
大連理工大学（中国） 研修報告書

数値計算によるディーゼル機関用噴射ノズル内部流れに関する研究

工学研究科 機械システム工学専攻 流体工学研究室 村松 誠士

1. はじめに

近年、ガソリンエンジンと比べ熱効率が良く、二酸化炭素の排出量も少ないため、ディーゼルエンジンに対する注目が集まっている。しかしその一方で、煤や窒素酸化物などの有毒物質の排出量が多く、年々排気規制も厳格化されている。そのため、排気低減を目標に多くの研究が行われている。

煤や窒素酸化物の生成に影響を及ぼす要因として噴霧燃料と雰囲気の混合割合が挙げられる。そこで、排気低減という目的を達成するためには均一な噴霧の形成が重要となる。また、燃焼室内に広範囲に燃料が噴射され、これが完全燃焼することが排気低減に起因する。噴霧形成に影響を及ぼす重要な要因の一つとして噴射ノズル内流れが挙げられる。ディーゼル機関においては高噴射圧力によりノズル内部でキャビテーションと呼ばれる現象が発生し、これにより燃料液滴が微粒化され、燃料と雰囲気気体の混合が促進される。内部流動には数値計算（以下、CFD：Computational Fluid Dynamics）を用いた研究が多く存在する。

2. 共同研究課題の決定

広島大学流体工学研究室でも、CFD を用いたディーゼル機関用噴射ノズル内流れに関する研究を行っており、これがディーゼル噴霧に及ぼす影響を研究している。しかし、大連理工大学でも同様に CFD を用いた研究が行われているがその技術・知識は広島大学に比べはるかに優れている。そこで今回の共同研究では CFD の技術・知識の向上を目的として行った。

3. 共同研究のスケジュール

8 月 31 日	出国
9 月 2～6 日	CFD に関する学習
9 月 8～26 日	CFD による研究
9 月 24 日	中間報告
9 月 27 日	最終報告
9 月 29 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 : 中華人民共和国遼寧省甘井子区凌工路 2 号
担当教員 : 田 江平 (Jiangping Tian) 教授

5. 共同研究の内容

5. 1 概要

近年、ディーゼルエンジンに対する注目が集まっている中で、年々排気規制も厳格化されている。そのため、排気低減のためには排気特性の理解が必要となる。また、排気特性に大きく影響を与える要因の一つに噴射ノズル内の流動特性があるため、ノズル内流れの理解が重要となっている。しかし、実際のエンジンに搭載される噴射ノズルは非常に小さく、実機のサイズにおける実験というもの非常に難しい。そのため、近年では CFD を用いた研究が多くなっている。本研究でも CFD を用いてノズル内流れの理解に取り組んだ。

ノズル内流れに影響を与える要素として主に環境要素と形状要素がある。環境要素には主に噴射圧力や雰囲気圧力があり、一方で形状要素では噴孔径や円錐型噴孔における k-ファクター等があ

る．本研究では形状要素がノズル内流れに及ぼす影響を計測した．

5. 2 計算条件

本研究では, AVL 社によって開発された FIRE を用いた．このソフトウェアでは壁面形状に沿ってメッシュを生成することが可能であり, ノズル内の流れ等を解析することに優れている．表 1 に本研究における計算条件を示す．ここで, 表 1 内の k-factor とはテーパ付噴孔の絞りの度合いを示す定数であり, その定義は式(1)となっている．

$$k = \frac{D_{in} - D_{out}}{L} \times 100 \quad (1)$$

ここで, k, D_{in} , D_{out} , L はそれぞれ k-factor, 噴孔入口径, 噴孔出口径, 噴孔長さである．また, アンブレラ角とは向かい合う噴霧の為す角であり, アンブレラ角 0° は単噴孔としている．ここでは, 噴孔径 0.122mm, 絞りなし噴孔, アンブレラ角 150° の条件をベース条件とした．また, 図 1 に計算領域を示す．図 1 に示すように 10 噴孔のうちの 1 噴孔のみを計算対象としている．

Table 1 Computational conditions.

Geometry of inector	
Number of nozzle holes	10
Diameter of nozzle hole [mm]	0.070, 0.101, 0.122
Nozzle hole length [mm]	0.8
k-factor	0, 1.0, 3.0
Umbllera angle [deg]	0, 90, 150
Injection conditions	
Injection pressure [MPa]	200
Injection quantity [mm3]	2
Ambient conditions	
Ambient pressure [MPa]	1.5
Ambient temperature [K]	300
Turbulent model	k-ε

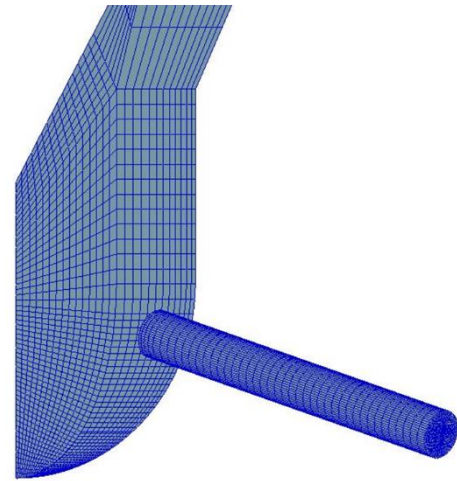


Fig 1 Computational region.

5. 3 計算結果

図 2 にベース条件下の噴射終了時における液相の体積分率を示す．また, 図 3 にノズル近傍の速度分布を示す．

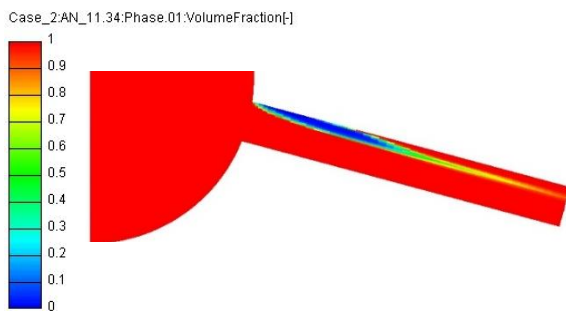


Fig 2 Volume fraction of liquid phase under base condition.

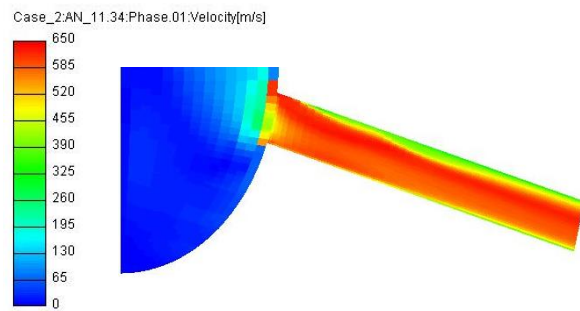


Fig 3 Velocity under base condition.

噴射終了時には, 噴孔入口の上流部の角から上記層が発生し, 噴孔出口付近までキャビテーションが発生していることがわかる．それと同時にキャビテーション領域では速度が大きくなっている

ことがわかる．これより，噴孔内上部では速度が増加することで圧力も減少し，これによりキャビテーションが発生したと考えられる．また，図 4，図 5 にアンブレラ角 90° および k-factor 1.0 における液相の体積分率をそれぞれ示す．

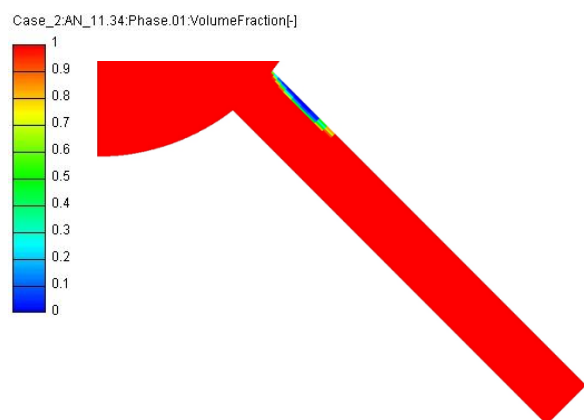


Fig 4 Volume fraction of liquid phase under $\theta=90^\circ$.

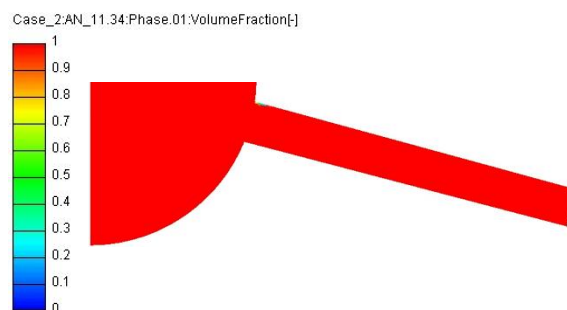


Fig 5 Volume fraction of liquid phase under k=1.0.

ベース条件と比較すると，アンブレラ角 90° の条件ではキャビテーション領域は非常に小さくなっている．また，キャビテーション領域内の蒸気相の比率はベース条件に比べ大きくなっている．これより，キャビテーション強度はベース条件と比べ強くなっていると考えられる．絞り付ノズルにおいてもキャビテーション領域が非常に小さくなっており，k-factor が 3.0 の条件では発生しなかった．図 6 にアンブレラ角 90° におけるノズル内速度を示す．

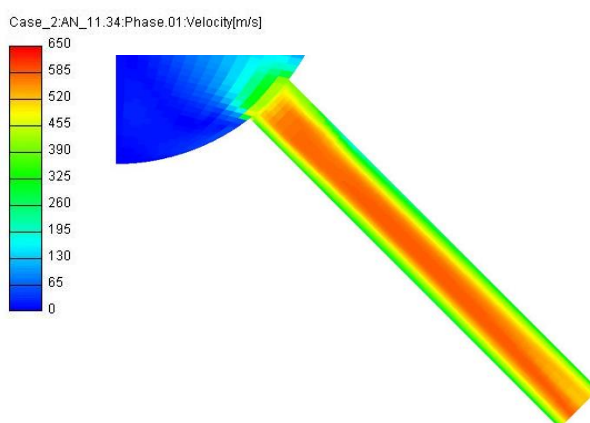


Fig 6 Velocity under $\theta=90^\circ$.

ベース条件と比べ，噴孔入口における速度が小さくなっていることがわかる．これは噴孔入口の上流部側の角が為す角度がベース条件と比べ大きくなっており，そのため，緩やかにノズル内へ流れ込むために速度は小さくなり，圧力はベース条件と比べて大きくなっているためキャビテーション領域が小さくなったと考えられる．絞り付ノズルについても同様の要因であると考えられる．

6. まとめ

今回の海外共同研究を通して，研究面について以下のことがわかった．

- (1) 噴孔入口上部でキャビテーションが発生し，これは噴孔入口では流速が増大することで圧力が

減少するためと考えられる。

- (2) アンブレラ角が小さくなると、キャビテーション領域が小さくなり、キャビテーション強度は増大する。これは噴孔とサック室の為す角が大きくなることで噴孔内部に燃料が緩やかな流れ込むために速度が小さくなり圧力も増加するためと考えられる。
- (3) 絞り付ノズルでは円筒形ノズルと比べキャビテーション領域が非常に小さくなり、 k -factor が 3.0 の条件ではキャビテーションは発生しなかった。この要因もアンブレラ角の影響と同様に噴孔とサック室の為す角による速度の変化であると考えられる。
- (4) 私自身にとって、数値計算をより正確に行うために適切なメッシュ形状や計算条件の設定等の重要度の理解をすることができた。また、計算時に発生したエラーに対して自分自身で試行錯誤しながら解決していくことで研究自体に対する姿勢、意欲の向上をすることができた。

最後に、約 4 週間という短い期間であったが、その中で英語によるコミュニケーションや研究の遂行をするという貴重な経験をすることができた。その中で、意思疎通が完璧ではなくとも伝えようとする姿勢が重要であるということに気づくことができた。自分の中にあった英語による意思疎通に対する苦手意識を派遣前に比べ和らげることができた。また、言語、文化の異なる国に一人で暮らすという経験を通して、価値観の異なる環境で暮らすということの難しさを身を持って経験することができたことは今後の研究や生活に大いに役に立つと考える。

グローバル化が進む社会において、英語能力や環境適応能力というものは重要であり、今回の経験を通してその重要度を痛感した。将来、自分自身が世界でエンジニアとして活躍するための一つの課題として英語能力・適応能力の向上というものがあることを改めて理解した。

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、富永様をはじめ、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学生支援グループ国際事業担当の皆様や実行委員会の諸先生方に深く御礼申し上げます。
