

自己再生型触媒搭載 クリーンエンジンの開発

ダイハツ工業株式会社

代表取締役社長 山田 隆 哉

ダイハツ工業(株) 材料技術部副担当員	丹 功
ダイハツ工業(株) 材料技術部主担当員	田中 裕久
ダイハツ工業(株) 第一パワートレイン部第二エンジン室	樋口 昌吾
ダイハツ工業(株) 第一パワートレイン部第二エンジン室副担当員	山本 俊夫
ダイハツ工業(株) 第一パワートレイン部第二エンジン室長	山口 桂一

はじめに

ダイハツは世界で初めて、貴金属が自己再生することによりいつまでもクリーンな排気ガスを維持しつづける自己再生型触媒“インテリジェント触媒”を開発し、この触媒を搭載したクリーンエンジンシステムを2002年10月に発売した新型軽自動車ムーヴから順次市場へ投入している。このシステムは、国内で最もクリーンな超低排出ガス基準(U-LEV：☆☆☆)を少ない貴金属量にて達成している。

インテリジェント触媒の自己再生メカニズムは、SPring-8の高輝度放射光を用いた研究によって解明し、科学誌「ネイチャー」に発表したことにより世界各国からの注目を集めている。またインテリジェント触媒を用いたクリーンエンジン技術は、グローバル・スタンダードへと発展することが期待されており、本稿ではその研究と実用化開発について紹介する。

開発のねらい

全世界的な環境意識の高まりをうけて我が国は世界の指導的役割を担い平成12年度の規制強化に続き、法規制よりも75%有害物質を低減したU-LEV認定をはじめとするクリーン車の市場

導入を推奨している。この要求に応えるためにはエンジンシステムの開発と同時に、排ガス浄化触媒の性能向上が重要な鍵を握っている。

ここで自動車触媒にて主に使用される貴金属は白金(Pt)、パラジウム(Pd)、ロジウム(Rh)の3種であり、Rhは耐熱性に富むがPtとPdは高温かつ酸化還元変動雰囲気下で劣化(粒子の肥大化)が進む。特にPdはエンジン始動直後に多く排出されるHCを燃焼させる活性に優れるが、高温で急激に劣化が進行する。このため触媒には性能劣化分を見込んで多量のPdを使用していた。欧州での排ガス規制が開始された1992年から全世界の自動車用途でPd需要は急激に増加し、1992年は年間15トンであったものが、1998年には150トンを超え、化学、歯科用、電子、宝飾といった他の需要に対し大きな影響を与え、自動車用途での使用量の大幅な削減が社会的な使命となっていた(図1)。

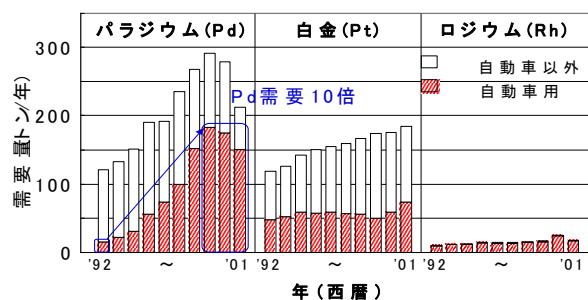


図1 自動車触媒に使用される貴金属(パラジウム・白金・ロジウム)需要の推移

装置の概要

クリーンエミッション化技術には大きく3つの課題が挙げられる。従来触媒による欧州の排ガス測定モード中のCO排出挙動を例にとり説明する(図2)。①冷機始動時の触媒活性前に大半が排出されていることから、「冷機始動時のエミッション低減」、②残りは加速・減速といった過渡領域で排出されているため、「暖機後のエミッション低減」、③全領域を通して「触媒の劣化を抑制」し、少ない貴金属で高い浄化性能を維持することである。今回これら3つの課題解決に向け技術開発を行い、クリーンエンジンシステムを完成させた。

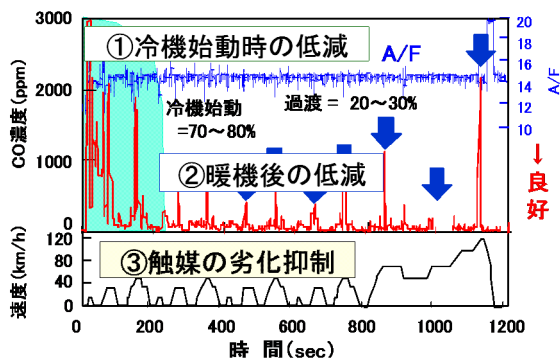


図2 クリーンエミッション化技術の課題
インテリジェント触媒1個にて国内で最もクリーンなU-LEV認定を取得したクリーンエンジン(EF-VE)の主要諸元を表1に、外観図とシステム図を図3、図4にそれぞれ示す。

表1 クリーンエンジン(U-LEV)の主要諸元

エンジン形式		EF-VE
ボア×ストローク(mm)		68×60.5
総排気量(cc)		659
気筒数/配置		3/横置き
動弁機構		DOHC4 弁・バルブ駆動 およびキヤ駆動
燃焼室形状		ペントルフ
圧縮比		10.5
最高出力(kW[PS]/rpm)		43[58]/7600
最大トルク(N・m[kg・m]/rpm)		64[6.5]/4000
バルブ [°]	吸気開(° BTDC)	38~4
	吸気閉(° ABDC)	12~54
タイミング [°]	排気開(° BBDC)	44
	排気閉(° ATDC)	6

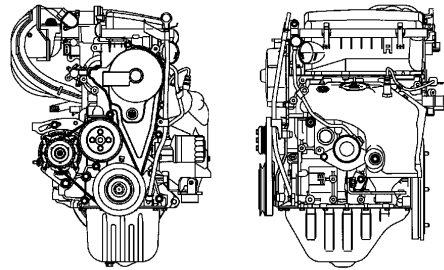


図3 EF-VE エンジンの外観図

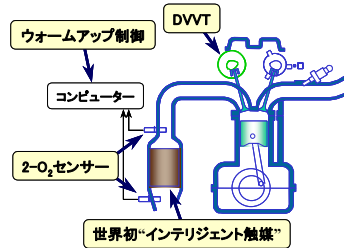


図4 クリーンエンジンシステム

技術上の特徴

1. 触媒の劣化抑制：インテリジェント触媒

従来触媒は耐熱性セラミックス・サポート材の表面に貴金属を分散させる構造であったが、自動車排ガス中の高温環境下では著しく貴金属が粒成長(肥大化)し活性が低下した。インテリジェント触媒では従来のように貴金属を排ガスと接触する表面に集中させるのではなく、ペロブスカイト酸化物と呼ばれる特殊なセラミックス結晶中に貴金属をイオンとして原子レベルで積極的に複合することにより、活性と耐久性の両立を目指した。このインテリジェント触媒を実エンジン排気中900℃にて100時間加速耐久させた結果から、触媒性能の低下は見られず、目指す高活性と長寿命の両立を達成できた(図5)。

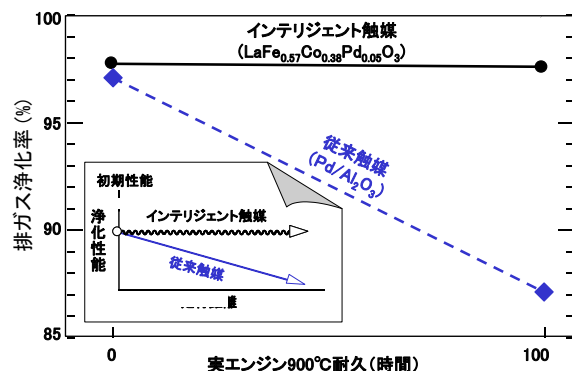


図5 耐久試験前後での触媒活性の比較

耐久試験後にインテリジェント触媒上のPd粒子を透過型電子顕微鏡(TEM)により観察した結果、Pdの粒径が1~3nmという微細な状態で保たれ、従来型触媒のPd粒子が120nmまで肥大化したのと比べて顕著な差があることがわかった(図6)。実用レベルの耐久においてもPd粒子が原子の直径の数倍という新品同様の粒子径を保っているのは極めて注目値する。

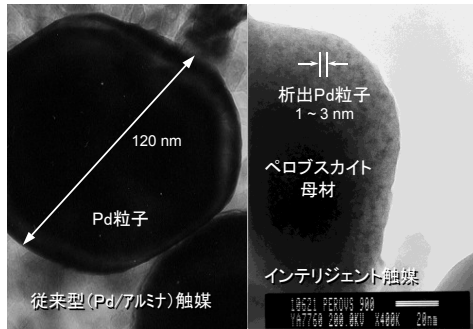


図6 900℃にて100時間耐久した触媒の貴金属粒子の透過型電子顕微鏡(TEM)観察

ガソリン自動車エンジンは酸素センサによってガソリンと空気が理論混合比になるよう制御されており、排ガスは常に1~4Hzの周波数で酸化・還元雰囲気の変動を伴っている。Pd-インテリジェント触媒はこの自然な雰囲気変動に応じて、酸化状態ではPdがペロブスカイト結晶のBサイトに固溶、還元状態では析出し金属微粒子となり、再び酸化状態でペロブスカイト結晶のBサイトに復元し再分散すること、すなわち、これが自己再生のメカニズムであることが明らかとなった。このメカニズムを結晶モデルで説明したものが図7である。実際の排ガス浄化触媒として使用される時間の流れの中で、貴金属の粒成長が抑制される様子を従来型触媒と比較し、図8にまとめた。

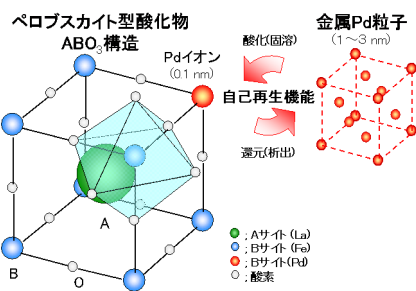


図7 酸化還元雰囲気変動にともなうPdの固溶析出

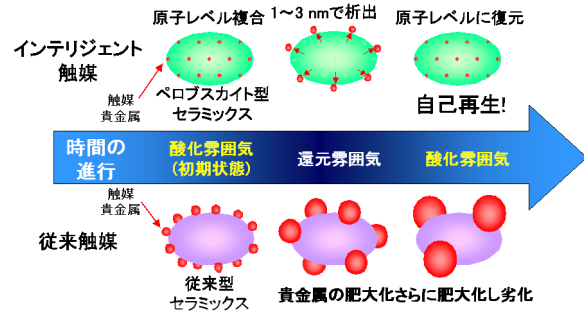


図8 貴金属の粒成長比較

2. 冷機時のエミッション低減

排ガスシステムは、冷始動後直ちに触媒が活性温度に到達し易いエンジン直下(マニバータ)方式とした。超薄壁高密度セラミックス製ハニカム担体を採用して比表面積を向上させると同時に熱容量を下げ、さらに触媒ケース内の担体位置を最適化した。一方、燃焼制御面においては、噴霧粒径を120μmから65μmへと小さくしたインジェクタを開発し、始動直後アイドル時の空燃比を理論混合比に近づけると同時に始動直後の点火時期を遅角させ、エンジン出口排出ガス温度を上昇させる制御開発を行った。これらにより触媒が浄化能力を発揮する温度に達する時間を大幅に短縮した。

図9は触媒早期活性化の効果を11モード中のHCを事例に比較したものである。インテリジェント触媒の貴金属量は従来触媒に比べて70%低減した仕様で、エンジン排気中で最高温度1050℃にて40時間耐久後に評価した。この結果から、貴金属量を大幅に低減しても触媒温度が素早く上昇し、エミッションが低減されていることが確認できる。

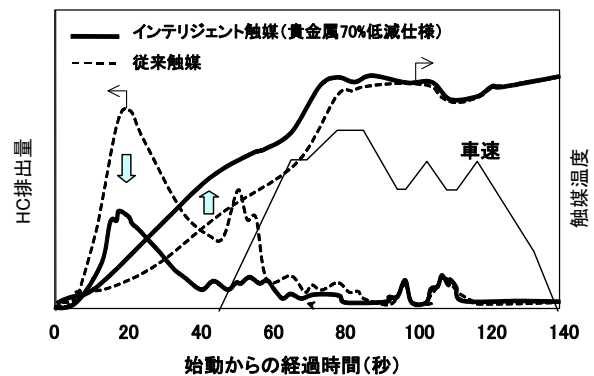


図9 冷機時のエミッション低減効果

3. 暖機後のエミッション低減

エンジン本体からのエミッション低減策として、内部EGR効果を有効に活用するためにDVVT機構(Dynamic Variable Valve Timing) (図10)を開発した。これはバルブオーバーラップ角を広げることにより燃焼ガスの吹き返しを起こし、燃焼温度の低下に伴うNOx排出量を低減させるものである(図11)。同時に未燃焼ガスが再燃焼することにより、CO・HC排出量も併せて低減できる。

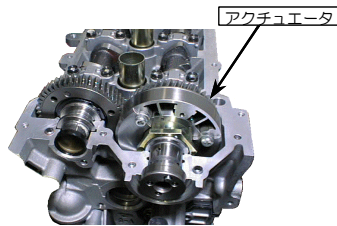


図10 DVVT アクチュエータ

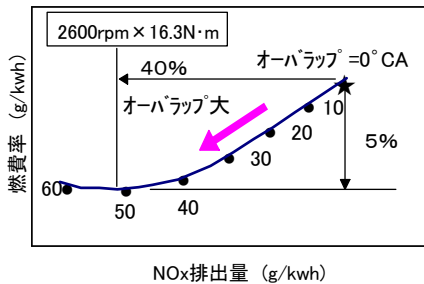


図11 オーバーラップ角とNOx排出量

触媒下流のエミッション低減にはデュアルO₂センサシステムを開発した。図12、図13に従来システムとデュアルO₂センサシステムの比較を、実車6万km耐久劣化後の従来触媒を例に示す。NOxを例に比較すると、このシステムがO₂センサやインジェクタ、触媒など排ガスシステムを構成する要素の経年変化に影響を受けにくいことが確認できる。

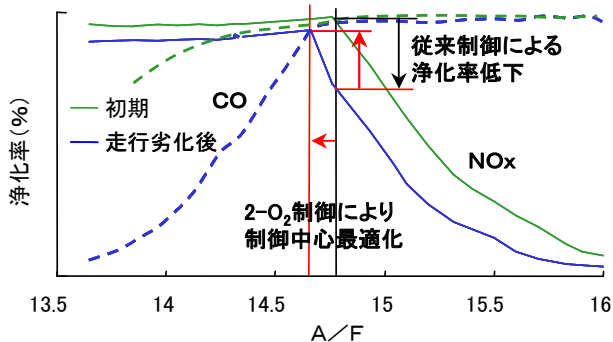


図12 触媒浄化性能の劣化特性

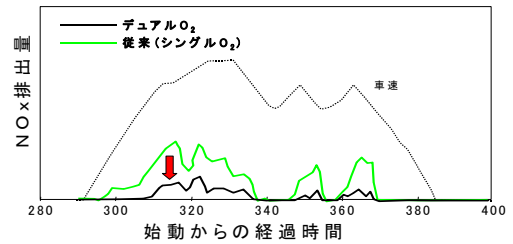


図13 暖機後のエミッション低減効果

実用上の効果

インテリジェント触媒は、従来触媒に比べてPdだけでなくPt・Rhも含め総貴金属使用量を70%低減できた。これらの技術が今後の国際標準となれば自動車産業が引き起こしていた貴金属の資源問題も一気に解決できる。その経済的効果を試算すると、自動車需要のPd低減により現在の年間150トンが40トンレベルで済み、低減量は全世界で年間110トンとなり、その経済効果は極めて多大である。

工業所有権の状況

この開発に関する特許は、国内・海外含めて26件の出願、内12件登録済みである。

むすび

今回開発したクリーンエンジンシステムは、2002年10月発売の新型軽自動車ムーヴに搭載され、最もクリーンな超低排出ガス基準(U-LEV:☆☆☆)認定を取得した。その後、新型ミラをはじめ順次採用拡大し、現在6車種に搭載されている。

貴金属が自己再生する機能は、自動車触媒25年の歴史において画期的な機能であり、インテリジェント触媒を用いたクリーンエンジンシステムの社会、経済に対する貢献の可能性は大きい。これらの技術により、自動車需要でのPdをはじめとする貴金属資源問題の解決に大きく寄与でき、今後、特に急速に広がる発展途上国を中心としたモータリゼーションにおいてもクリーン化への扉を開く鍵となることを期待する。