

# ディーゼル微粒子およびNOx同時低減後処理システムを装着した乗用車の排出ガスに関する研究

- 各種走行条件下における排出ガス特性の解析 -

環境エネルギー部 トヨタ自動車(株) 石井 素、佐藤 辰二、鈴木 央一、河合 英直、後藤 雄一  
 藤村 俊夫、杉山 辰優

## 1. はじめに

浮遊粒子状物質(SPM)の環境基準は、長期間に渡り達成されない等厳しい状況にある。この主要因として自動車交通量の飛躍的な増大、特に物流の主流を占めるディーゼル車からの排出微粒子が指摘されており、ディーゼル車より排出される粒子状物質(PM)の低減は極めて重要な社会的課題となっている。

PMの低減にはDPF(Diesel Particulate Filter)が注目されているが、捕集したDEPの再生制御が課題の一つである。例えば、CRT(Continuous Regeneration Trap)は排気中のNO<sub>2</sub>雰囲気中で、PMの燃焼温度を下げた再燃焼させるシステムである。通常のDPFでは、PMは捕集されるがNOxは除去されない。このNOxの処理について、尿素SCR(Selective Catalytic Reduction)などの方法が提案されているものの、追加システムが必要であるなどの課題を残している<sup>(1)</sup>。

これらに対して、最近、PMとNOxを同時に低減する触媒システム(Diesel Particulate-NOx Reduction System, DPNR)が開発され、その実用化研究が進められている<sup>(2)-(5)</sup>。本システム

はPMとNOxを同時に単一システムで解決しようとするものであり、上記の課題の有望な解決法の一つであると期待される。

本研究では、ディーゼル微粒子とNOxを同時低減可能な後処理システムを装着したディーゼル乗用車の排出ガス特性を、10・15モードおよび実走行型モードで測定した。この結果から本システムの排出ガス浄化性能への影響要因を検討した。

## 2. 排出ガス浄化システムおよび実験車両

DPNR触媒による排出ガス浄化のメカニズムの概略を図1に示す。NOxは、排出ガスがリーンの場合には、触媒基材にコーティングされた貴金属上において主に硝酸塩に変化して吸蔵され、このとき放出される活性酸素および排出ガス中の酸素によりPMが酸化される。触媒に吸蔵されたNOxの浄化は、瞬間的にリッチ雰囲気を与える(リッチスパイク)とNOx吸蔵剤よりNOが発生し、HCおよびCOにより還元されて窒素となる。このときPMは、触媒より発生した活性酸素により酸化される。

また、DPNR触媒が機能するためには、触媒温度が200以上である必要があり、アイドリングおよび低負荷時には、触媒の温度低下を回

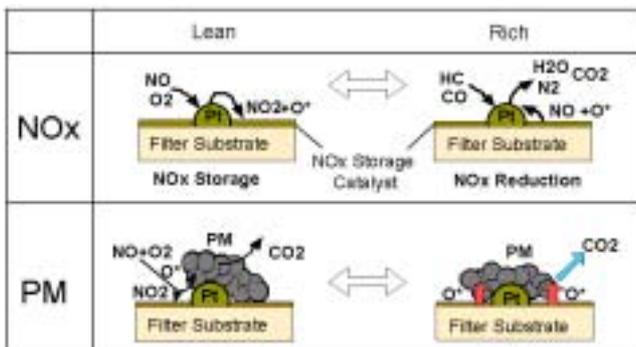


Fig.1 Mechanism of DPNR catalyst <sup>(2)</sup>

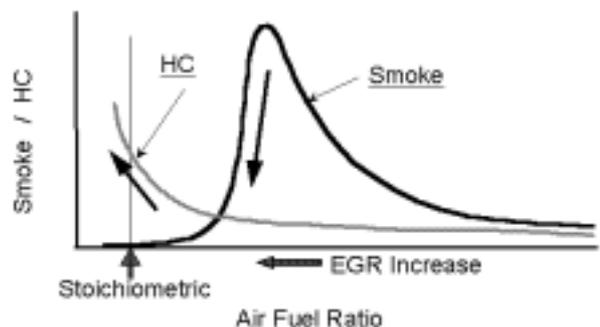


Fig. 2 Low temperature combustion <sup>(2)</sup>

避するため、大量 EGR による低温リッチ燃焼となるような制御が行われている。低温燃焼の概念を図 2 に示す。一般に、ディーゼルエンジンにおいては、EGR 率が大きくなるとすすが増加する。しかし、EGR を大量にかけると、燃焼温度が低くなり、すすが発生しない条件となり、NOx の排出もほとんどない<sup>(6)</sup>。この運転領域においては、HC が発生するので、触媒が HC の酸化を継続することで触媒温度を活性開始温度以上に維持することが可能である。

DPNR 触媒は、PM が触媒に堆積した場合のエンジン背圧の上昇等を回避するために、高温でリーンな条件の下での PM の強制再生運転が必要である。また、DPNR 触媒は燃料中の硫黄分が硫酸塩となり触媒に吸蔵される硫黄被毒により触媒性能が劣化するので、高温でリッチな条件下での被毒回復運転も必要であるが、PM 強制再生運転よりも頻度は低い。これらの制御は、走行中に自動的に行われる。

実験車両のエンジンの仕様をベースエンジンとの比較で表 1 に示す。開発のベースエンジンに比べ、噴射圧力を 180MPa とするなどの各種改良が施されている。

図 3 にエンジンシステムの概要を示す。ターボ、インタークーラー、吸気絞り用ディーゼルスロットル、EGR 用バルブ、EGR クーラー、コモンレール (CR) システムを装備して低温燃焼を実現している。後処理システムは排気にリッチスパイクを入れる排気添加インジェクタ、DPNR 触媒、排気温センサ、A/F センサ、差圧センサ、酸化触媒からなる。

本システムは、NOx 低減のために排気ポートに軽油燃料を下流方向に約 1 MPa で噴射して触媒中に理論空燃比雰囲気を作り出し NOx 還元を行うリッチスパイクを行っている。後期噴射によるリッチスパイクは、リッチスパイクによるトルク変動とスパイクによる潤滑油希釈の影響があること、広範囲の運転条件での使用が制限されるため、排気ポート噴射を行っている<sup>(2)</sup>。

### 3. 実験方法

実験車両の走行抵抗の測定は、当研究所の自動車試験場で行い、シャシーダイナモメータの負荷設定の設定値とした。

PM の測定には全量希釈トンネルを用い、トンネル流量を 10m<sup>3</sup>/min、サンプリング流量を 75L/min とした。排出ガス分析計は、NOx は CLD、CO、CO<sub>2</sub> は NDIR、HC は HFID により計測した。

DPNR 触媒には、硫黄被毒を極力さけるために硫黄分の低い燃料が要求される。本実験においては 50ppm レベルの低硫黄軽油を使用した。燃料性状の概略を表 2 に示す。

様々な試験モードについて測定を行ったが、本報告においては、10・15 モードおよび今後日本の排気規制に採用予定の新たな試験モード (以

Table 1. Engine Specifications <sup>(2)</sup>

|                       | 2.0L D4D with DPNR                  | 2.0L D4D(1CD-FTV)                   |
|-----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Displacement (liter)  | 1.995                               | 1.995                               |
| Cyl. No.-BorexStroke  | L4- 82.2x94                         | L4- 82.2x94                         |
| Combustion System     | Direct Injection                    | Direct Injection                    |
| Compression Ratio     | 18.2                                | 18.6                                |
| Combustion Chamber    | Shallow Bowl                        | Deep Bowl                           |
| Intake System         | Turbocharge with Intercooler        | Turbocharge with Intercooler        |
| Valve Train           | 4-Valve DOHC                        | 4-Valve DOHC                        |
| Fuel Injection System | Common Rail (180MPa)                | Common Rail (135MPa)                |
| Nozzle Hole           | 0.115x7                             | 0.136x6                             |
| Max. Output           | 81kW@4000rpm                        | 81kW@4000rpm                        |
| Max. Torque           | 180Nm@1400rpm<br>250Nm@2000-2400rpm | 160Nm@1400rpm<br>250Nm@2000-2400rpm |
| Combustion Noise      | 68.0dB@750rpm idle                  | 73.0dB@750rpm idle                  |

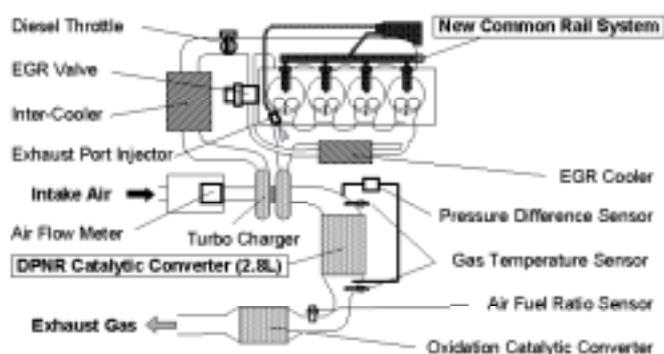


Fig.3 Configuration of DPNR System <sup>(2)</sup>

Table 2 Fuel properties

| Test item                                    | Test result |
|--|-------------|
| Density (15 ) ,g/cm <sup>3</sup>             | 0.8318      |
| Auto-ignition Temperature                    | 65.0        |
| Kinematic Viscosity (30 ) mm <sup>2</sup> /S | 3.354       |
| Sulfur ppm mass                              | 35          |
| Cetane index                                 | 55.1        |
| HFRR   | 390         |
| 90 % Distillation temperature                | 342.0       |

下「CD3モード」という。)の測定結果について報告する。2005年より、自動車排出ガス量は、ホットスタートとコールドスタートに重み係数をかけ、総和をとることにより計算することになっている。2008年より2010年まではCD3モードのコールドスタートおよび10・15モードが用いられ、2011年以降、コールドスタートおよびホットスタートともにCD3モードに移行する予定となっている。

各排出ガス測定に当たっては、60/km定常走行にてPM再生運転を行いDPNR触媒の状態を同一にそろえるようにした。コールドスタートについては、排出ガス測定の前日にPM再生運転を行った。

PM再生運転は、高温のリーン雰囲気中で触媒に堆積したPMを強制的に酸化するため、通常走行時と排出ガス特性が異なると考えられるので、このときの排気も計測した。

#### 4. 実験結果および考察

図4に、10・15モードおよびCD3モードの測定結果を示す。現時点ですでに新長期規制レベルを達成していることがわかる。特にPMについては0.002~0.003g/km程度と安定して低い値を示した。

米国では2007年の厳しい規制が提案されており、今後ディーゼル車にもガソリン車と同レベルの規制が課せられる可能性が考えられる。図5は、CD3モードのコールドスタート時のガソリン3元触媒車との排出ガスレベルの比較である。ガソリン3元触媒車は、セダンタイプ、エンジン排気量2Lで本報告の実験車両と等価慣性重量は1500kgで等しい。走行抵抗等は異なるので全く同一条件のもとでの正確な比較はできないが、排出ガスレベルを比較する参考データとして掲載した。実験車両は、DPNR触媒の下流に酸化触媒も装着されていることもあり、CO、HCの排出は低レベルに抑制されている。NOxは1.5倍ほど高いが、通常のディーゼル車よりもガソリン車との差が小さいことは明らかである。

図6には、各モードにおける車速、DPNR触媒温度、NOx、HC排出量の時間変化を車速とともに示す。10・15モード、CD3モードのホットスタートにおいては、DPNR触媒の触媒活

性開始温度である200よりもすでに高く、300を越えた状態にあるので、低いNOx排出レベルが保たれている。また、アイドル時にHCが高い傾向があるが、これは低温燃焼制御によるためと考えられる。

一方、CD3モードのコールドスタートにおいては、触媒活性開始温度の200を越えるまでに約130秒を要するため、モードの初期においてNOxの排出が認められる。このモードにおいては最初の2つのトリップで全体のNOx排出量の約40%が排出されている。

CD3モードホットスタートにおいては、最後のトリップで全体の67%に達するNOxの排出が認められた。最終トリップにおけるNOx排出ガス量は、0.265g/kmあった。これは、最終トリップの急加速時にNOxが大量にエンジンより排出され、DPNR触媒における吸蔵容量を瞬間的に大幅に上回ったため排出されたものと考えられる。CD3モードコールドスタートにおいても同様の傾向が認められる。

図には示さないが、PM再生運転の際の排出ガスは、NOx排出は約0.18g/kmと本実験車両としては高レベルであった。また、再生運転前後のNOx排出はいずれも0.01g/km以下と非常に低

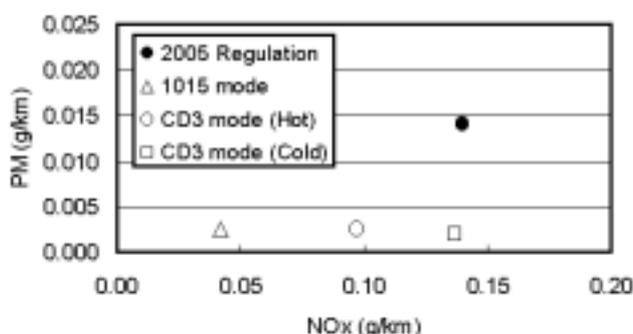


Fig.4 Emission test results

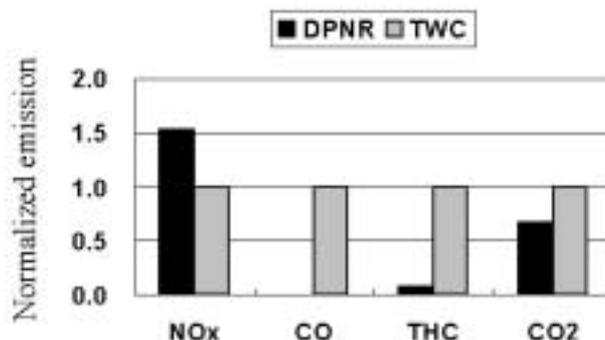


Fig.5 Comparison of emissions

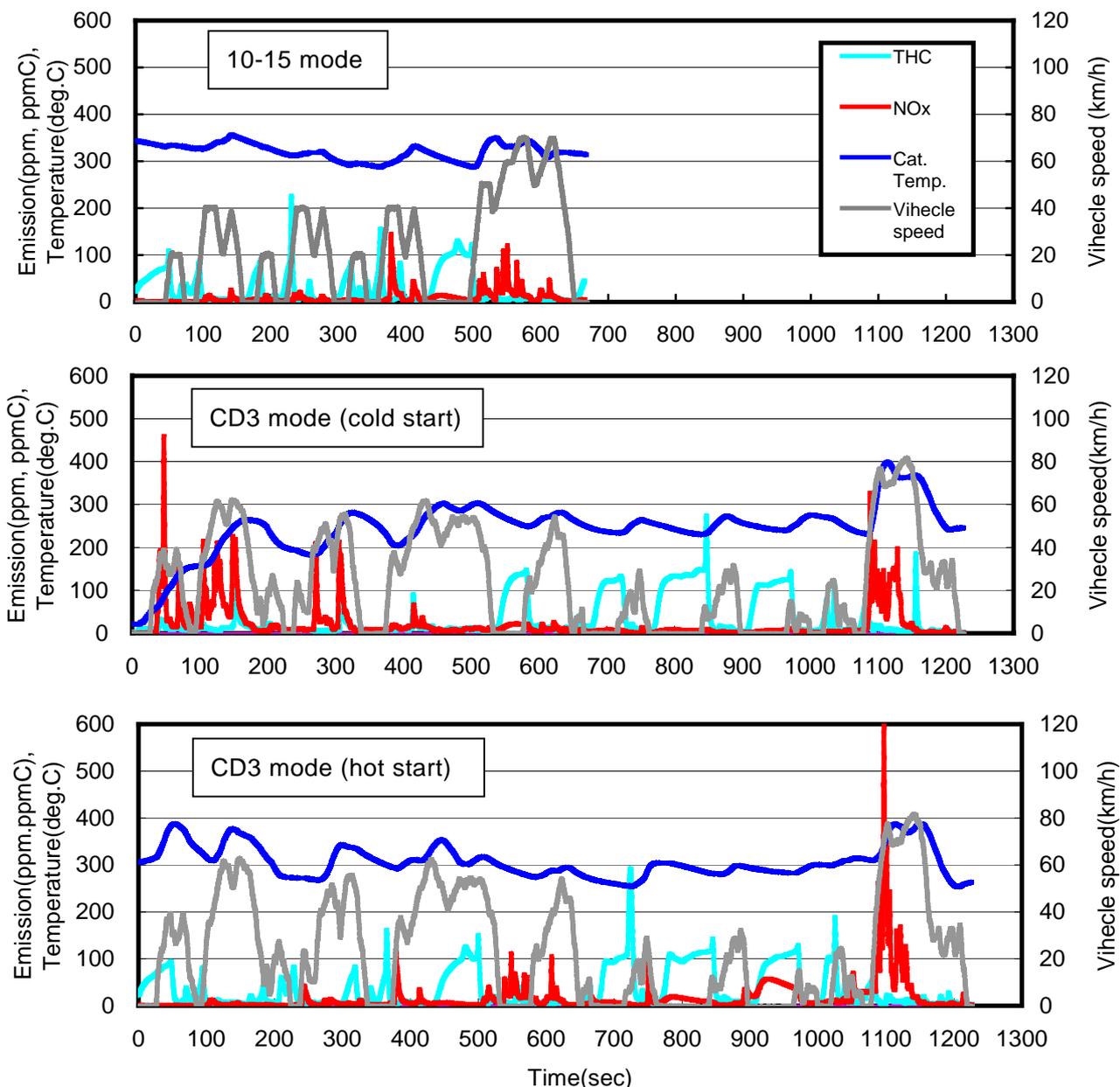


Fig.6 Temporary data of various modes

い。D P N R 装着車は、再生運転の頻度により全体の排出ガス量が変化するので、再生運転の頻度を下げる必要がある。

#### 4. まとめ

D P N R 装着車の各種走行モードにおける排出ガス測定を行った。排出ガス量は、ホットスタートにおいては特に低レベルで、新長期規制をクリアできるレベルにある。また、P M 再生運転においては排出ガス量が異なることから、これらを考慮に入れた排出ガス評価をする必要がある等のが明らかとなった。

#### 参考文献

(1) 小高, 日本機械学会誌, Vol. 105 No.1007,

pp.19-24, 2002.

(2) Fujimura, T., et al., "Development towards serial production of a Diesel passenger car with simultaneous reduction system of NOx and PM for the European market", 23<sup>rd</sup> International Vienna Motor Symposium, 2002.

(3) Nakatani, K., et al., SAE Paper 2002-01-0957.

(4) Tahara, J., et al., JSAE Proceedings No.23-02. pp.9-12, 2002.

(5) 大木他, JSAE 学術講演会前刷集 No.24-02. pp.5-8, 2002.

(6) Akihama, K., et al., SAE Paper 2001-01-0655.