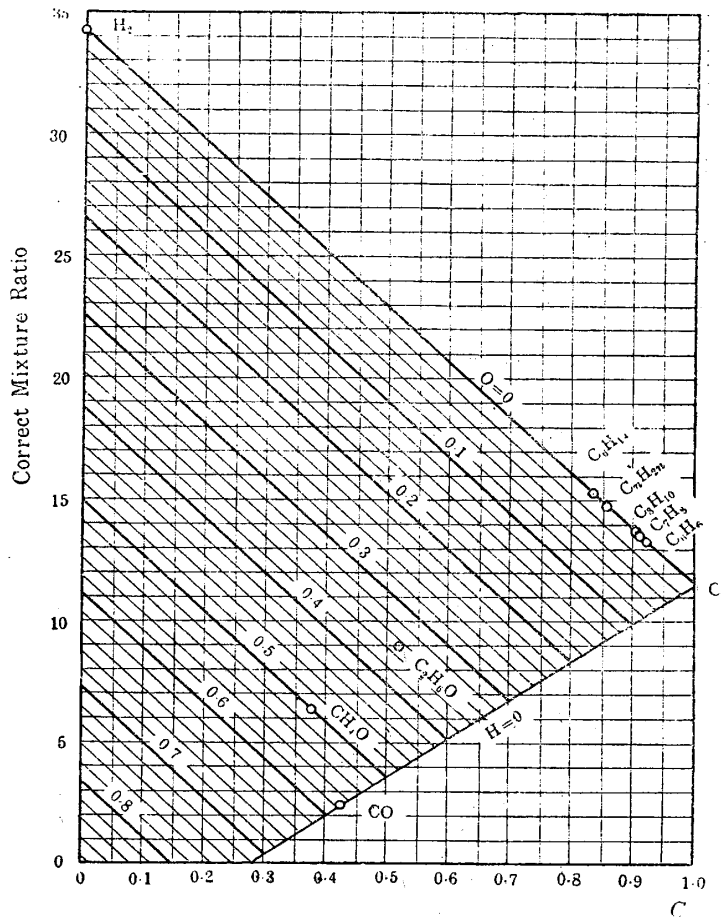
$$\begin{aligned} ab &= \frac{79}{21} a\left(x + \frac{1-x}{2} + \frac{yh}{2} - O_0\right) \\ &= \frac{79}{21} an\left(1 + \frac{h}{2} - O_0\right)Nm^3 \\ &= 3.762an\left(1 + \frac{h}{2} - O_0\right)Nm^3 \end{aligned} \tag{25}$$

となり (6) 式と同じになる。たゞ  $n < 1$  なるだけ異なるのみである。

(24) 式は  $n$  の一定値に対して  $xy$  に関する一次式となる故第 I 圖に示す様な直線となる。従つて (20) 式を満足する曲線群とこの直線との交點を求めれば

任意の溫度、任意の空氣供給率の下に於ける  $x, y$  を求めることが出来る。

上述の結果をまとめれば 1 kg の燃料が不完全燃焼をなすときの生成燃焼ガスの組成は次の如くなる。但し熱鮮離は起さぬものとする。



第 II 圖 燃料の理論的空氣量を求むる線圖

$$\left. \begin{aligned} v(\text{CO}_2)_N &= ax & \text{Nm}^3 \\ v(\text{CO})_N &= a(1-x) & \text{Nm}^3 \\ v(\text{H}_2\text{O})_N &= ah y & \text{Nm}^3 \\ v(\text{H}_2)_N &= ah(1-y) & \text{Nm}^3 \\ v(\text{N}_2)_N &= ab = 3.762an \left(1 + \frac{h}{2} - \text{O}_0\right) & \text{Nm}^3 \end{aligned} \right\} \quad (26)$$

1 kg の燃料より生ずる全燃焼生成ガスの體積は

$$v_g = a(1+h+b) = a\lambda \quad (27)$$

$$\text{但し } \lambda = 1+h+b$$

$$a = 1.868C$$

$$h = 5.952 \frac{H}{C} \quad (28)$$

$$b = 3.762n \left(1 + \frac{h}{2} - \text{O}_0\right)$$

$$\text{O}_0 = 0.3750 \frac{O}{C}$$

生成ガスの容積百分率は

$$\left. \begin{aligned} v(\text{CO}_2)_N &= \frac{x}{\lambda} \\ v(\text{CO})_N &= \frac{1-x}{\lambda} \\ v(\text{H}_2\text{O})_N &= \frac{hy}{\lambda} \\ v(\text{H}_2)_N &= \frac{h(1-y)}{\lambda} \\ v(\text{N}_2)_N &= \frac{b}{\lambda} \end{aligned} \right\} \quad (29)$$

dry state の容積百分率は

$$\lambda' = 1+h(1-y)+b \quad (30)$$

$$v'(\text{CO}_2)_N = \frac{x}{\lambda'}$$

$$v'(\text{CO})_N = \frac{1-x}{\lambda'}$$

$$v'(\text{H}_2)_N = \frac{h(1-y)}{\lambda'}$$

$$v'(\text{N}_2)_N = \frac{b}{\lambda'} \quad (31)$$

となる。

### 計 算 例

日石航空3號ガソリン (Mean Boiling Point = 102.8°C,  $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}$ ,  $n=7.1$ ,  $M=100.5$ )

$$[C] = 12 \times 7.1 = 85.20$$

$$[H] = 1.008 \times 15.2 = 15.32$$

$$[C] + [H] = 85.20 + 15.32 = 100.52$$

$$C : H = 0.8476 : 0.1524$$

$$\frac{H}{C} = \frac{0.1524}{0.8476} = 0.1798$$

$$h = 5.952 \frac{H}{C} = 5.952 \times 0.1798 = 1.0702 \quad (2)$$

$$a = 1.868 C = 1.868 \times 0.8476 = 1.5833 \quad (3)$$

$$L_{\min} = \frac{100a}{21.0} \left(1 + \frac{h}{2}\right) = \frac{100 \times 1.5833}{21.0} (1 + 0.5351) = \underline{11.57} \text{ Nm}^3/\text{kg} \quad (4)$$

(理論的空氣量)

$$G_{\min} = \rho_a L_{\min} = 1.293 \times 11.57 = \underline{14.96} \text{ kg/kg} \quad (4)'$$

(理論的空氣量)

$$L = n L_{\min} \quad (5)$$

$$G = n G_{\min} \quad n : \text{空氣供給率} (n = G/G_{\min})$$

(a) 完全燃焼の場合

$$b = 3.762n \left(1 + \frac{h}{2}\right) = 3.762 \times 1.5351n = 5.775n \quad (6)'$$

1 kg の燃料より生ずる燃焼ガスの容積は

$$\left. \begin{aligned} v(\text{CO}_2)_N &= a = 1.5833 \text{ Nm}^3/\text{kg} \\ v(\text{H}_2\text{O})_N &= ah = 1.5833 \times 1.0702 = 1.6944 \text{ Nm}^3/\text{kg} \\ v(\text{N}_2)_N &= ab = 1.5833 \times 5.775n = 9.1436n \text{ Nm}^3/\text{kg} \\ v(\text{O}_2)_N &= aO = 1.5833 \times 1.5351(n-1) = 2.4305(n-1) \text{ Nm}^3/\text{kg} \end{aligned} \right\} (7)$$

$$\text{但し} \quad O = (n-1) \left(1 + \frac{h}{2}\right) = 1.5351(n-1) \quad (8)$$

(7) 式に任意の空氣供給率  $n$  ( $n \geq 1$ ) を代入すれば 1 kg の燃料より生ずる燃焼ガスの各成分ガスの容積を求めることを得る。

1 kg の燃料より生ずる重量組成は (7) の各式に各ガスの密度  $\rho$  を乗じて求めることが出来る。

$$\left. \begin{aligned} \rho_{\text{CO}_2} &= 1.9635 \text{ kg/Nm}^3, \quad \rho_{\text{H}_2\text{O}} = 0.8038 \text{ kg/Nm}^3, \quad \rho_{\text{N}_2} = 1.2502 \text{ kg/Nm}^3 \\ \rho_{\text{O}_2} &= 1.4278 \text{ kg/Nm}^3 \\ G(\text{CO}_2)_N &= a \rho_{\text{CO}_2} = 1.5833 \times 1.9635 = 3.1088 \text{ kg/kg} \\ G(\text{H}_2\text{O})_N &= ah \rho_{\text{H}_2\text{O}} = 1.6944 \times 0.8038 = 1.3620 \text{ kg/kg} \\ G(\text{N}_2)_N &= ab \rho_{\text{N}_2} = 9.1436n \times 1.2502 = 11.431n \text{ kg/kg} \\ G(\text{O}_2)_N &= aO \rho_{\text{O}_2} = 2.4305(n-1) \times 1.4278 = 3.4703(n-1) \text{ kg/kg} \end{aligned} \right\} (7)'$$

又體積百分率は次式に依り計算する。

$$\lambda = 1 + h + b + O = 1 + 1.0702 + 5.775n + 1.5351(n-1)$$

$$\left. \begin{aligned} v(\text{CO}_2)_N &= 1/\lambda \\ v(\text{H}_2\text{O})_N &= h/\lambda = 1.0702/\lambda \\ v(\text{N}_2)_N &= b/\lambda = 5.775n/\lambda \\ v(\text{O}_2)_N &= 0/\lambda = 1.5351(n-1)/\lambda \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

$$\text{燃焼ガスの全容積 } v_g = a\lambda \text{ Nm}^3/\text{kg} \quad (11)$$

(b) 不完全燃焼の場合 ( $n < 1$ )

$$K_{pw} = \frac{\frac{1}{x} - 1}{\frac{1}{y} - 1} \quad K_{pw} = 3.8 \quad (20)$$

$$1 + x + yh = n(2 + h) \quad (24)'$$

$$h = 5.952 \frac{H}{C} = 1.0702$$

として (20) (24)' を満足する様な  $x, y$  の値を  $n$  の種々の値に對して求めれば第 II 表の如くなる。

第 II 表  $x, y$  の値 ( $K_{pw} = 3.8 \quad h = 1.0702$ )

$n$	$x$	$1-x$	$y$	$1-y$
1.000	1.0000	0	1.0000	0
0.959	0.9040	0.0960	0.9723	0.0277
0.891	0.7510	0.2490	0.9197	0.0803
0.822	0.6080	0.3920	0.8555	0.1445
0.754	0.4800	0.5200	0.7790	0.2210
0.685	0.3660	0.6340	0.6868	0.3132
0.616	0.2680	0.7320	0.5818	0.4182
0.548	0.1850	0.8150	0.4640	0.5360

上の  $x, y$  を用ひて 1 kg の燃料より生ずる燃焼ガスの體積は

$$\left. \begin{aligned} v(\text{CO}_2)_N &= ax = 1.5833x \quad \text{Nm}^3/\text{kg} \\ v(\text{CO}) &= a(1-x) = 1.5833(1-x) \quad \text{Nm}^3/\text{kg} \\ v(\text{H}_2\text{O})_N &= ah y = 1.6944y \quad \text{Nm}^3/\text{kg} \\ v(\text{H}_2)_N &= ah(1-y) = 1.6944(1-y) \quad \text{Nm}^3/\text{kg} \\ v(\text{N}_2)_N &= ab = 9.1436n \quad \text{Nm}^3/\text{kg} \end{aligned} \right\} \quad (26)$$

$$a = 1.868C = 1.868 \times 0.8476 = 1.5833$$

$$b = 3.762n \left(1 + \frac{h}{2}\right) = 5.775n$$



1 kg の燃料より生ずる全燃焼ガスの全容積は

$$v_g = a(1+h+b) = a\lambda \quad (27)$$

1 kg の燃料より生ずる燃焼ガス各成分の重量は

$$\left. \begin{aligned} G(\text{CO}_2)_N &= a x \rho_{\text{CO}_2} = 1.5833 \times 1.9635x = 3.1088x && \text{kg/kg} \\ G(\text{CO})_N &= a(1-x)\rho_{\text{CO}} = 1.5833 \times 1.2496(1-x) = 1.9785(1-x) && \text{kg/kg} \\ G(\text{H}_2\text{O})_N &= a h y \rho_{\text{H}_2\text{O}} = 1.6944 \times 0.8038y = 1.3620y && \text{kg/kg} \\ G(\text{H}_2)_N &= ah(1-y)\rho_{\text{H}_2} = 1.6944 \times 0.0899(1-y) = 1.5233(1-y) && \text{kg/kg} \\ G(\text{N}_2)_N &= a b \rho_{\text{N}_2} = 9.1436 \times 1.2502n = 11.431n && \text{kg/kg} \end{aligned} \right\} (26)'$$

以上の様にして航空 3 號ガソリンに就てその 1 kg が不完全燃焼又は完全燃焼する際に生ずる各生成ガスの容積は第 III 表に、重量は第 IV 表に、wet state の容積百分率は第 V 表に示す如くである。

本文 p. 139 第 3 表は以上の様な理論的計算値に依る dry state の容積百分率を示すもので第 1 表の實驗値と極めてよく一致することが明らかである。

### 附録 II. 各種燃料の理論的空氣量の計算法

燃料 1 kg が夫々 C, H, O kg の炭素, 水素, 酸素より成立つとすればこの燃料を完全燃焼するに要する理論的最少空氣量  $G_{\min}$  或は Correct Mixture Ratio は次式に依つて計算することが出来る。

$$G_{\min} = 11.502(C + 2.976H - 0.375O) \text{kg/kg of fuel}$$

これらの關係を圖示せるものが第 II 圖である。O を含まず C, H のみより成立つてゐる炭化水素の理論的空氣量は H の割合の増加と共に直線的に増加する。CH<sub>4</sub>O, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O, CO の如き酸素含有燃料の理論的空氣量は著しく少ない。主要燃料の  $G_{\min}$  を次表に一括して示す。Methyl Alcohol の  $H_u/G_{\min}$  並に氣化潜熱が他に比し著しく大なることは注目すべきである。

第 III 表 1 kg の航空 3 號ガソリン( $C_{7.1}H_{15.2}$ ) より生ずる  
排氣中の各成分容積

空気供給率 $n$	混合比 M.R.	$Nm^3/kg$ $v(CO_2)_N$	$Nm^3/kg$ $v(H_2)_N$	$Nm^3/kg$ $v(O_2)_N$	$Nm^3/kg$ $v(CO)_N$	$Nm^3/kg$ $v(H_2O)_N$	$Nm^3/kg$ $v(N_2)$	排氣ガス全容積 (wet) $v_g Nm^3/kg$	排氣ガス全容積 (dry) $v_g' Nm^3/kg$
0.548	8.20	0.2929	0.9080	0	1.2904	0.7862	5.0107	8.2884	7.5022
0.616	9.22	0.4243	0.7089	0	1.1590	0.9858	5.6325	8.9102	7.9244
0.685	10.25	0.5795	0.5207	0	1.0038	1.1637	6.2634	9.5311	8.3674
0.754	11.28	0.7600	0.3745	0	0.8233	1.3199	6.8943	10.1720	8.8521
0.822	12.30	0.9626	0.2448	0	0.6207	1.4496	7.5160	10.7973	9.3441
0.891	13.33	1.1891	0.1361	0	0.3942	1.5583	8.1469	11.4246	9.8663
0.959	14.35	1.4313	0.0469	0	0.1520	1.6475	8.7687	12.0464	10.3989
1.000	14.96	1.5833	0	0	0	1.6944	9.1436	12.4213	10.7269
1.028	15.38	1.5833	0	0.0681	0	1.6944	9.3996	12.7454	11.0510
1.096	16.40	1.5833	0	0.2333	0	1.6944	10.0214	13.5324	11.8380
1.165	17.43	1.5833	0	0.4010	0	1.6944	10.6523	14.3310	12.6366
1.234	18.46	1.5833	0	0.5687	0	1.6944	11.2832	15.1296	13.4352
1.302	19.48	1.5833	0	0.7340	0	1.6944	11.9050	15.9167	14.2223
1.370	20.50	1.5833	0	0.8993	0	1.6944	12.5268	16.7038	15.0094
1.438	21.51	1.5833	0	1.0646	0	1.6944	13.1485	17.4908	15.7964
1.507	22.54	1.5833	0	1.2323	0	1.6944	13.7794	18.2894	16.5950
1.575	23.56	1.5833	0	1.3795	0	1.6944	14.4012	19.0764	17.3820
2	29.92	1.5833	0	2.4305	0	1.6944	18.2872	23.9954	22.3010
3	44.88	1.5833	0	4.8610	0	1.6944	27.4308	35.5695	33.8751
4	59.84	1.5833	0	7.2915	0	1.6944	36.5744	47.1436	45.4492
5	74.80	1.5833	0	9.7220	0	1.6944	45.7180	58.7177	57.0233
6	89.76	1.5833	0	12.1525	0	1.6944	54.8616	70.2918	68.5974
8	119.68	1.5833	0	17.0135	0	1.6944	73.1488	93.4400	91.7456
10	149.60	1.5833	0	21.875	0	1.6944	91.4360	116.589	114.895
12	179.52	1.5833	0	26.736	0	1.6944	109.7232	139.737	138.043
14	209.44	1.5833	0	31.597	0	1.6944	128.0104	162.885	161.191
16	239.36	1.5833	0	36.458	0	1.6944	146.2976	186.033	184.339

第 IV 表 1 kg の航空 3 號ガソリン (C<sub>7.1</sub>H<sub>15.2</sub>) より生ずる  
排氣中の各成分重量

空気供給率 $n$	混合比 M. R.	kg/kg $G(\text{CO}_2)_N$	kg/kg $G(\text{H}_2)_N$	kg/kg $G(\text{O}_2)_N$	kg/kg $G(\text{CO})_N$	kg/kg $G(\text{H}_2\text{O})_N$	kg/kg $G(\text{N}_2)_N$	排氣ガス全重量 (wet) $G_g \text{ kg/kg}$	排氣ガス全重量 (dry) $G_g' \text{ kg/kg}$
0.548	8.20	0.5751	0.0817	0	1.6125	0.6319	6.2644	9.1656	8.5337
0.616	9.22	0.8331	0.0637	0	1.4483	0.7924	7.0418	10.1793	9.3869
0.685	10.25	1.1378	0.0468	0	1.2543	0.9354	7.8305	11.2048	10.2694
0.754	11.28	1.4923	0.0337	0	1.0288	1.0609	8.6193	12.2350	11.1741
0.822	12.30	1.8901	0.0220	0	0.7756	1.1652	9.3965	13.2494	12.0842
0.891	13.33	2.3348	0.0122	0	0.4926	1.2526	10.1852	14.2774	13.0248
0.959	14.35	2.8104	0.0042	0	0.1899	1.3243	10.9626	14.2914	13.9671
1.000	14.96	3.1088	0	0	0	1.3620	11.4313	15.9021	14.5401
1.028	15.38	3.1088	0	0.0972	0	1.3620	11.7514	16.3194	14.9574
1.096	16.40	3.1088	0	0.3331	0	1.3620	12.5288	17.3327	15.9707
1.165	17.43	3.1088	0	0.5725	0	1.3620	13.3175	18.3608	16.9988
1.234	18.46	3.1088	0	0.8120	0	1.3620	14.1063	19.3891	18.0271
1.302	19.48	3.1088	0	1.0480	0	1.3620	14.8836	20.4024	19.0404
1.370	20.50	3.1088	0	1.2840	0	1.3620	15.6610	21.4158	20.0538
1.438	21.51	3.1088	0	1.5200	0	1.3620	16.4383	22.4291	21.0671
1.507	22.54	3.1088	0	1.7595	0	1.3620	17.2270	23.4573	22.0953
1.575	23.56	3.1088	0	1.9954	0	1.3620	18.0044	24.4706	23.1086
2	29.92	3.1088	0	3.4703	0	1.3620	22.8627	30.8038	29.4418
3	44.88	3.1088	0	6.9405	0	1.3620	34.2940	45.7053	44.3433
4	59.84	3.1088	0	10.4108	0	1.3620	45.7253	60.6069	59.2449
5	74.80	3.1088	0	13.8811	0	1.3620	57.1566	75.5085	74.1465
6	89.76	3.1088	0	17.3513	0	1.3620	68.5880	90.4101	89.0481
8	119.68	3.1088	0	24.2919	0	1.3620	91.4506	115.7425	114.3805
10	149.60	3.1088	0	31.2331	0	1.3620	114.3133	150.0172	148.6552
12	179.52	3.1088	0	38.1737	0	1.3620	137.1759	179.8204	178.4584
14	209.44	3.1088	0	45.1142	0	1.3620	160.0386	209.6236	208.2616
16	239.36	3.1088	0	52.0547	0	1.3620	182.9013	239.4268	238.0648

第V表 航空3號ガソリン ( $C_{7.1}H_{15.2}$ ) の排氣ガス體積組成 (wet state)理論的計算値  $C=0.8476$   $H=0.1524$ 

空氣供給率 $n$	混 合 比 M. R.	% $b(CO_2)_N$	% $b(H_2)_N$	% $b(O_2)_N$	% $b(CO)_N$	% $b(H_2O)_N$	% $b(N_2)_N$
0.548	8.20	3.53	10.96	0	15.57	9.49	60.45
0.616	9.22	4.76	7.95	0	13.01	11.07	63.22
0.685	10.25	6.08	5.46	0	10.53	12.21	65.72
0.754	11.28	7.47	3.68	0	8.09	12.98	67.78
0.822	12.30	8.92	2.27	0	5.75	13.43	69.63
0.891	13.33	10.41	1.19	0	3.45	13.64	71.31
0.959	14.35	11.88	0.39	0	1.26	13.68	72.79
1.000	14.96	12.75	0	0	0	13.64	73.61
1.028	15.38	12.42	0	0.53	0	13.30	73.75
1.096	16.40	11.70	0	1.73	0	12.52	74.05
1.165	17.43	11.05	0	2.80	0	11.82	74.33
1.234	18.46	10.47	0	3.76	0	11.20	74.57
1.302	19.48	9.95	0	4.61	0	10.65	74.79
1.370	20.50	9.48	0	5.38	0	10.15	74.99
1.438	21.51	9.05	0	6.09	0	9.69	75.17
1.507	22.54	8.66	0	6.73	0	9.28	75.33
1.575	23.56	8.30	0	7.33	0	8.88	75.49
2	29.92	6.60	0	10.13	0	7.06	76.21
3	44.88	4.45	0	13.67	0	4.76	77.12
4	59.84	3.36	0	15.47	0	3.59	77.58
5	74.80	2.70	0	16.56	0	2.89	77.85
6	89.76	2.25	0	16.29	0	2.41	78.05
8	119.68	1.69	0	18.21	0	1.81	78.29
10	149.60	1.36	0	18.76	0	1.45	78.43
12	179.52	1.13	0	19.13	0	1.21	78.53
14	209.44	0.97	0	19.40	0	1.04	78.59
16	239.36	0.85	0	19.60	0	0.91	78.64

第 VI 表 主要燃料の理論的空氣量, 發熱量, 氣化潛熱

屬	物質名	分子式	成分			理論的空氣量 $G_{\min}$ kg/kg	低發熱量 $H_u$ kcal/kg	$H_u/G$ kcal/kg	氣化潛熱 $L$ kcal/kg
			C	H	O				
パラフィン系 $C_nH_{2n+2}$	Hexan	$C_6H_{14}$	0.8361	0.1639	—	15.23	10700	702.6	86.7
	Heptan	$C_7H_{16}$	0.8389	0.1611	—	15.16	10720	707.1	73.9
	Octan	$C_8H_{18}$	0.8410	0.1590	—	15.12	10550	697.8	71.0
	Decan	$C_{10}H_{22}$	0.8440	0.1560	—	15.05	10486	696.7	—
ナフテン系 $C_nH_{2n}$	Cyclohexan	$C_6H_{12}$	0.8562	0.1438	—	14.77	10430	706.2	86.7
	Hexahydrotuluol	$C_7H_{14}$	0.8562	0.1438	—	14.77	10404	704.4	76.7
	Hexahydroxylool	$C_8H_{16}$	0.8562	0.1438	—	14.77	10410	704.8	73.9
環状化合物	Benzol	$C_6H_6$	0.9225	0.0775	—	13.26	9630	726.2	95.5
	Toluol	$C_7H_8$	0.9124	0.0876	—	13.49	9750	722.8	83.9
	Xylol	$C_8H_{10}$	0.9050	0.0950	—	13.66	9490	724.0	80.6
アルコール	Methyl Alcohol	$CH_4O$	0.3746	0.1259	0.4995	6.46	5340	826.6	267.5
	Athyl Alcohol	$O_2H_6O$	0.5212	0.1313	0.3475	8.99	6375	709.1	207.0
其他	Carbon Monoxide	CO	0.4285	—	0.5715	2.46	2430	987.8	gas
	Hydrogen	$H_2$	0	1.0000	—	34.23	28530	833.4	gas