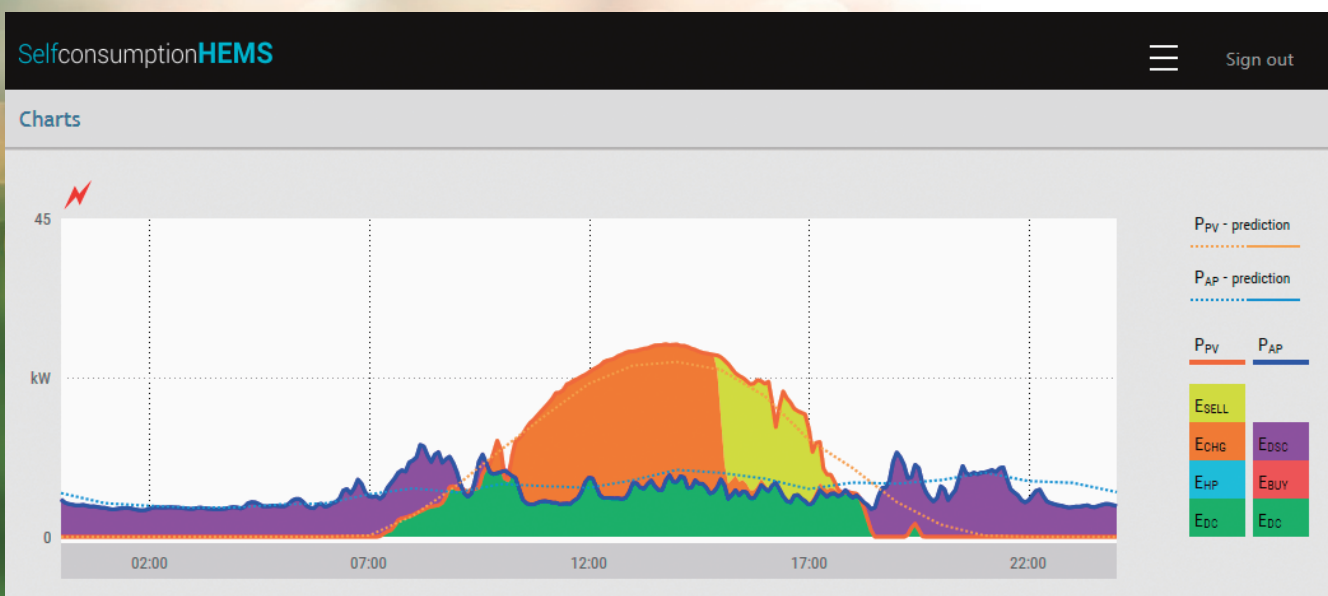


日立化成 テクニカルレポート

第60号 / 2017.12



巻頭言

- エネルギー事業のグローバル展開 ―ビジネスパートナーの真のニーズを捉える― 4
中川 操 執行役常務 エネルギー事業本部長

総説

- エネルギー事業のグローバル成長を支える新製品開発 6
椎木 正敏 エネルギー事業本部 エネルギー事業戦略部
箕浦 敏 開発統括本部 電池技術開発センタ

技術レポート

- 再生可能エネルギーの自家消費型システムのNEDOドイツ実証 13
有田 裕・加納 光益・米元 雅浩・柴田 康博・内藤 憲樹・落久保 隆
開発統括本部 電池技術開発センタ システム開発部
- 次世代無線監視装置(Gen.2) 15
向谷 一郎 開発統括本部 電池技術開発センタ 産業電池開発部
工藤 彰彦・宮本 良雄 開発統括本部 電池技術開発センタ システム開発部
早田 幸嗣・上城 貴嗣 エネルギー事業本部 産業電池システム事業部
- 産業用鉛蓄電池の新世代技術 21
下浦 一朗 開発統括本部 電池技術開発センタ 産業電池開発部
Chih-Te Wei Technical Headquarters, Hitachi Chemical Energy Technology Co., Ltd.
- グローバル展開に向けた自動車用鉛蓄電池の開発 23
小林 真輔 開発統括本部 電池技術開発センタ グローバル開発推進部
Silvia Cazzanti R&D Product Innovation Dept., FIAMM Energy Technology S.p.A
- 微細配線形成用低伝送損失ビルドアップフィルム“AS-500HS” 25
笠原 彩・岩倉 哲郎・土川 信次・高根沢 伸
開発統括本部 エレクトロニクス関連材料開発センタ 積層材料開発部
- 高耐圧パッケージの電気信頼性向上のための封止材評価技術 27
水島 彩 開発統括本部 エレクトロニクス関連材料開発センタ 封止材料開発部
- FCBGA TIM1対応黒鉛垂直配向熱伝導シート“TC-BWP01” 29
矢嶋 倫明・小船 美香 開発統括本部 社会インフラ関連材料開発センタ 蓄電摺動材料開発部
- 新絶縁付与潤滑剤を用いたネットシェイプリアクトルコア 31
稲垣 孝・石原 千生 開発統括本部 粉末冶金開発設計部
中山 紀行 イノベーション推進本部 先端技術研究開発センタ 要素技術開発部
- 遷移的液相焼結法(TLPS)金属ペースト「HT」シリーズ 33
竹内 雅記・上野 史貴 開発統括本部 新事業開発センタ
- 無加圧焼成可能な焼結Cu接合ペースト 35
中子 偉夫・石川 大・須鎌 千絵・川名 祐貴・根岸 征央・江尻 芳則
イノベーション推進本部 先端技術研究開発センタ 要素技術開発部

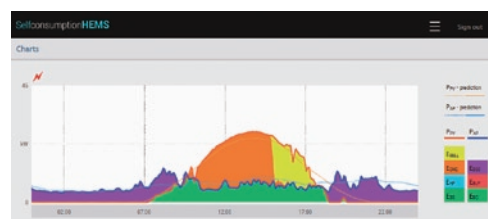
● Commentary	4
Misao Nakagawa	
● New Product Development to Support Global Growth of Energy Storage Business	6
Masatoshi Shiiki · Satoshi Minoura	
● Demonstration of a Renewable Energy Self-Consumption System for an Apartment in Germany	13
Hiroshi Arita · Mitsuyoshi Kanoh · Masahiro Yonemoto · Yasuhiro Shibata · Noriki Naitoh · Takashi Ochikubo	
● Next Generation Wireless Battery Monitoring System (Gen.2)	15
Ichiro Mukaitani · Akihiko Kudoh · Yoshio Miyamoto · Koji Hayata · Takashi Kamijo	
● New Technology for Industrial Lead-Acid Battery	21
Ichiro Shimoura · Chih-Te Wei	
● Development of Automotive Lead Acid Battery for Global Expansion	23
Shinsuke Kobayashi · Silvia Cazzanti	
● Ultra-Low Loss Build-up Film for Fine Pitch Applications “AS-500HS”	25
Aya Kasahara · Tetsuro Iwakura · Shinji Tsuchikawa · Shin Takanezawa	
● New Evaluation Technology of EMC to Improve Electrical Reliability of High-Voltage Package	27
Aya Mizushima	
● Thermal Conductive Sheet Containing Vertically Oriented Graphite Fillers “TC-BWP01” for FCBGA TIM1 Applications	29
Michiaki Yajima · Mika Kobune	
● Net Shape Reactor Core Using Newly Developed Insulating-Lubricant	31
Takashi Inagaki · Chio Ishihara · Noriyuki Nakayama	
● Transient Liquid Phase Sintering Paste	33
Masaki Takeuchi · Fumitaka Ueno	
● Sintering Cu Bonding Paste that can be Sintered without Pressure	35
Hideo Nakako · Dai Ishikawa · Chie Sugama · Yuki Kawana · Motohiro Negishi · Yoshinori Ejiri	



■(左)ハイブリッド蓄電設備
技術レポート「再生可能エネルギーの自家消費型システムのNEDOドイツ実証」(P.13)



■(右)次世代無線監視装置
技術レポート「次世代無線監視装置(Gen.2)」(P.15)



■(下)エネルギー自家消費システム
技術レポート「再生可能エネルギーの自家消費型システムのNEDOドイツ実証」(P.13)



執行役常務
エネルギー事業本部長

中川 操

エネルギー事業のグローバル展開 —ビジネスパートナーの 真のニーズを捉える—

Global Expansion of Energy Business
— Understanding the True Needs of
Business Partners —

日立化成は、1962年に日立製作所から分離独立した時の4製品(絶縁ワニス、カーボンブラシ、積層板、絶縁ガイシ)を源流製品として、材料技術、プロセス(合成・加工)技術、評価技術を基盤に多くの製品群を生み出してきました。現在、日立化成の注力事業は、情報通信、環境・エネルギー、ライフサイエンス、そして自動車の4分野にわたります。

今回、特集で取り上げるエネルギー事業は、二次電池やキャパシタなど蓄電デバイスを中心に、関連する蓄電システム、電池の状態監視やメンテナンスに係わるサービス・ソリューションを提供する事業分野で、産業用と自動車用の二つの用途を対象としています。

蓄電デバイスは、情報通信や自動車等の基幹産業にニーズがあり、今後も安定な成長を期待できる事業分野です。また近年では、地球温暖化などへの関心の高まりから、再生可能エネルギーの導入や電動化によるCO₂排出削減など、新しい分野に用途が拡大しています。

我々は、このエネルギー事業を日立化成の新たな柱事業に成長させるべく、国内からグローバルへの展開に軸を置き、非連続成長を進めて参りました。

その最初が、CSBをブランドとする日立化成能源科技股份有限公司(以下、HCEN社)の連結子会社化(2014年度)です。HCEN社は台湾に本社を置き、UPS(無停電電源装置)用の小形電池を生産販売する会社で、お客様にはUPSのグローバルトップ3社が含まれます。大形産業用電池を得意とする日立化成とは、製品構成において補完的な関係にあり、また、グローバルな販売ネットワークを有することを特徴としています。

続いて、FIAMMをブランドとし、当社過半保有の合弁会社であるFIAMM

Energy Technology(以下、FET社)を設立しました(2016年度)。FET社は、イタリアに本社を置き、自動車用バッテリーと産業用蓄電池を扱う会社で、欧州を中心に高い市場シェアを有しています。我々はこれにより、欧州初の製造拠点と、商流、ブランドを獲得しました。その結果、17年度は日立化成グループにとって、「欧州元年」といえる年となりました。

さらに、2017年度に入り、Thai Storage Battery Public Company Limited(以下、TSB社)の株式取得を進め、同社を連結子会社としました。3Kブランドを有するTSB社は、タイに本社を置き、自動車用バッテリーを中心に扱う会社で、ASEANで高いブランド力を有しています。

我々はこうした活動を通じて、国内に続く、欧州、ASEANのエネルギー事業を軌道に乗せ、「規模拡大によるグローバル市場での地位確立」をめざしています。

エネルギー事業のグローバル展開において重要なのは、新しいグループ会社との対話です。対話は双方にとってのシナジー実現につながります。特に、開発面のシナジーは、単に技術を融合するというのではなく、それぞれが知るお客様の先端ニーズをきちんと共有し、それに応えるよりよい製品をいかに創出するかがキーとなります。日立化成のコアである材料技術、プロセス技術、評価技術をもって、お客様のグローバルなニーズにお応えする。また、お客様のシステムに最適な使い方をめざし、システムを知り最適な電池を提案する「システムのわかる電池屋」になる。これが我々のめざす姿です。

お客様の真のニーズを正しく捉え、お客様と協創する取り組みは、エネルギー事業に留まらず、日立化成グループ全体の取り組みでもあります。

2017年1月、日立化成は本社隣接ビルの29階にイノベーションセンタをオープンしました。エネルギー事業部門も、イノベーションセンタ活動の一翼を担い、推進をしています。イノベーションセンタは、日立化成が有するさまざまな技術を、実物、コンセプト展示、また映像情報とともにみていただき、お客様と語り合うための場です。情報通信、環境・エネルギー、ライフサイエンス、そして自動車に係わる事業分野から、お客様のリクエストにあわせた技術を紹介するプライベートギャラリーを準備してお待ちします。お客様と協創し、さまざまな先端ニーズにお応えして参ります。

私たちは、未知の領域に踏み出すチャレンジ精神をもって、化学を超えた「新しい価値」を創造し、社会やお客様の期待を超える「驚き」をこれからも実現して参ります。

エネルギー事業のグローバル成長を支える 新製品開発

New Product Development to Support Global Growth of Energy Storage Business

椎木 正敏 *Masatoshi Shiiki*

エネルギー事業本部 エネルギー事業戦略部

箕浦 敏 *Satoshi Minoura*

開発統括本部 電池技術開発センター

地球温暖化が深刻化していく中、2015年12月の気候変動枠組条約第21回締約国会議(COP21)にてパリ協定が採択された。世界の各国が温暖化対策を力強く推進していくためには、化石エネルギーの利用比率を最小化したエネルギー需給見通し(エネルギーミックス)をめざすエネルギー革新戦略の策定が重要であり、徹底した省エネルギーの実行、温室効果ガス排出のない風力、太陽光などの再生可能エネルギーの活用最大化、発電および輸送分野における新たなエネルギーシステムの構築が必須となる。この具体的な解決策として、蓄電池を活用した新たなエネルギーシステムの開発・実用化に期待が寄せられている。蓄電デバイスは、電気エネルギーの貯蔵、空間および時間の移動を実現する最適のデバイスである。当社は、蓄電池および蓄電システムに関する長年の製品開発を通し、多くの共通基盤技術、知見を蓄積してきた。電力および自動車などの基幹産業における先進システムの変革が進行していくと、蓄電デバイスへの必要性、需要がさらに高まっていくものと期待される。今後大きな波となっていく蓄電デバイス変革に对应していくために、鉛蓄電池およびリチウムイオン蓄電池を中心に、当社保有技術をグローバル基盤技術として整理し概説する。

1 緒言

地球温暖化が深刻化していく中、2015年12月に温室効果ガス(CO₂など)の主要排出国が参加した気候変動枠組条約第21回締約国会議(COP21)が開催された。この会議では、いわゆるパリ協定として、平均気温の上昇を2℃より十分に下方に抑制することをめざす世界共通の長期目標(2℃目標)の設定などを規定した国際的枠組みを採択した。

この温暖化対策では、化石エネルギー消費を起源とする温室効果ガスの排出量の確実な削減が求められている。供給された一次エネルギーが、電気や石油製品などに変換される発電、石油精製工程での転換ロスを生じたのち、電力、熱、石油製品(ガソリン、灯油など)などの形態が異なる二次エネルギーとして最終消費者に供給される。この二次エネルギーは、家庭、産業部門、輸送部門において、電力エネルギーおよび車両駆動エネルギー(ガソリンなど)として最終エネルギーとして消費される。2014年度の日本では、一次化石エネルギー供給を100%とすると、電力エネルギーと車両駆動エネルギーが転換ロスも含めた最終エネルギー消費の約65%を占めている。これが、温室効果ガスの最大の発生源となっている。

各国が温暖化対策を力強く推進していくためには、化石エネルギーの利用比率を最小化したエネルギー需給見通し(エネルギーミックス)をめざすエネルギー革新戦略の策定が重要であり、徹底した省エネルギーの実行、温室効果ガス排出のない風力、太陽光などの再生可能エネルギーの活用最大化、発電および輸送分野における新たなエネルギーシステムの構築が必須となる。

エネルギー転換政策“Energiewende”へ取り組む環境対策先進国ドイツでは、原子力発電所や化石燃料発電所等の従来型発電から再生可能エネルギー源への置き換えを急速に進めている。一方、再生エネルギーは、天候に大きく電力供給量が変動する不安定な分散電源であり、導入量の増加に伴い、電力系統の不安定化が懸念され、世界共通の課題である。この解決策として、蓄電池を活用した新たなエネルギーシステムの開発・実用化が期待されている。当社では、鉛蓄電池、リチウムイオン蓄電池ほかを組み合わせたハイブリッド蓄電システムの活用を提案し、NEDO(新エネルギー・産業技術総合開発機構)の再生可能エネルギー導入に関する日欧協働による実証プロジェクトに参画し、ドイツおよびポーランドで新たなエネルギーシステムの構築を進めている。

また、もう一つの主要な温室効果ガスの排出源は、輸送分野の車両駆動エネルギーとなるガソリン、軽油などである。この自動車分野では、ガソリン車やディーゼル車などの内燃機関車からハイブリッド車、プラグインハイブリッド車、さらに電気自動車(xEV車)へのシフトが急速に進み始めている。米国カリフォルニア州は、CO₂などを出さない環境対応車の生産を自動車メーカーに課すゼロエミッションピークル(ZEV)規制をいち早く制定し、環境対策を強化している。また中国では、新エネルギー車(NEV)規制法を制定し、2018年度から施行していく。乗用車製造企業は、規定された企業平均燃費規制値(CAFC)を2018年から毎年クリアしなければならない。この規制値を達成するにはxEV車の生産比率を継続的に高めていく必要がある。

り、世界中の自動車メーカーが電動化を強力に推進し始めている。また、自動運転やIoT技術の導入も本格化し、車載電源への高容量化、待機電力の増大化、鉛蓄電池からリチウムイオン蓄電池への転換など車載蓄電池の変革も同時に進みつつある。欧州、日本でも環境対応車の普及拡大に向けた規制制定の動きがあり、特に欧州ではマイクロハイブリッド車の拡大をめざしている。当社では、この欧州を中心に自動車および産業用蓄電池で高い市場シェアを有する合弁会社FIAMM Energy Technology (以下、FET社)を設立した。FET社はイタリアに本社を置き、欧州自動車メーカーと新たな車載蓄電池の実用化に取り組んでいる。

蓄電デバイスは、電気エネルギーの貯蔵、空間および時間の移動を実現する最適のデバイスである。当社は、蓄電池および蓄電システムに関する長年の製品開発を通し、多くの共通基盤技術、知見を蓄積してきた。電力および自動車などの基幹産業における先進システムの変革が進行していくと、蓄電デバイスへの必要性、需要がさらに高まっていくものと期待している。

今後大きな波となっていく蓄電デバイス変革に応じていくために、鉛蓄電池およびリチウムイオン蓄電池を中心に、当社保有技術をグローバル基盤技術として整理し概説する。

2 鉛蓄電池の活物質技術

鉛蓄電池の充放電反応を支配する活物質は、要求される特性に応じて、随時改良されてきた。近年の自動車の燃費改善技術として広く利用されているアイドリングストップ車向けとして、当社では負極活物質に関する技術を蓄積してきた^{1, 2, 3)}。ここで、アイドリングストップ車向け鉛蓄電池に要求される電池特性について、簡単にまとめる。図1はアイドリングストップ車の走行モデルを示す。エンジン始動後、走行中の鉛蓄電池は充電状態にあるが、車両停止時にはエンジンが停止し、必要な電力は鉛蓄電池から供給されるため、鉛蓄電池は放電状態にある。このモデル図から、鉛蓄電池には、エンジン停止中に使用した電力を短時間で回復できること、頻繁な充放電の繰り返しに対する耐久性が高いことが求められる。

図2は、当社のアイドリングストップ車向け鉛蓄電池の各世代の技術的特長を示している。第1世代では、負極活物質に、当時主流であった天然リグニンに変わり、有機物中の官能基を最適化した合成リグニンを開発し、採用した。これにより、充電受け入れ性を1.9倍まで高めることができた¹⁾。第2世代では、耐久性を高めるために、負極活物質に添加しているカーボン材料の見直しを行った²⁾。カーボンは活物質に取り込まれ、生成する硫酸鉛の安定性を阻害し、硫酸鉛の蓄積を防止すると言われている。従来、カーボンにはアセチレンブラックが使用されているが、その効果の維持について調べた。図3²⁾は種々のカーボン材料と硫酸鉛の蓄積の防止効果の維持を示す。従来のアセチレンブラックよりもリン片状黒鉛の効果維持が長いことを見出した。第2世代までで、従来の鉛蓄電池と比べ、充電受け入れ性で2.0倍、耐久性で3.5倍まで高める技術を見出した。

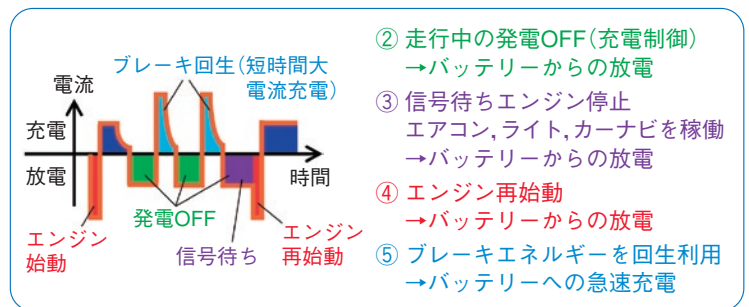


図1 アイドリングストップ車両における充放電電流モデル
Figure 1 Charge and Discharge model of the battery for Idling stop and start system

開発技術	第1世代	第2世代	第3世代
正極活物質		高耐久活物質の開発	←
負極活物質	新規合成リグニンの開発	新規カーボン材料の開発	←
セパレータ			新規セパレータの開発

図2 アイドリングストップ車用電池の技術変遷
Figure 2 Techniques of the battery for Idling stop and start system

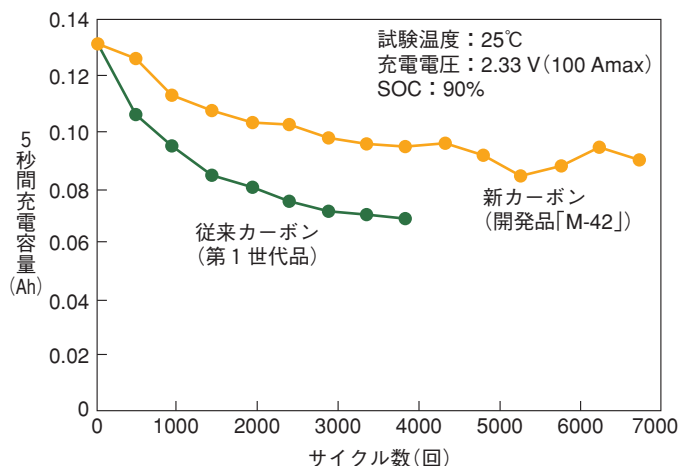


図3 カーボン種類と充電電気量の関係
Figure 3 Change in charge capacity for 5 seconds

一方、産業用鉛蓄電池の代表的な活物質技術について示す。当社は、風力発電用変動緩和抑制用鉛蓄電池として、“LLシリーズ”を開発してきた^{4, 5, 6)}。変動緩和抑制用鉛蓄電池に求められる特性としては、長周期の変動を吸収する、つまり比較的時間の長い領域の充電特性の向上と耐久性の向上である。充電性能の向上および耐久性向上の両方について、負極活物質の添加剤を検討した。図4は検討の一例である。これらの結果から、負極活物質添加剤の最適化を達成した。

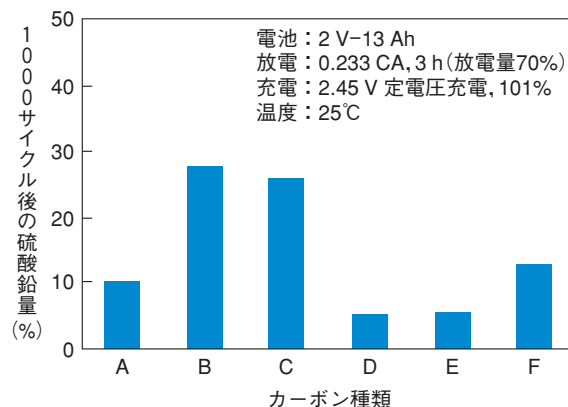


図4 LL電池の負極活物質による硫酸鉛の蓄積
Figure 4 Comparison of amount of lead sulfate in negative active material using different carbon

3 鉛蓄電池の設計技術

鉛蓄電池の集電体は、溶解した鉛合金を金型に流し込み铸造される铸造格子と鉛合金を圧延したシートをパンチング加工するパンチング格子とエキスパンド加工するエキスパンド格子が主に使用されている。集電格子に求められる機能は、活物質の電気化学反応で発生した電気を集電部まで効率的に導くための電気的な集電機能である。このため、電流密度に合わせて格子の太さや格子位置を適切に設定することで格子設計の最適化が可能となる。図5は格子の抵抗分布をシミュレーションしたものである¹⁾。これは、ISS (Idling Stop System: アイドリングストップ) 用電池の格子設計に用いたシミュレーション結果である。この結果からは、従来格子は下部の電圧降下が1.2V程度あるのに対し開発品は0.8V程度であり、従来品に比べて約25%の低抵抗化を達成したものである。一方、鉛合金製の格子は、使用中に徐々に腐食され、腐食にともなう変形を生じ、内部短絡の原因になることがある。そのため、腐食による格子変形を最小化する格子設計が必要である^{7, 8)}。図6は電力貯蔵用鉛蓄電池の変形解析結果である⁷⁾。従来品は4500サイクル時の変形が大きく、変形が故障モードになっている。一方、開発品は従来品に比べ、約35%の変形量低減が予測された。これらの結果は、実使用時の変形量との相関も確認でき、格子設計におけるシミュレーションの妥当性も確認できている。従来、格子の設計は、設計-試作-実験-見直しの繰り返しにより決定されてきたが、シミュレーションの活用により、開発期間の短縮、開発コストの削減だけでなく、製品信頼性の向上にも寄与している。

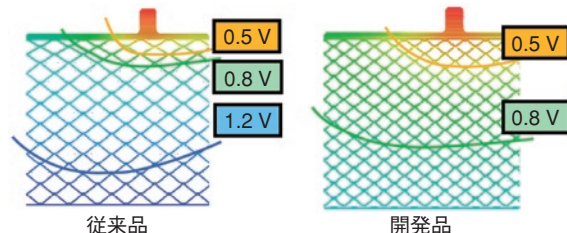


図5 集電格子の抵抗解析
Figure 5 Results of grid resistance simulation

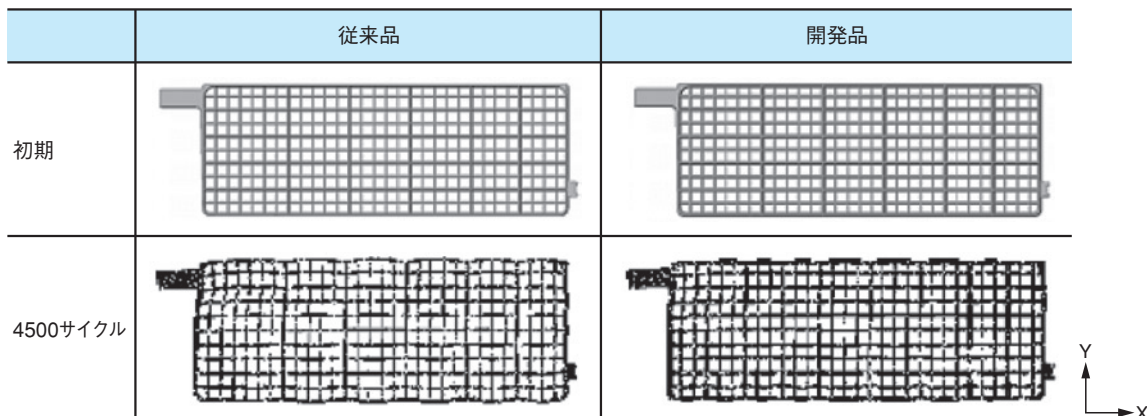


図6 電力貯蔵用鉛蓄電池の変形解析
Figure 6 Typical simulation result of corrosion deformation in LL type VRLA batteries

4 鉛蓄電池の状態検知技術

鉛蓄電池は、電圧特性が平坦なため、充電状態や劣化度などの電池状態の判定が難しい電池である。電池状態を判定することは、鉛蓄電池の最適運用や鉛蓄電池を使用したシステムの電源マネジメントをする上で重要である。使用中の電池から計測できる項目は、電圧、電流、温度に限られるため、少ない情報から電池状態を推定する技術開発をすすめてきた。ここでは、自動車用途^{9~13)}および産業用途^{14, 15)}での推定技術を紹介する。

自動車用特にアイドリングストップ車においては、アイドリングストップからのエンジン始動の可否、アイドリングストップし続けても大丈夫か否か、鉛蓄電池の寿命が近いかな否か、の判定が重要である。それぞれ、アイドリングストップ可否判定、残容量推定、要交換判定と呼ぶ。図7はエンジン始動時の電圧と電池残容量の関係を示す⁹⁾。この関係から、エンジン始動に必要な最低電圧をあらかじめ与えておくことで、アイドリングストップ可否判定が可能である。残容量は、バッテリー内部抵抗から求めた残容量と回路電圧から求めた残容量とをカルマンフィルタ処理することによって走行前の残容量を決定し、走行中は電流積算から求めた電気量を加算した。図8はアイドリングストップ走行時の推定結果である⁹⁾。試験後に測定した残容量の実測値と推定値では誤差が4%であった。鉛蓄電池は使用状況によってさまざまな劣化状態になるため、種々の電池で推定誤差を求めた。図9に推定誤差を示している⁹⁾が、いずれの劣化状態でも±10%以内であり、異なる使用状況下での推定誤差としては非常に小さいと言える。

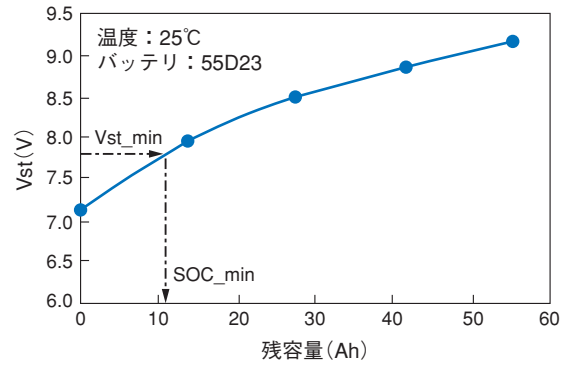


図7 エンジン始動時の電圧と残容量の関係

Figure 7 Relationship between SOC and voltage at engine start

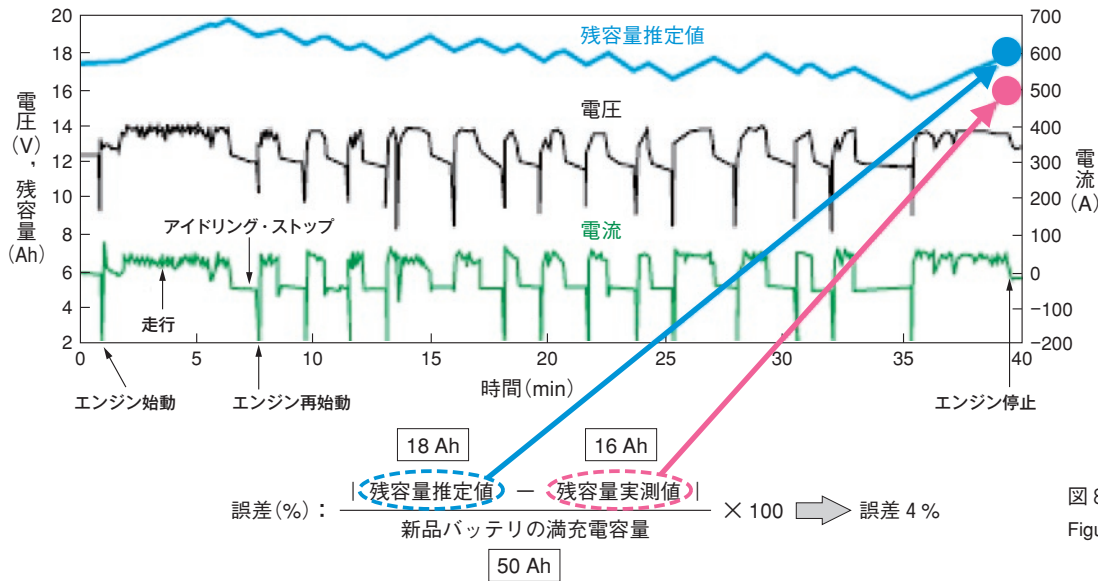


図8 ISS走行時の残容量推定

Figure 8 Results of SOC estimation in the idling stop and start system

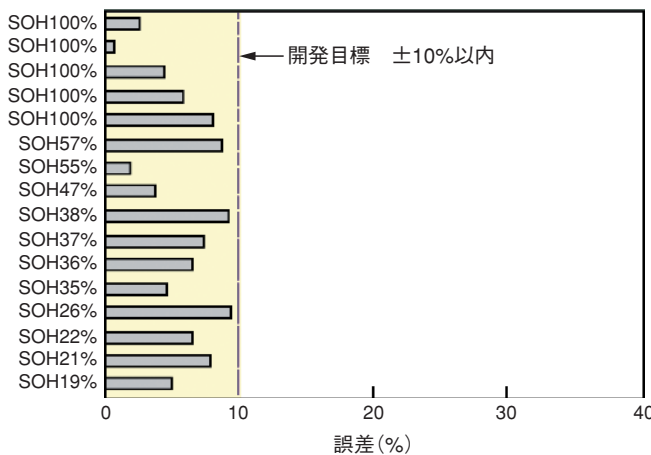


図9 種々の劣化状態の電池の残容量誤差

Figure 9 SOC errors of deteriorated batteries

次に産業用鉛蓄電池の劣化解析について開発例を示す。図10は産業用鉛蓄電池の主要な劣化モードを示す¹⁵⁾。これらの劣化は、オーミックな抵抗成分および反応抵抗成分の上昇として現れる。オーミック抵抗成分は電気化学インピーダンス測定において、原理的に高周波領域に影響が現れる成分であり、反応抵抗は低周波領域に影響が現れる。図11に種々の電池の周波数と抵抗の関係を示す¹⁵⁾。このように種々に劣化させた電池の解析を行い、電池抵抗測定に使用する周波数を、高周波領域、低周波領域、その中間の周波数領域から複数選択する方法を開発した。これらの抵抗値と電池の放電挙動には高い相関性が見られ、鉛蓄電池の劣化解析が可能となった。

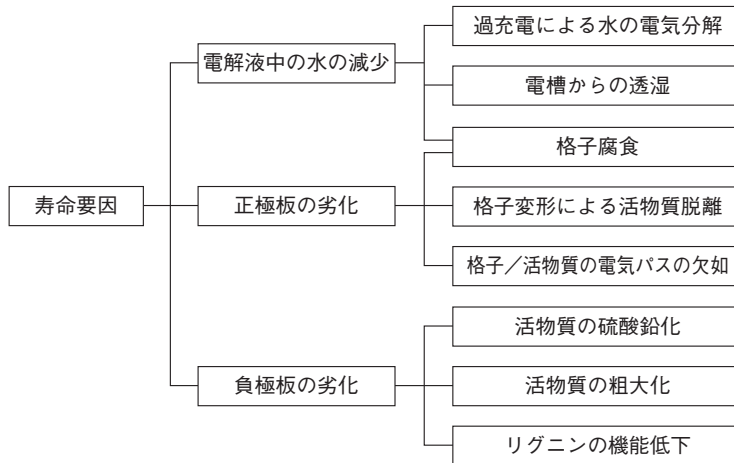


図10 鉛蓄電池の劣化モード
Figure 10 Lifetime factor of VRLA battery

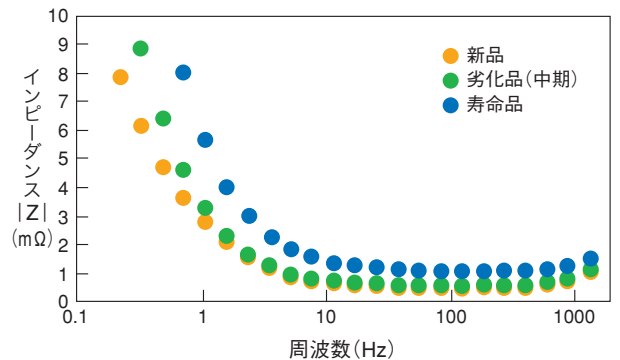


図11 種々の電池の周波数と抵抗の関係
Figure 11 Frequency characteristics of different batteries

5 リチウムイオン蓄電池の大容量化技術と電池システム技術

当社のリチウムイオン蓄電池開発は大容量化と高安全化の両立をめざしてきた¹⁶⁻¹⁹⁾。大容量化のメリットは、大規模な蓄電システムを比較的少ないセル数で構成できることである。さらに当社のリチウムイオン蓄電池は大容量セルでありながら3C連続放電を可能としており、30分以内の短時間放電にも対応できる。図12に当社“CH75電池”の概要を示す¹⁹⁾。高安全化に対しては3つの特長を有している。1つ目は円筒形の構造とすることで、極板にかかる圧力を均一化している点である。これにより、活物質の膨張収縮による局所的な劣化を抑制し、長期にわたり活物質構造を維持し、電池の信頼性を向上させている。2つ目は、SUS缶の採用である。ラミネートタイプと比べ、外部衝撃や振動に強く、定置以外の移動体用途における信頼性も高い構造となっている。3つ目は、熱安定性に優れたマンガン系正極を採用することで、熱暴走の可能性を低減している。これらの技術に加え、バック搭載時の温度環境シミュレーションや最適クーリングシステムとの組み合わせにより、大容量化と高安全化を両立させている。

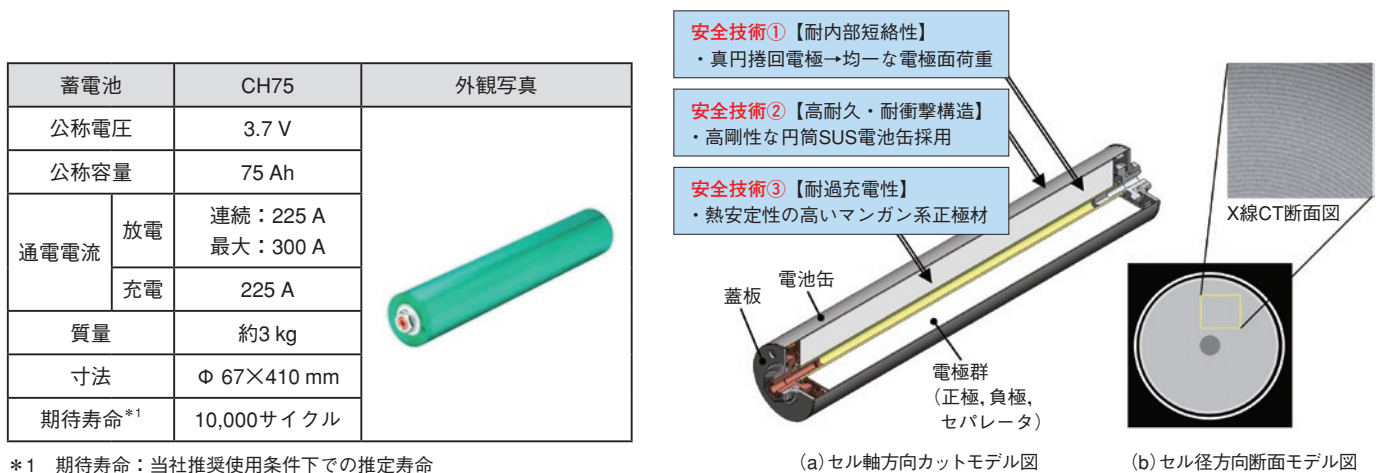


図12 CH75電池の概要
Figure 12 Specifications, appearance and safety technologies of lithium-ion battery CH75 cell

図13に“CH75”を使用した電池システム例を示す²⁰⁾。各電池パックには全セルの電圧を監視するセルコントローラを搭載し、充放電の繰り返しによる各セルの電圧ばらつきを検知し、自動的に同じ電圧に補正する機能を備えている。1台の電池盤には24台の電池パックが直列に接続されている。各電池パックのセルコントローラを監視するバッテリーマネジメントユニットを備え、各種異常・故障の検知、電池パック間のばらつきの調整を行っている。バッテリーマネジメントユニットには万が一電池盤に故障が発生したときに、該当する電池盤を切り離れた状態で運転を継続する機能も有している。

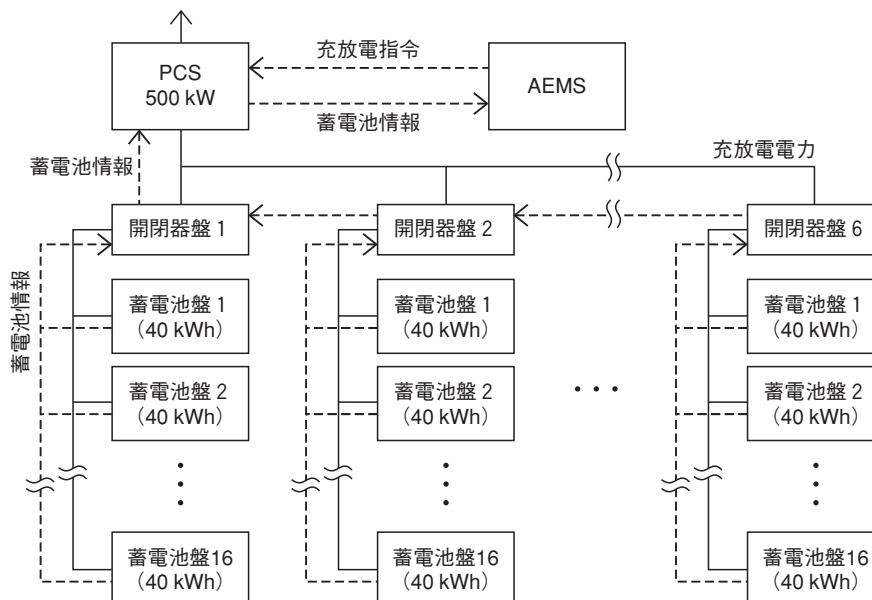


図13 CH75を使用した蓄電システムブロック図
Figure 13 Block diagram of the lithium-ion battery system

6 電池分析技術

電池活物質の化学反応の多くは、固体表面と電解液の接触面での反応であり、固体表面の性質の影響を受ける。活物質には導電材、バインダが含まれ、活物質の構造は3次元構造であり、無機-有機材料が混在した、複雑な状況にある。これらを可視化し、反応への寄与を推測することは電池の高性能化にとって非常に有益な情報を得ることができる。図14は、最新のラマン分光装置を用い、バインダの分散状態の差異を画像で確認し、電極抵抗値がバインダの占有率の影響を受けることを可視化したものである²¹⁾。これにより、バインダの電極活物質内での分布状態を確認することができ、分散性や電極材料の最適化が図れ、電池特性向上に貢献できる。

鉛蓄電池は150年以上の歴史をもつ電池であるが、活物質反応や硫酸鉛の析出形態に及ぼすカーボン材料の影響などいまだ解明されているとは言えない。当社では、分析技術の進展とともに、高度な分析技術を鉛蓄電池に適用し、添加剤の違いによる充電反応の解析、腐食生成物の構造解析など、その現象解明に取り組んできた。ここでは、硫酸鉛が連続的に析出し内部短絡を引き起こす浸透短絡を3次元で可視化した技術を紹介する。図15は浸透短絡時に生成する硫酸鉛のX線CTによる3次元イメージを示す²²⁾。従来は、セパレータ断面を研磨し、SEMを用いて観察していたため、立体的な解析が困難であった。X線CTによる3次元解析では、硫酸鉛の形状がリン片状であること、従来観察できなかった微細な析出物が存在することが明らかとなった。従来の分析技術では明らかにすることは困難であったこれらの現象をさらに調査することで、電池特性の向上が図れることが期待される。

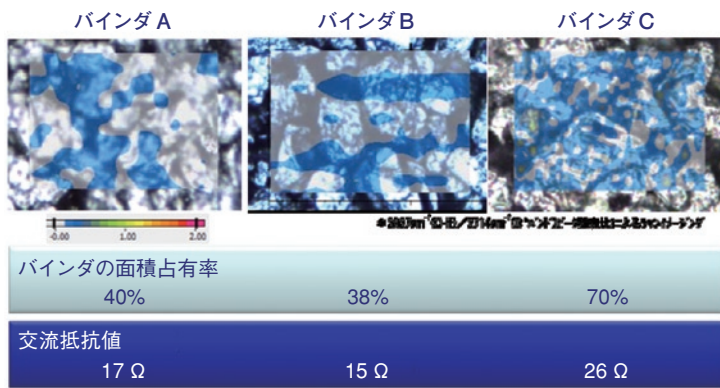


図14 バインダ違いによる電極内分布と抵抗の関係

Figure 14 Relationship between binder distribution and AC resistance based on the difference among binders

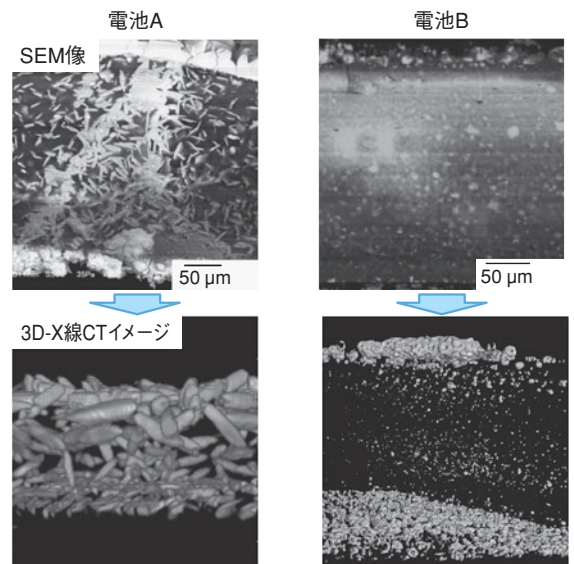


図15 鉛蓄電池のセパレータ内硫酸鉛観察

Figure 15 Cross-sectional SEM image and three dimensional structure analysis of separators after hydration short by X-ray CT

7 まとめ

以上、当社が培ってきた電池技術の一例を紹介した。当社の電池事業はHitachi Chemical Energy Technology Co., Ltd.の会社化に続き、FIAMM Energy Technology S.p.A.の設立、Thai Storage Battery Public Company Limitedの買収などグローバル市場での競争力強化を推し進めている。ここに示した電池技術を幅広く展開するとともに、新しい技術開発を推し進める所存である。

【参考文献】

- 1) 和田圭一他：ISS車両専用バッテリー，新神戸テクニカルレポート，No.20，P17(2010)
- 2) 大津公二他：軽自動車向けISS車用バッテリー，新神戸テクニカルレポート，No.22，P15(2012)
- 3) 荒城真吾他：ISS車用高耐久高充電受入性鉛電池，日立化成テクニカルレポート，No.57，P18(2014)
- 4) 高林久顕他：電力貯蔵用制御弁式鉛蓄電池の開発，新神戸テクニカルレポート，No.11，P35(2001)
- 5) 高林久顕他：サイクル長寿命電力貯蔵制御弁式鉛蓄電池LL-S形の開発，新神戸テクニカルレポート，No.15，P31(2005)
- 6) 佐野伸一他：風力発電の出力変動緩和用制御弁式据置鉛蓄電池LL1500-W形，新神戸テクニカルレポート，No.21，P15(2011)
- 7) 向谷一郎他：鉛蓄電池正極格子の腐食変形予測による長寿命設計とMULL形電池への適用，新神戸テクニカルレポート，No.15，P23(2005)
- 8) 向谷一郎他：据置鉛蓄電池開発におけるCAE解析，新神戸テクニカルレポート，No.21，P21(2011)
- 9) 前田謙一他：鉛バッテリー用状態検知センサ，新神戸テクニカルレポート，No.21，P27(2011)
- 10) 山田恵造他：自動車用AIバッテリーCYBOXの開発，新神戸テクニカルレポート，No.15，P18(2005)
- 11) 大越哲郎他：自動車用次期AIバッテリーの開発，No.16，P22(2006)
- 12) 大越哲郎他：鉛電池状態検知技術の開発，新神戸テクニカルレポート，No.14，P7(2004)
- 13) 大越哲郎他：状態検知機能付自動車用バッテリーの開発，新神戸テクニカルレポート，No.19，P17(2009)
- 14) 郡司圭子他：風力発電出力変動緩和用鉛電池の寿命・劣化予測モデル，新神戸テクニカルレポート，No.22，P19(2012)
- 15) 水杉真也他：産業用鉛蓄電池の無線による常時状態監視システム，新神戸テクニカルレポート，No.23，P15(2013)
- 16) 春名博史他：電力貯蔵用大容量リチウムイオン二次電池，新神戸テクニカルレポート，No.21，P11(2011)
- 17) 林晃司他：通信バックアップ用リチウムイオン電池の要素技術，新神戸テクニカルレポート，No.20，P3(2010)
- 18) 吉田誠人他：リチウムイオン電池，日立化成テクニカルレポート，No.55，P6(2013)
- 19) 児玉弘則：蓄電デバイス&システム，日立化成テクニカルレポート，No.57，P6(2014)
- 20) 廣田昇一他：スマートグリッド向けリチウムイオン電池システム，日立化成テクニカルレポート，No.57，P16(2014)
- 21) 住谷圭二他：リチウムイオン電池および関連材料の高度機能解析，日立化成テクニカルレポート，No.57，P22(2014)
- 22) 平野博紀他：鉛電池の高度解析技術，日立化成テクニカルレポート，No.58，P16(2015)

再生可能エネルギーの自家消費型システムの NEDOドイツ実証

Demonstration of a Renewable Energy Self-Consumption System for an Apartment in Germany

有田 裕 Hiroshi Arita 加納 光益 Mitsuyoshi Kanoh 米元 雅浩 Masahiro Yonemoto
柴田 康博 Yasuhiro Shibata 内藤 憲樹 Noriki Naitoh 落久保 隆 Takashi Ochikubo

開発統括本部 電池技術開発センタ システム開発部

1 概要

世界的に地球温暖化の防止のため、太陽光発電(以下、PV)や風力発電などの再生可能エネルギーの導入が進んでいる。ドイツにおいては2050年までに総発電量に占める再生可能エネルギーの割合を80%に引き上げるという目標を掲げ¹⁾、国を挙げて取り組んでいる。しかし、再生可能エネルギーの普及により、固定価格買取制度(FIT: Feed-in-tariff)の賦課金が年々増大、電気料金が高くなる一方で、FIT価格が下落し、2015年にはFIT価格は電気料金の半分以下まで下落している。このような状況から、PV電力を極力自家消費して買電を抑えるエネルギー自家消費システムが注目されている。そこで、弊社は国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(以下、NEDO)の実証事業を委託され、PVパネルと蓄電池、ヒートポンプ(以下、HP)を組み合わせたシステムを開発した。本システムはドイツのSpeyer市に設置し、2016年6月より実証試験を開始している。

To prevent global warming, renewable energy sources, such as PV (photovoltaic) and wind power, are becoming increasingly popular throughout the world. In particular, Germany is focusing on installing renewable energy sources in their power systems so that 80% of generated power will be from renewable energy by 2050. However, the FIT (Feed-in-tariff) rate is decreasing with the increasing number of renewable-energy installations, and the FIT rate is now less than half the electricity rate. As a result, much attention is being paid to the “self-consumption model” in which PV power is consumed within a household, and the amount sold outside the household is decreasing. With this background, we developed a self-consumption system that enables more effective use of PV power. The system uses both rechargeable batteries and a heat pump, and has been operating since it was installed in June 2016.

2 エネルギー自家消費システムの特徴

- ・蓄電池およびHPを活用してPVによる電力を集合住宅内で最大限消費し、エネルギーコストの最小化を実現。
- ・HEMS(Home Energy Management System)が電気と温水の需要の予測をもとに、蓄電池とHPの最適運転パターンを生成。
- ・ドイツおよびEUの法規・規格に適用したコンテナでのシステム構築であり、既存住宅への後付けが可能。
- ・遠隔監視機能を搭載し、現地の動作状況を日本からもリアルタイムに把握することが可能。

3 開発の経緯

再生可能エネルギーの先進国であるドイツでは、既にFIT価格が電気代を下回っており、PVでの発電電力の売電を抑え宅内で消費する「PV電力の地産地消」が重要となっている。そこで、弊社はNEDOの委託により、PV電力の地産地消をするとともに、エネルギーコストを低減できる「自家消費モデル」の確立を目的としたスマートコミュニティ技術実証事業(以下、本実証事業)に2015年7月から取り組み、下記スケジュールにて運転を開始した。

2016年6月：PV、蓄電池(LIB)、インバーター、HP、各種センサーおよびHEMSによるシステムを設置、実証運転開始
同 年9月：LIBに加え、鉛蓄電池(LAB)を組み合わせたハイブリッド蓄電システム²⁾の構築、運転開始
翌 年4月：HEMSが電気と温水の需要を予測し、蓄電池とHPの最適運転によるエネルギーコストの最小化運転を開始

本報告では、ドイツおよびEUの法規・規格対応、蓄電池とHPの最適運転を実現するエネルギーコスト最小化運転について述べる。なお、今回対象とした集合住宅は入居済みの物件であり、住人への影響を考慮し、宅内改修が必要な給湯については現状のままとし、HPからの温水は各部屋の暖房用としてのみ供給した。

また、ドイツに設置するシステムの稼働状況が日本からでも把握できるように、遠隔監視システムを導入した。

4 技術内容

a) ドイツおよびEUの法規・規格対応

本実証では、住宅地に大容量のリチウムイオン蓄電池(LIB)を設置したため、消防許可を得ることが最大の課題であった。火災消火設備の設置に関して専門家および所轄消防とのリスクアセスメントの結果、ガスや熱といった一般的に使用される検

出器に加え、リチウムイオン蓄電池の温度を直接監視し、さらに誤動作防止のための対処として複数の検知器が動作した時に初めて消火活動を行うような防火コンセプトとした。また、消火水をそのまま排出すると土壤汚染につながる恐れがあるため、環境破壊防止策としてコンテナ内に貯める構造とした。

図1に構成図、図2に最終的な実証システム外観を示す。PV出力が30 kW~100 kWの設備に対しては、電力会社からの要請により系統に電力を流さず遠隔で遮断する仕組みの設置がドイツでは義務付けられている(Erneuerbare-Energien-Gesetz-EEG 2017)。本システムではPV出力が46.8 kWであるため、対策として実証先のカウンターパートであるSWS(Stadtwerke Speyer GmbH)から遠隔操作にてグリッドとの遮断と再接続が可能な機能を設けた。

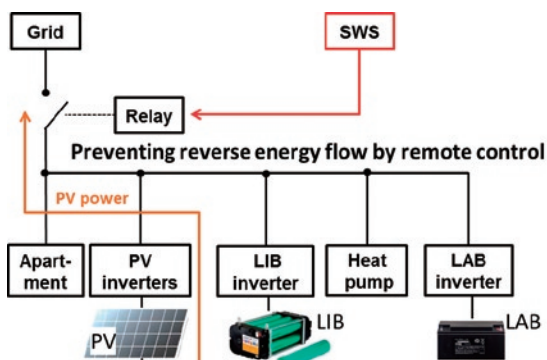


図1 システム構成図
Figure 1 System configuration



図2 実証システム外観
Figure 2 External view of the demonstration system

b) エネルギーコスト最小化運転

図3に本システムの制御イメージ図を示す。本システムでは、PV電力を蓄電池への充電およびHPでの温水生成に利用する。昼間に蓄電池に貯めた電力を夜間等に放電するとともに、HPで温めた温水を部屋暖房用に出力することで、逆潮流の最小化および光熱費の削減を実現する。しかし、PV発電は夏期がピークとなる一方で、部屋暖房需要は冬期にピークを迎えるため、電力および部屋暖房需要に合わせて、PV電力を蓄電池およびHPに分配する必要がある。そこで、HEMSに搭載したエネルギーコスト最小化運転では、1) PV発電および電力・暖房需要の予測、2) その予測結果をもとに線形計画法を用いた数日先までの運転計画の生成、3) その運転計画にしたがって蓄電池の充放電およびHPの温水生成の制御の3段階の処理を行う。これにより、天候の影響も考慮しつつ、PV電力を無駄なく有効利用することを実現している。図4(a)にPVのみ適用時、図4(b)にHEMSでのエネルギーコスト最小化運転の適用時の動作を示す。PVのみの場合、昼間の余剰電力はすべて売電、夜間に必要な電力は買電で確保しているため、自家消費率は37.7%。一方、エネルギーコスト最小化運転の適用時は、昼間の余剰電力のうち夜間に必要な電力のみを蓄電池に充電、残りを売電することで、夜間の電力を蓄電池から供給し、買電を0に抑えている。この結果自家消費率は65%まで改善し、エネルギーコストの最小化を実現している。

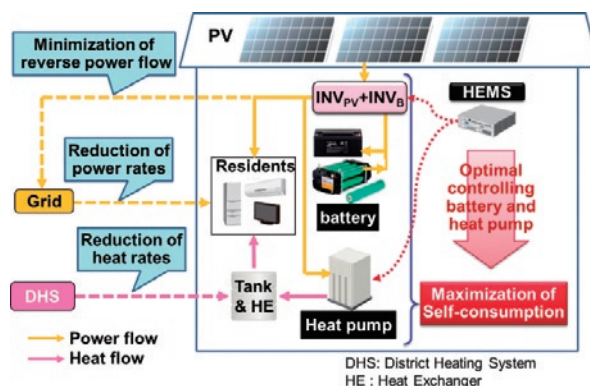
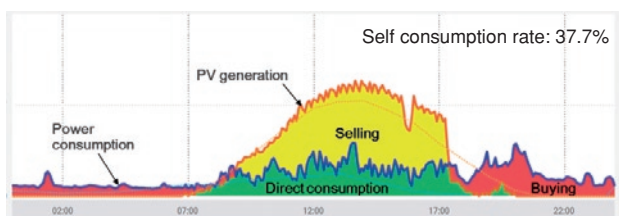
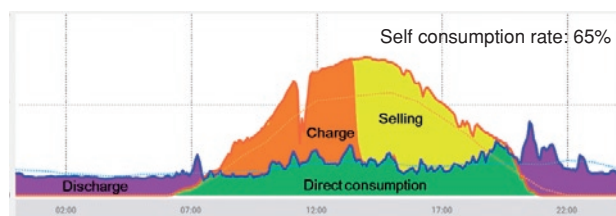


図3 制御イメージ
Figure 3 Control image



(a) PVのみ適用時(2016/8)



(b) エネルギーコスト最小化運転適用時(2017/7)

図4 PVのみとエネルギーコスト最小化運転適用時の動作および自家消費率の比較

Figure 4 Comparison of self-consumption rates and behavior when (a) only PV generation is applied and (b) operation to minimize energy costs is applied

【参考文献】

- 1) 諸角, 山川: 「ドイツでの住宅用太陽光自家消費システムの実証」, 電気評論, Vol.102, No.5, pp.55-60(2017-5)
- 2) 有田, 武田: 「電力平準化用大容量ハイブリッド蓄電池システム」, 日立化成テクニカルレポート, No.57, pp.20-21(2014-12)

次世代無線監視装置 (Gen.2)

Next Generation Wireless Battery Monitoring System (Gen.2)

向谷 一郎 *Ichiro Mukaitani*

開発統括本部 電池技術開発センター 産業電池開発部

工藤 彰彦 *Akihiko Kudoh* 宮本 良雄 *Yoshio Miyamoto*

開発統括本部 電池技術開発センター システム開発部

早田 幸嗣 *Koji Hayata* 上城 貴嗣 *Takashi Kamijo*

エネルギー事業本部 産業電池システム事業部

1 概要

バックアップ用に使用される鉛蓄電池は、携帯電話の基地局などの通信機器をはじめ、UPS*に数多く採用されており、特にデータセンターなどの信頼性が高く大規模なサイトに使用される場合が増えている。近年、データセンターはさらに大形化が進んでおり、使用される蓄電池の点検は、人手ではなく自動計測化が望まれている。当社は、鉛蓄電池を自動計測する無線監視装置 (Gen.1) を上市済で、改良を加えた次世代の監視装置 (Gen.2) を現在開発中である。今回、この監視装置について紹介する。

*UPS：Uninterruptible Power Supply 無停電電源装置を示し、日本では一般的に交流出力のものを示す。

The lead acid battery used for backup use is adopted in communications equipment for the use of UPS, such as cell phone base station. The UPS needs are especially growing for the use in large scale sites requiring high reliability, as in data centers, which are increasing their size continuously. On the other hand, the lead storage battery of the staff and the maintenance of the automation to measure were expected very much. Therefore, we develop a monitoring system in the next generation called Gen.2 in substitution for the system which was developed before being called Gen.1. This paper takes a flow and next generation monitoring system called Gen.2.

2 新製品 (Gen.2) の特長

- ・蓄電池に設置した子機で蓄電池の電圧・インピーダンスおよび(近傍の)温度を自動計測し、無線で親機にデータを通信し、そこからクラウドサーバにデータを送信して、クラウドサーバ上で蓄電池の状態を監視する構成を基本オプションとした。ただし、一部の顧客ではセキュリティの関係上外部との通信が制限される場合がある。そのような場合を想定し、Gen.1と同様にオプションで上位PCを設置して運用することも可能なオプションの構成とした。
- ・親機で複数のアンテナを切り替えて通信する機能と通信異常時の周波数変更機能を組み入れ、親機と子機間の無線通信の信頼性を向上させた。
- ・通常の内部抵抗の他に低い周波数でのインピーダンスを測定し、放電特性の容量推定等状態検知の機能を高めることができる構成とした。
- ・電池電圧を均等化し、蓄電池の状態を安定化させるバランス機能が可能構成とした。

3 開発の背景

バックアップ用の産業用鉛蓄電池は、固定電話、携帯電話の通信基地局から、基幹ネットワークの通信インフラ、発電所・ビルの直流電源、データセンターの給電まで多岐に渡って使用されている¹⁾²⁾。特にe-shopping(インターネットビジネス)の普及、取引の電子化・グローバル化、スマホの普及³⁾による通信容量の増加に伴いデータセンターが大規模化しており、蓄電池のさらなる高信頼性が望まれている。また、通信・電力などの社会インフラに使用される設備では、バックアップ電源として使用されている蓄電池が正常な状態であるか、災害が起きたときに使用可否を遠隔地から確認する手段が必要とされている。その蓄電池の異常を検知する手段としては、蓄電池の温度、電圧および内部抵抗の測定による傾向管理が一般的に用いられている。また、従来の人手による測定から自動測定による状態監視の要求も大きい。さらに蓄電池設備の更新にはコスト・時間が掛かる、更新時期を適切に知る必要がある。そこで当社ではGen.1の無線監視装置で、大規模な蓄電池設備へ自動測定を適用し、設置工事の軽減・ハーネスの簡素化とハーネス接触による絶縁破壊の回避など安全を配慮した自動測定と、カレンダーによる更新時期表示機能の対応をした。さらに近年普及してきたIoTへの対応を考慮して複数の設置拠点のデータを遠隔監視とするために、クラウドサーバを用いて常時遠隔監視を前提としたGen.2を開発することにした。また、Gen.1で対応できない単セル測定の対応と通信の信頼性向上も図ることにした。

4 技術内容

図1にバックアップ用途電池の使用期間と内部抵抗およびトリクル電流変化の一例を示す。この図に示されるように、鉛蓄電池は寿命期を超えて使用すると、内部抵抗・トリクル電流は使用開始と共に低下した後徐々に上昇する期間を経た後、急激に上昇する。この状態でさらに使用を継続すると、発熱・発煙などの可能性がある⁴⁾。そのため、急激に上昇する現象を捉え、更新時期をアナウンスするなどの適切な管理が必要である。なお、使用期間の相対比率は設計寿命を100%としたときの相対値である。

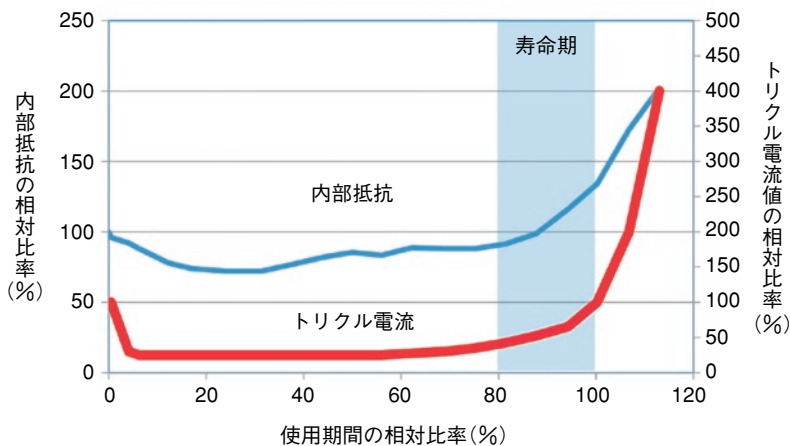


図1 バックアップ用途電池の使用期間とトリクル電流および内部抵抗の関係例

Figure 1 Typical characteristics diagram of impedance and trickle current

Gen.1およびGen.2無線監視装置では、使用期間によって標準の更新時期をアナウンスするとともに、常時監視された蓄電池の電圧・温度および内部抵抗を傾向管理し蓄電池の健全性を確認している。

図2にGen.2のシステム構成図を、表1にシステム仕様を示す。

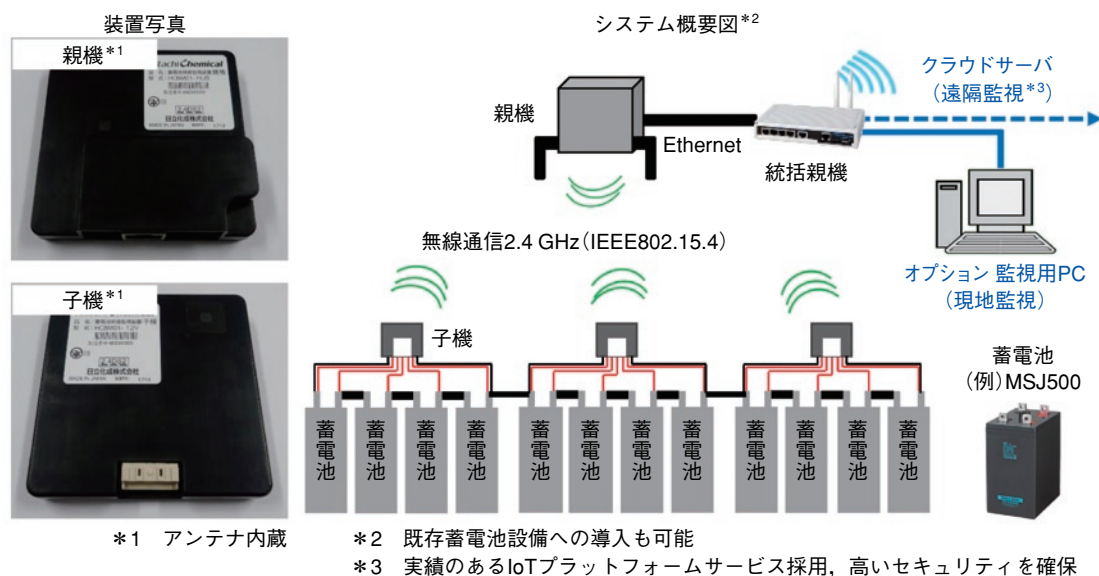


図2 Gen.2無線監視システムの構成図

Figure 2 Equipment configuration of wireless monitoring system of storage batteries states

表1にGen.2のシステムの仕様を示す。

表1 Gen.2システム仕様
Table 1 Specification of the developed system

項目	内容		
構成装置	基本構成	親機, 子機, 統括親機	
	オプション	クラウドサーバ, 上位コントローラ	
無線通信方式	IEEE802.15.4 (2.4GHz)		
対応電池	モノブロックタイプ	12V系	UP, HSE/MSE/MSJ
		6V系	HSE/MSE/MSJ
	単セルタイプ	2V系	MSE/MSJ MU系
監視可能電池個数 (統括親機1台当たり)	モノブロックタイプ (6V/12Vタイプ)	2160個 (8親機×270子機×1電池/子機)	
	単セルタイプ (2Vタイプ)	8640個 (8親機×270子機×4電池/子機)	
監視項目	電圧, 温度, 内部抵抗(インピーダンス: 複数周波数)		

Gen.2システムは、無線子機、無線親機、統括親機とクラウドサーバもしくは上位コントローラから構成される。無線子機は蓄電池に接続され、蓄電池(近傍の)温度、電池電圧および内部インピーダンスを測定し、データは無線通信で親機に送信される。そのデータはEthernetで接続された統括親機に送られて格納され、そこからクラウドサーバあるいは上位コントローラに転送される。クラウドサーバあるいは上位コントローラは測定データを管理し、測定データの傾向管理・閾値管理により蓄電池の劣化および異常状態を判定する。今回の開発システムはクラウドサーバを基本としており、顧客とサービス(管理)部門とのデータ共有が可能となる。しかし、一部の顧客ではセキュリティの関係上、外部との通信が制限される場合がある。そのような場合を想定し、オプションで上位コントローラを設置して運用することも可能な構成とした。

表2に現行品(Gen.1)と開発品(Gen.2)の仕様比較表を示す。

表2 現行品と開発品の比較
Table 2 Comparison between Gen.1 and Gen.2

No.	項目		現行品(Gen.1)	本開発品(Gen.2)	
1	機器性能	通信方式	無線2.4GHz帯 IEEE 802.15.4	無線2.4GHz帯 IEEE 802.15.4	
2		測定対象電池	・12V/6Vモノブロック電池 ・2V電池(3直列か4直列単位で測定) ^{注)}	・12V/6Vモノブロック電池 ・2V電池	
3		測定電池データ数	1620以下	2160以下(6V/12V電池) 8640以下(2V電池)	
4		電圧	範囲(V)	4.0~15.5	1.5~15.5
			精度(mV)	±200以下	±50以下
5		温度	範囲(°C)	-10~60	-10~60
			精度(%)	±1.5以下	±1.5以下
6		内部抵抗	範囲(mΩ)	0.1~20	0.1~30
			精度(%)	±3.0(FSR)	±3.0(FSR)
7		消費電流(子機: mA)		平均2以下	平均2以下
8		異常検知		電圧, 温度 内部抵抗, 通信	電圧, 温度 内部抵抗, 通信
9		寿命予測		設計寿命参照 (温度補正無し)	設計寿命参照 (温度補正あり開発中) 予兆診断(開発中)
10		付加価値	高率放電容量推定	未対応	開発中
11			電圧バランス	未対応	開発中
12	遠隔監視		未対応	対応	
13	通信安定性		アンテナダイバシティ	未対応	対応
			Ch変更タイミング管理	未対応	対応
14					

注)2V電池は3個か4個直列で擬似的なモノブロック電池として監視

図3はGen.2子機(単セル用)の内部構成図である。

Gen.1では子機1台で1つの電池電圧と内部抵抗しか測定できなかった。

Gen.2の子機では、単セルの電圧とインピーダンスを測定するために、複数のセルの端子電圧をマルチプレクサ(MUX)で切り替えてADCで測定している。また、Gen.1ではチップアンテナを搭載した市販の無線通信モジュールを用いているが、図4に示すようにGen.2ではコスト低減のために無線回路部をオンボード化し、アンテナもパターンアンテナを採用した。なお、Gen.2の無線親機では、1/2波長離れたパターンアンテナを2個有し、両方のアンテナで通信することで通信の信頼性を高めた構成としている。

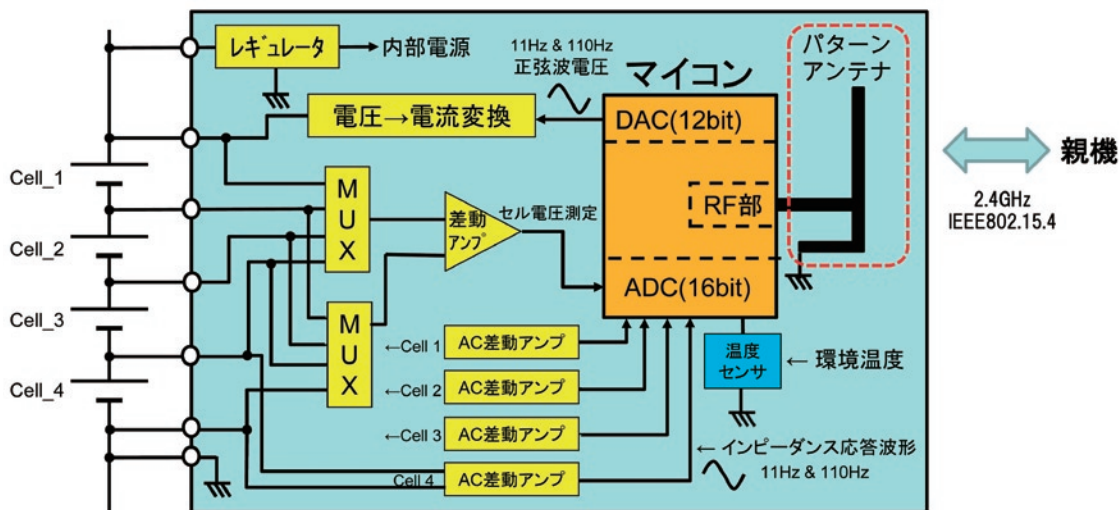


図3 Gen.2子機の内部構成図
Figure 3 Block diagram of the Gen.2 wireless slave monitoring device

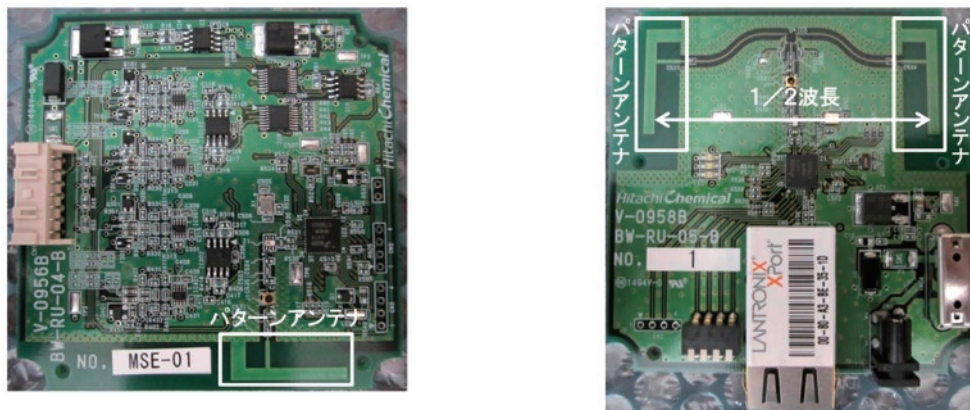


図4 Gen.2の子機(左)および親機(右)の基板
Figure 4 Photographs of wireless slave monitoring device (left) and master monitoring device (right)

表3に子機の仕様を示す。今回子機は複数のタイプがある。それは、単セル用とモノブロック用である。前者は単セル電池を複数直列した組電池を1ユニットと見なし、単セルごとに計測するものである。単セルごとに子機を設置することも考えられるが、その場合には子機数が多くなり、コストアップと共に無線通信時の輻輳、電波干渉の原因となるためこのような形とした。さらに、電波干渉を考慮し、親機に2個のアンテナを切り替えて通信する機能、通信異常時に周波数を変更する周波数切り替え機能、親機と複数の子機の間で通信が重複しないようにする通信タイミング調整機能を組み入れた。表4は無線親機の仕様である。1親機は最大270台の子機を監視可能である。表5は統括親機の仕様であり、最大8台の親機の取り纏めが可能である。

表3 子機仕様

Table 3 Specification of slave monitoring device

項目	単セル用		モノブロック	
	3セル用	4セル用	6Vタイプ	12Vタイプ
監視電圧範囲(V)	1.400~3.000	1.400~3.000	4.20~9.00	8.40~18.0
監視温度範囲(℃)	-10.0~60.0	-10.0~60.0	-10.0~60.0	-10.0~60.0
監視内部抵抗範囲(mΩ)	0.100~10.000	0.100~10.000	1.00~30.00	1.00~30.00
入力電圧(V)(DC)	4.2~12.0 (蓄電池より供給)	4.2~12.0 (蓄電池より供給)	4.2~18.0 (蓄電池より供給)	4.2~18.0 (蓄電池より供給)
消費電流(mA)	≤2.0	≤2.0	≤2.0	≤2.0
外形寸法(mm)	W:86.0×H:86.0×D:13.0	W:86.0×H:86.0×D:13.0	W:86.0×H:86.0×D:13.0	W:86.0×H:86.0×D:13.0

表4 親機仕様

Table 4 Specification of master monitoring device

項目	各タイプ共通
最大接続可能子機数(台)	270
	DC:4.5-5.5
入力電圧(V)	AC100V(小形UPS) ACアダプタより給電
消費電流(A)	0.5
外形寸法(mm)	W:86.0×H:86.0×D:13.0(突起部除く)

表5 統括親機仕様

Table 5 Specification of main control monitoring device

項目	各タイプ共通
最大接続可能親機数(台)	8
	DC:12.0~20.0
入力電圧(V)	AC100V(小形UPS) ACアダプタより給電
消費電流(A)	3/12V
外形寸法(mm)	W:117.0×H:92.0×D:35.0
Ethernetポート	RJ45(10BASE-T, 100BASE-TX)

次にソフトウェアの特長を示す。

- ① 親機と子機の通信の信頼性を確保するため、親機は常時2本のアンテナを切り替えて子機と通信すると共に、通信不良時には通信周波数を切り替える方式を取り入れた⁵⁾⁶⁾。また、複数の子機と通信するため、親機が子機との通信タイミングを管理する方式とした。
- ② セル電圧を均等化するため、単セル用では単セルごとにバランスング回路を制御し、モノブロック用では内部抵抗の測定機能を使用してバランスング制御する機能も付与した。
- ③ 統括親機に汎用のLinuxゲートウェイを使用し、ソフトウェアの開発工数を短縮した。
- ④ 汎用のIoTプラットフォームを用い、(公共の)モバイル通信を使用しながらセキュリティを担保した状態でクラウドサーバに接続が可能である。
- ⑤ 統括親機では通信にModbus TCP仕様を採用しており、統括親機はスレーブとしてデータ通信ができる。Modbus TCPのマスターとして動作するソフトウェアを開発すれば、既存の監視システムを用いることも可能である。
- ⑥ 蓄電池あるいは周囲温度を計測し、アレニウス則に基づいて蓄電池の使用期間を温度換算し蓄電池の交換時期をアナウンスする機能を付与した。
- ⑦ インピーダンス測定の耐ノイズ性を高めた。

ソフトウェアの特長⑦を説明する。実運用では内部インピーダンス測定値にリプル電圧が影響する場合がある。それは使用されているUPSや直流電源の種類に依存し、その大きさと周波数成分は電源の種類により異なる⁴⁾⁷⁾。Gen.2では商用電源のノイズ⁷⁾⁸⁾を考慮して周波数110 Hzと11 Hzでインピーダンスを測定することとした。なお、過去の計測データの互換性も考慮して1 kHzの値を求める機能も付与する予定である。

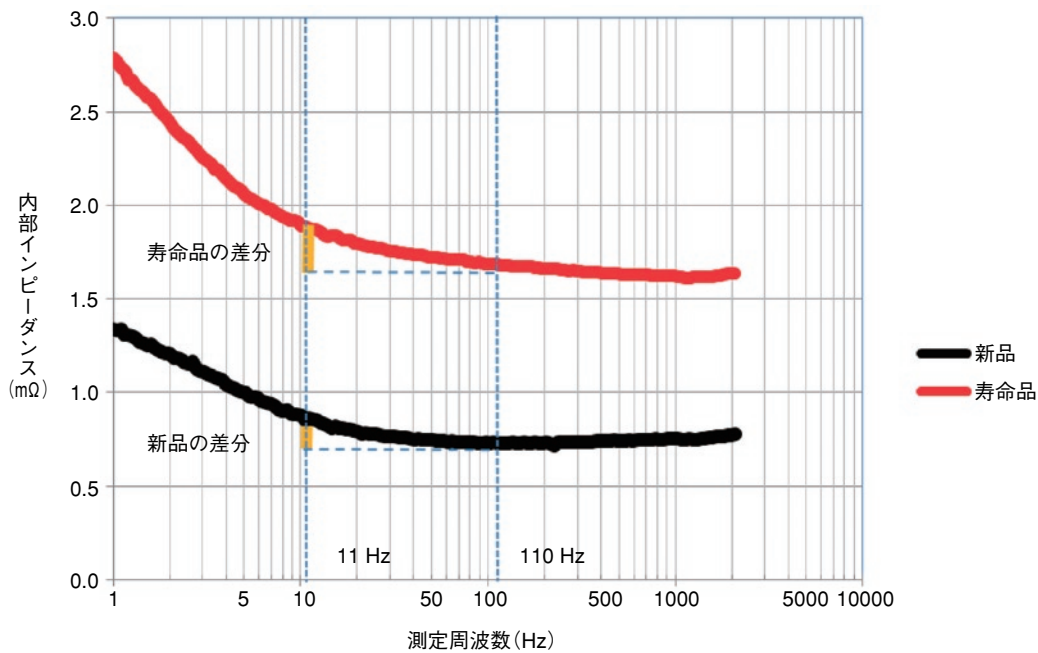


図5 測定周波数とインピーダンスの特性例

Figure 5 Typical characteristics diagram of impedance and measurement frequency

次に周波数5 Hz～100 Hzの低周波でのインピーダンスを説明する。鉛蓄電池の高率放電特性は負極の有効反応表面積に依存しており⁹⁾¹⁰⁾、その指標として電気二重層容量および電荷移動抵抗があることが判明している。Gen.2で測定する5 Hz～100 Hzの領域の低周波数のインピーダンス(今回は11 Hz)と110 Hzの高周波のインピーダンスの差分は、上述の負極の電荷移動抵抗に相当するので、この値より高率放電容量が推定できる。

このように、Gen.2では高率放電の推定に有効な低周波でのインピーダンスを測定するとともに、Gen.1や蓄電池業界標準の1 kHzのインピーダンス値との互換性・継続性も考慮した仕様とした。

5 今後の展開

- ・製品化
- ・信頼性のさらなる向上
- ・蓄電池の寿命予測・予兆診断の高精度化
- ・海外対応(無線認証・法規対応)

【参考文献】

- 1) (一財)建築コスト管理システム研究所・新技術調査検討会 “定置用蓄電池の動向について” 建築コスト研究 No.81 2013年4月
- 2) I. Mukaitani, et.al: “Positive electrode corrosion elongation analysis Using CAE with Corrosion deformation transformed into thermal phenomenon.” Journal of Power Sources., 14, p528(2005)
- 3) 平成29年版情報通信白書 第1部 スマートフォン社会の到来
- 4) (社団)日本電機工業会 “情報化社会に安心を与えるUPS” 2007年11月
- 5) 再公表特許 W2015/145622 2015年10月
- 6) 公開特許公報 2016-96623 2016年5月
- 7) 例えば、インバータの上手な使い方(電気ノイズ予防対策), JEMA, 平成20年
- 8) 水杉真也, 他: “産業用鉛蓄電池の無線による状態監視システム” 新神戸テクニカルレポート, No.23, p15- 2013年3月
- 9) 武部智紀, 他: “ハイレート長寿命制御弁式鉛蓄電池HD形の開発” 新神戸テクニカルレポート, No.16, p27- 2006年2月
- 10) 木村隆之, 他: “リグニン構造が与える鉛蓄電池の負極性能への影響” 新神戸テクニカルレポート, No.17, p3- 2007年2月

産業用鉛蓄電池の新世代技術

New Technology for Industrial Lead-Acid Battery

下浦 一郎 *Ichiro Shimoura*

開発統括本部 電池技術開発センター 産業電池開発部

Chih-Te Wei

Technical Headquarters, Hitachi Chemical Energy Technology Co., Ltd.

1 概要

近年、鉛蓄電池は、電源バックアップ、主電源システム、車両用電源等への需要も高まり、その性能向上は一刻も猶予できない状況にある。また、環境面での関心も高まり、環境に適応した資源節約型の電池が要求されている。電池容量、高率放電性能、そして寿命等性能と、環境適応性を同時に向上させることは、克服すべき重要課題である。本論文では、当社で開発したPPC(Pure lead, Punching, Carbon)技術を紹介する。その内容は、革新的な構造設計と最先端のカーボン材配合技術との組み合わせにより電池性能を大幅に向上させ、さらに自動化による製品の安定性および歩留りを高めるものである。また、製造工程でのエネルギー消費および水使用量の低減により、製品のカーボンフットプリントを低減し、環境に優しい製品を実現する。

Today, the demand for the lead acid battery, such as vehicle, industrial backup, and industrial starter uses have constantly grown, and the improvements of the lead acid battery performance can afford no further delay. In addition, as the interest to the environmental aspect increases, resources saving batteries are required.

Improving the four elements, battery capacity, high-rate discharge characteristics, service life and environmental applicability at the same time is an ultimate challenge.

For this solution, this article will introduce our latest technology, Pure lead, Punching, Carbon technology (hear in after PPC). This technology has combined the cutting edge of the carbon material compounding techniques with innovative structure design, greatly enhancing the battery performance. In addition, we have developed an automation system for the PPC technology, achieving product quality stabilization and high yield rate. The technology will also reduce water and energy usage, resulting to reduce carbon footprint, and achieving to produce an environmental friendly product.

2 開発技術の特徴

- ・粒界腐食のない合金材料を格子に適用することで、格子の耐食性を向上させて電池寿命を延ばす。
- ・銅芯を埋め込んだ端子とストラップを自動溶接一体化成型により溶接不良を低減し、また導電経路の短い形状そして貫通溶接部の面積を大きくとることで導電性を改善し、発熱温度を下げ、高率放電性能を向上する。
- ・格子の製造方法の変更により、メッシュの細かい軽量薄型格子とすることで、導電性および活物質利用率を向上する。
- ・導電性を有するカーボン材を負極活物質に添加することで、活物質の比表面積の増大と導電性を向上させ、充電受け入れ性能を改善する。

3 開発の経緯

科学技術が日進月歩で進化しているとともに、市場においてはエネルギーに対する需要が増え続けており、使用分野をより一層広げるため、産業用鉛蓄電池に関する技術は絶え間なく発展している。現在直面している課題とその対応策を表1に示す。電池寿命の延長および高率放電時の電池性能向上をめざして、設計構造の変更と、新材料の導入によるPPC技術を開発した。その主要な要素技術を図1に示す。

表1 鉛蓄電池が直面する課題とその対応策

Table 1 Issues and their measures of a lead acid battery

直面している課題	関連する部材特性	対応策
電池の短寿命	格子の耐食性	合金材料変更による耐食性の向上
高率放電による温度上昇	端子・ストラップ部の導電性	導電部構造の設計変更による発熱温度の低下
高出力を満足すること	極板群の貯蔵エネルギー量(高率放電性能・充電受け入れ性)	格子製法の変更および極板枚数の増加
活物質利用率が低い		極板表面積および多孔度の向上
充電時間過剰によるエネルギーの消費		導電性を持つカーボン材の添加による充電受け入れ性の向上

4 技術内容

既存のPb-Ca-Sn合金は結晶が大きく、粒界腐食により劣化しやすい。PPC技術で採用したPb-Sn合金は、結晶が小さく、全面腐食(図1(a))により劣化する¹⁾。Pb-Ca-Sn合金格子の腐食量は純鉛格子の腐食量の132.1%であるが、Pb-Sn合金格子は71.9%である。Pb-Sn合金の採用により、格子の腐食速度を低減し、電池の長寿命化が可能となる。

高率放電時における高出力化を可能にするためにPPC電池の構造を改善した(図1(b))。COS(Cast-on Strap)工法により、極柱と銅芯を埋め込んだCOS極柱—ストラップ—体構造へ変更することで導電経路を短くした。さらにセル間の貫通溶接部の接触面積を大きくすることで内部抵抗を低減した。自動化設備の導入により生産速度が向上し、さらに手溶接による溶接不良、鉛流れ、溶断の発生を抑え、歩留りが大きく向上する。構造変更の結果、放電時の発熱量はストラップで60%、セル間端子部で58%減少し、高率放電性能が向上した。

軽量薄型化のため、PPC技術では連続式鉛シート製造およびパンチング工法を用いて薄型でかつ細かいメッシュの格子(図1(c-1))を作ることが可能となる。これにより導電性が向上するとともに同じ電池サイズでも実装する極板枚数の増加が可能となり、貯蔵エネルギーが増加できる(図1(c-2))。

さらに負極活物質への導電性を有するカーボンの添加により、負極の充電受け入れ性を向上させ、鉛蓄電池の主要な劣化要因である負極のサルフェーションを抑制²⁾することができる。また、極板の充放電受け入れ性も向上する。

極板一枚当たりの活物質量の増加による電池容量の増加により加えて、PPC電池の放電容量は現行電池と比較して15分間率放電で25%向上、5分間率放電で43%向上する。また、再溶解時に組成変化が少ない合金を使用することで、パンチングで打ち抜いた鉛の再利用率100%も達成可能となる。表2はPPC電池と現行電池の比較を示す。

さらにPPC技術では電池を組み立てた後に通電する電槽化成方式にすることで、従来の充電方式であるタンク化成と比べて化成および充電工程を統合し、水洗・乾燥工程を削減することが可能となり、省エネルギー、CO₂削減、そして環境に優しい製造工程を実現できる。

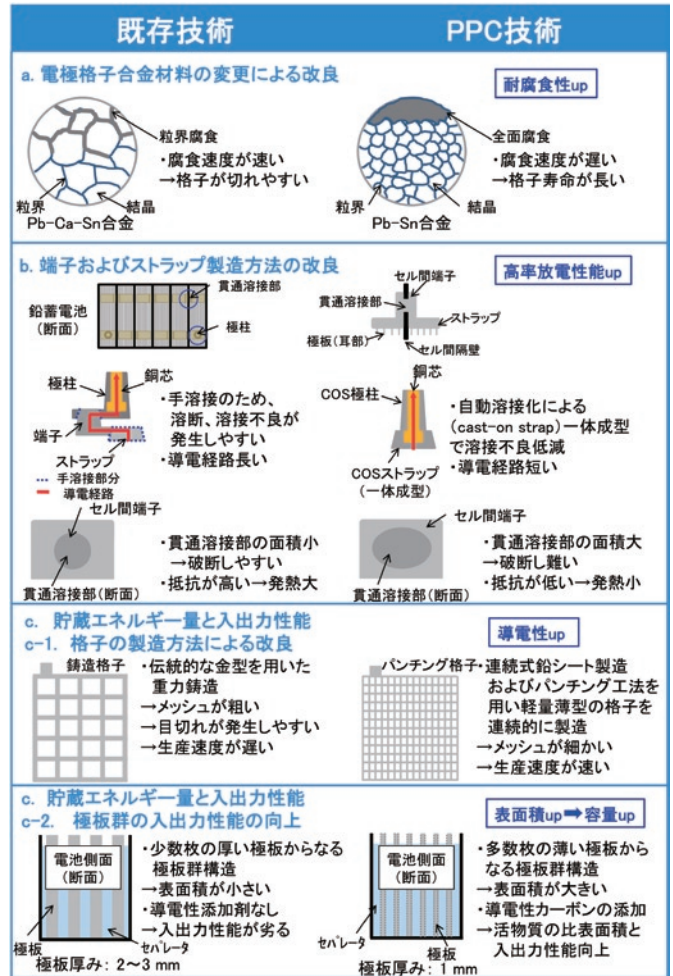


図1 産業用鉛蓄電池に関する開発新技術

Figure 1 Developed new technologies for industrial lead acid battery

表2 現行電池とPPC電池の性能比較

Table 2 Performance comparison between the current battery and PPC battery

参考となる指標	現行電池	PPC電池	期待される効果
正極格子の腐食量(%)	100	54	使用年数の向上, 電池の交換費用の削減
放電による発熱量(%)	100	40	高率放電を可能, 設置場所の空調設備の省エネ
15分間率放電容量の上昇率(%)	100	125	電池数量の減少, 電池ラックの減少,
5分間率放電容量の上昇率(%)	100	143	占有体積の低減, 電池の点検費用の削減

5 今後の展開

- ・ 本技術を採用した電池機種の拡大

【参考文献】

- 1) C.S. Lakshmia, J.E. Mandersb, D.M. Riceb. Journal of Power Sources 73(1998)pp. 23-29.

- 2) K. Nakamura, M. Shiomi, K. Takahashi, and M. Tsubota. J. Power Sources 59(1996)pp.153-157.

グローバル展開に向けた自動車用鉛蓄電池の開発

Development of Automotive Lead Acid Battery for Global Expansion

小林 真輔 *Shinsuke Kobayashi*

開発統括本部 電池技術開発センター グローバル開発推進部

Silvia Cazzanti

R&D Product Innovation Dept., FIAMM Energy Technology S.p.A

1 Abstract

Eco-friendly automobiles with idling stop system (ISS) are increasingly attracting attention recently and the market of ISS-equipped automobiles is expanding worldwide. ISS-equipped automobile frequently stops and starts engine supplying electric power from the battery to electrical components while the engine is shut off, and enables regenerative charging through alternator during traveling. Therefore, high charge acceptance performance and high durability are required to the battery for ISS-equipped automobiles. Hitachi Chemical (HC) has developed several new technologies for these requirements¹⁾ and FIAMM Energy Technology S.p.A (FET) has also developed. Both companies became the group company to expand global market share. A battery characterized by the advanced technologies of Enhanced Flooded Battery (EFB), as usually referred a battery for ISS-equipped automobile in European market, was developed by merging specific technologies of HC and FET.

2 Key Features

- By merging technologies of HC and FET, a new EFB was developed, characterized by charge acceptance performances 1.5 times higher than that of European competitor.

3 Development Background

ISS-equipped automobiles are expanding worldwide because ISS can improve fuel efficiency and economy more than the conventional systems with gasoline, by simple redesign of automotive system. Higher charge acceptance performance and higher durability are required to the batteries intended for ISS-equipped automobile in comparison with the conventional one because of the frequent discharging during idling stop and regenerative charging. HC has introduced 1st generation²⁾ and 2nd generation³⁾ of EFB products into Japanese market and has expanded their sales. On the other hand, HC has made efforts for enhancing product capabilities and expansion of manufacturing locations for the expansion of global market share, and FET became a group company on February 2017. By merging technologies of HC and FET, HC accelerate the development of EFB for the European market. Therefore, we tried to develop this by merging technologies of HC and FET.

4 Technical Content

HC's technology of the additive for Negative Active Material (NAM) and FET's technology of the pasting layer for positive plates were integrated to develop a new generation of EFB characterized by improved charge acceptance and durability performances. Each specific technology is described below.

1. HC's technologies of the additive for NAM

HC has developed the technology of lignin material which has the function to reduce particle size of lead sulfate (PbSO_4) generated by discharging. **Figure 1** shows in-situ AFM (Atomic Force Microscope) images related to the changes in NAM morphology during charge-discharge cycles through a comparison between conventional and developed battery. These observations were conducted by potential-step method to analyze transient current response corresponding to electrode potential-step. AFM images after charging show that larger size of PbSO_4 crystals still remain in the conventional active material, on the other hand, only Pb crystals were observed in the developed active material. These results imply that miniaturization of active material may make dissolution rate of PbSO_4 faster and lead to improve the efficiency of charge reaction.

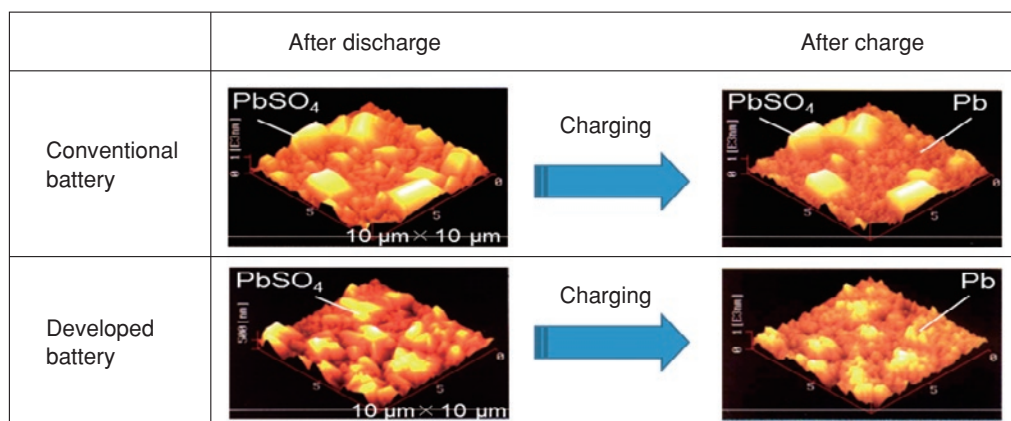


Figure 1 Images of *in-situ* AFM observations which visualize changes in morphology of active materials during charge-discharge cycles

2. FET's technologies of the positive pasting layer

FET developed the technology of pasting layer for positive plates in order to increase durability performances. By analysis and testing of several materials (glass-fiber or totally organic based ones) alternative to the standard pasting paper, FET selected the best one in terms of overall performances and processability. The new pasting layer replaces the standard paper during pasting process and improve the adhesion of the positive active mass, especially during cycling. By using pasting layer, the loss of the active material is significantly reduced and its functionality is maintained. Therefore the durability of the battery, especially at higher Depth of Discharge (DoD) where the functionality of the positive active mass is more stressed, is improved

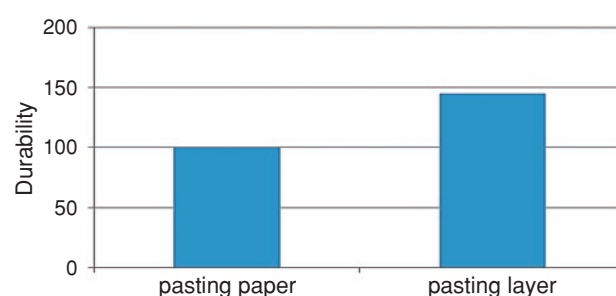


Figure 2 Relative comparison in durability performances between pasting paper and pasting layer on positive plates

3. Performance of Developed Product

Trial products of European Standard (EN) sized EFB including above technologies were manufactured at the plant of FET and some battery performances were evaluated. **Table 1** shows performance comparison between developed product and that of competitor. Developed product has same or higher level of battery performance, like capacity, charge acceptance and cold cranking performance in comparison with that of competitor. Especially, developed product has 1.5 times higher charge acceptance performance. Durability tests are still ongoing, we think that the use of positive pasting layer will improve them.

Table 1 Relative comparison of developed battery performances with competitor's battery performances

Item	Competitor	Developed
Capacity test	100	105
Charge acceptance	100	150
Cold cranking	100	100
Durability*	100	135 (estimated)

*under evaluation

5 Future Business Development

- Sales expansion of developed EFB for European market.

[Reference]

1) Shingo Araki, et al.: Flooded Type ISS Battery with Improved High Durability and High Charge Acceptance, Hitachi Chemical Technical Report, 57, pp.18-19 (2014)

2) Keiichi Wada, et al.: Battery for ISS (Idling-Stop System) Vehicle, Shin-Kobe Technical Report, No.20, pp.17-21 (2010)
 3) Koji Otsu, et al.: ISS Lead-Acid Battery 'M-42' for Light Cars, Shin-Kobe Technical Report, No.22, pp.15-18 (2012)

[Reference Patents]

Patent Number 4396527, Patent Number 5445655

微細配線形成用低伝送損失 ビルドアップフィルム “AS-500HS”

Ultra-Low Loss Build-up Film for Fine Pitch Applications “AS-500HS”

笠原 彩 *Aya Kasahara* 岩倉 哲郎 *Tetsuro Iwakura*
土川 信次 *Shinji Tsuchikawa* 高根沢 伸 *Shin Takanezawa*
開発統括本部 エレクトロニクス関連材料開発センタ 積層材料開発部

1 概要

近年のグローバル化やクラウド化の進展により、サーバや無線通信に使用される機器には、高速で大容量のデータを伝送する必要が生じている。このため、その機器に搭載する半導体デバイスは、高速化や高周波数帯の動作対応が不可欠である。このような背景から、当社は、高周波数帯に対応する低伝送損失のビルドアップフィルム材料(AS-500HS)を開発した。AS-500HSは、セミアディティブ工法に対するプロセスバリエーションを有する他、樹脂表面を化学的に粗化した際の粗さ(以下Raと略す)が小さく(220 nm)、めっき銅との接着性に優れる(0.7 kN/m)。また、誘電正接は0.0034(5 GHz)であり、低い熱膨張係数や高絶縁信頼性の特性も兼ね備えている。

With the recent expansion of globalization and cloud services, devices used for server and wireless communications need to transmit large amounts of data at high speed. Thus the semiconductor components of such devices must be able to handle high-speed and wide-band signal transfers. To satisfy these requirements, we have developed a new ultra-low loss, build-up film (AS-500HS).

AS-500HS is processable for semi-additive processes, shows only small surface roughness after chemical roughening (Ra:220 nm), and has a high peel strength with plated copper (0.7 kN/m). Moreover AS-500HS shows a low dissipation factor (0.0034), low CTE, high heat resistance, and excellent reliability.

2 製品の特徴

- ・優れた誘電正接(0.0034)と低い熱膨張係数(17 ppm/°C)を有する。
- ・配線ライン幅/配線間隔(以下、L/Sと略す)が2/2 μmの微細配線形成が可能である。
- ・微細配線回路(L/S:2/2 μm)の絶縁信頼性に優れる(130°C/85%RH, 印加電圧3.3 Vの試験条件下で200時間以上絶縁劣化なし)。

3 開発の経緯

IoT時代の本格化から、大容量のデータを高速通信する必要が生じている¹⁾。そのため、半導体を搭載した基板(以下、半導体PKGと略す)は、微細配線化や高密度化および薄型化が可能なセミアディティブ工法(以下、SAPと略す)での作製が主流となっている²⁾。しかしながら、配線の微細化は伝送損失が増大するため、信号の品質低下を招きやすい。伝送損失は、比誘電率(以下Dkと略す)と誘電正接(以下Dfと略す)、およびRaに比例することが知られているため³⁾、Dk・DfとRaの低減が重要となる。また、半導体PKGの薄型化は、チップを搭載する基板の剛性が低下するので、チップと基板の熱膨張係数(以下、CTEと略す)の差で生じる反りの低減も重要となる。このため、誘電特性に優れ(Dk:3.3以下, Df:0.0040以下)、低CTE(20 ppm/°C以下)を有した、Raが小さい(250 nm以下)特徴を有するSAP対応のビルドアップフィルムが必要となっている⁴⁾。

そこで、当社では、保有するプライマ樹脂技術や低誘電樹脂技術および低CTE樹脂技術を融合させたビルドアップフィルムの開発を試みた。

4 技術内容

1. AS-500HSの開発コンセプト

SAPは、ビルドアップフィルムを化学的に粗化(以下、デスマリアと略す)した後、無電解銅めっきを形成する。そのため、無電解銅めっきとの接着力は、多層基板を安定して製造する観点から非常に重要である。一方、低伝送損失化や低CTE化を達成する樹脂のアプローチは、極性が低い材料の使用やフィラの多量化が必要であり、接着力確保の面からは不利である。そこでAS-500HSは、微細配線形成に有利な低粗さの粗化形状と高い接着性を有するプライマ層と、低誘電特性と低CTEを発現するベースレジン層から成る、機能分離構造(二層フィルム構造)を適用した。

2. AS-500HSの一般特性

表1にAS-500HSの一般特性を示す。誘電特性は、5 GHzにおいて、Dkが3.3、Dfが0.0034と良好であり、CTEは、当社従来開発品⁴⁾から約60%低減した(17 ppm/°C)。また、デスマリア処理後の粗化粗さは小さい状態で(Ra: 220 nm)、高い銅めっき接着性を示す(0.7 kN/m)。この特徴は、微細配線を形成する点で有利であり、L/S: 2/2 μmの配線形成を可能にした(図1)。同時に、この配線領域の絶縁信頼性は良好である。さらに、レーザーでビアを形成した際に発生するビア底の樹脂残渣は、デスマリアにより完全に除去されており、セミアディティブ工法に対するプロセスバリエーションを有している。

3. AS-500HSの伝送特性

図2にAS-500HSのマイクロストリップラインによる伝送特性(伝送損失)の評価結果を示す。当社の従来ビルドアップフィルムと比較⁵⁾して、各温度領域で低い伝送特性を有する。

表1 AS-500HSの一般特性
Table 1 Properties of AS-500HS

Item		Unit	AS-500HS	AS-11G ^{*3}
Dk(5 GHz) ^{*1}	—	—	3.3	3.4 ^{*3}
Df(5 GHz) ^{*1}	—	—	0.0034	0.0140 ^{*3}
CTE	TMA(30-120°C)	ppm/°C	17	45 ^{*3}
	TMA(250-300°C)		44	—
Tg	DMA	°C	233	165 ^{*3}
Elastic Modulus	DMA(30°C)	GPa	12	2.4-2.6 ^{*3}
Roughness ^{*2}	Ra	nm	220	300-400 ^{*3}
Resin residue after desmear at via bottom ^{*2}	—	—	No residue	—
Peel strength ^{*2}	Cu plating	kN/m	0.7	0.7 ^{*3}
Reflow cycle Resistance ^{*2}	260°C reflow	cycle	20	—
Reliability at fine line space (L/S=2/2 μm) ^{*2}	130°C / 85%RH, 3.3 V DC	h	200	—

*1) Cavity resonator perturbation method

*2) Treatment condition : Swelling 60°C 10 min, Etching 80°C 15 min

*3) Catalog value

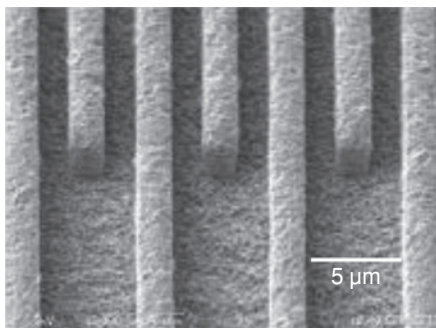


図1 AS-500HSの微細配線形成性
Figure 1 SEM image of L/S=2/2 μm on AS-500HS by SAP

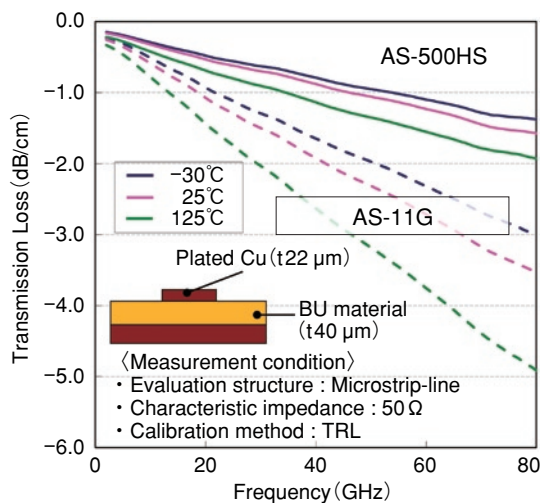


図2 AS-500HSの伝送特性
Figure 2 Transmission loss of AS-500HS

5 今後の展開

・さらなる低伝送損失で低熱膨張係数のビルドアップフィルムの開発

【参考文献】

- 1) International Technology Roadmap for Semiconductors, 2011 ed., SLA
- 2) 高木清, よくわかる ビルドアップ多層プリント配線板のできるまで, 2006.
- 3) Y. Mizuno, "Low Transmission Loss Multilayer PWB

Materials for High-Speed and High-Frequency Applications", ECTC, 2013.

- 4) 高根沢伸, 半導体実装用極低熱膨張基板材料の開発, エレクトロニクス実装学会誌, Vol. 19, No. 6, pp.421-426, 2016.
- 5) 高根沢伸, 次世代パッケージ基板用ビルドアップ材料 AS-11G, 日立化成テクニカルレポート, No. 41, 2003.

高耐圧パッケージの 電気信頼性向上のための封止材評価技術

New Evaluation Technology of EMC to Improve Electrical Reliability of High-Voltage Package

水島 彩 Aya Mizushima

開発統括本部 エレクトロニクス関連材料開発センタ 封止材料開発部

1 概要

各国でエネルギー政策が重要課題であり、パワー半導体は①高電圧化、②電力密度アップ、③エネルギー損失低減による高効率化が期待されている。そのため、パワー半導体用封止材はさらなる高耐熱化および高耐圧信頼性化が求められている。本報では、リーク電流に与える封止材の影響メカニズムと影響度を検討した。本評価結果から長時間高温バイアス印加後封止材の分極がリーク電流に寄与していることが分かった。分極の評価手法として空間電荷分極を含む誘電率がリーク電流と相関性が高いことを見出した。

Energy policy is an important issue in the world, and power semiconductors are expected to achieve high efficiency by (1) increasing the voltage, (2) increasing the power density, and (3) reducing the energy loss. Therefore, the EMC (encapsulation molding compound) for power semiconductors is required to have further higher heat resistance and higher break-down voltage reliability. In this report, we discuss the mechanism and degree of EMC's impact to leakage current. As a result, it was found that the polarization of EMC contributes to the leakage current after applying high bias at high temperature for a long time, and the dielectric constant including space charge polarization has high correlation with leakage current as a polarization evaluation method.

2 新技術の特徴

これまで一般電気特性(体積抵抗率や誘電率1 MHz)で相関性を得ることができなかったリーク電流に対して、空間電荷分極を含む誘電率という新たな概念を用いることにより、リーク電流との相関性を得ることができた。

3 開発経緯

近年、各国でパワーエレクトロニクスによるエネルギー政策やそれに伴う技術開発がさかんである。特に、SiCを用いた次世代パワー半導体はバンドギャップ増大による電力損失低減が見込まれており、一部電鉄や車両向けで量産化が始まった。しかし、ウェハ作製コストが高く、課題を残している。また、Siパワー半導体はコスト面で有利だが、電力損失が大きい欠点がある。そこで、電力損失に関わるリーク電流低減技術を確立することにより、さらに電力損失化を低減できるSiCおよびSiパワー半導体パッケージ用封止材を提案することをめざした。

これまで、リーク電流は封止材の電気特性が影響すると予想されていたが、一般物性の体積抵抗や誘電率(1 MHz)との相関性が低く、リーク電流低減手法が明確ではなかった。そこで、リーク電流増大はチップ上への封止材の分極が影響していると考え、長時間高温バイアス下の分極に着目した。本検討では、耐圧信頼性であるリーク電流と相関性のある新たな物性値(空間電荷分極を含む誘電率)の技術を確立したので、以下の内容を報告する。

4 技術内容

リーク電流は環境試験処理(例えば、高温逆バイアスや高温高湿逆バイアス)後に規定値以下であることが要求される。一方でリーク電流は試験時間および発生傾向や半導体チップ構造からチップ上への封止材分極が関与していると推察した。封止材では分極の指標として誘電率を用いることが多いが、その際の誘電率は常温、1 MHz(μ 秒オーダー)測定結果で示すことが一般的である。しかし、対象の環境試験は高温かつ長時間のため、試験条件に乖離がある。そこで、高温下の空間電荷分極を含む誘電率に着目し、評価方法の検討および測定を行った。また、リーク電流測定は弊社HTRB評価装置を用いて特定環境試験条件(175°C 1200 V逆バイアス)下336時間後の結果を用いた。この両者の結果から、空間電荷分極を含む誘電率とリーク電流の相関性が確認された(図1)。

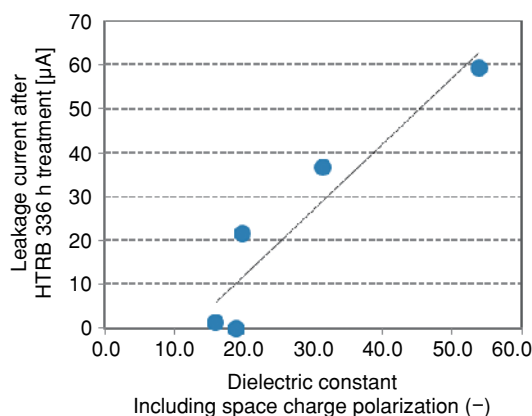


図1 HTRB336時間後リーク電流と空間電荷分極を含む誘電率との相関性

Figure 1 Relationship between leakage current after HTRB 336 h treatment and dielectric constant including space charge polarization

また、故障解析はHTRB試験336時間後パッケージのI-V特性変動評価を実施した。図2に示すように高誘電率封止材は未試験品と比較しI-Vカーブの立上がり電圧が250 V低下するが、低誘電率封止材ではI-Vカーブ立上がり電圧が80 V低下した。I-Vカーブ結果からも空間電荷分極を含む誘電率が電気特性に与える影響を確認することができた。また、エミッション解析からも高誘電率品は素子の耐圧コントロール部である空乏層が変化しやすいことが分かり、空間電荷分極を含む誘電率がリーク電流制御に有効であることが分かった。

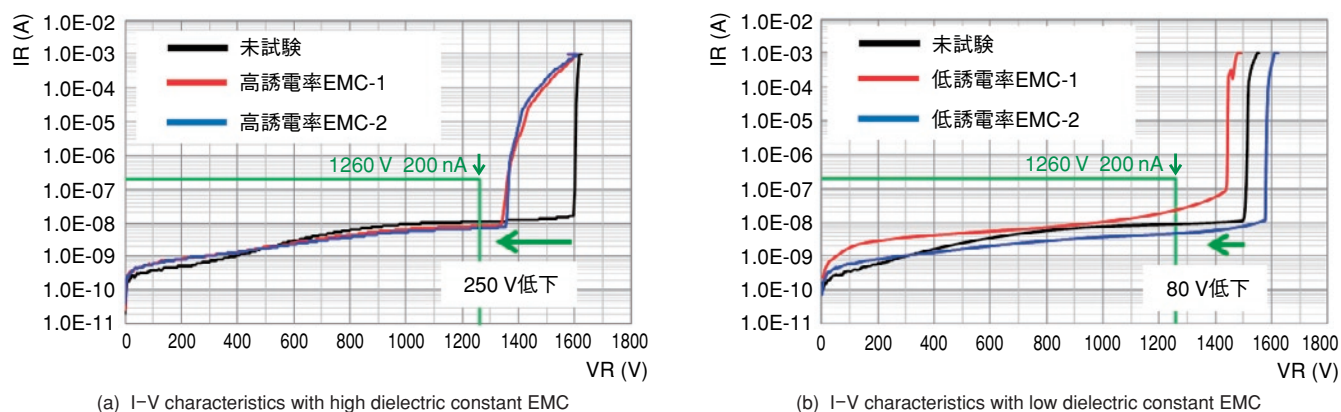


図2 高誘電率封止材を用いた場合と低誘電率封止材を用いた場合のI-V特性評価結果

Figure 2 Evaluation result of I-V characteristics with high or low dielectric constant EMC

5 今後の展開

- ・本技術を用いた高耐圧対応パワー半導体用封止材のレベルアップ

【参考文献】

2015半導体関連プレーヤーの最新動向調査, 富士キメラ総研, 2015年5月

FCBGA TIM1 対応黒鉛垂直配向 熱伝導シート “TC-BWP01”

Thermal Conductive Sheet Containing Vertically Oriented Graphite Fillers “TC-BWP01”
for FCBGA TIM1 Applications

矢嶋 倫明 *Michiaki Yajima* 小船 美香 *Mika Kobune*
開発統括本部 社会インフラ関連材料開発センタ 蓄電摺動材料開発部

1 概要

半導体パッケージの小型高集積化に伴う発熱密度の増加により、電子機器の温度上昇を抑制する冷却技術とそれに使われる Thermal Interface Material (以下、TIMと称す)の高性能化が重要となっている。TIMには板厚方向に優れた熱伝導性と柔軟性が求められており、当社では黒鉛粒子を軟質アクリルゴム中に垂直配向させ、熱伝導性と柔軟性を両立させた黒鉛垂直配向熱伝導シートを開発・上市している¹⁾。

TIMは電子機器の冷却設計ごとで使用される部位が決まるが、ICチップに直接適用されるTIM 1用途では、高熱伝導性だけでなく、低圧実装下におけるICチップの反りへの追従性と高耐久性が要求される。

本報ではTIM 1用途への適用を目的とし、ICチップの反りに追従できる密着性と高耐久性を改良した黒鉛垂直配向熱伝導シートを開発したので報告する。

As the performance of semi-conductor packages becomes higher and their size becomes smaller, the need to control heat through a thermal interface material (TIM) has become increasingly important. To meet the demand for a thermally conductive, flexible material, Hitachi Chemical has worked to develop and commercialize a high performance solution. By orienting graphite fillers vertically within an acrylic rubber based matrix, Hitachi Chemical's TIM provides both high thermal conductivity and flexibility.

Part of a TIM application depends on the cooling design of the electrical device. In TIM1 applications, where the TIM is applied directly to IC chips, the TIM must not only provide high thermal conductivity, the TIM must also be able to handle warpage of IC chips under lower pressure assembly, with high reliability.

In this report, we will discuss our developed TIM, which can handle the warpage of IC chips and provides high reliability in TIM1 applications.

2 開発品の特長

- ・シートに軟質、高粘着樹脂を使用することで、ICチップの反りに追従できる。
- ・耐熱、耐湿樹脂を使用しており、過酷な耐久試験後の密着性が確保できる。

3 開発の経緯

当社では、独自技術である黒鉛粒子と軟質アクリルゴムのコンポジット化および構造制御により、黒鉛粒子を垂直に配向させた黒鉛垂直配向熱伝導シートTC-001を開発・上市している。図1にTC-001の断面写真を示す。TC-001は大粒径の黒鉛粒子が垂直に配向かつ貫通しており、板厚方向の熱伝導率90 W/(m・K)を実現している。

TIMは発熱体と放熱材間に挟み、伝熱効率を向上させるために使用されるが、熱源のICチップとヒートスプレッド間に使用されるTIM 1用途では、ICチップの反りに追従し、かつ耐久試験後で密着を確保できる高耐久性が要求される。

また市場動向としてIoT化が進み、より高性能なサーバが求められる中、一般的に使用されるグリースでは熱伝導性が不足する問題がある。

このような背景の中、黒鉛垂直配向シートの高熱伝導性を確保しながら、反り追従性と高耐久性を付与する開発を試みた。

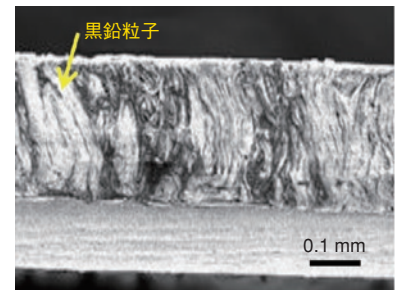


図1 TC-001の断面写真

Figure 1 Cross sectional image of TC-001

4 技術内容

(1) 反り追従性と高耐久性付与の設計コンセプト

図2にTIM 1用途の概略,表1に開発品TC-BWP01の一般特性を示す。TC-BWP01は構造を従来の黒鉛垂直配向とした上で,軟質,高粘着,耐熱,耐湿樹脂を使用することで①高熱伝導性②ICチップの大きい反りに追従可能な柔軟性と粘着性③耐久試験後でICチップおよびヒートスプレッドとの密着が維持できる耐久性の両立を実現している。

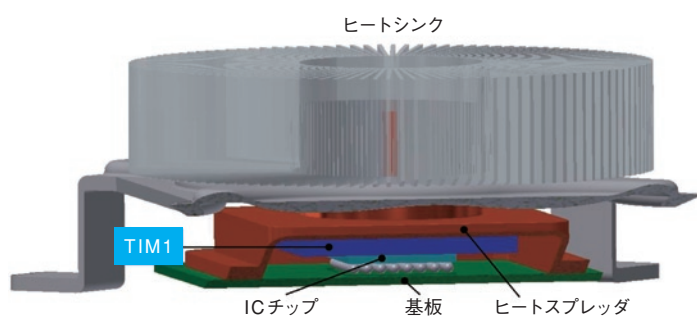


図2 TIM 1用途の概略
Figure 2 Outline of a TIM1 application

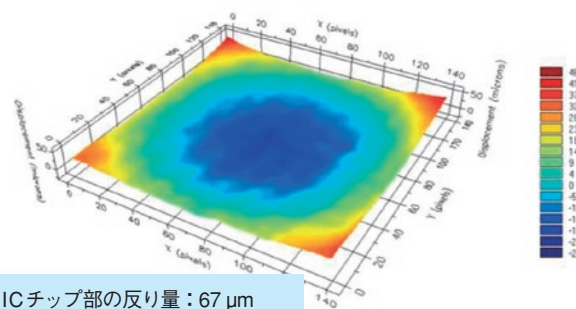
表1 TC-BWP01の一般特性

Table 1 General properties of TC-BWP01

項目	単位	TC-001 板厚 0.3 mm	TC-BWP01 板厚 0.3 mm
熱抵抗	K・cm ² /W	0.14	0.15
粘着力	N・mm	4.0	7.6
剛性	N/mm	1050	966
引張強度	MPa	0.3	0.4

(2) 反り追従性の評価

図3に試験パッケージのICチップ部の反り量,図4にTC-BWP01の密着性能を示す。基板サイズ45×45 mm, ICチップのサイズが20×20 mmの試験パッケージを作製したところ, ICチップ部の反り量は約70 μmであった。また実装直後でTC-BWP01がICチップおよびヒートスプレッドから剥がれることなく密着できていることを確認した。



ICチップ部の反り量: 67 μm

図3 ICチップ部の反り量
Figure 3 Warpage of an IC chip area

項目	TC-BWP01 板厚 0.3 mm			
	実装直後	耐久試験		
		(a)連続加熱 (150℃ 1000 h)	(b)ヒートサイクル (-55⇔125℃ 1000サイクル)	(c)HAST (130℃ 85%RH 192 h)
超音波探傷画像				
密着面積(%)	99	99	99	99

図4 TC-BWP01の密着性能
Figure 4 Coverage of a TC-BWP01

(3) 耐久性の評価

(a)連続加熱150℃ 1000 h (b)ヒートサイクル-55⇔125℃ 1000サイクル (c)HAST(High Accelerated Stress Test)130℃ 85%RH 192 hの3条件で試験パッケージの耐久試験を行ったところ, 実装直後と同様の密着確保が確認できた。

TC-BWP01はICチップの大きな反りに追従可能で高耐久性を有しており, サーバ用途を含む半導体向けFCBGA TIM 1用への適用が期待される。

5 今後の展開

- ・国内外のFCBGA TIM 1用途への展開
- ・ICチップのサイズ拡大に伴う反り量増加を見据えた密着性改良の継続

【参考文献】1) 日立化成テクニカルレポート, No.53, (2009-10)

新絶縁付与潤滑剤を用いた ネットシェイプリアクトルコア

Net Shape Reactor Core Using Newly Developed Insulating-Lubricant

稲垣 孝 Takashi Inagaki 石原 千生 Chio Ishihara

開発統括本部 粉末冶金開発設計部

中山 紀行 Noriyuki Nakayama

イノベーション推進本部 先端技術研究開発センター 要素技術開発部

1 概要

近年、世界的な省エネルギー化のニーズが高まり、太陽光発電等の新エネルギー発電システムの実用化だけでなく、HEVやEVの実用化が始まっている。圧粉磁心は金属磁性粉末間の電気的な絶縁を目的に絶縁被膜を施し、渦電流を抑制した材料であり、高周波数領域で優れた磁気特性が得られる。現在では小型化・大容量化が期待できる純鉄系圧粉磁心の適用が増えてきている。

しかしながら、純鉄系圧粉磁心材は高密度化しやすい反面、金属粉自体が柔軟であり、金型摺動面の塑性流動が発生しやすく、成形工程において絶縁被膜が破壊されやすく、渦電流の増加を招く。そのため、圧粉磁心本来の特性を得ることが難しかった。

そこで、金型摺動面の塑性流動を抑え、かつ摺動部の絶縁性を向上できる絶縁付与潤滑剤の開発に着手した。本報告では、開発した新絶縁付与潤滑剤の概要および効果に関し報告する。

Recent years have seen a world-wide increase in the demand for energy savings, not only in the commercialization of new power generation systems (such as photovoltaic generation), but also in the commercialization of electric vehicles (EV) and hybrid electric vehicles (HEV).

Soft Magnetic Composite (SMC) effectively suppresses eddy currents by using insulating film for electrical isolation between metal magnetic powders, resulting in superior magnetic characteristics in the high frequency range. Recently, pure iron SMC cores have begun to be applied, and show great promise for miniaturization and for handling large capacities.

However, pure iron SMC has high ductility, which tends to cause problems in plastic flows. As a result of the high ductility, insulating film may be destroyed in the compaction process, and the desired original characteristics become unavailable because of increasing eddy current loss. To avoid such problems, we started development of a specialized lubricant for SMC cores.

This paper describes the effectiveness of the newly developed lubricant.

2 新製品の特長

- ・日立化成独自の潤滑剤によるコアロス抑制技術により、リアクトルコア表層部の絶縁破壊を抑制した。
- ・純鉄系圧粉磁心材による大容量、小型リアクトルコアをネットシェイプ成形にて量産化した。

3 開発の経緯

当社では長年にわたり圧粉磁心材を開発しており、高圧縮成形技術の開発、粉末の高純度化、微粉化等の開発を経て、現在では溶製鋼と同等の磁気特性が得られるようになっている。また、磁性粉への絶縁処理技術も進化し、モータコア¹⁾、²⁾やリアクトルコア³⁾への適用が増えている。

近年、技術的進歩が著しい太陽光発電システムやHEV等にはインバータが搭載されており、リアクトルコアは昇圧、整流を担っている。従来のコア材は珪素鋼板が一般的だったが、高周波化に伴う低鉄損化の要求や、小型、大容量化のニーズから、高いインダクタンス値を有する純鉄系圧粉磁心が注目されている。

一方、純鉄系材料は展延性が高く、成形時に塑性流動が発生し、絶縁被膜が破壊されやすい。その結果、渦電流が増加し、本来の磁気特性が得られない課題があった。塑性流動の除去法はエッチング等種々存在しているが、いずれも追加工程となるため、純鉄系材料のメリットを活かすことができていなかった。そこで、当社では成形潤滑剤に着目し、潤滑性能の向上、被膜の絶縁性保護も可能とする多機能潤滑剤の開発に着手し、リアクトルコアのネットシェイプ化をめざした。

4 技術内容

図1は開発潤滑剤のコンセプトを示す。

- ① 劈開性の高い潤滑剤を選定。金属粒子間へ潤滑成分が充填されることで塑性流動を防止。
- ② 摺動時に絶縁被膜部へ優先的に付着・維持する特殊絶縁物を選定し、表層部の電気抵抗値を向上。

図2は開発潤滑剤使用による電気抵抗値への影響を示す。開発潤滑剤を用いることで摺動面の電気抵抗値は加圧面と同等の値が得られる。

本技術により、純鉄系圧粉磁心のネットシェイプ化が可能となり、太陽光発電用リアクトルコアとして量産化を達成した(図3)。高圧成形が必要とされる圧粉磁心にとって、金型潤滑成形は必須技術となる。高周波化が進むモータコア等にも本技術は有効であり、今後の軟磁性部品の拡大に貢献できると考える。

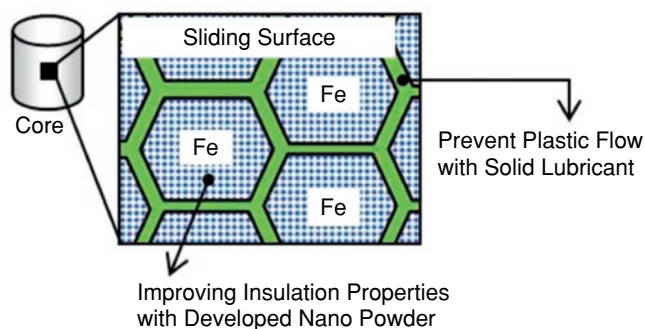


図1 開発潤滑剤のコンセプト
Figure 1 Concept of developed lubricant

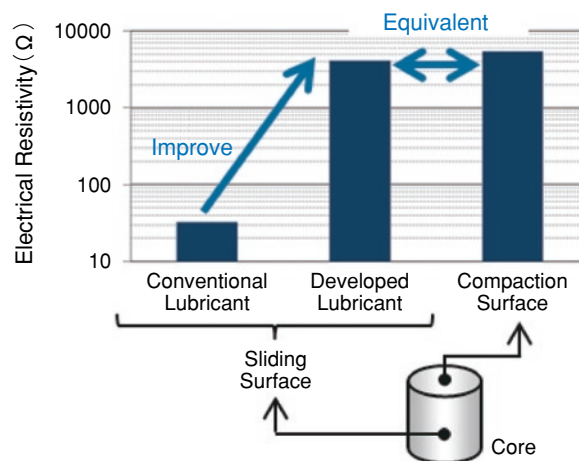


図2 コア摺動面の固有抵抗値
Figure 2 Electrical resistivity of sliding surface

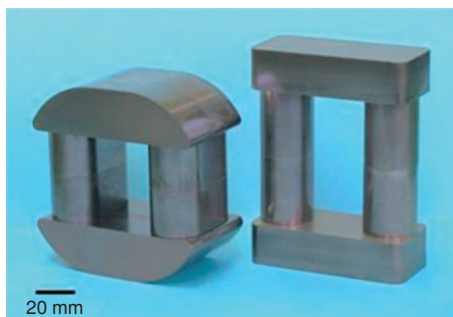


図3 太陽光発電用リアクトルコアの外観
Figure 3 Appearance of reactor core for photovoltaic system

5 今後の展開

- ・ HEV, EV等車載インバータ用リアクトルへの適用

【参考文献】

- 1) M. Suzuki, T. Nakamoto, Proceedings. JSAE Annual Congress, 90, (2002) 17-20
- 2) U. Enomoto, H. Tokoi, K. Kobayashi, H. Amano, C. Ishihara, K. Abe, The transactions of the Institute of Electrical Engineers

of Japan. D, A publication of Industry Applications Society, 129, (2009) 1004-1010

- 3) M. Sugiyama, T. Yamaguchi, S. Okouchi, H. Kishimoto, T. Hattori, T.Saito, SOKEIZAI, 51, (2010) 24-29

【関連特許】

特願2015-508695 特願2015-539285 特開2016-189441

遷移的液相焼結法 (TLPS) 金属ペースト 「HT」シリーズ

Transient Liquid Phase Sintering Paste

竹内 雅記 Masaki Takeuchi 上野 史貴 Fumitaka Ueno

開発統括本部 新事業開発センター

1 概要

パワー半導体用途において、鉛フリーはんだに代わる新しい接合材料の要求が高まっている¹⁾。鉛フリーはんだは、手軽に導通接合できるため、非常に有用な接合材だが、金属の融点を利用して接合するため、いくつかの制約がある。例えば、接合部が溶融するため、二次実装が困難であり、接合位置を厳密に制御することが困難であり、接合温度より高温環境下では使用できない²⁾。HTシリーズは銅とスズ合金の遷移的液相焼結法を利用した接合ペーストである。鉛フリーはんだ同等条件で接合が可能で、接合後は再溶融せず、かつ高い温度サイクル耐性を有する。この特長を生かし、自動車のエンジン周りやヘッドライト等に展開を図っている。

Due to the miniaturization of chip sizes and higher temperatures in the use environments, recent years have seen increasing demands for new bonding materials to replace lead-free solder. Solder is very useful for conductive bonding, but has limitations such as being unsuitable for repeated bonding reflow processes and for precise control of bonding positions. The “HT Series” is a die bonding paste that uses the transitional liquid phase sintering method of copper and tin. Features of the HT Series are that it can be bonded under the same temperature conditions as solder and it does not re-melt after bonding. Utilizing these features, we are developing the HT Series for use in automobile engines and headlights.

2 製品の特徴

- ・接合後、リフロー温度で再溶融せず、二次実装対応可能(再溶融温度：>400℃)。
- ・セルフアライメント性がなく、接合後も形状が変化しない。
- ・低弾性の実装材料。

3 開発の経緯

近年、実装基板の集積化に伴い、二次実装の要求が高まっている。二次実装の方法として溶融温度の異なる鉛フリーはんだを用いる方法があるが、周辺部材の耐熱性を考慮すると使用可能な温度幅が狭く現実的でない。そこで銅とスズ合金の遷移的液相焼結 (TLPS) を利用した、接合ペーストの開発を行っている。本ペーストは焼結温度で、溶融したスズ合金が銅粒子と反応し、融点の高い金属間化合物を形成するため、二次実装の際にも溶融しない。

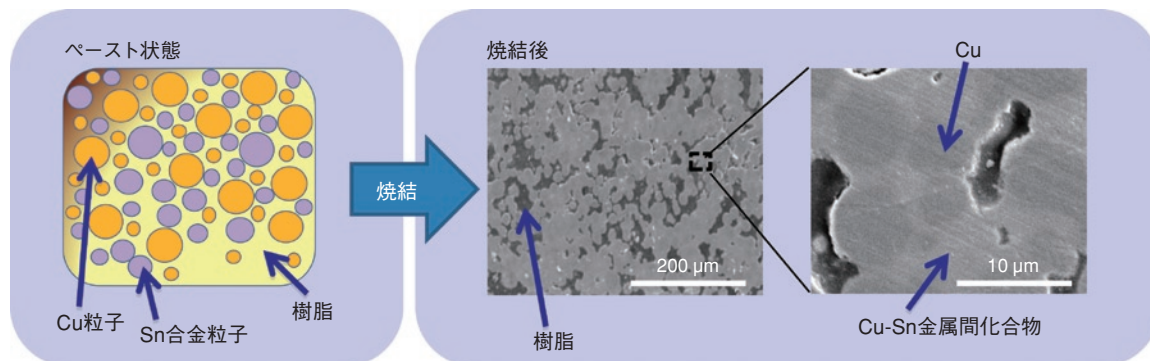


図1 HTシリーズの構造
Figure 1 Structure of HT Series

4 技術内容

「HT-610S」は前記金属組成と弊社独自の熱可塑性樹脂を組み合わせた接合ペーストであり、鉛フリーはんだ同等の接合プロセス、低弾性、高耐熱性、形状保持性、二次実装対応を実現している。以下にHT-610Sの一般特性を示す(表1)。HT-610Sは、熱可塑性樹脂が変形し応力を緩和することで、ボイド近辺のクラックも抑制し、高い温度サイクル信頼性を示す(図2)。また、焼結前後で形状が変化せず、二次実装の際も再溶融しない(図3)。鉛フリーはんだ同等の温度条件で接合が可能で、かつ接合後は再溶融しないことに加え、高い温度サイクル信頼性を生かし、自動車向け部材を中心に展開を図っている。

表1 HT-610Sの一般特性
Table 1 Properties of HT-610S

Item	Unit	HT-610S	Pb-free solder SAC305	Sintered silver paste
Application	—	Die bonding material	Mounting material	Die bonding material
Conductor	—	Cu, Sn, etc.	Sn 96.5-Ag 3.0-Cu 0.5	Ag
Resin	—	Thermoplastic PI	—	—
Bonding Condition	—	260°C / N ₂ Reflow	260°C / N ₂ Reflow	250°C / Hot Press
Re-melting temp.	°C	> 400	220	960
Coefficient of thermal expansion	ppm/°C	19	19	20
Elastic modulus	GPa	3.5	31	30
Electrical resistivity	Ω・m	5.0×10 ⁻⁷	1.1×10 ⁻⁷	2.0×10 ⁻⁸
Thermal conductivity	W/(m・K)	43	55	400
Reliability test	cycle	3000	2000	3000
	condition	-65°C to 175°C	-40°C to 125°C	-65°C to 175°C
Whisker generation	—	No generation	generation	No generation
Self-alignment	—	No self-alignment	Self-alignment	No self-alignment

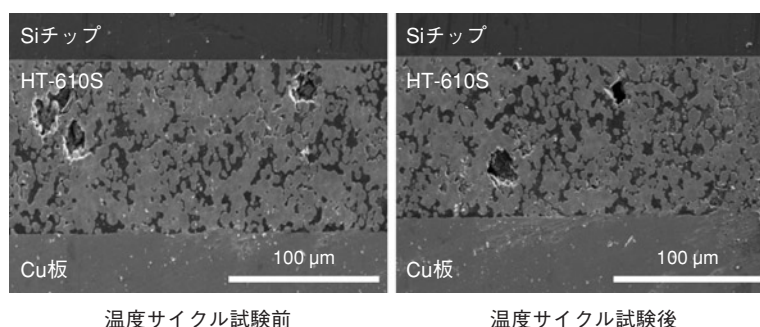


図2 温度サイクル試験前後断面写真

Figure 2 Cross-sectional images before and after temperature cycling tests (From -65°C to 175°C, 3000 cycles)

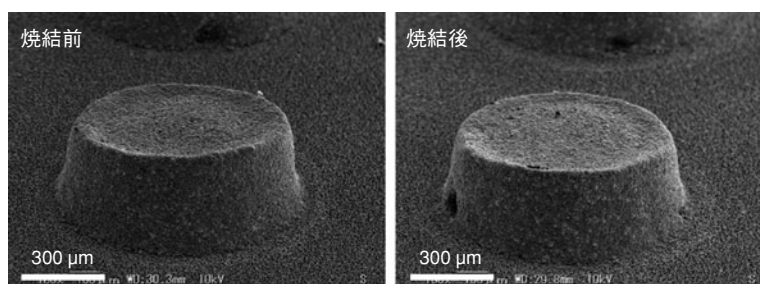


図3 焼結前後の形状変化

Figure 3 Shape change before and after sintering

5 今後の展開

・放熱用途向け接合材料の開発

【参考文献】

1) Gurth, K. et al. "New assembly and interconnects beyond sintering methods" international exhibition & conference for power electronics intelligent motion, renewable energy

& energy market 2010. Nuremberg, PCIM, 2010 pp.232-237
2) 次世代パワー半導体実装の要素技術と信頼性 シーエムシー出版

無加圧焼成可能な焼結Cu接合ペースト

Sintering Cu Bonding Paste that can be Sintered without Pressure

中子 偉夫 Hideo Nakako 石川 大 Dai Ishikawa 須鎌 千絵 Chie Sugama
川名 祐貴 Yuki Kawana 根岸 征央 Motohiro Negishi 江尻 芳則 Yoshinori Ejiri
イノベーション推進本部 先端技術研究開発センター 要素技術開発部

1 概要

無加圧、水素中、225℃以上で焼成できる焼結Cu接合ペーストを開発した。本材は、被着体Cu, Ni, Au, Agとダイシエア強度40 MPa以上の強固な接合を形成する。接合後の熱伝導率は、 $180 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ であり、チップからの速やかな放熱を可能にする。-40⇔200℃の温度サイクル試験では、2000サイクル後もSAT像に顕著な変化は無く、焼結Ag接合ペーストや高鉛はんだと同等あるいはそれ以上の接続信頼性を有すると考える。この焼結Cu接合ペーストは、生産性、高熱伝導性、接続信頼性、廉価を兼ね備えた優れたパワーエレクトロニクス用接合材といえる。

We developed a sintering Cu bonding paste that can be cured without pressure at 225°C in an H₂ atmosphere. The die-shear adhesive strength with an adherend of Cu, Ni, Au, or Ag is at least 40 MPa. After sintering, the thermal conductivity of the sintered Cu bonding layer is $180 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. The sintered Cu bonding after a thermal cycle test (TCT) of 2000 cycles in the temperature range from -40 to 200°C showed a bonding reliability that is the same as, or better than, sintered Ag bonding or high lead solder. With its high thermal conductivity, high bonding reliability, good productivity, and reasonable cost, this sintering Cu bonding paste is likely to be an ideal bonding material for application in power electronics.

2 新製品の特長

- ・無加圧(225℃, 水素中)焼成で高耐熱, 高信頼性の金属接合が得られる。
- ・空孔の少ないCuの焼結体で, 熱をよく伝える ($>180 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)。
- ・焼結体はCuのみで形成され, 環境負荷物質を含まない。

3 開発の経緯

パワーデバイス動作温度の高温化は、冷却装置の簡略化、必要デバイスチップ数の低減が可能となり、パワーモジュールの小型軽量化、低価格化の利点がある。このため、各パワーデバイスメーカは、ロードマップにパワーデバイスの動作温度向上目標を掲げて、開発を進めている¹⁾。パワーデバイスの素子の最高動作温度(ジャンクション温度、 $T_{j,max}$)は1990年に125℃、2005年に150℃となっており、2016年には175℃の発表が始まり、さらに化合物半導体(SiC, GaN)デバイスを用いた200–250℃動作の研究が開始されている。

従来、高鉛はんだは、はんだの中では高い接続信頼性を示すことから、パワーデバイスに広く使用されており、鉛を高濃度を含む材料であるがRoHSの規制例外となっている²⁾。しかし、高鉛はんだは、 $T_{j,max} \geq 175^\circ\text{C}$ 動作においては、パワーサイクル信頼性が不足することが問題となっている³⁾。また、熱伝導率が他の構成部材より低く、熱のボトルネックとなることも課題である。

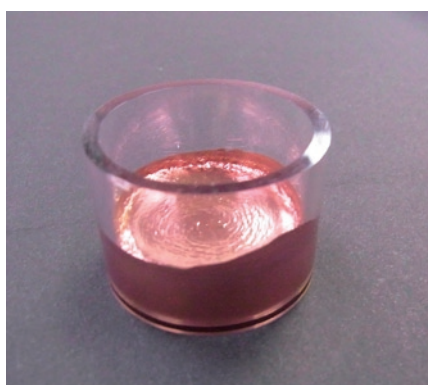
4 技術内容

無加圧で接合可能な焼結Cu接合ペーストを開発した。この材料は無加圧、水素雰囲気中、225℃以上で焼成できる。焼成時に水素を必要とするが、水素が被着面の酸化膜も還元除去するため、Au, Ag以外にCu, Ni, Pdへの接合も可能である。熱伝導率は、 $180 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ であり、高鉛はんだの $35 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ に対し十分な高熱伝導率を有するため、パワーデバイスチップからの速やかな放熱が可能になる。-40℃⇔200℃の温度サイクル試験に関して、焼結Ag接合ペーストや高鉛はんだに対し同等かそれ以上の接続信頼性を有している。また、パワーサイクル試験に関しても、 $T_{j,max} = 175^\circ\text{C}$ のパワーサイクル試験において少なくとも高鉛はんだ以上のパワーサイクル信頼性が得られている。さらに、材料価格はAgと比較して廉価であり、高鉛はんだと比較して、環境負荷物質を含まない。これらのことから、焼結Cu接合ペーストは、生産性、高熱伝導性、接続信頼性、廉価を兼ね備えた理想的なパワーエレクトロニクス用接合材だと考える。

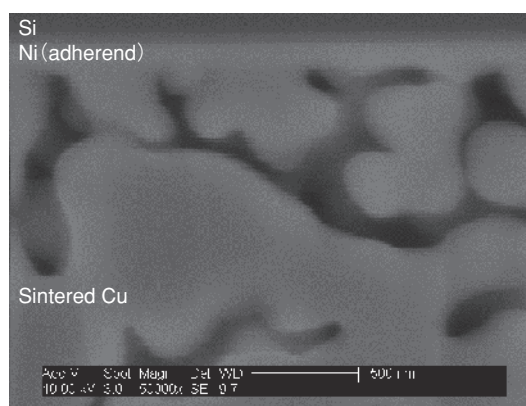
表1 焼結Cu接合ペースト、焼結Ag接合ペースト、高鉛はんだの特性比較

Table 1 Comparison of die-bonding properties among sintering Cu bonding paste, sintering Ag bonding paste, and high-lead solder

Items		Sintering Cu bonding paste	Sintering Ag bonding paste	High-lead solder
Bonding conditions	Environment	H ₂	Air	H ₂ or HCOOH
	Bonding pressure	No pressure	Press (20 MPa)	No pressure
	Temperature	225–300 °C	300–350 °C	350 °C
Adherent materials		Cu, Ni, Au, Ag, Pd	Ag, Au	Cu, Ni, Au, Ag
Properties of bonding layer	Thermal conductivity	180 W·m ⁻¹ ·K ⁻¹	280 W·m ⁻¹ ·K ⁻¹	35 W·m ⁻¹ ·K ⁻¹
	Power cycle reliability	> 40000	—	38000
	Thermal cycle reliability	> 2000	> 2000	> 2000
Material cost		Reasonable	Expensive	Cheap
Environmental friendliness		OK	OK	Pb



Appearance of the sintering Cu bonding paste



Cross sectional SEM of the bonding interface

図1 焼結Cu接合ペーストの外観と接合界面のSEM像

Figure 1 Appearance of the sintering Cu bonding paste and an SEM image of the bonding interface

5 今後の展開

- ・ 10 mm × 10 mm相当以上の大面積チップへの適用 (現行7 mm × 7 mm)
- ・ 非可燃性ガス中で焼成可能な材料の開発 (現行100 %水素中)

【参考文献】

- 1) 進展するパワー半導体の最新動向と将来展望2014-2015, 矢野経済研究所(2014)pp.39-43.
- 2) DIRECTIVE 2011/65/EU, The restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment, The European parliament and the council of the European union, pp.101-105, 2011.
- 3) S. Kim, K.-S. Kim, S.-S. Kim, K. Suganuma and G. Izuta, "Improving the Reliability of Si Die Attachment with Zn-Sn-Based High-Temperature Pb-Free Solder Using a TiN Diffusion Barrier," J. Electron. Mater., vol.38, no.12, pp.2668-2675, 2009.

お問い合わせ先

掲載事項に関するお問い合わせにつきましては、弊社インターネットホームページの下記アドレスのお問い合わせフォームをご利用ください。

お問い合わせホームページアドレス：

<http://www.hitachi-chem.co.jp/japanese/contact/other.html>

日立化成テクニカルレポート 第60号

2017年12月

日立化成株式会社

〒100-6606 東京都千代田区丸の内一丁目9番2号(グラントウキョウサウスタワー) 電話(03)5533-7000(大代表)

制作協力 株式会社日立ドキュメントソリューションズ

〒135-0016 東京都江東区東陽六丁目3番2号 イースト21タワー 電話(03)3615-9000(大代表)

Copyright by Hitachi Chemical Co., Ltd. Printed in Japan(禁無断転載)
