21 副室付エンジンにおけるトーチ噴流の可視化

東海大学工 大津明彦^{*}, 柳 漢呉, 浅沼 強

Visualizing study on torch jet flow in a prechamber spark ignition engine by using oil-film technique

Akihiko OHTSU^{*}, Hano RYU^{*}, Tsuyoshi ASANUMA^{*}

To understand the striking difference in heat release rate between the vertical and horizontal torch nozzle in a prechamber spark ignition engine, the torch flow patterns remained on the piston and both the valves heads are visualized by the oil-film technique, changing the number, sectional area and direction of torch nozzle, respectively.

As a result, the jet velocity of torch nozzle is confirmed to decrease proportionally as the nozzle increases in diameter or number. Furthermore, it is revealed that combustion in the main chamber with vertical torch nozzle is accelerated by strong turbulence due to the torch jet impingement, and then it shows not only a sharp peak in heat release rate, but also earlier completion in combustion than that of horizontal torch nozzle.

1. まえがき

副室付火花点火機関におけるトーチ噴流は、運転条件はもちろん、トーチ孔の断面積および方向などの幾何学的因子によって大きな影響を受け、その結果、機関の燃焼特性をも大幅に左右することが知られている。いま、ほぼ等しい断面積をもつトーチ孔の方向を垂直もしくは水平（垂直副室と水平副室）に変えた場合、垂直トーチにおける熱発生率は、水平トーチの場合に比べ、その立上りは遅いが極めて顕著なピークを示しており、その燃焼の完了時期もかなり早い。

このようなトーチ噴流の方向による著しい相違を理解する目的から、油膜法によるトーチ噴流パタンの可視化を計画した。すなわち火花点火機関のシリンダヘッドに副室を垂直あるいは水平に取付け、これら両副室のトーチ孔断面積およびトーチ孔数などを変えながら、発火運転時におけるトーチ噴流のピストン頂面などに生ずる噴流パタンを油膜法^{1), 2)}により可視化したので報告する。

2. 実験装置と可視化方法

実験には4サイクル側弁式単気筒汎用ガソリン機関（排気量約300ml，ボア：80mm—ストローク：59mm，圧縮比 $\varepsilon = 4.47 \sim 4.84$ ）のシリンダヘッドに、Fig. 1に示すように副室を垂直または水平に取付けて供試機関とする。これら両副室機関のトーチ孔の総断面積（ A_n ），副室容積（ V_a ），トーチ孔の数（ n ）および点火時期（ θ_{ig} ）などの実験条件をTable 1に示す。また、機関は回転数 $N = 1000$ rpm，空燃比 $A/F \approx 12$ で発火運転させ、このときのトーチ噴流の挙動を、油膜法によって可視化する。すなわちTable 2に示すような混合油をピストン頂面および吸・排気弁表面などに均一に塗布したあと、シリンダヘッドを取付け約20回（ ~ 2.4 s）または60回（ ~ 7.2 s）発火運転したあとシリンダヘッドを外し、ピストン頂面およ

* Faculty of Engineering, Tokai University, Kitakaname, Hiratsuka

Fig.1 Cross-section of test engine

Table 1 Experimental conditions
(A/F = 12 , N = 1000 rpm)

Type of chamber	Sectional area of torch nozzle An (D x n) (mm ²)		Volume of Aux. chamber Va (ml)		Ignition timing (MBT) BTDC °	
	V	H	V	H	V	H
Divided	*	20 (5φ x 1)	*	16.3	*	1
	*	40 (5φ x 2)	*	16.4	*	8
	50 (8φ x 1)	55 (oval x 1)	20.6	19.2	2.6	8
	*	60 (5φ x 3)	*	16.4	*	12
	95 (11φ x 1)	90 (oval x 1)	21.4	19.5	3.0	12
Open	∞		0		33	

V:Vertical torch, H:Horizontal torch

D:Nozzle diameter, n:Number of nozzle

Table 2 Oil/pigment mixture for oil film technique

	Composition	Weight ratio(%)
Oil	Liquid paraffin	30
	Vaseline	20
Pigment	Titanium dioxide (White color)	50
	or Lead chromate (Yellow color)	(50)
	or Trilead tetraoxide (Orange color)	(50)

び吸・排気弁上に生じているトーチ噴流によるフローバタンの撮影を行なう。なお、フローバタンに対する経過時間をよりの確に把握する目的から、とくに二色の油膜を同時に使用したが、通常は一色の油膜を使用している。

3. 実験結果および考察

3. 1 経過時間の影響 ピストン頂面に塗布された油膜によるフローバタンの代表的な生成過程が Fig. 2 および Fig. 3 に比較してある。ともにカラー写真をモノクロに焼付けしたものである。垂直副室における生成過程を示す Fig. 2 において、図 a は発火運転する前の状態であり、トーチ噴流の生成に対する経過時間の影響を見るため、図の中央の黒色は橙色、周囲の白色は黄色の油膜で塗りわけである。図 b ではトーチ噴流がピストンに激しく衝突し、その中心から全周にわたって放射状の流跡が発達し始めている。図 c になると流跡の範囲はさらに拡大し、中心付近の油膜は燃えて変色して流跡はリ

Fig.2 Pattern formation process of torch jet flow in vertical prechamber
($N=1000\text{rpm}$, $A_n=50\text{mm}^2$, $A/F=12$, $\theta_{\text{ig}}=2.6\text{BTDC}$)

Fig.3 Pattern formation process of torch jet flow in horizontal prechamber
($N=1000\text{rpm}$, $A_n=20\text{mm}^2$, $A/F=12$, $\theta_{\text{ig}}=1\text{BTDC}$)

ング状となっている。またリングの周縁の薄黒い部分は、カーボンが油膜に付着したもので、特に弁部の近くでは燃焼終期のためかなりのカーボンが発生してる。Fig. 3は水平副室における生成過程を示している。図aは垂直副室と同様に二色の油膜で塗りわけた発火運転前の状態である。図bによるとトーチ噴流がピストン頂面をかすめながら反対側のシリンダバレルに衝突したあと、シリンダに沿って左右に分かれている。さらに図cではトーチ噴流の左右に大きな二つの渦が生じており、噴流の流跡は図のようないかり状のボタンを形成している。なお、7.2s(60回)の発火運転によりほぼ噴流ボタンが完成していることがわかる。

Fig.4 Effect of torch nozzle area in horizontal prechamber on torch jet flow pattern ($N=1000\text{rpm}$, $A/F \approx 12$)

3.2 トーチ孔断面積の影響 トーチ孔断面積を変えた場合, 水平副室における代表的なトーチ噴流の油膜パターンが Fig. 4 に示してある。図によると当然のことながら, トーチ孔断面積が小さい程トーチ噴流は速い。特に図 a ($A_n \approx 20\text{mm}^2$) の場合は, トーチ噴流の左右に, 大きな渦が二つ形成されてほぼ Fig. 3 c と同じいかり状の油膜パターンを示している。図 b ($A_n \approx 55\text{mm}^2$) になると流速はやや低下するので, 渦も小さくなり, さらに図 c ($A_n \approx 90\text{mm}^2$) になると, 図 d の単室燃焼室 (Open chamber) のフローパターンと同様に噴流のパターンはほとんど認められない。

3.3 トーチ孔の数の影響 水平副室におけるトーチ孔の数を順次増やした場合の代表的なトーチ噴流のフローパターンが Fig. 5 に示してある。トーチ孔の数が一本の場合は, 前述の Fig. 4 a と同じであり, いかり状のフローパターンを示しているが, 同径の

Fig.5 Effect of torch nozzle number in horizontal prechamber on torch jet flow pattern ($N=1000\text{rpm}$, $A/F \approx 12$)

トーチ孔を二本にすると Fig. 5 a のようにトーチ孔断面積を増加した場合に似た傾向を示す。しかしながら、トーチ孔の数が3本 ($A_n \approx 60 \text{ mm}^2$, 図 b) になると、2本の場合 (図 a) に比べ孔面積は増大しているにもかかわらずむしろシリンダの全面に噴流が行きわたっており、ある程度孔数をふやす必要があることがわかる。

3. 4 トーチ孔の方向の影響 ほぼ等しい断面積をもつトーチ孔を垂直もしくは水平 (垂直副室と水平副室) に配置した場合、発火運転時の代表的な指圧線図から求めた熱発生率が Fig. 6 に比較してある。図によると垂直トーチの熱発生率は、水平トーチの場合に比べ、その立上りは遅いにもかかわらず点火後 20° 付近で極めて顕著なピークを示しており、また燃焼の完了時期もかなり早い。これに対し、水平トーチの場合は確かに熱発生率の立上りは早いが、垂直トーチのようなピークを示すことなく、燃焼の完了時期 (θ_c) も $10 \sim 20^\circ$ と遅れている。

いま、この顕著な差異を解明するために、垂直副室と水平副室の場合の代表的なトーチ噴流のパターンが Fig. 7 に比較してある。図によると、垂直トーチにおけるピストン頂面の油膜パターンはリング状を示しており、ピストン中心の黒い部分はトーチ噴流が激しく

Fig. 6 Comparison of heat release rates between vertical and horizontal torches

Fig. 7 Effect of torch nozzle direction on torch jet flow pattern
($N=1000 \text{ rpm}$, $A/F=12$)

ピストンに衝突するため油膜が焼けている。その外周の白い部分は噴流による流跡を示しながら油膜がそのまま残留しており、さらに外周の黒い部分はカーボンが付着している。これに対して水平トーチのトーチ噴流はピストンの頂面をなでるように通りぬけ反対側のシリンダバレルに衝突し、孔面積の小さい場合には、バレルに沿って逆流し主噴流の左右両側に大きな渦を形成している。逆に孔面積が大きくなると流速の低下に伴い、噴流ボタンはほとんど認められなくなる。

以上のことから垂直トーチ噴流は直接ピストン頂面に衝突するので、初期における着火および燃焼はFig. 6に示すようにやや遅れるが、その後、衝突によりピストン全面にわたり強い乱れが生成され、そのため燃焼も極めて迅速に行われ、熱発生率の鋭いピークを生ずるものと推測される。なお、衝突噴流による乱れは燃焼室全面に拡大するため燃焼の完了も水平トーチに比べ著しく短縮している。これに対し水平トーチでは、着火は早いものの、乱れは少いためFig. 6のような熱発生率の経過を示すものと考えられる。

4. まとめ

発火運転時に副室から主室へ噴出される垂直および水平トーチ噴流のピストン頂面におけるフローボタンを油膜法により可視化した結果、次のことが明らかとなった。

- 1) 水平トーチ噴流の場合、トーチ孔断面積の小さい高速噴流では、反対側のシリンダバレルに衝突した後はね返り、主噴流の両側に大きな渦を形成していかり状となる。逆に孔面積を大きくすると噴流は低速となり、ピストン頂面にはあまり流跡を残さず、むしろトーチ孔のない場合(単室)のフローボタンに近くなる。
- 2) 水平トーチ孔の数を増やすと、トーチ噴流は低速となるが、ピストン頂面全体に広がり、同じ孔面積の単孔に比べ燃焼は早くなる。
- 3) トーチ孔断面積がほぼ等しい垂直トーチと水平トーチの噴流ボタンを比較したところ、垂直トーチ噴流はピストン頂面に激しく衝突してリング状のボタンを形成し、強い乱れを作成するのに対し、水平副室のそれはピストン頂面をかすめて吸・排気弁付近まで到達しているが、噴流による燃焼促進効果は低い。その結果、両者の熱発生率に大きな差異の生ずることがわかった。

謝辞

実験に際し、供試機関などの整備に対しホンダ技術研究所和光研究所の方々の御援助を得た。ここに感謝するとともに、実験に当っては、当時、東海大学工学部動力機械工学科の学生桜内康司、中島賢司および丹 桂ら、さらに現在、同学科の佐藤正行、田村宏幸君らの協力を得たことを記す。

参考文献

- 1) 浜本, 柴垣, 自動車技術会論文集, No. 16, (1978), P. 51.
- 2) 吉田他, 自動車技術会論文集, No. 19, (1979), P. 3.