B112 レーザシャドウグラフによる超高压噴射ディーゼル燃焼の可視化

勸 日本自動車研究所	小林 伸治 ○
㈱ 新燃焼システム研究所	春藤 茂
㈱ 新燃焼システム研究所	中平 敏夫
㈱ 新燃焼システム研究所	小森 正憲
㈱ 新燃焼システム研究所	辻村 欽司

Visualization of Diesel Combustion with High Pressure Fuel Injection by Laser Shadowgraph Technique

Shinji KOBAYASHI*, Shigeru SHUNDOH**, Toshio NAKAHIRA**
Masanori KOMORI** and Kinji TSUJIMURA**

The high pressure fuel injection is very effective for improving NO_x and particulate emission from diesel engine. To understand the mechanism of combustion improvement, the observation of combustion phenomena was performed using high speed laser shadowgraph technique. The results indicate that ignition and flame development process is different from base engine in the case of high pressure fuel injection. It becomes clear that combustion is improved by increasing entrained air into spray, rapid mixing between fuel and air.

1. ま え が き

都市部や道路沿道での大気環境を改善するため、ディーゼル車より排出されるNO_xや粒子状物質の大幅な低減が求められている。筆者等は、燃料噴射圧力の高压化による燃焼改善を目的に200MPaを超える超高压噴射装置を開発し、NO_xや粒子状物質を低減する研究を実施してきた⁽¹⁾⁽²⁾。開発された噴射装置を用いたエンジン試験の結果、燃料噴射圧の高压化は排出物の低減に極めて有効であることが確認されている。本研究では、高压噴射による燃焼改善の要因を解析するため、光源にレーザを用いたシャドウグラフにより燃料噴霧と空気との混合や着火・燃焼の様子を可視化し、高压噴射ディーゼルエンジンの燃焼形態が従来のディーゼルエンジンと大きく異なることを明らかにした。

2. 実験装置及び方法

2.1 供試エンジン及び運転条件

供試エンジンは、単筒エンジンを燃焼観察用に改造して用いた。表1に仕様を示す。可視化方法は伸長ピストンを用いたボトムビュータイプとした。また、シャドウグラフによる撮影を実施するため、シリンダヘッドには鏡を張りつけ、吸・排気弁の表面は鏡面仕上げとした。エンジン回転数は1000rpmとし、着火遅れを実機と同じにするため冷却水及び

* Japan Automobile Research Institute, Inc., 2530 Karima, Tsukuba, Ibaraki 305

** Advanced Combustion Engineering Inst. Co., Ltd., 2530 Karima, Tsukuba, Ibaraki 305

吸入空気を加熱した。噴射装置は増圧式高圧噴射装置(HPIE)⁽¹⁾を用いた。

2.2 撮影光学系及び撮影条件

撮影光学系は図1に示す反射式のシャドウグラフとした。表2に光学系、高速度カメラ、フィルムの仕様を示す。撮影速度は6000FPS(クランク角度1度当たり1フレームに相当)、シャッター定数は10~20とした。

2.3 試験条件

撮影は表3に示す3条件について実施した。TypeAは供試エンジンの標準仕様、TypeBはTypeAを高圧化したもの、TypeCは高圧噴射に適するように燃焼室、噴射ノズル等を改良した仕様である。

3. 実験結果及び考察

図2、3に撮影結果及びシリンダ内圧の熱力学的解析から求めた熱発生率を示す。以下に、各方式の燃焼形態を説明する。

タイプA(標準仕様)の燃焼

着火は噴霧に対してスワール下流側のノズル近傍で起こる。その後、火炎はスワール下流に形成された混合気に沿って噴霧先端に広がる。ノズル近傍で着火するため噴霧の根元が早い時期に火炎で覆われ、噴霧への空気導入が妨げられる可能性がある。噴射開始後約10°CAで噴霧が火炎に包まれるが、その広がり速度は遅い。熱発

生が終了しても燃焼室は火炎で覆われており、シリンダの膨張に伴い温度が低下すると、それがすすとして排出されと考えられる。

Table 1 Engine Specification and Operating Condition

Type	Single Cylinder 4-Stroke Cycle
	Natural Aspiration
Bore X Stroke	135mm X 140mm
Displacement	2004 cm ³
Compression Ratio	16.5
Combustion System	Direct Injection
Engine Speed	1000 rpm
Load	Full Load

Fig.1 Optical Arrangement for Laser Shadowgraph

Table 2 Specification of Shadowgraph System

Light Source	Ar-ion Laser
Wave Length	514.5 nm(Power=1.2W)
High-Speed Camera	NAC E10
Film	Fuji RT500(ASA 500)

Table 3 Specification of Combustion system

Type	A	B	C
Combustion Chamber	Deep Dish	←	Shallow Dish
Swirl Ratio	2.6	←	0.9
Injection Nozzle	0.38X4	←	0.17X6
Inj. System	Jerk	HPIE	←
Inj. Pressure(MPa)	40	150	←

Number shows crank angle (deg.) after the start of injection.

Type A (Deep Dish Chamber, Inj. Nozzle=0.38x4, Jark Pump, Pinj.=40MPa)

Type B (Deep Dish Chamber, Inj. Nozzle=0.38x4, HPIE, Pinj.=150MPa)

Type C (Shallow Dish Chamber, Inj. Nozzle=0.17x6, HPIE, Pinj.=150MPa)

Fig.2 Combustion Photographs of Type A,B and C
(Laser Shadowgraph, 6000FPS)

タイプB（タイプAを高圧化した場合）の燃焼

タイプAと異なり着火は燃焼室の周壁付近で起こる。着火までに噴射された燃料量が多いため、着火後一瞬の内に燃焼室全体が火炎で覆われ、急激な熱発生を伴う。しかし、その後の燃焼は緩慢で、燃焼後期においてもすすと思われる黒い塊が燃焼室全体に存在している。これは、噴霧及び火炎内への空気導入量の不足と燃焼後期での混合が不十分であるためと考えられる。

Fig.3 Rate of heat release

Fig.4 Schematics of Combustion Process

タイプ C（高圧噴射、小噴孔径ノズル、浅皿燃烧室、低スワール）の燃烧

着火はタイプ B と同様に燃烧室周壁付近で起こる。その後火炎は噴霧全体に広がるが、噴射ノズルの近傍は噴射終了まで火炎に包まれない。高圧噴射の場合、噴射ノズル近傍では噴霧内への空気導入が活発なため、火炎が存在出来ないためと考えられる。図 4 はタイプ A と C の燃烧形態を模式化したもので、タイプ C ではタイプ A のように、噴射ノズル近傍での既燃烧ガスの巻き込みがないため、燃烧に必要な空気を充分噴霧内に導入することが出来るものと思われる。また、燃焼期間が短く、燃焼後期での火炎の消滅も早い。これはすすの酸化が早いことを示している。小噴孔径ノズルと高圧噴射の組合せは、噴霧内への空気導入量の増加、燃料液滴の微粒化による蒸発の促進、噴霧内の乱れスケールが小さくなる等の効果により、良好な混合気の形成及び燃焼を活発にする条件が整っており、このことが燃焼改善に大きく寄与していると考えられる。

4. まとめ

高圧噴射ディーゼルエンジンの燃焼を高速度シャドウグラフにより可視化した。その結果、以下のことが明らかになった。

- (1) 高圧噴射では着火位置が燃烧室周壁部に移動する。
- (2) そのため、ノズル近傍からの既燃烧ガスの噴霧内への巻き込みが無くなり、燃焼に必要な新気の導入が促進される。
- (3) 高圧噴射では燃焼後期における火炎の消失が早く、すすの酸化が促進されることを示唆している。

参考文献

- (1) T. Kato, et al., SAE Paper 890265.
- (2) T. Minami, et al., SAE Paper 900438.