

(2) 車載型排出ガス計測装置

オフロード法では、排出ガス濃度を計測するための分析計としては、NOxについては化学発光分析計（CLD）、COについては非分散形赤外線分析計（NDIR）、HCについては水素イオン化法分析計（FID）が標準になっている。車載型排出ガス計測装置としては、これらの分析計を一つの筐体にしてコンパクト収納した装置を使用した。取付場所は、油圧ショベルの運転室（キャブ）の上とし、振動や衝撃を和らげるために専用の取付台にバンドで固定している（写真-2）。計測条件の設定や計測の開始・停止の操作、計測状況の確認などの装置専用のソフトが入っているコントロール PC は運転室（キャブ）内に設置した。



写真-2 車載型排出ガス計測装置設置状況

(3) その他主な計測機器

排気ガスのサンプリングや排気流量などを計測するため、油圧ショベルの排気管から金属製の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付けた。排出ガスの質量を計算するための要素のひとつである排出ガス流量計測は、排気管の出口にピトー管式流量計を設置した（写真-3）。エンジン回転数の計測は、エンジンの出力軸に光ファイバーセンサを設置した。燃料流量計の計測は、燃料タンクからエンジンに向かう燃料配管の途中で容積式の燃料流量計を設置した。



写真-3 排出ガス排気管アタッチメント設置状況

2.3 計測の運転操作手順と計測条件

(1) 計測の運転操作手順

計測は図-2 の手順に従い、計測対象建設機械を運転した。実掘削は、ほぐした土をバケットに山積みの状態になるよう掘削し、約90度旋回し、排土することを3分程度繰り返した。走行は、高速モード・低速モードで、それぞれ30mの直線を回転数、操作レバーを全開にして、端に着いたら上部を旋回して元の位置に戻ることを3分程度繰り返した。

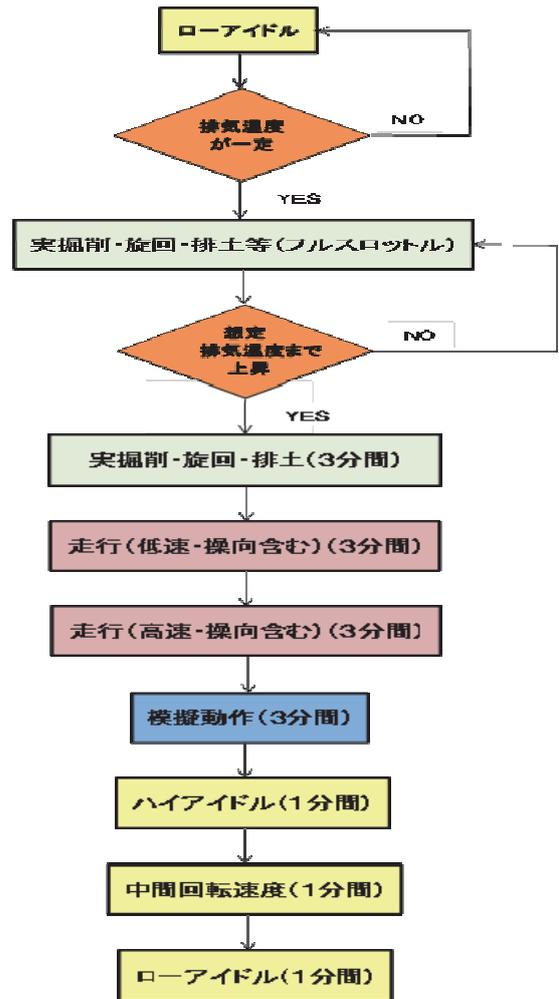


図-2 運転操作手順

(2) オペレータ及び試験場所

油圧ショベルのオペレータは、3人（内2人は本研究所の研究員）であり、試験の場所は計測した9台の内8台は本研究所で実施した。オペレータの熟練度やテラメカニクス等の観点から、データには少なからず、それらのための値のばらつき要素が含まれているが、同じ試験を複数回繰り返すことによって、極端な異常値などについては、排除している。

(3) 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」と言う。）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。以下「Eモード」と言う。）を設定できるようになっている。計測は、通常モードと省燃費モードの両方について行ったが、本論文ではPモードの試験結果について述べる。

3. 研究結果

振動・衝撃による計測機器の故障や建設機械の本来の作業を損なうことなく、一連の運転操作手順が行えたことによって、その結果実稼働状態での排出ガス量の計測が可能であることが確認された。NO_x（窒素酸化物）、CO（一酸化炭素）、THC（全炭化水素）の排出量を、試験した各油圧ショベル毎に、実掘削、低速走行、待機（ローアイドリング）に分けて整理した結果を図-3～11に示す。横軸のX1、X2・・・は、X社の1台目、X社の2台目という意味である。なお、規制値の単位（g/kWh：gは排出ガスの質量、kWhはエンジンの仕事量）に対する排出ガス量を計算するためには、本来は仕事量を算出するのに、エンジン出力（kW： $2\pi T \cdot N / 60 / 1000$ （T：トルク N・m、N：エンジン回転数 rpm））を算出する必要がある。しかし、使用過程車においてはトルクを直接計測することは困難であり、また燃料消費量、回転数、トルクの3つの変数の関係を示した詳細な値は一般には公表されていないことなどから、ここでは簡易的に計測した燃料消費量を熱換算し、建設機械用ディーゼル機関の一般的な熱効率（35%～40%）²⁾を仮定して、35%と40%で仕事量を算出した。また、今回の計測の対象となった各3社を比較するとX社についてはCO、THCが比較的多く出ている傾向がある。Y社についてはNO_xが比較的多く出ている傾向がある。Z社については比較的、突出したものは見られなかった。このように各3社の排出ガス量に特徴が見られた。さらに、自動車NO_x・PM法³⁾や大気汚染防止法の観点から重要視されるNO_xの排出ガス量については、各作業（実掘削、低速走行、待機）の9台の平均値、及びそれらの組合せ（JCMAS H 020⁴⁾）を参考に動作の構成比を実掘削56%、走行11%、待機33%として排出ガス量を計算した値である。）値を図-12に示す。その結果、オフロード法2006年規制値を下回るといった結果になった。なお、オフロード法では、

規定の運転モードにおいて排出ガス試験を行い、その試験値が規制値をクリアしていれば規制に適合している。そのため、規定の運転モード以外の運転モード（例えば実稼働状態における「実掘削」のような特定の運転モード）において、仮に規制値を上回る場合があっても法令上は問題がないことになっている。

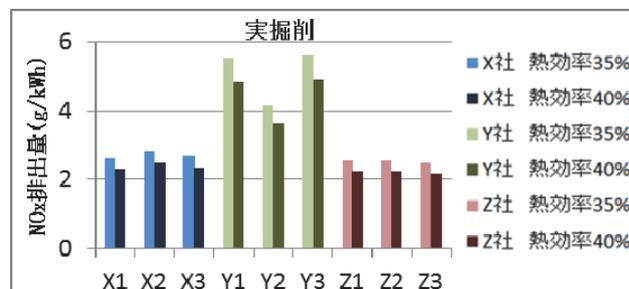


図-3 実掘削のときの NOx 排出量

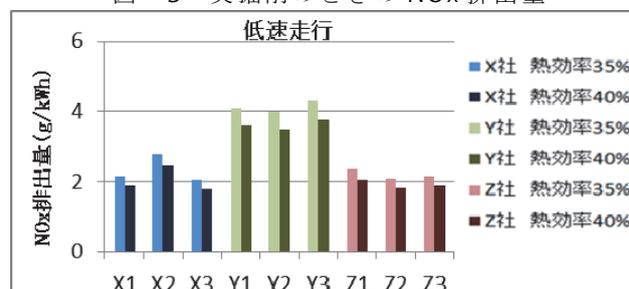


図-4 低速走行のときの NOx 排出量

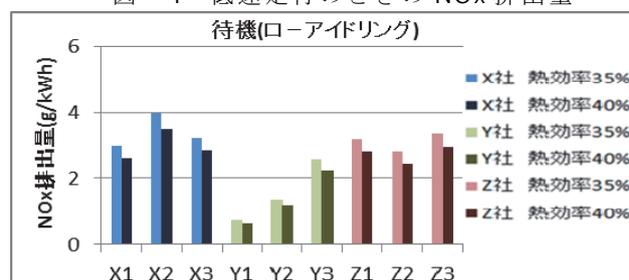


図-5 待機のときの NOx 排出量

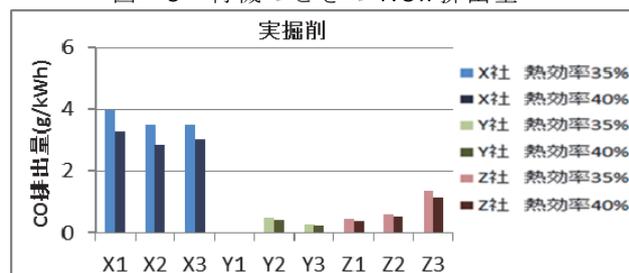


図-6 実掘削のときの CO 排出量

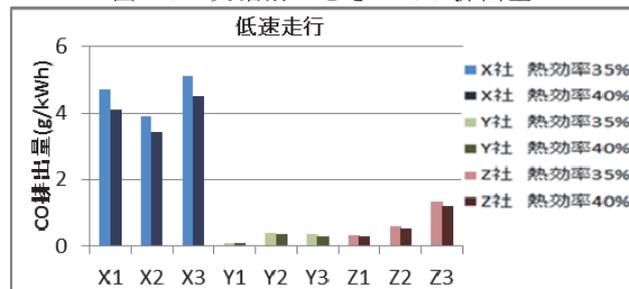


図-7 低速走行のときの CO 排出量

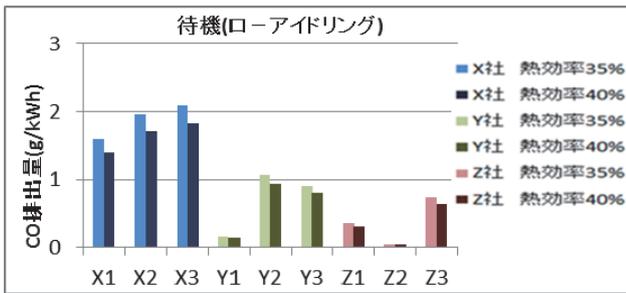


図-8 待機のとときの CO 排出量

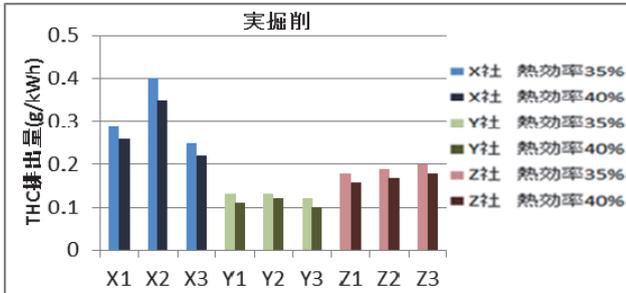


図-9 実掘削のとときの THC 排出量

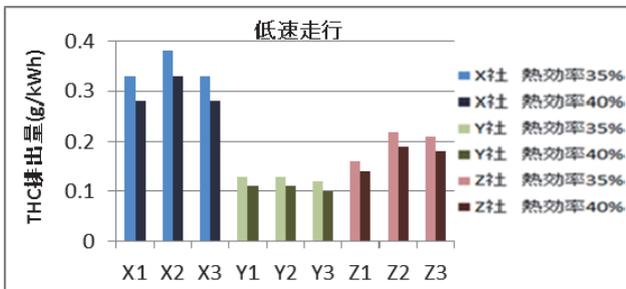


図-10 低速走行のとときの THC 排出量

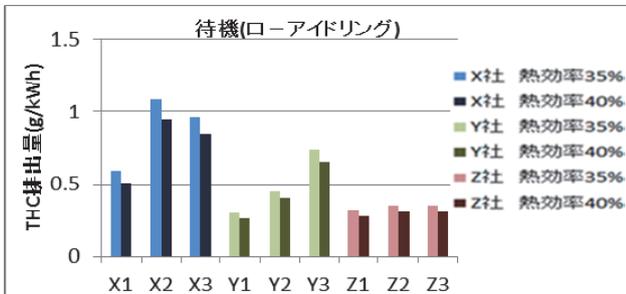


図-11 待機のとときの THC 排出量

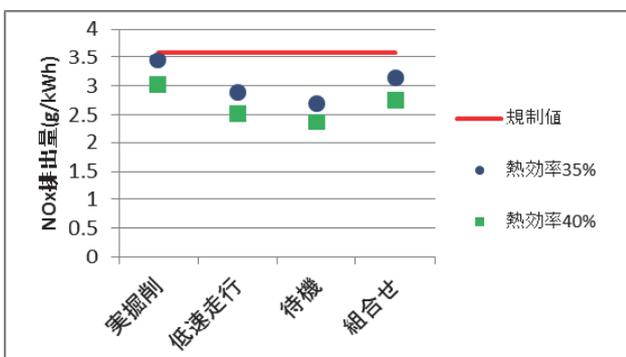


図-12 NOx 排出量の計算結果

4. 考察

今回の計測によって、エンジンベンチ試験による方法ではなく、エンジンを搭載したま

までの実稼働状態の排出ガス量を計測することが確認できた。ただ、実験中に振動によりフレキシブル管が破断することが一度あり、もっと強度のある最適な材料を選択するなど改善の余地が見られた。また、今回計測の対象となった各3社によって排出ガス量に特徴が見られ、他社とは2倍以上の差が出るものもあった。この原因として、近年各メーカーとも地球温暖化抑制や原油価格高騰の背景のために省燃費化を向上させつつ、排出ガス規制値をクリアしていることが考えられる。この際、各メーカーにおいて搭載する建設機械の特性により排出ガス量の差が出る場合があるのではないかと考えられる。さらに、図-12の組合せの値の結果から、エンジンベンチ試験で設定されているモードと実稼働状態でのモードは必ずしも一緒ではないが、エンジンベンチ試験のオフロード法 2006 年規制値をクリアしている今回の計測対象建設機械は、データが9台ではあるものの、実稼働状態でも規制値をクリア出来ていると考えられる。

5. 今後の課題

本研究で、計測対象の油圧ショベルでは、実稼働状態において排出ガス量を計測することが確認された。今後は、他の建設機械についても確認する必要がある。また、前文で述べたように 2011 年からは NOx、PM などの規制の強化が図られ、DPF (Diesel Particulate Filter) の本格的な導入が始まっており、2014 年からは尿素 SCR (Selective Catalytic Reduction) などの導入が予想される。現段階では、使用される条件によっては、これらの後処理装置の性能劣化が生じることなどが懸念されており、それに対する技術的な開発やモニタリングをする体制が確立されることを切に願う。

参考文献

- 1) 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、VOL. 53 NO. 7、pp. 10~13、2011年7月
- 2) ジョン・F サンフォード：現代の科学 20「熱機関」、1980年
Yunus A. Cengel、Michael A. Boles 共著：図説基礎熱力学、図説応用熱力学、1997年
- 3) 自動車から排出される窒素酸化物及び粒子状物質の特定地域における総量の削減等に関する特別措置法
- 4) 一般社団法人日本建設機械施工協会規格：土工機械-エネルギー消費量試験方法-油圧ショベル