

尿素水不要のエンジンを搭載した ハイブリッド油圧ショベルの開発

ZH200-6

太 田 泰 典

オフロード法 2014 年基準に対応するため、ほとんどの建設機械が尿素 SCR システムを搭載しているが、NOx 還元剤として尿素水が必要となり、ランニングコスト増の要因となる。

ハイブリッド油圧ショベル「ZH200-6」（以下「本機種」という）は、尿素 SCR に依らずにオフロード法 2014 年基準に適合するエンジンを搭載し、新型ハイブリッドシステムと高効率油圧システムが高度に融合した制御システムにより、操作性と低燃費を両立した。本稿では、その技術的特徴について紹介する。

キーワード：油圧ショベル、省エネ、ハイブリッド、リチウムイオンバッテリー、オフロード法、尿素 SCR

1. はじめに

近年、建設生産システムの生産性向上を目的に、「i-Construction」が推進されているが、地球温暖化防止や低炭素社会の実現の観点から、建設機械においては燃費低減も重要である。また、最新のオフロード法への適合や低騒音化といった環境性能にも対応していく必要がある。

国土交通省は、建設機械に対しクラス毎に 2020 年燃費基準値を設定し、「燃費基準達成建設機械の認定制度」を実施している。また、先進技術であるハイブリッド機構や電動機構等により省エネ化を達成した建設機械に対し、「低炭素型建設機械認定制度」を設け、補助金や融資等支援措置による低燃費型建設機械の普及促進を図っている。

一方、環境省は大気汚染防止を目的に、オフロード法による排出ガス規制を強化している。オフロード法の規制値の推移を表 1 に示す。2014 年基準では 2011 年基準に対し、窒素酸化物（NOx）の排出規制が強化されており、この規制に適合するため、ほとんどの建設機械が NOx を無害な窒素（N₂）と水（H₂O）



写真—1 ZH200-6

に還元する尿素 SCR システムを搭載している。しかしながら、尿素 SCR システムには NOx 還元剤として尿素水が必要となり、ランニングコスト増の要因となる。

そこで、尿素 SCR システムに依らずにオフロード法 2014 年基準に適合し、燃費をさらに低減した本機種（写真—1）を開発した。本稿では、その特徴について紹介する。

2. ハイブリッドエンジン

油圧システムの効率向上により、油圧ポンプ駆動に必要なエンジン出力は減少傾向にあり、エンジンは中負荷領域の使用頻度が高くなっている。そこで、使用頻度の高い領域で低燃費となる小型エンジンを採用し、ハイブリッド機器であるアシスト発電モータとの

表—1 オフロード法規制値の推移（定格出力 75～130 kW）

単位 g/kWh

	オフロード法		
	2006 年基準	2011 年基準	2014 年基準
PM	0.20	0.02	0.02
NOx + HC (NMHC)	4.0	3.5	0.6

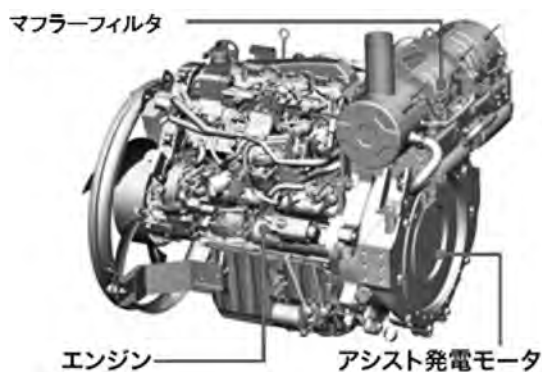


図-1 ハイブリッドエンジン

合計出力を従来とほぼ同等出力とすることで、高負荷作業にも対応可能としたハイブリッドエンジン（図-1）を開発した。

本ハイブリッドエンジンでは、オフロード法 2014 年基準対応として図-2 に示すような 2 系統のクールド EGR（排気再循環）システムを設けた。排出ガスの一部を冷却してエンジンに戻す EGR の比率を高く設定し、酸素濃度を抑制、燃焼温度を下げることで NOx の発生量を抑制している。また、排出ガス中の PM（微粒子状物質）は DOC（酸化触媒）と DPF（ディーゼル微粒子捕集フィルタ）で構成されたマフラーフィルタ（図-3）で捕集され、堆積した PM は従来と同様、再生制御により除去される。このような構成とすることで、本ハイブリッドエンジンは尿素 SCR システムに依らずにオフロード法 2014 年基準に適合し、尿素水を不要とした。

アシスト発電モーターは薄型で高効率な永久磁石モーターで、エンジンと一体化構造とすることで伝達効率を高め、エンジンルームに搭載可能とした。また、油圧ポンプの急峻な負荷変動に対し電動モーターの高応答性を生かした制御で、エンジンの負荷変動を平準化し（図-4）、ハイブリッドエンジンの信頼性を高めている。

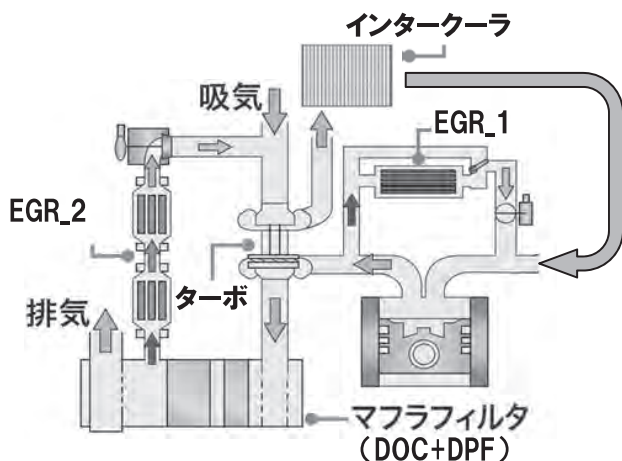


図-2 大容量クールド EGR システム

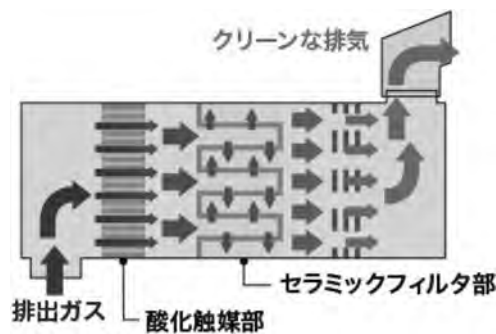


図-3 マフラーフィルタ

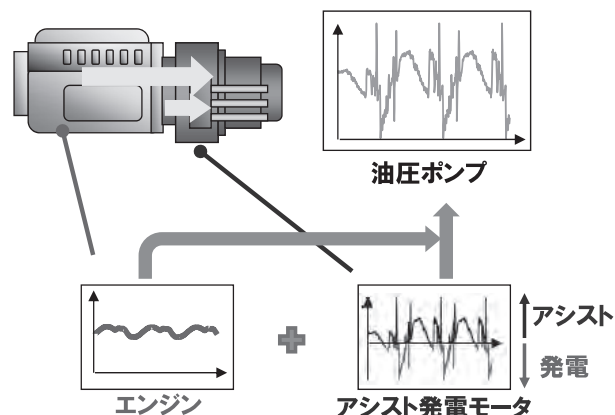


図-4 エンジンの負荷変動抑制

3. 制御システム

ハイブリッド油圧ショベルの機器配置を図-5 に示す。主要機器はハイブリッドシステムと油圧システムの構成要素として大別され、これら 2 つのシステムが高度に融合した制御システム（図-6）を構築している。

本システムの機能の一例として、図-7 を用いてエンジンモーター協調制御について説明する。油圧制御では、レバー操作量やポンプ圧等から油圧ポンプ駆動に必要なポンプ要求出力を演算し、ハイブリッド制御におけるエネルギーマネジメントでは、リチウムイオン



図-5 ハイブリッド油圧ショベルの機器配置

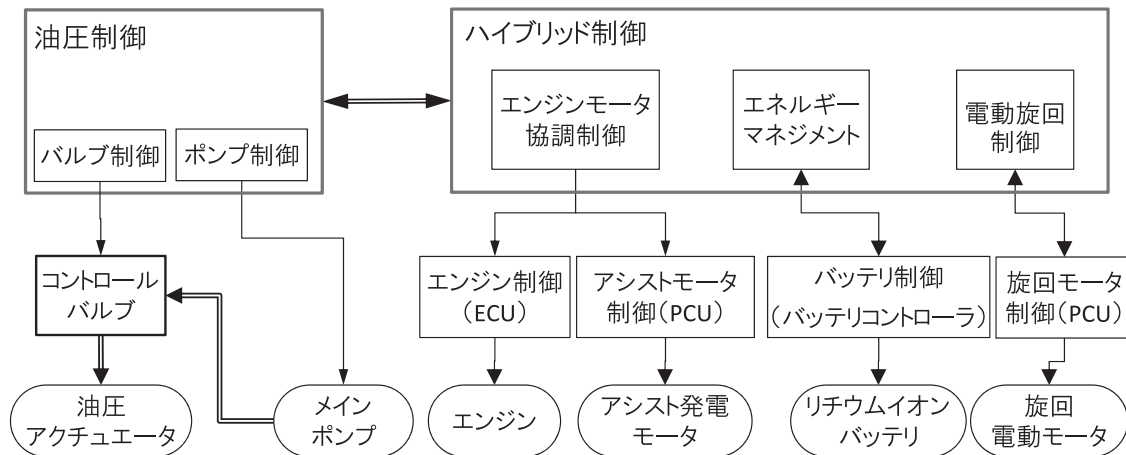


図-6 本システム

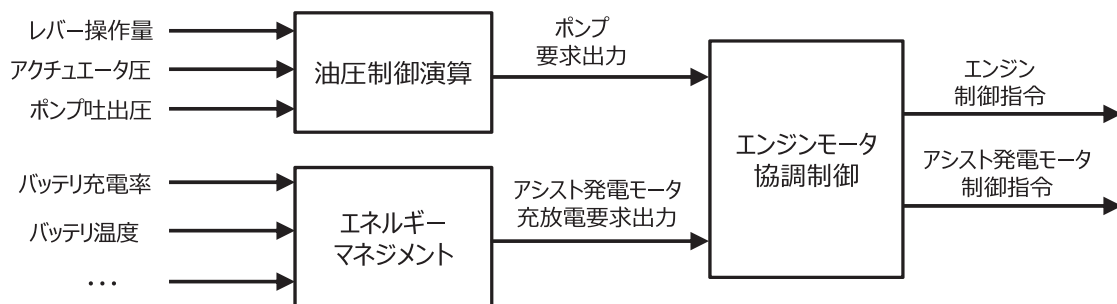


図-7 エンジンモータ協調制御

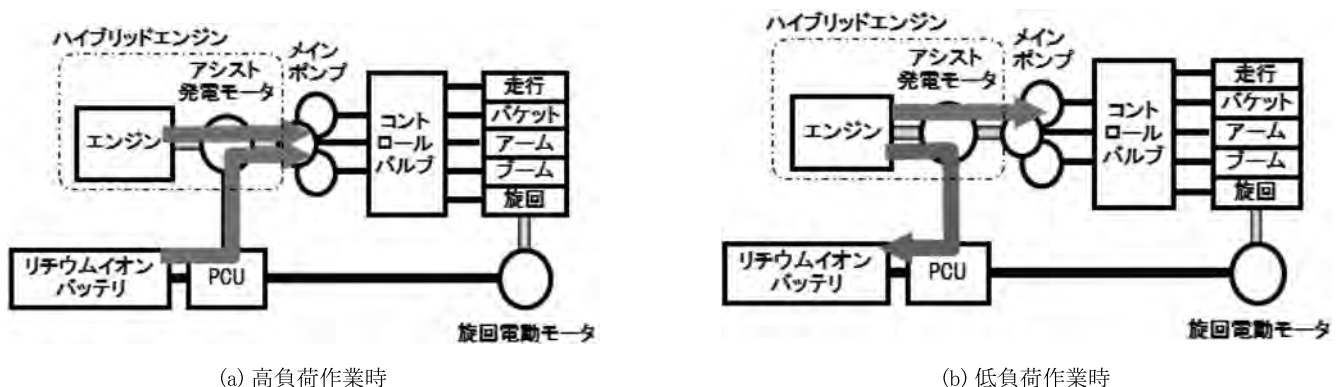
ンバッテリーの充電率等に応じたアシスト発電モータの充放電要求出力を演算している。これらの2つの要求出力の演算値を入力値とし、エンジンとアシスト発電モータで協調制御することで、油圧ポンプに動力を供給すると同時に、リチウムイオンバッテリーの充電率を適正範囲に保っている。

たとえば図-8に示すように、高負荷作業時にはリチウムイオンバッテリーの電力を用いてアシスト発電モータがエンジンをアシストし、エンジンとアシスト発電モータの合計出力により油圧ポンプを駆動する。一方、低負荷作業時にはエンジンの動力を用いてアシスト発電モータが発電し、リチウムイオンバッテリーの充電率を維持するよう制御される。

PCU（Power Control Unit、図-9）は、小型ながら大電流に対応可能で、車体コントローラからの指令に基づき、アシスト発電モータや旋回電動モータを制御する。また、PCU自体や制御対象の電動モータの状態監視、および機器保護機能等も有している。

旋回電動モータ（写真-2）は旋回油圧モータと旋回減速機の間に取り付けられ、従来よりも最大出力を38%向上し、ハイブリッド性能を強化した。PCUからの指令でトルク制御され、旋回体の減速時にエネルギー回生、加速時には旋回油圧モータをアシストし、燃費を低減している。

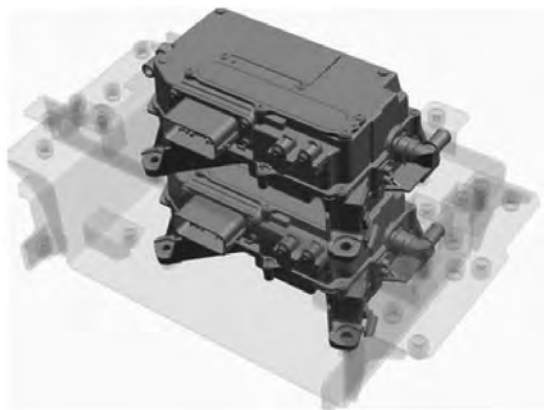
リチウムイオンバッテリー（写真-3）は、アシスト発電モータの発電電力や旋回電動モータの回生電力を



(a) 高負荷作業時

(b) 低負荷作業時

図-8 パワーフローの一例



図—9 PCU



写真—2 旋回電動モータ

蓄電し、エンジンアシスト時や旋回加速時にアシスト発電モータや旋回電動モータに電力を供給する。従来のキャパシタよりも高出力(約4倍)、大容量(約20倍)で、電動モータへ安定した電力供給を可能としている。

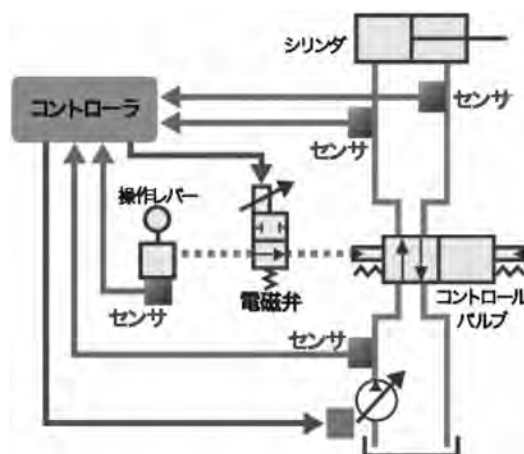
リチウムイオンバッテリーは、耐衝撃性や防水性を確保するため、強固なアルミケース内に収納している。また、高温状態における劣化進行を抑制するため、ラジエータ前に搭載し、エンジンの吸込み式ファンによる外気導入で常温環境を保つと同時に、冷却水による冷却回路も設け、バッテリーの長寿命化に配慮している。その他、低温時のバッテリー暖機や過剰な充放電を防止するバッテリー制御で、安定したバッテリー性能を確



写真—3 リチウムイオンバッテリー

保している。

油圧システムは、従来の3ポンプ3バルブシステム(TRIASシステム)をベースとし、図—10に示すような電子制御をしている。レバー操作量や油圧負荷情報により、メインポンプやコントロールバルブを電磁弁で細かく電子制御し、油圧ポンプの余剰流量やコントロールバルブ内の圧力損失等によるエネルギーロスを最小化し、操作性を維持しながら低燃費を実現している。



図—10 電子制御油圧システム

4. アイドリングストップシステム

ロックレバーのロック状態が一定時間経過した時に、エンジンを停止させる機能は従来と同様であるが、エンジン停止までの時間をマルチモニタにバー表示している。

設定時間が経過した時に、エンジンおよびアシスト発電モータを停止するが、アイドリングストップ中は、車体システムを待機状態(図—11)にして、アシスト発電モータによるエンジン再始動が可能な構成とし、静かで速やかなエンジン再始動を実現している。また、エンジン再始動にもマルチモニタを活用し、再始動のための操作内容を表示する等、安全にも配慮している。



図—11 アイドリングストップシステム

さらに、エンジンが停止してから所定条件を満たした場合、オペレータに再始動の意思がないと判断し、バッテリー上がり防止の為、車体システムをシャットダウンする機能も設けた。このシャットダウンまでの時間もマルチモニタにバー表示している。

5. おわりに

本稿では、オフロード法 2014 年基準に適合する本機種ハイブリッド油圧ショベル ZH200-6 の特徴を紹介した。20tクラスの油圧ショベルでは初めて尿素水不要とし、燃費も標準油圧ショベル（ZX200-6）に対し 20%の燃費低減を実現しており、ユーザーにとってランニングコストの抑制が可能である。

また、2020 年燃費基準達成や、低炭素型建設機械認定は当然であるが、小型エンジンの採用により低騒音化も実現している。低炭素社会の実現に向け、燃費低減への取り組みは今後も継続していくが、安全性や利便性を含めた市場ニーズにも応えていく所存である。

J C M A

【筆者紹介】

太田 泰典（おおた やすのり）
日立建機㈱
研究・開発本部 先行開発センタ
主任技師

