

蓄電デバイス&システム

Electrical Energy Storage Devices & Systems

児玉 弘則 *Hironori Kodama*

エネルギー事業本部 エネルギー開発センター

地球温暖化やエネルギー資源問題への対策として再生可能エネルギーへの期待が高まる一方、出力変動が大きい風力、太陽光発電の大量導入で電力系統の不安定化が懸念されており、その安定化対策が重要課題となっている。また東日本大震災後の長期停電や電力不足・電力制限の経験を経て、電力の安定供給と省エネ・節電の一層の推進の両観点から電源の分散化や電力・エネルギー利用の高度化への意識が高まってきている。蓄電システムは、これらを実現するキー設備として今後ますます重要性が増すものと思われる。本稿では、蓄電システムや各種エネルギー関連機器の省エネルギー化に貢献する当社の4つの蓄電デバイスおよびシステム製品とそれらを支える技術について概説する。

Expectations of renewable energy as a measure to solve the issues of global warming and energy resource shortage are increasing. However, concerns over unstabilization of power grids are growing, as the amount of wind power and photovoltaic energy sources – the generating power of which fluctuates intensely – increases, and stabilizing the electrical power grid is becoming important issue. On the other hand, experiences of long-term blackouts and following electricity shortages and restrictions after the Great East Japan Earthquake have increased awareness of the need for power source decentralization and high-level energy management for further stable electric power supply and energy conservation. Electrical energy storage systems are expected to increase their important roles as key facilities to solve the above issues. In this paper, products and technologies of four electrical energy storage devices & systems contributing to energy storage systems and energy conservation of various types of energy managing equipment are overviewed.

1

緒言

近年、世界各地で頻発する異常気象など、地球温暖化の着実な進行による影響を強く懸念させる事象が増えてきている。温暖化対策の切り札として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利用の普及・拡大が期待されている。また新興国の経済発展によるエネルギー資源需要の増大で、将来的に化石燃料の確保が難しくなる事態が想定され、エネルギー安全保障の観点からも再生可能エネルギー利用の重要性が増している。各国とも再生可能エネルギーの導入促進を図ってきたが、最近では天候により出力が大きく変動する風力、太陽光発電の導入量増加に伴い、電力系統の不安定化が懸念される状況となりつつある。解決策の一つとして、今後、蓄電システムの導入による出力変動緩和や系統安定化の重要性が増すものと思われる。

一方、東日本大震災での長期停電の経験とそれ以降の電力不足や電力制限により、電力安定供給に対する関心が高まり、非常時の電力確保の観点だけでなく、平常時における省エネ・節電の一層の推進の観点でも、電源の分散化や需要地でのエネルギー確保とそれらに加えてエネルギー、特に電力利用の高度化(スマート化)への意識も高まりつつある。家庭、ビル、工場、商業施設、もしくは地域といったさまざまな対象範囲で高度なエネルギーマネジメントを導入し、電源関連機器と蓄電システムをネットワークでつないでトータルでエネルギー効率を上げていく取り組みが各所で始まっている。この中で、蓄電システムは非常用電源としてだけでなく、エネルギーマネジメントのキー設備として今後さらなる市場の拡大が期待される。

従来からの省エネ、CO₂削減の動きも一層の推進強化が図られている。主要なCO₂排出源の一つである自動車においては、欧州、日本、北米の先進国地域で2020年に2014年の燃費規制値のさらに約30%の削減目標が検討されており¹⁾、中国などの新興国においても先進国並みの燃費規制の導入が検討されている。今後とも燃費向上をめざしてさまざまな電動化システムやパワートレインの効率化がなされていくものと考えられる。

低炭素社会の実現に向けては、上述のように電力供給サイドでの再生可能エネルギーの利用拡大や既存設備の高効率化、需要家サイドではハード／ソフト両面での省エネルギー化に向けた努力、すなわち技術面での機器、システムの省エネ化だけでなく、消費行動としての節電、省エネも含めた総合的な取り組みが必要となる。本稿では、これらの取り組みの中でますます重要性を増す蓄電システムや各種機器の省エネルギー化にハード面で貢献する当社の蓄電デバイス／システム製品およびそれらを支える技術について、その一端を紹介する。

当社グループでは、蓄電デバイス事業の一層の強化を図るため、2012年4月に新神戸電機株式会社を完全子会社化し、その後、研究・開発部門も一体化した。これにより新神戸電機が保有する蓄電デバイスの開発・製造技術と、当社が創業以来培ってきた材料開発、評価解析・分析技術などの基盤技術の強みを融合した優位性の高い製品の開発を推進している。

当社蓄電デバイス事業の大きな特長は、異なる特性を有する4種類の蓄電デバイス(鉛蓄電池、リチウムイオン電池、リチウムイオンキャパシタ、コンデンサ)事業を展開していることである。さらにこれらのデバイスの特性向上に欠かせない材料、および各デバイスの特長を引き出すシステム技術・製品も保有しており、相互シナジーを発揮した開発加速と事業拡大をめざしている(図1)。以下、それぞれのデバイスおよびシステムに分けて、当社の取り組みを紹介する。

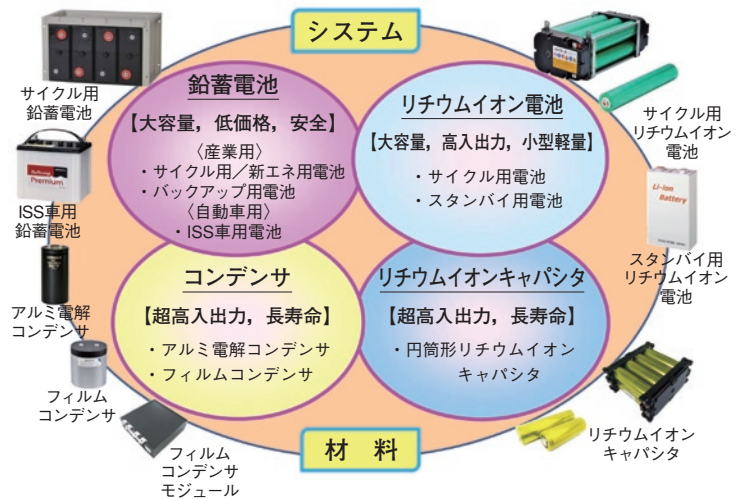


図1 当社の保有する4つの蓄電デバイス

Figure 1 Four electrical energy storage device businesses at Hitachi Chemical

2.1 自動車用鉛蓄電池

当社の鉛蓄電池事業は自動車および産業用途向けに展開しており、本節では、まず自動車用鉛蓄電池について紹介する。CO₂排出削減のため、自動車メーカー中心にハイブリッド車や電気自動車、燃料電池車などの駆動方式そのものを変えていく取り組みのほか、従来型の内燃機関自動車(ガソリン車およびディーゼル車)においても、燃料燃焼方式の改善、車体の軽量化、小型化(ダウンサイジング)など燃費向上のためのさまざまな取り組みと技術開発が進められている。ハイブリッド車は燃費改善効果が大きい反面、コストが高く、普及地域は当面日本、北米などに限定的との見通しである。今後も自動車需要の大半を占めると予想される内燃機関自動車では、燃費向上策としてISS(Idle Stop System)車が注目されている。ISS車は発電機、スターター、鉛蓄電池など数種部品の設計変更のみで実現が可能で、燃費向上効果が大きくコスト効率が高いため、欧州や新興国を中心に拡大すると予測されており、2020年には販売台数が3,500万台を超え(現在の約5倍)、全世界の販売台数の30%に達する見通しである²⁾。ISS車では、信号待ちの停車時などにエンジンを停止するため始動・停止の回数が多く、さらにエンジン停止中は蓄電池から電装品に電力供給を行い、走行時に高出力のオルタネータを用いて短時間の回生充電を行う。鉛蓄電池は頻繁に短時間での充電と大きな放電を繰り返すことになるため、充電不足の状態になりやすい。従ってISSの性能を十分に発揮させるには減速時のエネルギー回生効率を向上させることが必要で、従来より短時間で効率良く充電できる高い充電受け入れ性能と、充放電の繰り返しに対する高い耐久性を満足する高性能鉛蓄電池が必要となる。ISS搭載による燃費改善効果が大きい軽自動車では設置スペースの制約により搭載電池サイズが小さく制限されるため、特に高い性能が必要となる。

当社は2006年に環境対応車の一種であるオルタネータ回生制御(オルタネータの稼働を制御してエンジンの負荷を減らし燃費を改善する)車用に、高い充電受け入れ性を有する鉛蓄電池を他社に先駆けて開発した³⁾。この技術をベースに、2010年に乗用車を対象としたISS車用第1世代品を開発、2011年には軽自動車向けに性能をさらに高めた第2世代品を開発した^{4),5)}。図2に一般車用電池およびISS車用第1世代品と第2世代品の充電受け入れ性能の比較、図3には耐久性能の比較を示す。充電受け入れ性能向上のためには律速になっていた負極の充電反応を促進する必要があるため、対策として負極に添加する有機炭添加剤とカーボンの新規開発を中心に検討した。加えて正極活物質の適正化や電極格子の低抵抗化などの設計面での改良も世代ごとに進めた結果、第2世代品の充電受け入れ性能を当社の一般車用電池比で約2倍に向上できた。第2世代品では負極添加剤に一般車用に適用しているカーボンブラックに比べて導電性を10倍に高めた新カーボンを採用した。成層化(電解液上下部に濃度差が生じる現象)やサルフェーション(硫酸鉛の蓄積)を抑制できた結果、耐久性能は約5倍に向上した。これにより乗用車に比べて放電深度が10%を越える過酷な条件で使用する軽自動車のISS車にも搭載可能な高性能な電池を開発できた⁵⁾。引き続き、さらなる性能向上をめざし、新型セパレータ構造(本誌技術レポートに詳述)などの新技術の開発を推進中である。

鉛蓄電池はその性能発現に化学反応が深く関与するデバイスであり、材料による電池反応のコントロールがキーとなる。上述の負極添加剤の開発では、電池性能に大きな影響を及ぼす負極活物質の充放電反応生成物の形状・物性を最適にコントロールする材料の探索を進めた。これらの探索にあたっては、株式会社日立製作所日立研究所と共同で、原子間力顕微鏡(AFM)により充放電反応中の活物質の形態変化や生成物の導電性を直接その場(in-situ)観察する手法を用いて、添加剤の効果と効果

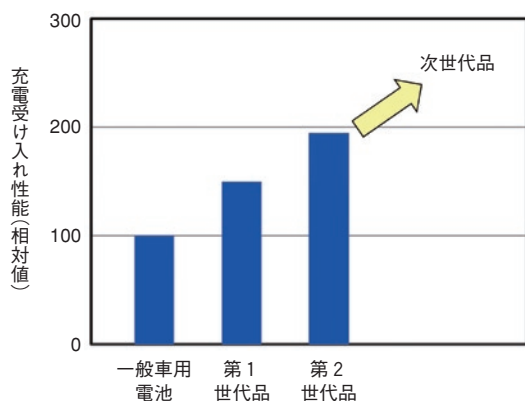


図2 充電受け入れ性能比較
(一般車用電池を100とした相対値)

Figure 2 Comparison of charge acceptance performance between conventional and developed batteries

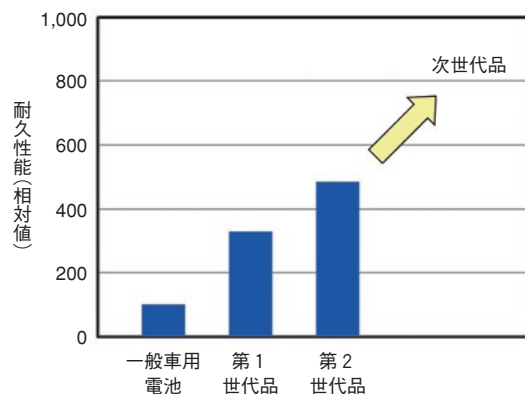


図3 耐久性能比較
(一般車用電池を100とした相対値)

Figure 3 Comparison of durability between conventional and developed batteries

発現のメカニズムの解明を進めた⁶⁾。図4はその観察の一例を示したもので³⁾、添加剤の違いによる影響で明らかに充放電時の硫酸鉛(PbSO_4)や鉛(Pb)の量や形状に違いが認められた。この手法を用いることで同じ場所での物質の変化がその場観察でき、添加剤による効果がより明瞭に確認できるようになった結果、メカニズムの解明と開発の加速が図られている。有機添加剤の開発では当社材料部隊が持つ量子計算化学を用いた材料設計技術や材料合成・分析技術との連携など、今後ともグループのシナジーを発揮した開発により、さらなる性能向上を進めていく。

自動車システムにおいては、これまでの燃費性能向上の動きに加えて、今後、高安全化のための追突防止、自動運転などの高度運転支援システムの適用が進むと予想される。これに伴い必要電力の増加や、万が一の電源トラブル発生時の冗長性確保といった要求に応えていく必要がある。今後とも電源のさらなる大容量化と信頼性の向上を進めるとともに、性能を大幅に進化させる革新型鉛蓄電池の開発やリチウムイオンキャパシタなどの他電源との複合化など、いろいろな可能性も含めた検討と開発を進めていく。

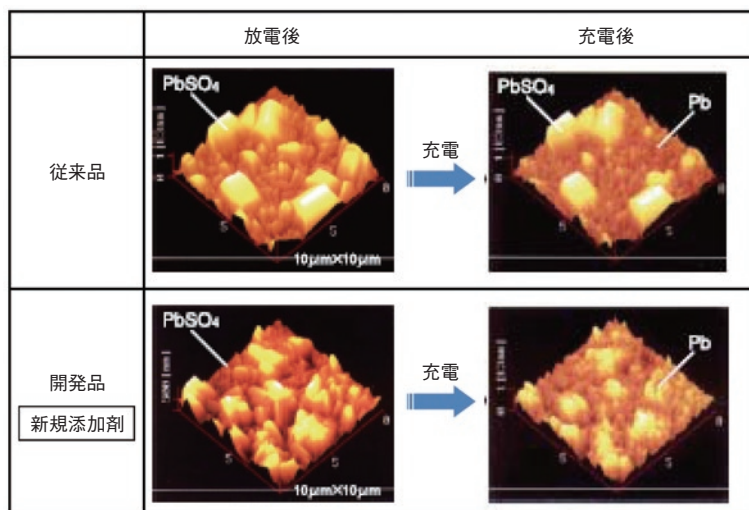


図4 AFMを用いた電極活物質の充放電中の形状変化のその場観察例

Figure 4 Images of *in-situ* AFM observations which visualize the morphology changes of electrode active materials during charge-discharge cycles

2.2 産業用鉛蓄電池

産業用鉛蓄電池の分野では、鉛蓄電池の低価格で安全、大容量、運転が容易といった特長を活かして、従来よりオフィス、工場のほか、病院・公共施設、固定／携帯電話基地局、データセンタ、発電所などの社会インフラとして重要な施設の電源バックアップ用途を中心に事業を展開している。これらに加え、夜間の余剰電力を貯蔵し昼間のピーク時に使用する電力貯蔵・負荷平準化(ピークカット／ピークシフト)用や再生可能エネルギーによる発電の出力変動緩和用などのサイクル用途での事業展開の強化・拡大を図っている。これらの用途には長寿命、高信頼性、補水不要のローメンテナンス性を特長とする制御弁式鉛蓄電池が用いられており、本節ではサイクル用途での制御弁式鉛蓄電池の長寿命化、高性能化へ向けた取り組みについて紹介する。

従来の制御弁式鉛蓄電池では充放電サイクル寿命が200～500回で、電力貯蔵用や出力変動緩和用のサイクル用途には寿命の面で適用が難しかった。そこで2001年に電力貯蔵用途向けに寿命特性を大幅に改善し、期待寿命^{*1}が3,000サイクルとなるLL形蓄電池を開発した⁷⁾。2005年には期待寿命をさらに4,500サイクルに向上したLL-S形⁸⁾を、2009年には再生可能エネルギーによる発電での出力変動緩和用途で期待寿命17年(業界最長^{*2})となるLL-W形蓄電池を開発した⁹⁾。制御弁式鉛蓄電池の構造を

*1 期待寿命：当社推奨使用条件下での推定寿命

*2 業界最長：2014年8月末時点、当社調べ

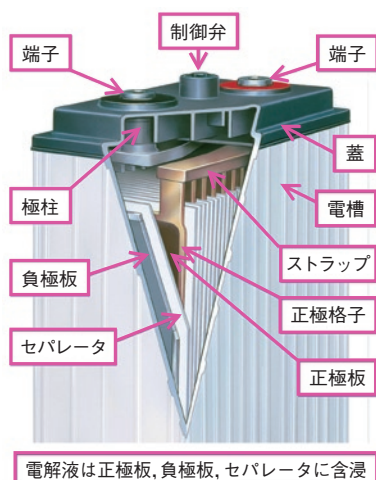
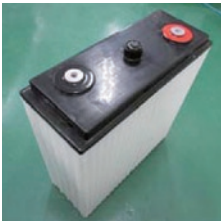


図5 制御弁式鉛蓄電池の構造
Figure 5 Structure of valve-regulated lead-acid battery

表1 LL1500-WS(新製品)とLL1500-Wの仕様と外観比較

Table 1 Comparison of specifications and appearances between LL1500-WS(new product) and LL1500-W

		LL1500-WS(新製品)	LL1500-W
単電池	外観写真		
	端子本数	正極 3 本／負極 3 本	正極 1 本／負極 1 本
	公称電圧-公称容量	2 V-1,500 Ah (10 HR, 25℃)	
	最大放電電流	900 A	600 A
	最大充電電流	450 A	300 A
期待寿命*1		変動緩和用途で17年 (25℃) [放電深度70%で4,500サイクル]	
システム例*	1 MW×1 h放電	蓄電池容量3.8 MWh	蓄電池容量4.6 MWh
	1 MW×0.5 h放電	蓄電池容量3.1 MWh	蓄電池容量4.6 MWh

※ 代表例であり、システムの詳細仕様や運用条件等により効果が異なる場合がある。

図5に示す。前記の開発においては、正極および負極に用いる活物質の改良、正極格子の合金組成や形状デザインの見直し、電解液、セパレータ仕様の最適化などの電池主要構成部分に対する改良だけにとどまらず、蓄電池の充電条件の適正化、極板の水平方向設置(図1左上のサイクル用鉛蓄電池モジュール写真参照)や長寿命化にあわせた長期使用に耐える電池筐体(電槽・蓋)材料の改良なども含めたさまざまな対策を施して長寿命化を達成している^{7)~12)}。さらに2014年9月には端子部およびストラップ部の電極構造を見直し、大電流放電時の発熱や電圧降下を抑えることにより、長寿命のまま充放電性能をLL1500-Wの1.5倍に高めた高率充放電型のLL1500-WSを製品化した¹³⁾。表1にLL1500-WSの特性をLL1500-Wとの比較で示す。表のシステム例で示したように、単位電池当たり高い出力電流が得られることから、短時間での高い放電電流量が求められるシステムでは、より少ない電池数で性能を満たすことができるようになりコスト低減、設置スペースの削減、重量低減が可能となる。引き続き、さらなる高性能化に向けた開発も推進し、大容量鉛蓄電池の適用範囲の拡大を図っていく。

上述の長寿命化、高性能化の開発では、正極格子デザインの最適化による格子の腐食変形の抑制やストラップ部および極柱・端子部分での発熱抑制を実現する電極設計技術がキー技術の一つであった。当社では、設計の高度化と設計期間の短縮を目的に、電極設計のCAE(Computer Aided Engineering)化を日立製作所日立研究所と共同で推進してきた。格子の集電性(電圧降下、電流分布)や腐食変形、さらには設計した格子の鋳造工程での製造性(湯流れ、凝固)を予測できる独自のシミュレーション技術を開発した^{12),14)}。図6は、正極格子の腐食変形シミュレーション結果と実際の格子での変形の比較例を示しており、外枠格子の湾曲変形や変形量をよく再現できている。これにより設計段階での電極格子の最適化が短時間で可能となり、製品開発のスピードアップに効果を発揮している。

鉛蓄電池は、常に満充電状態で待機するバックアップ(スタンバイ)用途と充放電を頻繁に繰り返すサイクル用途、さらには同じサイクル用途でも電力貯蔵用途と出力変動緩和用途など、使用条件の違いで劣化モードが異なる。例えば風力発電の出力変動緩和用途では、発電量の変化に対して電池は常に充電受け入れが可能な状態にある必要があるため、部分充電状態(満充電でない状態)でかつサイクル使用となり、鉛蓄電池の使用方法としては非常に厳しい条件となる。電池性能のうち、特に長寿命化に関する性能の向上には、長期間の実稼働実績を積んだ電池の調査・解析とさまざまな稼働モードを想定した模擬試験の両面からのしっかりとした劣化解析や劣化予測が重要であり、それらのデータの蓄積が大きな財産・ノウハウとなる。当社

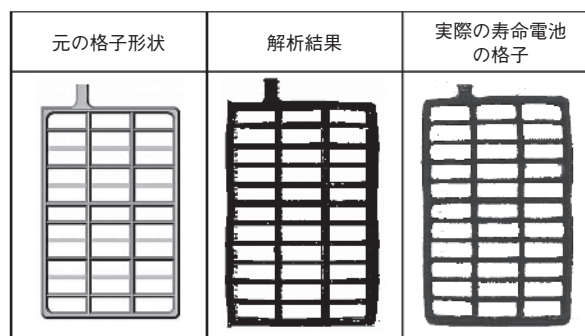


図6 正極格子の腐食変形シミュレーション結果と実際の格子での変形の比較

Figure 6 Simulation result of the corrosion deformation of a positive electrode grid compared with the deformation of an actual battery grid

グループでは、すでに2002年から出力変動緩和用途で風力発電所への導入実績があり^{9),15)}、この分野でのフィールドデータを積み上げてきており、さらにこれらのデータベースを用いた寿命予測技術の高度化などを強みにした開発を進めていく。

2.3 産業用リチウムイオン電池


リチウムイオン電池は小型、軽量、大容量、高出力といった特長を有し、民生用の小型モバイル機器を中心に広く普及している。また自動車用途でも環境意識の高まりから、燃費性能向上の要求と連動して各種環境対応車での本格的な実用化・普及拡大の段階にある。一方、産業用では非常時の電源バックアップ、鉄道車両や各種産業機械の駆動／回生、負荷平準化、再生可能エネルギーによる発電の出力変動緩和、系統電力の安定化などで、今後の市場拡大が見込まれている。

当社では、産業分野をターゲットとしたリチウムイオン電池事業を推進しており、デバイス開発では大きく分けて入出力(充放電)を頻繁に繰り返すサイクル用途向け電池と、満充電状態で長期間待機する非常用電源向けのスタンバイ(バックアップ)用電池の2タイプの開発を進めてきた。当社の電池は、大容量でかつ安全性、信頼性を両立させる設計を特長としている。セル(単電池)の容量が大きいことで所望のシステム容量を実現するために必要なセル数を少なくできるため、周辺部品まで含めた総部品点数を大幅に削減でき、システム全体としての信頼性を高めることができる。

サイクル用電池では、これまでに日立製作所と共同で電気自動車(EV)用、およびハイブリッド車(HEV)用リチウムイオン電池を開発し、2000年には商用車での世界初の実用化も実現した¹⁶⁾⁻¹⁸⁾。2004年に日立マクセル株式会社を加えた3社で設立した日立ピークルエナジー株式会社へ自動車用リチウムイオン電池の開発・製造業務を移管、2009年からは大容量の産業用途向け電池の開発を行っている。当社では長年、自動車用電池開発以来培ってきた大型・円筒形状を特徴とした電池の開発を進めており、今回75 Ahという大容量のセルでありながら、安全性に優れ、かつ高出力、長寿命の新型リチウムイオン電池CH75を開発した。表2に開発したCH75セルの仕様と電池の外観写真を示す。安全性を向上させるための技術のポイントは大きく3つ挙げられる(図7)。第1のポイントは円筒形状で真円電極群を採用したことにある。これにより均一な電極面荷重を実現し、不均一構造に起因する内部短絡要因を排除し、耐内部短絡性を高めている。また繰り返し充放電時の電極の膨張収縮によるひずみの発生が少なく、10,000サイクルの寿命が期待^{*1)}できる電池となっている。2つ目は高剛性な円筒型SUS缶に内蔵したことで、作動時の膨れを防止するとともに、外部からの衝撃による損傷の小さい高信頼の構造とした。3つ目のポイントは熱安定性に優れたマンガン系正極を採用したこと、これにより産業用リチウムイオン電池の安全性要求(JIS C8715-2)を満足する電池を実現している。本CH75電池は、日立製作所が開発した1 MWコンテナ型蓄電システム“CrystEna”に搭載され、北米における電力系統安定化事業においてアンシラリー(周波数調整)サービスの実証試験が開始されている¹⁹⁾。

近年の情報通信の高容量化、高速化に伴い通信機器の消費電力が増大しており、これら設備の非常用電源に必要な電力も増加している。一方、都市部のデータセンタでは設置スペースの制約から従来の鉛蓄電池によるシステムの増設が困難になりつつあり、体積エネルギー密度の高いリチウムイオン電池による省スペース化が期待されている。さらにデータセンタ向けでは、データ量の増大に伴い非常時には大規模での緊急退避が必要となり、非常用発電機が動作するまでの10分間程度の短時間大電流でのバックアップニーズがある。大容量が必要な長時間バックアップ用には容量200 Ah級の大容量リチウムイ

表2 サイクル用リチウムイオン電池 CH75セルの仕様と外観
Table 2 Specifications and appearance of a lithium-ion battery CH75 cell for cyclic use

蓄電池		CH75	外観写真
公称電圧		3.7 V	
公称容量		75 Ah	
通電電流	放電	連続：225 A 最大：300 A	
	充電	225 A	
質量		約3 kg	
寸法		Φ 67×410 mm	
期待寿命 ^{*1)}		10,000サイクル	

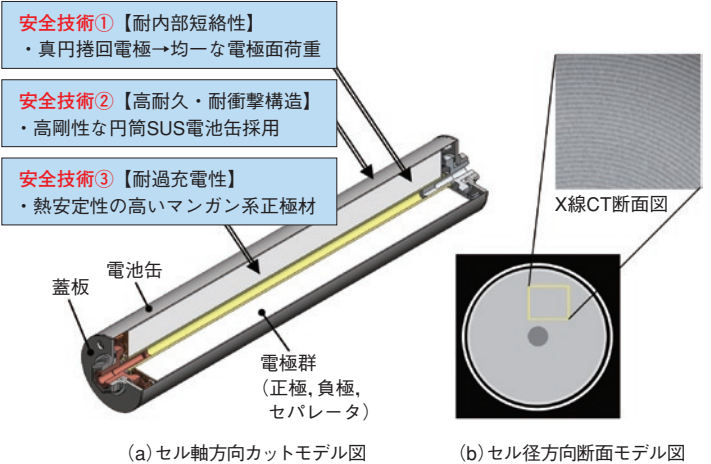



図7 リチウムイオン電池CH75セルの安全技術
Figure 7 Safety technologies of a lithium-ion battery CH75 cell

オン電池KL200(期待寿命^{*1}10年)²⁰⁾を、短時間大電流でのバックアップ向けには急速大電流の放電が可能な新型電池TH100を開発した。スタンバイ(バックアップ)用途では、電池は常時満充電状態で使用されるため、万が一の充電装置故障による過充電や内部短絡時などに、リチウムイオン電池では熱暴走状態に至る場合も想定する必要がある。さらに非常用電源装置は都市部のビル内に設置されることから高い安全性が要求される。このような背景からスタンバイ用リチウムイオン電池の開発では、株式会社NTTファシリティーズ殿と共同で高安全化技術として電解液の難燃化に取り組んできた。開発に当たっては、難燃化だけでなく長寿命化との両立が大きな技術課題であった。難燃化では可燃性の有機電解液にホスファゼン系の難燃剤を添加し、UL94-V0^{*3}相当の自己消火性を有する難燃化電解液を開発した²¹⁾。従来のリチウムイオン電池ではサイクル用途での使用が多く、スタンバイ用途での検討は不十分であった。リチウムイオン電池は満充電状態で放置で容量劣化が進むことが知られており²²⁾、これに対し容量劣化メカニズムの詳細解析を進め、対策としてMn系正極活物質の改良や新規な電解液組成の採用などにより長寿命化と難燃化の両立を達成した²⁰⁾。TH100の開発では、急速大電流放電を可能とするため、正極の導電剤量の増加と電極の薄膜化により電極の低抵抗化を図り、新たに大電流放電特性と寿命を両立させた。表3にそのセル仕様と外観写真を示す。TH100は容量100 Ah、最大放電電流500 Aで10分以上の連続放電が可能であり、大型で高安全な電池となっている。

表3 スタンバイ用リチウムイオン電池TH100セルの仕様と外観
Table 3 Specifications and appearance of a lithium-ion battery TH100 cell for standby use


蓄電池	TH100	外観写真
公称電圧	3.7 V	
公称容量	100 Ah	
最大放電電流	500 A	
質量	約7 kg	
寸法	153×255×72 mm	
期待寿命 ^{*1}	7年	

2.4 リチウムイオンキャパシタ

リチウムイオンキャパシタは、電気二重層キャパシタの正極構造とリチウムイオン電池の負極構造を備えた蓄電デバイス²³⁾で、①電気二重層キャパシタに比べて動作電圧が高く、エネルギー密度が高い、②リチウムイオン電池に比べて出力密度が高く、急速充放電が可能(高入出力)、③100万回以上の充放電サイクル(充電深さ100%、室温)が可能(長寿命)、④自己放電が小さい、⑤安全性が高い、等の特長を有する²⁴⁾。これらの特長を活かし、機器の主電源、電力回生、電力安定化等の目的で、工場の無人搬送車(AGV)やスタッカークレーン²⁵⁾、建設機械²⁶⁾、瞬低補償装置²⁷⁾等の産業分野での採用が進んでいる。さらに風力や太陽光発電で生じる電力の短周期変動を抑制するために、リチウムイオンキャパシタを用いた電力系統安定化技術の検討も進められており、今後は地球温暖化対策に向けた環境対応自動車の回生用途等への展開も期待される。

当社ではリチウムイオン電池で開発した技術をベースに(前節参照)、大型円筒形を特徴とするリチウムイオンキャパシタをLCAPの商標で2009年10月に量産化した²⁸⁾。LCAPでは、製造工程で負極にリチウムイオンを予備充電(ブレードプ)する必要がある。量産化に当たっては、当社で長年培った電池製造技術を応用して大型円筒形セルでの予備充電技術を確立し、製品化を実現した。LCAPは、円筒形構造で真円捲回電極群を採用したこと、および堅牢なスチール缶を使用していることにより、建設機械などの厳しい振動環境にも対応可能な高い耐震性、耐衝撃性や高温での使用を可能とする高い耐熱性を有し、さらに過充電や過放電をしても膨れ変形がない、等の優れた特長を持っている。上記量産化後も継続的な静電容量向上、直流抵抗低減等の性能向上を進めてきており、現在、表4に示す特性の製品をラインナップしている。

表4 LCAP仕様と外観
Table 4 Specifications and appearances of lithium-ion capacitors/LCAP

項目	SLC-B110A	SLC-B152A	外観写真
動作電圧範囲	2.2~3.8 V		<div>SLC-B152A</div>  <div>SLC-B110A</div>
使用温度範囲	-15~80℃		
静電容量	1200 F	2000 F	
直流抵抗(実力値)	2.0 mΩ	1.6 mΩ	
サイズ	Φ 40×110 mm	Φ 40×152 mm	
質量	270 g	350 g	

当社ではリチウムイオン電池や鉛蓄電池で培った制御技術やパッケージング技術を活かし、LCAPの監視回路やパック(複数セルと監視回路をまとめてモジュール化/パッケージング化したもの)、キュービクル(複数のパックと制御回路を収めた蓄電盤)の開発も行っている^{29),30)}。図8にはパック、およびキュービクルの代表例を示す。(a)はLCAPを8セル直列接続した

^{*3} UL94-V0：米Underwriters Laboratories Inc. が定めた、樹脂の難燃性を規定する材料、製品の安全規格。
「V0は炎を離れた後10秒以内で自己消火性を有する」ことを示す。蓄電池には難燃規格がないため、樹脂の規格を引用して評価した。

ホルダタイプのパック、(b)は(a)の8セルパックを5直列構成で収納した40セル直列のボックスタイプのパック外観を示しており、さらに各セルの電圧検出、温度検出、セル間の電圧ばらつき補正、上位システムへの異常通知等の機能を持つセルコントローラを内蔵している。(c)は大容量蓄電システム向けに開発したキュービクルの内部を示しており、(b)に示した40セル直列パックを4直列3並列構成で12パック搭載している。このキュービクルにはバッテリー・マネジメント・ユニットも搭載しており、セルコントローラからの情報を統合し、さらに上位のシステムへとLCAPの状態を伝えることができる。本キュービクルは、既に太陽光発電の出力変動緩和用途向けに納入実績がある。



図8 開発したLCAPパック、およびキュービクルの例
Figure 8 Examples of developed LCAP packs and cubicle

2.5 コンデンサ

コンデンサは対向する電極間に誘電体を挟んだ構造をしており、電極に電圧を印加した際の分極現象を利用して電荷を一時的に蓄える受動部品である。電池のような電気化学的な反応を伴わないため、蓄電できるエネルギーは電池より小さい反面、短時間の繰り返し充放電や瞬間的な大電流放電が可能(高入出力、長寿命)なデバイスである。またコンデンサには直流を通さず交流を通す性質があり、高周波ノイズの除去、信号の伝達、電圧変動の抑制や平滑化等の、回路上で重要な役割を担う不可欠のデバイスである。近年、家電製品から産業用機器までさまざまな分野で、低消費電力化や高効率化のためのパワーエレクトロニクス化／インバータ化の動きが急速に進展してきており、このインバータ制御回路に必須の部品として直流用コンデンサが用いられている。このコンデンサは直流電圧に重畳するリプル電流(脈流)やノイズを除去し、さらに電荷を蓄えて瞬時電圧低下時の電圧変動を抑制するなどの役割を担っており、高耐圧、大容量で、かつ耐リプル電流性能に優れることが要求されている。

当社ではアルミ電解コンデンサとフィルムコンデンサを対象に事業展開している。本節では特に風力発電、太陽光発電等の新エネルギー機器や環境対応自動車、鉄道車両、大型産業機器に用いられる高圧インバータ制御回路に適した高圧大容量のアルミ電解コンデンサおよびフィルムコンデンサを中心に、当社コンデンサの特長とその技術を紹介する。

アルミ電解コンデンサの断面構造を図9に示す。アルミ電解コンデンサは、アルミニウム金属箔を陽極とし、陽極表面に形成した酸化皮膜(Al_2O_3)を誘電体とする構造で、誘電体厚さが薄く、表面積が大きいほど蓄電性能が高くなる。誘電体は厚さ約 $0.5\sim 0.8\ \mu\text{m}$ 、耐電圧約 $700\ \text{V}/\mu\text{m}$ の高耐圧薄膜であり、さらにエッチングによる微細な表面凹凸形成により陽極の表面積を約20~40倍に拡大し、単位体積当たりの蓄電エネルギーが大きいコンデンサを実現している。耐リプル電流性能の向上には、リプル電流による発熱をいかに抑えるかがカギとなる。当社のアルミ電解コンデンサは要求される小型化(単位体積当たりで大容量化)と高い耐リプル電流性能を実現するため、エッチング技術の改良による表面積の拡大や誘電体酸化皮膜の改質、電解液の低抵抗化、コンデンサ素子のケースへの収納構造の見直し等により低抵抗化と放熱性の改善を行ってきた³¹⁾。図10にこれまでの当社における性能向上の推移を示す。20年間で2倍以上のリプル電流耐性向上と約30%の小型化を実現している。

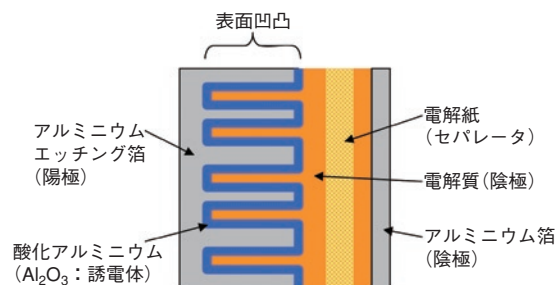


図9 アルミ電解コンデンサの断面構造模式図

Figure 9 Schematic cross-section of an aluminum electrolytic capacitor

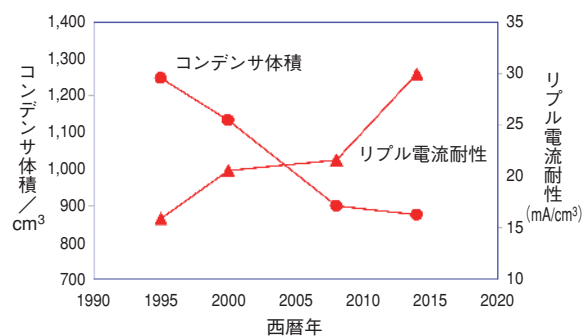


図10 当社ネジ端子形アルミ電解コンデンサの製品体積とリプル電流耐性の推移(定格450 V, 6800 μF)

Figure 10 Volume and ripple current durability change of our screw terminal type aluminum electrolytic capacitors (rated voltage of 450 V, 6800 μF)

フィルムコンデンサは、ポリプロピレン(PP)等のプラスチックフィルムを誘電体としたコンデンサで、電極となるアルミニウム等の金属を蒸着した前記フィルムを捲回した構造である(図11)。アルミ電解コンデンサと比較して高耐圧が特長であり、さらに誘電体損失が小さく温度・周波数等による静電容量変化が少ないことから、リップル電流による自己発熱が小さく長寿命である³²⁾。当社では、自己修復性(セルフヒーリング性)や自己保安性能を付与する蒸着電極の設計の最適化、蒸着フィルムの捲回におけるストレス低減や集電電極形成(メタリコン)などの素子製造技術の改善、ケース内部での素子収納構造や配線構造の改良などを進め、高耐圧、低抵抗、高耐リップル電流性能を実現してきた^{33),34)}。図12に高圧大容量コンデンサとして開発した(a)円筒金属ケース形、および(b)モジュール形製品の代表的な外観写真を示す。(b)のモジュール形は、樹脂ケース内部に複数個の捲回形フィルムコンデンサ単素子を並列接続した素子群を収納し、樹脂封止したコンデンサモジュールである³⁴⁾。

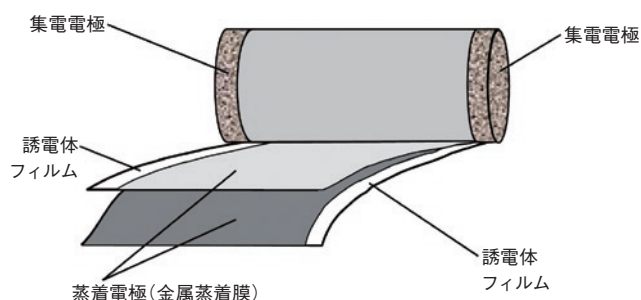


図11 蒸着電極形フィルムコンデンサ素子の構造
Figure 11 Structure of metallized film capacitor element

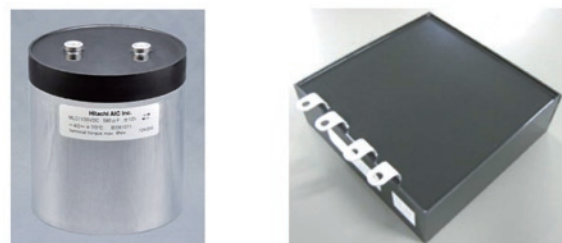


図12 パワーエレクトロニクス用高圧大容量フィルムコンデンサ
Figure 12 High voltage & large capacity film capacitors for power electronics applications:
(a) cylindrical metal case type, (b) module type capacitor array

2.6 蓄電システム

当社では保有する各種蓄電デバイスを用いて、停電時の非常用電源、電力の負荷平準化(ピークカット／ピークシフト)用蓄電システム〔商標名：Seflaシステム〕、クレーンや交通車両等の回生電力を蓄えて再利用する回生エネルギー蓄電システム³⁵⁾、系統安定化用蓄電システムなどの多様な蓄電システム製品を開発している。Seflaシステムは鉛蓄電池またはリチウムイオン電池と電力変換装置(PCS)を組み合わせた蓄電システムで、夜間に蓄えた電力を昼間の電力ピーク時に放電することによりピーク電力を抑制すると同時に、非常用電源として事業活動の維持(BCP)対策等の役割を同時に実現していく電力貯蔵システムである^{36),37)}。

近年では蓄電システムの容量もより大規模化し、鉛蓄電池では10 MWhクラス⁹⁾、リチウムイオン電池でも数 MWhクラスの蓄電システム³⁸⁾が実用化されている。蓄電システムには使用する目的や用途に応じてさまざまな要求があり、これらに1種類の蓄電デバイスで対応するのは必ずしも最適でないケースがある。各種蓄電デバイスはそれぞれ異なる特徴を有しており、複数種の蓄電デバイスを組み合わせることで、システムの最適化が図れる。当社はこのようなハイブリッド蓄電システムの実用化検討も進めており、各蓄電デバイスが持つ特長を活かすことでシステムとしての性能、コスト、大きさなどのバランスの取れたソリューションを提供することができる。図13にハイブリッド蓄電システムの概念図を示す。例えば風力発電の出力変動緩和においては、長周期変動と短周期変動の双方の緩和が必要になる。安価で比較的ゆっくりした充放電が得意な鉛蓄電池によって長周期変動を緩和し、短周期変動緩和は短時間の充放電特性に優れるリチウムイオン電池やリチウムイオンキャパシタによって行うことにより、単独の蓄電デバイスでシステムを構成する場合に比べてシステムサイズやコストを低減することが可能となる。ハイブリッド蓄電システムを設計するには、各蓄電デバイスの特性を十分に把握した上で最適な組み合わせを設定する必要がある、そのための種々の蓄電デバイスの特性を考慮に入れた設計ツールも開発している(ハイブリッド蓄電システムについては本誌技術レポートに詳述)。

蓄電システムを運用する上では、電池の状態(入出力可能な充放電電力・充電状態(SOC)・温度等)を適切に管理することが重要になる。蓄電システムの大規模化や普及拡大に伴って、保守・保全を効率的に行う必要性が増している。これまでは定期的に人手を介して各電池の状態を確認していたり、これを効率化するために各電池に状態監視用のセンサを取り付ける場合でも、有線では配線が膨大になり配線作業やシステムの信頼性を確保することが容易ではない、等の課題があった。当社では各電池の状態を子機で計測し、無線により親機に送信して多数の電池の監視を行うシステム³⁹⁾や、インターネットを通じて遠隔で状態を監視するシステム³⁷⁾を実用化している。

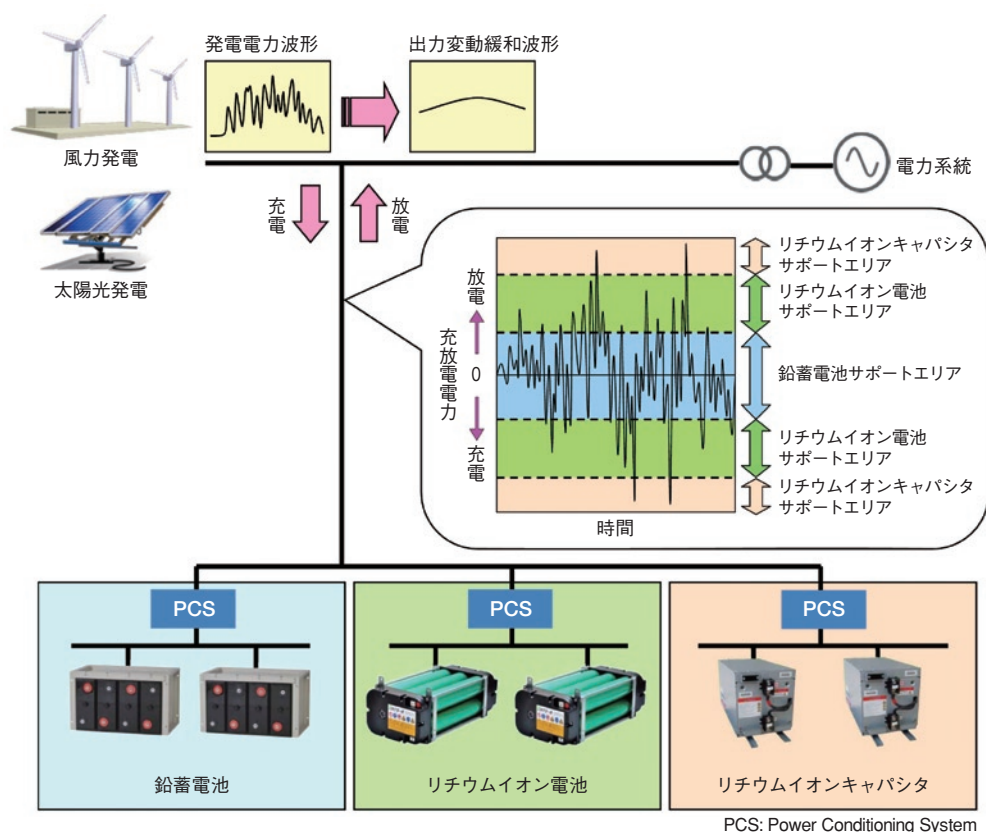


図13 ハイブリッド蓄電システム概念図

Figure 13 Conceptual diagram of hybrid type electrical energy storage system

3 結 言

蓄電デバイス／システム製品は、電力の安定供給による安心・安全な社会の基盤構築と低炭素社会の実現に重要な役割を担う製品群である。当社においても環境・エネルギー分野を重要事業領域と位置づけ、蓄電ビジネス事業を推進している。

技術開発においては、今後とも新技術の開発により各デバイスの性能向上を推進していくとともに、実用化をさらに拡大していくためには経済合理性の確保も必要であり、蓄電システムの低コスト化、長寿命化へ向けた開発を進めていく必要がある。引き続き社内外関係機関との幅広い連携を積極的に進めることで開発を加速し、製品開発および用途開拓を進めていく。当社は材料からさまざまなデバイス、さらにはシステム、サービスに至る幅広い製品群とソリューションを展開し、企業理念である「時代を拓く優れた技術と製品の開発を通して社会に貢献すること」を実践していく所存である。

【参考文献】

- 1) 電気学会技術報告：“自動車用電力マネジメント技術”，第1268号，p.3(2012)
- 2) David Alexander, et al: “Stop-Start Vehicles Micro Hybrid Technologies, Batteries, and Ultracapacitors: Global Market Analysis and Forecasts(2012)”, Pike research(2012)
- 3) 近藤隆文，他：“オルタネータ回生車両用バッテリーの開発”，新神戸テクニカルレポート，No.18，p.3-(2008)
- 4) 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，p.17-(2010)
- 5) 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，p.15-(2012)
- 6) 本棒享子，他：“鉛蓄電池用負極の充放電反応におけるin-situ AFM観察”，新神戸テクニカルレポート，No.12，p.3-(2002)
- 7) 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，p.35-(2001)
- 8) 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，p.31-(2005)
- 9) 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，p.15-(2011)
- 10) Hisaaki Takabayashi, et al: “Development of Value Regulated Lead Acid Batteries for Power Storage”, Proceedings of INTELEC' 03, p.383-(2003)

- 11) 川越智夫, 他: “小形サイクル長寿命制御弁式鉛蓄電池 LL50-12形の開発”, 新神戸テクニカルレポート, No.14, p.19-(2004)
- 12) 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MU, LL形電池への適用”, 新神戸テクニカルレポート, No.15, p.23-(2005)
- 13) 2014.9.2 日立化成株式会社ニュースリリース
- 14) 向谷一郎, 他: “据置鉛蓄電池開発におけるCAE技術”, 新神戸テクニカルレポート, No.21, p.21-(2011)
- 15) 高林久顕, 他: “サイクル長寿命制御弁式鉛蓄電池の風力発電への適用”, 新神戸テクニカルレポート, No.15, p.31-(2005)
- 16) 弘中健介, 他: “電気自動車用マンガン系リチウムイオン電池”, 新神戸テクニカルレポート, No.10, p.3-(2000)
- 17) M.Origuchi, et al.: “Lithium-ion Battery Application to the Tino Hybrid”, Proc.17th International Electric Vehicle Symposium, 3B-3, Montreal, Canada, Oct. pp.15-18(2000)
- 18) 新井寿一, 他: “車載用高出力・高容量リチウムイオン二次電池”, 日立評論, vol.86(No.5), p.15-(2004)
- 19) 2013.12.2 株式会社日立製作所ニュースリリース
- 20) 林晃司, 他: “機器バックアップ用フロート充電仕様リチウムイオン電池・電池システム”, 新神戸テクニカルレポート, No.22, p.3-(2012)
- 21) 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, p.3-(2010)
- 22) T.Yoshida, et al.: “Degradation Mechanism and Life Prediction of Lithium-Ion Batteries”, J. of The Electrochemical Society, 153(3), A576-A582(2006)
- 23) 上原秀秋, 他: “高信頼性円筒型リチウムイオンキャパシタ”, 新神戸テクニカルレポート, No.20, p.9-(2010)
- 24) JEITA受動部品標準化専門委員会: “リチウムイオンキャパシタ(LIC)の安全アプリケーションガイド”, 一般社団法人電子情報技術産業協会, JEITA規格RCR-2377(2013)
- 25) “DCマルチリンクドライブキャパシタスタッククレーンにおける適用”, YASUKAWA NEWS, No.302, p.10-, Spring 2013
- 26) 白谷竜二, 小野哲司: “ハイブリッド型油圧ショベル SH200HB-6”, 住友重機械技報, No.185, pp.7-10, Aug.2014
- 27) 依田和之, 他: “リチウムイオンキャパシタ適用高圧瞬低対策装置「UPS8000H」”, 富士時報, Vol.83, No.2, pp.111-114 (2010)
- 28) 2011.2.3 新神戸電機株式会社ニュースリリース
- 29) 中條政重, 他: “リチウムイオンキャパシタ用電圧監視制御装置”, 新神戸テクニカルレポート, No.22, p.9-(2012)
- 30) 濱良樹, 他: “大容量リチウムイオンキャパシタLCAPの性能とモジュールの開発”, 新神戸テクニカルレポート, No.23, p.21-(2013)
- 31) 松尾隆司, 他: “FXRA/GXRAシリーズ高リプル電流対応ネジ端子形アルミ電解コンデンサ”, 新神戸テクニカルレポート, No.21, p.3-(2011)
- 32) キャパシタ便覧編集委員会: キャパシタ便覧, 丸善(2009)
- 33) 山口清治, 飯田和幸: “新エネルギー用大型フィルムコンデンサ MLCシリーズ”, 新神戸テクニカルレポート, No.22, p.27-(2012)
- 34) 佐藤一司, 他: “高圧インバータ用フィルムコンデンサモジュール”, 新神戸テクニカルレポート, No.23, p.29-(2013)
- 35) 高橋弘隆, 他: “再生電力貯蔵装置の導入事例と今後の展望”, 日立評論, vol.94(No.6), p.50-(2012)
- 36) 佐々木清久, 他: “制御弁式鉛蓄電池による電力貯蔵システムの開発”, 新神戸テクニカルレポート, No.12, p.27-(2002)
- 37) 二見基生, 他: “スマートグリッド対応リチウムイオン蓄電システム”, 新神戸テクニカルレポート, No.23, p.3-(2013)
- 38) 2014.4.28 株式会社日立製作所/日立化成株式会社ニュースリリース
- 39) 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, p.15-(2013)