

建設機械のハイブリッド化とハイブリッドショベル

落合正巳・園田光夫

建設機械は、第二次オイルショック以降、省エネに対する改良も重要視され、様々な改良を重ねてきている。しかしながら、近年は、地球温暖化防止京都会議で採択された京都議定書によるCO₂低減に対応するため、地球規模での環境保全、地球温暖化対策という大きなテーマと向き合っており、製品開発に取り組んでいかなければならない状況となってきた。

この状況下、建設機械製品においても自動車に見られるように、各社、ハイブリッド化を積極的に進めてきている。本報告では、建設機械のハイブリッド化の状況を踏まえ、その効果と課題について述べると共に、20tハイブリッドショベルの概要を紹介する。

キーワード：ショベル、省エネルギー、環境保全、CO₂、ハイブリッド

1. はじめに

1997年の地球温暖化防止京都会議で採択された京都会議定書において、CO₂を含む温室効果ガスの低減目標6%が設定された。我々建設機械業界もこれを受けて、CO₂低減に寄与する省エネルギー技術の開発を行っている。日本で生産されるディーゼルエンジンの10%は、建設機械向けと言われており、さらに、建設施工分野におけるCO₂の排出量は国内総排出量の約1%を占め、その主要な排出源は建設機械である。このようなことから、建設機械における省エネルギー技術、すなわち環境負荷低減技術の向上は、業界に与えられた大きな命題と認識されている。

自動車業界においては、省エネルギー化、クリーン化を目的とした電動化が進められてきており、各種のEV (Electrical Vehicle) やHV (Hybrid Vehicle) が製品化されてきている。建設機械においても各メーカー、ハイブリッド建機、等、電動化建機の開発が進められてきている。

本稿では、建設機械のハイブリッド化に当たっての効果と課題について述べるとともに、20tハイブリッドショベルの概要について、紹介する。

2. 建設機械とハイブリッド化

(1) 建設機械の種類と適用ポイント

建設機械には、クローラ系、ホイール系(図-1)等、

様々な種類の機械が存在する。これらの機械のハイブリッド化を考える時、それぞれの機械に適したハイブリッドシステムを考えなければならない。昨今開発されている自動車と比較し、多くのアクチュエータを備えていることも大きな特徴である。

例えば、ハイブリッド自動車においては、走行という一つのアクチュエータに対して、減速時エネルギーを回生し、そのエネルギーを加速時に使用するシステムである。従って、エンジンの小型化が容易にできる



(a) クローラショベル (b) クローラクレーン



(c) ホイールショベル (d) ホイールローダ

図-1 建設機械の種類

システムとなる。一方、建設機械の油圧ショベルにおいては、少なくとも6個のアクチュエータ（旋回、ブーム、アーム、バケット、左右走行）が必要である。これら夫々のアクチュエータに、作業形態に応じて、時には総動力を分配し、時には総動力を一つのアクチュエータに集中させる。従って、どのアクチュエータ動力を再生し、エンジンの小型化を図るかがポイントであり、非常に難しい。もう一つの違いは、建設機械が、油圧動力を使用していることである。ハイブリッドシステムを構成する時、蓄エネルギー器として、アキュムレータ、フライホイール、電池、キャパシタが考えられる。多くの建設機械メカのハイブリッドシステムは、発電機/電動機を使用し、蓄エネルギー器として電池、キャパシタを使用したシステムが一般的である。回転アクチュエータは電動機に置換されるが、効率やコンパクト性で油圧シリンダを上廻る電動アクチュエータは存在しない。油圧と電動をうまく組み合わせたハイブリッドシステムということになるであろう。その点、クローラクレーンは、全て回転アクチュエータであり、電動化ハイブリッドは、容易であるかもしれない。油圧駆動を電動駆動とした場合の効率化の単純試算例を図-2に示す。

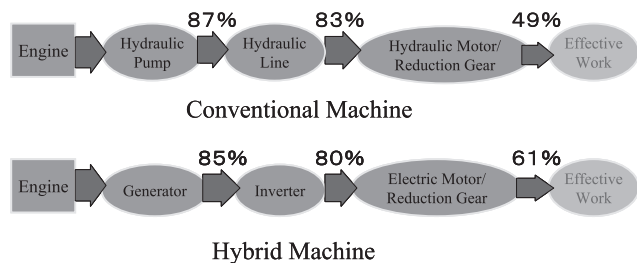


図-2 電動化による効率比較

(2) ハイブリッド建設機械のシステム例

ホイール系の建設機械は、走行系は自動車と同様の電動ハイブリッドシステムで構成し、作業機系は従来通り油圧駆動とする構成が一般的であろう。現状の油圧ショベルは、複数個の油圧ポンプで複数のアクチュ

表-1 システムの違いによる燃費比較

System	Fuel Consumption Ratio
2-pump System (Conventional System)	1
Serial Hybrid 2-pump System	1.10
Parallel Hybrid 2-pump System	0.86
Serial Hybrid 4-pump System	0.46
Parallel Hybrid 4-pump System	0.40
Double-pump Regeneration System	0.43
4-pump Hydraulic System	0.41

エータを駆動していることから、様々なハイブリッドシステムが考えられる。システムの違いによる省エネルギー化比較をした例を表-1に示す。

図-3, 4, 5は、それぞれのシステム概念図である。システム変更によっては、標準機に対して、5割以上の省エネルギー化が図れることが推測される。

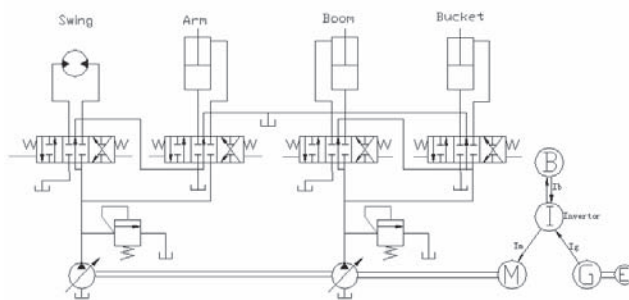


図-3 2-Pump Serial System

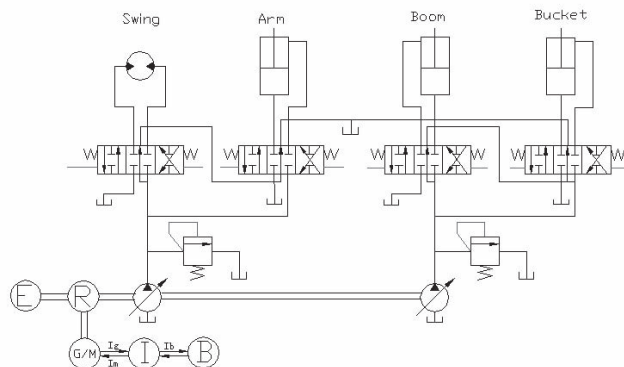


図-4 2-Pump Parallel System

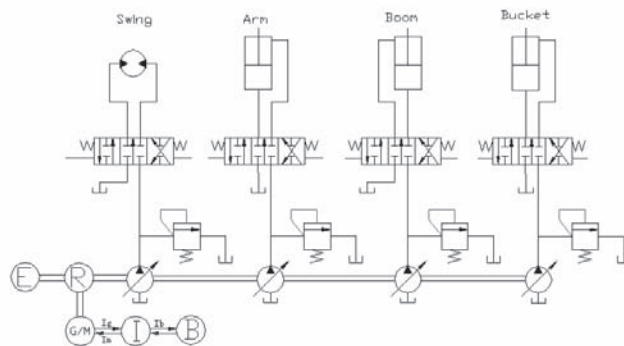


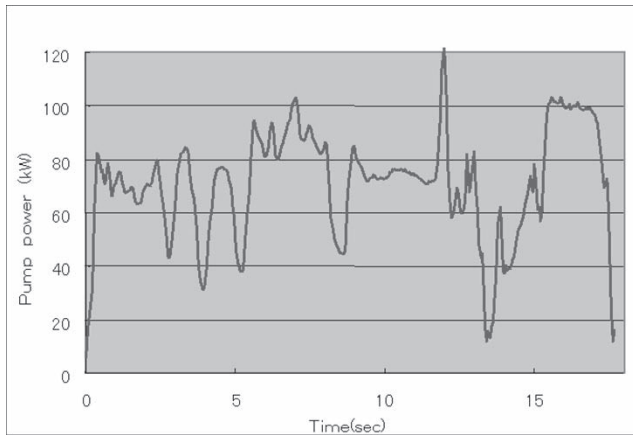
図-5 4-Pump Parallel System

(3) ハイブリッド建設機械の課題

図-6は、油圧ショベルの作業時（掘削作業）の負荷変動である。自動車に比べ比較にならない大きな負荷変動となる。この大きな負荷変動に対して、いかに効率的に動力回収を行うかが重要な課題となる。また、この変動数/時間の多さから、二次電池やキャパシタの充放電繰り返し寿命が問題となる。電動アク

チュエータに対しては、負荷変動に対応する動力回収時の応答性や微操作性が課題となる。

建設機械は、屋外の全世界全地域で使用される。従って、使用される機器には、耐高温性、耐低温性、防水性等、自動車と同等の耐環境性が要求される。耐振動、耐衝撃には、自動車よりも更に厳しく、対振動は5～7G、耐衝撃は10G以上が要求される。

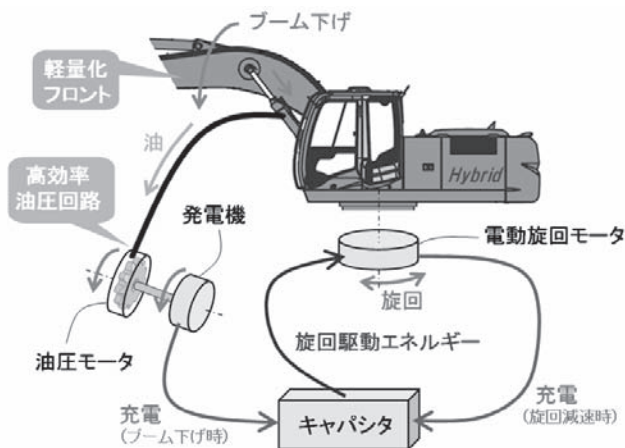


図一六 ショベルの掘削時負荷変動波形

3. ハイブリッドショベル

(1) システム概要

ハイブリッドショベル (20t) のシステム概要を図一七に示す。20t標準機をベースに、フロント作業機は油圧駆動とし、旋回は電動機直駆動となっている。旋回ブレーキ時のエネルギーと位置エネルギーの大きいブーム下げ時のエネルギーを回生している。回生したエネルギーは、キャパシタに蓄え旋回駆動動力として使用している。エンジンと油圧ポンプ間には、扁平型発電機を設け、キャパシタ電力低下時に電力補充を



図一七 ハイブリッドショベルシステム概念図

行うシステムとしている。

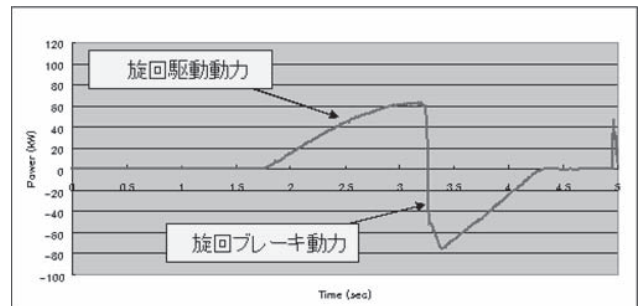
エンジンは、標準機と同等の作業性能を維持させることから小型化せず、効率の良い作動点で駆動するようエンジン制御を行い、高効率化を図っている。

また、旋回電動としたことから、標準機油圧システムを見直し、改良を加え、油圧システムの効率化も図っている。

(2) 回生システム

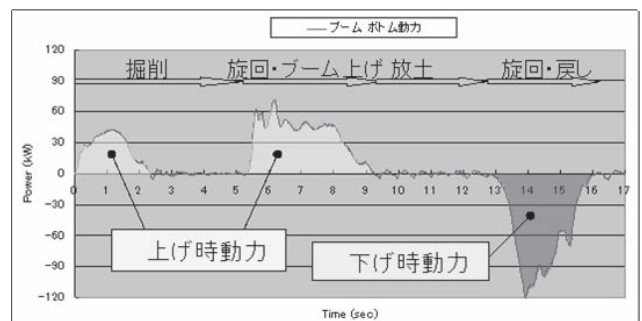
ハイブリッドシステムにおいては、エネルギー回生が重要なポイントとなる。クローラ型ショベルの場合には、走行系は自動車と異なり加減速時間が短く、有効なエネルギー回収が困難である。クローラ型ショベルで動力回生が期待できるのは、旋回ブレーキ時の運動エネルギーとフロントの位置エネルギーである。前述したように、今回開発したハイブリッドショベルにおいては、旋回減速時とブーム下げ時のエネルギー回生を行うシステムとしている。

図一八は、現状油圧ショベルの旋回時における駆動力を示す。マイナス動力は、ブレーキ時の動力であり、回生可能な動力である。旋回駆動動力の約7割が、回生可能であることがわかる。



図一八 旋回駆動時動力波形

図一九は、掘削作業時のブームシリンダボトムの動力を示したものである。図から、掘削時のブームの下げ動力（ブレーキ動力）は大きく、ブーム上げ動力



図一九 掘削作業時のブーム動力波形

の約8割が、回生可能なエネルギーである。

この回生可能なエネルギーを如何に効率よく回収し、使用するかが、ハイブリッドショベル全体の効率に大きく影響することになる。

今回開発したハイブリッドショベルに搭載しているブーム回生システムは、ブームシリンダのタンクへの戻り回路に設けた油圧モータと、この油圧モータで駆動される発電機で構成される。ブーム下げ時のブレーキは、この油圧モータの回転数とトルクで決定される。油圧モータで駆動される発電機の電力は、キャパシタに蓄えられ、旋回駆動エネルギーとして使用される。緩急のブレーキ力（ブーム下げの操作性）と効率の良いエネルギー再生制御が要求される。

(3) 構成部品と課題

先にも述べたが、建設機械は産業用に比べ使用環境、耐久性基準が厳しく、そのまま産業用電動モータを建設機械に用いることはできない。使用回転数帯と効率のマッチング、旋回停止時でのメカニカルブレーキも必要となる。ブレーキを内蔵、コンパクト化し、ハイブリッドショベルに搭載した旋回電動減速機を図一10に示す。



図一10 旋回電動減速機

油圧部品においては、作動油が熱を運ぶ媒体となり冷却が行われるが、電気部品の場合、特別の冷却システムを考慮しなければならない。現状の電動機、キャパシタの推奨使用温度は、60℃前後である（最近では、使用温度70℃以上のキャパシタも商品化されて来ている）。また、クローラ型ショベルの場合、自動車のように走行時の自然放熱も期待できない。開発したハイブリッドショベルの電動機やキャパシタは、水冷の強制冷却システムを搭載している。

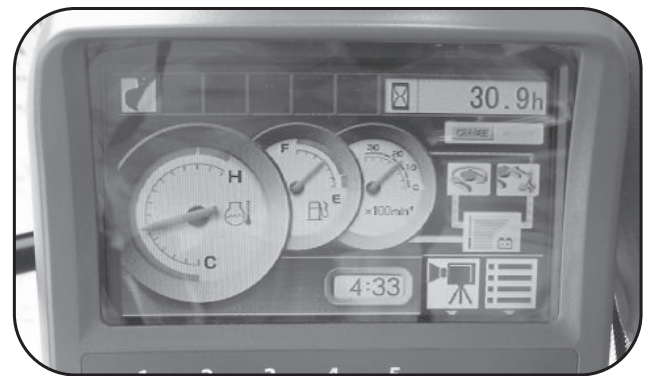
(4) ハイブリッドショベル開発機

図一11に、ハイブリッドショベルの掘削試験状況を示す。試験結果では、標準機に比べ、20～25%の燃費向上（作業形態により異なる）を確認した。本システムでは、標準機と同等の性能を確保するため、エンジンの小型化は取り入れていない。負荷率を考慮したエンジンの小型化、エンジンアイドル時での二次電池への充電等を行うことにより、30%前後の燃費低減が図られると思われる。



図一11 ハイブリッドショベルの掘削試験状況

図一12は、専用モニターであり、作業時の電力の使用状況やキャパシタの充電状況が知れるようになっている。



図一12 専用モニター

4. おわりに

建設機械は、多くのアクチュエータを有し、特に油圧シリンダを用いていることから、ハイブリッドシステムをはじめとする電動化は非常に難しい。しかしながら、電動駆動を採用し、機械に適したシステムを構成することにより、25%以上の燃費向上が図れると思われる。

コスト的には非常に厳しいが、地球環境保全、安全、快適性を含めた人間尊重と大きな視野で捉えた製品開発が要求される時代となってきた。更には、顧客ニーズの多様化、経済性も考慮していかなければならない。循環型社会へ変わる中で、CO₂削減、地球温暖化対策に少しでも寄与するため、建設機械の電動化、ハイブリッド化を積極的に推進、努力していきたい。

JCM A

《参考文献》

- 1) 杉山他：建設機械における燃費提言の取り組み，建設機械，Vol.39 No.6 (2003)，26/31
- 2) 落合：環境対応建設機械への取り組み，建設物価，No.9 (2003)
- 3) 神戸製鋼，コベルコ建機：ハイブリッド建設機械の研究開発，NEDO 第一回「新規環境産業創出型技術研究開発制度」分科会資料 6-2 (2001)
- 4) 環境省：建設機械における CO₂削減のためのバッテリー駆動化に関する技術開発，「平成 17 年度地球温暖化対策技術開発」業務報告書，(2005)
- 5) 大木他：バッテリーショベルの開発，平成 18 年度秋季 JFPS 講演会論文集 (2006)，145/147



[筆者紹介]

落合 正巳 (おちあい まさみ)
日立建機㈱
技術開発センター
主管研究員



園田 光夫 (そのだ みつお)
日立建機㈱
技術開発センター
主任研究員

建設の施工企画 2006 年バックナンバー

平成 18 年 1 月号 (第 671 号) ~平成 18 年 12 月号 (第 682 号)

1 月号 (第 671 号)
夢特集

5 月号 (第 675 号)
施工現場の安全特集

10 月号 (第 680 号)
情報化施工と IT 特集

2 月号 (第 672 号)
環境特集 温暖化防止に向けて
(大気汚染防止・軽減) 特集

6 月号 (第 676 号)
リサイクル特集

11 月号 (第 681 号)
ロボット・無人化施工特集

3 月号 (第 673 号)
環境特集 環境改善 (水質浄化・土壌浄化)

7 月号 (第 677 号)
防災特集

12 月号 (第 682 号)
基礎工事特集

4 月号 (第 674 号)
特集 品確法 公共工事の品質
確保

8 月号 (第 678 号)
標準化特集

■体裁 A4 判
■定価 各 1 部 840 円
(本体 800 円)

9 月号 (第 679 号)
維持管理・延命化・長寿命化特集

■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>