

トレンド

グリーンエネルギーアグリゲーションへの取り組み

Toshiba's Approaches to Green Energy Aggregation Service Contributing to Stabilization of Power Systems

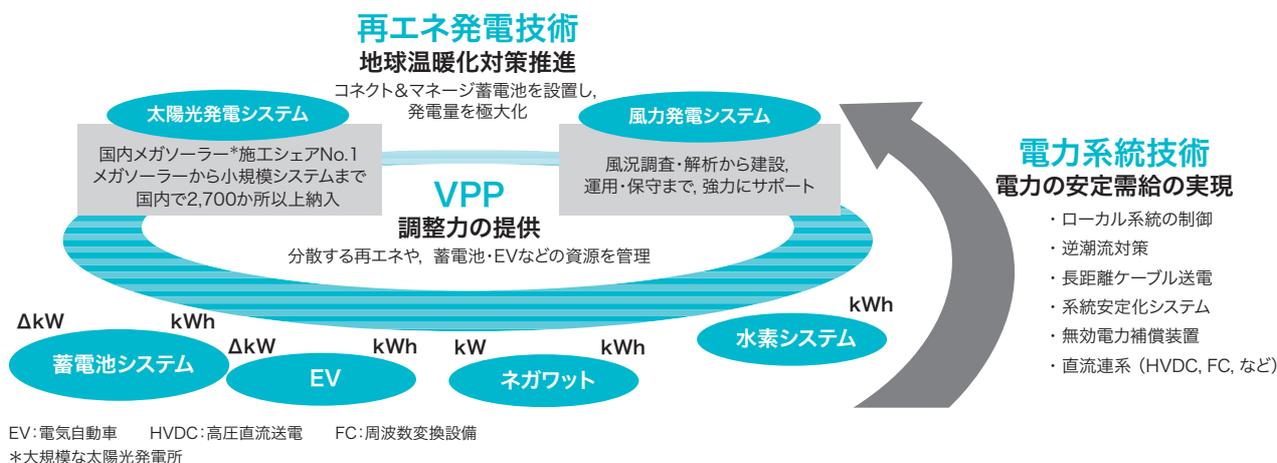
小坂田 昌幸 KOSAKADA Masayuki 中井 昭祐 NAKAI Akimasa 藤塚 真也 FUJITSUKA Shinya

太陽光や風力などの再生可能エネルギー（以下、再エネと略記）による発電は、発電時にCO₂（二酸化炭素）を排出しないことから地球温暖化対策の一つとして期待され、大量に導入が進んでおり、今後もその傾向は続く見込みである。再エネによる発電量は天候などの影響を受けやすいが、余剰電力の蓄電を運用して不安定性を除去することにより、安定したグリーンエネルギーとして供給できる。需要側の蓄電システムに蓄えられる蓄電エネルギーや分散エネルギーリソース、あるいはDR（デマンドレスポンス）により生み出したネガワットを、ICT（情報通信技術）で束ねて調整力を提供し活用する、VPP（Virtual Power Plant：仮想発電所）、及びそれらを活用したERAB（エネルギーリソースアグリゲーションビジネス）が注目されている。また、電力系統の安定性を保ちながら大量の再エネ電源を受け入れて活用するには、ほかにも様々な電力系統技術が必要である。

東芝グループは、再エネ発電、VPP、及び電力系統の各技術を組み合わせ、環境価値の高い電力を提供する取り組みである、グリーンエネルギーアグリゲーションの実現に向けて技術開発を進めている。

Power generation systems utilizing renewable energy sources with no carbon dioxide emissions, also known as green energy systems, are expected to be widely introduced as a countermeasure against global warming. Such systems include solar photovoltaic (PV), wind power, and other systems. However, as these systems are affected by weather conditions, their output tends to be unstable. In this context, attention is being increasingly focused on green energy systems stabilized by the use of battery energy storage systems that can store surplus generated power. To increase the usability of green energy, new services utilizing information and communication technologies (ICTs) connecting the storage batteries of electricity users and various distributed energy resources, including demand response (DR), virtual power plants (VPPs), and the energy resource aggregation business (ERAB) employing DR and VPPs, have become widely disseminated. Various other technologies are also required in order to connect large amounts of electricity supplies utilizing renewable energy sources while maintaining the stable supply and demand of electric power systems.

The Toshiba Group is engaged in research and development aimed at facilitating the provision of a green energy aggregation service with high environmental value by integrating technologies for renewable energy power generation, VPP, and electric power systems.



特集の概要図。グリーンエネルギーアグリゲーションの全体像
Overview of green energy aggregation service

1. まえがき

昨今、再エネ発電の急速拡大とともに、需要側に分散したエネルギーリソースを有効に活用するERABという新しい事業形態の概念が広まっている。これは、太陽光や風力などの再エネによる発電や、需要側に分散する発電設備及び二次電池システムをはじめとする蓄電エネルギー設備、更には省エネによる調整力を束ねて提供するDRなどに、ICTを活用して付加価値を生み出し、電力の需給システムの一翼を担わせるものである。地球温暖化対策やエネルギー自給率の向上など、我が国が抱える課題を解決する有効な手段として注目を集めている。

2. エネルギーリソースアグリゲーションを取り巻く環境

再エネ発電の更なる拡大と、エネルギーリソースアグリゲーションへの期待の背景を、以下に述べる。

2.1 地球温暖化対策としての再エネの導入

地球温暖化対策として、発電システムにまず求められるのはCO₂を排出する化石燃料への依存度を下げることであり、電力消費の観点では省エネの推進が重要である。我が国においては、経済産業省による「長期エネルギー需給見通し」⁽¹⁾で、2030年のエネルギー需給構造として、2013年度に比べて需要拡大が予想される中、徹底した省エネで使用量を17%削減し、更に再エネを大量導入して全エネルギー

の22~24%を賄うとの方針が打ち出されている(図1)。更に、2018年4月には、2050年までの長期エネルギー戦略を検討する有識者会議である「エネルギー情勢懇談会」⁽²⁾で、再エネは「経済的に自立し脱炭素化した主力電源化を目指す」として方向付けられている。

2.2 電力システム改革

現在我が国で進行中の電力システム改革は、電力の安定供給の確保、電気料金の抑制、及び需要家の選択肢や事業者の事業機会の拡大を目的として進められている(図2)。具体的な改革プログラムは、次の三つのステップから成る。

まず、広域系統運用の拡大を目的として、2015年に広域系統運用機関が設立された。2016年には、小売りと発電を全面自由化する小売業の全面自由化が行われた。更に、送配電部門の中立性を一層確実にする送配電部門の法的分離(発送電分離)が、2020年に進められる予定となっている。

一連の改革で、広域系統運用範囲の拡大により再エネを含む電力流通が全国レベルで柔軟にできるようになることや、小売りと発電の自由化により料金メニューが多様化し競争が促進されることなどの効果が期待できる。

再エネの急速な導入拡大は世界的な傾向であり、また電力システム改革はそれぞれの国で異なるステップで進行しているが、我が国では、この二つが同時進行するという点が世界の先例とは異なる特徴であり、また技術的対応の難易度を高くしている。

2.3 デジタルトランスフォーメーション

センシングや、伝送・通信ネットワーク、データマイニングなどICTの進歩は著しい。第3次ブームと言われるAIや、もののインターネットであるIoT (Internet of Things) は既

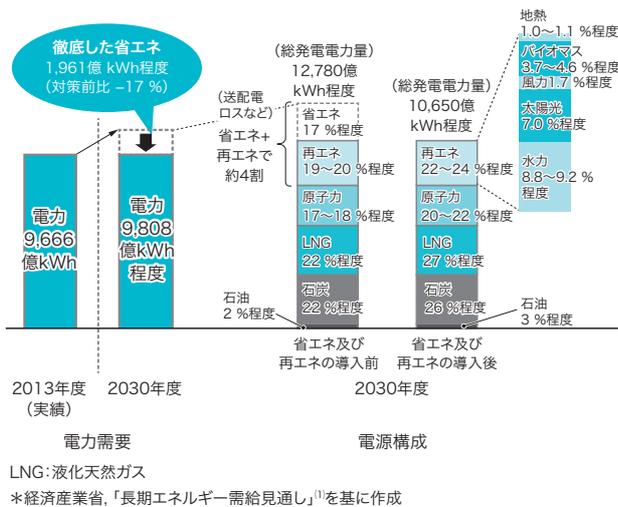


図1. エネルギーミックス

2030年度には、省エネと再エネの導入を積極的に進め、再エネによるエネルギー供給率を22~24%にする方針が打ち出されている。

Projected power generation mix in Japan in FY2030

目的

- 安定供給の確保、電気料金の抑制、選択肢や事業機会の拡大

ポイント・スケジュール

- 広域系統運用の拡大、小売りと発電の全面自由化、送配電部門の中立性確保
- 広域系統運用機関の設立 (2015年)
- 電気小売業の全面自由化 (2016年)
- 送配電部門の法的分離 (2020年頃)

期待される効果

- 広域系統運用の拡大により、全国レベルでの電力流通が柔軟になり、再生可能エネルギーなどの流通の拡大が進む
- 小売りと発電の自由化による、料金メニューの多様化(競争促進)が進む

図2. 電力システム改革の概要

一方通行であった電力取引が双方向となり、誰もが電力取引に参加できるようになる。

Outline of electricity system reform in Japan

に実用化され、これまでのビジネスを大きく変えている。今後も、通信の世界を大きく変える5G（第5世代）の出現などにより、デジタルトランスフォーメーションは新たな価値を生む可能性を持つ。電力システムを構成する制御装置や業務支援システムにも、デジタルトランスフォーメーションを取り入れ、より効率的に、より安定に、より安全に、進化させていく必要がある。こうした中で、VPPをはじめとするエネルギーリソースアグリゲーションは、デジタルトランスフォーメーションの一つとして位置付けられる。

分散リソースの拡大とICTの進歩に伴う変革への電力システムとしての対応については、IEC（国際電気標準会議）の場でも議論が行われており、世界レベルでデジタルトランスフォーメーションが進行していることが確認できる（**囲み記事参照**）。

3. 東芝グループの取り組み

グリーンエネルギーアグリゲーションを実現するための、東芝グループの取り組みについて述べる（**特集の概要図**）。

3.1 再エネ発電

東芝グループは、2009年に太陽光発電設備事業を、2011年に風力発電設備事業を開始し、再エネ発電事業者にシステムを提供している。また、運用している発電所を2012年以降再エネ発電に特化するなど再エネ発電事業そのものも進めている。

3.1.1 太陽光発電

東芝グループは、2009年1月に太陽光発電システムの事業組織を立ち上げて事業参入した。産業向けでは、小規模なものから最大100 MW以上の超大型プラントまで、これまでに2,700か所以上に太陽光発電システムを納入してきた（**図3**）。

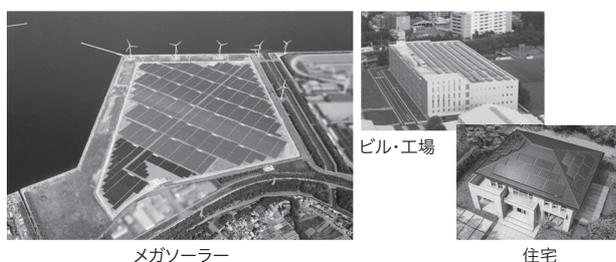


図3. 納入済みの太陽光発電システム

住宅向けや、産業向けの小規模システムから100 MWクラスのメガソーラーまで、幅広く手掛けている。

PV power generation systems ranging from residential use to 100 MW-class power plants

キーコンポーネントである東芝ブランドの太陽電池モジュールは、材料BOM（Bill of Material）や構造にまで入り込んだ開発を行い、独自の厳しい品質基準を課すことにより、優れた性能と高い品質を確保している。住宅用では高効率も特長であり、現在の最大モジュール変換効率は、72セル品で21.3%、96セル品では22.1%である。また、2019年問題と言われるFIT（固定価格買取制度）の買い取り期間終了の大量発生や、国が進めているZEH（Net Zero Energy House）対応も視野に入れ、蓄電池と組み合わせた太陽光発電ハイブリッド蓄電システムなどにも取り組んでいる。

産業向けでは、モジュール配置の自動設計技術の高度化や、PCS（パワーコンディショナー）の定格容量よりも大きな容量の太陽電池モジュールを搭載して十分な発電量を確保する過積載設計、回路電圧の1,500 V化、PCS1台当たりの定格容量の大型化などの技術開発を進めている（この特集のp.8-12参照）。

将来に向けた研究開発も行っている。タンデム型太陽電池は、従来の太陽電池に、透過型で吸収波長帯の異なる太陽電池を重ね合わせることで、経済性を確保しつつ発電効率の大幅な向上が期待される（同p.30-34参照）。

フィルム型ペロブスカイト太陽電池は、東芝グループが得意とする塗布技術を用いて、ポリマー基板上に太陽電池を作製する⁽⁴⁾。フレキシブルで軽量なため、曲面や耐荷重が小さい場所にも設置できるようになると同時に、製造コストも低減できる。性能としては、世界最大^(注1)のモジュール面積703 cm²（24.15×29.10 cm）で、エネルギー変換効率11.7%を実現し、このクラスでは世界最高^(注1)を実現している（**図4**）⁽⁵⁾。

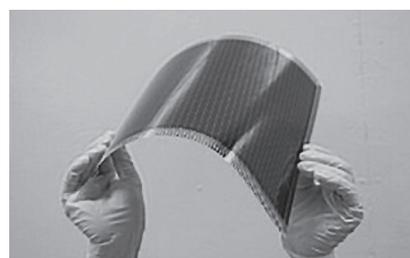


図4. ペロブスカイト太陽電池モジュール

フレキシブルで軽量なため、曲面や耐荷重が低い場所へも設置できる。

Perovskite solar cell module

（注1）2018年8月現在、東芝調べ。

IEC MSB 白書「Stable grid operations in a future of distributed electric power」

IECの市場戦略評議会（MSB：Market Strategy Board）では、市場からの新たな要求への国際標準化活動としての対応を議論している。その活動の一つとして、2017年に先進的系統運用プロジェクトチーム（Advanced network operation project team）が活動を開始し、2018年10月に白書「Stable grid operations in a future of distributed electric power」^③を発行した。プロジェクトチームは、東京電力ホールディングス（株）がプロジェクトディレクターを務め、プロジェクトパートナーの米国コンサルティング会社を含め世界各国から参加した計17名のコアプロジェクトメンバーで構成された。日欧米で各1回、世界の関連分野の専門家によるワークショップ及びプロジェクト会議を開催し、各国の規制機関、公的機関、TSO（Transmission System Operator）・DSO（Distribution System Operator）、メーカー、及びアグリゲーターが、短期間に集中して議論を重ねてまとめた。

昨今、五つのDと呼ばれる、脱炭素化（Decarbonization）、分散化（Decentralization）、自由化（Deregulation）、人口減少（Depopulation）（国際的には民主化（Democratization））、デジタル化（Digitalization）を背景として、需要側の電力リソースが電力系統に接続されるというこれまでにない変化が起こり、電力システムの系統運用に大きな変革を迫っている。白書では、各国の電力需給の状況や技術動向を明らかにし、今後進むべき方向を提言している。また、DR、DER（分散電源リソース）、DSR（需要側リソース）など、リソースに関する用語についても整理している。DSRは、見方を変えれば破壊的リソースであり、その影響を図Aに示す四つのLとして定義している。更に、結論として以下の点を提示している。

- (1) 需要側リソースの拡大を後押しする要因が続くと予想される中、需要側リソース自体の変化と電力システムへの浸透が期待される。
- (2) 効果的な国際標準に支えられた新たな技術が、四つのLによるインパクトを低減するように適用されなければならない。

Challenges from Disruptive Resources (破壊的リソースによる影響)

- ・ Limited Visibility (見えにくい)
- ・ Limited Control (制御が限定的)
- ・ Limited Predictability (予測が限定的)
- ・ Limited Coordination (協調しにくい)

図A. DSRの導入に伴う四つのL

3.1.2 風力発電

風力発電事業としては、2011年5月に、韓国のユニソン社と業務提携し、風力発電システムの東芝ブランドでの国内向け販売を開始した。また、2018年10月には、新たにドイツのセンビオン社と風力発電システムの販売提携をした。これにより、将来的に需要拡大が見込まれる洋上向けや大容量化をラインアップに加えた（図5）。

風力発電システム事業では、風況解析及び立地調査を含めた発電所計画支援や事業性の検討から、建設、更には運用・保守まで、エンジニアリング面で強力にサポートする体制を整えている（図6）。特に、発電所立地や風車の配置設計で重要となる風況解析技術や、運転状態監視システム（CMS）は、独自の開発を進めており、良好な運転効率や経済性を追求しながら、使い勝手の良い運転支援を目指している（図7）（同p.13-17及びp.26-29参照）。

発電所の運用経験に基づいた設備技術力向上などを目



図5. 風力発電機器メーカーとの業務提携

風力発電機器メーカーと提携し、国内の環境・ニーズに合致するシステムを提供している。

Business alliances with wind turbine manufacturers

風況解析から建設及び運用・保守まで、強力にサポート



図6. 風力発電プロジェクトの流れ

風況解析から建設及び運用保守まで、一貫してサポートしている。

Flow of events in wind power generation project

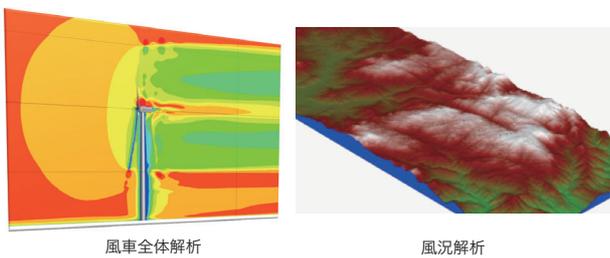


図7. 風況解析結果の例

地形や風車の形状によって、風速や風向などがどのように変化するかを明らかにし、より適切に風力発電システムを設置する。

Examples of results of wind resource analyses

的として、2002年6月に関連会社で発電事業を開始した。当初は火力発電が中心であったが、2012年以降は再生エネルギーに転換し、現在は風力、太陽光、バイオマス、水力などの再生エネルギー発電所を運用している。風力関連では、2015年4月に、東芝グループであるシグマパワー・ジャネックス(株)の新長島黒ノ瀬戸風力発電所で、自社ブランドの風車を適用した風力発電システムを運転開始した。現在、シグマパワー・ジャネックス(株)の僧都ウインドシステム向けに、2MWの風車を8基建設中である。

今後もバイオマスや地熱なども含めた再生エネルギーを拡充し、企業のRE100 (Renewable Energy 100%) 対応ニーズにも応える環境価値の高い電力の提供者として貢献していく。

3.2 VPP

東芝グループは、2010年頃からの各種実証を経て、電力システム分野の事業モデルとしてVPPを構築し、提供している(図8)。現在は、ネガワットアグリゲーションサービス^{(6),(7)}と蓄電池IoTサービスを事業化しており、更に、EV(電気自動車)を中心としたモビリティとの連携サービスや、再生エネルギーと蓄電池を組み合わせたハイブリッド発電などのサービス(図9)の開発に取り組んでいる(同p.18-25参照)。

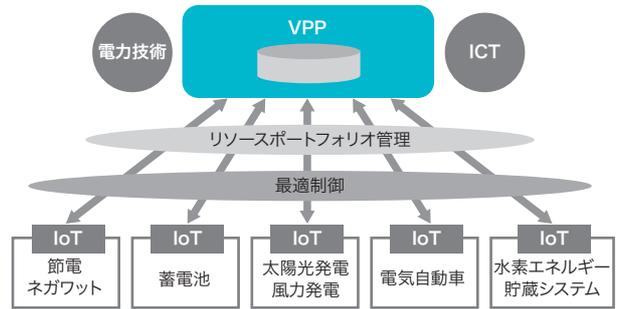


図8. VPPの概要

ICTを活用して分散するリソースを制御し、賢く束ねて提供することで、あたかも一つの発電所のような機能を持たせている。

Outline of VPP

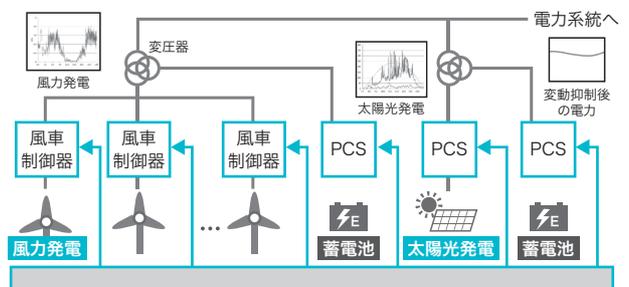


図9. ハイブリッド発電の概要

複数の再生エネルギーを一つの系統連系点に接続する。風力発電と太陽光発電の出力変動を平準化する効果や、稼働率の向上、系統容量の有効活用などが可能になる。

Outline of hybrid power generation system

VPPが活用・期待される背景として、ここ10年弱の間で、東芝グループのリチウムイオン二次電池SciBをはじめとする蓄電池技術がICTとともに大きく進歩したことが挙げられる。また、水素を活用したエネルギー貯蔵・発電システムは、大量かつ長期の保存や、条件を満たせば移動に適しているなど、蓄電池とは異なる特長があり、東芝グループも自立型水素エネルギー供給システムH₂Oneなど既に製品提供を進めている。将来的には水素によるエネルギー貯蔵も、VPPのエネルギーリソースとして活用していく。

3.3 電力系統技術

不安定な再生エネルギーによる電力を接続した際にも、電力システムを安定に運用する必要がある。分散リソースに対するローカルシステムの健全性を確保するために、系統状態のシミュレーションからリアルタイムでの状態監視や分析までの様々な技術、更には運用制御する系統技術や、電圧変動を吸収するための無効電力補償装置、逆潮流に対応した機器技術、

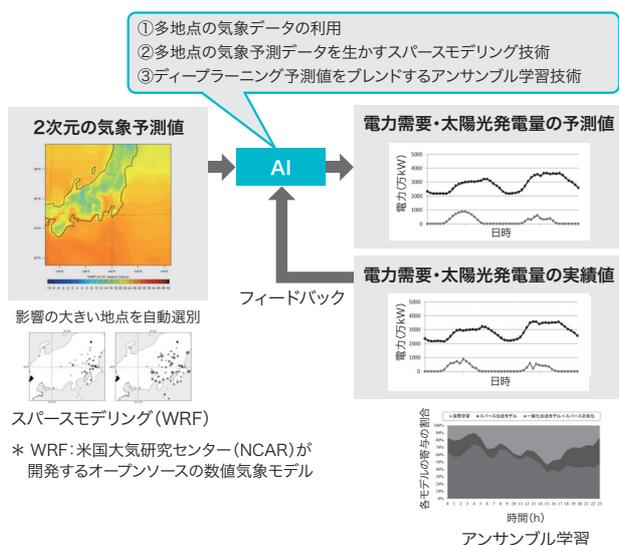


図10. AIを活用した発電・需要予測

多地点の2次元気象予測データをスパースモデルに反映し、AI技術を活用することで、発電量と需要量を精度良く予測する。

Power generation and demand prediction using artificial intelligence

保護システム技術などが必要となる。将来の洋上風力による発電の導入に備えての長距離ケーブル送電技術や、広域連系のための高圧直流送電 (HVDC)、周波数変換設備 (FC) 技術、直流ガス絶縁開閉装置 (GIS) なども、重要な電力系統技術である。

また、AIを活用して再エネによる発電量や時々刻々と変化する電力需要を予測する発電・需要予測技術^(注2) (図10)、再エネ導入時の日本版コネク&マネージに対応するための電源制御システム、及び系統安定化システムなどの系統制御システムも開発している。

4. 今後の展望

再エネによる発電の拡大と、それに伴って必要になる調整力の適切な提供、及び電力系統の安定により需給バランスを保つことは、電力システムにとって必須である。これらの課題を解決するため、東芝グループの強みを生かした技術とサービスを顧客に提供し、多方面から貢献する。

東芝グループは今後も、再エネ発電、VPP、及び電力系統の各技術を組み合わせ、環境価値の高い電力を提供するグリーンエネルギーアグリゲーションの実現に向け開発を進めていく。

(注2) 東京電力ホールディングス(株)「第1回電力需要予測コンテスト」で最優秀賞を獲得。

ここに記載した技術の一部は、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) の委託事業「高性能・高信頼性太陽光発電の発電コスト低減技術開発」を受けて開発した。

文献

- (1) 経済産業省. 長期エネルギー需給見通し. 2015, 12p. <http://www.meti.go.jp/press/2015/07/20150716004/20150716004_2.pdf>, (参照2018-11-02).
- (2) 資源エネルギー庁. エネルギー情勢懇談会提言 ~ エネルギー転換へのイニシアティブ ~ (案). エネルギー情勢懇談会 (第9回) 配付資料2. 2018, 28p. <http://www.enecho.meti.go.jp/committee/studygroup/ene_situation/009/pdf/009_006.pdf>, (参照2018-11-02).
- (3) Advanced network operation project team. Stable grid operations in a future of distributed electric power. IEC MSB. 2018, 28p. <<https://basecamp.iec.ch/download/iec-white-paper-stable-grid-operations-in-a-future-of-distributed-electric-power-en/>>, (accessed 2018-11-02).
- (4) 都鳥頭司, ほか. 軽量・フレキシブルなフィルム型ペロブスカイト太陽電池ミニモジュールの高効率化. 東芝レビュー. 2018, 73, 3, p.13-17.
- (5) 東芝. 「Solar cell efficiency Tables」で当社が開発したペロブスカイト太陽電池モジュールが世界一のエネルギー変換効率として掲載. プレスリリース&ニュース. <https://www.toshiba.co.jp/about/press/2018_08/tp_j0901.htm>, (参照2018-11-02).
- (6) Honda, K. "The Evaluation of Customer Characteristics and the Aggregation Result in Experiences of Demand Response". CIGRE Symposium. Dublin, Ireland, 2017-05, CIGRE. 2017, 015.
- (7) Honda, K. et al. Experiences of demand response in Yokohama demonstration project. 24th International Conference on Electricity Distribution (CIRED2017). CIRED-Open Access Proceedings Journal. 2017, 2017, 1, p.1759-1762. <<https://digital-library.theiet.org/content/journals/10.1049/oap-cired.2017.0789>>, (accessed 2018-11-02).



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.



中井 昭祐 NAKAI Akimasa
東芝エネルギーシステムズ(株)
計測自動制御学会会員
Toshiba Energy Systems & Solutions Corp.



藤塚 真也 FUJITSUKA Shinya
東芝エネルギーシステムズ(株)
日本ガスタービン学会会員
Toshiba Energy Systems & Solutions Corp.