

# ディーゼル車用複合脱硝システムの開発 (その1) -各要素技術の基礎性能-

佐野 藤治 勝田 晨陸\* 横田 久司 田原 茂樹 坂西 丕昌  
(\* (財)産業創造研究所)

## 要 旨

ディーゼル車用複合脱硝システムは、EGR(Exhaust Gas Recirculation:排気再循環)とNO<sub>x</sub>還元触媒を組み合わせたシステムである。運転方法は中低負荷域をEGR、高負荷域をNO<sub>x</sub>還元触媒反応器で行い、全運転領域での排出低減を目的としている。

本報では、最初のステップとして、複合脱硝システムの各要素技術について、性能及び課題とその対策について検討した。試験結果は以下に示すとおりである。

- (1) EGRは、60%負荷以上で運転すると、NO<sub>x</sub>排出は大きく低減したが、黒煙排出が2~3倍増加した。
- (2) ディーゼル13モードのうち、中低負荷域の1~5または1~7及び13運転モードをEGRで運転、高負荷域6~12または8~12を脱硝触媒反応器で運転することにより、黒煙を悪化せず、NO<sub>x</sub>を47%削減できた。
- (3) 脱硝触媒反応器により、黒煙は50%以上削減された。

キーワード: 粒子状物質、NO<sub>x</sub>、脱硝触媒

## 1 はじめに

ディーゼル車はガソリン車に比べ、経済性、耐久性に優れ、また燃費が20~40%も優れている等から、大型車から小型車まで幅広く使用されている。その反面、粒子状物質(PM)やNO<sub>x</sub>排出量が多いため、その削減対策は急務である。

この社会的要請に応えるため、平成12年度から(財)産業創造研究所との共同研究において、ディーゼル車用複合脱硝・PM低減システムの開発研究を実施している。本システムは、ディーゼルエンジンのNO<sub>x</sub>排出量を現行規制値より更に25~50%低減すると共に、PMも同時に低減することを目的とし、新長期排出規制目標(2005年)の早期達成を目指している。

本報では、(財)産業創造研究所(以後、産創研)が実施した要素技術の試験結果<sup>1)~4)</sup>を中心に、排気再循環装置(Exhaust Gas Recirculation EGR)とNO<sub>x</sub>還元触媒を用いた複合脱硝触媒システムの性能と、新たなディーゼル車用複合脱硝・PM低減システム試験装置の

製作について報告する。

## 2 要素技術の確認実験

複合脱硝触媒システムの実用化に向けた各要素技術の基礎性能を確認するため、産創研のエンジンダイナモメータに複合脱硝触媒システムを組み立て、実験を行った。

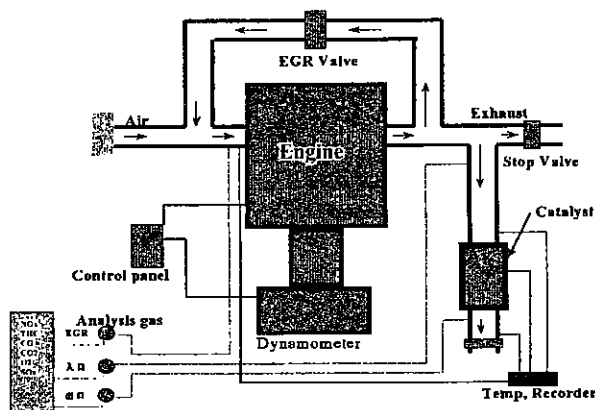


図1 複合脱硝システム試験装置

(1) 試験装置

装置のフローを図1に、エンジン及びエンジンダイナモメータの諸元を表1、2に示した。また、排出ガスの分析は、表3の方法で行った。

触媒反応器は排気マニホールド後方約3mに、脱硝反応還元剤として用いる軽油は、排気マニホールド後方0.5mの位置から定量ポンプにより供給した。

表1 ディーゼルエンジンの諸元

エンジン	平成6年度規制適合
種類	水冷4気筒直接噴射式
排気量	5.307(L)
最高出力	145/2900(PS/rpm)
最大トルク	373(38)/1700 (N・m(kgf・m)/rpm)

表2 エンジンダイナモメータの諸元

動力形式	渦流動力計
最大吸収馬力	180(PS)
最大吸収トルク	400kg・m
最大回転数	10,000rpm

表3 排出ガスの分析法

NOx	常圧化学発光法
THC	FID法
CO、CO2	非分散赤外分光法
O2	磁気風式
SO2	炎光発光法
黒煙	BOSCH式

(2) 試験方法

燃料はJIS2号軽油(S<0.049%)を用いた。

各要素技術の個別の性能実験は、TRIASに規定するディーゼル13モード(表4に示す)に準じて行った。試験前の暖機運転は10分間行い、エンジン回転数に対する最高出力は渦電流動力計で計測した。各回転数での計測時間は5分間とし、同時に燃費と排出ガス組成も計測した。

(3) 要素技術の性能確認

ア EGR

EGRは、排出ガスの一部を吸気側に戻し再燃焼させることで、NOxの低減効果を向上させる方法である。その戻し量は、EGR配管に設置した調節用バルブによりCO2濃度をもとに調節した。なお、EGR率は下記の式から算

表4 ディーゼル13モード運転条件

運転モード	運転状態		EGRの有無	脱硝触媒の有無
	回転数	負荷率(%)		
1	アイドリング	無負荷	○	
2	最高出力時の40%	20	○	
3	最高出力時の40%	40	○	
4	アイドリング	無負荷	○	
5	最高出力時の60%	20	○	
6	最高出力時の60%	40	ケースのみ○	ケースのみ○
7	最高出力時の80%	40	ケースのみ○	ケースのみ○
8	最高出力時の80%	60		○
9	最高出力時の60%	60		○
10	最高出力時の60%	80		○
11	最高出力時の60%	95		○
12	最高出力時の80%	80		○
13	最高出力時の60%	5	○	

出した。

$$\text{EGR率}(\%) = (B - C) / (A - C) \times 100$$

A：排出ガス中の二酸化炭素濃度(%)

B：EGRガス中の二酸化炭素濃度(%)

C：吸気(空気)中の二酸化炭素濃度(%)

EGRは、エンジンを中低負荷領域で運転するディーゼル13モードの1、2、3、4、5、6、7、13の各モード(表4参照)で用いた。EGR率は0~50%の範囲で行った。

イ 触媒反応器

触媒反応器単独での脱硝性能は、ディーゼル13モードの各モード毎に試験した。なお、測定はNOx濃度が安定した後に行った。軽油還元剤の供給は、定量ポンプにて排気マニホールド直後の排気管に、軽油を所定量(NO量に対して軽油量を2~3倍量)供給した。

黒煙濃度は、Bosch式スモークメーター(JISD8004)を用い、触媒反応器前後で測定した。

(4) 複合脱硝触媒システムによるNOx低減実験

EGRと触媒反応器を組み合わせた複合脱硝触媒システムでのNOx低減試験を、ディーゼル13モードにより次の手順で行った。エンジン暖機運転後、モード1から順に30分間ずつ運転し、そのときの排出ガス組成と燃費、排気温度を測定した。モード6と7は、軽油還元剤供給の有無及びEGR率20%でも行った。

なお、実験はディーゼル13モードにより下記に示すケース1とケース2で行った(表4参照)。

(実験条件)

① ケース1

運転モード1、2、3、4、5、13はEGR率40%、モード6、7、8、9、10、11、12は脱硝触媒反応器で運転した。

② ケース2

運転モード1、2、3、4、5、6、7、13はEGR率40%、モード8、9、10、11、12は脱硝触媒反応器で運転した。なお、EGR運転時の排出ガスは脱硝触媒反応器に通気し、軽油還元剤の添加は脱硝触媒反応器の運転時のみ行った。

### 3 結果及び考察

#### (1) EGRの効果

EGR率に対するNO<sub>x</sub>の濃度比を図2に示した。いずれのモードでもEGRの低減効果は大きく、その排出量はEGR率に依存していた。

黒煙濃度比を図3に示す。アイドリング（モード1、4）時は、EGR率を高くしても濃度は0%であったが、他のモードでは、EGR率が増すと、濃度も高くなり、EGR率0%での濃度の2~4倍に増加した。

このことからEGRは、NO<sub>x</sub>低減に対しては非常に有効な手段と思われるが、反対に黒煙排出量を増加させることが明らかとなった。このため、黒煙排出量が多い中負荷領域では、EGR率を低く、また排出量が小さい低負荷領域では、逆に高くすることが有効である。更に、このようなEGRの運転により、不完全燃焼が抑制されるため、COやTHCの排出量を併せて低減できるものとする。

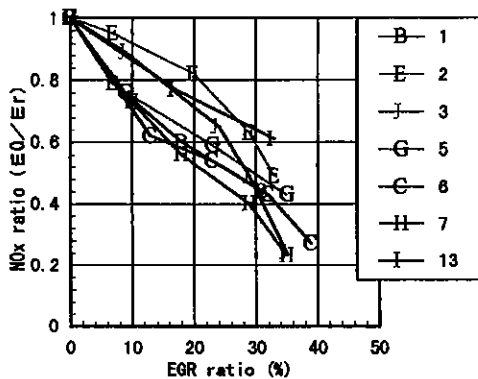


図2 ERG率に対するNO<sub>x</sub>濃度比

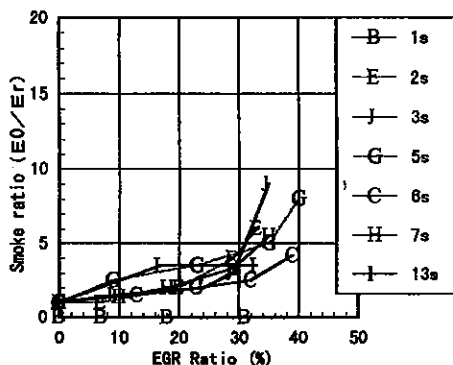


図3 ERG率に対する黒煙濃度比

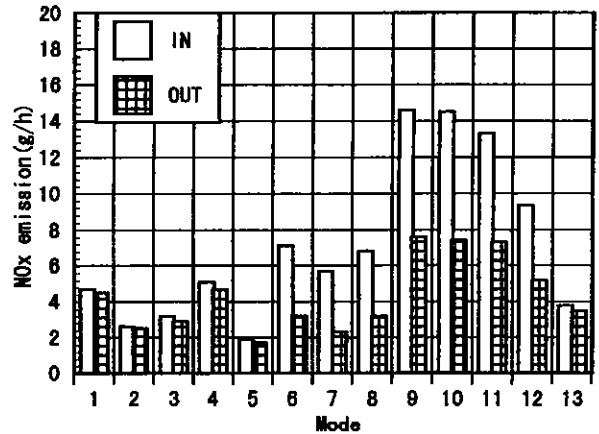


図4 D13モードにおける触媒反応器前後のNO<sub>x</sub>排出量

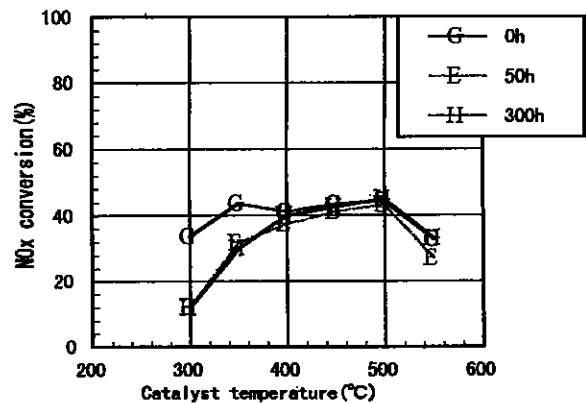


図5 実排出ガスによる触媒の耐久性

#### (2) 触媒反応器の効果

ディーゼル13モードにおいて、触媒反応器単独のNO<sub>x</sub>排出量を図4に示す。軽油還元剤は6~12モードで添加した。結果を見ると、低負荷域（モード1~5、13）の脱硝率は10%以下であったが、高負荷域（モード6~12）では40~50%と高く、高負荷域でのNO<sub>x</sub>低減に有効であった。

また、触媒反応器の低減効果の持続性を、別途製作した小型反応器を用いて試験した結果を図5に示す。50時間後に400℃以下の脱硝活性は低下したが、それ以上の温度では活性低下は小さく、300時間経過しても活性には変化が見られなかった。

このことから、本触媒反応器は、低減効果が急激に低下する350℃より高い排気温度で用いることが必要であることが分かった。

#### (3) 複合脱硝触媒システムの効果

##### ア NO<sub>x</sub>低減

触媒等のNO<sub>x</sub>低減効果を、ディーゼル13各モードにおいて個別に検討した結果を図6に示す。

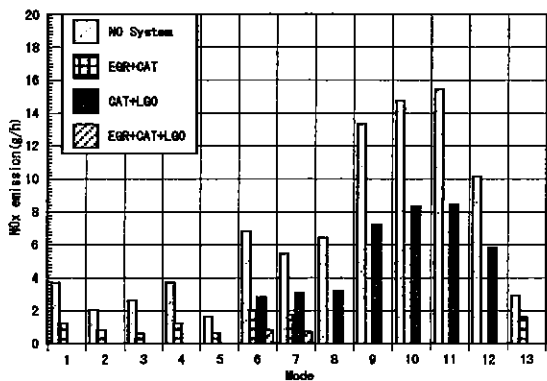


図6 複合脱硝システムによる各モードのNOx排出量

EGRを使用したときのEGR率はいずれも40%とした。また、触媒反応器には排出ガスの全量を通気した。ただし、EGR運転時には軽油還元剤の供給を中止した。図に示すとおり、運転モード1~7と13においてEGR運転時（「EGR+CAT」）のNOx排出量は、いずれのモードも「システムなし」の排出量に比べ50%以上低減した。ここで、CATとは触媒反応器を示す。またEGR運転を停止して、軽油還元剤（「LGO」）を供給した運転モード6~12（「CAT+LGO」）の排出量は、40%以上低減した。

一方、モード6と7では、排気温度が触媒作用の境界域にあるため、EGRと軽油還元剤供給の運転（「EGR+CAT+LGO」）では、「システムなし」の排出量に対して約90%以上低減した。

以上、装置別に低減効果を検討した。更に、現行規制基準及び「装置なし」に対する低減率をディーゼル13モードでの排出量で見ると（図7参照）、ケース1は、「システムなし」に対して53%低減した。これは、現行排出規制値に対し40%の低減であった。同様に、ケース2では、「システムなし」に対して58%、また現行排出規制値に対して47%の低減であった。

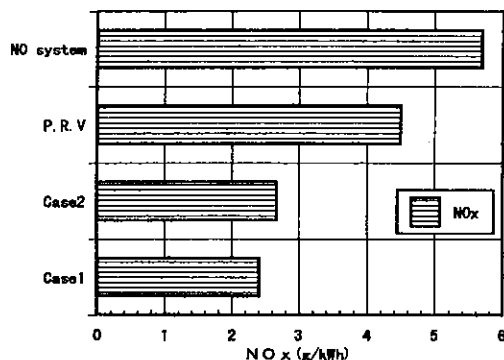


図7 D13モードにおけるNOx排出量の比較

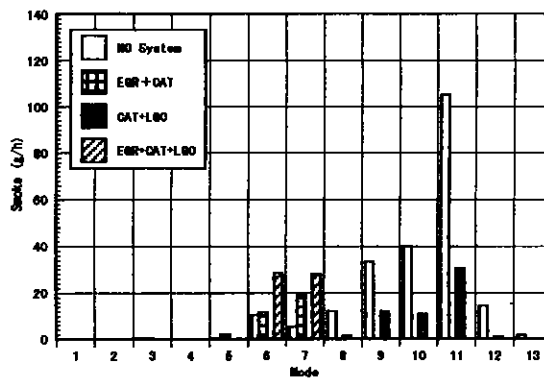


図8 複合脱硝システムによる各モードの黒煙排出量

### イ 黒煙の低減

スモークメータの測定値を黒煙量(g/h)に換算し直した（重み付き）結果を、図8に示す。モード1~5の黒煙量を「システムなし」と「EGR+CAT」で比較すると、双方ともごくわずかの排出量しか見られなかった。モード6は、双方ほぼ同じであったが、モード7では「EGR+CAT」は「システムなし」の約3倍に増加した。この両モードに軽油還元剤を供給した（「EGR+CAT+LGO」）結果を見ると、「システムなし」に対して、モード6では約3倍、モード7では5倍に増加した。しかし、「CAT+LGO」は、モード8~12のいずれにおいても、「システムなし」に比べ70%以上低減した。

複合脱硝触媒システムにより、NOxは現行規制値より約50%低減することができたが、黒煙排出量は、EGR・脱硝触媒・軽油還元剤の使い方によっては、増加した。特に、ディーゼル13モードの6と7は、EGRを用いると排気温度が脱硝触媒作用温度に達するため、NOx排出量は削減したが、その反面、黒煙は増加した。

## 4 ディーゼル車用複合脱硝・PM低減システム試験装置の製作<sup>5)</sup>

要素技術の確認試験結果から、①希釈トンネル法による粒子状物質の詳細な評価 ②システム制御方法の確立 ③NOxとPM同時除去システムの構築等の課題が明らかになった。該る課題を解決するため、現行規制適合エンジン（平成10年規制適合）に触媒反応器等を組み入れた試験装置を製作し、当研究所のエンジンダイナモ装置に設置した。

試験装置及びエンジンダイナモメータの諸元を表5、6に示した。また、システムの構成を図9、図10（写真）

表5 ディーゼルエンジンの諸元

エンジン	平成10年度規制適合
種類	水冷4気筒直接噴射式 噴射ポンプ列型
排気量	7.961(L)
最高出力	15.1/2900(PS/rpm)
最大トルク	53.0(54)/1600 (N・m(kgf・m)/rpm)

表6 エンジンダイナモメータの諸元

動力計形式	直流電気動力計
吸収能力	220kw
定格トルク	107.1 kg・m
固定慣性	1.6
電気慣性	3.0
運転制御	自動(手動可)

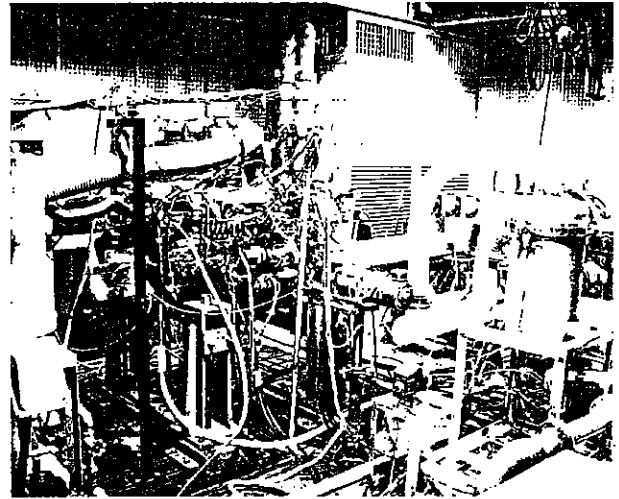


図10 試験装置の全景

に示した。

EGR制御は吸気温度、水温、排気圧、アクセル開度、エンジン回転数を制御信号としてEGRバルブの開閉法とEGR率を4段階に可変できる手動式である。エンジンと動力計の連結は、エンジンのクラッチとトランスミッションを取り除き、プロペラシャフトで直結した。触媒反応器は、NO<sub>x</sub>とPMの同時除去するために、脱硝触媒と酸化触媒の複合型触媒反応器とした。

本試験装置により、現在、エンジン性能及び各要素技術の確認試験を実施中である。その結果を踏まえ、新長期排出規制目標(2005年)達成に向けてトータルシステムの実証試験を開始する予定である。

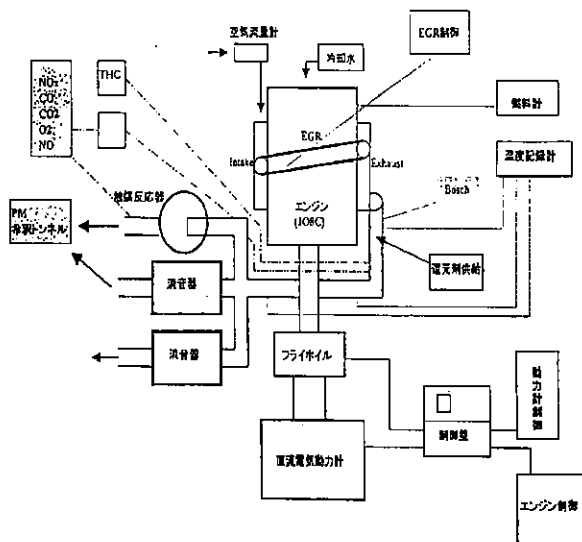


図9 複合脱硝・粒子物質低減システム試験装置のフロー

### 5 まとめ

脱硝触媒システムは、脱硝触媒が示す低温域での活性劣化を、EGRにより補い、全ての運転領域でNO<sub>x</sub>を低減する画期的技術である。ディーゼル13モードにおける中低負荷域の1~5または1~7及び13モードはEGRを用い、高負荷域の6~12または8~12モードは脱硝触媒反応器を用いて実験した結果、NO<sub>x</sub>排出量は大幅に削減することを実証した。

また、Bosch法で測定される黒煙の濃度は、「複合脱硝触媒システムなし」に対して70%以上低減した。しかし、システムの使い方によっては、黒煙が増加することが知られた。

全てのモードで、NO<sub>x</sub>及び黒煙を同時にかつ連続的に低減するため、酸化触媒が有する低減活性に着目し、同触媒を併用する改良を行った。平成12年度、酸化触媒と脱硝触媒の二層からなる複合触媒反応器及び実験用エンジンからなる新複合脱硝システムを当研究所施設に組み上げ、現在実証研究を行っている。本研究が目指す新長期目標を達成するには、さらに①脱硝触媒の活性向上及び適用温度領域の拡大、②エンジン燃焼技術の向上、等の研究が必須であり、また今後もたらされるであろう、燃料の低硫黄化及び低アロマ化の動向にも配慮しながら、課題の解決を早期に図っていきたい。

### おわりに

本研究は、公害健康被害補償予防協会の委託研究として(財)産業創造研究所が受託し、当研究所と共同研究を行った。研究の遂行にあたっては、環境庁、

大学の指導・協力を得た。

#### 参考文献

- 1) (財) 産業創造研究所 平成8年度 ディーゼルエンジン用複合脱硝システムに関する調査報告書、公健協会
- 2) (財) 産業創造研究所 平成9年度 ディーゼルエンジン用複合脱硝システムに関する調査報告書、公健協会
- 3) (財) 産業創造研究所 EGRと脱硝触媒反応器との複合システムの開発 1999、公健協会
- 4) 勝田、熊谷、大聖、島田：平成8年度 ディーゼルエンジン用複合脱硝システムの開発、自動車技術会 学術講演会前刷集 9941304
- 5) (財) 産業創造研究所 平成11年度 ディーゼル車用複合脱硝・粒子状物質低減システムに関する調査報告書、公健協会 印刷中

## Study of a Hybrid de-NOx System for Diesel Vehicles (No1) - Basic performance of the elemental technologies -

Fujiharu Sano, Akimichi Katsuta\*, Hisashi Yokota, Sigeki Tahara  
and Motomasa Sakanishi

\*Institute of Research and Innovation

#### Summary

A Hybrid de-NOx system for diesel vehicles, combining an EGR (Exhaust Gas Recirculation) with a de-NOx reduction catalyst, was investigated. Designed to reduce NOx emissions in all the operating ranges in the diesel 13-mode, the EGR covers the low to middle loading range while the de-NOx catalyst covers the high load range. As a first step, we examined the performance, problems, and countermeasures for each elemental technology in the system. The results were as follows:

- (1) NOx emission decreased greatly when the EGR rate was operated at over 60%, although smoke concentration increased by 2 to 3 times.
- (2) In the diesel 13-mode operation test, it was possible to reduce NOx by 47% and smoke, using EGR covering the low-middle load range, (No.1 to 5 or No.1 to 7, and No.13), and using catalyzer in the high-load range, (No.6 to 12 or No.8 to 12).
- (3) Smoke concentration was reduced by over 50% by adopting a catalyst reactor.

**Keywords:** hybrid de-NOx system, diesel particulate matter, NOx, de-NOx catalyzer