

最新二次電池の動向

バッテリー技術部担当部長 林 克也

Keyword : 二次電池, リチウムイオン電池, 次世代蓄電池, 再生可能エネルギー, 電動車, 蓄電システム

1. はじめに

充放電可能な二次電池は、鉛蓄電池、ニッカド電池から、ニッケル水素電池、リチウムイオン電池（LIB）へとその種類を拡げ、また蓄電できるエネルギー量を向上させてきた。これによって、使い捨ての一度しか使用できない乾電池をはじめとする一次電池から、充電により、繰り返し使用できる二次電池の展開が進み、多くの携帯電子機器の実用化を加速させ、我々の生活をより便利なものにしてきた。

現在、気候変動対策の1つとして、電動化により走行中のCO₂排出量を低減・削減する電動車（xEV）の開発・普及が急ピッチで進められている。しかし、蓄電池を搭載したバッテリー電気自動車（BEV）はまだ高価であり、一充電での航続距離がガソリン車に及ばないこともあり、普及しているとはいえない。このため、安価で高エネルギー密度の次世代蓄電池の候補が提案され、ナショナルプロジェクト（国プロ）などにより、世界中でその開発が行われている。

さらに、電気自動車に充電する電気もクリーンである必要がある。CO₂排出量を限りなくゼロとすることで期待さ

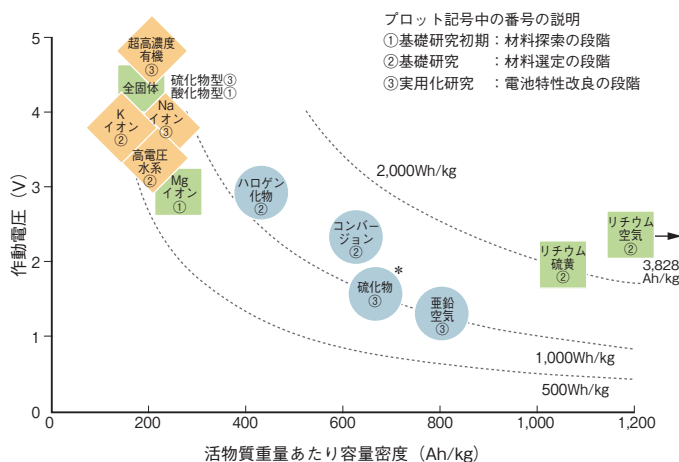
れている再生可能エネルギーであるが、太陽光発電、風力発電などは天候由来で発電量が安定しない。これらの有効活用のためにも、蓄電池は期待されている。さらには昨今多発する自然災害などで停電した場合、電力供給を可能とする定置用の蓄電池システムへの期待は大きい。

本稿では、数年後から数十年後に実用化を目指す次世代二次電池の概要と、実用化が近づく最新二次電池について、その動向を記す。なお、ここでは二次電池と蓄電池を同義として使用する。

2. 日本における二次電池国プロの取り組み

現在、日本では、経済産業省と文部科学省のもと、各組織が連携して様々な次世代電池の開発プロジェクトが行われている（図1）¹⁾。主な次世代電池とその開発を受け持つプロジェクトは次のようになる。

- a) ナノ界面制御電池（ハロゲン化物）…… RISING2
- b) 亜鉛空気電池…………… RISING2
- c) ナノ界面制御電池（コンバージョン）… RISING2
- d) 金属硫化物電池…………… RISING2
- e) 全固体電池…………… SOLiD-EV, ALCA-SPRINGほか



注1 : [NEDO二次電池技術開発ロードマップ2013] (2013年8月30日公表) に掲載の図に、NEDO・JSTのプロジェクトで研究開発中の蓄電池の性能（容量密度、作動電圧）をプロット
 注2 : 電極活物質の理論容量密度と標準電極電位に基づいて算出した理論的なものであり、実際の蓄電池で得られた性能ではない。ただし、*印の付記されたものは、実測ベースの容量密度・作動電圧をプロットしたことを示す

Project 1
 NEDO/先進・革新蓄電池材料評価技術開発
 全固体 全固体LIBをEV搭載バッテリーとして2025年頃に量産化を目指す共通基盤技術を開発

Project 2
 NEDO/RISING2
 蓄電池種別 2020年度末までに実セルでエネルギー密度500Wh/kgを確認する計画。併せて、耐久性・安全性が車載用として課題がないことも確認。2030年の実用化が目標
 (研究フェーズ)

JST/ALCA-SPRING
 蓄電池種別 現在のリチウムイオン電池を凌駕する高性能な革新型蓄電池について、基礎研究を実施。全固体電池、リチウム・硫黄電池に加え、従来の考え方に囚われず新しいタイプの電池に取り組む
 (研究フェーズ)

文部科学省/元素戦略
 蓄電池種別 リチウムイオン電池以上の性能を、計算科学との協業・汎用元素機能最大化により実現する。高濃度電解液技術の大規模上市、ナトリウムイオン電池の企業移管、水系高電圧電池の特許網構築を実施中
 (研究フェーズ)

出典 : NEDO 「革新型蓄電池実用化促進基盤技術開発」 (中間評価) 分科会 資料, <https://www.nedo.go.jp/content/100882548.pdf>

図1 国プロで開発されている次世代蓄電池

- f) リチウム硫黄電池…………… ALCA-SPRINGほか
- g) リチウム空気電池…………… ALCA-SPRINGほか
- h) マグネシウムイオン電池…………… ALCA-SPRINGほか
- i) ナトリウムイオン電池……………元素戦略ほか
 RISING2: 革新型蓄電池実用化促進基盤技術開発²⁾
 SOLiD-EV: 先進・革新蓄電池材料評価技術開発³⁾
 ALCA-SPRING: 科学技術振興機構 (JST) 事業「戦略的
 創造研究推進事業/先端的低炭素化技術開発」(ALCA)
 の「次世代蓄電池研究加速プロジェクト」(SPRING)⁴⁾
 元素戦略: 文部科学省事業「元素戦略プロジェクト〈研
 究拠点型〉」⁵⁾

各プロジェクトの概要は下記の通りである。

・NEDO/RISING2

2020年度末までに実セルでエネルギー密度500Wh/kgを確認する計画。併せて、耐久性・安全性が車載用として課題がないことも確認。2030年の実用化が目標。

・NEDO/SOLiD-EV

全固体LIBをEV搭載バッテリーとして、2025年頃の量産化を目指した共通基盤技術を開発。

・JST/ALCA-SPRING

現在のLIBを凌駕する高性能な革新型蓄電池について、基礎研究を実施。全固体電池、リチウム・硫黄電池に加え、従来の考え方に囚われず新しいタイプの電池も対象。

・文部科学省/元素戦略

LIB以上の性能を、計算科学と協業・汎用元素機能最大化により実現。高濃度電解液技術の大規模上市、ナトリウムイオン電池の企業移管、水系高電圧電池の特許網構築を実施中。

上記の中から、NEDOが取り組むSOLiD-EVおよびRISING2について述べる。

図2は、車載用蓄電池移行の想定とあわせて、全固体LIBを開発するProject1、革新型蓄電池を開発するProject2の2つの蓄電池プロジェクトを示したものである⁶⁾。

SOLiD-EVは、Project1で硫化物系固体電解質を中心に構成材料をすべて固体とした全固体LIBで2020年の

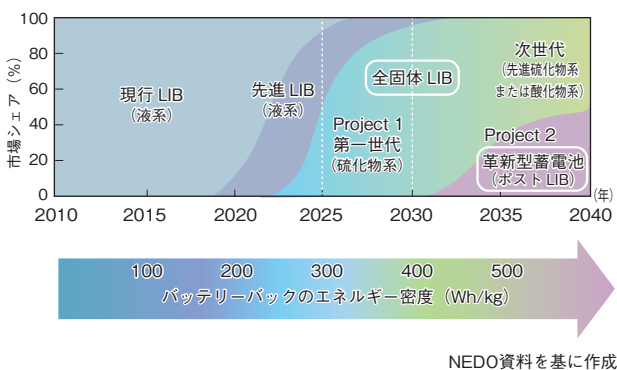


図2 車載用蓄電池の移行と2つのNEDO蓄電池プロジェクト

実用化、2025年ごろの量産化を目指している。

全固体LIBは、主に無機の固体電解質による「難燃性」「熱的安定性」「化学安定性」「Liイオン単独伝導」に強みを有し、安全性・耐久性、高エネルギー密度化・高出力化が期待される。しかし、まずは実用に足る電池構成の実現、つまり現行LIBと同等の性能を發揮できるか、そして電解質の「難燃性」によって電池の安全性向上は実現できるか、固体電解質ゆえに使用可能となる高エネルギー密度を実現可能な電極材料の発見と、その十分な活用ができるか、などが課題と考えられ、その確認・実現に向けて取り組みが行われている。

RISING2は、Project2で革新型蓄電池（ポストLIB）を狙うプロジェクトであり、500Wh/kg以上のエネルギー密度を有する革新型蓄電池を目指している。その候補として、ナノ界面制御電池（ハロゲン化物）、亜鉛空気電池、ナノ界面制御電池（コンバージョン）、金属硫化物電池の開発に取り組んでいる。

それぞれ期待されている特性実現に向けての課題は多い。例えば、イオン導電性、電池反応の可逆性（サイクル特性）、充電と放電のエネルギー効率、充放電レート、温度特性などが挙げられるが、それらの解決に向けて新規材料の探索、反応機構の解明、それぞれの最適化が進められている。これらの内容や成果は、各文献^{6,7)}に詳しく述べられている。また、第60回電池討論会（2019年11月）⁸⁾の「ナショナルプロジェクト合同セッション」や、各セッションで多くの発表が行われた。

3. 上市する新たなリチウムイオン電池

最近、エネルギー密度に必ずしもこだわらない、他の特徴を有する新たな形態のLIBが発表された。開発者は、京セラとAPBである。共に共通するのは、電解液を混入した電極を最初に形成することであり、さらにその電極が厚いという点である。そして、現行LIBより製造プロセス数も製造設備も少なくすむため低コスト化が可能、としている。

3.1 京セラのクレイ型電池

京セラは、住宅用蓄電システム「Enerezza（エネレッツァ）」の製品化を発表した（2019年10月）^{9~12)}。2020年1月以降、少量限定販売を開始するとのことである。

この蓄電システムに搭載されているのが、「クレイ型リチウムイオン蓄電池」と京セラが呼ぶ蓄電池である。同電池は、京セラが出資するアメリカの24M Technologies（以下、24M）¹³⁾が基本的な電池設計を担当し、京セラが中心になって量産化技術を開発した。京セラでは電極が粘土状なので「クレイ型」と呼ぶが、24Mでは半固体リチウムイオン電池（SemiSolid lithium-ion battery）と呼んでいる。

同電池の特徴は、バインダーを使用せず、はじめに電解液を混合した粘土状の厚い電極を作製することである。そして電極をセパレータと共に外装フィルムで包み、「ユニットセル」という最小単位の電池を構成し、ユニットセルを複数重ねてラミネート材料で密閉したものが、蓄電池モジュールの構成単位である「スタックセル」となる。5kWhのエネレッツァには、スタックセルが48枚組み込まれているとのことなので、1つのスタックセルは約105Whの容量となり、電池の定格電圧が3.2Vであれば、約33Ahとなる。

クレイ型リチウムイオン蓄電池は各技術により下記3点を実現している。

1) 高安全性

- ・電解液を液体の状態で使用していないクレイ型電極
- ・厚塗りの正極・負極材料とセパレータ
- ・外装フィルムから成るユニットセル構造
- ・熱安定性の高い正極活物質であるリン酸鉄リチウム (LiFePO₄, Lithium iron phosphate; LFP) の採用

2) 長寿命

- ・バインダー不使用のクレイ型電極
- ・電解液選定による幅広い温度範囲で寿命特性向上 (動作温度 -20~40℃)
- ・住宅用に特化した電池設計および制御 (最適設計制御により、蓄電システムの寿命保証を10年から15年に延長)

3) 低コスト化

- ・部材面：300~400μmの厚い電極作製を可能にして、集電箔やセパレータの枚数・使用量削減、バインダー不使用と合わせて約30%の部材コスト削減 (図3)
- ・製造面：工程数低減・処理数量減、処理効率の向上で、設備投資を低減しコスト削減

また、京セラは次世代クレイ型蓄電池として、現在のセパレータを固体電解質に変更したものに展開を図っている。固体電解質に変更できれば、その電解質を境に、電池内で正極・負極を別室に分けることができる。それぞれの部屋で、電解液と電極を最適化する「デュアル電解液システム」により、エネルギー密度や寿命の性能の向上が可能になる。24Mでは、同電池でSi負極やLiドーピングの手法も検討している¹⁴⁾。

現時点でクレイ型蓄電池自体の性能などは公開されていないため、実際の性能は不明であるが、すでに蓄電池システムに搭載して販売したと思われるので、電池の完成度はかなりのレベルに達していると考えられる。低コストで長寿命、高い安全性を有する蓄電池としての展開、そして次なる発展型のクレイ型蓄電池にも期待したい。

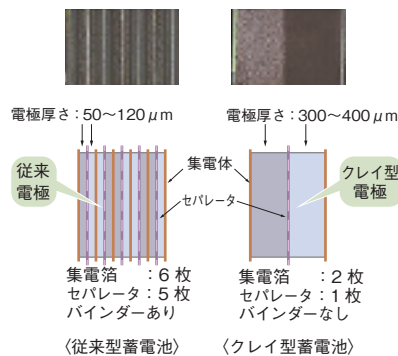


図3 クレイ型リチウムイオン電池の構成と部材使用率

	部材名	使用率 (通常LIB比)
正極	リン酸鉄リチウム	100%
	導電材	100%
	バインダー	0%
	電解液	100%
	アルミニウム箔	39%
負極	溶剤 (NMP)	0%
	グラファイト	100%
	導電材	100%
	バインダー	0%
	電解液	100%
外装材	銅箔	37%
	セパレータ	18%
	パウチ材	90%
タプ/テープ		90%
部材全体として		60~80%

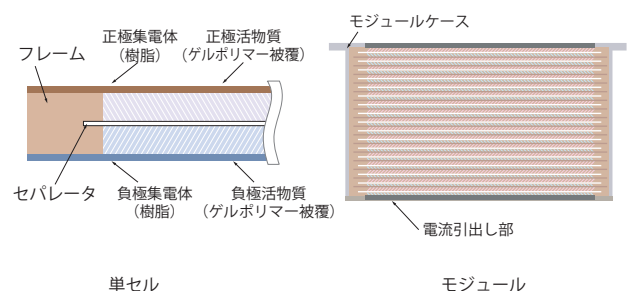
京セラ資料を基に作成

3.2 APBの全樹脂電池

APBは新型LIBの技術系ベンチャー企業として2018年に設立され、現在三洋化成工業のグループ会社となっている。APBとはAll Polymer Batteryの頭文字をとって名づけられ、LIBの研究開発・製造・販売、コンサルティング業務等、そして「全樹脂電池」と呼ぶ新型電池の開発を行っている。APBによると、全樹脂電池はバイポーラ構造という集電体に対して垂直に電流が流れる構造と、高分子樹脂の基本部材への採用により実現された電池であり、高い異常時信頼性、高エネルギー密度、形状・サイズの高いフレキシビリティ、革新的な生産プロセスなどの性能・特徴を実現したとのことである。

全樹脂電池の電極は、正極と負極共に活物質をポリマーで覆い、集電体も樹脂化して、電子もイオンも流れる形態となっている。このポリマーは、イオンと電子の伝導性に加え、接合性、弾性、耐電圧性などが付与され、薄く均一なゲル状となっている¹⁵⁾。そして電極厚みを通常のLIBの数倍以上に厚くしている。

図4に全樹脂電池の単セルとそれらを複数重ねた組電池 (モジュール) の形態を示す¹⁶⁾。単セルは、正負極共に一層でセパレータを挟んで向き合う配置となり、それぞれ樹脂製の集電体により外部に電気を出せる構造となっており、端面でフレームにより絶縁をとっている。そして大面積を有するシート状の単電池をそのまま重ねることで、直列つなぎの組電池が成立する。樹脂製の集電体は一般



大林組資料を基に作成

図4 全樹脂電池の単セル構造とモジュール化

的に金属製のものよりも電気抵抗が大きいですが、電池内で電極から受け取った電子を、最短距離で隣接する電池へと渡せるため、組電池における実際の電気抵抗は大きくならない。そのまま重ねることで直列に接続できるため、従来型LIBの組電池化に比べて部品点数の削減が可能となる。

全樹脂電池の製造工程数は、現行LIBよりもはるかに少ない¹⁷⁾。全樹脂電池は、まず電極活物質を多機能を有するゲルポリマーでコートする。次に電解質と混合し、樹脂集電箔上に塗布しプレスする。作製された両極部材とセパレータを重ね、シールすることにより単セルが作製される。単セルを必要数積層し、バスバーと共に真空封止によりモジュールができあがる。現在、4積層6,500mAhの電池モジュールが試作されており¹⁸⁾、40枚の電池を積層した、長さ500mm、幅400mm、高さ50mmの新開発モジュールも提示されている¹⁶⁾。

APBは2020年3月、7社から総額約80億円の資金調達を実施¹⁹⁾、全樹脂電池の量産工場を福井県越前市に新設、2021年後半に量産を開始する見込みで、同年後半には出荷開始を予定と発表した^{20,21)}。現時点で全樹脂電池自体の具体的な性能は公開されていないが、低コストで長寿命、高い安全性を有する蓄電池としての実用化を期待したい。

4. おわりに

今回、国プロとして取り組みが行われている次世代蓄電池、そして新たに実用化した蓄電池について紹介した。次世代蓄電池は高い性能が期待できるが、その実現までのブレークスルーがいくつも必要と考えられる。一方、現行の蓄電池の課題に対して新たな観点で取り組んだ新しい蓄電池も登場してきている。今後もこれら蓄電池の研究開発・実用化状況を注視していきたい。

〔参考文献〕

- 1) NEDO : https://www.nedo.go.jp/introducing/iinkai/ZZBF_100301.html, 2018.8.10
- 2) 京都大学 : <http://www.rising.saci.kyoto-u.ac.jp/>, 2020.5.7
- 3) LIBTEC : <https://www.libtec.or.jp/consignment-business/2nd-term/>, 2020.5.7
- 4) 科学技術振興機構 : <https://www.jst.go.jp/alca/alca-spring/>, 2020.5.7
- 5) 文部科学省事業「元素戦略プロジェクト〈研究拠点型〉」 : <https://elements-strategy.jp/>, 2020.5.7
- 6) NEDO : https://www.nedo.go.jp/LIBrary/ZZ_focus_69_index.html, 2020.5.7
- 7) NEDO : https://www.nedo.go.jp/events/report/ZZHY_00005.html, 2019.8.9
- 8) 第60回電池討論会 : <http://www.denchi60.org/index.html>, 2019.11.13
- 9) 京セラ : https://www.kyocera.co.jp/news/2019/1002_chio.html, 2019.10.2
- 10) マイナビ : <https://news.mynavi.jp/article/20191002-903251/>, 2019.10.2
- 11) 家電Watch : <https://kaden.watch.impress.co.jp/docs/news/1210580.html>, 2019.10.3
- 12) MONOist : <https://monoist.atmarkit.co.jp/mn/articles/1910/03/news039.html>, 2019.10.3
- 13) 24M Technologies : <http://24-m.com/>, 2020.5.7
- 14) 日経クロステック : <https://xtech.nikkei.com/atcl/nxt/mag/ne/18/00009/00007/>, 2019.12.19
- 15) 三洋化成 : <https://www.sanyo-chemical.co.jp/magazine/archives/1822>, 2019.11.8
- 16) 大林組 : https://www.obayashi.co.jp/news/detail/news20200304_1.html, 2020.3.4
- 17) 日経クロステック : <https://xtech.nikkei.com/atcl/nxt/news/18/07212/>, 2020.3.4
- 18) 産経新聞 : <https://www.sankei.com/photo/story/news/200304/sty2003040012-n1.html>, 2020.3.4
- 19) APB : https://apb.co.jp/asset/pdf/newsroom_5.pdf, 2020.3.4
- 20) 三洋化成 : <https://www.sanyo-chemical.co.jp/wp/wp-content/uploads/2020/03/k20200302.pdf>, 2020.3.2
- 21) 日経クロステック : <https://xtech.nikkei.com/atcl/nxt/news/18/07212/>, 2020.3.4



はやし かつや
林 克也

バッテリー技術部担当部長
蓄電池の性能評価、電池・電力・エネルギー関係
の調査・コンサルティングに従事
日本化学会、電気化学会会員

Synopsis

The Latest Rechargeable Battery in the News

Katsuya HAYASHI

Currently, as one of the measures against climate change, development and popularization of electric vehicles that reduce CO₂ emissions during driving are being advanced at a rapid pace. However, battery-electric vehicles equipped with storage batteries are still expensive, and the cruising range on one charge may not reach that of internal combustion engine vehicles, so it cannot be said that they are in widespread use. Therefore, a candidate for a low-cost, high-energy-density next-generation storage battery has been proposed and is being developed all over the world by a national project. Moreover, the electricity that charges an electric vehicle must be clean. Renewable energy is expected to reduce CO₂ emissions to zero, but solar power generation, wind power generation are not stable due to the weather. Storage batteries are also expected to be used effectively. Furthermore, there are great expectations for stationary storage battery systems that can supply power in the event of a power outage due to natural disasters that have recently occurred.

This report has described the high-performance next-generation rechargeable batteries, which are being developed for practical use several years to decades later, and the latest rechargeable batteries that are nearing practical use. Specifically, the next-generation batteries being promoted by the New Energy and Industrial Technology Development Organization, or NEDO, and also the new lithium-ion batteries, Kyocera's SemiSolid Lithium-ion Battery and APB's All Polymer Battery, being put into practical use were explained.