

バイオディーゼル燃料（BDF）使用時の各種排出ガスに対する影響調査

- 2トン積み新短期規制適合トラックでのBDF・軽油混合燃料使用時の排出ガス測定結果 -

環境研究領域 佐藤辰二 野田 明 阪本高志 堀 重雄 河合英直
埼玉大学 前田 唯

1. はじめに

バイオディーゼル燃料(以下、BDFと記す)の実用化と普及に際しては、燃料としての基礎的な性状を把握しておくことが重要であり、また、内燃機関における燃焼特性、排出ガス性状なども把握する必要がある。BDFは総称的な名称で、多種多様なものが存在し、原料の選択や製造方法により異なった性状を示すものと考えられるので、将来最も一般的に使われる可能性のあるBDFを取り上げて評価し、今後の参考とすることとした。

2. 各種新燃料の排出ガス試験

2.1. 新燃料排出ガス試験方法の概要

2.1.1. 試験に使用した燃料と実験車 新燃料の排出ガス試験では、3種類のBDFを2トン積みディーゼルトラックで使用し、表1に示すような混合率による排出ガス試験を行い、軽油(硫黄分50ppm以下)使用時の排出ガス試験の結果と比較した。試験車両は、表2に示す2トン積みトラックであり、平成15年排出ガス規制(新短期規制)適合のコモンレール式ディーゼルエンジン車である。またエンジンの排気系には、酸化触媒装置が装備されている。触媒装置の担体はコージライトハニカムで、セル数：400cel/in²、サイズ：7.5×7インチ、容量：5L、触媒装置はベースメタル系であり、無過給エンジン用の配慮がされている。

排出ガス性能は、車両に搭載された触媒装置付きの条件において評価すべきものであるが、エンジンにおける新燃料の燃焼生成物の特徴を把握した上で、

表1 試験に使用したバイオ燃料一覧

項目	混合率 (%)				
	0	5	20	50	100
軽油(50ppm以下)	-	-	-	-	-
バージンオイル	-	-	-	-	輸入品(欧州)
廃食油バイオ	-	-	-	-	日本製
廃食油バイオ	-	-	-	-	日本製

触媒装置の影響や効果を調べる観点から、意図的に触媒装置を外した条件でも排出ガス測定を行うこととした。触媒装置無しの試験では、実験の都合からこの車に合ったダミー触媒装置を用意することができなかったため、スパーサーの役割を担う排気接続管を触媒装置位置に取り付けて運転した。そのため、排圧が触媒装置装着時よりやや低下することが考えられ、エンジンのEGR特性が触媒装置付きの条件とは一致しない可能性がある。

2.1.2. 測定施設の概要 排出ガス試験は、直流動力計方式のシャシダイナモメータ(機械慣性による最大等価慣性質量は5,560kg)を使用して行った。またディーゼル排出ガス・粒子状物質(以下、PMと記す)測定用の希釈装置としては、全量希釈トンネルを使用した。

試験では、ガス状物質のほかにPMの排出量測定も行った。ディーゼル車でモード運転中にフィルターに捕集したPMについては、PM総重量の測定のほかにSO_FとSO_Tの重量比の分離測定を行った。

2.1.3. 試験モード BDF試験における試験モードは、ディーゼル13モード、JE05モードの2条件とした。新長期排出ガス規制の試験条件として作成されたトランジェント走行モード(JE05モード)の車速パターンを図1に示す。

今回のBDFの試験モードは、もともとエンジンベンチ試験のための運転モードである。ディーゼル13モード試験では、各モードのエンジン回転数における最大トルク値を求めた上で、各モードの規定負荷率を与える必要がある。新燃料を使ったディーゼル

表2 試験車の諸元

分類	車種	年式	規制年	レベル	燃焼形式
ディーゼルス	中量貨物	平成15年度	平成15	新短期規制適合車	ディーゼル
	エンジン排気量(リッター)	主な排出ガス対策技術	過給器	空車重量	変速器
	4777	コモンレール酸化触媒 EGR	無し	2320	MT

13モード試験をシャシダイナモメータ上で行うため、試験燃料ごとに各回転数での最大駆動力を測定し、さらにメカニカルロス値の補正を行ってエンジンの最大トルク値を算出した。各モードにおけるエンジン回転数は、試験車のギヤ段を直結にしてダイナモメータを定速度制御とすることにより目標値に合わせた。一方、その時のエンジン負荷率は、上記の最大トルク値と試験負荷率の条件から目標駆動力を求め、運転時にこの値となるようにアクセル操作でエンジン負荷量を調節した。

2.1.4. 未規制物質の測定方法 未規制物質は、全量希釈トンネルで希釈された排出ガスの一部をサンプリングして分析した。分析対象のガス成分の中には、凝縮水に溶解しやすい物質も含まれているため、水分凝縮による測定誤差を防ぐ観点から、吸引ガスのサンプリングラインは常時120℃に加熱した。また、フィルターに捕集したPM中のSOFとSOOTの重量比の分離測定では、最初に現行試験法で定められた方法でフィルターの重量増を測定してPM総排出量を求め、次にそのフィルターからASE法を使用してSOF分を分離抽出した後の重量からSOOTの量を算出し、両者の差分をSOF量とした。

排出ガス中のアルデヒド類については、希釈トン

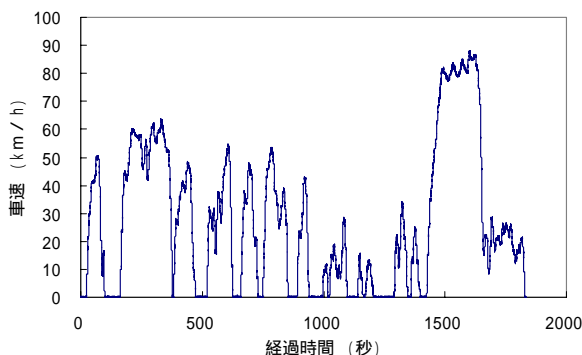
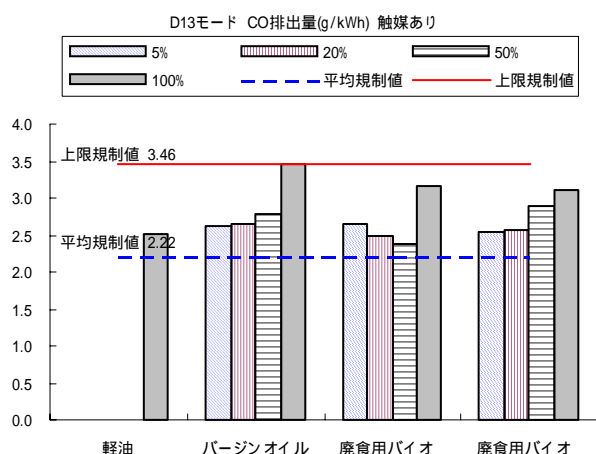


図 1 JE05モードの試験条件



ネルまたはCVS装置で希釈されたガスの一部を連続定流量サンプリングして専用カートリッジ(酸性にした2,4-DNPHを含浸させたシリカゲルカートリッジ)に捕集し、高速液体クロマトグラフにより分離して、紫外吸光法により定量した。

各対象成分のモード排出量は、上記の分析処理によって求めたサンプル試料中の量とサンプルガス流量、並びに希釈ガスの総流量から計算した。

3. 燃料別排出ガス及び有害物質測定結果

3.1.(軽油+バイオディーゼル)混合燃料使用時のCO, HC, NOxへの影響

図2～図4は、ディーゼル13モードとJE05モードにおける各種BDFの混合率がCO, HC, NOxの排出量に及ぼす影響を示したものである。図2のCO排出量は、どのBDF,どの混合条件においても軽油より増加する傾向が見られる。この原因は、使用されている触媒装置の酸化力がそれほど強くないため、COに対する浄化能力が弱いこと、さらにSOFを含むHC成分が触媒装置を通過する際にも完全燃焼には至らず、中間生成物として新たにCOが生成されたことが可能性として考えられる。なお、バージンオイル100%使用時にはほぼ上限規制値に近い値であった。

図3のHC排出量に関しては、どの燃料,どの混合率でも、触媒装置で炭化水素成分の分解が行われていると考えられ、平均値規制レベルを十分下回っている。混合率の上昇とともにHCは低下する傾向にあった。

図4のNOx排出量に関しては、どの燃料種に関してもバイオ燃料の混合率が高まるとNOxが増える傾向にある。これは、BDFが含酸素燃料であること、圧縮性が軽油より高いこと、燃料の発熱量が軽油より少ないため要求トルクを満たすために燃料の噴射期

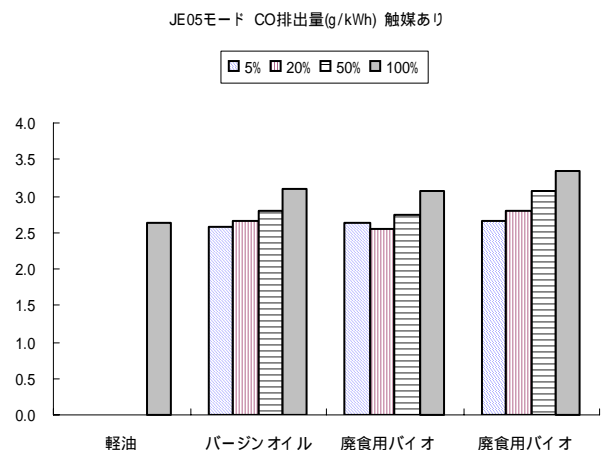


図 2 各モードでの各種バイオディーゼル燃料の混合条件がCO排出量に与える影響

間が伸びたこと等が複雑に影響した結果と考えられる。この車本来の使い方である触媒装置有りの条件では、バイオ混合率が50%以上ではどの燃料でも上限規制値を超えていた。

JE05モードと、ディーゼル13モードの結果を比較すると、kWhあたりの排出ガス量はJE05モードの方がディーゼル13モードに比べやや多い。特にNOx排出量は、JE05モードではディーゼル13モードに比べ増加しているが、これは、主に運転域の違いによる仕事量の差が影響したものと見られる。

3.2.PM及びその他の排出ガス成分への影響

3.2.1.軽油 新燃料の排出ガスを従来燃料と比較する意味で、軽油100%における試験車両の排出ガス試験を行った。軽油での測定結果は、図2以下の図中に示す。

3.2.2. バージンオイル

(1) 粒子状物質(PM) ディーゼル13モードとJE05モードにおけるバージンオイル混合率とPM排出量との関係を図5に示す。これらの測定結果から、以下の傾向が明らかになった。

触媒装置無しの場合、バージンオイル混合率の

上昇とともにPMの排出量が増加するが、その原因はSOF量の増加である。ただし混合率の上昇によりPM中のSootは低下する。

触媒装置有りの場合は、バージンオイル混合率が高まるほどPM排出量が低下するが、その主な原因はPM中のSOFの減少である。

触媒装置無し/有りの比較からわかる通り、この効果をもたらした理由は、触媒装置によるPM中のSOFの分解作用である。

すなわち、このバージンオイルを触媒装置なしで使用すると、PM中のSootはやや減少するもののSOF排出量が大幅に増加して(例えばバージンオイル100%時のSOFの量は、軽油時の2.5倍)、結果的にPM総排出量の増加を招く。

一方、バージンオイルを触媒装置ありの条件で使用すると、SOFが大幅に減少することから、結果的にPMの総排出量が低減する。

(2) アルデヒド類 ディーゼル13モードとJE05モードにおけるバージンオイル混合率と排出アルデヒド類との関係を図6に示す。触媒装置の影響はアルデヒドの種類によって異なっている。ディーゼル13モードの場合、ホルムアルデヒドは軽油100%とバー

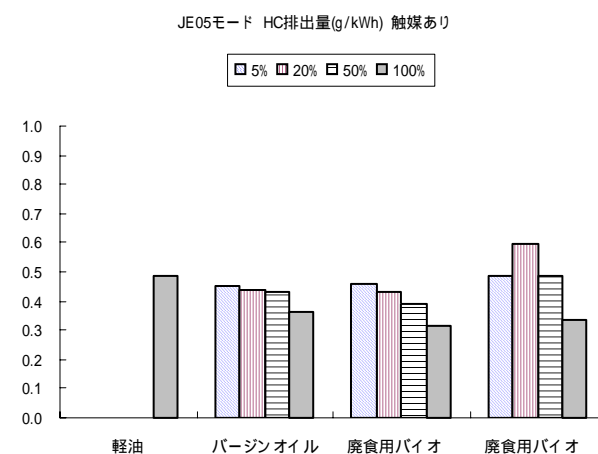
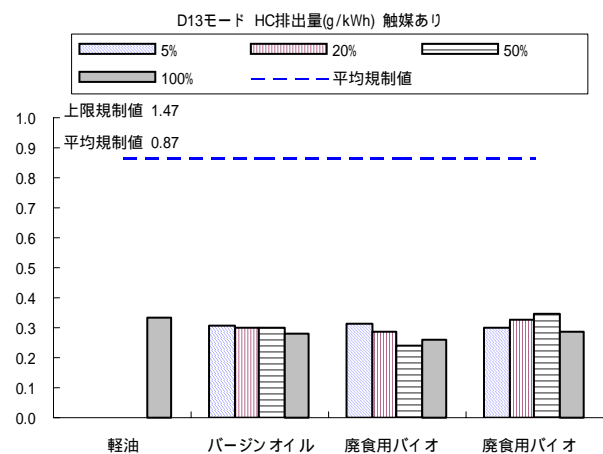


図3 各モードでの各種バイオディーゼル燃料の混合条件がHC排出量に与える影響

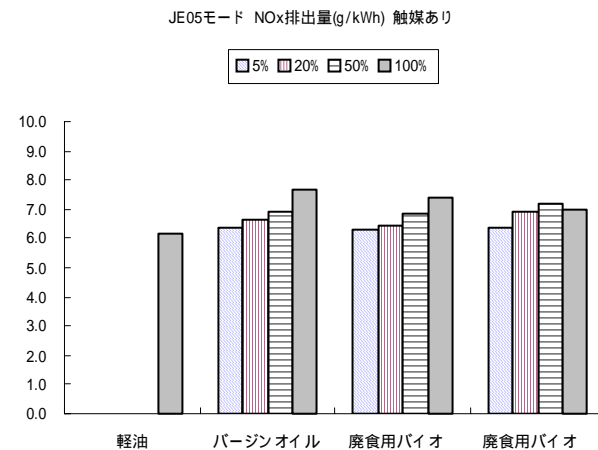
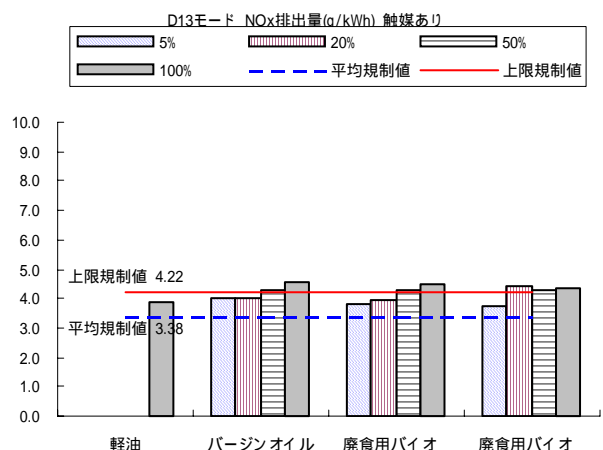


図4 各モードでの各種バイオディーゼル燃料の混合条件がNOx排出量に与える影響

ジンオイル混合率50%までは触媒装置で低減しているが、混合率100%ではむしろ触媒装置有りの方が高い。またアセトアルデヒドは、混合率20%以外では触媒装置有りの方が排出量が多い。触媒装置の無い条件では、どの混合率でもホルムアルデヒドがアセトアルデヒドの2倍以上となっているが、触媒装置有りではアセトアルデヒドの方がホルムアルデヒドを上回っている。すなわちホルムアルデヒドはこの酸化触媒装置で分解されやすく、一方、アセトアルデヒドは分解されにくい、もしくはアセトアルデヒド生成が生じている可能性を示している。

JE05モードの実験結果でも、ディーゼル13モードと同様な傾向が観察された。すなわち、触媒装置無しの際にアセトアルデヒドの2倍以上あったホルムアルデヒドが、触媒装置装着時には分解されて、結果的にアセトアルデヒドの排出量の方が高くなっている。ただしディーゼル13モードの混合率100%で見られたような触媒装置によるホルムアルデヒドの増加は、JE05モードでは認められなかった。これはディーゼル13モードとJE05モードにおけるエンジン使用域の違いに起因するものと思われる。試験時の負荷率やエンジン回転数条件が相対的に低いJE05モードでは、触媒装置に流入する反応ガス成分

の量とガス流量がディーゼル13モードよりも平均的に少なくなるため、触媒装置での部分酸化に伴うアルデヒド生成が抑えられた結果と考えられる。

3.2.3. 廃食用バイオ

(1) 粒子状物質(PM) ディーゼル13モードとJE05モードにおけるバイオ混合率とPM排出量の関係を図7に示す。いずれのモードにおいても、触媒装置無しの場合はバイオの混合率の上昇とともにPMの排出量が増加するが、その原因はSOF量の増加である。ただし混合率が上昇するとPM中のS00Tは低下する。一方、触媒装置有りの場合は、バイオの混合率が高まるほどPM排出量が低下するが、その主な原因はPM中のSOFの減少である。触媒装置無しと有りの結果を比較すると、PM低減の効果を生み出したのは、触媒装置によるPM中のSOFの分解作用である。

以上の結果から、バイオ燃料を触媒装置なしで使用すると、PM中のS00Tは減少するもののSOF排出量が大幅に増加し、結果的にPM総排出量の増加を招く。一方、触媒装置ありの条件で使用すると、SOFが大幅に減少することから、結果的にPMの総排出量が低減する。このような傾向は、バージンオイルの時と全く同様である。

(2) アルデヒド類 ディーゼル13モードとJE05

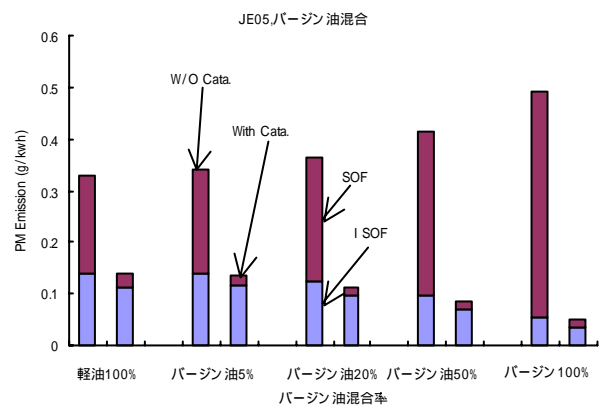
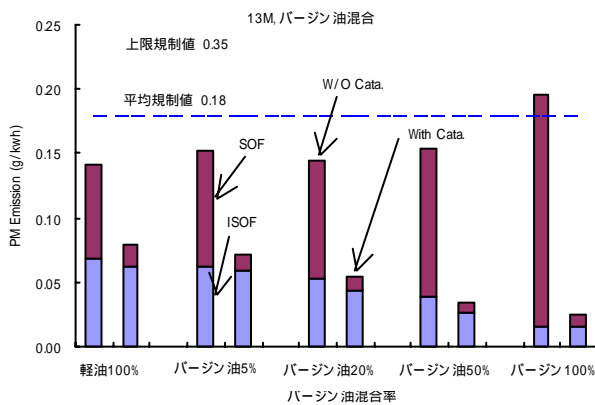


図5 各モードでのバージン油混合率とPM排出量の関係

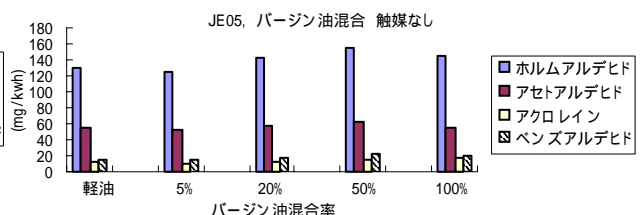
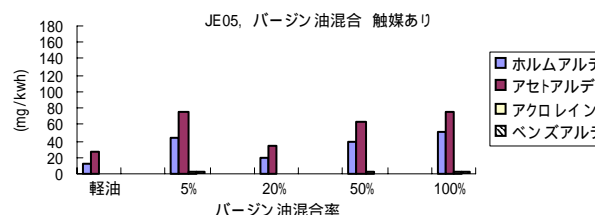
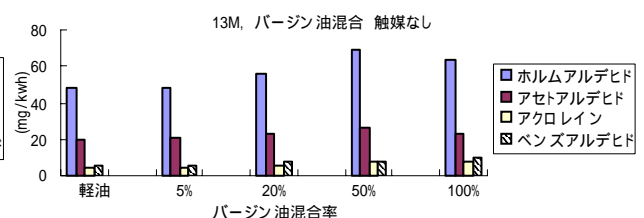
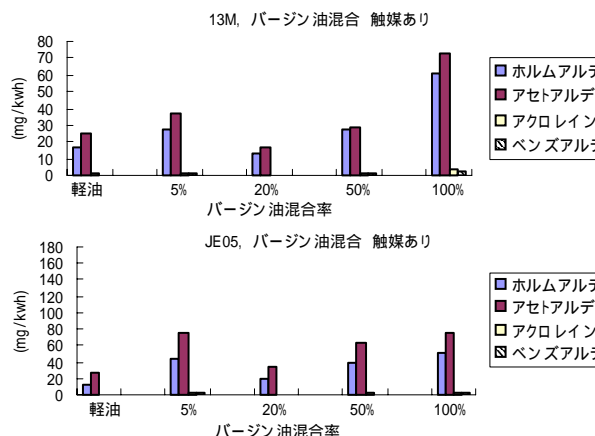


図6 各モードでのバージン油混合率とアルデヒド類排出量の関係

モードにおけるバイオ混合率と排出アルデヒドの関係を図8に示す。アルデヒドの種類によって触媒装置の排出量への影響が異なっているのはバージンオイルと同様である。アセトアルデヒドは、いずれの混合率においても触媒装置装着により排出が増加している。特にバイオが100%の条件ではその傾向が顕著であり、ディーゼル13モードにおいては、触媒装置装着時に非装着時の2倍の排出があった。また、JE05モードでは1.3倍であった。一方、ホルムアルデヒドの場合は、バイオが100%のディーゼル13モード以外は、触媒装置による排出量低減効果が確認された。アクロレイン、ベンズアルデヒドは、どの混合比においても触媒装置で低減されている。

3.2.4. 廃食用バイオ

(1) 粒子状物質 (PM) ディーゼル13モードとJE05モードにおけるバイオ混合率とPM排出量の関係を図9に示す。いずれのモードにおいても、触媒装置無しの場合はバイオの混合率の上昇とともにPMの排出量が増加するが、その原因はSOF量の増加である。ただし混合率が上昇するとPM中のSootが低下するのは、バージンオイル、バイオと同様である。一方、触媒装置有りの場合は、バイオの混合率が高まるほどPM排出量が低下するが、その主な原因はPM中の

SOFの減少である。触媒装置無しと有りの結果を比較すると、PM低減の理由は、触媒装置によるPM中のSOFの分解作用である。

以上の結果から、バイオ燃料を触媒装置なしで使用すると、PM中のSootは減少するもののSOF排出量が大幅に増加し、結果的にPM総排出量の増加を招く。一方、この燃料を触媒装置ありの条件で使用すると、SOFが大幅に減少することから、結果的にPMの総排出量が低減する。このような傾向は、バージンオイル、バイオの時と全く同様である。

(2) アルデヒド類 ディーゼル13モードとJE05モードにおけるバイオ混合率とアルデヒド類排出量の関係を図10に示す。ディーゼル13モードの結果では、触媒装置有りの条件ではバイオの混合率の増加とともにホルムアルデヒドやアセトアルデヒドの排出量が増加する。バイオの燃料では触媒装置ありの方がホルムアルデヒドとアセトアルデヒドが高くなっており、バージンオイルやバイオの結果とやや異なる傾向を示した。これは、バイオ燃料の性状と触媒装置の酸化力がアルデヒド排出に微妙に影響しているものと見られる。JE05モードの結果においても、触媒装置有りの場合、混合率の増加とともにホルムアルデヒドやアセトアルデヒドが増加する

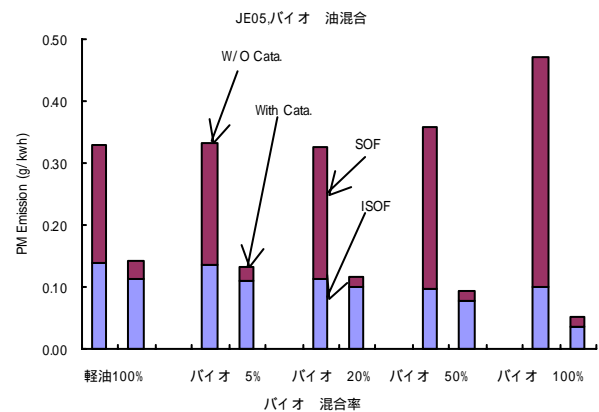
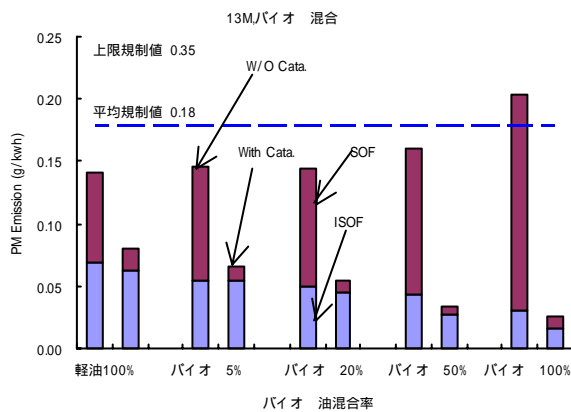


図7 各モードでのバイオ混合率とPM排出量の関係

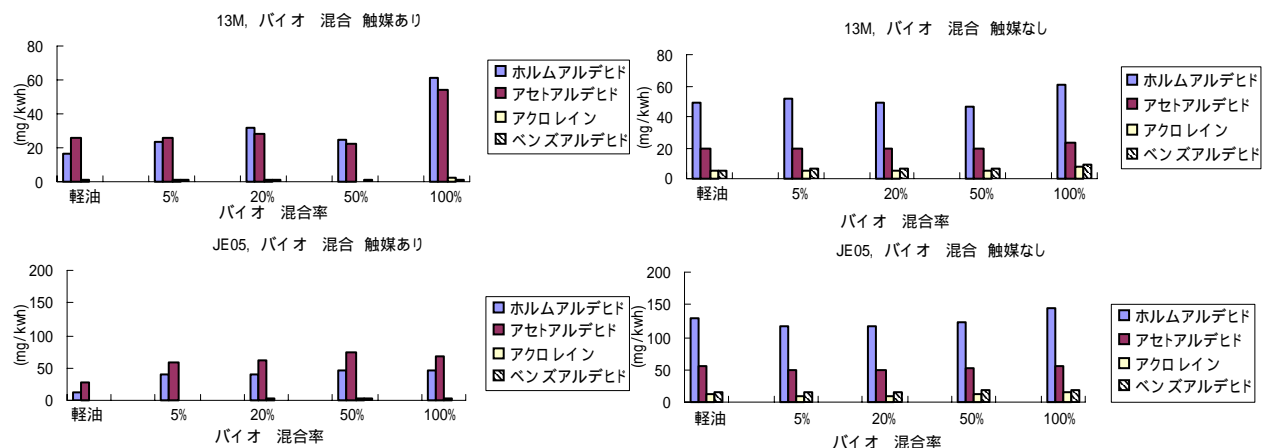


図8 各モードでのバイオ混合率とアルデヒド類排出量の関係

傾向が認められる。特にアセトアルデヒドの増加傾向が著しい。これは軽、中負荷の運転域の使用頻度が多いJE05モードの特徴が影響していると見られる。

4. 新燃料排出ガス試験結果まとめ

3種類のBDFを各種の混合率で軽油と混ぜて使った場合の排出ガス試験を行った。その結果をまとめると、以下ようになる。

バイオディーゼル100%におけるディーゼル13モード試験値でみると、NOxに関しては3種類のBDFすべてで上限規制値を越えた。HCについては、どの燃料も規制値を下回った。

BDFの混合率との関係で見ると、CO排出量は、混合率の上昇とともに排出が増加する傾向が見られた。HC排出量に関しては、どの燃料、どの混合率でも平均値規制レベルを十分下回っており、混合率の上昇とともにHCは低下する傾向にあった。NOx排出量に関しては、どの燃料種に関してもBDFの混合率が高まるほどNOxが増える傾向にあった。試験車本来の使い方である触媒装置有りの条件で見ると、バイオ混合率が50%以上ではどの燃料でも上限規制値を超えていた。

粒子状物質に関しては、BDFの燃焼過程で生成するSOOTが少ない代わりにSOF分が増加し、結果として触媒装置無しの場合、軽油100%使用時のPM排出量を上回った。また、混合率の上昇とともにPM排出量が増加する傾向にあった。しかし触媒装置を装着することにより、PM中の大部分のSOFが分解され、結果として軽油使用時よりもPMが低減して、規制基準の1/7~1/3の排出量となった。触媒ありの場合は、混合率の上昇とともにPM排出量が減少した。したがって、PMの観点からすれば、特にBDFを高混合率で使用する時は、触媒装置有りの車で使用することが望ましい。

酸化力の弱い触媒装置を使用してモード運転した場合、COやアルデヒド類の排出増が認められた。この原因は、試験車に装備されている触媒装置がサルフェイト対策として酸化力の弱いものを使用していることによると考えられる。すなわち、このような触媒装置がBDFに使用された場合、排気ガスが触媒装置を通過する際の酸化反応が不完全となり、中間生成物としてCO、アセトアルデヒドなどが生成し、それが排出増に結びついたと予想される。

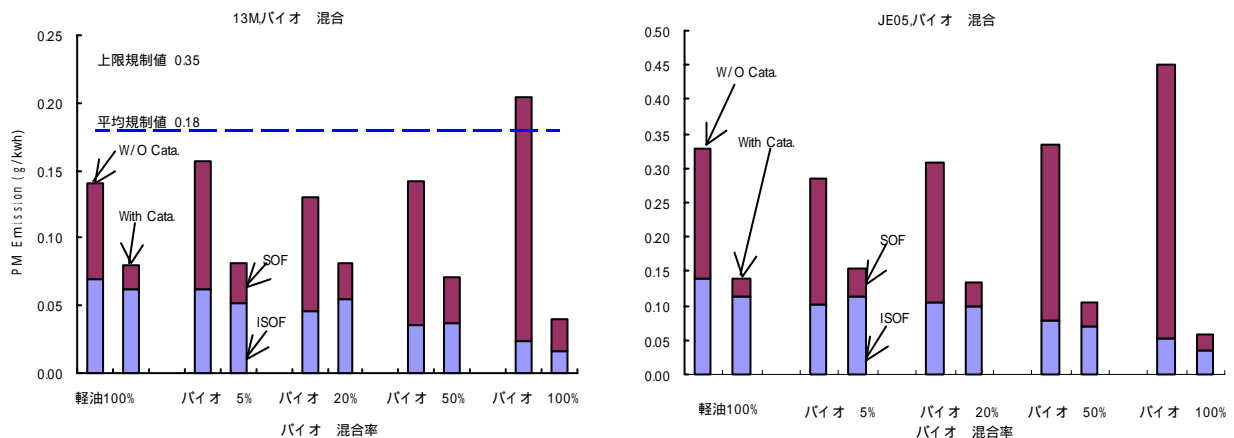


図9 各モードでのバイオ混合率とPM排出量の関係

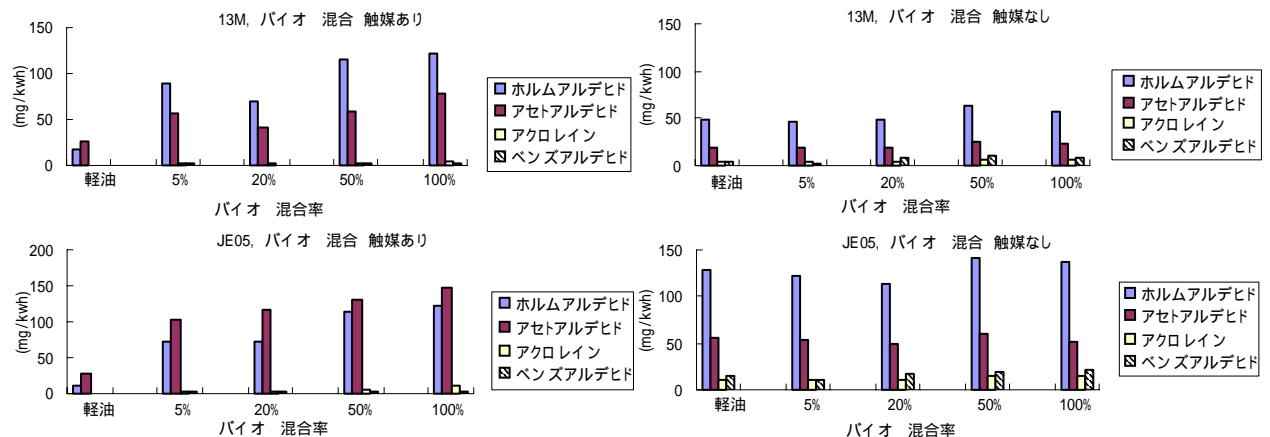


図10 各モードでのバイオ混合率とアルデヒド類排出量の関係