22 模型エンジンにおける吸入スワール気流の可視化

東海大学工 柳 漢[○] 弓野 崇, 浅沼 強

小松製作所技術研究所 梶山康一, 茂呂則夫

Visualizing study on swirling flow
induced into cylinder of motored model engineHano RYU*, Takashi YUMINO*, Tsuyoshi ASANUMA*
Koichi KAJIYAMA**, Norio MORO**

To make clear the behavior of swirling flow induced into cylinder of a motored model engine with high swirl port, the pattern and direction of air flow in the cylinder are visualized at every crank angle during intake process by using a spark tracing and particle tracing techniques, changing the position of spark electrode.

Consequently, several characteristics of air flow induced into cylinder, such as the direction, induced angle and center of swirling flow, are determined at every crank angle and several cross-sections of cylinder.

1. まえがき

内燃機関の機関性能および排気特性はシリンダ内の気流, たとえば吸入行程中に生じるスワール流などによって大きく影響される。そのため, すでに吸入スワール気流については定性的もしくは定量的な研究が数多く行なわれている。たとえば, 直接噴射式ディーゼル機関における吸入気流の平均流速および乱れがL.D.V.を用いて測定されているが¹⁾, シリンダ内気流の全貌を把握することは困難のようである。また数値シミュレーションにより吸入気流の挙動も予測されているが^{2), 3)}, 実機との比較検証は行なわれておらず, 単なるモデルの域を脱していない。これらとは別に, シリンダ内の吸入気流の挙動を直接把握することのできる可視化実験も行なわれている。たとえば, ポリスチレン粒子⁴⁾やヘリウムバブル粒子⁵⁾などを用いたトレーサ法により, 吸入空気の流れパターンが可視化されており, さらに筆者らも火花追跡法, 窒化アルミ粉のトレーサ法およびタフト法などの併用により, ハイスワールポートより吸入される気流の吸気弁まわりにおけるフローパターンをすでに可視化した⁶⁾。しかし, これらの研究はいずれも吸入行程の各クランク角におけるスワール流の生成過程を十分明らかにしたとはいえない。

本研究では, 従来通りの火花追跡法と窒化アルミのトレーサ法を併用して, ハイスワールポートを経てシリンダ内に吸入される空気を, ほぼ全吸入行程中にわたって可視化する目的から, 電極の設置位置を逐次変化させながら可視化を行ない, それを基に吸入気流の中心位置, 流れ方向および傾斜角などを求めている。

2. 供試機関および可視化方法

2. 1 供試模型機関

実験に使用する機関は, Fig. 1に示すように外部からの

* Faculty of Engineering, Tokai University, Kitakaname, Hiratsuka

** Technical Research Center, Komatsu LTD, Manda, Hiratsuka

可視化を可能にするためにシリンダバレルおよびシリンダヘッドの一部を透明アクリル樹脂で作った模型機関で、そのピストンを可変モータにより駆動することができる。なお、供試模型機関の主要諸元は Table 1 に示してある。

また、供試機関のシリンダヘッドには、実機と同一寸法のハイスワール吸入ポートが正規の位置に装着しており、排気弁は Fig. 1 に示すようにシリンダバレルの上部側面に用意された電磁弁で代用する。また、機関の吸気期間は上死点から下死点後 40° までに設定してある。

2. 2 可視化方法 火花追跡法

により可視化された吸入気流の火花タイムラインの本数、間隔および発生時期などを任意に設定できる高電圧・高周波パルス発生装置（菅原研究所製）を使用する。Table 2 に示すような火花発生条件の下で、電極の取付け高さ

（H）を、Fig. 2 の E1、E2 および E3 と変化させたときの火花タイムラインを2台のカメラで上面（カメラ A）と側面（カメラ B）とから同時撮影する。なお、カメラ A はシリンダヘッドに対し 60° 傾けてあるので、写真に撮影される電極は E1～E3 の位置から E1'～E3' へとシリンダ中心位置からかなりずれている。

気流の流れ方向を知るには、粒子径約 300 メッシュの窒化アルミ粉をトレーサとして、火花発生と同時に吸入ポートから吸入させ、火花のタイムラインを通過するときに発生する発光尾を同時撮影する。なお、可視化写真中に火花のタイムラインとは別に短い白線が撮影されているが（カラー写真では明瞭に識別できる）、これが窒化アルミの発光尾である。

3. 実験結果および考察

3. 1 各クランク角における吸入気流のパターン

機関回転数 $N = 600 \text{ rpm}$ で駆動される模型機関の代表的なクランク角 (θ) における吸入気流を、電極位置 (H) を順次変えながら火花追跡法で可視化した写真

Fig.1 Model engine for spark tracing technique

Table 1 Specifications of test engine

Bore x Stroke	105 x 53 (mm)
Displacement volume	458.9 (ml)
Compression ratio	~ 3.6
Intake valve diameter	46 (mm)
max. lift	10.5 (mm)

Table 2 Operating conditions of spark tracing technique

Engine speed	N=600 (rpm)
Spark discharge timing	$\theta = 60^\circ, 105^\circ \text{ \& } 150^\circ \text{ ATDC}$
Pulse interval	200 ~ 220 (μs)
Number of pulse train	30 ~ 50
Location of electrode	H=10, 25 & 50 (mm)

Fig.2 Position of electrode for spark tracing technique

が Fig. 3 に示してある. 図によると, 吸気弁の開き始めのクランク角 $\theta = 60^\circ$ ATDC における吸入気流の大部分は, 旋回することなく一様にシリンダ壁へ向って流れており, スワール流はまだ認められない. しかし, 吸気弁のリフト量が最大に近い $\theta = 105^\circ$ もしくはそれ以上のクランク角になると, シリンダ内のある点を中心にスワール流が形成され始めており, しかもその傾向は電極取付け位置(H)が大きくなるほど顕著である. さらに, カメラ B で撮影した側面写真によると, $\theta = 105^\circ$ および 150° の $H = 50$ mm の場合, 電極位置よりも上方に向かって吸入気流のタイムラインが進行している. これは吸入気流がピストンヘッドに衝突して跳ねかえることを示すものであり, このことは, 後述するトレーサ法により求めた流れ方向からも確認することができる.

Fig.3 Behavior of air flow in cylinder by spark tracing technique

C) $\theta = 150^\circ$ ATDC Fig.3 Behavior of air flow in cylinder
by spark tracing technique (N=600rpm)

Fig.4 Center position of swirling flow (N=600rpm)

3.2 吸入気流の中心位置 吸入気流のパターンを示す Fig.3 の上面写真によると、電極高さが $H=25\text{ mm}$ 以上になると吸入気流が O' を中心に回転している。いま、これらの上面写真から吸入気流の中心位置 O' を求め、それを各クランク角についてプロットしたものが Fig.4 である。図によると、吸入気流の中心位置はどのクランク角においても、またシリンダ内のどの高さにおいてもシリンダ中心軸付近、とくに、 $(+, -)$ の象限 (O 印) によく現われていることがわかる。

Fig.5 Direction of air flow in cylinder by particle tracing technique

3.3 吸入気流の方向 火花追跡法のタイムラインと窒化アルミの流跡を同時撮影した可視化写真 (Fig. 3) からトレーサの流跡を求め、それを各クランク角の電極取付け高さごとにプロットしたものが Fig. 5 に示してある。なお、図中の矢印は2方向から同時撮影した流跡を全てプロットしてある。図によると、クランク角が進むにつれスワール流のほかにピストンヘッドに衝突する流れや衝突後跳ね返る流れなどが認められる。この傾向は火花のタイムラインから求めた流れ方向ともよく対応している。

3.4 吸入気流の傾斜角

Fig.5の側面図において, 吸入気流の流跡とシリンダヘッドとなす角度, すなわち吸入気流の傾斜角(α)を求め, それを各クランク角についてプロットしたものが Fig.6に示してある. 図によると, 吸入傾斜角は $\theta=90^\circ$ A T D C付近で最大となり, 吸入弁のリフトやピストン速度の最大値もこれとよい対応を示している.

Fig.6 Induced angle of air flow in cylinder (N=600rpm)

4. まとめ

回転数 $N = 600 \text{ rpm}$ で駆動される模型エンジンに吸入される気流のフローパタンおよび流れ方向などを, 火花追跡法と窒化アルミ粉のトレーサ注入法の併用により明らかにすることができた. それらの結果を要約すると次の通りである.

1) 電極取付け高さを変えながら, 吸入行程中の各クランク角における吸入気流を火花追跡法により可視化した結果, クランク角 $\theta = 60^\circ$ A T D C ではスワール流は認められないが, $\theta = 105^\circ$ 以上のクランク角になるとスワール流が形成されている. スワール流の中心位置は各クランク角や各電極の高さにかかわらず, ほぼシリンダの中心軸付近によく集まっている.

2) 窒化アルミ粉の流跡から, 吸入気流の方向, 傾斜角などを求めた結果, クランク角が進むにつれて, スワール流のほかにピストンヘッドに衝突する流れや, 衝突した後跳ね返る流れなどが認められ, これは火花のタイムラインから求めた傾向ともよく対応している. また気流方向から求めた吸入気流の傾斜角はピストン下降速度が最大となる $\theta = 90^\circ$ A T D C 付近で最大となっている.

謝辞

実験にあたり, 当時, 東海大学工学部動力機械工学科の学生であった中野浩一, 小林洋平, および現在同学科の学生海藤祐二, 蔵品光隆らの協力を得たことを記す.

参考文献

- 1) 村上 他, 第4回内燃機関合同シンポジウム, (1984), P. 19.
- 2) 西脇 他, 第4回内燃機関合同シンポジウム, (1984), P. 49.
- 3) 脇坂 他, 第4回内燃機関合同シンポジウム, (1984), P. 55.
- 4) 小松 他, 第4回内燃機関合同シンポジウム, (1984), P. 13.
- 5) J.C.Kent et al., APPLIED OPTICS, Vol.21, No.5, (1982), P.904.
- 6) 柳 他, 流れの可視化, Vol. 14, (1984), P. 155.