

リチウムイオンバッテリーを搭載した 新型ハイブリッド油圧ショベル

SK200H-10

佐伯 誠 司

燃料消費削減、環境負荷低減を目的に、自動車業界を中心に技術進化を続ける「パワーエレクトロニクス技術」を油圧ショベルに活用した事例として、リチウムイオンバッテリーを搭載した新型ハイブリッド油圧ショベル SK200H-10 を紹介する。油圧ショベル旋回体の大きな慣性から発生する旋回減速時の回生エネルギーを有効に利用することと合わせて、高出力且つ、大容量のリチウムイオンバッテリーを採用することにより持続的なエンジンアシストを可能とし、大幅な燃料消費量削減を達成させた。

キーワード：パワーエレクトロニクス、ハイブリッド、油圧ショベル、旋回電動機、発電電動機、リチウムイオンバッテリー、インバータ、省エネ

1. はじめに

近年、地球温暖化の原因となる CO₂ をはじめとする温室効果ガスや、大気汚染・健康被害をもたらす NO_x（窒素酸化物）などの削減は、エコロジーや持続可能社会を合言葉とした国際社会全体の課題となっている。

建設機械の中で最も稼働台数の多い油圧ショベルにおいても、省エネと環境負荷の軽減は大きな課題となっており、近年では「パワーエレクトロニクス技術」を油圧ショベルに活用したハイブリッド油圧ショベルが商品化されている。本稿では更なる燃料消費削減と環境負荷低減を目的に HV、EV などでの活用が進む、リチウムイオンバッテリーを搭載したハイブリッド油圧ショベル SK200H-10（以下「本開発機」という）の概要について紹介する。

2. 油圧ショベルにおける燃料消費量削減の取り組み

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は燃焼エネルギーを100%とした場合の各部のエネルギー損失を示したものである。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から供給しているが、各部のエネルギー損失は、エンジンで約55%、油圧ポンプで約15%、油圧システムで約20%、機械システムで約1%となっており、最終的な有効出力はエンジン出力の約9%程度しか利用されていない。

以上の状況を踏まえて、油圧ショベルではこれらのエネルギー損失を削減するために様々な施策が行われている。特に損失の大きいエンジンの燃料燃焼では、コモンレールシステムなどの燃料噴射高圧化による燃焼効率の改善や、可変ノズル VG ターボ(図-2)によって排気側のノズル開度を調整して吸入空気量を変更することによる燃焼効率の改善が行われている。

次に損失の大きい油圧システムにおいては、油圧機器、油圧配管における圧損低減(図-3)や、油圧ショベルのアタッチメント自重を利用した油圧回生回路(図-4)などでシステムの効率改善が行われている。

これらの効率改善は、従来の油圧ショベルでも行わ

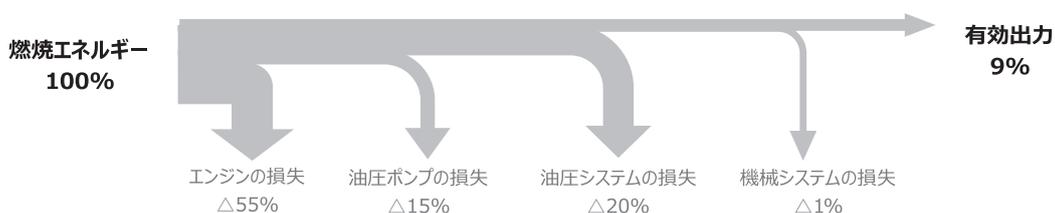


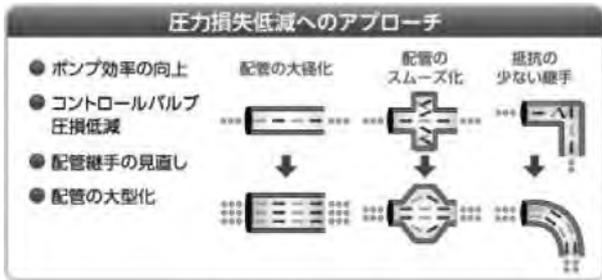
図-1 油圧ショベルパワーフロー



図一 2 可変ノズル VG ターボ



写真一 1 ハイブリッド油圧ショベル外観



図一 3 油圧回路の圧損低減

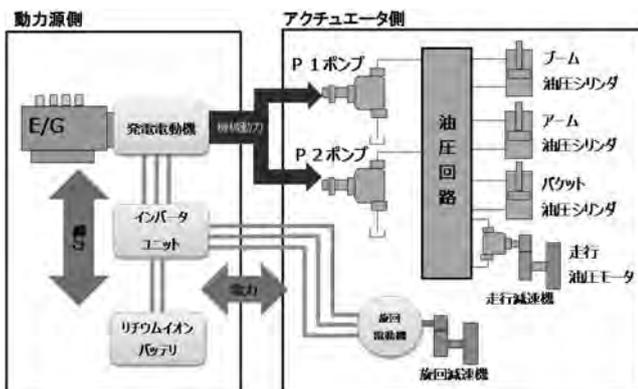


図一 4 油圧回生回路

れている施策として紹介したが、次章より本開発機の施策について紹介する。

3. ハイブリッドシステムの概要

図一 5 にハイブリッドシステム構成を示す。従来の油圧ショベルは、エンジンにより駆動される油圧ポ



図一 5 ハイブリッドシステム構成

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動力とエンジンに直結された発電電動機動力の両方で油圧ポンプを駆動している。

また、機体旋回用のアクチュエータを電動化し、油圧回路と切り離すとともに旋回減速時の回生エネルギーを電気エネルギーに変換することを可能としている。

更に、持続的に発電電動機でエンジンをアシストし、ショベル旋回体の大きな慣性を加減速させるため、高出力かつ、大容量のリチウムイオンバッテリーを採用した（写真一 1）。

4. ハイブリッド機器の概要（図一 6）

(1) 発電電動機

標準の油圧ショベルと車体幅を共通とするため、エンジンと油圧ポンプの間（軸寸法でわずか 140 mm）に配置可能な専用の発電電動機を開発した。三相交流同期形永久磁石式を採用し、燃費削減に効果的なエンジンアシストを可能にしただけでなく、旋回加速に必要な高い発電能力を有している。

(2) 旋回電動機

従来の油圧モータと同じ搭載性を確保し、標準油圧ショベルと同等の機体旋回性能を実現するために、専用の高速減速機と三相交流同期形永久磁石式の旋回電動機を開発した。旋回減速時のエネルギー回生を行うとともに、滑らかで力強い旋回加速特性を実現させた。

(3) インバータユニット

機体搭載性を確保するため、旋回電動機インバータと発電電動機インバータを一体化するとともに、リチウムイオンバッテリーの充放電制御機能も有する専用のインバータユニットを開発した。油圧機器やエンジン

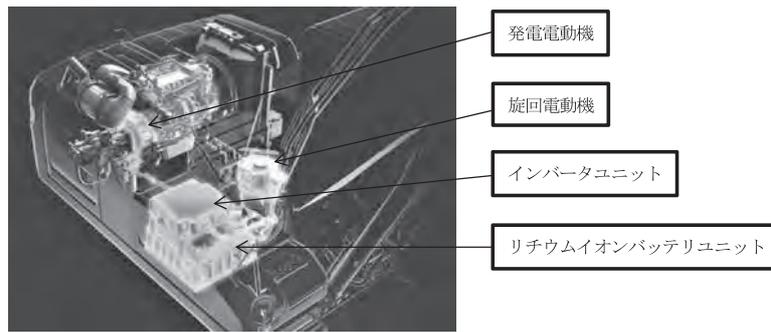


図-6 主要ハイブリッド機器外観図

を制御するコントローラと連動してハイブリッドシステムの制御を行い、大幅な燃料消費量の削減を実現させた。

また、ハイブリッド機器やシステムの状態量をITデータとして送信する機能も装備しており、これらの状態を観察することで異常をキャッチし、故障を抑制させることが可能となっている（図-7）。

(4) リチウムイオンバッテリーユニット

リチウムイオンバッテリーは作動温度範囲に制限があるため、冷却機能と暖機機能を兼ね備えた保護ケース

に内装している。国際連合危険物輸送勧告への対応はもちろん、リチウムイオンバッテリーの直接および間接的な感電防止策として、漏電検出により自動で電力を遮断する機能や、手動で電力を遮断するEVスイッチを有しており、HV・EV自動車レベルの信頼性を確保している。

5. ハイブリッドシヨベルの動作と燃費低減

図-8に掘削、積込み作業時のハイブリッドシステムのパワーフローを示す。



図-7 ITデータを活用した状態観察機能のイメージ

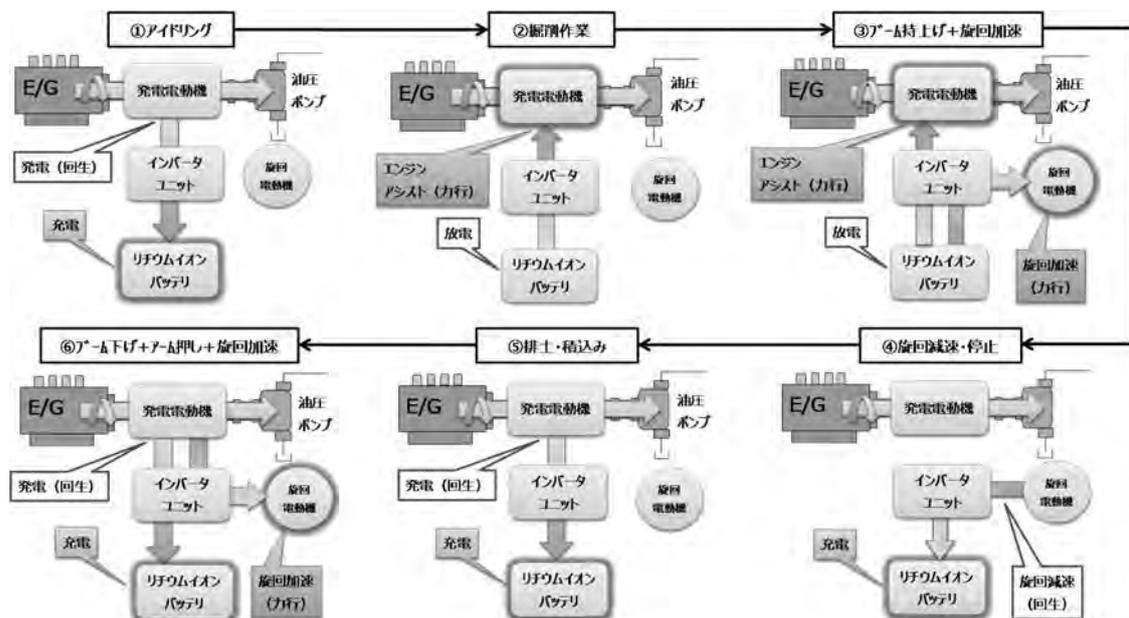


図-8 掘削、積込み作業時のハイブリッドシステムのパワーフロー

①アイドリング

発電電動機を回生制御することで電力を発生させ、リチウムイオンバッテリーを充電する。

②掘削作業

リチウムイオンバッテリーに蓄電された電力により発電電動機を力行制御し、エンジンをアシストする。

③ブーム持上げ+旋回加速

リチウムイオンバッテリーに蓄電された電力により旋回電動機を力行制御し、機体を旋回駆動させると同時に、発電電動機を力行制御し、エンジンをアシストする

④旋回減速・停止

旋回電動機を回生制御し、旋回減速時に発生する運動エネルギーを電力に変換。リチウムイオンバッテリーを充電する。

⑤排土・積込み

エンジン動力の余力を用いて、発電電動機を回生制御することで電力を発生させ、リチウムイオンバッテリーを充電する。

⑥ブーム下げ+アーム押し+旋回加速

リチウムイオンバッテリーを充電すると同時に、発電電動機の回生電力で旋回電動機を力行制御し、機体を旋回駆動させる。

上記のように、本開発機では発電電動機のエンジンアシストや、旋回減速時の回生エネルギーの有効利用、これらを持続的に行うための高出力且つ、大容量のリチウムイオンバッテリーの採用により大幅な燃費低減を達成している。

図-9に掘削・積込み作業時における燃費計測結果を示す。本計測は弊社社内基準に基づいて計測した結果である。

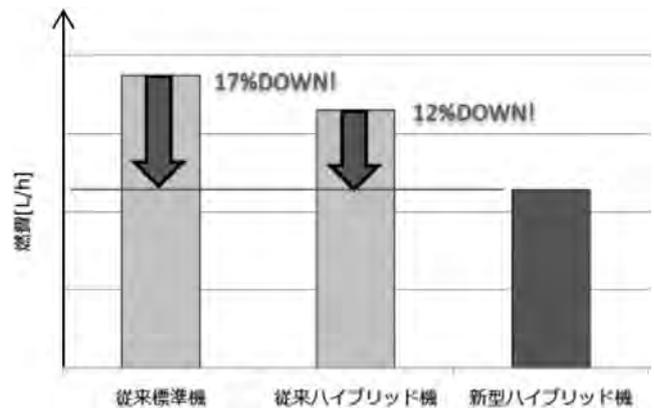


図-9 同一作業量での燃費比較 (当社比)

6. おわりに

本稿では油圧ショベルのCO₂削減および燃費低減への取り組みの一例としてリチウムイオンバッテリーを搭載した新型ハイブリッド油圧ショベルSK200H-10について紹介した。油圧ショベル旋回体の大きな慣性から発生する旋回減速時の回生エネルギーを有効に利用することと併せて、高出力且つ、大容量のリチウムイオンバッテリーを採用することにより、持続的なエンジンアシストを可能とし、大幅な燃料消費量削減を達成させた。

今後も自動車業界に先導され、ゼロエミッションに向けた新技術の開発が加速していくものと推測している。油圧ショベルに代表される建設機械においても、これらの技術をいち早く導入し、更なる燃費低減や環境負荷の低減に繋げて行きたい所存である。

JCMMA

【筆者紹介】

佐伯 誠司 (さいき せいじ)

コベルコ建機㈱

GEC 要素開発部 マネージャー

