

# 日本の風力発電の現状から見る再生可能エネルギーの課題

## — 再生可能エネルギーの「主力電源化」に向けて —

安藤 利昭

中村 直貴

(経済産業委員会調査室)

### 《要旨》

これまで、日本における主な再生可能エネルギーの中では、風力発電の導入が進まない状況にあったが、近年の世界的な発電コスト低減の流れの中で、風力発電への関心は高まってきている。

風力を始めとした再生可能エネルギーの導入拡大に向け、コスト低減という課題には、入札制の導入のほか、設備利用率の向上など個々の電源の特性を踏まえた対応が必要である。また、地域との共生に配慮した長期安定的な事業環境の整備という課題には、社会的なコストも考慮しつつ、ガイドラインや法律の整備を進めるべきである。さらに、電力系統の制約や電力需給バランスの確保といった課題には、送配電網インフラの整備や市場を通じた需要調整の制度など、より全体的な対処が求められる。

### 1. はじめに

2018年7月に閣議決定された第五次「エネルギー基本計画」では、2030年度の電源構成比率の水準を示した「長期エネルギー需給見通し」(エネルギーミックス)の確実な実現を目指すことや、再生可能エネルギー(以下「再エネ」という。)の「主力電源化」に向けて取り組むこと等が明記された。ただ、再エネによる電源には、主要なものだけでも太陽光・風力・バイオマス・地熱・水力等の多様な選択肢があり、再エネを「主力電源化」することを目標に据えたものの、どのような内容(電源構成等)を目指すのかという将来像は明らかではない。

世界的には、導入拡大が最も顕著な再エネは風力発電であり、太陽光発電がそれに続いているのが現状である<sup>1</sup>。一方、日本では、2012年の固定価格買取制度(FIT)の導入に

<sup>1</sup> 国際再生可能エネルギー機関(IRENA)「Renewable Energy Statistics 2018」の2017年の数値に基づく。

より再エネの導入拡大が進んだが、その内容は太陽光発電に極めて偏った状況となっている。2018年3月時点における主な再エネの導入量とエネルギーミックスで想定する導入量とを比較すると、中小水力が約87%、太陽光が約70%、バイオマスが約54%、地熱が約37%、風力が約35%となっており、世界の状況とは裏腹に風力発電の導入が進んでいない状況にある<sup>2</sup>。その理由は、風力発電の導入に当たっては、地元との調整や環境アセスメントのほか立地のための各種規制等への対応が必要で、導入に時間がかかるためとされる<sup>3</sup>。

しかし、日本の風力発電のポテンシャル自体は極めて高いと評価されていたこと<sup>4</sup>、また、近年、世界的に風力発電のコスト低減が急速に進んでいることを考慮すると、風力発電の導入促進を図ることは、大きな課題となっている。特に大きなポテンシャルがあるとされる洋上風力発電の導入促進を図るため、2016年に港湾法が改正され、第197回国会（臨時会）において、「海洋再生可能エネルギー発電設備の整備に係る海域の利用の促進に関する法律案」が提出されている。

本稿では、以上のような日本に特有の状況を踏まえ、風力発電の現状を概観した上で、風力発電という電源が有する特性の面から再エネの拡大に向けた課題を捉え直し、現段階において具体的に考慮しておくべき事項を整理することとしたい。

## 2. 風力発電の現状

### （1）世界の風力発電の現状

世界的に見ると、風力発電は、地球温暖化への対応としての「脱炭素化」の動きや再エネへの関心の高まりを背景に近年急速に拡大しつつあり、世界の風力発電設備容量は2017年には53,958万kW（約5.4億kW）に達している。導入量が最も多いのは中国（18,823万kW）で、後に続く米国（8,908万kW）やドイツ（5,613万kW）を大きく引き離している<sup>5</sup>。

また、陸上風車の適地減少等により、欧州を中心に洋上風力発電の市場が急速に拡大しつつある。世界の洋上風力発電設備容量は、2017年末時点で1,881万kWに達しており、現状では風力発電全体（約5.4億kW）に占める割合は約3%程度と小さいものの、近年の伸び率は陸上風力と比較して大きいとされる<sup>6</sup>。また、世界の洋上風力発電の84%（1,579万kW）が欧州諸国の沖合に集中しており、最も導入量が多いのは英国で（684万kW）、これにドイツ（536万kW）、中国（279万kW）が追随する形となっている。

<sup>2</sup> 2018年3月時点における主な再エネの導入量は、太陽光4,450万kW、中小水力970万kW、バイオマス360万kW、地熱54万kW、風力350万kWとなっている。『国内外の再生可能エネルギーの現状と今年度の調達価格等算定委員会の論点案』（第38回 調達価格等算定委員会 配布資料）17頁。

<sup>3</sup> 第五次『エネルギー基本計画』（平成30年7月）40頁

<sup>4</sup> 導入ポテンシャルについては、環境省と経済産業省が各々調査を行っている。陸上風力については、環境省は約2.8億kW、経済産業省は約2.9億kW、洋上風力については、経済産業省は約15億kW、環境省は約16億kWとの試算結果を報告している。なお、導入可能量（導入ポテンシャルから、さらに経済性を考慮して絞り込んだ発電可能量）等の詳細については、経済産業省『平成22年度新エネルギー等導入促進基礎調査事業（風力エネルギーの導入可能量に関する調査）調査報告書』（平成23年2月28日）、環境省『平成22年度再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査報告書』（平成23年3月）を参照。

<sup>5</sup> 資源エネルギー庁『平成29年度エネルギーに関する年次報告』（2018年）234頁

<sup>6</sup> 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）『技術戦略研究センターレポート TSC Foresight』（Vol.27、2018年7月）7頁

## (2) 日本の風力発電の現状

一方、日本の2018年3月時点における風力発電導入量は350万kWであり、世界と比較して少ない。ただ、固定価格買取制度（F I T）における認定量については、同時点において780万kWに達し、急速に拡大している（20kW以上の陸上風力：750万kW、20kW未満の陸上風力：20万kW、洋上風力：10万kW）。F I T制度開始前まで（2012年6月末まで）の累積導入量（260万kW）と、認定量とを合わせた容量は910万kWに上り<sup>7</sup>、2030年度におけるエネルギーミックスの想定に迫るものとなっている。

## 3. 風力発電の普及を見据えた再生可能エネルギーの「主力電源化」に向けた課題

現段階において、日本における再エネの更なる導入拡大のためには、次のような課題があるとされる。すなわち、①国際水準と比較して依然として高い発電コストの低減、②地域との共生や事業終了後の設備廃棄といった懸念に配慮した長期安定的な事業環境の整備、③系統<sup>8</sup>に空き容量がないため再エネを接続できない等の系統制約の問題の克服、④電力の需給バランスを保つために必要な調整力の確保（将来的な蓄電池の導入等）である<sup>9</sup>。

以下では、特に風力発電という観点から、これらの課題に対処するため具体的に検討しておくべき事項について整理する。

### (1) 発電コストの低減

#### ア 入札制の拡大

2012年7月にF I T制度が開始されて以降、再エネ全体の買取費用は増加を続けており、2018年度は3.1兆円になることが見込まれている（図表1）。また、発電電力量に占める再エネの比率は15%に達しているが（2016年度）、国民負担の増大の抑制を図りつつ、2030年度に22～24%へ引き上げるためには、これまで以上にコストを低減させつつ導入を図る必要があるとされている（図表2）。

海外では風力発電のコスト低下が進む中、日本の発電コストは世界平均の1.6倍程度とされており<sup>10</sup>、近年その差が拡大している可能性も指摘されている<sup>11</sup>。風力発電の中長期的な価格目標として、2030年までに8～9円/kWhの水準を目指すこととされているが、コスト低減を促すため、風力発電についても入札制の導入が検討されている<sup>12</sup>。入札制を導入する場合、系統アクセスの保証、系統工事期間や系統増強費用（工事費負担金）

<sup>7</sup> F I T法改正による2017年4月以降の失効分約123万kW（2,464件）を反映させた数値。「国内外の再生可能エネルギーの現状と今年度の調達価格等算定委員会の論点案」（第38回 調達価格等算定委員会 配布資料）17、27頁。

<sup>8</sup> 発電所から需要家の受電設備に至る電気のネットワークの総称。

<sup>9</sup> 資源エネルギー庁『平成29年度エネルギーに関する年次報告』（2018年）87～89頁

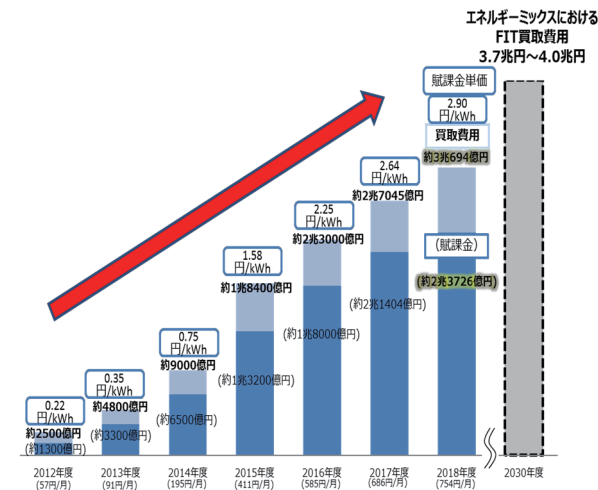
<sup>10</sup> NEDO『技術戦略研究センターレポート TSC Foresight』（Vol.27、2018年7月）12頁

<sup>11</sup> 「再生可能エネルギーの主力電源化に向けた今後の論点～第5次エネルギー基本計画の策定を受けて～」(第7回 総合資源エネルギー調査会 省エネルギー・新エネルギー分科会/電力・ガス事業分科会 再生可能エネルギー大量導入・次世代電力ネットワーク小委員会 配布資料) 17頁

<sup>12</sup> 「国内外の再生可能エネルギーの現状と今年度の調達価格等算定委員会の論点案」（第38回 調達価格等算定委員会 配布資料）50頁

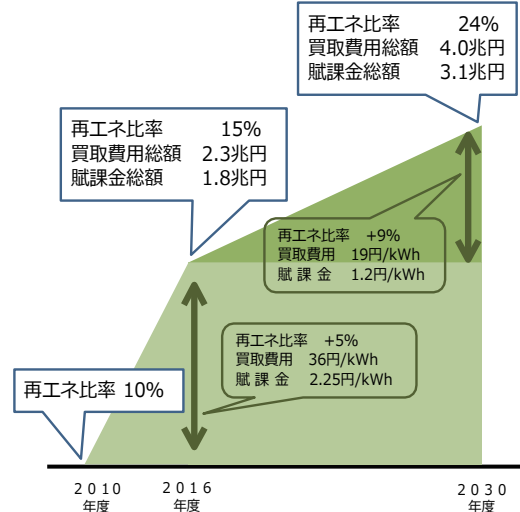
の明確化など事業環境の整備も並行して進めるべきとの意見がある。例えば、立地制約による事業リスクが高ければコストは下がらず、コスト低減の見込みのないまま入札制が導入されれば、入札自体が事業リスクとなって風力発電の導入が停滞したり、入札そのものが機能しなくなることも懸念される<sup>13</sup>。

図表 1 固定価格買取制度導入後の賦課金等の推移



(出所)「再生可能エネルギーの大量導入時代における政策課題と次世代電力ネットワークの在り方」(第1回 総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会 再生可能エネルギー大量導入・次世代電力ネットワーク小委員会 配布資料)

図表 2 エネルギーミックスと国民負担



(出所)「2030年エネルギーミックス実現へ向けた対応について～全体整理～」(第25回 総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会 配布資料)

## イ 設備利用率の向上

日本では、山岳地帯の風には乱流があり、日本海側の雷は激しく、全国的に台風にも見舞われるため、風車の故障や事故による停止時間が長期に及ぶ場合がある。このため海外に比べて風力発電の設備利用率は低く(図表3)、この点がコスト高の要因の一つにもなっている。

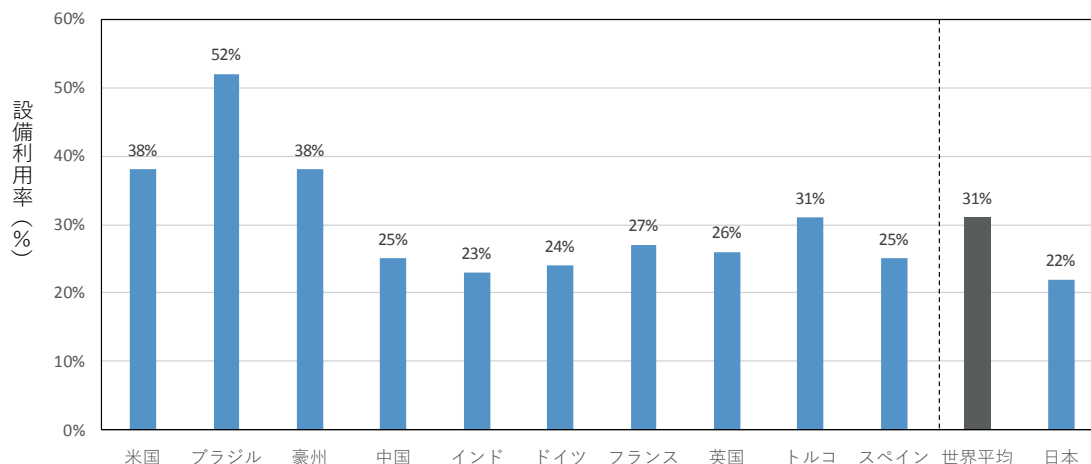
現状、事業を低コストで行っている国内事業者は、現地常駐スタッフの監視によって風車の停止時間の低減を図り、設備利用率の向上につなげているが<sup>14</sup>、メンテナンスの効率化を図りつつ、風車の停止時間を短縮するための研究開発が国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)により行われている。NEDOによると、①機器の損傷による振動の変化から異常兆候を検出する技術、②部品損傷の進展を予測する診断予測技術、の開発により機器交換の1～3か月前の異常兆候検知が可能となり、メンテナンスのための停止時間の大幅な短縮によって風力発電の設備利用率の向上が可能

<sup>13</sup> 高村ゆかり「再生可能エネルギー大量導入・次世代電力ネットワーク小委員会(第8回)への意見」(第8回 総合資源エネルギー調査会 省エネルギー・新エネルギー分科会/電力・ガス事業分科会 再生可能エネルギー大量導入・次世代電力ネットワーク小委員会 配布資料)

<sup>14</sup> 「コストダウンの加速化について(目指すべきコスト水準と入札制)」(第8回 総合資源エネルギー調査会 省エネルギー・新エネルギー分科会/電力・ガス事業分科会 再生可能エネルギー大量導入・次世代電力ネットワーク小委員会 配布資料) 36頁

能とされている<sup>15</sup>。この新たな異常検知・故障予知技術の既存風車への適用をはじめ、設備のO&M（オペレーション・メンテナンス）分野における人材育成も含めた産業基盤の強化を図ることを通じて、稼働率の向上やメンテナンスコストの低減を図ることも課題とされる。

図表3 国内及び海外の設備利用率比較



(出所) NEDO 『TSC Foresight』 Vol. 27

## (2) 長期安定的な事業環境の整備

メガソーラーに見られるように、再エネの導入拡大に伴い、景観上の観点や土砂流出など防災上の見地から、地域住民とトラブルになる発電設備も現れている。風力発電に関しては、景観、騒音・低周波音、鳥類等への影響、強風・落雷等による設備の破損などがトラブルとなり得る。本稿ではこれら個々の問題には立ち入らないが、地域との共生を図りつつ風力発電の導入を進めるため各種のガイドラインが整備されており<sup>16</sup>、それらを遵守した発電事業が望まれる。

また、こうした発電設備の導入に伴い生じる課題を外部コストと捉えた場合、外部コストには、発電方式によって以下の特徴が見られる(図表4)。

- ①化石燃料の外部コストは、気候変動に対する影響のほか、酸性化物質及び粒子状物質の放出に伴う健康への影響等により、再生可能エネルギーより大きい。
- ②再生可能エネルギーの中では、太陽光の外部コストが最も大きく、洋上風力が最も小さい。

<sup>15</sup> 「事故対応から故障予知へ、新たな風力発電のメンテナンス技術を確立」(平 30. 3. 30 付けNEDOニュースリリース) <[http://www.nedo.go.jp/news/press/AA5\\_100939.html](http://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_100939.html)> (以下、URLの最終アクセスは、いずれも平成30年11月15日である)。なお、全国の風力発電設備の年間設備利用率が1%向上することにより、約8.4万世帯分の年間電力消費量を賄うことが可能とされている。

<sup>16</sup> 環境省より「国立・国定公園内における風力発電施設の審査に関する技術的ガイドライン」、「風力発電施設から発生する騒音に関する指針」、「低周波音問題対応の手引き書」及び「鳥類等に関する風力発電施設立地適正化のための手引き」が公表されている。

図表 4 発電による外部コスト

(単位:US¢/kWh)

化石燃料		再生可能エネルギー	
褐炭	9.9	太陽光	1.3
石炭	7.9	水力	0.19
石炭コンバインドサイクル	7.2	風力(陸上)	0.18
天然ガス	3.6	風力(洋上)	0.12

(出所) 環境省 気候変動に関する政府間パネル (IPCC) 『再生可能エネルギー源と気候変動緩和に関する特別報告書最終版』2011年

このように外部コストの観点からも、地域との共生に配慮した長期安定的な再エネの大量導入を進めるためには、洋上風力が有力な選択肢と考えられる。さらに、洋上風力については、近年、大規模・集中型電源として規模の経済性によるコスト低減が可能になったとされている。技術の進歩により風車の大型化が進むとともに、一地点に集中して設置することで、発電電力量当たりの建設費・維持管理費等が低減され規模の経済性をより発揮することが可能となっている<sup>17</sup>。

なお、日本では2016年7月に改正港湾法<sup>18</sup>が施行され、港湾区域等の占用予定者(洋上風力発電事業者)を公募により決定する占用公募制度が整備されたことにより<sup>19</sup>、長期間にわたり占用が可能となり、大規模な洋上風力発電の開発が期待される。さらに、より潜在性の高い一般海域においても、その利用を促進するための区域の指定と先行利用者との調整の枠組を定め、公募により事業者を選定し、長期の占用(最長30年)を実現するための制度を設けるものとして、「海洋再生可能エネルギー発電設備の整備に係る海域の利用の促進に関する法律案」が第197回国会(臨時会)に提出されている(平成30年11月6日)。

### (3) 系統制約の克服、調整力の確保

太陽光発電や風力発電など自然条件により出力が変動する自然変動電源(VRE:Variable Renewable Energy)は、天候による出力変動が大きく、電力系統の電圧や周波数を変動させ、需給バランスに悪影響を及ぼす。そこで、VREの導入拡大に当たっては、電力系統の電圧や周波数を維持するために、電力需要やVREの出力の変化に応じて出力の上げ下げの調整がしやすい火力発電によるバックアップが必要と言われている。

しかし、系統の変動に対応し需給バランスを維持する手段は、火力発電によるバックアップだけでなく、電力システム全体として調整力を確保し、需給バランスを柔軟に維持するといった手段も考えられよう。例えば、国際エネルギー機関(IEA:International Energy Agency)はその手段として、①送配電網インフラ、②出力調整可能な電源<sup>20</sup>、③エネルギー

<sup>17</sup> 岩本晃一『洋上風力発電』(日刊工業新聞社、2012年)26~30頁

<sup>18</sup> 港湾法の一部を改正する法律(平成28年法律第45号)。改正法に基づき、港湾管理者による認定を受けた公募占用計画(最長20年)に基づく占用(最長10年)及びその更新の申請があった場合には、港湾管理者は、占用許可を与えなければならないこととされている(計画終了後の更新可能)。

<sup>19</sup> 北九州港や鹿島港では、占用予定者が選定されている。

<sup>20</sup> 「出力調整可能な発電所(Dispatchable power plants)」、「負荷配分可能な電源」といった使われ方がされており、重要な運転条件及び経済性を満たす範囲で、必要に応じて起動停止可能な発電所であるとされる。

貯蔵、④需要の能動化の4種類を挙げている<sup>21</sup>。

#### ア 送配電網インフラ

送配電網の整備により、遠隔地にあるVRE電源にアクセスが可能になると同時に、VRE電気を広域的に系統へ受け入れることで、ならし効果<sup>22</sup>により変動性が緩和される。しかしながら、日本では、これまで主として大規模電源と需要地を結ぶように系統が整備されており、需要が少なく遠隔地にあるVRE電気を需要の多い地域へ運ぶ系統へのアクセスや系統容量は十分ではない。そのため再エネの導入が進むにつれて、系統の制約がボトルネックになりつつある。

現在のルールでは、新規に電源を系統に接続する際、系統の空き容量の範囲内で先着順に受入れを行い、空き容量がなくなった場合には系統を増強した上で追加的な受入れを行うこととされている。

系統の増強には、多額の費用と時間がかかるため、まずは、過去の実績をもとに、将来の電気の流れをより精緻に想定して空き容量を算出する「想定潮流の合理化」を行うとともに、系統の空き容量を柔軟に活用して、一定の制約条件の下で系統への接続を認める「日本版コネク&マネージ」が開始されている。

また、VRE電源などを電力系統に接続する際に大規模な系統増強が必要となる場合があることから、増強費用を複数の事業者で共同負担する「電源接続案件募集プロセス」が2015年4月よりルール化されている。このルールを利用した手続きが、これまで36のエリアで実施されており、24の案件が完了している。しかしながら、プロセスの開始決定から完了までの期間が長期化しており、長いものでは完了まで2年以上を要している（図表5）。このほか、優先系統連系希望者の決定以降に辞退者が発生した場合に工事費負担額の再算定が煩雑であるなど、事業環境の面からも課題がある。

系統増強に関して世界に目を転ずると、EUにおいては、2009年のG8ラクイラ・サミット<sup>23</sup>を機会に、本格的に再エネ政策に取り組むこととなり、同年、送電管理者と配電管理者を分離することとし、広域送電網投資計画の策定などを担うENTSO-e（系統運用者の協調機関：欧州送電系統運用者ネットワーク）が設立された。2011年には「Energy Roadmap 2050」が定められ、再エネの導入政策が計画的、戦略的に進められるとともに、現在は、「e-Highway2050」と呼ばれる長期的な系統強化計画の実現可能性研究が進められている。EUにおいては、再エネを電力系統に本格的に取り入れるための改革として電力システム改革が実施されてきているが<sup>24</sup>、日本では、再エネの普及促進を図るFIT

---

しかし、一般的な用語ではないため、本稿では「出力調整可能な電源」と表記する。

<sup>21</sup> NEDO訳『電力の変革 風力、太陽光、そして柔軟性のある電力系統の経済的価値（2015.4）』115頁。原典は、IEA, "The Power of Transformation Wind, Sun and the Economics of Flexible Power Systems", 2014。

<sup>22</sup> VREの出力変動は、個々で見ると激しく変動するが、その変動は必ずしも同一ではなく、複数の発電設備からの出力を重ねあわせると平滑化効果が生じるとされ、広域である程効果が大きい。

<sup>23</sup> G8ラクイラ・サミットでは、温室効果ガスの排出量について、先進国による2050年までの80%又はそれ以上の削減目標が合意されている（G8ラクイラ・サミット「議長総括（仮訳）」〈[https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/summit/italy09/pdfs/soukatsu\\_k.pdf](https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/summit/italy09/pdfs/soukatsu_k.pdf)〉）。

<sup>24</sup> 内藤克彦『欧米の電力システム改革』（化学工業日報社、2018年）13～56頁

制度が電力システム改革に先立って開始されるなど、再エネ導入と電力システム改革とを推進する上での調整が必要である。再エネ大量導入を図るための次世代電力ネットワークの検討が始まった日本にとって、電力システム改革と再エネ導入を戦略的に推進してきたEUの取組は、参考になると思われる。

図表5 電源接続案件募集プロセス一覧

2018年11月15日現在

エリア	主宰	開始決定	プロセス完了	完了までの月数	
東北	福島県相馬	東北電力	2016/1/19	2017/8/31	20
	宮城県鳴子岩出山	東北電力	2016/3/15	2017/4/14	13
	岩手県宮古久慈	東北電力	2016/3/29	2017/6/30	16
	福島県南	東北電力	2016/6/1	2018/1/16	20
	福島県白河	広域機関	2016/6/17	2018/2/14	20
	青森県八戸	東北電力	2016/7/19	2018年11月下旬頃	(28)
	福島県矢吹石川	東北電力	2016/7/19	2017/10/16	15
	新潟県村上	東北電力	2016/9/30	2017/10/16	13
	東北北部	広域機関	2016/10/13	2019年4月上旬頃～5月下旬頃	(26)
	宮城県白石丸森	広域機関	2017/2/13	2018/6/20	17
	福島県浜通り南部	広域機関	2017/2/13	2018/2/14	13
	福島県沢上	広域機関	2017/7/14	2018/2/28	8
福島県会津	広域機関	2017/9/1	2019年5月中旬頃	(15)	
東京	群馬県西部	東京電力	2015/10/27	2017/2/27	17
	栃木県北部・中部	東京電力	2015/10/27	2018/4/27	31
	山梨県北西部	東京電力	2015/10/27	2017/10/10	24
	千葉県南部	東京電力	2015/10/27	2017/10/25	24
	千葉県中西部	東京電力	2015/10/27	2016/12/14	14
	北関東東部	広域機関	2018/10/31	2019年10月下旬頃	(1)
中部	岐阜県北	広域機関	2017/3/6	2018/8/10	18
中国	岡山県北東部	中国電力	2016/3/31	2017/6/1	15
四国	高知県東部	広域機関	2017/6/2	2018/11/7	18
	長崎市琴海	九州電力	2016/7/6	2017/7/19	13
	宮崎県都城	広域機関	2016/7/20	2018/8/22	26
	宮崎県日向・一ツ瀬	広域機関	2016/7/20	2018年12月上旬頃	(28)
	大分県速見	広域機関	2016/7/20	2018年11月下旬頃	(28)
	大分県西大分	広域機関	2016/7/20	2019年2月上旬頃	(28)
	大分県日田	広域機関	2016/7/20	2019年1月下旬頃	(28)
	鹿児島県霧島	広域機関	2016/7/20	2019年1月中旬頃	(28)
	鹿児島県大隅	広域機関	2016/7/20	2019年2月上旬頃	(28)
	熊本県人吉	広域機関	2016/7/20	2018/10/17	27
	熊本県御船・山都	広域機関	2016/7/20	2019年1月下旬頃	(28)
	鹿児島県入来	広域機関	2016/10/26	2017/10/25	12
	宮崎県紙屋	広域機関	2016/12/21	2018/3/7	15
	福岡県北九州市若松響灘	広域機関	2016/12/21	2019年3月下旬頃	(23)
	熊本県阿蘇・大津	広域機関	2017/2/15	2018/8/8	18

※完了までの月数欄における括弧内の数値は開始決定からの経過月数を示したものの

(出所) 電力広域的運営推進機関資料より作成

## イ 出力調整可能な電源

出力調整可能な電源として、貯水池式水力発電、コージェネレーション、コンバインドサイクルガス発電が挙げられる。「火力によるバックアップ」とは、出力調整可能な電源の1つである火力発電<sup>25</sup>を用いて需給が一致するように調整をすることであるが、火

<sup>25</sup> 火力発電はVREの変動性、間歇性を調整するため引き続き重要な役割を果たすが、設備の最大出力と定格効率ではなく、①ホット起動時間、②出力変化率、③最低出力、④コールド起動時間、といった柔軟性に新たな価値があるとされる(中山寿美枝「再エネ拡大で注目される火力発電の柔軟性 Advanced Power Plant Flexibility Campaign について」『火力原子力発電』No. 738 Vol. 69 (2018. 3))。



力発電以外の電源でも調整の手段となり得る。天候によって出力が左右されるとされている風力発電も、風車自体に出力制御機能を有しており、一定の制約はあるものの出力調整可能な電源の一つとして活用することが検討されている。また、よく知られているように、風力発電の導入率が高いデンマークでは、各地に分散しているコージェネレーションに通信機能を持たせ市場連動型にすることで、調整力として活用している<sup>26</sup>。

図表6は風車の出力制御機能の一例であるが、これらの機能を用いることにより、風力発電の出力の変動性を緩和し系統の安定運用へ貢献することも可能となる。このような風車が具備する機能とその運用方法について、風力発電の導入状況や技術面の動向を踏まえつつ、系統連系規定（グリッドコード）としてルール化することが求められている。しかしながら、VRE導入初期段階から検討する必要のあったグリッドコードに関して、日本では整備が遅れている<sup>27</sup>。

審議会の中間整理では、「風力のグリッドコード整備については、スピード感をもって成案化を進め、まずは全国大で適用可能な要件の早期ルール化・運用開始を目指す<sup>28</sup>」とされ、2021年度以降に順次導入することが想定されている。なお、IEAの報告書では、より高いVRE導入率を達成している電力システムのグリッドコードを参考にすることで、技術的要件の確立や技術の導入コストの削減に資するとされている<sup>29</sup>。

図表6 風車の出力制御機能

機能	内容
最大出力抑制制御 Active power control	出力を抑制して運転する機能
出力変化率制限制御 Active power ramp rate limitation	出力抑制モードで運転出力増加減率を制限し 運転する機能
周波数調定率制御 Frequency control	周波数上昇時に出力を減少して運転する機能
イナーシャ制御 Synthetic inertia	周波数の大幅な低下時にロータの慣性を利用 し発電機の出力を増加する機能

(出所) 松信隆「風力発電の動向と技術」『電気』No. 800 (2018年10月)

## ウ エネルギー貯蔵

エネルギー貯蔵のうち、現在もっとも安価なものは揚水発電とされている。中でも、可変速揚水発電は、電力系統の瞬間的な電力調整も可能であり、需要の少ない軽負荷時

<sup>26</sup> 長山浩章「再生可能エネルギー急増に伴う欧州の対応と日本への教訓」(第2回 再生可能エネルギーの大量導入時代における政策課題に関する研究会 配布資料) 44頁

<sup>27</sup> 荻本和彦「海外の再生可能エネルギー大量導入の対応の経験からの示唆」(第3回 総合資源エネルギー調査会 省エネルギー・新エネルギー分科会/電力・ガス事業分科会 再生可能エネルギー大量導入・次世代電力ネットワーク小委員会 配布資料)

<sup>28</sup> 『総合資源エネルギー調査会 省エネルギー・新エネルギー分科会/電力・ガス事業分科会 再生可能エネルギー大量導入・次世代電力ネットワーク小委員会 中間整理』36頁

<sup>29</sup> NEDO訳『再生可能エネルギーのシステム統合 ベストプラクティスの最新情報 (2018.6)』121頁。原典は、IEA, "System Integration of Renewables An update on Best Practice", 2018。

の需給調整やVREの出力変動の吸収に役立つと考えられている<sup>30</sup>。

日本では、エネルギー貯蔵の手段として蓄電池が選択される傾向にあるが<sup>31</sup>、電力用の大容量エネルギー貯蔵には、蓄電池のほか空気圧縮貯蔵や熱貯蔵、さらに水素貯蔵もあり、日本をはじめ諸外国で研究開発も進められている。また、電力システムにおけるエネルギー貯蔵の用途としては、発電側の出力変動緩和のためだけでなく、電力市場での取引や変電所での送配電支援も想定されている<sup>32</sup>。

一方、第五次「エネルギー基本計画」において、「太陽光・風力については（中略）蓄電池等との組み合わせにより長期安定的な電源として成熟していくことが期待される」とし、蓄電池をVREの出力変動緩和の手段として用いようとしていることがうかがえる<sup>33</sup>。さらに、同計画では、再エネ政策の方向性として、主力電源化への取組に加え「大型蓄電池などによる新技術市場の創出」が掲げられている。

しかしながら、蓄電池を出力変動緩和の手段として用いた場合、系統制約に対して一定の効果はあるものの、VREによって生み出された余剰電気をエリア外に出しているわけではない。平準化して消費される電力の最大値はエリア内の需要であり、「蓄電池は需要を創設するわけではなく、需給の時間的なズレを調整するにすぎない<sup>34</sup>」のである。

VREの大量導入には、電力需要の大きい地域までVRE電気を送電する必要があり、蓄電池の導入より系統増強の方が低コストであるとも言われている<sup>35</sup>。また、蓄電池は、比較的短期の需給変動への対応には優れていても、季節的な長期の変動には不向きである。調整力の手段として蓄電池を活用するに当たっては、コスト面での合理性を欠くことのないよう留意する必要がある。

## エ 需要の能動化（デマンドレスポンス）

従来の電力システムでは、需要に合わせて電力を供給してきたが、VREの大量導入に当たり、その出力変動を調整し得る調整力の確保が課題であることは、これまで述べてきたところである。一方、デマンドレスポンス（DR）は需要側で電気の使用量をコントロールする取組であり、電気の供給に合わせて需要側の使用量を変化させる。DRには大きく①電気料金型DRと②インセンティブ型DRに大別され、前者は、小売電気事業者がピーク時に電気料金を値上げするなど多様な電気料金を設定することで、需要家に電気料金に合わせた行動を促すものであり、後者は、事前の契約に基づき、一般送配電事業者、小売電気事業者、アグリゲーター<sup>36</sup>等が指令により需要家にDRを促し、

<sup>30</sup> 岡本浩「再生可能エネルギーの電力市場への統合拡大に向けた需給調整力確保への取り組みと課題」『風力エネルギー』29巻2号（2015年）

<sup>31</sup> 北海道電力は、20kW以上の風力発電設備に蓄電池等を併設し出力変動緩和対策を行うことの技術要件を定めている（北海道電力「風力発電設備の出力変動緩和対策に関する技術要件（平成28年4月）」〈[http://www.hepco.co.jp/energy/recyclable\\_energy/fixedprice\\_purchase/pdf/wind\\_power\\_pv\\_tec.pdf](http://www.hepco.co.jp/energy/recyclable_energy/fixedprice_purchase/pdf/wind_power_pv_tec.pdf)〉）。

<sup>32</sup> 安田陽「風力発電最前線—第5回もしかして日本の蓄電池開発はガラパゴス？（後編）—」（インプレス Smart Grid フォーラム）〈<https://sgforum.impress.co.jp/article/1632>〉

<sup>33</sup> 資源エネルギー庁「再エネの大量導入に向けて～「系統制約」問題と対策」〈<http://www.enecho.meti.go.jp/about/special/tokushu/saiene/keitouseiyaku.html>〉

<sup>34</sup> 内藤克彦『欧米の電力システム改革』（化学工業日報社、2018年）219頁

<sup>35</sup> 同上 28頁

<sup>36</sup> アグリゲーターは、「集めること」を意味するアグリゲーションからきている言葉で、多数の案件を一括し

対価としてインセンティブ（報奨金）を支払うものである<sup>37</sup>。

また、これら需要側の取組と需要側にあるエネルギー設備（再エネ発電設備、蓄電池、電気自動車等）及び家庭用機器（エコキュートや空調機器等）を統合的に制御し、あたかも一つの仮想発電所（V P P : Virtual Power Plant）のように機能させる新たなエネルギービジネスも検討されている。V P Pでは、エネルギー源等の設備に信号を出して制御するプラットフォームが必要とされており、現在はその検証のための実証事業が行われている。V P Pを活用し、V R Eの出力増加に合わせて需要を創出することができれば、V R Eの出力抑制をせずに発電した電気を有効に活用できると期待されている。

さらに、現在、一般送配電事業者が必要とする調整力・予備力は発電事業者から年度ごとの公募によって調達されているが（調整力公募）、調整力公募は、2021年度以降に入札によって調達する需給調整市場に移行することが予定されている。D RやV P Pのような需要側で需給調整能力を持つ者も、この需給調整市場に入札することとなり、調整力の一端を担うことが期待されている。

#### 4. おわりに

本稿では、再エネの主力電源化に向けて課題とされる発電コストの低減、事業環境の整備、系統制約・調整力の確保について確認したが、取り上げることのできなかった課題として、出力予測技術や予測誤差に対して最小の費用でシステムを運用する技術、従来型発電の高機能化の必要性などを挙げるができる。前述したグリッドコードも含め、これらは、I E AがV R E導入における推奨事項として言及しているものでもあることから、I E Aの推奨事項<sup>38</sup>が、日本の施策に適切に反映されているかの検証が必要と思われる。

再エネの導入に関して、例えば風力発電では、将来的に求められる風車の高機能化などの先進的な機能のニーズが技術開発に伝わってきておらず、技術的な弱体化が進みつつあると懸念されている<sup>39</sup>。この背景には、V R Eの大量導入で先行する各国の情報が正確に伝わらず、ともすれば、日本との状況の違いが強調されきた<sup>40</sup>ことも影響していると考えられる。再エネの主力電源化に向けた取組を進めるに当たっては、V R Eの大量導入で先行する各国の事例に学ぶことも必要と思われる。

（あんど う としあき、なかむら なおき）

---

て扱うことにより規模を大きくした上で、取引相手にサービスを提供する一種の仲介業者とされている（西村陽・巽直樹編著『まるわかり電力デジタル革命キーワード250』（日本電気協会新聞部、2018年））。

<sup>37</sup> 資源エネルギー庁「V P P・D Rに関する用語一覧」〈[http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving\\_and\\_new/advanced\\_systems/vpp\\_dr/term.html](http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/advanced_systems/vpp_dr/term.html)〉

<sup>38</sup> N E D O訳『再生可能エネルギーのシステム統合 ベストプラクティスの最新情報（2018.6）』120～127頁

<sup>39</sup> 荻本和彦「再生可能エネルギー大量導入・次世代電力ネットワーク小委員会第7回委員会（2018.8.29）への意見」（第7回 総合資源エネルギー調査会 省エネルギー・新エネルギー分科会／電力・ガス事業分科会 再生可能エネルギー大量導入・次世代電力ネットワーク小委員会 配布資料）

<sup>40</sup> 例として「欧州は連系線が多く日本は少ない」、「欧州の電力システムはメッシュ型で日本はくし型」であることが、日本の再生可能エネルギー導入が進まない理由とされること（安田陽『世界の再生可能エネルギーと電力システム[電力システム編]』（インプレスR&D、2018年）92～106頁）。