

# Li-ionバッテリー搭載フォークリフトの開発 Development of Fully Integrated Li-ion Battery Forklift Trucks

梶山 英訓<sup>\*1</sup> 丸山 均<sup>\*1</sup> 吉田 真継<sup>\*1</sup> 三竿 洋一<sup>\*1</sup> 藤原 英晃<sup>\*1</sup>  
 Hidenori Kajiyama Hitoshi Maruyama Masatsugu Yoshida Yoichi Misao Hideaki Fujiwara

\*1 トヨタL&Fカンパニー 製品開発部

**要旨** 脱炭素社会の実現を目指して、従来の鉛バッテリー同様の使い勝手を確保しつつ、これまでの電動車に対するお客様の困りごとや課題を解決できる新たなソリューションを提案するために、フォークリフト専用のLi-ionバッテリーを新規開発した。また、主要4機種種のフォークリフトに対して、本Li-ionバッテリーの搭載開発を行ったので紹介する。

キーワード: フォークリフト、Li-ionバッテリー、電動車、脱炭素

**Abstract** Aiming to achieve carbon neutrality, we have developed forklifts equipped with Li-ion batteries (4 major models) so that we can propose new solutions that can solve customers' problems and issues related to forklift trucks. This article introduces a large-capacity Li-ion battery exclusively for forklift trucks, which is installed in the truck under development and is linked with vehicle communication to ensure usability similar to that of the lead battery.

Keywords: Forklift, Li-ion Battery, Electric Forklift, Decarbonation

## 1 はじめに

当社では、2011年2月に環境面での具体的な行動指針を示した、「グローバル環境宣言」のもと、第七次環境取組みプラン(2021~2025年度)の方針、「製品技術開発によるCO<sub>2</sub>排出量の削減」に対して、電動化を重視した製品技術開発を推進している<sup>[1]</sup>。

フォークリフトはエンジン式と電動式があるが、近年、日本国内におけるフォークリフトの電動車比率は60%を超え、拡大傾向が続いている(図1)。

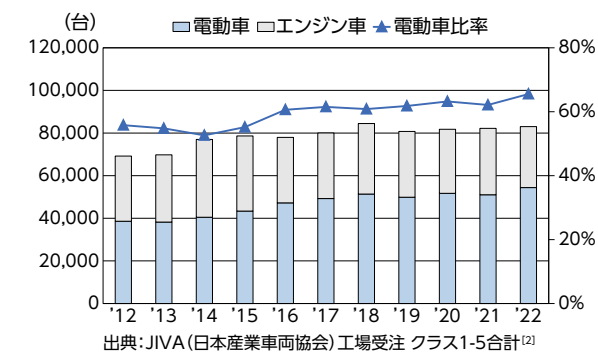


図1 日本国内のフォークリフト工場受注推移  
Fig.1 Forklift Truck Plant Orders in Japan

その中で、さらに電動車比率を高めるため以前より電動フォークリフトに搭載されている鉛バッテリーの課題であるバッテリーの長寿命化、充電時間の短縮、バッテリー液の補水作業不要などが実現でき、省エネルギー性能を追求したLi-ionバッテリー

を新規開発し、主要4機種(図2)に搭載した。本稿では、新規開発したLi-ionバッテリーの概要を紹介する。



図2 Li-ionバッテリー搭載フォークリフト<sup>[3]</sup>  
Fig.2 Forklift Truck with Li-ion Battery

表1 ラインアップ  
Table 1 Lineup

機種	バッテリー電圧(V)	バッテリー容量(Ah)		
		228	456	604
gene B	51.52	○	○	○
Ecore		-	○	○
8FBN		-	○	○
Rinova		○	○	-

○:設定あり、-:設定なし

## 2 開発のねらい

これまでの電動フォークリフトに搭載されている鉛バッテリーと同じコンパートメントに搭載(図3)することで、Li-ionバッテリーの特徴を活用

しつつ、鉛バッテリー搭載車同様の低重心による安定感、足元スペースの広さを確保できることを目標に開発に取り組んだ。

Li-ionバッテリー開発の主なねらいは下記5項目となる。



図3 Li-ionバッテリー搭載フォークリフト (gene B)  
Fig.3 Forklift Truck with Li-ion Battery (gene B)

### 1) バッテリー長寿命化

汎用Li-ionバッテリーの中で、長いサイクル寿命を有するリン酸鉄Li-ionバッテリーを採用した。また、鉛バッテリーに対して最大で約3倍の寿命(図4)を目指し、充放電電量を無駄なく使用できる最適な充放電制御システムを採用して、バッテリーの寿命を延長させた。

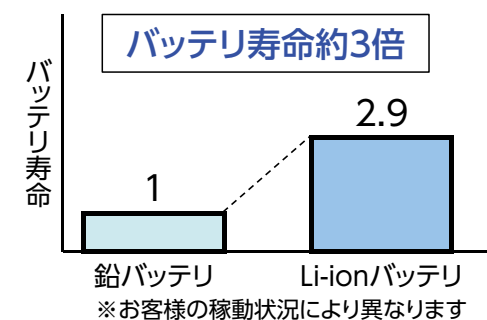


図4 バッテリーのサイクル寿命比較  
Fig.4 Comparison of Battery Cycle Life

### 2) バッテリーのメンテナンス時間低減

バッテリー液の補水作業やバッテリーのメンテナンス時間低減と費用削減に貢献するため、長寿命、高効率なLi-ionバッテリーを採用した。また、バッテリー構造も防水/防塵性を高めてIP65<sup>[4]</sup>の防水/防塵構造にした。

### 3) 充電時間の短縮

Li-ionバッテリーは鉛バッテリーと比較して充電効率が良く、充電時間の短縮(図5)が可能である。この特性を活用し、充電器を高出力化することで休憩時間等での充電量を増加させ、バッテリー交換なしの連続稼働を可能にした。また、予備バッテリーも不要になるので、バッテリーの保管スペース削減にも貢献した。

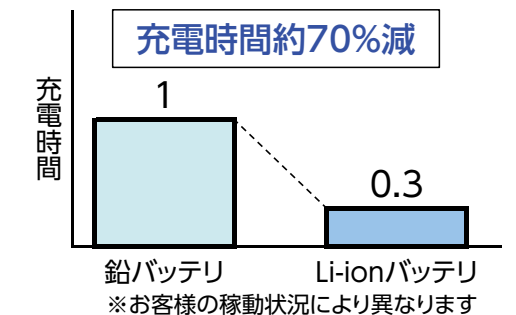


図5 充電時間比較  
Fig.5 Comparison of Charging Time

### 4) 省エネルギー化

Li-ionバッテリーにバッテリーマネジメントユニットを搭載して、Li-ionバッテリーの特性に適した充電制御を行い、鉛バッテリーと比較して、電気代を約20%低減(図6)した。

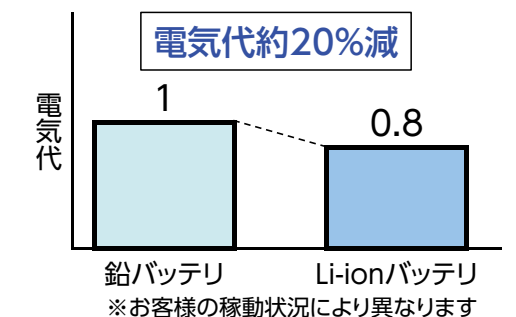


図6 電気代比較  
Fig.6 Comparison of Electricity Bills

### 5) Li-ionバッテリーと車両の協調制御

Li-ionバッテリーの内部にバッテリーの状態を常に監視するバッテリーマネジメントユニットを搭載し、車両のコントロールユニットと通信して情報交換することにより、車両をバッテリーの状態に即した最適な性能で稼働させることができる。また、鉛バッテリー搭載車と同様にバッテリーの状態を車両ディスプレイに表示(図7)することで、お客様にバッテリーの状態をお知らせして車両を長期間にわたってご使用いただけるようにした。



図7 車両ディスプレイ表示  
Fig.7 Vehicle Display

### 3 主な開発内容

#### 1) 鉛バッテリーとの互換性

これまでの鉛バッテリーと同じコンパートメントに搭載するためには、Li-ionバッテリーの体格、重心を鉛バッテリーと同等にする必要があるが、Li-ionバッテリーは質量エネルギー密度が高いため、新たに重量調整用ウエイトが必要となり追加した。そのため、重量調整用ウエイトの配置を工夫し、低重心化とバッテリー容量の最大化の両立を行った。また、バッテリーケース内の構造はモジュールと電装部品が、走行や荷役時の振動衝撃に耐えられるように、強度解析と試験による検証を繰り返して、取付形状を作りこんだ。放熱設計と組付性、および、機種間の部品共通化も横にらみながら、搭載レイアウト設計の最適化を行うことで、車両搭載の主要コンポーネント部品は鉛バッテリーと共通の部品を使用でき、車両開発の期間短縮にも貢献できた。

#### 2) 充電の作業性向上

休憩時間等の充電頻度が増加することが予想され、充電の煩わしさを低減する必要があった。鉛バッテリーと異なり、Li-ionバッテリーの充電中に水素が発生しない特徴を活かし、充電専用インレットをバッテリー上部に配置することで、車両右側の専用扉より充電できる構造(図8)にした。これにより、充電時にバッテリーフードの開放を不要とした。併せて、充電プラグを差し込むと自動で最適な充電が開始できる充電制御を開発した。また、充電専用インレットの横に充電表示LEDを設けることで、充電中であることを確認できるようにした(図8)。

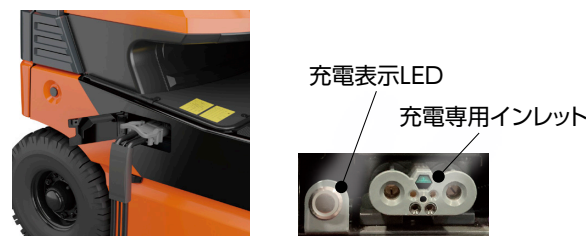


図8 Li-ionバッテリー充電と充電表示LED  
Fig.8 Li-ion Battery Charging and Charge LED

#### 3) Li-ionバッテリーの防水/防塵構造

鉛バッテリーと違い、Li-ionバッテリーは状態を制御するバッテリーマネジメントユニットを備えている。これらの構成部品をモジュールと同じバッテリーケース内に収納することでシール部の共通化を図り、部品数削減に寄与するとともに、余分なシール部の設計が必要なくなったことで、密閉性を高めた1BOXのケース構造にすることができた。これによりIP65<sup>[4]</sup>の防水/防塵構造を実現した(図9)。



図9 Li-ionバッテリー耐塵密閉試験  
Fig.9 Li-ion Battery Dust-Tight Test

#### 4) Li-ionバッテリーと車両の協調制御

Li-ionバッテリーは鉛バッテリーと比較して電圧が高くエネルギー密度も高い。そのため、お客様にバッテリーを安全に使用していただくために、バッテリーマネジメントユニットによりバッテリーの電圧、電流、温度などの状態を監視し、異常時にはバッテリーからの電源供給を停止するのが一般的である。Li-ionバッテリー搭載車を鉛バッテリー搭載車と同様の使い勝手でお客様にご使用いただけるよう、Li-ionバッテリーと車両間で通信してバッテリーの状態に応じて車両制限をかけることで、お客様に段階的に異常をお知らせし、急な稼働の停止を回避する(1)から(3)の制御を開発した。

(1)フォークリフトが走行・荷役中にバッテリーが過放電状態になり、急に動かなくなる前に、ディスプレイのバッテリーの残量警告、過放電警告、容量低下時の車両性能制限などでお客様にバッテリーの状態をお知らせして充電を促す制御を開発した(図10)。

バッテリー残量低下時には、鉛バッテリーと同様に車両の性能を制御。使用を継続した際は、車両の走行・荷役動作を停止



図10 容量低下時の車両制御イメージ<sup>[3]</sup>  
Fig.10 Image of Vehicle When Capacity is Low

(2)バッテリーの温度が高温、または低温の状態でも車両を使い続けた場合、バッテリーが劣化して長期間使用できなくなる恐れがある。その状態を回避するため、車両ディスプレイのインジケータランプを点灯することでバッテリーの状態をお客様にお知らせして車両の性能を段階的に制限する。最終的に車両の走行・荷役動作を停止することでバッテリーの劣化を抑制する制御を開発した(図11)。

低温環境下のバッテリー温度低下時や高温環境下、高稼働によるバッテリーオーバーヒートの際は車両の性能を制御。使用を継続した際は、車両の走行・荷役動作を停止



図11 高温/低温時の車両制御イメージ<sup>[3]</sup>  
Fig.11 Image of Vehicle at High/Low Temperatures

(3)バッテリーに内蔵したヒーターを用いて、バッテリーの温度管理を行う制御を開発した。ヒーターでバッテリーを昇温することで、低温環境下での性能低下を抑制してお客様に車両を快適にご使用いただくとともに、バッテリーが低温状態で劣化することを抑制する(図12)。

また、ヒーターを使用して、電力を消費することによるバッテリーの残容量低下を補うために、充電器とバッテリーを充電ケーブルで接続しておくことで、残容量の低下時に充電を自動で再開する補充制御を開発した。

バッテリーが一定温度まで低下すると、バッテリーに搭載されたヒーターが自動で起動。キーオフ時でもバッテリーを一定温度以上に保ち、車両に必要な性能を維持



図12 バッテリー内蔵ヒーターによる車両制御イメージ<sup>[3]</sup>  
Fig.12 Image of Vehicle by Battery-Integrated Heater

### 4 まとめと今後の計画

脱炭素社会の実現を目指して省エネルギー性能を追求したLi-ionバッテリーを開発することができた。また、Li-ionバッテリーの特徴を活用しながら、鉛バッテリー搭載車同様の使い勝手を確保するための設計にこだわり、第一段として電動フォークリフトの主要4機種にオプションとして追加発売することができた。

今後もLi-ionバッテリー搭載フォークリフトのラインアップ展開を図るとともに、さらなる低コスト・高品質のLi-ionバッテリー開発を推進して参ります。

最後に、本製品の開発にあたり多大なるご指導をいただいた社内外の関係者の皆様に厚く御礼申し上げます。

#### 参考文献

- [1] 豊田自動織機レポート2022(2022年3月期)
- [2] JIVA(日本産業車両協会)ホームページ
- [3] トヨタL&Fホームページ
- [4] JIS C0920 電気機械器具の外郭による保護等級(IPコード)

## ■ 著者紹介 ■



梶山 英訓



丸山 均



吉田 真継



三竿 洋一



藤原 英晃

### 開発の経緯と開発者の思い

当社は2016年9月に、日本で初めて(当社調べ)Li-ionバッテリーを搭載した電動フォークリフト(1.35～1.8トン積リーチタイプ)を発売し、「充電時間の短縮」や「バッテリー管理の手間削減」の課題改善に取り組んできました。今回、さらに多くのお客様のご期待に応えるべく、Li-ionバッテリーの搭載車種を主要4機種に拡大しました。

4車種への搭載にあたっては、車種共通のLi-ionモジュールを使用する条件とし、車種別にモジュール搭載構造を工夫し現物での検証を重ね、難関であった耐振、耐衝撃性確保の課題解決に取り組みました。また、車両と連携したバッテリーマネジメントでは、これまで培ってきた技術を発展させ車種およびバッテリー容量に応じた、きめ細かなバッテリー保護を実現しました。

今後も、多くのお客様のご期待に沿ったLi-ionバッテリー搭載車開発を推進したいと考えています。