

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、高見圭

【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、これまでの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、新しい排出ガス低減技術について調査し、それらの構造・機能から、規制を実施する上での課題を抽出した。その結果、触媒を使用する後処理装置の耐久性の評価、及び使用過程車の排出ガス性能の評価が問題であることを確認した。

キーワード：建設機械、排出ガス、後処理装置、触媒、耐久性

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。この建設機械に対する排出ガス規制については、排出ガス値をより厳しいものとする方針が中央環境審議会から示されているが、それを規制として実施するためには、厳しい排出ガス値に対応した新しい排出ガス低減技術を適切に評価する手法も必要となる。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、新しい排出ガス低減技術を適切に評価するための技術的課題について検討を行う。

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を調査し、平成 19 年度はそれらの技術的課題について整理した。

規制強化の内容は、ある程度の予測はできたが、平成 20 年 1 月の中央環境審議会答申で明らかとなった。その内容及びその内容に対応した排出ガス低減技術が本検討の前提条件となる。また、本検討は、オフロード法の施行に資することで意味を持つため、オフロード法の規制体系も前提条件である。ただし、規制体系は場合によっては見直すことが可能であり、絶対的な条件とはしないこととした。

トラックなどオンロード車の排出ガス低減技術は建設

機械などのオフロード車よりも進んでおり、排出ガス低減技術については、トラックで採用された技術が建設機械に応用されることが予想される。そのため、先行するオンロード車の排出ガス評価方法を参考とすることとした。また、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。

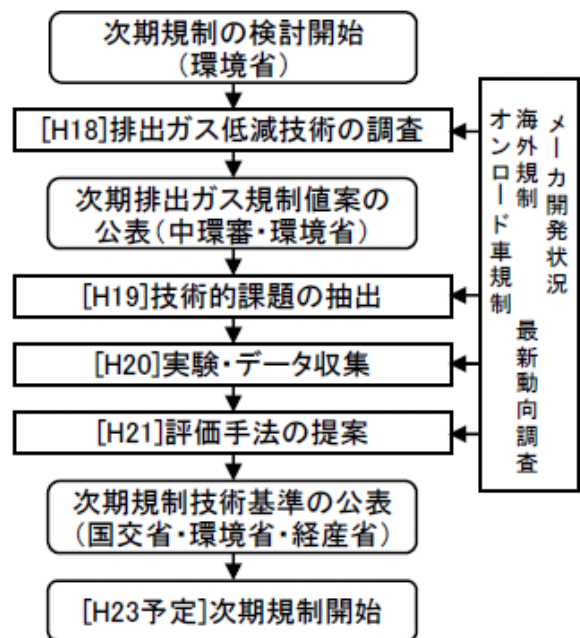


図 1 検討フロー

2.2 次期規制の内容

平成 20 年 1 月に中央環境審議会より「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）」が環境大臣に答申された。通常であれば、今後この答申を

受けて大気汚染防止法に基づく排出ガスの許容限度が改定され、その許容限度を順守するかたちでオフロード法の規制値が改定される。従って、本答申で示された排出ガス値が、次期規制値となると考えてよい。

本答申の中で示された概要について、排出ガス値以外の項目も含めて現在のオフロード法と比較するかたちで表1に示す。

項目	現行オフロード法	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 中環審答申概要

2.3 オフロード法の規制体系

現在施行されているオフロード法は、いわゆる使用規制である。建設機械のユーザは、排出ガス基準に適合したものしか使うことができない。また、使用中においても、整備不良、故障、不正改造等により排出ガスに関する技術基準(特定特殊自動車技術基準)を満たさなくなった場合には整備を行うことを命じられる。これにより、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。

また、トラックなどでは、エンジンを車体に搭載した状態で排出ガス試験を行うことが可能だが(ただし、大型のものについてはエンジン単体で試験が行われる。)建設機械ではエンジンを車体に搭載しないで(エンジン単体で)排出ガス試験を行う。これは、トラックのように走行を主とするものはエンジンを車体に搭載し、走行という指標で評価することが試験方法として比較的容易であるのに対して、建設機械のように作業を主とするものをエンジンを車体に搭載した状態で作業量という指標で評価することが困難であるためである。また、建設機械のように同一の型式のエンジンが多種多様な車種に搭載される場合には、エンジン単体で評価した方が都合がよいという事情もある。

なお、エンジンの型式指定の条件として耐久性を求めており、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。)運転することによって、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(劣化の速度を速める方法を用いる方法)を認めている。¹⁾

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。

2.4.1 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。

DPFに堆積した微粒子を再生する方法として自動車では現在採用されている方法としては、通常の再生方法である連続再生と、微粒子が堆積したこと(目詰まり)を検出して強制的に微粒子の再生を行う強制再生の二種類がある。

連続再生: DPFの前段に酸化触媒を設けて排ガス中のNOをNO₂に酸化し、そのNO₂を用いてより低い排ガス温度でススを酸化する方法。

強制再生: DPFの前段に酸化触媒を設けて排気行程において燃料を噴射するポスト噴射を用いて燃料中のHCを酸化燃焼し排ガスを高温にすることによりススを酸化する方法。

上述したようにDPFに堆積した微粒子を再生するために酸化触媒(以下DOC: Diesel Oxidation Catalyst)が用いられる。DOCはより低い雰囲気温度(排ガス温度)で微粒子を再生する目的で使用される。

堆積した微粒子を再生した後は、燃えカスであるエンジンオイル由来の灰分(アッシュ)が生成され、DPFの目詰まりを促進(背圧が上昇)していく。アッシュの除去はDPFを清掃しない限りはできないため、アッシュの堆積がDPFの交換間隔・寿命に影響を与える。そのため自動車用エンジンオイルで規格があるように、建設機械でもアッシュ分が生成されにくいローアッシュのエンジンオイルを使用することがメーカーにより推奨されると考えられる。

DPF の目詰まりを検出する方法としては排気圧力センサによるエンジン排気背圧の計測が一般的である。自動車において「道路運送車輛の保安基準第 31 条細目告示別添 48 II.2.J-OBDI の故障検知対象」に“DPF で排気圧力センサを採用する場合に限り、断線などによる排気圧力センサの故障検知をすること”が求められていることからこのことがうかがえる。

国土交通省が制定している後付の後処理装置の性能評価制度である「NO_x・PM 低減装置性能評価制度」によると 排出ガス低減性能、黒煙、再生性能、耐久性の 4 つの性能を確認することになっている。

また首都圏八都府市が制定している後付の後処理装置の性能評価制度である「粒子状物質減少装置指定制度」によると 排出ガス、信頼・耐久性を確認することになっている。なお、国土交通省が制定している建設機械を対象とした「排出ガス対策型建設機械指定要領の排出ガス対策型黒煙浄化装置の認定に関わる運用」では耐久性に関する評価は現在のところ求められていない。

2.4.2 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 NO_x を反応させて NO_x を還元する方式である。構成部品としては尿素水のタンク・噴射装置・噴射制御装置・触媒類に分けられる。触媒が構成部品として重要であり、使用される触媒を以下に示す。

アンモニアと NO_x の化学変化を促進するための選択還元触媒

アンモニアと NO_x の化学変化の効率を上げる目的で NO : NO₂ 比を 1 : 1 に近づけるために前段に配置される酸化触媒

アンモニアが大気中に放出されることを防止するために後段に配置される酸化触媒

尿素水は排ガスを低減させるために消費されるので、劣化以前に尿素水の補給・尿素水の供給インフラの整備という問題がある。トラックでは供給インフラが整備されつつあるが、建設機械を含むオフロード車での供給体制がどのようになるかは現時点では不明である。

DPF とは違い NO_x を直接低減するため選択還元触媒・酸化触媒の劣化確認が重要と考えられる。

2.4.3 NO_x 吸蔵触媒

排ガス中の NO_x 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 NO_x を還元する方式である。

上述の尿素 SCR と同じく、触媒の劣化確認が重要と考えられる。また尿素 SCR とは違って硫黄被毒回復制

御が必須とされ、尿素 SCR よりも硫黄被毒に弱いと考えられる。

2.5 欧米等の状況

北米 (EPA) においては、40CFR 1039 にエンジンの排出ガス性能の耐久性に関して述べられており、Deterioration Factor で排ガス性能の劣化を評価している。外挿法、加速試験共に認められているが、加速試験をどのように行うかなどの詳細は記載されていない。

欧州 (EC) においては、DIRECTIVE 97/68/EC Annex III Appendix 5 に Durability Requirements が述べられており、Deterioration Factor で排ガス性能の劣化を評価している。外挿法、加速試験共に認められているが、加速試験をどのように行うかなどの詳細は記載されていない。

3. 排出ガス性能の評価に係る技術的課題

これまで示したように、次期規制では、現規制と比較して相当程度低い排出ガス値となり、それに伴い、新しい排出ガス低減技術が採用される。行政サイドとしてこれらの規制の強化を確実に大気環境の改善に繋げるためには、規制を実施する上で、排出ガス基準に適合しているかどうかを的確に検査することが重要である。具体的には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や、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である。それらの観点から、次期規制における技術的課題について整理した。

3.1 耐久性評価に関する課題

現規制においても耐久性の評価が行われているが、8,000 時間の間、規定の運転パターンで負荷 (仕事量) を与えることで評価している。これは、エンジン単体の耐久劣化が仕事量で評価できると考えられるからである。そのため、規定の運転パターンで 8,000 時間運転した場合の仕事量と同じ仕事量であれば、負荷を大きくして短時間で評価すること (加速試験) も認められている。また、その仕事量に対する劣化の傾向がある程度経験的にわかっており、8,000 時間に達する前であっても、劣化の傾向が判断できる場合には、短時間で評価すること (外挿法) が認められている。しかしながら、次期規制で採用される後処理装置に関して、エンジンと同様に仕事量で評価することに対しては、下記に示すように、さらに検討が必要であると思われる。

後処理装置としては DPF、尿素 SCR、NO_x 吸蔵触媒がある。それぞれの後処理装置を見てみると、DPF には酸化触媒が、尿素 SCR には選択還元触媒と酸化触媒

が、また NO_x 吸蔵触媒には NO_x を吸蔵する触媒が使用されている。これらの触媒が排出ガス性能に影響を持つことは明らかであり、後処理装置の劣化を検討する際には、まず触媒の劣化について検討する必要がある。

自動車排ガス用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が主要因であるとされている。被毒劣化には燃料中の硫黄分による硫黄被毒と排ガス中の HC による HC 被毒がある。HC 被毒については、排出ガス温度が低くなるアイドリング状態が長時間継続することが劣化の要因であるとされている。なお、被毒劣化は被毒回復制御として高負荷運転を続けることにより回復する。

これらのことから、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、現規制のエンジン単体の加速試験方法が適用可能かどうかについては不明な部分が残されている。

また、触媒の劣化はある程度避けられないため、その対策として性能劣化分を見込んだ量の触媒を使用することが行われている場合がある。この場合、劣化というよりは触媒の消耗と見ることもできるが、8,000 時間に満たない短時間で将来の傾向を予測する外挿法を適用する際には触媒性能がいつまで持続するかについて確認できる資料の提出などが必要になると考えられる。

次年度以降は、耐久性評価に関して更に知見を収集し、型式指定の判定において、技術基準として規定すべき項目の提案を行う予定である。

3.2 使用過程車の排出ガス性能評価に関する課題

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、その単位が[g/kWh]（仕事量当たりの排出量）であり排出ガスと仕事量の両方を計測する必要があることから、エンジンを搭載した状態で当初の排出ガス性能が維持されているかどうかを判定することには難しい点がある。現規制においては、エンジンを搭載した状態で、無負荷急加速を行い、その際の黒煙の値を基準値とすることにより対応している。これまでは後処理装置が無かったため、排出ガス規制値に応じた（規制値に適合する性能を有するエンジンに応じた）黒煙の値を設定することにより、エンジンに不具合が生じ、排出ガス性能が悪化した場合には、それを黒煙の値の悪化としてある程度把握することが可能であったため、有効な手段であったと思われる。

次期規制において、現規制の手法をそのまま継続することに対しては、次の点で課題がある。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正確に判定できるかどうかという点。もう一つは、実際にはエンジンからの黒煙が増加している（その際、NO_x 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があることである。

一つ目の課題に対しては、トラックなどオンロード車では、オパシメータという測定原理の異なる測定器を採用することを決めている。ただし、オパシメータを採用するに当たっては、これまで建設機械に関するオパシメータを使用した場合の値を調査した事例が無いため、その値をどの程度に設定するかを慎重に検討する必要がある。また NO₂ が光を吸収する性質から、排ガス中に NO₂ がある場合にオパシメータの測定値が低くなる可能性もあると言われている。そのため、実際にサンプル調査等も行い適用の可能性を検証する必要がある。また、現在の黒煙測定器に関しても、黒煙汚染度で 10%程度までは測定可能と言われており、使い方次第では今後も検査方法として有効な方法となる可能性もある。

二つ目の課題に対しては、現在の方法では解決は困難である。現在の方法では、DPF に亀裂等が生じて黒煙が漏れていることを確認することはできるが、DPF が機能している場合には、エンジンの不具合を全く検知することができない。これについてもオパシメータで解決できる可能性があるが、やはり検証が必要である。また、NO_x を直接計測することや、DPF を通過する他の排出ガス成分を計測することの可能性なども今後検討する。

4. まとめ

本研究は、排出ガス規制の強化に伴い、これまでの排出ガス性能の評価手法の是非を検証し、必要に応じて新たな評価手法を提案するものである。平成 19 年度までの検討においては、専ら事例や最新の知見の収集、関係者へのヒアリングなどを行い、平成 20 年度以降の検討に資するための情報を整理した。その結果、触媒を使用する後処理装置の耐久性の評価、及び使用過程車の排出ガス性能の評価を課題として抽出した。

参考文献

- 1) 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

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 we studied that about after-treatment device and the presumed problem of emission inspection. As the result, we indicated that there are some problems when we evaluate the durability of after-treatment device with catalyst and inspect the emission of in-use vehicle.

Key words : construction machine, exhaust emission, after-treatment device, catalyst, durability