



# 安全性と信頼性を高めたリチウムイオン電池の技術と応用

株式会社東芝 電池事業部 技師長 **いながき ひろき**  
**稲垣 浩貴**



## 1. はじめに

2019年のノーベル化学賞は、吉野彰氏（旭化成）とジョン・グッドイナフ氏（テキサス大学）、スタンリー・ウィットインガム氏（ニューヨーク州立大学）ら日米の研究者が受賞した。三氏の受賞理由は、カーボンニュートラルの切り札の一つ「リチウムイオン電池」の開発であったことは記憶に新しい。

リチウムイオン電池の用途は、スマートフォン等の小型電子機器から、電気自動車等の大型産業機器に広がり、更なる高エネルギー密度化・大容量化に向けた革新的技術が期待されている。だが、こうした要求の実現には、安全性や耐用年数の向上といった大きな課題がある。

東芝は負極にチタン酸リチウム（LTO）を採用したリチウムイオン電池SCiB™を製品化した<sup>[1]</sup>。SCiB™は負極にLTOを使うことで、安全性、寿命、低温性能、急速充電、入出力といった性能を際立たせ、多様な技術的課題を解決している。本稿では、SCiB™の特長、製品ラインアップ、産業分野への応用、そして未来への展望をご紹介します。

## 2. 変化するリチウムイオン電池への性能要求とその実現に向けて

小型電子機器で普及したリチウムイオン電池。求められる性能はエネルギー密度（高容量）であった。しかし近年は、自動車、定置・産業用に広く使用されるようになり、高入出力、長寿命、高安全性、急速充電といった様々な性能が求められる。車載・産業用大型電池には、こうした複数の要求に耐える材料・電池設計が必要であり、特に安全性への配慮がより一層重要になる。

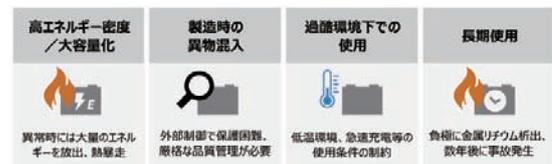
リチウムイオン電池では、一般的に炭酸エステル系の有機溶媒にLiPF<sub>6</sub>などのリチウム塩を溶解した非水系の電解液が用いられる。鉛蓄電池に代表される水系電解液を用いた電池の場合、電解液中の水が電気分解してしまうため、電池の起電力を高くするには限界がある。現状、高い電圧を得るためには有機溶媒が欠かせない。この有機溶媒が可燃性ということで、リチウムイオン電池は誤った使い方をすると、発火・破裂に至る危険性がある。

当然ながら、大きなエネルギーを蓄える大型電池は、異常時には大事故に至る可能性が増す。そのため、製造時の

異物混入防止など、厳格な品質管理が必要となる。また、産業分野への応用には、過酷な環境下での使用を想定した性能の確保が必要となるほか、交換の難しい機器への採用では、長期間にわたる安定した性能と安全性が要求される。

	主な用途	求められる性能
かつては...	携帯機器 スマートフォン タブレット デジタルカメラ ノートPC...	高容量
近年	自動車 低電圧系ハイブリッド 高電圧系ハイブリッド PHEV (Plug-in Hybrid Vehicle) EV (Electric Vehicle)	鉛互換 高出力 高出力 高容量 高安全性 高安全性 高容量 長寿命 高安全性 高容量 長寿命
	定置・産業用 電力貯蔵 (ピークシフト) 住宅用蓄電システム 出力変動抑制 電気バス/AGV(無人搬送車)	高安全性 高容量 長寿命 高安全性 高出力 長寿命 急速充電 高安全性

■ 図1. 多様化するリチウムイオン電池の要求性能



■ 図2. 大型化するリチウムイオン電池の安全性への懸念

## 3. 東芝が提案する新しいリチウムイオン電池の形

大型電池への様々な要求に対して、東芝は負極にチタン酸リチウム（LTO）を採用したリチウムイオン電池SCiB™をもって応えている。LTO負極を採用する代表的なメリット3点を以下に記す。



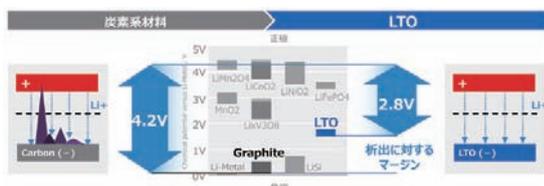
■ 図3. リチウムイオン電池の基本構成とSCiB™の特長

● LTO負極のメリット (1)：原理的に金属リチウムが析出せず、内部短絡リスクが低い

リチウムイオン電池が抱える課題として、性能の劣化と内部短絡（ショート）による発火などがある。原因の一つは、負極に析出する樹枝状金属リチウムである。これはデンド

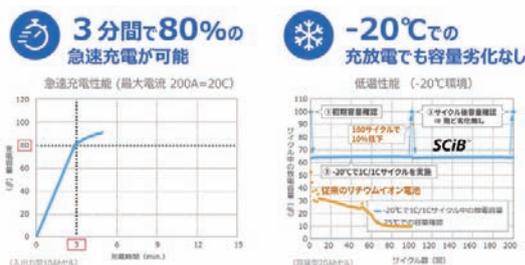
ライドと呼ばれ、このデンドライドが成長しセパレータを貫通して正極に達することで内部短絡が起き、発火などに至る危険性が高まる。

デンドライド析出は、負極の電位が0ボルト (V) になると起こる。一般的なリチウムイオン電池の炭素負極では、リチウムイオンを吸蔵する電位が0.1Vと0Vに近いため、過電圧がかかる状態（急速充電や低温環境で充電するなど）でデンドライドが析出する可能性が高まる。一方、SCiB™に採用されているLTO負極では、吸蔵放出の電位が1.5Vと0Vに対して十分なマージンを確保できるため、原理的にデンドライドが析出する可能性は低い。



■ 図4. 各種電極材料のリチウムイオン吸蔵放出電位

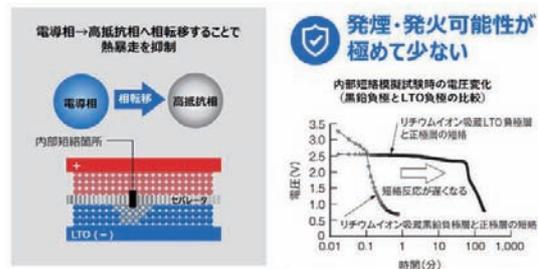
急速充電を行っても金属リチウムが析出しないメリットを生かし、SCiB™では急速かつ安全な充電が可能である。実に3分間で80%以上を充電できる。また、-20℃の低温環境下でも繰り返し充電・放電が可能となり、容量劣化もほとんど起こらない。



■ 図5. SCiB™の急速充電性能と低温充放電性能

## ● LTO負極のメリット (2) : 内部短絡に対する独自の自己保護機能を備える

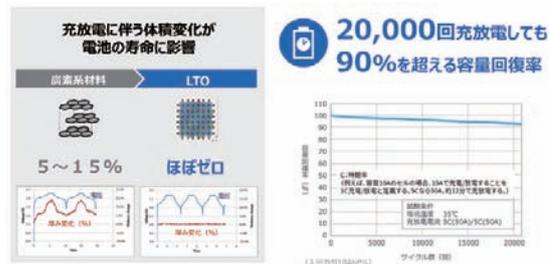
たとえ内部短絡が起こっても、LTOは自己保護機能を有しているため安全性が高い。LTOは絶縁体であるが、リチウムイオンを吸蔵させることで電極材料（電導相）として機能する。しかし、正極と負極の間に誤って金属などの異物が混入した場合、リチウムイオンが短絡点近傍のLTOから瞬時に抜けて、LTO負極が絶縁体（高抵抗相）に変化する。そのため過大な短絡電流が流れることなく、電池の熱暴走が抑制される。これが自己保護機能である<sup>[2]</sup>。



■ 図6. LTO負極の持つ自己保護機能と内部短絡時の挙動

## ● LTO負極のメリット (3) : 充放電に伴う体積変化が非常に小さく長寿命を実現

一般的なリチウムイオン電池では、リチウムイオンの吸蔵放出に伴って約10%の体積変化を伴うことが知られている<sup>[3]</sup>。こうした物理的な体積変化によって、材料の損傷などを招いて容量が低下し、寿命も短くなる。これに対してSCiB™に採用されるLTO負極はスピネル型と呼ばれる安定な構造であり、リチウムイオンの吸蔵放出に伴う体積変化が殆どないため<sup>[4]</sup>、長寿命を実現できる。このことは、環境温度35℃という過酷な条件での実験でも確認されており、2万回以上の充放電を行った後も90%以上の容量が維持された。



■ 図7. 電極材料の充放電中体積変化とSCiB™の寿命性能

SCiB™と一般的なリチウムイオン電池の特性を比較したのが表1である。SCiB™は、一般的なリチウムイオン電池に比べてセル電圧は低いですが、作動温度、充電可能温度に優れ、充放電サイクル寿命の長さから、総保有コストを小さくすることができる。

■ 表1. SCiB™と一般的なリチウムイオン電池との特性比較

	一般的なLIB(A)	一般的なLIB(B)	LTOセル(SCiB™)
セル電圧 (V)	3.6V	3.3V	2.3-2.4V
充放電サイクル寿命(回)	3000 - 4000	3600 or more	15000 - 60000
作動温度 (°C)	-20 to +55	-20 to +55	-30 to +60
充電可能温度 (°C)	0 to +45	0 to +45	-30 to +60
システム導入コスト/kWh (推定)	50%	45%	100%
総保有コスト: TCO* *Total cost of ownership	⑤⑤⑤⑤⑤	⑤⑤⑤	⑤



#### 4. SCiB™の製品ラインアップと採用事例

東芝では現在、3つのタイプのSCiB™セルを新潟県の柏崎工場にて生産している。そして、それらのセルを使用した車載用、定置・産業用のモジュールや、鉛電池からの置き換えが容易な産業用電池パックをラインアップしている。

■表2. SCiB™セル製品ラインアップ

	高入出力タイプ		コンビネーションタイプ	大容量タイプ	
	2.9Ahセル	10Ahセル	20Ah-HPセル	20Ahセル	23Ahセル
定格容量	2.9Ah	10Ah	20Ah	20Ah	23Ah
公称電圧	2.4V			2.3V	
出力性能	520W*	1800W*	1900W*	1200W*	1000W*
入力性能	410W*	1500W*	1900W*	1100W*	1000W*
体積エネルギー密度	85Wh/L	92Wh/L	176Wh/L	176Wh/L	202Wh/L
重量エネルギー密度	46Wh/kg	47Wh/kg	84Wh/kg	89Wh/kg	96Wh/kg
寸法	W63 × D14 × H97 mm		W116 × D22 × H106 mm		
質量	約150g	約510g	約545g	約515g	約550g

\*測定条件：SOC 50%、10sec、25℃

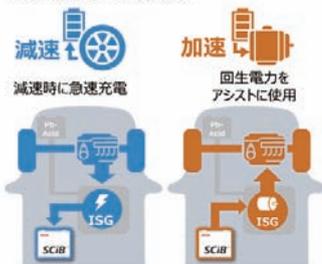
LTO負極を採用したSCiB™が、それぞれの分野でどう利用されているのか。その長所別に採用される理由を紹介する。

##### ●A. 高入出力を活かした電力効率改善・省エネ化

###### (例) マイルドハイブリッド車

ブレーキ時の減速エネルギーを回収し、次の加速や停車時の空調などに生かすことに主眼を置いて、マイルドハイブリッド車でSCiB™が採用されている。これは、SCiB™の急速充電、高い入出力能力により、減速時に発生する大きな再生電力を効率的に回収できるためである。回収したエネルギーを発進・加速時のアシストに利用することで、燃費向上とCO<sub>2</sub>排出削減に貢献している。

■自動車用12Vシステムへの適用例



■図8. 自動車用12Vシステムへの適用例

##### ●B. 急速充電による装置稼働率向上

###### (例) 電動バス・無人搬送車 (AGV)

CO<sub>2</sub>削減のために、リチウムイオン電池を搭載したEV

バスの普及が始まっている。1日1回夜間に充電して1日走りるのが一般的だが、大きな電池搭載による乗客スペース圧迫やコスト増大が課題となっている。SCiB™の急速充電性能と長寿命性能を生かすことで、これらを解決できる。SCiB™搭載バスは、停留所でのわずかな停止時間で運行に必要な電力を急速充電できるため、電池搭載量を最小限にできる。その結果、乗客スペースの拡大や車両の軽量化による低燃費など、運用コストの低減を実現している。

また、工場や大規模な倉庫で利用される無人搬送車 (AGV: Automatic Guided Vehicle) でも、SCiB™の採用が進んでいる。これまでの鉛蓄電池を搭載したAGVでは充電に時間がかかるため、大量の予備電池を保有したり、複数のAGVを交替で運用することが必要だった。SCiB™の急速充電性能を自動充電システムと組み合わせることで、搭載されたSCiB™のみでAGV運用が可能となる。これにより、運用コストや作業負荷を軽減できる。



■図9. 急速充電式バスへの適用例



■図10. 無人搬送車 (AGV) への適用例

##### ●C. 過酷な環境での高い信頼性が必要な用途

低温から高温まで幅広い温度域で、安全に充放電できるSCiB™は、北欧やロシアなどの極寒地域や、東南アジアや中東といった猛暑地域での採用例が増えている。また、安全性・信頼性の高さから鉄道、船舶、変電所などの公共インフラでの活用も進んでいる。国内で初めて船舶へのリチウムイオン電池の適用を承認する鑑定書を日本海事協会から取得し (2020年3月31日)、鉄道においてもリチウムイオン電池として世界で初めて鉄道車両向け欧州安全規格を取得した (2018年8月30日)。



■ 図11. 過酷な環境や信頼性が求められる用途への適用例

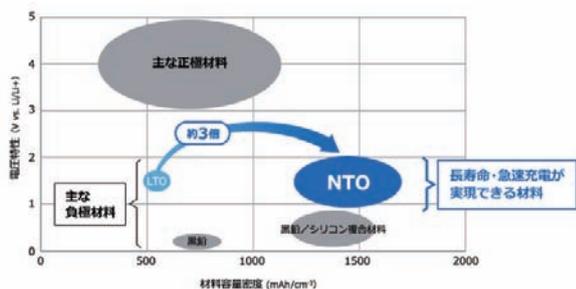
このように、SCiB™は、高い安全性、信頼性、長寿命、高入出力を必要とする、様々な場所で幅広い用途に採用されている。

## 5. 更なる高性能化に向けた次世代技術

そして、SCiB™の進化は、キーマテリアルである負極材料の見直しにも至っている。東芝は、次世代負極材料としてニオブチタン系酸化物 (NTO) に着目している。NTOは、理論上の容量密度がLTOの約3倍であるとともに、長寿命や急速充電といったLTOの特長を併せ持つ負極材料である<sup>[5]</sup>。こうしたNTOの特性と合わせ、東芝の持つ独自の電極化技術を用いることで、長寿命や急速充電の性能を保ちながらエネルギー密度を1.5倍にすることを目指している。NTOの高い材料容量密度を入出力性能に振り分けられる設計とすれば、SCiB™を更にハイパワー化することもできる。

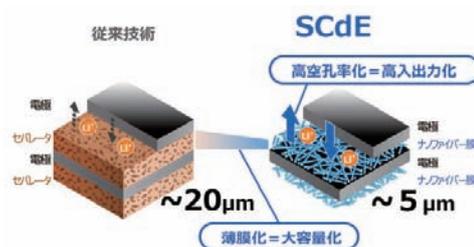
正極と負極を分けるセパレータについては、次世代セパレータであるSkin-Coated Electrode (SCdE) を開発している。SCdEは、電極材料の表面を樹脂製の極薄ナノファイバー膜で覆った新構造である。通常、正極と負極の絶縁を保つセパレータには、厚さ20μm程度の独立膜が採用されている。これに対して東芝では、独自の電極一体型セパレータで約5μmまで薄膜化することに成功した。

膜の形成には、ナノファイバー形成技術の一つであるエ



■ 図12. 負極材料の材料容量密度と電圧特性の関係

レクトロスピニングを応用している<sup>[6]</sup>。この技術では、原料となる高分子溶液に高電圧を加えて紡糸する。エレクトロスピニング技術により、絶縁性、耐熱性に優れた薄膜セパレータが実現し、電極間の距離を極限まで近づけることでエネルギー密度と入出力性能の同時改善が可能になった。さらに、膜の高空孔率化により、イオン電導性が向上し、更なる高入出力化が可能となる。



■ 図13. Skin-Coated Electrode (SCdE) の模式図

## 6. おわりに

東芝グループは、創業以来長年にわたり培ってきた製造業としての幅広い事業領域の知見や実績（フィジカル技術）と、情報処理やデジタル・AI技術（サイバー技術）を融合したCPSテクノロジーを駆使し、社会とお客様が直面する課題を解決するインフラサービスカンパニーとして、更なる成長を目指している。自動車分野と位置・産業分野を広くカバーできる二次電池「SCiB™」をお客様にご提供するとともに、このSCiB™を東芝インフラサービスのキーデバイスとして活用していく。

(2021年12月17日 情報通信研究会より)

## 参考文献

- [1] “東芝の二次電池「SCiB™」”, 株式会社東芝, <https://www.global.toshiba/jp/products-solutions/battery/scib.html>
- [2] N. Takami, H. Inagaki, T. Kishi, Y. Harada, Y. Fujita and K. Hoshina, *J. Electrochem. Soc.*, 156 (2), A128-A132 (2009).
- [3] C. Daniel and J. O. Besenhard (Editors), *Handbook of Battery Materials*, WILLY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 70-75 (2011)
- [4] T. Ohzuku, A. Ueda, and N. Yamamoto, *J. Electrochem. Soc.*, 142, 1431-1435 (1995).
- [5] K. Ise, S. Morimoto, Y. Harada and N. Takami, *Solid States Ionics* 320 7-15 (2018).
- [6] 植松・中川・内田：“エレクトロスピニング法によるナノファイバ機能膜の高速形成技術”, *繊維学会誌*, 74 (3), 96-100 (2018).