

# 配電系統の再エネ電源拡大を見据えた 系統用蓄電池の制御方式検討

■ 山下 裕輔

Yusuke Yamashita

2050 年のカーボンニュートラルに向けて、太陽光発電（PV）は今後も導入が増える見通しである。特に郊外地域の亘長（こうちょう）が長い配電線では、電圧が規定の適正範囲から外れる電圧逸脱や、送電容量の空きがなくなる系統混雑が起きるおそれがある。これらの課題に対し、将来的な普及が見込まれる系統用蓄電池（BESS）の活用が注目されている。当社は PV ならびに BESS が普及した将来の配電系統の高度化に貢献する技術開発に取り組んでいる。本稿ではこの取り組みの一例として、電圧逸脱と系統混雑を解消しつつ、BESS の必要な調整容量の最小化を図る制御指令決定手法と数値シミュレーションによる評価を紹介する。

## 1 はじめに

2050 年のカーボンニュートラル実現に向け、2025 年に策定された第 7 次エネルギー基本計画では再生可能エネルギー（以下、再エネ）主力電源化のため、2040 年に総発電量の 23～29% が太陽光発電（以下、PV）という電源構成となることが見込まれており、PV は今後も高い推移での導入が増える見通しである。一方で、発電出力が天候により大きく変動する PV の導入拡大にともない、周波数変動や電圧逸脱<sup>注1)</sup>、系統混雑<sup>注2)</sup>、余剰電力の発生といった悪影響を電力系統へ与える可能性がある。特に、線路亘長（こうちょう）<sup>注3)</sup> が長くメガソーラーの連系が多い郊外地域の配電系統では電圧逸脱と系統混雑の発生が懸念されている。

電圧逸脱と系統混雑への対策として、配電線路の新設や電線の太線化といった期間とコストを要する設備増強が一般的に実施されるが、それに代わる対策の一つとして、系統用蓄電池（以下、BESS）の活用が考えられている<sup>注1)</sup>。BESS は、日中の PV による余剰電力を充電し、電力需要の高い夜間に放電することが可能であり、再エネ電源比率の拡大のためにその必要性が高まっている。

図 1 に示すように、系統混雑には BESS の充電による有効電力（P）制御、電圧変動には無効電力（Q）制御が有効であると考えられている。しかし、配電線内に

複数連系される BESS と PV に対して P と Q の制御（以下、PQ 制御）を決定する方法は確立されていない。

当社は、系統運用者やアグリゲーターを通じて BESS と PV が集中的に制御される将来の配電系統を想定し、再エネ電源の拡大と制御の高度化に貢献する技術開発に取り組んでいる<sup>(2)(3)</sup>。本稿では、電圧逸脱と系統混雑を解消するために必要な BESS の調整容量<sup>注4)</sup>を表す MWh 容量および MVA 容量を最小限とすることを目的とした制御手法を検討し、数値シミュレーションにより評価した結果を紹介する。

## 2 配電系統の系統制約課題を解決する蓄電池制御の活用

PV 出力による電圧逸脱と系統混雑を解消するために、PQ 制御を活用する際、配電系統に連系される BESS の調整容量確保に関して想定される課題を下記に示す。

### ①適切な BESS 調整容量の確保

BESS の PQ 制御による電圧逸脱・系統混雑解消のため、適切な BESS の調整容量の把握と確保が求められる。しかし、再エネ出力や負荷変動の予測誤差の存在や、BESS の SOC（充電率）の管理が不適切であると、事前に計画する調整容量からの不足や余剰が発生する。

### ② BESS および PV を含めた PQ 制御の配分

系統運用者やアグリゲーターが保有する BESS は、PV の導入設備容量や配電線上の連系位置といった系統構成の差によって、必要となる PQ 制御や、その制御配分が異なる運用ケースが想定される。

### ③ BESS 調整容量の最小化

再エネ導入量が多くなるほど必要な BESS の調整容量が増え、そのためのコストも増大する。特に、BESS の所有者は系統運用者に限らず、他の蓄電池事業者や再エネ事業者が保有していることから、すべての出力調整能力を系統制約解消のために自由に

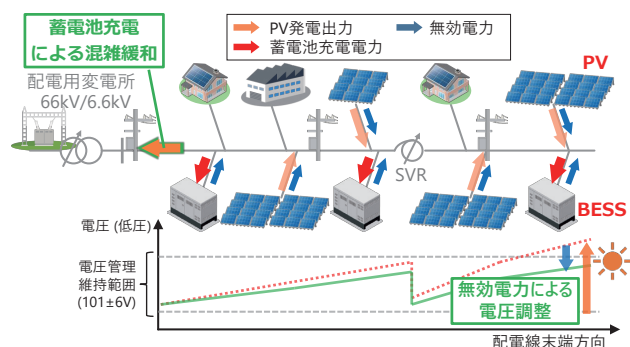


図 1 配電線の電圧上昇と系統混雑の抑制イメージ

利用することは難しく、系統制御のために利用可能な BESS の PQ 制御は限定される。したがって、BESS の調整容量は最小限にすることが望ましい。

本稿では上記課題のうち③に着目し、電圧逸脱および系統混雑の解消に必要な BESS 調整容量の最小化を目的とした制御手法を提案し、数値シミュレーションにより効果を比較評価する。

### 3 シミュレーション評価

#### 3.1 BESS 調整容量低減のための制御手法

本節では、BESS と PV が普及拡大した将来の配電系統を想定し、電圧逸脱と系統混雑を解消するために必要な BESS の調整容量を最小限にする制御手法を提案する。

##### (1) 想定する制御システム

想定する制御システムを図 2 に示す。このシステムでは、配電線に連系している PV および BESS と制御サーバーとの間の通信において、双方向に計測値情報と制御指令を受け渡し可能なスマートインバータ・DERMS の仕組みを想定する<sup>(2)(3)</sup>。図 2 では、INV がスマートインバータ、制御サーバーが DERMS に対応する。また、制御サーバーは系統運用者やアグリゲーターが保有し、線路インピーダンスや PV・BESS の定格容量および連系箇所等の固有データは、制御サーバーが把握可能な基礎情報であることを前提とする。

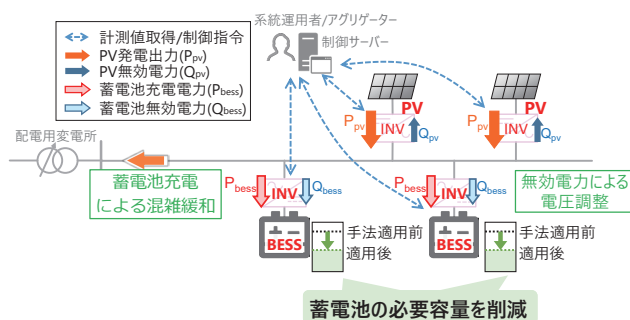


図2 本検討で想定する制御システム

##### (2) 制御手法の処理手順

BESS の必要調整量低減のための制御手法について、一連の処理フローを図 3 に示す。本手法は、BESS の P 制御値  $\Delta P_{BESS}$ 、BESS・PV の Q 制御値  $\Delta Q_{BESS}$ 、 $\Delta Q_{PV}$  を変更した状態の潮流計算<sup>注5)</sup>により得られる配電線各所の電圧・電流値の推定結果に基づいて、出力制御指令を決定するものである。なお、 $\Delta P_{BESS}$  と  $\Delta Q_{BESS}$ 、 $\Delta Q_{PV}$  の制御指令値は、制御対象とする複数の BESS および PV の合計値とする。

具体的な手順は以下のとおりである。

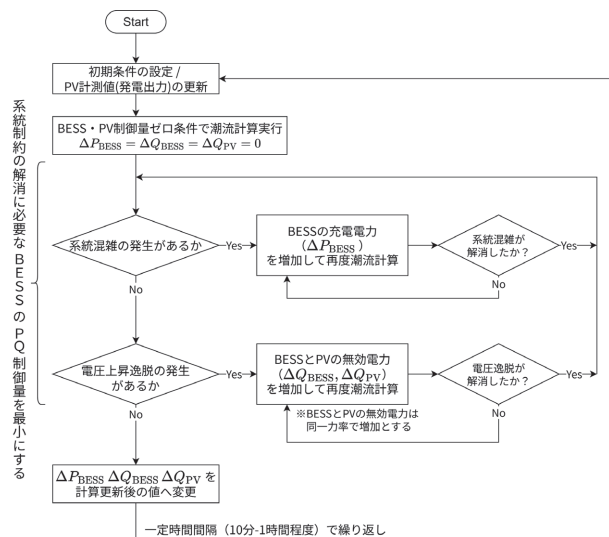


図3 提案手法の処理フロー

- 初期条件（線路インピーダンス、PV の連系箇所と定格容量）の設定と、PV の発電出力計測値の定周期取得データを更新する。また、負荷が消費する電力に関しては、スマートメーターによる実測値もしくは過去実測に基づく推定値を用いる。
- 充電電力  $\Delta P_{BESS}$  と無効電力  $\Delta Q_{BESS}$ 、 $\Delta Q_{PV}$  を交互に変化させながら繰り返し計算し、系統混雑と電圧上昇逸脱の両方が解消するまで  $\Delta P_{BESS}$  と  $\Delta Q_{BESS}$ 、 $\Delta Q_{PV}$  を変更する。
- 最終的に系統混雑と電圧上昇の双方の逸脱が解消した後の  $\Delta P_{BESS}$  と  $\Delta Q_{BESS}$ 、 $\Delta Q_{PV}$ 、つまり必要な PQ 制御量の最小値として、制御指令値を更新する。
- 一定時間周期で上記の処理を繰り返す。

本手法の特徴は、P 制御 ( $\Delta P_{BESS}$ ) と Q 制御 ( $\Delta Q_{BESS}$ 、 $\Delta Q_{PV}$ ) を交互に変化させて潮流計算を繰り返すことで、系統混雑と電圧逸脱を解消するために必要な BESS の調整容量の最小化を図る点である。

#### 3.2 シミュレーション条件

##### (1) 配電線モデル

本検討では、図 4 に示す 1 フィーダ<sup>注6)</sup>の配電線モデルにおいて、5 月の快晴日 (PV 出力が大きく、電力需要が少ない軽負荷期) を対象に、1 時間刻みの簡易な時系列シミュレーションを実施した。このモデルは、配電線の電圧および潮流の管理がともに過酷な、PV 連系量が拡大した郊外地域を想定したものである。幹線亘長は 12.0 km (AI-OC 240 mm<sup>2</sup>: 4 km + AI-OC 120 mm<sup>2</sup>: 8 km) とし、線路途中に SVR<sup>注7)</sup> (Step Voltage Regulator: ステップ式電圧調整器) が接続されている。各母線に負荷が均等に配置され、BESS と PV はそれぞれ高圧連系で、配電線の始端、中間、末端の 3 箇所接続されてい

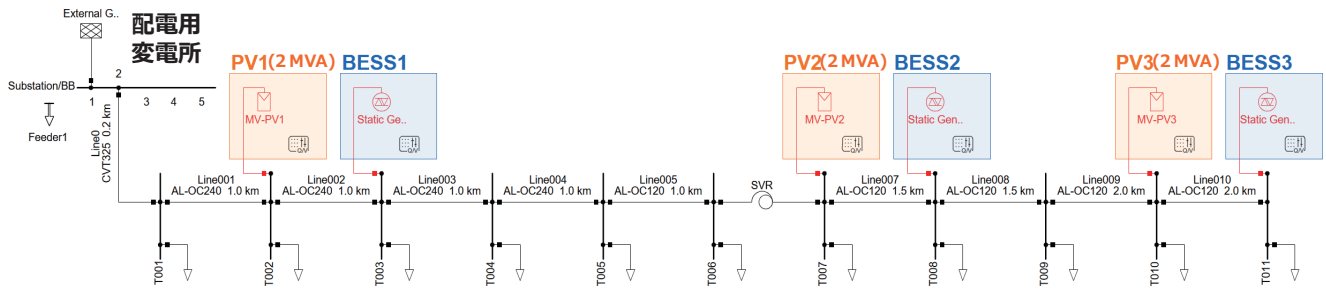


図4 配電線モデル

る。PVの連系容量はそれぞれ2.0 MVA、過積載率<sup>注8)</sup>130%、SVRのタップ点数は9タップ、1タップあたり100 V、降圧3タップ、昇圧5タップの電圧調整幅とした。また、BESSとPVの3箇所それぞれのPQ制御値の配分は均等（BESS1～3の間とPV1～3の間のPQ出力値は同一）を前提とした。

## (2) 評価ケース

本検討では、3.1節の提案制御手法の効果を確認するため、表1の評価ケースを設定した。Case 1：BESSの充電のみ（Q制御なし）制御、すなわちPV出力を単純にBESSで吸収することで電圧逸脱と系統混雑を解消する運用ケースと、Case 2：PとQ両方の制御を行う提案手法を比較する。Case 1の場合は、PV出力をすべてBESSの充電で吸収することで、電圧逸脱と系統混雑は解消するが、そのためにはkW容量・kWh容量ともに必要容量が増大しやすいと予想される。これに対するCase 2との比較により、BESS容量の削減を図る提案制御手法の効果を確認する。

なお、Case 0はBESSとPVの制御対策なしケースで、仮に何も対策を行わなかった場合に電圧逸脱および系統混雑がどの程度発生するか確認するためのケースである。また、提案制御手法を適用したCase 2では、BESSとPVのQ出力負担がBESSのみに偏らないよう電源種別間の公平性を考慮し、BESSとPVは同一力率を前提とした。

表1 シミュレーション評価ケース

|                     | BESS1 (始端)<br>BESS2 (中間)<br>BESS3 (末端) | PV1 (始端)<br>PV2 (中間)<br>PV3 (末端) |      |
|---------------------|----------------------------------------|----------------------------------|------|
|                     | P (充電) 制御                              | Q 制御                             | Q 制御 |
| Case 0<br>対策なし      | なし                                     | なし                               | なし   |
| Case 1<br>BESS 充電のみ | あり                                     | なし                               | なし   |
| Case 2<br>提案制御手法    | あり                                     | あり                               | あり   |
|                     |                                        | BESSとPVは同一力率                     |      |

Case 1とCase 2においては、電圧変動の許容限界を $6,600 \pm 300$  Vとし、電圧逸脱の有無を判定する上限管理値をマージンを取って $6,600 + 200$  V、系統混雑の有無を判定する上限管理値を配電線の常時許容電流に対応する負荷率100%以下、計測値の更新取得から新たな指令値へ変更するまでの処理待ち時間を5分とした。

## 3.3 シミュレーション結果

Case 0, Case 1, Case 2の各ケースの時系列計算結果を図5～図7に示す。図5のCase 0（制御対策なし）は、(c)に示す負荷率が最大114%まで増加、(d)に示す電圧が7.15 kVまで上昇しており、赤色破線で示す制約範囲を超過している。一方、Case 1（図6：BESSのP制御のみ）とCase 2（図7：提案制御手法）

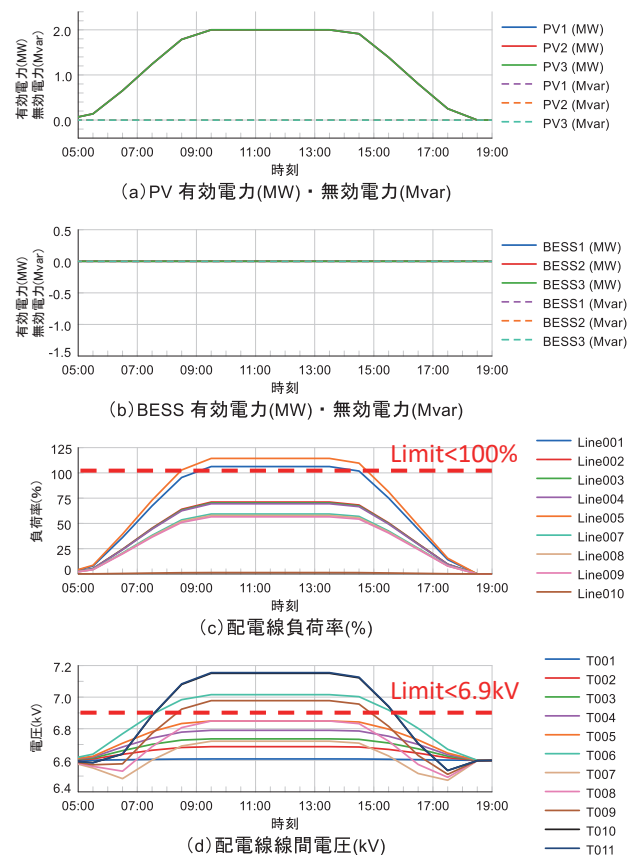


図5 Case 0の時系列計算結果  
制御なし（BESSのPQ制御なし・PV力率1出力）

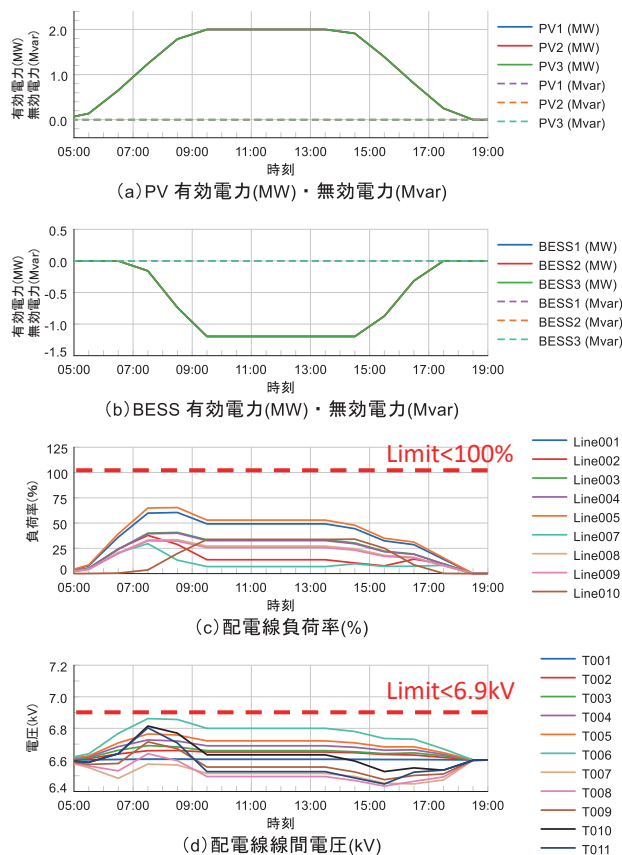


図6 Case 1 の時系列計算結果

BESS の P (充電) 制御のみ (Q 制御なし, PV 力率 1 出力)

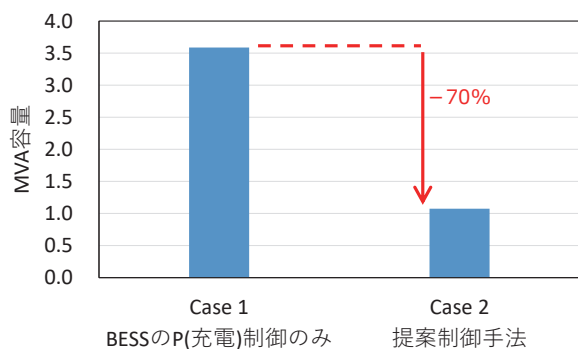


図8 Case 1, Case 2 の BESS 容量比較 (MVA 容量)

のいずれのケースも、電圧は赤色破線で示す 6.9 kV 以下に収まっている。配電線負荷率については、Case 2 (図7(c)) のみ 8:30 の時間断面で 100% を超える 107% となっている。これは、図3の処理フローで計測値取得から制御指令値の更新までのタイムラグの存在が原因であるが、常時許容電流に対する短時間～長時間(数十分～数時間)過負荷電流は約 1.1～1.5 倍であるため、許容範囲内と判断できる。

次に、図6と図7の(a)と(b)において、BESS および PV の有効電力(実線)と無効電力(破線)を比較すると、BESS の P (充電) 制御のみのケースである Case 1 はすべての時間にわたって 0 Mvar であるが、

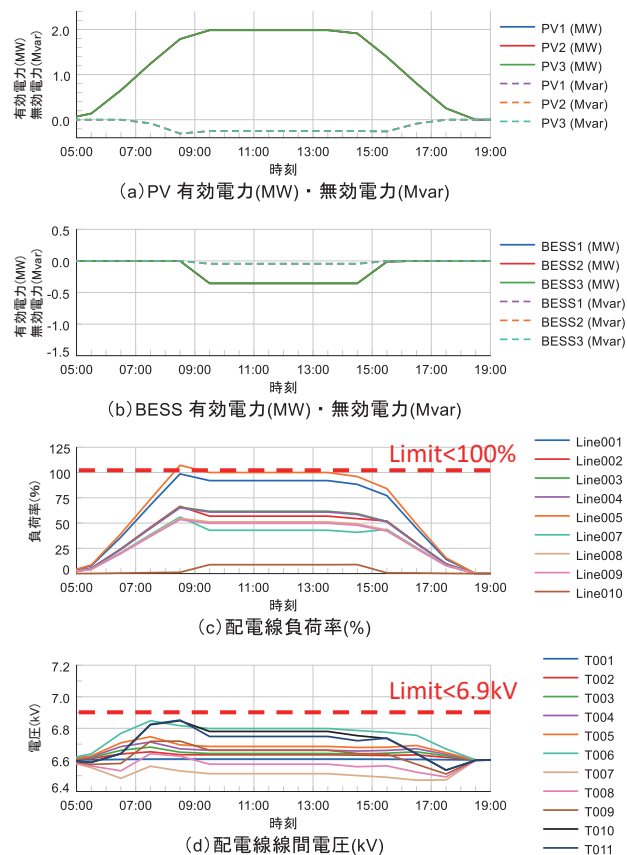


図7 Case 2 の時系列計算結果

提案制御手法適用 (BESS と PV の力率は同一)

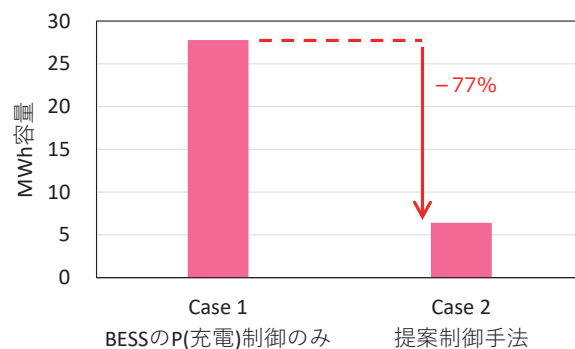


図9 Case 1, Case 2 の BESS 容量比較 (MWh 容量)

電圧逸脱と系統混雑の抑制のためには BESS の充電電力が Case 2 よりも増加することが確認できる。一方、提案制御手法 Case 2 では、P と Q の両方が制御されていることで、P 制御出力の大きさが抑制されていることが確認できる。

最後に、Case 1 と Case 2 の間の BESS 制御量の比較のため、時系列シミュレーション結果から算出した BESS の皮相電力最大値を MVA 容量 (MVA) として図8、充電電力量 (MWh) を図9に示す。図8の MVA 容量は、3.6 MVA から 1.1 MVA へ約 70% 減、図9の MWh 容量は、27.8 MWh から 6.4 MWh へ約 77% 減という結果となり、必要な BESS 容量の削減効果を確認できた。

## 4 おわりに

本稿では、再エネ主力電源化後のPVならびにBESSの普及が進んだ将来の配電システムを想定し、BESSの調整力を活用した制御手法のシミュレーションを紹介した。PV出力による電圧逸脱と系統混雑の解消に必要なBESSの調整容量を最小限とすることに着目した制御手法を提案し、簡易配電線モデルを用いた数値シミュレーションにより制御手法の有効性を確認した。本検討で得た知見や提案手法の考え方は、異なる配電線モデルへの適用も可能であり、再エネ主力電源化に貢献可能な技術であると考えている。

### ■参考文献

- (1) 小林延久：「国内における配電系統運用への分散型電源からの調整力の活用の在り方」，電気学会誌，Vol.144，No.12，pp.761-764（2024）
- (2) 吉井誠：「スマートインバータの実証試験を配電ネットワーク試験場で開始」，東光高岳技報，Vol.7，pp.21-23（2020）
- (3) 宮本卓也：「PV向けスマートインバータの遠方監視制御に対応したDERMSの開発」，東光高岳技報，Vol.8，pp.20-21（2021）

### ■語句説明

注1) 電圧逸脱：電力系統において供給される電圧が定められた適正範囲から外れてしまう状態のことで、電気機器の故障や誤作動を引き起こす恐れがある。特に、太陽光発電などの分散型電源の大量導入に起因する電圧上昇方向の電圧逸脱を電圧上昇逸脱という。

- 注2) 系統混雑：変電所や送配電線などの系統設備に流れる電力がその設備の運用容量（電力を安定的に送電できる容量）を超過してしまうこと。
- 注3) 線路亘長（こうちょう）：電線を敷設する際の起点から終点までの2点間の距離のことで、単位はキロメートル（km）。
- 注4) 蓄電池（BESS）の調整容量：電力の需給バランスや電力品質維持のために制御される蓄電池の出力可能な調整能力を指す。本稿では、MVA容量とMWh容量の2つの数値で評価を行い、MVA容量は一度に流せる最大電力（有効電力と無効電力のベクトル合成値）、MWh容量は貯められる有効電力量（エネルギー量）を表す。
- 注5) 潮流計算：電力系統において発電機の出力や各所の電力需要が与えられた際、送配電線や変圧器を流れる電力の流れ（潮流）や各地点（ノード・母線）の電圧を求める計算。
- 注6) フィーダ：配電線変電所から各家庭や工場などに向けて電力を送り出す配電線の主要な幹線。
- 注7) SVR：高圧配電線の電圧変動対策として線路の途中に設置される自動電圧調整器で、変圧器のタップ（変圧比）を自動で切り替えて電圧を調整する。
- 注8) （太陽光発電の）過積載率：パワーコンディショナ（PCS）の定格電力よりも多くの太陽光パネルを接続し、ピーク時以外の発電量を増やす方法を過積載といい、PCSの定格出力容量に対する太陽電池モジュール（パネル）の合計容量の割合を過積載率という。

### 山下 裕輔

GXソリューション事業本部 事業開発推進室  
事業開発推進グループ 所属