

## Team CFD 排気管内燃料噴射における噴霧挙動の数値解析

担当者

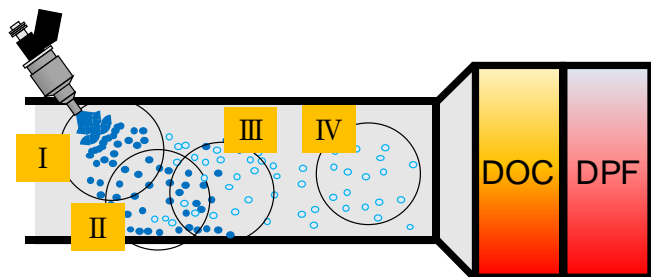
齋木 優佑(M1) 的場 大輝(B4)

2017 年度班紹介資料

## 1. 緒言

年々厳しさを増す排気ガス規制に対応するためには、燃焼改善技術に加えて後処理技術の導入が必要不可欠となる。ディーゼル機関の排出ガス成分のうち粒子状物質(PM)を除去するためにディーゼル微粒子フィルタ(DPF)を用いることが主流となっている<sup>(1)</sup>。DPFを一定期間使用するとPMはフィルタに堆積し、圧力損失上昇の原因となるため、DPFを再生する必要がある。しかしながら、ディーゼルエンジンの燃費向上に伴う燃焼温度の低下により、市街地走行などの排気温度が低下する条件下では十分な再生は期待できない<sup>(2)</sup>。そこで、強制再生と呼ばれるPMの燃焼制御が必要となる。本研究では、強制再生の手法として排気管内燃料噴射に着目した。排気管内燃料噴射は筒内の燃焼に影響を与えない。しかしながら、燃料添加弁からディーゼル用酸化触媒(DOC)までの距離が短く、排気管に噴射された噴霧の蒸発性および分散性を確保することが技術課題となっている。

そこで本研究では、排気管内における噴霧挙動がDOC前の未燃炭化水素(HC)濃度分布に与える影響を高精度に予測する物理モデルの構築を目的とし、排気管内の現象を考慮した詳細な噴霧挙動の物理モデルの構築を行う。そこで、排気管内の現象を図1に示すように I : 自由噴霧領域、II : 壁面衝突噴霧領



## Physical process

- I . Free Spray
- II . Impingement Spray
- III . Flow and evaporation of liquid-film
- IV . HC concentration distribution

Figure 1 Modeling of spray feature in Tailpipe

域、III : 液膜付着および蒸発領域、IV : HC 濃度分散領域と 4 つの領域に分け、それぞれ支配的な物理現象を光学計測によって明らかにし、物理現象のモデル化を行う。

本報では、HC濃度分散領域における噴霧挙動について、HC濃度分布の測定実験を行ない、そこから得られた知見により、流動場における各物理モデルの有効性を検証した。

## 2. 分裂モデル

本研究では超高解像度撮影法により排気管内の噴霧を撮影し、得られた結果から液膜分裂を考慮したLISA(Linearized Instability Sheet Atomization)モデルと低速の二次分裂を想定したMTAB(Modified Taylor Analogy Breakup)モデルを組み合わせたハイブリッドモデルを提案した。

## 2.1 LISA モデル

LISA モデルは、Reitz らによって考案された中空スワール噴霧における初期の液膜分裂過程を二次元の層流液膜分裂理論によってモデル化した初期分裂モデルである。このモデルでは分裂過程を i)液膜形成、ii)液膜分裂、iii)微粒化の三つの領域に分けてそれぞれの現象についてモデル化を行っている。

## 2.2 MTAB モデル

TAB モデルは液滴の振動による分裂をバネ振動系に置き換えて誘導した相似則に基づく分裂モデルである。実験定数 $K$ とカイ2乗分布の自由度 $\phi$ がパラメータである。上述のTABモデルでは分裂後の液滴径を過小評価するため、本研究では実験定数は $K=8/9$ 、 $\alpha=2$ 、 $\beta=1$ における抜山・棚沢らの粒径分布をカイ2乗分布で表した際の自由度 $\phi=12$ を用いて計算を行った。

## 3. 計算条件および計算領域

本報の解析で用いた物理モデルを表1に示す。計算コードには汎用流体解析ソフトSTAR-CD ver.4.20.02を用いて計算を行った。また、計算領域は直径55mm、長さ580mmの円筒形とし、計算格子にはトリムメッシュを用いて、縦方向、横方向および高さ方向をそ

それぞれ1mmずつに分割することによって計96万メッシュを生成した

また、表2に示す計算条件において、測定結果から得られたHC濃度分布と計算結果を比較し、流動場における各物理モデルの予測精度を検証する。雰囲気温度は180°C、270°C、350°Cの3条件とし、噴射ノズルからDOCの方向へ速度22.6m/sの流動を与えた。燃料噴射圧力は1MPaとし、燃料噴射量は30mgとなるよう噴射期間を設定した。また、燃料は実験において軽油を用い、数値解析には軽油の気液2相領域を模擬した3成分燃料を用いた。3成分燃料は $C_{10}H_{22}$ 、 $C_{16}H_{34}$ 、 $C_{20}H_{42}$ をモル分率0.2:0.7:0.1で混合したものとした。

#### 4. 結果および考察

流動場における各物理モデルの有効性を検証するため、HC濃度計測により得られた実験結果と計算結果との比較を行った。図2に噴射圧力 $P_{inj}$ が1MPa、雰囲気温度 $T_a$ が180、270、350°CにおけるHC濃度がピーク値をとったときのHC濃度測定結果を示す。図2より計算結果は、実験結果を定性的に再現していることが分かる。これは実現象において、自由噴霧からの蒸発よりも壁面衝突後の蒸発が促進しており、その傾向を計算結果において再現しているからであると考えられる。また、壁面衝突後の蒸発が促進しているのは、固液界面における熱伝達が気液界面での熱伝達よりも大きいことおよび壁面衝突によって液滴の微粒化が促進されたためであると考えら

Table 1 Configuration of simulation by STAR-CD

CFD code	STAR-CD ver.4.20.02
Turbulent model	RNG $k-\epsilon$ model
Solution Algorithm	PISO
Spray model	DDM(Discrete Droplet Method)
Atomization model	LISA model
Breakup model	MTAB model
Collision and Coalescence	W/O
Wall Impingement model	Doshisha Original model

Table 2 Computational condition

Fuel	JIS NO.2 Diesel / 3 component fuel
Nozzle type	Swirl
Injection quantity $Q_{inj}$ [mg]	30
Injection pressure $P_{inj}$ [MPa]	1
Fuel temperature $T_f$ [°C]	80
Distance to the wall [mm]	50
Distance to the DOC [mm]	400
Gas velocity $V_g$ [m/s]	22.6
Ambient temperature $T_a$ [°C]	180, 270, 350 ( $\neq T_w$ )
Ambient pressure $P_a$ [MPa]	0.1

れる。

また、計算結果は実験結果と比較して壁面近傍でのHCの蒸発を過大に評価していることが分かる。これは、計算結果において、乱流強度が低いためであると考えられる。乱流強度が過小に評価されることによって、実現象では、壁面近傍で蒸発した液滴は、スワール噴霧特有の渦に巻き込まれることによって配管上部へ拡散されるが計算結果においては、渦の影響を過小に評価することによりHCの拡散がなされなかったためであると考えられる。

#### 5. 結言

- (1) 流動場条件下におけるHC濃度分布は壁面近傍で高濃度となる傾向を示し、同志社オリジナルの壁面衝突モデルを適用することによって定性的に再現することが可能となった。
- (2) 計算結果は、実験結果に対して、壁面近傍の蒸気濃度値を過大に評価している。そのため、流動場における乱流強度を大きくすることで配管断面下側の濃度を全体に拡散させる必要がある。

#### 参考文献

- (1) 石原幹夫, 平塚裕一, 太田光紀, 鈴木重治: コージェライトDPFの新細孔制御技術, 自動車技術会論文集 36(3), p.57-62(2005)
- (2) 吉田隆: クリーンディーゼル開発の要素技術動向, 株式会社エヌ・ディー・エス, 東京, 2008, p127-132

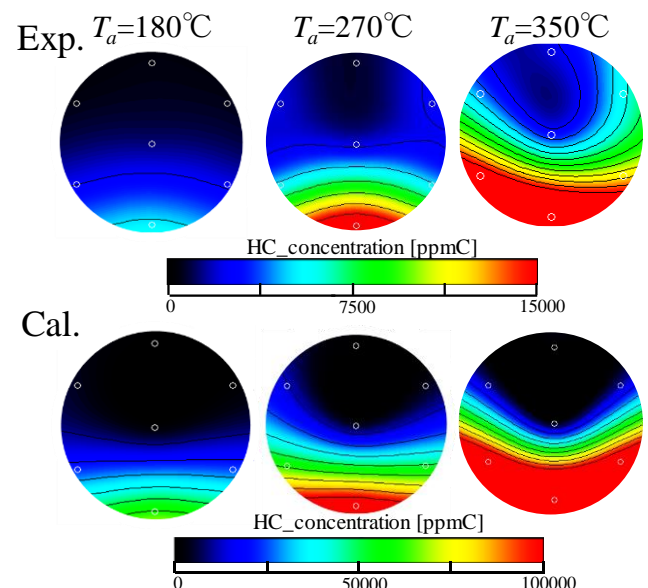


Figure 2 Contour plot of amplitude HC concentration of experimental result and CFD result