

空気噴射におけるアイドリング時の燃焼改善

広島自動車工業短期大学

野 吹 幸 男 佐 野 翼

The Combustion Improvement under Idling Conditions by Air Injection

Yukio NOBUKI Yoku SANO

1. ま え が き

わが国における排気ガス対策として、点火時期遅角調整から始まり、今年の53年度規制までの間、種々な対策技術が発表され年々改良が加えられている。我々もそのひとつの方法としてエンジンのシリンダー内処理を中心とした実験を数年前から行なってきた。燃焼行程中のシリンダー内に空気を噴射させ、それに対してCO、HCがどのような傾向を示すかは第一報⁽¹⁾で述べた通り、その低減に効果のあることがわかった。さらに、第二報⁽²⁾ではエアノズルに改良を加え、また、その制御回路の試作をしエアノズル噴射量を任意にコントロールし噴射量も求めた。そして、空気噴射によるシリンダー内の燃焼状態を圧力ピックアップ、イオン電極等を用いて調べたものを第三報⁽³⁾で述べた。そこで、今回は任意に空気の噴射時期、噴射期間、噴射圧力等を変化させてアイドリング時の燃焼改善を行ない、CO、HCの低減とともに燃料消費の面で若干の成果をみたので報告する。

2. 実験装置および方法

表-1 諸 元

(1) 実験装置

実験は表-1のような諸元のエンジンを使用し、エアノズル、圧力ピックアップ(共和電業製PE-70KP)、イオン電極を図-1に示すような位置に取付けた。エアノズルの作動はフォト・トランジスターを利用して行ない、タイミングプレートの穴の位置と長さを任意に変えることにより、それぞれ噴射時期と噴射期間を調整した。エアーの供給はコンプレッサーで行ない、水分、ゴミを除去するためにフィルターに通した。圧力ピックアップは直流増幅器(共和電業製DV-11A)に通し、シンクロスコープ(日立電子製V-050B)により指圧線図の波形観測を行な

型	式	2 U(空冷水平対向)
サイクル	シリンダ数	4-2
シリンダ径×行程(mm)		83×73
総排気量(cc)		790
圧縮圧力(kg/cm ² -rpm)		10.5-300
圧縮比		8.2
点火時期(BTDC-rpm)		8°-750
バルブタイミング	インレット	開(BTDC)24°
	バルブ	閉(ABDC)64°
	エキゾースト	開(BBDC)64°
	バルブ	閉(ATDC)24°

った。イオン電極は燃焼室壁より1mmの間隔で取付け、シンクロスコープでイオン電流の同時写真撮影を行なった。排気ガス温度は排気弁より45mmのところ熱電対(CA)を取付け、補償導線を用いデジタル・マルチサーモメータ(タケダ理研工業製TR-2112)で測定した。

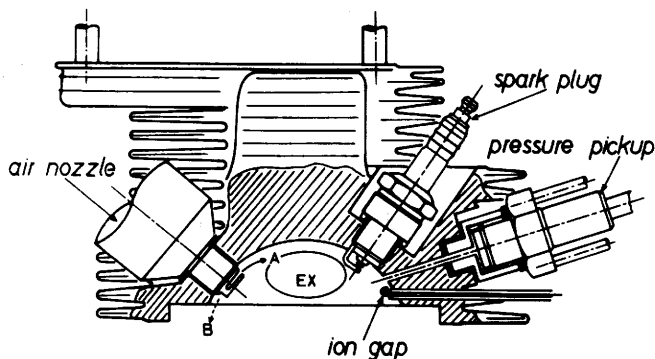


図-1 シリンダヘッド断面図

排気ガス分析のCOはMEXA-201, HCはMEXA-221(堀場製作所製)で、全てNDIR法であり、測定にあたっては、排気ガス中の水分を除去するためにラジエータを使用し十分に冷却して分析器に導いた。空燃比の変化は、アイドルアジャストスクリューに目盛板を取付けその締め加減により微調整しており、メイン系統は作用させないようにして行なった。また、空燃比の値には噴射された空気量は含まれていない。

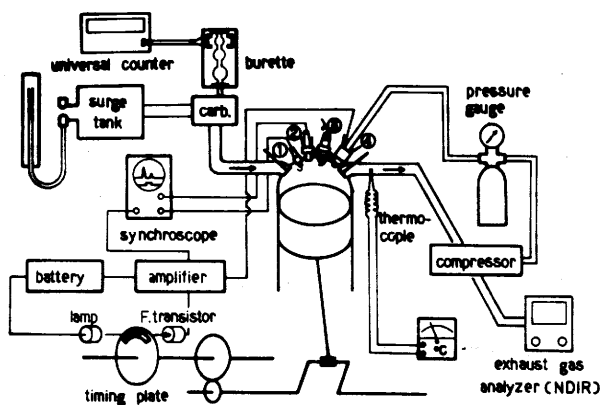


図-2 に装置全体の系統図を示す。

図-2 実験装置系統図

(2) 吸入空気量

吸入空気量はサージタンクの壁に丸形ノズル(18mmφ)を取付け、マンメーターで差圧を測定し次式により求めた。

$$G_a = \alpha \cdot \varepsilon \cdot A \sqrt{2g\gamma(P_1 - P_2)} \quad (\text{kg/s}) \quad \text{-----} \text{①}$$

ここで α : 丸形ノズル流量係数 (0.822)

ε : 空気の膨張に関する修正係数

A : ノズル開口断面積 [m²]

g : 重力加速度 [9.8 m/s²]

γ : ノズル前後における空気の比重量 [kg/m³]

$P_1 - P_2$: 圧力差 [mmAq]

また、 γ は温度、圧力により値が変化するので次式により任意の温度、圧力における γ 値を求めた。

$$\gamma = \gamma_n \cdot \frac{P_1}{760} \cdot \frac{273}{273+t} \quad \text{[kg/m}^3\text{]} \quad \text{-----} \text{②}$$

P : 大気圧 [mmHg]

t : 大気温度 [°C]

γ : 標準状態における空気比重 [kg/m³]

さらに ϵ 値は概算、次の式⁽⁶⁾で示される。

$$\epsilon = 1 - 0.54 \frac{P_1 - P_2}{P_1} \quad \text{-----} \text{③}$$

$P_1 - P_2$: 差圧 [mmAq]

P_1 : 大気圧 [mmAq]

以上の式を使って、吸入空気量を求めた。

(3) 燃料消費量計測

燃料消費量の計測装置は、フォト・トランジスタを利用し、燃料計ビューレット内の燃料を消費する時間をスタート信号とストップ記号とに変換し、その時間間隔をユニバーサル・カウンター（岩崎通信機製UC-7641）でデジタル計測した。燃料の比重は0.736であり次式により燃料消費量 G_F を求めた。

$$G_F = \frac{x \cdot \gamma}{t} \cdot \frac{1}{1000} \quad \text{[kg/s]} \quad \text{-----} \text{④}$$

x : ビューレット内の燃料の量 [cc]

γ : 燃料の比重

t : 消費時間 [s]

以上の①式、④式の比により空燃比を求めた。

(4) 噴射空気量

エアノズルより噴射する空気量を求めるため、次式により理論噴射量 G を求め、それを確認するためにエアバッグに噴射して求めた実測値と比較してみるとほぼ一致した。⑤式は圧力降下によって、どれだけの空気量を放出するかをみるもので、まずボンベ内圧力 P_1 の状態のときに大気圧まで放出したときの放出量 G_1 と、ボンベ内圧力が P_2 の状態のときに大気圧まで放出したときの放出量 G_2 とを求め、その差 $G_1 - G_2 = \Delta G$ を圧力 P_1 から P_2 まで降下したときの放出量として求めたものである。

$$G = V \cdot \frac{P_0}{P_s} \cdot \frac{P}{P_0} \cdot \frac{273}{T_0} \cdot \frac{T_0}{T}$$

$$= V \cdot \frac{P}{P_s} \cdot \frac{273}{T} \quad (\text{cm}^3) \quad \text{-----} \quad \textcircled{5}$$

V : 容器容積〔 cm^3 〕 P : 圧力〔 $\text{kg}/\text{cm}^2 \text{ abs}$ 〕
 T : 空気温度〔 $^{\circ}\text{K}$ 〕 P_0 : 大気圧〔 $\text{kg}/\text{cm}^2 \text{ abs}$ 〕
 T_0 : 容器内の初めの温度〔 $^{\circ}\text{K}$ 〕 P_s : 容器内の初めの圧力〔 $\text{kg}/\text{cm}^2 \text{ abs}$ 〕

(5) 実験方法

エンジン回転数は840 rpm一定に保つようにスロットルバルブを調整して行なった。点火時期はBTDC $8^{\circ}/840 \text{ rpm}$ である。空気流量は、噴射期間一定で、噴射圧力を変化させて調整した。このとき噴射圧力がそれぞれ4, 6, 8, 10, 12 $\text{kg}/\text{cm}^2 \text{ G}$ のときは流量にすると約0.1, 0.15, 0.2, 0.5, 0.3 ℓ/s に相当する。上記(1), (2), (3), (4)項により空燃比, 燃費, CO, HC, イオン電流波形, 圧力波形, 排気ガス温度等を測定した。

3. 実験結果と考察

(1) 空燃比に対する燃費特性

ベストアイドルの状態から、アイドル・アジャストスクリューを少しずつ締め込んで混合気を薄くしていったときの空気噴射なし、と、あり（プラグ方向噴射）の場合について空燃比に対する燃費をみたものを図-3に示す。

空気なしの場合、アイドルアジャストスクリューを締め込んでいくにしたがって、燃費は当然少なくなっていく空燃比14ぐらいで最少を示し、それ以後は上昇となっている。これは空燃比を薄くするとエンジン回転数が下りはじめ、それに応じてスロットルバルブ開度を大きくしていくためである。

また、空燃比16ぐらいで失火しはじめているが、これは圧力線図, イオン電流波形等により確認し、失火限界とした。最少燃費は空燃比14ぐらいのときであり、空気ありの場合と同じであるにもか

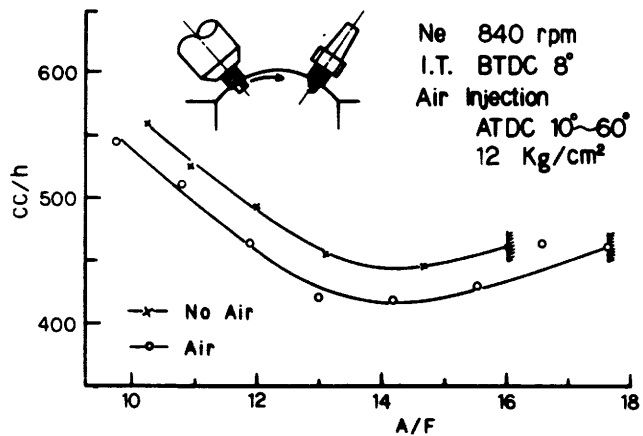


図-3 空燃比と燃料消費量

かわらず燃料消費量が異っているのは、空気ありとなしのときの空燃比は同じでも空気ありの方がエンジン回転数が多少上昇するので、その分だけ空気ありの方が同じ回転数でもスロットルバルブ開度が小さいため、吸入混合気の全体量が少ないと考えられる。

空気ありの場合、失火限界は空燃比で約18くらいにのびているが、これは燃焼中に空気を噴射するために希薄な混合気でも適切な空気量を与えることによって燃焼が促進されたものと思われる。失火限界のところを見ると同じ燃料消費量であれば、空気ありの方が混合気が薄くても燃焼できることを示している。

(2) 噴射空気量に対するCO, HC

これは、ベストアイドルの状態からA方向(プラグ側)とB方向(シリンダー円周側)に向けて空気を噴射し、その流量を変化(噴射圧力を変化)させた場合の排気ガス中のCO, HCについてみたもので図-4にそれを示す。

噴射期間はいろいろと変化させてみたが、ATDC 30° ~ 116°が一番良い結果となったのでこれを採用した。

116°は排気バルブの開き始めの時期であり、この直前まで噴射したものである。まず点線はベストアイドル時におけるCO, HCの測定値であり、便宜上見やすいように示している。□印の一点鎖線は噴射空気が全量排気ガス⁽⁸⁾を希釈したと考えると、次の補正式により概算補正した線図であ

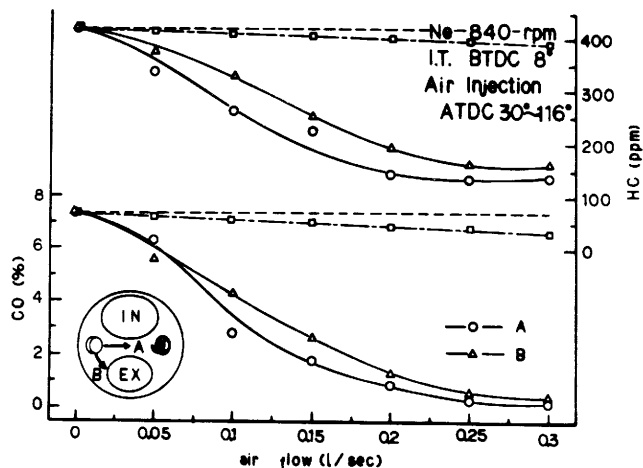


図-4 空気噴射量とCO, HC

る。これは空気噴射したときの測定値を補正するのではなくて、空気噴射しないときの測定値(ベストアイドル時の測定値で点線に当る)を補正している。

$$m' = \left(\frac{V_C}{V_C + V_A} \right) m \quad \text{-----} \quad \text{⑥}$$

m' : 概算補正值

V_A : 噴射空気量

V_C : 排気容積

m : メータ測定値

ここで、 V_A の噴射空気量は前述の⑥式により求め、さらに圧力降下時間を測定し、エンジン回転数とで1回当りの噴射量を求めた。

空気噴射することにより、いずれもCO、HCが低下しているが、とくにA方向の方が少し良い。これは点火後の火炎伝播に対して反対方向からの適切な空気流により火炎の攪拌が良好になり、プラグ周辺の浄化も促進されたものと思われる。その面からみるとB方向はやや劣るようである。空気流量0.15 l/s(約6 kg/cm² Gの圧力に相当)の付近でA方向、B方向の差が大きく流量を増すと温度低下、吹き消し等が起こりCO、HCは上昇しみとなるはずであるが線図を見ると、ほとんど上昇していない。これは実際の空気噴射の効果としては、一点鎖線から下側の範囲になり、この線自体が、右下りにさがった直線となっているため、この補正線図を点線と同じ位置までずらすと(横軸と平行にすると)、○印、△印の線図も平行移動となり、右側の部分はやや上昇することになる。

(3) 噴射空気量と排気ガス温度

これは、図-4と同じ条件で、同時に排気ガス温度を測定したものであり図-5にこれを示す。噴射方向はプラグ側である。点線は空気なしの場合で、ベストアイドル時における排気ガス温度をあらわしておりほとんど一定で、便宜上ひいてある。○印は空気ありの場合で、空気量0.05 l/s(2 kg/cm² Gの圧力に相当)では、ほとんど温度上昇はみられない。これはアイドリング時の最高燃焼圧力が4~5 kg/cm² Gと低いため、たとえ空気が入ったとしても排気バルブが開く直前に少し噴射されるくらいである。

0.1 l/s(4 kg/cm² Gの圧力に相当)付近では排気温度もやや上昇しており、0.15 l/s(6 kg/cm² G同)~0.2 l/s(8 kg/cm² G同)付近でおおよそ20度くらいの温度上昇がある。これは未燃成分が空気噴射により渦流を与えられ、酸素と結びつき再燃焼(後述)⁽⁹⁾及び二段燃焼しているものと思われる。また、20度の温度上昇はデジタル温度計で測定しているため、空気なしと空気ありの場合では表示の安定度等でその違いがはっきりと確認できた。

0.25 l/s(10 kg/cm² G同)以上になると、反対に温度低下をきたしているが、これは前項の排気ガスのところで述べたように、温度低下や吹き消し等によるものであり、この付近でCO、HCもやや上昇している。排気ガス温度とCO、HCは大体一致していることがわかる。

次に●印はシリンダ内に渦流だけを与えるために、窒素ガスを同じ条件で噴射した場合のもの

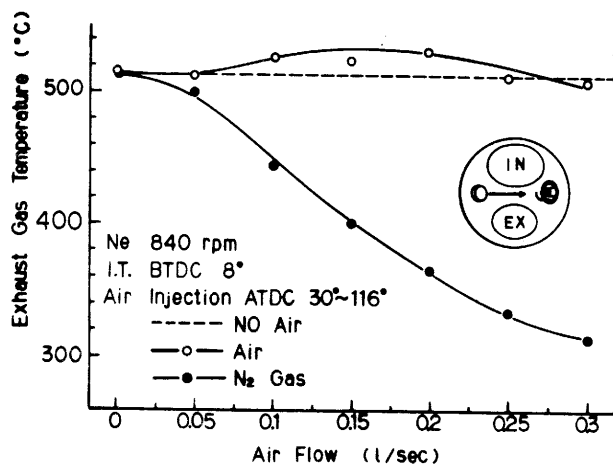


図-5 空気噴射量と排気ガス温度

である。窒素ガスは燃焼には直接的に関係しないので、流量を増すほど温度低下をきたしておりそのときのCO、HCを測定してみると、COの方は少し減少するがHCは●印の線に比例して上昇していた。

(4) イオン電流波形、圧力波形の観察

シリンダヘッドに取付けた圧力ピックアップとイオン電極により、図-5の条件で波形をみると、図-6,7,8のようになった。

図-6は空気なしのベストアイドルの状態では上側がイオン電流波形、下側が圧力波形である。

圧力波形の左端には点火信号が少し入っており、それ以後の圧力波形である。イオン電流波形の方は、点火信号の後に少し時間をおいて山が出ており、イオン電極に火炎が通ったことを示している。

図-7は、図-6の状態では空気を噴射した場合のもので、圧力波形を見ると二段目の山が出ているのがよくわかる。一方イオン電流波形をみるとやはり、一段目の山に比べて二段目の山は約2倍くらいの高さに出ており、噴射空気により再燃焼している状態がよくわかる。

図-8は、図-6の状態から渦流だけの効果を見るために、窒素ガスを噴射した場合で、このときの圧力波形は空気なしの場合とほとんど変化していない。しかしイオン電流波形の方は二段目の山が空気の場合に比べて約半分ほど出ている。これは燃焼によってできたものではなく、窒素ガス噴射によって燃焼火炎の乱れが起これり、イオン電極に再び火炎が通ったものと考えられる。一般にイオン波形については細かい不規則な変動があるが、全体の形に注目すると運転条件などによって比較的きまった傾向を示すことが知られている。また、スパークプラグ

(10)に火花が飛んでから火炎がイオン電極に達するまでの火炎の平均速度をみてみたが今回の波形からははっきりしたことはわからなかった。しかし実際には僅かながら空気噴射の方が火炎速度は速いと思われる。

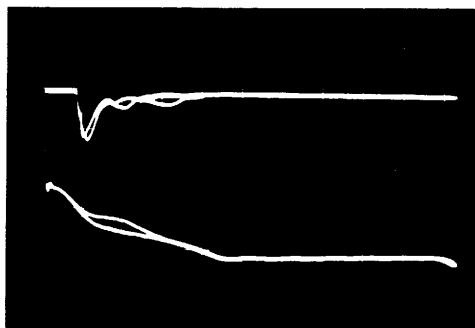


図-6 空気噴射なし

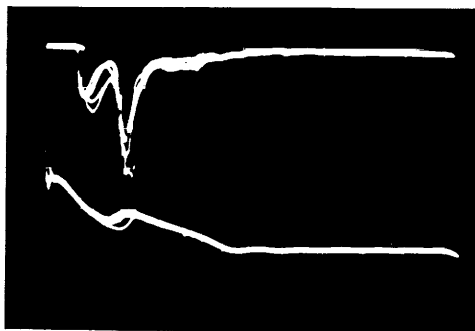


図-7 空気噴射あり

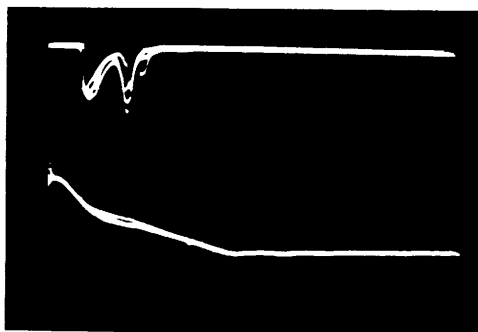


図-8 窒素ガス噴射

その他、先の図-7において圧力線図の二段目の山が出ているが、これが空気圧力によって出たものか、燃焼圧力によって出たものかをみるために次のことを行なってみた。

図-9は、図-7の状態(空気あり)のときの圧力波形で二段目が出ており、下側は空気の噴射期間の信号である。次に図-10は、空気を噴射しない場合のもので、エンジンを失火させたときの圧力波形であり、圧力線図は圧縮圧力を示し、なめらかに下降している。図-9にくらべて最高圧力が少し高いがこれは一気筒失火させたために回転が下り、それを補うようにスロットルバルブを少し開いたためである。

図-11は失火状態のときに空気を噴射したものであり、圧力線図は、図-10とほとんど変化していない。

以上のことにより二段目の山は燃焼によって出たものと判断できる。

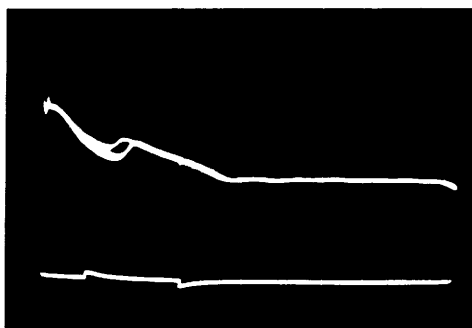


図-9 空気噴射期間と圧力波形

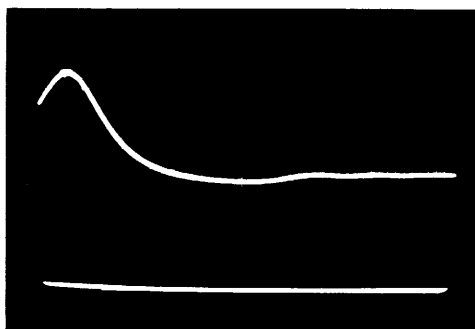


図-10 失火時の圧力波形(空気なし)

4. あとがき

今回の実験を通していろいろのことがわかったが、これらを要約してみると次のようになる。

- (1) アイドリング時の燃焼行程中にシリンダ内に適度の空気噴射を行なうことにより、希薄な混合気で燃焼させることができ、失火限度も空燃比にして16か18にのびる。また、それにつれて燃料消費量もおおよそ5%ほど改善できることがわかった。
- (2) アイドリング時には空気流量 0.2 l/s 前後でCO、HCの低減が大きく、かつ円周方向よりプラグ方向に噴射した方が効果があり、COは約85%、HCは約65%低減できた。
- (3) アイドリング時にシリンダ内に空気を噴射することによって、適度の酸素と渦流を与えると再燃焼(二段燃焼)していることが、イオン電流波形、圧力波形により確認でき、それにより排気ガス温度も上昇していることがわかった。

今回の実験によって、今までよりさらに詳しく調べることができた。また、これをもとに次への



図-11 失火時の圧力波形(空気あり)

一段階としたいと思っている。

最後に、このたびの実験に際して、助言や御指導をいただいた小田柿浩三先生に厚く御礼を申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 佐野, 野吹, 遠藤: 広島自短大研究報告 第8巻 50年12月
- 2) 佐野, 野吹, 遠藤: 広島自短大研究報告 第9巻 51年12月
- 3) 佐野, 野吹: 広島自短大研究報告 第10巻 52年12月
- 4) 内燃機関編集委員会: 内燃機関の実験と計測 山海堂 P. 132
- 5) 述 茂: 空気圧工学 朝倉書店 P. 11
- 6) 内燃機関編集委員会: 内燃機関 実験と計測 山海堂 P. 133
- 7) 中島弘行: 空気圧技術読本 オーム社 P. 22
- 8) 景山 久: 大気汚染と自動車排気ガス P. 144
- 9) 高城敏美, 小笠原光信: 自動車機関の燃焼と排気騒音
二段燃焼によるNO, CO排出量の同時低減 山海堂 P. 9
- 10) 飯沼一男: Journal of the J.S.M.E VOL 63 No 499
イオン電流による機関内の燃焼研究