

28. 建設機械における省エネルギー化・排出ガスクリーン化の追求

次世代環境対応技術を搭載した油圧ショベルの開発

キャタピラージャパン（株） ○ 梅谷 麻里香

1. はじめに

1960年代の高度経済成長期以降、国内の建設機械は世相や現場のニーズに合わせて目覚ましい進化を遂げ、様々な産業で活躍してきた。近年では地球環境問題への意識の高まりから、作業性能以上に環境性能が求められる傾向にあり、中でも「地球温暖化」や「大気環境汚染」への対策が急務となっている。国内では、建設機械に対する排出ガス基準、及び、燃費基準が制度化されており、建設機械メーカー各社はそれらに沿って開発を進めている状況である。しかし、環境性や省エネ性を追及するあまり、マシンの作業性能を損なってしまうと、結果的な工期延長に繋がる恐れがあるため、燃料消費と生産性のバランスが十分考慮されるべきである。

当社の油圧ショベル「Eシリーズ」は、オフロード法 2011 年基準、及び、2020 年燃費基準をターゲットに開発されたものである。排出ガス中の NOx の排出量を抑制させる技術や、PM 等の大気汚染物質を除去する浄化装置、燃料消費を極限まで削るエンジン・油圧システム等、様々な技術を複合的に盛り込むことで、従来機と同等の作業性能を維持しつつ、飛躍的な省エネルギー化・排出ガスクリーン化を実現している。本論文ではこれらの次世代環境対応技術について解説する。



図-1 油圧ショベル「Eシリーズ」Cat 320E

2. 排出ガス規制への対応

2010 年、オフロード法改正により、新たな排出ガス基準「2011 年基準」が設けられた。表 1 にエンジン定格出力 75～130kW 未満に対する基準値を示しているが、改正前に比べて NMHC, NOx, PM の基準が強化されている。NOx と PM は、二律背反の関係にあり、同時に低減することは非常に困難とされてきた。そんな中、本技術では、「NOx の発生抑制」と「発生した PM の捕捉・除去」という二つのシステムを組み合わせることによって、双方の低減に成功している。油圧ショベルのエンジン排気量に応じて最適な排出ガス浄化システムを取り入れることで、表 2 に示す全 14 機種についてオフロード法 2011 年基準への適合を果たしている。

表-1 排出ガス基準値(エンジン定格出力 75～130kW 未満)

		オフロード法 改正前	オフロード法 改正後	低減率
		2006年基準	2011年基準	
非メタン炭化水素 (NMHC)	g/kWh	0.40	0.19	53%
窒素酸化物 (NOx)		3.60	3.30	8%
一酸化炭素 (CO)		5.0	5.0	—
粒子状物質 (PM)		0.20	0.02	90%
ディーゼル黒煙	%	25%	25%	—

表-2 オフロード法 2011 年基準適合
油圧ショベルラインナップ

機種	エンジン名称 (型式)	エンジン出力帯
312E	キャタピラー WDP-C4.4	56kW～75kW未満
316EL	キャタピラー WDR-C4.4	75kW～130kW未満
320E/320EL	キャタピラー WDR-C6.6	
320ERR/320ELRR	キャタピラー WDR-C6.6	
324E/324EL	キャタピラー UDS-C7.1	130kW～560kW未満
329E/329EL	キャタピラー UDS-C7.1	
336E/336EL	キャタピラー UDS-C9.3	
349E/349EL	キャタピラー UDS-C13	

※2012 年 9 月現在

2-1 NOx リダクションシステム

通常、エンジンの燃焼室内が高温高圧になるほど NOx 生成量は増加する。そこで、燃焼後の排気の一部を冷却し、吸気と混合して再びエンジンの燃焼室に戻す、NOx リダクションシステム、いわゆる排気再循環 (EGR) を採用することで燃焼温度の高温化を抑え、更に、新たに備えた燃料クーラがエンジンから燃料タンクへの戻り燃料を冷却することによっても燃焼温度の高温化を防止し、NOx の発生を抑制できるようになっている。

なお、EGR による吸排気システムでは、再循環させる排気に含まれる硫黄酸化物 (SOx) や PM、エンジンオイル中の不燃物質 (灰分) が、シリンダの磨耗・腐食を引き起こす恐れがあるが、燃焼効率向上による PM 低減、また、本機では低灰分エンジンオイル (JASO 規格 DH-2 対応) を採用していることにより、その懸念を払拭している。

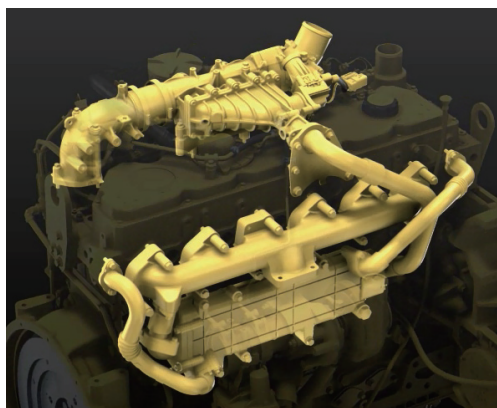


図-2 NOxリダクションシステム(イメージ図)

2-2 Cat クリーンエミッションモジュール

排出ガス中には CO, NMHC, PM 等の大気汚染物質が含まれている。それらを除去するため、ディーゼル酸化触媒 (DOC) とディーゼルパーティキュレートフィルタ (DPF) の二層から成る浄化装置, Cat クリーンエミッションモジュールを搭載している (図 3)。

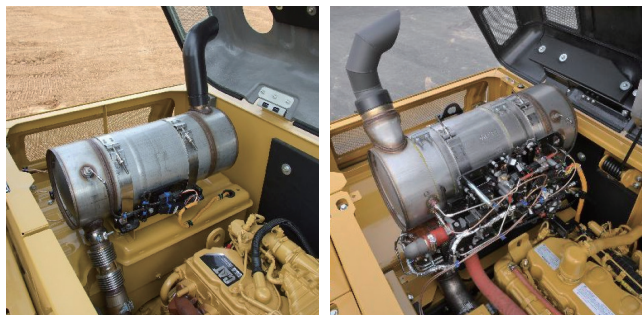


図-3 Cat クリーンエミッションモジュール
(左:320E, 右:336E)

(1) DOC

一層目の DOC は白金コーティングされたセラミック製の触媒である。白金の強い酸化力によって CO, NMHC を酸化・無毒化することができる。

(2) DPF

二層目の DPF はセラミックでできたウォールフロータイプのフィルタであり、PM を含んだすすを捕捉することができる。エンジン容量に応じて異なるシステムを採用しており、C6.6 ディーゼルエンジン以下 (対応機種:312E, 316EL, 320E(L), 320E(L)RR) と C7.1 ディーゼルエンジン以上 (対応機種:324E(L), 329E(L), 336E(L)) の 2 種類に分かれる。それぞれの DPF の構造、及び、再生方法は以下に説明する。

①C6.6 ディーゼルエンジン以下

DPF 内に酸化触媒が含まれており、触媒の働きにより DPF 内の NO₂ 濃度が高められ、更に NO₂ の持つ強力な酸化能力によってすすを酸化・除去するシステム。NO₂ 生成には 250℃～300℃ の高温条件が必要なため、排気熱によって DPF 内の温度が高まった状態で効率の良い DPF 再生が起こる。外部からのエネルギーの補填を必要とせず、温度条件を満たしていれば常に再生が起こる連続再生方式の DPF であり、「自動再生」のみ行う。

②C7.1 ディーゼルエンジン以上

DPF 内に触媒はなく、クリーンエミッションモジュールの手前に設置されたバーナーが作動することで DPF 内を 500℃以上の高温状態にし、すすを燃焼するシステム。アイドリング中にオペレータが DPF 再生スイッチを押して開始する「強制再生」、及び、アイドリング中・稼動中に起こる「自動再生」がある。

3. 油圧ショベルの燃費低減技術

油圧ショベルの場合、単純にエンジン出力を落とすことで時間当りの燃料消費量を低減できる。しかし同時に作業能力も落ちるため、結果的には作業時間が伸び、トータルでの燃料消費量増加に繋がる可能性も高く、有効とは言えない。今回の開発で最も燃費低減に貢献しているのは“エンジン回転数の低速化”であるが、エンジン・油圧システムを統合的に制御することでエネルギー効率を高め、更に動力伝達の過程で生じるエネルギー損失を最小限に抑えることで、従来機と同等のパワー、スピードを維持している。

3.1 エンジン・油圧システム制御

従来機で行っていたエンジン回転制御方法は、無負荷時のエンジン回転数を高めに設定し、負荷がかかったときに定格回転まで抑えることで安定を図るものであった。それに対し、本技術では、無負荷・負荷によらず一定のエンジン回転数に保つよう制御している。最大出力モードにおける無負荷時の設定回転数を従来機 320D : 1,980rpm に対し、新型機 320E : 1,700rpm とすることで、特に軽負荷（無負荷）時の燃料消費を抑えられるようになっている。更に、不要なエンジン回転を省くシステムとして、ブーム下げでは再生回路を活用し、エンジン回転数、及び、ポンプ流量を下げている。

負荷の変動によってエンジン回転数が上下しないよう高性能コントローラによる緻密なエンジン回転制御が行われており、急な負荷がかかってもエンジン回転が落ちることがなく、優れたレスポンスを発揮できる。

3.2 アイドリング時の燃費低減

油圧ショベルを使った作業では、暖気運転やダンプ待ちのためにアイドリング状態で待機する場面も多い。数秒間の無負荷状態が続くと自動的にエンジン回転を低下させる「自動デセル機能」は従来から採用している機能であるが、表 3 に示す通り、新型機ではその設定回転数を大幅に下げている。同様に、操作レバー部のスイッチを押してアイドリング状態に移行する「ワンタッチローアイドル機能」でも、従来に比べてエンジン回転を下げしており、アイドリング時の更なる燃費低減に貢献している。いずれの方法でアイドリング状態に入っていても、レバー操作を行った時点で即座にエンジン回転が元の復帰するため、操作レスポンスへの影響もなくスムーズに作業を行うことができる。

表-3 エンジン回転数設定

	新型機 320E	従来機 320D
モード	スタンダード	
ハイアイドル(無負荷)	1,700	1,980
自動デセル	970	1,300
ワンタッチローアイドル	970	1,020

※アクセルダイヤル10の場合

(rpm)

3.3 その他の省エネ機能

パワーモードとして「スタンダードモード」と「エコノミーモード」の2モードを設定している。エコノミーモードはスタンダードモードに比べて燃費を10%以上抑えることができるため、燃費重視の現場での使用を薦めている。また、長時間のア

イドリングを回避するための「オートアイドルストップ機能」を新たに取り入れており、ON/OFF 設定はもちろん、エンジン停止までの時間を1分単位（1～60分）で設定可能である。

これらの機能を使って運転者が省エネ運転に取り組むことで、より一層の燃費低減（CO₂低減）を図ることができる。

4. 燃費性能の実証

本技術を搭載した油圧ショベルの燃費性能について、以下の2つの方法で試験した結果を示す。

4.1 トラック積込み試験

20 トンクラス（標準バケット 0.8m³）の油圧ショベルについて、従来機 320D と新型機 320E を用いて比較試験を行った結果、図 4 に示す通り、時間当たり作業量は同等以上、燃料消費量は約10%低減できることが確認された。また、エコノミーモードでは、スタンダードモードより燃料消費量を10%以上低減できることも確認された。

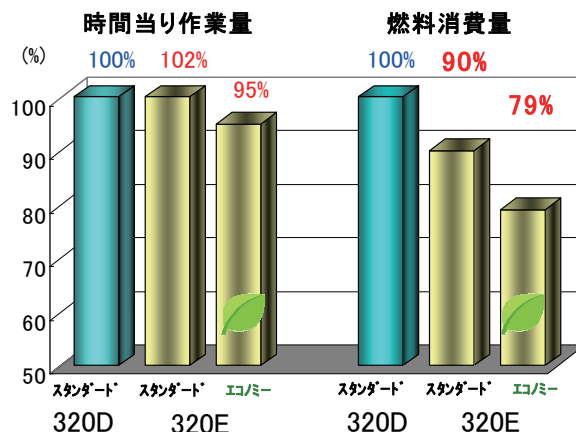


図-4 トラック積込み試験結果

4.2 JCMAS 燃費試験

（社）日本建設機械施工協会規格である油圧ショベルの燃料消費量の試験方法（JCMAS H020）¹⁾ に従い、燃費試験を実施した。“掘削・積込み動作試験”，“ならし動作試験”，“走行試験”，“待機（アイドリング）試験”の4種類の試験結果から算出された320Eの燃料消費量評価値は、10.4kg／標準動作であった（表4）。

表-4 JCMAS 燃費試験結果

	運転質量	標準バケット 山積み容量	(JCMAS H020) 燃料消費量 評価値
320E	20,700kg	0.8m ³	10.4kg / 標準動作

尚, CO₂削減効果の高い建設機械の普及を目的として国土交通省によって導入された「2020 年燃費基準」では, この燃料消費量評価値がものさしとなる。油圧ショベルにおいては, 標準山積みバケット容量でグループ分けされ, それぞれのグループのオフロード法 2006 年基準対象車の中で, 最も燃費の優れたトップランナーが 2020 年燃費基準(目標)として設定され, その基準に対する達成率によって星の数(星 1 個から 3 個)が決定する²⁾(図 5)。

JCMA 燃費試験による 320E の燃料消費量評価値は 10.4kg/標準動作であり, 標準山積みバケット容量 0.8m³クラスの燃費基準 10.8kg/標準動作に対して達成率 100%以上であることを示している。また, その他の機種についても, 312E(L), 316EL, 320E(L)RR, 329E(L), 336E(L)は既に JCMAS 燃費試験を実施しており, 達成率 100%以上であることを確認している。

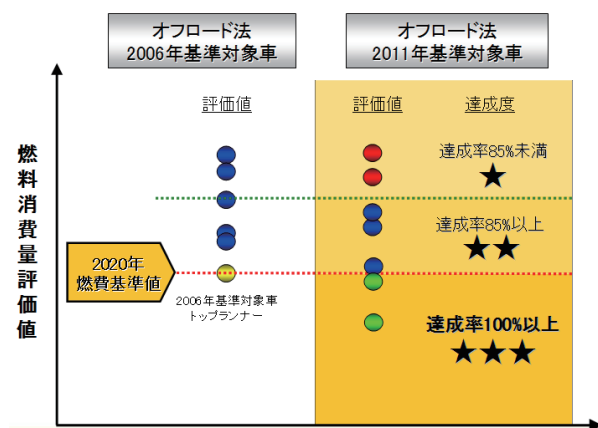


表-5 2020 年燃費基準 達成レベル

	標準バケット 山積み容量クラス (m ³)	燃費基準値 (kg/標準操作)	達成レベル
312E	0.47以上 0.55未満	6.9	☆☆☆
316EL	0.55以上 0.7未満	9.2	☆☆☆
320E(L)	0.7以上 0.9未満	10.8	☆☆☆
320E(L)RR	0.7以上 0.9未満	10.8	☆☆☆
329E(L)	1.05以上 1.3未満	13.9	☆☆☆
336E(L)	1.3以上 1.7未満	19.9	☆☆☆

※1 認証制度の開始は 2014 年基準対象車から(予定)。

2011 年基準適合車の達成レベル(★)については, カタログ掲載等が認められている。

※2 324E(L)については計測準備中。

※3 349E 以上のクラスは燃費基準が設けられていない。

今後は, 次期排出ガス規制(2014 年基準)対応のための技術開発はもちろん, 生産性, 経済性, 安全性等のユーザにとって関心の高いポイントは更に磨きをかけ, 環境に優しく, 価値の高い製品作りに努めていく所存である。

参考文献

- 1) JCMAS H020 「土工機械 - 油圧ショベルのエネルギー消費量 - 試験方法」, 改訂第 3 版, 発行年 2010
- 2) 前羽: 建設機械施工における地球温暖化対策, 月刊建設, 11-10号, pp.39~40, 発行年 2011

5. おわりに

今回開発された油圧ショベルは, NO_x, PM を低減するための技術や, 燃費を抑えるための技術を組合せることで, 最高の環境性能を実現している。