

トレンド

循環型社会に向けた蓄電池技術の動向と 東芝グループの取り組み

Trends in Rechargeable Battery Technologies and Applications to Create Sustainable Recycling Society, and Toshiba Group's Efforts in This Field

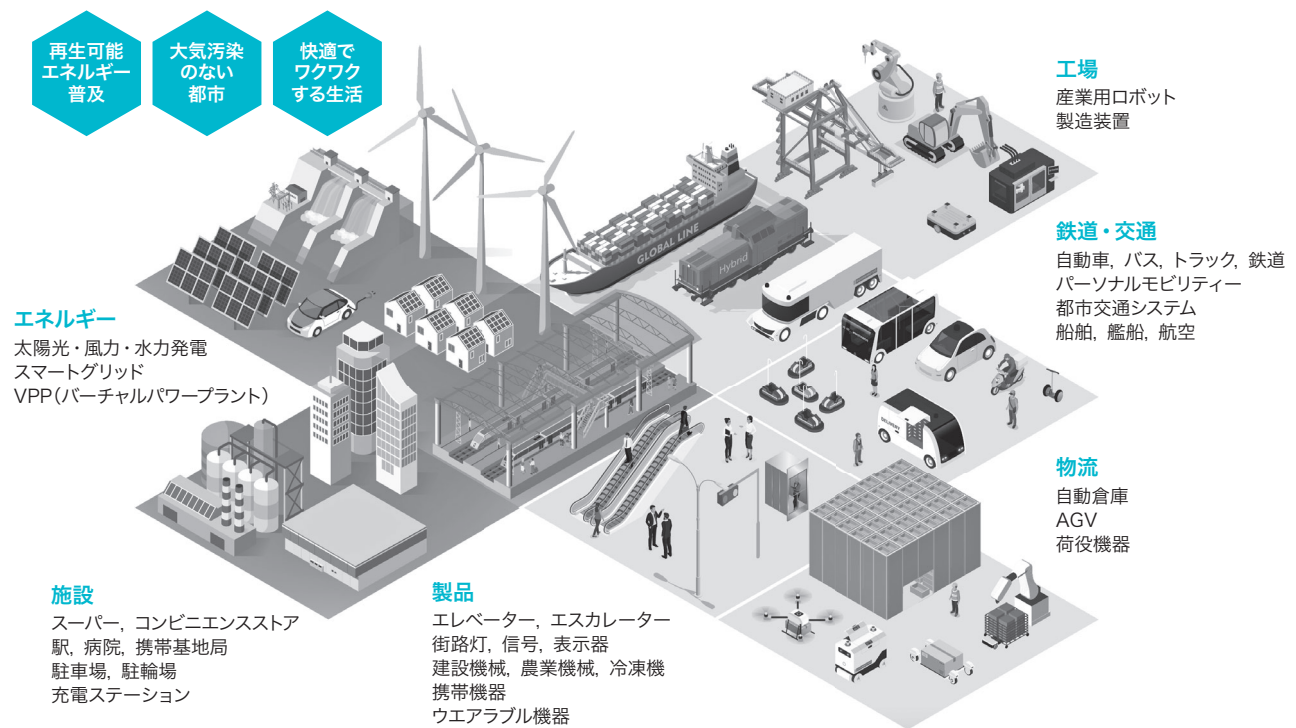
高見 則雄 TAKAMI Norio 餅川 宏 MOCHIKAWA Hiroshi

持続可能な循環型社会の実現に向けて、エネルギーや、産業・社会インフラ、鉄道・交通システムなど様々な分野で蓄電池システムの導入が進められている。

東芝グループは、このような市場ニーズに応じて、急速充電や、長寿命、高い安全性などの優れた特長を持つ東芝のリチウムイオン二次電池 SCiB™ を、ハイブリッド車 (HEV) や電気自動車 (EV) などの電動車両や、バス・鉄道システムから、無人搬送車 (AGV) や、定置蓄電池システムまで、幅広く適用している。また、経済性と利便性の観点から、チタン酸化物系負極の次世代材料などの技術開発により、高エネルギー密度も兼ね備え、更なる長寿命化を図った蓄電池の実現と、その拡大を目指している。

The movement toward the introduction of rechargeable battery systems has recently accelerated with the aim of realizing a sustainable recycling society in various spheres of social and industrial infrastructure such as energy systems, railway and traffic systems, and so on.

In response to these market needs, the Toshiba Group is continuing its efforts to develop technologies for its SCiB™ lithium-ion rechargeable batteries, which provide high-speed charging, a long lifetime, and high safety, and to deliver systems and services in a broad range of fields including electric vehicles (EVs), bus and railway systems, automated guided vehicles (AGVs), and stationary battery energy storage systems (BESS). From the viewpoint of economic efficiency and usability, we are also working toward the practical realization of the next-generation SCiB™ with the objective of achieving higher energy density as well as a further lengthening of the lifetime through the development of titanium oxide-based anodes, and are aiming to expand the range of application of SCiB™ batteries.



特集の概要図。循環型社会の実現に向けた蓄電池の応用範囲の広がり

Expansion of fields of application of rechargeable battery technologies to create sustainable recycling society

1. まえがき

持続可能な循環型社会を実現するために、二酸化炭素(CO₂)排出削減や資源・エネルギー枯渇問題への対策として、エネルギー、産業・社会インフラ、鉄道・交通システムなど様々な分野で、エネルギーの有効利用に不可欠な蓄電池システムの導入が進んでいる(特集の概念図)。特に、低燃費、低排出ガスが求められる電動車両など、鉄道・交通システム分野における蓄電池の普及が大きな割合を占めることが予測されている。

従来は、スマートフォンやモバイルパソコンなど、比較的小型の蓄電池の利用が多かった。これに対し、今後蓄電池の利用が増加するエネルギー、産業・社会インフラ、鉄道・交通システムなどの分野には、大きな電力を使うものが多く、大型の蓄電池が必要である。また、社会基盤として重要な役割を担う機器やシステムが多いため、蓄電池にも、より高い信頼性や安全性が求められる。

東芝グループは、負極にリチウムチタン酸化物(LTO)を用いたSCiB™を製品化している。SCiB™は、安全性、長寿命、及び急速充電が特長であり、EVや、バス、鉄道車両、定置蓄電システムなど鉄道・交通システム分野への導入が拡大している。今後、SCiB™の応用範囲や利用台数を更に拡大するためには、エネルギー密度、出力、寿命、充電速度に加えて、安全性と信頼性をより一層高める必要がある。また、大型の蓄電池は大量の材料を使うため、資源の有効利用の観点から、蓄電池のリユースとリサイクルにも配慮しなければならない。

ここでは、循環型社会に向けた大型蓄電池の技術トレンド

と、東芝のSCiB™の高機能化に向けた取り組みについて述べる。

2. リチウムイオン二次電池の材料技術トレンド

近年、エネルギー密度の高いリチウムイオン二次電池が、蓄電池の主流である。ここでは、リチウムイオン二次電池の正極と負極の材料技術トレンドについて述べる。

図1は、電極材料ごとに、体積当たりの蓄電容量とリチウムイオンの吸蔵・放出に対する電極電位とを、プロットしたものである⁽¹⁾。電池の蓄電容量は電極の体積当たりの蓄電容量で決まり、電池電圧は正極と負極の電極電位の差で決まる。したがって、エネルギー密度(体積当たりの蓄電容量×電池電圧)を高めるには、電極の蓄電容量が大きな材料で、高電位な正極と低電位な負極を選択(電池電圧を高めるため)する必要がある。

現在、スマートフォンなどの携帯機器用小型リチウムイオン二次電池の負極には、電極電位の低い黒鉛が用いられている。急速充電や長期間の充放電サイクルの繰り返しによる、黒鉛負極への金属リチウム(Li)の析出、電解液の還元分解による容量劣化の加速、並びに安全性の低下といった問題がある。

一方、リチウムイオン二次電池の大容量化のために、負極には高容量なシリコン(Si)を導入する技術の研究開発が、正極には電極電位の高いLiNi_{1-x-y}Co_xMn_yO₂中のコバルト(Co)をニッケル(Ni)に置換してNi比率を高めて電極の蓄電容量を大きくしたLiNi_{0.8}Co_{0.1}Mn_{0.1}O₂の導入検討が進められている⁽¹⁾。負極にSiを導入すると、充放電に伴う体積膨張が非常に大きいため充放電による寿命の低下が起こる

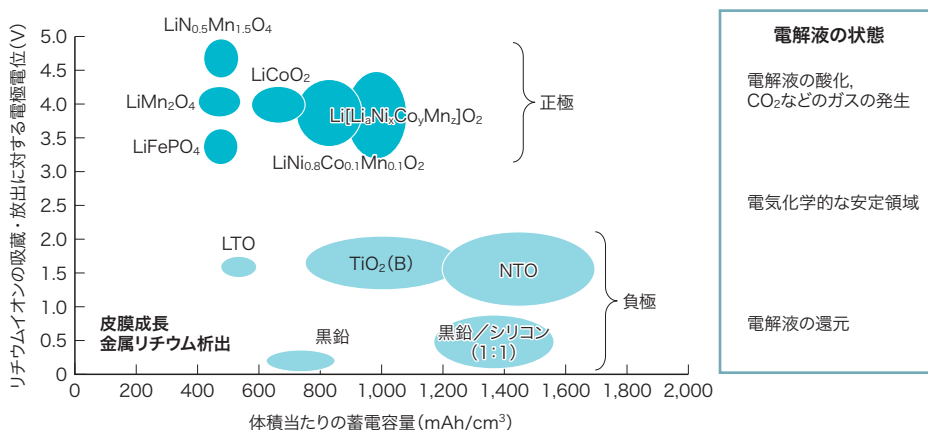


図1. 正極と負極の電極電位と体積当たりの蓄電容量の関係

正極と負極の電極として、互いの電極電位差が大きく、容量が大きいものを組み合わせることで、エネルギー密度を大きくできる。

Relationship between electrode potential and volumetric capacity of positive and negative electrodes

ので、長寿命化のための改善が求められる。正極では、Ni比率を高めると熱に対する安定性が低下するため、安全性向上と長寿命化が求められる。

更に、将来技術として、負極に金属Liを用いたポストリチウムイオン二次電池の研究開発が進められている。金属Li負極を用いて、1,000 Wh/Lを超える飛躍的に高いエネルギー密度を目標としているが、実用化のためには、寿命、出力、及び安全性が課題となる。その研究開発の一つとして全固体電池が注目されている。具体的には、金属Li負極のデンドライト析出の抑制、及び固体電解質と電極の界面の抵抗低減が求められる。

3. SCiB™の特長

東芝グループは、従来の黒鉛に替わって、電気化学的な安定領域で充放電するチタン酸化物系材料を、負極として開発してきた。中でもLTO負極は充放電反応に伴う体積変化がほとんどないため、寿命性能に優れたSCiB™として製品化した。SCiB™は、従来の携帯用小型リチウムイオン二次電池に比べてエネルギー密度は劣るものの、長寿命のほかに、高出力、急速充電、及び安全性で卓越した性能を実現している。これらの特長を持つため、SCiB™は鉄道・交通システム分野に広く導入されている。

また、このようなSCiB™の特長を維持しながら、更なる高エネルギー密度化を目指して開発を進めている。東芝グループは、新しい大容量の負極材料として、ニオブチタン酸化物(Nb₂TiO₇: NTO)を見いだした²⁾。図1に示すように、NTOは、黒鉛負極に対して体積当たりの蓄電容量が2倍大きい。NTO負極を用いたNTO系蓄電池(次世代SCiB™)

で、エネルギー密度350 Wh/L、6分間の急速充電、及び7,000回以上の長寿命特性を確認した²⁾。図2に、自動車用大型リチウムイオン二次電池や携帯機器用小型リチウムイオン二次電池などの、エネルギー密度と出力密度の関係を示す。次世代SCiB™は、200～400 Wh/Lのエネルギー密度、並びに携帯機器用小型リチウムイオン二次電池に比べて、高い出力密度が得られる。

このように、高出力、長寿命、急速充電、高い安全性、及び信頼性を合わせ持つSCiB™、及びこれを更に高エネルギー密度化した次世代SCiB™は、持続可能な循環型社会を支える蓄電池としての役割を果たしていく。

4. SCiB™の適用と技術開発

この章では、SCiB™の応用分野ごとに、市場の特徴や普及のための蓄電池への要求、及びそれに応えるための技術について述べる。

4.1 鉄道・交通システム分野でのSCiB™の活用

この分野では、走行距離の伸長につながる蓄電池の高エネルギー密度化が基本的に必要であり、用途別では、図2に示すように、HEV用蓄電池では高出力密度化、EV用蓄電池では高エネルギー密度化がトレンドである。また、長寿命、急速充電、及び高い安全性も求められる。走行距離の伸長と急速充電の両立は電動車両の利便性を大幅に向上させる。特に、シェアカーやタクシーなどの商用車は充電回数が多いので、急速充電と長寿命が必須となる。これらの要求に応えるためには、図1の電気化学的な安定領域内で、大容量化と高出力化が両立できる材料選択が有効である。

3章で述べたとおり、SCiB™は、長寿命、急速充電、安

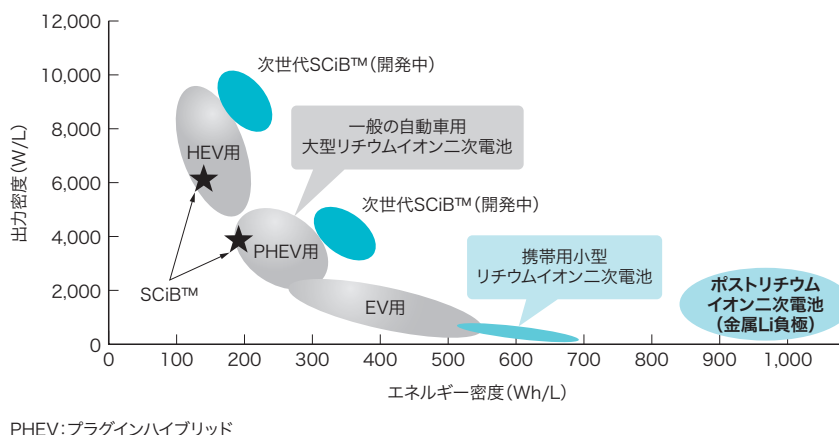


図2. 自動車用のリチウムイオン二次電池などのエネルギー密度と出力密度の関係

次世代SCiB™は、一般のリチウムイオン二次電池に比べて、エネルギー密度が高く、出力密度も大きいことが特長である。

Relationship between energy density and power density of lithium-ion batteries for automotive applications

全性を備えており、電動車両に搭載する蓄電池として最適である。特に、SCiB™の電池電圧は、マイルドHEVに導入される12～48V系の蓄電池システムと適合しているという利点がある。東芝グループは、出力特性と急速充電に優れたSCiB™の特長を生かして、12V、24VのマイルドHEVへの適用を図ってきた³⁾。最近では、車のCO₂排出制限が強化される欧州市場向けの、48V電源による電気走行を強化したマイルドHEVへの適用に向けた開発に力を入れている(この特集のp.16-20参照)。

更に、電池構造からも高エネルギー密度化を進めている。電動車両用の蓄電池は、車体の床下に搭載することも多いため、薄くて大面積の形状が求められることがある。これまでのアルミニウム缶の外装材では、強度や構造上の制約により形状に制限があった。そこで、外装材を、薄肉ステンレスに変えることで、自由な形状と高い強度を実現した(同p.21-24参照)。

鉄道分野では、蓄電池の応用事例は多く、導入が進んでいる。無電化線のディーゼル車に蓄電池を組み込むことで、HEVと同様の効果で燃費を改善し、ディーゼルエンジンの排出ガスの抑制や、エンジン騒音の軽減、CO₂削減にも寄与できる。

路面電車などでは、蓄電池で走行することで、部分的に架線を無くすことができる。交差点など運行経路に分岐がある場所には、架線が複雑に張られており、架線を無くすことが望まれている。また、車両に搭載する蓄電池容量を増やせば、駅で停車している間だけパンタグラフから蓄電池に充電することで、走行中は、架線からの給電を不要にできる。蓄電池の搭載により都市内の架線を大幅に減らすことで、景観が改善できる上、架線トラブルも大幅に軽減できると期待される。

また、一般鉄道の場合も、万一、橋梁(きょうりょう)の上やトンネル内などで停電が発生して立ち往生した場合などに、蓄電池を車載又は、近隣の地上給電設備に保有していれば、その電力を使って、非常脱出走行を行うことも可能になる(同p.7-10参照)。

4.2 急速充電とワイヤレス充電

今後、蓄電池の価格低下やエネルギー密度の向上に伴い、自動車の電動化率はますます高まっていくと考えられる。電動車両の年間販売台数は、2030年過ぎに世界で2,000万台を超えると予測されている。また今後、充電ステーションが、多数、分散して設置され、併せて、近隣の充電ステーションへの案内システムも充実してくる。このように電動車両とその充電設備が市場に大量に普及した社会になれば、電動車両に搭載すべき蓄電池容量は少なくて済む。電動車

両などの充電時間は、ガソリン車の給油時間に近づけたいという要求が強い。近年、急速充電器のパワーアップの動きが盛んで、欧州では最大600kWもの超急速充電器の検討も始まっている。SCiB™は、小容量でも急速充電に適しており、高度EV化社会にも非常に適した蓄電池である。

今後、ロボットなどの自動機械が社会でより広く活用されるようになり、そこには様々な形で蓄電池が搭載される。蓄電池を充電する際、一般的には、端子部分を接触させるが、接触抵抗を十分低くして接続部の発熱を抑制し、安全を保って充電する必要がある。これに対し、接触端子を使わない非接触充電方式の利用が拡大している。従来の非接触充電方式は、電磁結合を利用するものが主流であり、送電器と受電器の距離を数cm程度に近づける必要があった。もっと距離を離しても充電可能な方式として磁界共鳴方式が目ざされ、ロボットや無人搬送車への応用が進みつつある。東芝グループは、大型バスの充電にも、この磁界共鳴方式を適用し、実証実験を行った⁴⁾。

また、更に長距離(数m先まで)の電力伝送も、需要がある。今後、IoT(Internet of Things)化が加速すると、色々な箇所にセンサーの配置が必要となる。あまたのセンサーに各々電力を供給するための配線は、運用上困難である。データはワイヤレスで受信できるので、センサーに必要な電力をある程度の期間、蓄電池に確保しておき、定期的に無線で供給する方法が望ましい。このような長距離小電力の無線電力伝送(WPT)技術も開発中で、実用化の段階に来ている⁵⁾。

非接触充電技術は、蓄電池を完全に隔離して、確実に絶縁できるので、感電や短絡事故などの防止にも有効である(同p.34-38参照)。

4.3 エネルギー分野でのSCiB™の活用

最近、再生可能エネルギー(以下、再エネと略記)由来の電力を、優先的に利用しようとする機運が高まっている。再エネ利用を進めると、詳細な気象予測や、デマンドレスポンス、火力発電出力制御、揚水発電の電力制御、再エネのリアルタイム出力抑制などをフル活用しても、埋めることができない電力需給のアンバランスが生じる。そのため、グリッド内に蓄電池群を分散配置し、需給調整に利用している。

再エネ由来の電源が系統に多数連系されると、発電出力の変動による系統周波数への影響が顕著になる。これに対応し、周波数を適切に制御するための調整手段が必要である。このようなシステムでは、高出力だけでなく大きな電力量が必要なことが多々ある。そこで、SCiB™の高い出力特性を生かして、別の大容量の電源方式と併用するハイブリッドシステムが有利である。例えば、大きな蓄電容量を持つ

ほかの蓄電池との併用や、ディーゼル発電機との併用などが挙げられる(同p.11-15参照)。将来、蓄電池社会が一層発展すると、大量の電力をためた蓄電池を必要な場所に運んで使うことで経済性を高め、再エネの利用が一層進み、電力流通革命に発展する可能性がある。

また、需要家側に分散配置された蓄電池群の災害非常時での活用を見込み、蓄電池群を有機的につなぎ、最適運用する技術開発も進めている(同p.44-48参照)。

4.4 その他の技術

4.1～4.3節で述べたように、蓄電池が普及してくると、中古蓄電池のリユースが進むと考えられる。蓄電池は使用するにつれて劣化し、使用条件が厳しい電動車両などの用途での利用が困難になるが、使用条件が比較的緩い家庭用蓄電池などに、安価に再利用することが検討されている。今後、蓄電池は大型のものが多くなり、材料も大量に使用するため、リユースを進めることで、経済的にも、資源の有効活用の意味でも、大きなメリットがある。

安全かつ効果的にリユースを進めるためには、蓄電池の残存価値(蓄電能力)を正しく評価できる技術が必要になる。劣化が進んだ蓄電池は、内部抵抗が上昇し、蓄電容量が低下する。これを推定することで、蓄電池の残存価値を正當に評価することができる(同p.39-43参照)。

また、蓄電池の使い方にも工夫が必要である。蓄電池は一般に、SOC(充電状態)が0%や100%の近傍では、劣化が速くなる傾向を示すため、蓄電池の劣化をできるだけ抑制するように使用する蓄電池運用技術が重要になる。

電池セル製造の最終工程では、セル寿命確保のため、スクリーニングが必要である。電池セル内部の電気化学反応は、温度が高いほど促進されることから、正確な劣化評価のために、高温でのエージング試験を実施している。この工程は、電池セル製造に直接関係する工程ではないので、できるだけ速やかに正確に実施することが求められる。そのため、高速に昇温可能で、高精度な温度管理ができる高温エージング装置の開発も行っている(同p.30-33参照)。

更に、12V系鉛蓄電池の将来の代替技術として、低コストで高安全な水系電解液を用いたリチウムイオン二次電池の研究開発を進めている(同p.25-29参照)。

5. 今後の展望

持続可能な循環型社会に向けた蓄電池技術には、蓄電池の性能向上とともに経済性と利便性が求められる。そのため、蓄電池のエネルギー密度の向上とともに、高い安全性を確保して長寿命や急速充電の性能を向上しなければならぬ。これまでのリチウムイオン二次電池の材料と技術

の延長線でない、新しい視点での開発が求められる。

東芝グループは、SCiB™の鉄道・交通システム分野などへの応用拡大を進めるとともに、次世代SCiB™の高エネルギー密度、長寿命、急速充電、高安全を生かした蓄電池技術の普及を目指している。SCiB™は、電動車両をはじめ、多くの用途に最適な蓄電池であり、今後も、多方面への適用拡大を目指していく。更に、蓄電池のリユースを促進する技術も展開していく。

文 献

- (1) 高見則雄, ほか. EV普及に向けた超急速充電, 長寿命な次世代二次電池(パワーユニットの最新技術). 自動車技術, 2018, **72**, 9, p.30-34.
- (2) Takami, N. et al. High-energy, fast-charging, long-life lithium-ion batteries using TiNb₂O₇ anodes for automotive applications. Journal of Power Sources. 2018, 396, p.429-436.
- (3) 村上 学, ほか. マイルドハイブリッド車用24V SCiB™バッテリーパック. 東芝レビュー. 2020, **75**, 1, p.34-37. <https://www.toshiba.co.jp/tech/review/2020/01/75_01pdf/f02.pdf>, (参照 2020-04-03).
- (4) 尾林秀一, ほか. 電気自動車・電気バス用ワイヤレス充電の実用化を目指す85kHz帯ワイヤレス電力伝送技術. 東芝レビュー. 2017, **72**, 3, p.42-46. <https://www.toshiba.co.jp/tech/review/2017/03/72_03pdf/f01.pdf>, (参照 2020-04-03).
- (5) 東芝. “産業IoT応用を目指したマイクロ波遠隔給電方式を開発”. 東芝ホームページ. <https://www.toshiba.co.jp/rdc/detail/1803_02.htm>, (参照 2020-04-03).



高見 則雄 TAKAMI Norio, Ph.D.
研究開発センター
工博
米国電気化学会・電気化学会会員
Corporate Research & Development Center



餅川 宏 MOCHIKAWA Hiroshi
東芝インフラシステムズ(株) インフラシステム技術開発センター
電機応用・パワエレシステム開発部
電気学会会員
Toshiba Infrastructure Systems & Solutions Corp.