

よりよい大気をめざして  
自動車と燃料のさらなる挑戦

# ディーゼル車WG報告

2000. 9. 25

JCAPディーゼル車WG  
掛川俊明、三角明裕

# 目的

1. 排出ガス低減のためのディーゼル技術と燃料技術に関する研究を行い、両技術の中長期の方向性を明確にする。

- ・ターゲット：新長期規制を想定
- ・測定項目：規制物質＋未規制物質

2. 大気質予測モデルの精度向上に必要なデータを提供する。



# スケジュール

既販車対策技術  
の評価

| 年度      | 97 | 98 | 99 | 00 | 01 |
|---------|----|----|----|----|----|
| STEP I  | ←→ |    |    | ↔  |    |
| STEP II |    |    | ←→ |    |    |

既存技術の評価  
既存～モデル燃料

将来技術の評価  
将来燃料

# 本日の報告内容

## 3. 既販車対策技術 の評価結果

| 年度      | 97 | 98 | 99 | 00 | 01 |
|---------|----|----|----|----|----|
| STEP I  | ←→ |    |    | ↔  |    |
| STEP II |    |    | ←→ |    |    |

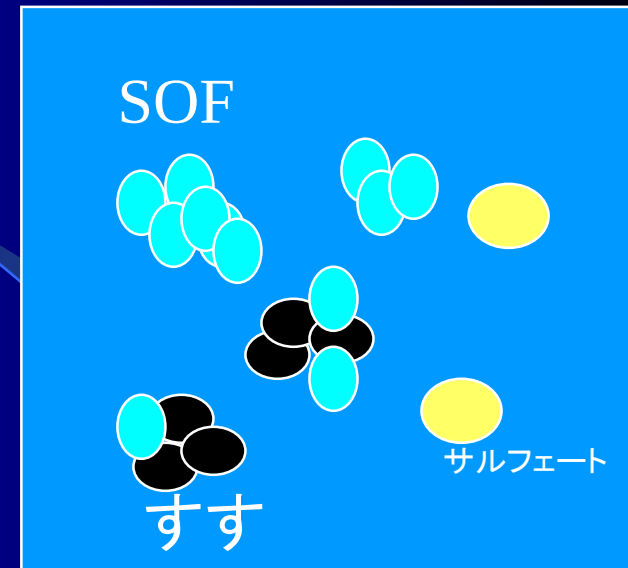
1. STEP I  
の成果

2. STEP II  
の計画

# PMとは

- PM (Particulate Matter)  
ディーゼル排気中の微粒子

目に見える 黒煙  
(すす又はドライスート)



目に見えない その他の燃焼生成物  
(燃料中の硫黄起源のサルフェートも含む)  
有機溶媒に溶ける部分をSOFと呼ぶ

SOF: Soluble Organic Fraction

# 1. STEP I の成果

# STEP I の検討内容

## (1) 車両・エンジン

- ・乗用車～大型トラック、車両9台・エンジン11台を評価
  - ・平成元年・短期・長期の各規制適合
  - ・高圧噴射・EGRその他、高性能酸化触媒・DPFも評価

## (2) 燃料

- ・硫黄分・蒸留性状・芳香族含有率の異なる13種を評価
  - ・硫黄分 500～0ppm
  - ・蒸留性状(90%留出点) 市場max ～超軽質軽油
  - ・芳香族含有率 市場max ～0%

# STEP I 結果(1)

## 高性能酸化触媒による規制物質低減効果

- ・最新の触媒技術により、HC、COについては大幅低減が可能である。
- ・PMについては硫黄分によるサルフェート生成の影響があり増加した。

|            | 排ガス低減率 % (ダミー触媒基準) |                 |    |     |
|------------|--------------------|-----------------|----|-----|
|            | PM                 | NO <sub>x</sub> | HC | CO  |
| 軽油S分:0.04% | -25                | -14             | 96 | 100 |
| 軽油S分:0.00% | 15                 | 1               | 96 | 100 |

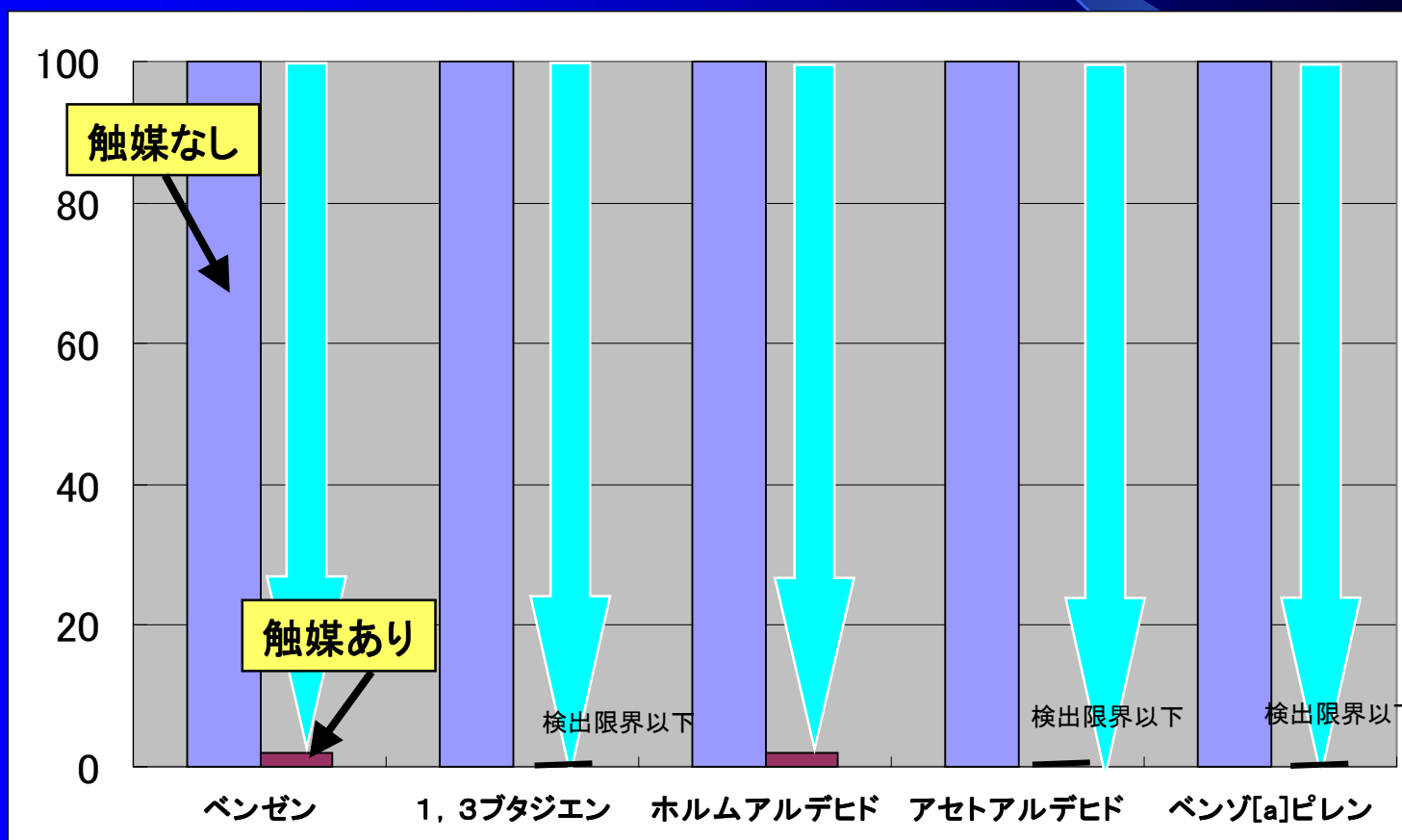
(10・15モード試験結果、表中の一は増加したことを示す)



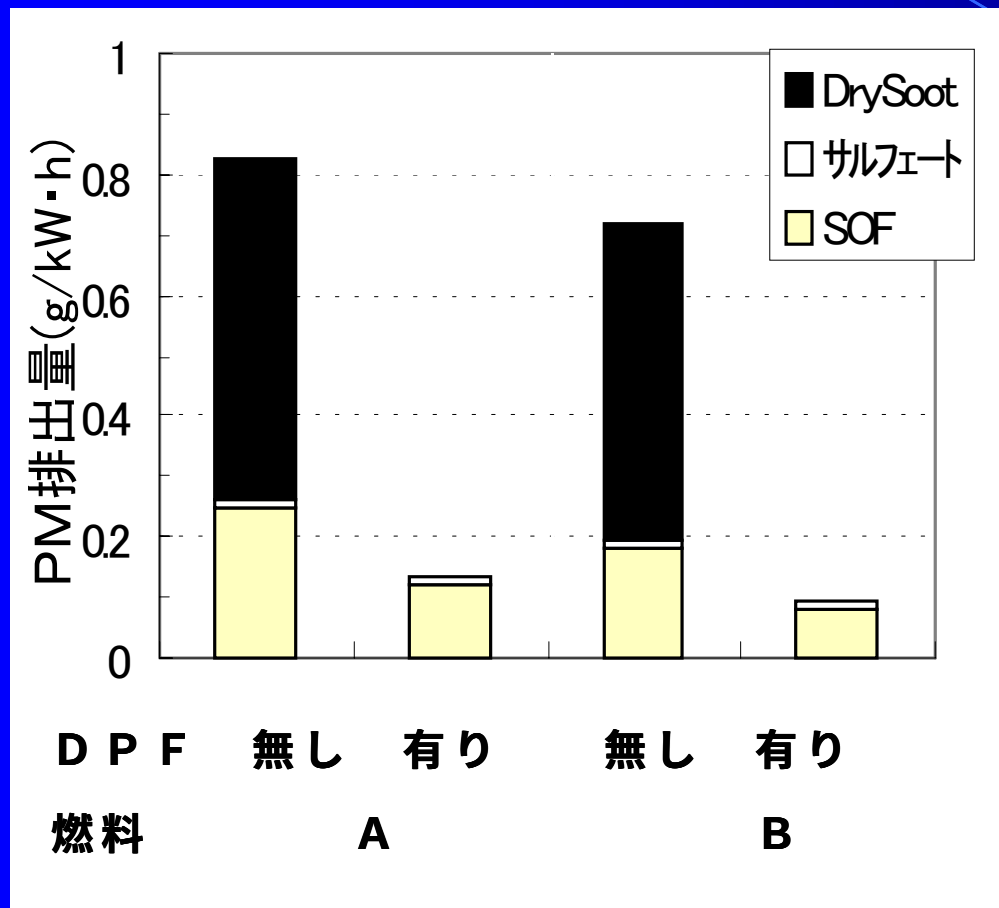
# STEP I 結果(2)

## 高性能酸化触媒による未規制5物質低減効果

未規制5物質についても触媒により大幅低減可能である



# STEP I 結果(3) DPFによるPM低減効果



PMの低減効果が大きく  
特にドライスート分の  
低減効果が大

DPF  
(Diesel Particulate Filter)

使用したDPFはコーゼライトハニカム／触媒なし

# STEP I まとめ(1)

## 1. PM低減

- ・DPFのPM低減効果は大きい。  
特に高性能酸化触媒と、低硫黄軽油との組み合わせで  
ドライスート・SOFおよびHC・CO・未規制物質の  
大幅低減が期待される。
- ・軽油性状の影響については、90%留出温度(T90)・  
芳香族分・硫黄分のPM低減効果が確認されたが、  
その影響度は車両・エンジンの技術によりかなり変化  
することがわかった。

# STEP I まとめ(2)

## 2. NO<sub>x</sub>低減

NO<sub>x</sub>への燃料影響はHC・CO・PMと比較して小さく、NO<sub>x</sub>の大幅低減にはエンジン技術による対応が必要と考えられる。

## 3. 未規制物質低減

未規制物質については触媒での低減効果が大きく、燃料の影響も若干ある。ただし測定精度の問題もあり、データの蓄積が必要。

## 2. STEP II の計画

# STEP II の検討内容

## (1) 車両・エンジン

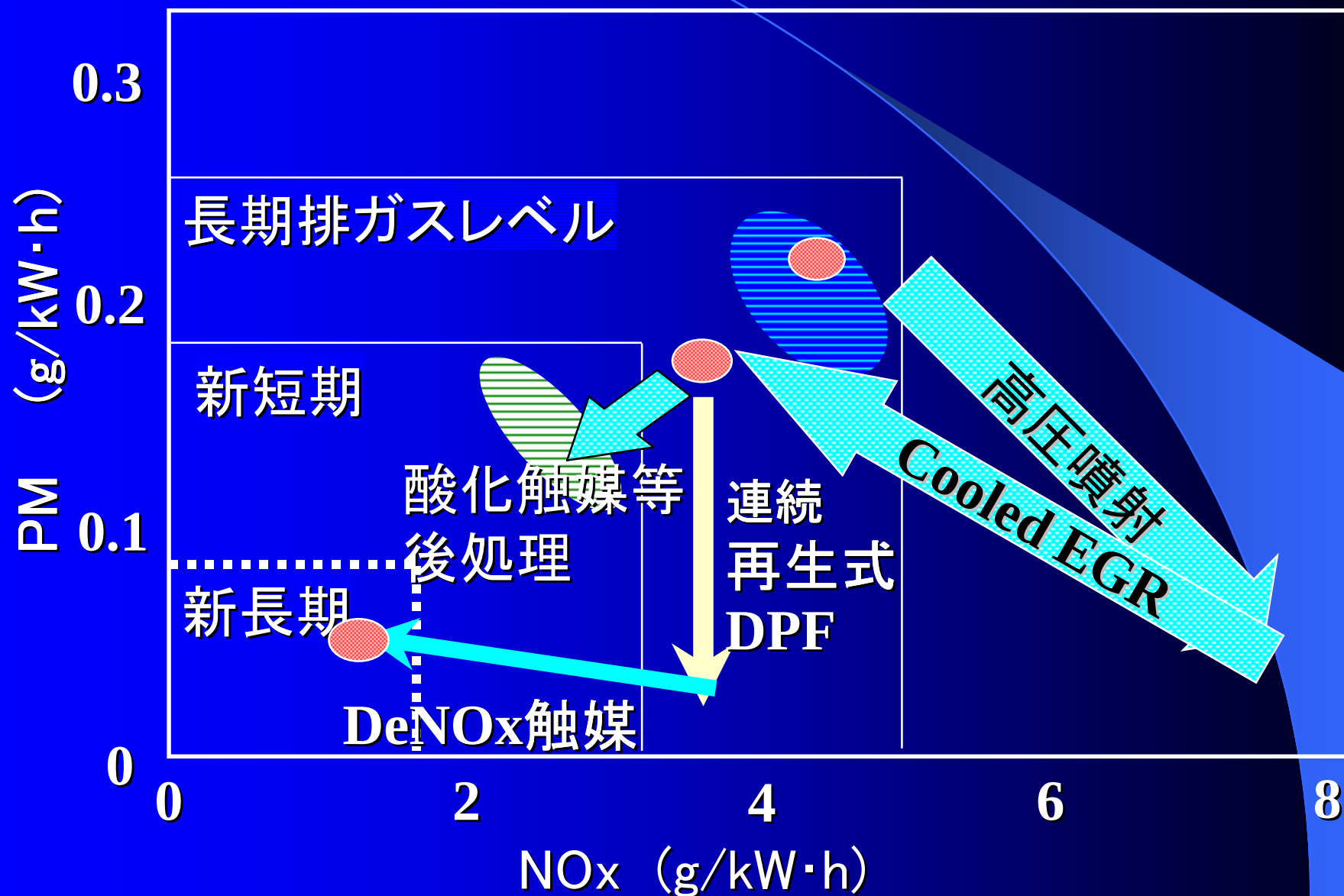
- ・乗用車～大型トラック、車両4車種10台・エンジン3機種6台を評価
  - ・新長期規制適合を目標
  - ・DeNOx触媒・連続再生式DPF・高圧噴射・クールドEGRをシステム化したものを評価

## (2) 燃料

- ・硫黄分・蒸留性状の異なる8種類の燃料及び含酸素基材を配合した2種類を評価
  - ・硫黄分 500～10ppm
  - ・蒸留性状(90%留出温度) 市場平均 ～超軽質軽油
  - ・含酸素基材 10%配合2種類(一部の車両)

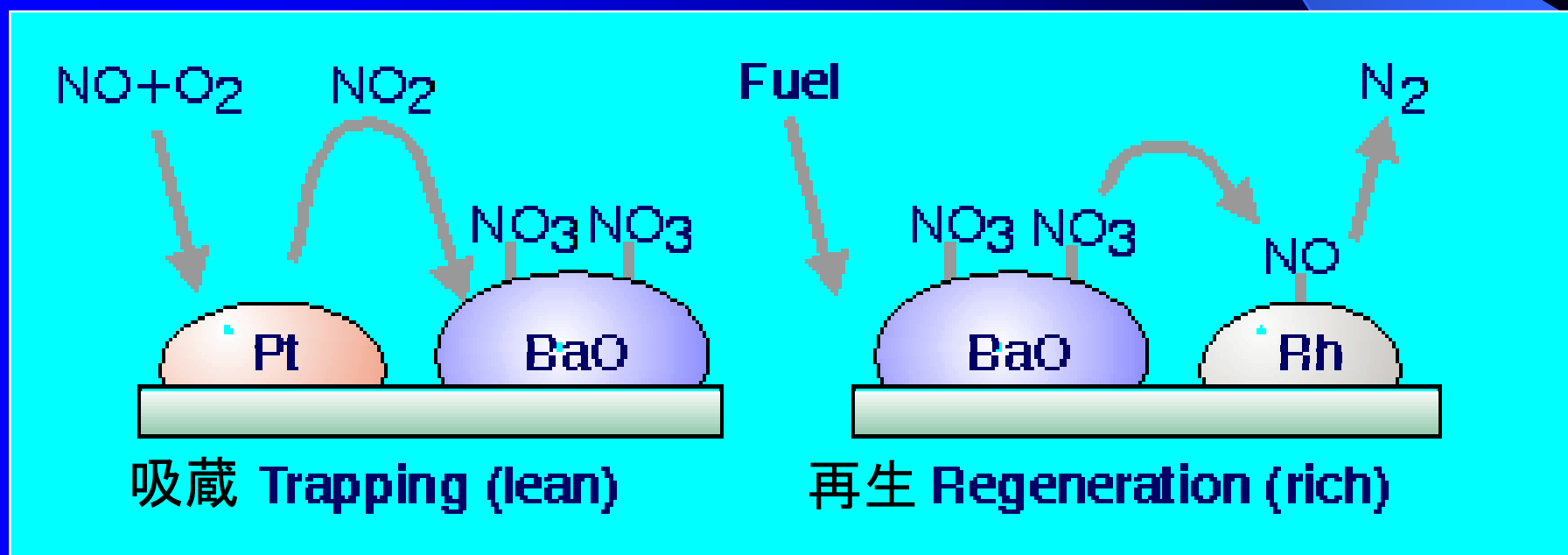
# 排出ガス低減のシナリオ

エンジンベース 国内13モード



## 吸蔵型DeNO<sub>x</sub>触媒

- 三元触媒にNO<sub>x</sub>吸蔵材を添加したもの。
- NO<sub>x</sub>を吸蔵し、周期的に還元除去する。
- 従来技術に比べ格段にNO<sub>x</sub>低減率が高い。
- 吸蔵材が硫黄により被毒する。



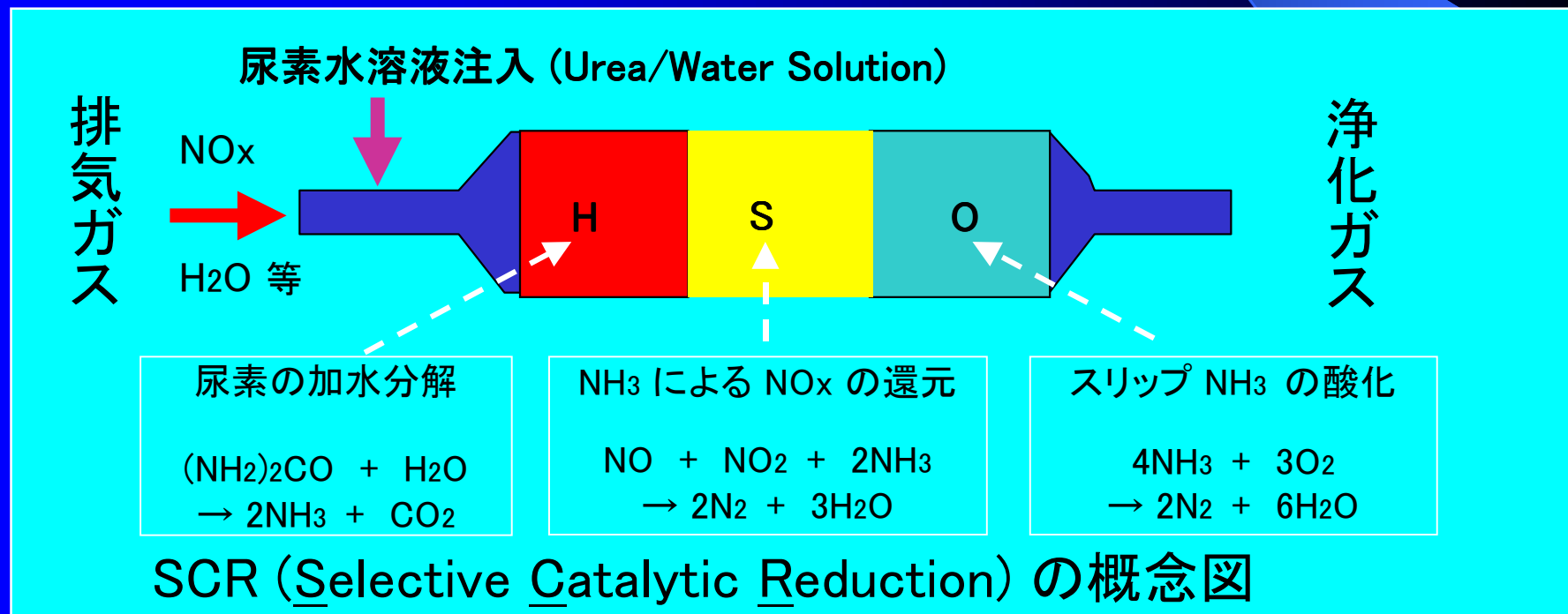


## 吸蔵DeNOx触媒装着試作車外觀



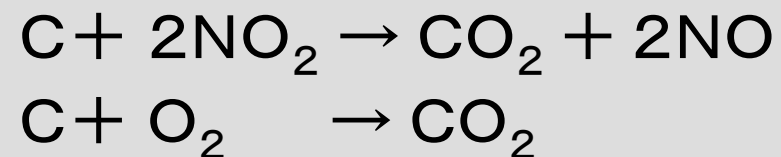
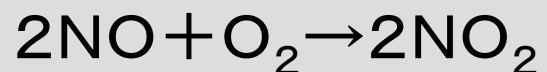
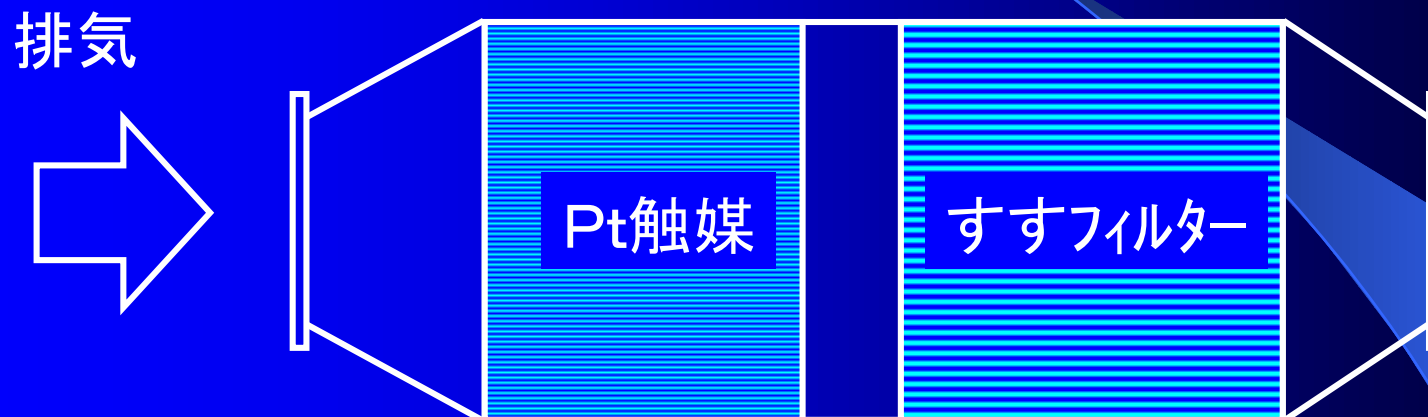
# 尿素SCR

- 尿素を排気管に噴射することにより、還元剤のアンモニアを作り、触媒上でNO<sub>x</sub>を浄化するシステム。
- 未反応アンモニアの除去が必要。
- 定期的な尿素的の補充が必要。



# 連続再生式DPF(1)

## (ジョンソンマッセイ社製CRT™の例)



前段の触媒で排気中のNOをNO<sub>2</sub>に変換。  
後段のフィルターに捕集したすすをNO<sub>2</sub>で酸化する。  
→PM再生にNO<sub>x</sub>／PM比が影響する。

## 連続再生式DPF(2)

- 燃料中の硫黄起因の $\text{SO}_2$ が $\text{NO} \rightarrow \text{NO}_2$ への反応を阻害し、フィルター目詰まりや背圧増加をもたらす。
- すすフィルターの低温( $260^\circ\text{C} \sim$ )再生が可能。
- 再生温度が低いため信頼性も高い。
- 背圧増加が少ないため燃費の悪化が小さい。  
PMのほかに触媒機能によりCO・HC・未規制5物質も低減する。

# 進捗状況

既販車対策技術  
の評価

| 年度      | 97 | 98 | 99 | 00 | 01 |
|---------|----|----|----|----|----|
| STEP I  | ←→ |    |    | ↔  |    |
| STEP II |    |    | ←→ |    |    |

既存技術の評価  
既存～モデル燃料

将来技術の評価  
将来燃料

### 3. 既販車対策技術評価結果

# 評価の目的

既販ディーゼル車に  
DPFを装着した場合の  
**効果と課題**について  
技術的なデータを取得する。



## 既販車PM対策技術評価実施の経緯

- (1) 今年に入り尼崎公害訴訟判決、  
東京都のDPF装着義務付け提案等、  
「ディーゼル車のPM」に対する関心が高まっている。
- (2) 一方、現在使用している車については、  
PM排出の多い過去の規制対応車が多く、  
その対策が重要な課題である。
- (3) 既販車対策として  
DPF等のPM対策技術の評価を、JCAPとして  
追加実施した。



# 試験に用いたエンジン

| 規制<br>年度 | 元年規制<br>平成元年 | 短期規制<br>平成6年 | 長期規制<br>平成11年       |
|----------|--------------|--------------|---------------------|
| 排気量      | 11149cc      | 9203cc       | 6925cc              |
| 出力       | 166kW        | 162kW        | 175kW               |
| トルク      | 764Nm        | 569Nm        | 667Nm               |
| 特徴       | ターボ無         | ターボ無         | ターボインタークーラー<br>電子制御 |

# 試験に用いた燃料

現行軽油

低硫黄軽油

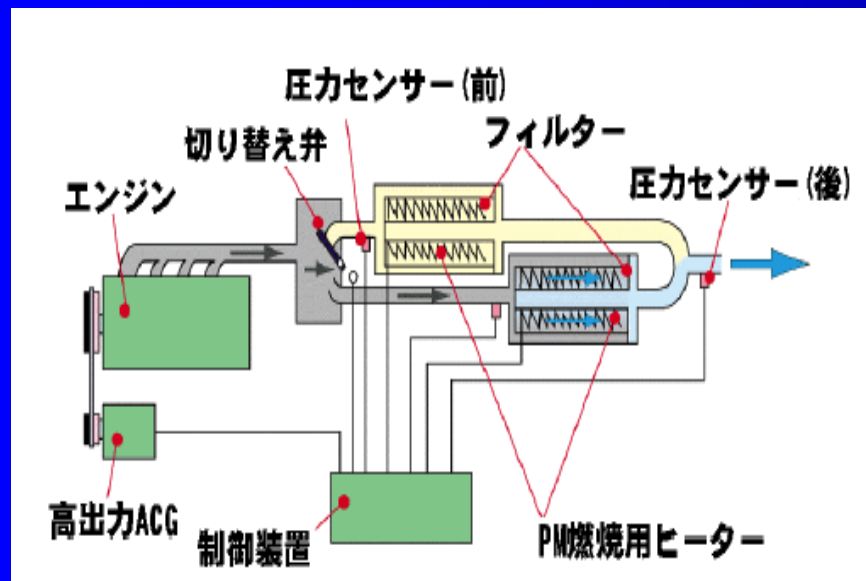
---

|         |        |       |
|---------|--------|-------|
| 硫黄分     | 443ppm | 46ppm |
| セタン価    | 57     | 59    |
| 90%留出温度 | 325°C  | 334°C |
| 密度      | 0.832  | 0.831 |

# JCAP試験に用いたDPF

## 交互再生式 ヒーターで加熱焼却

### いすゞ社製 交互再生式DPF



## 連続再生式

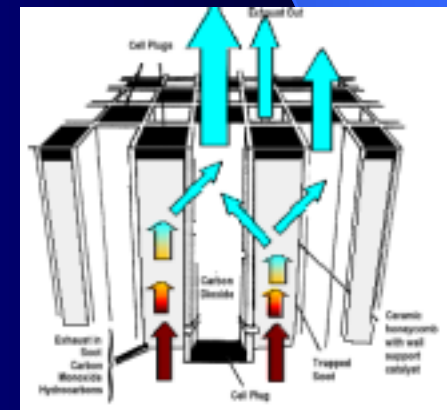
Johnson Matthey社製

CRT™  
(CRT)



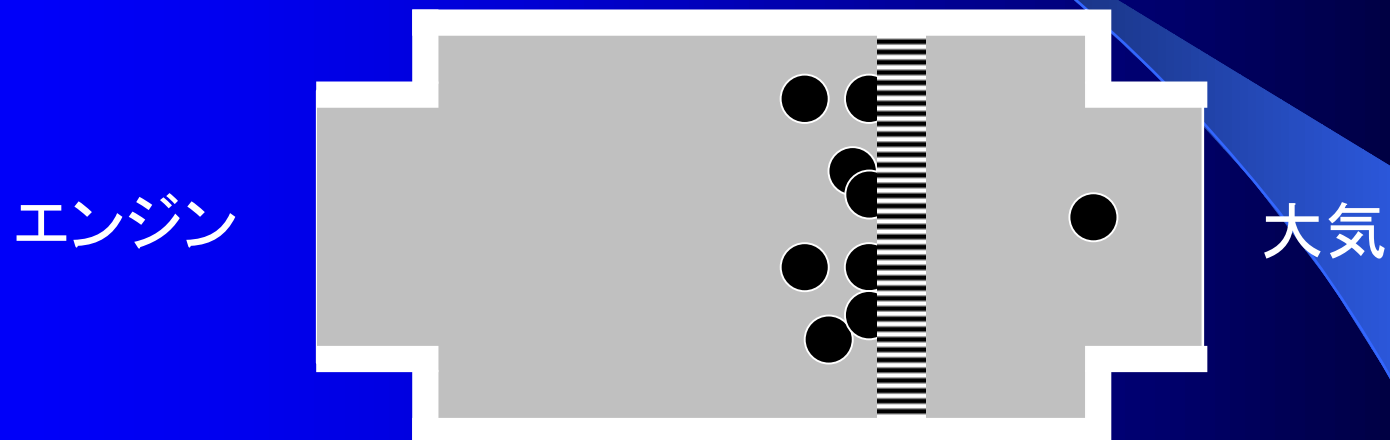
Engelhard製

DPX™  
(CSF)



# DPFの評価

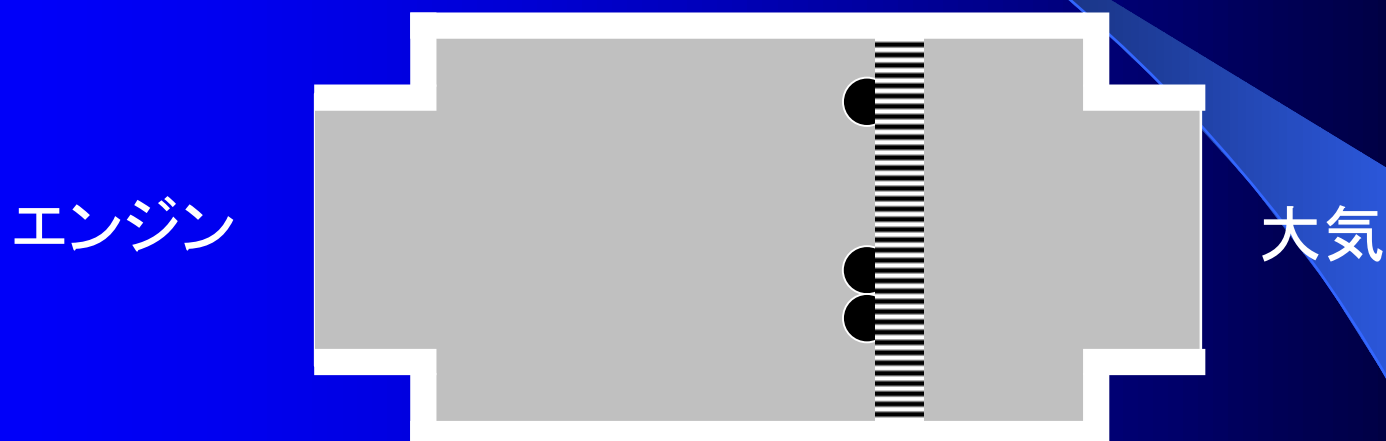
DPFの評価には3つのポイントがあります。



- ① 大気に逃げるPMをどれだけ減らせるか 低減効果
- ②
- ③

# DPFの評価

DPFの評価には3つのポイントがあります。

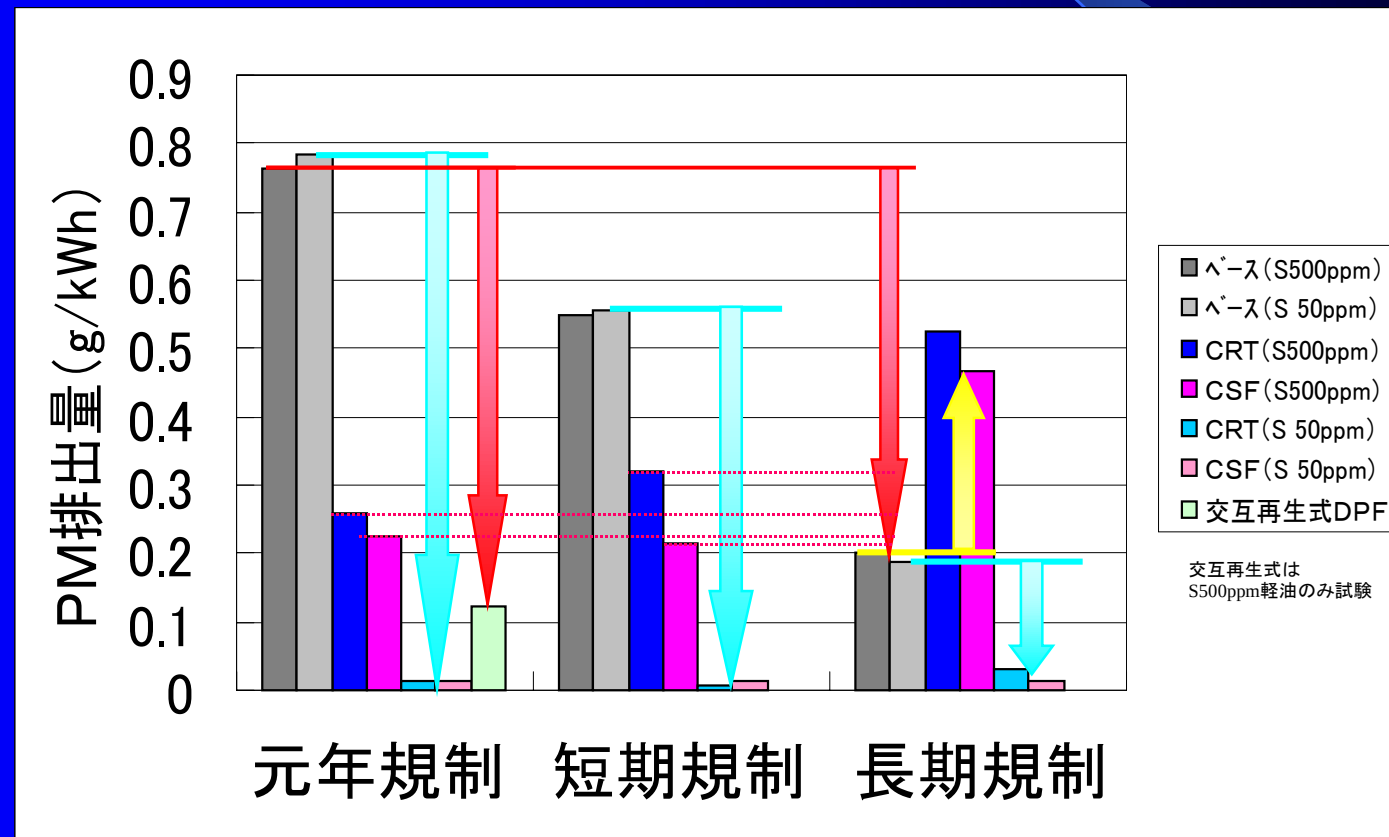


- ① 大気に逃げるPMをどれだけ減らせるか 低減効果
- ② PMを如何に効率よく取り除けるか 再生性能
- ③ ①②の能力を維持できるか → フリートテスト

一つ目のポイント  
**PM低減効果**

# PM低減効果比較

- 50ppm軽油では、CRT, CSFの低減効果が大きく、元年、短期エンジンでは95%を超える。
- 500ppm軽油のデータのみを取り出して比較すると、交互再生式の低減効果が最も大きく、また長期規制車のPM排出量はDPFなしでも元年、短期にDPFをつけたものより低い。
- 今回使用した長期規制エンジンでは、500ppm軽油で、CRT, CSFともにPMが増加した。



# PM低減効果まとめ

| 燃料硫黄分<br>(ppm) | DPF       | 定常走行<br>(D13モード) |     | 都市内走行<br>JARITランジェントテストサイクル |
|----------------|-----------|------------------|-----|-----------------------------|
|                |           | 試験エンジン           |     | 試験エンジン                      |
|                |           | 元年               | 短期  | 長期                          |
| 50             | CRT       | 95%以上            |     | 84                          |
|                | CSF       |                  |     | 98                          |
| 500            | CRT       | 40~70%           |     | —                           |
|                | CSF       |                  |     | 97                          |
| 500            | 交互<br>再生式 | A                | —   | —                           |
|                |           | B                | 84% | —                           |

A; コージェライトハニカム+ヒータ(JCAP STEP1で実施)

B; SiCファイバー+ヒータ

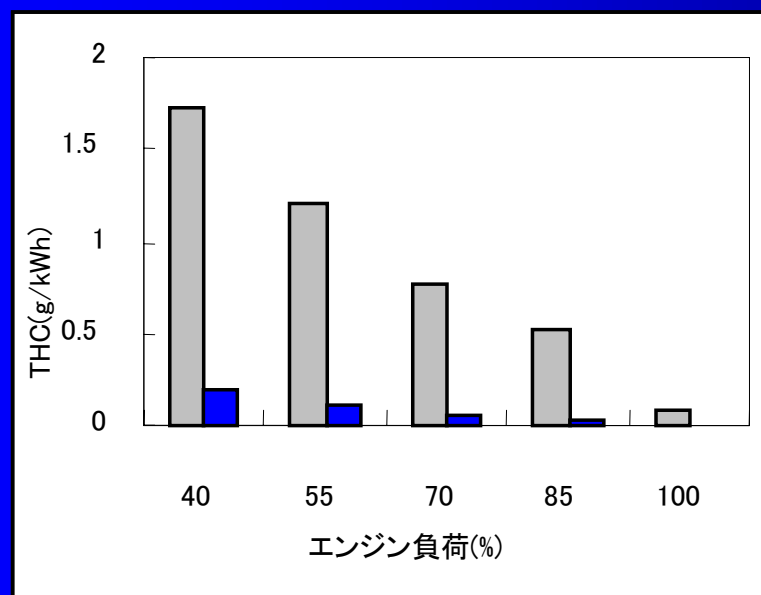


# PM以外の低減効果

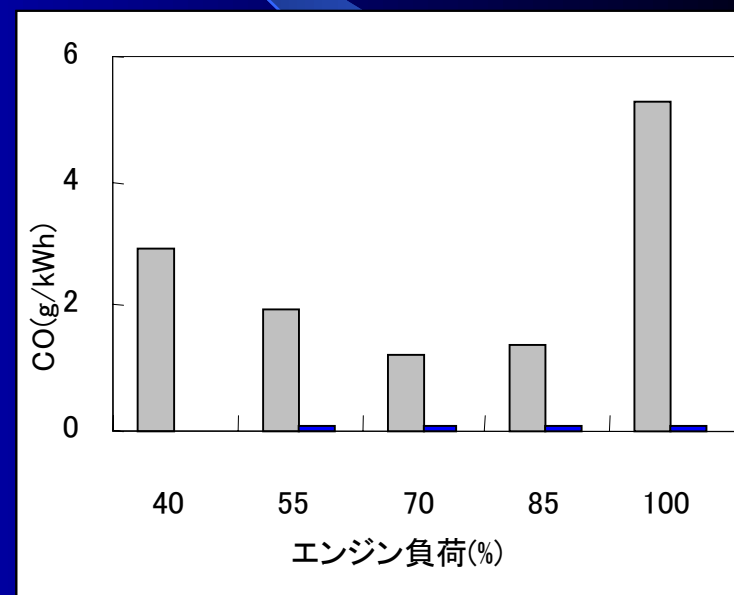
PMだけでなくHC, CO低減効果も高い

□ CRT入口  
■ CRT出口

HC



CO



エンジン回転数 最高出力回転の80%点

元年規制エンジン  
燃料2D-04 (50ppm)

# PM低減効果のまとめ

## 1. 交互再生式DPF

高いPM低減効果が得られた。

## 2. 連続再生式DPF

- 硫黄分50ppm燃料の場合

極めて高いPM低減効果が得られた。

- 硫黄分500ppm燃料の場合

PM低減効果は低かった。

長期規制エンジンでは逆にPM排出量は増加した。

- HC, COに関しても高い低減効果を持つ。

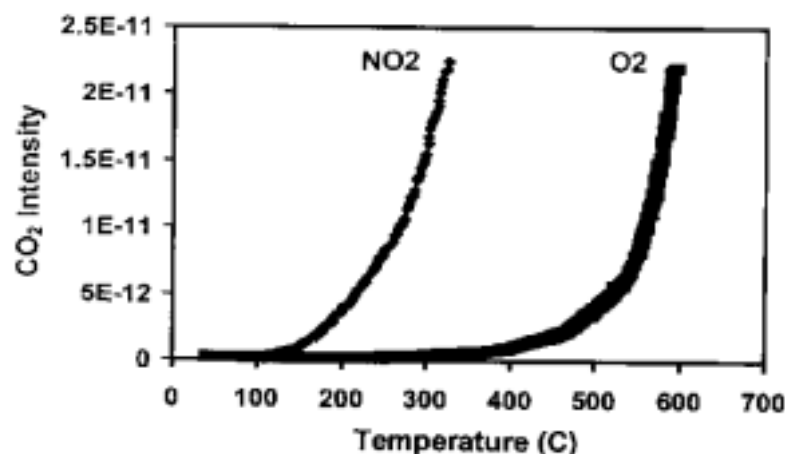
# 二つ目のポイント 再生性能

連続再生式について検討

# CRTの再生に影響する因子

## 1. 温度

CRTにおける再生は  
NO<sub>2</sub>による燃焼であり、  
酸素による燃焼よりも低温で  
起きるが、260℃以上が必要



## 2. NO<sub>x</sub>/PM比

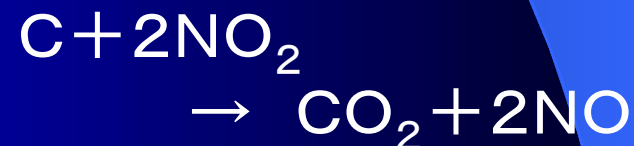
量論的には

$$\text{NO}_x/\text{PM比} > 8$$

推奨値は

$$\text{NO}_x/\text{PM比} > 24$$

NO<sub>2</sub>による酸化反応



NO<sub>2</sub>の生成反応



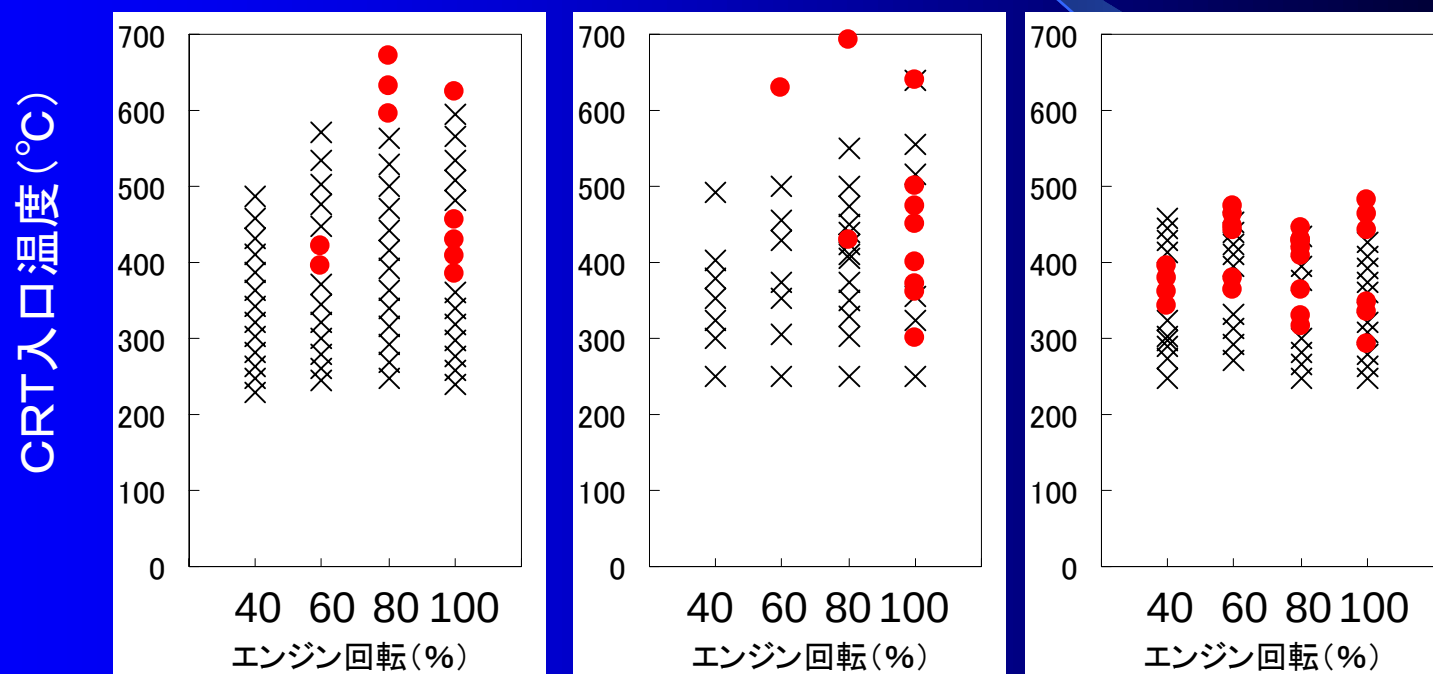
# CRTの再生温度領域

(硫黄分 50 ppm)

元年規制

短期規制

長期規制

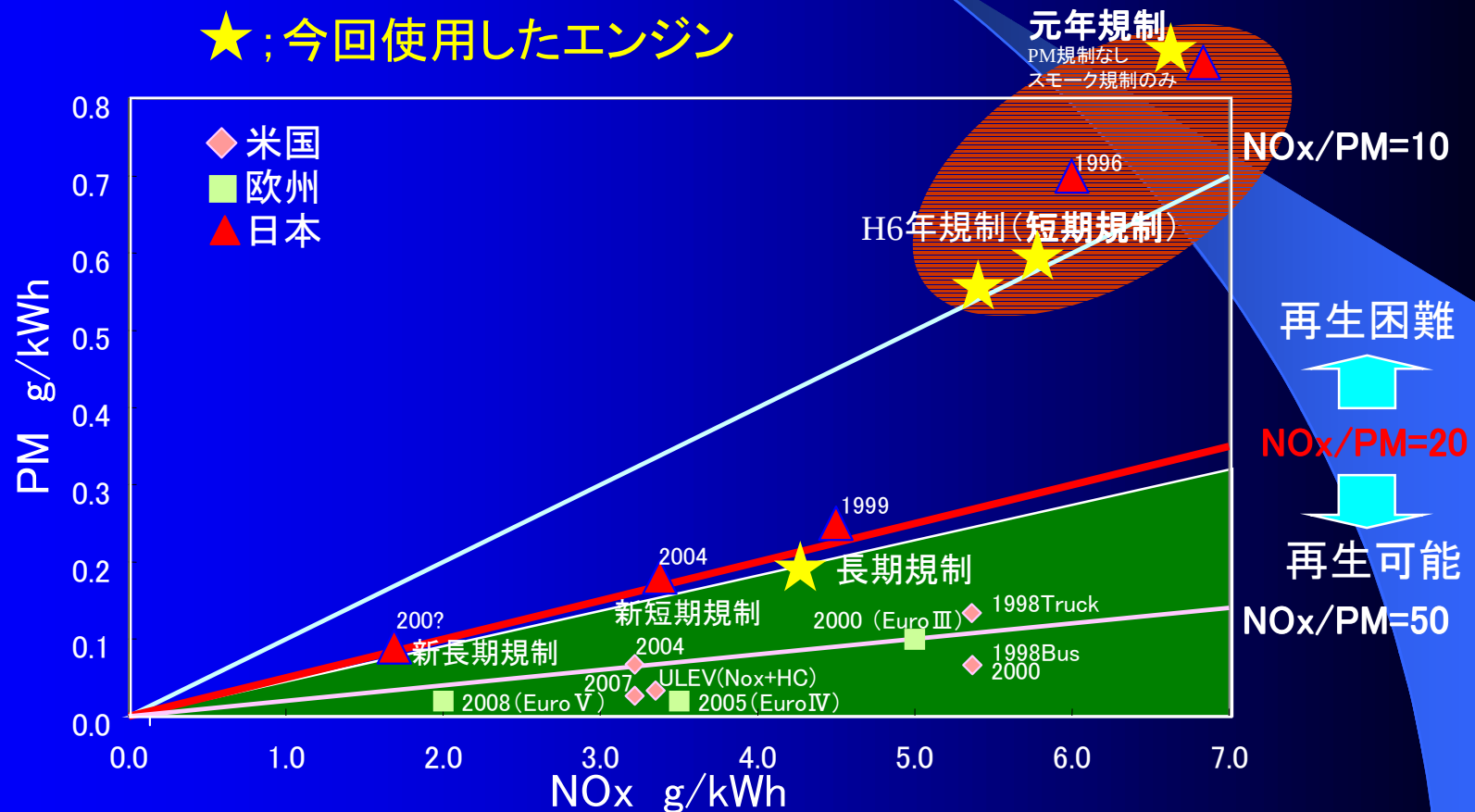


●: 再生した (DPF前後の差圧減少または変化なし)  
×: 再生せず (DPF前後の差圧上昇)

# CRTの再生条件とNO<sub>x</sub>/PM比

これまでの日本のディーゼル車排ガス規制では、NO<sub>x</sub>/PM比が低いので、CRTの再生条件を満たしにくい。

★; 今回使用したエンジン



日米欧のディーゼル車規制値比較図

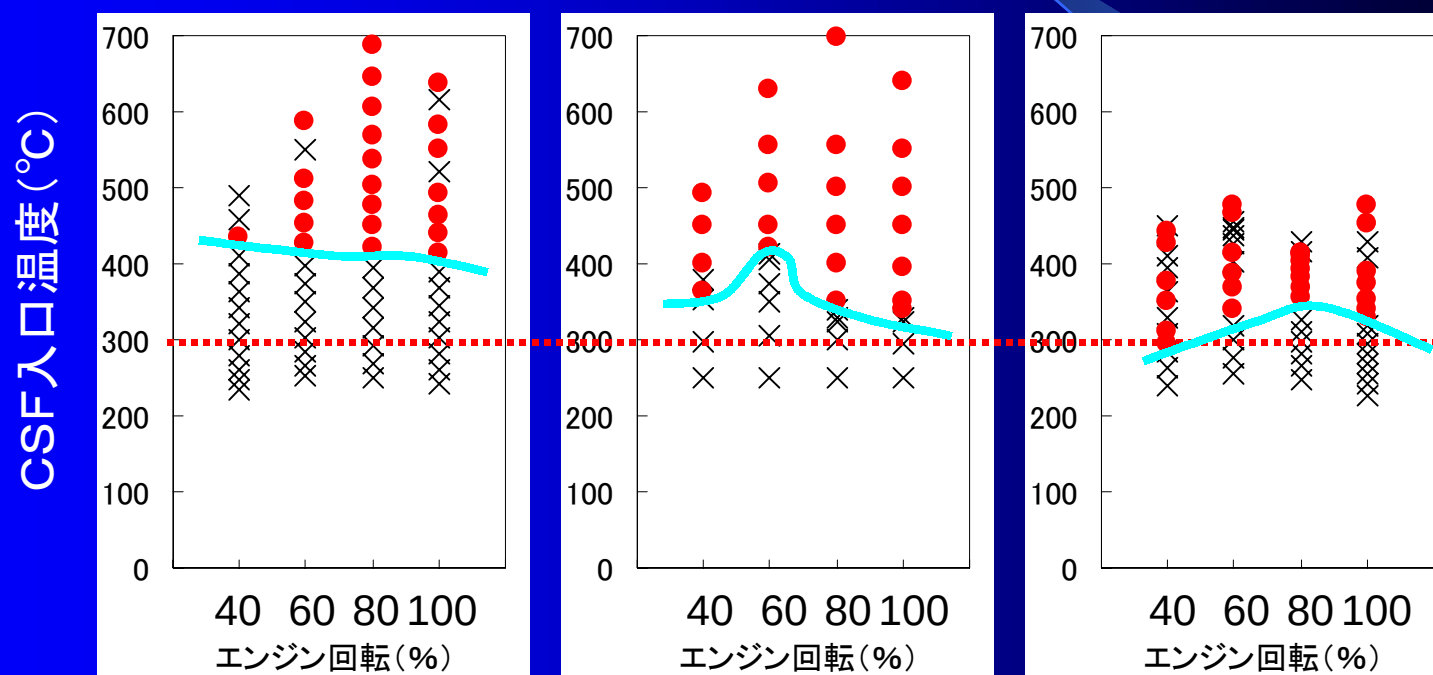
# CSFの再生温度領域

(硫黄分 50 ppm)

元年規制

短期規制

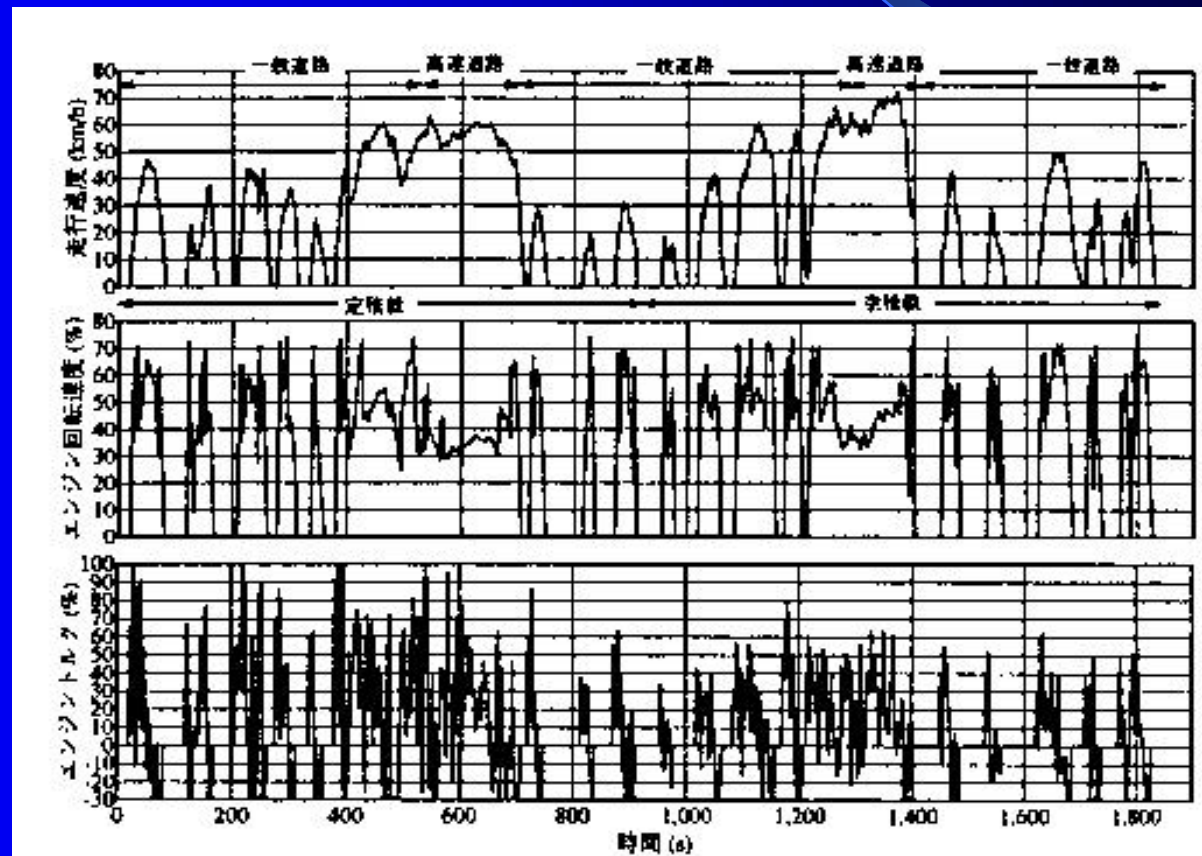
長期規制



- : 再生した (DPF前後の差圧減少または変化なし)
- × : 再生せず (DPF前後の差圧上昇)

# 実際の排気ガス温度はどうか

JARIエンジンテストサイクルで検討  
東京都内走行を模擬したトランジェントモード

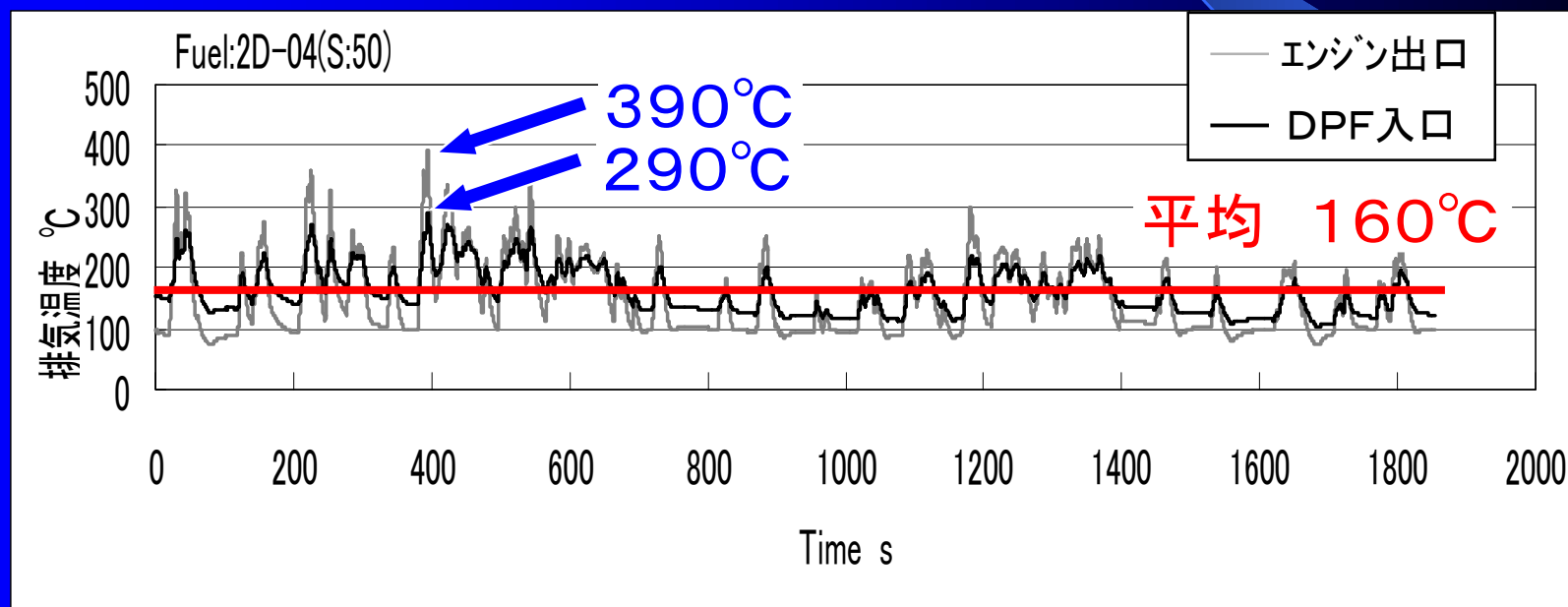


平均車速: 26km/h, 1サイクル: 約31分



# 排気ガス温度測定結果

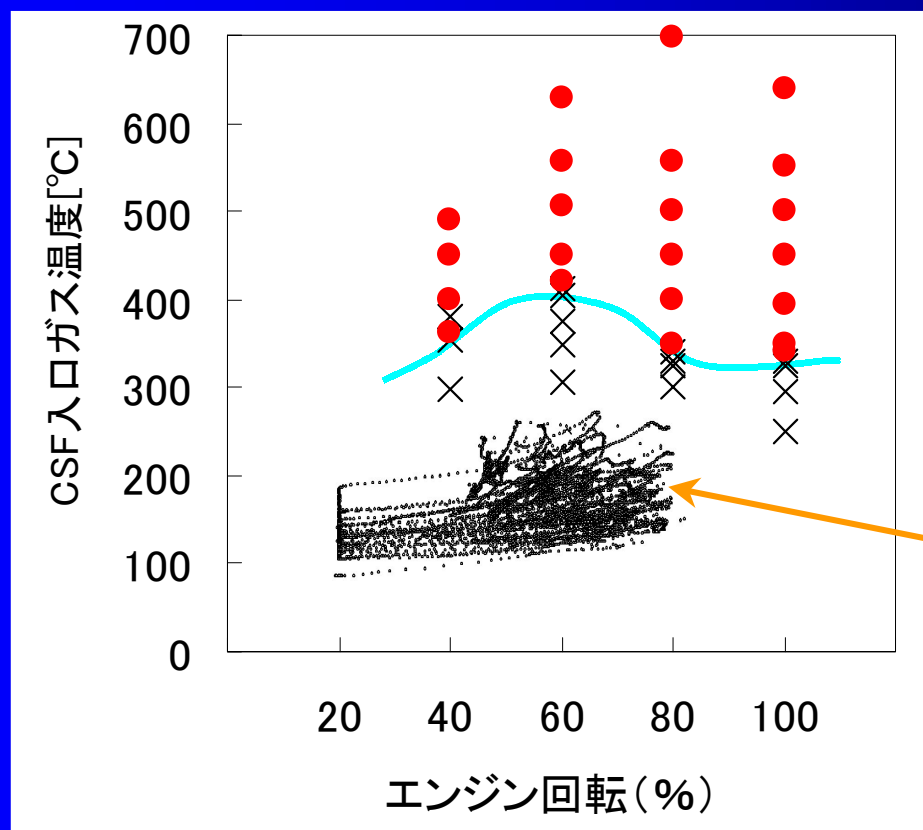
DPF入口 平均160°C (最大290°C)  
(エンジン出口最大390°C)



JARIエンジンテストサイクル  
短期規制エンジン

# 都市内走行の排気ガス温度で CSFが再生する温度に達するか

代表的な都市内走行では、排気ガス温度が再生温度に達しない



● : 再生した

(CSF前後の差圧減少または変化なし)

× : 再生せず

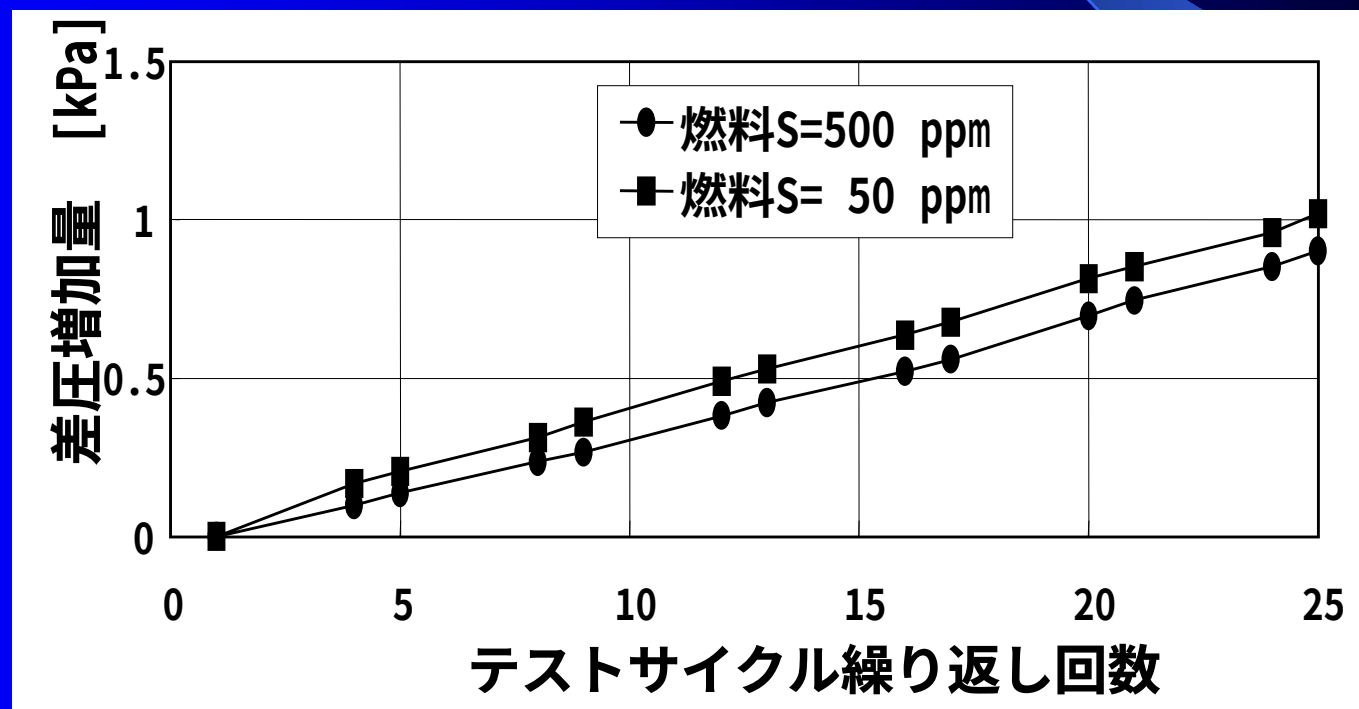
(CSF前後の差圧上昇)

JARIエンジンテストサイクル運転時の  
CSF入口温度

JARIエンジンテストサイクル  
短期規制エンジン

# 再生温度に達しないとき、 CSF内にPMはたまっていくのか

300km走行に相当するエンジン試験の結果  
→CSF前後の差圧は連続的に上昇(PM蓄積)



JARIエンジンテストサイクル  
短期規制エンジン+CSF

# 再生性能のまとめ

|          | エンジン     | CRT                               | CSF                         |
|----------|----------|-----------------------------------|-----------------------------|
| 再生領域     | 元年規制エンジン | 中～高速回転の一部において再生領域が存在              | 排気温度400度以上全域で再生             |
|          | 短期規制エンジン |                                   | 元年規制エンジン以上に高回転側の再生領域が拡大     |
|          | 長期規制エンジン | 元年、短期に比べ再生領域が拡大                   | 短期規制エンジンに比べてさらに広い範囲で再生領域が存在 |
| 都市内走行モード | 短期規制エンジン | JARIエンジンテストサイクルの繰り返しでは再生が確認出来なかった |                             |

# 全体まとめ

## 1. 燃料への要求

- ・CRT、CSFの効果を十分引き出すには低硫黄軽油が必要である。

## 2. 既販車への適用可能性

- ・都内の平均的な走行条件では適用の可能性は少ない。
- ・排気温度が上昇する走行条件下にある車両では、適用の可能性が残されている。
- ・CRTはNO<sub>x</sub>/PM比が小さい短期規制以前の車両への適用は困難と考えられる。

## 3. 総括

- ・既販車への適用は制限を受けるが、新しいエンジン技術との組み合わせにより、適用は可能である。

END

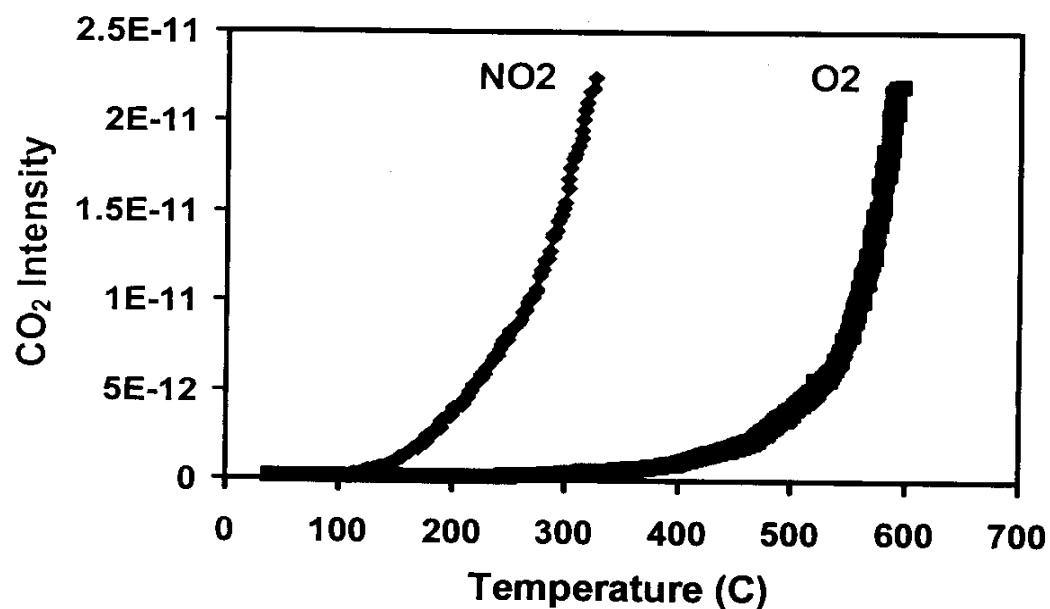
## PM低減装置効果まとめ(含む酸化触媒)

| PM低減装置    |        | 試験<br>エンジン | 燃料<br>硫黄分<br>ppm | PM低減率(%) |         | 再生可能領域(工<br>回転数と負荷を変化) | JARIモ<br>による差圧変化 |
|-----------|--------|------------|------------------|----------|---------|------------------------|------------------|
|           |        |            |                  | D13モード   | JARIモード |                        |                  |
| 交互<br>再生式 | A      | 元年         | 500              | 84       | —       | —                      | —                |
|           | B      |            | 500              | 84       | —       | —                      | —                |
| 連続<br>再生式 | CRT    | 元年         | 50               | 99       | —       | ごくわずか                  | —                |
|           |        |            | 500              | 64       | —       |                        | —                |
|           |        | 短期         | 50               | 99       | 98      |                        | 13回の繰り返しで        |
|           |        |            | 500              | 42       | —       |                        | 差圧が増加し続けた        |
|           |        | 長期         | 50               | 84       | —       | 排気温度300～400℃           | —                |
|           |        |            | 500              | ▲ 160    | —       | & 450℃の領域              | —                |
|           | CSF    | 元年         | 50               | 98       | —       | 排気温度400℃以上の            | —                |
|           |        |            | 500              | 70       | —       | ほぼ全域                   | —                |
|           |        | 短期         | 50               | 97       | 97      | 高速回転域では                | 25回の繰り返しで        |
|           |        |            | 500              | 61       | 97      | 340℃以上まで拡大             | 差圧が増加し続けた        |
|           |        | 長期         | 50               | 93       | —       | 300～350℃以上             | —                |
|           |        |            | 500              | ▲ 132    | —       | の領域                    | —                |
| 酸化触媒      | 貴金属担持  | 長期         | 0※               | 30       | —       | —                      | —                |
|           |        |            | 400※             | ▲ 176    | —       | —                      | —                |
|           | ベースメタル | 短期         | 50               | 19       | 20      | —                      | —                |
|           |        |            | 0※               | 44       | —       | —                      | —                |
|           |        | 長期         | 0※               | 44       | —       | —                      | —                |
|           |        |            | 400※             | 32       | —       | —                      | —                |

A: コージェライトハニカム+ヒータ(JCAP step1で実施)    B: SiCファイバー+ヒータ    ※step1で実施

# すすの反応温度

Temperature at which  $\text{NO}_2$  and  $\text{O}_2$   
Combust Soot

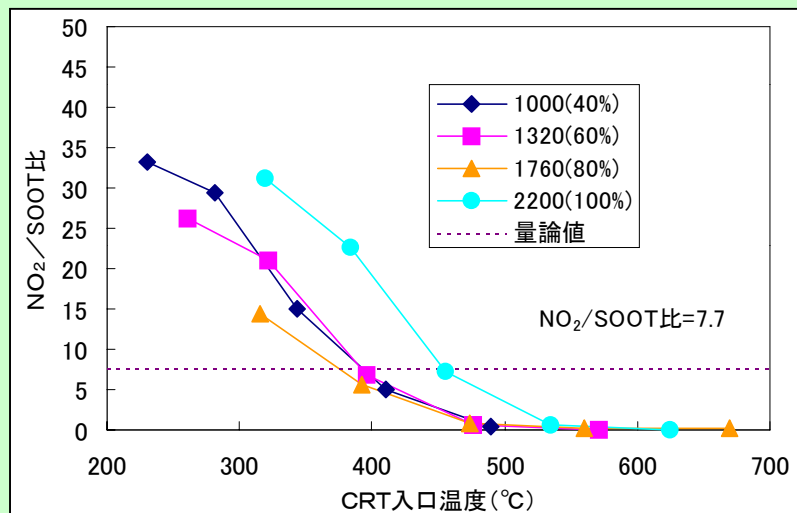




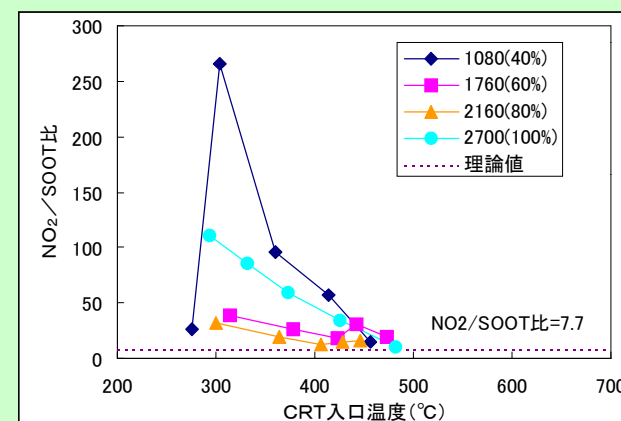
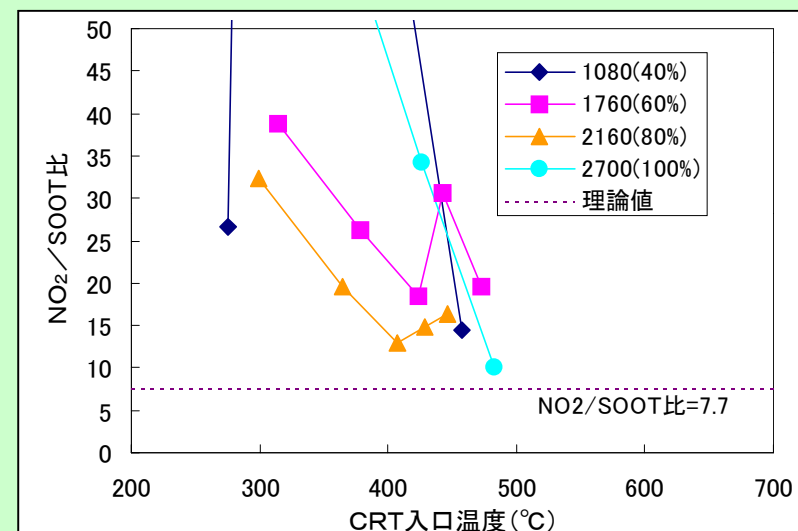
## 補足資料 2

 $\text{NO}_2/\text{SOOT}$ 比の挙動(温度との相関)

Z(元年)

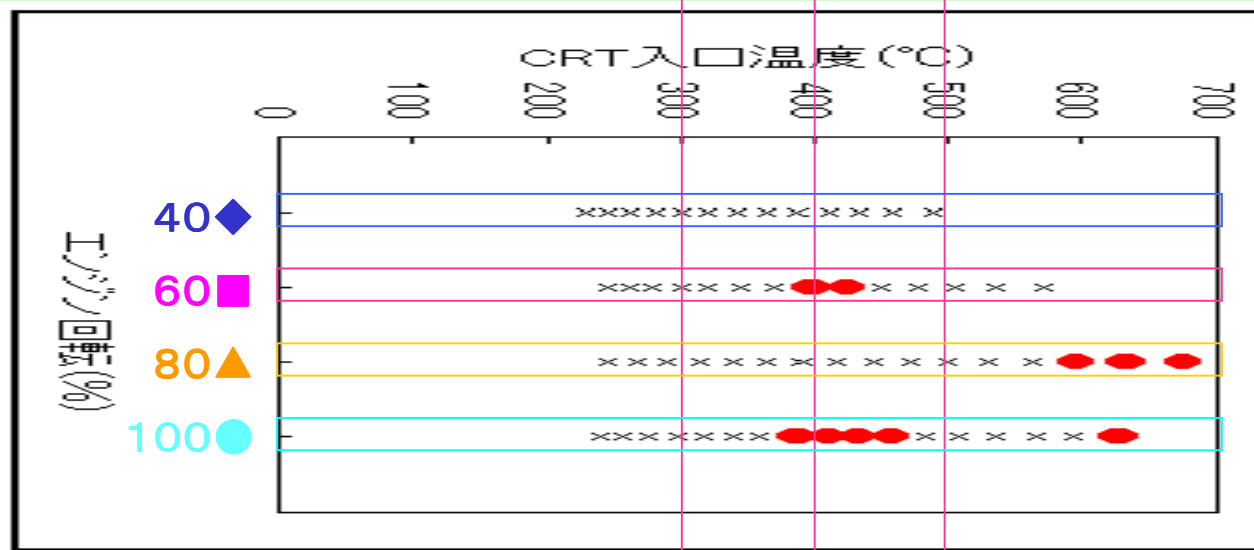
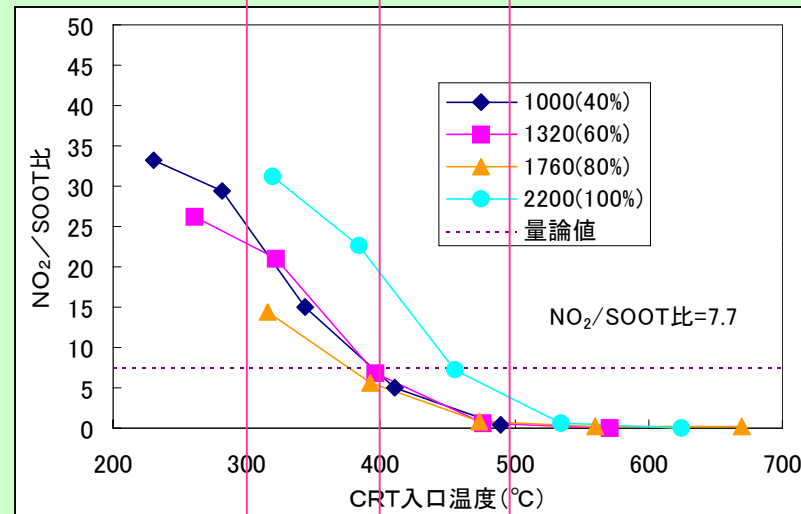


YA(長期)



# NO<sub>2</sub>/SOOT比と再生温度範囲

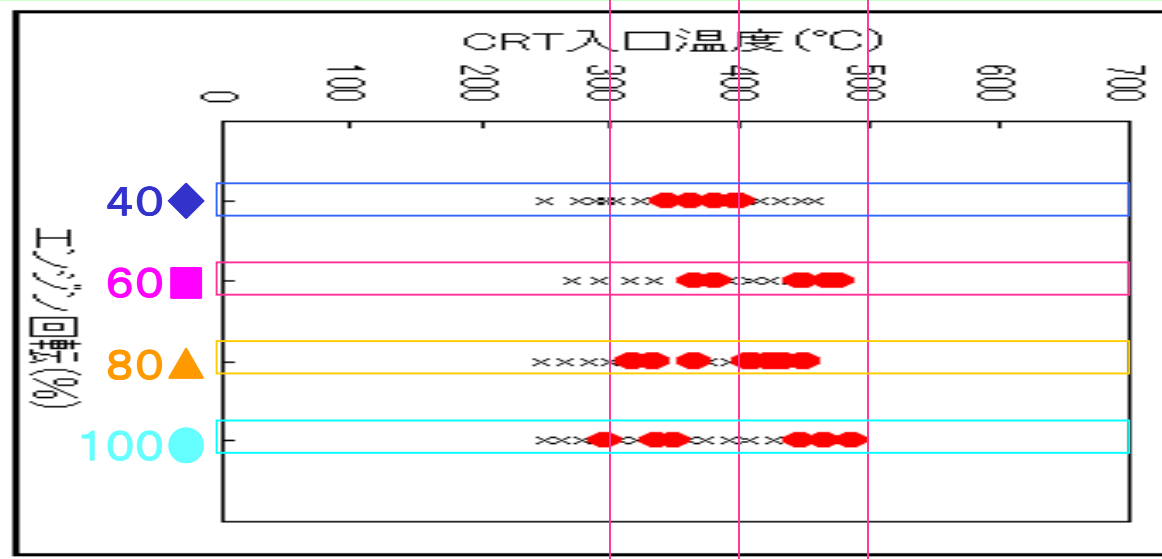
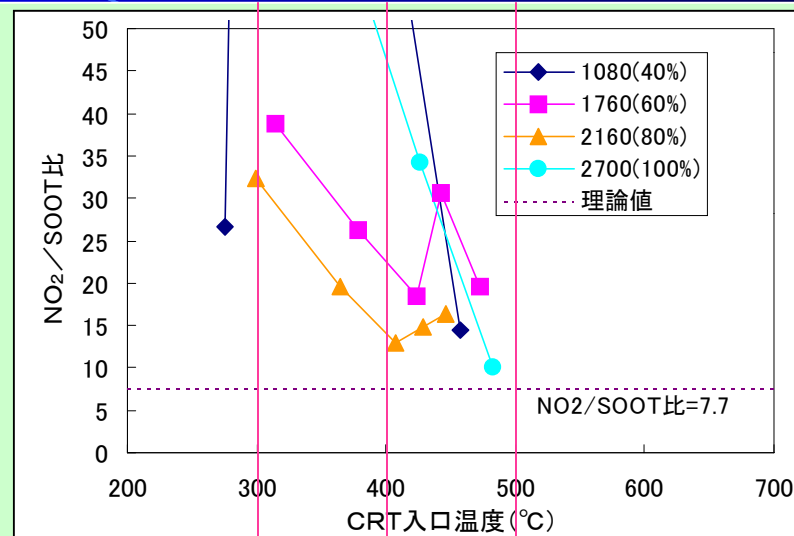
Z  
(元年)



● 再生  
× 差圧上昇

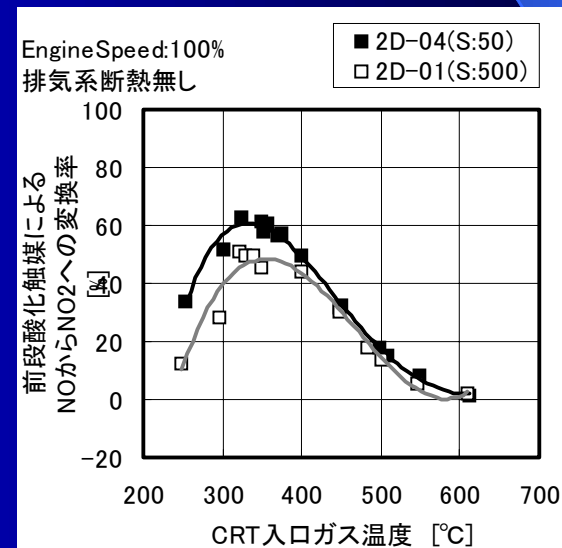
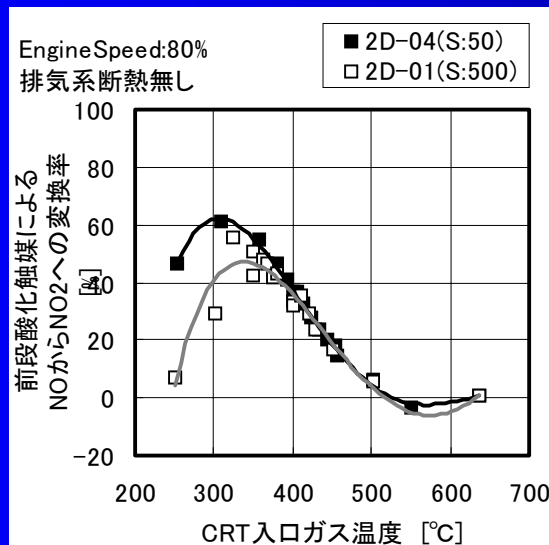
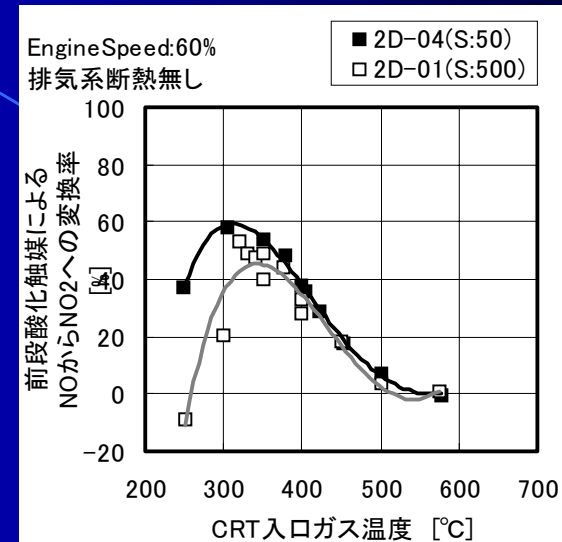
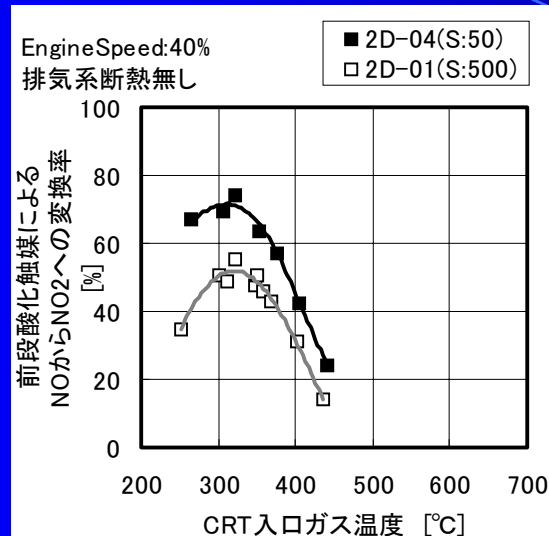
# NO<sub>2</sub>/SOOT比と再生温度範囲

YA  
(長期)



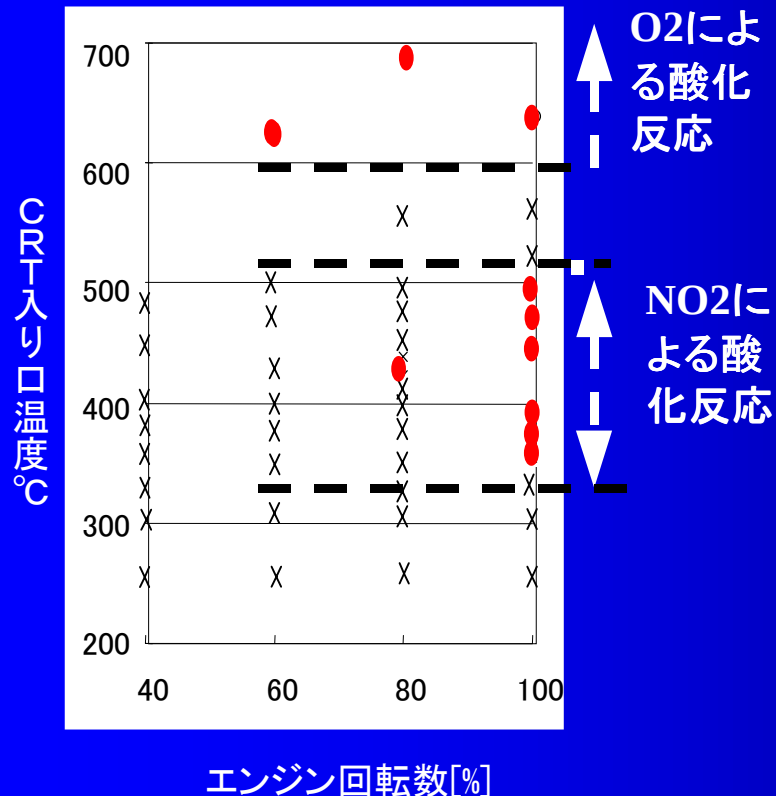
● 再生  
× 差圧上昇

# エンジンE: 前段酸化触媒によるNOからNO<sub>2</sub>への変換率



## CRT再生範囲がまだらになる理由

### 短期規制車



左図の短期規制車のまだらの場合を説明する。

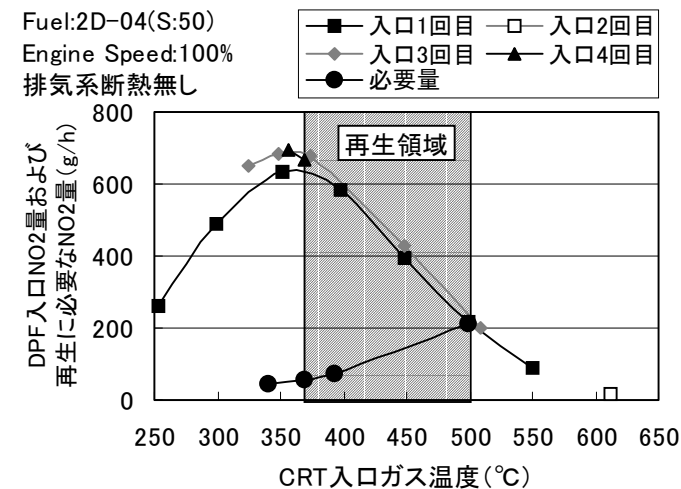
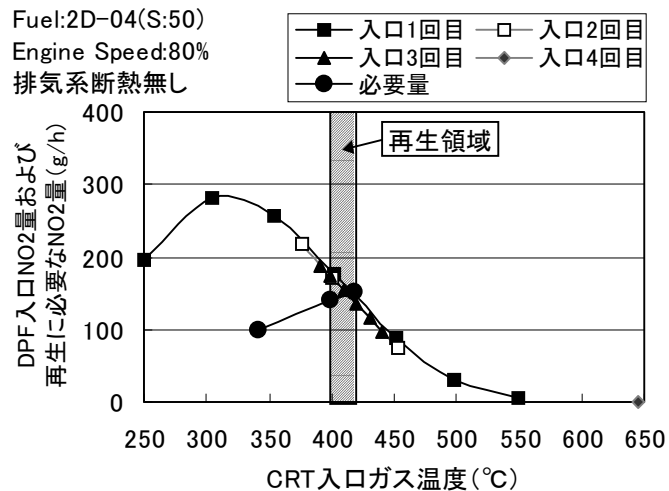
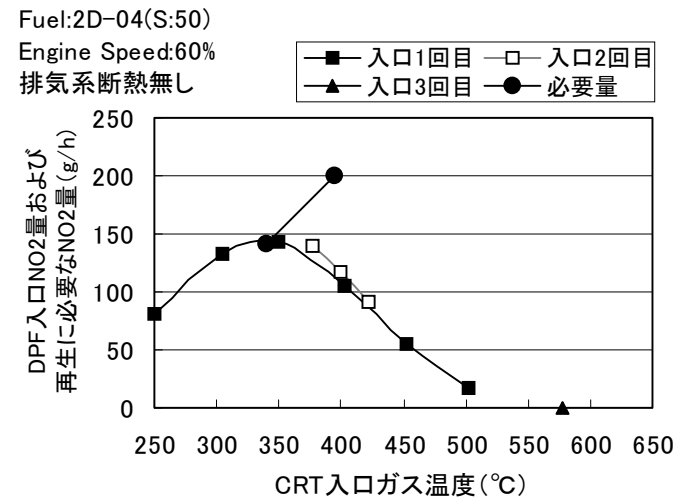
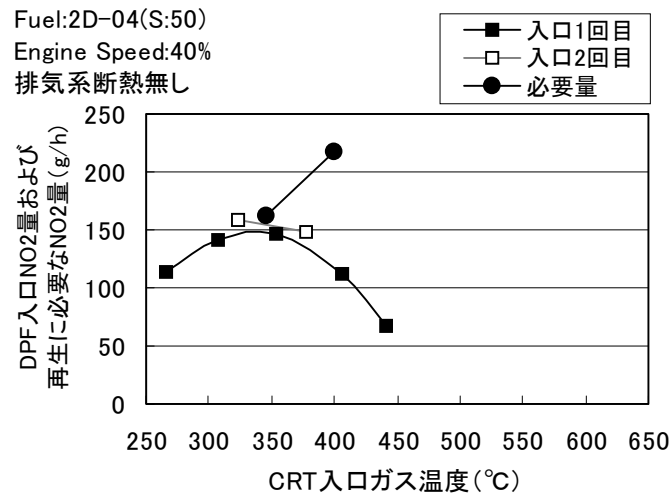
1. NO→NO<sub>2</sub>への変換効率が温度依存性がある。(高温になると、変換効率が小さくなる)
2.  $2\text{NO}_2 + \text{C} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{NO}$ の反応は温度が高いほど反応速度が大きくなる。
3. エンジン条件により、NO<sub>x</sub>とPM(Soot)の比率が異なる。
4. 600℃以上では、酸素によるSootの燃焼が起こる。

以上のことから、再生範囲が決定され则认为しているが、長期規制車におけるまだらの範囲はすべてNO<sub>2</sub>反応による領域であり、上記説明のみでは不十分。

記号の説明 ●: 差圧減少または変化なし  
x: 差圧上昇

## 短期規制エンジン:後段DPF入口のNO<sub>2</sub>量と 再生に必要なNO<sub>2</sub>量の関係(Fuel:2D-04(S:50))

補足資料 7



\*1:再生に必要なNO<sub>2</sub>量は, CRT無し試験でのDry soot量に7.66を乗じた.

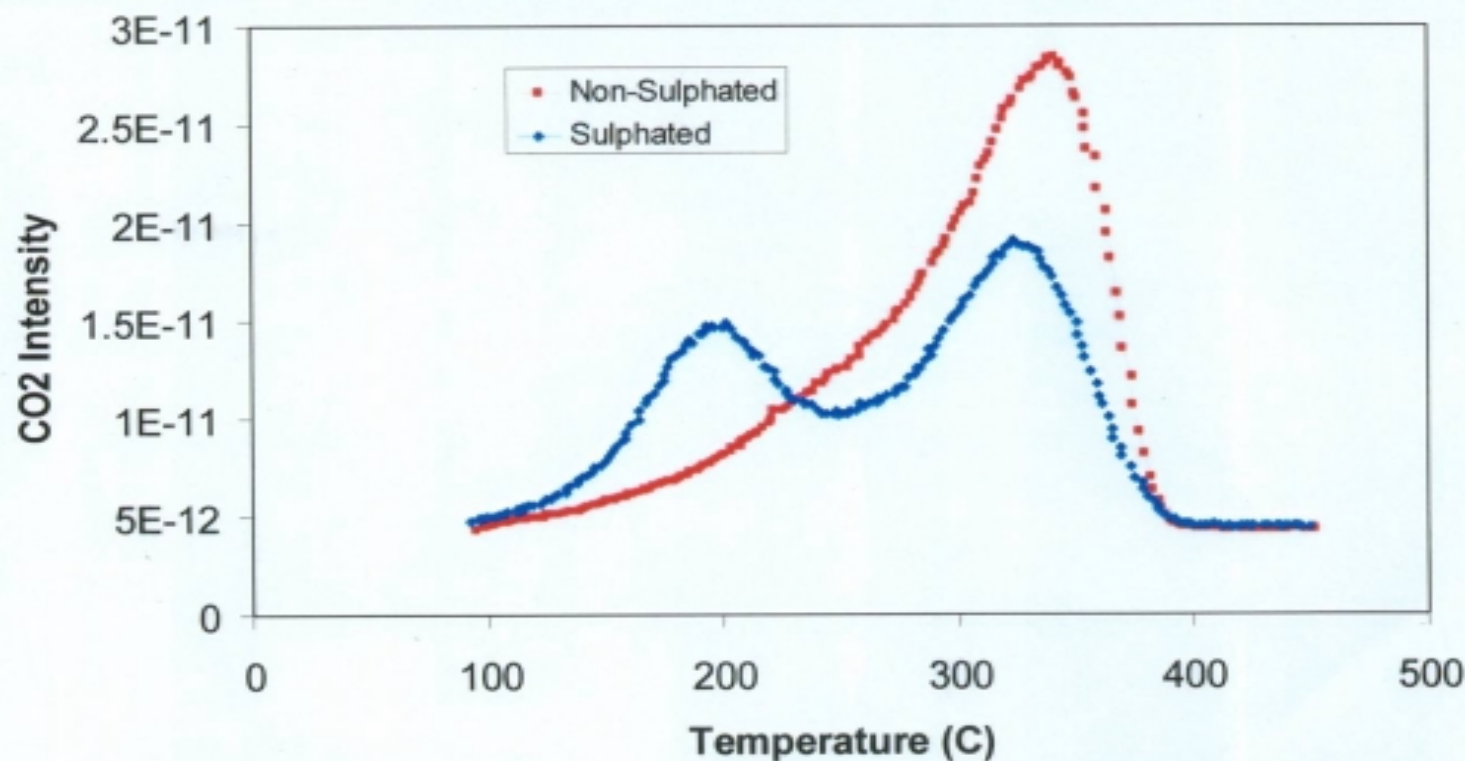
ここで, Dry sootは次式により算出した.

Dry soot=PM-SOF-サルフェート

\*2:DPF入口NO<sub>2</sub>量は, CRT差圧変化試験時のデータである.

# 硫黄分のすすの燃焼への影響

## NO2 TPO of Sulphated and Non-Sulphated Soot



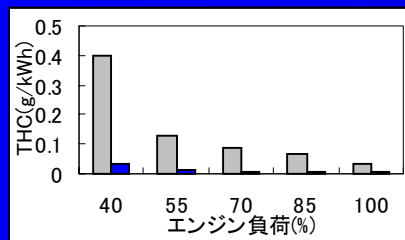
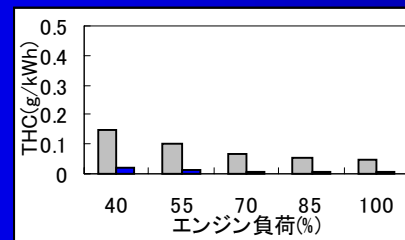
## 補足資料 9

## THC, CO低減効果(長期規制エンジン)

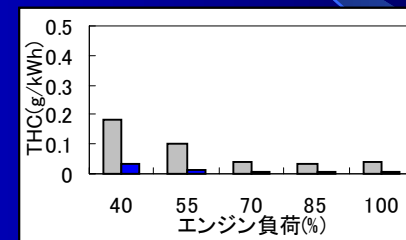
■CRT入口

■CRT(DOC部)出口

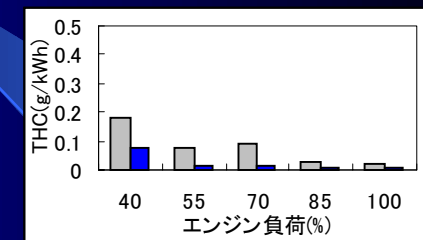
## THC

40%  
エンジン回転数

60%

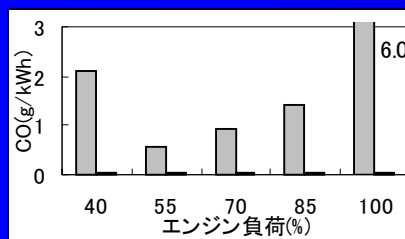
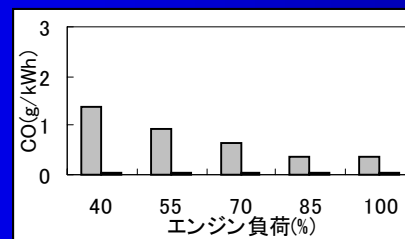


80%

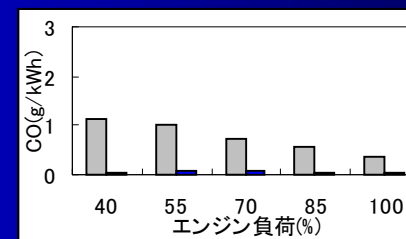


100%

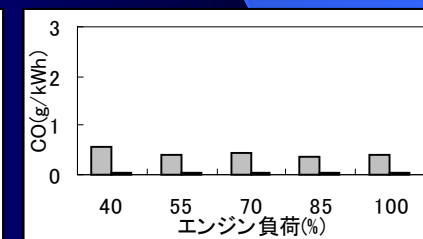
## CO

40%  
エンジン回転数

60%



80%



100%

長期規制エンジン  
2D-04(50ppm)



# 再生能力

## どのようにして評価するか

### 1. 交互再生DPF

- ・今回は再生能力については評価していない。
- ・セラミックスの耐熱温度と燃焼温度の関係が重要。

### 2. 連続再生式DPF

- ・PMの蓄積を差圧の増加として検知。  
(差圧が低下すれば再生している)
- ・評価ポイントのひとつは活性を示す温度。

