

## US 向けリン酸鉄リチウムイオンバッテリーパック 搭載ゴルフカーの製品紹介

Product introduction of golf cars equipped with lithium-ion iron phosphate battery packs for the US market

石川 暢也



### Abstract

In North America, the largest market for the LLV (Low Speed & Light Vehicle) business, the company launched the “Drive2 QuieTech EFI”, a quiet vehicle that uses an engine as a power source but is as quiet as an electric vehicle (EL model). With this model, YAMAHA succeeded in differentiating itself from its competitors and firmly established its position as the No. 1 gasoline engine vehicle (GAS model).

On the other hand, in addition to the high percentage of EL models in the golf car market, due to changes in the external environment, it is expected that the market will become more electrified in the future, and the introduction of a competitive EL model has been a long-standing issue.

Vehicles equipped with lithium-ion batteries from other companies have been introduced in advance, and as a countermeasure, the 2021 model has adopted an AGM (Absorbed Glass Mat) lead battery that does not require refilling. However, the market demand for lithium-ion batteries is strong and is based on the model concept “The Lithium from YAMAHA”, the 2022 model introduced the “Drive2 PowerTech AC Lithium,” the industry’s first lithium-ion iron phosphate battery.

This paper introduces this development model.

## 1 はじめに

LLV (Low speed & Light Vehicle) 事業の最大市場である北米において、エンジンを動力源としながらも、電動車 (EL モデル) に負けない静粛性を実現した静音車両「Drive2 QuieTech EFI」を市場導入した。このモデルにより YAMAHA は他社との

差別化を図ることに成功し、ガソリンエンジン車 (GAS モデル) No. 1 の座を確固たるものにしていく。

その一方でゴルフカー市場では元々 EL モデルの比率が高いことに加え、外部環境変化により、今後より一層市場の電動化が進むことが想定され、競争力のある EL モデルの導入が長年の課題となっていた。

他社リチウムイオン電池搭載車が先行導入されており、その対抗として、2021年度モデルで補液不要の AGM (Absorbed Glass Mat) 鉛バッテリーを採用した。しかしながらリチウムイオン電池搭載への市場要望は強く、モデルコンセプト “The Lithium from YAMAHA.” のもと、2022年モデルにて業界初となるリン酸鉄リチウムイオン電池を採用した「Drive2 PowerTech AC Lithium」を市場投入した。本稿では、本開発モデルについて紹介する。

## 2 開発の狙い

北米でのリチウムイオン電池搭載モデルの投入が最後発となる当社にとって、他社に対する差別化と早期市場投入が至上命題であった。そのため下記3項目を狙いとし、プロジェクトを推進した。

### 1) リン酸鉄リチウムイオン電池の採用

以下①～③の達成

①リン酸鉄リチウムイオン (以下 LFP) 電池採用による高い熱安定性の実現、②登坂性能の向上、③航続距離の増加

### 2) 既存コンポーネント流用でのシステム構築

Motor Control Unit (以下 MCU)、充電器は既存品を使用しながら、システムフェールセーフを確立

### 3) 回生電力の吸収

充電が完了した早朝ラウンドでの、安心感のある降坂走行の実現

## 3 開発の概要

### 3-1. LFP 電池の採用

リチウムイオン電池を採用することでの一般的な価値として、長期製品保証、メンテナンスフリーによる取り扱いの容易さがあげられる。それに加え、他社優位性を獲得するため、前述の①～③を狙って開発を行った。

日本国内向けゴルフカーも含め、自動車用リチウムイオン電池の主流は NMC (ニッケル・マンガン・コバルト) 電池であった。LFP は NMC に比べ低コストで、エネルギー密度が低い。そのため部品体積は少し大きくなるものの、熱安定性が高く熱暴走しにくい性質を持っている。

本プロジェクトでは走行に必要な電流とシステム電圧から、105Ah セル(図1)の8直列モジュール(図2)を2つ使ったバッテリーパックを開発し、車両性能と熱安定性の両立を行った。



図1 角形 LFP セル

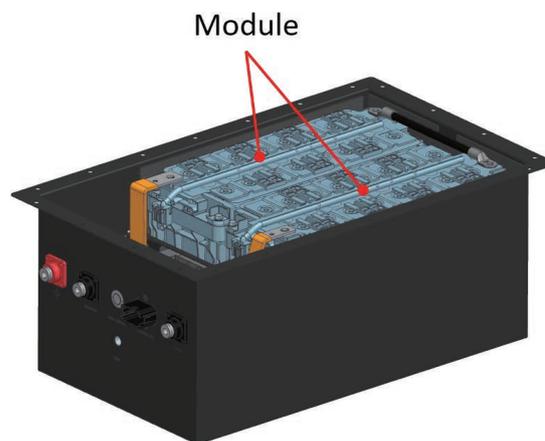


図2 パック内部モジュール

NMCと比較すれば質量は大きくなるが、従来の液式鉛 (FLA) バッテリーと比較すれば110kg 程の軽量化となり、登坂性能も向上している。10度登坂時の車速は図3のようになり、より軽快なストレスのないドライブフィーリングを実現している。

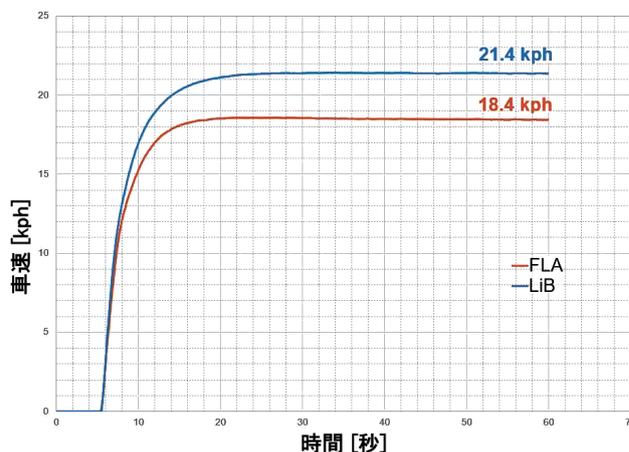


図3 10度登坂性能比較

車体重量軽減は当然、燃費にも好影響を与える。FLA モデルと比較し、電費は24%向上、航続距離は約2倍に伸ばすことができた(図4、図5)。競合他社よりも容量のあるバッテリーとなったことで、個人ユースである PTV (Personal Transportation Vehicle) 市場でも優位性を確保した。

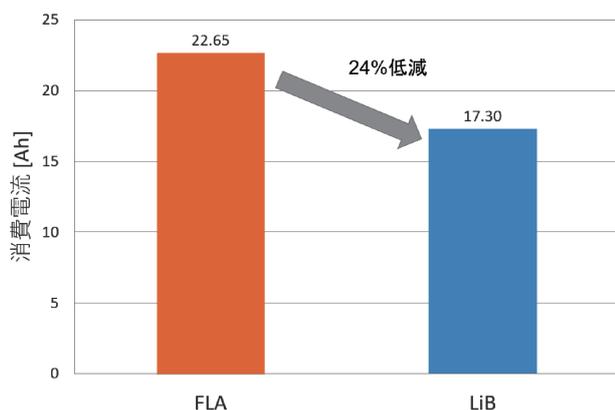


図4 電費比較

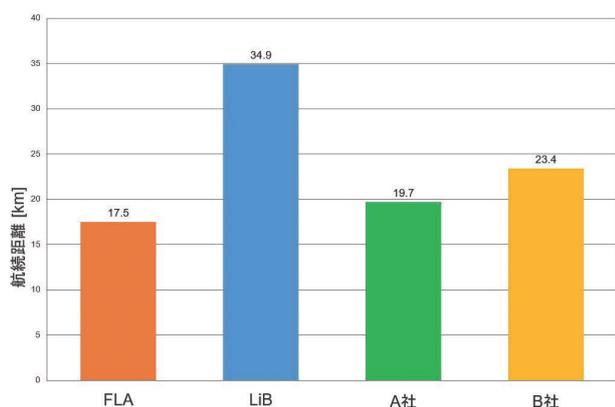


図5 航続性比較

### 3-2. 既存コンポーネントを流用したシステム構築

リチウム電池モデルの早期市場投入のため、バッテリーケースやモジュールデザイン、充電器などのコンポーネントはできるだけ既存品を流用し、開発と型リードタイムを短縮できるようにシステム構築を行った。

LFP の特徴として、SOC (State of Charge) に対してフラットな電圧特性がある。走行特性に対してはどのバッテリー SOC 容量でも大凡同等のモータ出力が取れる反面、電圧によるフェールセーフ設計ができないため、Battery Management System (以下 BMS) の情報を各コンポーネントに共有する必要があった。既存充電器のプラグピン数の中で、コミュニケーション可能な独自の通信方式を行い、BMS の情報を MCU と充電器に伝えられるようにした。この方式を用いて BMS が出力可能な状態であることを MCU に、充電可能であることを充電器にそれ

ぞれ伝えている。この通信シグナルの状態を双方向で監視するウォッチドッグとして機能させることで、安定した車両運用が可能なシステムを構築した。

また、バッテリー内部のバスバーやリレーなどといった、バッテリーパックサプライヤの構成部品についても、ヤマハ基準の振動・熱条件に合ったものを共同で選定、または変更し高い信頼性をもったコンポーネントに磨き上げることができた。

### 3-3. 回生電力の吸収

一部のゴルフコースでは、クラブハウスとカート庫が隣接し、ドライビングレンジが坂の下に設置されている場合がある。その日最初に車両を使用する場合には、バッテリーが満充電の状態以降降坂走行することとなる。その場合、降坂時に回生ブレーキによる電力吸収が行えず、車速を制御するためにフットブレーキを用いる必要がある。

充電時に回生電力分のマージンを確保して充電を終了させることができればよいが、先述したように、LFP は SOC に対してフラットな電圧特性であるため、電圧による充電終了判断が難しく、狙った SOC で安定して充電を終了することができない。また、SOC の精度を高めるためには、SOC100%まで充電する必要がある。

そこで図6のような巻線型抵抗器を用いて充電後に一定容量を放電し、走行前に回生電力を吸収できる空き容量をバッテリーに設けることで、充電完了後の朝一番の状態においても、回生ブレーキでの車速制御による安心感のある降坂走行を可能にした。

このアイデアは元々 FLA の時からあったものだが、FLA はバッテリーの特性上受入性が悪いため、回生電力分を確保するためにはバッテリーの容量の多くを放電させることになり、車両走行航続性への影響が大きく、実現できなかった。本モデルで充電受入性の高いリチウム電池を採用したことで、SOC を3%放電するだけで、図7のように5度~20度の降坂で5倍以上の距離を、回生ブレーキを使用しながら走行することが可能となった。このことによりゴルフプレイヤーはいつでも同じ感覚で車両を操ることができるようになり、より快適にラウンドすることが可能となった。



図6 巻線型抵抗器

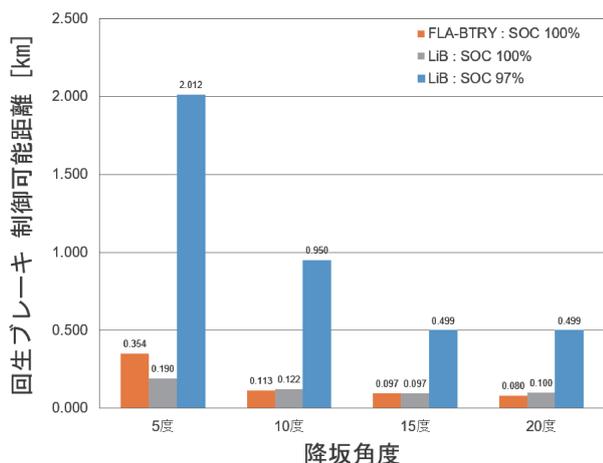


図7 回生ブレーキ制御可能距離

## 4 おわりに

リチウム電池パックを搭載した「Drive2 PowerTech AC Lithium」は、業界初となるLFP電池を採用したゴルフカーとして、メンテナンスフリー化の実現と、ゴルフプレイヤーや個人ユースPTVにおいてこれまで以上に快適かつ、安心して使用できる車両を提供している。

このモデルの開発当時、私は北米駐在中であり、COVID-19の影響も受け、本プロジェクトには技術面以外の多くの課題があった。物流も安定しない中、北米倉庫で部品ストックを適切に行うことで、部品を安定供給することができた。業務ではテレワークを有効活用し、オンラインでの工場監査を実施、日米開発拠点とヤマハ発動機を含むメーカー関連部署と協働することで、高い商品性を持つ車両の早期市場投入を実現できた。

今後も技術進化を重ね、ゴルフカー・PTVは元より、新領域モビリティ、公道低速モビリティなど新たな商品開発を行い、お客さまに満足を与えられるよう尽力していく。

### ■ 著者



石川 暢也  
 Nobuya Ishikawa  
 ヤマハモーター  
 パワープロダクツ(株)  
 開発統括部  
 制御開発部  
 システム開発課