



低炭素社会の実現に向けた  
技術および経済・社会の定量的シナリオに基づく  
イノベーション政策立案のための提案書

**地理情報や最新・将来技術の動向、影の影響を反映  
した、国内の太陽電池導入ポテンシャルの算出**  
— 東京都内の解析 —

令和 3 年 12 月

Estimation of the Installation Potential of Solar Cells Reflecting Shadow Effect,  
Geographic Information, and Latest/Future Technology Trends:  
Analysis in Tokyo Area

Proposal Paper for Policy Making and Governmental Action  
toward Low Carbon Societies

国立研究開発法人科学技術振興機構  
低炭素社会戦略センター

LCS-FY2020-PP-20

## 概要

2020年に、政府目標として2050年までの脱炭素化が設定されたことを受け、再生可能エネルギーを主力とした電源への移行に向けた検討が加速している。一方、太陽光発電をはじめとした変動型再生可能エネルギーは、電力需要との時間（昼夜間や季節変動）、空間（送電網を含めた地理的偏在）ギャップが不可避であり、特に高需要で送電網が整備されている都市圏への導入は最大限に促進すべきだと考えられる。したがって、建物に対する太陽光発電の導入ポテンシャル、特に東京における導入ポテンシャルの算出は、再エネ導入の促進、電源の脱炭素化に向けて重要である。その中で、建物壁面、特に南面は発電量が屋根ほど高くないが、冬に発電量ピークを迎えるため、年間を通じた発電電力の直接利用率が向上し、電力需給ギャップを緩和できる。一方、建物壁面への導入を検討するためには、建物間の影の影響の定量化が必須である。本提案書では建物間の影の影響を定量化し、影を考慮した年間発電量から平均発電原価を算出し、発電原価を閾値にして壁面への導入量を決定することとした。地理情報システム（GIS）を用い、個別建物間の影の影響を反映した各屋根面、壁面の日射量を元に導入可能面積、年間発電量を集計、算出した。また、太陽電池はいったん設置すれば、少なくとも20年以上の長期にわたって置き換えることはない。したがって、発電効率に対する将来の技術革新とその導入シナリオを考慮した太陽光発電の導入ポテンシャルの算出を行った。

## Summary

In 2020, the Japanese government set the target of achieving carbon-free by 2050. This has been expediting discussions toward a power mix where renewables dominate. Meanwhile, variable renewables as highlighted by photovoltaics (PVs) cannot avoid temporal and spatial gaps between power supply and demand. (The former gaps include day and night and seasonal variations, while the latter are geological concentrations, including gaps in access to grids.) Therefore, installation of variable renewables should be encouraged as much as possible in urban areas with a high electricity demand and a large grid capacity. It is thus important to estimate the potential to install PVs in the buildings-especially in Tokyo-for the wider goal of promoting renewables installation and carbon-free power sources. As far as PV power generation is concerned, building-wall surfaces, even those facing south, are not so high in generation efficiency compared with rooftops; however, they generate maximum power in winter. For this reason, to install PVs on building-wall surfaces can improve the direct use rate of generated electricity throughout the year, thus helping to reduce the supply-demand gap of power. A vital prerequisite for the application of PVs to building-wall surfaces is the quantification of the effects of shadows between buildings. Therefore, this paper quantifies such effects, calculates the levelized cost of electricity based on the estimated annual power generation that considers the effects of shadows, and determines the expected amount of application to building-wall surfaces with the cost of electricity being used for a threshold. Using a geographic information system (GIS), the paper aggregates the total applicable area and calculates annual power generation based on the amount of solar radiation on each rooftop and wall surface that is estimated while taking into account the effects of shadows between individual buildings. Once installed, solar cells will not be replaced for at least 20 years. Thus, the paper considers future technological innovations in relation to power generation efficiency and scenarios for introducing them, in calculating the installation potential of PV power generation.

## 目次

### 概要

1. 緒言	1
1.1 背景	1
1.2 これまでの太陽光発電導入ポテンシャルと算出方法	1
1.3 課題と目的	3
2. 影の影響を考慮した太陽光発電導入ポテンシャルの算出法	4
2.1 GISを用いた屋根、壁面の太陽光発電導入ポテンシャル推計方法	4
2.2 導入ポテンシャル推計結果	11
3. 発電効率の向上および導入拡大シナリオによる導入ポテンシャルの変化	18
3.1 発電効率向上、システム価格低減による、壁面導入ポテンシャルの変化	18
3.2 発電効率向上および導入拡大シナリオによる導入ポテンシャルの変化	18
4. まとめ	21
5. 政策立案のための提案	22
参考文献	23

## 1. 緒言

### 1.1 背景

2020年度に、2050年までの脱炭素化が目標に設定され、電源の脱炭素化に向けた戦略設定は急務となっている。再生可能エネルギーの主力化が必須である中、太陽光発電は急速なコスト減によって、2020年上半期には電源全体の9.0%と急速に導入が進み、国内の再エネ電源の軸である。一方、これら変動型再エネは、電力需要との時間（昼夜間や季節変動）、空間（送電網を含めた地理的偏在）ギャップが不可避であり、その制約の下で導入拡大を進める必要がある。よって、特に高需要で送電網が整備されている都市圏における導入は最大限に促進すべきだと考えられる。そのために建物に対する太陽光発電の導入ポテンシャルを知ることは、再エネ導入の促進、電源の脱炭素化に向けて重要である。環境省をはじめ、複数の機関が導入ポテンシャルを算出、公開しており、その算出基準等の定期的な見直しおよび再試算が行われている [1～2]。特に、発電効率の向上は導入ポテンシャルに直結することから、最新値および将来の予測値を用いた見直しが必要である。低炭素社会戦略センター（LCS）では環境省の調査結果を元に各種再生可能エネルギーの地域ごとの建設コスト低減に関する提言を行ったほか [3]、導入ポテンシャルに関しては耕作放棄地の利用を中心とした導入可能量の拡大の可能性を議論している [4]。

都市圏における建物への太陽光発電の導入を促進していくなかで、屋根だけでなく壁面への導入は重要と考えられる。NEDO「太陽光発電開発戦略2020」においても、建物壁面への設置を「新たな価値創造」の一つとして主要項目に挙げている [5]。壁面設置した太陽電池は、年間発電量は屋根と比べて低いが、南面は冬に、東西面は朝夕にピークを迎えるため、発電電力の直接利用率を向上できる。東工大伊原研究室では本学大岡山キャンパスで運用しているエネルギーシステム「エネスワロー」の実データを用い、分散グリッドの蓄エネルギーを含めたシステムコスト最小化のための設置面の組み合わせ最適化手法を構築し、壁面設置の有用性を明らかにした [6]。よって、屋根面だけでなく、壁面の導入ポテンシャルを定量的に見積もる重要性は高いと考えられる。

### 1.2 これまでの太陽光発電導入ポテンシャルと算出方法

環境省は2009年から行われている「再生可能エネルギーの導入ポテンシャル推計」について、2018年に見直しを行い、2019年に再推計結果を公開している [1]。また同時に、住宅系、非住宅系それぞれに対して、コストおよび売電価格のシナリオを設定し、シナリオ別導入ポテンシャルの推計も行っている。導入ポテンシャルは、

必要設置可能面積 (m<sup>2</sup>/kW) = 建物面積 (m<sup>2</sup>) × 設置係数 (-) / 設備容量 (kW)

年間発電電力量 (kWh/年) = 設備容量 (kW) × 地域別発電量係数 (kWh/kW・年)

としている。建物面積は、建築面積もしくは延床面積（施設種ごとに基準を定める）であり、設置係数は、建物面積に対する設置可能面の割合を施設種ごとに設定した係数、必要設置可能面積は、単位設備容量を設置するのに必要な面積であり、おおよそ変換効率の逆数に比例する。地域別発電量係数は、地域ごと（市区町村別）の年間日射量を元に年間発電量を求め、総合設計係数は0.88、標準日射強度は1 kW/m<sup>2</sup>としている。以下、住宅系、公共系建物それぞれに対する導入ポテンシャルの試算方法の概要を示す。

#### ① 地図情報および統計情報から面積データ収集

住宅系（戸建て、集合住宅、オフィスビル、宿泊施設、商業施設）は地理情報（GIS）から建築面積または延床面積を取得し、市区町村ごと、または5 km四方ごとに建物種別、面積を集計

している。非住宅系（公共系建築物、発電所・工場・物流施設、低・未利用地、農地（農用地および耕作放棄地））は、各省庁の都道府県別の統計データを取得し、地域ごとの建物面積（建築面積または延床面積）の集計値を取得している。

## ② 設置係数の算定

設置係数は、建物面積に対する、太陽光発電を導入可能な面積の比率である。住宅系、公共系ともに、屋根面、南および東西壁面（公共系のみ）の連続した10 m<sup>2</sup>以上の面への設置を基本的な考え方としている。

戸建て住宅は屋根面のみを試算で、2013年推計[1]において、屋根種別ごとの航空写真サンプルを元に設置係数を算定している。住宅支援機構のアンケート結果を元に都道府県別の屋根形状（寄棟、切妻、陸屋根、片流れ、入母屋、無落雪（M型））の比率を求めて設定している。屋根形状ごとの設置係数は、異なる地域の航空写真（種別ごとに3棟ずつ）から、以下の考え方を元に設定している。最終的には全方位に傾斜した面への設置を想定し、表1のように設定され、都道府県ごとに0.59～0.71の設置係数が算出されている。

表1 環境省（2013年）、戸建て屋根形状ごとの設置係数のまとめ

切妻	寄棟	片流れ	陸屋根	入母屋	無落雪(M型)
0.60	0.68	0.49	0.34	0.55	0.86

戸建て以外の住宅やオフィスビルは、2012年推計[1]において、“みずほ情報総研株式会社「平成22年度新エネルギー等導入促進基礎調査事業（太陽光発電及び太陽熱利用の導入可能量に関する調査）」[2]を元に、設置可能面積（屋根・屋上面積）を施設面積で除した値を設置係数とする”とし、建築面積当たり0.5程度に相当する延床面積当たり0.12～0.16を設置係数としている。なお、同事業では集合住宅カテゴリーの中で壁面の設置も側壁面の25%に設置可能として計算しているが、環境省は屋根面のみを試算である。

公共系施設は屋根面、壁面を試算しており、施設種別ごとに複数のサンプル図面（非建物92件）に対して、レベルごとに屋根、壁面、敷地内空地の設置可能面を割り当てている。2009年（サンプル数、建物系9件、非建物系11件）においては各施設における屋根面、壁面、空地それぞれの設置可能面積を示しており、建築面積に対する壁面の設置可能面積は建物系（主に学校）で9.6%、非建物系（主に工場）で19%となっている。2010年にはサンプル施設数を拡充した上で、施設それぞれに対して設置係数および、発電量係数（設置面ごとに異なる発電量から求められる総括面積当たりの年間発電量）を算出している。水平面屋根（61.58 kWh/m<sup>2</sup>・年）と南壁面（42.44 kWh/m<sup>2</sup>・年）の年間発電量の違いからおおよその屋根、壁面の割合を推定すると、建築面積に対して建物系12～17%、工場などで22～27%程度の壁面設置を想定していると推定される（屋根面は70～90%程度）。これら施設種別ごとに定めた設置係数を、各省庁の統計データから得られた都道府県別の施設総面積を乗算することで、設置可能面積を推計している。

## ③ 必要設置可能面積の決定

2019年度の推計[1]においては、1 kW 当たり必要な面積として、戸建て住宅10 m<sup>2</sup>/kW、それ以外の住宅系、公共系では12 m<sup>2</sup>/kWとしている。戸建て住宅の10 m<sup>2</sup>/kWは、2011年推計[1]の際に設定した値であり、変換効率に換算すると10%に相当する。パネル間の設置の際に生じる余剰面積を考慮しているとしており、2018年に、各メーカーの太陽電池効率を調査し、その平均値6.0 m<sup>2</sup>/kW（効率16.7%相当）を基準とした値の見直しが検討されているが、値は更新されていない。戸建て以外の12 m<sup>2</sup>/kWは、15度の傾斜で隙間をあけて設置することを想定して設定した値である。

#### ④ 全国および都道府県別の導入ポテンシャルの推計結果

2019年の試算結果は、全国では住宅系で209.78 GW（戸建て159.49 GW、集合住宅など50.29 GW）、年間発電量252.7 TWh（戸建て192.2 TWh、集合住宅など60.5 TWh）、公共系（建物および産業施設）55.38 GW、67.2 TWhであった。東京都では住宅系で8.27 GW、年間発電量9.6 TWh、公共系（建物および産業施設）1.89 GW、2.1 TWhであった。

また、2010年経産省（みずほ情報総研）の試算[2]は、集合住宅屋根の設置係数などを環境省が用いている。戸建て建物（屋根）、集合住宅（屋根および壁面）、公共建物（屋根および壁面）が算出されており、住宅等の統計データに対して設置可能面積を規定して算出している。戸建ては切妻、寄棟屋根の50%、陸屋根の100%に設置可能とし、集合住宅、公共建物では屋根面の50%、南壁面の25%に設置可能と設定し、効率15%相当で設定し推算した結果、全国で233.7~315.4 GW（うち壁面77 GW）が導入可能な最大のポテンシャルとなっている。

### 1.3 課題と目的

環境省、経産省（みずほ情報総研）および本調査における、導入ポテンシャル算出法の違いを表2に示す。特に都市圏における建物への導入可能量を推算するにあたり、主要な課題は2点である。一つは、建物壁面への設置の定量化である。建物壁面への導入ポテンシャルを算出するにあたり、建物相互の影の影響は個別建物間の距離、高低差で多様に変化するため、個別建物ごとにその影響を算出し、集計する必要がある。また、パネルの一部に影が入るだけで、パネル全体や、直列接続された発電システム全体の電流、電圧に影響を与えるため、影の有無の影響は大きい。一方、壁面への設置に関する試算は、環境省は公共施設のみ、経産省は集合住宅と公共施設のみ限定されており、壁面設置の導入ポテンシャルへの影響は明らかになっていない。さらに、個別建物間の影の影響を定量化して集計、算出した例はない。

もう一つは、発電効率の最新値、また将来値の反映である。導入ポテンシャルは、設置可能な面積と、面積当たりの発電量の積で算出されるため、発電効率が向上すればそれに比例して増大し、発電効率の最新値の設定は重要である。さらに、屋根面に対して日射量が低く発電原価が割高となる壁面への導入を考えると、発電効率の向上やパネル価格の低減によって、設置できる面積も増大すると考えられる。これらの影響を反映し、導入ポテンシャルを算出する必要がある。一方、これまでの推算ではそれぞれ15%または10%と、推算当時の効率値、あるいはより保守的な値が用いられており、将来の技術革新を踏まえた導入ポテンシャルの推算値にはなっていない。さらに、パネルは一度設置されると20年以上入れ替えられることはなく、設置した時点での効率で発電し続ける。よって、導入拡大と技術革新による変換効率向上のシナリオにより最終的な導入量が変化するが、その将来シナリオを反映した算出はされていない。

表2 既往の算出法と、本調査での算出法のまとめ

	発電効率と、 将来の向上シナリオ	総面積	屋根の設置面積 対建築面積	壁面の試算と、 影の影響
経産省 (みずほ情報総研) 2011	住宅、公共: 15%  将来シナリオはなし	住宅: 住宅・土地統計 調査報告  公共:各省庁 統計データ	戸建: 陸屋根 100%, それ以外 50%  集合住宅、公共: 50%	戸建て: なし  集合住宅、公共系: 南壁面積の 25% (建築面積の 39%相当)  影の影響評価はなし
環境省 2011 初版 2019 更新	戸建: 10% 集合住宅、公共: 8.3%  将来シナリオはなし	住宅: GIS 詳細地図 情報を集計  公共: 各省庁 統計データ	戸建: サンプル航空写真から 将来の設置面積を推定(60- 71%)  集合住宅: 50%程度 公共系: 施設ごとのサンプル 図面から評価→80%程度	住宅(戸建、集合): なし  公共系: 施設ごとの サンプル図面から評価 →建築面積の約 16%(推定)  影の影響評価はなし
本調査 2021	住宅、公共: 19.2%、 (既設の平均 16.6%)  将来の効率向上、導入 拡大シナリオを複数設 定して試算し設定 (2030 年値で 25.5%)	住宅系、公共 系: GIS 詳細地図 情報を集計	戸建て: 屋根形状ごとに、パ ネル形状から設置可能面積 を推算(東京都 67%)  集合住宅: 50%(環境省準拠) 公共系: 80%(環境省準拠)	住宅、公共: ArcGIS 日射量計算により 全壁面への影の影響を測定 →設置面を設定し、集計  (結果)建築面積に対して →住宅 60%, 公共 46%

したがって、本調査では、建物に対する太陽光発電の導入ポテンシャルを推算するにあたり、GIS を用いて各建物の屋根、壁面に対する日射量を計算し、その結果を元に個々の屋根面、壁面への設置可能量、年間見込み発電量を求め、集計することで、都内、市区町村ごとに導入ポテンシャルを推算した。その際、影を考慮した年間日射量から算出できる平均発電原価を閾値にして設置の可否を定めることで、壁面への導入量を決定した。さらに、将来の技術開発に伴う発電効率向上の速度、年ごとの導入量の拡大速度それぞれに対して複数のシナリオを設定し、年々導入されるモジュールの効率と導入量から最終的な導入量、発電量ポテンシャルを推算し、シナリオによる違いを検討した。

## 2. 影の影響を考慮した太陽光発電導入ポテンシャルの算出法

### 2.1 GIS を用いた屋根、壁面の太陽光発電導入ポテンシャル推計方法

#### 2.1.1 推計方法の概要

今回、住宅用、公共用全ての建物に対して、太陽光発電の導入ポテンシャルを試算するにあたり、ArcGIS pro を用いた推計を行った。まず、市区町村ごとに、個々建物の屋根面、壁面に対する年間日射量を算出した。その結果を元に、設定した設置係数に応じた設置可能面積を求めた。さらに、日射量を踏まえて、一定以上の発電量が見込める面のみ設置することを想定し、平均発電原価が一定以下になる面を抽出し、設置可能面とした。設置可能な面に対して、kW 当たり必要な面積を乗算し、住宅、公共別に屋根、壁面の導入可能量、年間発電量を計算した。図1に、導入ポテンシャル推算の概要を示す。

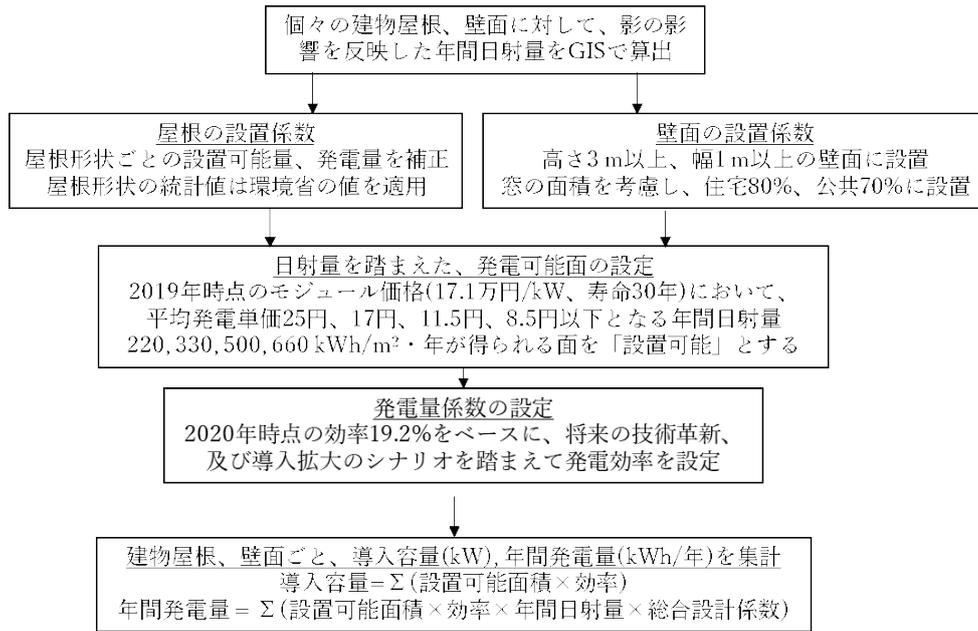


図1 導入ポテンシャル推算の概要

### 2.1.2 発電効率（面積当たり年間発電量）の設定

環境省推計では、戸建て屋根において  $10 \text{ m}^2/\text{kW}$ 、集合住宅および公共用において  $12 \text{ m}^2/\text{kW}$  と、発電効率 10%、8.3%に相当する値が適用されている。一方で、販売されている太陽光パネルの効率は、多結晶主体から単結晶への変遷、さらに PERC セルやヘテロ接合型（HIT）など高効率モジュールのシェア拡大などにより年々向上している。既に研究レベルでは 25%を上回っている単結晶 Si 太陽電池の効率向上や、ペロブスカイト太陽電池トップセルを含めたタンデム太陽電池の実用化に伴う 30%以上の効率向上が期待できる。余剰面積に関しても、各メーカーは複数サイズパネルや、台形パネルの販売などによってその低減が行われている。導入ポテンシャルの算出における未設部においては最低でも現在の最新値の反映が必要であり、さらに今後の技術開発シナリオを踏まえた値を検討するのが重要である。

2020年10月時点で、国内で販売されている太陽電池メーカーにおいて発電効率が最大の製品のラインアップを表3に示す。メーカー平均で約 19.2%、 $5.20 \text{ m}^2/\text{kW}$  である。2020年の発電効率として国際機関が報告している値とおおよそ合致する [7]。

表3 各メーカーの太陽光パネル発電効率（出典：各メーカーホームページ 2020年10月）

メーカー	パネル W	面積 $\text{m}^2$	$\text{m}^2/\text{kW}$	効率%
東芝	360	1.63	4.53	22.08
ソーラーフロンティア	185	1.23	6.64	15.06
パナソニック	255	1.26	4.94	20.26
シャープ	256	1.30	5.10	19.62
京セラ	270	1.46	5.39	18.55
Qセルズ	355	1.79	5.05	19.81
カナディアンソーラー	265	1.35	5.11	19.59
トリナソーラー	380	1.83	4.83	20.73
平均値			<b>5.20</b>	<b>19.24</b>

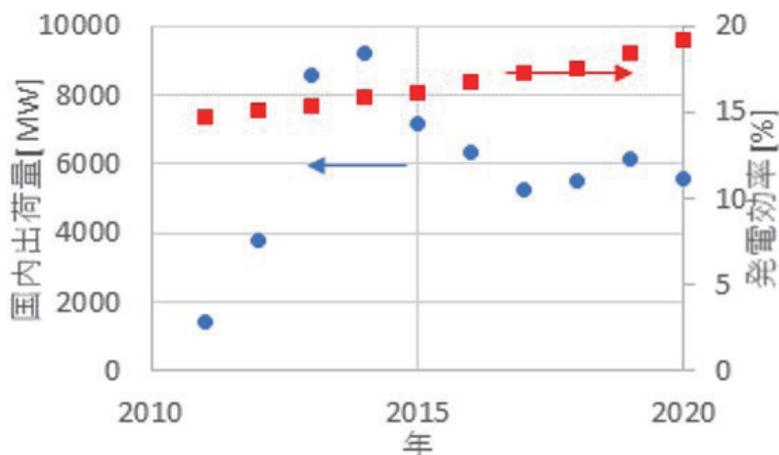


図2 2010年以降の太陽光パネルの国内出荷量および、Si太陽電池の平均発電効率

2011年以降の、販売されている太陽電池の国内出荷量 [8] と、Si系太陽電池の平均効率 [5, 7, 9] を図2に示す。国内出荷量は2012年以降急増し、ピークを迎えた後安定して5～6GW/年で推移している。発電効率は2011年の14.7%から2020年の19.2%と、単調に増加し1.31倍となった。2011年以降に導入されたモジュールの平均効率は16.6%となる。発電効率の将来値は次節において技術革新と導入拡大のシナリオを検討し、その結果を元に設定した。既設パネルの効率は16.6%とし、未設部との平均値から屋根面の導入ポテンシャルを試算した（壁面に関しては既設パネルがほとんどないものとし、2020年以降に新設するものとして試算した）。

### 2.1.3 ArcGISを用いた、屋根、壁面の日射量推計方法

屋根、壁面の日射量計算はArcGIS Pro (Esri ジャパン) の機能である「ポイント日射量」を用いた。入力データは高さをz座標とした地形ラスタ画像データおよび、測定対象のポイントの経緯度座標データである。各測定ポイント周辺の起伏を元に全天可視領域、すなわち全天半球の中で障害物に遮られない可視領域が計算され、年間の太陽軌道から直射光、散乱光日射量の年間値が出力される。測定ポイントの入力値に経緯度座標だけでなく方位角と傾斜角を設定でき、測定したい太陽光パネルの向きを任意に設定できる。高さデータおよび測定ポイント座標を抽出するための建物データは、全国詳細地図 (2018年度版、esri ジャパン) の、高さ情報を持つポリゴン (多角形) データを用い、建物高さ (1フロア高さが3mで統一されている) と標高を足し合わせて地形画像データとした (図3 (b))。図3 (a) に示すように、壁面の測定ポイントは、建物ポリゴンを構成する辺の中点を経緯度座標とし、辺の向きから壁面の方位角を抽出し、傾斜角を90度に設定した。屋根面の測定ポイントは、建物ごとに複数箇所 (約25m<sup>2</sup>ごと) に一つを設定した (図3 (c))。

東京都、各市区町村を計算範囲とし、壁面は地上から高さ3～6mは1m間隔、6m以上は3m間隔で、屋根は屋根直上を計算対象とした。入力パラメーターである直射、散乱日射係数は、影の当たらない屋根、壁面の日射量がNEDO日射量データベース [10] に公開されている年間日射量と等しくなるよう直射日射係数0.47、散乱日射係数0.3 (AM0基準) とした。年間、15日ごとに、15分ごとの日射量を計算し、年間で合算し、年間日射量とした。計算された測定点は、目黒区の壁面で約32万か所、屋根で22万か所であった。

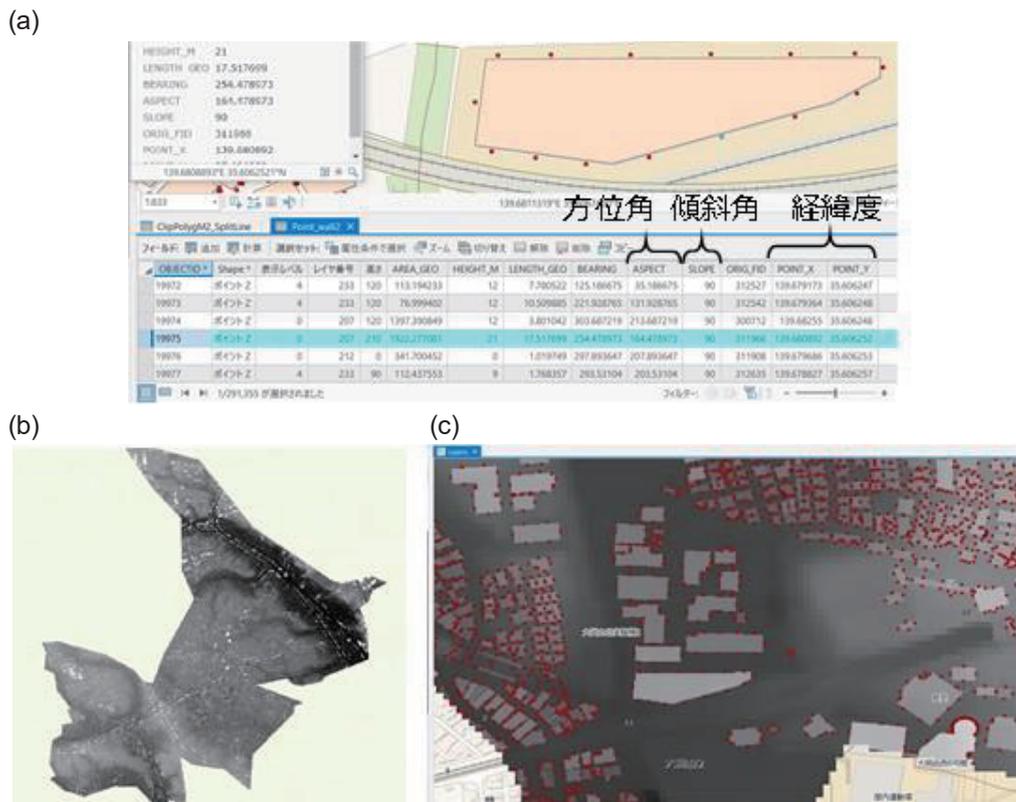


図3 (a) 東工大環境エネルギーイノベーション棟壁面の測定ポイント  
 (b) 目黒区、地形起伏と建物高さを重ね合わせたラスター画像  
 (c) 高さラスターデータと、壁面測定ポイントを重ね合わせた図

#### 2.1.4 影の影響を反映した、設置可能箇所の設定と年間発電量の計算方法

建築面積に対する設置可能な箇所の割合である設置係数は、環境省の設定値を参考に、以下のように設定した。その上で、陸屋根以外は屋根の傾斜の平均値 22 度としたときの各方位の日射量をベースに（真上を 1 としたとき、南面 1.12、東西面 0.97、北面 0.82）、各方位均一に設置されるものとして、平均値の 0.97 を乗算した。

戸建て屋根は、環境省では平成 25 年度報告において、航空写真を用いて屋根種別ごとに設定し、都道府県別の屋根種別の割合を元に設定している（全国平均 0.64、東京都 0.60）。その中で、近年各メーカーは複数サイズのパネル組み合わせを可能にする、台形パネルを発売するなど、屋根面積に対して最大限の設置を目指しており、設置可能面積も向上している可能性がある。そこで、今回改めて航空写真を元に屋根種ごとに「最大限設置可能な面積」を確認した。航空写真の取得と、屋根面積に対するパネル面積の比率の算出は Google Earth を用いた（撮影日 2018/3/15, 2019/3/13, 2020/10/29 および 12/16）。

東京 23 区において ArcGIS によって“ポリゴンを等面積で分割”→“ポリゴンの重心をポイント化”することで、区内各 10 点、計 230 点に作製したポイントの周辺で太陽光パネルが設置されている屋根を選択した（図 4 左）。その際図 4 右に示すように、各面（陸屋根は全面、切妻、寄棟は特定方向の面）に対して最大限設置されている屋根を選択し、Google Earth の機能によりパネルと屋根の投影面積の比率を計 215 件（住宅がほぼない千代田区 0 件、非常に少ない中央区 5 件）測定した。切妻および寄棟屋根は投影面積よりパネル面積が大きいいため、典型的な 4 寸屋根（幅と高さ比が 10:4）を仮定し投影面積の 1.077 倍とした。

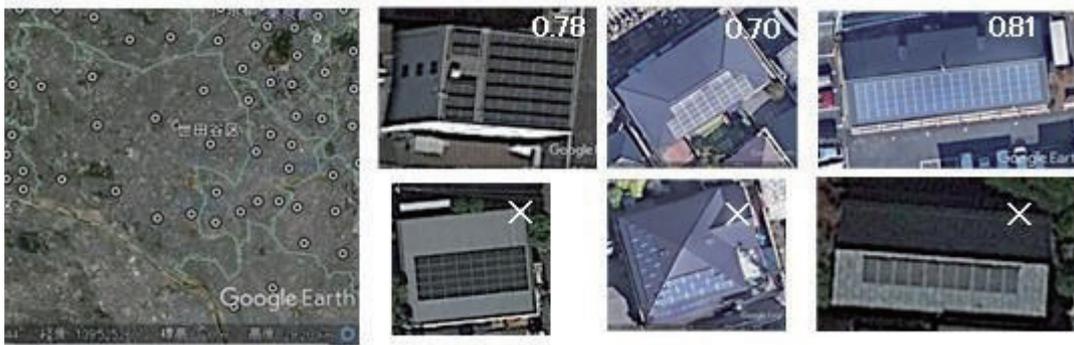


図4 (左) 屋根パネルの測定箇所  
 (右) 屋根形状ごとのパネル面積 / 屋根面積の測定 (下段は部分的な設置のため除外)

陸屋根 103 件、寄棟屋根 38 件、切妻屋根 74 件を測定した結果、パネル面積と屋根投影面積（≒ 建築面積）の比は図 5 のヒストグラムのようになった。パネル設置の有無を問わない屋根形状全体の比率は平均で寄棟屋根 59.2%、切妻屋根 22.9%、陸屋根 17.9%と報告されているが [1]、今回のデータ抽出、すなわち既にパネルが設置されている屋根の割合は、寄棟屋根 17.7%、切妻屋根 34.4%、陸屋根 47.9%と異なっていた。形状ごとの、パネル面積と屋根投影面積の比のピーク値は陸屋根 0.65、切妻 0.7、寄棟 0.65 となったが、陸屋根は 0.8、切妻屋根は 0.85、寄棟屋根においては 0.75 程度の高い比率で設置されている屋根が複数みられた。よって導入ポテンシャルを試算するに際しては、表 4 に示す現状のピーク値と、今後最大限設置されることを想定した高い水準の想定、2つをそれぞれ設定した。導入ポテンシャルの観点では、将来に最大限設置される想定が重要である。なお、陸屋根に関しては 100%近い設置も複数みられるが、屋根を太陽光発電以外の用途に利用するケースも見られることから（特に集合住宅や高層ビル）、0.8 程度の設置割合が妥当と考えられる。

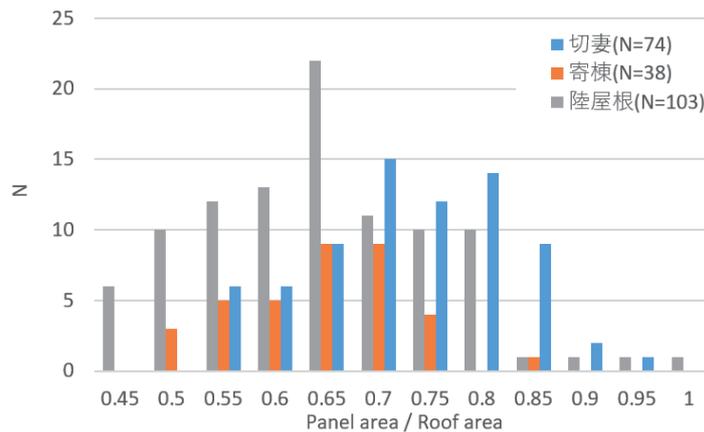


図5 屋根形状ごとのパネル面積 / 屋根面積のヒストグラム

表4 本推算および環境省推算において設定した戸建て屋根上の設置係数

	設置係数	環境省	全国割合
切妻	0.7, 0.85	0.6	36.5%
寄棟	0.65, 0.7	0.68	56.0%
陸屋根	0.65, 0.8	0.34	7.0%

戸建て以外の住宅系建物の屋根は、環境省においては種別に応じて延床面積×0.12～0.17としている[1]。また、経産省（みずほ情報総研）の2010年の推計では、建築面積と延床面積の比率を平均0.3（平均階層数が3.3であることを意味する）とし、設置係数を0.5程度としている[2]。本研究では、上記の陸屋根の値を元に0.8とした。公共系建物の屋根は、面積の大きい学校、大学、工場等の設定値の平均である0.8を用いた。

壁面に関しては、まず地上3mには設置しないこととした。窓等の利用状況を考慮する必要があるが、窓に関しては建築基準法28条1項（採光）

「住宅、学校、病院、診療所、寄宿舎、下宿その他...の居室には、採光のための窓その他の開口部を設け、その採光に有効な部分の面積は、その居室の床面積に対して、住宅にあっては1/7以上、その他の建築物にあっては1/5から1/10までの間において政令で定める割合以上としなければならない。」

を元に設定した。住宅に関しては床面積の1/7、その他に関しては割合の大きい学校等が1/5となっている。東京都の複数の区において延床面積と壁面面積の比を求めたところ、壁面面積（目黒区17.6km<sup>2</sup>）/延べ床面積（19.4）=0.9程度となったことから、住宅は壁面面積の16%、その他は22%の開口率が最低基準となる。窓付近のマージン等を考慮し、住宅は設置可能壁面の80%、その他は70%に設置可能とした。

以上の設置可能面積に対して、各面にかかる影によって年間の日射量が不十分になる面（屋根、壁面とも）には設置できないため、平均発電原価[円/kWh]を基準として年間の見込み発電量[kWh/kW・年]を設定した。年間発電量は、

$$\text{年間発電量 [kWh/kW・年]} = \text{日射量 [kWh/m}^2 \cdot \text{年]} \times \text{変換効率 [-]} \\ \div \text{標準発電量 [kW/m}^2] \times \text{総合設計係数 [-]}$$

となる。変換効率は現在値19.2%、標準発電量1kW/m<sup>2</sup>、総合設計係数0.88とした。太陽電池のシステムコストは、IRENAの2019年値である17.1万円/kW[7]とし、パネル寿命を30年とすると、割引率を考慮しない発電原価は、

$$\text{発電原価 [円/kWh]} = \text{システムコスト [円/kW]} \div (\text{年間発電量 [kWh/kW・年]} \times \text{寿命 [年]})$$

となる。発電原価が8.5円/kWおよび11.5円/kW、17円/kW、25円/kW以下となるためには年間日射量がそれぞれ660kWh/m<sup>2</sup>・年、500kWh/m<sup>2</sup>・年、330kWh/m<sup>2</sup>・年、220kWh/m<sup>2</sup>・年以上である必要がある。日射量がこれらの値以上である面を「設置可能な面」として、地域ごとに設置可能面積および、年間発電量ポテンシャル、発電原価を推算した。

$$\text{設置可能面積 (m}^2\text{)} = (\text{高さ3m以上の壁面面積 [m}^2\text{)}) \times 0.8 \text{ (または0.7)}$$

$$\text{導入ポテンシャル (kW)} = \text{設置可能面積} \times \text{面積当たり発電量 [kW/m}^2] \text{ (= 効率)}$$

$$\text{年間発電量 (kWh/年)} = \Sigma (\text{発電可能面のパネル量 kW}) (\text{発電可能な各面の日射量}) \times 0.88$$

$$\text{発電原価 (円/kWh)} = 17.1 \text{ 万 (円/kW)} / (\text{パネル kW 当たり年間発電量 kWh/kW・年} \times 30 \text{ 年})$$

図6に、ArcGISを用いて東工大大岡山キャンパス周辺において、異なる高さで計算した結果を示す。一部の南、東西壁面は、高所において影の影響が緩和されて日射量が向上している。図7に、同壁面の日射量に基づいて、東工大北2号館（図6中央青線で囲まれた建物、南に隣接する北3号館（環境エネルギーイノベーション棟、EEI棟の影を受ける））にパネルを設置した場合の単位面積当たりの年間日射量（ $\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{年}$ ）と、カッコ内に設置した太陽電池の変換効率を19.2%と仮定した場合の年間発電量（ $\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{年}$ ）を例示する。下層の多くの面、特に北3号館からの距離が10m弱と近い西棟は、年間日射量が $330 \text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{年}$ 以下と、設置に適さない箇所がある一方、上層および東棟の東端、影のあたらない東西面は、ある程度の発電量が見込め、コスト次第で導入の余地がある、といった結果になった。このように各壁面への設置の可否を設定し、設置された面の発電量を個々に求め、値を集計することで、壁面の導入ポテンシャルを推計した。



図6 地上高度の異なる壁面の年間日射量（大岡山キャンパス、緑ヶ丘地区周辺）

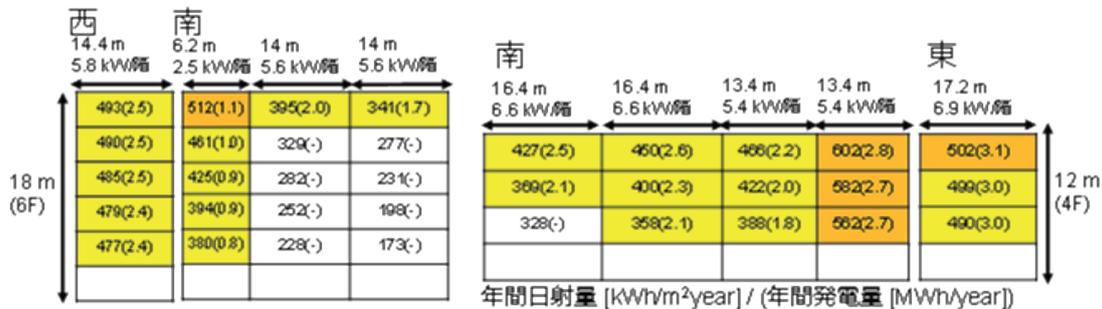


図7 東工大北2号館（図6中央の青線で囲まれた建物）壁面へのパネル設置想定図例  
 各面の年間日射量 [ $\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{year}$ ] および、( ) 内に効率19.2%を想定した年間発電量を付記

## 2.2 導入ポテンシャル推計結果

### 2.2.1 東京都における算出結果と、環境省推計結果の比較

まず、本調査の推計結果を環境省等の推計結果と比較し、算出方法の妥当性を検証した。環境省調査における、東京都の住宅系太陽光発電の導入可能量は 8.27 GW、年間発電量は 9.6 TWh/年、公共系のうち農地を除いた値は 2.65 GW (3.0 TWh/年) であった。設定された係数からそれぞれ建築面積を換算すると、173 km<sup>2</sup>、45 km<sup>2</sup> となり、設置可能な面積は住宅系 98.4 km<sup>2</sup>、公共系屋根 36 km<sup>2</sup>、公共系壁面 6.0 km<sup>2</sup> となった。一方、今回の推算において、ArcGIS から抽出した、東京都の建物面積総計は、住宅系では屋根面積  $\geq 50$  m<sup>2</sup> で 176 km<sup>2</sup> (戸建て 114 km<sup>2</sup>+集合住宅等 62 km<sup>2</sup>)、環境省では除外された、屋根面積  $< 50$  m<sup>2</sup> で 32 km<sup>2</sup>。公共系では 82 km<sup>2</sup> (公共施設 24 km<sup>2</sup>+公共系大規模建造物等 58 km<sup>2</sup>) であった。環境省では面積当たりのパネル容量を 10 m<sup>2</sup>/kW としており 50 m<sup>2</sup> 以下の建物には設置が難しいとして除外していたが、効率や面積比率の向上により面積の小さい建物への設置も可能となり、Google Earth で測定した屋根の多く (107 件 /215 件) が 50 m<sup>2</sup> 以下であったことから今回は計算に含め別記した。また、環境省において、公共系建物の中で大規模な建造物 (高層ビルなど) の区分が住宅系、公共系のいずれか明示されていなかったことから、比較のため当該建造物は区分を分けて示す。

### 2.2.2 ArcGIS による日射量計算結果と、太陽光パネル設置可能面の設定法

図 8 に、東京都目黒区において、屋根面および地上 5 m の高さの壁面の年間日射量を表記した地図を示す。屋根面の 1,210 kWh/m<sup>2</sup>・年 に対し、南面で最大 761 kWh/m<sup>2</sup>・年、東西面で 579 kWh/m<sup>2</sup>・年の年間日射量となるが、それぞれ平均 1,155 kWh/m<sup>2</sup>・年 (最大値の 95.5%)、500 kWh/m<sup>2</sup>・年 (65.7%)、329 kWh/m<sup>2</sup>・年 (56.3%) となった。図 9 に南面、西面の日射量の分布を示す (実際にはすべての角度の面において測定されている)。屋根面において、一部低地や高い建物の陰など、あわせて 5% 程度の影の影響が出た。一方南面、東西面はそれぞれ近隣建物の影の影響を大きく受けていることが分かる。建物ごと、それぞれの角度の壁面ごとにデータを取得しているため、それぞれの屋根、壁面に対して見込み発電量を定量できる。



図8 目黒区、屋根面（上）および壁面（下）の年間日射量を計算した結果を記載した地図（ArcGIS Proにて作製）

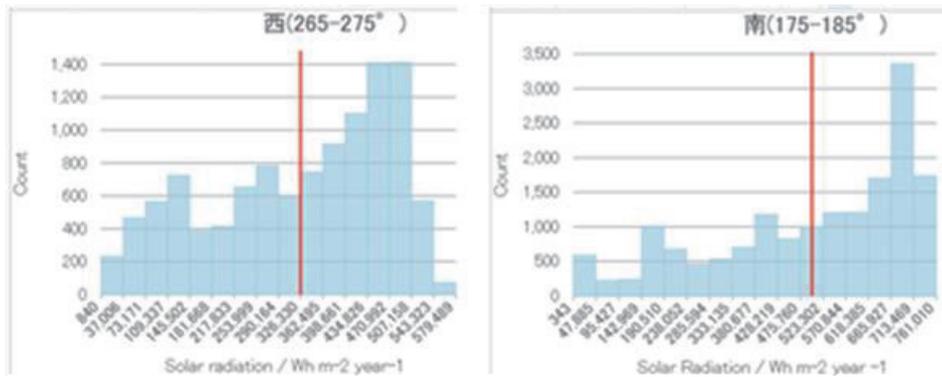


図9 南壁、西壁（東はほぼ同形の分布）の年間日射量分布（赤線は平均値）

### 2.2.3 影の影響を考慮した壁面の導入可能面積の推算結果

図10に、東京都において試算した太陽光発電可能面積のうち、屋根のみの値、および発電原価25、17、11.5、8.5円/kWh以下となる日射量220、330、500、660 kWh/m<sup>2</sup>・年以上となる壁面への設置を加えた値および平均発電原価、壁面の平均発電原価を示す。壁面の設置量は単価25円/kWh以下のとき屋根の1.19倍、年間発電量0.47倍となった。壁面設置によって47%程度のポテンシャル増が見込まれるだけでなく、南面への設置を組み合わせることで年間の発電量を平準化する効果があるため、蓄エネルギーコストの低減や系統の調整力への寄与を考えると数字以上の効果が期待できる。一方、壁面の発電原価は屋根の1.62～2.33倍と割高で、平均発電原価も最大1.54倍となり、壁面への導入は一部発電コストとトレードオフとなる。最低単価を8.5、11.5、17、25円/kWhと緩和すると導入面積は環境省値の1.18倍、1.51倍、1.93倍、2.19倍と大きく増大し、単価による影響は非常に大きい。一方、年間総日射量は屋根のみに対して0.09倍、0.26倍、0.41倍と、17円/kWhまでは増大するが25円/kWhでは0.47倍と、その増加はやや鈍化する。よって、調整力の寄与などのメリットをより高め、導入を促進する工夫も重要になると考えられる一方、今後の効率増加やコスト低減の影響を踏まえて、どれくらいの日射量が確保できる壁面にまで導入可能かが変化することから、太陽光発電の特性は壁面への導入ポテンシャルに大きな影響があるといえる。なお、屋根面においてはコスト8.5円/kWhを基準としても導入面積で1.8%、発電

量で0.6%の変化にとどまり、現行のコストにおいてほぼ全ての屋根面に導入可能であり、導入ポテンシャルにもほとんど影響がなかった。

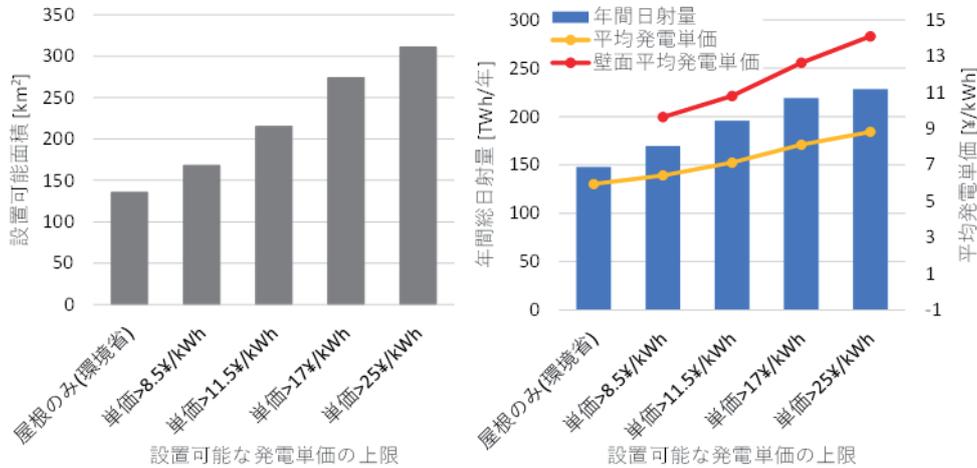


図10 壁面への導入による、導入可能面積の増加量（左）および年間総日射量、発電原価の変化（右）（東京都）

#### 2.2.4 東京都における、影の影響を考慮し壁面への導入を反映した導入ポテンシャル

本調査および環境省（一部換算値）調査による、東京都における住宅系、公共系屋根、壁面の総面積、設置可能面積、設置面の総日射量と、発電効率25.5%（屋根は既設16.6%のパネルとの平均値24.5%）と設定し総発電量を推算した結果を表5に示す。発電原価17円/kWh以下となる日射量（330 kWh/m<sup>2</sup>・年）の屋根、壁面への導入を可能とし設定した。壁面への設置可能面積は、住宅系で屋根の0.75倍、公共系（高層建築物等）で1.16倍、公共系（学校、工場その他）で0.57倍となった。設置可能な壁面への総日射量は、住宅系で屋根の0.35倍、公共系（高層建築物等）で0.53倍、公共系（学校、工場その他）で0.27倍となった。壁面への導入が双方で反映されており、その比率が推定できる平成21年度、22年度の公共系（学校、工場等）で屋根と壁面の比率を比較すると、環境省は設置比率で屋根の0.17～0.27倍（平均0.19倍程度）、発電量で屋根の0.12～0.19倍（平均0.13倍程度）となり、設置可能面、総日射量ともに大きくなっている。また、本検討では面積の増分に対して年間日射量の増分が少なくなっているのは、影の効果の計算が反映されているためである（環境省は屋根61.48 kWh/m<sup>2</sup>・年に対し南壁面44.80 kWh/m<sup>2</sup>・年の一律値を用いている）。なお、環境省における、平成24年度以降の報告においては壁面の導入面積が明示されておらず、その導入ポテンシャルと年間発電量は不明である。導入ポテンシャル、年間発電量はそれぞれ環境省の推算値に対して計7.9倍、6.3倍の値となった。年間発電量が増大した各要因の影響は図11に示すように、主に1.設置可能面積比率の向上（1.32倍）、2.住宅壁面への導入（1.39倍）、3.発電効率向上（2.69倍）の3つである。市区町村ごとの推算結果を表6に、年間発電量ポテンシャルおよび電力需要[12]を人口順に図12に示す。人口が多いと電力需要も多いが、建物も増えるため導入ポテンシャルも多くなり、多くの市区町村で電力需要を上回る発電量ポテンシャルがあることがわかる（都全体では2019年年間需要83.6 TWhの95%）。特に、住宅地（世田谷区、練馬区、八王子市、町田市など）は屋根、壁面ともに導入が多くなった。

表5 東京都における、設置可能面積、総日射量および導入ポテンシャル、年間発電量  
 (効率 25.5%, (既設 16.6%) に設定)

		総面積 [km <sup>2</sup> ]	設置可能面積 [km <sup>2</sup> ]	設置面総日射量 [TWh/年]	導入ポテンシ ャル[GW]	発電量 [TWh/年]
環境省	住宅系屋根	173.0	98.5	118.4	8.3	9.6
	住宅系壁面	-	-	-	-	-
	公共系屋根	46.6	36.0	32.2	2.6	2.36
	公共系壁面	-	6.7	7.4	0.49	0.54
本調査	住宅系屋根*	176.4+32.0	158.0	180.2	34.5	40.9
	住宅系壁面	257.7	122.7	66.1	27.5	14.8
	公共系屋根**	24.4+58.5	20.0+46.9	22.7+54.6	4.2+10.1	4.9+11.7
	公共系壁面	3.3 + 12	3.3 + 12.0	6.2 + 29.1	2.5+12.2	1.4+6.5

\* 環境省では屋根面積 50 m<sup>2</sup> 未満の家を除外 \*\* 公共施設 (学校、工場等) + 大規模建造物

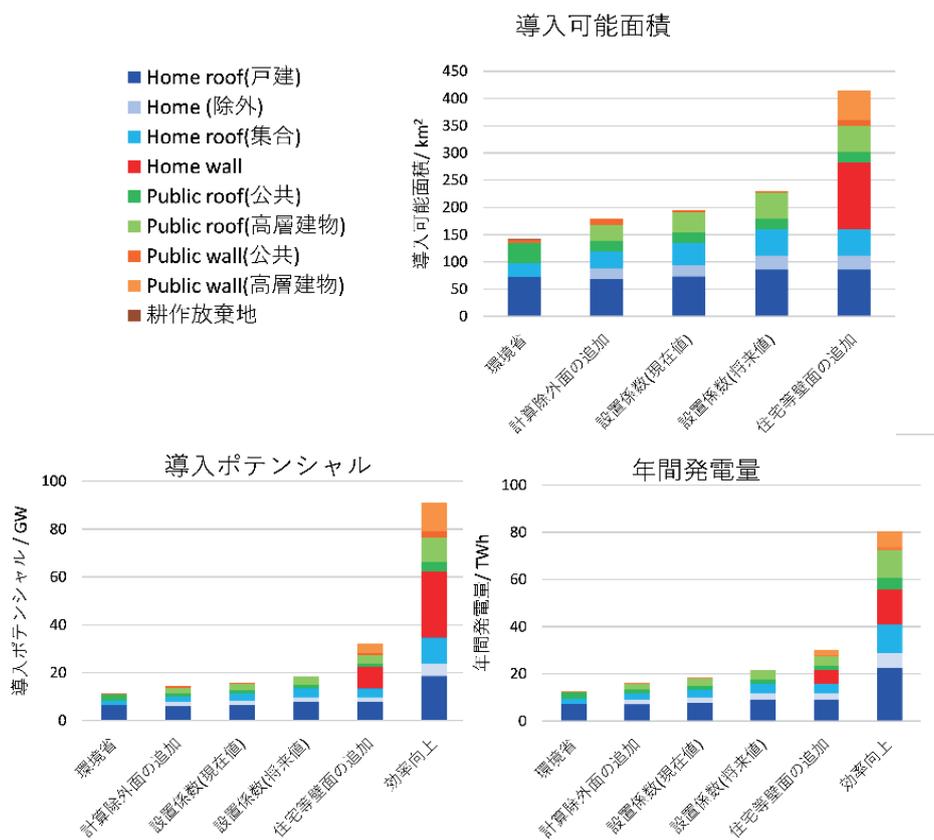


図11 各要素による、導入可能面積 (上) および  
 導入ポテンシャル (左下)、年間発電量 (右下) (効率 25.5% (既設 16.6%)) の増減 (東京都)

表6 東京都、市区町村ごとの導入ポテンシャルと年間見込み発電量（効率は25.5%（既設16.6%）に設定）

	導入可能量(MW)					年間見込み発電量(GWh/年)				
	住宅系		公共系		合計	住宅系		公共系		合計
	屋根	壁面	屋根	壁面		屋根	壁面	屋根	壁面	
千代田区	147	80	433	404	1065	140	39	478	200	857
中央区	187	80	380	383	1029	169	39	416	195	819
港区	401	265	648	798	2112	414	133	725	400	1671
新宿区	640	452	484	564	2140	695	228	548	286	1757
文京区	397	276	302	336	1311	430	143	343	173	1090
台東区	349	207	284	355	1194	339	102	318	175	935
墨田区	501	327	284	400	1511	532	165	323	204	1224
江東区	675	444	911	950	2980	732	226	1063	503	2523
品川区	729	523	455	531	2238	813	269	523	274	1879
目黒区	681	525	228	245	1680	785	276	265	133	1460
大田区	1721	1295	809	730	4556	1982	680	952	393	4007
世田谷区	2412	1937	636	661	5647	2828	1038	751	364	4981
渋谷区	533	376	375	398	1682	590	196	427	206	1419
中野区	785	611	205	258	1859	901	318	239	136	1594
杉並区	1593	1249	329	340	3511	1872	666	388	182	3107
豊島区	572	417	280	320	1589	637	215	317	167	1337
北区	692	516	325	402	1936	779	269	378	218	1645
荒川区	411	304	168	246	1129	453	154	194	129	930
板橋区	1092	866	528	601	3087	1243	456	617	326	2642
練馬区	1893	1558	439	505	4395	2227	831	517	275	3851
足立区	1685	1397	548	690	4320	1951	738	642	378	3709
葛飾区	1157	954	347	395	2852	1336	503	405	217	2461
江戸川区	1466	1195	489	611	3761	1691	636	573	331	3230
八王子市	2058	1757	661	554	5030	2470	995	791	323	4579
立川市	547	460	252	199	1458	651	255	301	115	1322
武蔵野市	399	315	132	128	974	471	172	155	70	868
三鷹市	526	444	144	136	1250	625	241	170	74	1109
青梅市	664	562	163	105	1494	800	320	197	61	1377
府中市	722	608	335	253	1919	856	334	397	139	1727
昭島市	367	309	156	106	939	439	175	188	63	865
調布市	601	484	223	203	1510	709	267	263	114	1353

低炭素社会実現に向けた政策立案のための提案書  
 地理情報や最新・将来技術の動向、影の影響を反映した、  
 国内の太陽電池導入ポテンシャルの算出 令和3年12月

町田市	1519	1239	354	299	3411	1810	700	424	179	3113
小金井市	370	321	89	87	868	440	173	105	49	768
小平市	578	534	210	158	1480	692	287	249	89	1317
日野市	613	510	189	133	1444	732	287	226	78	1324
東村山市	454	387	141	120	1103	543	215	167	70	995
国分寺市	378	314	84	83	859	450	173	99	46	768
国立市	237	204	85	77	603	282	110	101	44	537
福生市	231	187	76	48	542	278	106	93	28	505
狛江市	226	184	49	50	510	269	100	58	28	456
東大和市	266	238	77	70	651	319	132	92	41	584
清瀬市	224	185	86	63	557	266	104	101	37	509
東久留米市	352	295	104	86	837	419	164	124	51	758
武蔵村山市	311	263	77	48	699	375	149	93	28	646
多摩市	327	265	217	222	1031	386	149	257	131	923
稲城市	228	191	104	92	615	271	108	123	55	557
羽村市	239	185	121	39	584	290	109	147	24	570
あきる野市	453	422	61	33	968	549	237	74	19	879
西東京市	525	453	135	147	1260	623	246	158	83	1111
瑞穂町	240	178	63	19	499	291	104	77	12	483
日の出町	116	102	28	11	256	140	58	34	6	239
檜原村	30	25	4	2	60	35	14	4	1	53
奥多摩町	66	53	8	3	131	76	30	10	2	118
東京都全体	34584	27528	14315	14698	91126	40099	14836	16680	7928	79543

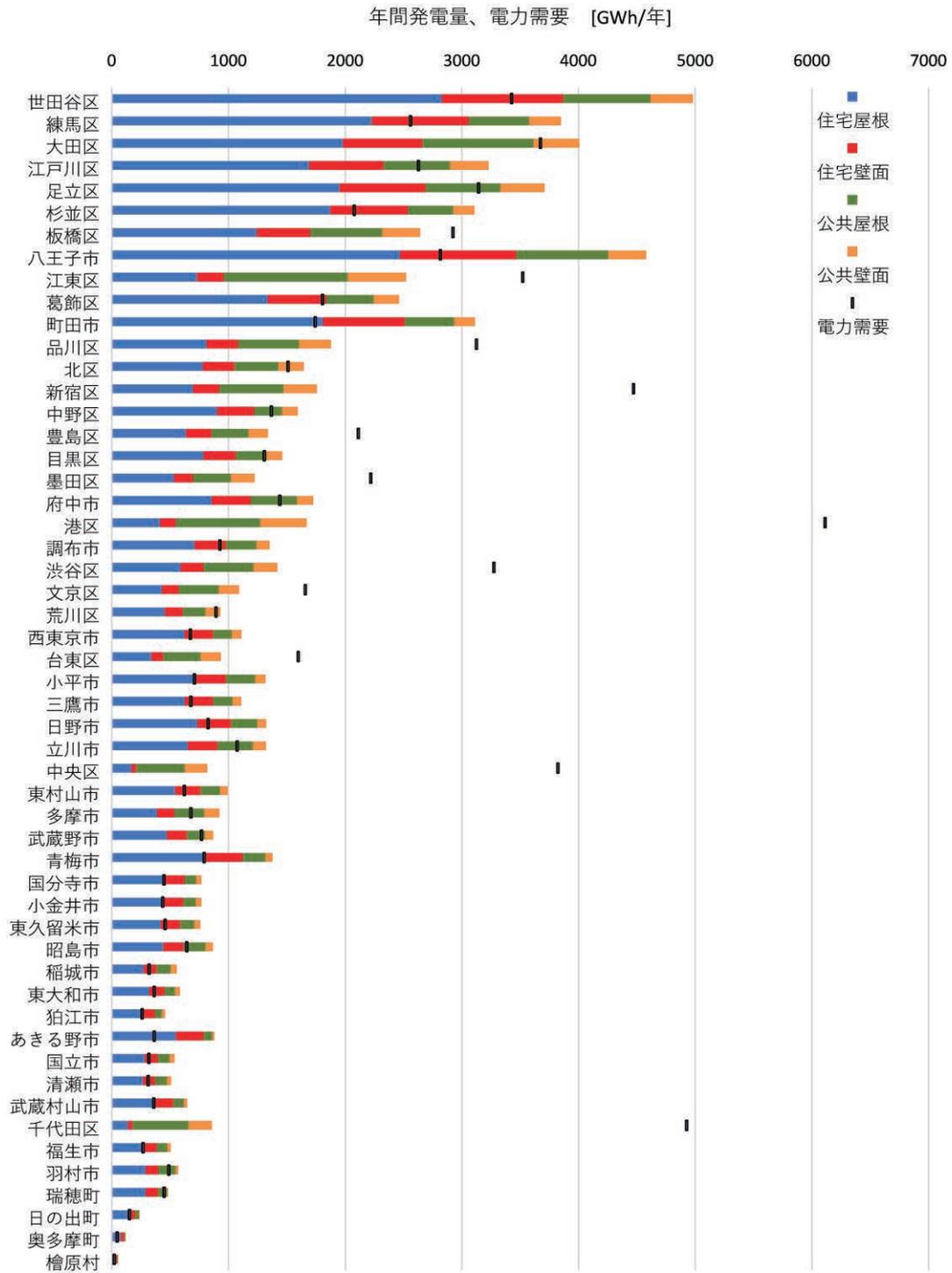


図 12 市区町村別（人口順）年間発電量ポテンシャル（住宅 / 公共、屋根 / 壁面）および電力需要 [12] との比較（効率は 25.5%（既設は 16.6%）に設定）

### 3. 発電効率の向上および導入拡大シナリオによる導入ポテンシャルの変化

#### 3.1 発電効率向上、システム価格低減による、壁面導入ポテンシャルの変化

今回、壁面への設置において、設置可能となる最低日射量として、見込み発電原価 17 円 /kWh となる 330 kWh/m<sup>2</sup>・年を設定の一つとした。一方、17 円 /kWh は発電原価として割高であるため、効率の向上による単価の低減は、導入の促進に対して重要である。効率が 19.2% においては 8.5 円 /kWh を達成するのに必要な年間日射量は 660 kWh/m<sup>2</sup>・年だが、25%、30%、35% になると、8.5 円 /kWh を達成するのに必要な日射量はそれぞれ 500 kWh/m<sup>2</sup>・年、420 kWh/m<sup>2</sup>・年、360 kWh/m<sup>2</sup>・年に低減する。東京都壁面において ArcGIS 日射量計算で得られた日射量に基づき、年間日射量 660 kWh/m<sup>2</sup>・年以上の面は 44 km<sup>2</sup> に対し 360 kWh/m<sup>2</sup>・年以上の面は 175 km<sup>2</sup> と増大することを確認した。それらの面への導入拡大と、効率向上を合わせることによって、効率 19.2% が 35% になると、壁面の発電量は 5.7 倍に、屋根を含めた総年間発電量は 2.23 倍になった。図 13 (左) に、発電効率が向上した際の、導入ポテンシャルと年間発電量の変化を示す。同様に、図 13 (右) に示すように、システムコストが低減することによっても、壁面へ導入可能面積は大きく増大する。8.5 円 /kW を達成できる面は、現状の 17.1 万円 /kW では 44 km<sup>2</sup> に対して、7 万円 /kW では 214 km<sup>2</sup> と大幅に増大する。壁面は、得られる発電量が屋根と比べて小さく発電原価も割高になるため、現状では導入の優先順位は低くなるが、効率の向上、コストの低減によって劇的に年間導入量が拡大することが期待できる。

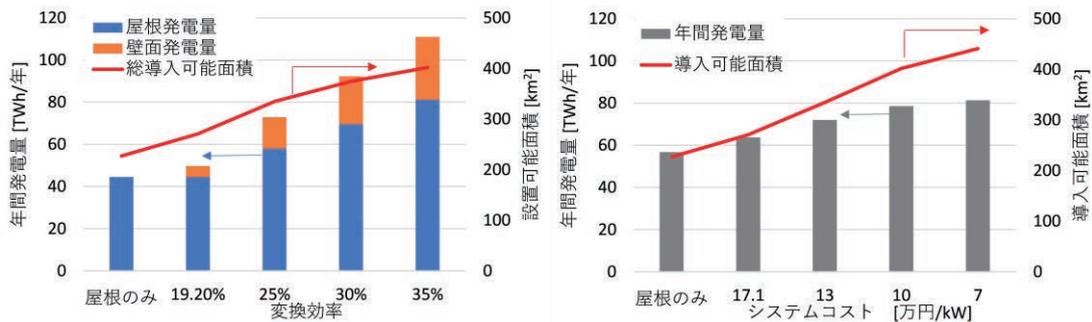


図 13 (左) 発電効率の向上 (右) システムコスト低減による、壁面の導入ポテンシャルと、年間発電量の変化 (東京都)

#### 3.2 発電効率向上および導入拡大シナリオによる導入ポテンシャルの変化

発電効率をどう設定するかは、導入ポテンシャルの推算結果に直結する。また、図 1 に示したとおり、ここ数年の国内出荷量は 6 GW/ 年前後で、このままのペースで導入が進むと 2030 年 (2050 年) の国内導入量は 120 (240) GW、年間発電量で 130 (260) TWh、電源比率で 16% (32%) 程度である。2050 年に電源の脱炭素化を目指すためには導入拡大をさらに推進するのは必須である。その際、技術革新による発電効率の向上がどう推移するかによって、最終的な発電量のポテンシャルが変化すると考えられる。よって、技術開発 (発電量向上) シナリオと、導入拡大シナリオを図 14 に示すように複数設定し、それぞれによって導入ポテンシャルがどう変化するかを検討した。発電効率は単結晶 Si 系の最適化 (25 ~ 26%)、タンデム太陽電池の実用化 (30%) とその最適設計 (35%) と、年々向上していくと考えられ、2040 年に 35% を達成すると仮定し、それまでの技術革新の推移を、加速 (2030 年に 33%)、良好 (30%)、低調 (25%) の 3 通り設定した。導入速度に関しては、年に比例して拡大するとして、おおよそ導入が完了する年度を 2035 年 (加速)、2040 年 (良好)、2050 年 (低調) の 3 通りとした。屋根に対する導入可能面積は環境省の算定法を元にした値 (住宅系は屋根のみ、かつ屋根への導入率 50 ~ 60%) と、本検

討で導入拡大が図られた値（壁面への導入も反映、屋根への導入率70～85%）の2つを用いて検討した。また、壁面の導入ポテンシャルに関して、図13（左）に示すように発電効率の向上に伴い導入可能面が増大することを想定して試算した。

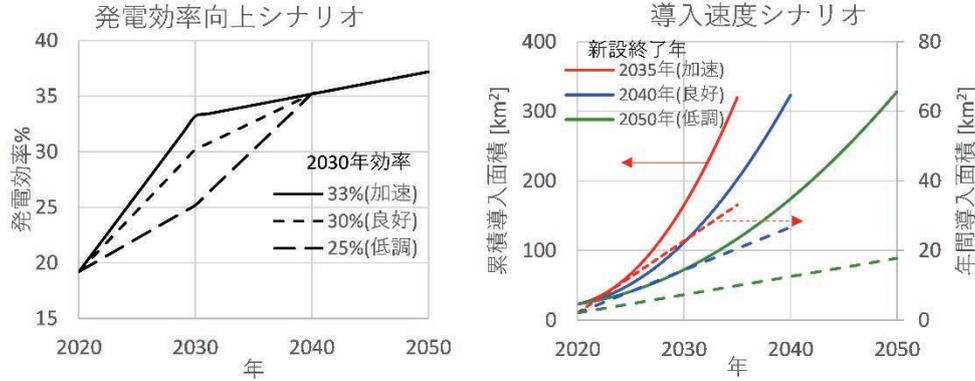


図14 想定した発電量向上シナリオ（左）と導入速度シナリオ（右）

東京都の屋根への設置可能面積は106（158） $\text{km}^2$ で、既設箇所は2020年まで全国累積導入量から東京都への設置可能面積で比例配分した20.8 $\text{km}^2$ とした。推算には、年（ $y$ ）の関数である年間導入面積  $n(y)$  が一定（ $A$ ）に増加するとし、導入ポテンシャル  $P(y)$  については発電効率  $\eta(y)$  を用いて、以下の式により年次ごとの変化を積算した。

$$n(y+1) = n(y) + A$$

$P_{\text{wall}}(y)$ : 図14（左）から近似曲線を導出

$$P_{\text{total}}(y+1) = (P_{\text{total}}(y) - \Sigma n(y))(\eta(y+1)/\eta(y)) + P_{\text{wall}}(y+1) - P_{\text{wall}}(y) + \Sigma n(y)$$

$$\eta(2020) = 19.2\%, n(2020) = 2.08 \text{ km}^2$$

表7および図15に、各シナリオにおいて推定される導入ポテンシャル（左）と、設置されるモジュールの平均効率の年次推移（右）を示す。図16に、それぞれのシナリオにおける累積導入量（左）と年間発電量（右）の年次推移を示す。導入拡大が加速されたケースにおいては、技術革新が遅いと効率が低いまま設置されるパネルの割合が多くなり、最終的に導入ポテンシャルが低下する。導入拡大が遅いケースではその影響は小さくなる一方、全体として導入が大きく遅れる。さらに、技術革新が低調になると、導入可能な壁面の面積が増大するタイミングも遅くなり屋根面への設置が先行することで、最終的に屋根面が低効率パネル、壁面が高効率パネルという導入になる結果、平均効率がさらに低下する。環境省算出の導入ポテンシャル（9.6 TWh, 12%）に対して、将来の効率向上とそのシナリオを反映して試算すると、東京都の2019年年間需要の83.6 TWh[11]に対して最低32.4%（導入加速 - 効率向上低調シナリオ）、標準39.1%（標準 - 標準）、最高43.1%（導入低調 - 効率向上加速）と、シナリオごとに差が生じた。さらに、壁面への導入および屋根面への導入率拡大を反映すると、シナリオごとの東京都の2019年年間需要の83.6 TWh[11]に対する比率は最低76%（導入加速 - 効率向上低調シナリオ）、標準98%（標準 - 標準）、最高109%（導入低調 - 効率向上加速）であった（環境省算出値は9.6 TWh, 12%）。電力需要の大半を供給できる計算結果となる一方で、太陽光発電が主力となると必要になる蓄エネルギーや出力抑制、また、電化率の向上の影響などもあり、システム全体を考えたときに算出された年間発電量を必ずしも達成できるとは限らないため、シナリオごとの2050年時点での導入量の違いは大きなインパクトがあると考えられる。2050年の脱炭素化に向けて導入の加速は必須だが、導

入の拡大や、それに直結するモジュール、システムコストの低減に加えて、発電効率向上に向けた技術革新を合わせて推進することが重要と考えられる。

表7 導入拡大シナリオ、技術革新シナリオごとの、導入ポテンシャルの変化

環境省算出の設置面積に準拠

導入拡大シナリオ	加速			標準			低調		
	加速	標準	低調	加速	標準	低調	加速	標準	低調
技術開発シナリオ									
導入ポテンシャル [GW]	29.6	27.9	25.2	30.5	29.3	27.2	31.6	30.8	29.5
年間発電量 [TWh]	32.7	30.6	27.2	34.3	32.8	30.5	36.7	35.9	34.6
対電力需要 %	39	36.5	32.4	40.9	39.1	36.3	43.8	42.8	41.3

本研究

導入拡大シナリオ	加速			標準			低調		
	加速	標準	低調	加速	標準	低調	加速	標準	低調
技術開発シナリオ									
導入ポテンシャル [GW]	97.1	89.3	76.3	102	97.7	90.5	109	107	103
年間発電量 [TWh]	77.5	72.6	64.5	80.6	78.1	74	85.1	83.8	81.8
対電力需要 %	92.4	86.5	76.9	96	93.1	88.2	101	99.9	97.5

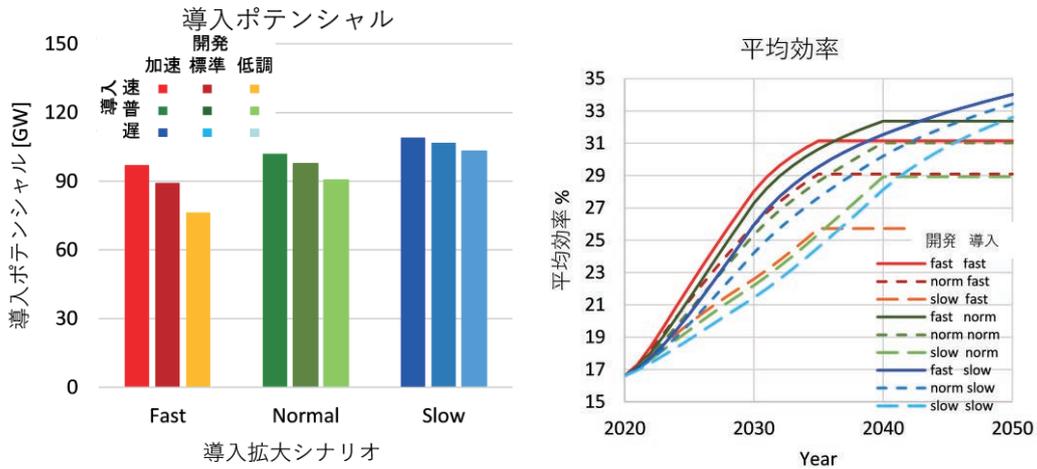


図15 (左) 発電効率向上シナリオ、導入速度シナリオごとの導入ポテンシャル、(右) シナリオごとの、設置された太陽電池の平均効率 (屋根への導入 70-85%、壁面への導入を含む)

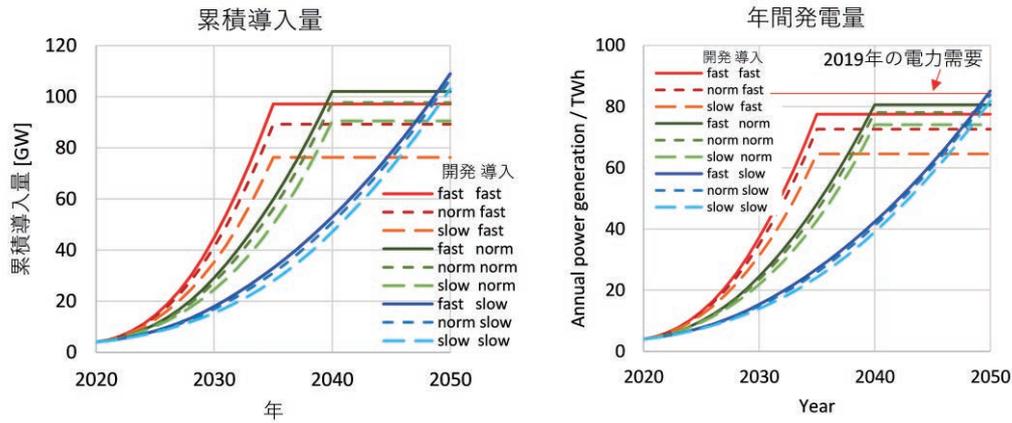


図 16 発電効率向上シナリオ、導入速度シナリオごとの（左）累積導入量（右）年間発電量  
 （屋根への導入 70-85%、壁面への導入を含む）

#### 4. まとめ

今後太陽光発電、特に都市部建物への導入拡大の見通しを踏まえ、屋根だけでなく壁面の導入ポテンシャルを定量化することを目的とし、GISを用いて個々の建物に対する影の影響を定量化し、平均発電原価を閾値にして壁面への導入ポテンシャルを推算した。

ArcGISを用いて建物の各壁面への日射量を計算した結果を元に、発電原価が25円以下となる年間日射量  $330 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{年}$  以上の面に設置可能と設定して推算した結果、東京都において設置可能面積は屋根のみへの設置と比較して2.19倍、設置可能面への総日射量で1.47倍に増加した。壁面への導入によって、季節間の発電量の変化を緩和できることから、太陽光発電の全体の価値をさらに高めることができると考えられる。発電量が屋根面より低い壁面への導入ポテンシャルは発電原価に大きく影響するため、発電効率、システム価格に直接影響する。発電原価8.5円以下になる面に導入可能とした場合、発電効率が現状の19.2%から35%になると壁面への導入量は4.0倍に、年間発電量は5.7倍になった。同様に、システムコストが17.1万円/kWから7万円/kWになると壁面への導入可能量は4.9倍になった。

また、発電効率の向上および、導入拡大の速度の変化に伴う導入ポテンシャルの変化と、累積導入量の変化を推算した。その結果、導入拡大が先行して発電効率向上が遅れると、導入ポテンシャルが低下することが示唆され、最終的な導入ポテンシャルに対しても東京都の電力需要に対して76～101%と開きが生まれるなど、導入拡大に加えて最大発電効率を向上する技術開発の重要性が示唆された。最終的に、上記標準シナリオの2030年時点での平均効率25.5%を用いて東京都内の導入ポテンシャルを求めた結果、環境省推計値である10.9GW、年間発電量11.7TWhに対して91.1GW（7.94倍、主に設置可能面積の向上により1.28倍、壁面への導入により1.73倍、効率向上で2.84倍）、年間発電量79.5TWh（6.31倍、設置面積向上により1.32倍、壁面導入により1.39倍、効率向上で2.69倍）となった。

## 5. 政策立案のための提案

本検討で算出した東京都の建物への太陽光発電の導入ポテンシャルは、各建物壁面への導入および、将来の技術革新による効率向上を反映して試算した結果、都の電力需要に対して53～71%と、従来の試算と比較して高く、脱炭素の主力電源として適用できる量となった。高需要地での都市部の再エネ導入ポテンシャルを最大限に生かすことは、再エネの直接利用率を高めて総合エネルギー効率を向上するだけでなく、系統の送電網の負荷軽減にもつながる。特に、2030年には新設されるモジュールの効率が25%程度まで向上が見込まれると、都内の高需要地においても住宅地などは壁面設置を組み合わせることで電力需要の100%以上を確保できるポテンシャルを有する試算結果となった。したがって、2030年、2050年に向けた太陽光発電の導入はより挑戦的な目標設定が妥当と考えられる。

GISを用いて個々の建物間の影の影響を定量化し、太陽光電池を導入可能な壁面を特定し、導入ポテンシャルを推計した結果、40%前後の面積の屋根が設置場所としてのポテンシャルを有することが示唆された。夏に発電量が最大となる屋根面に対して冬に最大となる南面、日間の発電量ピークが朝または夕方になる東西面への導入は、供給電力を平準化し電力の直接利用割合を拡大できる。一方、屋根と比べて発電量が低く、発電原価が高くなる壁面への導入は、現状では自発的な導入拡大は難しいが、発電効率の向上やコスト低減といった技術革新によって発電原価が低減されると、例えば効率19.2%→35%で導入可能面積4.0倍と大きく増大することが本調査によって明らかになった。一方、地域によっては需要の低い季節の出力抑制が始まっており、電力自由化市場において冬季の需要ひっ迫による価格の高騰なども起こっているなど季節間の電力需給バランス確保は喫緊の課題となっている。よって、短期的施策としても、南面への導入拡大を促進することは有効と考えられる。

2050年までの脱炭素化には、再エネ電力の主力電源化に向けた導入拡大の加速は必須である。そこで、本調査では、太陽光発電の導入拡大と、技術革新による発電効率向上のシナリオを複数設定して検討した。特に壁面への導入可能量は、発電原価の低減によって大きく増大するため、導入ポテンシャルは発電効率向上シナリオにも影響を受ける。発電効率の向上が低調だと、導入されるモジュールの平均効率が低下し、さらに壁面への導入が遅れることで、最終的な導入ポテンシャルが減少することが示唆された。一方、現状の年間導入量では2050年までの再エネの主力電源化は難しいため導入拡大の施策は必須であることから、導入拡大と技術革新を並行して促進することが重要と考えられる。

脱炭素社会への変革は、経済的優位性と環境性の両立が求められる。東京などの都市部への太陽電池の設置、特に平均発電原価を考慮した南壁面への設置場所の選定が、この両立には重要である。また、長期利用を前提とする太陽光発電では、太陽電池の変換効率の向上率、導入速度が最終的な導入ポテンシャルに影響することから、速やかにコストを維持した太陽電池の変換効率向上の研究開発を進めるとともに、バランスよく太陽電池の導入を促進していくことが求められる。さらに、蓄電池や水素エネルギーによる化学的蓄エネルギーを使いながら、太陽光発電などの変動型の再生可能エネルギー電源を系統に負荷なく導入するシステム、系統協調/分散型エネルギーシステム開発が同時に必要になってくるであろう。

## 参考文献

- [1] 再生可能エネルギーに関するゾーニング基礎情報等の整備・公開等に関する委託業務報告書, 環境省 (令和元年度, 平成30年度, 平成25年度, 平成24年度, 平成23年度, 平成22年度, 平成21年度).
- [2] 経済産業省 (みずほ情報総研), 平成22年度新エネルギー等導入促進基礎調査事業 (太陽光発電及び太陽熱利用の導入可能量に関する調査) 調査報告書.
- [3] 低炭素社会の実現に向けた政策立案のための提案書, “主要再生可能エネルギーの都道府県別ポテンシャル分布と発電所建設コスト低減”, 科学技術振興機構低炭素社会戦略センター, 平成30年1月.
- [4] 低炭素社会の実現に向けた政策立案のための提案書, “太陽光発電システム (Vol.6) —2050年に向けた主力電源としての太陽光発電システム産業の将来像—”, 科学技術振興機構低炭素社会戦略センター, 令和2年3月.
- [5] NEDO, 太陽光発電開発戦略2020 (NEDO PV Challenge), <https://www.nedo.go.jp/content/100926249.pdf>, (2021年1月アクセス)
- [6] T. Okubo, T. Shimizu, K. Hasegawa, M. Ihara, “Techno-economic analysis of a distributed hydrogen energy storage system considering horizontal and vertical installation of solar cells” 18th Asian Pacific Confederation of Chemical Engineering Congress (APCChE 2019).
- [7] Photovoltaics Report, Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems (2020).
- [8] 太陽光発電協会, <http://www.jpca.gr.jp/document/figure>. (2021年1月アクセス)
- [9] International Technology Roadmap for Photovoltaic (ITRPV) 11th Edition (2019), Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau, German Engineering Federation (VDMA).
- [10] NEDO, 年間月別日射量データベース (MONSOLA-11) <https://www.nedo.go.jp/library/nissharyou.html>, (2020年12月アクセス)
- [11] 資源エネルギー庁, 電力調査統計表 (2019), [https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/electric\\_power/ep002/results.html](https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/electric_power/ep002/results.html), (2021年2月アクセス)
- [12] E-Konzal, 全基礎自治体のエネルギー消費量・エネルギー起源CO<sub>2</sub>排出量データベース, <https://www.e-konzal.co.jp/e-co2/>, (2017). (2021年2月アクセス)

---

低炭素社会の実現に向けた  
技術および経済・社会の定量的シナリオに基づく  
イノベーション政策立案のための提案書

地理情報や最新・将来技術の動向、影の影響を反映  
した、国内の太陽電池導入ポテンシャルの算出  
—東京都内の解析—

令和3年12月

Estimation of the Installation Potential of Solar Cells Reflecting Shadow Effect,  
Geographic Information, and Latest/Future Technology Trends:  
Analysis in Tokyo Area

Proposal Paper for Policy Making and Governmental Action  
toward Low Carbon Societies,  
Center for Low Carbon Society Strategy,  
Japan Science and Technology Agency,  
2021.12

国立研究開発法人科学技術振興機構 低炭素社会戦略センター

---

本提案書に関するお問い合わせ先

- 提案内容について・・・低炭素社会戦略センター 特任研究員 伊原 学 (IHARA Manabu)  
共同研究者 東京工業大学物質理工学院 助教 長谷川 馨 (HASEGAWA Kei)
- 低炭素社会戦略センターの取り組みについて・・・低炭素社会戦略センター 企画運営室

〒102-8666 東京都千代田区四番町5-3 サイエンスプラザ 8階

TEL : 03-6272-9270 FAX : 03-6272-9273

<https://www.jst.go.jp/lcs/>

© 2021 JST/LCS

許可無く複写・複製することを禁じます。  
引用を行う際は、必ず出典を記述願います。