

---

---

## (上海交通大学 (中国)) 研修報告書

### (研修テーマ) 減圧沸騰条件下で平板に衝突する噴霧の液膜付着計測

工学研究科 機械システム工学専攻 喜多耕平

#### 1. はじめに

2019年8月31日から同年9月29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、減圧沸騰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

8月31日 出国

9月1日～9月27日 研究, プレゼンテーション

9月29日 帰国

#### 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

近年、自動車エンジンは従来のポート噴射エンジン(PFI)から火花点火式直噴エンジン(DISI)が主流となってきている。DISIエンジンが使われる理由としていくつかのメリットがある。絞り弁が無いため、吸気損失の低減につながることや、燃料を直接噴射するため燃焼室が冷却され、それが冷却水の量を低減させることと、ノッキングを防ぐこと、圧縮比を高めることに繋がる。さらに気流のコントロールによって燃料噴霧そのものをデザインできるため、均質燃焼と成層燃焼を使い分け、低燃費と高出力を両立できる。その反面、制御装置や高圧力に耐えることができる構造のためコストが高くなることや、オイル希釈が起きやすいため性能維持が難しいといったデメリットがある。特に、燃料がシリンダ壁面やピストンヘッドに直接あたるため、壁面付着や液滴燃焼が起こりやすく、煤などの原因になってしまうことが一番の問題点である。

そこで、小さい噴霧先端到達距離と微粒化促進を両立する特性を持った減圧沸騰噴霧が注目されている。減圧沸騰噴霧は、燃料の温度が増加する、または、雰囲気圧力が小さくなることにより、燃料の蒸気圧が雰囲気圧力を上回ったときに起こる沸騰現象を利用した噴霧である。沸騰により、燃料液体内部から気泡が発生し、液体内部に大きな乱れを発生させることで微粒化が促進される。さらに、沸騰による燃料の蒸発も微粒化を促進させる。この微粒化促進によって噴霧粒子の運動量が小さくなり、噴霧先端到達距離も小さくなることで、壁面への衝突を抑制することができる。

本研究では、観察筒内に平板を設置し、雰囲気圧力と燃料温度を変化させることによって減圧沸騰

---

---

条件を作り，噴霧の平板衝突後の平板への燃料付着量を計測し，排気ガスを抑制することが可能か否かについて考察を行った。

## 5.2 実験原理

今回の実験では LIF(Laser Induced Fluorescence)法によって液膜厚さを測った。LIF 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・分子の濃度を知る方法である。図 1 に LIF の原理を示す。

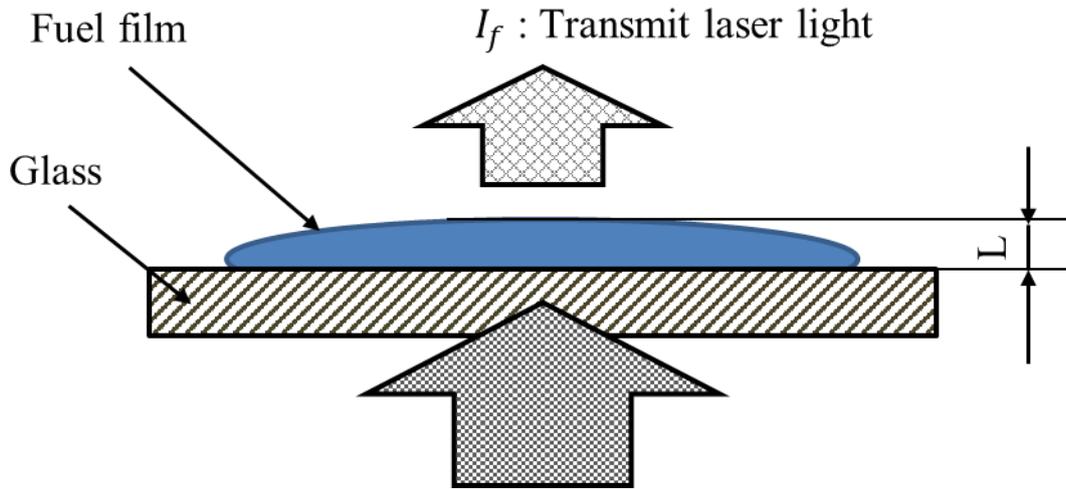


Figure 1. principle of LIF

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。

$$I_f = Q \cdot I_0 \left( 1 - e^{(-\varepsilon \cdot C \cdot L)} \right)$$

$I_f$ : 蛍光物質発光強度， $Q$ : 蛍光物質の蛍光効率， $I_0$ : 入射レーザーの強度，

$\varepsilon$ : モル吸光係数， $C$ : 蛍光物質の濃度， $L$ : 液膜厚さ

上記の式をテイラー展開すると次式が得られる。

$$I_f = Q \cdot I_0 \cdot \varepsilon \cdot C \cdot L$$

$Q$ ， $\varepsilon$ ， $C$ ， $L$  は既知の値であるため，蛍光強度と液膜厚さは比例関係にあることがわかる。したがって，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。

## 5.3 実験装置と条件

図 2 に LIF 法の概略図を示す。サファイヤ板を衝突平板として用い，それをインジェクター先端から 50mm 下に設置した。レーザーを衝突平板の下から照射して，誘起されたトレーサー粒子が発する光を CCD カメラでとらえる。バンドパスフィルターによってある波長の光のみをカメラでとらえることが可能となる。燃料はヘキサンを使用し，その燃料にトレーサー粒子として  $C_6H_5F$  と  $N$ -ジエ

チルメチルアミンを混ぜた。また、雰囲気気圧は大気圧以下の条件でも行われるため、真空ポンプが定容容器に取り付けられている。インジェクターには単噴孔の VCO(Valve Covered Orifice)ノズルが容器上部に取り付けられ、窒素によって加圧される。

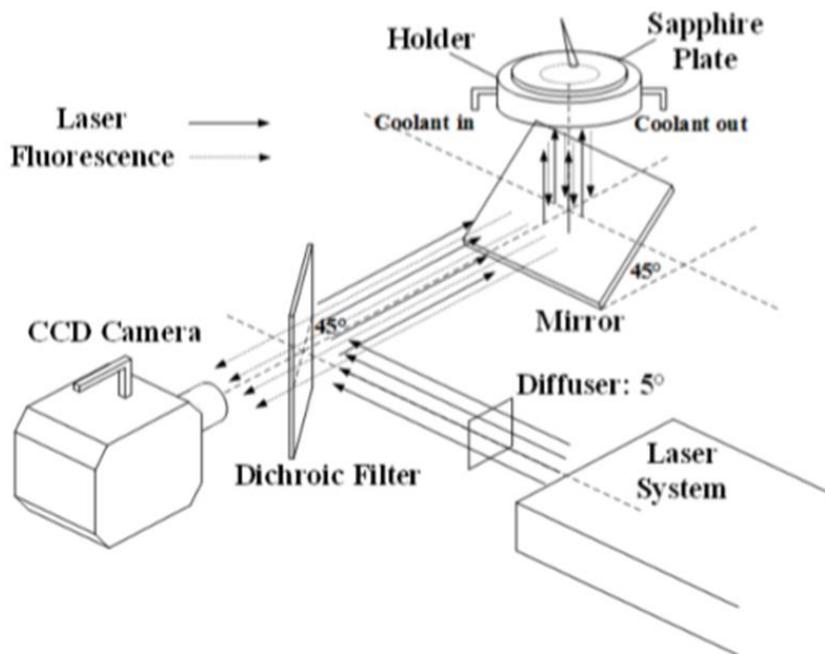


Figure 2. Experimental setup for LIF

表 1 に実験条件を示す。雰囲気気圧を 0.2, 0.6, 1.0MPa の 3 条件, 燃料温度を 25, 60, 90°C の 3 条件変化させ, それぞれ実験を行った。

Table 1. Experimental condition for LIF

Conditions	
Ambient Pressure, $P_a$ (MPa)	0.2, 0.6, 1.0
Ambient Temperature (K)	Room Temperature
Injector Type	one hole
L/D	1.5
Injection Pressure, $P_{inj}$ (MPa)	10
Fuel temperature (°C)	25, 60, 90
Fuel	Hexane
Distance between injector and wall	50mm
Injection duration	3.0ms

#### 5.4 実験結果

図3に燃料温度が25°C、撮影タイミングが噴射開始5ms後の燃料付着撮影画像を示す。画像の左から順に雰囲気圧力が0.2, 0.6, 1.0MPaの条件での結果であり、光の強さが噴霧の厚さを表している。今回の実験で使用したヘキサンの飽和蒸気圧を考慮すると、雰囲気圧力が0.2MPaの条件のみ減圧沸騰噴霧が形成される。

図3の結果より、減圧沸騰条件下では付着燃料の面積、厚さ共に減圧沸騰が起きていない噴霧と比べて減少していることが分かる。

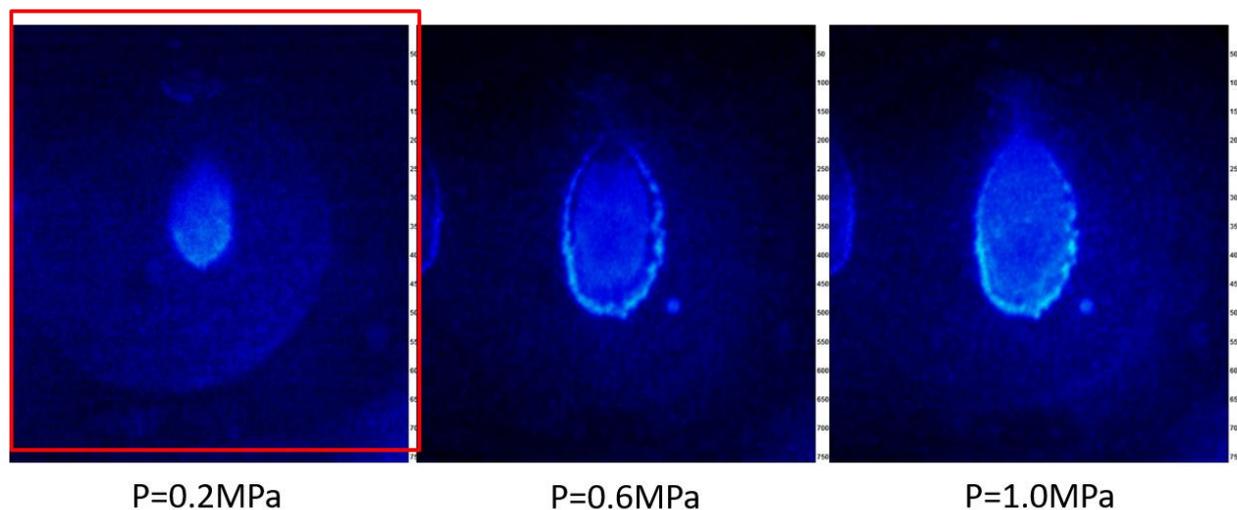


Figure 3. Result of LIF method under 25°C fuel temperature and 5ms ASOI

図4に燃料温度が90°C、撮影タイミングが噴射開始5ms後の燃料付着撮影画像を示す。図3と同様に雰囲気圧力順に並べている。全雰囲気圧力条件で減圧沸騰噴霧が形成される。

図4の結果より、雰囲気圧力が減少して、減圧沸騰が促進されると、付着燃料の面積、厚さ共に減少することが分かる。

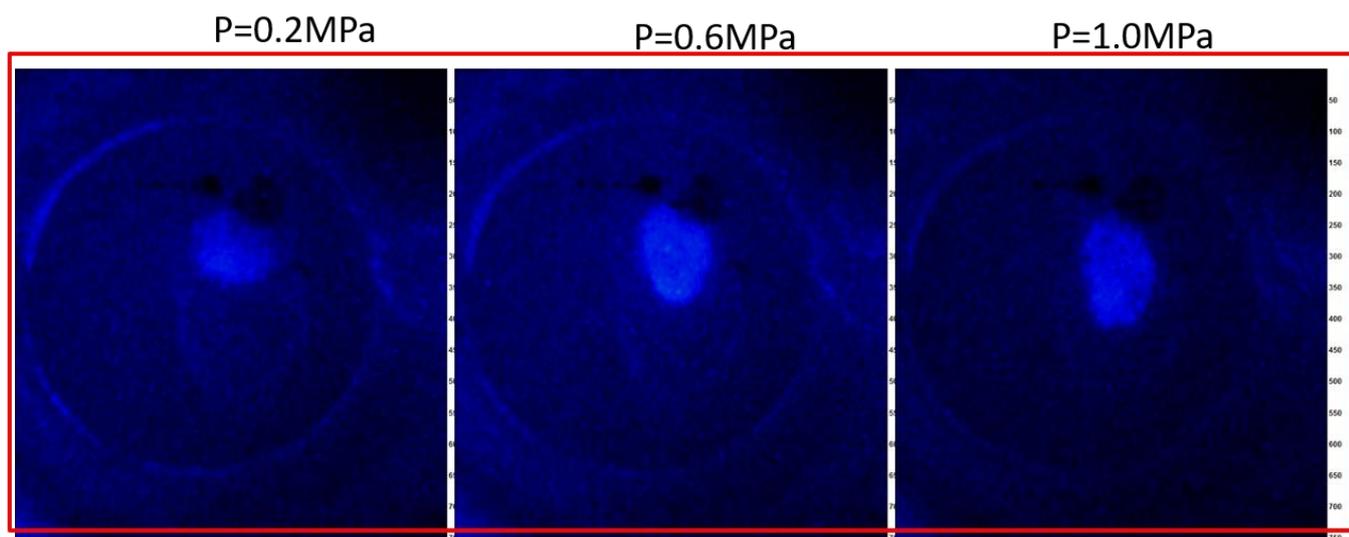


Figure 4. Result of LIF method under 90°C fuel temperature and 5ms ASOI

---

以上の結果より減圧沸騰噴霧が形成されると噴霧の微細化が促進され、噴霧角が広がることにより、燃料の壁面付着量が減少することが分かる。つまり、燃料温度と雰囲気圧力を調整して、減圧沸騰噴霧を作り出すことにより、排気ガスを抑制することが可能である。

## 6. まとめ

減圧沸騰噴霧条件下での壁面衝突実験について、噴霧の挙動撮影と LIF 法による液膜付着の撮影を行った。今回の実験を通して、減圧沸騰噴霧の通常噴霧との違いや、付着液膜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。特に、付着液膜計測については、広島大学での研究として行う予定であるため、今回学んだ液膜付着計測の手法を今後の広島大学での実験に活かすことができると考える。

## 7. 最後に

本研究において、ご指導して下さった 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へ深く御礼申し上げます。

---