
大連理工大学内燃機関研究所（中国） 研修報告書

数値計算を用いた直噴ガソリンエンジンに関する研究

工学研究科 機械システム工学専攻 片山 慶一

1. はじめに

2015年8月30日から2015年9月27日の間、中国の大連理工大学内燃機関研究所において共同研究を行った。以下にその報告内容を示す。

2. 共同研究テーマの決定

現在、私は広島大学にて直噴ガソリンエンジンに関する研究に取り組んでおり、中でも噴霧特性や点火・燃焼特性に注目して研究を行っている。これらを解明するために噴霧の濃度分析や火炎発達の観察、すす発生計測など様々な実験手法を用いて計測を行っている。しかし実験では確認できないことや計測できない厳しい条件(高噴射圧や高温高压の雰囲気条件など)などが存在するのも事実である。そこで数値計算(CFD: Computational Fluid Dynamics)を用いた計測も進めていきたいと考えていた。大連理工大学内燃機関研究所ではこの CFD を用いた噴霧計測が盛んに行われており、今回の共同研究では CFD による解析手法を学ぶこと、さらには広島大学で計測した実験結果を用いて CFD 解析の精度の向上を目指すことをテーマとした。

3. 共同研究スケジュール

8月30日 出国

8月31日 各種手続き(入寮, 登録など)

9月1日~9月26日 研究, 施設見学, プレゼンテーション等

9月27日 帰国

4. 共同研究派遣先の概要

大学名: 大連理工大学

部署名: 内燃機関研究所

所在地: 中国 遼寧省 大連市

指導教員: 隆武強 教授, 田江平 准教授

5. 共同研究内容

5.1 研究背景・目的

直噴ガソリンエンジンは従来の吸気ポート噴射式のエンジンと比較して多くの利点を持っている。直噴ガソリンエンジンの特徴として、燃料の蒸発によってシリンダ内温度が下がり体積効率向上やNOx低減が期待できること、絞り弁による抵抗を低減できることなどの利点がある。しかし噴霧を直接シリンダ内に噴射するため未燃燃料が残りやすいことやすすの排出といった問題もある。現在実用化されてきている直噴ガソリンエンジンの更なる普及・技術向上のためには噴霧・点火・燃焼などをより完璧にコントロールする必要がある。そのためには噴霧特性や燃焼特性を解明することが必要である。これらの解明を目的として我々は主に実験を用いて特性を調査してきた。代表的なものとしてLAS法(Laser Absorption Scattering)による噴霧の濃度分析や二色法によるすす発生計測などを行ってきた。だが実験だけでは計測が難しいものや確認できないデータなどがあることも事実である。そこで CFD による数値計算を用いて特性の解明を目指すことが考え

られる。今回の派遣先である大連理工大学内燃機関研究所では CFD を用いた研究が盛んに行われている。そこで今回の共同研究の目的として CFD による噴霧・燃焼解析の手法を習得すること、さらには広島大学での計測結果と CFD による計算結果を比較し、CFD の予測精度を高めるとともに現象のさらなる理解を目指すということを目指した。

5.2 実験方法

我々の行っている計測のうち代表的なものとして LAS 法と二色法について簡単に紹介する。まず LAS 法は燃料噴霧中の蒸気相、液相の濃度分布を、紫外光と可視光を光源とした透過光減衰率の画像の解析により噴霧の混合気形成過程を定量的に計測するものである。だが光学的な制約があり、ガソリンでは実施できないため模擬燃料を用いる。模擬燃料として、特性値がガソリンに近く、紫外光を強く吸収するが可視光は吸収しないものを用い、例として p-キシレンの結果を示す。

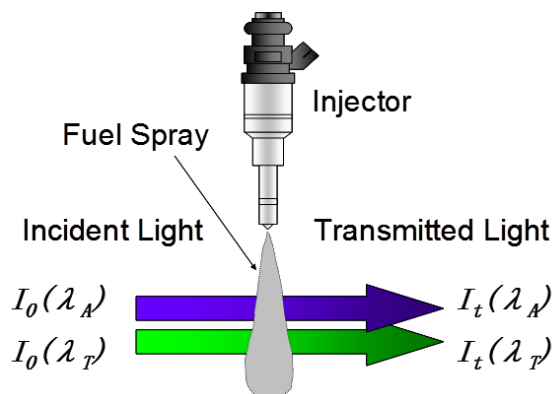


Fig.1 LAS 法の計測イメージ

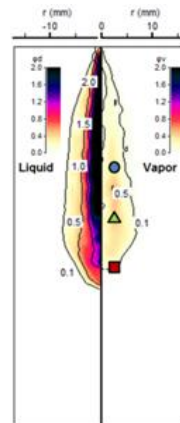
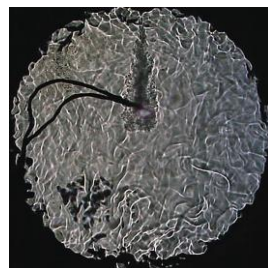
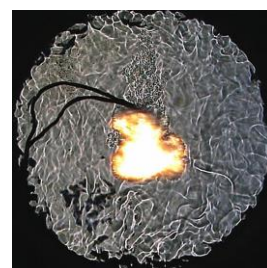


Fig.2 結果例

次にシャドウグラフ法による噴霧と火炎の同時観測を行っている。シャドウグラフ法とは気体あるいは液体の密度変化による光の影を直接スクリーンまたはフィルム上に投影して観察するもので直接投影法とも呼ばれる方法である。以下に結果の一例を示す。



(a)噴霧画像



(b)噴霧・火炎画像

Fig.3 シャドウグラフ法の結果例

5.3 数値計算ソフト

今回は2種類の数値計算ソフトを使用した。まず数値計算に慣れるためのチュートリアルで使ったのが Convergent Science 社の CONVERGE である。特徴としては従来のようにメッシュを作成する必要がなく、自動的にメッシュ作成を行ってくれるため比較的使いやすいソフトである。もう一つが AVL 社の FIRE である。こちらは熱流体解析ソフトとして長年にわたり使用されており、派遣先の大連理工大学でも古くから噴霧解析に用いられている。今回はそのノウハウを学ぶため CONVERGE ではなく FIRE を用いて噴霧計算を行った。

5. 4 計算条件

最初に行った Converge によるチュートリアルモデルを以下に示す。これは単気筒直噴ガソリンエンジンのモデルである。また今回の噴霧計算で用いた条件を表 1 に示す。

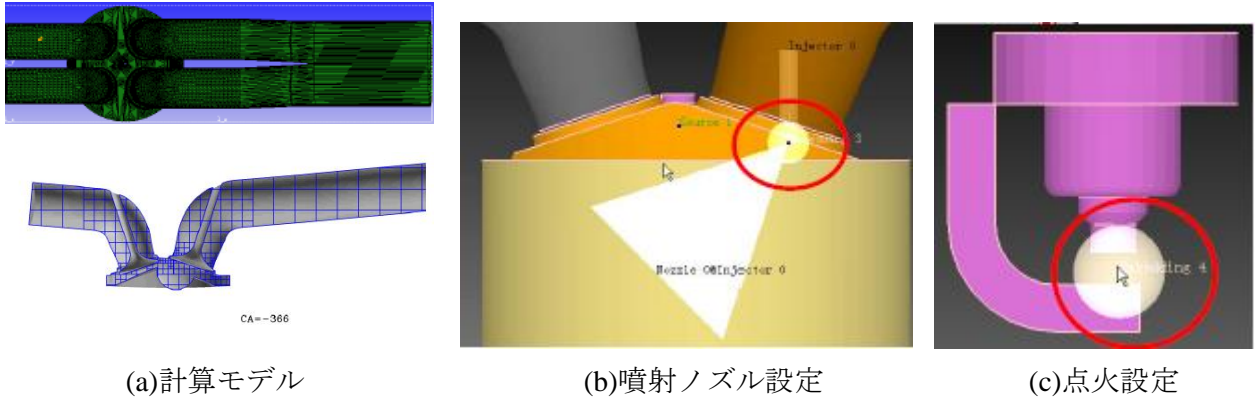


Fig.4 チュートリアルモデル

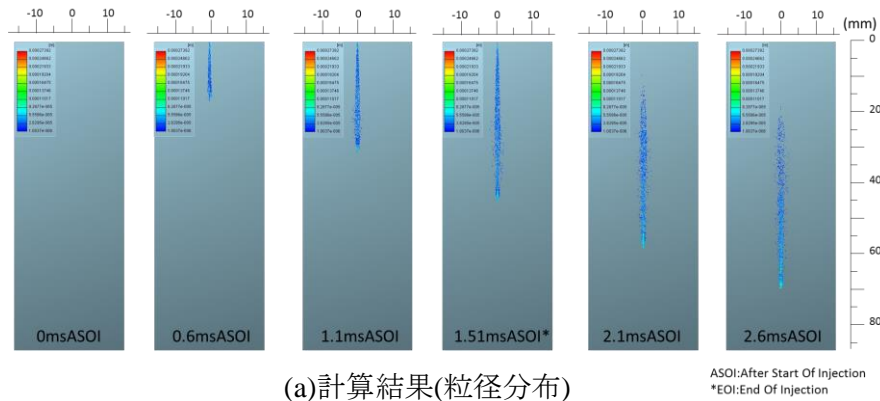
Table.1 計算条件

Ambient Condition	
Ambient Pressure	1.0MPa
Ambient Temperature	500K
Injection Condition	
Hole Diameter	0.15mm
Injection Pressure	10MPa
Injection Duration	1.51ms

5. 5 計算結果および実験結果との比較

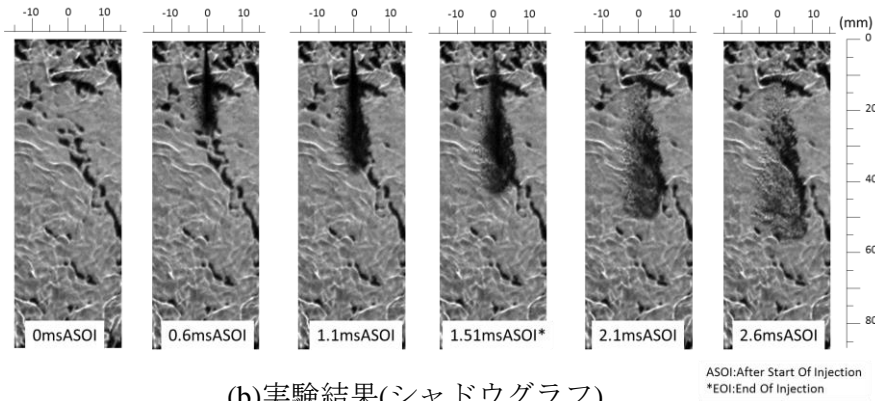
まずチュートリアルモデルに関しては計算の設定やコマンドの種類などは学ぶことができたが、噴射と点火の設定がうまくいかず、ピストンヘッドがただ上下するといった結果となってしまった。そこで今回は FIRE による噴霧計算の結果について報告したいと思う。当初は噴霧だけでなく点火・燃焼の計算も行う予定であったが、期間や難易度の関係から今回の共同研究では噴霧のみの計算を行った。

以下に今回計算した噴霧の時系列写真と、広島大学でのシャドウグラフ結果の時系列写真を示す。またグラフには噴霧の先端到達距離の比較を示す。これらを見ていただくと計算の方は噴霧の広がり小さいことや噴霧先端到達距離がいつまでも長くなっていく様子が見られる。これらは実際には起こりえないことなので考えられる問題点としては噴霧の分裂および合体モデルが適切でないこと、初期条件(雰囲気圧力等)がうまく設定できていないことなどが考えられる。今後はモデルの仕組みなども含めて更なる理解が必要であると考えている。



(a) 計算結果(粒径分布)

ASOI: After Start of Injection
*EOI: End of Injection



(b)実験結果(シャドウグラフ)

Fig.5 噴霧形状の比較

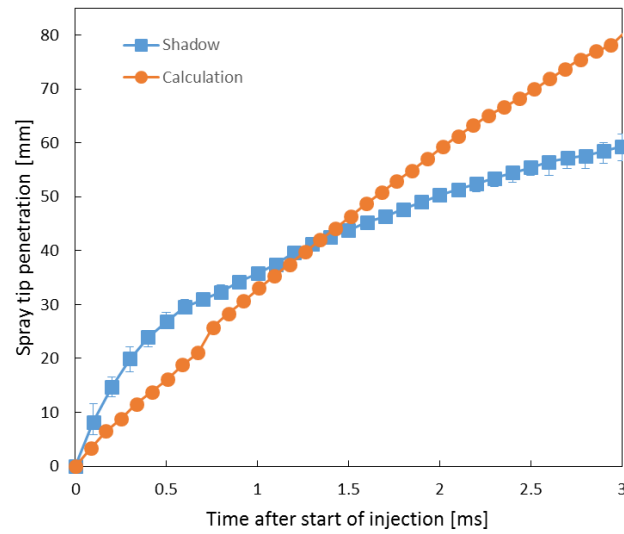
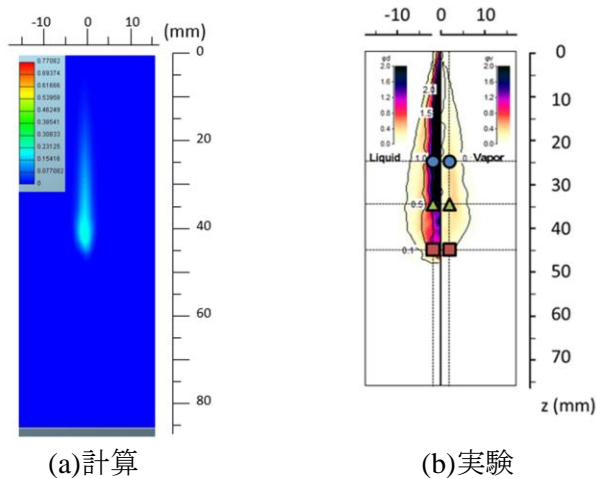


Fig.6 噴霧先端到達距離の比較

次にLAS法による噴霧の等量比分布と比較を行う。以下に噴射完了直後の等量比分布の比較を示す。これらから計算の方では先ほどの噴霧形状と異なっていること、分布がかなり均一な分布となっていることがわかる。このことから実際の実験結果と大きく異なる結果となっており、適切に計算が出来ていないと思われる。これらについても噴霧の分裂や合体、雰囲気条件などを理解して見直し、より精度よく計算できるようにしていきたい。



(a)計算

(b)実験

Fig.7 等量比分布の比較

6. まとめ

今回の海外共同研究で初めて数値計算による噴霧解析を行ったが、非常に難しい研究であると感じた。条件を少し変えるだけでも結果に大きく影響を及ぼす上にエラーなどがでてしまうため、計算を完了するだけでも苦勞した。さらに計算された結果が正しくなかった場合にまたさらに修正・計算・確認といったように満足のいく結果を得るのが大変だと感じた。しかし使いこなすことが出来れば実験ではできない条件での予測や実験では難しいエンジン筒内での計算などにも用いることができるので非常に有効な研究方法であると感じた。

今後は今回の海外共同研究での経験を生かして数値計算による噴霧計測や、今回できなかった点火・燃焼解析なども行いたいと思ったので広島大学でも数値計算を行っていきたいと感じた。実験による計測と計算による予測の2つの観点から現象を考えていくことで、より深く理解できると思うので噴霧計算の技術もさらに学習していきたいと感じた。

7. 謝辞

海外共同研究を通して海外へ行き、1か月海外で生活することの大変さや英語での研究を行うことの難しさなど普段経験できないような貴重な体験ができました。このような機会を与えてくださった先生方、並びにサポートしてくださった皆様に感謝の意を表します。特に研究を行うにあたり、様々な指導、ご鞭撻を頂いた西田先生、尾形先生並びに現地で丁寧な指導をしていただいた隆教授、田准教授、研究も含め生活・各種手続きなどのお世話をしてくださった博士課程の福氏、修士課程の李氏をはじめとした現地研究室の皆様にも深く感謝します。皆様のおかげで1か月間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。最後に経済的な援助も含め全面的に応援、サポートしてくれた家族にも感謝したいと思います。
