

平成20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.jp>



2009年3月2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	筒井泰弘	三菱重工業 (株) エンジン技術部
委 員	倉科 守	(株) IHI シバウラ 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	塚本悌介	有識者
オブザーバー	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

平成 20 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	6
3. 1 基盤技術開発研究会	6
3. 2 基盤技術開発分科会	6
4. 基盤技術開発分科会報告	7
4. 1 クボタ分科会	7
4. 1. 1 研究の目的	7
4. 1. 2 研究の内容	7
(1) 供試エンジン	7
(2) DPF の仕様と DPF 再生方式について	8
(3) エンジン実装のための試作	9
(4) 燃料改質器と DPF のエンジンへの実装	9
(5) 制御システムの製作	11
(6) 試験結果	14
① 定常運転による制御マップの調整結果	14
② NRTC モードにおける DPF 再生試験結果	15
a. DPF 入口 (DOC 出口) ガス平均温度 630℃での再生	15
b. DPF 入口 (DOC 出口) ガス平均温度 678℃での再生	16
4. 1. 3 まとめ	18
(1) 研究日程	18
(2) 平成 18、19 年度の研究結果概要	18
(3) 平成 20 年度の研究結果	18
(4) 実用化への課題	19

4. 2	三菱重工業分科会	20
4. 2. 1	研究開発の実施事項	20
4. 2. 1. 1	C1 および NRTC モード評価結果	20
4. 2. 1. 2	NO <sub>x</sub> 、PM の関係把握	20
4. 2. 1. 3	酸化触媒およびメタル DPF、セラミック DPF による PM 低減試験	20
4. 2. 1. 4	セラミック DPF 再生システム評価試験	20
4. 2. 2	研究開発の方法	20
4. 2. 2. 1	供試エンジン	20
4. 2. 2. 2	供試後処理装置	22
4. 2. 2. 3	試験条件	23
4. 2. 2. 4	運転計測装置	24
4. 2. 2. 5	運転方法	25
4. 2. 3	研究開発の結果と解析	25
4. 2. 3. 1	C1 および NRTC モード評価結果	25
4. 2. 3. 2	NO <sub>x</sub> 、PM の関係把握	26
4. 2. 3. 3	酸化触媒およびメタル DPF、セラミック DPF による PM 低減試験	28
4. 2. 3. 4	セラミック DPF 再生システム評価結果	32
4. 2. 4	まとめ	33
4. 2. 4. 1	平成 20 年度の研究成果	33
4. 2. 4. 2	商品化の課題	33
4. 3	IHI シバウラ分科会	34
4. 3. 1	平成 20 年度の研究目的	34
4. 3. 2	試験エンジン諸元と概要	34
4. 3. 3	試験期間	35
4. 3. 4	C1 モード及び NRTC 計測試験	35
	(1) DPF の仕様	35
	(2) 排出ガス事前試験	36
	(3) 排出ガス事前試験結果	36
4. 3. 5	バーナ再生試験	37
	(1) バーナ再生装置仕様	37

(2) 試験方法	38
(3) 試験内容	38
(4) 試験結果	39
(5) 試験考察	44
4. 3. 6 データの分析と課題	45
4. 3. 7 課題への対応	45
4. 3. 8 まとめ（三カ年の総括）	45
(1) H18年度の成果	46
(2) H19年度の成果	46
(3) H20年度の成果	46
5. まとめと今後の課題	48
5. 1 まとめ	48
5. 2 今後の課題	52

## 1. 基盤技術開発研究の目的

2005年に米国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していると公表した。

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。

また一方、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「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」と述べていた。

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た。

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形汎用ディーゼルエンジンの総生産<sup>3)</sup>は2006年度には139万台に達する勢いで、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未満の小形ディーゼルエンジンが89%を占め50%以上が輸出されており、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た。

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未満の小形ディーゼルエンジンの規制値は、NO<sub>x</sub>はほぼ現状維持であるがPM規制値が1/10(0.03g/kW・h)となることが予想された。

目覚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未満の小形ディーゼルエンジンに適用するには使用環境が劣悪でそのまま展開できず、小形ディーゼルエンジン特有の基盤技術開発が求められていた。

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形ディーゼルエンジン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Tier 4規制適合基盤技術開発の宿命が課せられ、かつ緊急課題となった。

商品化研究の期間も考慮すると2012年までの残された時間は少なく（財）JKA（当時は

日本自転車振興会)の自転車等機械工業振興事業に応募しこ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。

この基盤技術開発研究成果が、2012年から実施予定の小形ディーゼルエンジンのTier 4 排出ガス規制に対しミニマムコストで適合するために重要な手がかりになる究極の基盤技術開発を行う。

このことによりTier 4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した。

## 2. 開発研究内容について

ここでは3年目の研究内容を紹介すると共に、3年間の基盤技術開発研究会の活動について総括する。

平成20年1月に発表された第九次答申<sup>4)</sup>では、ディーゼル特殊自動車についてはディーゼル乗用車・トラックの技術を特殊自動車に転用するための開発期間が必要で、先ずディーゼルエンジンの固有性能を改善向上させるため

- ① 燃焼室の改善
- ② 燃料噴射装置の改良
- ③ 燃焼制御の最適化

が引き続き行われると共に、小さな出力エンジンに於いても排出ガス再循環(以下EGRと呼ぶ)装置等が採用され2011年頃からPM後処理装置が採用可能と考えられる。

排出ガス低減目標値は19kW以上37kW未満のものについては平成25年(2013年)末までにNOxは33%減(4.0g/kW・h)・PM規制値は93%減(0.03g/kW・h)を、37kW以上56kW未満のものについてPM規制値は92%減(0.025g/kW・h)を、達成することが適当であるとし、一般のディーゼル自動車に比較して出力が小さい範囲であり特有の排気ガス技術開発に時間が必要であることからそれらのエンジンを搭載する排出ガス規制の実施にあたっては規制への転換が円滑に行われるよう配慮する必要があると述べている。

このことは基盤技術開発研究会が行っていたアプローチが間違いなかった事を証明していた。

すなわち、この3年間の研究会活動を展開するに当たり、陸内協に基盤技術開発研究会を設け大学教授に委員長をお願いし、研究会への参加会社・有識者から構成しその事務局は

陸内協が担当した。

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

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各社から提供して頂く事とし、研究期間の3年間で大きく3ステップに別け、1年目は現状エンジンの性能確認し課題抽出を行い2年目は、課題の絞込みにより最終方向づけを行い、3年目は絞り込んだ課題の最終方向づけをすることとし開発研究を展開することにした。<sup>5)</sup>

試験エンジンのTier 4試験モードは過渡モード試験（以下NRTCと呼ぶ）とディーゼルモード試験（以下C1モードと呼ぶ）であるが、試験実績があるこのNRTC試験設備を保有しているDRD社の最新試験設備ラボで各社試験エンジンの運転を後処理装置の有無でデータを採取し、この運転実施の際にはそれぞれの委員や有識者が立ちあった。

DRD社では可能な限りデータ採取とともに分析を行い、この分析結果を都度基盤研究会で報告した。

また将来、厳しい販売価格が予想されていたので、現状エンジンの基本構造を極力大幅に変えないとの制約の元で前処理・エンジン燃焼改善・後処理装置を視野に入れつつ、各社特有のアプローチを行った。

すなわち、各社の最新型エンジンの排出ガス実態、更に後処理装置を含めた改良エンジンのデータ採取とその効果を把握・分析を行った。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の作りこみも併せ行った。

委員会は陸内協で4回開催しメンバー間のコミュニケーションを良くした。この研究会で試験エンジンの試験方案・排出ガスデータ分析と評価、そして対応策の検討を行った。

3年目も同様にして実施し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エンジン改良方法（後処理装置等々）の評価と対策策、最終の4回目は事業活動の成果の確認と報告書の作成要領等を検討した。

また同様に最新試験設備ラボで各社の試験エンジン運転を実施することにし、各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・事務局が可能な限り立会った。

これらの分科会活動で得られた実験データ結果や、その分析結果をその都度基礎技術開発研究会に報告された。

主な成果は、エンジン固有性能向上・インタークーラ付き過給機仕様及び電子制御 EGR、酸化触媒（以下 DOC と称す）・ディーゼルパーティキュレートフィルタ（以下 DPF と称す）

や再生制御を必要としないメタル DPF の適用性も追求を行った。

これらの研究結果、PM 低減には DPF 使用が効果的であることを確認した。特に最終の 3 年目は、それぞれの研究会・分科会にて分析検討され最終目標である Tier 4 規制適合・ディーゼル特殊自動車排出ガス規制適合技術開発への開発指針を模索した。

具体的には、この2年間の試験結果をベースにDPFの連続再生のための課題への対応と更なる研究、そして規制適合への最終方向づけを提言できるように絞り込んだ課題にアプローチした。すなわち、

- ① 小形ディーゼルエンジンにおける燃焼系での NOx と PM の低減に向けた更なる技術開発
- ② 排気系での DOC あるいは DPF の性能向上に係る技術開発と製品化に向けた研究
- ③ DPF の再生技術

なお 基盤技術開発研究会では、再生方式については、補助熱源をもって強制的に再生するものを再生と称し、補助熱源が無く再生することを自然再生と称することにした。

特に第③項の「DPF の再生技術の研究」が主要課題になっていた。

この研究会は平成21年3月末で終了したが、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研究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Tier 4規制と国内ディーゼル特殊自動車排出ガス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が国内外の排出ガス規制値適合にどの程度までアプローチできたかを見極め将来の商品化開発指針の提言を行った。

本研究会終了後は、商品化まで残された時間はあと2年で、その間に各社の商品化研究の開発メニューをこなす必要があり、特に社内開発規定によるユーザ試験・耐久試験等に時間が掛かるが、必ず成功させねばならない。

一方、平成21年度の（社）日本陸用内燃機関協会会長の「年頭にあたって」<sup>6)</sup>によるとディーゼルエンジンは前年度比2%増で輸出台数でも前年度を上回っており順調な伸びを示しており、この伸びを今後共継続するためにグローバル化が進んだ世界経済の中で製品・コスト・技術・サービスなどあらゆる面で従年以上の対応を覚悟せねばならないと発表している。

日本の小形ディーゼルエンジンが、益々発展するためにもこの研究会の成果が大いに期

待されている。

またこれらの研究成果は、事業内容報告書として作成後、その都度 陸内協ホームページ<sup>7)</sup>、陸内協機関誌「LEMA」等に適時掲載し、H20年11月4日には陸内協創立60周年記念技術フォーラム<sup>8)</sup>において、この基盤技術開発研究会の成果をまとめて発表し、更に平成21年秋には最終成果発表する予定である。

---

参考文献：

- 1) EPA ホームページ <http://www.epa.gov/nonroad-diesel/regulation.htm>
- 2) 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 第六次答申」  
平成 15.6.30
- 3) 陸内協会長 「年頭にあたって」 LEMA 2008 No 490
- 4) 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 第九次答申」  
平成 20.1.29
- 5) 平成 19 年度基盤技術開発補助金等交付申請書 (社)日本陸用内燃機関協会
- 6) 陸内協会長 「年頭にあたって」 LEMA 2009 No 494
- 7) 陸内協ホームページ <http://www.lemma.or.jp/>
- 8) 陸内協創立 60 周年記念技術フォーラム 資料集 2008.11.4

### 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

基盤技術開発研究の推進母体であり、全体計画作成と推進、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	H20年 5月 27日	全体計画承認、エンジン改良方法の承認
第2回基盤技術開発研究会	H20年 8月 26日	各分科会の中間報告及び対応策の検討
第3回基盤技術開発研究会	H20年 12月 11日	各分科会の中間報告、スケジュール確認
第4回基盤技術開発研究会	H21年 2月 19日	H20年度事業報告、成果の把握

#### 3. 2 基盤技術開発分科会

3つの分科会（クボタ分科会、三菱重工業分科会、IHI シバウラ分科会）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	H20年 6月 26日 H20年 9月 30日 H20年 11月 25日 H21年 2月 4日	エンジン改良：DPF装置＋前・後段DOC 燃料改質器の改良 DPF再生システムの構築 改良後データ採取： 定常運転による制御マップの調整 NRTCモードにおけるDPF再生試験
三菱重工業分科会	H20年 6月 25日 H20年 9月 10日 H20年 11月 13日 H21年 1月 15日	エンジン改良：外部EGR、インタークーラー付 DOC+DPF（容量増大） 改良後データ採取：C1モード、NRTCモード メタルDPF、セラミックDPFによる排ガス浄化率 セラミックDPF再生システム評価
IHI シバウラ分科会	H20年 6月 27日 H20年 11月 27日 H21年 1月 26日 H21年 2月 12日	エンジン改良：ターボ仕様 DPF装置 バーナ再生装置試作 改良後データ採取：C1モード、NRTCモード バーナ再生装置によるDPF再生試験

#### 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

前年度（平成 19 年度）は、一昨年（平成 18 年度）に行った米国 EPA の Tier 4 規制適合のための予備評価（DPF に堆積した煤を燃料改質ガスを想定した模擬ガスにより再燃焼させる試験）に続き、燃料改質装置を含む DPF 再生装置を試作し、動作の確認と DPF 再生能力の確認を行なった。その結果、空気ブロワの性能向上による暖機時間の短縮、燃料改質触媒槽の改良、排気低温時（DOC が機能しない領域）の改質ガスの着火・燃焼運転の安定性の改良などが課題であることが判明した。今年度（平成 20 年度）は、これらの課題を解決するとともに、制御ロジックおよび制御回路の試作も行ない、本システムをエンジンと DPF の間に実装して評価試験を実施する。評価試験での運転方法としては、実使用条件を模擬した NRTC 過渡運転モードでの再生試験を行ない、本システムの実用性と小型産業用ディーゼルエンジンへの適用性を検証する。

###### 4. 1. 2 研究の内容

###### (1) 供試エンジン

供試エンジンは前年度の使用機をトルク、出力を確認した上で継続使用した。供試エンジン諸元を表 4.1.2-1 に、試験結果を表 4.1.2-2 に示す。この供試機については、前年度、エンジンの排ガス・PM 値を米国 EPA の Tier 4 規制値に合わせるべく燃料噴射時期の調整を行い、更に DPF を装着して図 4.1.2-1 に示すように米国 EPA Tier 4 適合レベルにすることができた。

表 4.1.2-1 供試エンジン諸元

燃焼方式	4 サイクル過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)／定格回転数(rpm)	36.4／2800
過給機	無し
燃料	JIS2 号軽油（硫黄分 4ppm）

表 4.1.2-2 排ガス測定結果 (C1 8モード)

	トンネル	CO	NOx+HC	PM
		g/kW・h	g/kW・h	g/kW・h
ベース	マイクロ	0.74	4.80	0.227
平成19年度	マイクロ	0.31	4.48	0.025

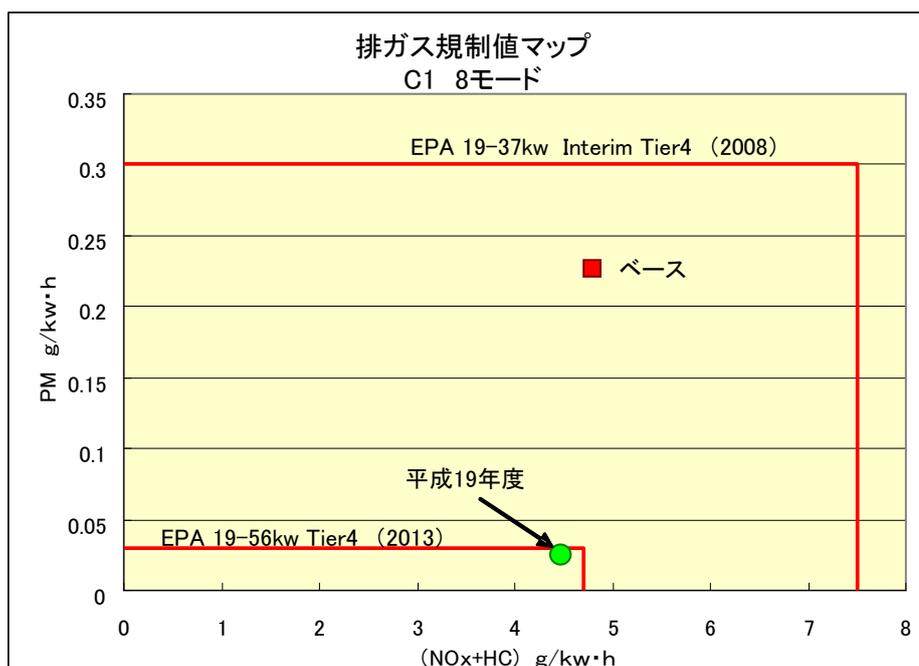


図 4.1.2-1 排ガス測定結果

(2) DPF の仕様と DPF 再生方式について

DPF はエンジン運転中に再生しながら連続使用することを前提に、より耐熱性が高い SiC を選んだ。又、DPF には触媒を担持せず、車載燃料を用いて排気昇温する方法により煤を再燃焼させることを目標とした。また、DPF の前段（入口側）と後段（出口側）に酸化触媒を配置する構造とした。

表 4.1.2-3 DPF、DOC 仕様

	担体	触媒担持
DPF	SiC ハニカム	なし
DOC (前段)	コージュライトハニカム	Pt 触媒
DOC (後段)	メタルハニカム	Pt 触媒

### (3) エンジン実装のための試作

#### ① 燃料改質器の改良

燃料改質器は前年度の縦置き、ステンレス削り出し品から、今年度はエンジンへの実装性をよくするとともに触媒槽の被熱、断熱に配慮したより実用に近い横置きのプレス、溶接品にするなどの改良を行った。前年度に試作した燃料改質器を図4.1.2-2に示し、今年度に試作・供試した改質器を図4.1.2-3に示す。

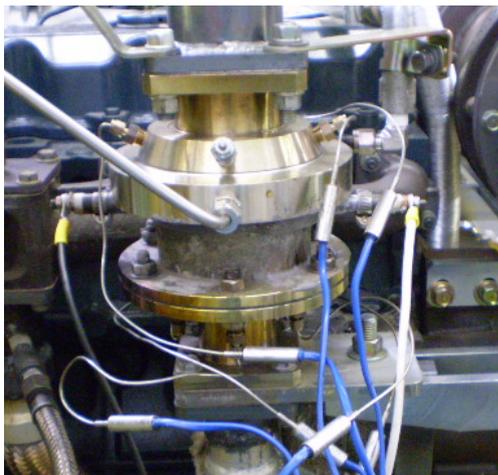


図4.1.2-2 H19年度  
縦置き型燃料改質器  
(SUS 削り出し品)

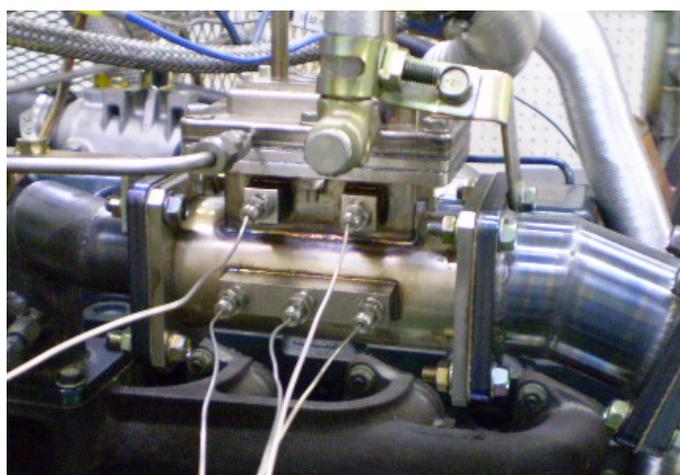


図4.1.2-3 H20年度  
横置き型燃料改質器  
(プレス・溶接品)

#### (4) 燃料改質器とDPFのエンジンへの実装

H19年度は図4.1.2-4に示すように、第1次試作品の試験に都合のよい配置としてエンジンから距離をとって縦置きに燃料改質器とDPFを設置していたが、H20年度はDPFをエンジンのフライホイールハウジングの上に取り付け、燃料改質器を排気マニフォールド上に配置する方法でエンジンに実装した(図4.1.2-5)。

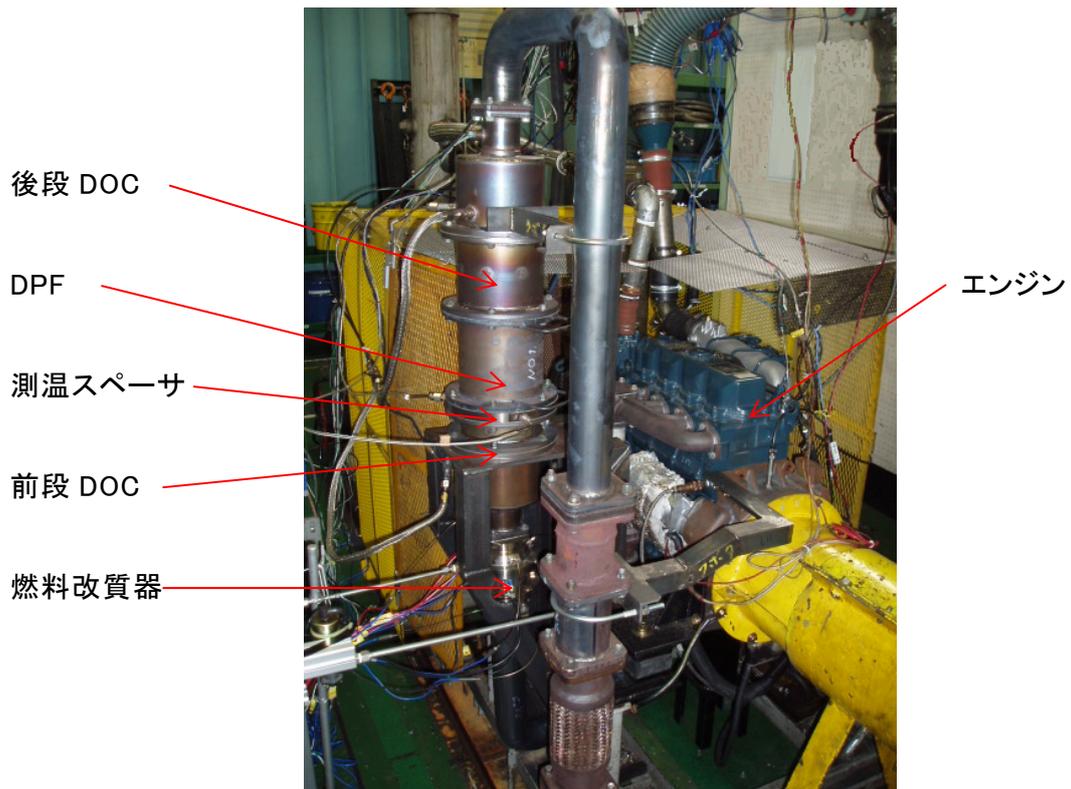


図 4.1.2 - 4 H19 年度試験装置

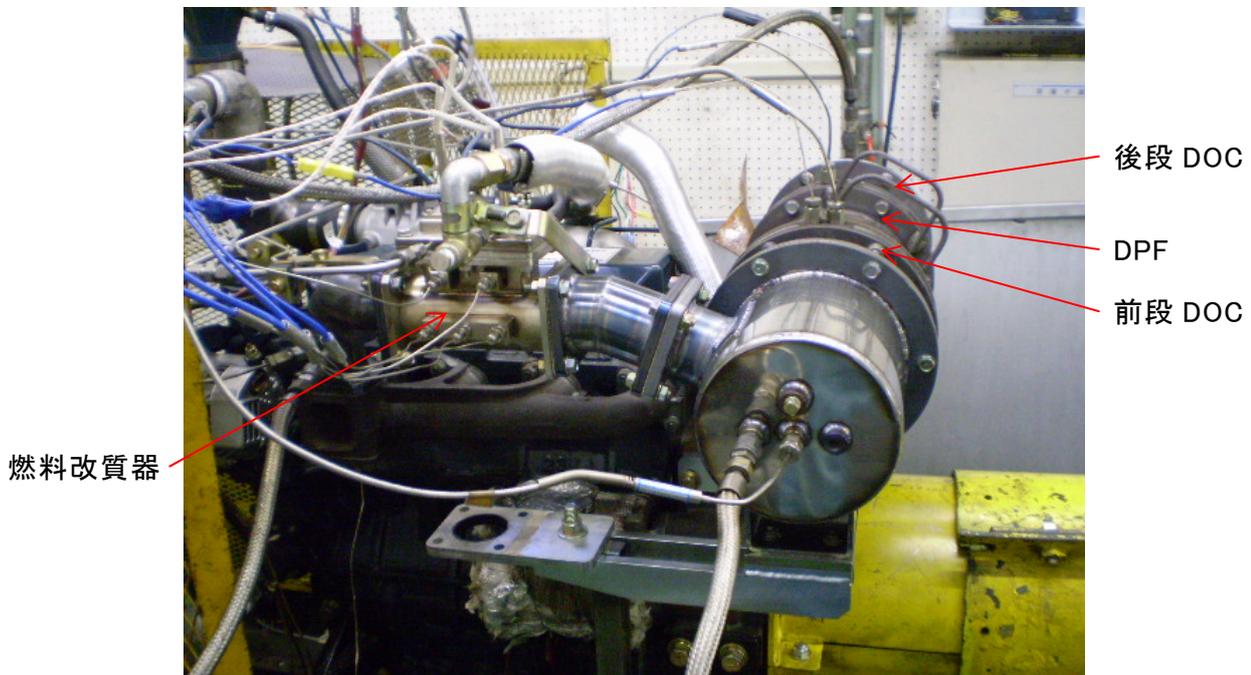


図 4.1.2 - 5 H20 年度 DPF、燃料改質器取付け状況

また、燃料改質器に燃料を供給する燃料ポンプ、空気を供給するモータブロワと制御用圧力センサは防振ブラケットを介してエンジン右側面、吸気マニホールド下に取り付けた(図4.1.2-6)。

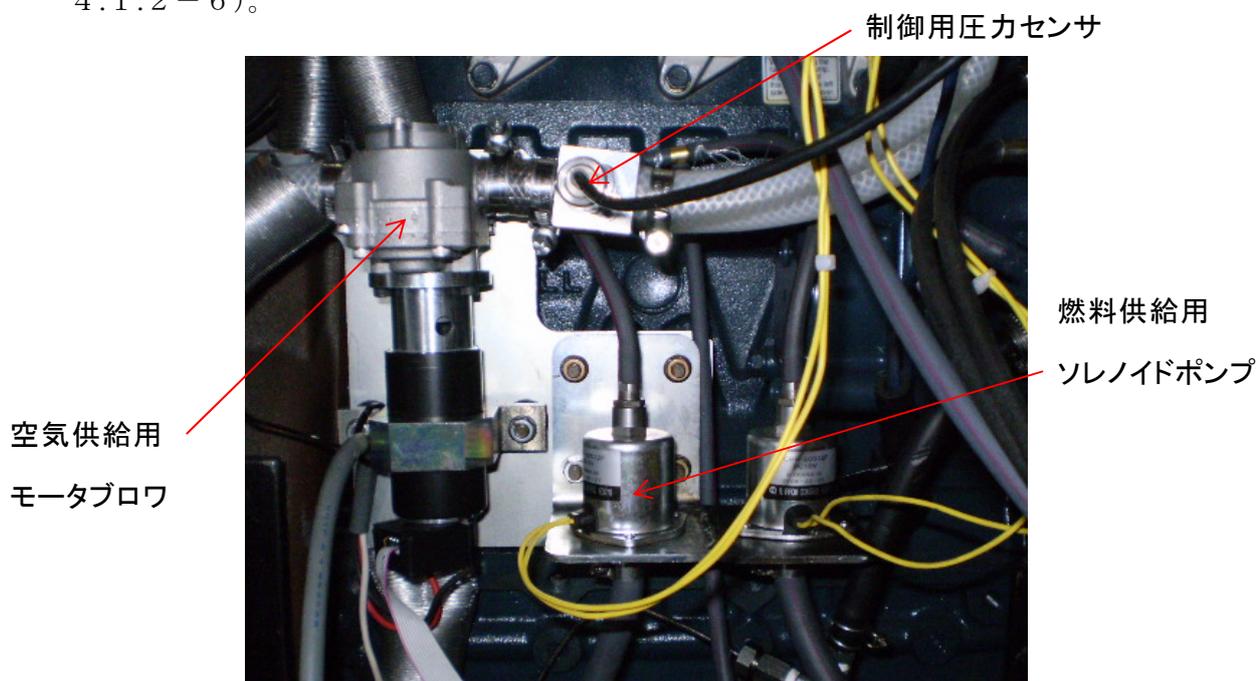


図4.1.2-6 補機類の実装

(5) 制御システムの製作

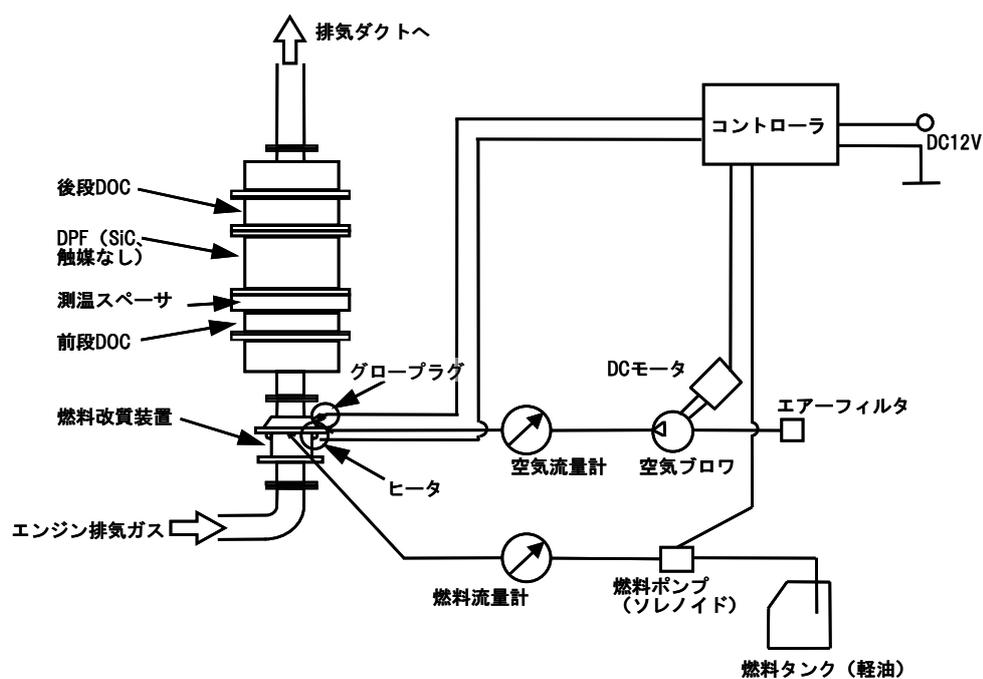


図4.1.2-7 H19年度 燃料改質器運転実験装置

H19年度は燃料改質器に投入する燃料と空気量をそれぞれ流量計をモニタしながら手動調整していたが（図4.1.2-7）、H20年度はエンジンの運転条件に合わせて自動的にDPF入口ガス温度（DOC出口温度）を再生温度（600℃付近）に制御するコントローラを試作した（図4.1.2-8）。

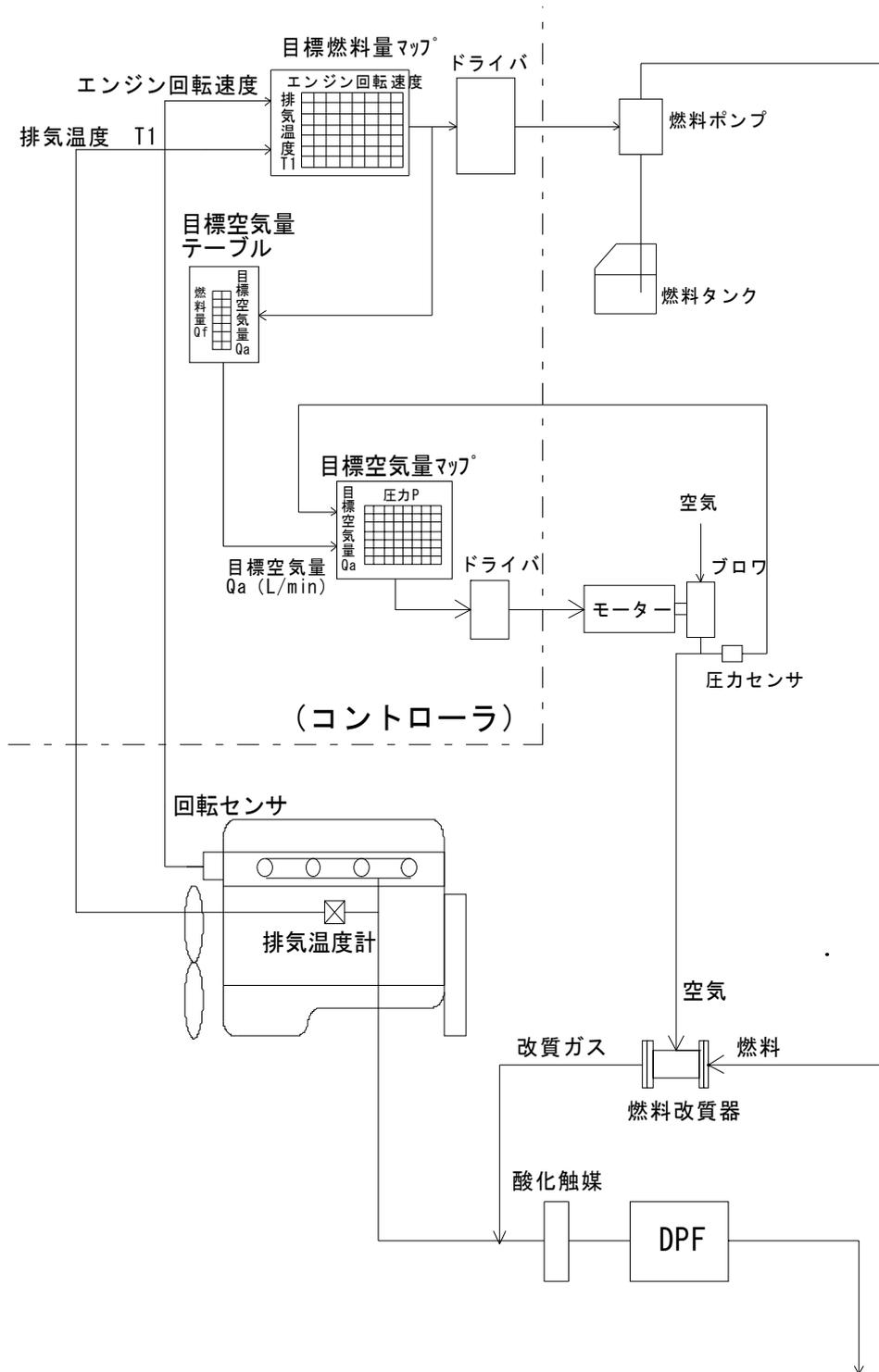


図4.1.2-8 H20年度 燃料改質器制御システム

システム構築においては、エンジンの回転速度と排気温度に対して DPF 入口ガス温度（DOC 出口温度）を所定の再生温度（600℃付近）に昇温するために必要な燃料改質器に投入する燃料量をあらかじめ定常運転試験から求め、その結果から燃料マップを作成し、エンジンの運転中に回転速度と排気温度を逐次測定しながら、このマップから読み取った必要燃料量を燃料ポンプによって燃料改質器に供給する。更に、燃料改質器の触媒反応を最適に維持するために、この燃料供給量に見合った空気供給量をテーブルから求め、ブロワ出口側の圧力によって補正しながら空気ブロワモータの回転速度を調整する空気量マップを使って空気供給量を制御する方式とした。制御装置の写真を図 4.1.2-9 に示す。



図 4.1.2-9 燃料改質制御装置

(6) 試験結果

① 定常運転による制御マップの調整結果

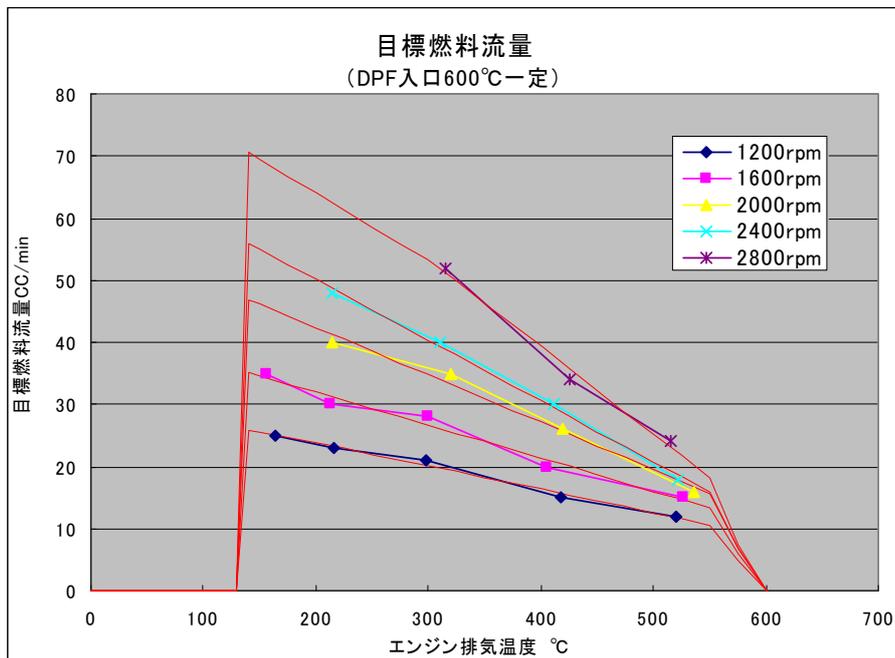


図 4.1.2 - 1 0 制御マップ

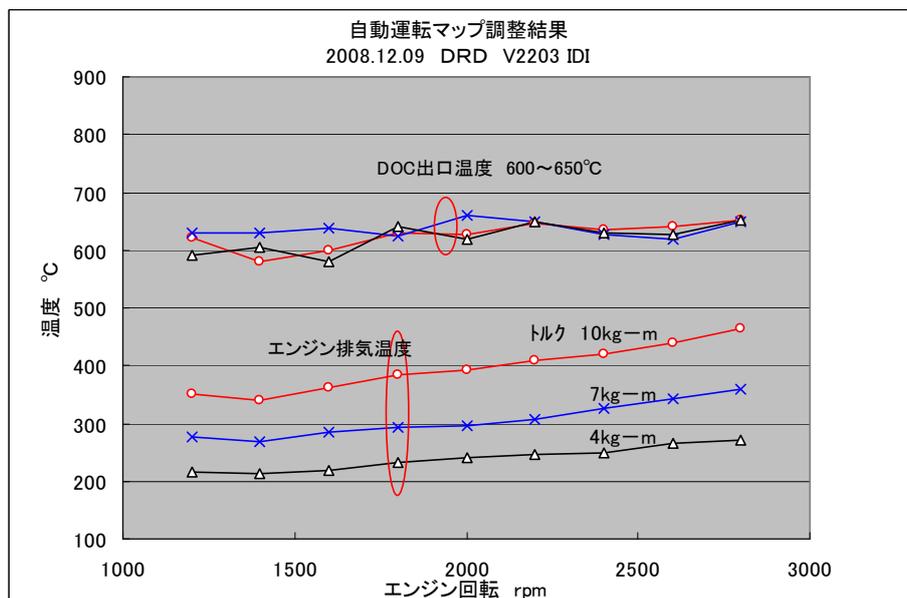


図 4.1.2 - 1 1 制御マップの確認運転結果

定常運転においてDOC出口温度を600~650°Cとするのに必要な改質器への燃料投入量の測定を行い、マップ化した結果を図4.1.2-10に示す。また、このマップを使って改質器を運転し、トルク一定運転でDOC出口温度を検証した結果を図4.1.2-11に示す。運転条件の全域で、600~650°CのDPF入口ガス温度(DOC出口温度)を得ることができた。

② NRTC モードにおける DPF 再生試験結果

a. DPF 入口 (DOC 出口) ガス平均温度 630°Cでの再生

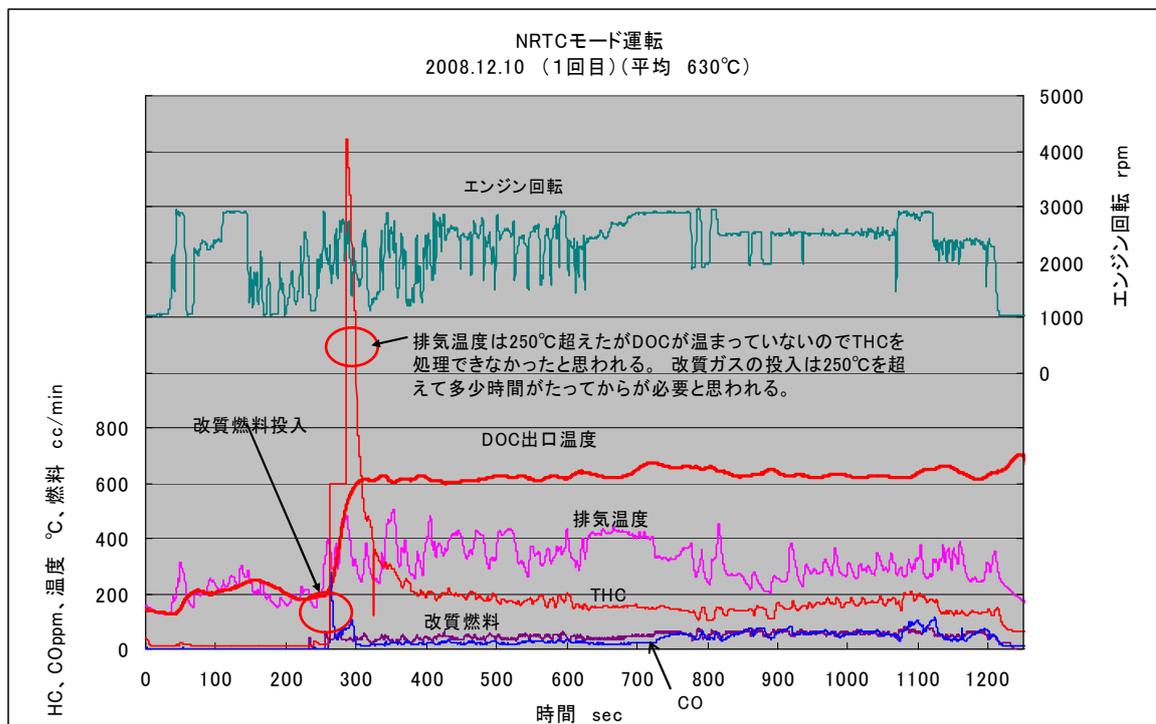
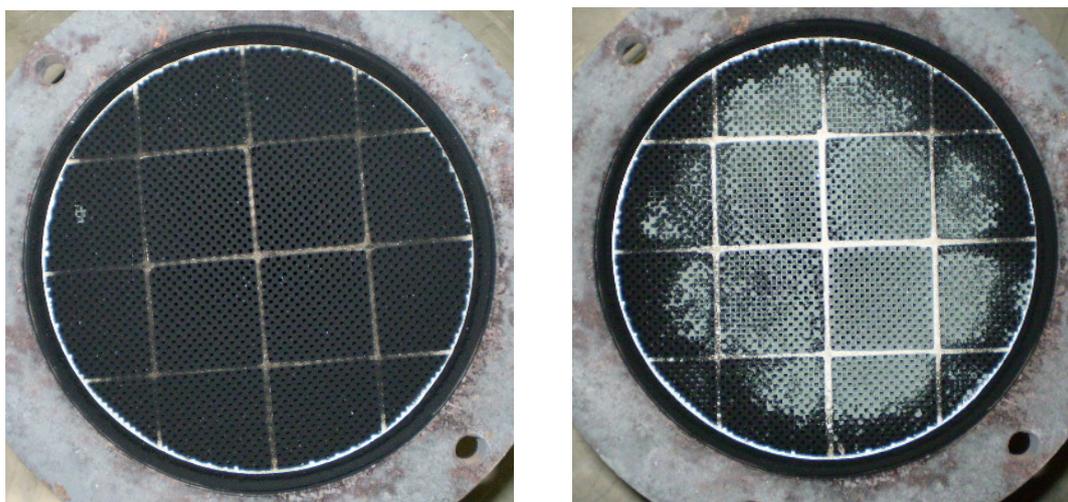


図 4.1.2-12 DOC 出口ガス平均温度 630°Cでの再生

排気温度が 250 度を越えたところで改質器に燃料を投入したところ、DOC 出口温度は 200°C程度だったため改質ガスの燃焼が充分でなく、当初、過大な THC が発生した (図 4.1.2-12)。DOC 出口ガス平均温度 630°Cで、900 秒 (NRTC 終了まで)、改質ガスを投入した結果、再生率は 73%を得た (図 4.1.2-13)。



再生前 (捕集量 5.2g/L)

再生後 再生率 73%

図 4.1.2-13 DOC 出口ガス平均温度 630°Cでの DPF 再生前後の写真

b. DPF 入口 (DOC 出口) ガス平均温度 678°Cでの再生

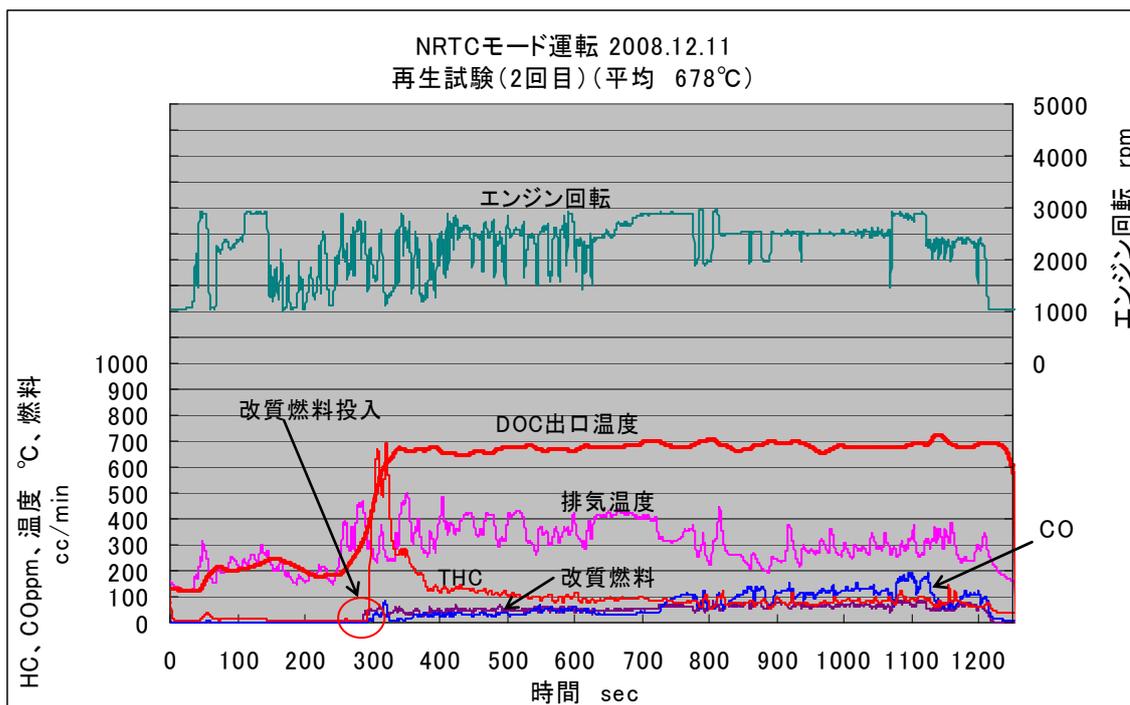
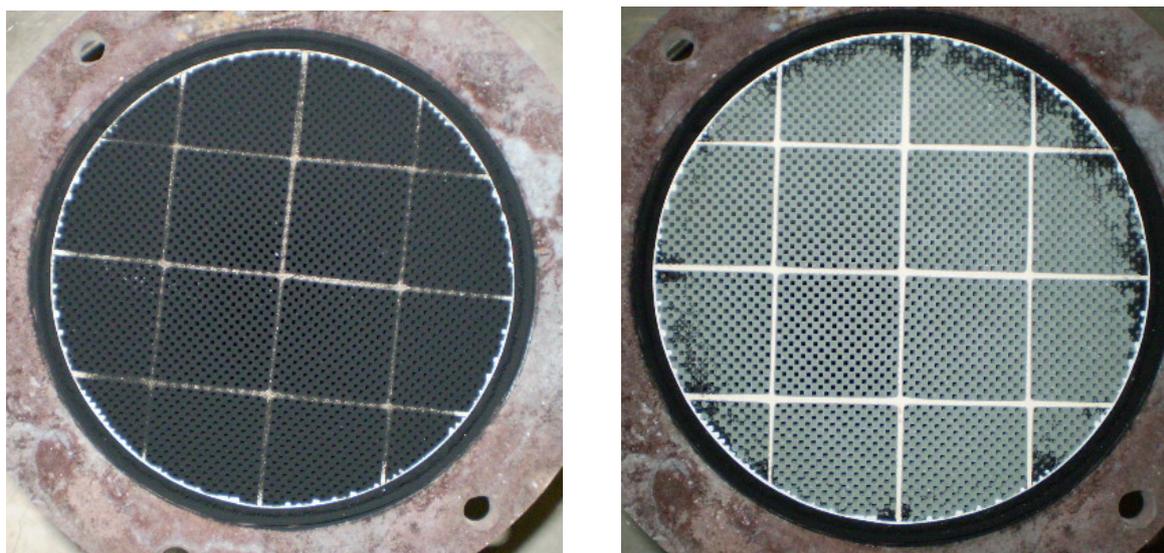


図 4.1.2 - 1 4 DOC 出口ガス平均温度 678°Cでの再生

再生率の向上を狙って再生温度を 50°C高めて再生試験を行った。改質器への燃料投入を DOC 出口温度 250°Cで開始したところ、THC の排出は最大でも 700ppm 程度にまで低減できた (図 4.1.2 - 1 4)。 DOC 出口平均温度 678°Cでの再生を、同じく 900 秒間行ったところ 98%の再生率を得た (図 4.1.2 - 1 5)。



再生前 (捕集量 5.5g/L)

再生後 再生率 98%

図 4.1.2 - 1 5 DOC 出口ガス平均温度 678°Cでの DPF 再生前後の写真

再生中の DPF 各部温度（図 4.1.2 - 1 6 参照）を測定したところ、図 4.1.2 - 1 7 に示す結果を得た。図から、DPF の外周部の温度は中心部に比べて 40～60℃ 低く、DOC 出口ガス平均温度（DPF 入口ガス温度）678℃での再生の場合は DPF 外周部での温度が 640℃程度になる。このことから DOC 出口ガス平均温度 630℃での再生では DPF 外周温度は 600℃以下であり、その温度分布が外周部分の煤燃え残りとも再生率低下（73%）につながったと考えられる。

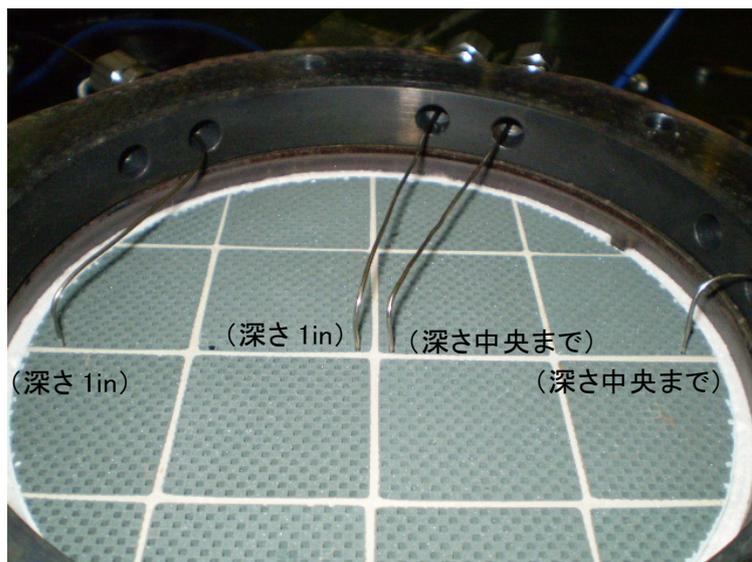


図 4.1.2 - 1 6 DPF 後端から熱電対取付け状況

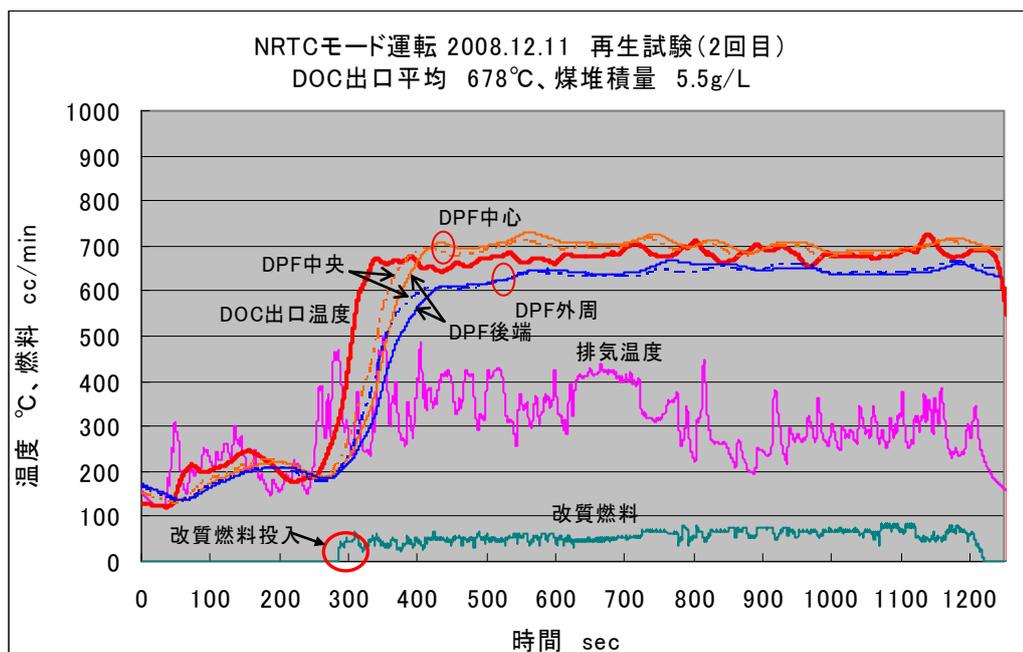


図 4.1.2 - 1 7 DOC 出口ガス平均温度 678℃で再生中の各部温度

### 4.1.3 まとめ

#### (1) 研究日程

平成 20 年度の研究日程を表 4.1.3-1 に示す。

表 4.1.3-1 平成 20 年度研究日程表

実施項目	H20							H21		
	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
基盤技術開発研究 分科会・報告会		6/26 第1回分科会		9/30 第2回分科会		11/25 第3回分科会			2/4 第4回分科会	
DPF再生装置 試作・試運転	横型改質器、制御装置試作 →			制御装置第2次試作 →						
後処理自動運転の準備 (エンジン実装運転調整)			8/22~29 →		10/14~29 →					
NRTC 再生テスト(於 DRD)							12/8~12 →			
結果検討、まとめ							→			

#### (2) 平成 18、19 年度の研究成果概要

- ① 18、9 年度の研究において、米国 EPA の Tier 4 規制適合のための PM 低減には DOC+DPF の使用が効果的であることを確認した。
- ② 一昨年（平成 18 年度）に行った DPF 再生のための予備評価（燃料改質ガスを想定した模擬ガスを使った DPF 煤再燃焼試験）に続き、前年度（平成 19 年度）は、実際に燃料改質装置を試作し、改質ガスを使った DPF 再生システムの動作確認、煤再燃焼能力の確認と問題点の検出を行なった。

#### (3) 平成 20 年度の研究成果

- ① 今年度は、前年度の結果を踏まえ、燃料改質器の改良、空気ブロワの改良などを行ない、これらをエンジン上に実装するとともに、前年度は手動であった改質器の操作を制御ロジックおよび制御回路を試作して自動化し、NRTC モード運転によって過渡運転時の DPF 再生温度の安定性、煤再燃焼効果の確認などを行なった。
- ② 試作した燃料改質器の自動運転システムで NRTC モード運転を行ったところ、モード運転中を通して（エンジン排ガス温度が 180~200℃の低温になった場合でも）

安定して目標 DPF 入口ガス温度（今回は 630℃と 678℃の 2 条件）を維持することができた。

- ③ DPF に煤を約 5 g/L 捕集し、NRTC 運転開始して約 4 分後に DOC 出口ガス温度が 250℃を超える時点で燃料改質ガスを供給開始する方法で、その後約 900 秒間（NRTC モード終了まで）再生運転を行なったところ、DOC 出口ガス平均温度（DPF 入口ガス平均温度）が 630℃の場合 73%、678℃では 98%の再生率を得た。

前年度、再生に要した軽油の量は、改質器の暖機も含めて 400cc(1000rpm)～1200cc (2800rpm) であった。前年度は定常運転 10 分間の消費量であり、今回は過渡運転 15 分間であるため直接の比較はできないが 880cc の燃料で再生率 98%となり、前年度からの課題となった空気ブロワの供給量不足による長すぎる暖機時間（DPF 入口温度が 600℃到達まで 5～10 分掛かった）については、今年度では燃料投入開始から約 30 秒で目標温度（～600℃）到達と大きく改善されており、燃料消費の面からもより実用に近いものになったと考える。

- ④ 再生開始時、燃料改質器への燃料投入は DOC 出口ガス温度が 250℃を超えるところで開始したが、当初 THC が若干（数百 ppm 程度）ではあるが発生しているため、何らかの対策を検討する。

#### （４） 実用化への課題

燃料改質ガスを用いる DPF 再生システムは、過渡モード運転（NRTC）による煤再燃焼試験の結果、比較的安定した DPF 再生温度（入口ガス温度）を得るとともに、98%という高い再生率を得ることができた。今後は更に DPF 入口ガス温度のフィードバックによる温度制御の精度向上、高度補正のロジックなどを追加して、実用的なシステム構築への展開が可能と思われる。また、前年度に更なる低温着火を目指して試作した低温着火プラグによる改質ガスの排気管内での火炎燃焼については、良好な結果が得られなかったため今年度はその試作・テストを中断して他に発熱させる方法を試行中である。実装スペースの課題については今年度の横置き型改質器でほぼ実用的な形を示せたと考えるが、今後、更に実用的なコスト、燃料消費量の低減、信頼性、耐久性確保などの課題解決や検証を行っていく必要があると考える。

## 4. 2 三菱重工業分科会

本節では三菱重工業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、平成19年度排ガス値をベースに、給気温度低減、EGR量変化および後処理装置として容量を増大した酸化触媒（DOC）およびメタルDPFを試作し、PM低減の可能性を評価する。さらに、メタルDPFとほぼ同サイズのセラミックDPFを試作し、浄化率の比較、および再生システムの評価を行う。

### 4. 2. 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。

#### 4. 2. 1. 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。

#### 4. 2. 1. 2 NO<sub>x</sub>、PMの関係把握

エンジン本体仕様としてEGR量、後処理装置として容量を増大したDOCおよびメタルDPF、セラミックDPFの仕様を変更した場合のNO<sub>x</sub>、PMの関係について把握した。

#### 4. 2. 1. 3 酸化触媒およびメタルDPF、セラミックDPFによるPM低減試験

排気後処理装置として、DOCおよびメタルDPF、セラミックDPFによるPM低減に関する評価を実施した。

#### 4. 2. 1. 4 セラミックDPF再生システム評価試験

排気後処理装置として、セラミックDPFによる再生システムの評価を実施した。

### 4. 2. 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。

#### 4. 2. 2. 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 Tier3規制に対応した

仕様である。主要諸元を表 4. 2 - 1 に、エンジン外観を図 4. 2 - 1 に示す。

表 4. 2 - 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
燃料噴射時期		進角
EGR		クールドEGR
燃料噴射ポンプ		VE型（タイマー付き）
過給		ターボ付き
給気温度		低減
インタークーラ		有り
定格出力	kW/rpm	55/2500
対応排ガス規制		EPA Tier3

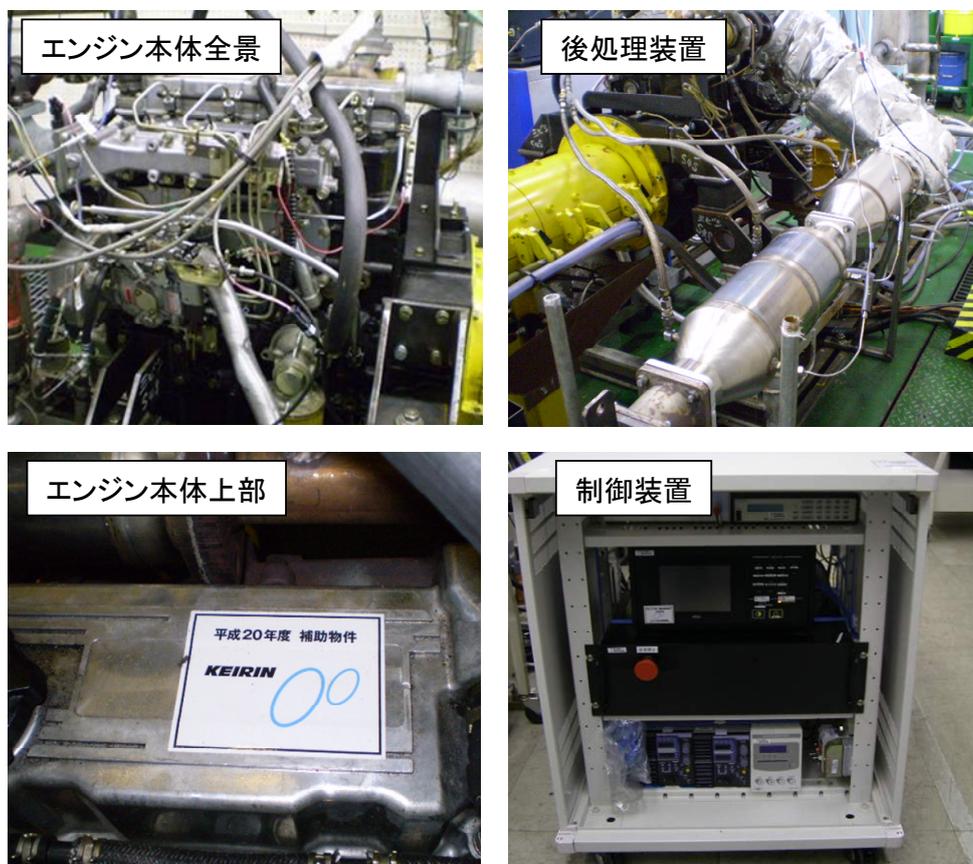


図 4. 2 - 1 エンジン外観

#### 4. 2. 2. 2 供試後処理装置

本研究で用いた後処理装置の仕様について表 4. 2-2 に、DOC および DPF 外観を図 4. 2-2 に示す。

表 4. 2-2 後処理装置一覧

部品名称	容量	触媒担持の有無
DOC#1	小 (H19年度品)	有り
DOC#2	大	↑
DPF#3 (メタル)	小 (H19年度品)	無し
DPF#4 (メタル)	大	↑
DPF#5 (セラミック)	DPF#4と ほぼ同容量	有り



図 4. 2-2 供試 DOC および DPF 外観

セラミック DPF 再生システムの概略図について図 4. 2-3 に示す。システムの構成は、排気管に設置された軽油噴射装置と排気スロットルバルブであり、軽油噴射装置は、燃料の循環により冷却する方式である。

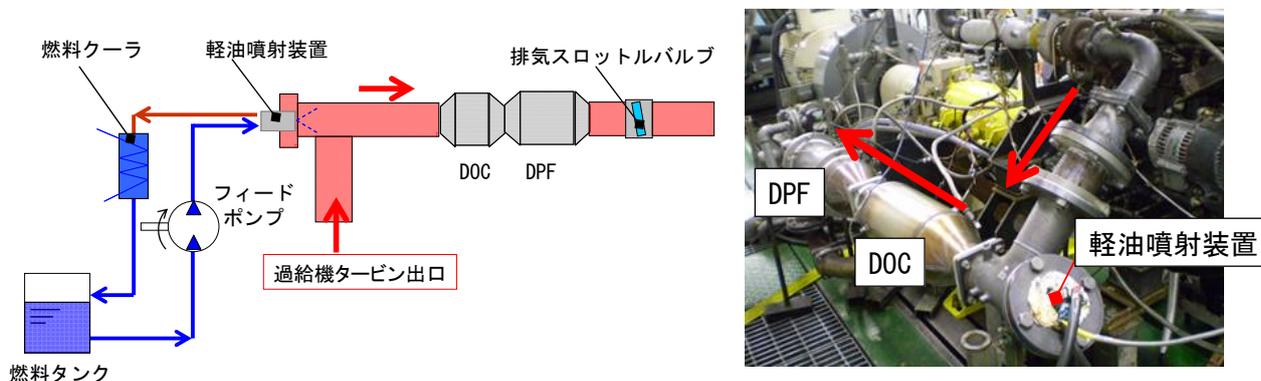


図 4. 2-3 セラミック DPF 再生システム概略図

#### 4. 2. 2. 3 試験条件

排ガス性状評価における試験条件を表4. 2-3に示す。エンジン出口の排ガス性状は、EGR量を変化させて評価した。また、後処理装置出口の排ガス性状は、後処理装置の種類を変化させて評価した。

表4. 2-3 試験条件（排ガス性能評価）

No.	燃料噴射時期	EGR量	DOC	DPF
1	ベース	ベース	無し	無し
2	↑	無し	↑	↑
3	↑	増	↑	↑
4	↑	ベース	#1	#3（メタル）
5	↑	↑	↑	#3（H19年度使用品）
6	↑	↑	↑	#4（メタル）
7	↑	↑	#2	↑
8	↑	無し	↑	↑
9	↑	ベース	↑	#5（セラミック）
10	↑	無し	↑	↑
11	↑	↑	無し	↑

セラミック DPF による再生システムの評価試験条件を表4. 2-4に示す。

表4. 2-4 試験条件（DPF 再生システムの評価）

DOC	DPF	PM 堆積量	DOC 入口温度	EGR	排気 スロットル
#2	#5	5~6g/L	300℃	無し	絞り

#### 4. 2. 2. 4 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. 2-5に示す。

表4. 2-5 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 ④CO <sub>2</sub> 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 計Φ35.7mm、長さL=825mm ②DLS本体 ・D. SAMPLE流量 65~130L/min ③PM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
10	乾燥機	LP-201	ESPEC
11	重量測定天秤	GP-20	AND

#### 4. 2. 2. 5 運転方法

後処理装置による排ガス性状の評価試験では、試験仕様ごとに後処理装置を交換し PM 堆積が無い状態から試験を開始した。また NRTC 運転においては NRTC モードを 3 回運転し、3 回目をデータとして採用した。

セラミック DPF による再生システムの評価試験は、DPF に PM を堆積させ、PM 重量を計測した後に試験を開始した。

#### 4. 2. 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。

##### 4. 2. 3. 1 C1 および NRTC モード評価結果

基準仕様に対して、EGR 量を変化させた場合、後処理装置の DOC と DPF の組み合わせを変化させた場合、DOC#2+DPF#4、DOC#2+DPF#5 の組み合わせにおいて EGR 無しとした場合、DPF#5 にて DOC 無し、EGR 無しとした場合の合計 11 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. 2 - 4 に示す。

図 4. 2 - 4 の結果より以下のことが解る。

- ・後処理装置無しの場合、HC、CO は 1.3~1.6 倍 NRTC の方が高い。
- ・後処理装置有りの場合、CO は、絶対値は低いものの、メタル DPF では NRTC の方が低め、セラミック DPF では高めである。
- ・NO<sub>x</sub> は、EGR 無しおよび DOC 無しの場合には C1 と NRTC で同等であるが、それ以外の仕様では、NRTC が C1 の 0.8~0.9 倍である。
- ・PM は、概ね NRTC の方が低い値である。

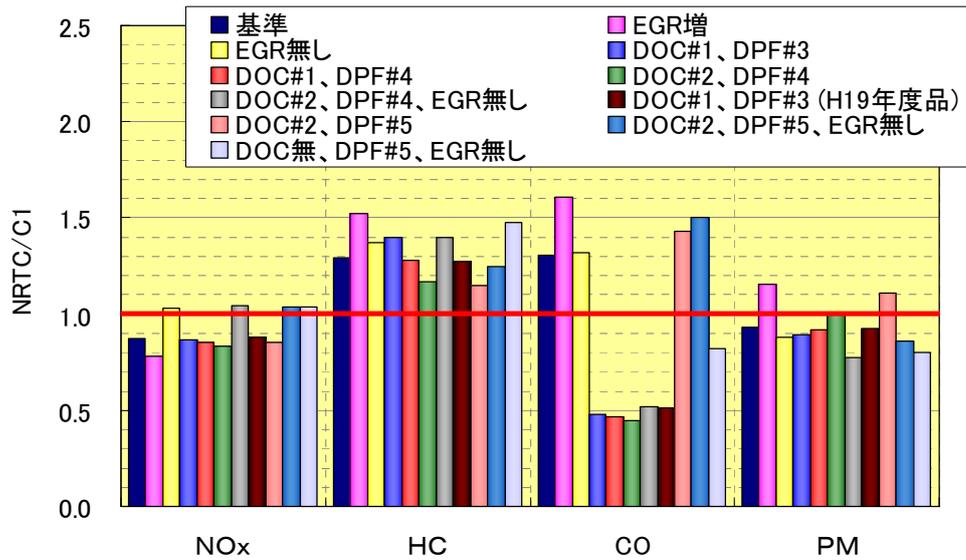


図 4. 2-4 C1 モードおよび NRTC モードの排ガス比較

#### 4. 2. 3. 2 NOx、PM の関係把握

次に、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。C1、NRTC モードでの排ガス計測結果を図 4. 2-5 に示す。

図 4. 2-5 の結果より以下のことが解る。

- 平成 19 年度試験結果との比較

給気温度低減により、筒内ガス温度が低下し、NOx が低減するため、噴射時期進角が可能となり、PM は C1 モードで約 12%、NRTC モードで約 17%低減する。

- EGR の影響

EGR 量を増大させると、NOx+HC は低減するが、PM は増大する。特に、NRTC では、NOx+HC の低減量が約 13%に対して、PM の増大量は約 40%である。したがって、後処理装置の組合せ評価では、EGR 量はベース条件とした。

EGR 増大条件における排煙濃度（オパシティ）の時間履歴を比較した結果を図 4. 2-6 に示す。平成 19 年度試験結果と同様に、EGR 増大条件では、ベースに対してオパシティの最大値が増大していることが確認された。

さらに、時々刻々のオパシティ値をエンジン回転数～エンジントルク平面上とエンジン回転数～空気過剰率  $\lambda$  平面上にバブル状にプロットし、EGR 増大条件で比較した結果を図 4. 2-7 に示す。赤枠部で示した箇所の通り、平成 19 年度の試験結果に比べ、全体的に空気過剰率の低下が抑えられるとともに、エンジン回転数 1800～2200rpm における

オパシティ値が減少していることが明らかになった。

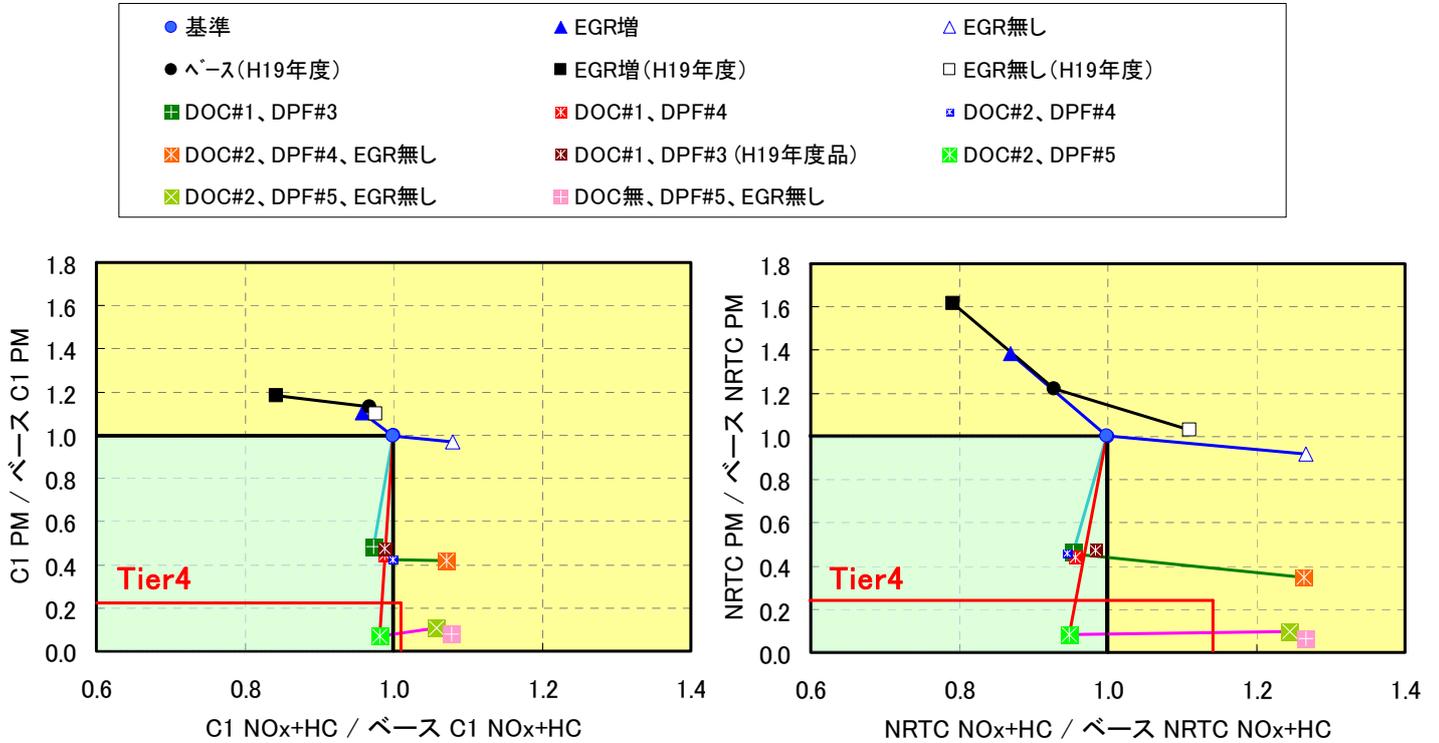


図4. 2-5 エンジン仕様と NO<sub>x</sub>、PM の関係

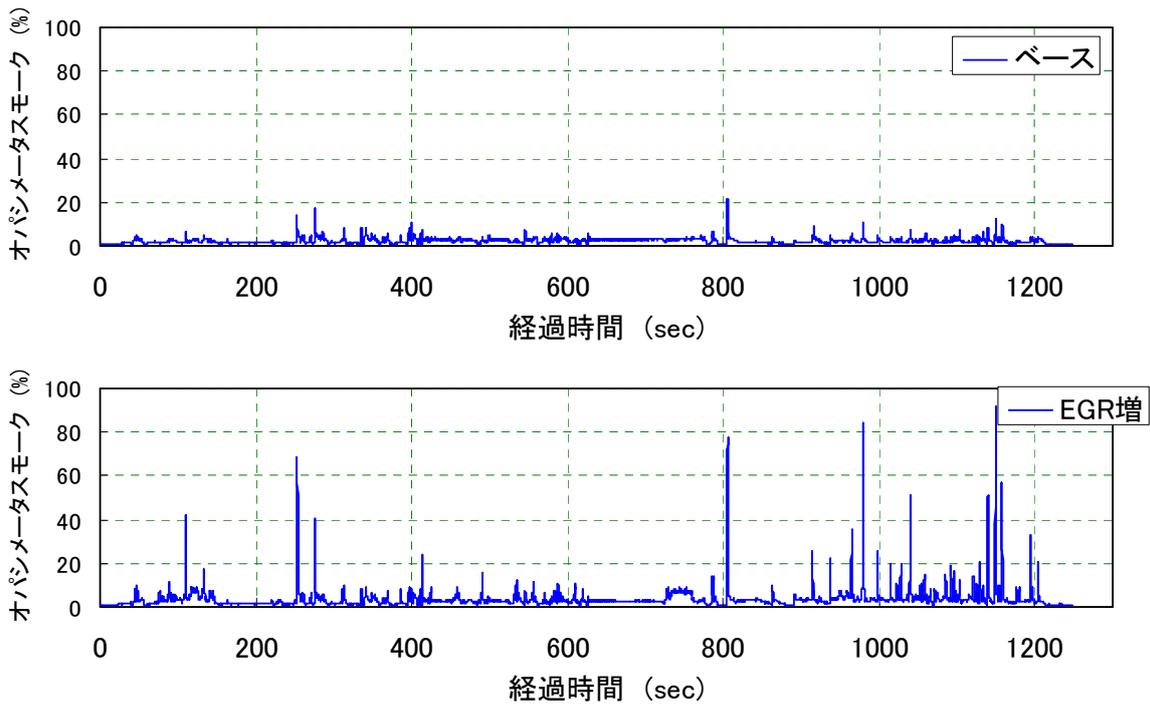
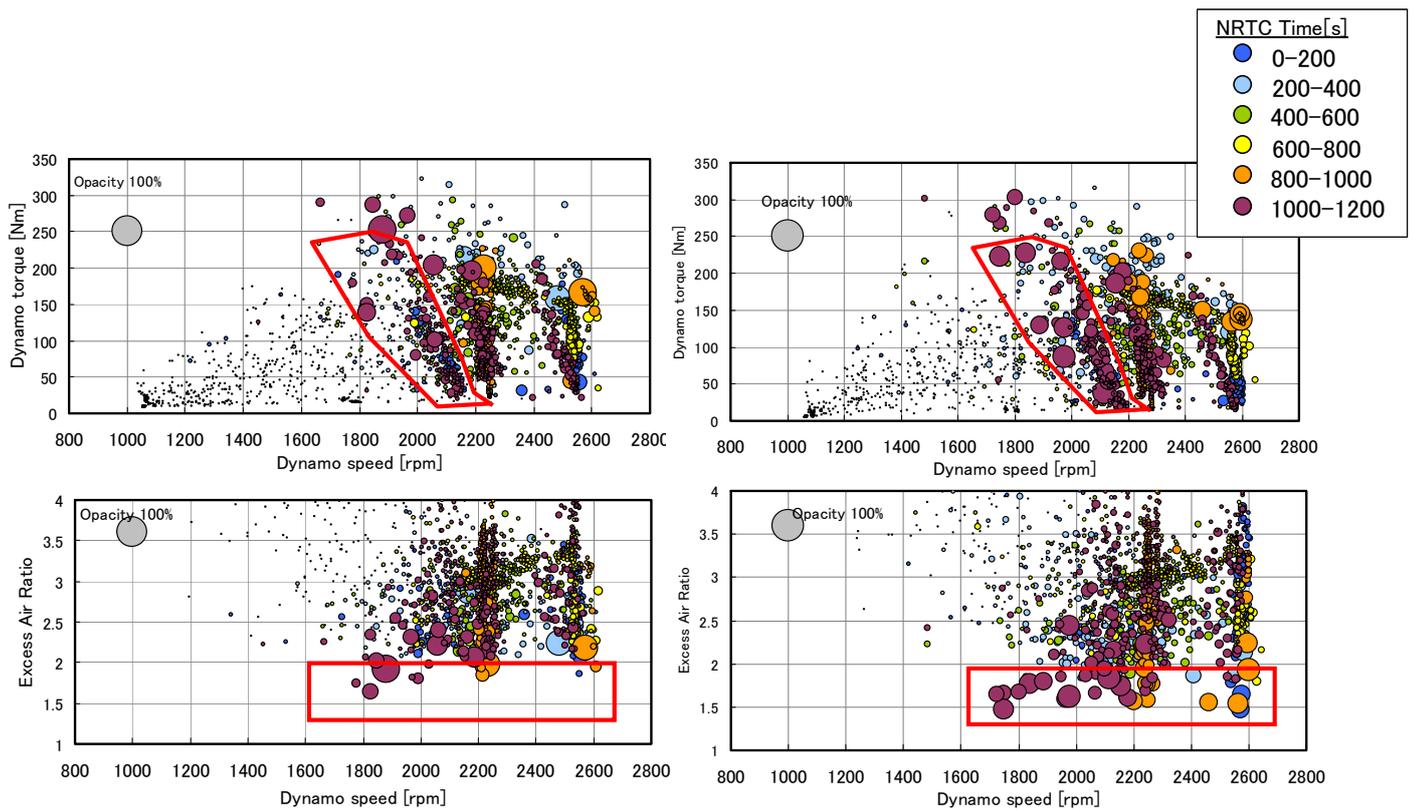


図4. 2-6 NRTCモードにおけるベースおよびEGR増でのオパシティ時間履歴



(1) EGR 増 (平成 20 年度試験結果)

(2) EGR 増 (平成 19 年度試験結果)

図 4. 2 - 7 エンジン回転数とトルク・空気過剰率に対するオパシティ分布

#### 4. 2. 3. 3 酸化触媒およびメタル DPF、セラミック DPF による PM 低減試験

図 4. 2 - 8 に各仕様における SOF 割合を示す。NRTC では、EGR 量の増加により SOF 割合が低下する。排ガストレードオフの関係から、EGR 量の増加により PM 量が増大することから、EGR 量増大の条件では、SOOT 分の増大が大きいことを示している。

DOC#2+DPF#4 適用条件においては、DOC で SOF が浄化され、C1、NRTC ともに SOF 割合は大幅に低下する。

図 4. 2 - 9 に DOC およびメタル DPF、セラミック DPF による排ガス浄化率、図 4. 2 - 10 に DOC 入口温度の累積分布を平成 19 年度試験結果と比較した結果、図 4. 2 - 11 に後処理装置有無でのオパシティ時間履歴をそれぞれ示す。これらのグラフより以下のことが解る。

- ・メタル DPF による PM 浄化率は、C1 で 52~58%、NRTC で 53~62%である。C1、NRTC ともに、DOC#2+DPF#4+EGR 無しの条件で浄化率が最も高くなったが、EGR 無しの

条件では、NO<sub>x</sub> の増加、SOOT 分の減少により、NO<sub>x</sub>/SOOT 比率が増大した結果によるものである。

- 平成 19 年度試験においてメタル DPF による PM 浄化率が最大となった DOC#1+DPF#3 の組合せにおける NRTC-PM 浄化率は 54%であった。図 4. 2-10 より、DOC 入口温度の分布に大きな違いはみられないことから、メタル DPF の実力は、浄化率 50~60% であると判断できる。
- メタル DPF の容量を増大した DOC#1+DPF#4 の組合せ、DOC および DPF の容量を増大した DOC#2+DPF#4 の組合せでの NRTC-PM 浄化率はそれぞれ 56%、55%である。平成 19 年度試験にて使用した DOC およびメタル DPF の浄化率が 54%であり、容量を増大しても PM 浄化率が略同等である。DOC に使用する貴金属コストを抑制する点からも、平成 19 年度試験にて使用した DOC およびメタル DPF の容量を増大する効果は少ないと判断できる。
- 一方で、セラミック DPF による PM 浄化率は、メタル DPF に比べて高く、C1、NRTC で 90~93%である。セラミック DPF を使用した条件では、いずれの条件においても、Tier4 排ガス規制を達成する結果が得られた。
- オパシティの影響  
エンジン出口より排出されるオパシティは、メタル DPF により低減し、さらにセラミック DPF で 5%未満にまで低減する。

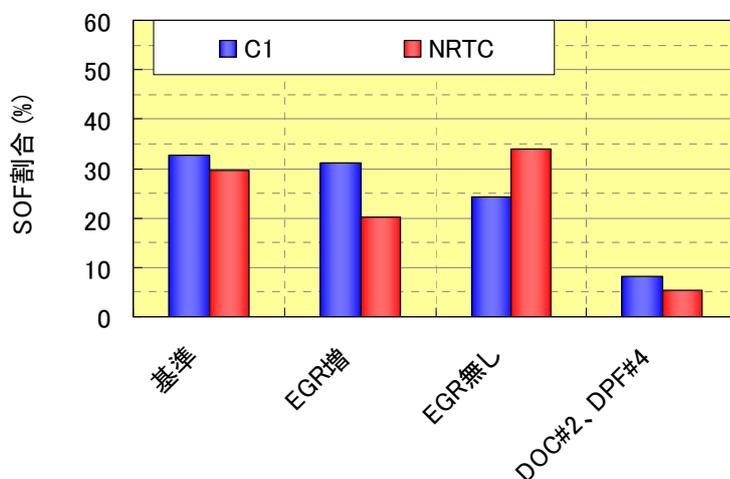


図 4. 2-8 各仕様での PM 中の SOF 割合

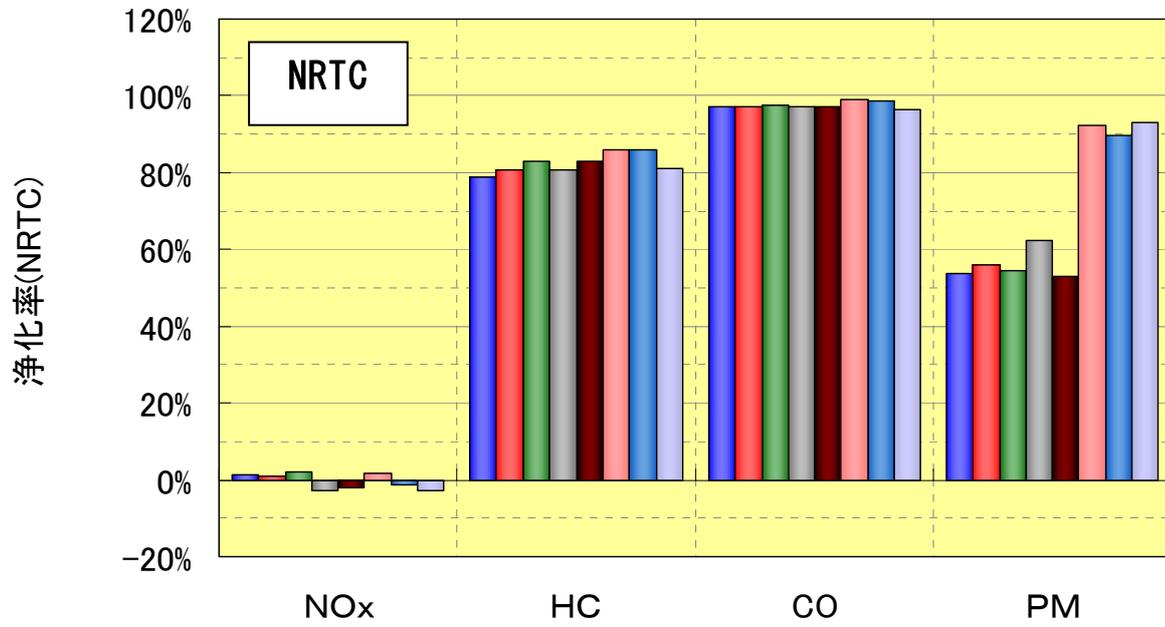
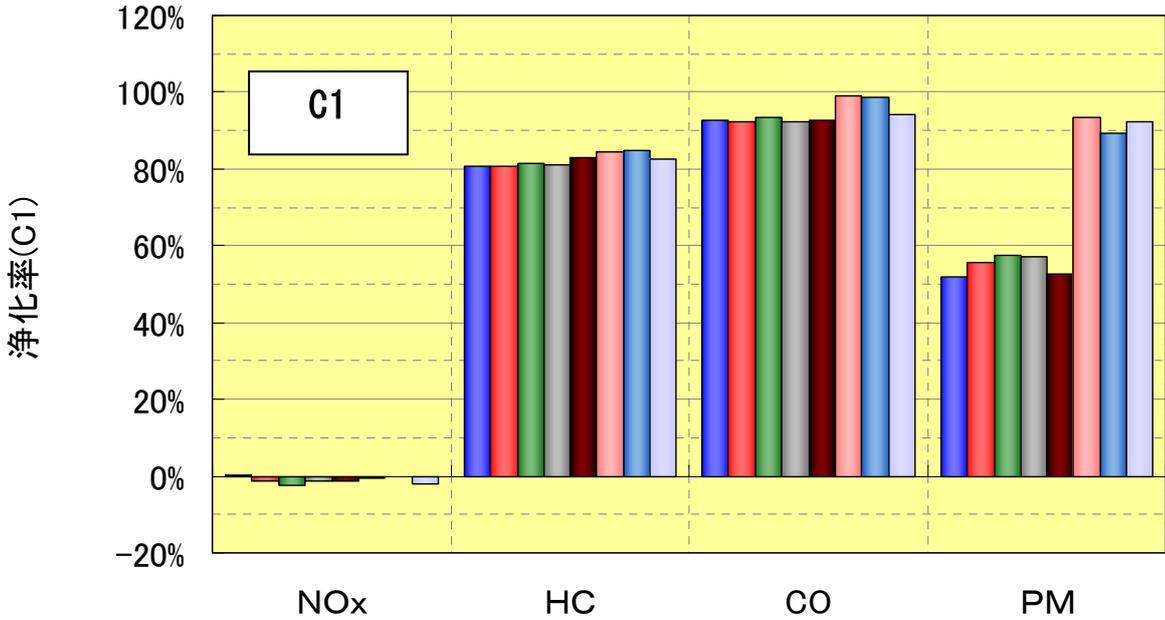


図 4. 2-9 DOC+メタル DPF、セラミック DPF による排ガス浄化率

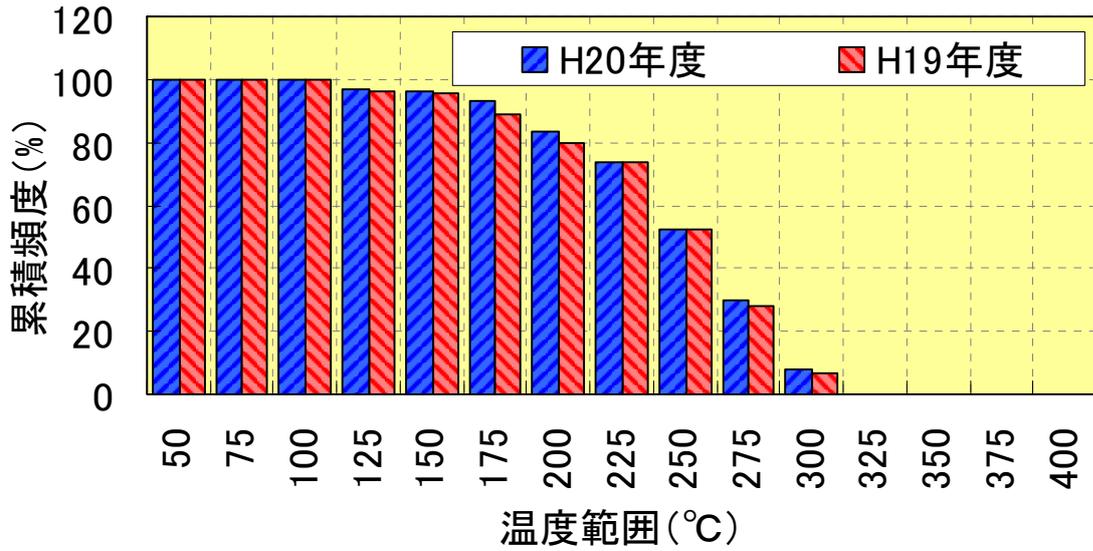
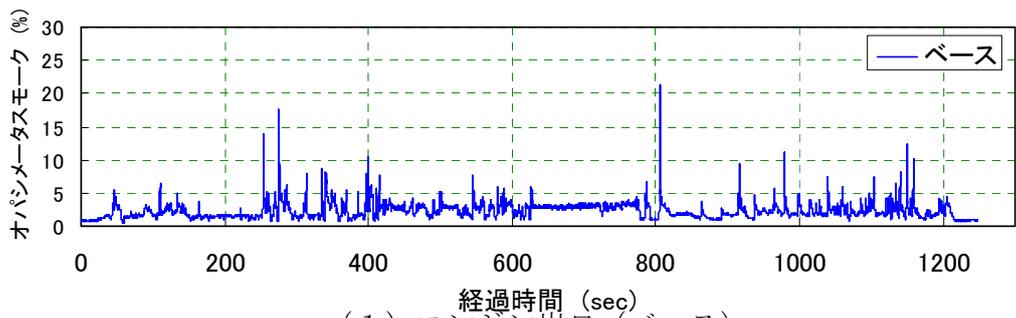
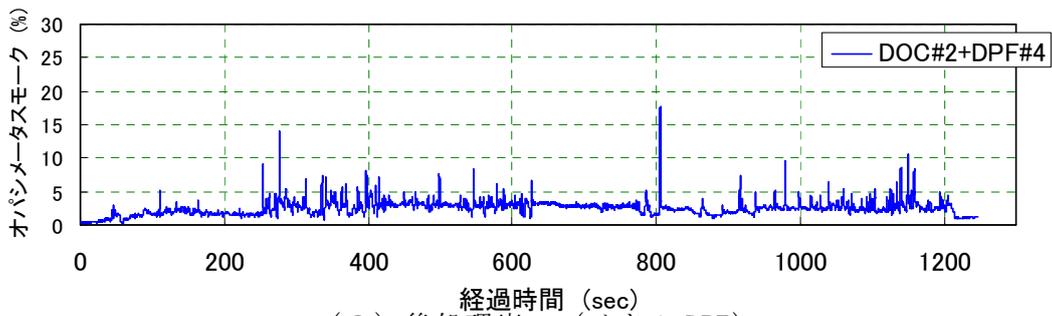


図4. 2-10 DOC入口温度の累積頻度分布

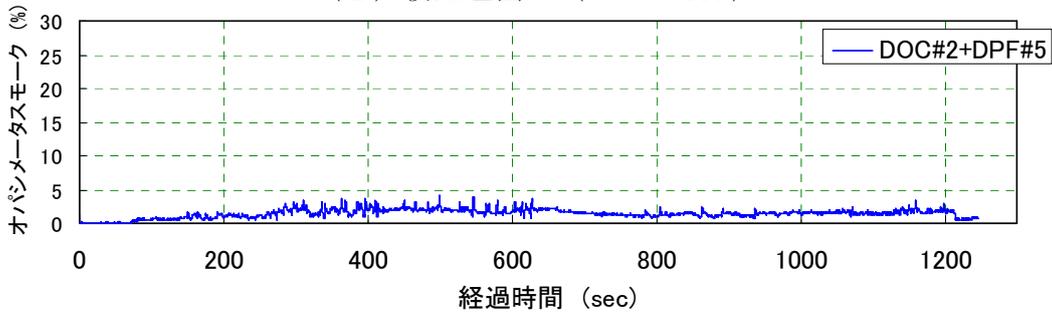
(DOC#1+DPF#3 の比較)



(1) エンジン出口 (ベース)



(2) 後処理出口 (メタル DPF)



(3) 後処理出口 (セラミック DPF)

図4. 2-11 NRTCモードにおける

ベースおよび後処理装置有りの場合のオパシティ時間履歴

#### 4. 2. 3. 4 セラミック DPF 再生システム評価結果

図 4. 2-1 2 に試験結果、図 4. 2-1 3 に再生前後の DPF の状態をそれぞれ示す。排気スロットルにより排気ガス温度を昇温後に軽油噴射制御を行うことにより、DPF に捕集された PM は燃焼し、再生率 89.3%という結果が得られた。軽油噴射期間中の HC のスリップも無く、噴射された軽油は、DOC で酸化され、DPF の昇温に使用されていることが確認された。

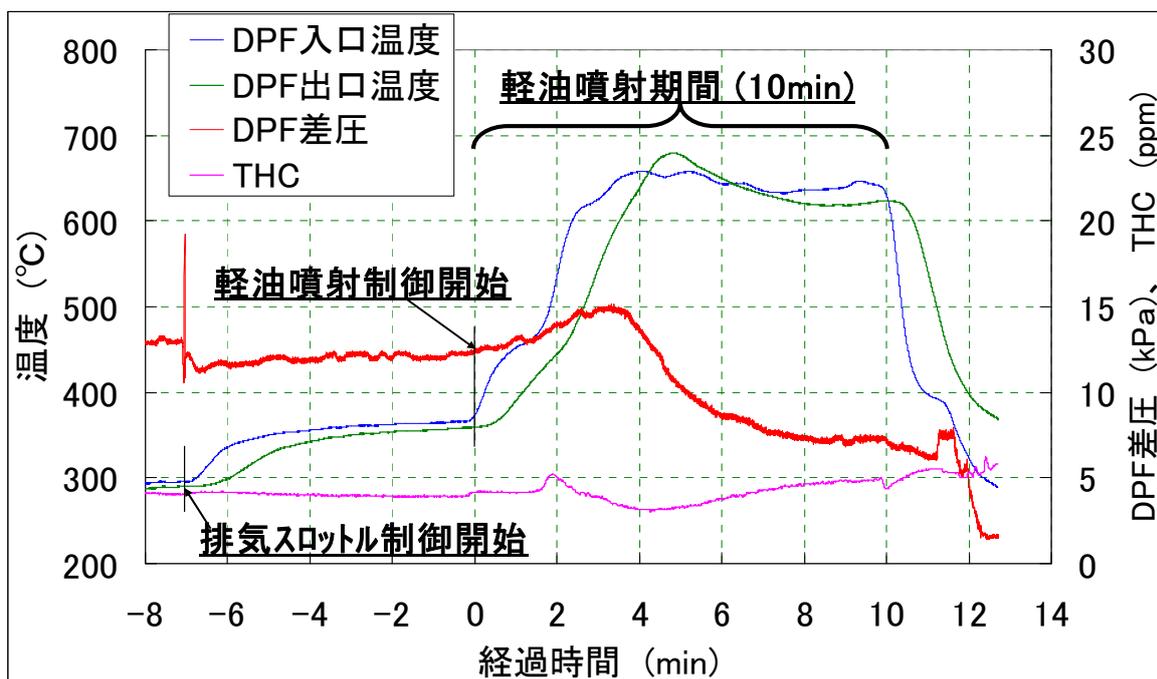
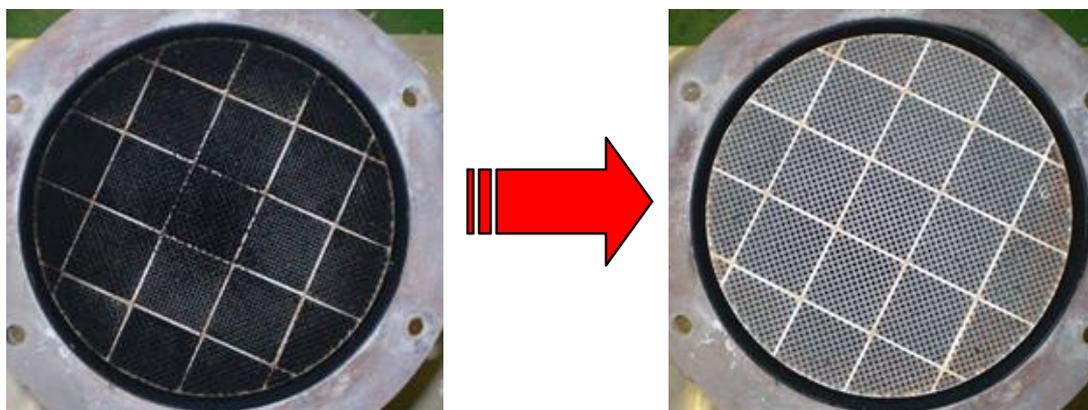


図 4. 2-1 2 軽油噴射+排気スロットルバルブによる DPF 再生 (2500rpm)



DPF 前面 (再生前)

DPF 前面 (再生後)

図 4. 2-1 3 再生前後の DPF 写真

#### 4. 2. 4 まとめ

今年度の研究成果と商品化の課題についてまとめる。

##### 4. 2. 4. 1 平成 20 年度の研究成果

平成 19 年度の供試エンジンをベースに、給気温度低減、噴射時期進角、後処理装置として容量を増大した酸化触媒（DOC）およびメタル DPF、セラミック DPF を試作し、どこまで PM 低減可能かを探った結果、以下の成果が得られた。

- (1) ベースエンジンに、給気温度低減、噴射時期進角を適用することで、平成 19 年度に対してエンジンアウト排ガスを低減した。
- (2) DOC およびメタル DPF により、NRTC モードにおいて PM 浄化率 50～60%を得た。
- (3) メタル DPF とほぼ同サイズのセラミック DPF により、PM 浄化率 90～93%を得て、Tier4 規制値内に到達した。
- (4) セラミック DPF の再生試験を実施し、排気スロットル+軽油噴射制御を行うことにより、再生率 89.3%を得た。

##### 4. 2. 4. 2 商品化の課題

55kW クラスの Tier4 排出ガス規制に対応するためには、PM を 1/10 程度にする必要があり、本分科会ではエンジンアウト排ガスの低減と後処理装置として DOC、メタル DPF、セラミック DPF を供試し PM 低減技術を重点的に実施してきた。

その結果、DOC では規制値に遠く及ばず、メタル DPF では規制値にかなり近づくものの、まだ未達であり、最終的にセラミック DPF にて規制値内に到達した。

セラミック DPF は、堆積した PM を再生する必要があるが、コモンレール式噴射ポンプを搭載しない機械式噴射ポンプの場合は特に再生制御が容易ではなく課題が多い。PM 再生制御ロジックの構築や最適制御システムの選定、燃料消費量の少ない制御技術、信頼性、耐久性確保も解決すべき課題である。

また、PM 堆積量を少なくし再生インターバルを長くするためのエンジンアウトの PM 低減も大きな課題であり、最終的にコストミニマムな PM 低減技術の構築が急務である。

今回の事業により機械式噴射ポンプ搭載エンジンにて、エンジンアウト排ガスの低減と後処理技術のスクリーニングを包括的に実施できたので、今後は各技術のさらなる玉成を図り、実用化に向けた開発を推進する予定である。

#### 4. 3 IHI シバウラ分科会

##### 4. 3. 1 平成 20 年度の研究目的

19 年度の研究に引き続き、米国 EPA の汎用ディーゼルエンジン 37kW 以上 56kW 未満において 2013 年から導入が予定されている Tier4 規制に対応させるための DPF 再生システムの評価試験を行う。昨年度は、DOC+DPF による再生及び排気管への軽油噴射による再生方式を評価したが、排気温度の低い低負荷域において、再生能力に課題を残す結果となった。本年度では、低負荷域においても排気温度を上昇させる能力が期待できるバーナシステムを試作し、その動作確認及び DPF 再生能力の評価を行う。

##### 平成 19 年度研究結果による課題

- (1) DOC+DPF による自然再生評価試験により、バランスポイントを調査した結果、排気温度が概ね 300℃以下の領域では再生が困難なことが判明した。
- (2) 最大トルク点近傍においても PM の堆積量が再生能力を超えるため、自然再生が困難であることが判明した。
- (3) 産業用のディーゼルエンジンにおいては、エンジンと後処理装置までの距離をエンジンメーカーの希望通り最短で搭載できるとは限らない。このような場合においては排気温度が更に低下し、再生可能領域が縮小する可能性がある。

上記の課題解決の可能性が期待できるバーナ式再生装置を試作し、その能力評価を平成 20 年度に実施することとした。

##### 4. 3. 2 試験エンジン諸元と概要

昨年度は Tier3 排出ガス対応レベルの仕様である IHI シバウラ製 N844L(自然吸入方式)を供試エンジンとしたが、昨年度までの自然吸入方式エンジンに対し、本年度は排出ガスレベルは悪化するが、NRTC のバーナの追従性が最も難しいと考えられる過給機付きエンジンを採用した。また、NO<sub>x</sub> 低減の目的から外部 EGR 装置を装着している。表 4. 3-1 にエンジン諸元、図 4. 3-1 にエンジン外観図を示す。

表 4. 3-1 エンジン緒元

項 目	仕 様
気筒数	4
ボア×ストローク	84mm×100mm
排気量	2.216L
燃焼方式	渦流室式
EGR方式	外部EGR
過給	ターボ付き
出力／定格回転数	44.7kW／2800rpm

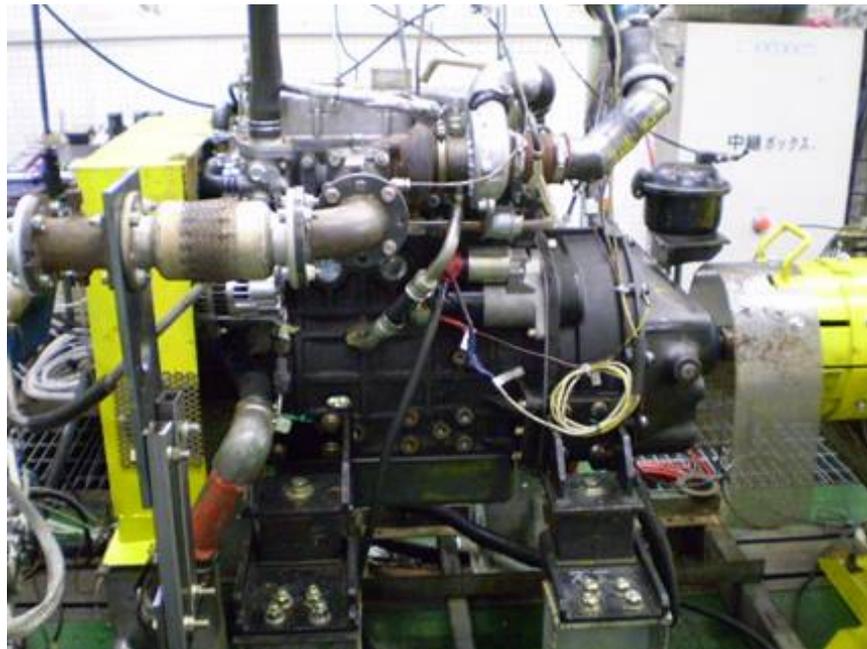


図 4. 3-1 エンジンの概略

#### 4. 3. 3 試験期間

平成 20 年 12 月 17 日～平成 21 年 1 月 16 日

#### 4. 3. 4 C1 モード及び NRTC 計測試験

##### (1) DPF の仕様

H20 年度はバーナによる再生能力を評価するため DOC は無しとし、DPF は触媒担持をしていない物を準備した。試作した DPF は SiC 製（炭化ケイ素）のウォールフロータイプとし、DPF 担体サイズは直径が 5.66 インチ、全長 6 インチである。

DPF のエンジンへの取り付け位置は、エキゾーストマニホールドから約 3m に設置した。DPF の仕様を表 4. 3-2 に示す。また、図 4. 3-2 にバーナ外観図、図 4. 3-3 に DPF 外観図を示す。

表 4. 3 - 2 DPF 仕様

	担 体	触媒担持
DPF	SiC Φ 5.66インチ × 6インチ	無し



図 4. 3 - 2 バーナ外観図



図 4. 3 - 3 DPF 外観図

(2) 排出ガス事前試験

バーナによる再生評価試験実施前に、供試エンジンの排出ガス試験を C1 (8 モード) 及び NRTC にて行った。

(3) 排出ガス事前試験結果

供試エンジンは C1 モードで Tier4 に適合させているが、NRTC では、外部 EGR の追従が不十分であるため、NO<sub>x</sub>+HC の値が規制値に適合していない結果となっている。しかし、本年度の目的であるバーナによる再生の評価には影響しない。

C1 モードの試験結果を図 4. 3 - 4, NRTC の試験結果を図 4. 3 - 5 に示す。

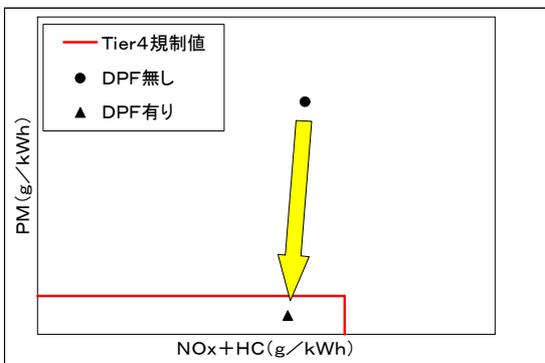


図 4. 3 - 4 排出ガス C1 測定結果

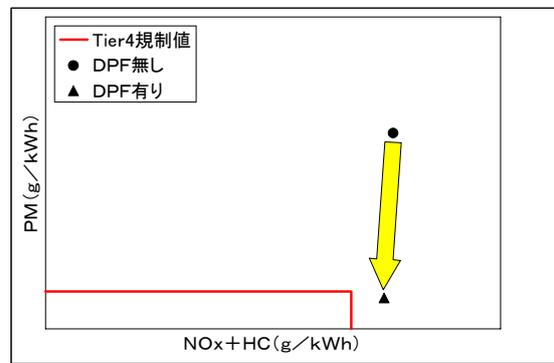


図 4. 3 - 5 排出ガス NRTC 測定結果

#### 4. 3. 5 バーナ再生試験

##### (1) バーナ再生装置仕様

今年度の研究用として試作した再生装置のレイアウト概略を図4. 3-6および再生装置外観を図4. 3-7に示す。本装置はバーナ式の再生装置で、DPFの上流に設置し、排出ガス温度を上昇させDPFに導くものである。バーナのノズル部に燃料（軽油）と空気を供給してノズルから噴射された混合気にて点火プラグにて着火し火炎を形成させる。DPFに堆積したPMを燃焼、除去させる為にDPF入口温度を約650℃となる様バーナコントローラによりバーナの火炎状態を制御した。

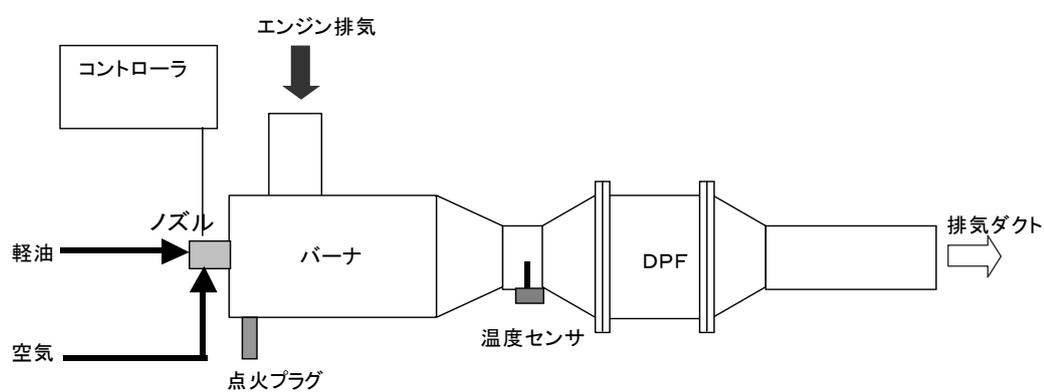


図4. 3-6 バーナ再生装置のレイアウト概略

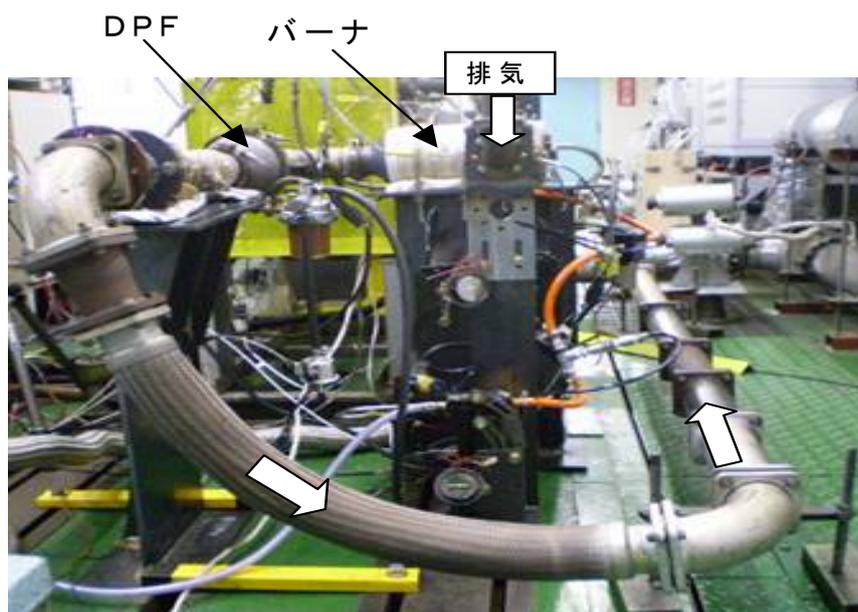


図4. 3-7 バーナ再生装置外観

## (2) 試験方法

バーナによる DPF 再生試験は次の手順にて行なった。

- ① DPF の初期化を行なう（エアブローにて PM 除去）。
- ② 恒温槽で 200℃にて一定時間乾燥させて重量を測定する。（重量 A） DPF の水分を蒸発させて水分の影響を排除する。
- ③ DPF をエンジンに取り付け、エンジン定常運転にて PM の捕集を行なう。
- ④ DPF を取り外し、恒温槽で 200℃にて一定時間乾燥させて重量を測定する。（重量 A）
- ⑤ DPF をエンジンに取り付け、バーナによる再生試験を行う。
- ⑥ DPF を取り外し、恒温槽で 200℃にて一定時間乾燥させて重量を測定する。（重量 C）

・重量 B－重量 A＝再生試験前に DPF に堆積した PM 重量

・重量 B－重量 C＝再生試験により DPF から除去された PM 重量

尚、DPF の再生率は以下の式にて算出した数値とした。

$$\text{再生率 (\%)} = (1 - (C - A) / (B - A)) \times 100$$

DPF を恒温槽で乾燥させている状況と DPF の重量を計測している状況を図 4. 3 - 8 と図 4. 3 - 9 に示す。



図 4. 3 - 8 恒温槽



図 4. 3 - 9 重量計測

## (3) 試験内容

DPF 再生率の確認を下記試験にて行った。

- ① エンジン定常運転中における再生試験
- ② NRTC モード運転中における再生試験
- ③ バーナ制御温度を下げた場合の影響試験（エンジン定常運転）

(4) 試験結果

エンジン定常運転での DPF 再生試験結果のまとめを表 4. 3-3 に示す。DPF への PM の捕集重量は約 10g とし、バーナの運転時間は 20 分間とした。エンジン回転速度は 1000rpm、1800rpm、2800rpm でエンジン負荷を 0~75%の間 10 点で試験した。DPF 再生率は今回試験したすべての点において概ね 95%以上であった。

表 4. 3-3 定常運転 DPF 再生試験結果まとめ

バーナ運転時間 20 分

試験 NO	運転条件 rpm × 負荷	PM捕集 重量 (g)	PM除去 重量 (g)	再生率 (%)
1	1000 × 0%	12.1	11.6	95.9%
2	1800 × 0%	10.2	10.1	99.0%
3	1800 × 25%	12.3	11.9	96.7%
4	1800 × 50%	10.4	10.2	98.1%
5	1800 × 75%	10.1	9.7	96.0%
6	2800 × 0%	10.3	10.2	99.0%
7	2800 × 10%	9.4	8.9	94.7%
8	2800 × 25%	10.2	9.9	97.1%
9	2800 × 50%	9.7	9.3	95.9%
10	2800 × 75%	9.4	9.3	98.9%

代表として試験No.4 のエンジンを 1800rpm、50%負荷にて再生試験を実施した時の DPF 入口温度及び HC、CO 濃度の記録チャートを図 4. 3-10 に示す。バーナ着火により DPF 入口の温度が上昇し、目標温度にて一定時間安定し、その後目標運転時間に達したら運転を終了している。DPF 入口の温度上昇に伴い CO 濃度の上昇が見られるが、ピークが現れその後なだらかに減少する現象が見られた。本試験での DPF 再生率は 98.1%で軽油の消費量は 836cc であった。

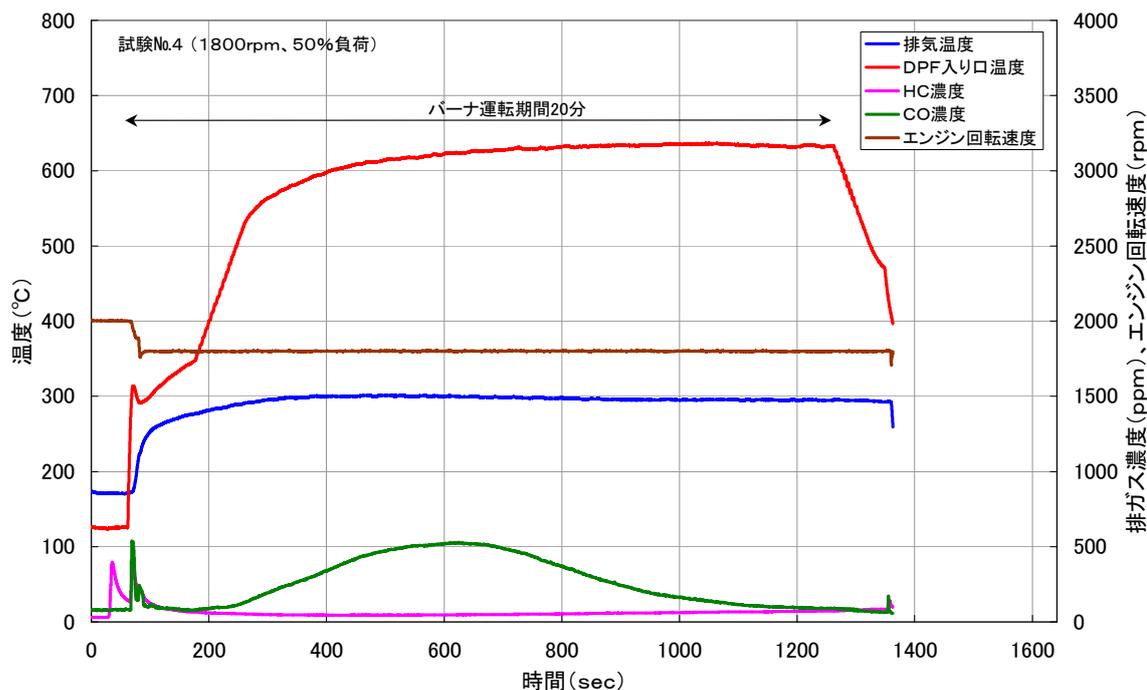


図 4. 3 - 1 0 再生試験チャート

図 4. 3 - 1 1 に試験 No.4 の DPF 入口側の状況で捕集前、捕集後、再生後の写真を示す。

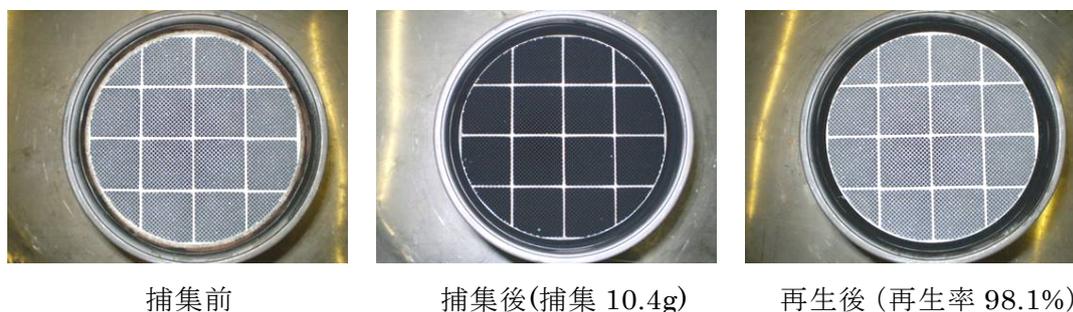


図 4. 3 - 1 1 再生試験 DPF 状況

NRTC 運転での DPF 再生試験結果のまとめを表 4. 3 - 4 に示す。DPF への PM の捕集重量は約 10g、15g、20g として、バーナの運転時間は 10 分間と 20 分間の場合で計 6 点にて行なった。DPF 再生率の結果はバーナの運転時間が長い方が高く、PM の捕集量が少ない方が高い傾向にあった。再生率が一番高かったのは約 10g 捕集でバーナ運転時間が 20 分の試験で再生率は 93.3%であった。再生率が一番低かったのは約 20g 捕集でバーナ運転時間が 10 分で再生率は 40.8%であった。

表4. 3-4 NRTCモードDPF再生試験結果まとめ

試験 NO	運転条件	バーナ 運転時間 (min)	PM捕集 重量 (g)	PM除去 重量 (g)	再生率 (%)
11	NRTC	20	10.5	9.8	93.3%
12	NRTC	20	15.3	11.0	71.9%
15	NRTC	20	21.3	17.8	83.6%
13	NRTC	10	11.0	6.9	62.7%
14	NRTC	10	14.9	6.5	43.6%
16	NRTC	10	18.4	7.5	40.8%

PM 捕集量約 15g でバーナ運転時間が 10 分にて再生試験を実施した試験 No.14 と同じく PM 捕集量を約 15g でバーナ運転 20 分にて再生試験を実施した試験 No.12 の NRTC 運転中の DPF 前温度及び HC、CO 濃度の記録チャートをそれぞれ図 4. 3-1 2 と図 4. 3-1 3 に示す。試験 No.14 は NRTC モード運転約 1200sec の中間点である 600sec にてバーナを点火し 10 分間の運転を行なった。バーナ運転により DPF 入口の温度が上昇してその後温度一定制御運転に入っており、600℃付近を上下している。HC 濃度はバーナ着火時付近に上昇が見られた。CO 濃度にも上昇が見られ、DPF 入口温度が一定温度制御運転に入った付近とモードの終了付近の温度が比較的高いところに見られた。本試験での軽油消費量は 469cc であった。

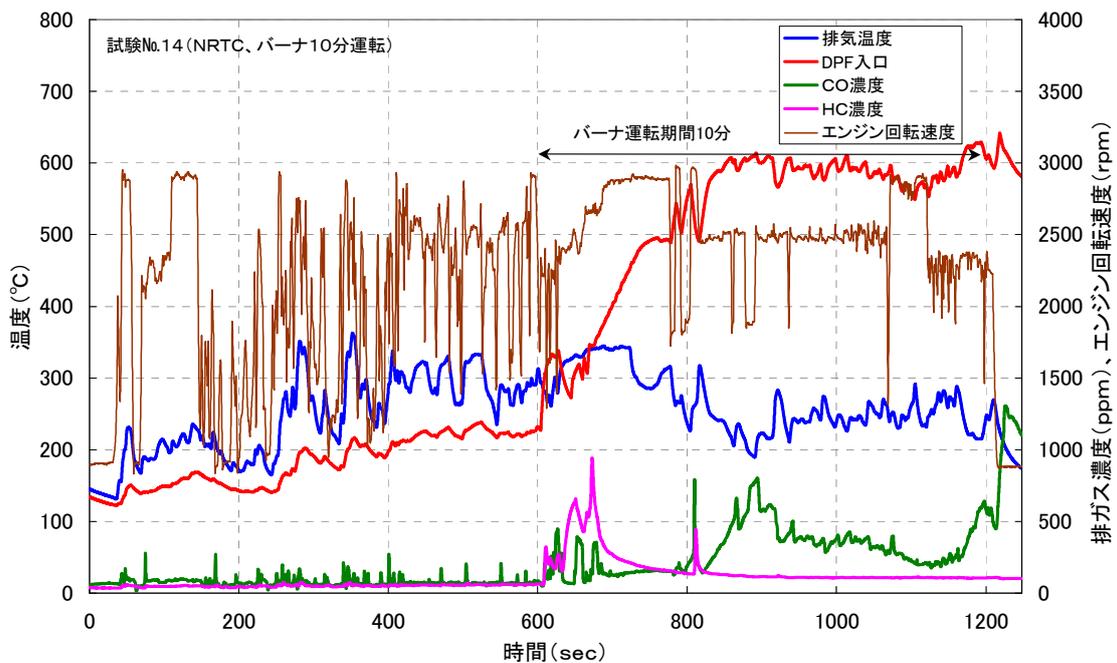


図4. 3-1 2 NRTC 再生試験、バーナ運転 10 分

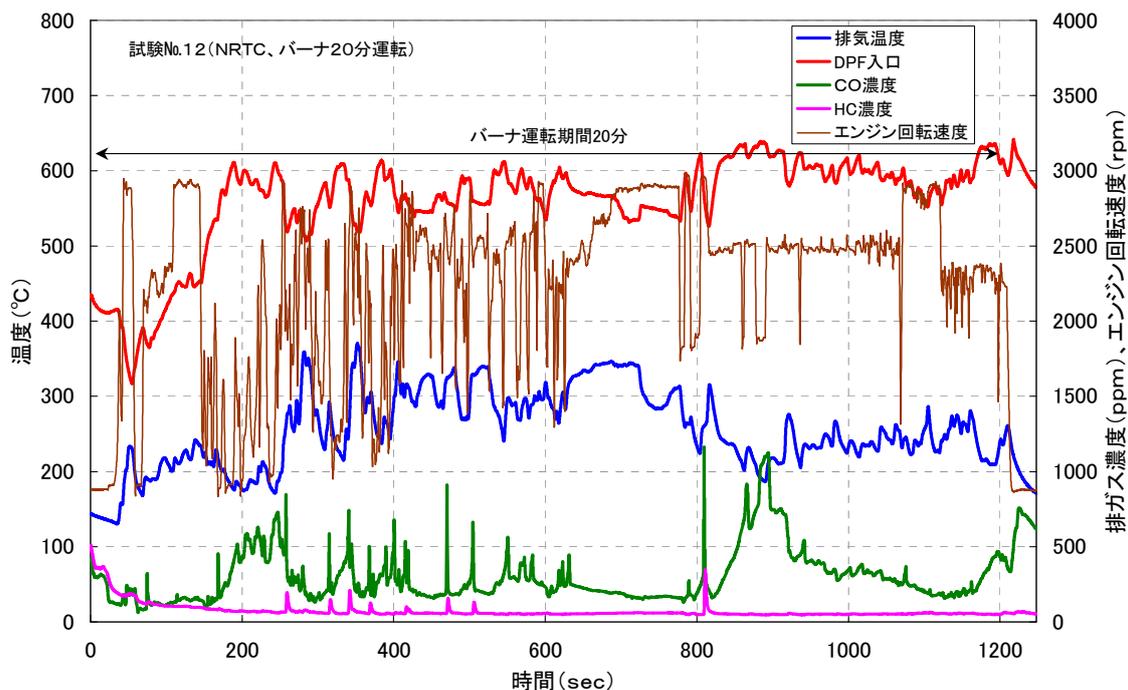


図4. 3-13 NRTC 再生試験、バーナ運転 20 分

試験 No.12 は NRTC 運転とほぼ同時にバーナを着火し、NRTC とほぼ同時間である 20 分間のバーナ運転を行なった。温度一定制御運転では DPF 入口温度は 600°C 付近を上下している。CO 濃度は DPF 入口温度が比較的高い付近で上昇が見られた。本試験での軽油消費量は 929cc であった。試験 No.14 と試験 No.12 の DPF 入口側の捕集前、捕集後、再生後の写真を図 4. 3-14 と図 4. 3-15 に示す。バーナ運転が 10 分間で再生率が 43.6% であった試験 No.14 の再生後の写真では PM が残っている状況が確認できる。

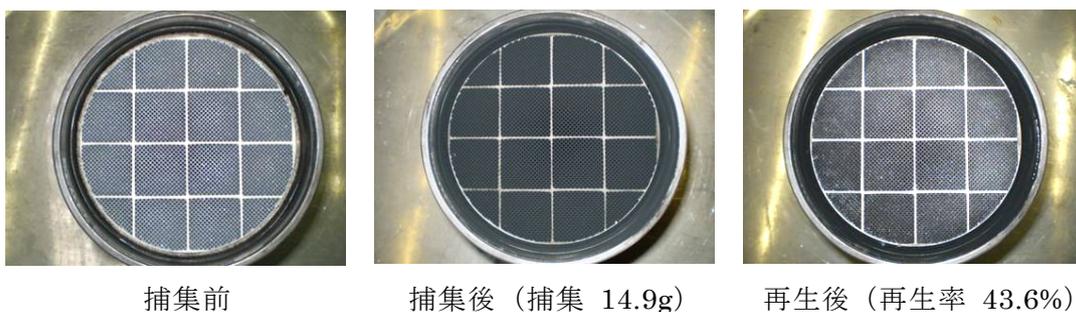


図4. 3-14 再生試験 DPF 状況、試験 No.14

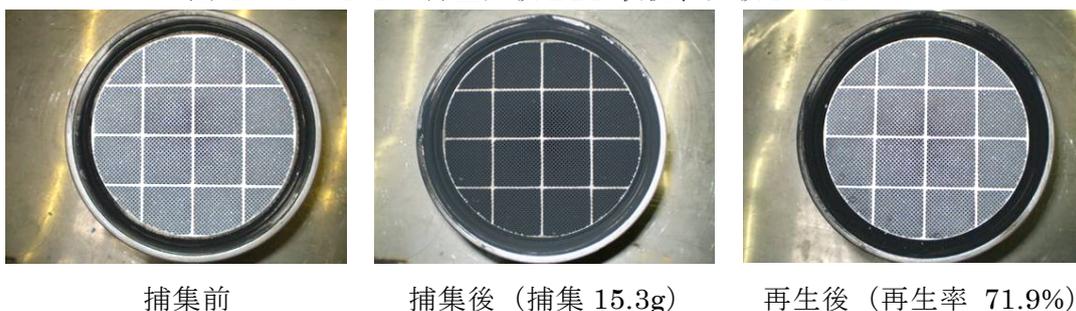


図4. 3-15 再生試験 DPF 状況、試験 No.12

定常運転（1800rpm、50%負荷）にてバーナ制御温度 650℃に対して 600℃、550℃と下げた場合の試験結果を表4. 3-5に示す。バーナ制御温度低減に伴い DPF 再生率は低下し、650℃では再生率 98.1%であったが 550℃では再生率 30.5%であった。

表4. 3-5 DPF 再生率結果（制御温度比較）

1800rpm、50%負荷（バーナ運転時間 20分）

試験 NO	バーナ 制御温度 (°C)	PM捕集 重量 (g)	PM除去 重量 (g)	再生率 (%)	燃料 消費量 (cc)
4	650	10.4	10.2	98.1	836
17	600	11.1	8.2	73.9	751
18	550	11.8	3.6	30.5	627

図4. 3-16にバーナ制御温度違いによる DPF 入口温度のチャート記録を比較した結果を示す。下段は排気温度である。

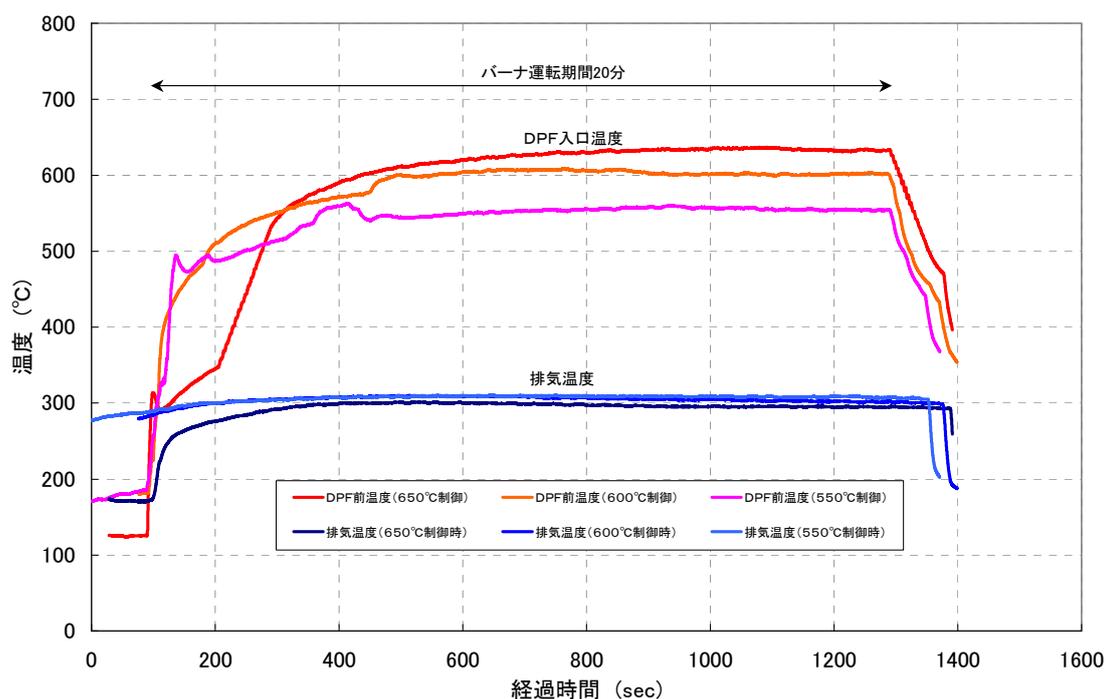


図4. 3-16 再生試験（制御温度比較）

図4. 3-17に各温度で行った再生試験後における DPF 入口の状況を撮影した写真を示す。550℃で制御した DPF 再生率 30.5%では DPF 前側は全体的に PM の燃焼残りが見られる。

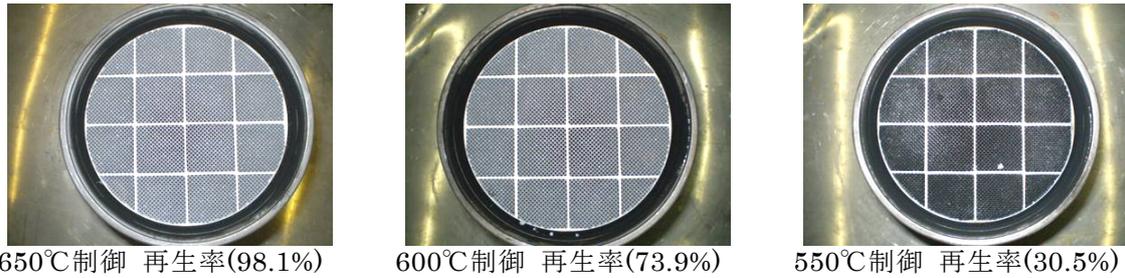


図 4. 3 - 1 7 再生試験後 DPF 状況 (制御温度比較)

(5) 試験考察

定常運転及び NRTC 運転ともバーナによる排気温度の上昇が得られ、温度制御は NRTC にも追従しており DPF の再生が行われたことも確認出来た。試験結果から DPF に 20g 程度の PM 堆積ではバーナ運転を 20 分間運転することにより DPF の高い再生率が得られた。但し、再生率は DPF 入口の温度に対する依存性が大きく、DPF 入口の温度が低い場合は DPF 再生率も低下し、更にバーナ運転時間が短い場合は再生率が低下した。NRTC 運転での一定温度制御期間における DPF 入口温度は約 600°C で狙いより低い結果であり、更に温度を上昇させれば再生率は向上したと思われる。再生中に定常運転及び NRTC 運転とも CO の発生があり、原因を検討するために NRTC 運転中におけるバーナ運転なしの CO 濃度値と比較した。比較結果グラフを図 4. 3 - 1 8 に示す。バーナ運転なしの場合は CO の高い発生は見られないことから再生中の CO の発生は DPF 再生運転に起因するものと思われ、DPF に堆積した PM の燃焼によるものとバーナから発生したものが考えられる。

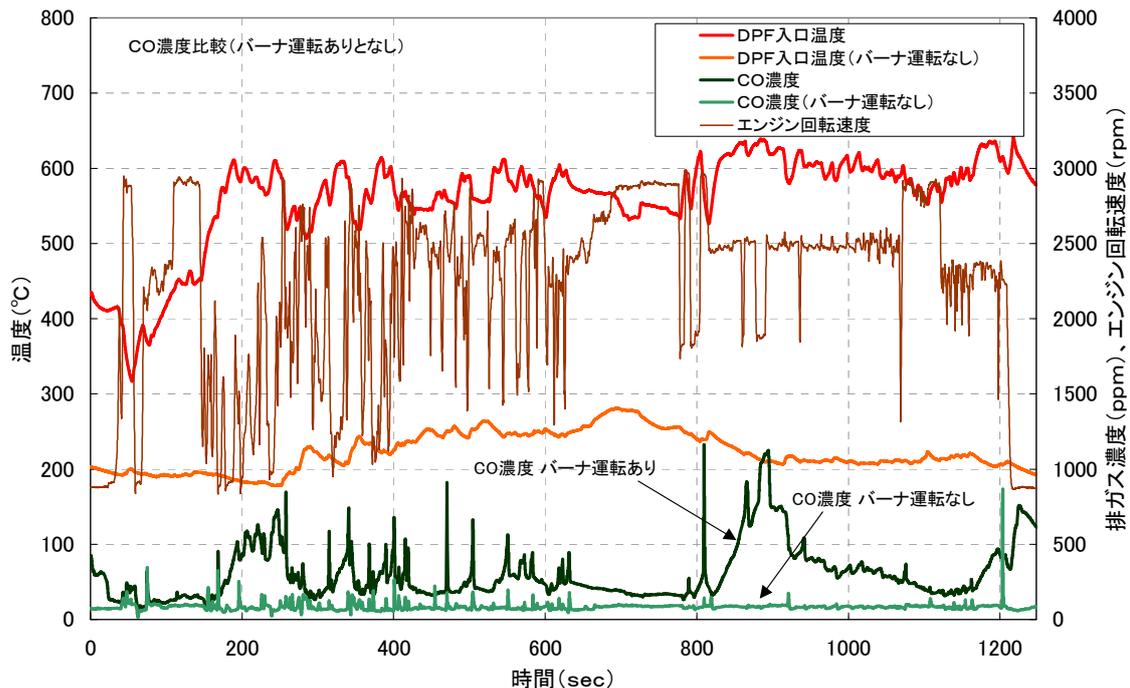


図 4. 3 - 1 8 再生中の CO 濃度、バーナ運転なしと比較

DPFの再生を行なうための燃料消費量の把握については本研究の目的の一つであり、昨年度実施した軽油噴射による再生との比較を試みた。エンジン仕様及び試験条件が異なるため比較は難しいが、条件が近く、同等な再生率を得た結果のデータで比較した表を表4.3-6に示す。バーナ再生での燃料消費量は排気管への軽油噴射再生に比べ燃料消費量が多いが、バーナ試験の場合エンジン排出ガス流量が多い事、DPFがエンジンから離れている事、温度制御等の影響が考えられる。

表4.3-6 軽油噴射再生との比較

試験年度	エンジン rpm	回転 %	負荷 %	再生装置	再生率 %	消費燃料 cc
19年度	N844L	1800	80	軽油噴射	97.1	536
20年度	N844L-T	1800	75	バーナ	96.0	817

#### 4.3.6 データの分析と課題

今年度の研究でバーナによる再生試験を実施し、有益なデータが得られたと考える。平成19年度の研究ではDOC及び軽油噴射による再生を試みて、課題としてエンジン低排気温度領域における問題があったが、この課題についてはバーナにて対応が出来、バーナ再生の可能性を確認出来たと考える。ただし、実用化のためには課題が山積しており、今回の試験結果からは燃費の改善、及びHC、COの発生を低減する構造、システムの検討が課題である。産業用ディーゼルエンジンが搭載される機械、車両構造は公道走行車両に比べ、作業性等でエンジンや吸排気系の搭載位置やスペースの制約がありDPF及び再生装置の搭載位置についての課題もある。さらに耐久信頼性の確保、自動運転化の構築、コスト的な課題が挙げられる。

#### 4.3.7 課題への対応

##### (1) DOC（酸化触媒）の検討

バーナ再生における燃費の改善、HC、COの排出改良についてはDOCを設定する事が考えられる。DOCとの組み合わせにより触媒の酸化作用でPMの低減を行いバーナへの燃費負担の低減やHC、COの低減が出来ると思われる。

#### 4.3.8 まとめ（三カ年の総括）

平成18年度から3カ年に亘り実施してきた基盤技術開発補助事業では、後処理装置開

発のための多くの知見を得た。下記にその成果をまとめ報告する。

#### (1) H18年度の成果

H18年度では主に C1モードと NRTC の各測定モードにおける現状での排出ガス特性を把握し、DPFをはじめとする後処理装置の基本的選定条件を把握した。

- ・ Tier3 適合エンジンに DPF(捕集率 90%)を装着することで、Tier4 に適合できた。
- ・ DOC+触媒担持 DPF での CO、HC の低減には約 250℃以上の排気温度が必要である。
- ・ また、触媒担持の DPF による PM の再燃焼には 450℃以上が必要となる。
- ・ 450℃であっても黒煙濃度の高い領域では DPF の再生は難しく、黒煙低減のためのエンジンの燃焼改良が必要となる。
- ・ エンジンの運転域で、触媒のみによる自然再生が成立しない領域で使用される場合には、補助装置による再生が必要となる。

#### (2) H19年度の成果

H18年度の成果を踏まえ DOC+触媒担持 DPF の自然再生領域を拡大すべく、後処理装置の搭載位置の検討、DPF への排気流れの改善を行い、バランスポイントを調査した。また、低負荷域の再生を図るため、排気管への軽油噴射を行い、再生能力の評価を実施した。

- ・ DOC+触媒担持 DPF の搭載位置をエンジンへ近づけ、また排気の DPF への流入を均一になるよう改良することにより、自然再生領域を拡大することが出来た。
- ・ DOC 及び DPF への触媒担持量は 2g/L が適当であり、触媒には非 Pt 系でも Tier4 適合の可能性があると分かった。
- ・ 排気管への軽油噴射による再生方式では、再生率 100%に近い値を得ることが出来たが、一方エンジン回転数や負荷も限定され、1800rpm、負荷率 60%で軽油 14.8g/min を 30 分間噴射した場合、再生率約 50%と課題を残す結果となった。

#### (3) H20年度の成果

H20年度では、低負荷域の再生能力に期待が持てるバーナ式の評価を実施した。

- ・ 定常運転では DPF 入口温度を約 650℃、NRTC では DPF 入口温度を約 600℃の一定温度に制御できることを確認した。
- ・ NRTC 運転中における再生能力は、PM 捕集量が 4g/L の状態で DPF 入口温度 600℃/20 分間運転で再生率 93%の結果を得た。
- ・ バーナ式は再生方法の一つの方法として有望な結果を得た。

産業用ディーゼルエンジンの用途は多岐に及び、その搭載方法も用途により大きく異なることから、DPFの再生方法も多岐に及ぶと考えられる。このような中においてバーナ式は一つの有望な方法であると言えるが、実用化に当たっては信頼性評価、フィールド評価等の多くの課題が残されている。

## 5. まとめと今後の課題

### 5. 1 まとめ

小形汎用あるいは産業用ディーゼルエンジンにおいては、国内外でその排ガス浄化に対する社会的要求や規制が一段と厳しくなっており、その技術対応が斯界の急務である。本開発事業は、その対応に必要な基盤技術の模索開発・評価と規制適合化への見極めを主たる目的としている。

排ガス規制については、特に PM 規制値が厳しく、米国における 56kW 未満のノンロードディーゼルエンジンの PM 規制値は、2012 年からの EPA Tier 4 適用によって 2008 年規制値の 1/10、つまり 0.03g/kW・h と低い値に設定された。一方、日本でもディーゼル特殊自動車の 2011 年 PM 許容限界目標値が、19kW 以上 37kW 未満に対して 0.03g/kW・h、37kW 以上 56kW 未満で 0.025g/kW・h となり、米国とほぼ同レベルの極めて厳しい値となった。

本事業では、開始時点で日本の規制値はまだ確定されていなかったが、米国 EPA の規制値とほぼ同程度の厳しさになるうとの予想から、米国 EPA Tier 4 規制への適合を開発目標として設定した。

なお、この出力帯の汎用ディーゼルエンジンは、日本メーカーが世界市場の大半を凌駕していると共に、信頼性・低燃費・取り扱い容易等々の優位性から国際商品として定着しており、人類社会に多大な貢献をしてきている。この種の汎用エンジンは、通常の自動車用に対比すると出力帯が殆ど重複していない小出力域にあり、また使用の環境や状況そしてコスト面等においても厳しい要求を満たす必要があるため、技術革新が著しい最新の自動車技術であってもそれをそのまま適用あるいは展開することは不可能であって、小形汎用ディーゼルエンジン特有の技術開発が関連メーカーに求められていると言える。

本事業は、上述の事情から目標の規制値、つまり EPA Tier 4 への適合を睨んで、我国の 19kW～56kW の小形汎用ディーゼルエンジンにおける排ガスレベルの現状を把握した上で、排ガス浄化に向けた各種基盤技術の模索開発を進めると共に、Tier 4 適合化に対するその可能性を見極めることとした。

初年の平成 18 年度は、我国の小形汎用ディーゼルエンジンの幾つかを評価対象にして、C1 および NRTC の両運転モードにおける排ガス特性の現状レベル、ならびに対応すべき課題等を調査・検討した。Tier 4 適合のためには、殆どのエンジンにおいて両運転モードでの、特に PM の大幅な低減が最大の課題であること等を確認した。

平成 19 年度では、前年の調査結果に基づいて、エンジンアウト排ガスの低減技術開発を進めると同時に、大幅な PM 低減に向けた後処理技術、とりわけディーゼルパーティキュレートフィルタ DPF とその再生に関わる系統的な基盤技術開発を行い、Tier 4 適合化への基盤技術の可能性について検討を進めた。

平成 20 年度は、前年の技術開発を発展・継続させて、Tier 4 適合化に向けた基盤技術の更なる検討・開発とその見極めを一層推し進めた。

3 年間に亘る開発と検討の結果、小形汎用ディーゼルエンジンにおける Tier 4 適合化に当っては、排ガスの中でも特に PM 低減が最大の課題であり、その場合、燃焼系改善等のエンジンモディフィケーション EM による排ガス低減技術だけでは規制適合化が十分でないため、EM 技術に加えて後処理技術が必須であること等が鮮明になった。

後処理技術、特に PM 後処理については、「DOC」、「前段 DOC + メタル DPF」、「前段 DOC + セラミック DPF」、「前段 DOC + セラミック DPF + 後段 DOC」の 4 種を検討対象とした。その中で、酸化触媒 DOC 単独での後処理は、機構が最も簡単で価格や容量等の面でも優位性があるものの、PM 中の SOF 分が低い状況からも PM 低減効果が小さいこと、またメタル DPF と DOC を組み組み合わせた後処理ではその PM 低減効果が規制適合化に照らして十分でないこと、一方、セラミック DPF(以後、DPF と表示)を主体に DOC を組み合わせた後処理は、いずれのエンジンにおいても Tier 4 適合化への然るべき可能性を有していること等が明瞭になった。また、DPF 再生システムについても、その技術構築への可能性が実証された。

これらは、あくまでも基盤技術開発としての結果であると同時に、本事業の目的を達成し得たものと思われるが、今後、商品化に際して基盤技術開発を超えた総合的な商品技術開発が不可欠である。

なお、燃焼系改善等の EM による各種のエンジンアウト排ガス低減技術は、その関連あるいは周辺技術が日々進化しており、またその開発・適用による PM 低減は程度に差こそあれ後処理に対して然るべき好影響を及ぼすため、今後も、後処理技術と併せてその開発を継続して行く必要がある。

小形汎用ディーゼルエンジン 4 機種における、特に PM 低減を軸にした基盤技術開発での具体的な結果あるいは成果は概ね以下の通りである。

- (1) 副室式エンジン（その 1）において、「前段 DOC + DPF(触媒なし) + 後段 DOC」による PM 後処理装置、ならびに燃料改質ガスによる DPF 再生システムを開発し、

両者をエンジン上に実装することによって以下の知見等を得た。

- ① 燃料噴射時期の調整など若干の EM 対応と上述の PM 後処理装置を併用することによって、エンジン排ガスが Tier 4 規制値に適合し得る可能性を確認した。
- ② その場合、PM 後処理装置、燃料改質器、燃料ポンプ、空気ブロワーの 4 要素から構成される PM 後処理装置とその再生システムの開発によって、然るべく高い PM 低減と DPF 再生率を確保できる見通しを得た。
- ③ 燃料改質器の自動運転システム作動によって、NRTC 運転モード全域で DPF 入口温度を、目標温度（今回は 630℃と 678℃の 2 条件）に安定維持することができ、DPF(PM 捕集量 5g/L)の再生率は 73%(DPF 入口温度 630℃)あるいは 98%(678℃)を確保した。再生時の燃料消費についても実用化が視野に入る程度になった。
- ④ PM 後処理装置と再生システムは、信頼耐久性、燃料消費量等において検討すべき点を有するが、装着スペースの点からエンジン実装への可能性が確認された。
- ⑤ 燃料改質ガス投入時に、DPF から CO と HC が多量に排出される場合があったが、後段 DOC の装着によって低減できた。なお、前段 DOC では低温酸化性を、後段 DOC は高温耐久性をそれぞれ重視する必要がある。
- ⑥ DPF 再生用改質ガスの着火あるいは発熱を得る手段として、グロープラグは、排気管内での着火・保炎が不安定となりその使用が困難なため、燃焼触媒の利用が有効である。

(2) 副室式エンジン（その 2）において、「前段 DOC + DPF(触媒担持)」による PM 後処理装置、ならびに排気管内でのスパーク点火バーナ燃焼による DPF 再生システムを開発・評価し、以下の知見等を得た。

- ① Tier 4 適合化には、後処理による PM 捕集率 90%以上が必要である。上述の PM 後処理装置によって PM 捕集率約 90%を確保し、Tier 4 規制適合化に対する可能性を確認した。
- ② NRTC 運転モードにおいて、排気管内バーナ燃焼により DPF 入口温度を約 600℃一定で 20 分間維持・制御することによって DPF(PM 捕集量 4g/L)の再生率 93%以上を確保し得た。バーナ方式も再生方法の一つになり得るものと思われる。
- ③ DPF(触媒担持)による PM の燃焼には 450℃以上の温度が必要である。しかし、エンジンの特に黒煙濃度が高い運転領域等では DPF の再生が成立し難い場合も生じるため、PM 低減のための EM 対応が求められる。DPF の自然再生が成立しない運転領

域では補助装置による高温での再生が必要である。

- ④ PM 後処理装置の搭載位置をエンジンへ近づける、あるいは DPF への排気流入を均一化する等の対応によって、DPF の自然再生領域を拡大することが出来る。
- ⑤ DPF の PM 酸化能力は、DOC の触媒担持量あるいは DPF 材料の影響を顕著には受けず、また DPF の触媒は非 Pt 系であっても Tier 4 適合の可能性が認められた。なお、DOC および DPF への触媒担持量は 2g/L 程度が適当である。
- ⑥ 排気管内の軽油バーナ燃焼による DPF の再生率は、エンジン運転領域の大半で 100% 近い高い値を確保し得たものの、一部の運転領域で高い値の確保に困難が生じた。その対応も今後の課題である。
- ⑦ 「DOC+ DPF(触媒担持)」の後処理による CO と HC の低減には約 250°C 以上の温度が必要である。

(3) 直噴式エンジン(その1)において、燃料改質ガス混合 EGR と酸化触媒 DOC 単独の併用による PM および NO<sub>x</sub> の同時低減効果を検討し、Tier 4 規制への適合に関して以下の知見等を得た。

- ① EGR ガス中への燃料改質ガス添加と DOC 設置の 2 つの対応技術を併用しても、Tier 4 規制への排ガス適合化は難しい。特に PM の規制適合化に向けて、DOC 単独による PM 後処理はその効果が十分でなく DPF の必須性が強く示唆された。
- ② EGR への燃料改質ガス混合によって PM-NO<sub>x</sub> トレードオフ関係は改善されるが、その改善効果は余り大きいものではなく、燃料噴射時期の調整によって NO<sub>x</sub>+THC 値を Tier 4 規制に適合させた場合の PM 値は、排気系に DOC を設置しても 0.1g/kW・h 位であって、Tier 4 規制値の 3 倍程度と高かった。
- ③ 特に高負荷運転モードでは、PM 濃度が高いので EGR 増大が制約され、またそれに伴って NO<sub>x</sub> 低減効果も縮小が余儀なくされるために、燃料改質ガス混合 EGR の適用による NRTC 運転モードでの排ガス改善効果は多くを期待できない。
- ④ COD のライトオフ温度は CO よりも THC で高いため、DOC による PM 中の SOF 低減は、CO 低減よりも難しいと推察される。ライトオフ温度は Pt 触媒量の増加によって低下し、本実験の範囲では THC が 260°C から 205°C へ、また CO は 220°C から 160°C へそれぞれ低下した。

(4) 直噴式エンジン(その2)において、「前段 DOC + DPF(触媒担持)あるいは自然再生のみで運転可能と言われるメタル DPF」で構成される PM 後処理装置と、幾つかの EM

排ガス改善技術とを併用することによる NO<sub>x</sub> と PM の同時低減効果ならびに DPF 再生システムについて検討し、Tier 4 規制適合化への可能性に関して以下の知見等を得た。

- ① インタークーラでの吸気冷却、クールド EGR、燃料噴射時期進角等の EM と、「前段 DOC + DPF(触媒担持)」の PM 後処理装置との併用によって、PM 浄化率 90~95% を確保することができ、Tier 4 適合化への可能性を確認した。
- ② この後処理装置によって、NRTC 運転モード期間に見られるスモークオパシティのスパイク、つまりスモークの瞬時急増現象は殆ど認められないほどに軽減された。
- ③ 「前段 DOC + メタル DPF」による PM 浄化率は、C1 および NRTC の両運転モードにおいて 50~60%程度であった。Tier 4 適合化には 90%程度の PM 浄化率が要求されることから、メタル DPF の容量増大等によって浄化率が多少改善されるとしても、この後処理のみによる PM 低減効果は十分ではない。
- ④ 「前段 DOC + メタル DPF」による PM 浄化率は、DOC が無ければ低下するものの、メタル DPF への触媒の有無による影響が殆ど認められなかった。
- ⑤ 排気スロットルによる排ガス温度上昇と排気管内への軽油噴射とによる DPF 再生によって、再生率は約 89%を確保し得た。この場合、軽油噴射に伴う HC のスリップ現象は殆ど認められなかった。
- ⑥ C1 モードに比べて NRTC 運転モードでの排気温度は、低温側に分布する傾向が見られるものの、225℃以上の累積頻度は両モード共に殆ど変わらず 70%位である。

## 5. 2 今後の課題

本事業においては、小形汎用あるいは産業用ディーゼルエンジンにおける燃焼改善等の EM 技術と、排ガス後処理技術、特に DOC や DPF による PM 後処理技術とを開発・併用することによって、排ガス目標である EPA Tier 4 規制値への適合化を目指し、その可能性を明らかにした。

これらはいくまでも基盤技術開発としての結果であって、今後、その商品化を目指す際には、汎用ディーゼルエンジンでの多岐に亘る用途や搭載法にも配慮しつつ、EM 技術と PM 後処理・再生技術に対する一層の検討、特に PM 後処理・再生システムにおける制御性、燃料消費量、信頼耐久性、コスト、搭載性等の改善・確保を含めた総合的な商品技術開発が不可欠である。

各エンジンにおける今後の具体的な技術課題またはその内容については概ね以下の通りである。

(1) 副室式エンジン (その1)

- ① DPF 再生システムの改良・開発を更に進める必要がある。

すなわち、DPF 入口のフィードバック温度の精度向上や制御ロジックの高度化等による再生システムの性能向上が課題である。また、再生用改質ガスの発熱手法としての触媒利用技術も更に進展させる必要がある。

- ② DPF 再生システムを含めた PM 後処理装置において、エンジン実装に向けたスペース的な可能性を確認し得たが、今後は更にコスト、燃料消費量、信頼耐久性等に対する検討と対応が必要である。

- ③ DPF の再生開始直後において、DOC 出口温度が 250℃ほどの高温であっても改質ガス導入によって数百 ppm 程度の THC 排出が生じるため、その技術対応が課題である。

(2) 副室式エンジン (その2)

- ① 汎用ディーゼルエンジンにおいて、排気管内バーナ燃焼による DPF 再生は一つの有望な方式であるが、その商品化に際しては信頼耐久性評価、フィールド評価、燃料消費量等の検討と対応が課題である。

- ② バーナ燃焼による DPF 再生では、エンジン運転領域の一部において DPF の再生率低下が見られるため、その対応が必要である。

(3) 直噴式エンジン (その2)

- ① コモンレール式噴射ポンプではなく機械式噴射ポンプを搭載する小形汎用ディーゼルエンジンにおける Tier 4 適合技術の商品化に向けて、DPF およびその再生システムにおける制御ロジック、最適制御システム、燃料消費率、耐久信頼性、コスト等が検討課題である。

- ② ターボ過給機、インタークーラ、燃料噴射タイミング、EGR 等の EM 適正化および後処理技術の更なる改善等による高性能かつコストミニマムな排ガス浄化技術の構築が必要である。

以上

---

平成 20 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) 3260-9101~9102

FAX (03) 3260-7965

---

無断で複写することを禁ずる