

(解説)

低炭素型建設機械の開発

Development Outline for Low Carbon-emitting Excavators



小林真人*1

Masato KOBAYASHI

Low fuel consumption products are being developed in various industries, such as automobile manufacturing. Construction machines are no exception. Hybrid hydraulic excavators have already been commercialized. Low fuel consumption technologies are being applied to conventional excavators. In 2010, the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT) started certifying "low carbon emitting construction machines". In 2011, the MLIT established new standards for fuel consumption. With this background, the business environment is favorable for the development and wider use of low carbon-emitting construction machines. This paper outlines the development of excavators with low carbon emissions by KOBELCO CONSTRUCTION MACHINERY CO., LTD.

まえがき＝建設機械の分野においても、自動車や産業機械の分野と同様に大幅に省エネが図られた製品の開発が進められている。油圧ショベルの領域では、従来型ショベルでの省エネ性の追求に加え、ハイブリッド型や電動型（バッテリー駆動、商用電源駆動）が、また、ブルドーザでは電動駆動型がすでに商品化されている。

このような状況下、国土交通省では、前述したような建設機械であって、二酸化炭素排出量低減が相当程度図られたものに対して、平成22年度より「低炭素型建設機械」の認定を開始した。また、平成23年度には燃費基準が新たに加わるなど、低炭素型建設機械の開発促進、普及に向けた環境が整いつつある¹⁾。

本稿では、油圧ショベルを中心に、低炭素型建設機械開発に関する当社の取組状況について紹介する。

1. 低炭素型建設機械

1.1 国土交通省による低炭素型建設機械の認定

現在国土交通省により低炭素型建設機械として認定されるのは、下記①から③の条件全てに適合しているハイブリッド建機、電動建機に限られている。条件③の燃費基準に関しては後述する。

①原動機として電動機と軽油を燃料とする内燃機関を備え、かつ、機械の運動エネルギーを電気エネルギーに変換して電動機駆動用蓄電装置（以下「蓄電装置」という）に充電する機能（以下「エネルギー回生機能」という）を備えた油圧ショベルまたは蓄電装置に充電した電気エネルギーを動力として電動機を駆動（以下「バッテリー式」という）し、もしくは有線により外部から供給される電力を動力として電動機を駆動（以下「有線式」という）する油圧ショベルもしくは軽油

を燃料とする内燃機関により発電機を稼働し、発電された電気エネルギーを動力として電動機を駆動（以下「発電式」という）するブルドーザであること。

- ②定格出力が19kW以上560kW未満である軽油を燃料とする内燃機関を備えたものについては、特定特殊自動車排出ガスの規制等に関する法律（平成17年法律第51号）に基づく型式届出がなされたものであること。
- ③標準バケット山積容量が0.25m³以上1.70m³未満の油圧ショベルまたは定格出力が19kW以上300kW未満のブルドーザについては、別途規定する燃料消費量評価値算定要領により算出された燃料消費量評価値が、別途規定する燃費基準値を超えないものであること。

1.2 燃費測定標準

かつては、油圧ショベルをはじめとする建設機械の燃費に関しては統一的な測定標準がなく、各メーカーがそれぞれ独自の方法で燃費を計測していた。そのため、機械を使用するユーザにとっても、機械を開発するメーカーにとっても燃費を客観的に評価する共通の尺度がなかった。

そのようななか、社団法人日本建設機械化協会では、建設機械の燃料消費量の比較や、燃料消費量改善技術の確認を目的に、燃費測定標準の策定作業が行われてきた。現時点では、油圧ショベル、ホイールローダ、ブルドーザに関する測定標準が策定されている^{2)~4)}。

また、油圧ショベルに関しては、内燃機関を動力とする標準型の機械に加え、ハイブリッドタイプや電動タイプなどに対応した測定標準が定められている²⁾。

油圧ショベルの燃料消費量は、掘削・積込、ならし、走行、アイドリングからなる標準作業あたりの燃料消費量で示され、2010年度の改定により、掘削・積込50%、

*1コベルコ建機(株) 開発生産本部 技術管理部

表1 油圧ショベルの燃費基準値

Table 1 Fuel consumption standard for hydraulic excavators

Standard of bucket capacity (m ³)	Standard of fuel comp. (kg/standard motion)
no smaller than 0.25, smaller than 0.36	4.3
no smaller than 0.36, smaller than 0.47	6.4
no smaller than 0.47, smaller than 0.55	6.9
no smaller than 0.55, smaller than 0.70	9.2
no smaller than 0.70, smaller than 0.90	10.8
no smaller than 0.90, smaller than 1.05	13.9
no smaller than 1.05, smaller than 1.30	13.9
no smaller than 1.30, smaller than 1.70	19.9

ならし10%、走行10%、アイドリング30%の動作割合で算定されることになった。

なお、実際の作業条件は様々であり、上述の方法で全ての作業に対する燃費を評価できるわけではないが、機械が持っている燃費性能はおおむね反映できると考えられている。

1.3 燃費基準

前節に示した油圧ショベルの燃費測定標準に基づいて第3次排ガス規制対応機の燃費測定が実施され、バケット容量ごとのトップランナ値が、2020年度基準値として定められた^{1), 5)}(表1)。基準達成率100%以上の場合には☆☆で、100~85%の場合には☆☆で、85%未満の場合には☆で表示される。現時点でも燃費の数値をカタログに記載表示することは可能で、今後、カタログに燃費数値や☆数を表示可能な時期を経て、2014年排ガス規制車を対象に国土交通省の認定制度が発足する予定になっている¹⁾。

1.4 普及助成制度

燃費測定標準の整備、燃費基準値の制定に連動する形で、低炭素型建設機械を中心に各種普及助成制度が整ってきている。その一例として、環境省による「先進的次世代車普及促進事業（ハイブリッドオフロード車導入事業分）」について簡単に紹介する。

本制度は平成23年度に導入されたもので、建設機械で対象となるのは国土交通省の低炭素型建設機械の要件を満たすハイブリッド油圧ショベルのみである。助成制度の内容は、ハイブリッド車と通常型の油圧ショベルの本体価格の差額の二分之一（上限150万円）が購入者に補助されるものである。自動車と比べ生産台数の少ない建設機械分野において、低炭素型建設機械の普及促進の一助になると期待されている。

2. 当社の取組状況

上述のような環境下、コベルコ建機(株)（以下、当社という）は環境性能に優れた油圧ショベルの開発を続けてきた。以下、その代表例について紹介する。

2.1 ハイブリッド油圧ショベルの開発

我が国の温室効果ガス排出量の約1%が建設機械の燃料消費量によるもので、そのうち、油圧ショベルが約半分を占めている。その削減対策の手段として注目されるものの一つが、建設機械の省エネ化を目的とするハイブリッドシステムである。当社は、1999年より、新エネ

ギー・産業技術総合開発機構（NEDO）からの受託研究および共同研究の形で、(株)神戸製鋼所と共同でハイブリッドシステムの開発を手がけてきた^{6)~8)}。

当初のシステムは、省エネ効果の最大化を狙ったシリーズハイブリッドで、8tクラスの油圧ショベルで従来機比50%以上の燃費改善を実現した^{7), 8)}。

本成果を基に当社独自で商品化検討を行い、2006年4月にパリで開催された国際建機展（INTERMAT2006）で、世界初となるシリーズパラレルタイプのハイブリッド油圧ショベルSK80Hの実機展示を行った⁹⁾(図1)。

本機は、エンジンの小型化、発電電動機・バッテリー搭載、旋回の電動化などにより、従来機に比べ平均40%（当社測定基準による）の省エネ化を実現した。ちょうど原油高騰の時期とも重なり、国内外の注目を大いに集めた。さらにこの機械に改良を加え、2009年末にSK80H-2を上市した^{10), 11)}(図2)。本機械は、SK80Hとほぼ同様のシステム構成で、ハイブリッド自動車採用されているものと同クラスのニッケル水素バッテリーを搭載している。前述したJCMASの基準で約40%の燃費改善が確認されている。また、エンジンの小型化、エンジン回転変動の少ない機械特性から、騒音面では国土交通省の超低騒音レベル(93dB)を3dB下回る90dBを実現し、燃費性能と併せて環境性能の高い機械に仕上がっている。

本機械は平成22年度より認定が開始された国土交通省の「低炭素型建設機械」の第1号機として認定を受けた。また、2010年度の地球温暖化防止活動に関する環境大臣



図1 INTERMAT2006パリ建機展に出展した世界初のハイブリッド油圧ショベルSK80H

Fig. 1 First hybrid hydraulic excavator SK80H exhibited in INTERMAT2006 Paris



図2 ハイブリッド油圧ショベルSK80H-2
Fig. 2 Hybrid hydraulic excavator SK80H-2

賞を受賞するとともに、2011年11月には、ハイブリッド制御に関する基本特許で、中国地方発明表彰の文部科学大臣奨励賞を受賞した。

なお、ハイブリッドショベル普及の最大の課題は機器コストである。ハイブリッド化のために追加搭載される機器の多くは建機固有になること、市場規模が自動車に比べ格段に小さいことなどから、省エネ化によるメリットがコストアップ分をカバーできるようになるにはまだまだ時間がかかると思われ、普及が進まない大きな要因となっている。

2.2 アセラ・ジオスペックシリーズの開発

当社では、2.1で紹介したハイブリッド油圧ショベルと並行して、排ガス3次規制に対応したアセラ・ジオスペックシリーズの開発を進めた。

ハイブリッド油圧ショベルの開発は、当社にとっても当時の建機業界にとってもほぼ初めての試みであった。そこで当社は、ハイブリッドシステムの検証と省エネ性能の実現に向けて、モデルベースでショベル全体のシステム検証・燃費予測を可能とするシミュレーション技術の開発に取り組んだ⁶⁾。

本技術の実現により、ハイブリッドショベルのみならず標準型の油圧ショベルの各種性能予測がシミュレーション（HILS含む）で可能になった^{10)~12)}。

HILSやシミュレーションの活用のメリットは以下の通りである。

- ・実機を作らずに性能予測ができる。すなわち、モデルベースで事前検証が可能になり、出図前に性能を確保できる。
- ・実機での燃費測定に比べばらつきが格段に少ない。とくにHILSを活用した場合は、実機確認では測定ばらつきのなかに埋没してしまいかねない効果も精度よく評価可能で、燃費改善案の取捨選択が適切に行える。
- ・機器サプライヤとの共同開発の場面でも各パラメータごとに定量的な議論が可能になり、開発のスピードアップにつながる。

当社は上記シミュレーション結果をベースに機種開発を進め、2006年4月より順次上市を行ったアセラ・ジオスペックシリーズ（図3）では、新型エンジンの搭載、徹底した損失低減、機械トータルでの制御の見直しなどにより、20tクラス以上の主要機種でおおむね20%の燃費低減（JCMAS基準ならびに当社基準）を実現することができた¹³⁾（表2）。

ユーザが油圧ショベルに求める特性は様々であるが、こと省エネ性は全てのユーザ、全ての市場の求めるところであり、上市以来世界中のユーザにご愛顧いただいて



図3 アセラ・ジオスペックシリーズ（20～45tクラス）
Fig. 3 ACERA Geospec series (20-45t class)

表2 アセラ・ジオスペックシリーズの燃費性能
Table 2 Fuel consumption performance of ACERA Geospec series

model	mode	Standard of fuel comp. (kg/standard motion)	Top runner
SK200-8	S	9.5	10.8
SK225SR	H	10.8	
SK235SR			
SK135SR	S	7.0	6.9
	H	7.3	
SK70SR	S	4.0	4.3
	H	4.3	
SK250-8	S	11.9	13.9
	H	13.9	
SK350-8	S	18.3	19.9
	H	20.0	

いる。また、国土交通省が定めた2020年燃費基準に対してもほとんどの機種でトップレベルの位置づけになっている（表2）。

今後もこれらの基準値を目標にさらなる改善を継続していくつもりである。

2.3 オート・アイドルング・ストップ

当社の油圧ショベルに2003年より搭載されているオートアイドルングストップ機能(AIS)について紹介する。

油圧ショベルは土木工事や建築工事などの様々な現場で使用されているが、作業工程上、作業をしない待機状態がどうしても生じる。この待機時にオペレータの誤動作を防ぐために油圧システム遮断レバー機能が運転席に設けられている。油圧システム遮断レバーを上げることにより、不用意なレバー操作を行ってもアタッチメント、走行や旋回などの操作が行えない機能となっている。

ただ、従来機では油圧システム遮断レバーを上げてエンジンも起動したままであり、エンジン回転数を下げたりエンジンを停止させたりするのはオペレータの任意であった。当社では、油圧システム遮断レバーと連動したAIS機能を開発した¹⁴⁾。

AISは、作業をしていないときに自動的にエンジンを停止して無駄な燃料の消費を防ぐ機能で、

- ・CO₂排出量を削減し、大気汚染の抑制や環境負荷軽減に貢献
- ・燃料消費量が低減し、燃料費の低減および省資源が図られる
- ・エンジン切忘れ時に警報音で注意を促すなどの機能を有している。

AISの作動原理を図4に示す。作動時間は機種によ

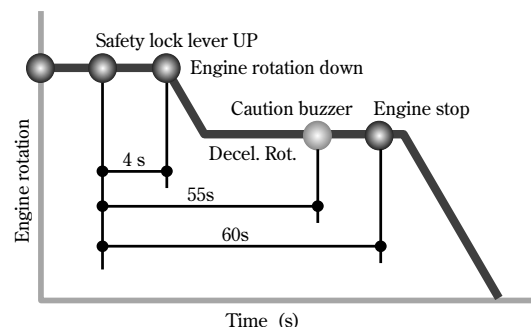


図4 オートアイドルングストップ機構
Fig. 4 Auto idling stop mechanism

て異なり、また、機能は必要に応じて解除することができるようになっている。

AIS機能による効果を実測した例では、現場や作業機のクラスによって違いがあるものの、20%前後の燃費削減が確認されている¹⁴⁾。

むすび＝地球温暖化防止に向けた全世界的な動き、また、日本では昨年3月に発生した東日本大震災と原発事故の影響で省エネに関する関心と要求がさらに切実さを増している。建設機械は今後、成長国・新興国市場を中心にインフラ整備をはじめ多くの用途で活用されると思われる。当社は、本文で述べたように、ハイブリッド型の油圧ショベル開発の先駆けになるとともに、従来型の油圧ショベルにおいても省エネ性能の向上に努めてきた。今後も、省エネ性能に優れた油圧ショベルを全世界の市場・お客様に提供することを通して地球温暖化防止に少しでも寄与していきたいと考えている。

参 考 文 献

- 1) 前羽利治. 建設機械施工における地球温暖化対策. 日刊建設, 11-10 (2011), p.39-40.
- 2) 社団法人建設機械化協会, 土木機械－エネルギー消費量試験方法－油圧ショベル JCMAS H020:2010.

- 3) 社団法人建設機械化協会, 土木機械－エネルギー消費量試験方法－ブルドーザ JCMAS H021:2010.
- 4) 社団法人建設機械化協会, 土木機械－エネルギー消費量試験方法－ホイールローダ JCMAS H022:2010.
- 5) 国土交通省, 低炭素型建設機械の認定に関する規程. http://www.mlit.go.jp/report/press/sogo15_hh_000050.html (参照 2011-04-01).
- 6) 南條孝夫ほか. ハイブリッドショベル省エネ化のための動力シミュレーション. 自動車技術会論文集, 35-4(2004), p.101.
- 7) 鹿兒島昌之. 油圧ショベルのハイブリッド化とその効果. 建設の施工企画, 665(2005), p.37.
- 8) 鹿兒島昌之. ハイブリッドショベルの開発. 建設機械, 42-5(2006), p.41.
- 9) 鹿兒島昌之ほか. ハイブリッドショベルの開発. R&D神戸製鋼技報. 2007. Vol.57, No.1, p.66-69.
- 10) 小林真人ほか. 油圧ショベル用ハイブリッドシステムの開発. 自動車技術会シンポジウム前刷集, 2012, p.32-35.
- 11) 南條孝夫ほか. 油圧ショベルの動力解析と省エネ技術. R&D神戸製鋼技報. 2007, Vol.57, No.1, p.48-51.
- 12) 大谷和弘ほか. 油圧ショベルの動力系開発プロセスの構築. R&D神戸製鋼技報. 2007, Vol.57, No.1, p.52-57.
- 13) 南條孝夫ほか. 油圧ショベルにおける低燃費性能開発. 平成21年度建設施工と建設機械シンポジウム論文集. 2009, p.67-72.
- 14) 絹川秀樹. 環境負荷低減ショベルAcera Geospecシリーズ. 建設機械563, 2012, Vol.48, No.1, p.48-51.