革新的燃燒技術

Innovative Combustion Technology

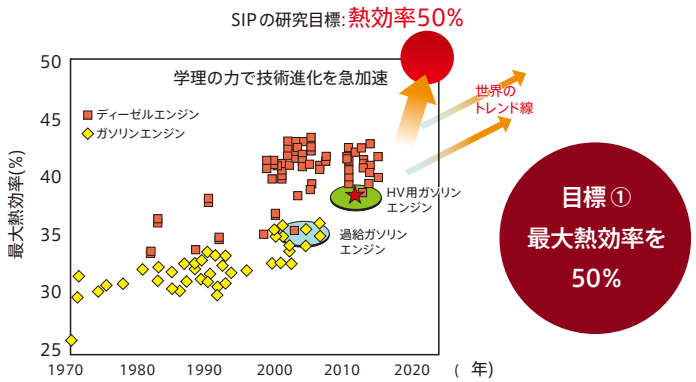
SIP 革新的燃燒技術
Innovative Combustion Technology
bridging to....

日本初の革新的内燃機関を、地球環境を救う切り札に

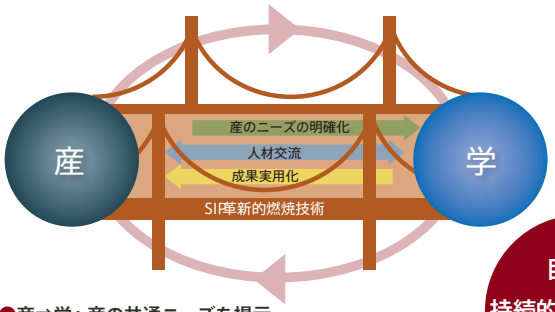
速くて快適な移動手段として、日々の暮らし、産業、社会活動を支える自動車。地球環境問題を背景に走行性能、安全性能に加え、いっそうの環境性能の向上が求められています。SIP革新的燃焼技術では、自動車用の内燃機関の熱効率を最大50%へと飛躍的に向上させ、環境負荷の低減を目指します。また、産学官による研究開発体制の構築を通じ、我が国の実用工学の発展と国際競争力の向上に寄与します。

プログラムディレクター(PD)　杉山 雅則(トヨタ自動車株式会社)

SIP 革新的燃焼技術の全体目標



目標①
最大熱効率を50%



- 産⇒学：産の共通ニーズを提示
- 学⇒産：基礎的知見の提供
- 学⇔産：持続的な人材・ニーズ・シーズの行き来

目標②
持続的な産産学学連携の構築

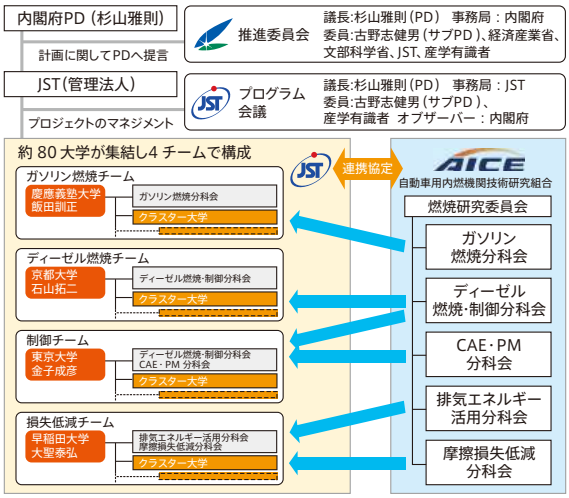
産産学学連携による研究体制

SIP革新的燃焼技術は、様々な専門分野を持つ大学・公的研究機関の研究者が集結し、「ガソリン燃焼チーム」、「ディーゼル燃焼チーム」、「制御チーム」、「損失低減チーム」の4チームから構成されている。4名の研究責任者が各チームを率い、互いに成果を授受しながら研究を進める。

一方で、日本の自動車メーカー9社と2団体で構成される自動車用内燃機関技術研究組合(AICE)が、プロジェクトの管理法人である国立研究開発法人科学技術振興機構(JST)と連携協定を結び、広範囲にわたってプロジェクトを支援する。

このように「産」と「学」だけでなく、「産」と「産」、「学」と「学」が密接に連携する、「産産学学連携体制」が構築された。

SIP革新的燃焼技術の研究実施体制



オールジャパンの研究体制

プラットフォームとなる研究拠点の整備

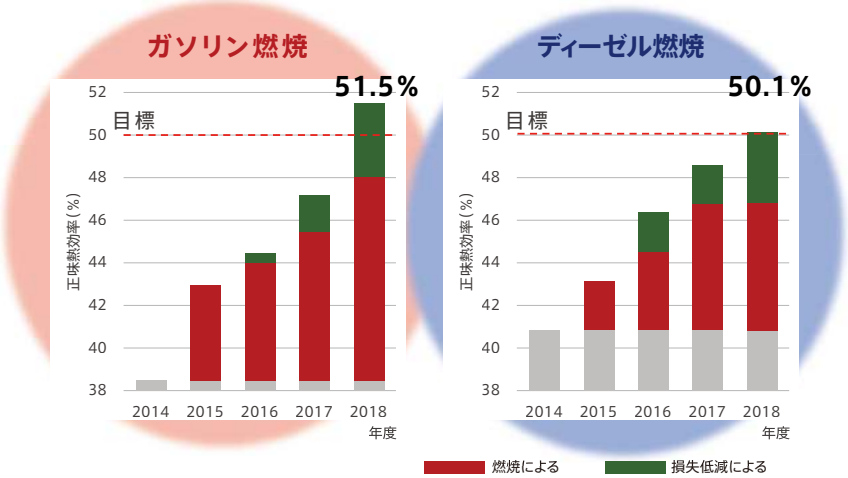
プロジェクトへの参画者数は5年間の累積で延べ約1300名、AICEからの支援者は毎年120名にのぼる。研究者の専門分野は、エンジン燃焼だけでなく、基礎燃焼、計算科学、制御理論、化学反応、トライボロジー、乱流等多岐にわたり、所属機関は日本全国に跨っている。これらの多様なメンバーの力を融合し、熱効率向上という一つの大きな成果へ繋げるため、研究責任者が所属するリーダー大学では、メンバーが自由に利用できる研究拠点が整備された。研究拠点では、プロジェクトメンバーによる産学、専門分野、キャリアの壁を越えた議論が展開され、オープンイノベーションの場としての機能を果たしている。

最大熱効率 50% 超の達成

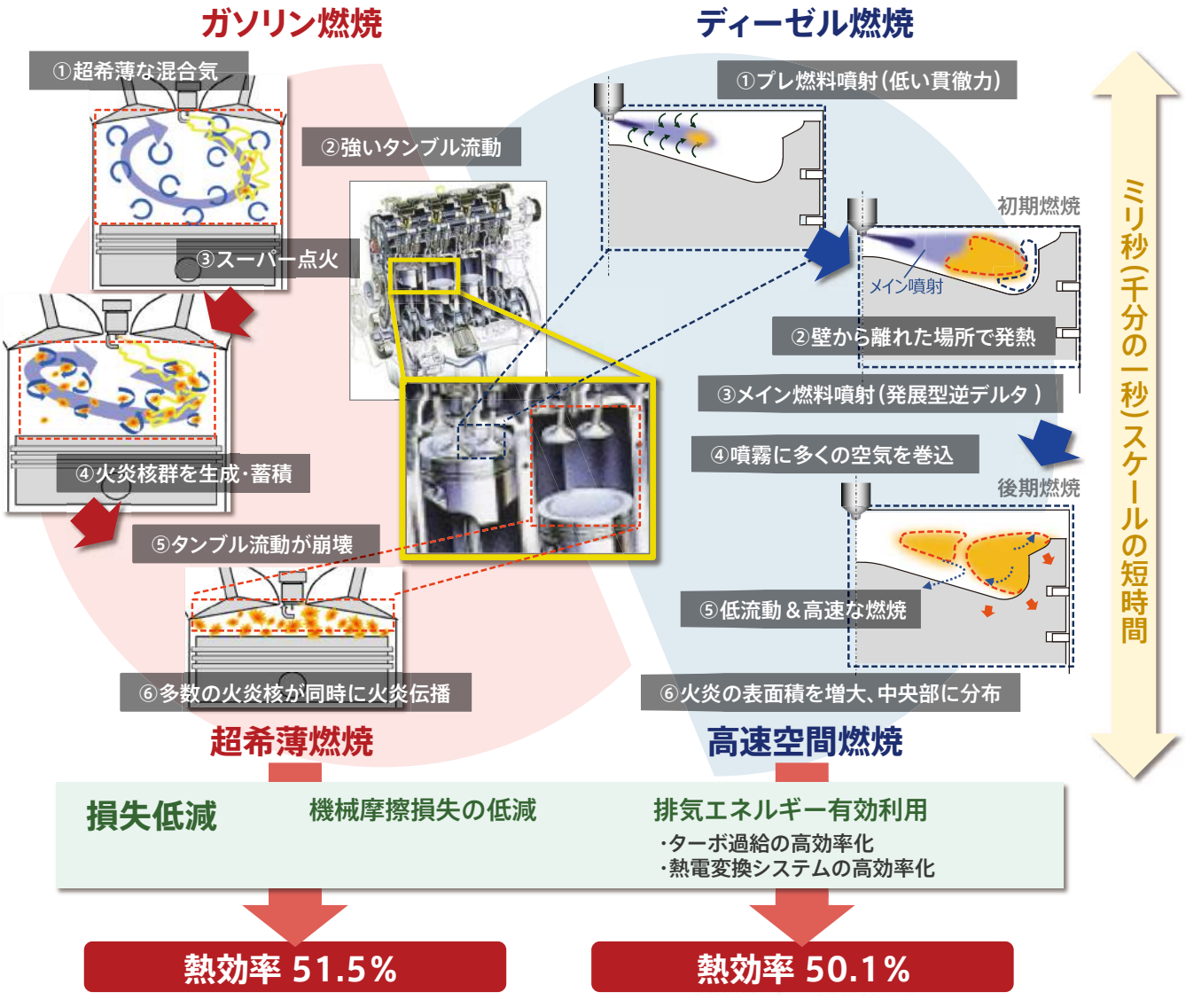
産産学学連携の体制構築と運営の成功により、以下のような研究成果を統合することによって、ガソリンエンジンでは51.5%、ディーゼルエンジンでは50.1%の正味最大熱効率を達成した。

- ガソリン燃焼コンセプト：「超希薄燃焼（スーパーリーンバーン）」の実現
- ディーゼル燃焼コンセプト：「高速空間燃焼」の実現
- 機械摩擦損失の低減
- ターボ過給の高効率化
- 熱電変換システムの高効率化

正味最大熱効率50%超達成の推移



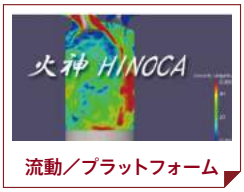
正味最大熱効率50%超を達成した技術の概要



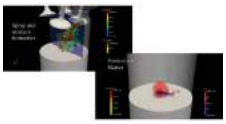
3 次元エンジン燃焼解析ソフトウェア「HINOCA（火神）」

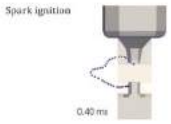
本プロジェクトでは、先進的な流動・燃焼場を高精度に解析できる、科学的にも実用的にも優れた燃焼解析ソフトウェア「HINOCA（火神）」を開発した。HINOCAには、複雑な流動、超希薄燃焼、またPM（粒子状物質）生成等の現象を物理および化学に基づき捉えモデル化したRYUCA（粒神）などの本プロジェクトによる最先端の知見が導入されている。

また、格子生成が不要な計算手法を取り入れており、計算の前処理に要する時間を大幅に削減することができる。さらに、燃焼過程における現象ごとにサブモデルが構築され、それらを入れ替えることによって、様々な燃焼に対応可能である。このように、産学双方に魅力的であるとともに、SIP終了後も最新の知見を入れ込んで成長できるソフトウェアとなるように設計された。



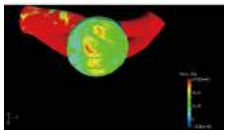
流動／プラットフォーム

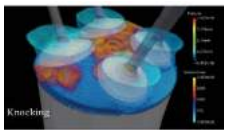

噴霧・液膜・PM形成



点火

火炎伝播


壁面冷却損失



ノック

HINOCA の概要

制御チーム／ガソリン燃焼チーム

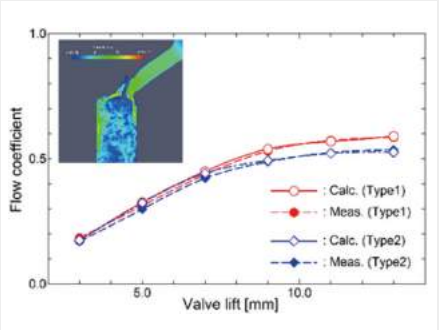
HINOCA：エンジン形状データから直ちに燃焼計算ができる

既存ソフトではエンジン形状ごとに格子生成が必要であり、その過程に数週間から数か月の時間を要した。

- 直交格子法と境界埋込（IB）法の併用により、形状データから直ちに高効率並列計算による燃焼解析が可能（図 1）。
- 定常ポート流検証において、ポート形状差の効果を再現し、流量係数の誤差は1％以内（図 2）。
- SIP で開発された層流燃焼速度モデル、乱流燃焼モデルの組込みにより、幅広い燃料濃度範囲で使用可（図 3）。

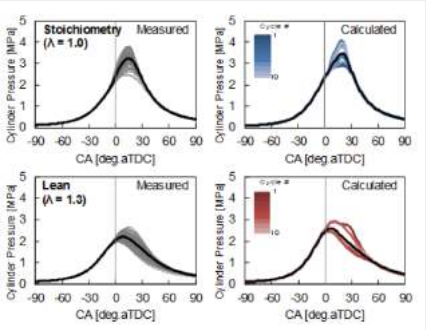
CAE グループ 全6大学

図1 エンジン形状データから直ちに燃焼解析



溝渕、南部（JAXA）

図2 定常ポート流においてポート形状差の効果を定量的に再現



草鹿、神長（早稲田大学）、片岡（大阪府立大学）、名田（徳島大学）、店橋（東京工業大学）

図3 量産エンジンの圧力履歴を幅広い燃料濃度範囲で再現（λ=1.0（上）、1.3（下））

実施内容：移動境界に対応した新しいIB法の開発による保存性向上、噴霧計算機能/液体燃料物性自動計算機能の組込み、放電経路の伸長/再放電を考慮した点火モデルの組込み、火炎伝播計算機能/SIP発の層流燃焼速度モデルおよび乱流燃焼モデルの組込み、ノック予測モデルの組込み。

搭載した新知見：ガソリン燃焼チームにより筒内流動は必ずしも完全発達した乱流場ではないことが示唆されたので、遷移状態を考慮した熱流束モデルを導入。MIE遷移を含む最小点火エネルギーを考慮した火炎核成長モデルの導入。

今後の課題：格子の配置・細分化の効率化などを進めることにより、企業ニーズに応える計算速度を実現する。

主な関連論文

①川内智詞，高木正英：ガソリン噴霧及びディーゼル噴霧における分裂モデルの適用性に関する検討，自動車技術会 2018 年春季大会学術講演会講演予稿集，20185013(2018)、②堀司：火花点火機関における放電経路伸長と再放電のモデリング，自動車技術会論文集 48(3):641-647(2017)、③神長龍一他：LES 版 HINOCA のエンジンポート定常流計算，第 28 回内燃機関シンポジウム講演予稿集 20178070 (2017)、④神長隆史他：火花点火ガソリンエンジンにおける燃焼のサイクル間変動の LES 解析，自動車技術会 2018 年春季大会学術講演会講演予稿集，20185159(2018)

HINOCAの構成については、32ページをご覧ください

SIP 終了後も維持発展する産産学学連携体制

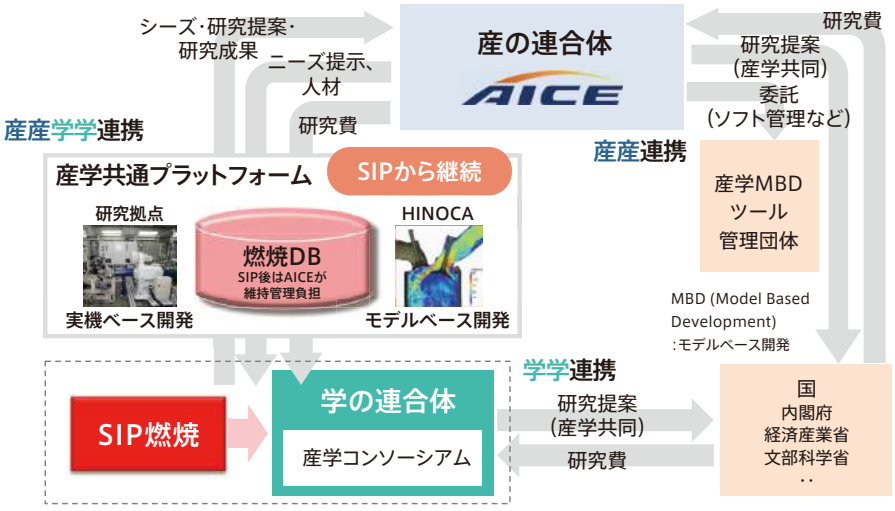
本プロジェクトで構築された強固な産産学学連携体制がSIP終了後も維持発展するようプロジェクト期間中から議論を重ね、共通のプラットフォームを基盤に産の連合体と学の連合体が持続的に連携する体制が構築された。

体制面では、産の連合体であるAICEに対して、SIP終了後の学学連携を担う産学コンソーシアムが発足した。産学コンソーシアムは、日本のアカデミアが持つサイエンスの力を最大限に活かし、産業界のエンジニアリングに繋げていくための仕組みを作ることを目的に設立され、今後AICEと連携しながらSIPで築かれた産産学学連携をさらに進化させていく。

また、共通プラットフォームとして、研究拠点、HINOCA、および研究成果データベースが本プロジェクトから引き継がれる。研究拠点は産と学、研究機関、専門分野の垣根を越え、産産学学が融合して一つの大きな成果を創出することに対して有効に機能し、研究拠点の活用によって創出された新知見や検証データは、HINOCAのサブモデル構築や精度向上に繋がった。

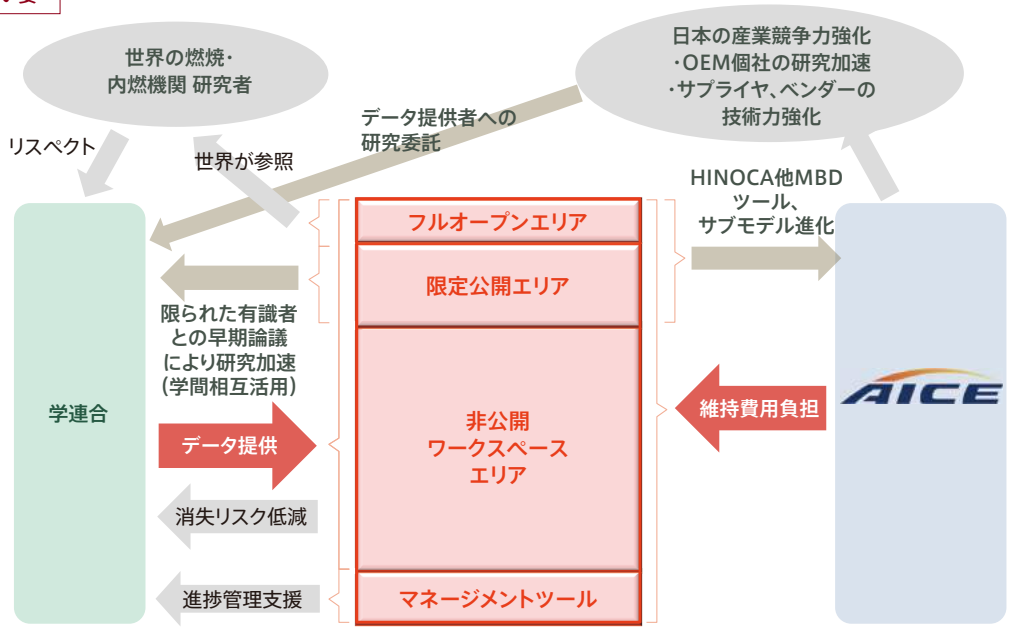
また、これらの研究成果の散逸を防ぎ、SIP終了後も産学が活用しながらバージョンアップを続け燃焼研究を発展させるデータベースが構築された。データベースが一過性のデータ格納とならずに有効に機能するよう、公開レベルを階層的に設定したデータベース構造の設計、データの著作権取扱いを定めたポリシーおよびガイドラインの策定等、産学双方にとって価値のあるデータベース構築という観点で整備された。

持続的な産学連携体制の構築



SIPを産学の連合体で引き継ぎ、共通プラットフォームを基盤に“産産学学連携”を発展させる。

SIP燃焼技術データベースのありたい姿

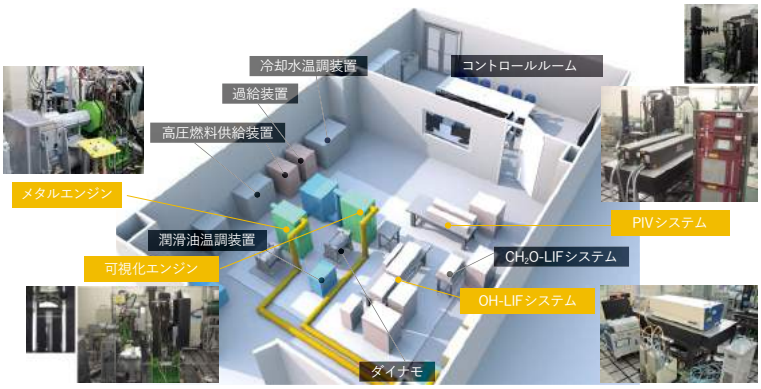


官が種を蒔き、産学で育て、産学で活用

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

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 特任教授　飯田 訓正

スーパーリーンバーン技術の実現に向けた研究開発を行う。具体的には、①超希薄・高流動条件下で着火可能な点火システム、②タンブル流最適化による火炎伝播促進、③壁面熱伝達機構の解明に基づく冷却損失低減、④化学反応論的アプローチによるノッキング制御コンセプト創出の研究開発に取り組む。



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

目標：熱効率50%の達成 ― スーパーリーンバーンの実現

課題：着火しない／燃え難い 消炎する／ノッキング／壁からの熱損失／燃焼の変動

解決手法

着火しない	燃え難い 消炎する	ノッキング	壁からの熱損失	燃焼の変動
強力点火システム （最適着火手法） 流速20m/s以上で着火	高効率タンブルポート 燃焼室形状改良 （高流動の活用） 乱れ強度5m/s以上で 火炎伝播促進	燃焼室の温度制御 反応論的取り組み （素反応の理解推進） 圧縮比15以上での ノック抑制	燃焼室表面形状改良 低温燃焼 （熱交換現象の解明） 冷却損失50%低減	サイクル変動の要因解明 制御手法の提案 リーン限界拡大と効率 改善

研究項目とチーム体制

着火向上班	火炎伝播促進班	燃料・ノック抑制班	冷却損失低減班	モデル／ばらつき縮減班
超希薄・高流動・高EGR条件下で着火可能な点火システムの開発	タンブル流の最適化・高強度乱流下での燃焼現象解明に基づく火炎伝播の促進	化学反応論的アプローチによるノッキング制御コンセプト創出	壁面熱伝達機構の詳細な解明に基づく冷却損失の低減	1Dシミュレーションモデルの開発／燃焼のサイクル変動抑制
▶ 着火メカニズムの詳細解析 ▶ 対象条件下に対応する新規点火モデルの提案 ▶ 強力点火システムの開発	▶ 火炎伝播メカニズムの詳細解析 ▶ 対象条件下に対応する新規火炎伝播モデルの提案	▶ Livengood-wu 積分で対応が困難な条件・領域での解析 ▶ 反応・圧力伝播等を踏まえた新規ノック発生モデルの提案	▶ 境界層の内部にまで踏み込んだ対流熱伝達解析 ▶ エンジン壁面に適合する新規熱伝達モデルの提案	▶ 着火、火炎伝播、冷却損失、ノック、過給、機械損失の新規 1D モデルの提案 ▶ 燃焼変動の要因解明、抑制する手法・制御法の提案と実証
 点火	 火炎伝播	 ノッキング	 冷却損失	 ばらつき

超希薄(スーパーリーン)条件下でも安定着火、高速燃焼、ノック抑制を可能とする各種要素技術を構築し、正味熱効率50%を達成

サブリーダー:慶應義塾大学 理工学部 准教授　横森 剛

超希薄(スーパーリーン)条件では安定な着火・燃焼が困難。ノックの発生も熱効率向上を阻害。

- スーパーリーン条件での高速燃焼実現のために高タンブル流動技術を導入。PIV 計測によりタンブル流動の不安定性を解明、流動の最適化により燃焼促進を実現(図 1)。
- スーパー点火装置の開発により、スーパーリーン・高流動条件下でも安定な着火・燃焼を実現 (図 2)。
- 筒内水噴射技術の導入によりノック抑制効果を確認。熱効率向上を実証 (図 3)。
- 燃料の改良設計によるノック抑制・燃焼促進技術の指針を提案 (図 4)。

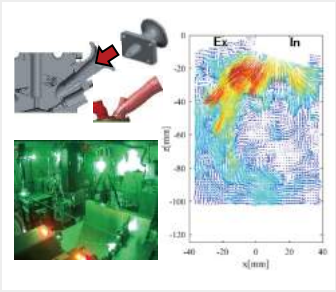


図1　高タンブル流動下におけるPIV計測

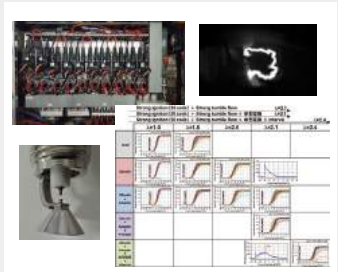


図2　スーパ点火装置・改良型電極による超希薄条件での安定着火燃焼

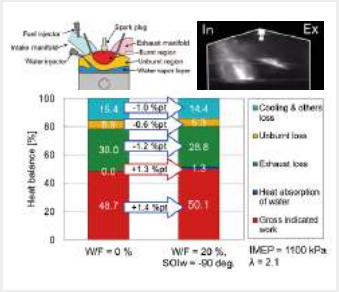


図3　筒内水噴射による熱効率向上

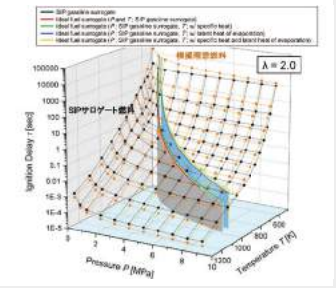


図4　燃料種の違いによる着火遅れ時間の変化

実証条件:SIP単気筒エンジン・可視化エンジン、2000rpm、λ=1.5～2.2、IMEP=0.8～1.2MPa。

モデル/ソフトウェアへの繋がり:得られた結果はHINOCAおよび1Dモデルに組込み(点火モデル、火炎伝播モデル、壁面熱伝達モデル、ノックモデル)。

今後の課題:スーパーリーン条件下における着火～火炎伝播の遷移現象の解明と最適化。燃料改良設計の具現化。

主な関連論文

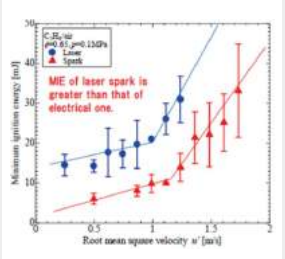
①横森 剛，松田昌祥，飯田訓正，浦田泰弘，横尾 望，中田浩一，高効率ガソリンエンジンのためのスーパーリーンバーン研究，自動車技術会 2016 年春季大会学術講演会（2016），②菅田健志，李世埈，横森剛，飯田訓正，乱流燃焼ダイアグラムを用いたスーパーリーンバーン SI エンジンにおける燃焼形態の検討，自動車技術会論文集，Vol.48, No.4, pp.801-806（2017）

最先端の計測手法と数値計算により放電路挙動および点火特性を明らかにし、超希薄高流動混合気に適用可能な点火モデルを構築した。

班長:東京大学 大学院工学系研究科 教授　津江 光洋

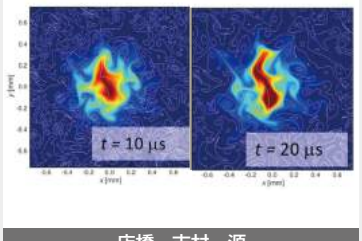
超希薄高流動場における火花点火挙動はほとんど解明されておらず、点火モデルも存在していなかった。

- 点火実験による最小点火エネルギー計測（図1）および DNS 計算による火炎核成長挙動（図2）から、乱流特性が点火過程に及ぼす影響を明らかにした。
- 放電挙動と火炎核の詳細な計測により、放電電圧、電流、放電路の関係について実験式の適用範囲を明確にするとともに（図3)、火花放電から初期火炎核の形成過程を可視化（図4）することで、点火モデルの妥当性を確認し、その精度および汎用性向上に寄与した。



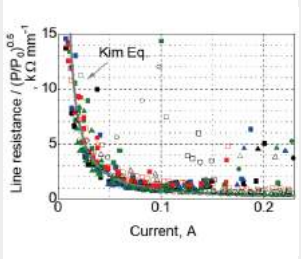
津江、中谷 (東京大学)

図1　最小点火エネルギーに及ぼす乱れの影響(定容容器実験)



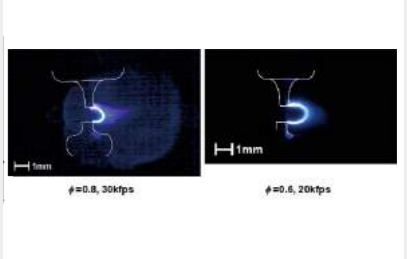
店橋、志村、源
(東京工業大学)

図2　乱流場における火炎核成長挙動(DNS計算)



秋濱、今村（日本大学）

図3　様々な流速、当量比、圧力による線抵抗と電流の関係



河原（岡山大学）

図4　初期火炎核形成過程(RCEM実験)

メカニズム成立条件:圧力0.1～1MPa、当量比1.0～希薄限界の範囲内で検証済。温度依存性は未解明。

モデル/ソフトウェアへの繋がり:構築した点火モデルはGT-Power、HINOCAに組込み。

今後の課題:放電(プラズマ)特性と点火性能の関連性。LES点火モデル構築。

主な関連論文

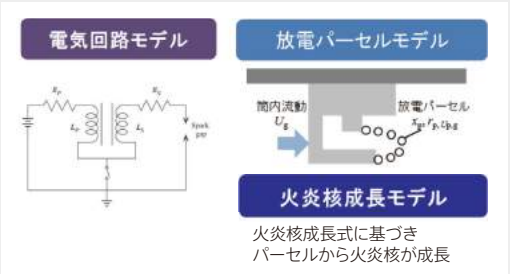
① N. Saito, 他 , Effects of turbulence on ignition of methane–air and n-heptane–air fully premixed mixtures, Combustion Science and Technology, 190 (3) 451-469 (2018). ② N. Kawahara, 他 , Ignition process of spark discharge in a spark-ignition engine using a time series of spectra measurements, Proceedings of the Combustion Institute, 36, pp.3451-3458 (2016).

HINOCA：超希薄・高流動場における火花点火挙動の予測を可能とした。

班長：東京大学 大学院工学系研究科 教授　津江 光洋

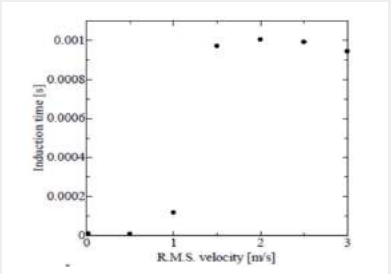
既存ソフトでは点火モデルが組込まれておらず、点火挙動の予測が不可能であった。

- 電気回路モデル、放電パーセルモデル、火炎核成長モデルから構成（図1）。
- 本点火モデルは GT-Power に組込み可能（図 2）。
- 火炎核成長から伝播への遷移に基づき乱流場における点火挙動を定性的に予測（図 3）。



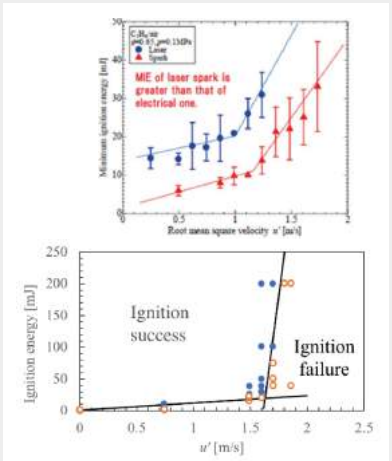
中谷（東京大学）、今村（日本大学）、河原（岡山大学）、堀（大阪大学）

図1　点火モデル概要（GT-Power用と共通）



中谷（東京大学）

図2　GT-Power用点火モデル計算結果
（乱れ強さと点火遅れの関係）



中谷（東京大学）、堀（大阪大学）

図3　最小点火エネルギーと乱れ強さの関係
（上：実験　下：計算　当量比0.68）

実施内容：流動場における点火・放電挙動計測、放電路と火炎核の同時計測、HINOCAへの点火モデル組込み。

搭載した新知見：点火成否境界の燃焼速度特性、最小点火エネルギーの乱れ強さに対する遷移挙動。

今後の課題：LES計算に適する点火モデルおよび化学反応を考慮した点火モデル構築。

主な関連論文

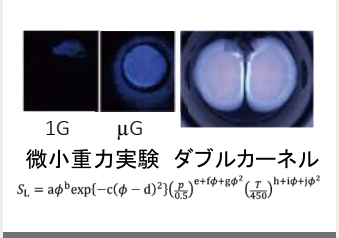
①堀、火炎核から火炎伝播に至る成長過程のモデリング、第 56 回 燃焼シンポジウム講演論文集、大阪府堺市、2018.

スーパーリーンバーンの火炎伝播メカニズム解明と流動最適化による燃焼促進により、新たな燃焼モデルの構築とエンジン熱効率向上を実現

班長：九州大学 大学院工学研究院 教授　北川 敏明

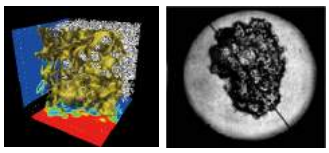
リーンバーン条件では燃焼速度が低下し、安定した燃焼が不可能。

- スーパーリーンバーン時の燃焼速度を微小重力実験やダブルカーネル法により把握、高精度実験式を構築 (図 1)。
- 定容燃焼実験、スーパーコンピュータによる数値シミュレーション、エンジン内可視化によるスーパーリーンバーン条件での火炎伝播の解析から、スーパーリーンバーンの火炎伝播メカニズムを解明 (図 2)。新たな燃焼モデルを構築 (図 3) 。
- これらの知見に基づきエンジン内流動を最適化し、燃焼促進を図りエンジン熱効率向上を実現。あわせて、誘電体バリア放電という流動によらない燃焼促進手法も開発 (図 4) 。



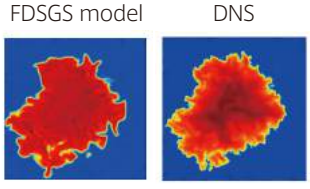
瀬川、片岡（大阪府立大学）
三上、瀬尾（山口大学）

図1　層流燃焼速度計測（微小重力法、ダブルカーネル法）



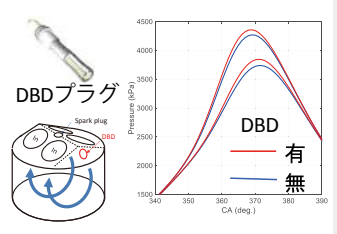
店橋、志村、源（東京工業大学）、
名田（徳島大学）
北川、渡邊、永野（九州大学）

図2　スーパーリーンバーン条件の数値計算と実験による伝播火炎



店橋、志村、源（東京工業大学）、
名田（徳島大学）

図3　燃焼モデルによる予測結果のモデル無し計算との比較・検証



高橋（産業技術総合研究所）

図4　誘電体バリア放電プラグと燃焼圧力増大効果

メカニズム成立条件：Corrugated flamelet領域条件で燃焼モデルを定容容器実験結果により検証済。

モデル/ソフトウェアへの繋がり：得られたフラクタルダイナミックSGS燃焼モデルはHINOCAに組込み。

今後の課題：さらなる燃焼促進技術の開発、熱効率向上。

主な関連論文

①山田 理恵（東工大院），名田 譲（徳島大），Yenerdag Basmil（東工大院），源 勇気（東工大院），志村 祐康（東工大院），店橋 護（東工大院）：A FRACTAL DYNAMIC SGS COMBUSTION MODEL FOR LES OF TURBULENT PREMIXED FLAMES UNDER A PRESSURE RISING CONDITION，9th JSME-KSME Thermal and Fluids Engineering Conference (TFEC9) (2017).

HINOCA：サブグリッドスケール (SGS) 燃焼モデルを構築し、ガソリンエンジンでの計算を可能とした。

班長：九州大学 大学院工学研究院 教授　北川 敏明

3D エンジンシミュレーションにおいて、精度の高い燃焼モデルが存在しなかった。

- フラクタル･ダイナミック SGS (FDSGS) 燃焼モデルを開発 (図 1) 。大規模スケールの歪み速度が大きな領域で、局所火炎面積が増大する現象を再現。
- 層流燃焼速度のモデル化 (図 2)。
- 膨張の効果に基づく補正項を、データベース不要とするモデル化 (図 3)。
- DNS (図 4) 、実験結果 (図 5) との比較検証から精度を実証。

$$\frac{S_T}{S_L}=\frac{A_T}{A_L}=\underbrace{\left(\frac{\alpha^4\nu^3}{2\sqrt{2}C_s{}^2\Delta^6}\right)^{\frac{2-D_3}{4}}\left(\tilde{S}_{ij}\tilde{S}_{ij}-\mathrm{div}(\tilde{\mathbf{u}})^2\right)^{\frac{-3(2-D_3)}{8}}}_{\text{乱流運動の効果}}+\underbrace{\frac{\delta_\Delta}{\delta_L}\frac{\mathrm{div}(\tilde{\mathbf{u}})}{(\mathrm{div}(\mathbf{u})_L)|_{G=G0}}}_{\text{膨張の効果}}$$

店橋、志村、源（東京工業大学）、名田（徳島大学）

図1　フラクタル･ダイナミック SGS (FDSGS) 燃焼モデル

$$S_L=a\phi^b\exp\{-c(\phi-d)^2\}\left(\frac{p}{0.5}\right)^{f(\phi)}\left(\frac{T}{450}\right)^{g(\phi)}$$

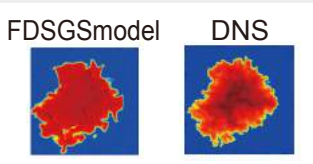
瀬川、片岡（大阪府立大学）

図2　層流燃焼速度のモデル化

$$C_1\frac{(1+\varphi)(\beta-\alpha)(\gamma+\varphi)^2}{(\alpha+\varphi)(\beta+\varphi)}\left(\frac{d\overline{\rho^*}}{dx^*}\right)^{-1}\frac{C_{FT}a}{S_L{}^2}\mathrm{div}(\tilde{\mathbf{u}})$$

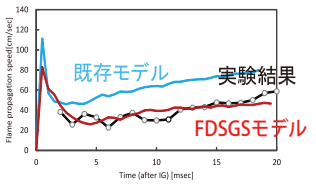
名田（徳島大学）

図3　膨張の効果の項のモデル化



店橋、志村、源（東京工業大学）、名田（徳島大学）

図4　燃焼モデルによる予測結果DNSとの比較･検証



草鹿、神長（早稲田大学）、北川、渡邊、永野（九州大学）

図5　燃焼モデルによる予測結果の実験結果との比較･検証

実施内容：乱流火炎のフラクタル特性に基づくSGS燃焼モデルの開発。多種燃料対応のためのモデル化。

搭載した新知見：乱流火炎のフラクタル次元、インナーカットオフスケールなどの特性。層流火炎に起因する項のモデル化。

今後の課題：さらなる適用可能範囲の拡大。

主な関連論文

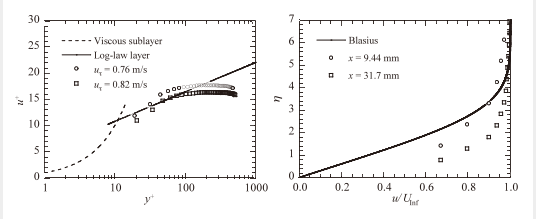
①山田 理恵（東工大院），名田 譲（徳島大），Yenerdag Basmil（東工大院），源 勇気（東工大院），志村 祐康（東工大院），店橋 護（東工大院）：A FRACTAL DYNAMIC SGS COMBUSTION MODEL FOR LES OF TURBULENT PREMIXED FLAMES UNDER A PRESSURE RISING CONDITION，9th JSME-KSME Thermal and Fluids Engineering Conference (TFEC9) (2017).

エンジン内壁面速度境界層構造を明らかにするとともに、冷却損失低減･ノック抑制技術を開発し、共用エンジンに適用することでグロス図示熱効率50.1%を達成した。

班長：東京工業大学 工学院 教授　小酒 英範

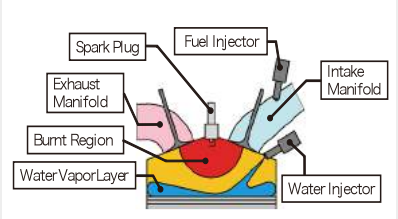
従来のエンジン壁面熱伝達モデルは、発達した乱流境界層を前提に構築されており、冷却損失の高精度予測は困難である。スーパーリーンバーンにおいても高負荷ではノックが発生し熱効率の向上を阻害していた。

- SIP 共用可視化エンジンにおいてμ PIV を用いて、ピストン頂面上の境界層内速度分布を計測し、速度境界層が発達した乱流境界層ではないことを世界で初めて明らかにした (図 1)。
- 冷却損失低減技術の効果を評価するために、新たに3種類の熱流束センサを開発した。
- 冷却損失低減とノック抑制技術として筒内水噴射を開発し (図 2)、SIP 共用エンジンへ適用することで上記の開発センサにより冷却損失低減効果を実証し、グロス図示熱効率 50.1%を達成した (図 3) 。



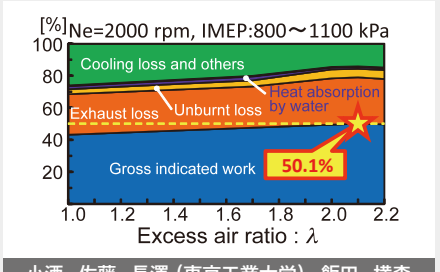
店橋、志村、源（東京工業大学）、岩本（東京農工大学）、飯田、横森（慶應義塾大学）

図1　ピストン頂面上の速度分布 (μPIV計測)



小酒、佐藤、長澤（東京工業大学）

図2　スーパーリーンバーンへの筒内水噴射技術の提案



小酒、佐藤、長澤（東京工業大学）、飯田、横森（慶應義塾大学）、三原、石井（東京都市大学）、中別府、出島（明治大学）、鈴木、李 (東京大学)

図3　スーパーリーンバーンと筒内水噴射による熱効率の向上 (共用エンジン実証)

実証条件：SIP単気筒エンジン、機関回転数：2000rpm、λ=2.1、IMEP=1.1MPa、水噴射質量は供給燃料質量の20%

モデル/ソフトウェアへの繋がり：得られた計測データはHINOCAおよび1Dモデルの検証用に提供。

今後の課題：水噴射条件の最適化。水噴射による燃焼阻害の最小化(最小水噴射量の低減)。水噴射時期の自動制御。

主な関連論文

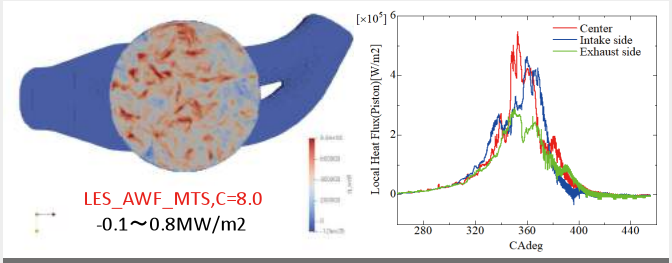
① Shimura, M., Yoshida, S., Minamoto, Y., Yokomori, T., Iwamoto, K., Tanahashi, M. and Kosaka, H. : Micro PIV Investigation of Near Wall Behaviors of Tumble Enhanced Flow in an IC Engine, International Journal of Engine Research, (2018), doi: 10.1177/1468087418774710, ②大倉優一，長澤剛，山田涼太，佐藤進，小酒英範：スーパーリーンバーン SI エンジンにおける筒内水噴射による熱効率向上に関する研究、第 29 回内燃機関シンポジウム、京都（2018.11.26 発表予定）

HINOCAにおける熱伝達解析を高精度化した。

班長:東京工業大学 工学院 教授　小酒 英範

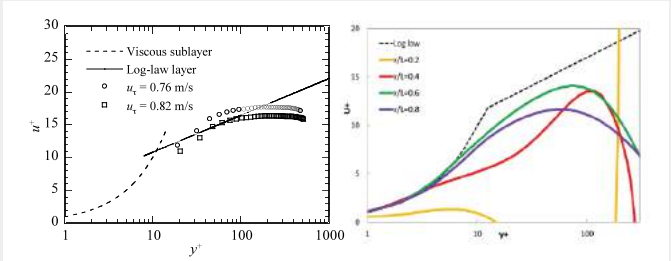
LES において格子サイズが壁面境界層を解析するに十分でない場合に壁面熱伝達の解析精度が低い。

- LES 用解析的壁関数 (AWF) を開発し HINOCA へ組込み、壁面熱流束の解析精度を向上させた (図 1)。
- LES 用マルチタイムスケール (MTS) を開発し HINOCA へ組込み、壁面熱流束の解析精度を向上させた (図 1)。
- エンジン内流動の特徴を有した流動場としてキャビティ内流れを選定し DNS 解析を行い、エンジン内流動場と似た構造を有していることを明らかにし、解析解の格子依存性等を調べるアプリオリツールを開発した (図 2)。



須賀（大阪府立大学）、服部（名古屋工業大学）、
深潟（慶應義塾大学）、尾形（広島大学）

図1　HINOCAによるピストン表面局所熱流束の解析結果 (熱流束分布の詳細な情報を得ることが可能となった)



安倍（九州大学）、店橋、志村、源（東京工業大学）

図2　ピストン表面中央の壁面速度境界層とキャビティ内流速度境界層の比較(キャビティ内流の壁面速度境界層の構造はエンジン壁面速度境界層の構造と類似している)

実施内容:HINOCA用の解析的壁関数モデルとマルチタイムスケールモデルの開発。

搭載した新知見:HINOCAの熱伝達解析の精度向上。エンジン内流動とキャビティ内流れの類似性を明らかにした。

今後の課題:HINOCA-RANSの熱伝達モデルの精度向上　AWFモデルの粗面対応。

主な関連論文

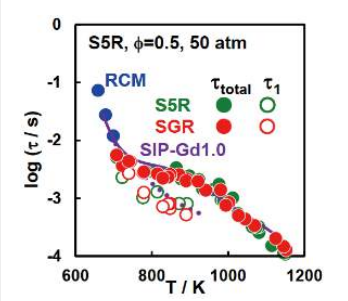
① Sakamoto, T., Kuwata, Y. and Suga, K.: A study on wall-modeled large eddy simulations by the analytical wall function, Proc. The 29th International Symposium on Transport Phenomena, Honolulu, USA,(2018.10.30-11.2)8p、② Hattori, H. and Tsutsui, K.: Multi-time-scale turbulent heat transfer model for predictions of various turbulent heat transfer phenomena, Int. J. Adv. Eng. Sci. Appl. Math., Vol. 11, pp. 1–11, (2019)

ノッキングと (1)燃料/燃焼特性/化学反応との関係・(2)圧縮性流体力学との関係を解明することによりノッキング抑制手法を提案

班長:広島大学 大学院工学研究科 教授　三好 明

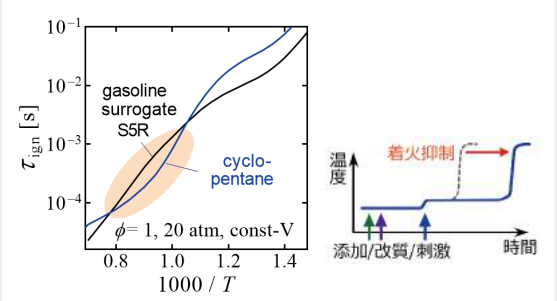
燃料のオクタン価 (RON および MON)・燃焼速度以外の指標がなく説明と制御は困難。

- ガソリンサロゲートの反応機構を、衝撃波管・RCM・MFR 着火性試験と火炎伝播速度に対して検証することで構築した。さらに冷炎の直接観測を行うことで、ノッキング抑制の鍵となる反応機構を明らかにした (図 1) 。
- 構築した反応機構を用いた計算によりノック抑制手法を提案した (図 2) 。
- 一次元直接 NS 流体計算と SRCM および可視化エンジンを用いて圧縮性流体とノック振動の関係を解明した (図 3) 。



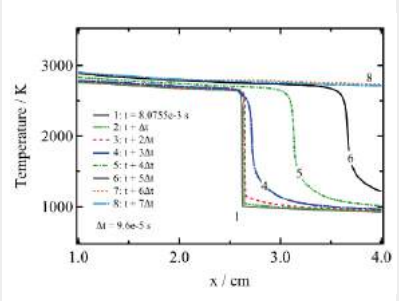
高橋（上智大学）

図1　衝撃波管による冷炎観測



三好（広島大学）

図2　燃料設計の提案(左) ノック抑制手法の提案(右)



寺島（北海道大学）

図3　詳細反応1D-DNS

適応条件:筒内条件のストイキ燃焼～超希薄燃焼。

モデル/ソフトウェアへの繋がり:詳細反応機構・簡略化反応機構の構築と 1D 用ノックモデルの構築。

今後の課題:具体的な燃料設計とノック抑制への展開。

主な関連論文

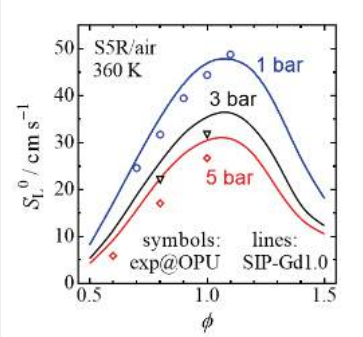
① A. Miyoshi, Int. J. Automotive Eng.,8,130–136(2017) ② H. Terashima et al., Origin and reactivity of hot-spots in end-gas autoignition with effects of negative temperature coefficients, Comb.Flame,184,324–334(2017)

ガソリンサロゲート反応機構：将来の再現性を担保した試験研究用ガソリンの提案と半定量的予測性を有する反応機構の構築

班長：広島大学 大学院工学研究科 教授　三好 明

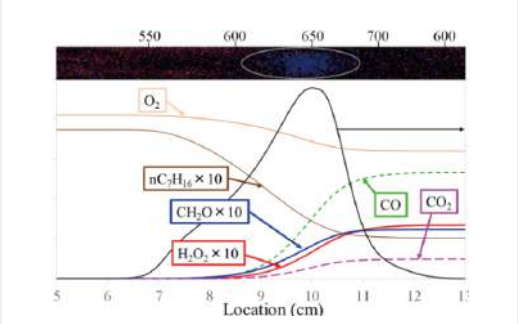
実燃料は再現性が保証されず、反応機構による検討は定性的。

- 国内市場のレギュラーおよびプレミアムガソリンの基礎燃焼特性を模擬するサロゲート混合物を提案した。
- ガソリンサロゲートの詳細 / 簡略化反応機構を、火炎伝播速度と衝撃波管・MFR 着火試験に対して検証することで構築 (図 1 ～ 3) 。半定量的な予測を可能にした。



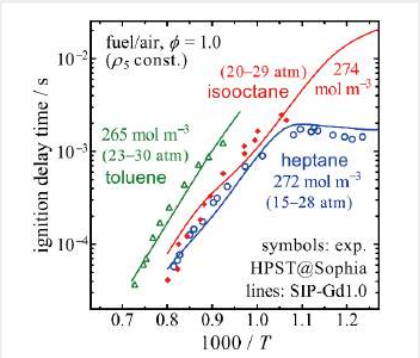
瀬川（大阪府立大学）

図1　火炎伝播速度の検証



丸田（東北大学）

図2　MFRによる着火性検証



高橋（上智大学）

図3　衝撃波管による着火遅れ検証

実施内容：実ガソリンの基礎燃焼特性の再現を主眼においたサロゲート混合物を提案し、反応機構を構築。

搭載した新知見：実測により検証された構成成分および混合物の着火遅れ時間と火炎伝播速度。

今後の課題：燃料と燃焼の技術開発への活用。

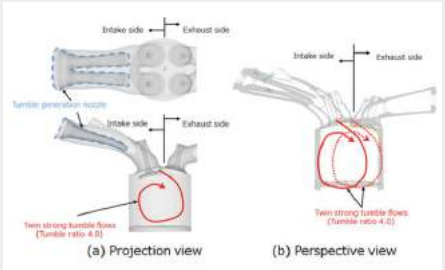
主な関連論文　①三好・酒井 , ガソリンサロゲート詳細反応機構の構築 , 自動車技術会論文集 ,48,5,1021–1026(2017) ②酒井・三好 , ガソリンサロゲート燃料簡略反応機構の構築 , 第 28 回内燃機関シンポジウム ,2017 年 12 月 6 日～ 8 日 , 福岡 .

リーンバーン時の燃焼変動低減と熱効率最適化制御

班長：千葉大学 大学院工学研究院 教授　森吉 泰生

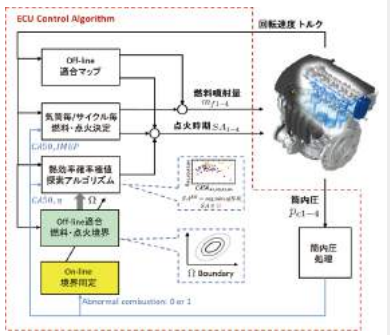
超希薄高流動場に適用できる 1D モデルはなかった。そのような場でサイクル毎の燃焼変動を低減するための現象解明や対策は存在しなかった。

- （モデル）各担当大学で新たに開発・検証された 1D のサブモデルを組合わせ、SIP 単気筒エンジンをベースに仮想的に 4 気筒ターボエンジンを想定し、その正味効率を高精度に予測できる 1D モデルを開発した。
- （ばらつき）スーパーリーン燃焼において出力のサイクル変動が生じるのは、膨張行程初期に生じるバルククエンチであることを見いだし、その解決方法を示した (図 1) 。
- エンジン出力のばらつき縮減と効率向上を統括的に考慮した ECU 制御アルゴリズムを開発し、4 気筒エンジンで実証した。ノック確率を閾値とした境界識別とその拘束の下でオンボード学習によって最大効率を実現する最適化制御手法は世界初 (図 2) 。



森吉、窪山（千葉大学）

図1　サイクル変動抑制法



申（上智大学）

図2　ECU制御アルゴリズム

メカニズム成立条件：殆どのモデルは空気過剰率1～2の範囲内で検証済。実験はλ=1.0～1.8の範囲内で検証済。

モデル/ソフトウェアへの繋がり：1Dモデルとして GT-Powerに組込み済。

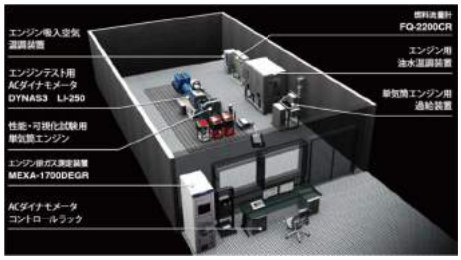
今後の課題：ノックモデルのリーン限界付近での検証。制御モデルのリーン限界付近での検証。

主な関連論文　① Y. Moriyoshi, T. Kuboyama, M. Kaneko, T. Yamada and H. Sato, Fuel Stratification Using Twin-Tumble Intake Flows to Extend Lean Limit in Super-Lean Gasoline Combustion, SAE 2018-01-1664, 2018 ② Xun Shen, Yahui Zhang, Tielong Shen, and Chanyut Khajorntraidet. Spark Advance Self Optimization with Knock Probability Threshold for Lean-Burn Operation Mode of SI engine. Energy, Vol. 122, pp 1-10, 2017.

乗用車用ディーゼルエンジンにおける高度燃焼制御

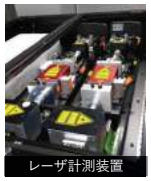
ディーゼル燃焼チーム　研究責任者：京都大学 大学院エネルギー科学研究科 教授　石山 拓二

燃料と空気の高度混合制御により、燃焼の高速化と冷却損失・放射騒音の抑制を両立する新燃焼法を開発する。そのために、①噴射による混合気制御法の提案、②後燃え現象の解明と低減、③噴霧制御による冷却損失抑制、④超高圧噴射によるPCCI燃焼制御、⑤燃焼とエンジン構造による放射音制御の研究開発を行う。



可視化ユニット
（ボトムビュー・トップビュー・側方レーザ入射）

単気筒エンジン（可視化ユニット付）	
ボア・ストローク	85/96.9mm
行程容積	550cm3
圧縮比	16.3
吸気	外部過給，スワール比可変
EGR	低圧ループ



高繰返しPIV・高強度紫外LIF計測システム

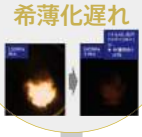
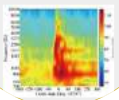
研究拠点　堀場製作所本社・工場内　京都エンジン実験センター

熱効率50%の達成

高速空間燃焼の実現

目標

課題

燃焼期間が長い	壁面熱損失が多い	燃焼領域の希薄化遅れ	燃焼騒音が大きい
			

解決手法

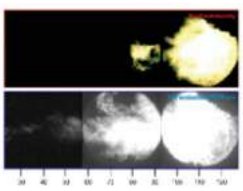
後燃え低減噴射 乱れ制御 燃焼期間短縮40%以上	エントレイン制御 噴霧火炎 冷却損失低減40%以上	超高圧燃料噴射 急激燃焼抑制 燃焼領域希薄化	構造改善・位相差燃焼 放射音低減-9.5dB

研究項目とチーム体制

燃焼期間短縮グループ

後燃えの所在を突き止め抑制し燃焼を高速化

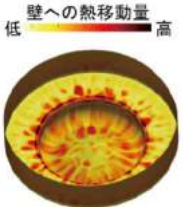
- 紫外光計測法の開発と、燃焼・未燃焼領域の特定
- 可変噴射率デバイスの開発と効果の実証
- 噴射率変化による噴霧発達・混合気形成の LES 解析



冷却損失低減グループ

噴霧・火炎の制御により冷却損失を低減

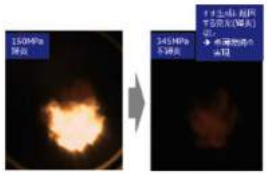
- 熱流束・火炎流動の計測による壁面熱損失の要因解明
- 高分散噴霧火炎による冷却損失低減実証
- CFD 数値解析による噴霧火炎制御の効果予測



超高圧噴射グループ

燃焼領域の希薄化によりPCCI燃焼の適用範囲拡大 熱効率向上

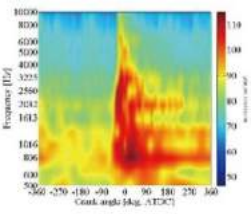
- 超高圧多段噴射による噴霧リーン化・熱効率向上
- 超高圧噴射噴霧の特性解析



放射音低減グループ

構造・燃焼両面からの対策によりエンジン放射音を低減

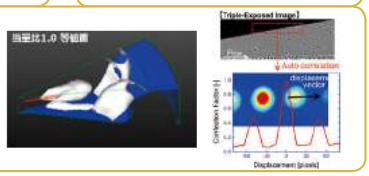
- エンジン構造内振動伝達・音放射のモデル化
- 燃焼パターンの制御による放射音低減と高効率化



混合気制御グループ

混合気制御法の提案と噴霧・混合気計算の高精度化

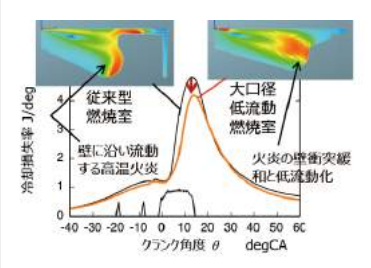
- 新燃焼法の提案と実証
- 噴霧形成モデルの構築



高等容度と低冷却損失を両立する高速・低冷却損失燃焼技術を構築し、損失低減技術とともに正味熱効率50%を達成

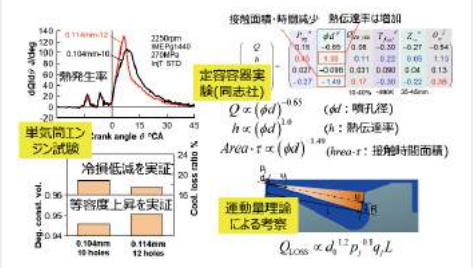
高等容度をねらって燃焼期間を短縮すると冷却損失が増加する。

- CFD 解析により、壁面に沿う高温火炎の流動が冷却損失の主因と特定、火炎の壁接触緩和と低流動化 (大口径燃焼室)、ならびに高等容度のための高噴射率・混合促進 (270MPa 噴射・小径多噴孔ノズル) を燃焼系の基本とした (図 1)。
- 容器実験 (同志社大学) と運動量理論に基づく考察により、大流量ノズルを採用しさらに冷却損失低減・等容度向上 (図2)。
- 漸減噴射率 (逆デルタ噴射率 : 明治大学) を模擬し火炎の壁接触緩和を図るとともに、噴射休止期間を活用し残余空間利用の効果を加えた超近接多段噴射により、等容度を保ったまま冷却損失をさらに低減 (図 3)。
- 上記技術に高圧縮比化と高過給化 * を加え、グロス熱効率がベース機関より 6%pt. 以上向上することを単気筒試験機関で実証し、低摩擦化 *、熱電発電 * の効果を加えて正味熱効率 50% を達成した。(* は損失低減チームの成果活用)



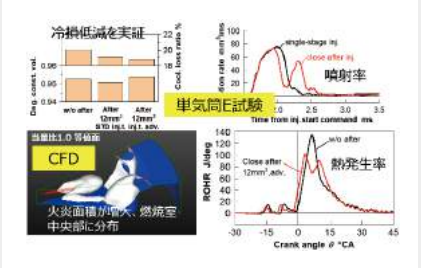
石山、川那辺 (京都大学)

図1　低流動燃焼室による冷却損失低減(CFD解析)



石山、川那辺、堀部 (京都大学)

図2　大流量ノズルによる等容度向上と冷却損失低減の両立(単気筒試験機関、定容容器)



石山、川那辺、堀部 (京都大学)

図3　超近接多段噴射による冷却損失低減(単気筒試験機関、CFD)

実証条件:SIP単気筒ディーゼルエンジン、2250rpm、燃料噴射量32.6mg(高負荷)

モデル/ソフトウェアへの繋がり:各種燃焼シミュレーションの検証データを提供。

今後の課題:高分散噴霧、噴射率可変などの技術を取込みさらなる熱効率向上の可能性を追求する。

主な関連論文

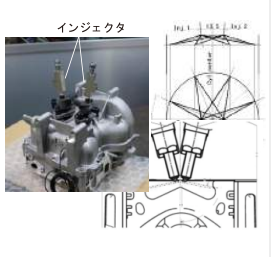
① Horibe,N., Kawanabe,H., Ishiyama,T., et al.: Improvement of Thermal Efficiency in a Diesel Engine with High-pressure Split Main Injection, SAE 2018PF&L meeting, Heidelberg, Paper No.2018-01-1791, (2018).

柔軟な噴射制御により高効率・低騒音の燃焼パターンを作成

グループリーダー:京都大学 大学院エネルギー科学研究科 教授　石山 拓二

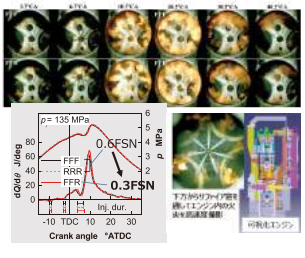
噴射制御の制約により、効率・エミッション・騒音の点から望ましい熱発生率パターンの作成が困難。

- 噴射圧力・時期・期間を独立して制御できる二つの噴射弁を備えた燃焼系(図1)を用いて様々な燃焼パターンを作成。
- 多段噴射において二つの噴射弁を使い分けて排出スモークを低減できることを示した。これは、可視化機関を用いたボトムビュー撮影により、メイン噴霧の経路上にあるパイロット噴霧由来の混合気の濃度が低下するためと考察した (図2)。
- 低負荷においてPCCI燃焼の熱発生率ピークを低下させ、その分をピーク直前に漸増する熱発生率として加えることが低騒音と高等容度の両立に有効と考え、これを三段噴射と噴射弁の使い分けにより実現し、その効果を実証した(図3)。
- 噴霧燃焼に与る燃料量を減らして冷却損失を低減し、高等容度を得ることをねらいとした燃焼法(zPCI)を提案し、単気筒試験機関を用いて熱効率向上効果を検証中(図4)。



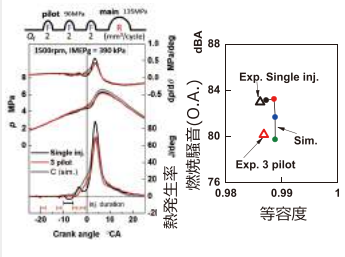
石山、川那辺、堀部 (京都大学)

図1　DIS(二噴射弁燃焼系)



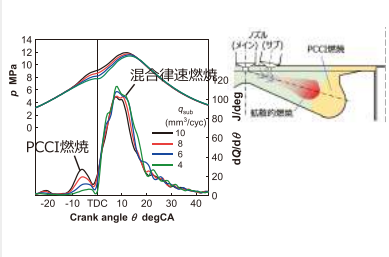
石山、川那辺、堀部 (京都大学)

図2　噴射弁の使い分け(低負荷)



石山、川那辺、堀部 (京都大学)

図3　漸増熱発生率 (低負荷)



石山、川那辺、堀部 (京都大学)

図4　PCCI・混合律速燃焼を組み合わせた燃焼法(zPCI)の提案

メカニズム成立条件:SIP単気筒エンジン、高負荷(zPCI)、低負荷(漸増熱発生率)

モデル/ソフトウェアへの繋がり:各種燃焼シミュレーションの検証データを提供。

今後の課題:新燃焼法(zPCIなど)の効果検証。

主な関連論文

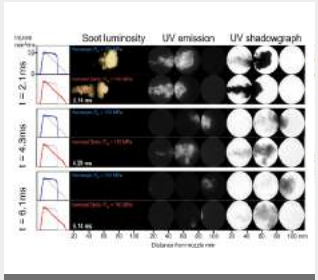
①堀部直人ほか : 二系統の燃料噴射システムを備えたディーゼル機関の性能と排気 , 自技会論文集 Vol.48,No.2, p.219-224, (2017), ②桑原洋樹ほか : ディーゼル PCCI 燃焼において熱発生率形状が燃焼騒音に与える影響 , 日本機械学会関西支部第 92 回定時総会講演会, 講演論文集 No.174-1, p.172, (2017).

後燃え現象は噴霧先端過濃混合気が主因であることを解明し、噴霧軸方向燃料濃度分布を均一化する逆デルタ噴射率コンセプトを構築

グループリーダー:明治大学 理工学部 准教授　相澤 哲哉

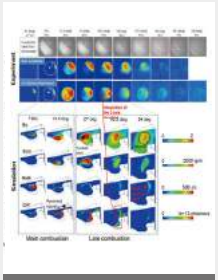
後燃えの現象理解が不足している。解決手段として有効と思われる噴射率可変噴射系がない。

- 先進的光学計測 (図 1)、実機筒内可視化 (図 2)、詳細反応 LES 数値解析 (図 3)、全量ガスサンプリング成分分析 (図 4) により、後燃え要因を噴霧先端過濃混合気と特定。
- 噴霧軸方向濃度平坦化による先端過濃混合気生成抑制 (後燃え低減)、壁面衝突抑制 (冷却損失低減) を狙った逆デルタ (漸減) 噴射率コンセプトを案出、詳細反応 LES 数値解析によりポテンシャルを把握。
- 逆デルタ噴射率に加え、中圧プレ噴射、初期噴射率立上げ急峻化等の噴射率制御を簡便な機構で実現するTAIZAC (TAndem Injectors Zapping ACtivation : 直列 2 弁瞬時切替式) インジェクタを開発 (図 5)。
- 単気筒機関による試験により、従来噴射に比べ大幅な冷却損失低減を確認、図示熱効率の向上を実証。



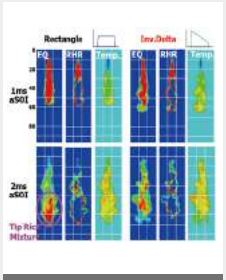
相澤 (明治大学)

図1　逆デルタ噴射 後燃え可視化(UV影/UV発光/輝炎同時撮影)



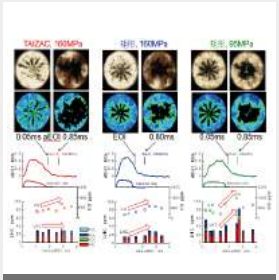
長谷川、窪山(千葉大学)

図2　最新実機筒内UV発光/輝炎可視化



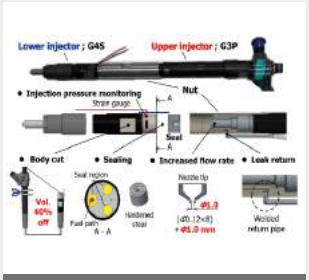
足立、草鹿(早稲田大学)

図3　詳細反応LESによる逆デルタ噴射の検討



木戸口 (徳島大学)

図4　全量ガスサンプリングによる逆デルタ噴射 後燃え成分分析



嶋田、相澤 (明治大学)

図5　TAIZAC(直列2弁瞬時切替式)インジェクタの構造

メカニズム成立条件: SIP単気筒エンジン、2250rpm、噴射圧力200MPa、噴射量39mg (高負荷条件)

モデル/ソフトウェアへの繋がり: 各種燃焼シミュレーションの検証データを提供。

今後の課題: 噴射システムの高圧化および噴射率制御性向上、後燃え低減および燃焼期間短縮効果の向上。

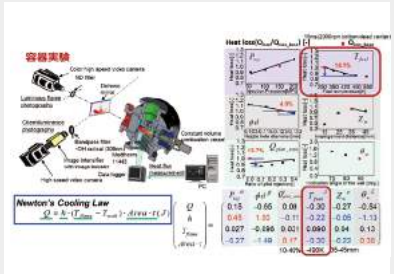
主な関連論文
① Kondo et al.:IJER v18(1-2) p93-104(2017), ②長谷川ほか : 自技会論文集 v49(3) p581-586(2018), ③ Mohd Fareez et al.:SAE2018-01-1793(2018), ④ Zhou et al.:SAE2018-32-0066(2018), ⑤秋山ほか :JSAE20185278(2018), ⑥足立ほか :JSAE20186311(2018)

冷却損失に対する制御因子･物理量の影響を明らかにし、高分散･高エントレインにより低冷却損失燃焼を可能とするコンパクト噴霧火炎のコンセプトを提案･実証

グループリーダー:同志社大学 理工学部 教授　松村 恵理子

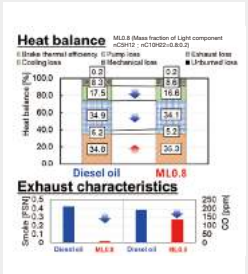
冷却損失と等容度との間、ならびに冷却損失制御因子間にトレードオフの関係があり、効果的な冷却損失低減ができない。

- 冷却損失低減に必要な制御因子を容器実験により検証、指数相関からトレードオフを解消する制御因子を解明 (図 1)。
- 容器実験の結果から燃料の蒸発性に着目し、軽質な二成分混合燃料によりコンパクト噴霧火炎を再現、冷却損失の低減効果、熱効率向上および低エミッション化を単気筒機関で検証・確認した。 (図 2)。
- RCEMを用いて二成分混合燃料によるコンパクト噴霧火炎を確認、熱流束計測により冷却損失低減のメカニズムを解明(図3)。
- エンジン内の冷却損失を高精度に予測する計算手法を構築し、冷却損失低減の予測に一部成功 (図 4)。



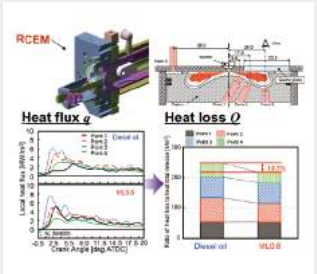
松村（同志社大学）

図1　定容容器 制御因子抽出



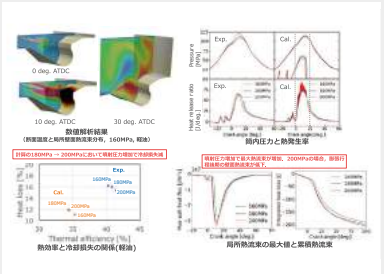
松村（同志社大学）

図2　単気筒 熱効率検証



松村（同志社大学）

図3　RCEM 燃焼メカニズム解析



堀（大阪大学）、桑原（大阪工業大学）

図4　冷却損失の数値予測

メカニズム成立条件: SIP単気筒エンジン、2250rpm、IMEPg=1440kPa (高負荷条件)

モデル/ソフトウェアへの繋がり: 簡略化反応機構、反応計算高速化手法、冷却損失予測精度向上法(壁関数など)を提案。

今後の課題: 実用的手段によるコンパクト噴霧の効果拡大。

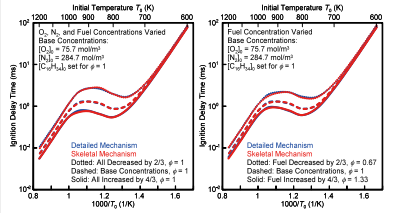
主な関連論文
①巽健 : ディーゼル噴霧火炎における壁面熱損失に関する研究（第 3 報），自動車技術会論文集，Vol49，No.2（2018），pp138-143
②荒井直之 : 高負荷運転時におけるディーゼル機関の高効率化に関する研究（第 1 報），自動車技術会論文集，投稿中，③ Hori,T. et al. : Three-Dimensional Simulation of Heat Transfer in Diesel- Spray Flame Impinging on Flat Wall using Skeletal Mechanism of n-Tridecane, COMODIA ,B107 (2017).

着火遅れ時間および熱発生プロフィールを高精度に再現可能な高級炭化水素の簡略化反応機構を構築

グループリーダー：同志社大学 理工学部 教授　松村 恵理子

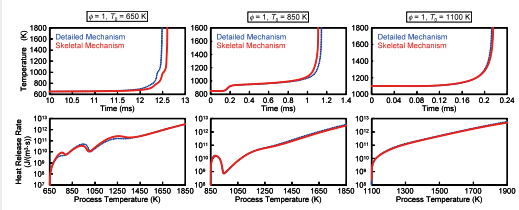
供試燃料の簡略化反応機構は存在せず、数値解析には他燃料の既存簡略化反応機構を代用していた。

- ノルマルトリデカン、ノルマルヘキサデカンなどのディーゼルモデル燃料について詳細反応機構が記述する着火遅れ時間の温度・圧力・当量比・EGR 率依存性および着火過程の熱発生プロフィールを高精度に再現可能な簡略化反応機構を構築（図1、2）。
- 知識に基づく経験的簡略化であるが、小規模と高精度の両立という点で数理的アルゴリズムによる簡略化を凌駕する。
- 三次元噴霧燃焼計算の高速化、数値解析によるディーゼル燃焼現象解明の信頼性向上に大きく貢献する（図 3）。



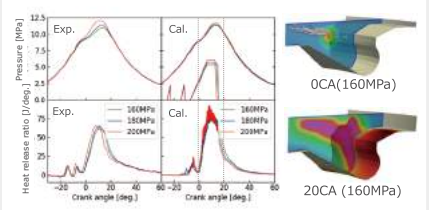
桑原（大阪工業大学）

図 1　着火遅れ時間の再現（ノルマルヘキサデカン、定容均一計算、青：詳細、赤：簡略化）



桑原（大阪工業大学）

図2　熱発生プロフィールの再現
（ノルマルヘキサデカン、定容均一計算、青：詳細、赤：簡略化）



堀（大阪大学）松村、千田（同志社大学）

図3　熱発生の三次元計算結果
（実験：軽油、計算：ノルマルトリデカン）

実施内容：詳細反応機構が記述する着火反応経路を解読することにより得られた知識に基づき、任意のディーゼルモデル燃料について着火現象の再現に特化した簡略化反応機構を構築する経験的方法を確立した。

新知見：ノルマルヘキサトリデカンでは詳細反応機構に対して化学種数2337→55、反応数5530→96の簡略化と広範な条件における着火遅れ時間再現精度+/-10%以内の両立を実現した。

今後の課題：簡略化反応機構の拡充、三次元噴霧燃焼計算の高精度化、数値解析による燃焼制御手法の原理解明

主な関連論文

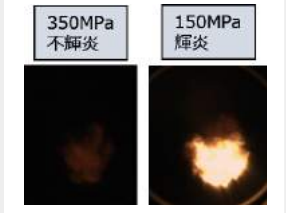
① Kuwahara,K., Matsuo,T., Sakai,Y., Kobashi,Y., Hori,T. et al. : Reduction of Reaction Mechanisim for n-Tridecane Based on Knowledge of Detailed Reaction Paths, SAE 2016-01-2238 (2016)　② Hori,T. et al. : Three-Dimensional Simulation of Heat Transfer in Diesel-Spray Flame Impinging on Flat Wall using Skeletal Mechanism of n-Tridecane, COMODIA2017, B203 (2017)

超高圧噴射による燃料と空気の混合促進効果を可視化実験により明らかにし高EGR・上死点近傍超高圧噴射による高効率PCCI燃焼コンセプトを構築

グループリーダー：東京工業大学 工学院 准教授　佐藤 進

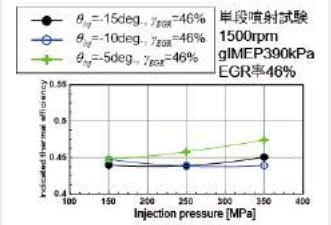
超高圧噴射 (350MPa) における噴霧発達・混合気形成・燃焼特性が不明。

- 急速圧縮膨張装置（RCEM）を用いた単一噴霧燃焼の可視化実験により、350MPa の上死点噴射で輝炎が発生しないことを確認し、上死点近傍超高圧噴射により PCCI 燃焼が実現できることを提示 (図 1)。
- 単気筒機関による低負荷条件の燃焼実験により、高 EGR・上死点近傍での超高圧単段噴射により PCCI 燃焼が実現し、高い熱効率を得られることを確認 (図 2)。
- 単気筒機関による中低負荷条件の燃焼実験により、高 EGR と組み合わせることで高効率・低騒音の多段燃焼が実現できることを確認し、超高圧パルス噴射燃焼のコンセプト成立を確認 (図 3)。
- 高負荷条件への超高圧噴射適用は、燃焼室形状の最適化により熱効率向上に寄与可能 (図 4)。



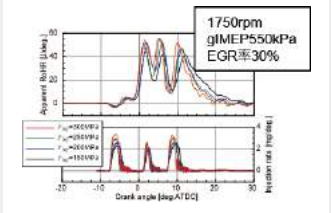
佐藤、中澤、小酒
（東京工業大学）

図1　超高圧噴射による不輝炎燃焼
(RCEM可視化解析)



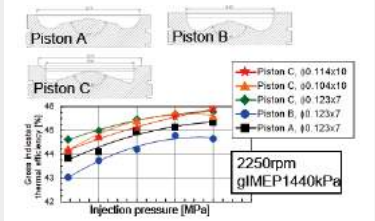
佐藤、中澤、小酒 (東京工業大学)

図2　低負荷単段噴射時の図示熱効率の変化 (単気筒機関試験)



中澤、Ewphun、小酒
佐藤（東京工業大学）

図3　中低負荷条件多段噴射の燃焼特性 (単気筒機関試験)



佐藤、Ewphun、長澤、小酒(東京工業大学)

図4　高負荷条件の燃焼室形状の違いと図示熱効率 (単気筒機関試験)

メカニズム成立条件：中低負荷(高EGRと超高圧パルス噴射の組み合わせ)、高負荷(超高圧通常噴射パターン)

モデル/ソフトウェアへの繋がり：超高圧噴霧計測結果(滋賀県立大学)とともに、各種燃焼シミュレーションの検証データを提供。

今後の課題：噴孔径を絞らずに噴霧貫徹力を減少させ、空気利用率をさらに向上させるノズルの導入。

主な関連論文

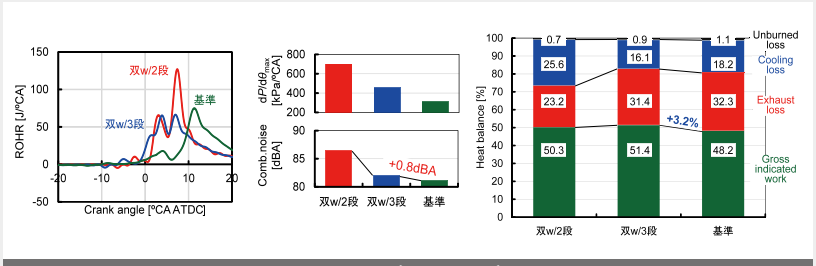
①佐藤，中澤，小酒：“燃料噴射パラメータの最適化による PCCI 燃焼の効率改善に関する研究”，日本機械学会 2017 年度年次大会（2017）、②佐藤，中澤，小酒：“超高圧燃料噴射を用いた PCCI 燃焼制御法に関する研究”，第 28 回内燃機関シンポジウム（2017）③佐藤，Ewphun，長澤，小酒：“超高圧燃料噴射がディーゼル燃焼の燃焼期間およびヒートバランスに及ぼす影響”，第 29 回内燃機関シンポジウム（2018）

多段噴射双峰形燃焼と内部伝達系振動数移動により、放射音を増大させることなく高熱効率を得る技術を構築

グループリーダー:山口大学 大学院創成科学研究科 教授　三上 真人

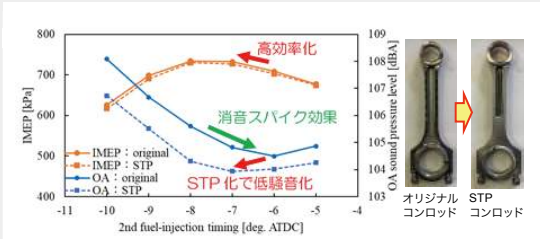
PCCI 燃焼において放射音が過大となることで、運転領域が制限される。

- 単段 PCCI 燃焼を双峰形燃焼 (二つの同程度の熱発生率ピーク) とすることで初期燃焼を抑制し、燃焼騒音低減と冷却損失低減を実現。消音スパイク燃焼による消音効果の利用も可能に。
- 双峰形燃焼の一段目の熱発生を二段に分けた噴射で行うことにより (図1、双 w/3 段)、さらに騒音と冷却損失を低減。基準燃焼と同程度の燃焼騒音のもと、熱効率を向上させ CO_2 を低減可能であることを中低負荷で確認。
- コンロッドの仕様変更 (STP 化) によりピストンーコンロッド連成振動数を移動させることで、消音スパイク効果の周波数を構造に対して最適化し、さらに低騒音化が可能であることを確認 (図2)。



増子、他（北海道大学）

図1　3段噴射双峰形燃焼による低騒音・高効率燃焼
(中負荷Point 3条件における熱発生率、燃焼騒音、熱バランスの比較)



小口、他（山口大学）

図2　コンロッドのSTP化による消音スパイク効果の促進による低騒音化

メカニズム成立条件：単気筒機関(SIP、北海道大学)、中低負荷(1500rpm・IMEPg0.4MPa、2000rpm・0.7MPa)

モデル/ソフトウェアへの繋がり：燃焼データは各種燃焼シミュレーションの検証データ。騒音モデルは1Dモデルに利用可。

今後の課題：双峰形燃焼と構造的手法の相乗効果拡大。

主な関連論文

①増子曜介，他：燃料噴射の分割による双峰形部分予混合化ディーゼル燃焼の熱効率改善特性，第 29 回内燃機関シンポジウム (2018)、②小口瞳史，他：コンロッド仕様と燃料噴射時期がディーゼルエンジンの放射騒音特性に与える影響の調査，自動車技術会 2018 年春季大会（2018）

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

目標

- 新燃焼の実装
- 設計ツール開発

課題

- 性能が出し切れない
- 多大な計算コスト
- PM発生

解決手法

- モデルベースト制御
  インテリジェント
  制御システム構築
- 高速計算技術
  次世代3D
  エンジン燃焼解析ソフト
- 最先端計測技術構築
  PM生成メカニズム解明
  PMモデル開発

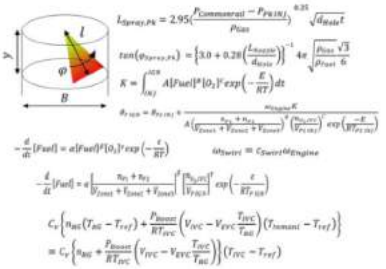
研究項目とチーム体制

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



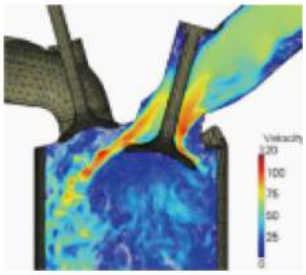
RAICA（雷神）

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



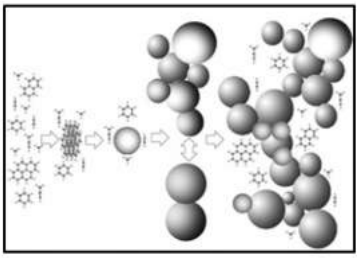
HINOCA（火神）

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）

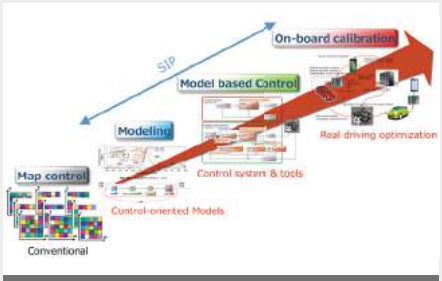
制御グループ

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　山﨑 由大

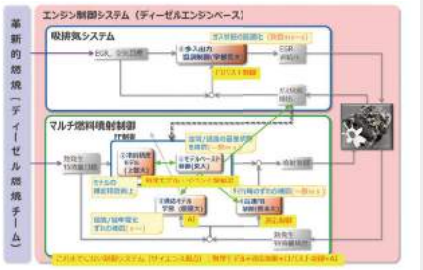
次世代燃焼は、環境や運転条件に対するロバスト性が低く、従来の制御システムでは実用化が困難

- 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 CO_2 低減に繋がる（図 3）。



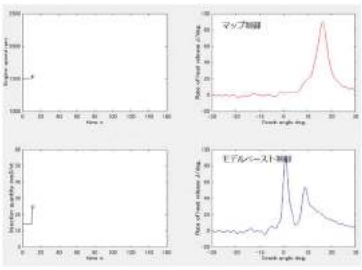
RAICA
Robust Artificial Intelligent Control Architecture

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」



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2　物理モデル、様々な制御理論を組み合わせ、新燃焼を導入したディーゼルエンジンの制御システム



モデルベース制御システムによる
新燃焼の制御

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)

PMグループ

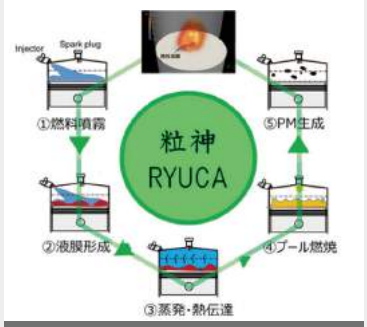
RYUCA：冷間始動からのエンジン筒内PM*生成が計算できる

※ 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

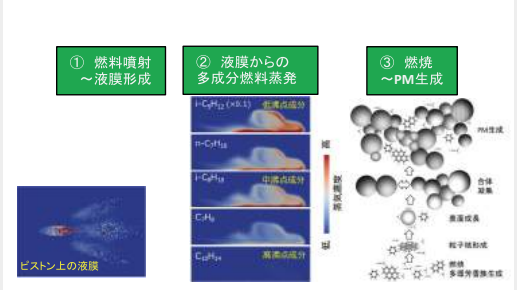
既存ソフトウェアでは冷間始動時特有の筒内液膜燃焼にも対応しうるモデル群が不十分。実質使用不可。

- 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）。



PMグループ（8大学）

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）



PMグループ、CAEグループ

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

橋本（大分大学）、CAE グループ

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

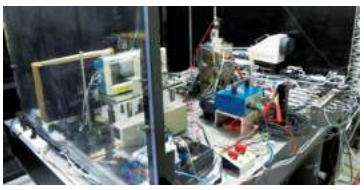
① T. Shibata, Y. Zama　et.al. : Ultra-high Speed PIV Measurement for Gasoline Spray Ejected from a Multiple Hole Direct Injection Injector, 18th Int. Symp. on the Application of Laser and Imaging Tech. to Fluid Mech (2016)、②秋濱一弘 他 : ガソリンサロゲート燃料のすす粒子生成モデルの検討、自動車技術会論文集, Vol. 49, No. 6, 1132-1137 (2018)

排気エネルギー有効利用と機械摩擦損失低減

損失低減チーム　研究責任者：早稲田大学 研究院次世代自動車研究機構 特任研究教授　大聖 泰弘

排気エネルギーの有効利用と機械摩擦の損失低減に取り組む。具体的には、前者の取り組みとして①ターボ過給システムの高効率化と②排気熱を利用した熱電発電の効率と範囲の拡大、後者の取り組みとして③ピストン・シリンダ系やクランク・軸受系で発生する摩擦損失の評価・低減技術の開発を行う。

研究拠点　共同利用実験設備：早稲田大学ラボラトリー



噴霧/火炎可視化観察/燃料改質実験室
各種の燃焼関連現象の可視化

単気筒エンジンシステム実験室
各種設計・運転条件での実験と開発した各サブモデル、ターボ過給、(燃料改質)、熱電素子の効果の検証に活用

ターボ過給システム実験室
システムの流動特性を解明するとともに数値シミュレーションモデルの検証に活用

目標

熱効率50%の達成

排気エネルギー有効利用

機械摩擦損失の半減

課題

ターボ過給の高効率化を図る

熱を電気に変換・利用する

低摩擦と信頼性を両立させる

解決手法

脈動流下の損失メカニズム解明
ターボ試作、モデル化

熱電特性と機械的強度を両立可能な材料の開発
モジュール構造の最適化

低摩擦な潤滑表面開発と潤滑油改良
エンジン摺動部の摩擦メカニズム解明

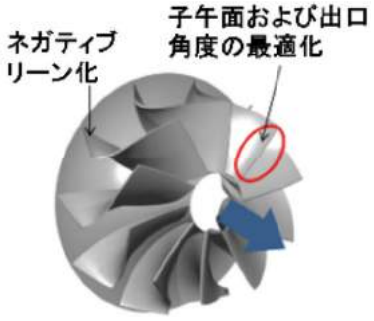
研究項目とチーム体制

排気エネルギー有効利用グループ※

ターボ過給ワーキンググループ

排気ターボとコンプレッサの高効率化で総合効率64%を目指す。

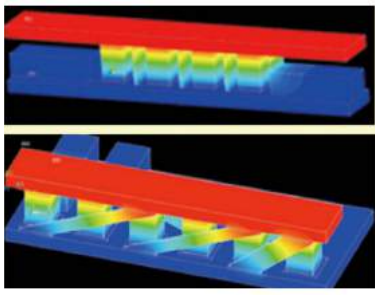
- エネルギー収支の計測とモデル化
- 脈動や曲がり管の流動を考慮した 3D シミュレーション



熱電素子ワーキンググループ

排気熱を利用した熱電素子による発電効率と範囲の拡大を実現する。

- 標準素子に対して開発した素子の高性能化を図る。
- 実機での装着時の発電特性を評価しモデル化する。



機械摩擦損失低減グループ

エンジンの摺動部の主要コンポーネントで発生する摩擦損失を半減する。

- 新たな低摩擦性状の潤滑表面開発と潤滑油改良。
- ナノからマクロにわたる摩擦モデルを構築する。

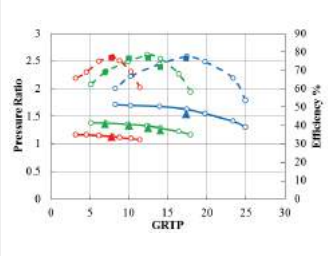
※燃料改質のテーマは2016年度に終了、成果展開へ

ターボチャージャの損失発生原因解明に基づくSIP仕様ターボチャージャの効率向上により、ガソリンエンジン(0.56% pt)、ディーゼルエンジン(2.24% pt)の熱効率向上を達成

ワーキンググループリーダー:早稲田大学 理工学術院 教授　宮川 和芳

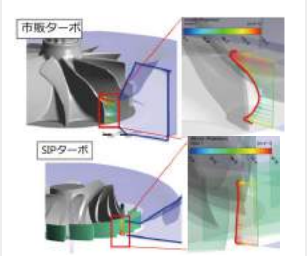
ターボチャージャ流路要素間での流れの干渉による損失低減対策の効果が十分ではない。

- 市販ターボの流動解析結果を試験結果により検証し、構築した解析法が設計ツールとして十分な精度であることを確認(図1)。
- 市販ターボのタービン解析により、ハウジングからホイールに流入する流速の幅方向の不均一性が損失発生の要因であることを見出し (図 2)、ハウジングの形状変更によりホイールへの流速を均一化し損失を低減。
- 解析、実験結果を診断し全ての流路要素における損失を低減、効率向上を達成 (図 3)。
- AICE 機関における実証試験によりコンプレッサ最大効率 84.2%を検証、性能予測解析の誤差 1%以内も確認 。
- ターボチャージャを含む統合エンジンモデルを構築し、SIP 仕様ターボチャージャの効率向上によるエンジン熱効率の向上効果を明確化 (図 4)。



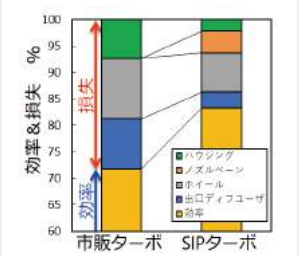
宮川(早稲田大学)、窪山(千葉大学)

図1　市販ターボ実験、解析結果



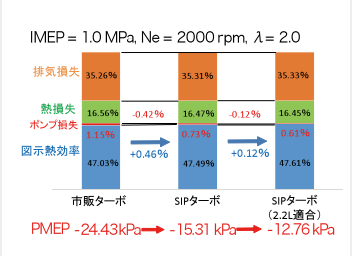
宮川（早稲田大学）

図2　市販ターボ損失(流動解析結果)



宮川（早稲田大学）

図3　SIPターボと市販ターボ損失分析



窪山（千葉大学）

図4　ターボチャージャ効率向上によるポンプ損失低減と熱効率向上

実証条件:SIPガソリン用ターボ、エンジン2000rpm、λ=1.5。コンプレッサ直径、D1/D2=29.69/48.72

モデル/ソフトウェアへの繋がり:研究結果を基にした早稲田大学、千葉大学1Dモデルを GT-Powerに組込み、展開。

今後の課題:運転領域や過渡特性の改善。

主な関連論文

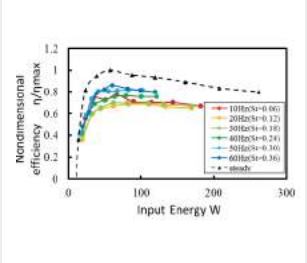
① Y.Nakamura, M.Chinen, M.Sakakibara, K.Miyagawa : ASME 2018 5th Joint US-European Fluids Engineering Summer Conference

ターボチャージャの脈動流下運転が原因で誘起される損失の発生機構・特徴を解明、脈動流による非定常損失の予測手法を構築

ワーキンググループリーダー:早稲田大学 理工学術院 教授　宮川 和芳

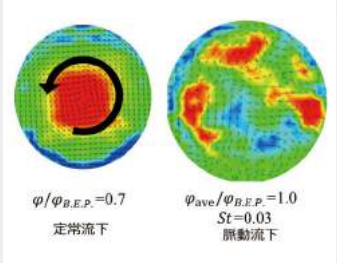
従来、定常、準定常流での性能評価のみ実施されており、脈動下運転による損失の増加、特徴は未解明。

- 早稲田大学の実験装置にて脈動流下のタービン試験を実施、脈動流下でのタービンの効率低下を確認。 (図 1)。
- タービンの出口の非定常 PIV 試験結果から、定常流下と脈動流下での流況の相違を明らかにし、非定常損失の増加を確認。(図 2)。
- 従来よりも高精度な流動解析を用いて非定常損失を誘起するタービン出口での細かな渦を模擬、出口ディフューザとホイールでの非定常損失が大きいことを明確化。 (図 3) (図 4)



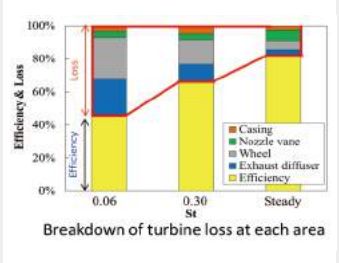
宮川（早稲田大学）

図1　脈動流下効率



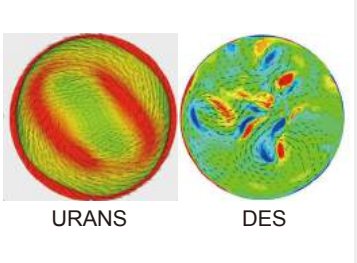
宮川（早稲田大学）

図2　PIV試験結果(渦度分布)



宮川（早稲田大学）

図3　定常、脈動流下損失分析(CFD)



宮川（早稲田大学）

図4　脈動流振幅と非定常損失の関係

モデル/ソフトウェアへの繋がり:得られた非定常損失の発生メカニズムをGT-Powerにモデル化して挿入、解析に適用。

今後の課題:様々な脈動流下条件での非定常損失の評価、評価ツールである大規模解析の実用化。

主な関連論文

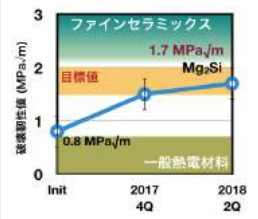
① Y.Nakamura, M.Chinen, M.Sakakibara, K.Miyagawa : ASME 2018 5th Joint US-European Fluids Engineering Summer Conference

初の複合材料化で、結晶中の分布形態制御による機械特性と熱電特性の両立手法を新規に確立 中低温度域熱電モジュールを開発し実証試験・伝熱精密解析によるGT-Powerモデルを構築

ワーキンググループリーダー：東京理科大学 基礎工学部 教授　飯田 努

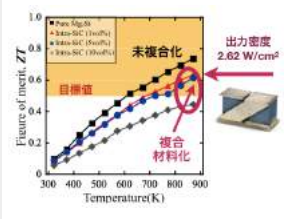
車載時の耐振動性を担保した高性能熱発電材料作製が行われていない。エンジン排気系に熱発電システムを装着した場合の伝熱モデルが構築されておらず熱効率改善への寄与度が不明。

- 熱電変換材料初の第 2 相の導入溶融合成方式複合材料化プロセスを開発し、Mg_2Si の高靭性化を実現 (図 1) Mg_2Si 材料中の第 2 相の分布形態制御を行い、高靭性化 Mg_2Si 素材で機械特性と熱電特性を両立した高い発電出力密度を有する発電素子の作製手法を新規に確立 (図 2)。
- 上記の製造プロセスを活用して、中・低温度域用熱発電モジュール (Mg_2Si、BiTe) を開発し、エンジン排気系シミュレータでの熱発電実証試験を実施 (図 3)。
- 実証試験で得られた伝熱特性を詳細に解析して精密な 1D 伝熱モデルを作成し、排気系熱発電システムの新規解析法を明確化した。さらに、熱発電 1D 伝熱モデルを GT-Power に組込み熱発電システムシミュレーション環境を構築 (図 4)。



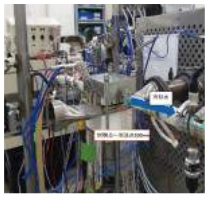
向後（東京理科大学）

図1　Mg_2Siの複合材料化による破壊靭性値向上



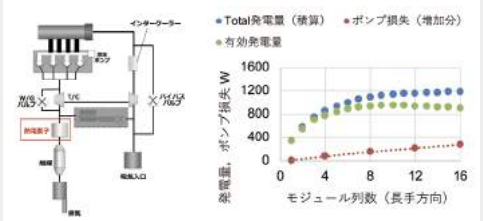
向後（東京理科大学）

図2　複合材料化したMg_2Siの出力密度



飯田（東京理科大学）
草鹿（早稲田大学）

図3　エンジン排気系ブロワーによる熱発電実証試験



草鹿（早稲田大学）

図4　熱電発電モジュールの性能評価と熱効率寄与評価(ガソリンエンジン熱電システムでの発電量)

実証条件：SIP単気筒エンジン準拠の入力ガス温度・ガス流量、冷却水温度、熱交換器フィンピッチは既実証値

モデル/ソフトウェアへの繋がり：熱発電1D伝熱モデルをGT-Power(ガソリン・ディーゼル)に組込み産業界で利用可能なシミュレーションモデルとして展開

今後の課題：機械的特性と高出力密度の両立性要求レベル検討と排気熱発電システム実機搭載試験の実施

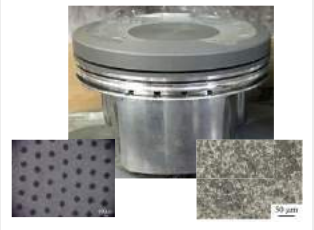
主な関連論文　排熱発電実用化への要素技術開発の取り組み～材料, モジュール, コンバータ, 次世代エンジンへの搭載シミュレーション～、飯田、茂木、横田、草鹿、大聖、井上、麻原、笠、土田、泉、吉村（理科大、早大他）、第 15 回日本熱電学会学術講演会、2018 年 9 月 14 日

基礎研究による低摩擦発現要素のエンジン部品化と基本諸元の見直しによりファイアリング条件でΔ50%超の摩擦損失低減を達成

グループリーダー：東京都市大学 工学部 教授　三原 雄司

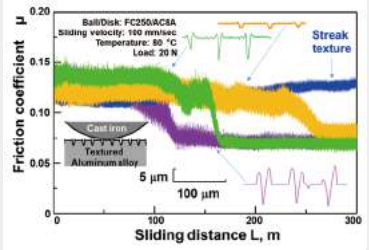
潤滑油・表面性状・形状等の変更による低μ化とエンジンでの摩擦損失低減効果の定量評価が不十分

- マイクロディンプル / 金属基改質膜 +MA 処理 Cu/MoS_2 で大幅な低μ (摩擦係数) を実現。ピストンで 10% 摩擦低減を実証 (図 1)
- なじみの発生・促進現象をエンジン摺動材で再現し、低摩擦の表面性状とトライボ化学反応による低μを実現 (図 2)
- ポリマーモノリスを滑り軸受等のエンジン摺動面に適用。貧潤滑下でも高い耐焼き付き特性を実証（図 3)
- エンジンの低摩擦効果を浮動ライナエンジンや 4 気筒エンジンを用いたファイアリング (実働) 条件で実証 (図 4)
- 潤滑油の PMA や MoDTC と清浄剤 /ZDP 組み合わせによる低μ化で摩擦低減 / 軸受耐焼付き性向上 (香川大学・東京工業大学)
- CNx 膜オーバレイにより摩擦摩耗抑制効果を向上させた DLC の開発と滑り軸受への適用で耐焼付き性の向上 (名古屋大学)



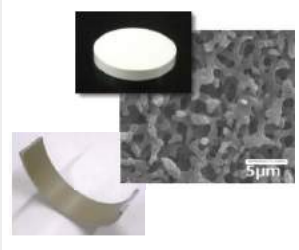
宇佐美（名城大学）

図1　スカート部への固体潤滑剤/タイリング応用(表面塑性加工)



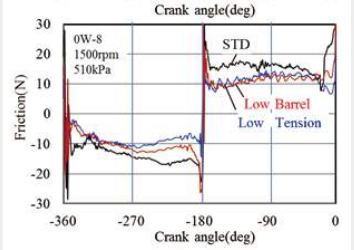
足立（東北大学）

図2　なじみ現象のエンジン部品への応用(表面テクスチャリングの最適化)



辻井　（京都大学）

図3　モノリス構造の滑り軸受摺動面への応用



三原（東京都市大学）

図4　なじみ低バレルピストンリングの摩擦低減効果のエンジン実証

実証の基本条件：2000rpm/IMEP=1MPa。浮動ライナでの摩擦力計測や4気筒でのファイアリングフリクション評価

モデル/ソフトウェアへの繋がり：なじみ・焼付き現象解析モデルの検証、オイル消費の解析モデルの検証

今後の課題：低摩擦要素による摩擦低減効果と解析モデルのコリレーション

主な関連論文　①佐藤寿樹他：微細断続切削によって付与したディンプル形状がアルミニウム合金の摩擦特性に及ぼす影響、トライボロジスト，69 巻 9 月号 (2018)，②伊原健人他：MoDTC 油中の Al 合金を用いた摩擦システムにおける表面テクスチャによる摩擦制御，トライボロジー学会 2018 秋伊勢，E18(2018)，③榊原圭太他：コーティング法による薄膜ポリマーモノリスの作成とトライボロジー特性，繊維学会年次大会 (2018)

SIP 革新的燃焼技術
Innovative Combustion Technology
bridging to....

巻末資料

Appendix

22	成果リスト
32	ソフトウエア / モデル紹介
37	チーム構成
42	マネジメント体制

成果リスト

ガソリン燃焼チーム

NO.	成果の内容	担当グループ：機関名・研究者名
1	平均流の存在しない条件下において乱れ強さのみが最小点火エネルギーに及ぼす影響を明らかにすることで、点火特性に及ぼす乱れの影響を明確にした。	着火向上班：東京大学・津江、中谷
	【主な関連論文】Shinji NAKAYA, Mitsuhiro TSUE, Ignition characteristics of laser breakdown and electrical sparks in lean quiescent and turbulent mixtures, 6th Laser Ignition Conference (LIC2018), 2018.	
2	放電時における電圧、電流、放電路の関係について実験式の適用範囲を示し、これにより放電路の延伸を含む精度の良い点火シミュレーションを可能にした。	着火向上班：日本大学・秋濱、今村
	【主な関連論文】今村 宰，文 鉉太，岩田 和也，秋濱 一弘，小型風洞を用いた高速気流中における火花放電の放電特性に関する研究、自動車技術会 2018 年秋季大会、講演番号 147 (2018)	
3	高感度・高速度カラーカメラを用いた火花放電と初期火炎核の同時可視化により、火花放電から初期火炎核が形成される様子を実証した。	着火向上班：岡山大学・河原
	【主な関連論文】渡邊匡惟，河原伸幸，冨田栄二，高速度カメラを用いた初期火炎核形成過程の可視化，第 28 回内燃機関シンポジウム，福岡リーセントホテル，2017 年	
4	マイクロ PIV を用いた点火プラグ近傍の乱流特性の計測により、タンブル強化が必ずしも乱流強化に直結せず、強いサイクル変動を生み出すことを世界で初めて明らかにした。	着火向上班：東京工業大学・店橋、志村、源、リーダー大学：慶應義塾大学・横森
	【主な関連論文】志村祐康，吉田真悟，前田つぐみ，源勇気，店橋護，横森剛，橋本英樹，瀬尾健彦，A Micro PIV Investigation of Tumble Flow and Turbulence Characteristics in an IC Engine, 9th World Conference on Experimental Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics (ExHFT-9), Iguazu Falls, Brazil,Jun11-15,(2017)	
5	詳細な化学反応機構を考慮に入れた着火の直接数値計算により、乱流中での着火遅れ時間が乱流運動による歪み速度によって整理できることを明らかにした。	着火向上班：東京工業大学・店橋、志村、源
	【主な関連論文】① N. Saito, Y. Minamoto, B. Yenerdag, M. Shimura, M. Tanahashi, Effects of turbulence on ignition of methane–air and n-heptane–air fully premixed mixtures, Combustion Science and Technology, 190 (3) 451-469 (2018).	
6	SGS 燃焼モデルとしては国産唯一であり、従来よりも高精度な格子幅自己認識型フラクタルダイナミック SGS 燃焼モデルを開発し、その有効性を DNS データや実験データとの比較から検証した。その簡易版は HINOCA に実装され、解析精度の向上に寄与している。	火炎伝播促進班：東京工業大学・店橋、志村、源、徳島大学・名田、九州大学・北川、渡邊、永野（制御チーム：早稲田大学）
	【主な関連論文】K. Hiraoka, Y. Naka, M. Shimura, Y. Minamoto, N. Fukushima, M. Tanahashi, T. Miyauchi, Evaluations of SGS Combustion, Scalar Flux and Stress Models in a Turbulent Jet Premixed Flame, Flow Turbulence and Combustion, Vol. 97(4), pp. 1147-1164 (2016).	
7	超希薄高 EGR 条件下における乱流火炎、スーパーリーンバーン条件での着火・伝播遷移に関する世界最高の直接数値計算を行い、火炎構造を解明するとともに、着火と火炎伝播が混在する火炎構造を世界で初めて明らかにした。	火炎伝播促進班：東京工業大学・店橋、志村、源
	【主な関連論文】B. Yenerdag, M. Shimura, K. Aoki, Y. Naka, Y. Nada, M. Tanahashi, A DNS Study on Global and Local Flame Structures In Thin Reaction Zones, Powertrains, Fuels and Lubricants, JSAE/SAE International Meeting, Kyoto, 2015.	
8	層流燃焼速度計測のためのダブルカーネル法を確立し、ほとんど報告例のない 4.0 MPa といった高圧場での層流燃焼速度を計測可能とした。	火炎伝播促進班：山口大学・三上、瀬尾
	【主な関連論文】金子拓嗣，瀬尾健彦，三上真人，ダブルカーネル法を用いた高圧条件下におけるガソリンサロゲート燃料・空気予混合気の層流燃焼速度計測，日本機械学会 2018 年度年次大会，大阪，2018 年 9 月 9-12 日	
9	定容容器を用いた乱流燃焼実験から、乱れ強さ、乱れのスケール等広範な条件において乱流火炎面形状のフラクタル特性を得て、フラクタル燃焼モデルの確立に寄与した。	火炎伝播促進班：九州大学・北川、渡邊、永野
	【主な関連論文】Y. Nagano, A. Tsuda, A. Noomo, T. Fukushima, M. Morita, T. Kitagawa：Study on Factors Affecting Shape Characteristics of Spherically Propagating i-C_8H_{18}/O_2/N_2 Turbulent Flames Using Constant Volume Vessel，The Ninth INTERNATIONAL CONFERENCE ON MODELING AND DIAGNOSTICS FOR ADVANCED ENGINE SYSTEMS，B313（2017）	
10	スーパーリーン条件下での SIP 共通ガソリンサロゲート燃料 (S5R) 層流燃焼速度を微小重力環境で計測、山口大学との連携により実験式の高精度化を行い、1D 解析や HINOCA の予測精度向上に寄与した。	火炎伝播促進班：大阪府立大学・瀬川、片岡
	【主な関連論文】前田祐輔，土井翔太，片岡秀文，瀬川大資：微小重力環境におけるガソリンサロゲート燃料の層流燃焼速度に及ぼす温度の影響，マイクログラビティ応用学会第 30 回学術講演会 (2018-10)	

ガソリン燃焼チーム

NO.	成果の内容	担当グループ：機関名・研究者名
11	FDSGS 燃焼モデルの補正項をモデル化することで、本モデルをガソリン燃焼に適用可能とした。これにより、乱流燃焼速度を定量的に予測できるようになり、HINOCA の予測精度を向上させた。	火炎伝播促進班：徳島大学・名田、東京工業大学・店橋
	【主な関連論文】山田 理恵（東工大院），名田 譲（徳島大），Yenerdag Basmil（東工大院），源 勇気（東工大院），志村 祐康（東工大院），店橋 護（東工大院）：A FRACTAL DYNAMIC SGS COMBUSTION MODEL FOR LES OF TURBULENT PREMIXED FLAMES UNDER A PRESSURE RISING CONDITION，9th JSME-KSME Thermal and Fluids Engineering Conference (TFEC9) (2017).	
12	希薄燃焼ガソリンエンジンの筒内で誘電体バリア放電を形成することでエンジン燃焼を促進できることを世界で初めて示した。	火炎伝播班：産業技術総合研究所・高橋、浅川、齋藤
	【主な関連論文】高橋栄一，永野幸秀，八木敦史，清水航，北川敏明，誘電体バリア放電によるガソリンエンジンの燃焼促進効果，第 29 回内燃機関シンポジウム，京都，No.44 (2018)	
13	可視化単気筒エンジンのピストントップ上の境界層の特性を世界最高レベルのマイクロ PIV 計測技術を用いて計測し、速度境界層が発達した乱流境界層でも、層流境界層でもない状態であることを世界で初めて明らかにした。	冷却損失低減班：東京工業大学・店橋、志村、源、慶應義塾大学・飯田、横森、東京農工大学・岩本、東京工業大学・小酒、佐藤
	【主な関連論文】①志村祐康（東工大），吉田真悟（東工大），大沢耕介（東工大）、源勇気（東工大），横森剛（慶応大），岩本薫（農工大），店橋護（東工大），小酒英範（東工大）：Micro PIV Investigation of Near Wall Behaviors of Tumble Enhanced Flow in an IC Engine，International Journal of Engine Research (2018) in press.	
14	ヘッドオン型の火炎・壁面干渉 (FWI) に関して詳細な化学反応機構を考慮に入れた直接数値計算を行い、ヘッドオン型 FWI における熱損失特性を世界で初めて明らかにした。	冷却損失低減班：東京工業大学・Yenerdag、源、志村、店橋、徳島大学・名田
	【主な関連論文】① Basmil Yenerdag, Yuki Minamoto, Masayasu Shimura, Yuzuru Nada, Mamoru Tanahashi, Flame-wall interactions of lean premixed flames under elevated, rising pressure conditions, Fuel, Vol.189 (2017) 8-14.	
15	トルエン 2 色 LIF 法によるエンジン内温度分布計測手法を開発し、世界で初めてエンジン相当圧力下のトルエン LIF 強度比と温度の関係を明らかにした。	冷却損失低減班：東京工業大学・Bae、長澤、佐藤、小酒
	【主な関連論文】① Bae, J. O, Sato, S., Kosaka, H.：Temperature Dependence Investigations of Gas-Phase Toluene Planar Laser-Induced Fluorescence in Rapid Compression-Expansion Machine, Extended abstract of PRTEC, Hawaii's Big Island, USA(2016)	
16	空気過剰率 2.0 以上のスーパーリーンバーンに筒内水噴射を世界で初めて適用し、ノック発生率を 3 % 以下に抑えながら、（過給機の正仕事を含まない）グロス図示熱効率を 50.1 %まで向上させた。	冷却損失低減班：東京工業大学・大倉、長澤、佐藤、小酒
	【主な関連論文】①大倉優一，長澤剛，山田涼太，佐藤進，小酒英範：スーパーリーンバーン SI エンジンにおける筒内水噴射による熱効率向上に関する研究、第 29 回内燃機関シンポジウム、京都、No.13（2018）	
17	スーパーリーンバーンによって、膨張行程における熱流束が大きく低減することを SIP 共用エンジンにおける高精度熱流束計測により実証した。スーパーリーンバーンのコンセプトを裏付ける貴重なデータを取得し当該コンセプトの推進に貢献した。	冷却損失低減班：東京都市大学・三原、石井、慶應義塾大学・飯田、横森
	【主な関連論文】①石井大二郎、三原雄司、横森剛、飯田訓正、タンブル流動及び希薄燃焼が SI エンジンの局所壁面熱流束に与える影響、自動車技術会 2017 年春季大会学術講演会講演予稿集、講演番号 20175193、2017 年 5 月 22 日、横浜	
18	同軸構造の熱流束センサの計測原理を数値解析及び実測解析から明確化した。これらを明らかにした事例は過去にない知見であり、熱伝達モデルの構築への貢献が期待されており、その意義は大きい。	冷却損失低減班：東京都市大学・三原、石井
	【主な関連論文】① Ishii, D., Mihara, Y., Development of Coaxial Type Thin Film Temperature Sensor with Improved Measurement Accuracy Based on Principle of Thermoelectromotive Force, Small Engine Technology Conference 2018, Paper No.2018-32-033, 2018/11/7, Dusseldorf	
19	自己較正機能を備えた RTD 式熱流束センサの開発により、内壁面の瞬時熱流束をリアルに捉えることに成功した。HINOCA 検証用データの提供に貢献する、世界最先端の計測技術である。	冷却損失低減班：明治大学・中別府、出島
	【主な関連論文】①出島一仁，中別府修，中村優斗，土屋智洋，長坂圭輔：エンジン内壁面の熱流束を測定する金属基板 MEMS センサの開発，日本機械学会論文集　84 巻，858 号，p. 17-00414 (2018)	
20	隣接 3 点熱流束センサの信号から、壁面近傍の流動特性の抽出が可能なことを示した。非光学手法による筒内流動情報の検出は、実機エンジンの診断・制御へ新たな可能性を提供するものである。	冷却損失低減班：明治大学・中別府、出島
	【主な関連論文】①中別府修：特願 2018-070922（乱流特性の導出方法および導出装置）(2018)	

ガソリン燃焼チーム

NO.	成果の内容	担当グループ：機関名・研究者名
21	抵抗体の温度依存性を用い、LCR 回路の共振周波数を電磁結合により無線計測するワイヤレス温度センサを提案した。ポリイミドを基板として用いることで、可撓性を有するセンサを開発した。測定場所の自由度が高い熱流束センサとして期待できる。	冷却損失低減班：東京大学・鈴木、李
	【主な関連論文】①李敏赫，森本賢一，鈴木雄二：ワイヤレス温度センサを用いた非定常場における壁面温度計測、第 53 回燃焼シンポジウム (2015)	
22	フレキシブル・ワイヤレス温度センサを簡易可視化エンジンのガラスシリンダにおける壁面温度測定に応用し、周波数スイープの条件を最適化することで、1.2 ms の高時間分解能での計測を実現した。	冷却損失低減班：東京大学・鈴木、李
	【主な関連論文】① Kwan, T., Lee, M., Morimoto, K., and Suzuki, Y.: Cylinder Wall Temperature Measurement in the Optical Engine Using a Flexible Wireless Sensor, The Ninth International Conference on Modeling and Diagnostics for Advanced Engine Systems (COMODIA 2017) (2017)	
23	AWF の手法を非定常項を含めて LES 用壁モデルに展開し、開発したモデルの有効性を剥離・再付着流れでも実証した。これで産業応用 LES の信頼度を高めた。	冷却損失低減班：大阪府立大学・須賀
	【主な関連論文】① Sakamoto, T., Kuwata, Y., Suga, K.: A study on wall-modeled large eddy simulations by the analytical wall function, Proc. of the 29th International Symposium on Transport Phenomena (ISTP29), Honolulu, USA（2018）	
24	HINOCA-RANS 版の計算の安定性および予測精度向上を目的として、流れ場の特性を考慮した乱流モデルの渦粘性係数に対する改善方法を提案した。	冷却損失低減班：九州大学・安倍
25	DNS より壁面までの詳細な乱流熱伝達場における統計量を取得し、提案したマルチタイムスケール (MTS) 乱流熱伝達モデルの予測精度を、その DNS データから比較・評価し、予測精度向上を達成した。	冷却損失低減班：名古屋工業大学・服部
	【主な関連論文】① Hattori, H. & Tsutsui, K.: Multi-time-scale turbulent heat transfer model for predictions of various turbulent heat transfer phenomena, Int. J. Adv. Eng. Sci. Appl. Math., Vol. 11, pp. 1–11, 2019 (Online 2018).	
26	提案した RANS 版 MTS 乱流熱伝達モデルと同様の考えで先行開発された LES 版 MTS 乱流熱伝達モデルが、大阪府立大学須賀教授らの開発した LES 版 AWF（Analytical Wall Function）とともに HINOCA に組込まれ、エンジン筒内熱流動の予測精度向上にその予測性能が発揮されつつある。	冷却損失低減班：名古屋工業大学・服部
	【主な関連論文】① Inagaki, M. Hattori, H. & Nagano, Y., Int. J. Heat and Fluid Flow, 34,pp. 47-61(2012)	
27	WALE モデルを用いた円管内乱流の LES に関して、質量･運動量･エネルギーが保存するコードであれば、従来の知見よりも粗い格子（壁面第 1 点 y+ ～ 10）でも妥当な予測ができるということを示した。	冷却損失低減班：慶應義塾大学・深潟
	【主な関連論文】① DIwasa, D., Nabae, Y. and Fukagata, K. : Comprehensive grid resolution study of WALE model for large eddy simulation of turbulent pipe flow, The 13th World Congress in Computational Mechanics (WCCM 2018), New York (2018).	
28	移動境界問題においても数値振動を抑制できる埋め込み境界法（IBM）を開発した。HINOCA の計算精度向上に貢献した。	冷却損失低減班：慶應義塾大学・深潟
	【主な関連論文】① Kor, H., Badri Ghomizad, M., and Fukagata, K.: Extension of the unified interpolation stencil for immersed boundary method for moving boundary problems, J. Fluid Sci. Technol. 13, JFST0008 (2018)	
29	RCM を用いた S5R の自発点火実験により、自発点火遅れ時間の温度依存性 d τ i/dT が低い NTC 領域で、圧力振幅が増大する事を確認した。自発点火伝播速度と圧力振幅の関係がピストン効果で表されることと併せて、乱れを与えて圧力振動を抑制できる可能性を示した。	燃料・ノック抑制班：日本大学・田辺、飯島、齊藤
	【主な関連論文】Kohei Honda, Yusuke Miyauchi, Yusuke Usami, Ryohei Toyoda, Koki Yoshida, Masanori Saito, Akira Iijma, Mitsuaki Tanabe, Study on the Suppression of Pressure Wave at Spontaneous Ignition of Gasoline Surrogate Mixture in a Rapid Compression Machine, SAE Paper 2017-32-0118（2017）(SETC2017 優秀論文賞受賞)	
30	高圧希薄条件では、d τ i/dT が大きくなることで、低圧条件と比較して圧力振幅が減少する事を確認した。	燃料･ノック抑制班：日本大学･田辺、飯島、齊藤
	【主な関連論文】豊田椋平，本多浩詩，吉田洸紀，齊藤允教，飯島晃良，田辺光昭，圧力による予混合気の自発点火特性の変化が自発点火に伴う圧力波生成に与える影響，第 28 回内燃機関シンポジウム講演論文集，28-20178080，(2017)	
31	強い乱れを与えると予混合気の自発点火遅れが長くなる。特に冷炎期間が延長されるが、壁面等の低温境界層を巻き込んだ部分に冷炎が伝播も発生もせず、冷炎発生時の温度･圧力上昇を抑制していることを明らかにした。	燃料･ノック抑制班：日本大学･田辺、飯島、齊藤
32	自着火後にどのように圧力波が形成されるのかに着目し、強烈ノッキングを可視化できるエンジンを用いて「ノックフリー」、「弱ノック」、「強ノック」の違いを明確化した。このような条件でのエンドガス自着火の成長プロセスが比較可能なデータは公開されておらず、DB や教科書掲載データとしての価値も高い。	燃料･ノック抑制班：日本大学･田辺、飯島、齊藤
	【主な関連論文】Akira Iijima, Shuhei Takahata, Hiroki Kudo, Keito Agui, Masaaki Togawa, Kento Shimizu, Yuki Takamura, Mitsuaki Tanabe, Hideo Shoji, A Study of the Mechanism Causing Pressure Waves and Knock in an SI Engine under High-Speed and Supercharged Operation -Analysis of End-Gas Autoignition and Pressure Wave Behavior in the High-Speed Region and Occurrence of Strong Knock under Supercharged, Ultla-Lean Combustion-, International Journal of Automotive Engineering, 9 (1):23-30 (2018)	

ガソリン燃焼チーム

NO.	成果の内容	担当グループ：機関名・研究者名
33	自着火成長過程を解析可能な可視化エンジンを開発したことで、自着火の進行速度が音速程度になる条件で強烈なノックに遷移し、その後超音速に移行しつつノック強度が飽和することなど、強烈ノックとデトネーション遷移の関係を裏付けた。このような実測データは存在せず、世界初の成果である。	燃料・ノック抑制班：日本大学・田辺、飯島、齊藤
	【主な関連論文】Akira Iijima, Takuya Izako, Takahiro Ishikawa, Takahiro Yamashita, Shuhei Takahata, Hiroki Kudo, Kento Shimizu, Mitsuaki Tanabe, Hideo Shoji, Analysis of Interaction between Autoignition and Strong Pressure Wave Formation during Knock in a Supercharged SI Engine Based on High Speed Photography of the End Gas , SAE International Journal of Engines, 10 (5):2616-2623 (2017) (2017 JSAE/SAE Small Engine Technology Conference 最優秀論文賞受賞)	
34	熱力学に基づく圧力スパイク形成モデルに対して、可視化エンジンを用いた超高速自着火成長過程解析結果を適用することで、圧力スパイク発生条件（ノック発生条件）の推定手法を提案した。局所自着火の成長過程を超高速で観測できる本手法でなければ裏付けられない成果であり、特筆すべき成果と言える。	燃料・ノック抑制班：日本大学・田辺、飯島、齊藤
	【主な関連論文】飯島晃良，山下貴大，居迫拓治，石川貴大，高畑周平，齊藤允教，田辺光昭，庄司秀夫，可視化エンジンを用いた自着火成長過程計測によるノック振動発生メカニズムの研究 , 第 56 回燃焼シンポジウム (2018)（2018 年 11 月公表予定）	
35	通常は非定常着火過程において生じる「冷炎」を独自手法で定在化。化学種計測により詳細な反応過程を調べるためのプラットフォームを構築。従来手法では不可能であり、新たな展開が見込まれる。	燃料・ノック抑制班：東北大学・巽、手塚、中村、丸田
	【主な関連論文】R. Tatsumi, H. Nakamura, S. Hasegawa, T. Tezuka, K. Maruta: Study on Low Temperature Oxidation with a Separated Cool flame of n-Heptane in a Micro Flow Reactor with a Controlled Temperature profile, Proceedings of the 26th International Colloquium on the Dynamics of Explosions and Reactive Systems, Paper ID 920 (2017).	
36	冷炎、青炎、熱炎を分離定在観察できるマイクロリアクタにより、青炎の熱発生と燃料の反応性に強い相関を発見。中間化学種（ホルムアルデヒド）の大小関係から CFR エンジンの臨界圧縮比に相当する燃料の反応性評価指標（インデックス）を構築。	燃料・ノック抑制班：東北大学・グラエツキ、手塚、中村、丸田
	【主な関連論文】P. Grajetzki, H. Nakamura, T. Tezuka, S. Hasegawa, K. Maruta: A novel reactivity index for SI engine fuels by separated weak flames in a micro ow reactor with a controlled temperature profile, Fuel, under review.	
37	強乱流下のスーパーリーンバーン条件における着火～火炎伝播遷移に関する情報収集・SIP 内情報共有（勉強会等）。さらに各種着火（ナノ秒パルスプラズマ点火含む）によるリーン点火限界拡大・熱効率上昇効果を基礎実験および SIP 共用エンジンにより調査。	東北大学・上杉、手塚、丸田、中村、慶應義塾大学・飯田、横森
	【主な関連論文】丸田薫 , 中村寿 : 自動車技術 , 72 巻 , 4 号 , pp. 10 - 17 (2018).	
38	世界的にほとんどデータがない高圧、希薄条件下における実用ガソリンの着火遅れ時間を、急速圧縮装置を用いて計測。ガソリンサロゲートモデルの構築に貢献。	燃料・ノック抑制班：茨城大学・金野、田中
	【主な関連論文】①田中光太郎、岡田寛也、小山貴久、金野満，急速圧縮装置を用いた日本の実用ガソリンの自着火機構に関する研究，自動車技術会論文集 2016, 47, 3, 679-684. ②田中光太郎、吉田翔一、岡田寛也、成毛政貴、金野満，高圧燃焼場における実用ガソリンの自着火特性，自動車技術会論文集 2016, 47, 6, 1271-1277. ③成毛政貴、吉田翔一、和知祐亮、田中光太郎、金野満，EGR がガソリンサロゲート燃料の 着火特性に及ぼす影響，自動車技術会論文集 2017, 48, 6, 1193-1199.	
39	中赤外吸収分光法を応用し、圧縮着火燃焼場におけるホルムアルデヒドのモル濃度履歴の計測に成功。燃料の低温酸化過程の検討に有効な新たな計測手法を開発。	燃料・ノック抑制班：茨城大学・金野、田中
	【主な関連論文】① Kotaro Tanaka, Kai Miyamura, Kazushi Akishima, Kenichi Tonokura, Mitsuru Konno, Sensitive measurements of trace gas of formaldehyde using a mid-infrared laser spectrometer with a compact multi-pass cell, Infrared Physics and Technology, 76, 1-5, (2016). ② Kotaro Tanaka, Kazushi Akishima, Masahiro Sekita, Kenichi Tonokura, Mitsuru Konno, Measurement of ethylene in combustion exhaust using a 3.3- μ m distributed feedback interband cascade laser with wavelength modulation spectroscopy, Applied Physics B, Volume123,Article 219, (2017).	
40	10 ミリ秒の観測時間をもつ高圧衝撃波管により、着火遅れの広温度域計測に成功し、SIP 詳細反応モデルが実用ガソリンの熱着火を高精度で予測できることを実証。	燃料・ノック抑制班：上智大学・村井、舘野、高橋
	【主な関連論文】① Risako Murai, Hiroki Tachino, Kazuo Takahashi: Measurements of Ignition Delay Times for Commercial Gasolines in High-Pressure Shock Tube and Evaluation of Detailed Reaction Model, 37th International Symposium on Combustion, Work-in-Progress Poster, Dublin, Ireland, 2018.7.29-8.3. ② 村井梨紗子 , 舘野弘樹 , 高橋和夫 : 高圧衝撃波管による SIP 共通ガソリンの着火遅れ計測とガソリンサロゲート反応モデルの適用性検証 , 第 55 回燃焼シンポジウム , 富山 , 2017.11.13-11.15. ③ 村井梨紗子 , 内田英治 , 長島広貴 , 高橋和夫 : 加熱型高圧衝撃波管によるガソリンサロゲート着火遅れの広温度領域計測と SIP 反応モデルの検証 , 平成 28 年度衝撃波シンポジウム , 横須賀 , 2017.3.8-3.10.	
41	励起ホルムアルデヒドの高感度発光計測により、SIP 詳細反応モデルが低温酸化を示す冷炎を高精度で予測できることを衝撃波管実験で初めて実証。	燃料・ノック抑制班：上智大学・舘野、村井、高橋
	【主な関連論文】① Hiroki Tachino, Risako Murai, Kazuo Takahashi: Cool Flame Observations for Commercial Gasolines and Their Surrogates in a High-Pressure Shock Tube, 37th International Symposium on Combustion, Work-in-Progress Poster, Dublin, Ireland, 2018.7.29-8.3. ② 舘野弘樹 , 村井梨紗子 , 高橋和夫 : ガソリンサロゲートの高圧着火における冷炎観測と冷炎発生時期の計測 , 平成 29 年度衝撃波シンポジウム , 仙台 , 2018.3.7-3.9.	

ガソリン燃焼チーム

NO.	成果の内容	担当グループ：機関名・研究者名
42	点火などに起因し発生する圧力波擾乱が、末端ガス自着火と爆轟波発達現象の支配的な要因となることを提示した。燃料の負の温度係数領域とノック強度の関係など詳細メカニズムの提示は世界で初めてである。 【主な関連論文】① H. Terashima et al. : Origin and reactivity of hot-spots in end-gas autoignition with effects of negative temperature coefficients: Relevance to pressure wave developments, Combustion and Flame, 184, 324-334 (2017).	燃料・ノック抑制班： 北海道大学・寺島
43	着火遅れ時間の空間分布制御により、ノック圧力波ピークの大幅な低減が可能であることを明らかにした。空間全体に着火遅れ時間勾配を生成させ、末端ガスの‘連続’自着火現象を積極的に利用するノック抑制法を提案した。	燃料・ノック抑制班： 北海道大学・寺島
44	内燃機関燃焼改善・設計に用いることのできる国内市場ガソリンサロゲートを初めて提案し、半定量的な予測精度をもつ詳細反応機構を構築した。 【主な関連論文】①三好 明 , 酒井康行 : ガソリンサロゲート詳細反応機構の構築 , 自動車技術会論文集 48 (5) 1021–1026 (2017) #20174744, ② Akira Miyoshi: Chemical Kinetic Analysis of the Effect of the Occurrence of Cool Flame on SI Knock, International Journal of Automotive Engineering, 8 (3) 130–136 (2017) #20174103.	燃料・ノック抑制班： 広島大学・三好、 福井大学・酒井
45	開発した詳細化学反応モデルを用いて、パルス圧縮・予備加熱などの化学反応に基づくノック抑制手法を初めて提案した。 【主な関連論文】三好明 , 低温酸化反応の怪 , 第 55 回燃焼シンポジウム 2017 年 11 月 13 日～ 11 月 15 日 .	燃料・ノック抑制班： 広島大学・三好
46	Livengood-Wu 積分による着火予測は、熱発生プロフィールの相似性を前提として着火遅れ時間の逆数 1/ τ の積分により時間分率（d τ /t）の総和が 1 となる時点で熱発生プロフィールが完成することを意味するという世界初の合理的説明を得た。このプロセスを高精度で行うためには、冷炎反応の有無に関わらず t を H_2O_2 ループ反応誘導期間 τ_1 と H_2O_2 ループ反応支配期間 τ_2 のふたつに分割し（世界初の考え方）、1/ τ_1 の積分により τ_1 終了時点を予測した後に 1/ τ_2 の積分を開始することが有効であると示した（世界初の改良型 Livengood-Wu 積分による高精度着火予測方法）。 【主な関連論文】桑原 , 高精度エンドガス自着火予測モデルの開発ー Livengood-Wu 積分による着火予測の本質ー , 自動車技術会論文集 , Vol.49, No.6 (2018)	燃料・ノック抑制班： 大阪工業大学・桑原
47	二段階 Livengood-Wu 積分による着火予測を実現するため、詳細反応メカニズムが記述するプレミアムガソリンの着火遅れ時間 τ および H_2O_2 ループ反応誘導期間 τ_1 の温度・圧力・当量比依存性を高精度に再現可能な総括式を構築（簡素さと高精度を高レベルで両立させた点で世界一）。 【主な関連論文】桑原 , 高精度エンドガス自着火予測モデルの開発（第二報）プレミアムガソリンサロゲート燃料の着火遅れ時間総括式の構築 , 自動車技術会学術講演会講演予稿集 , No.223 (2018)	燃料・ノック抑制班： 大阪工業大学・桑原
48	自着火と火炎伝播を予測するガソリンの簡略反応機構を構築。実燃料燃焼の直接数値計算のさらなる高精度化に寄与。 【主な関連論文】①酒井康行 , 三好明 : ガソリンサロゲート燃料簡略反応機構の構築，第 28 回内燃機関シンポジウム (2017), ②酒井康行 : 連載講座ー燃焼の反応機構と反応素過程ー (3) 反応機構簡略化，日本燃焼学会誌 60 (193) 191–198 (2017).	燃料・ノック抑制班：福井大学・ 酒井、広島大学・三好
49	スーパーリーン燃焼において出力のサイクル変動が生じるのは、膨張行程初期に生じるバルククエンチであることを見いだし、その解決方法を示した。 【主な関連論文】Y. Moriyoshi, T. Kuboyama, M. Kaneko, T. Yamada and H. Sato, Fuel Stratification Using Twin-Tumble Intake Flows to Extend Lean Limit in Super-Lean Gasoline Combustion, SAE 2018-01-1664	モデル / ばらつき縮減班： 千葉大学・森吉、窪山
50	1D のサブモデル（点火、火炎伝播、冷却損失、ノック、損失低減チームのターボ、熱電素子、摩擦損失）を組み合わせ、SIP 単気筒エンジンをベースに仮想的に 4 気筒ターボエンジンを想定し、その正味効率を高精度に予測できる 1D モデルを開発した。	千葉大学・森吉、窪山、 東京大学・中谷、 早稲田大学・草鹿、山口、 東京工業大学・小酒、 大阪工業大学・桑原
51	多変数制御手法（燃料制御ループと点火制御ループ）の改善により、ばらつき縮減・熱効率向上統括制御アルゴリズムを確立。 【主な関連論文】Xu Zidan, Di Huanyu, Zhang Yahui, Shen Xun, Shen Tielong, Combustion Variation Restrain Control with Extremum Seeking of Thermal Efficiency, JSAE Congress(Autumn) 2018, Nagoya, Japan, October 17-19, 2018.	モデル / ばらつき縮減班： 上智大学・申

ディーゼル燃焼チーム

NO.	成果の内容	担当グループ：機関名・研究者名
1	実噴射弁において、ニードルの動き、ノズル内外流を計測し、ニードルリフトとレール圧力を入力とし噴孔出口流速・拡がり角を予測するモデルを構築した。	混合気制御：産業技術総合研究所・文、黄、鳥取大学・小田、大澤
	【主な関連論文】① Huang WD, Moon S, Ohsawa K.: Near-nozzle dynamics of diesel spray under varied needle lifts and its prediction using analytical model, Fuel 180, pp.292-300,(2016). ② Oda,T., Osawa,K, et al. : Investigation on a Simple Model to Predict Injection velocity and Spray Cone Angle for Sac Type Diesel Injectors, ICLASS 2018, July22-26, (2018).	
2	DIS(二噴射弁システム) を用いて、燃料噴射パターンの調整により漸増熱発生率を作り、等容度を保ったまま燃焼騒音を低減できることを示した。	混合気制御：京都大学・石山、川那辺、堀部
	【主な関連論文】①桑原洋樹，平山一輝，堀部直人，川那辺洋，石山拓二：ディーゼル PCCI 燃焼において熱発生率形状が燃焼騒音に与える影響，日本機械学会関西支部第 92 回定時総会講演会，講演論文集 No.174-1，p.172, (2017).	
3	燃料噴霧の周囲気体導入量の分布を、運動量理論による考察と一次元噴霧モデルにより明らかにした。これは燃焼室設計の基本的な方針決めに役立つ。	混合気制御：京都大学・石山、川那辺、塩路
	【主な関連論文】①川那辺洋，石山拓二，塩路昌宏：運動量理論に基づくディーゼル噴霧の周囲流体導入過程に関する一考察，日本機械学会論文集，83 巻 856 号，17-00294-17-00294, (2017).	
4	単噴孔および多噴孔インジェクタによる蒸発噴霧の巨視的な特性と、噴霧内部の濃度分布を計測、比較し、噴霧特性を計測・解析する際に有用な知見を与えた。	混合気制御：広島大学・西田
	【主な関連論文】① Kim,J. Nishida,K., et al.: Comparison of Fuel Concentration Distribution of Diesel Spray between Single- and Multi-Hole Injectors under Evaporating, Non-Reacting Condition, ICLASS 2018, July22-26, (2018).	
5	先進的光学計測法を開発し、噴霧先端過濃混合気が後燃えの一因と特定。噴霧軸方向濃度の平坦化、壁面衝突抑制を狙いとする逆デルタ噴射率コンセプトを案出。	燃焼期間短縮：明治大学・相澤
	【主な関連論文】① Kondo et al.: High-speed UV Chemiluminescence Imaging of Late Combustion in Diesel Spray Flame, IJER Vol.18(1-2), p93-104, (2017). ②Mohd Fareez et al.: Optical Diagnostics of Inversed-Delta Rate Shaping Diesel Spray Flame towards Reduction of Late Combustion, SAE2018-01-1793, (2018).	
6	TAIZAC インジェクタを開発。逆デルタ噴射率に加え、中圧プレ噴射、初期噴射率立上り急峻化等の噴射率制御を簡便な機構で実現した。	燃焼期間短縮：明治大学・相澤、嶋田
	【主な関連論文】①秋山ほか：ディーゼル機関熱効率向上のための直列 2 弁瞬時切替式 (TAIZAC) インジェクタ，自動車技術会 2018 年春季大会学術講演会講演予稿集 No.61-18，論文 No.20185278, (2018).	
7	UV ボアスコープによる筒内可視化と詳細反応を考慮した燃焼数値解析の比較から、後燃え要因を検討。UV 光学計測が多気筒実機関へ適用できることを示した。	燃焼期間短縮：千葉大学・長谷川、窪山、早稲田大学・足立、草鹿、明治大学・相澤
	【主な関連論文】①長谷川ほか：ディーゼル機関の後燃え期間における熱発生過程の解析，自動車技術会論文集 Vol.49(3), p581-586, (2018).	
8	詳細な素反応過程を考慮した LES により、非定常噴霧火炎内温度分布の直接計測結果に見られる時間的、空間的な特徴を再現、LES 燃焼計算の精度を高めた。	燃焼期間短縮：早稲田大学・足立、周、草鹿、明治大学・相澤
	【主な関連論文】①足立 隆幸ほか：詳細な素反応過程を考慮した LES によるディーゼル噴霧火炎内の局所温度分布解析，自動車技術会 2016 年春季大会学術講演会講演予稿集，No.31-16S, p.745-747，論文 No.20165140, (2016).	
9	容器実験により、制御因子と冷却損失との関係を求め、指数相関からトレードオフを解消する制御因子を明らかにした。	冷却損失低減：同志社大学・松村
	【主な関連論文】①巽健ほか:ディーゼル噴霧火炎における壁面熱損失に関する研究(第 3 報)，自動車技術会論文集，Vol.49, No.2, pp138-143, (2018).	
10	容器実験の結果から燃料の蒸発性に着目し、軽質二成分混合燃料によりコンパクト噴霧火炎を再現、冷却損失の低減効果を単気筒機関で実証した。	冷却損失低減：同志社大学・松村
	【主な関連論文】①荒井直之ほか：高負荷運転時におけるディーゼル機関の高効率化に関する研究（第 1 報），自動車技術会 2018 年春季大会学術講演会講演予稿集 No.2-18, 論文 No.20185005, (2018).	
11	反応機構を考慮した燃焼計算を高速化する手法を提案し、ディーゼルエンジンを対象とした燃焼計算で冷却損失の低減機構を一部確認した。	冷却損失低減：大阪大学・堀
	【主な関連論文】① Hori,T. et al. : Three-Dimensional Simulation of Heat Transfer in Diesel- Spray Flame Impinging on Flat Wall using Skeletal Mechanism of n-Tridecane, COMODIA, B107, (2017).	
12	詳細反応機構の解読に基づき、CFD 計算に適用可能なノルマルトリデカンの高精度簡略化反応機構を構築した。	冷却損失低減：大阪工業大学・桑原
	【主な関連論文】① Kuwahara,K. et al. : Reduction of Reaction Mechanism Based on Knowledge of Detailed Reaction Paths, SAE Technical Paper, No.2016-01-238, (2016).	

ディーゼル燃焼チーム

NO.	成果の内容	担当グループ：機関名・研究者名
13	単気筒機関による中低負荷の燃焼実験により、高 EGR との組み合わせで高効率・低騒音を得て、超高圧パルス噴射燃焼のコンセプト成立を確認した 。 【主な関連論文】①中澤 , 小酒 , 佐藤 : 燃料噴射圧力および燃料噴射パターンが PCCI 燃焼に及ぼす影響 , 自動車技術会 2017 年秋季大会 , 講演番号 061, (2017). ② Sato,S., Kosaka,H., et al.: Investigation of the Injection Strategy for PCCI Combustion Control Using the Ultrahigh Pressure Fuel Injection, SAE 2018 Powertrains, Fuels and Lubricants Meeting, Oral Only, (2018).	超高圧噴射：東京工業大学・小酒、佐藤
14	高負荷条件への超高圧噴射適用は、燃焼室形状の最適化により熱効率向上に寄与することを示した。 【主な関連論文】①佐藤 , Ewphun, 長澤 , 小酒 : 超高圧燃料噴射がディーゼル燃焼の燃焼期間およびヒートバランスに及ぼす影響 , 第 29 回内燃機関シンポジウム , 講演 No.2, (2018).	超高圧噴射：東京工業大学・佐藤、小酒
15	二段燃焼時の消音スパイク効果を騒音モデルにより解析し、消音スパイク効果とピストン - コンロッド連成振動数移動との相乗効果より、大きな騒音低減効果を得た。 【主な関連論文】① Mikami,M., et al.: Time-frequency Characteristics of Combustion Impact and Noise in a Diesel Engine with Two-stage Combustion，COMODIA 2017, Paper No.B206, (2017). ②小口瞳史ほか : コンロッド仕様と燃料噴射時期がディーゼルエンジンの放射騒音特性に与える影響の調査，自動車技術会 2018 年春季大会学術講演会予稿集 No.62-18, 論文 No.20185282, (2018).	放射音低減：山口大学・三上、瀬尾
16	双峰形部分予混合化ディーゼル燃焼において吸気温度が熱効率関連因子に与える影響を調査し、各負荷における適切な吸気温度を明らかにした。 【主な関連論文】稲葉一輝，増子曜介，張焔赫，小橋好充，柴田元，小川英之 : 吸気条件が双峰形部分予混合化ディーゼル燃焼の熱効率関連因子におよぼす影響 , 自動車技術会 2018 年秋季大会学術講演会 , 論文 No.20186300, (2018).	放射音低減：北海道大学・小川、柴田、小橋
17	一段目予混合化燃焼の燃料噴射を二分割した三段噴射による双峰形燃焼とすることで冷却損失が低減し熱効率が向上することを明らかにした。 【主な関連論文】増子曜介，稲葉一輝，張焔赫，小橋好充，柴田元，小川英之 : 燃料噴射の分割による双峰形部分予混合化ディーゼル燃焼の熱効率改善特性 , 第 29 回内燃機関シンポジウム , 講演 No.1, (2018).	放射音低減：北海道大学・小川、柴田、小橋

制御チーム

NO.	成果の内容	担当グループ：機関名・研究者名
1	IB 法の採用によりメッシュ作成時間ゼロで、ピストン、バルブの移動境界を含む LES の圧縮性流動計算が安定的に計算できるプログラムを開発した。質量保存が課題であったが新手法をいくつか開発し保存性を格段に高めた。 【主な関連論文】 溝渕泰寛：自動車エンジン燃焼解析ソフト HINOCA（火神）、自動車技術、72 巻 4 号、105-109(2018)、南部太介、溝渕泰寛：直交格子を用いたレシプロエンジン用圧縮性 LES ソルバに対するコンパクトスキームの適用、第 31 回数値流体力学シンポジウム F01-1 (2017)、神長龍一他：LES 版 HINOCA のエンジンポート定常流計算，第 28 回内燃機関シンポジウム講演予稿集 20178070 (2017)	CAE: 宇宙航空研究開発機構・溝渕、南部
2	SIP で開発された予測モデルを HINOCA に実装することで、刻々と変化するエンジン筒内の流動に対応する壁面熱流束分布の高精度予測が可能になった。 【主な関連論文】 尾形陽一：エンジン冷却損失解析に向けた壁面乱流熱流束モデルの比較，自動車技術会 2019 年春季大会学術講演会 (2019) 発表予定	CAE: 広島大学・尾形
3	噴霧、混合気形成に必須のモデルを HINOCA に組込み、液滴分裂モデルの定数評価、分子式から燃料の物性を推算する手法を含め、多成分燃料に対応した噴霧および液膜モデル群を包括的に HINOCA に実装し、その妥当性が検証された。 【主な関連論文】 川内智詞，高木正英：ガソリン噴霧及びディーゼル噴霧における分裂モデルの適用性に関する検討，自動車技術会 2018 年春季大会学術講演会講演予稿集，20185013(2018)、自動車技術会論文集投稿中、川内智詞他：ガソリン噴霧シミュレーションにおける微粒化特性と混合気形成の関係、自動車技術会 2018 年秋季大会学術講演会講演予稿集 20186138(2018)	CAE: 海上技術安全研究所・高木、川内、 PM: 北海道大学・小橋
4	放電経路や最小着火エネルギーを考慮したモデルを開発し、燃料濃度や乱流強度が最小着火エネルギーに与える影響も考慮可能とした。 【主な関連論文】 堀司：火花点火機関における放電経路伸長と再放電のモデリング，自動車技術会論文集 48(3):641-647(2017)、堀司：火炎核から火炎伝播へ至る成長過程のモデリング、燃焼シンポジウム講演論文集 E322（2018）、堀司：超希薄燃焼に適した点火モデルの開発、内燃機関シンポジウム講演資料，フォーラム I エンジン燃焼技術の進展を支えるモデリング技術（2018）	CAE: 大阪大学・堀
5	SIP で開発された乱流燃焼速度モデルと層流燃焼速度式を HINOCA に実装し、定容容器実験データを用いた検証を経て、SIP エンジンの希薄条件（λ =1.7）まで幅広く予測可能なことを示した。 【主な関連論文】 神長隆史他：火花点火ガソリンエンジンにおける燃焼のサイクル間変動の LES 解析，自動車技術会 2018 年春季大会学術講演会講演予稿集，20185159(2018)，喜久里陽他：火花点火ガソリンエンジンにおける火炎面の分布特性に関する LES 解析，自動車技術会 2017 年秋季大会学術講演会講演予稿集，20176142(2017)	CAE: 早稲田大学・草鹿、神長

制御チーム

NO.	成果の内容	担当グループ：機関名・研究者名
6	サイクル変動下の燃焼と合わせたノック評価を低計算コストで行うことを可能とした。	CAE: 東北大学・森井
7	超高速 PIV 法を用いて、従来、計測が困難であったノズル出口近傍における噴霧の速度場計測に成功し、噴霧の速度分布が噴流の速度分布と一致することを提示。 【主な関連論文】① T. Shibata, Y. Zama　他 2 名 , 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)	PM: 群馬大学・座間
8	高圧インジェクタから噴射される多成分燃料噴霧に対し、粒径計測を実施し、ノズル近傍においては高密度噴霧状態であることを確認した。 【主な関連論文】① Kawahara, N., et al.,: Droplet diameter measurement near a nozzle exit of a gasoline DISI injector using PDA, ICLASS2018, Paper No. 191(2018)	PM: 岡山大学・河原
9	プール燃焼に起因するすす生成を対向流燃焼器を用いて定常的かつ拡大して再現する手法を考案した。さらに、多環芳香族炭化水素およびすす体積分率の計測を行い、予測モデルを構築するための指針を示した。 【主な関連論文】①橋本淳，甲斐健太朗，後藤大輝，髙橋美沙紀，伊東朋晃，足立久也，田上公俊：イソオクタン / トルエン 2 成分燃料の模擬筒内液面燃焼におけるすす生成特性，自動車技術会論文集，Vol. 49，No. 6，1126-1131 (2018)	PM: 大分大学・橋本
10	UVLED 最先端光学計測により、液膜、混合気、燃焼、すす生成を一括可視化、全量サンプリングとフィルタ重量法及び PAMS を併用し、筒内すす総質量を時系列計測。 【主な関連論文】① Miyashita, et al., "High-Speed UV and Visible Laser Shadowgraphy of GDI In-Cylinder Pool Fire", SAE2016-01-2165、② Maruyama, et al., "In-cylinder GDI Soot via Visualization and Time-Resolved Total Cylinder Sampling", SAE 2019-01-0037, 2019	PM: 明治大学・相澤
11	ガソリンサロゲート燃料（TRF 燃料（Toluene Reference Fuel））の衝撃波管すす生成データを用いて、詳細 PM 反応モデルを最適化。無酸素下でのすす生成の条件も含む様々な条件で徹底検証し、SIP モデルを提示した。 【主な関連論文】①秋濱一弘、由井寛久、生井裕樹、岩田和也、今村宰、石井一洋、橋本淳：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)	PM: 日本大学・秋濱、横浜国立大学・石井、大分大学・橋本
12	多波長光源と偏光を用いた非接触粒径計測法により、液体燃料プール火炎における液面から火炎帯までの粒径分布の変化をとらえた。 【主な関連論文】①桐林生武、程龍、小泉優一、小田祥太郎、荒木幹也：直線偏光を用いたプール火炎中のすす粒径計測，第 56 回燃焼シンポジウム講演論文集，E332（2108）	PM: 群馬大学・荒木
13	複数回燃料噴射を行うディーゼルエンジンの燃焼予測モデルを構築した。新燃焼で想定する予混合度の高い燃焼において、様々な運転パラメータを変化させた場合の筒内の状態、燃焼の指標となる値を 1 サイクル内の短い計算時間で予測可能とした。 【主な関連論文】① Yudai YAMASAKI, Ryosuke IKEMURA, Motoki TAKAHASHI, Fumiya SHIMIZU, Shigehiko KANEKO : Simple Combustion Model for Diesel Engine with Multiple Fuel Injection, Int. J. of Engine Research，First Published November 22, 2017, ②高橋 幹 , 酒向優太朗 , 山崎由大 , 金子成彦 , ディーゼルエンジン制御モデルにおける燃料噴射段数の拡張 , Vol.49,No.6,1223-1229,2018	制御：東京大学・金子
14	独自に構築したディーゼルエンジンの燃焼予測モデルを利用した燃焼制御システムを構築した。制御マップを用いないモデルベースト制御によって実機での目標値追従に成功した。 【主な関連論文】① Yudai Yamasaki, Ryosuke Ikemura, Motoki Takahashi, Shigehiko Kaneko, Akane Uemichi : Simple Combustion Model for Diesel Engine with Multiple Fuel Injection, Int. J. of Engine Research，accepted, 2018，② Yudai Yamasaki, Ryosuke Ikemura and Shigehiko Kaneko, Model-based control of diesel engines with multiple fuel injections, Int. J. of Engine Research, Vol.19(2) pp.257–265, 2018	制御：東京大学・金子
15	フィードフォワード制御器を AI（人工知能）の技術を用いてオンライン適応・学習させ、ドライバーや環境に積極的に適応・学習できる制御系を提案した。 【主な関連論文】①江口誠、喬夢醒、大森浩充、山崎由大、金子成彦：AI- フィードフォワードを有するフィードバック誤差学習によるディーゼルエンジン燃焼制御 , 自動車技術会論文集 , 49 巻 , 2 号 pp. 230-234, 2018	制御：慶應義塾大学・大森
16	AI に基づくフィードフォワード制御器のオンライン適応・学習を実機に搭載し、その有効性を示した。 【主な関連論文】①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	制御：慶應義塾大学・大森、東京大学・金子
17	多段噴射ディーゼルエンジンの燃焼制御系に対して H ∞制御を適用した。そして、制御性能とロバスト性のトレードオフを考慮した制御系が少ない設計パラメータで容易に設計できることを明らかにした。 【主な関連論文】①平田 光男 , 鈴木 雅康 , 山崎 由大 , 金子 成彦：多段噴射ディーゼルエンジンの燃焼制御への H ∞制御理論の適用，自動車技術会論文集，Vol.49, No.2, pp.224-229, 2018	制御：宇都宮大学・平田、東京大学・金子

制御チーム

NO.	成果の内容	担当グループ：機関名・研究者名
18	制御対象の非線形モデルを活用したフィードフォワード制御器と、制御対象の変動に対してロバストな H ∞フィードバック制御器から成る 2 自由度制御系を設計した。そして、過給圧と EGR 率が目標値に精度良く追従することを実機実験で示した。 【主な関連論文】① Mitsuo Hirata, Tomofumi Hayashi, Jun Koizumi, Motoki Takahashi, Yudai Yamasaki, Shigehiko Kaneko: Two-Degree-of-Freedom H ∞ Control of Diesel Engine Air Path System with Nonlinear Feedforward Controller, IFAC-PapersOnLine, Vol.51, No.31, pp.535-541, 2018	制御：宇都宮大学・平田、東京大学・金子
19	ディーゼルエンジンの燃焼制御に関して、エンジン燃焼システムの不確かさに対してオンラインで適応し制御性能の高性能化を実現する構造の簡単な適応 FB 制御手法の基本的設計法の開発を行った。 【主な関連論文】① Ikuro Mizumoto, Seiya Fujii, Jyunpei Tsunematsu: Adaptive Combustion Control System Design of Diesel Engine via ASPR based Adaptive Output Feedback with a PFC, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.28 No.5, pp.664-673, 2016, ②藤井聖也，水本郁朗：入力直達項をもつ多入出力システムに対する適応フィードフォワードを併用した適応出力フィードバック制御系設計，電気学会論文誌 C（電子・情報・システム部門誌），Vol. 138, No. 5, pp.556-565, 2018.	制御：熊本大学・水本
20	開発したエンジン燃焼 FB 制御手法と東京大学より提供されたディーゼルエンジンの燃焼予測モデルによる FF 制御を組み合わせた、より実践的かつ実用的な 2 自由度エンジン燃焼制御系の開発を行い、走行モードでの実機試験によりその性能を確認した。 【主な関連論文】①藤井聖也, 水本郁朗, 山崎由大, 金子成彦：適応出力フィードバックに基づく 3 段噴射ディーゼルエンジンの燃焼制御とそのある走行モード上での評価，自動車技術会論文集，Vol. 49，No. 5, pp. 920-925，2018，②藤井聖也，高橋幹，水本郁朗，山崎由大，金子成彦，2 自由度適応出力フィードバック制御に基づく 3 段噴射ディーゼルエンジン燃焼制御と定常試験による検証，自動車技術会論文集，Vol. 49，No. 6, pp. 1167-1174，2018	制御：熊本大学・水本、東京大学・金子
21	燃焼予測モデルを改良するため、冷却損失を考慮した圧縮ポリトロープ指数予測モデルを構築。予測精度は 1 次元エンジン解析と比較して 0.1% を達成。計算時間は、汎用 PC にて 37.9 μ s であり、1 サイクル内の予測が可能。 【主な関連論文】①一柳満久，松井大樹，禹駿夏，木村俊之，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開発，自動車技術会論文集，Vol.49, No.2, (2018), pp. 162-167	制御：上智大学・一柳
22	圧縮ポリトロープ指数予測モデルに、筒内ガス組成およびガス比熱モデルを導入し、過渡運転条件に適用した。予測精度は、1 次元エンジン解析と比較して 0.37% を達成。計算時間は、汎用 PC で 50.6 μ s であり、1 サイクル内の予測が可能。 【主な関連論文】①一柳満久，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，自動車技術会論文集，Vol.49, No.5, (2018), pp. 938-943	制御：上智大学・一柳

損失低減チーム

NO.	成果の内容	担当グループ：機関名・研究者名
1	CFD 解析により、タービン、コンプレッサ効率を市販ターボの効率と比較して大幅に向上することに成功。コンプレッサ実機試験にて検証。	ターボ過給：早稲田大学・宮川
2	早稲田大学実験装置による性能計測結果と CFD 解析により、脈動流下では定常流下よりもタービン効率が低下することを確認。CFD 結果から非定常損失を分析。 【主な関連論文】① Y.Nakamura, M.Chinen, M.Sakakibara, K.Miyagawa：ASME 2018 5th Joint US-European Fluids Engineering Summer Conference（2018）	ターボ過給：早稲田大学・宮川
3	ターボチャージャの性能マップを物理式をベースにした予測モデルにより作成することを可能とした。従来の計測データベースではできなかった性能の補外や新規モデルやモデルの変更による性能の変化も予測を可能とした。 【主な関連論文】①中村揚平、知念真渡、宮川和芳：ターボ機械協会第 79 回総会講演会，公演論文集，（2017）	ターボ過給：早稲田大学・宮川
4	早稲田大学実験装置にて脈動流下でのタービン、コンプレッサ試験を実施し、圧力、流量がヒステリシスループを描くことを確認。脈動流下の内部流れを可視化実験、CFD 解析によって明らかにした。 【主な関連論文】① Masamichi Sakakibara, Yohei Nakamura, Kazuyoshi Miyagawa：CHARACTERISTIC AND UNSTEADY LOSS OF A TURBOCHRGER COMPRESSOR UNDER PULSATING FLOW，The 29th International Symposium on Transport Phenomena（2018）	ターボ過給：早稲田大学・宮川
5	ターボチャージャ効率計測を高精度化するとともに、計測結果に基づいて、伝熱・摩擦損失モデルを構築した。 【主な関連論文】①ターボチャージャにおける伝熱と摩擦損失の解析，自動車技術会回 2017 年春季大会学術講演会	ターボ過給：千葉大学・森吉、窪山
6	東京理科大学で開発した熱電素子を対象に、エンジン排気熱を利用する伝熱モデルにより発電量を予測する手法を AICE とともに早稲田大学で構築した。 【主な関連論文】排熱発電実用化への要素技術開発の取り組み～材料, モジュール, コンバータ, 次世代エンジンへの搭載シミュレーション～、飯田、茂木、横田、草鹿、大聖、井上、麻原、笠、土田、泉、吉村（理科大、早大、AICE 委員）、第 15 回日本熱電学会学術講演会、2018 年 9 月 14 日	熱電素子：東京理科大学・飯田、早稲田大学・草鹿、大聖他

損失低減チーム

NO.	成果の内容	担当グループ：機関名・研究者名
7	超低粘度エンジンオイル (0W-8) およびそれを実現するための摺動面負荷低減技術 (低張力なじみリング他)、境界摩擦低減技術 (新規添加剤、プラトーボア等の表面微細加工・改質他) により、エンジン実働時摩擦平均有効圧 (FMEP) を半減できることを実機ならびに浮動ライナエンジンで実証。(個別の摩擦低減アイテムに関する成果については No.8 ～ 11 に示す)	摩擦損失低減 : 東京都市大学・三原、香川大学・若林、東京工業大学・青木、名城大学・宇佐美、東北大学・足立、名古屋大学・梅原
	【主な関連論文】①金子他：リングの仕様及び潤滑油の粘度がピストン系摩擦力と潤滑油消費に与える影響の実験検証，自動車技術会 2018 年秋季大会 (名古屋，2018），講演 No.296、②及川他：ピストン・クランク系の摩擦損失低減要素が多気筒エンジンの FMEP に与える効果，自動車技術会 2018 年秋季大会 (名古屋，2018），講演 No.295	
8	ピストンリング表面形状およびシリンダボア表面性状の最適化 (低プロフィル低張力リング、プラトーボア、ディンプルライナ) によりピストンリング摩擦の 50％以上低減を実証。	摩擦損失低減 : 東京都市大学・三原
	【主な関連論文】①及川他：なじみによるピストンリングの摺動面形状（プロフィル）が摩擦損失に及ぼす影響，第 29 回内燃機関シンポジウム (京都 ,2018) 講演 No.50、②金子他：ピストンリングの形状・張力とシリンダーの表面性状の違いがピストン系摩擦力の低減に与える効果、自動車技術会 2017 年秋季大会 (大阪，2017), 講演 No.324	
9	新しい着眼点 (MoDTC とリン系化合物の相互作用、粘度指数向上剤の作用) に基づき、低摩擦化と耐焼きつき性・耐摩耗性を両立させる添加剤技術を提示。	摩擦損失低減 : 香川大学・若林、東京工業大学・青木
	【主な関連論文】①若林他:MoDTC と各種金属系清浄剤の併用によるリン系化合物の摩擦特性, トライボロジー会議 2018 春東京 , C29、② Y Matsui 他: Elucidation of the Action of Functional Groups in the Coexisting Ashless Compounds on the Tribofilm Formation and Friction Characteristic of Zinc Dialkyldithiophosphate-Formulated Lubricating Oils、Tribology Transactions, Vol.61, Issue 2, pp.220-228 (2017)	
10	独自開発の表面微細加工技術 (タイリング加工) および固体潤滑剤の微細テクスチャ内への安定化技術によりピストンスカート摩擦低減を実現。	摩擦損失低減 : 名城大学・宇佐美
	【主な関連論文】①佐藤他:微細断続切削によって付与したディンプル形状がアルミニウム合金の摩擦特性に及ぼす影響, トライボロジスト　63 巻 9 月号 (2018)	
11	新しい着眼点 (なじみ現象を利用した摩擦低減、炭素系硬質膜の摺動特性解明) に基づき、境界摩擦低減と耐焼きつき性・耐摩耗性を両立させる表面改質技術を提示。	摩擦損失低減 : 東北大学・足立、名古屋大学・梅原
	【主な関連論文】① M Tago 他 : Friction Control by Surface Texture in Tribosystem with Al-alloy and Cast Iron in MoDTC Oil、World Tribology Congress 2017 Beijing ② X. Liu 他 : Clarification of high wear resistance mechanism of ta-CNx coating under poly alpha-olefin (PAO) lubrication，Tribology International, Vol.105 (2017) pp. 193-200.	
12	従来の連成解析 (市販ソフト) に比べて飛躍的に高速・高精度・大規模化を実現可能な陽解法によるすべり軸受 EHL 解析ソルバーを開発 (世界初)。	摩擦損失低減 : 九州大学・八木
	【主な関連論文】①深川他:陽解法によるジャーナル軸受の流体潤滑解析、トライボロジー会議 2016 秋新潟，新潟県新潟市，2016 年 10 月 12 日 (水) ～ 10 月 14 日 (金), B8	
13	焼きつき現象のその場観察に基づき、焼きつき進展メソモデルを開発し、ラボ試験における焼きつき発生現象の計算による再現に成功。No.12 との連携によりなじみ・焼きつきトライボシミュレータ構築の足がかりを得た。	摩擦損失低減 : 東北大学・畠山、九州大学・八木、福井大学・本田
	【主な関連論文】①大串他：なじみ・焼付きを解析可能なメソトライボロジーシミュレータの開発、自動車技術 2017 年 11 月号，特集：燃料・潤滑技術の最前線，潤滑性の向上に資する最新技術、pp.83-88、② M Kato 他 : Relationship between frictional behavior and formation process of chemical reaction film　derived from engine oil、49th Leeds-Lyon Symposium on Tribology, Smart Tribology Systems, Leeds(UK), Tuesday 4 – Friday 7 September 2018	
14	フォトクロミズムによる潤滑膜挙動観測技術を世界に先駆けて開発。この手法により、オイル消費を支配するリング近傍のオイル挙動の動的観測に成功。	摩擦損失低減 : 東海大学・畔津
	【主な関連論文】①倉辻他 : フォトクロミズムを用いた油膜挙動可視化手法の開発と可視化エンジンへの適用、第 28 回内燃機関シンポジウム (2017 福 岡)，70　② K KURATSUJI 他 : Development of a New Visualization Technique Using Photochromism for Transport Process of Lubricating Oil around the Engine Piston、The Ninth International Conference on Modeling and Diagnostics for Advanced Engine Systems (COMODIA 2017)，C315, Okayama, Japan, July 25-28, 2017	
15	レベルセット法によるオイルリング近傍のオイル - ガス二相 CFD 解析モデルを開発 (世界初)。リング溝底のオイル挙動 (実測) を計算で再現。オイル消費推定に不可欠なリング周りオイル挙動のモデリング技術に先鞭をつけた。	摩擦損失低減 : 東海大学・高橋
	【主な関連論文】①川本他：ピストンリングまわりのオイル挙動予測に向けた気液二相流解析、第 27 回内燃機関シンポジウム，東京工業大学，2016 年 12 月 5 日～ 7 日，40	
16	ピストンリングの動的挙動・変形 3 D 解析モデルを開発。変形ボアに対するピストンリングの動的追従性の計算推定に成功。	摩擦損失低減 : 東海大学・山本
	【主な関連論文】①山本他：ボア変形を有するシリンダとピストンリングの動的接触解析、第 27 回内燃機関シンポジウム，東京工業大学，2016 年 12 月 5 日～ 7 日，41	

HINOCA

構成

	A および B			C. モデル / 実験式・検証データ	
	内容 1	内容 2	機関・代表者	内容	機関・代表者
A. プラットフォーム	流動・壁面		JAXA・溝渕	エンジン検証	慶應大・飯田
B. サブモデル	冷損	壁面熱流束	広大・尾形	冷却損失機構 (RCEM/ エンジン)	東工大・小酒
				壁面近傍挙動と冷損 (エンジン / 理論 /DNS)	東工大・店橋
				伝熱制御法 (μ VG 対応)	農工大・岩本
				壁面近傍挙動 (エンジン)	慶應大・飯田
				壁面熱流束計測 (エンジン /RCEM)	明治大・中別府
				乱流 / 乱流熱伝達モデル (速度・温度 AWF)	阪府大・須賀
				乱流 / 乱流熱伝達モデル (Abe モデル)	九大・安倍
				SGS 応力モデル /IB	慶應大・深潟
				乱流 / 乱流熱伝達モデル (MTS モデル)	名工大・服部
				乱流 / 乱流熱伝達 (μ VG 対応熱伝達 /IB)	農工大・岩本
	噴霧・PM	分裂～壁面衝突	海技研・高木	噴霧の液・気相計測	早大・草鹿
		プール燃焼・PM	大分大・橋本	ノズル出口・壁面衝突	岡山大・河原
		多成分燃料蒸発・液膜	北大・小橋	噴霧流動・壁面衝突（定容容器 /RCEM)	群馬大・座間
				壁面干渉・すす生成挙動（RCEM)	明治大・相澤
				液膜熱伝達	千葉大・窪山
				粒子数密度・粒径分布（バーナ)	群馬大・荒木
				すす生成量（衝撃波管)	横国大・石井
				PM 生成（モデル / 理論)	日大・秋濱
	点火	放電・火炎核成長	大阪大・堀	乱流着火 (定容容器)	東大・津江
				着火可視化 (RCM/ 単気筒)	岡山大・河原
				乱流着火特性 (小型風洞 /RCM)	日大・秋濱
				乱流着火遅れ (DNS/ モデル)	東工大・店橋
	火炎伝播	火炎伝播	早大・草鹿	乱流火炎伝播 (定容容器)	九大・北川
				乱流火炎伝播 (理論 /DNS/ 実験 / モデル)	東工大・店橋
				層流燃焼速度 (温度 / 当量比)	阪府大・瀬川
				層流燃焼速度 (圧力)	山口大・三上
				層流燃焼速度 (SGS 燃焼モデル)	徳大・名田
	ノック	LW テーブル	東北大・森井 早大・草鹿	詳細化学反応	広大・三好
				簡略化学反応	福井大・酒井
				着火遅れ計測	上智大・高橋
				反応機構検証 (着火伝播モデル含む)	東北大・丸田
				ノック現象解明 (DNS)	北大・寺島
				エンジンノックデータ	早大・草鹿

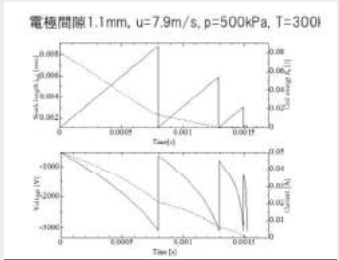
本ページで紹介するソフトウェア/モデルについては、2019年3月の研究終了までに、研究進捗に伴い内容が変更することがあります。

概要

1Dガソリンエンジンシミュレータ (GT-Power) の構築と検証

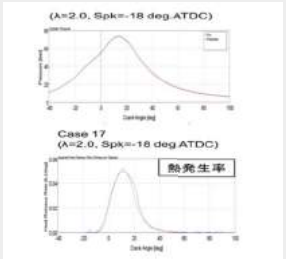
既存ソフトではストイキ付近の予測しかできなかった。過給機や摩擦損失の定量的予測も不十分であった。

- 高流動場でも点火時期を予測できるモデルを開発（図 1）。
- スーパーリーン条件でも圧力や熱発生率を高精度に予測できる燃焼モデルと熱損失モデルを開発（図 2、図 3）。
- ノック発生時期を高精度に予測できるモデルを開発（図 4）。
- 損失低減チームのターボ（千葉大学、早稲田大学）、摩擦損失（東京都市大学）のモデルを組み合わせ、SIP 単気筒エンジンをベースに仮想的に 4 気筒ターボエンジンを想定し、その正味熱効率を高精度に予測可能とした。



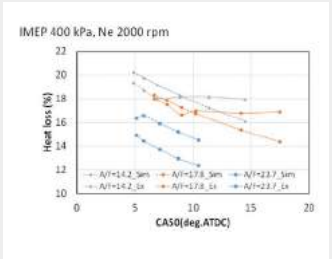
中谷（東京大学）

図1　放電長さ、電圧変化



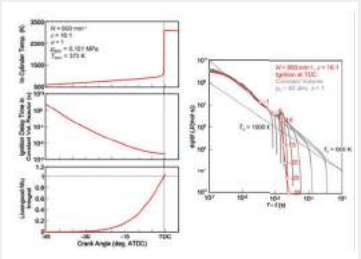
山口（早稲田大学）

図2 リーンでの圧力と熱発生率



窪山（千葉大学）

図3 当量比に対する熱損失予測



桑原（大阪工業大学）

図4　自着火発生時期の予測

実施内容：単気筒リーンバーン試験、ターボ性能試験、摩擦損失低減試験データ取得とモデル化。

搭載した新知見：高流動場点火モデル開発、ターボ脈動損失モデル開発、摩擦損失モデル開発。

今後の課題：ノックモデルの検証、他のプラットフォームへの応用、プロトタイプエンジンでの検証。

構成

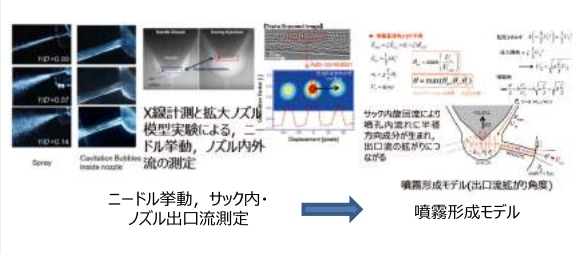
	A および B			C. モデル / 実験式・検証データ	
	内容 1	内容 2	機関・代表者	内容	機関・代表者
A. プラットフォーム	統合	GT-Power に統合	千葉大・森吉	エンジン検証	慶應大・飯田
B. サブモデル	冷損	熱流束計測・3D リダクション	東工大・小酒	壁面近傍温度（RCEM）	東工大・小酒
		冷損モデル	千葉大・森吉	壁面近傍温度（エンジン）	東工大・店橋
				壁面近傍温度（エンジン）	農工大・岩本
				壁面熱流束（エンジン）	都市大・三原
				壁面熱流束（エンジン）	明治大・中別府
	噴霧・PM	なし	ー	なし	ー
	点火	横風影響・新規	東大・津江	定容容器	東大・津江
				小型風洞・RCM	日大・秋濱
				RCM・単気筒	岡山大・河原
				DNS	東工大・店橋
	火炎伝播	バラツキ予測含む	早大・草鹿	層流燃焼速度式	徳大・名田
				層流燃焼速度式	阪府大・瀬川
				容器内乱流火炎	九大・北川
				火炎伝播（理論）	東工大・店橋
	ノック	L-W 改良	阪工大・桑原	詳細化学反応	広大・三好
				簡略化学反応	福井大・酒井
				ノック（理論）	北大・寺島
	摩擦	摩擦モデル (GT-SUITE)	都市大・三原	表面改質ピストン	名城大・宇佐美
				モノリスチェーンガイド	京大・辻井
				DLC ベアリング	名大・梅原
				なじみ活用ピストン	東北大・足立
				添加剤（化学的吸着・反応）	香川大・若林
				添加剤（物理的表面吸着）	東工大・青木
				エッチングボア	名城大・宇佐美
				タイリングベアリング	名城大・宇佐美
				モノリスベアリング	京大・辻井
				オイルシール（低緊迫力）	九大・八木
				浮動ライナ・実機検証実験	都市大・三原
	ターボ	熱損失／摩擦モデル	千葉大・森吉	脈動計測（単気筒）	早大・大聖
		脈動損失と翼設計のモデル	早大・宮川	軸摩擦と熱損失の計測・DB	千葉大・森吉
	熱電	熱電ユニットモデル	早大・草鹿	発電-温度差マップ	理科大・飯田
		排気管モデル	早大・大聖		

概要

ニードルの挙動、ノズル内部流動と噴孔出口流の特性を実測に基づいて解析し、噴霧形成モデルを構築

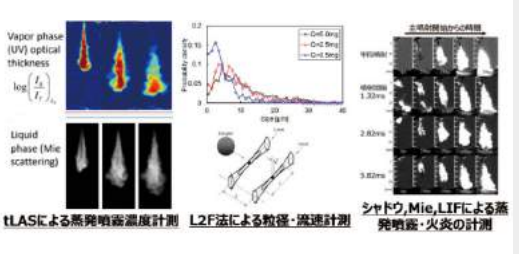
CFD 計算では、特に噴射量の少ない場合に噴孔出口条件を経験に基づいて設定する必要があった。

- 実噴射弁において、ニードルの動きとノズル内外流を X 線により計測し、ノズル模型による圧力・流量計測および CFD 計算の結果と合わせて、ニードルリフトとレール圧力を入力とし噴孔出口流速・拡がり角を予測するモデルを構築 (図 1)。
- 液滴径・速度、噴霧内濃度分布、火炎発達などのデータを収集し (図 2)、CFD との連携計算 (図 3) の結果を検証。
- 本モデルを CFD に用いると、従来経験によっていた噴孔出口条件をニードルリフトの時間経過をもとに与えることができ、軽い計算機負荷で噴霧・混合気形成・燃焼の計算を行うことができる。



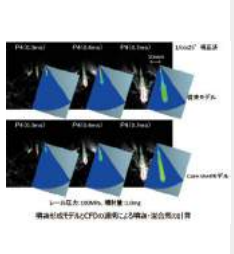
文、黄 (産業技術総合研究所)、小田、大澤 (鳥取大学)

図 1 ニードル挙動、サック内、ノズル出口流計測によりノズル内流れと噴孔出口流速・拡がり角をモデル化 (噴霧形成モデル)



西田 (広島大学)、植木 (長崎大学)、河崎 (滋賀県立大学)

図2　モデル検証データの取得(噴霧内濃度分布、液滴粒径、混合気・火炎の計測)



石山、川那辺 (京都大学)

図3 噴霧形成モデルとCFDの連携による噴霧計算とその検証

実施内容：ニードルリフトの変化に伴うサック室内の流動の変化が噴孔出口流速・拡がり角度に影響する様をモデル化。

新知見：噴射初期・終期の小リフト時に噴孔出口流の拡がりが非常に大きく、これが少量噴射の噴霧形成を特徴づける。

今後の課題：CFDとの連携計算の検証、多様なノズル仕様への対応。

主な関連論文

① Huang WD, Moon S, Ohsawa K. : Near-nozzle dynamics of diesel spray under varied needle lifts and its prediction using analytical model, Fuel, Vol.180, pp.292-300,(2016).　② Oda,T., Osawa,K, et al. : Investigation on a Simple Model to Predict Injection velocity and Spray Cone Angle for Sac Type Diesel Injectors, ICLASS 2018 July22-26, (2018).

構成

	A および B			C. モデル / 実験式・検証データ	
	内容 1	内容 2	機関・代表者	内容	機関・代表者
A. プラットフォーム	統合	AVL Fire に統合 (CFD 噴霧計算に取り込む手法の開発)	京大・石山		
B. サブモデル	燃料噴射・噴霧発達・混合気形成	噴射率モデル	産総研・文	ノズル内：X 線計測	産総研・文
		噴霧角モデル（燃料流内乱れの影響）	鳥取大・小田	噴孔近傍の微粒化計測	長崎大・植木
		噴霧角モデル（燃料主流の影響）	産総研・文	容器実験 (混合気形成)	広大・西田
		ノズル流 - 粒径モデル	京大・石山		
	着火反応	セタン価基準燃料反応モデル	京大・石山	容器実験（噴霧燃焼）	滋県大・河崎
	燃焼モデル	不均一燃焼モデル	京大・石山		
	壁面熱損失	熱伝達モデル	大阪大・堀	容器・RCM 実験 (熱伝達)	同志社・松村

焼付き・摩耗の危険予測トライボシミュレータ

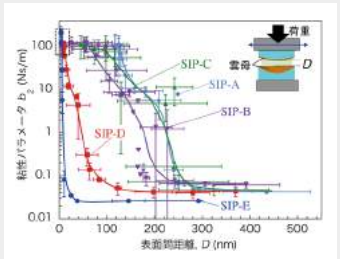
概要

損失低減チーム

完全陽解法による高精度・高速シミュレータによるEHLソルバー開発
摩耗・焼付き現象を実験・詳細分析し、物理モデルにより解析モデルを開発

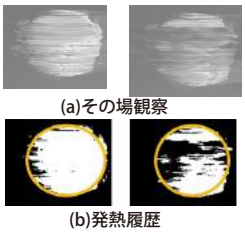
エンジンの摩耗・焼付きを想定した危険予測の解析モデルが無く、経験則と合わせ込みで推定

- 完全陽解法によるすべり軸受 EHL ソルバーを開発。大型並列計算機も使用可能。九州大学ベンチャー設立
- Archard 式を局所に用い摩耗と表面形状変化が計算可能に。表面メッシュ化でリアルな経時変化の算出が実現
- エンジン油の極狭空間での粘度を共振ずり測定法で実験。結果を摩擦摩耗のメソシミュレータに応用し精度向上 (図 1)
- 焼付きは局所の塑性流動から発熱、この繰返しで広域塑性流動から焼付き至ることをその場観察で発見 (図 2)。この現象を接触面積の詳細分析に基づき解析モデル化。オイル違いも解析可能。JG の影響は小さいことも解明 (図 3)
- 低摩擦しか扱えなかった原子・分子シミュレーションを大規模計算で摩耗まで取り扱うパラダイムシフトを実現 (図 4)



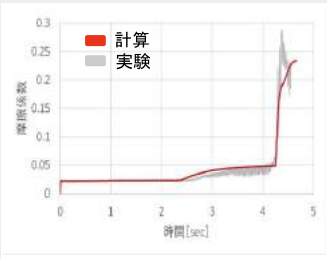
栗原、水上 (東北大学)

図1　共振ずり測定による極狭間のSIPエンジン油粘度変化計測



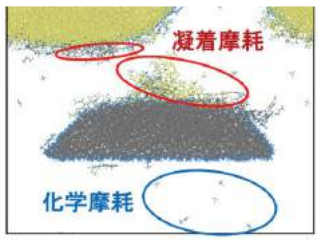
八木（九州大学）

図2　焼付き現象のその場観察による発熱現象と摩擦係数の変化の実測



宮本、畠山、大串 (東北大学)

図3　その場観察による焼付き実験結果を解析モデルで構築



久保、大谷（東北大学）

図4　摩耗現象を原子・分子シミュレーションで実現。凝着と化学摩耗まで解析

モデルの基本条件：焼付きのその場観察は1kN～5kN、すべり速度3m/s。潤滑油0W-8及び油性剤変更(FM有無等)

モデル/ソフトウェアへの繋がり：基本モデルはエンジン軸受シミュレータに組込み、最少油膜厚さや焼付きの危険予測へ

今後の課題：なじみ・焼付きの軸受シミュレーションモデルとエンジン軸受での検証。潤滑油性状違いでの検証

主な関連論文

①水上雅史他：高温高圧条件におけるモデルエンジン油の油膜厚さ・潤滑特性のナノレベル評価，トライボロジー会議 2018 春東京予稿集、② Matsuzaki, Y., Yagi, K. & Sugimura : In Situ Observation of Heat Generation Behaviour on Steel Surface During Scuffing Process, J. Tribol Lett (2018) 66, 142.,　③大串巧太郎他:焼付き予測のためのメソトライボロジーシミュレーション , トライボロジー会議 2018 春東京予稿集)

構成

	A および B			C. モデル / 実験式・検証データ	
	内容 1	内容 2	機関・代表者	内容	機関・代表者
A. プラットフォーム	マクロ＆統合	流体・構造連成解析シュミレータ開発、メソとの統合	九大・八木		
	メソ＆統合	メソシミュレータ開発、マクロとの統合	東北大・宮本		
B. サブモデル	マクロ＆統合	すべり軸受の弾性流体潤滑	九大・八木	潤滑面その場観察実験	九大・八木
	メソ＆統合	メソスケールの摩耗解析モデル開発	東北大・宮本	摩耗粉の排出特性・性状試験	福井大・本田
				軸受け・焼き付き試験	都市大・三原
				共振ずり測定	東北大・栗原
				メソシミュレータ摩耗検証試験	東北大・足立

概要

損失低減チーム

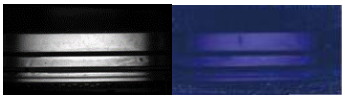
オイル消費メカニズムの解明と解析ソルバーの開発

～フォトクロミズムによるオイル上がりメカニズムの解明、ボア変形によるピストンリングの動的変形解析、二相流CFDによる３Dオイル上がり解析～

ピストンリング周りのオイル流れは複雑で、その現象の解明、オイル流れの予測は極めて困難であった。

- フォトクロミズムを用いた独自の可視化技術を適用 (図1)。運転条件の違いによるオイル輸送ルートの解明、著しいオイル上がり現象を可視化により把握
- ボア変形の影響を考慮した動的リング変形解析の適用 (図 2)。高速運転時の急激なオイル消費について、ボア変形の観点からメカニズムの解明に繋がる結果を取得
- レベルセット法による二相流 CFD 解析（2D、3D）の適用（図3)。リング背面のオイル挙動の把握（実験との検証)、リングパック（3 ピースオイルリング適用時）の合口を含むオイル流れの CFD 解析により3次元流れをシミュレーション
- エンジン実機による現象の実験検証（薄膜センサーによる面圧測定、可視化）

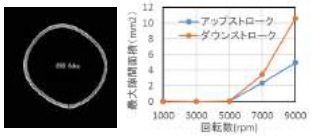
フォトクロミズム
潤滑油の流れ計測



畔津（東海大学）

図1　フォトクロミズムによる可視化

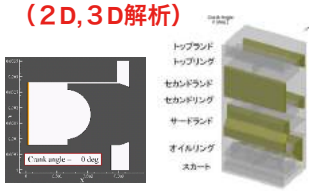
リングーボア変形（３D解析）
変形量と運動を抽出



山本（東海大学）

図2　ボア変形とリングの動的変形

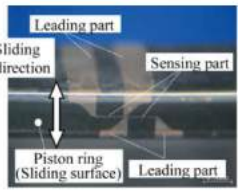
オイルーガス二相流
（2D,3D解析）



高橋、落合（東海大学）

図3　二相流CFD解析によるオイル流れ

薄膜センサリングーボア面圧計測



三原（東京都市大学）

図4　ピストンリング摺動面に形成した薄膜センサーによる面圧測定

実施内容：フォトクロミズムによる可視化試験、ボア変形に伴うピストンリング変形の動的構造解析、レベルセット法を用いたCFD二相流解析と実験検証。薄膜センサーによる面圧測定実験

得られた新知見：運転状態の違いによるオイル輸送ルート解明、高速回転時の動的リング変形の変化を把握

今後の課題：リング変形の面圧による実験検証、オイル上がり現象の解析と実験の比較

主な関連論文

① K KURATSUJI 他 : Development of a New Visualization Technique Using Photochromism for Transport Process of Lubricating Oil around the Engine Piston、The Ninth International Conference on Modeling and Diagnostics for Advanced Engine Systems (COMODIA 2017)，C315, Okayama, Japan, July 25-28, (2017) 等

構成

	A および B			C. モデル / 実験式・検証データ	
	内容 1	内容 2	機関・代表者	内容	機関・代表者
A. プラットフォーム	CFD	気液二相流解析ソルバー	東海大・落合		
	FEM	大変形を考慮した接触解析ソルバー	東海大・落合		
B. サブモデル	オイル流れ	オイルリング周りの気液二相流解析	東海大・落合	フォトクロミズムによるオイル流れの可視化	東海大・落合
				フォトクロミズム油膜計測 (実機)	都市大・三原
				オイル消費計測 (実機)	都市大・三原
	動変形	ボア変形を考慮したオイルリングの運動解析	東海大・落合	ボア変形計測 (実機)	都市大・三原
				リング面圧分布計測 (実機)	都市大・三原
				リング挙動計測 (実機)	都市大・三原

チーム構成

ガソリン燃料チーム

リーダー大学

研究責任者
飯田 訓正
慶應義塾大学 大学院理工学研究科 特任教授

横森 剛
慶應義塾大学 理工学部 准教授

植田 利久
慶應義塾大学 理工学部 教授

着火向上班

津江 光洋 班長
東京大学 大学院工学系研究科 教授

中谷 辰爾
東京大学 大学院工学系研究科 准教授

秋濱 一弘
日本大学 生産工学部 教授

今村 宰
日本大学 生産工学部 准教授

岩田 和也
日本大学 生産工学部 助手

河原 伸幸
岡山大学 大学院自然科学研究科 准教授

店橋 護
東京工業大学 工学院 教授

源 勇気
東京工業大学 工学院 助教

火炎伝播促進班

北川 敏明 班長
九州大学 大学院工学研究院 教授

渡邊 裕章
九州大学 大学院工学研究院 准教授

永野 幸秀
九州大学 大学院工学研究院 助教

店橋 護
東京工業大学 工学院 教授

三上 真人
山口大学 大学院創成科学研究科 教授

瀬尾 健彦
山口大学 大学院創成科学研究科 准教授

瀬川 大資
大阪府立大学 大学院工学研究科 教授

片岡 秀文
大阪府立大学 大学院工学研究科 助教

名田 譲
徳島大学 大学院社会産業理工学研究部 准教授

木戸口 善行
徳島大学 大学院社会産業理工学研究部 教授

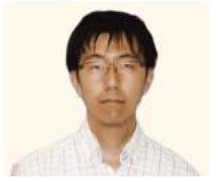
高橋 栄一
産業技術総合研究所 省エネルギー研究部門 上級主任研究員

冷却損失低減班

小酒 英範 班長
東京工業大学 工学院 教授

横森 剛
慶應義塾大学 理工学部 准教授

佐藤 進
東京工業大学 工学院 准教授



長澤 剛
東京工業大学 工学院 助教

店橋 護
東京工業大学 工学院 教授

志村 祐康
東京工業大学 工学院 准教授

名田 譲
徳島大学 大学院社会産業理工学研究部 准教授

木戸口 善行
徳島大学 大学院社会産業理工学研究部 教授

岩本 薫
東京農工大学 大学院工学研究院 教授

三原 雄司
東京都市大学 工学部 教授

鈴木 雄二
東京大学 大学院工学系研究科 教授

中別府 修
明治大学 理工学部 教授

須賀 一彦
大阪府立大学 大学院工学研究科 教授

金田 昌之
大阪府立大学 大学院工学研究科 准教授

桑田 祐丞
大阪府立大学 大学院工学研究科 助教

安倍 賢一
九州大学 大学院工学研究院 教授

木原 尚
九州大学 大学院工学研究院 助教

服部 博文
名古屋工業大学 技術部情報解析技術課 課長

保浦 知也
名古屋工業大学 大学院工学研究科 准教授

深潟 康二
慶應義塾大学 理工学部 教授

燃料・ノック抑制班

三好 明 班長
広島大学 大学院工学研究科 教授

田辺 光昭
日本大学 理工学部 教授

飯島 晃良
日本大学 理工学部 准教授

齊藤 允教
日本大学 大学院理工学研究科 助教

丸田 薫
東北大学 流体科学研究所 教授

中村 寿
東北大学 流体科学研究所 准教授

金野 満
茨城大学 大学院理工学研究科 教授

田中 光太郎
茨城大学 大学院理工学研究科 教授

高橋 和夫
上智大学 理工学部 教授

寺島 洋史
北海道大学 大学院工学研究院 准教授

下栗 大右
広島大学 大学院工学研究科 准教授

桑原 一成
大阪工業大学 工学部 教授

酒井 康行
福井大学 学術研究院工学系部門 准教授

モデル / ばらつき縮減班

森吉 泰生 班長
千葉大学 大学院工学研究院 教授

窪山 達也
千葉大学 大学院工学研究院 准教授

申 鉄龍
上智大学 理工学部 教授

ディーゼル燃焼チーム

リーダー大学

研究責任者

石山 拓二

京都大学 大学院エネルギー科学研究科 教授

川那辺 洋

京都大学 大学院エネルギー科学研究科 教授

混合気制御グループ

石山 拓二 グループリーダー

京都大学 大学院エネルギー科学研究科 教授

川那辺 洋

京都大学 大学院エネルギー科学研究科 教授

西田 恵哉

広島大学 大学院工学研究科 教授

植木 弘信

長崎大学 大学院工学研究科 教授

小田 哲也

鳥取大学 大学院工学研究科 准教授

黄 魏迪

産業技術総合研究所 省エネルギー研究部門 研究員

河崎 澄

滋賀県立大学 工学部 准教授

燃焼期間短縮グループ

相澤 哲哉 グループリーダー

明治大学 理工学部 准教授

窪山 達也

千葉大学 大学院工学研究院 准教授

木戸口 善行

徳島大学 大学院社会産業理工学研究部 教授

草鹿 仁

早稲田大学 理工学術院 教授

冷却損失低減グループ

松村 恵理子 グループリーダー

同志社大学 理工学部 教授

桑原 一成

大阪工業大学 工学部 教授

堀 司

大阪大学 大学院工学研究科 講師

超高圧噴射グループ

佐藤 進 グループリーダー

東京工業大学 工学院 准教授

河崎 澄

滋賀県立大学 工学部 准教授

放射音低減グループ

三上 真人 グループリーダー

山口大学 大学院創成科学研究科 教授

小川 英之

北海道大学 大学院工学研究院 教授

制御チーム

リーダー大学

研究責任者

金子 成彦

東京大学 大学院工学系研究科 教授

山﨑 由大

東京大学 大学院工学系研究科 准教授

制御グループ

山﨑 由大　グループリーダー

東京大学 大学院工学系研究科 准教授

大森 浩充

慶應義塾大学 理工学部 教授

平田 光男

宇都宮大学 大学院工学研究科 教授

水本 郁朗

熊本大学 大学院自然科学研究科 教授

一柳 満久

上智大学 理工学部 准教授

HINOCA 研究開発（CAE グループ・PM グループ 統括）

草鹿 仁　サブチームリーダー

早稲田大学 理工学術院 教授

CAE グループ

溝渕 泰寛　グループリーダー

宇宙航空研究開発機構 航空技術部門 主幹研究開発員

堀 司

大阪大学 大学院工学研究科 講師

高木 正英

海上・港湾・航空技術研究所 海上技術安全研究所 環境・動力系 グループ長

尾形 陽一

広島大学 大学院工学研究科 准教授

森井 雄飛

東北大学 流体科学研究所 助教

PM グループ

秋濱 一弘　グループリーダー

日本大学 生産工学部 教授

河原 伸幸

岡山大学 大学院自然科学研究科 准教授

小橋 好充

北海道大学 大学院工学研究院 助教

相澤 哲哉

明治大学 理工学部 准教授

窪山 達也

千葉大学 大学院工学研究院 准教授

橋本 淳

大分大学 理工学部 准教授

荒木 幹也

群馬大学 理工学府 准教授

座間 淑夫

群馬大学 理工学府 准教授

石井 一洋

横浜国立大学 大学院工学研究院 教授

損失低減チーム

リーダー大学

研究責任者

大聖 泰弘

早稲田大学 研究院 次世代自動車研究機構 特任研究教授

草鹿 仁

早稲田大学 理工学術院 教授

ターボ過給ワーキンググループ

宮川 和芳 ワーキンググループリーダー

早稲田大学 理工学術院 教授

中村 揚平

早稲田大学 理工学術院 助手

森吉 泰生

千葉大学 大学院工学研究院 教授

窪山 達也

千葉大学 大学院工学研究院 准教授

草鹿 仁

早稲田大学 理工学術院 教授

熱電素子ワーキンググループ

飯田 努 ワーキンググループリーダー

東京理科大学 基礎工学部 教授

向後 保雄

東京理科大学 基礎工学部 教授

草鹿 仁

早稲田大学 理工学術院 教授

機械摩擦損失低減グループ

三原 雄司 グループリーダー

東京都市大学 工学部 教授

青木 才子

東京工業大学 物質理工学院 准教授

宇佐美 初彦

名城大学 理工学部 教授

梅原 徳次

名古屋大学 大学院工学研究科 教授

落合 成行

東海大学 工学部 教授

畔津 昭彦

東海大学 工学部 教授

高橋 俊

東海大学 工学部 准教授

山本 憲司

東海大学 工学部 教授

栗原 和枝

東北大学 未来科学技術共同研究センター 教授

久保 百司

東北大学 金属材料研究所 教授

足立 幸志

東北大学 大学院工学研究科 教授

八木 和行

九州大学 大学院工学研究院 准教授

本田 知己

福井大学 学術研究院工学系部門 准教授

若林 利明

香川大学 創造工学部 教授

宮本 明

東北大学 未来科学技術共同研究センター シニア・リサーチ・フェロー

畠山 望

東北大学 未来科学技術共同研究センター准教授

辻井 敬亘

京都大学 化学研究所 教授

マネジメント体制

プログラム会議

平成30年度面接評価会にて(2018.11.3)

杉山　雅則	SIP 革新的燃焼技術 PD トヨタ自動車株式会社
古野　志健男	SIP 革新的燃焼技術 サブ PD 株式会社 SOKEN 専務取締役
石塚　悟（～2017年1月）	広島大学 大学院工学研究院 教授（当時）
工藤　俊治	元 トヨタ自動車株式会社
越　光男	東京大学 名誉教授
小林　秀昭	東北大学 流体科学研究所 教授
長弘　憲一	元 株式会社本田技術研究所
野波　健蔵	千葉大学 名誉教授
村中　重夫	元 日産自動車株式会社
森　誠之	岩手大学 名誉教授

リーダー会議にて(2018.9.3)

編集発行：国立研究開発法人科学技術振興機構 (JST)

イノベーション拠点推進部 SIP 第 1 グループ SIP 革新的燃焼技術 担当

〒 102-0076 東京都千代田区五番町 7 K's 五番町

JST 担当者：嶋林 ゆう子、小野寺 勝、伊藤 英二、寺門 知子

INDEX

01	プロジェクト概要
02	これまでの成果
04	SIP 終了後も維持発展する産産学学連携体制
05	ガソリン燃焼チーム
11	ディーゼル燃焼チーム
16	制御チーム
18	損失低減チーム
22	巻末資料　成果リスト
32	巻末資料　ソフトウエア / モデル紹介
37	巻末資料　チーム構成
42	巻末資料　マネジメント体制

SIP 革新的燃焼技術

SIP 戦略的イノベーション創造プログラム
Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program

科学技術振興機構

E-mail : sip_combustion@jst.go.jp
HP : http://www.jst.go.jp/sip/k01.html

リサイクル適性Ⓐ
この印刷物は、印刷用の紙へリサイクルできます。

2019.01