

地上設置型太陽光発電の導入ポテンシャル評価

(一財) 日本エネルギー経済研究所 尾羽 秀晃

本内容は(一財)電力中央研究所在職時に取りまとめた報告書[1]・学術論文[2]・基本政策分科会資料[7]に基づくものです。ただし、2021年4月時点のGISデータを基に更新しているため、公刊した各種文献と数値が一致しない箇所があります。

太陽光発電の設置に伴う立地問題

温室効果ガスのネットゼロ排出に向けて太陽光発電の期待が高まっている一方で、太陽光発電の立地に関わる問題が顕在化している。

山林に設置された太陽光発電の一例
(福島県内)



図の出典: Google map

メガソーラー望まない宣言(抜粋)
(福島県大玉村)

大規模太陽光発電所と大玉村の自然環境保全との調和に関する宣言

私たちは、化石燃料や原子力発電に依存しない社会を目指すため、太陽光、小水力、バイオマス等再生可能エネルギーを積極的に活用し、地球温暖化防止や低炭素社会の実現に向けて自然環境へ与える負荷の軽減に取り組んで来ました。

本村においては、再生可能エネルギー利用推進の村として自然環境に大きな負荷をかけない住宅屋上への太陽光発電施設や薪ストーブへの助成、豊かな水資源を活用した小水力発電民間事業者への支援等を今後も積極的に行ってまいります。

しかし一方で、自然環境に影響を与え、かつ、自然景観に著しく違和感を与えるような大規模太陽光発電所の設置が各地で行われており、傾斜地での造成や山林の大規模伐採による土砂災害への危惧や発電事業終了後の廃棄物処理等、将来への負の遺産となりうる懸念を払拭することが出来ません。

出典: 福島県大玉村Webサイト

太陽光発電の導入拡大を図る上では、自然環境などへの影響が小さく、立地制約の小さい場所から優先的に導入を図ることが重要。

→ 立地制約が小さい場所においては太陽光発電はどの程度導入できるか？

本講演では、地理情報システム(GIS)を用いることによって、地上設置型太陽光発電(メガソーラー)と営農型太陽光発電を対象とした導入ポテンシャル評価を行う。

1. 地上設置型太陽光発電(メガソーラー)の導入ポテンシャル評価

- どのような場所に地上設置型太陽光発電が設置されるべきか
- どのように導入ポテンシャルを評価するか

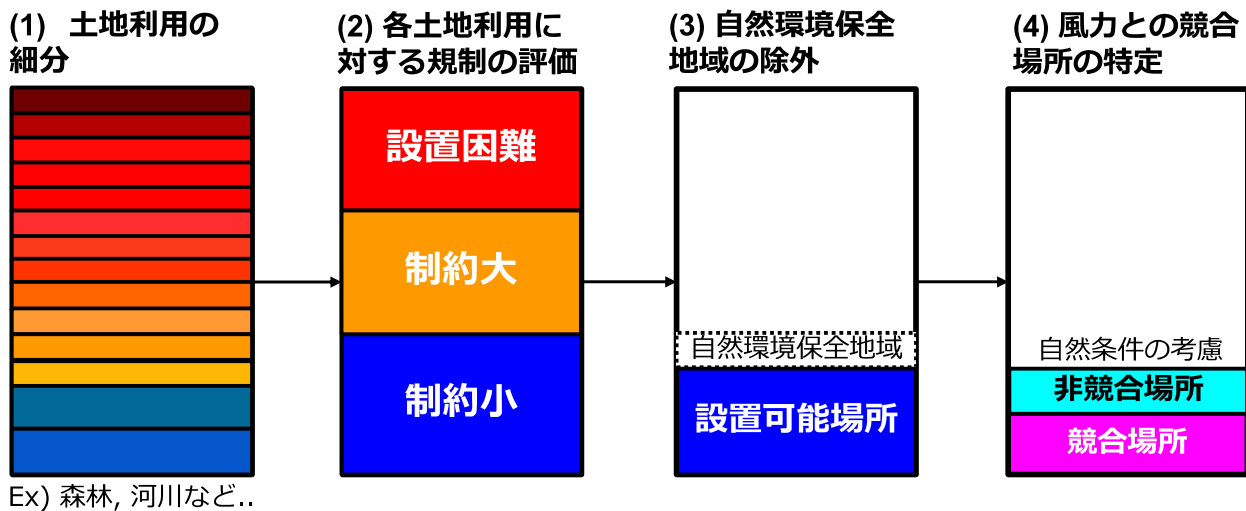
2. 営農型太陽光発電の設置対象場所の特徴

- 営農型太陽光発電の設置対象場所はどのような特徴があるか

3. まとめ

1. 地上設置型太陽光発電(メガソーラー) の導入ポテンシャル評価

以下の4段階の手順をとることにより、地上設置型太陽光発電(メガソーラー)の設置可能場所の特定を行った。



設置困難: 法的、物理的に発電設備の設置が困難。

制約大: 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。

制約小: 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。

土地利用の分類と制約の評価

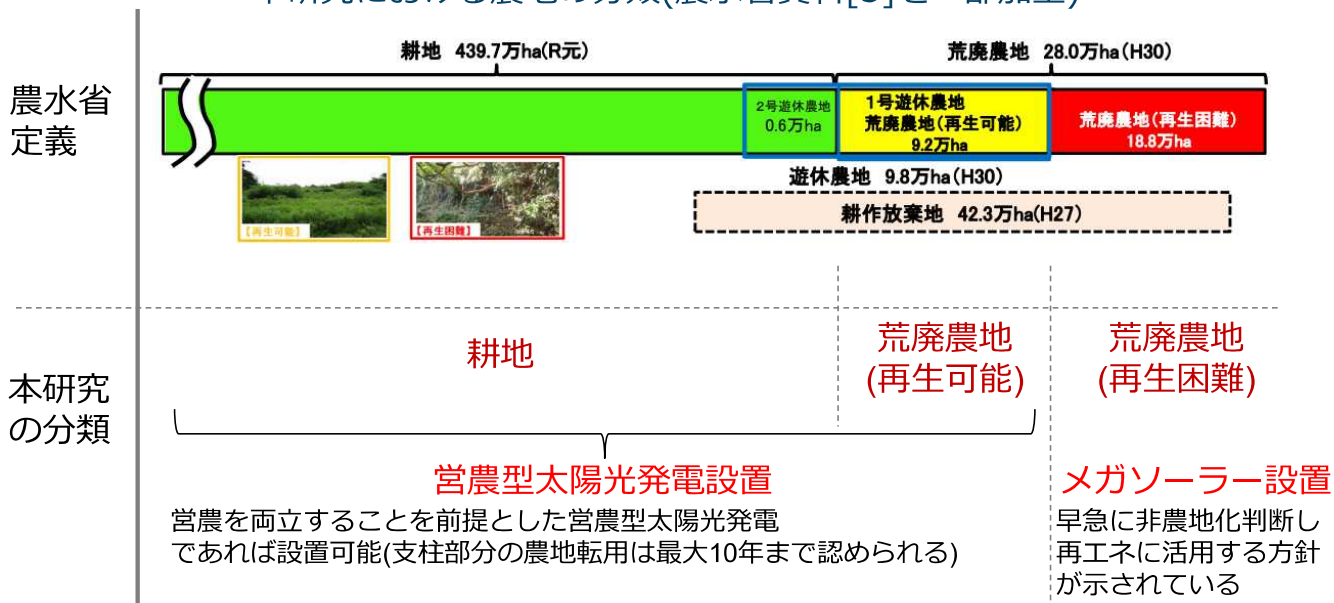
日本の法制度を基に土地利用の制約の評価を行った結果を以下に示す。

区分	土地区分	備考
設置困難	耕地	農振法によって農地転用が厳しく制限されているため、本研究ではメガソーラーは対象外とし 営農型太陽光発電の対象 とする(別評価)。
	荒廃農地(再生可能)	
	建物用地	メガソーラーは対象外とし、建物設置型の設置対象とする。
	保安林	森林法により工作物の設置は原則不可。
	がけ	がけ条例の規制を受ける上、物理的に発電設備の設置が困難。
	河川	再エネ設備の設置が河川法の許可方針に非適合。
	交通用地	物理的に発電設備の設置困難。
制約大	国有林	構造改革特別区域に指定されていることなどが要件。
	民有林	地方自治体条例にて、抑制区域に設定される動き。
	湿地	環境影響評価上の制約を受けやすい。
	海岸	海岸法により、海岸の防護などに支障がないことが要件。
制約小	雑草地	土地区分に対応した法規制が存在しない。
	裸地	土地区分に対応した法規制が存在しない。
	篠地	土地区分に対応した法規制が存在しない。
	荒廃農地(再生困難)	農水省方針などにより、再エネに活用する方針が示されている。

本研究における農地の分類

本研究では、農水省の「耕地及び作付面積統計」における定義を基準に、農地を耕地・荒廃農地(再生可能)・荒廃農地(再生困難)の3区分に分類した。

本研究における農地の分類(農水省資料[3]を一部加工)



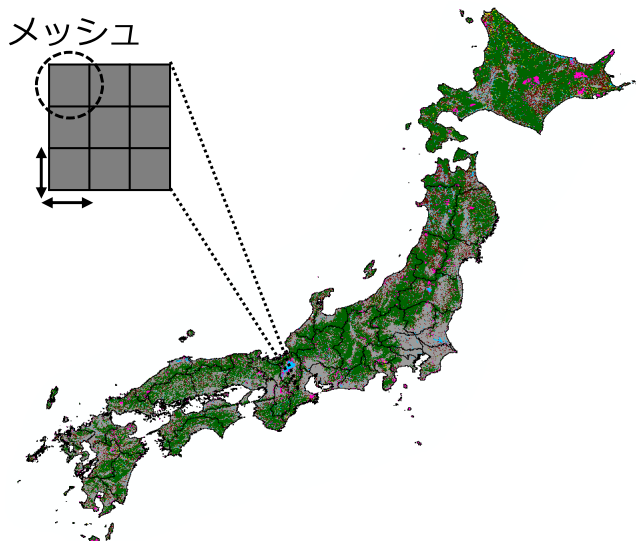
評価の手法 -GISを用いた空間分析-

土地情報に関わる様々なレイヤーを用いて、空間情報の統計や可視化に適している地理情報システム(GIS)を分析に用いた。

GISを用いた評価の概念図

要素	定義
土地利用	森林・河川・雑草地..など
人口	メッシュ内人口
法区域	自然公園の有無など
地形条件	傾斜角・水深・離岸距離など
自然条件	風速・日射量など

* データは国土交通省「国土数値情報」などよりダウンロード可能



日本の全国土を100mメッシュに分割し、それぞれのメッシュに各種地理情報を整備することにより分析を行った。

全国土を100mメッシュに分割した国土数値情報「土地利用細分メッシュ」を基にGISデータの整備を行った。

土地利用細分メッシュの元データ



FID	Shape	メッシュ	土地利用種	撮影年月日
13214	ポリゴン	4230403214	0500	20170526
13215	ポリゴン	4230403215	0500	20170526
13216	ポリゴン	4230403216	0600	20170526
13217	ポリゴン	4230403217	0600	20170526
13218	ポリゴン	4230403218	1500	20170526
13219	ポリゴン	4230403219	1500	20170526
13220	ポリゴン	4230403220	0700	20170526
13221	ポリゴン	4230403221	0700	20170526
13222	ポリゴン	4230403222	0700	20170526
13223	ポリゴン	4230403223	0500	20170526
13224	ポリゴン	4230403224	0500	20170526
13225	ポリゴン	4230403225	0500	20170526
13226	ポリゴン	4230403226	0600	20170526

メッシュID 土地の種類
(緯度・経度で決まる)

「土地利用細分メッシュ」における土地区分

「土地利用細分メッシュ」は衛星画像によって判読された情報を基に、計12種類の土地利用情報が格納されている。

コード	種別	定義
0100	田	溜田・乾田・沼田・蓮田及び田とする。
0200	その他の農用地	麦・陸稻・野菜・草地・芝地・りんご・梨・桃・ブドウ・茶・柿・はぜ・こぞ・しゆる等を栽培する土地とする。
0300	-	-
0400	-	-
0500	森林	多年生植物の密生している地域とする。
0600	荒地	しの地・荒地・がけ・岩・万年雪・湿地・探鉱地等で旧土地利用データが荒地であるところとする。
0700	建物用地	住宅地・市街地等で建物が密集しているところとする。
0800	-	-
0901	道路	道路などで、面的に捉えられるものとする。
0902	鉄道	鉄道・操車場などで、面的にとらえられるものとする。
1000	その他の用地	運動競技場、空港、競馬場、野球場、学校運動場地区、人工造成地の空地等とする。
1100	河川地及び湖沼	人工湖・自然湖・池・養魚場等で平常時に常に水を湛えているところ及び河川・河川区域の河川敷とする。
1200	-	-
1300	-	-
1400	海岸	海岸に接する砂、れき、岩の区域とする。
1500	海水域	珊瑚礁、干潟、シーバースも海に含める。
1600	ゴルフ場	ゴルフ場のゴルフコースの集まっている部分のフェアウェイ及びラフの外側と森林の境目を境界とする。

田・その他の農用地
本研究では耕地と荒廃農地(再生可能)に含まれるとして扱った。

荒地
本研究では荒廃農地(再生困難)が荒地に含まれるとして扱った。

万年雪・湿地・がけなどは別のGISデータを組み合わせることによって細分

GIS上の荒地の定義:
雑草地、裸地等をいい、湿地、沼地等で水草が点々と生えている地域を含む。

荒廃農地(再生困難)の定義:
森林の様相を呈しているなど農地に復元するための物理的な条件整備が著しく困難なもの、又は周囲の状況からみて、その土地を農地として復元しても継続して利用することができないと見込まれるものに相当するもの。

本研究で整備した土地利用データ

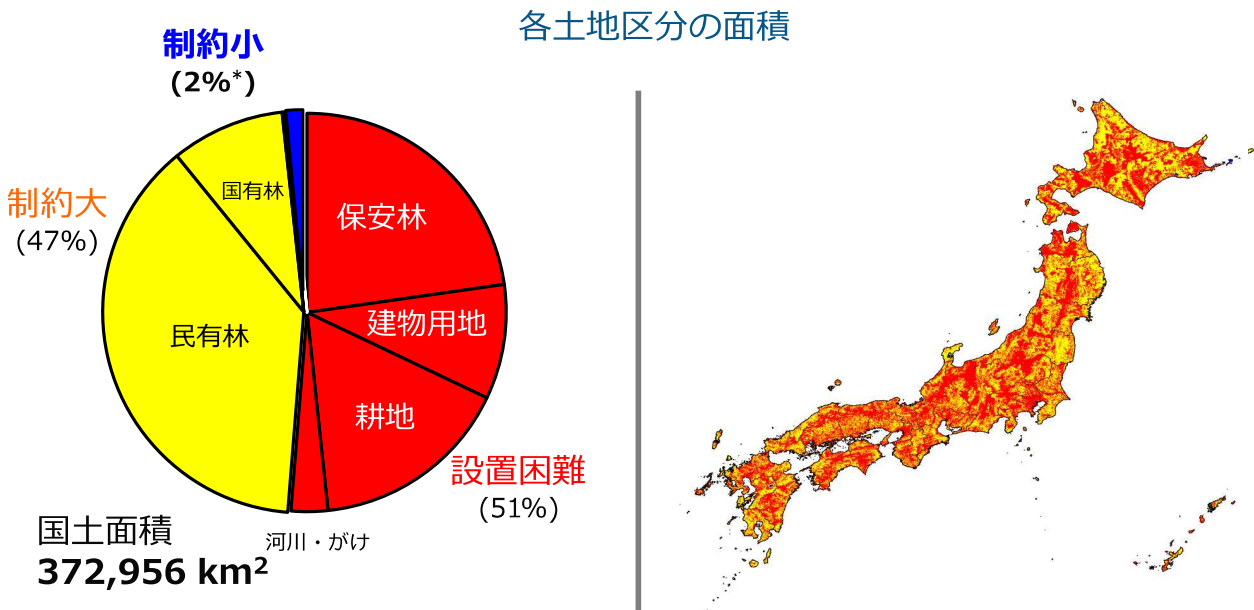
日本の法制度を基に土地利用の制約の評価を行った結果を以下に示す。

区分	土地区分	備考
設置困難	耕地	土地利用細分メッシュの「田」「その他農用地」
	荒廃農地(再生可能)	
	建物用地	土地利用細分メッシュの「建物用地」「その他の用地」「ゴルフ場」
	保安林	土地利用細分メッシュの「森林」と森林地域データの「保安林」の重複場所
	がけ	土地利用細分メッシュの「荒地」のうち傾斜角30度以上の場所
	河川	土地利用細分メッシュの「河川」
	交通用地	土地利用細分メッシュの「道路」「鉄道用地」
制約大	国有林	土地利用細分メッシュの「森林」と森林地域データの「国有林」の重複部分(保安林を除く)
	民有林	土地利用細分メッシュの「森林」のうち国有林と民有林以外の場所
	湿地	土地利用細分メッシュの「荒地」と環境省湿地調査「湿地」の重複部分
	海岸	土地利用細分メッシュの「海浜」
制約小	雑草地	土地利用細分メッシュの「荒地」のうち、がけ(傾斜角30度以上)・湿地・再生困難な荒廃農地(農業地域との重複部分)以外の場所
	裸地	
	篠地	
	荒廃農地(再生困難)	土地利用細分メッシュの「荒地」と農業地域データ「農業地域」の重複部分。(農業振興地域として指定されることが相当な地域)

13

各土地区分の面積

地理情報システム(GIS)を用いることによって、各土地区分の面積を推計した。



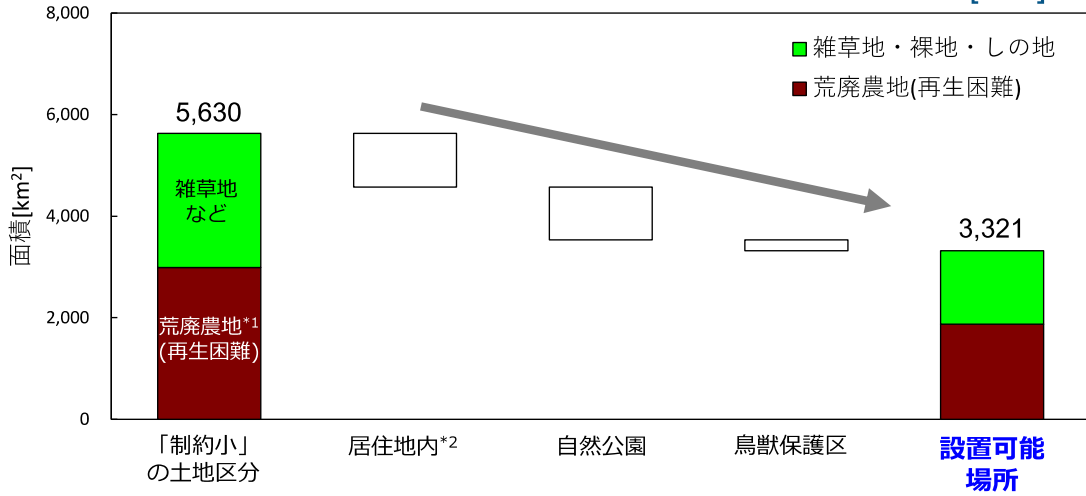
「制約小」に相当する雑草地などの土地区分の面積は5,630km²(全国土の2%)と推計された。

14

自然環境保全区域などの除外

雑草地などの「制約小」の土地区分(5,630km²)のうち、自然環境保全区域などを除いた面積を推計した。

自然環境保全区域を除外した設置可能場所の面積[km²]



*1 GISで推計した荒廃農地(再生困難)の面積(2,987km²)は、2017年の統計上の値(1,905km²)と比較し過大側となっている。
 *2 居住地内は500mメッシュ内の人口が1人以上の場所と定義

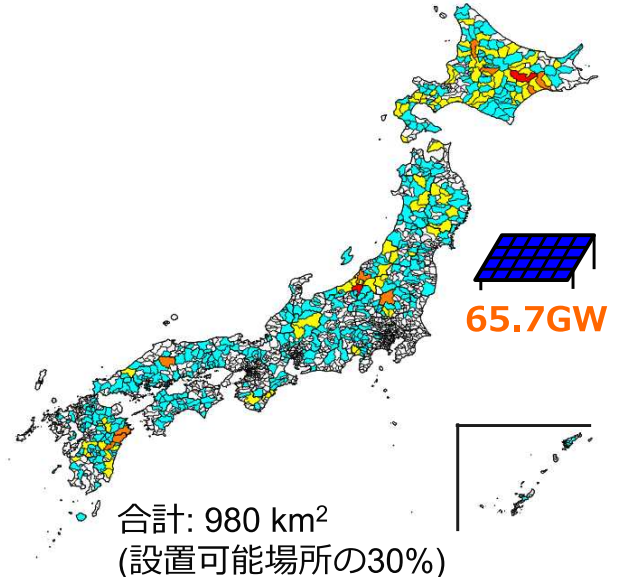
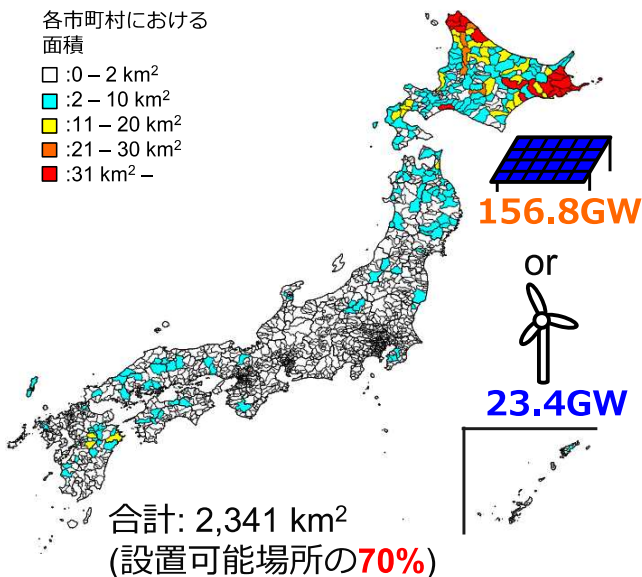
設置可能場所の面積は**3,321 km²**と推計された(全国土の**0.9%**)。
 → このうち太陽光発電と風力発電の**土地利用競合**を考慮する必要がある。

各電源の競合エリアの特定

風況データを用いることにより、太陽光発電・風力発電が競合する場所を特定した。

競合場所(年間平均風速5.0m/s以上)

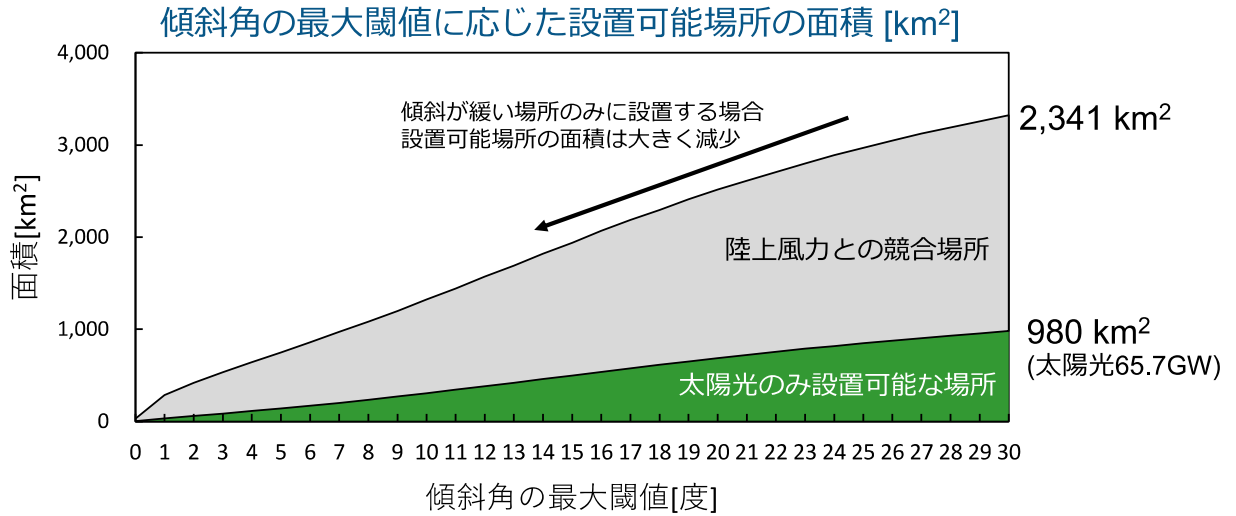
非競合場所(年間平均風速5.0m/s未満)



設置可能場所の**約7割**の場所において、太陽光・風力発電の**土地利用競合**が発生。
 → 各電源の導入ポテンシャルを単純に合計してしまうと**過大評価**となる。

傾斜角に応じた設置可能場所

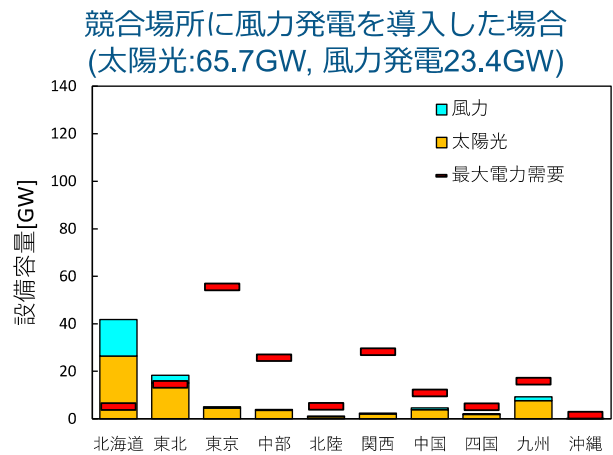
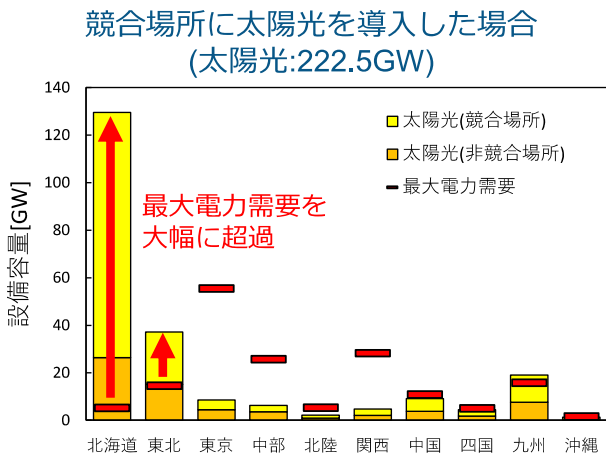
傾斜角の最大閾値に応じた設置可能面積を推計した。



設置可能場所のうち、**平地はわずかに限られる。**
 → 土砂災害防止の観点から傾斜面における設置の規制が強化された場合、設置可能な設備容量は大きく減少する。

電力エリア別の最大電力需要との比較

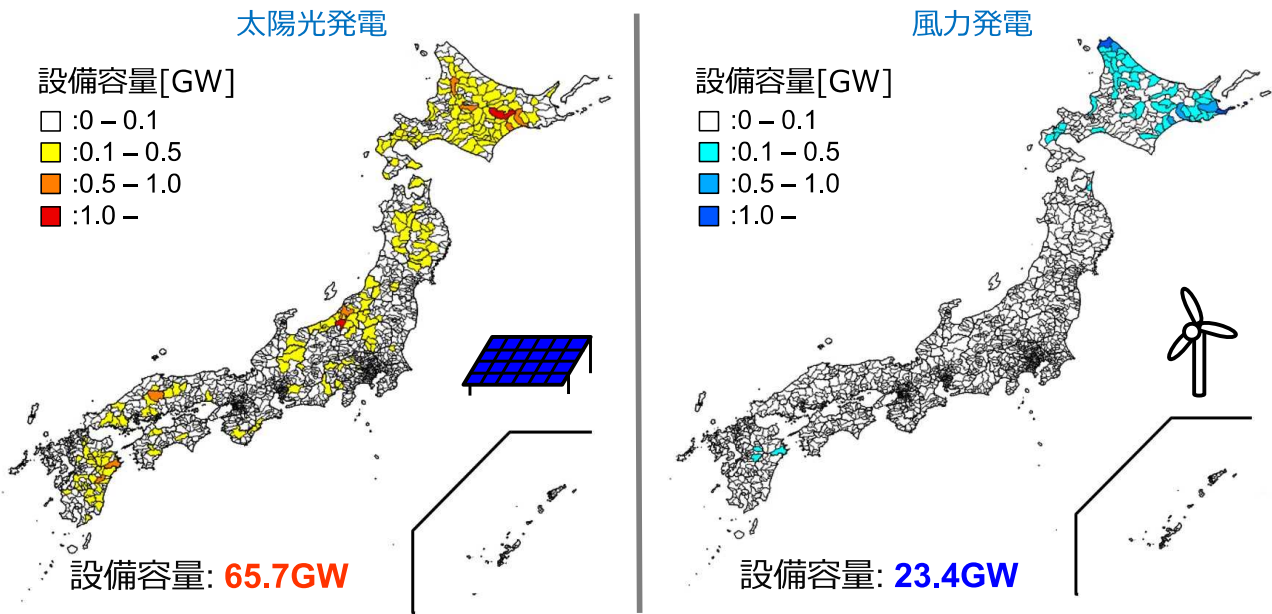
電力エリア別の最大電力需要と設置可能場所における設備容量の比較を行った。



陸上風力との競合場所に太陽光発電のみを設置した場合、一部のエリアでは太陽光発電の設備容量が**各エリアの最大電力需要を大幅に超過**する。
 → 需給バランスの観点から**競合場所には陸上風力の導入を図ることも重要**。

土地利用競合を考慮した設置可能場所(全国)

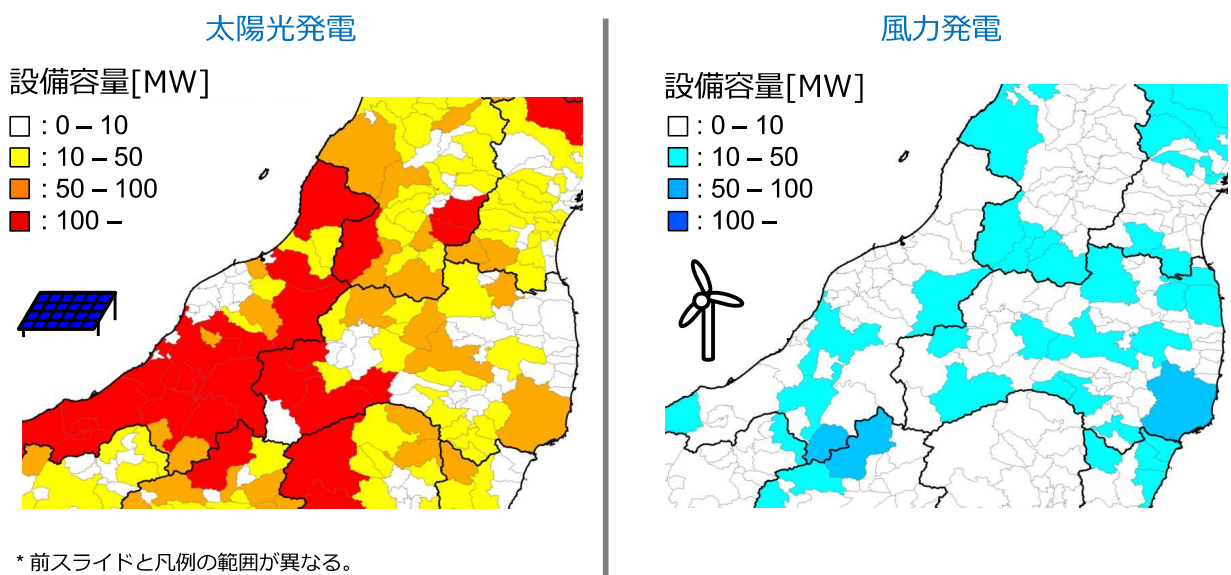
競合場所に風力発電を設置した場合における、両電源の設置可能場所を評価した。



土地利用競合を考慮した導入ポテンシャルは太陽光:**65.7GW**, 風力:**23.4 GW**
 (経済性・系統制約は未考慮)。
 年間発電量に換算すると122TWhとなり2018年の年間電力需要の**約1割**程度。

土地利用競合を考慮した設置可能場所(福島県)

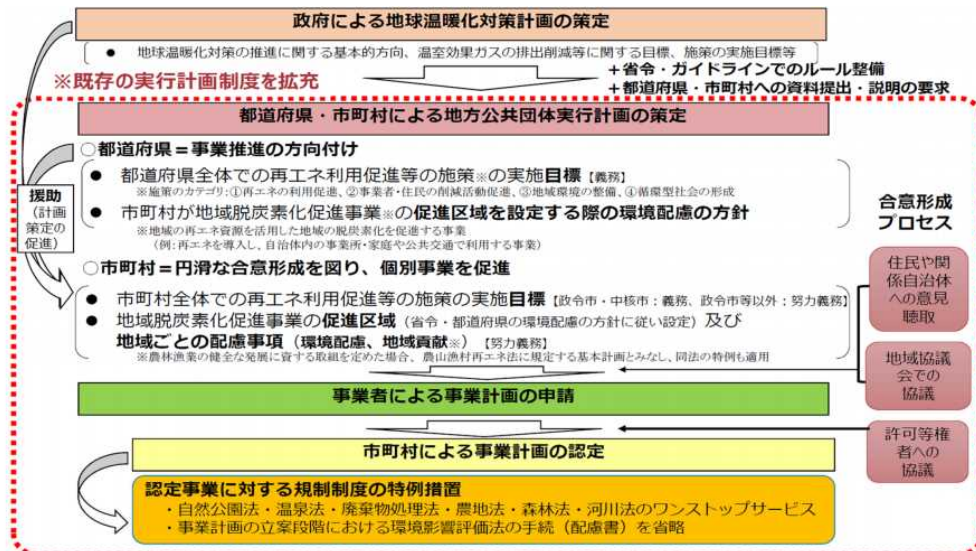
競合場所に風力発電を設置した場合における、両電源の設置可能場所を評価した。



福島県の各市町村に設置可能な太陽光発電・風力発電の設備容量は数十MW程度
 → 自治体別の導入目標などを定める場合には、土地利用の制約を踏まえた
 現実的な目標の策定が必要。

- 今年度の温対法改正において、再エネなどの導入を促進する「促進区域」を自治体が定めることができる規定が追加される見通しである。
- 地上設置型太陽光発電や陸上風力についても、「促進区域」の指定要件が今後定まってくることにより、より精緻な導入ポテンシャル評価が期待される。

第26回再生可能エネルギー大量導入・次世代電力NW小委員会資料 2 [4]



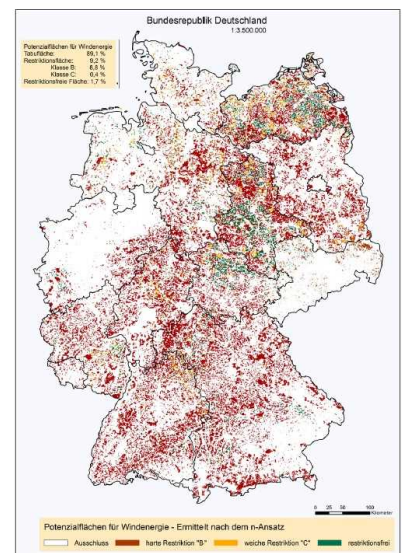
(参考) ドイツにおける土地利用評価

ドイツ交通・建設・都市開発省(BMVI)は、法制度を基準に設置制約の度合いを定義し、各土地区分および自然公園保全区域に対する設置制約の評価を行っている。

BMVIによる設置制約の事例の定義

設置制約別の土地利用

制約大	ランク	定義
↓	A	法的制約により、事実上地上PVや陸上風力の設置が禁止されている地域。
	B	違法ではないが、限られた場合のみ設置が許可される地域。ごくわずかな地域のみ導入可能。
	C	強い制約基準が存在しない地域で、全ての場所ではないが設置可能。
	D	特定の制約条件が存在せず、法的に地上PVや陸上風力の設置が可能な地域。
	Suitable area	土地利用計画により定められている地域。
制約小		

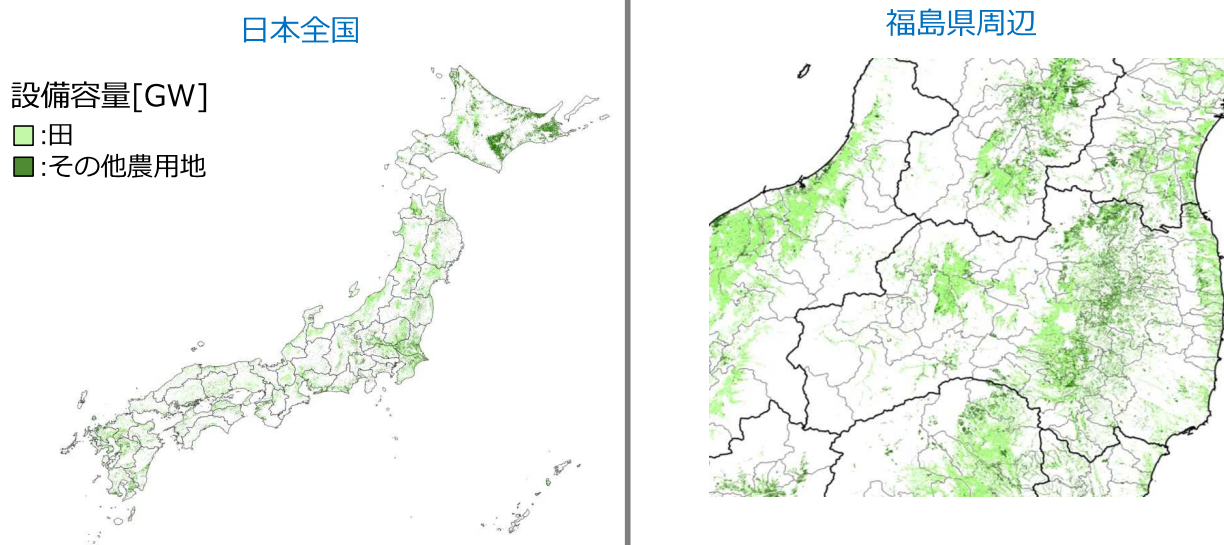


出展: BMVI[5]

2. 営農型太陽光発電の設置対象場所の特徴

営農型太陽光発電の設置対象場所

本研究では国土数値情報の「田」「その他農用地」を営農型太陽光発電の設置対象場所とした(田: 31,623km², その他農用地: 28,985km²)。

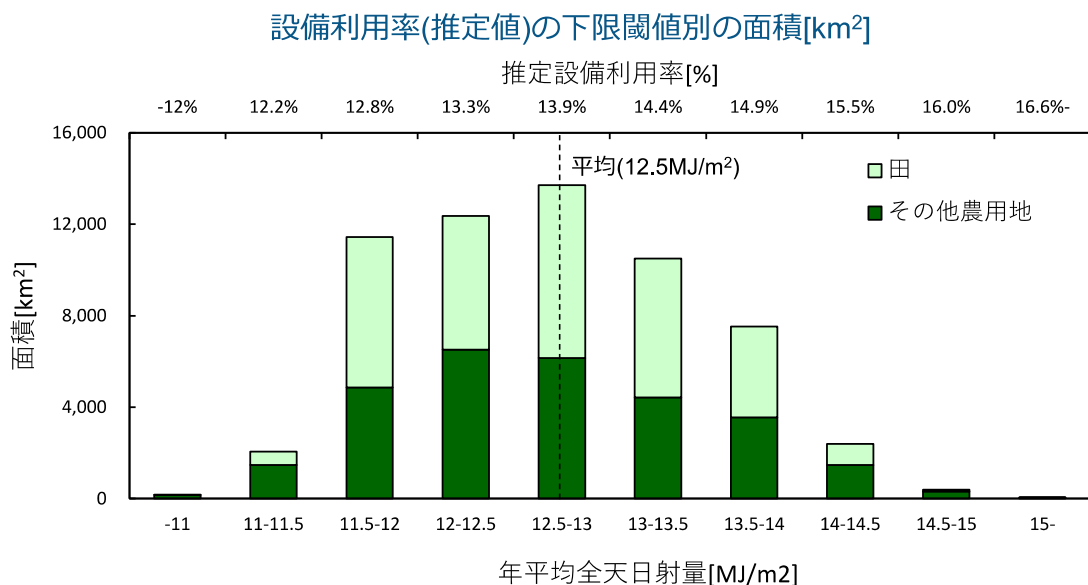


* GIS上の「田」「その他農用地」の合計は60,608km²であるが、農水省「作物統計調査」(2017年度)の統計面積44,440km²と比較し過大側の推計となっている。

営農型太陽光発電の設置対象場所と考えられる面積は膨大ではあるが、設置対象場所の特徴や農作物への影響についての考慮が必要。

全天日射量に応じた面積

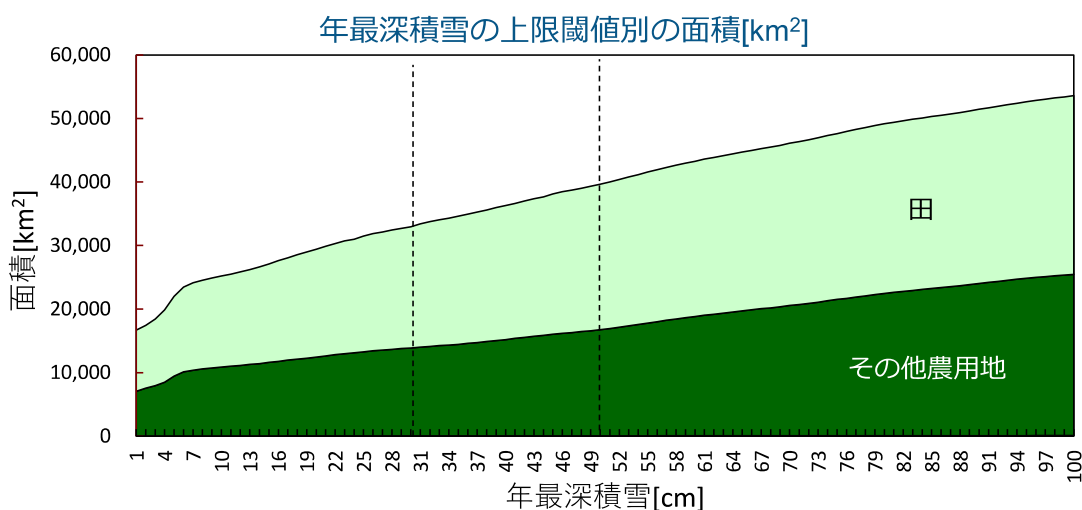
営農型太陽光発電の設置対象場所の全天日射量別の面積分布を推計した。



営農型太陽光発電の設置対象場所においては、多くの場所でメガソーラーと同等程度の設備利用率(過積載なしで概ね12-14%程度)が見込まれる。

年最深積雪に応じた面積

営農型太陽光発電の設置対象場所の年最深積雪に応じた面積を推計した。



* 各種文献などでは積雪量30cm以上の地域を中雪地域と定義される。
 * 2月の積雪の深さの最大値の累積50cm以上を積雪地域と定義

営農型太陽光発電が設置可能場所の約半分は積雪量が多い地域(30cm以上)に存在。
 → 各地域の積雪量に応じた荷重対策も一つの技術課題。

営農型太陽光発電の導入シナリオ評価例

営農型太陽光発電の設置対象場所の面積は膨大に存在するが、実際の導入量の見通しを立てる上では、今後の**耕地**や**農業経営体数の減少**・**1農家あたりが設置できる太陽光発電設備の容量**(現状では約9割が低圧50kW未満)の考慮も重要。

営農型太陽光発電の導入シナリオの評価例
朝野ら(第34回基本政策分科会 電中研報告資料[7])より引用

2050年導入シナリオの考え方：2050年にかけての農家戸数の減少を踏まえて	
受容性重視	<ul style="list-style-type: none"> 全ての農業経営体（約20万）が、100kWの営農型PVを設置（20GW） 全ての再生可能な荒廃農地で営農型PVが導入（営農再開を前提に透過率を確保）（22.4GW）
すう勢	<ul style="list-style-type: none"> 営農型PVの年間導入量が多かった2016年の導入ペースが今後も継続（1.4GW）



* 図中の耕地面積は国土交通省「国土の長期展望」に依るものであり、2019年の耕地面積はGIS上の面積とは整合しない。

営農型太陽光発電の導入ポテンシャル評価の課題

GISデータと統計データの整合

GISデータは衛星情報から土地情報を判読したものであり、GISデータの面積と各種統計における統計値は必ずしも整合せず、GISで推計した面積は過大側に評価される傾向。

また、GIS上の「耕地」「荒廃農地(再生可能)」「荒廃農地(再生困難)」の**細分**や、都道府県別に公開されている**各種統計値との整合**などは今後の課題。

農作物の収量変化の考慮

実証実験などにより、営農型太陽光発電を設置した場合の収量変化に関する研究が多く行われている。実証実験に基づき研究事例に基づき、統計値などに応じて耕地を農作物別に細分し、**農作物の収量変化を考慮した評価**は今後の課題。

耕地や農業経営体数の減少

営農型太陽光発電の設置対象場所の面積は膨大に存在するが、実際の導入量の見通しを立てる上では、今後の耕地や農業経営体数の減少・1農家あたりが設置できる太陽光発電設備の容量(現状では約9割が低圧50kW未満)の考慮も重要。

3. まとめ

まとめ

本研究では、自然環境との調和や電源間の競合を考慮した地上設置型太陽光発電(メガソーラー)の導入ポテンシャル評価と、営農型太陽光発電の設置対象場所の特徴の評価を行った。

地上設置型太陽光・陸上風力の導入ポテンシャル

設置可能場所の面積は全国土の**0.9%**(3,321km²)程度。
さらに、設置可能場所の**約7割**(2,341km²)太陽光・陸上風力の土地利用競合が発生する。

各電源が競合しない前提の下、競合場所に陸上風力を設置することを想定した場合、最大で設置可能な設備容量は太陽光:**65.7GW**, 陸上風力**23.4GW**となる。

自治体別の導入目標などを定める場合には、**土地利用の制約を踏まえた現実的な目標の策定が必要**。

営農型太陽光発電の設置対象場所の特徴

営農型太陽光発電の設置対象場所の面積は膨大ではあるが(60,608km²)、**農作物の収量の維持や積雪への対策、耕地減少**などについても考慮されることが必要。

参考文献

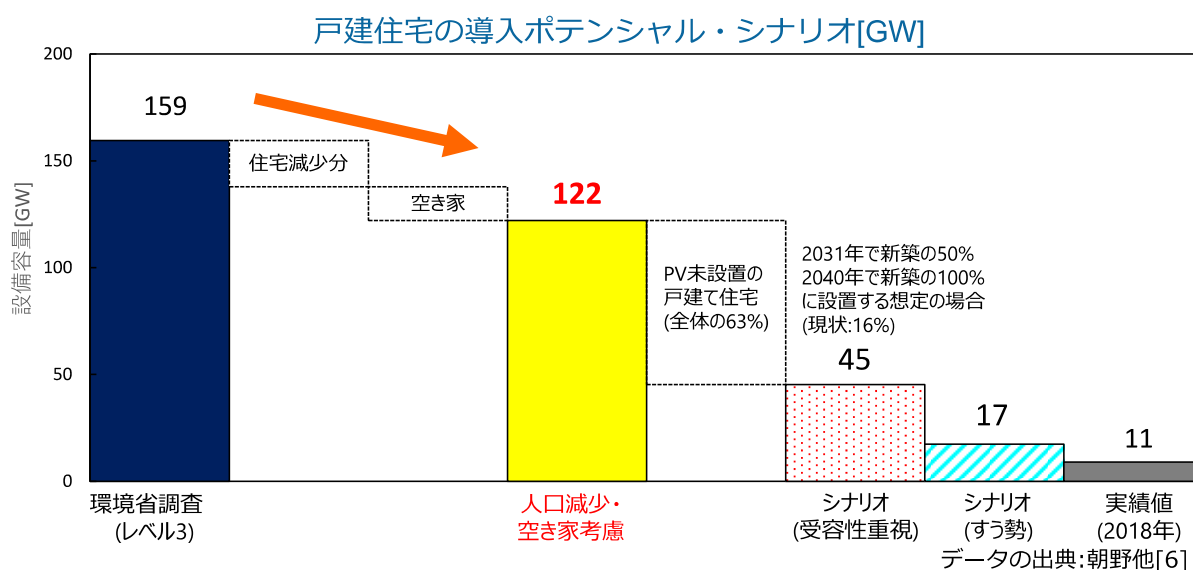
参考文献

- [1] 尾羽秀晃, 朝野賢司, 永井雄宇, 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, 電力中央研究所研究資料(Y18003) .
<https://criepi.denken.or.jp/jp/kenkikaku/report/detail/Y18003.html>
- [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] 農林水産省, 荒廃農地の現状と対策について, 令和2年4月
https://www.maff.go.jp/j/nousin/tikei/houkiti/Genzyo/PDF/Genzyo_0204.pdf
- [4] 環境省,地球温暖化対策推進法の一部改正法案及び再エネポテンシャル調査について, 令和3年3月8日,総合エネルギー調査会 省エネルギー・新エネルギー分科会/電力・ガス事業分科会 再生可能エネルギー大量導入・次世代電力ネットワーク小委員会 (第26回) 資料.
- [5] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Räumlich differenzierte Flächen-potentiale für erneuerbare Energien in Deutschland.
https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/ministerien/bmvi/bmvi-online/2015/DL_BMVI_Online_08_15.pdf?__blob=publicationFile&v=1
- [6] 室城智志, 中谷 隼, 栗栖 聖, 森口 祐一 花木啓祐, 制約条件を考慮したソーラーシェアリングの導入ポテンシャル評価～関東地方におけるケーススタディ～, 土木学会論文集G(環境), Vol 74, No 6, pp.221-228
- [7] 朝野賢司, 永井雄宇, 尾羽秀晃, ネットゼロ実現に向けた風力発電・太陽光発電を対象とした大量導入シナリオの検討,総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会 (第34回会合) , 電力中央研究所 ヒアリング資料.

予備スライド

戸建住宅の導入ポテンシャル(太陽光)

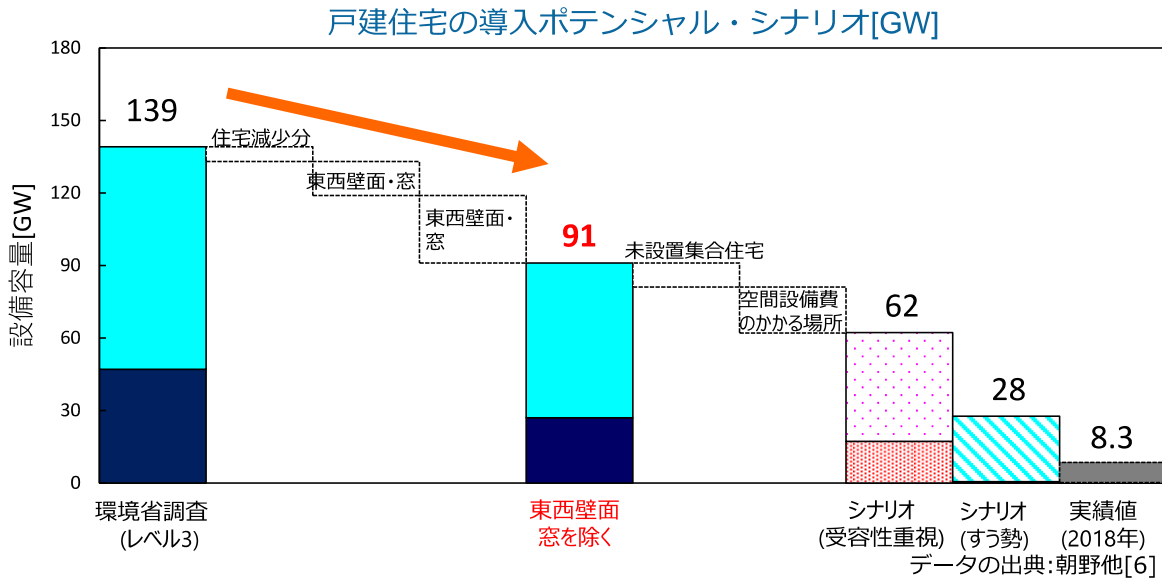
戸建住宅の導入ポテンシャルを考える上では、人口減少に伴う住宅数の減少や空き家などを考慮する必要がある。



人口減少や空き家などを考慮すると環境省ポテンシャル評価の約8割。ただし、段階的に新築住宅への太陽光発電の義務付けを行ったとしても、既築住宅が多く占めるため、ポテンシャルの全てが実現する保証はない。

建物設置の導入ポテンシャル(太陽光)

建物設置(集合住宅・公共系建築物)の導入ポテンシャルは、壁面への設置可否により数値が変動する。



日射条件の悪い東西壁面や、窓などを除外した場合、建物における導入ポテンシャルは約7割となる。