

## 26. バイオディーゼル燃料を使用した場合の排出ガス計測について

### 車載型排出ガス計測装置を使用した計測事例

(独)土木研究所  
(独)土木研究所  
(独)土木研究所

○ 杉谷 康弘  
藤野 健一  
橋本 毅

#### 1. はじめに

建設機械の排出ガス規制では、一律に規定された運転条件での排出ガス値で適合の可否が決定されるため、その値と、実際の稼働時における運転条件での排出ガス値とは、必ずしも一致しない。実際の運転条件によっては、規制値を上回ることもあり得る。そのため、筆者の所属する土木研究所では、建設機械排出ガスの排出実態を調査する方法として、車載型排出ガス計測装置を使用した方法を行ってきている。<sup>1)</sup>この方法では、建設機械の実際の稼働状態での排出ガス値を計測することが出来るため、実際の現場における様々な条件での排出実態を把握することが可能である。

本論文では、車載型排出ガス計測装置を使用して、燃料にバイオディーゼル燃料を使用した場合の排出ガス値について計測した結果を報告する。

バイオディーゼル燃料は、温室効果ガス低減に資する燃料として、工事現場での使用が見受けられるようになってきているものである。一方、軽油を使用する場合と比較して幾つかの問題点が指摘されている。例えば、エンジン系統に発生する不具合の問題、実際に排出される排出ガスの問題、供給価格や供給量に関する問題等である。その中で、不具合や供給に関する問題については、燃料を使用するユーザ側に影響する問題であるが、排出ガスの問題については、生活環境、従って一般の住民の方々にも影響の及ぶ問題である。そのため、少なくとも排出ガスについては、軽油と比較しての増減の程度を確認しておく必要があると考える。なお、排出ガスの評価をするに当たっては、軽油と異なる点として、次の2点を課題として考慮した。1つ目は、工事現場で使用されているバイオディーゼル燃料が廃食用油を原料にしたものあり、生産者により、その品質が異なる。そのため、排出ガスもそれぞれの燃料で異なる可能性があること。2つ目は、軽油と成分が異なることから、排出ガス規制で指定されている物質以外にも、有害な物質が排出される可能性があることである。

#### 2. 計測方法

##### 2.1 計測の概要

計測対象とするバイオディーゼル燃料は、廃食用油を原料とする生産者の異なる5種類を用意した。また、排出ガス計測装置は、車載型のFTIR方式のものを使用した。この計測装置は、排出ガス規制物質だけでなく、様々な物質についての計測が可能であるという特徴を有している。計測は、排出ガス規制物質、PRTR制度(化学物質排出移動量届出制度)対象物質、温室効果ガスの17種類について行った。なお、計測用の建設機械には不整地運搬車を使用した。以下、計測における各条件等についての詳細を記載する。

##### 2.2 バイオディーゼル燃料

日本国内では、軽油との混合を行わないでバイオディーゼル燃料100%で使用する場合(通常B100と呼ばれる。)の強制規格は定められていない。そのため市場には様々な品質のバイオディーゼル燃料が存在している。計測する燃料の選定に当たっては、建設機械に不具合が生じた場合の損失を考えると、燃料使用者が低品質の燃料を使用することは考えにくいことから、生産者にヒアリングを行い、ある程度の使用実績があり、大きな不具合が発生していないことを確認したものを選定した。また、原料となる廃食用油の回収や販売先への輸送費の観点から地産地消の傾向が強い。そのため、生産者の地域については一部に固まらないように、5つの地方整備局の管内からそれぞれ1つを選定した。表-1に各燃料の品質検査(試験は一般社団法人日本海事検定協会理化学分析センターに委託。)をした一部を示す。表中の協議会規格欄は、民間組織である全国バイオディーゼル燃料利用推進協議会が作成した「バイオディーゼル燃料の製造・利用に係るガイドライン」において規定されている規格値である。強制力は無いが、B100で使用する場合の品質の目安とされている。

##### 2.3 車載型排出ガス計測装置

排出ガス計測装置は岩田電業株式会社の車載型FTIR排出ガス分析装置(機種名FAST-2200)を使

用した。自動車等に搭載することを前提に設計されているものであり、比較的コンパクトかつ堅牢になっている。計測時の振動や衝撃対策として、設置する際には、専用の緩衝バネを持つ取付台を使用する。装置の構成は、筐体 2 個（サンプリングユニット、検出ユニット）、パソコン 2 台、窒素ガスボンベからなっている。電源は、直流電源（DC24V,100Ah）または交流電源（AC100V,15A）で駆動する。同時に 15 種類の成分を 5Hz で連続計測することが可能であり、計測した値は、パソコンの画面でその場でモニターすることができる。また、計測後にサンプルスペクトルを再解析することで、排出ガスに含まれる 240 種類以上の成分を分析することが可能である。表-2 に計測装置の主な仕様を示す。

表-1 バイオディーゼル燃料の品質

項目	単位	5種類のバイオディーゼル燃料					協議会規格
		F1	F2	F3	F4	F5	
エステル分	質量%	94.8	94.7	97.4	97.1	99.4	96.5以上
動粘度(40℃)	mm <sup>2</sup> /s	4.291	5.271	4.541	4.555	4.254	3.50以上 5.00以下
水分	mg/kg	1339	350	70	377	413	500以下
メタノール	質量%	0.01 未満	0.03	0.04	0.01 未満	0.02	0.20以下
トリグリセライド	質量%	0.49	0.61	0.75	0.85	0.1 未満	0.20以下
遊離グリセリン	質量%	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.02以下
流動点	℃	-2.5	-12.5	-12.5	-7.5	-5.0	気候による
目詰点	℃	-5	-3	-6	-8	-7	気候による

表-2 車載型排出ガス計測装置の主要仕様

項目	仕様	項目	仕様
サンプリングユニット		検出ユニット	
サンプルガスライン	1ライン	測定赤外線波長	400cm <sup>-1</sup> ~7000cm <sup>-1</sup>
サンプル流量	5~15L/min	分解能	0.5cm <sup>-1</sup>
サンプルライン温度	150℃, 191℃	サンプリング周期	5Hz以下の任意周期
外形寸法(W×D×H)	455×450×365mm	ガスセル容量/温度	200mL/150℃,191℃
重量	48kg	測定光路波長	5.11m
応答速度(T <sub>0-90</sub> )	2.5秒以内	外形寸法	483×645×311mm
再現性	フルスケールの±1%	重量	50kg
検出濃度限度	表-3を参照	推奨設置環境	5℃~35℃ 相対湿度80%以下

表-3 排出ガス計測成分

項目	排出ガス成分	検出濃度 限度目安	項目	排出ガス成分	検出濃度 限度目安
排出ガス 規制物質	窒素酸化物(NOx)	7 ppm	P R T R 制 度 対 象 物 質	アクロレイン	13 ppm
	一酸化炭素(CO)	4 ppm		アセトアルデヒド	13 ppm
	炭化水素(HC)	-		エチルベンゼン	6 ppm
	ディーゼル黒煙	(オパシメータ)		キシレン	9 ppm
温室効果 ガス	二酸化炭素(CO <sub>2</sub> )	0.30 %		スチレン	7 ppm
	メタン(CH <sub>4</sub> )	2 ppm		1,3,5-トリメチルベンゼン	5 ppm
	亜酸化窒素(N <sub>2</sub> O)	1 ppm		トルエン	8 ppm
				1,3-ブタジエン	3 ppm
				ベンズアルデヒド	10 ppm
				ベンゼン	30 ppm
			ホルムアルデヒド	2 ppm	

## 2.4 排出ガス計測成分

サンプルスペクトルの再解析を含めて、表-3 の排出ガス成分について計測を行った。表-3 の右欄の数字は、今回使用した車載型排出ガス計測装置の各成分に対する検出濃度限度の目安（値は目安であり、混合するガス種と濃度により上下する場合がある。）を示している。なお、ディーゼル黒煙については、別途、オパシメータ（光透過式スモークメータ）（株式会社堀場製作所 MEXA-600SW）を使用して計測した。

## 2.5 不整地運搬車

計測には、ヤンマー建機株式会社ゴムクローラキャリア（機種名 C30R）を使用した。搭載エンジンは、平成 18 年排出ガス規制対応の定格出力 25.4kW/3000min<sup>-1</sup>、自然吸気 3 気筒直噴型（名称 3TNV88-BDFW）のもので、コモンレールや EGR、酸化触媒、DPF 等は装備していない。

## 2.6 その他の計測機器等

車載型排出ガス計測装置の他に、排出ガス流量計（株式会社堀場製作所 OBS-1000 のピトー管式排出ガス流量計測機能を利用。）、燃料流量計（株式会社小野測器 MF-3200）、エンジン回転計（株式会社小野測器 GE-2500）を搭載した。また、これらの電源としてインバータ発電機（定格出力 2.0kVA）を搭載した。不整地運搬車の荷台に計測機器等を搭載した状況を写真-1 に示す。



写真-1 計測装置の不整地運搬車への搭載状況

## 2.6 運転方法

排出ガスの計測は、不整地運搬車を平坦なアスファルト舗装の上を走行させて行った。今回使用した不整地運搬車では、操作条件が変わる要因として、アクセルペダルによるエンジン回転数の変更と、レバーの切り替えによる中立（ニュートラル）・低速走行モード・高速走行モードの変更がある。これらを組み合わせた不整地運搬車の運転条件（エンジンの運転条件）を表-4 に示す。それらの運転条件を順番に一通り行い、最後の運転条件

が終わったら、再度最初の運転条件から繰り返すことで、それぞれの運転条件に付き 3 回分のデータが得られるようにした。

なお、一つの燃料の計測が終了後、別の燃料に入れ替える作業は次のとおり行った。燃料タンク、ウォーターセパレータ、燃料ホース、燃料流量計内に残っている分については、可能な限り燃料を除去した。また、燃料フィルタは燃料毎に交換を行った。新しい燃料を入れた後、しばらくエンジンを運転し、エンジンからリターンしてくる分を燃料タンクに戻さずに破棄した。その後、ホースを通常の配管に戻し、十分に運転を行ってから新しい燃料の計測を行った。

表-4 不整地運搬車の運転条件

運転条件	運転条件の記号	エンジン回転数	走行操作レバー
エンジン低回転でのアイドリング	LI	低	中立
エンジン中回転でのアイドリング	MI	中	中立
エンジン中回転での低速走行	MS	中	低速
エンジン中回転での高速走行	MF	中	高速
エンジン高回転でのアイドリング	HI	高	中立
エンジン高回転での低速走行	HS	高	低速
エンジン高回転での高速走行	HF	高	高速

### 3. 測定結果

#### 3.1 排出ガス規制物質

窒素酸化物、一酸化炭素、炭化水素の排出ガス濃度を図-1～図-3 に示す。横軸の各記号は表-4 の運転条件の記号である。各プロットは燃料毎の値を示しており、凡例の FK は軽油を、F1～F5 は表-1 の各バイオディーゼルの燃料である。なお、軽油との比較をわかりやすくするため、軽油については各プロットを線で結んでいる。

ディーゼル黒煙の値（光吸収係数）を図-4 に示す。横軸の各記号は各燃料を示す。なお、光吸収係数は、値が大きいほどディーゼル黒煙濃度が高いことを意味する。

#### 3.2 PRTR 制度対象物質

ホルムアルデヒドの排出ガス濃度を図-5 に示す。表の見方は窒素酸化物等と同様である。また、各燃料に含まれるメタノールの濃度に対するホルムアルデヒドの濃度を図-6 に示す。凡例に示す運転条件毎に近似直線を記入しているが、直線が右肩上がりならば、メタノール濃度とホルムアルデヒド濃度に正の相関があることを意味する。

なお、ホルムアルデヒド以外の PRTR 制度対象物質については、今回使用した計測装置の検出濃度限度を超えた値は計測されなかった。

#### 3.3 温室効果ガス

二酸化炭素及びメタンの排出ガス濃度を図-7 に示す。亜酸化窒素は検出濃度限度以下であった。

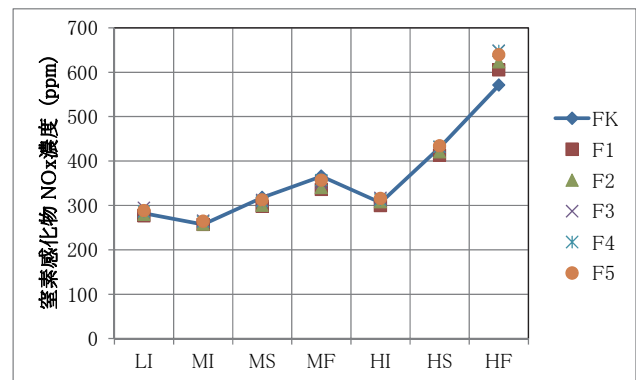


図-1 窒素酸化物濃度

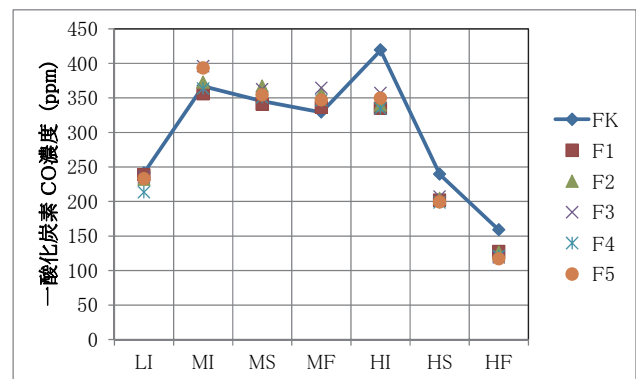


図-2 一酸化炭素濃度

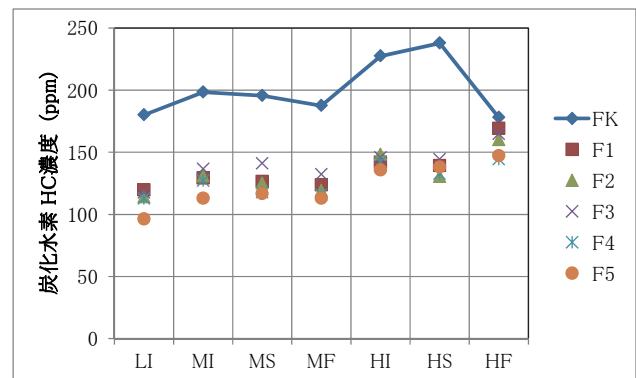


図-3 炭化水素濃度

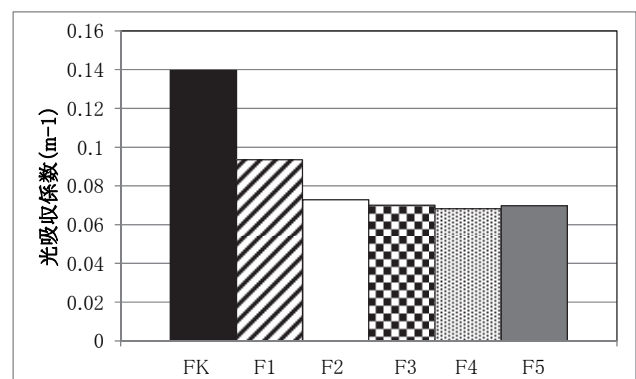


図-4 ディーゼル黒煙濃度

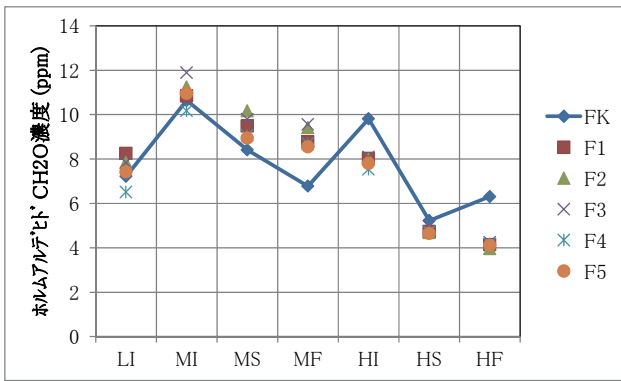


図-5 ホルムアルデヒド濃度

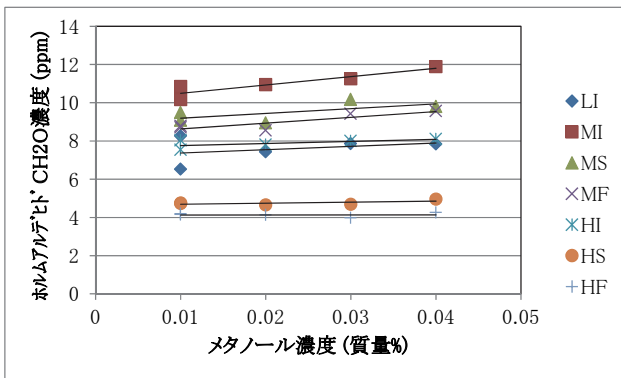


図-6 メタノール濃度とホルムアルデヒド濃度の相関

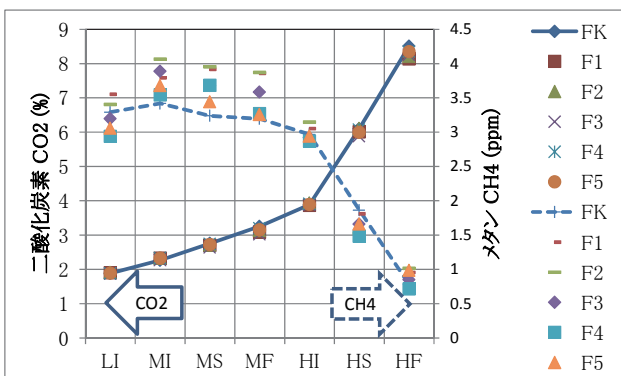


図-7 二酸化炭素濃度・メタン濃度

#### 4. 考察

異なる5つのバイオディーゼル燃料の排出ガスについて、次のことを確認することができた。

まず排出ガス規制物質であるが、窒素酸化物については、5つの燃料とも同様の傾向を示し、軽油とも同様の傾向であった。ただし、負荷を大きくかけた場合（今回は高速走行時）に軽油よりも高い濃度値を示し、最も高くなる燃料では約14%高くなった。それ以外の運転条件では同程度の濃度である。一酸化炭素についても、5つの燃料とも同様の傾向を示し、軽油とも同様の傾向であった。ただし、窒素酸化物とはむしろ逆で高速走行時を含むエンジンが高回転の運転条件で軽油より

も濃度が低くなった。炭化水素については、5つの燃料とも同様の傾向を示すが、高速走行時に軽油では濃度が下がるが、バイオディーゼル燃料では逆に上がるという、逆の傾向が見られた。なお、どの運転条件でも軽油よりも濃度は低かった。ディーゼル黒煙については、5つの燃料とも軽油よりも濃度が低くなるという同一の傾向であった。

次にPRTR制度対象物質についてであるが、ホルムアルデヒドについては、5つの燃料とも同様の傾向を示した。軽油との比較では運転条件により濃度が高い場合と低い場合があり、全体としてどちらかが高いかは判断しづらい程度の差であった。また、5つの燃料ではメタノールの濃度に差があるが、その差によるホルムアルデヒドの増加量は僅かであった。その他の成分については、検出濃度限界以下であったため、今回は評価することができなかった。

また、温室効果ガスについては、二酸化炭素、メタンとも5つの燃料で同様の傾向を示した。亜酸化窒素については検出濃度限界である1ppm以下であった。軽油との比較では二酸化炭素が同等で、メタンでは軽油よりも1ppm弱高い濃度を示した。メタン、亜酸化窒素の地球温暖化係数はそれぞれ二酸化炭素の21倍、310倍であるが、二酸化炭素濃度が%オーダーであるため、温室効果ガス全体としては同等と判断される。

全体として、今回計測に使用した5つのバイオディーゼル燃料については、特に異なる排出ガス特性を示すものは無く、軽油と比較して際立って濃度の高い排出ガス成分も計測されなかった。今回の計測結果で全ての燃料について照明されたわけではないが、バイオディーゼル燃料の品質が今回使用した燃料程度のものであれば、同様の結果が得られるものと予想される。ただし、不整地運搬車以外の建設機械、またコモンレールやEGRを装備したエンジンを搭載した建設機械での評価も必要であると思われる。

#### 4. おわりに

今回はバイオディーゼル燃料に関する計測を行ったが、建設機械排出ガスに関する課題はまだ残っている。例えば、酸価触媒の使用による窒素酸化物に占める二酸化窒素割合の増加や、尿素SCRの使用によるアンモニアや亜酸化窒素の排出等が懸念されている。土木研究所においては、これらの実態把握を引き続き行い、大気環境の改善に貢献したいと考えている。

#### 参考文献

- 1) 杉谷・藤野・西山：車載型排出ガス測定装置の有効性について、建設機械, Vol.50 No.8, pp.14~18, 2014