環境省

令和２年度 環境技術実証事業

大気汚染対策技術（排ガス除去）

実証報告書

令和３年３月

技術領域　：　大気環境保全技術領域

実証区分　：　大気汚染対策技術区分（排ガス除去技術）

技術の名称　：　カセット式黒煙除去装置

製品名　：　モコビーCT，モコビーRE

実証申請者　：　株式会社　コモテック

実証機関　：　公益社団法人 日本環境技術協会

実証番号　：　１４０－２００３



本実証報告書の著作権は，環境省に属します。

目次

概要 I
(1) 実証の目的 I
(2) 実証技術の特徴 I
(3) 実証内容 II
(4) まとめ V
1. 実証の概要と目的 1
1.1 基本事項 1
1.2 実証対象技術 2
(1) 黒煙除去装置とは 2
(2) モコビーと酸化触媒式 DPF の比較 4
(3) システム構成 5
(4) モコビーの仕様 6
(5) ガーゼテスト 6
2. 実証内容 7
2.1 試験概要と共通事項 7
(1) 基本方針 7
(2) モコビーCT の装着/未装着の切替方法 7
(3) オパシメータ 8
(4) PM と黒煙 8
2.2 無負荷急加速黒煙試験 9
(1) 調査車両 9
(2) 測定方法 9
(3) 無負荷急加速黒煙試験 10
(4) 低減率の計算方法 10
2.3 実走行試験 I 11
(1) 調査車両 11
(2) 使用測定機 12
(3) 走行ルート 13
(4) 試験日程 14
(5) データ収集と解析方法 14
2.4 実走行試験 II 15
2.5 再生時の温度上昇試験 16
2.6 アッシュ除去の確認 17
3. 試験結果 18
3.1 使用する既存データ 18
3.2 無負荷急加速黒煙試験 19
3.3 実走行試験 I 20
(1) 走行動態-1 20

(2) 小区間 別の測定値 22
(3) 小区間 別の、車速と PM 排出量，NOx 排出量，燃料消費率 26
3.4 実走行試験Ⅱの結果 29
3.5 再生時の温度上昇試験 30
3.6 アッシュ除去の確認 31
4. 試験結果に基づく考察 32
4.1 黒煙の低減率 32
4.2 実走行試験Ⅰ 32
(1) 走行ルートと走行動態（加減速），車速 32
(2) PM 低減率（平均化処理前） 32
(3) 速度帯別の平均化処理 33
(4) PM 低減率（平均化処理後） 38
(5) NOx 排出率，燃料消費 39
4.3 実走行試験Ⅱ 39
4.4 再生時の温度上昇試験 40
4.5 アッシュ除去の確認 40
4.6 実証のまとめ 41
4.7 実証技術の応用 41
5. 試験データの品質を担保する情報 42
5.1 実証実施体制 42
5.2 実証参加者の責任分掌 43
5.3 技術実証検討会 43
5.4 既存データの確認 44
5.5 データの管理、分析、表示 44
6. 資料 45
6.1 PM 排出率の単位換算（ g/km → g/kWh ） 45
6.2 用語解説 46
6.3 資料一覧 47

概要

実証技術領域	大気環境保全技術領域
実証技術区分	大気汚染対策技術区分 （排ガス除去技術）
実証対象技術	カセット式黒煙除去装置
製 品 名	モコビー （ モコビーCT ＋ モコビーRE ）
実証申請者	株式会社コモテック http://www.comotec.co.jp/ 〒344-0057 埼玉県春日部市南栄町 13-17 TEL：048-797-7197
実 証 機 関	公益社団法人 日本環境技術協会

(1) 実証の目的

実証対象技術のモコビーは、装脱着が容易な「カセット式」の黒煙除去装置（DPF：Diesel Particulate Filter ）で、DPF の再生を行う時は DPF カセットを取り出し、再生装置のヒータで加熱・再生する。そのため酸化触媒が不要で、「硫黄分の多い燃料」や「添加物を多く含むエンジンオイル」を使用したエンジンにも装着する事が可能である。

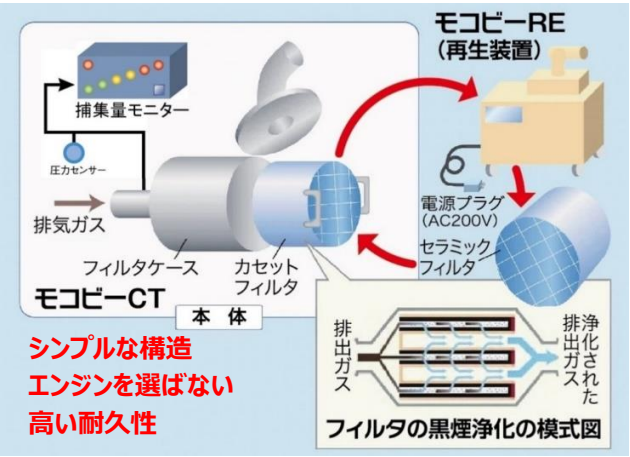
本実証では、酸化触媒式 DPF では使用できない、「硫黄分の多い燃料」や「添加物を多く含むエンジンオイル」を使用したディーゼルエンジンにモコビーを装着して、黒煙除去と再生を繰り返し行えることを実証する。

(2) 実証技術の特徴

ディーゼルエンジンは熱効率に優れた熱機関で、軽油・重油など使用可能な燃料の種類が多く、大型化が容易など、多くの長所がある反面、黒煙などの粒子状物質や NOx が発生しやすいという短所がある。黒煙は大気汚染の原因物質であるので、人の健康を保護し生活環境を保全するため、黒煙の排出削減対策として DPF の取り付けが必要になる。

DPF は「黒煙を捕集する工程」の他に「捕集した黒煙を除去する工程（再生工程）」が不可欠で、2 工程の仕様によって様々な DPF が存在する。現在発売されている新車のトラックの多くには、日常メンテナンスが少ない酸化触媒式が採用されている。一方、本実証対象技術のモコビーは「電気ヒータ式＋取り外し再生」を採用している。

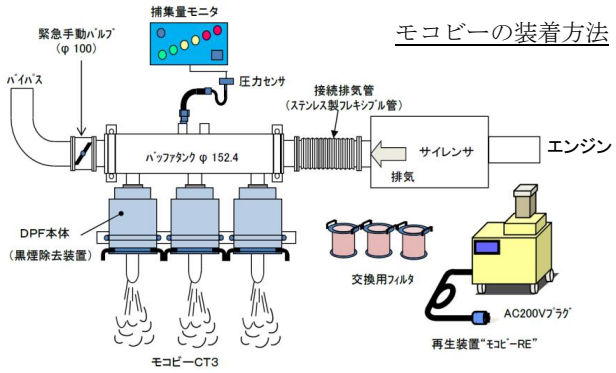
実証対象技術のカセット式黒煙除去装置（製品名：モコビー）は、黒煙を捕集するカセットフィルター部「モコビーCT」とフィルターに溜まったススを燃焼させて元の状態に戻すフィルター再生装置「モコビーRE」のセットで成り立っている。モコビーCT はイビデン社製の SiC フィルターを使用しており、高温耐久性や機械的強度が強く長寿命である。



モコビーの最大の特徴は、取り外しを前提とした「カセット式」なので、再生は専用の再生装置で加熱再生することができる事である。 DPF を取り外す手間が増えるが、「触媒を使用しない」という最大の特長を得る事が出来た。そのため、触媒方式では難しい「硫黄分の多い燃料」を使用したエンジンなどにも使用する事ができる。 また、燃料噴射制御など総合制御が不必要なため、多くのディーゼルエンジンと相性が良く、既に現場で稼働中のエンジンにも後付で取り付ける事ができる。そのため、耐用年数が長い建設機械や、非常用発電機などに最適な DPF である。

カセット式のもう一つのメリットは、取り外し再生時に、アッシュ（未燃焼残渣）を手動で取り除く事ができる事である。アッシュの原因物質は、燃料中の硫黄分やエンジンオイルの添加物であるので、低硫黄燃料や低添加物オイルの普及率が低い 開発途上国では最適な環境汚染対策技術である。







再生前（車両から取外し直後）



再生中

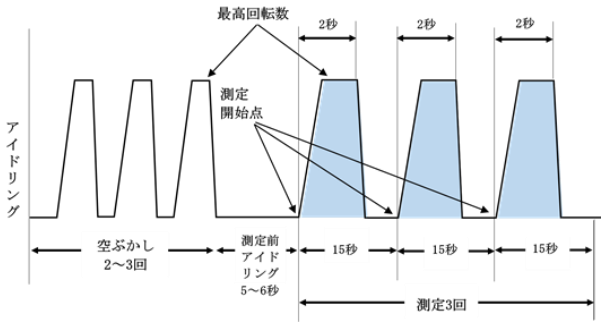


再生後

(3) 実証内容

本実証は、実証対象技術のモコビーを、モンゴル国ウランバートル市の実際の路線バスに装着し実施した。基本性能試験として無負荷急加速黒煙試験を行い、その後、実走行試験を行った。さらに、再生機能確認を行い、長期間の走行試験によって、ウランバートルでの運用適応性と有益性を確認した。

試験項目	**無負荷急加速黒煙試験**
調査車両	モンゴル国ウランバートルの路線バス（大型車） 24 台
試験方法	**無負荷**（ギアを入れずにエンジン単体）で **急加速**（アクセルペダルを 2 秒間踏み続ける）を 3 回繰り返す



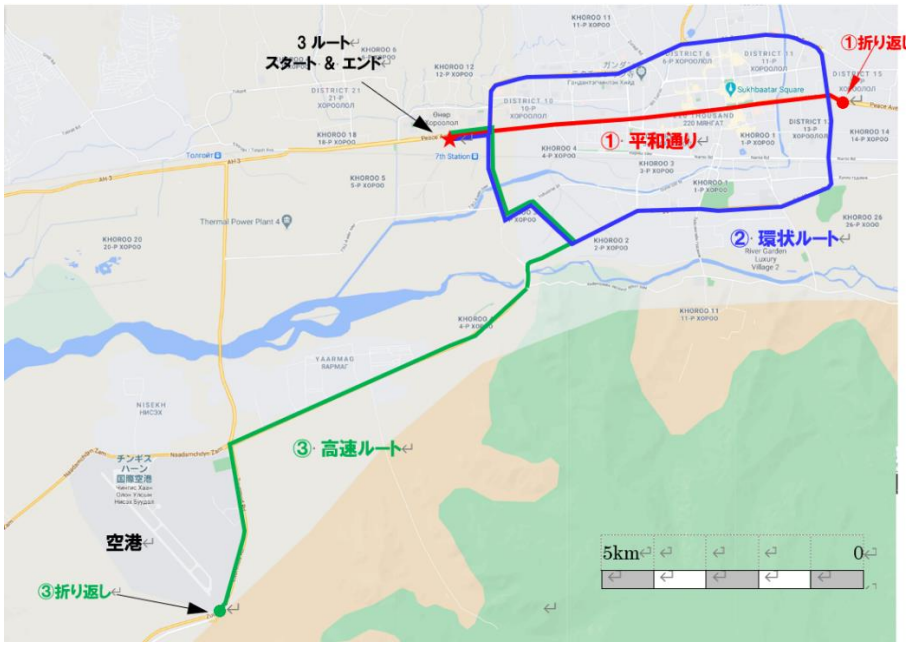

調査車両


モコビーの装着場所


黒煙測定状況

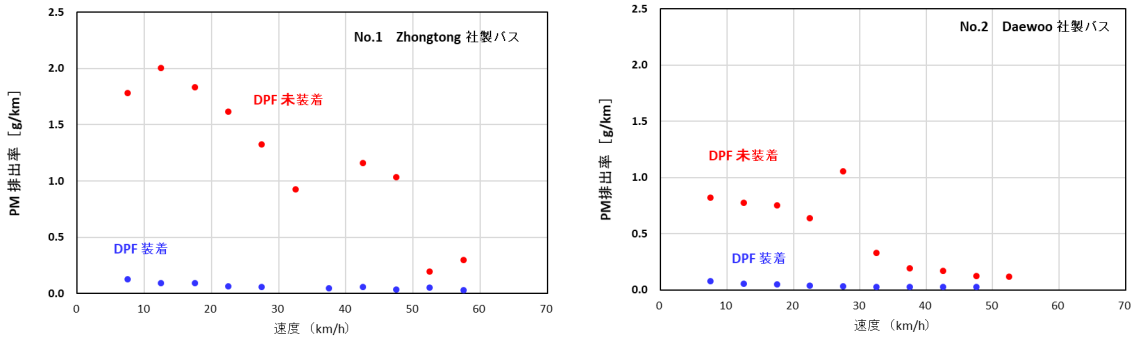
試験結果	黒煙の低減率：93.4%～99.6% （目標 90%以上）

試験項目	**実走行試験 I （PM 低減率）**
試験場所	モンゴル国ウランバートルの市街地 2 ルート，郊外 1 ルート
試験方法	実走行中の PM 排出率を測定し、DPF 装着と未装着の比較を行う



走行ルート （出典：Google マップ）

実走行試験Ⅰの続き



PM 排出率

速度帯	結果
35km/h 以下	PM 発生量が多い「市街地走行」であったが、PM 低減率は 90%以上になった。
35km/h 以上	DPF 装着時の PM 排出濃度は 0.0282g/km（0.044g/kWh）であった。 この値は、「日本の 2006 年排出ガス規制」や「モンゴルの現行排出基準」をクリアしており、黒煙を十分低減していた。

試験項目	**実走行試験Ⅱ** 1 日の営業走行で、排出される黒煙重量の把握
試験場所	モンゴル国ウランバートル （第 1 バス DPF 再生室）
試験対象	黒煙捕集重量 (g)
実 施 数	路線バス（大型車）6 台 計 89 測定

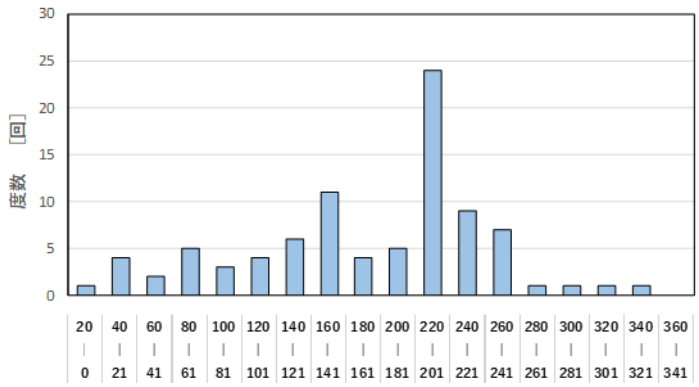


図 3-10 黒煙捕集量の分布

捕集した黒煙の量

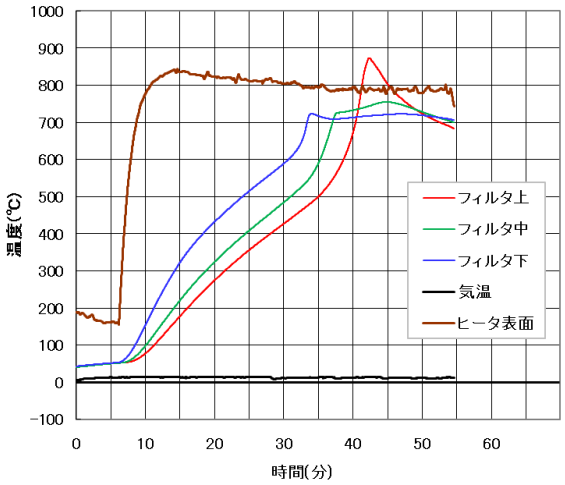
最大	321 g
平均	174 g
最小	14 g
合計	15.5kg



試験項目	DPF の再生時の内部温度／アッシュ除去の確認
試験場所	モンゴル国ウランバートル （エコロジーバス社）
試験方法	①モコビーの再生を行う時の、各部の温度を測定する、 ②アッシュが取り除かれる事を確認する
試験結果	①オーバーシュートが確認されたが、設計仕様どおり温調が行われた ②アッシュが取り除けた。



モコビーRE（再生装置）



温度測定結果





逆洗（エアブロー）で取り除かれたアッシュ

(4) まとめ

モコビーをウランバートルの路線バスに装着し、基本性能試験と実走行試験、再生機能確認を行った。その結果、黒煙を 90%以上低減でき、ウランバートルで市販されている燃料やエンジンオイルでの運用においても、適応性と有益性を確認できた。

1. 実証の概要と目的

1.1 基本事項

(1) 実証対象技術

実証技術領域	大気環境保全技術領域
実証技術区分	大気汚染対策技術区分 （排ガス除去技術）
実証対象技術	カセット式黒煙除去装置
製 品 名	モコビー （ モコビーCT ＋ モコビーRE ）
実 証 申 請 者	株式会社コモテック http://www.comotec.co.jp/ 〒344-0057 埼玉県春日部市南栄町 13-17 TEL：048-797-7197

(2) 実証申請者

団体名： 株式会社コモテック
代表者： 代表取締役 小森 正憲
所在地： 〒344-0057 埼玉県春日部市南栄町 13-17
TEL:048-797-7197 FAX:048-797-7198 http://www.comotec.co.jp/
担当者： 実証報告書の［資料 1］参照

(3) 実証機関

団体名： 公益社団法人 日本環境技術協会
代表者： 会長 足立 正之
所在地： 東京都千代田区九段南４丁目８番３０号 アルス市ヶ谷２０１
TEL：03-3263-3755, FAX：03-3263-3741, http://www.jeta.or.jp/
担当者：実証報告書の［資料 1］参照

(4) 技術実証検討会・実証実施体制

「5. 試験データの品質を担保する情報」 を参照

(5) 実証期間

実証機関の活動期間： 令和２年 10 月 13 日～ 令和３年３月 31 日
既存データの測定日： 平成 27 年 11 月 27 日～ 平成 30 年８月 17 日

(6) 実証の目的

実証対象技術のモコビーは、装脱着が容易な「カセット式」の黒煙除去装置（DPF：Diesel Particulate Filter ）で、DPF の再生を行う時は DPF カセットを取り出し、再生装置のヒータで加熱・再生する。そのため酸化触媒が不要で、「硫黄分の多い燃料」や「添加物を多く含むエンジンオイル」を使用したエンジンにも装着する事が可能である。

本実証では、酸化触媒式 DPF では使用できない、「硫黄分の多い燃料」や「添加物を多く含むエンジンオイル」を使用したディーゼルエンジンにモコビーを装着して、黒煙除去と再生を繰り返し行えることを実証する。

1.2 実証対象技術

(1) 黒煙除去装置とは

ディーゼルエンジンは熱効率に優れた熱機関で、軽油・重油など使用可能な燃料の種類が多く、大型化が容易など、多くの長所がある反面、黒煙などの粒子状物質（Particulate Matter ；PM）や NOx が発生しやすいという短所がある。PM は燃料や潤滑油の未燃分や分解物であり、元素状炭素（Elemental Carbon；EC），有機物，無機硫酸塩などが主成分である。EC は soot（いわゆる煤）の主体であり、これが“黒煙”として見える部分である。有機成分は一般に有機溶媒に溶けることから，可溶性有機成分（Soluble Organic Fraction；SOF）と表されることもある。黒煙は大気汚染の原因物質であるので、人の健康を保護し生活環境を保全するため、黒煙の排出削減対策として DPF の取り付けが必要になる。

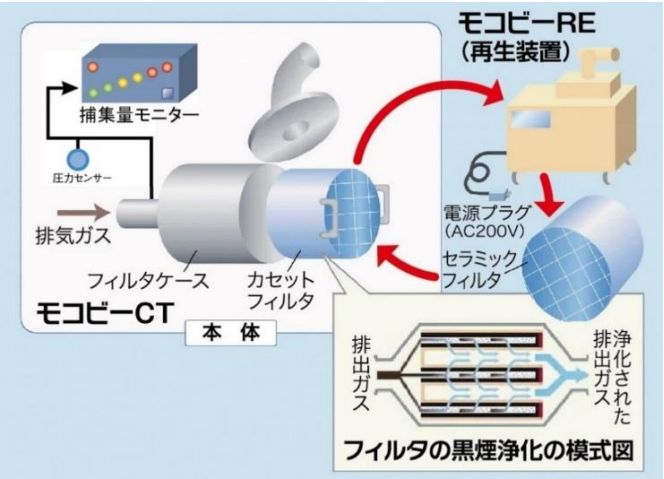
現在実用化されている多くの DPF は、「フィルターで粒子状物質を捕集する」という単純な構造になっている。ただし、そのまま使い続けるとフィルターが目詰まりを起こして排気圧が過度に上昇するため、何らかの方法で、PM を取り除かなければならない。PM を取り除く事を DPF の「再生」と呼ぶ。これまでに様々な再生方法が考案されてきており、それらの再生方法のために最適な材質・構造のフィルターが開発されてきた。

現在実用化されている DPF の多くは、高温に耐えられるコージェライトや炭化ケイ素（SiC）などのセラミックを素材に、図 2-1 に示すハニカム形状を応用したウォールフロー構造（WFM）を採用している。主な DPF の再生方法を表 1-1 に示す。現在発売されている新車のトラックの多くには、日常メンテナンスが少ない酸化触媒式が採用されている。一方、本実証対象技術のモコビーは、あえて「電気ヒータ式＋取り外し再生」を採用している。

【注意事項】

DPF は高濃度の黒煙を除去するフィルターで、使用初期（再生直後）は、フィルター材の慣性・拡散・さえぎりの作用で黒煙を捕集するが、フィルター表面に黒煙層が形成されると、その層によって小径の粒子も捕集できるようになり、黒煙低減率は経時的に高くなる。

後述する「実走行試験Ⅰ」では、使用初期（走り始め）は「暖機」と考え、評価データとして扱っていない。また、DPF の PM（黒煙）除去率は、一定走行距離における平均値として考察する。



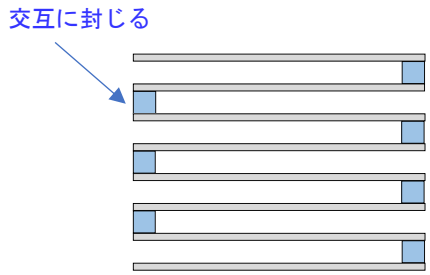


図 1-1 ウォールフローDPF 断面図

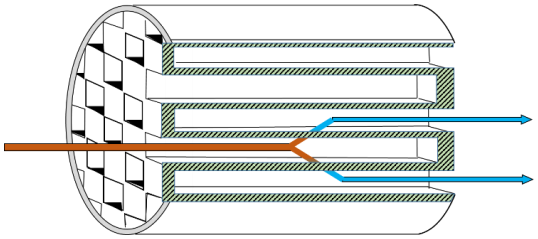


図 1-2 排気ガスの流れ

【ウォールフロー構造：WFM】ハニカム（格子）状のセラミックス担体で、薄い壁で仕切られた細かく細長いセル（小室）を束ね、互い違いに目を封じた構造をしている。排気ガスがセルの壁（ウォール）の孔を通過する際、PM が捕集される。図 3-13 のアッシュは、ウォールフロー構造の細長い内側に堆積するので、針状になって排出される。
ウォールフロー構造以外に、金属メッシュ，セラミックフォーム，セラミックファイバーなどの構造が考案されている。

表 1-1 DPF の再生方式による分類

名称		内容	備考
酸化触媒式	強制再生式（ポスト噴射式）（排気管噴射式）	排出ガス中に燃料を添加し、DPF 上流の酸化触媒で触媒燃焼させることで、排出ガス温度を上げ，黒煙を燃焼除去する。燃料の添加方法によって、「ポスト噴射式」「排気管噴射式」等に分類できる	現在の主流
	連続再生式	酸化触媒で、排出ガス中の NO を酸化力の高い NO_2 に変換し，DPF に捕集した黒煙を NO_2 で連続酸化除去する	
		酸化触媒で、炭素を直接酸化する	
電気ヒータ式	取り外し再生（カセット式）	取り外して、再生機で再生を行う	本実証技術
	走行中再生（2 系統切替）	エンジンで発電した電気を使って、DPF 入口のヒータを加熱し、熱風で黒煙を酸化させる。	
軽油バーナ式		DPF の入口の軽油バーナで加熱 （1 系統 間欠）	
高圧逆洗浄式		DPF の出口側から入口側に（逆方向に）圧縮空気を噴射し、PM を物理的に取り除く（2 系統 交互）	
燃料添加剤式		燃料に、酸化触媒（酸化セリウム）を添加し、炭素を低温で燃焼させる。（触媒の排出が、新たな問題となる）	

※酸化触媒の硫黄被毒について

燃料中に含まれる硫黄化合物は、燃焼で酸化され SOx となり、担体（微量の触媒を分散保持する土台）や触媒そのものの機能を阻害する「触媒毒」になる。硫黄濃度が低ければ反応温度昇温や触媒量の増加により対応可能であるものの、数百 ppm のように高濃度の場合には担体に残留した硫黄は容易に除去できず、触媒成分の脱落を招くなどの永久的な被毒につながる。そのため、酸化触媒式 DPF を装着したエンジンは、10ppm 以下に脱硫した燃料を使用する必要がある。

(2) モコビーと酸化触媒式 DPF の比較

モコビーの特長を説明するために、モコビーと「ポスト噴射型の酸化触媒式 DPF」の比較を表 1-2 に示す。

表 1-2 モコビーと酸化触媒式 DPF との比較

項目	モコビーCT	ポスト噴射型の酸化触媒式
材質	セラミック（炭化ケイ素）	セラミック（炭化ケイ素 または コージェライト）
構造	ウォールフロー構造	同左
再生方式	捕集した PM を加熱して、黒煙を CO や CO_2 に酸化させて排出する。	同左
加熱方式	商用電源を用いたヒータで、DPF を加熱する	排気ガスに添加した燃料を DPF 上流の酸化触媒で燃焼させ、その熱で DPF を加熱する
装着方法	カセット式： 簡単に着脱できる	固定式：フィルターが排気管に固定されており、簡単に着脱できない
酸化触媒	**使用していない**	**使用している**
DPF 以外の制御	必要無い	燃料噴射の制御が必要
使用燃料	硫黄分の多い燃料も使用できる	硫黄分の多い燃料の使用は不向き
導入時期	ほとんどのエンジンに、取り付け可能 （後付けも可能）	新規エンジンにのみ、取り付け可能（後付けは出来ない）

モコビーの最大の特徴は、取り外しを前提とした「カセット式」なので、再生は専用の再生装置で加熱再生することができる事である。 DPF を取り外す手間が増えるが、**「触媒を使用しない」**という最大の特長を得る事が出来た。そのため、触媒方式では難しい「硫黄分の多い燃料」を使用したエンジンなどにも使用する事ができる。

また、燃料噴射制御など総合制御が不必要なため、多くのディーゼルエンジンと相性が良く、既に現場で稼働中のエンジンにも後付で取り付ける事ができる。そのため、耐用年数が長い建設機械や、非常用発電機などに最適な DPF である。

カセット式のもう一つのメリットは、取り外し再生時に、アッシュ（未燃焼残渣）を手動で取り除く事ができる事である。アッシュの原因物質は、燃料中の硫黄分やエンジンオイルの添加物であるので、低硫黄燃料や低添加物オイルの普及率が低い 開発途上国では最適な環境汚染対策技術である。

モコビーの特長

- **酸化触媒を使用していない**
  - ⇨ エンジンの種類を選ばない、
  - ⇨ 硫黄分の多い燃料にも適応できる
  - ⇨ 低負荷運転など排気ガス温度が低い場合でも使用可
- **高温耐久性や機械的強度が高い。**
  - ⇨炭化ケイ素（SiC）製の特徴

⇒

- 故障が少ない
- メンテナンスが容易
- 高品質な燃料・オイルが無くても使用できる

(3) システム構成

※この枠内の情報は、実証申請者から提供された情報である。

カセット式黒煙除去装置:モコビーは、黒煙を捕集するカセットフィルター部「モコビーCT」と、フィルターに溜まったススを燃焼させて元の状態に戻すフィルター再生装置「モコビーRE」のセットで成り立っている。モコビーCT はイビデン社製のウォールフロー構造の SiC フィルターを使用しており、高温耐久性や機械的強度が強く長寿命である。「モコビーCT」の捕集量モニターが運転席についており、フィルターの黒煙の溜まり具合を表示するようになっている。捕集量モニターの表示が規定値に達する前に「モコビーCT」の 3 本のボルトを緩めフィルターを取出し、外部の再生装置「モコビーRE」(200V)）に装着し、スイッチを押し加熱することで、フィルターの再生は 50 分で終了する。フィルターは消耗品ではなく繰り返し使用できる。「モコビーCT」及び「モコビーRE」の概要を図 1-3 に示す。

エンジンの排気量が増えた場合は、排気量に応じてモコビーCT を並列接続で、1 個、2 個、3 個、4 個・・・と増やして対応する。(増やさないと、1 個あたりの排気ガス量が増し、圧力損失が増え、出力低下や燃費悪化する可能性がある。)

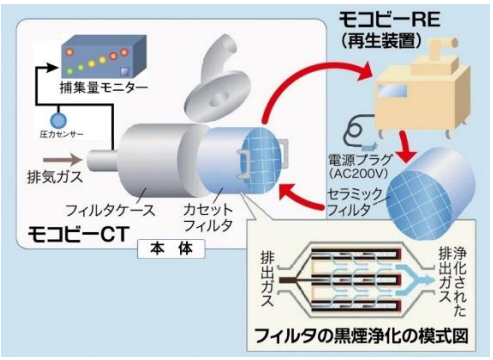


図 1-3 システム構成

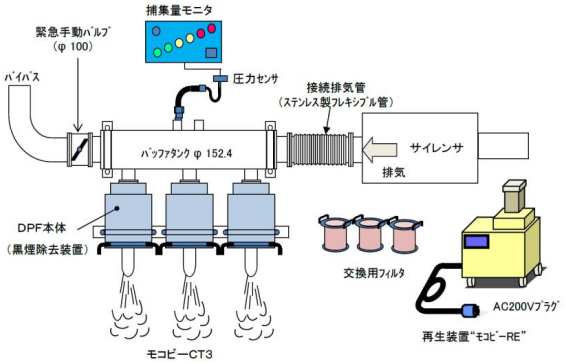


図 1-4 モコビーの取付方法

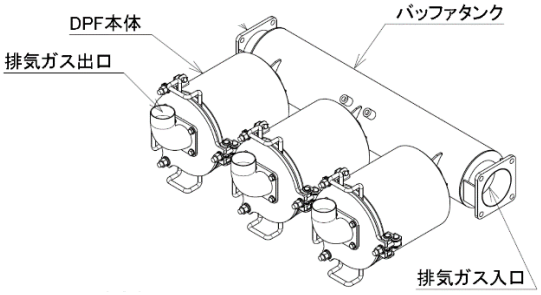


図 1-5 モコビーを組み込むマニホールド



図 1-6 モコビーの取付け事例

(この事例では、排出ガス出口は下向き)

(4) モコビーの仕様

表 1-3 モコビーの仕様 （実証申請者から提供された情報）

本体	モコビーCT	
	製造会社	イビデン株式会社
	材質	SiC（炭化珪素）
	構造	ウォールフロー構造（ハニカム）
	サイズ	φ165 × 150 mm （3.2 L）
	セル数	200 cpi² （セルピッチ=1.8 mm）
	平均気孔径	10μm
	空隙率	42%
	ガス通過面積	2.76 m²
	フィルター個数	エンジン排気量、出力により決定
	フィルター交換	カセット式（ボルトで簡単に着脱）
	切り替えバルブ	手動式
	排気圧力計	デジタル式 （表示器は運転席）
	黒煙低減率	99.9%以上 ※ 反射式ばい煙濃度計（ボッシュ式スモークメータ）で測定
	PM 低減率	**90%以上** ※ シャシダイナモメータを用いて、ディーゼル自動車用 13 モード条件で測定
	付属品	予備フィルター、フィルターキャリア、トルクレンチ
再生装置	モコビーRE	
	電源	単相 AC200V, 2.3 k W
	再生時間	50 分（フィルター1 個当たり）

(5) ガーゼテスト

※この枠内の情報は、実証申請者から提供された情報である。

「ガーゼテスト」とは、モコビーの黒煙除去効果を可視化することで、一般市民に大気汚染防止技術の重要性を知ってもらうための啓発活動の手法で、測定ではない。ガーゼテストは以下の方法で行う。

① DPF 未装着の排出口に、排出ガスが全量通過するよう 4 枚重ねのガーゼを取付け、エンジンを 1 回空噴かしする。
② ①と同じ操作を、DPF 装着の排出ガスが出る排出口について行う。
③ ①②の 2 つのガーゼに付着した黒煙の状態を比較する。



捕集方法



DPF 未装着の排出ガス



DPF 装着の排出ガス

図 1-7 ガーゼテストによる啓発活動 （2016 年ウランバートル市で実施）

2. 実証内容

2.1 試験概要と共通事項

(1) 基本方針

本実証では、実証申請者が申請した既存のデータを基に実証を行う。

実証対象技術：モコビーは、低硫黄燃料や低添加物オイルの普及率が低い 開発途上国のトラックやバス等にも最適な DPF である事を示すために、モンゴル国ウランバートル（UB）市で行った試験を実証する。基本性能試験として UB 市の路線バスにモコビーを装着し無負荷急加速黒煙試験を行い、その後、UB 市内の実走行試験で、モコビーCT を「装着した状態」と「装着しない状態」の比較試験を行った。さらに、再生機能確認を行い、UB 市での運用適応性と有益性を確認した。

「無負荷急加速黒煙の測定方法」は、「道路運送車両の保安基準の細目を定める告示」（平成 14 年国土交通省告示第 619 号）別添 46 に規定された方法で行い、ばい煙濃度計は、JIS D8005：2009,「自動車−圧縮着火式内燃機関−排出ガスの不透過率測定及び光吸収係数測定用の機器」に準拠した、オパシメータを使用した。

(2) モコビーCT の装着/未装着の切替方法

「モコビーCT を装着しない状態」は、大型バスにモコビーCT を取り付け後に、図 2-1 の「緊急手動バルブ」を全開にする方法で行う。 緊急手動バルブはモコビーCT に黒煙が溜まりすぎて、ガスが流れなくたった時に緊急的に開くバルブで、通常は全閉で使用する。緊急手動バルブを全開にすると、排出ガスはモコビーCT を通過せず、このバルブを通過して直接外気に放出されるので、「モコビーCT を装着しない状態」と同じ状態になる。

表 2-1

	緊急手動バルブ	排気ガスの流れ
モコビーCT を装着した 状態	閉	下図の青矢印
モコビーCT を装着しない状態	開	下図の赤矢印

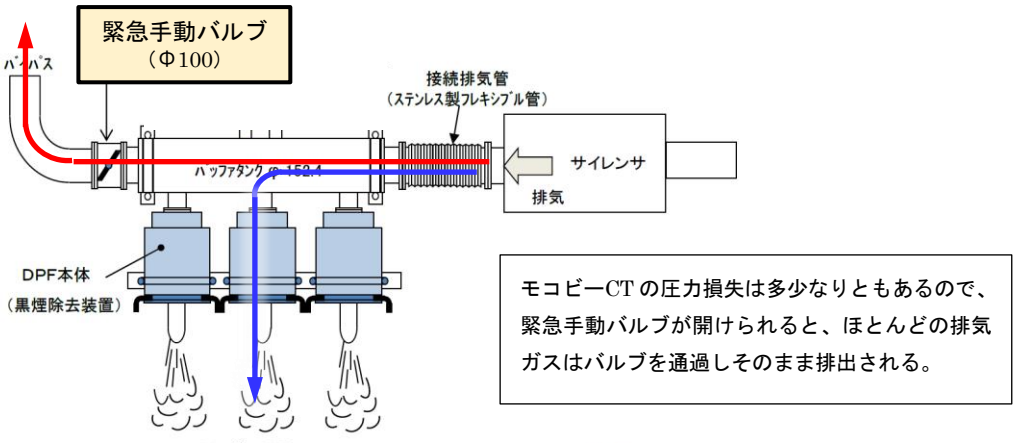


図 2-1 モコビーCT の装着／未装着の切替

(3) オパシメータ

オパシメータ（opacimeter）は、ばい煙濃度計（smoke meter）の一種で、「ディーゼルエンジンの排出ガス中の PM」の濃度を測定する測定器である。ばい煙濃度計には、反射光式と透過光式があり、オパシメータは透過式に属する。反射式は、排出ガス中の黒煙をろ紙で捕集し、黒化したろ紙の光の反射率を測定するもので、透過式は、排出ガスに直接光を照射して、黒煙による光の吸収量を測定するものである。

オパシメータは、PM 中の元素状炭素（EC）の他に、軽油などの未燃焼分である可溶有機成分（SOF）を測定する事ができる。（SOF も光学吸収をするため）

補足

① JIS D8005：2009　自動車―圧縮着火式内燃機関―排出ガスの不透過率測定及び光吸収係数測定用の機器
② オパシメータの名称は、PM に光を照射し、PM に吸収され透過しなかった光の割合（不透過率／opacity）を測定することから命名されている。

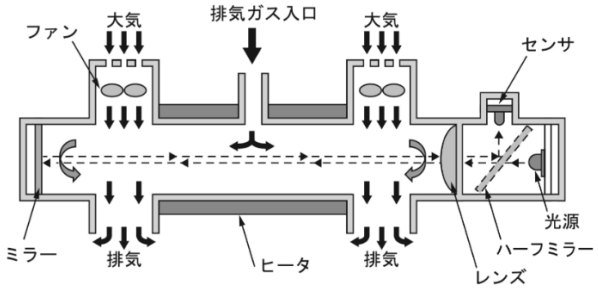


図 2-2 オパシメータの構造図

堀場製作所の製品カタログより

(4) PM と黒煙

自動車排ガス規制の「粒子状物質の標準測定法」は、シャシダイナモメータやエンジンダイナモメータを用いた「モード排ガス試験」において、排出ガスを希釈トンネルで常温まで冷却後にメンブレンフィルターで捕集し、25℃50%で調湿後に、精密電子天秤で質量を測定する方法である。

「オパシメータ」は SOF にも感度があるので、反射式のばい煙濃度計に比べより標準測定法に近い値を示す測定機である。ただしオパシメータは、質量への換算係数が物質によって異なる事や、高沸点の有機物や凝縮性の PM を過小評価する事など、標準測定法と必ずしも一致しない。オパシメータは自動車整備場などのフィールド使用（可搬型）を目的とした簡易測定機である。

一般に，ディーゼルエンジンは，高負荷時には黒煙（EC）を主に排出し，低負荷時には青・白煙（SOF）が増えてくると言われている。また、DPF が除去できるのは黒煙（EC）だけで、SOF やその他の高沸点有機物の捕集効率は低い。DPF の黒煙低減率をオパシメータで評価する場合、EC 濃度が高ければ SOF の影響は無視できるが、EC 濃度が低いとき、SOF の影響が無視できなくなり、DPF の黒煙除去率を過小評価する事に注意が必要である。

2.2 無負荷急加速黒煙試験

試験項目	モコビーCT 装着状態と未装着状態の、黒煙濃度の比較
試 験 日	2018 年 7 月 2 日～8 月 17 日 （普及・実証事業）
試験場所	モンゴル国ウランバートル
試験形態	モコビーCT 装着状態と未装着状態の比較
測定項目	黒煙濃度
調査車両	路線バス（大型車） 24 台 （表 3-1 参照）
測 定 機	オパシメータ（光透過式） MEXA-600S 不透明度（opacity）：0.0～100%
目 標 値	黒煙低減率 90%以上
実 施 数	24 台

(1) 調査車両

■DPF 装着対象車両

・2009 年に新車で調達された 400 台の韓国 Daewoo 社製 BS106 型の中から、「整備状況や運行状況に異常が無い事」「排気管等に割れ・腐食が無い事」「排出ガスの黒煙量が異常状態でない事」を確認した、搭載車両を選定した。

・DPF は、バスの後部エンジンルームを改造して空きスペースを造り、フレームを追加して 3 個取付けた。マフラーからの排気管を DPF に接続した。

・DPF から圧力センサの信号線を取出す配管、配線を行い運転席にモニターを取付けた。

・この測定は、バスの装着工事の直後に行った。

表 2-2 調査車両

No.	バス事業者	バス製造会社
1～8	第 1 バス	韓国 Daewoo 社
9～16	スタインブヤント社	
17～24	第 3 バス	

(2) 測定方法

・モコビーCT 装着状態と未装着状態は、「2.1 (2) 装着/未装着の切替方法」の方法で行った。
（⇒ 緊急手動バルブの開閉）

・無負荷急加速黒煙試験は、次頁「 (3) 無負荷急加速黒煙試験」の方法で行った。

・低減率の計算は。次頁「(4)低減率の計算方法」に従って、実施した。



Daewoo 社製 BS106 型バス



モコビーの装着場所



黒煙測定状況

図 2-3 無負荷急加速黒煙試験の実施状況

(3) 無負荷急加速黒煙試験

「無負荷急加速黒煙の測定方法」は、「道路運送車両の保安基準の細目を定める告示」（平成 14 年国土交通省告示第 619 号）別添 46 に規定された、軽油を燃料とする自動車の原動機を無負荷急加速させた時に発生する黒煙の排出濃度を測定する試験である。

■自動車の運転条件を、①～④に示す。

① 原動機を無負荷運転した後、加速ペダルを急速に一杯踏み込み最高回転数に達した後ただちに加速ペダルを放して無負荷運転に至る操作（空ぶかし）を 2 回又は 3 回繰り返す。

② 無負荷運転を 5～6 秒行う。

③ 加速ペダルを急速に一杯踏み込み、踏み込みはじめてから 2 秒間持続した後、加速ペダルを放し 13 秒間持続する。

④ ③に掲げる操作を継続して、さらに 2 回繰り返す。

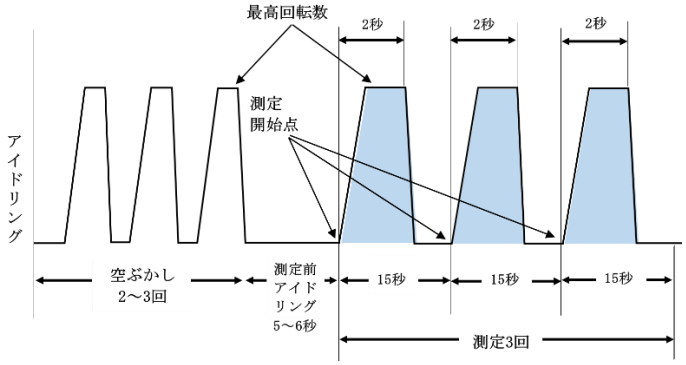


図 2-4 無負荷急加速黒煙試験のエンジンの回転数模式図

(4) 低減率の計算方法

・不透過率（オパシティ）N（%）から低減率 R を計算する方法を示す。
・式（3-1）は不透過率の定義式，式（3-2）はランベルト・ベールの法則に基づく黒煙の濃度式。
・低減率（R）とは、DPF によって低減する排気ガス中の黒煙濃度の割合の事で、式（3-1）と式（3-2）より、装置定数が消え、式（3-3）が導かれる。

$$N = \left(1 - \frac{I}{I_0}\right) \times 100 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{(3-1)}$$

$$C = -k \times \log\left(\frac{I}{I_0}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{(3-2)}$$

$$R = \frac{C_1 - C_2}{C_1} = 1 - \frac{C_2}{C_1} = 1 - \frac{-k \times \log\left(\frac{I_2}{I_0}\right)}{-k \times \log\left(\frac{I_1}{I_0}\right)} = 1 - \frac{\log\left(1 - \frac{N}{100}\right)}{\log\left(1 - \frac{N}{100}\right)} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \text{(3-3)}$$

ここで、
N ：不透過率（%）
C ：黒煙濃度（g/L）
k ：装置定数
C_1 ：DPF 入口の黒煙濃度（g/L）
C_2 ：DPF 出口の黒煙濃度（g/L）
R ：低減率（%）
I ：透過光強度
I_0 ：清浄空気の透過光強度
I_1 ：DPF 入口ガスの透過光強度
I_2 ：DPF 出口ガスの透過光強度

2.3 実走行試験 I

試験項目	PM 低減率，NOx と燃料消費の変化 （実走行）
試 験 日	2016 年 5 月 12 日～5 月 31 日 （案件化調査）
試験場所	モンゴル国ウランバートル
試験形態	モコビーCT 装着状態と未装着状態の比較
測定項目	①PM 濃度，②NO_x 濃度，③酸素濃度，④吸入空気流量，⑤位置
試験方法	・モコビーCT を 2 種類（各 1 台）の調査車両に取り付け、モコビーCT 装着状態での走行試験と、未装着状態での走行試験を別々に行い、後述する測定を行う。 ・走行ルートは(3)に示す 3 ルート。同一走行条件を 2 回実施する。 ・燃料消費量は吸気流量と排出ガス中の酸素濃度から演算で求めた。 ・測定値は 0.5 秒毎にロガーに記録し、走行 2～3km 毎の**「小区間」**で区切り、その区間の平均値で解析する。 （詳細は、2.3(5) データの収集と解析方法を参照）
測 定 機	⇒ 次頁の(2)参照
目 標 値	PM 低減率 90%以上
実 施 数	2 台×3 ルート×2 回 ⇒ 次頁以下の(4)と(5)を参照

(1) 調査車両

表 2-3 調査車両の諸元

		No.1	No.2
	製造会社	**Zhongtong （中国）**	**Daewoo （韓国）**
概要	外見・取付	図 2-5	図 2-6
	プレート No.	6682UHY	7502UBCH
	型式	LCK6103	BS106
	製造年	2013	2009
	走行距離(km)	135,535	不明
	対応排ガス規制	不明	Euro 認証無し（未対応）
エンジン部	燃料	軽油	軽油
	排気量（L）	7.3	11.1
	吸気方式	TC	NA
	燃料噴射方式	列型	列型
	変速機	5MT	5MT
	DPF 個数	3	3
外形・重量	座席数（席）	27	58
	長さ（cm）	1090.0	1059.0
	幅（cm）	250.0	249.0
	高さ（cm）	317.0	311.0
	車両重量（kg）	10,200	9,015
	車両総重量（kg）	15,000	15,775
	試験時重量（kg）	12,800	11,615
		乗客の代わりに、定員 1/2 相当の砂袋（2.5ｔ）を積載， 運転手+その他＝100kg	





図 2-5 調査車両 No.1 （ Zhongtong 社製バス）





図 2-6 調査車両 No.2 （Daewoo 社製バス）

(2) 使用測定機

表 2-4 車載 排出ガス計測器

測定項目	測定機	測定原理	仕様
PM 濃度	オパシメータ（MEXA-130S）	光透過式（560nm）	不透明度（opacity）：0.0～100% 光吸収係数（1/m）
NOx 濃度	MEXA-720NOx	ジルコニアセンサ	NOx：0～3000ppm 酸素濃度：0～25 vol%
位置情報	GPS	全地球測位システム	位置精度 10m



図 2-7 車載型排出ガス測定機（車室内）



図 2-8 車載型排出ガス測定機（車室外）

(3) 走行ルート

ルート	名称	走行距離	走行環境	特徴
①	平和通りルート	約 8.0km	市街地	ウランバートル中心部を東西に走る直線道路の往復
②	環状ルート	約 20.5km	市街地	ウランバートル中心部を囲む環状線
③	高速ルート	約 29.5km	郊外	チンギスハーン国際空港までの往復
備考	▸ ①②は UB 市の中心部の幹線道。多少の渋滞が発生する。 ▸ ③は自動車専用道ではないが、郊外の平坦な直線道路。 ▸ バス停では止まらない。 ▸ 3 ルートのスタート・エンド地点は、エコロジーバス社（バス製造業者，当時）			

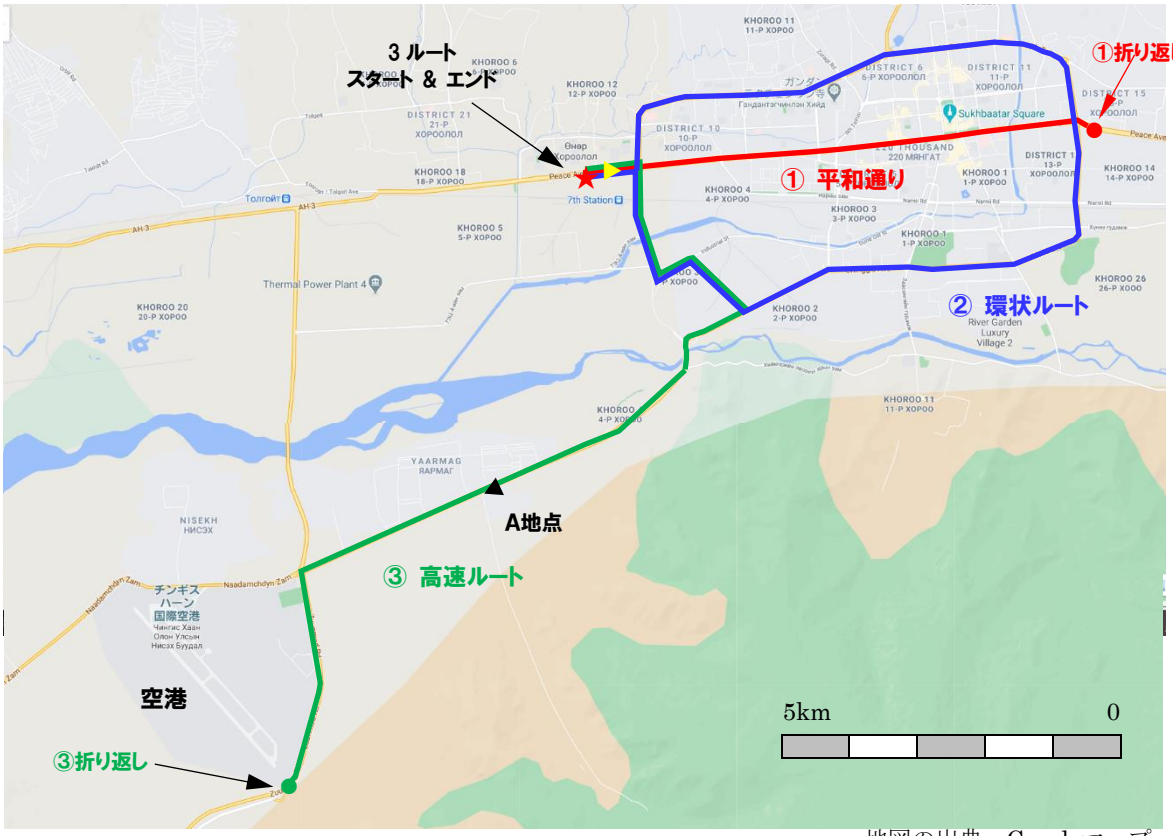


図 2-9 走行ルート

地図の出典：Gogol マップ



図 2-10 スタート&エンド地点の道路状況

Google ストリートより（2014 年 11 月撮影）



図 2-11 A 地点の道路状況

Google ストリートより（2014 年 11 月撮影）

(4) 試験日程

調査車両 No.1 Zhongtong 社製バス				調査車両 No.2 Daewoo 社製バス			
DPF	試験日 2016 年	スタート時間	ルート No.	DPF	試験日 2016 年	スタート時間	ルート No.
未装着	5 月 13 日（金）	15:00	③高速	未装着	5 月 23 日（月）	12:00	①平和通り
	5 月 16 日（月）	9:00	①平和通り			15:00	③高速
		12:00	①平和通り		5 月 24 日（火）	9:00	①平和通り
		15:00	②環状			12:00	②環状
	5 月 17 日（火）	9:00	②環状		5 月 25 日（水）	9:00	②環状
		12:00	③高速			12:00	③高速
装着	5 月 18 日（水）	9:00	①平和通り	装着	5 月 26 日（木）	9:00	①平和通り
		12:00	①平和通り			12:00	①平和通り
		15:00	②環状			15:00	②環状
	5 月 19 日（木）	9:00	②環状		5 月 27 日（金）	9:00	②環状
		12:00	③高速			12:00	③高速
		15:00	③高速			15:00	③高速

(5) データ収集と解析方法

A) データ収集（0.5 秒データ）

0.5 秒おきに、①～④のデータをデータロガーで収集し、事後に⑤のデータを演算する	
① PM 濃度	オパシメータの測定値
② NOx 濃度，酸素濃度	NOx 計
③ 位置情報、	GPS
④ 吸気流量	カルマン流量計

B) データ加工 I

排出量 燃料消費	吸気流量と PM 濃度・NOx 濃度から、排出量を計算する 酸素濃度と吸気流量から燃料消費率を計算する。
GPS 解析	GPS の位置情報から走行距離を計算する。 走行距離の時間微分から「速度」を計算し、さらに時間微分から「加速度」を計算する。
走行動態解析	車速と加速度から、走行動態（加速，定速，減速，停止）を決定し、それぞれの積算時間を計算する。
小区間 分割	走行ルートを 2～3km の「**小区間**」に分け、それぞれの小区間の速度，PM 排出率，NOx 排出率，燃料消費率の平均を計算する。 注 1： 小区間は、信号などで停車があれば、そこを区切りとする 注 2： PM 排出率，NOx 排出率は、バスの総合重量で割って正規化する［g/km/t］

C) データ加工 II （4.2 考察で実施）

速度帯別平均化処理	小区間のデータを 5km/h 間隔の速度帯に区分して、それぞれの速度帯でデータの平均値を求める。 注： 速度帯の例 ⇒ 0～5km/h，5～10km/h，10～15m/h，・・・，50～55km/h

2.4 実走行試験Ⅱ

試験項目	1 日の営業走行で、排出される黒煙重量の把握
試 験 日	2018 年 7 月 1 日～7 月 31 日 （普及・実証事業 添付資料(5)）
試験場所	モンゴル国ウランバートル （第 1 バス DPF 再生室）
試験対象	黒煙捕集重量 (g)
測定機	G&G 社 TC10K-H （ 最大秤量 10kg 最小表示値 1g ）
実施数	路線バス（大型車）6 台 計 89 測定

(1) 試験方法

・モコビーCT を路線バスに取り付け、通常運行を行う。
・運行終了後に再生を行い、再生前と再生後のモコビーCT の重量を測定する。
・再生前の重量と再生後の重量の差を黒煙捕集量とする。
（使用前のモコビーCT の重量は約 5.5kg）



図 2-12 モコビーの秤量 （第 1 バス DPF 再生室）

2.5 再生時の温度上昇試験

この試験は「2.6 アッシュ除去の確認」と同時に行った。	
試験項目	再生時の温度測定
試 験 日	2015 年 11 月 27 日～12 月 9 日 （案件化調査）
試験場所	モンゴル国ウランバートル （エコロジーバス社）
測定項目	再生機（モコビーRE）の内部温度
測 定 機	温度データ収集システム：NR-250（キーエンス社製），K タイプ熱電対
目 標 値	800±100℃ （熱暴走が起きないこと ）
実 施 数	2 回

(1) 試験方法

- 実走行で使用した「モコビーCT」を再生する時に、再生装置（モコビーRE）内部と、内部の DPF（モコビーCT）の温度を測定する。
- 図 2-13 に、再生装置（モコビーRE）の外観と、内部のモコビーCT の位置を示す。
- 温度測定場所は、図 2-14 に示す 5 点。（ ①フィルター上部，②フィルター内部，③フィルター下部，④ヒータ表面温度、⑤外気温）



図 2-13 再生装置の外観と内部の DPF 位置

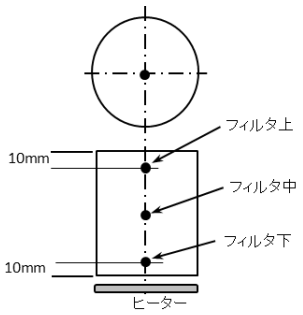


図 2-14 温度測定位置

［補足］ モコビーCT の再生は、空気を供給しながらヒータで加熱することで、内部のスス（無機炭素）を燃焼させ、CO や CO_2 ガスに変換して排出する方式である。炭素の酸化反応は発熱反応なので、自己発熱により、急激に温度上昇する（熱暴走）可能性がある

2.6 アッシュ除去の確認

この試験は「2.5 再生時の温度上昇試験」と同時に行った	
試験項目	再生のため取り外し時に、アッシュ除去ができる事の確認
試 験 日	2015 年 11 月 27 日～12 月 9 日 （案件化調査）
試験場所	モンゴル国ウランバートル （エコロジーバス社）
評価対象	DPF 内に蓄積したアッシュ
試験方法	再生実施後に、モコビーCT の排気ガス入口を下にした状態で逆洗（エアブロー）をし、アッシュが脱落・除去される事を確認する。
評価目標	アッシュが取り除ける事
実 施 数	2 回

(1) アッシュの補足説明

アッシュとは、再生処理をしてもガス化しないで DPF に残る物質で、原因物質は、燃料中の硫黄分やエンジンオイル中の添加物（耐摩耗剤・酸化防止剤，中和剤）である。添加物中の金属塩の析出の他に、軽油中の硫黄とエンジンオイル中のカルシウム（中和剤）が反応した、硫酸カルシウムの析出が知られている。

モコビーCT で、アッシュ生成を防ぐ事はできないが、取り外し再生後に、エアブロー（逆洗）する事でアッシュ（残渣）を除去することが出来る。アッシュの除去作業（エアブロー）の手順は、モコビーRE の取扱説明書に追加記載されている。

日本では、低硫黄濃度の軽油と、金属添加物が少ないエンジンオイルを使うため、アッシュの発生量は少ない。しかし、開発途上国では低硫黄燃料や低添加物オイルの普及率が低いため、DPF の選定において、アッシュ除去が重要検討課題になる。

3. 試験結果

3.1 使用する既存データ

本実証は、独立行政法人国際協力機構（以下、「JICA」とする）の『JICA 中小企業海外展開支援事業（現：中小企業・SDGs ビジネス支援事業）の「案件化調査」及び「普及・実証事業」』として、モンゴル国の首都ウランバートル（以下、UB）市で行った「現地適合性の実証試験」の結果を、既存データとして使用する。JICA 事業の目的は、UB 市の大気汚染の原因のひとつである公共交通用大型バスのディーゼルエンジンの排出ガス中の黒煙を削減するために、日本国内で実用化されている本実証対象技術の「モコビー」の導入の有効性の確認と、同製品のモンゴルでの普及にある。

この「現地適合性の実証試験」の案件化調査は、2015 年 9 月から 2016 年 9 月まで，普及・実証事業は、2017 年 11 月から 2019 年 6 月まで行われた。JICA 事業の詳細は、表 2-2 の報告書に記載されている。バスの排出ガスの測定は、株式会社数理計画が実施した。

注：既存データの検証は、「5.4 既存データの確認」を参照のこと。

注：JICA 事業の報告書の二次利用は、JICA に許諾済み

表 3-1 JICA 事業の報告書

No.	資料名称	発行日
1	(独) 国際協力機構(JICA) モンゴル国ウランバートル市のディーゼル路線バスの DPF による 黒煙低減計画に関する **案件化調査** 業務完了報告書	2016 年 10 月
2	(独) 国際協力機構(JICA) モンゴル国ディーゼル路線バスの DPF による 黒煙低減計画に関する **普及・実証事業** 業務完了報告書	2019 年 8 月

【参考】モンゴルと日本の、排出ガス規制と軽油に含まれる硫黄化合物濃度

排出ガス規制					
モンゴル	光の不透過率 40%	総重量 3.5t 以上のディーゼル車の排出黒煙の最大許容量 モンゴル環境観光省の Web で確認，2021 年 3 月 25 日 MNS5014:2009（モンゴル国家基準 5014，2009 年策定）			
日本	2016 年規制（2KG）	2009 年規制	2005 年規制	2003，2004 年規制	
	（認証基準） 0.010g/kWh	0.010 g/kWh	0.027 g/kWh	0.18 g/kWh	
一般販売の軽油の硫黄化合物濃度					
モンゴル	2000ppm 以下	2021 年 3 月 JICA 調査団（表 3-1，No.2）が確認，2019 年 8 月 モンゴル語版ウィキペディアの「Дизель түлш 軽油」で確認，			
日本	2007 年以降	2005 年以降	1997 年以降	1992 年以降	1992 年以前
	10ppm 以下	50ppm 以下	500ppm 以下	2000pm 以下	5000ppm 以下

3.2 無負荷急加速黒煙試験

- 測定結果を表 3-2 に示す。低減率のヒストグラムを図 3-1 に示す。
- 低減率の平均値は 98.4%で、最小値は 93.4%であった。

表 3-2 無負荷急加速黒煙試験 結果

バス会社	No.	ナンバープレート	バス管理番号	装着検査日	オパシメータ値［%］		低減率［%］
					DPF 未装着排出ガス	DPF 装着排出ガス	
第1バス	1	17-29 УНБ	1-149	2018/07/02	56.4	1.6	98.1
	2	23-16 УБЧ	1-016	2018/07/03	64.9	1.0	99.0
	3	23-68 УНЧ	1-068	2018/07/04	68.7	1.0	99.1
	4	23-88 УБЧ	1-088	2018/07/05	80.2	1.3	99.2
	5	23-46 УБЧ	1-046	2018/07/06	73.8	0.6	99.6
	6	24-15 УБЧ	1-115	2018/08/03	60.9	0.9	99.0
	7	23-95 УБЧ	1-095	2018/08/08	86.4	0.9	99.5
	8	23-35 УБЧ	1-035	2018/08/10	76.1	0.7	99.5
スタインブヤント社	9	21-53 УНБ	5-046	2018/07/24	52.9	2.3	96.9
	10	21-54 УНБ	5-045	2018/07/25	93.2	2.5	99.1
	11	21-59 УНБ	5-071	2018/07/26	83.9	0.8	99.6
	12	21-73 УНБ	5-044	2018/07/27	91.6	2.0	99.2
	13	21-63 УНБ	5-053	2018/07/30	53.3	2.2	97.1
	14	21-65 УНБ	5-052	2018/07/31	91.1	13.0	94.2
	15	38-62 УНБ	5-055	2018/08/01	94.1	2.4	99.1
	16	21-64 УНБ	5-058	2018/08/03	82.4	3.2	98.1
第3バス	17	91-54 УНЧ	3-077	2018/08/07	85.5	0.8	99.6
	18	91-55 УБЧ	3-073	2018/08/09	83.3	2.2	98.8
	19	91-51 УБЧ	3-095	2018/08/10	58.4	1.7	98.0
	20	75-13 УБЧ	3-087	2018/08/14	69.5	1.4	98.8
	21	91-52 УБЧ	3-075	2018/08/15	60.4	1.0	98.9
	22	33-08 УНН	3-080	2018/08/16	83.2	1.0	99.4
	23	33-04 УНН	3-079	2018/08/17	83.0	1.9	98.9
	24	03-62 УБЧ	3-085	2018/08/17	33.8	2.7	93.4
						最大	99.6
						最小	93.4
						平均	98.4

※ 低減率の計算方法は、2.2 (4) を参照

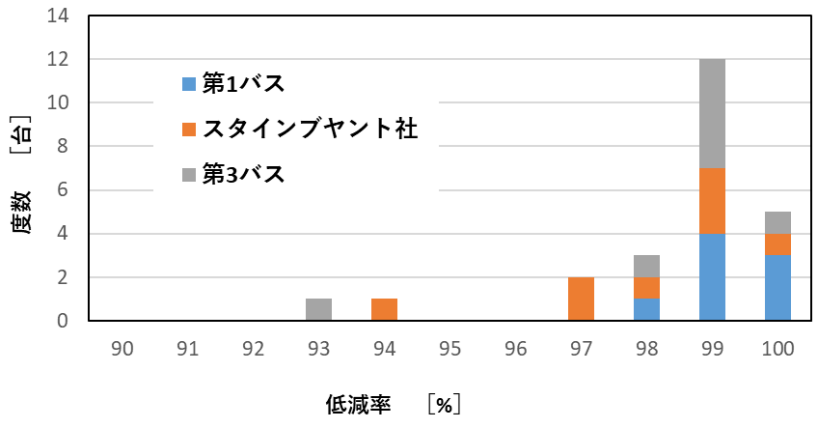


図 3-1 黒煙低減率のヒストグラム

3.3 実走行試験 I

実走行試験の走行動態を示す。 （試験方法の詳細は「2.3」を参照）

(1) 走行動態-1

■ No.1, Zhongtong 社製バス （2016 年 5 月 13 日～19 日）

表 3-3 No.1 の走行動態

	走行ルート		平均車速 km/h	4 モード [%] 加速	定速	減速	停止
モコビー装着	①平和通り	1 回目	13.1	23.5	18.5	22.8	35.1
		2 回目	15.3	27.5	23.3	23.7	25.5
	②環状	1 回目	15.3	25.4	23.8	22.4	28.4
		2 回目	19.0	29.2	24.7	25.2	20.9
	③高速	1 回目	28.7	26	36.2	23.3	14.5
		2 回目	29.5	28	34.2	26	11.8
	合計		19.5	26.5	26.2	23.8	23.6
モコビー未装着	①平和通り	1 回目	15.1	25.6	22.8	23.2	28.4
		2 回目	14.7	26.2	23.8	23.9	26.2
	②環状	1 回目	18.4	29.5	26.7	25.0	18.8
		2 回目	17.5	29.0	25.2	25.0	20.8
	③高速	1 回目	27.9	26.8	39.1	22.8	11.2
		2 回目	33.1	27.3	40.9	22.2	9.7
	合計		20.5	27.4	29.1	23.8	19.7

■ No.2, Daewoo 社製バス （2016 年 5 月 23 日～27 日）

表 3-4 No.2 の走行動態

	走行ルート		平均車速 km/h	4 モード [%] 加速	定速	減速	停止
モコビー装着	①平和通り	1 回目	15.5	29.7	16.2	25.2	28.9
		2 回目	17.1	29	17.8	26.5	26.7
	②環状	1 回目	16.8	28.2	18.6	23.9	29.3
		2 回目	21.1	29.1	24.3	25.6	21
	③高速	1 回目	34.7	21.6	54	18.1	6.3
		2 回目	32.9	24.3	46.2	19.8	9.7
	合計		21.6	27.5	26.8	23.7	22
モコビー未装着	①平和通り	1 回目	16.1	27.8	16.3	22.1	33.8
		2 回目	17.2	30.8	17.3	26.7	25.4
	②環状	1 回目	20	32.3	19.4	24.8	23.5
		2 回目	20	30.5	21.7	25.1	22.6
	③高速	1 回目	27.2	21.6	46.2	18.6	13.7
		2 回目	34.5	24.9	50.6	20.3	4.2
	合計		22.2	28	28	23	21.1

次頁

■平均車速 （表 3-3, 表 3-4 をグラフ化）

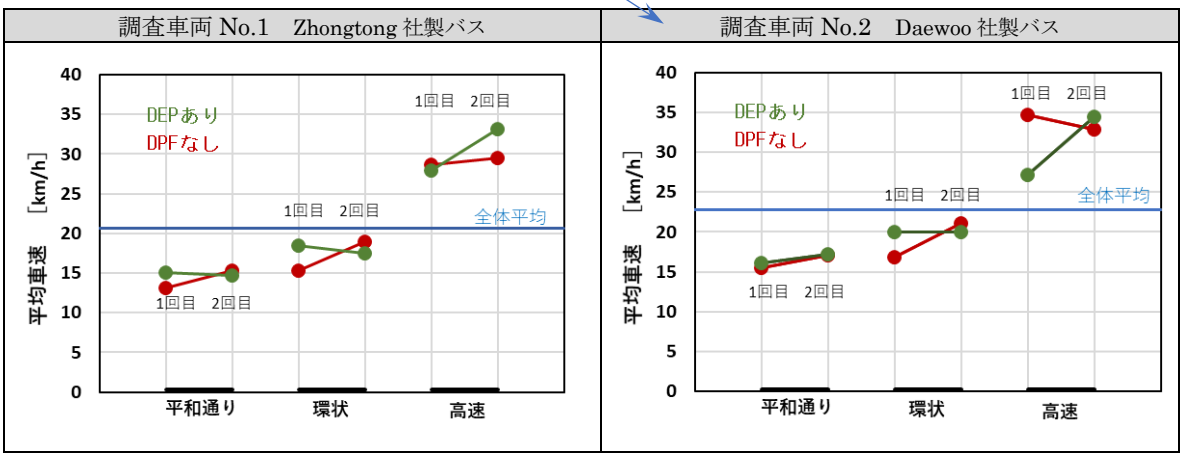


図 3-2 平均車速

<<続く>>

1）走行動態-2 ＜続き＞

■加減速の割合 （表 3-3，表 3-4 をグラフ化）

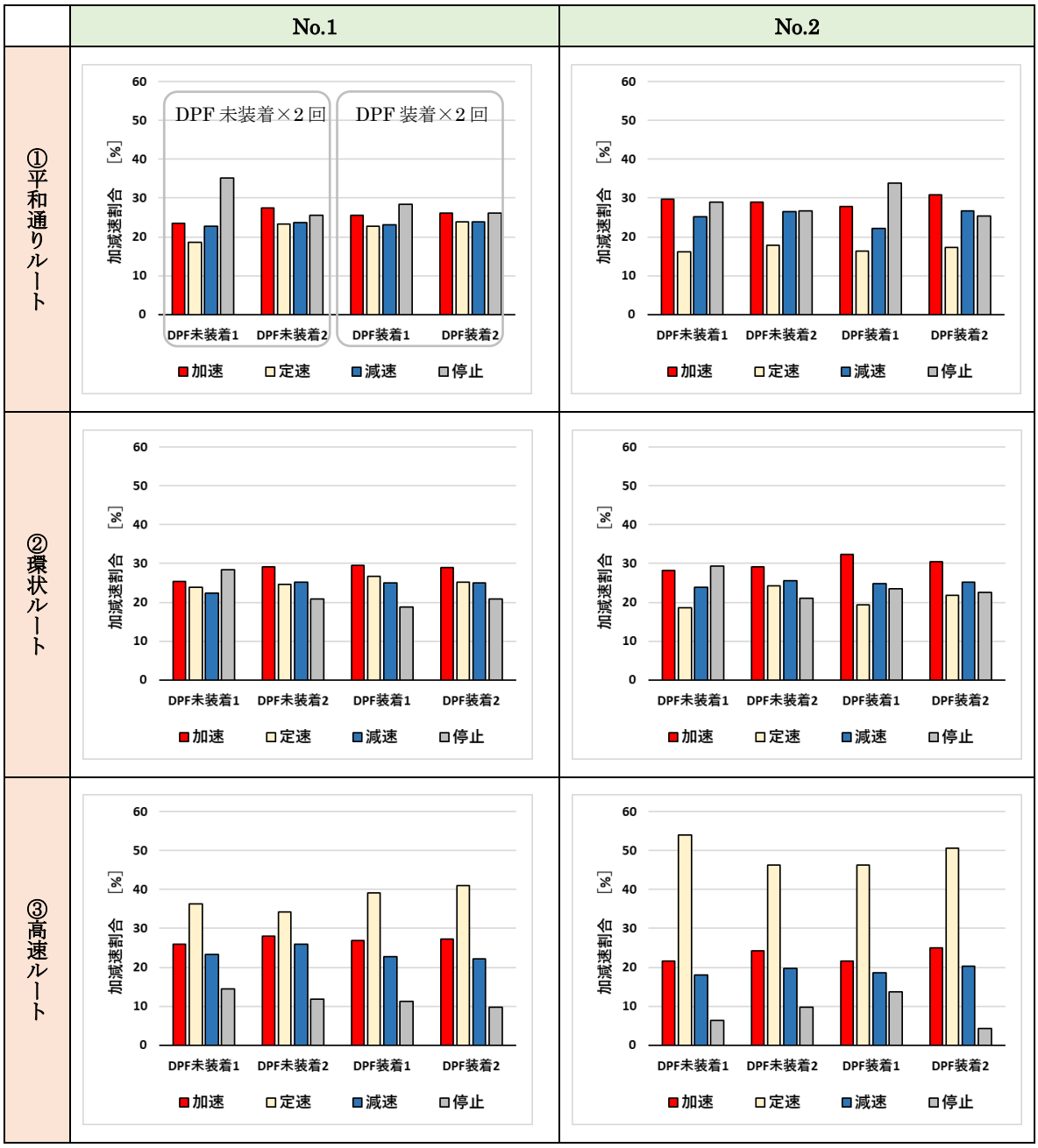


図 3-3 加減速の割合

(2) 小区間 別の測定値

表 3-5 **小区間** 別の各種測定値 ［小区間は 2.3(6) B）を参照］

［ Zhongtong 社製バス（12.8ｔ） DPF 未装着］

車重で規格化

Trip No.	試験日	ルート	積算距離	平均速度	NOx排出率	PM排出率	燃料消費率	NOx排出率	PM排出率
			km	km/h	g/km	g/km	L/km	g/km/t	g/km/t
3	2016/5/13	③高速	2.99	46.1	11.3	1.2	0.359	0.888	0.094
4			3.00	44.1	14.6	2.0	0.482	1.149	0.154
5			2.99	46.5	10.8	0.7	0.314	0.849	0.058
6			2.99	55.6	7.6	0.3	0.214	0.596	0.024
7			2.78	49.6	9.1	0.6	0.258	0.718	0.045
8			3.00	47.2	10.5	1.5	0.360	0.824	0.116
9			3.00	27.8	10.7	1.3	0.349	0.844	0.102
10			2.00	8.8	28.4	2.2	0.740	2.238	0.171
13	2016/5/16	①平和通り	2.73	11.2	25.4	2.4	0.719	2.001	0.190
14			2.14	18.6	16.9	2.2	0.530	1.328	0.172
15			2.08	11.3	21.6	2.0	0.602	1.697	0.156
16			2.44	14.9	17.8	1.9	0.519	1.398	0.147
17			3.01	23.2	14.2	1.9	0.450	1.116	0.153
20		①平和通り	2.10	18.3	16.6	2.4	0.542	1.311	0.190
21			2.01	21.3	15.1	2.0	0.484	1.186	0.160
22			2.19	10.6	21.6	1.7	0.552	1.699	0.132
23			2.25	15.9	15.7	1.5	0.439	1.237	0.118
24			2.35	26.2	11.4	1.6	0.367	0.899	0.123
27		②環状	3.00	18.3	17.3	2.0	0.527	1.366	0.154
28			2.27	9.4	24.5	1.1	0.541	1.926	0.087
29			2.14	13.4	22.5	3.0	0.707	1.772	0.234
30			3.01	13.9	19.2	1.5	0.516	1.511	0.120
31			3.00	15.3	17.4	1.2	0.468	1.368	0.095
32			2.32	22.2	10.7	0.9	0.276	0.844	0.068
35	2016/5/17	②環状	3.00	28.0	14.0	1.1	0.429	1.098	0.089
36			2.04	12.8	21.4	1.6	0.569	1.683	0.128
37			2.12	19.5	17.3	2.5	0.595	1.362	0.194
38			2.98	16.7	20.0	1.8	0.592	1.577	0.140
39			2.97	19.1	13.2	1.2	0.379	1.038	0.094
42		③高速	3.00	40.8	12.0	0.9	0.354	0.945	0.072
43			3.00	45.1	12.6	1.5	0.408	0.990	0.116
44			3.00	41.6	11.8	1.1	0.365	0.931	0.085
45			2.64	52.5	5.7	0.2	0.157	0.452	0.015
46			3.01	44.5	8.7	0.7	0.255	0.685	0.055
47			3.00	48.4	9.5	0.8	0.284	0.751	0.059
48			2.76	32.5	10.0	0.9	0.304	0.784	0.073
49			2.13	8.7	27.8	2.1	0.717	2.190	0.163
最大			3.01	55.6	28.4	3.0	0.740	2.238	0.2335
最小			2.00	8.7	5.7	0.2	0.157	0.452	0.0151
平均			2.63	27.0	15.5	1.5	0.452	1.223	0.1174

図 3-4～3-9 に
速度－PM
速度－NOx
速度－燃費
をグラフ化

注：平均速度の　　は 35km/h 以上

表 3-6 **小区間** 別の各種測定値

［ Zhongtong 社製バス（12.8ｔ） DPF 装着］

Trip No.	試験日	ルート	積算距離	平均速度	NOx排出率	PM排出率	燃料消費率	NOx排出率	PM排出率
			km	km/h	g/km	g/km	L/km	g/km/t	g/km/t
3	2016/5/18	①平和通り	2.09	12.4	21.5	0.107	0.638	1.696	0.008
4			2.16	11.9	20.5	0.122	0.603	1.613	0.010
5			2.04	11.5	18.7	0.079	0.503	1.475	0.006
6			2.96	22.8	11.8	0.047	0.322	0.928	0.004
7			2.95	19.3	15.5	0.071	0.477	1.218	0.006
10		①平和通り	2.10	16.0	19.1	0.080	0.593	1.503	0.006
11			2.02	14.5	19.2	0.075	0.551	1.515	0.006
12			2.02	11.2	20.2	0.090	0.556	1.590	0.007
13			2.09	14.7	16.6	0.070	0.435	1.306	0.005
14			2.63	18.8	13.6	0.060	0.373	1.071	0.005
17		②環状	3.00	24.3	13.7	0.053	0.451	1.081	0.004
18			2.01	14.3	18.1	0.081	0.521	1.426	0.006
19			2.16	14.4	22.3	0.091	0.690	1.758	0.007
20			3.01	16.1	16.7	0.069	0.476	1.317	0.005
21			2.41	20.1	14.3	0.066	0.467	1.125	0.005
22			2.65	23.3	9.2	0.053	0.276	0.724	0.004
25	2016/5/19	②環状	2.75	22.5	15.9	0.073	0.550	1.254	0.006
26			2.28	11.1	24.0	0.096	0.611	1.886	0.008
27			2.15	15.0	21.4	0.217	0.687	1.682	0.017
28			3.01	17.3	16.7	0.077	0.518	1.318	0.006
29			2.17	22.5	14.2	0.059	0.438	1.117	0.005
30			2.49	16.3	13.7	0.067	0.397	1.079	0.005
33		③高速	2.99	53.9	10.4	0.049	0.300	0.817	0.004
34			3.00	44.8	13.3	0.074	0.428	1.045	0.006
35			3.00	39.6	11.3	0.040	0.330	0.887	0.003
36			2.99	56.7	7.4	0.029	0.199	0.580	0.002
37			3.00	46.8	9.9	0.037	0.307	0.783	0.003
38			3.00	38.8	9.0	0.046	0.295	0.711	0.004
39			2.14	27.4	11.7	0.052	0.338	0.924	0.004
40			2.36	9.4	24.3	0.129	0.619	1.909	0.010
43		③高速	2.05	38.3	11.8	0.046	0.370	0.927	0.004
44			3.00	44.0	12.2	0.069	0.399	0.963	0.005
45			2.99	53.1	12.3	0.054	0.352	0.970	0.004
46			3.00	43.1	7.7	0.042	0.221	0.609	0.003
47			2.99	46.8	7.7	0.030	0.217	0.608	0.002
48			3.00	41.1	8.4	0.047	0.264	0.661	0.004
49			3.00	27.6	10.9	0.061	0.338	0.858	0.005
50			2.54	23.5	14.6	0.075	0.442	1.152	0.006
最大			3.01	56.7	24.3	0.217	0.690	1.909	0.0171
最小			2.01	9.4	7.4	0.029	0.199	0.580	0.0023
平均			2.58	26.5	14.7	0.071	0.436	1.160	0.0056

注：平均速度の　　は 35km/h 以上

表 3-7 **小区間** 別の各種測定値

［ Daewoo 社製バス（11.6ｔ） DPF 未装着］

Trip No.	試験日	ルート	積算距離	平均速度	NOx排出率	PM排出率	燃料消費率	NOx排出率	PM排出率
			km	km/h	g/km	g/km	L/km	g/km/t	g/km/t
3	2016/5/23	①平和通り	2.32	16.0	18.0	0.69	0.379	1.565	0.060
4			2.02	16.1	18.8	0.79	0.408	1.633	0.069
5			2.03	10.6	19.9	0.66	0.361	1.725	0.057
6			2.18	20.3	14.4	0.80	0.344	1.251	0.070
7			2.35	21.3	13.0	0.52	0.269	1.131	0.045
10		③高速	2.71	39.2	11.7	0.17	0.200	1.014	0.015
11			3.00	39.7	13.0	0.18	0.229	1.126	0.016
12			3.00	45.5	15.6	0.14	0.254	1.353	0.012
13			3.00	40.0	7.4	0.16	0.135	0.638	0.014
14			2.99	44.0	10.9	0.17	0.188	0.942	0.015
15			3.00	41.2	11.8	0.17	0.204	1.025	0.015
16			3.00	33.6	14.3	0.33	0.279	1.239	0.029
17			2.13	18.0	20.0	0.68	0.417	1.741	0.059
20	2016/5/24	①平和通り	2.76	16.5	18.1	0.89	0.426	1.570	0.078
21			2.24	12.2	21.1	0.85	0.433	1.836	0.074
22			2.34	14.6	18.8	0.72	0.391	1.631	0.062
23			2.04	15.3	18.1	0.91	0.416	1.574	0.079
24			2.22	27.2	15.5	1.05	0.401	1.350	0.092
27		②環状	3.01	21.7	15.5	0.59	0.330	1.346	0.052
28			2.48	8.9	23.7	0.82	0.463	2.059	0.071
29			2.08	11.0	22.3	1.01	0.486	1.939	0.088
30			3.00	17.6	16.9	0.95	0.415	1.464	0.083
31			3.00	17.4	13.5	0.63	0.299	1.171	0.055
34	2016/5/25	②環状	2.85	24.4	14.4	0.45	0.305	1.249	0.039
35			2.20	14.0	18.6	0.64	0.388	1.614	0.056
36			2.05	21.1	17.3	1.08	0.441	1.506	0.094
37			3.01	20.1	16.8	0.50	0.339	1.459	0.043
38			2.99	24.0	13.4	0.54	0.297	1.163	0.047
39			2.33	18.7	13.0	0.44	0.267	1.127	0.039
42		③高速	3.00	38.2	11.4	0.22	0.220	0.990	0.019
43			3.00	42.1	12.0	0.18	0.222	1.043	0.016
44			3.00	40.9	14.1	0.16	0.238	1.222	0.014
45			3.00	50.3	6.7	0.12	0.127	0.586	0.010
46			3.00	46.2	9.2	0.11	0.155	0.802	0.009
最大			3.01	50.3	23.7	1.08	0.486	2.059	0.0938
最小			2.02	8.9	6.7	0.11	0.127	0.586	0.0093
平均			2.63	26.1	15.3	0.54	0.315	1.326	0.0468

注：平均速度の　　は 35km/h 以上

表 3-8 **小区間** 別の各種測定値

［ Daewoo 社製バス（11.6ｔ） DPF 装着］

Trip No.	試験日	ルート	積算距離	平均速度	NOx排出率	PM排出率	燃料消費率	NOx排出率	PM排出率
			km	km/h	g/km	g/km	L/km	g/km/t	g/km/t
3	2016/5/26	①平和通り	2.13	9.0	24.2	0.074	0.507	2.10	0.0064
4			2.13	22.2	16.3	0.039	0.369	1.41	0.0034
5			2.06	15.2	17.6	0.053	0.387	1.53	0.0046
6			2.98	18.5	15.5	0.045	0.350	1.34	0.0039
7			2.98	19.7	15.1	0.040	0.369	1.31	0.0035
10		①平和通り	2.13	15.6	17.1	0.053	0.415	1.48	0.0046
11			3.00	17.2	13.8	0.047	0.380	1.20	0.0041
12			2.45	14.1	15.6	0.048	0.330	1.36	0.0042
13			2.96	20.4	13.2	0.040	0.337	1.14	0.0034
16		②環状	3.01	24.0	15.2	0.040	0.380	1.32	0.0035
17			2.09	17.8	17.1	0.046	0.346	1.48	0.0040
18			3.01	16.3	17.7	0.054	0.450	1.54	0.0047
19			2.72	15.5	17.2	0.055	0.406	1.49	0.0048
20			3.00	21.7	11.7	0.038	0.273	1.02	0.0033
23	2016/5/27	②環状	2.07	14.6	19.6	0.056	0.500	1.70	0.0049
24			2.18	23.1	14.5	0.036	0.340	1.26	0.0032
25			2.14	13.7	22.7	0.057	0.500	1.97	0.0050
26			2.03	21.9	12.8	0.035	0.317	1.11	0.0030
27			2.42	18.6	15.5	0.044	0.431	1.34	0.0038
28			2.84	24.6	10.9	0.036	0.260	0.95	0.0031
31		③高速	2.05	36.4	11.2	0.029	0.226	0.97	0.0025
32			3.00	41.5	11.0	0.029	0.256	0.96	0.0025
33			3.00	44.3	12.7	0.029	0.228	1.10	0.0025
34			3.00	43.9	5.7	0.028	0.116	0.49	0.0025
35			3.00	44.5	8.2	0.024	0.136	0.71	0.0021
36			3.00	42.7	8.9	0.030	0.185	0.77	0.0026
37			3.00	33.5	9.3	0.029	0.209	0.81	0.0025
38			2.74	8.0	25.9	0.080	0.459	2.25	0.0069
41		③高速	3.00	46.1	10.9	0.024	0.183	0.95	0.0021
42			3.00	39.7	13.1	0.028	0.253	1.13	0.0025
43			2.99	39.6	13.8	0.027	0.236	1.20	0.0023
44			2.99	47.2	5.4	0.026	0.093	0.47	0.0023
45			2.38	42.3	8.5	0.029	0.175	0.74	0.0025
46			3.00	37.5	11.8	0.029	0.225	1.03	0.0025
47			3.00	29.9	11.0	0.030	0.243	0.96	0.0026
最大			3.01	47.2	25.9	0.080	0.507	2.25	0.0069
最小			2.03	8.0	5.4	0.024	0.093	0.47	0.0021
平均			2.67	26.9	14.0	0.040	0.311	1.22	0.0035

注：平均速度の　　は 35km/h 以上

(3) 小区間 別の、車速と PM 排出量，NOx 排出量，燃料消費率

図 3-4～図 3-9 は、表 3-5～表 3-8 をグラフ化したものである。DPF 未装着とは、ディーゼルエンジンから排出される排出ガス濃度の事で、DPF を装着したときに DPF に導入される、黒煙除去前の排出ガス濃度である。

PM 排出量

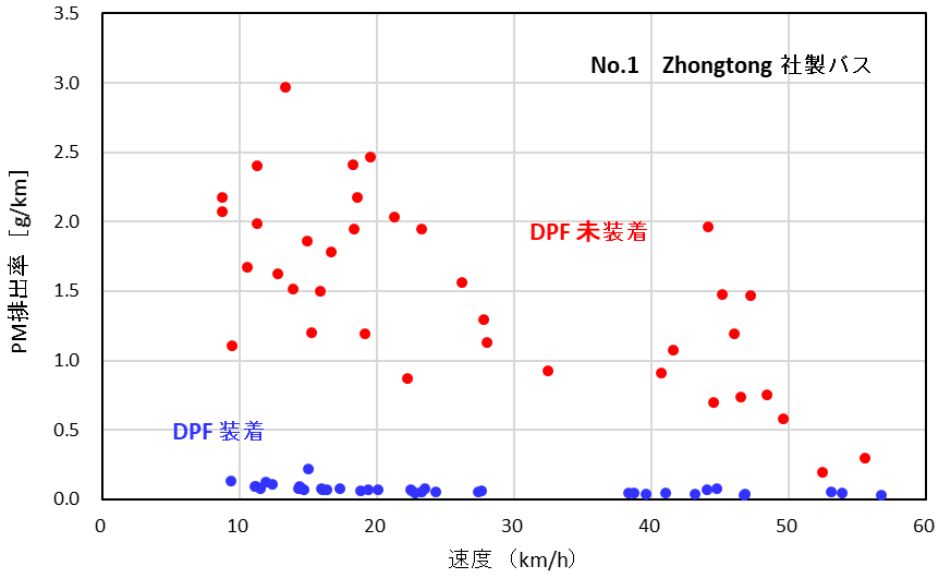


図 3-4 PM 排出量 （No.1）

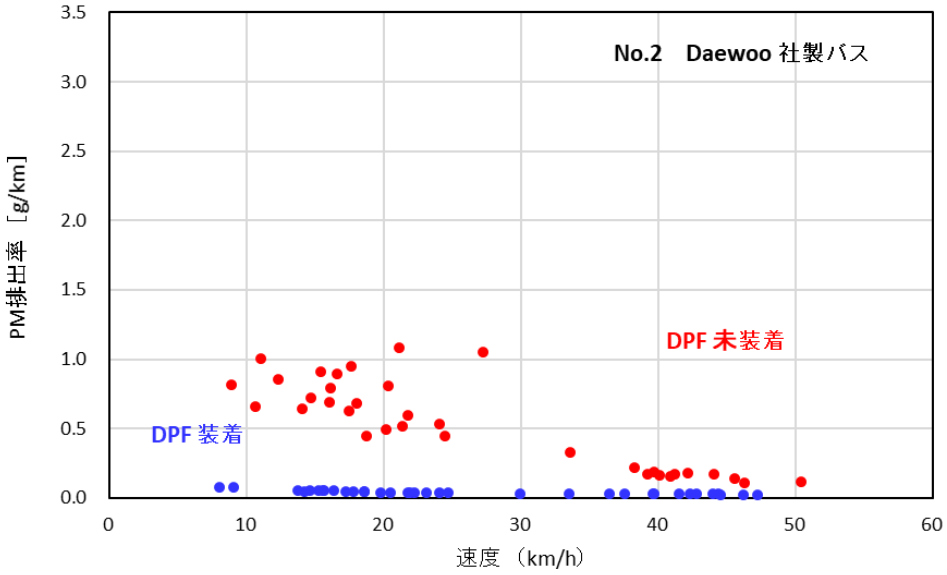


図 3-5 PM 排出量 （No.2）

NOx 排出量

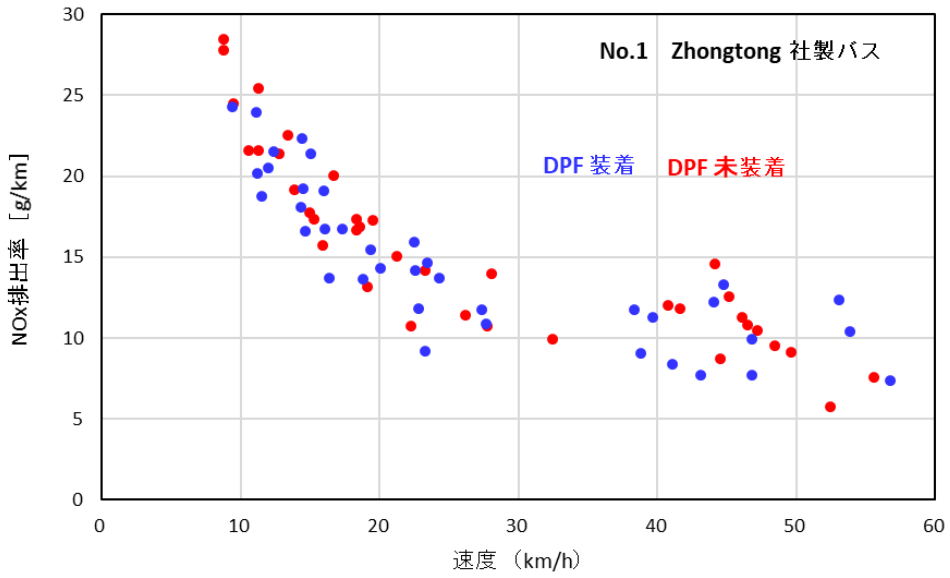


図 3-6 NOx 排出量 （No.1）

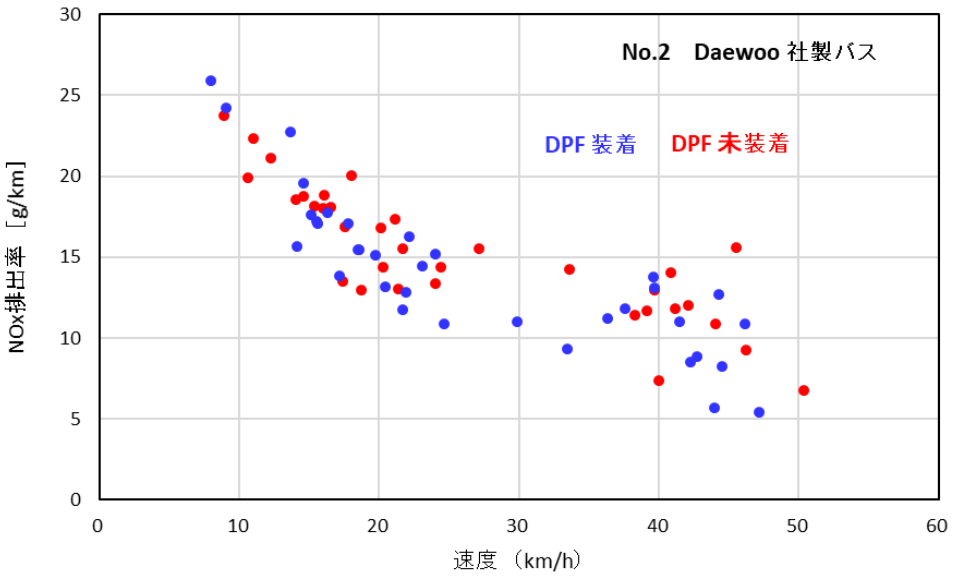


図 3-7 NOx 排出量 （No.2）

燃料消費率

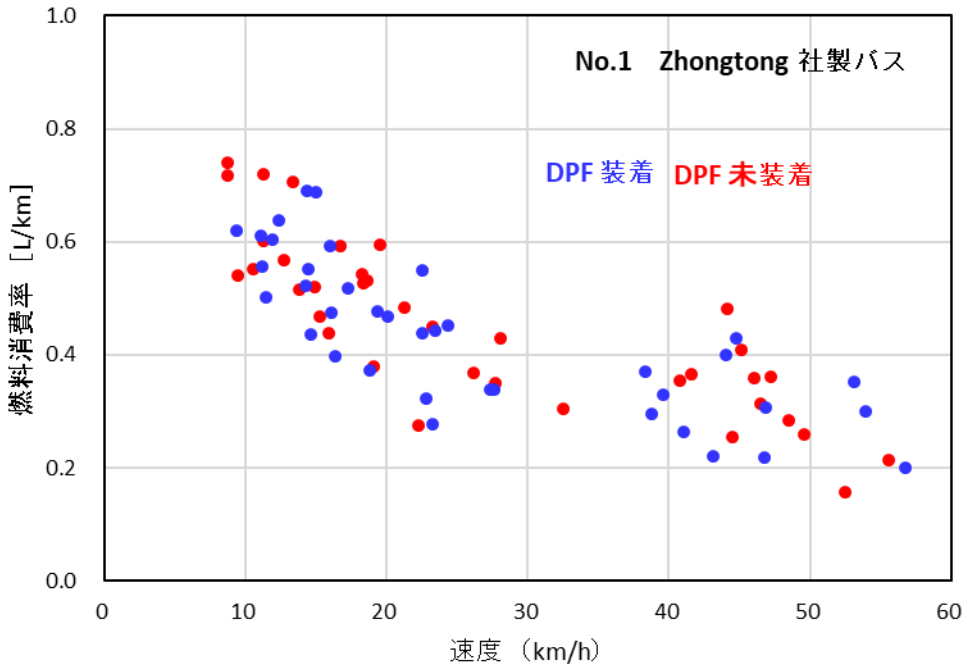


図 3-8 燃料消費率 （No.1）

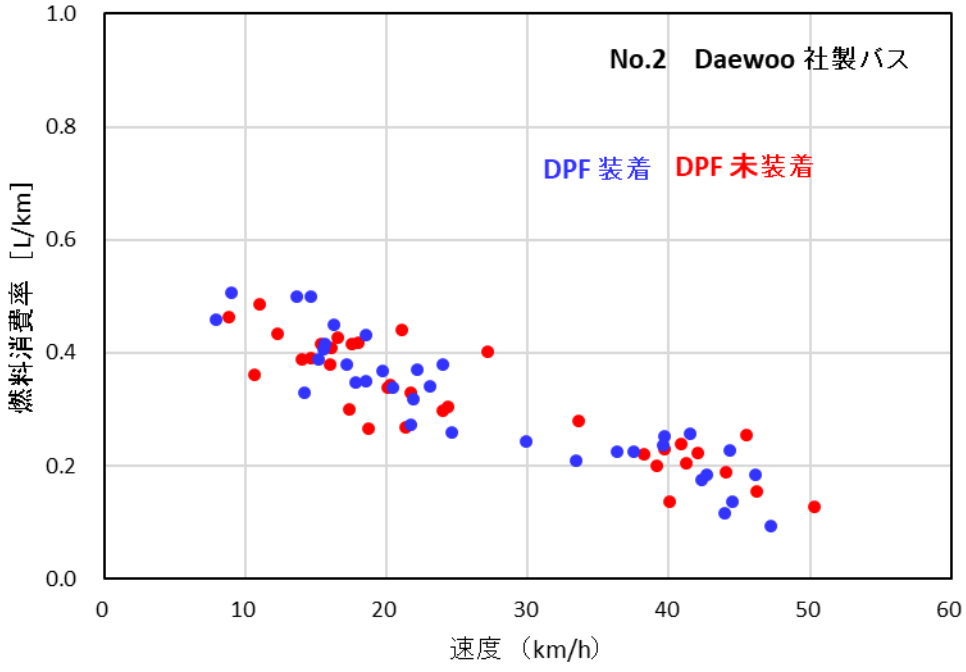


図 3-9 燃料消費率 （No.2）

3.4 実走行試験Ⅱの結果

- ▸モコビーが装着された第１バス社のバス 6 台について、1 日の営業走行後の再生作業に、再生前後のモコビーの質量を測定し、その差から捕集できた黒煙重量を求めた。
- ▸7/11～7/13 および 7/15 は再生作業が実施できなかった。
- ▸7/22 の 1-016 号車の「14g」は、その日の運行が短時間・短距離であったため。

表 3-9 黒煙捕集量 ［ g ］

2018 年		車両管理番号 1-144	1-149	1-016	1-068	1-088	1-046	合計
7 月 3 日	(火)							0
7 月 4 日	(水)		188					188
7 月 5 日	(木)	149		149				298
7 月 6 日	(金)		202					202
7 月 7 日	(土)	136			216	136		488
7 月 8 日	(日)				24	203	142	369
7 月 9 日	(月)	29	210				94	333
7 月 10 日	(火)	78	220		155	220	64	737
7 月 11 日	(火)							0
7 月 12 日	(火)							0
7 月 13 日	(火)							0
7 月 14 日	(土)	251	202		224	221	204	1,102
7 月 15 日	(日)							0
7 月 16 日	(月)	186	167			32	59	444
7 月 17 日	(火)		166	230	211	220	106	933
7 月 18 日	(水)		220		82	189	66	557
7 月 19 日	(木)				89	216	64	369
7 月 20 日	(金)		213	159			136	508
7 月 21 日	(土)	262		203	212	253		930
7 月 22 日	(日)	227	210	14	110		22	583
7 月 23 日	(月)	150		121	117	200		588
7 月 24 日	(火)	296	214	172	215			897
7 月 25 日	(水)	247	215	148	139	224		973
7 月 26 日	(木)	222	259	131		216		828
7 月 27 日	(金)	246	227	159	181	221	318	1,352
7 月 28 日	(土)	253	179	159	51	215		857
7 月 29 日	(日)		219	146		216		581
7 月 30 日	(月)	321	145	101			210	777
7 月 31 日	(火)	259	226				73	558
合計		3,312	3,682	1,892	2,026	2,982	1,558	15,452

平均	174 g	最大	321 g	最小	14 g

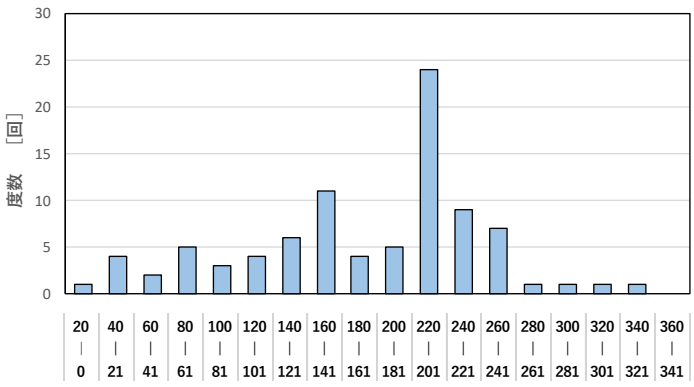
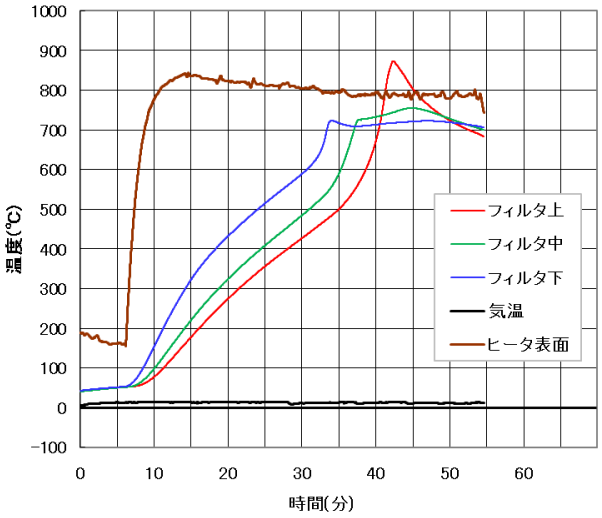


図 3-10 黒煙捕集量の分布

3.5 再生時の温度上昇試験

モコビー再生時の、内部温度を図 3-11，3-12 に示す。



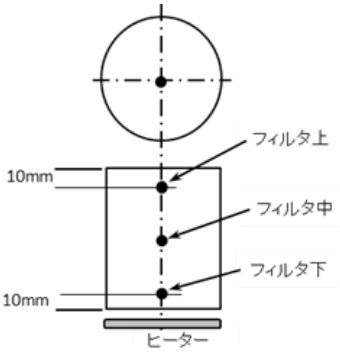


図 3-11　屋内での再生を行った時の各部温度

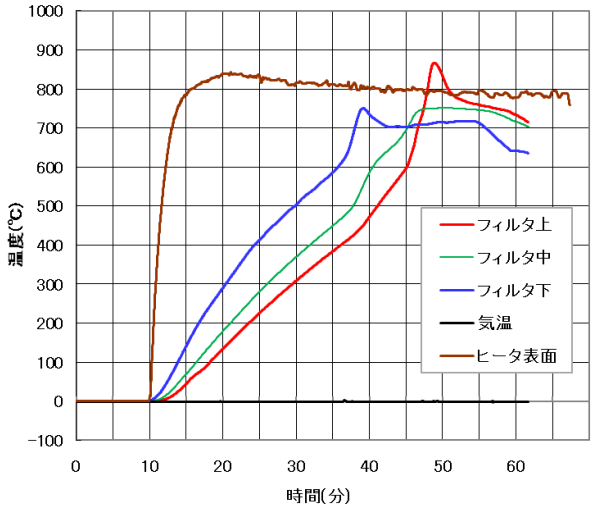
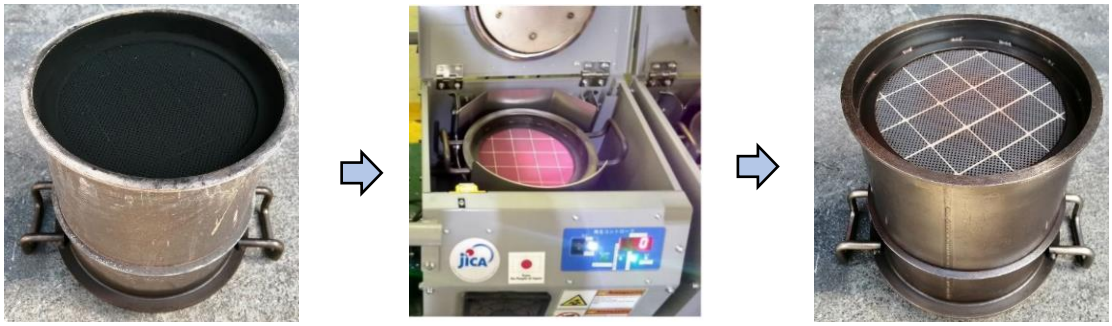


図 3-12　屋外での再生を行った時の各部温度



再生前
（車両から取外し直後）

再生中
（赤熱している）

再生後

図 3-13　再生前後の DPF の状態

3.6 アッシュ除去の確認

(2) 試験結果

逆洗（エアブロー）をすると、針状のアッシュが排出された。アッシュの形状が細長いのは、図 1-1 に示す細長いハニカム形状の内側に堆積していくため。



フィルタより脱落したアッシュ　　再生装置内に脱落、堆積したアッシュ

図 3-14　再生後のモコビーCT から出たアッシュの例

4. 試験結果に基づく考察

4.1 黒煙の低減率

(1) 無負荷急加速黒煙試験

p.19 の表 3-2 と図 3-1 より、24 台の路線バスにモコビーを装着した「無負荷急加速黒煙試験」の黒煙低減率は、最小値 93.4%（平均値 98.4%）で、目標の「90%以上」をクリアした。この試験によって、モコビーCT で使用しているイビデン社製の SiC フィルターの基本性能が、確認出来た。

4.2 実走行試験 I

(1) 走行ルートと走行動態（加減速），車速

■ 走行ルート

ウランバートル（地図）は標高 1300m に位置するモンゴル国の首都で、人口 140 万人（2018 年）で同国の人口の半分が住む、極端な一極集中する都市である。なだらかな盆地の底に位置し、市街中心部の起伏はあまりない。実走行を行った、①平和通りと②環状ルートは、はほぼ平坦で、主要交差点は信号機のある平面交差である。　一方③高速ルートは、自動車専用道路ではないが、信号かがほとんど無い、郊外の見晴らしの良い直線道路である。

■車速

p.20 の図 3-2 の平均車速を見ると、①より②の方がやや高く、③はさらに速度が高くなっている事がわかる。P.22 の表 3-5～表 3-8 の小区間別の測定値において、平均速度が 35km/h 以上を　　で記したが、全て高速ルートであった。高速ルートの最後 2 つの小区間の車速が低いのは、空港から市内に戻り、環状ルートを走っているからである。

なお、走り始めも環状ルートを走るが、暖機中のデータであるので、本解析では使用していない。　（ 詳細は、「1.2 (1) 黒煙除去装置とは」の【注意事項】を参照 ）

■走行動態

図 3-3 の加減速の割合を見ると、①と②は「加減速が多く、定速走行が少ない」、③は、「定速走行が多く、停止が極端に少ない」という特徴がある。特に No.2 の③高速は、定速走行が際立って多く、加速・停車が最も少ない。

(2) PM 低減率（平均化処理前）

速度と PM 排出率の関係を表す、p.26 の図 3-4 と図 3-5 から、次の①②が確認できた。

①2 台のバスの「DPF 未装着●」を比較すると、No.2 のバスの方が No.1 のバスより、PM 排出率が低い。

②2 台のバスのそれぞれで、「DPF 未装着●」と「DPF 装着●」を比べると、「DPF 装着●」の PM 排出率が明らかに低く、DPF の装着効果が確認できた。
ただし、データのバラツキが大きく速度依存性があるため、単純平均ができず、定量比較はできない。そこで、次頁以降の「(3)速度帯別の平均化処理」を行う。

(3) 速度帯別の平均化処理

表 3-5～3-8 の小区間データに対し、次の①～③の加工を行い、次頁の表 4-1，4-2 を得た。

①	表 3-5～3-8 に示す小区間を平均車速に着目しで昇順で並べ替える。
②	5km/h 幅の「速度帯」別に分ける。
③	それぞれの速度帯での平均値を求める。

① 平均速度で昇順並べ替え　　② 速度帯別に分類

Trip No.	ルート	積算距離 km	平均速度 km/h	NOx排出率 g/km	PM排出率 g/km	燃料消費率 L/km	NOx排出率 g/km/t	PM排出率 g/km/t	速度帯
49	③高速	2.13	8.7	27.8	2.1	0.717	2.190	0.163	5-10
10	③高速	2.00	8.8	28.4	2.2	0.740	2.238	0.171	
28	②環状	2.27	9.4	24.5	1.1	0.541	1.926	0.087	
22	①平和通り	2.19	10.6	21.6	1.7	0.552	1.699	0.132	10-15 km/h
13	①平和通り	2.73	11.2	25.4	2.4	0.719	2.001	0.190	
15	①平和通り	2.08	11.3	21.6	2.0	0.602	1.697	0.156	
36	②環状	2.04	12.8	21.4	1.6	0.569	1.683	0.128	
29	②環状	2.14	13.4	22.5	3.0	0.707	1.772	0.234	
30	②環状	3.01	13.9	19.2	1.5	0.516	1.511	0.120	
16	①平和通り	2.44	14.9	17.8	1.9	0.519	1.398	0.147	
31	②環状	3.00	15.3	17.4	1.2	0.468	1.368	0.095	15-20 km/h
23	①平和通り	2.25	15.9	15.7	1.5	0.439	1.237	0.118	
38	②環状	2.98	16.7	20.0	1.8	0.592	1.577	0.140	
20	①平和通り	2.10	18.3	16.6	2.4	0.542	1.311	0.190	
27	②環状	3.00	18.3	17.3	2.0	0.527	1.366	0.154	
14	①平和通り	2.14	18.6	16.9	2.2	0.530	1.328	0.172	
39	②環状	2.97	19.1	13.2	1.2	0.379	1.038		
37	②環状	2.12	19.5	17.3	2.5	0.595	1.362		
21	①平和通り	2.01	21.3	15.1	2.0	0.484	1.186		
32	②環状	2.32	22.2	10.7	0.9	0.276	0.844	0.068	20-2
17	①平和通り	3.01	23.2	14.2	1.9	0.450	1.116	0.153	
24	①平和通り	2.35	26.2	11.4	1.6	0.367	0.899	0.123	25-30
9	③高速	3.00	27.8	10.7	1.3	0.349	0.844	0.102	
35	②環状	3.00	28.0	14.0	1.1	0.429	1.098	0.089	
48	③高速	2.76	32.5	10.0	0.9	0.304	0.784	0.073	
42	③高速	3.00	40.8	12.0	0.9	0.354	0.945	0.072	40-45
44	③高速	3.00	41.6	11.8	1.1	0.365	0.931	0.085	
4	③高速	3.00	44.1	14.6	2.0	0.482	1.149	0.154	
46	③高速	3.01	44.5	8.7	0.7	0.255	0.685	0.055	
43	③高速	3.00	45.1	12.6	1.5	0.408	0.990	0.116	45－50 km/h
3	③高速	2.99	46.1	11.3	1.2	0.359	0.888	0.094	
5	③高速	2.99	46.5	10.8	0.7	0.314	0.849	0.058	
8	③高速	3.00	47.2	10.5	1.5	0.360	0.824	0.116	
47	③高速	3.00	48.4	9.5	0.8	0.284	0.751	0.059	
7	③高速	2.78	49.6	9.1	0.6	0.258	0.718	0.045	
45	③高速	2.64	52.5	5.7	0.2	0.157	0.452	0.015	
6	③高速	2.99	55.6	7.6	0.3	0.214	0.596	0.024	

説明見本
表 3-5 の加工後

5～10km/h
3 データの平均

10～15km/h
7 データの平均

45～50m/h
5 データの平均

③ 速度帯別に平均化する

注：平均速度の　　は 35km/h 以上

速度帯別の平均値を表 4-1，表 4-2 に示す

■ 表 3-5～3-8 の小区間の平均速度を基準に「速度帯」 別に分類し、各種測定値の平均した結果を、表 4-1，4-2 に示す。
■ 低減率の空欄は、DPF 装着と未装着の両方のデータが揃わない速度帯であるためである。
■ 加重平均は、小区間数を重み付けとした。

表 4-1 **速度帯別** の各種測定値 ［ Zhongtong 社製バス］

	DPF 未装着					DPF 装着					低減率		
速度帯	小区間数	平均速度	燃料消費率	NOx排出率	PM排出率	小区間数	平均速度	燃料消費率	NOx排出率	PM排出率	燃料消費率	NOx排出率	PM排出率
km/h		km/h	L/km	g/km	g/km		km/h	L/km	g/km	g/km	%	%	%
0－5	0					0							
5–10	3	9.0	0.666	26.9	1.79	1	9.4	0.619	24.3	0.129	7.0	9.8	93
10–15	7	12.6	0.598	21.3	2.01	9	12.9	0.568	20.1	0.090	5.1	5.7	96
15–20	8	17.7	0.509	16.8	1.83	7	17.0	0.503	16.7	0.092	1.2	0.8	95
20–25	3	22.2	0.403	13.3	1.62	7	22.7	0.421	13.4	0.061	−4.5	−0.5	96
25–30	3	27.3	0.382	12.0	1.33	2	27.5	0.338	11.3	0.057	11.4	5.9	96
30–35	1	32.5	0.304	10.0	0.92	0							
35–40	0					3	38.9	0.331	10.7	0.044			
40–45	4	42.8	0.364	11.8	1.16	4	43.3	0.328	10.4	0.058	9.8	11.6	95
45–50	6	47.2	0.330	10.6	1.03	2	46.8	0.262	8.8	0.034	20.7	16.9	97
50–55	1	52.5	0.157	5.7	0.19	2	53.5	0.326	11.4	0.051	−106.9	−97.7	73
55–60	1	55.6	0.214	7.6	0.30	1	56.7	0.199	7.4	0.029	7.2	2.8	90
60–65	0					0							

対応のある t 検定		燃料消費率	NOx排出率	← 考察4.2(6) で使用
	P 両側	0.783	0.744	

単純平均	−5.4	−5.0	92.3
加重平均	1.1	1.5	94.4

表 4-2 **速度帯別** の各種測定値 ［ Daewoo 社製バス ］

	DPF 未装着					DPF 装着					低減率		
速度帯	小区間数	平均速度	燃料消費率	NOx排出率	PM排出率	小区間数	平均速度	燃料消費率	NOx排出率	PM排出率	燃料消費率	NOx排出率	PM排出率
km/h		km/h	L/km	g/km	g/km		km/h	L/km	g/km	g/km	%	%	%
0－5	0					0							
5–10	1	8.9	0.463	23.7	0.819	2	8.5	0.483	25.0	0.077	−4.3	−5.6	91
10–15	5	12.5	0.412	20.1	0.776	3	14.1	0.443	19.3	0.054	−7.6	4.1	93
15–20	8	17.0	0.378	17.0	0.749	9	17.2	0.393	16.3	0.049	−3.8	4.5	94
20–25	7	21.9	0.332	15.0	0.639	7	22.6	0.325	13.5	0.038	2.0	9.8	94
25–30	1	27.2	0.401	15.5	1.054	1	29.9	0.243	11.0	0.030	39.4	29.0	97
30–35	1	33.6	0.279	14.3	0.330	1	33.5	0.209	9.3	0.029	25.3	34.8	91
35–40	3	39.0	0.216	12.0	0.192	4	38.3	0.235	12.5	0.028	−8.6	−3.7	85
40–45	5	41.6	0.197	11.2	0.167	6	43.2	0.183	9.2	0.028	7.5	18.3	83
45–50	2	45.9	0.204	12.4	0.122	2	46.7	0.138	8.1	0.025	32.5	34.4	79
50–55	1	50.3	0.127	6.7	0.120	0							
55–60	0					0							
60–65	0					0							

対応のある t 検定		燃料消費率	NOx排出率	← 考察4.2(6) で使用
	P 両側	0.246	0.035	

単純平均	9.1	13.9	89.7
加重平均	2.5	9.9	90.2

表 4-1 と表 4-2 を図 4-5～4-10 のグラフに表す。

■ 表 4-1 と表 4-2 をグラフに表す。図 4-5 と図 4-6 は速度帯と PM 排出率のグラフで、図 4-7 と図 4-8 は NOx 排出率、図 4-9 と図 4-10 は燃料消費率のグラフである。

■ DPF 未装着とは、ディーゼルエンジンから排出される排出ガス濃度の事で、DPF を装着したときに DPF に導入される、黒煙除去前の排出ガス濃度である。

PM 排出率

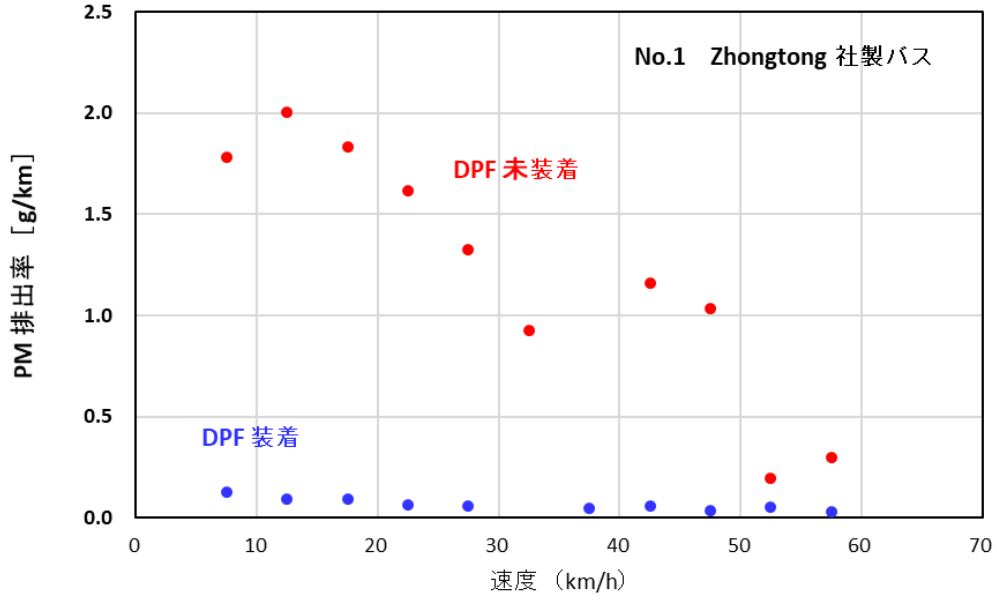


図 4-5 PM 排出率 （No.1）

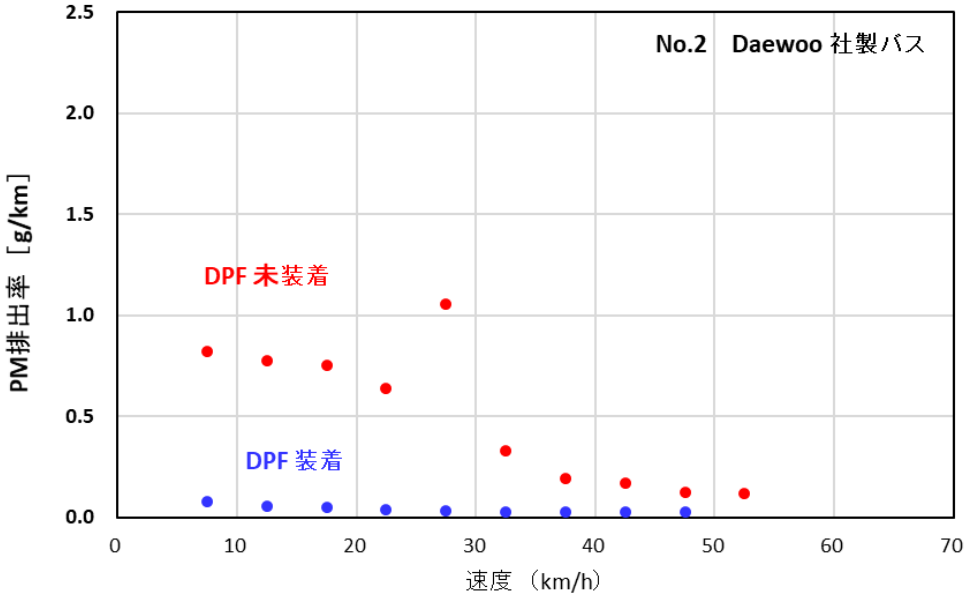


図 4-6 PM 排出率 （No.2）

NOx 排出率

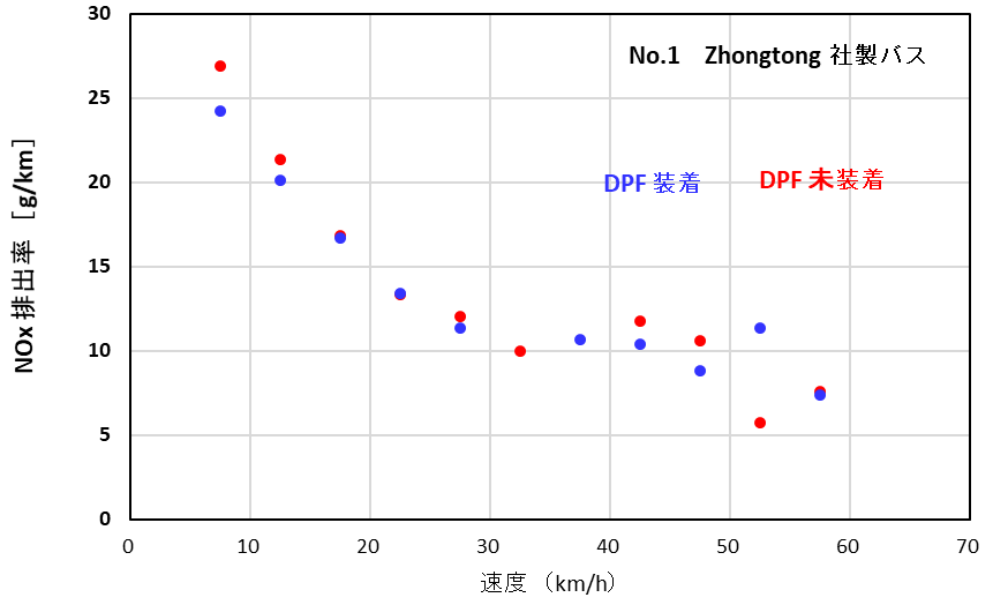


図 4-7 NOx 排出率 （No.1）

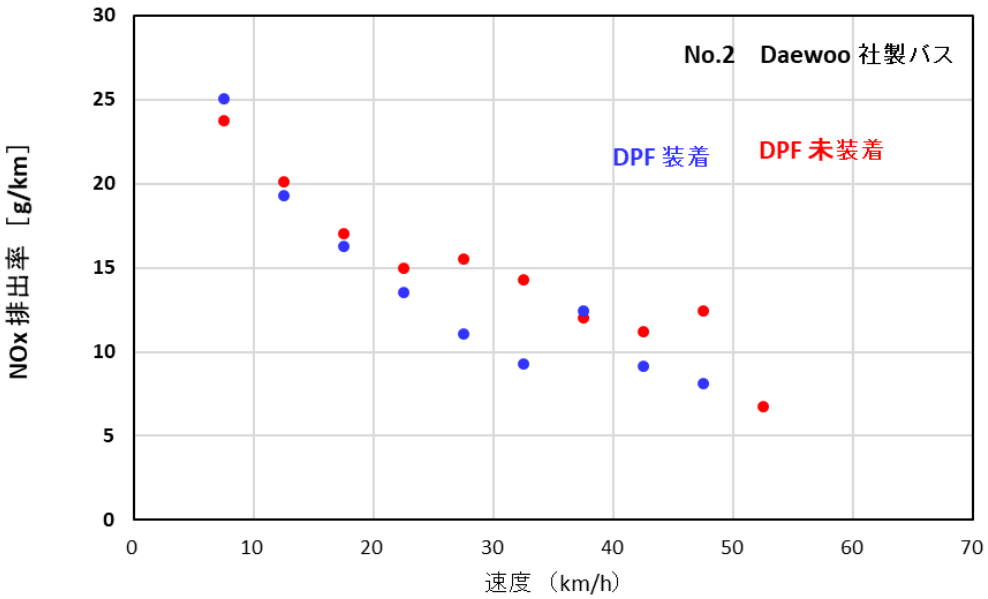


図 4-8 NOx 排出率 （No.2）

燃料消費率

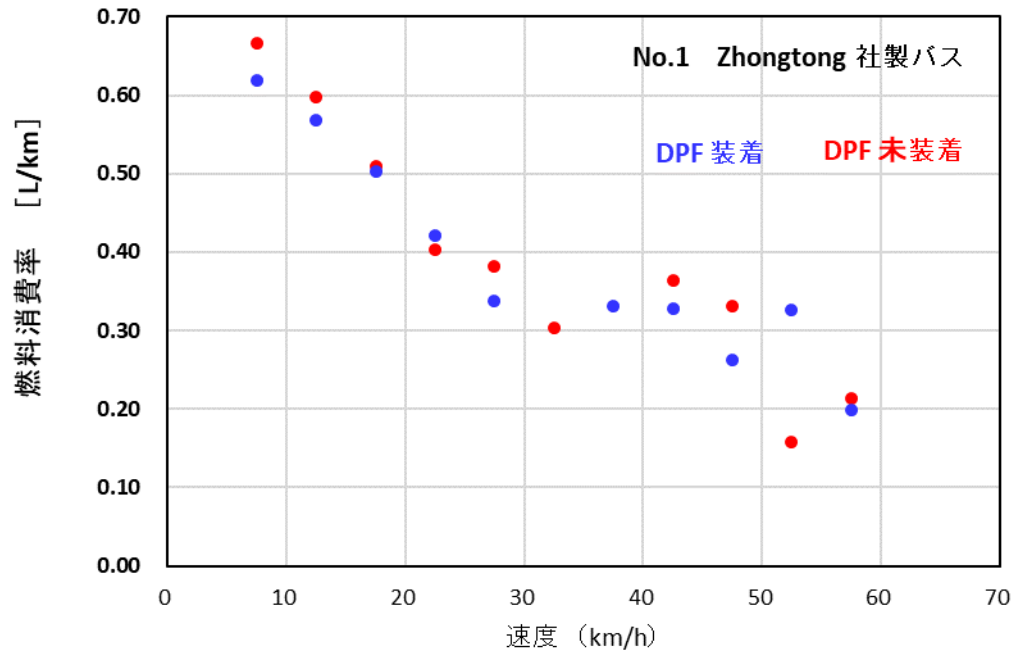


図 4-9 燃料消費率 （No.1）

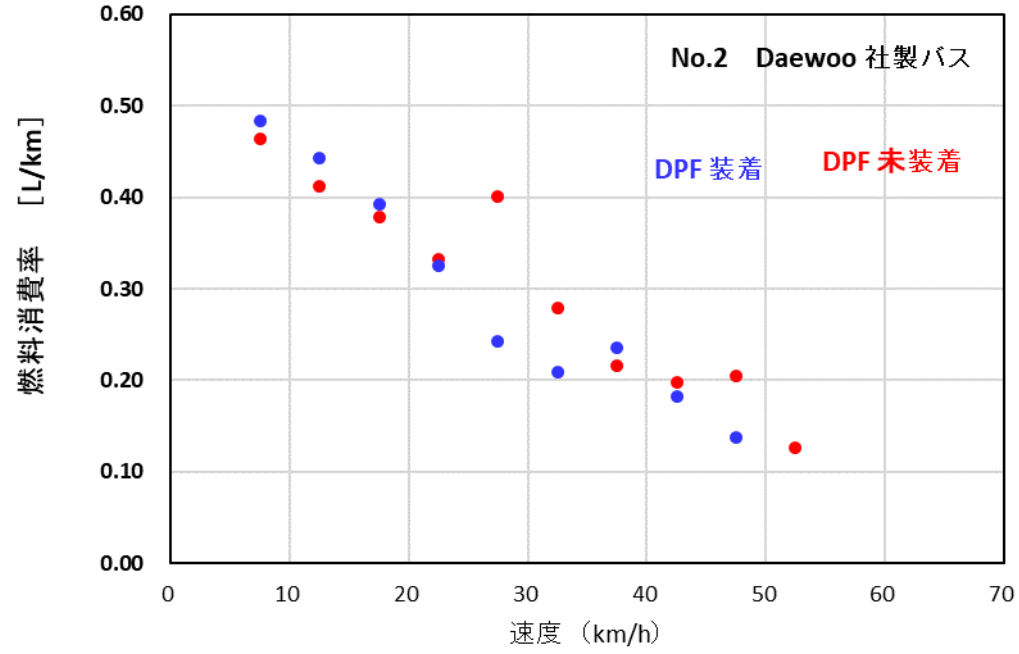


図 4-10 燃料消費率 （No.2）

「速度帯別の平均化処理」によって、「図 3-4～図 3-9」が「図 4-5～図 4-10」となり、ノイズを減らす事ができた。

(4) PM 低減率（平均化処理後）

図 4-5 と図 4-6 において「DPF 未装着●」は、ディーゼルエンジンから排出された排出ガス濃度を表しており、同時に DPF を装着したときに DPF に導入される、黒煙除去前の排出ガス濃度でもある。したがって、図 4-5 と図 4-6 では、「DPF 未装着●」から「DPF 装着●」への変化が、DPF の PM 低減能力表している。（図 3-4 と図 3-5 も同じ） これらの図から、排気ガス中の PM 濃度が高くても、モコビーによって、PM が安定して低い濃度に押さえられていることがわかる。

表 4-1 と表 4-2 の平均速度 35km/h 以下の速度帯では、「PM 排出率の低減率（以下、「PM 低減率」とする）」は 91～97%で、全て 90%以上あった。35km/h 以上の速度帯は「①平和通りルート」と「②環状ルート」のデータで、DPF 処理前の PM 濃度が高いという特徴がある。この 2 ルートは、加減速が多く定速走行が少ない事より、「市街地走行」の動態に分類できる。

PM 排出量が多い市街地走行で、「PM 低減率 90%以上」が確認出来た。

一方、表 4-1 と表 4-2 の平均速度 35km/h 以上の速度帯では、PM 低減率は 73～97%で、90%未満の速度帯もあった。35km/h 以上の速度帯は「③高速ルート」のデータで、DPF 処理前の PM 濃度が低いという特徴がある。「③高速ルート」は、加速と停車が少なく定速走行が多い「郊外走行」の動態に分類できる。35km/h 以上の速度帯で、PM 低減率 90%未満のデータが出現した理由は、次の①～③にあると考える。

①排出ガス濃度は、わずかな走行条件・運転操作の違いで大きく変化する。特に、加速頻度が少ない郊外走行では、排出ガス濃度が低いため、相対的に濃度の変化率（バラツキ）が大きくなる。DPF を装着した場合、排出ガス中の PM 濃度は低く濃度変化も少ないが、DPF 未装着の場合、排出濃度のバラツキがそのまま排出ガスに現れる。そのため、表 4-1 と表 4-2 の DPF 未装着データは、バラツキ誤差が多いデータである。

②郊外走行は 1 ルートしか無く、データ数が少ない。そのため、速度帯別に分類すると、データが 1 個しかない速度帯があり、平均化によるバラツキ誤差の低減が不完全である。

③本実証で ばい煙濃度計として使用したオパシメータは、PM 中の黒煙（EC）の他に、軽油などの未燃焼分である可溶有機成分（SOF）にも感度がある。DPF は黒煙を除去するが、SOF はほとんど除去しない。そのため、高速（定速）走行で排気ガス中の PM 濃度が低くなると、SOF 濃度が相対的に多くなり、見かけ上の低減率が低くなる。

表 4-2 において、速度帯 40～45km/h の DPF 装着時の PM 排出率は 0.028g/km であった。この数値を、資料 6.1「PM 排出量の単位換算」で換算すると、「 0.044g/kWh 」になる。この濃度値は「日本の 2004 年排出規制：KS（0.18g/kWh 以下）」や「モンゴルの排出規制値」をクリアしている。35km/h 以上の速度帯では、見かけ上の PM 低減率は低いが、黒煙は十分除去出来ている。

(5) NOx 排出率，燃料消費

p.37～37 の図 4-7～図 4-10 の観察から、燃料消費率と NOx 排出率の増減はほとんど無いように見えるが、判断が難しい。そこで、これらのデータを、対応のある 2 つの標本として、t 検定を行った。t 検定の結果（p 値）を、p.34 の表 4-1 と表 4-2 の左下に示すとともに、表 4-4 のまとめに示す。この手法で有意水準 5%の判定を行うと、『No.2（Daewoo 社製）の NOx 排出量が、DPF 装着によって減少した』との判定が得られた。

しかし、一般に、DPF を装着すると排気抵抗が増え、燃料消費率や NOx 排出率が増える可能性がある。表 4-2 で、NOx 低減率が大きい速度帯は、いずれもサンプル数（小区間数）が 1 個で、信頼性が低い。特に DPF 未装着の場合、少しの運転条件の違いで排出ガス濃度が大きく変化するため、このような結果が得られた可能性がある。

したがって、NOx が減少したと結論づけるのは危険であり、「増加は確認出来なかった」という結論が妥当と考える。

表 4-3 t 検定の結果まとめ

	項目	p 値	有意な差	備考
No.1 バス（Zhongtong 社製）	燃料消費率	0.783	無し	―
	NOx 排出率	0.744	無し	―
No.2 バス（Daewoo 社製）	燃料消費率	0.246	無し	―
	NOx 排出率	0.035	あり	高速領域で DPF 装着で NOx 微減

4.3 実走行試験Ⅱ

■ モコビーを装着したバス 6 台で、1 ヶ月間、黒煙除去と再生を繰り返し行えた。

■ モコビーを装着したバス 6 台が、1 ヶ月間に捕集した EC の総重量が、15.5kg あった。
言い換えると、モコビーが無ければ、同量の黒煙が大気中に放出拡散された事になる。

■ UB 市内には、2016 年に中大型バスが 108 台あり、本実証の調査車両以外は、DPF が未装着である。

■ 7/11～7/13 と 7/15 に再生作業が実施できなかった理由は、再生作業の担当者が休んだためである。モコビーは、触媒式と違い一手間かかるのは事実であるが、モコビーの効果は大きいので、モコビーの運用体制の整備と、再生作業の重要性を理解する啓発活動が重要であると考える。

4.4 再生時の温度上昇試験

■ ヒータと DPF の温度オーバシュート（overshoot：OS）が確認できたが、いずれもモコビーRE の設計時に想定した現象である。

青矢印：ヒータの OS，ヒータと温度制御センサ（熱電対）の間に距離があるため、ヒータと温度センサ温度が同じになるまで、ヒータ温度が設定温度より高くなる現象。

赤矢印：DPF の OS，DPF が捕集した EC が燃焼する際に発生する自己発熱。

■ いずれも設計仕様どおりに再生動作が行われている事が確認出来た。

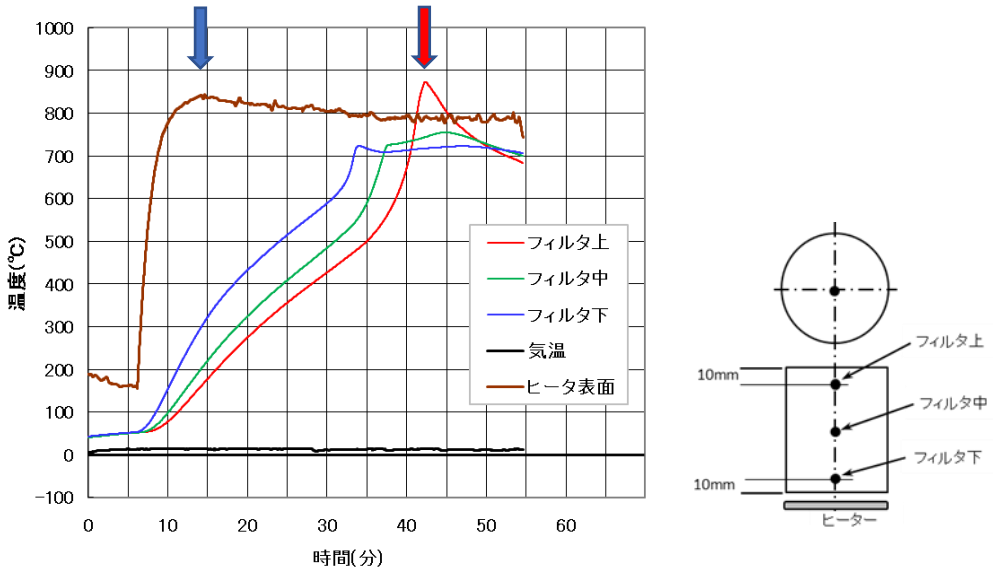


図 3-11　屋内での再生を行った時の各部温度

4.5 アッシュ除去の確認

再生終了後に、モコビーCT を圧縮空気で逆洗することで、アッシュが除去出来る事を確認した。
アッシュ除去の手順は、モコビーRE の取扱説明書に追記されている事を確認した。

4.6 実証のまとめ

本実証では、酸化触媒式 DPF では使用できない、「硫黄分の多い燃料」や「添加物を多く含むエンジンオイル」を使用したディーゼルエンジンに、モコビーを装着して以下の試験を行い、「黒煙除去と再生」を繰り返し行えることを実証した。

無負荷急加速黒煙試験	高濃度の黒煙を 90%以上除去出来た。
実走行試験 I	PM が安定して低い濃度に押さえられた
平均速度 35km/h 以上	PM 発生量が多い「市街地走行」で、PM を 90%以上低減した
平均速度 35km/h 以下	PM 排出濃度は低く、日本の 2006 年排出ガス規制 や モンゴルの現行排出基準を クリアした
実走行試験Ⅱ	黒煙除去と再生を、繰り返し行う事ができた
燃料消費率，NOx 排出率	モコビーCT を装着しても、増加しなかった
再生時の温度上昇試験	モコビーRE（再生装置）の安全性を確認した。
アッシュ除去	UB 市の軽油とエンジンオイルの添加物によって発生した、 アッシュを容易に取り除ける事を確認した。

4.7 実証技術の応用

本実証では、「硫黄分の多い燃料」や「添加物を多く含むエンジンオイル」を使用したディーゼルエンジンを用いて試験を行うため、ウランバートル市の路線バスにモコビーを装着して試験を行った。

しかし、モコビーCT は動作原理や構造がシンプルなので、バス以外にも様々な応用が可能である。実証申請者によると、これまでに、バスの他に、トラックやフォークリフト，建設用重機、非常用発電機、保線用鉄道車両，船舶などに装着した実績があるとのことである。モコビーは、生活環境保全だけではなく、労働環境の改善にも貢献できる。

当然、エンジン排気量や運用形態によって、モコビーの取り付け場所や台数を最適な条件に設定しなければならない。注意が必要なのは、捕集量の監視で、運用形態によって、見やすい圧力計の選択が必要である。特に注意が必要なのは、無人で動かすような非常用発電機で、黒煙捕集による圧力損失の上昇でエンジンが停止しないように、捕集量計と連動した警報システムや自動リリーフバルブが必要になる。

5. 試験データの品質を担保する情報

5.1 実証実施体制

実証実施体制を下図に示す。

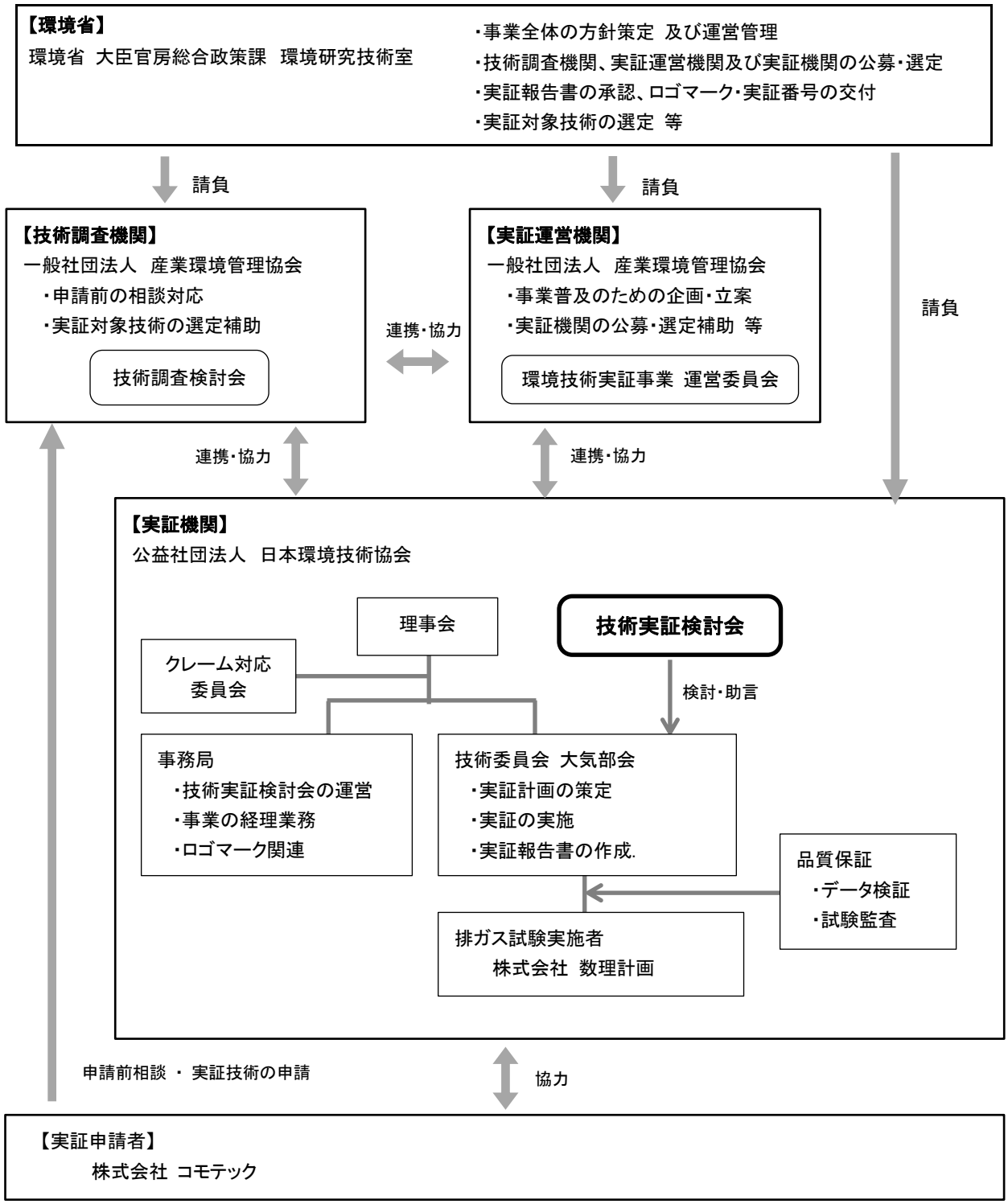


図 2-1 実証体制

5.2 実証参加者の責任分掌

実証報告書の［資料 1］参照

5.3 技術実証検討会

(1) 技術実証検討会の役割

・実証計画の策定について助言を行う。
・技術の実証(実証の実施等)について助言を行う
・実証報告書の作成について助言を行う。
・当該分野に関する専門的知見に基づき実証事業運営委員会を補佐する。

(2) 検討員 （敬称略、五十音順）

実証報告書の［資料 1］参照

(3) 関係機関

環境省 （大臣官房総合政策課 環境研究技術室）
実証運営機関 （一般社団法人 産業環境管理協会）
技術調査機関 （一般社団法人 産業環境管理協会）
実証申請者 （株式会社 コモテック ）
実証機関 （公益社団法人 日本環境技術協会）

(4) 開催日程

第 1 回 令和 2 年 11 月 26 日（集合） 実証計画書(案)の審議
第 2 回 令和 3 年 1 月 25 日（Web） 実証計画書(案)の審議・承認
第 3 回 令和 2 年 3 月 19 日（Web） 実証報告書(案)の審議
第 4 回 令和 3 年 3 月 25 日（Web） 実証報告書(案)の審議・承認

5.4 既存データの確認

分類	確認項目	確認・検証結果
基本事項	試験機関概要	(株)数理計画の環境テクノロジー部門は、環境の調査・解析から予測・評価までの総合的なコンサルティングを行っており、その中の自動車交通事例では、車載型機器による実走行時の排出ガス計測を行っている。これまでに、国・自治体が依頼する、自動車排出ガス原単位及び総量算定検討調査等を行っている。自動車の排出ガスの測定を行う技術力がある事を確認した。
	試験機関の品質管理体制	(株)数理計画は、ISO19001 を取得しており、計量証明事業（濃度、騒音、振動）の登録をしている
測定手順と生成された既存データの状況	既存データの取得方法（測定方法）	無負荷急加速黒煙試験は、「道路運送車両の保安基準の細目を定める告示」（平成 14 年国土交通省告示第 619 号）別添 46 に規定された、方法で行われた。オパシメータの測定は、検量線を作成して実施した。毎回の測定開始前に、ゼロ校正を行った。
	制度管理	実走行試験のデータを開示してもらい、結果との整合性を確認した。 本試験に関連する JICA 報告書に掲載されている、現地の写真、計画書、結果報告書の確認を行った。
公平性	実証申請者との利害関係	実証対象技術は、実証申請者が独自に製品開発した技術であり、実証申請者と試験機関は利害関係にないことを確認した。

5.5 データの管理、分析、表示

(1) データ管理とその方法

本実証から得られるデータは、公益社団法人日本環境技術協会が定める品質マニュアルに従って管理する。なお、本実証の品質管理、データの検証は、実証実施者とは別に構成した品質管理グループが担当する。

(2) データ分析と表示

本実証で得られたデータについては、必要に応じ統計分析の処理を実施するとともに、使用した数式を実証結果報告書に掲載する。

6. 資料

6.1 PM 排出率の単位換算（ g/km → g/kWh ）

検討条件等

車両	Daewoo 社製バス	
車両総重量	15,775 kg	
車両重量	9,015 kg	
試験時重量	11,615 kg	(9015＋2500(ｳｴｲﾄ)＋100(ﾄﾞﾗｲﾊﾞ等))
車両前面面積	7.74m^2	(2.49m×3.11m)

対象検証データ

表 4-3 中、DPF 装着、速度帯 40-45 ㎞/h （データ数が 6 と最も多い速度帯を選択）

この 6 ﾃﾞｰﾀについて、表 3-8 から対象ﾃﾞｰﾀを抽出し平均すると、

平均速度	43.2km/h
PM 排出率	0.0282g/km

上記ﾃﾞｰﾀより

PM 排出率(g/h) ＝ 0.0282(g/km) × 43.2(km/h) ＝ 1.218 (g/h) ･･･①

次に、この運転状態でのエンジン出力を 「車両の走行抵抗」 から求める

車両の走行抵抗 ＝ k1 × 試験時重量(kg) ＋ k2 × 7.74(m^2) × 43.2(km/h)^2

＝ 0.01 × 11615(kg) ＋ 0.0057 × 7.74(m^2) × 43.2(㎞/h)^2

＝ 198.6 (kg) ･･･②

k1: 転がり抵抗係数 0.01

k2: 空気抵抗係数 0.0057

加減速が少ない、平坦路走行であるので、加速抵抗、登坂抵抗をゼロと仮定

上記車両の走行抵抗②と走行速度より、エンジン出力を求める

エンジン出力 ＝ 198.6(kg) × 43.2(km/h) × 1000 / (3600 × 75) / 0.85 / 1.36

＝ 27.5kW ･･･③

1000/(3600×75): 馬力(PS)への変換

0.85: 変速機、ﾃﾞﾌｧﾚﾝｼｬﾙｷﾞｱ、ﾀｲﾔ の伝達効率

1.36 : PS→kW 変換係数

①, ③より PM 排出率(g/kWh)を求める

PM 排出率(g/kWh) ＝ 1.218(g/h) / 27.5(kW)

＝ 0.044g/kWh

6.2 用語解説

用語	定義
黒煙除去装置	ディーゼル微粒子捕集フィルターと同じ ディーゼルエンジンから排出される黒煙を除去する装置 EC を低減できるが、SOF の低減効果は小さい。NOx は除去出来ない。
DPF	ディーゼル微粒子捕集フィルター（Diesel Particulate Filter）
コージェライト Cordierite	DPF に使用されるセラミック材料のひとつ。 酸化マグネシウム（MgO）、酸化アルミニウム（Al2O3）、二酸化珪素（SiO2）の三成分からなる。
炭化ケイ素（SiC） シリコンカーバイド	DPF に使用されるセラミック材料のひとつ。セラミックの中で最も熱伝導率が高い素材のひとつ。モコビーCT には、イビデン社の再結晶化 SiC フィルターを使用している
PM	粒子状物質（Particulate Matter）
EC	元素状炭素（Elemental Carbon）
黒煙	PM の一種類 主成分は EC
SOF	可溶性有機成分（Soluble Organic Fraction； PM の一種類
WFM	ウォールフローモノリス（Wall flow monolith） ハニカム（格子）状のセラミックス担体で、薄い壁で仕切られた細かく細長いセル（小室）を束ね、互い違いに目を封じた構造
CFM	セラミックスファイバ
酸化触媒 DOC	（Diesel Oxidation Catalyst）
ポスト噴射	
無負荷急加速試験法	「道路運送車両の保安基準の細目を定める告示」（平成 14 年国土交通省告示第 619 号）別添 46 に規定された、軽油を燃料とする自動車の原動機を無負荷急加速させた時に発生する黒煙の排出濃度を測定する試験
オパシメータ	JIS D8005：2009,「自動車–圧縮着火式内燃機関–排出ガスの不透過率測定及び光吸収係数測定用の機器」に準拠した、黒煙測定装置
透過率 τ	光源からの光が，排気煙で曇った経路を通過したとき，測定者又は測定器の受光部に到達する割合。 $\tau = I / I_0 \times 100$
不透過率 N	Opacity：光源からの光が，排気煙で曇った経路を通過したとき，測定者又は測定器の受光部への到達を妨げられた割合。 $N = 100 - \tau$
小区間	走行ルートを 2～3km 毎に区切った一つ一つの区間。信号などの停車があれば、そこを区切りにする。
ショートトリップ	一旦発進して走行した後に停止するまでの区間。信号や渋滞、一時停止等での停車が区切り。数十 m から百 km 以上の場合がある。
速度帯別の平均化処理	連続した速度での事象を、一定速度間隔の区間に分類し、それぞれの速度帯だけで平均し、中間速度の代表値とする処理

6.3 資料一覧

資料 1	名称	実証に関わる検討員、実証申請者、実証機関の構成員情報
資料 2	名　称	排出ガス計測結果
	発行者	株式会社　数理計画
	発行年	2016 年 6 月 30 日
資料 3	名　称	モンゴル国ウランバートル市のディーゼル路線バスの DPF による 黒煙低減計画に関する　**案件化調査**　業務完了報告書
	発行者	独立行政法人　国際協力機構　（JICA）
	発行年	2016 年 10 月
	掲載場所	https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/12266862.pdf
資料 4	名　称	モンゴル国ディーゼル路線バスの DPF による 黒煙低減計画に関する　**普及・実証事業**　業務完了報告書
	発行者	独立行政法人　国際協力機構　（JICA）
	発行年	2019 年　8 月
	掲載場所	http://open_jicareport.jica.go.jp/pdf/1000041197.pdf
参考資料 1	名　称	黒煙除去装置モコビーの排気煙濃度・粒子状物質低減性能試験結果まとめ
	発行者	公益財団法人　日本自動車輸送技術協会
	発行年	2001（平成 13）年 2 月 1 日，2 日
参考資料 2	名称	製品カタログ
	発行者	株式会社 コモテック

資料 3 と資料 4 は、表紙のみ添付する。　詳細は「掲載場所」をご参照のこと。

参考資料 1 は、モコビーの開発時に取得した試験データ。

以上