
(上海交通大学 (中国)) 研修報告書

(研修テーマ) 低圧雰囲気下における燃料噴霧の壁面衝突挙動の観察と平板への液膜付着計測

工学研究科 機械システム工学専攻 市川 由記彦

1. はじめに

2018年9月3日から同年9月28日の間、中国の上海交通大学にて研究を行った。以下にその報告内容を示す。

2. 共同研究テーマ

上海交通大学では、直噴ガソリンエンジンにおける燃料噴霧の挙動についての研究を行っている。今回は、低圧雰囲気条件下での燃料噴霧が平板に衝突するときの噴霧挙動の観察、および LIF 法を用いた平板への燃料液膜の付着量の計測を行った。

3. 共同研究スケジュール

9月1日 出国 (広島空港→上海浦東空港)
9月3日～9月28日 研究, プレゼンテーション
9月30日 帰国予定日だったが台風により延期
10月1日 帰国 (上海浦東空港→中部国際空港)
10月2日 移動 (中部国際空港→広島空港)

4. 共同研究派遣先の概要

大学名: 上海交通大学
所在地: 中国 上海
指導教員: 許 敏

5. 共同研究内容

5. 1 背景・目的

直噴ガソリン機関はその高い熱効率と出力性能、高精度の燃焼制御といった利点によってポート噴射機関に代わるガソリン機関として研究・開発が行われている。特に熱効率の高さによって、二酸化炭素の排出量削減、化石燃料使用量の削減という点で近年の国際的問題に対応できる可能性を持っている。また近年、自動車用内燃機関に対する排出ガス規制は年々強化されており、一酸化炭素や窒素酸化物、炭化水素だけでなく微小粒子状物質(PM)の重量規制、個数規制が導入される。このような課題に対処するために、PM 生成の一因である燃焼室内壁面に付着した燃料液膜の生成挙動を解明することが重要である。

また、現在の直噴ガソリン機関では吸気行程中に燃料を噴射するため、大気圧以下の雰囲気圧力下で燃料を噴射することになる。

したがって本研究では、主に大気圧以下の雰囲気中に燃料を噴射したとき、散乱光計測により噴霧の挙動の観察、また LIF 法により平板への燃料付着量の計測を行い、雰囲気圧力が噴霧の挙動と平板への燃料付着量に及ぼす影響について調査した。

5. 2 実験装置と条件

図1に噴霧構造と平板への衝突によって形成される液膜挙動を同時に測定する概略図を示す。サファイヤ板を衝突板として用い、それをインジェクタ先端から 50mm 下に設置した。燃料は、主成分としてイソオクタンを用い、波長 527nm のレーザ光によって励起され、555～590nm

のスペクトル範囲の蛍光発光をするローダミン 6Gをトレーサーとしてイソオクタンに溶解したものを使用した。YLF レーザを用いて 527nm のレーザ光を拡散板を用い均一にした後、燃料液膜に照射し、トレーサーを発光させた。入射光と燃料液膜からの蛍光は衝突板の下鏡によって反射された。バンドパスフィルタ ($570 \pm 25 \text{ nm}$) を用いて燃料液膜からの蛍光のみを高速度ビデオカメラ 1 (Phantom V7.3) で撮影した。噴霧構造の測定では、赤色光 LED ランプを使用して噴霧に照明をあて噴霧粒子の散乱光を高速度ビデオカメラ 2 (Phantom V1210) によって撮影した。

実験条件を表 1 に示す。雰囲気圧力の影響を調査するため、雰囲気圧力を 20, 60, 100, 140kPa の 4 条件で実験を行った。

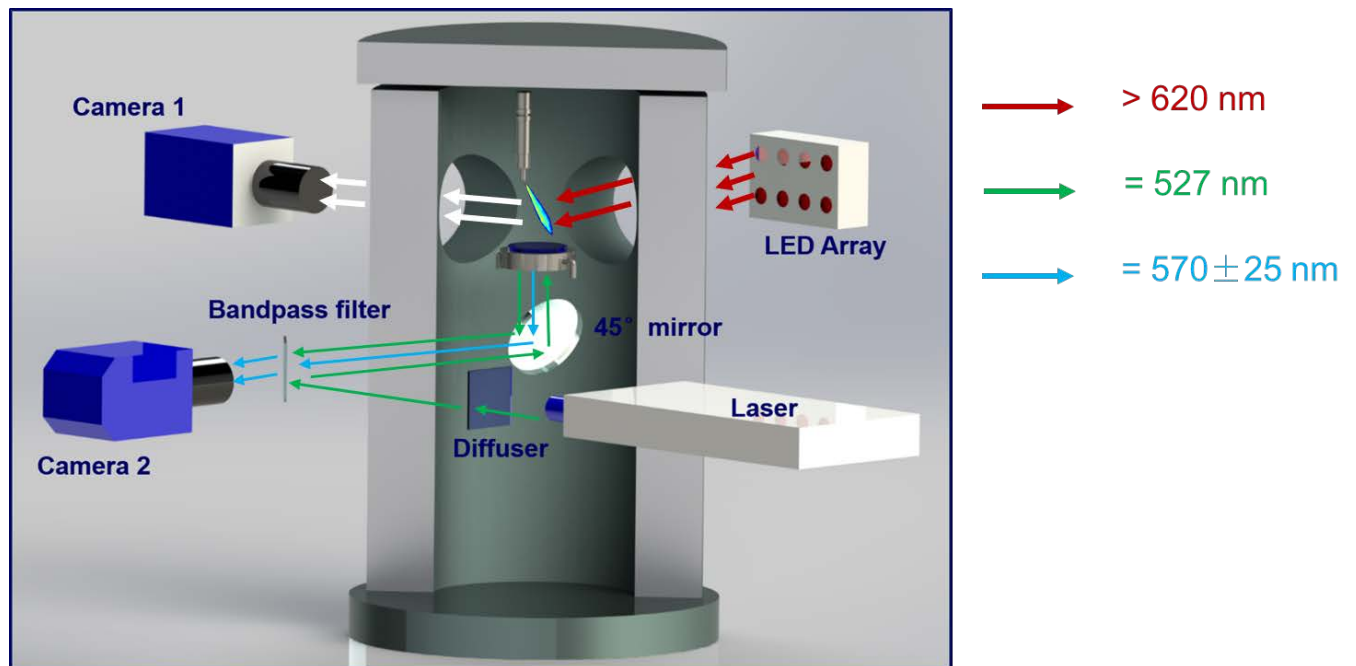


Figure 1. Experimental setup

Table 1. Experimental conditions

Injector	Single-hole
Fuel	90% iso-octane + 10% ethanol
Tracer	Rhodamine 6G 20 mg/L
Injection Pressure	10.0 MPa
Injected fuel mass	6 mg
Ambient Pressure	20, 60, 100, 140 kPa
Impinging Distance	50 mm, 60°
Fuel Temperature	20 °C
Plate Temperature	20 °C

5. 3 LIF 法による液膜厚さ・付着量の計測

LIF(Laser Induced Fluorescence)法は、レーザーによって特定の原子・分子を励起させ、それらが基底状態に戻るときに発生する蛍光を測定し、その蛍光強度によって原子・分子の濃度を知する方法である。

図 2 に LIF の原理を示す。一定濃度の蛍光物質が含まれる液膜に、レーザーによって励起波長を照射すると、蛍光物質から発する蛍光強度は、ランベルト・ベールの定理より次式で表される。

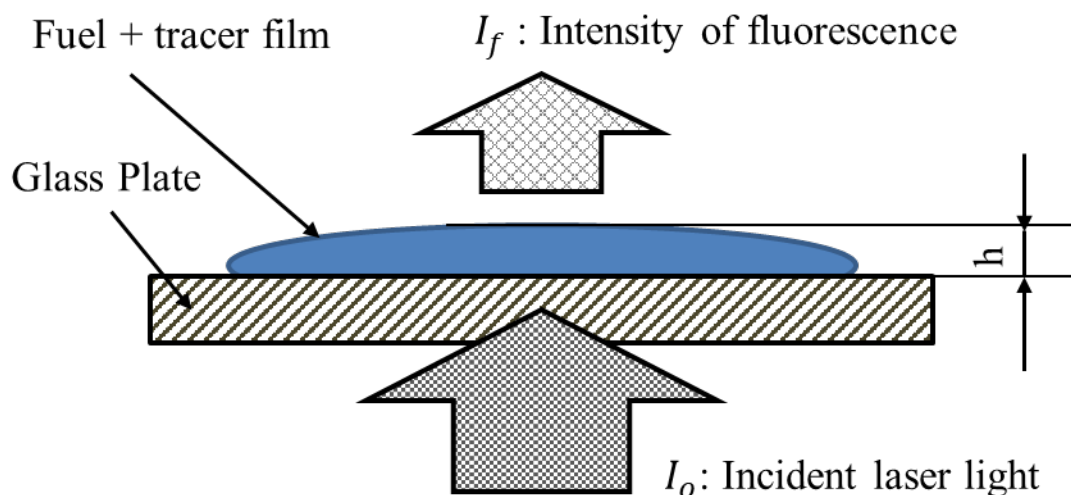


Figure 2. Principle of LIF

$$I_f = Q \cdot I_o \left(1 - e^{(-\varepsilon \cdot C \cdot L)}\right)$$

I_f : 蛍光物質の蛍光強度, Q : 蛍光物質の蛍光効率, I_o : 入射レーザー強度,
 ε : モル吸光係数, C : 蛍光物質の濃度, L : 液膜厚さ

蛍光強度と液膜厚さ以外の係数は使用燃料によって決定されるので、蛍光物質の蛍光強度を測定することによって液膜の厚さが計測できる。

5. 4 結果と考察

図3にペネトレーションの定義と各雰囲気圧力下での結果を示す。雰囲気圧力が小さい時、ペネトレーションは大きくなることがわかる。これは雰囲気圧力が小さいことにより、燃料噴霧に対する空気抵抗が小さくなったためだと考えられる。

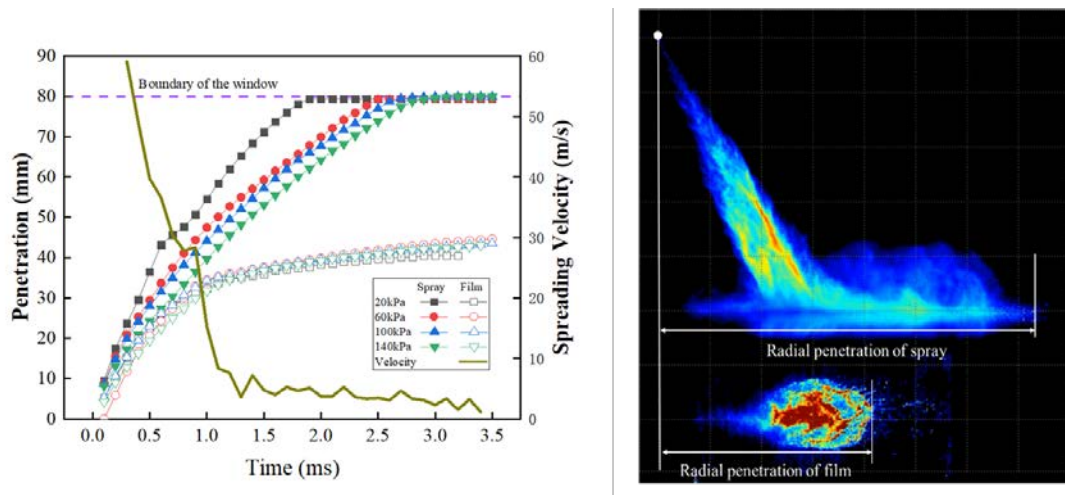


Figure 3. Spray tip penetration and definition

図4に平板への燃料付着量と雰囲気圧力の関係を示す。これより雰囲気圧力が小さい時、燃料付着量は小さくなっていることがわかる。これは雰囲気圧力が小さい時の方が噴霧の速度が速くなり噴霧が平板と衝突するとき、多くの液滴が飛散するためだと考えられる。また、雰囲気圧力を60kPaから20kPaにしたとき、燃料付着量が急激に小さくなっていることがわかる。これより、雰囲気圧力60kPa以下の時、燃料を噴射することで大幅な排気特性改善が期待できる可能性を示している。

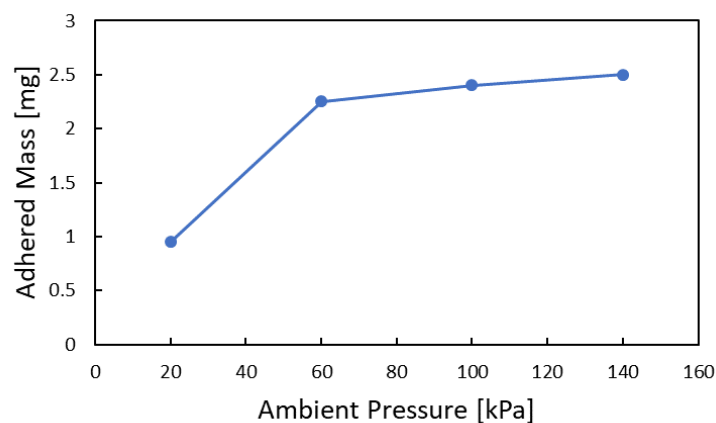


Figure 4. The relationship between adhered mass and ambient pressure

6. まとめ

低圧雰囲気条件下での壁面衝突実験について、散乱光計測による噴霧の挙動撮影と LIF 法による液膜付着量計測を行った。今回の実験を通して、低圧雰囲気圧力での噴霧の挙動や、液膜付着計測の実験原理とその手法について理解することができた。

また、海外共同研究プログラムを通して、自身の英語によるコミュニケーションや積極性が大切だということを改めて痛感した。しかし将来エンジニアとして働く際には、今回の海外での経験を通して得たものが大いに役立つであろう。

7. 謝辞

本研究において、ご指導してくださった Min Xu 教授、Xiao Di 氏、研究面のみならず現地生活の手助けをして頂いた研究室の学生の方々には、厚く御礼申し上げます。また、このような貴重な機会を与えて頂いた西田恵哉教授、尾形陽一准教授に厚く御礼申し上げます。最後に、海外共同研究プログラムをサポートしてくださいました実行委員会の諸先生方、学生支援グループ国際事業担当の皆様には深く御礼申し上げます。
