

交通系蓄電池の活用

東京海洋大学大学院 刑部真弘

Application of traffic battery By Masahiro Osakabe

1. はじめに

エネルギー関係の講演会を行うと、太陽光や風力発電等の再エネの導入をもっと真剣にやって欲しいと、一般の方々から要請される。晴耕雨読という言葉があるが、晴れたらエネルギーをいっぱい使って仕事をし、雨なら本でも読もうという生活には憧れる。しかし、我々の生活は、すでに風任せ、おてんとうさま任せではなくなっている。再エネの導入を図るのであれば、あの不安定な出力をどうするか考えなければならない。

再エネの普及・活用には、電力インフラとしての電気自動車（EV）や電池船の交通系蓄電池が重要である^(1,2)。それらと電力融通システムを構築しておけば、再エネが豊富なときに蓄え、足りない時に放電することができる。さらに、建物等のピーク電力カットや震災時等における電源喪失時の電力供給も可能になる。

2018 年末、我が国の太陽光発電容量は、既に大型原発 50 基分に相当する 50 GW を超えたと考えられる。2030 年には 100 GW、2050 年には 200GW まで増加する予想もある。また、風力発電容量は、2013 年時点で約 2.7GW だったが、2018 年 3 月末には 3.5GW に達し、今後も洋上風力を中心に急激な増加が想定されている。発電容量ポテンシャルとしては 1900GW に達し、そのうち洋上発電は 1600GW を占める。なお、2018 年 5 月 20 日昼頃には、四国電力管内の需要電力がすべて再エネで賄われた。再エネは二酸化炭素をほぼ出さない素晴らしいものであるが、多くは発電出力が一定していないので、早急な対応が必要となってきた。

2. 蓄電池

不安定な再エネを使うためには、使いたいときに使えるように電気を蓄えておかなければならな

い。しかし、期待の蓄電池は、まだまだ高価で、購入するには勇気がいる状況が続いていた。

最近、この状況が少しずつ変化してきた。それは EV や電池船の登場である。一般的な自家用車の 95% は駐車場にあるというデータもあり、これらを送配電線とつないでおくと蓄電および給電ができる。ほとんどの車が動いていないというのにも驚くが、1 台 1 台の蓄電量は小さくても、数あれば莫大なものになる。

例えば、東京都の自動車登録台数は約 400 万台あるが、これがすべて EV に変わり 8kW の電力融通が可能だとすると、32GW（大型原発 32 基分）の電力をやり取りできる。世界有数の自動車メーカーのある愛知県はさらに多いようだが、日本全国を合わせたら 8000 万台近くにも達し、640GW の電力融通が可能となると考えられる。我が国で使われる最大電力の 3 倍以上である。

そして、何より素晴らしいのは固定型の蓄電池を単体で買うよりも、一般的に同じ蓄電容量を持つ車を買った方が安い。同じ容量の蓄電池で比較すると、タイヤを付けると 1/3 の値段になる場合もある。蓄電池を家に置いて活用するだけでなく、蓄電池と共に旅行が、そしておまけで通勤ができるのである。また、定期的な車の買い替えとともに、急速に進化している蓄電池が最新型のものに入れ替わることになる。今後、沿岸域を航行する電池船も同じようになる可能性がある。

さらに、EV の技術を用いた安価な固定型蓄電池も登場してきた。2015 年時点で、蓄電容量が 10kWh の機種で 3500 ドル、日本円にしておよそ 42 万円であった。一般的な家庭であれば 25 時間ぐらい電気を使えることになる。従来の製品のおよそ 1/5 で、当時、圧倒的な低価格に業界では激震が走った。図 1 のように容量 10kWh を 2 個結合させて使うこ

とも可能である。ただし、現状では電池容量は、10年で7割程度まで減る。

2016年初めに、7kWh テスラ蓄電池、5kW 太陽パネルおよび電力売買システムを買ったシドニー郊外の一般家庭がある⁽¹⁾。システムの設置にかかった費用は147万円であった。前年2015年の電気代は年間約20万円だったが、2016年は1.6万円になったとのことである。この電力売買では、電力逼迫時の電力網に蓄電池電力を提供する条件で、通常買取価格を1kWhあたり0.9円高く売る契約をしていた。このままならシステムの初期投資を、約8年で回収できることになる。電力網の安定性にも貢献し、自分の利益も確保する理想的な環境が構築できたことは注目すべきである。

蓄電と放電を繰り返して利用できるリチウムイオン蓄電池は、正極にリチウム金属酸化物などの金属系素材を、負極に炭素系素材などを使用し、両極の浸かる電解液の中をリチウムイオンが移動することで、充電と放電が行われる。リチウムポリマー蓄電池は、電解液を半固定のゲル化することで、安定性を高めているが、電解質に使われる有機溶媒は可燃性で発火の危険性は今でもゼロではない。

さらなる大容量化が期待できる新技術として注目を集めるのが全固体電池である。リチウムイオンを使うという基本部分はそのままで、正極、負極、電解質のいずれも固体でできている。全固体電池のメリットの1つは安全性である。仮に全固体電池の一部に穴が開いたとしても発火はせず、そのまま使い続けることができる。また、重量や体積あたりの充電容量を示すエネルギー密度も、現状の4~5倍程度になると期待する意見も多い。エネルギー密度の向上は電気製品であれば駆動時間、EVや電池船であれば航続距離に直結する。さらに、全固体電池は、陽イオンとなるリチウムイオンだけが電解質の中を移動し、対となる陰イオンは移動しない。陰イオンは、バッテリー劣化の原因となる副反応を呼び起こすため、全固体電池は原理的に劣化を抑えられることになる。

現状のリチウムイオン電池は、小型で高電圧、

長寿命という優れた特性にもかかわらず、蓄電容量に相当するエネルギー密度がほぼ限界に達しているという大きな課題がある。この壁を突破する切り札として期待されているのが、図2に示したようなリチウム空気電池である。リチウム空気電池の構成は、正極(空気極)、セパレータ、負極(リチウム金属)を重ねて電解液を入れただけの簡単なものである。放電反応は、負極からリチウムが溶け出し、正極で酸素と反応して過酸化リチウムが析出するというもので、この過酸化リチウムの析出量が蓄電容量となる。そのため、正極のカーボン材料は出来るだけ多孔質なもの(空孔体積の多いもの)が望ましい。空気極材料にカーボンナノチューブを用い、空気極の微細構造などを最適化することによって、現実的なセル形状において、単位面積当たりの蓄電容量として従来のリチウムイオン電池15倍に相当するものが得られている。この巨大容量の実現には、カーボンナノチューブの大きな表面積と柔軟な構造が寄与していると考えられている。



図1 テスラ蓄電池

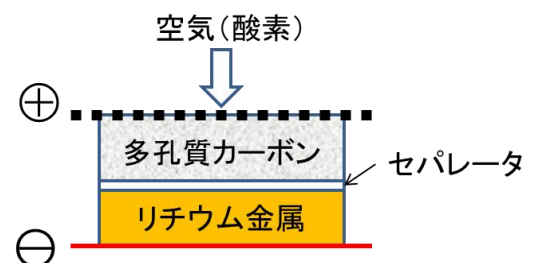


図2 リチウム空気電池

3. 電気自動車(EV)

最近、かつて全国で約6万カ所だったガソリンスタンドが、いまや約3万カ所に減少したとのニ

ューズが流れた。EVが増えたせいではなく燃費の向上で以前ほどガソリンが売れなくなったようだ。よほど立地の良いガソリンスタンドでないと生き残れなくなっている。我が国でのEV普及はゆっくりと行われているが、欧米や中国では急速な転換が始まっている。

2017年、フランスとイギリスが2040年までに化石燃料自動車の製造を終了する計画をだした。また、ドイツの有力自動車会社メルセデス・ベンツも自動車の電氣化計画を発表した。製造する全車種を2022年までに電氣化するというものだ。世界でもっとも重要な市場と目される中国において、最終的には化石燃料を動力とする自動車を禁止するという自動車の電氣化の計画が明らかになったことが大きいようである。また、各国がEVを再エネと共存する電力インフラとして認め始めたことが後押ししている。

さて、現状でのメルセデスの計画は、2022年までに同社が製造する全車種についてハイブリッドまたはEVをラインナップに加えるというものだ。この時点で少なくとも50種の新しいEVがオプションとして選択可能になる。ダイムラー・グループ傘下のもう一つのブランド、Smartについては2020年には完全に電氣化される見通しとなっている。

やはりドイツのフォルクスワーゲン(VW)も、2025年までにEVを50車種投入すると発表した。Volvoもラインナップの全電氣化を2019年までに達成するとし、フォード・リンカーンも2022年までに電氣化を目指すとしている。

北欧ノルウェーでは、すでに2017年新車販売の4割がEVになっている。先進事例として有名だが、ここには特殊事情が影響している。ノルウェーを始めとした寒冷地では、エンジンオイルや冷却液が固まらないように普通のエンジン車にブロックヒーターというヒーターがついている。その電源コンセントが、各家庭の車庫や公共駐車場には必ずついているのである。この電源を使えばEVの充電ができる。EVの普及には電源インフラが重要であることを改めて示している。なお、著者が駐在

したロッキー山脈の真ん中にある寒い米国アイダホ国立研究所の駐車場にも完備されていた。

図3はテスラモデルSの床下蓄電池⁽³⁾であるが、パナソニック製のリチウムイオン蓄電池が数千個積まれており、最大で85kWhという大容量を実現している。地球6周(24万km)走っても容量低下は10%以内である。この蓄電池はノートパソコンや電気自転車、その他様々なバッテリーとして使われている汎用性の高いバッテリーである。価格メリットのある汎用性というのが今後の普及のカギとなると考えられる。

来年2020年には600km走れるEVが発売され、世界のIoTは200兆円規模の産業となる予想である。2025~40年の間に、ノルウェー、スウェーデン、オランダ、ドイツ、フランス、イギリス、スペイン、アイルランド、イスラエル、そして中国で内燃エンジン車製造が禁止になる。マッキンゼー報告書⁽⁴⁾によると、2035年には世界のEVの数は1億台突破が見込まれ、2050年にはEVが20億台に達する可能性もある。固定型の蓄電池よりも定期的な更新を行う車や船の交通系蓄電池のほうが、最新技術を導入するのに有利だと考えられる。

図4は江東区の保育園に設置したEVである⁽¹⁾。簡単な受給電装置によって、駐車場に止めた車に電気を自由に出し入れすることが可能となっている。



図3 テスラモデルSの床下蓄電池



図4 江東区保育園のEV

太陽光発電や風力発電の電力を蓄電し、必要なときに使うことができる。また、災害等の停電時に園に電力供給しエアコン等を稼働させることも可能となった。

ボイラ協会では、毎年、溶接士コンクールを開催しているが、競技中は5～8名の選手が一斉にアーク溶接を行うため大量の電力を消費する。一般家庭の標準電力75軒以上の電力増となる場合もあるため、コンクールの期間中は協会ビル（JBAビル）の各フロアにおいて、照明や空調、離席中のパソコンの電源を落とすなど、電力消費を削減するための省エネに取り組んできた。この省エネ活動には、パソコンやスマホ等でビル全体の瞬時電力使用を簡単に確認できるネット電力計が有効となっている⁽⁴⁾。

2019年5月9～10日開催の第48回コンクールでは通常の省エネ活動に加え、図5のように夜間に充電した最新鋭EV（蓄電池容量62kWh）を会場であるJBAビルに接続し、EVから建物電源に電気を供給して購買電力ピークを抑える実証試験を行った。競技中、EVより5kWの電力を供給し、事務所の使用電力に当てた結果、例年消費電力のピークが契約電力56kWに届くところを、省エネと併せてピークを44kW程度に抑えることができた。

図6はネット電力計でスマホ上に示された購買電力で、ピークが5回の競技が行われたことを示している。図中にはEV電力投入時と解除時を示したが、この区間で購買電力が契約電力56kW（昨年のコンクール最大電力）以下に大きく抑制されているのが確認できる。

また、コンクールの翌週には、EVの電力を溶接機の動力電源に直接供給して、図7のようなアーク溶接作業が可能かどうかの実験を行った。溶接に必要な電力は、最初にアークを作成するときに大きなピークをとる。このため、限られたEV電力で安定した溶接を行うためには、このピークを抑制することが重要であることが明らかになった。この技術が完成すれば、電源のない現場等でもEVがあれば溶接作業が可能となる。さらに、世界では直流を用いた溶接が主流になりつつあり⁽⁵⁾、EV

蓄電池の直流をそのまま使う技術開発も期待されている。



図5 ボイラ協会のEV

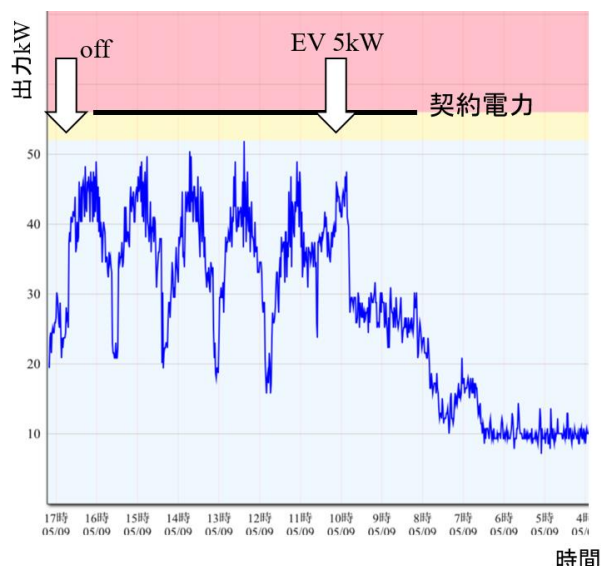


図6 ボイラ協会での電力ピークカット



図7 EV電力でアーク溶接中

2018年、三井住友建設と海洋大は、図8に示したようにEVを用いて高層マンションのエレベータを稼働することにも成功した。従来供給できたのは単相3線200V/100Vであったが、コンパクトな動力三相400V/200V変換機を開発し稼働可能としたものである。3.11震災時に「高層帰宅難民」という言葉が登場したが、過去のものとなって欲しいものである。災害時には電力会社の広域送電網管理が機能していない場合も想定され、比較的状况を把握しやすいローカルな電力供給が重要となる。また、非常用発電機燃料の保障期間は3~6ヶ月程度であり、常に稼働していたEVを使うことが不作動を回避するために重要である。

4. 電池船

2019年6月、国内最大の電池船「e-Oshima」(340トン)が、長崎の大島造船所で建造された。図9に示す船は、全長35m、乗客定員は最大50人で、普通乗用車8台を積載できる。バッテリー容量は約600kWhで、一般的なEVの十数台以上に相当する。内燃機関は使用せず、必要な動力は全て電池でまかなう国内最大の電池船だ。自動操船システムも搭載しており、船舶の省人化と安全性向上に向けた運航実験が行われている。

当初は造船所で造られた船の命名式に出席する来賓を送迎する船として、大島造船所と対岸の約3キロを航行する予定となっている。船と陸との電力融通システムを設置しておけば、再エネ社会における電力インフラとしても期待される。

このような大型の蓄電池や発電用内燃機関がある船との電力融通は、震災時等における電源喪失時に、逆に陸上に電力供給を行うことを可能にする⁽¹⁾。特に病院、公共施設や原子力発電所の非常用発電装置は、震災時等に最後の砦となる重要機器であるが、これが不作動の場合に役に立つことが期待される。

2014年春に開院した東京江東区の昭和大江東豊洲病院では、船舶からの電力供給を目的として運河に面した病院庭園に災害時船舶受電盤(図10)を設置した。この盤に船舶からの給電線を接続す

れば病院内で電気を使うことができる。船からの陸上への電力供給として、このような給電線を用いる方法以外に、図11のように栈橋等に停泊中の船舶の電源でEVを充電し、病院等に電力を搬送する方法もある⁽¹⁾。



図8 高層マンションのエレベータ稼働



図9 国内最大の電池船(大島造船所提供)



図10 災害時船舶受電盤

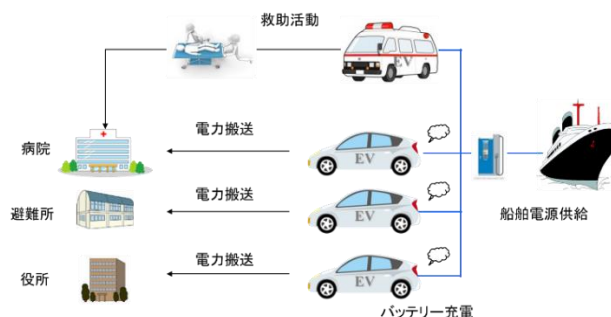


図11 EVによる電力搬送

図12は、病院に給電中の東京海洋大学の小型電池船である。この船は、搭載された燃料電池(8kW)

でもリチウム電池（蓄電池容量 145kWh）を充電可能となっている。電力変換を行うパワーダイオードの進化が著しく、このような最先端船だけでなく、どんな船でも病院に給電可能な仕組みが可能となりつつある。

3.11 震災で「電子カルテが使えなかった」と言われて 8 年経ったが、非常時に病院機能を維持するためには人と電源確保が重要になる。



図 12 病院に給電中の小型電池船



図 13 最大級のコンテナ船

5. 最後に

国際海運分野では、今世紀中早期に国際海運からの温室効果ガス（GHG）排出ゼロを目指すことが国際海事機関（IMO）において 2018 年 4 月に合意され、対策を推進することとされている。

図 13 は、約 20,000 個のコンテナ搭載が可能となったわが国最大級のコンテナ船である。この船が出力 60MW で 1 週間航行するのに必要なエネルギーを賄うためには、リチウムイオン蓄電池を詰めたコンテナが何個必要か計算してみた。標準的なコンテナ体積 39m³ とし、一般的な電池密度

500kWh/m³ で計算すると、500 個の蓄電池コンテナが必要となる。なお、開発中の全固体電池なら 100 個、リチウム空気電池なら 30 個で済む。

将来の電池推進コンテナ船は、港でフル充電した蓄電池コンテナを積み出航可能となる。なお、港に係留中は不安定な再エネの安定化に貢献するとともに、災害時等には 15 万軒に 1 週間にわたって電力供給が可能となる。

逆に 15 万軒の家庭の屋根に設置された出力 4kW 程度の太陽光パネルで、日照稼働率 10% とすれば 1 週間で充電可能である。なお、我が国の太陽光発電を設置している住宅は、2018 年に 322 万戸もある。巨大な蓄電池を保有する船会社は、陸上の電力システムの安定化に貢献する電力会社としても期待されると考えられる。

近い将来、再エネの固定価格買い取り制度(FIT)は終わり、市場取引される制度(FIP)に移行すると考えられる。人工知能(AI)搭載の EV や電池船に、例えば明朝 9 時までに 90% 充電しておくように命令しておく、その間に電気の売買で儲けているかもしれない。再エネが豊富で安い時間帯に充電し、高い時間帯に売って利益を出すのである。そして指定の 9 時に出かけようと車や船に乗ると、命令通りの充電率 90% になっている。しかも、災害時等の電源喪失時には最寄りの EV が、自動運転で病院等に駆けつけ電力供給してくれる時代が来ると信じている。

参考文献

- (1) 刑部真弘, [エネルギーと環境問題の疑問](#) 55, 成山堂, (2018).
- (2) 刑部真弘, 再生可能エネルギーを支える交通系蓄電池, 船用工業会誌「舶」, 278, (2018).
- (3) TESLA motors club
<https://teslamotorsclub.com/tmc/threads/pics-info-inside-the-battery-pack.34934/> (accessed on 21 August, 2018).
- (4) マッキンゼー報告書
<https://www.mckinsey.com/industries/oil-and-gas/our-insights/global-energy-perspective-2019>(accessed on 16 February, 2019).
- (5) 本間信吾, 安田克彦, 直流被覆アーク溶接利用への提言, 溶接技術, 10(2008), pp.110-117.