

SolarEV シティー構想： 新たな都市電力とモビリティーシステムの在り方

国立環境研究所
小端拓郎

太陽光発電



屋根材と一体化したテスラのソーラールーフ。

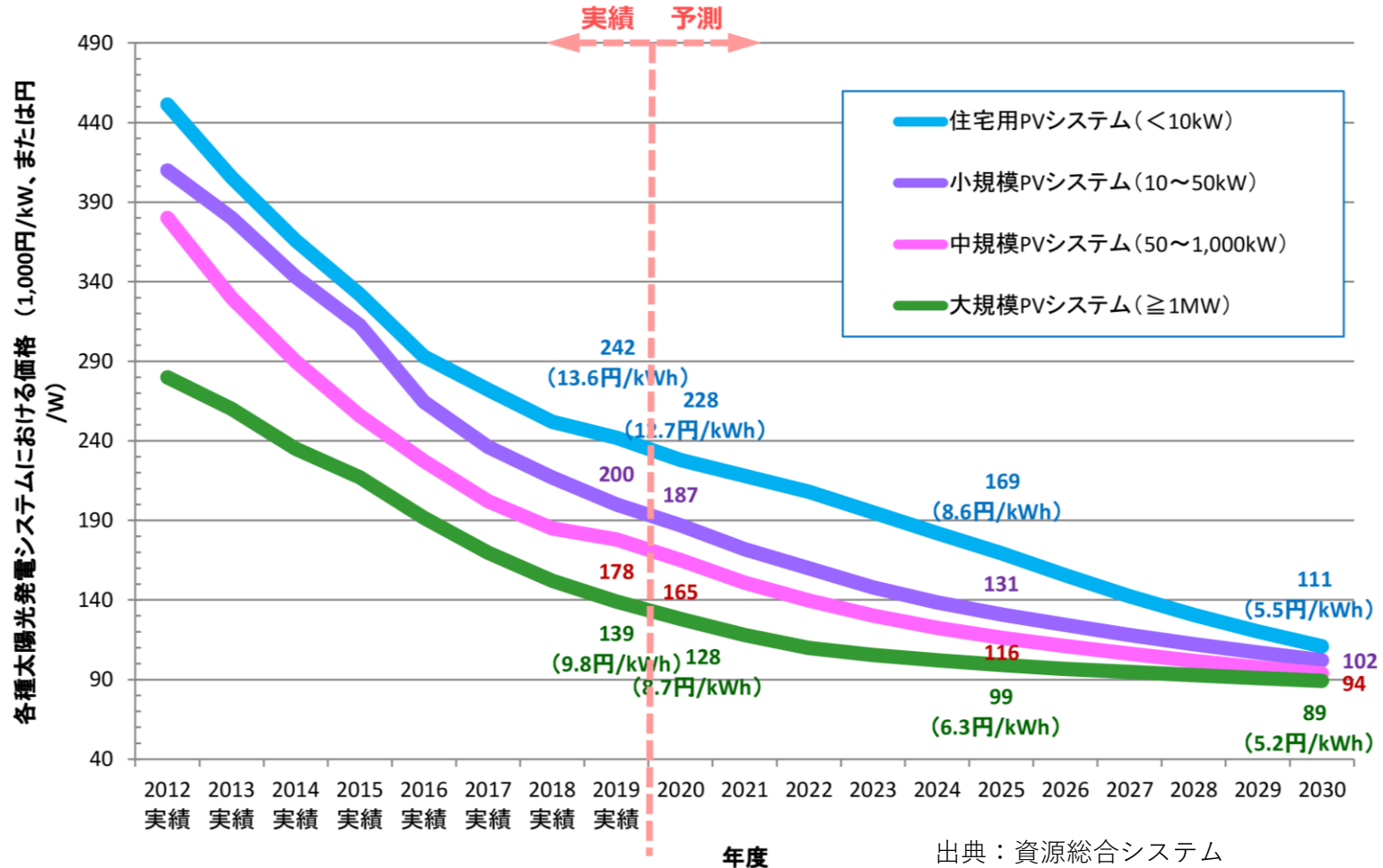
日本の太陽光発電ポテンシャル (実測値)

順位	県名	平均	平均	順位	県名	平均	平均	順位	県名	平均	平均
		発電量 (kWh)	稼働率 (%)			発電量 (kWh)	稼働率 (%)			発電量 (kWh)	稼働率 (%)
1	山梨県	1436	16.39	17	栃木県	1287	14.69	33	広島県	1202	13.72
2	長野県	1427	16.29	18	兵庫県	1279	14.6	34	大分県	1191	13.6
3	徳島県	1373	15.67	19	岡山県	1276	14.56	35	京都府	1171	13.37
4	静岡県	1368	15.62	20	長崎県	1274	14.55	36	石川県	1124	12.83
5	群馬県	1366	15.6	21	神奈川県	1273	14.53	37	島根県	1113	12.71
6	愛知県	1361	15.54	22	佐賀県	1270	14.5	38	福井県	1108	12.65
7	高知県	1358	15.5	23	滋賀県	1269	14.48	39	宮城県	1105	12.61
8	三重県	1352	15.44	24	熊本県	1263	14.41	40	新潟県	1090	12.44
9	宮崎県	1337	15.27	25	奈良県	1262	14.4	41	山形県	1089	12.43
10	岐阜県	1320	15.07	26	東京都	1258	14.36	42	富山県	1076	12.28
11	香川県	1305	14.89	27	山口県	1251	14.28	43	岩手県	1070	12.21
12	茨城県	1298	14.82	28	千葉県	1248	14.25	44	北海道	1064	12.15
13	埼玉県	1293	14.76	29	愛媛県	1247	14.24	45	鳥取県	1055	12.04
14	和歌山県	1291	14.74	30	福岡県	1242	14.18	46	青森県	1027	11.73
15	沖縄県	1290	14.72	31	福島県	1231	14.06	47	秋田県	902	10.3
16	鹿児島県	1290	14.72	32	大阪府	1215	13.87		全国平均	1,234	14.09

太陽光発電総合情報

<http://standard-project.net/solar/region/>

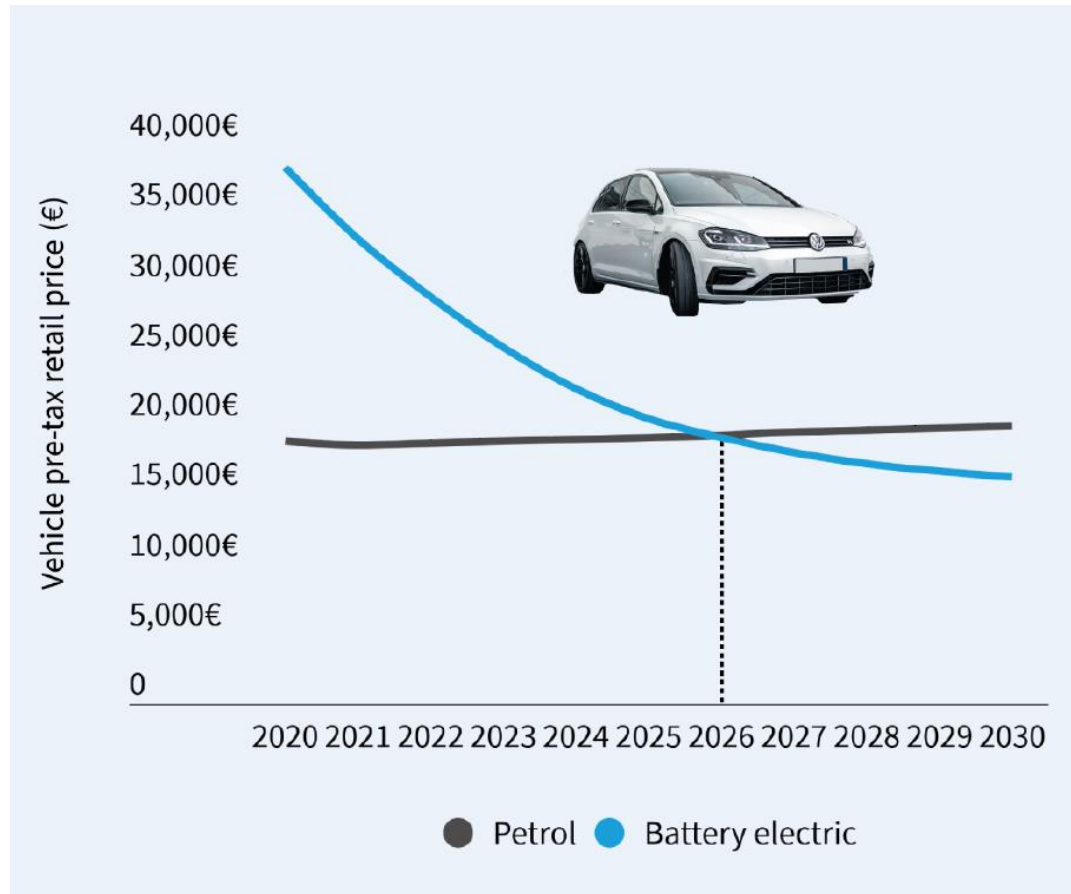
PVシステムコストの下落



- PVシステムの価格は、2030年には現在の半額以下になると予想される。
- 最も安い電力となるPVの電気を、出来る限り直接利用できるシステムを構築し電化を加速する。

4kWの住宅屋根上PVだと
2019年約97万円
2030年約44万円

EVの価格構成とその推移



- 2020年代後半には、バッテリーの価格が今の半分となり、EVはガソリン車より安くなる。

PV, バッテリー、EVなど、今後大きく価格を下げる技術が、脱炭素化のブレイクスルーを作り出す。

V2H, V2B , V2C : Vehicle to Home, Building, Community

車に電気をため、バッテリーの電気を家、ビル、コミュニティで使う。



- 固定バッテリーは小容量（通常10kW以下）で高額である（経済性が見合わない）。
- EVには、大きなバッテリー(例えば40kWh)がある。
- PVと組み合わせることで自動車と家電の脱炭素化およびエネルギーコストの節約につながる。
- PV+EVシステムによる安価な電気で、家庭での暖房や給湯の電化につなげる。

技術経済性分析

- P V や E V を導入した際に、既存のエネルギー（電力会社の電気、ガソリン）の経費と比べて、どれくらい節約になるかを計算する。
- 正味現在価値（NPV）を指標とし、プロジェクト期間25年間割引率3%を用いた。
- P V の容量は、最も節約の大きくなる容量を求める。これは、P V のコスト、電力需要、日射などによる。
- ガソリン車との価格の違いを、E V の追加コスト(V2Hシステム費込み)としている。

現在のシステム

系統電気
+
ガソリン
自動車

比べる

太陽光発電の
システム

PV+(蓄電池)

PV+EV (V2H)



節約、CO₂削減を計算

建物の屋根上太陽光発電

- 建物の屋根は、建物の強度、日当たり、景観、立て替えの予定、現在の使用（空調の室外機など）、経済性によって、**PV**の利用は制約される。
- しかし、十年単位で見ると多くの課題は技術、経済、社会的解決法（イノベーション）によって克服しうる。
- 建物の屋根を**PV**に使用しなければ、平地のどこかを犠牲にしなければならない。
- 屋根上太陽光発電は、最も自然侵略性の少ない再生可能エネルギー（**Least Invasive Renewable Energy: LiRE**）と考えることが出来る。

PV + EVの都市へ適用

- 建物の屋根の最大70%をPVの敷設可能とする。PVの容量は、70%の屋根面積を最大値としながら、初期投資も含めて最も利益の大きくなる容量を計算する。
- 個人所有の乗用車をすべてEV(40kWh)とし、そのバッテリーの半分をPVの蓄電池として使用可能とする。

SolarEV シティ 構想

1. Kobashi et al., "SolarEV City concept: Building the next urban power and mobility systems", *Environmental Research Letters* (2021).
2. Kobashi, et al., On the potential of "Photovoltaics + Electric vehicles" for deep decarbonization of Kyoto's power systems: Techno-economic-social considerations, *Applied Energy*, 275 115419. 2020.

分析都市



試算には、政令指定都市である新潟市、岡山市、仙台市、広島市、京都市、札幌市、川崎市に加えて、郡山市、東京都区部において、**2018年と2030年のPV, EVの技術経済性分析**を行った。

Kobashi et al., "SolarEV City concept: Building the next urban power and mobility systems", *Environmental Research Letters* (2021).

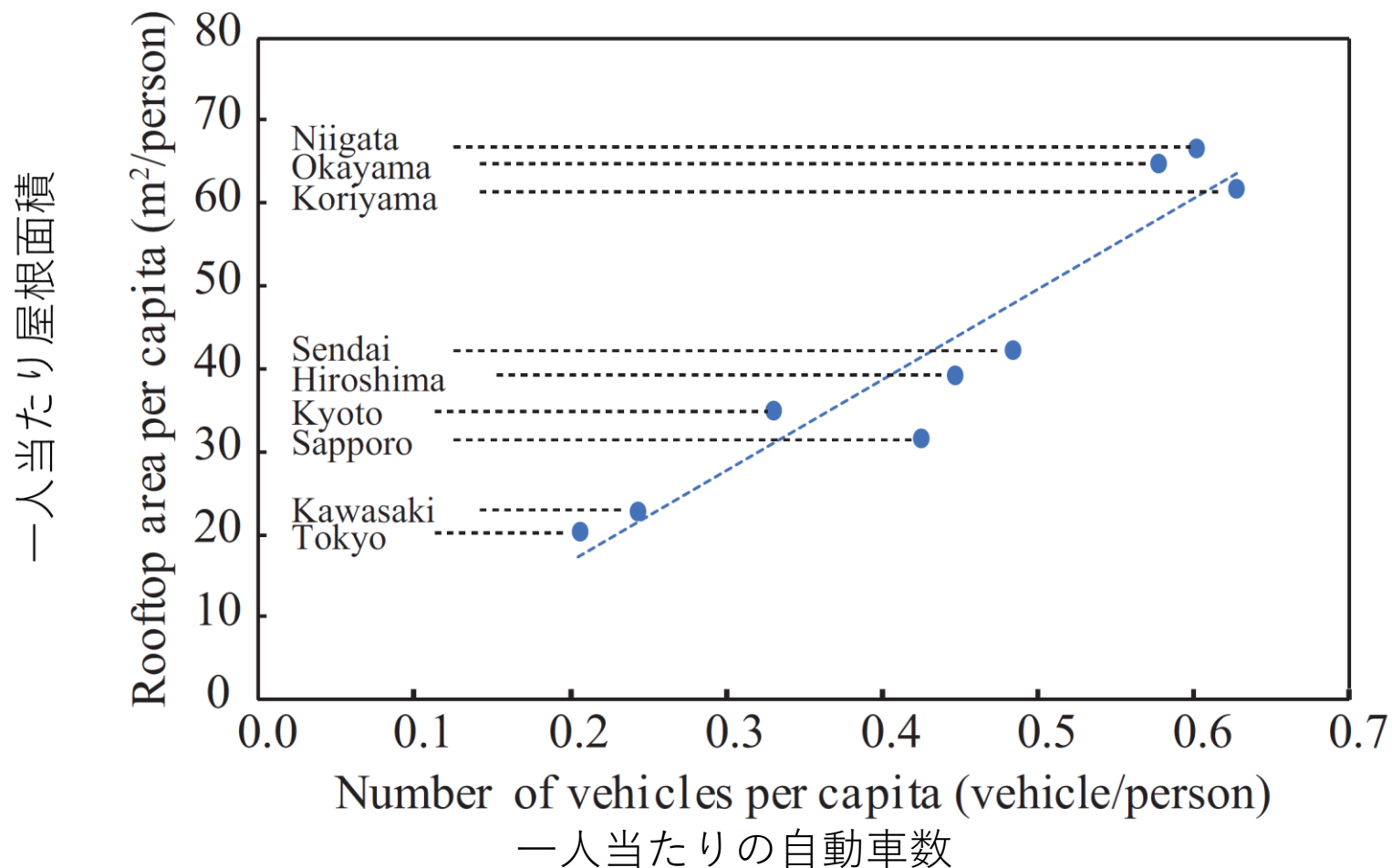
都市の統計

	岡山市	広島市	川崎市	仙台市	新潟市	札幌市	郡山市	京都市	東京都 区部
人口(百万)	0.71	1.20	1.52	1.09	0.79	1.97	0.33	1.47	9.40
一人当たり 自動車台数	0.58	0.45	0.24	0.48	0.60	0.42	0.63	0.33	0.21
一人当たり 屋根面積(m ²)	65	40	23	43	67	32	62	35	21
PV平均 稼働率(%)	14.6	13.7	14.5	12.6	12.4	12.2	14.1	13.4	14.4

Kobashi et al., "SolarEV City concept: Building the next urban power and mobility systems", *Environmental Research Letters* (2021).

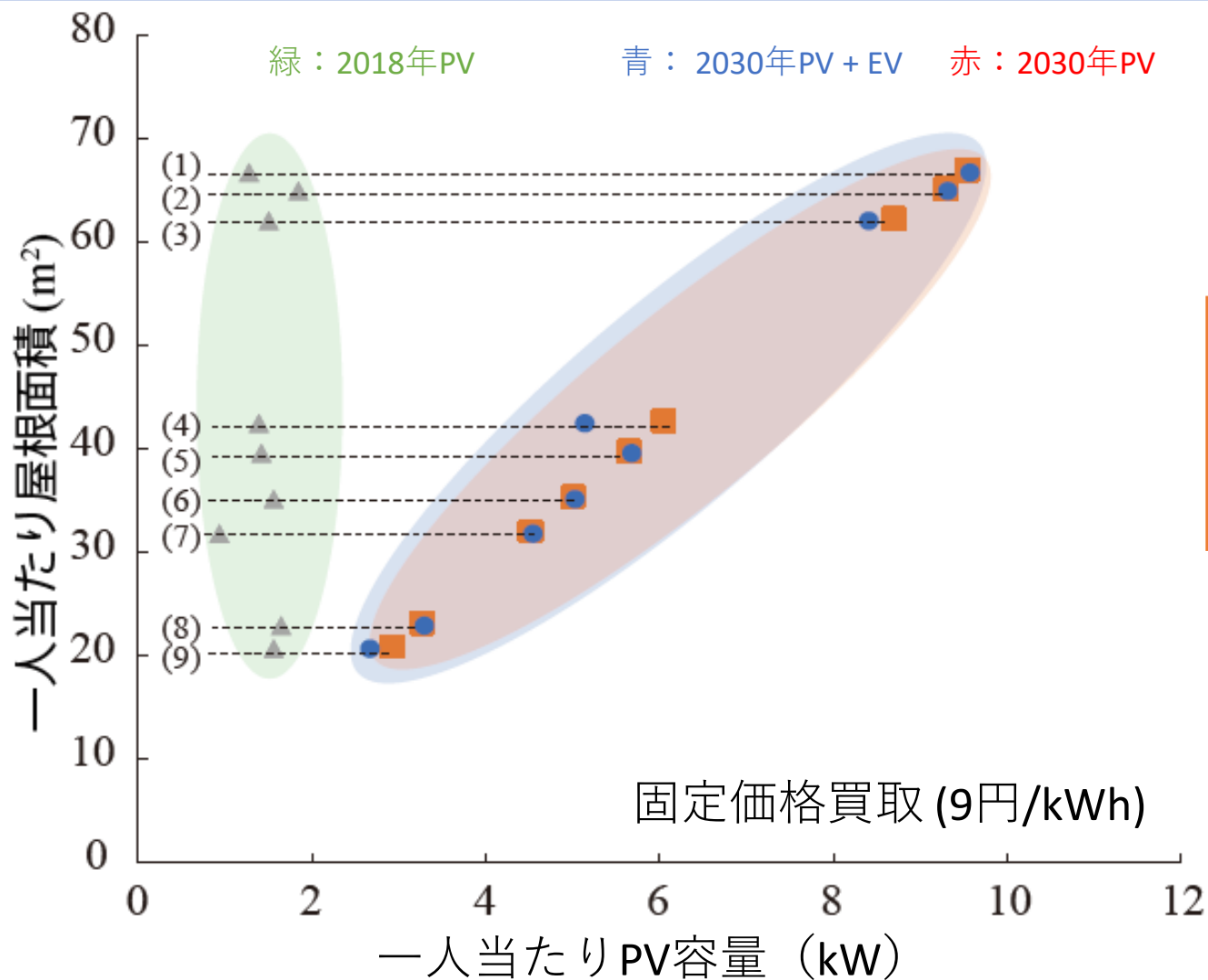
- スケールが大きく異なるため、一人当たりの値で比較する。

一人当たり屋根面積と自動車の数



一人当たり屋根面積と一人当たり自動車数が、SolarEVシティの効果を評価する重要な指標になる。

屋根上PV容量

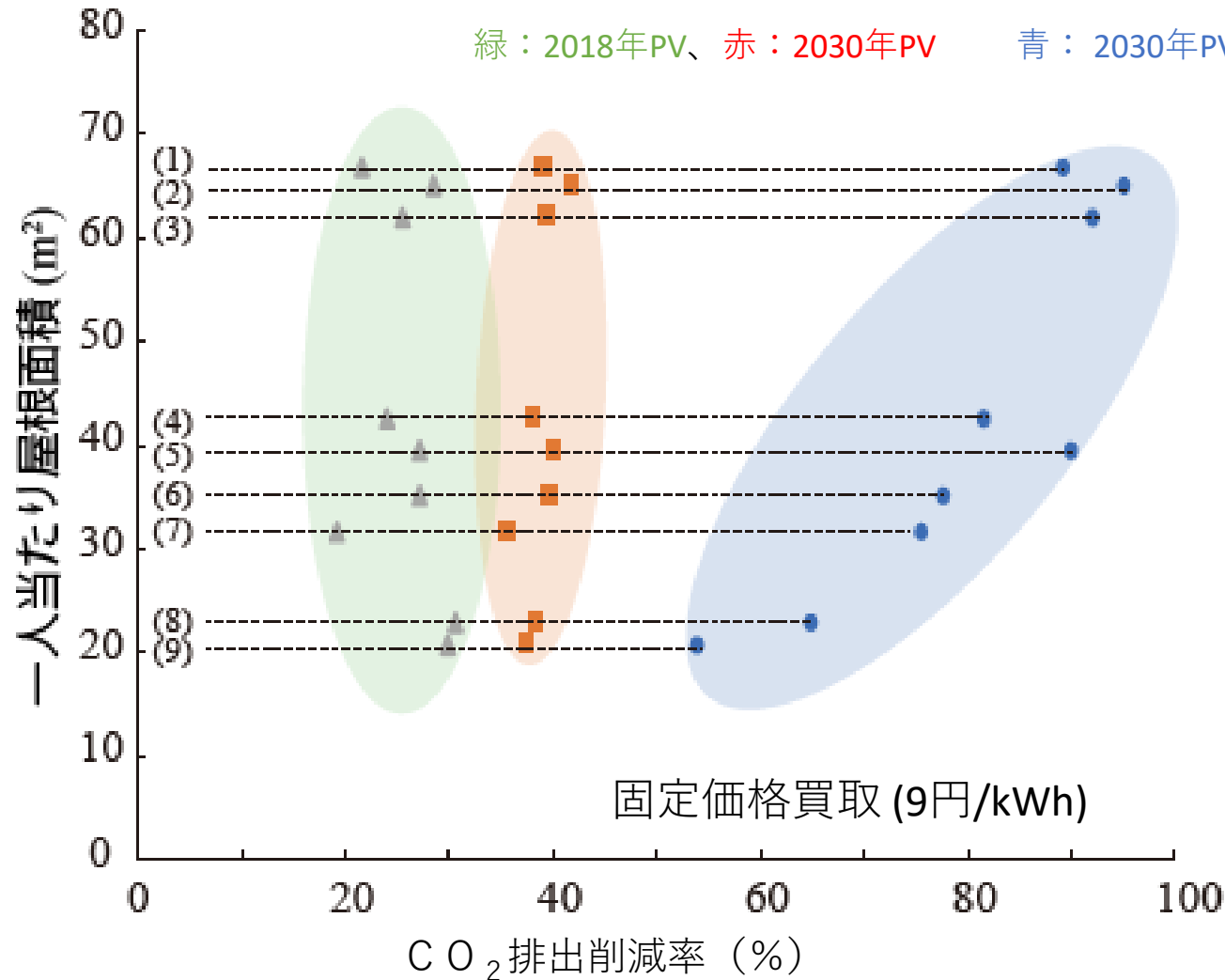


- 2030年には、最大の屋根面積を使うのが最も経済的になる。
- 一人当たり屋根面積の多い都市が、最も増加する。

Kobashi et al., "SolarEV City concept: Building the next urban power and mobility systems", *Environmental Research Letters* (2021).

CO₂排出削減率

現在の電気・ガソリンを使用した時と比べた際のCO₂排出削減率



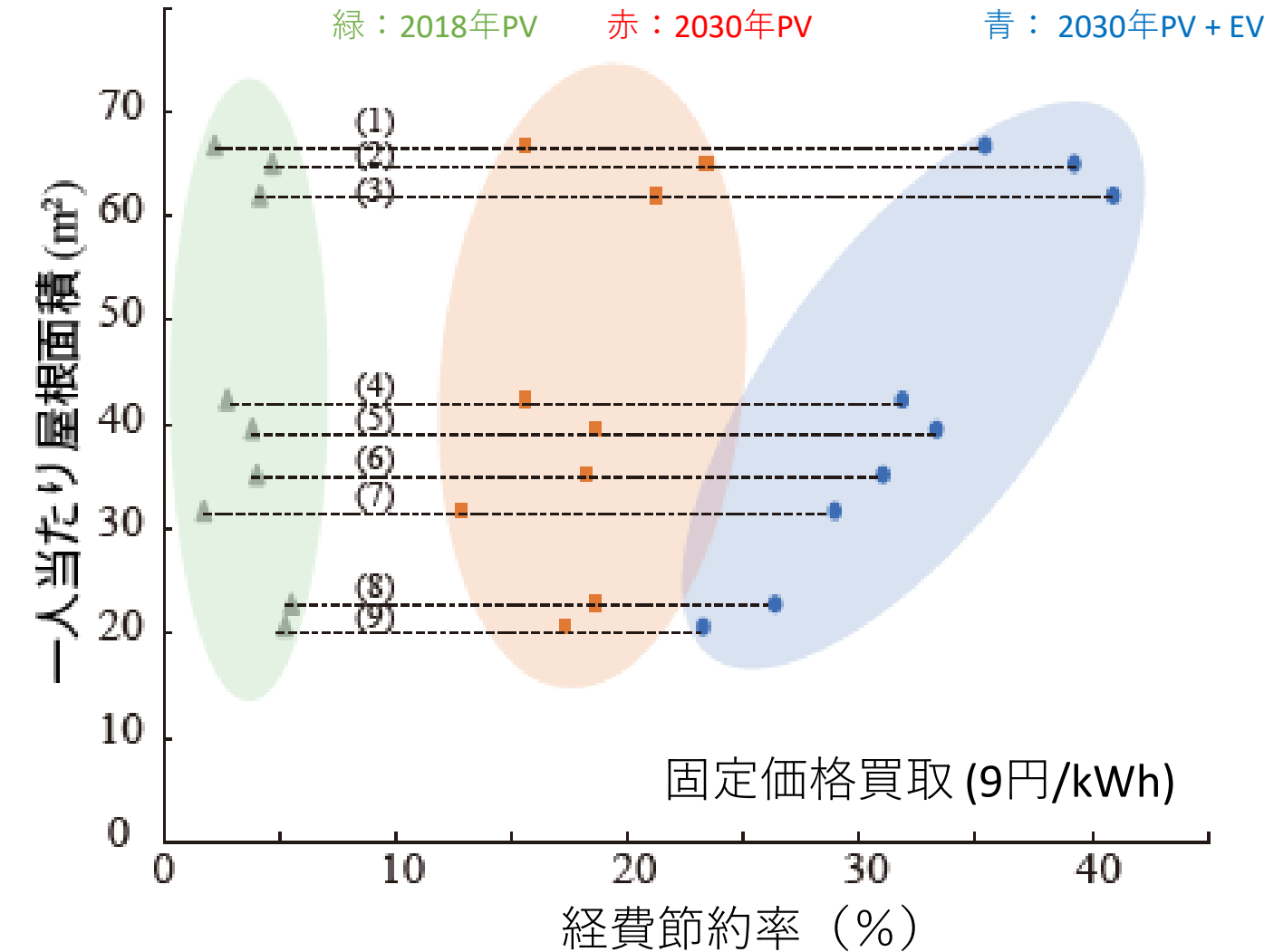
PV+EVが、最大のCO₂削減となる。FITありで、最大90%以上の削減。

Kobashi et al., "SolarEV City concept: Building the next urban power and mobility systems", *Environmental Research Letters*, (2021).

1. 新潟市、2. 岡山市、3. 郡山市、4. 仙台市、5. 広島市、6. 京都市、7. 札幌市、8. 川崎市、9. 東京都区部

エネルギー経費節約率

現在の電気代・ガソリン代と比べた際の経費削減率



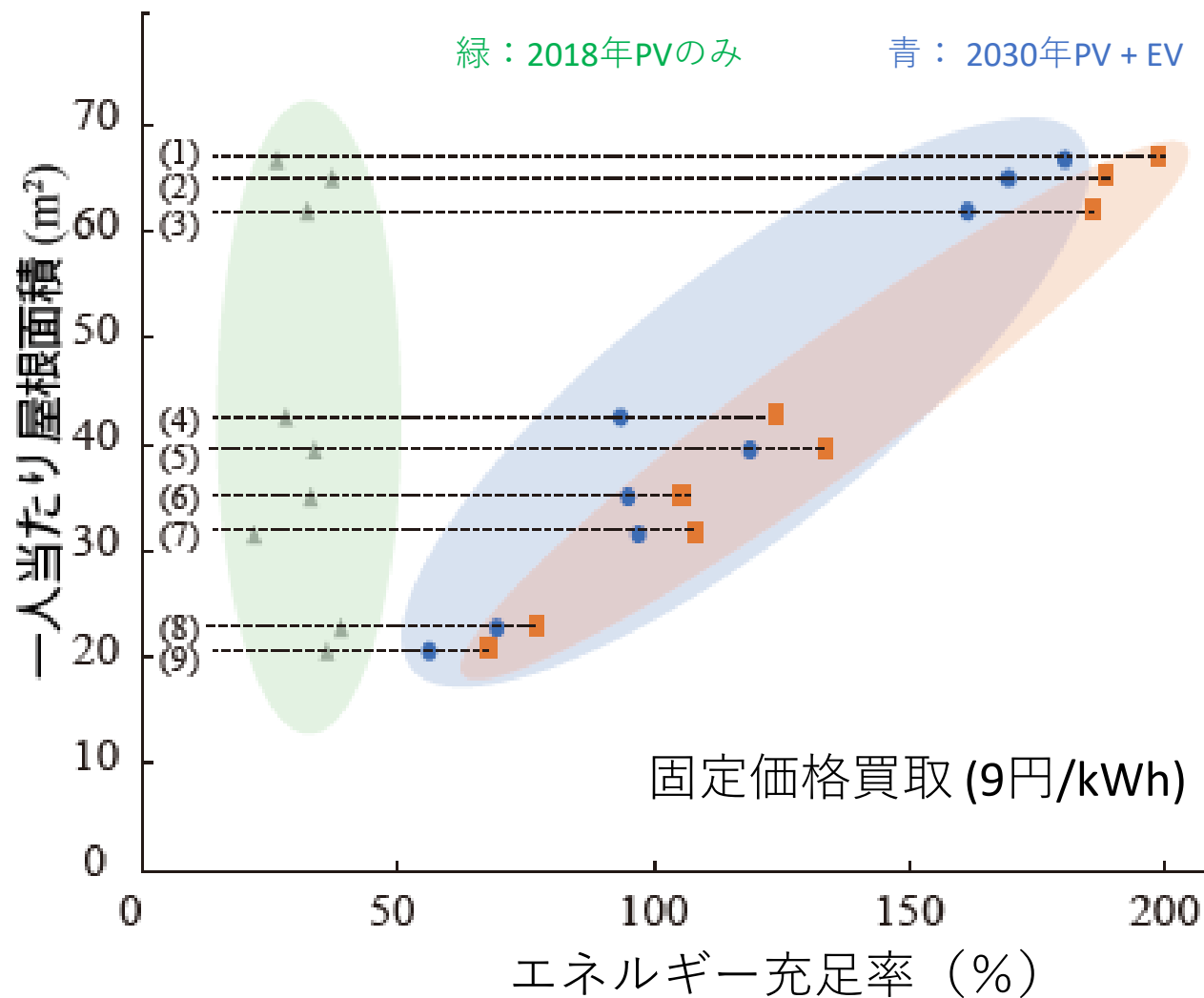
最大40%の経費削減となる。

Kobashi et al., "SolarEV City concept: Building the next urban power and mobility systems", *Environmental Research Letters* (2021).

1. 新潟市、2. 岡山市、3. 郡山市、4. 仙台市、5. 広島市、6. 京都市、7. 札幌市、8. 川崎市、9. 東京都区部

エネルギー充足率

屋根上PVで作られた電力量と一年間の都市消費電力量を比べると？

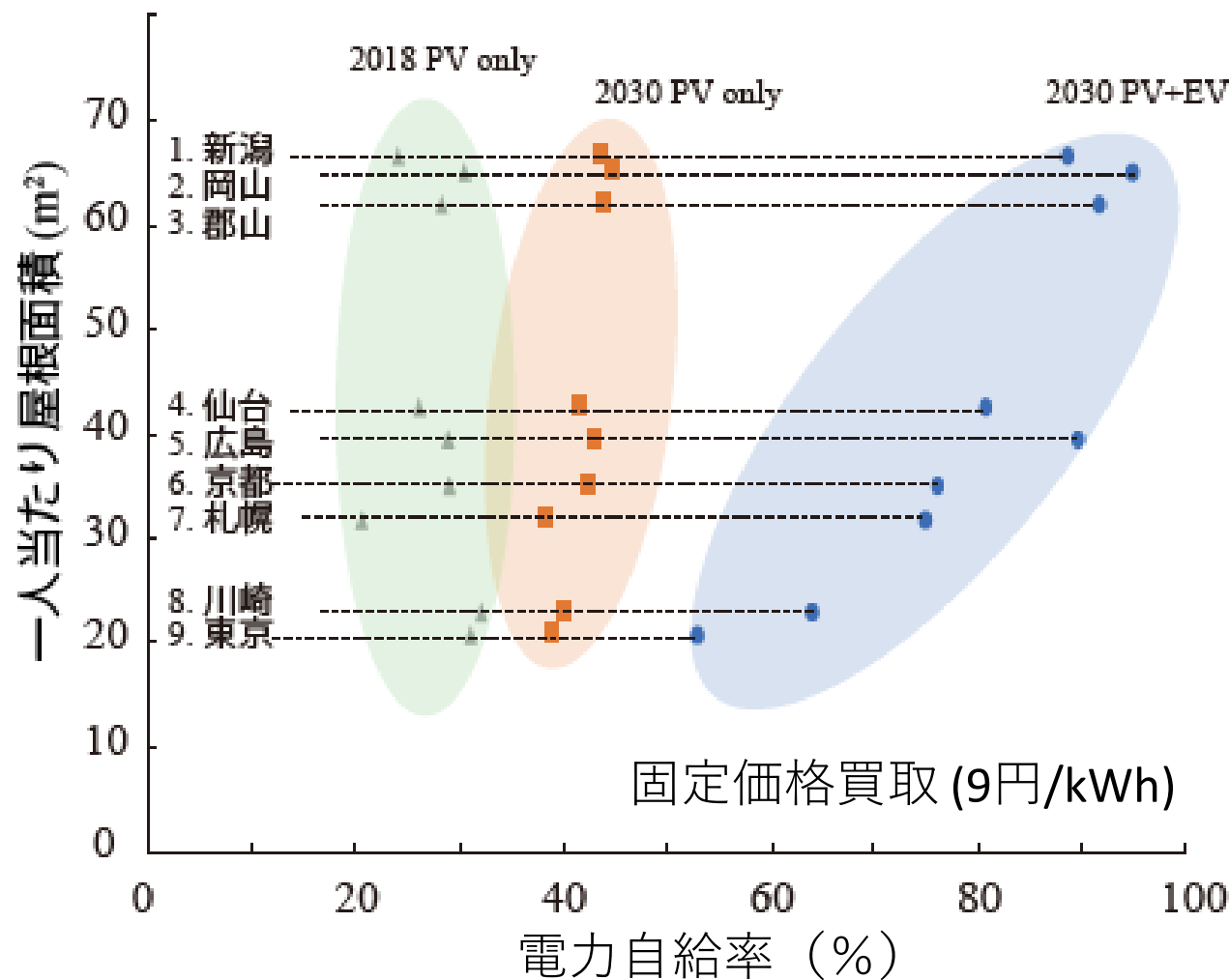


FITによりPVが最大となる時、東京と川崎以外、ほぼすべての年間消費電力量を屋根上PVで賄うことができる。

Kobashi et al., "SolarEV City concept: Building the next urban power and mobility systems", *Environmental Research Letters* (2021).

電力自給率

電力の同時同量を考慮しつつ、屋根上PVでどの程度都市の電力を賄えるか。

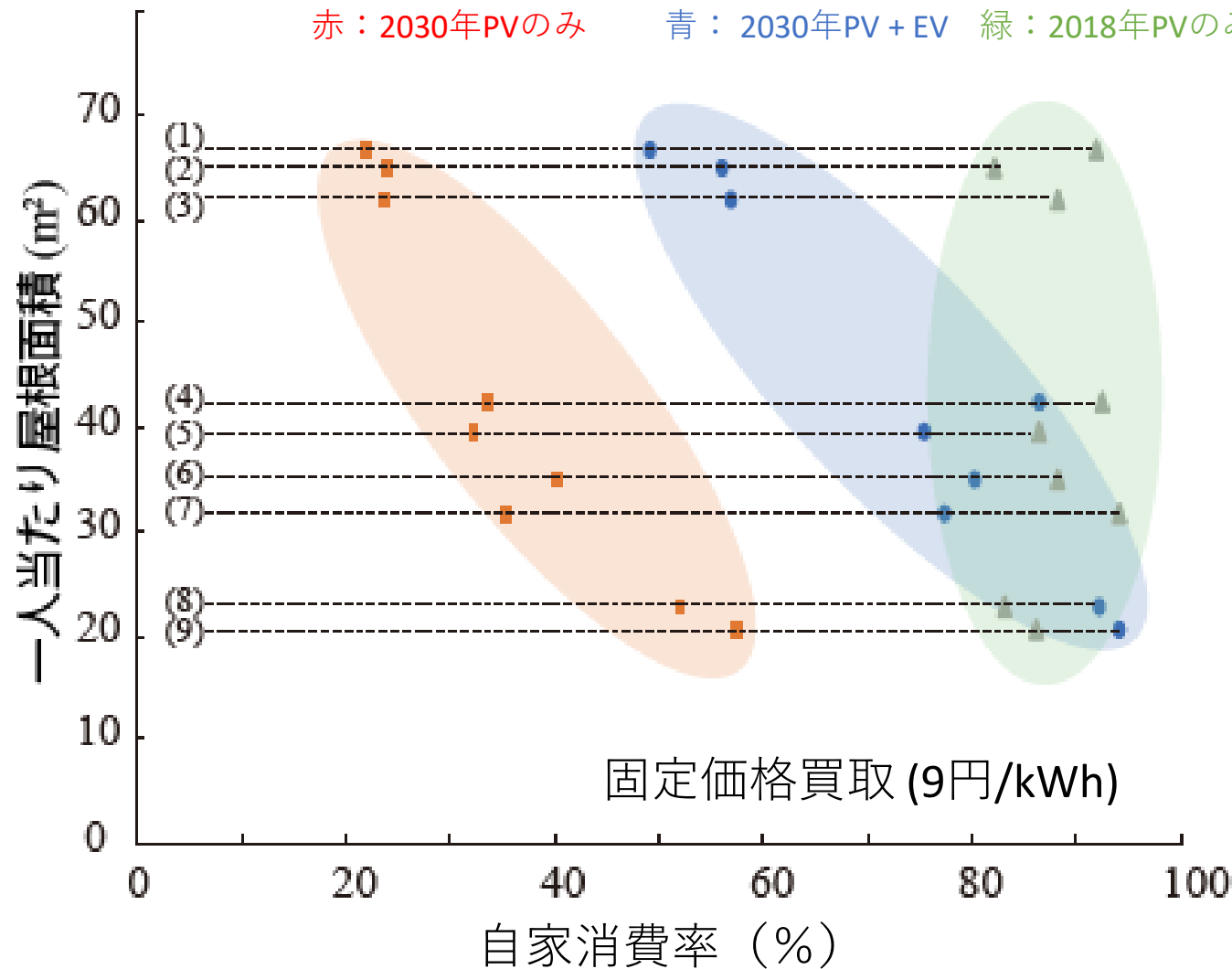


PV+EVが最も、自己充足率を高める。FITありでは、最大90%以上供給できる。

Kobashi et al., "SolarEV City concept: Building the next urban power and mobility systems", *Environmental Research Letters* (2021).

自家消費率

都市で作り出されたPV電気を、どれだけ市内で消費できる？



PV+EVは、PV容量が大きくなっても自家消費率が高く保たれる。

Kobashi et al., "SolarEV City concept: Building the next urban power and mobility systems", *Environmental Research Letters* (2021).

まとめ

- 都市の脱炭素化においては、屋根上PVの普及が重要なカギである。
- 屋根上PVによる安価な電気を活用するには、EVとのカップリングにより電気を使いたい時に使えるものとする事で効果的な脱炭素化が可能となる。
- 特に、戸建て住宅におけるPV+EVの経済性が、今後急速に高まる。
- 大規模ビルでは、省エネと屋根上PVの義務化が必要となる。
- PV+EVを効果的に用いるためには、電気のシェア（P2Pなど）や仮想発電所（VPP）などにより、都市内でPVの自家消費を高めるシステム構築が必要になる。

SolarEV シティ ー 構 想

ご清聴ありがとうございました。

参考文献

1. **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).
2. **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) doi:10.1088/1748-9326/abd430.
3. **Kobashi, T.**, T. Yoshida, Y. Yamagata, K. Naito, S. Pfenninger, K. Say, Y. Takeda, A. Ahl, M. Yarime, K. Hara, On the potential of PV + EV for deep decarbonization of Kyoto's energy systems: Techno, social, economic considerations towards 2030, *Applied Energy*, 275, 115419 (2020b).
4. **Kobashi, T.**, K. Say, J. Wang, M. Yarime, D. Wang, T. Yoshida, Y. Yamagata, Techno-economic assessment of photovoltaics plus electric vehicles towards household-sector decarbonization in Kyoto and Shenzhen by the year 2030, *J. Cleaner Production*, 253, 119933 (2021a) <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119933>.
5. **Kobashi, T.**, M. Yarime, Techno-economic assessment of the residential photovoltaic systems integrated with electric vehicles: A case study of Japanese households towards 2030, *Energy Procedia*, 158, 3802-3807 (2019)