

クリーンディーゼルエンジン技術の高度化 に関する研究開発事業 研究開発プロジェクトの概要

平成29年10月26日
製造産業局自動車課

目次

1. 事業の概要
2. 事業アウトカム
3. 事業アウトプット
4. 当省(国)が実施することの必要性
5. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ
6. 研究開発の実施・マネジメント体制等
7. 費用対効果
8. 事前評価結果

1. 事業の概要

概 要	<p>次世代自動車の一つであるクリーンディーゼル自動車は燃費が良いが、我が国や欧州等で実走行時や低温下での排ガス規制の導入が検討されるなど、今後更なる排ガス低減が求められる。この相反関係にある燃費向上と排ガス低減の両課題の解決に向け、NOx及びPMの後処理技術の高度化等が世界共通の課題となっている。</p> <p>本事業では、NOx及びPMの後処理技術の高度化研究として、産業界の協調領域の具体的な研究課題を設定し、化学等他分野の研究シーズや大学等におけるシーズを活用しつつ新たな産産学学連携体制を構築し、これら課題を世界に先駆けて解決する。また、本事業を通して技術者及び将来に亘り産学官連携を推進するリーダーを育成する。</p>
実施期間	平成26年度～平成28年度（3年間）
実施形態	国からの直執行（自動車用内燃機関技術研究組合への補助事業）
予算総額	14億円（補助（補助率：2/3）） （平成26年度：5億円 平成27年度：5億円 平成28年度：4億円）
実施者	自動車用内燃機関技術研究組合（AICE）
プロジェクトリーダー	土屋 賢次 自動車用内燃機関技術研究組合（研究部長）

1. 事業の概要(補足)

- 上位施策との関係 -

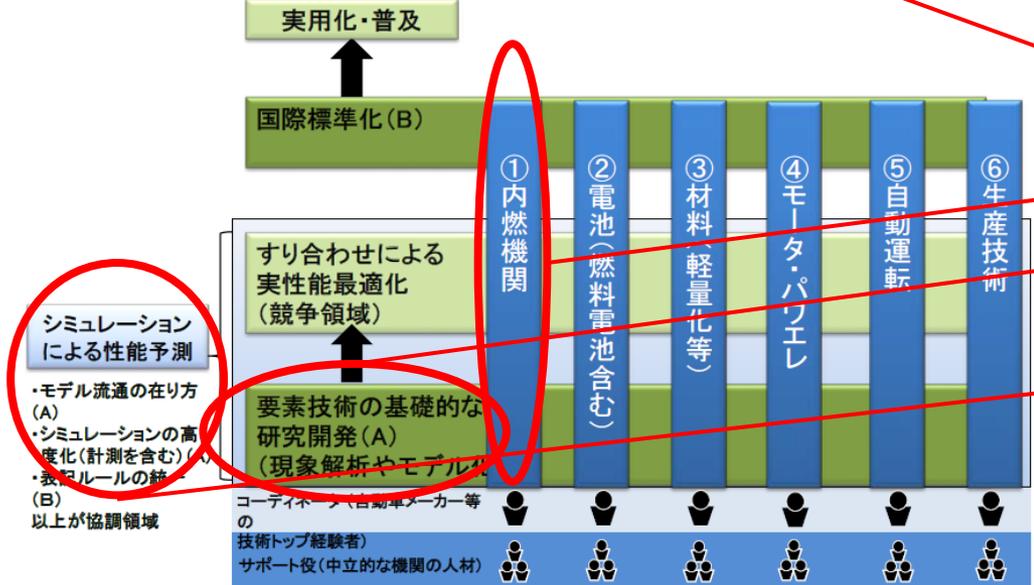
➤ 自動車産業戦略2014

2020～2030年における乗用車車種別普及目標 (政府目標)

	2020年	2030年
従来車	50～80%	30～50%
次世代自動車	20～50%	50～70%
ハイブリッド自動車	20～30%	30～40%
電気自動車 プラグイン・ハイブリッド自動車	15～20%	20～30%
燃料電池自動車	～1%	～3%
クリーンディーゼル自動車	～5%	5～10%

2030年におけるクリーンディーゼル自動車普及目標 5～10%

重点分野における協調領域の考え方



産産・産学で協調して研究開発を進めるべき重点分野

①内燃機関
要素技術の基礎的な研究開発 (現象解析やモデル化)
シミュレーションによる性能予測

1. 事業の概要(補足)

－ 上位施策との関係 －

➤ 日本再興戦略2016

中短期工程表「環境・エネルギー制約の克服と投資の拡大 ④」

	2013年度～2015年度	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度～	KPI
		概算要求 税制改正要望等	秋	年末	通常国会	
徹底した省エネルギーの推進 ③	<運輸部門における省エネの推進> 「自動車産業戦略2014」を策定(2014年11月)	左記戦略に基づいて、先進的で活性化された国内市場の形成				<p>2030年までに乗用車の新車販売に占める次世代自動車の割合を5～7割とすることを旨とする</p> <p>【補助指標】 ・EV・PHVの普及台数を2020年までに最大で100万台とすることを旨とする。 ・FCVの普及台数を2020年までに1万台程度、2030年までに80万台程度とすることを旨とする。</p> <p>・商用水素ステーションを2020年度までに全国に160か所程度、2025年度までに320か所程度整備する</p>
	EV・PHV・FCV・CDVの導入補助	引き続き車両購入時の負担軽減・初期需要創出を図り、世界に先駆けて自立的な市場の確立を目指す。				
	車載用蓄電池等に関する研究開発を実施	車載用蓄電池等の大幅な性能向上・コスト低減に向けた研究開発を実施				
	DC充電に関する国際標準発行(2014年3月) 車両とインフラ間の充電通信に関する国際標準発行(2014年3月)	電池・充電関連の国際標準化において、我が国が積極的に貢献				
	47都道府県及び高速道路会社4社が充電インフラ整備のビジョンを策定し、インフラ整備を推進 公共用充電器は2.2万基を整備(2016年3月)	公共用の充電器については、最適配置を目指すため、都道府県の充電器整備計画(ビジョン)を必要に応じて点検・見直す。また、非公共用の充電器については、特に共同住宅や職場を中心に整備を進める。				
	累計76箇所の商用水素ステーションが開所済み(2016年3月)	商用水素ステーションの先行整備 (4大都市圏を中心に累計100か所程度)	普及の拡大 ・2020年度までに累計160か所程度 ・2025年度までに累計320か所程度			
	2箇所の再エネ由来水素ステーションが開所済み(2016年3月)	再エネ由来水素ステーション(比較的規模の小さなステーション)の整備 (2020年度までに累計100か所程度)				
	規制改革実施計画等に基づき、水素ステーション等に係る規制の見直しを実施(2016年2月 公道とディスプレイとの距離基準の性能規定化、移動式水素スタンドの基準の整備等を実施)	燃料電池自動車について、規制改革実施計画のフォローアップを通じ、燃料を供給する水素ステーションに係る規制・制度改革等(セルフ充電の許容等)を行い、導入を促進				
	世界市場の獲得を視野に、燃料電池自動車の国連規則の国内法令導入を行い、相互承認を実現					

2030年までに乗用車の新車販売に占める次世代自動車の割合を5～7割とすることを旨とする

1. 事業の概要(補足)

- 上位施策との関係 -

➤ 科学技術イノベーション総合戦略2016 [概要]

第2章 経済・社会的課題への対応

(1) 持続的な成長と地域社会の自律的な発展

I エネルギー、資源、食料の安定的な確保

i) **エネルギー・バリューチェーンの最適化**
 (エネルギープラットフォームの構築/クリーンなエネルギー供給の安定化と低コスト化/水素社会の実現に向けた新規技術や蓄電池の活用等によるエネルギー利用の安定化/新規技術によるエネルギー利用効率の向上と消費の削減/革新的な材料・デバイス等の幅広い分野への適用/エネルギー・環境イノベーション戦略の推進)

ii) **スマート・フードチェーンシステム**
 (次世代育種システム/ニーズオリエンテッドな生産システム/加工・流通システム/実需者や消費者への有益情報伝達システム)

iii) **スマート生産システム**
 (栽培・生産・経営支援システム)

II 超高齢化・人口減少社会等に対応する持続可能な社会の実現

i) 世界最先端の医療技術の実現による健康長寿社会の形成

ii) **高度道路交通システム**
 (自動走行システムの開発に係る重要課題への集中的取組/自動走行システムに係る大規模実証実験等の推進/Society 5.0に向けた取組/自動走行システムを支える関連技術・システムの開発、実証の推進、応用実装・ビジネスモデルの確立)

iii) **健康立国のための地域における人とくらしシステム**
 (ICT等の活用による健康等情報の利活用の推進/支援を必要とする者の自立促進及び看護・介護等サービスの効果的提供の支援技術の研究開発/人によさしい住宅・街づくりに資する研究)

III ものづくり・コトづくりの競争力向上

i) **新たなものづくりシステム**
 (サプライチェーンシステムのプラットフォーム構築/革新的な生産技術の開発)

ii) **統合型材料開発システム**
 (信頼性の高い材料データベースの構築/データベースを活用した材料開発技術の確立/高速で高効率な材料試作、計測・評価技術の確立)

(2) 国及び国民の安全・安心の確保と豊かで質の高い生活の実現

I **効率的かつ効果的なインフラ維持管理・更新・マネジメントの実現**
 (構造物の劣化・損傷等を正確に把握する技術(点検)/点検結果に基づき補修・更新の必要性を判断する評価技術/構造物に必要な強度や耐久性を効果的に付与する技術(対応)/アセットマネジメントシステムの構築)

II **自然災害に対する強靱な社会の実現**
 (「予防力」関連技術/「予測力」関連技術(地震・津波の早期予測/危険度予測技術の開発等)/「対応力」関連技術(リアルタイム被害推定システムの開発等))

III 国家安全保障の諸課題への対応
 (安全保障関係/テロ対策関係)

IV **おもてなしシステム**
 (多言語音声翻訳システム/空間映像システム)

(3) 地球規模課題への対応と世界の発展への貢献

地球環境情報プラットフォームの構築

(4) 国家戦略上重要なフロンティアの開拓
 C S T I は総合海洋政策本部や宇宙開発戦略本部と連携し、海洋基本計画や宇宙基本計画と整合を図りつつ、海洋や宇宙に関する技術開発課題等の解決に向けた取組を推進

第3章 科学技術イノベーションの基礎的な力の強化

(1) **人材力の強化** ★

- 世界最高水準の教育力と研究力を備えた「卓越大学院(仮称)」の形成に向けた協議の加速化
- 公正で透明性が高い評価・育成システムの導入拡大(テュアウトラック制等)や「卓越研究員制度」などによる流動性と安定性に配慮した若手等支援のためのキャリアシステムの構築
- 「理工系人材育成に関する産学官円卓会議」等を通じた産学官協働の人材育成
- 女性リーダーの登用促進、女性が継続的に活躍できる環境の整備
- 科学技術系の進路に対する興味、関心や理解を向上させる取組の強力な推進
- 産学官の壁を越えた人材流動化を促進する制度(研究職・ポスト制度、再審査等)の導入促進

(2) **知の基盤の強化**

- 科学研究費助成事業の改革・強化、戦略的な基礎研究の改革・強化
- 世界トップレベルの研究拠点の形成等の促進、最先端の研究力等の整備・共有
- オープンサイエンスの推進の基本姿勢の下、研究成果・データを共有するプラットフォームの構築

(3) **資金改革の強化** ★

- 各国立大学による自らの強み・特色を最大限生かした機能強化の取組の促進、学長のリーダーシップによる改革の取組の推進(人事給与システム改革の促進等)
- 公募型資金の改革(使い勝手の改善、研究機器の共有化の促進、競争的資金以外の研究資金への間接経費導入等の検討など)
- 国立大学改革と研究資金改革と一体的推進

第4章 イノベーション創出に向けた人材、知、資金の好循環システムの構築

(1) **オープンイノベーションを推進する仕組みの強化** ★

- 異分野融合の研究領域における産学共同研究の促進、研究指導を通じた人材育成
- 企業におけるオープンイノベーションの推進に向けた意識改革の推進
- 「組織」対「組織」の強力な産学連携体制の推進、産学官連携の「場」の機能向上
- 橋渡しの機能強化において先行する国立研究開発法人の取組の深化と展開

(2) **新規事業に挑戦する中小ベンチャー企業の創出強化** ★

- 小・中・高等学校から大学までを通じた起業家・イノベーター人材の裾野拡大
- ベンチャー・チャレンジ2020の策定、ベンチャー創出促進に向けた取組の一体的推進
- ベンチャー企業に対する政府調達等を活用した初期需要確保の可能性の検討

(3) **イノベーション創出に向けた知的財産・標準化戦略及び制度の見直しと整備**

- 中小企業ニーズと大企業や大学等の知的財産や技術シーズとのマッチング
- 標準化及び制度・規制の課題抽出、必要に応じた見直しの検討

(4) **「地方創生」に資するイノベーションシステムの構築**

- 地域経済の牽引役となる中堅・中小企業の発掘、一貫した成長支援
- 地域の強み、特性を踏まえたイノベーションシステム定着の支援

(5) **グローバルニーズを先取りしたイノベーション創出機会の開拓**

- 新ビジネスの創出に向けた科学技術予測や長期的な分析体制の構築

第5章 科学技術イノベーションの推進機能の強化 ★

- 大学改革と機能強化(「指定国立大学法人」の創設)、国立研究開発法人改革と機能強化(研究開発の特性を踏まえた迅速かつ効果的な調達の改善等、「特定国立研究開発法人」制度の展開)
- Society 5.0の推進(Society 5.0の実現に向けた取組や人工知能関連の取組について、C S T Iが司令塔機能を発揮して、産学協が一体的に推進)
- 実効性ある科学技術イノベーション政策の推進と司令塔機能の強化(基本計画の進捗把握、課題の抽出、フォローアップ/S I P及びI m P A C Tの着実な推進/情報の収集・分析機能や戦略立案機能)

(1) オープンイノベーションを推進する仕組みの強化

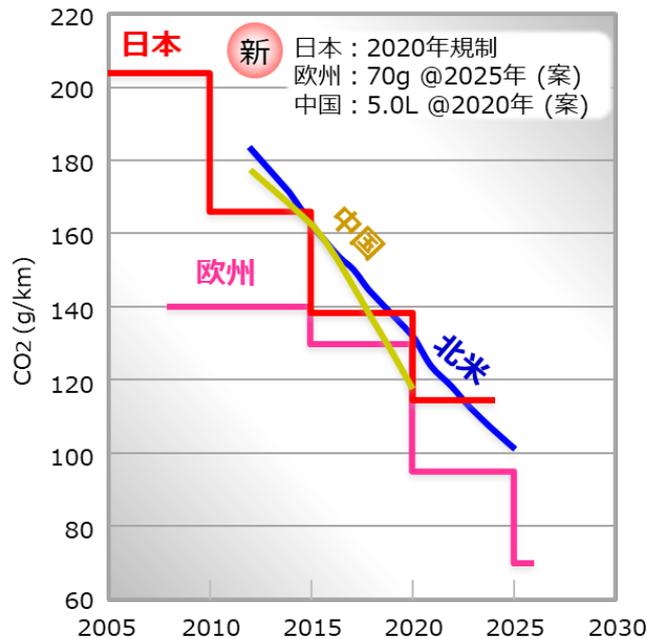
- 異分野融合の研究領域における**産学共同研究の推進**、研究指導を通じた人材育成
- 企業における**オープンイノベーションの推進**に向けた**意識改革**の推進
- 「組織」対「組織」の強力な**産学連携体制**の推進、産学官連携の「場」の機能向上

1. 事業の概要(補足)

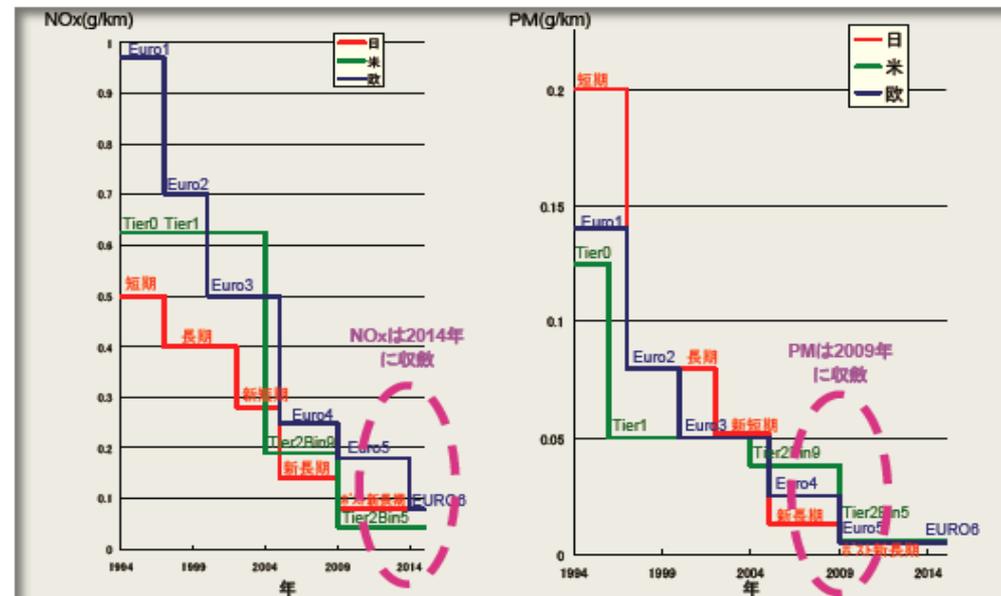
- 背景 -

- 次世代自動車の一つであるクリーンディーゼル自動車は、燃費が良くCO₂削減効果があり、より高性能なクリーンディーゼル車の早期投入が不可欠
- 自動車には、世界的に更なる燃費向上と排出ガスのクリーン化のため各国で規制強化
- 燃費向上と排出ガス低減は相反関係にあり、両課題を解決するべく排出ガス後処理装置の高度化、燃焼改善や革新的燃焼方法の開発、燃焼制御におけるモデル制御方法の確立、潤滑性能向上によるフリクション低減などが世界共通の課題
- クリーンディーゼル自動車は、特に、コストが高い窒素酸化物 (NO_x) および粒子状物質 (PM) の後処理装置の開発スピードの向上と開発コストの更なる低減が世界的な課題

■ 先進国の燃費 (CO₂) 規制



■ 日・米・欧の排出ガス (NO_x, PM) 規制値



1. 事業の概要(補足)

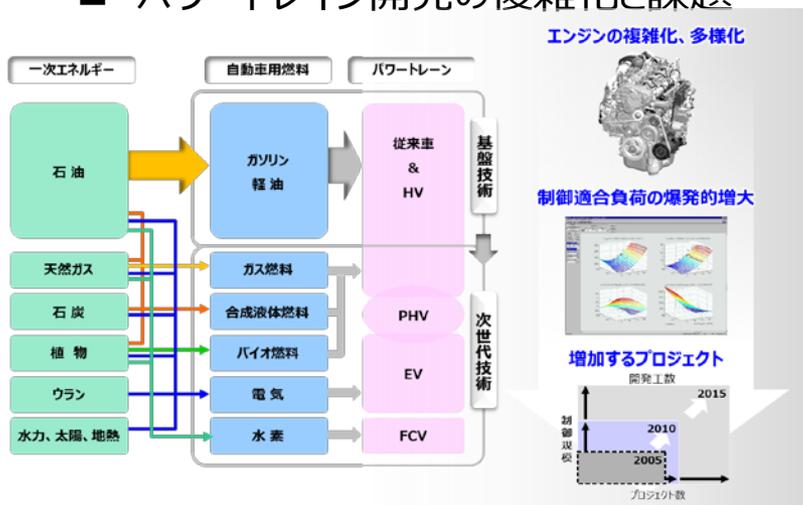
- 背景 -

- 自動車は、新興国市場の拡大やパワートレインが多様化および複雑化に対応するこれらの技術開発について、十分なリソースを割くことが困難な状況
- 欧州（特にドイツ）では、企業がリソースを割くことが難しい基礎・応用領域の共通課題を協調領域と設定し、企業が連携して大学等への研究委託により開発の基礎基盤を皆で共有し、その後に各企業で競争することによる開発スピードを向上
- 国内においても、協調領域を設定した産産学学連携の研究体制を構築し、競争力向上と産学の人材育成を図る必要あり

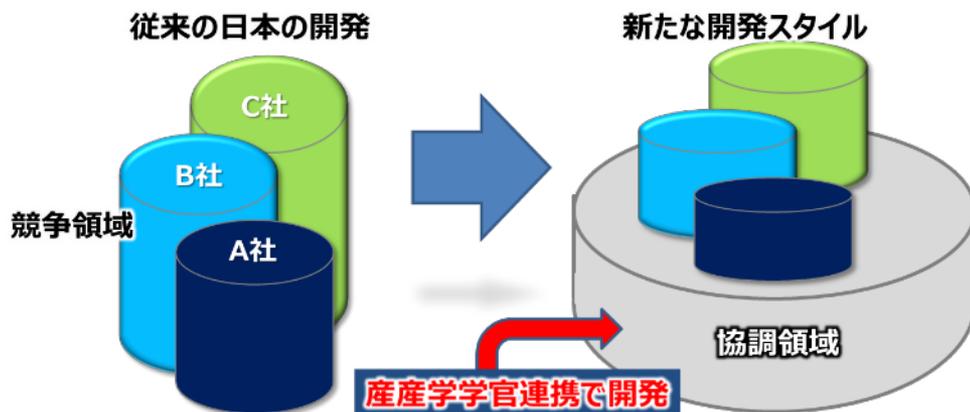
- 目的 -

- 本事業では、クリーンディーゼル車の世界共通課題である排出ガス中のNOxおよびPMの低減について、実走行や低温の排出ガス規制に対応しつつ燃費の向上を図る観点から、後処理装置の高度化にかかる基礎・応用研究として、未解明課題の現象解明やシミュレーションモデル構築を実施
- 研究実施では、化学等其他分野の研究シーズや大学等におけるシーズを有効に活用し、産産学学の連携体制を構築し、人材育成を進める

■ パワートレイン開発の複雑化と課題



■ 新たな産産学学連携研究による開発スタイル



1. 事業の概要(補足)

－ 研究開発課題の選定理由 －

① 革新的排気低減技術の研究

- 排出ガス低減の触媒等の装置は、排出ガス規制とともに高度化し、PM低減にはDPFの装着が必須
- さらに、炭化水素（HC）、一酸化炭素（CO）を浄化する酸化触媒およびNOx浄化触媒を適用
- これらの装置を個々に搭載すると広いスペース確保とコスト増大のため、DPFにNOx浄化触媒を担持する等の高機能化に進展

このような技術状況から、最新市販レベルと次期の技術の基礎現象解明を行い、開発効率化に資する研究を選定

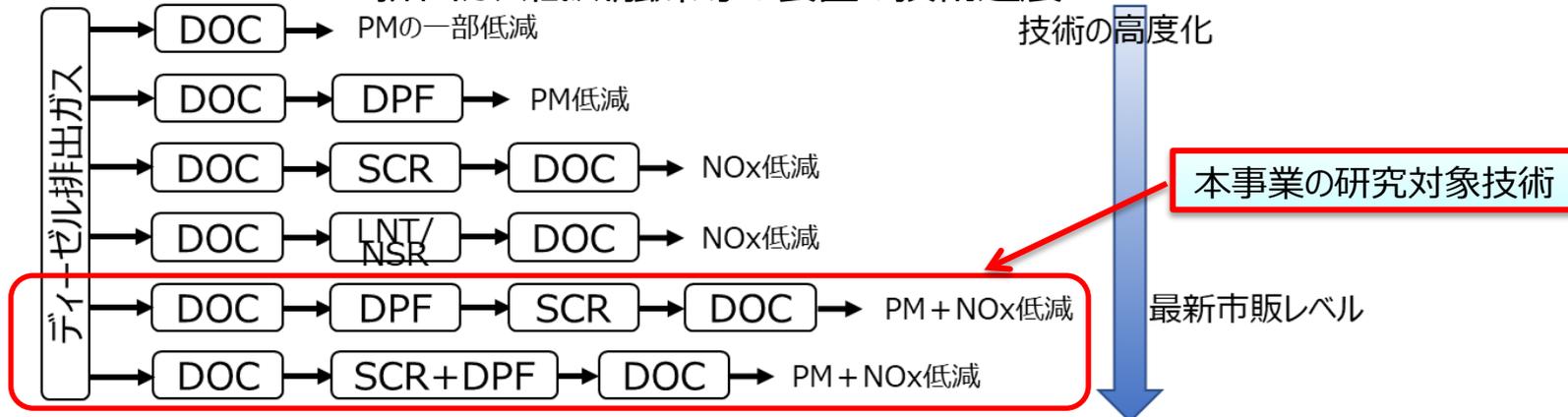
② EGR（Exhaust Gas Recirculation：排出ガス再循環装置）のデポジット抑制技術研究

排出ガスの一部を吸入空気に導入することによるNOx低減技術で、ディーゼル自動車の全車に採用されているが、配管やEGR量コントロールバルブにタールやラッカー状の堆積物（デポジット）による不具合が発生しており、世界中で根本的な解決策が見いだせていない喫緊の課題

③ 白煙抑制技術研究

排出ガス規制の対象ではないが、白煙排出により商品性が低下してクレームが発生しており、世界中で根本的な解決策が見いだせていない喫緊の課題

■ 排出ガス低減触媒等の装置の技術進展



DOC (Diesel Oxidation Catalyst) : ディーゼル酸化触媒
DPF (Diesel Particulate Filter) : ディーゼル微粒子捕集フィルター

SCR (Selective Catalytic Reduction) : NOx選択還元触媒
LNT/NSR (Lean NOx Trap / NOx Storage Reduction) : NOx吸蔵還元触媒

1. 事業の概要(補足)

－ 研究開発項目（3項目）と研究テーマ（7テーマ） －

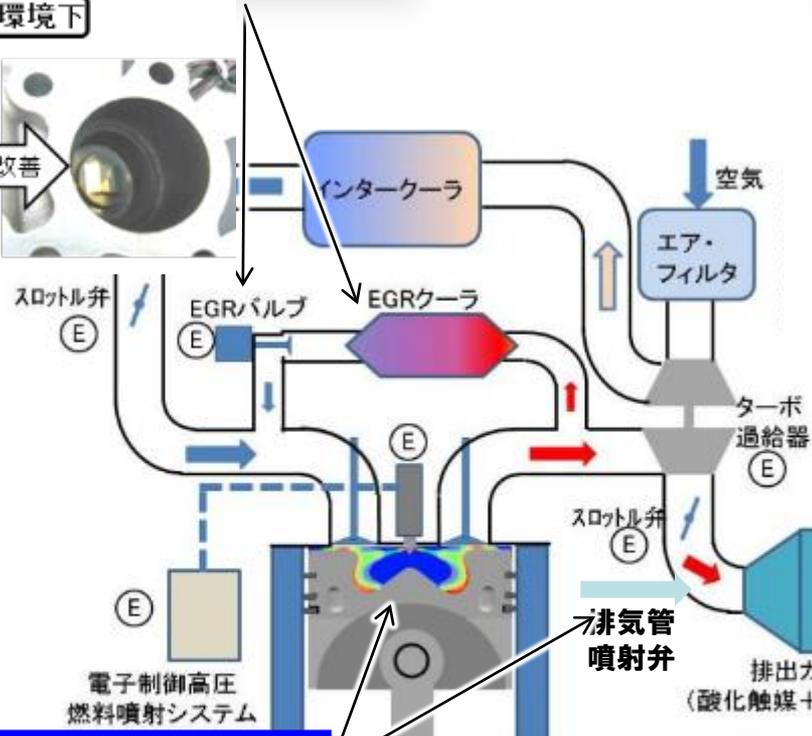
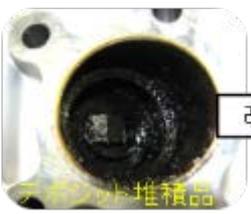
研究テーマ	概要
① 革新的排気低減技術の研究	
1) DPF内部現象解明研究	DPF内部現象を解明し、種々の運転条件で性能予測が可能な高精度の数値シミュレーションモデルおよび評価手法を構築
2) 再生技術高度化研究	DPFに堆積したPMを酸化除去する方法として、燃料の排気管噴射およびポスト噴射があり、これら手法の排気系への燃料供給から触媒昇温までの一連の現象を明確化し、各現象のシミュレーションモデルを構築
3) 多成分浄化機能研究	SCR+DPFシステム内の現象解析およびSCRとDPFの統合シミュレーションモデルを構築
4) 革新的NOx低減触媒研究	高いNOx浄化性能を有するSCR触媒の実現のため、新ゼオライトの作り込み（最適化）による特性向上および触媒材料の特性からエンジン実機用触媒の性能予測が可能な反応予測モデル構築
5) 故障診断機能高度化研究	DPF機能の故障診断に用いられる、圧力損失およびPMセンサーの外乱要因として、凝縮水およびDPFを透過した灰分(Ash)の影響による検出値変動のメカニズムを解明しモデル化
② EGRデポジット抑制技術研究	EGRデポジットの生成メカニズムを解明し、デポジット抑制手法の検討、および短時間でのデポジット評価手法の確立・基盤整備
③ 白煙抑制技術研究	白煙計測手法を確立して発生メカニズムを解明し、触媒などによる抑制手法を明確化

1. 事業の概要(補足)

— 研究開発項目(3項目)と研究テーマ(7テーマ) —

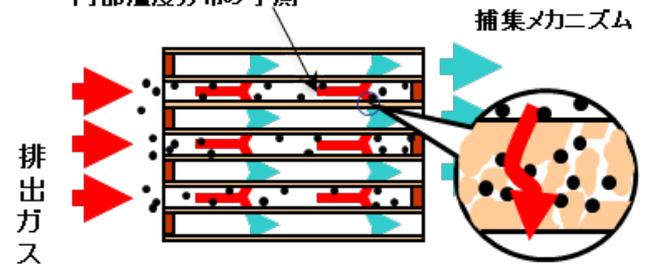
② EGRデポジット抑制技術研究

低外気温/低水温環境下



① 1) DPF内部現象解明研究

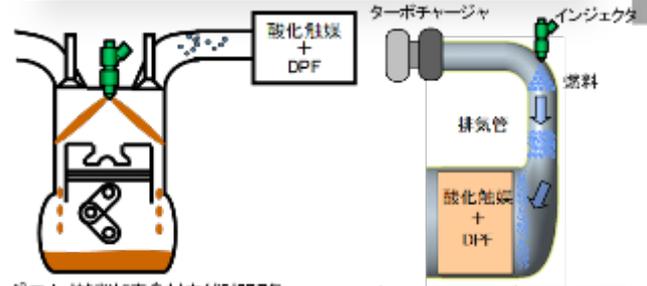
NO2, O2による酸化
Soot 堆積量の真値
内部温度分布の予測



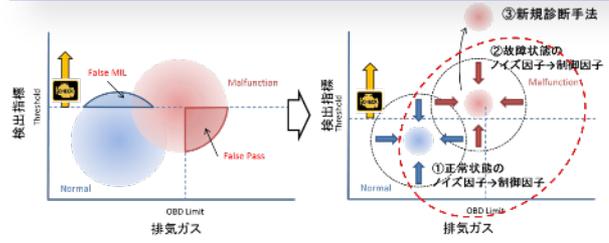
① 3) 多成分浄化機能研究

① 4) 革新的NOx低減触媒研究

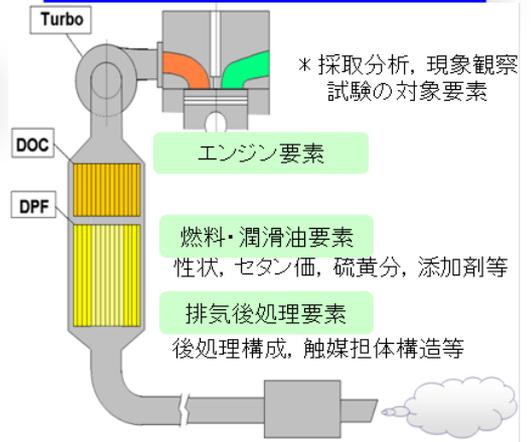
① 2) 再生技術高度化研究



① 5) 故障診断機能高度化研究



③ 白煙抑制技術研究



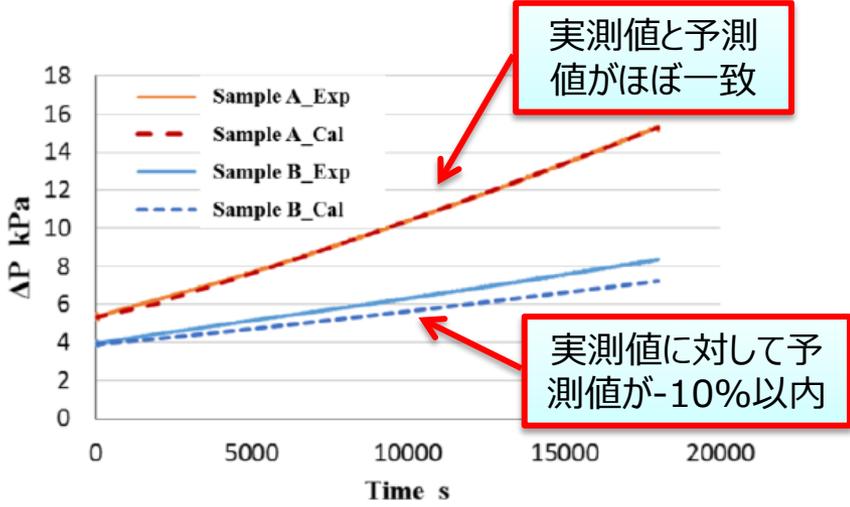
排気ガス排出 故障検出指標 } ノイズ → 現象解析 モデル化 → ロバストな 故障診断

2. 事業アウトカム

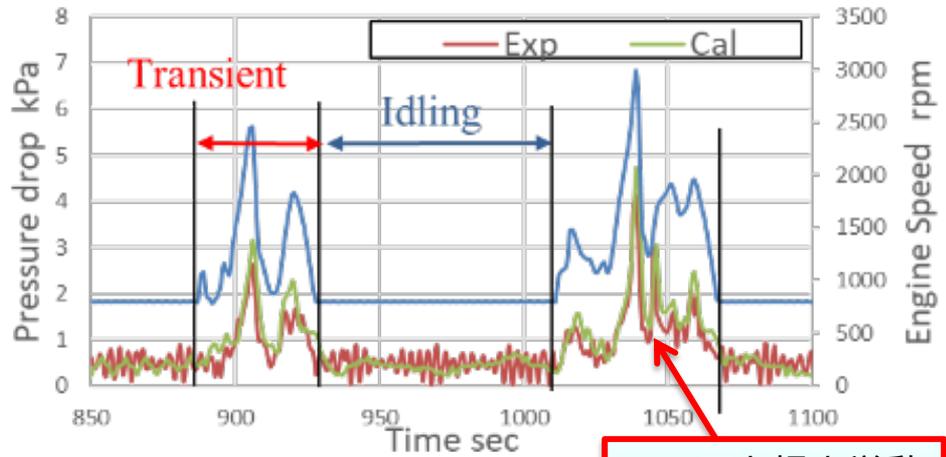
事業アウトカム指標 (妥当性・設定理由・根拠等)	目標値 (計画)	達成状況 (実績値・達成度)	原因分析 (未達成の場合)
<p>クリーンディーゼル車のCO₂排出量 (2010年比)</p> <p>高性能なクリーンディーゼル自動車を市場投入することにより運輸部門のCO₂削減と世界市場のシェア拡大を実現する。日本の乗用車2020年燃費基準は、2010年比の約25%低減であり、それを上回る低減を目標値とした。</p>	<p>30%低減 (2020年)</p> <hr/> <p>40%低減 (2030年)</p>	<p>DPF内部現象解明とモデル化により、捕集PMの除去(燃焼)を行う強制再生の頻度低減や効率的な再生が可能となる。また、NOx低減触媒の高機能化などにより、NOx低減のためのエンジン燃焼効率の悪化度合いを少なくすることが可能となる。</p> <p>これらのCO₂削減に資する技術基盤が創出されており、目標達成に向けた各社の競争領域での開発が進められている。</p>	<p>—</p>
<p>開発スピード</p> <p>ディーゼル自動車は、NOxとPMを排出するが、これら有害物質の低減と燃費の向上は相反関係にあるため、さまざまな高度な技術を組合せることにより、燃費向上と排出ガスのクリーン化を同時に進めてきた。このため、部品コストや開発工数の増加による車両販売価格の増加をもたらし、開発リソース不足やそれに伴う開発スピードの低下にも繋がっている。この開発工数削減による開発スピード向上とコスト削減が重要である。</p>	<p>50%向上 (2020年)</p>	<p>各種の課題に対する現象解明とシミュレーションモデル化により、得られた成果が参加企業において開発における評価手法の改良、設計の考案への活用、工数効率化や次世代商品先行開発への展開などの有効活用が始まっている。</p> <p>また、白煙測定手法やDPF再生時のオイル希釈計測手法は、既に自動車メーカーにおいて開発に使用されている。3ヶ月の試験が1日で評価可能となった事例もあり、今後の開発効率向上が期待できる。</p>	<p>—</p>

3. 事業アウトプット

事業アウトプット指標 (妥当性・設定理由・根拠等)	目標値 (計画)	達成状況 (実績値・達成度)	原因分析 (未達成の場合)
DPF圧力損失の予測モデル精度 (予測と実測値の差分) DPF内部現象解明とモデル化により、捕集PMの除去(燃焼)を行う強制再生の頻度低減や効率的な再生が可能となり燃費向上(=CO2削減)につながる。	±30% (H26年度)	±30% (100%達成)	-
	±15% (H27年度)	±15% (100%達成)	-
	±10% (H28年度)	±10% (100%達成)	-
	±10% (事業目的達成時H28年度)	±10% (100%達成)	-



定常運転条件



過渡運転条件

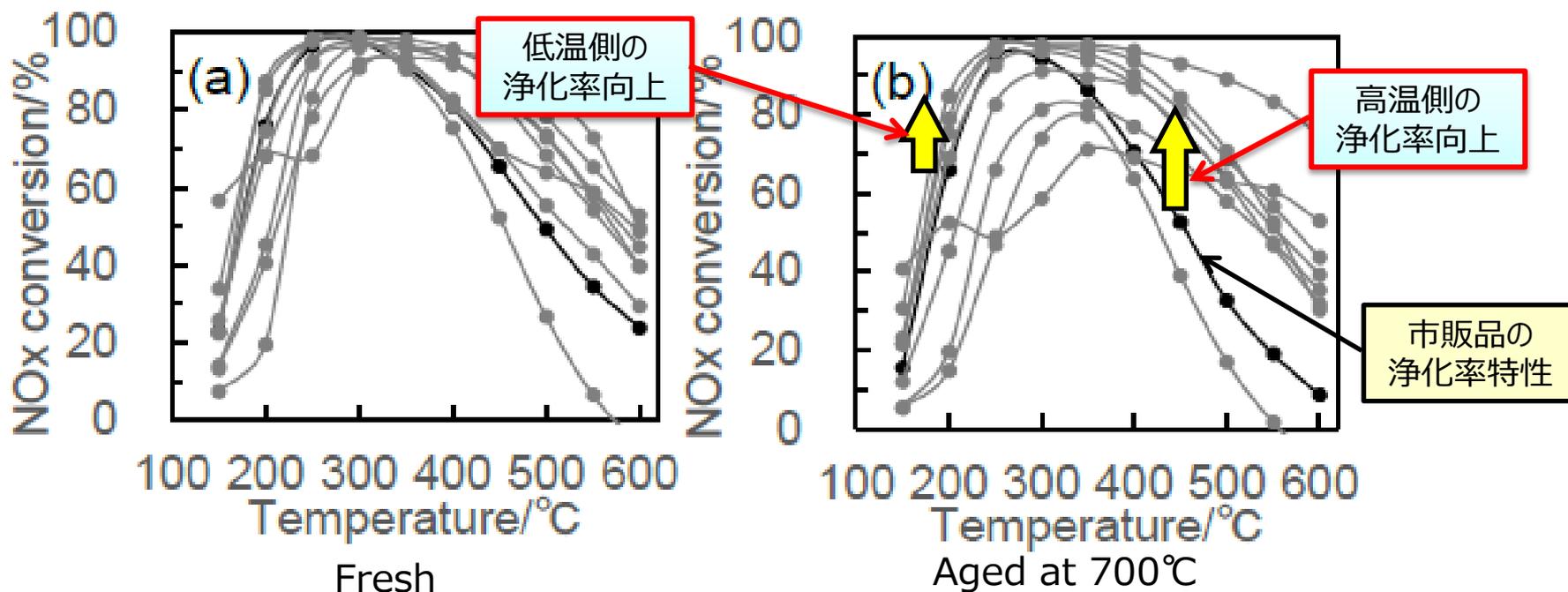
DPF圧力損失挙動を良く再現

DPFのPM堆積時の圧力損失の実測値と予測値

定常および過渡運転条件でDPFの圧力損失挙動を良く再現できるシミュレーションモデルを構築

3. 事業アウトプット

事業アウトプット指標 (妥当性・設定理由・根拠等)	目標値 (計画)	達成状況 (実績値・達成度)	原因分析 (未達成の場合)
NOxの排出量 (H26年度市販品比)	25%削減 (H28年度)	25%削減 (100%達成)	—
NOx低減触媒の高機能化などにより、NOx低減のためのエンジン燃焼効率の悪化度合いを少なくすることが可能となり燃費向上につながる。	25%削減 (事業目的 達成時H28年度)	25%削減 (100%達成)	—



各種ゼオライト触媒のNOx浄化率の特性

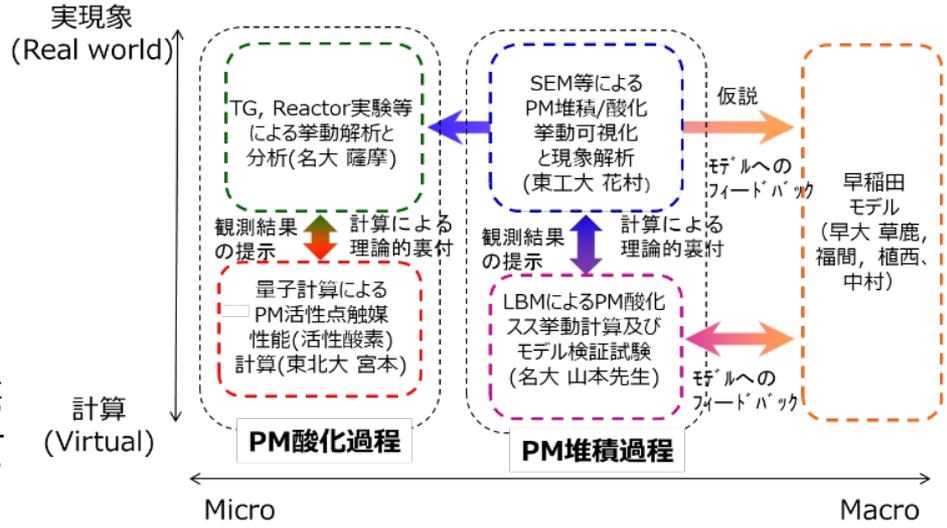
黒線の市販品に対して、低温および高温側のNOx浄化率が大きく向上したゼオライト種を創出
実走行を想定した場合は、市販品に対して約25%の削減効果

3. 事業アウトプット (研究成果概要)

① 1) DPF内部現象解明研究

- PM堆積現象の解明とシミュレーションモデル構築
- PM酸化現象の解明とシミュレーションモデル構築
- Ashの生成過程と堆積の現象解明とシミュレーションモデル構築
- 上記のDPF内部現象の各シミュレーションモデルを統合し、性能予測および強制再生制御の予測が可能なシミュレーションモデルを構築

DPF内部の可視化観察や量子化学計算などの連携した研究により、これまでにない現象解明が進められて仮説の実証や新たな知見が多く見出された。これらの成果は、企業での開発における試験水準数の削減や結果の妥当性判断に活用できる。



DPF現象解明の研究手法

[Micro]
[Meso]
[Macro]

ASEM可視化による現象解明

[東京工業大学: 花村研]

DPF壁細孔内におけるPM堆積現象2D可視化 (nmオーダー)

- PM堆積開始現象解明と圧力損失挙動
- PM cake層の圧縮現象と圧力損失相関

LBMによる解明現象の検証

[名古屋大学: 山本研]

DPF壁細孔内におけるPM堆積現象3D Visual化 (μmオーダー)

- PM堆積挙動の3D化と圧力損失挙動
- Wall⇒Cake堆積変化の影響因子特定

解明現象のModel化

ガス流れ → DPF → 実機Scaleへ展開

$$\phi = \frac{d_c^2 - d_{c,0}^2}{(\nu b)^2 - d_{c,0}^2}$$

[早稲田大学: 草鹿研]

物理式を用いたPM堆積圧力損失モデル構築 (mm, cmオーダー)

- Micro, MesoスケールのWall⇒Cake層堆積を考慮したPM堆積挙動モデル化
- DPF全体の圧力損失挙動検証

PM堆積過程の現象解明とモデル化

[Micro]
[Meso]
[Macro]

MDによるPM構造と燃焼性の相関付

Raman分光測定: Sim.と実測の比較

[東北大学: 宮本研]

PM構造や活性種と燃焼性の相関解明 (Åオーダー)

- PM構造と燃焼性の相関解明 (Raman分光のSim.-実測比較)
- 活性種違いによるPM燃焼性の理論的解明

Lab.試験による燃焼Parameter導出

$k_n = A_n \times \exp\left(-\frac{E_n}{RT_{gas}}\right)$

[名古屋大学: 薩摩研]

PM毎の燃焼Parameter実験的導出と燃焼性の相関解明 (nmオーダー)

- 素性の異なるPMの燃焼Parameter(A, En)導出
- PM構造と燃焼性の実験的相関解明

PM燃焼Parameterの実機DPF再生検証

実機Scaleへ展開

$k = A(Def) \times \exp\left(-\frac{E_n}{RT}\right)$

[早稲田大学: 草鹿研]

物理式を用いたPM燃焼圧力損失モデル構築 (mm, cmオーダー)

- 導出Parameterを用いたDPF再生挙動検証

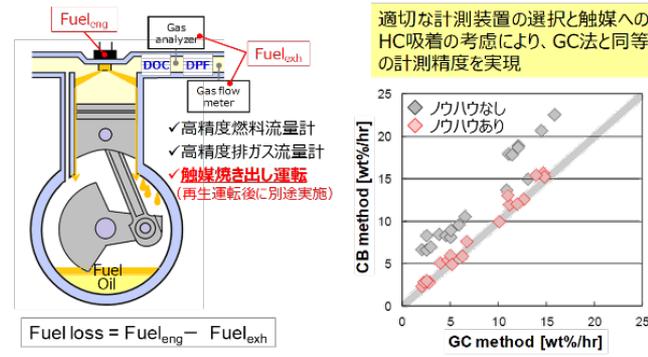
PM酸化過程の現象解明とモデル化

3. 事業アウトプット(研究成果概要)

①2) 再生技術高度化研究

- ポスト噴射によるオイル希釈量試験の短時間評価手法の構築
- ポスト噴射時の低圧噴霧の挙動解明とシミュレーションモデル構築
- ポスト噴射時のシリンダー壁面衝突、オイルパンへの輸送および希釈オイル中の燃料蒸発における挙動解明とシミュレーションモデル構築
- 排気管噴射時の噴霧挙動解明とシミュレーションモデル構築
- 高濃度炭化水素 (HC) 流入による酸化触媒の反応のシミュレーションモデル構築

開発工数を大幅に短縮するオイル中の燃料希釈量評価方法を確立し、既に企業において開発に適用されている。また、研究事例が少ない排気管噴射やポスト噴射の現象観察・解明および酸化触媒研究との連携により、複雑な現象を一体で解明して、企業の開発時における試験水準数の削減や結果の妥当性判断に活用できる。



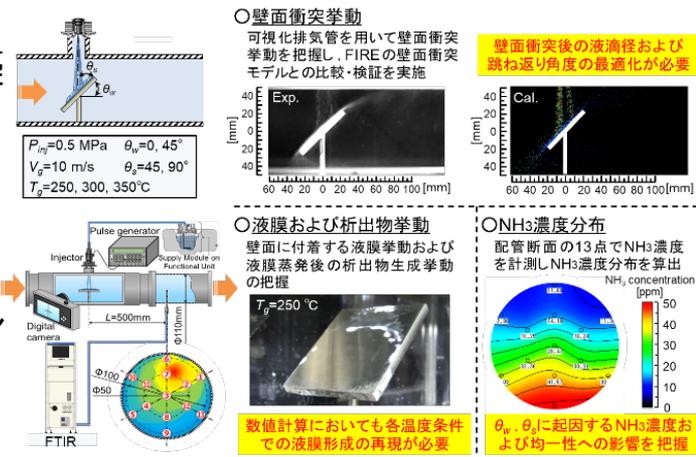
従来 バッチ処理のGC法 ⇒ 成果の活用 リアルタイム計測による工数の大幅削減

高精度なリアルタイムでの オイル中の燃料希釈率計測法構築

①3) 多成分浄化機能研究

- SCR/DPFにおけるSCR反応機構の解明とシミュレーションモデル構築
- SCR触媒の劣化メカニズム解明とシミュレーションモデル構築
- 尿素水噴霧の壁面衝突挙動解明とシミュレーションモデル構築
- 尿素分解挙動の解明に必要なイソシアン酸の発生装置構築による計測精度向上

DPF内部現象解明研究との連携により、SCR/DPFのシミュレーションの予測精度が向上できた。また、研究事例が少ないSCR触媒の劣化について、劣化要因と触媒性能・物性変化の定量解析により劣化性能を推測可能なモデルが構築できた。さらに、日本初のHNCOガス発生装置が構築により、今後の尿素水分解挙動の解明が進む。



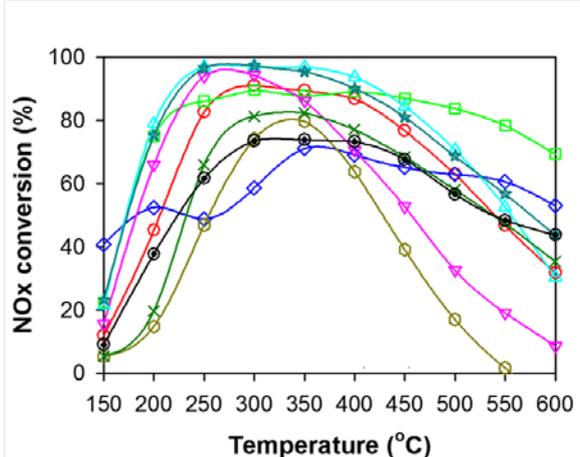
尿素の壁面衝突噴霧の現象解明

3. 事業アウトプット (研究成果概要)

①4) 革新的NOx低減触媒研究

- 自動車用SCR触媒に特化した新ゼオライトのカatalog化
- 市販製品よりも浄化特性が優れたゼオライトを創出
- ゼオライト構造と活性・耐久性の相関関係を明確化
- 極微量粉末の材料物性、化学特性データからハニカムでの浄化活性を予測するシミュレーションモデルを構築

本研究では、実使用環境を熟知する「産」と日本独自の革新材料技術を持つ「学」の連携で、これまでにない自動車用SCR触媒に特化したゼオライトを創出できた。また、これらのCatalog化により、エンジン種などの使用条件違いに合わせてゼオライト選択が可能となり、また選択肢が拡大した。さらに、反応予測モデル構築で、材料物性から触媒性能を予測して開発時の検討期間短縮が可能となる。

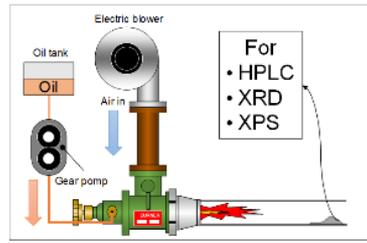


様々な銅ゼオライト触媒のNOx浄化特性 (Catalog掲載性能の一項目)

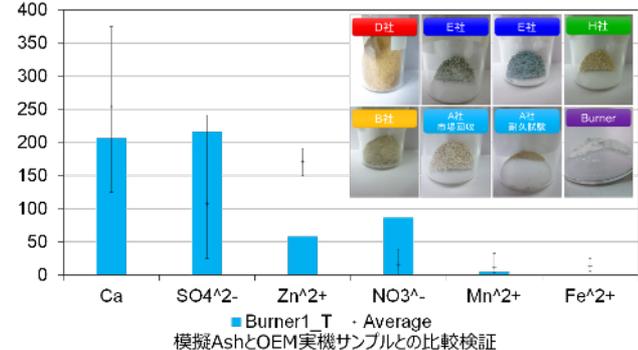
①5) 故障診断機能高度化研究

- 排気凝縮水によるDPF差圧降下現象の定量把握手法構築
- 排気凝縮水によるDPF内部のPM堆積状況の変化現象を解明
- 排気中Ashの影響を短時間に評価可能なAsh生成評価手法を構築
- DPFを透過するAshの透過プロセスを解明

これまで、排気凝縮水のDPFへの影響はほとんど研究されておらず、仮説であった現象が明確になり、各社での評価手法の改良で開発促進につながる成果が得られた。



- オイルをバーナーで燃焼
- 実Ashとの成分比較



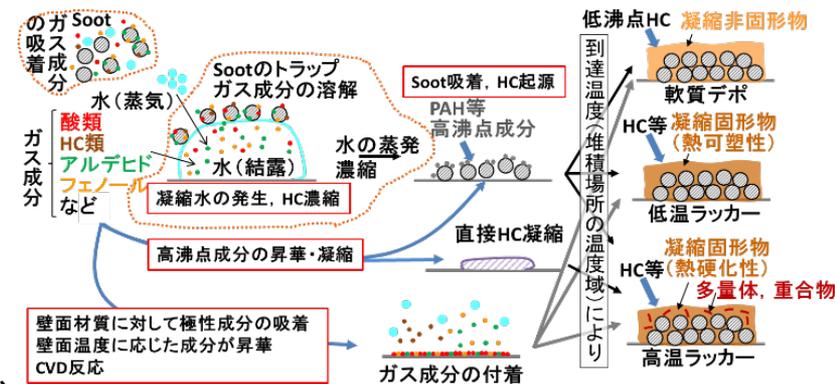
模擬Ash生成評価装置の構築

3. 事業アウトプット(研究成果概要)

②EGRデポジット抑制技術研究

- エンジン実機でのデポジット評価装置構築
- 燃焼バーナーでの模擬デポジット生成手法確立
- デポジット生成のメカニズム解明
- HC濃度からのデポジット生成速度および生成量について簡易計算シミュレーションモデルを構築
- ガス温度とTHC濃度によるデポジット生成限界曲線の存在を明確化

従来研究ではススの壁面堆積に関する事象が大半であったが、本事業では不具合の主要因となる硬質デポ（ラッカー）の生成メカニズムを物理的・化学的アプローチにて解明し、デポジット再現手法まで構築し世界的にみてもユニークな研究成果が得られた。

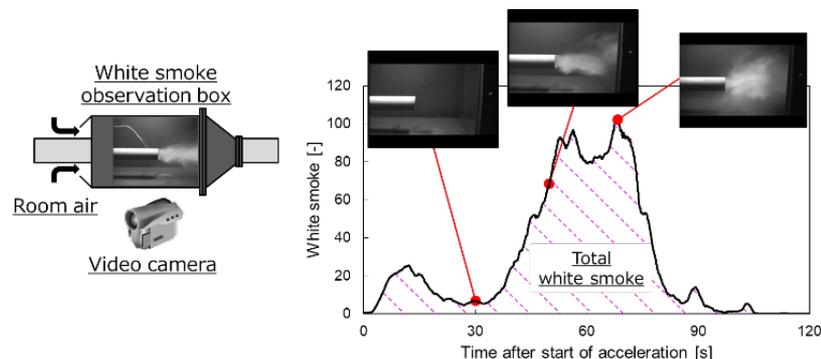


デポジット生成メカニズム

③白煙抑制技術研究

- 白煙という数値化が難しい事象を輝度により定量化して測定手法を確立
- エンジンアウトから排出される高沸点HCパズ解明
- 硫黄由来白煙発生機構の解明
- 触媒の低比表面積による白煙抑制パズ解明

これまで不具合発生後に経験則で不具合対応を行っていた事象が、開発段階での有効な指針としての白煙抑制手法を明確にすることができた。



1. 白煙排出画像から背景画像を差し引く
2. 差し引いた画像輝度値を平均し、白煙排出挙動の時系列変化を評価
3. 2.で求めた瞬時の画像輝度を積算し、トータル白煙排出量を評価

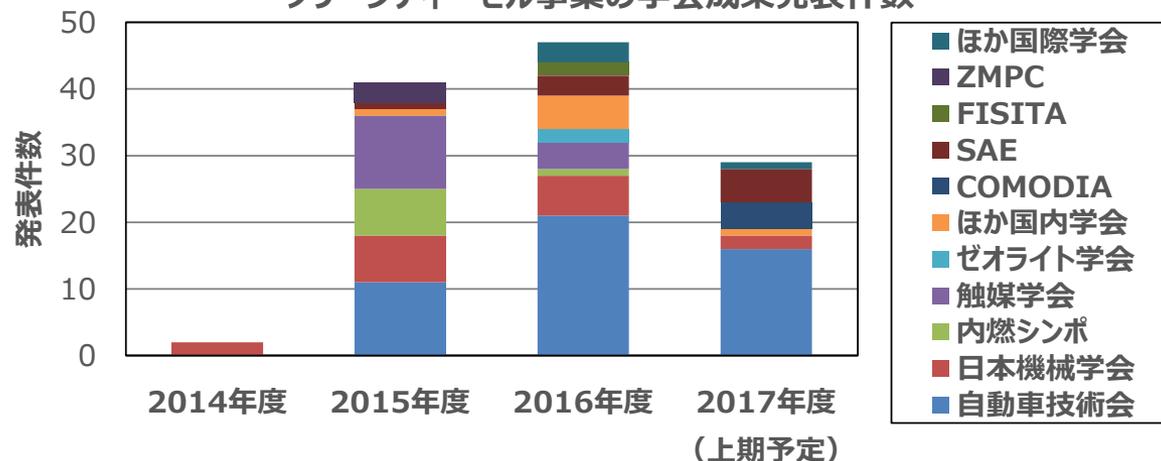
白煙排出量の評価手法

3. 事業アウトプット

－ 研究機関の外部発表実績 －

発表先学会	国内/国際	2014年度	2015年度	2016年度	2017年度 (上期)
自動車技術会（春季・秋季大会、学生研究会等）	国内		11	21	16
日本機械学会（年次大会、地区大会等）	国内	2	7	6	2
内燃機関シンポジウム	国内		7	1	
触媒学会（触媒討論会）	国内		11	4	
ゼオライト学会	国内			2	
ほか国内学会	国内		1	5	1
COMODIA（国内学会主催の内燃機関国際会議）	国際				4
SAE（米国自動車技術会主催）	国際		1	3	5
FISITA（各国自動車技術会主催）	国際			2	
ZMPC（ゼオライト関連）	国際		3		
ほか国際学会	国際			3	1
合計		2	41	47	29

クリーンディーゼル事業の学会成果発表件数



論文・学会発表が119件
（H29年度上期時点）で
多くの学生育成の場を提供

フォーラム開催により、研究成果の発表以外にもAICEの産学官連携の取り組みや研究現場の変革について内燃機関研究者に周知

4. 当省(国)が実施することの必要性

(a) 我が国が強みを持ち、世界に勝てる技術分野であることについて

かつてのC V C Cエンジンなど世界に先駆けて我が国の内燃機関は厳しい規制をクリアしてきたように、内燃機関技術は我が国が強みを有している。特に、クリーンディーゼルエンジン技術の関連特許数は、燃焼、後処理およびEGRにおいて我が国が欧米よりも多い。このように要素となる基盤技術は我が国がリードしている。

他方、成長著しい新興国市場の拡大などにより、パワートレインのニーズについても多様化する中、我が国自動車メーカーでは、多様化及び複雑化に対応するため、必ずしもクリーンディーゼルに関する技術開発について十分なリソースを割くことができず、かつ、求められる技術の高度さゆえに、大学等におけるシーズを活用しつつ効果的に研究開発を進めることが不可欠な状況である。このため、要素となる基盤技術を適確に活用しつつ、本事業を実施する必要がある。

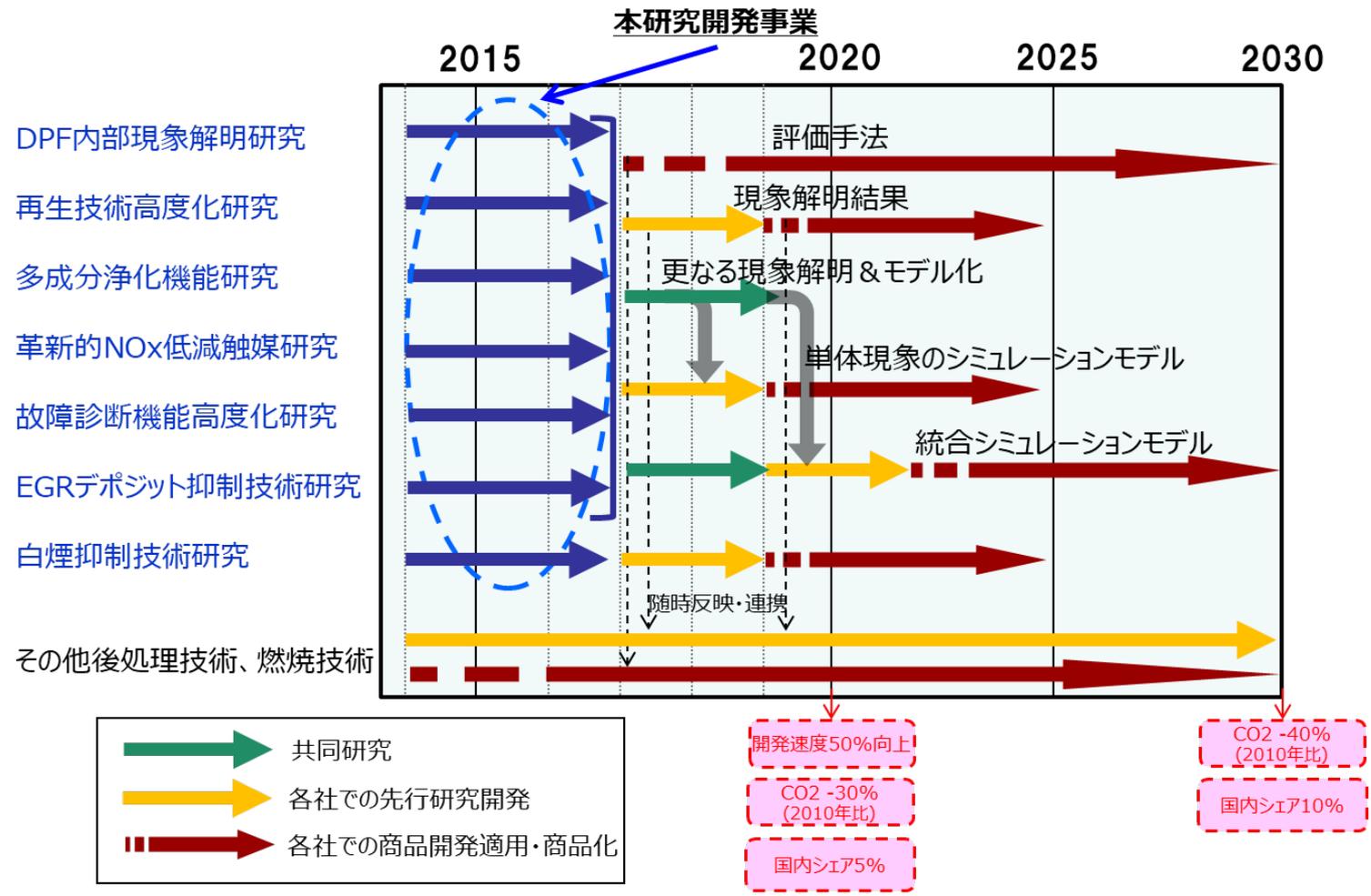
(b) 他の研究分野等への高い波及効果を含むものであることについて

近年のガソリンエンジンは、直噴に加え過給ダウンサイジングがトレンドである。このため、ガソリンエンジンの分野では、ディーゼルエンジン技術に近い燃料噴射、圧縮比および後処理装置などが用いられている。したがって、本事業の成果はガソリンエンジンの高度化にも有用であり、高い波及効果が見込まれる。

(c) 国の関与により異分野連携、産学官連携等が進展し、研究開発活動に新たな付加価値が見込まれることについて

事業実施体制では、AICEは産業界の同業他社が連携した産産連携を構築して進めている。また、研究機関は、従来の機械分野のみならず、化学系などの分野を超えて「学」のシーズを集結し、同分野および異分野の学学連携で研究実施することにより、これまで解明できなかった現象等を明らかにして商品開発に適用できる技術成果を得る体制を構築した。また、産学の研究者と一緒に研究を進めることにより、大学の学生や企業の若手研究者の育成の場ともなっている。このような産産学学連携の研究体制は、日本の自動車業界では初めてであり、国として本事業を実施する必要がある。

5. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ



□ 知財管理の取扱

発明者帰属（単独／共有あり）であるが、AICE企業は無償で実施。但し、企業連携の状況（自動車販売国内シェア90%以上）で独占禁止法への対応から第三者へのライセンスも可能

□ 国際標準化

成果の一部であるシミュレーションモデルでの開発プロセス高度化について、別プロジェクトで検討中

6. 研究開発の実施・マネジメント体制等

経済産業省 製造産業局 自動車課

自動車用内燃機関技術研究組合(AICE)

再委託



組合員：自動車メーカー9社
+ 2研究機関

後処理研究委員会

AICE後処理研究委員会
(月1回開催)にて、各WGリーダーと組合員代表委員により、全体統括での進捗管理などを行った。

革新的排気低減技術合同WG

DPF内部現象解明WG

構成：組合員 + 早稲田大/東京工業大/東北大/名古屋大

再生技術高度化WG

構成：組合員 + 北海道大/京都大/同志社大/早稲田大

多成分浄化機能WG

構成：組合員 + 早稲田大/茨城大/同志社大/東京大

革新的NOx低減触媒WG

構成：組合員 + 東京大/早稲田大/横浜国立大/広島大/
東京工業大/北海道大

故障診断機能高度化WG

構成：組合員 + 茨城大/北海道大

EGRデポジット抑制技術WG

構成：組合員 + 茨城大

白煙抑制技術WG

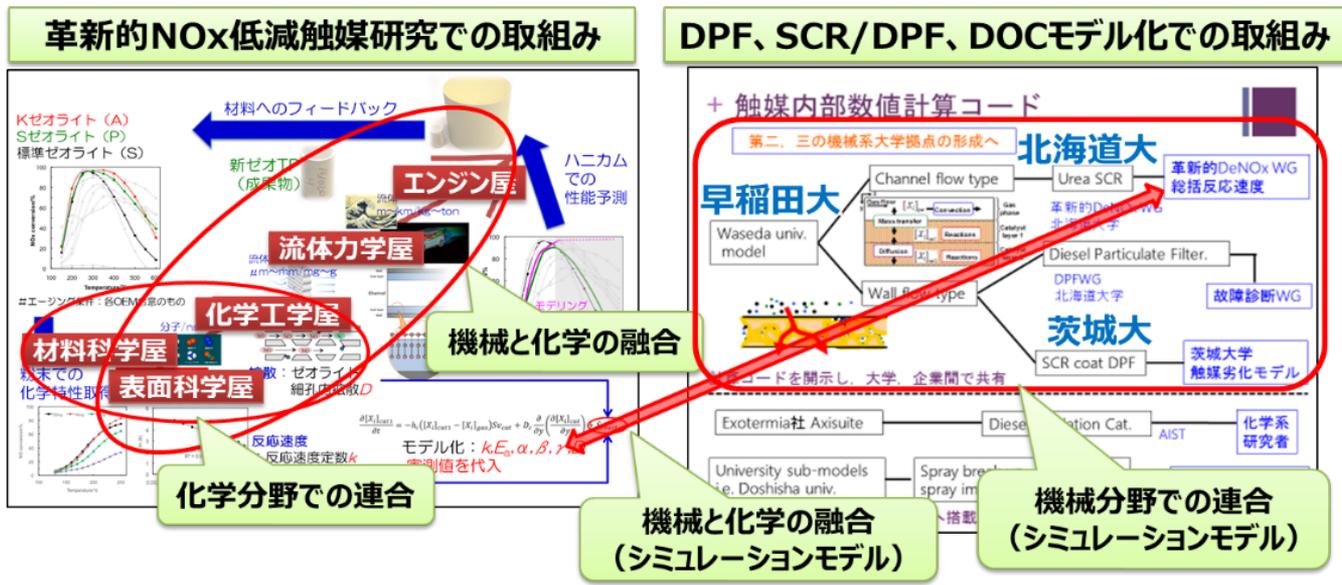
構成：組合員 + 早稲田大

- 自動車メーカーの商品開発に直接繋がる成果導出のため、各課題について組合員企業技術者と研究実施者によるWGを設置
- 各WGでは、企業における研究開発の進め方や試験場所の安全確保を参考としながら大学、研究機関と一緒に、研究の計画策定、試験の装置・方法・条件策定、試験結果の解析・解釈および考察等の技術検討を実施
- WG活動では、研究を実施している学生も参加させ、学生が研究結果、課題や今後の進め方について報告を行い、参加者間でディスカッションを行うことにより学生の育成を積極的に推進

6. 研究開発の実施・マネジメント体制等

－ 学学連携の深化 －

本事業では、学学連携として機械と化学の異分野融合および機械、化学の各領域での同分野連合を積極的に進め、互いの連携が深化した。これにより、サイエンスとエンジニアリングをつないだ高い成果が導出



－ 企業(組合員)から学への人材派遣 －

1. 企業側から学への人材派遣
 研究指導および成果促進のため、企業人材を大学に客員教授 (1名)や客員講師 (2名)として派遣し、企業における研究開発の進め方などを学生に指導した。
2. 企業・研究機関からの博士後期課程入学
 企業および研究機関の若手研究員が社会人博士後期課程に入学 (3名) し、学生指導とともに産学学連携における将来のリーダー育成 (AICE第2理念) を進めた。

6. 研究開発の実施・マネジメント体制等

－ 中間・成果報告会 －

- H26 中間・成果報告会 (H26.12.8, H27.2.24)
 - H27 中間・成果報告会 (H27.10.19, H28.2.22-23)
 - H28 中間・成果報告会 (H28.11.1-2, H29.2.22-23)
- 研究の進捗評価、成果刈り取りおよび研究者成長の確認として、外部アドバイザの先生も入れて各研究テーマの中間および成果報告会を実施
 - WGリーダー（企業）および研究実施リーダーによる研究全体計画、成果、進捗や自己評価などを報告し、各研究テーマ実施状況、成果を各研究実施機関から報告
 - 各大学での実施状況、成果報告では、学生による報告も実施
 - ポスター発表で、産の技術者と学生を含む研究実施者の深い意見交換を実施
 - 学生プレゼンテーションには、優秀講演賞11名(3カ年)を選定して表彰（別途AICE会合(補助事業外)にて）
 - 外部アドバイザ：東京工業大 神本名誉教授、同志社大 藤本名誉教授、京都大 塩路教授
早稲田大 大聖教授、東京電機大 新井特任教授



H 2 8 年度成果報告会



AICE Award表彰式

7. 費用対効果

□ 事業全体

事業開始から3年間で総額約14億円の費用で行われた。

我が国の運輸部門におけるCO₂排出量（2011年度：2億3千万トン）のうち自家用自動車によるものは50%を占め、2030年において本事業成果を活用して燃費向上（CO₂排出量が2010年比40%減）したクリーンディーゼル乗用車の販売比率が10%に拡大すると、2011年度の運輸部門におけるCO₂排出量の約1%の削減効果が見込める。

□ 事業全体として得られる波及効果

• 具体的な企業での開発工数削減

研究成果は、既に参加企業の開発における評価手法の改良、設計の考案への活用、工数効率化や次世代商品先行開発への展開などの有効活用が始められている。また、白煙測定手法やDPF再生時における燃料のオイル希釈計測手法は、既に自動車メーカーで開発に使用されている。

• 研究体制の革新

協調領域の課題を産産学学連携で研究実施し、各々の知見を融合する事で、単独では取組むことが難しい課題に挑んで現象把握と解明を進め、特に、大学間での同分野、異分野の連携によるモデル化においては新現象解明ができて、成果レベル向上に大きく寄与

• 大学側の博士後期課程進学者増加

これまでにない産産学学連携での研究推進体制により、学生の研究への意欲が向上し、博士課程後期に進学する学生や、企業および研究機関からの社会人博士課程入学も増加し、研究実施現場での産学連携が推進

具体的には、事業期間中で内部進学1名（茨城大）、社会人入学3名（早稲田大1名、茨城大2名）、また、H29年度に内部進学3名（北海道大1名、早稲田大2名）、社会人入学1名（早稲田大）

8. 事前評価の結果

□ 事業の必要性

- 新興国を含め、クリーンディーゼル自動車市場の拡大が想定される中、市場獲得に向けて、有害排出物の低減と燃費向上を高度な次元で両立させる更なる研究開発が必要。各メーカーは、共通して、開発リソース不足とそれに伴う開発スピードの低下に悩んでおり、本事業によりこれらを克服して開発スピード向上とコスト低減を促す必要。
- また、燃料から直接動力を取り出すことに効率面での有効性があるため、エンジンの対環境性能を高めるべきであり、クリーンディーゼルの役割に対する期待は高い。特に、今後、欧州の規制をクリアする製品を開発し市場を獲得していく上で、信頼性向上やシステム化に関する技術について更なる進化が必要であり、D P F 捕捉限界の定量化、E G R の凝縮水腐食のメカニズム解明や硫黄分の多い燃料に対する触媒材料の反応モデルの構築が必要。
- 他方、シェールガスにより廉価なガスエネルギーが使用できるようになると廉価なC N Gエンジンが普及する可能性があるなど、ディーゼルのみならず他の燃料に関する研究開発やガソリンエンジン技術との融合についても視野に入れる必要。

□ アウトカム

- C O 2 を 2 0 2 0 年に 3 0 % 削減（2 0 1 0 年比）との値が設定されており、この年までに大幅な実現の手応えを得ておかなければ先がないという観点で妥当な目標。他方、開発スピードを 5 0 % 向上との指標があるが、開発の範囲が明確に定義されているわけではないため、評価指標にはなりにくい。
- 異分野の「学」のシーズをも集結させる点は、これまで得られなかった成果につながる興味深い戦略。また、テーマを 3 つに絞り、産学官連携することは正しい方である。特に、国際競争力強化については、オールジャパンの取組は必須。国内における競争原理による技術力の高度化も重要であるが、多くの自動車メーカーが林立する日本では、開発をある程度集約化し、効率を高めることが必要。

8. 事前評価の結果

□ 緊急性・国が実施する必要性

- 欧州の排ガス規制や日欧の燃費規制の強化、また欧州との競争や新型車両の開発期間を踏まえれば緊急性があり、可及的速やかに研究を開始すべき。特に、本技術の実用化には実証試験も含めると4～5年かかるため、2020年目標達成には2014年の開始は妥当。
- エンジンのダウンサイジングがトレンドである中でも、ディーゼルエンジンの方がガソリンエンジンよりも低燃費。次世代のクリーンディーゼルエンジンを開発する能力は自動車メーカーにはあると思われるが、個々の会社の台所事情に合わせた戦略に依存しているのでは不十分。
- 他方、次世代のクリーンディーゼル技術に関する国際標準化、性能や安全性基準の策定、規制緩和等を含む実用化に向けた取組については触れられていないため、研究開発の成果を踏まえて、国際標準等へ反映させることが期待される。