

# EVの活用に向けた Smart Grid シミュレーションシステム構築のための 電圧安定化の評価

唐石 景子<sup>†</sup> 小口 正人<sup>†</sup>

<sup>†</sup> お茶の水女子大学 〒112-8610 東京都文京区大塚 2-1-1

E-mail: <sup>†</sup>keiko@ogl.is.ocha.ac.jp, <sup>††</sup>oguchi@computer.org

あらまし 現在、環境問題や将来の電力需要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。特に EV のバッテリーを電力源として用いる形態 (V2G: Vehicle to Grid) においては、IT を用いて、EV のバッテリーと充電ステーション間の効率的な電力エネルギーのやり取りを行うことで、グリッド全体の電力の安定化制御を達成することが期待されている。本研究では、スマートグリッドシミュレーションモデルに、必要に応じたエネルギー需給が行える分散型電力源として EV を組み込み、グリッド全体の電力の安定化制御を達成するための EV のバッテリーと充電ステーション間の効率的な電力エネルギーのやり取りに関する考察を行う。

キーワード スマートグリッド, V2G, OpenDSS, EV

## Evaluation of voltage stabilization for development of simulation system towards EV and Smart Grid Interconnection

Keiko KARAISHI<sup>†</sup> and Masato OGUCHI<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Ochanomizu University

2-1-1 Otsuka, Bunkyo, Tokyo, 112-8610, Japan

E-mail: <sup>†</sup>keiko@ogl.is.ocha.ac.jp, <sup>††</sup>oguchi@computer.org

### 1. はじめに

現在、世界的な環境問題や将来の電力需要の増加などが問題視されており、それに対し省エネ対策が必要とされ、大規模な自然エネルギー発電の導入が進められている。ただし、自然エネルギーの大量導入には、さまざまな問題が発生する。そもそも電気には貯めにくいという性質があり、現状の電力管理には需要側にあわせて発電量を調整する必要がある。しかし自然エネルギー発電は出力変動が大きいいため、その発電量が読めず調整が難しいといわれている。これらの問題を解決する技術としてスマートグリッドが期待されている。

一方、EV (Electric Vehicle: 電気自動車) はスマートグリッドと深い関係にある。EV は大容量のバッテリーを備えており、これを走行のためだけでなく、必要な場合にはバッテリーからスマートグリッドに対して電力を供給する分散型電力源として用いる V2G (Vehicle-to-Grid) の形態が期待されている。

ただしこのような電力網の形態は、発電所からエンドユーザーまで一方向に電気が送られるだけの従来のものとは大きく異なっている。電力源が非常に細かい単位で分散しており、さらに送電の向きが双方向となる場合もある。そのような場合、グリッドの出力が安定するように、きめの細かい制御をする必要がある。すなわちグリッド上の各地点の電位をモニタし、情報をやり取りして、分散した電力源の出力を調整するような操作が必要である。

そこで本研究では、スマートグリッドに EV を電力源として接続した場合の制御について、シミュレーションにより評価するための手法を検討する。本論文では、そのような環境を評価するシミュレーションシステム構築に向け、まず電力のシミュレーションソフトを用いて、EV のバッテリーからの放電による電圧変動の程度を検証する。具体的には、自然エネルギーである太陽光発電所を設置した電力網に対し多数基の EV を接続して、グリッド上の各地点における電圧の変化を観測する。ま

たその場合の太陽光発電所の規模や出力を行う EV の台数を変更し、グリッド上の電圧の変化量の違いについて評価する。

## 2. 研究背景

### 2.1 スマートグリッド

スマートグリッドには明確な定義はなく、広義として、電力エネルギーのネットワークを効率的に運用することが可能な賢い電力系統を指す。

スマートグリッドの概略図を図 1 に示す。現在の発電網は発電所から各家庭、ビルに電気を供給している。スマートグリッドにおいては、これに大規模な風力発電所や太陽光発電所を加え、また各家庭やビルにおいて太陽光パネルを設置し、グリッド上に双方向に電力を流すことを考えている。これにより、豊富な電力をグリッドに取り入れることが可能になるが、そのままではグリッド上の電力量が不安定になることが懸念される。そこで、スマートグリッドの特徴である IT による制御を行う。グリッドに接続された管理センターにより各地の電力状態を把握し、エネルギー不足であれば発電を促進するよう、逆にエネルギーが余った状態になればグリッドに接続された貯蓄設備に蓄電する、といったグリッドの電力が安定化する制御を行う。以上のように、複雑化する電力の流れを IT による制御で安定させる技術がスマートグリッドである。

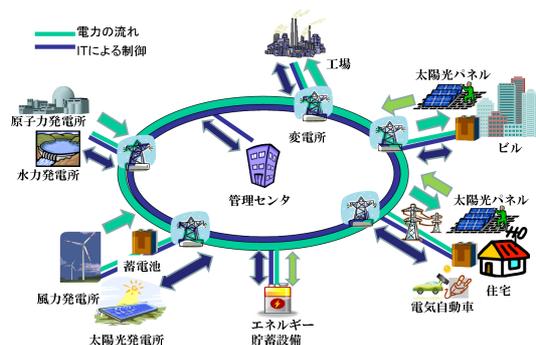


図 1 スマートグリッド概略図

### 2.2 EV とスマートグリッド

次に、スマートグリッドにおける EV の利用形態に着目する。EV (Electric Vehicle) とは電気を動力源とし、モーター等の電動機により走行する電気自動車を指す。コンセントから差込プラグを用いて、直接バッテリーに充電できる。本研究においてはこの EV を中心に据えて研究をすすめていく。大容量で高性能なものが求められるので、バッテリーが高価であるという欠点はあるが、エネルギー費用が抑えられるという面を持ち、環境問題への対策に貢献することから、今後広く普及していくことが期待されている。

しかし、EV が普及していくためには、給油所に代わって、各地に充電インフラを設置していく必要があり、その上、EV が消費する電力は大きく、普及に比例して管理すべき電力が肥大化する問題が生じる。これにより、巨大な電力ネットワークが必要となるが、これにスマートグリッドを利用することで、分散的に配置された充電インフラの管理を適切に行うことが可能となる。

### 2.3 エネルギー需給設備としての EV

ここまで、EV とスマートグリッドの関係について考察してきたが、ここでさらに、エネルギー需給設備としての EV に注目する。近年、EV は単なる自動車としてではなく、必要に応じたエネルギー需給が行える蓄電池としての利用が期待されている。スマートグリッド研究において V2G という言葉をキーワードに、この考えは広まってきている。EV の普及が進むにつれ膨大な量のバッテリーが各地に分散することになるが、前述の充電インフラを通して、EV のバッテリーの電力量の管理が行えるため、グリッド上の電力が不足した場合は、EV のバッテリーから余分な電力を放出し、逆にグリッド上の電力が飽和するような場合は、EV のバッテリーに蓄電する、といったようにグリッド全体のエネルギーを調節することが可能となる。

以上で説明したように、このシステムには IT を用いたエネルギーの安定化制御が不可欠となっている。しかし、ここで注視すべきは、EV はグリッド上を自由に移動するため、グリッド上の電力量がダイナミックに変動する問題である。また、固定の蓄電池を接続した場合と比べて制御が複雑化してしまうことや、過度に充放電を繰り返すことで起きるバッテリーの摩耗問題についても大きな課題となっている。

本研究においては、この部分を研究対象とする。ただし、EV のバッテリーとスマートグリッド間の電力エネルギーの効率的なやり取りについて評価を行うためには、EV からの放電量や自然エネルギーによる発電所の規模によってどの程度の電圧調整が可能かを検証する必要がある。そこで、本論文ではスマートグリッドのシミュレーションシステム構築に向けて、さまざまな状況下でのグリッドの電圧変動を観察し、検証を行った。

## 3. 研究内容

本研究の最終目的として、EV のバッテリーとスマートグリッド間の効率的な電力エネルギーのやり取りをシミュレーションによって評価することを考えている。

研究計画としては、まず発電所や充電インフラおよび EV を接続した電力網の大規模なシステムを構築し、動作の検証を行う。そこへ、グリッド上の電力を調整するデータ通信を管理するシステムを追加し、最終的にスマートグリッドの複合的なシミュレーションシステムを構築して、最終的な評価を行う。

本論文では、電力調整のためのデータ通信による管理機能が動作した場合に、モニタ地点からの情報に基づき EV へ放出指示を与えることによって、どの程度適切な電圧制御を行うことが可能であるか評価する。

## 4. 実験内容

### 4.1 シミュレーションソフトウェア

実験環境として、総合的な電力システムシミュレータ OpenDSS (Open Distribution System Simulator)[1]を使用した。使用する配電網において指定した箇所に、リソース(ライン、バス、発電所、変電所、レギュレータ、キャパシタ等)を配置、電力網の状態を管理・分析することができ、また、時間別に各リソースの設定を変更することも可能である。

## 4.2 実験環境

実験環境として、先に挙げた電力システムシミュレータ OpenDSS と、評価対象のグリッドモデルとして 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。これは 8500 個のノードを持つ、10~15[km] 四方の配電網モデルである。既定の負荷によってパワーフローを算出する。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、電圧変動を滑らかにするレギュレータやキャパシタ等がグリッド上の各地に接続されている。また、各末端(120/240[V])の送電方式は単相 3 線式であり、末端の負荷はそれぞれ 0.005~93.73[kW] といった値になっている。グリッド全体としては 10773[kW] の負荷がかかっており、これは約 2000 軒分の家庭の使用電力に相当する。

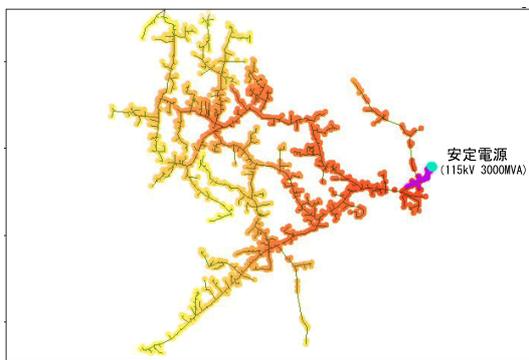


図 2 8500-Node Test Feeder

## 4.3 実験概要

4.2 節で述べた配電網のモデルに、7.2[kV] の地点の一箇所に太陽光発電所を、120/240[V] 地点の各末端 2354ヶ所には EV を配置する。このモデル図を図 3 に示す。

本実験では各 EV の出力が 5[kW] の場合と 2[kW] の場合の二通りのケースについて評価を行った。

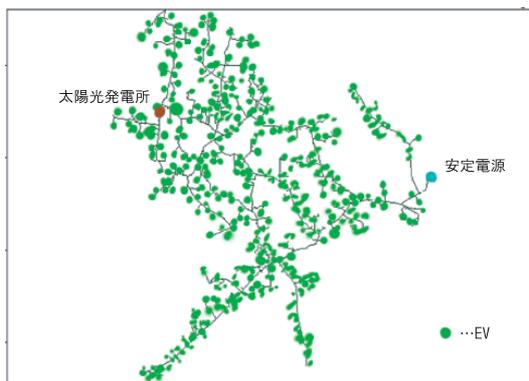


図 3 実験環境

また、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、通常状態では太陽光発電所からの出力は 100%であり、天候悪化後の出力は 0%まで減少するものとする。太陽光発電の出力規模につい

ては、1200[kW] の場合と 2400[kW] の場合の二通りについて評価を行った。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、ここで EV に蓄積されていた電力を放出させることでグリッド全体の電圧調整を行うことを考える。太陽光発電所からの出力変動によるグリッド全体の電圧変動を観察するため、120/240[V] 地点の 1177ヶ所で電圧値を観察した。また、出力指示を出す EV の台数や太陽光発電所の出力量を数パターンに渡って変更し比較、検証を行った。

これはすなわち、スマートグリッドにおける IT による制御環境がすでに存在するものとした場合に、電圧変動の観測値に基づき、グリッドに接続された EV へ出力指示を行うフィードバック制御の効果を確認する実験である。

## 5. 実験結果

120/240[V] に変電を行う変電所 1177ヶ所で、EV の放電によるグリッド上の電圧変動を観察した。その際、通常状態である太陽光発電所からの出力が 100%の際の電圧値とどの程度差があるかを調査した。また、EV の放電量を決める際には、グリッド各地の電圧値が、太陽光発電所 100%出力時の電圧値を基準に、上限が+7[V]、下限が-5[V] の範囲に収まることを目標とする。これは、日本における法律(電気事業法施行規則)において、標準電圧が 100[V] の際、問題が起こるのは 101[V] ± 6[V] を超えたときという規定を参考に制定した。

### 5.1 各 EV の出力が 5[kW] の場合

本節においては、EV 一台一台の出力を 5[kW] に設定した場合の検証を行う。EV 全体の総出力量がそれぞれ 0[kW]、240[kW]、600[kW]、1200[kW]、2400[kW]、3600[kW] となるよう 6 パターンの条件下で実験を行った。この場合、各地の 2354 台の EV のうち、0%、2%、5%、10%、20%、30%の EV にそれぞれ放出指示を出していることになる。

#### 5.1.1 太陽光発電所の出力規模が 1200[kW] の場合の各地の電圧変動

太陽光発電所の出力規模が 1200[kW] の場合における、各地の電圧変動を観察した。以下のグラフは太陽光発電所からの出力が 100%の際の電圧値との差分を表しており、EV 全体の総出力量がそれぞれ 0[kW]、240[kW]、600[kW]、1200[kW]、2400[kW]、3600[kW] のときの電圧差分をそれぞれ図 4~図 9 に示す。これらの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。黄色で示した範囲が、上限の+7[V]、下限の-5[V] の範囲を示す。

図 4 より、太陽光発電所の出力がなくなると各地の電圧は降下し、規定範囲内に収まったのは全体の 85%の地点であった。これに対し、図 5~図 8 から、EV からの総出力がそれぞれ 240[kW]、600[kW]、1200[kW]、2400[kW] となるように放出指示を出す EV の全体の台数に対する割合を変化させて指示を出すと、電圧差分が規定範囲内に収まる地点は、89.4%、97.8%、100.0%、100.0%と徐々に増えていくのがわかる。EV からの総出力を 1200[kW]~2400[kW] とすると、全ての地点で

電圧差分を規定範囲内に収めることができることを確認した。しかし、図 9 からわかるように、EV の総出力を 3600[kW] まで上げてしまうと、規定範囲内に収まる地点は 72.6%まで減少してしまった。これは、EV からの出力が大きすぎたことによって、逆にグリッド全体の電圧が規定範囲外まで上昇してしまったためである。

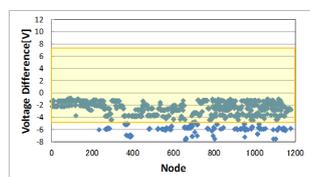


図 4 EV 総出力 0[kW]

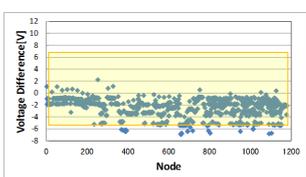


図 5 EV 総出力 240[kW]

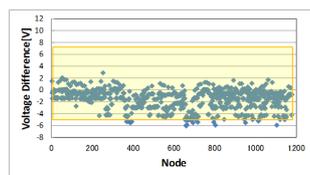


図 6 EV 総出力 600[kW]

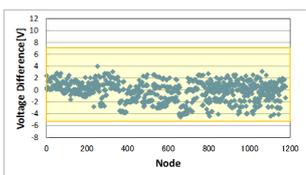


図 7 EV 総出力 1200[kW]

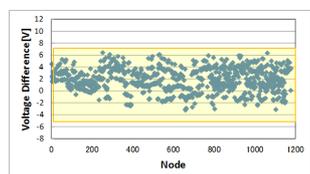


図 8 EV 総出力 2400[kW]

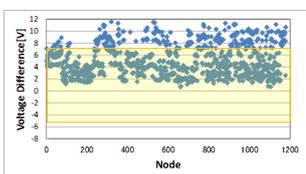


図 9 EV 総出力 3600[kW]

### 5.1.2 太陽光発電所の出力規模が 2400[kW] の場合の各地の電圧変動

太陽光発電所の出力規模が 2400[kW] の場合における、各地の電圧変動を観察した。以下のグラフは太陽光発電所からの出力が 100%の際の電圧値との差分を表しており、EV 全体の総出力量がそれぞれ 0[kW], 240[kW], 600[kW], 1200[kW], 2400[kW], 3600[kW] のときの電圧差分をそれぞれ図 10 ~ 図 15 に示す。

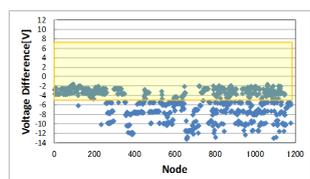


図 10 EV 総出力 0[kW]

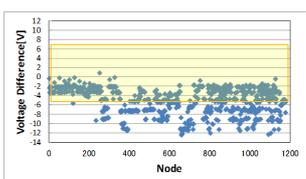


図 11 EV 総出力 240[kW]

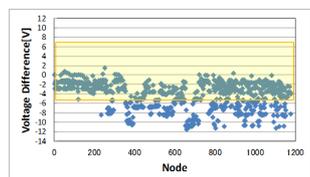


図 12 EV 総出力 600[kW]

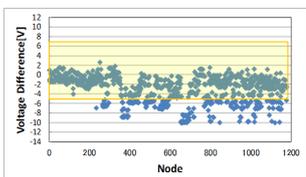


図 13 EV 総出力 1200[kW]

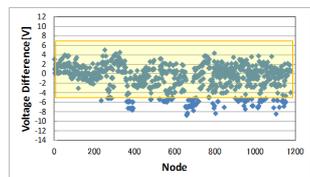


図 14 EV 総出力 2400[kW]

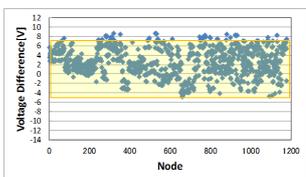


図 15 EV 総出力 3600[kW]

図 10 より、太陽光発電所の出力がなくなると各地の電圧は低下し、規定範囲内に収まったのは全体の 47.8%の地点であった。これに対し、図 11 ~ 図 15 から、EV からの総出力がそれぞれ 240[kW], 600[kW], 1200[kW], 2400[kW], 3600[kW] となるように指示を出すと、電圧差分が規定範囲内に収まる地点は、57.1%, 63.3%, 74.0%, 87.1%, 95.0%と徐々に増えていくのわかる。また、5.1.1 節の場合と同様に、EV の総出力を大きくしすぎると、逆に規定範囲外までグリッド上の電圧を上昇させてしまうことが図 15 からわかる。今回の実験では、全ての地点で電圧差分を規定範囲内に収めることはできなかったが、グラフから、EV からの総出力を 2400[kW] と 3600[kW] の間で調整するのが良いと考えられる。

### 5.2 各 EV の出力が 2[kW] の場合

本節においては、EV 一台一台の出力を 2[kW] に設定した場合の検証を行う。EV 全体の総出力量については前節の場合と同様に、それぞれ 0[kW], 240[kW], 600[kW], 1200[kW], 2400[kW], 3600[kW] となるよう 6 パターンの条件下で実験を行った。この場合、各地の 2354 台の EV のうち、0%, 5%, 12%, 25%, 50%, 75%の EV にそれぞれ放出指示を出していることになり、放出指示を出している EV の割合が前節の場合と異なっている。

#### 5.2.1 太陽光発電所の出力規模が 1200[kW] の場合の各地の電圧変動

太陽光発電所の出力規模が 1200[kW] の場合における、各地の電圧変動を観察した。以下のグラフは太陽光発電所からの出力が 100%の際の電圧値との差分を表しており、EV 全体の総出力量がそれぞれ 0[kW], 240[kW], 600[kW], 1200[kW], 2400[kW], 3600[kW] のときの電圧差分をそれぞれ図 16 ~ 図 21 に示す。

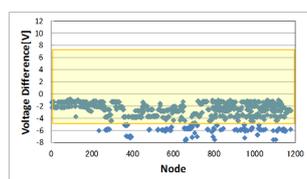


図 16 EV 総出力 0[kW]

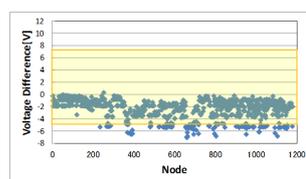


図 17 EV 総出力 240[kW]

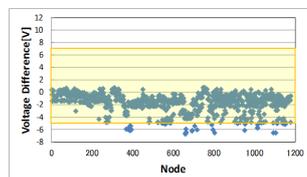


図 18 EV 総出力 600[kW]

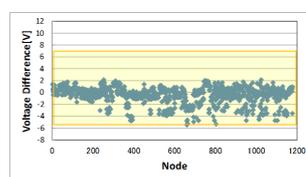


図 19 EV 総出力 1200[kW]

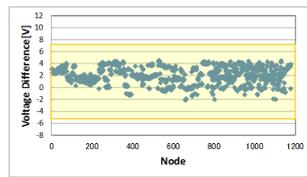


図 20 EV 総出力 2400[kW]

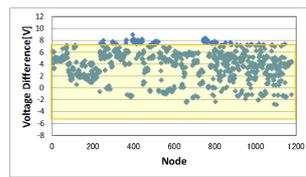


図 21 EV 総出力 3600[kW]

図 16 より、太陽光発電所の出力がなくなると各地の電圧は低下し、規定範囲内に収まったのは 5.1.1 節の場合と同様に、

全体の 85%の地点であった。これに対し、図 17～図 20 から、EV からの総出力がそれぞれ 240[kW]、600[kW]、1200[kW]、2400[kW] となるように指示を出すと、電圧差分が規定範囲内に収まる地点は、88.2%、97.0%、99.7%、100.0%と徐々に増えていくのが確認できる。EV からの総出力を 2400[kW] 付近になるよう制定すると、全ての地点で電圧差分を規定範囲内に収めることができることがわかった。しかし、図 21 からわかるように、EV の総出力を 3600[kW] まで上げてしまうと、規定範囲内に収まる地点は 87.3%まで減少してしまった。これは、EV からの出力が大きすぎたことによって、逆にグリッド全体の電圧が規定範囲外まで上昇してしまったためである。

### 5.2.2 太陽光発電所の出力規模が 2400[kW] の場合の各地の電圧変動

太陽光発電所の出力規模が 2400[kW] の場合における、各地の電圧変動を観察した。以下のグラフは太陽光発電所からの出力が 100%の際の電圧値との差分を表しており、EV 全体の総出力量がそれぞれ 0[kW]、240[kW]、600[kW]、1200[kW]、2400[kW]、3600[kW] のときの電圧差分をそれぞれ図 22～図 27 に示す。

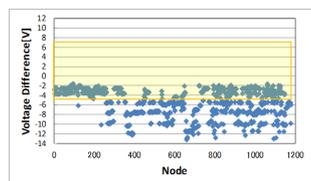


図 22 EV 総出力 0[kW]

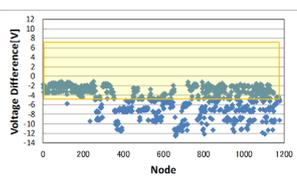


図 23 EV 総出力 240[kW]

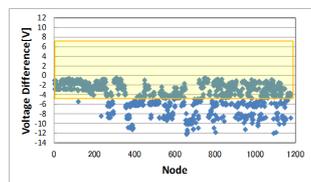


図 24 EV 総出力 600[kW]

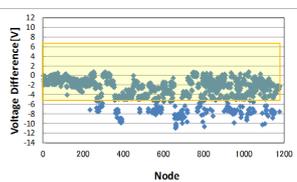


図 25 EV 総出力 1200[kW]

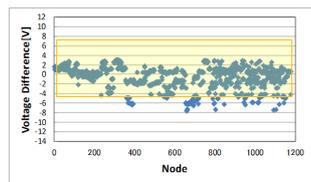


図 26 EV 総出力 2400[kW]

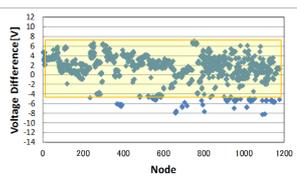


図 27 EV 総出力 3600[kW]

図 22 より、太陽光発電所の出力がなくなると各地の電圧は降下し、規定範囲内に収まったのは 5.1.2 節の場合と同様に全体の 47.8%の地点であった。これに対し、図 23～図 27 から、EV からの総出力がそれぞれ 240[kW]、600[kW]、1200[kW]、2400[kW]、3600[kW] となるように指示を出すと、電圧差分が規定範囲内に収まる地点は、57.5%、64.1%、81.5%、93.9%、94.7%と徐々に増えていくのがわかる。しかし、今回の実験では、全ての地点で電圧差分を規定範囲内に収めるケースは確認できなかった。また、もっとも規定範囲内に収まった地点が多い 3600[kW] 放電のケースでも、規定範囲の上限と下限ぎりぎりまで電圧差分が広がっていることから、全地点の電圧差分を規定範囲内に収めるためには、単純に総出力を増やすばかり

でなく、他の対応策をとる必要がある。

### 5.3 電圧差分が規定範囲内に収まる割合と標準偏差

これまで出力指示を出す EV の台数や太陽光発電所の出力量を変更し電圧差分を比較してきたが、ここで詳しく値の検証を行う。検証用に、全観測地点のうち電圧差分が規定範囲内に収まる適正值であった地点の割合をまとめ直したものを表 1 に示す。黄色で示した範囲が規定範囲内に収まった地点が 100%となった場合である。

観測した全地点で電圧差分が規定範囲内の値まで上昇したパターンは、太陽光発電所の出力規模が 1200[kW] であることから、発電所の出力規模が小さいほどグリッド上の電圧調整が行いやすいということが考えられる。太陽光発電所の出力規模が大きくなると、電圧差分の分散が大きくなり、EV への放出指示による電圧変動の制御が難しくなっている。

次に、各観測地点での電圧差分をもとにそれぞれのパターンにおける電圧差分の標準偏差を求めた表を表 2 に示す。

表 1 電圧差分が規定範囲内の値まで上昇した地点の割合 [%]

太陽光発電所の出力規模[kW]	各EVの出力[kW]	EVの総出力合計[kW]					
		0	240	600	1200	2400	3600
1200	5	85.0	89.4	97.8	100.0	100.0	72.6
	2	85.0	88.2	97.0	99.7	100.0	87.3
2400	5	47.8	57.1	63.3	74.0	87.1	95.0
	2	47.8	57.5	64.1	81.5	93.9	94.7

表 2 電圧差分をもとに算出した標準偏差

太陽光発電所の出力規模[kW]	各EVの出力[kW]	EVの総出力合計[kW]					
		0	240	600	1200	2400	3600
1200	5	1.573	1.529	1.594	1.614	1.885	2.608
	2	1.573	1.537	1.479	1.428	1.417	2.506
2400	5	2.881	2.823	2.801	2.743	2.666	2.944
	2	2.881	2.824	2.708	2.569	2.341	2.872

標準偏差が大きいと、ある地点での電圧上昇幅は小さいにもかかわらず、ある地点での電圧は急激に上昇するという状況が生まれるため、グリッド全体を見据えた統括的な電圧調整が難しくなる。逆に、標準偏差の値が小さければ小さいほど、各地点における電圧上昇値に差はあまり生じず、全体的な電圧調整がしやすくなると考えられる。

表 2 より、太陽光発電所の出力規模が 1200[kW] と 2400[kW] のそれぞれの場合において、標準偏差の値が小さい方を黄色で示しているが、各 EV の出力を 2[kW] に設定した方が標準偏差が小さくなっている場合が多いことが確認できる。表 1 においても、100%の地点で電圧差分が規定範囲内の値まで上昇が見られたのは各 EV の出力が 5[kW] に設定した場合のほうが多いが、規定範囲内に収まった地点が 90%以上のものを見てみると、各 EV の出力が 2[kW] に設定した場合のほうが多くなる。規定範囲内に収まった地点が 90%以上であれば、そこから細かな調整を行うことでグリッド上の電圧安定化を達成できる見込みが高くなると考えられる。

EV からの総出力量は同じでも、1 台 1 台の EV の出力を小さめに設定し、多くの台数を用いて放電を行った方が、グリッド上の電圧安定化が容易になることが分かった。

## 6. ま と め

スマートグリッドのシミュレーションシステムにおいて、太陽光発電所からの出力が100%から0%まで減少した状況下で、EVに蓄積されていた電力を放出させることでグリッド全体の電圧調整を行った。グリッド各地の電圧値が、太陽光発電所100%出力時の電圧値を基準に、上限が+7[V]、下限が-5[V]の範囲に収まることを目標として、出力指示を出すEVの台数や太陽光発電所の出力量を数パターンに渡って変更し、比較、検証を行った。

実験結果として、太陽光発電所からの出力が100%から0%まで減少したことによるグリッド上の電圧降下は、EVの総出力を上げていくことで、適正範囲内まで電圧上昇させることが出来ることを確認した。

また、各地で観測した電圧差分をもとに標準偏差を算出したところ、発電所の出力規模が小さいほどグリッド上の電圧調整が行いやすいこと、EVからの総出力量は同じでも、1台1台のEVの出力を小さめに設定し、多くの台数を用いて放電を行った方が、グリッド上の電圧安定化が容易になることがそれぞれわかった。ただし、使用できるEVの台数は、指示を出す時間帯やEVの普及率に依存するため、より現実に近いシステムを目指すためには、さまざまな要素を考慮に入れる必要がある。

## 7. 今後の課題

今回、OpenDSSを用いて、EVを用いてグリッド全体の電圧を調整するシステム構築に向け、EVからの放電によるグリッド上の電圧変動を検証したが、今後はよりシミュレーションに適した環境構築を目指し、グリッド上の電圧安定化のため、各地のEVの使用状況を把握し自律的に制御を行うシステムを追加するなどといった改良を行う。最終的に、電力調整を行う任意の制御アルゴリズムを実装、評価を行うことを考えている。

## 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。

## 文 献

- [1] OpenDSS <http://sourceforge.net/projects/electricdss/>
- [2] IEEE PES <http://www.ieee-pes.org/>
- [3] 次世代エネルギーシステムに係る国際標準化に関する研究会、次世代エネルギーシステムに係る国際標準化に向けて、経済産業省、2010
- [4] Tim Godfrey, Sara Mullen, Roger C Dugan, Craig Rodine, David W. Griffith, and Nada Golmie "Modeling Smart Grid Applications with Co-Simulation", Smart Grid Communications (SmartGridComm), 2010
- [5] Bernhard Jansen, Carl Binding, Olle Sundstrom, Dieter Gantenbein "Architecture and Communication of an Electric Vehicle Virtual Power Plant", Smart Grid Communications (SmartGridComm), 2010
- [6] Aline Senart, Scott Kurth, Gaelle Le Roux "Assessment

- Framework of Plug-In Electric Vehicles Strategies", Smart Grid Communications (SmartGridComm), 2010
- [7] Feng Pan, Russell Bent, Alan Berscheid, David Izraelevitz "Locating PHEV Exchange Stations in V2G", Smart Grid Communications (SmartGridComm), 2010
- [8] Stamatis Karnouskos, Thiago Nass de Holanda "Simulation of a Smart Grid City with Software Agents", Computer Modeling and Simulation, 2009
- [9] Jason Taylor, Arindam Maitra, Mark Alexander, Daniel Brooks, Mark Duvall "Evaluation of the Impact of Plug-in Electric Vehicle Loading on Distribution System Operations", Power & Energy Society General Meeting, 2009
- [10] Jason Taylor, Arindam Maitra, Mark Alexander, Daniel Brooks, Mark Duvall "Evaluations of Plug-in Electric Vehicle Distribution System Impacts", Power and Energy Society General Meeting, 2010
- [11] 八坂保能, 電気エネルギー工学 発電から送配電まで, 森北出版株式会社, 2008
- [12] 福井エドワード, スマートグリッド入門, アスキー新書, 2009
- [13] 新井宏征, グーグルのグリーン戦略, インプレスR & D, 2010
- [14] エネルギーフォーラム, スマート革命の衝撃, エネルギーフォーラム, 2010
- [15] 横山明彦, スマートグリッド, 電気新聞ブックス, エネルギー新書, 2010
- [16] A.T. カーニー, 川原英司ほか, 電気自動車革新する企業戦略, 日経BP社, 2009
- [17] 塚本潔, 電気自動車ウォーズ, 朝日新聞出版, 2010
- [18] 日刊工業新聞特別取材班, スマートグリッド解体新書 動き出した巨大産業と企業戦略, 日刊工業新聞社, 2010
- [19] 株式会社インプレス R & D, 日米欧のスマートグリッド政策と標準化動向 2010, 2009