

都市の集約化が分散型エネルギーシステム導入に与える影響について

The impact of urban aggregation on the introduction of distributed energy systems

○高須賀 アマラ^{*1}, 渡辺 俊^{*2}
Amara TAKASUGA^{*1}, Shun WATANABE^{*2}

^{*1} 筑波大学大学院 社会工学学位プログラム

Master's Degree Programs in Policy and Planning Sciences, University of Tsukuba.

^{*2} 筑波大学システム情報系教授・博士（工学）

Professor, Faculty of Engineering, Information and Systems, University of Tsukuba. Ph.D. in Eng.

キーワード：低炭素都市、分散型エネルギーシステム、都市の集約化

Keywords: low carbon city; distributed energy system; urban consolidation.

1. 序論

1.1. 背景

近年、2050年までにカーボンニュートラルを実現することが宣言されたり、第六次エネルギー基本計画の中で再生可能エネルギーの主電力化が徹底されたりするなど、持続可能な社会の観点から、分散型エネルギーリソースへの注目が集まっている。分散型エネルギーとは、火力・原子力などが中心の、従来の集中型エネルギーシステムと比較して、小規模な発電設備を用いて、一般住宅やビルの中など、電力の消費地近辺でさまざまな地域に分散して発電するものを指し、地域の再生可能エネルギーを活用して、面的なエネルギーの活用が可能になる。このような動きが広まることで、これまでと比較して、都市とエネルギーの関係がより深まることが想像される。

1.2. 既往研究の整理と問題意識

都市と分散型エネルギーシステムに関する論文について、谷口らの研究(2012)⁽¹⁾では、分散型エネルギーシステムの典型的なモデルの一つである、スマートグリッドの適正評価を行った。街区の特性によって暮らし方や家庭内電力消費量、スマートグリッドを構成する電力自動車の利用量が異なるため、特性の異なる多様な街区を対象に調査を行った。落合らの研究(2013)⁽²⁾では、居住地へのスマートグリッド導入と、EVの普及を前提として、ある1日について電力の自給自足が可能であるかというポテンシャルの算出を行い、都市の特性を説明変数として電力の自給率を被説明変数とした重回帰モデルを構築した。また、スマートグリッドに関する技術進歩による自給率の変化を分析した。

これらの研究では、複数の市や街区を比較して、スマートグリッドなどの分散型エネルギーの導入適性を調査し、

結論として、導入適性の高い街区は、郊外における中高層の集合住宅と戸建住宅が適度に混在し、電力を相互利用できる環境にある街区で、いわゆるコンパクトシティと反対の性質を持っているということが明らかにされている。このことから、コンパクト化と分散型エネルギーは、どちらも都市政策上、またエネルギー政策上推奨されているにもかかわらず、どちらも導入することで、逆に効率的でなくなる可能性があるため、双方をうまく取り入れた都市の将来を考えることが重要である。

1.3. 研究目的

以上の問題意識から、今回は将来的な都市の集約化による都市構造の変化によって生じる、分散型エネルギーリソースによる電力の自給自足の変化を調査することで、分散型エネルギーの導入適性を調査する。この研究では、実際の都市の将来人口を、都市の集約化の度合いごとに人口移動させた都市モデルを作成して調査を行う点が、既往研究とは異なる。

研究対象地として、環境モデル都市に選定され、「つくばCEMS」を提唱するなど、分散型エネルギーの導入にも力を入れている、茨城県つくば市を対象とする。

1.4. 研究方法と論文構成

本研究では、茨城県つくば市を対象に、都市集約化の度合い別に将来都市モデルを複数作成し、それぞれの都市モデルにおける電力自給率を比較することで分散型エネルギーシステムの導入適性を評価する。第2章では、将来推計人口を基にして、人口集約度合い別の都市モデルを500mメッシュ単位で複数作成する。第3章では、第2章で作成したそれぞれの都市モデルに対し、分散型エネルギーリソースの一つとして注目されている、太陽光発電シス

テムを将来的な電力システムの中心とした場合の電力自給率を、メッシュごと、そして市全体で求める。

2. 都市の集約化

2.1. つくば市の立地適正化計画

つくば市は、2035 年までは人口が増加すると予測されているが、その後減少に転じる見込みである。他の市町村と同じく、高齢化が全地区で進み、税収が減少する一方で社会保障費の割合が増加することで、インフラ老朽化への対応が困難になることが考えられている。また、つくばエクスプレス沿線地区と、周辺部の人口実数、構成比の差が拡大していくことが予想されている。このような問題を踏まえ、つくば市では「多極ネットワーク型コンパクトシティ」の構築を図る旨を定めている。広域中心拠点として「つくば駅周辺」「葛城地区」が選ばれ、それらを中心とした高度で多様な都市機能が集積した中心市街地と、身近な生活拠点が適切に配置された日常生活圏とが、公共交通など総合的な交通体系により効率的に連携し合う都市を目指している。⁽³⁾

2.2. 都市の集約化の方法

つくば市の立地適正化計画を参考に、都市の集約度合い別に、500m メッシュ単位で人口を変化させ、都市構造シナリオを、3 つ作成する。カーボンニュートラル実現が目指されている、2050 年時点のものとする。

・シナリオ 1: BAU(Business as usual)

居住誘導による人口集約を行わない場合のモデルとする。国土数値情報⁽⁴⁾の 500m メッシュ別将来推計人口データの 2050 年時点のデータをそのまま使用する。

・シナリオ 2: 立地適正化シナリオ①

居住誘導を行い、「新しくつくば市に移転してきた人は必ず居住誘導区域に居住する」という集約化を行ったモデルとする。計算方法は、田村らの研究 (2021) ⁽⁵⁾

を参考とした。まず、国土数値情報の 500m メッシュ別将来推計人口データについて、つくば市立地適正化計画で指定されている居住誘導区域と重なるメッシュを「人口集約メッシュ」、それ以外を「人口縮退メッシュ」に設定する (図 2.2)。国土数値情報の 500m メッシュ別将来推計人口データの 2015 年時点のデータを基準とし、2020 年までの 5 年間の「人口縮退メッシュ」における人口の社会増を、純移動率・子供女性比を用いて計算する。そして、「人口縮退メッシュ」における社会増分を 2020 年の「人口集約メッシュ」に分配し、これをシナリオ 2 の場合の 2020 年の都市構造とする。この計算を、5 年ごとに 2050 年まで繰り返す。

・シナリオ 3: 立地適正化シナリオ②

居住誘導を行うモデルであるが、シナリオ 2 において、「人口縮退メッシュ」のうち 2050 年時点で人口密度 10 人/ha 以下のメッシュは居住誘導区域に集約するという強い集約をおこなった場合のモデルとする。

2.3. 計算結果

計算の結果、各シナリオでの都市構造は図 2.2 のようになった。シナリオ 1・2 ではあまり大きな変化は見られないが、シナリオ 2 では、特に北部の人口縮退メッシュでは居住誘導によって人口がいなくなったメッシュも見受けられる。シナリオ 3 では、多くの人口縮退メッシュで人口が 0 になり、市の中心部にかなり多くの人口が集められている。

3. 電力自給率の計算

電力自給率は、発電量と電力需要量によって求められる。第 2 章で作成した都市モデルを使用して 2050 年時点での電力自給率を推測し、各メッシュ・各シナリオでの違いを調査する。

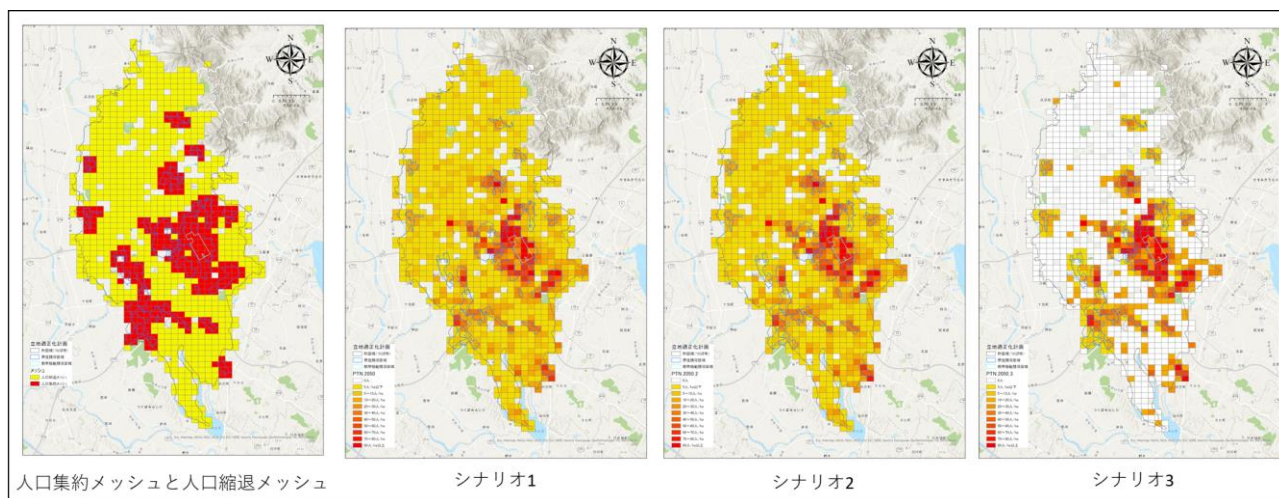


図 2.2 人口集約メッシュ・人口縮退メッシュの設定と、各シナリオでの都市構造

3.1. 発電量の計算

今回の研究での発電量は、住宅の屋上に設置する太陽光発電システムを用いた場合の発電量として、メッシュごとに発電ポテンシャルを計算する。発電ポテンシャルとは、設置可能面積などから理論的に算出することができるエネルギー資源量のことである。⁽⁶⁾

計算方法として、杉原らの研究(2011)⁽⁷⁾で用いられている算出式を参考にした。

発電量基本算出式

$$G_a = \rho I_a A_a K T$$

ここで、

G_a : a 地域 (メッシュ) の年間発電量[kWh/年]

ρ : 太陽電池変換効率

I_a : a 地域の年平均日射量[kWh/(m²・年)]

A_a : a 地域の太陽電池パネル面積 [m²]

K: 統合係数

T: 温度損失係数

である。

ρ (太陽電池変換効率) については、近年のメーカーの各種製品の平均値である 0.20 を使用した。

I_a (a 地域の年平均日射量) について、各メッシュの日射量の値には、国土数値情報の平年値メッシュデータの全天日射量の値を用いる。このデータは、3 次メッシュ単位のデータのため、それぞれのメッシュを 4 分割し、500m メッシュ単位にして使用した。

A_a (a 地域の太陽電池パネル面積) について、建物の屋上への太陽光パネルの設置可能面積を各メッシュについて求める必要がある。まず住宅の戸数をもとめ、その総建築面積を算出し、建築面積あたりのパネル設置可能面積をかけることで算出した。

住宅の戸数については世帯数と等しいと仮定して、それぞれのシナリオごとに、第 2 章で算出した 2050 年人口推計を世帯数に直し、住宅の戸数とする。

建築面積・建築面積当たりのパネル設置可能面積につい

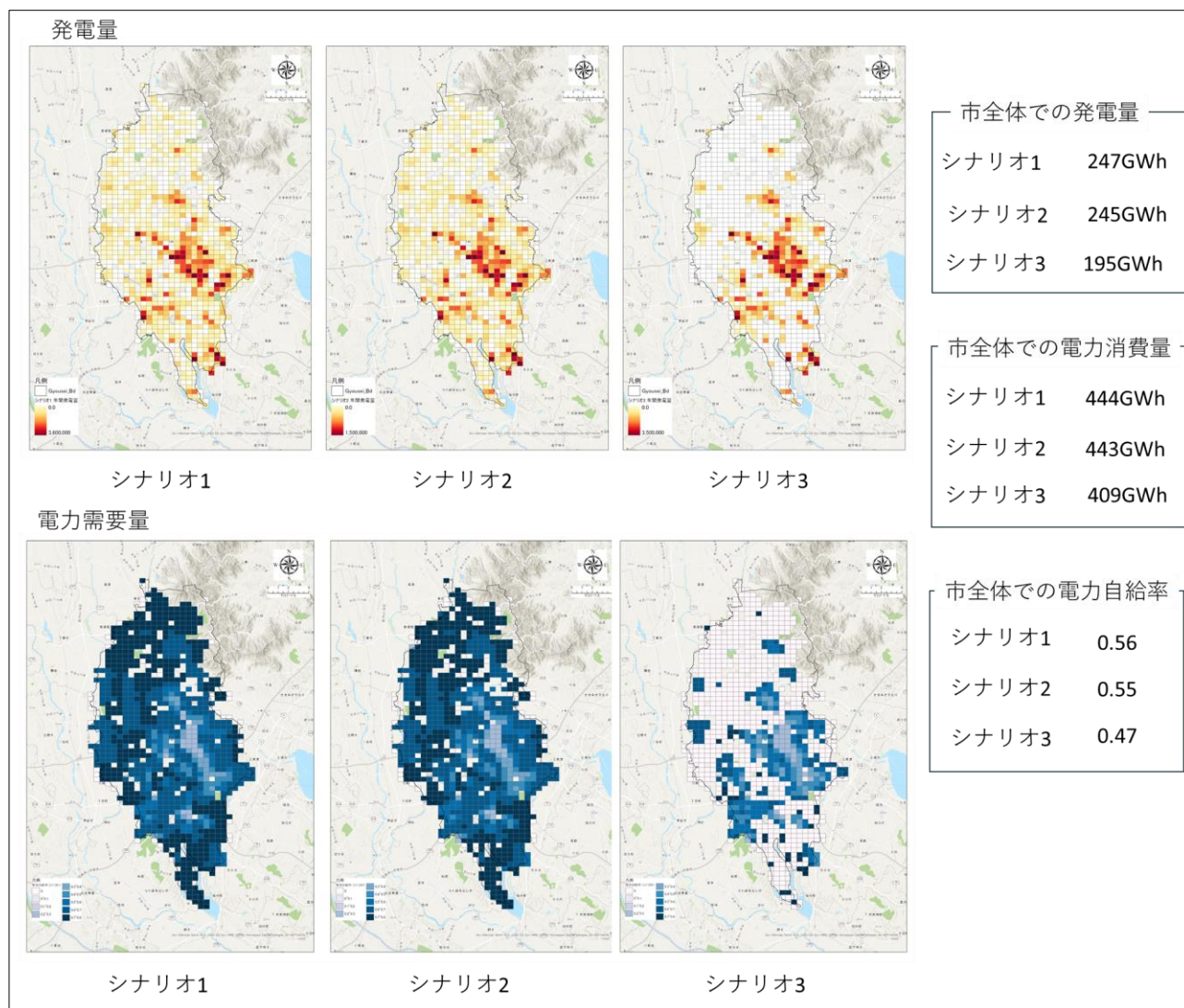


図 3.1 シナリオごとの発電量、電力自給率

て、住宅の建て方（戸建・集合住宅）による差が大きいため、まずはそれぞれのシナリオの各メッシュに、どのような建て方の住宅がどのくらいあるかを調査した。

まず、BAU シナリオでは、住宅の建て方の比も現在と変化しないと仮定した。そのため、小地域ごとにまとめられている住宅の建て方別世帯数データ⁽⁸⁾をメッシュデータに直して、メッシュごとの現在における住宅の建て方の比を計算し、2050 年も同じ比になるようにした。

シナリオ 2・3 については、新たに人口集約メッシュに移動した世帯（人口集約メッシュ増加分）以外には BAU シナリオと同様に現在の住宅の建て方の比を用い、人口集約メッシュ増加分については、すべて集合住宅に居住するものと仮定して計算した。

住宅の建て方別に建築面積については、平成 25 年住宅・土地統計調査の茨城県のデータ⁽⁹⁾を用いて計算した。住宅の建て方ごとに平均階数を計算し、それぞれの延べ床面積を平均階数で除すことで建築面積とした。建築面積当たりのパネル設置可能面積の割合は、つくば市の現在の実情に基づいた値とし、調査の結果 0.30 が妥当だと判断した。

K（統合係数）、T（温度損失係数）については、既存研究と同じく、それぞれ 0.70、0.85 として計算した。

3.2. 電力需要量の計算

各世帯での将来電力需要量は、今回は、現在の電力消費量と等しいと仮定して計算している。住宅の建て方別に、世帯当たりの電力消費量は異なるため、家庭部門の CO2 排出実態統計調査(H30)⁽¹⁰⁾の、地方別・建て方別の電気エネルギー消費量のデータを原単位とし、各メッシュの住宅の建て方別の世帯数をかけ、推計した。

4. 結果

各シナリオでの発電量は図 3.1 のようになった。どのシナリオでも発電量が多いのは人口の多い市の中心部あたりである。一方で、比較的人口の少ない周辺部でも発電量が多かったり、市の中心部でも発電量が少なかったりするの、住宅の建て方の違いによる、パネル設置可能面積の差が大きいと考えられる。市の中心部ではほとんどが集合住宅であり、世帯当たりのパネル設置可能面積が小さくなっているが、周辺部の、ほとんど戸建住宅が建てられているような地域では、人口のわりに発電量が多くなっている。市全体での発電量は、シナリオ 1 が一番多く、集約度合いが大きくなるほど発電量は少なくなると計算された。これも、集約化シナリオであるシナリオ 2・3 では、集合住宅に居住する人の割合が増えたためこのように変化したと考えられる。

各シナリオの電力自給率については、人口の多い市の中心部では自給率が低くなり、市全体での電力自給率も、集約化の度合いが大きいシナリオほど低くなっている

ことが分かった。戸建住宅よりも集合住宅に居住する世帯の方が電力消費量は少ないが、その減少分よりも発電量の減少分の影響が大きいことが分かった。また、どのメッシュも電力自給率が 100%に到達しておらず、市全体で面的にエネルギーを活用しても、電力を賄えないことが分かった。

5. 考察・結論

以上のことから、集約度合いが大きいほど、市全体の電力自給の観点では分散型エネルギーシステムの適性が低いという結果となり、既往研究と同じ結果となった。一方でこの結果は、シナリオごとの住宅の建て方の違いによる影響が大きいため、集約化の度合いだけでなく、住宅の建て方が重要と考える。

今後の課題として、発電量については、今回は太陽光のみを対象としており、他の分散型エネルギーソースの活用も考える必要がある。また、太陽光についても、メガソーラーなどの地上設置型も検討すれば、集約化によって生まれた空き地の活用にもつながり、違う結果につながるかもしれない。また、将来電力需要量について、現在と同じ値を用いているが、省エネ技術が進歩することによって、現在と同じ原単位を使うべきではない可能性がある。また、電気自動車の普及によって、交通が電力需要量にも関係する可能性もあるため、その点を含めた計算も必要であると考ええる。

[参考文献]

- 1) 谷口守・落合淳太：住宅街区的スマートグリッド導入適性に技術革新が及ぼす影響，日本不動産学会第 28 回学術講演会論文集，pp.29-38,2012
- 2) 落合淳太・中川喜夫・松橋啓介・谷口守：全国の市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—，土木学会論文集 G(環境)，Vol.69, No.6(環境システム研究論文集 第 41 巻)，II_217-II_225, 2013.
- 3) つくば市立地適正化計画
https://www.city.tsukuba.lg.jp/material/files/group/118/plan1_2.pdf
- 4) 国土数値情報ダウンロードサービス
<https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>
- 5) 田村将太・田中貴宏：土砂災害警戒区域を考慮した市街地集約化の多面的効果に関する研究 -広島市を対象としたシナリオ作成と評価-，土木学会論文集 D3(土木計画学)2021 年 77 巻 4 号 p. 375-388
- 6) 環境省 <https://www.env.go.jp/content/900449357.pdf>
- 7) 杉原弘恭・山下潤・生駒依子・秋澤淳・柏木孝夫：メッシュ気候値を用いた全国住宅の太陽光発電ポテンシャルに関する研究，日本太陽エネルギー学会誌論文，Vol.37, No.1, pp.41-48, 2011
- 8) 総務省；平成 27 年国勢調査，総務省，2015
- 9) 総務省；平成 25 年住宅・土地統計調査，総務省，2013
- 10) 環境省；平成 30 年度 家庭部門の CO2 排出実態統計調査，環境省，2018