

## 29. 油圧システムとハイブリッドシステムを 統合制御したハイブリッド油圧ショベルの開発

日立建機株式会社

○ 太田 泰典

### 1. はじめに

自動車業界においては、ハイブリッド技術は特別なものではなく、低燃費に対する要求は至極当然のこととなっている。建設機械業界においても、低燃費への要求は高まっているが、油圧ショベルとしての操作性や作業性能が優先される傾向があり、自動車業界とはその特徴が異なる。

当社においては、操作性を重要視して製品展開を進めてきており、ハイブリッド油圧ショベルもその方針は同様である。

最新の排出ガス規制である、オフロード法 2014 年基準に適合する当社のハイブリッド油圧ショベル『ZH200-6』(図-1)には、より高いレベルの燃費性能を実現するため、ハイブリッドシステムと油圧システムを統合制御する『TRIAS-HX II システム』(図-2)を搭載した。

本システムは、アシスト発電モータを一体化したハイブリッドエンジンやリチウムイオンバッテリー等で構成されたハイブリッドシステムと、電子制御を含む油圧回路の改良等で効率を向上させた油圧システムを高度に融合させ、車体性能を最大限に引き出すよう、これらを統合制御している。

本論文では、ハイブリッドシステムと油圧システムの統合制御の機能と特徴について報告する。



図-1 ZH200-6

### 2. 車体システム

#### 2.1 車体システム構成

車体システム (TRIAS-HX II システム) を、図-2 を用いて説明する。

アシスト発電モータとエンジンを一体化構造としたハイブリッドエンジン (図-3) を用い、油圧ショベル特有の急峻な負荷変動に対し、応答性の良いアシスト発電モータの特長を生かしながら、燃料消費を低減するよう、エンジンとアシスト発電モータを協調制御し、油圧ポンプへ動力を供給する。

リチウムイオンバッテリー (図-4) は、PCU (Power Control Unit) を介して、電動モータを駆動するのに用いられ、リチウムイオンバッテリーの充電量 (SOC : State of Charge) が適正範囲を保つよう、主にアシスト発電モータによって充電される。

旋回装置は、従来と同様、油圧電動複合体とし、旋回電動モータのトルクを増加させることで、電動モータによる旋回加速時の旋回アシスト量や旋回減速時のエネルギー回収量を強化している。

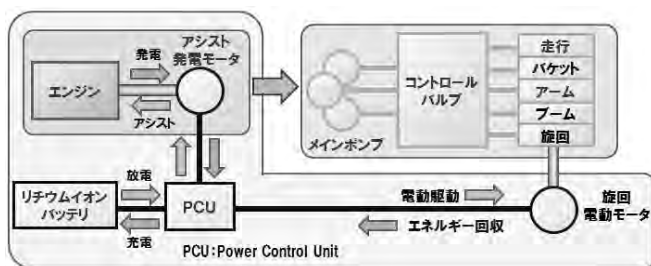


図-2 TRIAS-HX II システム



図-3 ハイブリッドエンジン

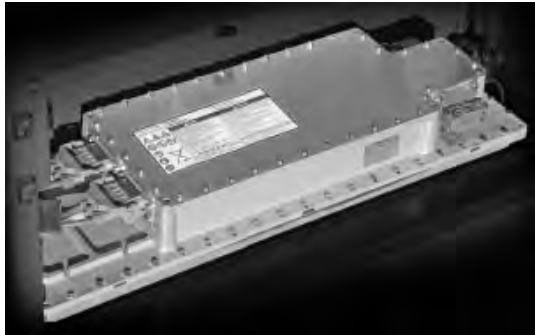


図-4 リチウムイオンバッテリー

油圧システムは、車体センサ情報と電磁弁でエネルギーロスを低減するよう電子制御し、低燃費と操作性を両立する。

## 2.2 制御システム

複雑化・大規模化する本システムの開発においては、システム構造を適正化するよう検討した。

制御システムの構造を図-5 に示す。標準機と共通機能部とハイブリッド拡張部で機能分割し、動作計画層、車体動作決定層、認識・制御層の3つの階層構造で構成した。

動作計画層では、操作レバー情報等により、オペレータ操作を解釈し、車体動作の制限範囲内で目標動作を決定する。車体動作決定層では、機器動作の制限範囲内で、システムが安定稼働するように調停を行い、動作計画層で決定された目標動作を、機器ごとの目標動作に分配する。認識・制御層では、故障回避のため機器状態を取得し、機器動作の制限範囲を決定する。また、車体動作決定層に基づき、機器動作の制限範囲内で目標動作を実現する。

このように、中間層の車体動作決定層において、オペレータからの操作情報と複数の機器の状態情報を含めた調停を実施し、車体性能を最大限に引き出すよう、油圧システムとハイブリッドシステムを統合制御している。

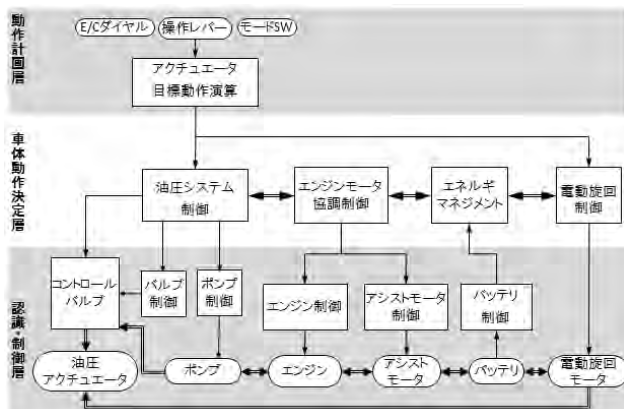


図-5 制御システム

## 3. 主要制御の機能と構成

### 3.1 エンジン制御

最新のオフロード法（2014年基準）に対応するため、排ガス後処理装置として、尿素SCR（選択触媒還元：Selective Catalytic Reduction）システムを採用している機種が多い。しかしながら、尿素SCRシステムには還元剤として尿素水を定期的に補給する必要があり、ユーザにとって手間のかかる作業となる。

ZH200-6では、排ガス後処理装置として尿素SCRを採用せず、従来機と同様、マフラーフィルタ（DOC：Diesel Oxidation CatalystとDPF：Diesel Particulate Filterで構成）を採用し、ターボやEGRシステムを改良することで、排出ガス規制に適合させている。

EGRシステムを図-6に示す。通常のエGR（High Pressure Loop-EGR）に加え、DPF後段からターボ入口に排気を再循環する独自のLPL-EGR（Low Pressure Loop-EGR）を追加している。排出ガスの一部を冷却して吸入空気に戻すEGRシステムを強化することで、燃焼効率を向上すると同時に、燃焼温度を抑制できるため、低燃費とNOx（窒素酸化物）低減を両立させている。

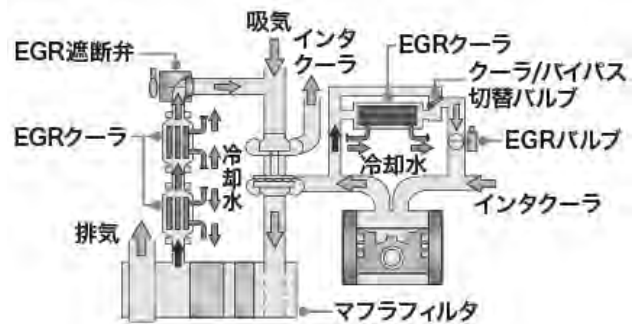


図-6 EGR システム

また、PM（粒子状物質）は従来と同様DPFで捕集し、DOC内で燃料を酸化させ、DOCおよびDPF温度を上昇させることで、堆積したPMを再燃焼させる（DPF再生）。

### 3.2 エンジンモータ協調制御

エンジンモータ協調制御を図-7に示す。図-5の油圧システム制御により演算されたポンプ駆動パワー推定値とエネルギーマネジメント制御によるバッテリーの充放電要求値を入力値として、エンジンとアシスト発電モータを協調させ、油圧ポンプへの動力供給とリチウムイオンバッテリーのSOCが適正範囲に保つよう制御する。

急峻なトルク変動成分を応答性の良いアシスト発電モータで対応し、エンジンのトルク変動量を

抑制（平準化）することで、不具合発生リスクを低減している。

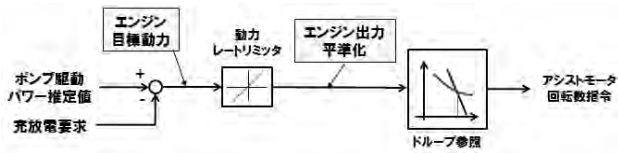


図-7 エンジンモータ協調制御

水平均し動作時における油圧ポンプ、エンジン、アシスト発電モータのトルク、およびリチウムイオンバッテリーのSOCの結果を図-8に示す。油圧ポンプの負荷変動成分を高応答のアシスト発電モータが主に対応し、エンジン出力の平準化を実現できていることが確認できた。また、リチウムイオンバッテリーのSOCを一定以上に保っている。

一般的にエンジンは、高トルク領域の燃費効率が良いため（図-9）、作業頻度の高い領域を最良燃費点に設定することで燃費低減を実現する。また、リチウムイオンバッテリーのSOCを一定以上に保つことで、アシスト発電モータによるエンジンアシストを安定化させている。

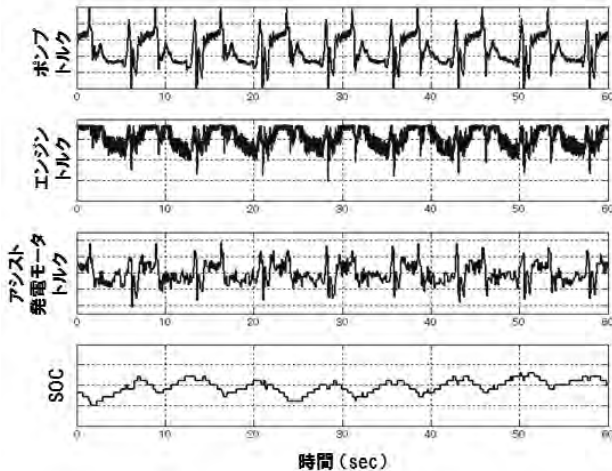


図-8 エンジンモータ協調制御の結果

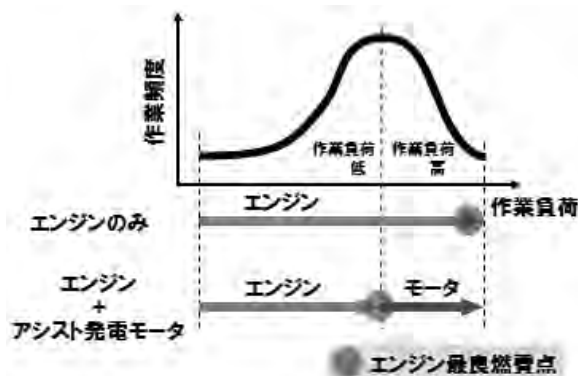


図-9 動作頻度とエンジン燃費の関係

### 3.3 バッテリ制御

リチウムイオンバッテリーのシステム構成を図-10に示す。リチウムイオンバッテリーは複数のバッテリーセルで構成され、バッテリーコントローラがこれらのバッテリーセルの状態監視や各種演算をし、バッテリーの状態を適正に保っている。

また、図-4に示したアルミケース内にバッテリーを収納することで、耐衝撃性や防水性を確保している。リチウムイオンバッテリーは、性能や寿命に影響するバッテリーのセル温度を適正範囲に保つことが重要で、アルミケースに冷却、および暖機回路を各々設け、バッテリーの温度を監視しながら、電動水ポンプや暖機用バルブを制御し、バッテリーを適正温度に保つよう制御をしている。

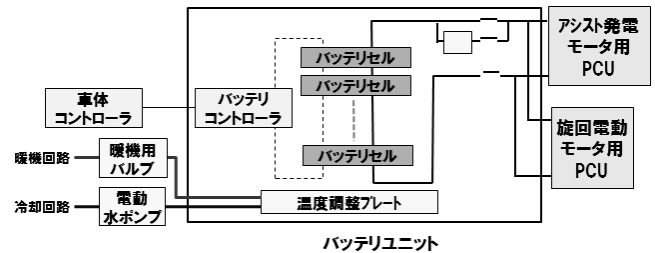


図-10 リチウムイオンのシステム構成

### 3.4 エネルギーマネジメント制御

エネルギーマネジメント制御では、バッテリーのSOCが適正範囲を保つよう、SOCに応じて、エンジンモータ協調制御へ適切にアシスト発電モータの力行・発電を要求する。

### 3.5 油圧電動複合旋回制御

油圧電動複合旋回制御では、従来と同様、可能な限り、エネルギー効率が良い旋回電動駆動とする。旋回電動モータと旋回油圧モータの合計トルクが、油圧電動複合旋回制御の有／無で変化がないよう、旋回電動駆動アシスト時には、旋回リリーフを低圧に切り換え、旋回油圧部の損失が最少となるよう、油圧システム要求動力を決定する。

### 3.6 油圧制御

油圧制御は、目標動作演算、ポンプ・バルブ制御等で構成されている。油圧制御のシステム構成を図-5および図-11で説明する。

目標動作演算では、車体に設けたセンサにより、レバー操作量やアクチュエータ圧に応じ、車体パワー許容範囲内で、各アクチュエータの目標流量・目標パワーを分配する。

油圧システム制御では、アクチュエータの目標流量・目標パワーを実現し、かつ、エネルギー効率が最適となるように、ポンプとバルブを電磁弁等で制御し、低燃費と操作性を両立する。

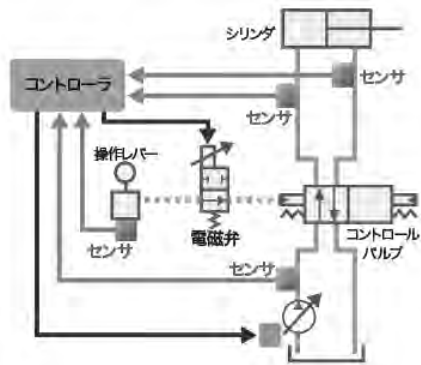


図-11 油圧システムの電子制御

### 3.7 アイドリングストップ制御

マルチモニタのインタフェース等を活用し、アシスト発電モータでエンジン再始動する使い勝手の良いアイドリングストップ制御を採用する。

従来と同様、オペレータがロックレバーをロック位置とした状態が、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。アイドリングストップ中は、車体システムを待機状態にして、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する。

アイドリングストップ中は、図-12に示すように、マルチモニタにはエンジン再始動のための操作内容を表示する。エンジン再始動には、マルチモニタのインタフェースを活用し、マルチモニタの表示を利用することで、オペレータの意思を確認し、安全にエンジン再始動する。

また、エンジンが停止してから所定時間が経過した場合、オペレータの再始動の意思がないと判断し、機器の保護の為、車体システムを全てシャットダウンする。このシャットダウンまでの時間もオペレータが認識できるように、マルチモニタにはシャットダウンまでの時間をバー表示する。

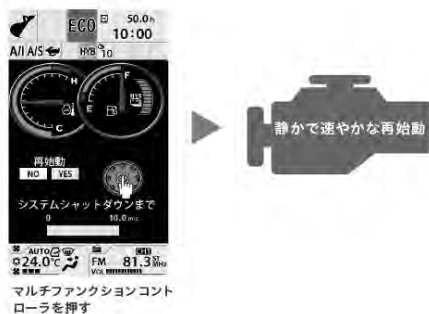


図-12 アイドリングストップ制御

### 3.8 ハイブリッドシステムインジケータ

ハイブリッドシステムインジケータ (図-13) は、リチウムイオンバッテリーの使用可能エネルギー残量を示すゲージである。オペレータはマルチモニタ上に表示されたインジケータにより、リチウムイオンバッテリーの残量を確認することができる。

作業負荷が大きい時には、一時的にハイブリッドシステムインジケータが減少するが、エネルギーマネジメント制御により、自動的にバッテリーのSOCが回復し、インジケータも回復する。

このようにバッテリー使用可能な残量を分かりやすくモニタ表示することで、オペレータに負荷の大きさを視覚的に教示することが可能で、ムダな負荷の抑制や燃費の良い操作方法への誘導も期待できる。



図-13 ハイブリッドシステムインジケータ

## 4. まとめ

本論文では、ハイブリッドシステムと油圧システムの統合制御の機能と特徴について報告した。

これらの機能を搭載したZH200-6は、標準機ZX200-6に対し20%、従来のハイブリッド油圧ショベルZH200-5Bに対し12%の燃費を低減している。

今後も低燃費への市場ニーズに応じていくよう、取り組んでいく予定である。