608 ガソリンポートインジェクタによる壁面衝突噴霧の液膜厚さ計測

Measurement of the Liquid Fuel Thickness Formed by Impinging Spray on a Wall Using Port Injectors

山田 友洋 (千葉大)
正 窪山 達也 (千葉大)

○正 森吉 泰生 (千葉大)
佐藤 岳 (株式会社ケーヒン)

Tomohiro YAMADA, Yasuo MORIYOSHI, Tastuya KUBOYAMA
Chiba University, 1-33, Yayoi-cho, Inage-ku, Chiba-shi., Chiba
Gaku SATO, Keihin Corp, 1-26-2-39F, Nishishinjyuku, Shinjyuku-ku, Tokyo

In gasoline engines, port injected fuel impinges on the wall of intake port and intake valves. Adhered fuel affects exhaust emissions. It is important to understand the liquid fuel thickness and its area formed by impinging on a wall for the decision of injector position and characteristics. In this paper, the liquid fuel thickness formed by impinging on a flat wall was measured using laser induced fluorescence method. The effect of properties of spray and the distance between the injector and the flat wall on the liquid fuel thickness and its area was investigated. The result shows that the liquid fuel is distributed in a ring shape at any distance and with any injector type. The less the hole of nozzle is, the less the fuel attachment takes.

Key Words: Fuel Injection, Spray, Fluorescence, Spray Angle, Liquid Film

1. 緒言

近年、地球環境保護への関心が高まり、自動車用エンジンに対して徹底した排気清浄化が求められている。ポート噴射ガソリンエンジンにおける排気清浄化の取り組みの1つとして、冷間始動時の排出ガスの有害物質であるHCの低減が重要な課題として研究されている⁽¹⁾。ポート噴射では、吸気ポート壁面やシリンダ壁等への燃料付着は避けられず、これが未燃HCの排出原因となることが報告されている⁽²⁾。よって、インジェクタの最適な搭載位置や噴霧性能を決定する上で燃料付着を考慮することは重要な設計要素である。燃料付着は特に、壁面への衝突挙動と関係することから多くの実験や計算の研究がなされているが、粒径、噴霧速度、噴霧特性の異なるインジェクタをパラメータとした研究例はあまり見られない。そこで本研究では、噴霧性能の異なるインジェクタが壁面衝突による液膜形成に及ぼす影響について明らかにすることを目的とし、壁面衝突噴霧の液膜厚さとその面積を計測する。

2. 実験装置及び実験方法

2.1 供試ノズル

本研究では噴霧特性の異なる3種類の供試ノズルを用いる。TYPE A,B,Cの順に、噴孔数は6, 4, 1, 噴霧角は40, 24, 1であり、流量はどれもほぼ同じである。

2.2 実験方法

液膜厚さはレーザ誘起蛍光(LIF)法の原理を用いて計測した。ここでは、液膜面に対して水平横方向からレーザシートを照射し、蛍光を発する液膜をレーザシートに対し垂直方向から撮影することにより液膜厚さを計測する。蛍光のみを捉えることで壁面や液膜表面付近からの散乱光等のノイズを防ぎ液膜の抽出が出来る。図1に実験装置の概略を示す。レーザはArレーザ(COHERENT社製, I307C, 波長514nm, 出力1.9W)を用い、2枚のシリンドリカルレンズにより、幅約1.5mm, 厚さ約0.32mmのシート状にして液膜面に照射する。燃料にはイソオクタンを用い、蛍光剤としてローダミン6Gを用いる。この時、蛍光剤を燃料中に溶かすためにエタノールを10vol%添加した。雰囲気圧力は大気圧、雰囲気温度は室温(25℃)とし、燃料はN₂により343kPaに加圧し、噴射期間は10msとした。ガソリンポートインジェクタから噴射された燃料は、25,50および

75mm離れた壁面に垂直に衝突させ、燃料液膜を形成させる。これにレーザを照射し、液膜からの蛍光を高速度カメラ(Photron社製, APX RS, 1000fps, 1024×1024pixels)を用いて撮影する。高速度カメラの前には、散乱光を除去し液膜からの波長570nm付近の蛍光を捉えるためにシャープカットフィルタ(シグマ光機製, SCF-50S-560)を設置する。なお、本実験で壁面の温度は25℃とした。

Fig.1 Experimental apparatus

2.3 解析方法

ノズル直下を原点とし、レーザシートに水平な方向をx, 垂直な方向をyとする。インジェクタをy方向に任意の距離ずらすことで計測面を変更し、またx方向に5mm間隔ずつずらしながら液膜からの蛍光の撮影を行うことで、その計測面上の全ての液膜厚さを計測する。また、1つの計測位置で10回ずつ撮影を行い、10回の平均液膜厚さを結果として用いる。実験時間の都合上、TYPE A,Bでは全液膜付着範囲に対し半面での計測とした。

実験での一回の撮影範囲は約5mm×5mmであり、この時の空間分解能は4.80μm~4.82μm/pixelに相当する。液膜厚さを解析する際、一回の撮影範囲をx軸方向に4分割し、それぞれx軸方向に1.25mmの範囲内での最大液膜厚さを計測し、これを分割した各中心位置における液膜厚さとした。なお、厚さ96.5[μm]と126[μm]のOHPシートを用いて、本計測法による厚さ計測の検定試験を行った結果、ばらつきはそれぞれ最大で±10%であった。

液膜付着面積算出方法に関しては、一定以上の液膜厚さが計測された点において、各 x , y 方向の計測間隔で囲まれる領域をその計測点における付着面積と近似し、それを全計測領域で足し合わせ、全体の付着面積とした。

3. 実験結果及び考察

3.1 噴霧性能および噴射高さの違いが液膜分布に及ぼす影響

噴射高さ h を 25, 50 および 75mm と変化させ TYPE A, B および C のノズルについて液膜厚さ分布を計測した。なお、3 つの中で液滴速度の小さな TYPE A では、噴射開始後 80ms 付近まで壁面に衝突した後のはね返り液滴等が確認された為、全てのタイプのノズルで液膜厚さが計測できる噴射開始後 100ms における液膜厚さを計測した。まず、液膜分布の例として、図 2 に噴射高さ 75mm での TYPE C についての結果を示す。TYPE C はほぼ液柱状に燃料が壁面に衝突するが図に示すように、ノズル直下付近では液膜を形成せず、リング状に液膜が分布することがわかる。

Fig.2 Liquid fuel thickness of TYPE C

全条件において液膜厚さを計測し、最小 $3.5\mu\text{m}$ 以上の平均液膜厚さをまとめた結果を図 3 に示す。いずれのタイプの供試ノズルにおいても、形成された液膜形状は、中心の厚さが薄く外側が厚くなる。ただし、TYPE B の $h=25\text{mm}$ においては、噴孔に対応した 4 つの楕円状液膜が 1 つになったと考えられるため、このようにはならない。TYPE C では噴射高さ h が変化しても平均液膜厚さほとんど変化しないが、TYPE A, B では噴射高さ h が短くなるほど平均液膜厚さは厚くなる。

また噴射高さ別に着目すると、噴射高さ h が大きい場合、噴孔数が多いノズルほど液膜厚さは小さくなる。また、噴射高さ h が小さい場合、噴孔数が少ないノズルほど、壁面衝突速度が大きいため、壁面衝突による液滴の跳ね返り量が多くなり、液膜厚さの増加が抑えられると考えられる。

Fig.3 Comparison of the liquid fuel thickness

3.2 液膜付着面積

液膜厚さに加え、液膜存在領域を定量的に明らかにするために液膜付着面積 S を求めた。全条件で算出した液膜付着面積の結果を図 4 に示す。

TYPE A の付着面積は $h=75, 50\text{mm}$ では近い値に対し、 $h=25\text{mm}$ の時のみ減少した。これは、 $h=25\text{mm}$ になると壁面

衝突前の液滴速度が速くなり、壁面衝突による中心付近での跳ね返りが多くなったためと考えられる。TYPE A の付着面積は、どの高さにおいても TYPE B の 2 倍以上、TYPE C の 3 倍以上となった。

TYPE B の付着面積も、 $h=75, 50\text{mm}$ では近い値に対し、 $h=25\text{mm}$ の時のみ付着面積は減少した。TYPE A 同様の理由が考えられる。

TYPE C の付着面積は噴射高さ h によらずほぼ同等であった。

Fig.4 Comparison of adhesion areas

3.3 液膜付着率

これまで計測した液膜厚さおよび液膜付着面積から付着体積を算出し、付着率を図 5 にまとめた。図より、噴射高さによらず噴孔数が少ない（噴霧角が小さい）ノズル程付着率が小さくなることから、噴孔数が少ないノズルほど壁面に付着しにくい。また、多噴孔ノズルでは TYPE A の $h=50\text{mm}$ を除いて噴射高さを大きくする程壁面に付着しにくいと言える。

Fig.5 Comparison of attachment rates

4. 結論

噴霧特性の異なる 3 種類の供試ノズルを用いて、噴霧特性および噴射高さ h の違いが液膜厚さおよび付着面積に及ぼす影響について調査した結果、以下の知見を得た。

- (1) 噴孔数の違いによらず形成された液膜分布は中心の厚さが薄く外側が厚くリング状に分布する。単噴孔ノズルでは噴射高さを変化しても平均液膜厚さおよび液膜形状はほとんど変化しないが、多噴孔ノズルでは噴射高さが短くなるほど平均液膜厚さは厚くなり、液膜形状も大きく変化する。
- (2) 噴射高さによらず噴孔数が多い（噴霧角が大きい）ノズル程、付着面積は大きくなる。
- (3) 噴射高さによらず噴孔数が少ない（噴霧角が小さい）ノズル程壁面に付着しにくい。また、多噴孔ノズルでは噴射高さを大きくする程、壁面に付着しにくい。

参考文献

- (1) Takeda, K., et al. : SAE Tech.Pap.Ser., No.950074, (1995)
- (2) 山口ら：自動車技術会 学術講演前刷集 951(1995)
- (3) 開発ら：自動車技術会 学術講演前刷集 20095221 (2009)