

# 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：運営費交付金

研究期間：平27～平30

担当チーム：先端技術チーム

研究担当者：新田恭士, 野村正之, 吉永弘志

## 【要旨】

窒素酸化物 NO<sub>x</sub> の後処理装置 SCR を搭載した油圧ショベル4台および SCR 非搭載の油圧ショベル3台の排出ガスをフーリエ変換赤外分光光度計 FTIR で測定し、以下を明らかにした。(1) メタン CH<sub>4</sub> の温室効果ガスとしてのシェアは、全7台で0.1%未満であり、亜酸化窒素 N<sub>2</sub>O の温室効果ガスとしてシェアは、SCR 搭載車で2.7%、SCR 非搭載車で0.45%であった。これらの測定値はオンロード車の文献値と同程度であった。(2) 排出ガス規制の対象となっている NO<sub>x</sub>, CO, および非メタン炭化水素 NMHC の測定値が、エンジン単体の台上試験で定められた規制値と整合していることを確認し、2006年、2011年、および2014年の排出ガス規制に対応した建設機械を使用する条件でのユニット（工種）別の排出原単位を算定した。(3) 建設機械もオンロード車と同様に排出ガスの測定によるカーボンバランス法で燃料消費量を測定できる。

キーワード：建設機械, 温室効果ガス, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>, フーリエ変換赤外分光光度計 FTIR, SCR

## 1. はじめに

オンロードおよびオフロードの自動車から排出される排出ガスにかかる情勢は、国内外でめまぐるしく変化している。オンロードの自動車については、欧米では車載式測定器を使用した測定による規制、または規制当局による試験が行われるようになり [R. 08, R. 09]、日本 [R. 02]、中国、およびインドでも同様な施策が講じられることとなった。さらに欧州では建設機械等のオフロードエンジンの製造業者に車載式測定器による測定値の報告を義務付けることになり [R. 10]、中国でも同様な施策を講じる見込みとなった。一方、米国では温室効果ガスの亜酸化窒素（一酸化二窒素）N<sub>2</sub>O、（地球温暖化係数は CO<sub>2</sub> の 298 倍 [R.06]）およびメタン CH<sub>4</sub>（同 25 倍 [R.06]）の規制値（standard）が定められている [R. 07]（建設機械には適用されていない。）

が、窒素酸化物 NO<sub>x</sub> の規制強化に対応して尿素選択的還元触媒 SCR (selective catalytic reduction) を搭載したオンロード車からは N<sub>2</sub>O が排出される旨の研究報告がみうけられるようになった。建設機械においても排出ガス規制に対応して図-1 のように SCR を搭載する機種が増えており米国では建設機械についても測定値の報告が義務づけられるようになったが、N<sub>2</sub>O の測定値に関する文献は国内外でみあたらなかった。

国土交通省においては、オンロード車のみならず建設機械にかかる騒音、振動、排出ガス、および温室効果ガスにかかる環境対策を各種の法規制と調整しつつ講じている（例：図-2）。土木研究所は本省と連携して建設機械の環境対策に関連した研究を実施してきたが、近年は特に排出ガスにかかる知見の重要性が高まっている。

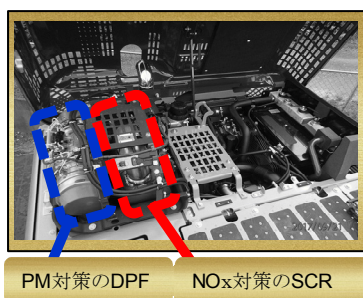


図-1 2014年規制に対応してPM対策のDPFとNO<sub>x</sub>対策のSCRを搭載した油圧ショベルの例。DPF: Diesel particulate filter, SCR: selective catalytic reduction (尿素選択的還元触媒)。NO<sub>x</sub>をN<sub>2</sub>とH<sub>2</sub>Oに還元する。

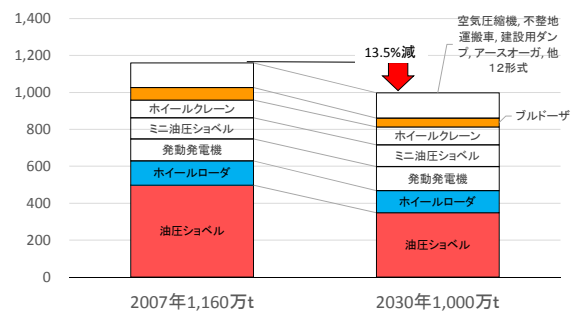


図-2 国内の建設機械から排出されるCO<sub>2</sub>の削減目標。燃費基準が定められている油圧ショベル、ホイールローダ、およびブルドーザが2017年度以降に販売される全ての型式で燃費基準を達成していると仮定した文献 [R. 01] のグラフ表現を修正。

表-1 測定概要.

測定時期	2015 年度 ( 10 月, 1 月 ), 2016 年度 ( 12 月 ), 2017 年度 ( 10 月 ), 2018 年度 ( 8 月 )			
測定場所	土木研究所構内 ( 2015, 2016 年度 ) つくば市内のレンタル会社 ( 2016, 2017 年度 )			
測定対象 ( 建設機 械 )	油圧ショベル			
	規 制 年	メーカと クラス	排出ガス後 処理装置	測 定 年 度
	2011	A 社 20t	DOC, DPF	2015, 2016
	2011	B 社 20t	DOC, DPF	2018
	2011	B 社 13t	DOC, DPF	2018
	2014	A 社 20t	DOC, DPF, SCR	2017
	2014	B 社 20t	DOC, SCR	2018
	2014	A 社 13t	DOC, SCR	2017
2014	B 社 13t	DOC, SCR	2018	
測定項目と 測定装置	測定項目	測定装置		
	エンジン回転 数,トルク	CAN データロガー ( 2015, 2016, 2017 年度 ) 振動センサー式回転計 ( 2018 年度, 回転数のみ )		
	排気流量	ピトー管式流量計 ( 2015, 2016, 2017 年度 )		
	排出ガス濃度	FTIR		
測定対象(ガ ス)	CO <sub>2</sub> , CO, CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O, NO, NO <sub>2</sub> , NMHC ( 非 メタン炭化水素 ), NH <sub>3</sub> 他			
サンプリ ング周波数	5 Hz ( 0.2 秒間隔 )			

本課題は、建設機械から排出される温室効果ガスの概況を明らかにするため、2015 年 ( 平成 27 年 ) から 2018 年度までの 4 ケ年において、測定方法の開発、測定、および測定値の評価を行ったものである。研究成果は測定データも含めた DVD 付きの土木研究所資料として公開している [R. 38]。本稿では概要を記載する。

## 2. 研究内容

### 2. 1 測定

測定方法の概要を表-1 に示す。2011 年規制、および 2014 年規制に対応して、後処理装置のディーゼル微粒子捕集フィルター ( DPF: Diesel Particulate Filter ), ディーゼル酸化触媒 ( DOC: Diesel Oxidation Catalyst ), および SCR を搭載した 20t, および 13t クラスの油圧ショベルを測定した。このように建設機械に測定器を車載して測定する方法は杉谷[R.31], および野村[R.32]らが国内では初めて確立した手法である。エンジン回転数とトルクは、2015, 2016, および 2017 年度において CAN データロガー ( CAN: controller area network, 輸送用機械やロボット等の機器間のデータ転送に使われる規格 ) を使用して測定した。2018 年度は、振動センサーでエンジン回転数のみ測定した。排気流量は、2015, 2016, および 2017 年度においてピトー管の流量計で測定したが、2018 年度は測定しなかった。排出ガスの濃度は FTIR で測定した。周波数別の音の大きさをフーリエ変換で分析するように、赤外光の波長別の吸収率を測定して排出ガスの種類別の濃度を分析する。測定対象としたガスは CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> の他に CO, NO, NO<sub>2</sub>, NMHC ( 非メタン炭化水素 ) も含めた。年度ごとの測定状況を図-3, 図-4, および図-5 に示す。また測定値の例を図-6 に示す。2015 年度は図-3

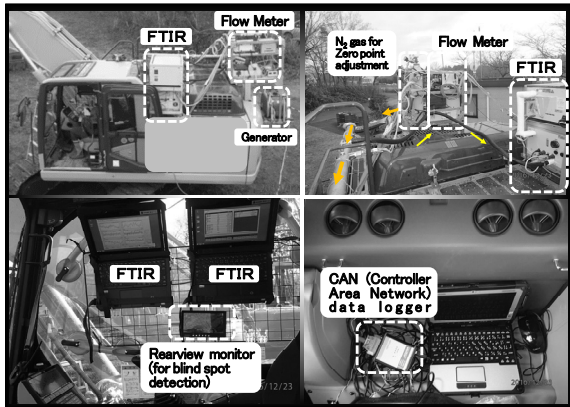


図-3 2016年度の測定.

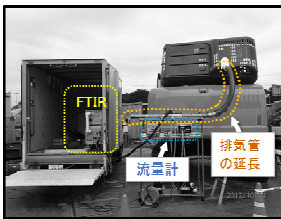


図-4 2017年度の測定.

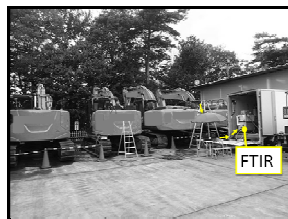


図-5 2018年度の測定.

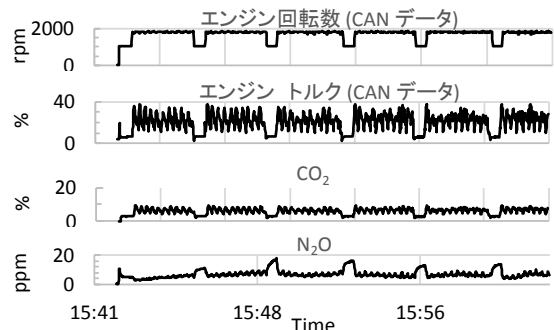
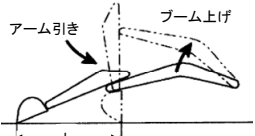


図-6 測定値の例。5 Hz でサンプリングしたデータを 1 Hz に平均処理している。N<sub>2</sub>O の濃度がアイドリング時に多いのは、直前の動作の影響と考えられる。長時間のアイドリングでは少なくなる。

表-2 測定時の動作.

動作	内容
待機	アイドリング / 20分 (異なる時間の測定有). コールドスタートで3回測定.
ならし (模擬)	 <p>アーム, およびバケットが一直線になる状態を開始姿勢とし, Lの範囲で水平引き. 2017年度は 100 サイクル L=4.5 m (20tクラス) ×3人, 2018年度は (JCMAS H 020:2014[R. 16] 50 サイクル×3人. 引用)</p>

と同様に測定器を建設機械に搭載して測定した. 2018年度は Flow Meter (流量計) は使用しなかった. 測定対象の動作は, 2015年度, および2016年度の測定では「待機」, 「走行」, 「ならし(模擬)」, 「掘削(実作業)」, 「掘削積込(模擬)」とし, 信頼性向上と簡素化の検討を行った. 測定対象とする動作を「待機」, および「ならし」の二種類とし, 測定値を CO<sub>2</sub> 比の排出量で評価することで, (1) 「動力が小さく仕事量当たりの排出量が多い動作」と「動力が大きく仕事量当たりの排出

量が小さい動作」の測定値が得られること, (2) 排気流量の測定誤差の影響を抑制できること, (3) 測定場所の制約がなくなり, 測定に要する治具の加工および配管の加工が不要になることで測定が簡素化できることを明らかにした [R. 33]. 2017年度, および2018年度の測定対象の動作は「待機」と「ならし(模擬)」の二種類とした(表-2). 短期間かつ低コストでより多くの数の建設機械が測定できるようになったことで測定値の信頼性も向上した.

## 2.2 測定結果

N<sub>2</sub>O および CH<sub>4</sub> の排出量 (CO<sub>2</sub> 比, g/kg-CO<sub>2</sub>) を「ならし(模擬)」と「待機」で比較したら尿素 SCR を搭載した機種 of N<sub>2</sub>O のみが「ならし(模擬)」の排出量が多かった. 文献 [R. 30], および学識経験者へのヒヤリングにより, SCR 搭載車では SCR 触媒から脱離したアンモニアが, 後段の酸化触媒で酸化されて N<sub>2</sub>O が生成することが原因と推定した. 測定対象とした油圧ショベルは, 全てアイドリングストップ機能が装備されていたこと, および「ならし(模擬)」における

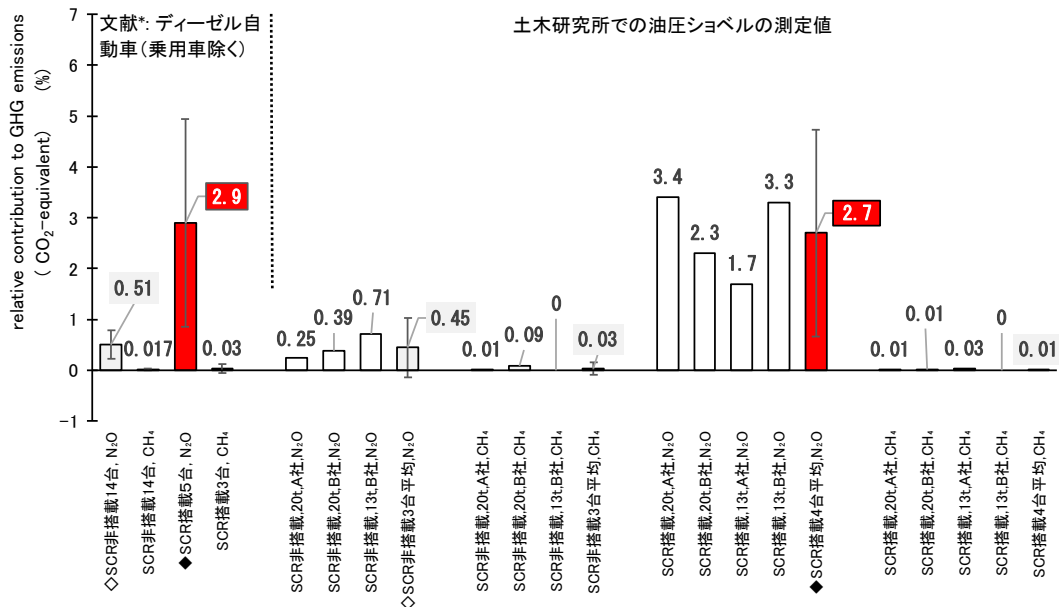


図-7 ディーゼル自動車 (オンロード) および建設機械から排出される CO<sub>2</sub> 以外の温室効果ガスのシェア. 縦軸は国内の文献での「シェア」, 「寄与率」, 「GHG 中に占める排出割合」に相当する. 本報告では文献 [R. 38] 付録の (Eq.12), および (Eq.13) で計算した. \*: 環境省 (カナダ) [R. 24], ウェストバージニア大 (米国) [R. 25], California Air Resources Board (米国) [R. 26], EU Joint Research Centre (イタリア) [R. 27] [R. 28], 交通安全環境研究所 (日本) [R. 29] の文献値. 測定方式が記載されていない文献を除外し, 文献より推定した熱効率で CO<sub>2</sub> 比に換算した文献を含む. エラーバーの範囲は, 測定値の平均値の分布を t 分布と仮定して推定した母平均の 95% 信頼区間.

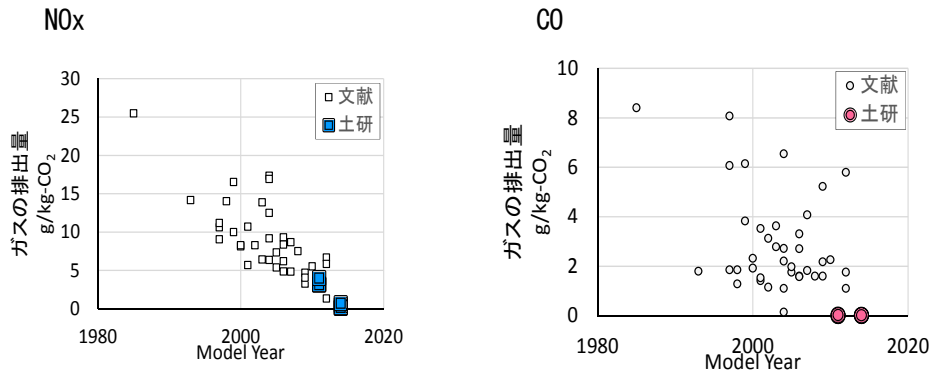


図-8 油圧ショベルの年式と排出ガス量の関係. 文献値の NOx は 4 文献 [R. 19] [R. 21] [R. 22] [R. 23] 36 台, CO<sub>2</sub> は 5 文献 ( 文献 [R. 20] 追加. ) 39 台. 土研 ( 土木研究所 ) の測定は 7 台.

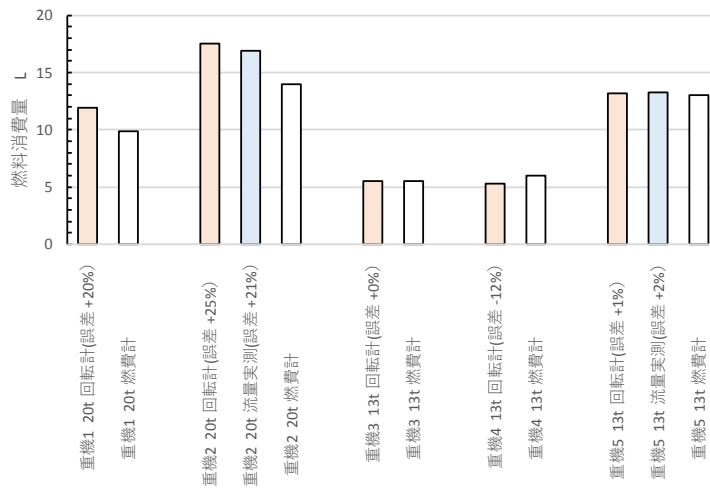


図-9 建設機械のユーザー向けの燃費計とカーボンバランス法 ( 試算 ) の燃料消費量の比較. 縦軸の単位は燃費計の L ( リットル ) とした.

N<sub>2</sub>O の排出量が相対的に多いことから、「ならし ( 模擬 )」における N<sub>2</sub>O、および CH<sub>4</sub> の温室効果ガスとしてのシェア ( relative contribution to GHG emissions ( CO<sub>2</sub>-equivalent ) ) の平均値を算定し、文献値と比較した結果を図-7 に示す. N<sub>2</sub>O、および CH<sub>4</sub> の地球温暖化係数 ( GWP: global warming potential ) は、米国の連邦規則集 [R. 06] に記載され、国立環境研究所 [R. 05] でも使用している 298、および 25 とした. CH<sub>4</sub> のシェアは、全 7 台で 0.1% 未満であった. N<sub>2</sub>O のシェアは、SCR 非搭載車 3 台の平均で 0.45% であったが、SCR 搭載車 4 台の平均で 2.7% となった. この値は、公道を走行する SCR 搭載のディーゼル車 5 台の文献値の平均 2.9% と同程度であった.

また、法により規制されている NOx、および CO の測定値を図-8 に示す ( 記載を省略したが NMHC も経年で大きく減少 ). 土木研究所における測定値は「待

機 ( アイドリング )」と「ならし ( 模擬動作 )」の測定値を文献 [R. 36] に基づくアイドリング時間率で重みづけして実工事での値に換算したものである. NOx、CO、および NMHC の測定値はエンジンの単体試験の台上試験での規制値と整合していることを確認した. 詳細は [R. 38].

さらに CO<sub>2</sub> 濃度と排出ガスの流量に基づいて燃料消費量を測定するカーボンバランス法を試行し、燃料噴射量のデータに基づくユーザー向けの燃費計での測定値と測定値を比較した ( 図-9 ). 2017 年度は排気流量を実測したのでこの流量によるものとエンジン回転数から推定した排気流量の双方での推定値とし、2018 年度はエンジン回転数からの推定値のみとした. どの測定値が真値に近いかは定かではないが、ユーザー向けの燃費計での測定値を真値とみなした. 重機 5 では、三つの燃費がほぼ一致したが、重機 1、および重機 2 で



は 20%程度の誤差が生じた。

### 2. 3 測定結果に基づく机上検討

温室効果ガスの測定値に基づいて、建設機械から排出される亜酸化窒素の温室効果ガスとしてのシェアの予測を行った(図-10)。予測にあたっては排出ガス規制に対応して尿素 SCR を搭載するエンジンの混入率、建設機械の平均的な使用年数を建設機械動向調査 ( 経済産業省・国土交通省 )、および文献[R. 03] [R. 14]に基づいて推定した。建設機械の排出ガスのうち、SCR 搭載車のシェアは、大半の建設機械が、2014 年の排ガス規制対応車に更新されると見込まれる 2026 時点で 81%と推定し、この時点において温室効果ガスとしての亜酸化窒素のシェアは  $2.7\% \times 81\% = 2.3\%$  であり、 $CO_2$  の質量に換算すると建設機械から排出される  $CO_2$  の国内総量  $1000 \text{ 万 t} \times 2.3\% = 23 \text{ 万 t}$  に相当すると推定した。

また、規制対象ガスの測定値に基づいて、環境影響評価において使用する原単位を設定した。ユニット ( 工種 ) は軟岩掘削・硬岩掘削、土砂掘削、盛土工、法面整形、路床安定処理、サンドドレーン、サンドコンパクションパイル、粉体噴射攪拌、鋼矢板 (アースオーガ併用圧入)、旧橋撤去、トンネル機械掘削、トン

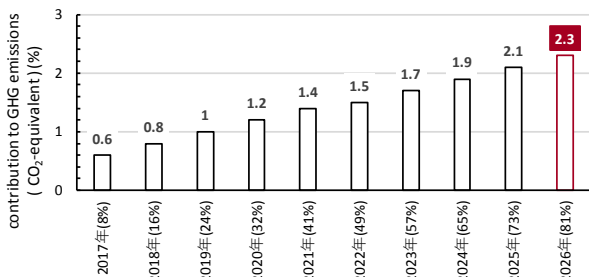


図-10 建設機械から排出される亜酸化窒素の  $CO_2$  比の温室効果。縦軸は文献[R. 38]の(Eq.12)に相当する値。横軸のラベルの括弧内は SCR を搭載した建設機械からの排出ガスのシェア。亜酸化窒素の  $CO_2$  比の温室効果を SCR 搭載車、および SCR 非搭載車で、2.7%、および 0.45%とし、オフロード法の規制対象となっている全ての建設機械が 2014 年規制車に更新された時点での SCR 搭載車の排出ガス量の割合を 81%と推定した場合の推定。

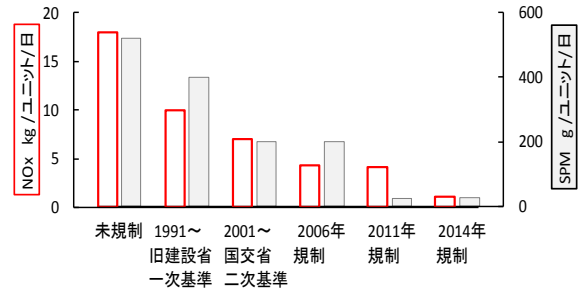


図-11 種別の排出量の例(軟岩掘削・硬岩掘削)。

ネル発破掘削、リバーササーキュレーション工、および地中連壁とした。算出にあたっては文献[R. 14] [R. 15] [R. 17] [R. 18]に基づいて使用機械を設定した。軟岩掘削・硬岩掘削の例を図-11に示す。

さらにカーボンバランス法による燃料消費量の測定の妥当性については以下で確認した。

- ・ 34 台の建設機械の燃費  $x$  (liter/h) と  $CO_2$  (g/h)  $y$  に  $y=2638x$  ( $R^2=0.9952$ ) の関係があるとした文献[R. 36] [R. 37]と環境省が公表[R. 04]している軽油の排出係数  $2624 \times 103 \text{ g-}CO_2 / m^3\text{-軽油}$  (単位は変換) が有効数字 2 桁で一致したこと[R.34]。

- ・ オンロード自動車の燃費測定がカーボンバランス法で行われている旨の有識者からのヒヤリング結果[R. 38]。

### 3. まとめ

本研究内容を以下にまとめる。

#### 3. 1 実施したこと

2015 年度から 2018 年度までの 4 年間に油圧ショベル 7 台の排出ガスをフーリエ変換赤外分光光度計 FTIR で測定した。油圧ショベル 7 台のうち 3 台は 2011 年規制に対応した機種 ( 尿素選択式還元触媒 SCR ( Selective Catalytic Reduction ) 非搭載 ) とし、4 台は 2014 年規制に対応した機種 ( SCR 搭載 ) とした。2015 年度、および 2016 年度は測定器を建設機械に搭載した条件で SCR 非搭載の油圧ショベル 1 台で「待機 ( アイドリング )」、「走行」、「ならし ( 模擬動作 )」、「掘削・積込み ( 模擬動作 )」、および「掘削 ( 実作業 )」の動作の測定を行った。2017 年度は SCR を搭載した油圧ショベル 2 台で「待機」、および「ならし ( 模擬動作 )」の測定を行い、2018 年度は SCR 非搭載の油圧ショベル 2 台、および SCR 搭載の油圧ショベル 2 台で「待機」、および「ならし ( 模擬動作 )」の測定を行った。

測定値の解析においては、2015 年度、および 2016 年度の測定値に基づいて、信頼性向上と簡素化の検討を

行った。測定対象とする動作を「待機」、および「ならし」の二種類とし、測定値をCO<sub>2</sub>比の排出量で評価することで、(1)「動力が小さく仕事量当たりの排出量が多い動作」と「動力が大きく仕事量当たりの排出量が少ない動作」の測定値が得られること、(2)排気流量の測定誤差の影響を抑制できること、(3)測定場所の制約がなくなり、測定に要する治具の加工および配管の加工が不要になることで測定が簡素化できることを明らかにした。他の6台は簡素化した測定方法で測定した。2018年度は測定値をとりまとめた。温室効果ガスについてはオンロード車の文献値と比較し、建設機械全般から排出される温室効果ガスに対する亜酸化窒素のシェアの将来予測を行った。規制対象のガスについては文献値および規制値と比較し、環境影響評価の予測に資することを目的として、2006年規制（排出ガス対策型建設機械の三次基準）、2011年規制、および2014年規制に対応して工事を実施した場合のユニット別（各種の工種別）の排出原単位を設定した。さらにCO<sub>2</sub>の測定値から燃料消費量を計算した。

### 3.2 新たな知見

以下のことがわかった。

- ・SCR搭載車では、窒素酸化物NO<sub>x</sub>、一酸化炭素CO、非メタン炭化水素NMHC、メタンCH<sub>4</sub>、および亜酸化窒素N<sub>2</sub>Oのうち、N<sub>2</sub>Oのみ動力の小さい「待機」よりも動力の大きい「ならし」の排出量（g/kg-CO<sub>2</sub>）が多かった。
- ・温室効果ガスとしてのメタンCH<sub>4</sub>のシェアは、全7台で0.1%未満であり、亜酸化窒素N<sub>2</sub>Oのシェアは、SCR非搭載車3台の平均で0.45%であったが、SCR搭載車4台の平均で2.7%となった。SCR搭載車の2.7%は、公道を走行するSCR搭載のディーゼル車5台の文献値の平均2.9%と同程度であった。
- ・建設機械の排出ガスのうち、SCR搭載車のシェアは、大半の建設機械が、2014年の排ガス規制対応車に更新されると見込まれる2026時点で81%と推定し、この時点において温室効果ガスとしての亜酸化窒素のシェアは2.7%×81%=2.3%であり、CO<sub>2</sub>の質量に換算すると建設機械から排出されるCO<sub>2</sub>の国内総量1000万t×2.3%=23万tに相当すると推定した。
- ・排出ガス規制の対象となっているNO<sub>x</sub>、CO、およびNMHCの建設機械に搭載されたエンジンでの排出量は、エンジン単体の台上試験による規制値と整合することが確認できた。
- ・建設機械もオンロード車と同様にカーボンバランス法で燃料消費量を測定できる。

### 3.3 知見の活用

本研究で得られた知見に基づいて「温室効果ガス測定方法-油圧ショベル（研究のためのデータ収集用）」（[R.38]付録A.5）をとりまとめた。他機関での温室効果ガスの測定、他各種の排出ガス測定の参考に資することを期待している。温室効果ガスとしての亜酸化窒素、およびメタンのシェアについての知見は、講演会、および雑誌論文[R.35]で発表した他、学識経験者、および国土交通省・経済産業省・環境省の関係者を訪問して説明した。今後、政策判断の参考に資することを期待している。2006年規制、2011年規制、および2014年規制に対応して工事を実施した場合のユニット別（各種の工種別）の排出原単位は環境影響評価の技術手法（マニュアル）[R.11][R.12]の改定に資することを期待している。また、建設機械の排出ガスが経年で着実に減少していることを多くの方が知る一助となれば意義が大きいと考えている。

### 3.4 展望

国際的な潮流を鑑みると日本においても、今後、エンジンを建設機械に搭載した条件での排出ガスの測定、および規制、ならびに温室効果ガスの亜酸化窒素の測定、および規制が必要か否かを議論される時期は必ずおとずれることになるであろう。本資料が参考にされることを期待する。

以下、目的外の成果についての展望を述べる。環境影響評価の予測に使用する原単位については暫定的にアイドリングストップを考慮しない安全側（大きめ）の数値で設定した。また、最新の排出ガス対策に未対応の機械も含んでいる。今後、アイドリングストップの実情とともに新たに規制対応した機械を調べて下方修正する予定である。現在、建設機械の燃料の測定方法は、計画値としての燃料噴射量、または実績値としての燃料の流量を測定する方法[R.13]の二種類であるが、オンロード車で実績値を測定する方法はカーボンバランス法である。本研究成果がカーボンバランス法での建設機械の燃費測定方法の技術開発や規格化の検討に進展することを期待する。さらに「ならし（模擬動作）」の動力が予想外に大きかったこと乱暴な動作では燃料消費量が多かったことも確認した。速度の速い動作を対象とした燃費対策が着目されることも期待する。

### 参考文献

- [R.01] 国土交通省：平成26年度建設施工の地球温暖化対策検討分科会，分科会資料。国土交通省

- ( web site 参照日 2018.10.15 ).
- [R.02] 国土交通省:排出ガス不正事案を受けたディーゼル乗用車等検査方法見直し検討会 最終とりまとめ, 平成 29 年 4 月 20 日.
- [R.03] 環境省: 型式届出特定特殊自動車一覧, ( web site 参照日 2018.6.4 ).
- [R.04] 環境省: 事業者からの温室効果ガス排出量算定方法ガイドライン(試案 ver1.6), ( web site 参照日 2017.8.25 ).
- [R.05] 国立環境研究所: 日本国温室効果ガスインベントリ報告書(NIR), ( web site 参照日 2017.11.15 )
- [R.06] U.S. GOVERNMENT PUBLISHING OFFICE: ELECTRONIC CODE OF FEDERAL REGULATIONS, Title 40, PART 86— CONTROL OF EMISSIONS FROM NEW AND IN-USE HIGHWAY VEHICLES AND ENGINES, § 86.1818-12 Greenhouse gas emission standards for light-duty vehicles, light-duty trucks, and medium-duty passenger vehicles. ( 参照日 2016.08.17 )
- [R.07] U.S. GOVERNMENT PUBLISHING OFFICE: ELECTRONIC CODE OF FEDERAL REGULATIONS, Title 40, PART 1036— CONTROL OF EMISSIONS FROM NEW AND IN-USE HEAVY-DUTY HIGHWAY ENGINES, § 1036.108 Greenhouse gas emission standards. ( 参照日 2016.08.17 )
- [R.08] European Commission: Press release, Commission welcomes Member States' agreement on robust testing of air pollution emissions by cars Brussels, 28 October 2015.
- [R.09] 深野泉: これが欧州の RDE 試験だ, Nikkei Automotive, 2016.11.
- [R.10] The European Union (EU), REGULATION (EU) 2016/1628 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 14 September 2016, Official Journal of the European Union, 2016.
- [R.11] 角湯克典, 吉永弘志: 道路環境影響評価の技術手法(平成 24 年度版)2.5 建設機械の稼働に係る二酸化窒素及び浮遊粒子状物質(参考項目以外の項目), 2013.( <http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryounn/tnn/0714.htm> )
- [R.12] 国土交通省国土技術政策総合研究所道路交通研究部道路環境研究室: 正誤表, 2015.( <http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryounn/tnn/0714.htm> )
- [R.13] 一般財団法人 日本規格協会: JIS D1012, 2005 自動車-燃料消費率試験方法.
- [R.14] 一般社団法人 日本建設機械施工協会: 平成 30 年度 建設機械等損料表.
- [R.15] 一般社団法人 日本建設機械施工協会: 日本建設機械要覧 2016.
- [R.16] 一般社団法人 日本建設機械施工協会標準部会, JCMAS H020:2014.
- [R.17] 一般財団法人 建設物価調査会 ( 発行 ), 国土交通省大臣官房技術調査課 ( 監修 ): 平成 30 年度版 国土交通省土木工事積算基準.
- [R.18] 一般財団法人 建設物価調査会: 改訂 6 版 写真でみる土木工事の施工手順 土木施工の実際と解説.
- [R.19] U.S. Environmental Protection Agency, Populations, Activity and Emissions of Diesel Nonroad Equipment in EPA Region 7, 2010 ( revised by EPA stuff in 2011 ).
- [R.20] Abolhasani Saeed, Frey H. Christopher, Kim Kangwook, Rasdorf William, Lewis Phil, Pang Shih-Hao: Real-world in-use activity, fuel use, and emissions for nonroad construction vehicles: A case study for excavators, JOURNAL OF THE AIR & WASTE MANAGEMENT ASSOCIATION, vol.58, no.8, pp.1033-1046, 2008.
- [R.21] Frey H. Christopher, Rasdorf William, Lewis Phil: Comprehensive Field Study of Fuel Use and Emissions of Nonroad Diesel Construction Equipment, TRANSPORTATION RESEARCH RECORD, no.2158, pp.69-76, 2010
- [R.22] Heidari Bardia, Marr Linsey C.: Real-time emissions from construction equipment compared with model predictions, JOURNAL OF THE AIR & WASTE MANAGEMENT ASSOCIATION, vol.65, no.2, pp.115-125, 2015.
- [R.23] Tanfeng Cao, Thomas D. Durbin, Robert L. Russell, David R. Cocker, George Scora, Hector Maldonado, Kent C. Johnson: Evaluations of in-use emission factors from off-road construction equipment, ATMOSPHERIC ENVIRONMENT 147, pp.234-245, 2016.
- [R.24] GRAHAM Lisa A., RIDEOUT Greg, ROSENBLATT Deborah, HENDREN Jill : Greenhouse gas emissions from heavy-duty vehicles, Atmos Environ, Vol.42, No.19, pp.4665-4681, 2008.
- [R.25] Arvind Thiruvengadam, Marc Besch, Daniel Carder, Adewale Oshinuga, Randall Pasek, Henry Hogo, Mridul Gautam: Unregulated greenhouse gas and ammonia emissions from current technology heavy-duty vehicles, JOURNAL OF THE AIR & WASTE MANAGEMENT ASSOCIATION, vol.66, No.11, pp.1045-1060, 2016.
- [R.26] Quiros David C., Smith Jeremy, Huai Tao, Hu Shaohua , Thiruvengadam Arvind : Greenhouse gas emissions from heavy-duty natural gas, hybrid, and conventional diesel on-road trucks during freight transport, Atmospheric Environment, Vol.168, pp.36-45, 2017.
- [R.27] SUAREZ-BERTOIA Ricardo, MENDOZA-VILLAFUERTE Pablo, BONNEL Pierre, PERUJO Adolfo, ASTORGA Covadonga, LILOVA Velizara, HILL Leslie: On-road measurement of NH<sub>3</sub> and N<sub>2</sub>O emissions from a Euro V heavy-duty vehicle, Atmospheric Environment, Vol.139, pp.167-175, 2016.
- [R.28] Mendoza-Villafuerte Pablo, Suarez-Bertoia Ricardo, Giechaskiel Barouch, Riccobono

- Francesco, Bulgheroni Claudia, Astorga Covadonga, Perujo Adolfo: NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O and PN real driving emissions from a Euro VI heavy-duty vehicle. Impact of regulatory on-road test conditions on emissions, Science of the Total Environment, Vol.609, pp.546-555, 2017.
- [R.29] 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<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>, および N<sub>2</sub>O の排出挙動, 公益社団法人 自動車技術会 学術講演会前刷集 No.68-13, 2013.
- [R.30] 鈴木央一, 石井素, 山本敏朗: 自動車から排出される亜酸化窒素の排出傾向について-最近の技術革新による排出特性の変化-, 交通安全環境研究所フォーラム講演概要, Vol.2011, pp.13-16, 2011.
- [R.31] 杉谷康弘, 藤野健一, 石松 豊: 車載型計測装置による建設機械の排出ガス計測方法の検討, 土木技術資料 53-7, 2011.
- [R.32] 野村正之: 建設機械における稼働時の温室効果ガスの検討, 建設機械 2016.5, pp.63-69, 2016.
- [R.33] 吉永弘志: 建設機械の排出ガス測定にかかる信頼性向上と簡素化, 土木学会論文集 G(環境), Vol.73, No.6, pp. II\_321-II\_332, 2017.
- [R.34] 吉永弘志, 排出ガスの測定値から読み解く燃費・熱効率と燃費改善策, 平成 29 年度建設施工と建設機械シンポジウム論文集・梗概集, pp.131-136, 2017.
- [R.35] 吉永弘志, 新田恭士: 建設機械から排出される温室効果ガスの亜酸化窒素とメタンの概況把握を目的とした排出ガスの測定, 建設機械施工, Vol.71, No.4, pp.82-90, 2019.
- [R.36] Lewis, P; Leming, M; Rasdorf, W: Impact of Engine Idling on Fuel Use and CO<sub>2</sub> Emissions of Nonroad Diesel Construction Equipment, JOURNAL OF MANAGEMENT IN ENGINEERING, vol.28, no.1, pp.31-38, 2012.
- [R.37] H. Christopher Frey, William Rasdorf, and Phil Lewis: Comprehensive field study of fuel use and emissions of nonroad diesel construction equipment, Transport Research Record 2158, pp.69-76, Transportation Research Board, 2010.
- [R.38] 新田恭士, 吉永弘志: 建設機械から排出される温室効果ガスの亜酸化窒素およびメタンの研究, 土木研究所資料第 4385 号, 2019.



# RESEARCH ON THE GREENHOUSE GASES NITROUS OXIDE AND METHANE EMITTED BY EARTH-MOVING MACHINES

Research Period : FY2015-2018

Research Team : Construction Technology

Research Department

(Advanced Technology)

Author : NITTA Yasushi

NOMURA Masayuki

YOSHINAGA Hiroshi

Abstract: To clarify the approximate amount of the greenhouse gases ( GHGs ) nitrous oxide (  $N_2O$  ) and methane (  $CH_4$  ) emitted by earth-moving machines, a series of measurements were carried out using a portable emissions measurement system ( PEMS ) that included a Fourier transform infrared ( FTIR ) analyzer. A total of seven hydraulic excavators were provided for testing: three machines that conform to the 2011 Japanese standards without selective catalytic reduction ( SCR ) and four machines equipped with SCR that conform to the 2014 standards. The results provided the following information which has hitherto not been published in Japan or elsewhere. The relative contribution to GHG emissions (  $CO_2$  -equivalent ) of  $N_2O$  during grading ( simulated work ) by the three non-SCR-equipped vehicles, and by the four SCR-equipped vehicles account for averages of 0.45% and 2.7% respectively. The average of 2.7% for SCR-equipped vehicles is roughly equal to the average of 2.9% obtained in five measurements described in the literature reporting on SCR-equipped vehicles traveling on public roads.  $NO_x$ , CO, and non-methane hydrocarbon had been measured to find out the reduction conform to the emission control by regulation. It had also been found that the carbon balance method which are applied to on road vehicles to measure fuel consumption will be available to earth-moving machines.

Key words : greenhouse gas,  $N_2O$ ,  $CH_4$ , earth-moving machinery, SCR, portable emissions measurement system, FTIR