

建設機械へのバイオディーゼル燃料の普及に関する研究

研究予算：運営交付金（一般勘定）

研究期間：平24～平26

担当チーム：先端技術チーム

研究担当者：藤野健一、杉谷康弘、上野仁士、
橋本毅、西山章彦

【要旨】

バイオディーゼル燃料を普及するための課題の整理を行い、特に課題と思われる燃料の違いによる排出ガスの環境影響評価を中心とした研究を行った。建設機械の排出ガス規制物質の他、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解析を行った結果、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も計測されず、排出ガスの観点では普及に対して大きな問題がないことが確認された。

キーワード：バイオディーゼル燃料、排出ガス、PRTR物質、温室効果ガス、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、本研究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、即時に実行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について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、その一つに、排

出ガスの環境影響に関する調査が不十分なことがある。本研究では、バイオディーゼル燃料の普及を目的として、排出ガスの測定を中心とした問題点の解明と今後の方向性について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。これらの問題点の原因は、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、様々である。

その中で、エンジン系統の不具合や供給に関しては、主に燃料を使用することを選択したユーザ自身がその被害をうける問題である。一方、排出ガスに関しては、機械の利用者以外の一般住民が生活環境に影響を受ける問題である。

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、建設機械に使用する燃料については、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、行政が積極的にバイオディーゼル燃料の普及を促進することは極めて難しい問題である。

エンジン系統の不具合については、ユーザの知識不足により生じる問題であり、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十分に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。バイオディーゼル燃料は燃料自体の酸化劣化・ゴムや樹脂の膨張・劣化など、すでに知られている燃料特性に対する配慮が必要である。これを無視して、軽油と同じ感覚で使用する、いわゆる誤った使用方法では、不具合のリスクが高くなり、そのために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、建設分野でバイオディーゼル燃料を使用する場合の手引き等をさらに整備することが望まれる。

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思われる。

3. バイオディーゼル燃料の排出ガス計測

3. 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。

3. 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と、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から選定した。表1に各燃料の品質検査を実施した結果を示す。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。

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 ² /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

3. 3 排出ガス測定装置

計測対象とした排出ガス物質を表-2に示す。排出ガス計測装置は車載型FTIR排出ガス分析装置(岩田電業(株)FAST-2200)を使用した。表-2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)堀場製

表2 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
				スチレン	7 ppm
温室 効果 ガス	二酸化炭素(CO2)	0.30 %		1,3,5-トリメチルベンゼン	5 ppm
	メタン(CH4)	2 ppm		トルエン	8 ppm
	亜酸化窒素(N2O)	1 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	

作所 MEXA-600SW) を使用して計測した。

計測には、不整地運搬車 (ヤンマー建機 (株) ゴムクローラキャリア 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。



写真1 計測装置の搭載状況

3. 4 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、アイドル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

4. 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2~図6に示す。横軸の各記号は図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

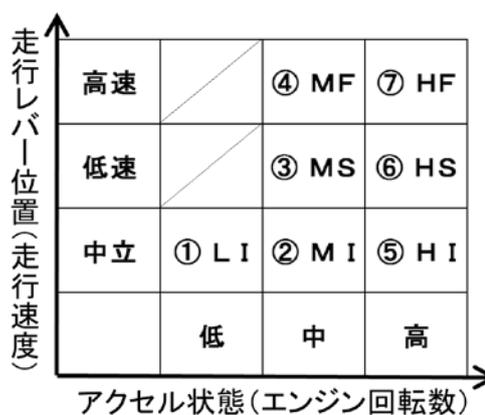


図1 不整地運搬車の運転条件

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

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。

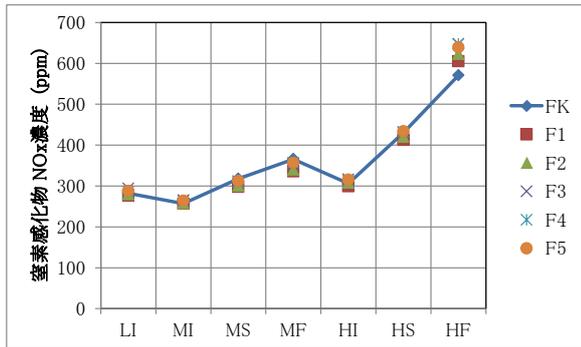


図2 窒素酸化物濃度

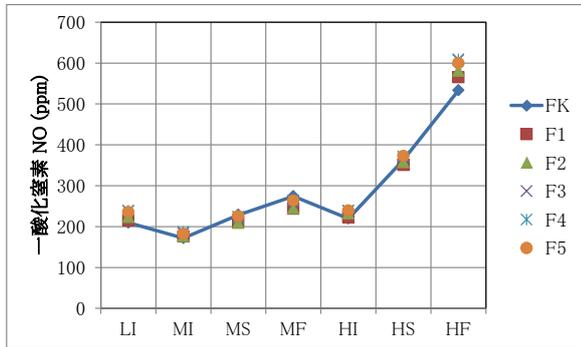


図3 一酸化窒素濃度

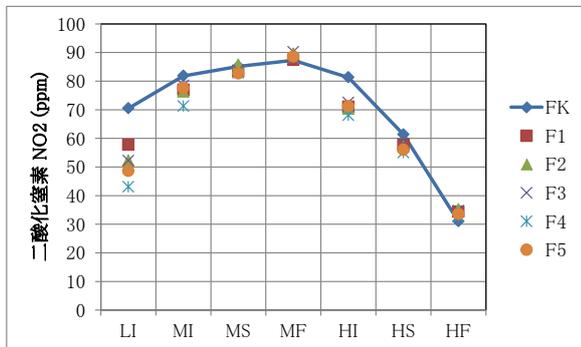


図4 二酸化窒素濃度

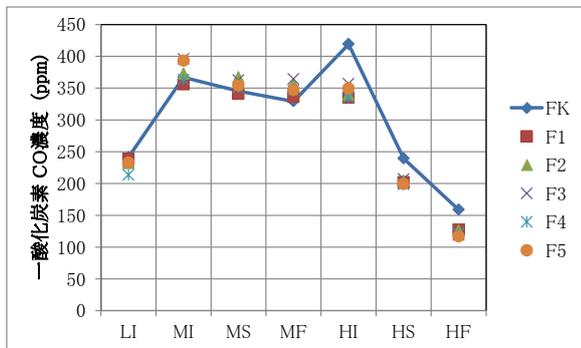


図5 一酸化炭素濃度

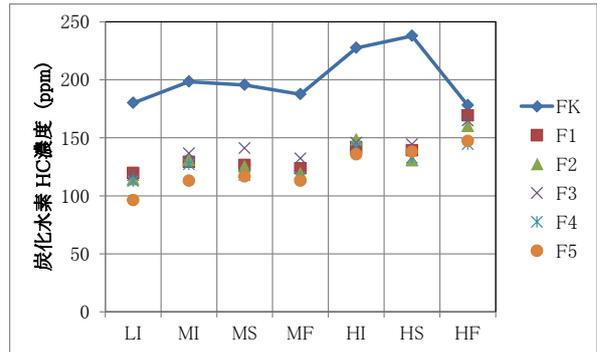


図6 炭化水素濃度

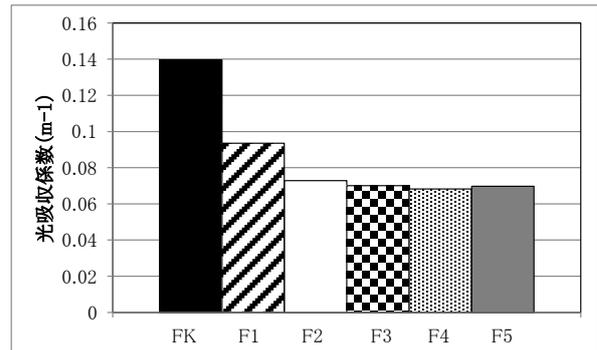


図7 ディーゼル黒煙濃度

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。

4. 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線を記入しているが、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成するが、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されており、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ため、高濃度で排出される燃料は無かったと判断している。(今回の比較実験では評価ができなかった。)

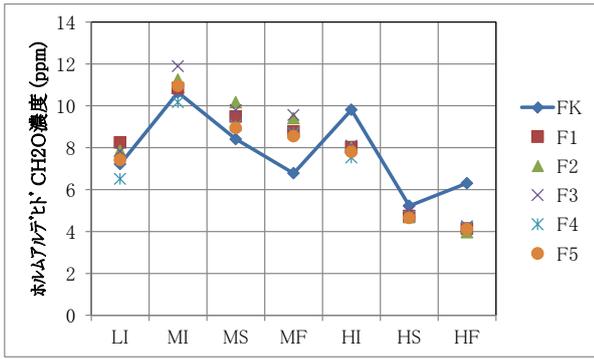


図8 ホルムアルデヒド濃度

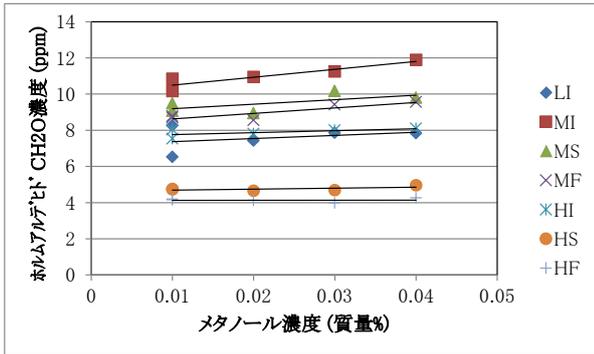


図-9 メタノール濃度とホルムアルデヒド濃度の相関

4. 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。

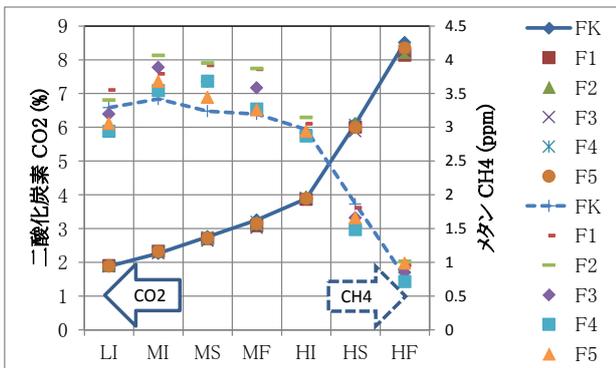


図10 二酸化炭素とメタン濃度

5. 油圧ショベルにおける計測

5. 1 調査対象機械

実際に工事現場等でバイオディーゼル燃料を使用して

いる油圧ショベルを調査対象とした。本研究では、軽油を使用した場合の排出ガスデータと比較できる2台分について記載する。2台とも、標準バケット容積0.8m³(20トンクラス)のもので、それぞれ異なるメーカーのものである。排出ガス規制区分は、オフロード法18年規制(通称3次基準)に適合している。なお、1台は製造年月の関係から2次基準の表示が付されているが、排出ガス性能としては3次基準と同等として解析を行った。また、もう1台は、ハイブリッド仕様である。なお、使用しているバイオディーゼル燃料はそれぞれ異なる製造者のものである。

5. 2 排出ガス測定装置

排出ガス濃度の測定には、FTIR 排出ガス分析装置(岩田電業(株)FAST-2200)を使用し、表-1の成分について測定を行った。測定器や発動発電機等は写真2のように、油圧ショベルの後方に設置し、排気管からステンレス製のフレキシブルホースを使って排出ガス分析装置と接続し計測を行った。測定機器等は、予め架台に搭載しておき、昇降装置付のトラックで油圧ショベル近くまで運搬し、排気管との接続を行うことなどにより、できるだけ効率的に測定を行っている。

5. 3 油圧ショベルの運転動作

測定装置が接続されていることから、走行や旋回ではできない条件であったため、次の2つの状態での排出ガスを測定した。①アイドリング(低回転で何もしない状態。)②模擬動作(バケットを地面から少し離して、水平に手前に引いてくる、いわゆる「ならし動作」の繰り返し。)



写真2 計測装置設置状況

5. 4 測定結果

ここでは特に排出ガス規制物質である窒素酸化物、一酸化炭素、炭化水素についての結果を示す。図11~図13が1台目で図14~図16が2台目の結果である。

軽油との比較のため、過去に測定した同型機の軽油を使用した場合の排出ガス調査結果3台分（ただし、測定機器や測定方法が若干ことなるため、厳密な比較ではない。）の値も図中に合わせて示している。凡例で「K」の記号が軽油の場合で、「B」の記号がバイオディーゼル燃料の場合である。

窒素酸化物については、軽油と比較して同程度であった（軽油と比較して濃度は若干高くなる。）。一酸化炭素については、アイドリング時に軽油と比較して濃度が高い傾向を示した。一方、模擬動作時は軽油の結果にばらつきがあるため、一概には判断できない。炭化水素については、アイドリング時に軽油と比較して濃度が下がり、模擬動作時には同等となった。

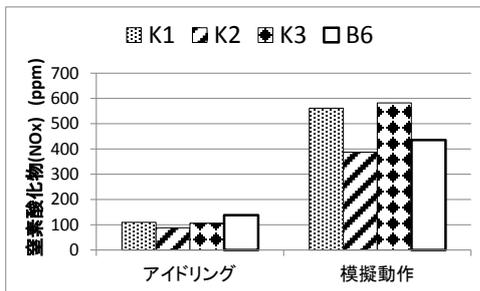


図 1.1 窒素酸化物濃度 (1 台目)

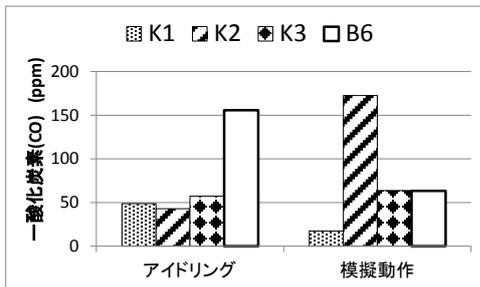


図 1.2 一酸化炭素濃度 (1 台目)

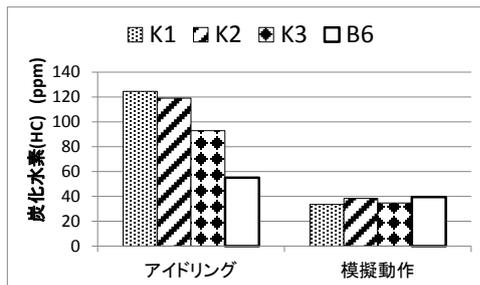


図 1.3 炭化水素濃度 (1 台目)

5. 5 考察

以上の調査結果から、窒素酸化物、炭化水素については、軽油と比較して排出ガスが特段悪化することは無いと判断される。一酸化炭素については、今回の結果では軽油を使用した場合の値にばらつきがあるため、同一条件での検証が必要と思われる。なお、規制値を相当程度下回る排出量であれば軽油との差があっても許容されるものとする。

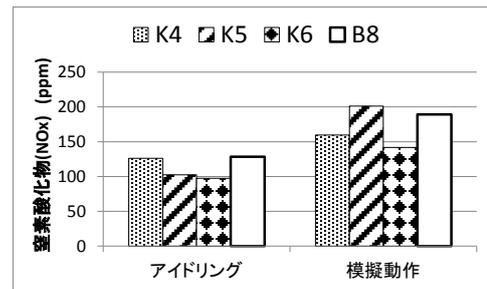


図 1.4 窒素酸化物濃度 (2 台目)

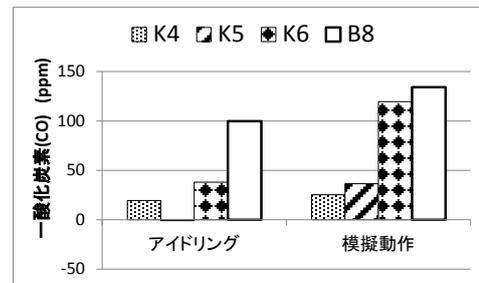


図 1.5 一酸化炭素濃度 (2 台目)

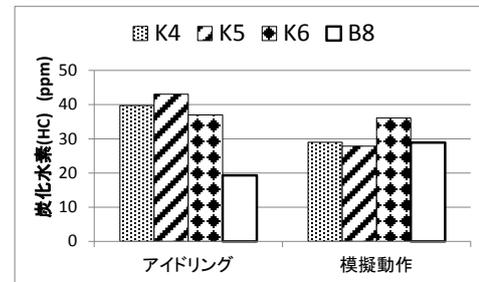


図 1.6 炭化水素濃度 (2 台目)

6. おわりに

バイオディーゼル燃料を普及するための課題の整理を行い、特に課題と思われる燃料の違いによる排出ガスの環境影響評価を中心とした研究を行った。

その結果、今回の計測結果で市場にある全てのバイオディーゼル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考えられる。また、今回の調査は基礎的なディーゼル機関を採用した建設機械を対象としているため、第3次及び第4次の排出ガス規制に基づいてコモンレールやEGRを装備したエンジンを搭載している建設機械では、さらにその機構の影響を調査する必要がある。

最後に、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、建設機械メーカー、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。特に、機器の保証を優先的に考える建設機械メーカーと工事現場の環境を優先的に考える工事業者がともに納得してバイオディーゼル燃料を活用することを期待したい。

Study on promotion of biodiesel fuel to a construction machinery

Budget : Grants for operating expense
(General account)

Research Period : FY2012-2014

Research Team : Advanced Technology Research Team

Author : FUJINO Kenichi

SUGITANI Yasuhiro

UENO Hitoshi

HASHIMOTO Takeshi

NISHIYAMA Akihiko

Abstract : Our team studied the problem to promote biodiesel fuel and estimated the environmental assessment of the exhaust gas by the difference of the biodiesel fuel thought to be the problem in particular. It is confirmed that there is not a big problem in comparison with light oil in case of measuring for exhaust gas, PTRT material (Pollutant Release and Transfer Register material), greenhouse effect gas.

Key words : Biodiesel fuel, exhaust gas, PTRT material, greenhouse effect gas, portable emission measurement device