

スーパークリーンディーゼルエンジンの開発プロジェクト（第1報）

- 各種要素技術の概要 -

環境研究領域 石井 素 鈴木 央一 川野 大輔 後藤 雄一 小高 松男
(株)新エシイー 青柳 友三

1. はじめに

ディーゼルエンジンは、大都市地域において改善すべき状況にある浮遊粒子状物質(SPM)および窒素酸化物(NOx)の排出への寄与が依然として大きいとされている⁽¹⁾。輸送手段としてトラックは必要不可欠なものであり、代替燃料を燃料とするものは普及に相当時間を要するため、軽油を燃料とするエンジンの排出ガス低減は緊急を要する重要な課題である。

平成14年度より開始された、次世代低公害車開発促進プロジェクトの一環としてスーパークリーンディーゼルエンジン(以下、「SCD」という。)の開発が進められている。開発の位置づけにふれると、将来のディーゼルエンジンのポテンシャルおよびこれを引き出す技術的な方向性を示す上で、本開発成果は非常に有用となる。また、将来において代替燃料車を投入した場合の、排出ガス、燃料消費量等の予測の際にも、ベースとなるエンジンのレベルの見通しを立てておくことは、低公害車の普及戦略を決定するプロセスにおいても有用である。このように、本プロジェクトの成果の波及効果が大きなものである期待される。

本報告においては、現在まで本プロジェクトにおいて得られた成果についてその概要を報告する。

2. 開発のコンセプト

次世代低公害開発促進プロジェクトでのSCDは、軽油を燃料としたディーゼルエンジンで、2010年前後に適用されると予測される各種要素技術により低エミッションを実現しようとするものである。

排出ガスについては、個々の要素技術を磨き上げることにより可能な限りエンジンアウトレベルの低減を試みた上で、後処理装置による目標達成を目指している。

また、開発においては限られた予算の中で最大限の開発効果を得られるように開発対象とする要素技術を選択した。本開発プロジェクトにおいては、膨大な費用を伴うといわれている燃焼制御系のソフトウェアの開発には踏み込まないこととした。

Table 1に本プロジェクトの目標値を示す。開発開始時においては、市場で販売されている軽油中の硫黄分は500ppmレベルであったが、現在すでに一部で販売が開始されている硫黄分10ppm以下の軽油の使用を前提としている。Fig.1に日本および欧米のNOxおよびPMの排出ガス規制の推移およびこれからの予定を示す。各国ともに社会的な要請もあり非常に厳しい排出ガス規制を予定しているが、特に米国では2010

Table 1 Target

Development of engine for HDV (GVW 25ton)
Exhaust emissions (D13 Test Mode and with after treatment) NOx : 0.20 g/kWh (1/10 of 2005 regulation) PM : 0.013 g/kWh (1/2 of 2005 regulation)
Fuel consumption : 10% improvement (Driving Condition)
Output power : Above the output power of current engine.
Noise : Below the current level and to be applicable for next generation.

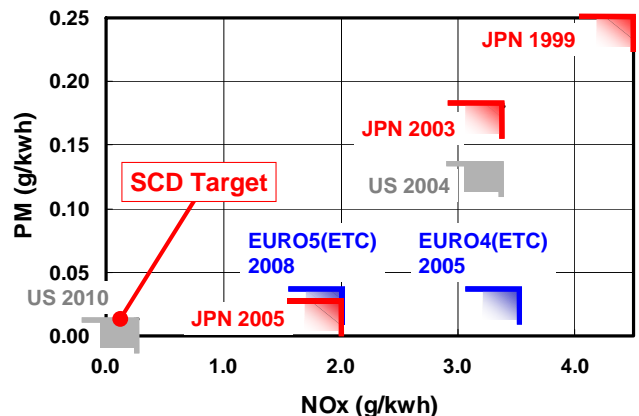
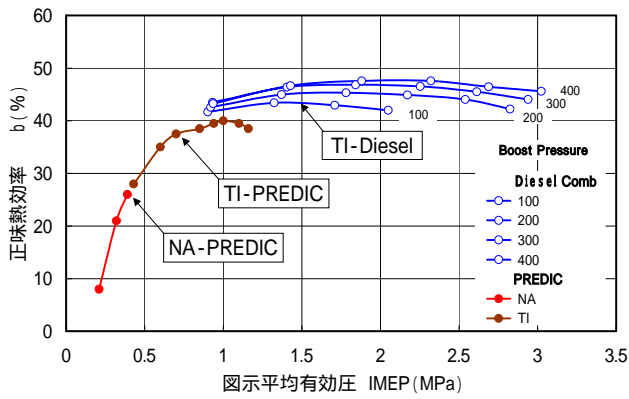


Fig.1 Emission target



各種燃焼における図示平均有効圧(IMEP)と熱効率(b)の関係, (機関速度1000rpm)

Fig.2 Concept of combustion

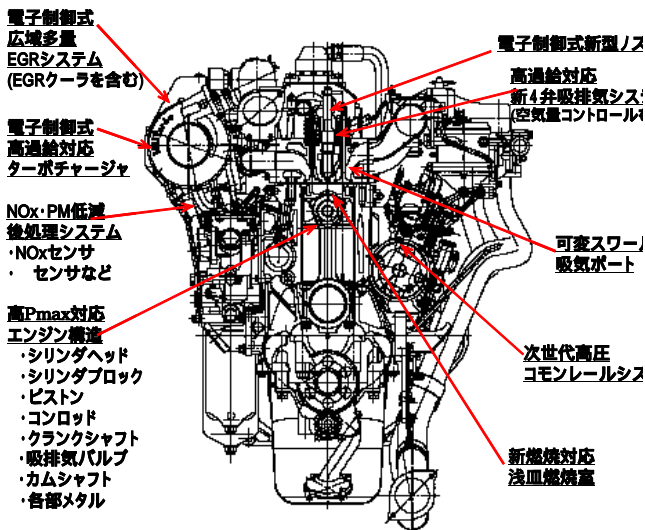


Fig.3 Implemented technology in SCD

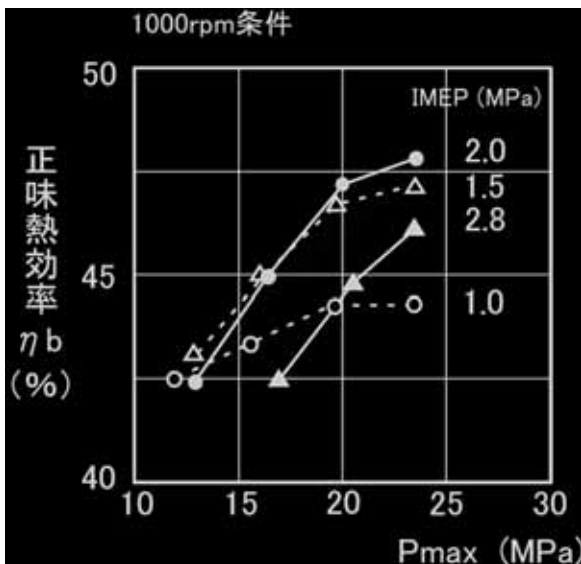


Fig.4 Relationship between Pmax and brake thermal efficiency

年を目途に非常に厳しい排出ガス規制が提案されて

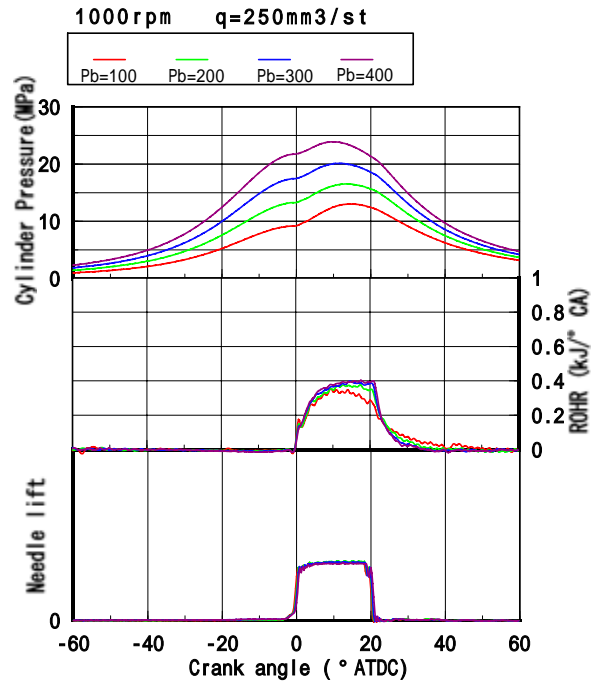


Fig.5 Effect of boost pressures on cylinder pressure and ROHR

いる。SCDの排出ガスの目標はこれと同等レベルとなっており、もしも達成されれば、一つの技術的方向性が示されることになる。

この目標を達成するために考えられた燃焼のコンセプトをFig.2に示す。低負荷領域においてはHCCI (予混合圧縮着火燃焼)によりNOxを低減し、高負荷側では高過給と多量EGRによってNOxとPMの低減を図った。また、SCDに投入する各種要素技術についてFig.3に示す。SCDでは、高過給ターボチャージャー、高圧燃料噴射装置、可変バルブ機構、高效率EGRクーラー、可変スワール機構等の最新の要素技術を盛り込むこととした。

3. 単気筒エンジンによる実験結果⁽²⁾⁻⁽⁴⁾

3.1. 過給圧力の影響

SCDに適用される各要素技術の排出ガス低減効果を把握するためにまず約2Lの単気筒エンジンによる実験を行った。なお、本報告においては過給圧力等はゲージ圧で表現する。

Fig.4に、約400kPaまでの過給試験に基づく気筒内最高圧力と正味熱効率の関係を示す。各IMEP(図示平均有効圧力)について、高過給化により気筒内最高圧力が増加するとともに正味熱効率も向上することがわかる。

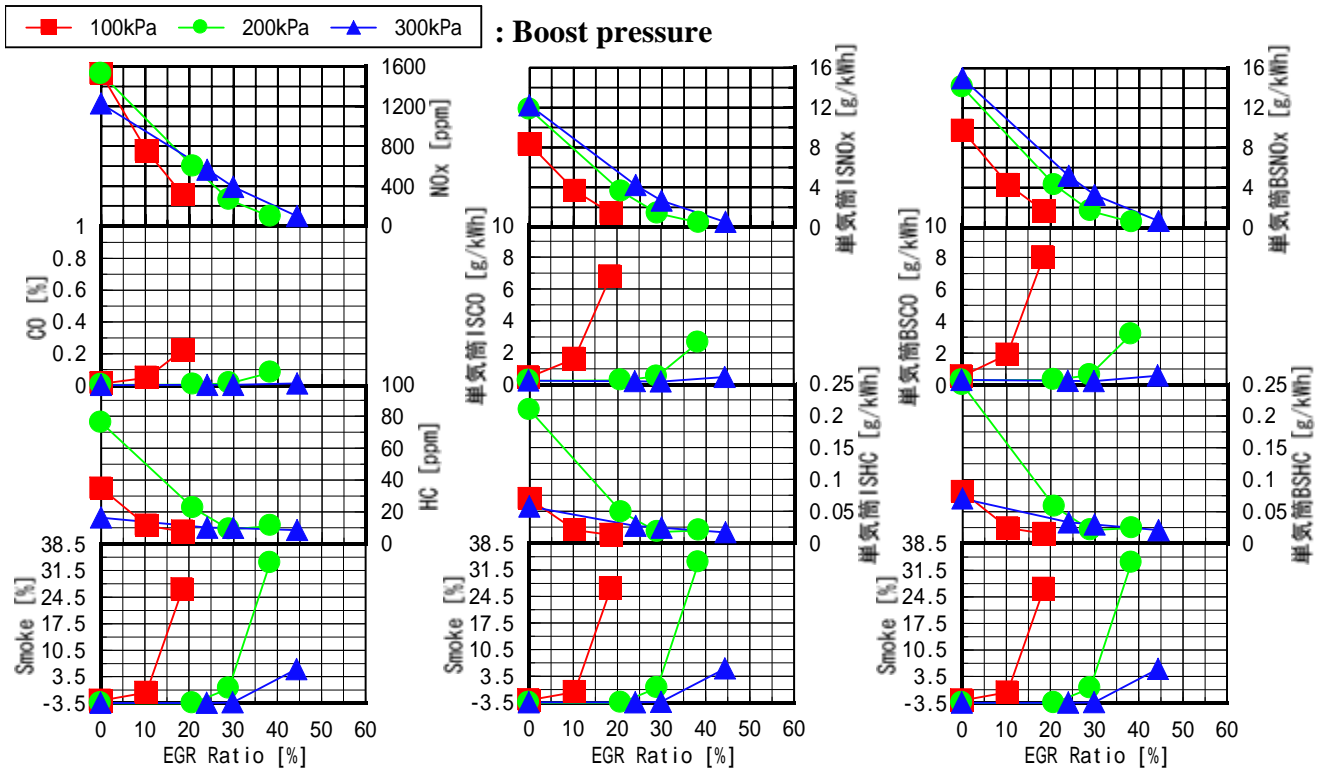


Fig.6 Relationship between EGR ratio and exhaust emissions under various boost pressure
 (Engine speed:1200rpm , Amount of fuel:250mm³/stroke , Injection pressure:150MPa)

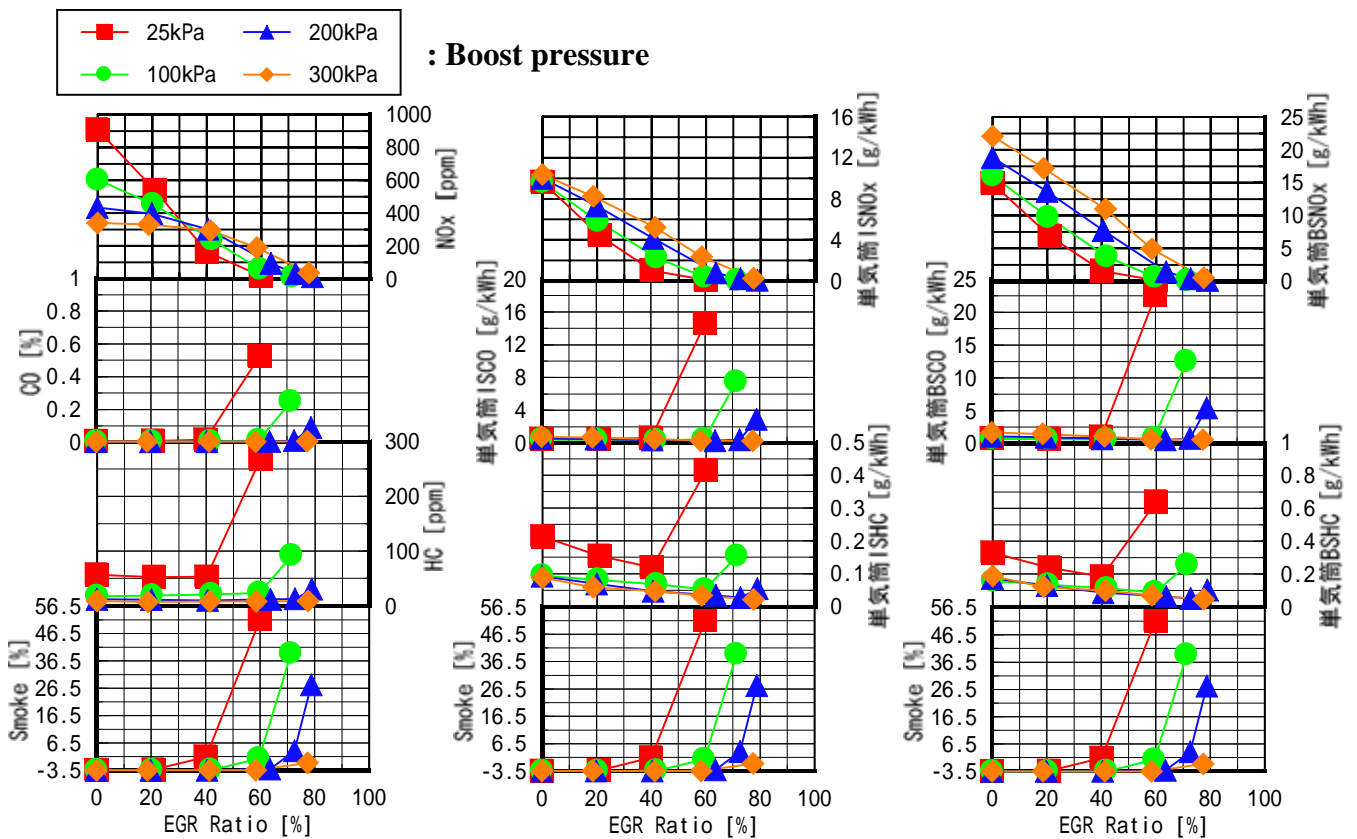


Fig.7 Relationship between EGR ratio and exhaust emissions under various boost pressure
 (Engine speed:1200rpm , Amount of fuel:75mm³/stroke , Injection pressure:150MPa)



Designed piece Original piece

Fig.8 Piston and piston pin



Modified 2 Modified ORIGINAL

Fig.9 Connecting rod

Fig.5 に過給圧力を変化させた場合の、気筒内圧力および熱発生率 (RHOR)、またそのときのニードルリフトを示す。燃焼開始時期は上死点で一定とした。過給圧力を上げた場合には拡散燃焼が活性化され、拡散燃焼期間が短縮されることにより燃焼の重心も上死点に近くなりなおかつ等容度も上昇するので熱効率が改善すると思われる。また、Fig.4 から IMEP が 1.5~2.0MPa で熱効率が高く 2.8MPa になると効率の低下が見られるが、燃料噴射量が増加し、空気量の増加によるポンプ損失が増加することおよび燃焼期間も長くなり、燃焼重心が上記の条件より遅角するためと考えられる。

3.2. EGR の影響

Fig.6 に、過給圧力を変化させたときの EGR 率に対する NOx、CO、HC、スモークの変化を示す。図中左より、排出濃度、図示出力あたりの排出重量、正味出力あたりの排出重量である。負荷条件は全負荷に相当し、この条件の下で高過給および EGR を行った。

これまで他でなされてきた実験結果と同様に、NOx は EGR 率を大きくすると、吸気中の酸素濃度の減少および既燃ガスの増加にともなう比熱比の増加により改善される。過給圧力約 100kPa では PM 排出量の指標の一つとなるスモークの悪化が EGR 率 10% から始まる。

しかしながら、過給圧力を高くするに従い、スモークを悪化させることなく EGR 率を大きくできる範囲が広がることがわかる。過給圧力約 300kPa では、EGR 率 30%でもスモーク排出は観察されず、このと

き NOx は EGR をかけない場合に比べて排出重量で比較すると 1/10 することができる。この条件での空気過剰率は 1.8 であり、エンジンの燃焼制御の一つの目安となると考えられる。

Fig.7 は Fig.5 と同様の図であるが、燃料噴射量が 75mm³/stroke の低負荷の条件である。空気過剰率が大きいいため過給圧力が約 100kPa で EGR 率 60%でもスモークの悪化は小さく、EGR をかけない場合に比べて NOx を 1/10 以下にすることができる。低負荷においては HCCI による排出ガス低減も有効であるので、状況に応じて燃焼方式のどちらを選択するか見極める必要があると考えられる。

この他、燃料噴射圧力は 250MPa まで実験され、150MPa で燃料を噴射する場合と比較した場合、噴射時期が燃料消費量に与える影響等を考慮すると必ずしも高ければ高いほどいいというものではないことが報告されている。⁽³⁾

3.3. 各種部品の試作

高過給のもとでは、エンジンを構成する部品がこれまでにない状況にさらされる。単気筒エンジン試験では、排出ガスの低減方策を検討するほかに各種部品を試作した。

Fig. 8に実験で使用されたピストンとピストンピンの写真を示す。写真に向かって右側がベースエンジンのもので左側が試作したものである。気筒内最高圧力が高くなるため、ピストンの構造、ピストンピン大型化などの諸元が見直された。ピストンは材料がアルミニウムでは強度が不足するため、铸铁製のもの採用

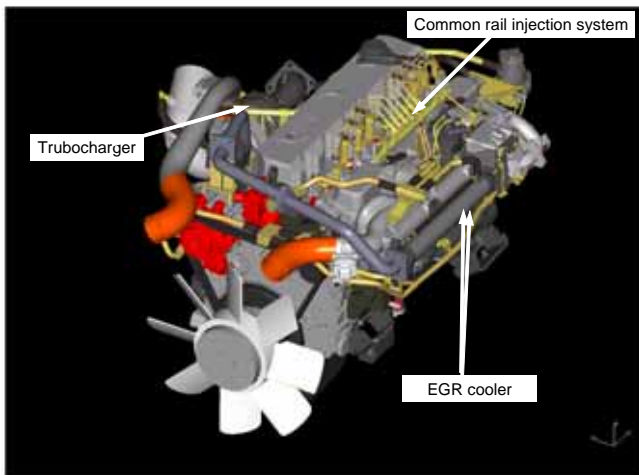


Fig.10 Schematic of SCD

Table 2 Engine specification

Bore [mm]		122	
Stroke [mm]		150	
Displacement [L]		10.52	
Type		L6	
Target	Max Output	Engine Speed [rpm]	2000
		Output [kW]{PS}	298{405}
		BSFC [g/kWh]	190
	Max Torque	Engine Speed [rpm]	1400
		Torque [Nm]{kgm}	1842{188}
		BSFC [g/kWh]	1805

され、ピストンピンも径および肉厚ともに大きくした。

Fig. 9 にコンロッドの写真を示す。一番右側がベースエンジンのもの、中央が新たに試作されたもの、左側がさらに改良したものである。試作品で強度を十分にするための見直し等をした。改良試作品では強度を保ちつつ軽量化する努力をした。

4. 要素技術の開発⁽⁵⁾

多気筒エンジンにおいて当初掲げた目標を達成するためには、3 に述べた単気筒エンジンの実験で得られた知見を十分に生かし、2 で示したコンセプトに基づいて多気筒用の各種要素技術の開発試作を行うこととする。

開発中の多気筒機関の概観を Fig.10 に、エンジンの諸元を Table 2 に示す。約 10.5L でありながら、従来の 13L クラスの出力とトルクが得られる。

以下にその主要技術について紹介する。

- ・ 過給機



Fig.11 Turbocharger

試作した過給機を Fig.11 に示す。400kPa の過給圧力を実現するためには、これまでの過給機に比べて過給圧力を約 2.0 倍近くにしなければならない。試作した過給機の圧力比は約 5 である。

過給機に関しては設計の際に、インペラー、慣性モーメント、軸受け、ハウジングの材料等の各種工夫を施こした。

- ・ EGRクーラー

試作された EGR クーラーを Fig.12 に示す。多量 EGR を実現するためには、吸気側に再循環する多量の排気を冷却可能な高効率の EGR クーラーが必要となる。この冷却効率を高めるため EGR へと導入される排気は、全 6 気筒を 3 気筒ずつ 2 系統にわけて、それぞれに EGR クーラーを装着した。

- ・ 可変スワール機構

Fig.13 に試作された吸気ポート写真を示す。このエンジンは各気筒吸気弁を 2 つ有しているが、これらに至る吸気ポートを 3 つに分割する設計を採用した。

3 つの吸気ポートのうち 2 つにはバタフライバルブを取り付け、バルブ開度を無段階モータにより連続的に制御することにより、スワール比の範囲を 1 ~ 9 まで可能とすることができた。

- ・ NOx センサー

今後の厳しい排出ガス規制を、達成するために、各種センサーを用いたフィードバックによるエンジンの燃焼制御に加え、NOx 触媒の反応コントロールが必須のものとなっていくと考えられる。センサーの中

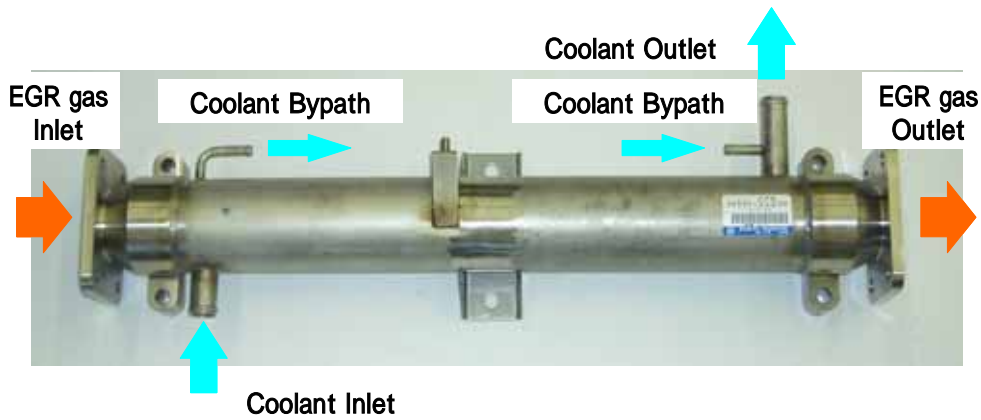


Fig.12 EGR cooler



Fig.13 Swirlport

でもNOxセンサーは、すでに欧州においてガソリン乗用車では使用されているもので、今後はディーゼル機関でも広く使用されてゆくと予想される。

その他、エンジンを構成する材料等は単気筒エンジンの試作結果を参考に、高過給に耐えうる構造とした。

5.まとめ

平成14年度より3カ年計画でスタートした次世代大型低公害車開発促進プロジェクトの一つであるスーパークリーンディーゼルエンジンの開発状況について報告した。

まず、あらゆる負荷領域でも高過給と多量EGRの組み合わせが排出ガス低減に非常に有効である、ということなどが単気筒エンジンの実験結果で明らかにされた。多気筒エンジンの試作ではこれらの知見が考慮され、各種最新の要素技術が盛り込まれている。

今年度は、これらの成果を取り込んだエンジンを交通安全環境研究所において目標値を達成するための評価試験中である。

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) 青柳他、自動車技術会論文集 Vol.53, No.3. pp.35-40, 2004.
- (3) 三沢他、自動車技術会学術講演会前刷集 No.69-04. pp.9-14, 2004.
- (4) 青柳他、自動車技術会学術講演会前刷集 No.69-04, 2004.
- (5) スーパークリーンディーゼルエンジン展示パネル、第38回東京モーターショー、2004.