



四サイクル単シリンダガソリン機関の吹返しに関する一実験（続）

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2013-10-30 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 西口, 光雄, 大前, 義弘 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24729/00008181

四サイクル単シリンダガソリン機関の吹返しに関する一実験(続)

西口光雄* 大前義弘**

(昭和46年9月8日 受理)

1. ま え が き

往復内燃機関の吸排気系の研究課題の中に「脈動流」がある。この脈動流が機関の性能に影響することはよく知られているが、吹返しの現象についての文献は特に少ない。われわれは機関運転中に吸気管系の先端から混合気が間欠的に噴出する現象(吹返し)に出会っているので、吸気管長・吸気管径・特殊な吸気管を機関に装着したときにその管内圧力や流速などがどのように変化するかを実験的に探究して、吹返しが性能・吸気弁開閉時期・燃焼状態・吹返し混合比などの項目に及ぼす影響についての実験結果を前報¹⁾に続いて報告するものである。

2. 実験装置および実験方法

実験に用いた機関の諸元を表1に示し、排気量の異なった2種類の機関を用いた。実験装置を図1に示す。また吸気管は図2に示す形状の附加吸気管を装着し、気化器の位置を吸気管先端部に設けて実験を行なった。表2に吹返し実験に使用した附加吸気管の種類を示す。運転条件は点火栓座の温度が150°Cになったとき、実験を開始した。なお、絞り弁・チョーク弁共全開である。吸気管内の圧力測定は気化器位置と機関側の2箇所で行ない、気化器の種類は機関Aにはアマル289型メインジェット#190、機関BにはアマルVM24型ジェット#240を使用した。

吹返しの大小を定量的に求めるために、吹返し混合気中の燃料の量に注目し、次の方法で燃料粒子を捕かくする。図1に示すように気化器先端から80mmの距離に円形の容器を設け、容器内に吸取紙を入れ、一定時間吹返す混合気中にさらし、吸取紙に捕かくした燃料の重さを

表1 機関の諸元

機 関	A	B
サイクル	4	4
シリンダ数	1	1
シリンダ径	95mm	66mm
行程	105mm	72.6mm
圧縮比	4.4	8.7
出力	16PS/3200rpm	18PS/7000rpm
冷却方式	空 冷	空 冷
総排気量	744 cc	248 cc
吸気弁	開 上死点前23° 閉 下死点後67°	開 上死点前15° 閉 下死点後80°
排気弁	開 下死点前65° 閉 上死点後28°	開 下死点前80° 閉 上死点後15°
点火時期	上死点前17°	上死点前5~35°

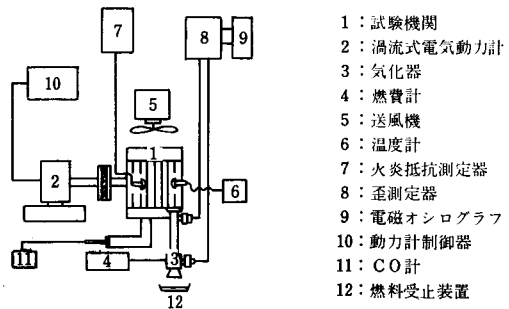


図1 実験装置

* 機械工学科 ** 機械工学科

表2 附加吸気管の種類

直 管 (機関A)				異径直管 (機関A)		半一付部分をもつ管 (機関A)	
付管長名	内径	吸気管系長	吸気管系全体積	付管長名	吸気管系全体積	付管長名	吸気管系全体積
0	30	12 ^{mm}	85 ^{mm³}	30-20 ^a	195 ^{mm³}	10 ⁺	544 ^{mm³}
30	30	42	297	30-25	240	20 ⁺	692
50	30	62	438	30-35	362	30 ⁺	788
70	30	82	580	30-40	446	40 ⁺	884
100	30	112	650	30-45	526	50 ⁺	982
(機関B)				50-20	254	特殊管 (機関A)	
0	25	17	84	50-25	336	T	500mm長さ一定
10 (12.5)	25	27	133	50-35	552	T	500mm長さ一定
20	25	37	182	50-40	696	R	500mm長さ一定
30	25	47	230	50-45	882	S	500mm長さ一定
40	25	57	280	70-20	320		
50	25	67	328	70-25	436		
60	25	77	378	70-35	740		
70	25	87	426	70-40	942		
				70-45	1165		

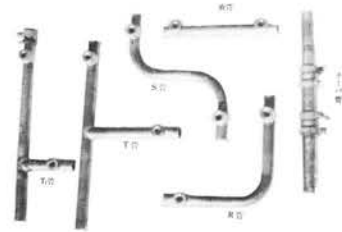


図2 附加吸気管形状
〔機関Aに装着〕

測定した。捕かく容器の面積は 90.5cm² である。

燃焼室内の燃焼状態の観察はイオンプラグを点火栓と対応する位置（点火栓からイオンプラグまでの長さ 48.6mm）に設け、点火してからイオンプラグへ火炎が伝ばする時間と燃焼中の混合気の火炎電圧波形をシンクロスコープにより写真撮影した。火炎電圧の変動は大體燃焼混合比の変動とみなせるから²⁾、この両者を燃焼室内の燃焼変動として代表させた。図4(a)に火炎電圧波形を示す。測定回路は図4(b)に示す。図3はシリンダヘッド部の写真であり、イオンプラグの取付位置を示す。なお、排気管長は機関Aでは消音器なし 5m、機関Bは消音器を含めて 1.6mである。

吸気管系から吹返す混合気の瞬時流速とサイクル内のどの位置で混合気が噴出するかを実験的に知るために機関Aを駆動運転し、クランク角に対する吹返し流速を測定した。図5に流速測定装置を示す。図は放電によって求める方法であり^{3),4)}、瞬時流速がわかり、これより吸気管内の圧力と混合気の速度の関係を知り、圧力波から吹返し混合比が後述するように求められる。

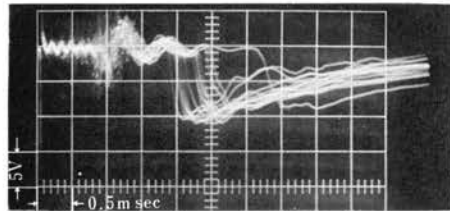


図4(a) 火炎電圧と火炎伝ば時間波形

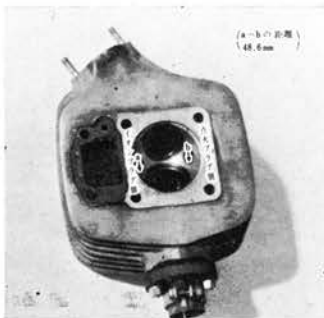
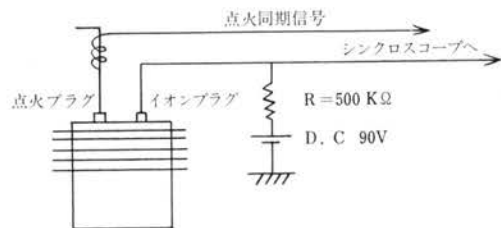


図3 シリンダヘッド部分イオンプラグの取付位置（機関B）



(b) 測 定 図

3. 実験結果と考察

3-1 吹返し混合気中の燃料の捕かく率

吹返し現象はストロボ写真（図6）のように吹返し混合気が間欠的に噴霧拡散し、噴霧距離は吹返し速度によって異なるが附加吸気管長500mm, 2,800rpm付近の場合最高300mmにも達する。

図6の実線は燃料粒の捕かく容器の大きさを示す。ここで噴霧燃料粒を完全に捕かくすることは困難なことがわかる。したがって、吹返し中の燃料粒の捕かくに対し、筆者は定常流において吸気管内の混合比を実験的な混合比に大体等しくし、捕かく率を求めた結果が図7である。当実験では捕かく率を70%として考察する。

3-2 吹返し流速と圧力

吸気管内の同じ位置の瞬時流速と圧力の実測値を図8に示す。この場合、附加吸気管長500mmである。これは駆動運転による空気流速であり、着火運転の混合気流速の場合と多少異なるが、ほぼ空気流量は等しい⁵⁾と考えられるから、まず流速と圧力の関係を求める。ただし、混合気が圧縮される時は断熱変化とし、吹返し速度が音速に比べて非常に小さいとすると、次式のように近似できる⁶⁾。

$$p = p_0 + p_r = \rho u_0^2 - \rho u_r^2$$

$$u = u_0 + u_r = p_0 / \rho a - p_r / \rho a$$

p ；合成圧力、添字 v は正流、 r は逆流方向を示し、 a は音速である。また密度 ρ を一定と考え当実験に適用してみる。いま気化器側の流

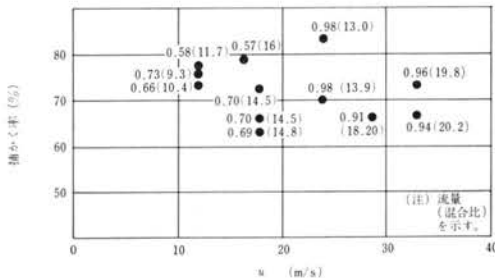
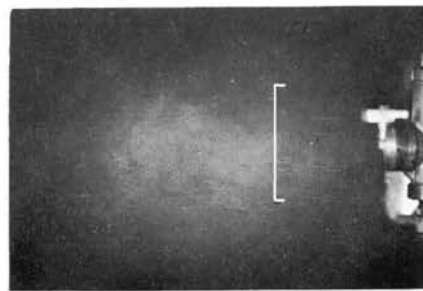
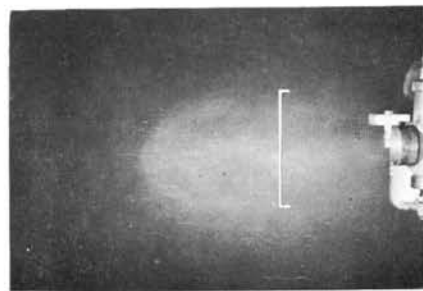
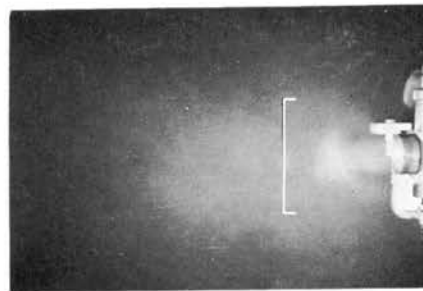


図7 吹返し燃料捕かく率



(機関A)

図5 放電によるガス流速の測定装置
*印 吸気管 M；駆動モータ K；機関
D；デストリビュータ



200 150 100 50 0
(mm)

図6 吹返し現象ストロボ写真
機関A 50cm管長 2800rpm

速が問題となるので気化器位置における圧力と流速の実測値が正確か否かをみると、ほぼ、 $p = \rho u$ の関係が成立する。例えば、2,000 rpm 付近では吹返し流速が 10 数米毎秒である。放電による流速は低速域では正しいが 130m/s 以上の高速になるとかなり誤差があるように思われる。また、開口端側の流速変化が大きく閉口端側の速度変化は小さい。これは管内の流動抵抗の影響によるものであろう。圧力は開口端側の変化は小さく閉口端側は大きくなる⁷⁾。速度は圧力変化に対して $\pi/2$ だけ遅れる。以上によって、脈動流時の瞬時流速は開口端側の圧力から求められ大体計算と一致し、吹返しの瞬時流速が明確となった。

3-3 吹返し混合気量

吹返し中の瞬時流速を求めた結果、図 9 となり、サイクルごとの吹返し混合気量を次のように近似的に求めた。このとき、吸気弁の開閉時期により多少吹返し混合気量が異なるけれどもここでは無視する。吹返し現象の燃料粒は次の三者が考えられる。すなわち、吸気管内に存在する燃料が噴霧される燃料粒、気化器から直接噴霧する燃料粒、シリンダ内に一度吸入された後吸気弁開閉時期の関係から逆流により噴霧される燃料粒である。気化器から直接噴霧する燃料は流速がおおよそ 30m/s 位にならないと流出しない⁸⁾。今回の瞬時流速の実験によれば吹返し流速も 30m/s 以下が大部分であり、吹返し燃料粒には影響度が小さいものと思われる。四サイクル四シリンダの機関の気化器から流出する燃料については脈動流の影響により定常流の燃料流出が認められることがあるが⁹⁾、当実験では単シリンダのためこの現象はないものとする。残りの二者のうち、吸気管中に存在する燃料粒が主であるが、吸気弁開時の逆流による吹返しがおおよそ 30% 弱となる(後述)。

吸気弁開時の吹返し混合気量を求めると、図 10 から吹返し混合気量 $A = \pi/4d^2(A+B+C+\dots)$ となる。ここで d は吸気管内径である。時間 t_1 は吸気管系長 l と音速 a 、 t_2 は機関回転数 N と吸気弁開閉時期で決まる。いま簡単にするため脈動個数の平均流速を用いると、 $A = \pi/4d^2 \times (\text{平均流速}) \times n$ で求まる。 n は吹返し回数である。したがって、 $A = \pi/4d^2 \times \{(A+B+C+\dots)/n\} \times \{a(720-\varphi)^\circ/24lN\}$ φ は吸気弁開時のクランク角である。速度曲線を正弦曲線とみなすと、 $A = \pi d^2 \gamma (720-\varphi)^\circ/48 \times \bar{u}/N$

γ : 空気の比重量 となり、上式を \bar{p}/N で表わ

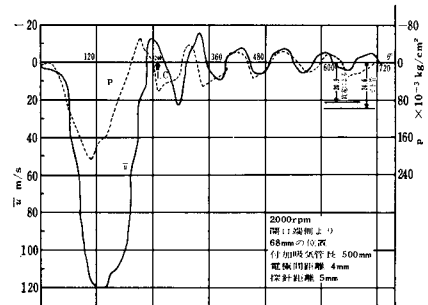


図 8 駆動運転による吸気管内流速と圧力

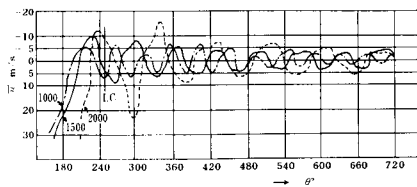


図 9 (a) 吸気管内の流速変化(開口端気化器位置)

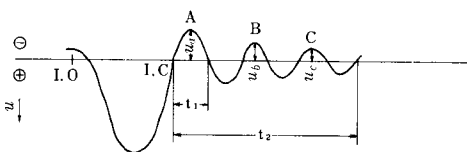
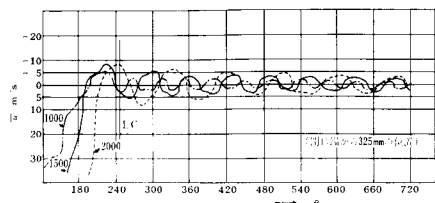


図10 吸気管内開口端側の流速線図



(b) 吸気管内の流速変化(機関側)

四サイクル単シリンダガソリン機関の吹返しに関する一実験 (続)

せば、 $A = \pi d^2 \gamma (720 - \varphi)^\circ / 48 a p \times \bar{p} / N$ となり、速度または圧力曲線から \bar{u} / N か \bar{p} / N が求められると吹返し混合気量は近似的に求められる。実験式はサイクルごとの吹返し燃料 (mg) が機関 $A \rightarrow F' = 502.8 \bar{p} / MN$ 、機関 $B \rightarrow F' = 290.8 \bar{p} / MN$ となる。これを図11(a), (b)に示す。パラメータは吹返し中の混合比 M である。図12に機関 B の燃料消費量 (mg/cycle) 一回転数を示す。図13に修正した吹返し率 (サイクルごとの吹返し燃料 / サイクルごとの燃料消費) を示す。ここで、吹返し中の燃料粒の量が実験で求まり、圧力波形から \bar{p} / N を求めると図14となり、したがって図11から吹返し混合比が求められる (図15)。

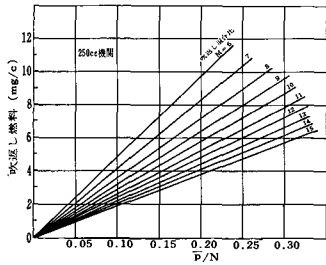


図11(a) サイクル毎の吹返し燃料 \bar{p} / N 曲線

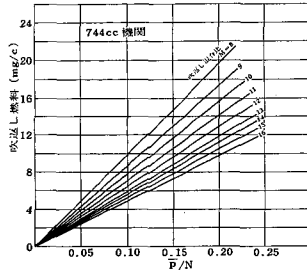


図11(b) サイクル毎の吹返し燃料 \bar{p} / N 曲線

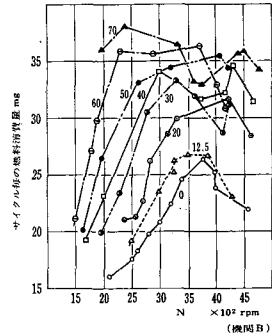


図12 サイクル毎の燃料消費量

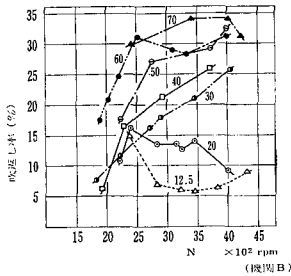


図13 吸気管長と吹返し率 (直管の場合)

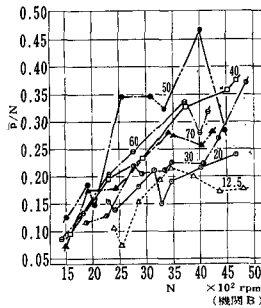


図14 $\bar{p} / N - N$ 曲線

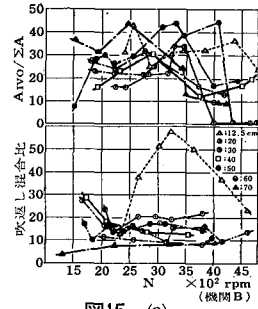
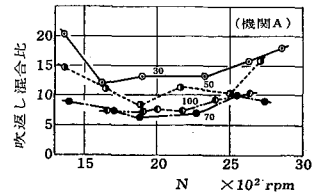


図15 (a)



(b)

3-4 機関の排気量による吹返しの大小

実験に使用した2種の機関の直管による吹返しの比較を行なう。いま吸気管長、回転数を一定にし、 \bar{p} の圧力も先端部から同じ位置であるとすれば、吹返し混合気量の比は、

$$A_a / A_b = (d_a / d_b)^2 \times \{(720 - \varphi_a)^\circ / (720 - \varphi_b)^\circ\} \times \bar{p}_a / \bar{p}_b \times M_a / M_b$$

ここで $M_a \approx M_b$, $\varphi_a \approx \varphi_b$ とすると、 $A_a / A_b = (d_a / d_b)^2 \times \bar{p}_a / \bar{p}_b$ 、すなわち、吸気管内径の二乗の比が 1.44 となり $(A_a / A_b) = 1.44 \bar{p}_a / \bar{p}_b$ となる。例えば、2,700 rpm 付近の比較では機関 A の方が機関 B のおよそ 1.52 倍の吹返し空気量である。

3-5 吹返しと吸気弁閉閉時期

吸気弁閉閉時期と吹返しの関係は、吸気弁閉閉時期と吸気弁閉閉時期の両方に影響される。吸気管内の圧力波形 (図16) から吸気弁閉閉時期を吸気管系長一回転数曲線へプロットした結果を図17に示す。曲線上 b 点で吸気弁が閉じるならば吸気弁閉閉時期が最適位置となり、 b 点より吸

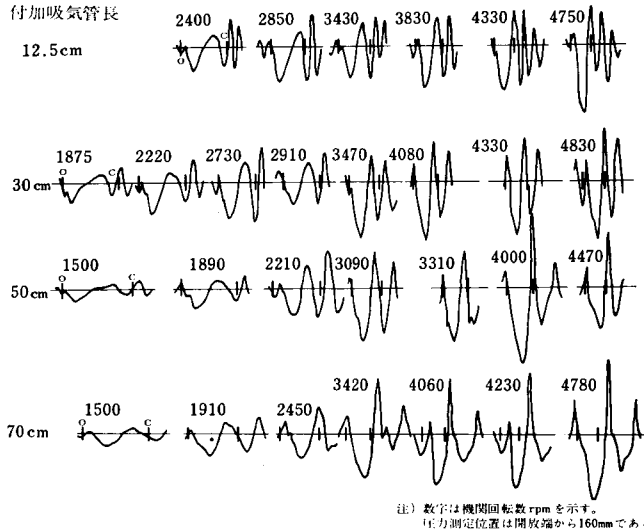


図16 附加吸気管長に対する吸気管内の圧力波と吸気弁開閉時期

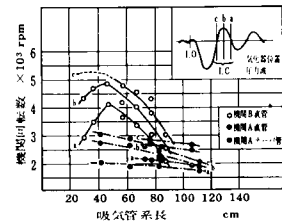


図17 機関回転数と圧力波

気弁が閉じる位置が早ければ吸気管系で加速された混合気が急に吸気弁で断されるため、圧力が上昇し吸気管内での吹返し最大速度が大きくなる。また *b* 点から下の領域では吸気弁開時に吹返しが起こる。吸気管長が短くなるほど吸気弁の開時の吹返し回転数域が増大するが吹返しは少なくなる。

吸気弁の作用による吹返しを考えるために吸気弁が開いているときの吹返し空気量 A_{Ivo} とし、吹返し全体の空気量を ΣA とする。両者の比 $A_{Ivo}/\Sigma A$ を図15(a)に示す。吸気弁開時に生じる吹返しがおよそ20~30%あり、吸気弁の閉時期が移動するにつれて再び増加する。低速域では吸気終わり頃に逆流による吹返しが起こり、吸気管長400mm以上では高速回転域で吸気始めに吹返しが起こっていることがわかる。管長が短くなれば吸気管体積が減少し、吸気管内に存在する混合気も少なく、また脈動の周期が増加し混合気へ急激な正負の加速が加わるが、混合気が急速に追従しないため吹返す混合気量も減少する。図17 a → c 間の回転数域が広く吸気弁開時の吹返しを少なくするものと思われる。このことは機関 A の実験(直管)によると管長 0 cm の場合回転数に対し吹返し率が山なりになることから明らかである。四サイクル機関においても吸気弁があるにもかかわらず低速域の吹返しが多いため出力の損失がある。弁機構とは別に吹返し防止機構を考えれば低速域の出力向上となる。

図13から吸気管長に対する吹返し率は管長が長くなるにつれて吹返しが増加するが、125, 200mmの管長は回転数の上昇とともにやや減少気味で、400, 500mmは吹返しが直線的に増加する。600, 700mmでは同様な傾向を示し、およそ30%前後の吹返しがあり、一方出力では300~400mmの管長が慣性効果大であるため最もよい。

3-6 燃焼変動と吹返し

燃焼変動の特性値として火炎伝ば時間があり燃焼室内の混合気流の乱れの強さを示す。この変動の原因は混合気の温度、圧縮比、管長、点火時期、混合比などの影響を受ける^{10),11)}。また、火炎電圧変動も混合比の変動として代表さ

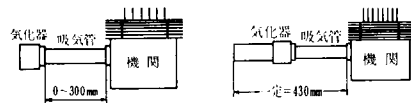


図18 (a) 吸気管長変化 (b) 吸気管長一定 (化器位置変化)

四サイクル単シリンダガソリン機関の吹返しに関する一実験（続）

れることが言われている。^{12),13)}

吹返しのある機関の燃焼状態を観察するため、イオン間げきにより平均火炎電圧 \bar{V} と火花点火してからイオンプラグまで火炎が伝ばする時間を平均火炎伝ば時間 \bar{t} とし、およそ30サイクルサンプルし両者の変動を調べた。また排気ガス中のガス成分(CO₂, CO, O₂)を吸収式分析器と燃焼式COメータで測定し燃焼混合比を求めた。燃料の組成はC:H=84:16とする。図18(a)に示すように特に附加吸気管長0~300mmのみについて追加実験を行なった結果を図19に示す。気化器の位置に関係なく吹返しが起こるから、気化器の位置によりどの程度影響するかを調べる実験も行なった。図20はその結果であり図18(b)に示すように吸気管系長を470mmと一定にした。

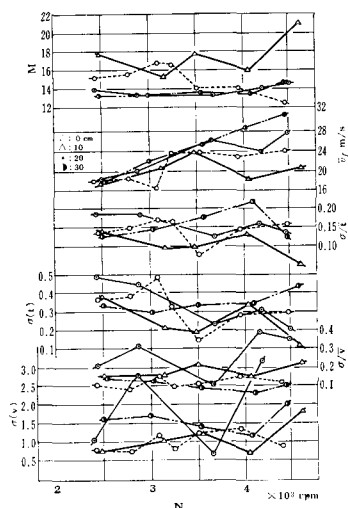


図19 吸気管長変化と燃焼状態

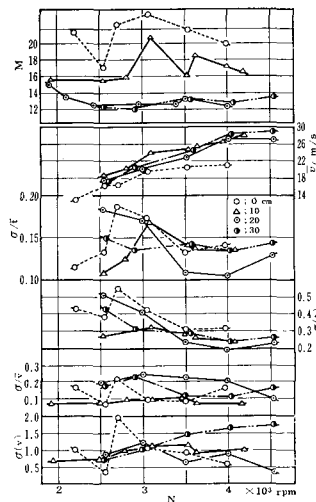


図20 吸気管長一定気化器位置変化の場合燃焼状態

図19によると、管長200~300mmでは予想通り最適な燃焼状態（混合比13付近）となり、火炎伝ば速度 \bar{v}_f も混合比により異なるが300mmの場合直線的に増加し、混合気へ適当な乱れとその強さを与えているようである。 $\sigma(t)$ の大きいほど σ/\bar{t} が大きく、また \bar{v}_f も大きくなる。図15(a) $A_{Iro}/\Sigma A$ に示すような20~30%の吹返しが管長の燃焼状態に影響を与えているかどうかは明白でない。火炎電圧変動はシリンダ混合比、回転数、点火進角などによりその変動巾が変化すると言われているが¹⁴⁾、当実験では管長の変化による変動巾は管長が長くなるほど $\sigma(t)$ が大きくなった。いま回転数一定上における σ/\bar{V} は管長の変化による混合比の変化にほぼ一致すると思われる。

図20によると、3,000rpm以下において $\sigma(t)$ が大きくなっている。これは図17からわかるように主に吸気弁開時の吹返しが影響し、 σ/\bar{V} へは余り関係しないようである。したがって気化器の位置を機関から遠ざけるほど σ/\bar{t} が安定する。これは燃焼混合気が濃くなると共に乱れとその強さが増加し燃焼を促進するからであろう。

図21は火炎電圧を火炎等価抵抗 R_f で示し R_f/R_{fmin} 、動力計荷重 F を管長0cmの場合の最高荷重を基にし $F/(F_{ocm})_{max}$ 、またCO%を示す。トルクを表わす $F/(F_{ocm})_{max}$ では4,000rpm付近で管長400mmが最高となり300, 200mmと高速回転域でよい結果を得るが低速回転域では500~700mmの方が多少よい。このことは図15(a)の吹返し混合比に現われている。すなわち、吸気管内に存在する燃料が管長400mm以下では低速で薄く高速で最適値15位を示

し、管長 600, 700mm では燃料が非常に濃くなり、吹返しが増加しトルクが低下する傾向にある。したがって最適な場合においても吹返し率が 20~30% にもおよぶ。CO% も管長125, 0 mm を除けばかなりよい燃焼状態で R_f/R_{fmin} も 1.0~2.0 の値におちつくようである。

3-7 特殊な形状の吸気管

(1)管径の影響 吸気管長を一定にし、吸気管径を変化させて吹返し率（実測値）を測定した結果¹³⁾、どの場合も標準管径の吸気管は吹返しが少なく、管長が一定であれば脈動の周期はほぼ一定となるため吹返し回数は等しいけれども、管内の流動抵抗の増減と吸気弁の開閉時期との関係から吹返しの大小が決まるようである。吸気管系体積 V_s と機関回転数 N で整理すると 図22 となり、吸気管径 20mm が極端に管内の流動抵抗が大きくなり吹返しが大となる。

(2)テーパ部分をもつ吸気管

吹返しを少なくする吸気管としてテーパ部分のある吸気管の実験を行なった結果が 図23 である。 $V_s N$ で整理した直管の管系長 820, 920 mm の吹返し率（実測値）を図中に示し比較しやすくした。同一管長ではテーパ部のある吸気管が直管に対して吹返しが少ない。これはテーパ部分の抵抗と吸気管体積の増加により圧力変動が直管に比して不規則となるうえ、テーパ部で圧力波の干渉や同調があることにも起因するものと思われる。吹返しが減少するかわりに慣性効果も少なくなるため回転数も直管に比し低下し、出力が下がる傾向にある。テーパ部の長さ x を変えても吹返しはあまり増減しない。

4. ま と め

以上の実験結果を整理すると
1)吹返しの瞬時流速を駆動運転により実測し圧力波との関係を近似的に求めた結果、吸気管先端部の位置における脈動流速は $p = a\rho u$ でほぼ正しい。たとえば吹返し流速は 2,000 rpm (744cc 機関)で10数米毎秒となった。

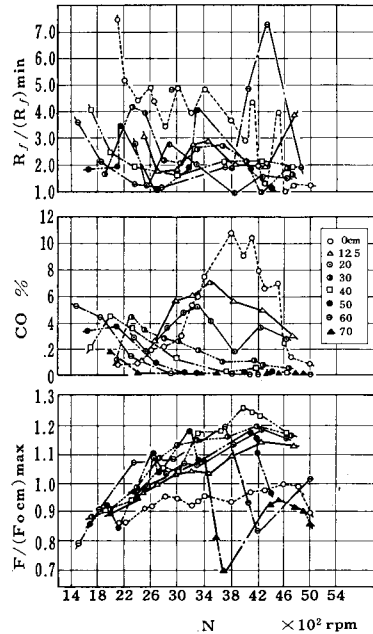


図21 附加吸気管長の変化が動力計荷重と燃焼状態におよぼす影響

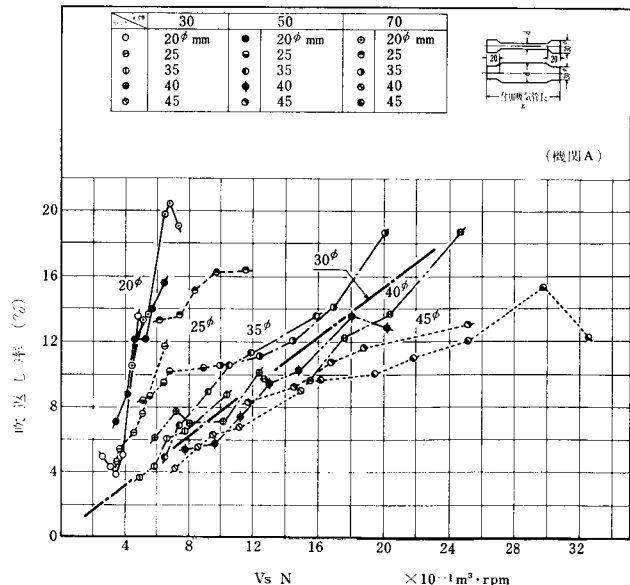


図22 附加吸気管内径の変化の影響

2)吹返しの燃料粒はほとんど吸気管内に存在する燃料が主であり、気化器ジェットから直接噴出する燃料はほとんどない。

3)吹返し空気量は \bar{p}/N を実験により求めれば算出できる。したがって、吹返し燃料の測定から吹返し混合比を求めた。吸気管長が長くなるほど吹返し混合比が濃厚となる。

4)機関の排気量の差異による吹返しは近似的に吸気管径の二乗の比に吸気管内の脈動時の平均圧力の比を乗じた値だけ異なる。

5)吸気弁閉閉時期を考慮した場合の吹返しの割合は $A_{Ivo}/\Sigma A$ で整理した結果、吸気弁閉時の吹返し全体の 20~30% (4,000rpm) であり、吸気管長が長くなるほど増す。また吸気弁閉時と圧力波の最適位置になるほど減少するが再び増加する。

6)吹返し中の機関の燃焼変動についての特性値である火炎伝ば時間と火炎電圧を測定した結果、吸気管長 300mm が \bar{v}_f も直線的に増加し混合気へ適度な乱れとその強さを与えているようである。しかし、吹返しによる燃焼変動は明白でない。火炎電圧変動は管長が長くなるほど $\sigma_{(w)}$ が大きく、回転数を考えれば σ/\bar{V} は混合比の変化にほぼ一致するように思われる。

7)吸気管長を一定にし気化器の位置を変化させた場合3,000rpm 以下で $\sigma_{(t)}$ の変動中が大きくなり、吸気弁閉時の逆流（吹返し）が関与しているようであるが σ/\bar{V} への影響は少ない。気化器の位置を機関より遠ざけるほど燃焼状態は安定する。

8)トルクは管長 400mm が最高となり R_f/R_{fmin} も 1.0~2.0 の値を示し燃焼状態はよい。

9)吸気管径が吹返しに及ぼす影響は管内の流動抵抗の増減と吸気弁閉閉時期との関係から吹返しの大小が決まるようである。

10) テーパー部分をもつ吸気管の吹返しは同一の長さの直管に比較しやや減少するが、平行部の長さを変えても効果的でなかった。終わりに当実験のご指導を賜った大井次男教授をはじめ、実験に当たっていただいた学生諸君に謝意を表する次第である。

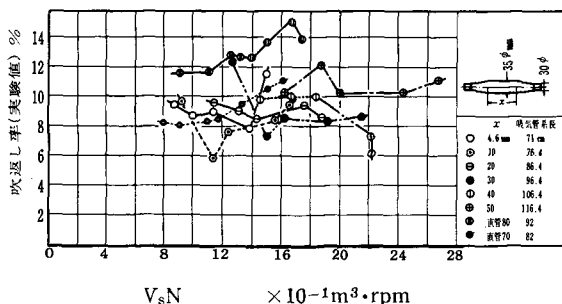


図23 テーパー部分をもつ附加吸気管長の影響

参 考 文 献

- 1) 大井・西口・高橋；日本機械学会誌 Vol 66—529号 P.283 (38年2月)
- 2) 金；日本機械学会論文集 Vol 33—252号 P.1278 (42年8月)
- 3) 大東；日本機械学会 第301回講習会教材 P.21 (43年11月)
- 4) 大東，浜本；日本機械学会論文集 Vol 34—260号 P.750 (43年4月)
- 5) 浅沼；日本機械学会論文集 Vol 9—37号 P.11—112 (18年11月)
- 6) 岡；内燃機関 Vol 5 No. 48 P.51 (41年6月)
- 7) 内田；内燃機関 Vol 5 No.51 P.77 (41年9月)
- 8) 西口，大前；日本機械学会長崎地方講演論文集 No.708—2 P.2 (45年5月)
- 9) 渡辺；内燃機関 Vol 4 No.38 P.11 (40年8月)
- 10) 小笠原，松田；日本機械学会論文集 Vol 33—245号 P.130 (42年1月)
- 11) 森，山崎；日本機械学会論文集 Vol 35—276号 P.1756 (44年8月)
- 12) 金；自動車技術 Vol 22 No. 5 P.384~ (43年5月)
- 13, 14) 金；日本機械学会論文集 Vol 33—252号 P.1278 (42年8月)

西 口 光 雄・大 前 義 弘

15) 西口, 大前, 日本機械学会中国四国支部第6回総会講演論文集 P.27 (43年3月)