

平成18年度環境対応型ディーゼルエンジンの  
基盤技術開発補助事業報告書



この事業は、競輪の補助金を受けて  
実施したものです。

<http://ringring.keirin.go.jp>



2007年3月26日

社団法人日本陸用内燃機関協会

## 基盤技術開発研究会 構成表

(会社名 順不同)

	氏 名	所 属	
委員長	宮本 登	北海道大学	名誉教授
委員	山田修一	(株) クボタ	エンジン技術部
委員	西村章広	ヤンマー (株) 中央研究所	エンジン研究グループ
委員	筒井泰弘	三菱重工業 (株)	エンジン技術部
委員	倉科 守	石川島芝浦機械 (株)	エンジン事業部 技術部
委員	石井 正	(株) DRD	実験部
委員	森本洋介	有識者	
委員	四方光夫	有識者	
事務局	若山禎一郎	(社) 日本陸用内燃機関協会	専務理事
事務局	臼井一門	(社) 日本陸用内燃機関協会	第一技術部
事務局	瀧野壽夫	(社) 日本陸用内燃機関協会	第二技術部
事務局	塚本悌介	(社) 日本陸用内燃機関協会	

平成18年度環境対応型ディーゼルエンジンの  
基盤技術開発補助事業報告書

目 次

1. 基盤技術開発研究の目的	1
2. 開発研究内容について	2
3. 基盤技術開発研究会及び分科会実施日程	5
3. 1 基盤技術開発研究会	5
3. 2 基盤技術開発分科会	5
4. 基盤技術開発分科会報告	6
4. 1 クボタ分科会	6
4. 1. 1 研究の目的	6
4. 1. 2 研究の内容	6
(1) 現状排出ガスレベルの把握	6
(2) DPF 付きでの排ガス性能	8
(3) DPF 再生の検討	9
① DPF の仕様と DPF の再生方式について	9
② DPF 再生テスト	10
(4) 再生テスト結果	11
① テストNo. 1	11
② テストNo. 2	12
③ テストNo. 3	14
④ テストNo. 4	15
4. 1. 3 まとめ	17
(1) 研究日程	17
(2) 平成18年度の研究結果	17
(3) 次年度の課題	17
① イグナイターの改良	18
② 再生補助装置の開発	18

4. 2 ヤンマー分科会	19
4. 2. 1 研究の目的	19
4. 2. 2 供試機関および試験装置	19
(1) 供試機関	19
(2) 試験装置	20
(3) 供試機関の改造点	21
4. 2. 3 現状性能の調査結果	24
4. 2. 4 外部 EGR による低 NO <sub>x</sub> 化	27
4. 2. 5 燃料改質による低エミッション効果の検討	28
4. 2. 6 平成 18 年度研究結果のまとめと今後の予定	30
4. 3 三菱重工業分科会	31
4. 3. 1 研究開発の実施事項	31
(1) C1 および NRTC モード評価結果	31
(2) エンジン仕様と NO <sub>x</sub> , PM の関係把握	31
(3) 酸化触媒による PM 低減試験	31
4. 3. 2 研究開発の方法	31
(1) 供試エンジン	31
(2) 供試酸化触媒	32
(3) 運転計測装置	33
(4) 運転方法	37
4. 3. 3 研究開発の結果と解析	38
(1) C1 および NRTC モード評価結果	38
(2) エンジン仕様と NO <sub>x</sub> , PM の関係把握	39
(3) 酸化触媒による PM 低減試験	41
4. 3. 4 まとめ	43
(1) 平成 18 年度の研究成果	43
(2) 今後の課題	43
(3) 来年度の重点実施事項	43
4. 4 石川島芝浦機械(株)研究結果	44
4. 4. 1 平成 18 年度の研究目標	44

(1) 上期	44
(2) 下期	44
4. 4. 2 試験エンジン諸元	44
4. 4. 3 試験エンジン概要	45
4. 4. 4 試験期間	45
4. 4. 5 試験装置の説明	45
4. 4. 6 試験結果と考察	46
(1) 上期の試験結果	46
① ベースエンジンの性能測定結果	46
② C1モードとNRTCモードの比較	46
③ フルトンネルとマイクロトンネルの比較	47
④ PM中の成分分析	47
⑤ 後処理装置の検討	48
(2) 後処理装置の仕様設定	48
① DOC (酸化触媒) 及びDPF (ディーゼルパーティキュレートフィルター) 仕様	49
② DOC 及びDPF の温度計測準備	49
(3) 下期の試験結果	50
① 後処理装置装着による排ガス測定	50
② DPF の温度計測結果 (C1モード中の測定)	51
③ フィルター再生の定義について	51
④ 後処理装置の再生試験結果	52
⑤ 後処理装置 (DOC、DPF の温度計測結果)	53
⑥ 断熱材の効果	55
4. 4. 7 データの分析と課題	55
4. 4. 8 課題への対応	56
4. 4. 9 今後の予定 (次年度の予定)	56
4. 1. 10 参考文献	56
5. まとめと今後の課題	57
5. 1 まとめ	57
5. 2 今後の課題	59

## 1. 基盤技術開発研究の目的

グローバルな環境保全の観点からディーゼルエンジンに対し排出ガス規制が益々厳しくなりつつある。特に米国EPAが発表したTier 4排出ガス規制<sup>1)</sup>では、オフロード用ディーゼルエンジンに対し大幅な規制強化を2011年以降出力別に逐次実施すべく検討されている。

これによると出力別に規制値は、かなり異なるが窒素酸化物（以下NO<sub>x</sub>と呼ぶ）・粒子状物質（以下PMと呼ぶ）は1/10以下の規制値となりNO<sub>x</sub>還元触媒・PMトラップ装置が不可欠となっている。

一方、日本国内では、環境省の中央環境審議会第6次報告<sup>2)</sup>によれば「汎用エンジンの排出ガス試験方法等の国際基準調和活動に積極的に貢献し、可能な範囲で国際調和を図る事が望ましい」と述べ更に「後処理装置の適用可能性を見極め、2010年頃の達成を目途とした新たな低減目標について検討する」と述べている。

更に第6次報告によればこの規制値が実施された場合、国内では特殊自動車からの排出ガスは使用実態・台数等が平成12年と同じと仮定した場合PMが約46%と大幅に低減され環境改善に大きく貢献できることが期待できるとも述べている。

かかる状況下では 近々日本の排出ガス規制値もTier 4レベルに順応するものと予想される。

一方（社）日本陸用内燃機関協会（以下陸内協と呼ぶ）の会員会社が生産する小型汎用ディーゼルエンジン（以下小型ディと呼ぶ）の総生産<sup>3)</sup>は2006年度には139万台に達しこの出力帯は、日本メーカーがほぼ世界市場を凌駕しており国内外で圧倒的な優位にあるが、その大半はエンジン出力56kW未満の小型ディで89%を占め50%以上が輸出されておる。

小型ディはその信頼性・低燃費・取り扱い容易等々の優位性が認められ日本の国際商品として安価なガソリンエンジンと共に今や国内外で人類社会に貢献しつつ定着している。

このままの推移で米国Tier 4レベルと調和させると2012年には日本メーカーが最も得意とする56kW未満の小型ディの規制値は、NO<sub>x</sub>は現状維持であるがPM規制値がほぼ1/10(0.03g/kW/h)となる。

目覚ましい技術革新が進みつつある最新自動車技術をそのまま56kW未満の小型ディに適用するには使用環境が劣悪でそのまま展開できず、小型ディ特有の基盤技術開発

が求められている。かつコストミニマムで対応できなければ競合機種であるガソリンエンジンとコスト上対抗できず現有市場から小型ディは駆逐される状況にある。

しかし 国内小型ディーゼルエンジンメーカーは、このクラスの主力ディーゼルエンジンは2005年規制適合レベルにあり、当面の排出ガス規制対応に人材・開発予算を投入し生き残りに超多忙でありTier4規制対応の開発投資は当面困難な状況で研究開発の支援が必要である。

また この出力帯は日本メーカーの独断場であるがゆえに基盤技術は外国製でなく日本の小型ディメーカーによる独自の開発が必要である。

それには日本の製造業の強みである「もの創り」により日本製Tier4規制適合基盤技術開発の宿命が課せられ かつ 緊急課題である。

現在この様な基盤技術は、全く未知の分野であるため成功の見込みが立たず単独企業で開発するには極めてリスクが大きい。

陸内協は環境問題対応を事業方針とし、かねてから官・学・民と共同でこの課題に積極的に対応し自主規制の実施 等々 実績を残してきた。これらの諸活動により官・学・民に太い情報収集パイプを持ちこの様な基盤技術開発活動が可能な条件を構築してきた。

残された時間は少なく商品化研究の期間も考慮すると今回の挑戦は正に最後のチャンスであり日本自転車振興会の自転車等機械工業振興事業の交付金をバネに官・学・民の総合力を結集し究極の基盤技術開発に挑戦することにした。

また この挑戦により国内外の研究所・部品メーカーの開発技術及び海外の最新技術論文・関連資料が入手でき高度専門技術者の人材育成等も可能な事業である。

この基盤技術研究成果が、2012年から実施予定のTier4適合開発への開発指針の絞込みが可能となり、今後の開発投資削減と開発期間短縮に大いに寄与し、もって業界の経営基盤強化と機械工業の振興に寄与できることを目的とする。

## 2. 開発研究内容について

小型ディのTier4排ガス規制に対しミニマムコストで適合するための究極の基盤技術開発を行う。まず 現有小型汎用ディーゼルエンジンの基本構造を変更せずエンジン燃焼改善・新型燃料噴射ポンプ・ターボチャージャー・排気還元装置（以下EGRと呼ぶ）等々で燃焼改善しエンジン固有性能の限界性能追求・向上を行う。

その後 酸化触媒等の後処理装置・その他のディバイスで最終目標であるTier 4レベルに対しどの程度まで排出ガス性能値が改善可能かを見極める。

試験エンジンは、陸内協の会員会社から研究会へ参加希望された4社から試験エンジンを提供して頂き、そのエンジンの排出ガス実態評価調査を行う。

試験エンジンは過給器の有無、更に燃焼方式は直噴・過流方式エンジンと現状市販中の小型ディで各種バリエーションをそろえる事が出来た。この事によりTier 4規制適合に対し自動車技術ではきめ細かい電子制御によるコモンレール・DPF・クルドEGR・SCR・酸化触媒・ターボ付エンジンが定着しているが、これらの技術はオフロード小型ディには高価すぎ採用しづらい。

今回の研究の狙いは、基本構造を変更せず無過給エンジンでも後処理装置で適合可能なのか？それとも全く可能性がななのか？過給付が不可欠なのか？等々の目安が判定可能で今後のTier 4適合への研究課題の狙いが絞り込めることになり、このことにより将来の商品化研究の研究期間短縮と効果的な研究投資が可能となる。

研究会活動の具体的な内容は、陸内協に基盤技術開発研究会を新設し大学教授を委員長とし研究会への参加会社4社・有識者から構成しその事務局は陸内協が担当する。委員会は前期・後期とその中間時期に陸内協にて3回開催した。

この研究会では試験エンジンの試験方案・排出ガスデータ分析と対応策の検討・評価を行う。また その都度専門講師からの講演会を開催したり、国内外の有力会社・研究所を訪問し最新技術情報収集し対応策に展開する。

1回目は最新型試験エンジンの選定・購入手続き等、2回目は分科会から報告受けた試験エンジンの運転データ分析および国内外の技術情報に基づくエンジン改良方法（後処理装置 等々）の評価、3回目は事業活動の成果の確認と報告書の作成要領等々を検討した。

また この研究会をサポートするため下部組織として4社主催の4分科会を配し試験方法・試験結果の分析・対応方法 等々 4回開催することにした。

この分科会は、研究会の委員・有識者が主体となり各社研究室（以下ラボと呼ぶ）でも計測設備・計測要領 等の情報交換を行いつつ自社試験エンジンの排出ガスデータを更に分析・対応検討するためそれぞれの各社ラボで2回ずつ開催した。

試験エンジンはTier 4試験モードが過渡モード試験（以下NRTCと呼ぶ）とディーゼルモード試験（以下C1と呼ぶ）であるが、このNRTC試験設備を保有し

ているDRD社の最新試験設備ラボで4社試験エンジンの運転を後処理装置の有無で各2回実施することにし、この4社試験エンジン運転実施の際にはそれぞれの委員・有識者が立会うことにした。

DRD社にて各2回試験運転し、データ採取と分析を行い、その分析結果を都度基礎技術開発研究会に報告する。1回目は4社の最新型エンジンの実体データの把握、2回目は後処理装置装着を含めた改良エンジンのデータ採取と効果の把握を行う。これらの試験結果や研究会・分科会で得られた情報をベースに自社ラボでも改良エンジンを作り込む。

最新設備ラボでのデータはそれぞれの研究会・分科会にて検討され最終目標である2012年から実施予定の米国Tier4適合開発への開発指針の支援策を模索する。

研究会・分科会活動を通してエンジン改良方法の検討のために、先端技術を研究されている大学教授および専門メーカー技術者を招聘し講演会を実施すると共に国内7箇所の研究機関および専門メーカーを訪問・調査して最新の技術情報の収集しTier4規制内容の詳細調査と関連情報収集活動を行う。同時に国内外の技術論文からも技術情報の収集を図る。

事業内容報告書を作成後、陸内協ホームページ、陸内協機関誌「LEMA」等に適時掲載し、陸内協主催の「技術フォーラム」等々で、研究成果を公表する。

公表に際しては、競輪の補助金により実施された事業であることを明記する事とする。

この初年度事業は、平成18年4月1日から開始し平成19年3月31日をもって研究活動を終了した。

これら一連の環境対応型ディーゼルエンジンの基礎技術開発を推進することによりその実体調査結果を分析検討し最終目標である世界で最も厳しいとされている2012年からの米国Tier4規制適合の可能性への燃焼改善と後処理装置やその他のデバイスの基盤技術開発を模索し米国排ガス規制のTier4規制値にどの程度まで近づいているかを見極め将来の商品化開発指針の支援を行う。

---

1) EPAホームページ <http://www.epa.gov/nonroad-diesel/regulation.htm>

2) 平成15年6月30日今後の自動車排出ガス低減対策のあり方について 中央環境審議会

3) 陸内協ホームページ <http://www.lemma.or.jp/>

### 3. 基盤技術開発研究会及び分科会実施日程

#### 3. 1 基盤技術開発研究会

基盤技術開発の推進母体であり、全体計画作成と推進、試験エンジンの選定、及びエンジン改良方法の決定等を実施した。

実施項目	実施日	実施内容
第1回基盤技術開発研究会	H18年 4月 12日	全体計画決定、試験エンジンの選定
第2回基盤技術開発研究会	H18年 12月 19日	各分科会中間報告、エンジン改良方法承認
第3回基盤技術開発研究会	H19年 3月 26日	H18年度事業報告、成果の把握

#### 3. 2 基盤技術開発分科会

4つの分科会（クボタ分科会、ヤンマー分科会、三菱重工業分科会、石川島芝浦機械分科会）に分かれて全体計画に基づき、個別テーマの推進を実施した。

実施項目	実施日	実施内容
クボタ分科会	H18年 6月 30日	試験エンジン：V2203-M-E2B
	H18年 10月 24日	基礎データ採取：C1モード、NRTCモード
	H19年 2月 15日	エンジン改良：DPF装置(再生ガス燃焼装置付)
	H19年 3月 14日	改良後データ採取：C1モード、NRTCモード
ヤンマー分科会	H18年 7月 14日	試験エンジン：4TNV98-YTBL
	H18年 11月 27日	基礎データ採取：C1モード、NRTCモード
	H19年 2月 7日	エンジン改良：EGR及び燃料改質
	H19年 3月 5日	改良後データ採取：C1モード、
三菱重工業分科会	H18年 7月 19日	試験エンジン：S4S-DT（噴射系改造）
	H18年 11月 23日	基礎データ採取：C1モード、NRTCモード
	H19年 1月 23日	エンジン改良：酸化触媒
	H19年 2月 27日	改良後データ採取：C1モード、NRTCモード
石川島芝浦機械分科会	H18年 7月 7日	試験エンジン：N844L-C型（噴射系改造）
	H18年 9月 22日	基礎データ採取：C1モード、NRTCモード
	H19年 2月 13日	エンジン改良：酸化触媒及びDPF装置
	H19年 3月 13日	改良後データ採取：C1モード、NRTCモード

#### 4. 基盤技術開発分科会報告

##### 4. 1 クボタ分科会

##### 4. 1. 1 研究の目的

19kW以上37kW未満の小型産業用ディーゼルエンジンの現状排出ガスレベルを把握し、2013年より導入を予定されている米国EPAのTier4規制への適合可能性を検討する。次に、PM規制値を達成する為に、DPF（ディーゼルパーティキュレートフィルター）を使用することが考えられるが、DPFに溜まった煤を強制的に燃焼させる為のポスト噴射機能を有しないこのクラスのエンジンには、エンジンと独立してDPFの強制再生を補助するシステムが必要となる。このDPF強制再生補助装置の開発にあたり、そのシステムの煤燃焼能力の1次評価を行う。

##### 4. 1. 2 研究の内容

###### (1) 現状排出ガスレベルの把握

排出ガス・PM低減の予備試験として、基本となるエンジンの排出ガスレベルの確認と、今後の改善仕様の比較評価のために、排出ガス測定方法詳細の確定を行った。供試エンジン緒元を表4.1-1、試験結果を表4.1-2に、試験状況の写真を図4.1-1に示す。供試エンジンは現行量産機であり、EPA Tier2規制対応仕様である。

表4.1-1 供試エンジン諸元

燃焼方式	4サイクル渦流室式ディーゼルエンジン
気筒数×ボア(mm)×ストローク(mm)	4×87×92.4
排気量(L)	2.197
出力(kW)／定格回転速度(rpm)	36.4／2800
過給機	無し
燃料	JIS2号軽油

表4.1-2 排出ガス測定結果

運転モード	トンネル	CO	NOx+HC	PM	SOF割合
		g/kW・h	g/kW・h	g/kW・h	%
C1モード	マイクロ	0.74	4.80	0.227	12.8
NRTCモード	マイクロ	1.36	5.78	0.236	26.8

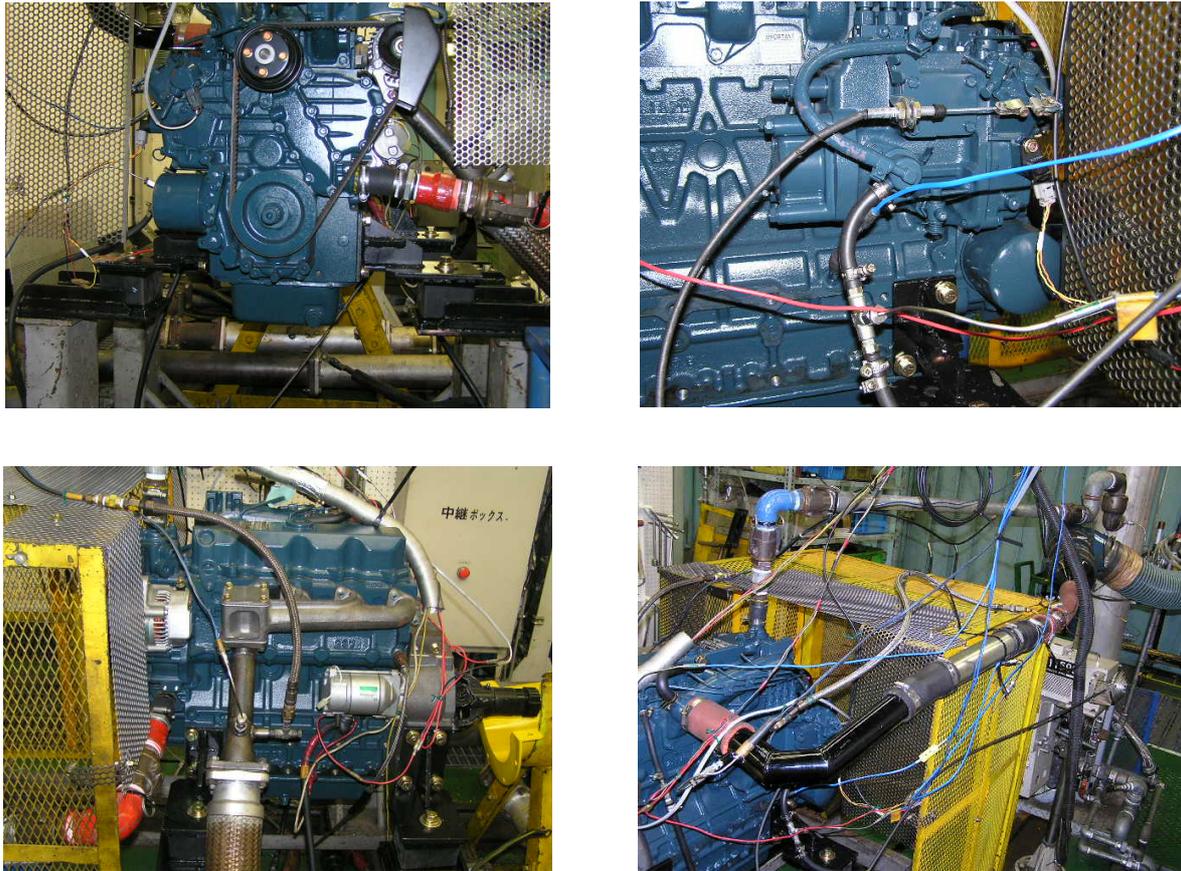


図4. 1-1 排出ガス試験状況

排出ガスの測定試験にあたり、中間速1680rpmでの体積効率が弊社でのテスト時よりも、3%程度低かったため、エンジン吸気マニホールドの上流1500mmの位置に吸気負圧調整用バルブを配置し、その適正化を行った。ISO8178 C1モード定常テストでの試験結果は、現行Tier2規制値並びに、2008年から導入されるTier3規制値を満たすレベルであった。NRTCモードでの過渡運転による試験結果より、C1モードと比較して、NO<sub>x</sub>が16%程度高く、PMは5%程度高い値となった。図4. 1-2に各規制値に対する今回の規制値をプロットする。

結果として、Tier4のPM規制値を満たすためには、90%程度の低減が求められ、燃焼の改善、酸化触媒によるSO<sub>F</sub>分低減等だけでは不十分であり、DPFなどの煤捕集装置が必要となることが分かる。現在、自動車用等に採用されているコーゼライトあるいはSiCを基材としたウォールフロータイプのフィルターは、90%以上の捕集効率を持つ最も実用的な装置であり、今回のPM低減手法として採用する。

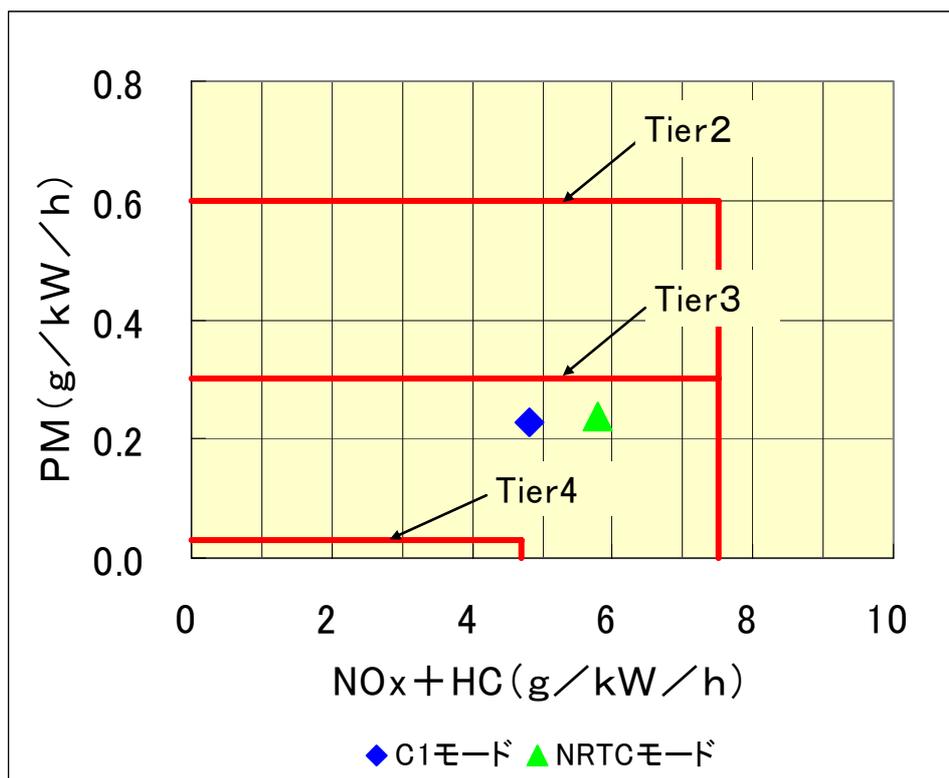


図 4. 1-2 排ガス規制値マップ

(2) DPF 付きでの排ガス性能

現状把握の次の段階として、酸化触媒と DPF を装着した状態での排出ガス性能を測定して PM 低減率の確認を行った。試験結果を表 4. 1-3 に示す。図 4. 1-3 に各規制値に対する今回の規制値をプロットする。PM に関してはほぼ規制値近くまで低減できていることが確認できた。

表 4. 1-3 排ガス測定結果

運転モード	トンネル	CO	NOx+HC	PM	SOF 割合	低減率	
		g/kW·h	g/kW·h	g/kW·h		PM	SOF
					%	%	%
C1 モード	マイクロ	0.16	4.78	0.034	45.4	85	47
NRTC モード	マイクロ	0.08	5.34	0.016	46.8	93	88

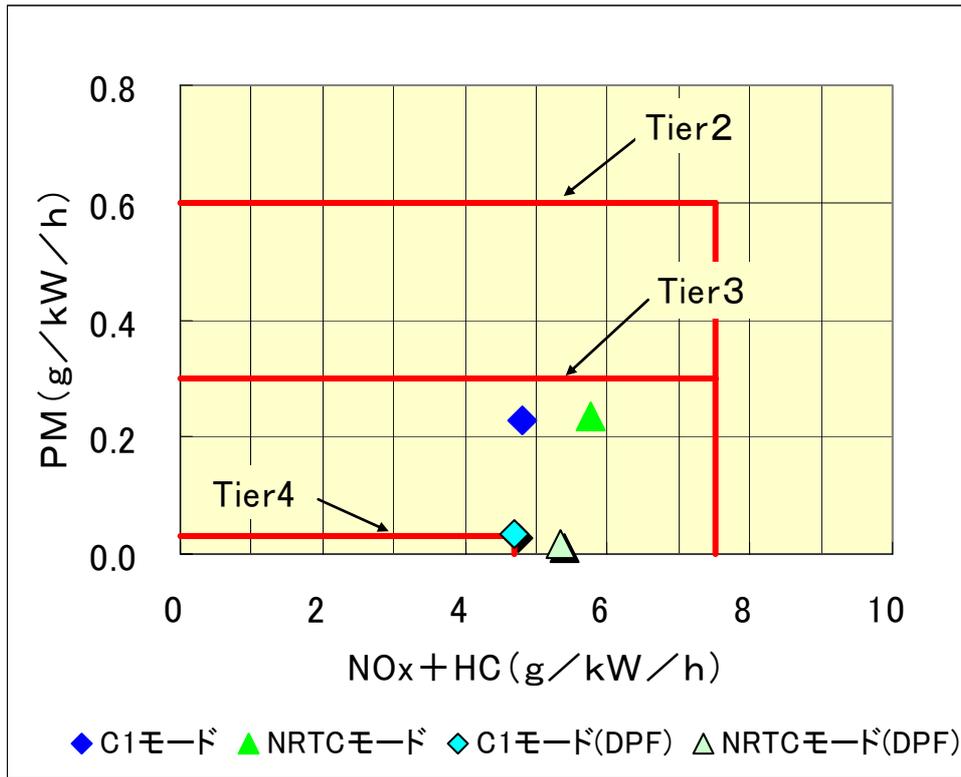


図4. 1-3 排ガス規制値マップ

(3) DPF 再生の検討

① DPF の仕様と DPF 再生方式について

DPF を連続使用するためには、捕集した煤を燃焼させ、DPF を再生させなければならない。コモンレール式燃料噴射装置を有する自動車用ディーゼルエンジンでは、ポスト噴射により排気管に排出される未燃燃料を、酸化触媒で燃焼させて DPF 入り口の排気温度を上昇させることにより、煤を燃焼させている。この際、DPF にも触媒を担持し、煤

の燃焼温度を下げています。渦流室式ディーゼルエンジンで、この方法を採用することはできず、他の DPF 昇温方法を用いる必要がある。今回の研究においては、車載燃料を用いた排気昇温方法を検討するが、この際 DPF

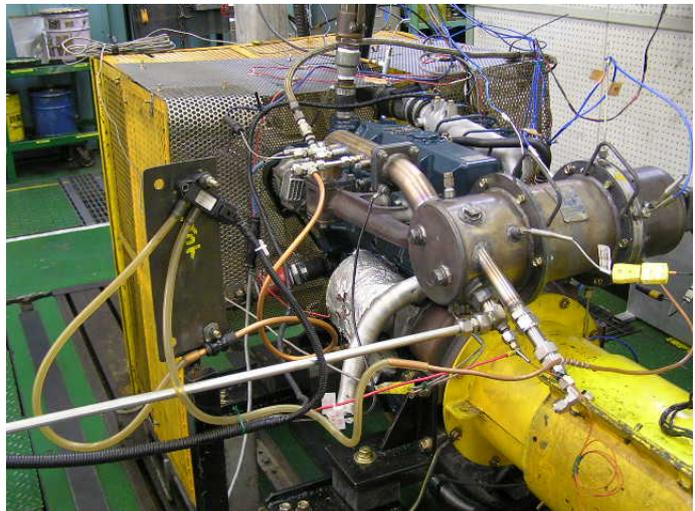


図4. 1-4 DPF 組付け状況

が局部的に高温にさらされる可能性があることより、DPFの基材として、より耐熱性が高いSiCを選んだ。又、DPFに触媒を担持せず、煤を再燃焼させることを目標とした。図4. 1-4にDPF組付け状況を示す。

## ② DPF再生テスト

本年度の研究として、DPF再生補助装置の仕様検討に必要な基礎データを蓄積するため、模擬ガスを用いて煤燃焼テストを実施した。実験装置概要を図4. 1-5に示す。

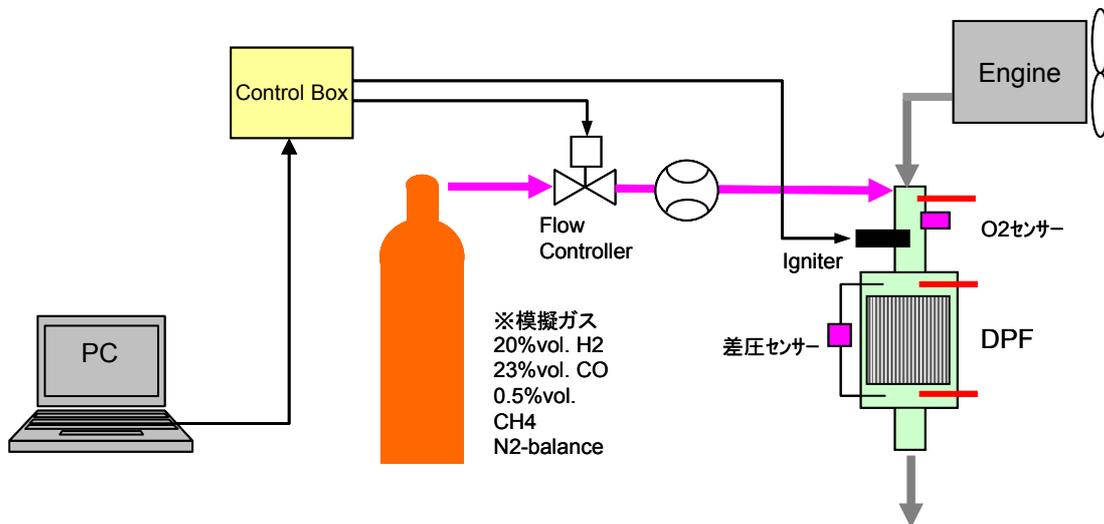


図4. 1-5 実験装置概要

DPFの重量は予め煤を電気炉で燃焼させ、コンディショニングを行った後計測しておき、中間速1680rpmの100%負荷で、約1時間運転し煤を捕集する。煤の捕集後再度コンディショニングを行い、煤堆積量を測定する。この状態からDPF再生テストに入る。DPF再生テスト後、コンディショニングし、DPF重量を測定することにより、再生率を得る。試験項目として、イグナイターを使って模擬ガスを着火・燃焼させる方法と、DPF前に酸化触媒を配置し酸化触媒によって燃焼させる方法でのテストを行った。燃焼ガスと排気ガスの混合が不十分となることが予想されるので、DPF後の温度を4箇所測定した。図4. 1-6に測定点を示す。

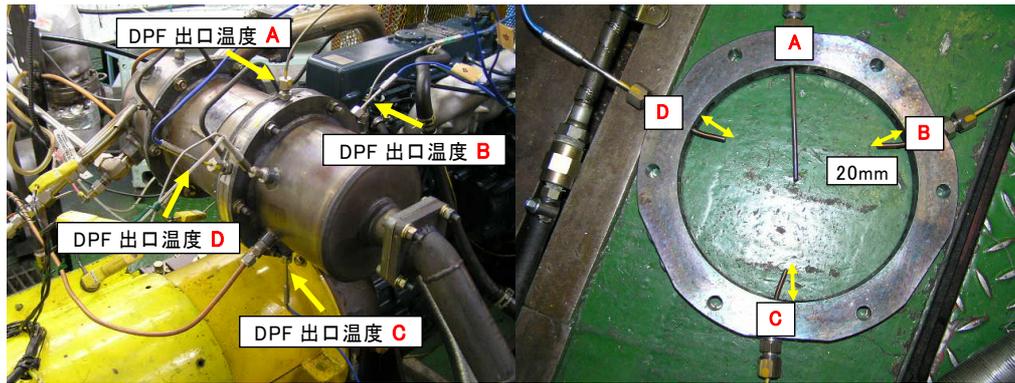


図4. 1-6 DPF 出口温度分布測定点

今回行った試験の条件を表4. 1-4に示す。

表4. 1-4 試験条件

テスト No.	エンジン回転数	負荷	模擬ガス流量	再生時間	燃焼方式
	rpm	%	L/min	Min	—
1	1 6 8 0	2 5	8 0 ~ 1 3 0	1 0	イグナイター
2	1 6 8 0	5 0	1 5 0 ~ 1 6 0	1 0	イグナイター
3	1 6 8 0	1 0 0	8 0	1 5	酸化触媒
4	1 6 8 0	2 5	~MAX 2 2 0	1 5	酸化触媒

#### (4) 再生テスト結果

##### ① テストNo. 1

図4. 1-7にテストNo. 1の測定データグラフを、再生テスト後のDPF表面の状態を図4. 1-9に示す。イグナイターに通電後15秒で模擬ガスを投入し、良好な着火を得たが、投入模擬ガス量の不足により、DPF入り口温度を十分に上げられず、500℃を超えたのは、10分の再生時間中2分程度のみであった。模擬ガス投入直後に若干のCOスリップが認められる。模擬ガス投入終了前後にもCOのレベルが上がっているが、これは煤の燃焼によって発生したものと考えられる。DPF差圧の低下は見られなかった。DPF外周より内側20mmの位置での出口温度に大きなばらつきが見られた。イグナイターは、着火性の観点より、円筒状のDPF前膨張室内に中心部から偏芯した位置に配置しており、このことが原因と考えられる。結果として、図4. 1-9に示すように、DPF内で着火・燃焼した模擬ガスが排気ガスと十分混合されない状態で、DPFに流れ込み、高温にさらされた箇所のみ、煤が燃焼した跡が見

られた。差圧データが示す通り、若干の DPF 重量増があり、再生率としては - 0.6 %であった。

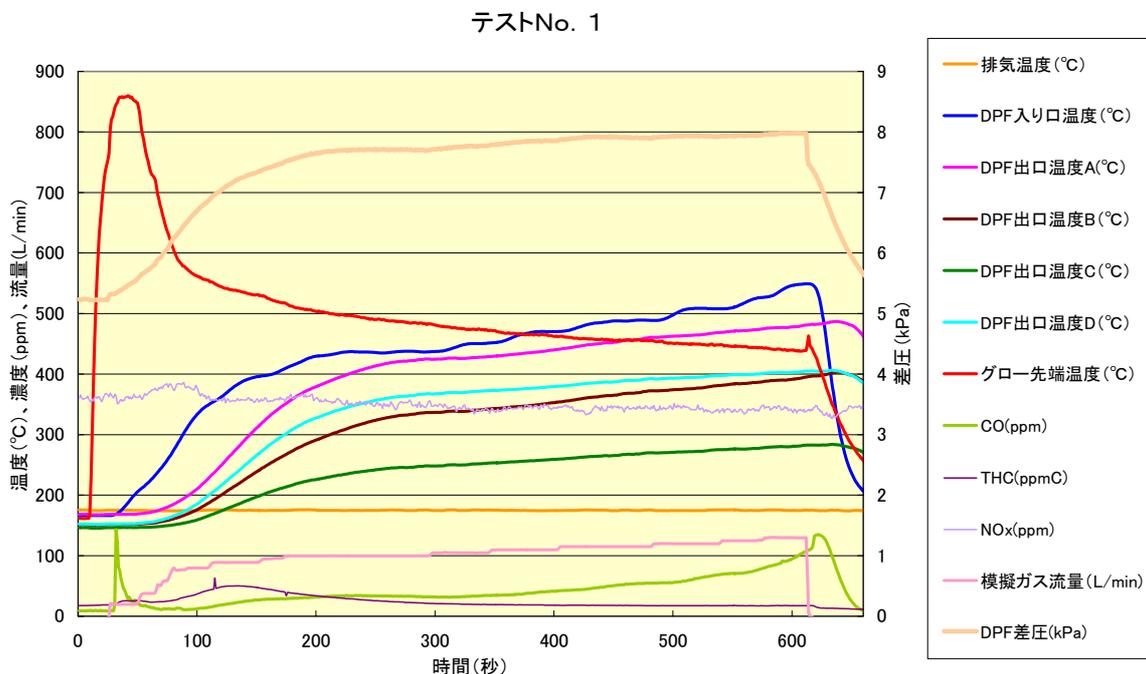


図 4. 1-7 テスト No. 1 測定データグラフ



図 4. 1-8

テスト No. 1、2 のガス導入位置

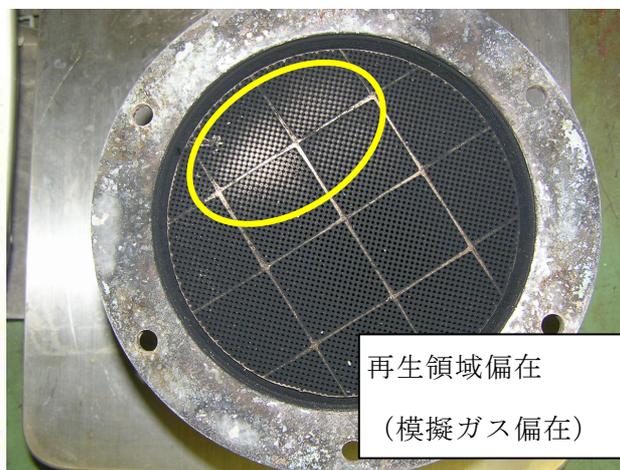


図 4. 1-9

テスト No. 1 再生テスト後 DPF

② テスト No. 2

図 4. 1-10 にテスト No. 2 の測定データグラフを、再生テスト後の DPF の表面状態を図 4. 1-11 に示す。テスト No. 1 と比べて、排気温度の高いエンジ

ン運転条件であり、又、模擬ガス投入量を増やしたこともあり、良好な着火の後、DPF前温度を630～650℃に維持することができた。しかしながら、模擬ガス投入場所、並びにイグナイター位置がテストNo. 1と同じであり、同様にDPF出口外周近傍の温度にばらつきが見られる。図4. 1-11に見られる通り、テストNo. 1と比較して、煤が燃焼した領域は拡大しているが、高温にさらされた部分しか再生できていない。DPF出口温度上昇と共にCO排出が増加している。これもテストNo. 1と同様、煤燃焼時に発生したものと考えられる。同時に、DPF差圧も低下しており、DPF再生率は21.6%であった。

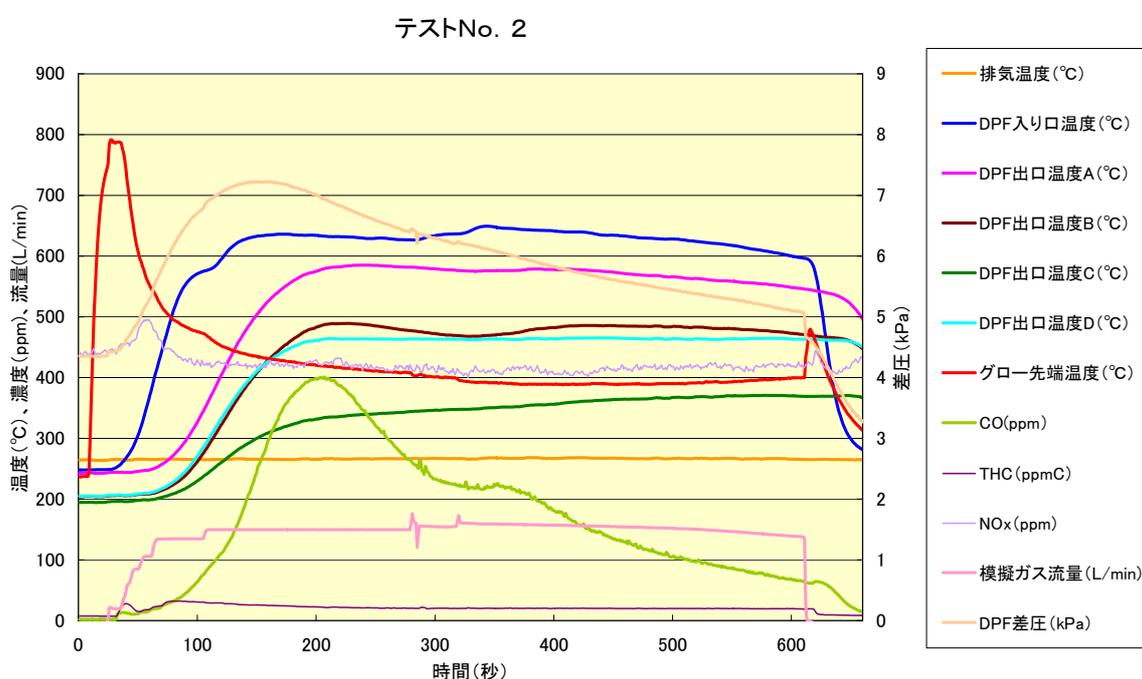


図4. 1-10 テストNo. 2測定データグラフ

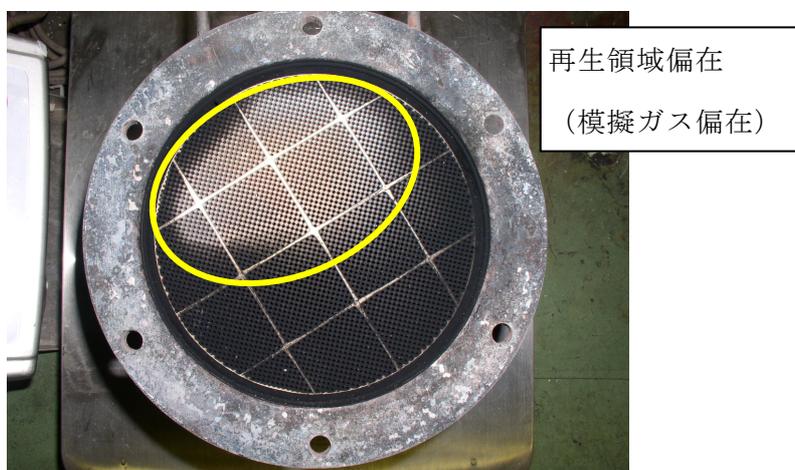


図4. 1-11 テストNo. 2 再生テスト後DPF

### ③ テスト No. 3

テスト No. 1、2 のイグナイター位置では、再生時の DPF 前の温度不均一が避けられないため、模擬ガス導入部をエンジン排気マニフォールドと DPF を繋ぐパイプ部に変更し、エンジン排気と十分に混合した後、DPF 前に設けた酸化触媒により混合ガスを燃焼させ、DPF 前温度を上昇させる方法を試みた。

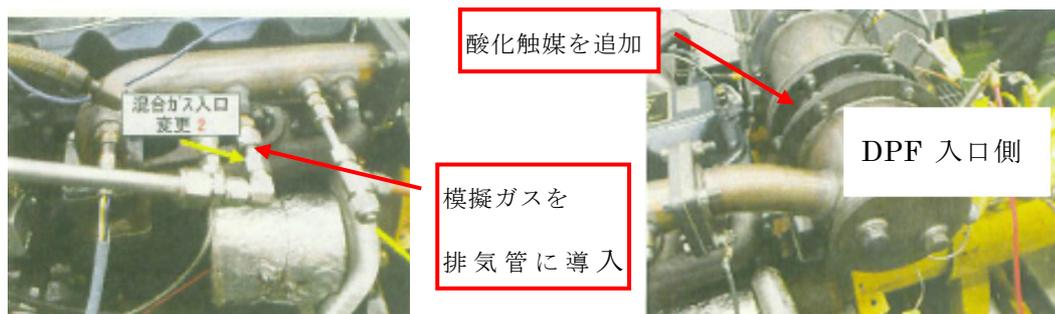


図 4. 1 - 1 2 パイプ部への取り付け

図 4. 1 - 1 3 酸化触媒と DPF

図 4. 1 - 1 4 にテスト No. 3 の測定データグラフを、再生テスト後の DPF の表面状態を図 4. 1 - 1 5 に示す。排気温度が高い運転条件でのテストであり、模擬ガス投入後直ちに DPF 前温度は上昇を始め、2 分前後で 640℃ に達した。イグナイターでの燃焼方式と異なり、HC のスリップが見られた。又、このテストでも煤燃焼による CO 発生が見られる。DPF 前温度が十分上がっていない状態にも CO の上昇が見られる。若干スリップしている可能性もあると思われる。DPF 後の外周近傍温度はほぼ均一となり、模擬ガスが排気ガスと十分混合された状態で、酸化触媒で燃焼しているものと思われる。図 4. 1 - 1 5 に見られるように、煤の燃焼も全体に広がっている。再生率は 47.6% であった。DPF 前温度を上げ、再生時間を長く取ることで、更に再生率を高くできる可能性があると思われる。

### テストNo. 3

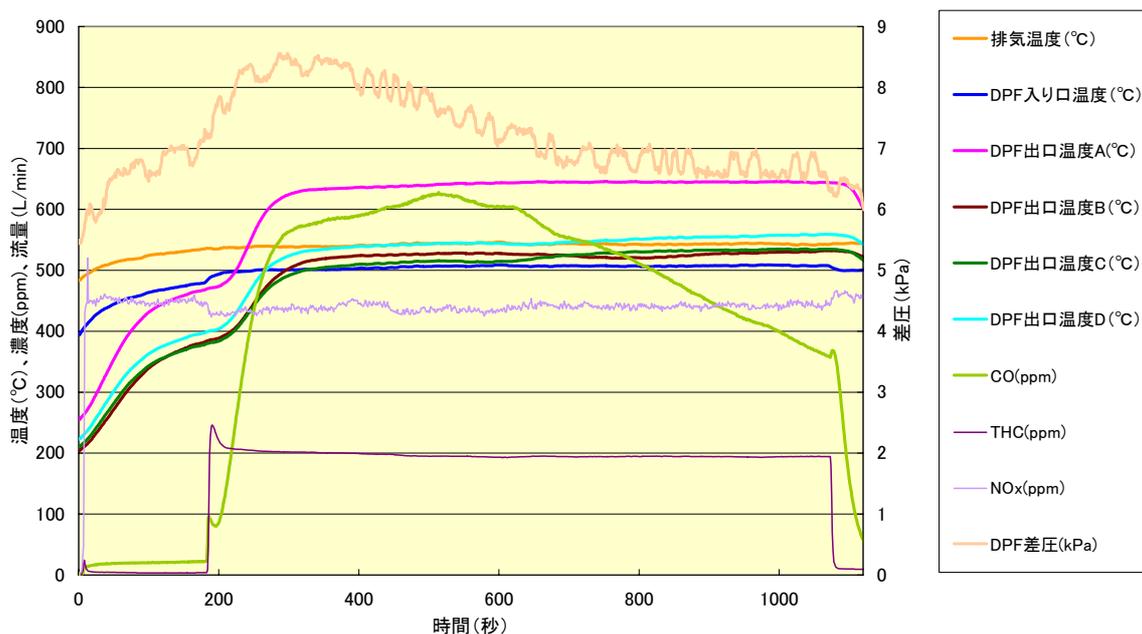


図4. 1-14 テスト No. 3 測定データグラフ

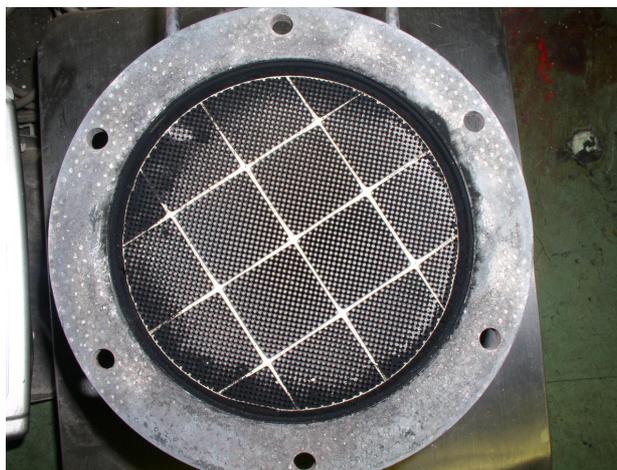


図4. 1-15 テスト No. 3 再生テスト後 DPF

#### ④ テスト No. 4

酸化触媒による燃焼方式を、排気温度の低い運転条件で試みた。図4. 1-16 にテスト No. 3 の測定データグラフを、再生テスト後の DPF の表面状態を図4. 1-17 に示す。この条件でも、酸化触媒による燃焼は可能であり、投入模擬ガス量を増やしていき、最終的に DPF 入り口温度 600℃まで上昇させることができた。しかしながら、酸化触媒の温度が上昇するまで CO スリップの量が多く、排気温度の低い条

件では、酸化触媒のみで燃焼させることには無理があると思われる。DPF 入り口温度が 500℃以上に達した状態で再度 CO の排出量が増加しているが、これまでのテストと同様に煤の燃焼により発生したものである。DPF 後の外周近傍温度はテスト No. 3 同様に、ほぼ均一となっており、図 4. 1-17 に見られるように煤の燃焼は全体に広がっているものの、燃焼時間が十分取れなかったことより、再生率は 6.2%であった。

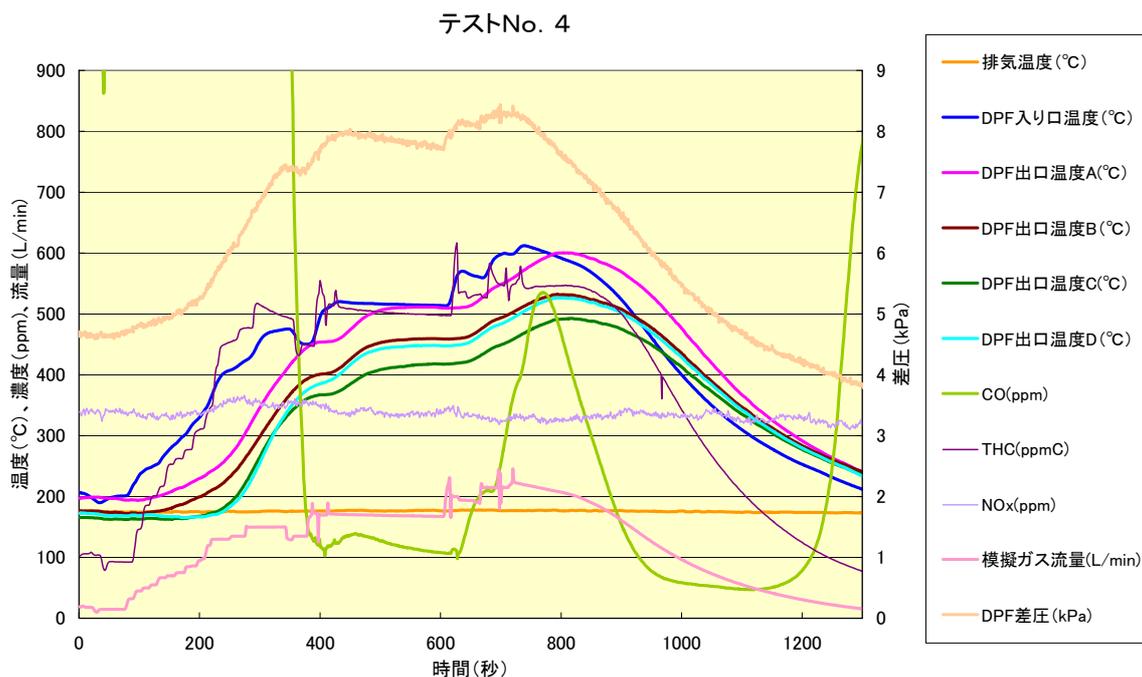


図 4. 1-16 テスト No. 4 測定データグラフ

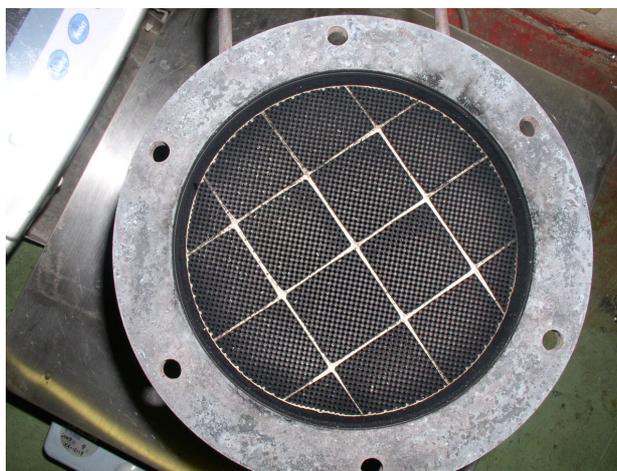


図 4. 1-17 テスト No. 4 再生テスト後 DPF

#### 4. 1. 3 まとめ

##### (1) 研究日程

平成18年度の研究日程を表4. 1-5に示す。

表4. 1-5 平成18年度研究日程表

実施項目	年月		H18					H19		
	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
基盤技術開発分科会・報告会	※ 第1回分科会 6/30				※ 第2回分科会 10/24		※ 中間報告会 12/18		※ 第3回分科会 2/15	※ 第4回分科会 3/14
試験エンジンの準備・調整		→								
エンジン排ガス計測					→ 10/2~10/5					
DPF・再生ガス燃焼装置試作						→				
DPF再生テスト								→ 12/26~1/17		

##### (2) 平成18年度の研究成果

- ①本年度の研究において、PM低減にはDPFの使用が効果的であることを確認した。
- ②今回のテストでのDPF再生率は実機使用にあたって不十分ではあるが、今後の改良により車載燃料を使用した再生補助装置でDPF再生を行うことは十分可能であると考える。
- ③低温時のCOスリップを避けるためには、再生ガスをイグナイターで着火・燃焼させる必要があり、酸化触媒での燃焼だけに頼ることができないことが分かった。
- ④煤燃焼によるCO生成を抑えるための方策が必要であることが分かった。
- ⑤触媒を担持しないDPFにおいて煤を燃焼させるためには、DPF入り口温度を650℃以上に維持する必要があり、その為に必要となる模擬ガス量を実機にて確認し、今後の再生補助装置の設計指針を得ることができた。
- ⑥本年度の研究は、DPF再生補助として再生ガスが有効であるかを確認できた段階であり、製品化としての可否判断は次年度の更なる研究結果を待つ。

##### (3) 次年度の課題

本方式の製品化にとっては、イグナイターの改良とコスト的、スペース的に現実的な再生補助装置開発が今後の重要な課題であり、次年度は以下の2点に重点を置いて推進する。

#### ① イグナイターの改良

本年度の研究では十分な DPF 再生率を達成できなかった。次年度には、10 分間の再生時間で再生率 70% を目指した改良を行う。改良の方法としては、DPF とエンジン排気マニフォールド間にイグナイターを設け、DPF までの距離を伸ばし、燃焼ガスと排気ガスの混合を促進する方向で考えている。又、必要となる再生ガスの量を低減する必要があることも分かったので、DPF に触媒担持する方向で進める。このことにより、煤燃焼時の CO を浄化すること、PM 中の SOF 分も燃焼させることができると考える。更には、吸気スロットルの検討も行い、再生ガス量の低減を図る。

#### ② 再生補助装置の開発

DPF 再生補助装置を試作し、エンジンベンチでの DPF 強制再生テストを行う。又、煤が溜まったことを検知し、自動的に DPF を強制再生させるシステムの検討・開発に着手する。開発にあたって、システム全体としてのコスト、作業機への搭載性を考慮しながら進めていく。

以上

## 4. 2 ヤンマー分科会

### 4. 2. 1 研究の目的

ディーゼル機関は、ガソリン機関と比較した場合、圧縮比が高く吸気損失が少ないため燃料消費率が低い。しかし、ディーゼル機関は、燃料噴射と自着火による層状燃焼である故に、局所的に高温となり、NO<sub>x</sub> の排出が多くなるとともに、噴霧内部に過濃燃焼領域があるため、PM（パーティキュレートマター：浮遊粒子状物質）が発生することが課題である<sup>(1)</sup>。しかし、1990年代後半より、ディーゼル車に対する排出ガス規制が強化され、特にPMについては、2003年10月より東京都を始めとする8都県市において、国の法規制よりさらに厳しい排出規制が開始され<sup>(2)</sup>、ディーゼル機関を搭載した車両は、PMを捕捉処理する装置DPF（ディーゼルパーティキュレートフィルタ）<sup>(3)</sup>を取り付けるなどの対策が必要となっている。さらに、現在環境省中央環境審議会の次期排出ガス目標や米国EPA欧州ECの提案している規制値案では、ガソリン機関とディーゼル機関がほとんど同等の規制値となっている。本研究で対象とする汎用ディーゼルエンジンにおいても同様に、排ガス規制が強化されてきており、PM低減のためのDPFなどの後処理装置の適用が検討されている、しかし、汎用エンジンは多くのアプリケーションに利用されており、多種多様な排気系を有している。そのため、車両用に比べて形状の異なる多種の後処理装置を開発せねばならず、非常にコスト高となる。

そこで本研究では、19kW以上56kW未満の小形汎用エンジンにおいて、DPFなどの高価な後処理装置を用いずに、エンジン燃焼改善・EGR・酸化触媒などで次期排ガス規制（Tier4 2012-）をクリアする技術の検討を行う。まず、現状エンジンの排ガスレベルを調査し、そこにNO<sub>x</sub>低減のためのEGR（排気ガス再循環）<sup>(4)</sup>を適用する。PMの低減を行うために、このEGRガス中に燃料の一部を噴射し、これをガス化<sup>(5)</sup>して吸気させる燃料改質吸気を検討する。さらに最も簡便な後処理装置であるDOC（ディーゼル酸化触媒）<sup>(6)</sup>を適用し、排気中未燃成分をカットすることで、PMの大幅な低減を狙う。

### 4. 2. 2 供試機関および試験装置

#### (1) 供試機関

本研究に供試したエンジンは、縦形直列水冷4サイクルディーゼル機関（図4. 2-1）で、小形建設機械・トラクタ・発電機セットなど多くの産業用機械に用いられている汎用ディーゼルエンジンである。出力などの諸元を表4. 2-1に示す。本エンジンは、過給

機を持たない自然吸気方式で、機械式噴射ポンプを有している。

表 4. 2 - 1 供試機関の諸元

エンジン型式	縦形直列水冷 4 サイクル機関
総排気量	3.32 L
気筒数×内径×行程	4×98mm×110mm
出力	51.1kW/2500rpm
燃料噴射方式	直接噴射式 機械式噴射ポンプ
過給方式	無過給

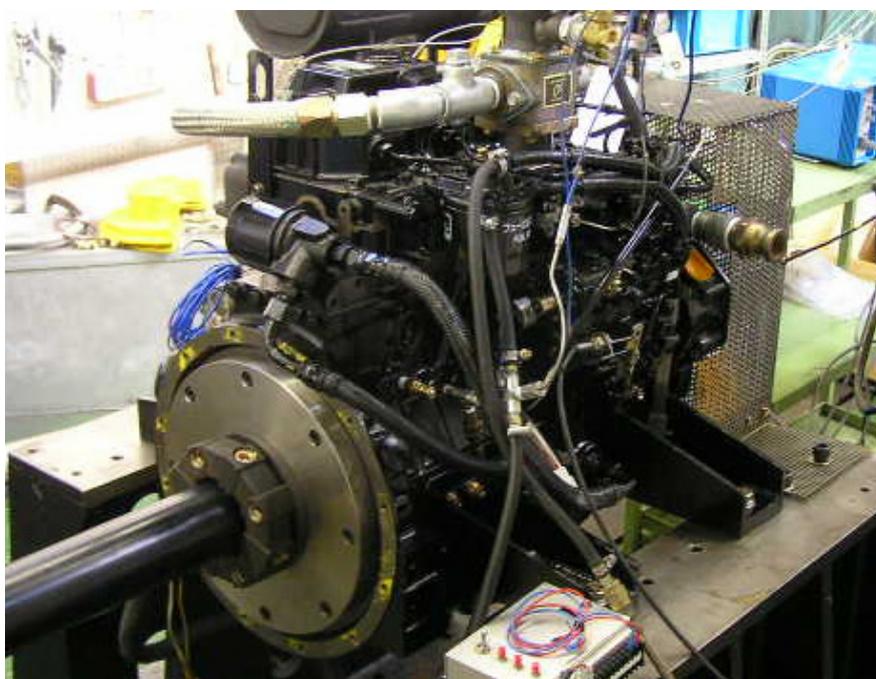


図 4. 2 - 1 供試機関の概観

## (2) 試験装置

本研究におけるエンジン性能試験は、株式会社 DRD にて実施した。エンジンの試験状況を図 4. 2 - 2 に示す。本研究では、従来の排ガス試験モードである C1 定常 8 モードに加えて、より実際のエンジン使用状況に合わせたトランジェントモードで試験を実施するために、エンジンを試験室床に直接固定し、かつ動力を吸収する動力計と完全に中心線を合わせる芯だし直付け方式でエンジンをマウントした。エンジンと動力計の接合にはセンターフレックスを用いた (図 4. 2 - 3)。その他の計測器は、DRD 所有の計測装置を使用した。



図4. 2-2 エンジン試験の概観

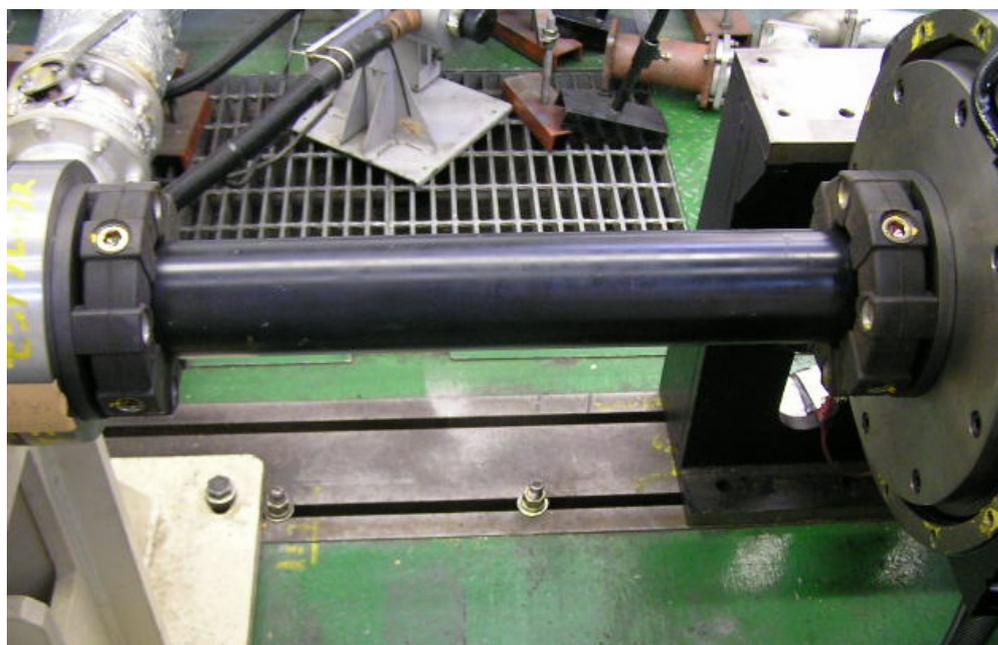


図4. 2-3 エンジンと動力計の締結の様子

### (3) 供試機関の改造点

現状性能調査では、量産されている Tier2 (EPA 2 次規制) 対応のエンジンをそのまま用いて試験を実施した。

EGR による低 NO<sub>x</sub> 化試験では、この後に実施予定の燃料部分改質の影響調査における水

素およびCOの生成量の予測結果をもとにEGRバルブを選定し、これをエンジンに組み付けた(図4.2-4)。このEGRバルブは、排気から循環させた排気ガスを、きのこ型の弁で量を制御するもので、試験を簡便に行うため、ステップモータ駆動として、さらに手動での制御が可能となるように、コントローラを搭載した(図4.2-5)。エンジン試験では、各エンジン回転数・負荷において、このコントローラを操作し、排ガス分析計を用いてEGR率を求め、これが一定になるようにコントローラを操作して性能試験を実施した。



図4.2-4 EGRバルブの概観



図4.3-5 EGRコントローラ

燃料改質吸気の試験では、予め EGR ガスに燃料の一部を噴射して改質ガスを生成した際のこの発生量をシミュレーションで検討し、この流量が十分に供給できるように、EGR バルブ装置に改造を施した（図 4. 2-6）。改質ガスである水素と CO の量は、EGR バルブ近傍に設置された流量制御バルブを使って制御した。流量は、水素・CO 供給ライン上流に設けられたガス流量計を用いてモニターを行った（図 4. 2-7）

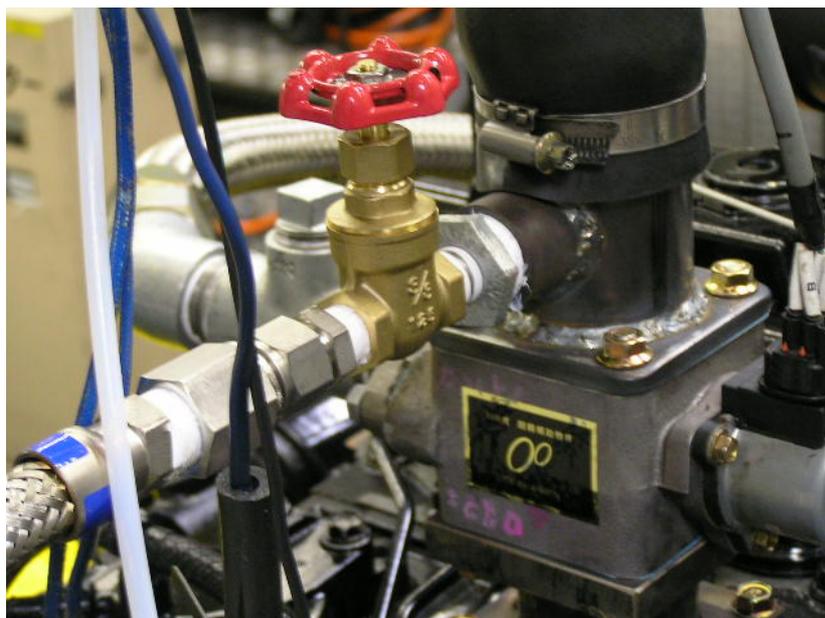


図 4. 2-6 改質ガス流量制御用バルブ



図 4. 2-7 改質ガス量流量計モニター用設置状況

#### 4. 2. 3 現状性能の調査結果

排気規制対応の燃焼改善を実施するに当たって、まず、現状のエンジン性能を調査した。現状性能の調査では、先に述べたように、定常試験モードである 8 モード (C1) と実際の使用状況を模擬したトランジェントモード (NRTC) の両者で試験を行い、その性能差についても検討を行った。

図 4. 2-8 に、供試エンジンの最大トルク特性を示す。新しいエンジンは、一般に数時間のならし運転の間に性能が変化する。本研究で用いたエンジンは、工場出荷されたままのエンジンであったため、1 日程度のならし運転を実施した。図中の 2 つの線は、慣らし運転直後と、その後の性能試験の後の性能を比較しており、両者に大きい性能差がないことから、ならし運転は十分であったことが分かる。なお、この結果をもとに、テストモードの負荷および回転数を割り出した。

表 4. 2-2 に定常・トランジェントモードでの排ガス性能・PM 性能および PM 中の SOF 分 (未燃の燃料分でディーゼル酸化触媒にて除去が可能) の割合を示す。また、図 4. 2-9 に、NO<sub>x</sub> と PM の関係 (一般的な規制対応を表す表現) を示す。NO<sub>x</sub> は 5.5g/kWh 程度で、次期規制値である 4.7g/kWh に到達していないが、現行の Tier2 規制を十分に満足している。この数値に対して、後の EGR による低 NO<sub>x</sub> 化が加われば、十分に NO<sub>x</sub> の規制対応は可能であると判断できる。一方 PM については、次期規制が 0.013g/kWh と極めて低い数値であるため、現状ではその 10 倍程度の数値となっている。PM の大幅な低減が最大の課題であることが明らかとなった。

定常 C1 モードとトランジェントモード (NRTC) では、PM で若干 NRTC の方が高い結果となっているが、その差は非常に小さく、定常モードで規制をクリアできれば、十分であるということが分かった。

表 4. 2-2 現状性能の調査結果

		CO	HC	NO <sub>x</sub>	PM	SOF 割合
		g /kWh	g /kWh	g /kWh	g /kWh	%
C1 モード (シングル)	マイクロ トンネル	1.134	0.134	5.515	0.167	26.1
NRTC モード (シングル)	マイクロ トンネル	1.868	0.492	5.456	0.183	38.5

### Engine Performance Graph

[FULL10] Unit(SI) AtmAdjust(ON) SmkAdjust(Minus-OFF) Interpolation(LINEAR) GasAdjust(THIAS)

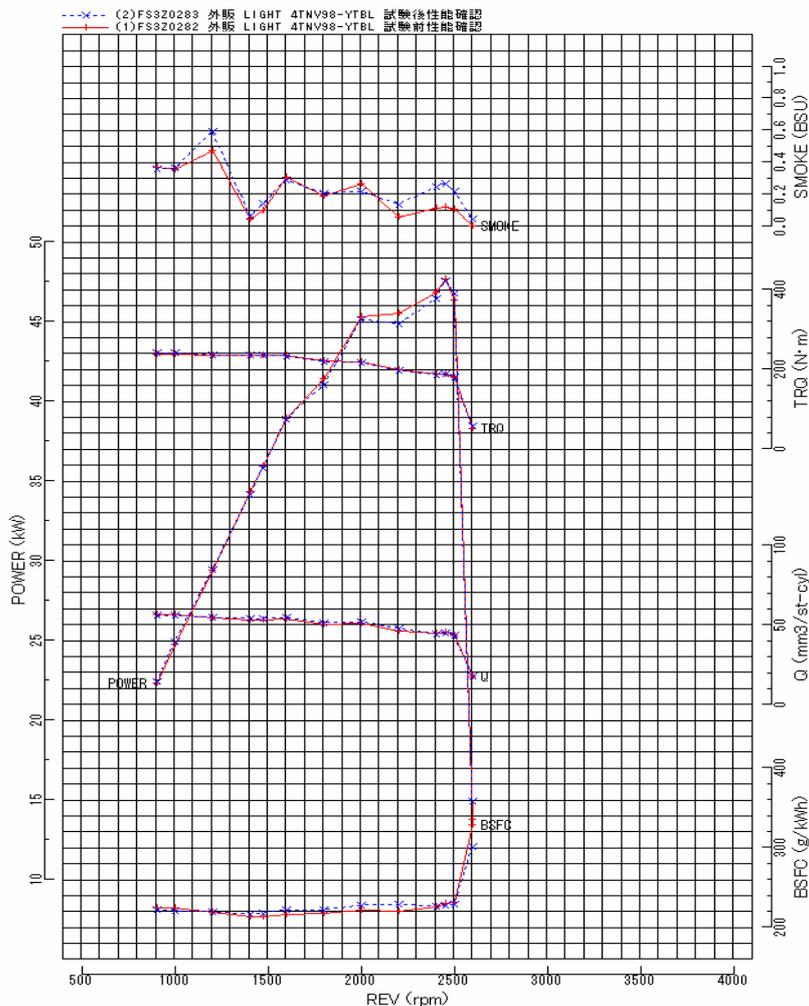


図4. 2-8 現状性能調査前後の最大トルク特性

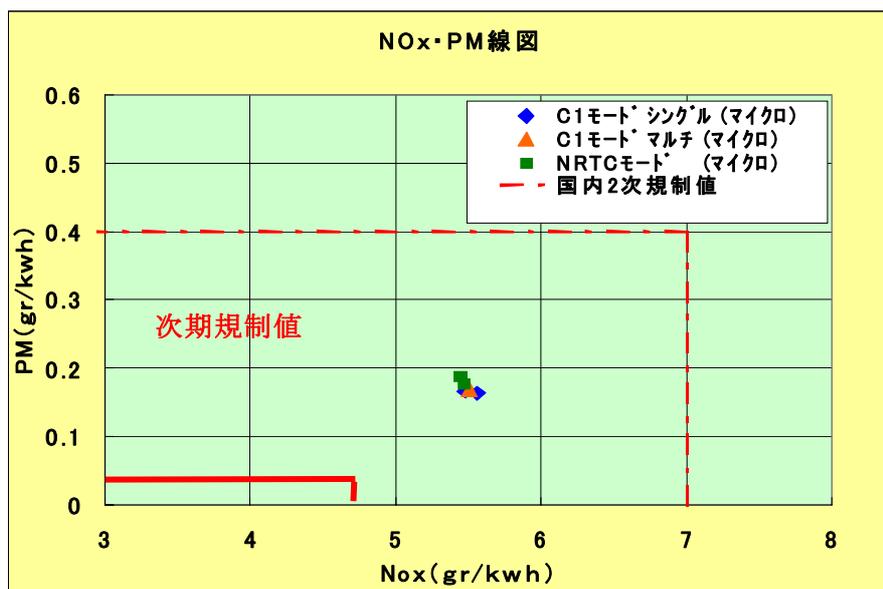


図4. 2-9 現状でのNO<sub>x</sub>とPMの関係

図4. 2-10に、定常8モードの各モードにおけるPM中のSOF成分の状況を示す。高負荷である1モードおよび5モードでは、ほとんどがすす（固体分）でありSOFが少ないが、それ以外のモードではかなりの量のSOFが検出された。SOFは高温の排ガス中では気体であり、これがPM計測の際の冷却によって液化し検出される。そのため、ディーゼル酸化触媒を設置することで除去することが可能である。表4. 2-2にあるように、概ね30%程度のSOF分が含まれることから、PMを3割程度削減することが可能と予測される。

PM総量のモード毎に分布を見ると、1モードおよび5モードが突出している。これは、負荷が高くなるにつれて燃料噴射量が増大し、無過給であるこのエンジンでは、次第に酸素が欠乏していくことに起因している。本章の冒頭でも述べたように、ディーゼル燃焼は、圧縮した空気に燃料を直接噴射し、混合蒸発しながら燃焼する層状燃焼であることから、必ず使いきれない酸素が存在する。このことにより、排気中に残存酸素が検出される状態でも、局所的に酸欠状態になっていると考えられる。よって、これら高出力の2つのモードのPMを大幅に削減するためには、この使っていない酸素を有効活用することが必要である。本研究の主たる低エミッション手段であるEGRガスへの改質ガスの供給は、燃料の一部を可燃気体に変換して、吸気で十分に混合するため、この残存酸素の利用を大きく促進することが可能であることから、これら2つのモードのPM改善が期待できる。

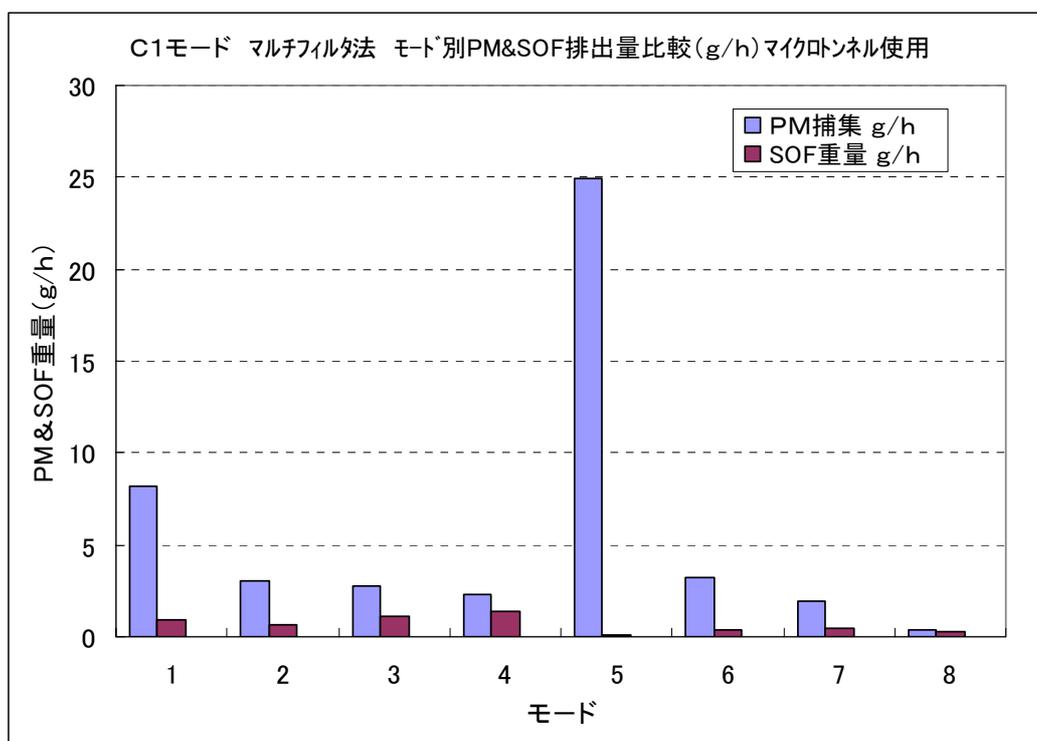


図4. 2-10 各モードのPMおよびSOF分の結果

#### 4. 2. 4 外部 EGR による低 NO<sub>x</sub> 化

EGR は、排気ガスの一部を吸気に還元させることにより NO<sub>x</sub> を低減する方法で、ガソリンエンジンや最近の乗用車用ディーゼルエンジンで多く用いられている。排気ガス中には燃焼で生成した CO<sub>2</sub> (二酸化炭素) と H<sub>2</sub>O (水蒸気) が含まれている。これらは、空気と比べて比熱が大きい。そのため、燃焼によって発生する熱が同等であれば、温度が上がりにくい性質がある。つまり、排気ガスの一部を吸気に還元すれば、燃焼温度が下がり NO<sub>x</sub> が低減される。しかし、大量に EGR をかけると、酸欠状態となり、Smoke が悪化するため、負荷が高くなるほど EGR の許容量は少なくなる。表 4. 2-3 に、今回の EGR を持ちいた性能試験における EGR 量の変更状況を示す。モード 1 と 5 では、ほとんど EGR がかけられないため、最大 5%としている。

図 4. 2-1 1 に EGR 使用時の NO<sub>x</sub> と PM の関係を示す。前項で報告した現状性能と比べて大幅に NO<sub>x</sub> が低減している。しかし同時に PM は悪化しており、目標である NO<sub>x</sub>=4.7g/kWh では概ね 0.19g/kWh と規制値の 6 倍となっている。

モード毎の NO<sub>x</sub>・PM の排出レベルを見ると (図 4. 2-1 2)、やはり EGR を多く使用できる低負荷モードでの NO<sub>x</sub> 低減が顕著であり、これらのモードでは PM の悪化は大きくない。一方 1 モードと 5 モードでは、僅か(10%)の EGR をかけただけで PM が大きく悪化しており、NO<sub>x</sub> の低減余裕が小さいことが分かる。これら酸欠状態になりやすいモードに対しては、次項で述べる EGR ガス中に気体燃料を混合する方法が有効であると考えられる。

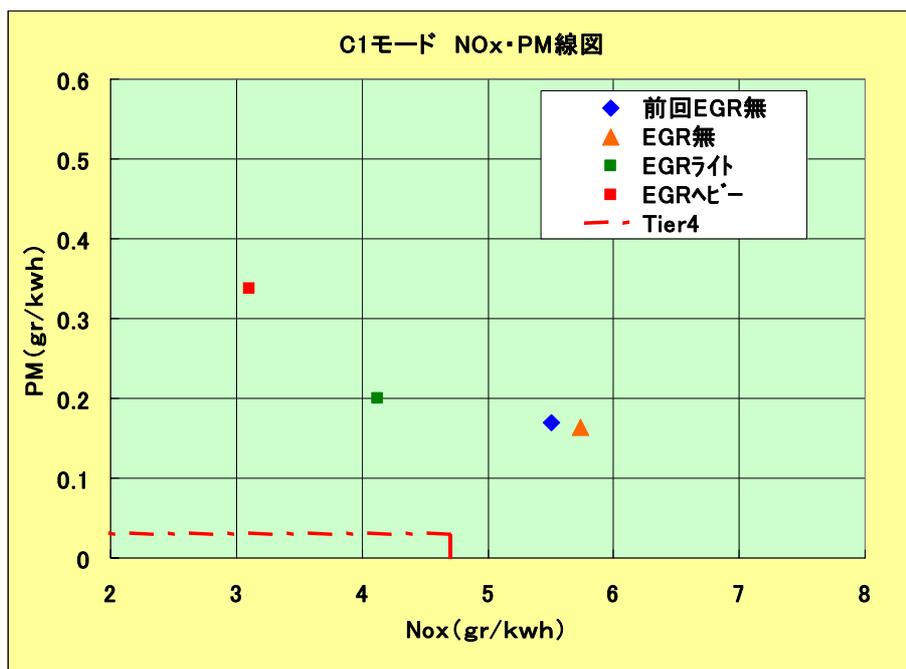


図 4. 2-1 1 EGR による低 NO<sub>x</sub> 化の結果

表 4. 2-3 各モードでの EGR 率の設定状況

モード	1	2	3	4	5	6	7	8
EGR 率 (%)	0, 5	0, 10, 20	0, 10, 20	0, 20	0, 10	0, 10, 20	0, 20	0, 20

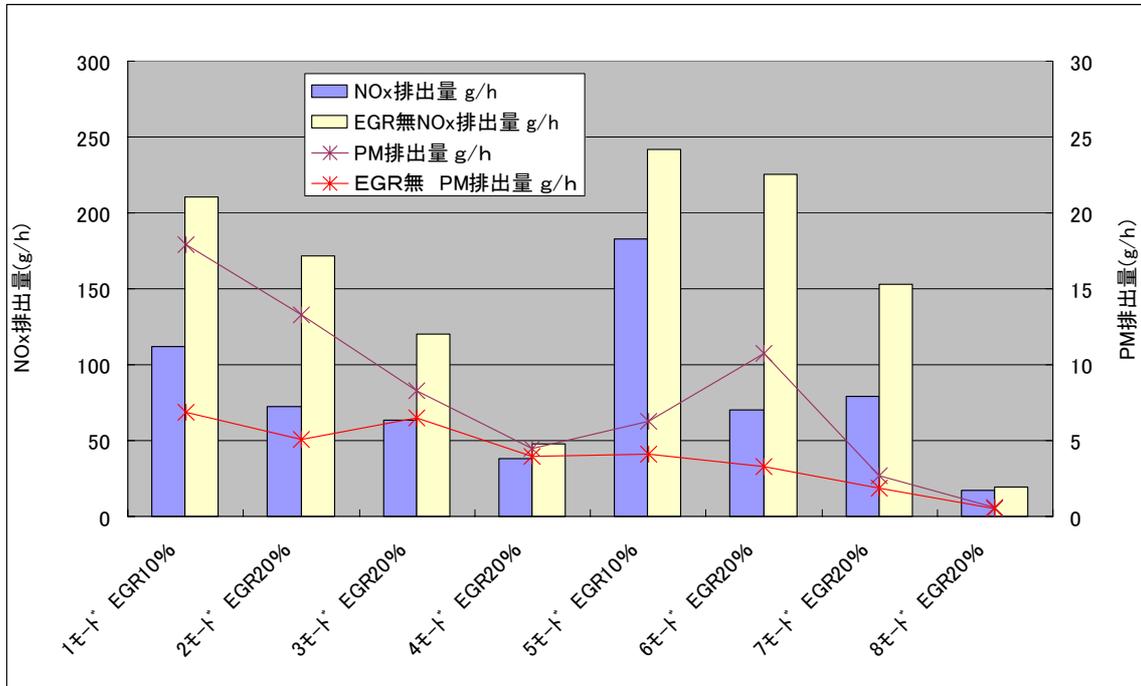


図 4. 2-1 2 各モード PM・NOx の EGR による低減状況

#### 4. 2. 5 燃料改質による低エミッション効果の検討

前項の試験結果より、EGR によって NOx 低減が可能であるが、PM の悪化を招くことから、高負荷モード(1, 5)で多くの EGR を用いることはできない。また、PM の多くはこの 2 つのモードで排出されておりかつ SOF 分が少ないことから、PM 低減にはこれらのモードで smoke を低減しなければならない。先にも述べたように、高負荷時には、局所的に酸欠状態になって smoke が発生しているため、酸素の有効利用を図らなければならない。近年の自動車用ディーゼルエンジンで用いられている高圧噴射は、燃料を高圧で噴射することによって、空気と燃料蒸気の混合を促進・つまり酸素の利用率を向上させているが、本研究では、自動車用で用いられているような高価なデバイスを用いない低エミッション化が主目的であるため、コモンレールシステムに代表される高圧噴射デバイスは採用できない。

空気中の酸素をより効率良く利用するためには、ガソリンエンジンのように、予め空気と燃料を混合しておけば良いが、ディーゼル燃料は蒸発しにくく、混合は不可能である。そこで、本研究では、EGR ガス中に一部の燃料を供給し、これを蒸発させるとともに触媒

で改質分解して、水素とCOガスにすることで、吸気との混合を図り、酸素利用率向上による smoke 低減を提案している（図4. 2-13）。

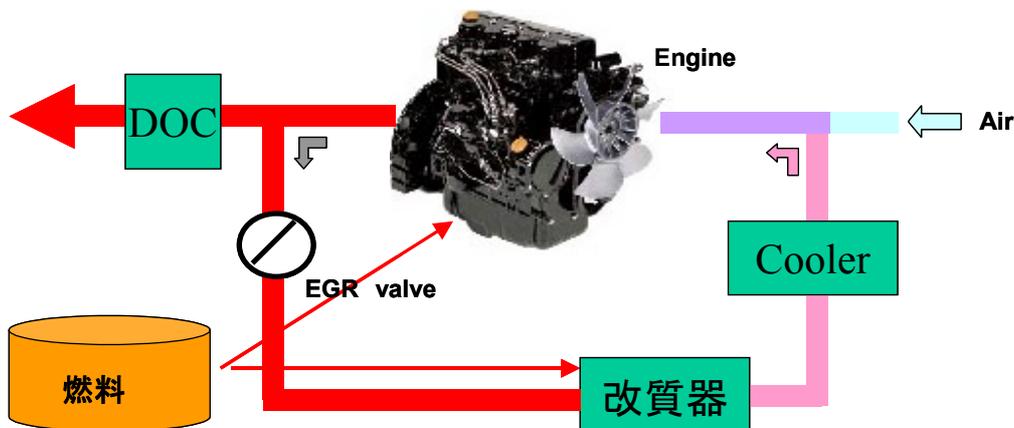


図4. 2-13 改質ガス吸気システムの最終形（酸化触媒付）

改質器は当初 Catalytica 社製の装置を導入する予定であったが、平成 18 年 11 月に Catalytica 社が EATON に買収され、本年度に供給が不可能となったため、図4. 2-6 に示すように、改質器で生成されるガスをシミュレーションで予め予測し、そのガスを別途エンジンに供給することで、模擬した試験を実施した。図4. 2-14に改質ガス相当の水素・CO それぞれ 50%の濃度に調整されたガスを、比較的高負荷の第2モードで投入した際の結果を示す。EGR の最大量の 20%においてガスをそれぞれ EGR ガスに対して 5, 10%投入

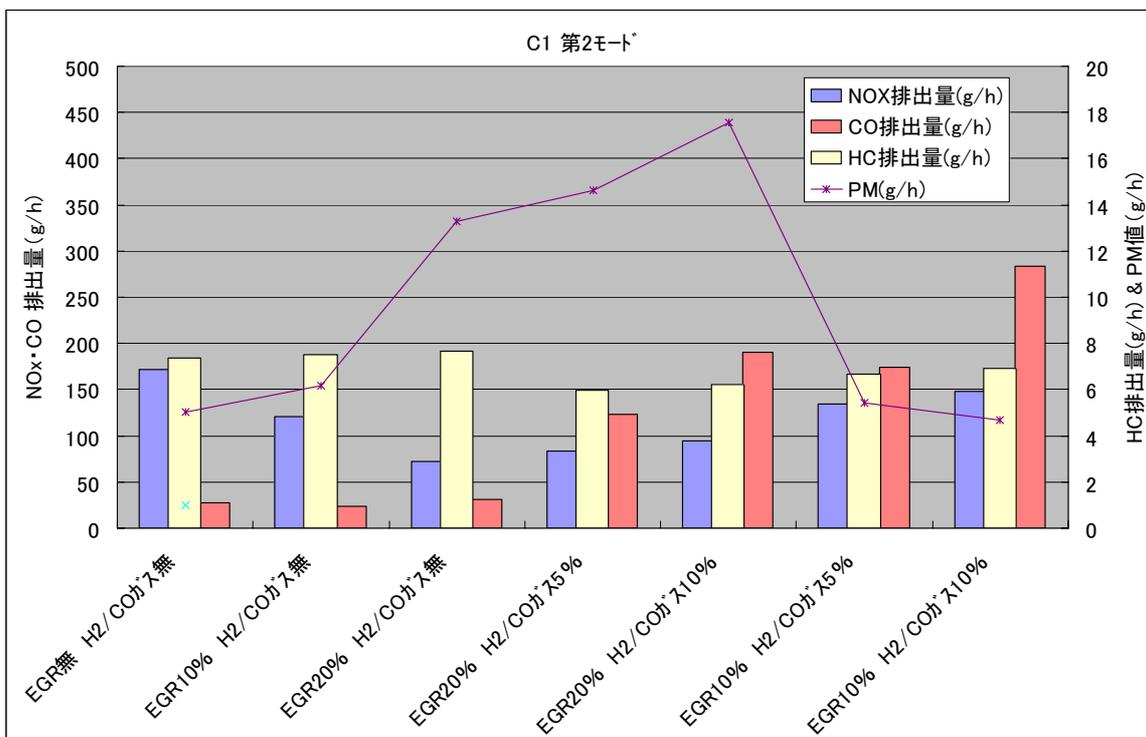


図4. 2-14 改質ガスによる効果

した場合には、PM・COともに悪化しているが、EGR10%に対して投入を行った場合には、COは悪化しているものの、PMは2割程度低減している。これは、EGR20%には残存酸素が少なく、改質ガス相当の投入ガスによって、本来なら吸気される新気が減ってしまったことが影響していると考えられる。また、NOxが増大している点から、可燃ガスの投入によって燃焼そのものが進角して、smokeの悪化を更に増大させている可能性がある。今後、噴射時期の最適化や、ガス投入方法を新気に影響を与えない方法に改良することにより、全域でEGR率10%時に得られたPM低減効果を得られるよう分析を行い、次年度に試験を実施する。

#### 4. 2. 6 平成18年度研究結果のまとめと今後の予定

平成18年度の研究により、EGRを用いることでNOx規制値の達成が可能であることが明らかとなったが、PMの目標値には大きな隔りがある。今年度試みた燃料の一部を改質させる方法では、特定のモードで2割程度のPM削減が可能であることが分かった。今後、改質ガスの投入量に合わせて、燃料噴射時期の最適化などを行い、全域で更なるPM低減を図るとともに、酸化触媒を搭載することによってPM中のSOF分を削減し、PM目標値の達成を図る。

#### 参考文献

- 1) 鈴木, 自動車排気健康影響はどのように評価するのか?, 自動車技術会誌特集, 58-7, (2004), 47-51. 中西; 環境リスク管理と予防原則、学会会報 No. 855
- 2) <http://www2.kankyo.metro.tokyo.jp/jidousya/diesel/regulation.htm>.
- 3) Qiugley, M., Seguelong, T., Series Application of a Diesel Particulate Filter with a Ceria-based Fuel-Borne Catalyst : Preliminary Conclusions after One Year of Service, SAE Paper 2002-01-0436
- 4) 塩崎ら, 直噴ディーゼルエンジンのEGRが性能及び排ガスに与える影響, 自動車技術会論文集, No. 46-906067, (1990)
- 5) Nickolas, S., Engine Tests of an Active Diesel Particulate Filter Regeneration System, SAE Paper 2006-01-1424

#### 4. 3 三菱重工業分科会

本節では三菱重工にて実施した研究結果について説明する。本年度の研究では、Tier 3 規制対応エンジンのNRTCモード排ガス値をベースに、後処理装置として酸化触媒を試作し、DPF無しで、どこまでPM低減可能かを探った。

##### 4. 3. 1 研究開発の実施事項

ここでは本年度研究で実施した事項について説明する。

###### (1) C1 およびNRTCモード評価結果

Tier4 規制では、定常運転で計測するC1モードに加えて、過渡運転によるNRTCモードが導入される。そこで、本研究ではC1モードとNRTCモードの比較評価を実施した。

###### (2) エンジン仕様とNOx, PMの関係把握

エンジン仕様として、燃料噴射時期、内部EGRの量、過給機タービンハウジングのサイズの3つを変化させた場合のNOx, PMの関係について把握した。

###### (3) 酸化触媒によるPM低減試験

排気後処理装置として、酸化触媒を適用し、PM低減に関する評価を実施した。

##### 4. 3. 2 研究開発の方法

ここでは研究開発に用いた装置や試験方法、試験条件について説明する。

###### (1) 供試エンジン

供試エンジンは、小型建設機械用ディーゼルエンジンで、EPA Tier 3 規制に対応した仕様である。主要諸元を表4. 3-1に、エンジン外観を図4. 3-1に示す。

表4. 3-1 供試エンジンの主要諸元

項目	単位	仕様
気筒数		4
ボア×ストローク	mm	φ94×120
排気量	L	3.331
燃焼方式		直接噴射式
EGR		内部EGR式
燃料噴射ポンプ		VE型(タイマー付き)
過給		ターボ付き
インタークーラー		なし
定格出力	kW/rpm	55/2500
対応排ガス規制		EPA Tier3

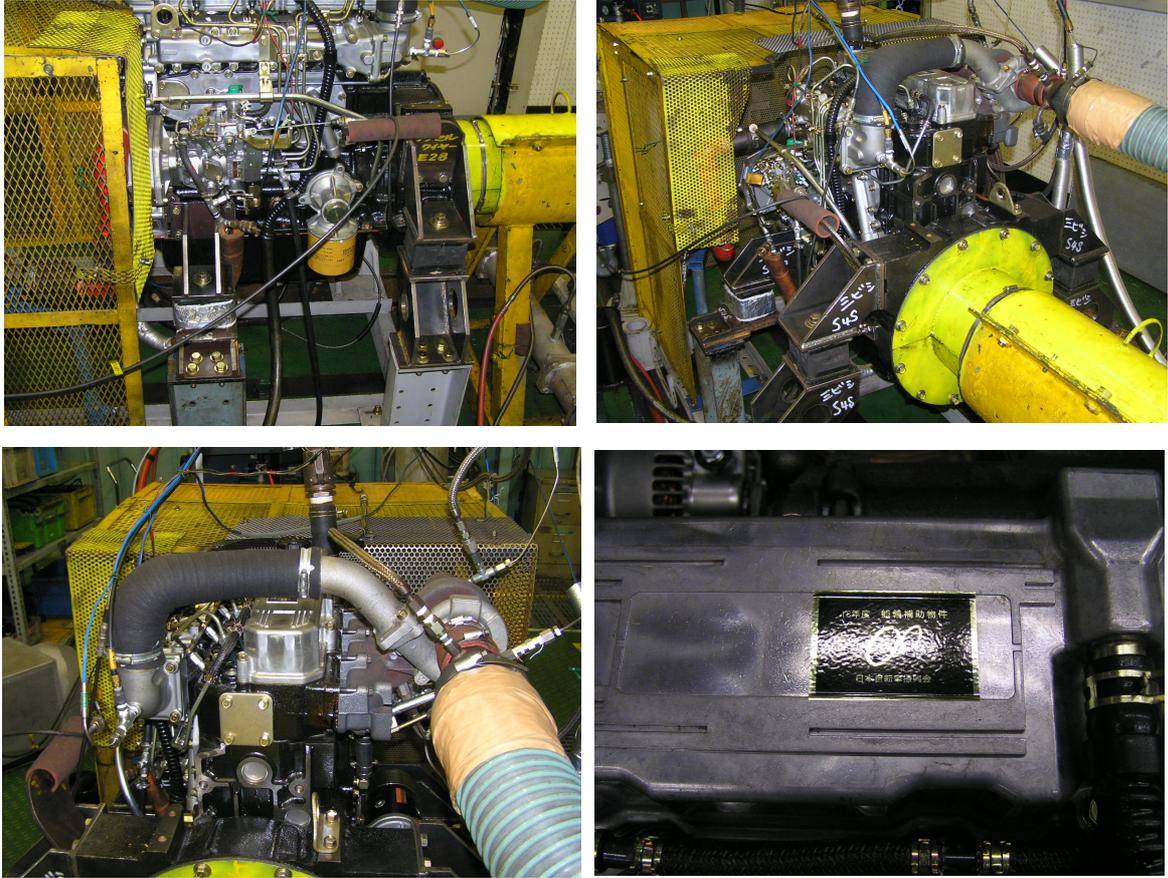


図 4. 3 - 1 エンジン外観

(2) 供試酸化触媒

本研究で用いた酸化触媒の仕様について表 4. 3 - 2 に、外観を図 4. 3 - 2 に示す。

表 4. 3 - 2 供試酸化触媒の仕様

名称	部番	触媒種	容量	貴金属量
DOC#1	85030	A	小	小
DOC#2	85040	A	大	小
DOC#3	85060	A	大	大
DOC#4	85080	B	大	大



図 4. 3 - 2 酸化触媒外観

(3) 運転計測装置

本研究で用いた運転装置、計測装置の仕様について表4.3-3に、外観図を図4.3-3～7に示す。

表4.3-3 運転計測装置の諸元

No.	設備名称	型式・仕様	メーカー
1	エンジン台上運転装置 1)操作盤 2)モード運転装置 3)動力計	F-6245 FAMS8000 EC-80 ECDY PTW-DAD 220kW アシストモーター付き	小野測器 明電舎 小野測器
2	排気ガス分析計	排ガス分析計 MEXA-9100DEGR 分割器 GDC-703 ①THC HFID レンジ 0-10~5000ppmC ②CO NDIR レンジ 0-1000~3000ppm ③NOX H. CLD レンジ 0-10~5000ppm ④CO2 NDIR レンジ 0-8%、16% レンジ 0-0.1~1.6%	堀場製作所 堀場製作所
3	マイクロトンネル	①マイクロトンネル本体 MDLT-1300T ・マイクロトンネル 径Φ35.7mm、長さL=825mm ③DLS本体 ・D. SAMPLE流量 65~130L/min ⑤PMサンプルフィルタ 径Φ70mm TX40H/20-WW	堀場製作所 東京ダイレック
4	燃費計	表示部 DF2410 センサ部 FP-2140H 0.3-200L/Hr	小野測器
5	超音波式空気流量計	検出器 GFM-700 ~1340m <sup>3</sup> /h 表示部 FR3100	東京計装 小野測器
6	スモークメータ	GSM-3DS	司測研
7	ウエイングチャンバ	PWS-80NF-YS	東京ダイレック
8	PM重量測定天秤	SE2-F 最大秤量 2.1g 読み取り限度 0.1μg	ザルトリウス
9	オパシメータ	AVL 4390 G004	AVL

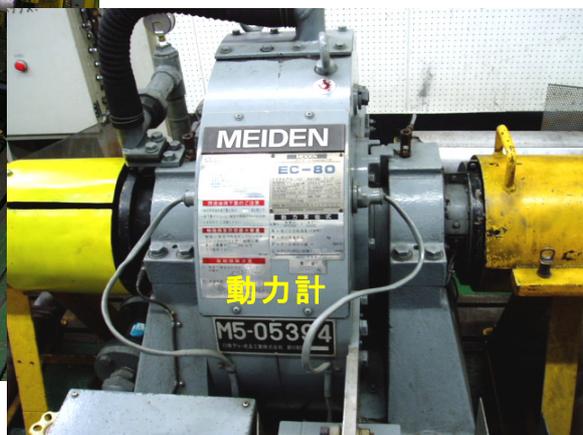


図 4. 3 - 3 エンジン台上運転装置



図 4. 3 - 4 排ガス分析計



図 4. 3 - 5 マイクロトンネル



図 4. 3 - 6 超音波流量計



図 4. 3 - 7 オパシメータ

(4) 運転方法

NRTC 運転の方法について図 4. 3 - 8 に示す。今回の試験では暖気後の運転計測のみとし、コールドスタートの試験は実施しなかった。

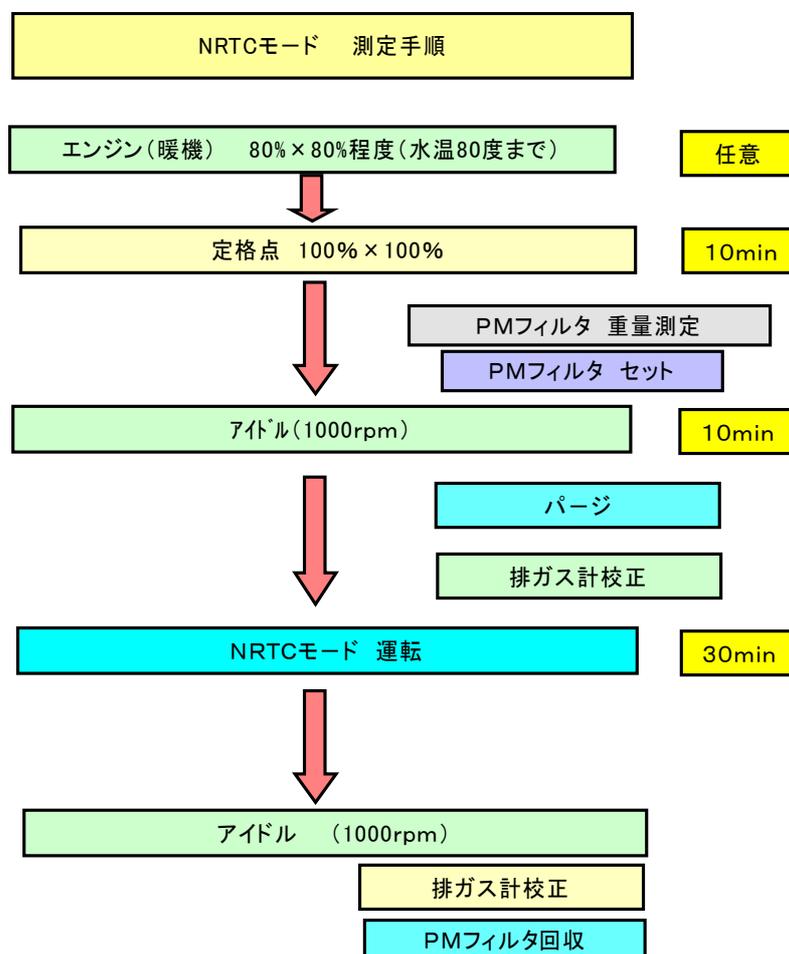


図 4. 3 - 8 NRTC 運転の手順

#### 4. 3. 3 研究開発の結果と解析

ここでは、試験結果について説明し考察する。

##### (1) C1 および NRTC モード評価結果

基準仕様に対して、燃料噴射時期を 3° 進角および 3° 遅角した場合、過給機のタービンハウジングを拡大および縮小した場合、内部 EGR カムによる EGR 量を減らした場合とゼロにした場合の合計 7 仕様について、C1 および NRTC モード運転を行い、排ガスの比較を行った。試験結果を図 4. 3-9 に示す。

図 4. 3-9 の結果より以下のことが解る。

- ・ NOx と PM については大きな差は無い。
- ・ HC, CO は 20~80%程度 NRTC モードの排ガス値が大きい。これは過渡時に過給機回転上昇が追いつかず、空気不足を生じているためと予測される。

NOx, PM に大きな違いが無かったことから、これより後は NRTC モードでの試験結果のみで議論を行う。

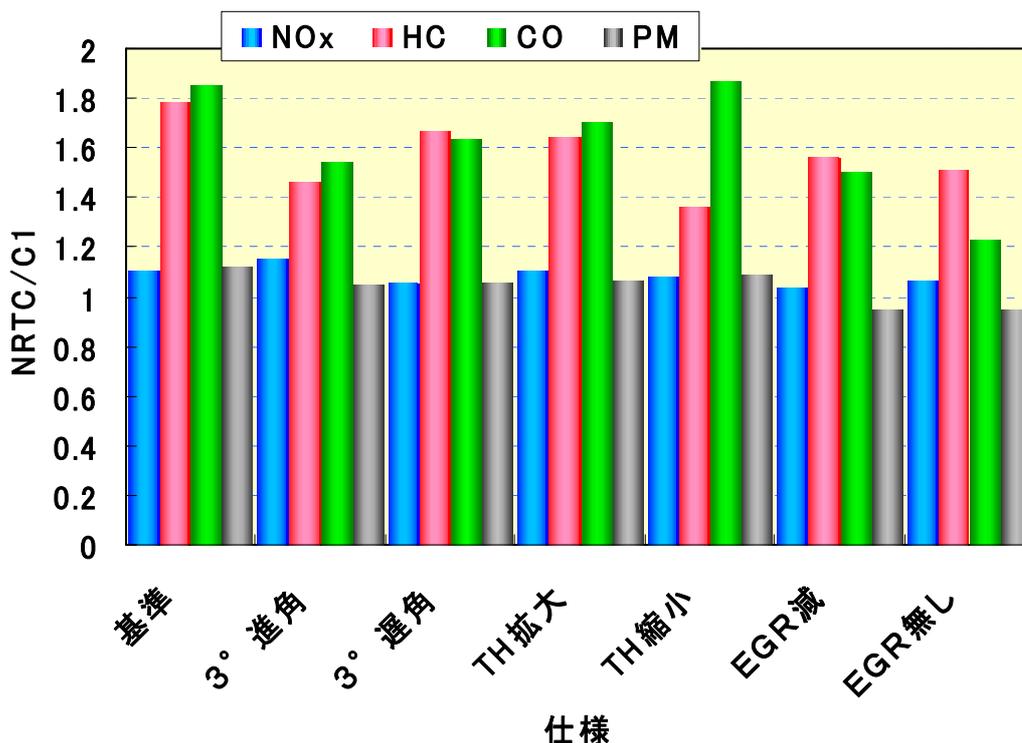


図 4. 3-9 NRTCモードおよびC1モードの排ガス比較

(2) エンジン仕様と NOx, PM の関係把握

次に、表 4. 3-4 に示すようにエンジン仕様を変化させた場合の排ガス性能について評価を行った。NRTC モードでの排ガス計測結果について図 4. 3-10 に示す。

図 4. 3-10 の結果より以下のことが解る。

・燃料噴射時期の影響

噴射時期を遅らせると NOx が低減するのは、筒内ガス温度が低下することによる一般的な傾向であるが、本エンジンでは、PM も低減する傾向にある。

・過給機タービンハウジング面積の影響

タービンハウジングを基準仕様から縮小すると、排ガス流量が増大するため NOx が増大する。また空気量が増大するために PM は低減する。基準仕様から拡大した場合は、逆の傾向となるが、その変化代は相対的に見て小さい。

・EGR 量の影響

EGR 量を減少させると、NOx は増大するが、PM は大きく低減する。従って噴射時期遅延と EGR 減の組み合わせで、NOx 同等で PM を低減出来る可能性がある。

本年度の研究では PM 低減のために酸化触媒の適用を検討している。酸化触媒は PM 中の SOF 分を酸化することが可能であるが、さすが主成分の INSOL の浄化能力は低いことが知られている。そこで、今回の試験結果について PM 中の SOF 割合の計測を実施した。SOF 割合計測結果について図 4. 3-11 に示す。基準仕様の SOF 割合は 10%以下と低く、酸化触媒による PM 低減効果が期待できないことが解る。そこで、EGR 減仕様をもとに、燃料噴射時期を大幅に遅らせて SOF 割合の増大をはかった結果、噴射時期を基準から 9° 遅角することで、SOF 割合を 35%まで増大することが出来た。従って、酸化触媒適用試験のエンジン仕様としては表 4. 3-4 のエンジン仕様 No.10 の EGR 減+9° 遅角を用いる。

表 4. 3-4 変化させたエンジン仕様の一覧

No.	燃料噴射時期	過給機タービンハウジング	内部 EGR 量
1	基準	基準	基準
2	3° 進角	↑	↑
3	3° 遅角	↑	↑
4	基準	拡大	↑
5	↑	縮小	↑
6	↑	基準	減
7	↑	↑	無し
8	3° 遅角	↑	減
9	6° 遅角	↑	↑
10	9° 遅角	↑	↑

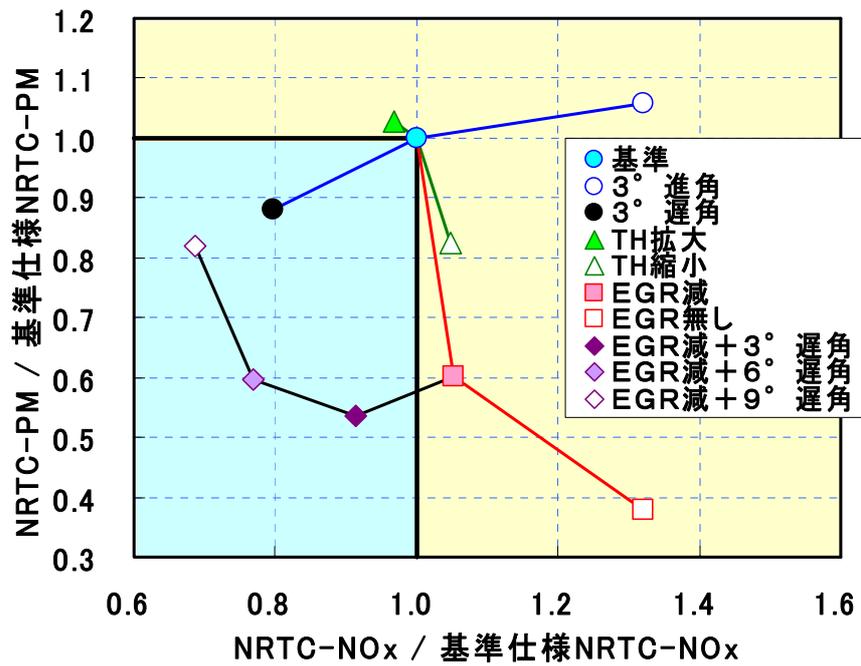


図4. 3-1.0 エンジン仕様と NOx, PM の関係

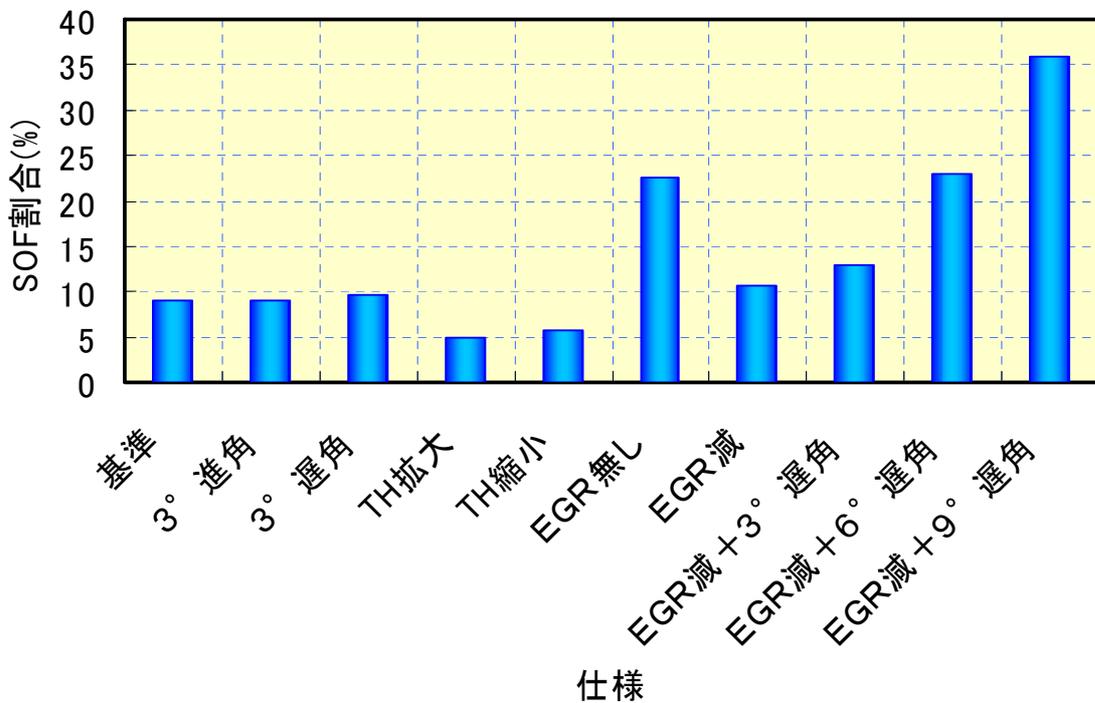


図4. 3-1.1 各仕様での PM中の SOF 割合

### (3) 酸化触媒によるPM低減試験

表4. 3-4のエンジン仕様No.10のEGR減+9°遅角をベースに表4. 3-2に示す4種類の酸化触媒を排気タービン後流に装着したPM低減試験を実施した。

まずNRTC運転モードにおける触媒入り口温度の頻度分布について図4. 3-1 2に示す。NRTCモードにおける触媒入り口温度の頻度分布によると、250℃以上の時間が80%程度である(エンジン出口排温の場合は85%)。酸化触媒は通常、250℃以上で浄化率が上がってくるため、SOFの浄化率としては最大で80%程度が期待できる。

次に、酸化触媒を適用した排ガス性能について図4. 3-1 3に、各酸化触媒の浄化性能について図4. 3-1 4に示す。この2つの試験結果から以下のことが解る。

- ・酸化触媒の適用によってPMは40%低減でき、基準仕様から50%まで低減できた。PM浄化率は、触媒容量、貴金属量が大きいほど高くなり触媒種としてはBの方が高いことがわかる。
- ・HC浄化率は、触媒容量の影響が大きく、触媒容量が大きいものでは、60~70%である。
- ・COの浄化率は、いずれの酸化触媒でも90~98%と非常に高い。

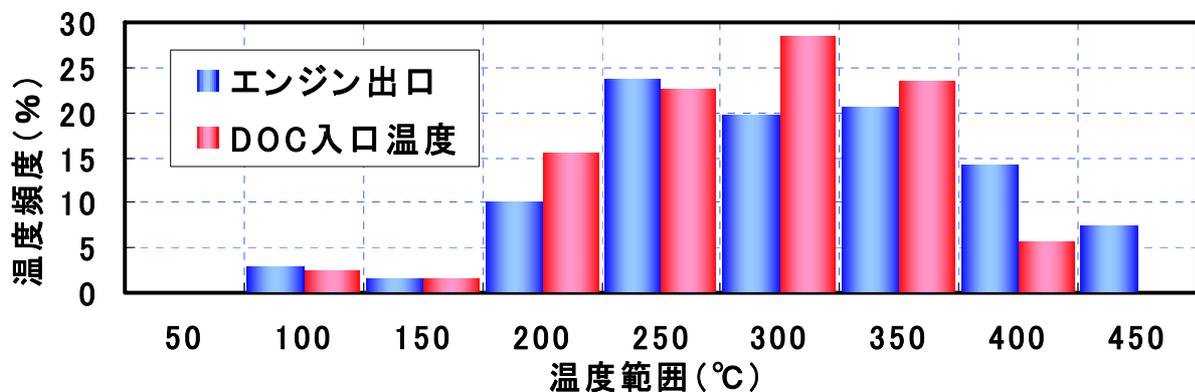


図4. 3-1 2 触媒温度の頻度分布 (DOC#1の場合)

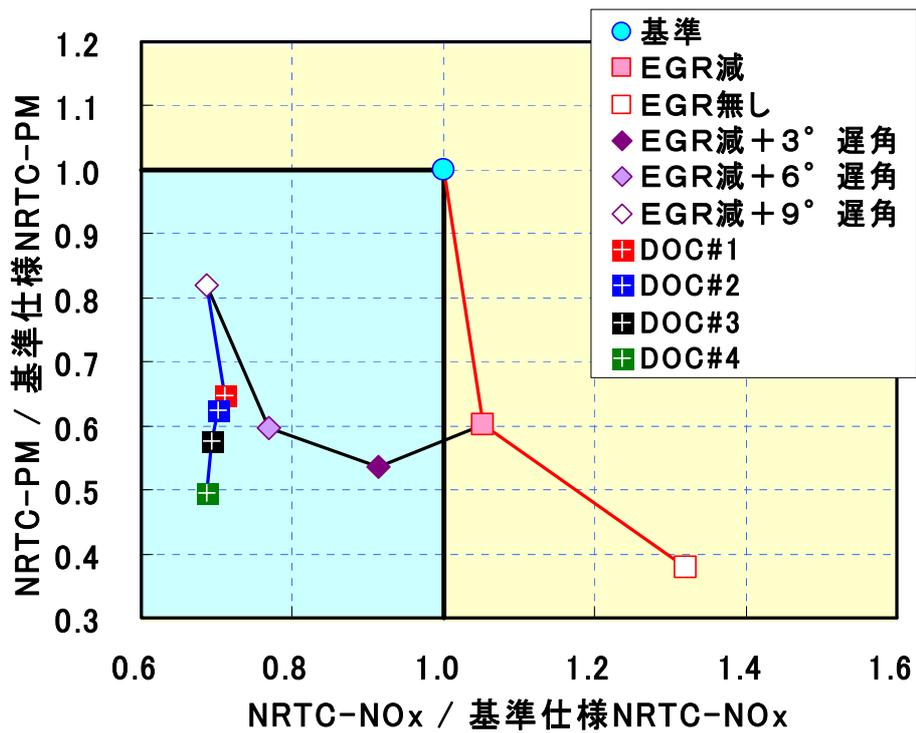


図 4. 3 - 1 3 酸化触媒適用試験結果

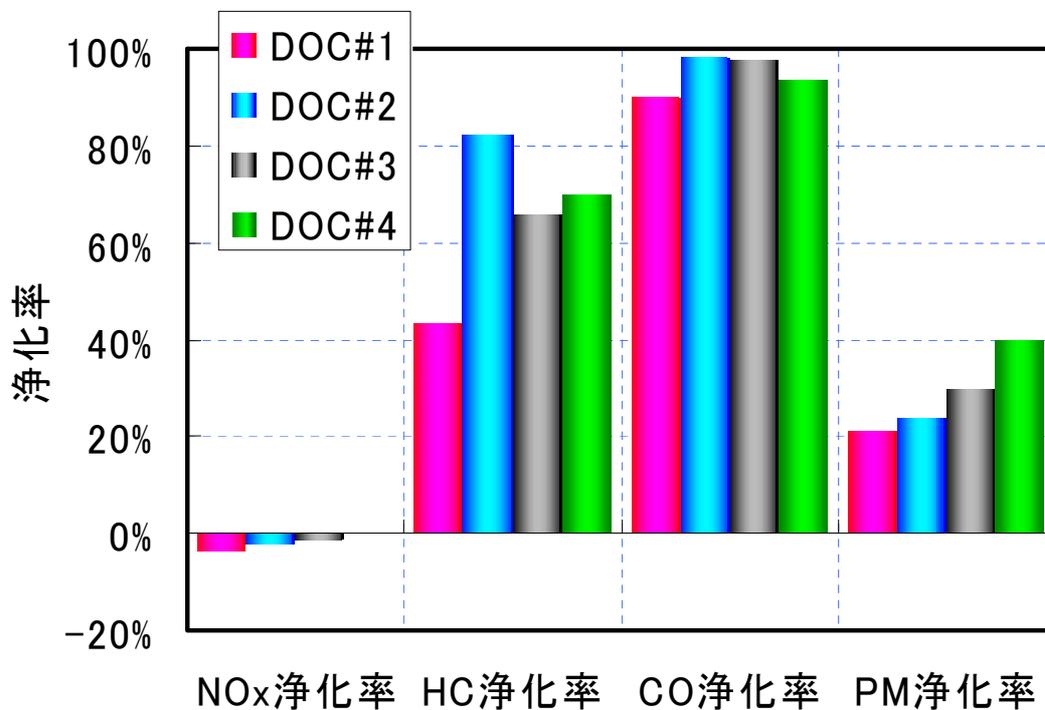


図 4. 3 - 1 4 各酸化触媒の浄化率

#### 4. 3. 4 まとめ

今年度の研究成果と今後の進め方についてまとめる。

##### (1) 平成18年度の研究成果

Tier3規制対応エンジンのNRTCモード排ガス値をベースに、後処理装置として酸化触媒を試作しDPF無しで、どこまでPMを低減可能かを探った結果、以下の成果が得られた。

- ① 本研究で対象としたTier3規制対応機械式噴射ポンプの直噴エンジンの場合は、NRTCモードとC1モードのNO<sub>x</sub>, PM値に大きな違いはない。
- ② EGR量を減らして燃料噴射時期を9°遅角することで、PM中のSOF割合を35%まで増大させ、酸化触媒を適用した結果、容量および貴金属量の多い酸化触媒を適用することで、基準仕様のPM値より50%のPM低減が得られた。

##### (2) 今後の課題

55kWクラスのTier4規制に対応するためには、PMをTier3レベルより1/10以下に低減する必要がある。PM低減のための後処理装置として、本研究では酸化触媒の適用を実施し、PM50%低減が得られた。さらにPMを低減するためには、PM中のSootを減らす必要があるため、DPFの適用が必須となるが、機械式噴射ポンプでは強制再生が実現困難であるため、オンロード用に広く用いられているセラミック製DPFが使い難い。

##### (3) 来年度の重点実施事項

今年度は3次排ガス規制対応エンジンの噴射タイミング見直しおよびカムシャフト、過給機等の改造を実施し、ベース仕様を選定して、酸化触媒によるPM限界を把握した。

来年度は、ベースエンジンを現行過給機仕様からインタークーラー付き過給機仕様へ改造して、主にNO<sub>x</sub>低減を図り、噴射タイミングを進角して、ベースエンジンのPMをさらに低減し、エンジンアウトでのPM低減を図る。

さらに今年度ベース仕様である内部EGRカムから外部EGR制御へ改造して、電子制御EGRによるNO<sub>x</sub>低減を図り、過渡モード特有のスパイクNO<sub>x</sub>やスモークを電子制御による緻密な制御技術により抑制してさらなるPM低減を図る。

今年度は後処理として酸化触媒によるPM低減試験を実施し、目論見通りSOF分の低減結果は得られたが、Soot低減の課題が残っている。来年度はSOF分のみでなく、Soot分低減を図るため、再生制御を必要としないメタルDPFの適用を図る。メタルDPFは再生制御を必要としないため56kW未満の小型エンジンにはミニマムコストの観点から最適であり、エンジンアウトのPM低減と組み合わせて可能性を追求する。

#### 4. 4 石川島芝浦機械(株)研究結果

##### 4. 4. 1 平成18年度の研究目標

平成18年度の研究目標は上期にてベースエンジンの性能測定等を行い、下期で後処理装置の効果確認を行なう。後処理装置の仕様については酸化触媒のみで最終目標であるTier 4レベルにどの程度まで排出ガス値が改善可能かを見極める。

- (1) 上期：後処理なしでのベース排ガス測定を行い、後処理装置の仕様の方向性を把握する。排ガス測定は従来のC1モード（定常モード）と今後Tier 4の試験方法で予定されているトランジェントサイクル（過渡モード）による計測を行なう。後処理装置の仕様検討を行なうためにPM中に含まれる成分の分析を行なう事とした。

C1モードとトランジェントサイクル（NRTC）モードの比較を図4. 4-1と図4. 4-2に示す。C1モードは定常運転の8点で排ガスを計測する方式であるが、NRTCモードはエンジンの負荷と回転が刻々と変わっていくモードである。

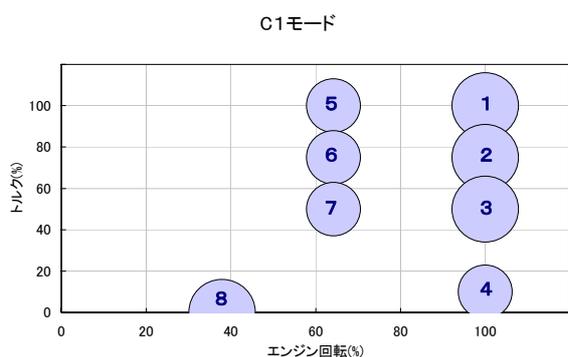


図4. 4-1 C1モード

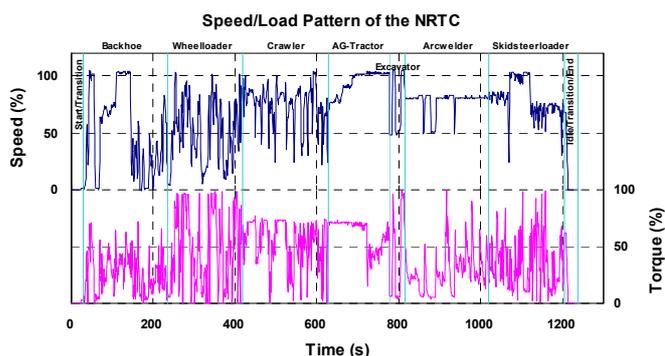


図4. 4-2 NRTCモード

- (2) 下期：後処理装置付での排ガス計測を行い、基礎データの採取を行なう。後処理によるPM低減効果の確認及びPMの再燃焼能力を把握する。特に、PM値がTier 4からはTier 3に対して1/10に強化される値（0.03g/kWh）が実現出来る可能性があるのかを見極める。又、後処理装置の各部温度計測を試みる。

##### 4. 4. 2 試験エンジン諸元

EPA Tier 2対応量産エンジン（石川島芝浦機械製 N844L型）をベースに噴射ポンプの仕様変更によりTier 3排ガス対策レベルの仕様とした。表4. 4-1にエンジン諸元、図4. 4-3にエンジン外観写真を示す。

表 4. 4-1

気筒数	4
ボア×ストローク (mm)	84×100
排気量 (cc)	2216
燃焼方式	渦流室式
給気方式	自然吸気



図 4. 4-3

#### 4. 4. 3 試験エンジン概要

N844Lエンジンは定格出力の回転速度は用途により1500rpmから3000rpmまでの設定があるが今回の試験ではペアレントエンジンになると予想される一般産業用向けである2800rpm仕様を選択した。表4. 4-2に定格点と最大トルク点の値を示す。

表 4. 4-2

エンジン名称	: N844L
定格出力	: 37.3kW/2800min <sup>-1</sup>
最大トルク	: 143 Nm/1800min <sup>-1</sup>

#### 4. 4. 4 試験期間

- (1) 上期：平成18年 9月 2日～ 9月 7日
- (2) 下期：平成19年 1月22日～ 1月29日

#### 4. 4. 5 試験装置の説明

上期試験においてはPMの計測はマイクロトンネルに加えフルトンネルでも計測を行なった。トンネルの装置内容について表4. 4-3と表4. 4-4に示す。

下期以降の試験はマイクロトンネルにて進める為、弊社で計測実績のあるフルトンネルとの関係を把握しておくことが必要と判断した為行なった。

表 4. 4-3 フルトンネル

設備名称	型式	仕様	メーカー
フルトンネル	DLT-24150W	径609.6mm 長さL=7071.5mm	堀場製作所
CVS	CVS-9400T	流量 60, 90, 120, 150m <sup>3</sup> /min	堀場製作所
DLS	DLS-7200	D. SAMPLE 流量 0~ 150L/min	堀場製作所
PMサンプルフィルタ	TX40H/20-WW	径70mm	東京ダイレック

表 4. 4-4 マイクロトンネル

設備名称	型式	仕様	メーカー
マイクロトンネル	MDLT-1300T	径35.7mm 長さL=825mm	堀場製作所
DLS	DLS-7200	D. SAMPLE 流量 65~130L/min	堀場製作所
PMサンプルフィルタ	TX40H/20-WW	径70mm	東京ダイレック

#### 4. 4. 6 試験結果と考察

##### (1) 上期の試験結果

##### ① ベースエンジンの性能測定結果

ベースエンジンの排ガス測定結果はPM値及びその他の排ガス成分共、EPAのTier 3規制値を満足するレベルであることが確認出来た。以上によりPM値及びその他排ガス等の性能は下期の試験である後処理試験を行う上で問題ないレベルと考える。C1モードでの測定結果を図4. 4-4に示す。

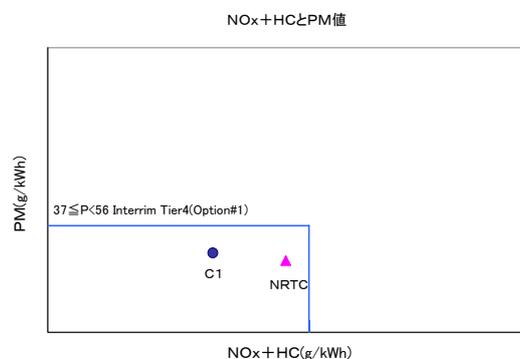


図 4. 4-4

##### ② C1モードとNRTCモードの比較

NRTCモードでの排ガス測定結果はC1モードの結果と比べると(図4)、PMは両者でほぼ同等であり、NO<sub>x</sub>+HC値はNRTCモードの方が、約0.5g/kWh

h 高い結果であった。この運転モードの違いによる排ガス測定結果の差異については、各モードにおけるエンジンの負荷と回転速度の使用頻度と排ガス成分の関連を調査することにより明確になると考えるが、本エンジンの場合N R T Cモードの方がNO<sub>x</sub>の高い域で運転される頻度の高かった事が予想される。従来産業用エンジンは主にC 1モードが使われており、今後N R T CモードによるNO<sub>x</sub>の増加分については対応が必要になってくると考える。

### ③ フルトンネルとマイクロトンネルの比較

PMの測定をマイクロトンネルに加えフルトンネルでの測定を行なった。運転モードはC 1モード及びN R T Cモードのそれぞれにおいて実施した。PM測定値はマイクロトンネルとフルトンネルでは両方ほぼ同等の結果であった。図4. 4-5にC 1モードでのPM値の結果を示す。

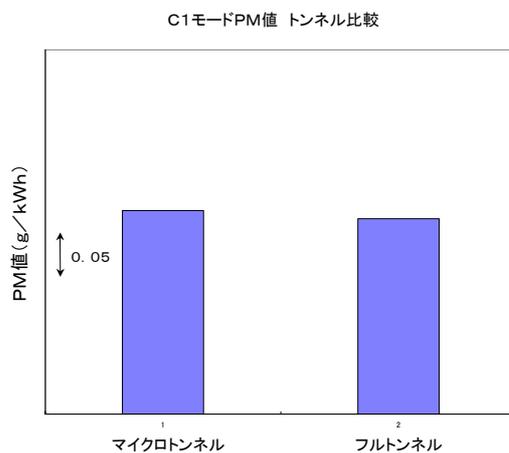


図4. 4-5

### ④ PM中の成分分析

PM低減の為に、最適な後処理を選択する上でPM中の成分を把握しておく必要があった為、今回の試験に使用したパーティキュレートフィルターから採取したPM中のSOF分(Soluble organic Fraction)の割合を分析した。C 1モードとN R T Cモードの両方でSOF分の分析をした結果、PM中のSOF分がしめる割合は10~20%程度であった。図4. 4-6にC 1モードの各サイクル毎に分析したSOF分とその他の割合を占めるドライスト分の重量を示す。SOF分をさらに分析し燃料軽油とエンジン潤滑オイルの割合をガスクロマトグラフ/質量分析計にて算出した結果オイル分が80~90%を占めていた。図4. 4-7にC 1モードの各モードでの割合を示す。5と6モード目はサンプル量が少ないため、測定不能であったがほとんどがオイル分と思われる。

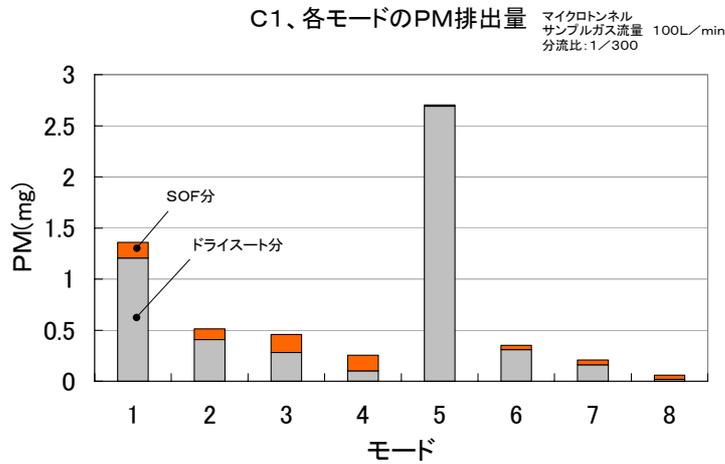


図 4. 4 - 6

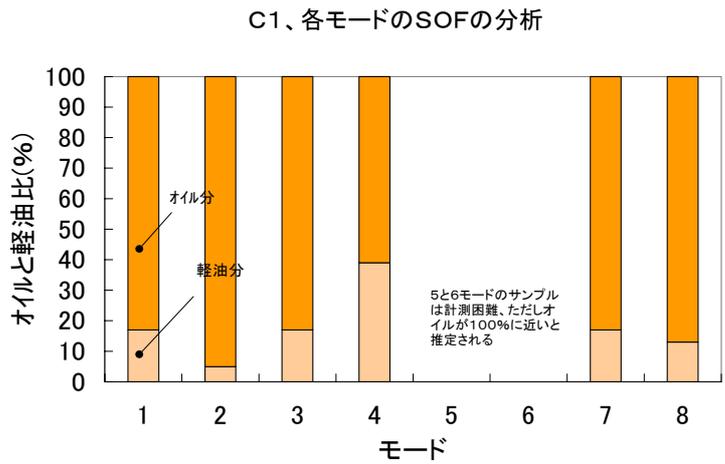


図 4. 4 - 7

⑤ 後処理装置の検討

第二回目（下期）の試験では後処理装置は酸化触媒を考えていたが、今回のSOF分分析結果から考察すると、酸化触媒によるPMの低減予想は最大でもSOF分が浄化される20%程度と考える。この場合今回測定されたPM値から酸化触媒付きでの結果を推定すると、Tier 4の規制である0.03g/kWhの適合は困難と判断する。従って規制値の適合を考えると本エンジンの場合は酸化触媒のみでは不十分であり、PMの浄化率の90%が期待出来るDPFが必要と判断した。

(2) 後処理装置の仕様設定

① DOC（酸化触媒）及びDPF（ディーゼルパーティキュレートフィルター）仕様  
後処理装置はTYPE 1とTYPE 2の二種を設定、試作した。

1. TYPE 1：DPFのみの仕様

2. TYPE 2：DPFの上流にDOCを配置した仕様である。

表4. 4-5に主な仕様を示す。

本DPFはコーディライトセラミック製のウォールフロータイプで排ガスがセラミックの壁を通過する時にPMを捕集させるのが狙いである。フィルターで濾過されたPMはフィルターに堆積して詰まっていく為、捕集されたPMは燃焼による酸化で除去しなければならない。捕集されたPMをフィルターから除去してフィルターを再生させる為にはPMが燃焼するのに必要な温度の上昇が必要である

表4. 4-5

項目	DOC	DPF
担体	コーディライト	コーディライト
担体構造	フロースルー	ウォールフロー
セル	300	100
触媒	Pt	Pt
直径×全長	φ144×152mm	φ144×152mm

② DOC及びDPFの温度計測準備

DOC及びDPFの温度分布を測定する為に、DOCの上流及びDPFの上流と下流にそれぞれ中心部、外周部及びその中間部に9点の位置に熱電対を取り付けた。又後処理装置本体の入口と出口の温度と圧力を測定した。図4. 4-8と図4. 4-9参照。温度の計測ポイントはTYPE 1については26ポイント、TYPE 2については38ポイントとなる。図4. 4-10にTYPE 2のレイアウトを示す。TYPE 1はDOC部が無しとなる



図4. 4-8

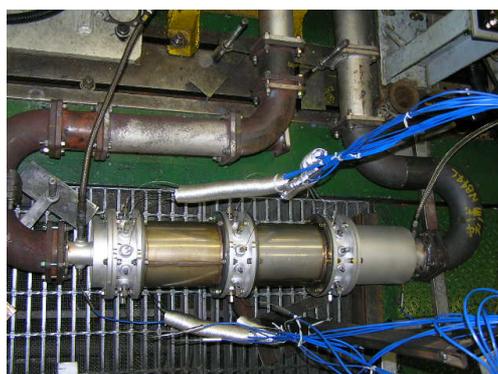


図4. 4-9

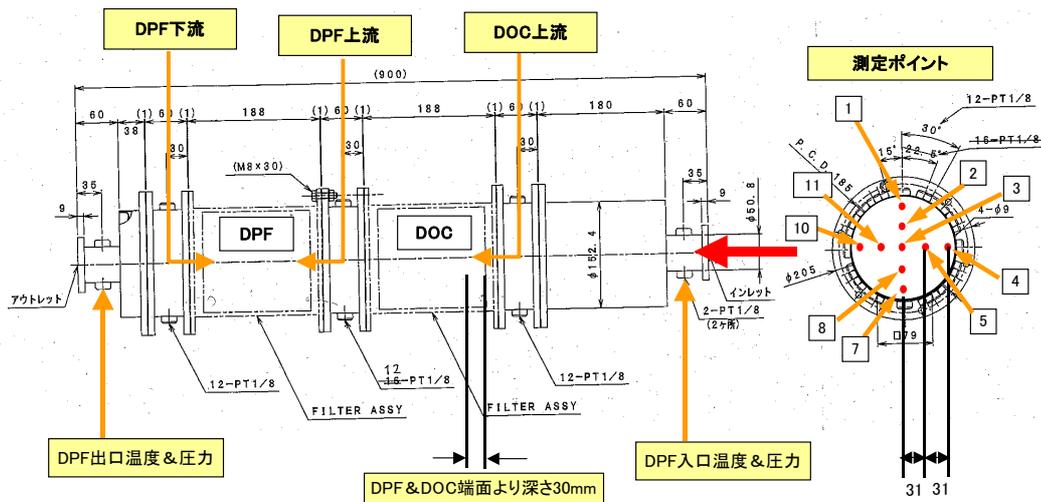


図 4. 4 - 1 0

後処理装置の位置は、今回は排気管系のレイアウトの都合があり、実車状態とは異なりエンジンの排気マニホールドの出口から約 3 m の排気管の途中に取り付けた。

(3) 下期の試験結果

① 後処理装置装着による排ガス測定

後処理装置の TYPE 1 及び TYPE 2 を取り付けて C 1 モードの測定を行った結果を図 4. 4 - 1 1 に示す。TYPE 1 及び TYPE 2 共、PM 値は EPA Tier 4 の規制値をクリアするレベルの結果であった。後処理装置による PM の捕集率は約 90% である。CO 成分についてはほぼゼロとなる値であった。

PM 値は DOC を上流に設定している TYPE 2 の方が低い結果となったが、本レベルでは PM の捕集量が非常に少なく今回の結果では両者同等と考える。

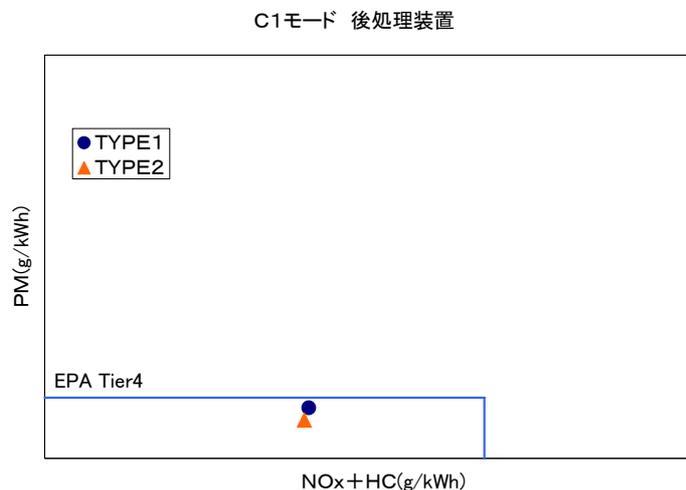


図 4. 4 - 1 1

② D P F の温度計測結果 ( C 1 モード中の測定)

C 1 モード試験中における D P F 温度計測結果を図 4. 4 - 1 2 と図 4. 4 - 1 3 に示す。

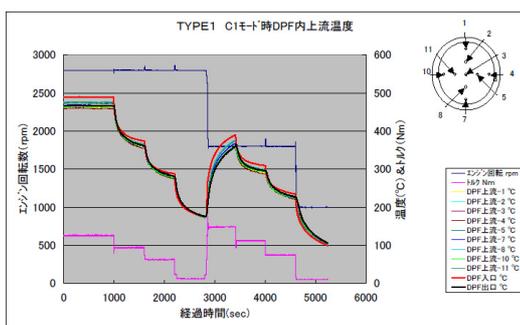


図 4. 4 - 1 2 TYPE 1

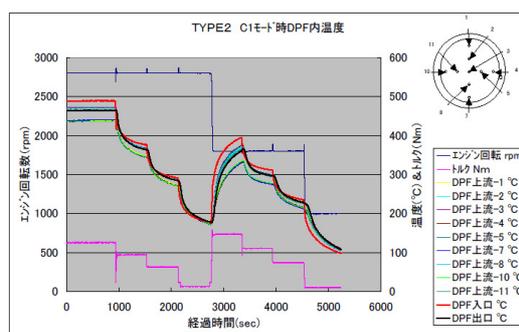


図 4. 4 - 1 3 TYPE 2

次に予定している D P F の再生試験の参考とする為に先行して、C 1 モード試験中の T Y P E 1 及び T Y P E 2 の D P F 上流温度 ( 9 点 ) と後処理装置の出入り口温度を計測した。本結果より D P F 上流温度について見ると、D P F 前に D O C を設けている T Y P E 2 の場合と、D P F のみの T Y P E 1 で比較すると T Y P E 2 の方が各部の温度差が大きい事が分かった。

③ フィルター再生の定義について

後処理装置における D P F の再生能力の評価は再生試験により行なった。再生試験はエンジンの負荷と回転速度を一定で運転して、この時の後処理装置の入り口排気圧力を連続計測して行い、この圧力が一定となるか減少した場合に D P F の再生が連続的に成立出来ていると判断した。圧力が一定となる場所は D P F に P M が堆積する量と P M が燃焼する量が等しくなったポイントと言える。試験条件としては後処理装置 2 種で、エンジン回転、負荷及び後処理装置への断熱材装着有無の違いで、計 1 4 種の試験を行なった。本試験の連続運転時間は 3 0 分間が適当と判断して 3 0 分間でのデータ計測を行なった。各条件にて計測する前には、本エンジンの定格ポイント ( 2 8 0 0 r p m、1 0 0 % 負荷 ) にて 3 0 分の暖機運転を行い、条件をなるべく揃えた。

図 4. 4 - 1 4、1 5、1 6 に代表的な試験結果を示す。A のパターンは P M の燃焼

が堆積量を上回り、連続再生が成立した場合。Bのパターンは圧力が一定であり燃焼と堆積がバランスした場合。Cのパターンは圧力が上昇していきPMが堆積しているフィルターの再生がされていない場合であり、A及びBパターンが好ましい状態である

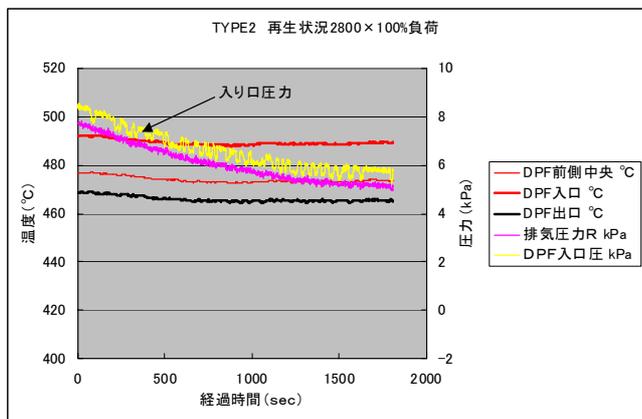


図 4. 4 - 1 4 Aパターン

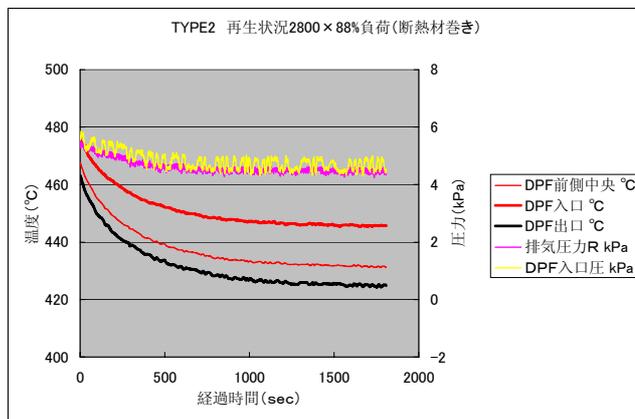


図 4. 4 - 1 5 Bパターン

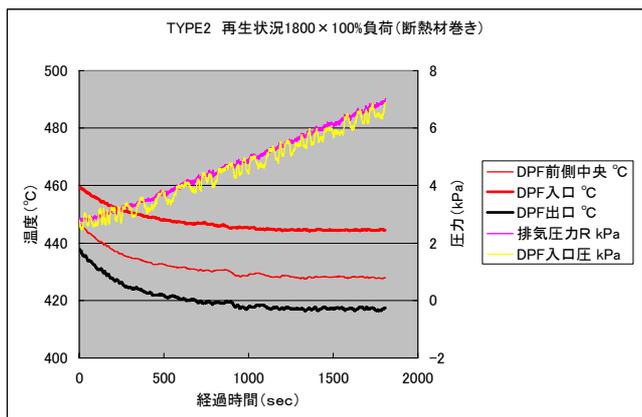
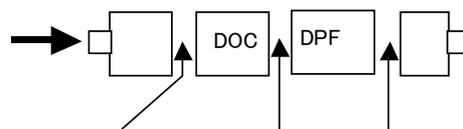


図 4. 4 - 1 6 Cパターン

#### ④ 後処理装置の再生試験結果

表 4. 4 - 6 に再生試験結果一覧を示す。再生の結果を表中に記号で示す。再生有無の欄で○印は圧力が低減していきフィルターに堆積したPMが減少している条件である。△印は圧力が一定となるバランスポイント条件である。×印は圧力が上昇するPMが堆積していく条件である。

表 4. 4 - 6



No.	後処理装置	運転条件		排気管 断熱材	再生 有無	試験No.1とのDPF温度差 (°C)		
		回転	負荷			DOC前中央	DPF前中央	DPF後中央
1	TYPE2	2800rpm	100.0%	なし	○	0	0	0
2		2800rpm	87.5%	なし	×	-67	-66	-67
3		2800rpm	75.0%	なし	×	-112	-110	-111
4		2800rpm	50.0%	なし	×	-197	-195	-196
5		2800rpm	87.5%	あり	△	-37	-36	-37
6		2800rpm	75.0%	あり	△	-92	-90	-91
7		1800rpm	100%	あり	×	-41	-43	-43
8		1800rpm	88%	あり	×	-99	-99	-99
9		2200rpm	100%	あり	×	10	8	8
10		2400rpm	100%	あり	△	6	9	10
11	TYPE1	2800rpm	87.5%	あり	△	-	-36	-37
12		2800rpm	75.0%	あり	×	-	-86	-87
13		2400rpm	100%	あり	×	-	2	1
14		2200rpm	100%	あり	×	-	4	3

表中の温度は試験No. 1 に対する差を示す。

今回の試験でフィルターの再生している試験No. 1 はDPF前中央部温度が474°Cでスモークは2.5%であった。スモークの低いレベルと高排気温度の条件が再生をさせていると考える。試験No. 6 はDPF温度が試験No. 1 に比べ90°C低い、スモークが低い(0%) 為か再生している。逆に試験No. 9 はDPF温度が8°C高く試験No. 1 と同等であるにもかかわらずこの時のスモークが高い(13%) 為か、再生には至っていない。

⑤ 後処理装置 (DOC、DPFの温度計測結果)

TYPE1と2でエンジンエキゾーストマニホールド出口から後処理装置出口までの各部温度計測結果を図4.4-18と19に示す(いずれも再生している条件)。図4.4-18の結果はTYPE2での2800rpmの87.5%負荷の条件で行なった排気管とDOC及びDPFの再生試験中の平均した各部温度測定結果である。DOCとDPFについては中心部と外周部及びその中間部の比較をしている。

TYPE2 2800rpm 87.5%

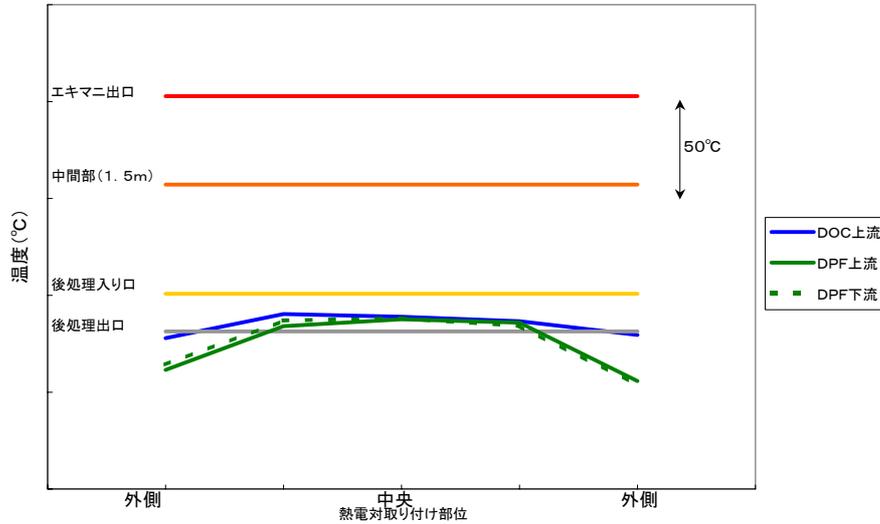


図4. 4-18

今回の試験では後処理装置の取り付け位置がエンジンマニホールドから約3mの距離であった為、エンジン出口の排気温度に比べDOCとDPFの温度が低い結果となっている。中間部はマニホールドから約1.5mの位置での計測である。DOC、DPF共中心から外周に行くにしたがって温度が低下する傾向にある。

中心部はDOCの上流温度とDPF上流、下流温度は同等の結果となっている。

図4. 4-19にTYPE1で同じく2800rpm 87.5%負荷での各部温度計測結果を示す。後処理装置TYPE1はTYPE2に比べDPF外周の温度の低下が少なく、TYPE2が約30°Cであったのに対してTYPE1は約10°Cである。DPFの仕様は両者同じであるが、TYPE1はDPFの上流にDOCの設定が無く、排ガスの流れがDOCの無いことで下流のDPF内の流れに良い影響を及ぼしていると考えられる。

TYPE1 2800rpm 87.5%

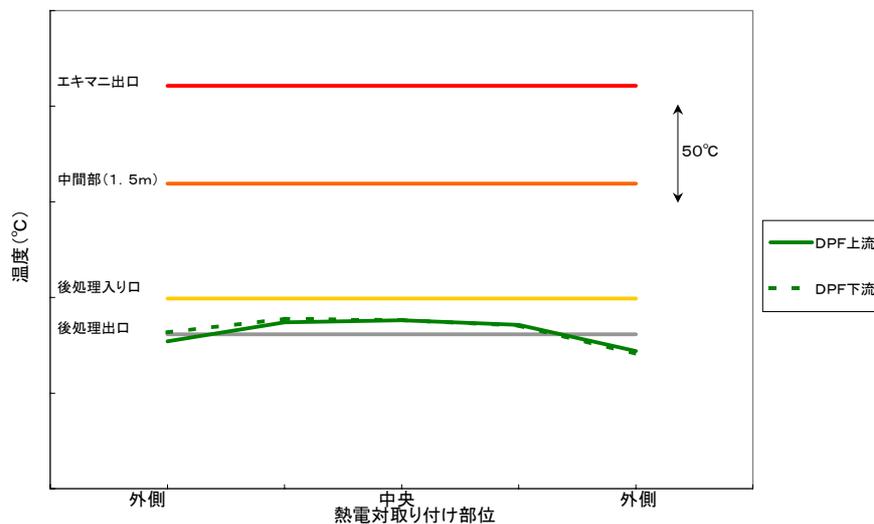


図4. 4-19

#### ⑥ 断熱材の効果

今後の後処理装置の検討の参考とする為に簡易的な断熱材を排気管に巻き、後処理装置への温度上昇の影響確認と再生性能への影響を再生試験にて行なった。

断熱材を巻いた状況を図4. 4-20に示す。

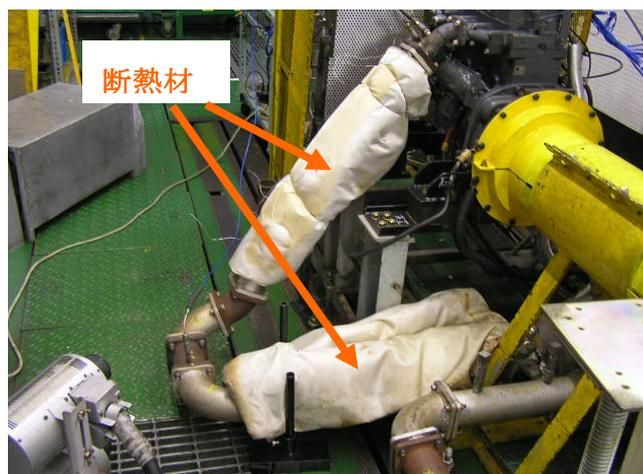


図4. 4-20

再生試験結果一覧の表4. 4-6において試験No.の2と5とが断熱材有無の比較が出来る。(試験条件は2800rpm 87.5%で後処理装置はTYPE2)今回用いた断熱材によりDPF前中央の温度が断熱材なしの場合に比べ約30℃上昇した。再生試験結果では、上記運転条件において断熱材がなかった場合は後処理装置前圧力が上昇してDPFの再生が出来なかったが断熱材を装着することにより圧力が一定となるバランスポイントに達して再生領域に入るレベルとなった事を確認出来た。

#### 4. 4. 7 データの分析と課題

今回試験したDPFはPM捕集率が90%で予想通りの結果であり標準的な性能と思われる。DOC及びDPFに担持された触媒により排気温度が約250℃でHC、COの低減効果があったと思われるが、スートについては今回の試験結果でDPFの再生は約450℃以上の排気温度が必要であった。但し、450℃の温度については今回の結果のように定格点(2800rpm)のスモークが低い(2~3%)域は本温度で再生したが、1800rpm~2400rpmではスモーク値が高い(10%以上)場合には再生現象は見られなかった。

今回の試験ではDOC装着のメリットが見られなく、今後DOCの改良による再生温度低減の可能性の検討が必要と考える。

DPFの連続再生を考えると、スモークレベルは全域で特に定格点から最大トルク点までの全負荷域で数パーセントレベルまで下げることが課題であり、さらに排気温度とスモーク濃度以外の要因についての影響も検討して行きたい。

#### 4. 4. 8 課題への対応

##### (1) DPFの改良

フィルターの連続再生温度域を下げるべくDPFの素材、触媒担持仕様、温度分布の改良を検討する

##### (2) スモークの低減

スモークが全域数パーセント以下となるよう検討を進めるが、本研究のテーマは引き続き後処理装置の改良を主に行う。

##### (3) 再生装置の検討

エンジンの使用用途による負荷率との関係となるが、エンジン（装置）が連続再生の成立しない領域を持ち、かつ連続再生の出来ない負荷率で使われた場合には強制的な再生が必要になる可能性がある為、強制再生装置の検討を行なう。

#### 4. 4. 9 今後の予定（次年度の予定）

- (1) 新型DPFの改良シミュレーションの実施
- (2) 新型DPFの設計
- (3) 新型PDFの試作
- (4) 新型DPFの試験（平成19年12月頃を予定）

#### 4. 4. 10 参考文献

- (1) 柴田：最新のディーゼルエンジンのPM・NO<sub>x</sub>後処理技術 自動車技術 V o l . 5 8、No.9、2004
- (2) 平沼：商用車用DPFの開発 自動車技術会 2003春季学術講演会
- (3) KAMITA：Recent Situation in Japan around NRMM 12 January 2004 NRMM-GW MOE Japan
- (4) 杉山：DPFの現状と問題 自動車技術 V o l . 5 5、No.9、2001

## 5. まとめと今後の課題

### 5. 1 まとめ

小型汎用ディーゼルエンジンでは、環境保全の観点からその排気浄化に対する社会要求が国内外で一層厳しくなってきた。特に PM についてはその規制値が厳しくなる状況であって、2012 年には、米国 EPA の Tier4 に沿って PM 規制値が 2008 年規制値の 1/10、つまり 0.03g/kWh と厳しくなる可能性が高い。

本事業では小型汎用ディーゼルエンジンを対象にして、C1 と NRTC の各排気測定モードにおける現状での排気特性を把握した上で、各種の燃焼改善あるいは PM 後処理装置などの基盤技術開発を遂行し、米国 Tier 4 規制値達成への可能性を見極める。

その際、まずは、現在のエンジンの基本構造を変更せずにその燃焼系改善、排気再循環（EGR）などを基軸にした対応から検討を進めた。

供試エンジンは 4 機種で、直噴式と副室式（渦流室式）の無過給機関、ならびに直噴式の過給機関からなり、このクラスにおける大方のエンジンあるいは燃焼方式を網羅している。いずれも現在市販の小型汎用ディーゼルエンジンであって、Tier3 対応が殆どである。

本年度における、ディーゼルエンジン 4 機種の総括的な研究開発結果は概ね以下の通りである。

（1）C1 モードと NRTC モードでの排ガス比較について、副室式エンジンの場合、両モードでの PM 値はその差異が比較的小さいのに対し、NO<sub>x</sub>+HC 値は C1 に比べて NRTC モード値が 20%程度(差 0.8~1.0g/kWh)高い。一方、直噴式では無過給、過給共に PM 値あるいは NO<sub>x</sub>+HC 値は NRTC の方が 10%程度高くその差異は比較的小さい。CO および HC は C1 に比べて NRTC モード値が増加するケースが多い。

（2）NO<sub>x</sub>+HC 値について、副室式エンジンでは両モード値共に Tier4 規制値に適合している場合もあったが、他の副室式と直噴式での NRTC モード値は Tier4 規制値より 23~27%高い。

一方、PM の NRTC モード値は直噴式と副室式共に Tier4 規制値の 6~8 倍高い値を示した。そのため、Tier4 の PM 規制値 0.03g/kWh をクリアするには 90%程度の PM 低減、あるいは NO<sub>x</sub>+HC の低減対応も考慮すればそれ以上の大幅な PM 低減が必要になり得ることから、PM 低減に関しては燃焼系での対応に加えて後処理の必要性が鮮明に示唆された。

（3）副室式エンジンでは Tier4 規制値のクリアに向けて PM 低減が重要であり、その

ためには、SOFが必ずしも多くないことから、DOCだけでなくDPFの使用が効果的であることを確認した。また、DPFの使用あるいはDPFとDOCの併用によって、NO<sub>x</sub>+HCのNRTCモード値がTier4規制値に比べて若干高い場合があるものの、PMとNO<sub>x</sub>+HCが共にTier4規制値をクリアし得る可能性が概ね明らかになった。

(4) 直噴式エンジンではPMとNO<sub>x</sub>+HCの同時低減に向けて、NO<sub>x</sub>低減を主眼にしたEGR強化の方向と、PM低減を主眼にしたEGR軽減の方向の二つが検討された。

前者は無過給の場合であって、EGRの強化によってNO<sub>x</sub>をTier4規制値に適合させることが可能ではあるが、同時にPMが若干増加してTier4規制値のほぼ6倍になった。このPM低減のために、EGRガス中で改質分解した燃料を吸気からエンジンへ導入する手法を考案・適用した結果、特定のモード条件下で2割程度のPM低減が得られ、第一段階としてそのPM低減効果が実証された。

一方、後者は過給の場合であって、EGR軽減によるPM低減と燃料噴射時期の遅延によるSOF増加を図ると同時にDOCを使用することによって、当初基準値に比べてPM値が50%に、またNO<sub>x</sub>はほぼ70%にそれぞれ低下することが実証された。

直噴式エンジンでは本事業での技術研究の進行によって排気レベルがTier4規制値へと接近あるいは改善されては来たが、本年度末の段階でTier4規制値への適合の可能性はまだ見えていない。

各ディーゼルエンジンにおける上記以外の主な研究開発結果は以下の通りである。

(1) 副室式エンジン(その1)では、DPFとその有効利用に関する以下の知見が得られた。

①DPFにおける低温時のCOスリップを回避するには、酸化触媒での燃焼に頼るだけでなく、再生ガスをイグナイターで着火・燃焼させる必要がある。

②触媒担持がないDPFでのスート燃焼には、650℃以上のDPF入り口温度が必要である。その為の模擬ガス量を実機にて確認し、再生補助装置の設計指針を得た。

③DPF再生補助として再生ガスの有効性が確認できた段階であり、製品化としての可否判断は次年度の研究結果による。

(2) 副室式エンジン(その2)では、DOC+DPFとその有効利用に関する以下の知見が得られた。

①供試DPFのPM捕集率は約90%であり、標準的は性能であった。

②触媒担持DOC+DPFでのHCとCO低減には約250℃の排気温度が、また触媒担持DPFでのスート再生には約450℃以上の排気温度が必要である。

③排気温度が450℃であっても、1800rpm～2400rpmでのスモーク値が高い条件では再生は認められなかった。

④今回DOC+DPFの試験ではDOC装着のメリットが認められなかった。

(3)直噴エンジン(無過給)では、燃焼系でのPM低減に関する以下の知見が得られた。

①SOFは、高負荷モード以外のモードでかなりの量が排出されてPM中の割合が概ね30%になるため、DOCによるPM低減は30%程度である。

②吸気への燃料導入によるPM低減効果は高負荷モードで著しいことを確認した。

③吸気への燃料導入に伴う主燃料の着火時期前進傾向を調整することにより、PM改善の可能性が示唆された。

(4)直噴エンジン(過給)では、燃焼系改善とDOCによるPM低減に関して以下の知見が得られた。

①EGR量の減少と燃料噴射時期の遅延の組み合わせにより、NOxを変えずにPM低減が得られる可能性が示唆された。

②タービンハウジングの縮小により、NOxは増加する一方でPMは減少するが、その変化幅は相対的に見て小さい。

③NRTCモードにおけるDOC入り口温度の頻度は、250℃以上の時間が80%程度であって、SOFの浄化率は最大で80%程度が期待できる。

④DOCのPM浄化率は、SOF量や触媒種に依るほか、触媒容量、貴金属量が大きいほど高い。HC浄化率は触媒容量が大きいもので60~70%、COは90~98%と高い。

## 5. 2 今後の課題

小型汎用ディーゼルエンジンにおけるTier4規制値への適合に向けた技術課題として、PMとNOx+HCの低減技術、特にPM低減技術の確立が挙げられ、各種の燃焼系改善によるエンジンアウトでの両排気成分の低減と併せて、DOCやDPFの後処理装置に関わる技術開発が急務であると同時に、当面の課題である。燃焼系改善や後処理装置に関わる技術開発では、それらを支える制御技術も重要であり、それによってその特性あるいは性能が向上することが多く、関連の制御技術開発が時に付帯的な課題となる。

燃焼系でのPM・NOx低減技術の一つにコモンレール等での高圧噴射や多段噴射の技術があり、また後処理技術においてもNOx低減を軸とする吸蔵触媒やSCRなどの技術があ

るが、小型汎用エンジンではコスト面、耐久性などへの要求が特段に高いことを考慮すれば、それらの技術採用には大きな制約が生じるため、当面はコモンレール導入よりはむしろ現用の燃料噴射装置での技術開発、また後処理装置としては DOC、DPF の技術開発が求められる。

更なる課題としては、Tier4 規制適合のために開発された技術あるいは機器等の耐久性・安全性・整備性等の確保、そして燃費率の確保、出来れば燃費率の改善が併せて求められる。前者について、オフロードエンジンとして過酷な運転条件と長い年月の使用などの厳しい要求にも十分耐え得る技術開発が最終的に求められ、そのことが課題にもなる。

一方後者の燃費率について、殆どの排気対応はややもすれば燃費率の犠牲を伴うこと多いため、その燃費率悪化の抑制が重要である。また、昨今の地球温暖化に関連して CO2 低減に対する社会的要求が強い。その気運の中にあつて、排気対応に伴う燃費率悪化の抑制も含めて、エンジンシステム全体として燃費率および LCA 的 CO2 排出量の改善が恒常的な課題である。

更に、オフロードエンジンでは、ある一つの燃料だけが利用されるのではなく、国内外において各種な燃料が使用される可能性が高いことを考えると、排気対応で開発した技術あるいは機器等の耐久性や安全性などに対する燃料サイドからの配慮あるいは対応も課題になり得るものと思われる。

本事業では本年度に続き、Tier4 規制値への適合を目途として、小型汎用ディーゼルエンジンにおける燃焼系での PM と NOx の低減に向けた技術開発と、併せて排気系での DOC あるいは DPF の性能向上に関わる技術開発が当面の課題である。

各ディーゼルエンジンにおける今後の研究開発に関わる具体的な課題あるいはその内容は概ね以下の通りである。

#### (1) 副室式エンジン (その1)

##### ① 10分間の再生時間で再生率70%を目指した DPF の改良。

まず DPF とエンジン排気マニフォールド間にイグナイターを設置、DPF までの距離を伸ばすことにより、燃焼ガスと排気ガスの混合を促進する。また、再生ガス量の低減、CO と SOF の燃焼促進などの点からも DPF への触媒担持を進める。更には、再生ガス量の低減には吸気スロットルも併せて検討する。

##### ② DPF 再生補助装置の試作とそのエンジンベンチでの強制再生テストの実施。

スートの蓄積を検知して DPF を自動強制再生するシステムの検討・開発に着手する。

開発に当たっては、システム全体としてのコストと作業機への搭載性を考慮する。

## (2) 副室式エンジン (その2)

### ①DPF の改良シミュレーションの実施と DPF の設計

DPF の連続再生温度域を下げるべくその素材、触媒担持仕様、温度分布の改良を検討する。

### ②DPF の試作と試験、そして再生装置の検討

特に DPF の強制再生が必要になる可能性があるため、強制再生装置の検討を行なう。

### ③スモークレベルの低減

運転全域でのスモークレベル低減も課題であって、その低減を検討する。

### ④DOC 改良による再生温度低減の可能性の検討。

## (3) 直噴エンジン (無過給)

### ①改質ガス量に応じた燃料噴射時期の最適化による PM の低減

燃焼室へ EGR ガスと共に吸入される改質ガス量の増加に伴って着火時期が進角し、またそれによる PM 増加が考えられるため、PM 低減を目途にして改質ガス量に応じた燃料噴射時期の最適化を行う。

### ②DOC による PM 中の SOF 低減効果の確認と向上

## (4) 直噴エンジン (過給)

①現行過給機からインタークーラー付き過給機へと仕様改造することによって、エンジンアウトの PM 低減を図る。

②内部 EGR 方式を外部 EGR の電子制御方式へ替えることにより、過渡時の NO<sub>x</sub> やスモークを緻密に制御し、一層の PM 低減を図る。

③SOF のみでなくスートも低減させるため、メタル DPF の適用を試み、エンジンアウトの PM 低減と併せて大幅な PM 低減の可能性を追求する。

以上

---

**H 1 8 年度環境対応型ディーゼルエンジンの  
基盤技術開発補助事業報告書**

---

発 行 所

社団法人 日本陸用内燃機関協会

〒162-0842 東京都新宿区市谷砂土原町1-2-31

電話 (03) 3260-9101~9103

FAX (03) 3260-7965

---

無断で複写することを禁ずる