

ハイブリッド軽乗用車用 VRLA 電池の開発

Development of Compact VRLA “FT7C-HEV” for HEV-type Passenger Mini-car

竹島 修平^{*1}
Shuuhei Takeshima

小浦方 智樹^{*1}
Tomoki Kourakata

松本 健之^{*2}
Takeyuki Matsumoto

清水 博文^{*2}
Hirofumi Shimizu

矢吹 修一^{*2}
Shuuichi Yabuki

Abstract

Compact VRLA “FT7C-HEV” with rated capacity of 6.3Ah-12V was developed for parallel HEV-type passenger mini-car, “Suzuki Twin” HEV, which was launched January 2003. Battery pack of 16 batteries in series served as 192V power source, with which HEV functions of start-assist, power-assist, regenerative braking and idle-stop/start were well performed under control of battery management unit. This VRLA was featured as its compactness in dimension, power performance and cycle-life longevity in PSOC operation which were realized through optimizing the design and composition of both plates, separator and battery assembly construction as well as manufacturing process and control.

1. はじめに

近年、エネルギー問題及び環境問題から低公害車が世界各国で開発され、その中でハイブリッド自動車が普及し始めている。従来、実用化されたハイブリッド自動車（HEV）の乗用車に使用されている高電圧系電池はニッケル水素電池とリチウムイオン電池のみで、制御弁式鉛蓄電池（VRLA 電池）はトラック・バス用に一部使用され、乗用車には使用されなかった¹⁾。また近年、アイドルストップと回生充電による燃費向上を行い、環境負荷の低減を狙った42V 電源系のマイルドハイブリッドと呼ばれる乗用車に36V 鉛電池が使用されている。HEV は主に普通車として上市されているが、軽自動車では実用化されていなかった。

VRLA 電池を用いた高電圧系の乗用車 HEV はこれまで実用化されず、各種サイズの円筒型及び角型の VRLA 電池を用いた開発が国内外の電池メーカー、研究組織で行なわれているのみであった^{2)~4)}。

2003年1月にスズキ株式会社殿が小型 VRLA 電池を用いた高電圧系の軽乗用車「Twin」ハイブリッド車を発売した。本稿は専用電池として搭載され

ている「FT7C-HEV」の概要を述べるとともに、各種特性を報告する。

2. FT7C-HEV の諸元と特長

「Twin」ハイブリッド車のハイブリッドシステムはエンジンと高電圧電池を組合わせて制御することにより、エンジンの効率を大幅に改善できるパラレルハイブリッドシステムである。発進、加速、登坂のモーターアシストとブレーキ回生並びにアイドルストップのハイブリッド機能はエンジンに直結されたモーター/ジェネレーターを介して、高電圧系からの放電と充電を最適化制御の下で行うことにより実現される⁵⁾。

図1、表1に車の外観及び代表的諸元を示す。



図1 Suzuki 「Twin」 HEV の外観
Fig.1 External view of “Suzuki Twin” HEV

*1 技術開発部

*2 自動車電池事業部技術部

表 1 Suzuki 「Twin」 HEV の諸元
Table.1 Specification of “Suzuki Twin” HEV

全長 (mm)	2735
全幅 (mm)	1475
全高 (mm)	1450
車両質量 (kg)	730
乗車定員 (名)	2
電動機最高出力 (kW)	5

高電圧電池系は 12V、6.3Ah の小型 VRLA 電池、FT7C-HEV を 16 個シリーズ接続した電池パックで、図 2 の如く車後部に搭載される。外観を図 3 に示す。FT7C-HEV の諸元を類似小型形状の二輪車用電池と比較して表 2 に示す。上述のハイブリッド機能を実現する為に電池は常時部分充電状態 (PSOC) で保持運用される。その特長を下記の 4 点に要約できる。

- (1) 小型で高出力
- (2) 入力性能が高い
- (3) PSOC でサイクル寿命が長い
- (4) HEV 用付属部品の取付けが可能

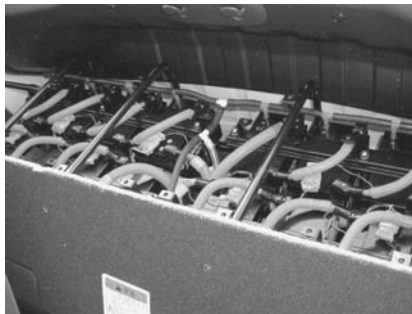


図 2 FT7C-HEV 192V 組電池搭載状態
Fig.2 192V-VRLA battery pack



図 3 FT7C-HEV の外観
Fig.3 External view of FT7C-HEV

表 2 FT7C-HEV の諸元
Table.2 Specification of FT7C-HEV

		HEV 用	二輪用
		FT7C-HEV	小形 VRLA
電圧	(V)	12	12
外形寸法	長さ (mm)	150	150
	幅 (mm)	87	87
	高さ (mm)	83	93
容積	(ℓ)	1.08	1.21
質量	(kg)	2.7	2.7
端子構造		黄銅平板 折り曲げ端子	鉛 BOX 端子
3 時間率容量	(Ah)	6.3	5.4
出力 (DOD50%、2s) (%)		100	100
入力 (DOD50%、2s) (%)		220 以上	100
PSOC サイクル寿命 (%)		400 以上	100

3. 電池の構成

3.1 構造

車両搭載するために最適設計を行い、二輪用小形 VRLA 電池と比べ、総高さを 10mm 低くし小型化を図った。

また電池パックで使用するために電池接続部には高い信頼性が必要であり、締め付け強度の高い端子構造を採用した。この端子構造は一部の二輪用電池に使用されている構造と同じで、黄銅の平板折り曲げ端子を採用し、一端が蓋に圧入されて固定されている。

その他に過充電による発生ガスで安全弁が開いた時に、このガスを外部に排出するための排気管の接続、温度センサーの埋め込み及び温度センサーと電圧センサーのコネクターの固定を可能とする蓋構造になっている。

3.2 正極板

正極板には高耐食性合金の厚形格子を採用して格子耐食性を向上させ、正負極板枚数を多くし高出力化を図った。

極板サイズについては、開発段階において、高さの異なる二輪用電池を用い、充電量を 100% に制限した PSOC 充放電試験を行い、電圧低下が少なく、充電受入性が良好な低形極板の方が寿命が長いことを確認し、本電池に低形極板を採用した。表 3 に試験結果を示す。

表 3 PSOC 充放電サイクル寿命
Table.3 PSOC endurance cycle life

電池高さ (mm)	寿命回数 (%)
105	100
93	230

正極活物質密度は車の充放電パターンと放電深度から判断して、最適な値を採用した。

3.3 負極板

効率良く再生エネルギーを得るためには、充電受入性を向上し、負極板における硫酸鉛の蓄積を抑制することが必要である。そのために、基になった二輪用電池の添加剤の見直しを行い、カーボン、リグニン、硫酸バリウムの添加量の最適化を行い、サルフェーションの抑制を図った。最適検討の一例として、図 4 に負極カーボン量の異なる試作電池について実施した PSOC サイクル寿命の比較を示す。試験方法は後述の 4.4 項と同様である。カーボン量を多くすることにより、寿命回数が大幅に増大することを確認した。

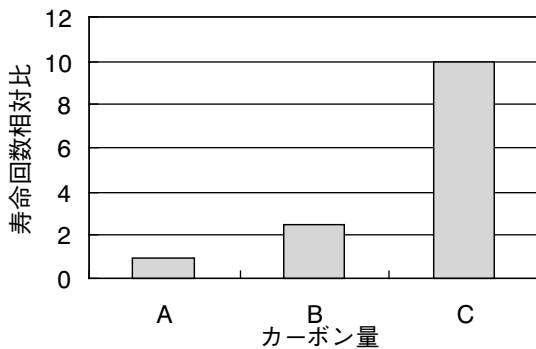


図 4 負極カーボン量の寿命に及ぼす効果
Fig.4 Effect of carbon contents in negative plate on cycle life

3.4 セパレータ

電池パックでの使用では、特に高い信頼性が必要である。今回各種セパレータを検討し、短絡防止に優れ、へたりに強く高圧迫性を維持できる特性を持つリテーナマットを採用した。厚みについては要求される入出力を満足する範囲内で厚くし信頼性を高めた。

4. 電池特性

4.1 放電特性

放電電流と放電容量の関係を図 5 に、各率放電時の出力密度とエネルギー密度の関係を図 6 に示す。

10C₃A 放電で対定格比約 50%の容量を有し、0.33C₃A 放電時のエネルギー密度は 30Wh/kg 以上で、出力を重視する本用途には十分である。

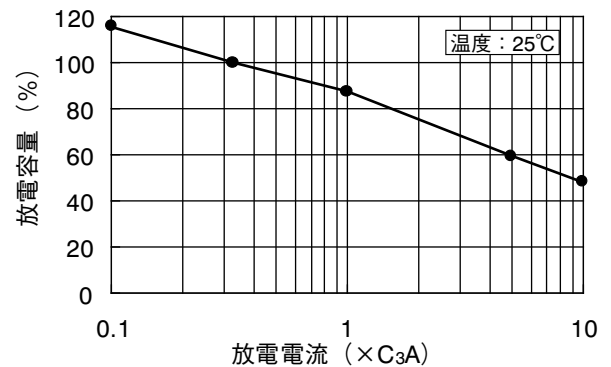


図 5 放電電流と放電容量の関係
Fig.5 Relationship between discharge current and capacity

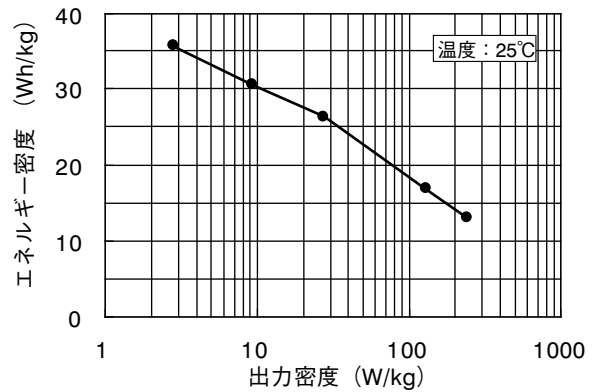


図 6 出力密度とエネルギー密度の関係
Fig.6 Relationship between discharge power density and energy density

4.2 充電受入性

二輪用電池と開発電池について、充電受入性試験をした時の結果を図 7 に示す。10 分目電流で約 2.4 倍、10 分間充電量で約 2.1 倍の値を示し、充電受入性が二輪用電池と比較して HEV に適した特性を備えていることが分かる。

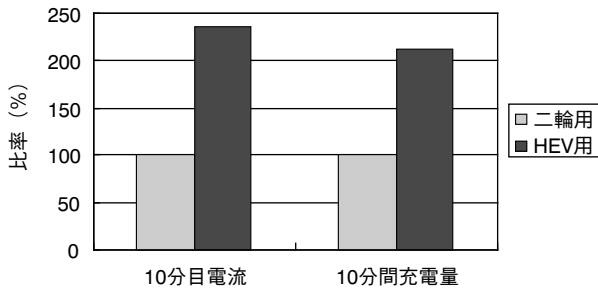


図7 充電受入性
Fig.7 Charge acceptance

4.3 放電深度と入出力特性の関係

二輪用電池の放電深度50%を基準とした、二輪用電池と開発電池の出力特性を図8に、入力特性を図9に示す。出力性能において、DOD50%で両電池とも同じ出力を有し、DOD80%で開発電池が僅かに高い値を示している。入力性能では、DOD50%で開発電池は二輪用電池の入力に対し、約2.2倍の入力を示し、入力性能が二輪電池と比較し向上している。

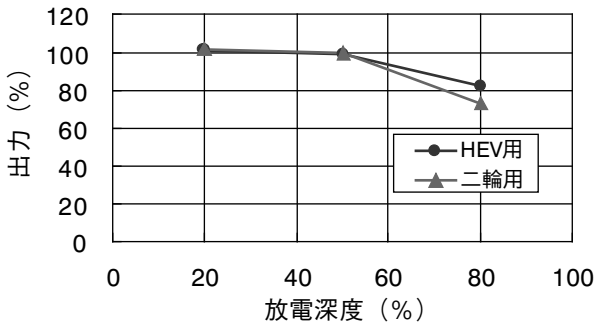


図8 出力特性
Fig.8 Output power characteristics

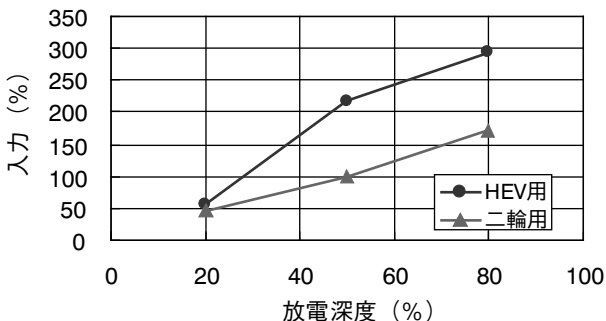


図9 入力特性
Fig.9 Input power characteristics

4.4 サイクル寿命特性

PSOC 加速寿命試験は、先に述べたハイブリッド機能を模したパターンをベースに自動車仕様や試験加速度を考慮して細部や DOD を調整して行った⁶⁾。

12V 電池を主に試験したが、一部 192V 電池パックについても行った。

12V の二輪用電池と比較した図10の結果から、開発電池は約4倍のサイクル寿命を有することが分かる。図11に寿命前と寿命期の負極断面の PbSO₄ 分布を示す。寿命期の表面に PbSO₄ の存在を示す S が高濃度に分布していることから、この電池の寿命モードは PSOC の高率充放電サイクル (HR-PSOC) に特徴的な表面サルフェーション、即ち絶縁性の PbSO₄ が高濃度に表面に蓄積したことによると判断される。充放電の電気化学反応と拡散に伴う PbSO₄ の析出・溶解の化学反応とのインバランスの結果である⁷⁾。以上の結果は電池パックの試験でも同様に確認されている。

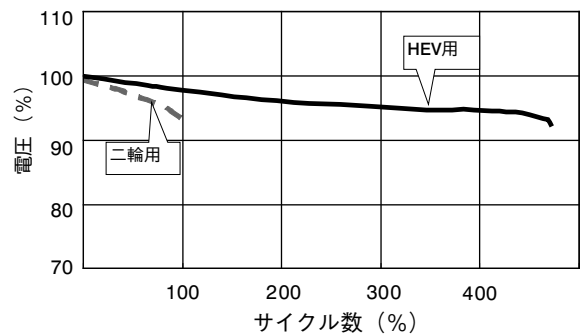


図10 サイクル寿命試験
Fig.10 Characteristics of endurance cycle life

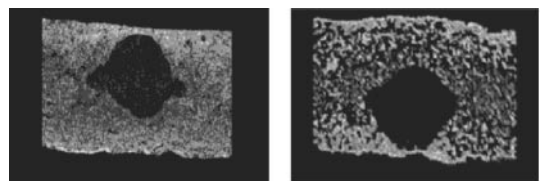


図11 サイクル寿命途中 (左) と寿命期 (右) の電池の負極断面 SEM の硫酸鉛 (S) の分布
Fig.11 Distribution of lead sulfate in negative plate sections of VRLA's before (left) and after (right) cycle life

4.5 実走行での電流・電圧特性

「Twin」ハイブリッド車を市街地走行しながら、電池パックの電流と電圧を実測した結果を図12に示す。頻繁なアシスト放電と回生充電の様子が視える。

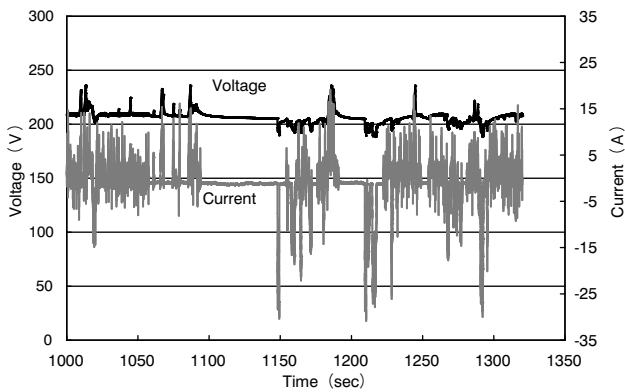


図 12 市街地走行時の電流・電圧特性
Fig.12 A sample of current and voltage pattern in town-driving

- 6) 古川淳、坂本光、飯塚博幸、FB テクニカルニュース、No.58,3 (2002)
- 7) L.T.Lam, N.P.Haigh, C.G.Phyland, A.J.Urban J.Power Sources, 133, 126 (2004)

5. まとめ

ハイブリッド用電池は PSOC での高率充放電サイクルに適した特性が必要であるが、正負極・セパレータと極板群を収納する電槽蓋構造を最適化することにより、小型高入出力、高信頼性、長寿命で廉価の VRLA 電池を開発した。

電池製造管理技術、パック化技術により、16 個直列 192V による使用に適した高品質の HEV 用電池パックを提供することが可能になった。本電池を搭載した Suzuki 「Twin」 HEV は 2003 年 1 月より商品化されている。

謝辞

本電池の開発にあたり多大なご指導とご教示を頂いたスズキ株式会社殿に厚くお礼申し上げます。

(参考文献)

- 1) 松本修明、高橋さわ子、北条英次、中山恭秀、小池哲夫、JEVA 電気自動車フォーラム、93 (1998)
- 2) John B.Olson, the 15th Annual Battery Conference on Applications and Advances, 205 (2004)
- 3) 久井 真、中村憲治、林 俊郎、高橋克二、坪田正温、JEVA 電気自動車フォーラム、77 (2000)
- 4) ALABC 9th Members' & Contractors' Conference, May, 2004 EALABC Foresight Vehicle Project RHOLAB
- 5) 森本一彦、村松稔久、伊藤芳輝、仁田脇邦浩、古橋一能、自動車技術会学術講演会前刷集 動力伝達系の最新技術 2003、20034657, 66 (2003)