

バイオディーゼル燃料の普及に向けた排出ガス調査 車載型排出ガス計測装置による計測事例

杉谷 康弘・藤野 健一

バイオディーゼル燃料を使用した場合の排出ガス調査を行った。計測には、FTIR方式の車載型排出ガス計測装置を使用し、建設機械の排出ガス規制物質である窒素酸化物、一酸化炭素、炭化水素、ディーゼル黒煙の他、PRTR制度（化学物質排出移動量届出制度）対象物質、温室効果ガスについても解析を行った。バイオディーゼル燃料は5種類を調査し、軽油との比較を行った結果、バイオディーゼル燃料を使用した場合に、軽油と比較して際立って濃度の高い排出ガス成分は計測されなかった。

キーワード：地球温暖化、温室効果ガス、バイオディーゼル燃料、排出ガス、車載型排出ガス計測装置

1. はじめに

地球温暖化を抑制するための取り組みは、全ての業種、全ての分野の関係者が、それぞれできる限りのことを実施することが求められている。建設工事現場においても、温室効果ガスの削減のため、多くの対策が実施されている。建設機械に関連する対策としては、省燃費型の建設機械の使用や、省燃費運転の励行、情報化施工等とともに、本稿で対象としているバイオディーゼル燃料の使用がある。これらは、直ぐにできるものもあれば、相応の初期投資が必要なものもあるが、工事業者、建設機械メーカ、行政がそれぞれ積極的な役割を果たすことにより、建設工事現場における温室効果ガスの削減が進められている。例えば、一般社団法人日本建設業連合会では、施工段階における二酸化炭素排出量を1990年度を基準に2020年度までに20%削減することを目標に掲げ、2012年度は約13%の削減を達成している。また、建設機械メーカでは、排出ガス規制への対応と同時に、ハイブリッド型建設機械を始め、燃費性能を高めるための技術開発を進めており、二酸化炭素削減に直結する燃費性能は年々高まっている。行政においては、国土交通省が燃費性能の高い建設機械の普及を促進するため「燃費基準達成建設機械認定制度」や「低炭素型建設機械認定制度」を定めて運用を行っている。また、環境省や経済産業省では、ハイブリッド型建設機械等への購入に際して補助金の交付を行っている。

一方、バイオディーゼル燃料の使用に着目した場合には、各工事業者や現場担当者の熱意や決断により、

自主的に使用する現場が見受けられるようになってきてはいるが、行政が積極的な後押しをするまでには至っていない。それには、幾つかの理由があるが、その一つは、排出ガスである。本稿では、バイオディーゼル燃料の普及を目的に、その排出ガスを測定したことを中心に報告するものである。

2. バイオディーゼル燃料普及の課題

バイオディーゼル燃料は、温室効果ガスの削減に資する燃料である一方、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、エンジンシステム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。これらの問題点は、バイオディーゼル燃料の成分である脂肪酸メチルエステルの性質そのものに起因するもの、生産方法・生産過程の違いによる燃料の品質に起因するもの、使用者の知識不足に起因するもの、行政の制度上に起因するもの等、原因は様々である。

その中で、不具合や供給に関する問題が発生した場合には、主に燃料を使用するユーザ自身がその被害を受けることになるが、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被害が及ぶ問題である。また、建設機械に使用する燃料については、排出ガス抑制の観点から、法令に基づく「建設業に係る特定特殊自動車排出ガスの排出の抑制を図るための指針」により、軽油を使用するように指導されている。さらに、国土交通省の直轄工事においては、共通仕様書により、軽油を使用しなければならないように規定

されている。そのため、少なくとも排出ガスについては、軽油と比較した場合の増減の程度を確認しておかなければ、例えば温室効果ガスの削減に寄与するという環境に対するメリットがあるとしても、行政が積極的に普及を促進することは難しい。

また、ユーザの知識不足により生じる問題は、逆に解決可能な問題でもある。まず、バイオディーゼル燃料は軽油とは異なる燃料だということをよく理解する必要がある。一般にガソリンや軽油の品質については、法令により厳しく規定されているとともに、その品質のガソリンや軽油が使用される範囲においては不具合が生じないようにメーカーは車両を生産しているため、燃料に起因して不具合が生じることは少ない。しかし、バイオディーゼル燃料を使用する場合には、単に軽油の代わりに入れるだけでよいわけではない。軽油と同じ感覚で使用すると問題が生じる可能性が高まるが、こうした感覚で使用したことにより不具合が生じ、バイオディーゼル燃料の評判が下がるのは不幸なことである。幸いにも、現在自主的に工事現場で使用されている工事業業者や現場担当者の方々は、使用前に十分に知識を習得してから使用されていることが多いようである。ただし、今後、積極的にバイオディーゼル燃料の使用を推奨するようになった場合に、こうした知識を習得せずにバイオディーゼル燃料を使い始める使用者が出るのが懸念される。そのため、行政や業界団体において、バイオディーゼルを使用する場合の手引き等の作成が望まれる。現時点においては、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」、自動車分野における国土交通省自動車交通局が作成した「高濃度バイオディーゼル燃料等を使用される皆様へ」と題した手引き、農業機械分野における一般社団法人日本農業機械化協会が作成した「地域において生産されたバイオディーゼル燃料の農業機械における長期・安定利用技術に関するガイドライン」等が公表されており、これらが参考になるとと思われる。

3. バイオディーゼル燃料の排出ガス計測

(1) 計測の概要

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である。そのため、計測対象とするバイオディー

ゼル燃料は、生産者の異なる5種類を用意した。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。そのため、排出ガス規制物質だけでなく、PRTR制度（化学物質排出移動量届出制度）対象物質についても測定を行い、合わせて温室効果ガスも含め17種類の物質について測定を行った。

(2) バイオディーゼル燃料

工事現場で使用されているバイオディーゼル燃料は、ほとんどがバイオディーゼル燃料100%（通常B100と呼ばれる。）である。しかしB100の強制規格は定められていないため、市場には低品質なものも含め、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、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いため、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、バイオディーゼル燃料は、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。

(3) 排出ガス計測物質

計測を行った排出ガス物質を表1に示す。排出ガス計測装置は岩田電業㈱の車載型FTIR排出ガス分析装置（機種名FAST-2200）を使用した。表1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物質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。パソコンに取り込んだサンプルスペクトルデータを解析することで、排出ガスに含まれる240種類以上の物質を分析することが可能である。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。

(4) 不整地運搬車

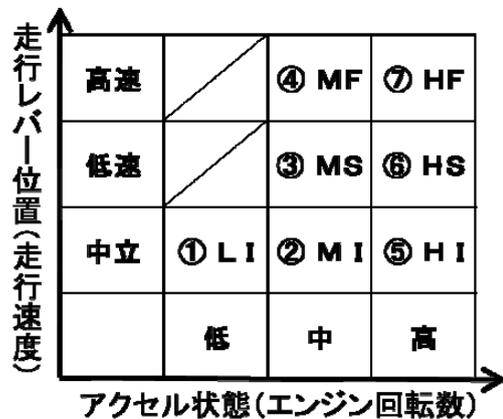
計測には、ヤンマー建機㈱ゴムクローラキャリア（機種名C30R）を使用した。搭載エンジンは、平成18年排出ガス規制対応の定格出力25.4kW/3000min⁻¹、自然吸気3気筒直噴型（名称3TNV88-BDFW）のもので、コモンレールやEGR、酸化触媒、DPF等は装備していない。写真1に不整地運搬車に計測装置を搭載した状況を示すが、車載型排出ガス

表一 1 排出ガス計測物質

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 ₂)	0.30 %		スチレン	7 ppm
	メタン (CH ₄)	2 ppm		1,3,5-トリメチルベンゼン	5 ppm
	亜酸化窒素 (N ₂ 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



写真一 1 計測装置の搭載状況



図一 1 不整地運搬車の運転条件

計測装置の他に、排気ガス流量計、燃料流量計、発動発電機等も搭載している。

(5) 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) を図一 1 に示すが、図中の運転条件の記号 (例えば「LI」, 「MI」等) は、次章以降で示す測定結果のグラフとも対応している。それらの運転条件を図中の①から⑦の順に一通り行い、最後の運転条件⑦が終わったら、再度最初の運転条件①から繰り返すことで、それぞれの運転条件につき 3 回分の排出ガス計測データが得られるようにした。なお、ディーゼル黒煙については、レバー位置が中立の状態、アイドリングの状態から

アクセルを急に全開にすることを 3 回繰り返す方法 (排出ガス規制で規定されている方法。) により行った。

4. 測定結果

(1) 排出ガス規制物質

窒素酸化物 (及びその内訳である一酸化窒素、二酸化窒素)、一酸化炭素、炭化水素の排出ガス濃度を図一 2 に示す。横軸の各記号は図一 1 の運転条件の記号で、縦軸は各物質の濃度である。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 は各バイオディーゼル燃料である。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。

窒素酸化物 (図一 2) 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 (記号 HF: アクセル全開で高速走行させた場合) に軽油よりも高い濃度値を示し、最も濃度が高くなるバイオディーゼル燃料では

軽油と比較して約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。窒素酸化物を構成する一酸化窒素(図-3)と二酸化窒素(図-4)を見た場合にも、軽油と同様の傾向を示しているが、無負荷時(記号LI:アイドリング状態)においては、バイオディーゼル燃料の二酸化窒素濃度が低くなっている。

一酸化炭素(図-5)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、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(図-6)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、軽油とは異なる傾向が見られた。ただし、どの運転条

件においても軽油よりも濃度は低かった。

ディーゼル黒煙の値(光吸収係数)を図-7に示す。横軸の各記号は各燃料を示している。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。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。

(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-8に示すが、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、図-9に各燃料に含まれるメタノールの濃度(横軸)に対するホルムアルデヒドの濃度(縦軸)を示す。凡例に示す運転条件毎に近似直

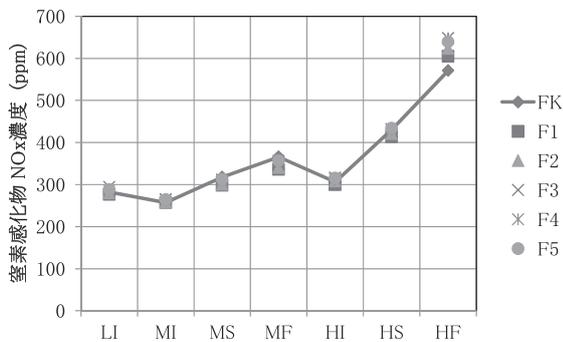


図-2 窒素酸化物濃度

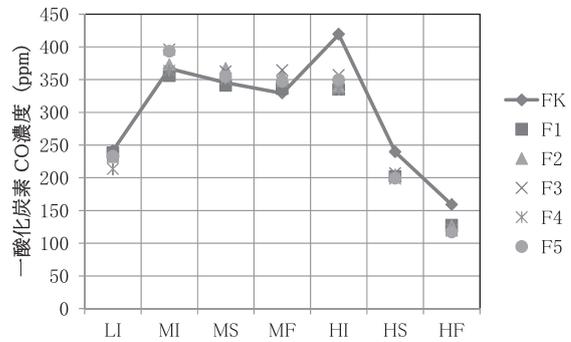


図-5 一酸化炭素濃度

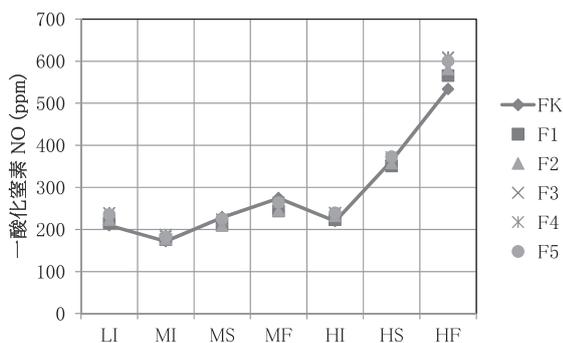


図-3 一酸化窒素濃度

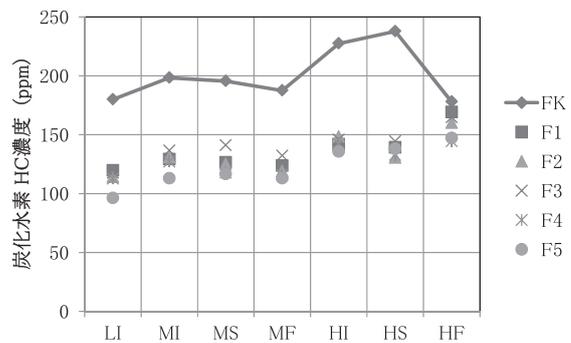


図-6 炭化水素濃度

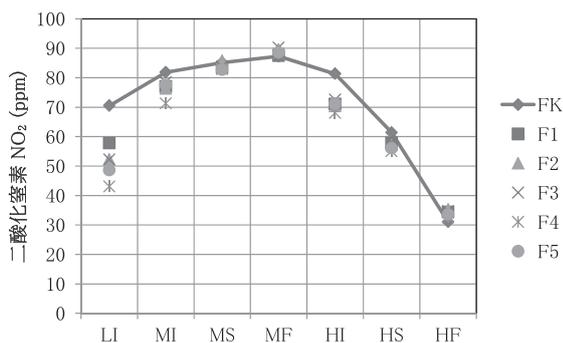


図-4 二酸化窒素濃度

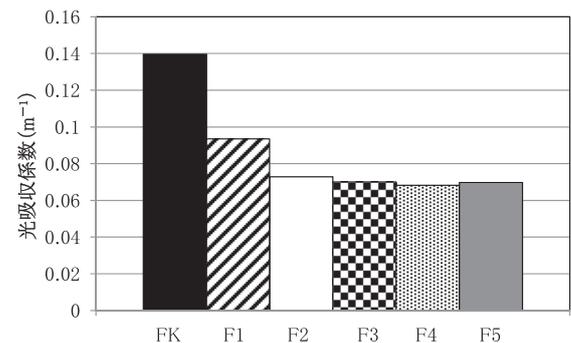


図-7 ディーゼル黒煙濃度

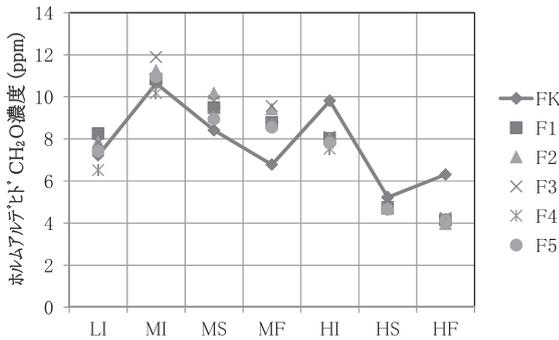


図-8 ホルムアルデヒド濃度

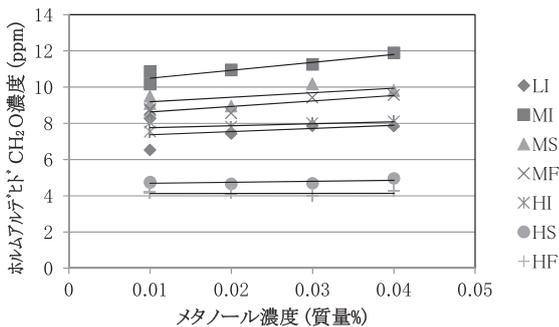


図-9 メタノール濃度とホルムアルデヒド濃度の相関

線を記入しているが、直線が右肩上がりとなっており、メタノール濃度とホルムアルデヒド濃度において正の相関を示した。バイオディーゼル燃料は、廃食用油とメタノールを化学反応させて作製するが、精製が不十分な場合、未反応で残ったメタノールがそのまま残留し、排出ガス中のホルムアルデヒドを増加させると言われており、その傾向が出たものと思われる。

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。そのため、これらの物質が高濃度で排出されるバイオディーゼル燃料は無かったと判断しているが、軽油との比較という観点では評価することができなかった。

(3) 温室効果ガス

二酸化炭素及びメタンの排出ガス濃度については、5つの燃料で同様の傾向を示した。亜酸化窒素は検出濃度限度である1 ppm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1 ppm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バイオディーゼル燃料と軽油では同等と判断される。従って、植物由来の分だけ、化石燃料のように温室効果ガスを増加させることはないということが言える。

5. おわりに

バイオディーゼル燃料の普及の前提として、バイオディーゼル燃料を使用した場合の排出ガスについて計測を行った。その結果、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、どの燃料においても同様の排出ガス特性を示し、軽油と比較して際立って濃度の高い排出ガス成分は計測されなかった。そのため、今回の計測結果で市場にある全ての燃料について証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と同程度のものであれば、同様の排出ガス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行った上で、最終的な判断をする必要があると考えている。

また、今後、工事現場でバイオディーゼル燃料の普及を進める上では、バイオディーゼル燃料の使用者、生産者だけでなく、建設機械メカ、レンタル会社、行政、発注者等の各ステークホルダーの理解・協力が不可欠である。一般社団法人日本建設機械施工協会には、これらの関係者が集っており、各委員会活動等での検討や、シンポジウム・本誌等での発表^{1)~3)}もされているところである。今後もそのような活動が継続されることを期待するとともに、本研究がその一助となるように進めていきたいと考えている。

JCMMA

【参考文献】

- 1) 齊藤栄一, 長谷川博一, 副島幸也: 大規模道路土工工事にバイオディーゼル燃料(B100)を使用, 建設の企画施工, No.754, pp.23-29, 2012
- 2) 一柳成幸, 東間敬造, 林まゆ: バイオディーゼル燃料100%(B100)の工事車両への適用: 建設機械施工, No.776, pp.42-47, 2014
- 3) 藤井攻, 前田全規, 小豆嶋和洋: 建設機械へのバイオディーゼル燃料(B100)の使用と取組, 平成25年度建設施工と建設機械シンポジウム論文集, pp.173-176, 2013

【筆者紹介】

杉谷 康弘 (すぎたに やすひろ)
 (独)土木研究所
 技術推進本部先端技術チーム
 主任研究員



藤野 健一 (ふじの けんいち)
 (独)土木研究所
 技術推進本部先端技術チーム
 主席研究員

