

次世代低公害車開発プロジェクトにおける平成 14 年度の成果について

環境研究領域

小高 松男

1. まえがき

国土交通省は平成 14 年度から 3 ヶ年計画で大型ディーゼル車の代替となる次世代型低公害車の開発プロジェクトを開始し、交通安全環境研究所が中核的研究機関となり、産・官・学の協力のもとにこれを推進することとなった。

本事業では、14 年度に、新しい動力システムに必要な要素技術の研究開発を行い、15 年度では、次世代型の動力システムをとりまとめ、16 年度に車両の開発を行う。また、これらの開発の過程を通して、新技術に対する技術評価手法や、部品等の標準化を進める。

本報では、平成 14 年度に得られた主な成果について報告する。

2. プロジェクトで開発する車両等

昨年度の研究発表会で報告したように、次世代の大型低公害車にふさわしい提案を 14 年度当初に公募した。

公募の結果採択されたのは、表 1 に示す、DME トラック、天然ガストラック、シリーズハイブリッドバス、パラレルハイブリッドトラック、及びスーパークリーンディーゼルエンジンシステムの 5 種である。いずれも出力 200kW 以上、GVW 10 トン以上、ある

いは乗車定員 70 人以上の大型車両等である。

、 は石油燃料代替によるエンジンの超低公害化、
、 は既存のディーゼルエンジンに改良を加えたいうえで電気動力とのハイブリッド化による超低公害化、車両としての高効率化を目指すものである。さらに は、既存のディーゼルエンジンについて、最新技術を駆使して低公害化の可能性を極限まで追求することを狙いとしている。

DME トラック：ジメチルエーテル（以下 DME）は、天然ガスやその他の炭化水素原料から容易に製造できる燃料であり、軽油と同様に圧縮着火が可能で、黒煙を排出しない燃焼が可能であることから、中・長距離輸送用ディーゼルトラックの代替燃料として注目されている。

本プロジェクトでは、DME 燃料の黒煙が排出されない利点を生かし、大量 EGR や触媒の採用による低公害化を追求するとともに、圧縮着火燃焼のメリットを生かし、高効率化をはかる。

天然ガストラック：天然ガス自動車は、低公害車、石油代替燃料車として社会に広く受け入れられつつあるが、GVW 10 トンを超える大型トラックは開発されていない。

表 1 開発車両等と提示された開発目標値の一覧

開発車両		DME トラック	天然ガストラック	シリーズハイブリッドバス	パラレルハイブリッドトラック	スーパークリーンディーゼル	
性能目標値	排出ガス性能	NOx	新長期排出ガス規制値の 1/4 以下 (0.5g/kWh 以下)	新長期規制値の 1/4 以下	75% 低減 (対新長期排出ガス規制相当車両)	新長期規制値の 1/10 (IPT システムとの組み合わせにより達成)	新長期規制の 1/10 (0.2g/kWh, D13 モードにて)
		PM	0.0g/kWh (黒煙排出なし)	0.0g/kWh (黒煙排出なし)	75% 低減 (対新長期排出ガス規制相当車両)	新長期規制値の 1/10 (IPT システムとの組み合わせにより達成)	新長期規制の半減 (0.013g/kWh, D13 モードにて)
	燃費	ベースのディーゼルエンジンと同等	過度運転時の二酸化炭素 (CO2) 排出率ベースディーゼルエンジン以下	50% 低減 (対現生産車両)	一般ディーゼル車対比 2 倍以上	現行レベルよりも 10% 向上 (CO2 10% 削減)	
	その他	NMHC: 0.17g/kWh 以下 CO: 2.22g/kWh 以下	航続距離: 500km (高速) 250km (市街地)			スモークレス	
提案車両	車両のタイプ	長距離走行用大型トラック	長距離輸送用大型トラック	バス	トラック	エンジン (トラック用を想定)	
	エンジン (動力)	出力: 200kW	出力: 235kW (320PS) ~ 257kW (350PS)	エンジン 5L 発電機 40kW モーター 90kW x 2	エンジン 4L 110kW モーター 70kW 程度	出力: 280kW	
	車両総重量	18t 級	25t	14t	13t	25t	
	積載量 / 乗車定員	10t		78 人乗り	8t	13t	

いことから、本プロジェクトではこれまでに商品化されていない出力 220kW 以上の超低公害天然ガスエンジンシステム、ならびにこれを搭載する GVW25 トンクラスの大型トラックを開発する。具体的には、新長期規制をはるかに下回る NOx とディーゼルエンジン並みの熱効率、高速道路走行で 500km 以上の航続距離を確保することを開発目標とする。

シリーズハイブリッドバス：シリーズハイブリッド方式のメリットは、内燃機関を発電専用として用いるので、エンジンの運転領域を最大効率点近傍に限定できることにあると考えられる。本開発ではこのメリットを最大限に生かし、限定したエンジン運転領域での超低排出ガス化を図る。また、電動機能部品を新たに開発することにより、新長期規制値の 1/4 の排出ガスと現行ディーゼル車比で 50% の燃費低減を目指す。

パラレルハイブリッドトラック：新技術の導入により、パラレルハイブリッド方式の高効率化を図るとともに、非接触誘導給電方式を採用して電動走行の比率を向上させ、新長期規制値の 1/10 の排出ガスと現行ディーゼル車比で 50% の燃費低減を目指す。

スーパークリーンディーゼル：サルファーフリー軽油 (S 分 10ppm 以下) の使用を前提とし、高過給や大量 EGR による新燃焼方式の採用、NOx センサ、センサの活用による排気後処理の精密化と、高度な電子制御技術の採用等により、現行ディーゼルの熱効率を維持しつつ、新長期規制レベルをはるかに凌駕する大型車用ディーゼル機関の開発を目指す。

3. 平成 14 年度の研究開発内容

3.1 代替燃料自動車

3.1.1 DMEトラック DME エンジンの技術的課題は、エンジンの大型化に伴う燃料流量の増加に対処するため、新たな燃料噴射装置の開発が必要であること、また、排出ガスを低減するための、専用の EGR 装置および NOx 触媒の開発と考えられる。したがって、平成 14 年度においては、これらの要素技術の開発を中心として研究開発を進めた。これらの開発にあたっては、エンジンメーカー、噴射ポンプメーカー、大学との緊密な協力の下に推進している。

14 年度では、協力会社側において、ベースとなる既存の大型 6 気筒ディーゼルエンジンに、大量 EGR システムを含めた、DME エンジン化するための構造変更を実施し、第 1 号試作エンジンを完成させた。

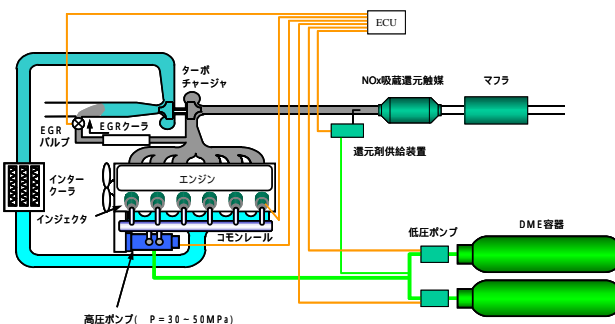


図 1 試作 DME エンジンシステムの構成

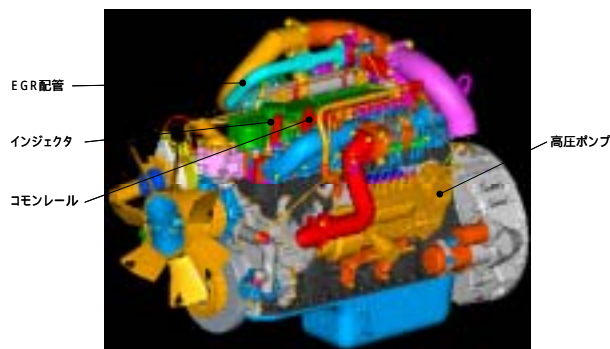


図 2 試作 DME エンジンの外観

このエンジンに適合させるための燃料噴射系の開発については、まず、ディーゼル並みの出力の確保とエンジンアウトでの NOx の低減を念頭に、当研究所で単気筒実験用機関や、噴霧可視可装置を用いた基礎的な解析を行い、噴射系の最適条件を見いだしたうえで、この結果を燃料噴射ポンプメーカーにフィードバックさせて 6 気筒エンジン用大型 DME 燃料噴射システムを製作した。

また、排気系における NOx の除去については、各種の吸蔵還元型触媒を試作し、DME エンジンに対するその有効性を評価した。

3.1.2 天然ガストラック 大型天然ガス自動車の課題は、NOx の低減と航続距離の拡大と考えられる。このため、理論混合気燃焼を基本として、EGR や三元触媒の採用により新長期規制値 1/4 以下の NOx レベルをねらうとともに、高濃度メタン燃料の使用を前提とした、燃焼最適化による熱効率の向上を図り、ベースディーゼルエンジン以下の CO₂ 排出率をねらう。

本プロジェクトでは圧縮天然ガス (CNG) の使用を前提として研究開発を進めることとし、14 年度では、新長期規制から過渡試験モードが導入されることから、キーテクノロジーとなる、空燃比制御システムについて、過渡運転時の空燃比制御特性を大幅に向上させるための

要素技術の設計指針について研究を行った。当研究所において、中型 CNG トラックを用いて、過渡運転モードでの制御装置の作動特性や空燃比の安定性、三元触媒の浄化性能、排出ガス特性を調査した。この結果をもとに、次世代の CNG 車開発において NOx 等の開発目標値を達成するために必要な要素技術とシステム制御法について、開発用件を明らかにした。

一方、協力会社側では、EGRシステム、燃焼室変更等を含むエンジン1号機の試作を完了し、定常運転評価試験を実施中である。図3にエンジンシステムの構成を示す。また、平成15年度に試作する過渡排気ガス試験用エンジン2号機の空燃比制御内容を前述の結果をもと

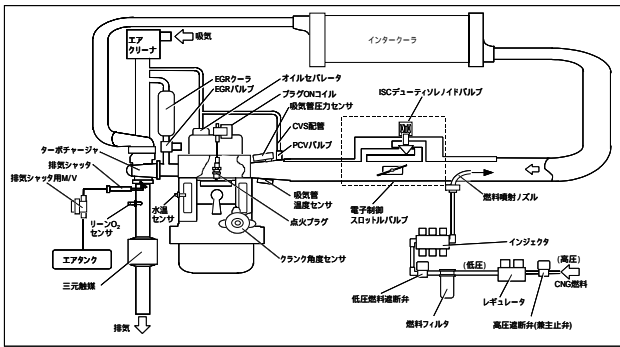


図3 試作天然ガスエンジンのシステム構成
(エンジン1号機)

表2 エンジン2号機の制御項目

制御項目	制御内容
空燃比制御	基本制御 ・スピードデンシティ制御(エンジン回転速度+吸気管圧力でマップ制御) ・O2センサによるフィードバック制御
	過渡制御 ・加速増量 ・減速減量 ・アクセル開度によるフィードフォワード制御
EGR制御	・エンジン回転速度+吸気管圧力でマップ制御 ・EGR率に応じて吸気管圧力と吸入空気量の関係を補正
ノック制御	・ノックセンサによる点火時期リタード
電子制御スロットル制御	・過回転防止制御、排気ブレーキ制御、オールスピード制御、SLD制御、始動性向上制御及び過渡制御など、他のシステムと連携協調したスロットル開度制御
点火制御	・クラック角度センサの信号で気筒判別およびクラック位置検出 ・点火時期と通電期間をエンジン回転速度と吸気管圧力でマップ制御

その他の制御項目：
ISC制御、始動性向上制御、燃料カット制御、過回転防止制御、排気ブレーキ制御、空燃比センサ・ヒータ制御、SLD制御、オールスピード制御

に決定した。エンジン2号機で新たに採用する空燃比制御内容を表2に示す。

以上の開発は、都市ガス用の13A燃料の使用を前提としているが、さらに、高純度のメタン燃料を使用することによる、熱効率向上の可能性、次世代大型天然ガス自動車の潜在需要及び拠点等について調査を行った。

3.2 ハイブリッド自動車

交通安全環境研究所においては、シリーズ、パラレル等各ハイブリッド方式に共通する技術的課題として、ハイブリッド自動車用モータシステムの高効率制御の検討、ハイブリッドシステム各要素技術の評価、ハイブリッドシステムの最適化シミュレーション解析、について研究を進めた。

14年度では、については、モータの性能、車両の重量、走行抵抗を設定し、最適な電動機と制御方式を検討した結果、効率は同期機、回生率は電動機が優れていることをシミュレーションにより検証した。また、ハイブリッド車両用モータ、インバータ制御装置等の入出力レベルの時間軸特性を計算し、最適な定格容量の設定方法を検討した結果、特殊定格の必要性を確認した。

については、大型自動車の路上車速データを解析し、要求エネルギーや回生エネルギーを計算して、過渡的な実走行条件に即した二次電池、スーパーキャパシタ等の評価方法を検討した。また、種々の蓄エネルギーデバイス(二次電池、スーパーキャパシタ)の実走行条件下における充放電効率等を評価するための充放電試験装置を設備した。

については、モータシステム、発電機、蓄電装置、エンジン等の構成要素をモデル化し、仮想的なシリーズハイブリッドシステムおよびパラレルハイブリッドシステムを構築した。また、大型ハイブリッド車の構成要素をモデル化した走行シミュレーション計算を行い、燃費評価等を実施した。図4に本研究で用いた電気ハイブリッド動力単体台上実験装置の構成を示す。

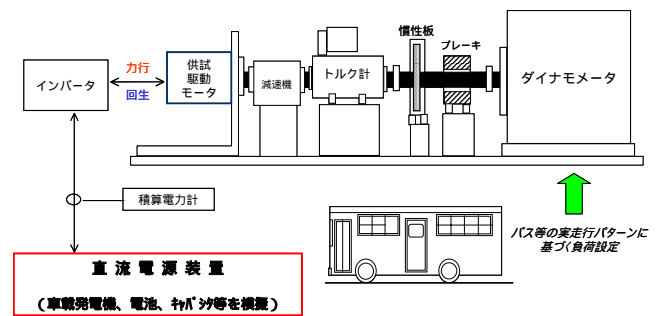


図4 電気ハイブリッド動力単体台上実験装置の構成

3.2.1 シリーズハイブリッドバス 本プロジェクトで開発するシリーズハイブリッドバスの構成図を図5に示す。本シリーズハイブリッド方式の狙いは、ディーゼルエンジンを発電専用とし、新燃焼方式を用いたワンポイント定常運転、補機駆動を電動とし、エンジン負荷を軽減して排出ガスを低減、連続再生式DPFに最適

化したエンジン制御、により、超低排出ガスと走行燃費ディーゼル車比 50%減を達成することにある。

14 年度では、協力会社側において以下の開発が進めら

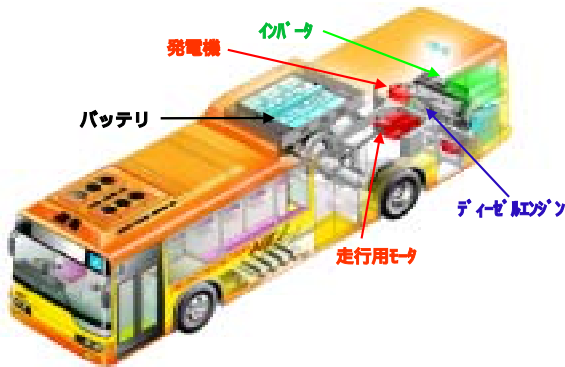


図5 試作するシリーズハイブリッドバス

れた。

では、単気筒エンジンによる基礎試験で、予混合圧縮着火燃焼に近い新燃焼システムが成立する仕様を明確化し、クールド EGR システムの採用と過給機の最適化を実施して新燃焼システムが成立することが確認できた。上記仕様を反映した先行開発エンジン試験結果では、限定されたワンポイントではあるが、図6に示すように NO_x : 0.6g/kWh 以下、スモーク濃度-2%(Bosch)以下の成立が確認できた。しかしながら、燃費の改善が課題として残されている。では、図7に示すように、パワーステアリング油圧ポンプ、エアコンプレッサ、冷房コンプレッサ等、全ての補機の電気駆動システムを考案。性能予測計算を行い、現行 H E V バスに対し空調非作動時

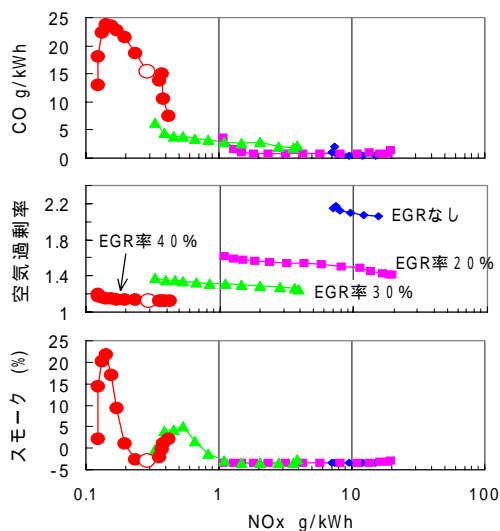


図6 先行開発エンジンの排出ガス試験結果の1例

8%、空調作動時 11~17%の市街地走行時燃費向上効果を確認した。また、電動補機駆動システムのオルタネータの高効率 DC/DC コンバータへの置き換えを検討して、設計・試作を行い、ねらいどりの性能達成が確認された。

上記の検討結果から電動補機駆動システムの計画図面

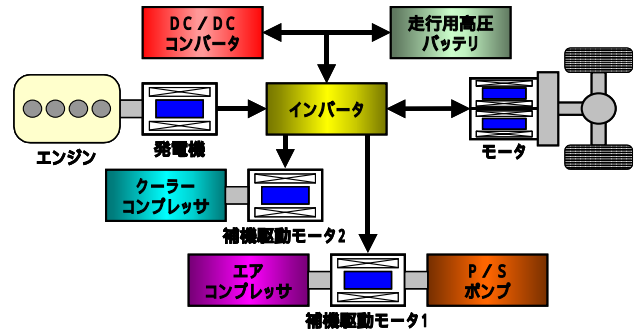


図7 電動補機駆動システム

が作成された。

では、PMを浄化する連続再生式DPFの試験を実施したが、排気温度、NO、排気酸素濃度とも低く、再生性能面で不利であり、再生可能な排気後処理装置の開発は、来年度の課題として残された。

一方、ハイブリッドシステムの要素技術については、小型高効率発電機を新たに設計・試作し、性能評価試験にて従来品を上回るシステム発電効率 93.4%を達成した。また、車載するリチウムイオン単電池について、形状変更による集電構造の改良、及び負極活物質の高容量化を行い、放電容量：30Ah 以上 (25) 出力密度：2000W/kg 以上、入力密度：約 900W/kg、内部抵抗：約 20% 低減 (SOC60%、25) を達成した。また、角形高性能リチウムイオン電池用バッテリーモジュールの設計及び試作を実施した。

さらに試作バスの計画設計に着手し、新燃焼システムディーゼルエンジンのエンジンマウント、及び吸気系、排気系、冷却系について図上検討し、エンジン搭載計画図を作成した。また、駆動系機器、補機類、制御系機器、走行用蓄電池、高圧機器等の車両機器配置について図上検討し、車両機器配置計画図を作成した。

3.2.2 パラレルハイブリッドトラック パラレルハイブリッド方式では内燃機関と電気動力をともに車両の駆動に用いる。

本開発の狙いは、排出ガス、燃費を向上させるために電気駆動の割合を増やし、ディーゼルエンジンを小型化するとともに、高効率エネルギー回生機能や、誘導給電システムによる非接触バッテリー充電方式により、電気エネルギー利用効率を向上させることにある。図8に、本プロジェクトで開発するハイブリッドトラックの構成を示す。

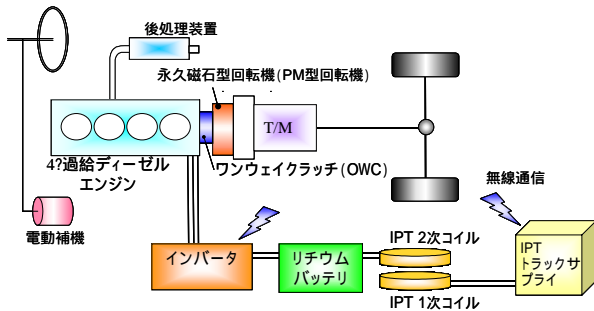


図8 試作平行ハイブリッドトラックの構成図

14年度では協会社側において以下の開発が進められた。

システムの開発では、シミュレーションによるNOxおよび燃料消費効率(CO2による予測)の推計を行い、非接触外部給電装置(以下IPT)を用いた場合に、NOx:94%、CO2:77%減、IPTなしの場合、NOx:56%、CO2:38%減という結果が得られた。

要素技術の開発では、駆動用モーター/発電機、及び専用インバータを開発し、初期性能評価を行った。また、回生効率を向上させるため、減速時にはモーター/発電機をエンジンから切り離すためのワンウェイクラッチ機構を新たに試作した。外観図を図9に示す。

また、新しい要素技術として、停車中に外部からバッテリーに電力を非接触で給電するIPTシステムについて基礎特性試験を実施し、計画通りの電力供給が可能な見



図9 ワンウェイクラッチ外観

通しを得た。このシステムの概要を図10に示す。

さらに、バッテリーを選定して群試験を実施し、群化に当たっての課題を明確化するとともに、電動補機の調査に基づき電動PSポンプを設計・試作し、台上試験を実施した。

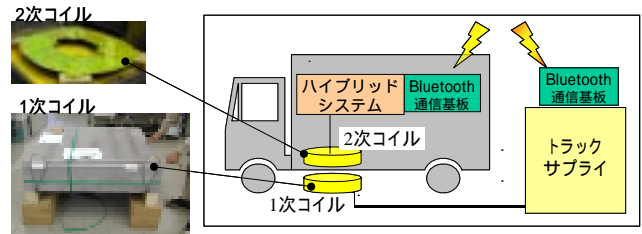


図10 非接触誘導給電システム (IPT)

3.3 スパーククリーンディーゼル

本プロジェクトでは、低硫黄軽油(S分10ppm以下)が2004年頃から販売される見込みであることから、この使用を前提として、排出ガスは、NOx:新長期規制の1/10(約0.2g/kWh)、PM:新長期規制の1/2(約0.013g/kWh)以下、スモークレスを狙い、燃費は現行レベルよりも10%向上(熱効率50%)させることを目標としている。この目標を達成するための燃焼のコンセプトを図11に示す。低負荷域では予混合圧縮着火燃焼(HCCI)を用いてNOxを低減し、中負荷域ではこれに過給を組み合わせて予混合圧縮着火領域を拡大し、高

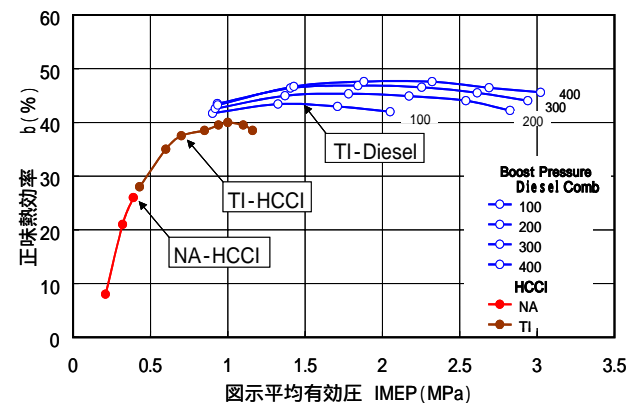


図11 スパーククリーンディーゼル燃焼のコンセプト

負荷では、高過給、高EGRにより、NOxとPMの同時低減を図る。このようにして極限まで燃焼により排出ガスを低減し、さらに後処理装置を併用して目標値の達成

をめず。図12にエンジンシステム全体としての排気浄化の概念を示す。

14年度では、交通安全環境研究所において予混合圧縮着火燃焼方式の運転領域拡大の方策の検討、NOxセンサーの試作と性能評価、を実施した。

では、シミュレーション、エンジン実験により、予混合圧縮着火燃焼を成立させるためのパラメータスタディを行い、EGRとの組み合わせによる排出ガス低減効果を確認した。

また、では、排気系に装着するNOxセンサーを開発し、モデルガス、実排ガスを用いた性能評価を行った。その結果、スーパークリーンディーゼルの排気後処理制御に使用できる見通しを得た。

一方、協力会社側では、燃料噴射圧最大200MPaおよびシリンダ内吸入空気量をNAエンジンの2~5倍まで過給でき、さらに高い吸排気圧力400kPaに保ち、多気筒と同じ条件下でEGR率を最大80%まで可能にした世界で最新の単気筒実験装置を完成させた。これを用いて、過給圧の高い条件のもとで、150~200MPaの噴射圧、EGR率30~50%を実施すると、高いトルクにおいてもスモークを悪化させずにNOxが低減できることを見出し、高過給・多量EGRによる排気低減効果を実証した。図13に実験結果を示す。

さらに、世界最新の技術を用いた、多気筒エンジンに採用する新しい燃料噴射システム、過給システム、高強

排気浄化システムイメージ

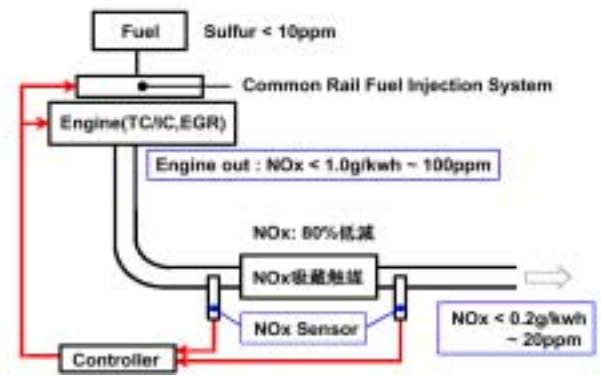


図12 スーパークリーンディーゼル開発における排気浄化の概念

度エンジン部品などを、専門メーカーとの協業により開発に着手した。

4.まとめ

平成14年度より3ヶ年計画でスタートした次世代大型低公害車の開発プロジェクトについて、各開発車種別に14年度に進められた要素技術の研究開発状況について報告した。

15年度ではこれらの結果を取りまとめ、次世代低公害車にふさわしい動力システムとして完成させることを目指している。

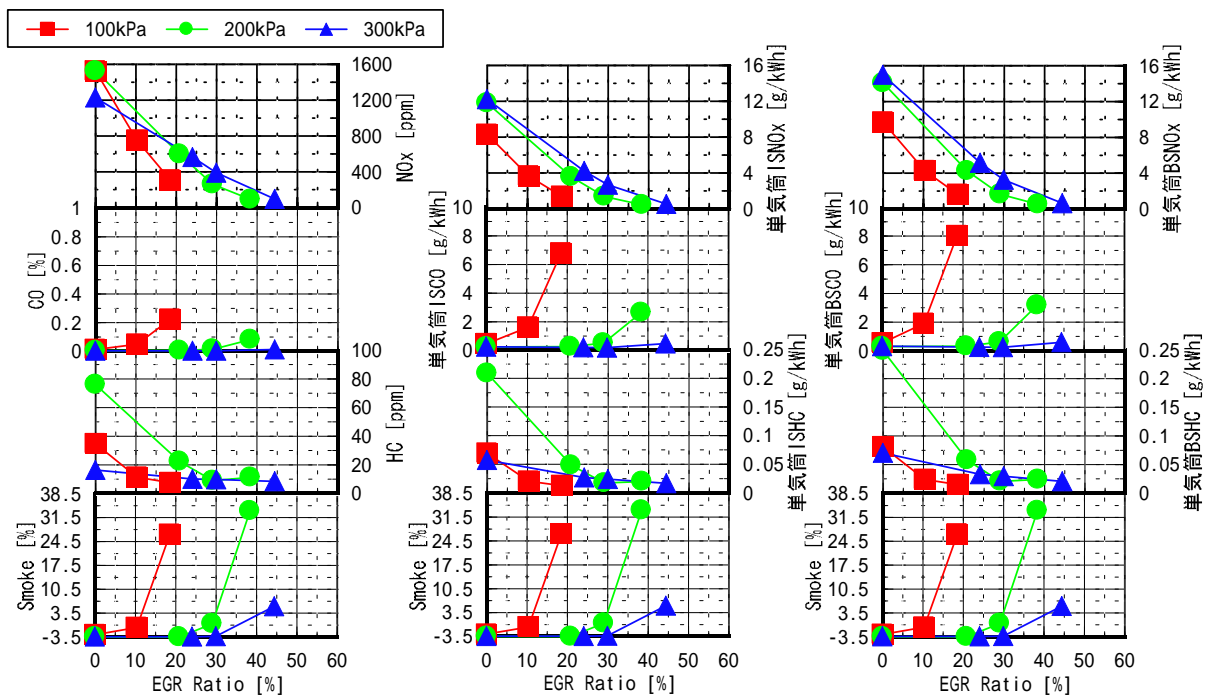


図13 過給、EGRによる性能・排出ガスの変化(高負荷)