

大型蓄電池の安全性に関する国際標準化 および安全性評価法の動向

一般財団法人 電気安全環境研究所
技師長
本多 啓三

カーボンニュートラルの実現に向けて、益々の普及が期待される家庭用をはじめとした定置用蓄電システム、さらに電気自動車(以下EV)など、リチウム二次電池を搭載した機器の安全性に関心が高まっており、安全規格、とりわけ国際規格(IEC規格)の制定が急がれている。その現状を紹介すると共に、近年、特に重要性が認識されている類焼試験(Propagation test)の実際について述べる。またリチウム二次電池の用途の広がりに伴い、新たに検討すべき蓄電システムの運用中の安全性問題、電池の劣化に伴う安全性低下の見える化技術についても言及する。

1. はじめに

2011年3月11日の東日本大震災(東北地方太平洋沖地震)は、マグニチュード9.0という過去に類を見ない巨大地震であり震災による被害は甚大なものであった。その影響はわが国のエネルギー機器、すなわち発電施設にも大きな影響を与えた。結果として震災前後の日本におけるエネルギーバランスは大きく変貌し、化石燃料への依存度が著しく高い電源構成となっている。これを改めるべく政府は、新たなエネルギー基本計画(第6次)を閣議決定し、エネルギーミックス(発電の電源構成)においても、2030年度には再エネを2019年度実績値の2倍に増強し36～38%にする野心的な方針を策定した^[1]。これを実現するためには、再生可能エネルギーの増強と共に蓄電池の利用促進が重要であり、すでに数kWh(家庭用)から百MWh(電力用)にも及ぶ多様な容量のリチウム二次電池を搭載した蓄電システムが、実証試験等を経て展開されている。

低圧領域で運用される需要家向けの蓄電システム(家庭用および産業用)は、東日本大震災後に進められた補助金政策などもあって実用機として普及が進みつつあ

り、家庭用蓄電システムはすでに70万台(累計容量500万kWh)を越える機器が国内に設置されている。加えて、2019年から10kW未満の太陽光発電システムにおける余剰電力買取期間(10年間)が終了する案件(卒FIT)が開始、2023年には卒FITを迎える太陽光発電は累積165万件に達する^[2]ことから、自家消費を目的とした蓄電システムの設置がさらに促進される状況にある。一方、再エネの導入拡大に伴い、電力の安定供給と需給逼迫時の供給力として、単独で設置し電力系統に直結される大型の系統用蓄電池(MWh級)の位置付けを明確化する政策が打ち出された^[3]。2022年末には電気事業法に「蓄電所」が追加され、大型の蓄電池から放電する事業が火力発電や大規模太陽光発電と同列の発電事業として位置付けられた。これに呼応して、経産省により令和3年度補正予算及び令和4年度補正予算を充当する系統用蓄電池導入補助金事業が実施されており、MWh級の大型蓄電システムは本格導入の時期を迎えている。

需要サイドの取り組みとしては、グリーン成長戦略の重点分野として2035年までに乗用車新車販売を電動車100%とする方針が示されており、電動車の導入拡大が

最優先課題となっている^[4]。旧来の携帯電話、PC、さらにコードレスの各種家電機器等を用途とする小形民生用電池に代わり、大型蓄電池が2050年カーボンニュートラルに向けた重要コンポーネントとなることは明らかである。

近年、海外において電力政策転換をトリガーとしてリチウム二次電池からなるMWh級蓄電システムの導入が急速に進み、これに伴い蓄電池火災が頻発する事態に至った^[5]。また2021年には、国内でも家庭用蓄電システムに関する火災が発生し、リチウム二次電池を搭載した当該蓄電システムがリコールとなった^[6]。今後の普及が見込まれる蓄電システムであるが、蓄電池の安全性に対する関心はより一層高まっている。これらの背景から本稿では、大型蓄電池及びそれらを搭載する蓄電システムの安全規格、とりわけ国際規格(IEC規格)の現状を紹介すると共に、近年とくにその重要性が認識されてきているリチウム二次電池の類焼試験(Propagation test)の実際について述べる。また新たに検討すべき課題として、蓄電システムの運用中の安全性問題、電池の劣化にともなう安全性低下についても言及する。

2. リチウム二次電池搭載の大型蓄電システムにおける安全性規格

リチウム二次電池搭載の大型蓄電システムは、数kWh容量の家庭用から百MWhを越える大容量の蓄電所^[7]まで多様な蓄電システムが実用化されている(図1)。リチウム二次電池の安全性に関する規格は、市場導入が先行したポータブル機器等、民生用途の小型リチウム二次電池に関する規格が先に制定され、これに続き大型電池を対象とした規格が順次制定されつつある。リチウム二次電池の安全性に関する規格の概要を図2に示す。

2017年2月に発行されたIEC 62619:2017は日本とフランスの共同提案によるもので、公道を走行する車載用の電池を除く一般産業用途のリチウム二次電池を広くカバーするアンブレラ規格として位置付けられている。定置用蓄電システムに搭載されるリチウム二次電池のセルおよび組電池の安全性試験、認証も当該IEC 62619に基づいて行われる。すでに国内では、IEC 62619を反映し

たJIS C 8715-2:2019(産業用リチウム二次電池の単電池及び電池システム-第2部:安全性要求事項)が発行されている。IEC 62619:2017はさらに内容が充実化され、2022年にはIEC 62619:2022がSecond editionとして発行されて現在に至っている^[8]。

近年に続発している大型蓄電池火災を背景に、IEC 62619に含まれるリチウム二次電池の安全性試験の中で、とくに注目を浴びている試験が類焼試験である。類焼試験は組電池内のいずれか1つの単電池を加熱などの方法で熱暴走させ、加熱などを停止し、一定時間観察した後の組電池の破裂や発火を確認するシンプルな試験である(観察時間は当初の1時間からSecond editionにおいて8時間に延長された)。熱暴走させるセル(以下、トリガーセル)の熱暴走方法にはヒータ等による加熱法の他、釘刺し法や過充電法が適用されている。しかし昨今の電池技術の改良等により釘刺し法では熱暴走の困難な電池セルもあり、類焼試験におけるトリガーセルの熱暴走を確実に再現性よく行う方法については議論となっている^{[9] [10]}。

連系区分	低圧連系	高圧連系	特高連系
設備容量	~50kW未満	50~2MW未満	2MW以上
蓄電システム出力	~ 10kW ~	~100kW ~ 1MW	1MW以上
蓄電システム			
蓄電池導入 メリットの享受者	一般住宅, コンビニ	マンション、小規模工場 中小ビル	大型マンション、大規模 工場、ビル、発電事業者
	系統運用者		

図1 リチウム二次電池搭載の定置用蓄電システム

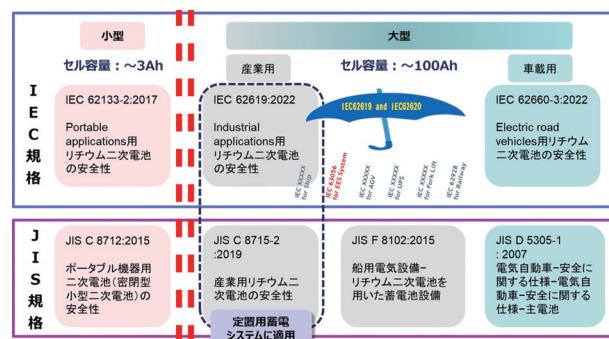


図2 リチウム二次電池の安全性規格マップ(抜粋)

2.1 レーザ照射法による類焼試験の開発

これらの背景から著者等は、種々の電池材料系や電池容量、缶セルやパウチセルなどの各種形状の電池セルについて、確実に再現性よく熱暴走に至らせることのできる「レーザ照射法による類焼試験」を開発した。レーザ照射法による類焼試験の概要を図3に示す。レーザが有する集中熱源としての特性に着目し開発されたレーザ照射法による類焼試験は、①トリガーセル以外の周辺セルの加熱を抑制でき、②非接触プロセスであるため、多様な形状、サイズの電池セルや組電池について適用でき、③デジタルパラメータの設定により試験を実施するため、技量によらず再現性のよい結果が得られる等の特徴を有している。

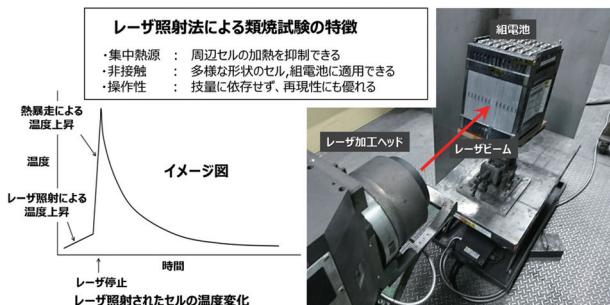


図3 レーザ照射法による類焼試験

類焼試験に先立ち、レーザ照射による単電池セルの熱暴走試験を行った。レーザを種々の単電池セルに照射し、セル表面の温度測定によりセルの熱暴走傾向を評価した。IEC 62619:2022における熱暴走(Thermal runaway)の定義は以下の通りである。

Thermal runaway:uncontrolled insensitive increase in the temperature of a cell driven by exothermic reaction

セルにレーザ照射を行い、急激な昇温を確認した後にレーザ照射を停止し、その後の温度上昇を熱暴走によるものと判断した(図3、イメージ図参照)。レーザ照射により、各種材料系のリチウム二次電池について単電池セルの熱暴走試験を実施した。結果、試験に供したリチウム二次電池セルの全てにおいて、10分以内の熱暴走が確認された。電池材料系ではNCA系、NMC系、LMO系正極-黒鉛負極セル、さらに釘刺し法では熱暴走の困難なLFP系正極-黒鉛負極セル等についても10分以内に熱暴走

に至った。電池タイプでは、比較的小容量(10Ah未満)の18650円筒型セル、21700円筒型セル、26650円筒型セル、中容量(10Ah以上)のパウチセル、アルミ製角型缶セル、大容量の鉄(SUS)製角型缶セル(50Ah以上)、大容量のパウチセル、大型円筒型セルにおいても10分以内に熱暴走が可能であることが確認された。

次にレーザ照射によりトリガーセルを熱暴走させて行う組電池の類焼試験を実施した。パウチセルからなる組電池の類焼試験におけるセルの表面温度変化とセル電圧(OCV)の変化を図4に示す。レーザ照射によりトリガーセルの表面温度は徐々に高まり、その後、急激に上昇した。これを確認してレーザを停止し、IEC規格どおり8時間の観察を行った。トリガーセルは最高到達温度に達した後、表面温度が順調に低下した。他方、組電池内の隣接セルの表面温度はレーザ停止後、徐々に上昇し、100°C近くまで達してその後はトリガーセルと同温度に収斂した。以上のように当該パウチセルからなる組電池では、周辺セルへの類焼は無く鎮静化した。IEC 62619:2022における類焼試験のクライテリアは組電池として破裂、発火無きこと("No external fire from the battery system or no battery case rupture.")であるので、当該試験結果は合格と判断される。さらに、異なるパウチセルからなる組電池において、同様にトリガーセルにレーザ照射して実施した組電池の類焼試験の状況を図5に示す。前述の試験と同様にトリガーセルへのレーザ照射によりトリガーセルの表面温度は徐々に高まり、その後、表面温度の急上昇を確認しレーザを停止した。さらに観察を続けたが、ここではトリガーセルから周辺セルへ熱暴走の連鎖が生じ、

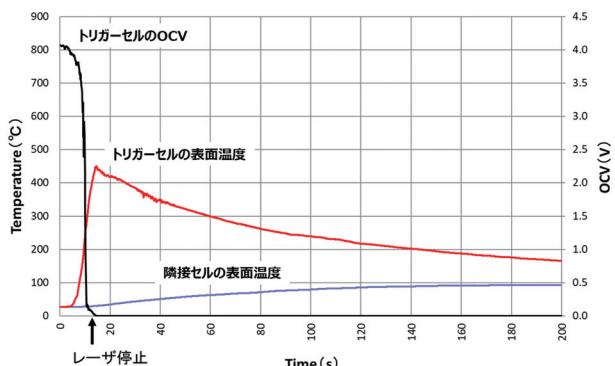


図4 レーザ照射による組電池の類焼試験結果
(類焼しなかった事例)

組電池内にて類焼した。時間経過と共に火炎は組電池全体に広がり、最終的には全セルが焼損した。試験判定として、当該組電池は不合格と判断される。

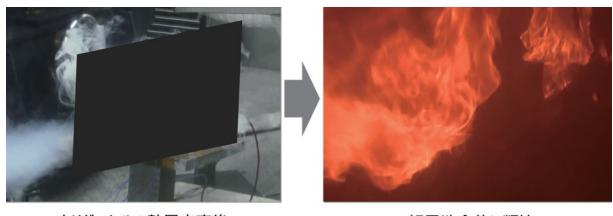


図5 レーザ照射による組電池の類焼試験状況
(類焼した事例)

2.2 大型蓄電池の安全性に関する新たな課題

蓄電システムに関する国際的な安全性規格としては、国際電気標準会議(International Electrotechnical Commission, IEC)の電気エネルギー貯蔵システムを担当する技術委員会TC120において「化学電池からなる蓄電システムの安全性規格(IEC 62933-5-2)」が日本より起案され、2020年に発行された^[11]。当該規格においては、リチウム二次電池からなる蓄電システムに対し、火災抑止の観点から類焼試験を必須としている点が特筆される。また耐類焼性能を重要視する観点から、これに特化した蓄電システムの「プロパゲーション試験認証」もすでに開始されている^[12]。

近い将来、蓄電システムが各住居に設置された太陽光発電設備からの電力自家消費のみならずバーチャルパワープラントとして活用される時代になれば、蓄電システムの充放電時の実効容量や充放電効率等、ユーザ視点での電池情報の一層の開示が求められる。新規の電力ビジネスにおけるキーコンポーネントとして蓄電システムが普及するためには、これら安全性を含む性能仕様を明確に定義して、ユーザに提供されることが望まれる。

小型民生用と呼ばれる携帯電話、PC等、ポータブル機器からその応用が始まったリチウム二次電池であるが、近年、その用途は大幅に拡大し、車載分野ではハイブリッド車(HEV)、プラグインハイブリッド車(PHEV)、電気自動車(EV)、さらに定置分野では、家庭用蓄電システムから電力系統に直結するMWh超級の大型蓄電システム、すなわち蓄電所まで大きく広がっている。このよう

な用途の広がりに伴い、リチウム二次電池に求められる期待性能にも変化が現れている。小型民生用の代表格である携帯電話では電池寿命は3年程度との認識が一般であるが、車載用途では自動車メーカーは7~8年を電池性能確保の目安としており、定置用途では10~15年が求められている(図6)。著者が今後、最も重要な課題のひとつが、蓄電システムを運用中の安全性確保である。蓄電システムを長期に運用する場合、リチウム二次電池の容量が徐々に劣化することはよく知られている。一方、リチウム二次電池の安全性については、「当初の電池容量が最も高く、劣化によって容量は徐々に低下することから、その安全性は運用中も確保される」との認識が、比較的期待寿命の短い小型民生用ポータブル機器向け電池では一般的である。しかし定置用蓄電システムのごとく期待寿命が10~15年と長期化すると、工場出荷時点の安全性確認で運用中の電池の安全性を担保することには無理がある。また従前より運用中に蓄電システムが火災に至る事例はしばしば報告されているが、とくに蓄電池火災が発生後に爆発事故に至った事例^[13]^[14]では、運用期間が2~3年程度と短いこともあり、金属リチウムの発生によるセルの安全性低下が関係する可能性がある^[15]。これらを勘案し、運用中もユーザが安心して蓄電システムを稼働できるように、蓄電システムを運用中の電池の内部状態を、電池の残存性能評価技術を適用して把握しようとの動きがある。IEC規格においても運用中の蓄電システムの安全性に関する規格案の審議が進行中である。日本で発達した電池の劣化診断技術は、蓄電システムを運用するユーザの視点から見れば、電池の残存性能評価手法としてたいへん有効な技術と位置づけられる^[16]。これらの観点から、蓄電池の運用管理サービスを含めた新たなビジネスを立ち上げる企業も出てきている^[17](図7)。

注目を集めている車載電池のリユースにおいても、残存容量のみによる電池分別では不安全な電池が混在した中古電池がリユース電池として市場に供給される懸念がある。これらの課題を解決するため、リユースに向けた中古電池の認証スキームが検討され、すでにリユース向けの中古電池認証事業が開始されている^[18]。電池の劣化

による安全性低下を非破壊診断による電池の内部状態把握によって評価するもので、不安全な電池を除き健全なリユース電池事業の発展に寄与するものと期待している。



図6 各用途におけるリチウム二次電池の期待性能比較

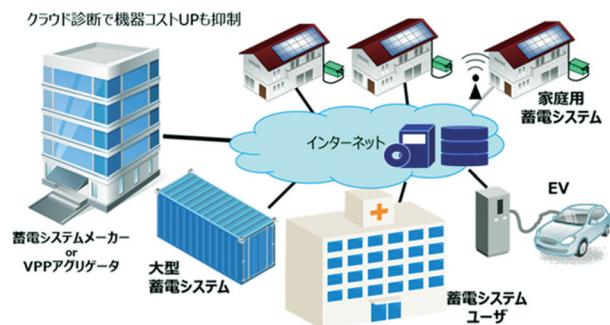


図7 クラウドを応用した各種蓄電システムの運用管理サービス

3. おわりに

カーボンニュートラルの実現に向けて、再生可能エネルギーを増強して有効に活用し、加えて電気自動車の普及を促進するためには、リチウム二次電池の積極的な利活用が不可欠である。2022年8月には、経産省より「蓄電池産業戦略」が発表され、全固体電池の技術開発に集中投資していた従来の政策を見直し、当面続くと見込まれる液系リチウム二次電池市場に係る大規模投資への支援を行う旨の基本方針が提示された^[19]。また再生可能エネルギー導入拡大を推進する資源エネルギー庁からは、定格出力1MW以上の系統用蓄電システムの導入に対する大型補助金が予算化され、公募実施に至っている^[20]。当該補助金事業においては、リチウム二次電池搭載の蓄電システムについて耐熱焼性能の確保を補助要件とするなど、これまでの技術的知見に基づき電力インフラとして蓄電池の安全性を確保する政策が展開されている。

今後は安全性や耐久性はもとより、様々な環境でも優れた性能を発揮する電池の開発・実用化と電池利用技術の充実化による持続可能な社会の実現が望まれる。

参考文献

- [1] 経済産業省, 第6次エネルギー基本計画の概要, 2021年10月22日,
<https://www.meti.go.jp/press/2021/10/20211022005/20211022005-2.pdf>.
- [2] 資源エネルギー庁, 住宅用太陽光発電設備のFIT買取期間終了に向けた対応, 2018年9月12日,
https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/energy_resource/pdf/008_09_00.pdf.
- [3] 経済産業省, 安定的なエネルギー需給構造の確立を図るためのエネルギーの使用の合理化等に関する法律等の一部を改正する法律案の概要, 2022年3月1日,
<https://www.meti.go.jp/press/2021/03/20220301002/20220301002-1.pdf>.
- [4] 経済産業省, 2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略, 2020年12月25日,
[https://www.meti.go.jp/press/2021/06/20210618005.html](https://www.meti.go.jp/press/2021/06/20210618005/20210618005.html).
- [5] J.A.Jeevarajan, T.Joshi, M.Parhizi, T.Rauhala, and D. Juarez-Robles, “Battery Hazards for Large Energy Storage Systems”, ACS Energy Letters, 7, 2725-2733(2022).
- [6] 消費者庁, 消費生活用製品の重大製品事故:リコール製品で火災等(リチウム蓄電池), 2021年11月15日,
https://www.caa.go.jp/notice/assets/consumer_safety_cms202_211119_01.pdf.
- [7] 関西電力, オリックスと蓄電所事業へ参入, 関西電力プレスリリース, 2022年7月14日,
https://www.kepco.co.jp/corporate/pr/2022/pdf/20220714_1j.pdf.
- [8] IEC 62619:2022, Secondary cells and batteries containing alkaline or other non-acid electrolytes—Safety requirements for secondary lithium cells and batteries, for use in industrial applications.

- [9] A.Kriston, A.Pfrang, V.Ruiz, R.van der Aat, L.Brett, Progress on thermal propagation testing, EVS18-E1TP-0200(2019).
- [10] J.Lamb, J.Ko, L.Torres-Castro, J.Stanley, C.Grosso, L.Gray, “Li-ion battery propagation trigger technique development/igniter development”, Report No.DOT HS 812 786), National Highway Traffic Safety Administration(2020).
- [11] IEC 62933-5-2:2020, Electrical energy storage (EES)systems-Part 5-2:Safety requirements for grid-integrated EES systems-Electrochemical-based systems.
- [12] 電気安全環境研究所, 蓄電システムの「プロパゲーション試験認証」を開始しました, 一般財団法人 電気安全環境研究所 ホームページ, 2023年5月15日, https://www.jet.or.jp/common/data/new/press_propagationtest20230515.pdf.
- [13] JEPIC, APS Declares Thermal Runaway Event Caused 2019 Battery Explosion, 2020-10-31, <https://www.jepic-usa.org/digests/2020/7/31/usa-report-aps-declares-thermal-runaway-event-caused-2019-battery-explosion>.
- [14] 北京市の25MWh蓄電施設で火災、消防員など3人犠牲に, 2021-4-19, <https://ashu-chinastatistics.com/news/703286-26468112270>.
- [15] 本多 啓三, 釣賀 英樹, 森田 朋和, 小鹿 健一郎, 低温サイクル劣化させたりチウム二次電池のレーザ照射法による熱暴走感受性評価, 第63回電池討論会, 2C05(2022).
- [16] 特集リチウムイオン電池の状態把握と寿命評価, 電気化学, 89, 99-156 (2021).
- [17] 東京ガス, 運用中の蓄電システムに対する劣化診断技術の適用を開始, 2022年3月28日, <https://www.tokyo-gas.co.jp/news/topics/20220328-02.html>.
- [18] 電気安全環境研究所, 車載用蓄電池等のリユースにおける安全性を確認する「JETリユース電池認証」
- 2月1日に開始, 一般財団法人 電気安全環境研究所 ホームページ, 2022年2月1日, https://www.jet.or.jp/common/data/new/JETReuse_press_20220201.pdf.
- [19] 経済産業省, 蓄電池産業戦略, 2022年8月31日, https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/joho/conference/battery_strategy/battery_saisyu_torimatome.pdf.
- [20] 経済産業省, 令和4年度補正予算案の事業概要, 2022年11月14日, https://www.meti.go.jp/main/yosan/yosan_fy2022/hosei/pdf/pr_hosei_221109.pdf.



本多 啓三 (ほんだ けいぞう)

略歴

- 1980年 株式会社東芝入社, 重電技術研究所に所属
- 1996年 大阪大学より学位を受領(工学博士)
- 1998年 電力システム社 知的財産部門長
- 2003年 エネルギーサービス事業推進室長
- 2007年 SCiB事業推進室長
- 2009年 二次電池システム技師長
- 2014年 一般財団法人 電気安全環境研究所 技師長
電池の安全性に関する試験法及び評価法の開発に従事。NEDO技術委員等を歴任