

サテライト型スマートタウンへの電力の運び方—電気自動車が電線を代替する可能性—

Transporting power to “satellite smart towns”

— Electric vehicle augmentation and replacement of electric grid transmission —

一井 啓介*・御手洗 陽**・谷口 守***

Keisuke Ichii*, Akira Mitarai** and Mamoru Taniguchi***

Recently, smart towns have been studied for their use of distributed power sources, but most must confront the difficulty of power shortages in towns served by grid power. For this study, to realize a "satellite-type smart town" that can cover the shortage of power from distributed power sources that are distant from the city, we examined reduction of transport power costs from distributed power sources to a town using electric vehicles instead of relying upon utility grid resources. Result indicate the following. 1) The possibility is high for replacement in a town that is about 8 km distant from distributed power sources and which has fewer than 100 households. 2) Technology innovation such as the use of direct current power can increase the possibility considerably. 3) Low-cost electric vehicles are more likely to be feasible than vehicles with high energy storage capacity.

Keywords: smart town, electric vehicle, distributed power sources, transport power

スマートタウン、電気自動車、分散型電源、電力輸送

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、太陽光発電を主とする大型の分散型電源の整備が進んでいる¹⁾。一方、再エネの大量導入を図る場合、既存の系統電力は火力発電などの大規模電源と需要地を結ぶ形で形成されているため、送電容量が不足することが懸念されており²⁾、再エネの出力制限が実施される事態が既に生じている³⁾ことから、従来の電力インフラの在り方では限界がある。

そこで我が国では、近接した分散型電源を活用して住宅地などの電力需要を賄う「電力地産地消」を図るスマートタウンの実証実験が既に行われている⁴⁾。これらの実証実験では、電力を消費する地区と分散型電源や蓄電池などを、電力会社が有する電線とは別に自治体などが自ら敷設する電線(以下、「自営線」)によって接続し、スマート技術を用いて電力需給をコントロールすることで電力地産地消を実現している。しかし、これらの実証実験では、全ての電力需要を再エネで賄える事例はごく僅かであり、不足する電力は依然として従来の系統電力に依存している。今後再エネの更なる活用を目指す上ではスマートタウンの系統電力依存を解消することが重要であるが、地区から離れた分散型電源を活用して電力需要を賄おうとする場合、電力を運ぶために必要な自営線の敷設・維持コストが増大してしまうことが課題となる。

一方、多くの実証実験では、今後普及が見込まれる電気自動車(以下、「EV」)に蓄電池としての役割が期待されている。しかし、EVは可動性を有するため、蓄電した電力を輸送することも可能である。そのため、分散型電源と地区が離れている場合にも、図-1のようにEVが電力輸送を行うことで、自営線を敷設せずにスマートタウンで不足する電

力を賄うという代替案が存在する。これは電力インフラの在り方を大きく変える大胆な着想である。一見荒唐無稽と思われるかも知れないが、近年のEVの飛躍的な性能向上や、太陽光発電やEVとの親和性が高い直流給電の活用も検討されている⁵⁾。何より物理的な面から送電部門の実質的な自由化に直結し、制度面から再エネの利用が一気に広がることを期待される。その可能性を吟味しておく価値のある革新性の極めて高い課題といえる。

本研究では、離れた分散型電源から不足電力を賄うスマートタウンを「サテライト型スマートタウン(以下、「SST」)」と定義し、従来当然の前提であった自営線に代わり、EVが日常的な電力輸送手段として活用される可能性をコスト面から検証することを目的とする。具体的には、実際のEVや蓄電池の性能を基に電力輸送に必要なEV台数を把握し、

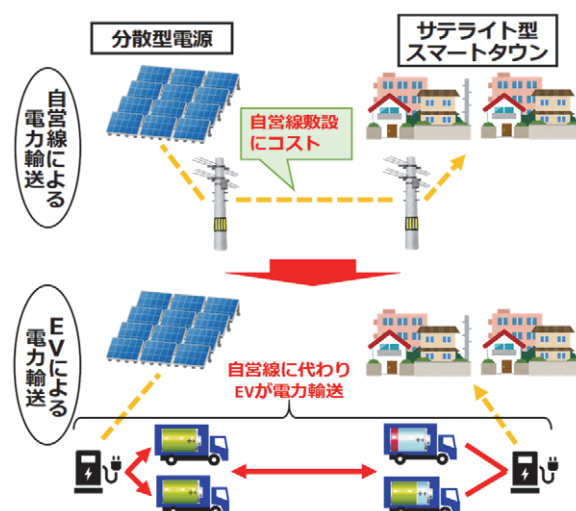


図-1 SSTへの電力輸送イメージ

* 正会員 独立行政法人都市再生機構 (Urban Renaissance Agency)

** 学生会員 筑波大学大学院 システム情報工学研究科 (University of Tsukuba)

*** 正会員 筑波大学 システム情報系 (University of Tsukuba)

電力輸送にかかるコストを自営線の場合と比較する。これを世帯数などの地区条件や直流電力活用といった電力インフラ条件ごとに行うことで、SST への電力輸送における EV の活用可能性に関するフィージビリティを示す。

2. 研究の位置づけ

2.1 既存研究のレビュー

スマートタウンに着目した研究は多く見られ、全国の住宅地を対象に電力地産地消の潜在的可能性を検討した研究⁹⁾や地域特性ごとに導入すべきエネルギーシステムを検討した研究⁹⁾、新規開発されたスマートタウンのエネルギー性能評価を行った研究⁷⁾、スマートタウン内の直流給電が電力地産地消に及ぼす影響をみた研究⁸⁾など、技術革新まで見据えた様々な検討が行われている。しかし、これらは不足電力を系統電力から賄う従来のスマートタウンに関する研究であり、地区から離れた分散型電源まで活用して電力を賄う SST に関する検討はされていない。一方、島嶼部を対象に島全体で再エネ活用を検討した研究⁹⁾なども存在するが、対象地域が限定的であるため一般の地区に適用可能な分析とはなっていない。

また、EV を活用した電力輸送については、公共 EV バスを活用して分散型電源から充電ステーションに電力を分配することを検討した研究¹⁰⁾や、実際の交通量データを基に通過交通によって輸送可能な電力量を明らかにした研究¹¹⁾など、近年になって蓄積がなされている。しかし、これらの検討はあくまで EV のトリップに付随して得られる電力輸送の検討であり、電線を代替する目的で EV の活用を検討した研究は行われていない。

2.2 本研究の特長

2.1 のレビューを踏まえ、本研究の特長を以下に示す。

- 1) 電線による送電が当たり前と考えられている電力輸送について、EV による代替可能性というこれまでにない観点から分析を行った極めて新規性の高い研究である。
- 2) 系統電力に頼らない「サテライト型スマートタウン」の概念とその成立可能性を検討した有用性の高い研究である。
- 3) 電気自動車による電力輸送により、送電部門の自由化を物理的に明確化することで、再エネの利用促進が一層進み、低炭素化推進にもつながる発展可能性を有する研究である。

3. 分析の前提条件

3.1 想定する電力輸送

本研究では、SST で不足する電力を離れた分散型電源から輸送することを想定した上で、自営線に代わる電力輸送手段として EV の活用可能性を検討する。ここで、実際の様々な地区に適用可能な分析とするため、本分析は SST の「世帯数」および分散型電源から SST までの「電力輸送距離」の2変数によって定まる仮定の地区において検討を行うこととした。なお、世帯数は丁目レベルの地区を想定して 500 世帯を最大値として設定した。また、SST は電力

地産地消の達成が目的であるため、長距離の電力輸送を行うことは想定していない。そこで本研究では、SST と分散型電源は同一市町村内にありと仮定し、電力輸送距離の最大値を 20km と設定した。なおこの値は、国土地理院が示す全国市町村面積¹²⁾の平均値 219.24 より、市町村面積を正方形とした場合の対角線距離を計算することで算出した。

更に、本研究では今後起こりうる電力インフラの変化を踏まえた検討が行えるよう、複数のシナリオを設定した。そのシナリオと設定した条件を表-1 に示す。ここで電力自給率とは、SST の電力需要のうち従来のスマートタウンと同様に家庭用太陽光発電などの活用で賄える割合のことを指す。本研究では SST 内で全く発電が行われていない 0%、および SST 内である程度の電力地産地消が行われている 50%、90% の 3 パターンを設定しており、ここで賄えない不足電力が離れた分散型電源から輸送する電力となる。次に給電電力とは、SST 内の給電に用いられる電力であり、従来からの交流電力(AC)を利用する場合と、再エネ・EV との間で電力変換が不要なため EV による電力輸送コストの削減が期待できる直流電力(DC)を利用する場合の 2 パターンを設定した。既存研究¹³⁾を参考に変換時に生じる電力ロス率を 10% と設定することで、変換過程で生じるロスの影響まで考慮した分析を行っている。なお、分散型電源は DC 利用を想定しており、SST 内で DC を利用する場合は家庭内の家電なども直流給電に対応している状況を想定する。

3.2 電力輸送に用いる EV

本研究で電力輸送に用いる EV(以下、「電力輸送 EV」)は、貨物用 EV に蓄電池を積載して運用することを想定している。ただし、近年の EV や蓄電池の性能向上は目覚ましく、本研究で想定する電力輸送が行われるまでもに様々な技術革新が生じることが予想される。そこで本分析に用いる電力輸送 EV は、既存の貨物用 EV 3 車種や蓄電池の性能を踏まえつつ、NEDO¹⁴⁾が「ガソリン車並みの走行性能を有する普及価格帯の電気自動車」を開発する目標年として設定している 2030 年を基準として、表-2 に示す性能を設定した。

既存の貨物用 EV は、積載量の小さい順に三菱自動車の MINICAB-MiEV¹⁵⁾、日産自動車の e-NV200 バン¹⁵⁾、三菱ふそうの eCanter¹⁶⁾を選定した。これらの EV は既に走行用の蓄電池が積載されているが、本研究の電力輸送 EV は更に各車両の荷室に蓄電池を積載し、それらの蓄電池を走行・

表-1 分析シナリオと電力インフラ条件

シナリオ	給電電力	電力自給率
a) SST 内電力地産地消 0%	AC	0%
b) SST 内電力地産地消 50%		50%
c) SST 内電力地産地消 90%		90%
d) シナリオ a+SST 内直流給電	DC	0%
e) シナリオ b+SST 内直流給電		50%
f) シナリオ c+SST 内直流給電		90%

表-2 想定する電力輸送 EV の性能

電力輸送EV	蓄電容量	車両価格	走行電費
MINICAB-MiEV	90[kWh/台]	1991[千円]	2.62[km/kWh]
e-NV200バン	130[kWh/台]	3754[千円]	2.22[km/kWh]
eCanter	518[kWh/台]	18120[千円]	0.64[km/kWh]

充放電用に利用できる状態を想定している。また積載できる蓄電池の容量は、既存のコンテナ型蓄電池¹⁷⁾の性能から 1m³あたりの蓄電容量を算出した上で各車両の荷室容量に乘じ、更に NEDO の目標値¹⁴⁾より 2 を乗じることで算出している。なお、電力輸送 EV の走行電費は各車両の性能を基に、エアコンの使用や走行環境による電費低下を考慮するため、安全率として土木工学の道路設計等で一般的に用いられる 3 を設定した上で算出している¹⁸⁾。

また、本分析における電力輸送では、分散型電源から電力輸送 EV への充電、および電力輸送 EV から SST への放電が行われるが、この電力輸送 EV の充放電性能は電線と異なり限度があるため、その設定を行う必要がある。電力輸送 EV への充電については、急速充電規格の CHAdeMO¹⁹⁾が既に 150kW での充電を可能としており、今後更なる性能向上が見込まれている。一方で、EV からの放電については技術開発が十分に進んでおらず、2017 年時点で CHAdeMO でも 30kW での放電が最大となっている。しかし、今後分散型電源や EV の普及によって EV をグリッドに接続する V2G の重要性はますます高まることが予想され、その際には EV からの放電性能向上も見込まれる。よって、本研究では電力輸送 EV の充放電性能をともに 150kW と設定して分析を行っている。

4. 分析方法

4.1 必要な電力輸送 EV 台数の算出

SST への電力輸送に必要な電力輸送 EV 台数を算出するため、本分析では SST の不足電力と電力輸送 EV の充電量の推移を 1 分単位で把握し、1 日における SST の不足電力を賄うことができる最小限の電力輸送 EV 台数を明らかにする。その算出フローを図-2 に示す。なお、図中の「EV」とは全て電力輸送 EV を指す。また本分析では、電力輸送に必要な最小限の電力輸送 EV 台数を算出するため、必要な電力輸送 EV 台数の初期値を 2 台に設定した上で、条件が満たされるまで台数を 1 台ずつ増やして分析を行うことで、必要最小限の電力輸送 EV 台数を算出している。初期値を 2 台としている理由は、本分析において電力輸送 EV は給電時には SST の配電網に接続する V2G の状態となるため、蓄電量が減り充電が必要となった際に、代わりに配電網に接続する電力輸送 EV が必要となるためである。更に本分析では、1 日の開始時点における電力輸送 EV の充電量によって生じる必要台数の変動を考慮するため、1 日のみの分析ではなく 30 日分の繰り返し計算を行い、算出結果を収束させることで、電力輸送 EV 充電量の初期設定

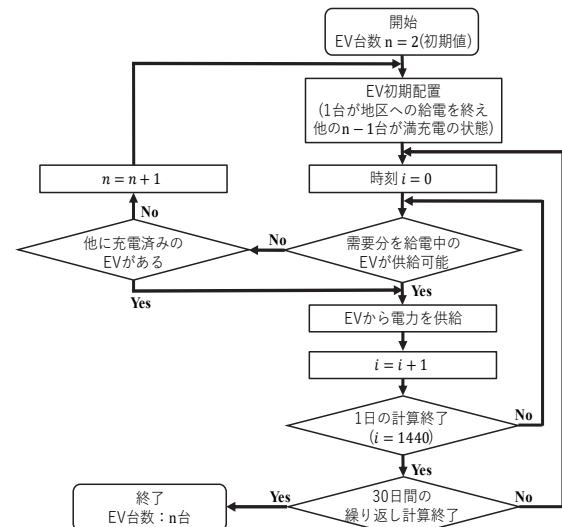


図-2 必要な電力輸送 EV 台数の算出フロー

によって必要台数が過小推計されることを防いでいる。

ここで、時刻*i*における SST の不足電力 P_i は、設定される地区条件に基づき、家庭内の電力需要と自家用 EV の電力需要の和から算出される。その算出式を式-1 に示す。

$$P_i = \{\bar{D}/(1-L) + D_{Eh}/E_{Eh} \cdot N_{Eh} \cdot r_{Eh}\} \cdot N_h \cdot (1-R) \cdot r_i \quad (1)$$

\bar{D} : 全国の 1 日 1 世帯あたり平均電力需要[kWh]

L : 電力輸送時に生じる電力ロス率

D_{Eh} : 世帯 EV の 1 日あたり走行距離(19.4)[km]²⁰⁾

E_{Eh} : 自家用 EV の走行電費(8.33)[km/kWh]²¹⁾

N_{Eh} : 1 世帯あたりの世帯 EV 保有台数(1.069)[台]²²⁾

r_{Eh} : 自家用 EV の普及率(0.25)²³⁾

N_h : SST の世帯数[世帯]

R : 電力自給率

r_i : 1 日に占める時刻*i*での電力消費割合

ただし、 \bar{D} は年間都道府県別家庭内消費電力量²⁴⁾より 16.3kWh と設定し、 r_i については既存研究⁸⁾を参考に、平均的な世帯における 1 時間ごとの電力消費割合を設定した。また、自家用 EV とは各世帯が所有する個人トリップ用の EV である。本研究が想定する社会では EV が十分に普及していることが考えられるため、自家用 EV についても、その充電需要まで考慮した分析を行っている。なお、本研究は SST の成立可能性を把握することが目的であるため、一般的な世帯で構成される SST を想定し、世帯の消費電力量に平均値である \bar{D} を用いている。このため、例えばエアコン消費量が多い地域などでは、本分析結果よりも P_i が過大となる可能性がある点に留意が必要である。また、本研究ではスマート技術が十分に発達した社会を想定しているため、SST で生じる電力需要は既に導入へ向けた取り組みが進められているディマンドリスポンス²⁵⁾によっておよそ

均等化され、1 時間単位で変動するものと仮定している。そのため、平均的な世帯における 1 時間ごとの電力消費を把握することで、SST 全体における 1 日の電力需要変動を踏まえた P_i が算出可能となる。ここで、実際のダイヤモンドリスポンスの性能や地区の特性などによっては、1 時間未満の短時間においても電力需要が変動し、本分析結果よりも P_i が過大となる可能性がある点に留意が必要である。

また、電力輸送 EV から SST に給電可能な電力を全て給電した際には、電源まで移動した後、充電を行う。具体的には、電力輸送 EV の充電量が電源までの移動に必要な最低限の充電量に達した際、その時刻から電源までの往復時間および電力輸送 EV の充電時間が経過した後、再び当該の電力輸送 EV から SST への給電を可能とする。このとき、電力輸送 EV が再び給電可能となるまでの時間 T と電力輸送 EV が SST に給電可能な電力量 B_{SEp} は以下の式-2、式-3 から算出される。

$$T = (d \cdot 2 / S_{Ep} + B_{Ep} / s) \cdot 60 \quad (2)$$

$$B_{SEp} \cong B_{Ep} - d \cdot 2 / E_{Ep} \quad (3)$$

d : 電力輸送距離[km]

S_{Ep} : 電力輸送 EV の平均旅行速度[km/h]

B_{Ep} : 電力輸送 EV の蓄電容量[kWh]

s : 充放電器の給電性能[kW]

E_{Ep} : 電力輸送 EV の走行電費[km/kWh]

なお、 S_{Ep} の値は既存調査²⁶⁾における一般道非混雑時の平均旅行速度より 35km/h と設定している。また、電力輸送 EV は電源と SST の間を自力で往復する必要があるため、 B_{SEp} は片道移動ではなく往復移動分の消費電力を除いた値が計算される点に留意が必要である。

以上の計算を基に、図-2 に示したフローに従って時間ごとの推移を分析することで、SST への電力輸送に必要な電力輸送 EV の台数が明らかになる。

4.2 電力輸送手段ごとの導入コストの算出

4.1 で把握した電力輸送に必要な電力輸送 EV 台数より、各電力輸送手段の導入コストを算出することが可能となる。

まず、自営線による電力輸送は、電線と電柱の導入コストによって算出できる。なお、実際の自営線による電力輸送では、電線と電柱の他にも様々な設備が存在している。しかし、それらは地域などの条件によってまちまちであるため、本分析では確実に必要な設備である電線と電柱のみを扱う。そのため、本分析で求める自営線による電力輸送の導入コストは実際に比べて過小評価される可能性がある点に留意が必要である。以上を踏まえた上で、自営線による電力輸送の導入コスト C_{lb} の算出式を式-4 に示す。

$$C_{lb} = d \cdot 1000 / d_s \cdot C_p + d \cdot 1000 \cdot C_l \quad (4)$$

d_s : 電柱の径間[m/本]

C_p : 電柱の単価[円/本]

C_l : 電線の単価[円/m]

ただし、 d_s は実際の設備基準²⁷⁾より 150m/本、 C_p および C_l については実際の公表値²⁸⁾よりそれぞれ 33,000 円/本、5,000 円/m と設定している。

次に、EV による電力輸送の導入コスト算出について説明する。EV による電力輸送では、電力輸送 EV の車両と積載した蓄電池、および電力輸送 EV の充放電に必要な充放電器が必要な設備となる。このことを踏まえ、EV による電力輸送の導入コスト C_{IEp} の算出式を式-5 に示す。

$$C_{IEp} = (C_{Epv} + C_B \cdot B_{Ep}) \cdot N_{Ep} + C_s \cdot (N_{SD} + N_{SO}) \quad (5)$$

C_{Epv} : 電力輸送 EV の車両価格[円/台]

C_B : 蓄電池の単価[円/kWh]

N_{Ep} : 電力輸送 EV の必要台数[台]

C_s : 充放電器の単価[円/台]

N_{SD} : SST に必要な充放電器台数[台]

N_{SO} : 分散型電源に必要な充放電器台数[台]

ここで、 C_{Epv} は表-2 に示す値を用いる。ただし、eCanter は車両価格が明らかにされていないため、eCanter と同型車である Canter の車両価格²⁹⁾と、標準搭載分の蓄電容量 (82.8kWh) に現在の蓄電池コスト 20,000 円/kWh を乗じた値の総和から算出している。また、 C_B は NEDO の目標値¹⁴⁾より 10,000 円/kWh、 C_s は既存調査³⁰⁾より現状の急速充電器の設置コストである 10,000,000 円/台と設定している。なお、本研究ではスマート技術が十分に発達した社会を想定しており、分析において電力輸送 EV は自動運転を想定している。自動運転車両では車両価格の増加が考えられるが、NEDO¹⁴⁾が技術革新により EV の車両価格がガソリン車と同等程度になると想定していることを踏まえ、自動運転車両についても車両価格は技術革新により現在と同等程度に抑えられると仮定して設定した。

また、 N_{SD} は以下の式-6 より求められる。なお、 N_{SO} については、4.1 の分析の中で、同時刻に電源で充電する EV 台数の最大値を把握することで値が求まる。

$$N_{SD} \cong D \cdot (1 - R) \cdot r_{imax} / s \quad (6)$$

D : SST における 1 日の電力需要[kWh]

r_{imax} : 時間帯別電力消費割合の最大値(0.07451)

s : 充放電器の給電性能[kW]

4.3 1 日あたり電力輸送コストの算出

4.2 では各電力輸送手段の導入コストを算出したが、日常的な電力輸送手段としての EV の活用可能性を検討する

ためには、導入後の維持管理まで踏まえた電力輸送コストを検討する必要がある。なお、本研究ではスマート技術が十分に発達した社会を想定しているため、自営線の保全技術のスマート化や EV の自動運転化などにより、各電力輸送の維持管理にかかるコストの低減が期待できる。そこで本分析では、設備の物理的な寿命である耐用年数のみを考慮し、設備更新時に必要となる導入コストを回収するための 1 日あたり負担額を維持管理コストとして算出することで、維持管理まで踏まえた電力輸送コストを検討している。なお、実際の電力輸送では、自営線・EV とともにそれらを制御するオペレーターコストが生じると考えられる。この点について、本分析では自営線と EV の電力輸送にかかるオペレーターコストは同程度であると仮定を置くことで、これらの値を相殺して検討している。

また、EV による電力輸送では走行時に電力を消費する他、電力輸送で生じる電力ロスが自営線と電力輸送 EV を用いる場合で異なるため、地区条件によっては運用中の電力ロスの影響が累積し、結果として電力輸送に必要な発電量が大きく異なる可能性がある。そのため、1 日の電力輸送を行うために必要な発電量にかかるコストについても把握することで、より詳細な電力輸送コストを検討している。

以上を踏まえ、維持管理まで踏まえた電力輸送にかかる 1 日あたりのコスト C_d の算出式を式-7 に示す。

$$C_d = \sum_j \{C_{ij}/(t_j \cdot 365)\} + \{D \cdot (1 - R) + G\} \cdot C_g \quad (7)$$

C_{ij} : 電力輸送設備 j にかかるインisialコスト[円]

t_j : 電力輸送設備 j の耐用年数[年]

G : 電力輸送そのものに必要な総発電量[kWh]

C_g : 平均発電単価[円/kWh]

ここで、 C_{ij} は 4.2 の算出結果であり、 C_g は既存調査³¹⁾を参考に国内平均値(11.5 円/kWh)を設定している。また、 t_j は国税庁が定める法定耐用年数や実際の使用状況を参考に、表-3 に示す値を設定した。具体的には、電力輸送 EV の車両については貨物自動車の平均車齢³²⁾より、蓄電池は NEDO の目標値¹⁴⁾より設定している。充放電器については、電気自動車等導入費補助事業で定められる処分制限期間³³⁾を参考に、貨物自動車の同値が平均車齢³²⁾の 1/2 であることを勘案し、充放電器の同値に 2 を乗じた値を設定した。

表-3 各電力輸送設備の設定耐用年数

輸送手段	電力輸送設備	耐用年数 t_j
EV	車両	10年
	蓄電池	15年
	急速充電器	16年
自営線	電柱・電線	36年

また、電柱・電線については法定耐用年数と同様の 36 年³⁴⁾としている。

更に、 G については次の式-8 から求められる。

$$G = D \cdot L / (1 - L) \cdot (1 - R) + N_{rEp} \cdot 2 \cdot d \cdot E_{Ep} \quad (8)$$

N_{rEp} : 電力輸送 EV の往復数

なお、 N_{rEp} は 4.1 の分析から把握できる。また、自営線による電力輸送を検討する際は $N_{rEp} = 0$ となる。

5. 分析結果

5.1 電力輸送 EV ごとの必要台数 (N_{Ep})

地区条件の異なる SST への電力輸送に必要な電力輸送 EV 台数 N_{Ep} について、分析結果を図-3～図-5 に示し、以下

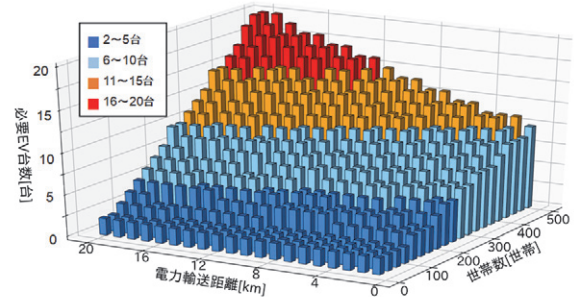


図-3 シナリオ a における N_{Ep} (MINICAB-MiEV)

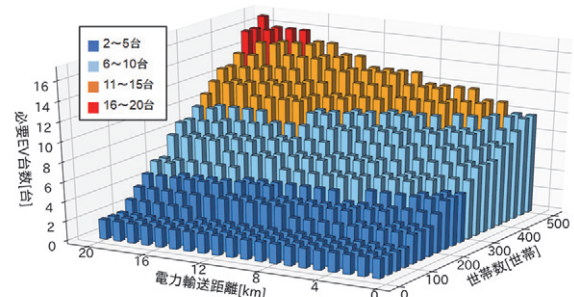


図-4 シナリオ a における N_{Ep} (e-NV200 バン)

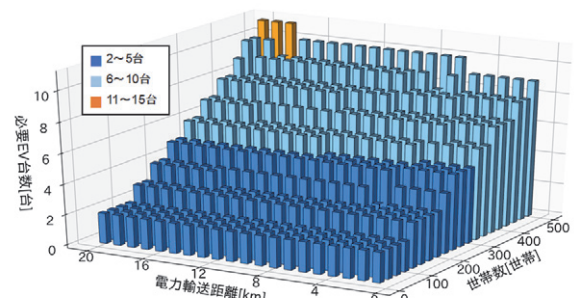


図-5 シナリオ a における N_{Ep} (eCanter)

で考察を述べる。ただし、ここでは N_{Ep} の上限値を明らかにするため、輸送する電力量が最大となるシナリオ a の分析結果のみを示している。

- 1) 図-3～図-5 より、電力輸送 EV の車種の違いから、地区条件によっては電力輸送 EV の必要台数に倍以上の差が生じることがわかった。一方、世帯数が少ない SST では車種の違いによる必要台数の差は生じておらず、蓄電容量の小さい電力輸送 EV で十分に運用が可能であることがわかる。
- 2) 図-3～図-5 より、世帯数の多い SST ほど電力輸送距離の増分に対する必要台数の変化が大きい傾向にあり、世帯数の少ない SST では電力輸送距離の増分に対する必要台数の変化が小さいことがわかった。よって、特に世帯数の少ない SST については、更に電力輸送距離が長い場合についても検討の余地があると言える。

- 3) 図-3 より、本分析で最も蓄電容量の小さい電力輸送 EV であっても、最小台数で運用可能な地区条件にはある程度の余裕がある。よって、世帯数が少なく分散型電源に近い SST では、本分析で用いた電力輸送 EV よりも更に蓄電容量の小さい電力輸送 EV による電力輸送も検討の余地があることが考えられる。

5.2 電力輸送手段ごとの 1 日あたり電力輸送コスト(C_d)

地区条件の異なる SST への電力輸送について、各地区条件で最小となる 1 日あたり電力輸送コスト C_d およびその電力輸送手段を示したグラフをシナリオごとに図-6～図-11 に示し、以下で考察を述べる。

- 1) 図-6 より、必要な電力輸送 EV 台数が最大となるシナリオ a でも、世帯数が 100 世帯未満かつ分散型電源から 8km 程度離れた SST では、EV 活用によって電力輸

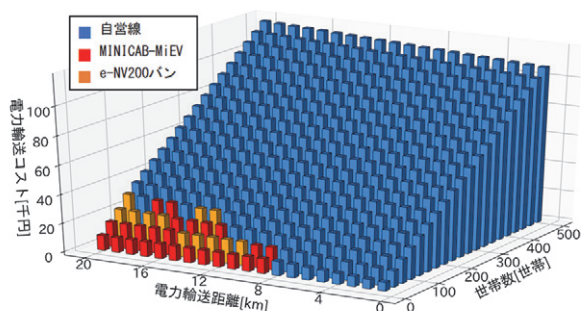


図-6 シナリオ a における最小 C_d および電力輸送手段

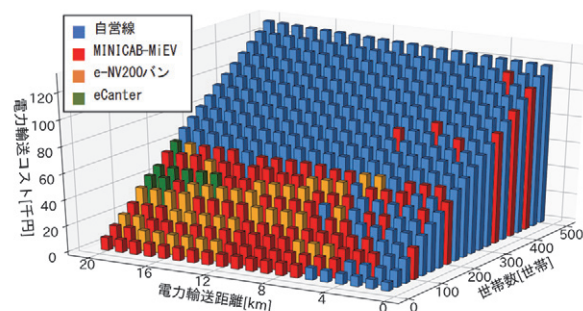


図-9 シナリオ d における最小 C_d および電力輸送手段

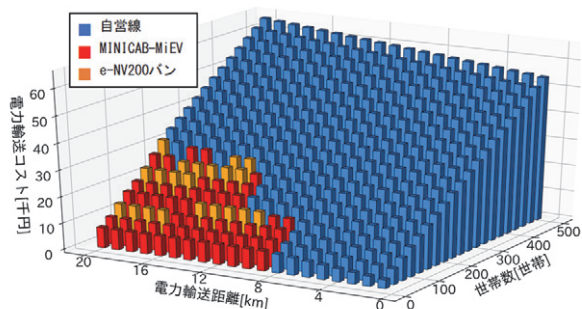


図-7 シナリオ b における最小 C_d および電力輸送手段

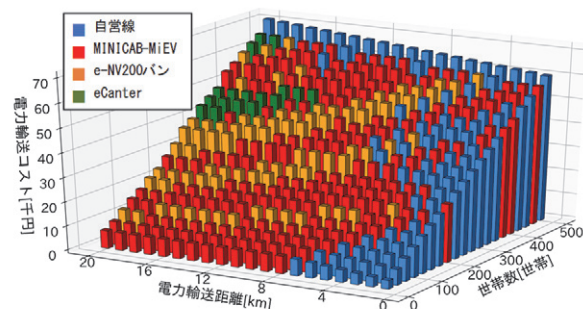


図-10 シナリオ e における最小 C_d および電力輸送手段

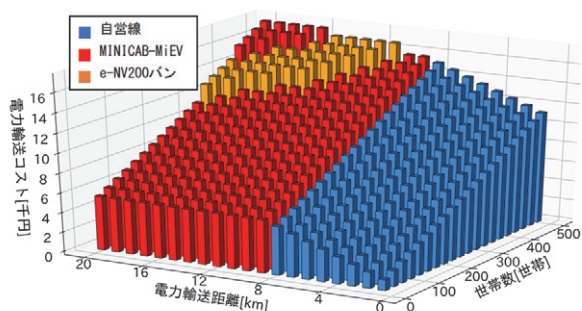


図-8 シナリオ c における最小 C_d および電力輸送手段

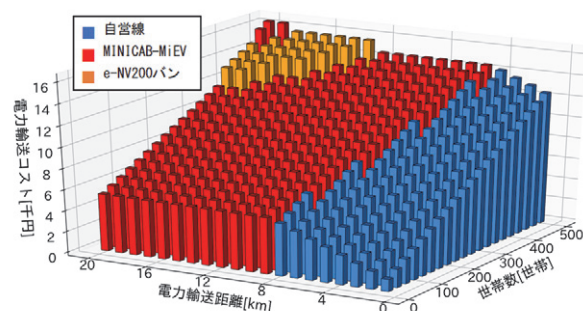


図-11 シナリオ f における最小 C_d および電力輸送手段

送コストが低減できることがわかった。よって、例えば中山間地域などの集落で、ある程度離れた場所に太陽光発電などの分散型電源がある場合などには、電力輸送に EV を活用することで SST にかかるコストを抑えることが期待できる。一方で、分散型電源に近い SST ではほとんどの条件下で電線による電力輸送コストの方が低くなっているが、これは短距離の電力輸送では自営線の敷設コストが抑えられるためと考えられる。

- 2) 図-6～図-11 より、世帯数の多い SST では電力自給率が高いほど、分散型電源に近い SST では給電電力が DC である場合、EV の活用によって電力輸送コストが低減できることがわかった。よって、今後の電力地産地消や直流電力の活用といった電力インフラに関する技術革新が進むほど、EV 活用で期待できる SST への電力輸送コストの削減効果が大きくなると考えられる。
- 3) 図-6～図-11 より、蓄電容量の小さい電力輸送 EV ほど活用可能性が高くなっていることがわかる。つまり、SST への電力輸送において EV 活用を検討する場合、むやみに蓄電容量の大きい電力輸送 EV を導入するのではなく、各地区条件で求められる性能に合わせて導入コストを抑えることが重要であると言える。
- 4) 図-6～図-11 より、EV による電力輸送コストが最小となっている SST でも、その電力輸送 EV の車種は地区条件によって細かく変動していることがわかる。これは図-3～図-5 でもわかるように、必要な台数・充放電器数が増える地区条件が車種によって異なるためである。よって、地区条件を把握した上でより様々な性能の EV による電力輸送を検討できれば、電力輸送コストを更に抑えられる可能性があると言える。
- 5) 図-9～図-11 より、SST 内の給電電力が DC のとき、電力自給率が小さい方が EV の活用によって電力輸送コストを低減できる場合があることがわかった。これは、分散型電源と SST の双方が DC である場合には、EV による電力輸送で生じる電力ロスが 0 となり自営線の電力ロスよりも小さくなるためであり、電力自給率が小さいほど電力ロスの影響が大きく出た結果であると言える。一方、電力自給率が小さい場合には電力輸送 EV の必要台数が増加し電力輸送コストが増大するため、給電電力が DC の場合でも、電力自給率が高い方が EV の活用によって電力輸送コストを低減できる場合があることがわかる。

6. おわりに

本研究では、今後再生可能エネルギーを活用する上で重要な課題となるスマートタウンの不足電力を賄う手段として、EV が自営線を代替する可能性を検証した。その結果、サテライト型スマートタウン(SST)への電力輸送について、1)本分析で設定した前提条件の下では、分散型電源に近い SST では自営線の電力輸送コストが低いこと EV の代替可能性は低い、分散型電源から 8km 程度離れた世帯数が

100 世帯未満の SST では、EV による電力輸送コストが自営線のそれを下回り、EV の代替可能性が示されたこと、2) SST 内の電力自給率向上や直流給電化など、電力インフラに関する技術革新が進むことで EV 活用によるコスト低減の期待も高まること、3)蓄電容量の大きい電力輸送 EV よりも低コストの電力輸送 EV の方が活用可能性は高いことなどがわかった。

本研究の成果より、自営線に代わり EV が電力輸送を担うことで、SST への電力輸送にかかるコストを削減できるケースが存在し、そのような着想がもはや常識とは言えないことが示された。あわせて、送電分離により再エネ利用を物理的に促進する契機となりえることが示唆された。

なお、今回の試算では SST 内の電力需要量を算出する上で全国平均値を用いている他、電力需要変動についても 1 時間単位と大まかな精度での分析としているため、具体的な地区に適用するにはより詳細な値を用いて検討を行う必要がある。また対象としている EV や蓄電池、充放電器の技術革新の進捗状況には不確実性が存在するため、その将来値は本設定より過大・過小となる両方の可能性が排除できない点についても留意が必要である。更に電力輸送 EV の自動運転にかかる車両コストおよびオペレーションコストについて、本研究では NEDO¹⁴⁾が示す EV の技術開発目標と同様に、自動運転車も技術革新によって十分コストが抑えられると仮定しているため、実際にはコストがより過大となる可能性がある点に注意が必要である。いずれにしても、今後の変化を踏まえたより正確な条件を与えた上で、継続的に SST への電力輸送手段として EV が活用できる可能性を検討していくことが必要であると言える。

謝辞

本研究はトヨタ自動車(株)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ものである。この場を借りてお礼申し上げる。

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 2020.4.
- 2) 経済産業省：総合資源エネルギー調査会 省エネルギー・新エネルギー分科会／電力・ガス事業分科会 再生可能エネルギー大量導入・次世代電力ネットワーク小委員会 - 中間整理 (第 3 次), https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/saisei_kano/20190820_report.html, 最終閲覧 2020.4.
- 3) 資源エネルギー庁：再生可能エネルギー出力制御の低減に向けた対応について, https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene_shinene/shin_energy/keito_wg/pdf/018_02_04.pdf, 最終閲覧 2020.4.
- 4) 泉井良夫：電力・エネルギーの地産地消コミュニティモデル, 電気学会誌, Vol.139, No.4, pp.233-236, 2019.
- 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) 武藤晃史・村木美貴：地区特性に応じたスマートコミ

- ユニティの構築に関する研究 - 川崎市を対象として -, 都市計画論文集, Vol.51, No.3, pp.525-531, 2016.
- 7) 北川友葵・Gondokusuma Monica I. C.・下田吉之: 新規住宅街区におけるスマートコミュニティ開発に関する研究 - エネルギーシミュレーションによるエネルギー性能評価 -, 都市計画論文集, Vol.54, No.3, pp.486-492, 2019.
- 8) 一井啓介・高原勇・谷口守: 再エネ活用に向けたスマートグリッド直流化効果の検証, 土木計画学研究・講演集, Vol.59, 2019.
- 9) 山田葵・田中貴宏・芳原拓実: 瀬戸内海島嶼部における再生可能エネルギーの活用可能性に関する研究 - 大崎下島におけるケーススタディー -, 都市計画論文集, Vol.52, No.3, pp.443-450, 2017.
- 10) Ping Yi, Ting Zhu, Bo Jiang, Bing Wang and Donald F. Towsley: An energy transmission and distribution network using electric vehicles, 2012 IEEE International Conference on Communications, pp.3335-3339, 2012.
- 11) Albert Y.S. Lam, Ka-Cheong Leung, and Victor O.K. Li: An Electric-Vehicle-based Supplementary Power Delivery System, 2015 IEEE International Conference on Smart Grid Communications, pp.307-312, 2015.
- 12) 国土地理院: 令和 2 年全国都道府県市区町村別面積調 (1 月 1 日時点), <https://www.gsi.go.jp/KOKUJYOHO/MENCHO202001-index.html>, 最終閲覧 2020.8.
- 13) 湯淺一史・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.
- 14) NEDO: 革新型蓄電池実用化促進基盤技術開発, <https://www.nedo.go.jp/content/100882548.pdf>, 最終閲覧 2020.4.
- 15) 環境省: 次世代自動車ガイドブック 2018-2019, <http://www.env.go.jp/air/car/vehicles2018/2018.html>, 最終閲覧 2020.4.
- 16) 三菱ふそう: eCanter, <https://www.mitsubishi-fuso.com/ja/product/ecanter/>, 最終閲覧 2020.4.
- 17) 富士電機: EV リユース蓄電池システム, https://www.fujielectric.co.jp/about/company/gihou_new_2019/pdf/FEJ-2019-S04.pdf, 最終閲覧 2020.4.
- 18) たとえば, 土木学会編: 第 4 版土木工学ハンドブック, 技報堂出版, p.1122, 1989.
- 19) 一般社団法人 CHAdeMO 協議会: 充電インフラの技術開発と EV 普及への取り組み, <https://www.chademo.com/wp2016/wp-content/japan-uploads/Brochure2017jp.pdf>, 最終閲覧 2020.4.
- 20) ソニー損害保険株式会社: 2015 年カーライフ実態調査, <https://from.sonysonpo.co.jp/topics/pr/docs/research20151105.pdf>, 最終閲覧 2020.4.
- 21) 日産自動車: 日産リーフ(2019)主要諸元, https://www3.nissan.co.jp/content/dam/Nissan/jp/vehicles/leaf/1907/pdf/leaf_specsheet.pdf, 最終閲覧 2020.4.
- 22) 一般財団法人自動車検査登録情報協会: 自家用乗用車の世帯普及台数(平成 27 年), <https://www.airia.or.jp/publish/file/r5c6pv0000003pun-att/r5c6pv0000003pv2.pdf>, 最終閲覧 2020.4.
- 23) 国土交通省・経済産業省: EV/PHV 普及の現状について, <http://www.mlit.go.jp/common/001283224.pdf>, 最終閲覧 2020.4.
- 24) 資源エネルギー庁: 都道府県別エネルギー消費統計, https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/energy_consumption/ec002/results.html#headline2dline2, 最終閲覧 2020.4.
- 25) 資源エネルギー庁: エネルギー・リソース・アグリゲーション・ビジネス・ハンドブック, https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/advanced_systems/vpp_dr/files/erab_handbook.pdf, 最終閲覧 2020.8.
- 26) 国土交通省: 平成 27 年度全国道路・街路交通情勢調査 一般交通量調査 集計結果整理表, <http://www.mlit.go.jp/road/census/h27/data/pdf/syuukei05.pdf>, 最終閲覧 2020.4.
- 27) 経済産業省: 電気設備の技術基準の解釈, https://www.meti.go.jp/policy/safety_security/industrial_safety/law/files/dengikaishaku.pdf, 最終閲覧 2020.4.
- 28) 電力広域運営推進機関: 送変電設備の標準的な単価の公表について, https://www.occto.or.jp/access/oshirase/2015/files/20160329_tanka_kouhyou.pdf, 最終閲覧 2020.4.
- 29) 三菱ふそう: CANTER ドライバン(2018 モデル), <http://www.mitsubishi-fuso.com/content/fuso/jp/lineup/truck/canter/variation.html>, 最終閲覧 2020.4.
- 30) 一般社団法人次世代自動車振興センター: 充電インフラ整備事業採算性等調査 報告書, http://www.cev-pc.or.jp/chosa/pdf/H25_chosa_1_honpen.pdf, 最終閲覧 2020.4.
- 31) 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 2020.4.
- 32) 一般社団法人日本自動車工業会: 日本の自動車工業 2019, http://www.jama.or.jp/industry/ebook/bookdata_j/html5.html#page=15, 最終閲覧 2020.4.
- 33) 一般社団法人次世代自動車振興センター: クリーンエネルギー自動車等導入促進対策費補助金交付規程, http://www.cev-pc.or.jp/hojo/pdf/h31/H23-H24_kouhukitei_saisoku.pdf, 最終閲覧 2020.4.
- 34) 佐賀市: 減価償却資産の耐用年数表, https://www.city.saga.lg.jp/site_files/file/usefiles/downloads/s22160_20101227115631.pdf, 最終閲覧 2020.4.