

建設機械排出ガスの実稼働状態における評価に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 22～平 24 年度

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、
石松豊、西山章彦

【要旨】

本研究の目的は、建設機械が実際の工事現場で排出する排出ガスの量を明らかにすることである。そのため、建設機械に車載型の排出ガス計測装置を搭載し、実際の稼働状態における排出ガス値の計測を行った。なお、本研究では、代表機種として油圧ショベルを選定している。その結果、油圧ショベルの一般的な動作における排出ガス値や、稼働時間による排出ガス性能の劣化傾向についての知見を得ることができた。

キーワード：建設機械、油圧ショベル、排出ガス、車載型排出ガス計測装置、実稼働試験

1. はじめに

建設機械の排出ガス規制（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。）は、搭載されるエンジンに対して排出ガス試験を実施する仕組みになっている。この排出ガス試験は、エンジンが搭載される建設機械の種類に関係せず、特殊自動車（建設機械、農業機械、産業機械等が含まれる。）全般の標準的な一律の運転モード（負荷と回転数の組合せ）で実施される。エンジンがこの試験による排出ガス値が基準値を下回る場合に、排出ガス規制に適合したことになり、様々な特殊機械に搭載されることになる。ただし、全てのエンジンの試験運転モードが一律であるため、それぞれの建設機械の運転モード（例えば油圧ショベルにおける掘削の運転モードであるとか、グレーダにおける走行の運転モード）における排出ガス値については、明らかになっていない。従って、それぞれの建設機械を個々に見た場合には、実際の稼働中に、どの程度の排出ガスを排出しているかが不明である。これは、環境影響評価の場合などに、個々の事業や工事における排出ガスの影響を評価する場合には不都合である。また、近年のエンジン制御は、電子化（機械的ではなくプログラムソフトによる制御化）されており、規定の試験運転モード以外の運転条件では、排出ガス値よりも、より燃費の向上に重視した制御を行うことも比較的容易になっている。これ自体は規制に違反しているものではないが、実際にそのような事例があるとすると、排出ガス規制の効果が薄れてしまう可能性がある。また、排出ガス規

制はエンジンに耐久性能を義務付けているが、実際にエンジンが建設機械に搭載された後は、それぞれのユーザにより、負荷の状況も様々であるし、維持管理の程度も様々である。そのため、実際に現場で長時間稼働している建設機械の排出ガス性能が、どの程度維持されているかについても明らかにしておく必要がある。これらの背景から、本研究では、エンジンが建設機械に搭載された状態で、実際の稼働と同じ条件での排出ガス値を計測することにより、個々の建設機械の排出ガス性能を明らかにすることを目的とする。なお、本研究は、建設機械の代表機種として、油圧ショベル（20 トン、0.8m³ クラス）3 機種を選定し測定を実施している。

2. 研究方法

2. 1 測定対象建設機械

測定を実施した建設機械は、国内で比較的多く販売されている X 社、Y 社、Z 社の油圧ショベルで下記の条件に合うものとした。

- ・標準バケット容量：0.8m³
- ・定格出力：オフロード法排出ガス規制区分 D4（75kW 以上 130kW 未満）
- ・排出ガス性能：オフロード法 2006 年基準適合車

各社 1 機種とし、それぞれの機種に付き、3 台（合計 9 台）の測定を実施した。また、測定機は、建設機械レンタル会社から実際にレンタルに供されている車両を調達した。各測定機の稼働時間は、表-1 のとおりである。

表-1 各測定機の稼働時間

単位：時間	X社	Y社	Z社
1台目	278	2,225	4
2台目	647	3,932	2,323
3台目	5,258	5,542	4,960

2.2 排出ガス等の計測機器

測定項目及びそれらの計測機器を表-2に示す。なお、本研究においては、規制排出ガス成分のうち粒子状物質(PM)については、建設機械での車載計測方法に不確定の部分があるため、測定項目に入れていない。なお、エンジン回転数及び加速度について、特定の1台の試験時に表-2と異なる計測機器を使用したか、測定値に影響を及ぼすものではないので記載していない。

表-2 計測機器

測定項目	計測機器
一酸化炭素(CO)濃度	車載型排出ガス計測システム OBS-2200 (株)堀場製作所
二酸化炭素(CO2)濃度	車載型排出ガス計測システム OBS-2200 (株)堀場製作所
窒素酸化物(NOx)濃度	
炭化水素(THC)濃度	
排出ガス流量・温度・圧力	
大気温度・圧力・湿度	
燃料消費量	車載型燃費計測装置 MF-3200 (株)小野測器
エンジン回転数	デジタルファイバセンサ FS-N11N (株)キーエンス デジタル回転速度計 DT-5TX 日本電産シンポ(株)
振動加速度	3軸加速度変換器 AS-20TB (株)共和電業

表-2の計測機器の他、排出ガス測定器の校正用のガスボンベや各測定器の電源となる発動発電機を油圧ショベルに搭載したイメージを図-1に、その写真を写真-1~3に示す。車載型排出ガス計測装置は、振動や衝撃を和らげるため、専用のバネが入った取付台を使用して、運転室上部に設置した。排出ガスのサンプリングや排気流量を計測するため、金

属製フレキシブルホースと鋼管で排気管を延長し、専用のアタッチメントを設置した。燃料流量の計測においては、本来エンジンから余剰分として燃料タンクに戻る燃料も、再度エンジンに供給されるように配管し、消費分だけが計測されるようにした。ガスボンベや発動発電機、燃料流量計本体等は、車体の後部に架台を設置し、それに搭載した。各測定機器をコントロールするパソコンやデータロガーは、オペレータが機器のオン・オフの操作をしたり、測定中に計測状況をモニタリングできるように運転室内に設置した。また、サンプリング周波数は10Hz(加速度のみ1kHz)とした。

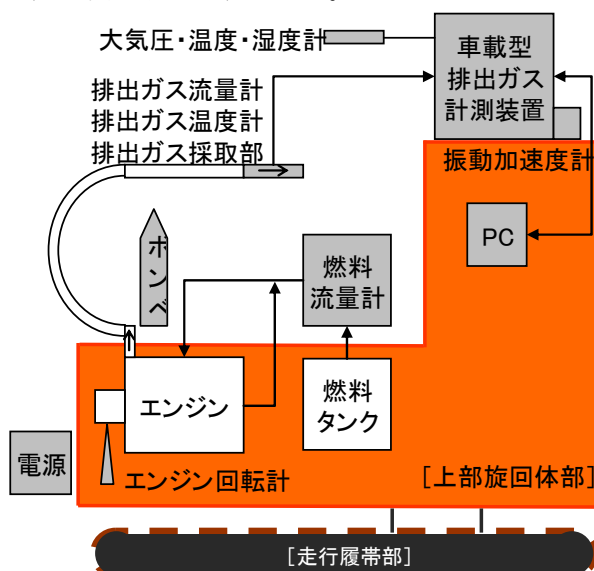


図-1 測定機器の搭載イメージ図



写真-1 測定機器の搭載状況



写真-2 車載型排出ガス計測装置の搭載状況



写真-3 運転室内に設置した PC 等の設置状況

2. 3 測定フロー及び測定条件

2. 3. 1 測定フロー

測定は図-2 のフローに従い油圧ショベルを運転し、排出ガスを計測した。加速度以外の項目のデータは測定開始時から測定終了時までを1つのファイル（加速度は3ファイル）として記録した。1試験は、測定機器の校正等も含めて、約45分程度である。

実掘削については、ほぐした土を山盛りに掘削し、約90度旋回し、排土することを約3分間繰り返した。走行については、30mの直線をレバー全開で走行し、端に着いたら上部を旋回して元の位置まで戻ることを3分程度繰り返した。模擬動作は、一般社団法人日本建設機械施工協会規格（JCMAS）の中の「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）」に規定されている掘削・積込みの模擬動作に準拠して実施した。

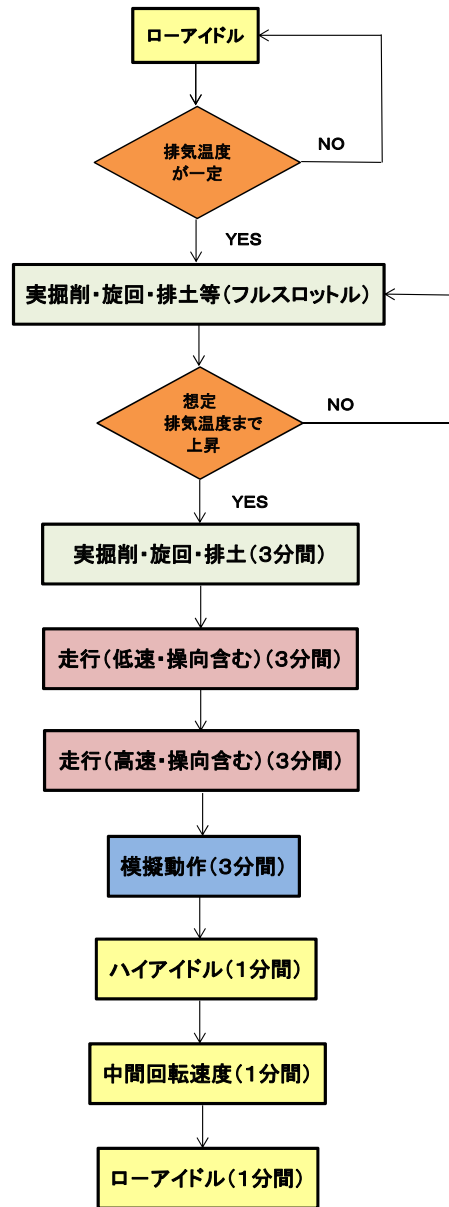


図-2 測定フロー図

2. 3. 2 運転モード

各社の油圧ショベルには、通常の運転モード（以下「Pモード」と記載することがある。）に加え、燃料消費を少なくするための機能として省燃費モード（エンジン回転数を抑えるなどして燃料消費量を抑えるようにプログラム化されている。各社により呼び名は様々。以下「Eモード」と記載することがある。）を設定できるようになっている。測定は、通常モードと省燃費モードの両方について行った。また、一定時間負荷がかからない場合に、自動にエンジン回転数を低下させる機能もあるが、今回の測定に当たっては、条件を揃えるため、その機能については停止させて測定を実施した。

2. 3. 3 運転者・試験場所

油圧ショベルの運転は、3人（内2人は本研究所の研究者）のオペレータが、試験により、その内の1人のみで実施した場合と、その内の2人で実施した場合があります。データにはそのための値のばらつきの要素が含まれている。

また、試験の実施場所は測定した9台の内8台は本研究所の建設機械屋外実験場で、他の1台のみ別の場所で実施した。また、同一の試験場所であっても、乾燥しているときと、雨の後などで地面や土の条件が異なっており、データにはそれらのための値のばらつきの要素が含まれている。

2. 3. 4 試験場所

各測定機に付き、原則として通常モード3回、省燃費モード3回の試験を実施した。ただし、測定が天候により左右されるため、天候が良好で、時間に余裕がある場合には3回以上測定を実施した場合もある。なお、データを整理する際に、異常値等の排除により、必ずしも有効なデータ数が3つに足りないものもある。

3. 研究結果

3. 1 実稼働時における排出ガス値の結果

3. 1. 1 窒素酸化物 (NOx)

NOxの排出量を掘削、走行（低速走行のデータ）、待機（ローアイドルング）に分けて整理した結果を、図-3（通常モード：Pモード）及び図-4（省燃費モード：Eモード）に示す。図中において、例えば「XP」はX社のPモードを、「YE」はY社のEモードを意味する。図中の「組合せ」は、JCMAS H 020を参考に、掘削56%、走行11%、待機33%として排出ガス値に重み付けを行った値である。

また、「未規制予測」、「1次予測」、「2次予測」とあるのは、環境影響評価において建設機械からの排出ガスを予測するマニュアルの一つである「道路環境影響評価の技術手法」（以下「技術手法」という。）に記載された計算方法及びパラメータを使用して計算された値である。ただし、技術手法には2次基準までのパラメータまでしか記載はない。また、「1次規制想定」、「2次規制想定」、「3次規制想定」とあるのは、同じく技術手法の計算方法で、パラメータに規制値（従って、未規制の場合には規制値が存在しないので計算できない。）を使用したものである。なお、規制値に対する排出量は、本来は個々のエンジンの出力毎に計算されるものであるが、ここでの計

算では建設機械等損料算定表の標準的な機関出力を使用して計算している。

測定の結果、3社の平均で見た場合、掘削や走行といった個々の動作においては規制想定値を上回るが、待機も含めた実際の工事現場の状態に近い組合せにおいては、規制想定値を下回る結果となった。これは、技術手法における2次や3次の結果と同様である。ただし、Y社について限れば、規制想定値を上回る結果となった。また、燃費を抑えた省燃費モードでは全体的に排出量が下がる結果となった。

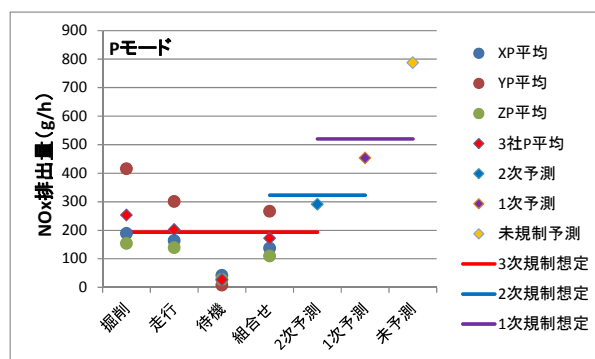


図-3 NOx 排出量 (Pモード)

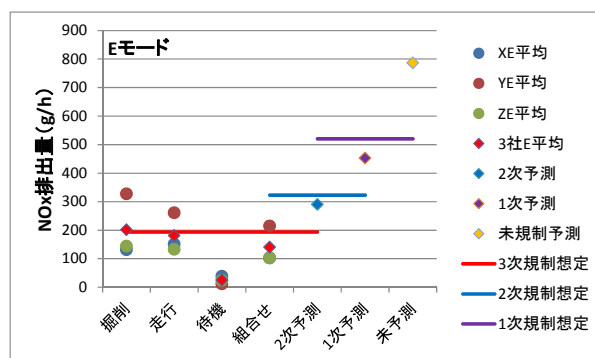


図-4 NOx 排出量 (Eモード)

3. 1. 2 一酸化炭素 (CO)

COの排出量をNOxと同様に、掘削、走行、待機、組合せに分けて整理した結果を、図-5（Pモード）及び図-6（Eモード）に示す。ただし、技術手法にはNOxとPMの予測パラメータしか記載されていないため、1次や2次の値は計算していない。（3.1.3 炭化水素 (THC) も同様。）

測定の結果、3社の平均で見た場合、どの場合においても規制想定値を下回る結果となった。ただし、X社について限れば、他の2社よりも相当高い値となっている。また、省燃費モードの方が排出量が多くなる結果となった。

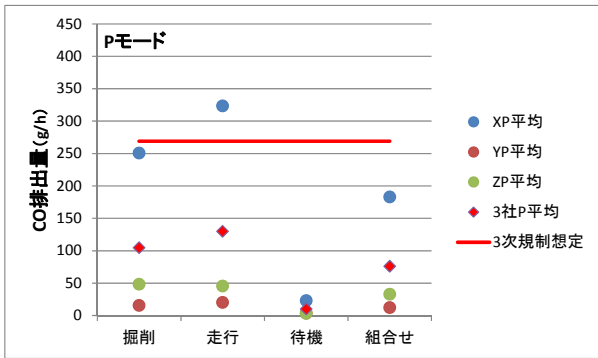


図-5 CO 排出量 (Pモード)

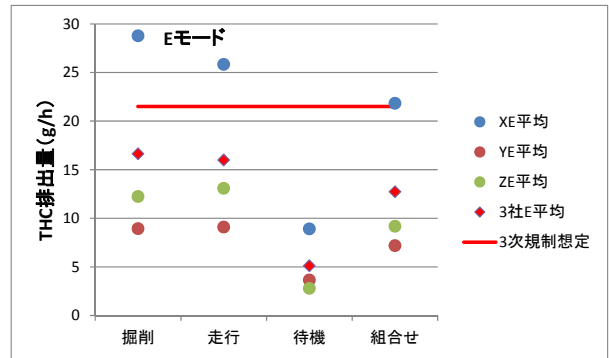


図-8 THC 排出量 (Eモード)

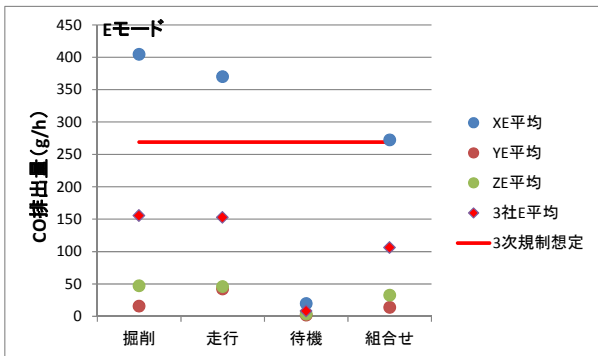


図-6 CO 排出量 (Eモード)

3. 1. 3 炭化水素 (THC)

THC の排出量を、掘削、走行、待機、組合せに分けて整理した結果を、図-7 (Pモード) 及び図-8 (Eモード) に示す。

測定の結果、3社の平均で見た場合、どの場合においても規制想定値を下回る結果となった。ただし、X社について限れば、他の2社よりも高い値となっており、動作によっては規制値想定値を上回る場合もある。また、省燃費モードの方が排出量が多くなる結果となった。

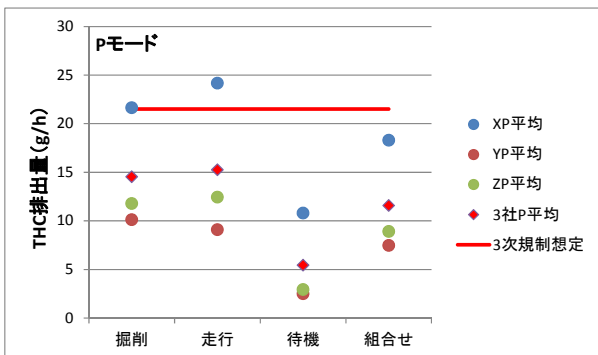


図-7 THC 排出量 (Pモード)

COの排出量をNO_xと同様に、掘削、走行、待機、組合せに分けて整理した結果を、図-5 (Pモード) 及び図-6 (Eモード) に示す。ただし、技術手法にはNO_xとPMの予測パラメータしか記載されていないため、1次や2次の値は計算していない。(3.1.3炭化水素(THC)も同様。)

3. 2 長時間稼働による排出ガス性能の劣化結果

測定したそれぞれの油圧ショベルの稼働時間(アワーメータの値)に対するNO_x、CO、THCの排出ガス値を図-9~11に示す。なお、それぞれのプロットは、特定の1台に対して稼働時間の経過に合わせて測定したものではなく、各社とも同一型式ではあるが、3台の別個の車両の測定値である。そのため、それぞれの車両の使用履歴、整備履歴のばらつきの影響を含んでいるデータである。

各社、各ガス成分の何れにおいても、劣化の傾向はほぼ水平に近い直線的な傾向を示し、5,000時間以上稼働した車両においても、特に急激に排出ガス性能が悪化するようなことはない結果となった。

オフロード法においては、稼働時間8,000時間まで排出ガス性能を維持する規定があるが、申請時には、2,670時間以上運転すれば、その排出ガス値から8,000時間運転後の排出ガス値を予測すること(外挿法)が認められている。今回、実際の稼働において、5,000時間程度までであれば、そういった外挿法による予測が妥当であることが確認することができた。

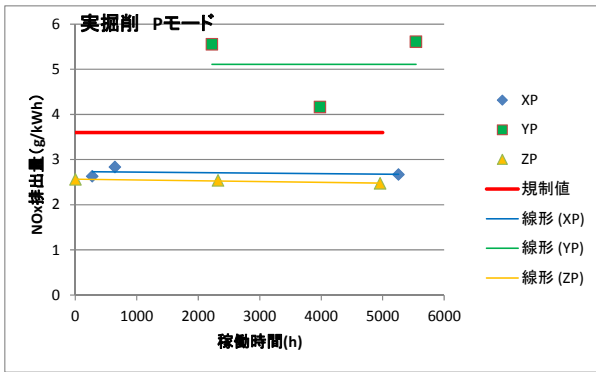


図-9 NOx 排出値の劣化傾向

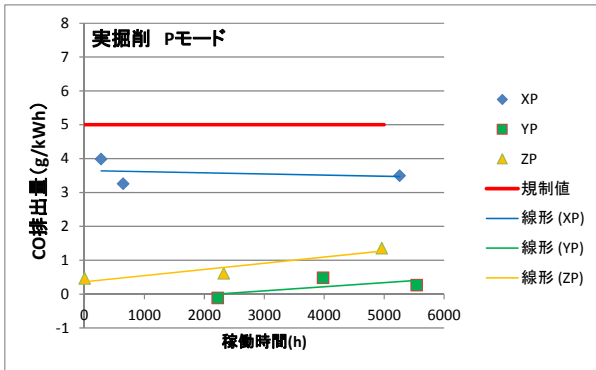


図-10 CO 排出値の劣化傾向

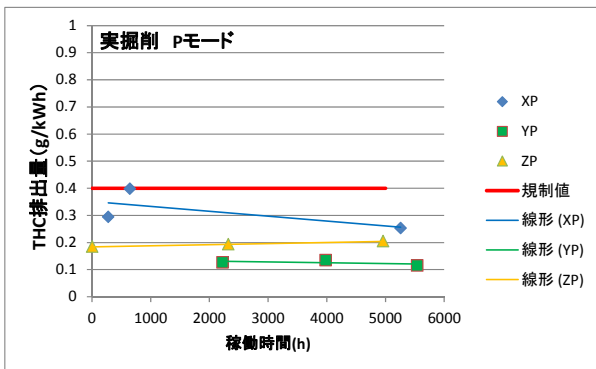


図-11 THC 排出値の劣化傾向

3. 今後の課題

本研究では、測定の対象を油圧ショベルに限定して実施したが、他の建設機械の状況についても把握する必要がある。また、今回は、排出ガス規制により規制されている NOx、CO、THC について測定を実施したが、今後は、PM についても実態を把握する必要がある。ただし、PM を測定する車載型排出ガス測定装置は今回使用した測定装置とは別システムになるため、その測定方法については、建設機械の実稼働状態において実施可能かどうかを検証する必要がある。

また、今回測定した対象は、オフロード法の 2006 年規制に対応した車両であるが、排出ガス規制は 2011 年には DPF の装着を想定した PM 規制の強化

が実施され、2014 年には尿素 SCR の装着を想定した NOx 規制の強化が予定されている。これらの排出ガス規制に対応した車両については、これまでにない方法により排出ガスを低減しており、これらが実稼働状態において、どの程度の排出ガス値を示し、また、劣化傾向を示すかについて把握する必要がある。

なお、現在のオフロード法においては、エンジンメーカーがエンジンの型式指定を受け、車両メーカーがその型式指定を受けたエンジンを搭載した車両に基準適合表示を付け、ユーザは、その適合表示を付した車両を使用するという枠組みになっている。ユーザは、排出される黒煙が基準値を超える場合に整備命令を受けるが、それ以外に、実際に稼働している建設機械の排出ガス実態や、劣化の傾向を把握するという枠組みは整備されていない。今後、その必要性、実施方法などを検討するに当たり、上記で示した課題に対する研究を進め、議論を深めることが必要であると思われる。

5. まとめ

本研究では、建設機械が実際の工事現場で排出する排出ガスの量を明らかにすることを目的に、建設機械に車載型の排出ガス計測装置を搭載し、実際の稼働状態における排出ガス値の計測を行った。その結果、以下のことがわかった。

- 1) 油圧ショベルの実際の稼働状態における排出ガス (NOx、CO、THC) の値を明らかにした。3 社の平均値では、どの排出ガス成分についても規制値以下であった。ただし、機種によっては規制値を超える排出ガス値となるものもある。
- 2) 油圧ショベルの稼働時間による排出ガス性能の劣化傾向を明らかにした。5,000 時間程度までであれば異常な劣化特性を示すことはなかった。

今後は、油圧ショベル以外の建設機械の計測、PM における同様の計測、新しい排出規制に対応した車両の計測を行っていく必要がある。

参考文献

- 1) 山元弘他、「道路環境影響評価の技術手法 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」、土木研究所資料 4055 号、2007 年 6 月
- 2) 杉谷康弘他、「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、2012 年 7 月号

A STUDY ABOUT EVALUATION OF EMISSION WHILE IN OPERATION FROM CONSTRUCTION MACHINE

Budged : Grants for operating expenses (General account)

Research Period : FY2010-2012

Research Team : Advanced Technology Research Team

Author : Kenichi FUJINO

Yasuhiro SUGITANI

Yutaka ISHIMATSU

Akihiko NISHIYAMA

Abstract : A purpose of this study is to clarify the quantity of the emission which a construction machine exhausts in the real construction site . Therefore we put the portable emission measurement systems on a construction machine and measured the emission in the real operation state. In this study, we choose an excavator as a representative model. As a result, we were able to get the knowledge about the emission in the general movement of the excavator and the tendency to deterioration of an emission .

Key words : construction machine, excavator, exhaust emission, portable emission measurement systems, in-use test