

## 技術論文

## フル電動ミニショベルの研究

## Study of Full Electric Mini Excavator

栗原 一 浩  
Kazuhiro Kurihara  
奈賀 宏 司  
Hiroshi Naka  
設 樂 佳 史  
Yoshifumi Shitara  
飯 谷 英 史  
Hideshi Iitani

カーボンニュートラルに向けた活動のなか、未来の都市型建機をイメージしたフル電動ミニショベルのコンセプトマシンを製作した。従来の機械と異なり、油圧を使わず電気のみで駆動するため、環境にやさしい機械である。また、誰もが馴染みのあるデバイスを使った遠隔操作や斬新なデザインにより魅力ある機械をめざした。

In the midst of activities toward carbon neutrality, we have created a concept machine of a full electric mini excavator with the image of a future urban construction machine.

This machine is eco-friendly because, unlike conventional machines, it is driven only by electricity without using a hydraulic system.

In addition, we aimed to create an attractive machine through teleoperation using devices that everyone is familiar with and through with a novel design.

*Key Words:* フル電動ミニショベル, 遠隔操作, 電動シリンダ

## 1. はじめに

世界的な脱炭素化の取り組みが進む中、都市部など“人”に近い現場で使われるミニショベルは、車体の周囲に対しても環境負荷の低減が求められている。そこで“電動化”の技術をより活用し、環境への影響を大幅に減らす“ミニショベル完全電動化”のプロジェクトを立ち上げ、研究に着手した。

本プロジェクトでは、世の中の既存技術と、新たに開発した新技術を組み合わせたコンセプトマシンを短期間で製作し、実機による検証や課題の抽出を目標として2019年1月～6月まで活動。コンセプト車は市場で最もニーズが多い3トンクラスミニショベルの車格とし、コマツがこれまで培ってきたバッテリー式のフォークリフトやミニショベルの技術をベースに、リチウムイオンバッテリーや電動シリンダなどの新たな技術を搭載、フル電動化により“排気ガスゼロ”を実現するとともに、騒音、排熱を大幅低減するなど環境に優しい機械であるほか、エネルギー効率の向上や油圧機器を使用しないことによるメンテナンスフリーを実現した。加えてオペレータ非搭乗式とすることで、車体デザインや運転操作に関して、従来にない新しい形を提案。

これらの特長により現場での安全で生産性の高い作業の実現をねらいとした。

近年は建設業界での人手不足も深刻な課題となっている。この機械により稼働現場での新しい働き方を提示し、将来課題の解決の一端を担えればと考える。



図1 フル電動ミニショベル

表1 主な仕様

項目	単位	仕様
バケット容量	m <sup>3</sup>	0.09
輸送時寸法	全長	mm 4750
	全幅	mm 1740
	全高	mm 1685
後端旋回半径	mm	970
モータ搭載数	個	走行：2, 旋回：1, 作業機：4
バッテリー容量	kWh	31.5

## 2. 研究のねらい

現在市場にリリースされている電動ショベルは、エンジンを電動モータに置き換えたものが一般的で、アクチュエータには従来の油圧シリンダや油圧モータを使用している。

フル電動ミニショベルは、すべてのアクチュエータに電動モータを使用した機械であり、排ガスも出ず、騒音や排熱も少ないうえで作動油を使わないことから、より環境にやさしい機械である。また、油圧を使わないため静音性や効率にも優れている。

運転操作に関しては、オペレータ非搭乗式の遠隔操作を採用することにより、屋内解体や災害救出など、閉鎖された危険な現場での作業を容易にするなど、機械から離れ快適な場所より操縦することができる、オペレータにとって安全でストレスフリーの機械である。

また、すべてのアクチュエータを電動化して電子制御することにより、機械は精度の高い正確な動きをすることが容易になった。これによる将来の自律化・無人化などの技術展開も容易になると考えている。

## 3. 車両の構成

### 3.1 システム構成の概要

コンポーネントの電動化と、コックピットがなくなることで部品点数は従来機より大幅に削減することができた。特に従来ミニショベル構造で大きなスペースを占める油圧ホースが無くなり、コンポーネントの配置の自由度も増したことから、大容量の蓄電池を搭載しているにも関わらずエンジン車よりもコンパクトな車体となっている。

また機器の冷却には電動ファンなどによる空冷システムを採用した。作動油を使わないことや機器の冷却に冷媒を使わないことでメンテナンスフリーとなり、同時にシステム構成も簡素化することが可能となった。(図2)

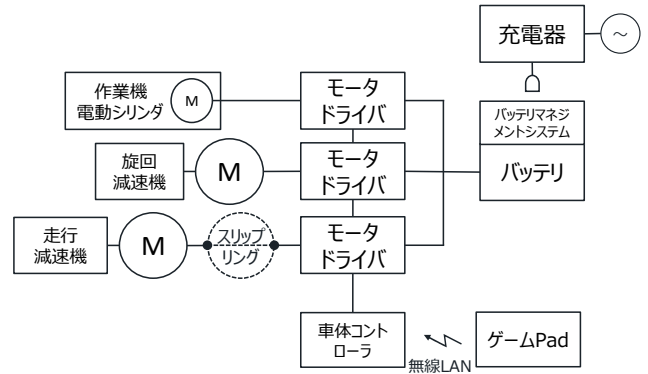


図2 システム構成の概要

### 3.2 車両の構成コンポーネント

#### 3.2.1 電動シリンダ

フル電動化を実現するために一番苦労したのが作業機の構造である。フル電動ミニショベルでは油圧シリンダに代わり、コマツで新規開発した電動シリンダを使用している。(図3)

車体には作業機の駆動用としてブーム、アーム、バケット、スイング用の4つのシリンダを搭載し、電動シリンダのモータは、外部から損傷を受けにくい形で作業機や車体に搭載される。

本シリンダは、駆動用の電動モータと、伸縮する本体、およびそれらをつなぐ減速機で構成される。

これら各要素を直列配置すると、油圧シリンダに比べて全長が長くなり車載が困難になるため、トランスファを介してモータとシリンダを並列に配置した。更にコンパクトに車体に搭載するため、ボトム支持をトラニオン構造とした。

現状の油圧ショベルは作業機ごとに異なるサイズのシリンダを載せている。しかし、本車両は一種類のシリンダで、制御ソフトでストローク量を規制して使う事が可能である。

#### 構成の詳細

- ・ 電動モータ：既製のサーボモータを使用
- ・ 減速機：新規開発、騒音低減の為に、はすば歯車を採用。  
グリス潤滑のため面圧を極端に小さく設定。  
(油浸潤滑の1/5程度)
- ・ ボールネジ：受注生産品を使用
- ・ 伸縮部：新規開発

外側の筒は内圧がないため、跳石で凹まない程度に薄肉に設計、また内側の筒は内圧がないことに加え、座屈荷重には余裕があるため真直度が達成できる程度に薄肉に設計した。

今回開発した電動シリンダは、油圧シリンダに対しては、重たいアクチュエータではあるが、リンクと電動シリンダの組み合わせで発生できるトルクは、回転アクチュエータよりも重量当たりのトルクが大きく、電動アクチュエータのなかでは、比較的軽いアクチュエータにできた。

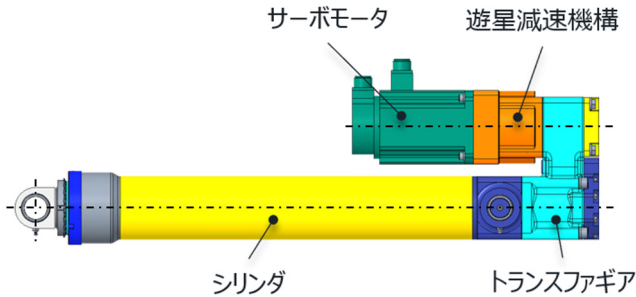


図3 電動シリンダ

### 3.2.2 電動モータ

電動式フォークリフト用として使用している密閉型高効率PMモータをベースとして新規開発した。走行用として左右各1個、旋回用として1個車体に搭載した。(図4)

また減速機も電動モータ用として各部位用に新規開発した。

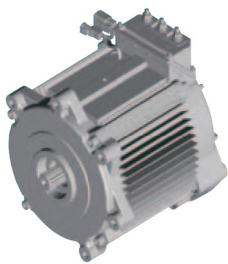


図4 密閉型高効率PMモータ

### 3.2.3 バッテリ、充電器

エネルギー密度が高く、サイクル寿命の長いリチウムイオンバッテリーを新規開発した。セルは安全性の高いリン酸鉄タイプを採用した。(図5)

充放電や電池の状態を監視するバッテリーマネジメントシステム(BMS)も新たに開発、バッテリーパック内に内蔵される。

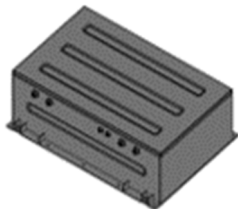


図5 リチウムイオンバッテリーパック

定置式急速充電器は、工場のなどに設置されている三相交流を1次側電源として使用し、約2時間でバッテリーを満充電することが可能である。(図6)

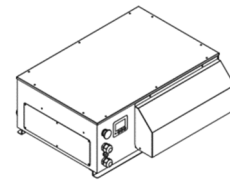


図6 定置式急速充電器

### 3.2.4 スリップリング

回転する上部旋回体から、下部走行体のモータなどへの電力供給と、センサの信号の通信のために搭載される。油圧ショベルの場合スイベルジョイントにより作動油を行き来させるが、電動ショベル用としてそれに代わる機能を持つものである。

下部走行体に搭載された2つの走行モータ用に大きな電力を供給する必要があるため、大容量かつコンパクトなものを開発し搭載している。

## 4. 機械のメリット

今回コンセプトマシンを実際に製作することで、コンセプトの検証や課題の抽出を実施した。そのため、改善を織込みながら、さまざまな試験を繰り返し実施した。(図7)

実用化に向けての課題はあるものの、それ以上に多くのメリットを明確にすることができた。

### 4.1 運転操作

フル電動化により車両の操作性も大きく変わった。

車両の始動時には油圧ショベルのように作動油を温める暖気運転をすることなく、車速や作業機スピードなど即時に十分な性能を発揮することができる。

また車両のスピードや加速性などをモータの制御パラメータの変更により容易に行えるため、オペレータや作業状況に合わせたチューニングを容易に行うことが可能である。

オペレータ非搭乗式を採用し、遠隔操作を採用しているが、車体コントローラと車両の操作デバイスは無線LANによる接続であるため、これまでの機械のように新たな設備や環境を整備することなく、どのような作業環境においてもオペレーションが可能です。また操作デバイスについても、ゲームパッドやタブレットなどオペレータが自由に選択し作業できるほか、車両に乗らずに作業するという新しい働き方を提案することで、オペレータの疲労軽減や作業現場の生産性向上に貢献することが可能となる。

また搭乗式のミニショベルはコンパクトな車体にオペレータの操作スペースを設ける必要があり、十分にスペースが取れないことがあるが、非搭乗式は同時にそういう課題も解決できる。



図7 実機試験の様子



図8 外観デザイン

#### 4.2 デザインとレイアウト

未来の建機をイメージしオペレータ非搭乗式にすることで、電動ショベルのデザインコンセプトをベースに、運転席がないというインパクトを最大限に活かし先進的なデザインとすることが可能になった。

(図8)

デザインのコンセプトは力強さと電動のイメージを融合させた、タフネスイメージである。

電動コンポのレイアウトの自由度が高いことも、この車体デザインの実現に寄与している。このシルエットにより車体が低重心となり安定した安全な作業ができることや、車体全高が低いため、周辺の作業者の視界の妨げになりにくいなど、さまざまな付帯的なメリットも期待できる。

#### 4.3 システム効率

すべてのアクチュエータが油圧を介さず、電気で駆動させることにより、その効率も大幅に改善される。

従来の油圧を介したミニショベルと比較して、アクチュエータをすべて電動化することにより油圧ロスが低減され、システム効率が30%から57%、約2倍に向上することが分かった。(図9)

また車両の減速時や、作業機を下げるときに各電動モータから発生する電力(回生エネルギー)を使ってバッテリーを充電する機能を有効に活用できるのも、大きな特長の一つといえる。

電動ショベルでは、稼働時間を懸念される声が多く聞かれるが、これらの結果により、フル電動ショベルでは従来の油圧式電動ショベルと比較し、同じバッテリー容量であれば2倍の稼働時間を達成することが可能になる。

少ないエネルギーでたくさんの仕事をすることができる、環境に極めてやさしい機械になる。

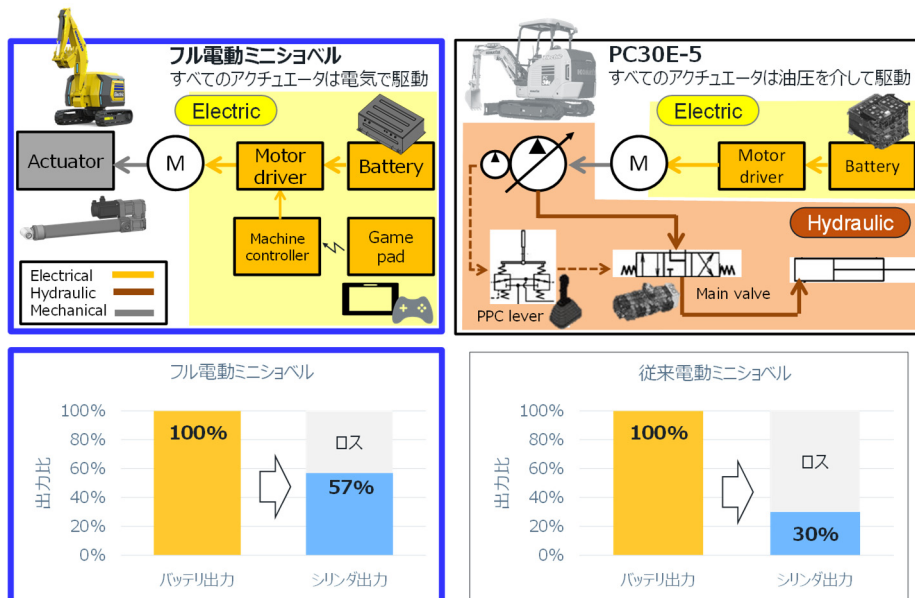


図9 システム効率の従来機との比較  
(ブーム上げ操作時)

#### 4.4 騒音

車両の騒音も従来機より低減される。(図10)

エンジン音や油圧音がないことに加え、電動シリンダの機械音も、静音化の技術により騒音を最小限に抑える設計がされた。

またアイドリング時には、電動モータの応答性の良さから、油圧

シヨベルのようにエンジンや電動モータをあらかじめ回転させておく必要がないのも特長の一つである。

静音化により、住宅地などでの工事の騒音が低減され、オペレータ、作業員、周辺者にとってストレスフリーとなる。

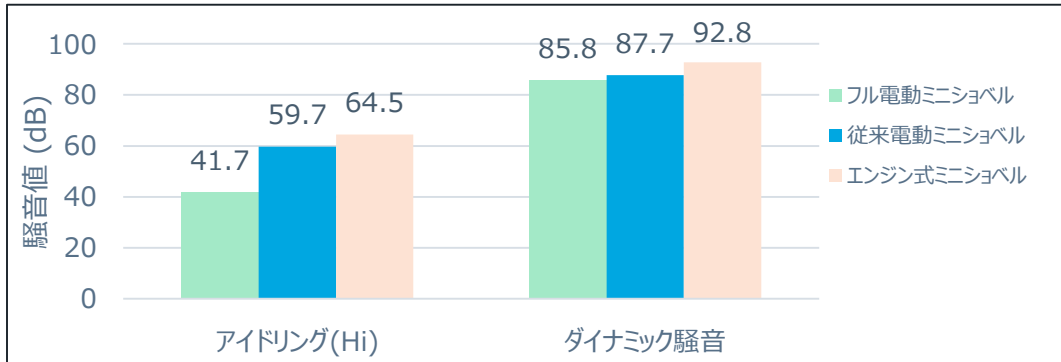


図10 騒音の従来機との比較

#### 5. 稼働現場での活用例

機械の特長を活かし、さまざまな稼働現場での活用が想定できる。解体現場や屋内作業現場、住宅地、災害復旧現場などあらゆる現場での活用が期待できる。



図11 屋内解体現場での活用例 (CG)



図12 住宅地での活用例 (CG)

#### 6. 社外への展示

2021年5月のプレスリリース以降、メディアなどへの紹介や、国内外のさまざまな場所での稼働展示を実施し、多くの方々から反響をいただくことができた。

2022年のドイツbaumaの展示会では、コマツの電動化取り組みの一つとしてアピールした。(図13)



図13 bauma 2022 実機作動展示

#### 7. おわりに

今回のコンセプトマシンの製作により、フル電動化による多くのメリットを確認することができた。同時に課題も明確になったため、引き続き実用化に向けた活動を継続している。

このフル電動ミニショベルにより、将来お客さまとともに安全で生産性の高いスマートでクリーンな未来の現場の実現を目指していきたいと考える。

筆者紹介



Kazuhiro Kurihara  
く り は ら か ず ひ ろ  
栗原一浩 1995年, コマツ入社.  
開発本部 車両第四開発センタ所属



Hiroshi Naka  
な か ひ ろ し  
奈賀宏司 2007年, コマツ入社.  
開発本部 車両第四開発センタ所属



Yoshifumi Shitara  
し た ら よ し ふ み  
設楽佳史 2008年, コマツ入社.  
開発本部 車両第四開発センタ所属



Hideshi Iitani  
い い た に ひ で し  
飯谷英史 1994年, コマツ入社.  
開発本部 油機開発センタ所属

【筆者からひと言】

この活動は、プロジェクトメンバーはもちろんのこと、賛同し協力いただいた部品メーカーや社内の方々、PR活動に協力いただいたの方々など、多くの方々の協力によって実現することができました。活動に関わったすべての方々に感謝申し上げます。

プロジェクト期間中は苦勞もありましたが、展示などで実機を見てもらったときの子供たちの笑顔がとても励みになりました。