特集≫≫　建設機械

ハイブリッド油圧ショベル

HB335-1 ／ HB365-1

西　田　安　孝・二　瓶　哲　治

20 トンクラスハイブリッド油圧ショベルにて培ったハイブリッド技術を活用し，大幅な燃費低減を図った 30 t ハイブリッド油圧ショベル HB335-1 ／ HB365-1（以下「本機」という）を豪州などの海外向けに開発，2013 年より市場導入した。この 30 t ハイブリッド油圧ショベルには，エンジン，油圧システム，ICT の最新技術および様々な改善を織込み，ハイブリッド技術を進化させた。また，仕様を充実させ，導入当初より標準機と同様の作業を実施可能とした。その概要について報告する。

キーワード：油圧ショベル，30 t クラス，ハイブリッド，燃費低減，発電機モータ，旋回電動化，キャパシタ，インバータ

1. はじめに

近年，地球温暖化問題と燃料費高騰への対応として，自動車では様々な車種のハイブリッド車が販売されている。建設機械においても，2008 年に市販車として世界初のハイブリッド 20 トンクラス油圧ショベルを発売，2010 年にはモデルチェンジ車を発売し，全世界の販売台数は 2014 年 9 月末までに合計 2950 台を超えた。これらの販売・市場稼働実績で蓄積したノウハウと技術を活かし，30 t クラスのハイブリッド油圧ショベル本機を豪州などの海外向けに開発，市場導入したので，その概要について紹介する（**写真―1**）。

写真―1　本機外観

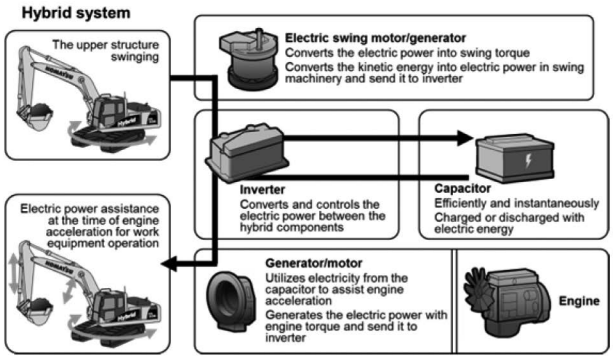
2. ハイブリッドシステム概要

ハイブリッドシステムの構成は，自社開発した旋回電気モータ，発電機モータ，インバータ，キャパシタで成り立っている。

旋回ブレーキ時の上部旋回体の運動エネルギーを電力に変換しキャパシタへ供給（蓄電）する。旋回のフル電動化により，油圧ロスが無く，減速時のエネルギーを全量回収できる。また，発電機モータはこの電力を使って加速時のエンジンをアシストし，キャパシタの電力が減ってくると発電を行う。インバータは，キャパシタに頻繁に出入りするこれらの電力の制御を行っている。

このハイブリッドシステムでは，電気エネルギーを効率よく瞬時に蓄電・放電することを可能にするためにキャパシタを採用していることが特徴のひとつである（**図―1**）。

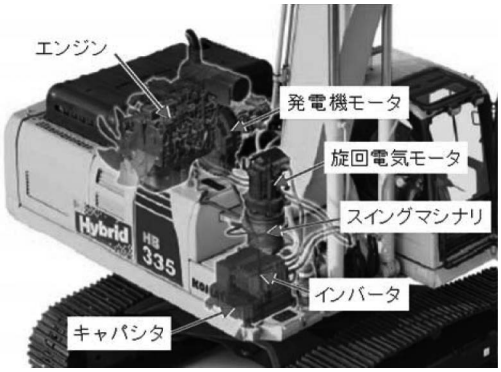
本機では，20 t ハイブリッド油圧ショベルに対して，車格アップによる出力アップに対応するため各コンポーネントを新規に開発した。



図―1　ハイブリッドシステム概要

3. ハイブリッドシステムのコンポーネント

ハイブリッドコンポーネントは，コンポーネントの形状およびレイアウトの最適化により 30 t 標準機と車体外観寸法を変更することなく，車体に装着可能となっている（**図―2**）。



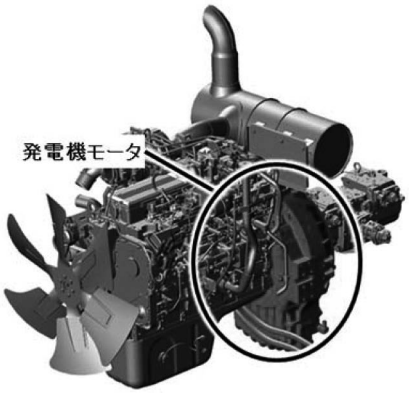
図―2　ハイブリッドコンポーネント搭載概要

(1) 発電機モータ

発電機モータ（**図―3**）は，エンジンと油圧ポンプの間にビルトインされているため伝達効率が高く，効率の良い発電と優れたエンジン加速性を実現し，ハイブリッド機での燃費低減を図っている。

発電機モータは，発電機としてキャパシタへの蓄電補充と旋回加速時の旋回電気モータへの電力供給を行う。

また，発電機モータをエンジン加速アシストモータとして機能させることにより，操作待機時にはエンジンを超低速で保持し，レバー操作時には瞬時に必要回転へ復帰させる超低速アイドリング，必要な油圧吐出量を確保しながらエンジン燃費の良い低速回転でのポンプマッチング制御を採用している。



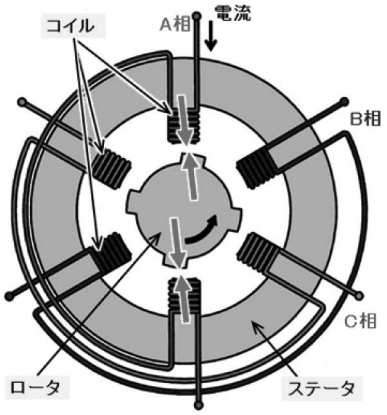
図―3　発電機モータ

発電機モータには，SR（Switched Reluctance）モータを採用している。SR モータは，構造が簡素でレアアース磁石を使用せず，耐熱性に優れている。この優れた耐熱性により，高温となるエンジンと油圧ポンプの間にビルトインされたモータの信頼性を高めている。また，永久磁石を使用していないため，エンジンアシストや発電を行っていない空転時の連れ回り損失が非常に小さく，燃費低減に貢献している。しかしながら，SR モータは構造上，振動・騒音の課題があるため大出力では実用化の例が少ない。**表―1** に SR モータと旋回電気モータに採用している PM（Permanent Magnet）モータの特徴を示す。

表―1　SR モータと PM モータの特徴

	SR モータ Switched Reluctance Motor	PM モータ Permanent Magnet Motor
駆動力	電磁コイル吸引力	永久磁石磁力とコイル磁界
構造	簡素	複雑
永久磁石	無し	有り（レアアース磁石）
耐熱性	高	中
振動･騒音	大	小
実用例	少	多
	オイルポンプ 掃除機	ハイブリッド自動車 電気自動車

SR モータは，ロータ（回転子）がステータ（固定子）の電磁コイルに吸引されることにより回転する。回転時の電磁コイルの ON/OFF に伴い，吸引力も ON/OFF が繰り返されるので振動･騒音が発生する（**図―4**）。



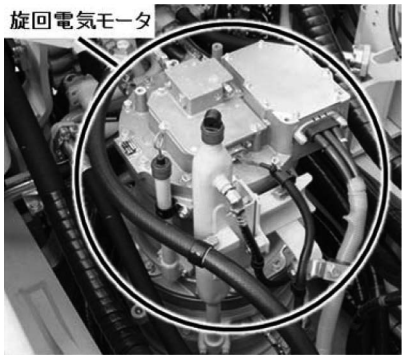
図―4　SR モータの構造

本機用の発電機モータは，20 トンクラス車用に対して車格アップ分出力をアップしている。電磁力は出力に比例するため，ステータに作用する吸引力は 20 トンクラス車よりも大きくなり，振動・騒音の起振力が大きくなる分の強度アップが必要となる。一方，車載可能なモータのサイズには制約があるため，FEA（Finite Element Analysis（有限要素解析））や種々の実験・解析を行い，筐体・ステータコア等の構成部品

形状と駆動制御を最適化することによって振動・騒音の課題を解決した。

(2) 旋回モータ

油圧モータでは旋回減速時に熱として放出していたエネルギーを電動モータにすることで回収可能としキャパシタに蓄電する。このエネルギーを駆動時に再利用することで大幅な燃費低減を実現している。また電動モータは油圧モータよりも加速時の効率が良く，スムーズな旋回性能を発揮できる点も大きな特徴である。標準機の旋回減速機に減速段をアドオンで追加し，電気モータを高回転で使用することで，モータの効率アップと小型化を図っている（**写真―2**）。



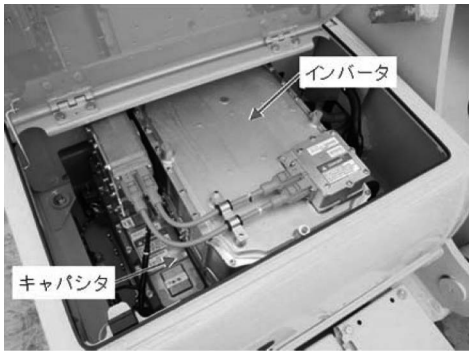
写真―2　旋回電気モータ

(3) インバータ，キャパシタ

出力アップに伴うインバータとキャパシタのサイズアップを最小限にとどめ，コンパクトに車載した。工具レスでアクセスでき点検が容易である（**写真―3**）。

インバータは，キャパシタ・発電機モータ・旋回電気モータ間の電流・電圧を変換・制御する機能を持つコンポーネントである。効率良い蓄電・出力制御を車体の頻繁に変化する稼働条件に応じて瞬時に行うことにより，燃費効率の大幅改善を可能とした。

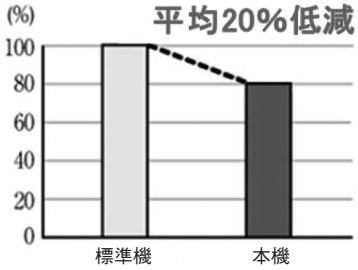
キャパシタは，余剰エネルギーを蓄電および出力するコンポーネントである。通常のバッテリとは異なり電子・イオンの移動のみで充放電でき，化学反応を伴わないことから，短時間での充放電が可能である。また，バッテリに比べて劣化が遅く，長寿命で充電液の補充等のメンテナンスも不要であることから長期に稼働を続ける建設機械に最適である。



写真―3　インバータ・キャパシタ

4. 燃費低減効果

本機は，30トンクラス標準機と比較して作業量同一で平均20％の燃費低減を達成した（**図―5**）。これは，平均的な使われ方同士で比較した場合を社内基準（車両管理システム『KOMTRAX』で取得したデータの解析による平均作業パターン）で実測した結果である。



図―5　平均燃費効果

5. その他の特徴

(1) エンジン

20 t ハイブリッド油圧ショベルでは4気筒エンジンを搭載しているが，本機では標準機と同じ6気筒エンジンを搭載している（**表―2**）。このエンジンは，可

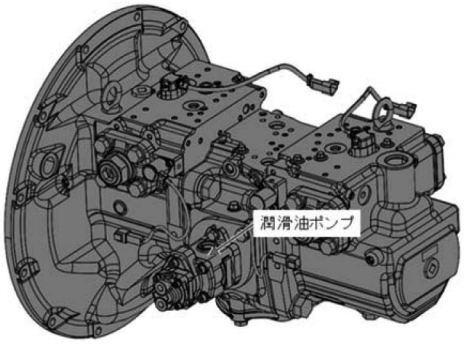
表―2　搭載エンジン

	30t 油圧ショベル		20t 油圧ショベル	
	ハイブリッド機	標準機	ハイブリッド機	標準機
	HB335- 1	PC300-8	HB205-1	PC200-8N1
型式	コマツ SAA6D114E-5	コマツ SAA6D114E-3-A	コマツ SAA4D107E-1-A	コマツ SAA6D107E-1-A
気筒数	6	6	4	6
定格出力 ネット （JIS D0006-1）	189 kW / 1950 min^{-1}	184 kW / 1950 min^{-1}	104 kW / 2000 min^{-1}	110 kW / 2000 min^{-1}

変ターボチャージャー，クールドEGR，高圧燃料噴射システムの噴射圧アップ等の最新技術を織込み，燃費効率（燃費マップ）の大幅な改善を実現した。

(2) メインポンプ

発電機モータと旋回電気モータ潤滑用の油圧ポンプをマウントしたメインポンプを新規開発した。この潤滑油ポンプを用いた専用の潤滑システムによって，発電機モータと旋回電気モータの信頼性を確保している（**図―6**）。



図―6　メインポンプ

また，このメインポンプには斜板角センサが装着されており，ポンプ容量を精度よくセンシングすることにより必要十分なポンプ吐出流量を確保した上で，可能な限りエンジン回転数を下げることが可能となった。これにより，20トンクラス車で採用したマッチング制御を進化させ，エンジン回転数の更なる低速化による燃費低減を実現した。

(3) ICT

(a) 高詳細大型マルチモニタ

高詳細液晶パネルの採用により，従来の7インチ大型マルチモニタに対して視認性，画面解像度が大幅に向上した。多言語にも対応可能であり，13か国語の言語から選択可能である。

また，以下の表示機能によって省エネ運転のサポートとハイブリッドシステムの負荷状況の確認ができる。

①エコガイダンス，エコゲージ，燃費計

運転状況に応じて，4種類のエコガイダンスをリアルタイムにポップアップ表示し，タイムリーにオペレータに知らせることで省エネ運転をサポートする。また，20トンクラス車にも装備されていたエコゲージ，直近5分間の燃費の棒グラフ表示に加えて，平均燃費の表示機能を追加した（**図―7**）。

図―7　エコガイダンス，エコゲージ，燃費計

②運転実績，燃費履歴，エコガイダンス記録

省エネガイダンスメニューから，“運転実績画面”，“燃費履歴画面”，“エコガイダンス記録”を表示でき，稼働状況を確認できるようにしている（**図―8**）。

図―8　運転実績，燃費履歴，エコガイダンス記録画面

③ハイブリッド温度ゲージ，エネルギーモニタ

ハイブリッドシステムの温度ゲージをモニタに表示し，エンジン水温，作動油温と同様にハイブリッドシステム温度をひと目で確認できる。

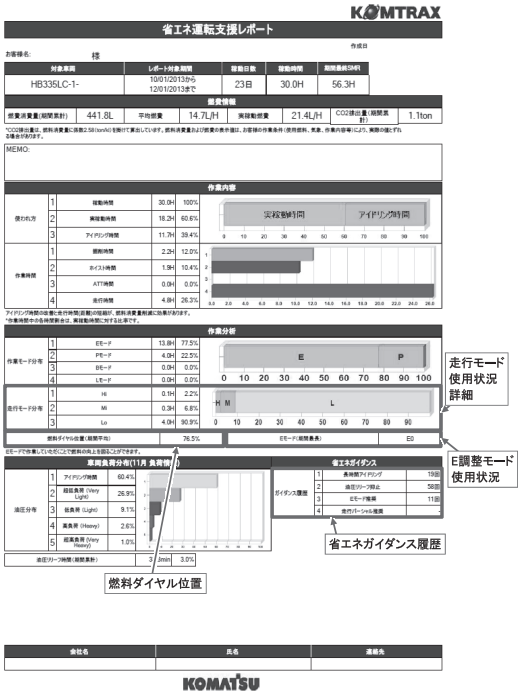
また，標準画面からワンタッチでエネルギーモニタ画面を表示でき，キャパシタの充放電や発電機モータのエンジンアシスト・発電の状況をエネルギーフローとして確認することができる（**図―9**）。

図―9　ハイブリッド温度ゲージ，エネルギーモニタ

(b) KOMTRAX機能の充実

今までのKOMTRAXレポート内容に加え，省エネ

ガイダンス履歴，走行モード使用状況詳細等の情報を追加し，内容の充実を図った（**図―10**）。



図―10　KOMTRAX レポート内容の充実

(4) 仕様の充実

20 t ハイブリッド油圧ショベルは，ハイブリッドシステムの商品化を目的として販売仕様を絞った PC200-8E0 を最初に市場導入したが，本機は導入当初より多くのお客様に対応できるよう仕様を充実させた（20 t モデルチェンジ車でも，同様に仕様を充実）。

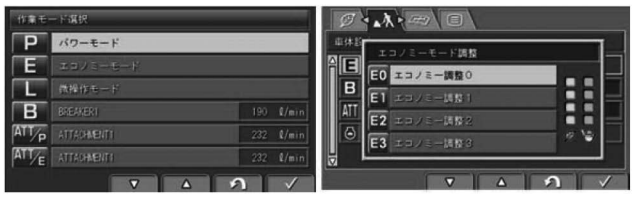
（a）アタッチメントに対応する汎用性

ブレーカ，クラッシャ，フォークグラブ等のアタッチメントを装着可能とし，標準機と同様の作業を実施可能とした（**写真―4**）。

写真―4　ブレーカ装着機

（b）作業モード

PC200-8E0 では P モードと E モードの 2 種類しかなかったが，本機では標準機と同一の多種類の作業モードが選択でき，E モードの調整も可能で，現場の状況と作業の内容にあった最適運転を可能にした（**図―11**）。



図―11　作業モード選択画面，E モード調整画面

6. おわりに

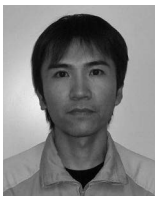
2008 年に 20t ハイブリッド油圧ショベルを導入以降，強く要望されていた系列展開であるが，本機 30 t ハイブリッド油圧ショベル HB335-1 を量産化，市場導入することができた。

今後も市場の情報・要求に対し迅速に対応し，ハイブリッド油圧ショベルの更なる商品力向上を図っていきたいと考える。

JCMA

［筆者紹介］

西田　安孝（にしだ　やすたか）
コマツ　開発本部　建機第一開発センタ
環境商品開発グループ
GL



二瓶　哲治（にへい　てつじ）
コマツ　開発本部　建機第一開発センタ
環境商品開発グループ
技師