

ディーゼル微粒子およびNOx同時低減触媒を装着した乗用車の排出ガスに関する研究（第2報）

- 1年間走行後の試験結果 -

環境研究領域 石井 素 鈴木 央一 後藤 雄一 小高 松男

1. はじめに

浮遊粒子状物質(SPM)および窒素酸化物(NOx)の環境基準は、依然として大都市地域において達成されていない状況にある⁽¹⁾。これらの改善は重要な社会的課題となっており、平成15年10月より環境保護条例による規制も開始され、規制対象車で猶予期間を過ぎたディーゼルトラック等の走行には、後処理装置の装着が必要となった。また、今後のより厳しい排出ガスレベルを達成するためには、ディーゼルエンジンの燃焼制御による排出ガス改善に加えて、排気後処理装置が必須のものとなりつつある。

ディーゼル自動車用の排気後処理装置については、PM低減に有効なDPF(Diesel Particulate Filter)、NOx低減に有効な吸蔵還元型の触媒等様々なシステムが提案されている⁽²⁾。

ディーゼルエンジンはどの運転領域においてもリーンで運転されるため、とくに大都市地域のように平均車速が非常に低い場合には、排気温度は150~250である⁽³⁾。DPFについてはこのような走行条件の中で、最低でも500以下では不可能とされるPMの再生を制御することが重要となる。

ブジョーにより開発されたシステムは、燃料にセリア(酸化セリウム)を添加し350~500においてPMの再生を可能にしたものである。再生が必要な場合には、燃料のポスト噴射およびDPF前の酸化触媒により触媒の温度を上昇させる⁽⁴⁾。

また、ジョンソン・マッセイにより開発されたCRT(Continuously Regenerating Trap)は、NO₂による炭素の酸化が250で可能であることを利用し、DPF前段の酸化触媒により排気中のNOをNO₂に変化させ、これをPMの酸化に利用して連続再生するものである⁽⁵⁾。

一方、NOx低減に効果があるものとしては、尿素SCR(Selective Catalytic Reduction)システムがあげられる。尿素SCRは尿素水を触媒前の排気系に添加し、尿素の加水分解により生成されたアンモニアによって触媒上でNOxを選択的に還元するものである⁽⁶⁾⁽⁷⁾。このシステムでは、PM中のSOF(Soluble Organic Fraction)分についての低減効果も報告されているものの、PMの大幅な低減効果は期待できない。

最近開発されたPMとNOxを同時に低減する触媒システム(Diesel Particulate-NOx Reduction System、DPNR)は、添加剤等を必要としないシステムでPMとNOxの双方を低減することが可能なものであり、その実用化研究が進められてきた⁽⁸⁾⁽⁹⁾。

図1にDPNRの触媒の排出ガス浄化の仕組みを示す。排出ガスがリーンの場合には、NOxを主に硝酸塩に変化して吸蔵し、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を酸化する。吸蔵されたNOxの浄化は、瞬間的にリッチ雰囲気を与えることにより吸蔵剤よりNOがリリースされ、HCおよびCOによりこのNOが還元されてN₂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。

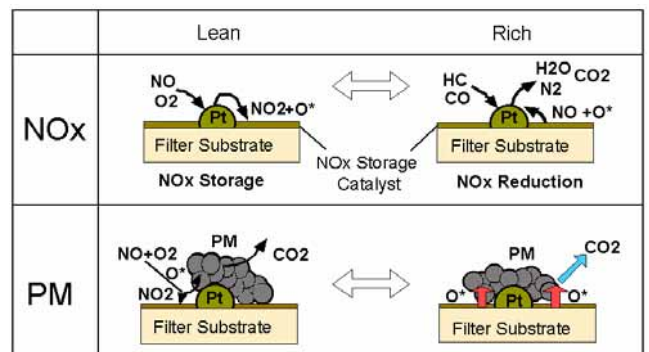


Fig.1 Mechanism of DPNR catalyst ⁽⁸⁾

Table 1 Vehicle specifications

Overall Length (mm)	4600
Overall Width (mm)	1710
Overall Height (mm)	1500
Weight (kg)	1400
Transmission	Manual

Table 2 Engine specifications ⁽⁸⁾

	D4D with DPNR
Displacement (litter)	1.995
Number of Cylinders	L 4
Bore * Stroke (mm)	82.2 * 94.0
Combustion System	Direct Injection
Compression Ratio	18.2
Combustion Chamber	Shallow Bowl
Intake System	Turbocharge with Intercooler
Valve Train	4-valve DOHC
Fuel Injection System	Common Rail (max 180 MPa)
Nozzle Hole	0.115*7
Max. Output	81 kW @4000rpm
Max. Torque	180Nm @1400rpm 250Nm @2000 2400rpm
Combustion Noise	68.0 @750rpm Idle

DPNRでは上記のPM連続酸化が250より可能であるが、十分な触媒のPM酸化能力の確保が困難である車速の低い運転領域においては、PMは触媒に堆積される。PMがある程度触媒に蓄積された場合には、触媒床温を600以上に制御した強制的な再生が必要となる。

本報告では、DPNRを搭載したディーゼル乗用車を1年間にわたりモニターし、その間数回にわたり排出ガス測定を行い、平均車速の低い大都市近郊における触媒における再生制御の可能性と、排出ガス浄化能力の推移について検討を行った。

2. 実験車両およびエンジンシステム

供試車両の諸元を表1に示す。供試車両は、ディーゼル乗用車の需要が非常に高い欧州仕様のワゴンタイプの乗用車である。欧州では日本に比較して平均車速が高いこともあり、ギア比等も一般的な日本車とは異なる。

エンジンの諸元を表2、エンジンシステムの概要を図2に示す。燃料噴射圧力を180MPaまで高めるほか排気系への燃料添加、低温燃焼の導入など、DPNR

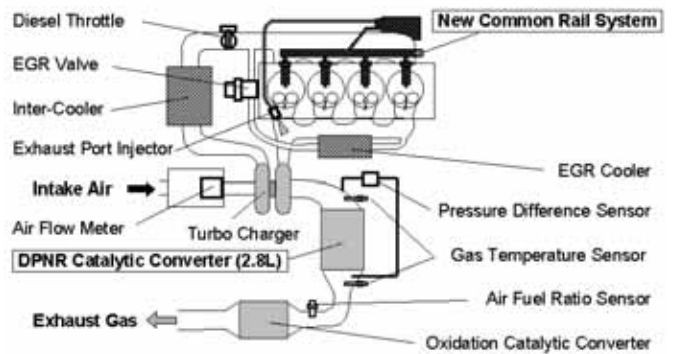


Fig.2 Configuration of engine system ⁽⁸⁾

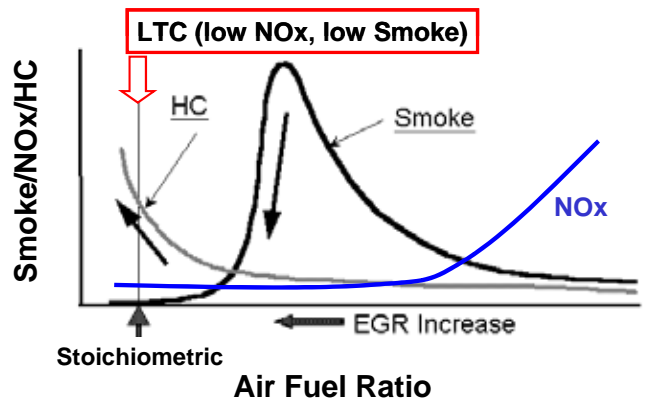


Fig. 3 Low temperature combustion

Rの排出ガス浄化性能を維持できるように各種工夫が施されている。

図3に低温燃焼の概念を示す。低温燃焼は、低負荷領域においてEGR率を上げて量論空燃比近傍とすることにより、NOx、すすを低レベルとしつつ触媒温度を200以上に保つ効果も有する燃焼である⁽¹⁰⁾。

3. 実験方法

試験車両にはデータ収録装置が搭載されており、走行中に1分間に1回の割合で、車速等のデータが収録装置に保存される。

モニター試験中、シャシーダイナモメータによる排出ガス試験を5回行った。2500kmおよび12500km走行時は交通安全環境研究所で、3500km、6500km、13500km走行時の排出ガス試験はトヨタ自動車において行った。

このときの試験モードは、主に10・15モードおよび2008年よりコールドスタートより新たに導入予定のモード(以下「CDモード」という。)のコールドおよびホットスタートにより測定した。

排出ガス測定においては、各試験開始前に強制再生運転を行い、触媒の条件を同一とするようにした。

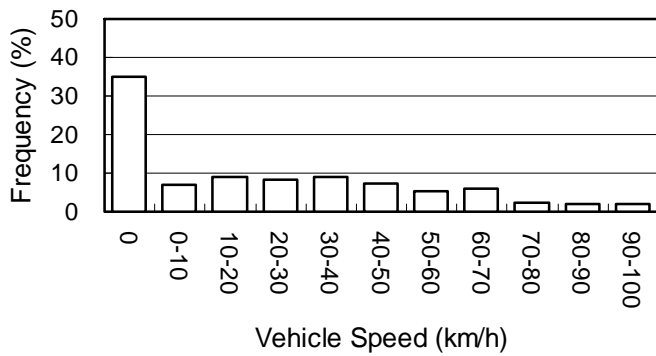


Fig. 4 Frequency distribution of vehicle speed

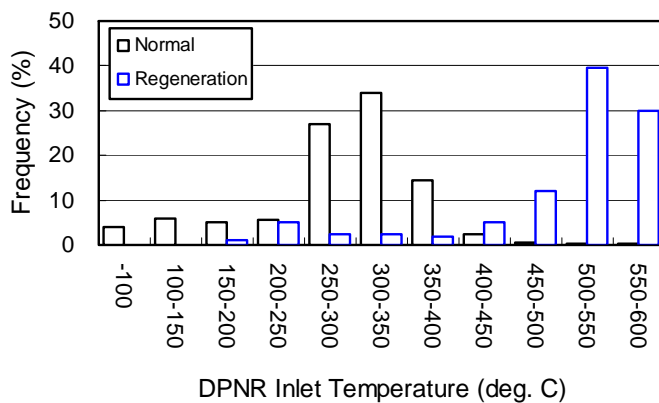


Fig. 5 Frequency distributions of DPNR inlet temperature

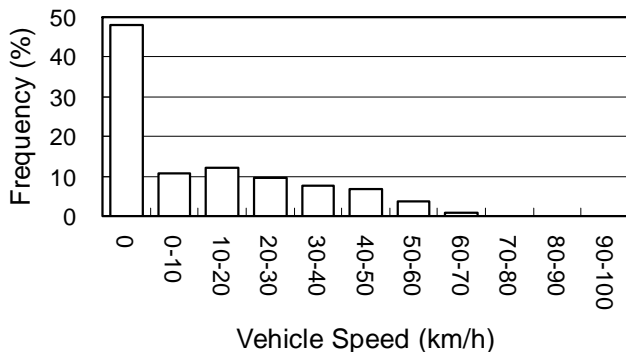


Fig. 6 Frequency distribution of vehicle speed (Road test at Tokyo metropolitan area)

DPNR 触媒は燃料中の硫黄分による被毒により浄化性能が徐々に低下するので、触媒燃料中の硫黄分が低い方が硫黄の被毒を回復のための再生運転の頻度も下げることができる。燃料には、1年間を通じて硫黄分 50ppm レベルの軽油を使用した。

本モニター走行においては、当初より欧州に比較して車速が低いことは明らかだったので、DPNR 触媒のPM酸化能力低下によるPM堆積の触媒温度の異常上昇を回避するために、PM再生運転の頻度を多くするような設定にして走行した。

また、比較的渋滞時の車速頻度を求めるために、試験車により東京都心の路上走行試験を2回行った。走行経路は、甲州街道より明治通り、青山通り、外堀通り、中央通り、靖国通りを経て甲州街道へ戻る約50kmのコースである。

4. 実験結果および考察

試験車両の1年間での走行距離は約12,500km、平均車速は約29km/hで、走行記録より、全走行距離のうち、約1/4が高速道路走行であった。それ以外が市街地走行および郊外地走行である。

図4にモニター中の1年間の全走行時間における車速頻度分布を示す。都市部を走行する際は渋滞が多いため、アイドリング時間が全走行時間に対して占める割合は約35%であった。

図5に通常走行時および触媒の再生走行時のDPNR 触媒入り口における排出ガス温度(以下「Tin」という。)の頻度分布を示す。DPNR 触媒は、その排出ガス浄化能力を引き出すためには250~300以上は必要である。図より通常走行時においては、250以上の頻度分布が約8割を占めたことがわかる。上に述べたアイドリング時間の占める割合を考慮すると、低温燃焼および排気系への燃料添加の触媒活性を保つためのエンジン制御が機能したことになる。

再生走行においては、Tinは500以上を約7割が占め、通常走行より大幅に高い排気温度を保つことができた。しかしながら、上記のようにアイドリングの割合が高いため、再生走行中に十分な排気温度上昇を得られなかった場合もありえると考えられる。

図6に試験車により東京都心を路上走行した際の車速頻度分布を示す。この場合、アイドリングが50%弱を占めた。この路上走行においては、上記のTinの頻度分布は低温側にピークが移動することが予想される。また、再生走行時にも同様のことが想像される。

図7にモニター試験の走行距離に対する、10・15モード、CDモードコールドスタートおよびホットスタートのNOxおよびPMの排出ガス試験結果の推移を示す。PMは、コールドスタートおよびホットスタートともに、一年間にわたり新長期規制レベルを約6割下回るレベルを維持していることがわかる。

一方、NOxについては、概ね新長期規制レベルを下回っている。12500km走行時の排出ガス試験においては10・15モードおよびCDモードのホットスタート試験において新長期規制レベルを若干上回る

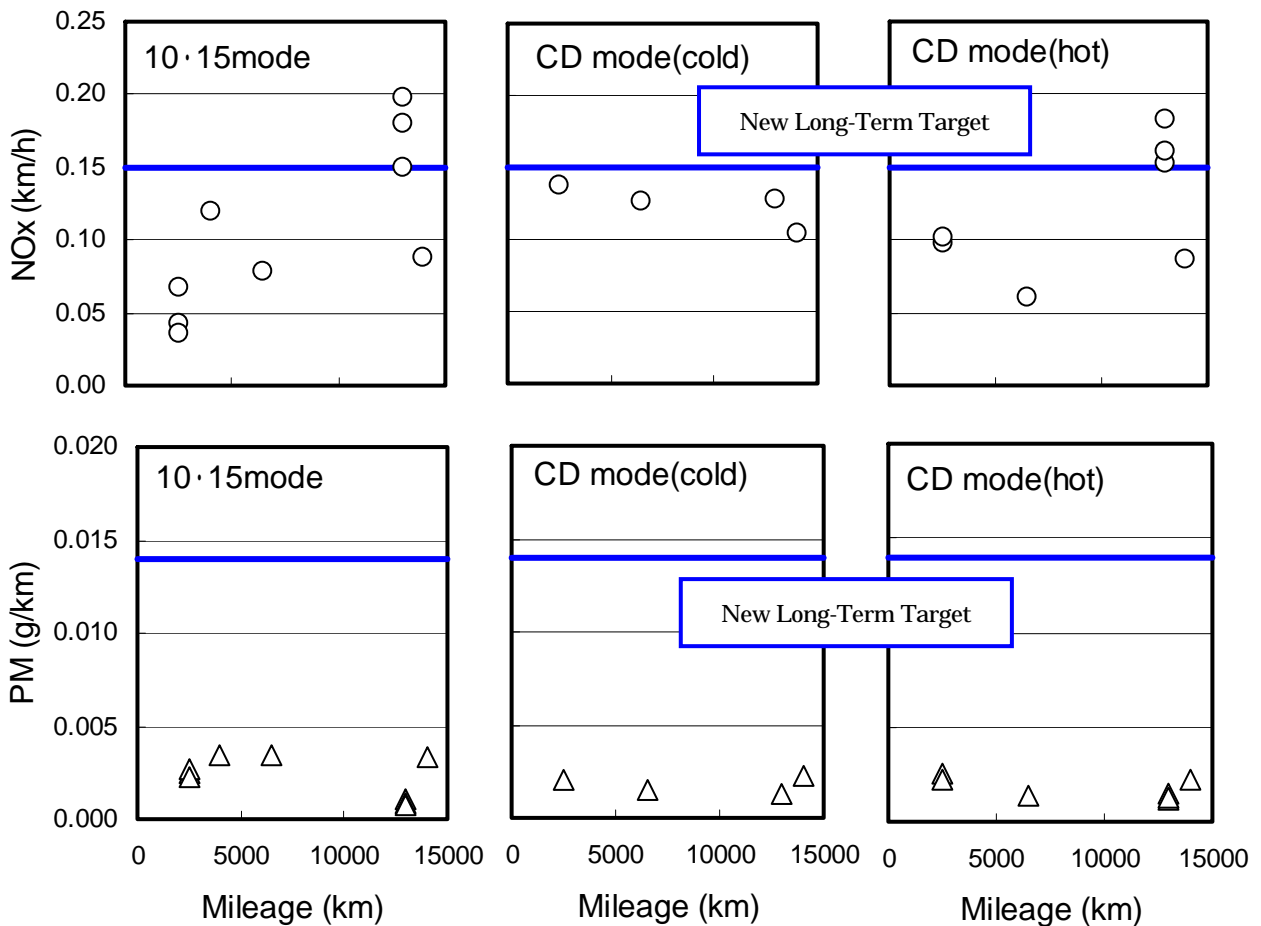


Fig. 7 Test results of emissions

結果も測定されたが、その後の試験ではまた低いレベルに戻っている。

5. まとめ

D P N R 装着車のモニター試験を1年間にわたって行い、主に、平均車速が低い日本の大都市近郊の走行した。排出ガスは1年間を通じて、新長期規制レベルにあり、とくにPMに関しては新長期規制を下回るレベルを維持することが可能であった。

最近、環境省により10ppmレベルの軽油が市場に投入される方針が示されたので、本システムには有利に働くと考えられる⁽¹¹⁾。

また、商用社用のD P N Rについても実用化されたので、今後は大型車用のシステムの開発が期待される⁽¹²⁾。

参考文献

(1) 環境省中央環境審議会, 「今後の自動車排出ガス低減対策のあり方について(第五次答申)」, 2002年4月.
 (2) 田中, 自動車技術, Vol. 57 No.9, pp.65-70, 2003.
 (3) Nakatani, K. et al., SAE Paper 2002-01-0957.

(4) Quigley, M. et al., SAE Paper 2002-01-0436.
 (5) Allansson, R. et al. SAE Paper 2002-01-0428.
 (6) 齊藤他, 自動車技術会学術講演会前刷集 No.25-03 pp.5-8, 2003.
 (7) 佐藤他, 自動車技術会学術講演会前刷集 No.25-03 pp.19-22, 2003.
 (8) 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", 23rd International Vienna Motor Symposium, 2002.
 (9) 小林他, 自動車技術会学術講演会前刷集 No.25-03, pp.13-18, 2003.
 (10) 佐々木他, 自動車技術会学術講演会前刷集 No.100-00 pp.17-20, 2000.
 (11) 環境省中環審, 「今後の自動車排出ガス低減対策のあり方について(第七次答申)」, 2003年7月.
 (12) 庄司他, 自動車技術会学術講演会前刷集 No.88-03 pp.23-28, 2003.