

地域条例・建物特性を考慮した 太陽光発電の導入ポテンシャル評価

2024年8月

尾羽 秀晃 笹川 亜紀子* 森本 壮一 柴田 善朗 ((一財)日本エネルギー経済研究所)
大槻 貴司 (横浜国立大学)

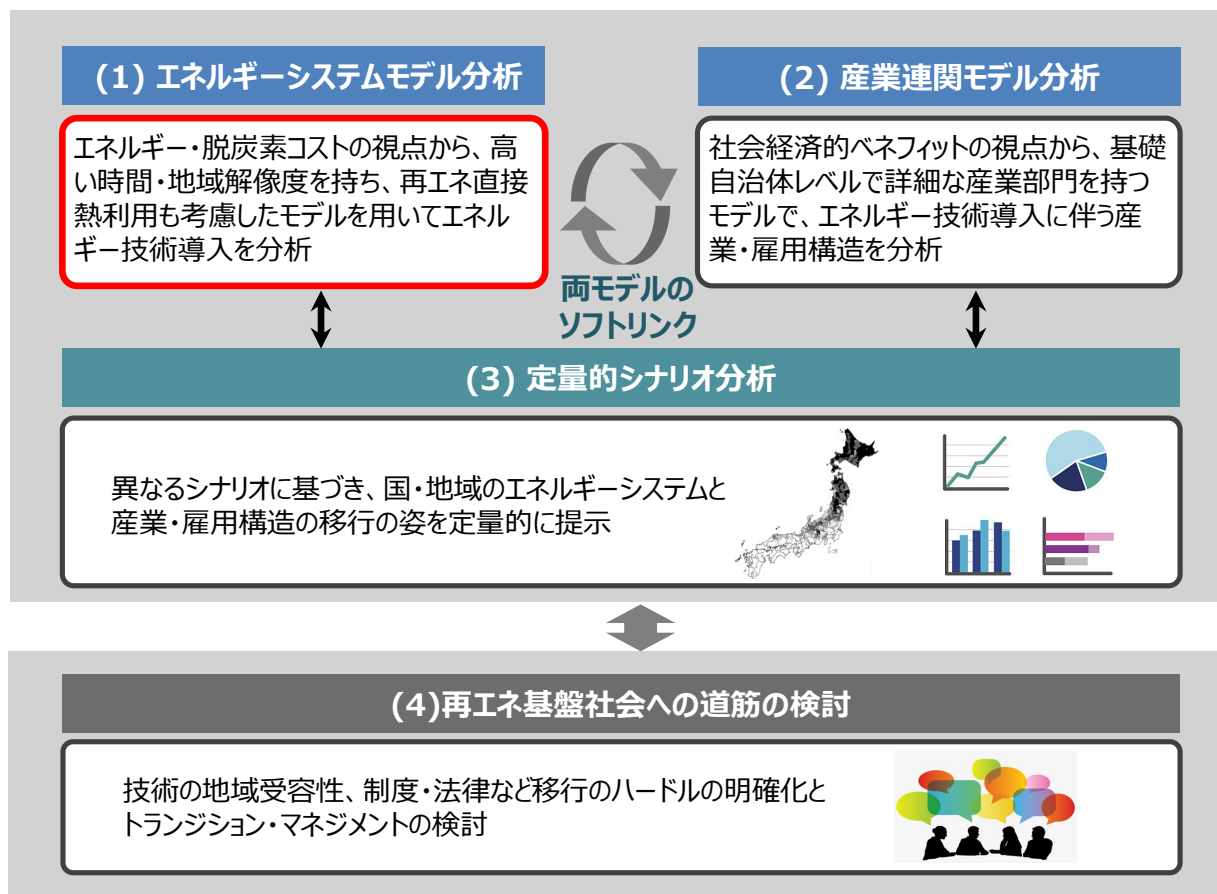
JST社会シナリオ研究事業「地域特性を活かし価値を創造する再エネ基盤社会への道筋」研究報告 No. R6-01

* 2024年7月まで在職

地域特性を活かし価値を創造する再エネ基盤社会への道筋

- ・本研究は、JST低炭素社会実現のための社会シナリオ研究事業「地域特性を活かし価値を創造する再エネ基盤社会への道筋」の一部として実施した。
- ・本プロジェクトでは脱炭素社会の実現において、我が国全体のエネルギーシステムの費用効率的な脱炭素を目指すとともに、公平なベネフィットの配分に関する**地域経済**や、**産業・雇用構造**への影響を踏まえた上で、**地域の再生可能エネルギーを活用**した脱炭素への道筋を明らかにし、トランジション・マネジメントの戦略・政策の立案に資する情報を提供することを目的としている。

本研究に 関わる範囲



地域細分化技術選択モデル(NE_Japan-Regionモデル)

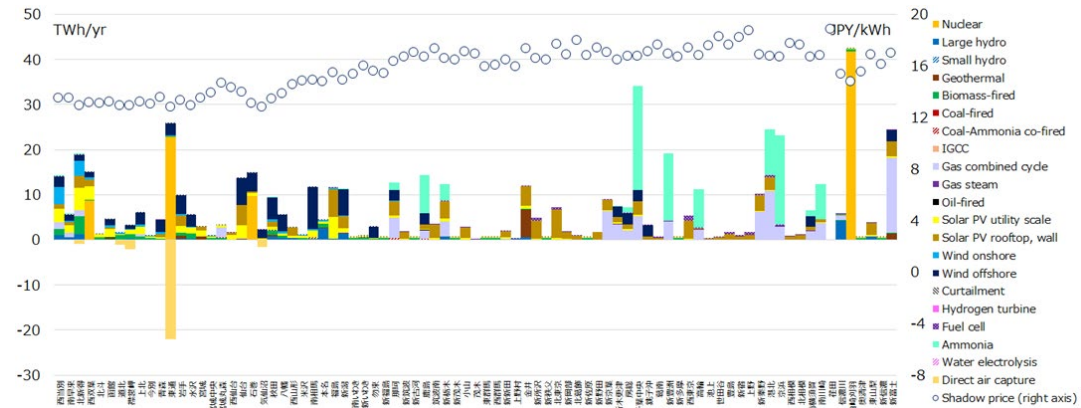
- ・脱炭素に向けて鍵を握る**地域の特徴をより明確に反映**するために、日本の地域を従来の5ノードから129ノードへ細分した地域細分化技術選択モデル(NE_Japan-Regionモデル)を横浜国立大学大槻研究室にて開発を行っている。
- ・このモデルの開発に向けて、モデルの細分化に対応しかつ**地域の特徴を考慮した再生可能エネルギーの導入ポテンシャル**が一つの重要情報となる。
- ・また、同導入ポテンシャルは、エネルギーシステムモデルへの活用のみならず、国が掲げる**再生可能エネルギーの導入目標**や、**エネルギーミックスの策定**においても一つの基礎情報となる。

NE_Japan-Regionモデルの地域ノード



地域細分化された再エネ導入ポテンシャルなどをインプットとして計算

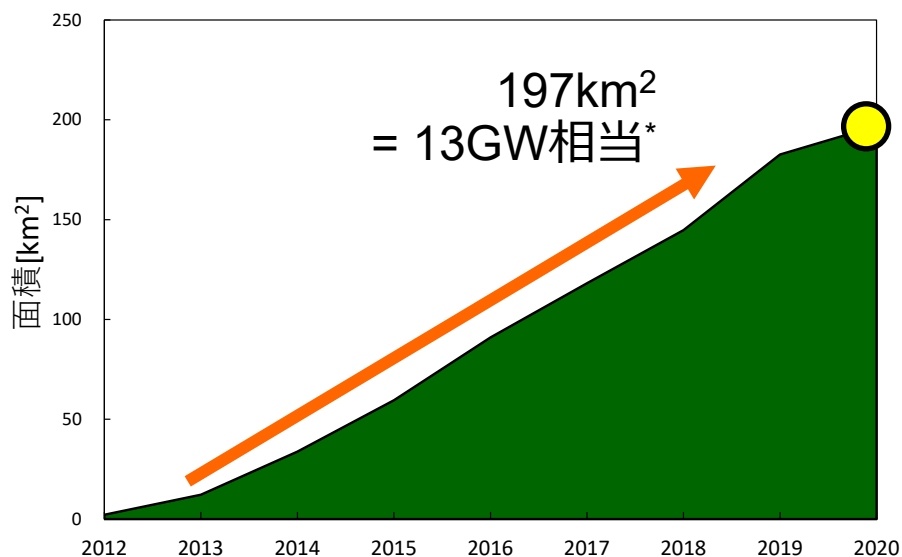
NE_Japan-Regionモデルによる地域別電源構成の計算例



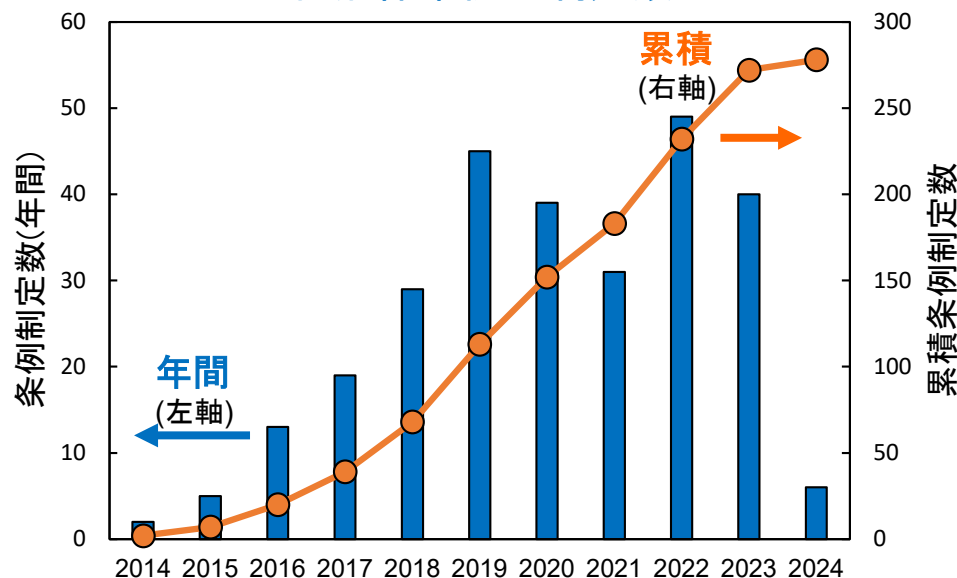
従来の再エネポテンシャル評価の課題

- ・再エネの導入目標の策定等に向けて、再エネがどの程度導入できるのかを明確に評価する必要がある。
- ・近年では、森林における再エネ開発等を受けた立地規制に関わる条例策定の拡大や、特定の建物における太陽光発電設置の義務化など、太陽光発電の設置に関わる地域による制度は変化している。
- ・これまで再エネの導入ポテンシャル評価は多数存在するものの([1]–[14])、近年急速に条例などが普及している背景もあり、地域政策や建物屋根の特徴を詳細に考慮する必要性が生じている。

林地開発許可処分(1ha以上)における
太陽光発電設置に伴う森林改変面積 [km²]



太陽光発電の規制に関わる
自治体条例の制定数



データの出典: 林野庁「林地開発許可制度の見直しについて（令和4年度）」

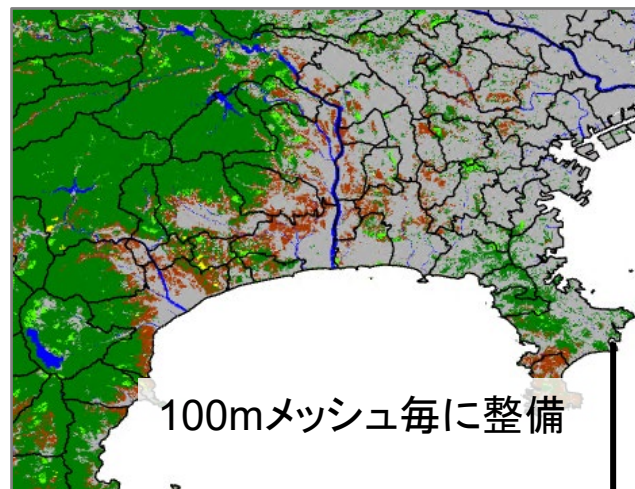
* FIT導入当初の効率が低い設備が導入されていると想定し、
0.067GW/km²で推計した値[14]。

→ 条例などの地域政策を考慮する必要性

本研究における導入ポテンシャル評価

本研究では、日本の国土を100mのメッシュに分割した**土地利用データ**、および全国の建物(約6,019万棟)の特性を格納した**建物データ**を構築し、太陽光発電の設置対象となる場所の**面積**や**特徴**を評価した。

(1) 土地利用データ(100mメッシュ)



格納データの一例

要素	例
土地利用	民有林・農地・雑草地など
法区域	抑制区域に指定されている区域など
自然条件	年間平均風速など

(2) 建物データ



要素	例
建物種類	官公庁・病院・学校など
屋根面積	UTM-54系での面積
市町村	建物が存在する市町村

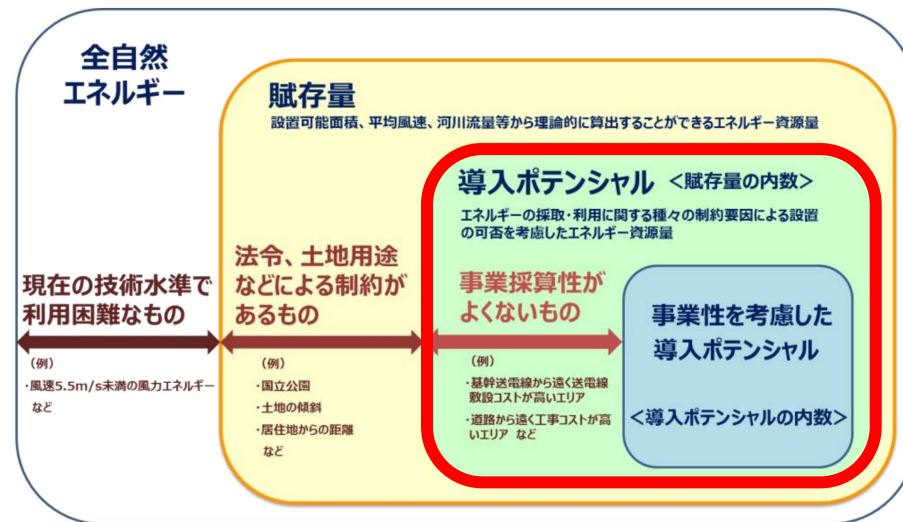
本研究の特徴

- (1) 地域条例のレビューを踏まえた、太陽光発電の立地を規制する**法区域**を詳細に考慮。
- (2) 建物個々の面積や種類を踏まえた、太陽光発電の設置に適した**屋根の特徴**を考慮。

評価対象の定義

- ・本研究では、環境省[3]に倣い、賦存量のうちエネルギーの採取・利用に関する種々の制約要因により利用できないものを除いた推計時点のエネルギーの大きさである**導入ポテンシャル**を評価対象とする。
- ・本研究における導入ポテンシャルは条例などの**法制度・土地利用のみ**を考慮するものとし、経済性や系統制約・地元との調整等の社会的制約は考慮されない。
- ・本研究では優先的に設置が進むと想定される**地上設置型太陽光**と**屋根設置型太陽光発電**の設備容量(DCベース)を対象とした。また、環境省[3]の定義と合わせるため、住宅ストック数の減少や土地利用変化、発電効率の上昇など時間軸に伴う変化については考慮しない。

導入ポテンシャルの概念図(環境省[3]による図に赤枠部・赤文字を追記)



本研究の対象

(考慮されていない要素の例)
・系統の空き容量、賦課金による国民負担
・将来見通し(再エネコスト、技術革新)
・個別の地域事情(地権者意思、公表不可な希少種生息エリア情報) 等

本研究の流れ

本研究では、以下の流れで評価を行った。

1. 地域条例を考慮した地上設置型太陽光発電の導入ポテンシャル評価

- ・ 条例レビューに基づく「抑制区域」の整理
- ・ 条例による規制が拡大した場合における地上設置型太陽光発電の導入ポテンシャル

2. 建物特性を考慮した屋根設置型太陽光発電の導入ポテンシャル評価

- ・ 屋根の特徴を踏まえた屋根設置型太陽光発電の導入ポテンシャル

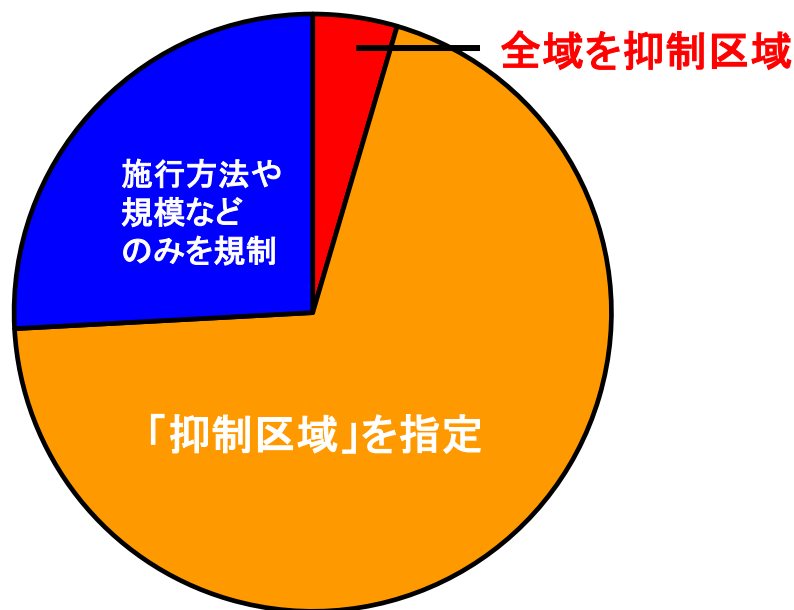
3. 政策的示唆

- ・ 導入ポテンシャル推計における手法上の留意点
- ・ 導入ポテンシャル評価を踏まえたエネルギーミックス策定に向けた示唆

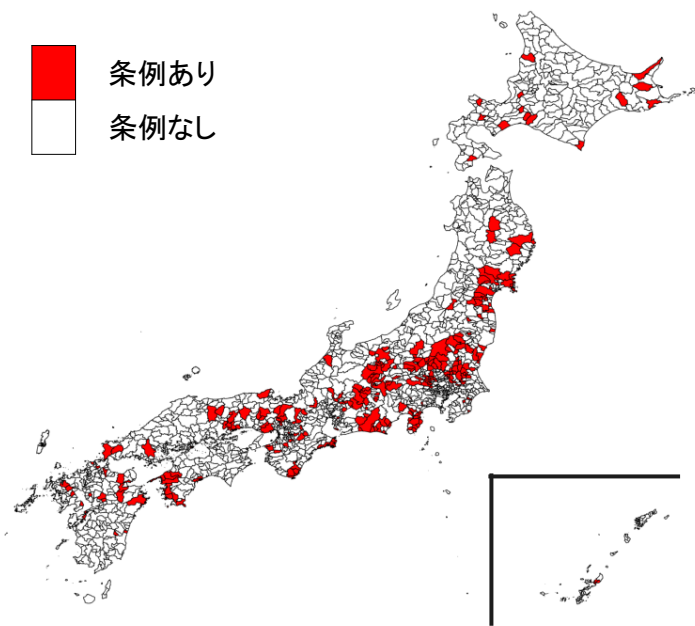
自治体条例レビューの考え方

- ・本研究では地方自治研究機構[15]を参考に、2024年3月までに太陽光発電の規制に関わる条例を制定していることが確認された263の市町村を対象に、条例で規制している土地・法区分を抽出した。
- ・その結果、各市町村のwebサイトで確認できた範囲*1では、195の市町村で特定の法区域などを**抑制区域***2などとして指定し、同区域における太陽光発電の設置を規制していることが確認された。
- ・抑制区域などに指定されている法区域や規制の強度は市町村により異なるが、本研究では太陽光発電の設置対象場所の評価において、**抑制区域などに指定される区域を抽出し考慮**した。

太陽光発電の規制に関わる自治体条例の分類



太陽光発電の規制に関わる自治体条例を定めている市町村



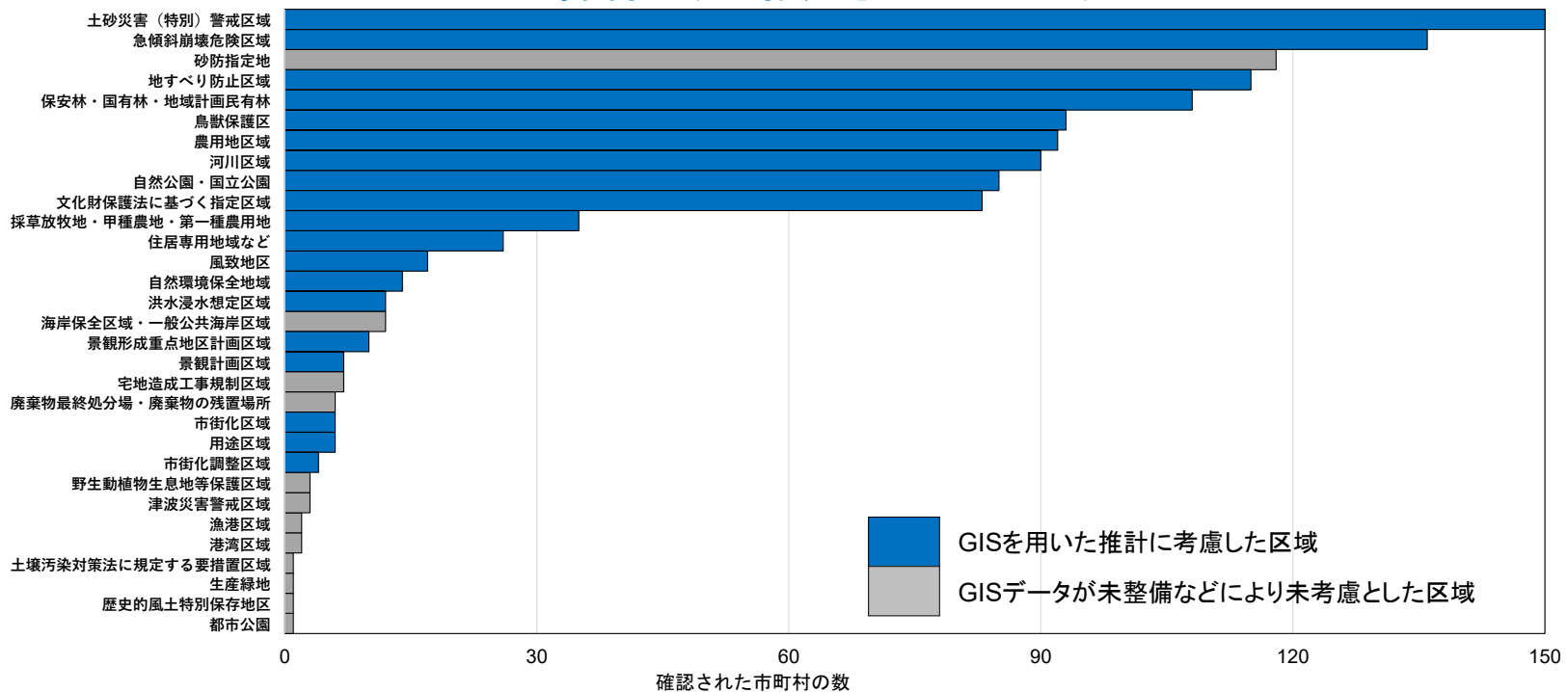
*1 市町村のwebで抑制区域の詳細を確認できなかった市町村も含まれるため、必ずしも全てを網羅したものではない。

*2 「抑制区域」の名称は市町村毎に異なる場合がある。本研究では「禁止区域」「規制区域」「保全区域」も抑制区域などとして扱った。

抑制区域などに指定されている区域

- ・各市町村が抑制区域などとして指定している区域を、指定している市町村の頻度が高い順に分類した結果を下図に示す。
- ・「抑制区域」には土砂災害などの影響が懸念される区域や、自然環境・野生生物などとの調和などが求められる区域、景観への配慮が必要な区域などが指定される傾向がある。
- ・本研究では、抽出した区域のうちGISデータが整備されている区域(下図・青部)を太陽光発電の設置対象場所から除外した。なお、GISデータが整備されていない区域は、主に全体面積が小さい区域もしくは他の制約となる区域等と重複する区域と考えられる(スライド32-33)。

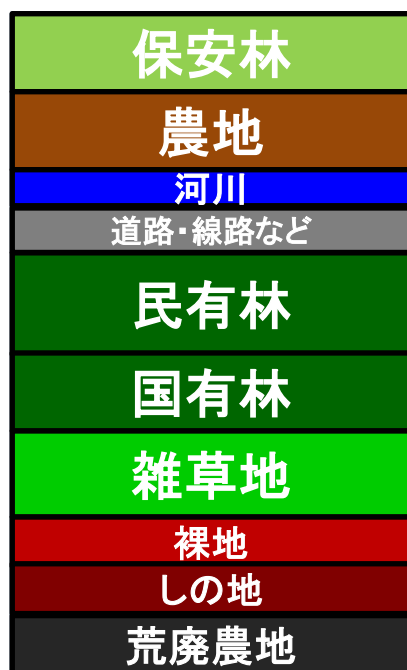
抑制区域に指定されている区域



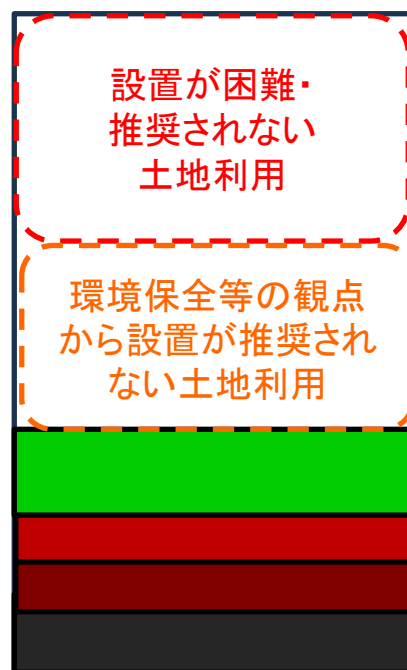
設置対象場所の評価方法

- ・尾羽他(電中研報告)[1]の考え方に基づき、日本の全国土の土地利用の分類と評価を行い、そのうち**雑草地・裸地・しの地・再生困難な荒廃農地**を設置対象の土地利用とした。
- ・これら雑草地などの土地利用のうち、本研究におけるレビューに基づいた**抑制区域などの指定対象となる法区域を除外**し、除外された場所を地上設置太陽光発電の設置対象場所とした。
- ・なお設置対象場所は陸上風力との土地利用競合が生じるため、既往研究[1]の考え方と同様に地上設置型太陽光発電と陸上風力の競合場所の特定を行った。

① 土地利用の分類



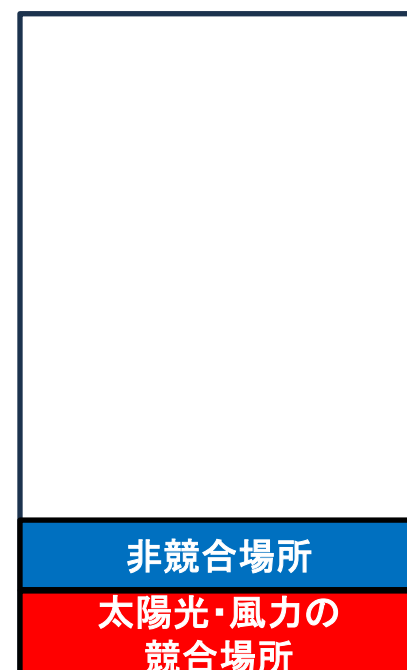
② 設置困難な土地利用の除外



③ 抑制区域に指定される法区域の除外



④ 陸上風力との競合地域の特定

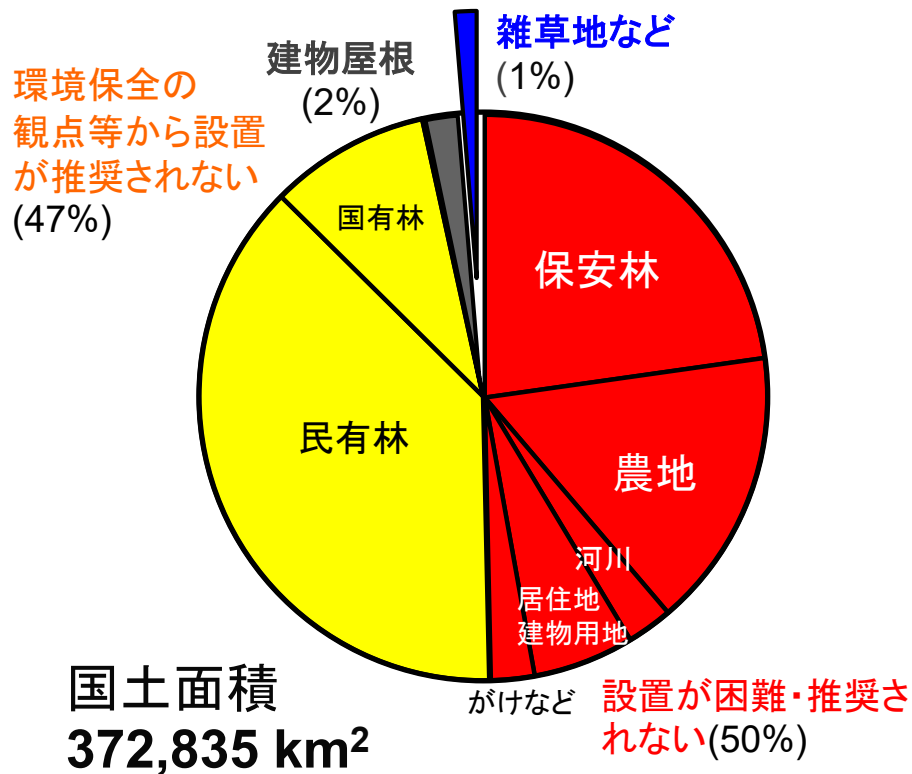


※ 上図は簡略図であり、実際は計19区分に分類している(スライド28-30)

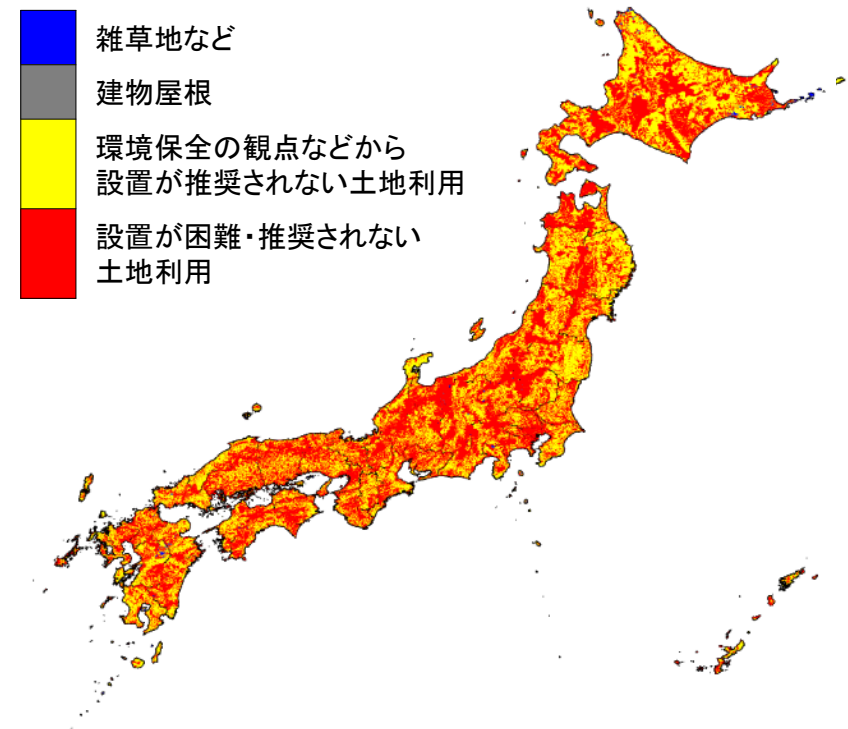
土地利用別の面積推計結果(抑制区域未考慮)

- 構築したGISデータにより、日本の全国土における土地利用別の面積を集計した結果、設置対象となる雑草地などの面積は4,887km²と推計され、**全国土の1%**に相当することが示された。
- この面積には、抑制区域に指定される各区域は考慮されないものであり、同区域を考慮すると太陽光発電の**設置対象場所はさらに減少**する。

土地利用別面積の内訳



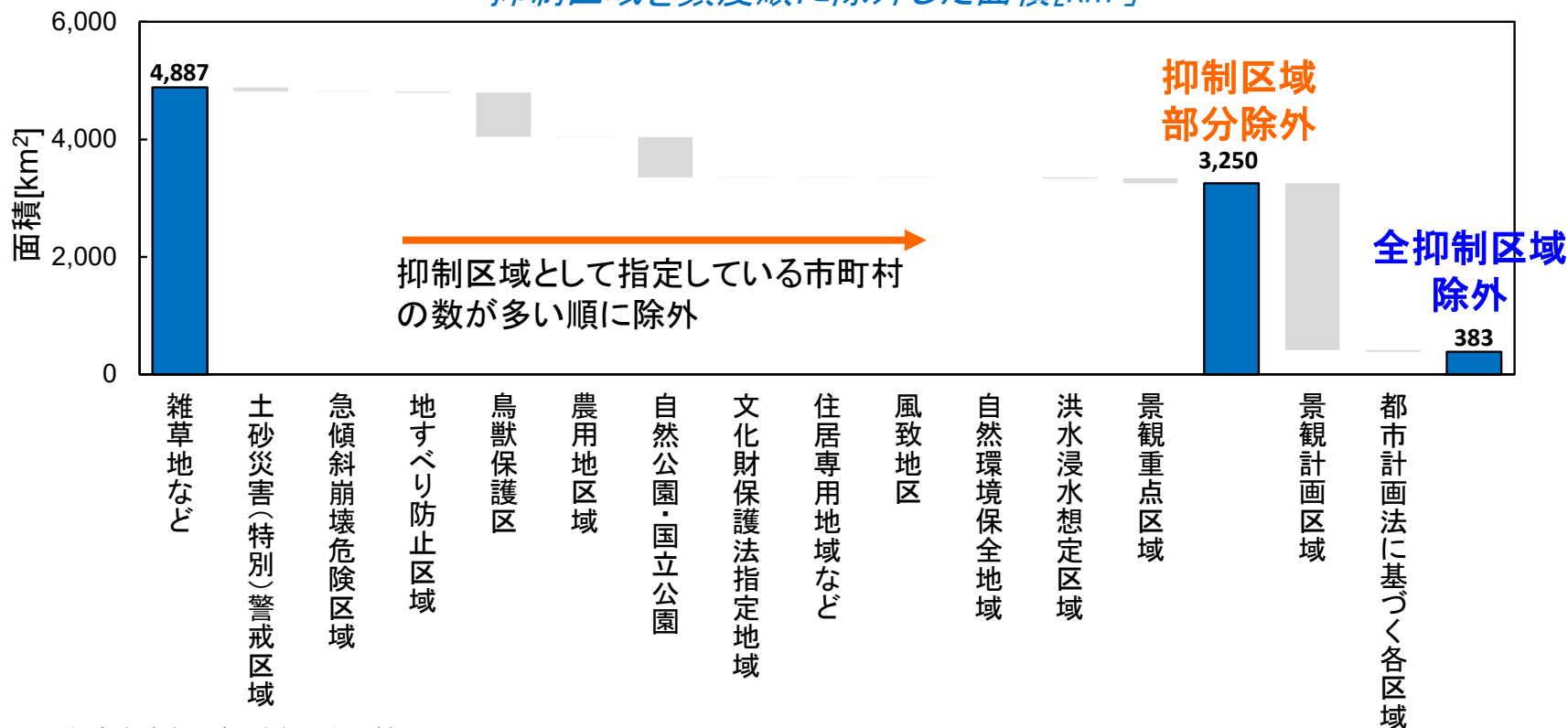
土地利用の制約別のマッピング



抑制区域を除外した面積

- ・雑草地などの土地利用(4,887km²)のうち、抑制区域に指定される区域を全市町村一律に頻度の高い順に除外した結果を以下に示す。同図は規制条例の普及に応じた、設置対象場所の減少度合いを示す。
- ・抑制区域に指定される全ての区域を全市町村で除外した場合(全抑制区域除外ケース)、設置対象となる面積は383km²となり、特に景観計画区域が推計値の減少に大きく寄与している。
- ・景観計画区域を抑制区域に指定している市町村は9市町村*であったことを踏まえ、仮に景観計画区域以外の抑制区域を除外した場合(抑制区域部分除外ケース)、設置対象となる面積は3,250km²となる。

抑制区域を頻度順に除外した面積[km²]

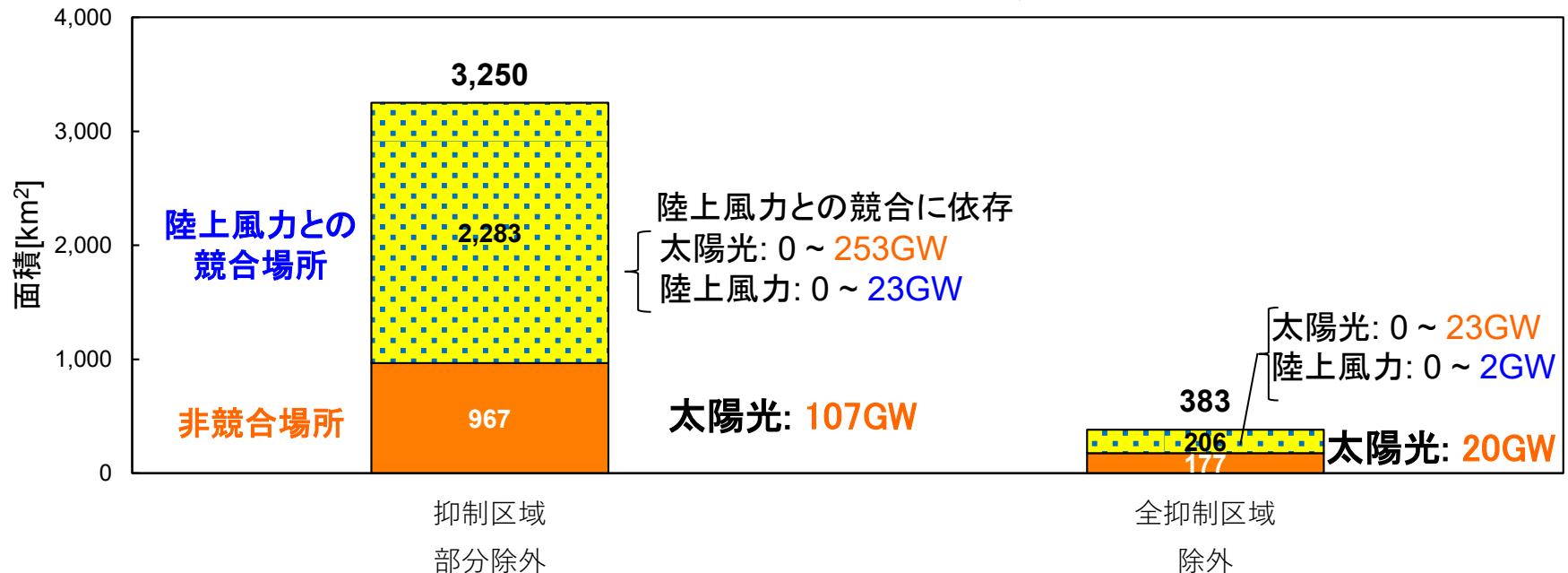


* 2023年度末時点で確認された市町村のみ

シナリオ毎の設置対象場所の設備容量

- ・設置対象場所のうち、尾羽他(電中研報告)[1]と同様に年間平均風速5.0m/s以上の場所で陸上風力との土地利用競合が生じるとした場合、**半分以上の場所が陸上風力との競合場所**となる。
- ・仮に競合場所の全てに太陽光発電を設置した場合、既往研究[1][2]が指摘する通り北海道・東北エリアなどで2022年度の最大電力需要を大幅に超過することとなる(スライド49, 50)。そのため、競合場所に適した電源は、各時間帯の**電力需給のバランスなどを考慮して判断**される必要がある。
- ・環境省[3]と同様に、設置対象場所に幅2m x 奥行1mの400Wモジュールを設置することを想定し、面積を0.111GW/km²で設備容量に換算した場合、導入ポテンシャルは下図の通りとなる。

陸上風力との競合を考慮した設置対象面積・設備容量

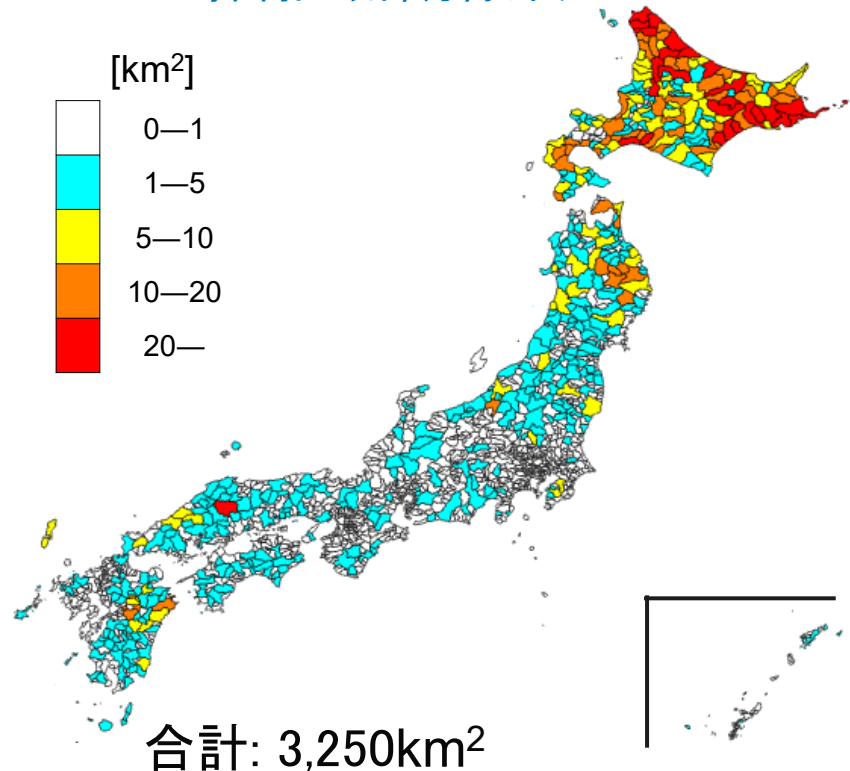


* 洋上風力の設備容量については、環境省[3]と同様に0.01GW/km²で換算した。

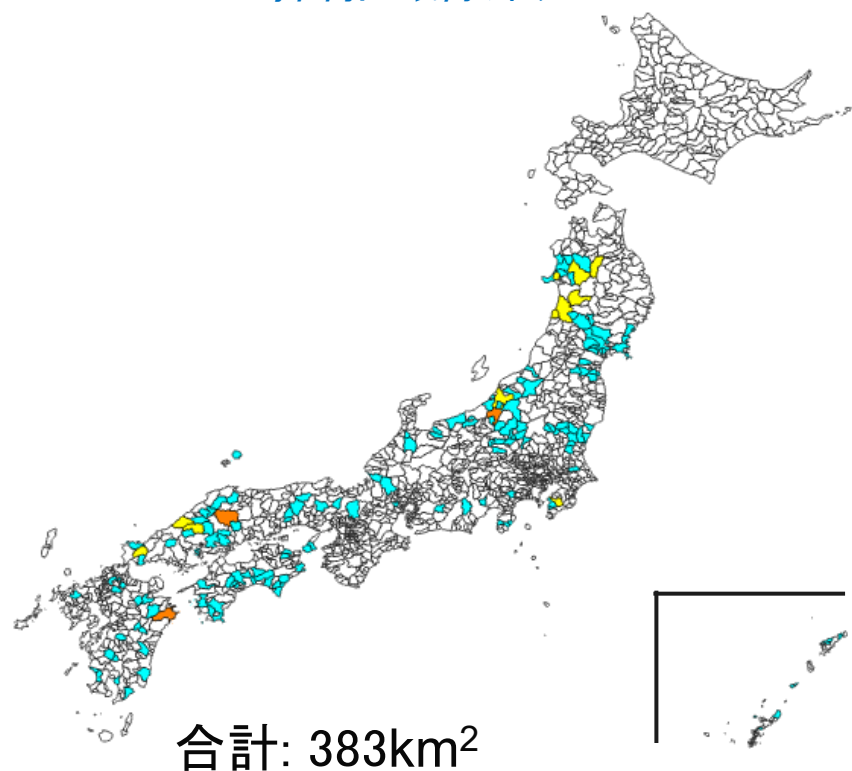
市町村別の設置対象場所

- ・抑制区域部分除外ケースにおける設置対象場所は**北海道の平野部や草原部などに多く存在している**。
- ・2023年12月末時点で北海道における既導入量(10kW以上)は約2GW程度であり、条例による規制を定めている市町村は限られるものの(スライド7)、今後北海道に大量に太陽光発電が設置される場合には、将来景観などに支障を及ぼすことも懸念される。
- ・本評価では、地元との合意などの社会的制約は未考慮であるため、実際に導入される設備容量は各ケースにおける導入ポテンシャルよりさらに減少する。

抑制区域部分除外ケース



全抑制区域除外ケース



本研究の流れ

1. 地域条例を考慮した地上設置型太陽光発電の導入ポテンシャル評価

- ・ 条例レビューに基づく「抑制区域」の整理
- ・ 条例による規制が拡大した場合における地上設置型太陽光発電の導入ポテンシャル

2. 建物特性を考慮した屋根設置型太陽光発電の導入ポテンシャル評価

- ・ 屋根の特徴を踏まえた屋根設置型太陽光発電の導入ポテンシャル

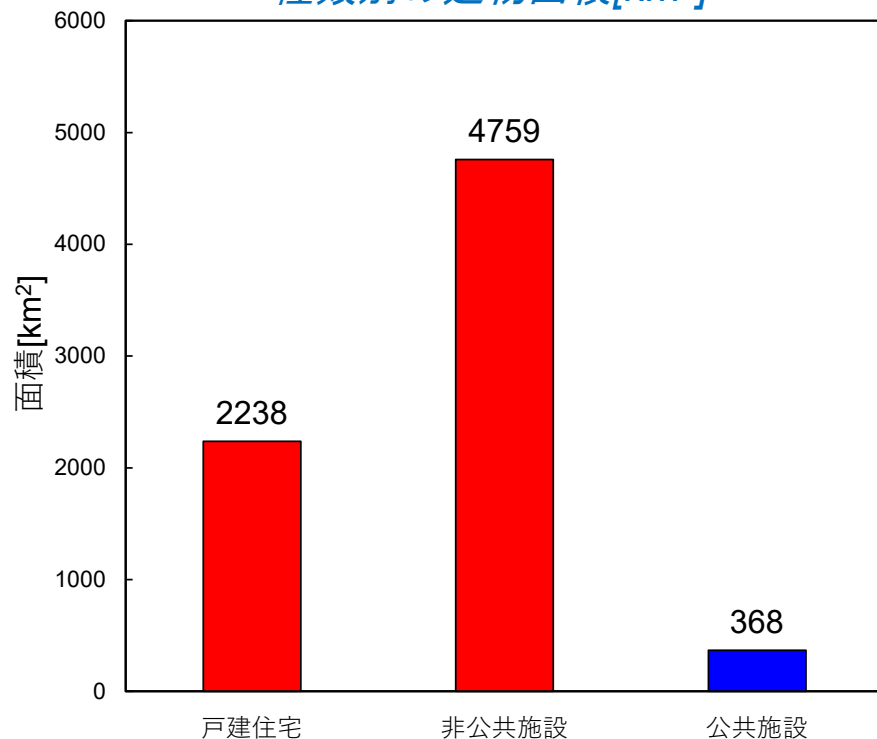
3. 政策的示唆

- ・ 導入ポテンシャル推計における手法上の留意点
- ・ 導入ポテンシャル評価を踏まえたエネルギーミックス策定に向けた示唆

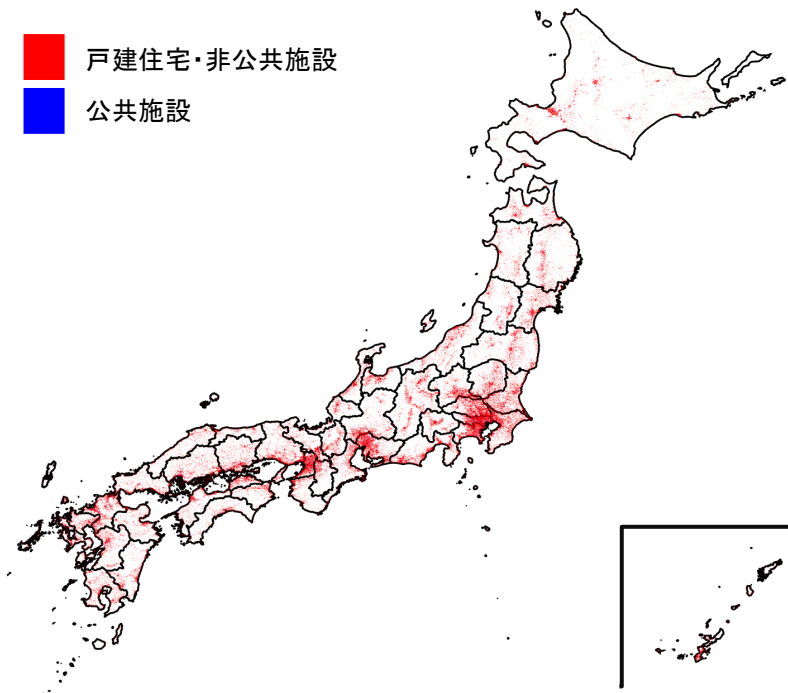
日本全国における全建物面積

- 構築したGISデータにより、全国における建物面積(上空からの投影面積)を推計した結果、**7,366km²**と推計され、全国土面積(372,835km²)の**約2%**に相当する。
- GISデータには戸建住宅の情報は含まれず、「普通建物」の一部として扱われるため、戸建住宅の面積は「平成30年住宅・土地統計調査」における都道府県別・面積別の住宅数より推計した*。ただし、この面積には屋根の形状や角度は考慮されないため、別途考慮される必要がある。

種類別の建物面積[km²]



建物のマッピング

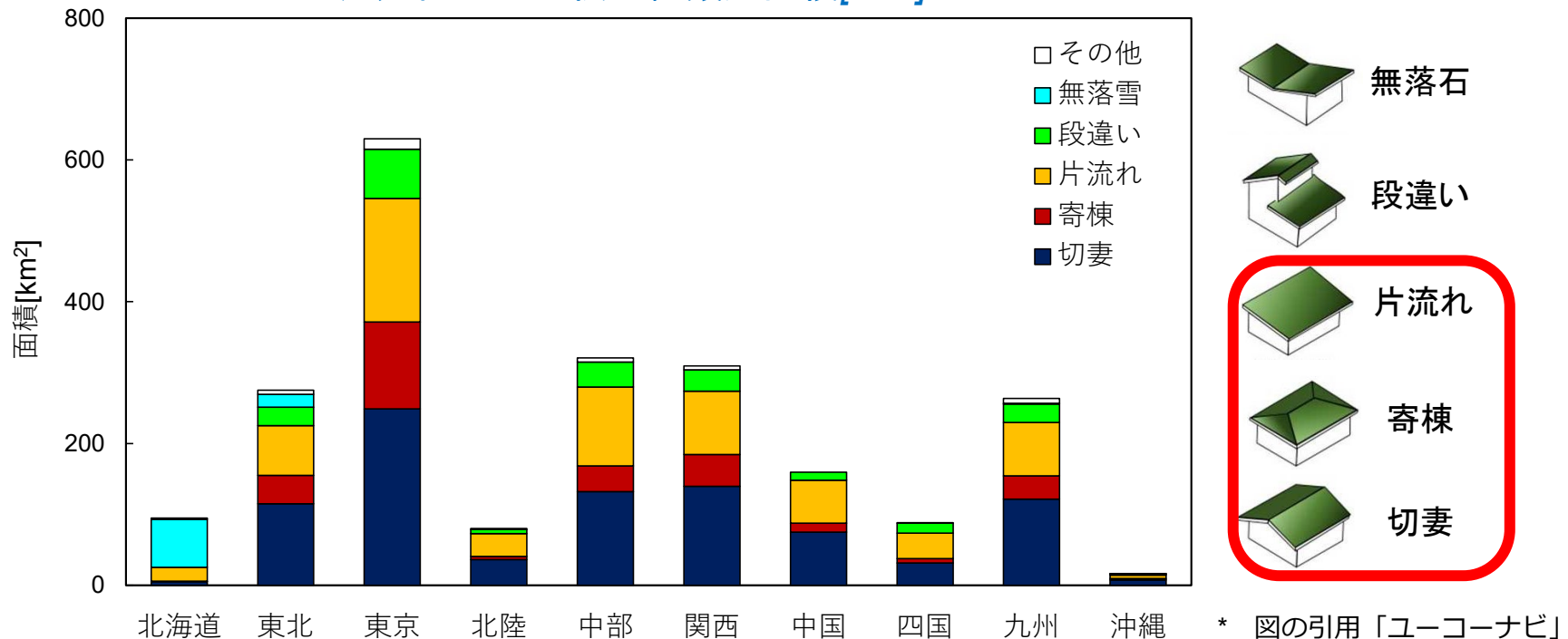


* 同統計の第180表より推計。同表では区分別(「19m²以下」「20-29m²」...)の総数となっており、各区分の中心値(「20-29m²」であれば24.5m²×総数)で面積を集計した。

戸建住宅の屋根の種類別面積

- ・前述の戸建住宅の建物面積(2,238km²)は上空からの投影面積であるため、住宅金融支援機構[16]を元に、地域別に屋根の種類別面積を推計した。
- ・日本においては、切妻・寄棟・片流れの屋根が多くを占めており、これらの屋根は発電に最も適した南を全て向いているとは限らない。

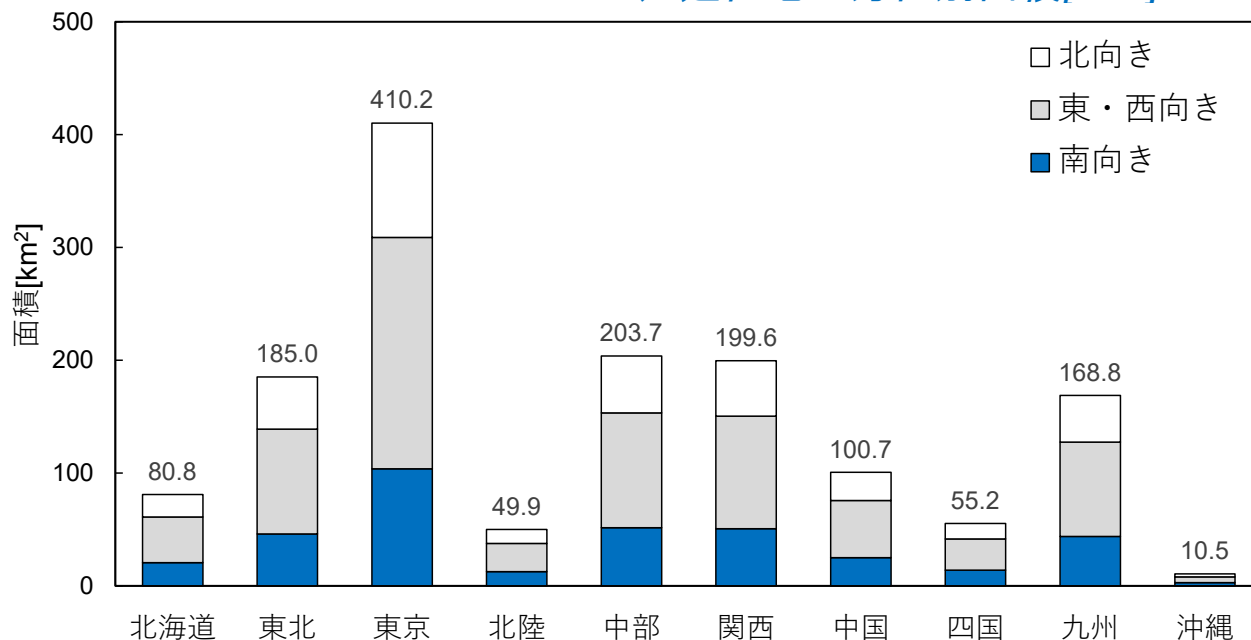
戸建住宅の屋根の種類別面積[km²]



屋根の方位・パネル周辺部のスペースを考慮した面積

- ・衛星写真によるサンプル調査を行っている環境省[14]に基づいて、屋根の方位およびパネル周辺部のスペースを考慮し、屋根の方位別に太陽光発電が設置可能な面積の推計した(詳細はスライド37)。
- ・戸建住宅の建物面積2,238km²のうち、パネル周辺部の面積を除いた面積は1,465km²と推計された。ただし、そのうち発電に最も適した南向き屋根の面積は362km²である。

戸建住宅の方位別面積[km²]

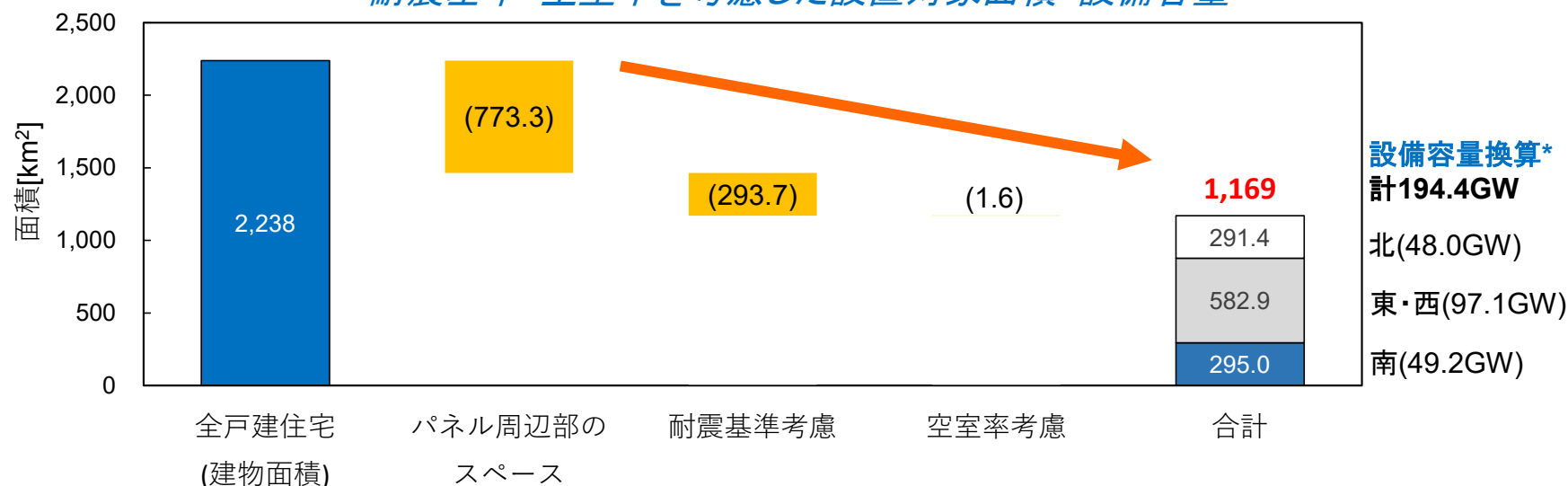


方位	全国計面積[km ²]
北	371
東・西	730
南	362
パネル周辺部 スペース	(773) 1,465km ²
合計	2,238

耐震基準・空室率を考慮した設置対象面積

- ・新耐震基準を満たしていない戸建住宅*¹については、太陽光発電の設置が推奨されていないため、既往研究[11][13]を参考に、統計情報を元に耐震基準を満たす住宅の割合の考慮を行った*²。
- ・また、空き家については必ずしも太陽光発電の設置が不可とはならないが、太陽光発電の管理面に影響すると考えられるため、空室率も同様に考慮を行った*³。
- ・耐震基準と空き家を考慮した設置対象面積は1,169km²と推計された。これを設備容量に換算すると南向き: 49.2GW, 東・西向き: 97.1GW, 北向き: 48.0GWとなる*⁴。

耐震基準・空室率を考慮した設置対象面積・設備容量*⁴



*¹ 1981年6月に改正された建築基準法に基づく耐震基準。

*² 「平成30年住宅・土地統計調査 第171-1表」における耐震診断を行った住宅のうち耐震性が確保されていなかった住宅の割合を都道府県別・住宅の建築の時期別に積み上げて推計した。ただし、同統計調査は戸建の耐震診断は義務ではなく診断を行った住宅に偏りがある可能性があることや、耐震診断を実施した戸建の割合が小さい点に留意する必要がある。

*³ 同統計の235-2表における居住世帯のない住宅数のうち、都道府県別・住宅の建築の時期別に積み上げて推計した。
1980年以前の住宅については、耐震基準を満たさない住宅と重複する可能性があるため、空室率の計算の対象からは除外した。

*⁴ 環境省調査[3]と同様に6m²/kW = 0.1667 GW/km² で換算。

公共施設・非公共施設における設置可能面積の考え方

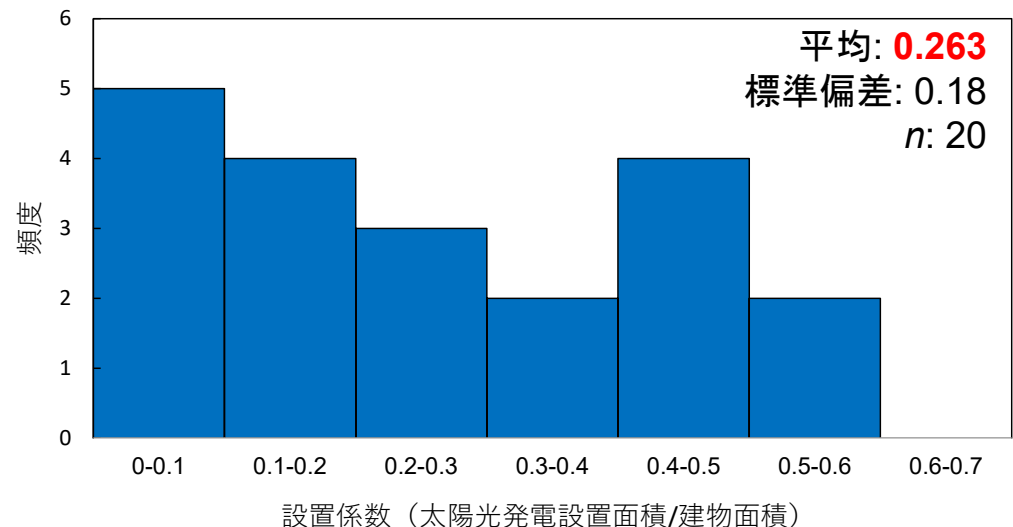
- 公共施設・非公共施設の建物面積の合計は5,128km²と推計されたが、この推計値には太陽光発電が設置不可となるスペース(貯水槽など)も含まれている。そのため、屋根面積に対して太陽光発電が設置可能な面積の比率(設置係数)を考慮する必要がある。
- 従来の研究[3][11][13]では、国内11大都市を対象としたサンプリング調査(1995年公刊)[17]における、各施設の緑化可能面積に基づき、屋根のうち冷却塔・給水塔を除く面積の比率を86%、残りの面積のうち確保すべき保安スペースを除いた面積を58%とし、設置係数0.499としている。
- 本研究では、太陽光発電の設置事例が増えてきていることを踏まえ、JABMEE ZEBデータベース[18]および環境省[19]を元に、建物の種類別の導入実績に基づく設置係数を用いた計算も行った。

導入実績に基づく設置係数の考え方 (設置係数:0.26の建物の一事例)



設置係数= $\frac{\text{太陽光発電が設置された面積}}{\text{建物面積(GISで推計される面積)}}$

JABMEE ZEBデータベースに基づく 設置係数の度数分布(普通建物)



公共施設・非公共施設の面積の内訳

- 公共施設・非公共施設の全屋根面積(5,128km²)のうち、太陽光発電の設置対象となる面積は1,236-2,559km²と推計され、これを設備容量に換算すると137.2-284.0GWとなる。
- ただし、推計値は設置係数の考え方により大きく変わることにより留意が必要。

設置係数の考え方の違いによる設置対象面積・設備容量

	屋根面積 [km ²]	太陽光導入実績ベース			緑化可能面積実績ベース		
		設置係数	設置対象面積[km ²]	設備容量[GW]	設置係数	設置対象面積[km ²]	設備容量[GW]
官公庁	106	0.079	8.4	0.9	0.499	53	5.9
病院	50	0.100	5.0	0.6		25	2.8
学校	198	0.109	21.5	2.4		99	10.9
防衛施設	15	0.071	1.0	0.1		7	0.8
公共施設合計	368km ²		36km ²	4.0GW*		184km ²	20.4GW
集合住宅	153	0.388	59.3	6.6	0.499	76	8.5
工場	380	0.167	63.5	7.0		190	21.0
倉庫	81	0.167	13.6	1.5		41	4.5
商業・娯楽施設	249	0.167	41.6	4.6		124	13.8
ホテル	20	0.167	3.3	0.4		10	1.1
商業施設	6	0.167	1.0	0.1		3	0.3
ガソリンスタンド	5	0.167	0.8	0.1		3	0.3
普通建物	3,865	0.263	1,017	112.8		1,929	214.1
非公共施設合計	4,759km ²		1,200km ²	133.2GW		2,375km ²	264.0GW
合計	5,128km ²		1,236km ²	137.2GW		2,559km ²	284.0GW

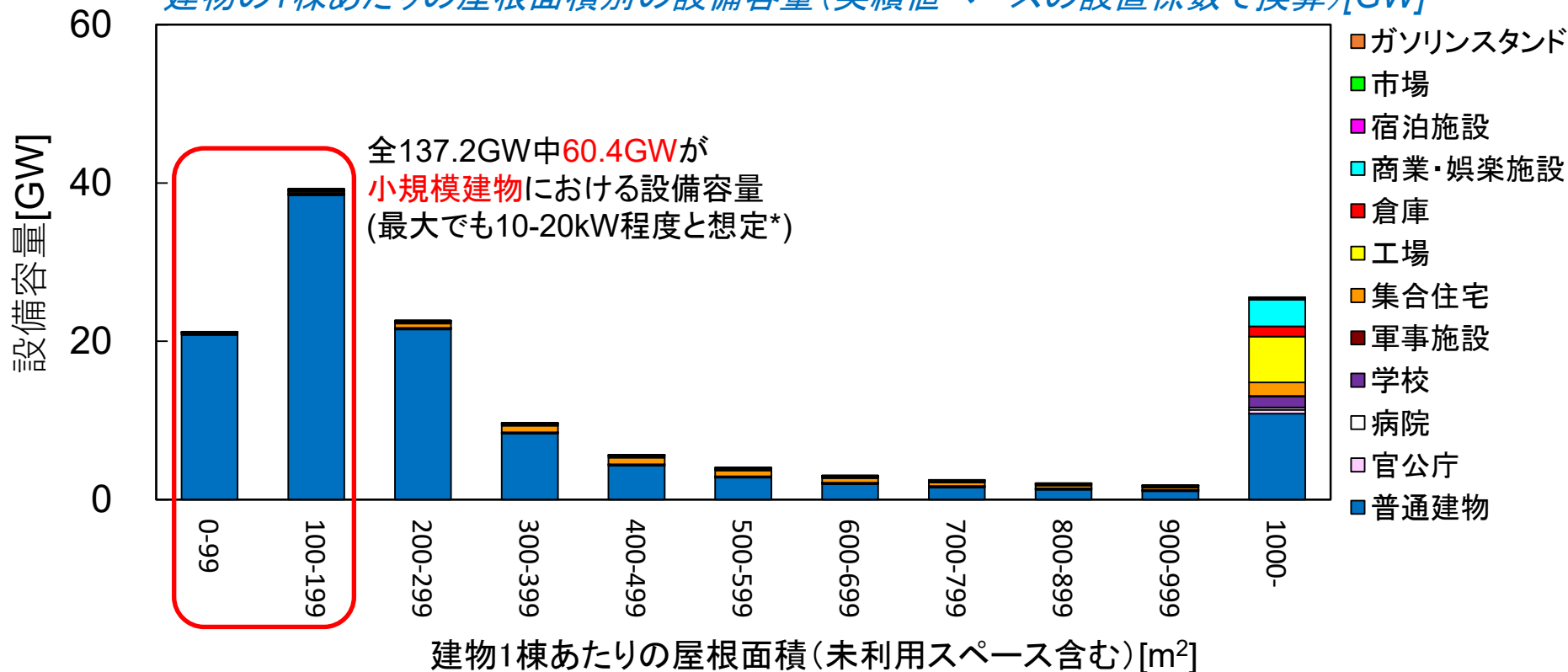
← 実績ベースの設置係数を用いた場合大きく減少

- 本表における公共施設は屋根のみであり「2030 年度におけるエネルギー需給の見通し」における公共部門を率先して実行することによる導入見込み量 (6.0GW)の対象となる建物種類と範囲 (同見込み量では敷地内も含まれる)は異なる。

建物の面積別の設備容量

- ・公共施設・非公共施設の設置場所について詳細に把握するため、建物の1棟あたりの屋根面積別の設備容量(実績値ベースの設置係数で換算)の推計を行った。
- ・設置対象となる建物のうち、**小規模建物における設備容量が約半分を占めており、屋根面積が小さい場所におけるコストダウンが重要となる。**

建物の1棟あたりの屋根面積別の設備容量(実績値ベースの設置係数で換算)[GW]

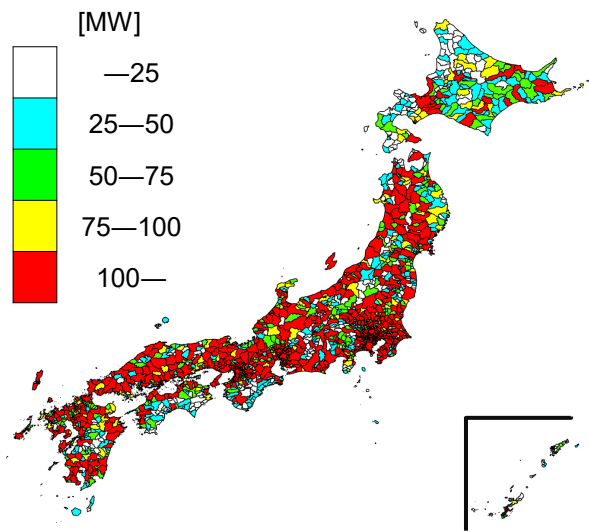


* 前述の設置密度(0.111GW/km²)より推定。ただし同図の屋根面積は太陽光発電が設置不可な未利用スペースも含んでいるため、実際に設置できる太陽光はさらに小規模になると想定される。

全建物における太陽光発電の設備容量

- ・全ての建物において設置可能な太陽光発電の設備容量を市町村別に推計した結果を以下に示す。
- ・現在公共施設を対象にした太陽光発電設置の義務化の動きにあるものの、建物全体の中で**公共施設に設置可能な太陽光発電**は限られる。
- ・今後の太陽光発電の導入においては、**既築の戸建住宅**や**非公共施設**への導入が今後重要となりうる。

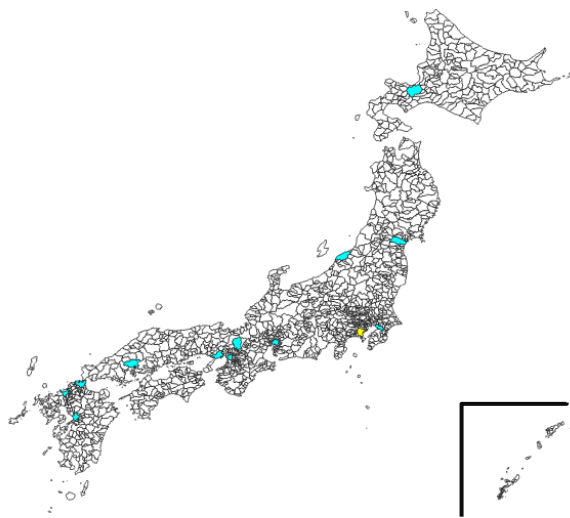
(A) 戸建住宅



南: **49.2GW**
東西: **97.1GW** 北: **48.0GW**

→ 多くの市町村で導入できる設備容量は100MW超(南以外の方角も含む)

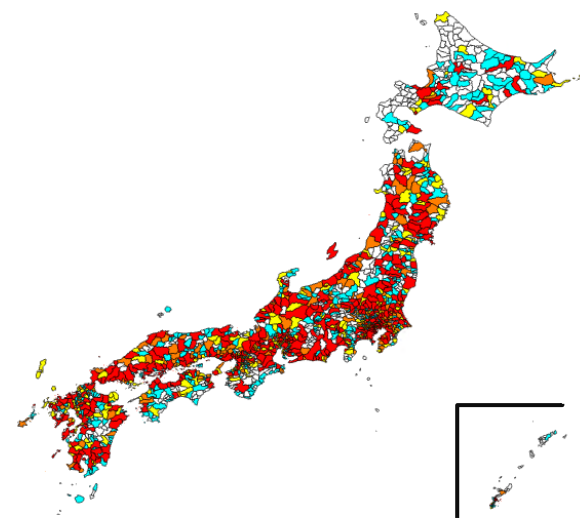
(B) 公共施設



計: **4.0GW**

→ 各市町村で導入できる設備容量は数10MW程度に留まる。

(C) 非公共施設



計: **133.2 GW**

→ 多くの市町村で導入できる設備容量は100MW超

* 戸建住宅の市町村別の設備容量は、都道府県別の戸建住宅の面積とGIS上の「普通建物」(戸建住宅含む)の比率を用いて、市町村毎のGIS上の「普通建物」面積より按分した。

本研究の流れ

1. 地域条例を考慮した地上設置型太陽光発電の導入ポテンシャル評価

- ・ 条例レビューに基づく「抑制区域」の整理
- ・ 条例による規制が拡大した場合における地上設置型太陽光発電の導入ポテンシャル

2. 建物特性を考慮した屋根設置型太陽光発電の導入ポテンシャル評価

- ・ 屋根の特徴を踏まえた屋根設置型太陽光発電の導入ポテンシャル

3. 政策的示唆

- ・ 導入ポテンシャル推計における手法上の留意点
- ・ 導入ポテンシャル評価を踏まえたエネルギーミックス策定に向けた示唆

導入ポテンシャル推計における手法上の留意点

設置係数の不確実性

建物における導入ポテンシャルは設置係数の考え方に大きく依存し、従来の設置係数は現状の実績と比較して大きな乖離が認められる。

ただし、現状の実績値をベースにした設置係数についても、設置係数の算定に用いたサンプル数が254と限られることや、太陽光発電が設置されていない建物(屋上ヘリポートなど)はサンプルに含まれていないこと、シリコン系太陽電池の設置実績のみに基づくなど不確実性は多い。

導入ポテンシャルをより精緻に評価する上では、設置係数の算定に関わる**現状の設置係数や屋根の事例をより多く収集**することなどが求められる。

森林に設置された太陽光発電の扱い

本研究において、森林は設置対象場所から除外しているものの、10kW以上の既導入量57.5GW(2023年12月末時点)のうち、少なくとも13GW以上(2020年末時点)は森林に設置されていると推定される(スライド3)。しかし、森林に設置された地域別の設備容量が不明のため本推計では未考慮である。

これらの設備は2050年において設備寿命を迎えていると考えられるが、リパワリングによって既に森林に設置された設備の更新が行われるか否かによって、2050年時点の導入量が本研究で推計した導入ポテンシャルを超過する場合も生じうる。

しかし、景観や地域共生などの観点から、必ずしもこれらの設備の更新が望ましいかは検討が必要なため、導入ポテンシャルへの計上についてはさらなる検討が必要である。

エネルギーミックス策定に向けた示唆

地上設置型太陽光発電

地域条例を考慮した導入ポテンシャルは、陸上風力との競合が生じない場所で**20GW-107GW**と推計された。これを超えて導入する場合には、陸上風力との土地利用競合が考慮される必要がある。

これまで森林などにおける開発が進んできたが、既に市内全域を抑制区域とする条例もある中で、今後条例による**規制が拡大された場合には、地上における設置対象場所は限られる**。そのため、エネルギーミックス策定においては**建物における導入目標の策定がより重要**となる。

戸建住宅

従来の評価[3][7]では167GW-240GWと評価されていたが、屋根の形状や方角は未考慮であった。本評価で屋根の方角を考慮した推計を行うと、**南向き屋根で49.2GW、東西向き屋根で97.1GW**となった。

したがって、発電量[kWh]ベースでエネルギーミックスを検討する場合には、**方角の違いを考慮した発電量算定が重要**となる。

公共系・非公共系施設

実際の設置状況に基づく設置係数で導入ポテンシャルを推計すると**公共施設4.0GW***、**非公共施設133.2GW**となり、従来の推計値と比較して大きく減少する。そのため、エネルギーミックス策定において導入ポテンシャルを参考にする場合には、**異なる考え方の推計値を比較**することが重要である。

また、これら設置対象場所の**約半分は小規模建物**であるため、将来のコストダウンが重要となる。

* スライド20で示した通り、エネルギー需給の見通しにおける公共部門の率先して実行することによる導入見込み量(6.0GW)の推計範囲と異なる。

参考文献(1)

- [1] 尾羽秀晃, 永井雄宇, 朝野賢司, 「土地利用を考慮した太陽光発電および陸上風力の導入ポテンシャル評価」, 電力中央研究所報告, Y18003, 2019
- [2] H.Obane, Y.Nagai, K.Asano, “Assessing land use and potential conflict in solar and onshore wind energy in Japan”, Renewable Energy, Vol160, pp842-851, 2020.
- [3] 環境省, 令和3年度再エネ導入ポテンシャルに係る情報活用及び提供方策検討等調査委託業務報告書, 2021.
- [4] H.Obane, Y.Nagai, K.Asano, Assessing the potential areas for developing offshore wind energy in Japanese territorial waters considering national zoning and possible social conflicts, Marine Policy, Vol 129, 2021.
- [5] 尾羽秀晃, 永井雄宇, 豊永晋輔, 朝野賢司, 「再エネ海域利用法を考慮した洋上風力発電の利用対象海域に関する考察」, 社会経済研究所研究資料 Y19502, 2019.
- [6] 環境省, 平成24年度再生可能エネルギーに関するゾーニング基礎情報整備報告書, 2022.
- [7] 一般社団法人 太陽光発電協会、太陽光発電産業の新ビジョン“PV OUTLOOK 2050” (2024年版ver.1), 2024.
- [8] 国立研究開発法人科学技術振興機構(JST) 低炭素社会戦略センター, 国土の有効利用を考慮した太陽光発電のポテンシャルと公布、令和4年3月, 2022.
- [9] 国立研究開発法人科学技術振興機構(JST) 低炭素社会戦略センター, 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ー東京都内の解析ー、令和3年12月, 2021.
- [10] 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO), 高性能・高信頼性太陽光発電の発電コスト低減技術開発動向調査等BIPV(建材一体型太陽光発電)に関する検討、平成28年9月、(委託先)太陽光発電技術研究組合, 2016.
- [11] 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO), 太陽エネルギー技術研究開発(太陽光発電システム次世代高性能技術の開発) 太陽光発電における新市場拡大等に関する検討、平成25年3月、(委託先)みずほ情報総研株式会社, 2013.
- [12] 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構, 非住宅分野における太陽光発電システム技術に関する調査研究、平成15年9月、(委託先)富士総合研究所, 2003.
- [13] 経済産業省, 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), みずほ情報総研株式会社, 2011.
- [14] 環境省, 平成25年度再生可能エネルギーに関するゾーニング基礎情報整備報告書.

参考文献(2)

- [15] 地方自治研究機構、太陽光発電設備の規制に関する条例.
http://www.rilg.or.jp/htdocs/img/reiki/005_solar.htm
- [16] 住宅金融支援機構、フラット35住宅仕様実態調査報告(平成29年度).
https://www.jhf.go.jp/about/research/tech_flat35_siyou.html
- [17] 建設省、緑化空間創出のための基板技術の開発 報告書(第一分冊)概要, 1995 年1 月.
- [18] JABMEE ZEBデータベース.
<https://zeb-database.jabmee.or.jp/jabmeezeb/landing>
- [19] 環境省、令和3年度AI解析等による太陽光発電設備導入状況把握等に関する調査検証委託業務報告書.
- [20] M.Bolinger and G.Bolinger, Land Requirements for Utility-Scale PV: An Empirical Update on Power and Energy Density, IEEE Journal of Photovoltaics PP(99):1-6, 2022.

補足資料1

土地利用の考え方

土地利用の分類 (1)

- ・土地利用の分類と評価は尾羽他(電中研報告)[1]に準拠した。
- ・GISデータは国土数値情報「土地利用細分メッシュ 第2.6版 平成28年度」をベースとし、他の空間情報に関わるレイヤーをArcGIS Proの空間結合によって結合しデータベースを構築した。
- ・既往研究[1]と基本的なGISデータの考え方は同じであるが、100mメッシュを採用している点(既往研究[1]では500mメッシュ)や、2023年末時点で入手可能なデータで構築している点でわずかに異なる。

区分	土地利用	本研究におけるGISデータの処理方法
設置困難・ 推奨されない 土地利用	保安林	土地利用細分メッシュの「森林」と国土数値情報「森林地域 第3.1版 平成27年度」(以下森林地域)の「保安林」重複部分
	耕地	土地利用細分メッシュの「田」「その他農用地」
	不作付地	
	荒廃農地 (再生可能)	
	河川	土地利用細分メッシュの「河川地および湖沼」
	建物用地 (屋根除く)	土地利用細分メッシュの「建物用地」
	線路・道路	土地利用細分メッシュの「道路」「鉄道」
	がけ	土地利用細分メッシュの「荒地」のうちメッシュ内平均傾斜角30度以上の場所
	万年雪	
	居住地	国土数値情報「500mメッシュ別将来推計人口(H30国勢局推計)」における人口が1人以上の場所
	その他	土地利用細分メッシュの「ゴルフ場」「その他の用地」 「その他の用地」は運動競技場・空港・競馬場などを指す

土地利用の分類 (2)

区分	土地利用	本研究におけるGISデータの処理方法
環境保全等の観点から設置が推奨されない	国有林	土地利用細分メッシュの「森林」と森林地域の「国有林」重複部分
	民有林	土地利用細分メッシュの「森林」のうち上記「保安林」と「国有林」に該当しない部分
	湿地	土地利用細分メッシュの「荒地」と環境省 自然環境保全基礎調査「湿地調査」の重複部分
	海岸	土地利用細分メッシュの「海浜」
設置対象	雑草地	土地利用細分メッシュの「荒地」
	裸地	
	しの地	
	荒廃農地(再生困難)	土地利用細分メッシュの「荒地」と国土数値情報「農業地域(2015年度)」の重複部分

土地利用の評価の定義(既往研究[1]を元に定義)

設置困難・推奨されない土地利用

法的、物理的に発電設備の設置が困難な土地区分。既往研究[1]の「A(設置困難)」に該当。
 今回は地上設置型太陽光を対象としているため、耕地、不作付地、荒廃農地(再生可能)についても同評価とした。

環境保全等の観点から設置が推奨されない土地利用

法律、地方自治体条例、環境影響評価などによる規制を受けやすい土地区分。
 既往研究[1]の「B(法規制の影響大)」に該当。

設置対象

土地利用に関わる法規制が存在しないなど、法律などによる規制を受けにくい土地区分。
 既往研究[1]の「C(法規制の影響小)」に該当。

自然条件・地域区分など

区分	データ	緒言
自然条件	年間平均風速	環境省「風況マップ」
その他	都道府県	Esri「全国市区町村界データ」
	市町村	Esri「全国市区町村界データ」
	電力エリア	Esri「全国市区町村界データ」における都道府県情報を元に作成。 東京電力と中部電力、東北電力と北陸電力の境界線においては、 国土数値情報「河川データ 第2.0版」における富士川と姫川を境界 として扱った。
	メッシュ面積	ArcGISで計算(UTM54系)

法区域など

- ・法区域については条例レビューに基づき、本研究にてGISデータを収集・構築した。

法区域など	本研究におけるGISデータの緒言・備考
土砂災害(特別)警戒区域	国土数値情報「土砂災害警戒区域 2022年度」
急傾斜崩壊危険区域	国土数値情報「急傾斜地崩壊危険区域 2021年度」
砂防指定地	2024年7月時点で全国のデータは整備されていないため未考慮とした 多くは「河川」や「森林」、「耕地」などと重複していると考えられる
地すべり防止区域	国土数値情報「地すべり防止区域 2021年度」
保安林・国有林・地域計画民有林	前述の保安林・国有林・民有林として扱った
鳥獣保護区	国土数値情報「鳥獣保護区 2015年度」
農用地区域	国土数値情報「農業地域 2015年度」の「農用地区域」
河川区域	前述の「河川」として扱った
自然公園・国立公園	国土数値情報「自然公園 2015年度」
文化財保護法に基づく指定区域	国土数値情報「都道府県指定文化財 2014年」
海岸保全区域・一般公共海岸区域	前述の「海岸」に含まれるとして扱った
採草放牧地・甲種農地・第一種農用地	前述の「耕地」に含まれるとして扱った
住居専用地域など	国土数値情報「用途地域 2019年度」
風致地区	国土数値情報「歴史的風致維持向上計画の重点地区 2018年度」
自然環境保全地域	国土数値情報「自然保全地域 2015年度」
海岸保全区域・一般公共海岸区域	前述の「海岸」に含まれるとして扱った

法区域など

法区域など	本研究におけるGISデータの緒言
洪水浸水想定区域	国土数値情報「洪水浸水想定区域 2023年度」
景観形成重点地区計画区域	国土数値情報「景観計画区域 2014年」の「景観重点地区」
宅地造成工事規制区域	全国を整備したGISデータが確認できなかったため未考慮とした
景観計画区域	国土数値情報「景観計画区域 2014年」の「景観計画区域」
用途区域	国土数値情報「都市地域2018年度」の「その他用途地域」
市街化区域	国土数値情報「都市地域2018年度」の「市街化区域」
廃棄物最終処分場 廃棄物の残置場所	全国を整備したGISデータが確認できなかったため未考慮とした
市街化調整区域	国土数値情報「都市地域2018年度」の「市街化調整区域」
津波災害警戒区域	全国を整備したGISデータが確認できなかったため未考慮とした
野生動植物生息地等保護区域	全国を整備したGISデータが確認できなかったため未考慮とした。ただし、2021年7月時点で全国10か所のみ、全体面積への影響は小さいと考えられる
港湾区域	主に海上であり、地上設置型太陽光発電の設置対象場所と重なる場所はわずかと考えられるため、未考慮とした
漁港区域	
都市公園	主に居住地と重複すると考えられるため未考慮とした
歴史的風土特別保存地区	主に建物用地と重複すると考えられるため未考慮とした
生産緑地	主に市街化区域と重複すると考えられるため未考慮とした
土壤汚染対策法に規定する 要措置区域	全国を整備したGISデータが確認できなかったため未考慮とした

補足資料2

建物GISデータベースの緒言

本研究における建物の分類

建物データはNTT インフラネット社の「GEOSPACE」を用いた。同データは全国の約6,019万棟の建物情報を収録したものであり、ArcGISを用いてUTM-54系で全建物の建物面積を推計した。本研究における建物の分類とGISデータの分類は以下の通り。

分類	本研究における定義	GISデータにおける分類
戸建住宅	戸建住宅	普通建物の一部
公共施設	官公庁	官公庁
	病院	病院
	学校	学校
	防衛施設	自衛隊・米軍
非公共施設	工場	工場
	集合住宅	集合住宅
	娯楽・商業施設	娯楽・商業施設
	宿泊施設	宿泊施設
	市場	市場
	倉庫	倉庫
	ガソリンスタンド	ガソリンスタンド
	普通建物(戸建住宅除く)	普通建物の一部・その他ビル

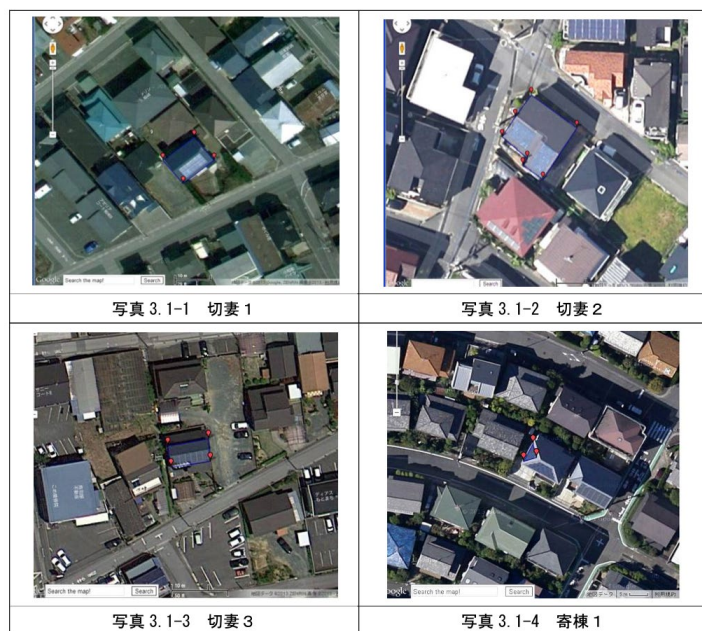
補足資料3

設置係数の考え方

戸建住宅の設置係数

- ・戸建住宅の設置係数を調査した既往研究として、環境省[14]とJST[9]が確認された。
そのうち、方角別の設置係数を示している環境省[14]に基づいた設置係数を適用した。
- ・JST[9]は、陸屋根103棟、寄棟屋根38件、切妻屋根74件を対象としており、全方位合計の設置係数はそれぞれ0.65-0.8、0.65-0.7、0.7-0.85としている*。
- ・JSTによる陸屋根の設置係数は環境省の全方位合計の設置係数と比較して特に大きい、これは集合住宅や高層ビルなど戸建住宅以外の建物も含まれているためと推量される。

環境省[5]におけるサンプル調査



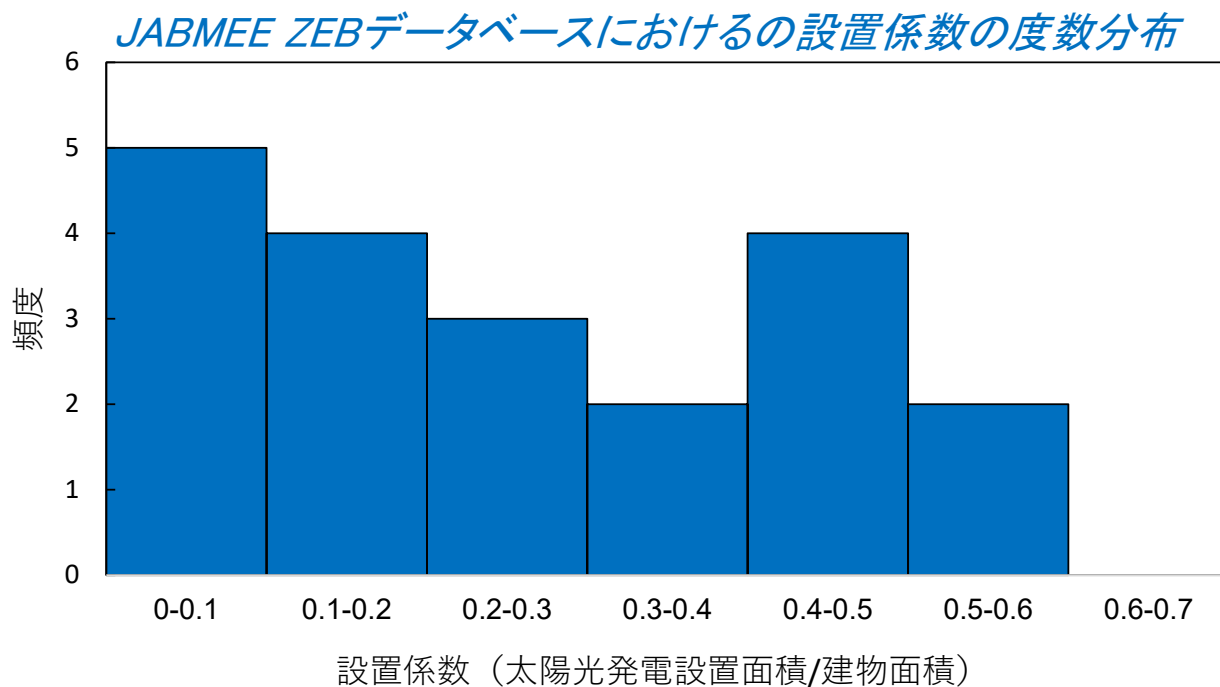
同調査に基づく屋根の種類・方角別設置係数

屋根の種類	南	東西合計	北
切妻	0.15	0.3	0.15
寄棟	0.17	0.34	0.17
入母夜	0.14	0.27	0.14
陸屋根	0.34	0	0.34
片流れ	0.12	0.25	0.12
段違い	0.15	0.3	0.15
無落石	0.215	0.435	0.215
その他	0.15	0.3	0.15

* 段違いとその他についてはサンプルデータがないため、切妻の設置係数を適用した。

普通建物の設置係数

- ・普通建物の設置係数は、JABMEE ZEBデータベース[18]の建物(事務所など・その他)のうち、屋根設置型太陽光発電のみを設置した建物20件を対象とし、太陽光発電の面積の建物面積の比率より集計を行った。なお太陽光発電の面積が掲載されていない建物については、Google mapより面積を取得した。
- ・同データベースに掲載されている建物は、ZEBを前提としたものであり屋根のうち設置可能な場所をなるべく多く活用している可能性が高いと考えられる。
- ・本研究では、同データベースにおける設置係数の平均値である**0.263**を適用した。



統計要約値

平均	0.263
最大値	0.59
最小値	0.02
標準偏差	0.18

戸建住宅・普通建物以外の設置係数

「普通建物」以外については環境省[19]における表5.6-4を基に設置係数を算出した。

分類	建物	設置係数	設置係数の考え方
公共施設	官公庁	0.079	「都道府県庁・市町村役場」「官公署など」に該当する計14のサンプルの太陽光発電設置面積の合計(2,301m ²)÷建物面積の合計(29,102km ²)
	病院	0.100	「病院」に該当する計25のサンプルの太陽光発電設置面積の合計(1,089m ²)÷建物面積の合計(10,887m ²)
	学校	0.109	「学校」に該当する計176のサンプルの太陽光発電設置面積の合計(35,515m ²)÷建物面積の合計(326,028m ²)
	防衛施設	0.071	「その他の公共施設」に該当する計31のサンプルの太陽光発電設置面積の合計(2,922m ²)÷建物面積の合計(41,359m ²)
非公共施設	集合住宅	0.388	「集合住宅」に該当する計2のサンプルの太陽光発電設置面積の合計(289m ²)÷建物面積の合計(744m ²)
	工場	0.167	「娯楽施設」「スポーツ施設」「その他施設」に該当する計6のサンプルの太陽光発電設置面積の合計(3,454m ²)÷建物面積の合計(20,659m ²)
	娯楽・商業施設		
	宿泊施設		
	市場		
	倉庫		
	ガソリンスタンド		

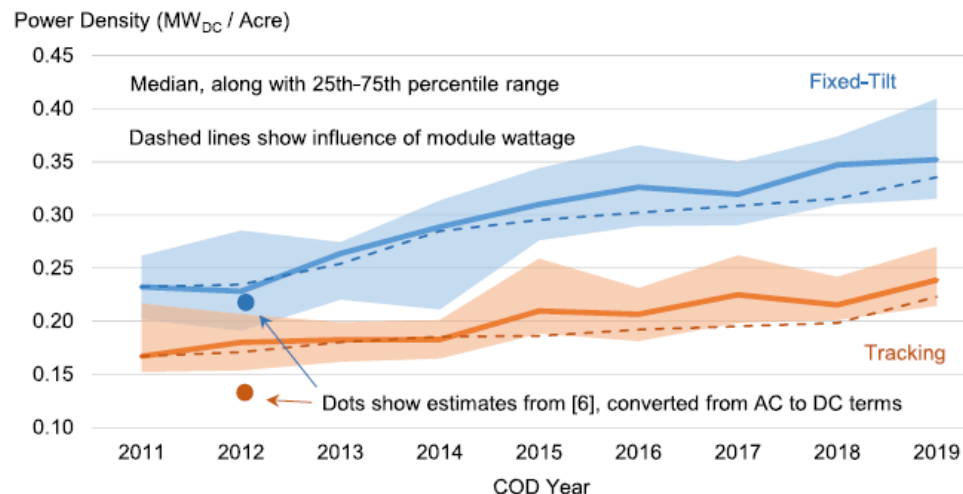
補足資料4

設置密度の考え方

地上設置型太陽光発電の設置密度

- ・環境省[3]では、幅2m x 奥行1mの400 Wモジュールの使用を想定した理論値である設置密度 $0.111\text{GW}/\text{km}^2$ で面積を設備容量に換算している。また、太陽光発電協会[7]は将来の発電効率の向上を見込んで $0.133\text{GW}/\text{km}^2$ としている。
- ・また、米国の736の太陽光発電所(2007-2019)のサンプル調査に基づく、設置密度に関する研究[20]においても、直近のトレンドを踏まえて $0.087\text{GW}/\text{km}^2$ をベンチマークとしている。
- ・設置密度の理論値と(日本の)実績値で乖離がある可能性はあるが、日本では狭い場所に太陽光発電が密集して設置される可能性があることと、本研究では、推計時点の導入ポテンシャルを対象としていることから、環境省の理論値 $0.111\text{GW}/\text{km}^2$ を採用した。

M.Bolinger and G.Bolinger[20]による設置密度のレビュー



- ・縦軸は $\text{MW}_{\text{DC}} / \text{Acre}$ であることに留意。本論文中的のベンチマークは $0.35\text{MW}_{\text{DC}} / \text{Acre}$ ($= 0.087\text{GW}/\text{km}^2$) とされている。

補足資料5

既往研究との差異

既往調査との比較(戸建住宅)

	環境省[3]	太陽光発電協会[7]
手法	GIS	統計値
建物地図	GEOSPACE	—
戸建住宅の 建物面積の推計	GEOSPACE上の「普通建物」のうち 100m ² 未満の建物データを抽出し 推計	平成30年住宅・土地統計調査より推計
設置係数	平成25年度環境省調査準拠	0.480(令和元年度環境省調査・各種統計データを参考)
設置角度	30度 (5寸屋根の角度を10度刻みに換算)	—
設置密度	0.167kW/m ²	0.217kW/m ² (発電効率向上考慮)
対象とする屋根	全ての屋根	全ての屋根
耐震基準	未考慮	未考慮
空室率	未考慮	未考慮
屋根の方位	南・東西	—
推計値	166.9GW(南・東西)	240GW

既往調査との比較(戸建住宅)

	経済産業省(考え方2)[13]	本研究
手法	統計	GIS+統計データ
建物地図	—	GEOSPACE(2023年版)
戸建住宅の 建物面積の推計	平成20年 住宅・土地統計調査報告 より推計	都道府県別の統計値(平成30年住宅・ 土地統計調査)より推計。 ※統計上100m ² 以上の建物は23%(総数比)含まれる
設置係数	寄棟・切妻屋根: 0.5 陸屋根:1.0	平成25年度環境省調査準拠
設置角度	寄棟・切妻: 屋根面に平行 陸屋根: 10度	26.6度 (最も総数が多い5寸屋根の角度)
設置密度	寄棟・切妻: 0.150kW/m ² 陸屋根:0.117kW/m ²	0.167kW/m ²
対象とする屋根	寄棟・切妻屋根・ 陸屋根のみ	全ての屋根
耐震基準	考慮 (昭和56年以降の住宅のみを対象)	考慮 (住宅の建築年別の耐震率で考慮)
空室率	考慮(住宅総数に対する空き家戸数 の比率)	考慮(1980年以降に建設された住宅 総数に対する空き家戸数の比率)
屋根の方位	—	南・東西・北
推計値	77.3GW	146.3GW (南・東西) 48.0GW(北)

既往調査との違い(公共系建物・非公共系建物)

	環境省(令和3年度)[3]	太陽光発電協会[7]
手法	GIS	統計値
建物地図	GEOSPACE	—
普通建物の面積推計	GEOSPACE上の「普通建物」のうち 100m ² 以上の建物データより推計	—
設置係数	屋根における設置不可能スペース(86%)と保安スペースなどのパネル以外に必要となるスペース(58%)を考慮した値(0.499)	建物の種類別に個別に推計 公共系建築物で0.100～0.790
耐震基準	未考慮	未考慮
設置密度	0.111kW/m ²	0.133kW/m ²
推計値	19.4GW(公共系建物 ^{*1}) 268.9GW(非公共系建物 ^{*2})	27GW(公共系建物) 299GW(商業系・産業系・その他)

*1 官公庁・病院・学校の合計値を使用

*2 建物系の導入ポテンシャルから戸建住宅等・官公庁・病院・学校の値を控除した値

既往調査との違い(公共系建物・非公共系建物)

	NEDO[11]	経済産業省[13]
手法	統計値 (屋根毎の延床面積に対する屋根面積の比率の想定を用いて推計)	統計値 (屋根毎の延床面積に対する屋根面積の比率の想定を用いて推計)
建物地図	—	—
普通建物の面積推計	—	—
設置係数	屋根における設置不可能スペースを除いた面積(86%)と保安スペースを除いた面積(58%)を考慮した値 (0.499)	屋根における設置不可能スペースを除いた面積(86%)と保安スペースを除いた面積(58%)を考慮した値(0.499)
耐震基準	総務省調査に基づき昭和56年以降に建設された建物の比率を考慮	総務省調査に基づき昭和56年以降に建設された建物の比率を考慮
設置密度	0.087kW/m ² (設置角度30度)	0.087kW/m ² (設置角度30度)
推計値 ^{*3}	3.5—7.0(公共系建物 ^{*1}) 21.6—36.0GW(非公共系建物 ^{*2})	3.6—7.7(公共系建物 ^{*1}) 16.6—26.7GW(非公共系建物 ^{*2})

*1 庁舎・学校施設・文化施設の合計値を使用

*2 非住宅建物の導入ポテンシャルから庁舎・学校施設・文化施設の値を控除した値

*3 最小側は耐震基準考慮・最大側は耐震基準未考慮の値。

既往調査との違い(公共系建物・非公共系建物)

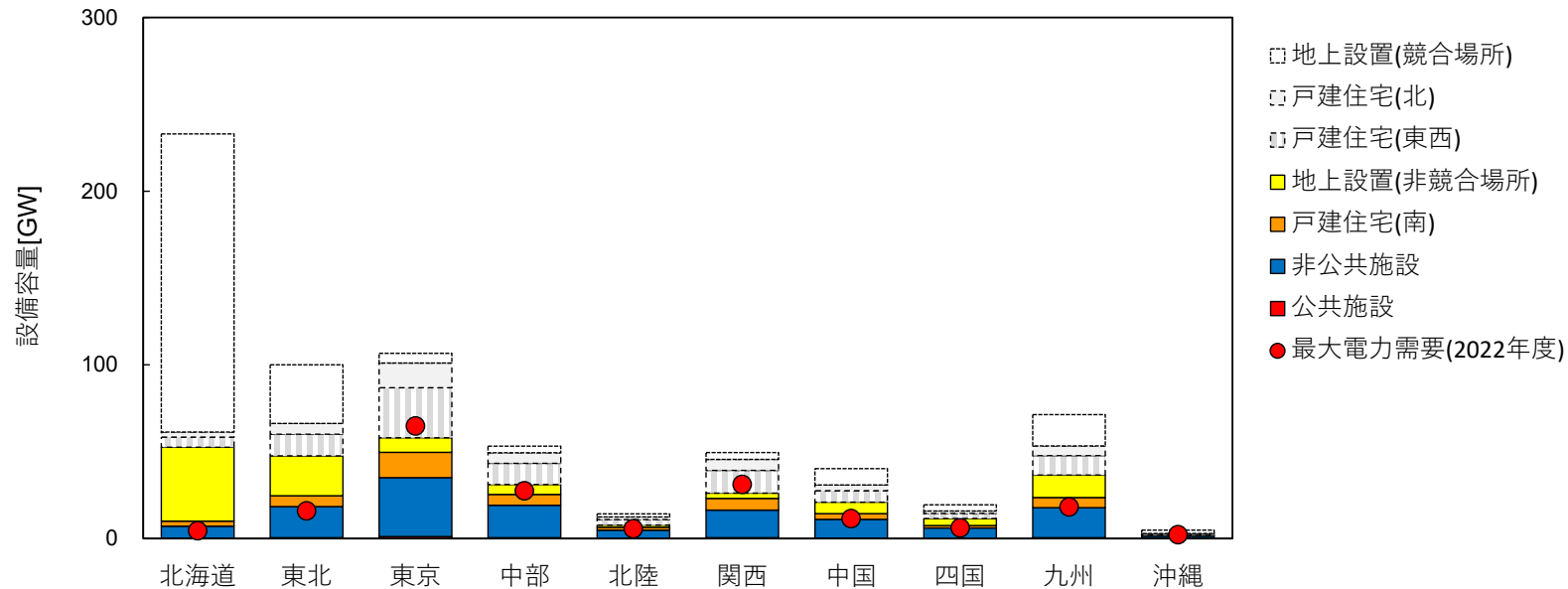
	本研究
手法	GIS
建物地図	GEOSPACE(2023年版)
普通建物の 面積推計	GEOSPACE上の「普通建物」の面積 から統計上の戸建住宅面積を控除
設置係数	サンプル調査における建物毎の屋根面 積に対する実際に設置された太陽光発 電面積の比率(0.071~0.435)
耐震基準	未考慮
設置密度	0.111kW/m ²
推計値	4.0 – 20.4GW (公共系建物) 134.2 – 263.6GW (非公共系建物)

補足資料6

電力エリア別の導入ポテンシャル

電力エリア別の導入ポテンシャル(抑制区域部分除外ケース)

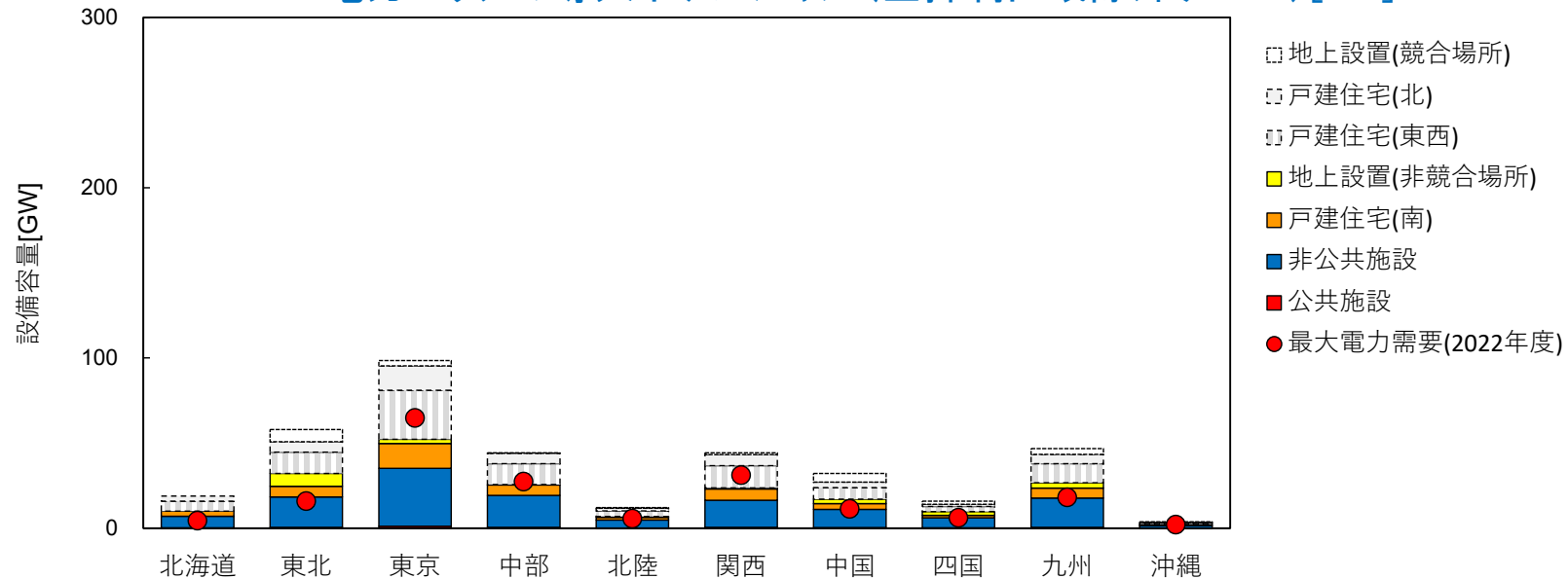
電力エリアの導入ポテンシャル(抑制区域部分除外ケース)[GW]



	北海道	東北	東京	中部	北陸	関西	中国	四国	九州	沖縄
公共施設	0.2	0.5	1.1	0.5	0.1	0.5	0.3	0.2	0.5	0.1
非公共施設	6.8	17.9	34.0	18.7	4.7	15.9	10.8	5.9	17.2	1.3
戸建住宅(南)	3.0	6.2	14.6	6.2	1.6	6.6	3.3	1.4	5.8	0.4
地上設置(非競合場所)	42.5	23.0	8.3	5.6	1.3	3.1	6.6	4.1	13.0	0.1
戸建住宅(東西)	5.9	12.5	28.8	12.3	3.2	13.0	6.7	2.9	11.2	0.7
戸建住宅(北)	2.9	6.2	14.3	6.1	1.6	6.5	3.3	1.4	5.5	0.4
地上設置(競合場所)	171.7	33.9	5.6	3.7	1.7	3.9	9.4	3.6	18.1	2.0

電力エリア別の導入ポテンシャル(全抑制区域除外ケース)

電力エリアの導入ポテンシャル(全抑制区域除外ケース)[GW]



	北海道	東北	東京	中部	北陸	関西	中国	四国	九州	沖縄
公共施設	0.2	0.5	1.1	0.5	0.1	0.5	0.3	0.2	0.5	0.1
非公共施設	6.8	17.9	34.0	18.7	4.7	15.9	10.8	5.9	17.2	1.3
戸建住宅(南)	3.0	6.2	14.6	6.2	1.6	6.6	3.3	1.4	5.8	0.4
地上設置 (非競合場所)	0.0	7.5	2.5	0.2	0.5	0.7	2.7	2.3	3.2	0.4
戸建住宅(東西)	5.9	12.5	28.8	12.3	3.2	13.0	6.7	2.9	11.2	0.7
戸建住宅(北)	2.9	6.2	14.3	6.1	1.6	6.5	3.3	1.4	5.5	0.4
地上設置 (競合場所)	0.0	7.2	3.2	0.3	0.4	1.1	5.0	1.8	3.4	0.4