

太陽光発電システムの最新技術

Latest Technologies for Solar PV Power Generation Systems

藪井 謙 YABUI Ken 定政 啓 SADAMASA Akira 宮内 裕之 MIYAUCHI Hiroyuki

近年、再生可能エネルギーの固定価格買取制度（FIT）により、太陽光発電（PV）の導入が進んできた。一方、FIT価格の低下と電力系統への接続や建設予定地などの制約によって、発電所建設の難度は高くなっており、これらの課題を解決するための設計・建築手法が求められている。また、国際的な二酸化炭素（CO₂）排出量削減に取り組む企業では、FITを適用せず、発電電力を工場などで全て消費する自家消費型PVシステムの導入が増えている。

東芝グループは、このような状況の中で、PVシステムの最新技術の開発に取り組んでいる。情報通信技術（ICT）を活用した土木工事の効率化技術や出力変動を抑制できる蓄電池併設型PVシステムの制御技術とともに、自家消費型PVシステム向けに最適な太陽電池モジュール容量を決めるためのシミュレーション技術や余剰電力が発生しない制御技術などを開発した。

With the ongoing introduction of solar photovoltaic (PV) power generation systems following the enforcement of the Feed-In Tariffs (FIT) Act, the construction of new PV power plants is becoming difficult because of decreasing tariff rates as well as restrictions on connections to the power grid and on the shape of construction sites, resulting in increased demand for engineering and construction techniques in order to solve these problems. On the other hand, in response to growing concern over the reduction of carbon dioxide emissions, self-consumption type PV power generation systems, in which all electricity generated by a company is consumed in the company's own facilities without using the FIT scheme, have been increasingly installed in recent years.

With these trends as a background, the Toshiba Group is promoting the development of the latest technologies for PV power generation systems. These include (1) efficient construction techniques using information and communication technologies (ICTs), (2) an output fluctuation suppression technology for PV power generation systems equipped with a battery energy storage system, and (3) a simulation technology to derive the optimal capacity of solar cell modules and a control technology to prevent surplus power generation for self-consumption type PV power generation systems.

1. まえがき

近年、脱炭素化の傾向が強まり、再生可能エネルギーへの期待が高まっている。東芝グループでは、東芝エネルギーシステムズ(株)が2009年にPV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、住宅などの顧客向けに、PVシステムを提供してきた。ここでは、PVシステムの最新技術動向について述べる。

2. 蓄電池併設型PVシステム

2012年の「電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法」(FIT法)施行を受け、PVシステムに代表される再生可能エネルギーの導入が急速に進んでいる。再生可能エネルギーは、CO₂を排出しないクリーンなエネルギーである一方、発電出力が気象条件に左右され

て不安定であることが課題である。特に、PVシステムでは、日射変動に起因する急峻(きゅうしゅん)な出力変動が発生し、発電所と接続する電力系統の規模によっては、これらの出力変動が周波数の維持に影響する。

この課題への対策として、一部の一般送配電事業者は、発電事業者に対し出力変動の緩和対策を行うことを義務付けている。この要求を満たす蓄電池併設型PVシステムの取り組みについて、以下に述べる。

2.1 一般送配電事業者の要求事例

電力システムにおける出力変動の抑制方法は、対応する時間周期により異なり、数分以下の短周期出力変動は、水力発電と火力発電のガバナーフリー運転により調整される。一般に、再生可能エネルギー発電所の系統接続を希望する発電事業者に対し、一般送配電事業者はガバナーフリーの出力調整範囲能力レベルまで変動を抑制して送電すること

を求めるケースが多い。具体的な事例としては、図1に示すように、“発電所定格出力の出力変化速度を毎分1%以下に緩和すること”などが挙げられる。

2.2 システム構成

2.1節で示した要求に対応する変動抑制制御を実現するため、東芝グループが構築したPVシステムに、東芝三菱電機産業システム(株)が構築した蓄電池システム(TMBCS)を組み合わせた、蓄電池併設型PVシステムを開発した。開発したPVシステムの構成を、図2に示す。太陽光用PCS(パワーコンディショナー)と、蓄電池用PCSを交流側で並列接続するシステム構成とし、蓄電池への充電は、太陽電池出力をPCSで交流変換した電力によって行い、充電した電力

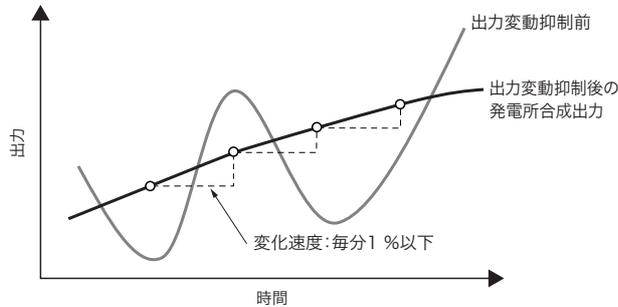


図1. 再生可能エネルギー発電所に要求される変動抑制の例

再生可能エネルギー発電所の系統接続を希望する発電事業者に対し、一般送配電事業者が要求する変動抑制の例である。ここでは、発電所定格出力の出力変化速度を毎分1%以下に制限するケースを描いている。

Example of output fluctuation suppression function required for power grid stabilization

は、出力変動抑制の制御目的にだけ使用する。

2.3 シミュレーションによる検討

大きな容量の蓄電池を用いると、比較的容易に出力変動抑制が実現できる。しかし、事業収益性を考慮すると、蓄電池初期容量と逸失利益を抑えた上で変動抑制を実施する必要がある。これを実現するため、太陽光用PCSと蓄電池用PCSの統合制御を行い、蓄電池残容量とPCS発電抑制量を最適管理することで、変動抑制制御を行う。変動抑制制御システムのブロック図を、図3に示す。

また、蓄電池容量をパラメーターとし、変動抑制制御の

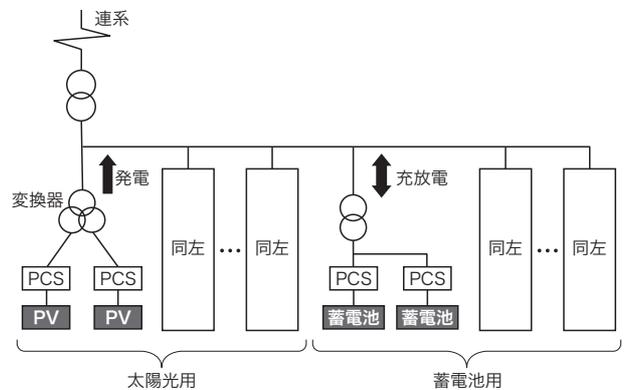
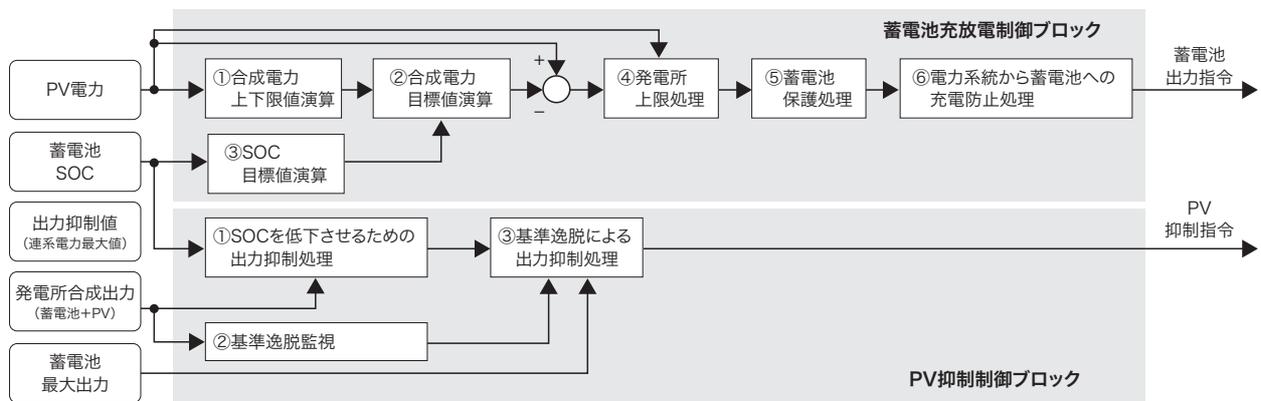


図2. 蓄電池併設型太陽光発電所のシステム構成

太陽光用PCSと蓄電池用PCSを交流側で並列接続するシステム構成で、太陽電池出力をPCSで交流変換した電力によって蓄電池に充電する。充電した電力は、出力変動抑制の制御目的にだけ使用する。

Configuration of PV power generation system with battery energy storage system



SOC: State of Charge(充電率)

図3. 変動抑制制御システムのブロック図

太陽光用PCSと蓄電池用PCSの統合制御を行うことで、蓄電池残容量とPCS発電抑制量を最適管理している。

Block diagram of output fluctuation suppression system

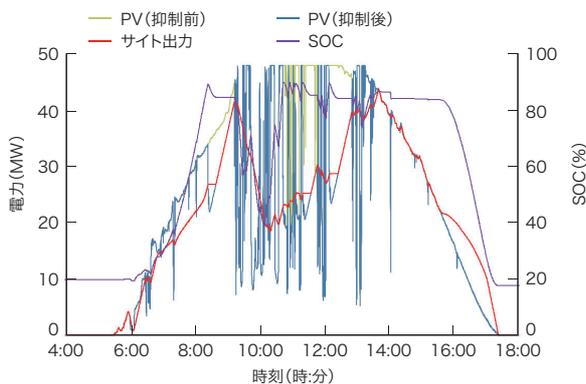


図4. 実測データを用いた変動抑制制御のシミュレーション結果

実際の太陽光発電所の出力波形を用いた変動抑制制御シミュレーションにより、当初要求された蓄電池と比較して、約40%少ない容量で、要求仕様を実現した。

Results of simulation of output fluctuation suppression using actual data

シミュレーションを行い、最適な蓄電池容量を求めた。シミュレーションは、日射変動の大きいPVシステム出力の実測データを用いて行った。実際のシミュレーション波形を図4に示す。

当初想定された蓄電池容量と比較して、約40%少ない容量で、要求仕様を実現した。

3. 太陽光発電所建設の最新技術

太陽光発電所の建設においては、太陽電池モジュールへの影による発電ロスやホットスポットを防ぐために、精度の高い整地工事を実施することが求められる。また、敷地の地盤性状は、工程や工事費に大きく影響するので、特に軟弱地盤では、短工期、低コストを実現するための施工計画が求められている。この章では、整地工事にICT（情報通信技術）を活用した事例と、軟弱地盤における、アレイ架台の地組みによる施工効率化の事例について述べる。

3.1 ICTを活用した土木工事の効率化

この事例の工事では、隣接アレイ間段差に起因する、影による発電量の減少を最小化するため、広大な敷地の現況データを早急に把握すること、及び精度の高い整地工事が求められた。

現況測量は、トータルステーションによる測量やUAV（無人航空機）測量を用いる例が多いが、この事例では、ICTブルドーザーの位置計測機能を活用し、敷地全域を走行させることで、現況地盤の3次元データを作成した（図5）。

また、設計図と現況地盤の3次元データから、必要土量

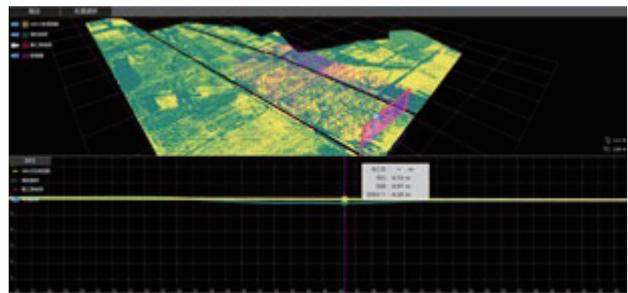


図5. ICTブルドーザーの走行結果から作成した3次元データ

位置計測機能を有するICTブルドーザーに、敷地全域を走行させることで、現況地盤の3次元データを作成した。

Example of three-dimensional (3D) ground data created using ICT bulldozer traveling data



図6. ICTブルドーザーによる施工

作成した3次元設計データをICTブルドーザーに取り込み、施工箇所の必要土量データと現況地盤データとの差分に基づいてブレードを自動制御し、整地工事を行った。

Ground leveling using ICT bulldozers with blades automatically controlled by 3D design data

計算を行って3次元設計データを作成し、ICTブルドーザーにデータを取り込むとともに、GNSS（全地球衛星測位システム）から位置情報を取得することで、施工箇所の設計データと現況地盤データとの差分に基づき、ブレードを自動制御して整地工事を行った（図6）。

ICTブルドーザーを活用した効果は、以下のとおりである。

- (1) 現況地盤測量の省力化
- (2) 作業性の向上
- (3) 品質の向上
- (4) 進捗管理の向上
- (5) 安全性の向上

3.2 アレイ架台の地組みによる施工効率化

この事例の工事では、敷地全体が軟弱な高含水比泥炭層で構成された地盤であり、重機走行による地盤のこね返

して地盤強度が低下し、工事用車両及び重機が走行不能となることと、工事用道路の強度確保のための補修に多大なコストが掛かることが問題であった。そのため、特に頻繁な重機走行が必要なアレイ架台組立においては、アレイ架台の組立ヤードを設け、アレイ架台を地組み(図7)してからトラックで横持ち運搬し、クレーンで基礎にアレイ架台を



図7. アレイ架台の組立ヤード
アレイ架台の組立ヤードを設け、ヤード内で全てのアレイ架台を地組みする。
Basic assembly of array frames in construction yard



図8. アレイ架台の据え付け
地組みしたアレイ架台をトラックで運搬し、クレーンで設置する工法を採用することで、設置場所の付近の重機使用は必要最小限となる。
Installation of array frame

据え付ける工法を採用した(図8)。

その結果、敷地内の重機走行量が必要最低限となり、想定外の工事用道路補修工事を回避することができた。また、アレイ架台を地組みする工法を採用し、架台組立工程を決められたエリアで実施することで、均一化した組立品質を確保できた。

4. 自家消費型PVシステム

これまでのPVシステムは、FITの活用が主であったが、2015年のCOP21(国連気候変動枠組条約第21回締約国会議)で採択されたパリ協定を起点に、CO₂削減を目指す企業や環境意識の高い企業において、自家消費型PVシステムへの関心が高まりつつある。

自家消費型PVシステムでは、余剰電力は売電収入にはつながらず、電力消費に見合った最適な太陽電池モジュール容量を設置する必要がある。

また、余剰電力が発生しても、送配電系統への逆潮流が認められないケースがある。この場合には、PVシステムの発電を停止する必要がある、設備の利用率が低下する。そのため、逆潮流が発生させずにいかに発電を継続するかが課題となる。

この章では、これらの課題に対応した自家消費型PVシステムについて述べる。

4.1 最適な太陽電池モジュール容量

自家消費型PVシステムのシステム構成を決定するには、システム導入者の季節ごとや時間ごとの電力使用状況を把握し、太陽光で発電した電力を効率良く自家消費できるように、太陽電池モジュール容量を選定する必要がある。

電力使用量が少ないのに設置可能スペースにできるだけ多くの太陽電池モジュールを設置すれば、余剰電力が発生し、結果として使用電気料金の削減効率が低くなる。

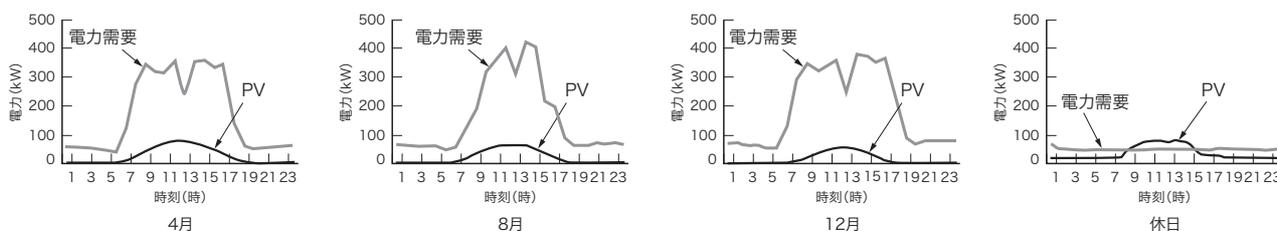
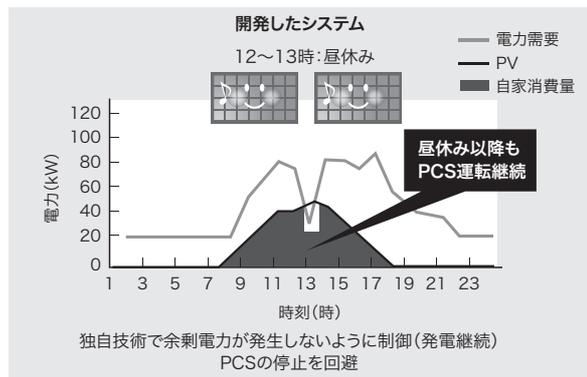
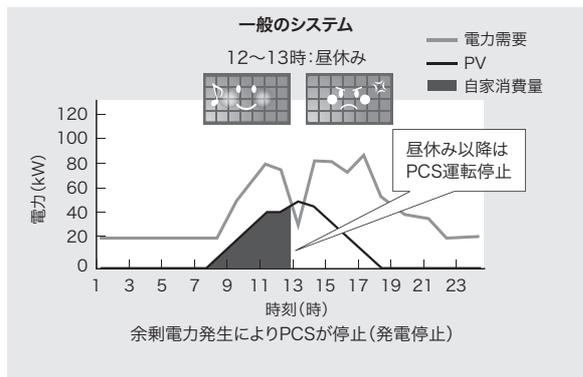


図9. 自家消費型PVシステムのシミュレーション
PV設備導入前後の電力負荷カーブ(365日×24時間)を作成し、想定される余剰電力などから経済性評価を行い、ユーザーの電力需要に適したPV容量を提案する。
Examples of self-consumption type PV power generation simulations



東芝エネルギーシステムズ(株)が提供するPVシステムは、東芝グループ保有の出力制御技術の利用で、余剰電力発生による発電停止を回避できる

工場などの昼休みのある顧客へも、収益性の高い設置容量の提案が可能

図10. 自家消費型PVシステムの発電継続機能

独自技術によって余剰電力が発生しないように制御することで、PCSの停止を回避し、発電を継続させる。

Comparison of self-consumption type PV power generation with and without continuous power generation function

一方、逆潮流を発生させないように、年間を通じて最小使用電力量に合わせた容量の太陽電池モジュールを設置すると、発電量に対する建設費(kW当たりの工事単価)が割高となる。

そこで、最適な太陽電池モジュール容量を決定するために、自家消費型PVシステムの発電シミュレーションを行っている。シミュレーションでは、システム導入者の1年間の電気料金と、1年間の電力30分値を基に、設備導入前後の電力負荷カーブ(365日×24時間)を作成する。

また、敷地内で太陽電池モジュールの設置場所を決定し、設置容量に合わせた発電シミュレーションを行い(図9)、使用電力量の低減値と最大電力低減値(契約電力低減の可能性)から経済性評価を行うことで、最適な太陽電池モジュール容量を算定する。

4.2 発電継続機能

自家消費型PVシステムでは、使用電力より発電電力が上回り余剰電力が発生した場合、逆潮流を回避するため、保護継電器によりPCSを停止させる必要がある。そこで、PCSを停止せずに発電を継続させるカレンダー式発電継続機能を開発し、監視システムに搭載した。

過去一定期間の30分ごとの使用電力データ(実績)から、使用電力を推定し、発電電力が使用電力を上回らないように、PCS出力の上限(推定値)を算出してスケジュール運転を行う。これにより、逆潮流の発生によるPCS停止を回避している(図10)。

5. あとがき

PVシステムの最新技術動向についてまとめた。脱炭素化に向け、再生可能エネルギーへの期待が高まっているが、大量導入の際にも日射変動に伴う出力変動を抑えるためには、蓄電池などと組み合わせることで、安定した電源とすることが求められる。今後も、PVシステムの導入を進めるために、開発を行っていく。



藪井 謙 YABUI Ken
東芝エネルギーシステムズ(株)
エネルギーアグリゲーション統括部
再生可能エネルギー技術部
Toshiba Energy Systems & Solutions Corp.



定政 啓 SADAMASA Akira
東芝エネルギーシステムズ(株)
エネルギーアグリゲーション統括部
再生可能エネルギー技術部
Toshiba Energy Systems & Solutions Corp.



宮内 裕之 MIYAUCHI Hiroyuki
東芝エネルギーシステムズ(株)
エネルギーアグリゲーション統括部
再生可能エネルギー技術部
Toshiba Energy Systems & Solutions Corp.