

「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

評価用資料

平成29年10月26日

製造産業局自動車課
自動車用内燃機関技術研究組合

プロジェクト名	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			
行政事業レビューとの関係	平成29年度行政事業レビュー 事業番号0234			
上位施策名	主要政策・施策：地球温暖化対策温暖化対策 関係する計画、通知等： ○「エネルギー基本計画」（2014年4月閣議決定） ○「日本再興戦略2016」（2016年6月閣議決定） ○「科学技術イノベーション総合戦略2016」（2016年5月閣議決定） ○「自動車産業戦略2014」（2014年11月経済産業省策定）			
担当課室	自動車課			
<u>プロジェクトの目的・概要</u> 我が国では、2010年に「次世代自動車戦略2010」を、また、2014年に「自動車産業戦略2014」を策定し、次世代自動車の普及促進に努めている。次世代自動車の一つであるクリーンディーゼル自動車（CDV）は、燃費が良く運輸部門のCO2削減効果があるため、欧州を中心に普及している。今後、新興国を含めCDVの市場拡大が想定される中、世界市場におけるシェア拡大に向けて、より高性能なCDVの早期投入が不可欠である。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とから、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、窒素酸化物（NOx）及び粒子状物質（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。 これらの課題を世界に先駆けて解決し、我が国のCDVの開発スピードの向上と開発コストの更なる低減を促す必要がある。しかし、新興国市場の拡大やパワートレイン（車両駆動系）が多様化する中、我が国自動車メーカーでは、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にある。このため、化学等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つつ効果的に研究開発を進める必要がある。 そこで、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。				
予算額等（補助（補助率：2／3）） （単位：百万円）				
開始年度	終了年度	中間評価時期	終了時評価時期	事業実施主体
平成26年度	平成28年度	—	平成29年度	
H26FY 執行額	H27FY 執行額	H28FY 執行額	総執行額	総予算額
496	500	399.8	1395.8	1400

I. 研究開発課題（プロジェクト）概要

1. 事業アウトカム

事業アウトカム指標 1		
【指標】 クリーンディーゼル車のCO ₂ 排出量（2010年比） 【設定の根拠】 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CO ₂ 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。		
指標目標値		
事業開始時（平成26年度）	計画：—	実績：—
終了時評価時（平成28年度）	計画：—	実績：—
目標最終年度（平成32年度および平成42年度予定）	計画：平成32年度30%低減、平成42年度40%低減 DPF（Diesel Particulate Filter：ディーゼル微粒子捕集フィルター）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、NO _x 低減触媒の高機能化などにより、NO _x 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。これらのCO ₂ 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。	

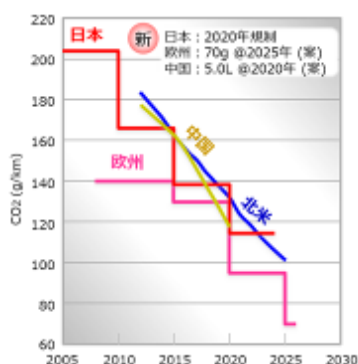
事業アウトカム指標 2		
【指標】 開発スピード 【設定根拠】 ディーゼル自動車は、NO _x とPMを排出するが、これら有害物質の低減と燃費の向上は相反関係にあるため、さまざまな高度な技術を組合せることにより、燃費向上と排出ガスのクリーン化を同時に進めてきた。このため、部品コストや開発工数の増加による車両販売価格の増加をもたらし、開発リソース不足やそれに伴う開発スピードの低下にも繋がっている。この開発工数削減による開発スピード向上とコスト削減が重要である。		
指標目標値		
事業開始時（平成26年度）	計画：—	実績：—
終了時評価時（平成28年度）	計画：—	実績：—
目標最終年度（平成32年度予定）	計画：平成32年度50%向上 各種の課題に対する現象解明とモデル化により、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。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。	

2. 研究開発内容及び事業アウトプット

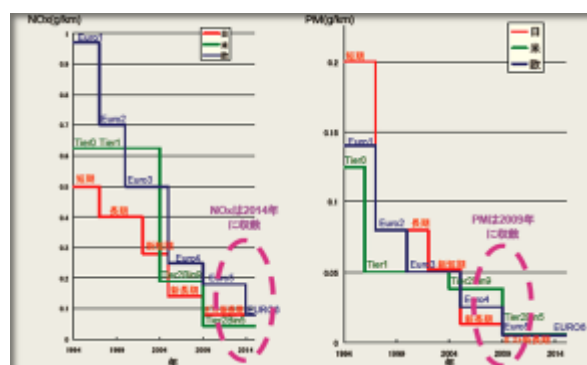
(1) 研究開発内容

1. 背景および目的

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である。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が求められている。例えば、排出ガスのクリーン化については、実走行時や低温下の排出ガス規制の導入が検討されており、これらに対応する技術開発が急務となっている。このため、燃費向上と排出ガス低減の両課題を解決すべく、NO_xおよびPMの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となっている。

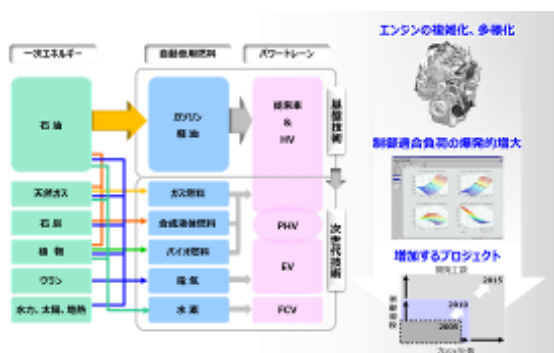


先進国の燃費（CO₂）規制

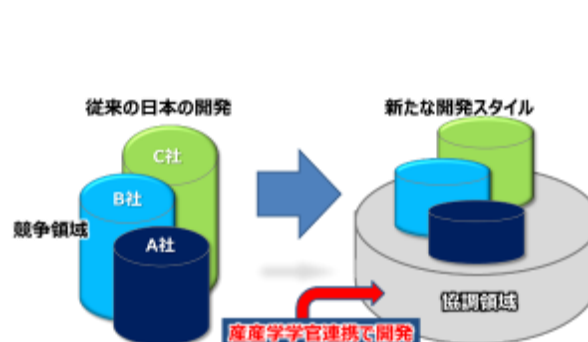


日・米・欧の排出ガス（NO_x、PM）規制値

これらの課題を世界に先駆けて解決し、我が国のクリーンディーゼル自動車の開発スピードの向上と開発コストの更なる低減を促す必要がある。しかし、新興国市場の拡大やパワートレインが多様化する中、我が国自動車メーカーでは、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にある。このため、化学等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つつ効果的に研究開発を進める必要がある。ここで、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向上を進めている。このため、本事業では、国内自動車産業では初めてとなる協調領域を設定した産産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。



パワートレイン開発の複雑化と課題



新たな産産学連携研究による開発スタイル

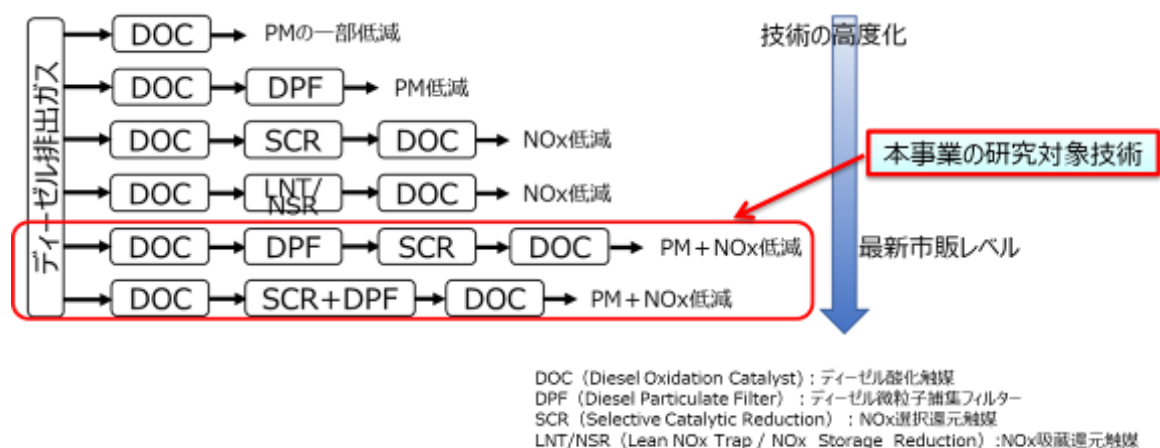
そこで、本事業では、クリーンディーゼル車の世界共通課題である排出ガス中のNO_xおよびPMの低減について、実走行や低温の排出ガス規制に対応しつつ燃費の向上を図る観点から、後処理装置の高度化にかかる基礎・応用研究として、未解明課題の現象解明やシミュレーションモデル構築を世界に先駆けて行う。研究実施では、化学等他分野の研究シーズや大学等におけるシーズを有効に活用し、産産学学の連携体制を構築し、人材育成を進める。

II. 研究テーマ

i. 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の装着が必須となっている。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NO_x浄化触媒を適用する必要がある。ここで、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NO_x浄化触媒を担持する等の高機能化に技術が進展している。このような技術状況から、最新市販レベルにある技術と次期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した。



排出ガス低減触媒等の装置の技術進展

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NO_x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となっており研究課題として設定した。

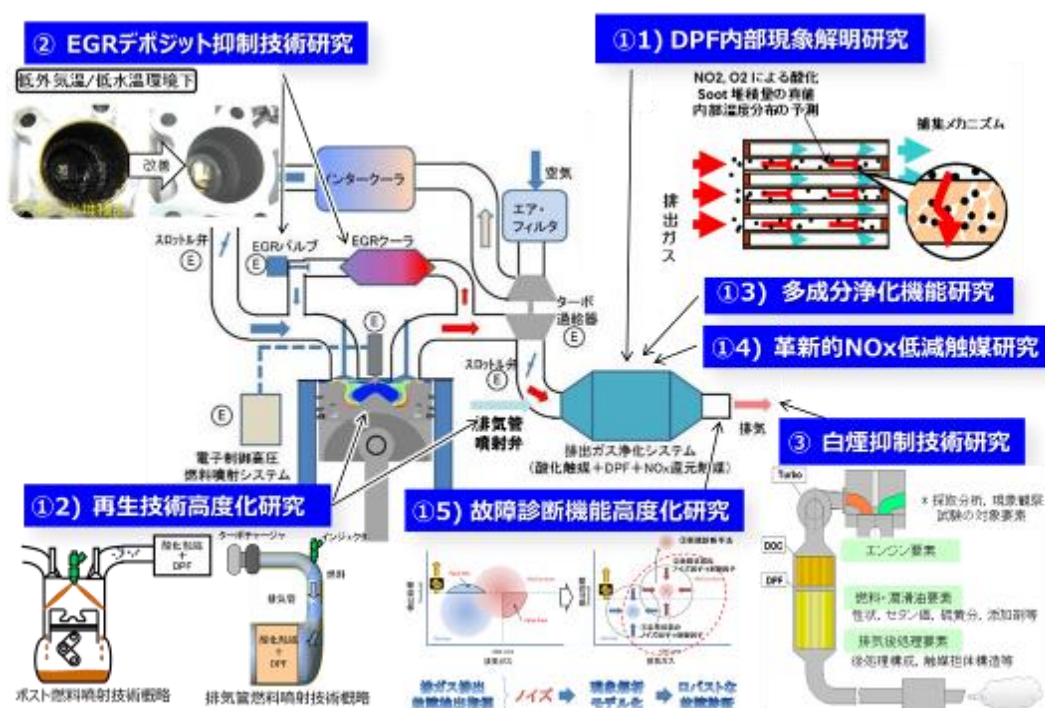
③ 白煙抑制技術研究

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となっており研究課題として設定した。

iii. 研究テーマ

具体的な研究開発課題は下記3項目の7テーマである。

- ① 革新的排気低減技術の研究
 - 1) DPF内部現象解明研究
 - 2) 再生技術高度化研究
 - 3) 多成分浄化機能研究
 - 4) 革新的NOx低減触媒研究
 - 5) 故障診断機能高度化研究
- ② EGRデポジット抑制技術研究
- ③ 白煙抑制技術研究



本事業の研究テーマ概要

III. 各研究テーマの概要と成果概要

- ① 1) DPF内部現象解明研究

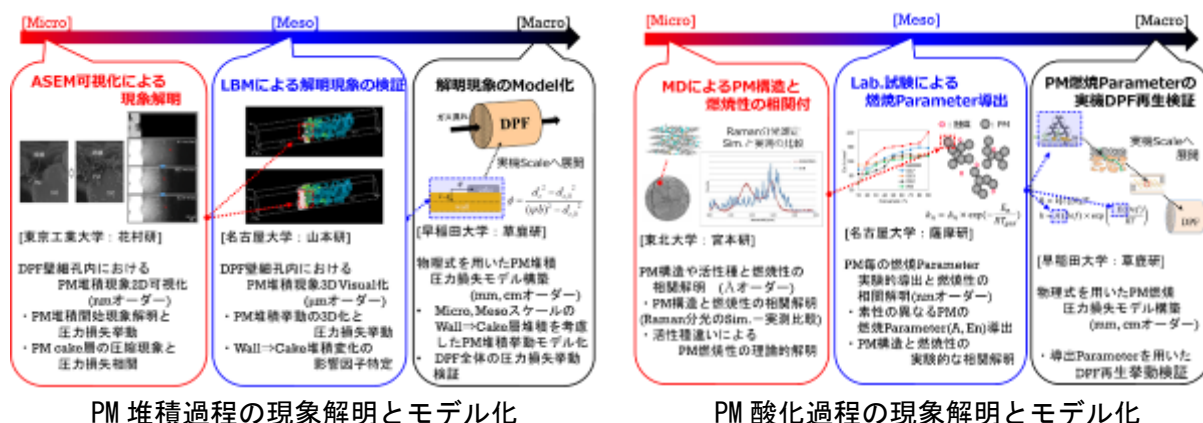
〔概要〕

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

〔成果〕

- 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
- 灰分（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

D P F 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。



① 2) 再生技術高度化研究

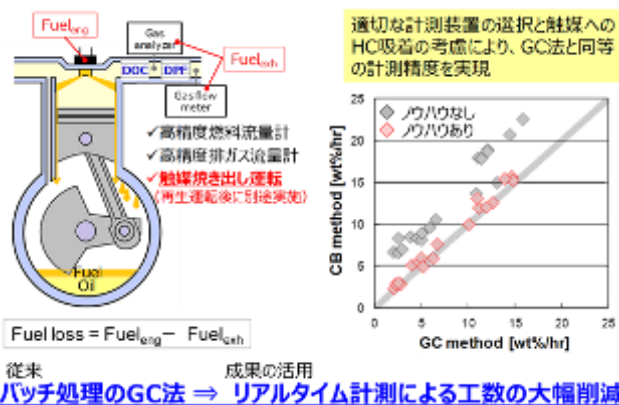
〔概要〕

D P F に堆積したP M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

〔成果〕

- ・ポスト噴射によるオイル中の燃料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H C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認し、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。



① 3) 多成分浄化機能研究

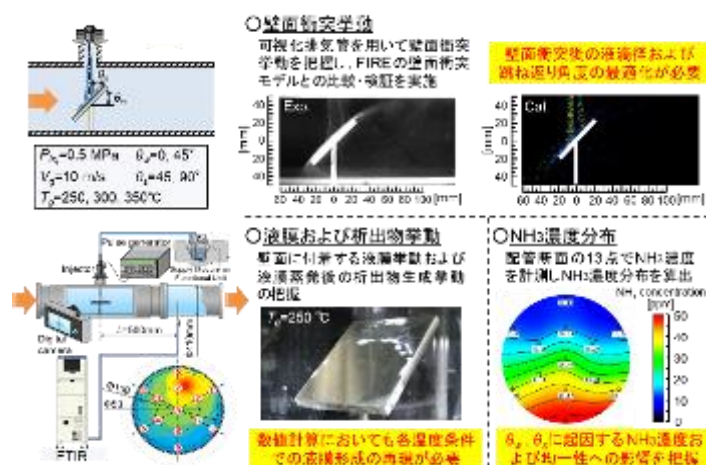
〔概要〕

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

〔成果〕

- 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

① 4) 革新的NO_x低減触媒研究

〔概要〕

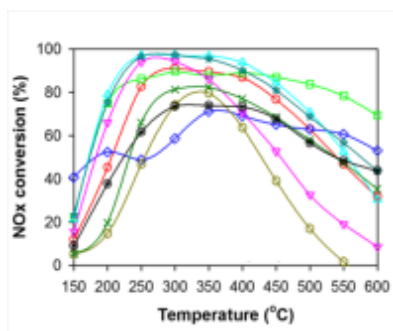
高いNO_x浄化性能を有する触媒の実現のため、新ゼオライトの作り込み（最適化）による特性向上および触媒材料の特性からエンジン実機用触媒の性能予測が可能な反応予測モデル構築

〔成果〕

- 自動車用SCR触媒に特化した新ゼオライトのカタログ化
- 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、これらのカタログ化により、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
(カタログ掲載性能の一項目)

① 5) 故障診断機能高度化研究

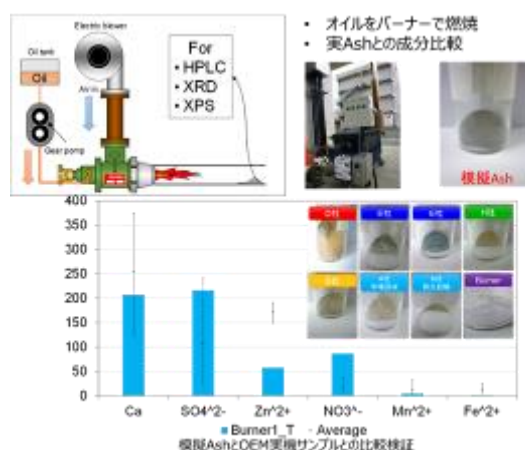
〔概要〕

D P F 機能の O B D に用いられる、圧力損失および P M センサーの外乱要因として、凝縮水および D P F を透過した A s h 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

〔成果〕

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

これまで、排気凝縮水の D P F 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。



模擬 A s h 生成評価装置の構築

② E G R デポジット抑制研究

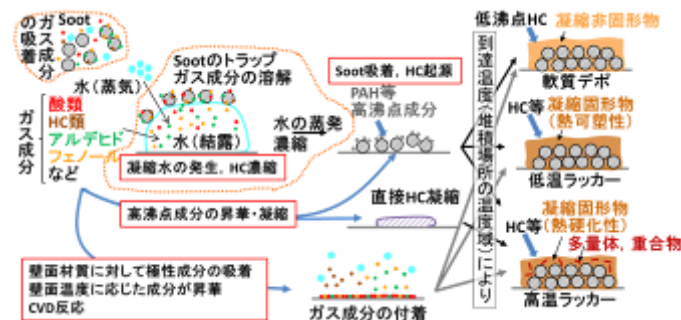
〔概要〕

E G R 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

〔成果〕

- ・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HC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

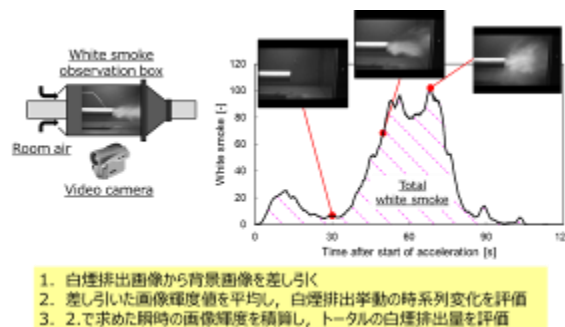
〔概要〕

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

〔成果〕

- ・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パス解明
- ・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ス解明

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。



白煙排出量の評価手法

(2) 事業アウトプット

事業アウトプット指標 1		
【指標】DPF圧力損出の予測モデル精度（予測と実測値の差分）		
【設定理由】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につながる。		
指標目標値（計画及び実績）		
事業開始時（平成26年度）	計画：±30%	実績：±30%
中間評価時（平成27年度）	計画：±15%	実績：±15%
終了時評価時（平成28年度）	計画：±10%	実績：±10%

事業アウトプット指標 2		
【指標】NOxの排出量（H26年度市販品比）		
【設定理由】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。		
指標目標値（計画及び実績）		
事業開始時（平成26年度）	計画：—	実績：—
中間評価時（平成27年度）	計画：—	実績：—
終了時評価時（平成28年度）	計画：25%削減	実績：25%削減

<共通指標実績> 学会発表および論文数：119件（平成29年度上期までの実績）

3. 当省(国)が実施することの必要性

(1) 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CVCC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ておらず、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。

(2) 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。

- (3) 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

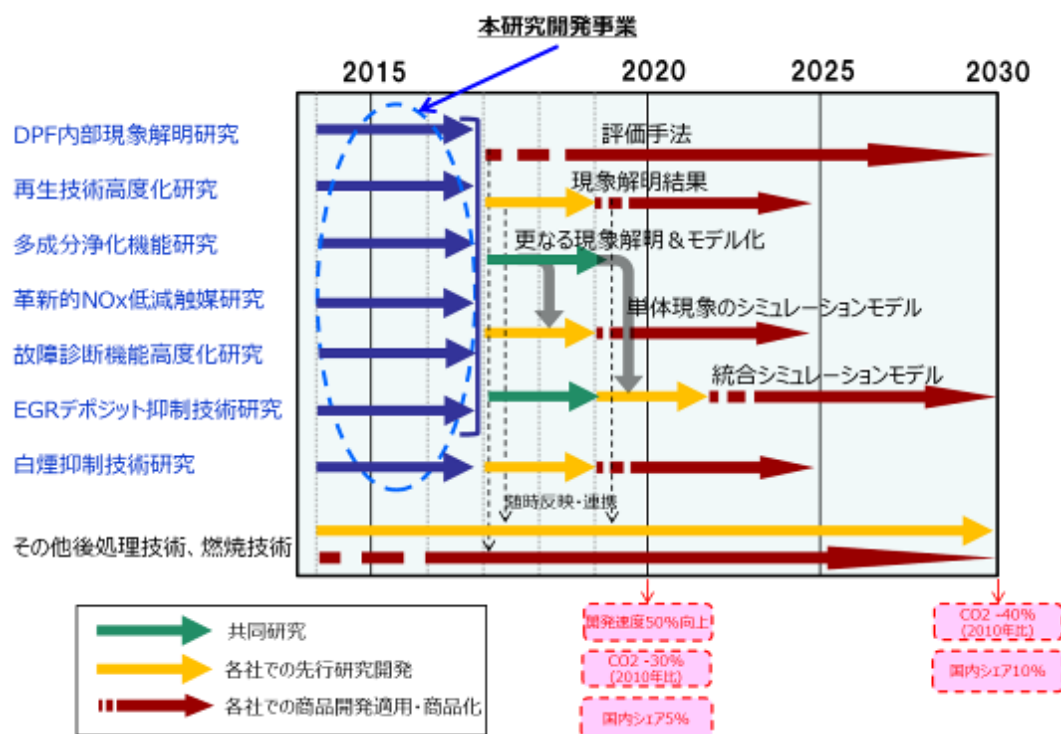
事業実施体制では、自動車用内燃機関技術研究組合（AICE）は産業界の同業他社が連携した産産連携を構築して進めている。また、研究機関は、従来の機械分野のみならず、化学系などの分野を超えて「学」のシーズを集結し、同分野および異分野の学学連携で研究実施することにより、これまで解明できなかった現象等を明らかにして商品開発に適用できる技術成果を得る体制を構築した。また、産学の研究者と一緒に研究を進めることにより、大学の学生や企業の若手研究者の育成の場ともなっている。このような産産学学連携の研究体制は、日本の自動車業界では初めてであり、国として本事業を実施する必要がある。

4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ

本事業の研究成果は、参加企業が各々自社に持ち帰って競争領域の製品開発の一つとして活用し、各社の競争促進効果を高める。ここで、本事業での現象解明成果に対して深堀や更なるシミュレーションモデル化が必要な内容や各シミュレーションモデルの統合は、引き続き産産学学連携で研究を進める。

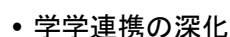
知財管理の取扱いについては、発明者帰属（単独／共有あり）であるが、AICE 企業は無償で実施できる。但し、企業連携の状況（自動車販売国内シェア 90%以上）で独占禁止法への対応から第3者へのライセンスも可能としている。

国際標準化に対しては、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である。



本研究は、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の自動車メーカーで各課題の研究開発を行っている技術者と研究実施者によるWGを設置して進めた。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進めた。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した。

さらに、各研究課題をまとめて組合員に報告する場として中間および成果報告会を実施し、企業側における成果刈り取りや研究機関、大学側の成果プレゼンテーション能力向上も進めた。



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された。



- 企業（組合員）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。また、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連携における将来のリーダー育成（AICE 第２理念）を進めた。

- 中間・成果報告会

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（各年度２回／合計６回）を行った。ここでは、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された。各大学での実施状況、成果報告では、学生による報告も行われた。また、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行った。学生プレゼンテーションには、優秀講演賞１１名を選定して表彰（別途 AICE 会合（補助事業外）にて）を行った。

6. 費用対効果

(1) 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。

(2) 事業全体として得られる波及効果

① 具体的な企業での開発工数削減

各種の課題に対する現象解明と数式（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。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において開発に使用されている。

② 研究体制の革新

各自動車メーカーおよび大学、研究機関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たな現象の取り込みができており、成果レベルの向上に大きく寄与している。

このように協調領域の課題を産学連携で研究を実施し、成果を各企業が持ち帰って競争領域の開発に活用する体制も構築され、各社の活用が始まっている。

③ 大学側の博士後期課程進学者増加

これまでにない産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が出てきている。また、自動車メーカーおよび研究機関からの社会人

博士課程入学も増えており、研究を実施する現場での産学連携が進んでいる。具体的には、平成 26 年度から平成 28 年度の間で内部進学 1 名（茨城大学）、社会人入学 3 名（早稲田大学 1 名、茨城大学 2 名）、また、H29 年度に内部進学 3 名（北海道大学 1 名、早稲田大学 2 名）、社会人入学 1 名（早稲田大学）が博士号取得に向け（社会人 1 名は取得済み）研究を行っている。