

トレンド

カーボンニュートラルの実現に向けた 電力・エネルギー業界の課題と東芝グループの取り組み

Challenges Facing Electric Power and Energy Industries for Realization of Carbon Neutrality and Toshiba Group's Approach

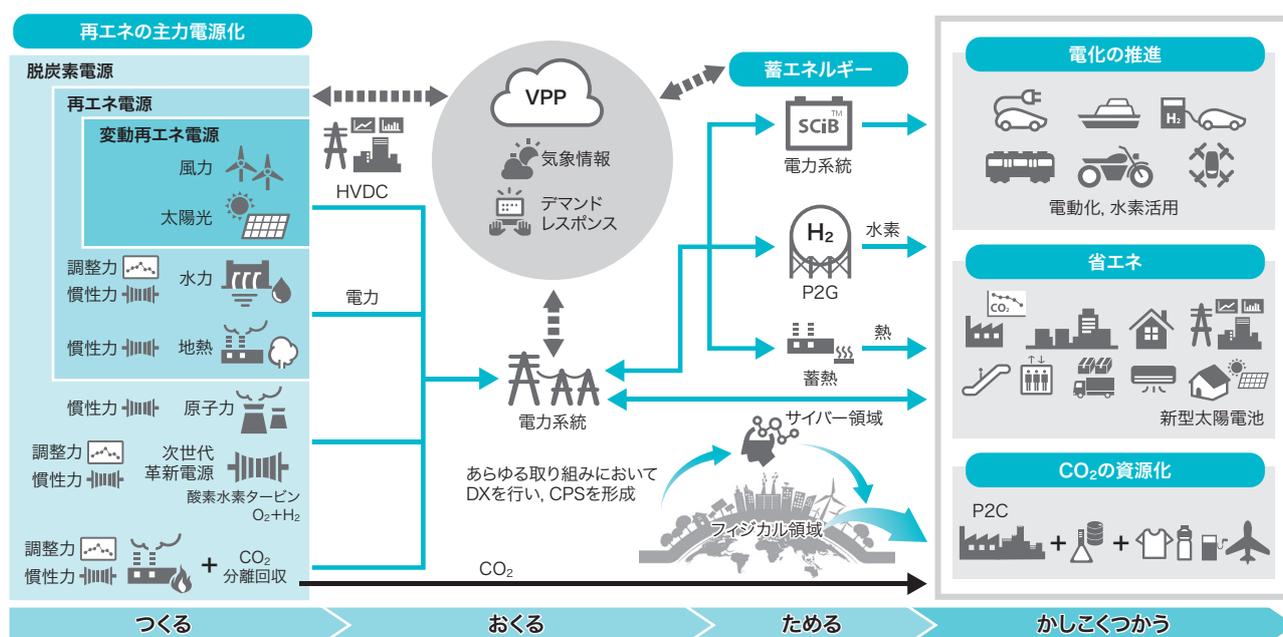
保坂 一志 HOSAKA Hitoshi 小坂田 昌幸 KOSAKADA Masayuki

世界レベルでのカーボンニュートラル実現を目指す中で、電力・エネルギー業界の貢献は必須のものと位置付けられる。カーボンニュートラルの実現には、様々な技術を駆使して多方面から総力を挙げて取り組んでいく必要がある。

東芝グループは、(1)主力電源化を進める太陽光発電、風力発電、水力発電、及び地熱発電（以下、太陽光、風力、水力、及び地熱と略記）などの再生可能エネルギー（以下、再エネと略記）による発電や、(2)火力発電所の脱炭素化や二酸化炭素（CO₂）の利活用、(3)気象条件で発電出力が変動する再エネ（以下、変動再エネと略記）電源を受け入れる系統技術、(4)蓄電・蓄エネルギー技術としての揚水発電や蓄電池、(5)水素（H₂）の利活用、(6)デジタル技術を駆使した発電所や電力の需給管理の最適運用・高度化などにより、カーボンニュートラル実現に貢献していく。

Accompanying the increased momentum toward carbon neutrality worldwide, the electric power and energy industries are expected to play a critical role in the sophistication of various technologies in a wide range of infrastructure systems.

The Toshiba Group has been developing systems and offering services toward the achievement of carbon neutrality by making full use of the following technologies: (1) power generation technologies for renewable energy systems as a major power source, including photovoltaic (PV) power generation, wind turbine, hydroelectric power generation, and geothermal power systems; (2) technologies related to decarbonization of thermal power plants and effective utilization of carbon dioxide (CO₂) emissions; (3) electricity distribution technologies to connect variable renewable energy power sources; (4) technologies for electricity and energy storage systems such as pumped-storage power plants and battery energy storage systems; (5) hydrogen utilization technologies; and (6) technologies for the optimal operation and sophistication of power plants and electricity supply and demand management using digital technologies.



O₂:酸素 HVDC:高圧直流送電 VPP:バーチャルパワープラント SCiB™:東芝製リチウムイオン二次電池 P2G:Power to Gas P2C:Power to Chemicals
DX:デジタルトランスフォーメーション CPS:サイバーフィジカルシステム

特集の概要図。カーボンニュートラル実現に向けた取り組み
Toshiba Group's approaches to solutions for carbon neutrality

1. まえがき

電力・エネルギー業界を取り巻く環境は、大きく変貌している。我が国では、2011年8月に施行された再生可能エネルギー特別措置法や、2016年のパリ協定発効などにより、再エネによる発電比率が急速に伸長している。パリ協定を受けて、我が国は中期目標として2030年度の温室効果ガス排出量を2013年度実績に対して26%削減、そして2050年までに同80%削減に取り組むことを宣言し、更に2020年10月には、2050年までにカーボンニュートラルの実現を目指すことを宣言した。これにより、あらゆる産業分野においてビジネス戦略の変革が迫られ、中でも電力分野の脱炭素化は大前提であると言われている。2020年12月に公表された政府のグリーン成長戦略では、2050年において、再エネは発電量の約50～60%、原子力発電（以下、原子力と略記）+CO₂分離回収機能付き火力発電（以下、火力と略記）は30～40%、及び水素・アンモニア発電は10%程度、を賄うことを目安としている。2030年及び2050年の電源構成目標の推移を、**図1**に示す。

東芝グループは、カーボンニュートラルの実現に向けて、再エネの主力電源化や、発電所の脱炭素化・CO₂の利活用、デジタル技術を用いた発電所の最適運用や需給管理の高度化などに取り組んでおり、ここではその概要について述べる。

2. 再エネの導入拡大に伴う動向

再エネ主力電源化のためには、太陽光と風力の伸長が欠かせないが、これらは日射や風などの気象条件で発電出力が変化する変動再エネ電源であることから、出力変動分の調整を行う必要がある。火力や揚水発電を含む水力は、これら調整力電源として既に活用されているが、カーボンニュートラルに向けてはCO₂の分離回収機能を設けた火力や、酸素水素燃焼発電、蓄熱発電など、CO₂を排出しない新しい発電技術の開発も求められる。

また、原子力や地熱は、ベース電源として一定の発電量を担っていくことになるが、原子力の再稼働が進むと火力による調整代が更に小さくなる。これを補うためには、蓄電・蓄エネルギーシステムを用いた出力調整も、必要になってくる。

デジタル化技術の更なる高度化も進む。バーチャルパワープラント(VPP)技術は既に実用段階に入っているが、再エネ主力電源化やカーボンニュートラル達成のためには、IoT (Internet of Things) を基軸としたデジタル技術の最大限の活用が必須である。このように、カーボンニュートラルの実現に向けては、多方面で技術課題を克服していく必要がある。

2.1 再エネの大量導入に伴う諸課題

今後太陽光や風力が大量導入された際の系統運用上の課題が指摘されている⁽³⁾。余剰電力の発生や、周波数変動、電圧変動などへの対処は、発電出力が気象条件によって変動するがゆえの課題である。再エネの大量導入が進む

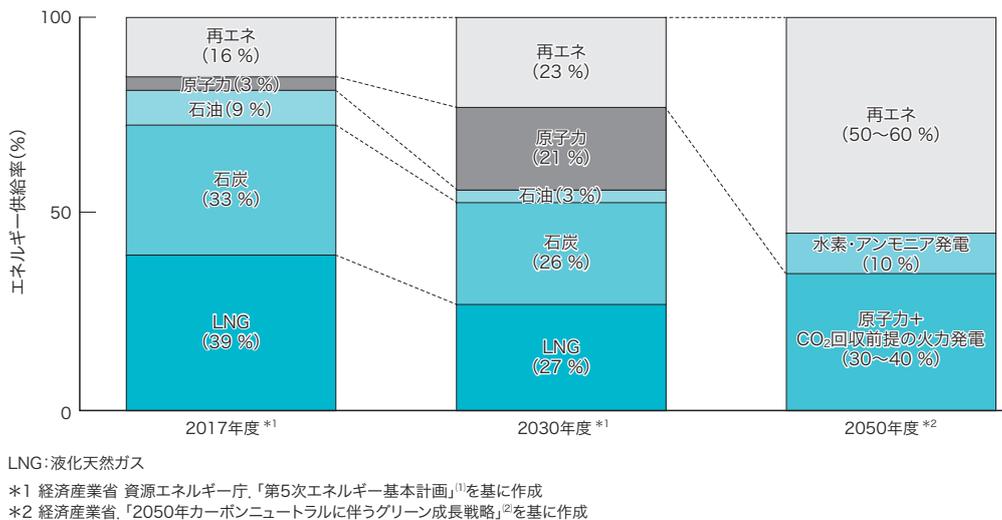


図1. 2030年及び2050年の電源構成目標

政府のグリーン成長戦略では、2050年にカーボンニュートラルの実現を目指すことが宣言されている。

Targeted power source composition ratios in Japan in FY2030 and FY2050

と、優先給電ルールにより調整力を担っている火力の出力が制限され、電力系統全体の調整力の不足が加速していくことになる。

変動再エネは、インバーターを介して系統に連系されることから、同期発電機とは違って慣性力や同期化力を持たないため、系統事故時の周波数変化の速度が大きくなり、系統安定度が低下する問題がある。更に、系統の短絡容量の低下によって、電力系統の短絡・地絡事故時の電流が減少することから、保護リレーの設定方法など系統保護の考え方も、見直していく必要がある。

送電網の整備も課題である。これまでは、原子力や火力など大規模電源の立地に合わせて送電網を計画的に整備してきたが、変動再エネの立地点が従来の送電網に適合しているとは限らず、送電線の潮流分布が変わってくるため、送電網の再整備や再エネ電源に合わせた最適化も必要になる。

2.2 太陽光, 風力

2030年のエネルギーミックスでは太陽光で6,400万kW、風力で1,000万kWを目標としており、2020年3月時点で太陽光は約87%、風力で約42%の導入進捗率となっている⁽⁴⁾。太陽光は、2012年に導入された固定価格買取(FIT)制度により大きく拡大したが、今後は洋上を含めた風力が伸長していくものと見られている。

これらは、前述のとおり変動再エネ電源であることから、電力の需給を調整する機能が別に必要である点をはじめ、設備のコストダウンニーズへの対応、電力系統への接続に関する送電容量ほかの技術的な問題、更に制度面も含めた系統制約と言われる問題があり、これらの点も同時に解決していく必要がある。

2.3 水力, 地熱

風力、太陽光と並んで、再エネ主力電源化のためには、水力と地熱も重要である。水力と地熱は、発電量予測がしやすく、同期発電機による発電であることから、慣性力の提供など系統安定性への寄与の観点からも拡大が期待される。2030年のエネルギーミックスでは、地熱で140～155万kW、水力で1,090～1,170万kWを目標としているが、2020年3月時点で地熱が約40%、中小水力で約86%の導入進捗率となっている⁽⁴⁾。

水力のうち、揚水発電とダム式は、変動再エネの調整力として活用できるが、一方で特に揚水発電では設備容量に対する利用率が3%程度と言われており、水力の活用を拡大するための制度設計が求められる。また、中小水力は、FIT制度導入以降の認定量を加えても40万kWの増加にとどまっており、目標値までの90～170万kWの増加を達成する促進策が期待される。

地熱の場合は、地下資源開発から行う必要があることや、計画から事業化まで10年スパンの年月を要することなどから、事業性に不透明さがあることが導入リスクとなっている。地熱の導入を加速していくためには、今後移行するFIP(Feed-in Premium)制度において、事業化への予見性が確保できる基準価格と交付期間の設定など、制度の拡充が必要となる。また、地域活用電源として、レジリエンス(危機耐性力)強化やエネルギーの地産地消を促進するための制度設計も進められている。

2.4 火力

2020年7月、経済産業省は、2030年までの非効率石炭火力のフェードアウトと再エネ主力電源化に向けた仕組み検討の開始を打ち出した。東芝グループも、同年11月に石炭火力発電所建設の新規受注停止を発表するなど、石炭火力は大きな転換点を迎えている。

資源エネルギー庁による電源構成比の2019年度の速報値では、火力は、燃料別に、石炭が32%、ガスが37%、石油などが7%であり、全体の76%を担っている⁽⁵⁾。2050年のカーボンニュートラル実現に向けては、電源構成における火力の比率低下は避けられないが、変動再エネへの調整力や系統安定度の維持向上のための慣性力を供給する役割が求められる。そのためにも、既設発電所に対してはCO₂分離回収設備を追設していくと同時に、CO₂排出量を低減・削減するような、熱エネルギーを利用した火力代替発電技術の開発などを加速していくことが必要となる。しかし、例えばCO₂分離回収では、回収したCO₂をどうするかについて解決していく必要がある。CCS(Carbon Dioxide Capture and Storage)の場合は地下貯留のための地点開発、CCU(Carbon Dioxide Capture and Utilization)の場合はサプライチェーンの構築などが課題となる。

2.5 VPP, デジタル化

電力システムでは、需給のバランスを常に保つことが不可欠であるが、従来は需要の変動に対して大規模発電所の出力調整制御だけで対応していた。これに対して、需要家側の負荷や、小規模な分散型電源、蓄電池などのリソースをIoTでつなぎ、これらを複数束ねて最適制御することで、需給バランス確保に寄与させるVPPの適用拡大が期待されている。昨今では、この概念を進化させ、再エネバランシンググループ(BG)として変動再エネの導入拡大に活用する動きも出てきている。

デジタル化という観点では、VPPや電力系統技術以外にも、発電所や変電所の運用高度化に向けて、従来技術と組み合わせた形での導入の動きは目覚ましく、また被害状況の見える化やオフグリッド運用などのレジリエンス対応強化

においても、デジタル化技術をフルに活用して高度化が進められている。

2.6 蓄電・蓄エネルギー、水素

変動再エネの比率が今後伸長していく中で、その出力変動を吸収して需給バランスを調整する手段として、蓄電・蓄エネルギー技術の重要度が高まっている。従来は、揚水発電以外の方法で電力をためることが難しかったが、ここ10年での蓄電池技術の進歩は目覚ましく、既に電力システムの中でも実用領域に達している。政府のグリーン成長戦略では、コスト面でのより一層の進歩とともに、産業分野としての成長も期待されている。

クリーンで長期間かつ大量にエネルギーの保存が可能な、水素への期待も大きい。余剰電力の吸収や、発電などの電力利用以外でも、車両、船舶、鉄道などの運輸分野での利用、鉄鋼や化学など産業分野での利用など、幅広い分野での利活用が期待されている。また、調整力、慣性力の貴重な提供源である火力からCCUで回収したCO₂を燃料化する、P2C (Power to Chemicals) へも発展可能である。

3. 東芝グループの取り組み

3.1 カーボンニュートラルに向けた取り組み

再エネ比率の拡大に向けて、太陽光や風力、水力などの再エネ電源技術の開発・高度化に取り組んでいる。

再エネの出力変動を吸収する調整力対応として、CCS付き火力や、揚水・中小水力の活用、水素や熱貯蔵などの蓄エネルギー技術、更にデジタル技術を活用して需給のバランスを高度化・最適化するためのVPP技術などの開発に取り組んでいる。調整力としても期待されている、火力のカーボンニュートラル化に向けた技術開発も進めている。更に、再エネ拡大による余剰電力で生成される水素と回収したCO₂を活用した、P2Cの技術開発も進めている。また、温暖化対策の観点からは、高電圧変電機器で広く用いられているSF₆(六フッ化硫黄)ガスの代替技術についても、取り組んでいる。

3.1.1 脱炭素発電技術

脱炭素発電の一つとして、水力がある。再エネ電源であるとともに、調整力の提供及び電力系統への慣性力の供給など、水力も役割の変化が求められている。それに備えて、水車、発電機の性能や機能の向上を図るとともに、東芝グループの強みを生かし、気象予測などのAI技術や、ほかの電源と組み合わせたバランシング制御技術などを統合した、より電力系統に貢献できるシステム開発に取り組んでいる(この特集のp.12-16参照)。

変動再エネの大量導入を見据えて、その余剰電力を有

効利用する発電技術についても、開発を進めている。酸素と水素を燃焼させることで発電を行う酸素水素燃焼発電システムは、発電時には蒸気だけが発生し、CO₂やNO_x(窒素酸化物)などは発生しないクリーンな発電システムである。更に、発電に使用する酸素や水素を変動再エネで生成することで、燃料系も含めたカーボンニュートラル実現のための一つの技術として期待されており、東芝グループも技術開発を進めている。

また、変動再エネの余剰電力を利用するもう一つの技術として、蓄熱発電がある。これは余剰電力を熱として蓄え、電力が必要となる時間帯などに合わせて蒸気発生器で蒸気を発生させ、タービン・発電機により発電する技術である。既存の火力発電所に追設することも可能であり、脱炭素化に向けた新しい発電システムとして、技術開発を進めている。

次世代の新規太陽電池として、フィルム型ペロブスカイト太陽電池の研究開発を進めている。これは、塗布技術によりフィルム上に形成でき、軽量でフレキシブルという特長を持ち、従来は設置が難しかった曲面や耐荷重の制限があるところにも設置できることが魅力である。既に、約30 cm角のサイズで太陽電池モジュールのエネルギー変換効率14.1%を達成しており、耐久性向上にも取り組んでいる(同p.17-20参照)。また、異なる波長吸収帯を持つ太陽電池を重ね合わせたタンデム型太陽電池についても、軽量かつ高効率という特長を備えており、研究開発を進めている⁶⁾。

風力においては、サイトの風況や、風車配置に基づく相互の影響による風況で、発電量が大きく影響を受ける。東芝グループは、蒸気タービンや水車などで培ってきた流体解析技術をベースに、風況評価において重要となる洋上風況計測手法の確立、及び大気安定度と風車後流(ウエイク)評価などの風況解析技術の高度化に取り組んでいる(同p.21-25参照)。

3.1.2 脱炭素発電を受け入れる技術

CO₂分離回収技術の実証及び向上を目的として、東芝グループは、2009年9月に福岡県大牟田市の(株)シグマパワー有明三川発電所内にCO₂分離回収パイロットプラントを建設した。CO₂回収量は10 t/日であり、実際に三川発電所の排ガスからCO₂を分離回収する技術の検証試験を行ってきた。また、2020年10月には、環境省の環境配慮型CCS実証事業の一つである、大規模CO₂分離回収実証設備が同三川発電所の隣接地に竣工(しゅんこう)した。この実証設備は、600 t/日のCO₂分離回収能力を保有しており、その検証試験を進め実用化に向けて取り組んでいる(同p.8-11参照)。

風力や太陽光をはじめとした再エネ発電を最大限活用し

ていくための各種技術についても、多方面から取り組んでいる。系統制約への対応としては、電力系統の過渡安定度対策システムの高度化や新規再エネ電源を受け入れる際の“系統の空き容量問題”の解決策として、いわゆる“日本版コネクト&マネージ”などへの取り組みを進めている。

また、今後我が国でも導入が拡大する洋上風力に関して、海上で発電した電力を陸上へ効率良く送電する技術も重要であり、そのための技術として最新のモジュラーマルチレベル方式の自励式変換器(MMC: Modular Multilevel Converter)を用いた直流送電(HVDC: High Voltage Direct Current)システム技術や、多端子構成のHVDCで必要となる直流遮断器について、技術開発に取り組んでいる(同p.21-25参照)。

火力発電所などから回収したCO₂を電気分解して得られるCO(一酸化炭素)を、余剰となった再エネによる電力を用いて製造したグリーン水素と合成して、ジェット燃料などの合成燃料やプラスチックなどの化成品を製造することで資源化を行う、P2Cにも取り組んでいる(同p.26-30参照)。

蓄電・蓄エネルギー技術として既に実用化した定置型蓄電池システム⁽⁷⁾や、オフグリッド地域に向けた水素システムの開発を進めている⁽⁸⁾。余剰となった再エネによる電力を用いて水の電気分解でグリーン水素を大規模に製造するP2G(Power to Gas)技術や、燃料電池モジュールの開発を進めている(同p.31-35参照)。

3.2 最適運用のためのデジタル技術(VPP, 最適発電計画)

東芝グループは、サイバー領域とフィジカル領域を組み合

わせたインフラサービスの展開を目指しており、発電設備や電力系統などの分野でも、インフラサービス提供のための技術開発を進めている。その概念図を、図2に示す。

東芝グループにおけるVPPは、2013年に経済産業省の実証事業の中で手掛けたデマンドレスポンス(DR)の技術を基に、社会ニーズや制度の検討整備状況に応じてアジャイル手法での開発により高度化してきた。昨今では、再エネの主力電源化の中でのFIP制度に対応し、インバランス回避のための再エネ発電量予測、需要予測、及び需要側の運用技術の高度化を進めており、2020年12月には、VPP as a Serviceとしてサブスクリプション方式での提供も開始した(同p.36-39参照)。東芝エネルギーシステムズ(株)は2020年11月に、世界最大のVPP事業者であるドイツのネクストクラフトベルケ社とともに、東芝ネクストクラフトベルケ(株)を設立した。ネクストクラフトベルケ社との協業により世界レベルの高度なサービス提供を進めていく⁽⁹⁾。

発送電分離により、従来の電力会社(旧一般電気事業者)の中央給電指令所(中給)の機能が、系統の電力品質を維持するために送電網の最適運用を行うエリア中給と、発電と販売の需給バランス調整を行うバラシンググループ中給(BG中給)に分かれて運用されているが、それぞれ対応したシステムの開発を進めている⁽¹⁰⁾。

発電所などの設備資産を最大限に生かすためには、発電所固有の各種制約や電力取引市場の状況も加味した上で、実用的な時間で運転・停止計画を立てる必要がある。実際の運用やユーザーエクスペリエンスなどのフィジカルな部分も考慮しつつ、デジタル化された各種情報連携を強化して

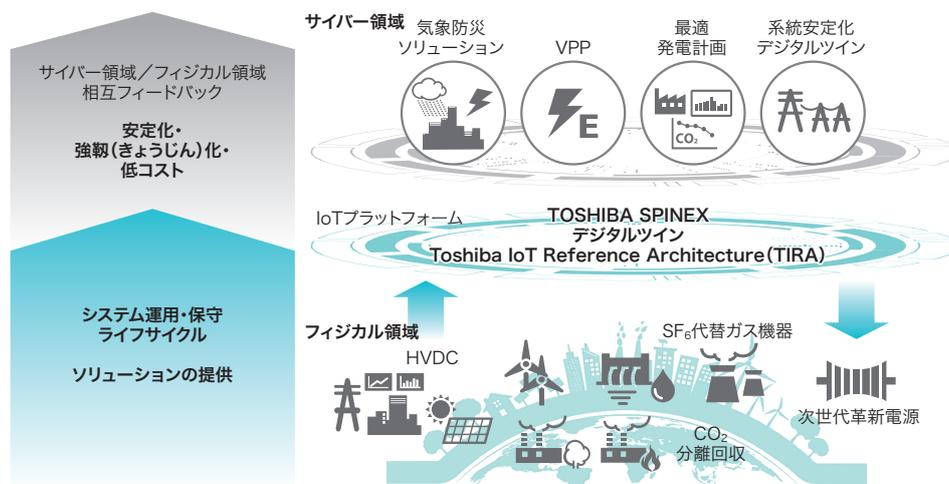


図2. デジタル技術を駆使したインフラサービスの提供

長年技術を培ってきたフィジカル領域と、デジタル技術を駆使したサイバー領域を組み合わせ、新たな価値を提供する。

Provision of infrastructure services by integrating cyber and physical technologies

実現した最適発電計画についても、開発を進めている。再エネ発電への適用拡大も視野に入れてIoTプラットフォーム上で構築し、マイクロサービスの一つとして提供するものである(同p.40-43参照)。また、IoTプラットフォームによるサービス提供は、変電所などにも展開を進めている⁽¹¹⁾。

4. 今後の展望

2050年のカーボンニュートラル実現に向けて、電力・エネルギー業界には大きな貢献が求められるが、その実現は容易ではなく、克服すべき技術課題も多い。

東芝グループは、再エネ発電の拡大や火力発電所の脱炭素化、水素の利活用や蓄エネルギー技術も含めた発電形態の多様化、デジタル技術を駆使した発電所や需給管理の最適運用・高度化など、多方面からの取り組みを進めていく。

文 献

- (1) 経済産業省 資源エネルギー庁. エネルギー基本計画. 2018, 106p. <https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/pdf/180703.pdf>. (参照 2021-03-22).
- (2) 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, 63p. <<https://www.meti.go.jp/press/2020/12/20201225012/20201225012-1.pdf>>. 参照 2021-03-22).
- (3) 坂東 茂, ほか. 2050年を見据えた再生可能エネルギー大量導入による余剰電力の用途に関する調査と一考察 研究報告:C16011. 電力中央研究所, 2017, 44p.
- (4) 経済産業省 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案. 2020, 56p. <https://www.meti.go.jp/shingikai/santeii/pdf/061_01_00.pdf>. (参照 2021-03-22).
- (5) 経済産業省 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. 2020, 149p. <https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/035/035_004.pdf>. (参照 2021-03-22).
- (6) 東芝. “亜酸化銅 (Cu₂O) 太陽電池で初の透明化に成功-低コストで高効率なタンデム型太陽電池の実現に向けて-”. 研究開発ライブ러리. <<https://www.global.toshiba.jp/technology/corporate/rdc/rd/topics/19/1901-01.html>>. (参照 2021-03-25).
- (7) 小林武則, 竹田大輔. 再生可能エネルギー拡大に向けた蓄電池システムの現状と動向. OHM. 2018, 105, 11, p.39-44.
- (8) 辻 正洋, ほか. H2Oneの離島などへの導入に向けた取り組み. 東芝レビュー. 2019, 74, 5, p.54-58. <https://www.global.toshiba/content/dam/toshiba/migration/corp/techReviewAssets/techreview/2019/05/74_05pdf/f03.pdf>. (参照 2021-03-25).
- (9) 東芝エネルギーシステムズ. 世界最大規模のVPP事業者「ネクストクラフトベルケ」と新会社の設立に合意. プレスリリース&ニュース. <https://www.toshiba-energy.com/info/info2020_1104.htm>. (参照 2020-11-04).
- (10) 市川量一, ほか. 送電分離に対応した電力需給管理システム. 東芝レビュー. 2017, 72, 4, p.48-51. <https://www.global.toshiba/content/dam/toshiba/migration/corp/techReviewAssets/techreview/2017/04/72_04pdf/b03.pdf>. (参照 2021-03-25).
- (11) 庄野貴也, 才田敏之. 電力流通の変革を支えるデジタルサービス. 東芝レビュー. 2020, 75, 3, p.16-20. <https://www.global.toshiba/content/dam/toshiba/migration/corp/techReviewAssets/techreview/2020/03/75_03pdf/a05.pdf>. (参照 2021-03-25).



保坂 一志 HOSAKA Hitoshi
東芝エネルギーシステムズ(株)
品質・生産企画部
電気学会会員
Toshiba Energy Systems & Solutions Corp.



小坂田 昌幸 KOSAKADA Masayuki
東芝エネルギーシステムズ(株)
IEEE・CIGRE・電気学会会員
Toshiba Energy Systems & Solutions Corp.