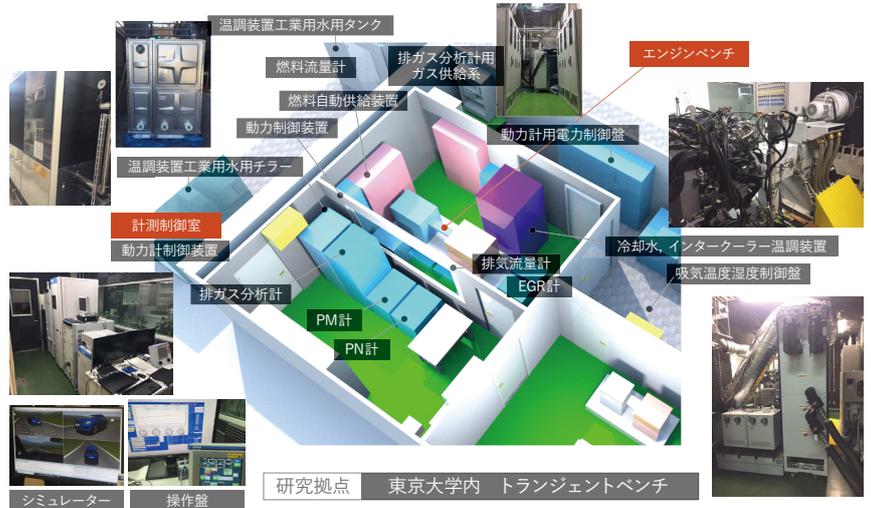


革新的燃焼技術を具現化するモデリングと制御



制御チーム 研究責任者: 東京大学 大学院工学系研究科 教授 金子 成彦

高度燃焼制御システムの構築を目指して、制御対象のモデリングと制御系設計開発支援ツールの開発を行う。具体的には、全体モデリングに必要な、①高速3D計算コアソフトの開発、②着火・燃焼・排気サブモデル群の開発、およびコントローラー設計に必要な、③高いロバスト性を有する制御方式の開発、④制御モデルの定数最適化を行うツールの開発を行う。



熱効率50%に貢献するモデリングと制御技術



制御グループ

モデルベースの制御設計手法構築

- ▶ 物理に基づいた制御モデルの構築
- ▶ 様々な最新の制御理論を応用したオンボード適合

新燃焼の実装

$$I_{spray,PK} = 2.95 \frac{P_{Cylinder} - P_{PK(IN)}}{P_{Gas}}^{0.25} \sqrt{d_{hole} t}$$

$$\cos(\psi_{spray,PK}) = \left\{ 3.0 + 0.28 \left(\frac{L_{spray,PK}}{d_{hole}} \right)^{-1} \right\}^{-1} 48 \sqrt{\frac{P_{Gas}}{\rho_{fuel}} \frac{\sqrt{3}}{6}}$$

$$K = \int_{IN}^{EX} A [Fuel]^{1/2} [O_2]^{1/2} \exp\left(-\frac{E}{RT}\right) dt$$

$$\theta_{mix} = \theta_{2,IN} + \frac{\omega_{spray,PK} K}{A (V_{cyl} + V_{mix} + V_{mix})} \left(\frac{\rho_{fuel}}{\rho_{air}} \right)^{1/2} \exp\left(-\frac{E}{RT_{mix}}\right)$$

$$-\frac{d}{dt} [Fuel] = a [Fuel]^{1/2} [O_2]^{1/2} \exp\left(-\frac{E}{RT}\right) - \omega_{spray,PK} K$$

$$-\frac{d}{dt} [Fuel] = a \left[\frac{\rho_{fuel}}{V_{cyl} + V_{mix} + V_{mix}} \right] \left[\frac{\rho_{fuel}}{V_{cyl}} \right] \exp\left(-\frac{E}{RT}\right)$$

$$C_p \left\{ \dot{n}_{NG} (T_{NG} - T_{ref}) + \frac{P_{NG}}{RT_{NG}} (V_{VC} - V_{VC} \frac{T_{VC}}{T_{NG}}) (T_{NG} - T_{ref}) \right\}$$

$$= C_p \left\{ \dot{n}_{NG} + \frac{P_{NG}}{RT_{NG}} (V_{VC} - V_{VC} \frac{T_{VC}}{T_{NG}}) \right\} (T_{VC} - T_{ref})$$

RAICA (雷神)

CAEグループ

3次元CFDソフトの開発と高精度化

- ▶ 均一直交格子法と境界埋め込み法によるメッシュ作成過程の排除
- ▶ 各種サブモデルやSIPで開発された最先端サブモデルの実装

設計支援ツールの提供

HINOCA (火神)

PMグループ

CFD用ガソリンPMモデル構築

- ▶ モデル開発・最適化のための最先端計測技術の構築
- ▶ 冷間始動を含めたインジェクタノズル出口~PM生成までのモデリング

設計支援ツールの提供

RYUCA (粒神)

研究項目とチーム体制



RAICA: モデルをベースにしたエンジン制御システムの構築

グループリーダー: 東京大学 大学院工学系研究科 准教授 山崎由大

次世代燃焼は、環境や運転条件に対するロバスト性が低く、従来の制御システムでは実用化が困難

- ▶ 物理モデルをベースとしたエンジン制御およびその設計手法の新たなアーキテクチャー (図1)。
- ▶ 物理モデル、ロバスト制御、適応制御、AIを組み合わせた他に類をみない制御システム (図2)。
- ▶ オンボードのモデル計算による制御で、ロバスト性が低い新燃焼も維持でき、実路でのCO₂低減に繋がる (図3)。

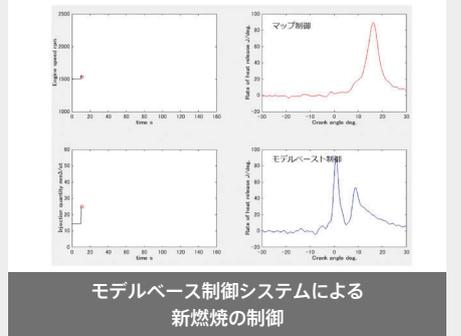
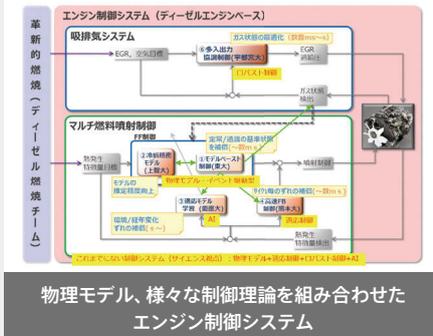
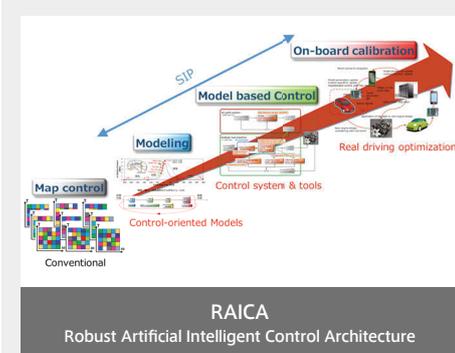


図1 物理モデルをベースとした制御、制御システムの新たなアーキテクチャー「RAICA」

図2 物理モデル、様々な制御理論を組み合わせたエンジン制御システム

図3 新燃焼の熱発生を過渡運転条件で制御した試験結果例 (噴射量ステップ変化時も2段の熱発生を維持)

実施内容: 制御に利用できる物理モデルの構築手法、それを利用した制御システムの設計手法の確立。

搭載した新知見: 従来の制御手法では容易に維持できないロバスト性の低い新燃焼も本制御システムで実現。

今後の課題: 制御目標値の設計手法を構築する。

主な関連論文

- ① Motoki Takahashi, Yudai Yamasaki, Shigehiko Kaneko, Seiya Fujii, Ikuro Mizumoto, Tomofumi Hayashi, Mitsuo Hirata, Model-based control system for a diesel engine, IFAC AAC 2019 (発表予定)。
- ② 江口誠, 大森浩充, 高橋幹, 山崎由大, 金子成彦: 小脳演算モデルコントローラを用いたフィードバック誤差学習によるディーゼルエンジンの燃焼制御, 自動車技術会論文集, 掲載可。
- ③ 一柳満久, 定地隼生, 松井大樹, イルマズエミール, 鈴木隆: ディーゼル機関におけるオンボード用圧縮ポリトロープ指数予測モデルの過渡運転条件への適用, 自技会論文集, Vol.49(5), (2018)



RYUCA: 冷間始動からのエンジン筒内PM生成が計算できる

※ PM: 粒子状物質 (Particulate Matter)

グループリーダー: 日本大学 生産工学部 教授 秋濱一弘

既存ソフトウェアでは冷間始動時特有の筒内液膜燃焼にも対応しうるモデル群が不十分。実質使用不可。

- ▶ 直噴ガソリンエンジン低温始動時のPM計算に対応したモデルパッケージ: RYUCA (図1)。
- ▶ 始動時の筒内現象 (燃料噴射・液膜形成→蒸発→燃焼・PM生成) を再現 (図2)。
- ▶ 燃料噴射から筒内液膜 (プール) 燃焼のPM生成まで一連の計算が可能になった (図3)。

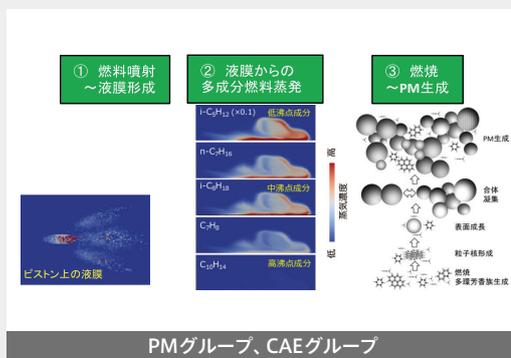
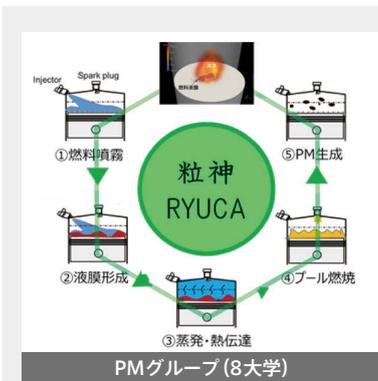


図1 直噴ガソリンエンジンのPM計算モデルパッケージ: RYUCA (粒神)

図2 ①燃料噴射と液膜形成計算例、②液膜からの多成分燃料の成分ごとの蒸発計算例、③燃焼~PM生成モデルの概念図

図3 RYUCA/HINOCAによる筒内液膜 (プール) 燃焼によるPM生成計算例

実施内容: 世界最高速PIV、超高速可視化や衝撃波管・急速圧縮膨張装置などの高度計測によるモデル化と検証。

搭載した新知見: 多成分燃料の独自検証データに基づくモデルパラメータ。核生成と表面反応を再検討したPMモデル。

今後の課題: 始動時のエンジン内PM予測の計算時間が約500時間。1/2~1/4に短縮。

主な関連論文

- ① T. Shibata, Y. Zama et.al.: Ultra-high Speed PIV Measurement for Gasoline Spray Ejected from a Multiple Hole Direct Injection Injector, 18th Int. Symp. on the Application of Laser and Imaging Tech. to Fluid Mech (2016)。
- ② 秋濱一弘 他: ガソリンサロゲート燃料のすす粒子生成モデルの検討, 自動車技術会論文集, Vol. 49, No. 6, 1132-1137 (2018)