

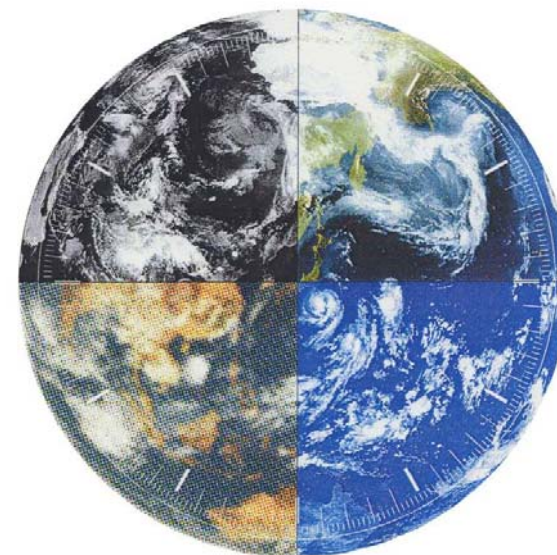


よりよい大気をめざして
自動車と燃料のさらなる挑戦

JCAP第5回成果発表会

ディーゼル車WG報告

2007年2月22日



研究の目的および評価する技術内容

◆目的

NO_x触媒の排出ガス浄化性能及びCO₂排出に及ぼす燃料品質（硫黄分等）の影響を調査研究し、将来に向けたディーゼル車と燃料の技術的な方向性を判断するためのデータを提供する

◆評価する技術内容

➤NO_x触媒技術（DPF装着含む）

- NO_x吸蔵還元触媒（NSR：NO_x storage reduction）
- 尿素SCR（SCR：Selective catalytic reduction）

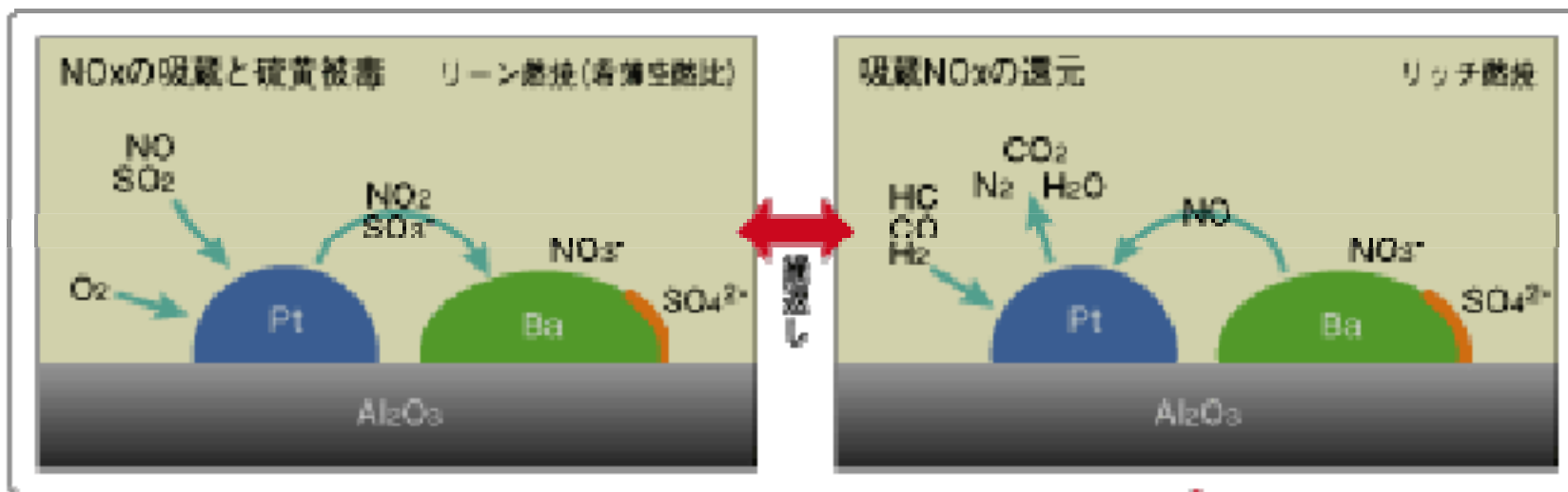
➤燃料品質

- 硫黄分：0－50ppm
- 硫黄分以外の性状影響：蒸留性状（T90）、芳香族
- FAME（5%混合）、GTL

FAME（Fatty Acid Methyl Ester）：植物油等を原料にする脂肪酸メチルエステル

NO_x触媒技術の概要 NSR

NSR: NO_x storage reduction NO_x吸蔵還元



吸蔵時

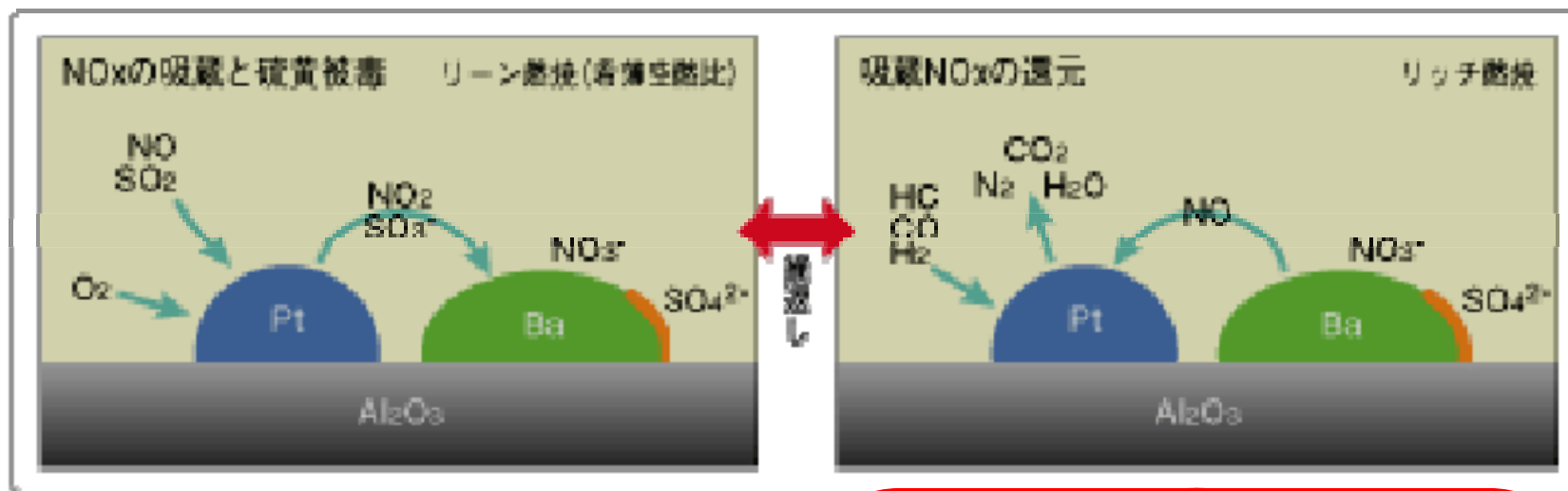
リーン燃焼時にNOをNO₂に酸化し、Ba等のアルカリ土類金属を用いて金属硝酸塩として吸着

還元時

瞬時のリッチ燃焼状態を作り出して塩を分解し、NO_xをN₂に還元して放出

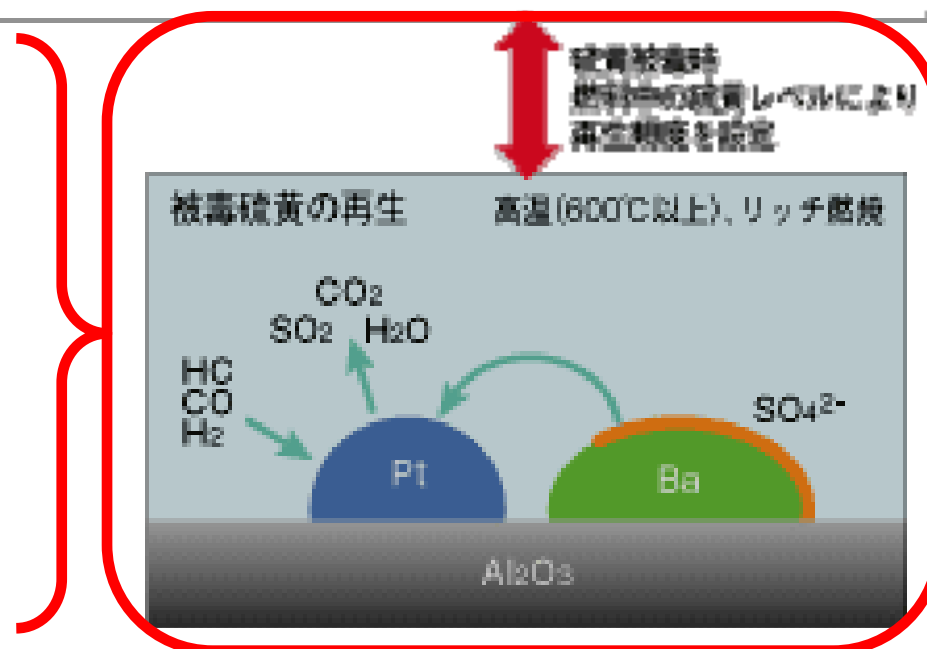
NO_x触媒技術の概要 NSR

NSR: NO_x storage reduction NO_x吸蔵還元



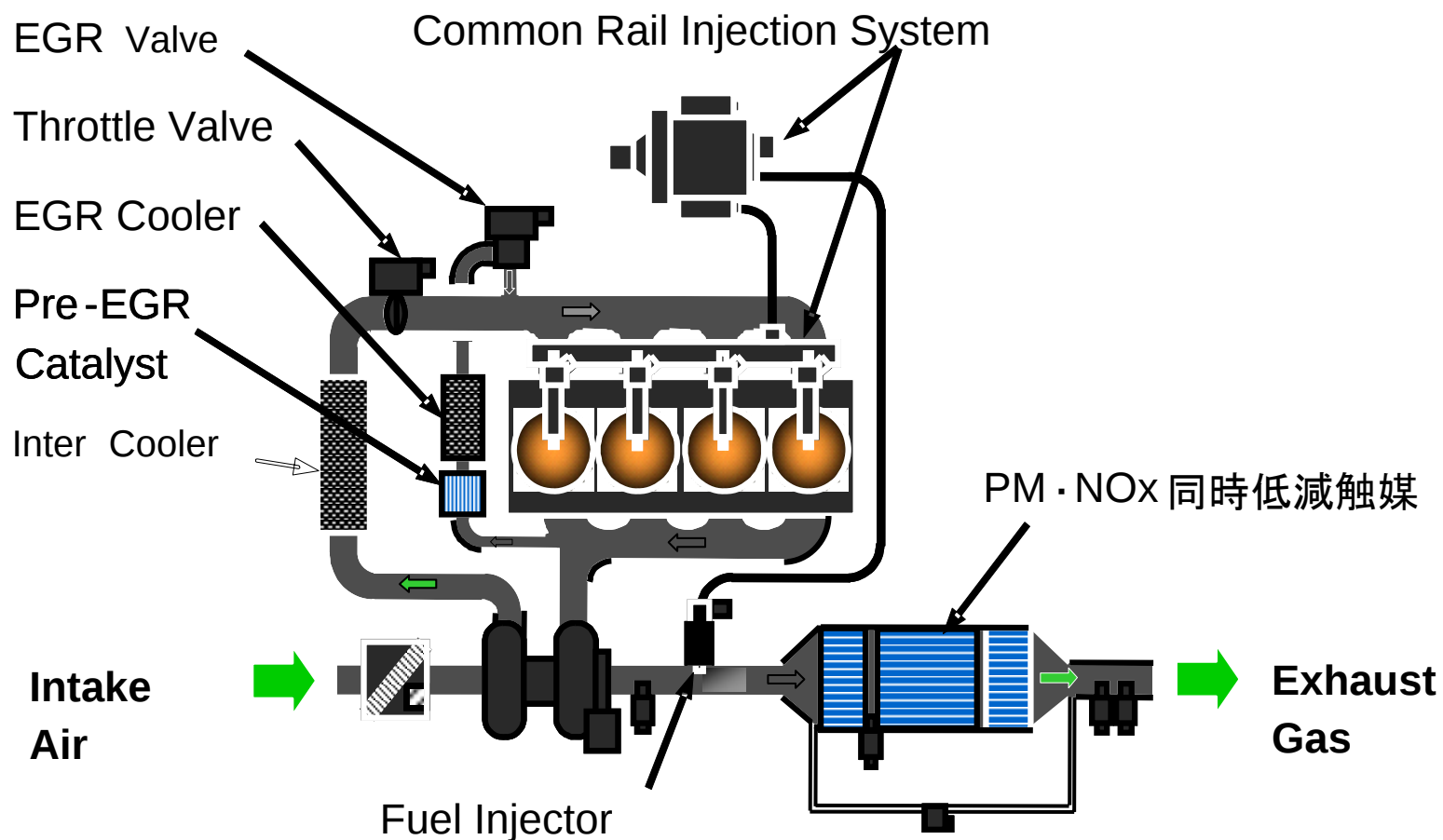
硫黄被毒回復のための周期的な制御運転(排気温上昇)が必要
⇒燃費悪化や触媒劣化

軽油硫黄分低減により被毒回復の運転頻度を減少可能
⇒燃費や排出ガスの改善へ



DPF+NSRシステム構成

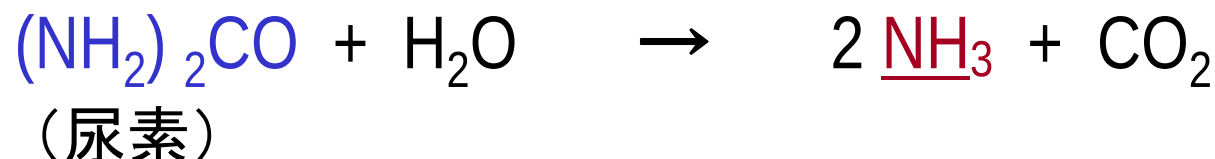
PM・NOx同時低減型触媒装着システム



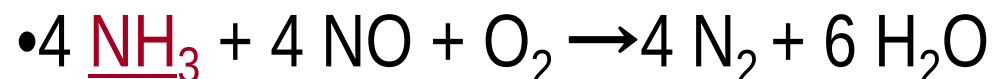
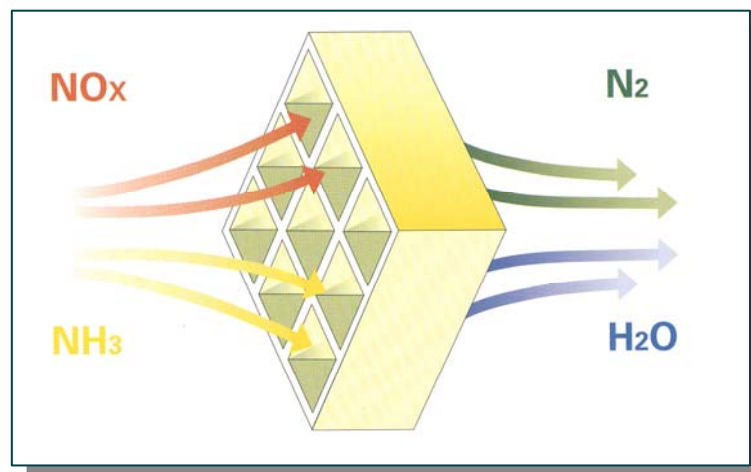
NO_x触媒技術の概要 尿素SCR

SCR: Selective catalytic reduction

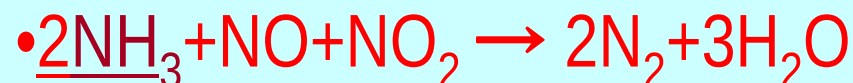
◆尿素の加水分解



◆還元反応(NH₃によるNO_x分解反応)

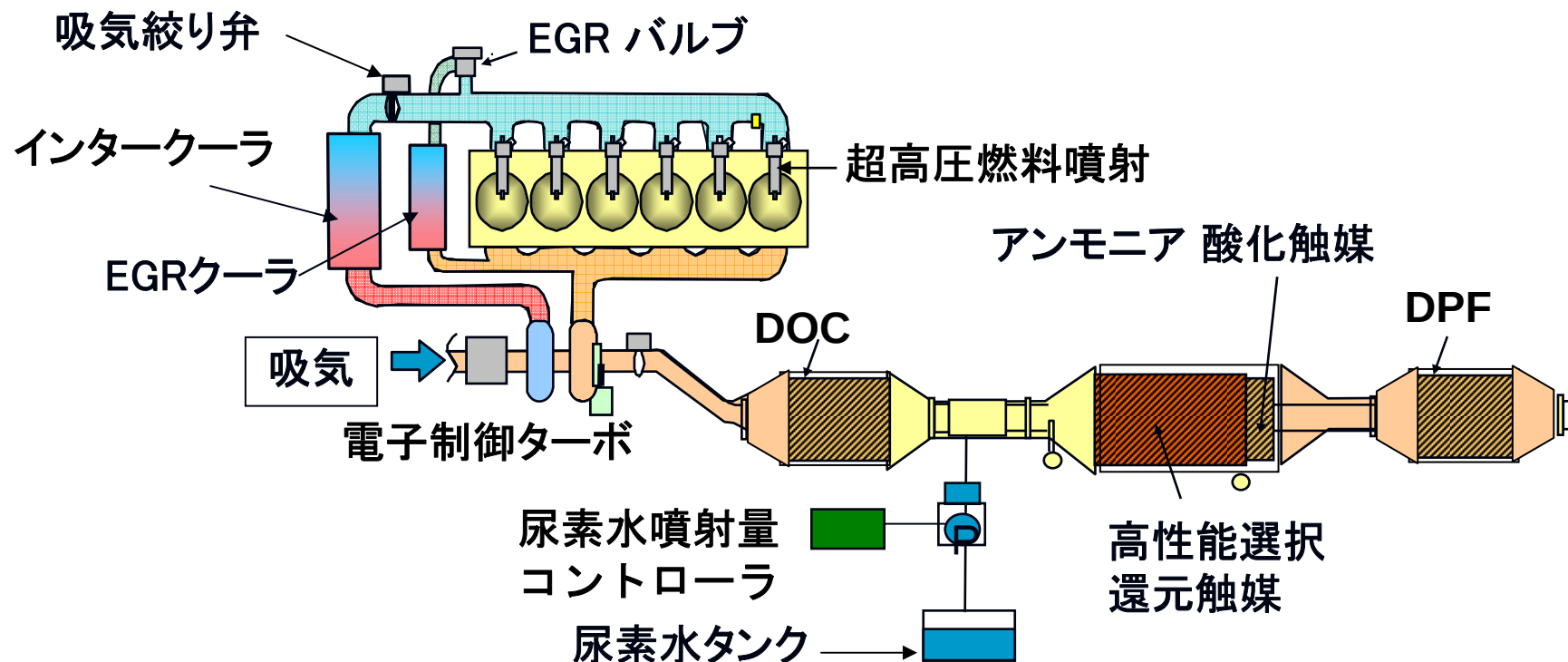


低温領域では下記の反応活性が高い



(NO₂/NO_x比=0.5近傍が有効)

エンジンE(尿素SCR) システム構成



尿素SCRシステムの後段にDPFを設置

ターボ出口排気ラインから尿素SCR触媒まで保温材を巻きつけ
排出ガス温度の低下を抑制



SCR入口平均排気温度は現生産品に比べ約20℃高い

報告内容

1.硫黄分の影響	1.1 走行試験 エンジンD (NSR)、車両B (NSR) 1.2 尿素SCR試験 エンジンB (尿素SCR)
2.蒸留性状、芳香族分の影響	マトリックス試験 エンジンD (NSR)、車両B (NSR) エンジンE (尿素SCR)
3.FAME・GTLの影響	FAME・GTL試験 エンジンD (NSR)、車両B (NSR)

			燃料品質		
			硫黄分	T90・芳香族	FAME・GTL
NO _x 触媒 技術	NSR	エンジンD	1.1	2	3
		車両B			
	尿素SCR	エンジンB	1.2	2	
		エンジンE			

報告内容

1.硫黄分の影響	1.1 走行試験 エンジンD (NSR)、車両B (NSR) 1.2 尿素SCR試験 エンジンB (尿素SCR)
2.蒸留性状、芳香族分の影響	マトリックス試験 エンジンD (NSR)、車両B (NSR) エンジンE (尿素SCR)
3.FAME・GTLの影響	FAME・GTL試験 エンジンD (NSR)、車両B (NSR)

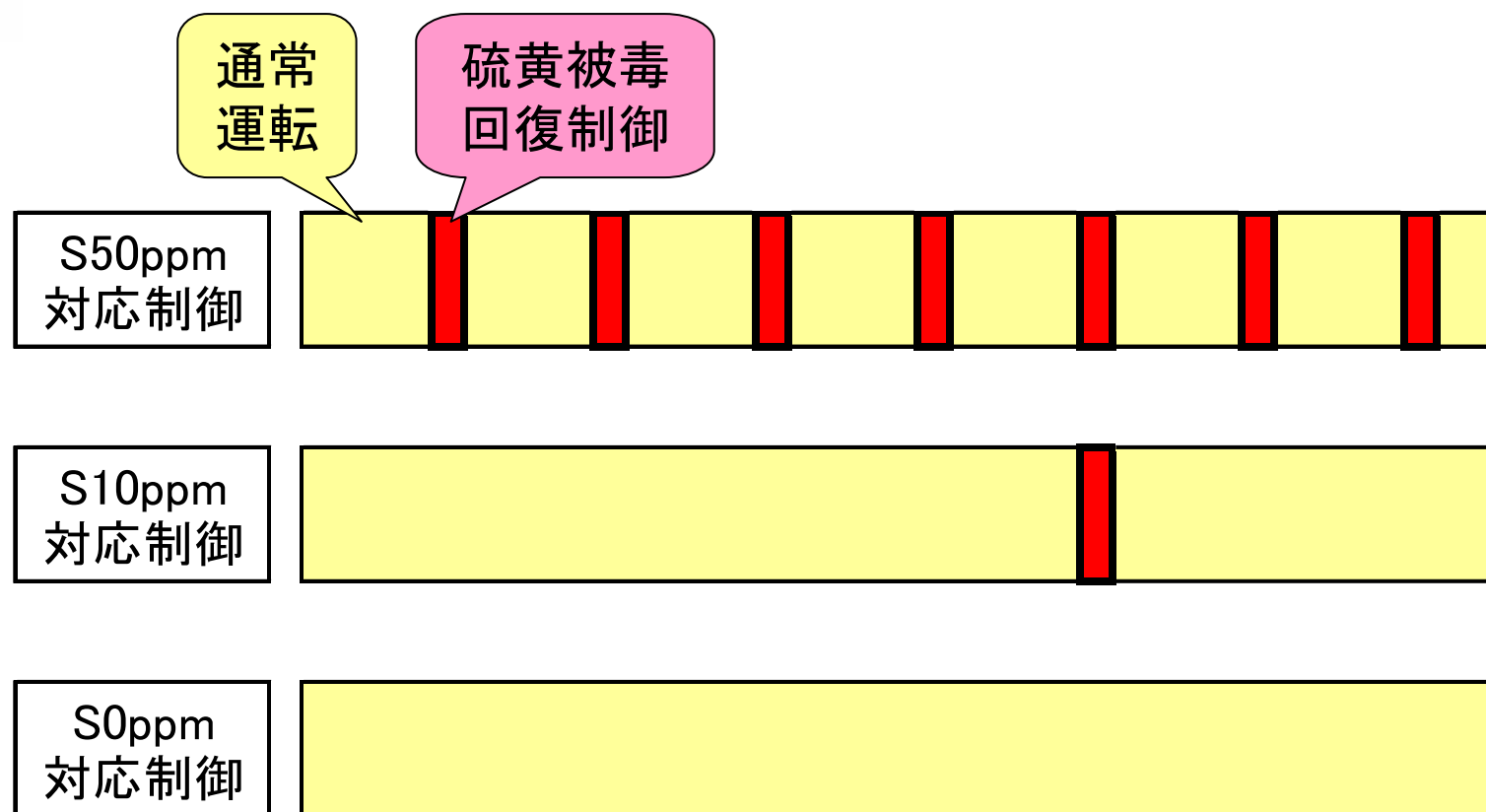
			燃料品質		
			硫黄分	T90・芳香族	FAME・GTL
NO _x 触媒 技術	NSR	エンジンD	1.1	2	3
		車両B			
	尿素SCR	エンジンB	1.2		
		エンジンE		2	

走行試験(硫黄分影響) 供試燃料性状

		J2D25 (S0)	J2D01 (S10)	J2D02 (S50)
密度	g/cm ³	0.822	0.828	0.827
蒸留 °C	10%	216	220	219
	50%	262	288	288
	90%	301	337	337
芳香族	vol%	12.7	15.6	15.9
硫黄分 mass ppm		<1	7	46
セタン価		52.2	59.0	58.9
セタン指数		57.1	60.5	60.6

注) S0燃料は通常の軽油とは異なる基材を用いているため性状がS10、S50燃料と異なる

硫黄被毒回復制御の頻度（概念）



燃料中の硫黄分に応じて硫黄被毒回復制御を実施

その頻度は硫黄分が高い程多い

被毒回復制御は、排気温度を700℃程度の高温に維持するために燃料の排気管添加を行うことで、燃費の悪化を伴う

燃料中の硫黄分が燃費に及ぼす影響

エンジンD(NSR)走行試験結果(燃費)

S0燃料／S0制御	S10燃料／S10制御	S50燃料／S50制御
平均燃費 6.33km/L (+1.1%)	平均燃費 6.26km/L (Base)	平均燃費 5.97km/L (-4.6%)

走行距離: 5万km(修正11ラップ)

燃料中の硫黄分に応じて硫黄被毒回復制御を実施した場合、燃料中硫黄分が低い程、燃費が向上する

S50ppm→S10ppmによる燃費向上は4.6%

NSR触媒 走行試験結果(一覧)

硫黄分の走行燃費への影響

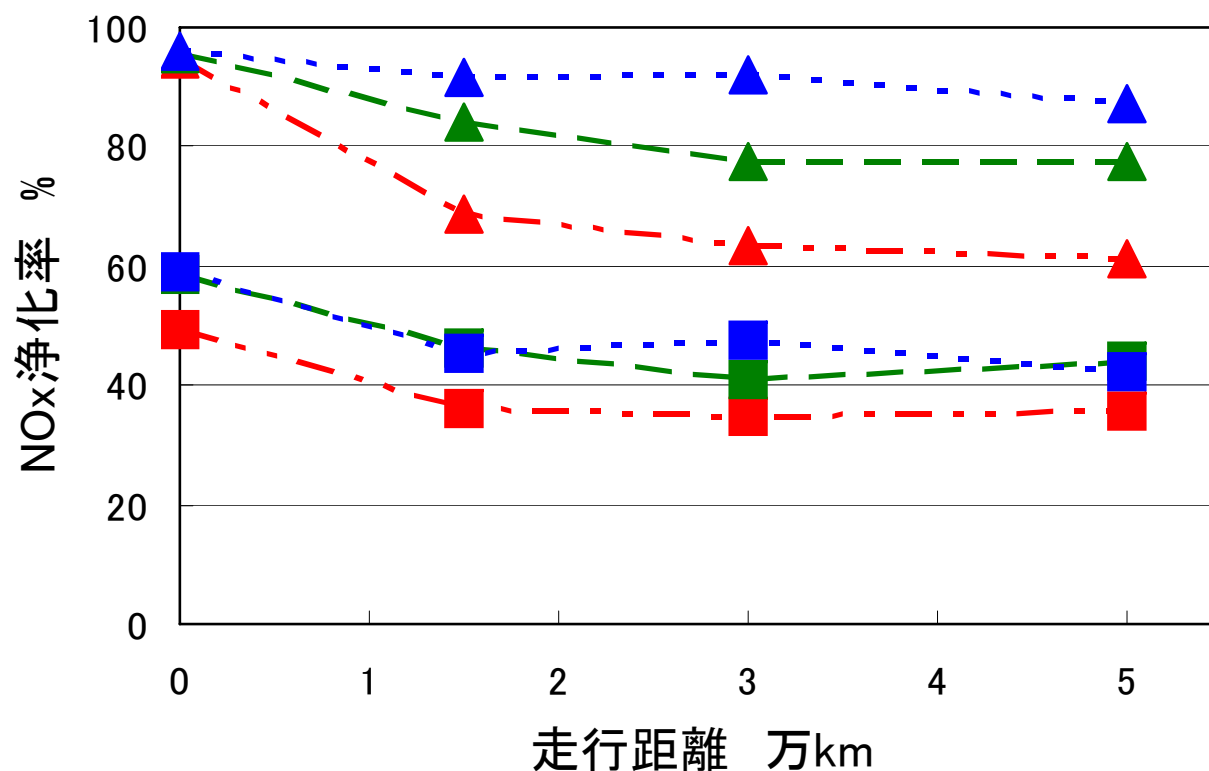
エンジン・車両			走行条件		燃費変化率		
名称	排気量	後処理	走行モード	走行距離	S50ppm	S10ppm	S0ppm
エンジンA	3.8L	NSR	修正11ラップ	10000km	-3.9%	基準	1.2%
エンジンD	4.0L	NSR+DPF	修正11ラップ	50000km	-4.6%	基準	1.1%
車両B (乗用車)	2.0L	NSR+DPF	11ラップ	30000km	-4.9%	基準	0.7%
車両C (中量車)	3.0L	NSR+DPF	11ラップ	80000km	-9.1%	基準	2.0%

車両Cで硫黄分の燃費への影響が大きい

この理由は硫黄被毒回復制御条件の影響と考えている

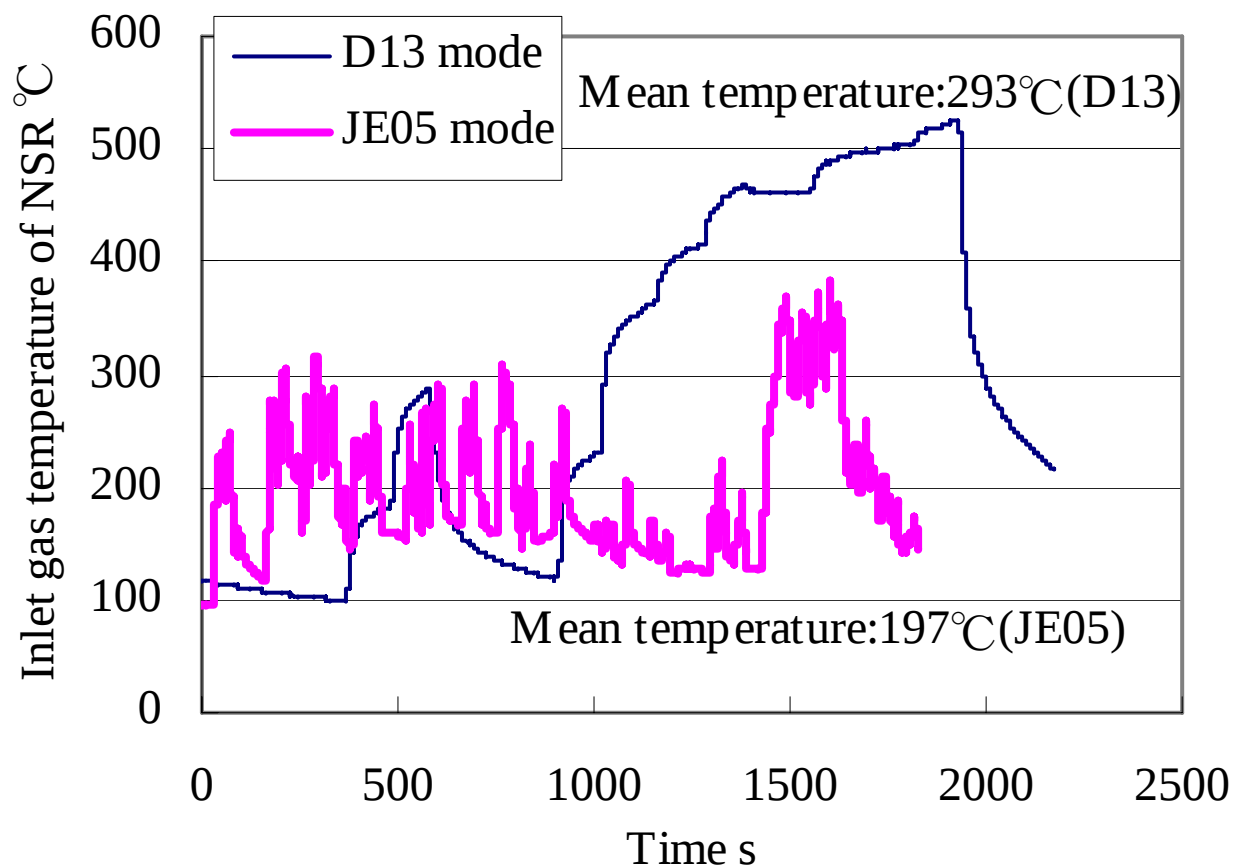
エンジンD(NSR)走行試験 NO_x浄化率の推移

- S50燃料/S50制御 JE05モード
- ▲— S50燃料/S50制御 D13モード
- S10燃料/S10制御 JE05モード
- ▲— S10燃料/S10制御 D13モード
- S0燃料/S0制御 JE05モード
- ▲— S0燃料/S0制御 D13モード



D13モードとJE05モードの浄化率の差は、触媒入口の排出ガス温度の違いにより生じたと考えられる

排出ガス測定モードと排気温度

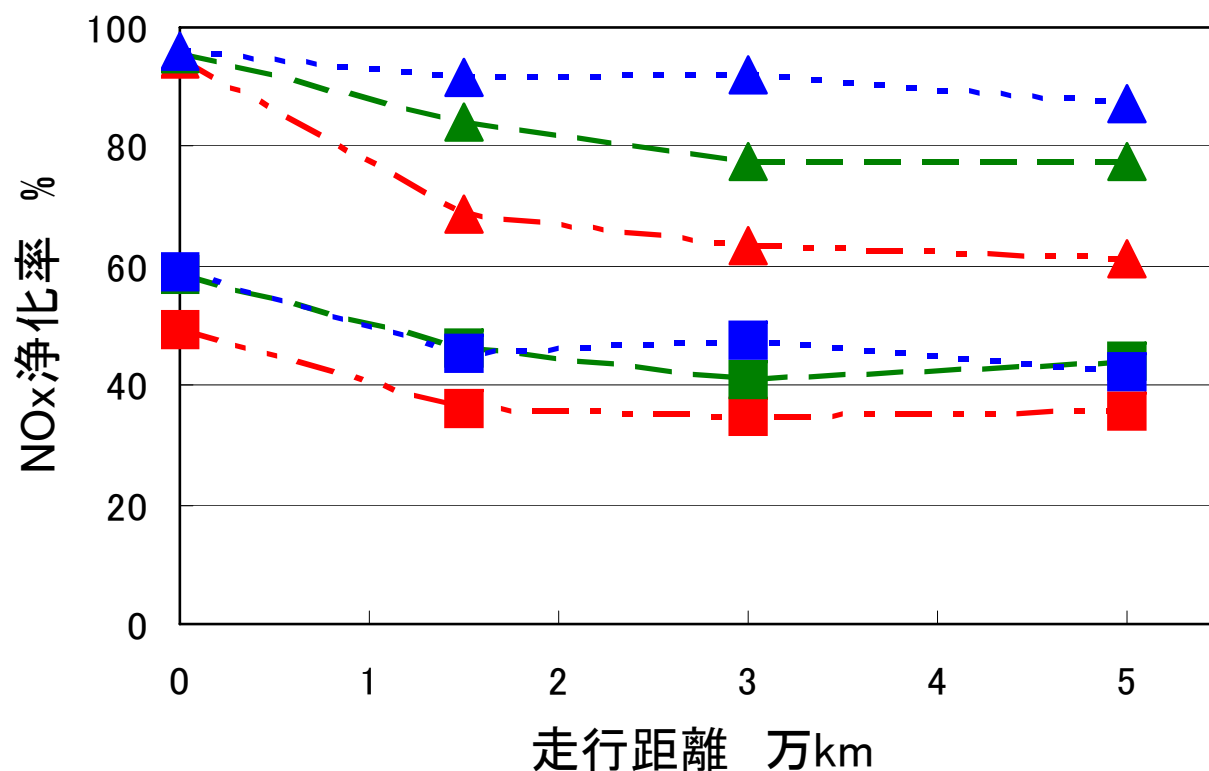


NSR inlet gas temperature at D13 mode and JE05 mode

JE05モードの平均排気温度はD13モードよりも100°C程度低い

エンジンD(NSR)走行試験 NOx浄化率の推移

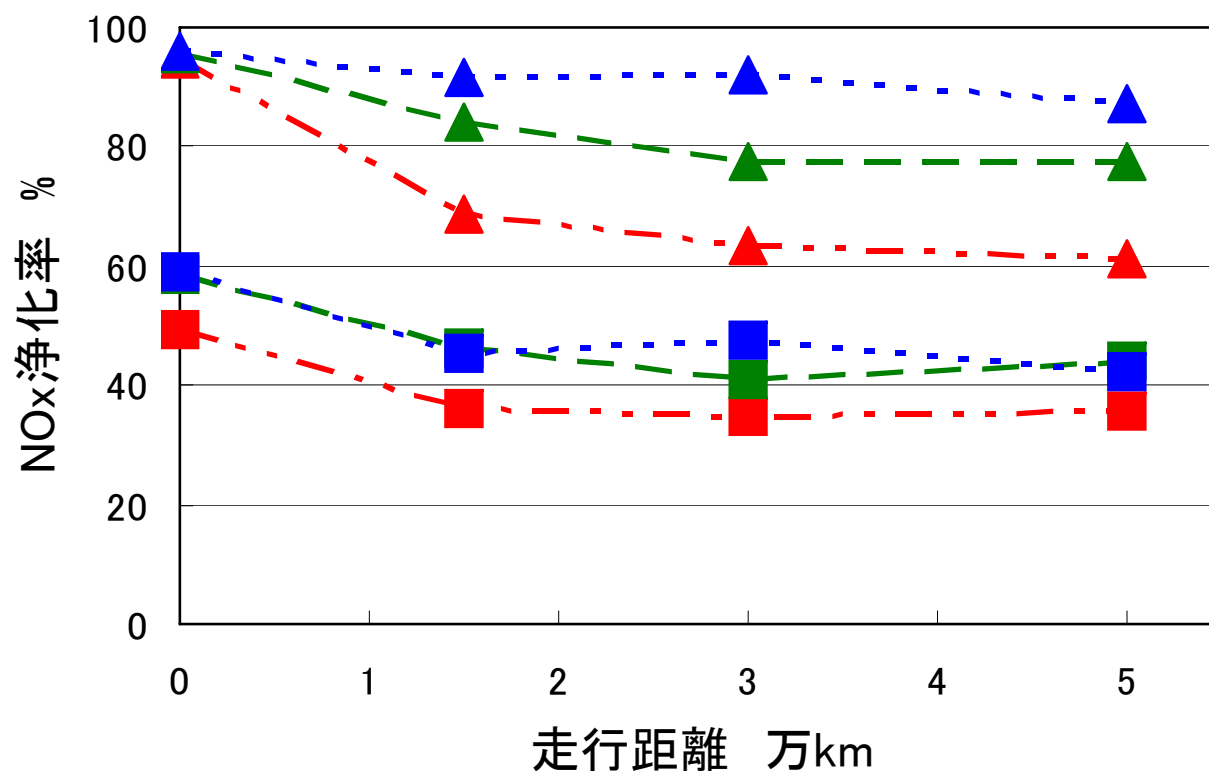
- S50燃料/S50制御 JE05モード
- ▲— S50燃料/S50制御 D13モード
- S10燃料/S10制御 JE05モード
- ▲— S10燃料/S10制御 D13モード
- S0燃料/S0制御 JE05モード
- ▲— S0燃料/S0制御 D13モード



走行距離の増加と共にNOx浄化率は徐々に悪化し、その傾向は硫黄分が高いほど大きい

エンジンD(NSR)走行試験 NO_x浄化率の推移

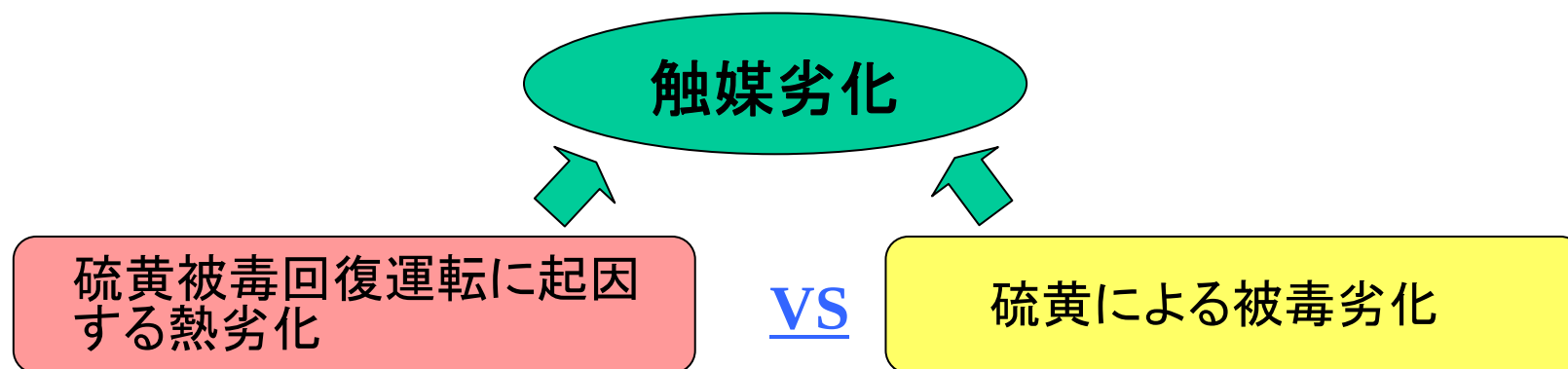
- S50燃料/S50制御 JE05モード
- ▲— S50燃料/S50制御 D13モード
- S10燃料/S10制御 JE05モード
- ▲— S10燃料/S10制御 D13モード
- S0燃料/S0制御 JE05モード
- ▲— S0燃料/S0制御 D13モード



JE05で硫黄分の違いが小さいのは、JE05のSVが低く、NO_x吸蔵能低下の影響が出難いためと考えられる

エンジンD(NSR)走行試験 触媒劣化要因検討

NO_x吸蔵能の低下要因(触媒劣化)に関する検討



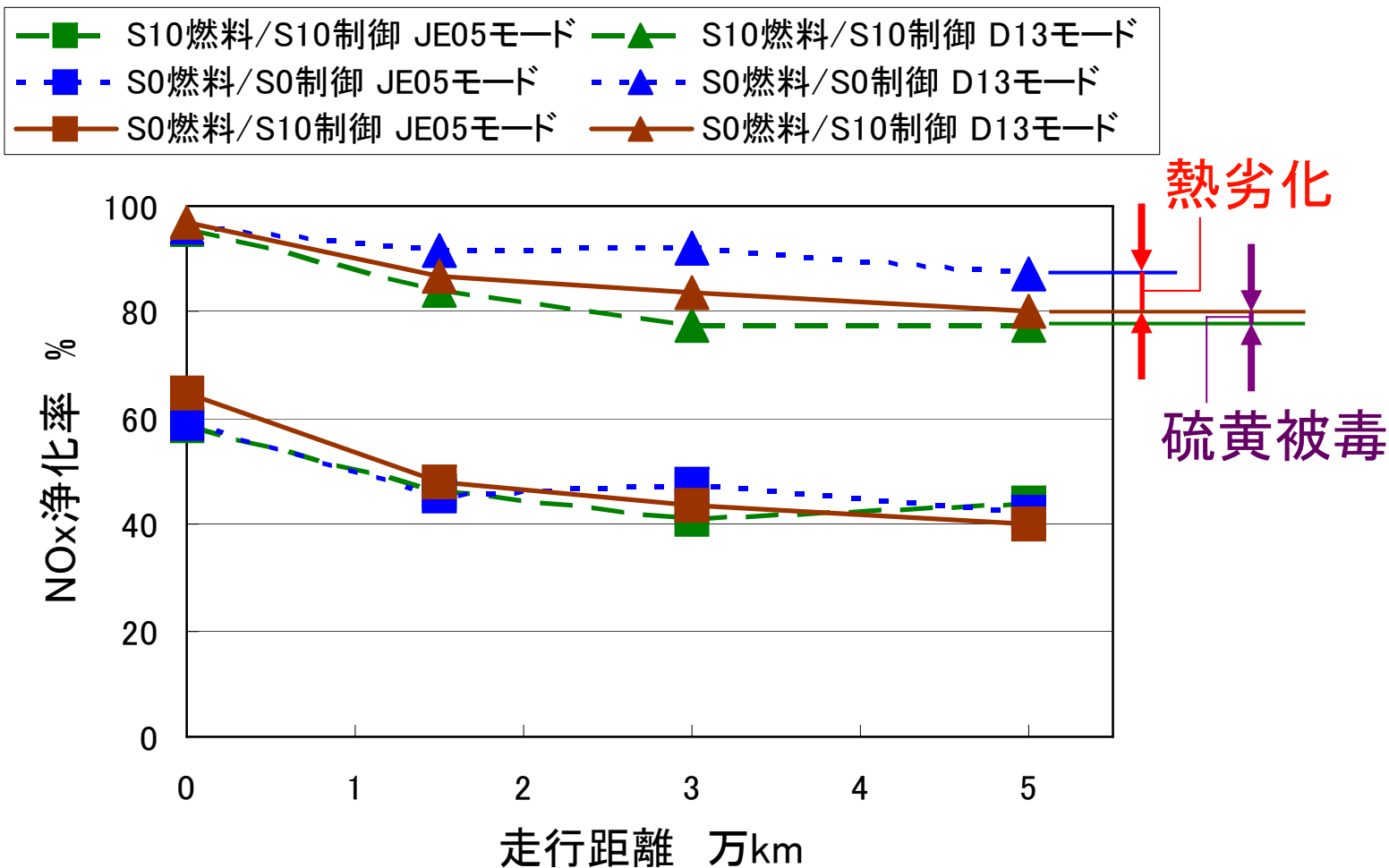
【評価方法】

S0燃料/S10制御による走行試験を新たに追加

熱劣化 ➡ S0燃料/S0制御とS0燃料/S10制御試験結果を比較

被毒劣化 ➡ S10燃料/S10制御とS0燃料/S10制御試験結果を比較

エンジンD (NSR) 走行試験 NO_x浄化率の推移

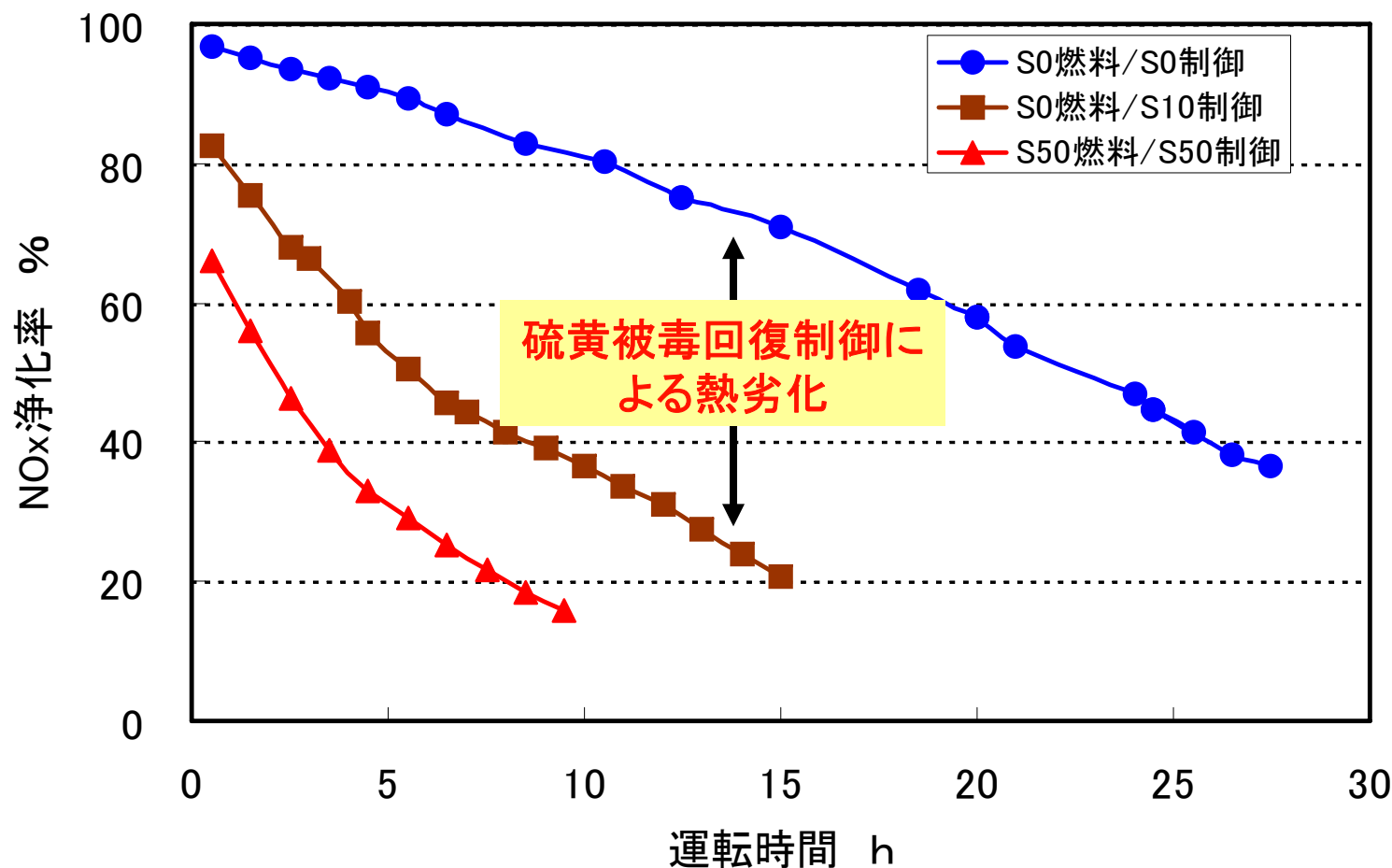


S0/S0制御とS0/S10制御の差は、S0/S10制御とS10/S10制御の差より大きく、触媒の劣化は被毒回復制御による熱劣化が主要因と推定される

NO_x吸蔵能の評価方法

1. 走行試験後のNSR触媒を硫黄被毒回復制御により再生
2. 硫黄被毒回復制御を行わずに、触媒上のNO₂還元のみで高速高負荷の連続運転を行う
運転の継続に伴い、触媒上の吸蔵材は硫黄により被毒されていく
3. 触媒上に充分吸蔵能が残っている場合（吸蔵能が大きい場合）、高いNO_x浄化率が長い期間維持される
一方、吸蔵能が小さい場合は、短時間でNO_x浄化率が低下する

走行後触媒のNO_x吸蔵能比較



50000km走行後の触媒を使用

燃料: S50ppm軽油 (T90=280°C)

運転条件: 2400rpm/190Nm定常運転(脱S運転なし)

報告内容

1.硫黄分の影響	1.1 走行試験 エンジンD (NSR)、車両B (NSR) 1.2 尿素SCR試験 エンジンB (尿素SCR)
2.蒸留性状、芳香族分の影響	マトリックス試験 エンジンD (NSR)、車両B (NSR) エンジンE (尿素SCR)
3.FAME・GTLの影響	FAME・GTL試験 エンジンD (NSR)、車両B (NSR)

			燃料品質		
			硫黄分	T90・芳香族	FAME・GTL
NO _x 触媒 技術	NSR	エンジンD	1.1	2	3
		車両B			
	尿素SCR	エンジンB	1.2		
		エンジンE		2	

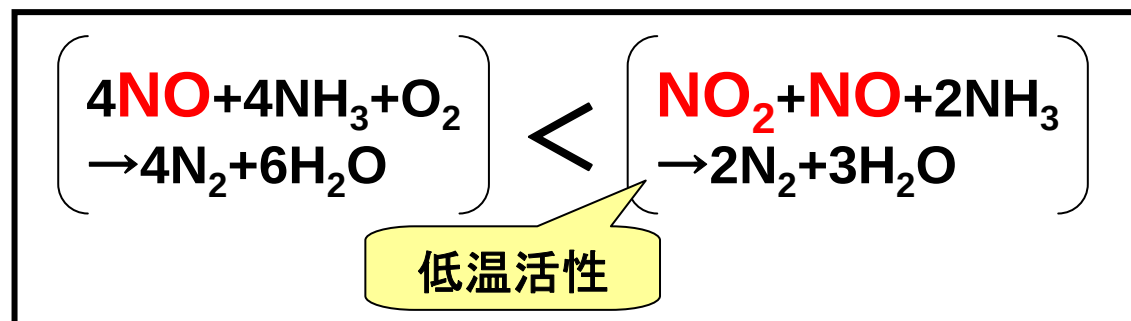
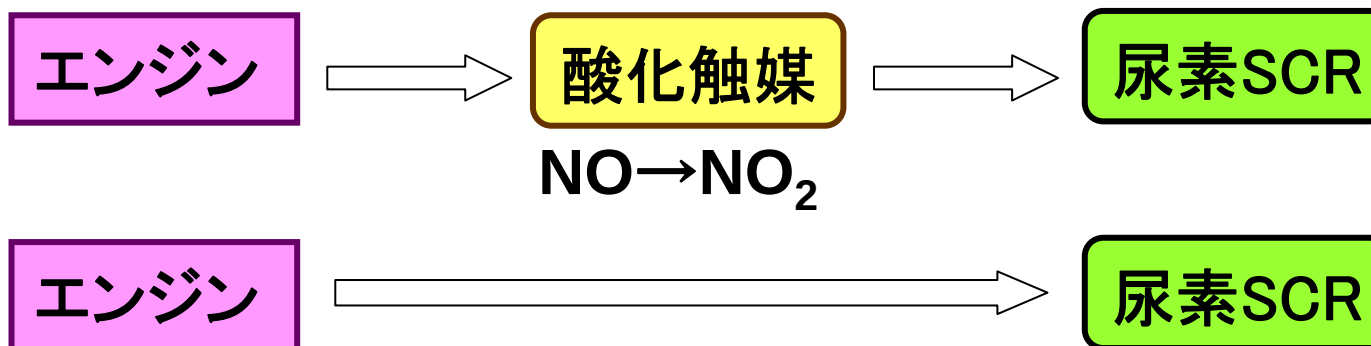
尿素SCR試験概要

尿素SCRシステムに対する硫黄分の影響

前段の酸化触媒有無での
NO₂/NO_x比と低排気温での
NO_x浄化能を評価

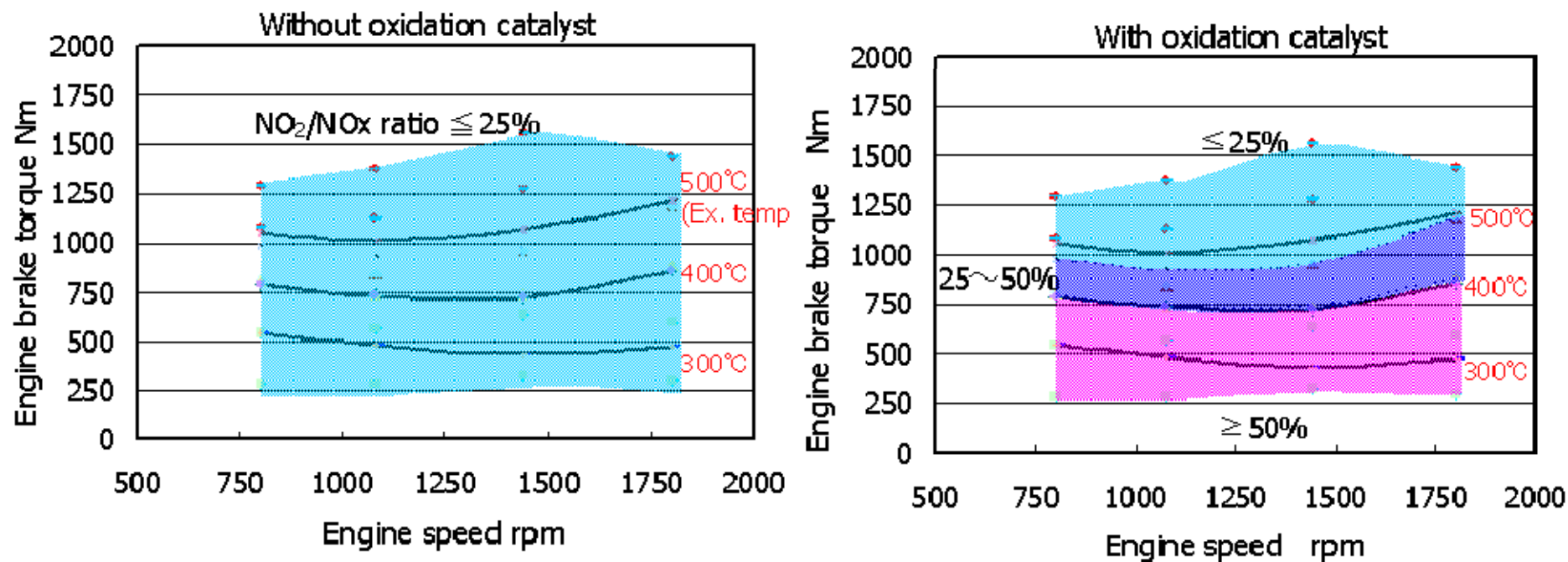


酸化触媒の硫黄分等による劣化の影響を想定



尿素SCR試験：結果および考察

前段酸化触媒有と無でのNO₂生成比率の評価結果

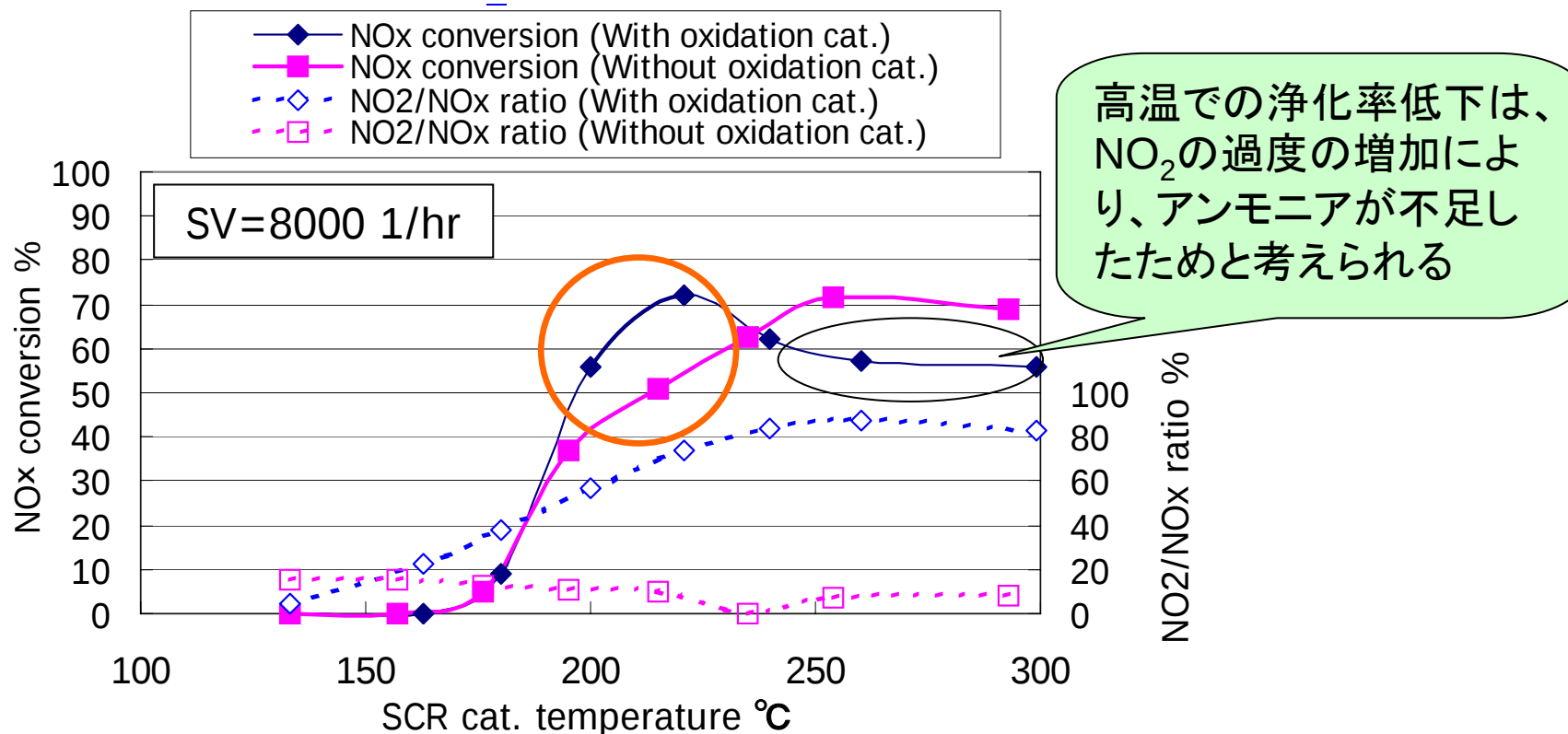


NO₂/NO_x ratio

酸化触媒により低温領域でNO₂/NO_x比が増大

尿素SCR試験：結果および考察

低排気ガス温度域における前段酸化触媒有と無での NO_x浄化率とNO₂/NO_xの生成比率の評価結果



NO_x conversion and NO₂/NO_x ratio

酸化触媒の装着により低温領域(200°C近傍)での
NO_x浄化率向上の傾向が認められた

報告内容

1.硫黄分の影響	1.1 走行試験 エンジンD (NSR)、車両B (NSR) 1.2 尿素SCR試験 エンジンB (尿素SCR)
2.蒸留性状、芳香族分の影響	マトリックス試験 エンジンD (NSR)、車両B (NSR) エンジンE (尿素SCR)
3.FAME・GTLの影響	FAME・GTL試験 エンジンD (NSR)、車両B (NSR)

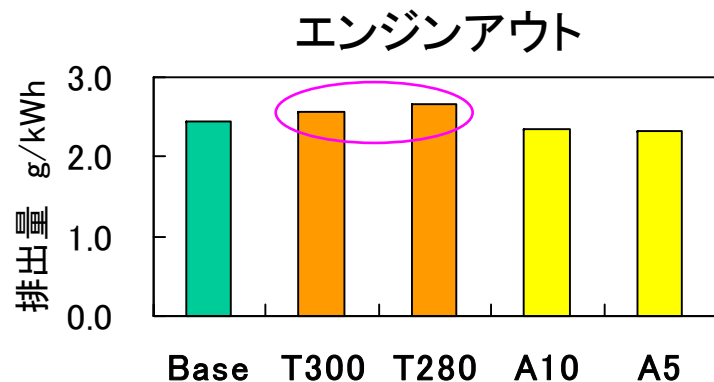
			燃料品質		
			硫黄分	T90・芳香族	FAME・GTL
NO _x 触媒 技術	NSR	エンジンD	1.1	2	3
		車両B			
	尿素SCR	エンジンB	1.2		
		エンジンE		2	

マトリックス試験 供試燃料性状

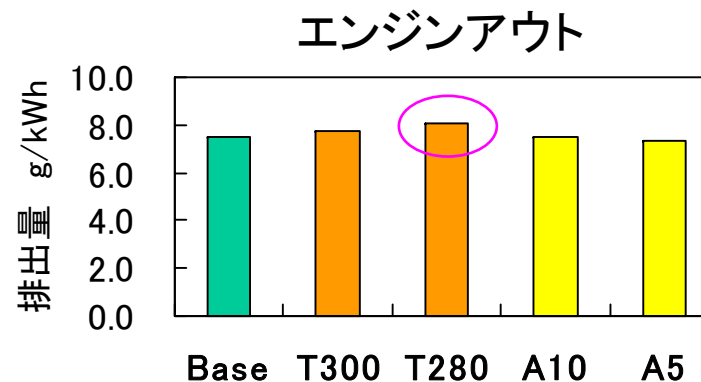
		J2D35	J2D41	J2D42	J2D43	J2D44
		Base	90%留出温度		芳香族	
			T300	T280	A10	A5
密度	g/cm3	0.828	0.809	0.803	0.816	0.808
蒸留 ℃	10%	219	182	175	218	212
	50%	273	216	210	277	279
	90%	331	298	276	336	335
芳香族	vol%	19.2	17.4	19.0	9.9	5.9
硫黄分	mass ppm	3	7	7	7	7
セタン価		56.6	56.7	54.3	51.7	65.7
セタン指数		57.4	49.2	48.9	63.6	68.1
窒素分	mass ppm	6	155	157	2	1

マトリックス試験結果 NO_x

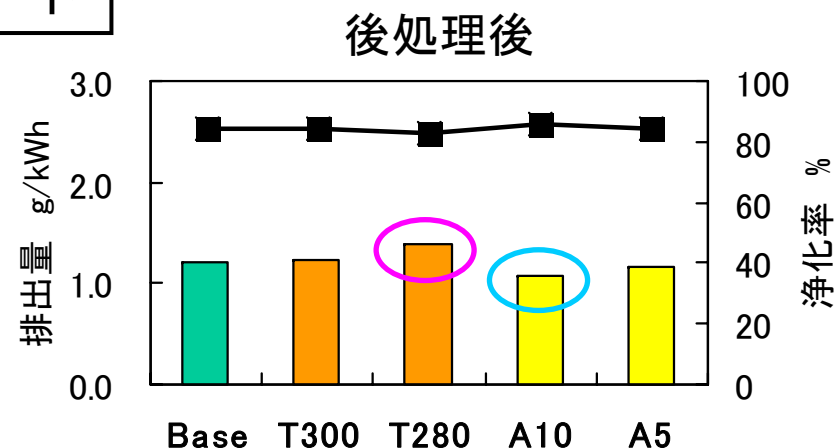
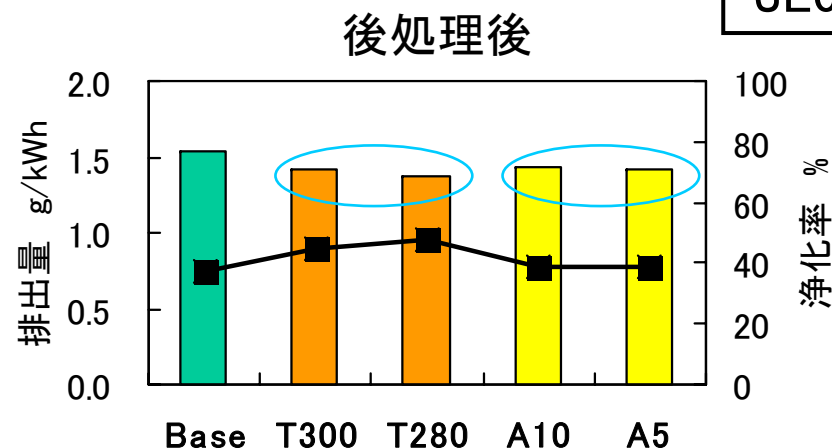
エンジンD (NSR)



エンジンE (尿素SCR)



JE05モード



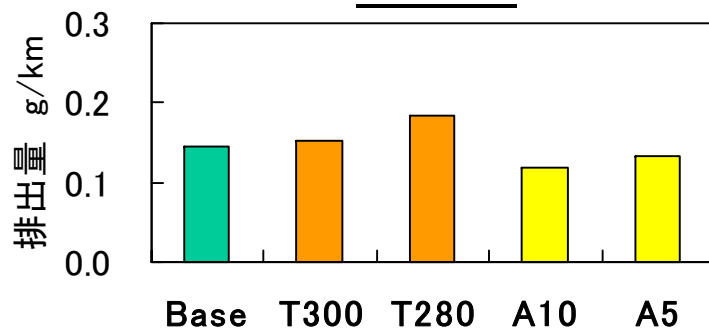
エンジンD (NSR)では、T90軽質化で、浄化率向上により、後処理後でNO_x低減

エンジンE (尿素SCR)では、T90軽質化でエンジンアウト、後処理後ともNO_x増加

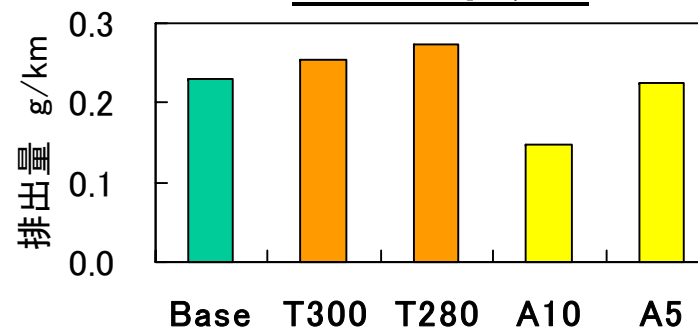
車両B(NSR) マトリックス試験結果

NO_x

10・15



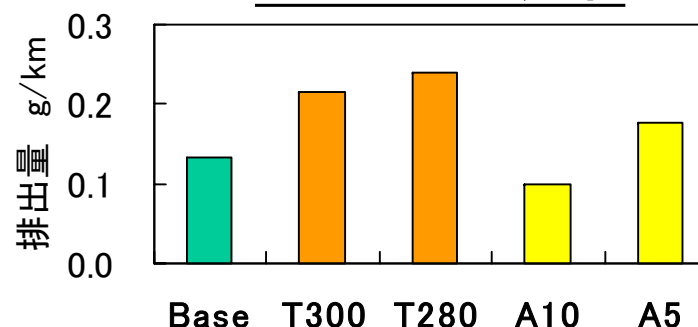
CD34ホット



車両B(NSR)では、T90軽質化により後処理後のNO_xが低減しなかった

この理由としては、パイロット燃焼の影響、燃料密度の差に起因するアクセル踏み込みの差によるEGR等の制御の変化等が考えられる

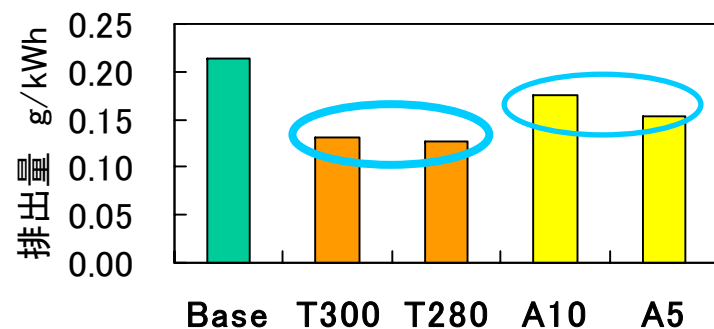
CD34コールド



マトリックス試験結果 PM

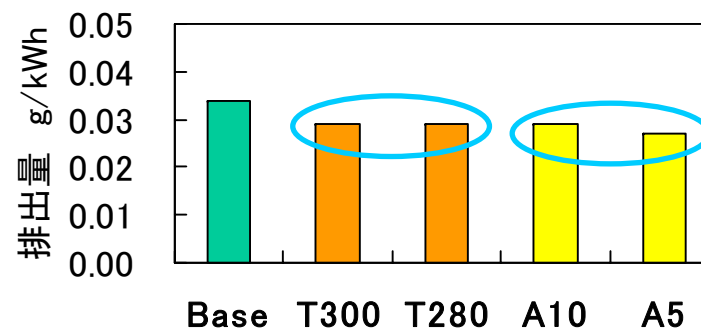
エンジンD (NSR)

エンジンアウト



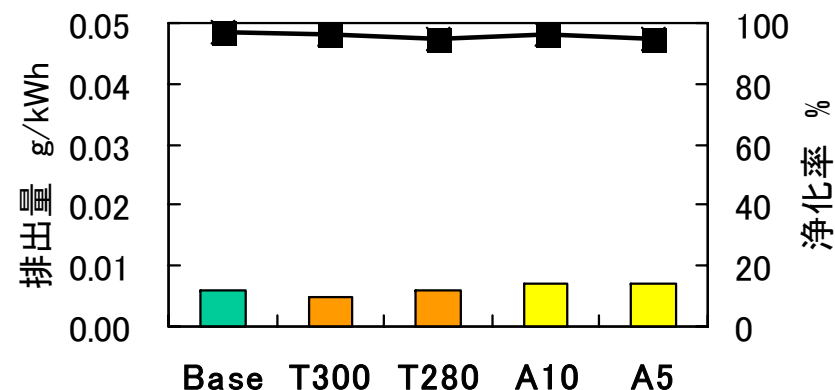
エンジンE (尿素SCR)

エンジンアウト

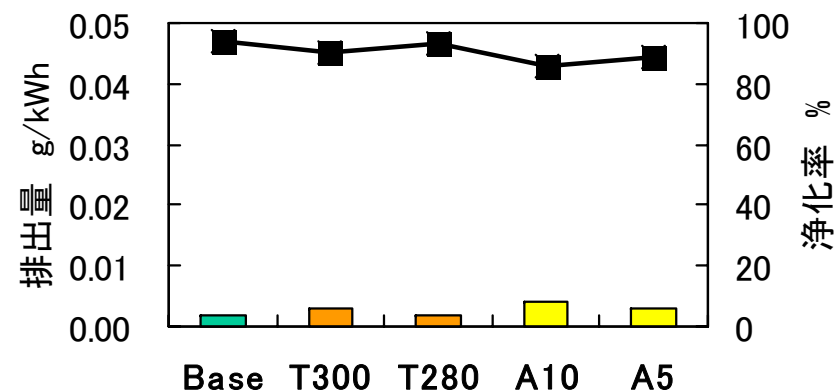


JE05モード

後処理後



後処理後

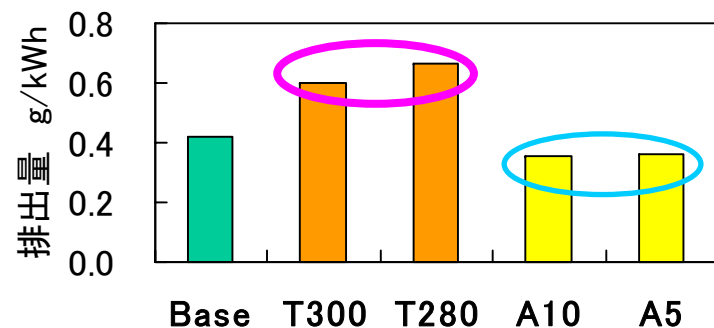


エンジンD (NSR)、エンジンE (尿素SCR)ともに、エンジンアウトでは、T90軽質化、低芳香族化でPM低減傾向
後処理後は、全燃料とも浄化率高く、低排出レベル

マトリックス試験結果 HC

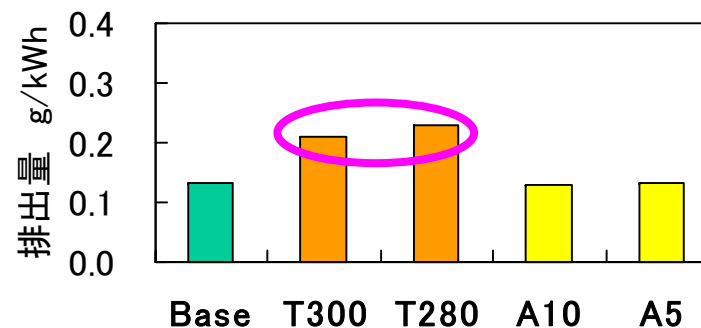
エンジンD (NSR)

エンジンアウト



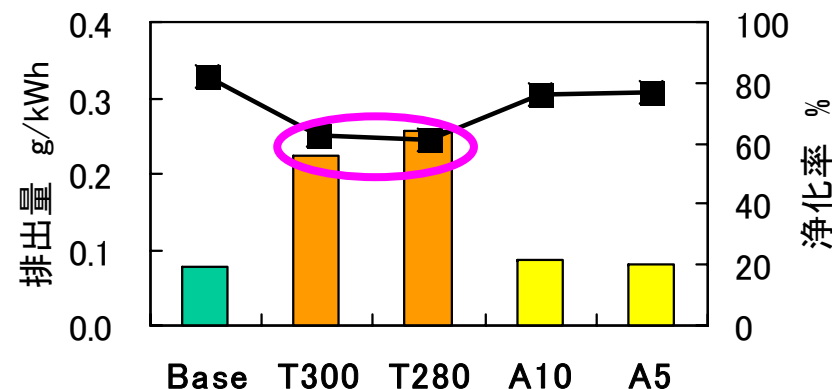
エンジンE (尿素SCR)

エンジンアウト

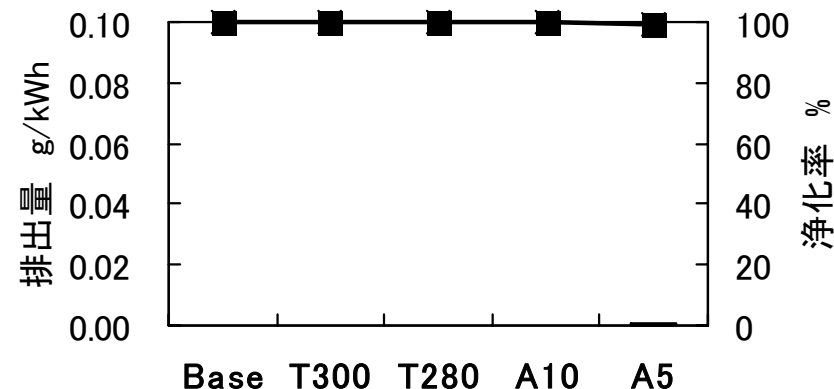


JE05モード

後処理後



後処理後



エンジンD (NSR)、エンジンE (尿素SCR) とともに、T90軽質化により、エンジンアウトのHCが増加。エンジンD (NSR) は後処理後でもHCが増加したが、エンジンE (尿素SCR) は浄化率高く、後処理後は低排出レベル

マトリックス試験結果の比較

		エンジンD NSR+DPF		エンジンE 尿素SCR+DPF	
		T90軽質化	低芳香族化	T90軽質化	低芳香族化
NO _x	エンジンアウト	= / ↑	=	= / ↑	=
	後処理後	↓ ↓ / ↓	↓	= / ↑	↓
PM	エンジンアウト	↓ ↓ ↓	↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓
	後処理後	—	—	—	—
HC	エンジンアウト	↑ ↑ ↑	↓ / ↓ ↓	↑ ↑ ↑	=
	後処理後	— / ↑ ↑ ↑	= / —	—	—
CO	エンジンアウト	↑ / =	↓ / ↓ ↓	↓ / =	=
	後処理後	↓ ↓ ↓ / —	—	—	—

増減なし(±5%未満): =

やや増(5%以上10%未満): ↑、増(10%以上25%未満): ↑ ↑、著しく増(25%以上): ↑ ↑ ↑

やや減(5%以上10%未満): ↓、減(10%以上25%未満): ↓ ↓、著しく減(25%以上): ↓ ↓ ↓

変化絶対値がBack to Back繰り返し判定基準以下: —

高浄化率: 95%以上

マトリックス試験結果の比較

		エンジンD NSR+DPF		エンジンE 尿素SCR+DPF	
		T90軽質化	低芳香族化	T90軽質化	低芳香族化
NO _x	エンジンアウト	= / ↑	=	= / ↑	=
	後処理後	↓ ↓ / ↓	↓	= / ↑	↓
PM	エンジンアウト	↓ ↓ ↓	↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓
	後処理後	—	—	—	—
HC	エンジンアウト	↑ ↑ ↑	↓ / ↓ ↓	↑ ↑ ↑	=
	後処理後	— / ↑ ↑ ↑	= / —	—	—
CO	エンジンアウト	↑ / =	↓ / ↓ ↓	↓ / =	=
	後処理後	↓ ↓ ↓ / —	—	—	—

尿素SCRシステムへの燃料性状の影響は、NSRと比較して、小さかった

マトリックス試験結果の比較

		エンジンD NSR+DPF		エンジンE 尿素SCR+DPF	
		T90軽質化	低芳香族化	T90軽質化	低芳香族化
NO _x	エンジンアウト	= / ↑	=	= / ↑	=
	後処理後	↓ ↓ / ↓	↓	= / ↑	↓
PM	エンジンアウト	↓ ↓ ↓	↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓
	後処理後	—	—	—	—
HC	エンジンアウト	↑ ↑ ↑	↓ / ↓ ↓	↑ ↑ ↑	=
	後処理後	— / ↑ ↑ ↑	= / —	—	—
CO	エンジンアウト	↑ / =	↓ / ↓ ↓	↓ / =	=
	後処理後	↓ ↓ ↓ / —	—	—	—

後処理後NO_xへのT90軽質化の影響

NSRは排気管燃料添加方式を採用しており、軽質化によりリッチ雰囲気形成が容易になるためと考える

マトリックス試験結果の比較

		エンジンD NSR+DPF		エンジンE 尿素SCR+DPF	
		T90軽質化	低芳香族化	T90軽質化	低芳香族化
NO _x	エンジンアウト	= / ↑	=	= / ↑	=
	後処理後	↓ ↓ / ↓	↓	= / ↑	↓
PM	エンジンアウト	↓ ↓ ↓	↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓
	後処理後	—	—	—	—
HC	エンジンアウト	↑ ↑ ↑	↓ / ↓ ↓	↑ ↑ ↑	=
	後処理後	— / ↑ ↑ ↑	= / —	—	—
CO	エンジンアウト	↑ / =	↓ / ↓ ↓	↓ / =	=
	後処理後	↓ ↓ ↓ / —	—	—	—

エンジンアウトHCおよびCOへの低芳香族化の影響

エンジンDはタイミングリタードが大きいいため、燃料性状の影響があらわれ易いと考え

マトリックス試験結果の比較

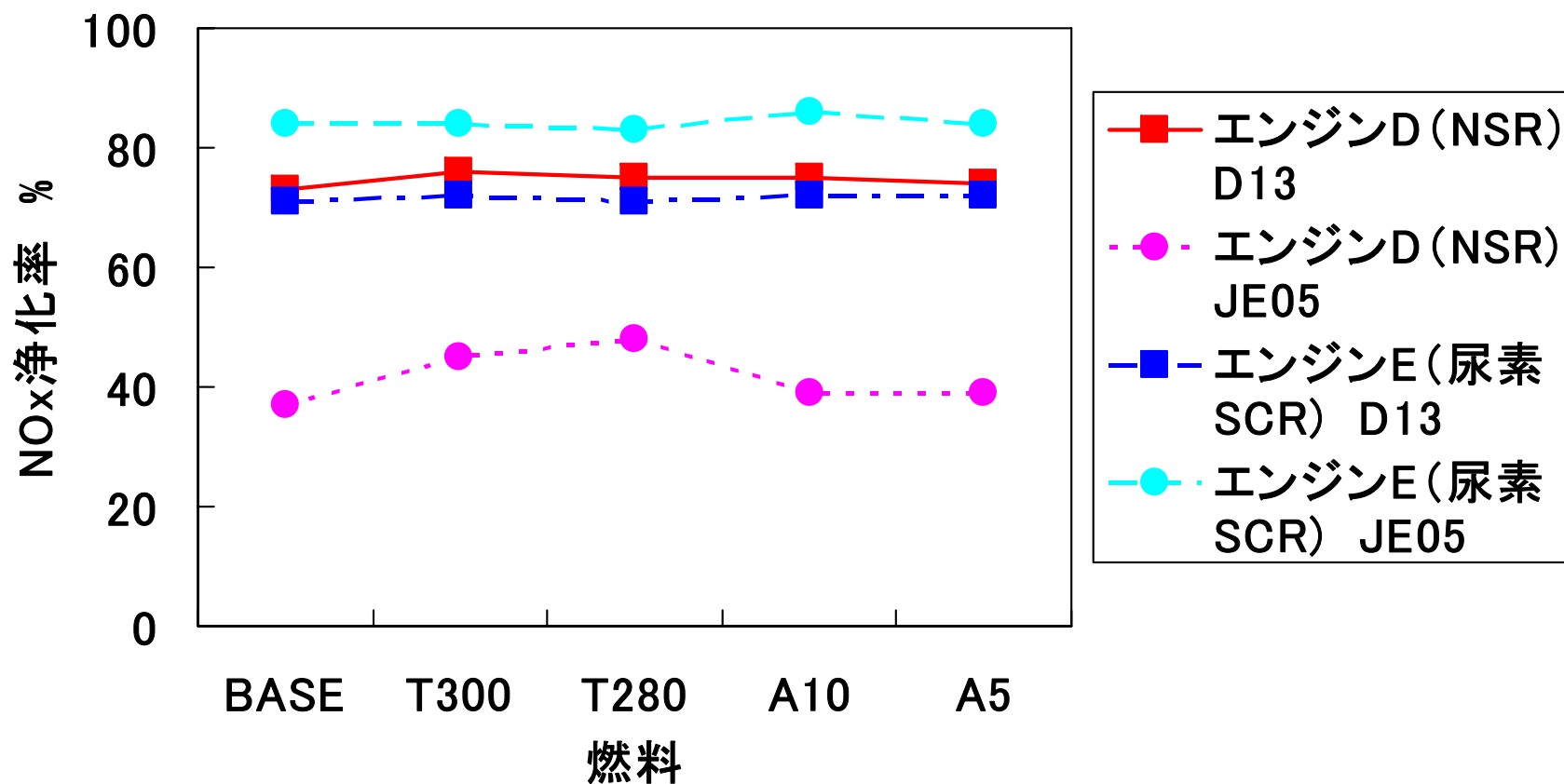
		エンジンD NSR+DPF		エンジンE 尿素SCR+DPF	
		T90軽質化	低芳香族化	T90軽質化	低芳香族化
NO _x	エンジンアウト	= / ↑	=	= / ↑	=
	後処理後	↓ ↓ / ↓	↓	= / ↑	↓
PM	エンジンアウト	↓ ↓ ↓	↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓
	後処理後	—	—	—	—
HC	エンジンアウト	↑ ↑ ↑	↓ / ↓ ↓	↑ ↑ ↑	=
	後処理後	— / ↑ ↑ ↑	= / —	—	—
CO	エンジンアウト	↑ / =	↓ / ↓ ↓	↓ / =	=
	後処理後	↓ ↓ ↓ / —	—	—	—

後処理後のHCへのT90軽質化の影響

エンジンDはJE05モードでHC大幅増加（加速時に大量排出）する

この理由は、排気添加燃料の軽質化により触媒からの放出量が増えるためと考えられる

NOx浄化率の比較



エンジンEがJE05モードで高いNOx浄化率を示した

これは、排気温度が20℃高いこと※、及び、JE05モードを主眼としたマッチングを行ったことによると考えている

※スライド7参照

報告内容

1.硫黄分の影響	1.1 走行試験 エンジンD (NSR)、車両B (NSR) 1.2 尿素SCR試験 エンジンB (尿素SCR)
2.蒸留性状、芳香族分の影響	マトリックス試験 エンジンD (NSR)、車両B (NSR) エンジンE (尿素SCR)
3.FAME・GTLの影響	FAME・GTL試験 エンジンD (NSR)、車両B (NSR)

			燃料品質		
			硫黄分	T90・芳香族	FAME・GTL
NO _x 触媒 技術	NSR	エンジンD	1.1	2	3
		車両B			
	尿素SCR	エンジンB	1.2		
		エンジンE		2	

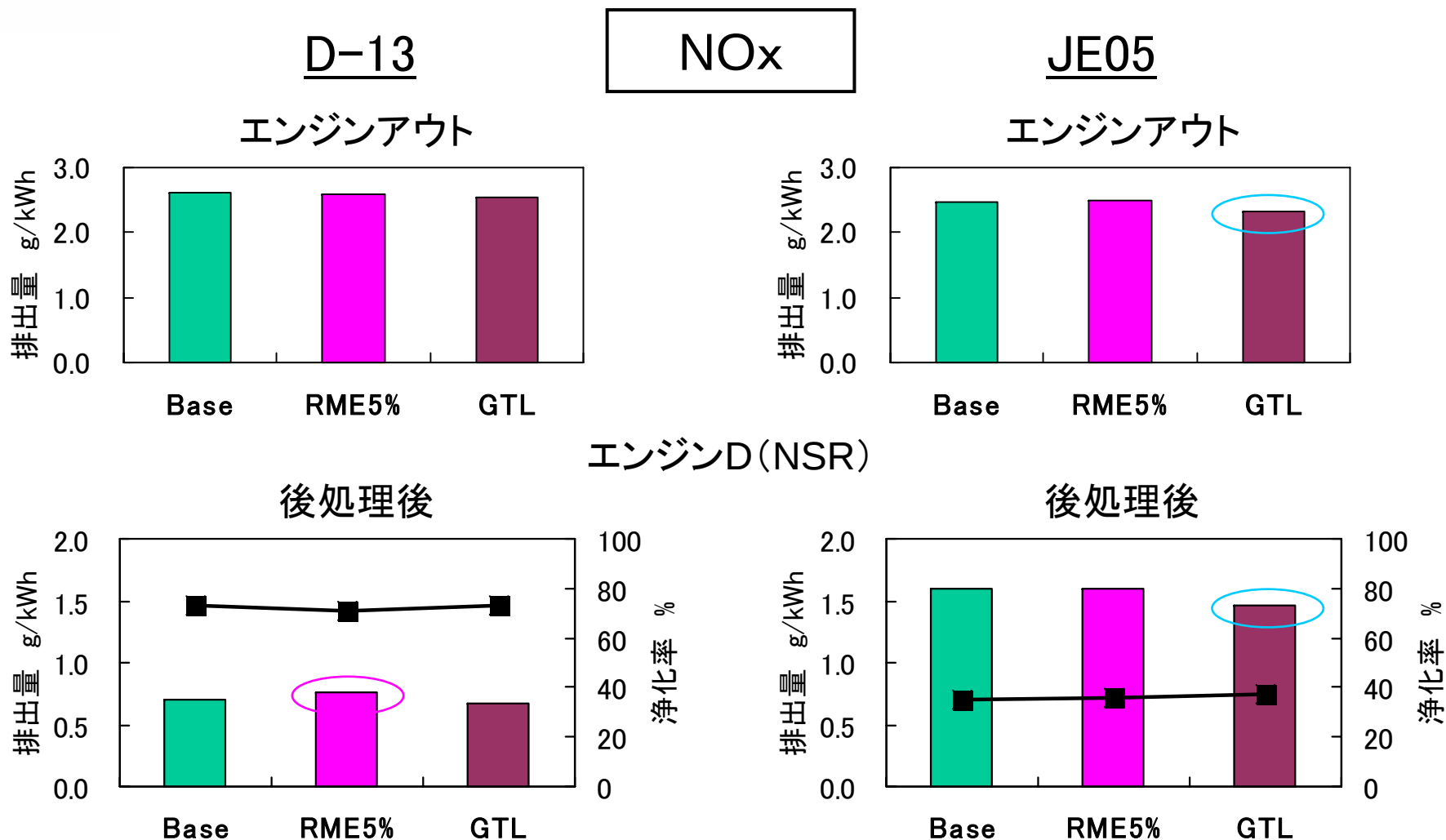
FAME・GTL試験 供試燃料性状

		J2D35	J2D47A	J2D45
		Base	RME5%	GTL
密度	g/cm ³	0.828	0.831	0.785
蒸留 °C	10%	219	225	246
	50%	273	278	296
	90%	331	333	342
芳香族	vol%	19.2	17.8	0.0
硫黄分	mass ppm	3	3	<1
セタン価		56.6	56.4	78.9
セタン指数		57.4	57.7	90.3
窒素分	mass ppm	6	<1	<1

FAME(RME5%)はベースにRME(菜種油メチルエステル)を5%混合

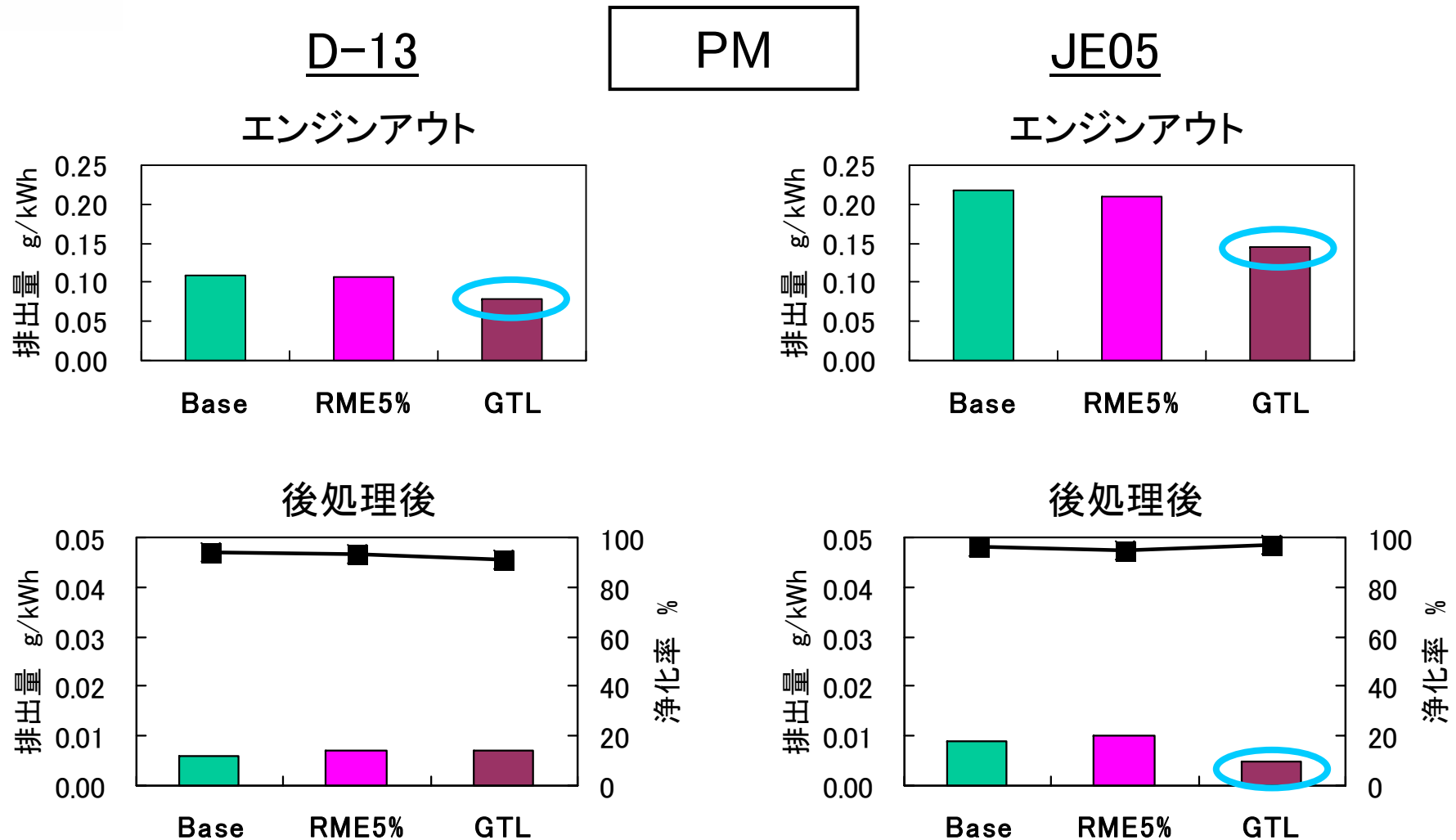
GTLは商業プラント生産品

エンジンD(NSR) FAME・GTL試験結果



RME5%はD13モードで NO_xが若干増加したがJE05モードではほとんど差がなかった
GTLは特にJE05モードでエンジンアウト、後処理後ともNO_xが低下した

エンジンD(NSR) FAME・GTL試験結果



RME5%は両モードでほとんど差がなかった

GTLは特にJE05モードでエンジンアウト、後処理後ともPMが低下

エンジンD FAME・GTL試験結果 まとめ

		RME5%		GTL	
		D-13	JE05	D-13	JE05
NO _x	エンジンアウト	=	=	=	↓
	後処理後	↑	=	=	↓
PM	エンジンアウト	=	=	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓
	後処理後	—	— (高浄化率)	—	↓ ↓ ↓ (高浄化率)
HC	エンジンアウト	↑	=	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓
	後処理後	—	—	↓ ↓	↓ ↓ ↓
CO	エンジンアウト	=	=	↓	↓ ↓ ↓
	後処理後	— (高浄化率)	— (高浄化率)	— (高浄化率)	↓ ↓ ↓ (高浄化率)

増減なし(±5%未満): =

やや増(5%以上10%未満): ↑、増(10%以上25%未満): ↑ ↑、著しく増(25%以上): ↑ ↑ ↑

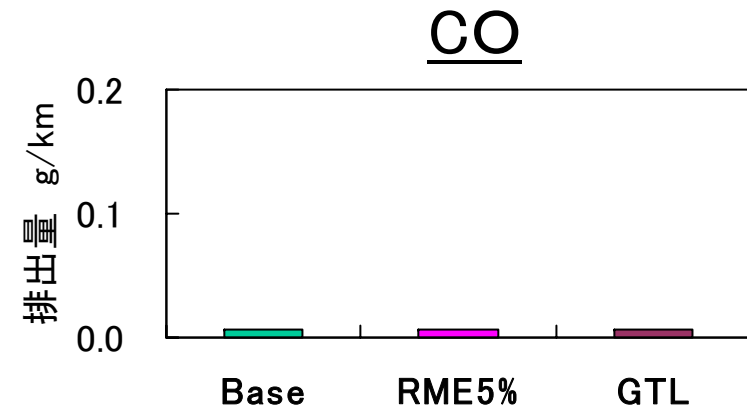
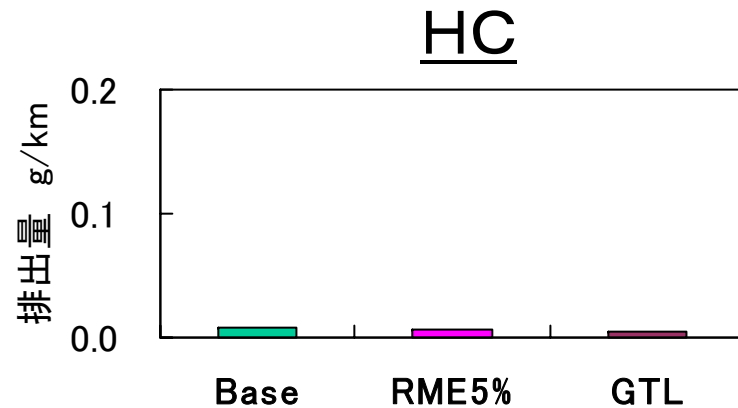
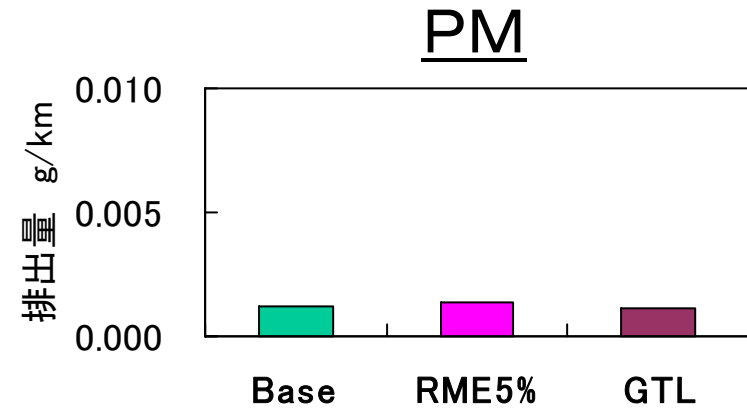
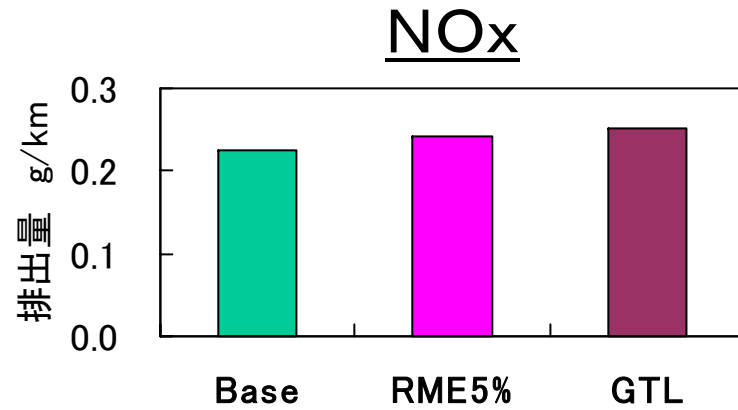
やや減(5%以上10%未満): ↓、減(10%以上25%未満): ↓ ↓、著しく減(25%以上): ↓ ↓ ↓

変化絶対値がBack to Back繰り返し判定基準以下: —

高浄化率: 95%以上

車両B(NSR) FAME・GTL試験結果

CD34ホット



車両B(NSR)

車両B(NSR)では、GTLによるNO_xの低減傾向は見られなかった
PM、HC、COはいずれも燃料でも極めて低い排出レベルであった

まとめ

ディーゼル車WG まとめ(1)

ディーゼルのNO_x低減後処理技術として有力とされるNO_x吸蔵還元触媒(NSR触媒)と、尿素SCRを主な評価対象として、燃料性状影響に関する以下の知見を得た

【硫黄分の影響】

＜NSR触媒＞

- ・軽油の低硫黄化は、NSR触媒の被毒回復による燃費の悪化(CO₂の増加)を抑制する

例：硫黄分50ppm→10ppmで燃費4～5%改善

- ・軽油の低硫黄化は、NSR触媒の被毒回復による熱劣化を抑制することにより、NO_x浄化率の維持にも有効である

＜尿素SCR＞

- ・軽油の低硫黄化は、前段酸化触媒の被毒を低減する事により、都市内走行のような低排気温度におけるNO_x浄化率の改善が期待できる

ディーゼル車WG まとめ(2)

【T90の影響】

- ・軽油の軽質化(T90低減)は、NSR触媒の浄化率を向上させる可能性がある
- ・一方で軽油の軽質化により、エンジンアウトのNO_xとHCが増加したことから、エンジンシステムの最適化を必要とする
- ・軽油の軽質化は、エンジンアウトのPMを低減しうるが、DPFによりPMの排出量は大幅に低減されるため、後処理後のPM量は小さい。ただし、エンジンアウトのPM低減は、一般的に後処理装置の耐久信頼性を向上しうると考えられる

【芳香族分の影響】

- ・軽油の低芳香族化は、エンジンアウトのPMを低減しうるが、DPFによりPMの排出量は大幅に低減されるため、後処理後のPM量は小さい。ただし、エンジンアウトのPM低減は、一般的に後処理装置の耐久信頼性を向上しうると考えられる

ディーゼル車WG まとめ(3)

【FAMEの影響】

- ・FAME(RME5%)については、NSR触媒の排出ガスの大きな変化はなかった

【GTLの影響】

- ・GTLについては、特にエンジンアウトの排出ガス成分が低減する可能性が示された