

# 太陽光発電システムの発電電力量向上にむけた 後付け形に適する小容量蓄電システムの充放電制御法

学生員 石橋 幹弥 正員 芳賀 仁 (長岡技術科学大学)

正員 有松 健司 (東北電力株式会社) 正員 加藤 康司 (サンケン電気株式会社)

## Charge and discharge control method of small capacity energy storage system suitable for retrofit to improve power generation amount of photovoltaic generation system

Mikiya Ishibashi, Student Member, Hitoshi Haga, Member (Nagaoka University of Technology),  
Kenji Atimatsu, Member (Tohoku Electric Power Co., Inc.), Koji Kato, Member (Sanken Electric Co., Ltd.)

This paper proposes a control method of the energy storage system that improve power generation amount of photovoltaic generation system. This paper shows the experimental results, and the PV generated electric power amount in the case of applying the conventional discharge control method and the proposed discharge control method was compared. When using the conventional discharge control method, PV generated electric power amounted to 15.84 Wh. On the other hand, when the proposed discharge control method was used, PV generated electric energy amounted to 16.44 Wh. The PV generated electricity amount improved by 6.84%. From the above, the effect of the proposed discharge control method was verified.

キーワード : 太陽光発電, パワーコンディショナ, 蓄電システム

Keywords : Photovoltaic generation, Power conditioner, Energy storage system

### 1. はじめに

近年、燃料価格の高騰や化石燃料枯渇の懸念から、太陽光、風力といった再生可能エネルギーを利用した発電システムが注目されている。特に太陽光発電システムにおいては企業や自治体を中心に、導入が急速に進められている<sup>(1)</sup>。太陽光発電システムは太陽電池モジュール(以下 PV)と PV の発電電力を電力系統へ出力するパワーコンディショナ(以下 PCS)から構成されている。実際の運用において PCS は、曇天時など PV の発電電力が低下した場合に運転を停止する。その後日射が回復しても、PCS は再起動まで待機時間を有するため、発電電力を得る機会を損ねる<sup>(2)(3)</sup>。

これまで著者らは、小容量の蓄電システムを用いて、PCS の動作をアシストすることにより、可能な限り PCS の一時停止を回避する発電電力補償システムについて検討している<sup>(4)(5)</sup>。蓄電システムは PV と並列に接続するため、従来の PV と PCS のみにより構成された太陽光発電システムへ容易に後付け可能である特徴を持つ。しかしながら、蓄電システムの充放電動作によって PCS の入力電力特性が変化するため、PCS の MPPT を妨げることが懸念される。また従来

の蓄電システムの放電動作では、放電動作時の PCS 入力電力指令として単一の特性を用いているため、放電電力特性で用いるピーク電圧と PV 側の MPPT となるピーク電圧が不一致になる場合があり、PV の発電電力量に課題があった。

そこで本稿は、蓄電システムの新たな放電制御法を提案する。提案する放電制御法は、蓄電システムが放電電力特性を PV 発電電力が増加するように、PCS の動作電圧を推移することが可能になる。したがって、PCS への電力供給と PV の最適動作を両立することが可能となる。

### 2. 提案システムの構成

〈2・1〉 システム構成 従来の太陽光発電システムの構成を図 1(a)に示す。PV と発電電力を電力系統へ出力する PCS により構成されている。図 1(b)に従来構成におけるシステムの動作を示す。日射の低下に伴い PV の発電電力が低下した場合、PCS は停止する。その後日射が回復しても PCS は再起動まで待機時間を有する。そのため PV の発電電力が得られない期間が生じてしまう。図 2(a)に提案構成を示す。提案構成は PV と並列に小容量の蓄電システムを接続する。蓄電システムは PCS の入力端子に接続可能であるため、PCS

内部の回路等の改造を必要としない。また、PCS から入力端子をみると、あたかも PV パネルのみが接続しているように、蓄電システムは充放電制御を行うため、PCS の MPPT 動作に影響がなく、そのまま利用可能となる。図 2(b)に提案構成におけるシステムの動作を示す。蓄電システムは PV 発電電力が十分であるとき、放電動作に備え PV 発電電力の一部を蓄電デバイスに充電する。そして PV 発電電力の低下時、蓄電システムが放電動作を行い PCS に電力を供給する。PCS 停止回避により、PV の発電電力を継続して取得することが可能となる。

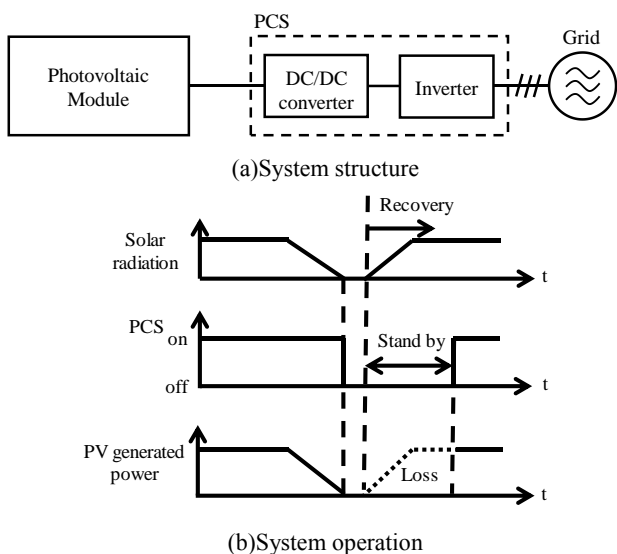


Fig. 1. Conventional PV system.

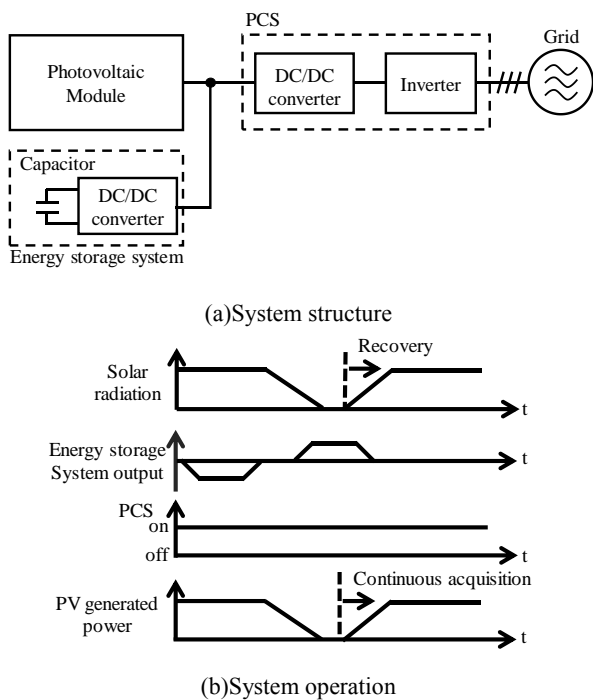


Fig. 2. Proposed PV system.

〈2・2〉 発電量改善条件 提案構成における PCS の出力電力量が、従来構成と比較して向上するために必要な条件について説明する。従来構成は PV 発電電力の低下により PCS が停止した場合、再起動まで PV の発電電力が得られないため、取得できる電力量が減る。一方、提案構成は蓄電システムのアシスト動作によって PCS 停止が回避できるため、その分 PV からの発電電力を取得できる。PCS 停止回避によって得られる電力は PCS による電力変換を経て系統へ出力される。したがって、PCS の運転継続によって向上した PV 発電電力量の内、系統側に出力された分が従来構成からの向上部分にあたる。しかし、提案構成は PV 発電電力の一部を蓄電システムにおいて充放電を行うため、蓄電システムの電力変換器による損失が発生する。蓄電システム充放電時のエネルギーフローを図 3 に示す。蓄電システムが充電動作する時のエネルギーフローを図 3(a)に示す。蓄電システムに入力される電力は、DC/DC コンバータによる電力変換を経てキャパシタに充電されるため、DC/DC コンバータにて損失が発生する。また、蓄電システムが放電動作する時のエネルギーフローを図 3(b)に示す。キャパシタから出力された電力は DC/DC コンバータによる電力変換を経て蓄電システムから出力されるため、DC/DC コンバータにて損失が発生する。さらに、蓄電システムから出力された電力は、PCS による電力変換を経て系統へ出力されるため PCS にて損失が発生する。以上より提案構成において蓄電システムが PV 発電電力の一部を充放電した場合、充電動作時は DC/DC コンバータにて、放電動作時は DC/DC コンバータと PCS にて損失が発生する。以上から提案構成において、PCS 停止が回避された場合、蓄電システムの充電電力量が放電動作、PCS による電力変換を経て系統側へ出力されるまでに生じた損失よりも、PV 発電電力量の PCS の運転継続により向上した分の内、系統側に出力された量が上回ること、従来構成と比較して PCS の出力電力量が向上することとなる。

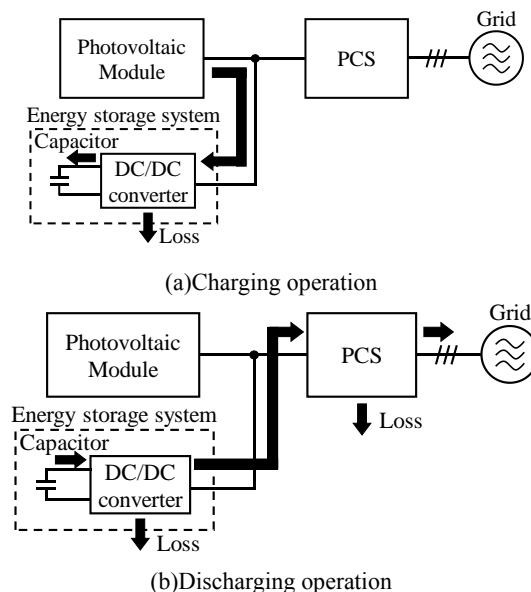


Fig. 3. Energy flow of energy storage system.

### 3. 提案する放電制御法

図4に放電時の制御原理を示す。放電時はPCSに入力される電力が任意の電力-電圧特性となるように蓄電システムが電力を出力する。電力-電圧特性を与えることで、蓄電システムの放電電力を制限可能となる。また、PCSはMPPT制御によって特性のピークに追従する。しかし、図4(a)に示す従来の放電制御方法は放電電力特性が単一であるため、放電電力特性のピーク電圧とPVの最大電力点電圧が一致しない場合、PVを最大電力点で動作できない。

そこで、提案する放電制御法を図4(b)に示す。放電時はPCSに入力される電力特性をPV発電電力が増加する方向に移動させる。PCSがMPPTによって、入力される電力特性の最大電力点に常に追従すると仮定した場合、放電電力特性を移動することで、動作点電圧を移動可能となる。PV発電電力を監視しながら、PCS入力電力特性をPVの発電電力が増加する方向に移動させることで、PVの最大電力点での動作と、PCSへの電力供給動作を両立することが可能となる。

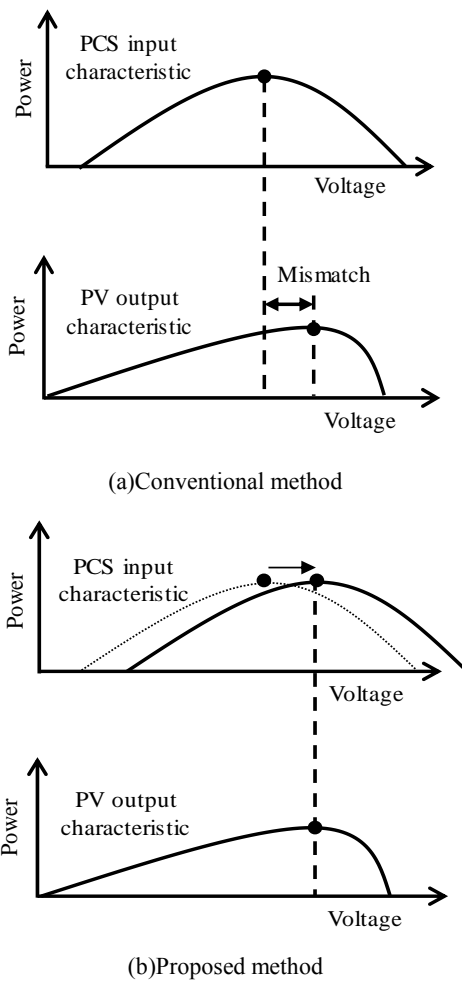


Fig. 4. Power characteristics at discharging operation.

### 4. 実験結果

実験構成を図5に示す。PVの出力電力と蓄電システムの出力電力をパワーメータによって測定する。PVはプログラマブル電源を用いてPVパラメータと日射データを使用して模擬する。PCSは定格5kWを使用した。蓄電システムは双方向チョップと直流電源によって模擬する。双方向チョップの定格は500Wを使用した。

図6に放電時の制御ブロックを示す。放電動作はPV発電電力が500W以下となった場合に行う。制御マイコンのルックアップテーブルに格納した放電電力特性から、PV電圧に応じてPCSの入力電力指令値を呼び出し、PVの発電電力を差し引くことで蓄電システムの放電電力指令値を求める。また、今回の実験においてはPV発電電力の増加方向に放電電力特性を移動させるために、山登り法によるMPPT<sup>(6)</sup>によって生成した電圧値を、ルックアップテーブルを参照する電圧値にオフセットとして加えることで、相対的に放電電力特性を移動させる。放電時の電力特性を移動させるために用いるMPPT周期は、今回使用したPCSのMPPT周期である0.01秒に対して十分に遅い0.2秒で行うことでPCSのMPPTへの干渉を防ぐ。放電電力指令値より電流指令値を演算し、PI制御器を用いて電流制御する。双方向チョップは放電動作時、S2\_chopをOFF、S1\_chopをスイッチングする昇圧チョップとして動作する。

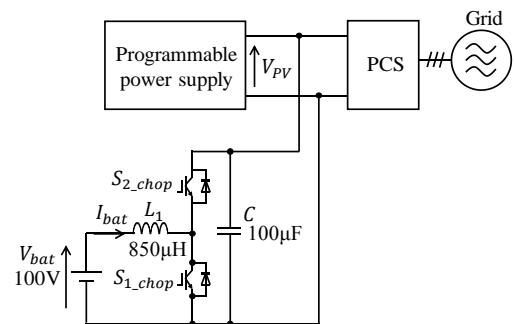


Fig. 5. Experimental structure.

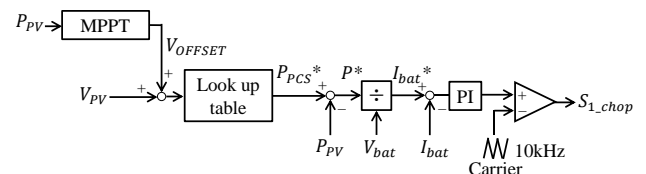


Fig. 6. Control block on discharging.

Table 1. PV parameter.

Open circuit voltage	400V
Short circuit current	20A
Maximum power voltage	320V
Maximum power current	15.6A

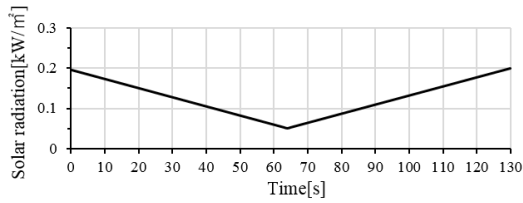


Fig. 7. Solar radiation data.

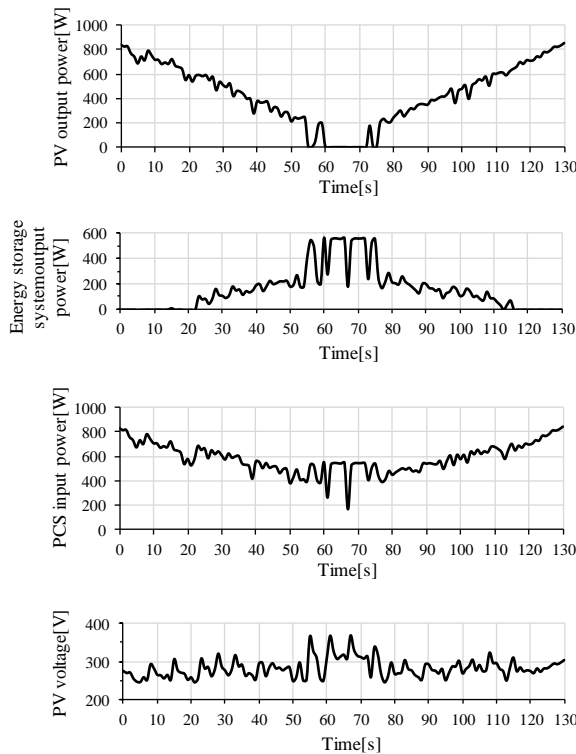


Fig.8 Experimental results of conventional discharge control method.

図 8 に従来の放電制御法の実験結果，図 9 に提案する放電制御法の実験結果を示す。放電期間中の PV 発電電力量は，従来の放電制御法を使用した場合において 15.84Wh となった。一方，提案する放電制御法を使用した場合は 16.44Wh となり，従来法を使用した場合と比較して 6.48%向上した。従来の放電制御法は放電電力特性が単一であるため，放電電力特性のピーク電圧と PV の電力特性のピーク電圧の不一致が起こる。そのため PV 発電電力が最適化されていない。一方，提案する放電制御法は PV 発電電力を監視しながら，放電電力特性を移動させる。動作点電圧を動かすことができるため，PV 発電電力が増加する方向に特性を移動することによって，放電動作と PV の最適動作を両立可能である。そのため PV 発電電力量が向上できる結果を得ている。

## 5. おわりに

本稿は，太陽光発電システムの発電量を向上するための小容量の蓄電システムの放電制御法を提案した。提案する

放電制御法は，放電電力特性を PV 発電電力の増加する方向に移動させることで，PCS の動作電圧を移動することが可能となるため，PCS への電力供給と PV の最適動作を両立することが可能となる。実験検証によって，従来の放電制御法を使用した場合は，放電期間中の PV 発電電力量が 15.84Wh となったが，提案放電制御法を使用した場合は，16.44Wh となり，PV 発電電力量が 6.84%向上した。以上より，提案する放電制御法の効果を示した。

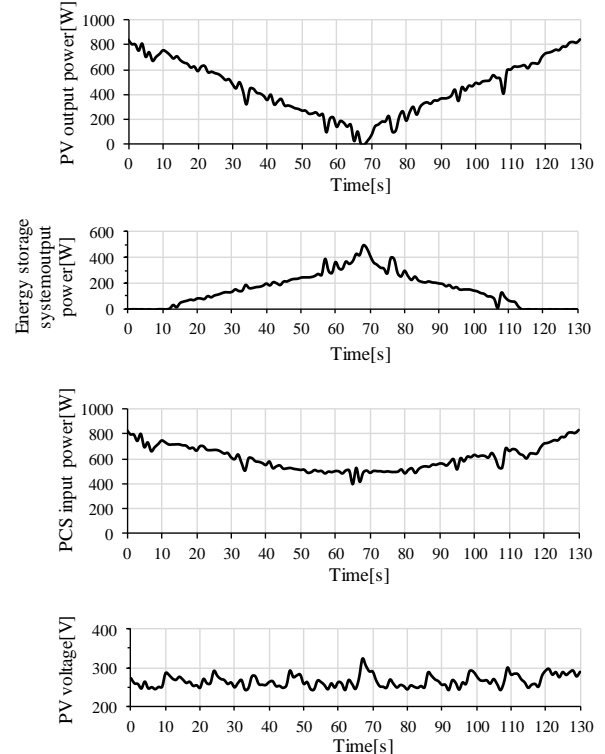


Fig. 9. Experimental results of proposed discharge control method.

## 文 献

- (1) NEDO 「再生可能エネルギー技術白書」(2014)
- (2) S.Machida and T.Tani:“Effect of the Organization of Solar Cell Array and Inverter Components on the System Economical Efficiency”, Trans. IEEJ, Vol.120-B, No.5, pp.733-738(2000)  
町田 定之, 谷 辰夫:「太陽電池アレイ構成とインバータ方式がシステム経済性に与える影響」, 電学論 B, Vol.120, No.5, pp.733-738(2000)
- (3) T.Yamada, D.Tokushima, H.Ishikawa, D.Wang and H.Naitoh: “A Novel PV System by using Multiple Inverters”, Trans. IEEJ, Vol.124-B, No.9, pp.1087-1092(2004)  
山田 隆志, 徳島 大己, 石川 裕記, 王道洪, 内藤 治夫:「複数インバータ方式による太陽光発電システムの提案」, 電学論 B, Vol.124, No.9, pp.1087-1092(2004)
- (4) 石橋 幹弥, 芳賀 仁, 有松 健司, 加藤 康司:「蓄電システムを用いた太陽光発電システムの発電量改善に関する実験検証」, 平成 30 年新エネルギー・環境研究会, FTE-18-008(2018)
- (5) 石橋 幹弥, 芳賀 仁, 有松 健司, 加藤 康司:「蓄電システムを用いた太陽光発電システムの出力電力量改善に関する実験検証」, 平成 30 年電気学会全国大会, Vol.7, No.028, pp.41-42(2018)
- (6) T.Esram and P.Chapman:“Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques,” IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol.22, No.2, pp.439-449(2007)