

ガソリン燃焼チーム



研究責任者: 慶應義塾大学大学院理工学研究科 飯田 訓正 高効率ガソリンエンジンのためのスーパーリーンバーン研究開発

スーパーリーンバーンによる熱効率50%へのシナリオ

これまでにないスーパーリーンバーン(超希薄燃焼)による低温燃焼の実現から, エネルギーロス(冷却損失)を低減し, 熱効率を向上



・ガソリン燃焼チームに参画の各大学・研究機関



・共用研究拠点 小野測器横浜テクニカルセンター内 慶應義塾大学SIPエンジンラボラトリー



・研究開発内容の詳細とスケジュール



現状の成果









Combustion Technol





均一混合気を用いた熱効率50%の火花点火機関の実現には、高圧力、高EGR率および超希薄混合気を高タンブル流、 乱流場と言った過酷環境での点火が要求される.本研究は上記環境での火花点火機構の解明を行い、安定した点火形 態の実現を模索するのに加え、初期火炎核形成メカニズムを再現可能な数値解析手法の構築を目指す.

研究方法

- 定容容器を用いた静止場および流動場での高エネルギー火花による点火特性の把握
- 詳細反応モデルの簡略化および静止場における点火挙動に関する数値解析手法構築
- ・ GT-Powerに組み込む点火モデル構築とその検証・改良
- 近赤外2色法温度計測手法の火炎核温度場計測への適用
- 放電プラズマスペクトルの高速度時系列計測手法の確立およびプラズマ反応モデル構築の検討



SIP革新的燃焼技術 Innovative Combustion Technology

- 高速度プラズマ分光法を用いた放電特性計測
- 化学反応とプラズマ反応を統合した反応モデル構築の検討









- タンフル流を伴う, 超希薄・高EGR条
 件下のTRF・空気乱流予混合火炎の火
 炎構造解明
- Thin/Broken reaction zonesに分類 される燃焼場への燃焼モデルの拡張



Innovative Combustion Technology





 火炎伝播促進効果のある燃料組成,添加 物質を調査

SIP革新的燃燒技術 Innovative Combustion Technology



今年度の取組

- ・安定かつ高速な火炎伝播の実現手法の検討と提案
 →確実な点火〜火炎核形成〜火炎核成長の促進
- ・定容燃焼装置を用いた基礎実験による 燃焼促進に最適な流動の検討と提案



Innovative Combustion Technology



SIP革新的燃焼技術

Innovative Combustion Technology

 ・ガソリンサロゲート反応機構(SIP-Gd1.0, Gr1.0)を用いた数値計算





旦 🔊 S I P 革 新 的 燃 焼 技 術 Innovative Combustion Technology





SIP革新的燃焼技術

Innovative Combustion Technology



(RCFM)の製作

壁面埶流束計測

影響の調査

に与える影響の調査

- 水噴射量,時期等が熱効率,ノック,冷却損失に与える影響の調査(熱流束計測, μVG,可視化計測との組み合わせ含む)
- ・他クラスター大学(都市大,明大,東大) との協働:熱流束センサの適用と検証

SIP革新的燃烧技術

流動と熱流束に与える 速度分布の計測と1D熱 化と要素技術の検証

伝達モデル提案

水添加が燃料と熱伝達 筒内水噴射による冷却損失低減技術の

検証と最適化





壁面境界層内の熱と流れの構造の把握や熱伝達モデルの検証及び燃焼状態や表面材料とその構造が冷却損失低減に 与える効果の実証を行うために、高精度で信頼性が高い瞬時温度センサの開発を推進する。

研究方法

東京都市大学では内燃機関の温度・圧力・油膜厚さを計測できる独自の薄膜技術を持ち、ピストンや軸受に直接形成して多くの計測実績を上げてきた。この技術を利用した瞬時熱流束センサを開発し、新たな低雑音及び高応答の 計測システムを開発し、RCEM及び実機実験へ適用する。





Innovative Combustion Technology





燃焼場の熱流束計測試験

RCEMでの計測試験

熱伝達モデル検討 ----> 熱伝達モデルの構築

熱流束計測による熱損失 低減策の評価

SIP革新的燃焼技術

- ・熱伝達モデルの構築
- ・DC型熱流束センサの検討
- ・コンタミの影響・検出方法の検討





・数値解析で得られている圧力波形成挙動 の検証

SIP革新的燃度技術 Innovative Combustion Technology



- K. Maruta et al., Proc. Combust. Inst., 30 (2005) 2429-2436.
 S. Minaev et al., Combust. Theor. Model., 11 (2) (2007) 187-203.
 - 07) 187-203. [6] M. Mehl et al., Proc. Combust. Inst., 33 (1) (2011) 193-200.
 - [7] Diesel_nheptane_chem_MFL2015, Model Fuel Library, CHEMKIN-PRO
- [3] A. Yamamoto et al., Proc. Combust. Inst., 33 (2011) 3259-3266.
 [4] R.J. Kee, et al., Sandia National Laboratories Report, (1985) No. SAND85-8240.
- v17.2. (2016).





1 Objective

ガソリン燃焼チーム

Background

- New automotive engines are developed to increase efficiency and decrease CO2
- Ultra-lean combustion of gasoline can lead to higher efficiency
- Engine knocking can occur and must be avoided
- → Reactivity of ultra-lean mixtures must be well understood

Challenges

Ultra-lean combustion usually limited to high temperature/pressure regimes Common approaches use transient methods (RCM, Shock tube)

Solution

3

Investigation by micro flow reactor with controlled temperature profile (MFR)

 $T(x) = 3.46x^2 + 18.16x + 350.18$

Experimental T-profile

5.0

dT

- Allows for investigation at atmospheric and elevated pressures and temperatures
- Enables steady state investigation

¥ 1200

ng 1000

800

600

400

0.0

Wall temper

Easy and reliable method to evaluate fuel reactivity

Results

2.5

 λA

 $\frac{A}{c}\sum_{k=1}^{K}\dot{\omega}_{k}h_{k}W$

2 Principle





0.00

Mole Fraction / - 2000

0.000



 $\dot{M} \frac{dT}{dT}$

dx $c_n dx$

- Competes with chain branching reaction: H+O₂=OH+O
- Strong influence on hot flame reactivity Different represen-
- tation in various mechanisms



Similar in stoich case

Different in lean case

Influences Φ dependence



 $\Phi = 0.5$ moves upstream Sensitive to third bodies



4 Outlook

			High pressure
2016	2017	2018	 Experiments and simulations under engine conditions
PRF experiments and simulations Comparison of reaction mechanisms	 Surrogate experiments and simulations Identification of main reactions 	 High pressure EGR conditions Compilation into reactivity index 	 Effect of equivalence ration under these conditions Exhaust gas recirculation EGR up to 20% Effect of third hadias on reactivity.

References

- [1] K. Maruta, T. Kataoka, N. Kim, S. Minaev, R.
- Fursenko, Proc. Combust. Inst., 30 (2005), 2429-2436. [2] S. Minaev, K. Maruta, R. Fursenko, Combustion

CH-0+1.250

- Theory and Modelling, Vol. 11 No. 2 (2007), 187-203. [3] M. Hori, A. Yamamoto, H. Nakamura, T. Tezuka, S. Hasegawa, K. Maruta, Combust. Flame, 159 (2012),
- 959-967 [4] R.J. Kee, et al., Sandia National Laboratories Report (1985), No. SAND85-8240.
- [5] A. Miyoshi, J. Phys. Chem. A., 115 (2011), 3301-3325





Temperature 1000/T (1/K)

81

|由|

石开

究

✓ NOは微量でも着火を促進する.

Innovative Combustion Technology

2016 2017 2014 2015 2018 無過給時を想定した雰 過給時を想定した雰囲 過給, EGRを想定した ガソリン単気筒エンジンを用いたノックモデ 囲気場でのガソリンの 気場でのガソリンの着 雰囲気場でのガソリン ル・ノック抑制コンセプト検証 着火遅れ時間計測 火遅れ時間計測 の着火遅れ時間計測 実機によるノックモデル検証, サロゲート (P: 2,3 MPa, (P: 4 ~ 6 MPa. (P: 4~6 MPa, φ = 構成成分がノックに与える影響の実機検証, $\phi = 0.5)$ 0.5, EGR率0~30%) $\phi = 0.5)$ ノック抑制コンセプト検証 旦 🔊 S I P 革 新 的 燃 焼 技 術

> ETBEとエタノールを混合した際のガ ソリンの着火遅れ時間をRCMを用い て計測する.

ガソリン単気筒エンジンを用いた
 ノックモデル・ノック抑制コンセプ

今年度の取組

トの検証を進める.



ガソリン燃焼チーム クラスター 19(燃料・ノック班) 上智大学 理工学部 村井梨紗子, 舘野弘樹, 高橋和夫 加熱型高圧衝撃波管による実燃料の着火遅れ計測と 実機関における自着火指標の構築

🕑 上智大学





2017/07/06 SIP「革新的燃焼技術」第3回公開シンポジウム

ガソリン燃焼チーム

SIP革新的燃焼技術 ative Combustion Technology

北海道大学



- ナフテン/含酸素燃料機構
- 壁面遅延混合モデル
- 2014
 2015
 2016
 2017
 2018

 version
 0
 1β SIP-Gd1.0
 2.0β
 2

 0次元瞬間混合モデル
 ノック抑制コンセプト
 多層遅延混合モデル





今年度の取組







ガソリン燃焼チーム クラスター23 (燃料・ノック班)

福井大学 学術研究院 工学系部門 機械工学分野 酒井 康行

素反応機構の構築およびその簡略化

理論化学に立脚したガソリンの詳細/簡略化反応機構を開発 世界初:着火遅れ・火炎伝播の両方を定量的に再現する簡略化反応機構

- → 従来の経験モデルを超え,未知の燃焼領域の解析が可能に
- → 0次元ノックモデル, CFD計算の高精度化 → ノッキングの理解 → ノッキング抑制コンセプト提案 → 熱効率向上

研究方法

- 1. 量子化学計算および統計理論により詳細反応機構を構築(広島大学と共同
- 2. 実験により着火遅れ・火炎伝播速度の定量的再現性を検証(上智大学・茨城大学・火炎伝播班と共同)
- 3. 反応経路解析・感度解析結果を基に、ランピング/リダクション法により簡略化・詳細反応機構に対して検証



計

|由|

笂

研

今年度の取組

簡略反応機構のエンジン燃焼への展開

- 低温酸化のタイミングと発熱量 の予測精度向上
- 残留ガス影響の予測精度検証
 NO反応機構の必要性





Innovative Combustion Technology



制のための制御課題抽

御モデルの開発

 不安定燃焼領域を考慮した 最適化アルゴリズムの開発



の制御手法を確立)



術を開発し、スーパーリーンバーンの実現に貢献する。

研 究 万 法

- ・RCEMによって作り出した高圧場における高炭素数燃料の火炎核の成長過程を高速度カメラによって観測し、誘電体 バリア放電(DBD)プラズマの有無による火炎伝播への影響を見る。
- ・種々の油種、当量比、温度条件にて実験を行い、DBDプラズマ重畳が火炎伝播に及ぼす影響の依存性からメカニズム を考察する。

主な成果





alumina ceramics with embedded electrode for DBD and a spark plug. (b) Detail of the DBD

ピストン沿面前方の燃焼室壁面にスパークプラグ、DBDプラズマリアクターを設置。燃焼 室上部の観測窓から、青色フィルター、UVレンズ、イメージインテンシファイアを介した 高速度カメラによってスパークプラグ近傍を撮影し、火炎核の成長過程を観測した 静電流体効果によりDBDプラズマの影響を受けた混合気がスパークプラグ近傍に輸送され るようプラズマリアクターを設計した。

・実験条件



piston compression process 実験条件をTable 1に示す。低温酸化反応がみられる 温度域で実験を行った。圧縮行程、火花点火、プラ ズマリアクターの動作タイミングチャートをFig.3 に示す。この時DBDプラズマの消費エネルギーは 850mJである。

DBD plasma reactor, and the

Fig.1 Detail of the RCEM Combustion chamber

今年度の取組

- プラズマによる促進メカニズムの解明
- 単気筒エンジンへの適用と効果の検証





Fig.5 Measurement result of the n-heptane/air mixture flame kernel radius. Equivalent ratio is 0.48. and ambient temperature is 665 K.

実験で得られた写真から火炎核の直径を測 定し、球状を仮定して火炎核半径を算出。 経過時間毎に火炎核半径をプロットし、半 径が2.5mmに達した時間を火炎発達時間 (FDT)と定義。また、火炎伝播速度Snを半 径5mmにおける点で評価した。



Innovative Combustion Technology



・実験結果







- マルチタイムスケール乱流熱伝達モデルの 提案
- エンジン筒内の乱流熱流動場で、マルチタイムスケール乱流熱伝達モデル予測精度を 評価するため、その素過程である様々な外 力が作用し壁面熱的境界条件が変化する乱 流熱伝達場のDNSを行い、基本統計量等 のデータを取得する



