

42V システム用 36V-VRLA 電池とサーマルマネジメントの開発

Development of 36V-VRLA Batteries with Thermal Management
for the 42V System古川 淳^{*1}
Jun Furukawa坂本 光^{*1}
Hikaru Sakamoto飯塚博幸^{*2}
Hiroyuki Iizuka**Abstract**

Development of 42V powernet system was initiated by the increasing demand of electric power in 90's and now it has been enhanced to a type of hybrid electric vehicle systems (HEV's) such as a mild hybrid which is enabling to meet with the increasing requirement of fuel economy, safety and comfort. 36V-VRLA (valve-regulated lead-acid) batteries were developed with the required high level of discharge power, regenerative power and life-span. Accelerated cycle tests simulating a driving mode of a mild hybrid were conducted, which showed one of major life-limiting factors was heat generation and resulting temperature rise, so that three types of thermal management techniques were designed and tested. They were 18V-split and 36V-monoblocks equipped with either convection channel or heat pipe & fin, which were tested in comparison with the conventional 36V-monoblock. It was demonstrated that effective thermal management techniques could substantially extend battery life in practical senses.

1. はじめに

1.1 42V システム化の背景

自動車の 42V システム化の研究は、①「電動化による要求電力量の増加」に対応する事を目的として 1990 年代半ばに開始され、②「ハイブリッド化による燃費向上と排出ガスの削減」として発展している。①の電動化により、従来油圧やタイミングベルトで機械的に駆動していたパワーステアリング、ブレーキ、サスペンション、エンジンバルブなどを電気駆動とすることによりエンジンを走行に特化させるとともに、高度な制御により燃費の向上を可能にし、さらに電気加熱式触媒やフロントガラスの急速霜取りなどの新装備を取り入れて利便性の向上を図ることができる¹⁾。その反面、要求電力量は従来の最大 2kW 程度から 3～7kW と大幅に増加して強力なジェネレータ（発電機）が必要となり、スタータ

とジェネレータを統合した ISG (Integrated Starter Generator) の研究も同時に開始された²⁾。ISG により、マイルドなハイブリッドシステム³⁾ が可能となり、②へと発展した。すなわち、アイドルストップ後のエンジン始動と加速アシスト、そして制動時のエネルギー回生による燃費向上と排出ガスの削減を行う⁴⁾。そして、この機能の実現には高性能な 36V-VRLA 電池の開発が不可欠である。現在、米国 MIT が「42V PowerNet」のコンソーシアムを結成して世界的な活動を広げ、また欧州では「42V Bordnetz」が研究フォーラムを展開している。日本でも電気学会が「42V 電源化専門委員会」を、また自動車技術会が「42V 分科会」を発足して活動を強化している。このように世界的な 42V 化の流れの中で、環境対策の目玉として自動車メーカーや部品メーカーで実用化が進められている。

^{*1} MV チーム^{*2} NP チーム

1.2 42V システムの将来

'01 年 8 月、世界最初の 42V システム車が国内メーカーから発売され世界中の注目を集めた^{5,6)}。また、'02 年秋に次の 42V システム車が、そして '03 年には欧州製 42V システム車が登場すると見られている。この様に 42V システム車は徐々に浸透し、'05 年～'10 年にかけて本格的普及が見込まれている⁷⁾。一方、100V 又は 200V 以上と高電圧の本格的なハイブリッドシステムを採用して非常に優れた燃費を実現した車は 42V システム車よりも一足早く発売され、販売台数も着実に増加している^{8,9,10)}。このシステムは主にニッケル水素電池^{11,12)}を採用しているが、一方でマンガン系 Li 電池¹³⁾の検討も進んでいる。これらのハイブリッドシステムはパワーアシストをはじめとする大電力負荷に、より広範囲に対応できると共に、高いエネルギー回生能力も併せ持っており、42V システムと比較して省燃費効果が大きい。しかし、コスト高の問題もあるのでこのジレンマを解消する試みとして、42V システムで 36V-VRLA 電池と電気二重層キャパシタの組み合わせが提案されている¹⁴⁾。これはキャパシタの優れた回生充電性能の活用が狙いであり、次世代技術として注目される。これらの様々なハイブリッドシステムは将来、電圧と機能、そして価格帯に応じて複数のカテゴリーに棲み分けが進むと見られる³⁾。しかし、その過程で電池を始めとする主要部品の性能向上とコストダウンは確実に進み、'05～'10 年に低コストの 42V システム車の実用化が大きく進展すると予想される。

2. 36V-VRLA 電池の開発

マイルドハイブリッドシステムでは、アイドルストップ後のエンジン始動と加速アシスト、制動時のエネルギー回生、そして長寿命などの性能を PSOC (Partial State Of Charge) で満足する 36V-VRLA 電池が求められる。すなわち、低い内部抵抗と高出力、良好な可逆性と充電受入れ性、そして高いキャパシティーターンオーバー（総放電量）とサイクル寿命が求められ、そのためには、負極、正極、セパレータ、電解液などあらゆる要素について改良を行う必要がある。これらの関係を図 1 に示す。

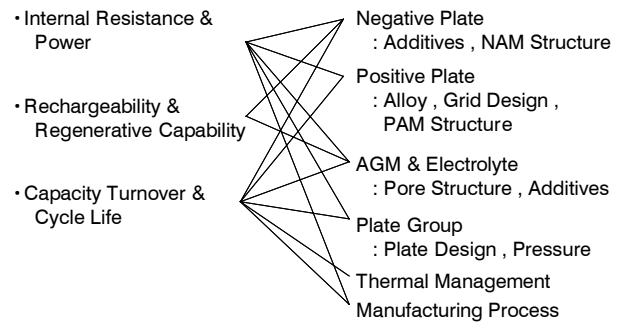


図 1 36V-VRLA 電池の性能及び寿命改善策
Fig.1 Strategy for Performance and life span upgrading of 36V-VRLA

この様な開発を行った結果、図 2 に示すような優れた出力特性と回生入力特性を実現した¹⁵⁾。

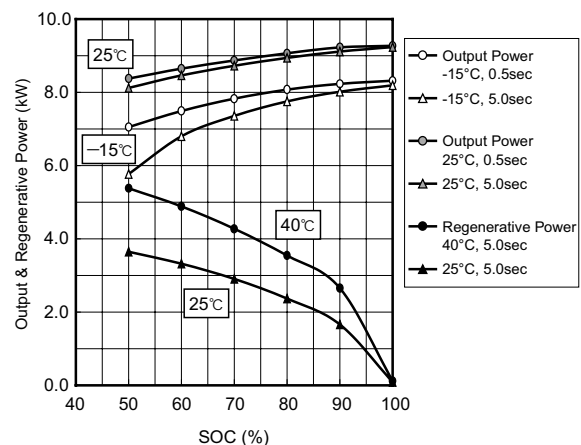


図 2 出力及び回生入力特性
Fig.2 Characteristics of output and regenerative power

なお、この電池は JIS の D26 サイズであり、容量は 18Ah である。また、マイルドハイブリッド車の走行パターンを模擬した図 3 の PSOC の加速寿命試験では、標準の VRLA 電池やフラッド電池と比較して 3 倍から 5 倍の長寿命であることが確認された。

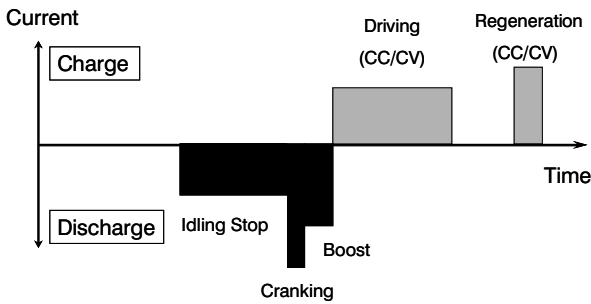


図3 PSOC 加速寿命試験パターン
Fig.3 PSOC accelerated life span test pattern

3. サーマルマネジメント (TM) の開発^{15,16)}

3.1 PSOC 加速寿命試験における電池の発熱

上記の 36V-VRLA 電池の開発では、まず要素技術の開発を 2V セルで行い、その成果を 36V を二分割した形状の 18V と 36V モノブロック電池に展開した。このようにセル数を増やして行く過程で、PSOC 加速寿命試験時の電池の発熱による温度上昇が顕著となり、サーマルマネジメントの必要性が明らかとなった。PSOC 加速寿命試験は図3の充放電パターンからなるテスト-1とこれよりも1サイクル当たりの発熱量が大きくなるようにしたテスト-2の2通りで行った。何れも試験開始時の電池のSOCは75%とした。ここで、2Vセル、18V及び36VモノブロックのVRLA電池を用いてテスト-2でPSOC加速寿命試験を行い、電池表面の温度と寿命の関係を調べた。その結果は図4に示す通りで、電池表面温度の上昇と共に急速に寿命が短くなった。また、18Vと

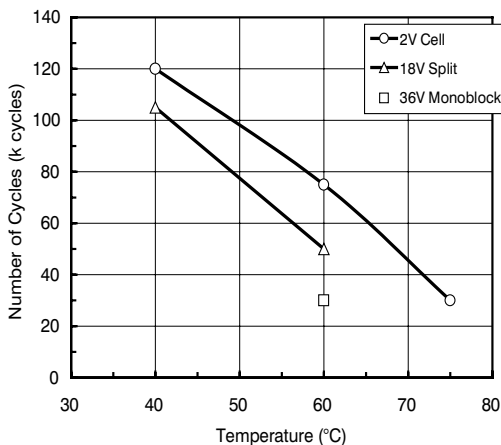


図4 電池形状、温度とサイクル寿命性能
Fig.4 Cycle life performance : influence of configuration and temperature

36V 電池では寿命に 1.5 倍以上の開きがあり、形状の影響が顕著に現れた。

次に、36V モノブロック電池を用いてこれら二つの条件で加速寿命試験を行い、サイクル経過に伴う電池表面と内部の温度変化を測定した。最も温度が高くなった電池中央の5セル目の表面と内部の温度変化を図5に示す。

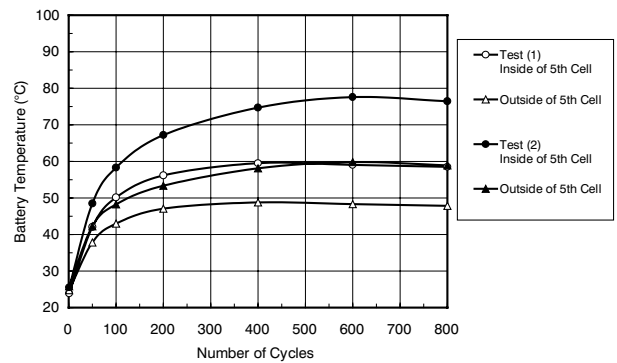


図5 加速寿命試験時の36Vモノブロックの温度
Fig.5 Temperature measurement of 36V monoblock under accelerated cycle test

36V モノブロック電池の温度は、表面と比べて電池内部が20℃近く高くなるのが分かった。なお、2Vセルでは表面と内部の温度差は5℃以下であった。また、この試験による発熱量は簡易カロリメーターによる測定と充放電時の分極からテスト-1で約40W、テスト-2では約70Wと見積もられた。試験はPSOCで行ったため、正極からのガス発生と負極での再結合反応が起こりにくいこと、並びに充電と放電の電気量がほぼ等しくそれぞれの反応熱が相殺されることから、大半は導体抵抗や液抵抗によるジュール熱と考えられる。このように電池内部の温度上昇が寿命に大きな影響を与えているため、3.2の3通りの方法で電池のサーマルマネジメント(以下TM)を試みた。ここではテスト-1の加速寿命試験時の電池表面と内部温度を実測し、その結果を基にコンピュータシミュレーションで電池全体の温度分布を求め、TMの効果を比較した。

3.2 サーマルマネジメント (TM) の方法

3 通りの TM と電池の外観を図 6 に、電池表面と内部の温度分布を図 7 にそれぞれ示す。なお、図 7 の横軸の数字は電池内のセルの位置を表している。図 8 はこの時の温度分布をビジュアル化したものである。

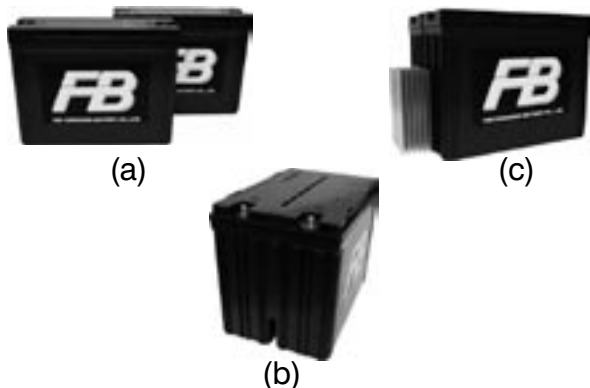


図 6 サーマルマネジメントと電池形状
Fig.6 Thermal management and battery configurations ; (a) 18V split, (b) Convection channel (CC), and (c) Flat heat pipe and fin (HPF)

3.2.1 18V スプリット電池

18V スプリット電池は図 6 (a) の通り 36V モノブロック電池を縦に二分した形状である。図 7, 図 8 で示したように、36V モノブロック電池は内部が非常に高温になり、中央と端に位置するセルの温度差も大きい。一方、18V スプリット電池は、表面積が広いために放熱し易く、全体に温度が下がるとともに、セルごとのばらつきも抑えられることが分かった。

3.2.2 コンベクションチャンネル (CC)

対流用の経路、コンベクションチャンネルを設けた 36V モノブロック電池の写真を図 6 (b) に示す。この電槽正面の縦穴と電槽の蓋にある穴は内部でつながっており、対流で内部の熱を逃がす。コンピュータシミュレーションではチャンネルの幅を広げるに従い温度上昇は抑制されたが、10mm 以上では徐々に効果が飽和した。また、電池を従来の D サイズに収める場合、チャンネルの幅を広げることによって電極の体積が減り、容量の確保が難しくなる。その

ためチャンネルの幅は 10mm 程度が適当と考えられる。このようにチャンネルの幅を 10mm に固定し、自然対流による場合と毎秒 1m の強制対流を行った場合の温度分布を図 7, 図 8 に示した。強制対流は電槽の蓋に設けた穴から風を送り込み、風速は入り口付近で測定した値である。強制対流では 18V スプリット電池に近い温度が得られた。また、自然対流でも放熱効果が認められた。

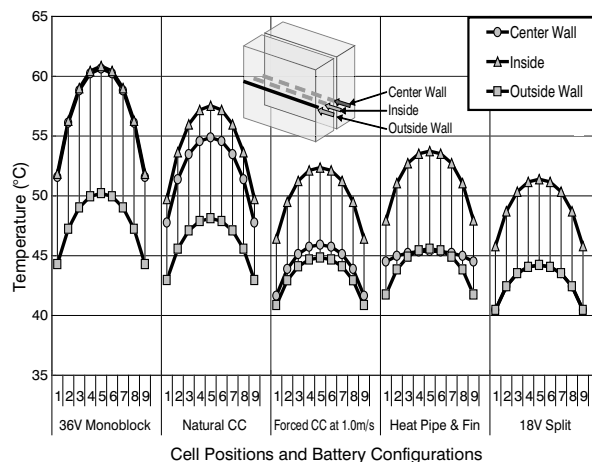


図 7 サーマルマネジメントと温度分布
Fig.7 Temperature distribution with and without thermal management

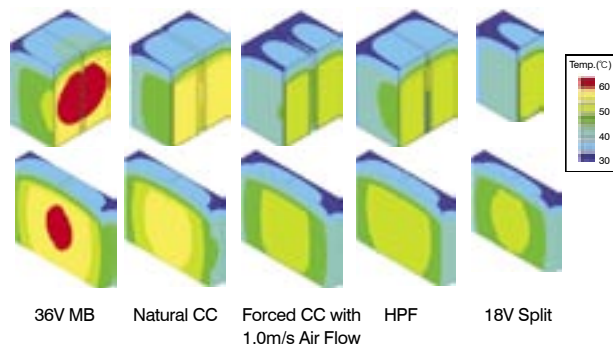


図 8 サーマルマネジメントと温度分布
Fig.8 Temperature distribution with and without thermal management; representation of Visual View Graph

3.2.3 ヒートパイプフィン (HPF)

古河電工が開発したフラットヒートパイプ¹⁷⁾ とフィン装着した 36V モノブロック電池の写真を図 6 (c) に示す。ヒートパイプはフィンと電槽に挟まれて、写真では電池中央に隠れている。ここで用いたフィンはアルミニウムの押し出し加工によって製造され

たものである。また、ヒートパイプのケースも、アルミニウムの押し出し加工で製造された、マルチチャンネルドフラットチューブを用いている。このフラットチューブの厚みは1.9mmと非常に薄い。また、ヒートパイプ中で熱を移送する作動流体には、非フロン系の物質を用いている。図7、8に示した通り、ヒートパイプフィンには18Vスプリット電池や強制対流と同程度に温度上昇を抑える効果があった。また、中央の壁面は接触しているヒートパイプの熱伝導率が高いため、各セルの温度分布がより均一になった。

3.3 TMによる寿命改善効果

以上の3通りのTMを適用した36V-VRLA電池のテスト-2による加速寿命試験結果を図9に示す。

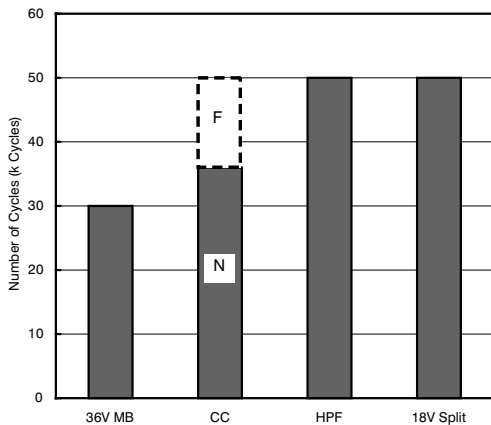


図9 36V-VRLA電池の寿命性能
Fig.9 Cycle life performance of 36V VRLA

強制対流を行ったコンベクションチャンネルとヒートパイプフィンには18Vスプリット電池と同様、36Vモノブロック電池と比較して50%以上の寿命改善効果が得られた。また、自然対流によるコンベクションチャンネルでも36Vモノブロック電池より20%改善された。

4. ライフサイクルアセスメント (LCA)

ここで42Vシステム化の目的の一つである排出ガスの削減と言う観点から、これまでに提案した36V-VRLA電池のライフサイクルアセスメントを行った¹⁸⁾。ここでは、鉛の精錬、電池の製造、部品の製造、

そして電池を車に搭載して10年間で10万km走行する時に発生する炭酸ガスの量を試算し評価した。結果を図10に示す。

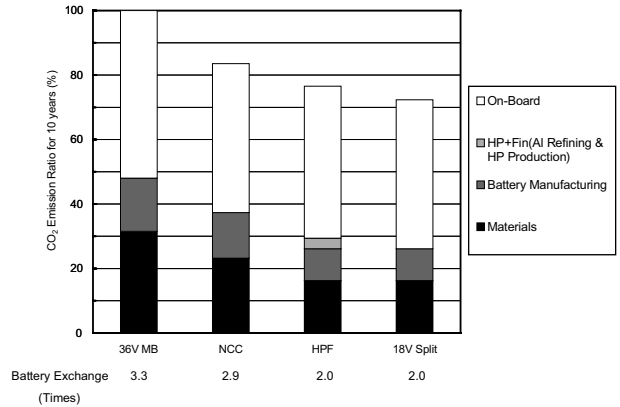


図10 36V-VRLA電池のライフサイクルアセスメント
Fig.10 Life cycle assessment of 36V VRLA

ここではTM技術による電池寿命の延長で電池の交換回数を削減できることが最も大きな効果となっている。また、TM技術を適用した36V-VRLA電池はどれも放熱に必要なスペースを確保した結果、36Vモノブロック電池と比較して約10%軽量化されており、これも車両走行時に炭酸ガス削減効果となる。LCAでもヒートパイプフィンと18Vスプリット電池は優れていたが、ヒートパイプフィンはアルミの精錬と部品製造で発生する炭酸ガスの分だけ18Vスプリット電池に劣る結果となった。

5. まとめ

- 1) 優れた放電性能、回生充電性能、および寿命性能を有する36V-VRLA電池を開発した。
- 2) 36V-VRLA電池の温度は寿命に大きな影響を及ぼした。そこで、新たに開発した3通りのTM、すなわち、①18Vスプリット、②ヒートパイプフィン、および③コンベクションチャンネル、の適用で①と②は寿命性能を50%以上、また③でも20%改善することができた。
- 3) LCAによりTM技術が炭酸ガス排出量の削減に貢献し、その中でも18Vスプリットは最も優れており、ヒートパイプフィンはこれに次ぐことを示した。

36V-VRLA 電池を搭載する場所には、エンジンルーム、車室内の座席の下、トランクルーム、など様々なケースが考えられる。今後はそれぞれの搭載状態に最適なサーマルマネジメントを開発し、自動車メーカーに提案して行く所存である。

謝辞

最後に、本開発で実験に使用したヒートパイプ及びフィンの設計と試作において多大なご協力を頂いた、古河電気工業株式会社、環境・エネルギー研究所の山本雅章氏と志村隆広氏、並びに軽金属カンパニー、アルミ加工製品部の秀野晃氏に深く感謝致します。

(参考文献)

- 1) 志賀恒男, TOYOTA Technical Review, **49**, No.2, 8 (1999)
- 2) Rainer Knorr, Hans-Michael Graf, Peter Skotzek, 1st AABC, February 2001, Las Vegas
- 3) Tatsuo Teratani, MIT Consortium, October 2000, Nagoya
- 4) 寺谷達夫, 倉持耕治朗, 中尾初男, 堀井欽吾, 稲吉龍泰, 水谷浩市, TOYOTA Technical Review, **50**, No.1, 26 (2000)
- 5) 立花武, 寺谷達夫, 安保正治, 八木克典, 濱田公守, 自動車技術会春季大会, 42V フォーラム予稿, p.1, 2002年7月, 横浜
- 6) 山口耕平, 藤本直生, 山口昌宏, 山中健司, 大前孝夫, 自動車技術会春季大会, 42V フォーラム予稿, p.16, 2002年7月, 横浜
- 7) Philip Gott, 2nd AABC, February 2002, Las Vegas
- 8) 阿部眞一, 小谷武史, 茨木隆次, 戸島和夫, 社本純和, 酒井朗, TOYOTA Technical Review, **47**, No.2, 50 (1997)
- 9) Keiichi Yamamoto, MIT Consortium, October 2000, Nagoya
- 10) 佐藤浩光, 自動車技術会シンポジウム, 予稿, 2002年5月, 東京
- 11) Toshiyuki Sekimori, 1st Advanced Automotive Battery Conf., February 2001, Las Vegas
- 12) Noboru Sato, 1st Advanced Automotive Battery Conf., February 2001, Las Vegas
- 13) Takeshi Miyama, 1st Advanced Automotive Battery Conf., February 2001, Las Vegas
- 14) Hartmut Michel, MIT Consortium, June 2002, Kyoto
- 15) Jun Furukawa, Hikaru Sakamoto, Hiroyuki Iizuka, Hitoshi Sho, Keiji Mashimo, 2nd Advanced Automotive Battery Conf., February 2002, Las Vegas
- 16) Hiroyuki Iizuka, Hikaru Sakamoto, Jun Furukawa, Masaaki Yamamoto, Takahiro Shimura, MIT Consortium, June 2002, Kyoto
- 17) 志村隆広, 榎本久男, 尚 仁, 中村芳雄, 古河電工時報, No.106, 11 (2000)
- 18) 竹島修平, FB テクニカルニュース, No.57, 3 (2001)