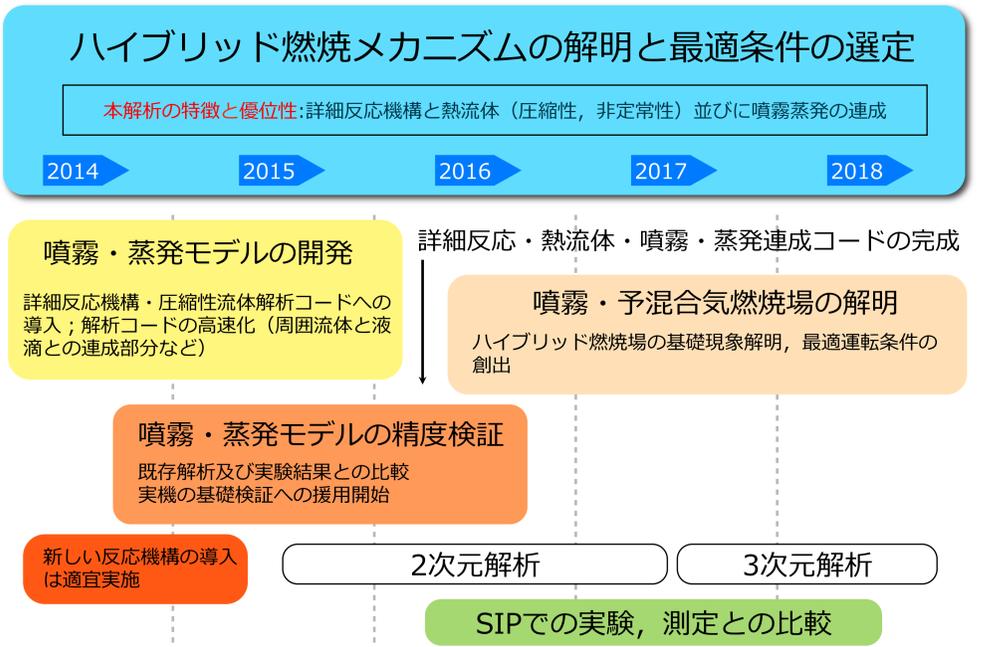


テーマ名 (タイトル)	排気エネルギーの有効利用と機械摩擦損失の低減に関する研究開発
SIPチーム	損失低減チーム リーダー大学: 早稲田大学 大聖 泰弘 教授
AICE分科会	ディーゼル燃焼分科会 摩擦損失低減分科会

目的	ターボ過給機の性能向上、燃料改質による排熱回収技術の開発を通じて排気エネルギーを低減する。従来は経験則に基づいていた摩擦損失メカニズムを解明し、大幅低減を狙う。
----	--

計画



テーマ名 (タイトル)	ハイブリッド燃焼に対する噴霧予混合気燃焼シミュレーション技術の開発と熱効率向上に寄与する運転条件の特定
クラスター大学	東京大学 寺島 洋史
目的	ハイブリッド燃焼に対する噴霧、蒸発、燃焼反応モデルを統合した流体シミュレーション技術を開発し、熱効率向上に最適なハイブリッド燃焼条件の特定を行う。

目的達成のための構想	●予混合気中の噴霧、蒸発、反応過程の詳細理解に基づいた最適運転条件の選定
アピールポイント	●高忠実な物理モデルを統合した高効率反応性流体解析技術の適用

研究進捗

- 液体噴霧蒸発の影響を考慮できる反応性流体解析手法の開発
- 開発方針

 - 液体微粒化は直接的に考慮しない → 液滴粒径、粒径分布、液滴速度は既知と仮定
 - 噴霧液滴濃度（数密度）は小さい状態を仮定
 - 噴射器近傍は考慮しない
 - 質点近似ラグランジアン型液滴追跡法
- 別途開発している詳細反応/圧縮性流体コードと融合する
 - #本研究開発は、ガソリン燃焼、制御CAEチームでの研究開発と連携している

支配方程式の構築①

Navier-Stokes方程式の生成項として噴霧蒸発効果が導入される

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u}) = S_\rho$$

$$\frac{\partial \rho \mathbf{u}}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u} \otimes \mathbf{u} + p \delta - \tau) = S_{\rho \mathbf{u}}$$

$$\frac{\partial E}{\partial t} + \nabla \cdot [(E + p) \mathbf{u} - \tau \cdot \mathbf{u} + \mathbf{q}] = S_E$$

$$\frac{\partial \rho Y_i}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho Y_i \mathbf{u} - \rho D_i \nabla Y_i) = \dot{\omega}_i + S_{\rho Y_i}$$

#現在のコードは単一燃料成分を仮定している

液滴の影響

$$S_\rho = -\frac{1}{\Delta V} \sum_k \Delta m_{d,k}$$

$$S_{\rho \mathbf{u}} = -\frac{1}{\Delta V} \sum_k \Delta (m_{d,k} \mathbf{v}_{d,k})$$

$$S_E = -\frac{1}{\Delta V} \sum_k \Delta E_{d,k}$$

$$S_{\rho Y_f} = S_\rho$$

- 液滴の変数は、液滴運動と蒸発をモデル化した支配方程式を別途連成させて、解き進める（右スライド参照）
- 詳細化学反応が考慮される

周囲流体と液滴の連成

a linear interpolation from the surrounding points to a droplet

a linear extrapolation based on area to the surrounding points

検討事項（未）

- 気相における蒸発しない液滴の存在 ⇔ 数密度が大きい場合
- 液滴同士の直接的干渉は考慮しない
- 2次微粒化
- 解像格子より大きな液滴の取り扱い
- 流体と液滴との連成の高効率化

支配方程式の構築②

- 液滴の運動量保存式

$$\frac{d(m_d \mathbf{u}_d)}{dt} = \mathbf{F} \quad \text{where} \quad \mathbf{F} = \frac{1}{2} \rho_f C_D A_d |\mathbf{u} - \mathbf{u}_d| (\mathbf{u} - \mathbf{u}_d)$$
- 液滴の質量保存式

$$\frac{dm_d}{dt} = \dot{m}_d \quad \text{where} \quad m_d = \rho_d \frac{\pi}{6} D_d^3$$
- 液滴のエネルギー保存式

$$m_d c_{p,d} \frac{dT_d}{dt} = \dot{Q}_d$$

a sphere
a thin film

液滴蒸発と周囲との熱交換
vaporization and heat exchange
based on a thin film assumption

- 液滴温度が飽和温度以下 → Langmuir-Knudsenらの非平衡蒸発モデル液滴
- 飽和温度以上 → Kuoらの沸騰蒸発モデル

先行適用例

- 本開発手法は、先行的に他分野問題に適用されているところである
- 右図は、ヒドラジン燃料の液滴蒸発シミュレーションの結果である
- 炭化水素系燃料での妥当性検証を、左スライドの検討事項と共に、本年度進めていく予定である

Figure 8: Time-series contours of the temperature with the droplets after the ignition in Case 2A. The droplets are displayed ten times larger.

謝辞

- 噴霧蒸発コードは、黒瀬准教授（京大）から技術提供を受けたものである
- 本コードの実装と上記先行計算例は、谷研究員（JAXA）により行われたものである