

[講演 5]

変わる電力システム

炭谷 一郎 (プロジェクト試験研究部
電力システムグループ 部長)



1. はじめに

電力システムは、発電所、送配電線、変電所、情報通信設備および需要家設備までを含む、現代社会の中でも有数の巨大システムであり、最も重要なインフラの1つであることは言うまでもありません。電気が止まると水道、通信、交通、金融機関などのインフラが停止し、市民生活とともに、経済活動も完全に停止する恐れがあります。

近年の再生可能エネルギー（再エネ）などの分散型電源の増加にともない、電力の流れはこれまでの発電所から需要家への片方向から双方向へ変化するとともに、電力システム改革に伴う新たなプレーヤーの出現により、電力システムは一層複雑化しています。

2050年に二酸化炭素（CO₂）の排出量と吸収量を均衡させる「カーボンニュートラル」達成に向け、再エネを電力システムに大量導入する必要がありますが、その達成は容易ではありません。電力の安定供給を維持しつつ再エネ大量導入を進めるには、送電線の空き容量不足や、これまで主に火力発電所などが担ってきた需給調整力、慣性力への対策が必要です。さらに、再エネ増加にともなう賦課金の増加や電力システムへの設備投資による需要家負担コストの低減など、解決すべき課題は多いです。

2. 電力業界をとりまく環境の変化

(1) 5つのD

電力業界は、2050年に向けて大きな事業環

境の変化に直面しています。これは、以下の「5つのD」で示すことができます。この流れは不可逆的に進み、将来が不透明でも後戻りはできません⁽¹⁾。

① De-Population：人口減少・過疎化の進展

日本の人口は既に減少局面を迎え、2050年には約1億人、その約4割が高齢者になると予想されています。人口減少・高齢化の進展により、電力需要は減少すると考えられ、さらに、人口減少と都市への集中により、2040年には自治体の半数が消滅する可能性が指摘されています。

② De-Carbonization：脱炭素化

日本は、2050年のカーボンニュートラルを宣言し、「第6次エネルギー基本計画」に再エネの主力電源化を一層加速することが織り込まれました。

③ De-Centralization：分散化

再エネの普及による分散型電源のコスト低下とともに、災害時などの強靱性（レジリエンス）の観点からも分散型電源の活用によるエネルギーの地産地消への期待が高まっています。

④ De-Regulation：電力自由化・電力システム改革

発電・小売市場の自由化および送配電事業の法的分離は2020年度までに完了しました。今後は、安定供給、経済性、環境、安全（3E+S）を基本として新たな価値を生み出す制度設計が求められています。

⑤ Digitalization : デジタル化・DX

電力業界では、新しいプレーヤーの参入とともに、デジタル技術を活用する新たなビジネスモデルへの転換が進められています。スマートメーターなど、電気事業の有する膨大なデータを活用した他業種との協働による価値創造にも期待が高まります。

(2) 変わる電気の価値

電気には表1に示すような価値があります。太陽光・風力発電などの再エネは、燃料費が不要で発電の限界費用が安いいため、電力量(kWh)の価値は下がっていきます。その一方、電力供給では需要と供給が絶えず一致する「同時同量」が求められ、再エネ導入拡大に伴い、発電所の設備容量(kW)と需給調整力(Δ kW)の価値は高まります。

さらに、再エネによるグリーン電力など、電気の環境価値への注目が急速に高まっています。

(3) 再エネ主力電源化の国内外の動向

政府は、2021年10月に閣議決定した「第6次エネルギー基本計画」において、2030年の再エネ電力量の比率を36～38%程度と野心的目標を設定しました⁽²⁾。また、経済産業省は、基本政策分科会(2020年12月)において、2050年の再エネ電力量比率を約5～6割(参考値)と提示しました⁽³⁾。

また、国際エネルギー機関(IEA)は2021年5月に公表した「Net Zero by 2050」⁽⁴⁾において、太陽光と風力発電がリードして、再エネの電力量シェアを2020年の29%から2050年までに90%近くまで押し上げ、原子力、水素、そして炭素回収・有効利用・貯留(CCUS)が再エネを補完するとの「正味での排出量ゼロ」(ネットゼロエミッション)のシナリオを公表しました。

3. 再エネ主力電源化に向けた電力システムの課題と展望

(1) 再エネ主力電源化に向けた電力分野の課題

再エネの主力電源化を進めるためには多くの課題がありますが、代表的なものを以下に示します。

① 再エネ電源の拡充

四方を海に囲まれたわが国の特徴を活かし、2050年に向けての主力電源と期待される洋上風力は、風況が良い北海道・東北・九州エリアを中心に高いポテンシャルがあります。

日本風力発電協会(JWPA)は、「洋上風力の産業競争力強化に向けた官民協議会」⁽⁵⁾において、2030年までに10GW、2040年までに30～45GWの洋上風力の導入目標を掲げています。海域利用に関する統一的なルールがない、システムの高コスト、送電方法などの課題は多いですが、洋上風力発電システムは、事業規模が大きく部品も多いため関連産業への波及効果が大きく、システムの競争力を確保した上で、将来の基盤産業としての期待も高いです。

太陽光発電は、環境への影響、立地面の制約、システム価格の高止まりにより、新規導入量が至近では低水準に留まっています⁽⁶⁾。太陽光発電の導入拡大に向けて、国土交通省は、2030年時点で新築戸建住宅の6割に太陽光発電設備を導入する目標を示しました。

② 電気料金高騰の懸念

2012年に開始した固定価格買取制度(FIT制度)による再エネ賦課金は毎年金額が増加し、2021年度は1kWh当たり3.36円となり、家庭用電気料金では単価の約15%を占め大きな負担となっています⁽⁷⁾。

表1 電力の3つの価値

| 電力量(kWh) | 電力(kW) | 調整力(Δ kW) |
|---------------------|--------------------|-------------------------|
| 時間当たりに発電・使用する電力の合計量 | ある瞬間に発電・使用する電力の大きさ | 発電と需要を一致させるために電力を調整する能力 |

さらに、再エネ大量導入のための系統増強費用の増加および高度成長期に建設された送配電設備などの老朽化への対策にも、多額の費用が必要となります。

③ 安定供給の確保

出力が安定せず慣性力を有しない再エネ電源（VRE）の増加により、電力の需給調整は従来よりも困難になりました。石炭火力発電の段階的廃止（フェードアウト）により、供給力および調整力不足の懸念も高まっています。再エネ主力電源化に際しては、中長期的な電力の安定供給確保について万全を期す必要があります。

(2) 日本の電力系統の特徴

日本の電力系統には、以下の特徴があります。① 国土が細長く、電力系統は直線状で串型形状です。② 東側3エリアは50Hz、西側7エリアは60Hzと2種類の周波数があります。③ エリア間の連系は1点が多く、連系送電線の容量が小さいです。これは、戦後の9電力体制では、各エリアの電力系統の独立性が高く、他エリアに事故を波及させないようにするためです。なお、欧州では国の間の連系線が多く、電力系統がメッシュ状になっています⁽⁸⁾。

(3) 再エネ主力電源化に向けた電力系統の技術的課題と対応

出力が絶えず変動する再エネを電力系統に大量導入する際の技術的な課題とその対応の方向性について表2に示します。

電力広域的運営推進機関（OCCTO）は、将来の再エネ電源対応およびレジリエンス向上のため、全国大での広域連系系統のマスタープランの中間整理⁽⁹⁾を2021年5月にとりまとめ、2022年度中に完成予定です。中間整理によると、洋上風力発電が45GW導入される場合（電源偏在シナリオ）の投資規模は約3.8兆円から4.8兆円と試算されました。また、北海道と本州を結ぶ海底直流送電などの必要性が高いルートは具体化を検討しています。

また、再エネの大量導入により、電力需給は大きく変化しました。図1に再エネの導入が最も進んでいる九州エリアの例を示します。2018年5月3日（木）は大型連休中で、年間で最も需要が低い時期ですが、日射条件が良く12時の断面で太陽光発電が需要の約81%を占めました。太陽光発電の出力制御を可能な限り回避するため、火力発電の出力を最小限に絞るとともに、従来は夜間に揚水運転していた揚水発電所を昼間の太陽光発電の余剰分を用いて揚水運転するなど、発電所の役割

表2 再エネ主力電源化に向けた電力系統の技術的課題と対応

| 課題 | 問題点と対応状況 |
|---------------|--|
| ①再エネの送電容量の確保 | <ul style="list-style-type: none"> ◆ 大規模再エネの適地と大規模需要地が離れ、送電線容量が不足。局所的なアクセス線容量不足も発生。 ● 空間的ギャップ ⇒ 日本版コネク&マネージによる対応、地域間連系線の強化、将来の再エネポテンシャルを踏まえたマスタープランの作成 |
| ②再エネの出力変動への対応 | <ul style="list-style-type: none"> ◆ 電力の需要と供給は常にバランスを取る必要があり、現在は調整力として火力・揚水発電に依存。 ◆ 再エネ増加に伴い調整力が不足すると、再エネの出力制御が増加の懸念 ● 時間的ギャップ ⇒ 火力発電の調整力の維持、グリッドコードの整備、需給調整市場の整備、EVなど分散型エネルギー資源(DER)の活用 |
| ③系統の安定性の確保 | <ul style="list-style-type: none"> ◆ 再エネ(非同期電源)増加により慣性力が不足し、大規模電源脱落などに広域停電のリスクが高まる。 ● 直流と交流のギャップ ⇒ 一定量の同期電源の維持、同期調相器の設置、疑似慣性力機能の導入 |

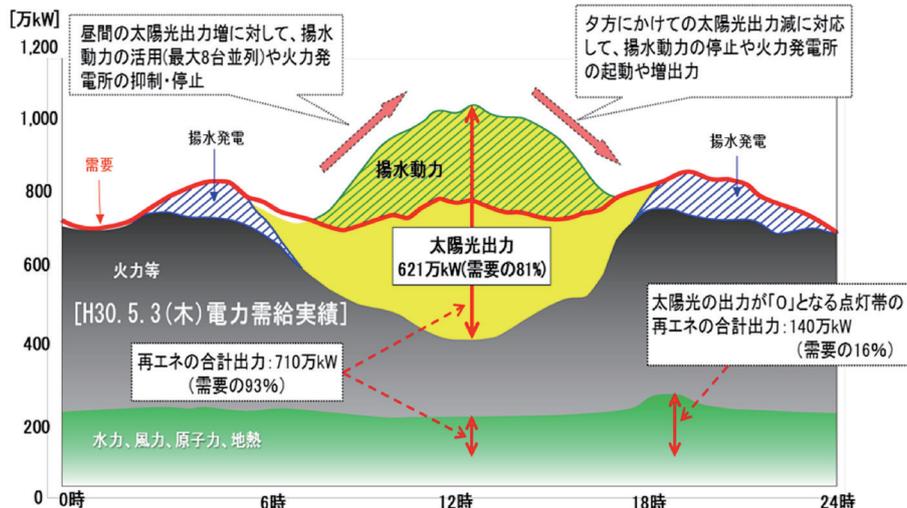


図1 再生エネ大量導入による電力需給の変化⁽¹⁰⁾

が大きく変化しました。

一般送配電事業者10社が会員である送配電網協議会は、2021年5月に「2050年のカーボンニュートラルに向けて～電力ネットワークの次世代化へのロードマップ」⁽¹¹⁾を公表しました。これによると、2050年の再生エネ電源比率は、電力量(kWh)で50%程度、最大電力(kW)で90%超としています。既存系統の有効活用や系統整備とともに、需給調整・系統安定化技術の高度化、遠隔分散型グリッドの導入などの方策が示されています。

4. 地域エネルギー供給の新たな可能性

大規模電源、長距離高電圧送電が中心であった電力システムから、地域の再生エネや需要家側資源を含む分散型エネルギーリソース(DER)を活用する分散型システムへの転換への動きが、地域の自治体や新電力を中心に進んでいます。これは、近年の台風などの自然災害の激甚化による長時間停電の増加により、災害に対するレジリエンスの観点からも注目されています。

例えば、CHIBA むつざわエナジー（千葉県睦沢町）が供給するスマートウェルネスタウンは、2019年9月の台風15号による系統電力の長期間停電時において、タウン内の道の駅およ

び住宅への電力供給を可能としました⁽¹²⁾。また、電気自動車(EV)は、大容量蓄電池を分散型電源として活用する系統安定化への貢献、動く蓄電池として停電時の電源確保など、電力システムと一体となった運用が期待されます。

ドイツのシュタットベルケ（電気、ガス、水道、交通などの公共インフラを整備・運営する自治体出資の公的企業）は、地方自治体単位でエネルギー・交通などの公共サービスを提供する公益事業体の成功例とされています。日本の地域エネルギー供給システムは、現時点では収益性を確保するビジネスモデルが十分に描けていない課題がありますが、2020年の電気事業法改正により創設された配電事業ライセンスの活用などの制度面の整備を含め、今後の展開が期待されます。

5. 最後に

2011年の東日本大震災を契機に加速した電力システム改革により「一般電気事業者」の制度がなくなり、安定供給は各事業者がそれぞれの責任を果たすことにより確保されることになりました⁽¹³⁾。電力システム改革は、広域的運用と市場メカニズムにより効率的な安定供給確保を目指していますが、電力供給の最終責任を誰が担うかは不明確になりました。

中長期的な観点からの供給責任を担保する仕組みとして容量市場が創設されましたが、2020年9月の初回入札では上限価格での落札となりました⁽¹⁴⁾。また、2020年12月から2021年1月の寒波および液化天然ガス(LNG)不足などに起因する需給逼迫時に、日本卸電力取引所(JEPX)のスポット価格が高騰する⁽¹⁵⁾などの市場メカニズムの課題が発生しています。このように新たな市場を作り、失敗のたびにそれを運用面の問題とすることが繰り返されています。各事業者は複雑な制度と向き合い、問題が顕在化するたびに将来の事業が見通せない状況に陥っています。

また、カーボンニュートラルの達成に向けて、非効率な石炭火力のフェードアウトの方針⁽¹⁶⁾が示され、石油火力は稼働率低下による採算性悪化などによる廃止が計画されるなど、火力発電の供給力低減が加速すると見通されます。

再エネの大量導入に向けて、現在の電力の安定供給は、「旧一般電気事業者」の長年のDNAである「使命感」により保たれてきた側面があります。電力・エネルギー分野は、制度が複雑で理解が難しい反面、これまで何とか安定供給が確保されてきたことから国民の関心が低いですが、大きな分岐点に立っています。

一度低下した供給信頼度を元に戻すことは容易ではありません。今後の電力システムの制度設計においては、各事業者が責任を持って安定供給を支える意識とともに、事業者の健全な投資意欲を引き出す工夫、社会全体で電力の安定供給とそれに見合ったコストをどのように負担していくかの議論が求められています。

参考文献

- (1) 竹内 「2050年のエネルギー産業－日本のエネルギー大転換－」, 経済産業省 次世代技術を活用した新たな電力プラットフォームの在り方研究会, 2018年10月30日
- (2) 経済産業省 「エネルギー基本計画」, 2020年10月
- (3) 資源エネルギー庁 「2050年カーボンニュートラル

の実現に向けた検討」, 経済産業省 総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会, 2020年12月21日

- (4) International Energy Agency, “Net Zero by 2050,” May 2021
- (5) 日本風力発電協会, 「洋上風力の主力電源化を目指して」, 経済産業省 洋上風力の産業競争力強化に向けた官民協議会, 2020年12月15日
- (6) 太陽光発電協会 「太陽光発電の現状と自立化・主力化に向けた課題」, 経済産業省 調達価格等算定委員会, 2021年10月29日
- (7) 資源エネルギー庁, 「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」, 経済産業省 調達価格等算定委員会, 2021年10月4日
- (8) 資源エネルギー庁, 「系統制約の緩和に向けた対応」, 2018年1月24日
- (9) 電力広域的運営推進機関, 「マスタープラン検討に係る中間整理」, 2021年5月20日
- (10) 九州電力㈱, 「再エネ出力制御に向けた対応状況について」, 2018年10月
- (11) 送配電網協議会, 「2050年のカーボンニュートラルに向けて～電力ネットワークの次世代化へのロードマップ」, 2021年5月
- (12) パシフィックパワー㈱, 「自治体新電力「CHIBA むつざわエナジー」の地域資源を生かした防災エネルギー拠点づくり」, 環境省シンポジウム, 2019年10月31日
- (13) 資源エネルギー庁, 「電力システム改革の概要」, 2014年10月
- (14) 電力広域的運営推進機関, 「容量市場メインオークション約定結果」, 2020年9月14日
- (15) 資源エネルギー庁, 「今冬の電力スポット市場価格高騰に係る検証について」, 経済産業省 電力・ガス基本政策小委員会, 2021年2月17日
- (16) 資源エネルギー庁 「石炭火力検討ワーキンググループ 中間取りまとめ概要」, 2021年4月23日