

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—

落合 淳太¹・中川 喜夫²・松橋 啓介³・谷口 守⁴

¹非会員 中日本高速道路株式会社 (〒460-0003 名古屋市中区錦2-18-19 三井住友銀行名古屋ビル)
E-mail: j.ochiai.aa@c-nexco.co.jp

²非会員 筑波大学大学院 システム情報工学研究科 (〒305-8577 茨城県つくば市天王台1-1-1)
E-mail: nakagawa.yoshio@sk.tsukuba.ac.jp

³正会員 国立環境研究所 社会環境システム研究センター (〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2)
E-mail: matuhasi@nies.go.jp

⁴正会員 筑波大学大学院教授 システム情報系社会工学域 (〒305-8577 茨城県つくば市天王台1-1-1)
E-mail: mamoru@tsukuba.ac.jp

環境問題や原発事故の影響により、スマートグリッドを用いた分散型電源による電力の自給自足の重要性が高まってきている。しかし、技術開発が進む一方で、これらの技術を用いて電力の自給自足がどこで、どれだけできるのかを十分に把握できていない。そこで、本研究では居住地へのスマートグリッド導入を想定し、居住者の交通行動までを含めた全国の市区町村における自給率の算出を試み、都市特性との関係や、施策実施による影響度を分析した。その結果、1)自給率は市区町村によって最大で約4倍もの差があること、2)郊外のベッドタウンのような特徴を有する都市で自給率が高い傾向にあること、3)採用する施策とその対象都市の特性によって自給率の増加幅が大きく異なることなどが示された。

Key Words :electric, self-sufficiency, smart grid, municipality, EV, residence

1. はじめに

環境負荷低減が大きな課題となる中、再生可能エネルギーの積極的な導入が進められるようになってきた¹⁾。さらに、東日本大震災による原発事故を契機に、今後は再生可能エネルギーの導入がより加速すると考えられる。しかし、その一方で、時間ごとに発電量が変化し、晴れの日の昼間などに余剰電力量が発生する太陽光発電の大量導入によって、電力系統への負荷の増大などが問題視されている²⁾。そのような中で、ITを活用して電力の需給を自動制御するシステムを指すスマートグリッドを用いた電力の自給自足の重要性が認識され始めた³⁾。ここで、本研究で想定するスマートグリッドとは、各世帯に整備されたスマートメーターと地域内のエネルギー監視システム (CEMS) によって、EV の充電状況などの受給者側の情報と太陽光発電量などの供給側の情報を、双方向通信で管理し、その地域内において“リアルタイム”での電力需給最適化を可能とする技術と定義する。

近年では、スマートグリッドに関する実証実験が横浜市などで行われており⁴⁾、官民一体となった技術開発に関する取り組みが進められている。また、復興の一環として、被災3県の8自治体を対象にスマートコミュニティ導入促進事業が採択される⁵⁾など、今後もスマートグリッドの普及に向けた取り組みが一層活発になることが予想される。

しかし、こうしたスマートグリッドに関する技術的な研究の蓄積が積極的に推し進められる一方で、これらの技術を活かし、どこでどれだけ電力を自給自足することが可能なのかという議論は十分に行われてきていない。特に、スマートグリッドを構成する重要な要素である電気自動車 (EV) の使い方を含めた居住者の交通行動など、電力の需要者側の視点に着目した研究はほとんどなく、行われていたとしても限定的な対象地での検討に⁶⁾留まっている。また、全国の市区町村を対象に再生可能エネルギーによる電力の自給率を求めた研究⁷⁾が存在するが、電力需給における1日の中の変化を捉え、発電し

た電力をどれだけ消費に回すことが可能なのかという観点
が不足している。

発電量がいつ、どれだけ得られ、それをどの程度自分
たちの地域の電力消費に回せるのか、つまりどれだけ電
力の自給自足ができるのかを把握するためには、上記で
述べた居住者の交通行動や都市特性を考慮して分析する
ことが必要不可欠であり、これらを考慮することで初め
てスマートグリッドの効率的な導入プランを作成するこ
とができる。また、国内での実証実験などは、新築ベ
ースでの議論に偏っており、今後のさらなるスマートグ
リッドの普及のためには、既存の住宅への適応も考慮して
検討していく必要がある。

以上を踏まえ、本研究では自給率の算出の第一段階と
して、都市建築面積の殆どを占める居住地でのスマート
グリッド導入を踏まえ、全国の市区町村における電力の
自給率の算出を試みた。本研究における自給率の定義を
市区町村内で消費する家庭用電力を市区町村内における
住宅用太陽光発電によって賄える割合とし、既存の住宅
を含めた居住地ベースでの分析を行うことで、居住者の
交通行動までを含めた自給率の検討や、より環境負荷の
低い社会の実現に向けた取り組みについて都市計画とス
martグリッド導入をセットで議論することが可能となる。
具体的には、まず居住地において最も普及が進んで
いる太陽光発電を対象に、市区町村別に時間単位で電力
需給を把握し、電力の自給率のポテンシャルを算出する。
そして、その自給率と都市特性との関係を統計的に分析
し、自給率が高くなる要因を明らかにする。また、今後
起こりうる施策のメニューを設定し、それらの施策によ
る自給率への影響度を分析する。

これらの分析を通じ、今後スマートグリッドを導入す
る際の検討材料の一助となることで、効率的なスマート
グリッドの普及と電力の自給自足の実現に貢献すること
を本研究の目的とする。

2. 本研究の特長

本研究の特長は以下の通りである。

- 1) 都市特性や交通行動までを含め、全国の市区町村を
対象にしてスマートグリッドによる電力の自給率を
横断的に初めて算出している点で新規性を有する。
- 2) 時間単位のデータから市区町村別の電力需給を捉え
ることで、より実態に近い形での電力の自給自足の
可能性を検討している。
- 3) 全国の市区町村を網羅した交通データに対し市区町
村ごとの信頼性の検定を踏まえて分析を行うことで
分析全体の信頼性を確保している。
- 4) 現状での自給率が高くなる要因を統計的分析を通し

て明らかにすることで、スマートグリッドを今後効
率的に整備していくための具体的な検討材料を示し
ている点で有用性がある。今後の政策的、技術的施
策メニューの適用による自給率への影響度を算出す
ることで、自給率向上の面で発展性の高い方策を地
域で選ぶことが可能になる。

3. 主な使用データ

本研究では居住者の1日の交通行動にまで着目し、全
国の市区町村を対象に分析を行うため、これらの分析目
的に合った交通データを使用する必要がある。

上記の条件を唯一満たすデータとして、本研究では道
路交通センサスオーナーインタビューOD調査を使用す
る。そして、分析時点で入手可能なデータの最新版であ
る、平成17年のデータを用いることとする。

道路交通センサスオーナーインタビューOD調査は、
3から5年間隔で全国の市区町村を対象に実施されてお
り、出発・目的地や、出発・到着時間、移動距離などの
1日の自動車の運行状況や、世帯単位での保有状況等が
調査されている。このデータを用いることで、EV普及
可能性の検討やEVの1日の交通行動を把握し、EV充
電量などを推定する。ただし、この調査では全ての市区
町村が十分なサンプル数を有していないため、調査デー
タについて市区町村単位でのサンプル数の統計的信頼性
を母比率検定により判定している既存調査⁹⁾を参考に使
用データを選定する。また、規模の小さい町村について
は郡単位でまとめたデータを用い、対象とするデータを
可能な限り増やすこととした。その結果、1186市区郡
(1750市区町村)の中で信頼性を満たす701市区郡
(1049市区町村)のデータを基に全国の市区町村で分
析を行う。

なお、詳細は後述するが、信頼性を満たさない市区町
村においては、算出された自給率を被説明変数とした重
回帰モデルを用い、全国すべての市区町村における自給
率の推定を試みる。

4. 分析方法

(1) 本研究の前提条件

本研究ではスマートグリッドがすでに整備されている
場合を想定し、全世帯にスマートメーターが設置され、
市区町村内において世帯間の電力の双方向融通が可能に
なっているという前提で分析を行う。また、太陽光パネ
ルに関しては、居住地においてそれらが十分に普及した
場合を想定する。EVに関しても同様に、交通データの

中から、EVに置き換えられる可能性のある自動車を選定し、それらがすべてEVとなるという前提で、EVが広く普及した場合を想定する。そのため、本研究での分析はあくまで1日の中で電力の自給自足が最大でどの程度可能なかというポテンシャルとしての観点から分析を行うものであり、実現可能性についてはさらなる検討の余地がある点に注意が必要である。

(2) 電力需給の推定方法

市区町村の特性に応じた電力需給を、1日の中の動きを踏まえて把握することで、初めて市区町村別の自給率に関する分析が可能となる。そこで、太陽光発電量、家庭内消費電力量、EV充電量に関してそれぞれ既存調査を参考にしながら市区町村の特性を可能な限り反映した推定方法を示す。

a) 太陽光発電量の推定方法

住宅における太陽光発電量に関しては既存調査⁹⁾を参考にしつつ、独自に市区町村別データを収集して推定方法を設定した。

まず、平成20年住宅土地統計調査のデータを用い、戸建住宅の屋根面積（1戸建住宅当たり面積×戸建住宅数）と集合住宅の屋根面積〔（各階数別住宅数÷階数）×1集合住宅あたり面積〕を求め、戸建住宅については太陽光が当たる南側半分にパネルが設置されると仮定する。集合住宅に関しては、屋根面積に占める保守設備などの面積割合を考慮してパネル設置面積を推定する。さらに、これらに加え、住宅の高さや密集度などの影響によって、屋根が日陰に入り、太陽光が届かない住宅の存在を考慮する必要がある。そこで、屋根に太陽光が当たる長さである日照時間を各住宅で調査し、日照時間ごと（1時間未満、1～3時間、3～5、5時間以上）に市区町村別住宅数が整理されたデータを用い、日照時間別住宅比率データを作成し掛けあわせる。なお、屋根に太陽光が当たるか当たらないかを考慮するのが市区町村ごとの日照時間別住宅数データであるのに対し、太陽光が当たる時に得られるエネルギー量のことを「日射量」といい、本研究では実際に観測された全国約800地点の日射量データを基に太陽光発電量を算出する。日射量の把握方法の詳細は後述する。また、太陽光パネルの設置には昭和55年以降に適用した耐震基準を満たしていることが求められるため、住宅の建築年別データを用い、耐震基準を満たす建築比率データを考慮に加え、市区町村別の太陽光パネル設置面積を推定する。

次に、太陽光パネルは、最も日射量が得られる30度の傾斜角で設置されると想定し、その条件で設置した場合の単位あたり必要面積11.55（m²/kW）で太陽光パネル設置可能面積を除することで、太陽光パネル容量を算出する。そして、この太陽光パネル容量に全国約800地点に

おける日射量データベースで得た時間別日射量とシステム出力係数0.7を掛け合わせることで、市区町村別時間別太陽光発電量を推定する。なお、本研究ではあくまで自給率のポテンシャルを分析するため、1年の中で最も多くの発電量が得られる7月の日射量を用いることとした。これにより、最大太陽光発電量が得られる日を対象にすることで、それらを受け入れる側（EV充電量など）の限界値が分かり、消費に回しきれない太陽光発電量の有無や量を考慮した上での自給率の算出が可能となる。

b) 家庭内消費電力量の推定方法

家庭内消費電力量に関しては、住宅の建て方と世帯人員が大きな影響を与えるということが既存研究¹⁰⁾より明らかにされている。そこで、これらの要因を家庭内消費電力量に反映させるために、本研究では各市区町村における住宅の建て方別世帯数や世帯人員別世帯数のデータを用いて、家庭内消費電力量を推定する。なお、家庭内消費電力量は気候条件などによって、地域間において差があることが考えられるが、日射量データで対象とした7月の家庭内消費電力量では地域間で差が小さいことが示されている¹⁰⁾ため、今回は考慮しないこととした。

まず、戸建住宅と集合住宅の1世帯あたりの平均消費電力量の違いを踏まえ、戸建て、集合住宅の比率を考慮した1世帯あたり消費電力量を算出する。次に世帯人員別の電気代より世帯人員に応じた消費電力係数を作成し、世帯人員による消費電力量の違いにまで考慮した市区町村別家庭内消費電力量を推定した。

また、家庭内消費電力量は時間ごとの消費電力量を推定するため、市区町村ごとの電力消費パターンを設定する必要がある。既存の調査¹¹⁾によれば、各世帯における電力消費パターンを決める大きな要因として高齢者、単身、非就業者の3つが挙げられている。

そこで、これらのデータから、世帯別電力消費パターンを設定し、分類を行った。具体的には、既存調査¹²⁾で示されている家庭内消費電力パターンが3分類されたデータを用い、世帯別電力消費パターンとその該当世帯条件（表-1）を設定し、平成22年度国勢調査のデータより世帯条件に当てはまる世帯数を算出した。そして、それらの消費パターンの比率を市区町村別に求めて重み付けを行い、市区町村別消費パターンを設定した。なお、家庭内電力の消費パターンに関しては、季節や地域間によって差があることが既存研究¹³⁾により示されている。

表-1 家庭内消費パターンの分類と該当する世帯条件

世帯における電力消費パターン	該当する世帯
昼型	単身世帯or二人世帯かつ世帯員が65歳以上のみ
夜型	単身世帯かつ65歳以上無し、夫婦共働き子供無し世帯
中間型	上記以外

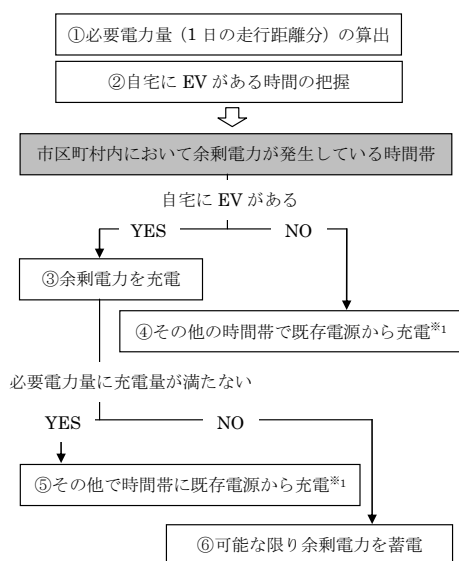
しかし、世帯構成から消費パターンを分類することを主眼として今回使用した消費パターンデータ¹²⁾では、それらを考慮に入れられていない。本研究が日射量データで対象とした7月などの夏場は、他季節と比べ冷房によって昼間の消費電力が若干増えること、北海道よりも九州の方が昼間のピーク時間における消費割合が多いことなどが示されているため、本研究で推計される消費パターンよりも実際は特に暑い地域では日中の消費割合が高くなることが類推される。これらのデータに関しては、総家庭内電力消費量の地域間の差も合わせ、精度を高めていくことが本研究の今後の課題として挙げられる。

そして、上記の市区町村別家庭内消費電力量と消費パターンデータを掛け合わせることで、市区町村別時間帯別家庭内消費電力量を推定した。

c) EVの充電量の推定方法

EVの普及条件は、普及の実現可能性を考慮して設定する必要がある。特にEVは、1回の充電における走行可能距離が短いなどの特徴があり、実際の交通データと照らし合わせて普及可能性を吟味することが求められる。

そこで、本研究ではEVに関する既存研究や現在の普及目標を参考に、EVの普及条件を設定した。EVの普及に関する既存研究など¹⁹⁾の中では、複数保有世帯で普及可能性が高いこと、軽自動車の使い方とEVの特徴が合っている（乗車人員など）こと、EVの走行可能距離の限界が普及の大きな制約となっていることなどが挙げられている。



※1：必要充電量＞充電可能量の場合はEV不適合としてデータを除外

図-1 EV充電量の推定方法のフロー図

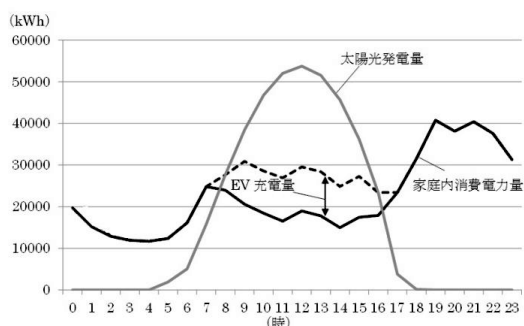


図-2 家庭用電力の1日電力需給推定結果（取手市）

上記を踏まえ、本研究ではEVの普及条件を3つの要素（複数保有世帯であるか、軽自動車であるか、1日の走行距離が30km未満であるか）に関して、少なくとも2つ以上満たす自動車に関しては、EVに置き換わると想定した。ただし、1日の走行距離が100kmを超える自動車に関しては、EVの限界走行可能距離を考慮し、条件に当てはまった場合でも、選定からは除外した。なお、使用する交通データにおいて、これらの普及条件を満たす自動車の割合は約28%となっている。

次に、上記の条件のもとで、EVに置き換わったとされた自動車の1日の動きに着目し、必要な充電量や充電可能時間を1台ずつ把握する。なお、EV充電で一般的に用いられるAC200Vの場合の3kwを必要電力として計算する。図-1にEV充電量の推定方法のフロー図を示す。スマートグリッド導入により、ITによってEV充電時間を管理することが可能になった場合を想定し、自給率を最大にするようにEV充電時間を決定すると仮定し、太陽光発電を最大限活用するように充電時間を設定した。

以上の推定フローから算出された1台ずつのEV充電量を居住する市区町村単位でまとめ、1時間ごとの市区町村内におけるEV充電量を把握した。

a)～c)の推定方法により、算出された市区町村内の家庭用電力の1日電力需給推定結果について、平均的な数値を示した取手市の結果を図-2に例示する。

(3) 自給率の算出方法

(2)で示された太陽光発電量、家庭内消費電力量、EV充電量、それぞれの推定方法をもとに算出された市区町村別の1日の電力需給から自給率を算出する。

市区町村*i*における自給率を L_i とすると、 L_i は以下の数式(1a)～(1b)で表される。

$$L_i = (S_i + VP_i) / E_i \quad (1a)$$

$$VP_i = VS_i - VD_i \quad (1b)$$

VP_i ：余剰電力を住宅用電力に活用できるEV蓄電量

E_i ：家庭内総消費電力量

S_i : 太陽光発電で直接消費電力を賄う電力量
 VS_i : 太陽光発電からの総 EV 充電量
 VD_i : 走行に必要な EV 充電量

5. 市区町村別の自給率に関する分析

本章では、4章で示した分析方法によって算出された自給率を被説明変数、都市特性データを説明変数とした重回帰モデルを構築し、都市特性と自給率との関係を統計的に明らかにする。これにより、自給率が高くなる要因を具体的に把握することで、今後各自治体がスマートグリッドの導入を考える際に、どのような要素が自給率向上に必要なかを、各々が検討できる材料の一つを示すことが可能となる。

まず、説明変数として用いる都市特性データは、様々なデータの中から、自給率に影響を与える可能性のあるデータを検討した(表-2)。これらのデータには、自給率に直接的には関係が無い人口密度や駅数のデータと、自給率算出のために用いられる太陽光発電量や家庭内電力消費量、EV 充電量にそれぞれ直接的な影響を及ぼすその他のデータに大きく分類される。人口密度や駅数データに関しては、低密で駅数が少ない郊外部に立地する都市なのか、高密度で駅数の多い都心部に立地する都市なのか、というその都市の空間的な特性と自給率との関係を把握できる。その他のデータに関しては、例えば日射量が多く、集合住宅比率が低いと世帯当たりの太陽光発電量が多くなるため、自給率が高くなるという仮説が立てられるが、それらの変数のどれがどの程度、自給率に対して影響度を持つのかという、変数間での影響度の比較が可能となる。そして、このデータの中からステップワイズ法を参考に重回帰モデル構築に用いる変数を選定した。重回帰分析の結果を表-3 に示す。さらに、この重回帰モデルを用いて、交通データにおいて信頼性を満たさない市区町村の自給率の推定を行い、信頼性を満た

す市区町村の自給率の算出結果と合わせ、全国の市区町村の自給率マップとして図-3 に示す。表-3、図-3 に関して、以下に合わせて考察を行う。

- 1) 表-3 より重回帰モデルにおける修正済み決定係数は 0.71 となっており、一定水準の説明力が確保されたモデルが構築された。
- 2) 個別の変数をみていくと、まず人口密度が低く、駅数が少ない郊外に位置する市町村において自給率が高くなる傾向が示された。
- 3) また、自動車保有率が多い市区町村では自給率が高くなる傾向にある。これは自動車保有率が高い地域は自動車の複数保有世帯が多く、それだけ EV の普及率が高くなることが要因として考えられる。
- 4) このことから、スマートグリッドのより効果的な導入を議論する際は、太陽光発電の余剰電力を自給自足化させる機能を持つ EV の普及可能性も合わせて考慮する必要があるといえる。EV の普及が見込めない市区町村において、スマートグリッドを導入しても、余剰電力を受け入れる余地が少ないため、スマートグリッド利用によって得られる効果が他の市区町村に比べて得られにくいためである。
- 5) また、高齢化率が高く、平均世帯人員が少ない市区町村、つまり核家族化が進行している市区町村において自給率が高くなる傾向にあることが明らかとなった。これは、1 世帯あたりの家庭内消費電力量が少ないことに加え、世帯人員が少ない市区町村は、人口に対して住宅数が多いとも言え換えることができ、それにより 1 世帯あたりの太陽光パネル設置可能面積が多くなっていることが、上記の結果の要因となっていると考えられる。
- 6) 集合住宅比率が負に、耐震基準を満たす住宅や日照時間が長い住宅の比率が正に、それぞれ自給率に対して影響していることが示されている。この結果から、日当たりの良い新しい戸建住宅が多い市区町村で自給率が高くなるということが明らかとなった。

表-2 重回帰分析のために検討したデータ一覧

変数名	備考(すべて市区町村別)	データ元
人口密度	面積1ha当たりの人口	平成22年国勢調査
駅数	鉄道駅の数	国土数値情報ダウンロードサービス
1世帯あたり自家用車保有台数	全自家用乗用車台数/全世帯数	市区町村別保有台数自動車
1世帯あたり軽自動車保有台数	全軽自家用車台数/全世帯数	市区町村別軽自動車車両数
高齢化率	65歳以上人口/全人口	平成22年国勢調査
平均世帯人員数	全人口/全世帯数	平成22年国勢調査
集合住宅比率	集合住宅数/全住宅数	平成20年住宅・土地統計調査
耐震建築比率	昭和55年以降に建築された住宅/全住宅数	平成20年住宅・土地統計調査
日照時間5時間以上住宅比率	日照時間が5時間以上得られる住宅/全住宅数	平成10年住宅・土地統計調査
日射量	1日に得られる日射量(MJ/m ²)の総量	NEDO:日射量データベース

表-3 重回帰分析の結果（被説明変数：自給率）

変数名	偏帰係数	標準偏帰係数	t 値
人口密度	-1.0E-05	-0.37	-10.30 **
駅数	-4.0E-04	-0.09	-4.06 **
1世帯あたり軽自動車保有台数	0.066	0.15	3.61 **
高齢化率	-0.001	-0.08	-1.93 *
平均世帯人員数	-0.078	-0.28	-7.85 **
集合住宅比率	-0.221	-0.45	-8.46 **
耐震建築比率	0.561	0.58	17.89 **
日照時間5時間以上住宅比率	0.266	0.28	9.65 **
日射量	1.9E-04	0.20	8.71 **
定数項	-0.204		-2.66 **
修正済み決定係数	0.71		

**1%有意、*5%有意

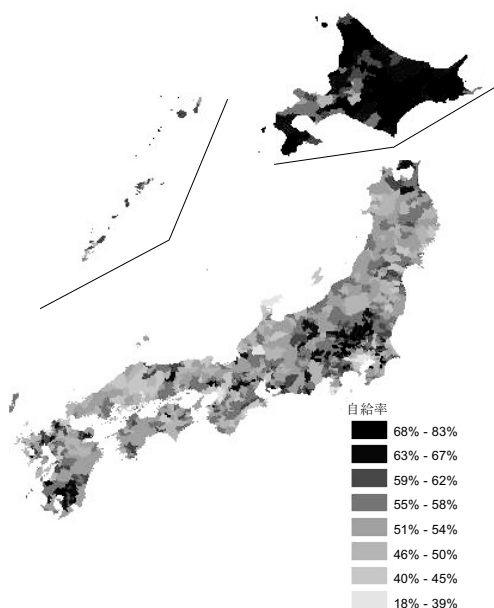


図-3 市区町村別自給率マップ（全国）
（交通データの信頼性が無い市区町村は
重回帰モデルによる推定値）

- 7) 日射量が多い市区町村で自給率が高くなることから、地域における気候の違いなどによる潜在的なエネルギー量を考慮して、スマートグリッドを導入することが大切であるといえる。
- 8) 図-3 より、自給率は最も高い市区町村で約 83%、最も低い市区町村で約 18%となっており、市区町村によって自給率に大きな差があることが示された。
- 9) 都心部で自給率が低く、都心部の周辺で自給率が高くなるが、さらに郊外になると自給率が減少するという傾向が、空間的に明らかになった。特に関東圏ではその傾向が顕著に表れている。
- 10) 大都市の自給率と、それらに隣接する市町村での自給率の差が激しい。大都市は集合住宅が多く、PV 発電量が少ないため自給率が低い、少し郊外

のベッドタウンと呼ばれるような市町村では、重回帰分析で示した自給率を高める多くの要因（自動車保有台数多い、核家族化進行、新しい戸建住宅多い）を満たすため、このような極端な差が生じている。

6. 施策による自給率への影響度

(1) 施策メニューの設定

近年、スマートグリッドを中心として、それらを構成する各要素において、技術革新が急速に進んできた。その一方で、まだ現状では、価格や技術的な要因によって普及のハードルが高い技術も存在している。このような技術は、将来的に技術革新によって急速な普及をみせる可能性を有しており、長期的視点に立った場合、これらの技術が導入・実現された場合の電力の自給率への影響度を明らかにしておく必要がある。それにより、今後スマートグリッドが普及していく中で、より自給自足を促進するための施策を検討することが可能となる。

自給率に影響を及ぼす可能性のある施策としては、余剰電力をより有効活用する方法や、太陽光発電の電力量を増やす方法が考えられる。余剰電力を活用するためには、より多くの蓄電池の利用や EV の充電性能の向上などが挙げられる。また、より太陽光発電量を居住地において増やすためには、屋根以外へのパネルの設置をする必要がある。

以上のことを踏まえ、本研究では“A.住宅用蓄電池の普及”，“B.壁面太陽光発電”，“CEV 充電速度高速化”の3つの施策メニューを検討することとした。なお、施策メニューにおける普及率などは、感度分析として扱いやすい数値を設定している。ただし、その他の要素の普及目標や技術革新スピードを参考に数値を設定した。

“A.住宅用蓄電池の普及”に関しては、EV・PHEV の新車台数に定める普及率の目標が 2030 年に最大 30%であることを参考に、これらと同程度の普及率を達成した場合を想定した。“B.壁面太陽光発電”や“CEV 充電速度高速化”に関しては、太陽光パネルの変換効率が 30 年の間に 2倍以上もの効率化を実現していることを踏まえ、さらに効率化が進みすべての集合住宅に設置が可能となった場合を想定した。“CEV 充電速度高速化”に関しては、充電時間が 1/2 になる技術が開発されている現状を考慮し、さらに充電速度が 2倍になったことを想定する。これら 3 施策は想定水準が異なるため、横並びで純粋に施策効果の比較を行うことができないという点に注意が必要である。本研究では、これら 3 施策に関し、あくまで都市ごとの施策影響度のバラツキ具合や都市特性と影響度の関係を分析するものである。以下において、

各施策メニューの詳しい説明を行う。

“A.住宅用蓄電池の普及”では、現状において価格が高く、普及があまり進んでいない住宅用蓄電池が、余剰電力を比較的多く発生する戸建住宅の30%に設置される場合を想定する。現在の住宅用蓄電池の価格をみると、容量4.65kWhで約120万円¹⁷⁾となっており、同じ蓄電機能を持ち、移動にも使えるEVと比べるとまだまだ普及のハードルは高い。しかし、技術革新などで価格が安くなれば、今後は住宅用蓄電池が普及する可能性は十分に考えられる。自宅に無い場合があるEVとは異なり時間の制約を受けない住宅用蓄電池の普及は余剰電力をさらに蓄電することが可能となり、自給自足を促進できる可能性がある。

“B.壁面太陽光発電”では、集合住宅の壁面を利用し、そこに太陽光パネルが設置された場合を想定して分析を行う。壁面での太陽光発電は、日射を受けるのに最適な角度(30度)でパネルを設置できる屋根での発電と比較して、設置面積に対する発電量の比率が悪く、現在の太陽光パネルにおける価格では、普及があまり進んでいないのが現状である。しかし、住宅用蓄電池と同様に価格が十分に下落すれば、普及が進む可能性は十分にあり、特に1世帯あたりの発電量が限られる集合住宅では、発電量が増加するメリットを享受できる可能性が高い。発電量の算出には既存の調査⁹⁾を参考に、集合住宅の延床面積に対する側壁面積比率80%、側壁面積に対するパネル設置可能比率25%、パネル1kWあたりの必要面積6.67m²/kW¹⁸⁾の数値を用いて推定を行った。

“C.EV充電速度高速化”では、EVに充電する際の充電速度が2倍になった場合(電力が現行の3kWから6kWになる)を想定する。EV充電速度が高速化された場合の、スマートグリッド導入効果に与える影響は、既存研究¹⁵⁾において街区単位で分析が行われており、効果が最も高まる施策として結果が示されている。技術革新によってEVの充電速度が高まれば、発生する時間が限られる余剰電力をより多く蓄電することが可能になり、EVを利用した自給率の増加に期待できる。本研究では、市区町村単位での分析によって、施策の影響を分析し、影響度と都市特性との関連を明らかにしていく。

以上の3つの施策メニューについて、交通データの信頼性を満たす市区町村を対象に施策メニュー実施後の自給率を算出し、影響度を分析する。

(2) 施策実施後の自給率に関する分析

a) 施策実施による自給率の増加率

3 施策実施による自給率の増加率に関する分析として、箱ひげ図(交通データの信頼性を満たす1049市区町村における自給率の増加率が低い順に並べた場合)を作成し、それぞれの施策において、増加率にどのような違い

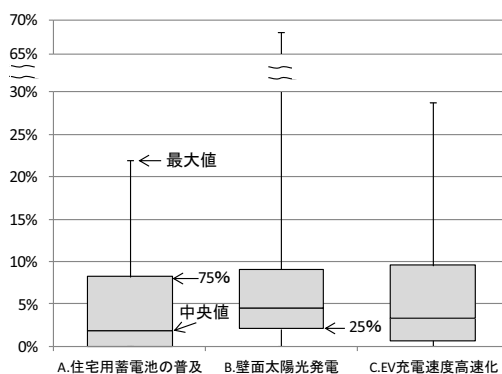


図4 施策メニュー別自給率の増加率の箱ひげ図

があるのかを考察する。分析結果を図-4に示し、以下に考察を述べる。

- 1) まず、“A.住宅用蓄電池の普及”では他の2施策と比較して、増加率が0%に近い市区町村が多く存在していることが読み取れる。この結果の原因として、発電量が少ない市区町村においては、蓄電池の容量が増えたとしても、それらを活用することができないためである。
- 2) 一方、“B.壁面太陽光発電”では多くの市区町村で自給率の増加が確認された。この結果から、多くの市区町村において、EVの電池容量にはまだ余裕があり、発電した電力を蓄電に回すことが可能であることが分かる。また、最大値が突出しているなど、施策を実施する都市の特性によっては大幅な自給率の増加が期待できることが示された。
- 3) “C.EV充電速度高速化”に関しては、第1四分位(25%)から第3四分位点(75%)に該当する増加率に最も幅があり、市区町村によって自給率が増加する都市とそうでない都市の差が大きいことが考察される。

b) 施策実施による自給率の増加率

施策メニューによって、自給率への影響度が高まる要因をより詳細に把握するため、施策メニュー実施後の自給率を被説明変数、都市特性データを説明変数とした重回帰分析を行う。都市特性データは5章と同様のものを用い、それぞれの分析結果を施策実施前の結果(表-3)と比較することで、施策メニューによって影響する変数の特徴を明らかにする。分析結果を表-4に示し、以下に考察を述べる。

- 1) 1世帯あたりの自動車保有台数では、A.住宅用蓄電池の普及、“C.EV充電速度高速化”の施策において説明力が低くなることが示された。特にEVの普及状況が関係すると考えられる“C.EV充電速度高速化”において説明力の低下幅が大きくなってい

表-4 施策メニュー別重回帰分析の結果（被説明変数：施策メニュー別自給率）

変数名	A.住宅用蓄電池の普及			B.壁面太陽光発電			C.EV充電速度高速化		
	偏回帰係数	標準偏回帰係数	t 値	偏回帰係数	標準偏回帰係数	t 値	偏回帰係数	標準偏回帰係数	t 値
人口密度	-1.1E-05	-0.35	-12.44 **	-1.2E-05	-0.44	-9.98 **	-1.1E-05	-0.34	-12.08 **
駅数	-3.5E-04	-0.07	-4.19 **	-4.5E-04	-0.10	-3.74 **	-3.4E-04	-0.07	-3.87 **
1世帯あたり軽自動車保有台数	0.03	0.05	1.61	0.06	0.14	2.85 **	0.02	0.05	1.46
高齢化率	-5.3E-04	-0.03	-0.90	-2.2E-03	-0.13	-2.64 **	-6.0E-04	-0.03	-0.99
平均世帯人員数	-0.07	-0.22	-7.81 **	-0.07	-0.26	-6.06 **	-0.07	-0.21	-7.71 **
集合住宅比率	-0.25	-0.46	-10.92 **	-0.04	-0.07	-1.09	-0.27	-0.47	-11.44 **
耐震建築比率	0.75	0.71	27.74 **	0.50	0.52	13.05 **	0.81	0.73	28.95 **
日照時間5時間以上住宅比率	0.31	0.30	12.69 **	0.26	0.28	7.63 **	0.33	0.30	13.09 **
日射量	2.6E-04	0.25	14.62 **	2.1E-04	0.21	8.05 **	2.7E-04	0.24	14.62 **
定数項	-0.52		-7.98 **	-0.20		-2.14 *	-0.57		-8.47 **
修正済み決定係数	0.82			0.57			0.83		

**1%有意、*5%有意

る。これは、EV が少ない市区町村では限られた台数でより多くの発電量を蓄電に回すことが可能となったことが、結果に影響している推察される。

- 集合住宅比率の変数では、“B.壁面太陽光発電”において説明力が低くなっている。この要因として、施策実施前は集合住宅が多く発電量が少なかった市区町村において、発電量が増えることにより自給率が高まったことが影響していると考えられる。
- 一方、“A.住宅用蓄電池の普及”，“C.EV 充電速度高速化”では、集合住宅比率が負に、耐震建築比率や日照時間 5 時間以上住宅比率が正に、それぞれ影響度が大幅に増加している。
- “A.住宅用蓄電池の普及”，“C.EV 充電速度高速化”によって自給率を増加させるには、市区町村内において施策実施前にどれだけ余剰電力が発生しているのかが大きな要因となっていることが推察され、発電量が多く見込める市区町村では自給率が高まる傾向にあることが示されたと考えられる。

以上のことから、施策メニューによって自給率が高まる都市特性に違いがあることが示された。今後、よりスマートグリッドを効果的に利用していくためには、各市区町村が自分たちの都市の特性を十分に把握したうえで、実施する施策を検討する必要があることが示唆された。

7. おわりに

本研究では、全国の市区町村における居住地を対象として、スマートグリッドによる電力の自給率の算出を行った。さらに、自給率を高める要因や施策の検証を通し、今後の自給率向上へのスマートグリッドの活用可能性を検討した。以下に、本研究で得られた成果をまとめる。

- 自給率と都市特性との関係を分析した結果、郊外で自動車保有が多く、新しい戸建住宅地が形成され、高齢化や核家族化が進んでいる都市で自給率が高くなる傾向にあることが統計的に示された。

- 自給率は最も高い市区町村で約83%、最も低い市区町村で約18%という結果となり、市区町村によっては自給率が最大で約4倍もの差があることが定量的に示された。
- 都心部においては自給率が非常に低いのに対し、都心部周辺の郊外の地域では自給率が高い傾向にあることが分かった。しかし、都心部周辺よりもさらに郊外の地域では、自給率がやや減少する傾向にあることが空間的に読み取れた。
- 施策メニューによる影響度を分析した結果、実施する施策によって自給率増加の傾向が違い、それぞれの都市特性によって適した施策が異なることが示唆された。
- 特に、自動車保有台数や集合住宅比率が、施策による自給率増加に対して大きな要因となっていることが示された。

以上の結果から、スマートグリッドを効果的に導入し、自給自足を効率的に促進させていくためには、スマートグリッドの導入対象となる市区町村の特性を十分に考慮したうえで、整備を進めていくことの重要性が示されたといえる。しかし、今回示された自給率の高い都市の特性は、現在目指すべき都市構造とされているコンパクトシティと反対の特性を持っている。また、高齢化し過疎化が進む地域でスマートグリッド整備への設備投資を行なっていくことは将来的に望ましいとは決していえない。これらから、今後のスマートグリッド導入計画を立てる場合は、都市計画とリンクさせ、目標とする都市構造とセットで議論していくことが求められる。

今後の課題として、本研究では市区町村単位での分析を行ったが、将来的にスマートグリッドの普及がさらに進んだ場合、市区町村間での電力融通を行うことも十分に想定される。そのような状況を考慮し、市区町村間融通が行われた場合の効果などを事前に把握しておくことで、より効果的なスマートグリッドの活用方法を考えていく必要がある。

参考文献

- 1) 環境省中央環境審議会地球環境部会：2013年以降の対策・施策に関する報告書（地球温暖化対策の選択肢の原案について），2012.6，<http://www.challenge25.go.jp/roadmap/media/mainreport.pdf>，最終閲覧2012.12.
- 2) 新エネルギー・産業技術総合開発機構：再生可能エネルギー技術白書，総合エネルギー出版社，2010.
- 3) 経済産業ジャーナル：平成23年10・11月号「スマートコミュニティ」へようこそ！，http://www.meti.go.jp/publication/data/2011_10.html，最終閲覧2012.12.
- 4) 経済産業省 HP：スマートコミュニティ実証について，http://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/smart_community/community.html，最終閲覧2012.12.
- 5) 新エネルギー導入促進協議会 HP：平成23年度スマートコミュニティ導入促進事業費補助金に係わる補助事業者の決定について，<http://www.nepc.or.jp/topics/2012/0417.html>，最終閲覧2012.12.
- 6) 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，日本不動産学会誌，Vol.25，No.23，pp.100-109，2011.
- 7) 倉阪秀史：エネルギー永続地帯の見える化，環境情報科学，Vol.39，No.4，pp.28-33，2011.
- 8) 米澤健一・松橋啓介：平成11年および平成17年の市区町村別自動車CO₂排出量，SESD Discussion Paper Series Technical Report，2009，<http://www.nies.go.jp/social/dp/pdf/2009-01.pdf>，最終閲覧2012.12.
- 9) 資源エネルギー庁：平成22年度新エネルギー等導入促進基礎調査事業 調査報告書，2011.
- 10) 長谷川善明・井上隆：全国規模アンケートによる住宅内エネルギー消費の実態に関する研究 世帯特性の影響と世帯間のばらつきに関する考察 その1，日本建築学会環境系論文集(583)，pp.23-28，2004.
- 11) NHK 放送文化研究所編：日本人の生活時間・2010-NHK 国民生活時間調査，NHK出版，2011.
- 12) 社団法人産業創造研究所：平成9年度家庭設置型小規模分散型エネルギーシステムに関する調査報告書，1998.
- 13) 吉野 博・村上 周三・赤林 伸一・坊垣 和明・田中 俊彦・羽山 広文・尾崎 明仁・菅原 華子：住宅のピーク電力に関する調査研究—住宅エネルギー消費実態の全国調査データに基づく分析—，日本建築学会環境系論文集，No.610，pp.99-106，2006.
- 14) 例えば，関根喜雄・宮坂準・石田東生・堤盛人・岡本直久：プローブ調査を用いた自動車複数保有世帯における電気自動車の潜在需要に関する考察，土木計画学研究発表会・講演集，Vol.35，NO.135，2006.
- 15) 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，不動産学会秋期大会論文集，No.28，pp.29-36，2012.
- 16) ELECTRO-TO-AUTO FORUM HP：「i-MiEV M」、急速充電時間を従来の1/2に短縮，<http://e2a.jp/reviaw/110906.shtml>，最終閲覧2013.06.
- 17) パナソニック HP：太陽光発電・蓄電システム [住宅用] 創蓄連携システム，<http://www2.panasonic.biz/es/souchikuene/chikuden/souchiku/souchiku465.html>
- 18) 太陽光発電協会 HP：Q&A 一般住宅編，<http://www.jpea.gr.jp/11basic05.html>，最終閲覧2013.06.

(2013.8.6受付)

POTENTIAL FOR ELECTRIC POWER SELF-SUFFICIENCY BY PHOTOVOLTAICS IN MUNICIPALITIES —BY INTRODUCING SMART GRIDS TO RESIDENCES—

Junta OCHIAI, Yoshio NAKAGAWA,
Keisuke MATSUHASHI and Mamoru TANIGUCHI

Under the influence of environmental problems and the aftermath of the Fukushima nuclear power plant disaster, self-sufficiency of electric power achieved through decentralization of generation sources using smart grids has become increasingly important. However, while techniques are developing, the degree of self-sufficiency of electric power expected for each city using such technology has not been grasped fully. Therefore, assuming that smart grids are introduced to residential use, this study was undertaken to calculate the rate of self-sufficiency in municipalities considering the traffic behavior of inhabitants. Moreover, we analyzed the relation to city characteristics and the effects of implementing measures. Results show the following: 1) the self-sufficiency rate has about quadruple the difference at the maximum among municipalities; 2) cities with higher self-sufficiency rates have characteristics such as bedroom towns in the suburbs; 3) achievement of increased rates of self-sufficiency differs greatly among measures and municipalities.