

油圧ショベルのハイブリッド化とその効果

鹿兒島 昌之

油圧ショベルにおいては自動車と同様、排気ガス低減や燃料消費低減は重要な課題である。この課題に対して、コベルコ建機株式会社では、6tショベルを対象にハイブリッドショベルを開発した。本報文では、シリーズ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、実作業における操作性と省エネルギー効果実証試験を実施したのでその効果について述べる。

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，発電機，バッテリー，キャパシタ

1. はじめに

2008年～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平成9年12月のCOP3において採択されたが、平成15年10月にロシアが批准承認したことで、平成17年2月16日ようやく発効した。しかし、我が国の温室効果ガス排出削減目標の6%は2002年度では7.6%増加し、13.6%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の開発である。

以上のような状況下で、コベルコ建機株式会社（以下、当社）は省エネルギー効果40%以上を目標に、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）および株式会社神戸製鋼所と共同で6トンクラス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を行った。本報文はその内容について報告する。

2. 油圧ショベルのエネルギー状況

建設機械は、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とを短時間に繰返すため大きな負荷変動を受ける。

代表的な建設機械である油圧ショベルでは、左右走行、旋回、ブーム、アーム、バケット用などの分散配置されたアクチュエータに対して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。現状の油圧システムでは最大負荷に対応出来るエネルギーを油圧ポンプより供給し、余剰エネルギーを熱として放出しつつ機械の動きを制御しているため、平均するとエンジン出力の約20%しか有効に活用されていない。現状の油圧ショベルの余剰エネルギーイメージを図-1、エネルギー伝達図を図-2に示す。

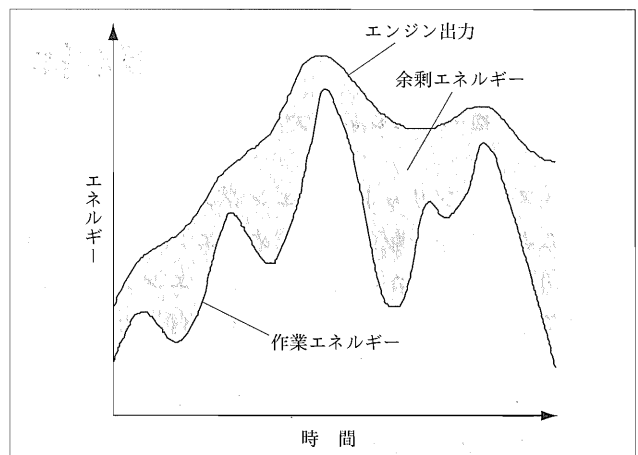


図-1 余剰エネルギーイメージ

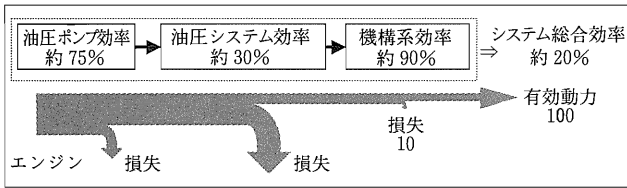


図-2 エネルギー伝達図

また、建設機械は重量物を上下左右に移動させる作業が多く、油圧ショベルアタッチメントの下降やクレーンの荷下げ作業などでは、位置エネルギーや運動エネルギーを熱として放出している。

3. 自動車におけるハイブリッドシステム

図-3 および図-4 に自動車におけるハイブリッドシステムの種類を示す。

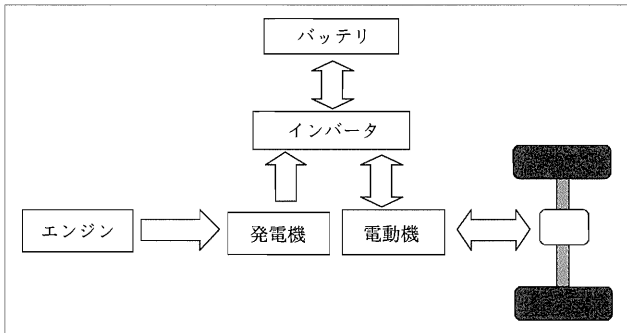


図-3 シリーズハイブリッドシステム

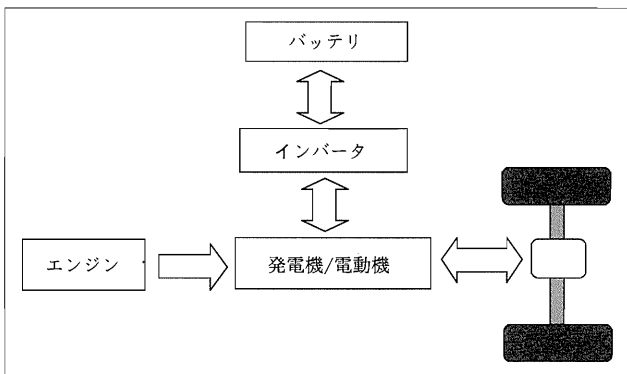


図-4 パラレルハイブリッドシステム

シリーズハイブリッドは、エンジンで発電しながら電動機により車輪を駆動するため、エンジンと電動機はほぼ同等のパワーが必要であるが、エンジン回転数を自由に選べるためエンジン高効率に有利である。

一方、パラレルハイブリッドはエンジンと電動機が車輪を駆動する方式で、二つの駆動力を状況に応じて使うことで高効率を実現する。

なお、シリーズとパラレルを組合わせたスプリット

(シリーズ、パラレル)方式もあり、トヨタのプリウスで採用されている。

一般的にはバス等の大型車ではシリーズ、乗用車等の小型車ではパラレルが有利とされている。

油圧ショベルにおいても同様の分類が可能である。ただし、ショベルはその大きさもさることながら、使い方もさまざまなバリエーションがあるため、その使い方、負荷状況を考慮して適切な方式を選択することとなる。

4. 自動車とショベルの違い

ハイブリッドシステムを油圧ショベルに適用するにあたっては、自動車とショベルの違いを明確にする必要がある。

油圧ショベルの使用条件は

- ① 作動するアクチュエータが複数軸（6軸）
- ② 掘削、均しなど作業が多種多様、複雑
- ③ 負荷変動が激しい。
- ④ 高負荷率

である。

①および②からすれば、ハイブリッドシステムで重要となるパワーマネジメントが難しいことを意味する。自動車では、一般的にこの制御は、車速とアクセル量と発進、加速、減速などの動作からエンジンおよび電動機のパワー（トルク）配分を行っているが、ショベルにおいてはこのような制御は難しいと考えられる。

③、④においては、動力源側にパワー余裕が少なく、さらに高応答が要求されることを意味する。

よって油圧ショベルへのハイブリッドシステム適用にあたっては以下の特性が技術的課題達成のポイントとなる。

- ・多種多様、複雑な負荷に対応でき、かつエンジン高効率運転が可能な（すなわち低燃費）パワーマネジメント技術
- ・急激な負荷変動に対応できうる応答性

5. アクチュエータの損失

油圧ショベルへのハイブリッドシステム適用にあたっては、アクチュエータの損失低減も重要である。油圧ショベルは油圧ポンプで吐出流量をコントロールバルブで絞り、あるいは、ブリードさせることにより制御しているからかなりの損失を発生させている。

また一つのポンプで複数のアクチュエータにパワー供給を行うため、油圧の分配、合流ロスが発生する。

さらに、電動機においてはインバータと組み合わせることで回生パワーを再利用することが可能であるが、油圧の場合は別途そのための仕組みが必要である。

したがって、アクチュエータ損失低減のためのポイントは以下の3点となる。

- ・アクチュエータの独立駆動による合流・分配ロス低減
- ・アクチュエータの電動化による制御ロス低減
- ・回生パワーの再利用

6. 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-5に当社で開発したハイブリッドシステムの構成を示す。6tショベルを対象とし、図のようなシリーズ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、エンジンパワーをいったん電気に置換え、電動機でポンプを駆動している。これにより、各アクチュエータに対して電氣的にパワー配分が可能となり、従来、油圧で発生していた、配分ロス等を低減することができる。

さらにショベルのような負荷変動の激しい場合でも、負荷に対するエンジンパワーの過不足分を、バッテリーで補うことができる。そのため、エンジン負荷を平準化し、従来ショベルより小さなエンジンを用いて、エンジン高効率率運転が可能となり、燃費を向上させることができる。

動力源機器は主に自動車用に開発されたものをベースに製作した。写真-1～写真-3にこれらの機器の概観を示す。

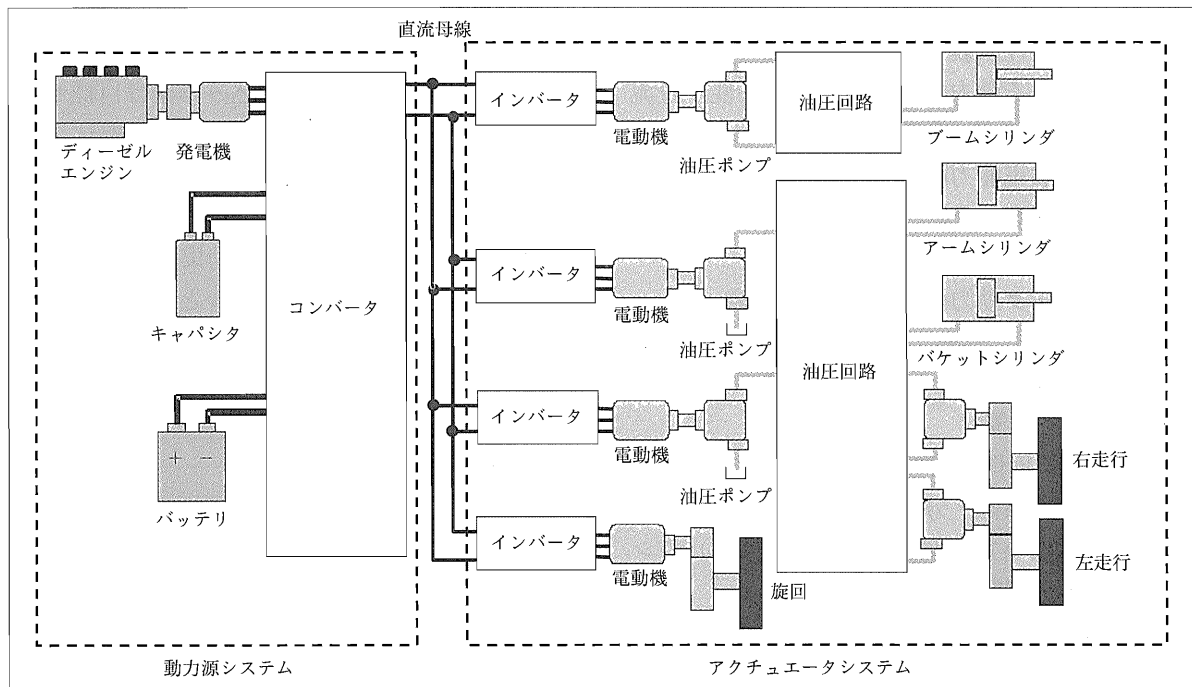


図-5 ハイブリッド油圧ショベル構成

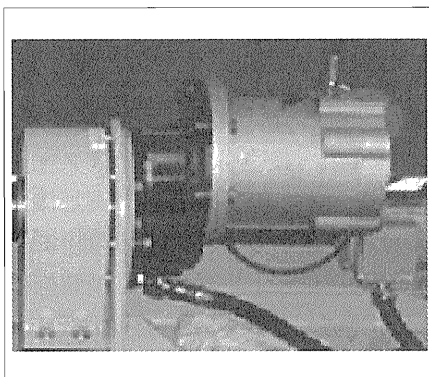


写真-1 発電機

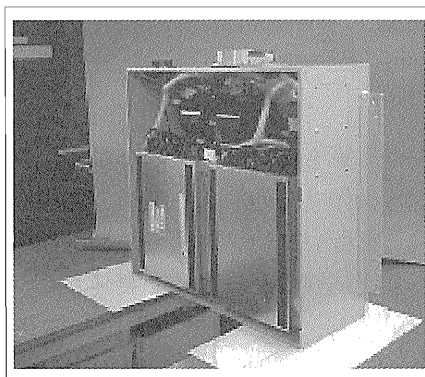


写真-2 メインバッテリー

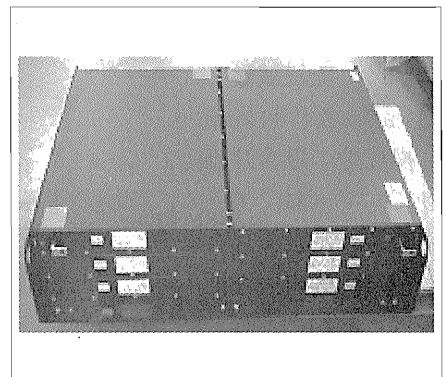


写真-3 キャパシタ

表一に動力源各機器スペックを示す。これらのスペックは、ショベルの最大負荷作業条件から決定した。

表一 動力源機器スペック

エンジン	定格出力	22 kW/1,600 min ⁻¹
発電機	定格出力	20 kVA/6,600 min ⁻¹
	定格電圧	180 V
バッテリー	定格電圧	288 V
	容量	6.5 Ah
キャパシタ	最大電圧	304 V
	静電容量	11.5 F

(2) ハイブリッドシステム機能試験

ハイブリッドショベルの性能と機能が設計どおりであることを確認するために、以下の機能試験を実施した。

① 動力供給分担制御試験

動力源付加を変えた場合の発電機、バッテリーおよびキャパシタのパワー分担を確認。

② 動力供給応答性試験

急激な負荷に対する動力源出力パワー応答性、直流電圧とエンジン回転安定性を確認。

③ バッテリ充放電能力試験

バッテリー充電状態を変化させた場合のバッテリー最大充放電パワーの確認。

④ アクチュエータ動力伝達/配分制御試験

ブーム、アーム、バケット、旋回の各軸アクチュエータ動力伝達と複合操作時のパワー配分制御の確認。

⑤ 供給動力制限試験

アクチュエータ急操作加速時のピークパワーの確認。

⑥ システム動力供給・分担制御試験

複合動作時（複数のアクチュエータ同時操作）のシステム動力供給・分担制御性能を確認。

⑦ 最大出力特性試験

システムの最大出力パワーの確認。

⑧ エンジン自動運転モード試験

エンジンを自動停止させる制御機能の確認。

(3) 実証試験

(a) 操作性評価

操作性の総合評価として、バケット先端に筆を取付けて、ブーム、アーム、旋回の3軸の同時操作で、地表に置いた紙に文字を書く「筆書き試験」を行い、現行機と同等の操作性であることを確認した。試験状況を写真一4に示す。

(b) モード別燃費試験

燃費評価試験として、



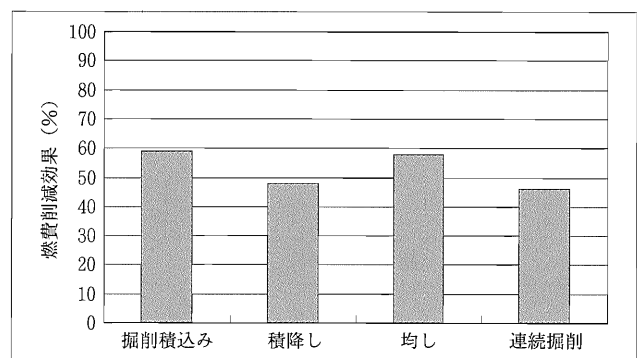
写真一4 筆書き試験

- ① 掘削積込み作業、
- ② 積降し作業、
- ③ 均し作業、
- ④ 連続掘削作業、

の4種類のモード別作業時の燃費を計測した。

各作業において、掘削積込み作業は目標サイクルタイムを45秒とし、均し作業は、すき取り、水平引き、旋回均し、土羽打ち、押付け引きの5種類の操作パターンの平均とした。

図一6にモード別燃費削減効果を示す。いずれの作業においても現行油圧ショベルと比較して大幅な燃費削減が可能であることが示された。



図一6 モード別燃費削減効果

(c) 下水枝管埋設工事燃費試験

当社試験場内に、幅4m、長さ30mのアスファルト舗装道路を造成し、専門下水管工事業者に実証機を供与して、都市圏における下水枝管埋設工事の模擬工事を実施した。舗装剥取りから下水管埋設と舗装修復まで、規程通りの1日工事を3回実施し、燃料消費データを採取した。

以上のような試験により、現行ショベルと燃費を比

較した結果を図-7に示す。図のように40%以上の省エネルギー効果（当社現行ショベル比）を確認した。

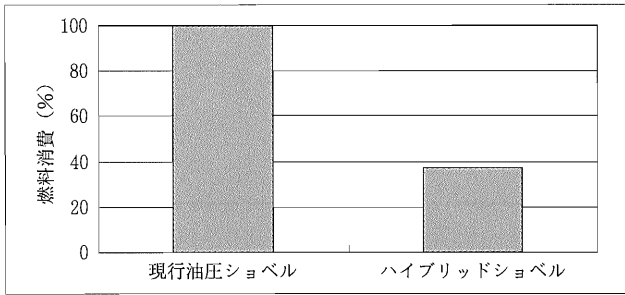


図-7 燃費評価結果

(d) 試乗評価

ハイブリッドショベルは実作業におけるショベル機として、市場に出せるか否かを総合評価するために、新機種開発の社内試乗評価に基づき、専任評価オペレータによる試乗評価を実施した。さらに現行油圧ショベルとは機能が大きく異なるため、複数の土工事業者の専門オペレータによる特別試乗評価を受けた。

各オペレータの評価結果を要約すると、実現場投入に際して特に問題はなく、作業性や操作性は、従来機と同等であり、土工事業者からは低燃費性が高く評価された。

しかし、住民からの騒音苦情が厳しく、より静かな機械が望ましいが、静かすぎて共同作業をする人夫に危険ではという意見が出ていた。

5. ま と め

本研究は新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の共同開発テーマ「ハイブリッドショベルの研究開発」として実施したもので当社と株式会社神戸製鋼所と共同して6トンクラスのハイブリッド油圧ショベルを開発した。

実作業を模擬した操作性評価および燃費性能評価の結果から、現行油圧ショベルと同等の性能でハイブリッドショベルが自動車だけでなく建設機械でも省エネルギー効果を発揮し、65%の燃費低減が可能であることが実証された。



《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年
- 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，No.102-01，pp.9-14，2001年
- 3) 兼澤佳行ほか：ハイブリッドシステムによる掘削機械の高効率化，自動車技術会学術講演会前刷集，No.100-01，pp.17-20，2001年
- 4) 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，No.626，p.28，2002年

【筆者紹介】

鹿兒島 昌之(かごしま まさゆき)
コベルコ建機株式会社
要素開発部
ハイブリッド開発 Gr



大深度地下空間を拓く 建設機械と施工技術

最近の大深度空間施工技術について取りまとめました。
主な内容は鉛直掘削工，単円水平掘削工，複心円水平掘削工，曲線掘削工等の実施例を解説，分類，整理したものです。
工事の調査，計画，施工管理にご利用ください。

定価 2,310円(本体2,200円) 送料500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