SmartGrid へのEV導入に伴う 電圧安定化に向けてのシミュレーションによる検討

唐 石 景 子[†1]　小 口 正 人[†1]

現在，エネルギーに関する世界的な問題として，自然資源の枯渇や将来の電力需要の増加などが挙げられており，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．EV は，単なる輸送手段として利用されるばかりでなく，特に EV のバッテリを，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用いる形態（V2G：Vehicle-to-Grid）が考えられている．EV は，充電設備を通して，電力網と直接電力のやり取りが行えるため, グリッド上の電力が過不足した場合は, 状況に応じて EV のバッテリに充放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である．将来的には，IT を用いて，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．しかし，グリッド上の電力量がダイナミックに変動し，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が大きな課題となっている．EV とスマートグリッド間の効率的な電力のやり取りについて評価を行うため，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台の 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，太陽光発電所の出力量や出力を行う EV の台数を時間別に変更し，グリッド上の電圧の変化量の違いについて検証を行った．

A study by simulation for voltage stabilization associated with introduction of EV to SmartGrid

Keiko Karaishi[†1] and Masato OGUCHI[†1]

Recently, the lack of natural resource and rapid increase of energy demand have raised as the worldwide problems. In order to solve them, attention is focused on SmartGrid could work efficiently in energy network. Object of our study is EV（Electric Vehicle) expected to become chargeable and dischargeable infrastructure. It is not only used as a vehicle but also is thought as a power resource which could charge and discharge energy as necessary. As energy is transferred between EV and power grid through charging and discharging equipments, it will be possible to regulate energy on entire grid by way of charge and discharge. In the future, with information technology, it will also be possible to stabilize energy. However electric energy on grid varies in wider range because each EV runs individually on the grid. As compared with a case; storages is fixed, more complex control is needed. It has been a serious problem. This research is a study for development of a simulation system to evaluate these circumstance.

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，自然エネルギーを大量導入すると，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，現状の電力管理で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

†1 お茶の水女子大学
Ochanomizu Univercity

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．本論文ではまず，電力網のシミュレーション環境を構築し，ここに EV のバッテリを接続して行った場合の，電力網に対する影響の評価を行う．具体的には，電力網に対して多数台の EV を接続してそのバッテリから放電させ，各地点における電圧の変化を観測する．またその場合の EV の配置を変え，電力網全体に分散して配置した場合とある地点に集中して配置した場合などの，電圧の変化量の違いについて評価する．

本論文の構成は以下の通りである．まず第 2 節では本研究の背景となる，スマートグリッドと EV の概要について述べる．次に第 3 節では本研究の概要について紹介する．第 4 節では，シミュレーション環境で使用する配電網のモデルや，EV や太陽光発電所の実装方法についての概略を説明する．そして第 5 節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検証を行う．第 6 節ではまとめと今後の課題について述べる．

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．特徴としては，自然エネルギーの大量導入が可能であること，エネルギーがグリッドの双方向に流れること，エネルギーだけでなく情報のやり取りも行うこと等が挙げられる．エネルギー，テレコミュニケーション，IT などの産業が融合して生まれてきたものである．

スマートグリッドの概略図を図 1 に示す. 図 1 は文献[1] を参考として作成したものである． 図 1 において，電力の流れを緑の線で，IT による制御を橙の線で表している．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，これに加えて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．

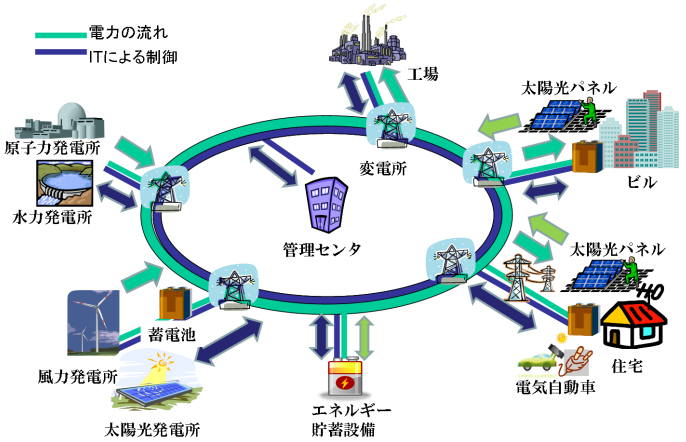

図 1 スマートグリッド概略図

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 の利用形態について着目する．EV 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ある．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 EV の充電インフラ

EV の充電インフラには様々なものが考えられるが，ここでその一部の例を示していく．

まず，夜中に充電を完了させることが可能となる，家庭用充電設備が考えられる．自宅や滞在先の駐車場で充電できるため，時間と労力を節約できる．また，外出先で給電することを考え，公共のガソリンスタンドのような急速充電器や，空のバッテリと満タンに充電しておいたバッテリを交換する電池交換所なども各地に設置する必要がある．また，非接触充電により，道路や駐車場などで走行したり駐車したりするだけで給電できる道路給電なども考えられている．

このようなさまざまな充電インフラが接続されたスマートグリッドについて，管理センタが各地の状態を監視し，エネルギー量の過不足を把握，適宜調節を行う．これにより，各充電インフラにおいて，貯蓄電力が過不足になることを防ぐことができる．EV の充電インフラとスマートグリッドの関係を表した図を図 2 に示す．

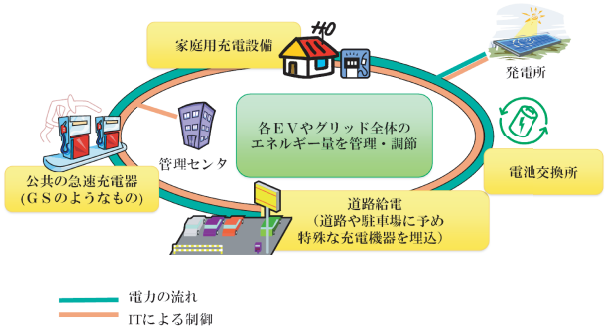

図 2　EV の充電インフラとスマートグリッド関連図

2.4　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 はただの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 のバッテリから余分な電力を放出し，逆にグリッド上の電力が飽和しそうな場合は EV のバッテリに蓄電する，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行き来するため，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．本論文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を行うことを目標に，太陽光発電所の出力や放電を行う EV の台数を変更した様々なパターンを用意し，それぞれにおいて検証を行った．

3.　研 究 概 要

本研究の最終目的として，EV のバッテリ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ミュレーション評価システムを構築し，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．その際，実環境を想定し，1 日における太陽光発電所の出力変動や，家庭に接続されている EV 数を時間帯別に設定し，シミュレーションを行った．

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）[2] 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)[3] より提供されている 8500-Node Test Feeder(図 3) 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．

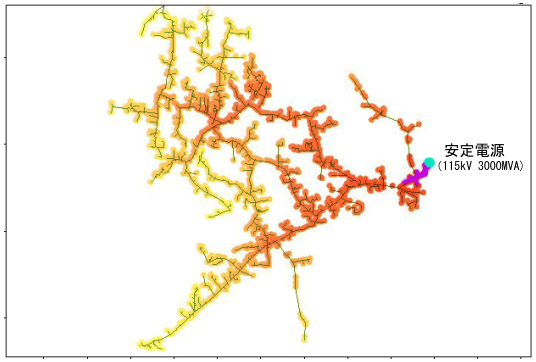

図 3 8500-Node Test Feeder

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 20[%] は EV を所有しているものとする．グリッド上の電力が不安定になった場合，家庭に接続されている EV のバッテリから電力を充放電することによって，グリッド全体の電力を安定化させる．今回，電力安定化に利用する充放電インフラとしては，この家庭用の充放電器のみを利用する．このモデル図を図 4 に示す．

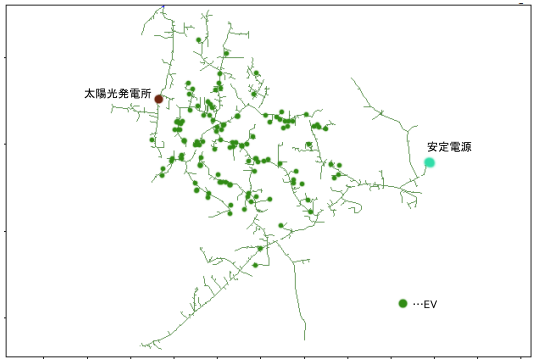

図 4 実験環境

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，通常状態である晴天時の太陽光発電所からの出力を図 5 に示す．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[4] 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．

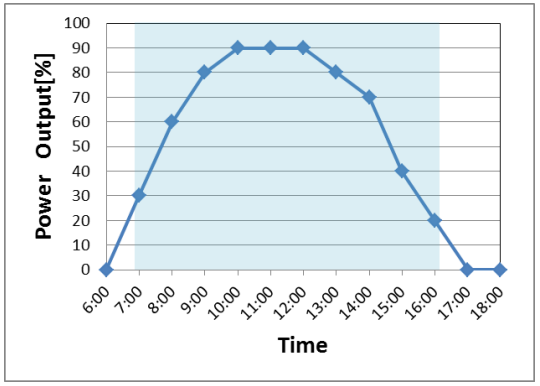

図 5 時間別の太陽光発電所の晴天時の発電効率

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，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．また，出力指示を出す EV の台数を時間帯によって変更し，出力量についても 5[kW] の場合と 2[kW] の場合の二通りのケースについて検証を行った．

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

7.2[kV] → 120/240[V] 変電所地点 1177ヶ所で，太陽光発電所の出力変動と EV の放電によるグリッド上の電圧変動を観察する．その際，太陽光発電所からの出力が通常状態である晴天時の電圧値とどの程度差があるか調査した．また，EV の放電量を決める際には，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] 以上になっていることを条件とする．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 晴天時と雨天時の太陽光発電所の出力差によるグリッド上の電圧変動

本節においては，晴天時と雨天時の太陽光発電所の出力差によるグリッド上の電圧変動について調査するため，120/240[V] 変電所 1177ヶ所で電圧値を観察した．この天候の変化によって生じる電圧差がどの程度あるのかを検証し，EV の放電によって電圧差分を補う．

図 5 から，晴天時の発電効率を表す曲線と雨天時の発電効率 0[%] ラインの出力差分が生じるのは，7:00 から 16:00 の間であることがわかる．そこで，この時間帯別の天候変化による電圧差分を本シミュレーションシステムによって算出した．結果を図 6〜図 15 に示す．

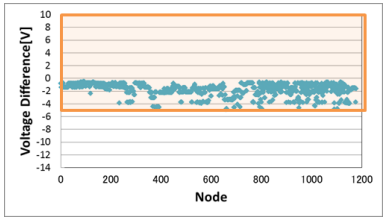

図 6 7：00 時点の電圧差分

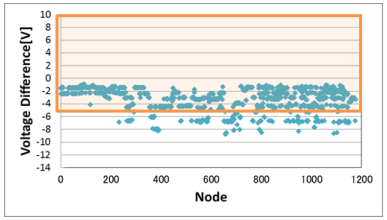

図 7 8：00 時点の電圧差分

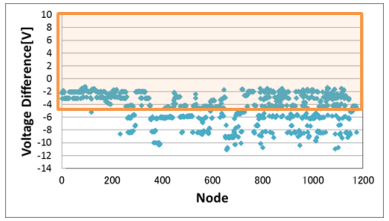

図 8 9：00 時点の電圧差分

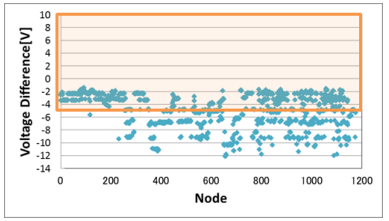

図 9 10：00 時点の電圧差分

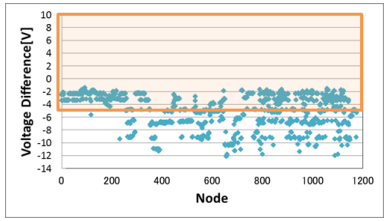

図 10 11：00 時点の電圧差分

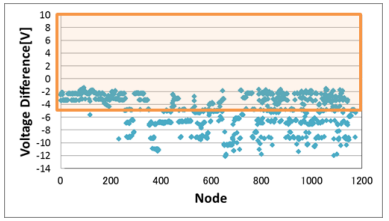

図 11 12：00 時点の電圧差分

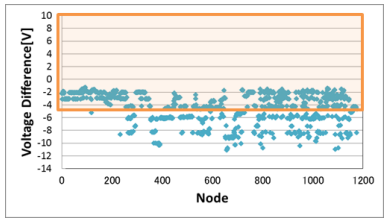

図 12 13：00 時点の電圧差分

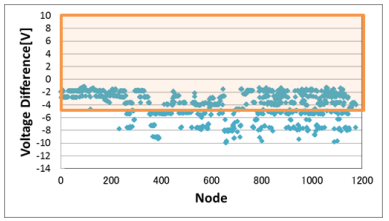

図 13 14：00 時点の電圧差分

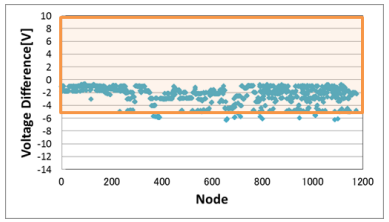

図 14 15：00 時点の電圧差分

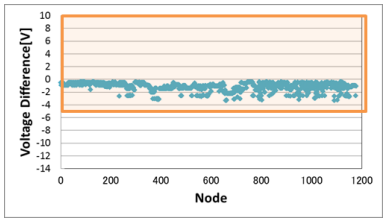

図 15 16：00 時点の電圧差分

図 6〜図 15 において，グラフの横軸は電圧を観測してる 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．天候悪化時には太陽光発電所からの出力が 0 となるため，どの時間帯においても各地の電圧値は降下してしまっている．しかし，図 6 と図 15 を見ると，全地点で電圧値が適正範囲内に収まっている．したがって，8:00〜15:00 までの時間帯において，EV による電力安定化を図る必要があることがわかった．また，電圧差分が適正範囲内に収まっている地点数の割合を時間帯別にまとめた表を表 1 に示す．

表 1　時間別の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	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00
適正範囲内に収まった割合[%]	100.0	82.9	63.4	57.4	57.4	57.4	57.4	68.3	96.8	100.0

5.2　EV の放電による電圧安定化

本節では，5.1 節で検証した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．そこで，実験の前に，時間帯別の利用可能な EV 数について調査を行った．本来 EV は輸送手段として用いられるため，今回の実験において，電力安定化に用いるものは，輸送手段として使われていない，家庭に接続されている EV のみとする．また，簡単化のため，主な用途として自動車は通勤に使用されるものと仮定し，検証を行った．

時間帯別の，家庭に接続されている EV の概数を設定するため，National Household Travel Survey(NHTS 2001[5])，Federal Highway Administration(FHWA[6]) より公表されているデータをそれぞれ参考資料として利用した．図 16，図 17 はそれぞれ，時間帯別の自動車の帰宅時間帯，出勤時間帯の統計を表したものである．

これらを参考に，1 日における時間帯別の「家庭に接続されている EV の割合」を算出したものを図 18 に示す．グラフから，日中には外に出ている EV が多く，夜中は使用されていない EV が多いことがわかる．算出した時間帯別の利用可能な EV の値をシステムに組み込み，各地の電圧降下をどの程度食い止めることができるか実験を行った．その際，5.1 節より，8:00〜15:00 までの時間帯において，EV による電力安定化を図る必要があることがわかっているので，この時間帯に絞り，検証を行う．なお，本実験において使用する EV は容量 25[kWh] のバッテリを搭載し，全て充電済みであるものとする．

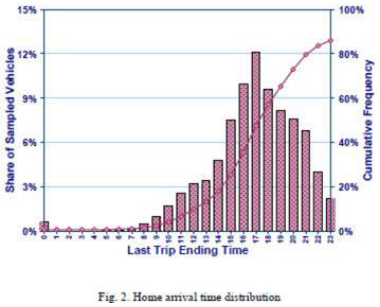

図 16　時間帯別の帰宅した車の割合

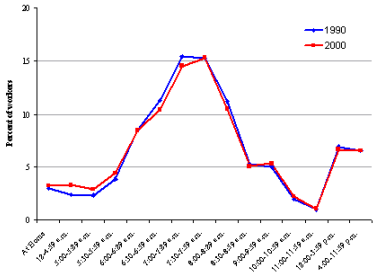

図 17　勤労者の出勤時間帯の割合

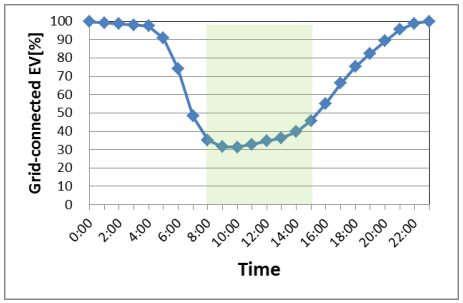

図 18　時間帯別の家庭に接続されている EV の割合

5.2.1　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．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 数が 5.2 節で設定した通りに変動するものとしている．また，利用可能な EV は全て放電を行うものとする．

5.1 節の結果より，8:00〜15:00 までの時間帯においての検証を，本シミュレーションシステムによって行った．結果を図 19〜図 26 に示す．

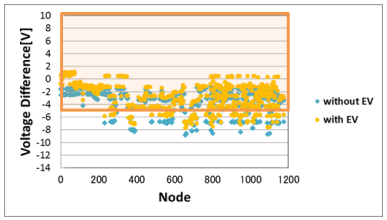

図 19　8：00 時点の電圧差分

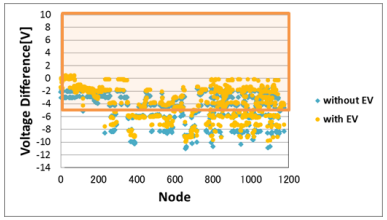

図 20　9：00 時点の電圧差分

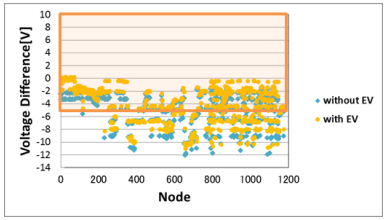

図 21　10：00 時点の電圧差分

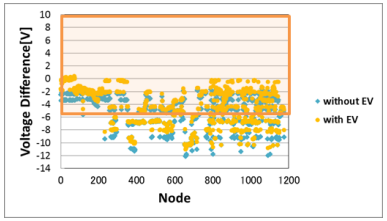

図 22　11：00 時点の電圧差分

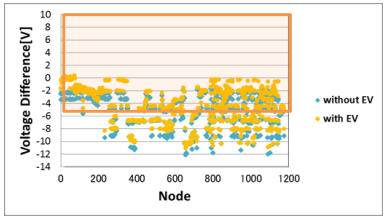

図 23　12：00 時点の電圧差分

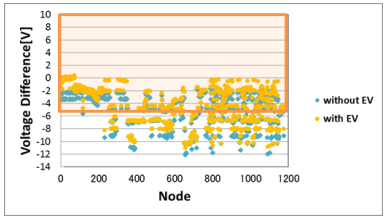

図 24　13：00 時点の電圧差分

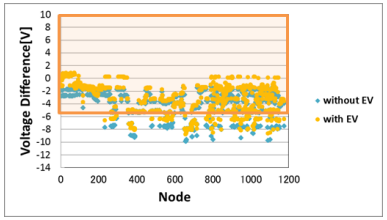

図 25　14：00 時点の電圧差分

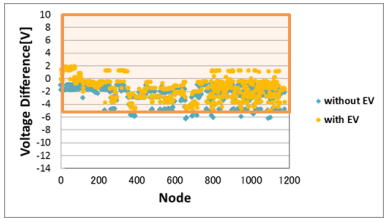

図 26　15：00 時点の電圧差分

図 19〜図 26 において，グラフの横軸は電圧を観測してる 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，5.1 節で求めた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ていることがわかる．しかし，僅かしか電圧上昇が見られないことから，各 EV の出力を上げ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．

5.2.2　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．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，5.2 節で設定した通りに，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．

5.1 節の結果より，8:00〜15:00 までの時間帯においての検証を，本シミュレーションシステムによって行った．結果を図 27〜図 34 に示す．図 27〜図 34 において，グラフの横軸は電圧を観測してる 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，5.1 節で求めた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．5.2.1 節における結果と比較すると，全体的に各地点の電圧上昇幅が僅かながら大きくなっていることがわかる．しかし，これらのグラフにおいて，特定の地点に限って顕著に電圧が上昇している箇所があることが確認できる．これらの地点は放電を行なっている EV が接続されている地点に最も近い場所であり，放電の影響を強く受けていることがわかる．5.2.1 節の設定では EV の出力が比較的小さかったため目立たなかったが，今回の結果から，EV の接続された付近の電圧は急上昇することが確認できた．

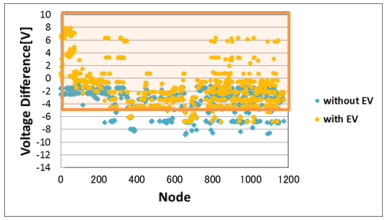

図 27　8：00 時点の電圧差分

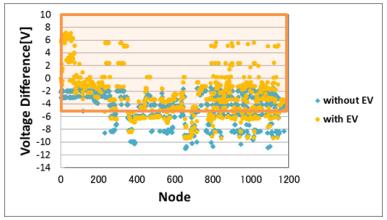

図 28　9：00 時点の電圧差分

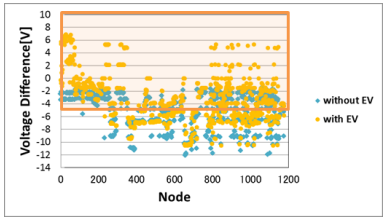

図 29　10：00 時点の電圧差分

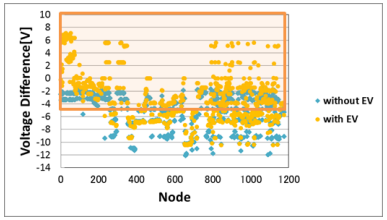

図 30　11：00 時点の電圧差分

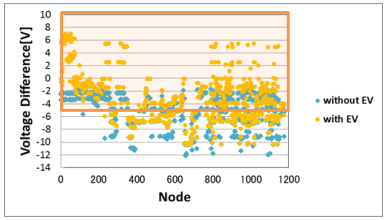

図 31　12：00 時点の電圧差分

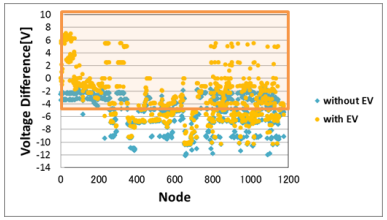

図 32　13：00 時点の電圧差分

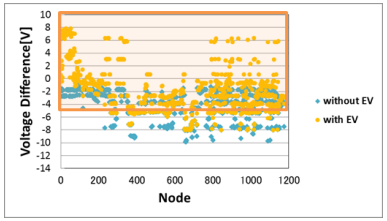

図 33　14：00 時点の電圧差分

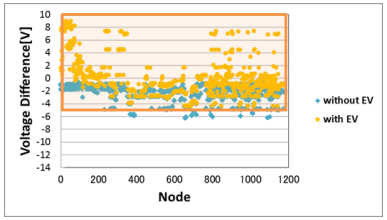

図 34　15：00 時点の電圧差分

5.3 考　　察

放電を行う EV の出力量の変化によって，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 2 に示す．

表 2　EV の出力量別の電圧差分が適正範囲内に収まっている地点数の割合の変化

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(2[kW])	84.5	65.6	60.4	60.7	61.8	62.2	71.5	99.7
EV(5[kW])	93.7	70.2	61.9	62.0	63.6	64.5	79.4	100.0

この表は，悪天候時において，EV を接続しない場合，EV の出力量を 2[kW] とした場合，EV の出力量を 5[kW] とした場合の 3 パターンの状況において，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．各 EV の放電量が増えることによって，適正範囲に収まる地点が増えていっていることがわかる．これは，EV の出力の大きさによって全地点の電圧が上昇の度合いが変化することを意味している．

今回の実験では，すべての時間帯において適正範囲内まで電圧を上昇させるということはできなかったが，放電を行う EV を細かく指定することでこの問題は解決できると考えられる．5.2.2 節で検証した通り，各 EV の出力を大きくすると，他の地点に比べて，EV 接続地点に近い箇所の電圧の値が急上昇することが分かった．したがって，電圧降下が顕著に見られる箇所を検出することができれば，その地点により近い EV を狙って放電させることによって，より少ない EV 数，より少ない放電量で効率的に全地点の電圧を安定化させることが可能になると考えられる．

今回の実験では，時間別に太陽光発電所の出力や利用可能な EV の割合を変化させるなど細かく検証を行ったが，歴然とした違いなどは見られなかった．これは検証した時間帯が，発電所の出力量や利用可能な EV の割合があまり変化しない時間帯であった事が理由の 1 つに考えられる．しかし，今回システムに組み込まなかった時間別の状況変化は多く存在すると思われる．例えば今回の設定において，各家庭の負荷は固定していたが，時間帯によって家庭の負荷も変化することが考えられる．また，他にも短時間，短距離で移動する EV や，充電が必要な EV の存在など様々な要因で状況が変わることが考えられる．更に，本実験において，EV の普及率は 20[%] に固定したが，今後は EV の普及率についても様々に変化させ検証を行う必要がある．これらの要因をシステムに組み込むことによって，複雑にグリッドの電圧は変化すると思われる．刻々と変わる状況にも迅速に対応できるような管理アルゴリズムを組み込むことで，今後，より実環境に近いシステムを構築し，検証していきたい．

6. まとめと今後の課題

本論文では，グリッド上の複雑な電力の流れを IT による制御で安定させるスマートグリッド，およびエネルギ需給設備として期待されている EV に注目して研究を行った．EV とスマートグリッド間の効率的な電力のやり取りについてシミュレーションを行うため，電力網のシミュレーション環境を構築し，ここに太陽光発電所を接続して，通常時と悪天候時の各地の電圧変動について検証した．更に，構築した配電網上に，様々な条件下で EV を配置し実験を行い，どのような振舞いとなるか観察した．その結果，すべての時間帯および地点において，EV のバッテリから放電させた事により，天候の変化に伴う電圧降下の緩和を観測することができた．

グリッドに EV のバッテリを接続して分散電力源として用いる場合，その接続する場所により，各地のグリッド上の電圧は変化する．従って，そのようなグリッドにおいて安定した電力供給を行うためには，グリッド上の各地点をモニタし，情報をやり取りしてきめの細かい制御を行うスマートグリッドの環境が必須であると言える．

本実験においては，一日の時間別の太陽光発電所の出力変動と EV の使用状況のみを変化させ検証を行ったが，今後はより実環境に近いシステム構築に向け，様々なグリッドの電力変動の要因をシステムに組み込んで行く必要がある．更に，スマートグリッドにおける評価に向け，逐次状況を把握し，各地の電力を安定化させるため適切な処理を行う管理センタを実装する．システム構築後は，様々な条件下でどのような振る舞いをするか随時検証を行っていく．

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) 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
2) OpenDSS http://sourceforge.net/projects/electricdss/
3) IEEE PES http://www.ieee-pes.org/
4) 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
5) National Household Travel Survey http://nhts.ornl.gov/
6) Federal Highway Administration http://www.fhwa.dot.gov/