

ディーゼルエンジン用複合脱硝システムの開発（その2） —複合脱硝システムの性能—

佐野藤治 勝田晨陸* 横田久司
田原茂樹 秋山 薫 上野広行 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、ディーゼルエンジンにEGR(Exhaust Gas Recirculation: 排気ガス再循環)と複合触媒 (NO_x還元触媒及び酸化触媒からなる) を組み合わせたシステムであり、中低負荷域をEGR、高負荷域を複合触媒で運転する。これにより、全運転領域のNO_x及びPMの排出低減を図り、新長期排出規制目標の早期達成を目的とする。

本報告では、前年度に検討したシステム要素からなる複合脱硝システムを、ディーゼルエンジン（水冷4気筒列型エンジン）に実装し、エンジンからの排出ガス低減性能を確認すると共に、問題点を検討した。

- (1) 列型エンジンに複合脱硝システムを装着した装置を用い（実験装置という）、ディーゼル13モード試験でNO_x及びPMの低減性能を確認したところ、新短期目標(NO_x : 3.38g/kWh, PM : 0.18g/kWh) は達成したが、新長期目標（新短期の半分程度）は達成できなかった。
- (2) 実験装置を用い、JIS2号軽油、LS（低硫黄）軽油、EU（ヨーロッパで市販）軽油でのNO_x及びPM低減効果の差異をディーゼル13モード試験によりみたが、いずれの燃料も新短期目標は大幅に (NO_x : 2.82g/kWh, PM : 0.12g/kWh) 下回った。特に、低硫黄、低アロマ（芳香族）の軽油はPM低減効果が顕著であった。

キーワード：粒子状物質、NO_x、酸化・還元触媒

1 はじめに

複合脱硝システムを構成する要素技術については、2000年の「ディーゼルエンジン用複合脱硝システムの開発（その1）」で報告した。

本報では、ディーゼルエンジンに複合脱硝システムを装着した時の、排出ガス低減性能について報告する。

また、性状の異なる燃料による排出ガス性状の差異についても報告する。

2 実験の目的

本研究は、排出ガス中のNO_x及びPMを同時に低減する複合脱硝システムの開発を目的とする。

システムは排出ガス再循環装置（EGR）及び複合触

媒槽（還元触媒と酸化触媒の二層からなる）から構成される。システムの概要を図1に示す。

使用したエンジンは、平成10年規制適合ディーゼルエンジンである。エンジンの諸元を表1に示す。

本報では、①EGR率の違いがNO_x及びPM低減に与える影響、②酸化触媒として用いる貴金属種（パラジウムと白金）の差異がNO_x及びSOOTの低減に与える影響、③酸化触媒の使用量の差違（4Lと10L）がNO_x及びPMに与える影響、を調べると共に、この結果をもとに本システムの最適運転条件を求めた。

3 装置の概要

本エンジンは平成10年規制適合エンジンであり、EGR

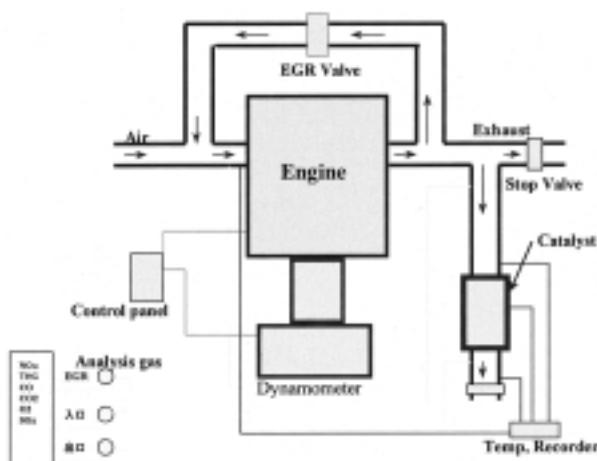


図1 システムの概要

表1 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
排気量	7.961(L)
最高出力	151/2900(PS/rpm)
最大トルク	530(54)/1600 (N·m(kgf·m)/rpm)

表2 エンジンダイナモータの諸元

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)

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

装着仕様である。エンジンは、当研究所のエンジンダイナモータ上に設置した。エンジンダイナモの諸元を表2に示した。

複合脱硝触媒は脱硝触媒及び酸化触媒の二層からなり、エンジン側から脱硝触媒、酸化触媒の順で封入し

た。還元触媒の効果を促進するため、還元促進剤として軽油を触媒手前で添加した。

排出ガスの分析は、CVS(定容量サンプリング)希釈法で測定した。分析法を表3に示す。

4 実験条件

(1) 実験項目

① EGR作動領域とEGR率

EGR率は、エンジン排気圧に大きく依存する。本システムでは、後処理装置として複合触媒槽を設置しているため、EGR作動領域はエンジン回転数比と負荷比の他に排気圧を加えて検討した。エンジン回転比とは、最高出力時のエンジン回転数に対する比をいう。また負荷比とは、最高出力に対する発生出力の比をいう。

ア 試験条件

暖機運転を定速60km/hで20分間行った後、下記のようなエンジン回転数と負荷比の組み合わせで試験した。

イ エンジン回転数

最高回転数に対して20、48、60、69、80%

ウ 負荷比

最高出力に対して0、10、20、30、40、60%

エ 排出ガスの分析

排出ガスは、複合触媒槽前から採取し、NO_x、黒煙、CO、CO₂、HC、O₂について分析した。

② 酸化触媒の違いによるNO_x及び黒煙の低減効果

酸化触媒の差異によるNO_x及び黒煙の低減効果について検討するため、パラデュウム及び白金触媒を用いて実験した。封入量は同量とし、実験はディーゼル13モードで行った。表4にディーゼル13モードの運転条件を示す。

③ 触媒量と低減効果の検討

パラデュウム触媒の封入量を4L(リットル)及び10Lに変えた時の、NO_x及び黒煙の低減効果の違いについて検討した。実験は、ディーゼル13モードを行った。

④ 燃料の違いによる排ガス性状の違い

燃料の違いが、排ガス性状に及ぼす影響を調べるために、JIS2号軽油(日本で標準的な市販軽油: S<490ppm、アロマ<27%)、EU軽油(ヨーロッパ市販軽油: S<10ppm、アロマ<7%)、及びLS軽油(低硫黄軽油: S<50ppm、アロマ<27%)を用いて実験した。実験は、ディーゼル13モードを行った。

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	○		

5 実験結果及び考察

① EGR作動領域とEGR率

図2にエンジン回転数比及び負荷比に対するEGR率を示す。EGR率は、エンジン回転数と負荷が大きくなるに従って小さくなる。また、低回転域では高い負荷比に到るまでEGRが稼動していた。

図3にNO_x低減率を示す。ここでNO_x低減率とは、EGR作動時と不作動時でのNO_x濃度の比である。結果から明らかなように、負荷比10%以下では、いずれの回転数でもNO_x低減率は少なかったが、エンジン回転比60%以下、負荷比20%以上のNO_x低減率は10~20%と高かった。

図4に、黒煙濃度を示す。結果から明らかなように、エンジン回転比60%以上、負荷比30%以上では、黒煙濃度は5%を超えた。

のことから、黒煙濃度を悪化せず、NO_x低減効果を最大にするEGRの運転領域は、エンジン回転比60%以下で、負荷比20~30%が望ましいといえる。

② 酸化触媒の違いによるNO_x及び黒煙の低減効果

パラデューム及び白金触媒を用いて、NO_x及び黒煙の低減効果の差異について調べた。この実験では、還元触媒は抜きとらずに封入したままで行った。また、

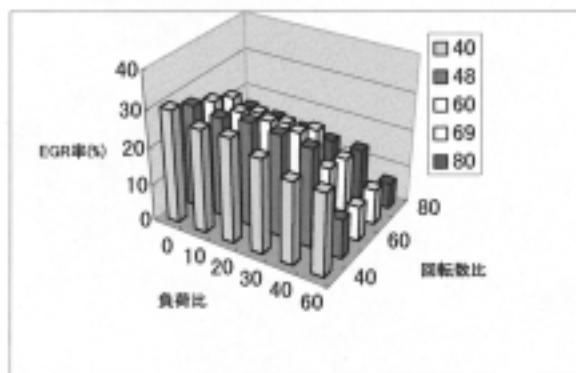


図2 エンジン回転数比と負荷比に対するEGR率

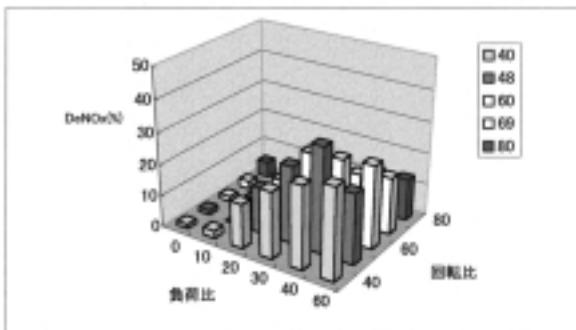


図3 エンジン回転数比と負荷比に対するNOx低減率

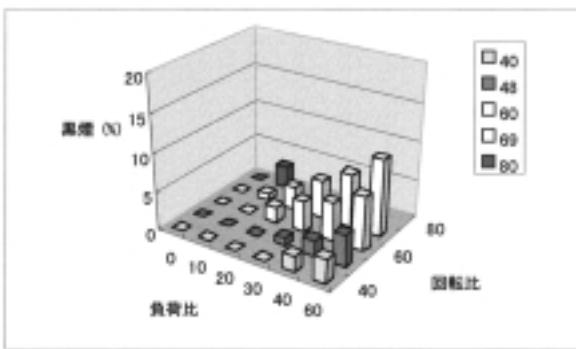
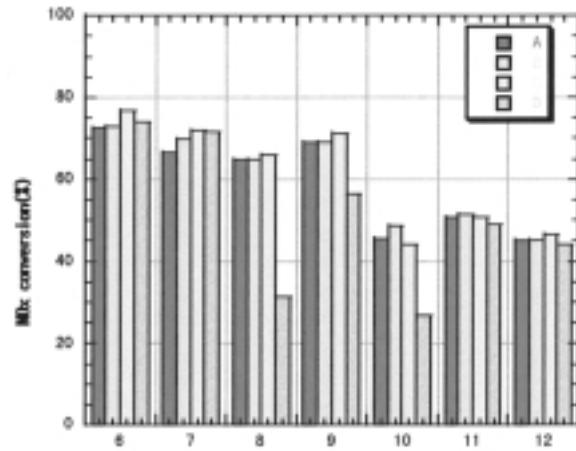


図4 エンジン回転数比と負荷比に対する黒煙濃度



A:還元反応器入口より還元剤供給(NO_x触媒単独)
B:還元マニホールドより還元剤供給(NO_x触媒単独)
C:還元剤供給は還元マニホールド(NO_x触媒+Pt)
D:還元剤供給は還元マニホールド(NO_x触媒+Pt)

図5 還元剤添加位置及び酸化触媒種によるNOx低減に及ぼす影響

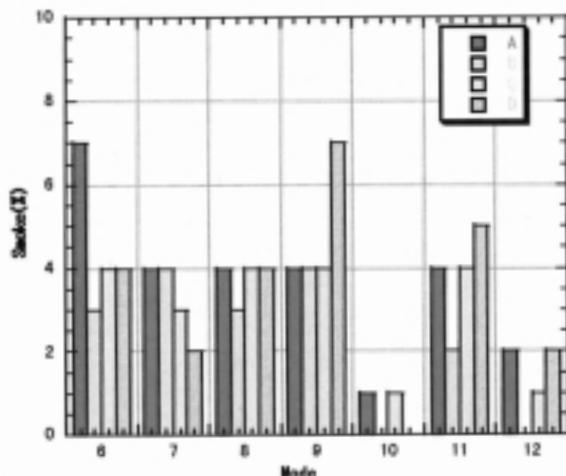


図6 還元剤添加位置及び酸化触媒種による黒煙濃度に及ぼす影響

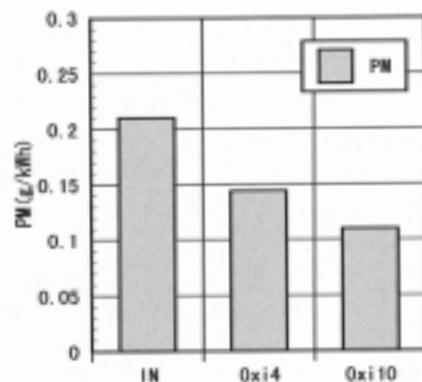


図8 酸化触媒量を変えたときの反応器性能(PM排出量)

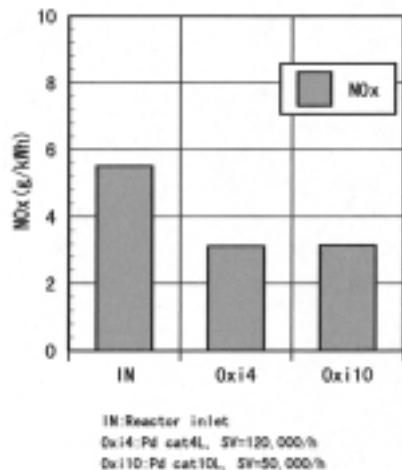


図7 酸化触媒量を変えたときの反応器性能(NOx排出量)

還元促進剤（軽油）の注入位置がNO_x及び黒煙低減効果に与える影響を調べるために、還元触媒を単独で用いた試験を行った。注入位置は、排気管マニホールド部及び複合脱硝槽直前である。

図5及び図6に結果を示す。

添加位置の違い（複合脱硝槽直前とマニホールド直後）によるNO_xの還元率を見ると、両者に大きな差異は認められなかった。軽油還元促進剤の排気ガスとの混合条件を考慮すると、マニホールドで添加したほうが有利といえる。

酸化触媒間の差異をみると、パラデュームはNO_xの還元率において、還元触媒を単独で用いた結果と同等であった。しかし、白金触媒はモード8、9、10でNO_xの還元効果を悪化させた。

黒煙濃度でみると、白金はパラデュームに比べ、モ

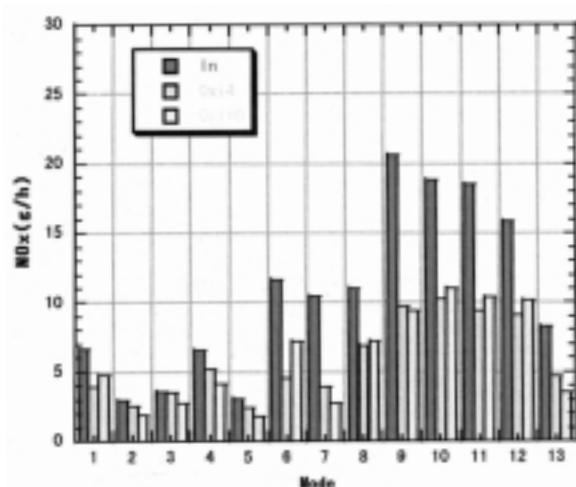


図9 酸化触媒量を変えたときの各モードでのNOx排出量(g/h)

ード9、11で高い結果を示した。白金触媒は酸化力が強く、軽油中の硫黄分をサルフェートに変え易い特性を有することから、パラデューム触媒が好ましいといえる。

③ 触媒量と低減効果

還元触媒はそのままにして、パラデューム触媒の封入量を4Lと10Lにした時のNO_x、PM及びHCの低減効果を調べた。図7及び図8に結果を示す。ここでは、比較のため、複合脱硝槽入り口のNO_x濃度を合わせて示した。結果から、封入量の違いにもかかわらず、平均して45%のNO_x低減が認められた。また、PMの結果を見ると、4Lは0.14g/kWhであったが、10Lでは0.12g/kWhであり、10Lの封入量が有利であるといえる。

図9、図10にNO_x及びHCのモード毎の結果を示す。NO_xは、モード6を除き封入量の差異は見られなかつ

た。HCは、モード6及び7で排出量が以上に高い。これは、軽油還元促進剤の燃焼が十分でなく、未燃分が排出されたと思われる。このため、排気温度と添加量との最適化を検討する必要が生じた。その他のモードでは排出量は低く、良好な結果が得られた。

④ 燃料の違いによる排ガス性状の差違

3種類の燃料による排出ガス性状をNO_x及びPMについて調べた。

結果を図11、12、13に示す。各図は①EGRのみによる実験結果、②新長期規制値、③複合脱硝システムでの実験結果を併置して示した。

複合脱硝システムでのNO_xの結果を見ると、いずれの燃料においても顕著な差異は見られない。

同様に複合脱硝システムでのPMの結果を見ると、JIS 2号軽油は0.12 (g/kWh)、LS軽油は0.09 (g/kWh)、EU軽油は0.07 (g/kWh) であった。

以上のことから低硫黄、低アロマ軽油を燃料にした場合、NO_x排出量は顕著な差異は見られないが、PMの低減には大きな効果が認められた。

6 まとめ

平成10年規制適応エンジンに複合脱硝システムを組み込んで、NO_x及びPMの低減効果を調べた。

本年度の研究成果においては、新長期規制基準をクリアできなかった。

しかし、複合触媒の課題、軽油還元促進剤の問題等の

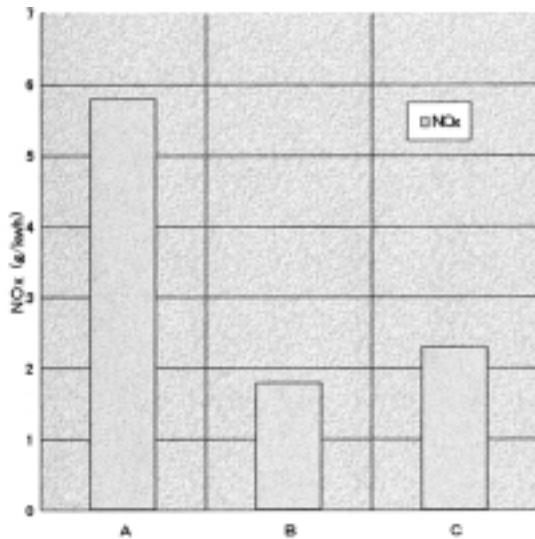
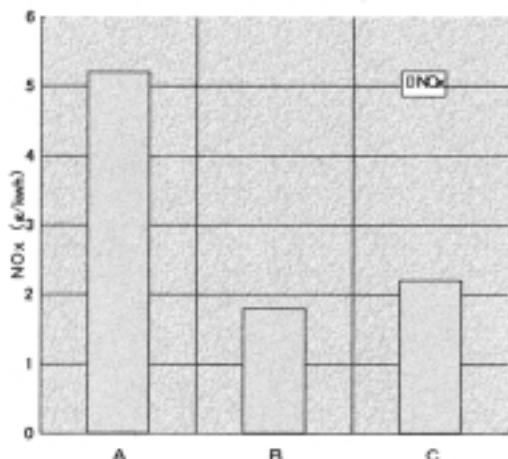
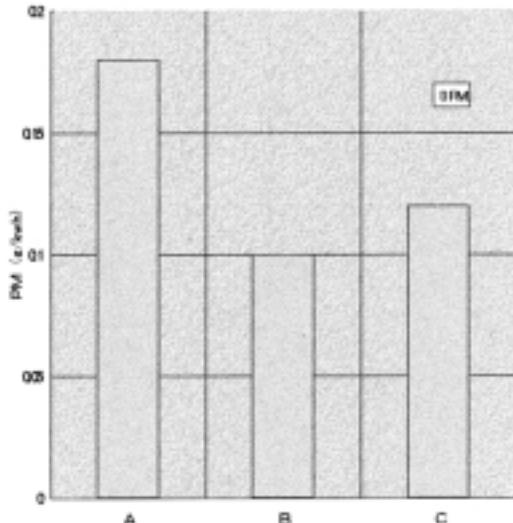


図10 酸化触媒量を変えたときの各モードでのHC排出量 (g/h)



A: Maker condition B: New long regulation
C: Hybrid system

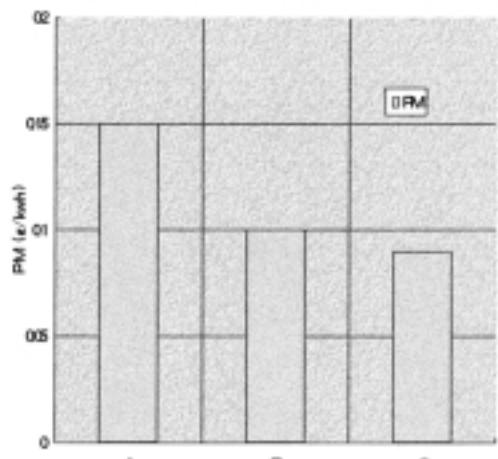
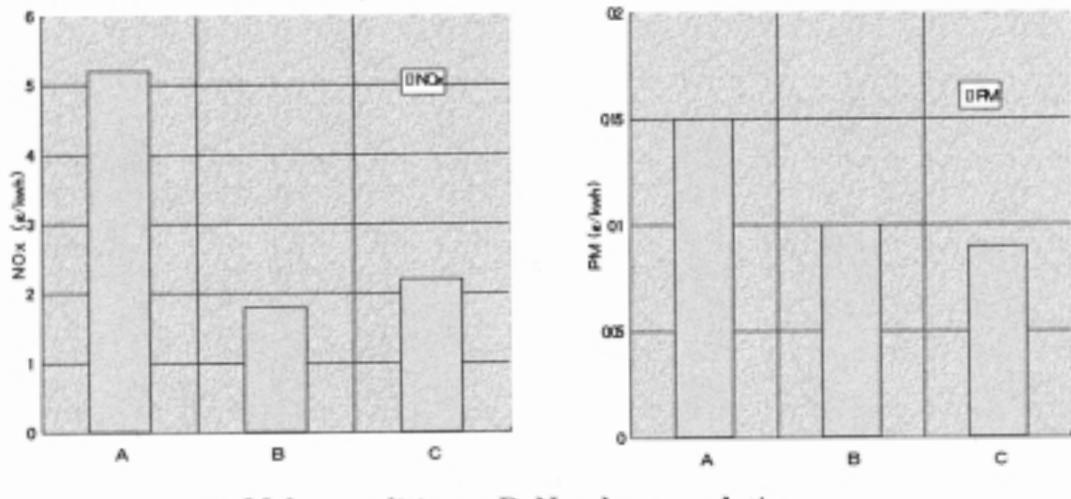
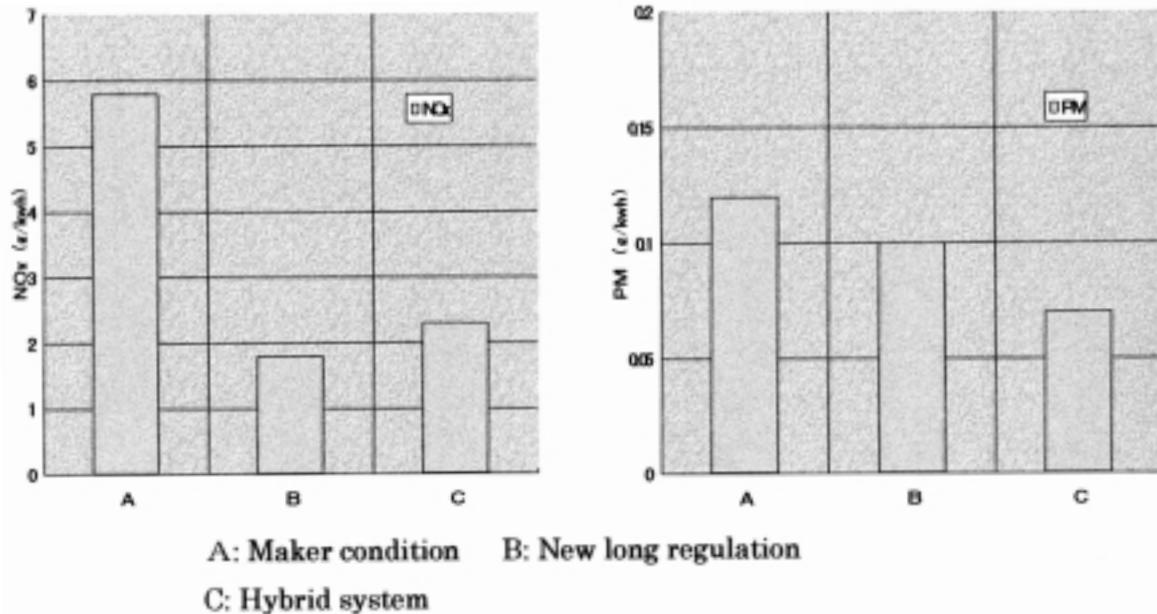


図11 JIS 2号軽油によるNOx、PM排出量

図12 LS軽油によるNO_x、PM排出量図13 EU軽油によるNO_x、PM排出量

システムが抱える基本的課題を解決することができた。

また、平成15年から市販されるLS軽油を用いることにより、PMの規制値をクリアできる目処が得られた。

本システムの制御は、ディーゼル13モードの1～7及び13モードではEGRを稼動させ、6～12モードでは軽油還元促進剤を添加することで最適化が図れることができた。また、酸化触媒はパラデューム触媒を用い、封入量は10Lが最適であることがわかった。また、軽油添加剤はマニホールドから8～12モードで添加し、添加量は軽油とNO_xの重量比が2が最適であることがわかった。

しかし、NO_xの低減については、さらに検討を要する課題である。

この課題の解決を含め、来年度製作を予定している電子制御式燃料噴射ポンプ付エンジンを用いた研究により、目標の達成を目指したい。

参考文献

- 1) 佐野、勝田、横田、田原：ディーゼル車用複合脱硝システムの開発(その1) 平成12年環境科学研究所年報