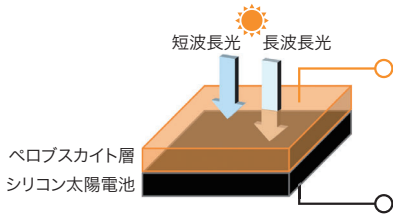


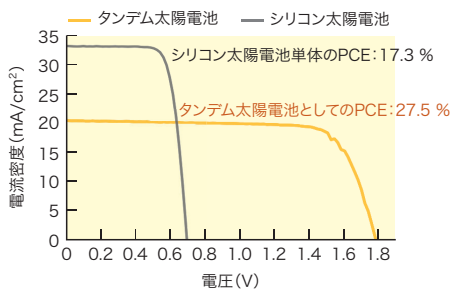
ペロブスカイト／シリコンタンデム太陽電池のエネルギー変換効率と光耐久性の向上

エネルギーシステム
再生可能エネルギー



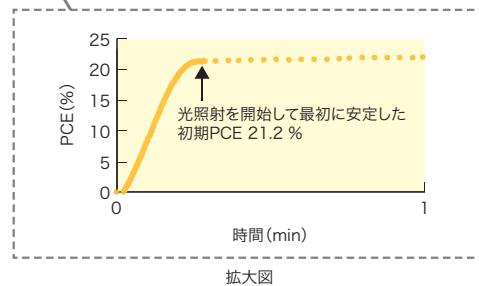
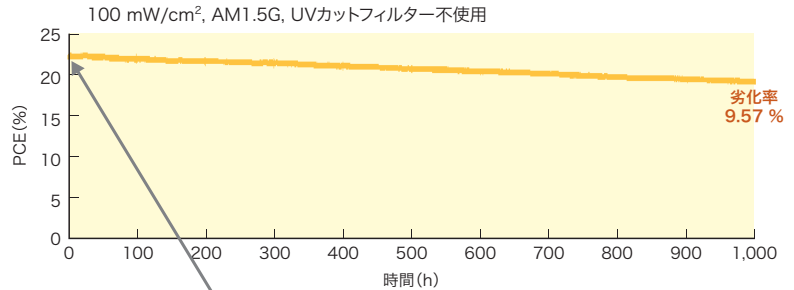
2端子型タンデム太陽電池の原理

Basic principle of 2-terminal type perovskite/silicon tandem solar cells



2端子型タンデム太陽電池の変換効率 (東芝エネルギーシステムズ(株)測定)

Power conversion efficiency of 2-terminal type perovskite/silicon tandem solar cells



2端子型タンデム太陽電池の光照射試験

Light soaking test of 2-terminal type perovskite/silicon tandem solar cells (100 mW/cm², AM1.5G, without UV filter)

カーボンニュートラルの実現に向けて、再生可能エネルギー（以下、再エネと略記）は重要な役割を担っている。その中でも革新的な太陽電池は、再エネを社会の主力電源とするために、これまで以上に求められている。当社は将来技術として、2端子型のペロブスカイト／シリコンタンデム太陽電池を開発している。

タンデム太陽電池は、太陽光のエネルギーを、波長によって複数の発電材料で分担して発電することで、トータルのエネルギー変換効率（PCE）を引き上げる技術である。2端子型にすることで、現在主流であるシリコン太陽電池モジュールと同じシステムに適合するため、既存の太陽光発電技術や設備を利用できるメリットがある。一方で、実用化するためには、シリコン太陽電池と同等に20年から30年の寿命が望まれている。

2023年度は、ペロブスカイト層の面内均一性の改善、電極構造の改良などにより、PCEを27.5%に向上させた。

今回、国立大学法人 電気通信大学、国立研究開発法人 産業技術総合研究所、及び(株)フジコーと共同で、世界トップ^(注)の光耐久性を実現した。疑似太陽光（100 mW/cm², AM1.5G（エアマス1.5グローバル）、UV（紫外線）カットフィルター不使用）の1,000時間照射後も、PCEの劣化率が10%以下にとどまった。これまでの世界の報告例は最長600時間であったことから、一気に約2倍になった。これは、独自の長寿命のペロブスカイト層及び素子構造の開発により実現した。この成果は、応用物理学会やNature Photonicsでも広く紹介された。

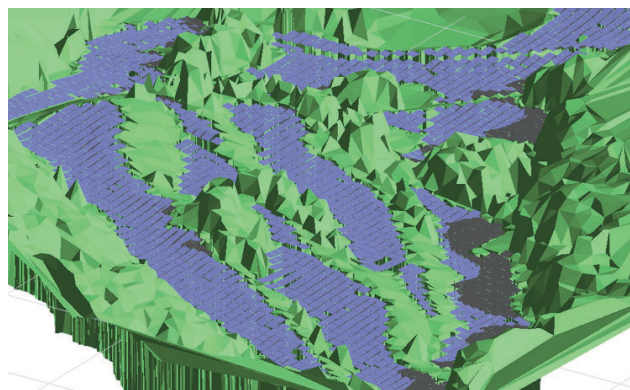
2023年の成果により、ペロブスカイト／シリコンタンデム太陽電池の実用化に一步近づいたといえる。今後、更なる改良を行い、カーボンニュートラルの実現に貢献する再エネ技術の開発を加速する。

(注) 2023年12月現在、2端子型のペロブスカイト／シリコンタンデム太陽電池として、当社調べ。

栃木県那須町など8か所の太陽光発電所の設置工事完了



栃木県那須町の太陽光発電所
Solar power plant constructed in Nasu Town, Tochigi Prefecture



発電量シミュレーションのための3次元モデルの例
Schematic diagram of a three-dimensional (3D) simulation model for power generation calculation

近年、カーボンニュートラル実現のために、再エネへの期待が高まっている。当社は、2009年に太陽光発電事業への取り組みを始めて以降、国内電力会社や、一般産業、海外、住宅などの分野の顧客向けに、太陽光発電システムを提供してきた。

2021年から2022年に掛けて、栃木県那須町など合計8か所、総発電量約200 MWに上る太陽光発電所の、エンジニアリング、機器調達、及び建設工事（EPC）を請け負い、その全てで2023年4月までに商業運転を開始した。

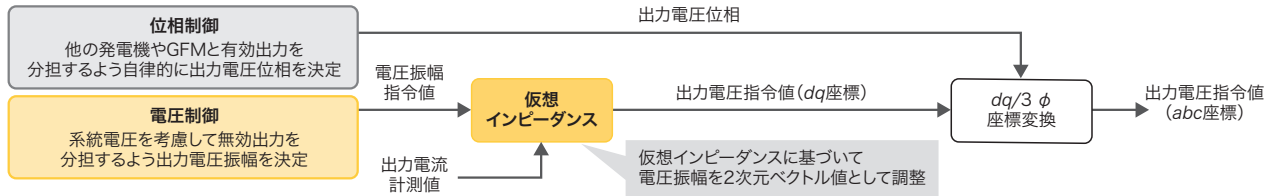
これらの太陽光発電所は、顧客から日射に対する発電電力比（Performance Ratio）の性能保証を求められている。そこで、発電所で計測される日射に対する期待発電電力を精緻に計算する性能保証モデルを開発し、当社として初めて発電所の性能保証に適用した。性能保証モデルは、発電所の起伏、太陽電池モジュール、及びその支持用架台など、各機器の配置を再現した3次元モデルを用いて、日射条件や周辺環境からの影響を考慮して発電量をシミュレーションする。

また、高品質な施工も、重要なポイントである。8か所の多くは起伏の多い雑木林やゴルフ場に建設された発電所であった。効率的・高精度に整地すること、及び太陽電池モジュールの支持用架台・モジュールを3次元モデルのGPS（Global Positioning System）データどおりの位置に設置することを、ICT（情報通信技術）搭載の重機により実現した。

精緻なシミュレーションと高品質な施工の結果、いずれの発電所でも、顧客と取り決めた保証条件を超える性能を確認できた。

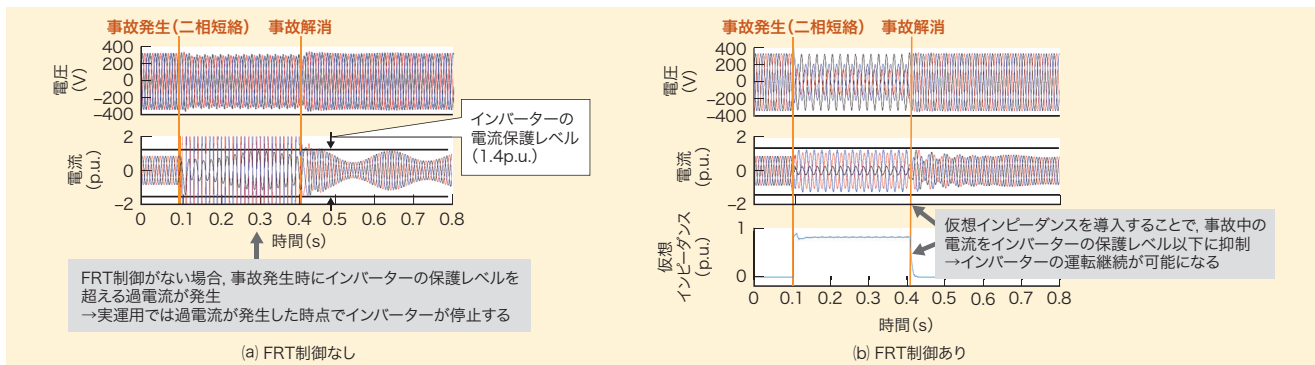
今後も、顧客の要望に応じて高品質な太陽光発電システムを納めることで、カーボンニュートラル社会の実現に貢献していく。

グリッドフォーミングインバーターの事故時運転継続制御



提案方式によるGFMのFRT制御の概要

Overview of proposed fault ride-through (FRT) control for grid-forming inverter



瞬時値解析によるFRT制御の過電流抑制効果の検証

Verification of FRT overcurrent suppression via electromagnetic transient simulation

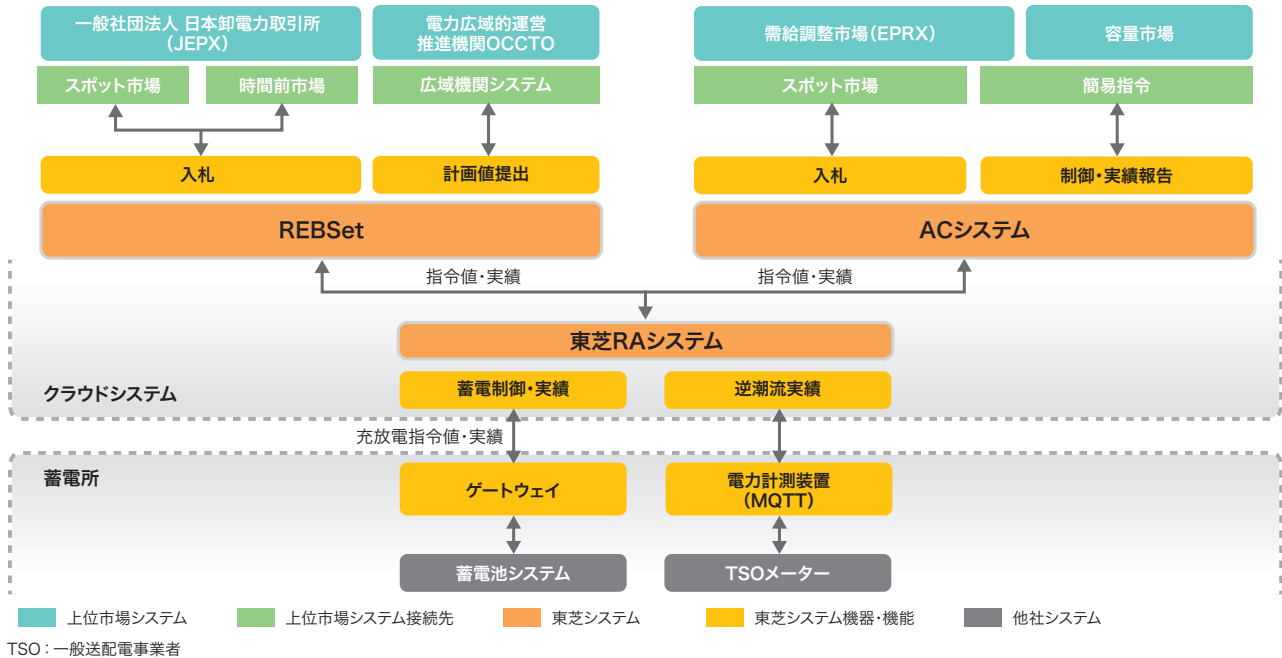
太陽光発電や蓄電池などのインバーター電源の普及拡大に伴い、電力システムの慣性力が減少し、周波数変動が増大することが懸念されている。その対策として、インバーター電源が電圧源として振る舞うことで慣性力を供給するグリッドフォーミングインバーター（GFM）の開発が、各所で進められている。GFMは、連系先の系統で地絡などの事故が生じた場合に、従来型インバーターと比べて過渡的な大電流が流れて、過電流停止しやすいという問題がある。このようなGFMの特性は、系統事故時の電源の大量脱落を引き起こして、系統の安定運用を脅かすおそれがある。GFMを実系統に適用するために、過電流を確実に抑制できる系統事故時運転継続制御（FRT制御：Fault Ride Through制御）の開発が急務となっていた。

今回、仮想インピーダンス方式によるGFMのFRT制御を提案した。提案方式では、FRT動作時にインバーターの電流の大きさに応じて仮想インピーダンスの値を調整し、インバーターの電圧をベクトルとして制御することで、より確実に過電流を抑制する。従来の方式と比べて二相短絡などの複雑な事故にも対応できるため、系統の一層の安定運用に貢献できる。

提案方式の系統事故時における過電流抑制効果を、瞬時値解析により検証した。系統において二相短絡事故が生じた場合でも、各相の電流がインバーターの保護レベルである1.4 p.u. (per unit) 以内に抑制できることを確認した。また、系統事故が解消して系統電圧が回復した後は、GFMが通常の運転モードにスムーズに復帰することを確認した。

今後は早期の実用化に向けて、実系統におけるGFMの適用検証を進めていく。

系統蓄電池向け運用支援システム



系統蓄電池向け運用支援サービスの概要

Overview of operational support system for grid storage batteries

近年、カーボンニュートラル実現のために再エネの導入が進み、その結果、昼間の太陽光発電の出力制御といった課題が発生している。システムの整備や調整力確保への対策として、蓄電池のマルチユースのニーズが高まっていることから、系統用蓄電池の導入が進んでいる。そのため、系統蓄電池向けに、卸売市場・容量市場・需給調整市場などに入札して運用するための支援システムを開発している。

この運用支援システムは、balancing group運用に必要な機能を備えた再エネbalancingシステムREBset (Renewable Energy Balancing System)、需給調整市場とのやり取りやリソースの制御を行う需給調整市場対応システムAC (Aggregation Coordinator) システム、及びRA (Resource Aggregator) システムを連携させて、複数市場対応を実現するものである。今回、既存システムに、新規開発した①、②の機能を追加することにより、太陽光や風力といった再エネ電源だけでなく系統用蓄電池への対応を可能にした。

- ① REBsetシステムの系統用蓄電池向けとしてアービトラージ運転計画作成機能
- ② WebAPI経由でのREBsetシステムとACシステム・RAシステム間の蓄電池指令値・実績値の連携機能

REBset・ACシステム・RAシステムの全てをクラウド環境に構築して顧客にSaaS (Software as a Service) として提供することで、利便性の向上や法制度変更への対応など柔軟に機能拡張できる。今後想定される様々な変化にタイムリーに対応して、系統蓄電池の運用の利便性向上を図り、再エネ導入の拡大に貢献していく。

関係論文：東芝レビュー. 2023. 78, 5, p.33-36.