

# 太陽光発電におけるバッテリーとフライホイールを用いた電力平準化制御の検証と考察

五十嵐 寿勝\*, 伊東 淳一 (長岡技術科学大学)

Evaluation of Power Leveling Control Using Battery and Flywheel for Photovoltaic Generation

Hisakatsu Igarashi, Jun-ichi Itoh (Nagaoka University of Technology)

## 1. はじめに

系統連系の電力貯蔵装置として、NaS 電池などのバッテリーやフライホイール(FW)がある<sup>(1)(2)</sup>。バッテリーは他の電力貯蔵装置と比較して電力密度が大きく、コストを低く抑えられるが、サイクル寿命が短い。一方で、FWは繰り返しの充放電に対する特性劣化がなく、基本的にメンテナンスフリーである。しかし、FWはバッテリーに比べ低電力密度、高コストであるため大容量化に向かない。そこで、バッテリーとFWを組み合わせるシステムが提案する。このシステムでは発電電力の高周波成分をFWに補償させることで、バッテリーの充放電回数が低減でき、バッテリーの長寿命化が期待できる。

本論文ではバッテリーとFWを用いた電力平準化制御の動作検証を行う。また、シミュレーションによりバッテリーとFWの容量について考察を行ったので報告する。

## 2. 発電電力の周波数解析

図1に発電電力の周波数解析結果を示す。(a)に晴天日における解析結果を、(b)に雨天日における解析結果を示す。ここで、発電電力は晴天日の最大発電電力4.22kWを基準値とする。発電電力には低周波成分である基本波と $n$ 次調波、気象擾乱による高周波成分が含まれる。晴天日と雨天日を比較すると、雨天日に低周波成分は小さくなるが、高周波成分は晴天日と雨天日で同程度発生する。ここで、バッテリーの充放電回数を低減するため、バッテリーは低周波成分のみを補償する。そして、バッテリーで補償できない高周波成分はFWで補償する。以上より、電力変動の平準化および、バッテリーの長寿命化が期待できる。

## 3. 電力平準化制御

図2に電力貯蔵装置としてバッテリーとFWを備えた太陽光発電システムの構成図を示す。バッテリーとFWは電力変換器とトランスを通じて系統に連系される。

図3に電力平準化制御のブロック図を示す。発電電力 $P_{solar}$ を2次の帯域通過フィルタ(BPF)に通すことで、低周波成分が取り出される。バッテリーはこの低周波成分を打ち消す電力を出力する。また、 $P_{solar}$ を1次の高域通過フィルタ(HPF)に通すことで、高周波成分が取り出される。FWはこ

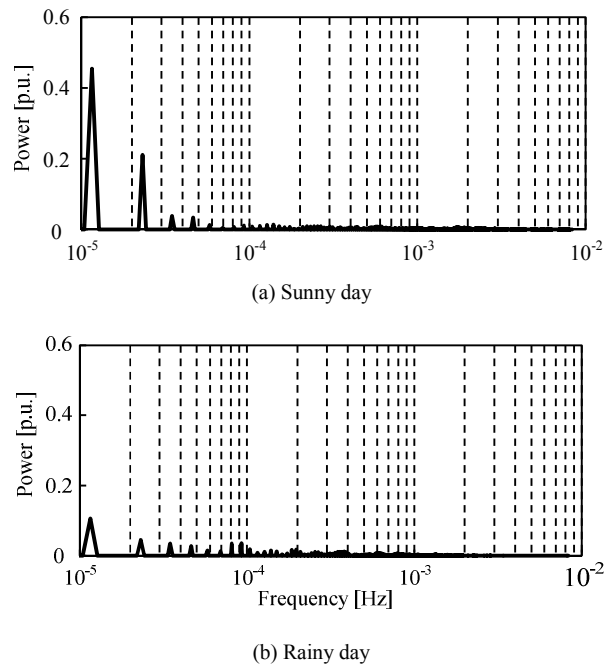


Fig. 1. Result of frequency analysis.

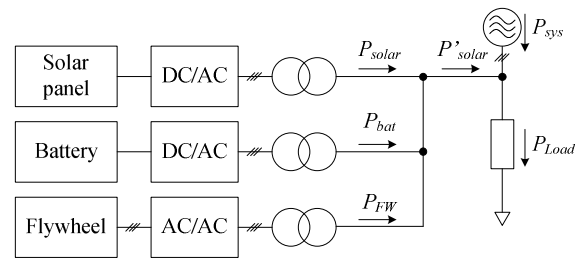


Fig. 2. System configuration of solar power system with battery and flywheel for power leveling.

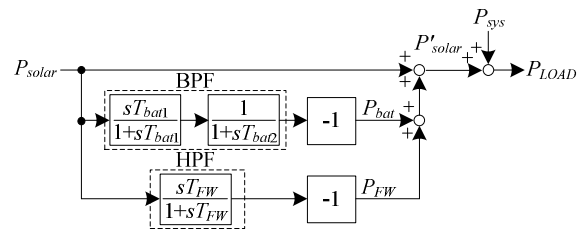


Fig. 3. Control block diagram of power leveling control.

の高周波成分を打ち消す電力を出力する。ここで、BPFの時定数条件を(1)式に表す。

$$T_{bat1} \geq 100T_{bat2} \dots\dots\dots(1)$$

また、各フィルタの干渉を考慮すると、BPFとHPFの時定数条件は(2)式となる。

$$T_{bat2} = T_{FW} \dots\dots\dots(2)$$

#### 4. 実験方法と結果

図4に電力模擬シミュレータのシステム構成図を示す。電力模擬シミュレータは図2の太陽光発電システムを模擬する。DC/AC変換器により、太陽光発電電力 $P_{solar}$ 、バッテリー出力電力 $P_{bat}$ 、FW出力電力 $P_{FW}$ 、負荷電力 $P_{LOAD}$ が模擬される。ここでは、発電電力の平準化効果だけを評価するため、 $P_{LOAD}$ は無負荷とする。

図5に電力平準化制御の実験結果を示す。各フィルタ時定数は、 $T_{bat1}=10^9\text{sec}$ 、 $T_{bat2}=2750\text{sec}$ 、 $T_{FW}=2750\text{sec}$ に設定した。図5より、電力平準化制御によって平準化後の発電電力 $P'_{solar}$ が一定に制御されていることがわかる。また、 $P_{bat}$ に長周期の変動が見られ、 $P_{FW}$ に短周期の変動が見られる。したがって、発電電力の低周波成分がバッテリーで補償され、高周波成分がFWで補償されていることが確認できる。

#### 5. 電力貯蔵装置容量

図6に $T_{bat1}$ を $10^9\text{sec}$ で一定にし、 $T_{bat2}$ と $T_{FW}$ を変化させた時のバッテリー容量 $C_{bat}$ とFW容量 $C_{FW}$ の変化を示す。(a)は晴天日5日分の結果で、(b)は雨天日5日分の結果である。ここで、電力貯蔵装置の容量は晴天日day1の太陽光発電電力量28.9kWhで基準化している。図6より、時定数が大きくなるほどバッテリーが補償する周波数領域は減少し、FWが補償する周波数領域は増加する。したがって $C_{bat}$ は減少し、 $C_{FW}$ が増加する。また、雨天日は晴天日より同じフィルタ時定数におけるバッテリーとFWの容量を小さく抑えられる。

ここで、翌日の発電量を予測し、時定数を適切に切り換えることで、バッテリーの充放電回数をさらに低減できる。例えば、バッテリーとFWの容量を晴天日day1にあわせて設計し、 $T_{bat2}=T_{FW}=5000\text{sec}$ 、 $C_{bat}=0.74\text{p.u.}$ 、 $C_{FW}=0.25\text{p.u.}$ とする。その結果、翌日が雨天day1の場合、同じFW容量で $T_{FW}$ を40000secまで大きくすることができる。したがって、雨天日では晴天日に比べてバッテリーが補償する周波数領域が減少し、バッテリーの充放電回数が低減できる。

最後に、本研究で用いた太陽光電力データをご提供いただいた新潟工科大学富永禎秀教授に感謝の意を表します。

#### 文献

- (1) 仁井・神通川:富士時報,Vol80,No.2,2007
- (2) 伊東・他:電学論D,Voll126-D,No.9,2006,p247-252

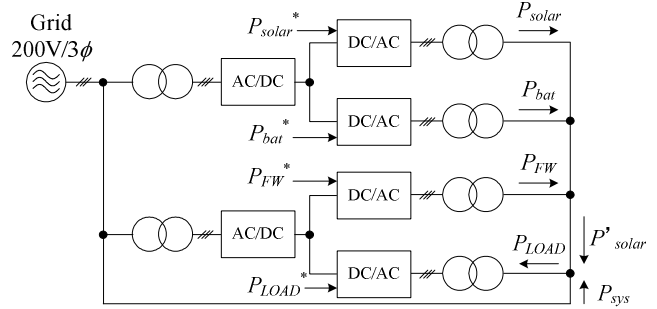


Fig. 4. System configuration of solar power simulator.

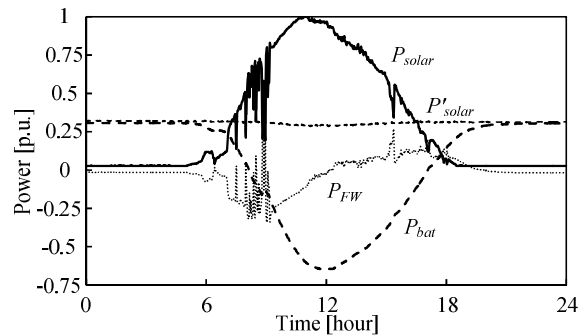
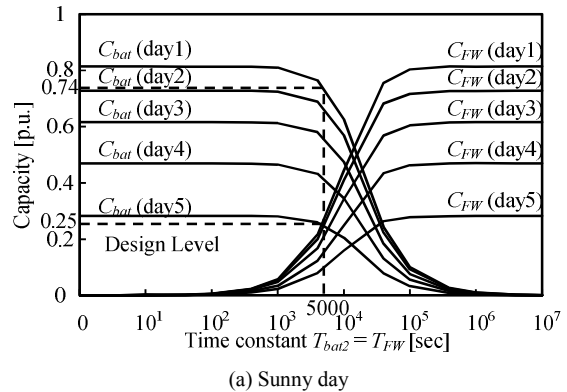
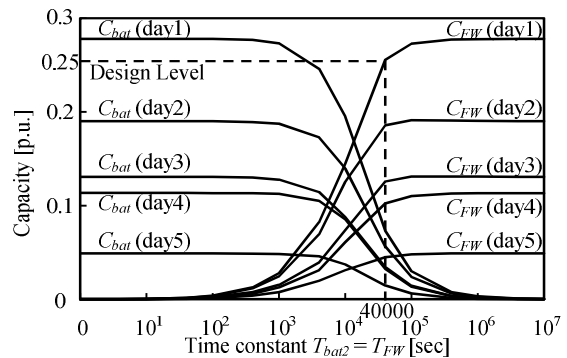


Fig. 5. Result of power leveling control.



(a) Sunny day



(b) Rainy day

Fig. 6. Relationship between the filter time constant and the energy storage system capacity.