

26. バッテリー駆動式油圧ショベルの開発

(株) 日立建機ティエラ ○ 湯上 誠之
(株) 日立建機ティエラ 栗熊 甫
鹿島道路(株) 木下 洋一

1. はじめに

建設施工分野では、地球環境を改善するという視点で、建設機械から排出される排気ガスや低騒音・低振動等の課題を中心に取り組んできた。1997年にはCOP3で採択された京都議定書を契機に「地球温暖化対策推進法」が施工され、建設機械業界も燃費低減、クリーンエネルギー建機の開発・普及が求められている。

自動車業界では、すでにハイブリッド車が実用化され、電気自動車(EV)も量産を開始する段階に来ている。建設機械も同様の流れになっており、各メーカーでハイブリッド建機の量産を始めている。我々も、2006年に5t・7tクラスのバッテリー駆動による油圧ショベル(以下バッテリーショベルとする)を開発・市場投入して現在も稼働中である。

バッテリーショベルの最大のメリットである「排出ガス“ゼロ”」「超低騒音」を活かせる現場は都市土木であり、住宅密集域・人通りの多い道路等で稼働できるミニショベル(車体重量6t未満)が適していると考えられる。

そのような背景の中、更に地球環境改善に貢献すべく、バッテリーショベルのシリーズ化として普及率の高い3.5tクラスのバッテリーショベルを開発したので、本報において報告する。

2. バッテリーショベルの外観及びシステム構成

2.1 外観

図1に本開発のバッテリーショベルの外観を示す。近年、ミニショベルの分野においては車体後方が車幅内旋回可能な後方小旋回型が主流だが、本バッテリーショベルでは、バッテリーを車体後方に搭載する為、後端半径を標準機レベルまで伸ばした。



図1 バッテリーショベルの外観

リアビューミラーを搭載し、後方視界の改善を計った。

周りの作業者にバッテリーショベルが稼働している事を認知させる為、車体後方に回転灯を設け安全対策を行っている。

2.2 システム構成

バッテリーショベルの主要ブロック図を図2に示す。

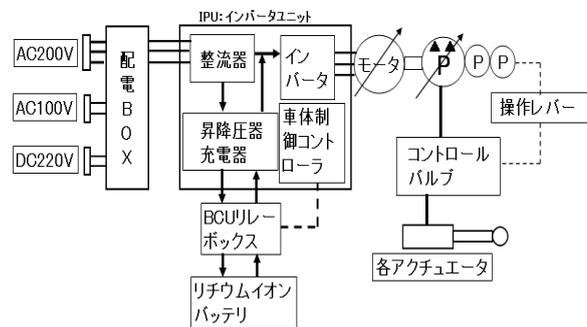


図2 主要ブロック図

入力電源は、AC200V・AC100V・DC220Vの三種類に対応しており、どのような充電環境においても充電が可能である。AC200V・DC220Vでは、充電しながらのモータ駆動も可能である。

配電ボックスには、前出の3電源の入力毎に開閉器を設置しており、入力電源の種類を自動的に認識して制御している。また、AC200V電源には漏電遮断機月開閉器を設け、供給元の電源を保護し

ている。

配電ボックスを通して供給された電源は IPU に入力され、充電時は BCU からの情報に基づき充電電流を制御してリチウムイオンバッテリーの充電を行い、モータ駆動時は、インバータにてモータ電流を制御し駆動している。

3. バッテリシステム用電動デバイス

3.1 IPU (インバータユニット)

IPU (インバータユニット) には、整流器・インバータ部・昇降圧チョッパ・12V 補機用電源・車体制御コントローラを効率よく一つの筐体に配置し、小型化を図っている。また、防水・防塵を達成する為、冷却方式は水冷式を採用している。

電動モータを駆動させる為の IPU への入力電源は、内部搭載リチウムイオンバッテリー、外部からの三相 AC200V 電源、DC220V 電源のいずれかを選択できる。

各々からの入力電源は、IPU 内の昇圧用チョッパで 300V まで昇圧され、インバータを介して電動モータを制御している。

内蔵されている 12V 補器用電源は、作業灯・モニタ・ホーン・回転灯・冷却ファン等の電源として使用される。

車体制御用コントローラでは、BCU からのリチウムイオンバッテリーの情報 (電流・電圧・温度)、油圧センサからの情報を元に、最適なモータ制御・冷却ファン制御を行っている。

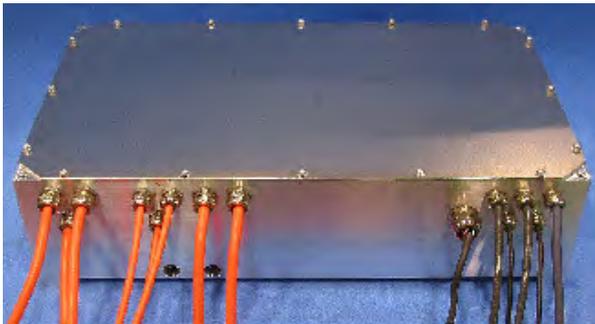


図3 IPU (インバータユニット)

本 IPU は充電機能も備えている。充電電源は、三相 AC200V、单相 AC100V、DC220V の三種類の電源に対応している。上記電源のいずれかを車体の給電コネクタに挿すだけで充電が可能である。

また、三種類の電源は自動に識別され、各電源に相応した適切な充電制御を行っている。

充放電電流・電圧を常に監視しており、過放電・過充電になる前に IPU にて出力制限をかける制御を行っている。

3.2 電動モータ

電動モータは、永久磁石同期モータを採用し、一般的に使われている誘導モータに対して小型化を図っている。また、IPU 同様に冷却方式を水冷式にする事により、同出力クラスのディーゼルエンジンに対し、容量で約 1/4 までコンパクト化でき、ミニショベルという狭い機械の中に搭載する事を可能にしている。



図4 電動モータ (永久磁石同期モータ)

3.3 リチウムイオンバッテリー

本機は、公称容量 90Ah、公称電圧 29.6V のリチウムイオンバッテリーを搭載している。

各バッテリーには、内臓セルの電圧・電流・温度を監視しているセルコントローラを搭載しており、BCU を介して IPU に情報を出している。

また、バッテリー間のケーブル短絡時の対応として、即断ヒューズを搭載し、バッテリーを保護している。

4. バッテリ搭載量の検討

ユーザの要求は、1 回の充電で一日の作業が出来る事を望まれている。従って、まず一日の作業 (ここでは休車も含めて 6 時間とする) をする為に、どれほどの容量のバッテリーが必要か検討を行った。

今回 3.5t クラスのバッテリーショベルを開発するにあたり、リチウムイオンバッテリーが 22 モジュール必要である。

しかし、そのバッテリーの個数で本体搭載を検討した結果、車体の重量バランス及び性能が確保できない為、最終的に 18 モジュールのリチウムイオンバッテリーを搭載する事とした。

また、そのバッテリーモジュール数での連続掘削稼働時間は 4.5 時間と推測した。

5. 主要機器レイアウト

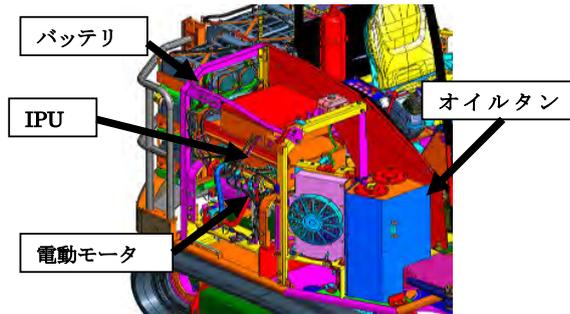


図5 主要機器レイアウト

図5に主要機器レイアウトを示す。車体後方にリチウムイオンバッテリー、車体右方向に電動モータ・IPU・油圧ポンプ・冷却系・オイルタンクを搭載した。

重量物であるリチウムイオンバッテリーを車体後方に配置する事により、従来のカウンタウェイトの役目も果たす事により、車体の安定性向上を担っている。

また、車体の右方向に電動モータ・IPU等の電動デバイスを纏めて配置した事により、集中的に点検する事が可能である。

バッテリー・IPU・電動モータはいずれも防振支持しており、振動が大きい現場においても各電動デバイスを保護できるようにしている。

6. 制御システム

本機では、リチウムイオンバッテリーでの稼働時間を延長させる為、以下の制御を行っている。

① モータ回転制御

回転制御用コントロールダイヤルにて、任意の電動モータ回転数に設定できる。軽負荷作業時は電動モータの回転数を低めに設定して作業する事が出来る。

② オートアイドル制御

操作レバー（フロント作業機・走行等）を動かさない場合、1秒後に電動モータ回転数を 300min^{-1} まで下げる制御であり、例えば作業待ち等に消費電力を抑える効果がある。

操作レバーを動かすと瞬時に電動モータ回転数が復帰するので、使い勝手はいいものになっている。

③ ゲートロックレバー連動モータ制御

ゲートロックレバーを上げると、電動モータも停止させる。運転席から離れる際、キーOFFするまでも無く電動モータを停止させられる。

再度ゲートロックレバーを下ろすと電動モータ

も回転し、作業可能となる。

長時間機械を待機させる時に、キーOFF等の煩わしい操作をさせる事無く電動モータを停止させ、消費電力を抑える事が出来る。

④ Eモード制御

電動モータの回転数の最大値を下げたモード。本機は、標準の電動モータ回転数が $1600\text{min}^{-1}\sim 2400\text{min}^{-1}$ に対して、Eモードでは $1000\text{min}^{-1}\sim 1800\text{min}^{-1}$ としている。

比較的負荷がかからない作業において、電力消費を抑える効果がある。

⑤ 電動ファン制御

本機は、オイルクーラ等の冷却系及び、リチウムイオンバッテリーを冷却する為に、電動ファンを有している。

電動ファンの消費電流を出来るだけ抑える為に、冷却対象（冷却水温度・作動油温度・バッテリー温度）に温度のしきい値を設け、その温度に達するまで電動ファンを回さないような制御を行っている。

7. 電氣的信頼性の考慮

本開発にあたり、電気システムの機能と安全性及び、環境への配慮事項を説明する。

① 配線短絡に対し、遮断機及びヒューズを取り付けて保護している。

② 強電系の電源切換は、リレーと配線によるハードウェアにて行う。

③ 非常停止スイッチを設ける。

④ BCU（バッテリーコントローラ）及び、IPU内臓の制御コントローラより、バッテリー・IPU他各機器の状況を監視し、出力の制限、非常停止を行えるようにしている。

⑤ 感電防止の為、絶縁・接地を実施した。

⑥ IPU・電動モータについて、冷却は水冷式とし、防水コネクタを使用する事で筐体を密閉構造とすることが出来、防水及び防塵、放熱に考慮している。

⑦ リチウムイオンバッテリー搭載部は、防水シート覆う事により防水に配慮している。

⑧ 筐体の接地化、シールド線を採用し、EMC対策を実施している。

8. バッテリー駆動式電動ショベルの効果

8.1 バッテリー駆動における稼働時間

90° 旋回放土モード連続掘削で、約4時間の稼働時間を実現した。これは当初検討した稼働時間とほぼ同等の結果となった



図6 掘削実験

実現場作業においては、常に掘削をし続ける作業はほとんど無く、ほぼ一日の作業を満足できる。

オートアイドル制御、ゲートロック連動モータ制御を合わせて使う事より、効果的にバッテリー消費を抑える事が出来る。

8.2 CO₂削減効果

バッテリーショベル稼働中のCO₂排出は“ゼロ”であるが、充電時に必要になる電力について、発電所にて排出するCO₂排出に換算して検証を行った。

軽油のCO₂排出係数を2.64kg-CO₂/L、電気のCO₂排出係数を0.339kg-CO₂/Kwhで算出した結果、1時間あたりのCO₂排出量はエンジン機に対して約65%の削減が見込める。

バッテリー駆動による電動式油圧ショベルは、地球環境改善を考える上で、非常に効果的な対応と考える。

8.3 騒音

エンジン機と異なり電動モータで駆動する本機は、機械が発する騒音を低く抑える事ができる。

本機ではエンジン機に対し約12dBの騒音低減を可能にした。

都市地域での夜間工事に有効に使う事が出来る。

9. おわりに

本バッテリー駆動式油圧ショベルを開発するにあたり、本論文に記載した以外にも様々な問題を解決し、技術の蓄積を図る事が出来た。

今後は、リチウムイオンバッテリーの性能向上、低コスト化が見込まれ、バッテリー駆動式油圧ショベルの要求が上がってくる事を期待している。

我々は、今回蓄積した技術を更に深め、それに答えられるように努力していく次第である。

参考文献

- 1) 瀧下芳彦：電動機駆動式ショベルの紹介，機械化林業，No.661，P25～29，2008年

- 2) 瀧下芳彦：日立電動機駆動ショベル，港湾荷受，P100～104，2009年
- 3) バッテリー式油圧ショベル，月刊建設機械，2010年
- 4) 湯上誠之：バッテリー駆動による電動式ショベル，フルードパワーシステム誌，Vol.42 No.3，P23～25，2011年