
上海交通大学汽車工程研究院（中華人民共和国） 研修報告書

直噴ガソリン機関における燃料液膜分布の計測

工学研究科 機械システム工学専攻 内富 真太郎

1. はじめに

2016 年 9 月に約 1 か月の間、中華人民共和国の上海交通大学汽車工程研究院にて研究を行った。以下にその報告を記す。

2. 共同研究課題の決定

広島大学流体工学研究室では、直噴ガソリン機関における燃料噴霧の特性に関する研究を行っている。近年は国際的な排気ガス規制の強化により、直噴ガソリン機関の排気ガス内における未燃炭化水素やすす等の排出量を低下させることが課題となっている。このような物質の排出の一因として、燃焼室内壁面に付着した燃料液膜の存在がある。よって、排気ガス特性の向上を図るためには燃料液膜の生成過程を解明することが重要である。そこで、本年度より直噴ガソリン機関における燃料液膜計測に関する共同研究を行う。

3. 共同研究スケジュール

9 月 3 日：出国

9 月 5 日 ～ 9 月 30 日：研究

9 月 14 日：中間報告

9 月 28 日：最終報告

10 月 1 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：中華人民共和国 上海市 閔行区

指導教員：Min Xu 教授，David Hung 教授

5. 共同研究内容

5. 1 概要

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。

燃料液膜の空間的分布を計測するための光学的計測法として、LIF(Laser Induced Fluorescence)法と RIM(Refractive Index Matching)法を用いた。

5. 2 実験方法の概要

LIF 法による燃料液膜の計測では、レーザ光を光源として用いて燃料液膜に照射し、レーザ光によって励起された物質からの蛍光を計測することによって燃料液膜の厚さを測定する。蛍光物質に関しては、燃料自体を蛍光させる方法と、燃料に蛍光物質をトレーサとして混合する方法がある。本研究では後者を採用し、燃料としてエタノール、トレーサとしてローダミン 6G を用いた。エタノールはそれ自身に蛍光性はないため、測定の障害とならない。燃料の選定基準としては、蛍光強度が雰囲気等の条件に依存しないことである。ロ

ーダミン 6G は雰囲気温度、圧力による蛍光強度の変動が無いため、本研究に適しているといえる。

5. 3 実験装置の構築

実験装置の概要を図 1 に示す。燃料噴霧の衝突板としてサファイア板を用いた。このうち、衝突板とミラーは定容容器内に設置されている。光源であるレーザ光はダイクロックミラーによって反射された後に定容容器内のミラーへ入射される。ミラーは 45 度の角度で設置されているため、入射されたレーザ光は垂直に上方へ反射され、衝突板上に付着した燃料液膜に照射される。燃料内トレーサからの蛍光は衝突板よりミラーに向かい、反射されて容器外へ出る。ダイクロックミラーは半透過性のミラーであるので、ダイクロックミラーを透過して高速度カメラへと入射される。このとき、カメラのレンズ前にはバンドパスフィルタが設置される。これは入射光であるレーザ光と、燃料からの蛍光を分離するために用いられる。

レーザ光を衝突板に照射するとき、できるだけ均一に広範囲を照射することが望ましい。一方で、他の光学系を同様に調整し、測定に際して十分な強度の蛍光が得られることも求められる。そこで、レーザ光の出口直後に光学ディフューザを設置してレーザ光を拡散させることで、測定領域である程度均一な強度のレーザ光を得ることができた。

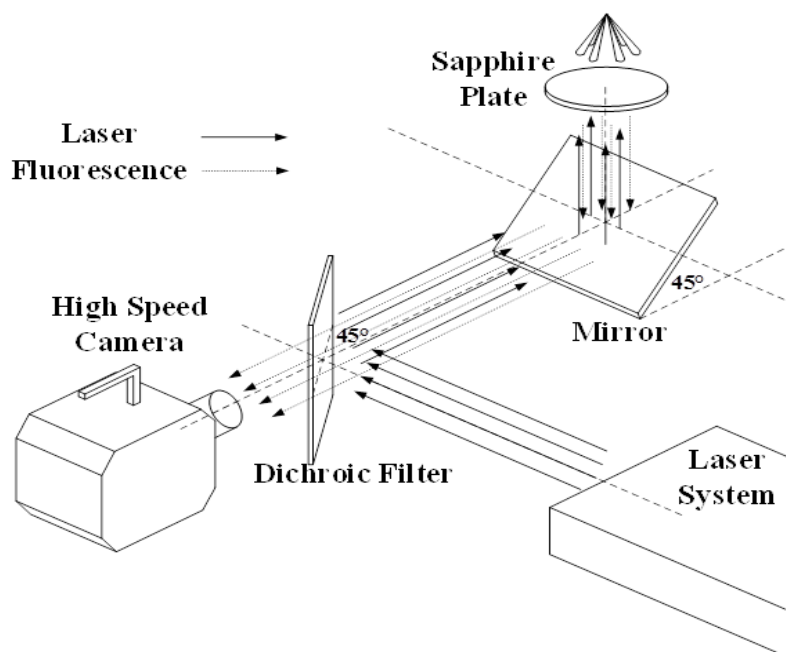


図 1. Experimental Setup of LIF

5. 4 校正

LIF 法における入射光強度と蛍光強度の関係は以下の式によって表される。

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

ここで、 I_f ：蛍光強度、 I_0 ：入射光強度、 Q ：量子効率、 ε ：モル吸光係数、 C ：モル濃度、 L ：光路長さ（液膜厚さ）である。本研究で用いた燃料には微量のトレーサが混合されているため、モル濃度 C は小さい値となる。よって、上の式はテイラー展開を用いて、以下の

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

ように近似できる．この近似によって，蛍光強度と液膜厚さとの関係を線形で表すことができる．

LIF 法による液膜計測においては，蛍光強度と液膜厚さとの関係づけるための較正作業が必要となる．LIF 法における較正には，①Droplet Calibration，②Concentration Calibration，③Height Calibration といった方法が提案されている．本研究では，最もシンプルな方法である Droplet Calibration を行った．Droplet Calibration では，既知体積の燃料を衝突板上に滴下し，その面積を求めて液膜の厚さを算出する．図 2 に較正の結果を示す．この較正結果を用いることで，計測の際に蛍光強度から直接，液膜厚さを求めることができる．

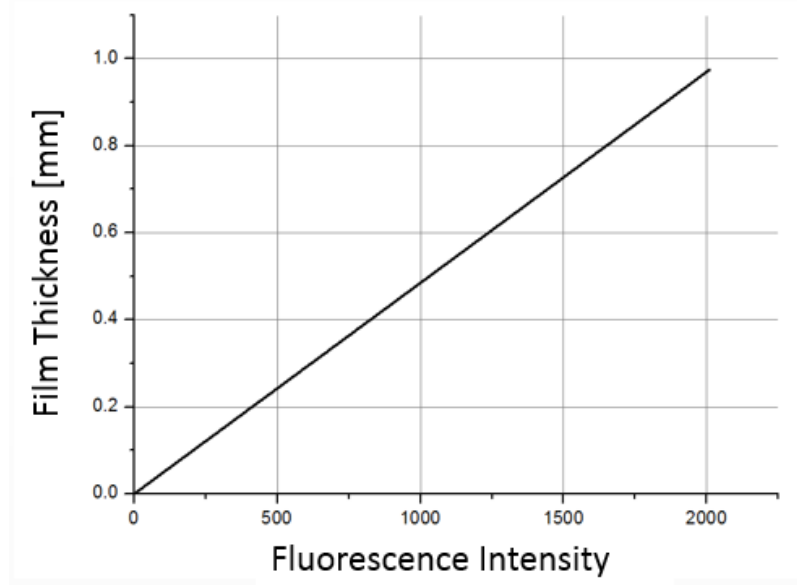


図 2. Result of Droplet Calibration

6. まとめ

海外の研究室での約一か月間の研究活動を通じて，多くのことを得られた．ひとつはコミュニケーションの部分で，英語を使って，研究に関する議論だけでなく様々な会話をすることの重要性を認識した．近年のグローバル社会においてはそのようなことは必要不可欠になると思われる．また，同様の分野を研究している機関として，研究に対するアプローチや結果に対する考察，実験の方法等の点において，学ぶべき点を多く発見することができた．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，David Hung 教授，Dong Xue 博士，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深く御礼申し上げます．
