
大連理工大学(中国) 研修報告書

ディーゼル噴霧特性に関する計測とシミュレーション

工学研究科 機械システム工学専攻 各務 伸一

1. はじめに

2018年9月1日から同年10月1日の間、中国の大連理工大学において研究を行った。その報告を以下にする。

2. 共同研究課題の決定

広島大学では燃焼室内現象解明の更なる解明のため、トレーサ添加2波長レーザ吸収散乱法(Tracer-LAS法)を用いてディーゼル噴霧の蒸発過程における混合気特性に及ぼす影響を調べている。本研究室ではCFDソフト(CONVERGE)を用いた噴霧計算を行っているが、燃焼条件においての知見は少ない。そこで長年CONVERGEを使用して研究を続けてきている大連理工大学での計算に関する知見やノウハウを取り入れ、さらに現地で実験を行うことにより、異なる燃料を使用した際の実験とシミュレーションの結果を比較を試みた。

3. 共同研究スケジュール

9月1日 出国

9月3日~9月29日 研究, プレゼンテーション

10月1日 帰国

4. 共同研究派遣先の概要

大学名: 大連理工大学

所在地: 中国 大連市

指導教員: 田 江平

5. 共同研究内容

5.1 概要

直噴ディーゼル機関の高効率化と低公害化という社会的要求にこたえるため、燃焼室内の現象解明が進められており運転条件に応じた適切噴霧混合気を燃料噴射制御により形成して、着火性確保や燃焼改善が行われている。

ディーゼル燃料は多数の物質の混合物であるため、使用される地域や燃料のクオリティによって物性値や着火性が異なる。インジェクタから噴射された燃料の噴霧特性や燃焼特性を十分に把握し、エンジンの負荷、回転数に応じた最適なマッピングを作成する必要がある。

また近年エンジン開発においてCAE解析が取り入れられている。CAE解析の活用により実験による評価回数の削減による開発期間の短縮化や開発費、実験費の削減というような利点が挙げられる。

本共同研究ではまず非蒸発場においてLED光源を背景光とし、高速度ビデオカメラを用いてディーゼル噴霧の混合気形成過程を計測する。これにより燃料の物性値の違いが噴霧の混合気形成に及ぼす影響を調査する。さらに、燃焼条件のCFD計算を行うことにより、物性値の違いが燃焼に及ぼす影響を調べた。大連理工大学のシミュレーションに関する知見を参考にしながら共同研究を遂行した。

5. 2 実験装置及び実験条件

実験装置及び実験条件をそれぞれ図1, 表1に示す. 可視光のLEDを背景光とした噴霧撮影を行った. 噴射量及び霧困気圧力については高負荷ディーゼルエンジンを想定している. 噴射指示パルスについては実験前にサンプリング法によって決定しており, 100MPaの噴射圧力において噴射量が21.0mgである. 事前に計測された燃料の物性値を表2に示す. 今回の実験では2種類の異なるディーゼル燃料を用いて実験を行った. 燃料の物性値は異なるが, 噴射される量には影響を及ぼしていないことをサンプリング法によって確認している. なお, 3種類の噴射圧力での計測を行ったが傾向については同様であったため, 代表条件として100MPaのみの結果を以降に示す.

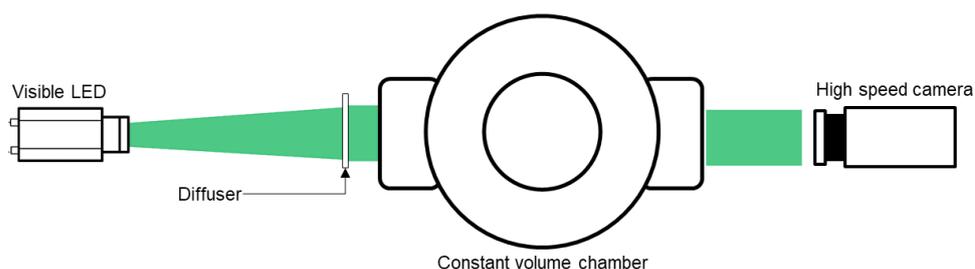


Figure 1. Schematic of the experimental setup.

Table 1. Experimental conditions

Ambient Conditions	
Ambient Gas Component	Nitrogen
Ambient Pressure [MPa]	1.6
Ambient Temperature [K]	300
Injection Conditions	
Rail Pressure [MPa]	80, 100, 120
Injection pulse duration [ms]	0.6
Injector Conditions	
Injector type	Solenoid actuator type
Number of Holes	1
Hohe Diameter [mm]	0.32

Table 2. Fuel properties

	M-35#	J-35#
Kinetic viscosity [mm^2/s]	3.352	3.738
Boiling point [$^{\circ}\text{C}$]	68	75
Density [kg/m^3]	817	832.7
Cetane number	42.3	49
Surface tension [mN/m]	27.661	28.291

5. 3 画像処理

高速度カメラによって得られた画像の解析にはMATLABを用いた. 図2に画像処理の手順, 図3に本実験で取得する噴霧パラメータの定義を示す. 背景画像から噴霧画像を引き, その画像に二値化処理を行うことに噴霧の抽出を行った. なお, 二値化の閾値としては最大輝度値の10%とした. 噴霧パラメータは3種類の計測を行った. 噴霧コーン角は噴孔出口と噴孔径の50倍の位置における噴霧境界のなす角度とした. 噴霧角は噴霧先端到達距離の半分の位置と噴孔のなす角度とした.

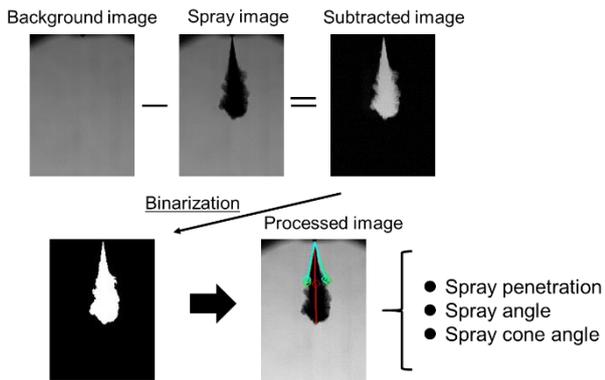


Figure 2. Image processing procedure.

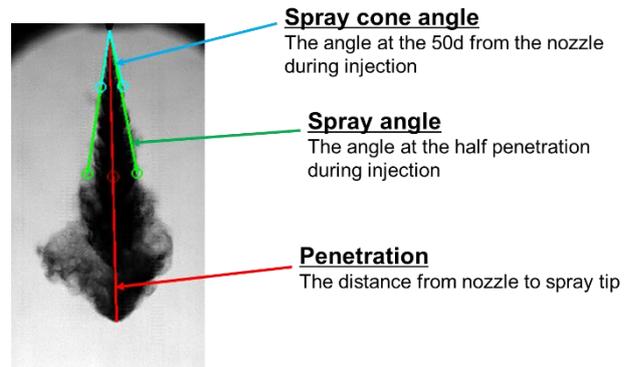


Figure 3. The definition of the spray parameters

5. 4 実験結果

噴霧先端到達距離，噴霧角の計測結果をそれぞれ図 4 に示す．まず噴霧先端到達距離についてであるが 2 種類の燃料間において大きな違いは見られない．一方，噴霧角については M-35# において大きな値を示した．噴霧先端到達距離がおおよそ等しいことから燃料の噴射速度は 2 つの燃料において等しいと考えられる．そのため，We 数の観点から考えると表面張力の低い M-35# において微粒化が促進されたと考えられる．しかし，表面張力の違いはそれほど大きくなく，噴霧角の 15% 程の違いを生み出すのに十分であるかの確認はできなかった．

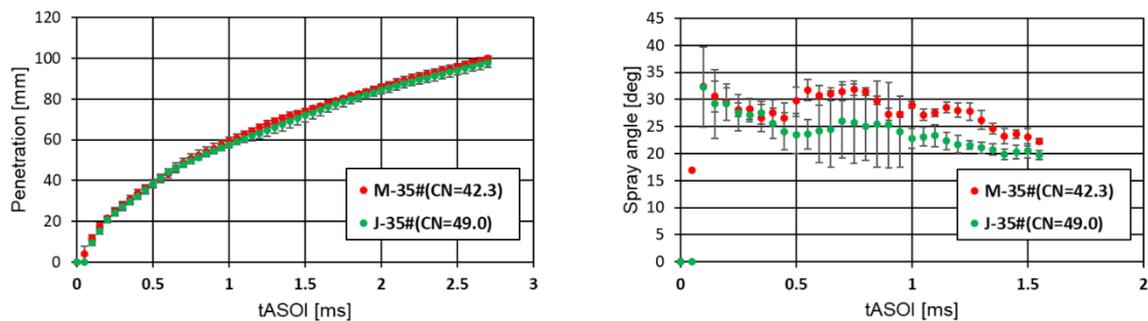


Figure 4. The penetration (left) and spray angle (right) under injection pressure of 100MPa.

5. 5 計算条件

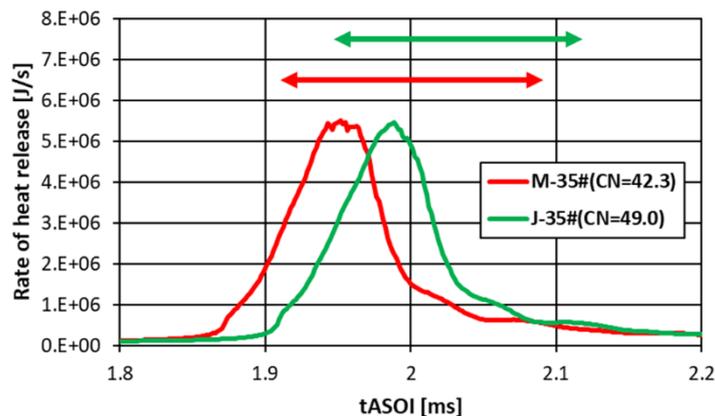
表 3 に計算条件を示す．計算負荷を考慮して乱流モデルとしては RANS を用いた．噴射される燃料についてはセタン価を実際の燃料に合わせるため，セタン価 56 の n-ヘプタンとセタン価 10 の iso-Octane の混合燃料とした．

Table 3. Calculation condition.

Spray modeling	
Turbulence model	RNG k-ε
Grid size [mm]	0.25-0.50
Initial droplet size	Same as nozzle hole
Breakup model	KH-RT
Injection condition	
Injection duration [ms]	1.55
Injection amount [mg/hole]	21.0
Ambient temperature [K]	850
Ambient pressure [MPa]	4.38

5. 6 計算結果

計算によって得られた熱発生率波形を図5に示す。熱発生率波形より着火時期、燃焼期間の決定を行った。燃焼期間についてはおおそ同等であるが、着火時期についてはセタン価の低いM-35#で進角していることがわかる。一般的にセタン価の高い燃料のほうが着火性が良いため、今回の計算では予想と逆の結果を示したことになる。

**Figure 5.** The rate of heat release of different kind of fuels.

燃料の蒸発割合及び着火前である0.18ms ASOIにおける混合気の温度分布をそれぞれ図6, 7に示す。M-35#において蒸発が促進されていることが示されており、この傾向は実験結果から予想される傾向と一致している。高温の雰囲気ガスの導入が促進されていることにより噴霧内での燃焼反応が起こりやすくなったのではないかと考える。そのため、着火前の噴霧内温度分布をみるとM-35#において高い温度を示していることがわかった。

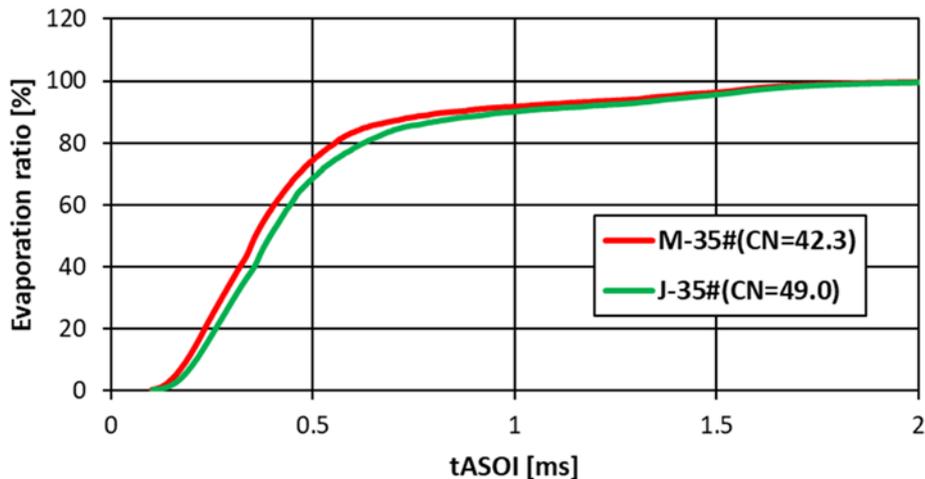


Figure 6. The evaporation ratio of different kind of fuels.

Temperature distribution

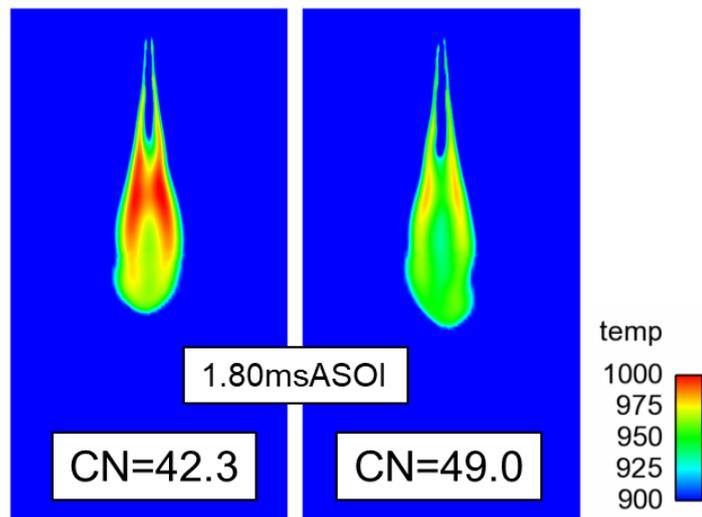


Figure 7. The temperature distribution inside the spray before ignition occurred.

6. まとめ

約4週間という短い期間でしたが、英語でのコミュニケーション、研究の遂行をするという貴重な経験をする事が出来ました。その中で、細かな英語文法もちろん大事ですが、伝えようとする姿勢もそれと同様に重要であることを実感しました。文化の違いについても感じる事が多々あり、海外に行く際にはその国の基本的な歴史、考え方については理解してから向かう必要が有ることを感じました。

今後のグローバル化する社会において英語能力は必須であり、今回の経験を通して改めてそれを実感しました。将来、エンジニアとして国際的に活躍するためにも、英語能力、コミュニケーション能力の向上を目指していきます。

7. 謝辞

本研究において、ご指導してくださった田江平教授、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、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。
