駆動エンジンのシリンダに吸入される気流 の火花追跡法による可視化

東海大工院 柳 漢吳^o, 東海大工 弓野 崇, 浅沼 強
小松製作所技研 梶山 康一, 茂呂 則夫

Visualizing Study on Air Flow Induced into Cylinder
of a Motored Engine by Spark Tracing Method.

Hano RYU*, Takashi YUMINO*, Tsuyoshi ASANUMA*
Koichi KAJIYAMA**, Norio MORO**

Spark tracing method was used to visualize the pattern of air flow induced into cylinder of a motored model engine, which consisted of a transparent plastic cylinder with an exhaust magnetic valve on its top.

The spark time lines of the air flow were photographed simultaneously by three cameras located on each direction, over-head, front and side. As the results, the pattern of air flow was found to be much affected by the positions of the piston (denoted by crank angle θ) and of the spark electrodes (β).

1 まえがき

近年, エネルギー有効利用の観点から, 内燃機関の効率を高めるとともに, 排出ガスの浄化が社会的に要請されている。たとえば, エンジンのシリンダ中に噴射された燃料が空間的にどのように分布するかは, 主としてシリンダ中の気流に左右される。そのため機関内の気流が燃焼に大きい影響を与えるので, 燃焼改善の一手段として利用できると考えられる。¹⁾

シリンダ内空気流の代表的なものとして, スワールとスキッシュ流とがあり, これらは吸入ポート, シュラウドの取付位置 およびピストンヘッドの形状など機関の幾何学的因子に左右されるので,^{2) 3)} シリンダ内の流れの全貌を把握するためには, 流れを可視化する必要がある。現在までに, タフト法,⁴⁾ メタアルデヒドのトレーサ法,⁵⁾ 火花追跡法,⁶⁾ などが駆動機関に適用されている。しかし, これらの研究にはいずれも2次元的な流動を記録したものが多い。

本実験では, 火花追跡法を用いて駆動運転中のシリンダに吸入される空気流の吸気弁付近における流れのパターンを各吸入行程におけるクランク角(θ)とシリンダ壁面に取付けた電極の位置(β)を変化させながら, 前面, 上面および側面の3方向から同時撮影し, 流れのパターンを3次元的に記録できたので報告する。⁷⁾

* Faculty of Engineering, Tokai University, Kitakaname, Hiratsuka

** Technical Research center, Komatsu LTD, Shinomiya, Hiratsuka

2 実験装置 および実験方法

2.1 実験装置

本実験に用いた供試模型機関は市販の側弁式機関（小松 6D, 105）のピストンに模型機関のピストンを連結したもので、可変モードにより駆動する。

エンジンの概略を Fig. 1 に、また、Table 1 には機関の主な諸元を示す。

90°方向から流れを観察できるようにシリンダとシリンダヘッドは透明アクリル樹脂製とし、また、燃焼させないことから、燃焼膨張行程を省略して、Fig. 2 に示すように吸入、圧縮行程後にただちに排気行程に入るようにしてある。

シリンダヘッドからの視野を広くとるために、シリンダヘッドには吸入弁のみを設け、排気弁は電磁弁を用い、これをシリンダ壁に取り付けてある。

Table 1 Specifications of model engine

Bore x Stroke		105 mm x 53 mm
Displacement volume		458.9 cc
Compression ratio		3.6
Speed		500 rpm
Intake valve	diameter	46 mm
	Max. lift	≈ 10.5 mm

Fig. 1 Specifications of model engine

Fig. 2 Valve timing of a model engine

2.2 火花発生装置

火花発生装置には菅原研究所製の高電圧高周波パルス発生装置（HV-HF, MM-305A, 最大出力電圧 250 kV, 最大出力周波数 100 kHz, 最大パルス数 200 パルス）を用いる。また、任意のクランク角 (θ) で放電させるように、フライホイールのフィンから TDC とクランク角の信号を、また、カム軸から吸入 TDC 前の信号をそれぞれ電磁ピックアップで検出して、トリガー発生回路を経て駆動用トリガーとしてパルス発生装置に入力する。

2.3 実験方法

吸入気流は一般に3次元的で複雑な流れをしているので、本実験では、3台のカメラを用いて上面、前面および側面の3方向から、これら吸入気流のパターンを同時に撮影する。とくに、吸気弁を通過してシリンダに流入した流れを注目することにして、電極の位置はFig. 3に示すように、一つは吸気弁周上の E_0 点、他の電極はシリンダ壁面の E_1 点($\beta = 45^\circ$)、 E_2 点($\beta = 90^\circ$)および E_3 点($\beta = 135^\circ$)の3ヶ所にそれぞれ設ける。予備実験の結果、パルス間隔は $150 \sim 250 \mu s$ 程度が良好であり、火花パルス数は8本以上であれば撮影可能で11本位が最適である。また、放電圧は電極間隔、パルス数などに依りて変化させるが、ほぼ8kV前後で使用する。Table 2に火花発生条件、Table 3に実験条件およびTable 4に撮影条件を示す。

Fig. 3 Position of electrodes

Table 3に示すように、すべての θ と β の組合せにおいて、常に可視化が可能であったわけではない。たとえば、 $\beta = 90^\circ$ および 135° の $\theta = 45^\circ$ と 180° では流入速度が小さく、乱れのためにS/N比が低下し、撮影はほとんど不可能であった。

Table 3 Experimental conditions

θ	β		
	45	90	135
45	○	X	X
90	⊙	⊙	○
135	○	○	△
180	△	X	X

Symbols show the propriety of photographing

Table 2 Conditions of spark generation

Distance of both electrodes	D = 50, 40, 40 mm
Position of electrodes	$\beta = 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$
Spark timing	$\theta = 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ, 180^\circ$ ATDC
Used voltage	8 kV
Pulse interval	100, 150, 200, 250, 300 μsec
Pulse train	8, 11, 14, 17 pulses

Table 4 Photographing conditions

Camera	Nikon F2 Canon FTb
Lenz	Micro Lenz F2.8
Aperture	8 ~ 11
Shutter speed	$\approx 1 sec$
Film	ASA 32, 100

3 実験結果および考察

3.1 ピストン位置 (θ) による影響

a) $\beta = 45^\circ$ の場合

Fig. 4(a) ($\theta = 45^\circ \text{ATDC}$) ではスワールはほとんど認められず, 弁からシリンダ壁の方へ斜めに流入する様子がわかる。

Fig. 4(b) ($\theta = 90^\circ \text{ATDC}$) になると, シリンダ中心付近の弁の近傍のみにスワールがみられるが, シリンダ壁面付近では, むしろ下向きのシリンダ中心に向う流れが認められる。ここでは バルブのリフトが最大であり, ピストンスピードも最大に近いので, 吸入空気は注入後壁面に一旦衝突し, それから反射するらしくその後シリンダの中心に向う流れが生じている。

Fig. 4(c) ($\theta = 135^\circ \text{ATDC}$) ではシリンダの近くにスワールがあるが, シリンダ中心近傍ではまったくスワールは認められない。また, 前面からの写真によると, ピストンが BDC 近くになるため下向きの流れがほとんど消滅していることがわかる。

Fig. 4(a) Spark photographs on three direction

Fig. 4(b) Spark photographs on three direction

Fig. 4(c) Spark photographs on three direction

b) $\beta = 90^\circ$ の場合

Fig. 5 (a) ($\theta = 90^\circ$ ATDC) では Fig. 4 (b) に比較して、下向きの流速がかなり大きくなっている。また、違いがみられ、前者は下向きでシリンダ壁へ向っているが、後者では、むしろシリンダ中心へ向いている。また、 $\theta = 135^\circ$ における Fig. 5 (b) では Fig. 4 (c) にみられるようなスワールが并近に残存しているが、シリンダ壁付近ではむしろ逆のスワールを生じている。

Fig. 5(a) Spark photographs on three direction

Fig. 5(b) Spark photographs on three direction

3.2 吸入空気流速の比較

Fig. 4 および Fig. 5 の撮影した気流中の火花列から、任意の点における流速を求めることができる。この場合、一応流れの方向を仮定することになるが、それに基く誤差は小さいのでここでは無視する。いま、パルス間隔を T 、タイムラインの間隔を δ 、写真の拡大率を a とすると気流の流速 u は次式与えられる。

$$u = \delta / (T \cdot a)$$

本計算では、ある特定点における各火花タイムラインから、流速を求め、それから平均の流速を算出する。これは同じ条件の写真 10 数枚の平均である。

他方、吸気弁における流れを準定常と仮定して求めた流速との比較を Fig. 6 に示す。 $\beta = 90^\circ$ 、 $\theta = 90^\circ$ ATDC における流速が最もよく対応していることがわかる。しかし、 $\beta = 45^\circ$ の位置で測定した流速は、計算の値の約 $1/2$ とかなり小さく、この方向の流速が阻止されているものと推測される。

4 まとめ

以上のことをまとめると以下のようになる。

- 1) 駆動運転中のエンジンに吸入される, シリンダ内吸気弁周辺の空気流を火花追跡法により可視化し, 3台のカメラにより同時撮影した結果, 流入空気の3次元的なフローパターンを明らかにすることができた。
- 2) 電極は吸入弁の周辺とそれに向するシリンダ壁に設け, ピストン下降時の各クランク位置で放電を行った。その際, 火花パルス数は8~15本, パルス間隔は120~250 μ s, 放電電圧は約8KVの時, 良好な可視化が可能であった。
- 3) 500 rpmで駆動運転されているエンジンの各ピストン位置について, 流れを可視化した結果, 弁の開き始めではほとんどスワールは認められない, しかし, 吸気弁全開近くになるとスワールが増大し, シリンダ壁に衝突後, 下向きの流れになることがわかった。
- 4) 電極位置 $\beta=45^\circ, 90^\circ$ および 135° については, 実験の範囲内で, あまり大きな差異はみられなかった。
- 5) これら, 放電火花列のタイムラインから, 流入空気の流速を算出し, 準定常の計算値と比較したところ, かなりよい一致を示した。よって火花追跡法により, シリンダへの吸入流れの定量的な解析が可能なが分った。

Fig. 6 Correlation between crank angle (θ) and mean velocity

参考文献

- 1) 野平他, 日本機械学会誌, Vol. 83, No. 744, (昭55-11) 85.
- 2) 金原他, 日本機械学会講演論文集 No. 730-5 (1973-4) 25.
- 3) 鈴木, 内燃機関, Vol. 18, No. 220, (1979-2), 49.
- 4) 浅沼, 小保方, 日本自動車研究所研究速報, No. 2, (昭. 46-9), 97.
- 5) 井元, 内燃機関, Vol. 13, No. 146, (1974-1), 11.
- 6) 長尾他, 日本機械学会論文集 37-296, (昭 46-4), 797.
- 7) 浅沼 強 編, 流れの可視化ハンドブック, (昭 52-3) 朝倉書店.