

EV の活用に向けた SmartGrid シミュレーションシステムの構築と評価

理学専攻 情報科学コース 唐石 景子

1 はじめに

現在、環境問題や将来の電力需要の増加などの問題の対策として、大規模な自然エネルギー発電の導入が進められている。同時に、電力エネルギーのネットワークを効率的に運用できるスマートグリッドに注目が集まっている。本研究では、スマートグリッド上のエネルギー需給設備として期待されている EV (Electric Vehicle:電気自動車) に注目する。本研究では、そのような環境における電力安定化を効率的に行う手法をシミュレーションによって評価できるシステムを構築し、動作や振舞を評価する。

2 OpenDSS

OpenDSS(Open Distribution System Simulator)[1] は総合的な電力システムシミュレータである。使用する配電網において指定した箇所に、発電所や負荷などのリソースを配置、状態を管理、電力網の状態を分析するといった一連の電力シミュレーションが可能である。

3 システム構成

構築したシステムの構成図を図 1 に示す。本システムは、EV や発電所など配電網の設定を行い、各地の電力潮流の計算を行う OpenDSS に、電力状況データの管理や EV の放電の仕方など、各地の電力安定化のため適切な指示を行う電力管理システムを追加する。この 2 つのシステムを連携させることにより、スマートグリッドのシミュレーションシステムを構築した。

電力管理システムは、電力安定化指示をスムーズに行うため、配電網上の EV の情報を収集、管理している。その上で更に、各地の電圧の理想値を保持しておき、実際の各地の電力状況を収集する度にどのくらい各地で理想値と差が生じるかを検証する。その値を元に、ユーザの選択したアルゴリズムに従って放電する EV を決定し、放電指示を行う。ユーザは各地の状況やこのアルゴリズムを自由に変更することにより、様々なシミュレーションを行うことが可能となる。

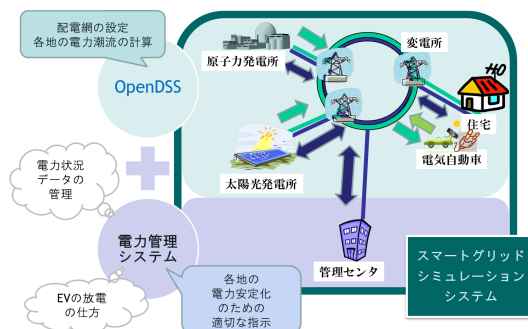


図 1: システム構成

4 実験

4.1 実験環境

実験に利用する配電網モデルとして IEEE PES(Power & Energy Society)[2] より提供されている 8500-Node Test Feeder(図 2) を用いる。このモデルは、三相交流方式の安定電源 (115kV, 3000MVA), 上流から下流まで 115[kV] 7.2[kV] 120/240[V] と変圧していく変電所等がグリッド上の各地に接続されている。

この配電網のモデルに、7.2[kV] の地点の一箇所に最大出力規模 2400[kW] である太陽光発電所を設置する。また、120/240[V] 地点の各末端 2354 ヶ所にはそれぞれ一戸ずつ家が接続されており、全家庭の 50[%] は EV を所有しているものとする。このモデル図を図 3 に示す。なお、本実験において使用する EV は容量 25[kWh] のバッテリーを搭載し、全て充電済みであるものとして、出力は全て 2[kW] と設定した。

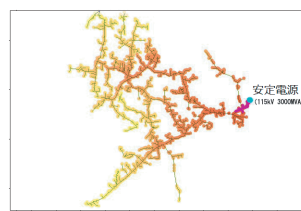


図 2: 配電網モデル

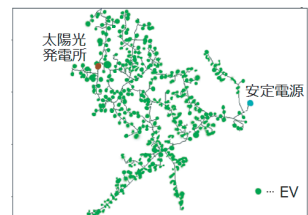


図 3: 実験環境

また、事前に設定が必要な要素として、太陽光発電所の出力、各 EV ごとに電力安定化に利用できる時間帯を設定し、シミュレーションを実行する。本実験では、天候の悪化により、太陽光発電所からの出力が急減したという状況下で評価を行う。なお、理想状態である晴天時と最も効率の悪い雨天時の太陽光発電所とからの出力を図 4 に示す。

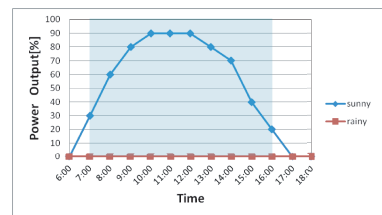


図 4: 時間別の太陽光発電所の晴天時の発電効率

この出力曲線は、産業技術総合研究所太陽光発電工学研究センター [3] が公表している研究データを参考に設定した。天候悪化後の太陽光発電所の出力は 0% まで減少するものとする。太陽光発電所からの出力が減少するとグリッド上で電圧変動が起こることが予想されるが、この時、EV に蓄積されていた電力を放出させることで、太陽光発電所の出力変動分を補い、グリッド全体の電圧調整を行うことを考える。

8 時から 15 時までの時間帯におけるグリッド全体の電圧変動を観察するため、より末端に近い変電所である

7.2[kV] 120/240[V] 変電所地点の 1177 ヶ所で電圧値を観察した。

更に、管理システムがグリッド上の電力が不足していると判断した際に、どのような電力安定化アルゴリズムを選択するかによって、どの程度各地の電圧値に差が見られるか評価を行った。

4.2 実験内容

EV の放電位置によってどの程度各地の電圧に差が生まれるか検証を行うため、放電する EV を決定するアルゴリズムとして、ランダムに決定する場合と、電圧の適正範囲値から大きく外れている地点から順に優先的に EV を放電する場合の二通りのケースについて検証を行った。これにより、EV の放電位置によってどの程度各地の電圧に差が生まれるか検証を行い、効率的な電力安定化の手法はどのようなものかを確認する。

5 実験結果

5.1 EV をランダムな地点で放電

本節では、天候による各地の電圧降下を EV によって緩和させる実験を行う。なお、本実験において使用する EV は、ランダムに配置されているものとする。本実験においては、悪天候時のグリッド上の電圧降下をどの程度緩和させることが可能か、120/240[V] 変電所 1177 ヶ所で電圧値を観察した。本実験では、電力安定化に用いることができる EV 数は変動する。また、利用可能な EV は全て放電を行うものとする。8:00~15:00 までの時間帯における検証を、本シミュレーションシステムによって行った。そのうちの、9 時、11 時、13 時、15 時の二時間おきの結果を図 5~図 8 に示す。

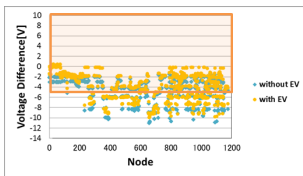


図 5: 9 時の電圧差分

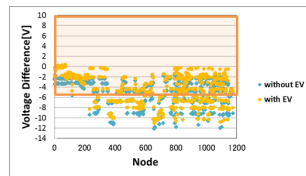


図 6: 11 時の電圧差分

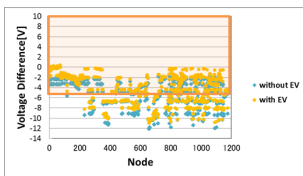


図 7: 13 時の電圧差分

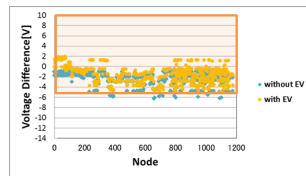


図 8: 15 時の電圧差分

図 5~図 8 において、グラフの横軸は電圧を観測している 1177 ヶ所の地点を表し、縦軸は電圧の変動量 [V] を表す。橙色で示した範囲が、通常状態である晴天時の電圧値を基準として、グリッド各地の電圧値との差分が $-5[V]$ 以上である電圧の適性値の範囲を示す。青色で示したものは、悪天候時の電圧降下分であり、黄色で示したものが、今回求めた悪天候時に EV を放電させた際の各地の電圧の値と、通常状態である晴天時の各地の電圧値との差分である。

これらのグラフから、EV からの放出を行うことで、全地点で電圧降下を緩和することができることがわかる。しかし、僅かしか電圧上昇が見られないことから、各 EV の配置を変更することで上昇幅を増やすことが可能であるか次節で検証していく。

5.2 EV を放電させる地点を選別

本節では、5.1 節と同じ条件下で、使用する EV の配置のみ変更した時に、天候による各地の電圧降下を EV によってどの程度緩和させることができるか実験を行う。EV を配置する位置としては、適正範囲よりも値が下回っていると判断された地点に設定する。結果のうち、そのうちの、9 時、11 時、13 時、15 時の二時間おきのグラフを図 9~図 12 に示す。

その結果、電圧差分が多く生まれている地点に関しても適正範囲まで電圧を上げることができていることがわかる。このことから、適正範囲を下回っている地点を狙って EV を放電させることで、効率的に各地の電圧を上昇させることが出来るということが分かった。

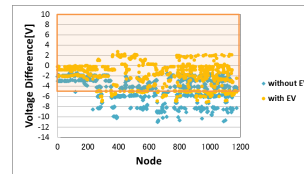


図 9: 9 時の電圧差分

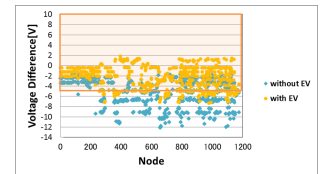


図 10: 11 時の電圧差分

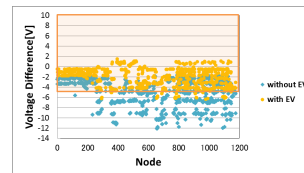


図 11: 13 時の電圧差分

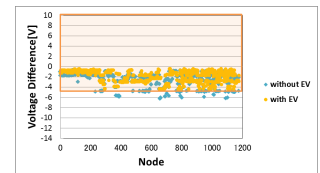


図 12: 15 時の電圧差分

5.3 考察

放電を行う EV の配置の変化によって、悪天候時の電圧降下の緩和がどの程度可能であるかまとめたものを表 1 に示す。

表 1: 電圧差分が適正範囲内に収まっている地点数の割合

時間	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00
EVなし	82.9	63.4	57.4	57.4	57.4	57.4	68.3	96.8
EV(ランダム)	92.1	67.6	65.0	65.0	65.1	65.0	89.8	100.0
EV(選別式)	81.5	82.7	78.9	85.6	93.1	96.7	94.4	100.0

この表は、悪天候時において、EV を接続しない場合、EV を放電させる位置をランダムとした場合、選別した場合のそれぞれの状況において、通常時との電圧差分が適正範囲内に収まっている地点数の割合を表したものである。電圧降下が激しい地点で EV を放電させることで、効率的に各地の電圧を安定化することができていることが分かる。

6 おわりに

EV による電力安定化機能を備えた評価用スマートグリッドシミュレーションシステムを構築し、効率的な電力安定化の手法を確認することができた。

謝辞 本研究を進めるにあたり、ご指導を頂いたトヨタ IT 開発センター Onur Altintas さん、東京大学生産技術研究所 Sekyung Han さんに深く感謝致します。

参考文献

- [1] OpenDSS <http://sourceforge.net/projects/electricdss/>
- [2] IEEE PES <http://www.ieee-pes.org/>
- [3] 独立行政法人産業技術総合研究所 太陽光発電工学研究センター <http://unit.aist.go.jp/rcpvt/ci/index.html>