

# PVインバータの無効電力供給による電圧制御手法の検討

AE19089 松山優作

指導教員 藤田吾郎

## 1. はじめに

近年、脱炭素社会実現に向けたCO2削減のため、再生可能エネルギーの導入が進んでいる。中でも太陽光発電(以下、PV: Photovoltaic)の導入量が最も多く、PVの大量導入は脱炭素社会実現の切り札として重要である<sup>[1]</sup>。PVの系統連系が増加すると、連系点における電圧変動が増加することが予想され、系統電力の品質低下やPVの出力抑制につながる。PVの系統連系を行う際には、この電圧変動を適切な範囲内で維持する必要があり、SVC(静止型無効電力補償装置)などの電圧制御装置が変動抑制のために使用されている。中でもSVCが広く使用されているが、設置費用が高く事業者の負担となることや、通常運転時にはオーバースペックとなるなどの課題がある。

本稿では、SVCを用いない電圧制御手法の確立を目的とし、PVインバータの空き容量に着目し、PVインバータによる無効電力供給(電圧・無効電力制御)のみで電圧変動を制御することを検討する。

## 2. 提案手法

図1は365日8760時間の1時間ごとのPV発電量と電力需要の関係を示した図である。PVの発電量が多いエリアでは、特に高出力・低負荷時に電圧が適正範囲から逸脱してしまう。この対策としてSVCを用いることや、PVの出力抑制などの対策がある。しかし、本稿ではそれらを用いず、PVインバータに電圧安定化機能があると考え、インバータの無効電力のみで電圧変動を制御する<sup>[2]</sup>。

## 3. 解析条件

### 3.1 対象エリア

対象エリアとして、太陽光発電の発電量が多く、電力の需給バランスの調整が困難であり、PVに対して出力抑制がかけられるケースが増えている、九州地方のメガソーラー発電所を模擬した。図1が使用するエリアのPV発電量と電力需要の関係である。なお、このPV発電量には、実際の電力系統で出力抑制がかけられてしまった分の発電量も加算した。図1のデータをもとに、PVのサイズは35 [MW]、電力需要は10~70 [MW]の間で変化するモデルを設定した(図2)。PV出力はインバータによって昇圧され、既設の送電線に連系される。

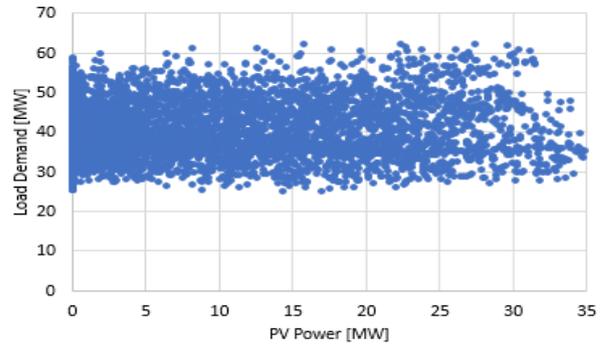


図1. PV発電量と電力需要の関係<sup>[3]</sup>

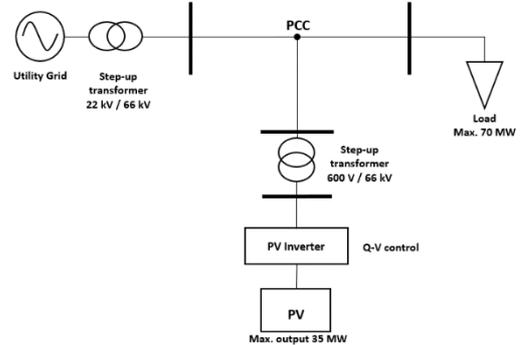


図2. 対象システム

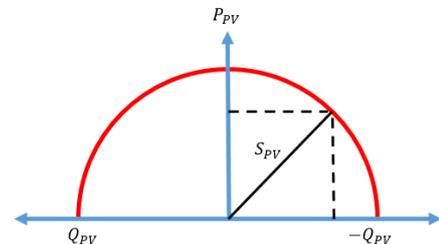


図3. PVインバータの能力曲線<sup>[2]</sup>

### 3.2 PVインバータの容量の設定

図2に示すように、PVはインバータを介して送電系統に接続される。図3にPVインバータの能力曲線を示す。図3よりPVの有効電力と無効電力は次式で表される。

$$P_{PV}(t) = P_{PV}^{max}(t) \quad (1)$$

$$Q_{PV}^{max}(t) = \sqrt{S_{inv}^2(t) - P_{PV}^2(t)} \quad (2)$$

$P_{PV}(t)$ : PVシステムの出電力

$P_{PV}^{max}(t)$ : PVシステムの最大電力

$Q_{PV}^{max}(t)$ : インバータが注入できる最大無効電力

$S_{inv}(t)$ : インバータの定格皮相電力

(2)式より、PVインバータの供給できる最大無効電力を考える際、インバータの定格皮相電力を考慮する必要がある。従って今回の解析では、PVインバータはその定

格皮相電力を超えない範囲内で最大値の無効電力を供給する。

### 3.3 電圧変動率の算出

図2に示すようにPVはPCCで系統に連系する。対象システムにおける送電線の標準電圧は66000 [V]である。ここで、電圧変動率は(5)式で表される。

$$V_{pcc} = V_{measure} \quad (3)$$

$$V_{nominal} = \frac{66000}{\sqrt{3}} \quad (4)$$

$$\varepsilon = \frac{V_{measure} - V_{nominal}}{V_{nominal}} \times 100 \quad (5)$$

$\varepsilon$  : 連系点における電圧変動率

$V_{pcc}$  : 連系点電圧,  $V_{nominal}$  : 標準電圧

また今回の解析では、電圧変動を標準電圧の±2%以内を管理目標として解析を行う。

## 4. 解析結果

### 4.1 解析ケース

本稿では対象期間を365日8760時間とし、1時間ごとの電圧変動を制御する。また、今回の解析では高出力・低負荷時に起こる電圧増加による電圧変動の制御のみ行うとし、低出力・高負荷時の電圧降下に関しては行わない。解析ケースは表1の3ケースを想定する。また通常PVを導入する際、インバータの容量はPVのサイズより小さい容量で導入するため、ケース3では、いくつかの導入事例を基にインバータとPVサイズの比率を計算し27 [MVA]と設定した。

表1. 解析ケース

	ケース1	ケース2	ケース3
インバータ容量 [MVA]	35	35	27
電圧制御	無	有	有

### 4.2 解析結果

対象システムにおけるシミュレーションを行い、PCCにおける電圧変動率を測定した。図4は対象システムにおける電圧変動率の分布図である。解析結果を表2に示す。ケース1よりインバータ容量が35 [MVA]、電圧制御を行わない場合、管理目標である2%の上限を超えてしまったのは123時間であった。ケース1に対してケース2では無効電力・電圧制御を行ったため、改善が必要であった123時間の内、105時間を2%の上限内に収めることが出来た。またケース3では、インバータ容量を27 [MVA]としたため、PVは27 [MW]以上の発電を行わず、制御が必要な時間が減少した。ケース3では48時間の内、44時間で2%の上限内に収めることが出来た。

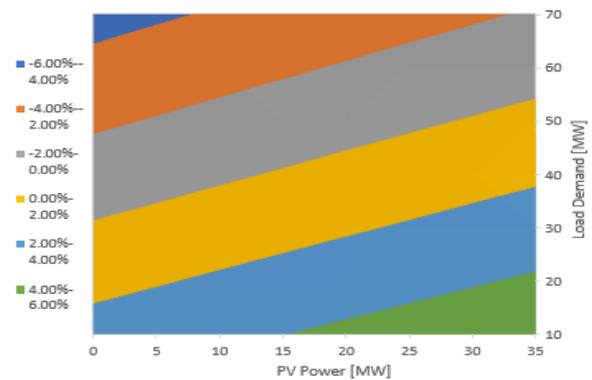


図4. 対象システムにおける電圧変動率の分布図

表2. ケース別解析結果

	ケース1	ケース2	ケース3
インバータ容量 [MVA]	35	35	27
電圧制御	無	有	有
2%逸脱時間 [h]	123	123	48
改善時間 [h]		105	44
改善率 [%]		85.3	91.7

## 5. まとめ

本稿では、PVの普及率増加に伴う電圧変動の課題をインバータによる無効電力のみで制御することを提案した。解析の結果、電圧変動の課題に対しインバータによる無効電力の供給のみで、解決すべき時間帯の内、8割を超える時間で管理目標内に電圧を制御できることが示された。また、ケース3で行ったようにインバータの容量を小さくすると、改善率は上がるが、全体の発電量が減少してしまう。改善率を100%にするためには、インバータの容量を42 [MVA]とする必要があり、PVのサイズより大きくなってしまふ。このことは経済的側面などから最適解ではないと考える。今後の展望としては、PVインバータの容量を増加させず、SVCなどを組み合わせる手法を検討していく。

## 参考文献

- [1] 下向賢,Sandro Sitompul,藤田吾郎 : 「PV出力抑制による連系容量拡大」,電気学会全国大会,No.6-177, (2022)
- [2] Mahmoud, K., & Hussein, M. M. (2017, December). Combined static VAR compensator and PV-inverter for regulating voltage in distribution systems. In 2017 Nineteenth International Middle East Power Systems Conference (MEPCON) (pp. 683-688). IEEE.
- [3] 特定非営利活動法人 環境エネルギー政策研究所HP 「Energy Chart」 <https://isep-energychart.com/>