

ディーゼル燃焼チーム クラスター大学(3) (グループ1)

鳥取大学大学院 工学研究科
大澤 克幸, 小田 哲也, 住 隆博



ノズル内流れ構造に基づく噴霧形成過程のモデリング

研究の背景

近年の燃料噴射の主な特徴

- 高圧で燃料を噴射 (1000気圧程度以上) **【極めて大きい噴射速度】**
- 小さな内径の噴孔 (0.15mm程度)
- 小さなサック室
- 1回転当りの燃料の噴射を細かく制御 **【低リフト・小量噴射を含む】**



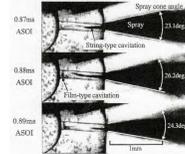
燃料噴射に関する問題点

エンジン内における噴霧撮影画像*



- 低リフト時において、それぞれの噴霧の形状が異なる。
- すずの発生量が多くなるといわれている。

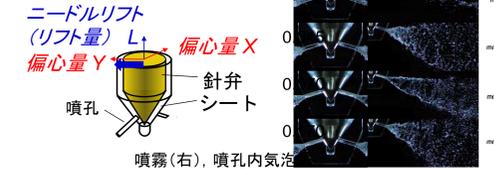
実物大の可視化ノズルによる内部気泡と噴霧の撮影画像**



- 噴孔内の気泡の形状が、噴霧に大きく影響を及ぼす。 **【噴霧の大きさのばらつきを抑えたい】**

* Renner, G., Koyanagi, K. and Maly, R., COMODIA 98, 1998, p.480.
** 林, 他4名, 自技会論文集, 43-6, 2012, pp.1251-1256.

拡大可視化ノズルによる内部気泡と噴霧の撮影画像 (低リフト時)



例: VCO (Valve covered orifice) ディーゼルノズル
噴孔に対して垂直に針弁が振れるとヒモ状の気泡が生じやすくなり、噴霧が大きく広がる。

- 偏心がVCOノズルにおける噴霧の大きさのばらつきの原因と考えられている。
- 現在、多用されているミニサックノズルも同様か?

将来の燃料噴射: 2000気圧超の超高压噴射



超音速で進む噴霧の影写真 (Sittiwong et al., Shock Waves, 22, 2012)

- 衝撃波, 相界面, 乱流, 微粒化, キャビテーションなどの現象が混在する極めて複雑な現象で、可視化模型等による実験計測が困難。
- 圧縮性混相流に関する高次精度かつ高解像度な数値計算技術が必要。

研究目的:

- ・ 小リフト噴射とメイン噴射時のノズル内流れ, 気泡の形成状態, および噴霧影響の解明を行う, 構造の解明を行う。
- ・ 針弁の偏心がノズル内の流れ構造とその結果としての噴霧構造に及ぼす影響の解明とモデル化を行う。
- ・ 燃料噴射の高圧化がノズル内流れと噴霧構造に及ぼす影響の解明を行う。

研究の手段 (下記の内容):

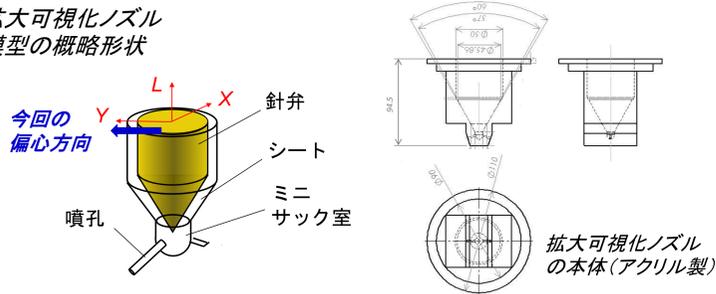
- I. ミニサック型ディーゼルノズルの拡大模型を用いた模擬実験
- II. 汎用流体解析ソフトを用いた数値計算 (噴射液体, 空気, キャビテーション気泡を考慮)
- III. 圧縮性流体解析ソフトの開発, および数値計算 (噴射液体, キャビテーション気泡の変形挙動の計算)

期待される成果:

- ・ 得られる知見から得た噴射モデルを, 他グループが行う混合気形成と燃焼過程のシミュレーションに役立てることができる。
- ・ 得られた知見は噴射弁の設計指針となる。
- ・ 低リフト, 微小噴射時におけるノズル内流れの構造や, キャビテーションなどの形成と噴霧の関係を解明できる。

I. ミニサック型ディーゼルノズルの拡大模型を用いた模擬実験

拡大可視化ノズル模型の概略形状



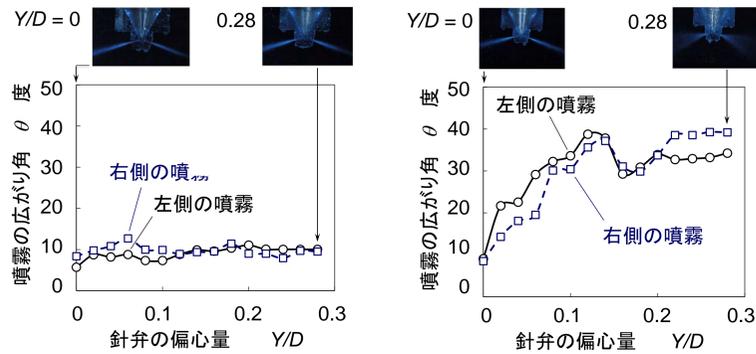
実験条件

	実際のディーゼルノズル	拡大ディーゼルノズル模型
噴孔数	6~10程度	2
噴孔径	φ0.1mm~0.2mm程度	φ1.66mm (約10倍)
噴孔の長さ/噴孔径	4~6程度	5.66
噴射液体	軽油	水
噴射圧力	100MPa~200MPa	0.4MPa
レイノルズ数	40000程度	40000
雰囲気圧力	4MPa程度	0.1MPa (大気圧)
雰囲気温度	700K程度	室温

主な実験結果: 針弁の偏心量が噴霧に及ぼす影響

高リフト時の実験結果 (L=3.50mm)

低リフト時の実験結果 (L=0.50mm)



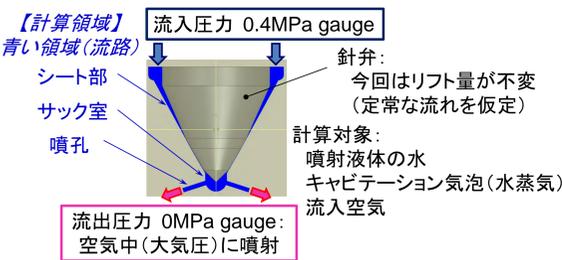
- 低リフト時においては、ミニサック型ノズル内の針弁の偏心がノズル内の流れと噴霧に及ぼす。

今後の予定:

1. 2噴孔ノズル内における針弁の偏心がノズル内の流れと噴霧に及ぼす影響を明らかにする。
2. 多噴孔の拡大可視化模型を用いて、針弁の偏心がノズル内の流れと噴霧に及ぼす影響を明らかにする。
3. 針弁が昇降するように改造し、上記1, および2と同様の検討を行う。

II. 汎用流体解析ソフトを用いた数値計算

計算対象と条件



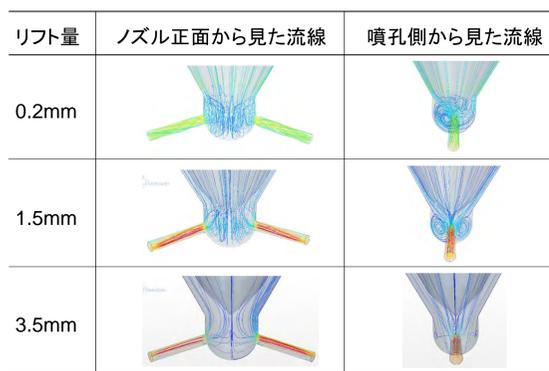
流体解析ソフト: STAR CCM+ ver. 4.02

メッシュ数: 170万セル~ 500万セル

主な計算モデル:

- 乱流モデル.....Realizable $k-\epsilon$ モデル
- キャビテーションモデル.....Simplified Rayleigh 方程式
- 界面モデル.....Volume of Fluid (VOF) モデル

主な計算結果



流線のカラースケール 0 6.3 12.6 19.0 25.4 31.7m/s

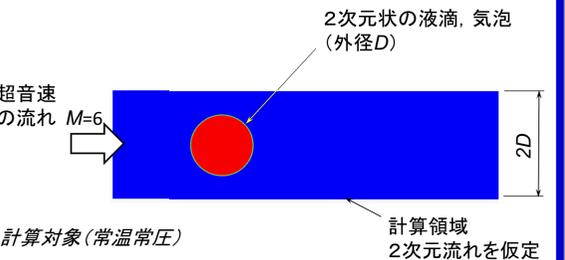
- リフト量に応じてノズル内の流れが変化する。
- 今回の計算では、リフト量がいかに複雑になっていたサック室内の流れは、リフト量が大きくなると渦流を伴う噴孔に対して対称な流れとなった。最終的には噴孔に対して対称な流れではあるものの、渦流は消滅した。

今後の予定:

1. 多噴孔ノズルに関する定常流れの数値計算を行う。
2. 針弁の昇降がノズル内の流れに及ぼす影響を明らかにする。
3. 針弁の偏心がノズル内の流れに及ぼす影響を明らかにする。

III. 圧縮性流体解析ソフトの開発, および数値計算

超高速な流れを受ける液滴, 気泡の変形挙動の計算



計算対象 (常温常圧)

(a) 水 in 空気, (b) 空気 in 水

- 圧縮性混相流の高次精度解法によって変形挙動を数値計算によって求める。
- さらに、拡散界面の急峻化法を併用し界面の位置を明確化する。

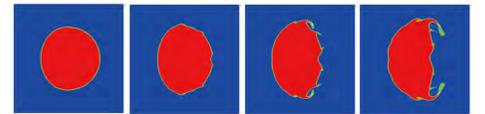
主な計算結果

例 水 in 超音速気流 (空気)
メッシュ数: 流れ方向1000×幅方向250

圧縮性混相流の高次精度解法のみによる計算結果 (拡散界面の急峻化法を未使用)



圧縮性混相流の高次精度解法を、拡散界面の急峻化法と併用したときの計算結果 (THINC法を併用)



- 超高速流れを受ける液滴, および気泡の変形挙動の計算ができるようになった。
- 今回の計算では、THINC法を用いた手法が最も質量の保存性が良好となった。

今後の予定:

1. 粘性, 表面張力, キャビテーション効果を計算コードに組み込む。
2. 2次元形状を持つ単一噴孔ノズルから液体を超高压燃料噴射したときの噴孔内流れと噴霧に関する数値計算を行う。
3. 単一噴孔ノズルから液体を超高压燃料噴射したときの噴孔内キャビテーション気泡と、噴霧液滴 (いずれも3次元形状) 変形挙動を数値計算する。