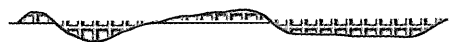


special issue: eco - procedures for construction

建設施工の環境対策—大気環境特集



建設施工の地球温暖化対策と建設機械の排出ガス対策

—油圧ショベルの省エネルギーモードの効果および建設機械用排出ガス対策型エンジンの現状—

桜田 明彦・牧戸 由美・稲葉 友喜人

建設事業の推進にあたっては、環境への負荷を可能な限り低減するための配慮が必要であり、施工段階の温暖化対策や排出ガス総量の削減に建設機械での対策が寄与するところは大きい。油圧ショベルのほとんどに採用されている省エネルギーモードについて、実験によりその燃費低減効果の詳細を明らかにし、さらに現場における1日の燃料消費量の変化等から施工段階の地球温暖化対策に有効であることを確認した。また、排出ガス対策型建設機械に搭載される認定エンジンの搭載状況を調べるとともに、対策レベルごとの排出ガス値をとりまとめた。

キーワード：地球温暖化対策、排出ガス対策、建設施工、油圧ショベル、省エネルギーモード、ディーゼルエンジン

1. はじめに

建設事業は、大量、多種類の資材、大型の建設機械を使う規模の大きい活動であるところから生態系等の自然環境や生活環境に与える影響が大きい。そのため、建設事業の推進にあたっては事業の計画、設計、施工、維持・修繕、解体の全ての段階において環境への負荷を可能な限り低減するための配慮が必要である。

地球温暖化対策は、全ての人と組織それぞれが全ての段階で、あらゆる方策を講じ、少しずつの削減効果を積上げる取組みであり、寄与率の多少に関わらず取り組まなければならない。

一方、日本における建設機械の排出ガス対策は、「建設機械に関する技術指針」(平成3年10月建設省)に基づく排出ガス対策型建設機械指定要領(以下、指定要領とする)の制定に始まったもので、自動車からの排出ガス総量に占める建設機械の割合は窒素酸化物(以下、NO_xとする)18.8%、粒子状物質(以下、PM: Particulate Matterとする)9.6%とされ¹⁾、その重みは小さくない。

本報文は、建設施工の地球温暖化対策として国土交通省中部地方整備局中部技術事務所が検討した施工段階の地球温暖化対策に有効な油圧ショベルの省エネルギーモードについてその燃費低減効果等を報告するとともに、指定要領の排出ガス対策型認定エンジンの現

状について報告するものである。なお、本報文でいう「エンジン」は指定要領が対象としているディーゼルエンジンを指しており、5章は施工技術総合研究所が行った排出ガス対策型エンジンの評定*実績によるものである。

2. 油圧ショベルの排出量寄与率

施工段階における温室効果ガスの排出は、資材の使用に伴う排出(製造・運搬に係る排出)とエネルギー

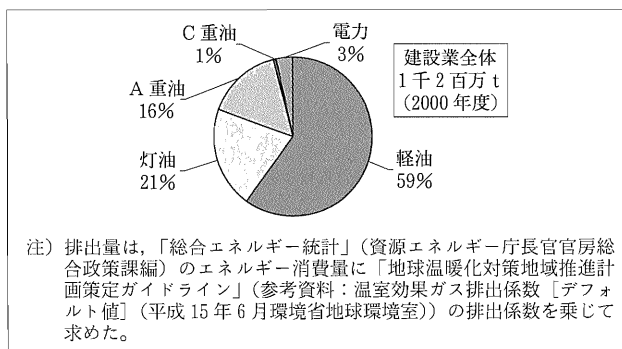


図-1 建設業のエネルギー消費に伴うCO₂排出量

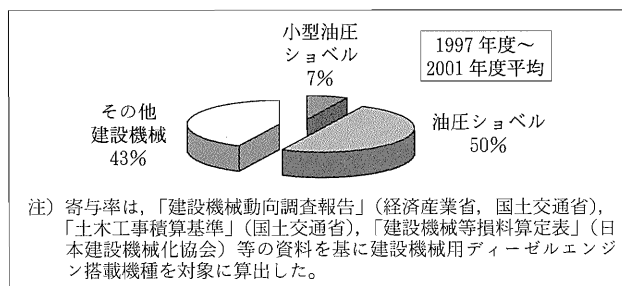


図-2 建設機械における油圧ショベルのCO₂排出量寄与率

* 指定要領では、対策型エンジンの認定申請の際に評定機関が発行した評定書(対策型エンジンであることの証明)が必要であり、施工技術総合研究所は指定要領制定以来の評定機関としての実績を有している。

消費による排出に大別されるが、施工段階の対策例²⁾を見る限り施工段階での対策はエネルギー消費量の削減が主体になるものと推察される。エネルギー消費に伴う二酸化炭素（以下、CO₂とする）排出量は、建設業における軽油消費量の多さ（図-1）からその大半が建設機械と推察され、さらに建設機械の約半分が油圧ショベルによるものと試算（図-2）されるところから油圧ショベルでの対策が効果的であることがわかる。

3. 油圧ショベルの省エネルギーモード

(1) 採用状況

省エネルギーモードは、その選択方法や呼び方はメーカーで異なるがメーカーの指定に従ったスイッチ選択等を行ったとき、諸設定の変更または自動制御等によりエンジン回転速度を下げ、エンジン燃料消費率の良い運転点の運転頻度を高くするなどを行って単位作業量当たり燃料消費量（以下、燃費とする）を低減させる機構である（単にエンジン調速の設定を変えるだけの機械もある）。

表-1は、最近の省エネルギーモード採用状況を示すもので、12t（山積0.5m³）級以上の標準仕様油圧ショベルではほとんどに採用されている。なお、表の6社は、小型を除く油圧ショベルメーカーであり、国内市場はこの6社でほとんどを占めている。

表-1 省エネルギーモードの採用状況

	A社	B社	C社	D社	E社	F社
6t (0.28m ³) 級	×	○	○	×	○	○
12t (0.5m ³) 級	○	○	○	○	○	○
20t (0.8m ³) 級	○	○	○	○	○	○

注) 級の容量は、バケット山積み容量。

(2) 掘削積み作業試験結果

掘削積み作業試験は、施工技術総合研究所の作業試験場において平成12年度に12t級油圧ショベルを、平成15年度に20t級油圧ショベルを、前記6社の最新型式各1台について各社が申告した標準モードと省エネルギーモードにより実施したものである。

作業試験場は、土質を均一にするため一度試験場全体を掘削深さまで全て掘削、搬出し、1層約30cmで埋戻してブルドーザにより転圧することで造成した。

掘削積み作業試験は、掘削90度旋回、4回積みを一試験として4回行い、平均的な3回を試験結果として採用した（表-2、図-3）。

試験結果は、両クラスとも平均値で時間当たり作業

表-2 掘削積み作業試験における省エネルギーモードの効果

	サイクル タイム	時間当たり 作業量		時間当たり 燃料消費量	作業量当たり 燃料消費量
		増減	増減	増減	増減
12t(0.5m ³)級	6社	2~6%増 平均4%増	****注1) 平均4%減	16~24%減 平均19%減	14~20%減 平均16%減
	主要3社	3~6%増 平均4%増	0~5%減 平均3%減	18~20%減 平均19%減	14~20%減 平均17%減
20t(0.8m ³)級	6社 ^{注2)}	2~8%増 平均5%増	2~8%減 平均4%減	11~21%減 平均18%減	4~20%減 平均14%減
	主要3社	2~8%増 平均6%増	0~6%減 平均4%減	20~21%減 平均21%減	18~20%減 平均19%減

注1) 時間当たり作業量が少なかった2人（図-3注2）を含むため範囲を表示してない。

注2) 6台（6社）の内1台は、標準モードそのものが省エネルギーモード相当のため除外した。

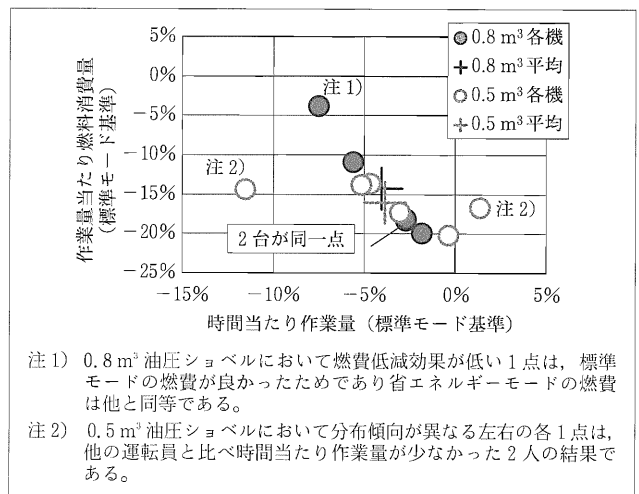


図-3 省エネルギーモード使用時の効果と作業能力の低下

量（以下、作業能力とする）の低下を数%に抑えつつ燃費を十数%低減する効果を示した。

図-4は、20t級油圧ショベルの試験結果の内2型式を詳細に示したものであり、標準モードは4名の運

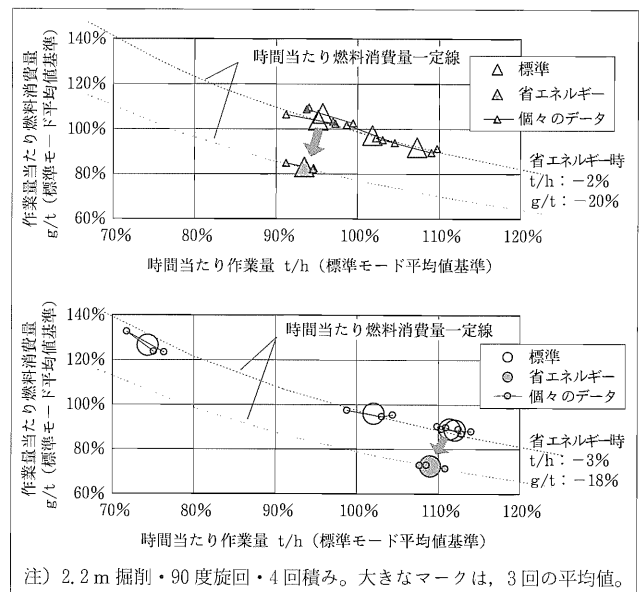


図-4 掘削積み作業試験結果の詳細（20t級、2社の例）

転員（内、1名は自社運転員）、省エネルギーモードについては自社運転員のみで行った結果である。

図中の矢印は、自社運転員による標準モードと省エネルギーモードの位置関係を示すもので、図中右の数値が標準モードに対する省エネルギーモードの変化である。

標準モードにおける運転員の燃費差は、時間当たり燃料消費量の差が小さいことから作業能力の差が主因であることが分かる。また、他の運転員における省エネルギーモードの燃費低減効果は、省エネルギーモードの時間当たり燃料消費量が標準モードと同様運転員間の差が小さいと推察されるので同様の効果が十分期待できる。

なお、運転員は、各社で実験に携わっている方々であるが、この程度のばらつきがあった。図が示す作業能力と燃費の関係は、運転員の技量習熟が作業能力の向上とともに燃費低減対策としても重要であることを示すものでもある。

省エネルギーモードは、作業能力の低下傾向があるが、掘削積込み作業における数%の低下は、運転員によるばらつき（図-4）と比較して十分に小さなレベルといえよう。

なお、20t級油圧ショベルのならし模擬動作（ブームとアームの操作による前後方向の整地動作）と低速段走行の試験結果は、20t級油圧ショベルの平均燃費（g/回、g/m）で掘削積込み作業と同様の省エネルギーモードの効果を示しており、各種の動作に幅広くその効果が期待されることとなった。

(3) 現場における確認結果

省エネルギーモードの効果は様々な作業を行う実現場においても確認する必要があることから、掘削積込み作業試験を実施した20t級油圧ショベル6型式の内2型式について実際の工事現場（平成16年度、中部地方整備局管内の直轄工事2現場）において各1台標準モードと省エネルギーモードを各1日運転し現場確認を行った。

時間当たり燃料消費量での積込み作業等における効果は、エンジン運転点の前年度実験時とのずれ等を補正したうえで総消費量から逆算したとき、以下の結果が得られた。

- ① 一つの現場における省エネルギーモードの効果は、前年度の実験結果を上回る低減（21%→31%）となった。
- ② もう一つの現場における省エネルギーモードの効果は、前年度の実験結果と同一の低減（20%→

20%）となった。

図-5は、それぞれの現場における積込み作業の1日のサイクルタイムを比較した結果を示すもので、1台は前年度の実験で6型式中最もサイクルタイムの延びが大きかった型式、1台は最も延びが小さかった型式である。現場の巡回角度等は、実験のように一定ではないためサイクルタイムにばらつきが生じることは当然であるが、平均値では両型式とも前年度の実験結果と同様の変化率となった。

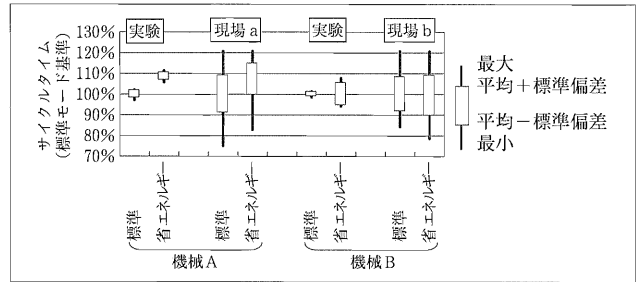


図-5 省エネルギーモード使用時のサイクルタイムの変化（積込み作業）

(4) 省エネルギーモードの使用実態

中部地方整備局管内の直轄工事で稼働している油圧ショベルの運転員を対象に、1日の稼働における省エネルギーモードの使用状況についてアンケート調査を行った。回答者が運転していた油圧ショベルのクラスは、図-6に示すとおりである。

省エネルギーモードの使用状況は、作業の種類ごと

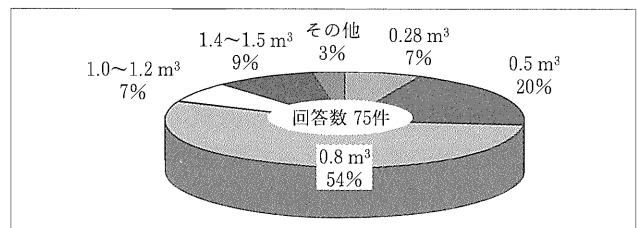


図-6 アンケート回答の油圧ショベル

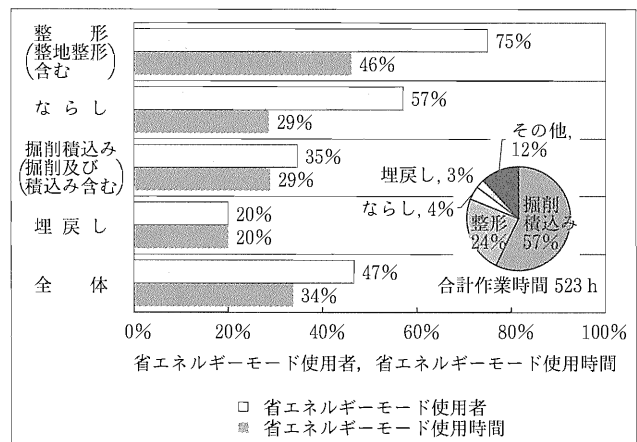


図-7 省エネルギーモードの使用状況

に回答して戴いたもので、回答数 75 件に対し延べ作業件数は 105 件であった。

図一七は、実施件数が多かった 4 作業と全体の集計結果を示すもので、全体では、約半数が省エネルギーモードを使用し、時間的には約 1/3 の使用状況にあった。

(5) 省エネルギーモードの使用効果

作業試験場および実現場での調査の結果、省エネルギーモードを使用することにより作業性がほとんど低下することなく燃料低減効果が得られることが確認できた。

また、実現場における CO₂ の削減効果を試算した結果、平成 16 年度における中部地方整備局管内の直轄工事現場の油圧ショベル全てで省エネルギーモードを使用した場合、約 2,700 t (約 3%) の CO₂ 排出量の削減効果が期待できることがわかった。

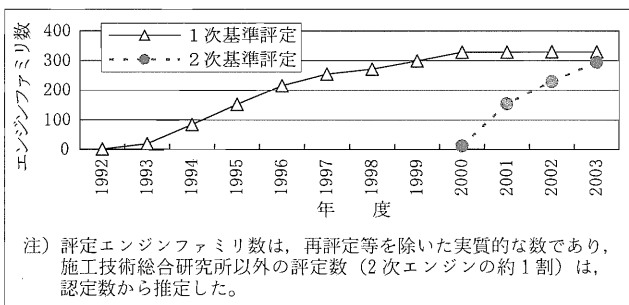
現場においては作業性が落ちる等の理由から省エネルギーモードが十分活用されていない現状があるが、「建設現場で今すぐできる環境対策」として省エネルギーモードの積極的な使用は有効であるといえる。

4. 建設機械用エンジンの搭載状況

(1) エンジンファミリー数

エンジンファミリーとは、基本的な構造等を同一とし出力仕様等を異にするエンジンの集まりを言い、建設機械用エンジンの認定および認定は、エンジンファミリー単位で行われる。エンジンを建設機械に搭載する際は、ファミリーの範囲でそれぞれの機械の要求仕様に合わせて出力設定等の変更を行って搭載される。認定は、最も不利な出力仕様の排出ガス値と基準値との照合により行われる。したがって、エンジンファミリー全体の排出ガス値としては、基準値との照合に用いられた上記の排出ガス値よりも低いこと（安全側）になる。

図一八は、エンジン認定の累積数の推移を示すもので、図に示すエンジンファミリー数は再認定等を除いた

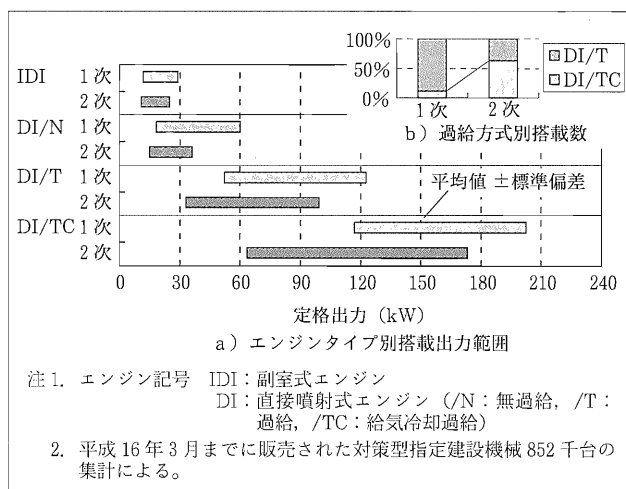


図一八 エンジン認定の累積数

実質的な数であり、このエンジンファミリー数で約 85 万台（平成 15 年 3 月までの販売数）の排出ガス対策型建設機械の排出ガス対策が行われている。なお、認定数は、同一エンジンの複数認定（複数ブランド等）があるため、図の評定数より 2 割程度多くなっている。

(2) エンジンタイプ別搭載出力範囲

建設機械に搭載されるエンジンは、燃焼室形式と過給方式でエンジンタイプを分類したとき、タイプ別に図一九で示す出力範囲に搭載されている。図は、排出ガス対策型指定建設機械の販売台数を集計した結果であり、副室式エンジンには過給機付きエンジンを含むがその数は極めて少ない。



図一九 エンジンタイプ別搭載出力範囲と搭載数

直接噴射式過給エンジンの場合、1 次基準建設機械では給気冷却を行わない過給エンジンが過半数を占めていたが、2 次基準建設機械では排出ガス対策と燃費対策に有効な給気冷却過給が相当低い出力帯まで採用されるようになり数も相当多くなった。また、1 次基準エンジンでは水冷方式の給気冷却過給の方が多かったが 2 次基準エンジンではその殆どがより給気温度を下げられる空冷方式になった。

なお、自動車の NO_x 低減技術として一般的に用いられている EGR (Exhaust Gas Recirculation) 技術は、集計時点の 2 次基準エンジンには採用されていない。また、コモンレール等の電子制御エンジンも少なく、これらは 3 次基準エンジンから本格化すると見られる。

(3) 出力区分別の寄与程度

図一十は、出力区分ごとの仕事量寄与率の日安として示すもので、運転時間と負荷率が出力に関わらず一定でかつ販売台数が稼働台数に比例するならば、図

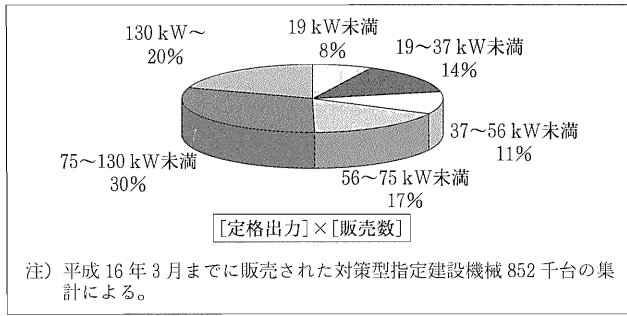


図-10 出力区別総出力の構成

の出力区分ごとの総出力の構成率にそれぞれの出力区分に応じた排出ガス値等に乗じることで排出量寄与率を推定できる。無論、搭載機種の種類、運転時間、負荷率および稼働台数は、機種ごとに異なるので、推定される寄与率は概略値である。

二酸化炭素排出量の場合は表-4 の燃料消費率を、排出ガス排出量の場合は表-4 の当該排出ガス値を用いることでそれぞれの寄与率の概略値を試算できる。

5. 建設機械用エンジンの排出ガス値

(1) 排出ガスの測定方法

建設機械の排出ガス量は、図-11 に示す 8 測定点の測定値から全体としての仕事量当たり排出ガス量で

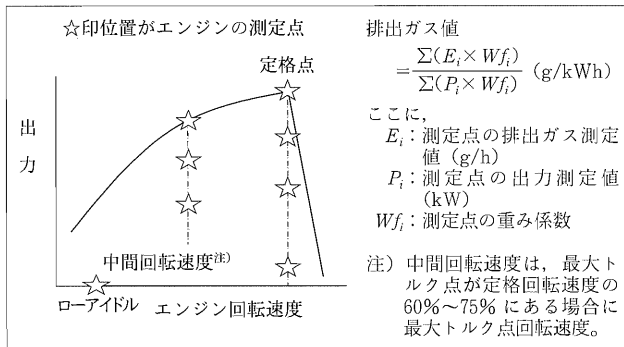


図-11 建設機械用エンジンの排出ガス測定点

評価される（本報文では、この評価値を排出ガス値としている）。

エンジンファミリー内の個別のエンジンは、排出ガス対策が同一であっても出力仕様が異なれば測定点も変わるので排出ガス値にも差が生じてくる。

図-12 は、各測定点の NO_x 排出率を示すもので、出力区分 75~130 kW の 2 次基準エンジンの測定事例である。この二つの事例の場合、いずれのエンジンも測定点が低出力側になるほど排出率が大きくなる傾向があり、何も対策せずに定格出力を下げると NO_x の排出ガス値は高くなることになる。

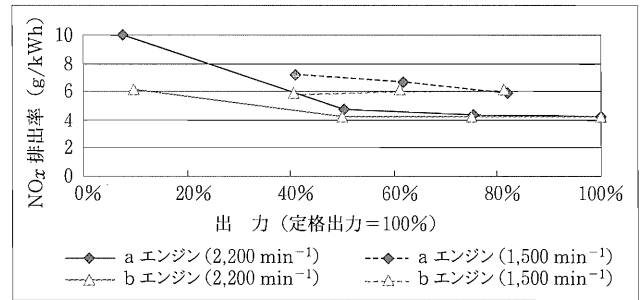


図-12 各測定点の排出ガス排出率

(2) 排出ガスの基準値と実態

排出ガス基準値（表-3）は出力が小さい程大きくなるが、搭載エンジン出力仕様の排出ガス値を出力区分（基準値の区分ではない）ごとに集計した場合

表-3 建設機械の排出ガス基準値

出力区分	指定制度 第2次基準値					特殊自動車現行規制値		
	対象物質	HC	NO _x	CO	PM	黒煙	対象物質	同 左
8~19 kW 未満		1.5	9.0	5.0	0.8	40	8~19 kW 未満	未規制
19~37 kW 未満		1.5	8.0	5.0	0.8	40	19~37 kW 未満	同 左
37~75 kW 未満		1.3	7.0	5.0	0.4	40	37~75 kW 未満	
75~130 kW 未満		1.0	6.0	5.0	0.3	40	75~130 kW 未満	
130~560 kW 以下		1.0	6.0	3.5	0.2	40	130~560 kW 未満	

表-4 建設機械用エンジンの排出ガス値と燃料消費率

対象 出力区分	HC (g/kWh)			NO _x (g/kWh)			CO (g/kWh)			PM (g/kWh)			燃費 (g/kWh)	
	未対策	1次対策	2次対策	未対策	1次対策	2次対策	未対策	1次対策	2次対策	未対策	1次対策	2次対策	1次対策	2次対策
15 kW 未満	0.5	0.42	0.40	5.9	5.28	5.31	1.8	1.71	1.49	0.53	0.53	0.355	300	285
15~30 kW 未満	0.9	0.62	0.49	8.9	6.77	5.76	2.2	2.11	1.83	0.59	0.54	0.423	274	265
30~60 kW 未満	1.6	0.75	0.52	13.6	7.67	6.13	3.5	2.36	1.24	0.63	0.50	0.272	250	238
60~120 kW 未満	1.2	0.63	0.51	12.6	8.33	5.43	3.2	1.79	1.15	0.45	0.34	0.218	248	234
120 kW 以上	0.7	0.48	0.29	10.8	8.37	5.28	2.7	1.22	0.80	0.41	0.31	0.149	237	229

- 注 1. PM 以外の未対策型は、平成 7 年度検討したもので、10 台の未対策型直接噴射式と 1 次対策型副室式（平均）の排出ガス値および直接噴射式と副室式の構成を基に設定した。
- 注 2. 未対策と 1 次対策型の PM は、「道路環境影響評価の技術手法（その 1）」（土木研究所資料、第 3742 号、平成 12 年 10 月）による。
- 注 3. PM 以外の 1 次対策型は、平成 12 年 3 月までに販売された指定建設機械 534 千台による。
- 注 4. 2 次対策型は、平成 14 年 12 月までに指定された 929 型式の建設機械による。
- 注 5. 燃費は、排出ガスと同様に評価したときの燃料消費率である。

(表-4), 2次対策のNO_x値やPM値等は出力区分15~30kW未満に比べ15kW未満の方が小さくなる。この現象は、基準値に対してゆとりの大きい副室式エンジンが15kW未満の方が多いためである。また、30kW未満の燃料消費率が幾分高めになっているのは、副室式エンジンの燃料消費率が直接噴射式エンジンに比べ不利であることが影響している。

6. おわりに

京都議定書の温室効果ガス削減目標は、温暖化対策の第一段階であって、最終的には温室効果ガスを現在の排出量の半分以下にして吸収量以下にする必要がある。CO₂の排出を大幅に削減しても、気温は100年以上上昇が続き数百年後でないと安定化しないとされており、早急な温暖化対策の取組みが必要である。

建設機械に対する排出ガス規制は今後さらに強化されることが見込まれる。また、国内外において使用過程における排出ガスの悪化が懸念されており、今後は使用過程の排出ガスを把握することが重要になってくるものと考えられる。

今回明らかとなった油圧ショベルの省エネルギーモードのように対策効果が期待されるものは積極的に活用を図るなど、建設現場においても施工段階の地球温暖化対策に積極的に取り組むことも必要であると考えられる。

最後に、油圧ショベルの省エネルギーモードの現場

確認にご協力を頂いた「平成16年度庄内川名塚河道掘削工事」および「平成16年度揖斐川難波野河道掘削工事」の両工事関係者に感謝の意を表す。JICMA

《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（第六次答申），平成15年6月30日
- 2) 社団法人日本建設機械化協会：建設施工における地球温暖化対策の手引き，平成15年7月
- 3) 中央環境審議会第12回地球環境部会 資料2：気候変動に関する科学的知見の整理について，平成16年1月30日

【筆者紹介】



桜田 明彦（さくらだ あきひこ）
国土交通省
中部地方整備局
中部技術事務所
機械課
専門職



牧戸 由美（まきど ゆみ）
国土交通省
中部地方整備局
中部技術事務所
機械課
主任



稲葉 友喜人（いなば ゆきと）
社団法人日本建設機械化協会
施工技術総合研究所
研究第四部
専門課長

絵で見る安全マニュアル

〈建築工事編〉

本書は実際に発生した事故例を専門のマンガ家により、わかりやすく表現しています。新入社員の安全教育テキストとしてご活用下さい。

■要因と正しい作業例

- ・物動式クレーン
- ・電動工具
- ・油圧ショベル
- ・基礎工事用機械
- ・高所作業車
- ・貨物自動車

A5判 70頁 定価650円（消費税込） 送料270円

社団法人 日本建設機械化協会

〒105-0011 東京都港区芝公園 3-5-8（機械振興会館） Tel. 03(3433)1501 Fax. 03(3432)0289