

2種類のバッテリー駆動ショベルの開発と今後の展開

大平修司・落合正巳・木村敏宏

2つのタイプのバッテリー駆動ショベルを開発した。EV用リチウムイオンバッテリーだけで駆動するバッテリーショベルと、バッテリーと商用電源を併用する2WAYショベルである。

バッテリーショベルは電源ケーブルレスで1日の一般土木作業を行うことを目的としており、バッテリーを高効率に使うための省エネシステムを搭載している。2WAYショベルは電動ショベルの問題点であった機動性を確保するため、短時間のバッテリー駆動を可能としたショベルであり、低容量低電圧の電池でもシステム出力を確保する昇降圧システムを持つことを特徴とする。これらのバッテリー駆動ショベルは商用電源仕様の電動ショベルと同等の環境性能と経済性を実現している。

キーワード：ショベル、バッテリー、環境、排出ガス、省エネ

1. はじめに

建設機械の排出ガスに含まれるNO_x及びPMは07年から始まった排出ガス3次規制の対象であり、高いレベルのクリーン化が要求されているが、数年後にはさらに厳しい第4次の規制が予定されている。また排出ガスの殆どを占めるCO₂は地球温暖化ガスであり、世界的に削減を求められている重要な環境負荷である。CO₂は環境を重視する総合評価型入札の評価項目にもなっており、建設機械はこれらの排出ガスに対する総合的な対策が必要となってきた。

図-1は日本の温暖化ガス総排出量である¹⁾。日本全体で12~13億ton/年のCO₂が排出されており、建設機械が排出するCO₂は全体の1%程度といわれている²⁾。図-2に建設機械のCO₂排出量の機種別構成比率を示す³⁾。油圧ショベル、ミニショベル、ホイールローダの3機種の排出量を合わせると建設機械全

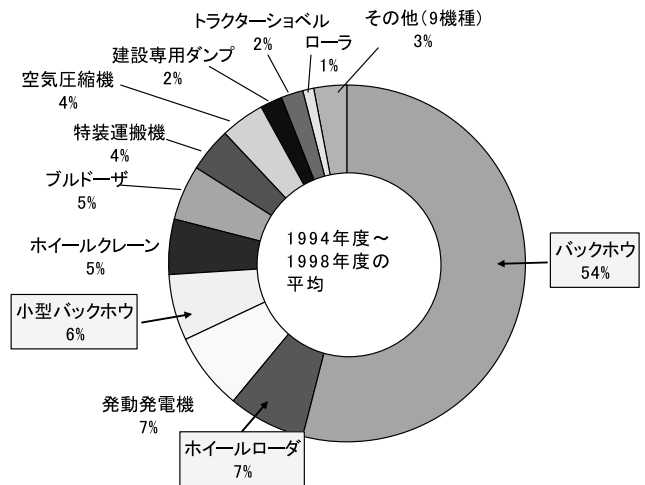


図-2 建設機械のCO₂排出量の機種別比率

体の約7割の排出量となる。そのため建設機械の環境負荷低減にはこの3機種のクリーン・省エネ化を進めることが重要である。

省エネ・クリーン化の新しい技術として、代替燃料、ハイブリッド、バッテリー駆動などの新しいシステムが実用化されてきている。これらの技術を建設機械に適用できれば環境負荷を大きく低減することができる。'01年に開発したCNGホイールローダ⁴⁾は、使用条件によってPMフリー、NO_xの大幅削減を達成している。また'02年に開発したハイブリッドホイールローダでは約30%のCO₂削減を達成している。

2000年代以降需要が増えてきている商用電源仕様のケーブル付き電動ショベル⁵⁾(以下電動ショベル)

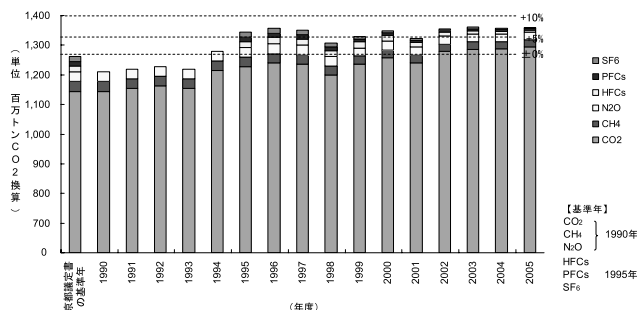


図-1 日本の温暖化ガスの推移

は、現場で全く排出ガスを出すことがない。必要電力を発電する時の排出ガスと比較しても CO₂ は約 50%，NO_x，PM はほぼゼロであり，環境負荷は極めて小さい。またエンジンによる振動・騒音も抑えることができ，現状技術では最も環境性能が優れているシステムであるといえる。しかし電動ショベルはケーブルで電力を供給するため，ディーゼルエンジン駆動のショベル（以下標準ショベル）に比べ作業性，機動性，電力供給方法が課題となっていた。図—3 は 20 トンクラスの屋内用電動ショベルである。本体上のマストに電源ケーブルを装着し，天井から給電することで作業時に電源ケーブルが障害にならないような工夫をしているが，屋外の一般土木作業に適用することは難しい。電動ショベルはスクラップなどの限られた業種の需要が中心となっていた。



図—3 電動ショベル ZX225USR

そこで電動ショベルをより汎用的に活用するために 2 種類のバッテリー駆動システムの開発を行った。1 つは環境省の平成 17 年度地球温暖化対策技術開発事業の補助金を受け開発した 7 t クラスのバッテリーショベルであり，もう 1 つは商用電源を基本とし，バッテリー駆動も可能な 5 t クラスの 2 電源タイプショベル（以下 2WAY ショベル）である⁶⁾。両タイプともショベルでは初めてリチウムイオンバッテリーを搭載したショベルである。本報告ではこの 2 種類のバッテリー駆動ショベルについて紹介する。

2. 2 種類のバッテリー駆動ショベルのコンセプト

今回開発した 2 種類のバッテリー駆動ショベルは機動性・作業性の課題を解決し，一般土木作業などへの汎用的な使用を可能としたショベルである。バッテリーシ

ョベルと 2WAY ショベルはそれぞれ別々のアプローチで開発を始めた。

バッテリーショベルは標準ショベルの延長にあり「標準ショベルと同じ作業が可能な最高水準の環境性能を持つ汎用ショベル」のコンセプトで開発を行い

- ・電動化に対応した油圧システムの採用
- ・旋回・走行系の電動駆動によるエネルギーの回生
- ・高性能デバイスの開発・適用

の方針でシステム・デバイスの開発を行った。システム効率を可能な限り上げることで高い環境性能を持つだけでなく，バッテリー容量，車体重量・寸法を抑え，標準ショベルと同じ作業に用いることを目的としている。

一方，2WAY ショベルは電動ショベルの延長で開発を行い，「機動性を持った電動ショベル」のコンセプトで，既存の電動ショベル市場の拡張を狙ったものであり

- ・従来油圧システムの踏襲
- ・短時間作業に対応したバッテリー&電動ユニットの搭載
- ・バッテリーの変更を前提としたシステム
- ・イニシャルコストの削減

の方針で開発してきた。完成度の高い現在の油圧システムと，イニシャルコストを考慮した電動デバイスにより 2WAY システムを構築した。2WAY ショベルはバッテリーショベルよりも短時間であるが電源ケーブルレスで動くことが可能で，電動ショベルを採用している限られた業種以外に展開が可能となる。

3. 2 種類のバッテリー駆動ショベルの概要

(1) システム概要

(a) バッテリーショベル

図—4 に 7 t クラスバッテリーショベルの外観を示す。同クラス油圧ショベル ZX70 に比べ後端半径がわずかに大きくなっているが，ほぼ同格となっている。

図—5 にバッテリーショベルのシステム，図—6 にレイアウトを示す。バッテリーショベルはエンジンの代わりに複数の永久磁石型同期モータ及びインバータを搭載している。モータのエネルギー源はリチウムイオンバッテリーである。バッテリーへの充電のために充電器を車載した。充電中に作業することも可能であり電動ショベルとして使うこともできる。電動モータは三相交流 200 V 系でありバッテリー電圧はそれに見合う十分な電圧仕様となっている。

走行，旋回は電動モータを減速機に直結して駆動し



図-4 バッテリーショベルの外観

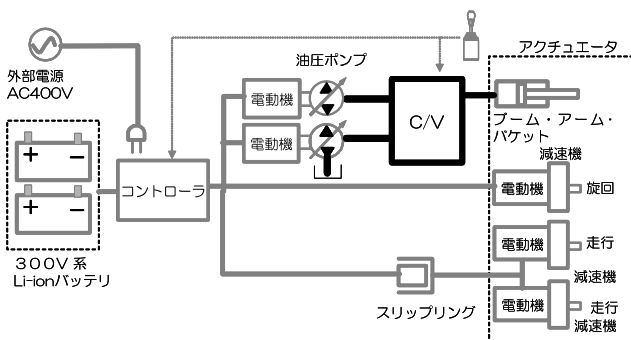


図-5 バッテリーショベルのシステム概略図

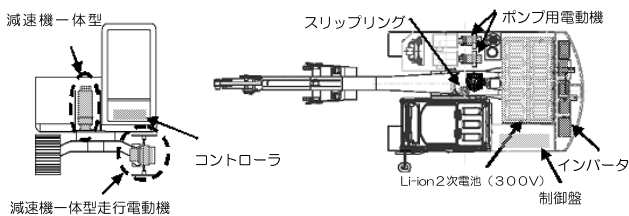


図-6 バッテリーショベルの電動デバイスレイアウト

ている。減速時のエネルギー回生ができ油圧損失もなく、エネルギー効率向上を図ることができる。アーム、ブーム、バケットのフロント部は電気-油圧駆動を採用している。フロント用の複数の油圧ポンプに電動モータを直結しているので、それぞれの油圧ポンプは独立した駆動ができる。制御系は各デバイスの状態監視と制御を行うコントローラと、その上位の全体制御を行うメインコントローラからなる。メインコントローラによりシステムの省エネ制御、モニタ表示や操作性などの使い勝手や安全性の制御を行っている。

操作系は安全性を確保するためにメイン動力とは別の動力システムを用いている。補機類用電源、アクセサリ電源はバッテリーからDC/DCコンバータにより動力を取り出している。

(b) 2WAY ショベルの概要

図-7に5tクラス2WAY ショベルの外観、図-8にそのシステム図を示す。



図-7 2WAY ショベルの外観

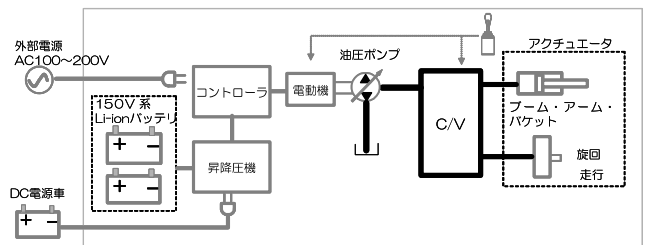


図-8 2WAY ショベルのシステム概略図

2WAY ショベルはエンジンの代わりに三相誘導電動モータとインバータを搭載している。電動モータは1基であり各ポンプを独立に動かすことはできない。2WAY ショベルのバッテリー駆動は主に移動時を想定したものであるが、短時間作業にも対応できるリチウムイオンバッテリーを搭載している。搭載するバッテリー量を抑え、かつ必要な出力を確保するために2WAY 専用の昇降圧器を開発した。昇降圧器により低電圧のバッテリーでも駆動が可能になり、モータ負荷により電圧変動が生じる鉛バッテリーを用いることもできるシステムとなっている。

また昇降圧器は充電機能も併せ持ち、100～200Vの商用電源、バッテリー車などからの直流電源でも充電や稼働が可能である。昇降圧器を搭載することで現場での電力確保、多様なバッテリー選択ができるようになっている。

制御系はバッテリーショベルと同じくインバータ、バッテリー、メインコントローラからなる。

(c) 車体の制御

バッテリーショベルと2WAY ショベルはアイドルストップを基本的な省エネ制御としている。アイドルストップは待機時間が長いミニ、小型ショベルでは特に有効な制御になる。バッテリーショベルはアイドルスト

ップに加え油圧駆動制御とエネルギー回生制御を行っている。バッテリーをエネルギー源としたシステムでは電動ショベルに比べバッテリー充放電分の効率が低下するが、今回開発した2つのバッテリー駆動ショベルでは上記の省エネ制御により、電動ショベルと同等の効率を達成した。

また安全面ではバッテリー状態を常に監視、制御することで過充電、過放電を防止している。バッテリー残量によって車体の動作制限をかけることで、フル放電による機体の立ち往生を防いでいる。表—1に2種類のバッテリー駆動ショベルの仕様を示す。

表—1 バッテリー駆動ショベルの対比

項目	バッテリーショベル	2WAYショベル
バケット容量	0.28 m ³	0.16 m ³
搭載バッテリー	リチウムイオン バッテリー：300 V	リチウムイオン バッテリー：150 V
電動機	定格出力	15 kW × 2 (メインポンプ)
	種類	永久磁石同期モータ
	制御方法	速度・トルク切替制御
省エネ制御	アイドルストップ、 エネルギー回生	アイドルストップ

(2) 電動デバイス

2つのバッテリー駆動ショベルではバッテリー、インバータ、電動モータ、電動補機類、充電器の電動デバイスを採用している。ここではキーデバイスであるバッテリーと電動モータについて紹介する。

(a) バッテリー

バッテリーは車体性能、全体設計を左右するキーデバイスの1つである。ショベルでは大容量、高出力のバッテリーが求められるため、鉛バッテリーをそのまま用いることは難しい。

鉛バッテリーとリチウムイオンバッテリーの比較を表—2に示す。同じ出力・稼働時間で比較した場合、リチウムイオンバッテリーは鉛バッテリーに比べて重量比、体積比で約1/3になり標準ショベルの車体でも搭載が可能となる。リチウムイオンバッテリーはセル単体電圧が高いため、システム電圧を比較的簡単に高圧にでき、出力の大きな建機に適している。また出力密度も大きく負荷変動の大きいショベルでも安定したシステムを構築できる。本開発では両タイプとも電気自動車(EV)用の大容量リチウムイオンバッテリーを用い、技術の共通化・コスト削減を狙った。

リチウムイオンバッテリーは車載のバッテリーコントローラとメインコントローラで電池の状態監視と充放電

制御を行い安全性を確保している。

表—2 鉛バッテリーとリチウムイオン電池の比較

電池の種類	重量エネルギー密度(Wh/kg)	体積エネルギー密度(Wh/l)	出力密度(W/kg)	サイクル寿命
鉛	35	95	100～200	300～
リチウムイオン	100～160	200～400	400～	1000

(b) 電動モータ

バッテリーショベルは主動力用に永久磁石型同期モータ(以下PM)を、2WAYは三相誘導モータ(以下IM)を用いている。

バッテリーショベルでは旋回・走行・油圧ポンプ用に複数の電動モータを用いて省エネ制御を行うため高効率で比容積が小さいPMを用いる必要がある。建設機械は産業用に比べ使用環境、耐久性基準が厳しく、そのまま産業用電動モータを建設機械に用いることは難しい。使用回転数帯と効率のマッチング、旋回・走行停止時でのメカニカルブレーキも必要となる。走行モータは履帯幅内に収納できるようにコンパクト化する必要もある。バッテリーショベルでは専用の電動モータを新規開発した。これらは先に示したレイアウト図にあるように標準ショベルと同等のスペースに収納できる。

2WAYで用いたIMはPMに比べ容積が大きくなるが信頼性が高く低コストである。PMに比べ効率が若干落ちるが2WAYのシステムには最適である。

4. 実施工への展開

(1) バッテリーショベルの実働試験結果

(a) 環境性能

フィールド試験を行い、環境性能を比較した。標準ショベルに対するバッテリーショベル、2WAYショベルの排出ガスの比率を表—3に示す。試験は掘削—旋回—放土と走行、アイドルングを組み合わせた1日の平均的な作業パターンを模擬して行い、充電効率も合わせた電力量からCO₂を算定した。同時に同クラスの油圧ショベルで同様の作業を行った時の軽油使用量を測定し、ディーゼル駆動とバッテリー駆動でのCO₂を比較した。CO₂排出原単位は軽油：2.64 kg/L、電力：0.371 kg/kWh(電気事業連合会2000年度排出原単位)として計算した。この結果、バッテリーショベルのCO₂排出量の比率は55%、2WAYショベルでは50%となった。2WAYショベルがバッテリーショベルより優れた結果を示しているのはミニショベルと小型

ショベルの作業パターンの違いによる。バッテリーショベルは走行とハイアイドル状態では 80～90%のCO₂排出削減が可能となっており、これらの比率が多い施工ではさらに排出ガス性能は向上する。

表—3 バッテリーショベルの排出ガス性能の比較

排出ガス	標準 ショベル	バッテリー ショベル	2WAY ショベル	備考
CO ₂	100%	55%	50%	1日の模擬作業パターンでの比較
NOx	100%	3%	3%	7t, 5tクラスの排出ガス3次規制との比較
PM	100%	0%	0%	

(b) 騒音振動

騒音測定は国交省建設機械低騒音指定制度準拠で行った。結果を表—4に示す。バッテリーショベルでの動的騒音は91.0 dBとなり、低騒音型建設機械（標準機）の基準値と比較し-8 dBと極めて静かである。電動モータの騒音はほとんどなく油圧ポンプ音、冷却ファンの風きり音がわずかな音源となっている。2WAYは超低騒音型建設機械（標準機）基準値に対し平均-6 dBを確認した。バッテリーショベルよりも削減量が小さいのは5 tonクラスミニショベルの標準機が超低騒音型に設定されているためであり、両タイプとも同等の低騒音性能を持っている。夜間土木・都市内土木においては排出ガスとともに大きなメリットになる。

表—4 騒音レベルの測定結果

	バッテリーショベル	2WAYショベル
騒音レベル(動的騒音実測値)	91.0 dB	86.6 dB
低減量(対超低騒音型建設機械)	-8 dB	-6.5 dB

(c) 稼働時間及び充電

表—5に稼働時間及び充電諸元を示す。

バッテリーショベルは新規バッテリーで通常作業を行った場合4～5時間の連続作業に対応できるバッテリー容量を持っている。実際の施工では作業・アイドル待機・機械停止の時間があるためバッテリーショベルは1日の通常施工が可能であると想定している。

バッテリーショベルの充電は1時間でバッテリー容量50%前後の急速充電が可能であるが、この場合バッテリー充電効率が低下し、CO₂削減効果が低下する。夜間に低電力で充電すれば、CO₂削減効果だけでなく、商用電源の基本料金を抑えランニングコストの低減にもつながる。

表—5 バッテリーショベルの稼働時間と充電時間

	バッテリーショベル	2WAYショベル
想定稼働時間	1日	半日
充電	電源	AC400 V
	時間	5 hr
	充電器	1 hr(容量60%)急速充電 車載

2WAYはバッテリー電圧・容量をある程度自由に変更することができるが、本開発機は約2時間程度の軽作業を想定して開発している。移動だけでなく「ちょっとした作業」も行うことができる。ミニクラスは移動と作業が断続的に行われることが多いため、実際の現場では使い勝手のよい機械になっている。

2WAYの充電は急速充電または緊急充電に対応でき、交流200Vであれば1時間で80%程度の充電が可能である。

(2) 実施工への対応

バッテリーショベルの最も大きな課題はイニシャルコストの低減である。走行頻度が少ない施工では電動モータによる走行であっても環境負荷低減への寄与は限られ、コストに見合う効果が小さくなってしまう。そこで当面は走行に油圧モータを用いることとした。しかし電動モータによる走行は非常に高いCO₂削減効果を示していることから、電動デバイスのコスト動向、対象となる施工内容によって採用していく予定である。さらに車載充電器をAC200V/AC400Vの自動切換型外部充電器に置き換えることで共用充電器とした。これらによりイニシャルコストを抑えたバッテリーショベルを市場に出す方針で臨んでいる。

また実際の現場に投入した2WAYショベルはバッテリー容量を増強し、バッテリーショベルとしての機能を強化した。バッテリー容量を増やすことでイニシャルコストは増加しているが、作業あるいは負荷条件によっては電源ケーブルを繋ぐことなく半日程度の駆動が可能になった。この2WAYショベルを用いた数箇所の現場ではバッテリーショベルとして使われている。このバッテリー増量タイプを「2WAYエコショベル」として、新技術情報提供システム（関東技術事務所KT-070051）に登録した。現場では静穏性・作業性など予定通りの性能が確認されている。

5. おわりに

今回バッテリーショベルと2WAYショベルの開発により2つの基本的なシステムを完成させた。今後は本ショベルを実施工に投入し評価を受けていくことにな

る。同時にユーザにバッテリーシヨベルの性能・使い勝手を認知してもらう時期になると考えている。

キーデバイスであるバッテリーと電動モータは近い将来、性能、コストがより使いやすい方向に進んでいくものと期待している。経済産業省の電池開発アクションプラン⁷⁾によれば、リチウムイオンバッテリーは十分可能な数値として2015年に150 Wh/kg, 3万円/kWhの開発目標を打ち出している。この数字はバッテリー建機が量産機として商用ベースに乗る可能性の一端を示している。

今後はますます環境問題が厳しくなっていくと予想される。地球環境を守りCO₂削減に貢献するために建設機械の排出原単位を下げる取り組みは必要である。そのためにはバッテリー駆動技術が欠かせないものであると確信している。

6. 謝辞

最後に本開発にあたり、バッテリーシヨベルの共同開発を行った(株)日立産機システム、2WAYシヨベルの共同開発を行った鹿島道路(株)の関係者の方々のご尽力と、御指導、御助言を頂いた関係各位の方々に深謝申し上げます。

JICMA

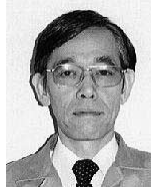
《参考文献》

- 1) GIO：日本の温室効果ガス排出量データ（1990～2005）
- 2) 桜田明彦・牧人由美，他1名：建設施工の地球温暖化対策と建設機械の排出ガス対策，建設の施工企画，[665]，(2005.7)
- 3) 国土交通省：社会資本整備審議会第4回環境部会資料2
- 4) 橋口和文・高野光司：CNGエンジン搭載ホイールローダの開発，建設の機械化，(2002.4)
- 5) 河野利宏：電動機駆動建設機械の導入事例，建設の施工企画，[665]，(2005.7)
- 6) 木村利宏・鈴木泰：2WAYエコシヨベルの開発（バッテリー型油圧シヨベル），建設施工と建設機械シンポジウム論文集，(2007.10)
- 7) 経済産業省：次世代自動車用電池の将来に向けた提言，新世代自動車の基礎となる次世代電池研究会，(2006.8)

【筆者紹介】



大平 修司（おおひら しゅうじ）
日立建機株式会社
事業戦略室
主任技師



落合 正巳（おちあい まさみ）
日立建機株式会社
技術開発センター
主管研究員



木村 敏宏（きむら としひろ）
日立建機株式会社
商品開発事業部
開発設計センター
主任技師

建設の施工企画 2005年バックナンバー

平成17年1月号（第659号）～平成17年12月号（第670号）

1月号（第659号）

建設未来特集

6月号（第664号）

建設施工の環境対策特集

10月号（第668号）

海外の建設施工特集

2月号（第660号）

建設ロボットとIT技術特集

7月号（第665号）

建設施工の環境対策—大気環境特集

11月号（第669号）

トンネル・シールド特集

3月号（第661号）

建設機械施工の安全対策特集

8月号（第666号）

解体・再生工法特集

12月号（第670号）

特殊条件下での建設施工機械特集

4月号（第662号）

建設機械施工の安全対策特集

9月号（第667号）

専門工事業・リースレンタル特集

■体裁 A4判

■定価 各1部840円
(本体800円)

5月号（第663号）

災害復旧・防災対策特集

■送料 100円

社団法人 日本建設機械化協会

〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-8（機械振興会館）

Tel. 03 (3433) 1501 Fax. 03 (3432) 0289 <http://www.jcmanet.or.jp>