

Team LES 相似則を用いた噴霧の LES 解析

担当者

川口 潤也 (M2) 細木 元貴 (B4)

2017 年度班紹介資料

1. 緒言

ディーゼルエンジンは高圧縮比による高い熱効率から、自動車や船舶などの輸送機器に多く用いられている。しかし、近年の化石燃料の枯渇および環境問題への意識の高まりから更なる高効率化、低エミッション化が求められている。船舶などに用いられる大型ディーゼルエンジンは自動車に用いられる小型ディーゼルエンジンと比較して熱効率が高い⁽¹⁾⁽²⁾。したがって、小型ディーゼルエンジンに大型ディーゼルエンジンの燃焼形態を応用することで熱効率向上に寄与すると考えられる。大型エンジンの燃焼形態を小型エンジンに再現するには噴霧の相似則を用いて噴霧性状の相似的な再現が有効である。その為には、ディーゼル噴霧の内部構造を詳細に把握していることが必要である。これまで噴霧の相似則に関する研究は行われてきたが、相似噴霧の内部構造を詳細に把握する研究は行われていない。そこで、本報ではディーゼル噴霧の内部構造に着目し研究を行った。

燃焼形態の再現には、噴霧の内部構造を詳細に把握し再現することが必要だが、ディーゼル噴霧の内部構造は複雑であり、実験的手法だけで噴霧の内部構造を定量的に把握することは困難である。そのため、CFD(Computational Fluid Dynamics)を用いた流体解析が有効である。本研究においては CFD の中でも噴霧の非定常性を再現可能な解析手法であり、内部構造の詳細な把握が可能である LES を使用することが有効であると考えられる。

以上の研究背景から本報では相似則を用いて相似噴霧の内部構造を定量的に把握することを目的として非蒸発噴霧、蒸発噴霧を対象に LES 解析を行った。

2. 自由噴霧の相似則

本報告ではディーゼル噴霧構造の相似性について調査を行う。そこで、近久らの相似条件⁽³⁾を下記に示す。

- (a) 燃焼室および噴射系の幾何学形状が相似であること
- (b) 次式で定義される無次元速度、すなわち燃料噴射速度に対する平均ピストン速度を一致させること

$$\frac{nD}{60u_0} = const \quad (2)$$

- (c) シリンダ内空気質量で無次元化したクランク角表示の燃料噴射率を一致させること
 - (d) クランク角度ベースの着火遅れが等しいこと
 - (e) クランク角度当たりの燃料噴射率ならびに時期が相似であること
 - (f) スワール数が一致していること
- 稲垣らは近久らの相似条件を乗用車用エンジンに適用し⁽⁴⁾,

$$(1) \text{ ボア径 } D_S/D_L = r \quad (3)$$

$$(2) \text{ ストローク長 } S_S/S_L = r \quad (4)$$

$$(3) \text{ 排気量 } V_{0,S}/V_{0,L} = r^3 \quad (5)$$

$$(4) \text{ 噴孔数 } n_S/n_L = l \quad (6)$$

$$(5) \text{ 噴孔径 } d_{n,S}/d_{n,L} = r \quad (7)$$

$$(6) \text{ 噴孔長 } l_n/d_n = const \quad (8)$$

$$(7) \text{ スワール } SR_S/SR_L = l \quad (9)$$

$$(8) \text{ 噴射量 } m_{f,S}/m_{f,L} = r^3 \quad (10)$$

$$(9) \text{ 噴射圧 } \Delta P_{cr,S}/\Delta P_{cr,L} = r^2 \quad (11)$$

と整理した。

自由噴霧について考えると(5),(8),(9)(式(7),(10),(11))のみを考慮すれば良い。したがって、本研究では(5),(8),(9)を基準とする条件に対して用いることで、相似な噴霧を対象とする計算条件を決定した。

3. 結果および考察

蒸発噴霧における相似な噴霧再現性について検証を行うため、非蒸発噴霧と同様に相似比 $r=1.0, 0.8, 0.6$ の条件で LES 解析を行った。計算条件を表 1 に示し、計算格子の総格子数は 4,609,347 である。分裂モデルには本研究室で開発された WAVE-MTAB モデルを用いる⁽⁵⁾。図 1 に各相似比における液相長さおよび蒸気相長さの実験結果および計算結果を示す。ここで、液相長さは噴霧内液相量の 90%となる位置とノズルとの噴霧軸方向の距離として定義した。また、蒸気相長さは燃料の体積分率が 0.1%の等値面を噴霧外縁とし、ノズルから噴霧軸方向に最も離れた位置とノズルとの距離と定義した。また、図 2 に噴射

終了時の各相似比における噴霧画像を示す。図 1 より、すべての相似比で液相長さおよび蒸気相長さの実験結果と計算結果が概ね一致していることがわかる。さらに、図 2 より各相似比における噴霧概形が概ね良く再現できていることがわかる。したがって、相似則および WAVE-MTAB モデルを用いることで、噴霧の概形の相似性を再現することができると考えられる。

4. 今後の研究

本研究では、相似則を用いて相似噴霧の内部構造を定量的に把握することを目的として自由噴霧を対象に LES 解析を行ってきた。その結果、相似則および WAVE-MTAB モデルを用いることで噴霧の相似

Table 1 Calculation conditions for evaporative similarity spray

Similarity ratio	r	1 (sprayA)	0.8	0.6
Nozzle hole diameter	d_n [mm]	0.09	0.072	0.054
Injection pressure	P_{inj} [MPa]	150	96	54
Injection duration	t_{inj} [ms]	1.50		
Test fuel		C ₁₂ H ₂₆		
Injection fuel amount	m_f [mg]	3.46	1.77	0.75
Fuel temperature	T_f [K]	363		
Ambient gas		N ₂ (89.71%), CO ₂ (6.52%), H ₂ O(3.77%)		
Ambient pressure	P_a [MPa]	6.05		
Ambient density	ρ_a [kg/m ³]	22.8		
Ambient temperature	T_a [K]	900		

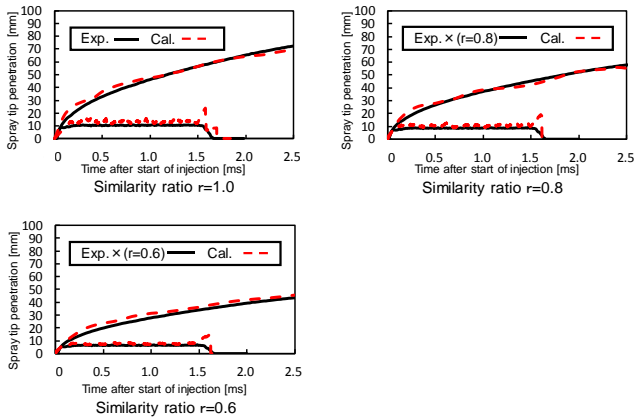


Fig.1 Vapor length and liquid length⁽¹⁵⁾

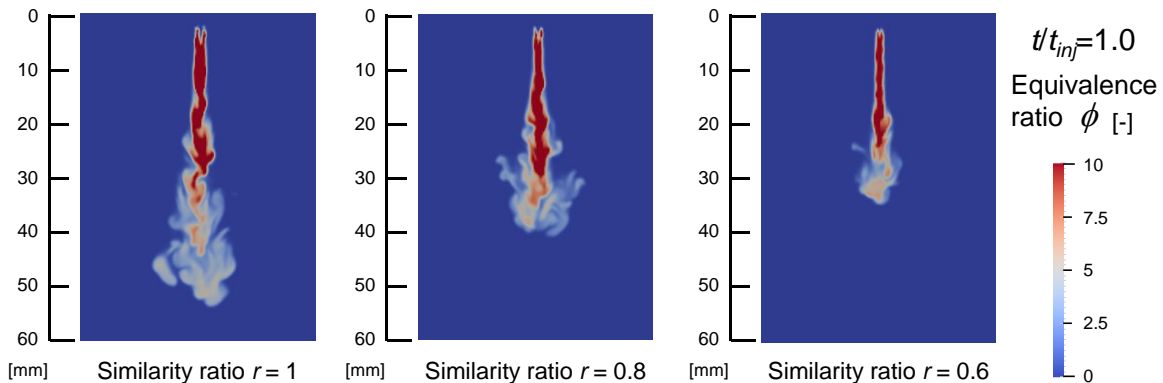


Fig.2 Concentration distribution

性を概ね良く再現することを確認できた。そこで、今後は自由噴霧ではなく実機を基準とした噴霧の形成過程および燃焼過程の相似性を検証する。

参考文献

- (1) 畑村耕一,世良耕太 図解自動車エンジンの技術 ナツメ社 2016 42 頁
- (2) 稲垣和久,水田準一,橋詰剛,友田晃利,小ボア径ディーゼルエンジンの噴霧設計に関する理論的研究(第 2 報)-‘噴霧特性近似’を用いた噴霧設計手法の提案-,自動車技術会論文集,Vol. 47,No. 1,pp37-37(2016)
- (3) 近久武美, エンジン熱効率の相似則的整理,自動車技術会フォーラムテキスト, No.14FORUM-1, pp.52-57(2014)
- (4) 水田準一,稲垣和久,河村清美,井戸田芳典,橋詰剛,小ボア径ディーゼルエンジンの噴霧設計に関する理論的研究(第 1 報)-噴霧燃焼系の幾何学的相似性とスートに関する実験的考察-自動車技術会論文集,Vol. 47,No. 1,pp. 23-29 (2016)
- (5) 川口潤也,花崎稔,堀司,松村恵理子,千田二郎,WAVE-MTAB モデルの切り替え手法の改良および相似則を用いたディーゼル噴霧の LES 解析,自動車技術会論文集 47(6), 1311-1316, 2016-11
- (6) Pickett, P. K. , Genzale,C. L. , Bruneaux, G. , Malbec,L. M. , Hermant, L. , Chrisriansen, C. , Schramm, J. . , Comparison of Diesel Spray Combustion in Different High-Temperature, High-Pressure Facilities, SAE 2010 Powertrains Fuels & Lubricants Meeting, No . 2010-01-2106,pp156-181(2010).