

電力貯蔵による 電力システムの 柔軟性確保

著者：瓜生田 義貴

電力システム改革によってこれまで一体であった「電気を作る」「電気を送る」「電気を売る」機能が分離されようとしている。これは制度に起因する大きな変化であるが、技術上でもこの変化を加速する可能性として近年進展している電力貯蔵の技術がある。電力貯蔵自体は古くからあるアイデアであるが、このバッファをシステムに導入することで「(再生可能エネルギーの導入と需給ピークの平準化により)世界中の発電所の数は現在の半分でよくなる」(テスラCEO)という世界が実現に向けて動きだしつつある。

電力の需給におけるムダ取り

東日本大震災以降にベースロード電源、ピーク電源という言葉が一般的になってきたように、電力の需要は時間帯・季節によって実に変動が大きく、その脈動に対応できるよう電力会社は発電設備を各種取り揃えて対応してきた。たとえば、ある1日の中でも日中と夜間での電力需要の変動は大きく、季節間で見ても夏と冬の間ではピーク需要に大きな差が存在する。電力会社は年間のピーク需要を満たせる容量まで発電能力を積み上げた結果、年間の稼働日数が数日という発電所も多く存在している。

近年、急速に太陽光や風力発電設備の新設がなされているが、これらの発電方式の課題は、出力が太陽任せ・風任せで出力変動が全く読めないという点にある。従来の系統に接続しようとしても、他の発電所で需要変動を吸収する必要がある点や、従来想定されていなかった大容量の電力が末端の配電網に入力されるためハード上の不都合が生じる点から新電源の潜在力をフルに活かしきれないでいる。

この需要変動の山谷を平準化するアイデアとして電力貯蔵の考え方は古くから存在し、現に1900年から揚水発電という形で実現されてきた。その後しばらくそのほかの実用的選択肢は特に存在しなかったが、近年の各種電力貯蔵技術の進歩により、その選択肢や可能となる適用範囲が格段に広がってきている。

目的に合わせた複数のエネルギー貯蔵手段

エネルギー貯蔵の手段を比較する際には、用途に応じて変換効率、費用、貯蔵能力(出力・容量・密度・放電時間)を考慮することが重要となる。各エネルギー変換の方式毎にそれぞれの長所・短所を概観してみたい(図表1参照)。

(1) 力学的エネルギーに変換

- **揚水発電**：夜間のベースロード電源を用いて水を高所にくみ上げ、昼のピーク需要時の発電に活用されている。高出力・大容量の貯蔵が可能な最も成熟した技術であるが、立地が限定される上、初期コストがかかる。
- **圧縮空気貯蔵**：電力を用いて空気を天然の地下岩塩ドーム等に(ガスと共に)圧縮して保存し、ピーク需要時にガスタービンにて発電を行う。大容量の貯蔵が低コストで可能であるが、立地が限定される上、初期コストがかかる。
- **フライホイール**：回転エネルギーの形で電力を保存する。高出力、長寿命でメンテナンスフリーであるが、エネルギー貯蔵密度は低くまた精密加工の技術が求められる。

瓜生田 義貴 (うりうだ・よしとか)

yoshitaka.uriuda@
strategyand.jp.pwc.com

Strategy& 東京オフィスのマネージャー。
エネルギー・製造業を中心とした幅広いクライアントに対する海外進出戦略、
中期経営計画策定などの戦略策定
および実行支援のプロジェクトを手掛ける。

図表1：代表的電力貯蔵技術の特徴

		変換 効率	費用	貯蔵能力(現状最大規模の例)			
			投資	出力	容量	密度	定格出力 での放電時間 (レンジ)
			万円 /kW	MW	MWh	Wh /kg	
力学的	圧縮空気貯蔵	80%	~10	100	2,800	-	日
	高出力フライホイール	95%	-	20	5	-	分
	揚水貯蔵	85%	~1	3,000	30,000	-	時間
電気化学的	リチウムイオン電池	90%	~15	25	50	1,200	時間
	フロー電池	60%	~7	25	75	10~30	時間
化学的	水素	60%	-	-	-	-	-

出所：各種資料よりStrategy&分析

(2) 電気化学的エネルギーに変換

- **二次電池**：電力を化学エネルギーに変換することで電力を貯蔵している。ハイブリッドや電気自動車等で実用済である。高エネルギー密度で軽量であるが、生産コストの低減が求められる。
- **フロー電池**：荷電流体がイオンを膜交換する形で電力を貯蔵する。信頼性が高く長寿命であるが、低エネルギー密度であることと初期コスト・ランニングコストがともに高いことが求められる。

(3) 化学的エネルギーに変換

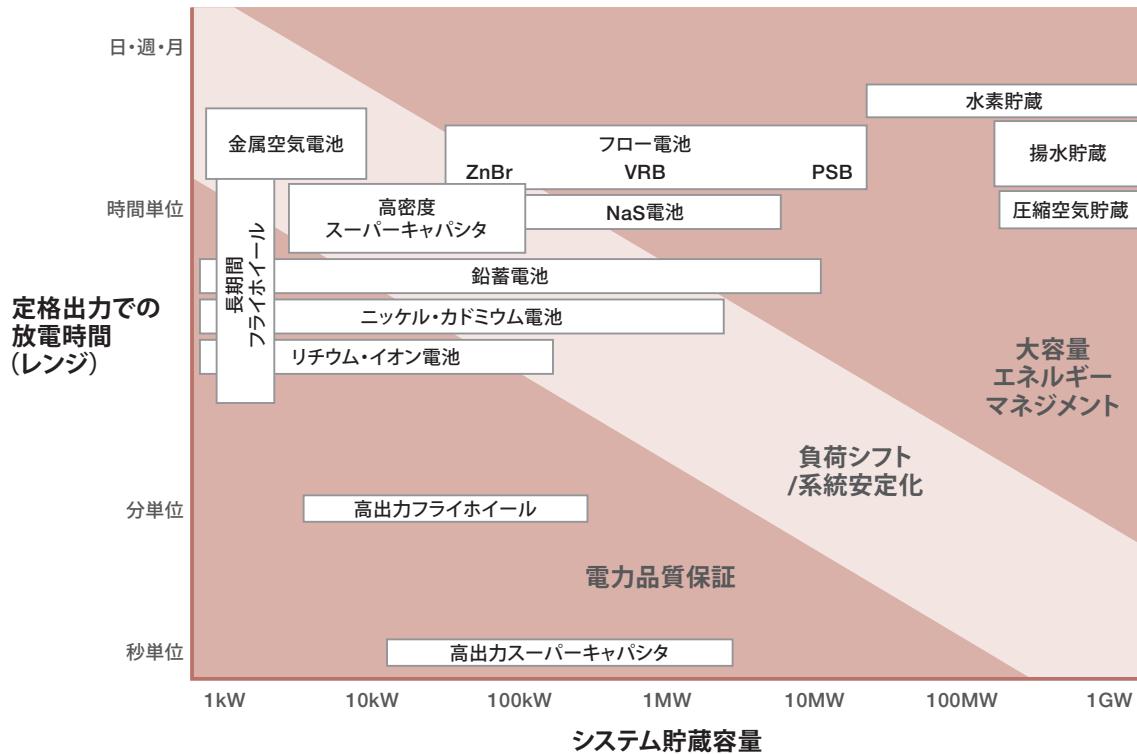
- **水素貯蔵**：電力を用いて水を電気分解し水素として保存し、

必要に応じガスとして、または発電等のアプリケーションで利用するもの。高出力・大容量の貯蔵が可能であるが、エネルギー変換効率が低い。コストの点で軽減が求められる。

以上の代表的なストレージ技術の特徴を一覧にした表が図表1である。

また、横軸に出力規模、縦軸に定格出力での放電時間でプロットしたのが図表2である。右上に行くほど大容量のエネルギーマネジメント用途、左下に行くほど電力品質保証用途に使われることが多い。ただし電池については組み合わせてスケールを増加させることで右上へと移行することが可能である。

図表2：代表的な電力貯蔵用法とその用途



出所：各種資料よりStrategy&分析

電力貯蔵の進展により社会はどう変わらうか？

電力貯蔵のメリットを需要家側と供給側（電力供給、送配電）に分けて整理したい（図表3参照）。

需要家側のメリットは、時間帯により電力価格が異なる地域に居住する場合、安価な時間に発電した電力を貯蔵しておくことで結果的に電気代を安くすることができ（価格アービトラージ）、また電力会社からの供給が不安定な地域での品質保証や万一の電力供給が途絶時でも一定期間は蓄電したエネルギーを利用できる供給安定性を確保できることである。

個人（家・自動車）はこれまで電力供給を電力会社に頼る必要があったが、太陽光発電した電力を電気自動車や蓄電池に貯蔵することで電気の自給自足体制ができつつある。

中規模の企業・ビル・産業需要家は需要変動パターンに応じてグリッドから供給される電力と蓄電を組み合わせることで電力コストを低下させることが可能になる。特に製造業にとっては電力やエネルギー価格はコストへの影響が大きく、安価な地域へと工場を移転させる動機にもなるため、電力コスト最適化の機会が

大きい（大規模の産業需要家の中には安価な夜間電力をフル活用するために夜間操業をしている需要家もいるが、その対策にもなり得る）。たとえば従来に比べ半額程度のリチウムイオン電池で蓄電事業に参入したテスラは、家庭用と合わせ中小産業用もターゲットとした製品を発表している。

大～超大規模ともいえる自治体・地域・国レベルでは、エネルギー安全保障や地域の産業振興等の面で電力貯蔵が活躍する。長期保存の形態も従来の戦略的な石油備蓄だけでなく、再生可能エネルギー＋蓄電（＋消費・売電）による経済合理性が徐々に追求可能となってきた。このレベルの貯蔵規模であると現時点での選択肢は、コストの課題は依然として存在するものの水素の活用も有望な選択肢となるだろう。直近でハウステンボスにおける「変なホテル」が夏場の余剰電力を水素の形で貯蔵し冬に利用することを発表した。このさらに大きなスケールのものが自治体・地域レベルで起きる可能性があり、海外からの水素輸入もまたエネルギー貯蔵・輸送技術という観点では同一の線上の活動であると言えよう。

供給家側へのメリットは①需給バランス最適化、②投資の回避・

図表3：電力貯蔵の主なメリット

	電力供給・トレーディング	送電・配電	需要家 (B2B、B2C)
需給バランスの最適化	ベースロード・価格アービトラージ		日中・夜間の価格アービトラージ
	ピーク需要対応		
	システム安定化		
投資の回避・抑制、運用コスト低減	電源投資の回避・抑制	ネットワーク投資の回避・抑制 OPEX改善	契約電力の引き下げ
	高出力安全運転によるタービン効率の向上	ネットワーク損失の低減	AC / DC変換ロス
		貯蔵媒体による電力輸送	
再生可能エネルギーのスムーズな導入	出力平準化による安定的系統連携	系統容量混雑回避	分散電灯の導入促進
高品質の確保	自律起動支援	電力信頼性向上 (電力停止時)	
		周波数安定 (運転予備)	感性的価値
		電圧維持支援	供給安定性の向上

出所：各種資料よりStrategy&分析

抑制・OPEX低減、③再生可能エネルギーのスムーズな導入である。①については需要家側で電力貯蔵が進むことにより需要ピークが減少し、供給負荷が低減する。②の低減では電力貯蔵に要するコストがピーク対応発電所を維持・運転するコストより安くなりつつあるため、現在稼働率の低い火力発電所の休止・終了または新規投資の回避が可能となる。③の再生可能エネルギーのスムーズな導入は前述の通り多くの箇所で議論となっているが、既存のシステムの上では厄介者となりがちなこれら発電装置をスムーズに導入することにつながる。

これら需要側と供給側のメリットが結びついた場合、日中/夜間・月間・季節間という時間を越えた、そして地域や国家など場所を越えたエネルギーの融通システムが構築される可能性がある。

電力貯蔵による電力システムへのインパクト

エネルギー貯蔵にかかるコストはシステムの柔軟性確保の重要な選択肢であるうえ、その経済合理性は既存の他選択肢のコストと比較可能なレベルとなってきている。再生可能エネルギーや地域

分散型エネルギーシステムとの親和性が非常に高いこの技術は従来の発送電網の中に徐々に浸透していくと思われる。

エネルギー・電力のような基幹システムの変化はそうそう起きようもないと一見感じられるが、歴史を振り返れば人間のエネルギー消費も数十年単位で大きな変化を繰り返してきた。日本でも江戸時代は薪を燃料として使い国中の山を次々と禿山としてきたが明治時代には石炭が台頭し、やがて石油に代替され、その石油もまた当初は無価値として捨てられていた天然ガスにリプレースされつつある。これらはいずれも100年程度での変化であり、この視点からすると上記で見てきたような変革の実現も案外想像よりも早いのではないだろうか。このような中、あるべき目指す姿から逆算し、事業性成立のドライバーを的確に見極め、既存の技術と大胆な投資で電力貯蔵の将来の未来を拓きつつあるテスラのような動きは、この業界での変化を好機と捉えようとしている企業にとって示唆深いものではないだろうか。