

ハイブリッド油圧ショベル

井上 宏 昭

油圧ショベルの旋回装置を電気駆動化するハイブリッドシステムを開発し大幅な燃費低減効果を達成することにより、地球温暖化問題とりわけCO₂排出に対する社会的貢献を果たす。また、一向に進まぬ温暖化ガス低減に対し建設業界においても今後規制が厳しくなることが予想される経営環境下にあつて、お客様に燃費低減可能な商品を提供することによりご満足いただくと共にマーケットの活性化に結びつける。

上記目標のもとに、今春よりPC200ハイブリッドを発売開始したのでその概要について報告する。

キーワード：油圧ショベル、ハイブリッド

1. はじめに（建設機械のハイブリッド化について）

1997年にトヨタ自動車からまったく新しいコンセプトの乗用車が発売された。それまでの走る・曲がる・止まるといった基本性能に対し、環境、とりわけCO₂低減を第一義としてとらえハイブリッドシステムを搭載したプリウスの登場である。このクルマが産業界に与えたインパクトははかり知れず早速建設機械のハイブリッド化について検討を着手した。また、ここでハイブリッド方式を図-1のごとく定義した。すなわちアクチュエータの電動化と再生エネルギーのストレージシステムを備えたシステムである。従って電力供給源については各種のシステムが考えられ、エンジン発電機以外にバッテリー+キャパシタからなるハイブリッドフォークリフトの実用例がある。

建設機械は、製造から廃却にいたるライフサイクルにおいてCO₂の排出は稼動時の燃料消費によるもの

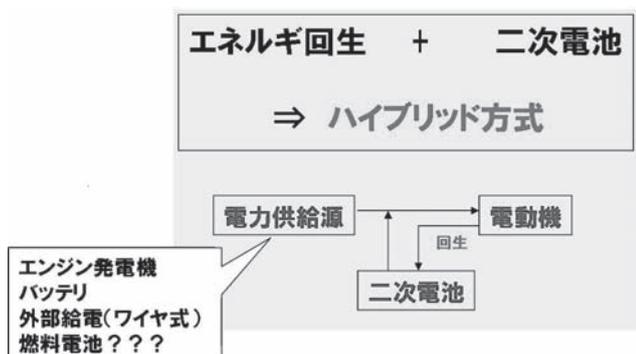


図-1 ハイブリッド方式

が90%以上を占めており、燃料消費の低減が直接温暖化ガス排出の低減につながる為、ハイブリッド化による低燃費技術は環境のみならず機械を使用しただくお客様にとっても有益な手法であることが判明した。そこで国内において最も普及している油圧ショベルに対し、燃費低減を目標としたハイブリッド油圧ショベルの開発を2005年より本格的に開始した。

2. 油圧ショベルの低燃費技術

図-2に油圧ショベルの代表的な作業でのエネルギーフローを示す。これによると消費燃料100%内、有効仕事として取り出せるエネルギーは13.3%であり、そ

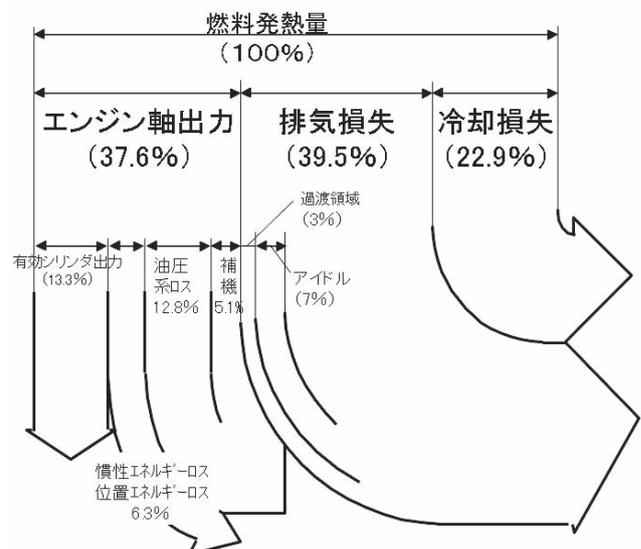


図-2 油圧ショベルでのエネルギーフロー

の他は概ね熱損失となって廃棄される。この間エンジン出力を総て油圧エネルギーに変換し各アクチュエータに分配する油圧シヨベルにおいては、エンジン～ポンプ間においてエネルギー変換ロスが、圧油を分配する際に圧力損失他によるロスが発生する。さらには作業機および上部旋回体の位置・運動エネルギーは油圧システムのメータアウト損失となって熱に変換されロスを計上する。これに対し、上部旋回体の駆動を電気モータで行うハイブリッドシステムとすることによりエネルギー変換および伝達ロスの低減と、旋回体の運動エネルギーを回生することが可能となる。そうして得られたエンジン出力の抑制効果をさらにエンジン燃費マップ上で最適マッチングさせることで、大幅な燃費低減効果を見込むことが出来る。

3. ハイブリッド油圧シヨベル概要

(1) シヨベル外観

PC200-8 ハイブリッドシヨベル外観を図-3に示す。

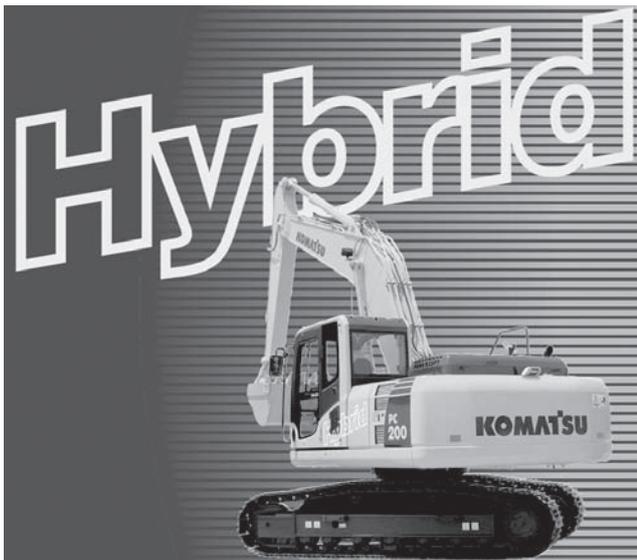


図-3 ハイブリッドシヨベル外観

(2) ハイブリッドシステム

ハイブリッド油圧シヨベルの構成は、旋回電気モータ、発電機モータ、インバータ、キャパシタ等から成り立っている。車体の旋回が減速する時、旋回電気モータが減速時に発生するエネルギーを電気エネルギーとして回収し、キャパシタと呼ばれる蓄電器に蓄える。これを旋回時のエネルギーとして再活用すると共に、発電機モータを通じて作業時のエンジン加速時のアシストエネルギーとしても活用する。此の為、待機状態を始めエンジン回転を低く抑え燃料消費量の低減が可能となっ

ている。また、「コマツ・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。

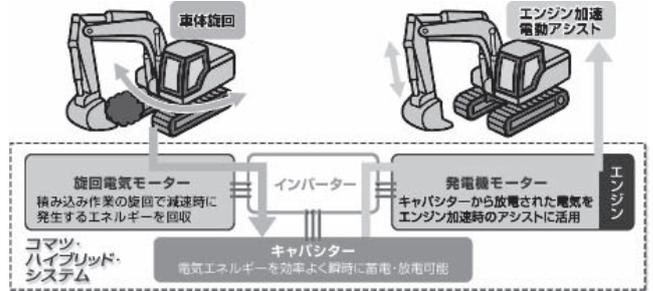


図-4 ハイブリッドシステム概要

(3) ハイブリッドコンポネント

(a) 発電機モータ

発電機モータはエンジンと油圧ポンプ間にビルトインし油圧ポンプへの伝達効率を格段に高めている。また、エンジンアイドル状態では効率よく発電しキャパシタへの蓄電補充も行う。

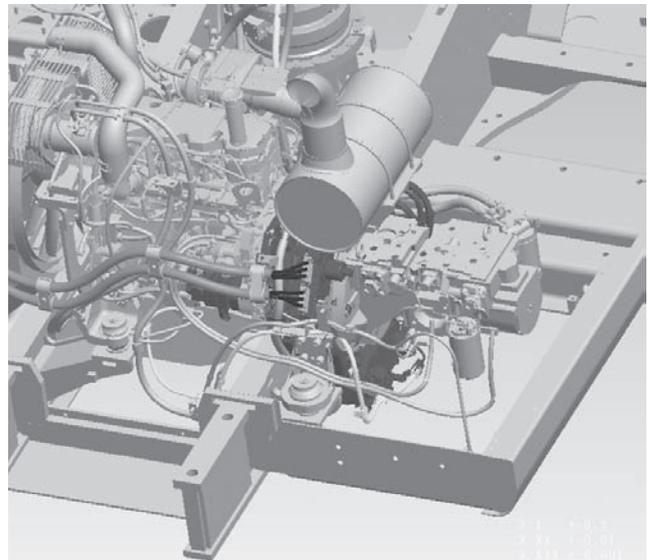
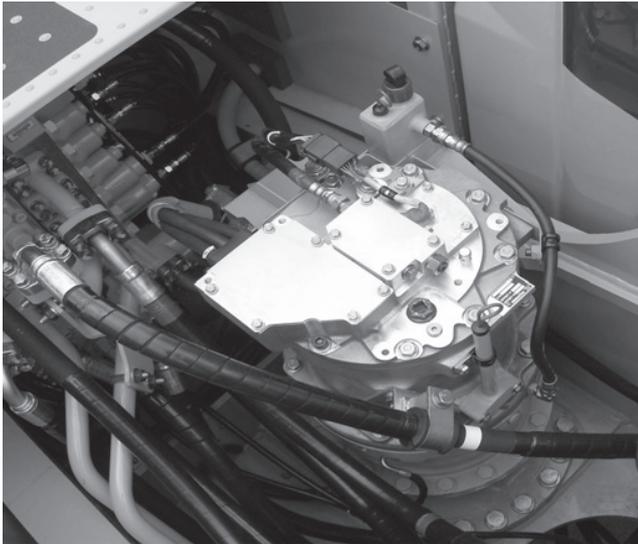


図-5 発電機モータ

(b) 旋回モータ

旋回減速時のエネルギーを回収する電気モータを新規開発した。電気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。

電気モータ用の潤滑油、冷却水循環も専用ケースを開発することで対応し、さらに電気モータ特有の高回転に伴い、専用減速機も新規開発した。

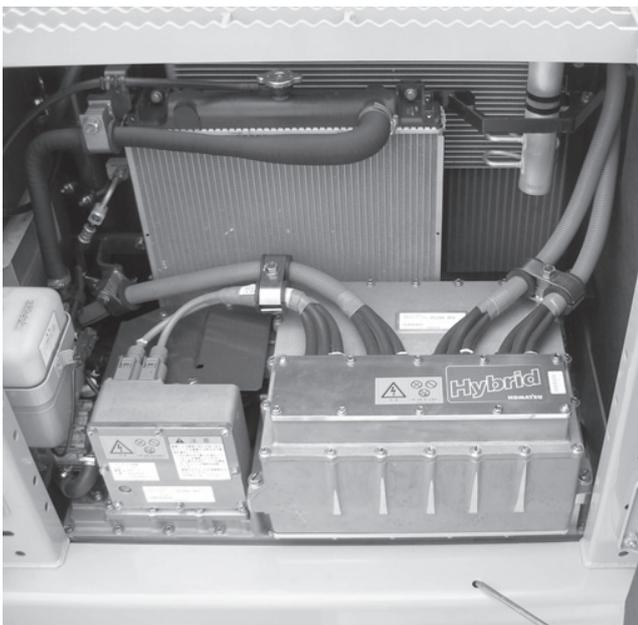


図一六 旋回モータ

(c) インバータ, キャパシタ

昇圧器一体型インバータとキャパシタをコンパクトに搭載。専用の水冷装置を装備することで、各コンポーネントの信頼性を確保した。蓄電器としては、電子・イオンの移動のみで充放電できるキャパシタを搭載。そのため化学反応を要するバッテリーに比べ、短時間での充放電が可能で、建設機械の頻繁なエンジン回転変動への追従を可能にした。

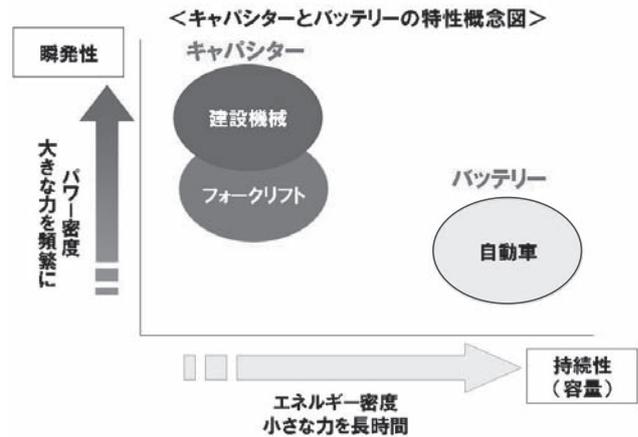
また、発熱や劣化が理論的に無いので、長寿命でかつメンテナンスも不要である。



図一七 インバータ・キャパシタ

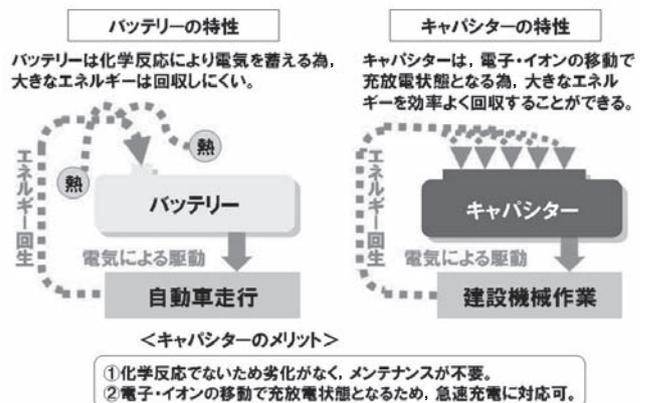
(d) キャパシタについて

旋回回生エネルギーの蓄電装置としてキャパシタを採用した。ハイブリッド技術で先行する自動車の場合は、発進加速の際に大容量の電気エネルギーを必要とし、その後は比較的安定したエンジン回転で使われる為、蓄電装置としてバッテリーを搭載している。それに対して、建設機械の場合、掘削作業等で短時間で頻繁なエンジン回転の変動が生じ、この頻繁なエンジン回転に追従してアシストするために、キャパシタを採用した。



図一八 キャパシタとバッテリーの特性概念図

自動車に使われるバッテリーは化学反応を伴い、放電に時間を要するため、十分なアシストが得られないが、キャパシタであれば効率よく回収・蓄電し、また瞬時に放電することが可能となる。



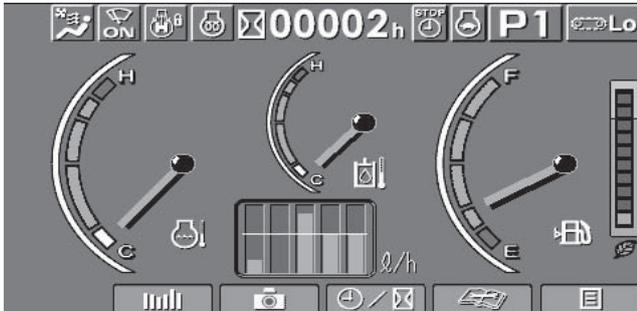
図一九 建設機械ハイブリッドと自動車ハイブリッド

(4) IT 技術

ハイブリッド車では、エコ運転を助成するため、「ハイブリッド専用モニター」を装備した。

(a) 省エネナビゲーションシステム

運転席に装備したモニタ画面中央部に、直近5分毎の燃料消費量を棒グラフ表示し、オペレータのエコ運転励行を助成する。また画面を切り換えることで、直近1時間、12時間、1週間、1ヶ月の過去の燃料消費データも表示できる。



図一10 省エネナビゲーションシステム

(b) エネルギーモニタ

モニタ画面を切り換えることで、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の状況を、エネルギーフローとしてモニタ表示することも可能である。画面にはシステムを構成する各コンポと、それらコンポ間のエネルギーの流れが以下に色分け表示される。

- ・油圧駆動エネルギー
- ・電気駆動エネルギー
- ・回生エネルギー

①作業機操作+旋回起動時

作業機は従来機同様エンジンによるエネルギーを油圧で動かす。(エンジン～ポンプ～作業機の流れ)

旋回はキャパシタ及び発電機からの電気エネルギーで駆動する。(発電機/モータ+キャパシタ～旋回体の流れ)



図一11 作業機操作+旋回起動時エネルギーフロー

②作業機操作+旋回減速時

旋回減速時のエネルギーは、回生されてキャパシタに

蓄電される。(旋回体～キャパシタの流れ)

回生したエネルギーの一部は、発電機モータを介してエンジンをアシストし(キャパシタ～発電機/モータの流れ)、作業機の動きを助ける。

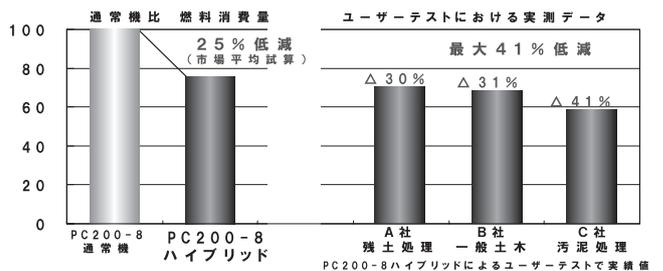


図一12 作業機操作+旋回減速時エネルギーフロー

(5) 低燃費効果

従来機「PC200-8」と比較して、平均25%(*)の燃費低減を実現した。また、実際に行ったユーザーテストでは、旋回動作の頻度が高い作業現場において、最大で41%の燃費低減が認められた。これはこのシステムが旋回エネルギーを回生するので旋回時の負荷、旋回角度、旋回の頻度によって燃費低減効果が異なるため、旋回角度が大きい作業においては、公称値25%以上の低減効果を得ることも可能である。

※市場平均は、建設機械の平均的な使われ方から算出した社内基準で試算。



図一13 燃費低減効果

(6) CO₂ 削減効果試算

ハイブリッド車1台が1時間作業をした場合、燃費低減効果として通常機と比較した場合、約10kgのCO₂が削減される。日本国内で稼働する弊社の油圧ショベルが全てハイブリッド車に置き換わった場合を試算すると、年間約370,000トンのCO₂の排出が削減されることとなり、これは東京ドームの約153個分に相当する。

PC200-8 ハイブリッド 1台/作業1時間 約10kgのCO₂削減



日本国内で稼働するコマツの油圧ショベルが全てハイブリッド車になったら・・・

年間約370,000トンの
CO₂排出量が削減 注1) = 東京ドーム約153個分のCO₂削減に相当
×約153個分 注2)



注1)油圧ショベルの稼働台数/排出量は2006年末の数値。ユーティリティ(ミニ建機)は除く
注2)東京ドームの体積1,240,000m³として試算

図-14 CO₂ 排出量の削減

4. まとめ

従来のエンジン出力を総て油圧のエネルギーに変換し各アクチュエータを駆動する油圧ショベルのシステムに対し、上部旋回体の駆動を電気モータで行うことにより、エネルギー変換および伝達ロスの低減と、旋回体の運動エネルギーを回生することが可能となった。これにより得られたエンジン出力の抑制効果をさらにエンジン燃費マッチングと組み合わせることにより、大幅な燃費低減効果を達成し、併せ以下の技術を確立した。

(1) 旋回装置の電動化技術

従来の油圧モータに換え電気モータにより上部旋回体を駆動する。操作性とりわけ他作業機との複合操作におけるモータ制御技術を確立した。

(2) 旋回運動エネルギーの回生技術

旋回電気モータ減速時のエネルギー回生を行うため、蓄電池の電圧制御技術を確立した。

(3) エンジン、油圧、電気のトータルエネルギーマネジメント技術

エンジン、油圧ポンプ、発電機モータ各々のパワー配分を決定し、燃費最適運転となるようなトータル制御技術を確立した。

(4) ハイブリッドコンポーネントの開発技術

建設機械用重負荷対応のハイブリッドコンポーネントとして、モータ・インバータ・キャパシタを開発した。(キャパシタセルは購入品)

5. おわりに

ハイブリッド建機の将来性についてはまだその途に就いたばかりではあるが温暖化対策並びに資源枯渇化対策の一助として、今後各社より発売され一定量のマーケットシェアを占めるものと思われる。普及にあたってのキーポイントはコスト低減であるが、総合評価落札方式に見られるような行政側からの支援にも期待したい。

また技術的には、様々な用途で用いられる建設機にあってはハイブリッドシステムによる省エネ手法は極めて有効であると考え。今後も引き続き開発を行っていく所存である。

J|C|M|A

【筆者紹介】

井上 宏昭 (いのうえ ひろあき)
コマツ 開発本部
建機第一開発センター
環境商品開発グループ
チーム長

