

バッテリー駆動式ミニショベルの開発

PC30E-5

永 嶋 芳 明・野 村 真・広 田 崇

近年、各地で熱波や集中豪雨、冷夏、暖冬などの異常気象が原因と思われる自然災害が多くなってきており、これらは石炭や石油などの化石燃料を燃やしエネルギーに変換する際に発生するCO₂による地球温暖化の影響と考えられている。

建設業界でも環境に対する関心が高まってきており、建機の稼働中のCO₂排出量低減が求められている。また、住宅地や屋内で稼働することが主流であるミニショベルのユーザからは排気ガスや騒音の問題改善を求める声も多い。

本稿ではこれまで培ってきたハイブリッド建機やバッテリーフォークリフトの技術をベースに、エンジン式ミニショベルと同等の掘削性能を発揮しつつ、使用中のCO₂排出量の低減を可能とし、排気ガス“ゼロ”や騒音の大幅低減を実現した電動式ミニショベル「PC30E-5」（以下「バッテリー駆動式ミニショベル」という）を開発し、2020年春に市場導入したのでその概要をここに報告する。

キーワード：ゼロエミッション、排気ガス、排熱、騒音、バッテリー駆動式ミニショベル、環境、安全

1. はじめに

政府は温室効果ガス排出量を2030年度までに2013年度比で46%以上削減する目標を打ち出し、私たちの生活も脱炭素社会に向けた活動が浸透し始め、再生可能エネルギーを活用し、排気ガスの発生が少ない電気自動車やハイブリッド自動車へ徐々にシフトするなど生活環境が変化している。

建設業界においても、ユーザの環境に関する意識は高く、建機のライフサイクルでのCO₂排出量の大半を占める、現場での稼働中のCO₂排出量の削減が求められている。

また、ミニショベルは公園や住宅地、管工事など、私たちが日常生活している環境の周辺で稼働することが主である。動作している車両のすぐそばに別の作業員がいるような状況もよく見られる。そのため、排ガス、騒音、排熱の発生は「周辺住民からの苦情」や「健康被害」の原因になりやすく、ユーザや車両メーカーにとって長年の課題でもあった。

本稿で紹介するバッテリー駆動式ミニショベルは、ハイブリッド式油圧ショベルやバッテリーフォークリフトで培われた技術をベースとしたクリーンで静寂性に優れた電動式ミニショベルである（図—1）。更に再生可能エネルギーなどの電源を組み合わせ使用すこ

とで、ライフサイクルでのCO₂排出量を大幅に低減可能である。また、“排気ガスゼロ”や騒音・排熱の低減を実現することで作業現場の安全性・環境を改善するだけでなく、オペレータのストレス低減にもつながる。



図—1 バッテリー駆動式ミニショベル

2. 車両の概要と特長

(1) 車両概要（表—1）

本稿バッテリー駆動式ミニショベルはエンジン式ミニショベルPC30MR-5（以降、エンジン式ミニショベルという）をベースに、内燃装置を電動モータに置き換え、燃料をイメージメンテナンスバッテリーに置き換えた車体で構成されており、油圧システムは従来機と同じ

構成にすることにより、従来機と遜色のない操作性と作業性や耐水性を実現し、より優れた耐塵性を実現した。

車体を駆動するイメージメンテナンスバッテリーはシール式鉛電池である。

表一 主な仕様

項目	単位	バッテリー駆動式 ミニショベル
全長	mm	4,950
全幅	mm	1,740
全高	mm	2,580
機械質量	kg	4,730
後端旋回半径	mm	1,420
モータ出力	kW	18.2
バッテリー容量	kWh	36

(2) 特長

(a) 環境対応

- ①作業現場での排気ガス“ゼロ”
- ②車体／周囲騒音を大幅低減
- ③排熱低減

(b) 作業性

- ①エンジン式ミニショベルと遜色ない作業性
- ②稼働現場に合わせた2タイプの充電方式
 - ・車載式普通充電器
 - ・可搬式急速充電器

(c) 安全性・信頼性

- ①信頼性に優れた高電圧変換コンポーネント
- ②イメージメンテナンスバッテリー
- ③充電プラグの二重監視
- ④防水性・耐水性

(d) 整備性

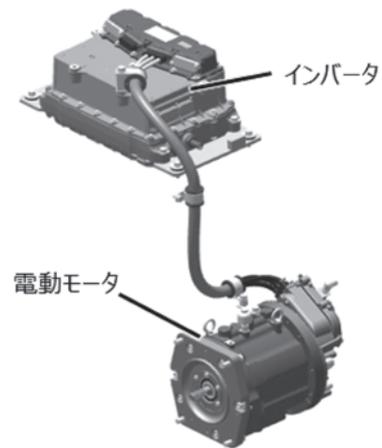
- ①高電圧部を完全分離
- ②日常点検、定期メンテナンスを大幅削減

3. 主要性能

(1) 環境対応

エンジン式ミニショベルが化石燃料を動力源とするエンジンを用いて油圧ポンプを駆動しているのに対し、電気駆動の永久磁石モータにより油圧ポンプを駆動している。この電動モータは、ハイブリッドショベルの旋回モータをベースとして開発したものである。

この電動モータは、バッテリーの電力を電力変換する装置であるインバータによって、その回転数・トルクを制御している（図一2）。本インバータも電動モータ



図一2 インバータ／電動モータ

と同様、ハイブリッドショベルの技術を応用した社内開発品である。

(a) 作業現場での排気ガス“ゼロ”

本稿バッテリー駆動式ミニショベルが稼働時に消費する電力を生成する際に発生するCO₂排出量は同クラスのエンジン式ミニショベルに比べ約40%低減される（表一2）。脱炭素社会に貢献するだけでなく、バッテリー駆動式ミニショベルは、電動モータ駆動のため、稼働時に車両から排出されるガスが“ゼロ”になる。稼働時の排気ガス“ゼロ”は、クリーンな作業環境を作り出すことができ、換気が必要な密室作業や車両周辺の人手作業員の健康被害の防止に役立ち、現場の負担が軽減される。

表一2 排出ガスの比較

項目	バッテリー駆動式 ミニショベル	エンジン式 ミニショベル
規制（出力区分）	-	国土交通省 排ガス3次規制 (8～19kW)
Nox(窒素酸化物) NMHC(非チタン酸化水素)	0	7.5 (Nox + NMHC)
CO(一酸化炭素)	0	5.0
PM(粒子状物質)	0	0.4
ディーゼル黒煙	0	40%

CO₂排出量：40%減（令和2年の排出係数で算出）

(b) 車体／周囲騒音を大幅低減

エンジンに代わり電動モータを搭載したことで、エンジンによる騒音がなく、圧倒的に騒音を低減した。

油圧システムは変更していないため、オペレータに聞こえるポンプリリーフ時の騒音は同レベルであるが、作業時で4dB、アイドリング時で6dB以上低減した。これは大声で話す必要があったレベルから普通

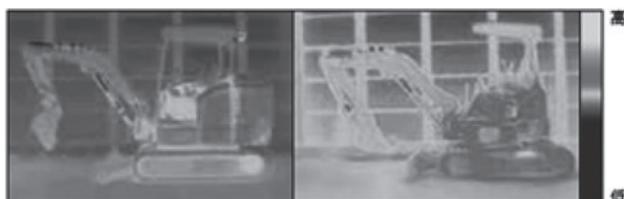
の声で話せるレベルに匹敵し、オペレータの作業環境は大幅に改善される。また車体周囲の騒音も約5dB低減され、場所によっては13dBもの差があり、40mほど離れると静寂な住宅地の昼間と同等の騒音になり稼働していることがわからないレベルになる。

(c) 排熱低減

ミニショベルは車体を小さくするため、一番の熱源であるエンジンを運転席下に配置する構造であり、運転席が窓ガラスなどで囲われていないキャノピーが主流である。そのためオペレータは熱の影響を受けやすく作業中のストレスがかかりやすかった。これに対し、本稿バッテリー駆動式ミニショベルは電動モータで油圧ポンプを動作させているため発熱量が少なく運転席や車両周辺の熱の影響が小さくなる。

図-3はバッテリー駆動式ミニショベルとエンジン式ミニショベルを外気温10℃で一定時間同一作業したときの状況である。

エンジン式ミニショベルは車両全体の温度が高いだけでなく周囲温度までも上昇させてしまうが、バッテリー駆動式ミニショベルの排熱が少ないことは明確である。



バッテリー駆動式ミニショベル エンジン式ミニショベル

図-3 排熱比較

(2) 作業性

(a) エンジン式ミニショベルと遜色ない作業性

本稿バッテリー駆動式ミニショベルはエンジン式ミニショベルと同じ油圧システムを、エンジンではなく電動モータで駆動している。制御系については、エンジン式ミニショベルでは、「車体コントローラ」と「エンジンコントローラ」でポンプ制御とエンジン制御を実現していた。バッテリー駆動式ミニショベルでは、「エンジンコントローラ」の代わりに、高電圧系を制御する「電気コントローラ」と電動モータを制御する「インバータコントローラ」を設けて同等の作業性を実現した。運転操作もエンジン式ミニショベルと変わらない。「作業モード選択」によって長時間稼働とパワフルな作業を選択することができる。また作業機レバー中立時に電動モータ回転数を自動的に低減する「オートデセル」機能や、設定した時間ロックレバーがロック

状態になると自動的に電動モータが停止する「オートアイドルストップ」機能を備えており、消費電力の低減をはかることができる。

(b) 稼働現場に合わせた2タイプの充電方式
夜間などの休車中に時間をかけてバッテリーを満充電にする普通充電と、稼働時間の長い現場などで昼休みなどの休憩時間に短時間でバッテリー容量の80%まで回復できる急速充電を用意した(図-4)。

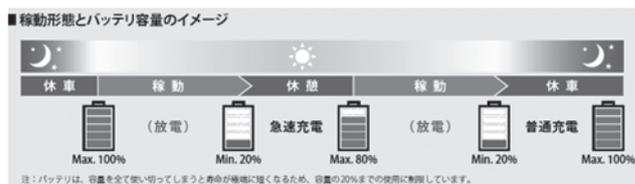


図-4 充電パターン

普通充電は、家庭用の单相200Vを電源とし、車載の普通充電器で充電する。急速充電は、電気自動車用で一般的なCHAdeMO(※1)方式を採用した(写真-1)。

普通充電、急速充電とも電気自動車と同様の操作で充電を開始することができる。

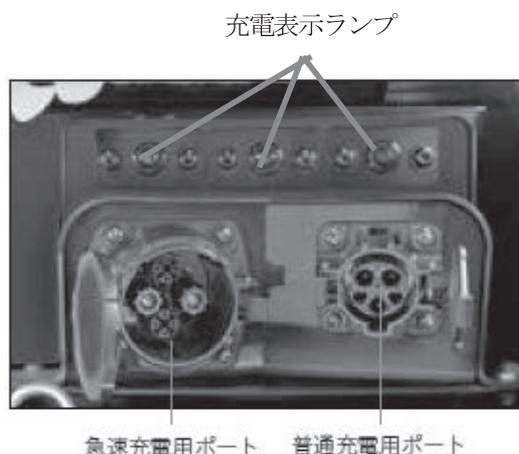


写真-1 充電ポート

①車載式普通充電器

家庭用電源からの充電を可能とし、安全に充電制御を実施するための特許を出願中であり、定電流充電および定電力充電を行うことを可能とした。

自社で設計した力率改善回路とDC/DCコンバータの二段構成としており、EN61204-3の欧州EMC規格にも適合させている。

力率改善回路は、普通充電器を高調波イミュニティ規制へ適合させ、DC/DCコンバータは、バッテリーの幅広い電圧範囲にて電流・電圧制御を可能とした。

また、系統の電力異常に対して、フィードフォワード制御を採用することで、充電品質のロバスト性を高めた。

②可搬式急速充電器

バッテリーの消費量はその日の使用頻度や作業負荷によってかわるため、フル充電状態で稼働し始めてもバッテリー切れによる不安はつきものである。そのような不安を払拭するため、昼休みや休憩時間を活用して充電が行える急速充電タイプを準備した。

電気自動車用の急速充電器はサービスエリアや商業施設駐車場などに設置してあることが普通であるが、ミニショベルの稼働現場は日々移動するため車両とともに移動可能な可搬式急速充電器を準備した。充電時の電力を20kW以下にすることにより充電器の固定を不要にした（写真—2）。



写真—2 可搬式急速充電器

※1 CHAdeMOはCHAdeMO協議会の登録商標

(3) 安全性・信頼性

(a) 信頼性に優れたパワーデリバリユニット

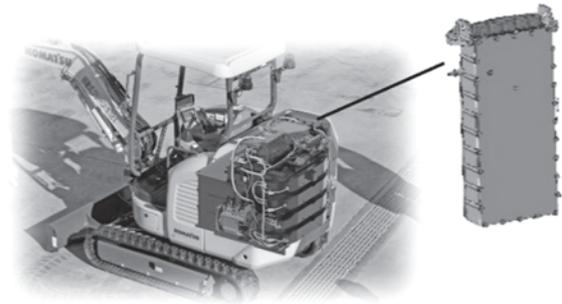
本稿バッテリー駆動式ミニショベルに使用する高電圧部品は、建設機械の振動や、耐水性、など過酷な使用条件下でも、電氣的に安全に機能するよう、自社で新開発したパワーデリバリユニットに搭載した。

パワーデリバリユニットは、上記の普通充電器のほかに、電装部品用コンバータや、高電圧の切り替えを行う高電圧制御回路、絶縁劣化検出回路を内蔵している（図—5）。

電動部品用コンバータは、電動車がエンジンの代わりに電動モータを動力源とするため、電装部品用バッテリーを充電することができる。

高電圧制御回路は、稼働中は、電動モータを制御するためのインバータへバッテリーの電力を分配し、充電中は、周囲の安全を担保するため、電動モータが駆動しないよう、バッテリー電力を内部で遮断する機構を有している。

絶縁劣化検出回路は、ハイブリッドショベルで車載していたものをベースに検出レベルを改善して電気自



図—5 パワーデリバリユニット

動車と同等とし、絶縁劣化を確実に検出・通知するシステムとした。

(b) イージメンテナンspbatteryを採用

バッテリーフォークリフトに搭載されており、安全性について市場実績の高いイージメンテナンspbatteryを採用した（図—6）。イージメンテナンspbatteryは作業中の過酷な使われ方に耐えられるとともに、従来の液式鉛バッテリーで必要であった面倒な補水が不要であるのでメンテナンス性がよく、また充電中に発生するガスが内部で水に還元されるため安全性にも優れている。



図—6 バッテリー Ass'y

バッテリー車両での一般的な懸念項目として、長期間の使用に伴うバッテリー容量の低下があげられる。鉛バッテリーの場合、「サルフェーション（充電不足や過放電の繰り返しによるバッテリー内の極板に硫酸鉛が蓄積される現象）」によって、化学反応が阻害されバッテリー容量が低下することが知られている。「サルフェーション」の対策としては、硫酸鉛を極板から除去する押込充電を行う必要がある。

しかし、押込充電＝過充電を頻繁に繰り返すと活物質や格子が劣化し、こちらもバッテリー容量の低下につながる。

最適な状態でバッテリーを使用するため、バッテリー残量、放電量、充電量、温度などのバッテリー状態や、充電回数、充電時間などの充電状況を取得・解析し、充

電パターンのコントロールを実施するようにしている。

また、遠隔地でも、CO₂ 排出量，ランニングコストを管理，確認することができ，よりバッテリーを長持ちさせるための情報も活用することができる。

(c) 充電プラグの二重監視

普通充電，急速充電とも，電気コントローラとインバータコントローラの2つのコントローラにより充電プラグの接続状態の監視を行っている。

稼働中に充電プラグが接続された場合には電動モータを確実に停止し，充電中においては電動モータへバッテリーの電力が供給されない仕組みとすることで，安全性を担保している。

(d) 防水性・耐水性

バッテリー・車載ハーネス・コネクタ等の主要な電装品には水が入り込まない構造とすることで，エンジン式ミニショベルと同等の環境下でも稼働することを可能にした（写真—3）。



写真—3 社内試験風景

(4) 整備性

(a) 高電圧部の分離

日常点検部を前方に集中させることにより，メンテナンスに要する時間を短縮するとともに高電圧部は車体後方に集中配置し，日常電源部と完全に分離した構造であり，技能資格者以外がアクセスできない構造で安全なメンテナンスが可能である（図—7）。

(b) 日常点検，定期メンテナンスを大幅削減

エンジンや燃料に関する項目が無いため，日常点検項目や定期メンテナンス項目が大幅に削減された（表—3）。

点検時間の削減だけではなく，エンジンオイルの交換が無くなることにより環境への負荷も低減される（表—4）。



図—7 メンテナンス

表—3 日常点検表

【日常点検項目】(9→5項目) ●：実施要，－：不要

交換部品	バッテリー駆動式 ミニショベル	エンジン式 ミニショベル
燃料タンク混入水，沈殿物排出	－	●
ダストインジケータ点検	－	●
ウォータセパレータ点検， 水抜き，沈殿物排出	－	●
作動油タンクの油量点検，補給	●	●
冷却水量の点検，補給	●	●
電気配線の点検	●	●
燃料量（バッテリー残量）の点検	●	●
ホーンの点検	●	●
フロアチルト固定ボルトの点検	－	●

表—4 定期交換部品表

【油脂類交換部品】(9→6項目) ●：実施要，－：不要

交換部品	推奨 交換 時間 (h)	バッテリー 駆動式 ミニショベル	エンジン式 ミニショベル
グリス	300	●	●
エンジンオイル	500	－	●
エンジンオイルフィルタ	500	－	●
燃料フィルタ	500	－	●
作動油タンクブリーザ	500	●	●
ファイナルドライブ ギアオイル	1,000	●	●
作動油フィルタ	1,000	●	●
作動油タンクストレーナ	2,000	●	●
作動油	2,000	●	●

4. 市場からの反響

2020年春より多くの業種のユーザの現場で稼働し始め、ねらいでもあった「ゼロエミッション」、「騒音・排熱」、「エンジン振動」は現場環境の改善だけではなく、現場の安全性や作業効率にも寄与する結果となっている。

(1) 騒音低減

オペレータは車両周辺で作業する作業員の安全を確保しながら車両を操作する必要があり、これまでクラクションやブザーなどを用いて注意喚起を行っていた。

電動化したことによりエンジン騒音がなくなったことで、特に屋内作業では反響音も低減し、作業環境が改善するだけでなく、オペレータと車両周辺の作業員の会話でのコミュニケーションも容易になり、ストレス緩和にも効果があった。

(2) 排熱

付帯設備や作業員の確保などの対策を施さずに済むため屋内の解体現場や果樹園、造園現場などの排熱による悪影響を懸念していた現場で稼働し、オペレータの健康被害を改善、屋内作業空間の温度上昇の抑制、車両周辺にある樹木枯れなどの対策にも効果があった(写真—4)。



写真—4 作業現場での稼働風景

5. おわりに

本稿で紹介したバッテリー駆動式ミニショベルは2019年ドイツ・ミュンヘンで開催された建設機械の見本市である「Bauma2019」に出展し、多くのお客様から電動化に対する期待の声を頂いた。展示会全体としても電動化に対する出展は多く、業界全体でも電動化が進んでいることを肌で感じた。

本稿では化石燃料を用いない電気エネルギーで駆動するミニショベルについて紹介した。しかし建設現場での稼働時間に大きく影響するバッテリーや電力インフラの普及についてはまだまだ課題が残されている。

今後、このバッテリー駆動式ミニショベルで得られた技術や課題を多様な電動建機の開発に展開し、建設業界での環境改善に貢献していきたい。

JICMA

【筆者紹介】

永嶋 芳明 (ながしま よしあき)
 コマツ
 開発本部車両第四開発センター
 ミニ建機開発グループ
 チームマネージャー



野村 真 (のむら まこと)
 コマツ
 開発本部 ICT システム開発センター
 電動化システム開発グループ
 シニアエキスパートエンジニア



広田 崇 (ひろた たかし)
 コマツ
 開発本部電動化開発センター
 電動化企画グループ
 エキスパートエンジニア

