

## 太陽光発電電力の有効活用に向けた配電系統電圧制御の研究

Voltage control of distribution system to use effectively photovoltaic generation electric power



橋口 英司\*



山田 尚志\*\*



中平 雅士\*

When a lot of photovoltaic panels are installed, the reverse power flow have to be treated moderately. To control of increase voltage in distribution line, we proposed cooperative reactive power control among distributed power conditioners of PV systems. To confirm the effect of cooperative reactive power control of distributed power conditioners, some experiment tests were carried out. The results of the experiment tests show the efficacy of cooperative reactive power control among distributed power conditioners to control of increase voltage in distribution line.

●キーワード：太陽光パネル、逆潮流、パワーコンディショナー、協調無効電力制御

### 1. はじめに

東日本大震災以降の電力需給の逼迫した状況において、比較的導入が容易な太陽光発電（以下、PV: Photovoltaic）設備の設置が進んでいる。PV設備による発電電力が負荷消費を上回ると、その余剰電力が配電系統に逆潮流し、配電系統の電圧が上昇する。配電系統の電圧が大きく上昇すると、配電系統に接続されている機器に悪影響を与えるおそれがあるため、配電系統電圧の制限値を超えないよう制御する必要がある。しかしながら、制限値まで制御できない場合には、PV設備の発電電力を絞り込み、発電電力を有効活用できない結果となる。特に、今後大規模なPV設備が設置されるような鉄道沿線においては、大きな負荷はないことが多く、PV発電電力の有効活用のためには、電圧上昇を抑えたうえで遠方の負荷まで余剰電力を流すことが必要である。しかしながら、過去の検討結果より、逆潮流した余剰電力を遠方の負荷まで流すために多大なコストをかけることは、想定される逆潮流電力量を考慮すると合理的ではない、という結果が得られている。

そこで本研究では、PV設備の余剰発電電力の有効活用をめざし、余剰電力による電圧上昇を簡易的に抑える手法について検討を行った。

### 2. 配電系統の電圧制御

#### 2.1 配電系統の電圧制御手法

配電系統の電圧上昇を制御する方法としては、配電用変電所に設置する負荷時タップ切換変圧器（LRT（Load Ratio Transformer））や配電系統上に設置するステップ式自動電圧調整器（SVR（Step Voltage Regulator））、静止形無効電力補償装置（SVC（Static Var Compensator））

などの電圧調整機器があげられる。しかしながらこれらは設備が大規模となり多くのコストを要していた。

#### 2.2 PCSによる無効電力制御

そこで、PV設備のPCS（パワーコンディショナー）の無効電力制御に着目し、配電系統全体の電圧制御を簡易的に行う方式について検討を行った。PCSの力率の制御、無効電力出力の調整により、連系点電圧を制御することができ、結果として、系統電圧の制御を行うことができる。PCSの力率は、電力品質確保に係る系統連系技術要件ガイドラインにより85%以上とされている。PV設備の発電量（有効電力）がPCS定格容量と同じであれば無効電力を出力できないが、実態としてPVパネルは定格の80%程度しか発電しないため、PCSの定格容量には余裕があり、無効電力制御が可能となる。図1にPCS無効電力制御量のイメージを示す。

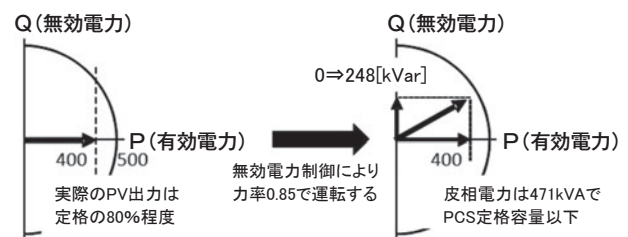


図1 PCSの無効電力制御量（PCS定格500kVA）

#### 2.2.1 PCS無効電力制御

PCSの無効電力制御により、各連系点での電圧制御はある程度可能となる。しかし、単独のPCSでは無効電力出力に限界があり、系統電圧を適正な値まで制御することができない場合が存在する。その際には、PVの出力自体、すなわちPV設備の発電量自体を制限し、電圧上昇を抑制することになる。一方、同一系統内に別のPCSが存在する場合でも、

その連系点の電圧が上限値以下であれば、該当のPCSは無効電力制御は行わない。単独PCSによる無効電力制御のイメージを図2に示す。

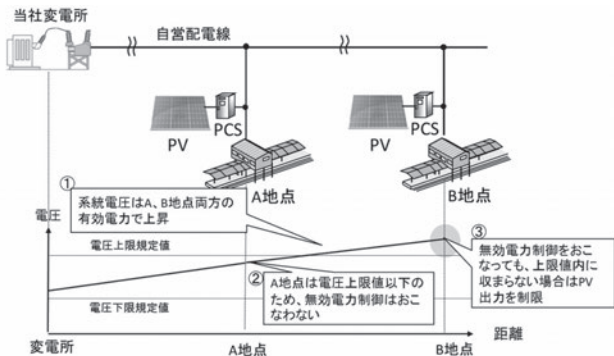


図2 PCSによる単独無効電力制御

## 2.2.2 PCS協調無効電力制御

従来のPCS単独無効電力制御では、PCS設置点の電圧が上限値を逸脱する場合はPVの出力自体を制限し、電圧上昇を抑制していた。一方、同一系統内に別のPCS設置点が存在していても、その地点の電圧が上限値以下の場合、そのPCSは無効電力制御を行っていなかった。そこで、自箇所のPCS無効電力制御だけで電圧逸脱が解消できない場合には、余力のある他箇所に対し電圧抑制依頼を行い、複数地点で協調して無効電力制御をすることにより、電圧逸脱箇所の電圧抑制を行うこととした。これにより、PV発電量の出力制限を少なくし、発電電力をより多く活用することが可能となる。図3に、複数PCSによる協調無効電力制御のイメージを示す。

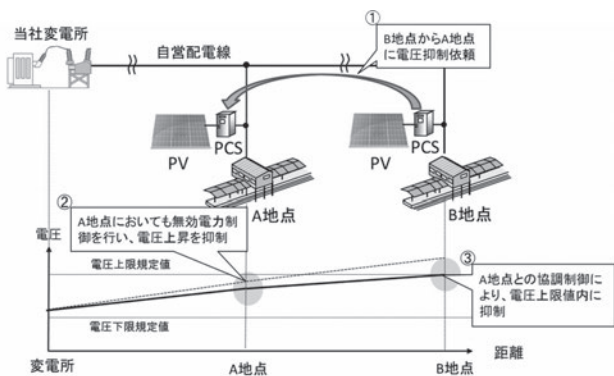


図3 複数PCSによる協調無効電力制御

## 3. 工場内実証試験

### 3.1 工場内実証試験概要

複数PCSによる協調無効電力制御の有効性を実際に確認するため、図4に示す工場内実証設備にて試験を行った。また、その実証試験における制御方式を表1に示す。PVの出力制限(有効電力抑制)をせず、無効電力制御だけでここまで系統電圧制御が可能か試験を実施した。

今後の実導入箇所での条件を踏まえ、PCSの最大無効電力出力は100[kVar]程度となっている。

なお、ここでは次のように定義しており、各連系点電圧がVmを超えないよう制御を行う。

$V_{ss}$ : 送り出し電圧

$V_m$ : 電圧運用上限値 (ここでは6600[V]と設定)

$V_{PCS\_1}$ : PCS\_1の連系点電圧

$V_{PCS\_2}$ : PCS\_2の連系点電圧

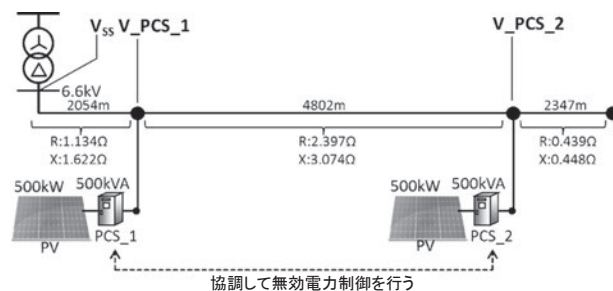


図4 工場内実証試験における配電系統

表1 工場内実証試験における電圧制御方式

パターン番号	無効電力制御の実施	PCS間の協調
1 (無制御)	×	×
2 (単独制御)	○	×
3 (協調制御)	○	○

### 3.2 工場内実証試験結果

工場内実証試験の結果を図5に示す。PCSに連系している負荷は無く、PV出力はすべて上位の系統に戻る(逆潮流となる)という条件下での試験である。図5(c)の結果より、この実証試験中の有効電力は、PCS\_1:270kW前後、PCS\_2:300kW前後、である。

【パターン1 (無制御)】

$V_{PCS\_1}$ 、 $V_{PCS\_2}$ ともに $V_m$ を上回っている。各連系点の電圧値が電圧運用上限値を上回っており、本パターンでは無効電力制御を行わないため、PVの出力制限(有効電力抑制)により系統電圧を下げる必要があり、結果としてPV設備の発電出力を絞り込むこととなる。

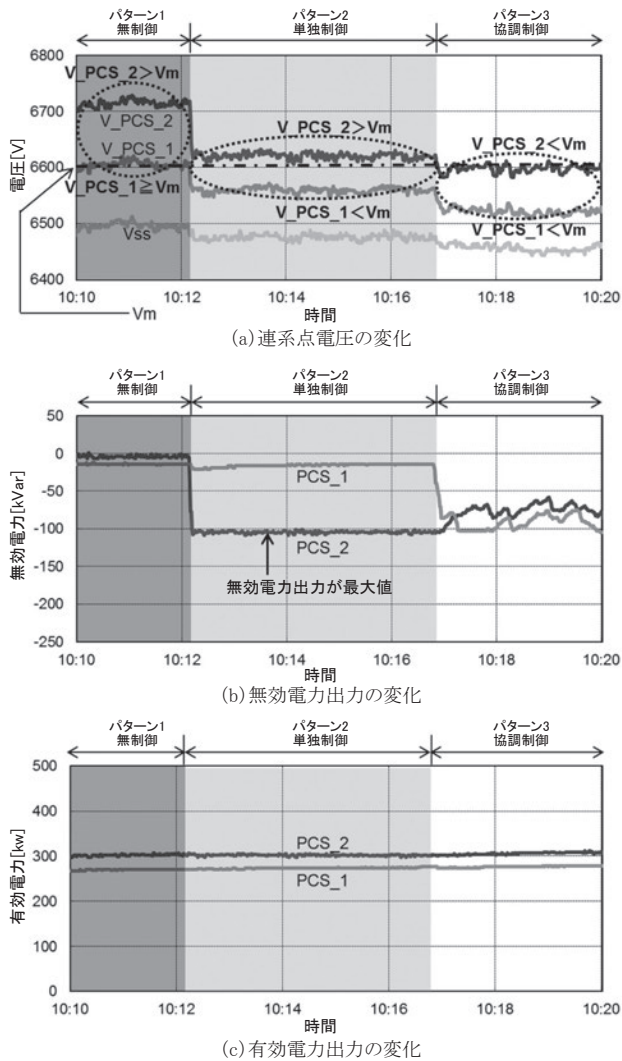


図5 工場内実証試験結果

【パターン2 (単独制御)】

パターン1の状態より、PCS<sub>1</sub>、PCS<sub>2</sub>単独で各連系点電圧がV<sub>m</sub>以下となるよう、PCS単独の無効電力制御を行った。V<sub>PCS\_1</sub>はV<sub>m</sub>以下となっているが、V<sub>PCS\_2</sub>は、PCS<sub>2</sub>が無効電力制御を最大出力で行ってもV<sub>m</sub>以下とすることができていない。系統電圧制御のためには、ここでもPVの出力制限(有効電力抑制)が必要となる。

【パターン3 (協調制御)】

パターン2の状態よりPCS協調無効電力制御を行った。PCS<sub>2</sub>だけでなく、余力を持っていたPCS<sub>1</sub>でも合わせて無効電力制御を行うことで、V<sub>PCS\_2</sub>もV<sub>m</sub>以下に抑えられている。この結果、PV発電出力を絞り込まずに、余剰電力を配電系統へ逆潮流させることが可能となる。

以上のように、PCSの協調無効電力制御により、電圧運用上限値以下にできなかった連系点電圧の適正な制御が可能となっている。実証試験においても、PCSの協調無効電力制御の有効性を確認することができる。

4. 京葉車両センターにおける実証試験

4.1 京葉車両センターメガソーラーの概要

当社として初めてとなる大規模PV設備(メガソーラー)を2014年2月に京葉車両センターに導入した。その概略を図6に示す。

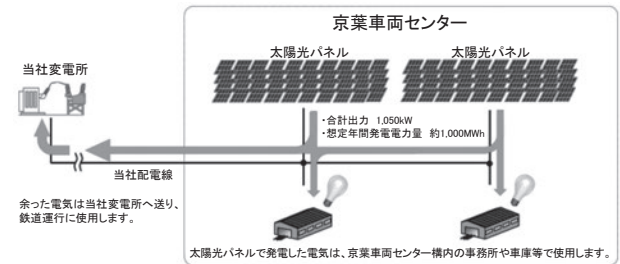


図6 京葉車両センターメガソーラー概略図

京葉車両センターメガソーラーの仕様は表2のとおりである。PCSが2台(500kW×2台)が系統内に存在し、既存の高圧配電線路に接続されている。PV設備の運転状況は、京葉車両センター内にある事務室にて確認が可能となっている。また、図7にPVの設置状況を示す。

表2 京葉車両センターメガソーラー仕様

太陽光発電定格出力	約 1,050kW
太陽光パネル面積	6,600m <sup>2</sup>
想定年間発電電力量	約 1,000MWh
想定年間CO <sub>2</sub> 削減量	約 500t <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> 2012年度時点での東京電力CO<sub>2</sub>排出原単位による



図7 京葉車両センターPV設置状況

4.2 複数PCSによる協調無効電力制御の実証試験

京葉車両センターのメガソーラー設備を使用し、複数PCSによる協調無効電力制御の実証試験を行った。その実証系統図を図8に、試験結果を図9に示す。図9は、夏季における終日快晴日を選び、ほぼ同一の日照下にて協調制御、および無制御の場合を比較したものである。V<sub>PCS\_1</sub>、V<sub>PCS\_2</sub>、V<sub>ss</sub>、V<sub>m</sub>の定義は3.1項と同様であるが、ここではV<sub>m</sub>=6534[V]とし、PVの出力制限(有効電力抑制)を開始する電圧値は6600[V]と設定している。また、さらに次のように定義した。



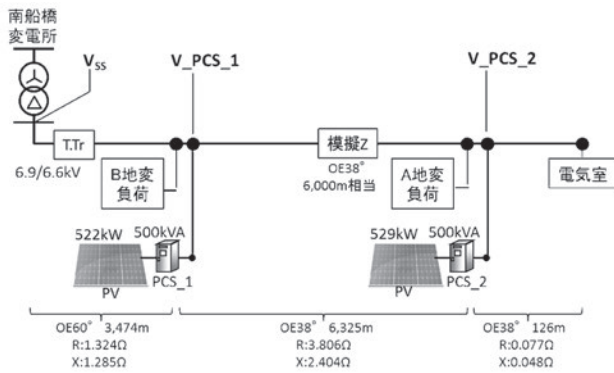


図8 京葉車両センター実証系統図

$P_{PCS\_1}$ : PCS\_1の有効電力出力

$P_{PCS\_2}$ : PCS\_2の有効電力出力

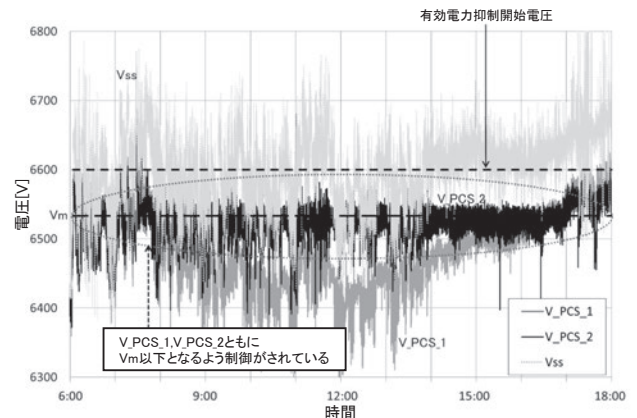
$Q_{PCS\_1}$ : PCS\_1の無効電力出力

$Q_{PCS\_2}$ : PCS\_2の無効電力出力

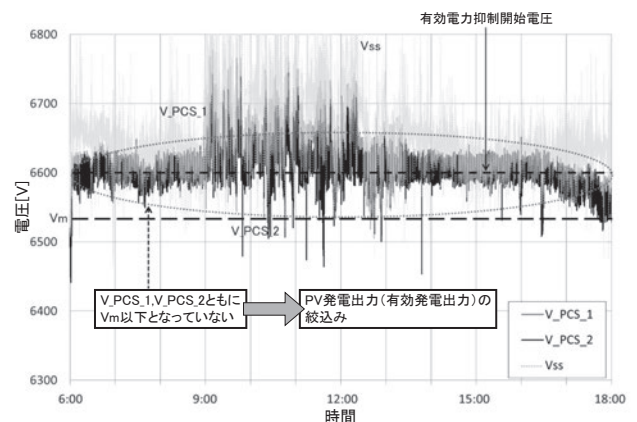
図9の協調制御、無制御の両日は終日快晴であり、PV出力の抑制がなければ、有効電力は昼がピークとなる曲線上に変化すると想定される。それと比較をすると、図9 (c) (協調制御) では、11~12時頃に一時的な落ち込み (PVの出力抑制) が見られるのみであるが、図9 (d) (無制御) では、PV出力の大幅な落ち込み (抑制) が見られる。協調制御の場合、図9 (a) によると、 $V_{PCS\_1}$ および末端の $V_{PCS\_2}$ ともに、PVの出力抑制をほとんど行わなくても、連系点電圧が $V_m$ 以下となるよう制御できている。一方、無制御においては、図9 (b) によると、特に末端の $V_{PCS\_2}$ が $V_m$ を超えており、系統の電圧を制御しきれていない。以上の結果からも、PCSによる協調無効電力制御の有効性を確認することができる。

## 5. おわりに

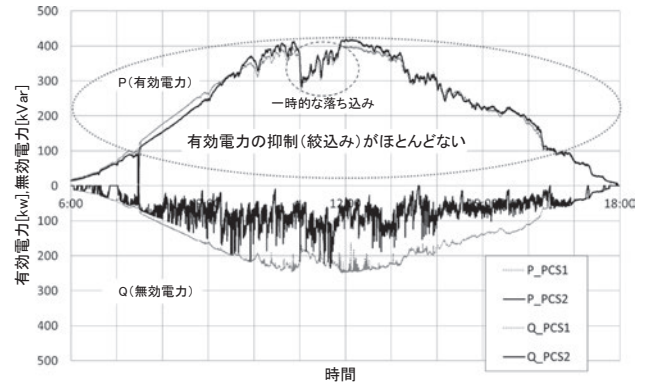
今回、大規模PV設備導入に伴う簡易な系統電圧制御手法について検討し、複数PCSによる協調無効電力制御の有効性を確認することができた。大規模PVの今後のさらなる導入に備え、適用範囲の拡大など検討を進めていく。



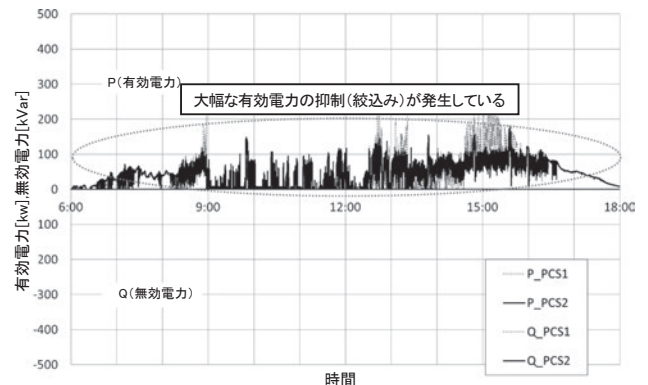
(a) 連系点電圧の変化 (協調制御: 2014.8.15)



(b) 連系点電圧の変化 (無制御: 2014.8.17)



(c) 有効電力、無効電力の変化 (協調制御: 2014.8.15)



(d) 有効電力、無効電力の変化 (無制御: 2014.8.17)

図9 京葉車両センターにおける実証試験結果