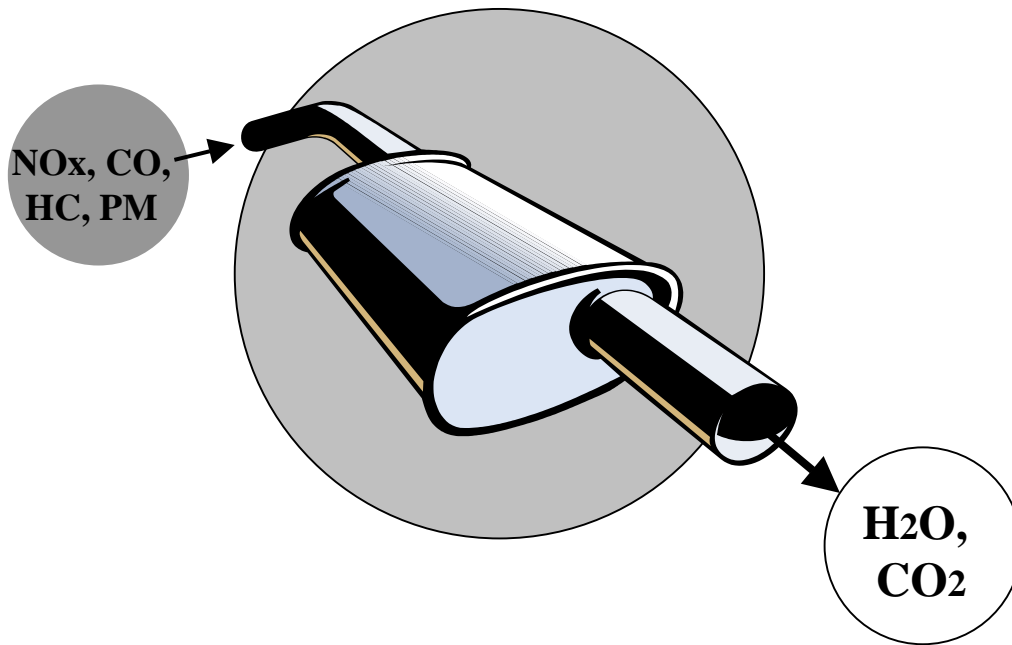


排出ガス後処理技術の効果、 評価、課題



環境研究領域 主任研究員
鈴木 央一

排出ガス「後処理装置」について

ここでの定義：

エンジン燃焼室内で生成および排出される有害成分を排気系で無害化するための装置

排出ガス規制の強化にともないガソリン車では以前から、ディーゼル車では2002～03年あたりからほぼ必須

要素技術および制御技術の向上により後処理装置の浄化率は大きく向上しており、排出ガス低減技術の中核に

激化する国際競争の中心技術

交通研で行っている後処理の関わる研究・調査

試験法および基準作りを支援

試験 (JE05) モードにおける台上再現プログラム開発
尿素SCRの技術基準 / 指針作りに必要な各種試験

実効ある環境改善に向けた解析調査

実使用状態を考慮した環境負荷アセスメント調査
(試験モード以外の) オフサイクルでの排出ガス挙動把握

次世代低公害車の開発

大型DMEトラックにおけるNO_x触媒システムの研究開発
ポスト新長期 (2009年) 規制値の1/5レベルのNO_x排出を達成

本講演で紹介する内容と視点

- 各後処理装置の特徴(長所、短所)
 - なぜ、同じゴール目指して様々な種類のものが存在するのか
- 効果的に機能している場合や、課題が現れている場合の具体的なデータ
 - 交通研において測定した結果から
- 「評価」が複雑になっている現状(一部の技術)
 - 実測値でも客観的に正確な評価といえない場合も

本講演で扱う後処理装置

- 1 . 三元触媒 (ガソリン(、LPG)車)
- 2 . NO_x吸蔵触媒(ガソリン車、ディーゼル車)
- 3 . 尿素SCR (ディーゼル車)
- 4 . 酸化触媒 (主にディーゼル車)
- 5 . DPF (ディーゼル車)

三元觸媒

Three-way Catalyst



三元触媒の特徴

< 長所 >

・ **圧倒的な**排出ガス浄化性能

各種の課題すべてを補ってあまりある低公害性

以前は、代替燃料車は「低公害車」といわれたが、現在では燃料の違いを上回る低減効果を発揮し、ガソリン車の方が優れているケースも

< 短所 >

・ **量論比(ストイキ)燃焼**でしか効果がない

ストイキ燃焼は燃費がよくない 今後は低CO₂化の時代

・ **未規制成分**排出

触媒で生成してしまう成分もある

・ **依存度が高い**だけに少々の劣化でも大幅に悪化

使用過程車、オフサイクルおよび触媒の効かない冷始動時対策が重要

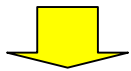
三元触媒車における低排出ガス化の到達点

評価値:JC08(コールド) + 10-15 コンバインド

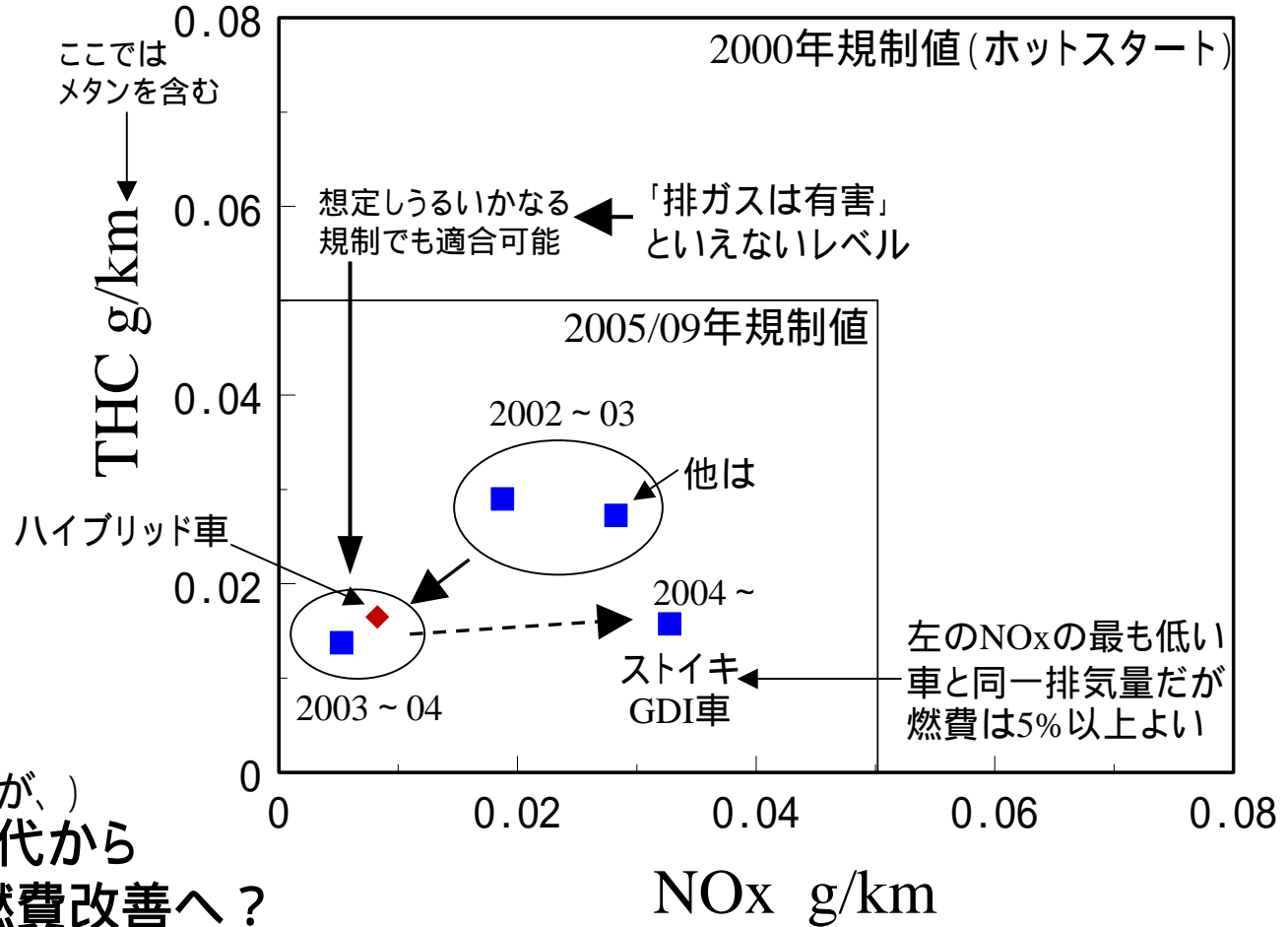
図中のプロットは
すべて三元触媒車

2000年規制
クラスでも2009年規制
を余裕でクリア可能

図中の直噴ガソリン
車は最も最近発売
開始になった車



(データ数は不十分だが、)
とことん抑制する時代から
ある範囲に抑えて燃費改善へ?
(CO₂)



FTIRによる未規制成分測定例



多成分同時計測可能な分析計

2L三元触媒車(走行距離500km)

	主な未規制成分(ppm)				規制成分(ppm)	
	CH4	N2O	NH3	C6H6	CO	NO+NO2
始動* ~ 30sアイドリング	25.5	54.5	**	4.65	2311	407
60km/h定常	17	1.02	307	0	82	10.2
10-15モード	6.98	1.28	53.9	0	45.5	14.3

地球温暖化効果ガス

悪臭および
土壌汚染の
原因物質
微量有害成分

表中の数値は(単純)平均濃度

* 10-15モードを走行後40分経過後に始動した

** 排気ガスおよびテールパイプ中の水分等により正確な測定は困難(濃度的には低い)

- 触媒活性時にはアンモニアが排出されるケースがある
- メタンおよび亜酸化窒素の地球温暖化効果はそれぞれ21倍と310倍 少量でも温暖化効果は高い

上記の例ではメタンと亜酸化窒素を併せてCO₂の1~2%相当の温暖化負荷
触媒劣化時などでは10%近くにおよぶこともある

< 試験評価法について >

排出ガス評価走行モードの変更

シャシベース試験 (GVW < 3.5t)

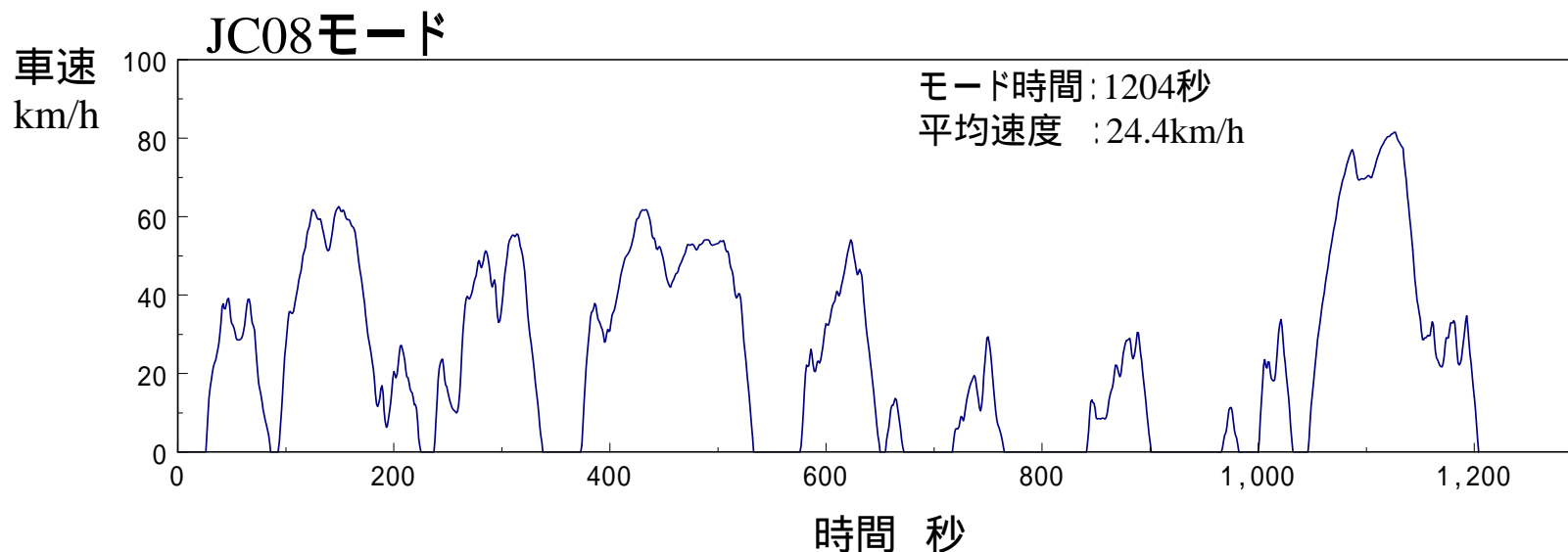
11モード (冷機)

JC08モード (2008 ~)

10-15モード (暖機)

JC08モード (2011 ~)

JC08モードは実走行をベースとして加減速度の幅が従来より拡大し、80km/h以上の高速部分も加わった従来より厳しいといえるモード



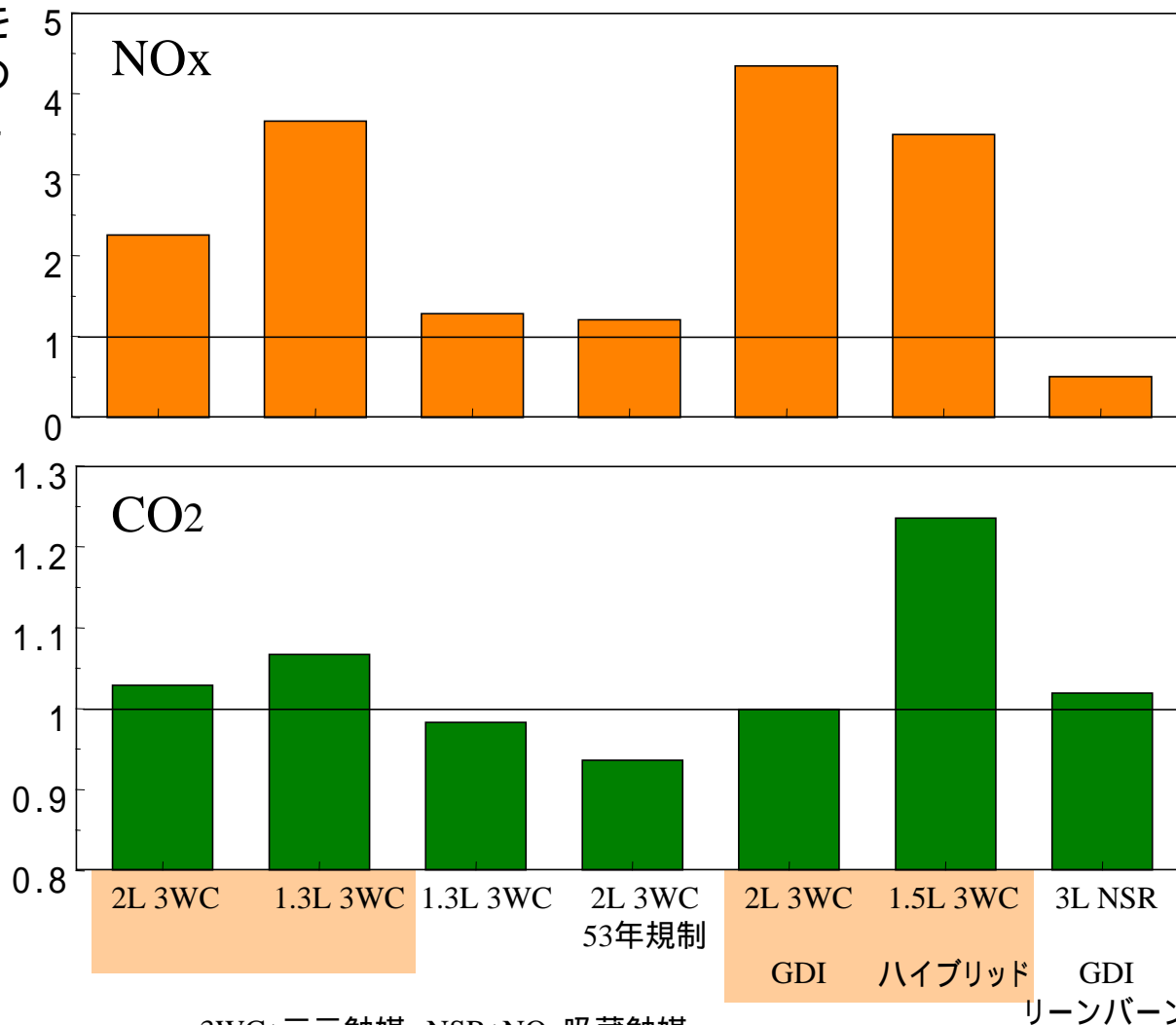
評価モードによるNO_xおよびCO₂の違い

10-15モードを
1としたときの
JC08モードに
おける比率

NO_x排出が2倍以上になるのは
すべてで元のNO_x排出が
極めて低い車
おそらくモード適合化制御で
低減が可能

燃費は車により増減両方の
場合がある

CO,HCについては一部の車で
ゼロとなった場合があり比較が
困難だった



3WC:三元触媒、NSR:NO_x吸蔵触媒



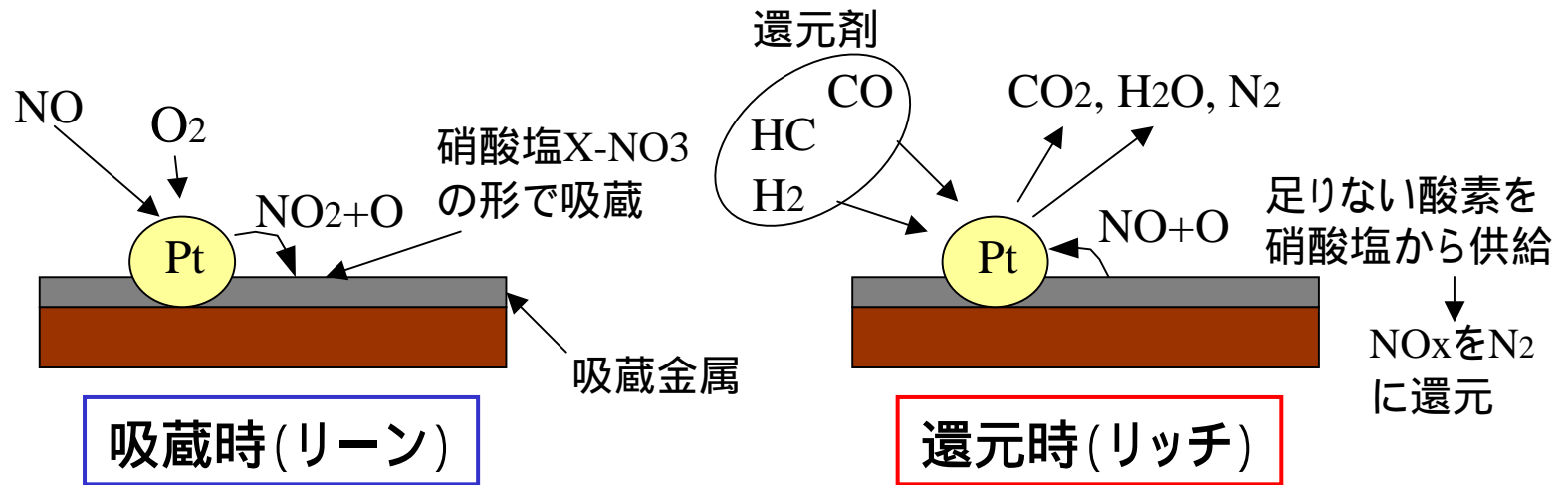
NO_x吸藏(還元)触媒

NO_x storage Catalyst



NO_x吸蔵触媒の概要

基本メカニズム



< 長所 >

酸素存在下で高いNO_x低減効果

< 短所 >

(適切なリッチスパイクが必要)

制御が複雑で熱や硫黄の被毒に弱い

NO_x吸蔵量予測の制御が外れると大幅な悪化につながる

NO_x吸蔵触媒の基本特性

温度特性:

連続的に効果を発揮するためには「温度ウィンドウ」を維持することが必要
ただし、吸蔵だけなら低温でもある程度可能

	低温 200 程度	中温 300 ~ 400	高温 500 以上
吸蔵能力			(×)
還元能力	×		

高温時には吸蔵していたNO_xを吐き出してしまうことあり

吸蔵特性:

吸蔵しやすい順に SO₂ > NO₂ > NO

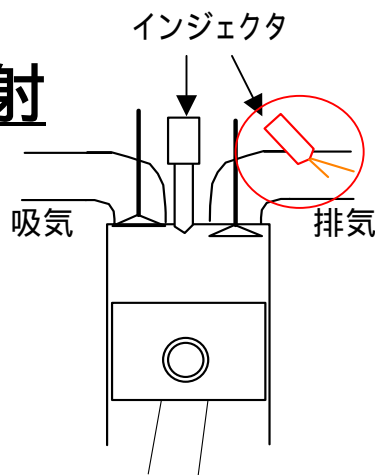
こういった特性から、低硫黄軽油の使用が前提
前段に(酸化)触媒を搭載 となる

NO_x還元(リッチスパイク)制御の例

吸蔵したNO_xを還元するには排気ガスに酸素のない燃料リッチ状態が必要
NO_x吸蔵量はエンジン運転条件よりNO_x量を累積して求める場合が多い

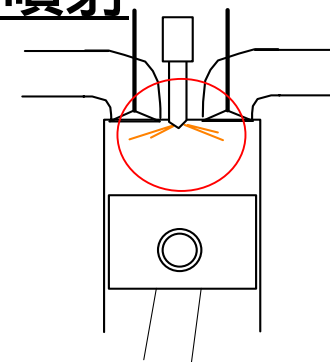
1. 排気管燃料噴射

制御性はよいが高温部分に燃料噴射システムを追加し、うまく攪拌するのは容易でない



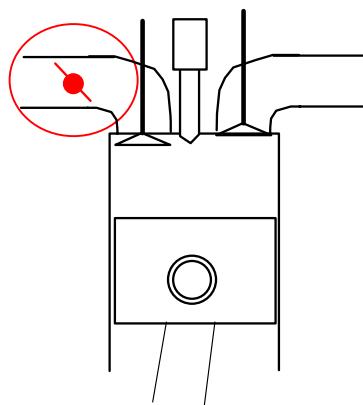
2. 気筒内ポスト噴射

制御性はよいがシリンダ壁面に燃料が付着しオイルを希釈してしまう
(多少のトルク変動あり)



3. 吸気絞り

ハード的には困難でないが運転性への影響を防ぐのが課題
(さらにディーゼルではすす生成の問題)

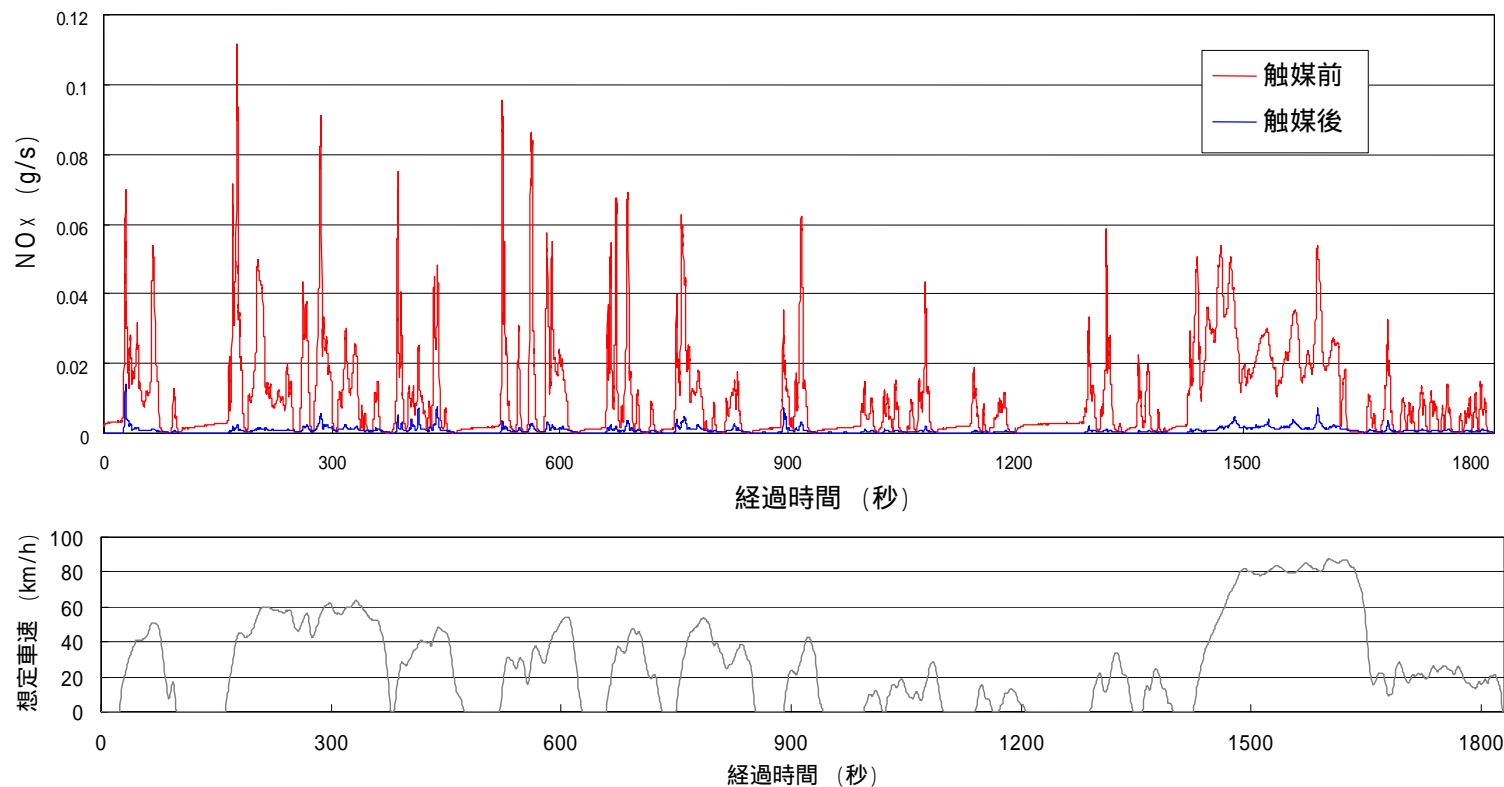


これらの機構はリッチスパイクのほか硫黄被毒の再生にも使用される
(より長時間の連続リッチ運転を行う = 燃費は悪化する)

低硫黄化が燃費の向上にもつながる

NO_x吸蔵触媒が効果的に機能した例

次世代低公害大型DMEエンジン、JE05モード



NO_x排出率: 触媒前 2.064g/kWh
触媒後 0.141g/kWh (低減率93.2%)

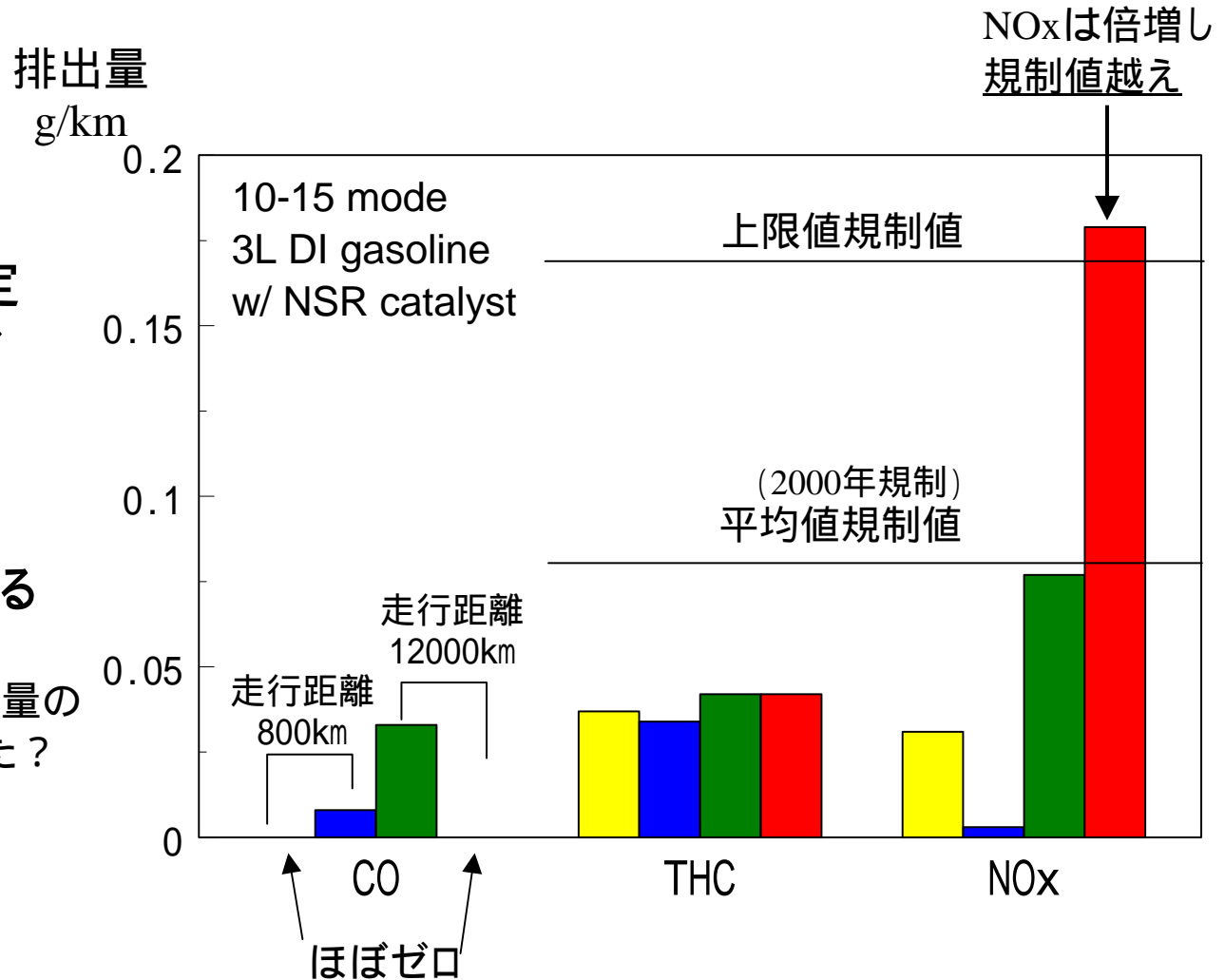
ただしDMEエンジンでは
大量EGRによる排気温度
上昇と燃料中に硫黄がない
ことからNO_x触媒に有利

制御が外れるとNO_x”急増”触媒に

3L DIガソリン車で
10-15モードを同じ
条件で2回ずつ測定
(走行距離800kmお
よび12,000km)

だが、NO_x排出が
数倍も違うことがある

ECUにおけるNO_x吸蔵量の
予測があっていなかった？



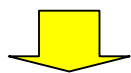
制御が外れるとNO_x”急増”触媒に

2tトラック用エンジン(DPF+NSR, 4L TCI)を“環境にやさしい”
バイオ燃料(RME)で運転してみたが...

軽油では浄化率97%
バイオ燃料では30%

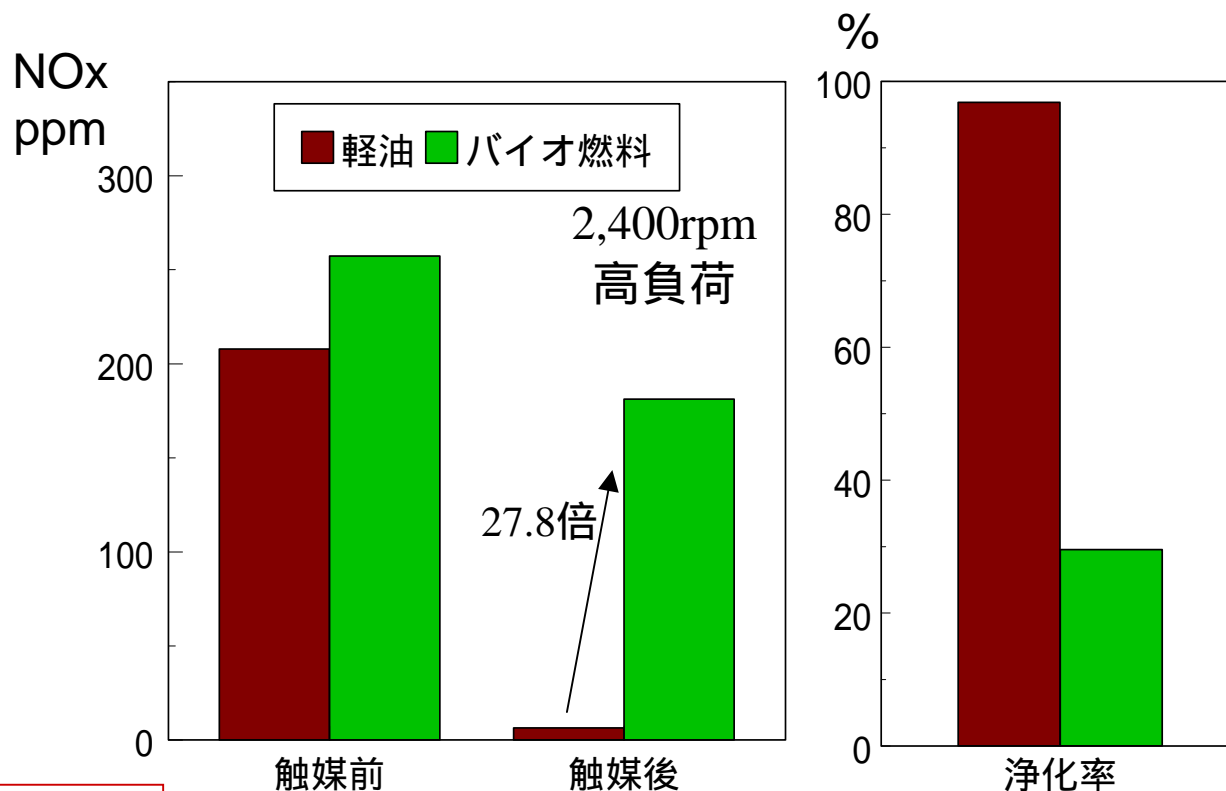
排出濃度で27.8倍増加

単位体積あたりの発熱量の少ないバイオ燃料ではリッチスパイクがリッチになっていない



有効な還元ができない

高度な制御をしている分、想定外の燃料を使用すると性能発揮できない



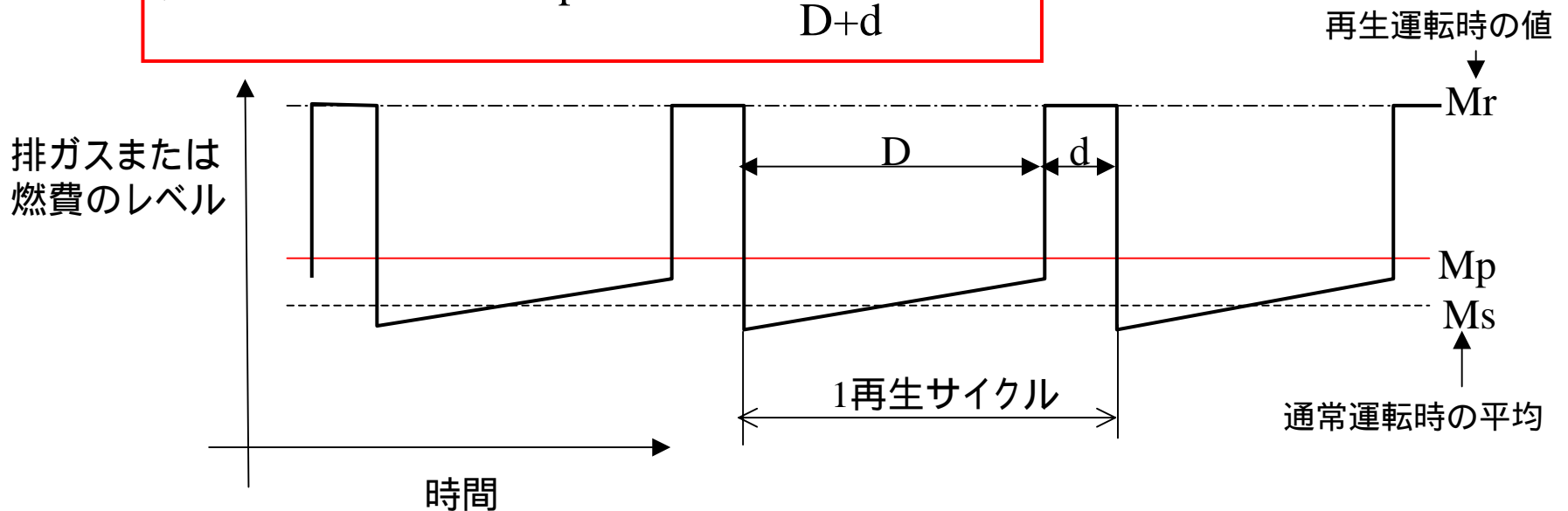
「バイオマス燃料対応自動車開発促進調査事業」における実験結果より

排出ガス評価法について

NO_x吸蔵触媒は硫黄による被毒と再生を繰り返すため排出ガスが一定にならない

NO_x触媒およびDPFで使用される補正方法

$$\text{加重平均排出量 } M_p = \frac{M_s \times D + M_r \times d}{D + d}$$



ただしNO_x吸蔵触媒におけるNO_x排出は、 $M_r < M_s$ となる場合がある

尿素SCR

Urea SCR
(Selective Catalytic Reduction)

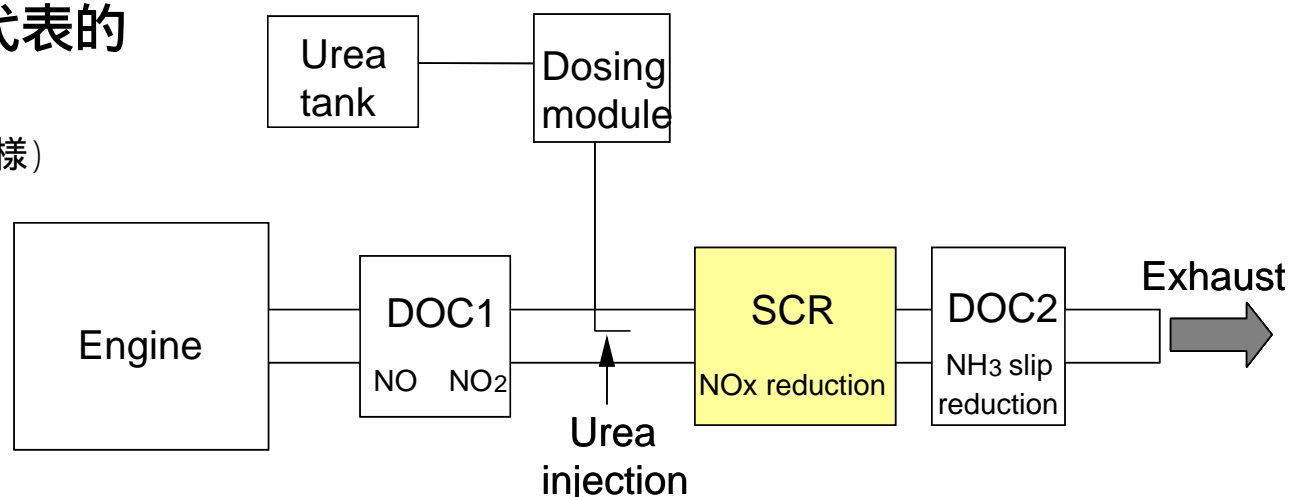


尿素SCRの概要

(尿素: ureaからできる)アンモニアを使って、酸素共存下でNO_x浄化(還元)性能を発揮できる

システムの代表的構成例

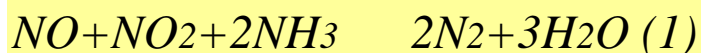
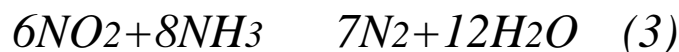
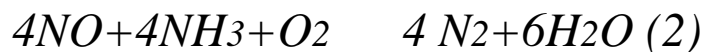
(現行市販車も同様)



DOC: Diesel oxidation catalyst



NO_x還元反応



数字の順に好ましい
← (NOとNO₂が等モル
あるといい)

尿素SCRの特徴

< 長所 >

- ・硫黄や熱劣化に比較的強い
 - ・燃費ペナルティが少ない（他の低減装置では燃費が悪化するケースが多い）
 - ・比較的活性温度が低い（ディーゼル機関はガソリンよりも排気温度が低い）
- こういった長所から、発電等定置型機関の脱硝装置として普及しており、自動車用としては長距離トラックでメリットが大きい

< 短所 >

- ・尿素水の補給が必要
- ・通常出ない成分（微粒子も含む）を排出する可能性

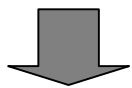
なので、実効ある低排出ガス化を実現するにはインフラおよび各種基準の整備が必要

交通安全環境研究所で技術基準・指針に必要な実証試験を実施

尿素SCRの効果と障害時の排ガス悪化状態

「触媒なし」状態のNO_x排出がエンジンアウトと同等とするとSCRによるNO_x浄化率はほぼ75%

尿素SCRシステムで触媒が大幅に劣化するとPM悪化の可能性があることを交通研が世界で初めて発表



増加要因の大半は固体尿素

NO_x, PM emission

NO_x:2.0g/kWh
PM:0.027g/kWh

9.2L TCI engine

JE-05 cycle

■ NO_x ■ PM

触媒類が機能不全となるとNO_xのみならずPMも大幅悪化の可能性

SCRが機能を失っても酸化触媒が活性状態なら悪化は最小限度に

Japan 2005 regulation

0

Base

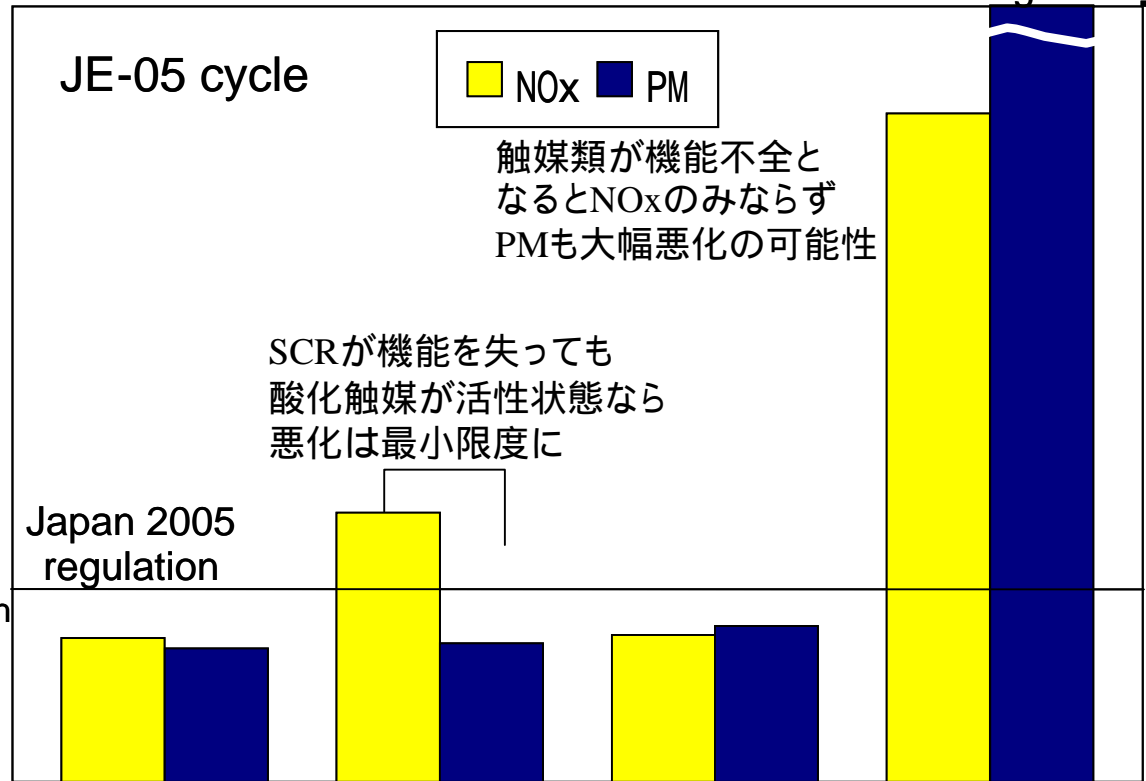
(規制値を十分クリア)

SCR
ダミー

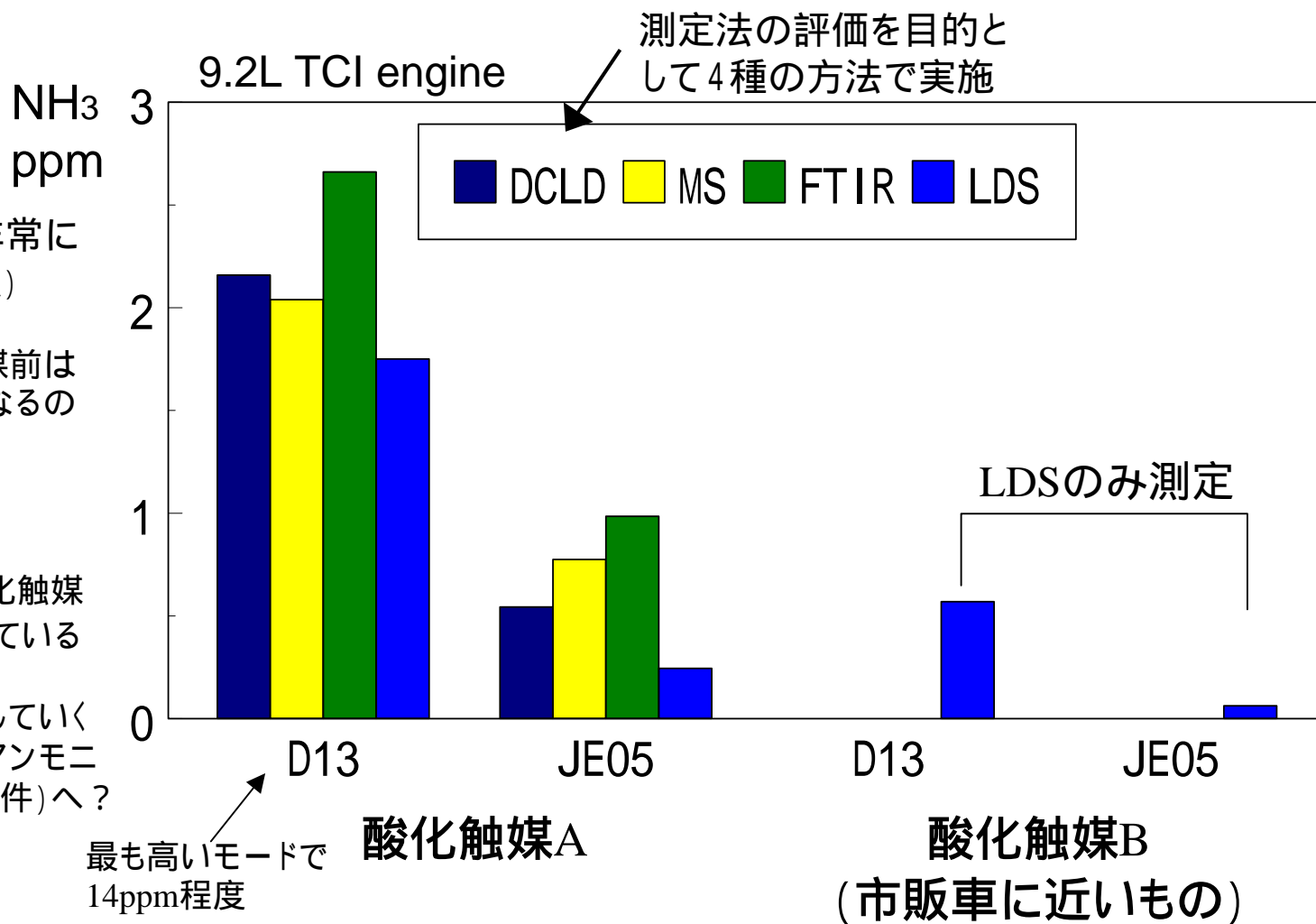
DOC
ダミー

全触媒
なし

ベースの100倍
2.29g/kWh!



尿素SCRにおけるアンモニア排出



評価時の課題

燃料でないものを添加するため、細かい問題が...

1. CO₂等排出量から燃費が算出できない (カーボンバランス法)

尿素水からアンモニアへ $CO(NH_2)_2 + H_2O \rightarrow 2NH_3 + \underline{CO_2}$ 燃料由来でない
CO₂が存在

実際どれくらいか...

NO_x 6g/kWh分を還元すると仮定すると、2.9g/kWhのCO₂を排出
↑
燃料由来のもの約0.4%

2. 直接ガス測定での排出ガス評価に誤差

尿素「水」を添加するため、吸入空気量と燃料消費量のみから排出ガスを算出すると誤差が生じる

が、尿素水を燃料の5%使用するとして影響度は0.1%程度

(審査等で採用しているCVS法では問題なし)

酸化触媒

Oxidation Catalyst



酸化触媒の特徴

酸化作用により、CO、THC、PM中のSOFを低減

< 長所 >

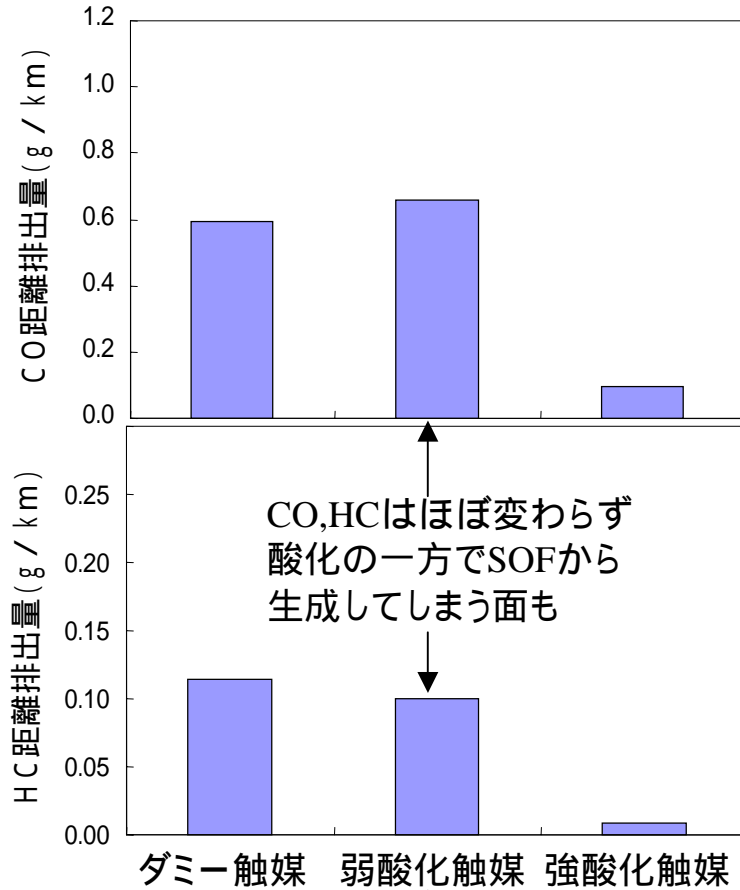
- ・とりあえず付ければ効果がある
- ・複雑な(能動的)制御がいら
2003/04(新短期)規制適合ディーゼル車で多く用いられる
後付のPM低減デバイスとしても多く使用される

< 短所 >

- ・(肝心の) **すすとNO_xはほとんど低減できない**
「PM低減装置付」でもすすは減っていない場合も
- ・NOをNO₂に転換
沿道NO₂濃度を高めてしまう可能性
逆にその特性を利用してDPFや尿素SCRシステムにおいて併用される
- ・SO₂をサルフェート(硫酸化合物でPMになる)に転換
燃料中に硫黄が多いとPMが増加したが低S化でほぼ解消

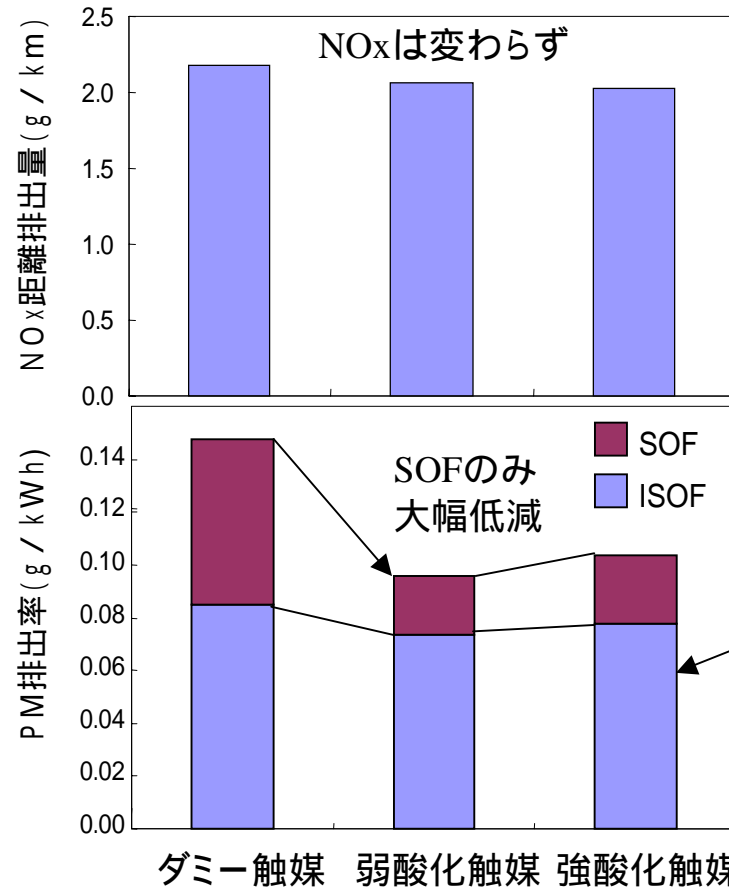
酸化触媒車の測定例

2003年規制適合の2tトラック:JE05モード



CO,HCはほぼ変わらず
酸化の一方でSOFから
生成してしまう面も

サルフェート生成を抑止するため
あえて酸化力を抑えた触媒で標準装着



SOFのみ
大幅低減

ISO (大半が
すす)はほとん
ど減らない

低S (10ppm以下)軽油のため
強酸化触媒におけるSOF増加
はほぼ抑制できている

DPF

Diesel Particulate Filter



DPFの概要

「ディーゼル機関のPMはフィルタで濾過すれば低減可能」という発想は古くからあったが、捕集されたPM(ほとんどはすす)をどう処理するかは現在にも至る課題

- すすは600 以上でないとは燃焼しない -

が、DPF内を均一にその温度にするのは難しく、上昇しすぎると溶損

➡ 技術的ステップは
予想以上に高い

すすの処理方法について

● バッチ処理タイプ

たまったすすを運行終了後などに廃棄または燃焼させる(逆洗、電気加熱)

● 交互再生式

フィルタを2系統もち、一方を捕集、他方を再生とする(再生は主に電気加熱)

● 連続再生式 (Continuous Regeneration = CR DPF)

走行中に適宜再生を行う。この方式により、ようやく一般に普及(再生は主に燃料添加し、前段の酸化触媒で昇温させて行う)

↙ NOをNO₂にしてすすの酸化開始温度を下げる効果も

DPFの特徴

< 長所 >

- ・PMに関しては大きな低減効果
- ・浄化性能は劣化しにくい(破損等の場合を除く)

そうしたことから、後付「PM低減装置」は本来DPFを想定していたが、前記のように「信頼性のあるすす再生」は楽ではなく、酸化触媒も含むことになった

< 短所 >

- ・再生時に燃費が悪化
なのでDPFがあってもエンジンアウトのPMは下げたい
- ・すすのほか、灰分の堆積に対する対処が必要
灰分のメインはオイル由来の金属塩

ここまで来ているPM低減

● 実際に測定するレベル

GVW25t車用エンジンを標準的な120m³ / 分のダイリュージョントネルで測定する場合：

新長期規制適合エンジンで、ダイリュージョントネル内の希釈排ガスは(重量濃度で)環境基準をクリア！

ほとんど大気を測定しているに近いレベル

● 低PM化でオイルの影響が増大

PM排出量は0.027g/kWhとすると燃料消費の約1/10000
オイル消費は燃料消費のざっと1/1000でそれよりはるかに多い

標準的オイル中のS(硫黄)分が燃料S換算で3～4ppm程度に相当

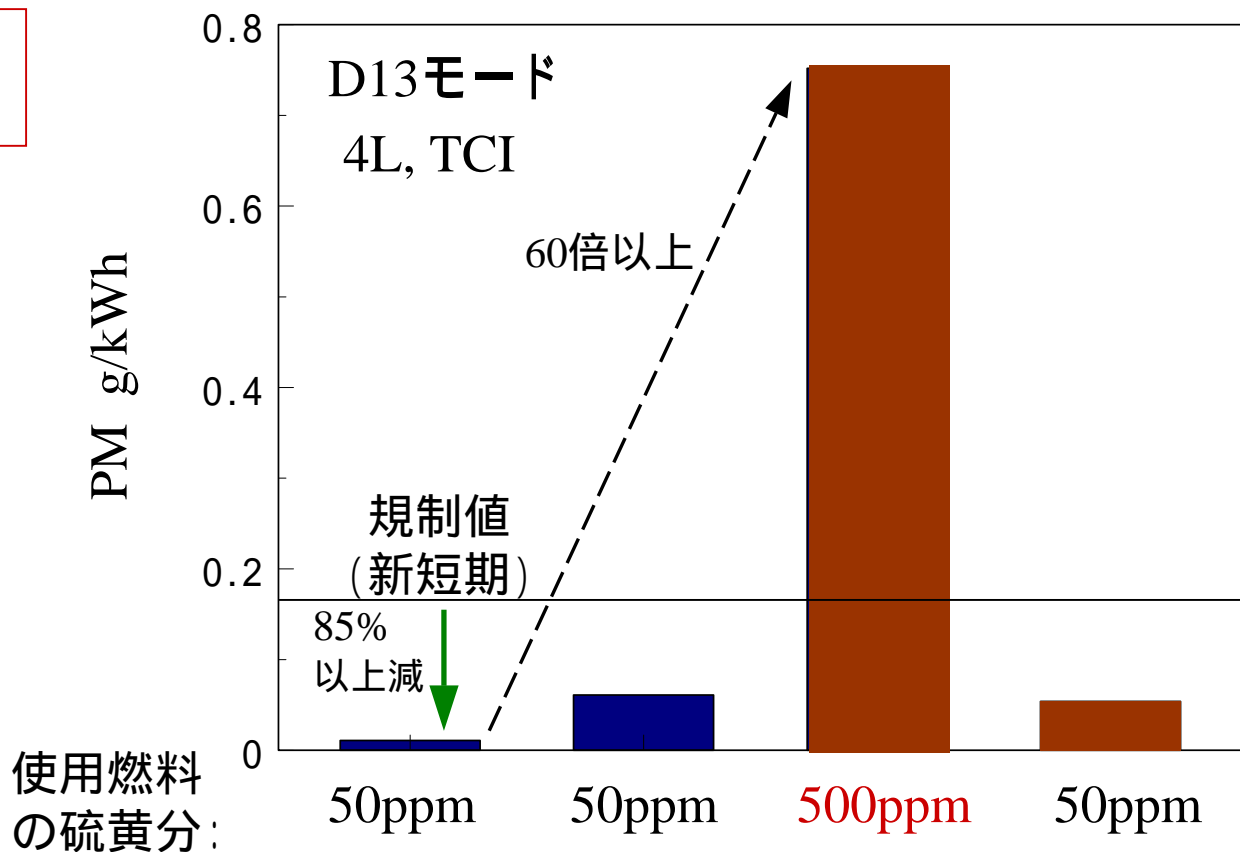
DPFの測定例 - 低減効果とその悪化特性

供試機関は低S (50ppmS)
軽油の使用が前提

2,000km時点では規制
値85%以上減を達成

500ppmS軽油を使うと
規制値を大幅に超過
(本機はDPFの前段に
酸化触媒を搭載)

ただし500ppmS軽油で
耐久を行っても50ppm
軽油を使用した場合には
ほとんど変化なし



使用燃料
の硫黄分:

耐久条件:

50ppm

50ppm

500ppm

50ppm

2,000km

30,000km

2,000km

500ppmSで
30,000km

↑
50ppmSなら300,000km相当

「不正燃料に係る排出ガス耐久性実証調査」の試験結果を基に作成



今後の方向性

< 乗用車クラス >

ストイキ三元触媒車は今後も当面は主流

技術開発の中心は排出ガス改善からCO₂低減へ

- 排出ガスが低いのは「当たり前」 -

CO₂低減に向けてディーゼル化や希薄燃焼化が求められるが・・・

当面ディーゼル車では低排出ガス認定ガソリン車の排出ガスレベルには到達し得ない

・・・優遇税制がある限り普及速度は緩やか (現状は環境基準達成を優先する方向?)

ハイブリッド化やダウンサイジングの方がゲインは大きい

ただし、技術革新で大幅な排出ガス改善が可能になればガソリン車を一気に駆逐する可能性も

今後の方向性

< 大型車クラス >

- 燃費か手間か？

尿素SCRは点検項目が増えるが燃費面で優位

- 要素技術が後処理も決める

過給器および吸排気系、噴射系の進歩でDPFなしで2009年規制をクリアできるか

- 大型トラックは(25t - 車両重量 = 積載量)であるため重量のかさむハイブリッド等は考えにくく、先進ディーゼルの独壇場

高過給、高EGR、高圧多段噴射 + 後処理の方向が続く

後処理装置に関する交通研としての役割

実効ある環境改善に向けて必要な事項の実施

後処理装置の効果が高いほど現実に後処理装置が想定される効果を発揮しているか検証が必要

● オフサイクルおよび使用過程車対策

← 運転条件のみならず環境条件も

● 未規制(有害および温暖化)成分の排出実態把握および抑制

← ナノ粒子も含む

← ディーゼル車における N_2O などは後処理により増加の可能性

● 不正行為等の検知や防止法の検討

← 改造や燃料性状による悪化幅は従来よりも大幅に拡大

● 新技術における基準、試験法等策定の支援