EU-日本 気候変動政策シンポジウム
令和元年12月6日

長期の温室効果ガス排出削減に向けた課題

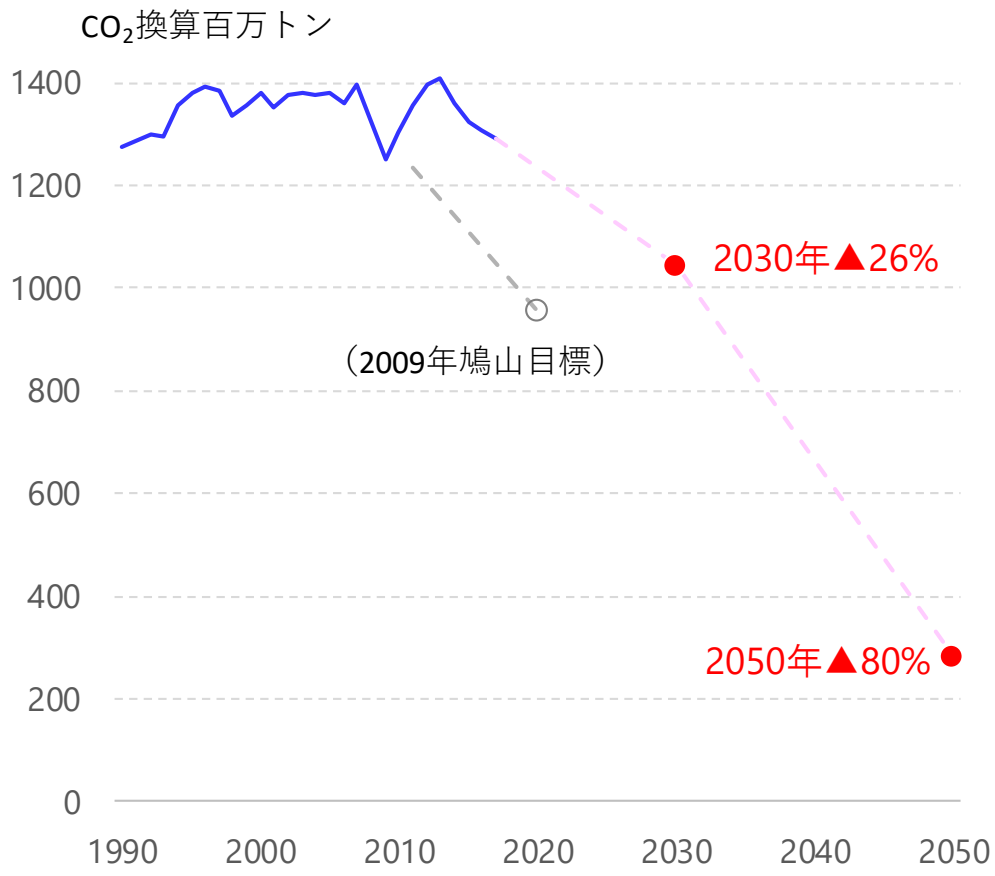
日本エネルギー経済研究所

松尾　雄司

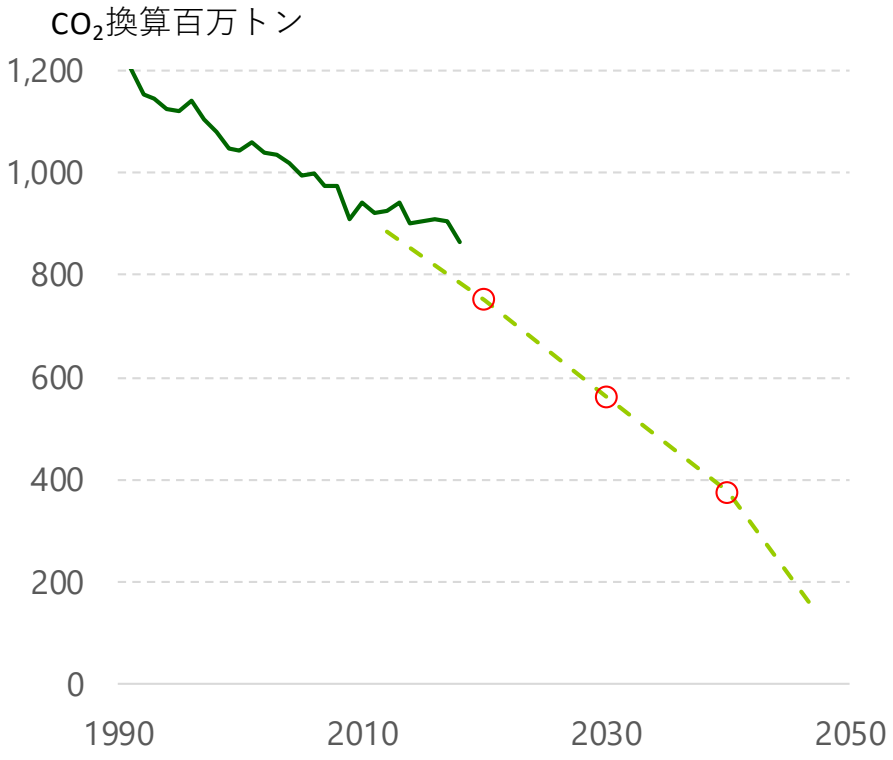
長期温室効果ガス削減目標

日本：国立環境研究所インベントリオフィス
ドイツ：BMU ”Klimaschutz in Zahlen 2019”

日本の温室効果ガス排出量



（参考：ドイツの場合）

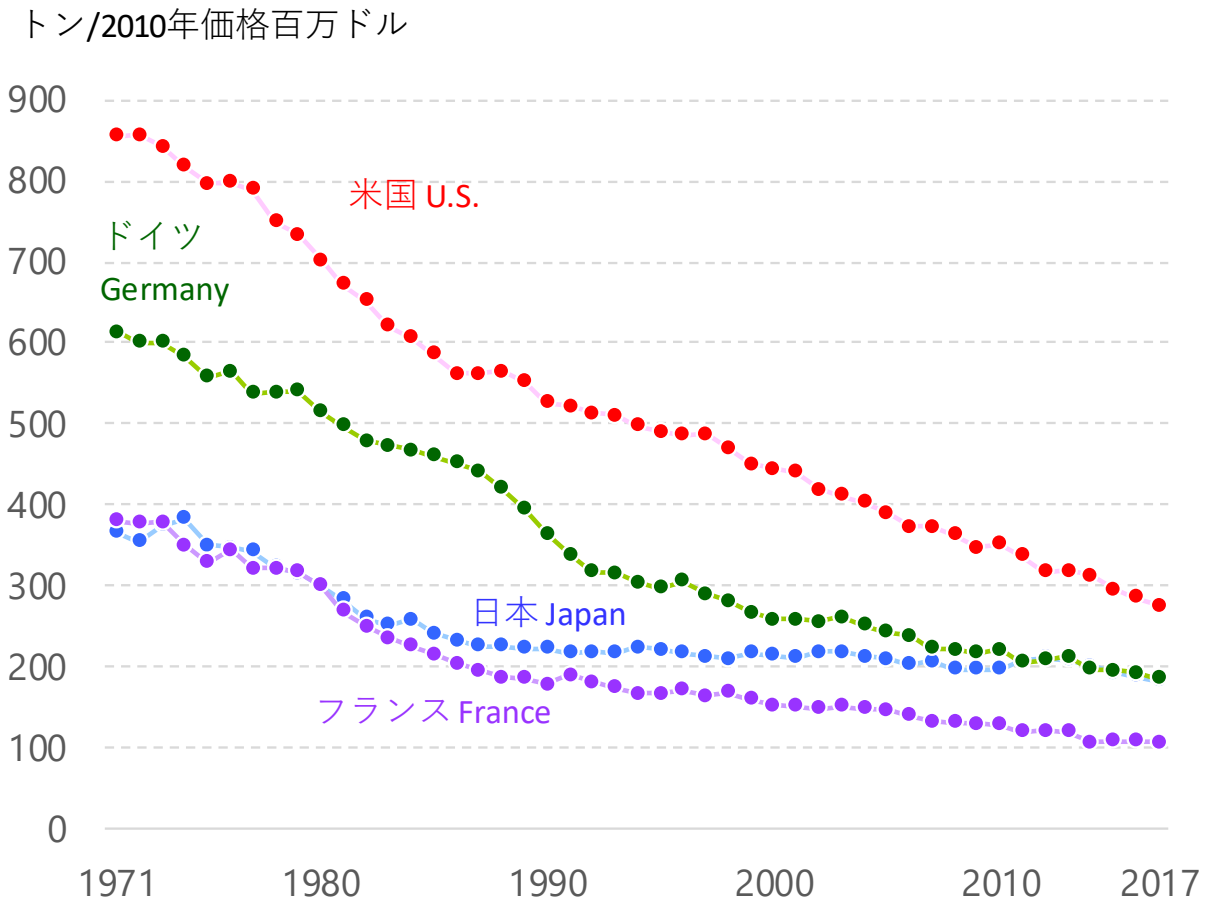


・温室効果ガスの長期削減に向けて、日本政府は国別貢献（Nationally Determined Contribution: NDC）として2030年度までに2013年度比26%の削減を行うこととしている（エネルギー起源CO_2では25%減）。

・更に、2050年までに80%の削減を行うことを公式の目標としている。

CO_2排出原単位の推移

（出所）IEAエネルギーバランス表、
WDI”World Development Indicators”より推計



2050年削減目標の評価例･･･モデル間相互比較プロジェクト

M. Sugiyama, S. Fujimori, K. Wada, S. Endo, Y. Fujii, R. Komiyama, E. Kato, A. Kurosawa, Y. Matsuo, K.Oshiro, F. Sano and H. Shiraki, (2018). *Energy*, 167, 1120-1131.

Table 1
Models participating in this study. The abbreviations for organizations are as follows. NIES: National Institute for Environmental Studies; UTokyo: The University of Tokyo; RITE: Research Institute of Innovative Technology for the Earth; IEEJ: Institute of Energy Economics, Japan; and IAE: Institute of Applied Energy. DNE21+ (MILES version) is abbreviated as DNE21 + V. MILES hereinafter.

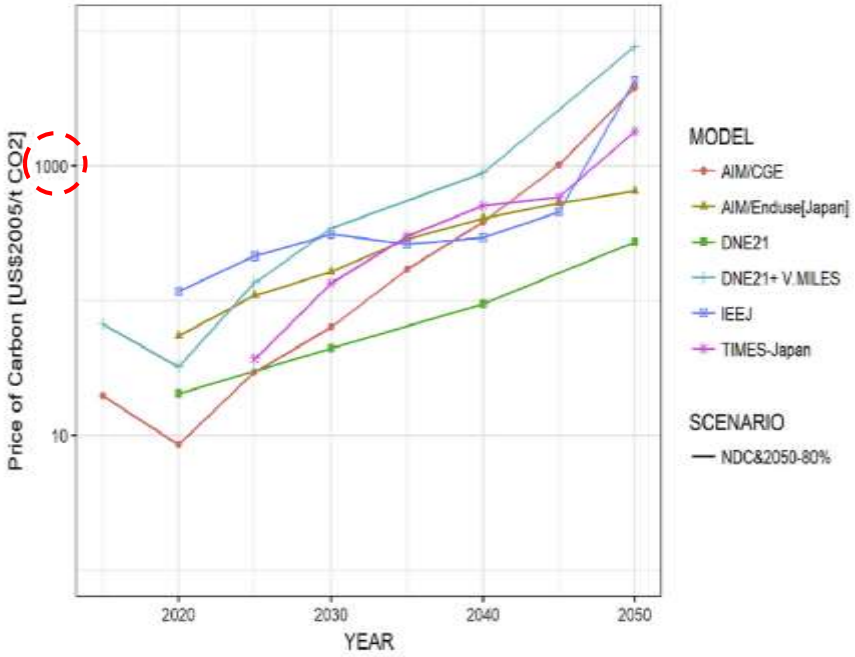
Model	Institute	Solution concept	Intertemporal treatment	Regional coverage	Characteristics
AIM/CGE [global]	NIES	General equilibrium	Myopic	Global	Multiple economic sectors represented. Strong at analyzing macroeconomic implications.
AIM/Enduse [Japan]	NIES	Partial equilibrium	Myopic	Japan	Regional breakdown for better power sector representation
DNE21	UTokyo	Partial equilibrium	Intertemporal	Global	Detailed representation of global energy transportation and power generation dispatch
DNE21+ (MILES version)	RITE	Partial equilibrium	Intertemporal	Global	Detailed representation of energy technologies
IEEJ	IEEJ	Partial equilibrium	Intertemporal	Japan	Various hydrogen technologies incorporated. Soft-linked to a macroeconomic model.
TIMES-Japan	IAE	Partial equilibrium	Intertemporal	Japan	Various hydrogen technologies incorporated. Soft-linked to detailed sector models (buildings and power)

- 2050年の温室効果ガス削減目標（2050年までに80%減）の達成を前提とし、数理モデルによって削減費用やエネルギーミックスを評価。
- 同一の条件のもと、国内6機関のモデルにより計算を実施した上で、結果を比較した。
- 6つのモデルのうち5つは線形計画法による最適技術導入モデル（＝所与の需要を満たすように、エネルギーシステム全体の総コストを最小とする技術導入量を評価）。1つ（AIM/CGE）は応用一般均衡モデル。
- 更に試算条件を変えるなどして、より頑強な結果を得るため、同様の試みを継続中。

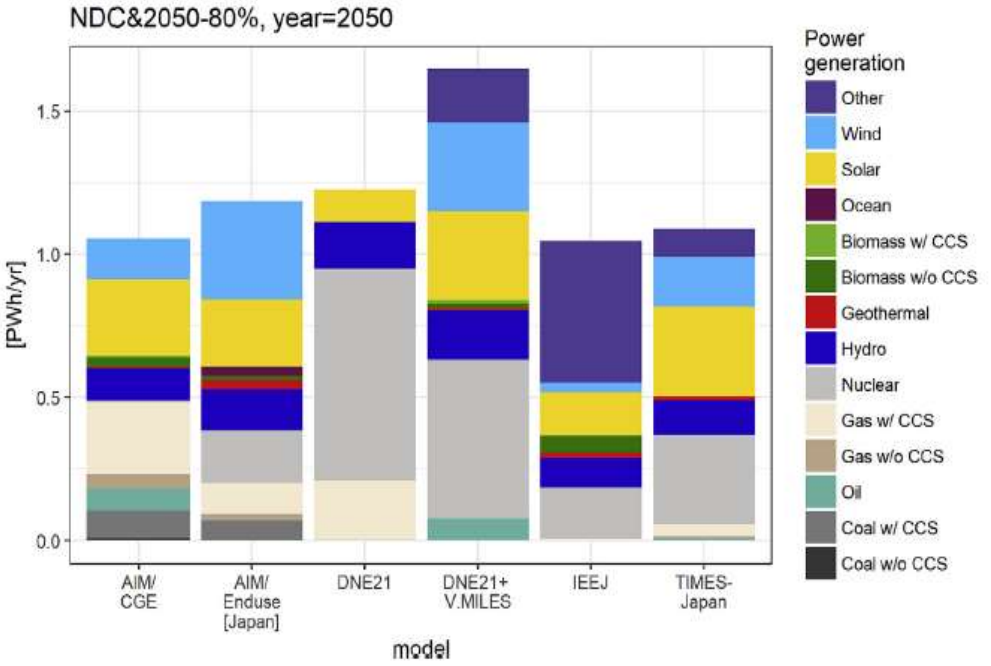
モデル間比較･･･限界削減費用（炭素価格）と電源構成

M. Sugiyama et al., (2018). *Energy*, 167, 1120-1131.

目標達成のための限界削減費用（ドル/tCO2）



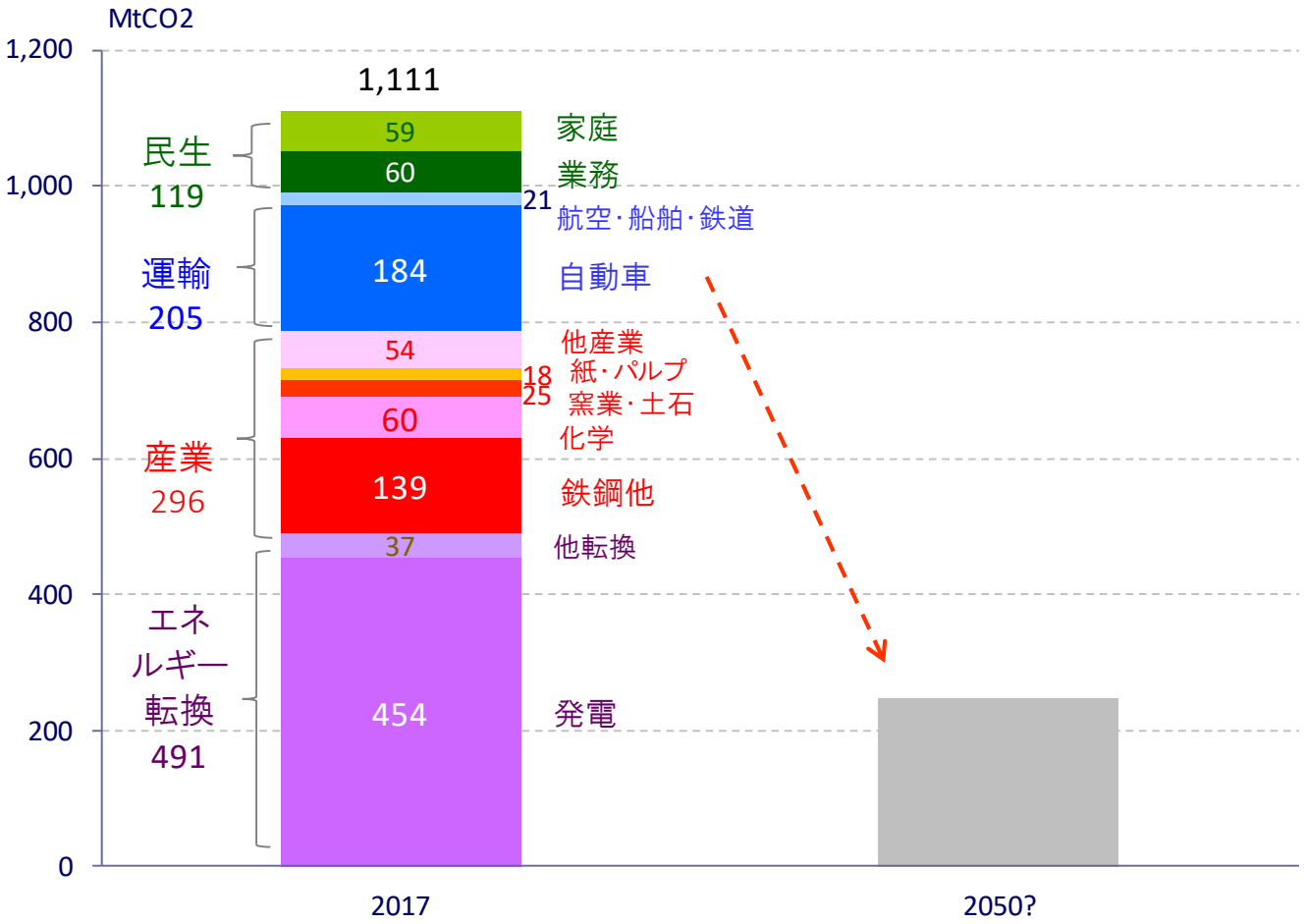
2050年の電源構成



- 政府目標を達成するための限界削減費用はモデルによって異なるが、概ね**数百～数千ドル/tCO_2**。
- これは現行の炭素価格（EU-ETS: 25～30ユーロ/tCO_2程度）に比べて極めて高く、またEUにおける同様の試算結果（2050年80%削減で250ユーロ/tCO_2、2050年ゼロ･エミッション化で350ユーロ/tCO_2）と比べても高い。
- 2050年の削減目標を達成する場合、電力部門はほぼ全量を低炭素電力（再生可能エネルギー、原子力、ゼロ･エミッション火力）で供給する必要がある。
- ゼロ･エミッション火力発電としては、CCS付き火力発電、もしくは水素火力発電の利用が考えられる。

2017年度のエネルギー起源二酸化炭素排出量の内訳

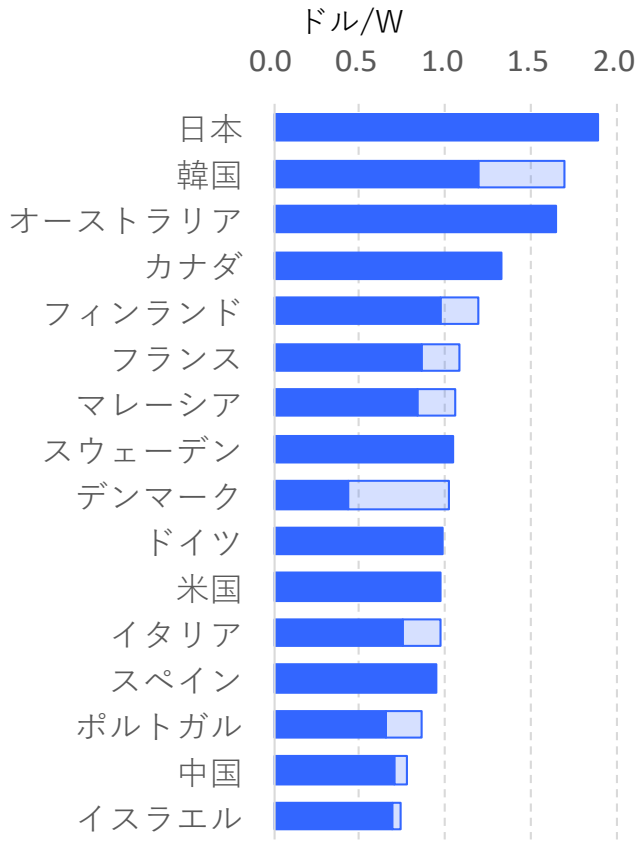
実績値：国立環境研究所インベントリオフィス



・2050年までにGHG排出量を80%以上削減するためには、**①発電部門を可能な限りゼロ・エミッションに近づけ**、**②家庭部門・業務部門・運輸部門のCO_2排出量を可能な限りゼロ・エミッションに近づけ**、更に**③産業部門において最大限の省エネ・低炭素化を行う**ことが必要。

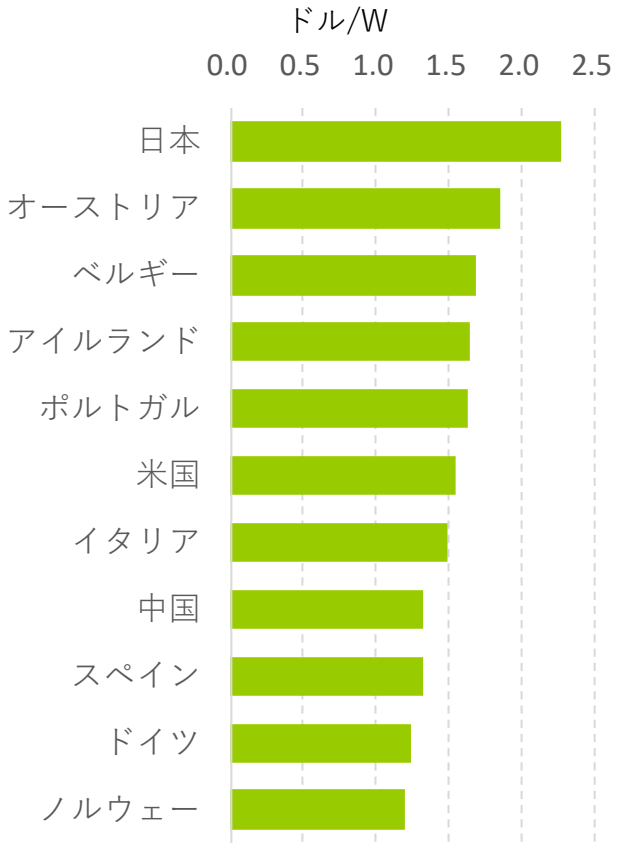
太陽光･陸上風力発電の初期費用単価（2017年）

大規模太陽光



（出所）IEA-PVPS

陸上風力

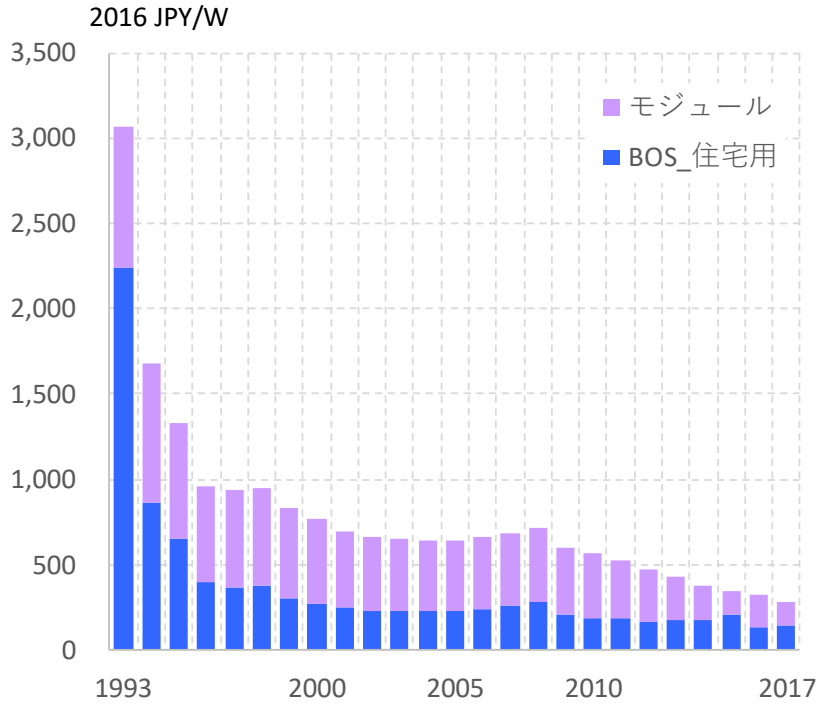


（出所）IEA-Wind

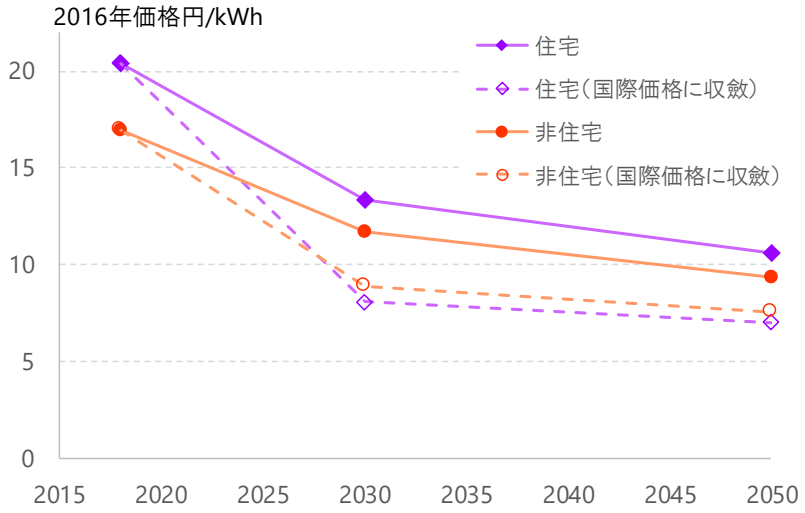
・日本の太陽光･風力発電は従来から諸外国に比べて高い水準にあり、内外価格差は現在でも解消されていない。

日本の再生可能エネルギー発電コストの推移と見通し

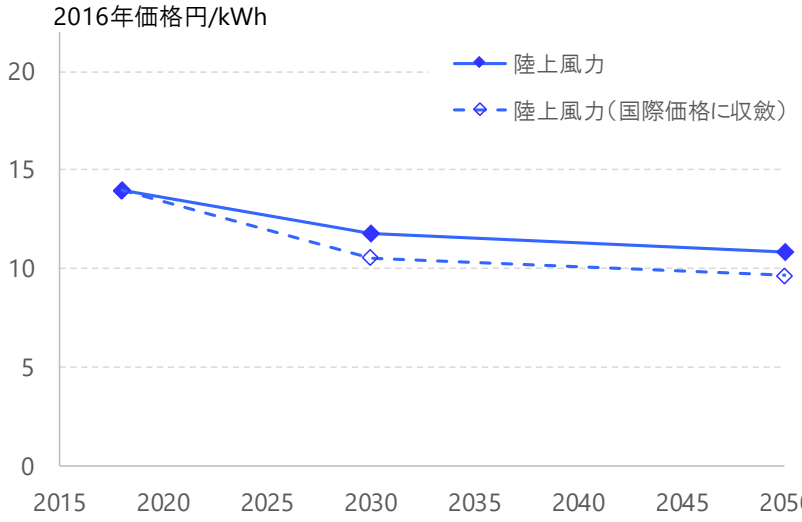
太陽光モジュール価格及びその他部分（BOS）の推移



太陽光発電



陸上風力発電



- 日本においても諸外国同様、太陽光発電コストは急速な低下を続けてきた。
- 過去のトレンドから習熟率を推計し、将来推計を行うと、2050年頃には火力・原子力と同等以下まで低減する見通しとなる。
- 一方で、政府の目標では早期（2030年もしくはそれ以前）に太陽光発電コストを7円/kWh、風力発電コストを8～9円/kWhとするとされており、更に急速なコスト低減が期待される。

太陽光･風力発電のポテンシャル（環境省推計）

（出所）環境省 再生可能エネルギー導入ポテンシャルマップ･ゾーニング基礎情報（平成28年度更新版）

単位: GW

	太陽光		陸上風力		洋上風力	
	FIT	Poten-tial	FIT	Poten-tial	FIT	Poten-tial
北海道	15	20	146	152	177	399
東北	25	46	67	69	34	215
東京	52	81	4	4	39	82
中部	38	50	11	11	23	40
北陸	9	17	5	5	0	43
関西	26	39	11	11	0	30
四国	13	18	5	5	2	46
中国	24	33	9	9	0	120
九州	37	53	16	17	2	359
合計	239	356	271	281	277	1,339

陸上風力発電のポテンシャル所在地

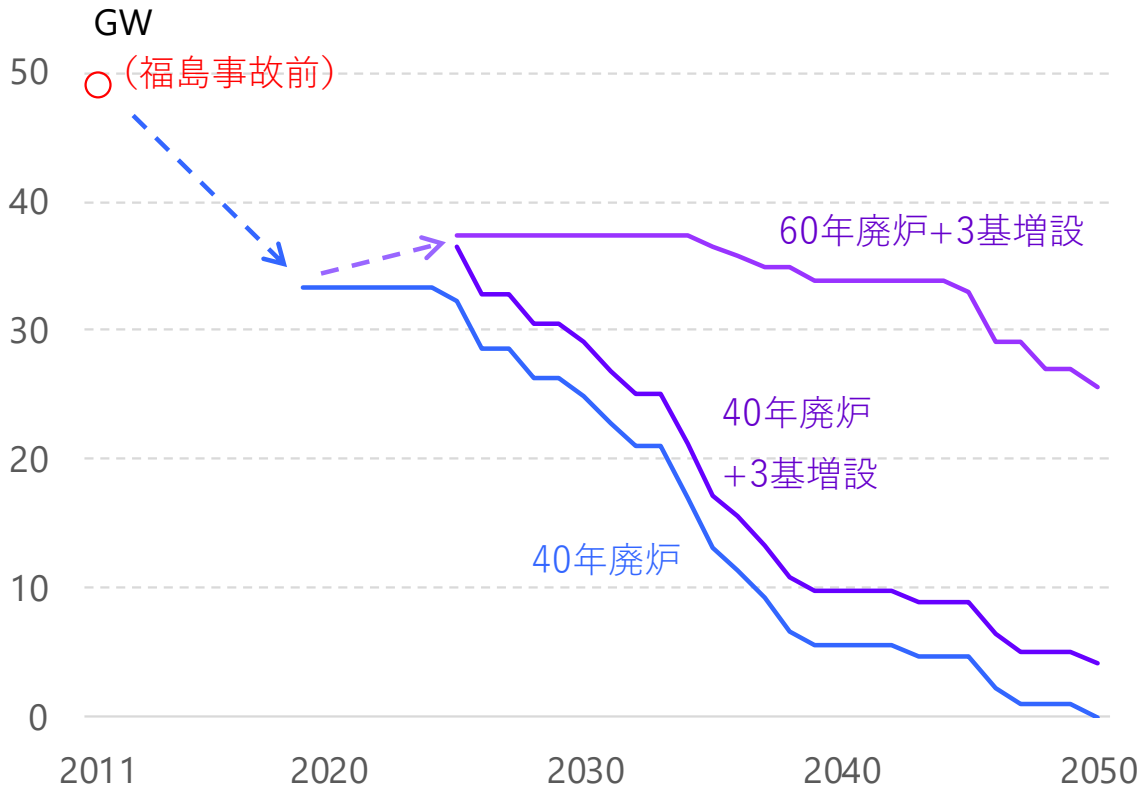
・環境省による評価では、日本国内には太陽光･風力の莫大なポテンシャルが存在。そのうち、FIT制度により合理的に導入可能な地点だけでもかなりの量となる。

・太陽光発電ポテンシャルが比較的多くの地域に存在するのに対し、**風力発電ポテンシャルは北海道･東北に偏在**。

・太陽光･風力発電プロジェクトには国内各地で反対運動も起きており、今後は社会的受容性も大きな課題となる。

原子力発電設備容量の推移

（出所）JAIF資料より作成



・福島原子力発電所事故後、比較的古く、規模の小さいものを中心に22基の原子炉が廃炉を決定。一方で、福島事故以前から3基の原子炉を建設中。

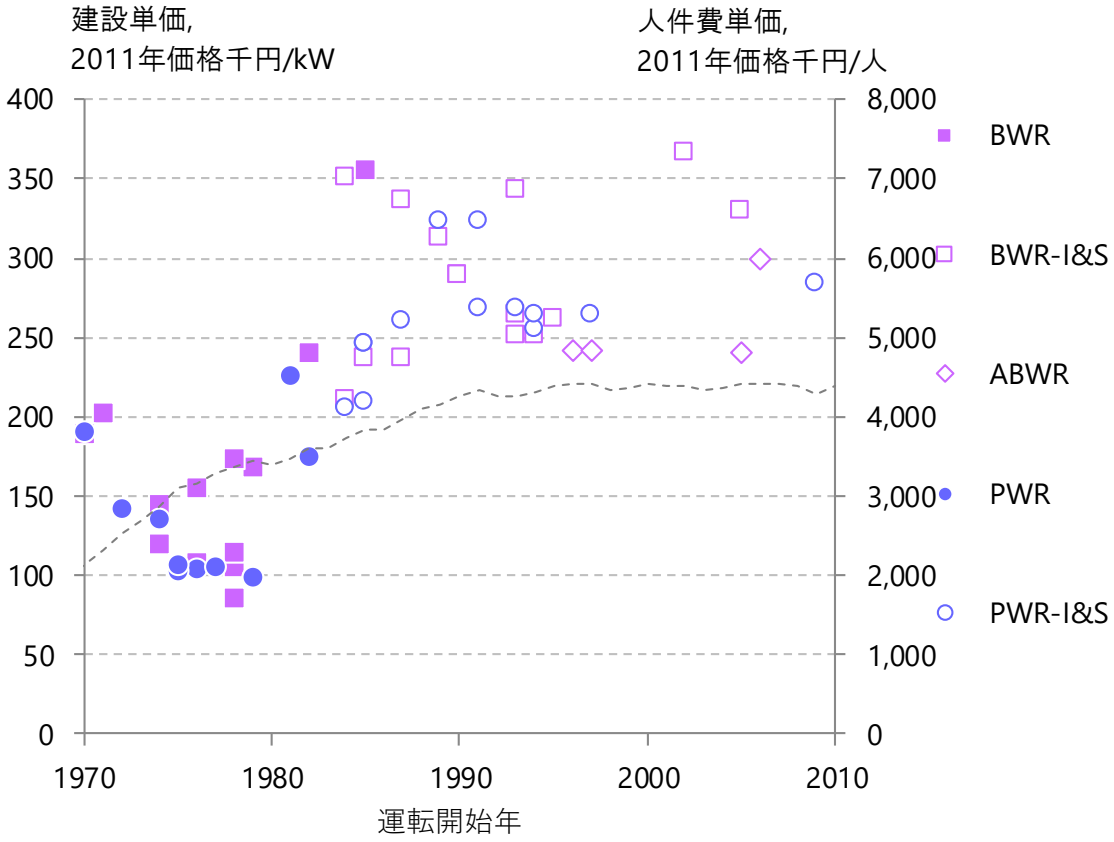
・既存の原子炉について40年の運転期間で廃炉を行う場合、福島事故前から運転していた原子炉は2050年にはすべて閉鎖する。一方で60年まで運転期間を延長する場合には、2050年の設備容量は25.5GWとなる。

原子力発電所建設単価の推移

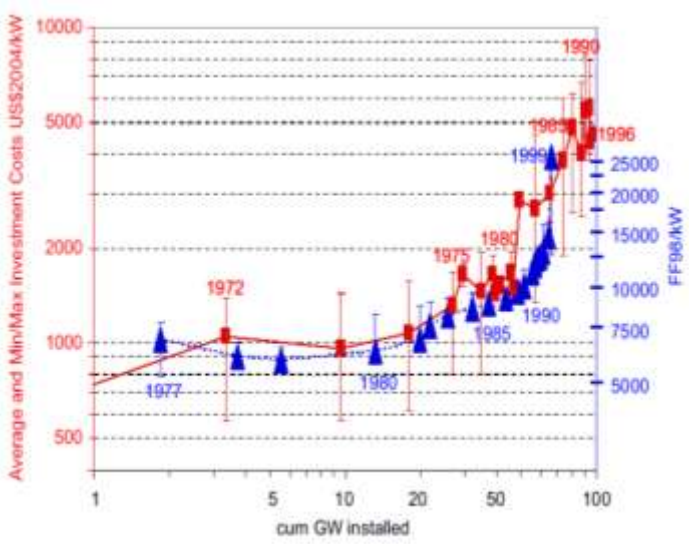
日本の原子力発電所建設単価の推移

Y. Matsuo and H. Nei, (2019). *Energy Policy*, 124, 180-198.
A. Grubler, (2010). *Energy Policy*, 38, 5174-5188.

※ I&Sは改良標準型の原子炉であることを示す。



（参考：米仏のケース）



赤：米国、青：フランス、
横軸は各国内の累計設備容量

- 日本の原子力発電所建設単価の推移には、1990年以降上昇、もしくは下降する傾向は見られない。
- 一方で、福島事故後に制定された規制基準に適合するため、電力各社は安全対策に費用をかけている。
  この**追加的安全対策費用がどの程度になるかが、今後の原子力発電コストを左右する**。

水素の利用に関するロードマップ

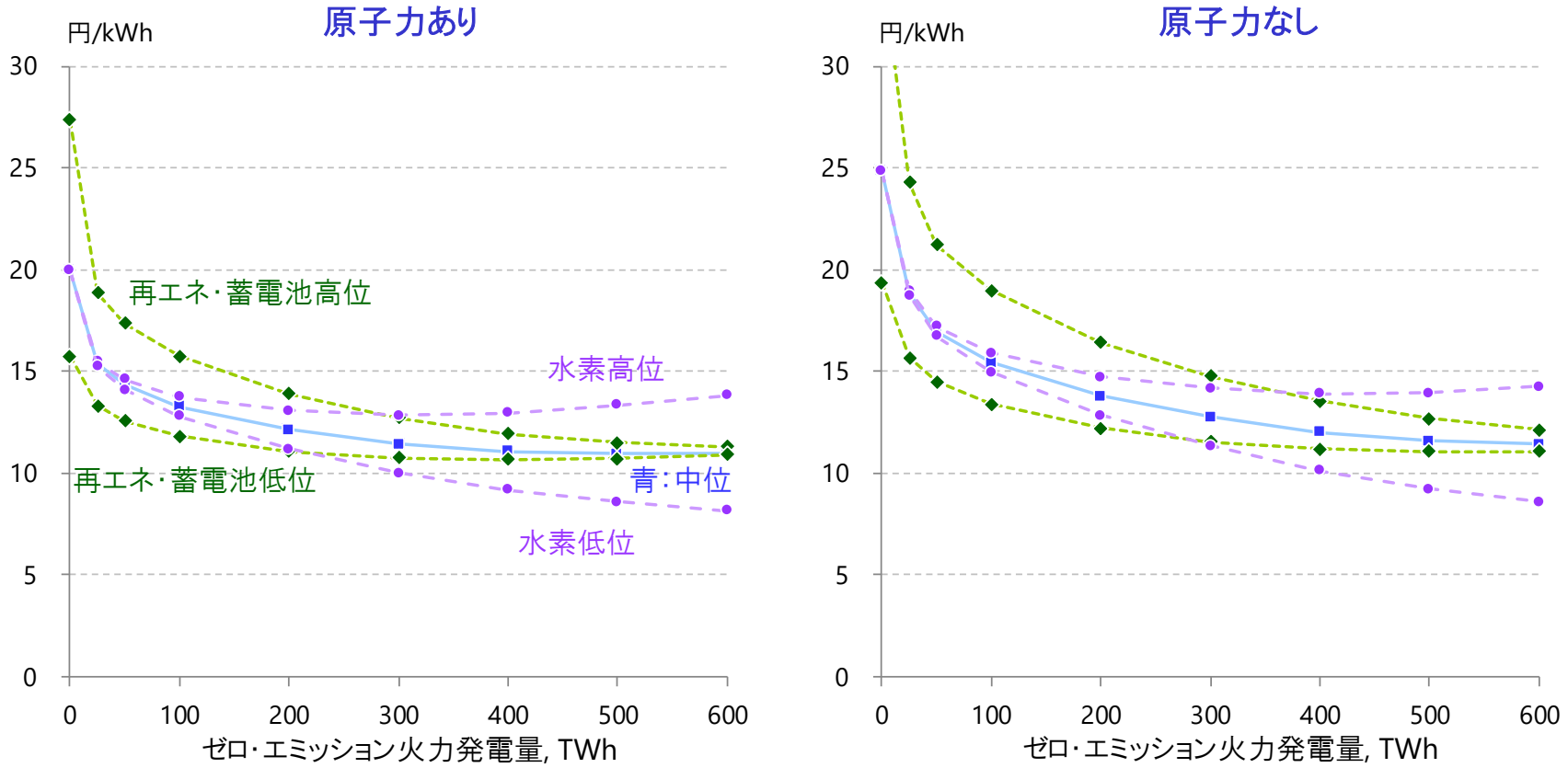
（出所）経済産業省, (2019).「水素・燃料電池戦略ロードマップ」

・水素の利用方法としては、燃料電池自動車（FCV）、定置用燃料電池の他、発電部門（水素専焼発電）も想定。

・水素の製造方法としては、**再生可能エネルギー由来の電力により水を電気分解**する方法と、**化石燃料によって水素を製造し、発生したCO_2は二酸化炭素回収・貯留（CCS）技術により地中に貯留する**方法とが考えられている。 → 少なくとも後者の場合、主に**海外で水素製造を行い、国内に輸入する**ことを想定。

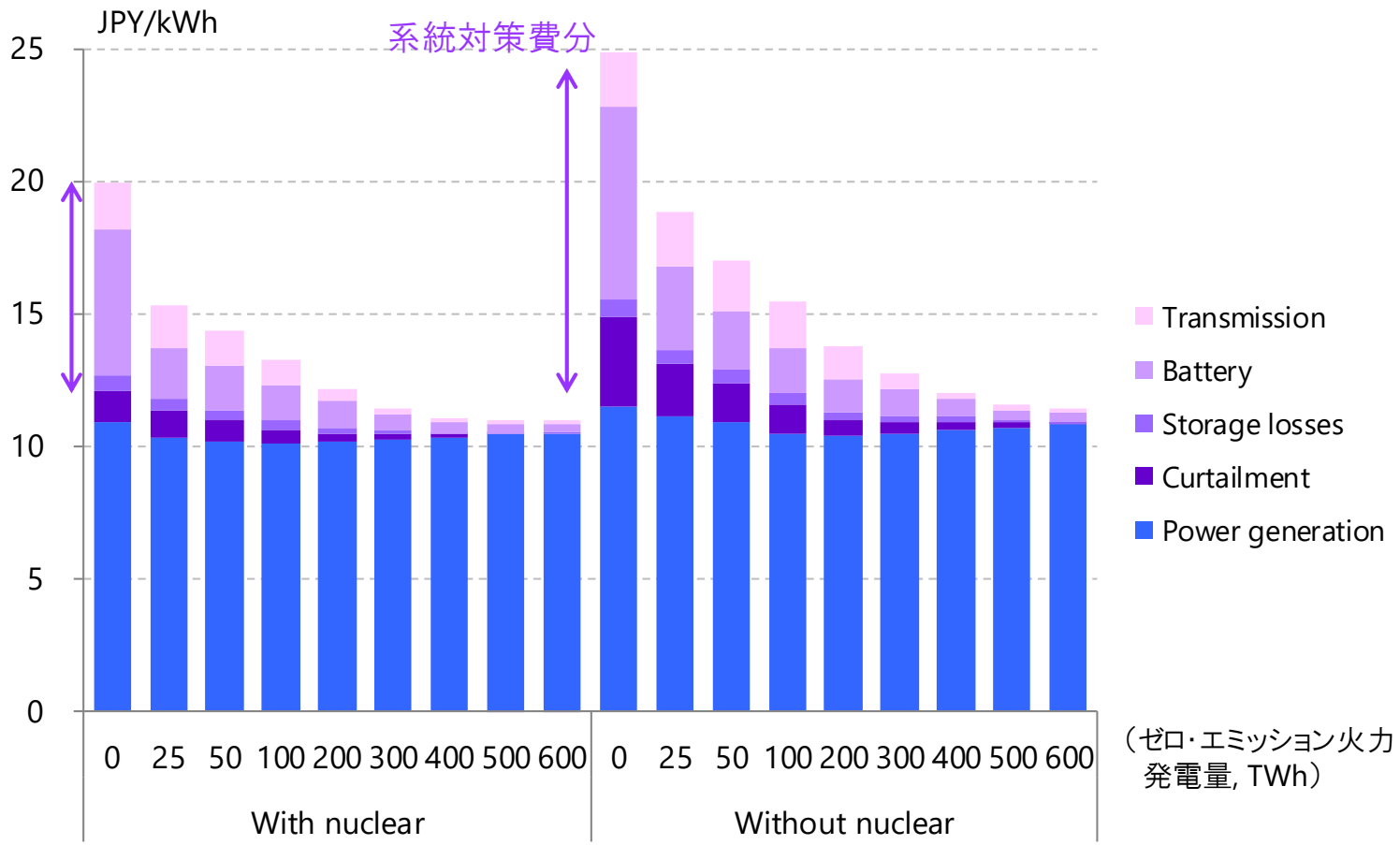
発電部門ゼロ･エミッション化の経済性：日本を対象とした試算例

Y. Matsuo, S. Endo, Y. Nagatomi, Y. Shibata, R. Komiyama and Y. Fujii, (2018). *Energy*, 165, pp. 1200-1219.



- 2050年を想定した発電部門ゼロ･エミッション化の評価。**原子力**、**再生可能エネルギー**及び**ゼロ･エミッション火力発電**（CCS付き火力発電もしくは水素火力発電）を想定。
- 原子力あり（180TWh程度）の場合･なしの場合それぞれについて、火力発電量を0TWh～600TWhまで変化させたときの電力システム単価を試算→ 変動性再生可能エネルギー発電（太陽光･風力）比率85%～6%程度に相当。
- 火力発電量がゼロになると、電力システム単価が大きく上昇する。また「原子力あり」の場合は「なし」の場合に比べてコスト上昇の度合いが小さくなる。

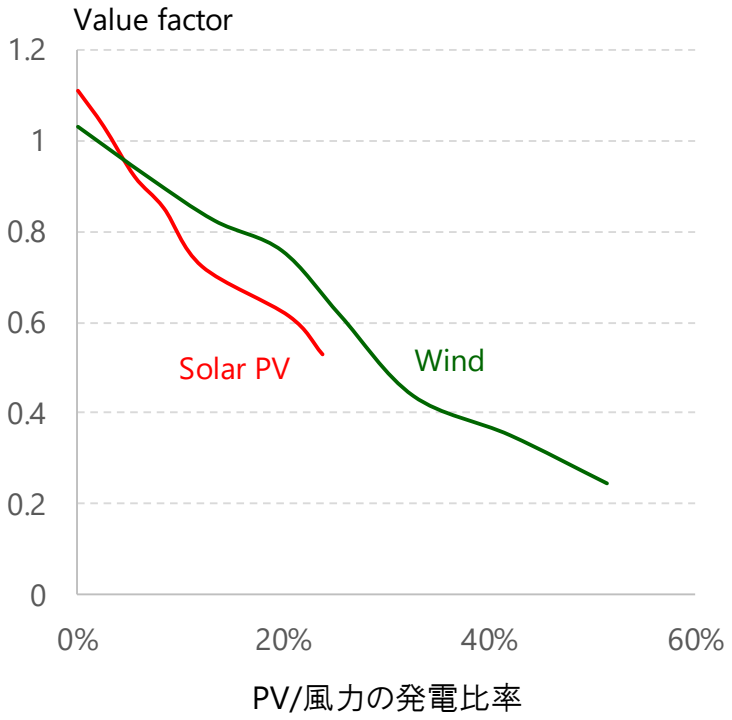
試算結果：発電単価内訳（コスト中位ケース）



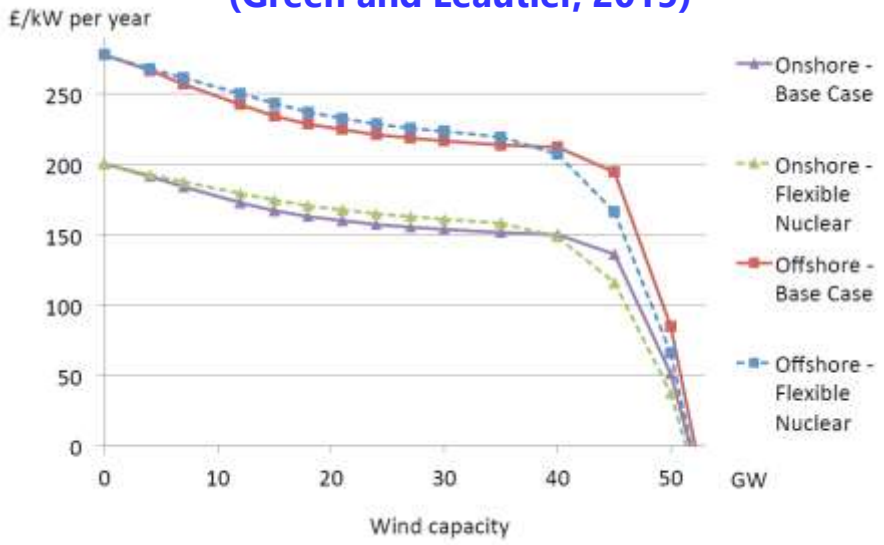
・系統対策コストは蓄電池分、出力抑制分、地域間連系線分及び蓄電ロスに伴う余剰発電分からなる。
・火力発電量ゼロの「原子力なし」ケースでは、再エネの発電設備容量が増大し、出力抑制分が大きくなるとともに、大量の蓄電システムが必要となる。

再生可能エネルギー大量導入時の課題①
市場価値の低下（カニバリズム効果）

日本を対象とした評価（当所試算）



英国における風力発電の限界価値 (Green and Léautier, 2015)

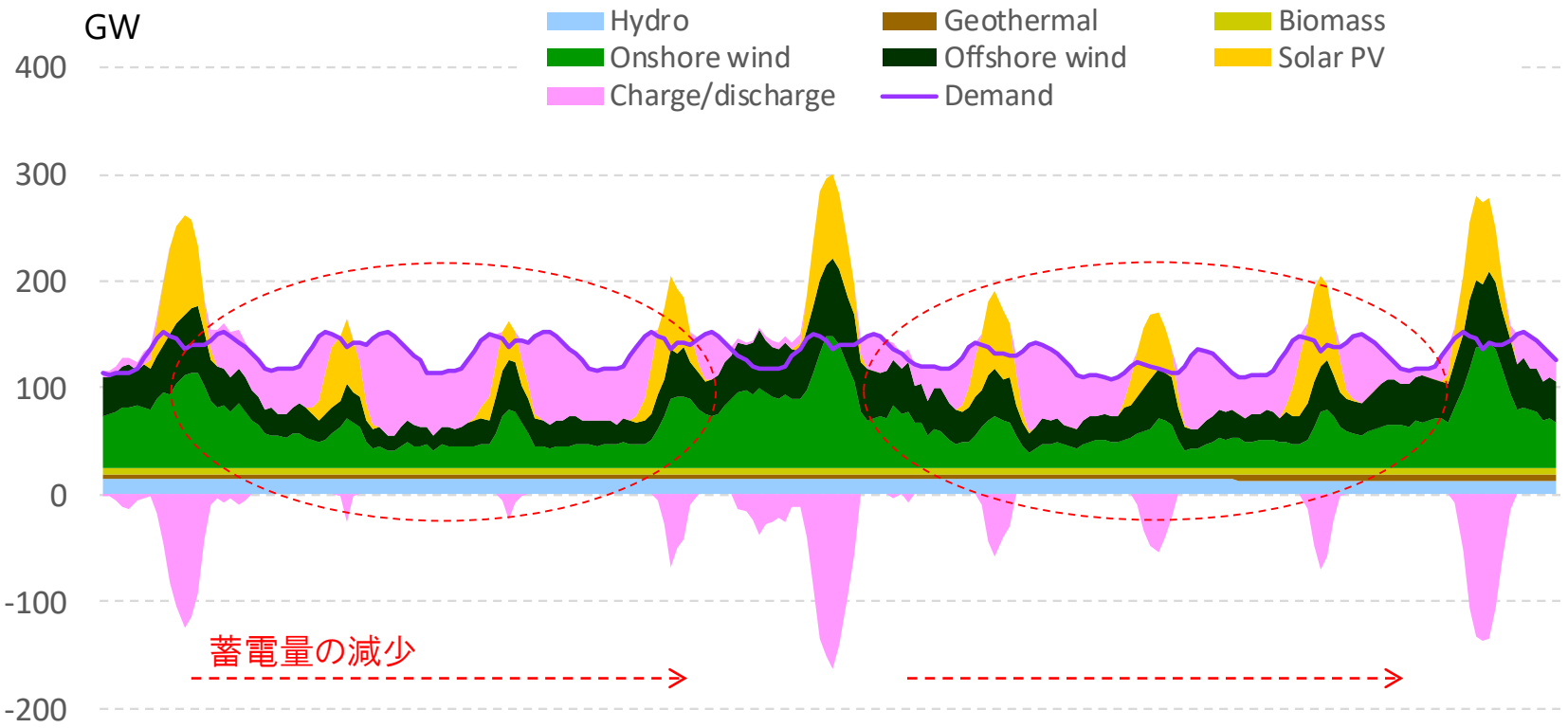


Green R J and Léautier T-O, (2015). Do costs fall faster than revenues? Dynamics of renewables entry into electricity markets. SE Working Papers 15-591, Toulouse School of Economics (TSE).

- 太陽光発電量は晴れた昼間に大きいため、電力需要と正の相関が見られる。
  →価値係数（PVの価値を、全電源平均の価値で除した値）は1よりも大きい。
- しかし太陽光発電は発電機同士の出力の相関が非常に高いため、導入が進むにつれて価値が急速に低下する。
- Green and Léautier (2015) は英国を対象とした分析を行い、この問題により、仮に将来風力発電のコストが大幅に低下したとしても**再生可能エネルギーへの補助は「いつまでもなくならないかも知れない」**、とした。
- 電力価格の低下は**再生可能エネルギーのみの経済性に影響するものではなく**、火力発電・原子力発電設備の最適な設備利用率の低下に結びつき、その経済性にも影響を与えることに注意が必要。

再生可能エネルギー大量導入時の課題②
「無風・無光」期間における電力需給

（横軸：時間）



・1年のうち1度か2度、風力・太陽光の発電量が極めて小さくなる時期（**無風期間・"Dark doldrums"**と呼ばれる）が生じる。

→ この「無風期間」の電力需要を賄うために必要な電力量が、蓄電池の必要量となる。

・非常に高い再生可能エネルギー比率を達成するためには、多数年のデータを用いて無風期間の発生リスクを定量的に評価した上で、適切な蓄電システムを備える必要がある。

まとめ

・日本は2050年までに温室効果ガスを80%削減することを目標としており、その実現のためのハードルは高い。

・目標達成のためにはエネルギー利用の電力化を進め、かつ、発電をほぼ完全にゼロ・エミッション化する必要がある。産業部門の電化には困難な部分が残り、従ってこの分野での脱炭素化が最後に残る排出源となる可能性が高い。

・一方で他の部門、例えば家庭部門において都市ガスの利用を全廃することの実現可能性などについても、十分に検討する必要がある。

・変動性再生可能エネルギーのコストは日本においても低下しつつあり、今後も更なる低減が望まれる。

・変動性再生可能エネルギーが大量に導入された場合、①出力の相関による「共食い効果」と②無風期間における電力供給途絶リスクが大きな課題となり得る。

・どのようなエネルギー源であっても、その導入量が極端に増加すると「価値」（市場価値、ないしは社会的受容性なども含めた社会的価値）が低下する。このため、長期の脱炭素化に向けた新たなエネルギーミックスを模索する必要がある。