したときの曲線を点線で示して置いたのである。

第9図より第13図までは同じく積み重ね試験の結果を示してあるが、図中に書き入れてあるやうに、積み重ね高さの等しいものに対する線図を一つの図中に纏め、積み重ね高さの異なる毎に図を別にしてある。

第11図 積み重ね圧縮

第12図 積み重ね圧縮

これらのいづれの線図をみても、應力歪線には積み重ねの数は殆ど影響しないことが判つた。

実験者はこの実験結果を得て、次には数種の薄板を重ねたものゝ圧縮試験を計画し、延いては、数種の薄板を重ねたものゝ圧延に就て研究したいと考えてゐる。

6. 結 び

この実験に就て得たる結果は次の通りである。

(a) 圧縮下降伏應力は試験片の高さが増すに従つて少しづつ低下する。

(b) 試験片の高さに依て圧縮下降伏應力が異なる故に、その影響をうけて應力歪線は歪の小さな所では試験片の高さが高い程應力が小である。然し歪が大になると、その影響が少くなつてきて試験片の高さの如何に拘らず應力が一定に近づくやうな傾向が認められた。

(c) 圧縮應力歪線と引張應力歪線との間の関係が塑性理論

第13図 積み重ね圧縮

に依て説明された。

(d) 積み重ね試験では、應力歪線は殆ど試験片の積み重ね数には関係しないことが判つた。

(附) 炭素量の甚だしい鋼では圧縮下降伏應力が特に小さいことが多い。この点に就ては尙研究をなしました他の機会に報告する心算である。

排気ガス組成より推算した不燃焼炭素量に就て⁽¹⁾

(昭和12年5月1日 名古屋地方講演會に於て講演)

准 員 下 山 鑛 一⁽²⁾

摘 要

機関の運転に際して燃焼が非常に悪いときには 排気ガス 中に炭素が、不燃焼の儘で排出されることが容易に認められる。而して混合気濃度が適正であり且 排気ガスの色、臭等も悪くないと思はれる様な場合でも、機関の圧縮比、容積効率、燃焼室の形、点火又は噴油の時期或は燃料の霧化状況、空気との混合状況等その他種々の原因に依て多少の不燃焼炭素が排出されて、燃料の損失、機関性能への影響を生ずることを考へねばならぬと思ふ。

本実験に於ては 排気ガス の分析を行ひ、それより燃料中より不燃焼の儘排出される炭素量を推算することを目的としたものである。

1. 排気ガス組成より空気燃料重量比の計算

液体燃料の 燃焼生成ガス組成 は簡単に CO_2 , CO , O_2 , H_2 , CH_4 , N_2 , C , H_2O より成るものと考え、こゝに C は不燃焼炭素である。今これ等各成分の 1m^3 又は 1kg における組成は第1表に示す通りである。

(1) On the Unburned Carbon Computed from Exhaust Gas Analysis. 本稿の講演題名は、排気ガス組成より推算せる不燃焼炭素量と機関性能に就て。
(2) Kōichi SHIMOYAMA, Associate Member. The Nagoya Technical College. 名古屋高等工業学校。

第 1 表

成 分	CO_2	CO	CH_4	H_2O
成分 1m^3 中の組成 (kg)	C 0.535 7 H ₂ — O ₂ 1.428 6	0.535 7 — 0.714 3	0.535 7 0.180 0 —	— 0.090 0 0.714 3
成分 1kg 中の組成 (kg)	C 0.272 7 H ₂ — O ₂ 0.727 2	0.428 6 — 0.571 4	0.748 5 0.251 5 —	— 0.111 9 0.888 1

昭和12年8月]

今燃焼式を次の様に置く、

$$\begin{aligned} C_v + H_v + O_v + N_v \\ = a \cdot CO_2 + b \cdot CO + c \cdot O_2 + d \cdot H_2 + e \cdot CH_4 + f \cdot N_2 \\ + g \cdot C + h \cdot H_2O \dots\dots\dots(1) \end{aligned}$$

(1) 式右边に於て分析に依て求められる 乾燥排気ガス

$$a \cdot CO_2 + b \cdot CO + c \cdot O_2 + d \cdot H_2 + e \cdot CH_4 + f \cdot N_2 = 1 \text{ m}^3$$

とすれば、 a, b, c, d, e, f は夫々 $CO_2, CO, O_2, H_2, CH_4, N_2$ の容積百分比を表す。

この場合の (1) 式における

$C_v + H_v = 1 \text{ m}^3$ の 乾燥排気ガス を生成するために使用された燃料 (kg)

$O_v + N_v$ = そのときの供給空気量 (kg)

$h \cdot H_2O$ = そのときの生成水蒸気量 (kg)

$g \cdot C = 1 \text{ m}^3$ の 乾燥排気ガス が生成されたとき生ずる不燃炭素量 (kg)

(1) 式に於て実際燃焼した水素量を H_v' (kg) とすれば、第 1 表を参照して

$$H_v' = 0.09 h \cdot H_2O + 0.18 e \cdot CH_4$$

又 $H_v' = H_v - 0.09 d \cdot H_2$

両式より

$$h \cdot H_2O = 11.1 H_v' - d \cdot H_2 - 2 e \cdot CH_4 \dots\dots\dots(2)$$

H_2O の生成に與つた以外の酸素量 (kg) は第 1 表を参照して

$$\begin{aligned} O_v - 0.7143 h \cdot H_2O &= 1.4286 a \cdot CO_2 \\ &+ 0.7143 b \cdot CO + 1.4286 c \cdot O_2 \dots\dots\dots(3) \end{aligned}$$

尙混合気中の窒素は NO 等の反應なく全部排気ガス中に残るものとすれば、 N_2 の 1 m^3 の重量は 1.2507 kg である故

$$N_v = 1.2507 f \cdot N_2 \dots\dots\dots(4)$$

であり、又空気中の酸素、窒素の重量比より

$$O_v = 0.3036 N_v$$

なれば、これに (4) 式を代入して

$$O_v = 0.3798 f \cdot N_2 \dots\dots\dots(5)$$

従て (3) 式に (2) 式及び (5) 式を代入すれば

$$\begin{aligned} 0.3798 f \cdot N_2 - 0.7143 (11.1 H_v' - d \cdot H_2 - 2 e \cdot CH_4) \\ = 1.4286 a \cdot CO_2 + 0.7143 b \cdot CO + 1.4286 c \cdot O_2 \\ \therefore H_v' = 0.04785 f \cdot N_2 - 0.18(a \cdot CO_2 + c \cdot O_2 - e \cdot CH_4) \\ - 0.09(b \cdot CO - d \cdot H_2) \dots\dots\dots(6) \end{aligned}$$

この H_v' は 1 m^3 の 乾燥排気ガス の生成するに要する水素量 (kg) である。

次に燃料中の炭素、水素の重量比を z とすれば

$$C_v = z H_v \dots\dots\dots(7)$$

然るとき、 1 m^3 の 乾燥排気ガス の生成に要する燃料(kg)は

$$C_v + H_v = (1+z) H_v \dots\dots\dots(8)$$

である。この場合の供給空気量 (kg) は (4), (5) 式より

$$\begin{aligned} O_v + N_v &= 0.3798 f \cdot N_2 + 1.2507 f \cdot N_2 \\ &= 1.6305 f \cdot N_2 \dots\dots\dots(9) \end{aligned}$$

である。扱て空気対燃料重量比を R とすれば、(6), (8) 及び (9) 式より

$$\begin{aligned} R = \frac{O_v + N_v}{C_v + H_v} &= \frac{1.6305 f \cdot N_2}{(1+z) H_v} \\ &= \frac{1}{(1+z)} \times \frac{f \cdot N_2}{\left\{ 0.02935 f \cdot N_2 - 0.1104(a \cdot CO_2 + c \cdot O_2) \right.} \\ &\quad \left. - e \cdot CH_4 - 0.552(b \cdot CO - d \cdot H_2) \right\}} \dots\dots\dots(10) \end{aligned}$$

若し燃焼式を

$$\begin{aligned} C_w + H_w + O_w + N_w &= p \cdot CO_2 + q \cdot CO + r \cdot O_2 \\ &+ s \cdot H_2 + t \cdot CH_4 + u \cdot N_2 + v \cdot C + w \cdot H_2O \dots\dots\dots(11) \end{aligned}$$

とし、式中右边における 乾燥排気ガス

$$p \cdot CO_2 + q \cdot CO + r \cdot O_2 + s \cdot H_2 + t \cdot CH_4 + u \cdot N_2 = 1 \text{ kg}$$

と置けば、 p, q, r, s, t, u は夫々 $CO_2, CO, O_2, H_2, CH_4, N_2$ の重量百分比である。この場合の (11) 式における

$C_w + H_w = 1 \text{ kg}$ の 乾燥排気ガス を生成するために使用された燃料 (kg)

$O_w + N_w$ = そのときの供給空気量 (kg)

$w \cdot H_2O$ = そのときの生成水蒸気量 (kg)

$v \cdot C = 1 \text{ kg}$ の 乾燥排気ガス が生成されたとき生ずる不燃炭素量 (kg)

である。こゝに於て第 1 表を参照し、前と同様な方法に依て、 1 kg の 乾燥排気ガス を生成するために要する水素量 H_w (kg) は

$$\begin{aligned} H_w &= 0.03826 u \cdot N_2 + s \cdot H_2 + 0.2515 t \cdot CH_4 \\ &- 0.09163 p \cdot CO_2 - 0.072 q \cdot CO - 0.126 r \cdot O_2 \dots\dots\dots(12) \end{aligned}$$

であり、尙供給燃料は

$$C_w + H_w = (1+z) H_w$$

であり、供給空気量は空気の重量組成より

$$O_w + N_w = 1.3036 u \cdot N_2$$

である。従て混合気重量比 R は

$$\begin{aligned} R = \frac{O_w + N_w}{C_w + H_w} &= \frac{1.3036 u \cdot N_2}{(1+z) H_w} \\ &= \frac{1}{(1+z)} \times \frac{u \cdot N_2}{\left\{ 0.02935 u \cdot N_2 + 0.7671 s \cdot H_2 \right.} \\ &\quad \left. + 0.1930 t \cdot CH_4 - 0.07029 p \cdot CO_2 \right.} \\ &\quad \left. - 0.05523 q \cdot CO - 0.09665 r \cdot O_2 \right\}} \dots\dots\dots(13) \end{aligned}$$

となる。こゝに 排気ガス 組成より混合気重量比の計算に當つて(10)式に依る場合は 排気ガス 組成の容積百分比を用ひ (13) 式に依る場合には重量百分比を用ふればよい。

2. 排気ガス組成より不燃炭素量の計算 (第 1 法)

1 m^3 の 乾燥排気ガス を生成するために実際燃焼した燃料中の炭素量を C_v' (kg) とすれば、(1) 式の燃焼式より第 1 表を参照して

$$C_v' = 0.5357(a \cdot CO_2 + b \cdot CO + e \cdot CH_4) \dots\dots\dots(14)$$

である。故に 1 m^3 の 乾燥排気ガス が生成されたとき生ず

る不燃焼炭素量 $g \cdot C$ (kg) は

$$g \cdot C = C_v - C_v' = z \cdot H_v - C_v' \\ = z \cdot H_v - 0.5357(a \cdot CO_2 + b \cdot CO + e \cdot CH_4) \dots (15)$$

である。従て 1 kg の燃料中より排出される不燃焼炭素量を C_f (kg) とすれば、(8) 式及び (15) 式より

$$C_f = \frac{g \cdot C}{C_v + H_v} \\ = \frac{z H_v - 0.5357(a \cdot CO_2 + b \cdot CO + e \cdot CH_4)}{(1+z)H_v} \dots (16)$$

(16) 式中の H_v は (6) 式に依て求められる故、これを代入すれば

$$C_f = \frac{z}{(1+z)} - \frac{1}{(1+z)} \\ \times \frac{a \cdot CO_2 + b \cdot CO + e \cdot CH_4}{\left\{ 0.08932f \cdot N_2 - 0.336(a \cdot CO_2 + c \cdot O_2 - e \cdot CH_4) \right.} \\ \left. - 0.168(b \cdot CO - d \cdot H_2) \right\}} \dots (17)$$

次に 1 kg の乾燥排気ガスを生成するために実際燃焼した燃料中の炭素量を C_w' (kg) とすれば、(11) 式の燃焼式より第 1 表を参照して

$$C_w' = 0.2727p \cdot CO_2 + 0.4286q \cdot CO + 0.7485t \cdot CH_4$$

尚この場合の不燃焼炭素 $v \cdot C$ (kg) は

$$v \cdot C = C_w - C_w' = z H_w - C_w'$$

従て 1 kg の燃料中より排出される不燃焼炭素量 C_f (kg) は

$$C_f = \frac{v \cdot C}{C_w + H_w} = \frac{z H_w - C_w'}{(1+z)H_w} \\ = \frac{z}{(1+z)} - \frac{1}{(1+z)} \times \frac{\left\{ 0.2727p \cdot CO_2 + 0.4286q \cdot CO \right.} \\ \left. + 0.7485t \cdot CH_4 \right\}}{H_w} \\ = \frac{z}{(1+z)} - \frac{1}{(1+z)} \times \frac{\left\{ 0.2727p \cdot CO_2 + 0.4286q \cdot CO \right.} \\ \left. + 0.7485t \cdot CH_4 \right\}}{\left\{ 0.03826u \cdot N_2 + s \cdot H_2 \right.} \\ \left. + 0.2515t \cdot CH_4 - 0.09163p \cdot CO_2 \right.} \\ \left. - 0.072q \cdot CO - 0.126r \cdot O_2 \right\}} \dots (18)$$

こゝに乾燥排気ガス組成を分析して、これより燃料 1 kg 當りの不燃焼炭素量を計算するに當つて (17) 式に依る場合は排気ガス組成の容積百分比を用ひ、(18) 式に依る場合は重量百分比を用ふればよい。

3. 排気ガス組成より不燃焼炭素量の計算 (第 2 法)

不燃焼炭素なき場合の燃焼式を

とする。但し

左側 $C + H = 1$ kg 燃料

$O + N = 1$ kg 燃料に混合せる空気量 (kg)

右側 乾燥排気ガス

不燃焼炭素ある場合の燃焼式を

とする。但し

左側 $C' = 1$ kg 燃料中実際燃焼した炭素量 (kg)

$C_f = 1$ kg 燃料中の不燃焼炭素量 (kg)

$C + H = C' + C_f + H = 1$ kg 燃料

$O + N = 1$ kg 燃料に混合せる空気量 (kg)

右側 乾燥排気ガス

今不燃焼炭素のない場合又はある場合の乾燥排気ガス中の炭酸ガス、一酸化炭素、メタンの容積百分比を夫々 CO_2 , CO , CH_4 又は CO_2' , CO' , CH_4' とすれば

$$CO_2 = \frac{a \cdot CO_2}{Q}, \quad CO = \frac{b \cdot CO}{Q}, \quad CH_4 = \frac{e \cdot CH_4}{Q} \\ CO_2' = \frac{a' \cdot CO_2}{Q'}, \quad CO' = \frac{b' \cdot CO}{Q'}, \quad CH_4' = \frac{e' \cdot CH_4}{Q'} \\ \therefore \left. \begin{aligned} CO_2 + CO + CH_4 &= \frac{a \cdot CO_2 + b \cdot CO + e \cdot CH_4}{Q} \\ CO_2' + CO' + CH_4' &= \frac{a' \cdot CO_2 + b' \cdot CO + e' \cdot CH_4}{Q'} \end{aligned} \right\} \dots (21)$$

扱て炭酸ガス、一酸化炭素又はメタンが夫々 1 kg の炭素の燃焼に依て生成される容積は、熟れも 1.86 m^3 なれば、(19) 及び (20) 式に於て夫々

$$1.86 C = a \cdot CO_2 + b \cdot CO + e \cdot CH_4$$

$$1.86 C = a' \cdot CO_2 + b' \cdot CO + e' \cdot CH_4$$

両辺を夫々 Q 又は Q' で除し、(21) 式を代入すれば

$$1.86 \frac{C}{Q} = \frac{a \cdot CO_2 + b \cdot CO + e \cdot CH_4}{Q} = CO_2 + CO + CH_4$$

$$1.86 \frac{C'}{Q'} = \frac{a' \cdot CO_2 + b' \cdot CO + e' \cdot CH_4}{Q'} = CO_2' + CO' + CH_4'$$

この二つの式より

$$C' = C \times \frac{Q'}{Q} \times \left(\frac{CO_2' + CO' + CH_4'}{CO_2 + CO + CH_4} \right)$$

$$\therefore C_f = C - C'$$

$$= C \cdot \left\{ 1 - \frac{Q'}{Q} \times \left(\frac{CO_2' + CO' + CH_4'}{CO_2 + CO + CH_4} \right) \right\} \dots (22)$$

(22) 式中の C は勿論燃料 1 kg 中の炭素含有量である。尚式中の CO_2' , CO' , CH_4' は分析に依る容積百分比をとり、 CO_2 , CO , CH_4 はそのときの混合気重量比にける不燃焼炭素のない場合の容積百分比の計算値をとる。

次に (22) 式中の Q'/Q は 1 に近い値である故

$$C_f = C \left\{ 1 - \left(\frac{CO_2' + CO' + CH_4'}{CO_2 + CO + CH_4} \right) \right\} \dots (23)$$

とした略式に依て計算しても不燃焼炭素量の大体の見當は附く。

昭和 12 年 8 月]

以上 2, 3, 4 項における各式は過剰又は不足空気の熱れの場合にも適用せられる可きものであり、若し生成されない成分がある場合には各式共その成分に関する項のみ除去して計算すればよろしい。

4. 実験機関及び燃料

実験は第 2 表の様な、3 個の自動車用ガソリン機関と 1 個の無気噴油ディーゼル機関に就て行つた。

第 2 表 実験機関

機関記号	T-6	C-6	AF-4	—
製造年次	1936	1934	1930	1927
種 別	ガソリン機関	ガソリン機関	ガソリン機関	ディーゼル機関
用 途	自動車用	自動車用	自動車用	陸用小動力用
形 式	直列頭上弁	直列頭上弁	直列頭上弁	無気噴油
シリンダ数	6	6	4	1
口 径 mm	84.14	84.14	77.8	130
行 程 mm	101.60	101.60	108.0	180
排気量 cc	3 389	3 389	2 052	2 390
警視馬力	26.3	26.3	15	—
圧 縮 比	5.45	5.45	4.20	14.9
実 馬 力	65 (3 000 rev/mn)	72 (3 300 rev/mn)	30 (2 400 rev/mn)	7.5 (520 rev/mn)
そ の 他	下向通風 カーター 気化器	下向通風 カーター 気化器	上向通風 ゼニス 気化器	サバテ二段燃 焼サイクル、 予備燃焼室付

自動車機関の実験に使用した揮発油の成分は次の通りである。パラフィン族=57.6%，ナフテン族=32.1%

芳香族=10.3%

化学式は $C_8H_{16.084}$ であり、その重量組成は $C=85.55\%$, $H_2=14.45\%$ である。従て (7) 式における z の値は

$$z = \frac{C}{H} = \frac{0.8555}{0.1445} = 5.9123$$

である。

第 3 表 使用揮発油の性質

尚この揮発油の理論的完全燃焼混合重量比は 14.72 : 1 である。この外の試験結果を総括すれば第 3 表の通りである。

次に ディーゼル 機関の実験に使用した重油の組成は重量で
 $C=86.1\%$,
 $H_2=12.0\%$,
 $S_2=1.4\%$,
 その他=0.5%

のものである。この重油の理論的完全燃焼混合気重量比は 14.1 : 1 である。

色	無 色
臭 気	快
反応試験	中 性
比 重 D_4^{15}	0.748
発 熱 量 kcal/kg	10 883
硫酸に依る損失	8.00%
分溜試験	
初溜温度	49.0°C
70°C 迄の溜出量	10.0%
100°C 迄の溜出量	36.5%
150°C 迄の溜出量	77.0%
95% 溜出温度	194.0°C
乾 点	225.0°C

5. 実験方法

空気燃料重量比は 排気ガス 分析結果より計算すると共に、実験中直接空気及び燃料消費量を測定して求め、両結果を比較して見た。空気量の測定は 大型乾燥式ガスメータ を使用したが、本ガスメータ の誤差は測定の結果空気流量 1.5 m^3/mn のとき -0.48% 程度であつて、本実験に使用した機関の吸入容量に対しては大して不適当なものとも思はれないが、尙計算に當つては メータ の誤差を入れて行つた。

機関冷却水は出口の温度を 75°C に保つて行ひ、冷却水に依る機関性能、燃焼状況等の影響は一定にして置いた。

機関運転の際は、滑油が シリンダ内 に上り過ぎその燃焼物が 排気ガス 中に混入するのを恐れ、クランク・ケース 内の モビール油 は常に規定面の最低を保つ様に注意した。

排気ガス分析 は オルザット分析装置 を用ひ CO_2 , O_2 , CO を測定し、 H_2 は 白金パラデウム に依て吸収させた。オルザット分析装置 は在来のものに多少の改良を加へ、その取扱にも十分に熟達してから本実験に取り掛つた。尙時々同一排気ガス試料 を 2~3 回分析してその正確さを確めた。

排気ガス試料 は約 500/cc 入の瓶に採取したが、ガス を水と置換させるとき、ガス 中の成分が水中に吸収されるのを防ぐため置換水は CO_2 , CO 等の充分に飽和されてゐるものを使用し、尙置換後も ガス を暫く通してその誤差を可及的に少くして分析を行つた。尙分析器の レベル・チューブ も水の代りに水銀を用ひて行つた。

扱て分析に際して CH_4 の測定は省略したが、 CH_4 は普通ガソリンの 1 mol より 0.15 mol 程度生成されるものと考えられる故、ガソリン機関の混合気濃度の 10~18 程度では、 CH_4 は乾燥排気ガス 中に約 0.2~0.3% 含有されることになり、この程度なればこれを省略しても大した誤差にもなるまいと思はれる。従て各種の計算に當つては、2, 3, 4 項に於て求めた一般計算式より CH_4 に関する項を取捨て、行つた。下にそれ等の式の内重要なものを列記する。

1 m^3 の 乾燥排気ガス を生成するために要する水素量 H_v (kg) は (6) 式より

$$H_v = 0.04785f \cdot N_2 - 0.18(a \cdot CO_2 + c \cdot O_2) - 0.09(b \cdot CO - d \cdot H_2) \quad (24)$$

混合気重量比 R は (10) 式より

$$R = \frac{1.6305f \cdot N_2}{(1+z)H_v} = \frac{1}{(1+z)} \times \frac{f \cdot N_2}{\left\{ 0.02935f \cdot N_2 - 0.1104(a \cdot CO_2 + c \cdot O_2) - 0.552(b \cdot CO - d \cdot H_2) \right\}} \quad (25)$$

1 kg 燃料中より生ずる不燃焼炭素量 C_f (kg) は

第 1 法に依る計算式は (17) 式より

$$C_f = \frac{z}{(1+z)} - \frac{1}{(1+z)} \times \frac{0.5357(a \cdot CO_2 + b \cdot CO)}{H_v}$$

$$= \frac{z}{(1+z)} \cdot \frac{1}{(1+z)} \times \frac{a \cdot \text{CO}_2 + b \cdot \text{CO}}{\begin{cases} 0.08932f \cdot \text{N}_2 \\ -0.336(a \cdot \text{CO}_2 + c \cdot \text{O}_2) \\ -0.168(b \cdot \text{CO} - d \cdot \text{H}_2) \end{cases}} \dots\dots(26)$$

第2法に依る計算式は(22)式より

$$C_f = C \left\{ 1 - \frac{Q'}{Q} \times \left(\frac{\text{CO}_2' + \text{CO}'}{\text{CO}_2 + \text{CO}} \right) \right\} \dots\dots(27)$$

第2法に依る計算式の略式は(23)式より

$$C_f = C \left\{ 1 - \left(\frac{\text{CO}_2' + \text{CO}'}{\text{CO}_2 + \text{CO}} \right) \right\} \dots\dots(28)$$

6. T-6 機関に依る実験結果

T-6 機関に依て各種のスロットル弁開度、回転数の場合に就て測定した空気燃料重量比と乾燥排気ガス組成との関係を第1図に示す。本図を始め以下分析結果を示す図は熟れも直接空気消費量及び燃料消費量を測定して求めた混合気重量比(以下これを測定重量比と呼ぶことにする)に対して、そのときの排気ガス組成をプロットしたものである。

第2図は第1図の排気ガス分析結果より(25)式に依て計算した混合気重量比(以下これを計算重量比と呼ぶこと

第1図 排気ガス分析

第2図 測定に依る空気燃料重量比

にする)と測定重量比との比較を示したもので、大体 $\pm 2\%$ 誤差以内に大部分が入つてゐる。

第1図の排気ガス分析結果より(26)式に依て計算した1kg燃料中より排出された不燃炭素量及び各種成分の重量を第3図に示す。不燃炭素量はスロットル弁開度、荷重、回転数等に依て異なる故、同じ混合気濃度でも可成りの相違はあるが、燃料1kg當り最低0.06kg、最高0.25kg、総平均0.15kgの不燃炭素が排出されてゐる。

第1図及び第3図に於て $\text{CO}_2(\text{A})$ 及び $\text{O}_2(\text{A})$ の記号を附した曲線は過剰空気の場合で、不燃炭素なしとして計算した場合の組成曲線である。 $\text{CO}_2(\text{B})$ 及び $\text{CO}(\text{B})$ の記号を附した曲線は不足空気の場合で、不燃炭素なしとして計算した場合の組成曲線である。この場合は次の様な仮定の下に於て計算した。即ち H_2 は完全に燃焼して H_2O を生成し、残りの O_2 と C とが CO_2 及び CO を生成し、尙 $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} = \text{CO}_2 + \text{H}_2$ の反応は行はぬものとした。使用した成分のガソリンでは重量比9.8以下の場合には CO_2 の生成はなく CO のみ生成され遂には O_2 が極めて不足して不燃炭素が排出されるに至る。

$\text{CO}_2(\text{C})$ の記号を附した曲線は不足空気の場合、 H_2 は完全に燃焼して H_2O を生成し、残りの O_2 全部が C を燃焼させ而も CO_2 のみを生成するものと仮定した、 CO_2 の生成が最大である場合の組成曲線である。従て CO 、 O_2 、 H_2 の生成はないが、この仮定の場合には不燃炭素が混合気重量比の少くなると共に増加して排出されることになる。その量は第3図における $\text{C}(\text{C})$ の記号を附した曲線の様に1kg燃料中より排出される量 C_f (kg) は

$$C_f = 0.875(R - R') \dots\dots(29)$$

但し、 R = 理論的混合気重量比 = 14.72

第3図 1kg燃料より生ずる各種成分重量(kg)

昭和12年8月]

R' = 不足空気混合気重量比

扱て第 1 図における分析結果より得た CO 及び H_2 と混合気重量比との関係は次の通りである。

$$\text{CO (容積 \%)} = 0.5(R - R')^{1.78} \quad (30)$$

$$\text{H}_2 \text{ (容積 \%)} = 0.185(R - R')^{1.88} \quad (31)$$

但し、 R 及び R' は (29) 式の記号と同じ。

前述の様に本機関では不燃焼炭素量の総平均が 1 kg 燃料当り 0.15 kg であつた故、今各重量比共これが 0.15 kg 排出されるものと仮定し、且 (30) 及び (31) 式を考へに入れ計算した CO_2 及び O_2 の容積百分率又は生成重量を第 1 図又は第 3 図の (D) 曲線に示す。かくして求めた CO_2 (D) 曲線及び O_2 (D) 曲線は分析結果の CO_2 及び O_2 の平均を貫く曲線となつてゐる。第 1 図の CO_2 (D) 曲線に於て CO_2 の最大値は 12.9% で、その位置は重量比 13.5 の処である。

次に不燃焼炭素量が 0.15 kg あるときは、1 kg 燃料中の炭素量は本実験に使用した ガソリン では $0.8555 - 0.15 = 0.7055 \text{ kg}$ に減少することゝなる。これに水素量 0.1445 kg を加へた 0.85 kg の燃料を完全に燃焼させるためには空気の 13.05 kg を必要とする。このときの CO_2 は 14.2% である。この値は最大 CO_2 の (C) 曲線における重量比の 13.05 の場合の CO_2 の値と一致する筈である。

CO_2 (E) 及び CO (E) の記号を附した曲線はこの様に燃料 1 kg 当り 0.15 kg の不燃焼炭素量が當然あるものとし、且重量比 13.05 以上はこの場合の過剰空気、13.05 以下はこの場合の不足空気と云ふ意味で、(B) 曲線を求めたときの様な仮定の下に計算した組成曲線である。

この様に不燃焼炭素が排出されるときは CO_2 の最大値の位置が不足空気側へ移動する。尚 H_2 が完全に燃焼し盡すと仮定する時の不足空気の場合は、同一重量比に於て不燃焼炭素の排出が多くなる程 CO_2 の生成は (B) 曲線より多くなり、 CO は少くなる。而して (C) 曲線に於て CO_2 は最大値となり、 CO の生成はなくなる。従て排気ガス分析の結果 CO の検出が少く、 CO_2 の多いときに反て燃焼の悪い場合もあり得ることになる。この点に就ては、後の項の分析結果を見ると可なり空気の不足せる場合にも CO は殆ど排出されてゐない場合があり、唯この点のみから

見て燃焼状況の善悪を推定することは極めて危険であると思ふ。

第 4 図は不燃焼炭素量を第 1 法の (26) 式より計算した結果と、第 2 法の (27) 式より計算した結果とを比較である。

第 2 法の (27) 式よりの計算に當つては、前述の様に CO_2' 、 CO' は分析結果をとり、そのときの重量比に相當する不燃焼炭素のない場合の CO_2 、 CO の値は、第 1 図における (A) 又は (B) 曲線の値を取ればよい。

扱て第 4 図に示した第 2 法 (27) 式の計算に當り、不燃焼炭素なしとした場合の CO_2 、 CO の値は測定重量比を基準と

第 4 図 不燃焼炭素量の計算 2 式の比較

第 5 図

した。然るに第 1 法 (26) 式の方は全部分析結果のみより計算される故當然計算重量比を基準とする意味になるが、この二つの式から求めた結果は図の様に殆ど一致してゐる。

第 5 図は 1 kg 燃料より生成される乾燥排気ガスの分子量、重量及び容積の混合気重量比との関係を示したもので、図中の丸印は分析結果より計算した値であり、太い実線は第 1 図における (D) 曲線に相當し、細い点線の (A)、(B) 及び (C) 曲線は夫々第 1 図における (A)、(B) 及び (C) 曲線に相當するものであり、(A) 及び (B) 曲線は夫々過剰空気又は不足空気の場合に於て不燃焼炭素なしとした場合の曲線である。即ち排気ガス容積は不燃焼炭素がある場合もない場合も過剰空気の場合は同一であるが、不足空気の場合は空気が不足する程且不燃焼炭素が増す程、同一重量比に於て生成ガス容積は増加する。而してその差は大して大きくない故 (27) 式中の Q'/Q は 1 に近い値をとる。従て (27) 式の代りに $(Q'/Q) = 1$ と仮定した (28) 式に依て簡単に計算しても不燃焼炭素量の大体の見當は附くものと思ふ。

第 6 図は第 1 法 (26) 式に依て計算した不燃焼炭素と第 2 法略式 (28) 式を用ひて計算したものとの比較を示す。

7. C-6 機関に依る実験結果

C-6 機関は 5 人乗箱型乗用車に取り付けた儘のもので、自動車牽引試験装置を利用し、車の後輪を直径 1200 mm の回轉円筒上に乗せて、各 スロットル弁開度 及び荷重に就て実験を行つた。

第 7 図に混合気重量比と 排気ガス組成 及び不燃焼炭素量

[第 3 巻 第 12 号

との関係を示す。図の様に本機関に於ては スロットル弁開度 に依て同一重量比の場合でも 排気ガス組成 は非常に異なり、従て不燃炭素量も異なるため各 スロットル弁開度 毎の曲線を引いて見た、図中 10/10, 6/10, 5/10,..... 等の数字は スロットル弁開度 を表す。

不燃炭素量は燃料 1 kg 當り最低 0.05 kg, 最高 0.25 kg の範囲に渡つて排出されてゐるが、その総平均は 0.153 kg であり、本機関と同大、同形の T-6 機関の場合と略同程度に排出されてゐる。

第8図は 排気ガス 分析結果より、計算重量比を求め、燃料消費量に乗じて空気消費量を計算し、その時の機関回転数より容積効率を計算したものである。他の機関に於てもこの様な方法に依て求めた容積効率と直接空気消費量の測定より求めた容積効率を計算比較して見たがよく一致した。

8. AF-4 機関に依る実験結果

AF-4 機関は第2表の様にかなり古い機関であり、圧縮比も 4.2 で今日の自動車機関よりは性能の低い機関である。

第9図に スロットル弁 全開の場合に於て色々の調整を行つたときの性能曲線を示し、第10図にこれ等の場合の混合気重量比と排気ガス組成及び不燃炭素量との関係を示す。

実験に當つて先づシリンダ頭、ピ

第8図 C-6 機関の排気ガス組成より計算せる機関容積効率

昭和12年8月]

次に堆積せる炭素を除去して試験した結果、発生馬力は 23 HP に熱効率は 14.8% に増加し、不燃炭素量は最大が 0.33 kg となつた。然るに第1の場合の容積効率は最大 67% であり、第2の場合でも 71% であつた故、吸入管を太く改造して試験した結果最大馬力は 2500 rev/mn に於て

第7図 C-6 機関の排気ガス組成と不燃炭素量

第9図 AF-4 機関のスロットル弁全開における性能曲線

27.5 HP に、熱効率は約 18% に、容積効率は 78% となり、不燃炭素の最大が 0.3 kg となつた。更に ノズル、点火時期、弁の時刻調整その他を種々調整して試験し、尙最後に吸入、排気弁を摺合せし、ピストン・リングを取り換へて試験した処、性能は次第に良くなり、発生馬力は 2700 rev/mn に於て 31 HP 余に達し、熱効率は 21% に、容積効率は 83% に増加し、不燃炭素量は最低 0.11 kg, 最高 0.23 kg, 平均 0.146 kg にまで減

第10図 AF-4 機関のスロットル弁全開における排気ガス組成及び不燃炭素量

少せしめることが出来た。

第11図に本機関に於て各種のスロットル弁開度及び各種の回転数の場合に実験した、混合気重量比と排気ガス組成及び不燃炭素量との関係を示す。

燃料1kg 當りの不燃炭素量は最低0.08kg, 最高0.25kgで、その総平均は0.158kgであつて、前2項のT-6, C-6 機関より稍多い。

第11図を見ると空気が可なり不足した場合にもCOが殆ど検出されてゐない場合があるが、このときにO₂が極めて多量に排出されてゐるか又はO₂が少ければCO₂が割合に多くなり、不燃炭素も多量に存在する。この様に唯單にCOが少いか又はCO₂が多いとかの一方的見地からのみで燃焼状況が良いと云ふことが出来ぬ場合もある。又同一スロットル弁開度に於て空気が不足する程却てO₂の生成の多くなつてゐる場合があるが、この様なときの燃焼は極めて悪い筈である。

第10, 11図に於て同一スロットル弁開度の場合の曲線が2種類に分れてゐる。これは気化器の性能にも依るものと思はれる故第12図の様に気化器の性能を表して見ると、同一スロットル弁開度の場合でも回転が低速と高速との場合

第11図 AF-4 機関の各種スロットル弁開度における排気ガス組成及び不燃炭素量

第12図 AF-4 機関の気化器の性能

場合であり、前項のC-6 機関における第7図にもスロットル弁開度3/10の場合にこの様な現象が表れてゐる。

第13図 デーゼル機関の各種燃料噴射時期における排気ガス組成及び不燃炭素量

9. 無気噴油ディーゼル機関に依る実験結果

本機関の実験は燃料噴射時期を内死点よりクランク角度で15°, 19°, 23°, 27°, 31° 前の5つの場合に就て行つたもので、熟れの場合も全噴油期間はクランク角度で35°に

で混合気重量比が全く分れるか、又は重量比は大体同一附近に重つてゐても、矢印(矢の方向が回転数増加を表す)の様に回転の増加につれて低速と高速範囲とで重量比の増減方向が異つてゐる。低速範囲と高速範囲とは大体最大回転力附近で分れてゐる。本気化器は旧式で性能もよいとは思はれぬもので、低速回転と高速回転の場合とでガソリン霧化の状況、空気との混合具合とを異にし、従て燃焼状況にも相違を来すために同一スロットル弁開度に於ても曲線が二つに分れるのでなからうかと思ふ。

第11図に於てスロットル弁開度3/8の場合に組成曲線がループを画てゐるのは、第12図に於て回転数変化に対して重量比の変化が最も少いと思はれる附近のスロットル弁開度の

保つて試験した。

第 13 図に混合気重量比と排気ガス組成及び不燃焼炭素との関係を示す。

噴油時期は -23° が最も良好な時期で、これより噴射が早くなる程又はこれより遅くなる程不燃焼炭素量は増すが、特に早くなるより遅れる方がその増加割合が大きい。燃料 1 kg 當りの平均不燃焼炭素量は噴油時期 -23° , -27° , -31° , -19° , -15° なるに従て夫々 0.0243 kg, 0.0721 kg, 0.157 kg, 0.257 kg, 0.375 kg である。

第 14~17 図迄は熟れも全荷重の場合の各種噴油時期に対する曲線である。第 14 図は燃料 1 kg 當りの排気ガスに依る損失熱量を示す。全損失熱量は主として不燃焼炭素に依る損失の大小に依て影響されて居り、噴射 -15° のときは不燃焼炭素に依る損失のみで 3100 kcal に達し、全損失は 5200 kcal に達してゐる。第 15 図は排気ガス損失量のガス温度に依る損失(顕熱損失)、 H_2O に依る損失(潜熱損失)、 CO に依る損失、及び不燃焼炭素に依る損失の % を示す。第 16 図は性能曲線で熱効率、噴油時期 -23° の場合に 29% であるに対して、噴射がこれより早くても遅くても低下し、 -15° の場合は 21.2% である。第 17 図は熱勘定を示したもので、噴油時期 -23° の場合の排気損失は 25% であるに比し、 -31° の場合は 30% であり、 -15° の場合は実に 47% に達して居り不燃焼炭素に依る影響は大きい。

10. 結果 総括

機関の運轉に際しては 6 項に述べた様な種々の注意を以て行つた外、運轉中斷へず排気ガスの色、臭等の観測をしたが、ガソリン機関では熟れの場合にも全々煙の出るのを認めず臭も悪くなかつた。特に T-6 機関ではファン、冷却水ポンプ、発電機、始動モータ、排気管及び消音器その他一切の附属品を取り付けた儘で実験し、その最大正味馬力は 2900 rev/min に於て 62 HP であり、最大熱効率は 24.5% であつて、自動車機関としては性能の悪くない方のものであると思はれる。それにも拘らず第 3 図に示した様に不燃焼炭素量は最低 0.06 kg, 最高 0.25 kg, 総平均 0.15 kg も排出されてゐたことは異様に思はれた。

然れ共第 2 図に示した様に排気ガス分析結果より求めた計算重量比と直接計測せる測定重量比との比較が大體一致し、

第 14 図 排気損失熱量

第 15 図 排気中の各種損失割合

第 16 図 機関性能

第 17 図 熱勘定

而かもその誤差が(±)してゐる点、及び第 4 図における不燃焼炭素量の計算に於て分析結果のみより求めた第 1 法に依る結果と測定重量比を基準として第 2 法に依り計算した結果とが極めて良く一致した点、或ひは容積効率を分析結果より計算した結果と直接計測せる結果とが略一致した点等より推して、分析の誤差は大してあるまいと思はれる。従て本実験に使用した種類のガソリン機関では相當に性能もよいと思はれるもので、而も排気ガスに色も臭もない様な場合にも不燃焼のまゝ排出される炭素は普通考へられてゐる以上に多量存在するものと思はれる。

C-6 機関は T-6 機関と同等、同形で而もその取り付けである車が約 30 000 km を走行した頃に実験したもので、性能も未だ落ちてゐない機関であり、不燃焼炭素

量も T-6 機関と略同程度に排出されてゐる。

AF-4 機関は圧縮比も低く相當に年数を経てゐるだけに、不燃焼炭素量も稍多い。

ディーゼル機関は最高熱効率が 29% で而も小形単シリンダのものであり、極めて高性能の機関でもないが、燃料噴射時期が適正であるときは殆ど不燃焼炭素が排出されてゐない。但し噴射時期の適正でない特に -15° の場合には排気ガスの色は相當に黒く見えた。然れ共この場合燃料がそのまゝの状態で排出されたとは認められなかつたが、噴油時期を -20° にして全噴油期間を 55° にして実験した際には眞黒な煙が多量に排出され、尙排気管の先から重油が少しづつ滴下して来た。この様に燃焼が極めて悪いときには不燃焼の儘排出される燃料の損失に就ても考へなければならぬが本実験に使用した機関では、それ程燃焼状況が悪くないと考へる。

T-6 機関の分析結果の第 1 図を見るに、この場合は主として過剰空気のない場合に就て行つてゐるが、これは気化器を種々に調整して見ても、過剰空気が得られなかつたからである。若しこの場合今少し過剰に空気を送る時は、不燃焼炭素量も今少し減少するのでなからうかとも一應は考へられるが、他の機関に就て見る様に過剰に空気を送つたために不燃焼炭素量が目立つ程少くなるといふことも無い様に思はれる。

終りに臨み種々御指導を賜つた名古屋高等工業学校機械科々長伊藤萬太郎教授に厚く謝意を表すると共に本実験の遂行に就て同校機械科職員大橋和夫氏及び井戸正雄氏の多大の努力を得たことを感謝する。