

7t級ハイブリッドショベルの開発

鹿見島 昌之

近年、地球温暖化防止や経済性などの観点から、建設機械においても作業中の燃料消費量を低減することが求められてきている。建設機械の中でも最も稼働台数の多い油圧ショベルに関しては、これまで油圧機器やエンジンの損失低減などに取り組んできている。しかし大幅な燃料消費量低減を図るためには大胆なシステムの見直しが必要である。その低減対策として注目されているのが、自動車で用いられているハイブリッドシステムの適用である。このような状況下で、当社では7t級ショベルを対象にハイブリッドショベルを開発した。シリーズパラレルハイブリッドシステムを採用したハイブリッドショベルを製作し、燃費試験およびモニタ評価を実施した。その結果、従来ショベルと同等の作業が可能で、かつ大幅な燃費低減が可能であることがわかった。

キーワード：油圧ショベル、ハイブリッドシステム、ディーゼルエンジン、電動機、バッテリー

1. はじめに

2008～2012年に地球温暖化の温室効果ガス排出量を1990年比で5%以上削減することを目標に、各国・地域の削減数値目標を割当てた京都議定書が1997年12月のCOP3において採択され、2003年10月にロシアが批准承認したことで、2005年2月16日に発効した。

しかし、我国の温室効果ガス排出削減目標の6%は2007年度では8.7%増加し、14.7%の削減が必要となっており、法的拘束力のある数値目標の達成に向けて、「地球温暖化対策推進大綱」に基づき、省エネルギー対策は加速されようとしている。

我国の温室効果ガス排出量の約1%が建設機械の燃

料消費によるもので、その内、油圧ショベルが59%を占めるといわれている。その削減対策の手段として注目されているのが、建設機械の省エネルギーやエネルギーの効率向上を目的とするハイブリッドシステム^{1),2)}の開発である。

このような状況下、技術総合開発機構（NEDO）および（株）神戸製鋼所と共同で、シリーズハイブリッドシステムを採用した7t級のハイブリッドショベルを開発し、実作業における省エネルギー効果の実証試験を行った。

さらに、より商品機に近いシステムとしてシリーズパラレルシステムを採用したハイブリッドショベルを開発し、約6ヶ月のモニタ評価を実施した。

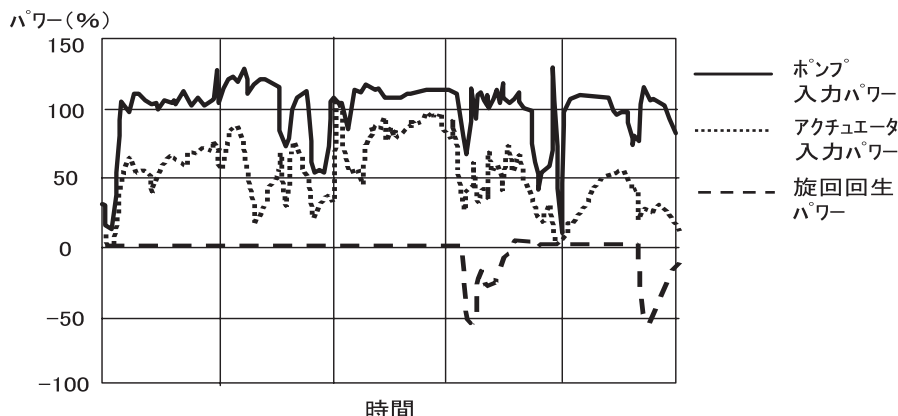


図-1 油圧ショベル動力

2. ハイブリッド化の狙い

油圧ショベルは、掘削などの高負荷作業と水平引き・均しなどの低負荷作業を短時間で繰返すため、大きな負荷変動を受ける。また、基本アクチュエータとバケット、旋回、左右走行という分散配置されたアクチュエータを持っており、これらのアクチュエータに対し高エネルギーを高応答に供給するために油圧システムが採用されている。

油圧ショベルの動力を図-1に示す。図-1は20t級油圧ショベルによる「掘削・ブーム上げ90°旋回、排土・ブーム下げ90°旋回」1サイクルのポンプ入力パワー平均値を100%としたパワー消費時刻暦データの一例である。

従来の油圧ショベルでは、最大負荷に対応できる動力を油圧ポンプから供給し、余剰動力を熱として放出しながら機械の動きを制御しているため、作業有効パワーが低い場合であっても、複合操作時のコントロールバルブでの各アクチュエータへの流量分配や合流のための絞り損失が下がらない。また、作業装置の下降時や旋回停止時など外部から与えられる位置エネルギーや運動エネルギーも熱として放出している。さら

に図-1からわかるように、ポンプ入力パワーと比較して旋回回生パワーも少なく、回生パワーの再利用のみでは大幅な燃費削減は難しいと思われる。

これらの状況を踏まえ、油圧ショベルのハイブリッド化については、図-2のような狙いでシステム開発を行った。すなわち燃費低減のポイントは以下である。

- ・旋回電動機化による回生パワーの再利用，旋回部損失低減。
- ・油圧部損失低減。
- ・バッテリーと電動機によりエンジンを積極的にアシストすることでエンジンの小型，高効率運転を実現。

3. ハイブリッドショベルの開発

(1) システム構成および機器

図-3に当社で開発したハイブリッドシステムの構成を示す。7t級ショベルを対象とし、図のようなシリーズパラレルハイブリッドシステムでショベルを構成した。従来ショベルは、エンジンにより駆動されるポンプからパワーを各アクチュエータに配分しているが、本システムではエンジンと発電電動機の両方のパワーでポンプを駆動している。これにより従来より

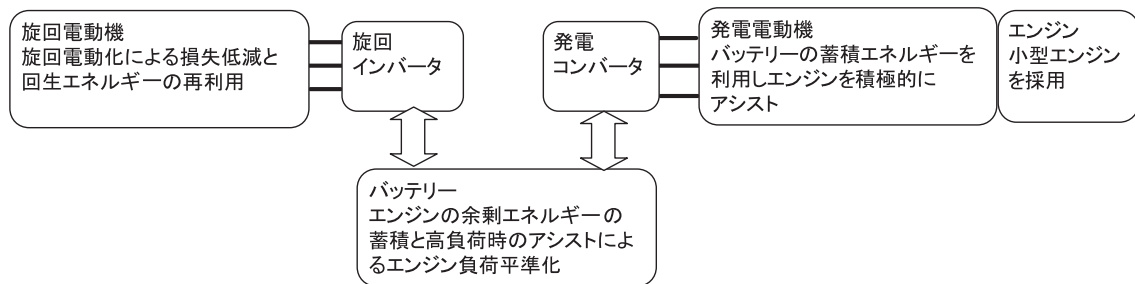


図-2 ハイブリッドシステムの狙い

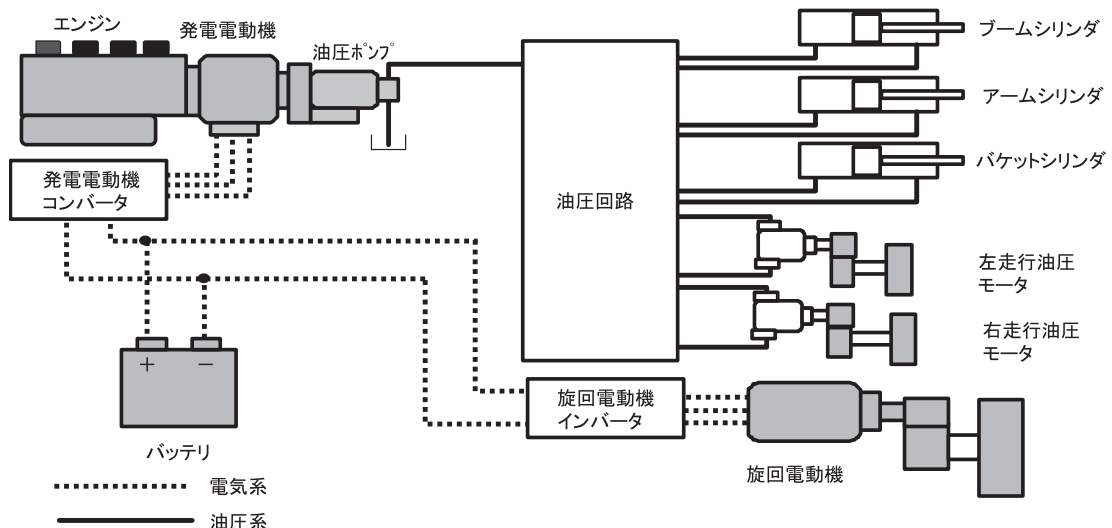


図-3 ハイブリッドショベル構成

小型のエンジンが使用可能である。

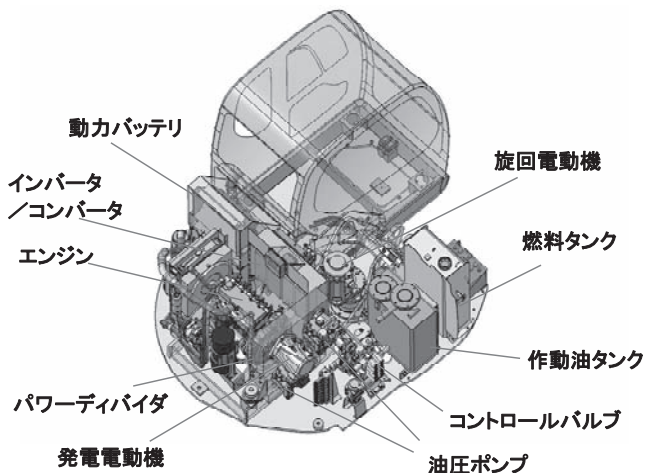
また、旋回を電動機駆動とすることで旋回部の損失を大幅に削減可能であり、さらに旋回と他アクチュエータの複合動作時に生じる分配ロスを低減することができる。表一に機器スペックを示す。

表一 機器スペック

エンジン	定格出力	28.0 kW/1800 min ⁻¹
バッテリー	公称電圧	288 V
	容量	5.5 Ah
発電電動機	定格出力	7.5 kW
	形式	三相交流同期形永久磁石式
旋回電動機	定格出力	14 kW
	形式	三相交流同期形永久磁石式

機器スペックからわかるように、発電電動機によるアシストを積極的に行うことで、従来7t級では40 kW程度のエンジン出力が必要であったものがこれより一回り小さなエンジンで従来機と同等の作業が可能となっている。

また、バッテリーに関しては、乗用車クラスのハイブリッド



図一 機器配置

ド自動車で用いられるものと同クラスの容量である。

図一4に機器配置を示す。バッテリー、発電電動機、旋回電動機など従来機より機器が増加している。

(2) モニタ機

製作したモニタ機の初号機はINTERMAT2006(パリ)、CONET2006(東京)およびWORLD OF CONCRETE2007(ラスベガス)に参考出展を行った。

複数台のモニタ機は、国土交通省の「排出ガス対策型バックホウ(2次基準値)」の指定を受け、一般ユーザによるモニタ評価に供した。ハイブリッドショベルモニタ機を写真一に示す。

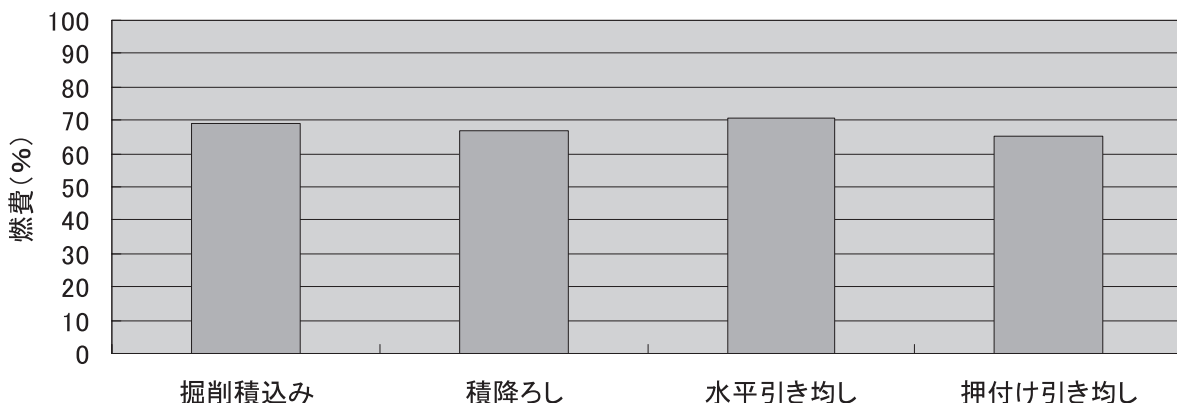


写真一 モニタ機(展示用)

4. 燃費評価

弊社は、技術総合開発機構(NEDO)の委託研究で、現場観察により下水管理設工事の作業をパターン化し、燃費評価用標準運転モードとして定めている³⁾。

この標準運転モードの内、積込み、積降しと均しの一部について、燃費試験を実施し、現行機に対する省燃費効果を検証した。図一5に作業毎の燃費比較結果を示す。図で従来機の燃費を100%としている。こ



図一5 ハイブリッドショベル燃費

これらの作業で約 30～35%の燃費低減が可能である。

また、これらの作業を組み合わせさせた標準運転モードはアイドリングなども含まれるため、さらに燃費は低減できると考えられる。

5. モニタ評価

(1) モニタ方法

異なる業者（建設業、解体、産廃業など）に貸し出し、実稼働データの収集および客先の評価をヒヤリングした。

(a) モニタ機 A

道路工事、ブレーカ作業、解体等の多種複数作業での性能評価を目的とし、解体、産廃業者など数社に2週間～1ヶ月単位で貸し出し、モニタ評価を実施した。稼働状況を写真一2、写真一3に示す。



写真一2 稼働状況（家屋解体）



写真一3 稼働状況（産廃処理）

(b) モニタ機 B

宅地造成など一般的な作業での性能評価を目的とし、建設業者1社に6ヶ月程度貸し出し、モニタ評価を実施した。稼働状況を写真一4に示す。



写真一4 稼働状況（宅地造成）

(2) 稼働データ収集

エンジン回転速度、バッテリー電流などモニタ機の稼働状況のデータを収集するために、モニタ機には図一6のようなデータ収集装置を装備し、稼働データ収集を行った。

この稼働データの分析により、各現場毎の稼働状況、ハイブリッド機器の負荷状況、エンジンの負荷状況、燃料消費量などのハイブリッドシステム開発に有効なデータが得られた。



図一6 データ収集装置

(3) モニタ結果

モニタ先へのヒヤリングを実施した。以下にその内容を示す。

- ・速度、パワーは問題ない。
- ・旋回は思うように動いてくれるので乗りやすい。
- ・燃費が良い（従来の半分以下）。
- ・音は静か、問題なし。電動旋回の音も気にならない。
- ・操作違和感は、全く感じない。

(4) モニタ機燃費評価

モニタ機の稼働データを基に燃費を計算し、従来機と比較を行った。図一7に燃費を示す。従来機と比較して大幅な燃費低減が可能となっている。

(5) モニタ機まとめ

- ・機械全体としては従来機と同等の性能という評価を得ており、操作性も特に問題ないと思われる。
- ・「旋回はスムーズで流れたりしないでさっと止まる」

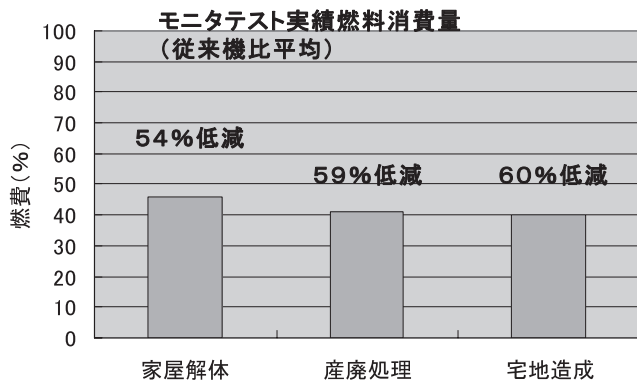


図-7 モニタ燃費

という意見があり、電動旋回も良い評価を得ている。
稼働データの分析結果によれば、ごくまれに高負荷作業が連続し、バッテリーSOC（充電状態）が低下している部分が見られる。しかし、動力制御部分を工夫することにより、問題ないレベルとなっており、今回のモニタ評価でも問題になっていない。

6. まとめ

建設機械の省エネルギー化のための方策として7t級油圧ショベルを対象に、ハイブリッドショベルを開

発し、モニタ評価を実施した。

モニタ期間中は大きなトラブルもなく、モニタ評価は無事終了した。さらに、実際の稼働データを多数収集することができ、本システムにより従来ショベルと同等の作業が可能で、かつ大幅な燃費低減が可能であることがわかった。

今後の商品化では、ハイブリッドシステムを構成する機器のコストダウンが課題であると考えている。

JCM A

【参考文献】

- 1) 近藤宏一ほか：ハイブリッド車用電気式4WDシステムの開発，自動車技術会学術講演会前刷集，No.101-01，pp.13-16（2001）
- 2) 佐々木正和ほか：キャパシタハイブリッドバスシステムの開発，自動車技術会学術講演会前刷集，No.102-01，pp.9-14（2001）
- 3) 小見山昌之ほか：6トンクラス油圧ショベルのエネルギー効果評価モード，建設の機械化 [626] p.28（2002）

【筆者紹介】

鹿児島 昌之（かごしま まさゆき）
コベルコ建機㈱
開発生産本部 要素開発部
マネージャー



建設の施工企画 2007年バックナンバー

平成19年1月号（第683号）～平成19年12月号（第694号）

1月号（第683号）

建設機械特集

6月号（第688号）

建設施工の安全対策特集

10月号（第692号）

維持管理・延命特集

2月号（第684号）

道路工事・舗装工事特集

7月号（第689号）

建設施工における新技術特集

11月号（第693号）

情報化技術特集

3月号（第685号）

除雪特集

8月号（第690号）

防災・災害復旧特集

12月号（第694号）

ロボット・無人化施工特集

4月号（第686号）

環境特集

9月号（第691号）

河川・港湾・湖沼・海洋工事
特集

■体裁 A4判

■定価 各1部840円
(本体800円)

5月号（第687号）

ダム of 施工技術特集

■送料 100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 <http://www.jcmanet.or.jp>