

大規模エネルギー貯蔵に適した蓄電池の本命は何か？ －大きなポテンシャルを秘めるレドックスフロー電池－

電力・新エネルギーユニット
新エネルギーグループ
吉田 昌登

はじめに

近年、先進国を中心に多くの国・地域が「2050年カーボンニュートラル」を宣言し、脱炭素社会の実現に向けて大きく舵を切っている。これを受けて、今後、世界中至るところで「再生可能エネルギー大量導入時代」の到来が予期されており、長時間サイクルで電力を出し入れできる大規模エネルギー貯蔵用の据え置き(定置)型蓄電池の重要性が一段と高まるものと予想されている。なかでも、とりわけ大きな期待を集めるのがレドックスフロー電池である。そこで本稿では、先ず、大規模エネルギー貯蔵用の定置型蓄電池の重要性が高まる背景を考察した後、レドックスフロー電池の構造と動作原理および技術特性を概説する。加えて、レドックスフロー電池の市場規模やコスト、世界の開発競争における日本企業のポジションや海外・国内の最新の導入事例を確認のうえ、さらなる普及拡大に向けて解決すべき課題を整理したい。

1. 大規模エネルギー貯蔵用蓄電池の重要性の高まり

(1) 太陽光・風力発電の導入拡大に伴い生じる電力系統上の諸問題への対応

太陽光・風力といった再生可能エネルギー発電は気象条件により出力が変動する変動制電源である。そのため、以下に挙げる特有の課題への対応が求められる。

余剰電力

電力需要の小さい季節や時間帯に再エネ発電の発電量が大きくなると余剰電力が生じる。近年、再エネ発電の導入規模の拡大に伴い、余剰電力量ならびにその変動も次第に大きくなっている。

ダックカーブ問題

1日のサイクルでみた場合、再エネ発電、特に太陽光発電の導入が拡大すると、朝夕の「みかけの需要¹」の変動速度が大きく、発電機の出力上げ/下げ変化速度の限界を超過する、いわゆる「ダックカーブ問題²」を引き起こす。

周波数の調整能力不足

再エネ発電の気象条件による出力の変動は電力系統の周波数を乱す要因となることから、電力事業者は適切な周波数を一定に維持する必要がある。従来は火力・水力・揚水発電で変動する周波数を調整してきたが、優先給電ルールの下では、再エネ発電量が増加した場合には、周波数の調整機能を有する火力発電の出力が優先的に抑制される。そのため、調整力の確保が課題となる。

¹ 総電力需要から再エネ発電を差し引いた需要量。系統運用者はこの需要量を常に発電量とバランスさせるように電力システム全体の需給調整を行っている

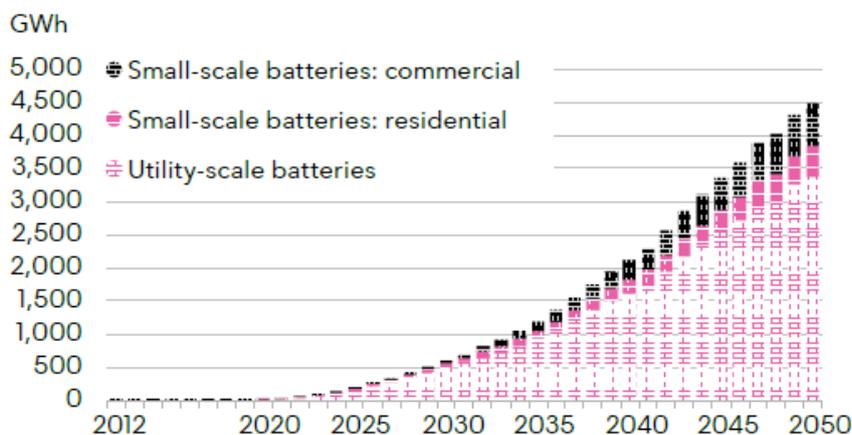
² 1日の電力需要量から太陽光発電の発電量を差し引いた「実質電力需要」がアヒルの形のように変動することに由来する

これら諸課題には様々な対策技術があるが、下表1のとおり「エネルギー貯蔵システムの充放電(定置型蓄電池)」は発電側・送配電側・需要家側の全領域をカバー可能と守備範囲が広く、費用対効果が高い対策と言われている。今後、定置型蓄電池は2020年代中頃から急速に普及拡大し、2050年には累計設備容量4,500GWhに達し、そのうち3/4超は電力系統用(Utility Scale)との予測もある(図1)。

対策技術	発電側		送配電側	需要家側
	大規模・集中	分散型		
集中型電源の調整能力向上	✓			
再エネ出力予測精度向上	✓	✓		
デマンド・レスポンス(DR)				✓
エネルギー貯蔵システムの充放電	✓	✓	✓	✓
再エネ発電の出力制御(抑制)	✓	✓		
広域需給運用			✓	

(出所) NEDO TSC Foresight vol.20を一部修正し筆者作成

表1 再生可能エネルギー電源の導入拡大により生じる電力需要上の問題への対策



(出所) Bloomberg New Energy Finance, “2019 Long-Term Energy Storage Outlook”³

図1 世界における定置型蓄電池の導入実績・見通し (商業・家庭・系統用、累計)

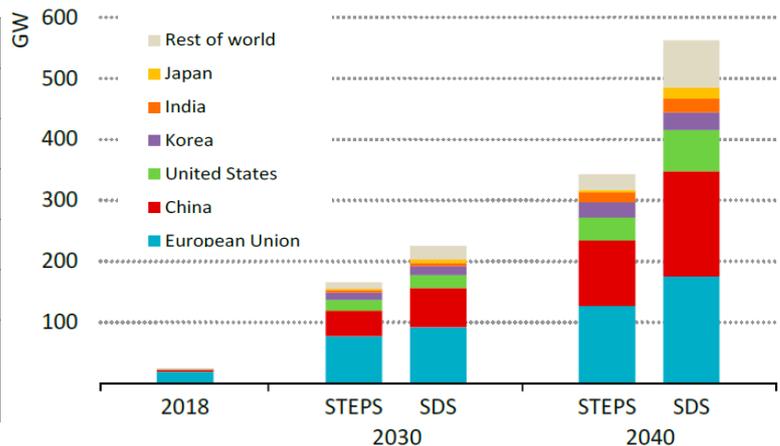
この再エネ発電特有の問題を深刻化させると予想されるのが、大量導入が計画される洋上風力である。2020年の一年間で、世界のCO₂排出量上位10カ国のうちの3カ国(中国(29%)・日本(同3%)・韓国(同2%))⁴を含む多くの国・地域が「2050年ネットゼロ」宣言を行った。脱炭素社会の実現には電力部門のみならず産業・運輸・工業部門を可能な限り電化することが不可欠だが、供給電力は「カーボンフリー」が求められる。欧州などエネルギーミックスに占める再エネ発電シェアが既に高い国々では、さらなる再エネ導入拡大の切り札として洋上風力の導入を計画しており、その規模はEU全体・英国・米国・中国・台湾の2050年導入目標の合計だけで500GW超と原子力発電所500基分にも相当する(表2、図2)。洋上風力の大量導入は脱炭素社会の実現に向けた現実解として理に適っているものの、発電量は自然条件に大きく左右されるうえに強風時には発電されたかなりの電力を捨てることになる。そこで、今後は大型の洋上風力発電により発電された電力の長時間サイクルでの出し入れに適した大型の定置型蓄電池の導入拡大が必要となる。

³ <https://about.bnef.com/blog/energy-storage-investments-boom-battery-costs-halve-next-decade/>

⁴ Shell LNG Outlook 2021

国・地域	2050年の洋上風力発電導入目標
EU	2030年： 60GW、2050年： 300GW
英国	2030年： 40GW、2050年： 100GW
ドイツ	2040年： 40GW
米国	2030年： 30GW (*)
中国	2020年： 5GW
台湾	2025年： 5.5GW、2035年： 15.5GW
日本	2030年： 10GW、2040年： 30~45GW

* 2021/3/29報道

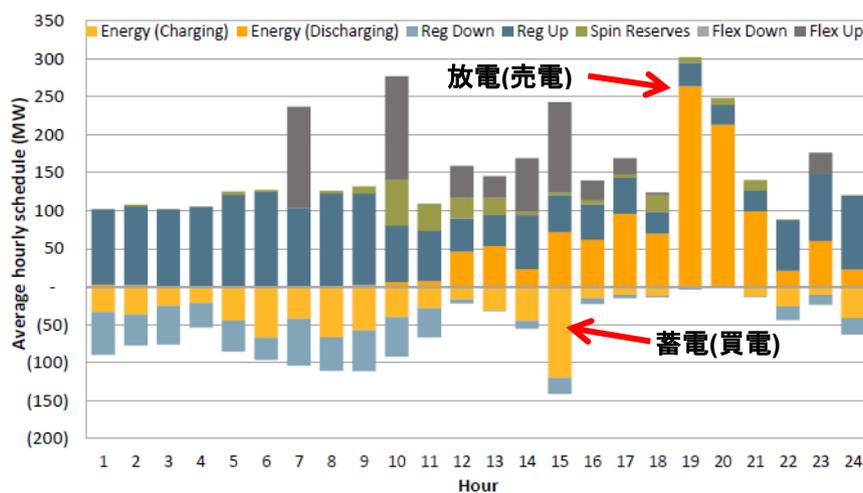


(出所) 洋上風力産業ビジョン(資源エネルギー庁)を基に筆者作成 (出所) Offshore Wind Outlook 2019 (IEA, November 2019)

表2 各国の2050年洋上風力発電導入目標

図2 洋上風力発電の導入実績・見通し(国・地域別)

定置型蓄電池の導入には経済的インセンティブも働いている。欧米諸国では、期初の普及促進を目的とした再エネ電力の固定価格買取制度は廃止されている。かわりに、再エネ電力と卸電力市場との統合を企図として再エネ発電事業者が送電網に優先的に接続できる仕組みが整備されており、電力取引市場において適切なタイミングで電力を販売することが可能となっている。英国は入札で決めた固定価格と市場価格の差額を政府が補填する差額決済契約を、ドイツは再エネ発電事業者による市場価格での売電に割増金(補助金)を上乗せする方式を導入している。また、米国CA州は、電力事業者にエネルギー貯蔵技術の調達義務(州法AB2514)を課し、かわりに定置型蓄電池の電力取引市場への参加を認めている。そのため、電力価格が安い時間帯には蓄電し、夕方～夜間など電力需要が逼迫し価格が高騰する時間帯に放電(売電)することで事業者自らが能動的に収益を上げる動きが活発化している(図3)。米国CA州では電力取引市場に参加する蓄電システムは年々増加しており、2020年第三四半期末時点で400MW規模にまで達している⁵。



(出所) CAISO, Q3 2020 Report on Market Issues and Performance

図3 米国CA州における毎時間の蓄電システムスケジュール (2020年9月5-6日)

⁵ CAISO (February 4, 2021), “Q3 2020 Report on Market Issues and [date of publication] Performance,” <http://www.caiso.com/Documents/2020ThirdQuarterReportonMarketIssuesandPerformance-Feb4-2021.pdf>, pp.125-126

(2) 化石燃料由来の火力発電のフェードアウト

「調整力」の担い手も変わろうとしている。世界の国・地域により脱炭素化の実行スピード・手法はさまざま異なるが、前述のとおり、これまで調整力を担ってきた火力発電の優先給電ルールの下での出力・運転台数の抑制に加えて、環境適合の観点から、化石燃料由来の火力発電そのものを市場からフェードアウトさせるべきという論調が広がっている。欧州委員会はEUタクソミーを2019年6月に公表したが、このなかで原子力発電に加えて、CO₂回収・貯蔵(CCS)無し天然ガスおよびCCS付き石炭火力発電を持続可能な金融の観点からの適合技術リストから除外した。EUタクソミーに強制力は無いものの、これは脱炭素化に向けた大きな潮流といえる。化石燃料由来の火力発電は中長期的にフェードアウトが避けられない状況にあり、かわりに「調整力」を担うものとして大型の定置型蓄電池に大きな期待が寄せられている。

以上のように、エネルギー貯蔵に適した大型の定置型蓄電池の需要は今後一段と高まると思われるが、なかでも筆者が注目するのは日系企業も強みを有するレドックスフロー(RF)電池である。次項では、RF電池の構造・動作原理、技術特性および世界の開発動向を概説する。

2. レドックスフロー電池とは

(1) 構造と動作原理

電池は、スマートフォン・パソコンに内蔵する「民生用」、クルマに搭載する「車載用」、送電網安定化や電力貯蔵に利用する「定置型」に大きく分類されるが、RF電池は専ら定置型で利用されている。RF電池は電解液循環(フロー)型の電池であり、外部タンクに貯めた電解液をイオン交換膜で隔てた正負電極にポンプで循環させることでイオンの酸化還元反応を進行させて充放電を制御する。正負電極は薄多孔質の炭素材であり、正負極で同じ電解液を用いる(図4)。単位電解セルあたりの起電力は1.4Vと低いため、直列に複数接続して積層しセルスタックを形成し実用的な電圧を得る(図5)。従来からのプラント型に加えて、輸送・施工コストや設置面積の低減を目的に開発されたコンテナ型が商用化されている(図6)。

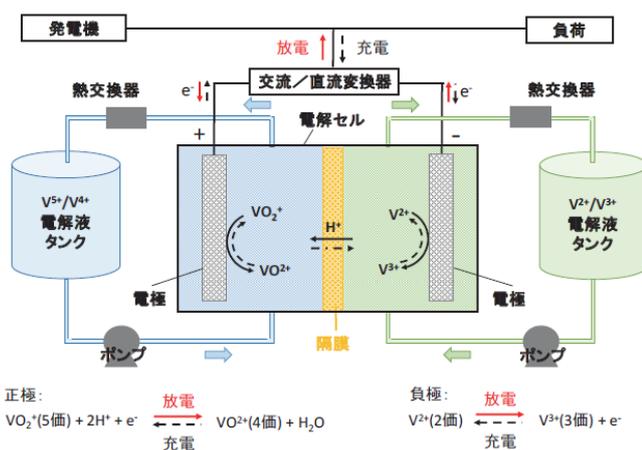


図4 レドックスフロー電池の構造と動作原理⁶

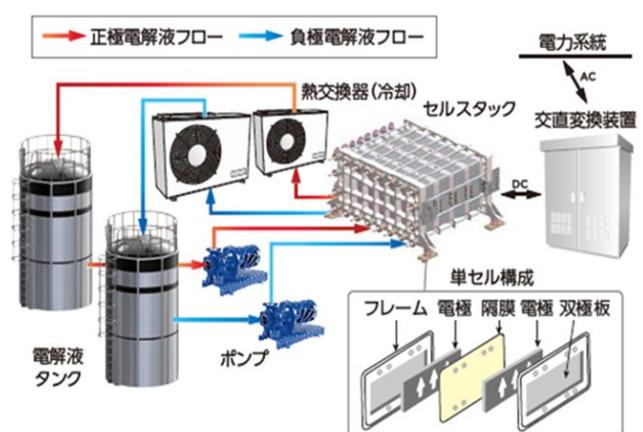


図5 セルスタックの構成詳細⁷

⁶ 国立研究開発法人科学技術振興機構低炭素社会戦略センター(2017年3月)、「低炭素社会の実現に向けた技術および経済・社会の定量的シナリオに基づくイノベーション政策立案のための提案書」、技術開発編、蓄電池システム(Vol.4)ーレドックスフロー電池システムの構成解析とコスト評価ー

⁷ 住友電工、レドックスフロー電池カタログ、https://sei.co.jp/products/redox/pdf/Redox_Flow_Battery.pdf



プラント型



コンテナ型

図6 レドックスフロー電池システム外観(プラント・コンテナ型)⁸

(2) レドックスフロー電池の技術特性 (表3、図7、図8)

下表3ではRF電池の技術特性を其他蓄電池と比較してみた。RF電池は以下の優れた特性を有する。

電池種別	レドックスフロー (バナジウム電解液)	リチウムイオン	NAS電池	鉛蓄電池
活物質 (正極/負極)	Vイオン/ Vイオン	Liイオン含有金属複合酸化物/ 炭素	硫黄/ ナトリウム	二酸化鉛/鉛
理論エネルギー密度 (Wh/kg)	100	392~585	786	167
耐久性	◎ (20年超) 不規則な充放電にも高い耐久性	○(10年程度) (充放電7000回)	○(10年程度) (充放電4500回)	◎(15~17年) (充放電3000回)
安全性	◎ (発火の心配なし/電解液は難燃性)	× (発火し易い)	× (高温(300℃)作動)	× (希硫酸・鉛は有害)
拡張性	◎(大型化に最適) (出力/容量を自由に設計可能)	○(大型化可能) (出力/容量はリニアに増加)	○(大型化可能) (出力/容量はリニアに増加)	×(大型化に不向き)
充放電時間	◎長時間にも対応可 (24時間蓄電/24時間放電可能)	△ 高速/大出力の充放電可能	○ RFとリチウムの間	× 短時間
出力	◎(短時間では定格出力の10倍程度 の放電が可能)	◎(高出力)	◎(長時間/高出力)	◎(短時間/高出力)
充放電効率	△ 電池単体: 75% システム全体: 70%	◎ 95%	◎ 電池単体: 85% システム全体: 75%	◎ 80~90%
主な補機	循環ポンプ	特になし	ヒーター	特になし
資源制約の有無	△(バナジウム)	×(リチウム)	◎(特になし)	◎(特になし)
特長 (長所○ / 短所×)	○充電残量の計測が容易 ○電解液は半永久的に再利用可能 ○安全性高く、市街地設置可能 ×電流損失あり	○民生用で実績多数 ○高エネルギー密度 ○高充放電効率 ○自己放電小さい ×安全性(発火可能性あり) ×大型化不向き(材料コスト高) ×過放電/過充電に弱い	○電力貯蔵用で実績多数 ○大容量・省スペース化可能 ○自己放電なし ○低コスト(レアアース不要) ×発火リスク(300℃保温要) ×保温のために電力を消費	○車載用等で実績多数 ×大型で重い ×人体に有害 ×自己放電あり

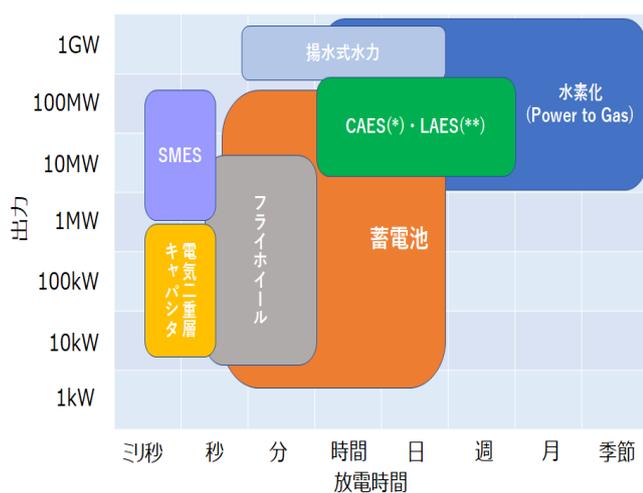
(出所) 重松⁹、NEDO TSC Foresight vol.20¹⁰等を基に筆者作成

表3 定置型蓄電池の技術特性の比較表

⁸ 住友電工、製品情報、<https://sei.co.jp/products/redox/>

⁹ 重松敏夫、電力貯蔵用レドックスフロー電池、2011年7月・SEIテクニカルレビュー・第179号、<https://sei.co.jp/technology/tr/bn179/pdf/sei10674.pdf>

¹⁰ 国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)、TSC Foresight vol.20(2017年7月)、電力貯蔵分野の技術戦略策定に向けて、<https://www.nedo.go.jp/content/100866310.pdf>



(出所) NEDO TSC Foresight vol.20 (2017年7月)を修正のうえ筆者作成

図7 各エネルギー貯蔵技術の出力・放電時間



図8 各用途に必要な出力・放電時間

優れた耐久性

まず最初に、優れた耐久性が挙げられる。現在最も普及するバナジウム電解液RF電池(VRF電池)¹¹は、充放電反応は電解液中のバナジウムイオンの価数変化のみで電極の溶解・析出を伴わないため劣化が少なく、長寿命で充放電回数は無制限である。この特性を活かした場合、利用期間が長くなればなるほどリチウムイオンといった他の定置型電池に対してライフサイクルでのコスト競争力を有することになる。また、不規則な充放電に対しても高い耐久性を有するため、今後、国内でも大量導入が見込まれる洋上風力発電のような発電量の変動が大きく予測もしづらい発電方法との親和性が高い。また、バナジウム電解液は充放電により劣化しないため半永久的に利用可能である。リサイクルによる再利用も可能であり、電解液をリース・レンタルする(操業費用とする)ことで初期導入コストを大幅に抑えることも可能である。

極めて高い安全性

リチウムイオン電池やNAS電池は可燃性材料を用いるために発火の危険性が高い。それに対して、RF電池の電極・電解液は不燃性あるいは難燃性のため発火の心配がない。また、常温運転のため安全性が極めて高い。数時間から最長で数日単位といった長時間の充放電が可能のため、大規模な再エネ発電の系統安定化に適している。高い安全性により市街地にも安心して設置可能なため、RF電池は再エネ大量導入による脱炭素社会において重要な役割を担う大きなポテンシャルを有する(6章参照)。

高い拡張性 (図9)

電解液タンク(容量(kWh))とセルスタック(出力(kW))の独立設計が可能であり、要求される充放電時間に応じて容量/出力をフレキシブルに設計可能である。他の蓄電池の場合、容量を増やすと出力も同時に高まるが、RF電池は電解液の増設により出力を抑えつつ容量だけを増やすことが可能である。8時

¹¹全 RF 電池のうち、全バナジウム電解液系が約 58%を占める、IDTechEx (June 2020),

<https://www.idtechex.com/en/research-report/redox-flow-batteries-2020-2030-forecasts-challenges-opportunities/723>

間超といった長時間の充放電を可能にすべく大型化すればするほど、リチウムイオン電池といった他の定置型電池に比べてコスト競争力が増すことになる(反対に、リチウムイオン電池はレアメタルであるリチウムを電極に用いており、大型化により原料コストが大きく嵩み競争力を失ってしまう)。

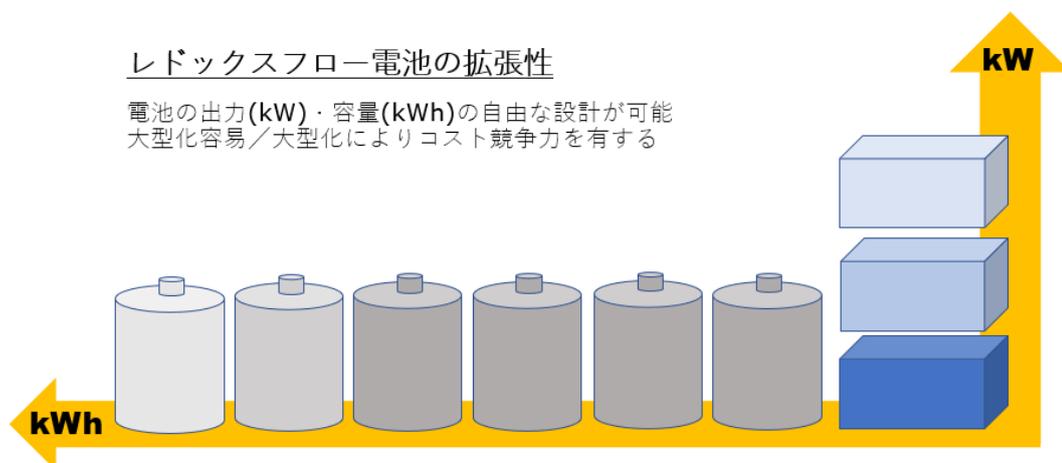


図9 レドックスフロー電池の拡張性の概念図

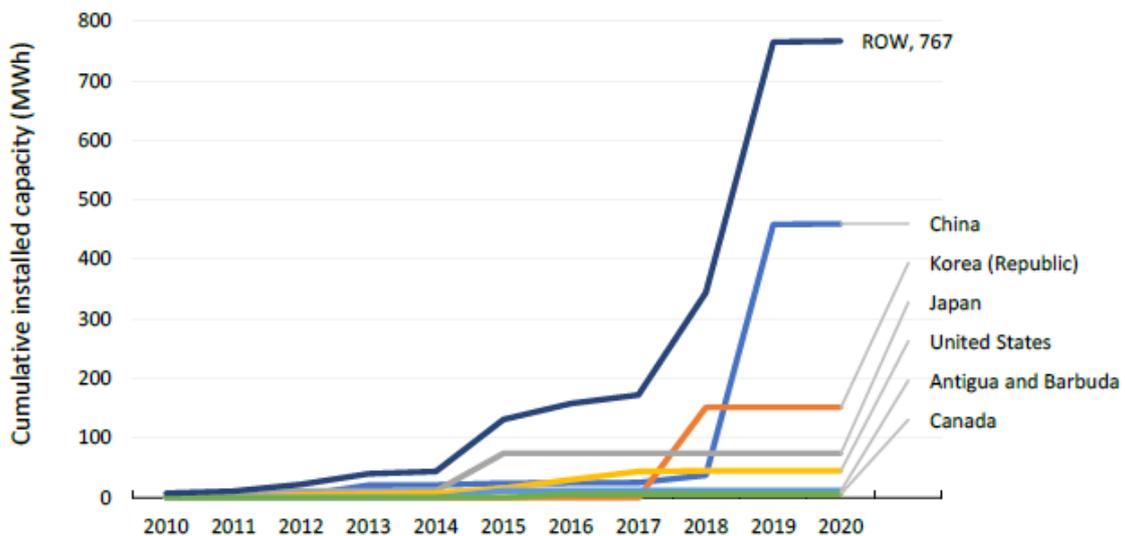
長時間の充放電サイクル・ミリ秒単位での高出力

一般的にリチウムイオン電池はミリ秒単位の短期の充放電に強みがある。一方、RF電池はミリ秒単位であれば定格出力の10倍程度の放電が可能であるのに加えて、前日24時間蓄電による翌日24時間放電といった長時間の充放電が可能であり、大型の洋上風力といった長時間の充放電が必要な再エネへの併設にも適している。また、近年被害が甚大化している自然災害への対応を想定した場合、非常時のバックアップには少なくとも24~48時間といった長時間の連続充放電が必要なところ、RF電池はそれにも対応可能である(比較として、リチウムイオン電池やNAS電池では技術特性上、数時間の充放電に適する)。安全性と併せ、「2050年カーボンニュートラル」の実現に向けての再エネ発電の大量導入時に必要な系統安定化機能の提供という点において、RF電池は特に優れた技術特性を有している。

一方、短所としては、電解液はタンク外出しのためエネルギー密度が低い点、充放電効率が70%程度と他の定置型電池と比べて低い点に加えて、レアメタルであるバナジウム確保の問題がある。このうち、充放電効率に関しては、10%程度はポンプにより電解液を循環させる際のロスのため、うまく管理することで80%近くにまで改善が可能とみられている。また、バナジウムの資源制約についても、バナジウム以外のさらに効率を高めた電解液の開発や、国際市況に左右されないバナジウムの安価で安定的な確保の実現に向けた取り組みも進められている(5章で詳述)。

3. 市場規模／コスト／世界の開発競争における日本企業のポジション

(1) 市場規模

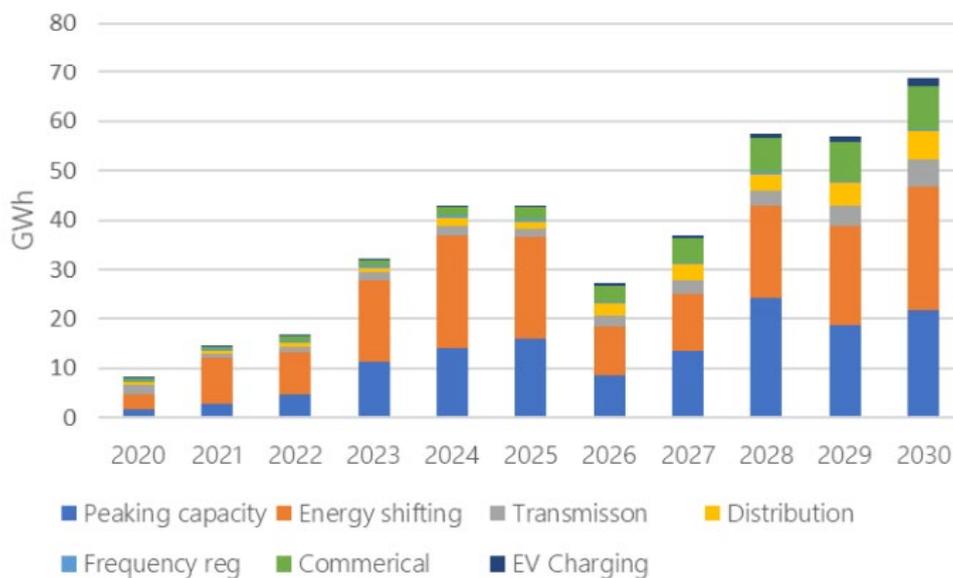


(出所) Bloomberg New Energy Finance (2020), “Storage Data Hub - Storage Assets”

(注) ROW: Rest of the World (世界その他国・地域)

図10 世界におけるレドックスフロー電池の導入設備容量累計(国別、2010-2020年)

まず、RF電池の普及状況を確認したい。図10は世界で導入されたRF電池の累計設備容量を示している。RF電池は2018年から2019年にかけて急激に普及拡大しており、その牽引役は中国と韓国である。



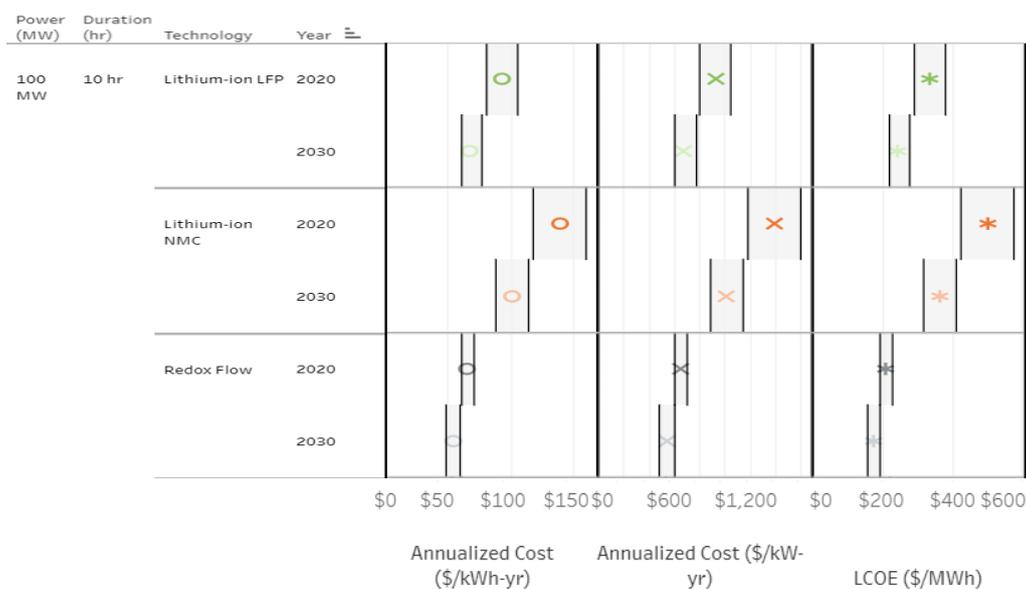
(出所) J. Frith, “Emerging Energy Storage Technologies,” Bloomberg New Energy Finance (2020)

図11 レドックスフロー電池市場の見通し (2020-2030年)

上図11は、RF電池市場の長期見通しを示したものである。RF電池市場は今後も継続して成長が見込まれており、2030年には容量が約70GWhに達する見通しである。エネルギーシフト(図中のEnergy Shifting)およびピーク需要の提供(同Peaking capacity)が主な用途と予測されている。

(2) コスト

RF電池の導入がこれまで進まなかった最大の要因は初期導入コストであるが、既に他の定置型蓄電池の1.2～1.3倍まで低減されている。また、8時間超といった長時間サイクルの充放電/長期ライフサイクルを前提とした大規模システムの場合、電解液込みで6万円/kWh¹²は射程圏内にあり、電解液をリリースして設備投資費から除外した場合には実質的に4万円/kWhを下回るとみられる。2030年に向けたコスト見通しについては、米国エネルギー庁の支援を受けて米国Pacific Northwest National Laboratoryが行った分析が参考になる。出力100MW、充放電時間10時間で比較した場合、年間発電コスト(\$/kWh, \$/kW)・均等化発電コスト(LCOE, \$/MWh)ともに、RF電池は優れたコスト競争力を有することが示唆されている(図12)¹³。



(注) LCOE(\$/MWh)はAnnualized Costを年間アウトプット(kWh)で除して算出

図12 大規模定置型蓄電池のコスト見通し(2020年および2030年)

(3) 世界の開発競争における日本企業のポジション

大型の定置型電池に適した技術特性を有するRF電池の需要は年々高まっている。RF電池の製造メーカーは現在全世界で50～70社と乱立しており、業界内におけるメーカー同士の統廃合が近年進んでいるが、システムの質と実績において、住友電工(日本)、Invinity Energy Systems社(英国)、Schmid Group(ドイツ)および北京普能世紀科技有限公司(VRB Energy)等が頭一つ先行している。洋上風力発電の併設用途など定置型電池は大型になるほど現場での技術確認が必要となる。近年、全固体電池や全樹脂電池の早期商用化が期待されているが、現場での技術確認が既に大きく進んでいる点において、RF電池はそれら次世代蓄電池に比べて3～5年は先行しているものとみられている。特に住友電工は、1980年代から開発に着手するなど技術開発の歴史が長く、既に世界各地で実証を行っており、実用品の納入実績も豊富であるなど競合他

¹² 経済産業省の「ソーラーシミュラリティの影響度に関する調査」報告書に拠れば、蓄電池価格が6万円/kWhを下回れば、蓄電池を導入しないよりも導入した方が経済的メリットのある「ストレージパリティ」が達成可能としている

¹³ Pacific Northwest National Laboratory, “Energy Storage Cost and Performance Database,”

<https://www.pnnl.gov/ESGC-cost-performance>

社に比べ優位なポジションを築いている。他方、リチウムイオン電池同様、VRB Energyや大連融科儲能技術発展有限公司(Rongke Power)等の中国メーカーが多数参入し、競争環境は一段と激化している(表4)。

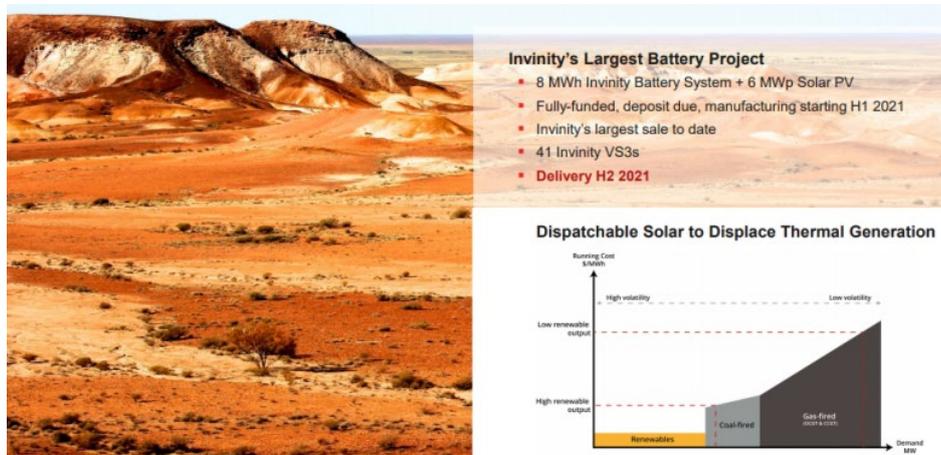
メーカー	出力	容量	備考
住友電工(日)	250kW	750kWh(3hr)~1.5MWh(6hr)	1モジュール仕様
Invinity Energy Systems(英)	78kW~10MW	220kWh~40MWh	25年超稼働可能
Schmid Group(独)	5kW~60kW	30kWh~200kWh	1モジュール仕様
Volterion(独)	2.5kW~15kW	13kWh	20年超稼働可能
北京普能(中)	250~500kW	4MWh~80MWh	GW級(最大出力250MW、10hr)も開発

表4 世界のRF電池メーカーと製品ラインナップ

4. RF電池の導入事例

定置型の大型RF電池は中国・米国・豪州・欧州などで導入が進んでいる。背景には、前述のRF電池製造メーカーの増加やコスト低減の進展に加えて、充放電時間の長期化ニーズの高まり(洋上風力などの大規模化により充放電時間は2~3時間から8~48時間へと長時間化。RE100加盟企業の世界的増加とBCP対応の進展による長時間充放電が可能な大型・定置型蓄電池への需要の高まり)といったことが考えられる。

海外での導入事例として、2020年12月、南豪州におけるInvinity Energy Systems社製のRF電池(容量8MWh)の太陽光発電所(設備容量6MW)への併設が発表された。ARENAより570万豪ドルの支援を受け、2021年下期に納入予定である¹⁴(図13)。また、将来の需要拡大を見越した動きとして、2020年6月、Schmid GroupはNusaned Investment社(SABIC社の投資子会社)と合弁でサウジアラビアでのVRF電池製造工場と研究開発拠点設立を発表した。年産3GWhと世界最大級の製造能力を有する見通しである¹⁵。



(出所) Invinity Energy Systems社¹⁶

図13 南豪州における系統接続用大型RF電池導入事例 (Yadlamalka Solar + Storage Project)

¹⁴ ARENA (11 November 2020, Press Release), "First grid scale flow battery to be built in South Australia," <https://arena.gov.au/news/first-grid-scale-flow-battery-to-be-built-in-south-australia/>

¹⁵ Schmid Group (6 May 2020, Press Release), "Everflow JV to manufacture Vanadium Redox Flow Batteries (VRFB) in KSA," <https://schmid-group.com/en/schmid-group/news-events/press-releases/everflow-jv-to-manufacture-vanadium-redox-flow-batteries-vrfb-in-ksa/>

¹⁶ Invinity Energy Systems (December 2020), "Production Flow Batteries," https://invinity.com/wp-content/uploads/2020/12/Invinity-Corporate-Presentation-Nov20_WEB.pdf

日本国内では、北海道電力が住友電工と共同で基幹系統である南早来変電所に大型(定格出力15MW、蓄電容量60MWh)のRF電池を設置し、再エネの出力変動に対する新たな調整力としての性能の実証および最適な制御技術の確立を目的に、2016年2月～2019年1月の3年間の実証試験を行った¹⁷。北海道電力では本件の実証データを活用し、系統に接続する定置型蓄電池による風力発電の導入可能量の引き上げを検討し、2017年3月には360MWhの蓄電池の設置(共同負担)を前提に600MWの風力発電設備の新規連携枠の募集を公表した¹⁸。当該実証を経て、2020年7月、北海道電力は住友電工にRF電池システム(設備容量：510MWh(170MW x 3時間))を発注しており、2022年3月までに完工予定である¹⁹ (図14)。



(出所) 日経BP社 「次世代電池2018」

図14 北海道電力が導入予定の大型レドックスフロー電池システム予想図

5. 課題

RF電池のさらなる普及拡大への鍵は「コスト低減」である。コスト低減に向けては、大きくは電池効率の改善(2.(2)参照)とバナジウムの安価で安定的な確保がある。下図15はVRF電池の電池コストの内訳と電解液の原価構成を示したものであるが、電池コストのうち約40%は電解液コストである(充放電時間を長くするにつれて電解液の割合はさらに大きくなる)。また、電解液原価のうち約45%が主原料のバナジウムである。レアメタルであるバナジウムの産出国は中国・ロシア・米国などに限られ、原料確保はそれらの国々からの輸入に頼っている。価格変動は大きく、特殊鋼用途に大量に利用する鉄鋼業界の需要の影響を受けて価格が高騰しやすい²⁰。これが、車載用や民生用として普及が大きく進んでいるリチウムイオン電池が再エネ発電のエネルギー貯蔵に利用されてきた一因となっている。

¹⁷ 一般社団法人 新エネルギー導入促進協議会 (2018年2月)、「南早来変電所における大型蓄電システム実証事業について」、https://www.nepc.or.jp/topics/pdf/180320/180320_9.pdf

¹⁸ 日経クロステック(2017年8月9日)、「北の大地に稼働した「大型レドックスフロー電池」の成果」、<https://xtech.nikkei.com/dm/atcl/feature/15/415282/080700019/>

¹⁹ 住友電工プレスリリース(2020年7月14日)、「北海道電力ネットワーク(株)からレドックスフロー電池設備を受注、」<https://sei.co.jp/company/press/2020/07/prs078.html>

²⁰ 過去には市場価格が平常時の7～8倍と大きく高騰したこともあった

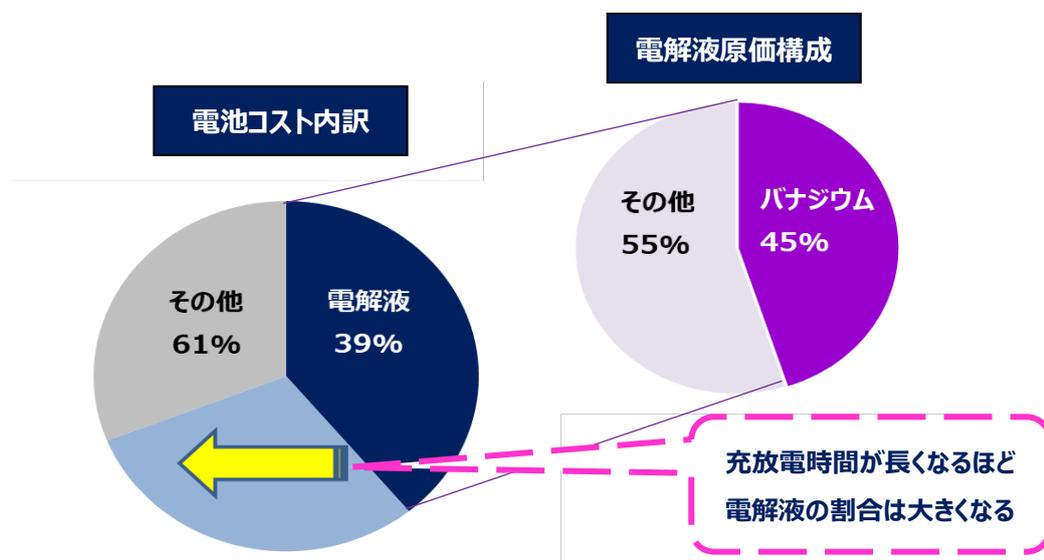
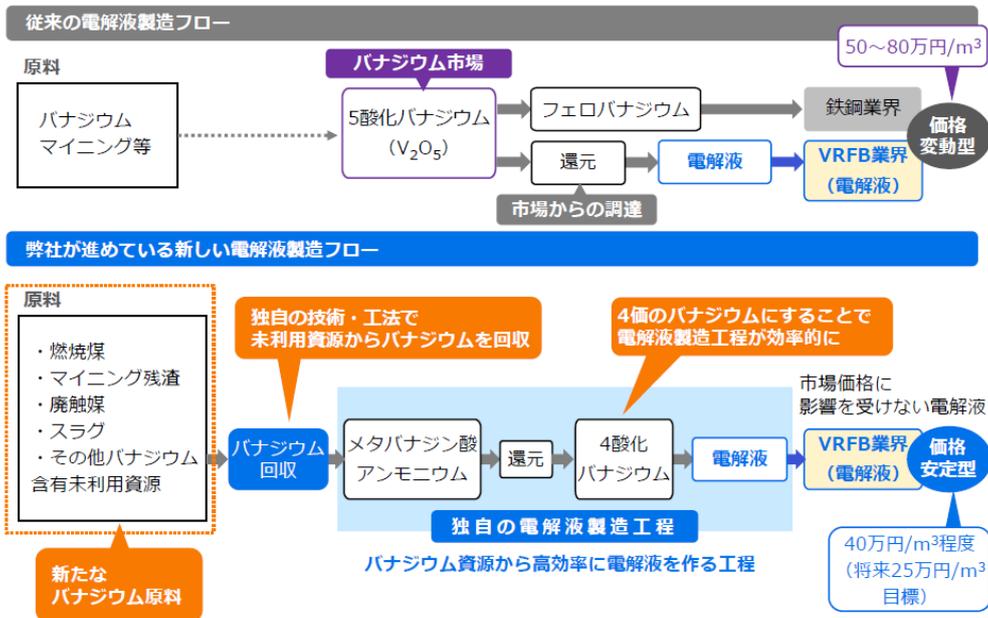


図15 バナジウム電解液RF電池のコスト内訳および電解液原価構成のイメージ図

電解液コストの低減に向けて、住友電工はバナジウムの代替としてチタンやマンガンを使ったRF電池の開発にも取り組んでいる。ただし、RF電池の本格的な普及拡大を見据えた場合、既に技術的に確立されているバナジウムの安定的な調達は優先的に取り組むべき課題といえる。バナジウム電解液のコスト低減に向けた取り組みとして、バナジウム電解液製造ベンチャーであるLEシステム社(福岡県久留米市)は、石油コークス・火力発電所の燃焼煤・鉄鉱石のマイニング残渣・廃触媒・スラグといったバナジウムを含む廃棄物や未利用資源からのバナジウム回収技術、および回収したバナジウムから効率的に電解液を製造する技術を独自に開発した。原料確保に向けて国内企業とパートナーシップを組み、国際商品市況の影響を受けないバナジウムを回収することで、1キロリットルあたり50～80万円を要していたバナジウム電解液の価格を半分程度に下げることが可能²¹となるとともに、安定供給が可能となる(図16)。同社技術はNEDO資金による国内実証を既に終了し商用化を目指す段階にある。現在、福島県浪江町にて建設中のバナジウム回収プラント・電解液製造工場は2021年8月に完成予定であり、稼働後には500万リットル/年の電解液を国内メーカーに出荷する計画である。国内外での再エネ普及拡大を見据えて、国内では今後山口他に工場を展開することで2025年を目途に2,000万リットル/年まで増産する計画であり、海外ではマイニング残渣などの未利用資源の豊富な海外拠点においてバナジウム回収から電解液製造までを一気通貫で行う準備も進めている。同社の回収技術を用いた場合、RF電池のコストは2～3万円/kWhまで低減可能²²であることから、太陽光発電等での蓄電池導入のハードルを下げることもなる。他方、海外からのバナジウムの調達は困難に直面しつつある。世界的なRF電池需要の高まりを背景に国際バナジウム市況は既に高騰し始めている。特に、バナジウム含有率の高いマイニング残渣の奪い合いは激化しており、民間企業による海外からのマイニング残渣の調達は厳しさを増している。

²¹ 日本経済新聞電子版(2021年4月16日)、「LEシステム、長寿命・安全な蓄電池の電解液量産 福島で」、<https://www.nikkei.com/article/DGXZQOJC089I60Y1A400C2000000/>

²² 同上

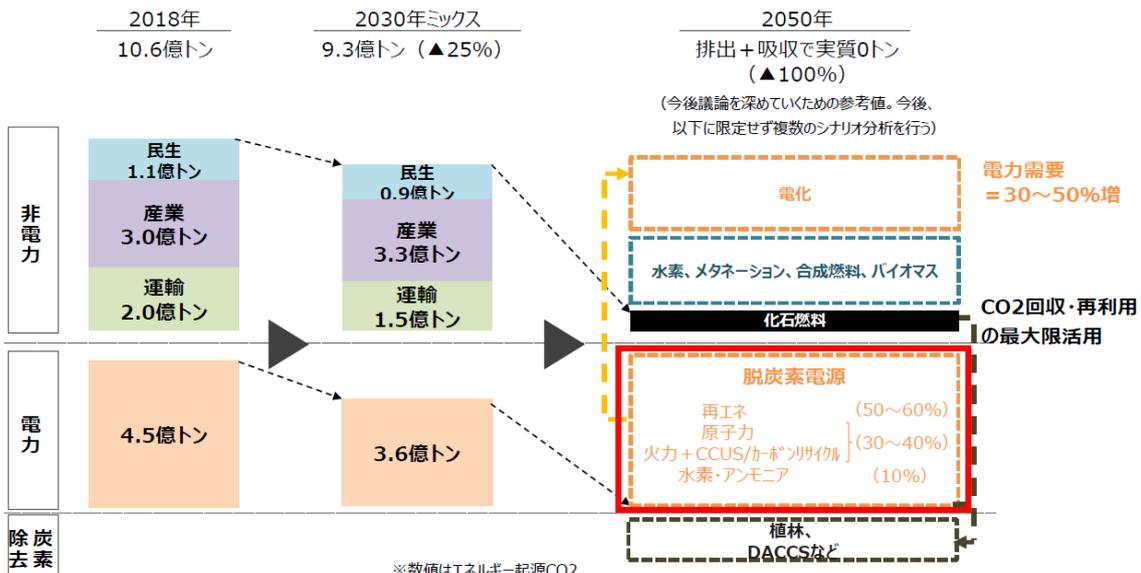


(出所) NEDOベンチャービジネスマッチング会プレゼンテーション資料 (LEシステム社)

図16 革新的なバナジウム電解液の製造フロー

6. 再エネ比率を高めたRE100型の地方自治体モデルの実現

2章では「RF電池は再エネ大量導入による脱炭素社会において重要な役割を担う大きなポテンシャルを有する」と述べた。日本政府が目指す「2050年カーボンニュートラル」はハードルが高く、並大抵の努力では実現は困難である。下図17は政府により示された2050年カーボンニュートラルへの転換イメージであり、2050年断面の脱炭素電源として再エネで50～60%、原子力および火力(+CCU(S)/カーボンリサイクル)で30～40%、水素・アンモニアで10%という構成が呈示されている。原子力発電所の更新・再稼働が困難な場合には再エネの上積みが必要であることを踏まえると、これまでの火力発電中心の集中型都市モデルから、再エネ中心の分散型・地方自治体モデルへの転換といった大胆な発想の転換が必要と思われる。



(出所) 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)

図17 2050年カーボンニュートラルへの転換イメージ

この「2050年カーボンニュートラル」宣言に歩調をあわせて、今後、地方自治体による「カーボンゼロ計画」の策定・公表が増加するものと予想される。乗り越えるべき課題は多いが、大胆な発想の転換による一つの可能性として、大型の定置型蓄電池を中心とした100%太陽光発電による再エネ自給自足によるRE100型モデルが考えられる。蓄電池は市街地に据えるため、発火の危険性がなく極めて安全性が高い必要がある。また、単に再エネの利用促進だけに留まらず、BCP対応の非常用蓄電の観点からは、自然災害の発生時にも電力の供給途絶による公共サービス機能を停止させることはできず、2~3日間といった長時間サイクルの充放電が必要である。先に述べた技術特性を踏まえると、VRF電池の適応性は極めて高い。

また、国内卸電力市場(JPEX)に注目した場合、春・秋や週末といった電力需要が少ない時間帯に電力価格が0.1円/kWhとなるケースが増えており、これら電力価格の低いタイミングで蓄電し、電力価格が高い時間帯に蓄電した電気を利用するといった用途が今後増加していくものと予想される。この場合にも、長時間にわたり電力を貯めることで価格優位性が発揮されやすいVRF電池への期待が一段と高まるものと予想される。

さらに、持続可能性の観点からは、資源をリサイクルすることで循環型社会の実現にも寄与することが望ましい。このような技術特性を有するのがRF電池であり、脱炭素社会の実現に向けてRF電池が担う役割は今後ますます大きくなるものと期待される。

おわりに

世界の国・地域は「2050年ネットゼロ」の実現に向けて大きく舵を切っており、この潮流は今後加速こそすれ、もはや不可逆といえる。CO₂を排出しない新エネルギーとして水素社会の到来に大きな期待が寄せられているが、依然としてコストは高く、一段のブレイクスルーがなければ、安価で安定的な供給網の実現に相応の時間を要する見通しにある。そのため、現実的なソリューションとして、多くの国・地域では再エネの主力電源化方針が掲げられている。かかる再エネ大量導入時代を見据えた場合、安全で耐久性が高く、長時間の充放電時間が可能であり、電力系統向けに大型化も容易な定置型蓄電池の普及拡大が不可欠とみられている。

日本政府も2020年10月に「2050年カーボンニュートラル」を宣言した。現在、第6次エネルギー基本計画の策定を進めているところであるが、柱となるのは洋上風力を中心とした再エネの主力電源化である。これまで述べてきたとおり、再エネのさらなる普及・拡大には蓄電池の普及・拡大が不可欠であるが、蓄電池産業の育成や電解液まで含めた産業の裾野の拡大に加えて、日本の蓄電池メーカーの国際競争力の維持・強化のための政策支援がこれまで以上に必要となる。また、RF電池など多くの蓄電池に関しては、一部の国に偏在し国際市況の変動に影響を受けやすいレアメタルの確保という資源制約の問題にも直面している。RF電池のコスト低減・価格安定化に向けて、これまでは必ずしもハイライトされていない資源としてのバナジウムの確保に向けて官民一体となって取り組む必要がある。

お問い合わせ : report@tky.ieej.or.jp