

油圧ハイブリッドシステムを搭載した 油圧ショベルの開発

Cat[®] 336E H/336E L H

白澤博志

油圧ショベルにおいて、旋回ブレーキ時に運動エネルギーを油圧エネルギーに変換回収し、蓄圧器に蓄え、旋回加速の際にその蓄圧したエネルギーを再利用する油圧ハイブリッドシステム、また、従来から圧力損失を低減する事が可能な電子制御式コントロールバルブを開発した。この油圧ハイブリッドシステム及び電子制御式コントロールバルブを搭載した油圧ショベル「Cat 336E H/336E L H」（以下「本機種」という）は、燃料消費量及びCO₂排出量の低減を実現している。その技術について本文で紹介する。

キーワード：ハイブリッド、コントロールバルブ、環境対応、燃料消費量低減、低炭素

1. はじめに

現在、社会には様々な環境問題が存在し、建設施工分野においても、それらへの対応が求められている。大気汚染に関しては、2005年5月に特定特殊自動車の排出ガスの排出を抑制し、国民の健康を保護するとともに生活環境を保全する事を目的として、「特定特殊自動車排出ガスの規制等に関する法律」（通称：オフロード法）が環境省・国土交通省・経済産業省所掌にて制定され、エンジン出力19～560kWの特定特殊自動車が出す一酸化炭素、炭化窒素、窒素酸化物、粒子状物質、ディーゼル黒煙の有害物質排出量を規制の対象とした規制がなされた。そして、更に厳しい基準値を2011年より段階的に導入する事となり、2010年3月に施行規則等が改正され、2011年10月より規制強化が適用された。

また、近年の世界規模の環境問題として、地球の温暖化が挙げられている。温暖化の要因の一つとされているCO₂ガスについては、その排出量抑制が大きな課題となっている。国内においてもCO₂排出量の抑制に対し目標を掲げており、建設施工分野においては、燃料の軽油を燃焼させる際にCO₂を排出するディーゼルエンジンを搭載した建設機械は、その排出量抑制の為に、燃料消費量の低減が必要不可欠である。一方で、建設機械のユーザにとっては、燃料コストを低減する事は利益に直結する切実な問題であり、建設機械に対し、燃費性能に高い関心を払いつつも、仕事をする為のツールとして、高い生産性、作業能力をも期待している。

2011年6月に発売した中型油圧ショベルCat

336E/336E L（以下「標準機」という）（バケット容量1.4m³/1.5m³クラス）は、新しい排出ガス基準（以下オフロード法2011年基準）に適合した車両であり、従来機と比較して、同等の時間当たり作業量を維持しながら燃料消費量の低減、安全性の向上等の商品力アップを図った車両である。そして、この度、この標準機をベースに、「油圧ハイブリッドシステム」、「電子制御式コントロールバルブ」を新たに搭載し、更なる燃料消費量の低減を図ったハイブリッド油圧ショベル本機種を開発、市場導入した（写真一）。本稿では、この本機種の特長について紹介する。



写真一 本機種 ハイブリッド油圧ショベル

2. 油圧ハイブリッドシステム

「ハイブリッド」という言葉は既に社会に浸透しつつあるが、その意味する内容は使用者によって様々である。当社における「ハイブリッド」機械の定義付けは、「エネルギーを適宜集め、蓄え、再利用できる機械の事」としている。本機種は、この定義に合致した

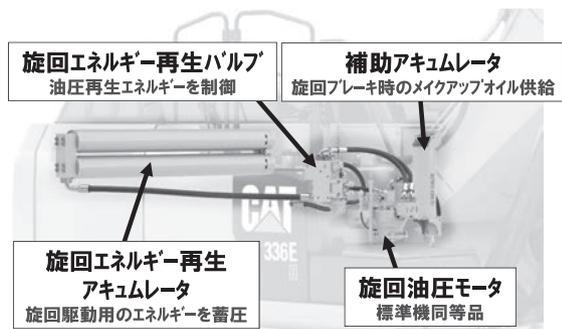


図-1 油圧ハイブリッドシステムの構成

油圧ハイブリッドシステム（図-1）を搭載して、燃料消費量の大幅な低減に貢献している。油圧ハイブリッドシステムについて以下に説明する。

(1) 油圧ハイブリッドシステムのメカニズム

油圧ショベルは油圧モータで旋回駆動を行っており、上部旋回体に大きな運動エネルギーを与えている。本機種の油圧ハイブリッドシステムでは、旋回ブレーキ時に、この運動エネルギーを油圧エネルギーに変換し、回生エネルギーとして「旋回エネルギー再生アキュムレータ」（蓄圧器）に蓄えられる（図-2）。

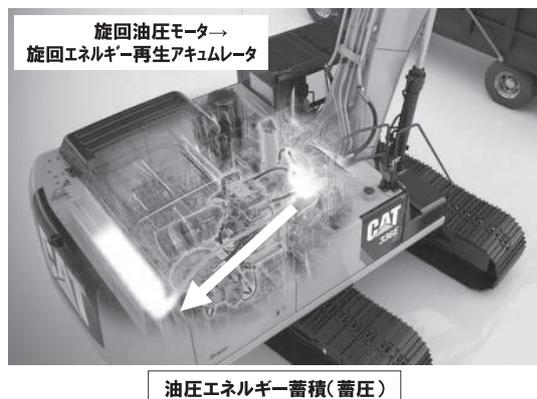


図-2 旋回ブレーキ時のエネルギー蓄積

旋回ブレーキ時には、「補助アキュムレータ」からメイクアップ用の流量を旋回油圧モータに供給し、メインポンプの吐出量は低減させている為、エンジンの燃料消費量は抑制される。そして、旋回加速時に、旋回エネルギー再生アキュムレータに蓄えられた油圧エネルギーを放出し、旋回油圧モータを駆動させる（図-3）。この際、やはりメインポンプの吐出量は低減され、燃料消費量が抑制される。

これら油圧エネルギーの制御の為に、メインコントロールバルブとは別に、「旋回エネルギー再生バルブ」を搭載し、旋回油圧モータ、旋回エネルギー再生アキュムレータ、補助アキュムレータの間の流量コントロールを行っている。



図-3 旋回加速時のエネルギー放出

(2) 電気ハイブリッドシステムとの比較

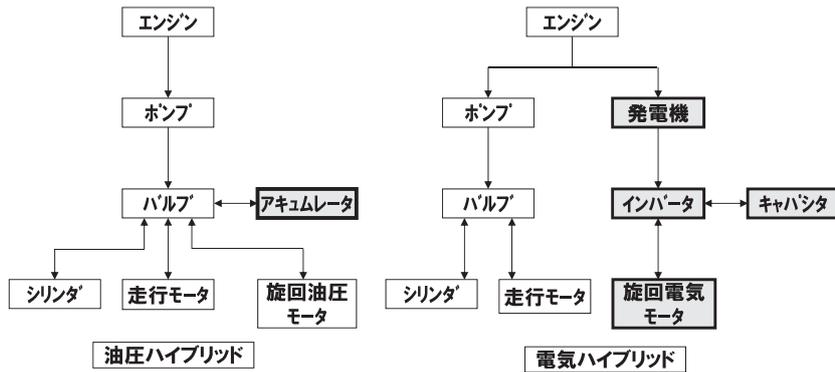
国内市場には、既に各メーカーが電気ハイブリッドシステムを搭載した油圧ショベルを導入している。当社でも、標準機の開発の際に、油圧ハイブリッドシステムだけでなく、電気ハイブリッドシステムの検討も進めていたが、30トンクラスの油圧ショベルにおいては、油圧ハイブリッドシステムが最適であると判断し開発を進めた。

電気ハイブリッドシステムは、旋回ブレーキ時の運動エネルギーを、旋回電気モータを兼ねた発電機で電気エネルギーに変換回収、インバータを介してキャパシタに蓄電する。そして、旋回操作時に、その電気エネルギーを、インバータを介して旋回電気モータに供給、旋回駆動させるというのが基本原理である。キャパシタへの蓄電には、エンジンにマウントされた発電機を利用するケースもある。旋回ブレーキ時のエネルギーを再利用するという点では、電気ハイブリッドシステムも、本機種の油圧ハイブリッドシステムも共通であるが、システムに必要とされるコンポーネントに差異がある。

本機種の旋回油圧モータは、標準機とほぼ同等品であり、主な新規コンポーネントは蓄圧器（旋回エネルギー再生アキュムレータ、補助アキュムレータ）だけとなっている。電気ハイブリッドシステムでは、新規コンポーネントとして、旋回電気モータ兼発電機、キャパシタ、インバータ、エンジンマウント発電機等、点数が多く、標準機に対する大幅なコストアップが発生してしまう（図-4）。本機種はハイブリッドシステムを搭載しながらも新規コンポーネントを少なくし、コストアップを抑えている。

3. 電子制御式コントロールバルブ

油圧ショベルに搭載されているコントロールバルブは、メインポンプから供給される作動油を、各アクチュ



図一4 油圧・電気ハイブリッドシステム比較

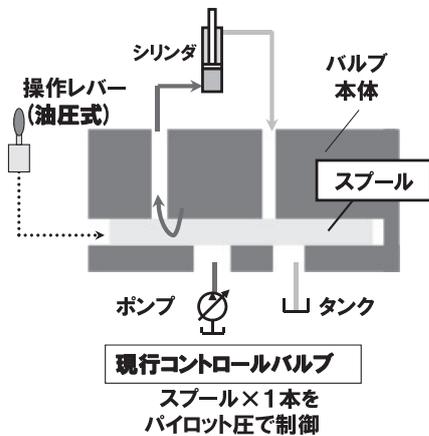
エータに分配し、戻り分を作動油タンクに返す制御を行っている。各アクチュエータへの送り・戻りの流量は、コントロールバルブに内蔵されているスプールの挙動で調整される。従来の方式では、一つのアクチュエータに対し1本のスプールがその制御を担い、オペレータのレバー操作に従い、パイロット圧がスプールの挙動をコントロールしている（図一5）。

一方、本機種では、新たに電子制御式コントロールバルブを採用している。一つのアクチュエータに対し、4本のスプールがその制御を担っており、アクチュエータの伸び時の行き・戻り、縮み時の伸び・縮みにそれぞれ、1本ずつのスプールを割り当てており、そ

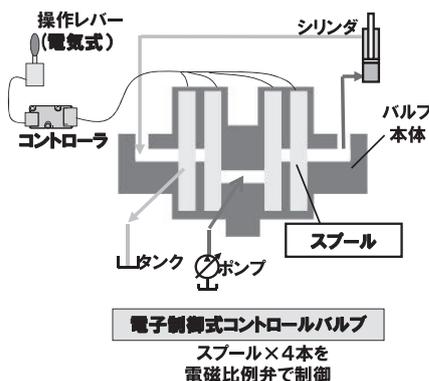
の挙動を電磁比例弁で電子的に制御している（図一6）。これにより、標準機 336E/336E L と同等の操作性を実現する事はもちろん、緻密なスプール制御により、圧力損失を低減する事が可能となり、燃料消費量の低減に貢献している。

4. 高効率電子制御メインポンプ

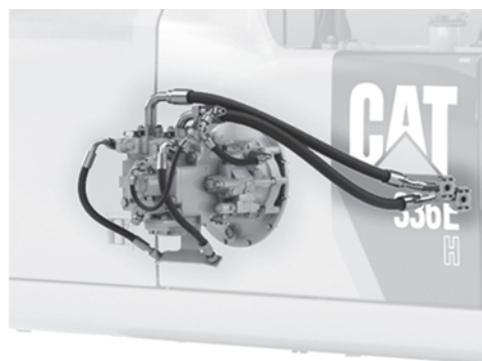
本機種のエンジン制御は、標準機に対し、約 100 rpm 低いエンジン回転を維持する事で、燃料消費量の低減に貢献している。エンジン回転を低減すれば、燃費は向上するものの、ポンプ流量の低下、つまり生産性の低下も招いてしまう。これに対し、本機種では、高効率電子制御メインポンプを採用する事で解決している（図一7）。高効率電子制御メインポンプは、標準機から容量を増加させると共に、吐出量を決定するポンプレギュレータを電子制御化しており、エンジン回転低減分を打ち消すだけの優れた効率を発揮し、燃料消費量低減にも貢献している。



図一5 従来コントロールバルブ



図一6 電子制御式メインコントロールバルブ



図一7 高効率電子制御メインポンプ

5. 燃費性能

本機種は、上述してきた油圧ハイブリッドシステム、電子制御式コントロールバルブ、高効率電子制御メインポンプ、エンジン回転の低減等の採用により、

従来機に対しては最大 30%の燃料消費量低減し、標準機に対しても約 10%の燃料消費量低減を可能としており、お客様の燃料コスト削減に貢献する。また、標準機の生産性 (ton/hr) は、本機種においても同様に確保されている。本機種の油圧ハイブリッドシステムは旋回操作時の燃料消費量低減に貢献するが、電子制御式コントロールバルブ、高効率電子制御メインポンプ、エンジン回転の低減の採用により、旋回作業以外の操作においても、燃料消費量の低減を可能としている。

また、本機種は、Cat E シリーズ油圧ショベル全機種に搭載されている「燃費低減型エンジン・油圧システム」を採用しており、国土交通省の新技术情報提供システム NETIS (New Technology Information System) にも登録されている。

6. メンテナンス／サービス性

本機種は、油圧ハイブリッドシステムの採用に伴い、新しいコンポーネントを搭載しているものの、標準機に比べ、メンテナンスアイテム／サービスアイテムの増加は極力抑えており、ランニングコスト低減にも配慮している。追加となる定期メンテナンスは旋回エネルギー再生アキュムレータ (図-8) のシール交換 (3年間隔) のみとなっている。尚、各アキュムレータの窒素ガスの充填量が万一減った場合には、キャブ内モニタ上に警告メッセージが表示され、充填を促す機能も有している。



図-8 旋回エネルギー再生アキュムレータ

7. ハイブリッドゲージ

本機種は、オペレータの作業視界の妨げとならない縦型タイプかつコンパクトサイズながら、大画面で様々な情報を表示出来るフルグラフィックカラーモニタ (7.0 インチ、カラー LCD 画面) を搭載している。このモニタには、油圧ハイブリッドシステムの稼働状況をリアルタイムに把握できるハイブリッドゲージ表示機能を有している。旋回エネルギー再生アキュムレータの蓄圧状態をゲージで表示する他、エンジンの

出力と旋回エネルギー再生アキュムレータが放出する出力を同時に、リアルタイムで確認できるゲージ機能も有している (図-9)。これらのゲージは、標準装備されているリアビューカメラの映像画面や、燃料計／作動油温計／冷却水温計の主要ゲージと同時表示する事が可能であり、オペレータは、稼働に重要な情報を確認しつつ、旋回操作時の省エネ効果を確認する事ができる。

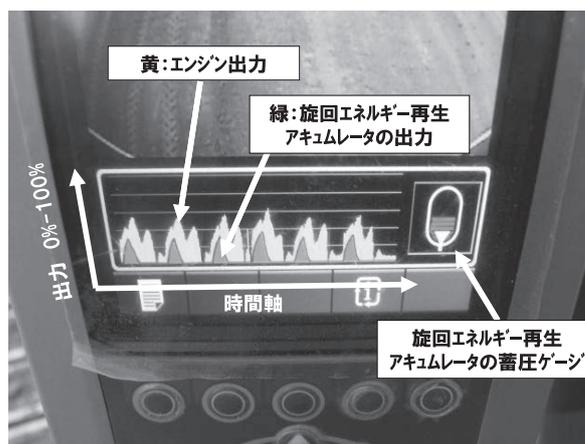


図-9 ハイブリッドゲージ表示 (モニタ)

8. おわりに

ハイブリッド油圧ショベル「本機種」336E H/336E L H について、その特長を紹介してきた。作業能力を犠牲にしないで燃料消費量を低減し、お客様に満足頂けるバリューを備えた製品を開発する事は、技術的には大きな困難を伴う。しかしながら、油圧ハイブリッドシステム、電子制御式コントロールバルブ等の新しい技術を取り入れる事に挑戦し、燃料消費量低減の実現を成功させ、この 336E H/336E L H の市場導入を果たせた事を、メーカーの一員として喜ばしく感じている。この製品が、お客様のビジネス成功に貢献する事を期待する。今後とも、継続して更なる技術改良に取り組む、商品価値の向上に努めていく所存である。



【筆者紹介】

白澤 博志 (しらすわ ひろし)
キャタピラー・ジャパン(株)
市場開発部 商品サポートグループ
主任

