

ハイブリッド油圧ショベルマグネット仕様機

久保 隆・石山 寛

現在の油圧ショベルは、ディーゼルエンジンを動力源としており、ディーゼルエンジンは他の内燃機関に比べて熱効率がよく燃費に優れている。また、最近では、排出ガスもコモンレール、EGR等による燃焼システムの改良、後処理システム採用により急速にクリーン化が進んでいる。

今後は、地球温暖化防止に向けCO₂低減がますます重要となってきた。クリーンエネルギー化では自動車が行先しているが、建設機械においても、エンジンで駆動する油圧システムの改良に加え、一部アクチュエータを電動化するハイブリッドシステムを採用することにより、現状のシステム改良では困難なレベルでのCO₂低減を進めることが可能である。

キーワード：油圧ショベル、ハイブリッド、マグネット仕様機

1. はじめに

2012年までの京都議定書約束期間及びポスト京都の議論が活発化しているが、建設機械においても省エネ技術の開発と普及が求められている。そこで、第2の動力源として蓄電池をもち、アクチュエータを電動化できるハイブリッドシステムの採用は、熱として捨てられている油圧システムのエネルギー回生と省エネ駆動との点でおおきな効果が発揮できると期待される。そこで本稿では、建設機械に適用した効果的なハイブリッドシステムの概要について述べる。

2. ハイブリッドシステムのメリット

(1) エネルギーの回生

油圧ショベルでは、旋回動作で減速停止するときに、使用したエネルギーを全て熱に替えて速度を減速制御している。従って旋回駆動系を電動化することで、効率良く駆動し、さらに旋回減速時には旋回体の持つ運動エネルギーを電気エネルギーとして回生・再利用することができる。また、ブーム上げ動作で油圧シリンダに圧油として蓄えられた位置エネルギーはブーム下げ動作時に油圧源として利用できる。そこでは、ブーム下げ動作により発生する圧油動力を、従来は熱に替えて減速制御していたが、油圧モータにより回転運動に替えることで発電機を駆動し電気エネルギーとして回生できる。油圧システムの温度上昇を抑え、回生したエネルギー

を再利用することで省エネルギー化することが可能となる。

旋回電動モータとブーム下げ動作回生モータを搭載して、掘削作業を行ったときの力行と回生の動作の一例を図-1に示す。掘削でバケットに抱えた土砂を持ち上げながら旋回しダンプ積みする動作において、旋回体の回転エネルギーと持ち上げ旋回で蓄えられたブーム油圧シリンダの位置エネルギーとを旋回減速、ブーム下げ動作で回生している。現状の油圧ショベルの油圧系の改良と併用することで、さらに省エネルギーの効果を出すことができる。

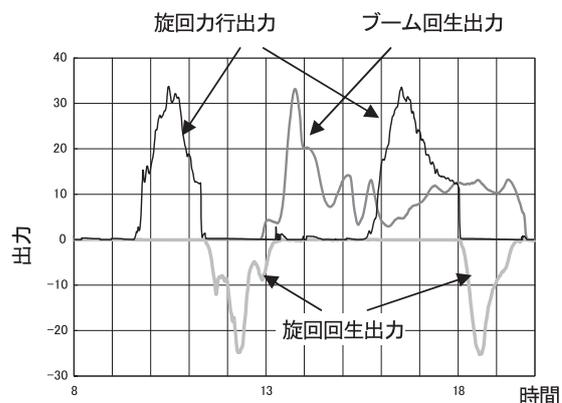


図-1 90度旋回での掘削積込動作

(2) インテリジェント化

現行の油圧ショベルでもエンジン制御、アクチュエータ制御にコントローラを使用しているが、電動化

により、システムの状態量を管理し、さらに高精度なコントロールが可能となる。油圧ショベルの旋回体のように大きな慣性が運動する動作においても制御性をさらに高めることが可能となる。また、ディーゼルエンジンでは、負荷変動により燃料噴射量に変化するが、電動モータ動力を制御で協調駆動させ、エンジン負荷変動を低減することにより燃料噴射量の変動を低減できる。

さらに、必要に応じエンジン出力に電動モータ出力を加えることで、エンジン回転数の付加に対する応答性の向上を期待する設定も可能となる。また、エンジン回転数を可変とし、軽負荷のときは回転数を下げて省エネルギーをはかることもできる。

(3) アクチュエータの電動化

油圧ショベルのアタッチメントはブーム・アーム・バケットの3つのリンクからなっており、そこに旋回動作を加えることによりアタッチメント先端を自由に動かすことができる。しかし、自由度が多い分、操作は熟練を要するが、このアクチュエータの電動化により操作しやすい機械とすることもできる。

また、電動アクチュエータをアドオンすることで、従来に無い操作性機能を容易に付加することができる。操作性を向上させることで、人間による運転が容易に

なり安全性も向上する。

3. ハイブリッドショベルマグネット仕様機

アタッチメントの先端に土砂掘削用バケットの代わりに大きなマグネットを搭載した油圧ショベルマグネット仕様機（以下、マグネット仕様機という）に、今回、ハイブリッドシステムを適用した。ハイブリッドショベルマグネット仕様機は、油圧ショベルをベースマシンとし、マグネット（電磁石）によりスクラップのハンドリングを行う機械であり、鉄のリサイクルにおいて不純物の混合を選別できるため良質なりサイクルが可能となる。以下にこのハイブリッドショベルマグネット仕様機のハイブリッドシステムを紹介する。

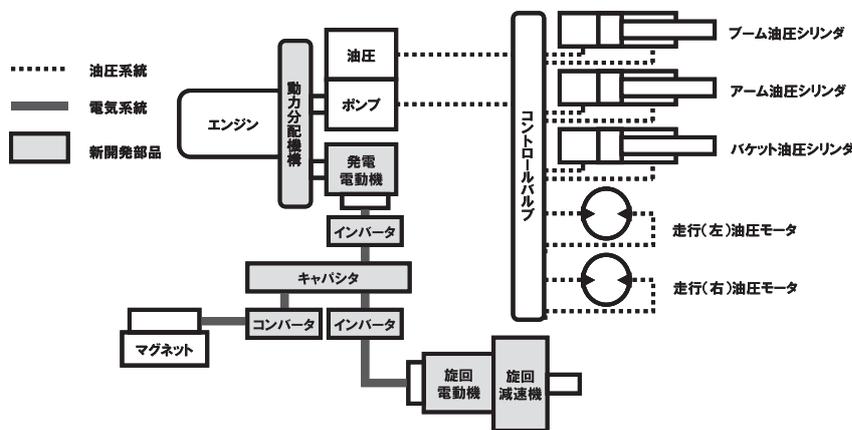
尚、マグネット仕様機のアタッチメントは地表面より高い所で使われることが多いので、先に述べたブーム下げ動作時の位置エネルギー回生装置は搭載していない。



図一2 旋回電動モータ



図一3 ハイブリッドショベルマグネット仕様



図一4 ハイブリッドシステム

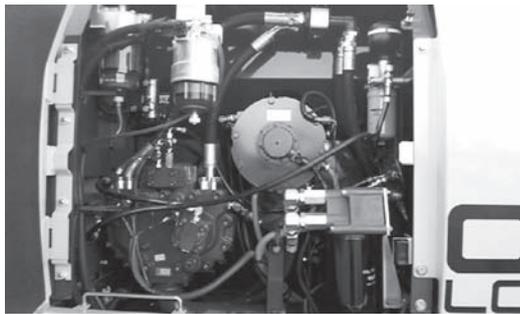


図-5 エンジン動力分割装置

(1) エンジン動力

エンジン動力を分割し、アシスト&発電モータと油圧ポンプを増速駆動することで、エンジンを低回転で省エネ運転とし、モータを高速運転することで、高効率小型化を実現している。さらに、旋回系を電動化し独立させることで高効率に加え操作性を向上させている。また、電動モータ駆動用インバータは一体・小型化し、昇降圧コンバータを加え高電圧化駆動している。さらに、蓄電装置としては、大容量キャパシタを採用し、信頼性のアップと長寿命化をはかっている。

(2) 回生の効果

旋回電動による単独動作を図-6に示すが、力行により回転エネルギーとして蓄えられたエネルギーを旋回減速時には回生エネルギーとして電力に変換している。マグネットの吸着・釈放時の動作を図-7に示す。吸着時に電力がマグネットのコイルに給電され、作業

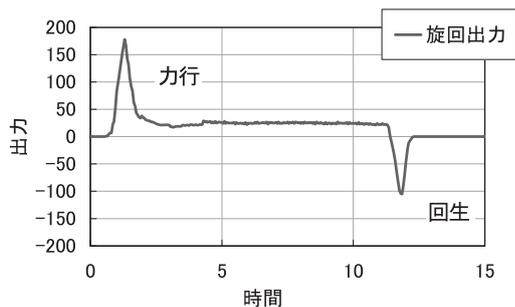


図-6 旋回出力

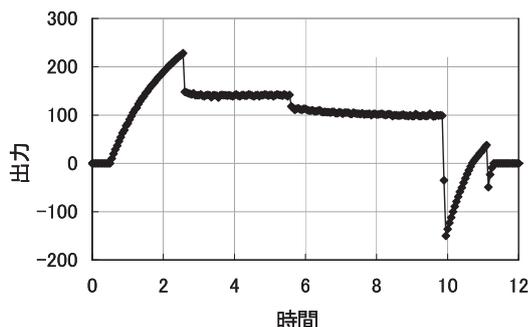


図-7 マグネット出力

物運搬後の釈放時には、コイルに蓄えられたエネルギーが放電され、これ等を効率よく回生している。

(3) マグネット供給電力システム

現行油圧機では、エンジン出力を油圧動力に変換し、油圧動力により発電機を駆動している。ハイブリッドショベルマグネット仕様機では、アシストモータでの発電、旋回の回生電力を蓄えた蓄電装置の電力をマグネットへの供給電源として効率よく使用し、ここでも省エネルギー化をはかっている。

(4) 省エネ効果

旋回電動による高効率運転とエネルギー回生、電動アシストモータとエンジンとの協調制御によるエンジン高効率化、さらに、従来のマグネット電源回路で必要であった油圧ポンプ、油圧モータを廃止できたことによる損失低減が大きい。昨年発売したSH200-5マグネット仕様機と比較し、さらに20%以上の省エネを達成している(図-8)。

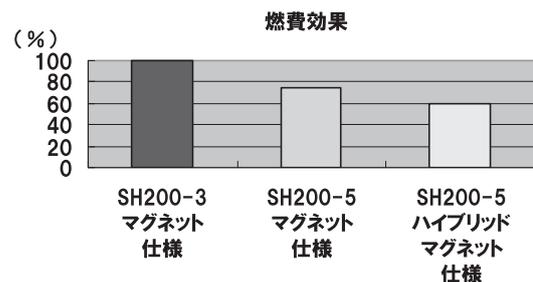


図-8 省エネ効果

図-9にハイブリッドマグネット仕様機でのアームシリンダ単体動作でのアシストモータ出力、蓄電装置、エンジン出力状況を示す。油圧ショベルの負荷変動はかなり大きく、エンジンの負荷変動を大きくして燃費

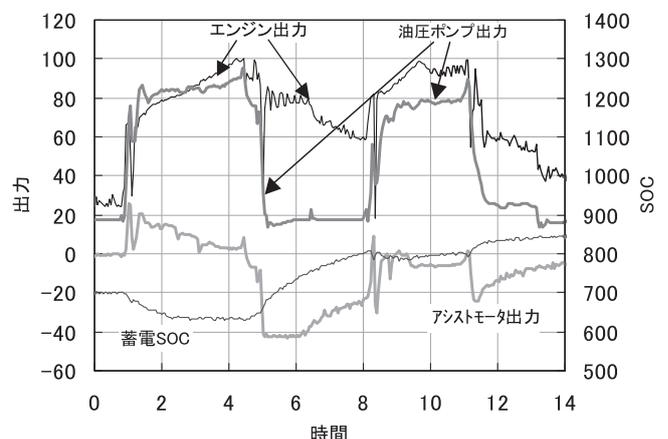


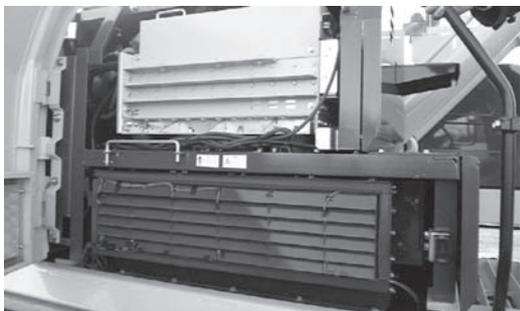
図-9 アームシリンダ単体動作時のシステムの動き

効率を低下させるため、種々の工夫によりエンジン負荷を平準化する改善を行ってきている。ハイブリッドシステムでは電動アシストモータ出力によりエンジン負荷変動を緩和し、回生エネルギー等による蓄電装置の効率的な使用により、さらに省エネが可能である。

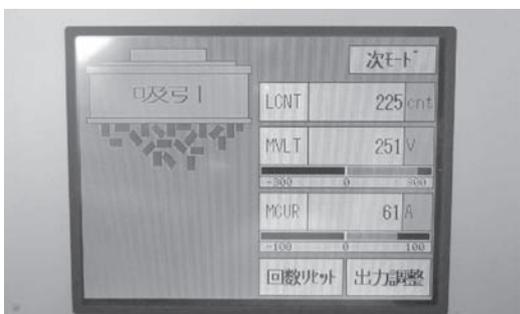
(5) 構成機器

ハイブリッドコントローラは各インバータをモジュール化し、それを一体化して部品点数を減少させコンパクトな構成としている。さらに、蓄電装置にはキャパシタを採用するとともに、これ等をキャブ右側に集中して配置し、システムの効率化をはかっている(図—10)。

コントローラは電動モータと同様、水冷冷却の採用



図—10 コントローラ (上), 蓄電装置・キャパシタ (下)



図—11 モニタ表示例

により、コンパクト化し搭載を容易としている。冷却系は要求温度が低いため、エンジン冷却系とは別系統となっている。今後、素子の耐熱仕様と入出力効率を向上することにより、冷却系の負担を低減する必要があると考える。

マグネットの吸着・釈放状態はモニタに表示される(図—11)。さらに、複数のコントローラ間の通信情報を表示することもできる。電気出力、油圧出力、電動モータの状態を表示し、オペレータに省エネルギー操作へのアシストを行っている。

4. おわりに

ハイブリッドシステムを建設機械に搭載することで、ハイブリッド油圧ショベルマグネット仕様機を例に、CO₂低減に大きな力を発揮することが今回、確認できた。地球温暖化防止に貢献するためには、クリーンな建設機械を世の中に普及させる必要があり、クリーンエネルギーで先行する自動車の例も参考にして、今後とも開発・普及に取り組んでいくつもりである。

JCMA

【筆者紹介】
久保 隆 (くぼ たかし)
住友建機(株)
技術部
主席技師

石山 寛 (いしやま ひろし)
住友建機(株)
技術部 研究開発グループ
主任技師