

20 t 級ハイブリッドショベル

SK200H

鹿児島 昌之

近年、地球温暖化防止のため、排出ガスに対する規制が厳しくなるとともに、経済性などの観点から省エネ技術が注目されている。特に、バッテリーやキャパシタなどの蓄電装置や電動機、インバータなどの技術の進歩もあって、自動車や、油圧ショベルをはじめとする建設機械では、ハイブリッドシステムが開発、実用化され、大幅な燃費低減を達成しつつある。このような状況のもと、ハイブリッドショベル SK200H（以下「本製品」という）を開発したのでその概要について報告する。

キーワード：ハイブリッドシステム、油圧ショベル、旋回電油モータ、発電電動機、キャパシタ、インバータ

1. はじめに

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化石燃料消費量を低減することが求められてきている。また、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、これまでも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が、省エネ化への対策の一つとして注目されているのが自動車等で用いられているハイブリッドシステムの適用である^{1), 2)}。

一方、バッテリーやキャパシタなどの蓄電装置や電動機、インバータなどのパワーエレクトロニクス技術の進歩もあって、自動車業界におけるハイブリッド技術は進歩を遂げている。

以上のような状況下で、1999年よりハイブリッドシステムを採用した油圧ショベルの研究開発を行ってきたが、2007年に7t級ハイブリッドショベルを発表。2009年に8t級ハイブリッドショベルを開発した。続いて、20t級ハイブリッドショベルの開発に着手し、このたび「本製品」を商品化した。

2. ハイブリッドシステムの特徴

油圧ショベルは、掘削などの高負荷作業と均しなどの低負荷作業を短時間で繰り返すため、大きな負荷変動を受ける。

油圧ショベルのパワーフローを図-1に示す。図-1はエンジン出力を500とした場合の各部損失および効率、作業に利用できる有効パワーを示したものである。従来の油圧ショベルでは、最大負荷に対応できる動力をエンジン・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たため、作業有効動力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生じる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の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た。したがって、エンジン出力の20%程度しか有効に利用されていない。

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、燃費低減のポイントは以下の2点である。

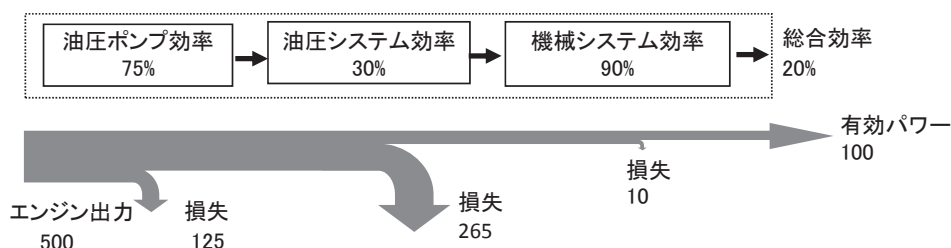
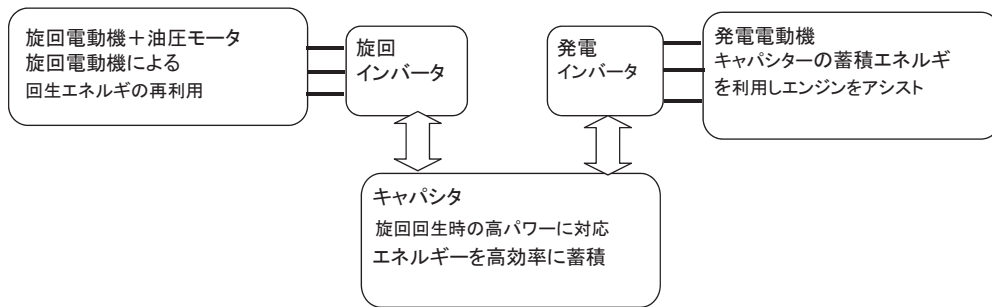


図-1 油圧ショベルパワーフロー



図一2 ハイブリッドシステムの特徴

①旋回回生エネルギーの再利用

旋回回生エネルギーを効率良く蓄積，電動機のエンジンアシストによる回生エネルギーの再利用。

②高効率キャパシタの採用

旋回回生時の高パワーのエネルギーを高効率で蓄電するために電気二重層キャパシタを採用した。

③エンジン制御

ハイブリッドシステムにあわせたエンジン運転の最適化によるエンジン運転時のエネルギー効率向上。

以上のことから、「本製品」ハイブリッドシステムの特徴は図一2のようになる。

し、インバータによる制御と組み合わせることで旋回減速時に運動エネルギーを電気エネルギー（回生エネルギー）に変換し蓄電することが可能となり、また、加速時は主に油圧モータにより駆動することで、従来の操作フィーリングを損なうことなく、省エネが可能となっている。

さらに、旋回回生エネルギーはキャパシタに蓄積され、エンジンのアシストに利用される。

蓄電装置は、20tクラスの旋回減速時の高パワーに対応するためキャパシタを採用した。キャパシタは、昇圧コンバータを通じて直流高電圧部に接続されてい

3. ハイブリッドショベルのシステム構成

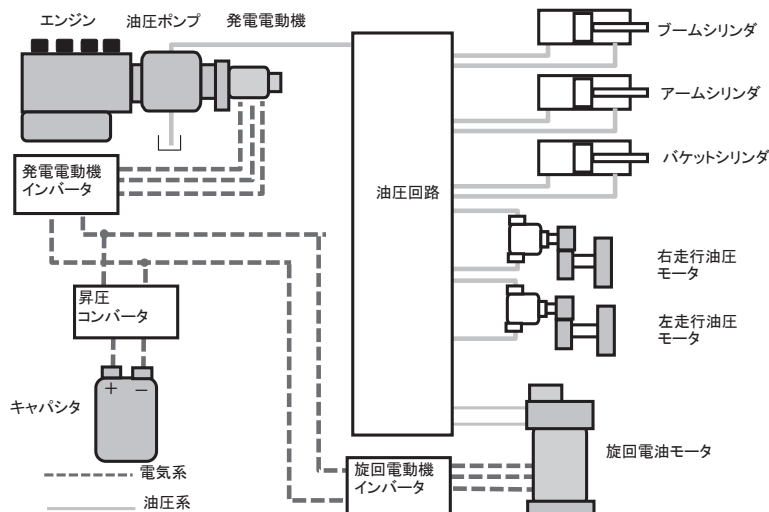
写真一1に「本製品」ハイブリッドショベルの概観を示す。

図一3に「本製品」のシステム構成を示す。従来のショベルは、エンジンにより駆動されるポンプから動力を各アクチュエータに配分していたが、本システムではエンジンと発電電動機の両方の動力でポンプを駆動している。

また、旋回を従来の油圧モータに加え電動機駆動と



写真一1 「本製品」概観



図一3 「本製品」システム構成

る。

また、これらのハイブリッド固有の高電圧機器／配線に対する感電防止については、漏電検出機能やサービプラグの装備などにより、自動車レベルの安全性を確保している。

4. ハイブリッド機器

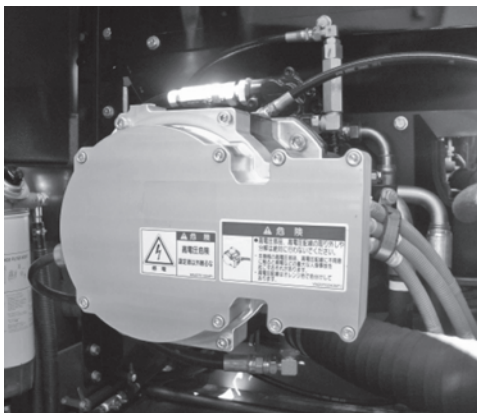
表一1に「本製品」の主要諸元を示す。

表一1 「本製品」主要諸元

エンジン	出力：117 kW/2000 min ⁻¹
蓄電装置	電気二重層キャパシタ
発電電動機	三相交流同期型永久磁石式
旋回電動機	三相交流同期型永久磁石式
油圧ポンプ	2連可変容量アキシャルピストン

(1) 発電電動機

発電電動機（写真一2）はエンジン、油圧ポンプに接続されている。旋回回生によりキャパシタに蓄えられたエネルギーを利用してエンジンをアシストするとともに、キャパシタへの補充電を行う。



写真一2 発電電動機

(2) 旋回電油モータ

旋回加速時は主に油圧により駆動，減速時に電動機を回生動作させ，運動エネルギーを電気エネルギーに変換する。

(3) インバータ

旋回電動機インバータと発電電動機インバータおよび昇圧コンバータを一体化したインバータユニットをあらたに開発，インバータに各電動機を制御するとともに，昇圧コンバータによりキャパシタ電圧を制御する。冷却系は，専用の水冷系を搭載した。

(4) キャパシタ

8tクラスではバッテリーを採用したが，20tクラスは旋回の回生パワーが大きいため，蓄電装置として電気二重層キャパシタを採用し，旋回電動機によって減速時に発生する回生パワーの充電を可能とした。冷却系はインバータと同様，水冷とした。

5. ハイブリッドシヨベル動作

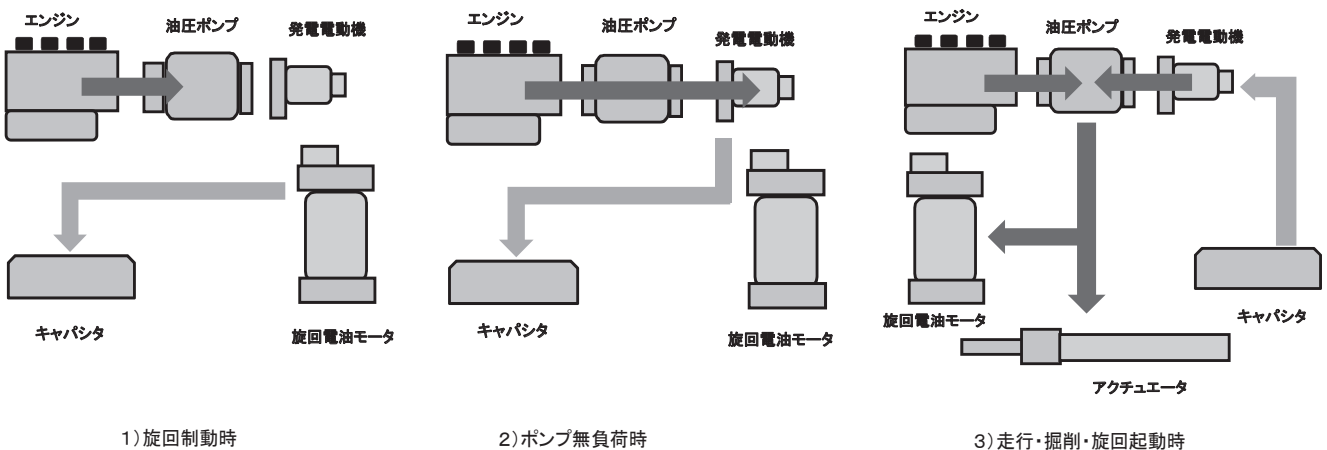
図一4に「本製品」の動作（パワーフロー）を示す。

(1) 旋回制動時

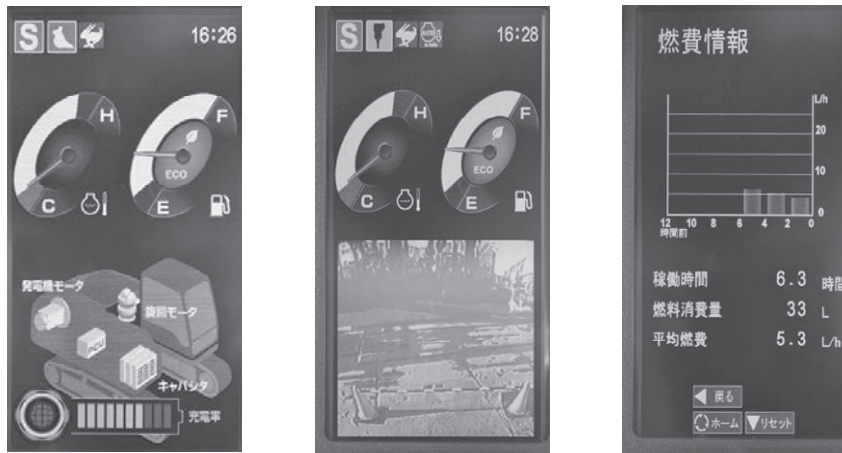
旋回制動時は，旋回運動エネルギーを旋回電油モータの回生作動により電気エネルギーに変換し，インバータ，昇圧コンバータを介してキャパシタに蓄電する。

(2) ポンプ無負荷時

油圧ポンプ無負荷時は，発電電動機により電気エネルギーを発生させ，キャパシタに蓄電する。



図一4 「本製品」の動作（パワーフロー）



1) パワーサプライモニタ

2) 後方カメラ

3) 燃費表示

写真-3 パワーサプライモニタ

(3) 走行・掘削・旋回起動時

キャパシタに蓄電された状態での走行・掘削・旋回起動時は発電電動機によりエンジンをアシストし油圧ポンプが各アクチュエータを駆動する。

上のような作動状況は、カラーマルチディスプレイのパワーサプライモニタ（写真-3）に表示され、電動機、キャパシタなどハイブリッドシステムの構成機器のエネルギーの流れとキャパシタの充電率がリアルタイムで確認できる。

さらに本モニタにはさまざまな機能があり、画面切り替えにより後方カメラ画像や燃費表示が可能である（写真-3）。

6. 燃費低減効果

燃費については JACMAS 評価値で以下を達成した。

- ・ JACMAS 燃料消費量評価値 H モード 9.1 kg
- また、当社標準機を 100% とした場合、連続掘削時には以下の燃費を達成した。
- ・ H モード：約 73%

7. おわりに

油圧ショベルの CO₂ 削減および燃費低減への取り

組みの商品化例として 20t 級油圧ショベルを対象とした SK200H について紹介した。

旋回電油モータ、キャパシタを採用することで、旋回運動エネルギーを効率良く回生することができ、大幅な燃費低減が可能となった。

しかし、電動機など電気機器において、建設機械に使用できるものはまだまだ少なく、建機用ハイブリッドシステムのコストアップの要因となっており、これが今後の課題である。

したがって、ハイブリッド油圧ショベルのクラス展開、および普及拡大を進めていくために上記課題を解決し、さらなるコストダウンを図ることが必要であると考えている。

JACMA

《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, P13～16, 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, P9～14, 2001 年

【筆者紹介】

鹿見島 昌之（かごしま まさゆき）
コベルコ建機㈱
GEC 要素開発部
マネージャー

