

SolarEV シティー構想の可能性

— 都市のカーボンニュートラル実現に向けた戦略 —

東北大学大学院環境科学研究科准教授 小 端 拓 郎

カーボンニュートラルへ向けて、経済性効率の高い脱炭素化手法が求められている。特に、日本のエネルギー起源のCO₂排出の50%強を占める都市からの排出削減は、喫緊の課題である。日本政府は、2030年度までに家庭部門でCO₂排出66%削減、運輸部門35%減、業務その他部門51%減を目標としている。そこで、私たち研究グループは、今後コストが大きく下落することが予想される屋根上太陽光発電(PV)と電気自動車(EV)を組み合わせ、都市レベルで脱炭素化を行う「SolarEV シティー構想」の研究を行ってきた。これまでの研究で、日本の9つの都市(東京都区部、札幌市、仙台市、郡山市、新潟市、川崎市、京都市、岡山市、広島市)の屋根面積の70%にPVを敷設し、市内の乗用車をEVに変え、EVを蓄電池として用いることで、53~95%の都市の電力需要を賄うことができることがわかった¹⁾。また、自動車の使用と電力消費からのCO₂排出の54~95%の削減につながる。2030年には技術コストの下落に伴い、この「PV+EV」システムの導入によりエネルギーコスト(ガソリンと電気代)が26~41%削減となる可能性があることもわかった。

しかし、都市には多様なビルの形状や

材質、ビルの使用の仕方、電力・エネルギー消費パターン、自動車の駐車パターンがあるため、都市の各地区において、どの程度屋根上PVによる発電が生じ、その電気が消費され、そして、EVに蓄電されるのかわからなかった。そこで、本研究²⁾では、戸建て住宅街のケースとして、福島県相馬郡新地町の50軒の住宅街と、中心市街地のケースとして、京都市中心市街地の分析を行った。

これらの再エネプロジェクトの事業実現性を評価するため、「技術経済性分析」という手法を用いた。この分析手法を用いることで、再エネの変動性、気温変動、技術のコスト、電気料金、余剰電力買取価格、運用費、整備費、PVや蓄電池の劣化などを考慮した上で、既存のエネルギーシステム(電力系統の電気とガソリン車)との比較でプロジェクトの経済性やCO₂排出削減率を評価することができる。計算には、プロジェクト期間25年、割引率3%(将来の価値を現在の価値へ換算する際に用いる年率)、ドル円換算レートは、1ドル110円を用いた。電気料金は、京都市の中心市街地が20円/kWh(低圧・高圧混合電力料金)、新地町の戸建て住宅街が24円/kWh(低圧電力料金)で計算を行った。

街区の分析を行うにあたって、中心市街地の建物の屋根面積の最大70%をPV敷設が可能であると想定し、戸建て住宅は1軒当たり最大PV容量10kWを想定した。分析では、PV容量は経済性が最も高くなるPV容量を計算した。また、時間毎の消費電力データには、新地町は住宅のスマートメーターのデータを(図-1)、京都市街地はEnergyPlusというプログラムを使って時間毎データを見積もり分析に用いた。分析は、2020年から2040年まで行い、PV、蓄電、EVのコストが変化する(図-2)以外は同じ条件である。これにより、技術コストの下落が、屋根上PVの経済性と市民のエネルギー経費に与える影響を知ることができる。EVは、40kWhのバッテリーが搭載されていることを想定し、その半分をPVの蓄電池として使うことを想定した。また、自動車のオーナーが買い替え時にEVに乗り換えることを想定し、EVのガソリン車に対する追加コスト(価格差)とV2Hシステム(EVから家に電力供給するシステム)をEVのコストとして見積もっている。EVは、京都市の中心市街地で100台、新地町の戸建て住宅街で1軒1台(50軒で50台)の乗用車がEVとなったことを想定した。

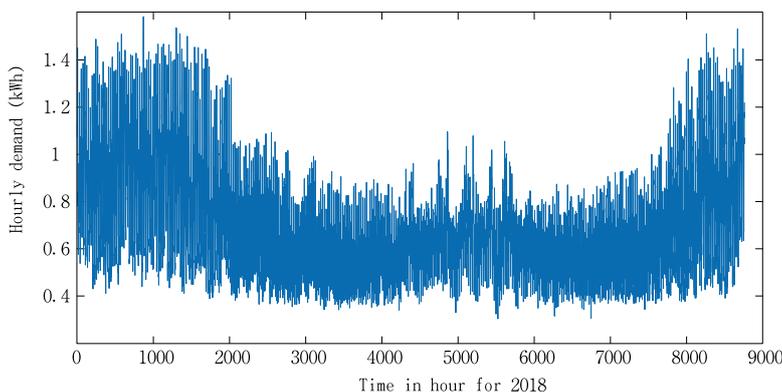


図-1 新地町の50軒の戸建て住宅のスマートメーターの平均時間毎データ(Kobashi et al., 2022)

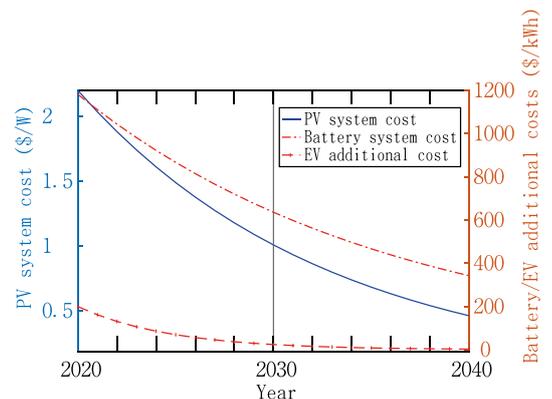


図-2 屋根上PVシステム、小型蓄電池システム、EV追加コスト(Kobashi et al., 2022)

表-1 指標の単位と説明

指標	単位	説明
屋根上PVの最適容量 (PV capacity)	kW	経済性が最も高くなる屋根上PVの容量
蓄電池の最適容量 (Battery capacity)	kWh	経済性が最も高くなる蓄電池の容量
正味現在価値 (Net present value: NPV)	\$	投資によってどれくらい利益を得られるか。
CO ₂ 排出削減率 (CO ₂ emission reduction)	%	導入した技術と既成のエネルギーシステムと比較した削減率。
エネルギー経費節約率 (Cost saving)	%	既成のエネルギーシステムからのコスト削減率
エネルギー充足率 (Energy sufficiency)	%	屋根上PVの年間発電量と、街区・住宅の年間消費電力量と比較
電力自給率 (Self-sufficiency)	%	電力の同時同量を考慮しつつ、屋根上PVの発電で、どの程度市街地や住宅の電力を賄えるか
自家消費率 (Self-consumption)	%	屋根上PVで発電された電気が、どの程度、市街地や住宅で消費されたか
投資回収期間 (Payback period)	年	初期投資を経費削減によってどれくらいの期間で回収できるか
内部収益率 (Internal rate of return: IRR)	%	投資期間内における利回りを示す

分析は2つの技術の組み合わせで行い、1つ目のケースはPVと定置蓄電池を設置したケース「PV+ (蓄電池)」(蓄電池は、PVシステムに追加的な経済性が生じる場合にのみ設置)で、2つ目のケースは「PV+EV」を設置したケースである。また、新地町の50軒の住宅を個別に分析したケース (individual) と、マイクログッドなどでエネルギーシェアリングが自由にできたケース (aggregate) の2通りで分析を行った。そして、余剰電力の買取 (中心市街地9円 /kWh、戸建て住宅街10円 /kWh) の有無の影響についても分析を行った。

分析結果は、表-1で記した指標で評価した。まず、新地町の戸建て住宅街のPVの最適容量の変化を見ると、2020年はまだPVのコストが高く、「PV+ (蓄電池)」のシステムでは経済的に最適なPV容量は1~2kWにとどまる (図-3)。「PV+EV」のシステムは、2020年で最適PV容量が4kW程度であり、「PV+ (蓄電池)」のシステムより2~3kW大きくなる (図-3上)。また、余剰電力の買取がある場合、2026年前後には、PV容量は最大値の10kWに達する。定置蓄電池は高価なため、「PV+ (蓄電池)」のシステムに追加的な経済性がなかなか生まれず、2030年代後半ようやく5kWh程度の蓄電池容量で経済性が生まれる (図-3中)。正味現在価値 (NPV: Net Present Valueで、プロジェクトの利益に相当する) を見る

と、「PV+EV」は2020年前後に「PV+ (蓄電池)」の正味現在価値より大きくなり、2030年に向けて急速に増加する (図-3下)。また、「PV+EV」システムは、コミュニティ内で自由なエネルギーシェアリングを想定した方が、2割から3割程度高い正味現在価値を得ることができる (図-3下)。これは、EVの蓄電池を域内で共用でき、域内の余剰電力をより多く消費できることによる。また、地域でEVのバッテリーを共有することで、買い物などでEVを使っても他の家のEVに余剰電力を充電できるため、より自由にEVを自動車として使用することができる。

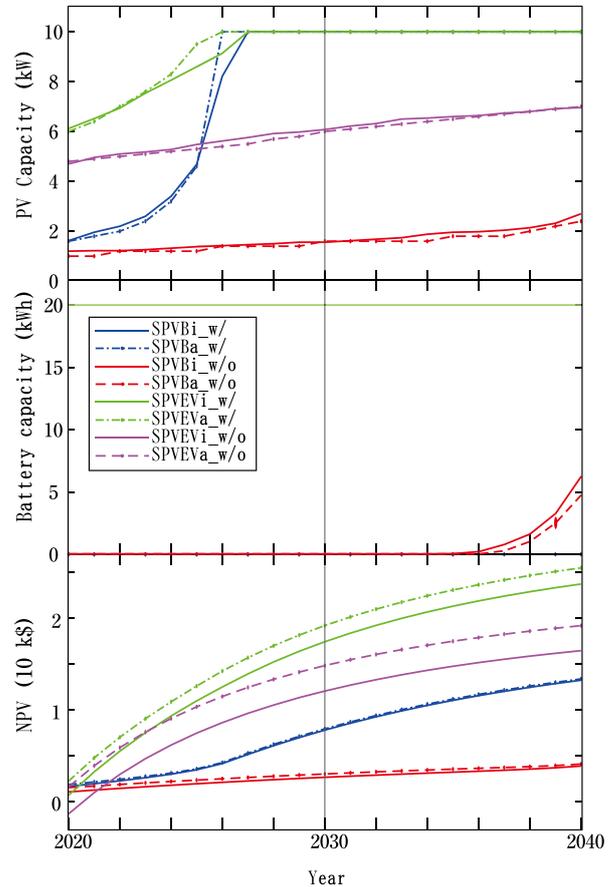
図-4では、都市の中心市街地 (京都市) と戸建て住宅街 (新地町) における「PV+ (蓄電池)」と「PV+EV」システムの2020年から2040年の各指標の値を比較した。複雑になるのを避けるため、余剰電力買取「あり」と「なし」の平均の値を図に示している。

図-4左上から順に説明すると、自家消費率 (Self-consumption) は、2020年は小さいPV容量を反映して、すべてのシナリオで高い自家消費率でスタート

する。特に、「PV+EV」システムでは大きなバッテリーを使用できるため、中心市街地と戸建て住宅街どちらでも「PV+ (蓄電池)」より高い自家消費率となる。自家消費率が2025年まで急激に減少するのは、「余剰電力買取あり」のケースにおいてPV容量が2025年前後まで急激に上昇するためである (図-3)。

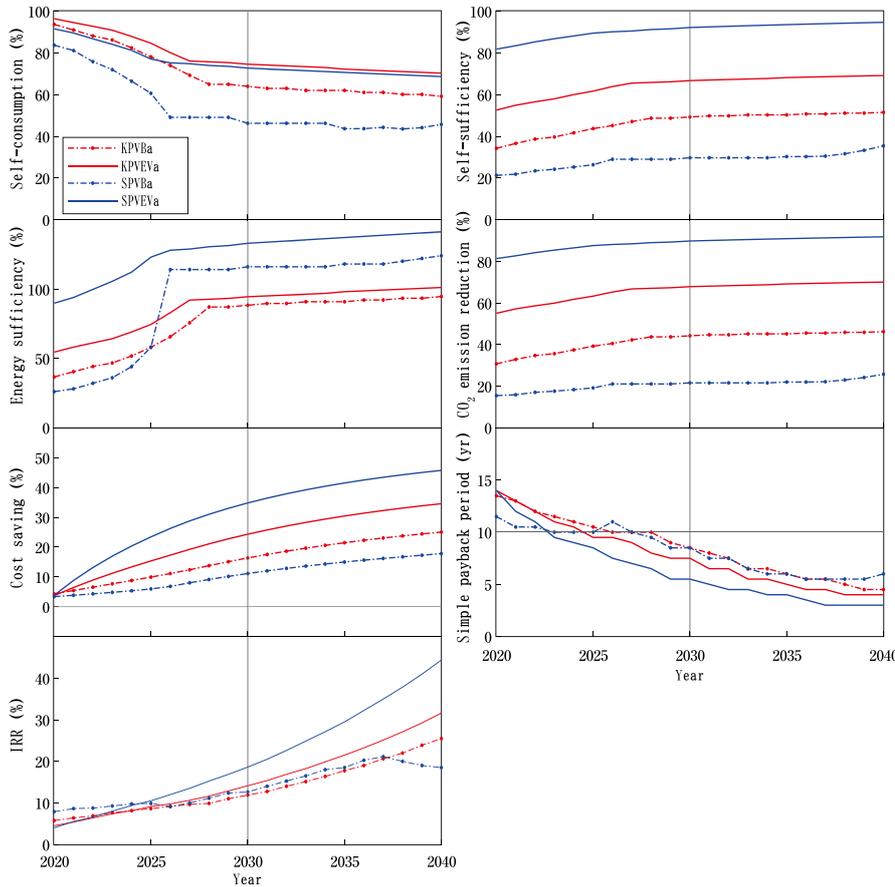
電力自給率 (Self-sufficiency) は、2020年から2040年まで比較的ゆっくりと上昇する。注目すべき点は、戸建て住宅街における「PV+ (蓄電池)」システムと「PV+EV」システムの大きな違いである。戸建て住宅街では、PVシステムにEVを加えることで電力自給率が4倍程度増えることがわかる。一方、中心市街地では「PV+ (蓄電池)」と「PV+EV」の差が小さく、EVを加えることによる電力自給率の上昇は1.5倍程度である。

エネルギー充足率 (Energy sufficiency) を見ると、PV容量の増加に伴い (図-3)、2025年前後まで急速に増え、そこからは徐々に増加する。戸建て住宅街の方が比較的屋根面積が大きいいため、中心市街地より高いエネルギー充足率を示す。



上:最適PV容量 中:最適蓄電池容量とEVバッテリーの容量 下:正味現在価値 (NPV)
 緑と紫が「PV+EV」システム、青と赤が「PV+ (蓄電池)」システムを示し、実線は個別分析の平均値、点線は50軒をまとめて分析した値を50で割った値。青と緑は余剰電力買取ありで、紫と赤は買取なし。

図-3 新地町の50軒の住宅の分析結果の平均値 (Kobashi et al., 2022)



赤は中心市街地で、青は戸建て住宅街。実線が「PV+EV」で、破線が「PV+ (蓄電池)」のシナリオ。

図-4 中心市街地と戸建て住宅街の「PV+ (蓄電池)」と「PV+EV」の比較(Kobashi et al., 2022)

CO₂ 排出削減率 (CO₂ emission reduction) においては、電力自給率と同様に「PV+EV」が、戸建て住宅街で非常に大きな効力を発揮する。「PV+ (蓄電池)」では、戸建て住宅街での CO₂ 排出削減率は小さく、20%前後にしかならない。これは、住宅の電力消費パターンと PV の発電パターンが大きく異なるからである。EV を蓄電池として加えることで、CO₂ 排出削減率は大きく改善する。一方、中心市街地では、「PV+ (蓄電池)」と「PV+EV」の削減率の差が小さくなる。これは、「PV+ (蓄電池)」でも需要・発電パターンが似ているため、自家消費が高くなること、比較的屋根面積が小さいこと、大きな需要であること、駐車している自動車の数が比較的少ないことによる。

エネルギーコストの節約 (Cost saving) は、「PV+ (蓄電池)」であれば中心市街地の方が大きくなるが、PV と EV を組み合わせると、戸建て住宅街において節約率が最も高くなる (図-4)。中心市街地では、EV を PV と組み合わせることによる節約率の改善は小幅にとどまる。

投資回収期間 (Simple payback period)

は、2020 年は「PV+ (蓄電池)」の方が、「PV+EV」より短くなる。2025 年には、戸建て住宅街の「PV+EV」の投資回収期間が最も短くなり、10 年を切る。その後も、戸建て住宅街の「PV+EV」の投資回収期間が最も短く、2030 年には 5 年前後となる。

内部収益率 (IRR) をみると、2020 年前半は「PV+ (蓄電池)」がより高い値を示すが、2025 年には戸建て住宅街の「PV+EV」が最も高くなる。以降、戸建て住宅街における「PV+EV」の内部収益率が、他の内部収益率より高い伸び率を示す (図-4)。

つまり、戸建て住宅街の「PV+EV」システムが、今後、最も高い脱炭素化ポテンシャルの増加を示し、「2025 年前後」には電力自給率が平均で約 89%、電力とガソリン消費に伴う CO₂ 排出削減は約 88%、エネルギーコストの節約が約 23%、投資回収年が約 9 年、内部収益率 (IRR) が約 11% となる (図-4)。そして、2040 年まで、各指標は改善を続ける (自家消費は減少)。

この戸建て住宅街での「PV+EV」シ

テムを、都市の脱炭素化にフル活用するには、バーチャルパワープラント「仮想発電所」などのビジネスモデルを確立し、戸建て住宅街のみならず需要地である中心市街地などに電力を供給するシステムの構築が必要となる。

東京都で、現在検討されている新築住宅における屋根上 PV の義務化は、カーボンニュートラルへ向けて重要な一歩であるが、ここで示したように、都市の脱炭素化を加速するには、屋根上 PV の設置義務化だけではなく、都市の屋根面積を最大限活用するための仕組みを構築する必要がある。今後、屋根上 PV のコストの下落、軽量化、発電効率の上昇によって、現在設置が難しいとされる北向き屋根や、部分的に日陰の屋根などでも経済性が確保できるようになる。また、本研究で示したように、今後急速な普及が予想される EV との連携や、エネルギーシェアリングを可能とすることで、余剰電力を都市内で効率よく活用するメカニズムを構築し、経済効率の高い都市の脱炭素化を実現することが重要である。

このように、都市レベルで屋根上 PV と EV を蓄電池として活用した「SolarEV シティ構想」を念頭に各自治体が脱炭素化を進めることで、2050 年カーボンニュートラルをより現実に近づけることができる。

【参考文献】

- 1) Kobashi, T., P. Jittrapirom, T. Yoshida, Y. Hirano, and Y. Yamagata, SolarEV City concept: building the next urban power and mobility systems, Environmental Research Letters, 16, 024042, 2021.
- 2) Kobashi, T., Y. Choi, Y. Hirano, Y. Yamagata, K. Say, Rapid rise of decarbonization potentials of photovoltaics plus electric vehicles in residential houses over commercial districts, Applied Energy, 306, 118142, 2022.



小端 拓郎
 (こばし たくろう)
 静岡県生まれ。
 北海道大学工学部資源開発
 工学科にて学士号、米国テキ
 サス A & M 大学地質・地球物
 理学科にて修士号、米国カリ
 フォルニア大学サンディエゴ
 校スクリプス海洋研究所にて Ph.D. を取得。世界銀行、
 地球環境戦略研究機関、国立極地研究所、スイス・ベル
 ルン大学、自然エネルギー財団、国立環境研究所を経て、
 2022 年 4 月より東北大学大学院環境科学研究科准教授

<連絡先: 022-752-2259 >