

戦-4. 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：技術推進本部（先端技術）

研究担当者：山元弘、杉谷康弘

【要旨】

建設機械の排出ガス規制の強化が 2011 年に見込まれている。それに対応する排出ガス低減技術として、DPF などの後処理装置が装着されることとなるが、排出ガス値が非常に小さい領域になるため、これまでの使用過程車に対する排出ガス性能の評価手法では対応できないことが懸念されている。本研究では、規制強化の実効性を担保することを目的に、建設機械に対する車載型排出ガス計測装置を使用した使用過程車の排出ガス計測手法を提案するものであり、平成 20 年度は確認試験のための準備検討を実施した。

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 2011 年から予定されている。この規制は極めて厳しく、排出ガス値が相当低いことに加え、排出ガスを低減する技術そのものも、これまでにない技術の採用が不可避である。そのため、これまでの使用過程車の排出ガス性能を確認する検査手法では不具合（規制値オーバー）をチェックするには不十分である。本研究では、規制強化により期待される大気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、使用過程車について、エンジンを搭載したままの状態での排出ガス性能を検査する手法を提案する。

2. 検討の条件整理

2.1 検討フロー

本研究の全体フローを図 1 に示す。平成 18 年度は次期排出ガス規制に対応する排出ガス低減技術の調査、平成 19 年度はそれらの技術的課題の整理、平成 20 年度は車載式測定手法の評価試験の準備を実施した。なお、欧米においても同時期に同程度の排出ガス規制の強化が予定されており、欧米の動向もできるだけ入手するようにした。また、先行するトラックなどオンロード車における検討状況も参考とした。

平成 21 年度は実機で排出ガス計測試験を行い検査手法を提案する予定である。

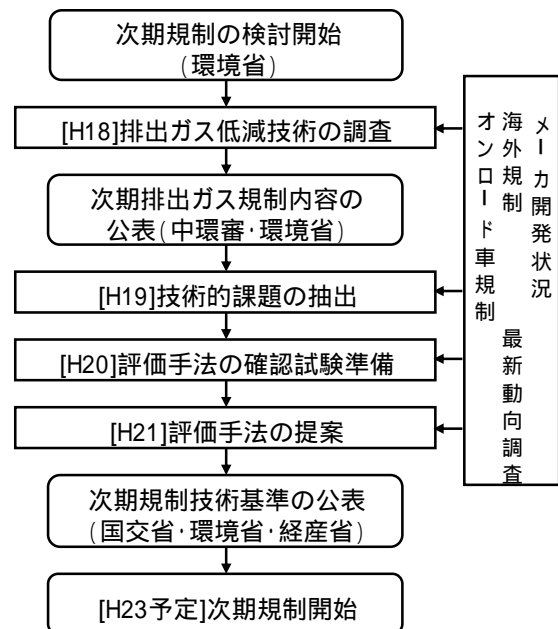


図 1 検討フロー

2.2 次期規制の内容

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。

2.3 オフロード法の規制体系

オフロード法では、建設機械のユーザは、適切な点検整備を実施することにより、排出ガスに関する技術基準を満たすことが要求される。一方で、メーカに対してはエンジンの型式指定の条件として耐久性（エンジンを規定された方法に従って 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。）を求めている。

る。これらにより、当初の排出ガス性能が将来にわたって維持されることとなる。

項目	現行オールド法	9次答申	
		2011年(H23)	2014年(H26)
目標年度	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	NOx 3.6	NOx 2.0	NOx 0.4
130kW_560kW	HC 0.40	NMHC 0.19	NMHC 0.19
抜粋	CO 3.5	CO 3.5	CO 3.5
単位[g/kWh](黒煙除く。)	PM 0.17	PM 0.02	PM 0.02
	黒煙 25%	黒煙 25%	黒煙 25%
耐久時間			
37kW_560kW	8,000時間	8,000時間	8,000時間
抜粋			

表1 中環審査概要

2.4 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)やススといった微粒子を細孔構造で捕集する装置のことで、さらに溜まった微粒子を酸化除去(以下、再生)することが行われる。

<尿素SCR(Selective Catalytic Reduction)>

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NOxを反応させてNOxを還元する方式である。

<NOx吸蔵触媒>

排ガス中のNOxを一旦吸蔵触媒にトラップし、その後還元剤として燃料を噴射しNOxを還元する方式である。

2.5 排出ガス性能の評価に係る技術的課題

排出ガスの規制値を担保するためには、エンジンの型式指定段階で排出ガス性能の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、次のような課題がある。

一つは、排出ガス規制値が非常に小さな値となったため、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。実際

にはエンジンからの黒煙が増加していても(その際、NOx等の排出ガスも増加している可能性がある。)DPFによりPM等が捕集された場合、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。

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。

さらに、建設機械の排出ガス規制値は元々エンジン単体での試験値であることから、その単位が[g/kWh](仕事量当たりの排出量)となっており、排出ガスと仕事量の両方を計測する必要がある。エンジン単体であれば、試験室でこれらの計測が比較的容易であるが、車体に搭載したままで、これらの測定を行うには、幾つかの特別の装置等が必要になる。なお、規制値は決まった試験モードでの排出ガス値として規定されているが、エンジンベースでの試験モードを車載状態で再現することは困難であるため、測定値をどのように評価するかの検討も必要である。

2.6 欧米の状況

欧米においても同様の規制強化が予定されており、同様の問題に取り組んでいる。それらの検討のポイントは、エンジン認証時の統一的な試験モードだけでなく、実際の多種多様な運転モードにおいても排出ガス基準値を満足することを要求するNot-To-Exceed(NTE)規制の導入と、車載状態でNTEの計測を行うための機器(Portable Emission Measurement Systems(PEMS))の開発である。

米国においては、NTEにおいて、排出ガス測定を行うエンジンの運転領域(コントロールエリア)が既に公表されており、それを図2に示す。排出ガス値は、コントロールエリア内のどの地点においても、エンジン認証の試験モード(次期規制においてはNRTCモード)における規制値の1.5倍以内であることが要求されている。

米国のPEMSについては、測定機器の要求性能が公表されている。これはオンロードの分野と同様の要求仕

様である。オンロード車においてこれらの要求を満たす排出ガス測定装置としては、堀場製作所製の OBS-2200 や SENSORS 社製の SEMTECH-DS などがあるが(ただし、粒子状物質 (PM) を測定する装置についてはまだ開発中である。) オフロード車でも適切に測定できるかどうかの確認はとれていない。また、エンジンの仕事量を計測するために必要なデータ(エンジン回転数、エンジントルク、燃料消費量)の取得方法については、エンジンの電子制御装置 (Electronic Control Module (ECM)) から電気信号として取り出す方法が示されている。ただし、現状として、オフロード車において、ECM から電気信号を取り出すことはメーカ自身でなければ困難である。

欧州においては、欧州指令としての公表はまだであるが、米国と同様にオフロード車に対する NTE の導入を検討している。

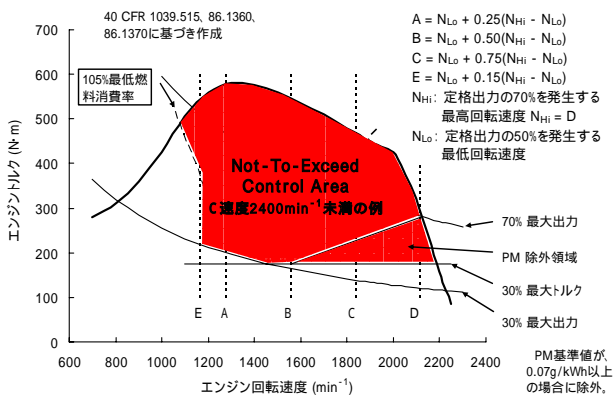


図2 NTE コントロールエリア

3. 評価手法の確認試験の検討

3.1 車載型排出ガス計測装置の選定

物理的に建設機械に搭載可能で、連続的に計測可能な排出ガス測定装置としては、国内で調達可能なものとして下記の2機種が存在を確認した。評価手法の検討においては、これらの2機種の何れかを用いて試験を実施することとする。

メーカ名	機種名	測定原理
堀場製作所	OBS-2200	CO:NDIR THC:FID NOx:CLD
SENSORS 社	SEMTECH-DS	CO:NDIR THC:FID NO, NO2:NDUV

なお、NDIR 方式(紫外線吸収法)は現在のオフロード法に規定された測定方法ではないが、米国の PEMS の方式

としては認められている方式である。

また、これら2機種とは別に FTIR 方式(フーリエ変換赤外分光法)を用いた測定装置(岩田産業製 FAST-2200)が存在するが、現在のオフロード法にも米国の規定にも規定されていない方式であることと、装置が若干大きいことから対象外とした。ただし、この測定装置は様々な種類のガスを測定することができ、例えば尿素 SCR を装着した車両に対する NH₃ や N₂O の排出状況を計測することなどへの利用が考えられる。¹⁾

3.2 仕事量の計測方法の検討

現状において、建設機械に実装されているセンサや ECU からの電気信号を取り出し、エンジン回転数等を計測することは困難である。そのため、エンジン回転数については、光電式センサをプーリに近接して取り付け、その回転数を計測することとした。燃料消費量については、流量計を燃料配管の途中に設置することとしたが、配管の取り外し・取り付けなど、機器の改変が必要であり(他の測定装置は基本的には現状に対して追加的に取り付けるだけであり、測定が終了すれば外すだけである。)メーカの技術者などの補助が必要となる。将来的に行行政職員だけで一般のユーザが所有する建設機械の測定を行う場合には注意が必要である。

仕事量(エンジン出力)は、エンジン回転数と燃料消費量から、あらかじめ作成しておくエンジン出力推定式により計算で求めることとした。エンジン出力推定式の作成手順は、まず同一回転速度においてエンジン出力と燃料消費量の関係を求める。これを幾つかの回転数において行う。回帰式を幾つか作成したところで、回帰式中の係数と回転速度との関係性を求め、それらをもとのエンジン出力と燃料消費量の関係式に入れる。これにより、出力 $P = f(\text{燃料消費量 } F, \text{ 回転速度})$ の推定式ができる。ただし、この推定式の作成には、対象となるエンジンについて回転数と燃料消費量と出力とを計測したデータが必要であり、エンジンメーカからその資料の提供を受ける必要がある。また、この推定式の作成は排出ガスを計測する建設機械の機種ごと(搭載されるエンジンが異なるごと)に行う必要がある。

3.3 車載方法の検討

必要な計測器類の搭載方法を、建設機械の形状や稼働時の振動等を考慮して検討した。搭載する建設機械は 0.5m³ の油圧ショベルとした。搭載される機器を全てリストアップしたところ、その総重量は 125kg ~ 140kg 相当(この内、バッテリーが約半分の重量を占める。)になった。これだけのものを搭載するに当たっては、トラックなど

のオンロード車では、荷台など測定装置を搭載するスペースの確保が比較的容易であるが、建設機械の場合には搭載するスペースが限られており、車体のどこかに「置く」という発想から、カウンタウエイト部に「背負う」という発想で搭載計画を立てることとした。搭載のイメージを図3に示す。搭載する機種は多種多様であり、幾つかの取り付け方法が必要となるが、少なくとも油圧ショベルの同等クラスであれば汎用性のあることを考慮している。油圧ショベルの稼働時には振動が発生するが、計測機器にも振動が伝わるため、防振対策が必要である。どの程度の対策を行うかであるが、計測機器が高価なため、少なくとも故障等が発生しないようにする必要がある。また、極端な衝撃振動が発生する場合を除いて測定が継続される必要がある。これらについては、搭載時の振動加減速度を事前に計測し、詳細を詰めることとした。

また、マフラ出口の排出ガス採取部の設置計画は、マフラ出口の形状（円形断面ではない）、排出ガス温度（400 程度の高温である）、排出ガス流量（17m³/min 程度）、流量計の設置（直径の6倍以上の直線部が必要）などを考慮して決めた。

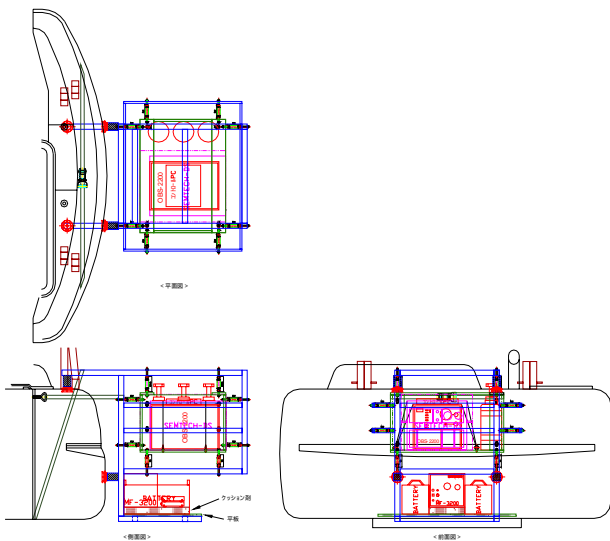


図3 計測機器搭載イメージ

3.4 試験による確認項目の検討

車載で計測する利点は、エンジンを降ろす必要がないことはもちろんであるが、実際の作業時の排出ガス値を計測できることである。建設機械が作業を行う場合には基本的に振動が発生する。そのような条件の中で適切に排出ガス値を計測することが必要であり、下記の項目について確認を行う。

<車載性>

作業に影響しないことが必要である。計測装置を搭載

することにより、本来の作業の障害になっていないかを確認する。また、ユーザ所有の車体に取り付けることを想定すると車体に溶接するなどの改変はもちろんのこと、キズなども付けないようにする必要があり、吸盤やベルトなどでの固定方法で、作業中に計測装置が落下したり、振り落とされたりしないような確実な取り付けになっているかも確認する必要がある。

<耐振性>

防振対策は実施するが、ある程度の振動は計測機器に伝搬する。そういった中で、計測値が安定した値を計測できるかを確認する。また、その限界値を確認することにより、実際の評価時にはデータをキャンセルすることなどに使用する。なお、計測機器の応答の状況によっては、搭載方法、防振方法を見直すことも検討する。

<排出ガス値>

走行や掘削など、作業状況により、エンジン回転速度とエンジントルクがどの領域で運転されており、その時の排出ガス値がどの程度であるかを確認する。

5. まとめ

平成 20 年度までは、確認試験を実施するための準備として文献調査、机上検討等を進めてきた。これらをもとに平成 21 年度は実機による試験を実施する。

オンロード車の排出ガス規制が強化される中、オフロード車の規制が確実に進められないと、2020 年には自動車排出ガス総量のうち、オフロード車からの割合が PM で約 80%、NOx で約 51%を占めることになると言われている。特にオンロード車のように定期的な検査（車検）で排出ガスをチェックされることがないオフロード車では、使用過程における排出ガス性能の維持管理をどのように担保していくかが重要である。

本研究で実施する車載型の使用過程車排出ガス性能評価手法が確立されれば、ユーザに必要な点検整備を促したり、メーカーに改善指導をしたりすることなどに活用が期待され、規制強化による大気環境の保全に資することができる。今後、技術的な検討に加えて、それらの制度的なスキームを構築する行政部署との連携をさらに進めていく必要がある。

参考文献

- 1) 鈴木央一ほか：尿素 SCR 車の規制および未規制成分の排出特性解析、(社)自動車技術会学術講演会前刷集 No.30-08

A STUDY ABOUT EVALUATION OF PERFORMANCE OF EMISSION FROM CONSTRUCTION MACHINE

Abstract : Emission regulation for non-road vehicle will be reinforced around 2011. And after-treatment device like DPF will be adopted as the emission reduction technology. Then emission value becomes very small, we are concerned that the evaluation technique of the emission performance for in-use non-road vehicle in a past use process is not usable. So we are studying that about the evaluation technique of the emission performance that use portable emission measurement systems (PEMS). In 2008 we made plan for confirming PEMS.

Key words : construction machine, exhaust emission, portable emission measurement systems