

19. 油圧ショベルのハイブリッド化による燃費低減技術について

PC200-8ハイブリッド油圧ショベルの紹介

コマツ

○ 井上 宏昭

1. はじめに

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、弊社においても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、ここにハイブリッド方式を“アクチュエータの電動化と回生エネルギーのストレージシステムを備えたシステム”と定義した。

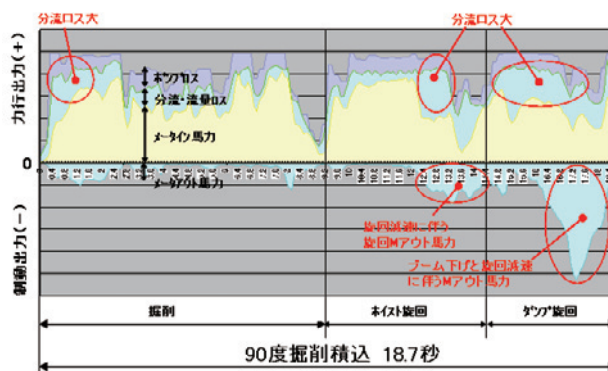
従って電力供給源については各種のシステムが考えられ、エンジン発電機以外にバッテリー+キャパシタからなるハイブリッドフォークリフトの実用例がある。建設機械は、製造から廃却にいたるライフサイクルにおいてCO₂の排出は稼動時の燃料消費によるものが90%以上を占めており、燃料消費の低減が直接温暖化ガス排出の低減につながる為、ハイブリッド化による低燃費技術は環境のみならず機械を使用していただくお客様にとっても有益な手法であることが判明した。

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、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し、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って、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こと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、昨年弊社よりPC200ハイブリッドを発売開始したのでその概要について¹⁾報告する。

2. 油圧ショベルの低燃費技術

図-1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。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ョベルにおいては、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ョベル概要

3.1 ショベル外観

コマツPC200-8ハイブリッドショベル外観を図-3に示す。ベースマシンに対し外観上の相違は唯一ステッカのみであり、ハイブリッド化による搭載コンポーネントの増加分は既存スペース内で吸収した。



図-2 ハイブリッド油圧ショベル外観

3.2 ハイブリッドシステム

ハイブリッド油圧ショベルの構成は、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。

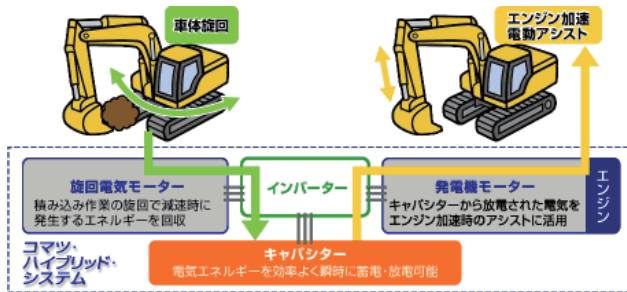


図-3 コマツ・ハイブリッド・システム概要

3.3 ハイブリッドコンポーネント

① 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、エンジンアイドリング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。

② 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速運転に伴い、専用減速機も新規開発した。

③ 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。

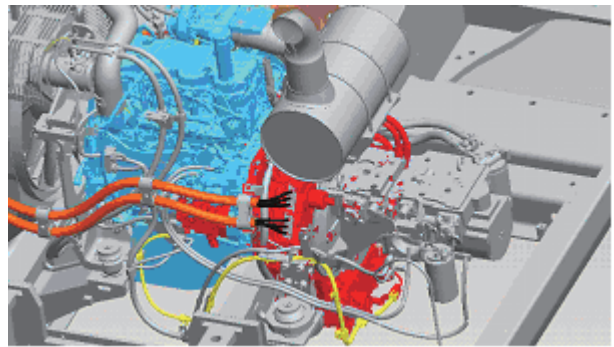


図-4 発電機モータ搭載図

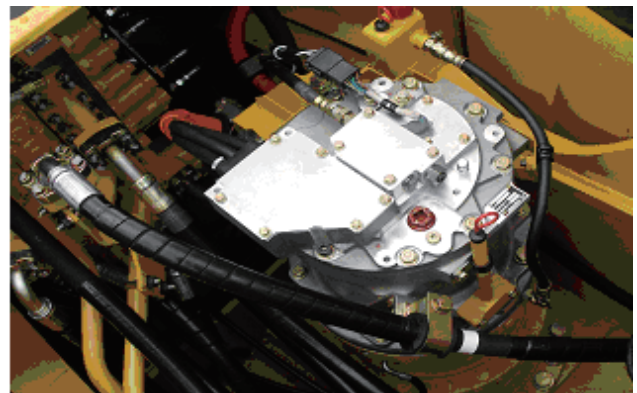


図-5 旋回モータ外観



図-6 インバータ&キャパシタ搭載図

④ 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。

自動車に使われるバッテリーは化学反応を伴い、放充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。

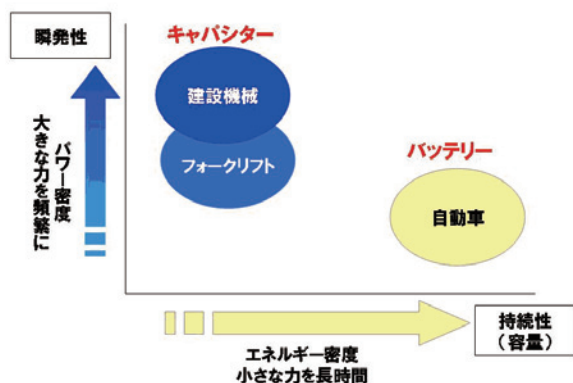


図-7 キャパシタとバッテリーの特性概念図

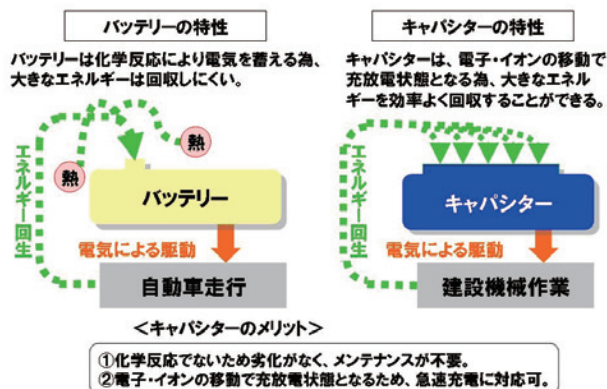


図-8 キャパシタとバッテリーの放充電メカニズム

90度旋回ダンプ積み作業におけるキャパシタ充放電パターンを以下に示す。図からワンサイクルの中で充電と放電の収支がほぼバランスしていることが解る。

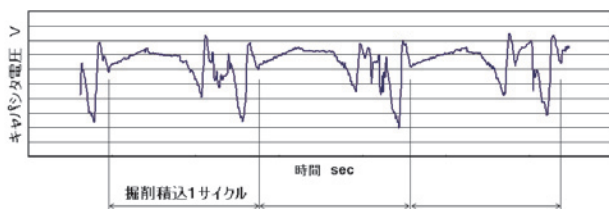


図-9 キャパシタの充放電パターン

3.4 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。

① 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ー画面中央部に直近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。

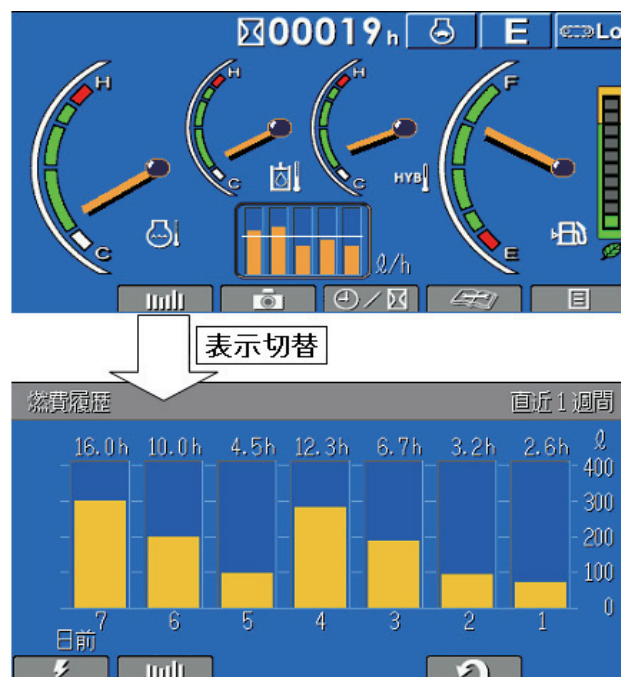


図-10 省エネナビゲーションシステム

② エネルギーモニタ

モニター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ー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。一例として、作業機操作+旋回起動時のパワーフローを下図に示す。



図-11 エネルギーモニタ

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。(赤矢印)

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。(黄矢印)

3.5 低燃費効果

旋回を電気駆動としたハイブリッドである為、

燃費低減効果については旋回操作を主体とした作業において発揮され则认为られる。そこで販売に先立ち旋回動作の頻度が高い作業現場においてユーザ3社によるテストを実施した。結果は下図に示す様に同一稼働現場の従来機「PC200-8」と比較して30～40%の燃費低減効果を得た。

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と考察する。

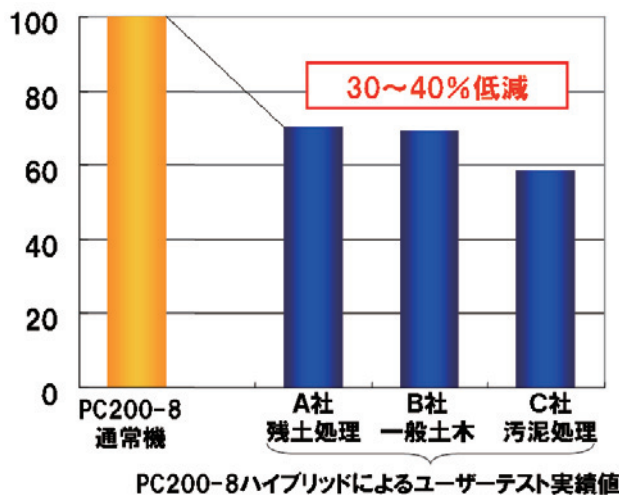


図-12 ユーザテストにおける燃費低減効果

参考として旋回角度の異なる作業における燃費低減効果を表-1に示す。

表-1 燃費低減効果と旋回角度の関係

作業内容	旋回角度	現行機に対する燃費低減効果指数 (90度ダンプ積込を1とする)
ダンプ積込	90度	1.00
ダンプ積込	180度	0.95
溝掘削	45度	1.04

3.6 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 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-13 ハイブリッドによるCO₂削減効果

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. 参考文献

- 井上 宏昭:PC200-8ハイブリッド油圧ショベルの紹介, コマツテクニカルレポート, Vol.54・No161, pp.26~31, 3/27/2009