

再生可能エネルギー利用とエネルギー貯蔵

技術開発と安全性

鶴田 俊¹¹ 秋田県立大学 システム科学技術学部

この論文では、エネルギーを貯蔵するときに想定されるリスクについて検討する。農作物や林業産物から生じたバイオマスをエネルギー源とする場合、収穫後、消費するまで貯槽に収容される。太陽光発電で得られた電力は、送電網内で消費できないときや夜間電力が必要なとき揚水発電所や電力貯蔵設備に蓄えられる。風力発電で得られた電力も同様に送電網内の需要と供給に差があるとき電力を貯蔵することになる。安全に経済的にかつ低環境負荷でエネルギーを貯蔵することが可能となれば、エネルギーを有効に利用できる。ところが、エネルギー貯蔵施設を需要側に設置した場合、貯蔵エネルギーが設置者の意図に反して放出されると近隣に影響が生じる。従来の水力発電、火力発電、原子力発電の場合、発電所は需要側から離れた場所に設置され、人間への影響を最小とするよう配慮されている。電力貯蔵の場合、電池を使用すると通常は電池内での物質と熱の移動のみであり、周囲環境に大きな影響を与えないと考えられる。しかし、火災事例や爆発事例では周囲に一定の影響が生じている。そのため、電力貯蔵を都市部で行うと災害時に大規模な避難を行う必要がある。

キーワード：再生可能エネルギー，電力貯蔵，リスク，火災，爆発

はじめに

地球環境を守る目的で化石燃料からの二酸化炭素発生を低減するため、再生可能エネルギーが開発されている。二酸化炭素の発生を低減できる場合でも、従来の化石燃料と同程度の安全性は求められる。しかし、安全性は運転してみないと評価できない。総合資源エネルギー調査会基本政策分科会の「2050年カーボンニュートラルのシナリオ分析(中間報告)」では、「モデル計算で考慮されているもの……出力抑制、電力貯蔵システム(揚水発電、リチウムイオン電池、水素貯蔵)、発電設備の利用率低下、地域間連系線、貯蔵や送電に伴う電力ロス」として電力貯蔵システムを考慮している[2]。再生可能エネルギーとして秋田県内で利用されているエネルギーは、木材チップなどのバイオマスをガス化し利用する設備やバイオマスを燃焼させ蒸気原動機を駆動、発電する設備で作られている。木材チップは、貯槽で保管されるが、野積みで保管されることもある。2014年7月には、仙北市秋田スギバイオエネルギーセンターのチップ乾燥機付近で火災が発生し、木質バイオマス施設で発生する電気・熱を介護老人保健施設にしき園、西木温泉クリオンに供給することができなくなった[18]。小規模施設で電気・熱を利用するものでも周囲への影響が予想され

る場合、避難・誘導を行う必要があったが、介護老人施設の場合には一般と比べ難しかった。事故の翌年には火災により停止していた木質バイオマス施設を廃止する条例案が可決された[3]。2018年3月7日には秋田市内の発電所で貯蔵されたバイオマス燃料が燃え、負傷者1名の事故が発生している[17]。2019年4月16日には神奈川県川崎市の京浜バイオマス発電所で近隣の敷地での火災を発端に燃料棟に延焼している[14]。2020年7月4日には静岡県小山町が運営するバイオマス発電所「森の金太郎発電所」から火災が発生した[39]。2021年10月13日には北九州市の響灘エネルギーパーク合同会社の燃料を運ぶベルトコンベヤーが燃えている[13]。

再生可能エネルギー施設火災対策

バイオマスを燃焼させる場合も貯蔵時に火災や腐敗による燃料の変質を防止する必要がある。小規模の施設でも大規模な施設でも燃料の貯蔵には注意が必要である。この課題については国際エネルギー機関でも議論され、健康と安全の側面からみた固体バイオマスの貯蔵、輸送と供給に関する資料がまとめられている[15]。再生可能エネルギーで

ある太陽光発電や風力発電で得られた電力で水を電気分解し、水素の形で貯蔵する技術開発、蓄電池で貯蔵する技術開発が進められてきている [31], [51].

2005 年 12 月には九州大学伊都キャンパスの水素ステーション実証試験設備で事故が発生した [28]. 高圧の水素ガスを直接発生する装置の実用化により風力等の自然エネルギーも利用できるオンサイト型水素ステーションを開発する途中であった.

2017 年 11 月には北海道苫前郡苫前町の夕陽ヶ丘ウインドファーム実証棟の水素製造システムの実証試験設備で出力変動する風力発電設備からの電力で水を電気分解、水素を製造、その水素を有機ハイドライド等として貯蔵・輸送した後に利用するシステムと要素技術を開発実証中にガスホルダーの蓋が飛び上がり、建屋屋根に衝突して屋根が破損、この際に建屋シャッターも内側に座屈、破損している [27].

2019 年 2 月には山形県上山市のバイオマス発電会社「山形バイオマスエネルギー」の発電プラントで試験運転中に発生した爆発事故でタンクの金属蓋が吹き飛び、民家の壁を破り、この衝撃による落下物で住人の 30 歳代女性が負傷している [19].

2019 年 5 月には韓国の Gangwon Techno Park で風力発電や太陽光発電で得られた電力で水素を製造する実験過程で爆発が起こり、死者 2 名負傷者 6 名の被害が生じている [5].

電力を水素に変換したり、バイオマスから水素を製造する構想は、各国で繰り返し試されているが周囲に被害を及ぼしたり、死傷者を出す事故が発生している。2005 年の九州大学伊都キャンパス水素ステーション実証試験設備事故から 15 年程度経過しても類似事故が起きている。電力を水素に変換する場合には、爆発事故被害軽減を講じる必要がある。

エネルギー貯蔵の課題

電力を電池で貯蔵する構想は、1960 年代にナトリウム・硫黄電池が開発されてから実用化の努力が継続されている。電気自動車用に開発研究が 1980 年代に行われたが、試験中に発生した火災後に開発が停止している。電力貯蔵は、日本で 1990 年代から継続的に開発研究が進められている。

「消防危第 53 号 (平成 11 年 6 月 2 日) ナトリウム・硫黄電池を設置する危険物施設の技術上の基準等について」でナトリウム・硫黄電池を設置する一般取扱所 (以下「ナトリウム・硫黄電池施設」という。) のうち、一定の要件に適合するものについては、下記のとおり、位置、構造及び設備の技術上の基準の特例を適用して差し支えないこととしたので通知するとされている [43].

ナトリウム・硫黄電池に要求される火災安全性能としては単電池について、1) 単電池の過充電に対する安全性: 充電末 (完全に充電した状態をいう。) の単電池をさらに充電し、過充電により電解質が破損した場合においても、危険

物が単電池の外部へ漏えいしないこと。2) 単電池の短絡に対する安全性: 単電池に短絡が発生し、過大な電流が流れた場合においても、単電池が破壊せず、危険物が単電池の外部へ漏えいしないこと。3) 単電池の昇降温に対する安全性: 単電池を放電末 (完全に放電した状態をいう。) の状態で運転温度から室温まで降温し、再度運転温度まで昇温させた場合に危険物が単電池の外部へ漏えいしないこと。

モジュール電池について、1) モジュール電池の短絡に対する安全性: モジュール電池の外部で短絡が発生した場合に、モジュール電池内のヒューズが速やかに遮断され、短絡が安全に終了し、危険物がモジュール電池の外部へ漏えいしないこと。2) モジュール電池の防火性: モジュール電池の外部で火災が発生し、火炎にさらされた場合であっても、危険物がモジュール電池の外部へ漏えいしないこと。3) モジュール電池の耐浸水性: 運転温度のモジュール電池が浸水した場合であっても、単電池が破損せず、危険物がモジュール電池の外部へ漏えいしないこと。4) モジュール電池の自己消火性: モジュール電池の内部で、単電池を強制的に破壊、発火させた場合、周囲の単電池に破壊が連鎖拡大せず、自己消火するとともに、危険物がモジュール電池の外部に漏えいしないこと。5) モジュール電池の構造的強度: モジュール電池が落下等の外的衝撃を受ける場合において、単電池が破壊せず、危険物がモジュール電池の外部へ漏えいしないこと等を要求している。

社会の変化に対応し、ナトリウム・硫黄電池に対する要求も変わる。Safety & Tomorrow No.144 (2012.7) NAS 電池の課題と対策 (他県で発生した火災をうけて) に詳しく記載されている [20] が、開発開始から 30 年を経過しても火災の発生を経験しながら改良されている。

ナトリウム・硫黄電池の充放電能力に近いリチウムイオン電池は、技術開発が急速に進み、ポータブル機器のほとんどの電源となっている。大型モジュールとして電気自動車 [33], 電動船 [29], [37], [9], 電力貯蔵に使用されている。比較的小さな体積で大きなエネルギーを蓄えることが可能となり、大気汚染の緩和が求められる大都市中心部に電気自動車を導入し、充電スタンドを配置することが進められている。ガソリン車を電気自動車に置き換えた場合、燃費向上がある程度見込めるとしてもガソリンの供給網が供給するエネルギー量と同程度の供給量を従来の送電容量に上積みすることができれば良いが、大都市中心部の送電容量を増やすことは容易ではない。そこで中国北京では、リチウムイオン電池モジュールを使用した電力貯蔵を行い、電気自動車等の充電が行われていた。ところが 2021 年 4 月電力貯蔵施設で火災が発生し、消火作業中の消防職員 2 名が殉職、施設従業員 1 名が行方不明となっている [40].

事故の報道後、中国国内での事故事例を調査すると電力貯蔵を行う施設で火災が発生、安全対策が必要と認識されていることがわかった。中国の施設の事故解析資料を見ると米国での事故事例、韓国での事故事例が詳しく記載されている。

韓国で製造された電力貯蔵設備は、韓国だけではなく米国にも設置されていた。2019 年 4 月アリゾナ州の McMicken

site の電力貯蔵施設で火災が発生、消防隊員が消火作業を行った。消火作業中に爆発が起こり、数人の消防隊員が負傷、入院している [6]。

2019 年 1 月 2 日 18 日の韓国 KBS の報道 [21] では、2017 年から韓国に設置された電力貯蔵設備 20 基で火災が起きており、調査が行われている。

New York State Energy Research & Development Authority (NYSERDA)[35], Consolidated Edison, New York City Fire Department (FDNY), New York City Department of Buildings (NY DOB) は、ニューヨーク市内に設置される電力貯蔵設備の火災に対応する試験を 2016 年に行い、報告書を作成している [8]。

米国の NFPA は、電力貯蔵と太陽光施設向けの対応訓練を様々な関係者向けに整備している [32]。

エネルギーを貯蔵する場合、人間の意図に反してエネルギーが放出される火災や爆発は、再生可能エネルギーの開発が進むに連れて発生してきている。エネルギーを利用するとき、一定の影響を周囲環境に残すことは避けられないが、周囲に居住する人々の安全や健康を脅かすことが無いように一定の社会的なルールが必要である。

米国やカナダでは、民間規格 [49], [11], [7] が整備されているが、日本でははっきりしない [25]。 ” 国内のエネルギーシステムの安定化・強靱化に寄与するだけでなく、グローバルな事業環境において、我が国の蓄電システム関連産業の競争力強化策を整理。 ” と記載しており、一定の社会的なルールの中で市場競争力に視点があり、国際的な環境保全と安全性担保の原則を明確に示すのではなく、 ” 諸外国の施策や市場環境整備等の取組を参考に、我が国における定置用蓄電システムの具体的な施策を検討する。 ” と記載されている。

定置用蓄電システム普及拡大検討会の結果とりまとめ [45] では、 ” 《参考》 課題②の補足 車載用蓄電池と定置用蓄電池の価格の差 ” の中で ” 車載用の蓄電池に比べて定置用蓄電池が高くなっている主な理由としては以下が挙げられる。 …… ③ 安全性への要求が異なる-蓄電システムを設置した住宅が火事を起こすと極めて重大な問題となるが、自動車では「一定時間発火しない」など一定の安全基準を確保すればよいと定められており、要求される安全性が大きく異なる。 ” と記載されているが、車庫内で充電することや住宅地や駐車場での延焼危険を考えると双方とも同程度の安全性が必要となる。

資料の中で

” 《参考》課題⑦の補足韓国における蓄電システム事故事例 (1/2)

*蓄電システム市場の拡大とメーカーの成長が進んでいた韓国において、近年相次ぐ火災事故の問題が深刻化している。

* 2019 年 6 月に公表された官民合同 ESS 火災事故原因調査委員会の調査によると、2017 年 8 月以降、全 23 件の火災事故が発生しており、火災事故の内訳は以下の通り。

* 同調査委員会が行った事故原因調査の結果によると、火災事故の原因として、「バッテリーの欠陥」、「地絡等に対

する保護システムの不備」、「動作環境の管理不十分」、「BMS の不備」の 4 つが挙げられていた。 ”

と記載し、

” 《参考》課題⑦の補足韓国における蓄電システム事故事例 (2/2)

*火災事故を受け、2020 年 2 月 6 日、韓国・産業通商資源部は蓄電システムの追加安全対策を以下のとおり公表した。

* 施策安全対策の概要

* 充電率の制限 *

【新設】設置場所別に充電率を制限する。

80 % : 一般人が出入りする施設内に設置される場合

90 % : 一般人が出入りしない専用建屋内に設置される場合

【既設】新設と同様の水準を適用するように勧告を実施する。また、運営基準や電気料金特例制度の改編によって、業界負担を緩和するように支援予定。

* 消防設備や安全措置の推進 *

一般人が出入りする屋内設備に対して、防火壁設置等の消防設備の設置を推進する。設置場所の移設支援安全措置を講じることが難しい場合や、事業者が移転を希望する場合には、ESS 移設を支援する。また、政府は移設に関する需要調査や説明会を実施予定。

* ブラックボックスの設置義務 *

2019 年 6 月 11 日以降に設置される ESS に対してはブラックボックス設置を義務化・それ以前に設置された設備に対しても、ブラックボックスの設置を勧告する。

* 緊急命令制度 *

火災発生リスクが著しく高い場合は緊急点検を実施し、点検結果によって人命・財産への損害が著しいと認められた場合、撤去・移転の緊急命令が可能となる制度を整備予定。

* 情報公開制度の整備 *

ESS 設備の法定点検結果など、安全管理に関する情報公開システムを整備。

※ 2019 年 11 月 28 日付の韓国議会にて、電気安全管理法制定案に反映済み。

* 設置場所別の設置モデル作成 *

山地、海岸沿い、都市部、屋内設置など、ESS 立地特性を考慮した標準設置モデルを開発・普及させる。 ”

と韓国での規制強化を紹介している。

また、 ” 蓄電システムの普及拡大に向けた対応策 ” の中で ” 流通における保管時の安全対策が必要である ” と述べている。

課題として ” プロジェクトの失敗をある程度許容しながら、高速サイクルで PDCA を回して、イノベーションを誘発する R&D 支援の仕組みが必要 ” と指摘している。

かつて日本で実施した電動船開発の報告書 [36] と同時期の米国の報告書 [44] を比較するとこのことがよくわかる。

リスクが顕在化した段階で事業の社会的な価値と使用可能な資源を考慮し、どの程度にリスクを管理すれば社会的に許容できるが米国の報告書では検討している。火災の影響が人の安全や船の需要機能に影響を及ぼさないように蓄

電設備の位置を決め、区画で火災拡大を阻止するように計画している。爆発が発生しても圧力上昇を低い値に留めるために破裂板を設置している。

”プロジェクトの失敗をある程度許容しながら”と記載されていることから火災、爆発、機器の損傷や負傷を想定しながら準備する必要がある。しかしながら日本のこれまでの経験を振り返ると難しい。

再生可能エネルギーの導入を進めるのであれば周囲住民の安全と健康を十分に尊重する社会であることをナトリウム・硫黄電池の場合と同様に示す必要がある。

現在のリチウムイオン電池蓄電設備で火災が起きると燃え尽きるまで消火は困難で周囲への延焼危険がある。韓国の追加安全対策にあるように原則居住者のいない建物に収容し、延焼危険がないよう十分空地を設ける必要がある。火災が発生した場合には、周囲に避難区域を設定し、火災の終息まで警戒することになる。

施設内に人を入れて消火作業を行うときは、中国北京の死亡事例、米国アリゾナ州の負傷事例を考慮する。区画内の雰囲気監視、ガス爆発が起きない条件であるかを確認する必要がある [29]。空港消防用大型消防車による放水のような手法が選択できる場合には、有効かもしれない。

電力貯蔵設備火災・爆発報道画像を用いた検討

再生可能エネルギーの安全性を考える場合、化石燃料のように使用経験の積み重ねによって安全性の目安がつけられたように考えることはできない。再生可能エネルギーは、これまで小規模に使用されてきたものを大型化して使用することになる。当然、実験室規模やパイロットプラントを経て実規模の運転に到達することになる。また、化石燃料の使用に比較して二酸化炭素の放出では優れていてもエネルギー密度、経済性、安定性が優れているかは分からない。

この研究では、韓国、中国、米国、欧州で普及が進むリチウムイオン電池の火災危険性評価を類似した特性を有するナトリウム・硫黄電池の手法を参考に検討する。

リチウムイオン電池を多数集めたモジュールをコンテナや室内に収め、電力を貯蔵する設備が設置されている。このようなリチウムイオン電池電力貯蔵設備は、ESS と呼ばれている。

リチウムイオン電池は、1990年代に実用化が始まり、ポータブル機器の電源として急速に普及した。1990年代の普及期にはリチウムイオン電池製造事業所で、多数の電池セルを恒温室で試験中に火災が起き、連鎖的に拡大、恒温室が火災や爆発により大きな被害を受ける事例が複数回起きた。

リチウムイオン電池が普及するにつれ、使用中に加熱、発火する事例が見られるようになった。航空機内で発火した場合、発火した電池や噴出気体を排出することが難しく、冷却用の水も十分に得られないことから機内持ち込みを制限し、貨物室にリチウムイオン電池が大量に積載されないように管理が行われている [10]。

日本では、リチウムイオン電池は電解液として消防法で危険物に該当する有機溶媒を含んでいることから大量に保

管・輸送する場合、規制されている [42]。極めて大きな火災が発生した事故（平成7年、福島県郡山市）では、約7千㎡が焼損、負傷者2名発生、鎮火に要した時間：約7時間や施設外の広範囲に被害が及んだ事故（平成9年、大阪府守口市）では、半径175mの範囲の住宅等に被害発生、出火建物1230㎡が全焼するとともに隣接建物486㎡も半焼、負傷者2名発生、鎮火に要した時間：約8時間となっている。

リチウムイオン電池の使用を広げる目的で2011年に事業仕分けを経て規制緩和が行われた [30]。 ”..... 規制仕分けを行ったときに、リチウムイオン電池の規制に関して取り上げましたが、その後、消防庁の中において検討委員会を設けていただいて、実験に実際に私も立ち会いました。消防庁の中で取りまとめを行いまして、今日2時に公表されると聞いておりますが、基本的には仕分けの評価結果に沿って規制緩和が行われることになりました。非常に前向きな取組をしていただきましたし、このことによって我が国の、いわゆるリーディング産業になると思うリチウムイオン電池が更に発展することを望んでおります。.....” と述べられており、リチウムイオン電池で世界一位の地位を占める決意を述べているようにも見える。

日本も開発に参加したボーイング社のB787には、補助動力装置の役割を果たすリチウムイオン電池を積載していた [48]。日本国内線を飛行中のB787のリチウムイオン電池が過熱、火災となり [12]、日本の航空会社のB787が米国の空港に駐機中にリチウムイオン電池が過熱、火災となった。この2件の火災によりB787の耐空証明は停止され、リチウムイオン電池系の改修が完了するまでB787は飛行できなかった [26]。その後、開発された旅客機では、リチウムイオン電池は密閉容器に収容、機外への放出配管を装備、リチウムイオン電池積載事実を消防職員に周知している [1]。

二酸化炭素の排出を削減する目的で自動車や二輪車に電動車を導入する試みが行われている。2019年に訪問した中国北京市では、二輪車のほとんどが、電動車であった。

米国では、カリフォルニア州やフロリダ州で電気自動車が普及しているが、充電中や走行中の火災が起きている。米国では、電気自動車火災の消火方法について検討され、大量の水を電池モジュールに放射、冷却する方法が推奨されている。電池モジュールには多数の電池セルが収められており、火災による影響も一様でない。火災後の移動や保管の段階で再度発火する事例が起きている。

米国のNTSBは、電気自動車の火災について1) 熱暴走、2) 残留エネルギー、3) 再着火の特異性があるとして警鐘を鳴らしている [34]。

電力貯蔵用のリチウムイオン電池が開発され、韓国を中心に太陽光発電、風力発電に併設が行われたが、近年多数の火災が報告されている。大量放水を行っても消火は容易ではない。多数の火災は、監視カメラにより記録され、報道されている [38]。かつて使用中に発火しないとして導入されたリチウムイオン電池が使用されていても火災環境に置かれると連鎖的に破壊が起こり、火災の拡大、爆発に至っ

ている [52], [22], [23], [24].

監視カメラに記録された画像の電力貯蔵用リチウムイオン電池の詳細構造や充電状況は分からない。火災の覚知の前に電池から噴出物が映っている。噴出物は、固体か液体の微粒子雲と推定できる。床面に沿って流動する微粒子雲は、空気より密度が高く、天井に昇る微粒子雲は空気より密度が低いことになる。微粒子雲が空気より密度が低くなると、微粒子雲が周囲より高温となって密度の低い高温気体中に分散していると考えることが出来る。

微粒子雲は、リチウムイオン電池が発火し、炎と高温微粒子を噴出する段階で火災により消費されることから電池の可燃性電解液が、沸点以上に過熱され噴出後、周囲空気と熱交換することと断熱膨張により温度低下することにより沸点以下に冷却され微粒子雲となったと推定できる。

液体や固体の微粒子雲となると分子拡散は、限定的となり、周囲空気との密度差が小さければ滞留することになる。可燃性噴霧が、閉空間に放出されたとき可燃性電解液の組成によって二つの可能性がある。可燃性電解液の蒸気圧がガソリンのように極めて高い場合、蒸気と空気が混合し、燃料が過剰な条件となり、燃えない。可燃性電解液の蒸気圧がエタノールのように中程度の場合、蒸気と空気が混合し、燃焼する可燃混合気形成される。可燃性電解液の蒸気圧が軽油のように低い場合、蒸気と空気が混合し、燃料が希薄の条件となり、燃えない。可燃性電解液の蒸気圧は、温度の関数なので火災の進展に伴い、蒸気と空気の混合割合は変化する。

一方、形成された微粒子雲は、空気より重い場合、床面に沿って拡がる。空気よりも軽い場合、天井面に沿って拡がる。分子拡散によって可燃性蒸気が拡がる場合、気流による対流拡散と分子拡散によるが、微粒子雲の場合、気流と浮力により拡がる [38], [41]。微粒子雲が、燃える条件を満たしている場合、着火する。微粒子濃度が過剰で燃えない場合でも可燃混合気の燃焼、開口部の開放等により気流が生じると可燃条件を満たす恐れがある。

可燃性電解液が噴出後、セルの温度が上昇すると不揮発性の電極材のみが残る。リチウムを保持する炭素負極とリチウムが引き抜かれた酸素過剰の正極が残る。リチウムが気化、セル内を移動することは難しいが、酸素過剰の正極が分解、過剰な酸素をセル内に放出すると電池内に配線材として存在するアルミニウムや炭素電極の活性炭が燃えることになる。火災事故後のリチウムイオン電池セルを分解すると銅配線材のみが残存しアルミニウム箔配線材が損傷していることとも符合する [16]。活性炭が酸素と共に燃える過程で一酸化炭素が高濃度で生成すると考えられる [6], [50], [4].

可燃性電解液の微粒子雲が形成された段階で、セル内部で前述のような酸素放出が起きると安全弁などの放出口周辺では急速な加熱が起こり、溶融や酸化がおこる。溶融した金属が、高温状態で噴出すると可燃性電解液の微粒子雲が着火し、急速に燃焼することになる。発熱速度が急激に上昇すると噴霧爆発となり、電力貯蔵施設外壁が変形するほどの圧力上昇を起こすことになる。このとき着火した破

片等が周囲に飛散し、延焼することも考えられる。

リチウムイオン電池が、多量に使用される施設で電池が何らかの理由で加熱されると内部で異常発熱が起き、容器の耐圧を越えると可燃性電解液が噴出し、微粒子雲が形成される。異常発熱が終息しないと内部の電極材料が分解、酸素が発生し、内部で燃焼が起こり、溶融金属が噴出、可燃性電解液微粒子雲が着火することになる。この噴霧爆発を防ぐことが出来れば、火災を終息させることが出来ることになる。

記録された画像を見ると過去に実験した電気加熱時のリチウムイオン電池セルの挙動と類似している [46]。電極材の改良は進んでいるかもしれないが、可燃性電解液はそのままである。

多数のリチウムイオン電池セルを単一区画に収納した場合、局所的な過熱からセル全体の過熱を経てモジュールの過熱へ拡大する可能性がある。このような状態でモジュールを冷却すると温度低下に伴い過熱は終息するが、気体の体積が減少、外部から空気が流入、噴霧爆発を誘発する可能性がある。

電力貯蔵設備火災時の対応計画

電力貯蔵設備では大量の電力を取扱っているのである確率で設備の一部が過熱することが考えられる。電力貯蔵装置をコンテナや区画内に収納した場合、内部で発生した熱を外部に放出する冷却系を設置することになる。設備の一部が過熱し冷却系の下流側の温度が上昇し、作動温度範囲を越えると動作異常を起こすことになる。動作異常で発熱が起きる場合、コンテナや区画内の温度上昇に正の帰還ループが作用することになる。

電力貯蔵設備であることから電池セルは電氣的に接続されており、一部の異常による過電流が波及して電池セルの異常を伝搬させることも考えられる。

現在実用化されている電力貯蔵設備には、一定の安全装置が組み込まれているが、多数の電池セルを一つの区画に收容したときの対流を介しての異常過熱の連鎖を考慮していない。報告書の中に、電気火災であることからガス系消火剤を使用するものもある。ガス系消火剤を計画通り投入すると内部の可燃物の燃焼を抑制することは可能であるが、放熱に伴い内部気体の体積が減少すると外部から空気が流入、燃焼する恐れがある。リチウムイオン電池セルが冷却され難く内部で発熱が継続すると再度火災となる。

再燃を防止するためには、区画を十分に冷却する必要がある。多くの報道で見られるように大量放水が必要となる。このとき冷却が十分でないとき、外部から空気が区画内に流入し、可燃性電解液噴霧雲が燃焼し、噴霧爆発が起きる可能性があることから破片等が飛散しても隣接地に影響がないように空地を確保する必要がある。

技術開発を行うとき、開発する技術だけではなく、その技術がもたらす変化を予測し、将来の社会にとって便益のある点と不利益となる点を明確にする必要がある。今日、不利益となる点は取り上げずに、便益のある点を喧伝し、社会を動かすことが試みられている。しかしながら社会に変化をもたらすとき、不利益となる点が顕在化する。技術開発の当初から不利益となる点を情報共有し、技術開発を進めてきた社会がある。その社会では、予想される不利益となる点に対して一定の社会的な合意を形成する努力を行っている。日本の電力貯蔵に対する姿勢を見てみるともう少し、技術開発の不利益となる点を情報共有し、不利益となる点が顕在化したときに過剰に反応せずに必要な対策を迅速に実施できるようにしたい。

- [1] AIRBUS, A350XWB Lithium Batteries-A guide for fire fighters, <https://www.airbus.com>.
- [2] 秋元圭吾, 佐野史典, 「2050年カーボンニュートラルのシナリオ分析(中間報告)」, https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_sub-committee/2021/043/043_005.pdf.
- [3] 秋田県仙北市議会, こんにちは仙北市議会です No.37, <https://www.city.semboku.akita.jp/government/assembly/dayori/1502/documents/gikai37.0116.pdf>.
- [4] Andrew Blum, Thomas Long Jr., Lithium Ion Battery Energy Storage System Fires, <https://www.nfpa.org/-/media/Files/News-and-Research/Resources/Research-Foundation/Symposia/2016-SUPDET/2016-Papers/SUPDET2016BlumLong.ashx?la=en>.
- [5] arirang, Diagnosis on Korea's drive for hydrogen economy, <http://www.arirang.com/News/News-View.asp?nSeq=238037>.
- [6] Arizona Public Service, TECHNICAL SUPPORT FOR APS RELATED TO MCMICKEN THERMAL RUNAWAY AND EXPLOSION McMicken Battery Energy Storage System Event Technical Analysis and Recommendations, <https://www.aps.com/-/media/APS/APSCOM-PDFs/About/Our-Company/Newsroom/McMickenFinalTechnicalReport.ashx?la=en&hash=50335FB5098D9858BFD276C40FA54FCE>.
- [7] Bill Oberkehr, Paul Rogers, Fire Code Considerations for Battery Energy Storage Systems, <https://www.co.ontario.ny.us/DocumentCenter/View/27916/Livingston-County-Webinar-Deck-12021-compressed>.
- [8] Consolidated Edison and NYSEDA New York, NY, Final Report Considerations for ESS Fire Safety, <https://www.nyserda.ny.gov/-/media/Files/Publications/Research/Energy-Storage/20170118-ConEd-NYSEDA-Battery-Testing-Report.pdf>.
- [9] CorvusEnergy, Important Communique regarding Ytterøyningen Battery Fire, https://www.sdir.no/contentassets/3b7861436ee94274aa8fe30ea4df5aed/initial-response_nma_dnvgl.pdf.
- [10] Federal Aviation Administration, Lithium Battery Safety Resources, <https://www.faa.gov/hazmat/resources/lithium.batteries/>.

- [11] FM Global, FM Global shares new fire protection and installation guidance for lithium-ion energy storage systems Publicly available research to inform building and fire codes for safe installation practices, <https://newsroom.fmglobal.com/releases/fm-global-shares-new-fire-protection-and-installation-guidance-for-lithium-ion-energy-storage-systems>.
- [12] 福島みずほ, 「第 183 回国会 (常会) 質問主意書質問第九号ボーイング 7 8 7 型機のバッテリー事故の原因解明と根本的な事故対策及び拙速な運航再開計画の見直しの必要性に関する質問主意書」, <https://www.sangiin.go.jp/japanese/joho1/kousei/syuisyo/183/syuh/s183089.htm>.
- [13] 響灘エネルギーパーク合同会社, 「弊社発電所内での火災発生のご報告ならびにおわび」, <https://hibikinada.energy-park.jp/files/pdf/20201013.pdf>.
- [14] 出光興産株式会社, 「京浜バイオマス発電所における火災事故について」, <https://www.idemitsu.com/jp/content/100023812.pdf>.
- [15] IEA Bioenergy Task 32, 36, 37 and 40, HEALTH AND SAFETY ASPECTS OF SOLID BIOMASS STORAGE, TRANSPORTATION AND FEEDING, <https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2013/10/Health-and-Safety-Aspects-of-Solid-Biomass-Storage-Transportation-and-Feeding.pdf>.
- [16] Japan Transport Safety Board, AIRCRAFT SERIOUS INCIDENT INVESTIGATION REPORT ALL NIPPON AIRWAYS CO., LTD. JA804A, https://www.mlit.go.jp/jtsb/eng-air_report/JA804A.pdf.
- [17] 株式会社レノバ, 「当社子会社発電所の付帯施設 (屋外の燃料置き場) における小火 (ボヤ) の発生に関するお知らせ」, https://www.renovainc.com/news/company/pdf/20180307_01_PRESS.pdf.
- [18] 門脇みつひろ, 「バイオエネルギーセンター」, http://www.kadosan.com/2014/07/blog-post_4.html.
- [19] 関東東北産業保安監督部東北支部, 「山形バイオマスエネルギー株式会社に対する嚴重注意について」, https://www.safety-tohoku.meti.go.jp/denki/denkihoan/topics/r02topics/20201216yamagata_baiomasuenerugii.pdf.
- [20] 片寄雅之, 「NAS 電池の課題と対策 (他県で発生した火災をうけて)」, http://www.khk-syoubou.or.jp/pdf/paper/r_11/11tyoukan2.pdf.
- [21] KBS, 「ESS 火災について」, <https://news.kbs.co.kr/news/view.do?ncd=4345099>.
- [22] KBS, 「ESS 火災と原因」, <https://news.kbs.co.kr/news/view.do?ncd=4219829>.
- [23] KBS, 「風力発電所併設設備の火災」, https://news.sbs.co.kr/news/endPage.do?news_id=N1004857551&plink=SEARCH&cooper=SBSNEWSSEARCH.
- [24] KBS, 「設備から溶融金属が噴出するように見える火災」, https://news.sbs.co.kr/news/endPage.do?news_id=N1005029345&plink=SEARCH&cooper=SBSNEWSSEARCH.
- [25] 経済産業省資源エネルギー庁新エネルギーシステム課, 「第 1 回定置用蓄電システム普及拡大検討会開催の目的」, https://www.meti.go.jp/shingikai/energy-environment/storage_system/pdf/001_04.00.pdf.
- [26] 国土交通省航空局長, 「耐空性改善通報平成 25 年 4 月 26 日」, <https://www.mlit.go.jp/common/000996566.pdf>.
- [27] 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構, 「水素社会構築技術開発事業 / 水素エネルギーシステム技術開発 / 北海道に於ける再生可能エネルギー由来不安定電力の水素変換等による安定化・貯蔵・利用技術の研究開発事故等調査報告書一原因究明及び安全対策一」, <https://www.nedo.go.jp/content/100876749.pdf>.
- [28] 九州大学水素ステーション事故調査委員会, 「九州大学水素ステーション事故調査 中間報告書 (第 2 報) 要約版」, <https://www.kyushu-u.ac.jp/f/26190/hydrogensummary0206.pdf>.
- [29] Lloyd's Register, Mitigating lithium battery system fires, <https://info.lr.org/l/12702/2019-11-18/86xwml>.
- [30] 内閣府, 「蓮舫内閣府特命担当大臣記者会見要旨平成 23 年 12 月 16 日」, https://www.cao.go.jp/minister/1109_renho/kaiken/2011/1216kaiken.html.
- [31] 浪江町役場産業振興課, 「浪江町における水素利活用の取り組み」, https://www.env.go.jp/seisaku/list/ondanka_saisei/lowcarbon-h2-sc/overseas-trend/PDF/shiryuu02.pdf.
- [32] NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION, ENERGY STORAGE & SOLAR SYSTEMS, <https://www.nfpa.org/News-and-Research/Resources/Emergency-Responders/High-risk-hazards/Energy-Storage-Systems>.
- [33] National Highway Traffic Safety Administration, Lithium-ion Battery Safety Issues for Electric and Plug-in Hybrid Vehicles, <https://www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.gov>

/files/documents/12848-lithiumionsafetyhybrids_101217-v3-tag.pdf.

- [34] National Transportation Safety Board, Safety Risks to Emergency Responders from Lithium-Ion Battery Fires in Electric Vehicles, <https://www.nts.gov/safety/safety-studies/Documents/SR2001.pdf>.
- [35] New York State Energy Research and Development Authority, New York State Energy Storage Study Final Report, <https://www.nyserda.ny.gov/all-programs/programs/energy-storage>.
- [36] 日本小型船舶検査機構, 「リチウムイオン電池を動力源とする小型船舶の安全対策に関する調査研究報告書」, <https://jci.go.jp/jci/pdf/chousa/h24.denchi.pdf>.
- [37] Norwegian Maritime Authority, Battery fire with subsequent gas explosion, <https://www.sdir.no/en/shipping/legislation/directives/battery-fire-with-subsequent-gas-explosion/>.
- [38] 央視新聞, 「3秒内火焰吞噬整个電梯, 多人被燒傷! 千万別再這麼做」, <http://m.news.cctv.com/2021/05/11/ARTIc9GX1nrDJGWilwduJXQT210511.shtml>.
- [39] 静岡県小山町, 「木質バイオマス発電所の火災発生のお詫び」, http://www.fuji-oyama.jp/top_news_202007061425304.html.
- [40] 新京報, 「北京南四環起火儲能電站: 2019年投用, 日售電能力超4万度」, <https://www.bjnews.com.cn/detail/161864562915313.html>.
- [41] 新京報, 「充電中の電動バイクが濃煙発生から1分で発火」, <https://www.bjnews.com.cn/detail/162201521214895.html>.
- [42] 総務省消防庁, 「過去の事故発生状況について(事故事例) 大量のリチウムイオン電池の貯蔵や取扱いを行うにもかかわらず, 消防法令に基づく安全対策を講じていなかったために, 極めて大きな事故が発生した事故の例」, https://www.fdma.go.jp/singi_kento/kento/items/kento080.08.1-7.pdf.
- [43] 消防庁危険物規制課長, 「ナトリウム・硫黄電池を設置する危険物施設の技術上の基準等について」, <https://www.fdma.go.jp/laws/laws/laws012.html>.
- [44] Susan Hayman, FINAL REPORT ON BATTERY RE-INSTALLATION CAMPBELL FOSS and CAROLYN DOROTHY, <https://www.maritime.dot.gov/sites/marad.dot.gov/files/docs/innovation/meta/9616/hybrid-battery-refit-final-report-pics.pdf>.
- [45] 定置用蓄電システム普及拡大検討会第4回, 「定置用蓄電システム普及拡大検討会の結果とりまとめ」, https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/storage_system/pdf/004_04.00.pdf.
- [46] 鶴田 俊, 「火災時のリチウムイオン電池の燃焼挙動」, 消研輯報 53, pp.8-11(2000).
- [47] 中国電力科学研究所有限公司儲能与電工新技術研究所, 「北京集美大紅門 25MWh 直流光儲充一体化電站項目事故分析」, <https://homest.org.cn/article/detail?id=5448830>.
- [48] 上田純也, 石田義貴, 志築隆弘, 園田輝男, 「航空機用大形リチウムイオン電池の開発」, https://www.gs-yuasa.com/en/technology/technical_report/pdf/vol7/007_01_014.pdf.
- [49] UL, 「蓄電システム(ESS)の最新規格動向・リスク解析」, <https://japan.ul.com/events/ess-201011/>.
- [50] UL Firefighter Safety Research Institute, Four Firefighters Injured In Lithium-Ion Battery EnergyStorage System Explosion - Arizona, https://ulfirefightersafety.org/docs/Four_Firefighters_Injured_In_Lithium_Ion_Battery_ESS_Explosion_Arizona.pdf.
- [51] 山梨県森林環境部環境・エネルギー課産業労働部成長産業推進課企業局電気課, 「山梨県における水素利活用に向けた取り組み」, https://www.env.go.jp/seisaku/list/ondanka_saisei/lowcarbon-h2-sc/events/PDF/shiryou04.pdf.
- [52] 楊凱, 「リチウムイオン電池自動消火技術」, <http://www.csee.org.cn/pic/u/cms/www/201912/04105323g8ev.pdf>.

〔 令和 3 年 7 月 30 日受付
令和 3 年 9 月 1 日受理 〕

Renewable Energy Use and Energy Storage

Takashi Tsuruda¹

¹ *Department of Mechanical Engineering, Faculty of Systems Science and Technology, Akita Prefectural University*

This study discusses the risks associated with energy storage. Power stations convert chemical, potential, kinetic, or nuclear energy into electricity. They store large amounts of energy; therefore, they are mainly located in the designated industrial areas to minimize the impact of a potential fire or explosion. However, new types of energy storage systems are being developed and located in residential areas. In case of fires or explosions, the energy and pollutants released could spread into residential areas and negatively impact the residents. Depending on their storage capacity, if energy storage systems are not located far away from residents, safety emergency evacuation plans will be needed.

Keywords: energy storage, explosion, fire, renewable energy, risk