3 油点法による高速直射式ディーゼルエンジンの

燃焼室内の空気流動の可視化

三菱自工 金色一憲 平河内信義
三菱重工 中川 洋

Visualization of Air Flow Pattern in Diesel Engine Combustion Chamber
by Oil Dot Method

by Kazunori Kanairo*, Nobuyosi Hirakouchi*, Hiroshi Nakagawa**

D.I. diesel engine combustion is strongly influenced by air flow in the combustion chamber. Therefore, in order to improve diesel combustion, it is very important to realize the air flow in the chamber.

In this study, Oil Dot Method was used to visualize the air flow in the piston cavity of the combustion chamber.

It is cleared that there is an air velocity deviation in the cavity, caused by an air flow pattern generated during intake process, a cavity size and its position.

From the above result, combustion tuning tests were carried out by a single cylinder engine and preferably good combustion was obtained finally.

1. はじめに

近年 自動車用のエンジンでは燃料消費量の節減、有害な排ガスの低減等の、燃焼改善への要求がますます強くなってきており、それには燃焼過程の詳細な解明が不可欠となっている。ディーゼルエンジンの燃焼を改善するには、いかに速やかに燃料と空気を混合させ、完全に燃焼させ得るか、が重要なポイントである。それには燃焼室内の空気の流動および噴射された燃料噴霧の挙動を的確に把握することが必要である。燃焼室内の空気流動を把握する方法としては、熱線流速計⁽¹⁾、レーザー流速計⁽²⁾等により流速や乱れを定量的に計測する方法と、メタアルデヒドのトレーサー法⁽³⁾、スパークトレース法⁽⁴⁾、油膜法(油点法)⁽⁵⁾⁽⁶⁾等による可視化方法があり、多くの研究が行なわれてきている。

本研究では、高速直射ディーゼルエンジンの性能向上を目的とした研究⁽⁸⁾の一環として燃焼室内のマクロ的な空気流動を比較的容易に可視化できる油点法を用い、特に燃焼室のキャビティ(凹み)部分の空気流動に及ぼす各種のパラメーターの影響を調べ、全体の流れを予測することを試みた。

本報告では、その可視化した結果と、単気筒エンジンに応用し、燃焼改善試験を行なった例を紹介する。

Table 1 SPECIFICATIONS OF TEST
SINGLE-CYLINDER ENGINE

Bore	(mm)	135
Stroke	(mm)	140
Compression ratio		16.8
Injection pump type		Bosch P
Plunger diameter(mm)		12.0
Swirl ratio		(2.6)

* Mitsubishi Motors Corporation : 21-1, Simomarucho 4 Chome, Ohtaku, Tokyo

** Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.: 1-1 Akunouramachi, Nagasaki - City

2. 試験装置および試験の方法

試験に供試した単気筒エンジンの諸元を表1に示す。このエンジンはトラック・バス等の、大型自動車用の直射式ディーゼルエンジンを単気筒化したものである。

試験の方法は次に示す通りである。まず、ピストンの頂面およびキャビティ内の壁面に光明丹を混合したシリコン油を点状（以下 油点 と呼ぶ）に塗付する。次に、シリンダヘッドを装着し、エンジンを所定の回転速度でモータリングを行なった後、ヘッドを開け、油点の流動パターンを35mmのスティールカメラで撮影した。

この方法を採用するにあたり、可視化された流動パターンが、エンジンの各行程（吸入・圧縮・膨張・排気）の、どの時点の流動を表わしているか、が疑問になる。そこで筆者らは、燃焼室内の空気の流動を可視化するため、図1に示す試験装置で、透明なピストンのキャビティの底面にタフト（綿糸）を付け、エンジンをモータリングしてタフトの動きを高速度カメラで撮影した。可視化した結果、キャビティ内のタフトは、スワールとスキッシュ流（押し込み流）から成ると思われる流れに流され、あたかも、磯で波に漂う

FIG.1 TEST ENGINE FOR HIGH-SPEED PHOTOGRAPHY

FIG.2 OBSERVATION OF AIR FLOW IN THE CAVITY BY TUFT TECHNIQUE

海草の様な動きをしている事が観察された。

図2に、圧縮上死点近くにおけるタフトのスケッチを示す。渦の中心の位置の動きに着目すると、その位置はそれぞれのクランク角度で移動している事が判る。

この仕様と同じ仕様で、油点法により可視化した例を図3に示す。この場合、渦の中心はキャビティの中心の位置にある流動パターンとなる。これは図2で、クランク角度が上死点後 10° 、 20° でのタフトのパターンとほぼ対応している。従って、油点法により可視化されるキャビティ内の空気流動パターンは、圧縮上死点直後の流れを表していると推定される。

次に、試験条件について検討した。塗付した油点の移動する量は、空気の流れと試験時間に大きく影響を受けるので、スワール比、エンジン回転速度、および運転時間を変えその影響度を調べた。図4にその結果の例をに示す。これらの図から流線が重ならないで、流線の形状と流れの方向を明瞭に観察できるエンジンの回転速度 1000rpm 、モータリング時間60秒間を本試験の標準条件とした。

3. 試験結果

3.1 スワール比の影響 (図4)

スワール比はエンジンの回転速度に対するシリンダ内に吸入された空気の旋回速度の比で定義され、定常流試験で得られる値である⁽⁷⁾ スワール比に対応する油点の移動量を調査すると、図4の様になり、生産エンジンの標準のスワール比2.6では、キャビティ

Swirl ratio 2.6
 $\frac{N_E = 1000\text{rpm}}{(60\text{sec MOTORING})}$

FIG.3 VISUALIZATION OF AIR FLOW BY OIL DOT METHOD (TRANSPARENT PISTON)

FIG.4 INFLUENCE OF SWIRL RATIO ON STREAK LINES

のオフセット側に強く旋回する流れがあり、渦の中心はシリンダ中心の近くにある。スワール比を 1.9 にすると、渦の中心はシリンダ中心より少し右に寄る。更に小さく 0.6 にすると、流動パターンは上記のケースとは異なり、キャビティ内の左側の部分は旋回する流れ、右側はキャビティ中心に向かう流れとなっており吸気過程の影響が残っていることを示している。

3. 2 キャビティの位置の影響 (図5、6)

吸気過程で 吸気ポートから流入する流れの効果を調べるため、キャビティの位置を変更してその影響を調べた。図5にその結果を示す。吸気ポートの入口はそれぞれのピストンの右上にあり、空気は図の右側の吸気弁から吸入される。タイプ ① の供試ピストンはキャビティの位置が吸気ポート入口と反対側に、タイプ ② では吸気ポート入口側に、それぞれオフセットして配置されている。また タイプ ③ - ⑤ は、キャビティ位置による流動の変化を確認するために、特に、選定したものである。

タイプ ① では渦の中心はシリンダ中心の近くにある。タイプ ② ではキャビティの中心に渦の中心がある。また全部のタイプに亘り共通して、キャビティの左下側に速い流れが観察される。

このキャビティ内での流速分布の偏りは次の様に説明できる。吸気行程の終りには、空気の流動パターンは図6に示す様に、スワール(旋回流)と、ピストンの下降によって生じたシリンダ軸方向の流れが、合成された流れになっていると推定される。シリンダ

FIG.5 EFFECT OF CAVITY POSITION ON AIR FLOW PATTERNS

軸方向の成分は、ピストンの上昇に従って旋回成分に変換されるとされているが、⁽³⁾これらの可視化した結果は、上死点後にも、この軸方向の成分が残っており、その為キャビティ内の速度分布に偏りが生じたものと推定される。

以下の試験では、ピストンタイプ①で、各パラメーターの影響を調べた。

FIG.6 IMAGINATION OF SWIRL MOTION

3. 3 キャビティのオフセット量の影響 (図7)

スワール比とキャビティの径を一定にしてシリンダ中心に対するキャビティのオフセット量 e を変化させた。オフセット量が小さい時には、渦の中心はシリンダ中心にあり、オフセット量が多い場合、キャビティの右上にある。これは、キャビティの左下側にシリンダ中心方向の成分が強く残っているためであり、渦の中心はキャビティの右上側に移動していると推定される。

FIG.7 EFFECT OF CAVITY OFFSET ($N_E = 1000 \text{ rpm}$ (60 sec MOTORING) Swirl ratio 2.6)

3. 4 キャビティの径の影響 (図8)

キャビティのオフセット量を一定にして、キャビティの径 d_c を変更した。その結果、キャビティの径が大きい程、径の自乗に反比例してスワール速度は遅い。⁽⁹⁾ また渦の中心は、キャビティの径が大きい時には、キャビティの中心にあり、径が小さくなるに従い、キャビティの中心に対してシリンダ中心の反対側に移る傾向にある。

FIG.8 EFFECT OF CAVITY DIAMETER

Swirl ratio 2.6
 $N_E = 1000 \text{ rpm}$
(60 sec MOTORING)

4. エンジンの燃焼改善への適用

上記の観察結果からキャビティ内の空気流動には多くの場合、速度の分布に偏りがあることが明らかになった。従って、燃焼を改善するには、キャビティ内の燃料の分散を考慮したチューニングが必要である。

そこで、図9に示す様に、キャビティとノズルの噴射方向をパラメーターとして変化させ、燃焼チューニング試験を実施した。その結果 図10に示す様に、キャビティの径に対応して、燃焼（排煙濃度、平均有効圧力）が最良となるノズルの噴射方向がある。最良の仕様では、排ガス対策前の生産仕様（ $d_c = 75$, Nozzle Type A）に比較して、58年排ガス規制を満足させ、同じ燃料噴射量で、平均有効圧力が約3%改善された。(6)

FIG.9 SCHEMATIC DIAGRAM OF FUEL INJECTION NOZZLE ORIFICE DIRECTIONS AND COMBUSTION CHAMBER FOR TUNING TESTS

5. むすび

油点法を使用して、エンジンの燃焼室のキャビティ内の空気の流れを、パラメータスタディによりマクロ的に把握でき、その結果を燃焼改善に結びつける事ができた。今後、この結果をもとに空気の流れを定量的に把握し、更に数値シミュレーションにより一般化して、他の機種に応用できる様に行きたい。

FIG.10 EFFECTS OF NOZZLE ORIFICE DIRECTIONS AND CAVITY DIAMETER FOR DIESEL ENGINE COMBUSTION TUNING

6. 参考文献

- (1) 例えば F.Brandl, et al., SAE PAPER 790040
- (2) 例えば 神本 武征 他4名, 内燃機関合同シンポジウム 59-1, P.25
- (3) 井元 浩二, 内燃機関 Vol. 13 No. 146 (74-1), P.11
- (4) K.Komiyama, et al., SAE PAPER 800967
- (5) 浜本 嘉輔, 第4回流れの可視化シンポジウム1976. 6. 15-16, P.1
- (6) 塩崎 忠一 他2名, シンポジウム:ディーゼル機関の燃料噴霧と燃焼 S60.2
- (7) F.Pischner, ATZ. Jg. 65, Nr. 1 (1963-1), P.11-16
- (8) 例えば K.Kanairo, et al., COMODIA' 85 TOKYO 1985. 9, P.373