

建設機械における温室効果ガス及び排出ガスの影響評価に関する研究

研究予算 : 運営交付金 (一般勘定)

研究年度 : 平 27~平 30

担当チーム : 先端技術チーム

研究担当者 : 藤野健一、野村正之、上野仁士、
橋本毅、西山章彦

【要旨】

建設機械から排出される窒素酸化物 NO_x は、原動機単体での室内試験での測定値により規制されているが、実作業での測定値との違いは明らかでない。また、二酸化炭素 CO_2 以外の温室効果ガスの亜酸化窒素 N_2O 、およびメタン CH_4 の発生量と排出ガス対策の関係も不明である。本研究では、油圧ショベルの実作業での排出ガスの測定方法を開発し、2011 年規制に適合した原動機を搭載した機種を試験機として、二酸化炭素 CO_2 、一酸化炭素 CO 、 CH_4 、 N_2O 、および NO_x 等について、掘削・積込、ならし、走行、および待機の動作別に測定した。

キーワード : 建設機械、排出ガス、温室効果ガス、車載型排出ガス計測装置

1. 研究の背景

建設機械の排出ガス (以下、Exhaust Gas を略して「EG」という。) は、「特定特殊自動車排出ガスの規制等に関する法律」(通称「オフロード法」) で規制されている。オフロード法では、原動機(エンジン)の製造事業者がエンジンの型式指定を受けること、建設機械の製造事業者(車両メーカー)が型式指定を受けたエンジンを搭載した建設機械に基準適合表示を付すこと、およびユーザーが適合表示を付した建設機械を使用することを定めている。オフロード法に基づく 2011 (平成 23) 年規制(経過措置終了 2016~2017)、および 2014 (平成 26) 年規制(規制開始 2014~2016)では、PM、および NO_x の排出量が約 9 割削減された。規制強化に対応し、ディーゼル微粒子捕集フィルターDPF、および尿素選択的還元装置(尿素 SCR)で PM、および NO_x を後処理する機種が市場投入されることが見込まれているが、尿素 SCR による後処理では、これまでのエンジン本体での対策(コモンレール、排気再循環等)では生じることがなく規制・測定等が行われていない N_2O が発生する可能性がある。 N_2O は二酸化炭素 CO_2 の 310 倍の温室効果をもたらす温室効果ガス(以下、Green House Gas を略して「GHG」という。)とされているので影響を調べておくことが必要である。

また、エンジンの型式指定の検査は、一律の運転モ

ード(負荷と回転数の組合せ)の室内試験で実施され、排出ガスは原動機の仕事量 kWh あたりの排出量(以下、仕事量あたりの排出量を「排出量」という。)で評価される。しかし、実作業におけるエンジンの稼働条件は、機械の種類(建設機械、農業機械、産業機械等)、動作の内容(待機、走行、掘削・積込等)、および運転モード(省燃費優先、作業能力優先等)など多様であり、稼働条件の違いにより排出量が異なることも考えられる。自動車の排出ガスについては、路上走行の測定での規制が欧州で導入され、国内でも検討することが望ましい旨が中央環境審議会でも報告されており(2012)、今後、建設機械についても同様な対応が求められる可能性もあるが、エンジン単体での検査と多様な実作業では排出量が異なることの影響が不明なため、知見不足のまま対応策を講じることになれば、少ない情報に扇動されることによる弊害が危惧される。

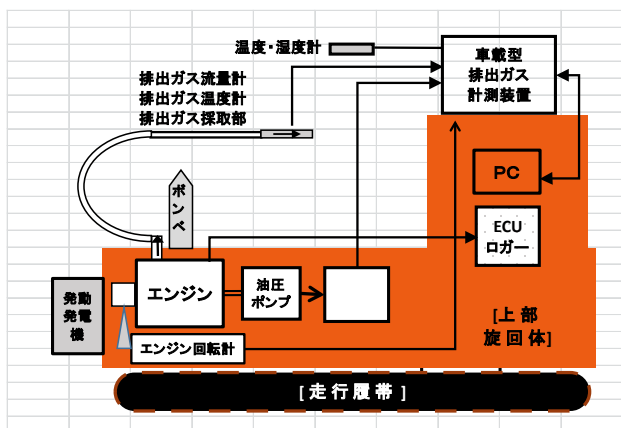
このように建設機械の排出ガスに関しては、技術・規制等の情勢が大きく変化しており、すみやかかつ的確に対応するためには、実作業での GHG、および NO_x 等の排出量の測定・評価方法に着手し、建機由来の GHG、および NO_x 等の全体像を最新の知見で明らかにする必要性が高まっている。

2. 研究の課題

建設機械の実作業における NO_x および GHG (CO₂, N₂O, CH₄) の濃度および流量、ならびに瞬間動力を同時に測定する方法は、これまでに定められていないため、新たに開発する必要がある。

次に NO_x および GHG の解析にあたっては、エンジンの回転・トルクの特徴が掘削・積込、ならし、走行、および待機の動作により、異なることを考慮し、排出量の増減に影響する要因を明らかにする必要がある。また、大型ディーゼル貨物車については、尿素 SCR の装着により、EG 温度が低下して NO_x 低減効果が低下したとの報告例があることを考慮し、建設機械において同様な現象が生じることがないか確認する必要がある。

さらに、とりまとめにあたっては、建機由来の GHG、および NO_x 等の全体像を明らかにすることが必要である。



第1図 測定装置の配置と構成

3. 測定方法

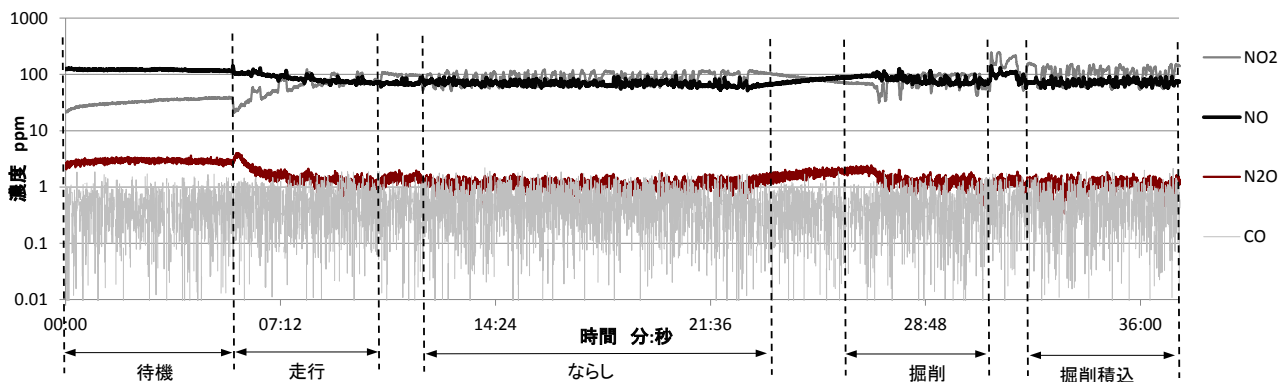
3.1 測定装置の構成と測定対象

平成 27 年度に測定した建設機械は、DPF 搭載、尿素 SCR 非搭載の 20 トン級の油圧ショベル (2011 年規制に適合) とし、尿素 SCR 搭載機(2014 年規制に適合)での測定は次年度とした。装置の構成は、運転室の上部に車載式 FTIR 分析装置(フーリエ変換赤外分析装置 FAST-2200 岩田電業 (株)) を積載し、カウンターウエイト後部に、電源 (発動発電機)、エンジン回転計、校正用窒素ガスボンベ、流量計、動力計、データロガー) を取り付け架台を積載し (第 1 図参照)、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部へ導管を設置した。また、瞬時排出ガス流量は、ピトー管法 (堀場製作所製 OBS-1000) により測定した。

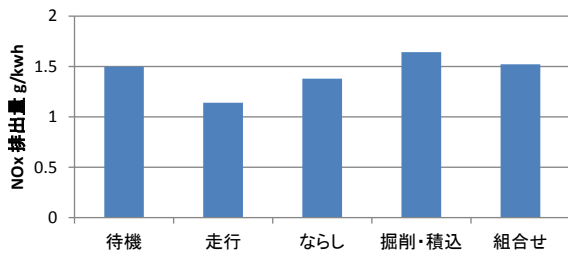
分析対象とした GHG 及び EG 等の濃度は、0.2 秒サンプリングで連続的に測定した。また、そのガス成分については GHG、EG、PRTR (化学物質排出移動量届出制度) 関連ガスについて直接測定とスペクトル分析を実施した。

3.2 試験場と運転操作

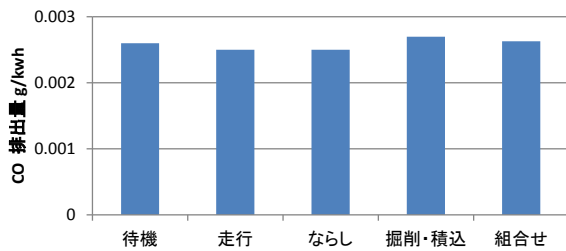
測定は、土木研究所の屋外建設機械実験施設で行った。運転操作のモードは作業能力を優先したモード (P モード)、および省燃費を優先したモード (E モード) の 2 分類とし、運転者は 3 名とした。建設機械の試験時の動作内容は、「土工機械—エネルギー消費量試験方法—油圧ショベル」(JCMAS H 020。法・通達等で定



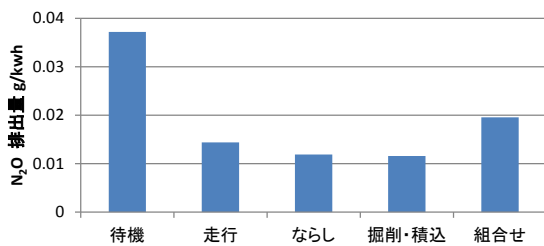
第2図 排気ガス濃度の時間変化 (被験者 A Eモード)



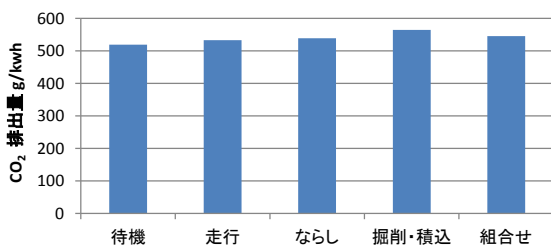
第3図 排出量 (NO_x) (被験者 A Eモード)



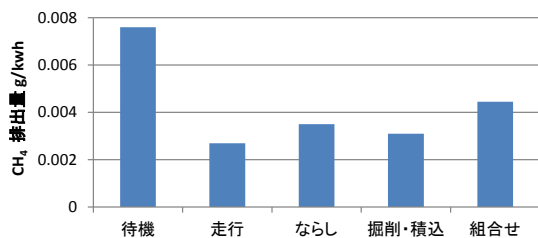
第4図 排出量 (CO) (被験者 A Eモード)



第5図 排出量 (N₂O) (被験者 A Eモード)



第6図 排出量 (CO₂) (被験者 A Eモード)



第7図 排出量 (CH₄) (被験者 A Eモード)

められた基準ではない。)に準拠した待機、走行、ならし動作、実掘削、掘削・積込とした。

4. 測定結果

第2図は、NO₂、NO、N₂O、およびCOの濃度を時系列で併記したものである。排気ガスの種類によって濃度が大きく異なるため、縦軸を対数とした。待機、走行、およびならし動作と比較して、掘削、および掘削・積込では大きく変動する傾向や、N₂Oは待機で多い傾向等がみられる。

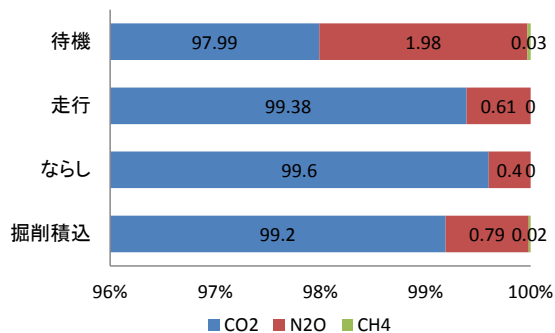
第3図～第7図は、NO_x、CO、N₂O、CO₂、およびCH₄の試験動作別の排出状況(試験操作の各状態における平均値)を示している。NO_xは試験機のエンジン単体で規制値3.3g/kWh(2011年規制。以下同様)を下回っていた(第3図)。なお、瞬間値では、掘削・積込状態において違った傾向も見られた。尿素SCRの装着により、更に低減されることが見込まれる。COは規制値5.0g/kWhを大きく下回っていた(第4図)。NMHCについても同様であった。N₂Oの排出量を第5図に示す。この測定値をベースとし、尿素SCRの搭載機と比較する予定である。CO₂の排出は負荷が大きい掘削積込モードで多かった(第6図)。CH₄は負荷がかかっていない待機時等に多く(図7図)、COやN₂Oと傾向が似ていたが、暖機の状態により変動する場合があります。追跡調査が必要である。

GHGに中に占めるCO₂、N₂OおよびCH₄の排出割合(CO₂換算による質量比率)を第8図に示す。GHGの排出量はCO₂の温室効果を1とし、以下の式でN₂Oは310倍、CH₄は21倍に換算した。

$$\text{GHG 排出量} = \text{CO}_2 \text{ 排出量} + \text{N}_2\text{O 排出量} \times 310 + \text{CH}_4 \text{ 排出量} \times 21$$

次に走行1kmあたりに換算した排出量を算出した。走行以外の動作を走行に換算するにあたっては、JCMASを参照して、稼働時間の割合を掘削・積込動作50%、ならし動作10%、走行10%、および待機30%とし(第1表)、時間当たりの排出量は本稿の測定値とした。

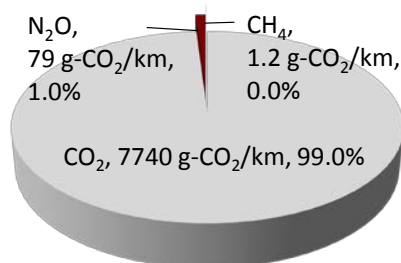
GHGの排出構成は、CO₂:99.0%、N₂O:1.0%、CH₄:0.0%であった(第9図)。中型ディーゼル貨物自動車での構成が、CO₂:98~99%、N₂O:2~1%、CH₄:0.1~0.3%程度であることと比較するとN₂OやCH₄が低めとなった。



第8図 GHGの排出割合

第1表 1Km換算距離の算出方法

項目	掘削・積込	ならし動作	走行	待機	合計(組合せ)	
構成比率	50%	10%	10%	30%	100%	
実走行距離	0m(作業有)	0m(作業有)	100m(作業無)	0m(作業無)	100m(作業無)	
1km換算距離	500m	100m	100m	300m	1,000m	
1km距離換算	標準時間	600sec	120sec	120sec	360sec	1,200sec
	サイクルタイム等	30.0sec	12.0sec	2往復(3.0km/h)		
	サイクル等	20回	10回	2*(2*25)m		
参考:	標準時間	1,800sec	360sec	360sec	1,080sec	3,600sec
	JCMAS サイクルタイム等	14.8sec	6.6sec	6.8往復(3.4km/h)		
	燃費標準 サイクル等	121回	54回	6.8*(2*25)m		



第9図 GHGの排出(走行1kmに換算)

5. 測定方法の標準化

現時点において温室効果ガスの測定に関する基準は存在しない。そこで、実験に基づいて「油圧ショベル温室効果ガス排出量試験手引き(素案)」を作成した。

素案は、注意点とその解説より構成しており、試験条件、排気濃度・排気流量・動力の測定方法、試験方法(掘削・積込み動作、ならし動作、走行、待機)、評価計算等を区分して網羅している。

作成した素案については、エンジンメーカー及び建設

機械製造業者等に対して意見を照会した。今後、意見を反映させた修正案を作成する。

6. まとめ

油圧ショベルの実作業での排出ガスの測定方法を開発し、DPF搭載、尿素SCR非搭載の20トン級の油圧ショベルを試験機として、二酸化炭素CO₂、一酸化炭素CO、メタンCH₄、亜酸化窒素N₂O、およびNO_x等について、掘削・積込、ならし、走行、および待機の動作別に測定した。

NO_x等の排気ガスは原動機単体での規制値を下回っていたこと、CO₂、CO、およびNO_xは原動機の負荷の大きい掘削・積み込みで発生量が大きく、N₂OおよびCH₄は負荷が小さい待機時の排出が大きいこと、ならびにN₂OおよびCH₄の排出による温室効果はCO₂の排出による温室効果の1%以下であること等が明らかになった。

さらに測定方法の標準化を目的とし、「油圧ショベル温室効果ガス排出量試験手引き(素案)」を作成し関係者に意見照会した。

平成28年度以降は、尿素SCRでNO_xを抑制した機種種の測定を行い、今年度の測定値と比較するとともに「油圧ショベル温室効果ガス排出量試験手引き」の修正案を作成する予定である。

また、今後の検討課題として、建設機械に関する排出インベントリの構築、走行距離当たりの排出量への換算方法の見直し、および操作者の個人差・土質等に起因する測定値の変動の影響などがある。平成28年度以降の調査は、これらの課題を考慮して実施する予定である。

<参考文献>

- (1) 西山章彦、杉谷康弘、藤野健一：建設機械稼働状態の排出ガスにおける通常モードと省燃費モードの対比について、土木学会第69回年次学術講演会論文集、2014.9、pp.193-194
- (2) 山本敏朗、堤玲子、岩田恒夫、小川恭弘、加藤裕：乗用車から排出されるN₂O、CH₄およびC₆H₆のFTIR分析、自動車技術会論文集、Vol.42、No.5、2011.9、pp.1059-1065
- (3) 山本敏朗、堤玲子、岩田恒夫、小川恭弘、加藤裕：尿素SCRシステム搭載貨物車の路上走行時におけるNO_x、NH₃およびN₂Oの排出挙動、自動車技術会学術講演会前刷集、No68-13、2013.5、pp25-30
- (4) 石松豊、杉谷康弘、西山章彦、藤野健一：実稼働状態の建設機械排出ガス計測結果における一考察、建設施工と建設機械シムポジウム論文集、2013.11、pp195-198

Study on impact assessment of greenhouse gas and exhaust gas emitted from earth moving machinery

Budget : Grants for operating expense

(General account)

Research Period : FY2015-2018

Research Team : Advanced Technology Research Team

Author : FUJINO Kenichi

NOMURA Masashi

UENO Hitoshi

HASHIMOTO Takeshi

NISHIYAMA Akihiko

Abstract : A measurement method of exhaust gas emitted from earth moving machinery on the field works was developed in this study. And carbon dioxide CO₂, carbon monoxide CO, methane CH₄, nitrous oxide N₂O, and nitrogen oxides NO_x etc. emitted from an earth moving machine, which is mounted with an engine conforming to the year 2011 regulation in JAPAN, were measured at field works classified into excavation work, loading work, grading work, running, and stand-by.

Key words : Exhaust gas, Greenhouse gas, in-vehicle model exhaust measurement device