

# スマートロードを適用したマイクログリッドにおける系統周波数制御

伊良波 泰斗\* 千住 智信\*\*  
 (\*琉球大学 工学部 電気電子工学科)

## 1 まえがき

近年太陽光発電を中心とした再生可能エネルギー設備の増加が目覚ましい。火力発電などの集中型電源に対して再生可能エネルギーによる電源は分散型電源と呼ばれている。電力系統の送電線やマイクログリッド内で送配電線故障が発生した場合、電力供給を継続するためには分散型電源を活用して自立運転を行い、故障が除去されると再連系するシステムが重要である。そこで、本研究では分散型電源に連系される多機能インバータとしてスマートインバータ (SI) による故障時の配電系統の自立・再連系運転、配電電圧一定制御および周波数一定制御を行う。また、自端情報に基づいて消費電力を調整するスマートロード (SL) を適用することでエネルギーマネジメントを達成する。本研究の有効性は、MATLAB/SimPowerSystems により検証する。

## 2 システム構成

図 1 に今回想定する配電系統モデルを示す。モデル内には定格 1MW の PV システム、容量の異なる分散型電源 DG, 大容量蓄電池 BESS が複数接続されそれぞれの容量に応じて電力制御が行われる。各負荷には可制御負荷としてスマートロード SL が接続されている。また上位系統には同期発電機が連系されている。

## 3 インバータ制御

インバータから出力される瞬時有効電力と瞬时无効電力は回転座標系 ( $dq$  変換) を用いて次式で表される。

$$P_i = v_d i_{id} + v_q i_{iq} = v_d i_{iq} - v_q i_{id} \quad (1)$$

配電系統の相電圧の位相に同期した回転座標系は、 $d$  軸成分に常に瞬時電圧ベクトルが同期し、 $q$  軸成分が零 ( $v_{iq}=0$ ) となるため、有効電力は  $d$  軸のインバータ出力電流  $i_{id}$ 、無効電力は  $q$  軸のインバータ出力電流  $i_{iq}$  を制御することにより調整できる。

### 3.1 DG, PV および BESS の有効・無効電力目標値

図 2 に DG および PV の有効電力目標値決定ブロック図を示す。PLL 回路で検出した周波数とその目標値の偏差から垂下係数を乗算することで瞬時に目標値を決定する。本研究では、自立運転時に垂下制御による分散型電源の負荷分担を行う。図 3 に BESS の有効電力目標値決定ブロック図を示す。BESS は連系点潮流の平滑化を行う。図 4 に DG, PV および BESS の無効電力目標値決定ブロック図を示す。無効電力の指令値  $Q_{ref}$  は基準電圧 ( $V_n=6.6kV$ ) と測定電圧  $V = \sqrt{v_d^2 + v_q^2}$  との偏差に無効電力垂下係数を乗算することで決定する。本研究では、無効電力についても負荷分担を行うため、インバータからの無効電力出力値と定常状態出力目標値  $Q_0$  から得られた偏差から、垂下特性により決定される  $\Delta V$  を加えることで基準電圧の調整を行う。

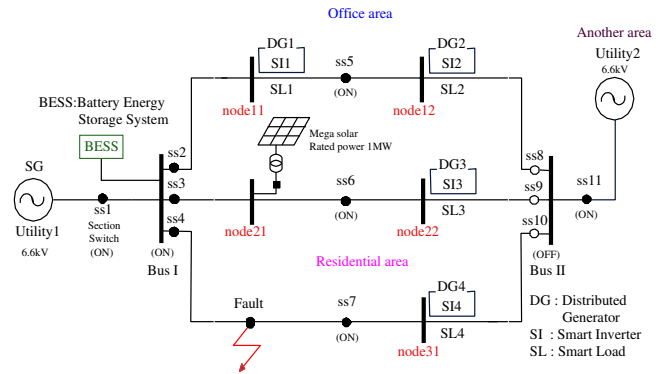


図 1: 想定する配電系統モデル

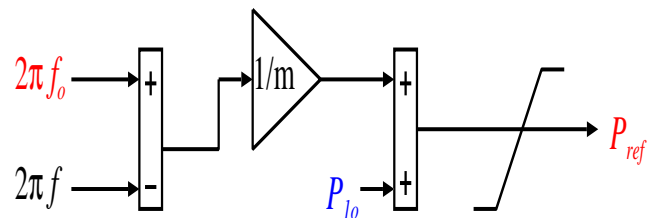


図 2: PV および DG の有効電力目標値決定ブロック図

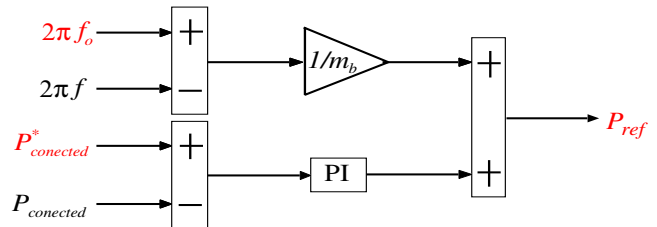


図 3: BESS の有効電力目標値決定ブロック図

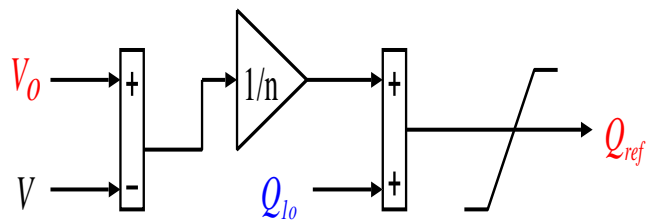


図 4: PV, DG および BESS の無効電力目標値決定

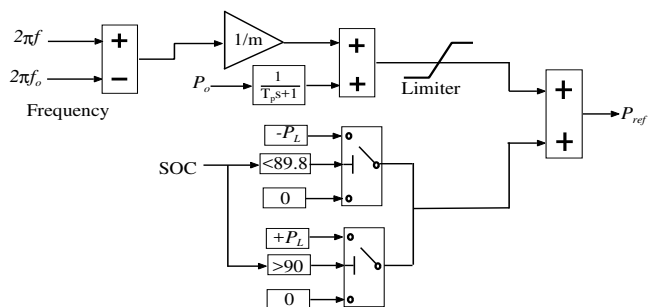
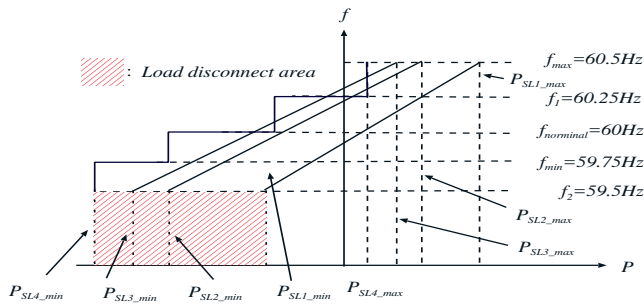


図 5: スマートロードの有効電力目標値決定ブロック図



#### 4 スマートロードの逆垂下特性

図5にスマートロード (SL) の有効電力指令値決定法を示す。有効電力の指令値は系統周波数および蓄電池残存率に応じて決定される。スマートロードは、電力系統に故障が発生した場合に、需要家負荷群と電源側は協調することで分散型電源および蓄電池がより長時間に渡って使用できるという概念のもと構築を行った。なお、スマートロード (SL) は自端の周波数上昇に伴い消費電力を増加し、周波数低下時に消費を減少させるため、図6のような逆垂下特性を用いた。また周波数低下が著しい場合は供給電力の増加を防ぐため負荷を遮断する。

#### 5 シミュレーション結果

図1の想定する配電系統におけるシミュレーションシーケンスは以下のとおりである。

- 1)  $t=0.3\sim 1.3s$ , SS4とSS7の間にて線路故障発生
- 2)  $t=1.3s$  自立運転開始
- 3) 位相同期完了後、配電系統が再連系運転 (SS10 Close)

図7に示す上位系統の周波数は  $60\pm 3Hz$  以内で制御され、図8の上位系統の有効出力電力は線路故障が発生した場合でもほとんど変動しない。図10にスマートロードの消費電力を示す。各自端の周波数情報に基づき消費電力を調整していることがわかる。図11, 12のBESSおよびPVの出力有効電力は垂下制御により負荷分担されている。

#### 6 むすび

本研究ではスマートロードを用いたマイクログリッドにおいて、各機器の負荷分担を制御することで線路故障が発生した場合でも系統周波数の変動を抑制することができた。スマートロード等の電源消費側で電力調整を行うことで再生可能エネルギーを用いた分散型電源の普及拡大に寄与できる。

#### 参考文献

- [1] Yuhei Shiroma and Takahiro Uehara, "Islanding and Reconnection Operation of Distribution Systems at Time of Grid Fault Using Smart Load," *The International Conference on Electrical Engineering (ICEE2015)*, ICEE15A-130, Hong Kong, July 5-9, 2015.
- [2] 平井 崇夫, 藤原 伸之:「分散型電源導入拡大に伴う諸問題」, 電気学会誌, vol. 125, No. 3, pp. 149-152, 2005.

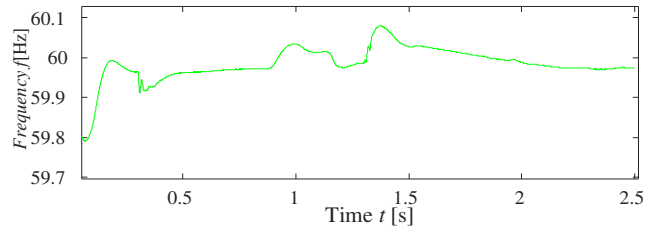


図 7: 上位系統の周波数  $f$  [Hz]

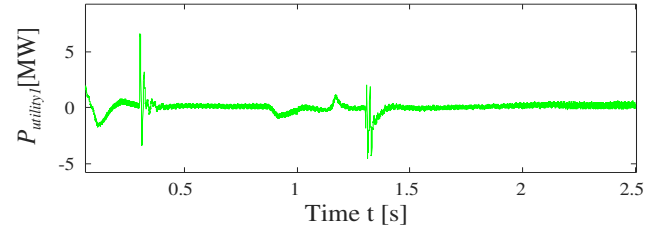


図 8: 上位系統の有効出力電力 P

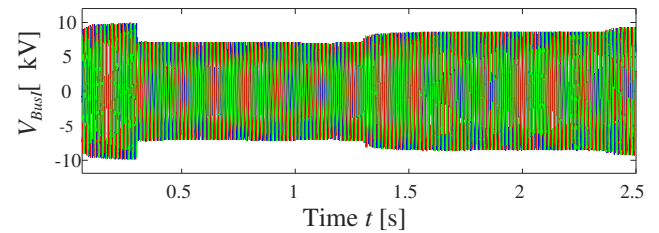


図 9: 上位系統の電圧 V

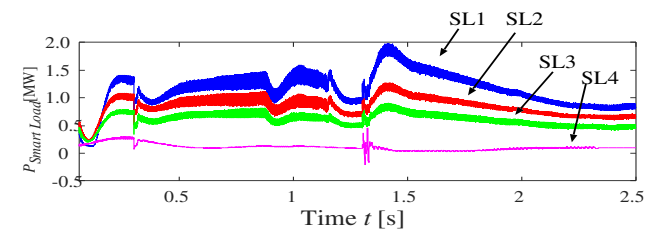


図 10: スマートロードの消費電力 P

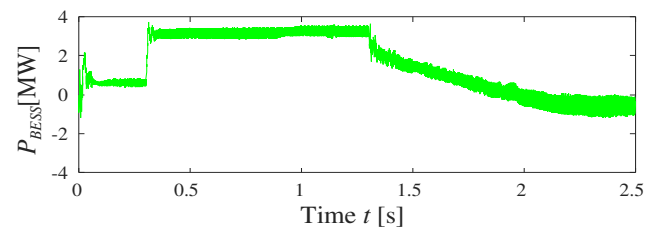


図 11: BESS の出力有効電力 P

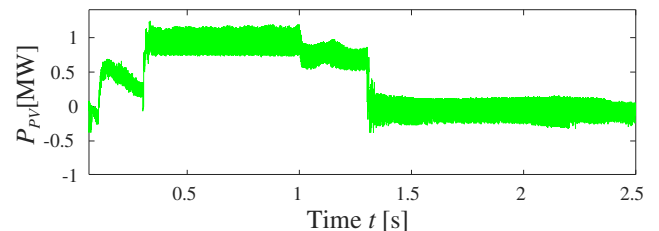


図 12: PV の出力有効電力 P

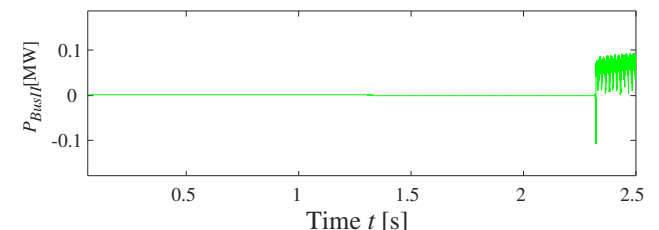


図 13: utility2 の出力有効電力 P