
(上海交通大学 (中国)) 研修報告書

(研修テーマ) 減圧沸騰噴霧の平板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 芦田裕司

1. はじめに

2017年8月19日から同年9月18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19日 出国
8月21日～9月15日 研究, プレゼンテーション
9月18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

近年の自動車エンジンのダウンサイジング化、微粒化促進をねらった高噴射圧力化によって、燃焼室内での噴霧のシリンダ壁面やピストンへの衝突が避けられなくなっている。この噴霧の衝突は、不完全燃焼を引き起こしやすくし、すすなどの粒子状物質の排出量の増加につながる。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。

図1はNEDC(New European Driving Cycle)であり、市街地や郊外を想定し、実際の走行パターンに近い運転状況で燃費や排ガス排出量を測定する走行試験の結果である。横軸にエンジン始動からの時間、縦軸に粒子状物質の排出量であるPN(Particle Number)を示している。下部の黒線はエンジン回転数を表しており、実際の走行状況を想定して、停止と発進を繰り返している。青線と緑線はPN計測を異なった装置によって計測された結果を示している。この結果から、PNはエンジン始動から間もない時刻に急激に増加し、そののち徐々に増加していることがわかる。つまり、冷間始動時の粒子状物質の排出が多いということがわかる。これは、燃焼室の温度が低いことによって壁面に衝突した燃料が蒸発されず、不完全燃焼を起こしたことが原因と考えられる。

一方、図2は燃料温度と有害物質の排出量の関係を示す。ここで、PNの結果から、燃料温度が大きいほどPNが減少していることがわかる。つまり、燃料温度の高い減圧沸騰噴霧はPNを減少させることができると考えられる。

したがって、壁面への燃料付着の多い冷間始動時に、減圧沸騰噴霧を利用できれば、冷間始動時の粒子状物質の発生が抑制可能であることが期待できる。

本研究では、冷間始動時を想定し、低い温度の平板を設置し減圧沸騰噴霧の平板衝突前後の噴霧挙動の調査を行う。さらに、LIF法を用いて噴霧の平板への燃料付着量を計測し、冷間始動時のPN増加を抑制することが可能か否かについて考察を行った。

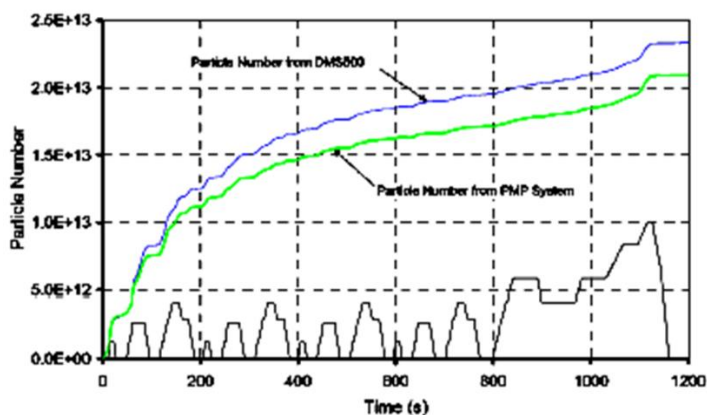


Fig 1. NEDC particle number results for PMP and DMS500 systems

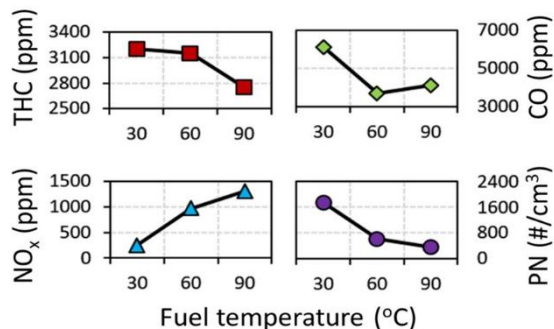


Fig 2. Emissions under different fuel temperatures

5. 2 平板衝突噴霧の撮影

5. 2. 1 実験装置

減圧沸騰噴霧の平板衝突の挙動を解明するために、平板衝突の様子の撮影を行った。図3に実験装置を示す。キセノンランプによって噴霧に照明を当て噴霧粒子の散乱光を高速度ビデオカメラによって撮影する。恒温浴槽によって平板およびインジェクターの温度を調節できる。平板は0°C以下の条件でも実験を行うため、液体にはエタノールを用いた。燃料の温度は室温~90°Cの条件で行うため水を用いた。また、雰囲気圧力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。

5. 2. 2 実験条件

表1に噴霧挙動の観察における実験条件を示す。インジェクターはDelphi社製の単噴孔VCOノズルを用い、燃料はガソリンに多く含まれているノルマルヘキサンを用いた。

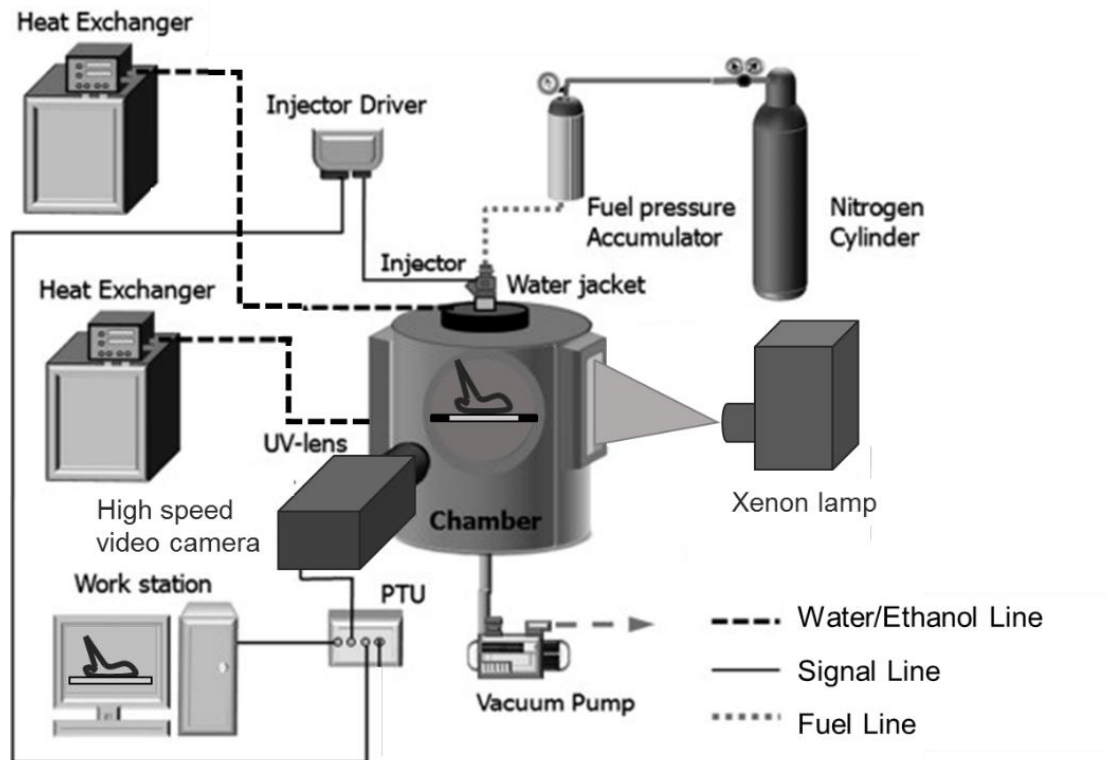


Figure 3. Experimental setup for spray imaging

Table 1. Experimental condition for spray imaging

Nozzle	Delphi single-hole VCO nozzle
Nozzle Hole Diameter [mm]	0.2
Fuel	n-Hexane
Injection Pressure P_{inj} [MPa]	15
Injection Duration ID [ms]	1.5
Fuel temperature [°C]	25, 90
Plate temperature [°C]	-30, 0, 20
Ambient Pressure P_{amb} [kPa]	40, 80, 120, 160, 200
Ambient Temperature T_{amb}	Room Temperature
Impingement distance [mm]	50

5. 3 LIF 法による液膜厚さの計測

5. 3. 1 LIF 法の原理

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・分子の濃度を知る方法である。

図4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。

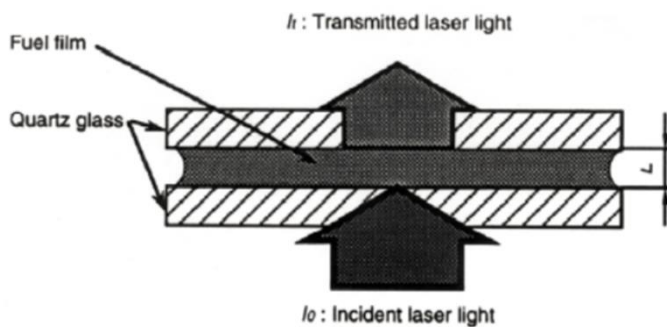


Fig 4. Principle of LIF

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

I_f : 蛍光物質の蛍光強度, Q : 蛍光物質の蛍光効率, I_0 : 入射レーザーの強度,
 ε : モル吸光係数, C : 蛍光物質の濃度, L : 液膜厚さ

これをテイラー展開することにより、次式が得られる。

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

つまり、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. 2 実験装置

図5にLIFで用いた実験装置の概要を示す。266nmのレーザーは凹レンズ、凸レンズによって拡大され、チャンバー内に設置されたミラーによって平板へ導かれる。そのレーザーによって誘起された蛍光剤の蛍光をミラーを介してCCDカメラを用いて撮影する。蛍光剤としては、物性値や蒸発特性がノルマルヘキサンに近いフルオロベンゼンを用いた。フルオロベンゼンの励起波長は266nm付近にあり、蛍光波長は289nm付近にある。そのためCCDカメラには289nmのバンドパスフィルターが取り付けられている。このフィルターによって蛍光と散乱光を分離し、蛍光のみをカメラでとらえることができる。

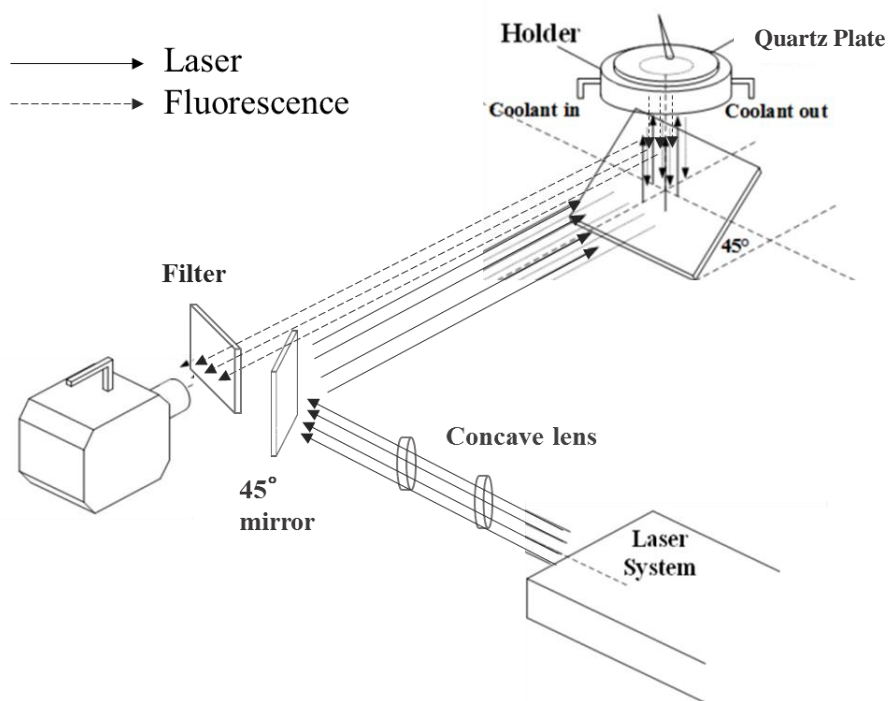


Fig 5. Experimental setup for LIF

3 実験条件

L I F実験の実験条件を表2に示す。噴射条件、雰囲気条件は噴霧の撮影実験と同様である。トレーサー燃料としてフルオロベンゼンを10%混ぜたものを噴射した。衝突平板には石英ガラスを用いた。

Table 1. Experimental condition for spray imaging

Nozzle	Delphi single-hole VCO nozzle
Nozzle Hole Diameter [mm]	0.2
Fuel	n-Hexane

Injection Pressure P_{inj} [MPa]	15
Injection Duration ID [ms]	1.5
Fuel temperature [°C]	25, 90
Plate temperature [°C]	-30, 0, 20
Ambient Pressure P_{amb} [kPa]	40, 80, 120, 160, 200
Ambient Temperature T_{amb}	Room Temperature
Impingement distance [mm]	50
Tracer fuel	Fluorobenzene

5. 4 実験結果

5. 4. 1 平板衝突噴霧の撮影

図6に減圧沸騰噴霧と通常噴霧を疑似カラーで表し比較したものを示す。また、図7にはそれぞれの噴霧についてのペネトレーションの計測結果を示す。図6より、減圧沸騰噴霧は噴霧幅が大きく、さらに0.1msASOIでは、噴霧先端付近に渦が確認できる。これが減圧沸騰噴霧の特徴のひとつである。また、減圧沸騰噴霧では、衝突後の噴霧先端の巻き上がりが少なくなっていることがわかる。

ペネトレーションに関しては、衝突前は減圧沸騰噴霧の方がペネトレーションが小さくなるが、衝突後は減圧沸騰噴霧の方が噴霧粒子が移動する速度が大きく、1.5msASOIではほとんど同じペネトレーションとなっていることがわかる。

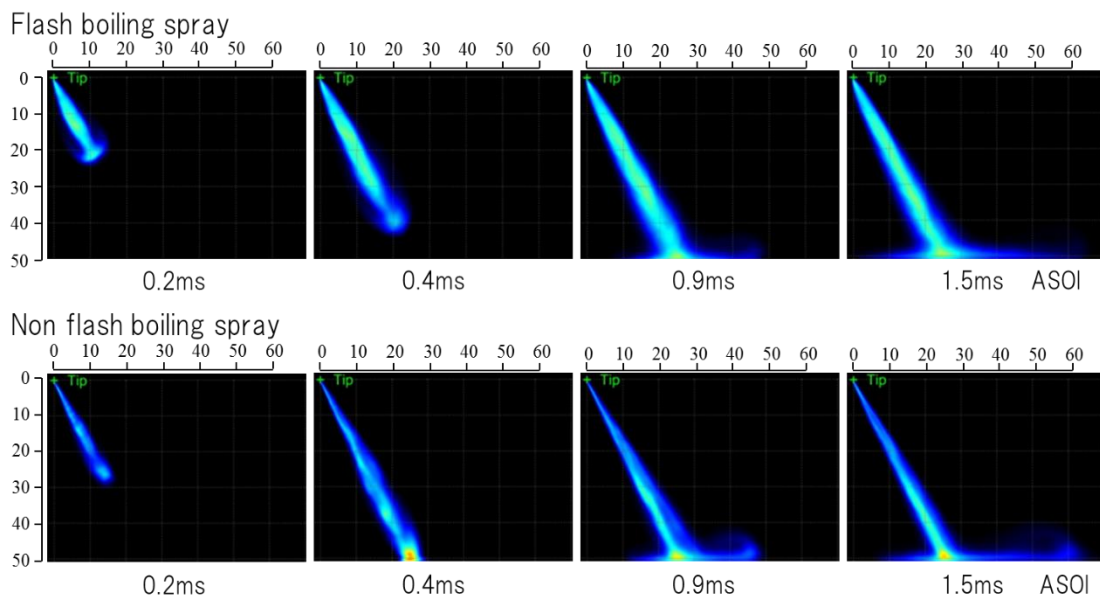


Fig 6. Spray image

Wall impingement

Injection duration

5. 4. 2 平板への液膜付着撮影

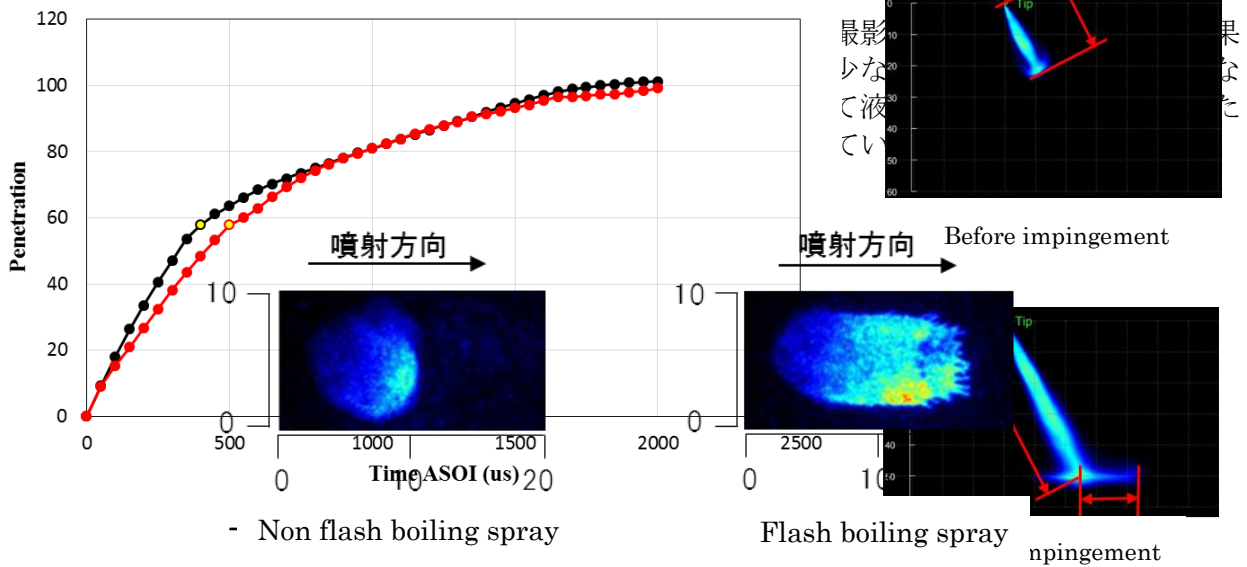


Fig8. Result of fuel film image (5.4ms ASOI)

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、自身の研究での今後の課題となっていることであるため、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

広島大学では、横風が壁面衝突噴霧に与える影響について研究を行っているが、上海交通大学では、燃料温度や壁面温度、雰囲気圧力を変えて実験を行った。広島大学には燃料や壁面の温度

を変える装置、雰囲気圧力を大気圧以下にまで設定できる設備がないので、今回の実験を通して、直噴ガソリン機関における噴霧の壁面衝突機構に関する知識を大幅に広げることができたと感じる。また、実験装置を設置するところから参加することで、実験のどこが難しいのか、どうすればうまくいくかなど、論文には書かれないが実験において重要なポイントを上海の学生と議論しながら実験ができたことは、今後、自動車の燃料噴霧の実験を行う上で非常に勉強になった。

また、1か月間海外の大学で生活することで、自身の英語によるコミュニケーションや異文化での生活に対する適応性に自信がついた。ただ、まだまだ言いたいことが即座に出てこなかったり、上手く伝えられなかったりしたことで自身の英語能力が不十分であることも同時に感じた。

研究を行うにあたり、今回このような機会を与えてくださった西田先生、尾形先生並びに現地で指導および世話して下さった許敏先生に深く感謝します。皆様のおかげで1ヶ月充実した日々を過ごすことができました。本当にありがとうございました。最後に全面的に応援、サポートしてくれた家族にも感謝の意を表します。
