自動車用内燃機関技術研究組合

2018年10月26日

自動車用内燃機関技術研究組合（AICE）　公開フォーラム
－2019年度からの次期AICEの共同研究企業募集に関する説明会－

AICE共同研究事業

AICE後処理研究委員会　委員長

福間　隆雄

(トヨタ自動車株式会社)

内容

1. 後処理研究の概要

2. 研究運営方法の構築

3. 最近の後処理研究事例

内容

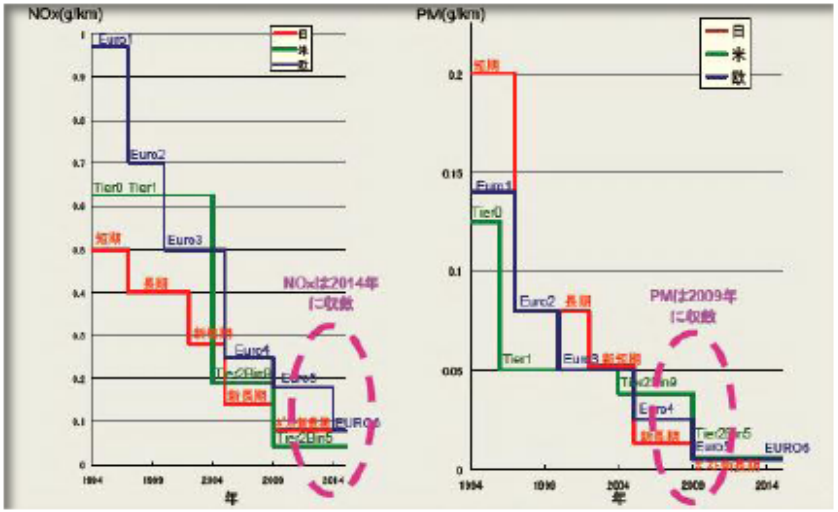
1. 後処理研究の概要

2. 研究運営方法の構築

3. 最近の後処理研究事例

動機：NOx規制強化、ディーゼル存続性

■ 日・米・欧の排出ガス規制値



出展：経済産業省資料

https://www.dieselnet.com/tech/measure.php

欧州の例：新しいエミッションテストの導入により認証工数が今後一層増大
(運転モードの厳格化、実走行上の排出ガス計測規制の導入等)

CY	'14	'15	'16	'17	'18	'19	'20	'21	'22	'23
Type I (25℃)		Euro 6b NEDC			Euro 6c WLTP			Euro 7 WLTP		
TypeVI(-7℃)					規制追加		～			
RDE		Phase1 PEMS モニタリング			Phase2 (C.F=2.1) PEMS 規制強化			Phase3 (C.F=1.6) 更に厳格化		

WLTP : Worldwide harmonized Light duty Driving Test Procedure / RDE: Real world Driving Emission /C.F: Conformity Factor 実走行/台上換算値

2012頃からAICE前身の活動が始まった（自動車技術会の研究会）

FY2014-2016 排気後処理研究

EGRデポジット抑制技術 基礎・応用研究

研究実施： 産業技術総合研究所
茨城大学

多成分浄化機能 基礎・応用研究

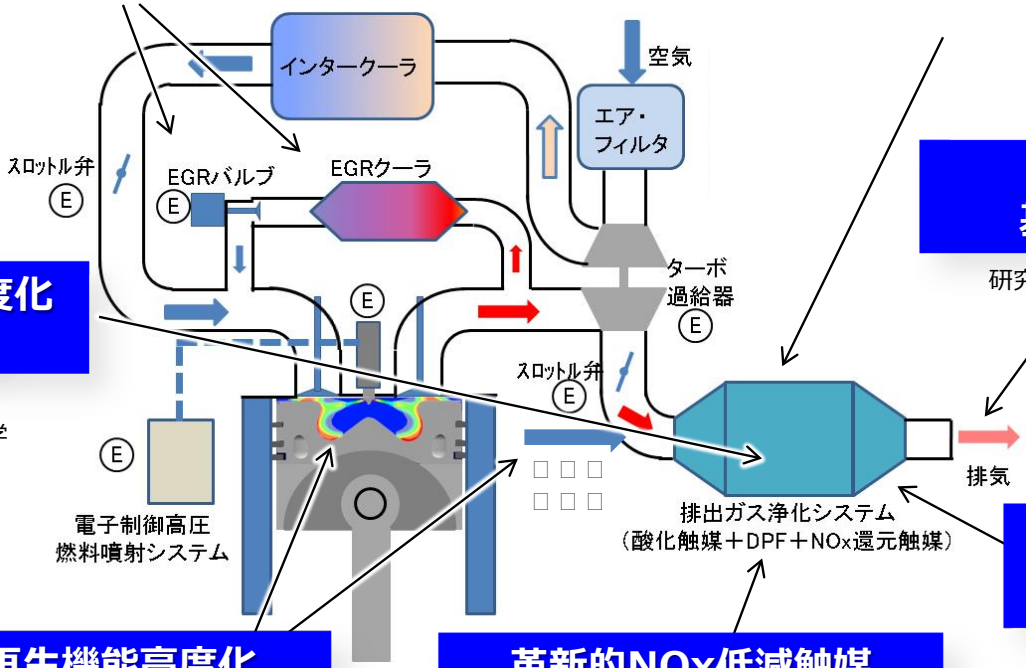
研究実施： 早稲田大学
日本自動車研究所
産業技術総合研究所

白煙抑制技術 基礎・応用研究

研究実施： 日本自動車研究所
早稲田大学

故障診断高度化 基礎研究

研究実施：茨城大学
北海道大学



DPF現象解明 基礎・応用研究

研究実施： 早稲田大学
日本自動車研究所

DPF再生機能高度化 基礎研究

研究実施： 日本自動車研究所
北海道大学/京都大学
同志社大学/早稲田大学
産業技術総合研究所

革新的NOx低減触媒 基礎研究

研究実施： 東京大学
早稲田大学/横浜国立大学
広島大学/東京工業大学
北海道大学/産業技術総合研究所

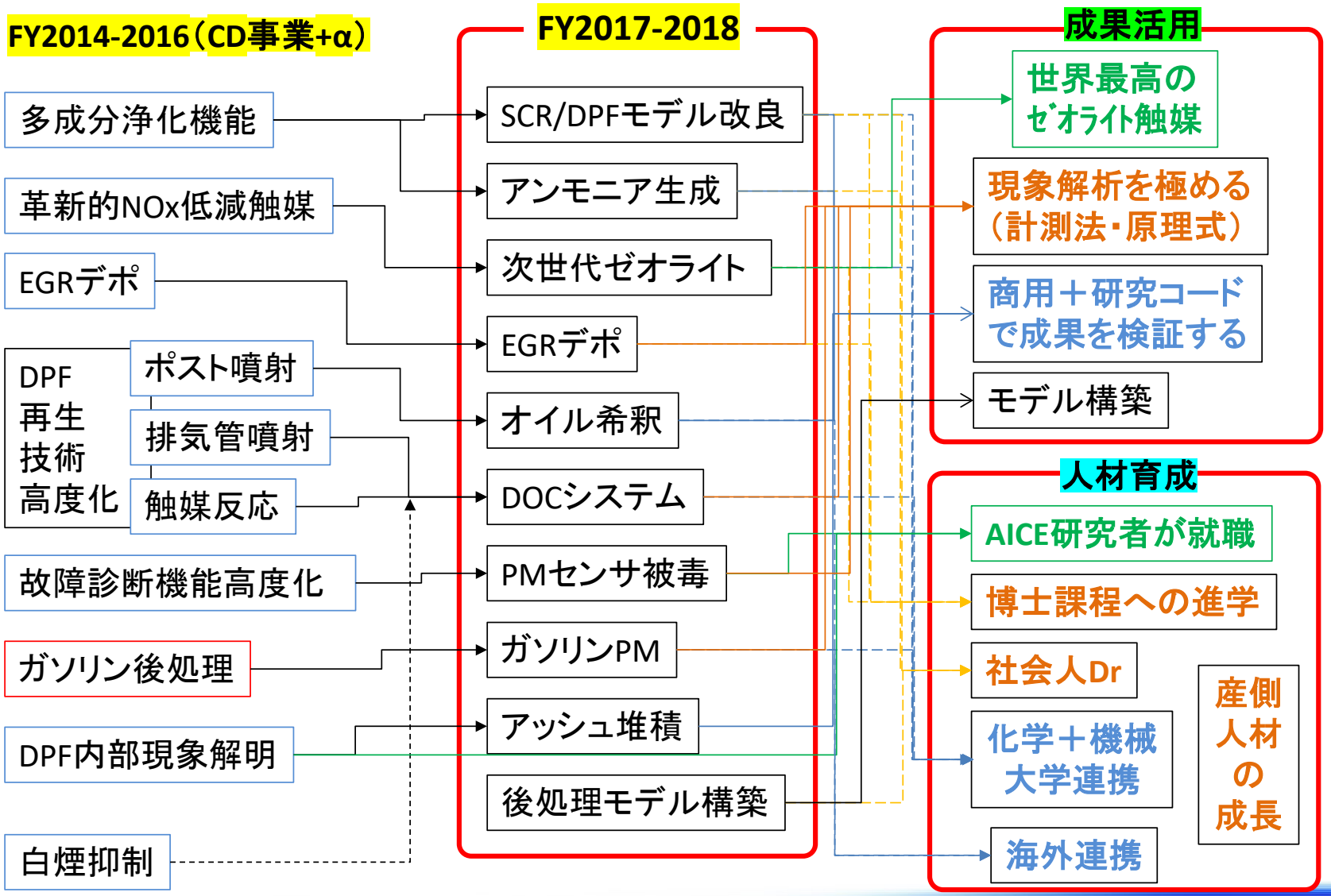
クリーンディーゼル後処理に関わる最優先課題から着手

FY2014-2016 後処理研究 成果物

		報告書	計算コード	ユーザーサブルーチン	評価法	再利用可能な標準品
WG, 分科会名	DPF内部現象解明	13	1 早稲田コード	0	1 JARI/DPG	1 標準DPF
	多成分浄化機能	8	3 早稲田コード:2 茨城大コード:1	1 同志社 fire	1 JARI/イソシアン酸検定法	2 イソシアン酸ガス発生装置 触媒評価装置
	EGRデポ抑制技術	1	0	0	0	2 EGRデポ評価装置 模擬ガス発生装置
	白煙抑制技術	6	0	0	1 JARI/白煙発生量計測手法	2 標準DOC モデル触媒評価装置
	再生技術高度化	20	2 京都大コード:1 OPENFOAM:1	5 同志社 star	1 JARI/オイル希釈計測法	3 高温ガス発生装置 高沸点HCリアクター装置 多成分HC同時分析装置
	革新的NOx低減触媒	5	1 早稲田コード	0	0	3 ゼオライトカタログ 実ガス触媒評価装置 拡散係数測定評価装置
	故障診断機能高度化	4	0	0	1 茨城大/模擬ASH生成装置	2 模擬ASH生成装置 ASH透過評価装置
	ガソリン排気管PMPN	2	0	0	1 明治/PM採取法	0
小計		59	7	6	6	15
合計		93				

最初の3年間で、学の創出する成果が具体化された

現行テーマへの拡がりと成果

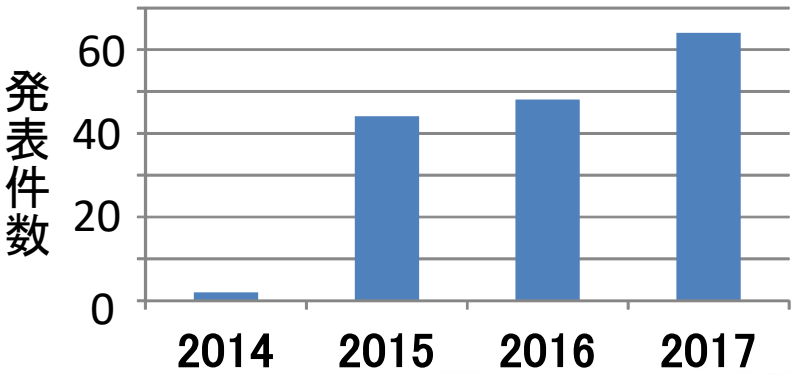


研究を継続し企業が取り込める様々な成果と人材育成に繋げる

研究機関の外部発表実績

講演会・学会	発表数
欧州ｾﾞｵﾗｲﾄ組合連合	1
FVV	1
日本液体微粒化学会	1
SAE	7
化学工学会	1
産総研コンソーシアム	1
自動車技術会	25
内燃機関ｼﾝﾎﾟｼﾞｳﾑ	4

講演会・学会	発表数
触媒学会	8
石油学会	1
日本DME協会	1
日本ゼオライト学会	1
日本化学会	1
日本化学工学会	2
日本機械学会	8
北米触媒会議	1
合計	64



活動開始から学の外部発表は活性化

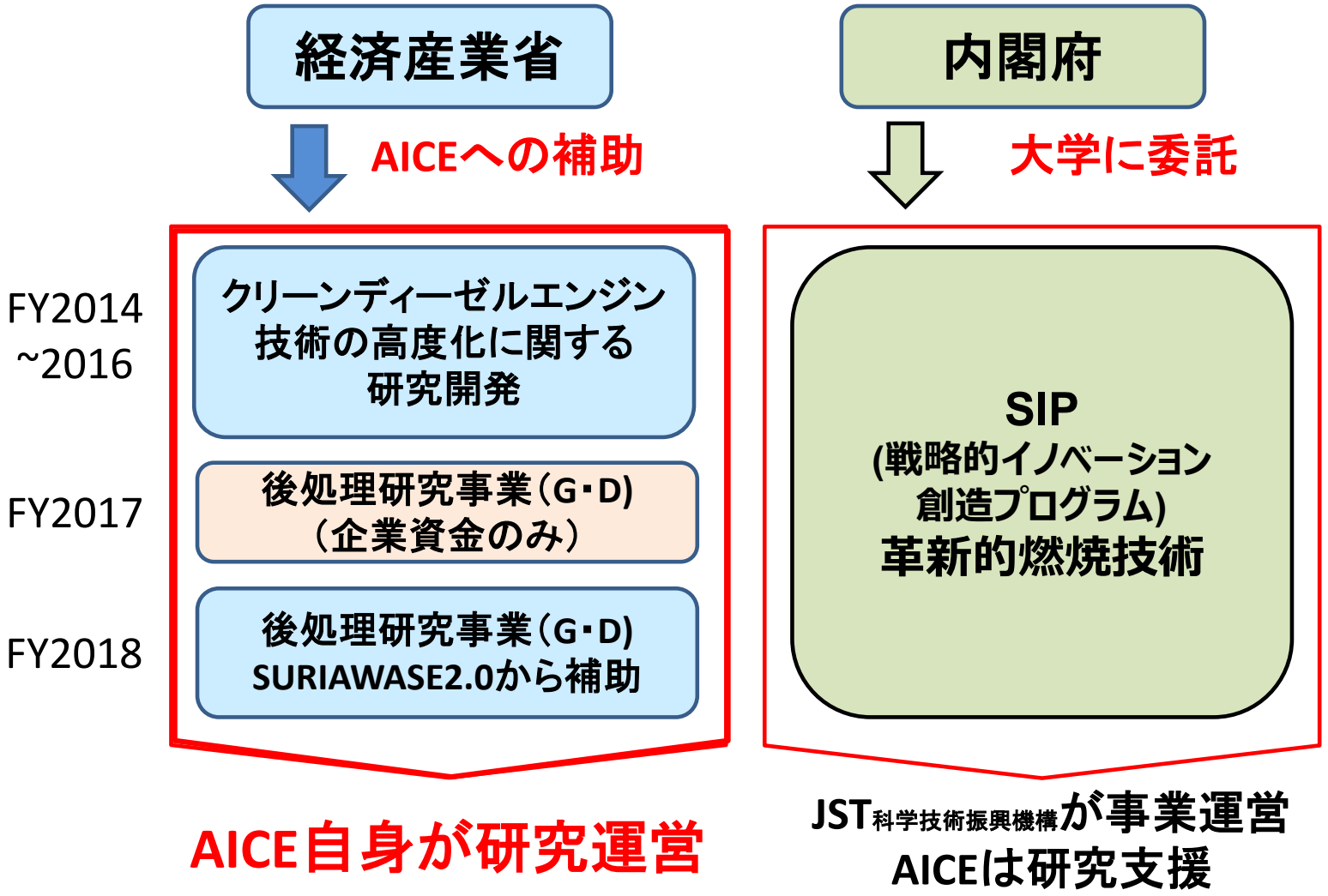
内容

1. 後処理研究の概要

2. 研究運営方法の構築

3. 最近の後処理研究事例

2種類の国プロとAICEの関わり



産産学学連携の研究スタイルの経験がなく、研究運営方法の構築が必要だった

研究運営方法の構築

技術

1. 研究テーマの立案プロセス
2. 外部企業参加による研究加速と個社負担軽減
3. 研究企画書による計画性向上
4. 既存計算コードを利用した研究成果研修

育成

5. 研究拠点の構築
6. 博士課程学生による研究推進
7. 半期毎の成果報告会と優秀学生の表彰
8. AICE-FVV連携を通したドイツ大学との共同研究

必要に応じて運営方法に改良を重ねた

1　研究テーマ立案のプロセス

テーマ毎の技術課題・
解明要望をアンケート

↓

中立機関JARIがブラインド集約

↓

各社の専門家が集まり、ニーズの絞込み

↓

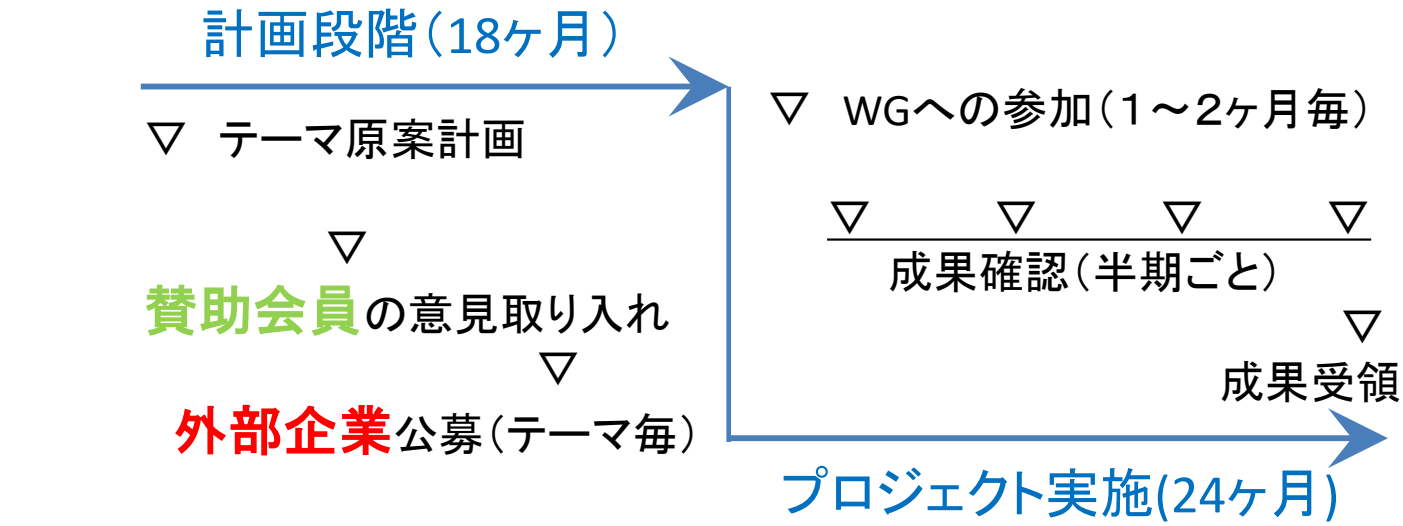
産によるテーマ概要作成

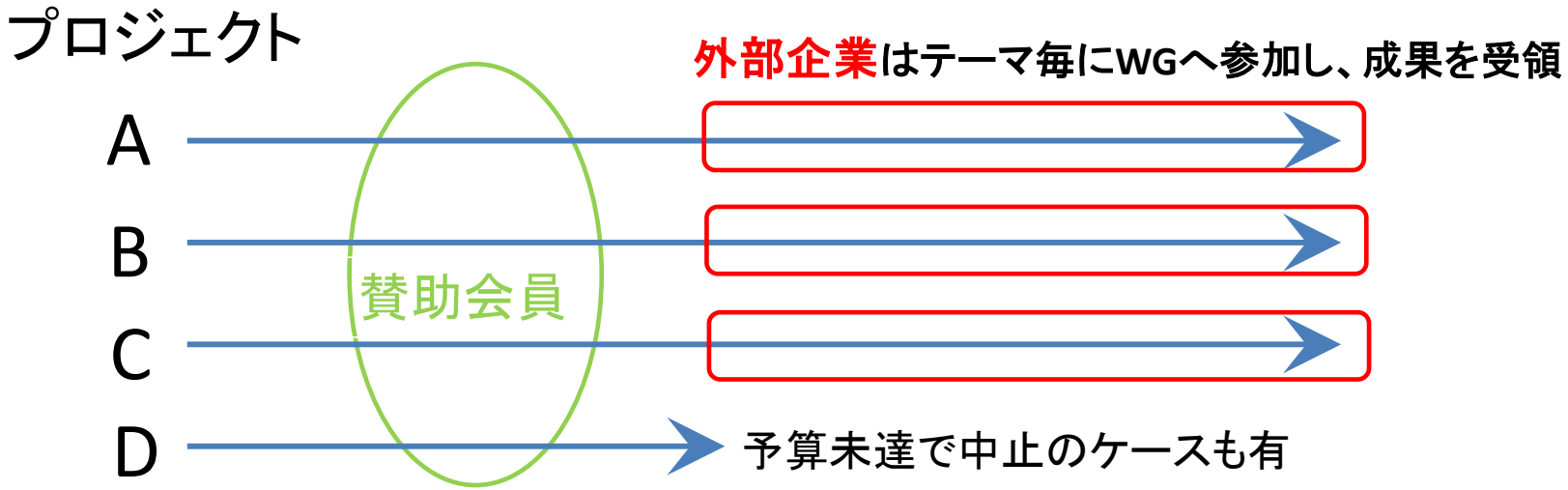
↓

研究機関と一緒に詳細
研究計画立案

競合企業が抱える共通課題の導出をJARIが実施

2　外部企業の参加（一部2016から）





賛助会員の要望を入れたテーマ毎に参加企業を公募する方式とした

2　外部企業の参加（2017-2018）

- エンジンメーカ、サプライヤ、R&Dサービスプロバイダが参加
- それぞれの専門領域の視点からの助言や試験サンプルの提供

No	WG／研究テーマ名	AICE外参加企業（ｴﾝｼﾞﾝﾒｰｶ、ｻﾌﾟﾗｲﾔ、R&Dｻｰﾋﾞｽ）
1	**SCR/DPFモデル改良研究** □ 早大、茨大、北大、JARI、産総研	アイ・ピー・エー、ヤンマー、NEケムキャット、コーニング、東京濾器、三井金属鉱業、ユミコア日本触媒、AVLジャパン、住化分析センター、東レリサーチセンター
2	**噴射尿素水からのアンモニア生成モデル研究** 同志社、茨城、JARI、産総研	ヤンマー、東京濾器、ボッシュ、三井金属鉱業、ベスト測器、堀場製作所
3	**次世代ゼオライト合成基礎研究** 東大、北大、横国、東工大、広大、分子研	キャタラー、三井金属鉱業、ユミコア日本触媒、東レリサーチ
4	**EGRシステムにおける課題抑制技術研究** □ 産総研、茨大、東工大、東海大	アイ・ピー・エー、IHI、デンソー、ミクニ、大同特殊鋼、東京濾器、マルヤス工業、フコク、ユタカ技研、住化分析センター、東レリサーチセンター
5	**ポスト噴射によるオイル希釈の高精度モデル研究** JARI、都市大、同志社、京大、北大、産総研、神戸大、東海大	TPR、リケン、AVLジャパン
6	**DOCシステムの反応原理解明とモデリング研究** □ JARI、早稲田、名古屋、北大、同志社	キャタラー、東京濾器、ユミコア日本触媒、エー・アンド・デイ
7	**PMセンサ被毒現象解明研究** 茨大、JARI	デンソー、日本特殊陶業
8	**ガソリンエンジン排気管内のPM/PN研究** JARI、明治大、名古屋、日大	三五、デンソー、日本特殊陶業、コベルコ科研
9	**アッシュ堆積原理解明研究** □ JARI、早稲田、東工大	アイ・ピー・エー、ヤンマー、イビデン、デンソー

テーマ毎に複数の業種から多くの企業に参加を頂いている

2　共同研究企業が実感したメリット

(2018年度共同研究中の11社から回答)

項目	メリット
研究WGへの出席	✓ <現象ﾒｶﾆｽﾞﾑの知見、理解>が深まる ✓ 個社では手を出しにくい<革新的基礎研究> ✓ <OEMと同じ土俵>で研究参加、<ニーズ、課題の共有> ✓ <モデル講習会>で固有ノウハウを共有 ✓ <多くの若手社員を参加させたい>
個社における成果活用	✓ <自社開発への展開を実施した> ✓ <開発方向性が向上、開発速度が増加> ✓ <ﾒｶﾆｽﾞﾑ理解に基づいたｼﾐｭﾚｰｼｮﾝ>
ネットワーク	✓ <業界の基礎応用領域>の共有 ✓ <多くの人脈形成、大学との繋がり>
人材育成	✓ <研究開発の基本の考え方>を習得 ✓ <大学の先生との議論>は非常にﾌﾟﾗｽ ✓ 様々な立場との議論を通した<若手の育成>

多くのメリットの声が寄せられている

3　研究企画書による計画性向上

狙い

① 研究計画の事前合意
② 従来研究との位置づけを明確化
③ 計画の見直しの際は、アップデート可
④ 成果物リストによる最終成果物の明確化

研究企画書

1. 研究の動機
2. プロジェクトの目標
3. 研究内容の全体像
   ① バックグランド技術
   ② 詳細計画概要
   ③ 研究体制　リーダ、クラスタ
   ④ 研究計画の詳細内容
4. 成果物リスト　⇒
5. 日程

SCR/DPFモデルWG　成果物リスト

成果物名	成果物の形態（該当に○, またはその他に記載）						
	報告書	計測法	モデル形態	データ			
				現象解析	同定	検証範囲設定有無	性能検証
SCR/DPFモデル; 早稲田			理論式				
マニュアル; 早稲田	○	○					
データ; 早稲田				○	○	○	○
研究報告書; 北大	○						
データ; 北大				○	○	○	○

全テーマで研究企画書の運用を徹底し、期待する成果を明確にした

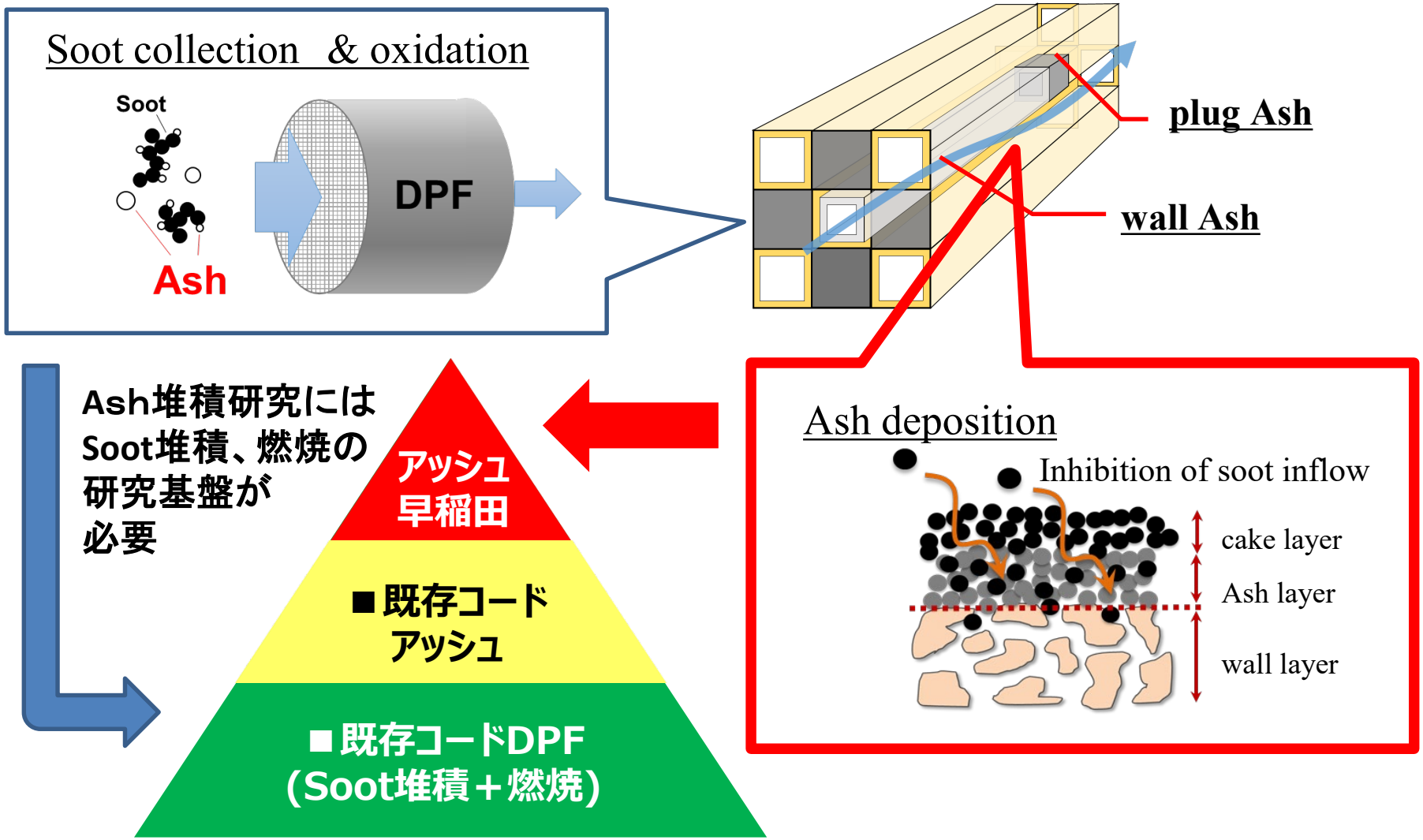
3　昨年度WG評価への効果

5点：大変優れている
4点：優れている
3点：十分である（100%レベル）
2点：十分であるとは言えない
1点：不十分である

評価項目	研究ニーズの提示	研究計画の立案	研究内容の質		目標の達成状況	総合	
評価基準	OEM側が研究拠点に示した課題の適切さ	目標に対する研究計画立案の適切さ	従来研究に対する独創性	研究内容の信頼性，完成度	計画の達成度	研究の工学的，工業的有用性	運営全般
評価対象	OEM	研究拠点リーダ	研究拠点		研究拠点	ワーキング	
SCR/DPFモデル改良	3.3	3.2	3.3	3.2	3.0	3.3	3.2
アンモニア生成研究	3.5	3.4	3.4	3.3	3.2	3.5	3.4
次世代ゼオライト合成基礎研究	3.8	3.8	3.7	3.6	3.1	3.4	3.8
EGRデポ	4.0	3.6	4.2	3.5	2.9	3.8	3.7
オイル希釈	3.4	3.7	4.0	3.3	3.0	3.4	3.7
DOCシステム研究	3.5	3.8	3.8	3.2	3.2	3.8	3.9
PMセンサ被毒現象解明	3.4	3.6	3.3	3.0	2.7	3.0	3.3
ガソリンエンジンPM研究	3.4	3.1	3.0	3.2	3.1	3.2	3.7
アッシュ堆積原理解明	3.8	4.0	3.9	3.4	3.3	3.9	4.0

殆どのテーマで研究の計画性が向上している

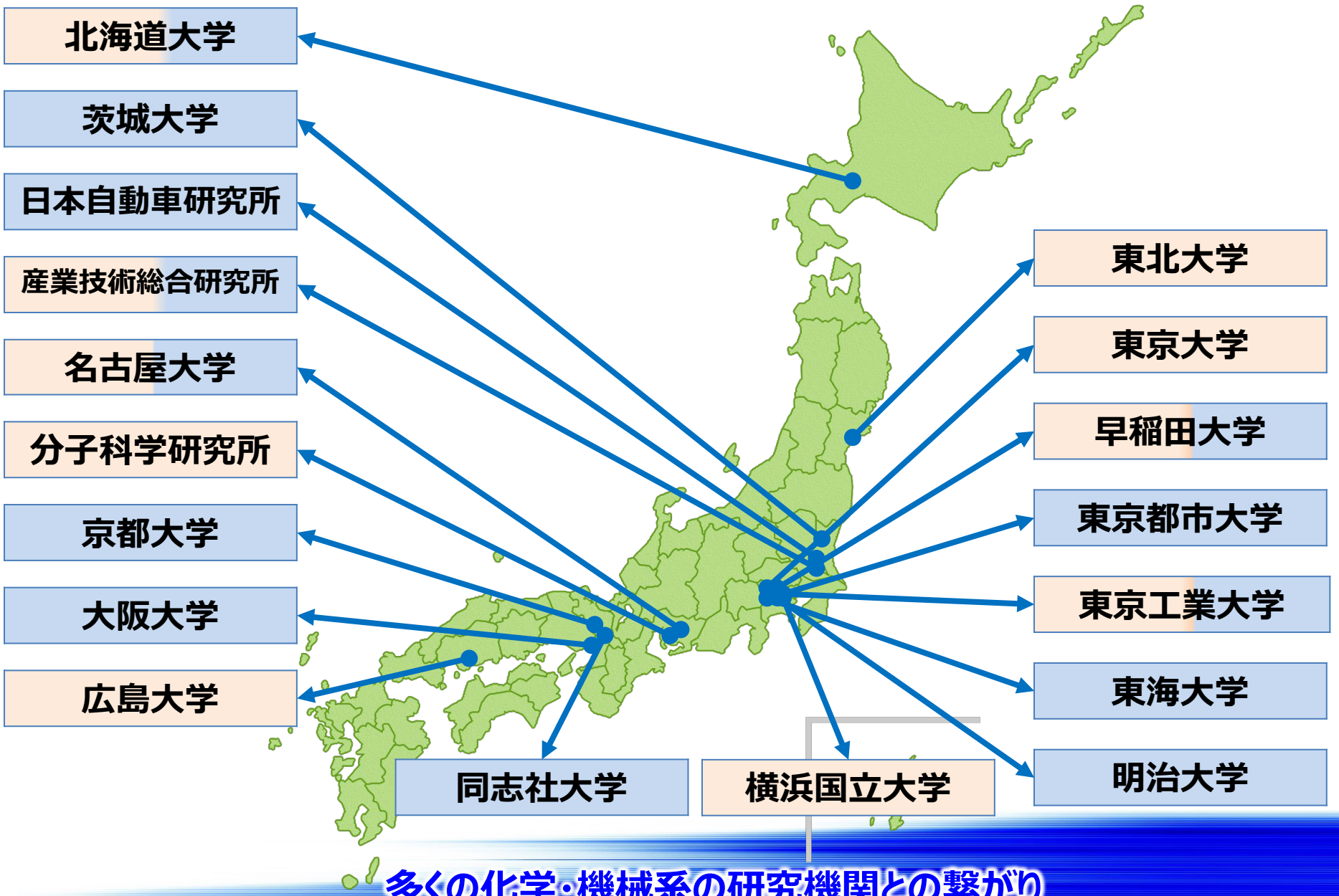
4　研究成果の既存モデルへの組み込み事例



研究成果を既存コードで動作検証することで、成果確認を確実に実施

5　後処理研究連携体制の構築

化学　機械



多くの化学・機械系の研究機関との繋がり

6　博士課程学生による研究連携の推進

INPUT

北大化学
粉末反応
＋
北大化学工学
触媒内拡散
＋
茨大機械
＋社会人Dr
触媒劣化
アンモニア生成

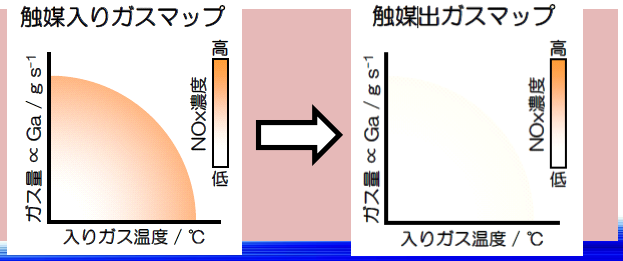
北大機械
＋コースDr
HC影響解明

北大+早稲田
モデル化

早稲田機械
＋社会人Dr
PM影響解明

OUTPUT

過渡条件での触媒出ガス予測 Map



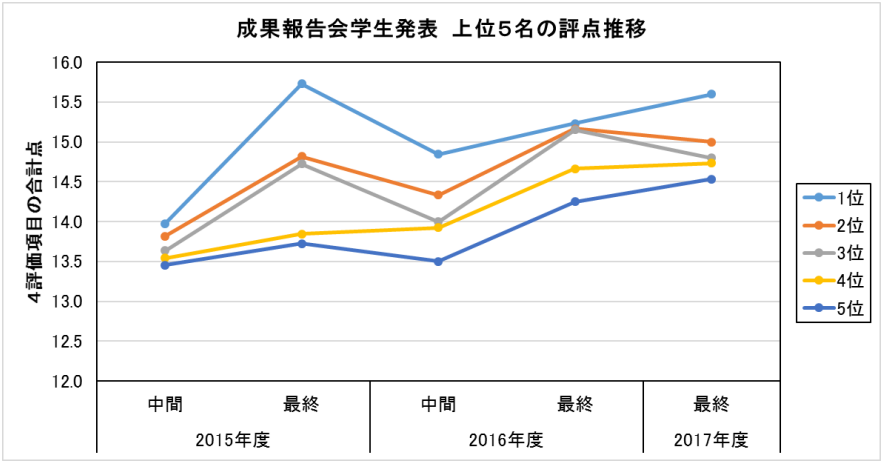
研究単位ごとに博士課程学生の参加が非常に重要

7　全体報告会（半期ごと）

- 研究の進捗評価、成果刈り取り、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。
- 学生プレゼンテーションには、優秀講演賞　AICE Award　を選定して表彰。

2016年度成果報告会

AICE Award表彰式
賛助会員フォーラム



年々向上する学生能力への評価

AICE研究を通してエンジニアとして成長する学生が見て取れる

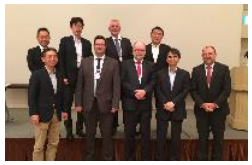
8　ドイツとの交流（AICEとFVV連携）

ドイツの内燃研究機関組合**FVVとの共同研究を推進**
メリット：　①**日本の大学の国際競争力向上**
②ハノーヴァー宣言に基づく、**日独政府ファンド**の利用

2014　2015　2016　2017　2018　2019

幹部交流

東京 → ウィーン モータシンポ → ウィーン → ★共同研究開始 Post Oxidation



学の交流

最新のFVV成果報告

SAE 京都 アーヘン工大 スツッツガルト

JSAE 横浜 ミュンヘン工大 スツッツガルト

JSAE 横浜 アーヘン工大 カールスルーエ スツッツガルト

FVV秋 Wuertburg 早稲田 千葉大

FVV秋 Leipzig 慶應　茨大 都市大

FVV秋

SIP、AICE成果報告

ドイツ大学との共同研究により、日本の大学成長を期待

8　日独共同研究 “Post oxidation”

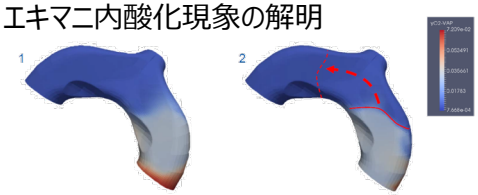
背景と目的

エミッション(未燃燃料, PM)の**“Post oxidation”**で, 触媒負荷低減, ターボ効率の向上などが期待できる. しかし, 現状では現象が十分に解明されておらず最適化設計手法がない.

得られる成果

■ **“Post oxidation”**の現象解明および予測モデル.

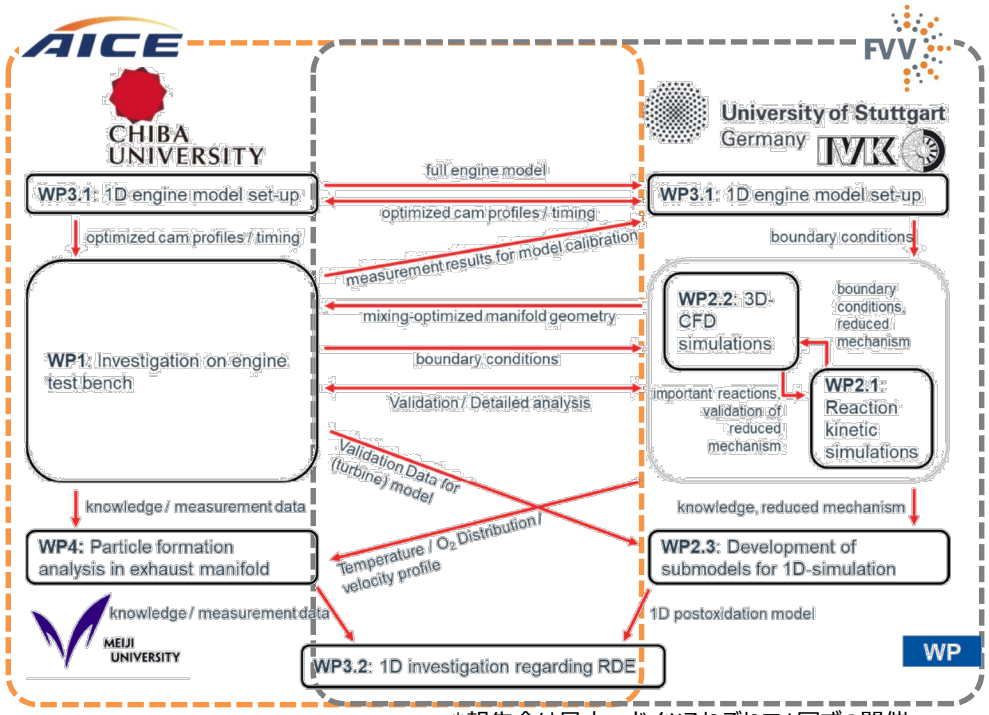
エキマニ内酸化現象の解明



研究のアプローチ

日独共同でSimulationと計測の英知を結集し以下の研究開発を実施.

①排出ガスポスト酸化過程の計測
②現象解明および予測modelの検討
③1Dモデルの構築および本研究への適用
④PM生成・酸化 過程の解明



*報告会は日本，ドイツそれぞれで1回ずつ開催

成果活用方法

“Post oxidation”が設計に組み込め、スカベンジング条件でのTotal λ1化,エミッション(未燃燃料, PM)の後酸化によるゼロエミッション化

日独の基礎応用領域における共同研究が開始

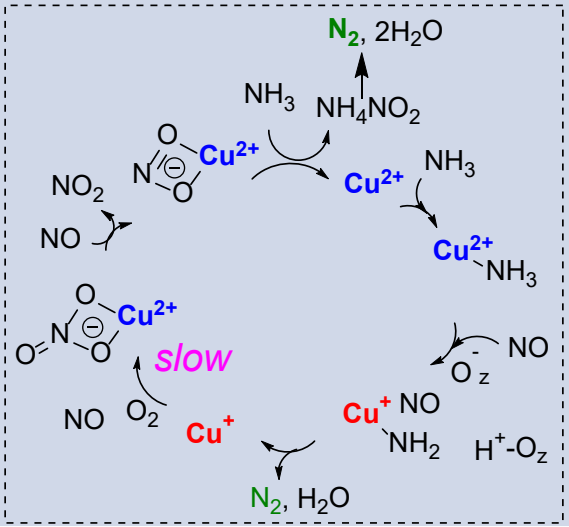
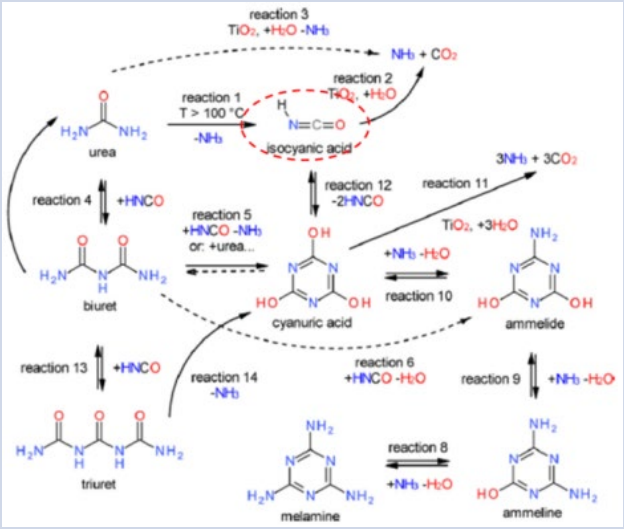
内容

1. 後処理研究の概要

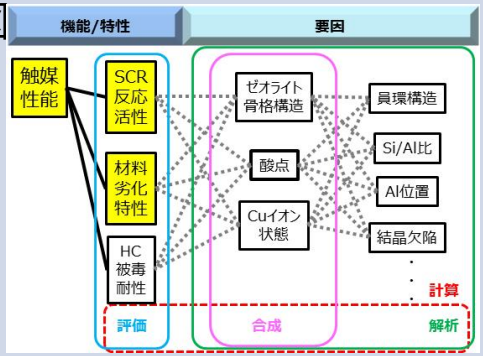
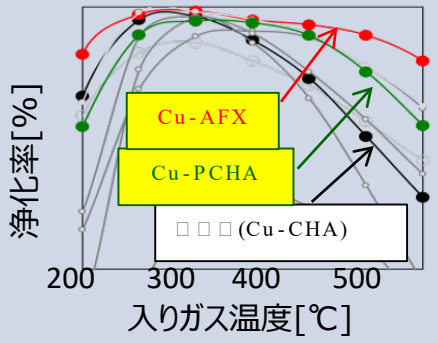
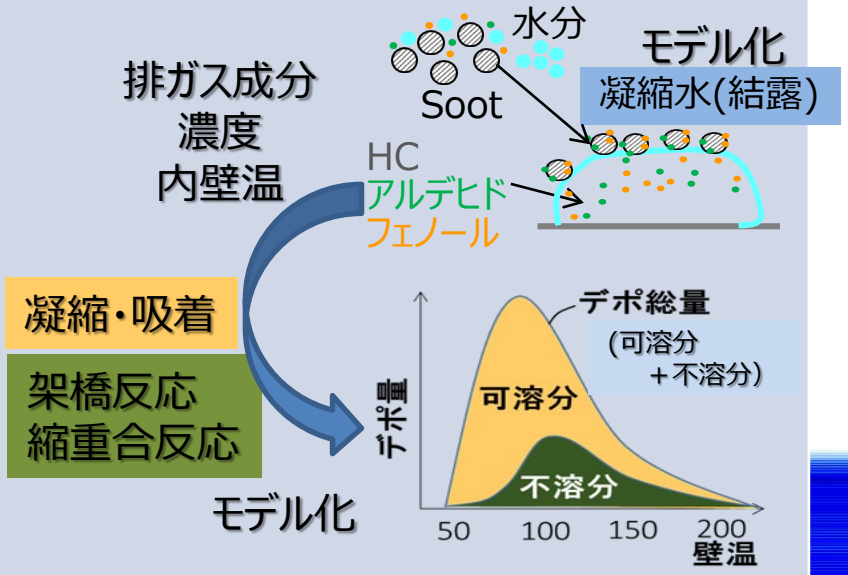
2. 研究運営方法の構築

3. 最近の後処理研究事例

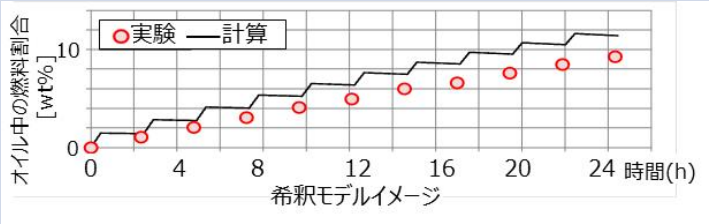
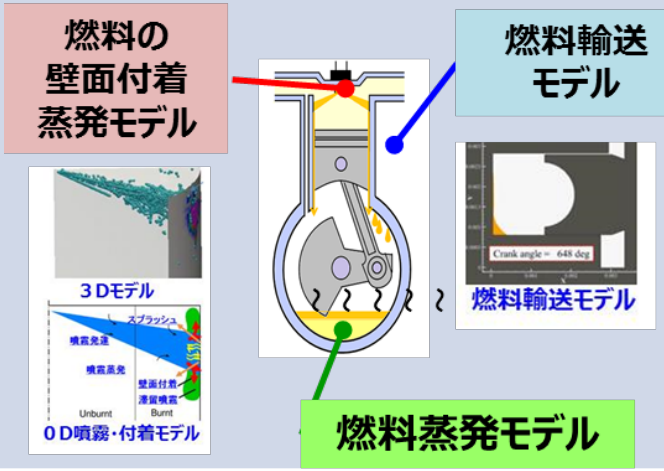
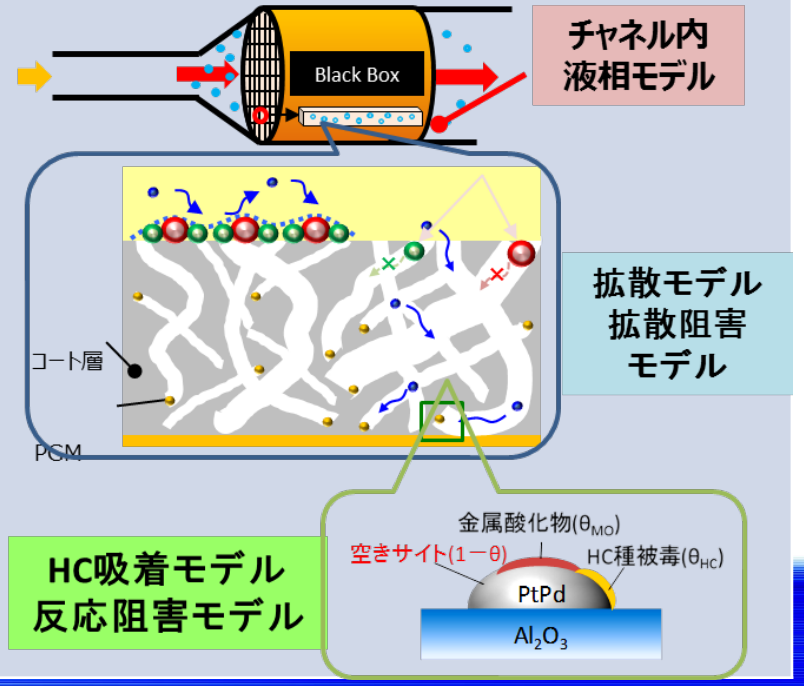
後処理研究の成果-1

	DPF一体SCRモデル	アンモニア生成モデル
明らかにしたメカニズム	• Cu(活性点)の価数変化を伴う反応 • NO拡散機構(触媒ｺｰﾄ,ｾﾞｵﾗｲﾄ細孔) • 堆積PMのNOx浄化性能への影響 • 浄化性能劣化に影響する触媒物性	・尿素噴霧の衝突/蒸発による微粒化挙動 ・触媒前段でのNH3生成挙動 ・NHCO加水分解反応速度 ・NH3生成過程での副反応
産にとっての嬉しさ	• 化学連携による新たな実験手法 • モデルによる材料、部品、エンジン各メーカーの連携	• 尿素injとミキサー設計 • 尿素噴射を起点としたNOx浄化予測 • デポジット生成の回避
主要提案 ①ﾒｶﾆｽﾞﾑ迄 ②モデル ③計測手法 ④材料	②SCR/DPF反応と触媒劣化のモデル ③反応・拡散の計測手法 SCR on Cu site 	①尿素由来デポジットの生成メカニズム ②尿素からNH3への熱・加水分解モデル ③尿素水噴霧挙動とNH3濃度分布計測 

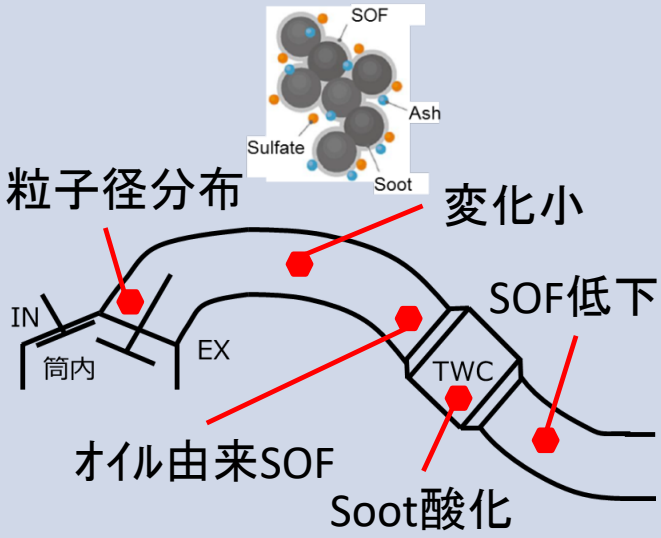
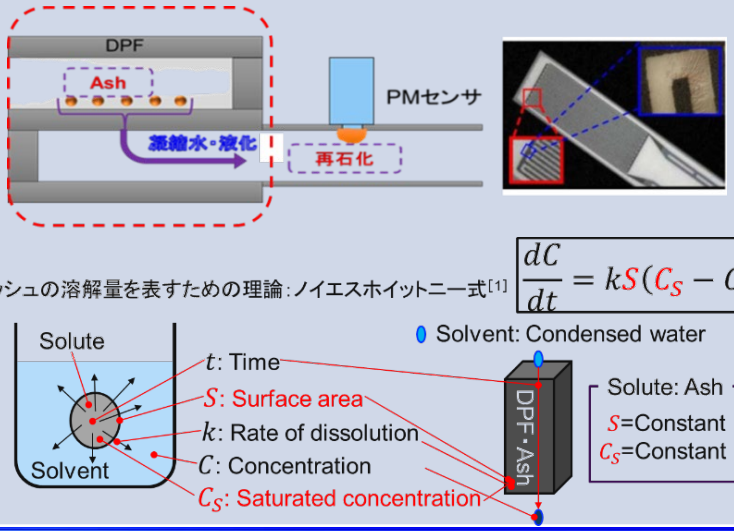
後処理研究の成果-2

	次世代ゼオライト	凝縮水・デポ
明らかにしたメカニズム	• 実験とDFT計算で高活性要因解析 • ゼオライトの員環構造、Si/Al比、Al位置、結晶欠陥などの反応、劣化への影響をモデル化	• デポジット生成メカニズムを化学的に解明 • 排ガス成分の反応/凝縮水挙動を数値化 • デポジット堆積のモデル化 と 腐食ストレスの定量化
産にとっての嬉しさ	• 理論計算による理想材料の構築方法 • 要求仕様に応じた最適ゼオライトの選択	• デポジット堆積を抑制するハード・制御設計 • 凝縮水挙動・成分を考慮した腐食評評価方法
主要提案 ①ﾒｶﾆｽﾞﾑ迄 ②モデル ③計測手法 ④材料	①特性要因図で活性発現と材料特性の相関明確化  ④従来(CHA)比高活性、選択性ゼオライト創出(AFX,PCHA) 	②③排ガス成分・濃度・内壁温等の情報からデポジット堆積量を予測するモデル 

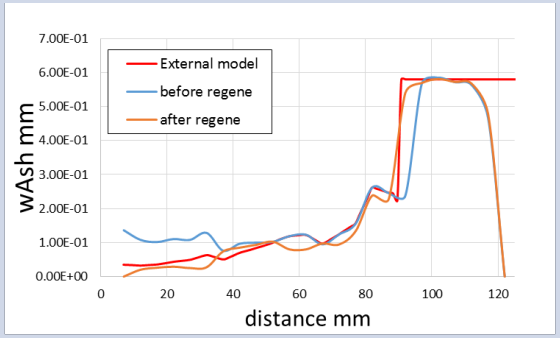
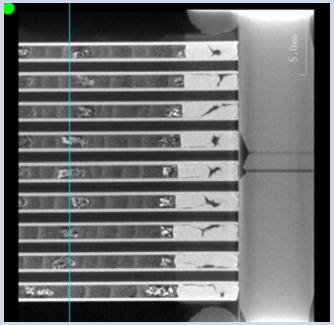
後処理研究の成果-3

	オイル希釈	ディーゼル酸化触媒反応
明らかにしたメカニズム	• 定容器で詳細に壁面付着を解析 • フォトクロミズム(世界初)で燃料輸送機構を解明し、モデル化	•低温下の酸化触媒に流入するHCの現象解析 •ミクロ（表面反応）、メソ（拡散）およびマクロ（気相/液相HCの挙動）
産にとっての嬉しさ	• 希釈評価方法 • 新システム評価の効率化 • 実機/実車耐久評価の置換え	• 触媒の反応/拡散解析手法 • HC供給手法の最適化 • 触媒/コート/基材/排気管の設計
主要提案 ①ﾒｶﾆｽﾞﾑ迄 ②モデル ③計測手法 ④材料	②③燃料輸送・希釈の計測とモデル  	①③触媒内のHC挙動のメカニズムと計測手法 

後処理研究の成果-4

	ガソリンPM	PMセンサ
明らかにしたメカニズム（サイエンス視点）	• 排気流でのPM生成、凝集、酸化過程における粒子形態の特定 • PM粒子の燃焼性とｷｬﾗｸﾀﾘｾﾞｰｼｮﾝの相関	• PMセンサ素子へのAsh堆積メカニズム • 下流へ透過するAsh成分と量の把握 • Ash堆積とセンサ出力の関係 • 市場環境でのセンサ特性変化の影響
産にとっての嬉しさ	• 排気系部品の設計指針 • GPF開発の際の入力情報	• センサ耐用年数推定、Ash被毒現象回避、DPF下流に配置する他センサへの影響推定
主要提案 ①ﾒｶﾆｽﾞﾑ迄 ②モデル ③計測手法 ④材料	①種々条件におけるPM形態や化学特性 ①排気上流～下流におけるPM推移 	①DPF透過後センサ付着メカニズム ②AshのDPF透過メカニズム　Ash透過モデル ②輸送／付着実験モデル 

後処理研究の成果-5

	DPF　アッシュ堆積
明らかにしたメカニズム	• 可視化によるアッシュ堆積・輸送メカニズムおよび圧力損失低減を実現する制御因子の把握
産にとっての嬉しさ	• 設計段階でアッシュ堆積状態の影響把握 • モデルを用いたアッシュ加速耐久Modeの探索
主要提案 ①ﾒｶﾆｽﾞﾑ迄 ②モデル ③計測手法 ④材料	②ｱｯｼｭ堆積輸送モデル  ③X線CTによる ｱｯｼｭ定量化技術 

まとめ

1) 5年間にわたる基礎応用領域の研究経験を通して、期待する成果を導出する研究運営方法と後処理に関する研究機関の基盤が構築できた。
2) これにより、一般の企業も（安心して）研究参加できるようになり、研究は一層の活気を帯びるようになった。参加者からは、多くのメリットの声が寄せられている。
3) これまでの成果を次年度の活動に活かせるように、計測方法や実験手法、創出モデルの利用性に重点を置き、成果を刈り取っていく。

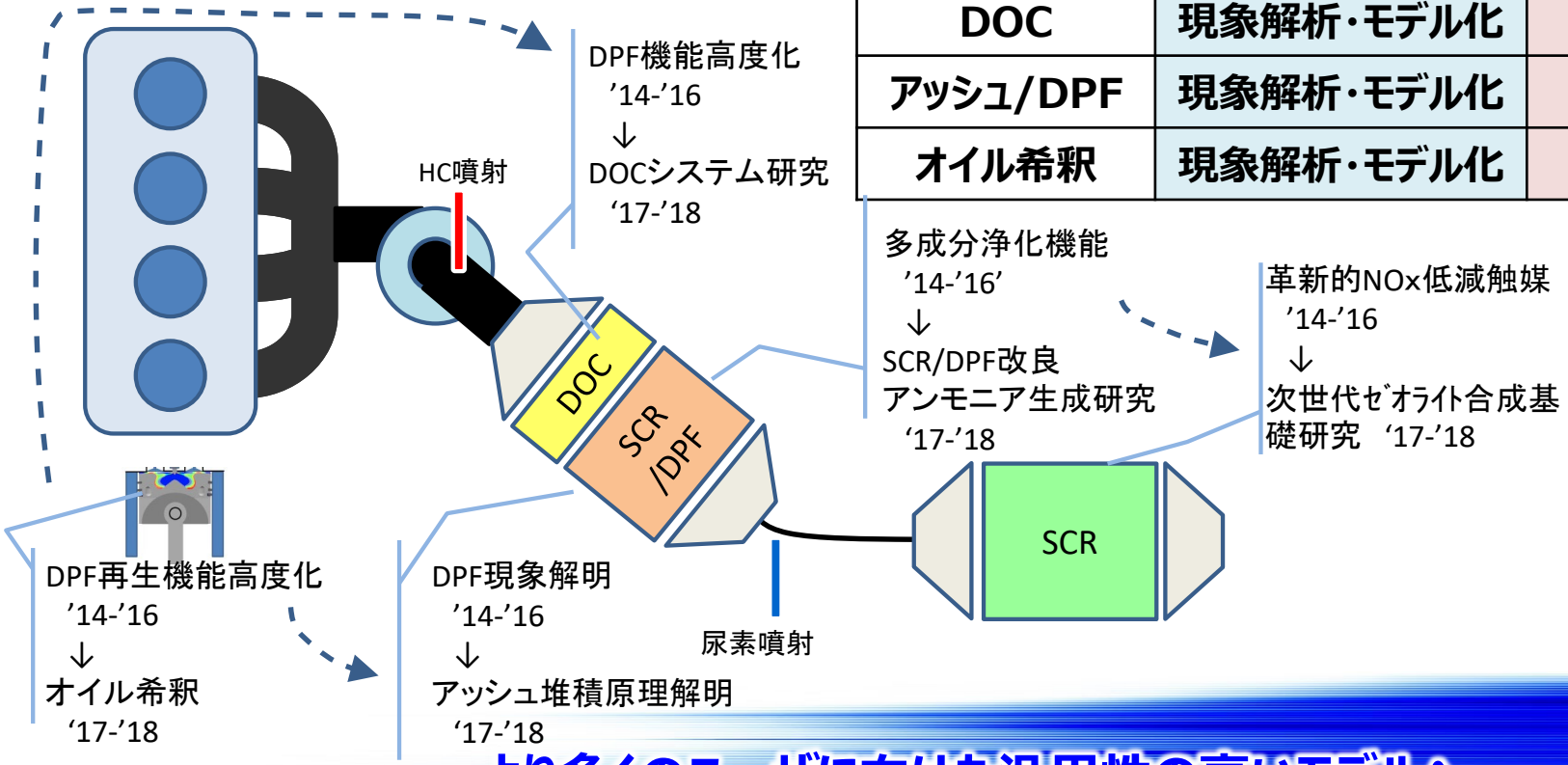
4　個別成果の統合モデルへの組み込み

狙い

- 現象解析で獲得した数理モデルを後処理モデルへの組込み
- 各企業でMBDツールとして活用

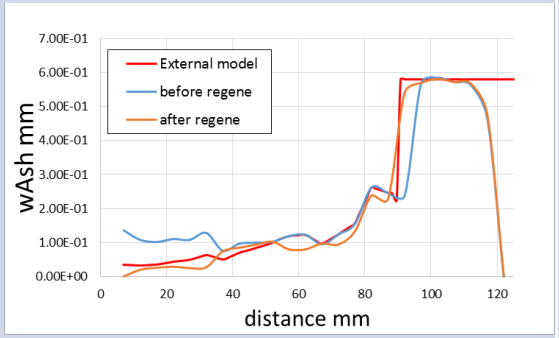
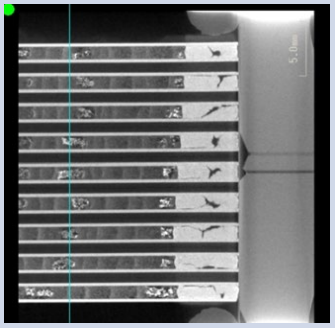
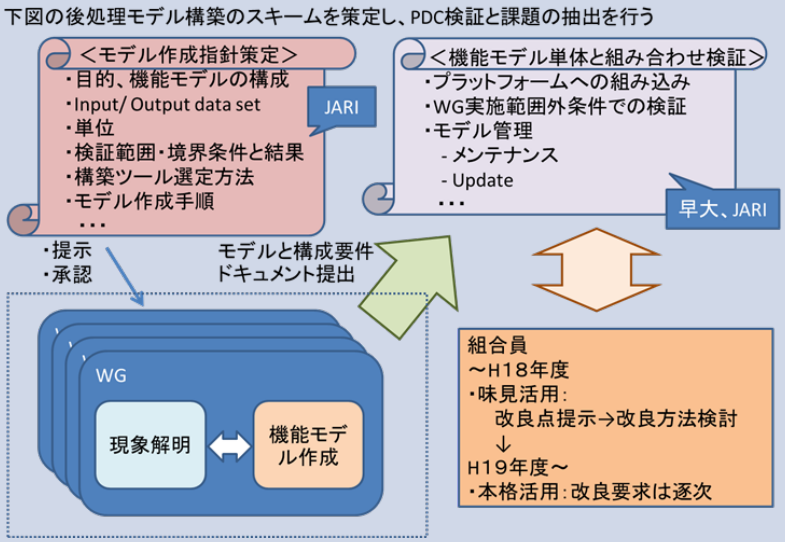
《ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ後処理》

WG	実施中 2017	実施中 2018	計画中 2019	計画中 2020
DOC/DPF	P/F組込み			
SCR/DPF	現象解析・モデル化		P/F組込み	
アンモニア生成	現象解析・モデル化		P/F組込み	
DOC	現象解析・モデル化		P/F組込み	
アッシュ/DPF	現象解析・モデル化		P/F組込み	
オイル希釈	現象解析・モデル化		P/F組込み	



より多くのユーザに向けた汎用性の高いモデルへ

後処理研究の成果-5

	DPF　アッシュ堆積	後処理モデル構築
明らかにしたメカニズム	• 可視化によるアッシュ堆積・輸送メカニズムおよび圧力損失低減を実現する制御因子の把握	• モデル化から検証までの一連の手法のスキーム策定とAICE成果の各機能モデルが活用できるプラットフォームの提案
産にとっての嬉しさ	• 設計段階でアッシュ堆積状態の影響把握 • モデルを用いたアッシュ加速耐久Modeの探索	• プラットフォームとのインターフェイス • 共通利用できる触媒モデル構築方法
主要提案 ①ﾒｶﾆｽﾞﾑ迄 ②モデル ③計測手法 ④材料	②ｱｯｼｭ堆積輸送モデル  ③X線CTによる ｱｯｼｭ定量化技術 	②後処理統合モデル 

□ □ □ □ □□ □□ □□ □ □ □ □