

建設機械排出ガス性能の評価に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 18～平 21

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

【要旨】

建設機械の排出ガス規制の強化が平成 23 年（2011 年）から実施され、排出ガス規制値は従来の 10 分の 1 程度となり、後処理装置などの新しい排出ガス低減技術の導入が不可欠となる。これらの技術は使用過程においても当初の性能を維持していることが重要であるが、その確認方法については確立されていない。本研究では、現在市場に存在する車載型排出ガス測定装置を使用して、建設機械の作業環境においても、エンジンを車体に搭載したまま排出ガスを計測する方法についてその実施が可能であることを確認した。

キーワード：建設機械、排出ガス、車載型排出ガス計測装置

1. はじめに

建設機械をはじめとする公道を走行しない特殊自動車の排出ガス規制（特定特殊自動車排出ガスの規制等に関する法律（以下「オフロード法」という。））が平成 18 年から開始されているが、この規制の強化が平成 23 年（2011 年）から予定されている。この規制は極めて厳しく、排出ガス値がこれまでの 10 分の 1 程度と非常に低い値であるとともに、この規制に対応するために新しい排出ガス低減技術が採用されることになる。実際の大气環境が改善される上で非常に重要なことは、規制の強化により高性能となった排出ガス性能が、工場出荷時だけの初期的な性能ではなく、実際の現場でも長期間に渡りその性能が維持されることである。しかしながら、新しい排出ガス低減技術については耐久性に対する知見が十分ではない。また、これまでの使用過程車の排出ガス性能を確認する方法（黒煙をろ紙に吸着させ、反射式スモークメータにより黒煙濃度を計測する方法）では、非常に低い値となった排出ガス性能を検査する方法としては不十分である。そのため、本研究では、規制強化により期待される大气環境の保全が確実に実施されることを目的に、オフロード法の規制の体系を念頭におきつつ、使用過程車が期待通りの排出ガス性能を維持していることを確認する方法について提案する。

2. 研究の背景

2. 1 次期排出ガス規制の内容

平成 20 年 1 月に中央環境審議会から答申された

「今後の自動車排出ガス低減対策のあり方について（第 9 次答申）」の概要を表 1 に示す。このうち、2011 年規制分については、平成 22 年 3 月にオフロード法関連省令等の改正が実施されているが、2014 年分についても、今後施行されるものと考えられる。

次期規制の特徴は、これまでの 10 分の 1 程度という、非常に低い値の排出ガス規制値に強化されることである。その他にも、これまででは定常状態（回転数と負荷が一定。）の組み合わせであった排出ガス測定の試験方法（C1 モード）が、実際の作業時の運転状態に近い過渡状態（回転数と負荷が変化。）で測定する試験方法（NRTC モード）に変更されたことや、暖気状態だけでなく、冷気状態（エンジン始動直後の状態。）での排出ガス値も考慮することになったことも大きな変化である。

表 1 中環審答申概要

項目	現行オフロード法	9 次答申	
	2006 年(H18)	2011 年(H23)	2014 年(H26)
排出ガス試験法	C1 モード [*] (8 モード) 暖機状態×1.0	NRTC モード [*] 冷機状態×0.1+暖機状態×0.9	
排出ガス値 130kW_560kW 抜粋 単位 [g/kWh] (黒煙除く。)	NOx 3.6 HC 0.40 CO 3.5 PM 0.17 黒煙 25%	NOx 2.0 NMHC 0.19 CO 3.5 PM 0.02 黒煙 25%	NOx 0.4 NMHC 0.19 CO 3.5 PM 0.02 黒煙 25%
耐久時間 37kW_560kW 抜粋	8,000 時間	8,000 時間	8,000 時間

2. 2 次期規制に対応する排出ガス低減技術の内容

次期排出ガス規制値に対応するために、主に次に

示すような排出ガス低減技術の採用が新たに見込まれている。現在の規制に対応するものは、基本的にはエンジン単体の排出ガス性能を向上させる技術のみで対応しているが、次期規制に対応するためには、エンジンから排出される排出ガスをさらに後処理する装置（後処理装置）の採用が必須となる見込みである。

<DPF (Diesel Particular Filter)>

DPF は、粒子状物質 (PM) を低減する技術である。いわゆるフィルターであり、排出ガス中に含まれる PM を細孔構造で捕集する装置である。そのままではフィルターが目詰まりするので、捕集した PM は連続的に酸化除去（再生）される。比較的低温でもフィルターの再生が進むように、フィルターの前に酸化触媒を配置したり (NO を酸化させた NO₂ を使い PM を酸化する。2NO₂+C→2NO+CO₂)、フィルター自体に触媒を担持させたりする構造である。酸化触媒は、HC や CO を低減させる効果もある。

<尿素 SCR(Selective Catalytic Reduction)>

尿素 SCR は、NO_x を低減する技術である。尿素水を排気ガス中に噴霧・加水分解し、生成されるアンモニアと NO_x を尿素選択還元触媒を通過させることで反応させ、NO_x を還元する (4NH₃+4NO+O₂→4N₂+6H₂O、4NH₃+2NO₂+O₂→3N₂+6H₂O) 方式である。尿素水は噴霧により消費されるため、定期的な補給が必要である。

<NO_x 吸蔵還元触媒>

NO_x 吸蔵還元触媒は、NO_x を低減する技術である。通常燃焼時は排出ガス中の NO_x を一旦触媒にトラップしておき、間欠的に還元剤として燃料を噴射し、NO_x を還元する方式である。

2. 3 想定される排出ガス性能悪化要因

排出ガス性能を悪化させる要因としては、物理的な要因と使用条件による要因があり、想定される要因を下記に示す。

<物理的な要因>

- ・衝撃や局部高温化による DPF の破損や亀裂。
- ・エンジンアウトの PM の増加による DPF の再生処理回数の増加。
- ・熱劣化、硫黄被毒、HC 被毒による触媒性能の劣化。
- ・これまでに無い補機（尿素水添加装置や各種センサー類等）の不具合。

<使用条件による要因>

- ・軽油以外の燃料の使用による触媒劣化、ノズルの摩耗。
- ・通常の点検（ユーザーが自身で出来る範囲の点検）では発見が困難な排出ガス低減の採用。
- ・アイドリングが触媒の劣化を早めるなど、これまでのユーザの感覚と異なる要因の存在。

2. 4 オフロード法の規制体系

オフロード法では、建設機械からの排出ガスを規制するため、次のような仕組みを採用している。

まず、エンジンメーカーからの申請により、申請エンジンが排出ガス性能をクリアしていることを確認する。排出ガス性能の確認方法は、建設機械に搭載した状態ではなく、エンジン単体で試験を行う。搭載予定の建設機械の種類に関係なく、エンジンを規定された運転パターン（回転数と負荷の組み合わせ）で運転し、その間に排出される排出ガス量が規制値を下回っていれば合格となる。ただし、エンジンの型式指定の条件として耐久性を求めており、平均負荷率 40%以上で 8,000 時間運転させて後においても排出ガス基準に適合していることが必要である。ただし、実際に 8,000 時間（1 日 24 時間運転した場合でも、333 日必要。）運転することに変えて、外挿法（8,000 時間に満たない時間の傾向から 8,000 時間後を予測する方法）及び加速試験（負荷率を高めて、劣化の速度を速める方法を用いる方法）を認めている。この試験に合格したものは国から型式指定を受ける。型式指定を受けたエンジンは、エンジンメーカーの品質管理のもと、実際に試験を実施したエンジンと同等の排出ガス性能を持ったものとして車体メーカーに販売される。

建設機械メーカーは、型式指定を受けたエンジンを車体に搭載することを条件に、車体に規制に適合していることを示す表示（以下「基準適合表示」と言う。一般的にシールとして車体に貼られる。）をすることができる。この時、エンジンメーカーの保証する排出ガス性能が変わってしまうことがないようにするため、建設機械メーカーが、搭載する建設機械の種類や作業条件に応じて最適なエンジン特性になるような、いわゆるエンジンのチューニングをすることは認められていない。例外を除いて、建設機械メーカーは基準適合表示を付した機械をユーザに販売する。

オフロード法では、建設機械からの排出ガスを低減する最終的な責任をユーザに負わせている。ユーザは、原則として基準適合表示の付いた建設機械を使用する必要がある。基準適合表示の付いていない

建設機械を使用した場合には、それを売った建設機械メーカーに罪は無く、使用したユーザが罰を受ける。また、ユーザは適切な点検整備により、使用過程において排出ガス性能を維持することが求められている。ユーザが独自にエンジンをチューニングしたり改造したりすることも禁止されている。しかしながら、ユーザがエンジンの排出ガス性能を確認する手段として、エンジンメーカーが型式指定を受けた時と同条件で試験し確認することは現実的に不可能である。そのため、ユーザの確認方法は、アクセルを急加速した時の黒煙を計測することで代用している。次期規制では黒煙濃度が 25%以下で規制されており、この値を超える場合には、ユーザは国から整備命令を受ける。

排出ガス規制においては、実際に大気環境に放出される量を低減することが重要であり、その意味で 1 台の建設機械が廃棄されるまでの長い期間に渡って排出ガス性能が維持される必要がある。オフロード法では、このような仕組みで、型式指定を受けたエンジンが持つ当初の排出ガス性能を将来にわたって維持することとしている。

2. 5 排出ガス性能評価に係る技術的課題

排出ガス性能を長期間に渡って担保するためには、エンジンの型式指定段階で耐久性を的確に評価することと、使用中の建設機械の排出ガス性能を的確に判定することが重要である。しかしながら、次期規制においては、次のような課題がある。

一つは、排出ガス規制値が非常に低い値となったため、これまでの黒煙測定器で規制値を超えているかどうかの判断が正確に判定できないということである。DPF に穴などが開き、PM の排出量が規制値の数倍に悪化していたとしても、黒煙測定器の性能上、黒煙の濃度としてはほとんど観測されない可能性がある。当然、目視では判定できないレベルである。また、エンジンの不具合により排出ガス (NO_x 等を含む。) が増加した場合に、これまでは黒煙濃度の悪化など、ある程度目視で判断できる指標があったが、DPF が正常に機能していたとすると、DPF により PM 等が捕集され、黒煙が外に排出されず、不具合が発見できない可能性もある。ただし、これらの不具合を正確に把握しようとするれば、目視では不可能であり、測定に必要な機器も特別なものになってしまうため、ユーザに対して義務を負わせることは現実的には難しいと思われる。

また、これまでの排出ガス低減技術はエンジンの

機械的な仕組み・制御によって行われてきており、排出ガス性能の耐久劣化がエンジンの仕事量 (負荷量) で評価できた。しかし、次期規制では後処理装置が追加され、これらには触媒の化学反応が利用される。触媒の劣化は熱劣化による触媒自身の化学変化および物理変化 (特に高温下での触媒粒子の成長凝集による触媒表面積の減少に基づく触媒活性劣化であるシンタリング)、触媒毒となる物質が触媒と結合することにより触媒活性が劣化する被毒劣化などがあるが、触媒の劣化を支配するパラメータがエンジンの仕事量とは必ずしも一致しないと考えられ、劣化の予測精度に対する知見が十分とは言えない。

3. 研究方法

3. 1 研究方針

オフロード法の枠組みにおいて、エンジンの型式指定時には規制値が厳密に確保されていると考えられる。問題があるとすれば、市場に出て実際に現場で使用されている建設機械からの排出ガスである。しかし、ユーザに過度の経済負担をさせて排出ガス性能の確認を義務付けることも現実的ではない。可能性として想定されるのは、例えば行政が市場にある使用過程車に対して抜き取り検査を行い排出ガス性能に関するサーベイランスを実施すること、若しくは、エンジンメーカー (又は車体メーカー) に対して使用過程車に対する性能確認を義務付けることなどである。この場合、車体からエンジンを取り外して試験することは非現実的であり、車体にエンジンを搭載したまま排出ガス値を適正に評価する計測手法が必要となる。

現在、トラックなどいわゆるオンロード車においても同様の観点から、車載式の排出ガス計測器による計測が試験的に行われている。これらで使用される機器が、建設機械でも使用することが可能であれば、エンジンを車体に搭載したままの排出ガス計測が可能となる。計測機器に対して建設機械とトラックの大きな違いは、計測中の振動及び搭載スペースである。排出ガス計測中は建設機械を通常通り稼働させる必要があり、計測機器はその際の振動に対しても正常に動作する必要がある。

また、建設機械の排出ガス性能の評価は「g/kWh」(g は排出ガスの量、kWh は仕事量。) の単位で評価されるため、排出ガスの量とともに、仕事量の計測を同時に行うことが必要であり、排出ガス測定機器以外にも多くの機材を搭載する必要がある。そのた

め、トラックのように貨物室や運転室（助手席側）など、多くの搭載スペースのある場合では搭載可能であったものが、搭載スペースの限られる建設機械で実際に全てを搭載できるかどうか問題である。



本研究では、これらの問題に対して実際に搭載測定試験を行い、「使用過程の建設機械に対して、エンジンを搭載した状態で排出ガス値を測定する」ことの実現性を評価する。なお、規制対象の排出ガスのうち、PM については、車載式の計測装置の技術が確立されていないことから今回の対象からは除外する。

3. 2 車体振動に対する信頼性試験の方法

3. 2. 1 車載型排出ガス測定装置の諸元

オフロード法の規定では、排出ガスの測定方法として、NO_x については化学発光分析計（CLD）又は非分散形紫外線分析計（NDUV）を、CO については非分散形赤外線分析計（NDIR）を、THC については水素炎イオン化法分析計（FID）が標準となっている。車載型の排出ガス測定装置としては、これらの測定方法を使用する装置を選定した。国内で調達可能な装置を調査した結果、現状では2社のものが存在することがわかった。この2社の装置は、NO_x に関する測定原理が異なることから、両方の装置を試験することとした。A社製は、いったんNO₂をNOに変換した後に全てのNOを計測することにより、NO_x値を出力する。B社製は、NOとNO₂をそれぞれ計測し、NO_x値はそれらを合計する。NO_x以外の測定原理は基本的に同じである。排出ガス測定装置の諸元を表2に示す。

表2 車載型排出ガス測定装置諸元

測定項目	測定原理	
	A社製	B社製
NO _x	CLD	(NOとNO ₂ を合計する)
NO	—	NDUV
NO ₂	—	NDUV
CO	NDIR	NDIR
THC	FID	FID
寸法(mm)	約 W350 × H330 × D500	約 W516 × H404 × D622
質量	約 29kg	約 35kg
外観		

3. 2. 2 試験方法

排出ガス測定装置を建設機械に実際に搭載し、様々な動作で発生する振動に対する信頼性（出力値の精度）を評価する。建設機械としては、最も一般的な油圧ショベルとした。測定装置にガスボンベから濃度一定のガスを送り、動作中の濃度の出力値を記録することにより、振動により精度に影響を与えるような異常値の発生の有無を調べる。装置の搭載の様子を図1に示す。排出ガス測定装置は運転室（キャブ）の上部にコンパネを固定し（図2）、その上に設置した。コンパネ上と車体側に加速度計を設置し、振動の大きさも計測する。



図1 測定装置搭載状況



図2 コンパネ設置状況

振動を与える動作は下記の10通りとした。それぞれの動作は停止状態から開始し、3往復又は3回実施する。

- ① 旋回操作(180度): 上部旋回体を180度回転し、止める動作。
- ② 走行(コンクリート面): 平らなコンクリート面における、走行・停止動作。
- ③ 走行(土地面): 地盤が土でほぼ平らな地面における、走行・停止動作。
- ④ 走行(不整地): 不陸のある土の地面における、走行・停止動作。
- ⑤ 走行(登り坂): 勾配が8~9%程度の坂を登り降りする動作。
- ⑥ 掘削・旋回・積み込みの一連動作: 土を掘削し、90度旋回後、積み込みする動作。

- ⑦ バケット地面押し当て動作：バケットを上下に動かし、地面を締め固める動作。
- ⑧ クローラ端部落とし動作：バケットを地面に押し当てクローラ部を浮かした状態から、バケットを急に上げ、クローラ部を落下させる動作。
- ⑨ ブーム上げ動作：ブームを急激に上げる動作。
- ⑩ ブーム下げ動作：ブームを急激に下げる動作。

3.3 実稼働を対象とした排出ガス計測試験の方法

3.3.1 機器・測定装置の構成

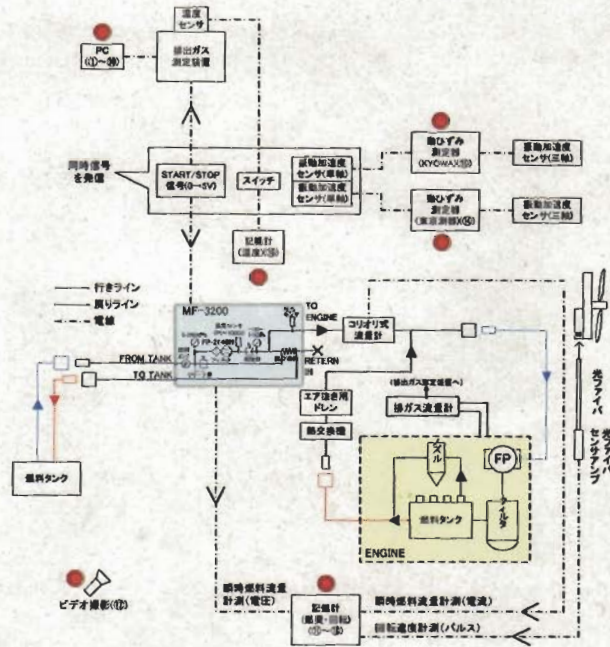


図3 排出ガス測定機器構成図

測定装置全体の構成図を図3に示す。赤○印はデータを記録する装置であり、これらのデータの記録開始時刻は同期させている。

<排出ガス流量計・排出ガス温度計>



図4 排出ガス流量計設置状況

排出ガスの量を計算するためには、排出ガスの濃度と同時に流量を計測する必要があります。流量計はA社、B社とも、それぞれの車載型排出ガス測定装置

専用のもを用意している。排出ガスの量（排気管の径）によりシリーズ化されており、今回の試験で使用した油圧ショベルに適したものを選定した。流量計の前部には、流れを安定させるための直管部が必要であり、フレキシブル管で方向を変えた後、治具を使用し、車体に設置した。流量計部には排出ガス温度計も設置されている。設置の状況を図4に示す。

<エンジン回転計・燃料流量計>

エンジンの仕事量を算出するため、エンジン回転数と燃料消費量を計測する。エンジン回転数はエンジンからの出力軸の一部に反射テープを貼り、それを光ファイバセンサで検知する方法とした。燃料消費量は、エンジンに送られた燃料の一部がエンジンタンクに戻されることを考慮し、戻り管を流量計よりもエンジン側につなぎこむことで、流量計では正味の消費量が計測できるようにした。設置の状況を図5に示す。



図5 燃料流量計及びエンジン回転計設置状況

<電源>

排出ガス測定装置やその他の測定装置を駆動するための電源が必要であるが、車体のバッテリーを使用すると、その分エンジンが本来の仕事以上の負荷がかかるため、別途用意する必要がある。電源としてはバッテリーか発動発電機が想定されるが、長時間（測定装置は測定前に1時間程度の暖気が必要であり、一度電源を切ると開始前に再度1時間のロスタイムが生じる。そのため、試験時は、朝から夕方まで通電したままにする必要があった。）に耐えられる発動発電機とした。

<搭載架台>



図6 搭載架台設置状況

排出ガス測定装置以外に、燃料流量計、発動発電機、ガスボンベなどを安全に車体に取り付ける必要があるため、専用の架台を製作し、搭載することとした。中型以上の油圧ショベルであればメーカーを選ばずに搭載ができるように車体後部にベルトのみで固定する方式とした。設置の状況を図6に示す。

3. 3. 2 仕事量の計算方法

排出ガス規制値の単位 g/kWh の分母である仕事量を算出するため、出力を測定する必要がある。しかし、出力を直接測定することは困難であり、別のパラメータから計算しなければならない。今回は、搭載されているエンジンの回転数と燃料消費量から出力を計算する方法とした。

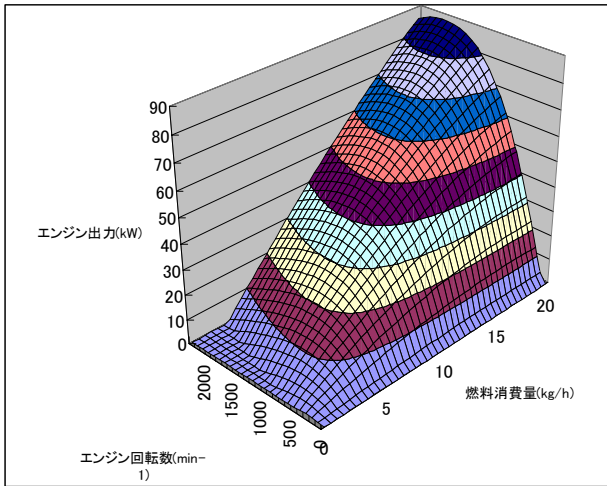


図7 エンジン出力計算マップ

この方法では、最初にそれら3つの変数の関係をマッピングする(計算式を作成する)必要があるが、それには、個々のエンジン毎の試験データが必要となる。それらのデータは一般には公表されていないため、エンジンメーカーに依頼し入手した。ただし、入手したデータは、回転数と燃料消費量を設定し、その時の出力を測定するといった方法により、回転数と燃料消費量を変えて、幾つかの点で測定したデータであるため、測定点と測定点の間の値については、推定式を作成し補完している。作成したエンジン出力計算マップを図7に示す。仕事量 (kWh) はエンジン出力 (kW) を時間積分することにより計算される。

3. 3. 3 動作条件

排出ガスを測定した動作条件を図8に示す。油圧ショベル使用した作業のうち、一般的と思われる掘削、旋回、排土、走行、待機(アイドリング状態)を組み合わせて1サイクル(約5分間)とし、これ

を4回連続して行い、合計約20分間の排出ガスを測定した。

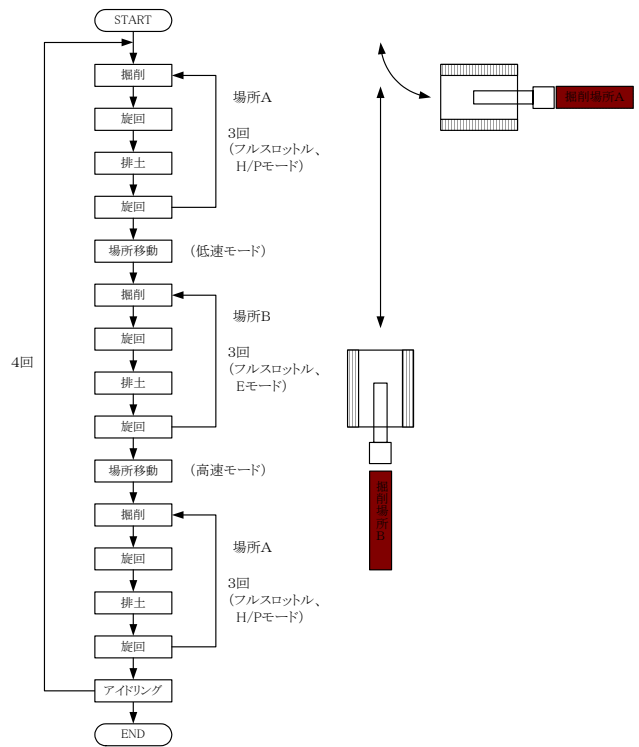


図8 排出ガス測定試験の動作条件

4. 試験結果

4. 1 車体振動に対する信頼性試験の結果

車体振動に対する結果を表3に示す。各動作条件に対して、2社の装置のうち、どちらか一方でも測定器メーカーの保証する測定精度を超えるノイズが発生した場合に「NG」と記載している。ただし、それぞれの製品の市場における評価に影響を与える可能性があるため、個別の製品を特定した表現は本報告内では取っていないこととする。

表3 振動に対する試験結果

動作条件	NOx 又は NO・NO ₂	CO	THC
①旋回操作(180度)	○	○	○
②走行(コンクリート面)	○	○	○
③走行(土地面)	○	NG	NG
④走行(不整地)	○	NG	NG
⑤走行(登り坂)	○	NG	○
⑥掘削・旋回・積み込みの一連動作	○	○	○
⑦バケット地面押し当て動作	○	○	○
⑧クローラ端部落とし動作	○	○	NG
⑨ブーム上げ動作	○	○	○
⑩ブーム下げ動作	○	○	○

NOxについては問題無く測定可能と判断される。

CO についての出力値を車体の振動（排出ガス測定装置を設置したコンパネに取り付けた振動計の振動）と比較すると、図9及び図10に示すように振動と連動して出力値の変動が見られた。異常値は走行系の動作で発生しているのが特徴である。加速度としては鉛直方向で3G程度である。バケット押し当て動作などでも3G程度の加速度が発生するが、その時のCOの出力値の変動は図11や図12に示すように小さく、精度内に収まる程度のものである。これらから考察されることは、走行のように「ガタガタ」と連続する振動の方が、「ガタン」と単発でくる振動よりも計測器への影響が大きいようである。このような振動は覆帯式の建設機械に特有のもので、タイヤ式の車両が舗装面を走行する際には通常発生しない。この問題を解決するには、測定器が受ける振動を軽減するための特別な緩衝材や装置を用意するか、測定器そのものの耐振動性を高める改良が求められる。ただし、実際に排出ガス性能を評価する際には、瞬時値ではなく、総排出量を総仕事量で割って計算することから、プラス方向とマイナス方向に同程度にノイズが発生する場合には、その影響はある程度緩和されることになる。図9の「③走行土」の場合では、ノイズにより示される濃度の値は、実際の値の約200%の値を示すこともあるが、ノイズが発生している範囲の濃度の平均値は実際の濃度の約111%であり、排出ガス流量が一定であると仮定すると総排出量では1割程度の差になる。また、油圧ショベルの実際の動作では、掘削積み込み等が主たる動作で、走行の占める割合が大きくないことから、ノイズの影響は更に小さくなると想定される。COについては、通常、規制値と比較して排出量が十分小さく、規制値とのぎりぎりの比較をすることがないことも考慮すると、排出ガス性能を評価する上での支障とはならないと考えられる。

THCについても、図13や図14に示すようにノイズが発生した。そのノイズ波形から、振動による出力値のぶれというよりも、衝撃に対するプラス側への異常値といった方がよい。しかもかなり大きな異常値である。これを防ぐためには、振動を軽減するための対策をすることも求められるが、異常値の出方が明確であるため、実際の評価の際には、濃度値を観察し、異常値を排除することで対応する。

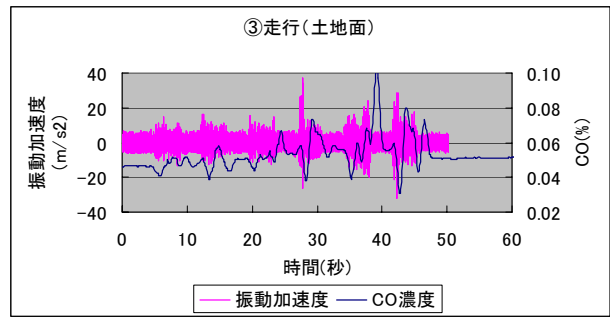


図9 COの振動ノイズ（走行（土地面））

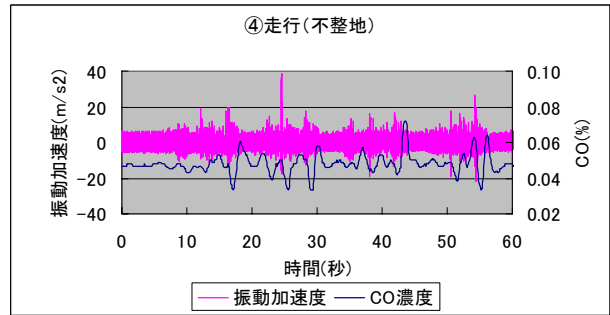


図10 COの振動ノイズ（走行（不整地））

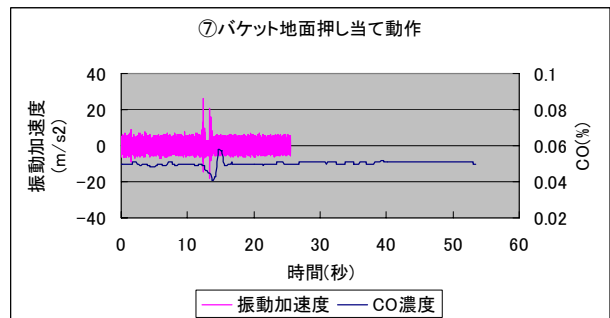


図11 COの振動ノイズ（バケット地面押し当て動作）

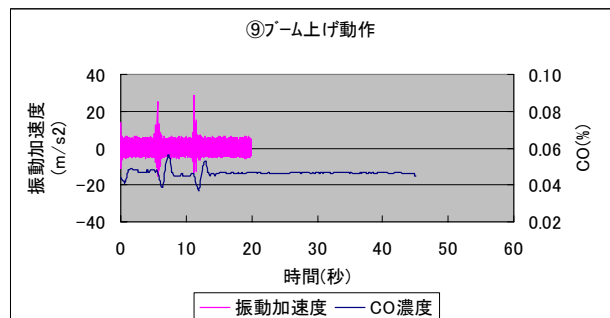


図12 COの振動ノイズ（ブーム上げ動作）

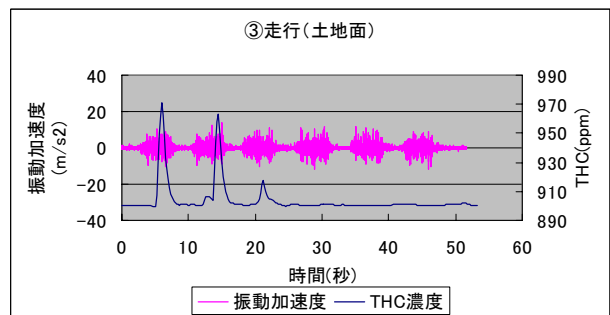


図13 THCの振動ノイズ（走行（土地面））

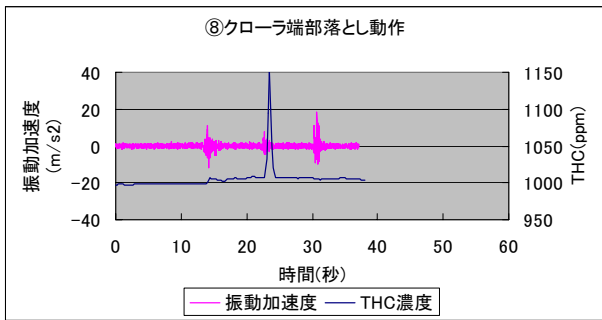


図 14 THC の振動ノイズ (クローラ端部落とし動作)

4. 2 実稼働を対象とした排出ガス計測試験の結果

排出ガス計測結果の一例を図 15～図 21 に示す。横軸は試験開始からの経過時間で、ある測定回の 3 サイクル目の開始付近のデータで、640～650 秒の区間はアイドリング状態で、650 秒からは掘削作業である。振動試験においてノイズの発生形態がわかっているため、NOx や THC のグラフで燃料消費量の変動と大きく連動しているところはノイズではなく、実際の濃度の変化を示していると判断される。CO においてもこの区間では特段問題は無いと思われる。ただし、図 22 は別の時間の CO 濃度のグラフであるが、910 秒付近の値はノイズであると思われる。これらのように、収集したデータを精査することで、ノイズの影響をある程度除去可能である。

また、実際の作業負荷は、土の状態などにより、測定毎に全く同じにはならないため、サイクル毎に測定条件にばらつきが生じる。そのため、排出ガス量についてもばらつきが生じる。今回、5 分間のサイクルを合計 24 回測定しているが、そのばらつきの変動係数 (=標準偏差/平均値) は、NOx 排出量で 0.03、THC 排出量で 0.06、CO 排出量で 0.21 となった。CO についてはばらつきが大きいため、異なる型式の排出ガス性能を横並びで比較する際には注意をする必要がある。

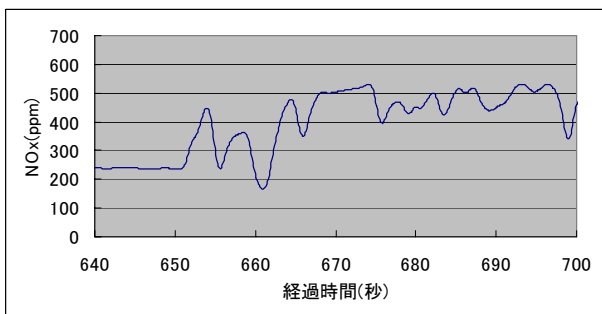


図 15 NOx 測定値

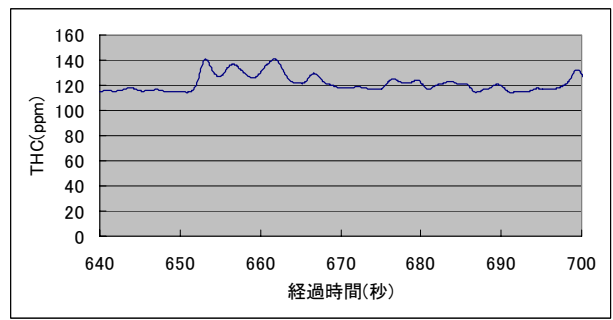


図 16 THC 測定値

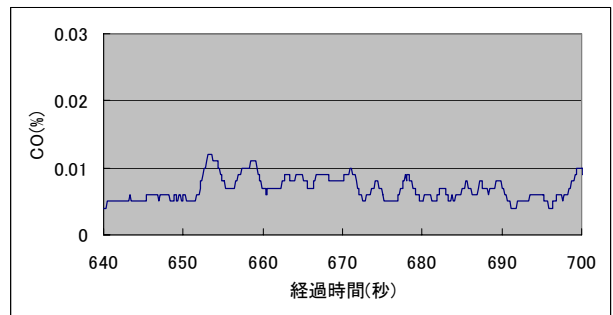


図 17 CO 測定値

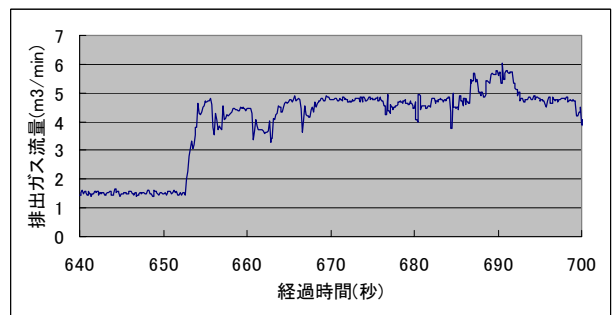


図 18 排出ガス流量測定値

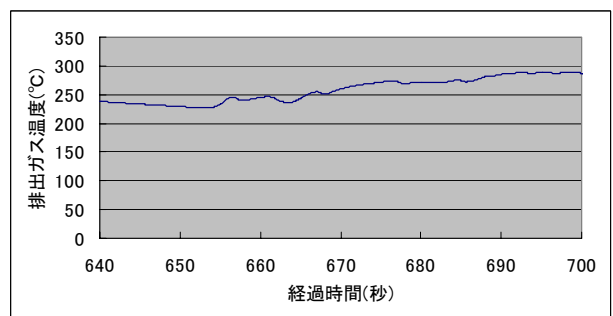


図 19 排出ガス温度測定値

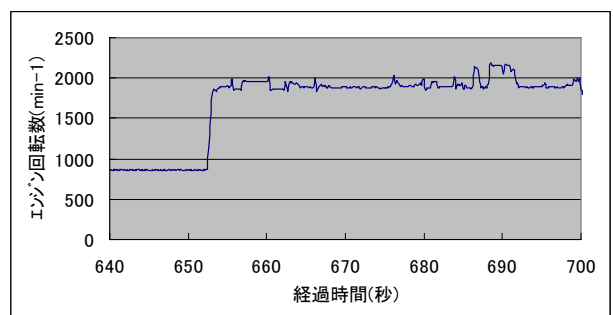


図 20 エンジン回転数測定値

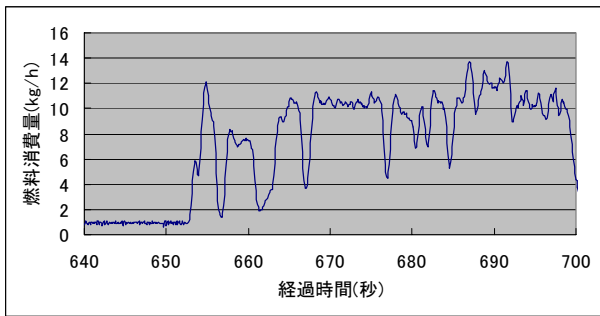


図 21 燃料消費量測定値

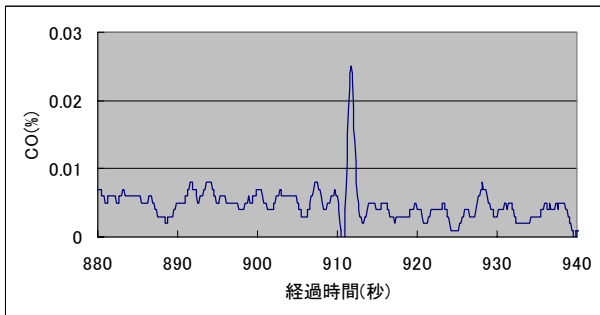


図 22 CO 測定値 (ノイズ有り)

4. 3 試験中に発生した問題点・懸案事項等

試験中に発生した計測上の問題点等を下記に示す。

- 1) 排気管と排出ガス流量計を接合するフレキシブル管について、最初はアルミ製のものを使用していたが、熱と振動のため破れが発生した。(図 23)その後、ステンレス製に取り替えたところ、問題は発生しなかった。金属同士の接合のため、硬いステンレスの場合に小さな隙間が発生し、ガスの漏れが発生する可能性がある。そのため、接続前に潰し処理を実施し、アルミテープ及びトルクバンドで締め付けを行った。試験終了後に漏れの状況を確認したが、アルミテープに付いた排出ガスの痕跡から、漏れが無かったことを確認した。

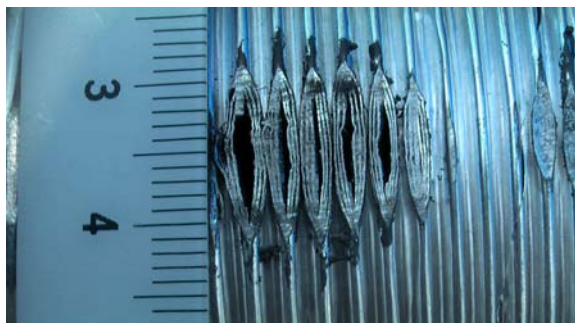


図 23 アルミフレキシブル管の破損状況

- 2) ベルトで固定しているものについては (搭載架台及び B 社製の排出ガス測定装置) 振動によりズレることがあった。相当きつく締め付けたつもりでも、特に初期の段階で発生しやすく、こ

まめに点検することで対応した。20 分間の実作業試験では問題が発生するほどではなかった。なお、ボルト又はネジで固定したものは、特段問題は発生しなかった。測定装置等を新たに設置した場合には、いきなり 1 時間程度の連続測定をすることは避けた方がよいと思われる。

- 3) 測定装置に電源を供給する発動発電機が振動により 1 度停止した。特段の対策は実施せず、再始動させたが、その後は停止することはなかった。1 度停止すると、再起動に時間を要するため、実際の現場での測定では (測定時間にもよるが) 駆動部の無いバッテリーの方がリスクは少ないと思われる。
- 4) 排出ガス測定器は防水対策が施されていないため、小雨であっても防ぐ必要があった。今回は簡易的なビニールの覆いを作成したが、風に弱い面があった。車内に設置することができない建設機械では、急な天候の変化による対応を考えておく必要がある。(図 24)



図 24 雨対策の状況

- 5) 排出ガス測定装置は 30kg 程度あるが、キャブ上部への設置は高所作業となるため、設置時の安全面には注意を払った。一人で持てないほどではないが、今回は念のため (測定装置が高価であることも含めて) フォークリフトを使用して持ち上げ、横引きして設置した。また、排出ガスサンプリングホース、校正ガス等供給チューブ、燃料ホース、電源ケーブル、制御ケーブルなどが車体上に交錯するが、車体上で作業する際の人の動線や足の踏み場を考えて設置しなければ、安全上問題があり、可能な限りコンパクトに配置した。(図 25)



図 25 車体上部の状況

5. まとめ

本研究では、使用過程の建設機械について、その排出ガス性能を確認する方法について検討を行った。その結果、以下のことがわかった。

- 1) 2011 年度から実施される次期排出ガス規制（規制値は従来の 10 分の 1 程度）を前提に、建設機械の排出ガス性能に関係する要因を整理した。要因としては、エンジン等のハード的な耐久性、使用される燃料の品質、点検整備の状況、作業（負荷）条件などがある。これらの中で、排出ガスを悪化させる直接の原因であり、発見が困難なものは、触媒の性能劣化である。触媒の性能劣化については、長期劣化に対する知見が十分に無いとともに、使用条件の違いにより劣化の傾向も異なる。また触媒の劣化は外見上の異常、黒煙の増加、出力低下など、発見が容易な症状が出ない。そのため、次期規制においては、これまでの使用過程車に対する黒煙の検査手法では十分ではなく（目で見える程、黒煙が悪化していないと異常であると判定できない。）、NOx などの排出ガスを直接測定する必要があると結論付けた。
- 2) 車載型排出ガス測定装置の建設機械での適用性を確認した結果、振動による出力値の変動（異常値の出力）が発生することが確認された。ただし、CO 濃度の異常値については、排出ガス排出量全体への影響が小さいこと、THC 濃度の異常値については、データの解析時に除去することで対応できることから、排出ガス性能の評価を行うことについて、問題無く使用できることがわかった。また、エンジン回転数、燃料消費量を計測することで仕事量を算出し、規制値との比較も可能であることを確認した。
- 3) 油圧ショベルについて実負荷の動作パターンを

設定し、サイクル毎の排出量のばらつきを解析した。その結果、今回測定した機械については、NOx 及び THC については計測値の約 5%、CO については約 20%のばらつきがあった。実際に土を掘削するような試験については、全く同じ負荷条件とすることは困難なことから、異なった型式の優劣や規制値との比較をする際には、測定値のばらつきを考慮する必要がある。今後、ばらつきの程度についてはデータの蓄積が必要であると判断される。

- 4) 中型以上の油圧ショベルの場合、今回使用した搭載架台等を車体後部に設置すれば、必要な機器を搭載でき、特殊な現場やアタッチメント装着車でなければ、工事現場で作業を妨害せず（油圧ショベルの動作に影響を与えることなく）測定が可能である。ただし、雨には弱い対策が必要となる。
- 5) 国内で建設機械に対して車載型の排出ガス測定装置を使用して排出ガス測定を実施した事例はほとんどなく、試験中に所々で問題が発生したが、それらを次の測定に活かすノウハウを習得することができた。今後、行政機関が自ら測定を実施する場合であっても、メーカー等にも実施させる場合であっても、適正な測定を指導・監督することができる。

今後は、実際に使用過程車の排出ガス性能を計測し、工事現場における排出ガス排出量の実態調査や、新しい排出ガス低減技術の長期劣化の傾向等の調査を実施するなど、本研究の成果を大気環境の改善として役立てていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 中央環境審議会：「今後の自動車排出ガス低減対策のあり方について（第九次答申）」、平成 20 年 1 月
- 2) 環境省、国土交通省、経済産業省：「特定原動機型式指定実施要領」、平成 18 年 5 月