

論 説

*本稿は和文翻訳されたもので、原文は本会Webサイトに掲載しています。

Japan Can Economically Decarbonize

日本も経済的に脱炭素化が可能である

Amory Lovins*

(翻訳) 高瀬 香 絵**

Kae Takase



外国での経験から、変動性再生可能エネルギー（以下、再エネ）は予測が可能であり、効率向上と柔軟性対策を合わせることで、脱炭素化とエネルギー安全保障を同時達成するための最もコスト効率的で信頼性の高いエネルギー資源であることが証明されている。

1. 統合的デザインによってエネルギー生産性は以前の想定 of 3 倍向上することが可能

私が以前行った研究¹⁾にて述べたように、効率向上の多くは技術そのものにあるのではなく、技術の選び方と組み合わせ方、つまりはデザインにある。

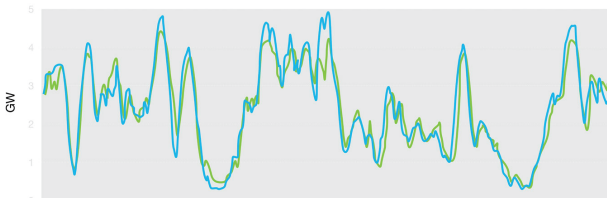
例えば、パイプやダクトの統合的デザインを行うことによって、摩擦が減り、結果としてポンプやファンの電力消費量は80~90%減る。最大限導入すると世界全体の石炭火力を半分に減らすほどのポテンシャルがある。

エネルギー生産性は、私が1975年に予測したよりも上昇しており、2040年までにさらに3倍、2060年までに5倍に上昇する可能性がある。

2. 太陽光・風力は予測可能であり多くの需要は柔軟であることから100%再エネ化は可能 (外国の経験より)

私たちはいまだに、石炭、ガス、原子力発電所だけが24時間365日いつでも明かりを灯すことができ、一方で、

再生可能エネルギーの出力は変動するが、少なくとも電力需要と同じレベルの正確さで予測可能
2011年12月フランス：風力発電出力 (GW) の実測値 & 予測値 (前日)
(データはフランスの送電系統運用者 (TOS) RTEより提供)



出典: ベルナルド・シャボット (Bernard Chabot) 2013年4月10日、グラフ www.renewablesinternational.net/wind-power-statistics-by-the-hour/150/505/61845/, データはフランスのTSOであるRTEより入手

図1 1日前の風力発電予測と実際の出力

風力や太陽光は変動することから信頼できないと告げられている。しかし、変動するからといって予測できないということではない。図1は、ある冬の嵐の多い1ヶ月間において、フランスの送電運用者が、国内の風力発電所の実際の出力を1日前にどれだけ正確に予測したかを示している。それから10年後のデンマークでは、風力発電所の予測がかなり正確となったことから、化石燃料の発電所と同じように、1日前の1時間ごとの入札に信頼性高く参加できるようになった。

化石燃料をバックアップとして使わなくとも、図2の概念図のように、炭素排出なしで、再エネが供給する系統を全ての時間スケールにおいて信頼性高くバランスを取るための方法が約10種類^{注1)}存在する。大規模蓄電池 (バルク貯蔵に含まれる) というのは一般的に最もコストが高いため、順番としては最初ではなく、最後にくる。

システムの柔軟性資源

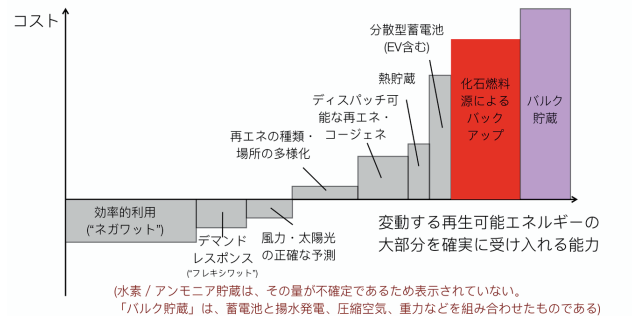


図2 系統柔軟性資源 (概念図)

例えば、現在世界の自動車市場を席巻している電気自動車では、双方向充電が始まっている。それによって、日本のような国では、経済的に毎年数GW以上の蓄電容量を増やしていくことが可能である。

2年前、欧州のとあるアグリゲーターは、21種類の有価サービスのうち13種類を系統に販売することで、自動車用バッテリー1台あたり年間12.5万円の収入を得た。オーストラリアでは現在、蓄電池のデマンドレスポンスやその他のインバーター駆動資源から、石炭発電所よりも多くの周波数安定化サービスを得ており、その結果そのサービスのコストは過去よりも39%低くなった。そして電気

*RMI (旧ロッキーマウンテン研究所)・スタンフォード大学
22830 Two Rivers Road, Basalt CO 81621, USA, www.rmi.org

**公益財団法人自然エネルギー財団 シニアコーディネーター

自動車もそれらのサービスの供給源に加わり始めている。

実際のところ、どんな発電機も24時間365日稼働することではなく、だからこそ我々はシステムを作ったのだ。何だって故障する。システムというのは、故障した発電所を稼働できる発電所でバックアップすることで間欠性に対応するものなのだ。これと全く同じ形で、しかしより低いコストにて、システムは予測可能な太陽や風力の変動を、予測され、統合され、種類や場所が様々な他の再エネ・ポートフォリオによってバックアップすることができるのである。

このことをRMIが13年前に分析した難しいケースで説明しよう(図3参照)。テキサス州は日本の約2倍の面積があり、暑く、湿度が高いことが多い。水力発電はほとんどなく、主に関西のような気候であり、ほぼ独立した系統である。2050年の夏について予測した変動する負荷(実線)は、利益をもたらす効率化によって小さくなり(点線)、かつピークは低くなるものの、効率化後も依然として30GW以上のピークとなった。図に示した1時間ごとのシミュレーション結果では、風力と太陽光によって86%、ディスパッチ可能な再エネによって14%、そしてこれもまたディスパッチ可能なバイオガスやバイオマスが少しとなっている。

変動型再生可能エネルギーの計画的発電

テキサス電力信頼度協議会(ERCOT)電力プール、テキサス州における2050年夏の1週間(RMIによる時間ごとのシミュレーション)

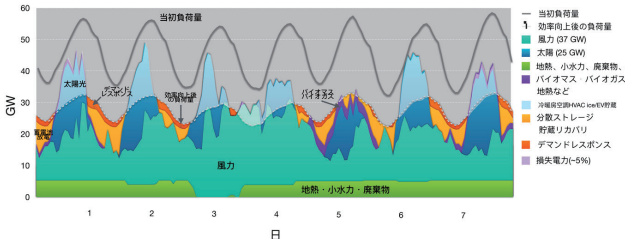


図3 テキサス州2050年夏：100%再エネにて供給

余った電力は、氷蓄熱式エアコンやスマート双方向充電式電気自動車を充電するために使うことができる。そして、必要なときに分散ストレージ(黄色)から放電し、それでも残る最後のギャップをあまり大きくない柔軟な需要(オレンジ色)にて埋めることで、1年間全ての時間帯において、大量の蓄電池なしで100%再エネ電力が可能となった。他のセクターの脱炭素化に使う余剰分は約5%程度であり、今日の価格だとしてもとても経済性が高い形で実現できる。

時間に応じた電力価格(time-dependent electricity prices)の影響については、文献2)に、14年間にわたり3大陸にて4種類の時間に応じた電力価格(に加えて情報と技術)についての実験を行った結果をまとめている。ここでは、ピークの低下は30%を超え、時に50%も超えることもあった。

3. 日本への提言：過去の遺産である化石資産にかける時間もお金ももったいない

再生可能エネルギーは、いまやバルク電力(訳注：まとまった量の電力)の最も安い供給源となっており、既にある技術によって信頼性高く予測をすることができ、最終消費の効率化とデマンドレスポンスと組み合わせることができる。

現在、日本の新しい太陽光発電のコストは1kWhあたり10円以下である。これは、完全に償却が済んだ石炭火力発電所・LNG発電所の運転コストの約半分である。ブルームバーグは、世界における31,000件の実際のプロジェクトに基づく分析で、現在、日本および他の世界全体の発電量の82%において、補助金を受けていない再生可能エネルギーが最もコストの低い新規のバルク電源であることを明らかにした³⁾。

図4に示す通り、今や新規の太陽光発電の方が、再稼働した原子力発電よりも安くなっている。よって、需要家のコスト負担を下げ、日本の競争力を高めるためにも、柔軟性のない原子力より先に、最初にディスパッチ(給電)されるべきである。しかし、国や電力会社の方針は、経済的ディスパッチと逆のことをすることで、過去の遺産を競争から守っている。コストの高い原子力発電所や化石燃料発電所を稼働させるために、既存の再生可能エネルギー発電所を休止させるという出力抑制は、今や東京を除く日本のすべての地域に広がっている。

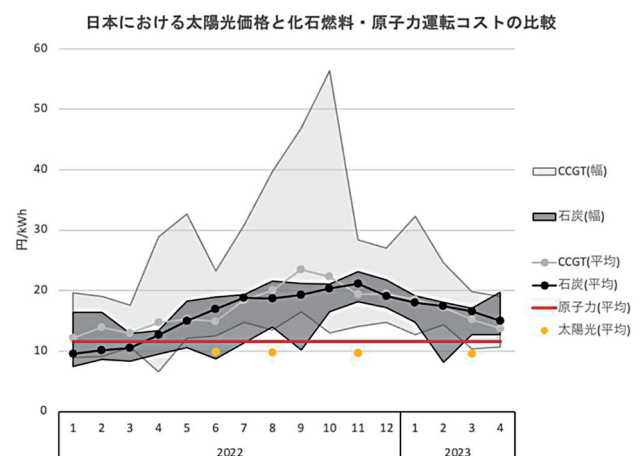


図4 日本の太陽光発電価格と化石燃料・原子力の運転コスト^{注2)}

原子力発電の拡大がエネルギー安全保障の強化につながるという主張は、フランスの継続的な原子力不足が、“プーチンの戦争”よりも深刻なガス不足をヨーロッパに引き起こしたことを見れば、矛盾していることがわかる。

水素やアンモニアを使うのは、バルク電力を供給するという観点からは、最も高価な方法だ。水素やアンモニアを

使用するのには、極端な状況のための長期貯蔵に限られるべきである。その用途であっても、水素が常に最良の選択肢とは限らない。米国国立再生可能エネルギー研究所(NREL, The National Renewable Energy Laboratory)が再生可能エネルギー100%のシステムを達成するための最適供給ミックスを保守的に計算した結果⁴⁾、長期にわたる水素貯蔵の代わりに、従来型の建築の効率化と再エネを増やすことで、投資を10分の1まで減らすことができることが明らかになった。

現在、100%再生可能な電力/エネルギーシステムに関する査読済みの分析は、世界中で700以上発表されている。しかし、これらは2050年ごろの最後の10または20%の供給をどうするかということの選択肢についてである。私たちは、今、その詳細を知る必要はない。今世紀半ばには、十分かつ魅力的な選択肢を選べるようになることだけを知っていればいいのだ。気候学者のケン・カルデイラ教授が書いているように、最終局面をどうするかについての論争が、最初の一手に過度に影響を与えるべきではない。

2022年の日本の再エネ電力比率は20%強であったのに対し、ドイツ、イギリス、アイルランドはほぼ50%、デンマークは84% (2022年)、スコットランドは99% (2020年)、スペインは46%(2020年)、ポルトガルは66%(2018年)であった。これらの国はいずれも、信頼性を確保しつつ、大量の蓄電池なしで運用できている。ドイツでは、2006年から2021年の間に、電力に占める再生可能エネルギーの割合が4倍になったが、同じ期間においてシステムの信頼性が向上(すなわち、停電時間が減少)した。システムは、指揮者が東京フィルハーモニー交響楽団を率いるように運用されている。いずれの楽器も常に演奏しているわけではないが、アンサンブルは絶えず美しい音楽を奏でているのである。

ドイツのエンジニアが優秀だからだろうか。そうかもしれないが、日本のエンジニアも非常に優秀である。統合的デザイン、再生可能エネルギー、柔軟性資源の幅広い活用によって、日本でも経済的に早期の脱炭素が可能だ。

参考文献

- 1) Amory B. Lovins : How big is the energy efficiency resource?, Environ. Res. Lett. 13 090401, 2018, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aad965>
- 2) Regulatory Assistance Project and the Brattle Group : Time-varying and Dynamic Rate Design (2012).
- 3) Bloomberg New Energy Finance, <https://www.bnef.com/insights/31487> (Accessed on October 26, 2023).
- 4) S. Hussainey & W. Livingood, "Optimal strategies for a cost-effective and reliable 100% renewable electric grid," J. Ren. Sust. En. 13, 066301 (2021), <https://doi.org/10.1063/5.0064570>, 2 Nov 2021.

注1) 図2にはグリーン分子(H₂, NH₃等)や揚水発電、その他バッテリーを補完する従来の大量貯蔵技術は含まれていないことから、合計では約10種類としている。

注2) 既存の石炭火力とコンバインドサイクルガスタービン(CCGT) : 運転コストは基本的に観察された燃料コスト(つまり輸入一般炭とLNG)である。運転維持コストは、石炭3円/kWh, CCGT 1円/kWh, 電力の変換効率は石炭40%, CCGT 55%, 設備利用率は両者とも75%とした。炭素コストは、日本では無視できる水準のため含めていない。初期投資は完全に償却済みとした。原子力発電所 : 再稼働を想定。運転コストには再稼働コスト(すなわち、安全対策強化)、燃料費、運転維持コストが含まれる。設備利用率は70%とした。初期投資は完全に償却済みと想定。稼働年数の延長については、確定の場合考慮している。太陽光発電 : 1MW以上のプロジェクトのオークションに基づく。価格には合計コストと利益を含む。オークションの後、太陽光発電は多くの場合3年以内に運転開始をしなくてはならない。出典は、燃料炭とLNGについては日本のMoF、原子力については龍谷大学大島堅一教授、太陽光はOCCTO、自然エネルギー財団ロマン・ジズラー博士へ謝辞を申し上げたい。ブルームバーグNEFによる <https://www.bnef.com/flagships/lcoe> (2023年6月11日)と整合している。