

# 住宅街区特性を踏まえた スマートグリッド直流化効果の検証

一井 啓介<sup>1</sup>・高原 勇<sup>2</sup>・谷口 守<sup>3</sup>

<sup>1</sup>非会員 筑波大学大学院 システム情報工学研究科 (〒305-8573 茨城県つくば市天王台1-1-1)  
E-mail: s1820438@s.tsukuba.ac.jp

<sup>2</sup>非会員 筑波大学未来社会工学開発研究センター 特命教授 (〒305-8573 茨城県つくば市天王台1-1-1)  
E-mail: takahara@sk.tsukuba.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 筑波大学教授 システム情報系 (〒305-8573 茨城県つくば市天王台1-1-1)  
E-mail: mamoru@sk.tsukuba.ac.jp

近年、再生可能エネルギーの普及が加速しており、分散型電源を有効活用するためスマートグリッドの導入に向けた検討がなされている。しかし、スマートグリッドの重要な要素である太陽光発電や電気自動車に利用される電力は直流であり、現在の電力網に利用される交流電力に変換する過程でロスが発生してしまうが、この点に着目してスマートグリッドの効果を検証した研究蓄積はない。そこで本研究では、スマートグリッドの普及を想定した住宅街区の電力需給を分析し、直流と交流の場合のスマートグリッド内で生じる電力ロスや電力自給率を算出することで、直流化効果を検証した。その結果、1)直流化によって最大 74.8%の電力ロスが削減できること、2)自動車保有台数が多く戸建住宅の占める割合が大きい住宅街区ほど直流化効果が大きいことなどが示された。

**Key Words :** *conversion loss, DC, EV, PV, self-sufficiency, smart grid*

## 1. はじめに

近年、脱炭素社会の実現に向けて再生可能エネルギー(以下、「再エネ」)の導入が加速しており、固定買取価格制度の導入にも後押しされ、太陽光発電を主とする再エネの設備容量が大幅に増加している<sup>1)</sup>。一方、九州などの日射条件が良い地域では、発電量に対して電力需要が不足し、太陽光発電など自然変動電源の出力制限が実施される事態が生じており、現在の集中電源に依存した電力供給システムから脱却し、分散型電源を活用する重要性が高まっている。

分散型電源を活用する取組として、我が国では、IT技術を活用して電力の需給を自動制御するシステムであるスマートグリッドの導入についてが検討がなされてきた<sup>2)</sup>。スマートグリッドでは、太陽光発電や蓄電池、電気自動車(EV)など需要家側に導入される分散型のエネルギーリソースを活用することで、効率的に再エネを活用することができる。例えば既存研究<sup>3)</sup>では、郊外の自動車保有が多い市区町村において、最大で83%の電力の地産地消が可能であることが示されている。

しかし、スマートグリッドの重要な構成要素である太

陽光発電やEVは直流電力を利用している。一方で、現在の電力供給システムや家庭内で利用されている電力は交流電力であるため、太陽光発電やEVの電力を家庭や送電網に給電する場合、直流電力から交流電力に変換する必要が生じる。この電力を変換する過程ではロスが生じてしまうため、交流電力を利用するスマートグリッドの場合、再エネが十分に活用できない可能性がある。

一方で、近年では直流電力を活用し、再エネや直流電力を利用するデータセンターなどの設備に対して、効率的な電力供給を行おうとする取組も行われている<sup>4)</sup>。このように、再エネを有効に活用する手段として直流電力の活用が期待されており、スマートグリッドについても直流化によって再エネを有効活用できる可能性が高い。

ここで既存研究を見ると、スマートグリッドの導入効果については、全国の住宅街区(以下、「街区」)を対象としてスマートグリッド導入による電力融通効果を分析した研究<sup>5)</sup>をはじめ、技術革新による太陽光発電やEVの性能向上がスマートグリッドの導入適性に与える影響を分析した研究<sup>6)</sup>や、EVの代わりに燃料電池自動車を導入し、水素社会におけるスマートグリッド導入の効果を分析した研究<sup>7)</sup>があるが、スマートグリッド内部で生じ

る電力ロスを考慮し、直流電力の活用について検討した研究は行われていない。また、直流電力の活用については、再エネの自家消費に必要な蓄電池容量に関して直流給電方式が優位となる領域を検証した研究<sup>8)</sup>や、建物単位での直流化に関して導入手法を検討した研究<sup>9)</sup>、住宅へ直流給電システムを導入した場合の導入効果を検証した研究<sup>10)</sup>などがあるが、街区全体を直流化した場合の効果について検証した研究は行われていない。

以上を踏まえ、本研究では様々な特性を持つ住宅街区を対象とし、スマートグリッド内部で生じる電力ロスを考慮した上で、街区内の電力需給を把握する。その上で、街区内で生じる電力ロス量と電力自給率について、交流電力を利用したスマートグリッドを導入した場合と、直流化したスマートグリッドを導入した場合で比較することで、スマートグリッドの直流化効果を分析する。また、削減した電力ロス量から直流化によって削減可能な発送電コストを算出することで、電力コストに対する直流化効果を分析し、街区ごとに直流化の実現可能性を確保できるインフラコストの上限値を明らかにする。更に、直流化効果と街区特性の関係について見ることで、スマートグリッドの直流化に適した街区の特徴を明らかにする。

## 2. 使用データと分析対象街区

### (1) 使用データ

本研究では、全国の様々な街区における住民の暮らし方や交通行動を考慮して分析を行うため、平成 27 年全国都市交通特性調査を使用データとして選定した。この調査は都市の基礎的な交通特性を把握するとともに、全国の都市の交通特性を横断的、時系列的に比較分析し、今後の都市交通政策の展開方向を検討するための基礎資料を得る目的で実施されている交通調査である。

また、本研究では全国の様々な街区を対象とし、その街区特性にまで着目した分析を行うため、既存研究<sup>11)</sup>で提案されている住宅地タイプについても使用データとして選定した。この住宅地タイプは、全国都市交通特性調査で対象とされる街区について、居住者の自動車利用行動や人口密度、世帯属性、土地利用規制などの情報に基づき町丁目単位で分類した、135 の街区群である。

### (2) 分析対象街区の概要

本研究では、全国都市交通特性調査で対象とされている街区のうち、住宅地タイプの設定に用いられている街区のみを対象としている。更にこれらの街区から、既存研究<sup>7)</sup>を参考に、圏域特性、土地利用規制、人口密度、駅からの距離を因子とした実験計画法によって 23 の街区を選定した。選定した分析対象街区の一覧を表-1 に示

す。タイプについては、その都市が属する圏域特性ごとに大都市圏中心都市(政令指定都市あるいは人口 100 万人以上の都市)は I、大都市圏衛星都市(三大都市圏に属する都市かつ中心都市の条件を満たさない都市)は II、地方中心都市(県庁所在地あるいは人口 15 万人以上の都市)は III、地方都市(三大都市圏以外の都市かつ中心都市の条件を満たさない都市)は IV、土地利用規制ごとに低層住宅専用地域は「低」、中高層住宅専用地域は「中高」、住居地域・住宅系混在地域は「住」、商業地域は「商」、市街地調整区域は「調」と表記しており、同じ土地利用規制で他の特性が異なる街区がある場合、それらを区別して I 低 1, I 低 2 のように表記した。また、駅からの距離は、最寄り駅までの距離が 1km 以内の場合は「近」、1km 以上の場合は「遠」と表記しており、表記がない場合はそれらが混在している。ただし、大都市圏中心都市における中高層住宅専用地域が 90%以上の街区については、街区によって実際に中高層住宅に住む世帯数比にかなりのばらつきが存在することが既存研究<sup>11)</sup>で明らかにされている。このため、本研究では I 中高についてのみ、更に 3 段(I 中高 1~I 中高 3)に分けて検討を行っている。具体的には、中高層住居に居住する世帯の割合がそれぞれ 80%未満、80%以上 90%未満、90%以上となるように 1~3 に分類している。

表-1 分析対象街区一覧

街区名	圏域特性	土地利用規制	人口密度 [人/ha]	駅距離
I 低 1	大都市圏 中心都市	低層住宅専用地域 90%~	-	-
I 低 2		低層住宅専用地域 60~90%	-	遠
I 中高 1		中高層住宅専用地域 90%~	-	-
I 中高 2		中高層住宅専用地域 90%~	-	-
I 中高 3		中高層住宅専用地域 90%~	-	-
I 住		住居地域 60%~	150~	-
I 調	大都市圏 衛星都市	市街地調整区域 25~50%	-	-
II 低 1		低層住宅専用地域 90%~	~100	遠
II 低 2		低層住宅専用地域 90%~	100~	-
II 中高		中高層住宅専用地域 90%~	-	近
II 住		住居地域 60%~	100~	-
II 調		市街地調整区域 25~50%	50~	-
III 低	地方 中心都市	低層住宅専用地域 60~90%	100~	-
III 中高 1		中高層住宅専用地域 60~90%	50~100	遠
III 中高 2		中高層住宅専用地域 60~90%	~50	-
III 住		住居系混在	50~	-
III 商		商業地域 60%~	50~100	近
III 調		市街地調整区域 50~75%	~50	遠
IV 低	地方都市	低層住宅専用地域 60~90%	50~	-
IV 中高		中高層住宅専用地域 60~90%	~50	-
IV 住		住居系混在	50~	-
IV 商		商業地域 60%~	50~	-
IV 調		市街地調整区域 75%~	-	遠

### 3. 分析方法

#### (1) 想定する街区の概要

本研究では、スマートグリッドが導入され、各家庭に太陽光パネル及びEVが普及している状態の街区を想定し、街区内の電力需給を把握していく。街区内の各家庭にはスマートメーターが設置され、電力需給をリアルタイムで把握することが可能となるため、街区内の電力網(グリッド)を通じて電力をやり取りすることが可能であると想定している。また、EVが十分に普及しており、各家庭に存在する自動車、軽自動車は全てEVに置き換わった状態を想定する。ただし、EVの走行距離に対して充電時間が十分に取れない場合についてのみ、EVには置き換わらないものとしている。

各家庭では太陽光パネル、EVとの間で電力がやり取りされ、そこで生じる余剰・不足分について、グリッドを通じて他の家庭と電力をやり取りする。更に、グリッド内の電力が不足する場合には、グリッド外から外部電力の供給を受けることが可能であると想定する。このとき、電力をやり取りする際に直流電力・交流電力間の変換ロスや送電ロスなどが生じる。これらの電力ロスについて、太陽光パネルから家庭への送電過程で生じる電力ロスを $L_1$ 、家庭からEVおよびEVから家庭への送電過程で生じる電力ロスを $L_2$ 、外部電力がグリッドへ送電される際に生じる電力ロスを $L_3$ とし、これらを考慮した電力需給をシナリオごとに把握することで、直流化効果を明らかにする。具体的には、a)交流電力を利用したスマートグリッド(ACグリッド)が普及した状態、b)ACグリッドかつ、太陽光パネルからEVへの給電に関してのみ直流電力を直接給電可能な状態、c)直流電力を利用し

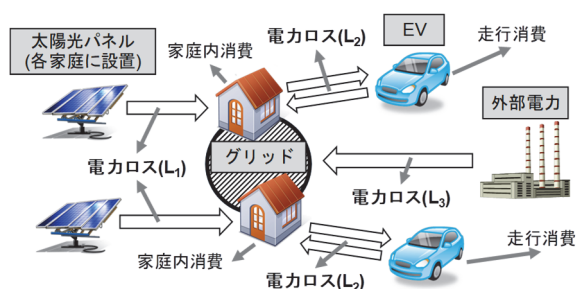


図-2 分析対象街区の電力需給イメージ

表-3 シナリオ別の電力ロス率

分析シナリオ	電力ロス率[%]			
	L1	L2	L3	その他
a)ACグリッド	7.0	10.0	3.4	
b)ACグリッド+EV給電DC	7.0	10.0	3.4	太陽光パネル→EVのみ電力ロス3.5%
c)DCグリッド+家庭内AC	3.5	0	13.1	家庭内消費に対して電力ロス+3.5%
d)DCグリッド	3.5	0	13.1	

(既存研究<sup>8)</sup>、既存調査<sup>12)</sup>を参考に作成)

たスマートグリッド(DCグリッド)かつ、家庭内で消費される電力は交流電力である状態、d)DCグリッドが普及した状態の4つのシナリオを設定し、それぞれの条件ごとに街区内で生じる電力ロス量および電力自給率を算出することで、スマートグリッドの直流化効果を明らかにする。これらの電力ロスを踏まえた街区内の電力需給イメージを図-2に、シナリオごとの電力ロスの設定値を表-3に示す。なお、本研究で用いる電力ロスのうち、変換ロスについては家庭内の直流給電に関する既存研究<sup>8)</sup>を、送電ロスについては既存調査<sup>12)</sup>を参考に設定している。

#### (2) 電力需給の把握および電力ロス量の算出

街区ごとの電力需給を把握するため、まず各家庭内での電力需給を1分単位で算出する。ここでは各世帯の個人属性やトリップデータに基づいて消費する電力量を設定することで、街区特性を踏まえた分析を可能にしている。その算出手順を図-4に示す。更に、各家庭の電力需給を踏まえ、街区全体で生じた不足電力、余剰電力を算出し、街区内で電力をやり取りする。その上で、不足電力がまだ存在する場合、その不足電力量が外部電力からの給電量となる。以上から街区内の電力需給を把握することが可能となり、電力ロスが生じる部分に流れる電力量を表-3の電力ロス率を乗ずることで、街区内で生じる電力ロス量が算出可能となる。

太陽光発電量の算出に用いる日射量は、NEDOの日射量データベース<sup>13)</sup>を参照し、街区に最も近い地点の平均年における年間時別日射量データを用いた。また、街区

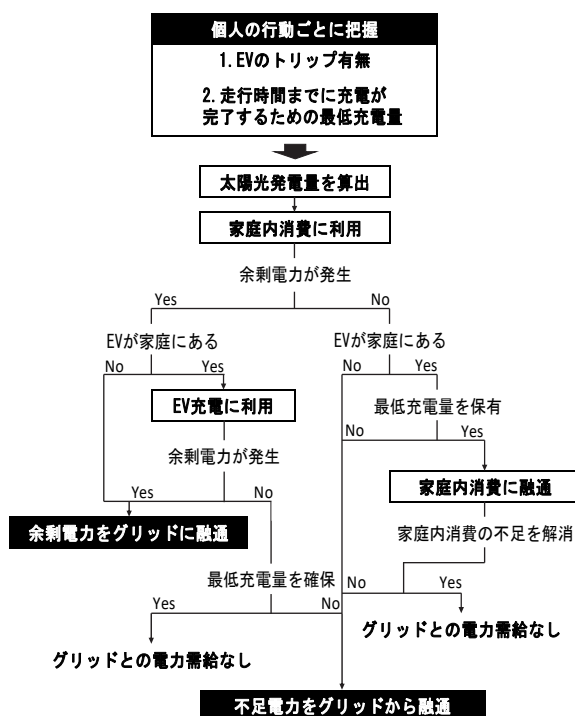


図-4 世帯内における電力需給の算出フロー

ごとの気象条件の差異をなくすため、分析対象街区ごとの値を平均した値を分析に用いている。太陽光パネルは全家庭において真南、傾斜 30 度の条件で設置されているものとし、日射量(kWh/m<sup>2</sup>)×システム出力係数 0.85×パネル容量 4(kW)÷日射強度 1(kW/m<sup>2</sup>)を計算することで太陽光発電量を算出した。ただし、本研究で用いるシステム出力係数については、太陽光パネルで発電した直流電力を交流電力に変換する機器であるパワーコンディショナーによる損失分を除いている。更に、集合住宅の場合は、戸建住宅に比べ屋根面積が限られる点を考慮し、既存研究<sup>7)</sup>を参考に土地利用規制ごとに集合住宅の階数を設定し、集合住宅の発電量についてはその階数で除することで、発電量の違いを考慮している。また、本研究で用いた日射量データは 1 時間ごとのデータであるため、より詳細な発電量の変動については考慮できていない点に留意が必要である。

次に、家庭内消費電力量については、1 世帯あたりの 1 日における家庭内消費電力量の全国平均値を用いた。その上で、街区特性や居住者特性を反映させるため、既存研究<sup>7)</sup>を参考に世帯人員別の電気代や世帯の職業構成等を踏まえた時間帯ごとの電力消費パターンを設定することで、各特性を考慮した分析を可能としている。ただし、本分析で設定した電力消費パターンは 1 時間ごとの需要変動を考慮するものであり、より詳細な需要変動までは考慮できていない点に留意が必要である。

そして、EV の性能については、2018 年モデルの日産リーフ<sup>14)</sup>の性能に準拠して設定した。本車種を選定した理由としては、環境省の次世代自動車ガイドブック<sup>15)</sup>における推奨する用途の項目において、普通乗用車の中で唯一「一般車と同等」と記載されており、また EV から家庭へ給電可能なシステムが既に搭載されていることが挙げられる。なお、本研究ではスマートグリッドが安定的に運用された状態での直流化効果を把握するために、1 日の開始時点で EV には最大容量に対し半量の充電量が充電されている状態で分析を行っている。

### (3) 電力自給率の算出

3.(2)で把握した電力需給より、各街区における電力自給率を算出することが可能となる。本研究において、グリッド内に供給される電力は太陽光パネル、EV、外部電力から供給される電力に限られ、このうち EV から供給される電力量は 1 日の開始時点における初期充電量と 1 日の終了時点における最終充電量の差分をとることで算出することが可能である。つまり、街区*i*における 1 日の電力自給率を $R_i$ とすると、 $R_i$ は以下の式(1)、式(2)で表される。

$$R_i = S_i / (S_i + V_i + O_i) \quad (1)$$

$$V_i = VF_i - VS_i \quad (2)$$

$S_i$  : 太陽光発電量[kWh/日]

$V_i$  : EV からの給電量[kWh/日]

$O_i$  : 外部電力からの給電量[kWh/日]

$VF_i$  : EV の最終充電量[kWh]

$VS_i$  : EV の初期充電量[kWh]

また、街区内における電力の需要と供給は一致するため、以下の式(3)が成り立つ。

$$S_i + V_i + O_i = H_i + VD_i + L_i \quad (3)$$

$H_i$  : 家庭内消費電力量[kWh/日]

$VD_i$  : EV 走行消費電力量[kWh/日]

$L_i$  : 電力ロス量[kWh/日]

ここで、 $S_i$ 、 $H_i$ 、 $VD_i$ はシナリオに拠らず固定値である。よって、電力ロス量が削減されると EV、外部電源からの給電量も変化するため、スマートグリッドの直流化効果が電力自給率にも表れることがわかる。

### (4) 電力コストの算出

3.(2)で算出した電力ロス量より、スマートグリッド直流化によって削減可能な電力コストを算出することが可能となる。本研究において、各シナリオにおける消費者側の電力消費量は不変である。つまり、電力ロスの削減はすなわち供給側が提供すべき供給電力の削減に等しい。よって、削減した電力ロス量だけ発送電する電力量が削減できるため、その電力量に対する発電コストおよび送電コストが削減可能であると考えられる。よって、1 年間に街区*i*で削減可能な電力コストを $C_i$ とすると、 $C_i$ は以下の式(4)で表される。

$$C_i = L_i \times (C_c + C_g) \times 365 \quad (4)$$

$C_c$  : 託送料金平均単価[円/kWh]

$C_g$  : 平均発電単価[円/kWh]

なお、 $C_c$ 、 $C_g$ は既存調査<sup>16)</sup>を参考に、国内の平均値( $C_c = 8.68$ 、 $C_g = 11.5$ )を設定している。よって、算出される削減電力コストは電力ロスの削減量に比例した値となる。

## 4. 分析結果

### (1) 電力ロスに対する直流化効果

各街区の直流化による電力ロス量の削減効果について、分析結果を図-5 に示す。図中の赤+橙+濃青+青の棒グラフで示される電力ロス量が直流化前(シナリオ a))に生じていた電力ロス量を示しており、赤、橙、濃青の棒グラフが各シナリオの変化で削減した電力ロス量を示している。この図より、スマートグリッド直流化による電力ロ

ス削減効果の意義について考察を行う。ただし、以後「直流化」とは、特筆のない限り AC グリッド(シナリオ a))から DC グリッド(シナリオ d))に変化させることを指す。また、この図では直流化による電力ロスの削減量が大きい街区を上から順に並べている。

- 1) 図-5 より、直流化による電力ロス量の削減効果は最大で 2.2kWh/世帯、最小で 0.31kWh/世帯と、街区によって最大で約 7 倍もの差があることがわかった。このことから、スマートグリッドの直流化については、導入する街区の適性を踏まえて十分に検討する必要があることが明らかになった。一方、削減された電力ロス量は、最も大きい街区(IV 住)で AC グリッド時に生じていた電力ロス量の 74.8%を削減しており、適した街区では直流化による電力ロス量の削減効果が十分に大きいことがわかった。
- 2) 図-5 より、直流化によって電力ロス量が最も大きく削減されているのは、シナリオ b)とシナリオ c)の間で変化させたときであることがわかった。つまり、直流化効果に最も大きな影響を果たしている要因は、グリッド自体に利用する電力を直流電力とすることであると言える。スマートグリッドの直流化を行う場合、家庭内まで完全直流化を行うためには各家庭の家電などの買い替えが必要となり、負担が大きい。そのため直流化を行う初期の段階では、家庭内は交

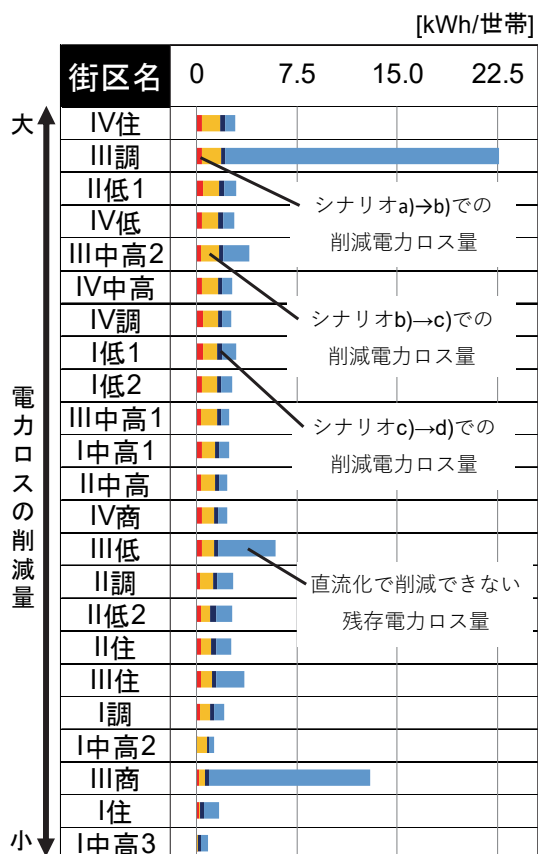


図-5 街区ごとの電力ロス量削減効果

流を維持する可能性が高いことが考えられる。よって、シナリオ d)へ移行する前段階としてシナリオ c)への移行時期が存在すると考えられるが、この結果から、多くの街区では家庭内のみ交流を維持した場合においても、グリッドを直流化することの意義があると示された。

## (2) 電力自給率および電力コストに対する直流化効果

各街区の直流化による電力自給率の増大効果および電力コストの削減効果を図-6 に示す。この図より、直流化による電力ロス削減がスマートグリッド内での再エネ活用、および電力コスト削減にもたらす効果について考察を行う。

- 1) 図-6 より、直流化による電力自給率の増大効果は最大で 6.3%，最小で 0.1%と大きく差があることがわかった。このことから、電力ロスの削減効果と同様に街区の適性を踏まえた上で導入を検討する必要性が改めて示された。一方、電力自給率が增大することはスマートグリッド内の電力需要を再エネが担う割合が増大することと同義であるため、最大で6.3%の増大効果が見込めるスマートグリッドの直流化は有意義なものであると言える。
- 2) 図-6 より、直流化による電力コストの削減効果は最大で年間 1.6 万円/世帯、最小で年間 0.2 万円/世帯であるとわかった。つまり、最も効果の大きい街区では年間でおおよそ 1.5 ヶ月分の電気料金収入を余分に得ることができ、直流化によってスマートグリッド内で生じる発送電コストを抑える効果も十分に得ることができるとわかった。一方で、街区によっては直流化による発送電コストの削減効果をほとんど得られない街区もあり、導入する街区の適正を踏まえた上で検討する必要性がここでも示されたと言える。

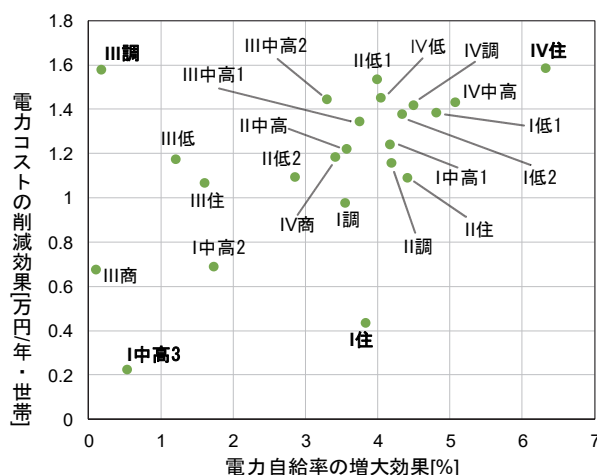


図-6 街区ごとの電力自給率・コストへの直流化効果





図-7 街区例(Ⅳ住)



図-9 街区例(Ⅲ調)



図-8 街区例(Ⅰ中高3)



図-10 街区例(Ⅰ住)

- 3) 1), 2)を踏まえると、直流化による効果は、再エネ活用の面と電力コスト削減の面の2つの効果があることがわかる。ここで図-6を見ると、Ⅳ住(図-7)のような図-6の右上に位置する街区では再エネ活用、および電力コスト削減の両面において直流化効果が大きい街区であり、反対にⅠ中高3(図-8)のような図-6の左下に位置する街区では再エネ活用、および電力コスト削減の両面において直流化効果が小さい街区であるとわかる。一方で、図-6から一般に再エネ活用の面と電力コスト削減の面における直流化効果は比例関係にある街区が多いことがわかるが、Ⅲ調(図-9)のように再エネ活用の面で直流化効果が小さいものの電力コスト削減の面では直流化効果が大きい街区や、Ⅰ住(図-10)のように再エネ活用の面で直流化効果が大きいものの電力コスト削減の面で直流化効果が小さい街区も存在していることがわかる。よって、直流化の導入については、街区ごとに得られる直流化効果を複合的に検討した上で、導入街区を検討する必要があると言える。

### (3) 直流化効果と街区特性の関係

分析対象街区の街区特性と、直流化による電力ロスの削減量および電力自給率の増加率に対する相関係数を図-11に示し、直流化効果に対してどのような街区特性が影響しているのか、考察を述べる。なお、図-11につい

ても、図-5と同様に電力ロスの削減量が大きかった街区を上から順に並べている。

- 1) 図-11より、EV保有台数が多く、戸建住宅の占める割合が大きい街区ほど、直流化によって電力ロスが削減されることがわかった。このような結果が得られる理由としては以下の点が挙げられる。まずEV保有台数については、EV台数が多いほどEVと家庭で電力のやり取りが多くなるため、直流化によるロス削減効果が大きくなることが考えられる。次に戸建住宅の占める割合については、戸建住宅は集合住宅に比べ太陽光発電量が多く、太陽光パネルから住宅への給電量も多くなるため、直流化による電力ロス量の削減効果が増大したことが考えられる。
- 2) 図-11より、直流化による電力自給率の増大効果が大きい街区は、直流化前の電力自給率が高い街区であることがわかった。このような結果が得られる理由としては、3.(3)で言及したように電力ロス量の削減効果は電力自給率 $R_i$ の分母に対してのみ表れるため、上記のような結果が得られたと考えられる。よって、再エネの導入ポテンシャルが高い地域などの電力自給率が高い街区ほど、直流化によって更に再エネを活用可能であると言える。
- 3) 1)の結果について、図-7～図-10の街区例から確認すると、地方部で自動車保有台数が多く、戸建住宅の占める割合が大きい街区であるⅣ住とⅢ調におい

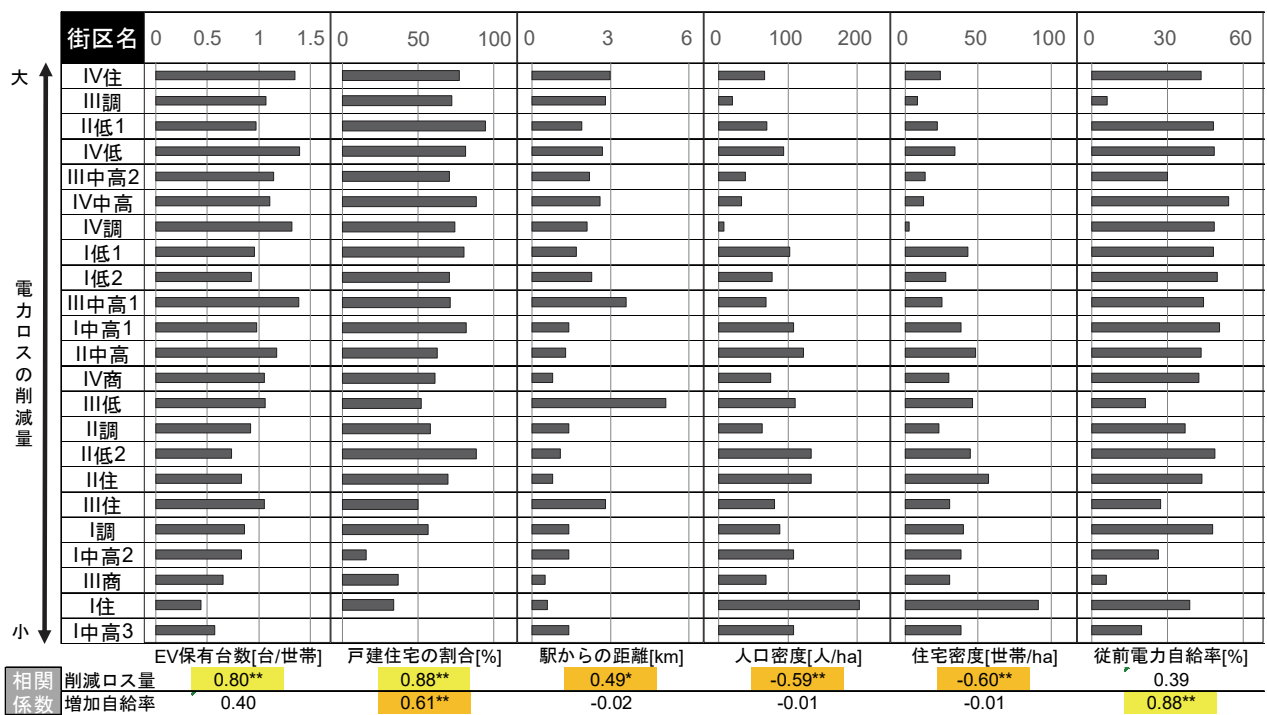


図-11 街区特性および直流化効果との相関係数

て電力ロスの削減効果が大きく、大都市圏で自動車保有台数が少なく、集合住宅の占める割合が大きい街区である I 中高 3 と I 住において電力ロスの削減効果が小さいことが確認できる。一方、IV 住と III 調、および I 中高 3 と I 住の電力ロス削減効果はほぼ等しいが、電力自給率の増大効果については大きく異なる結果となっている。これは 2) で示したとおりであり、似た特性を持つ街区であっても、再エネの導入ポテンシャルなどによる電力自給率の違いから直流化効果に差が生じていることがわかる。

## 5. おわりに

本研究の分析結果から、1)スマートグリッドの直流化によって電力ロスを最大で 74.8%削減することができること、2)電力ロスの削減によって電力自給率を最大で 6.8%向上させることができ、同様に電力コストも最大で年間 1.2 万円/世帯削減できること、3)地方部の住宅地など、EV 保有台数が多く戸建住宅の占める割合が大きいような街区において電力ロスの削減効果が大きく、直流化前の電力自給率が高い街区ほど電力自給率の増大効果が大きいことがわかった。なお、本研究では直流化によって電力ロスの削減を図っているが、交流電力を用いる場合でも、技術的な改良によって電力ロスを削減できる可能性がある。本研究の結果はあくまで直流化の効果を明らかにしたものであり、交流電力の活用を否定するも

のではないことに留意されたい。

更に、本研究ではスマートグリッド直流化の効果を電力ロス量、電力自給率および電力コストを用いて評価したが、電力自給率の向上は、発電電にかかる電力量を減らすことによる低炭素化効果や、電力需給を街区内で完結し、外部電源に頼らないマイクログリッドの達成などにも貢献するため、これらについても直流化による効果を分析することで、スマートグリッドの直流化によるメリットをより広範に把握することが可能となる。

一方、本研究はスマートグリッドの直流化による効果を把握するに留まっており、実際の導入に必要なコストの大小を踏まえた直流化の実現可能性については考慮できていない。近年では高度経済成長期に整備された電力インフラの更新に関する議論が行われており、現在の交流電力ベースである電力インフラも更新が必要な時期がくるため、その時期に合わせて直流化を行うことで導入コストを抑えることは可能であると考えられる。しかし、その詳細なコストを踏まえた上での直流化の実現可能性については、今後検討が必要である。

また、本研究における分析は住宅地における 1 日間の直流化効果の把握に留まっており、オフィス、工場といった住宅地以外の土地利用や、長期における天候変動については考慮できていない。更に、本研究では電力ロスの削減率をすべての街区において一定値で設定しており、街区ごとに異なる住宅間の距離や外部電源から街区までの送電距離に応じて生じる電力ロスについては考慮できていない。その他 EV についても、本研究では EV を家

庭に接続して家庭内の需要にのみ電力を供給する Vehicle-to-Home の状態を前提としており、EV からグリッドへの電力供給を可能とする Vehicle-to-Grid の状態については検討していない。これらの更なる検討事項について考慮した分析を行っていくことが、今後の課題である。

**謝辞：**本研究は(株)トヨタ自動車との共同研究「これからの社会システムとモビリティのありかた研究」の一環として実施した。また、本研究を進めるにあたり、金沢工業大学の泉井良夫氏に有益な助言をいただいた。記して謝意を表する。

#### 参考文献

- 1) 経済産業省：エネルギー白書 2018, <http://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/>, 最終閲覧 2019.6.
- 2) 経済産業省：次世代エネルギー・社会システム協議会, <http://www.meti.go.jp/committee/summary/0004633/>, 最終閲覧 2019.6.
- 3) 落合淳太, 中川喜夫, 松橋啓介, 谷口守：全国の市区町村における太陽光発電による電力自給自足の潜在的可能性－居住地でのスマートグリッド導入を踏まえ－, 環境システム研究論文集, Vol. 41, pp. 217-225, 2013.
- 4) 東京電力ホールディングス：東京電力ホールディングスと NTT の業務提携について～社会的要請に資する協業事業の創出に向けた共同出資会社の設立～, [http://www.tepco.co.jp/press/release/2018/1486271\\_8707.html](http://www.tepco.co.jp/press/release/2018/1486271_8707.html), 最終閲覧 2019.6.
- 5) 谷口守, 落合淳太：住宅街区特性から見たスマートグリッド導入適性, 不動産学会誌, Vol. 25, No. 3, pp. 100-109, 2011.
- 6) 谷口守, 落合淳太：住宅街区のスマートグリッド導入適性に技術革新が及ぼす影響, 不動産学会学術講演会論文集, No. 28, pp. 29-38, 2012.
- 7) 杉本峻佑, 谷口守：水素社会における電力地産地消の可能性－住宅街区でのスマートグリッド導入を踏まえ－, 不動産学会学術講演会論文集, No. 33, pp. 13-20, 2017.
- 8) 湯浅一史, 植嶋美喜, 馬場崎忠利：電力エネルギー自家消費率を考慮した直流給電方式の適用優位領域に関する検討, 電気設備学会 論文誌, Vol. 38, No. 5, pp. 30-38, 2018.
- 9) Rauf, S., Wahab, A., Rizwan, M., Rasool, S. and Khan, N. : Application of DC-grid for efficient use of solar PV system in smart grid, *Procedia Computer Science*, Vol. 83, pp. 902-906, 2016.
- 10) 清水磨美, 尹奎英, 酒居新治：直流給電システムを用いた建築物エネルギー供給システムの効率化に関する研究 (第1報) 直流給電システムの住宅への適用性検討, 空気調和・衛生工学会大会 学術講演論文集, Vol. 9, pp. 121-124, 2016.
- 11) 中道久美子, 谷口守, 松中亮治：交通環境負荷低減に向けた都市コンパクト化政策検討のためのデータベース「住区アーカイブ」の構築, 土木学会論文集 D, Vol. 64, No. 3, pp. 447-456, 2008.
- 12) 東北発 素材技術先導プロジェクト：送電ロスとは…, <http://nanoc.imr.tohoku.ac.jp/column.html>, 最終閲覧 2019.6.
- 13) NEDO：日射量データベース閲覧システム, <https://www.nedo.go.jp/library/nissharyou.html?from=b>, 最終閲覧 2019.6.
- 14) 日産：日産リーフ Web カタログ, <https://www3.nissan.co.jp/vehicles/new/leaf.html>, 最終閲覧 2019.6.
- 15) 環境省：次世代自動車ガイドブック 2017-2018, <http://www.env.go.jp/air/car/vehicles2017-2018/index.html>, 最終閲覧 2019.6.
- 16) 資源エネルギー庁：事業環境の変化を踏まえた料金改定手続について, [http://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku\\_gas/denryoku\\_gas/pdf/004\\_08\\_00.pdf](http://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/denryoku_gas/pdf/004_08_00.pdf), 最終閲覧 2019.6.
- 17) 日本エネルギー経済研究所：電源別発電コスト評価の概要と主要な論点, <http://www.ponpo.jp/2016WS/pdf/20160919-3.pdf>, 最終閲覧 2019.6.

(Received June 21, 2019)

(Accepted January 14, 2020)

## VERIFYING DC SMART GRID EFFECTS BASED ON RESIDENTIAL AREA CHARACTERISTICS

Keisuke ICHII, Isamu TAKAHARA and Mamoru TANIGUCHI

In recent years, renewable energy is spreading rapidly. Smart grids are expected to make effective use of distributed power sources. However, the power associated with photovoltaics and electric vehicles, which are important smart grid elements, is direct current (DC). Power losses occur during conversion to and from alternating current (AC) power used for the power grid and businesses and residences. Nevertheless, no report of the relevant literature describes a study verifying smart grid effects, particularly addressing power loss. Therefore, in this study, we analyzed the power supply and demand of a residential area in which a smart grid is assumed to exist. We verified the DC smart grid effects by calculating the power loss and power self-sufficiency rate that occur in AC and DC smart grids. Results show that 1) the power loss can be reduced by a maximum 74.8% by a DC smart grid and 2) a DC smart grid is suitable for residential areas with many vehicles and detached homes owned by residents.