

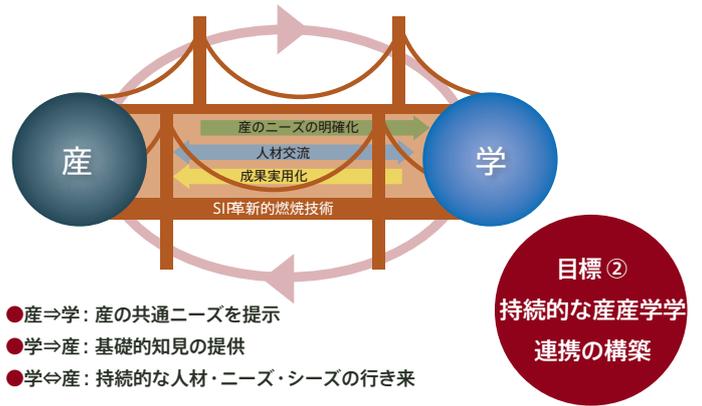
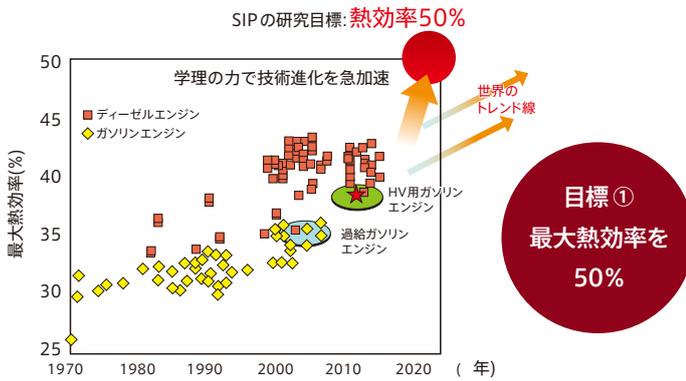
日本初の革新的内燃機関を、地球環境を救う切り札に

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



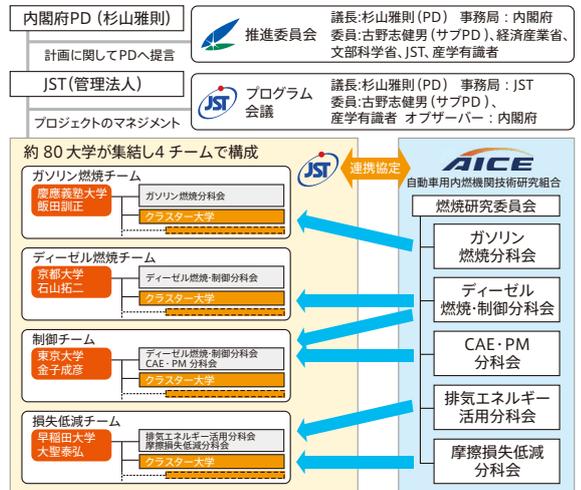
❖ 産学学学連携による研究体制

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、「産学学学連携体制」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

HORIBA

堀場製作所本社・工場内

ディーゼル燃焼チーム
京都エンジン実験センター



損失低減チーム
早大ラボ



ONOSOKKI

小野測器
横浜テクニカルセンター内

ガソリン燃焼チーム
SIPエンジンラボ



制御チーム
東大ラボ

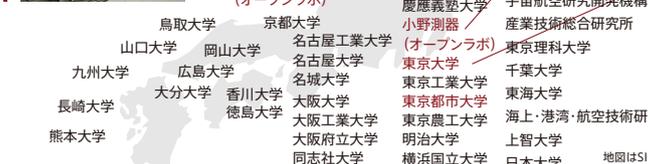


赤字は実機ベースの
研究開発拠点

地図はSIP燃焼への参画機関があるエリアを中心に表示

❖ 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。

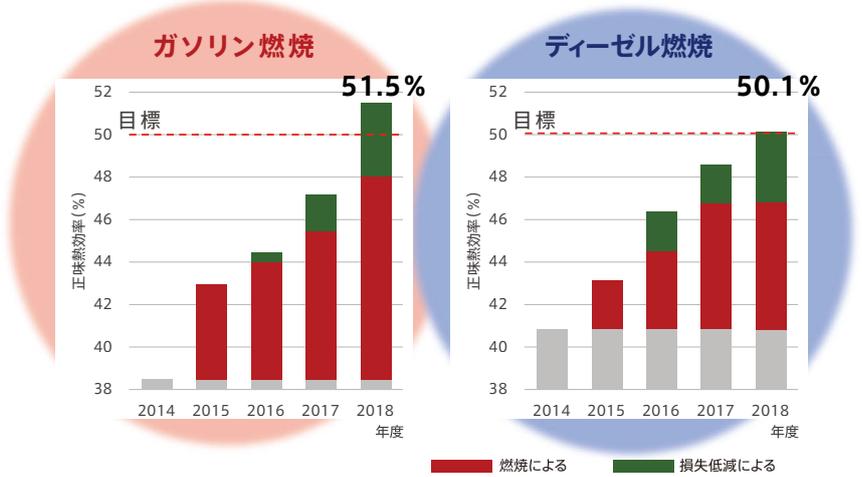


❖ 最大熱効率 50% 超の達成

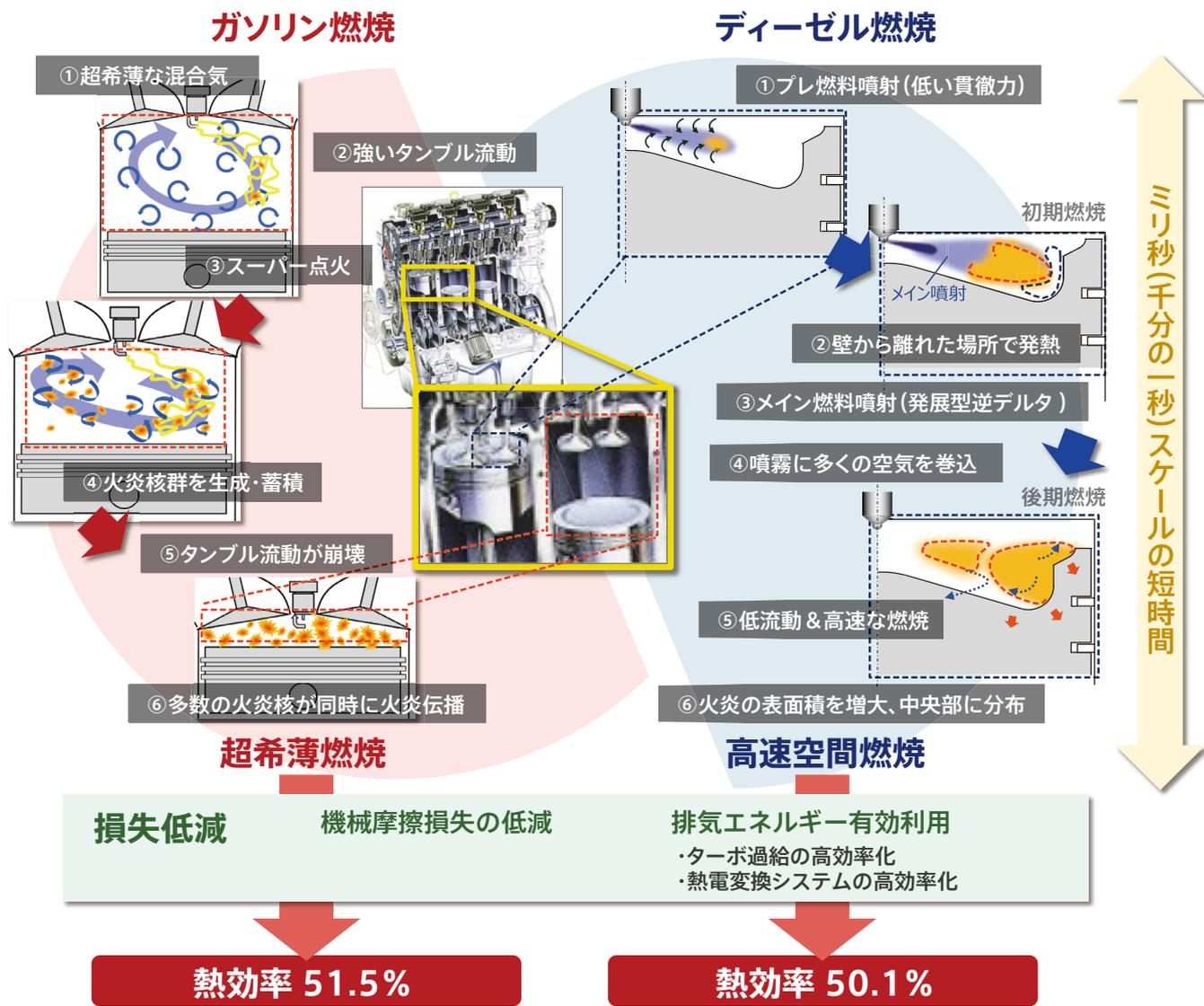
産産学学連携の体制構築と運営の成功により、以下のような研究成果を統合することによって、ガソリンエンジンでは51.5%、ディーゼルエンジンでは50.1%の正味最大熱効率を達成した。

- 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。



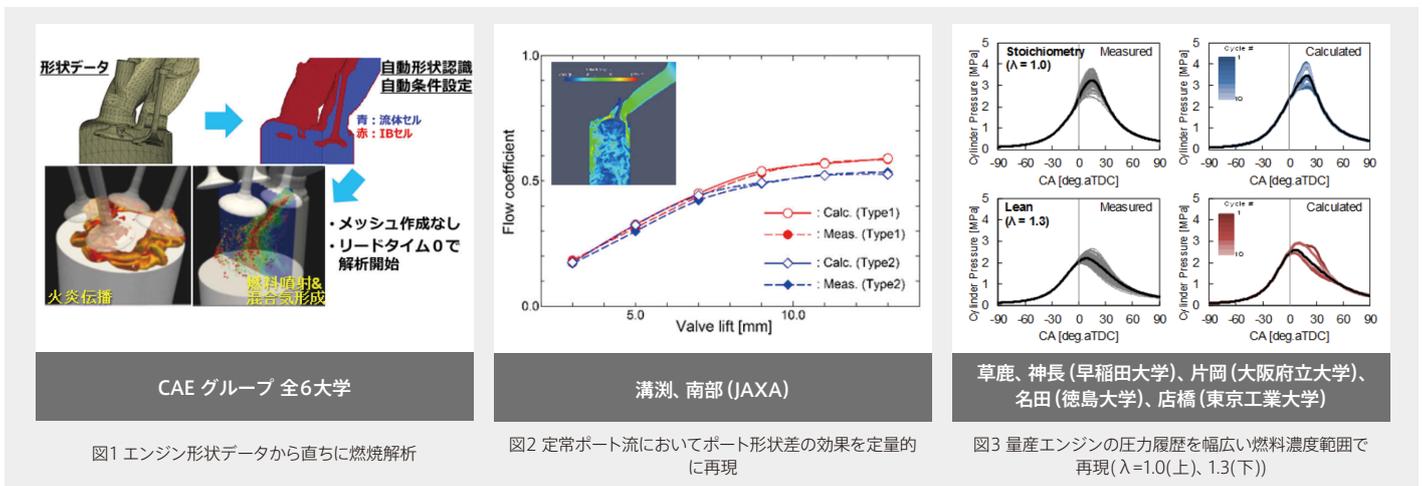
》 HINOCA の概要

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み合わせにより、幅広い燃料濃度範囲で使用可能 (図3)。



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み合わせ、放電経路の伸長/再放電を考慮した点火モデルの組み込み、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み込み、ノック予測モデルの組み込み。

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。

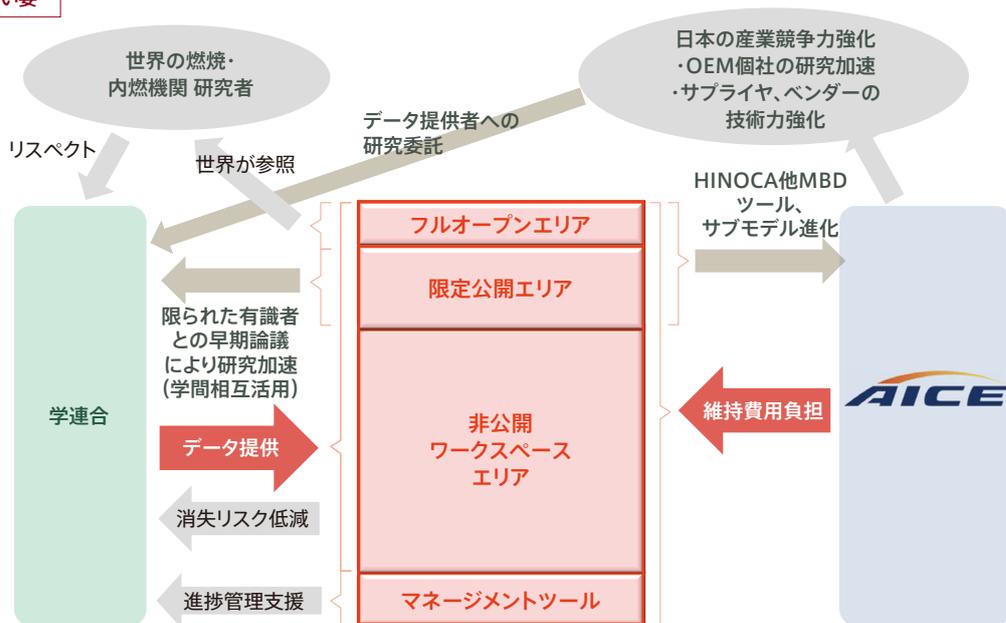
また、共通プラットフォームとして、研究拠点、HINOCA、および研究成果データベースが本プロジェクトから引き継がれる。研究拠点は産と学、研究機関、専門分野の垣根を越え、産産学学が融合して一つの大きな成果を創出することに対して有効に機能し、研究拠点の活用によって創出された新知見や検証データは、HINOCAのサブモデル構築や精度向上に繋がった。

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。



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