

ディーゼルPM, NO_x同時低減 触媒システム

トヨタ自動車株式会社
取締役社長 張 富士夫

トヨタ自動車(株) 第2パワートレーン開発部 主担当員 松岡 広樹
トヨタ自動車(株) 第2パワートレーン開発部 担当員 石山 忍
トヨタ自動車(株) 第2パワートレーン開発部 担当員 鴨下 伸治
トヨタ自動車(株) 第2エンジン技術部 グループ長 杉山 辰優
トヨタ自動車(株) 第1材料技術部 担当員 鈴木 重治

はじめに

トヨタは、環境問題への対応を最重要課題と位置付けガソリン、ディーゼル等の既存のエンジン、車両の改良だけでなく、燃料電池車、電気自動車、代替燃料車、などあらゆる可能性を検討してきた。しかしながら当面はガソリン、ディーゼルが主力エンジンとして展開される見通しである。

その中で、昨今の地球温暖化問題に対する解決策の一つとしてCO₂排出量の少ないディーゼル乗用車が特に欧州において注目され、急速にシェアを伸ばしてきた。また、国内において物流の主役を担う商用車は、燃費経済性、航続距離などの点で優れたディーゼル車が、今後とも主流であると考えられる。

しかしながら都市を中心とした環境改善の面から、特にディーゼルエンジンは、粒子状物質（以下、PM）や窒素酸化物（以下、NO_x）の抑制が最大の課題であり、早急な排出ガスの低減が望まれている。

開発のねらい

このような状況に対応するため、ディーゼルエンジンの燃焼改善によるエミッション低減に

加えて、1993年に酸化触媒、2000年には、コモンレールシステムを導入する等、他社に先がけて低エミッション化を推進してきた。

特に排出特性がトレードオフの関係にあるPMとNO_xを同時に低減する技術を最重要課題として開発を進めた。

その結果セラミック製基材、触媒、担持方法の改良とその触媒を有効に作用させる緻密なエンジン制御で、PMとNO_xを同時に低減できる触媒システム（DPNR；Diesel PM-NO_x Reduction system）を開発した。

システムの概要

図1に商用車にDPNRを適用した例を示す。

コモンレールシステムは140MPaの高圧噴射でポスト噴射等の燃料噴射を自在に制御する事が可能であり、排出ガスの浄化に大きな役割を果たした。

また、EGR（Exhaust Gas Recirculation）システムに高効率クーラを採用しEGRバルブ、吸気絞り弁はモータ駆動により高応答化/高精度化をはかった。

更に、新たに燃料添加弁を排気管に装着する事により、DPNR触媒内の空燃比を自在に制御できるようにした。DPNR触媒はマフラーと一体化することにより消音器の機能を兼ねたコン

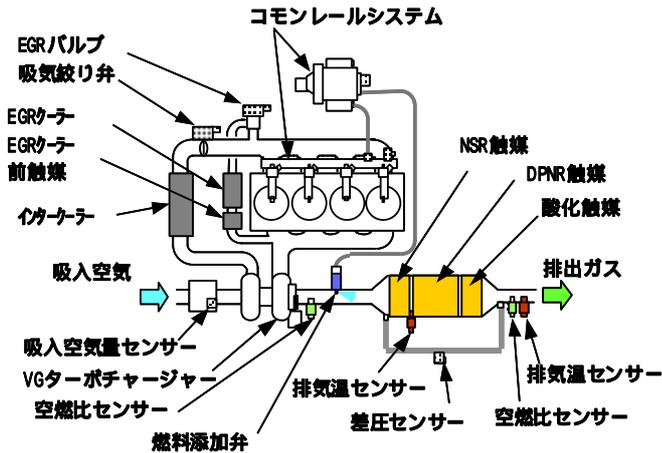


図1 DPNRの構成 (商用車の例)

パクトな形状になっている。

また触媒システムを制御するために、空燃比センサー、排気温度センサー、差圧センサー等の新技術を採用した。

技術上の特徴

1. DPNR触媒の開発

排出ガス中のPM浄化原理は図2のように、セラミック製多孔質基材の出入り口を交互に栓詰することで、排出ガスは基材の壁を通して隣り合わせた通路から出て行くように構成され、PMは基材に捕集される。通常、PMを燃焼させるには600以上の雰囲気温度が必要であったが酸化雰囲気(以下、リーン雰囲気)と還元雰囲気(以下、リッチ雰囲気)の繰り返しの中で発生

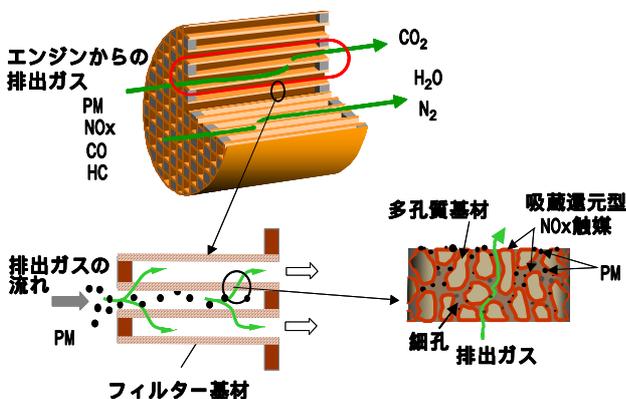


図2 DPNR触媒の原理

する活性酸素種と気相中の酸素によってPMを低温から連続酸化することが可能となった。

次に、NOx浄化手段について述べる。

排出ガス中のNOxを触媒により浄化するためには、化学的な還元反応、すなわちNOxに含まれる酸素を奪い取る反応が必要となる。しかし、ディーゼルエンジンの排出ガス中には多量の酸素が含まれているため、従来の技術では、NOxを還元することは困難であった。そこで図3に示す様に、リーン雰囲気ではNOxは白金上で酸化され、主に硝酸塩の形でセラミック基材に担持した吸蔵材に溜め込まれる。次に瞬間的なリッチ雰囲気ではNOx吸蔵材からNOが放出され、排気ガス中のHC、COによって還元される。

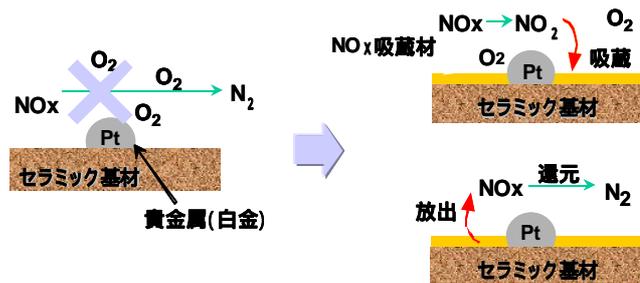


図3 NOx触媒の原理

この吸蔵還元型NOx触媒を前述のセラミック基材に担持することにより、PMとNOxが同時に低減できると考えた。(図4)

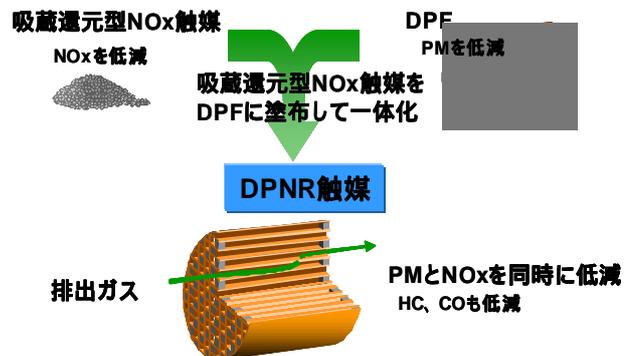


図4 PM、NOx同時低減触媒の構成

表1 基材、細孔径の多変量解析結果

		PM捕集率向上	圧損低減
効果のある要因	内部細孔	20 ~ 40 μm 多	20 ~ 40 μm 多
		気孔率 小	気孔率 大
	表面細孔	50 μm以上 少	100 μm以上 多
		50 μm以下 多	—
重相関係数		0.83 ~ 0.95	0.98 ~ 0.99

しかし、単純に組み合わせた技術では触媒は均一には担持できず、PMが基材表面にのみ堆積し、基材が目詰まりして圧力損出が上昇してしまうことが判った。

このため、表1に示すようにDPNRの多孔質基材と触媒について約20種のセラミック製の多孔質基材を試作し、PM捕集率と圧力損失に寄与する要因を多変量解析により定量化し、多孔質基材の細孔径とその分布の最適化、および吸蔵還元型NO_x触媒を細孔内部に高分散化させる技術を確立した。

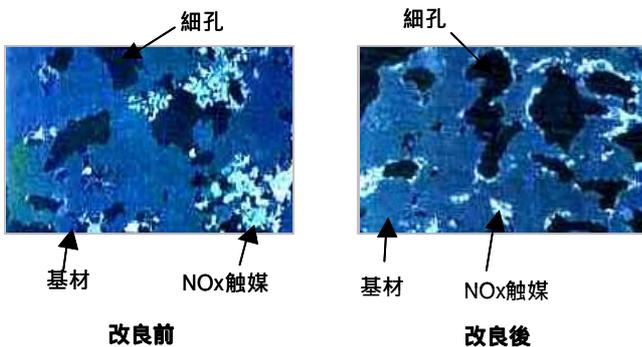


図5 NO_x触媒担持状態

改良前後のNO_x触媒を担持した基材の写真を図5に示す。改良後は、基材に比較的均一に触媒が担持されていることが判る。

これにより、非常に効果的にPMとNO_xを同時に低減できるDPNR触媒が開発できた。

2. 空燃比制御手段

前述したようにリッチ雰囲気を作る手段として、新しく開発された燃料添加弁により空燃比を自在に制御することができ

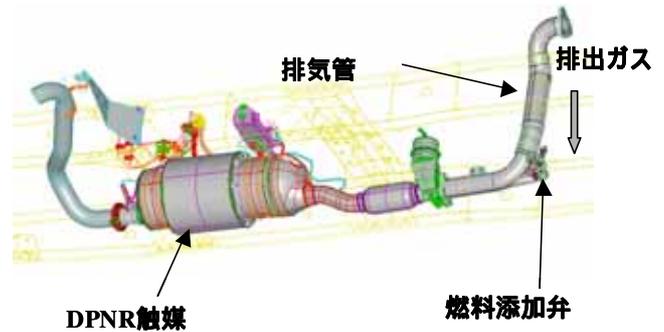


図6 排気系燃料添加システム (商用車の床下に搭載した例)

た。燃料添加弁はDPNR触媒の上流に搭載されており、燃料はコモンレール用サプライポンプから燃料添加弁へ供給され、約1MPaでDPNR触媒に添加している。商用車の燃料添加弁搭載例を図6に示す。

さらに、DPNR触媒のPMの酸化、NO_xの還元性能を最大限に引き出すための新しい燃焼方法を確立した。その詳細について以下に示す。

一般的に、EGR量が増加すると酸素量が減少するため、PMは増加する。

しかし、空燃比をさらに濃くすることで燃焼温度は低下しNO_xの増加を伴うことなくPMが急激に減少する新しい燃焼方法を見出した。その新しい燃焼を制御するために、新たに高精度、高応答のEGRシステムと吸気絞り弁を開発した。

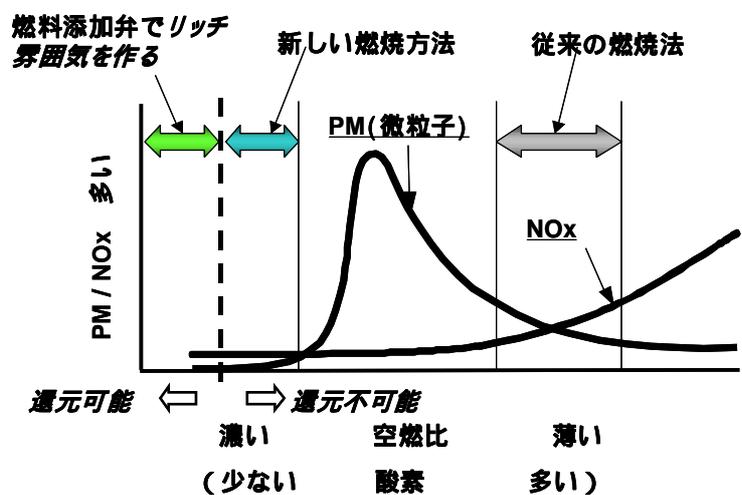


図7 リッチ雰囲気を作り出す手段

このように排気管に装着した燃料添加弁とこの新しい燃焼方法を組み合わせることで不可能とされていたリッチ雰囲気を作り出すことが可能となった。(図7)

燃料添加弁や新しい燃焼方法を成立させるための噴射量、噴射時期等の緻密な制御と前述のDPNR触媒を組み合わせることで、PMとNOxを同時に低減できるDPNRが完成した。

3. PM、NOx浄化の例(新品触媒を使用)

DPNR触媒を車に搭載して排出ガスを測定し低減効果を確認した結果を図8に示す。

PMとNOxが同時に低減され良好な浄化性能が得られていることが確認できた。

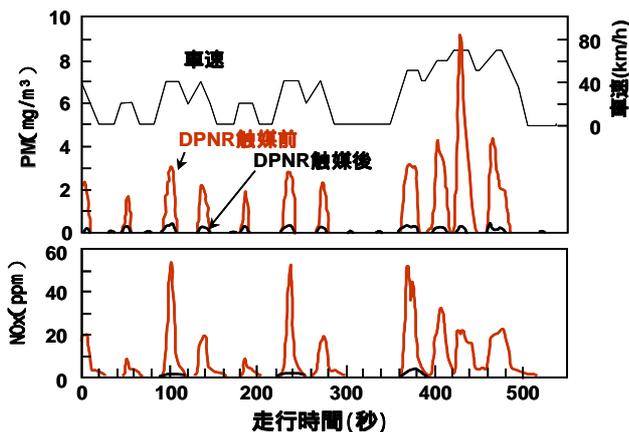


図8 PM、NOx浄化の例

実用上の効果

国内および欧州市場にDPNRを搭載した車両を、早期に導入した。

国内では10ppm軽油を使用し2003年10月にダイナに、また2003年11月には欧州で新型アベンシスに搭載して、発売した。

開発したDPNRのような後処理システムには、軽油の低硫黄化が必要であり、国内では石油メーカーの努力により2003年に50ppmとなり、2005年1月から10ppm軽油の導入開始が決定され、一層のディーゼルクリーン化が期待さ

れる。

工業所有権の状況

特許件数は国内外を含めて触媒、ディーゼルエンジンの制御システムを中心に合計436件を出願した。

むすび

DPNRはHC、COだけでなくPMとNOxを同時に低減できる後処理システムである。高圧なコモンレール噴射系、燃料添加弁等の緻密な制御およびDPNR触媒のポテンシャルを最大限に引き出す新しい燃焼方法の組み合わせにより、新しい後処理技術を提唱することができた。

また産業界に対しては、ディーゼルエンジンの低排出ガス技術の在り方を示すことができた。

今後はDPNRの一層の性能向上、改良を図り大気環境の改善に貢献してゆく所存である。