

第6回 将来の電力需給シナリオに関する検討会

2024年12月3日

2050年に向けた日本の電力需給の見通し (DAC)

(公財) 地球環境産業技術研究機構 (RITE)

システム研究グループ

秋元圭吾、佐野史典、

本間隆嗣、望月則孝



- ◆ 本報告は、二酸化炭素直接回収（DAC）による日本の電力需要に及ぼす影響を世界エネルギー・温暖化対策評価モデルDNE21+で分析したものである。
- ◆ DNE21+モデルは、エネルギーの輸出入の量・価格の整合性を有しながら、世界全体を評価できる特徴を有する。
- ◆ 動学的な最適化を行うモデルであるため、2100年までの将来の姿を踏まえた上で、2040年、2050年などの途中時点の評価がなされるという長所がある。また、コスト最小化という基準での評価であり、恣意的なシナリオ設定は極力排除される一方、経済合理性が成立した途端に、急に技術が完全代替するなど、極端な変化を示すこともあることに注意が必要。（現実世界は、多様な選択者がいるため、急激に変化せず、普及曲線に従うようなことは多い。そのような表現に優れた計量経済モデルと比べると、本最適化型モデルは、極端な変化を示す場合がある。）
- ◆ あくまで、想定した前提条件の下（今回の分析では、世界全体1.5℃未満＋日本国内で2050年GHG排出量▲90%などを想定）で、費用効率的な対策を導出しているものであり、前提の置き方によって、当然ながら分析結果は変化する。
- ◆ DACの感度を分析したものであるが、DACの必要量は他の対策のコスト・ポテンシャルに影響を受ける。本分析では、原子力、再エネの前提条件を変化させ、2050年▲90%を達成し得る、DACの経済的な利用量とその電力需要への影響を分析した。
- ◆ モデルは、需給バランスが常にとれるように計算がなされる。モデル分析結果からは、発電設備容量が不足するといった結果は導出されない。

試算シナリオ

シナリオ名	基礎的需要	省エネ／電化	原子力	CCS／CDR	再エネ
	所得効果、人口・なりゆきとしての産業構造変化等	GHG排出削減（外生）によって誘発される炭素価格（内生）	【2050年上限】 低位：13GW程度 中位：16GW程度 高位：34GW程度	【2050年CO ₂ 地中貯留量上限】 低位：1.2億トン/年 中位：2.4億トン/年 高位：3.2億トン/年	
A4[HHL]	【A】GDP中位 （ベースラインケース）	【4. 日本▲90%シナリオ】 世界全体で1.5℃目標、日本とG7各国はNDC+2050年▲90%	H. 高位	H. 高位	VREのコスト見通し：標準 陸上VRE導入上限：現状導入量比2倍 一般水力成長制約：0.25%/yr
A4[MHM]			M. 中位	H. 高位	VREのコスト見通し：標準 陸上VRE導入上限：現状導入量比2.5倍 一般水力成長制約：0.5%/yr
A4[LHH]			L. 低位	H. 高位	VREのコスト見通し：コスト低減加速 陸上VRE導入上限：現状導入量比3倍 一般水力成長制約：1%/yr

注1) 需要側は、第4回検討会提示のうち、基本的に中位のシナリオ（データセンター・ネットワーク・半導体製造の電力需要展望、水素DRI電炉の展望、自動車の電化を中位と想定。（次頁参照）で分析。ただし、今回の分析では、水素直接還元製鉄の普及には制約を設けていない（H:高位シナリオを利用）。

注2) 原子力の低位については、現状稼働している設備容量に女川、島根を加えた13GWを維持するシナリオに更新した。

注3) CCS/CDRについては、CCS長期ロードマップ（2050年1.2～2.4億トン/年）を上回る貯留量を想定した。

注4) 水力発電、地熱発電については、国内の情報元に基づき、コスト・ポテンシャルの想定を更新した。

注5) 洋上風力発電については、現時点で形成されている5.1GWの案件（公募中も含む）を下限値として想定し、2030年以降は想定している発電ポテンシャル（1635TWh/yr）の0.1%（再エネ低位）、0.2%（再エネ中位）、0.3%（再エネ高位）を1年間で開発可能な上限として想定した。

注6) 陸上風力発電について、平均の設備利用率が2020年実績値と合うように、発電コストが高いポテンシャル（設備利用率が低いポテンシャル）も導入されるように調整した。また、導入上限として想定しているポテンシャルに対し、0.1%（再エネ低位）、0.25%（再エネ中位）、0.5%（再エネ高位）を1年間で開発可能な上限として想定した。

注7) 太陽光発電については、導入上限として想定しているポテンシャルに対し、住宅用（19TWh/yr）は0.1%（再エネ低位）、0.25%（再エネ中位）、0.5%（再エネ高位）、その他（260TWh/yr）は0.4%（再エネ低位）、1.0%（再エネ中位）、2.0%（再エネ高位）を1年間で開発可能な上限として想定した。

【参考】2023年度 第4回検討会提示シナリオ

電力需要 のドラ バー シナリオ名	基礎的需要	省エネ／電化	データセンター・ ネットワーク・半 導体製造の電力 需要展望	鉄鋼の電力需 要：水素DRI 電炉の展望	産業CO ₂ 回収 ／産業自家 発：電炉(水素 DRI)展望	自動車の 電化	鉄鋼・化学等の 生産量の展望： 炭素価格による 生産量低下
	所得効果、人 口・なりゆきと しての産業構 造変化等	GHG排出削減 (外生)によって誘発 される炭素価格(内 生)	技術進展・国内 IT産業育成政 策等(外生)、炭 素価格(内生)	水素DRI建設普及のタイミン グ・リードタイム(外生)、炭 素価格(内生)		バッテリーの技 術進展(外 生)、炭素価 格(内生)	(国間での相対 的な)炭素価格 (内生)
A1-Mm(f)	[A] GDP中位 (ベースライン ケース)	【1. 中庸排出削減シナ リオ】世界全体で2℃ 目標、日本はNDC +2050年▲90% (CNまでの10%分は海外 クレジットの活用等もあり 得る)	M. 中位	M. 中位 (普及速度制約：弱)	m. 中位	(f) 低位 (DEARSフィード バック計算有)	
A1-Mm						高位 (DEARSフィード バック計算無)	
A1-Mh			h. 高位				
A1-Hm							
A1-Lm							
B2-Mm	[B] GDP高位 (成長実現ケー ス)	【2. 公式排出削減シナ リオ】世界全体で 1.5℃目標、日本は NDC+2050年CN	M. 中位	H. 高位 (普及速度制約：無)	m. 中位		
A3-Mm	[A] GDP中位 (ベースライン ケース)	【3. 世界調和シナリオ】 2℃目標、世界のエコス ト最小化(＝世界CO ₂ 限界削減費用均等)	M. 中位	M. 中位 (普及速度制約：弱)			

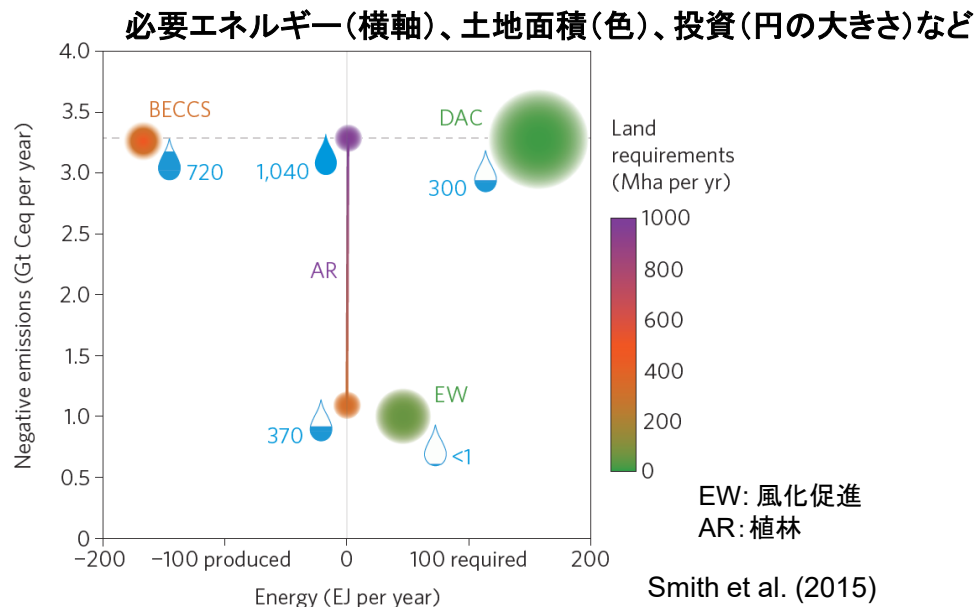
※ 比較参照として、これらシナリオ以外に、特段のCO₂排出削減を想定しない、【0.排出なりゆきシナリオ】(ベースラインシナリオ)も想定。
「A0-Mm」(GDP中位)、「B0-Mm」(GDP高位)と表記

大気CO₂直接回収（DAC）技術の想定

- DACは、大気中からCO₂を回収する。400 ppm程度の濃度の低いCO₂を回収するため、化石燃料燃焼時排ガス等からの回収と比べ、より大きなエネルギーが必要。
- 一方、DACCS（貯留まで）をすれば、負排出となる。
- CO₂貯留層に近く、エネルギーが安価に入手できる地域（安価なPV供給が可能な地域など）での実施が経済的



Climeworks



M. Fasihi et al., (2019)におけるDACのエネルギー消費量と設備費の推計:

本モデル分析では、Fasihi et al.らによるBaseとConservative 2種類のシナリオのうち、Conservativeを標準の技術進展見通しとして採用。

		エネルギー消費量 (/tCO ₂)		設備費 (Euro/(tCO ₂ /yr))	
		2020年	2050年	2020年	2050年
高温(電化)システム(HT DAC)	電力 (kWh)	1535	1378	815	326
低温システム(LT DAC) 熱は水素もしくはガス利用を想定した	熱 (GJ)	6.3 (=1750 kWh)	4.6	730	292
	電力 (kWh)	250	201		

温暖化対策評価モデルDNE21+の概要

(Dynamic New Earth 21+)

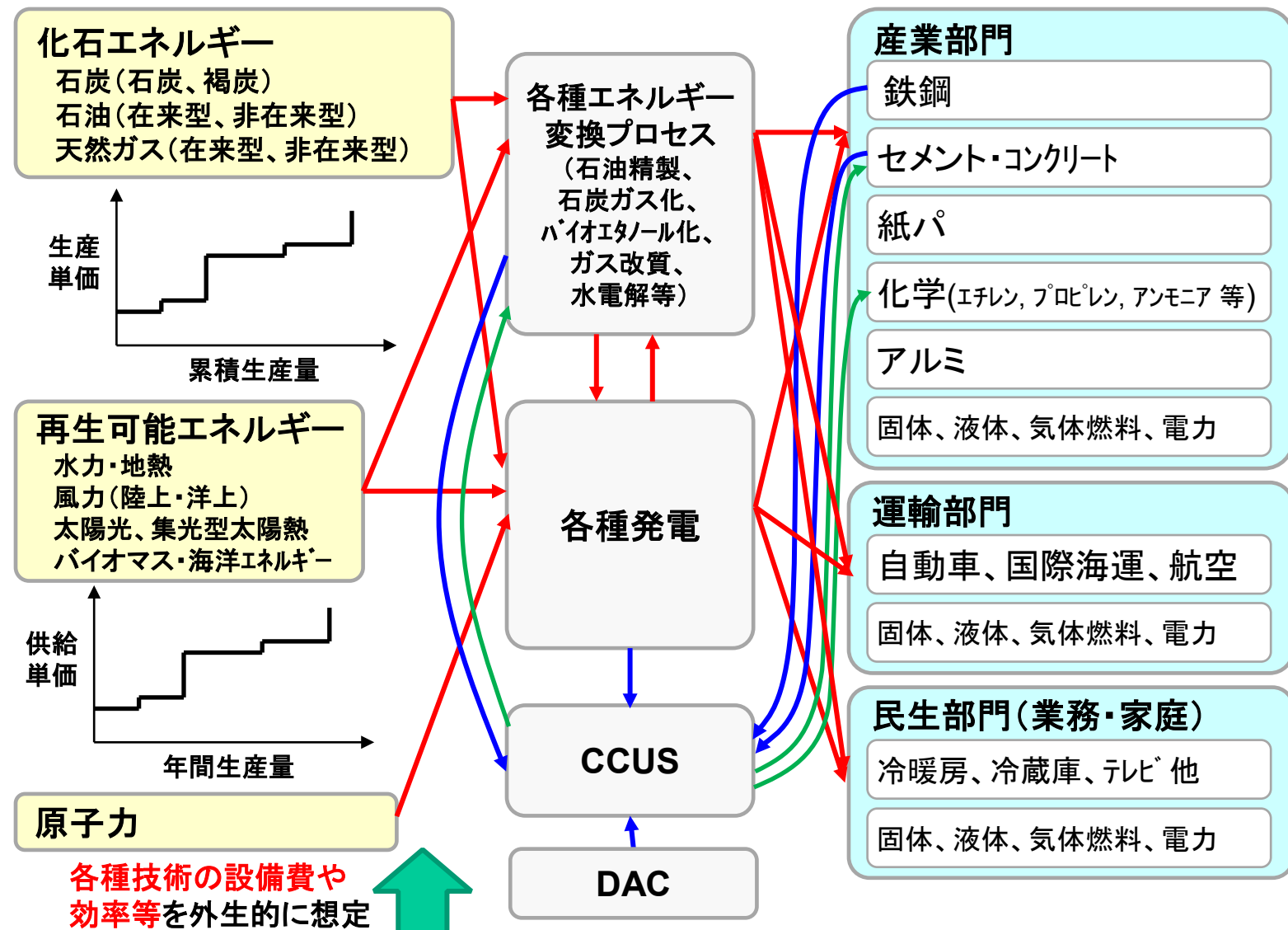
- ◆ 各種エネルギー・CO₂削減技術のシステム的なコスト評価が可能なモデル
- ◆ 線形計画モデル(エネルギーシステム総コスト最小化。決定変数:約1千万個、制約条件:約1千万本)
- ◆ モデル評価対象期間: 2000～2100年(代表時点:2005, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 70, 2100年)
- ◆ 世界地域分割: 54 地域分割(米国、中国等は1国内を更に分割。計77地域分割)
- ◆ 地域間輸送: 石炭、原油・各種石油製品、天然ガス・合成メタン、電力、エタノール、水素、CO₂(ただしCO₂は国外への移動は不可を標準ケースとしている)
- ◆ エネルギー供給(発電部門等)、CO₂回収・利用・貯留技術(CCUS)を、ボトムアップ的に(個別技術を積み上げて)モデル化
- ◆ エネルギー需要部門のうち、鉄鋼、セメント、紙パ、化学、アルミ、運輸、民生の一部について、ボトムアップ的にモデル化。その他産業や民生においてCGSの明示的考慮
- ◆ 国際海運、国際航空についても、ボトムアップ的にモデル化
- ◆ 500程度の技術を具体的にモデル化、設備寿命も考慮
- ◆ それ以外はトップダウン的モデル化(長期価格弾性値を用いて省エネ効果を推定)

- ・ 地域別、部門別に技術の詳細な評価が可能。また、それらが整合的に評価可能
- ・ 非CO₂ GHGについては、別途、米EPAの技術・コストポテンシャル推計を基にしてRITEで開発したモデルを利用

- ・ 中期目標検討委員会およびタスクフォースにおける分析・評価
 - ・ 国内排出量取引制度の検討における分析・評価、環境エネルギー技術革新計画における分析・評価
 - ・ 第6次エネルギー基本計画策定時において基本政策分科会への2050年CN分析の提示
- はじめ、気候変動政策の主要な政府検討において活用されてきた。またIPCCシナリオ分析にも貢献

DNE21+のエネルギーフロー概略

温暖化対策を想定しないベースラインにおける化石燃料価格は外生的に想定し、生産単価や利権料等のその他価格要因を調整する。排出削減を想定したケースでは、それに伴う化石燃料利用量の変化に従って、モデルで内生的に価格が決定される。



ボトムアップ的にモデル化している主要な部門については、**経済活動量やサービス需要**を外生的に想定してモデルに入力する(例：粗鋼やセメント生産量、乗用車の旅客サービス需要等)。

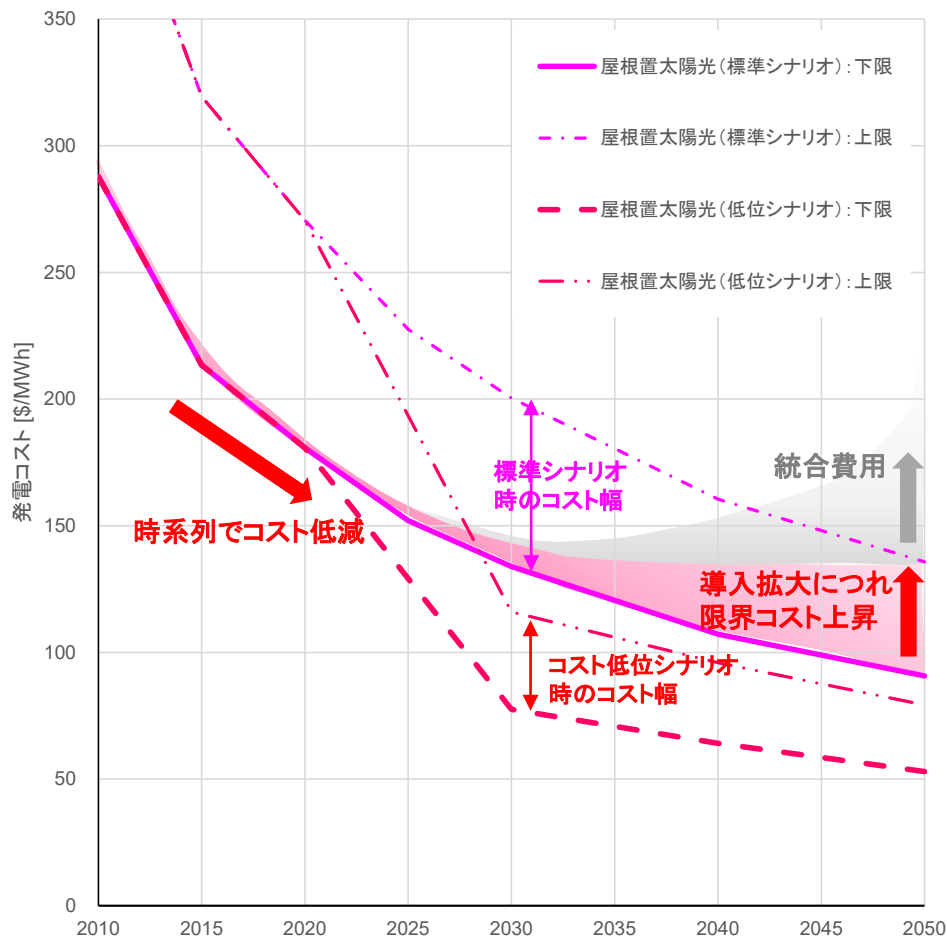
社会経済シナリオの想定：日本

- 人口、世帯数は、人口問題研究所の中位推計ベース
- 第2回検討会で提示したシナリオにおける日本のGDP想定は、2030年までは内閣府が経済財政諮問会議に提出した、「中長期の経済財政に関する試算（令和3年7月21日）」における成長実現ケースの実質GDP成長率に基づいている。
- これは、第6次エネルギー基本計画のマクロフレーム想定と合致している。なお、少なくとも2030までについては、基礎素材の生産量の想定についても第6次エネルギー基本計画の想定とおおよそ似通った想定を行っている。
- 今回、目標値的な「成長実現ケース」に代わり、同じく内閣府が推計している「ベースラインケース」を想定した。ただし、今回の分析では、検討に要する時間の制約上、鉄鋼需要など、生産活動量を個別に想定しているシナリオは更新しなかった。

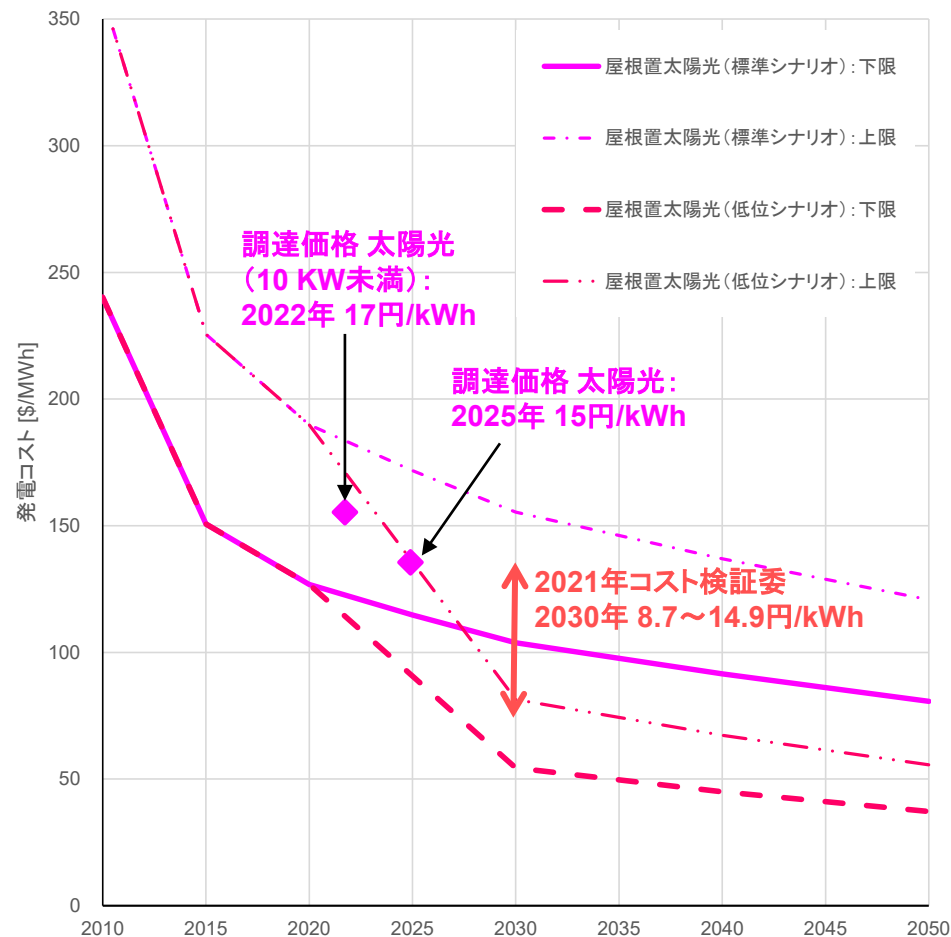
		2015年	2020年	2030年	2040年	2050年
人口(億人)		1.27	1.24	1.18	1.10	1.02
世帯数(千万)		5.44	5.49	5.45	5.16	4.74
GDP (billion US\$/yr at 2000 price)	高位 (成長実現)	5317	5261	6597	6972	7076
	中位 (ベースライン)	5317	5261	6158	6508	6605
一人当たりGDP (thousand US\$/capita)	高位 (成長実現)	42.0	42.3	55.8	63.1	69.2
	中位 (ベースライン)	42.0	42.3	52.1	58.9	64.6

日本の屋根置太陽光発電コストの想定：時系列

ストック



フロー

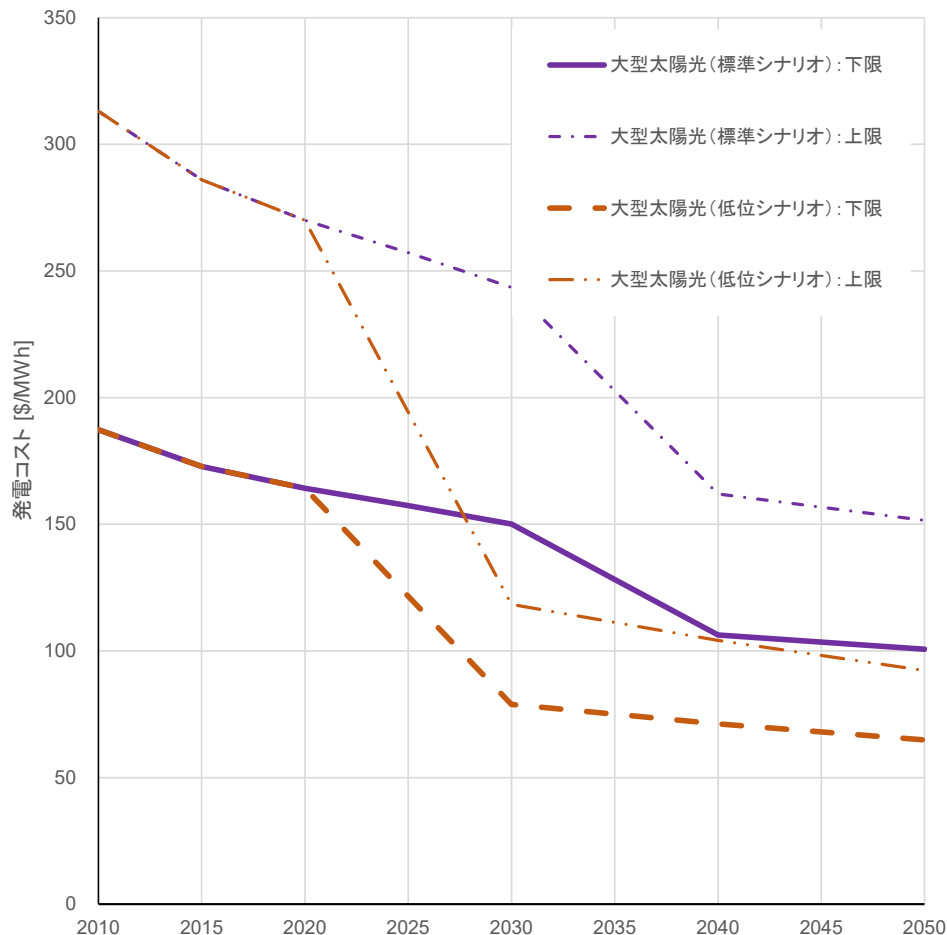


※ 左図にはコストとポテンシャルの関係、統合費用の関係のイメージも記載。大型太陽光、風力も同様

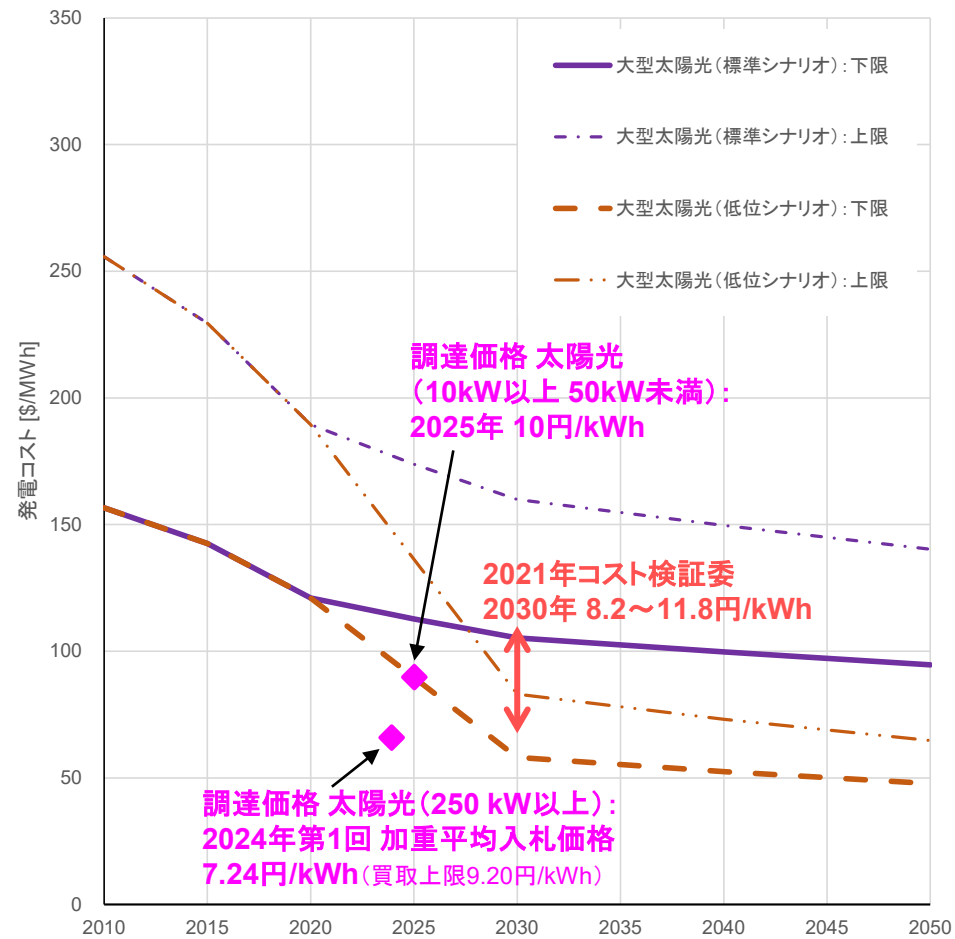
✓ 実績値との比較では、標準シナリオではほぼ整合的。コスト低位シナリオとのギャップは現状では大きい。

日本の大型太陽光発電コストの想定：時系列

ストック



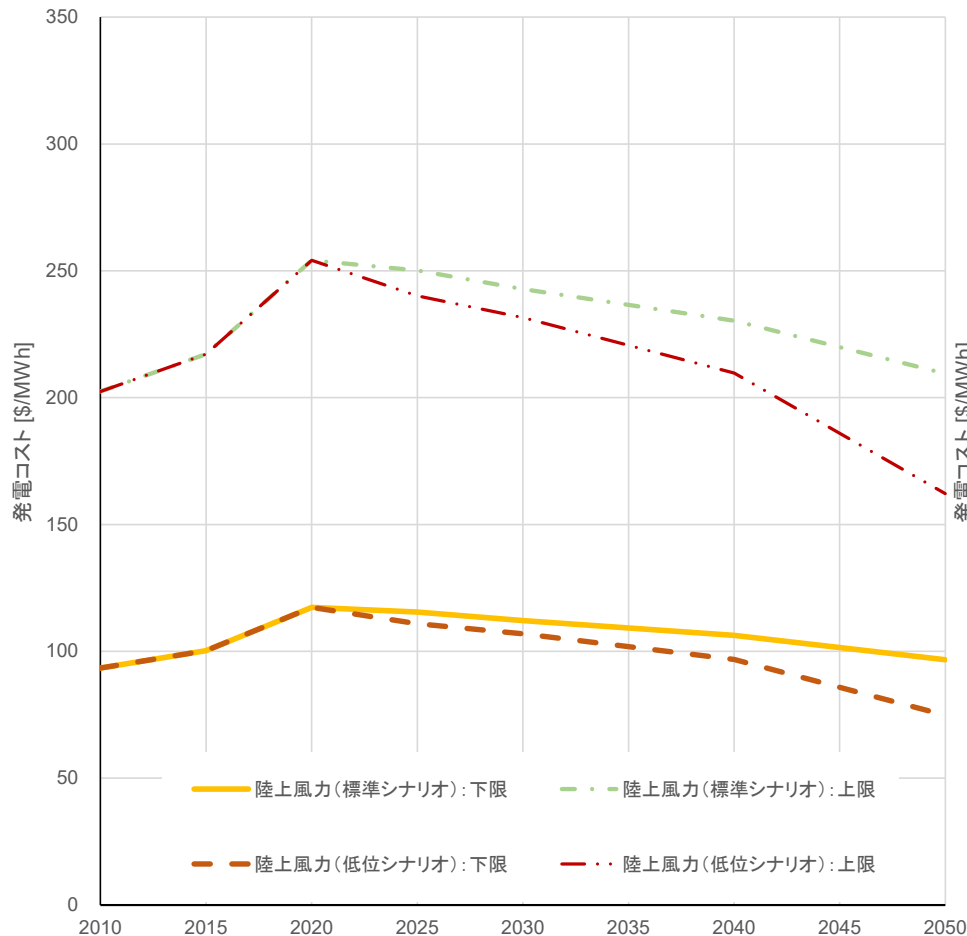
フロー



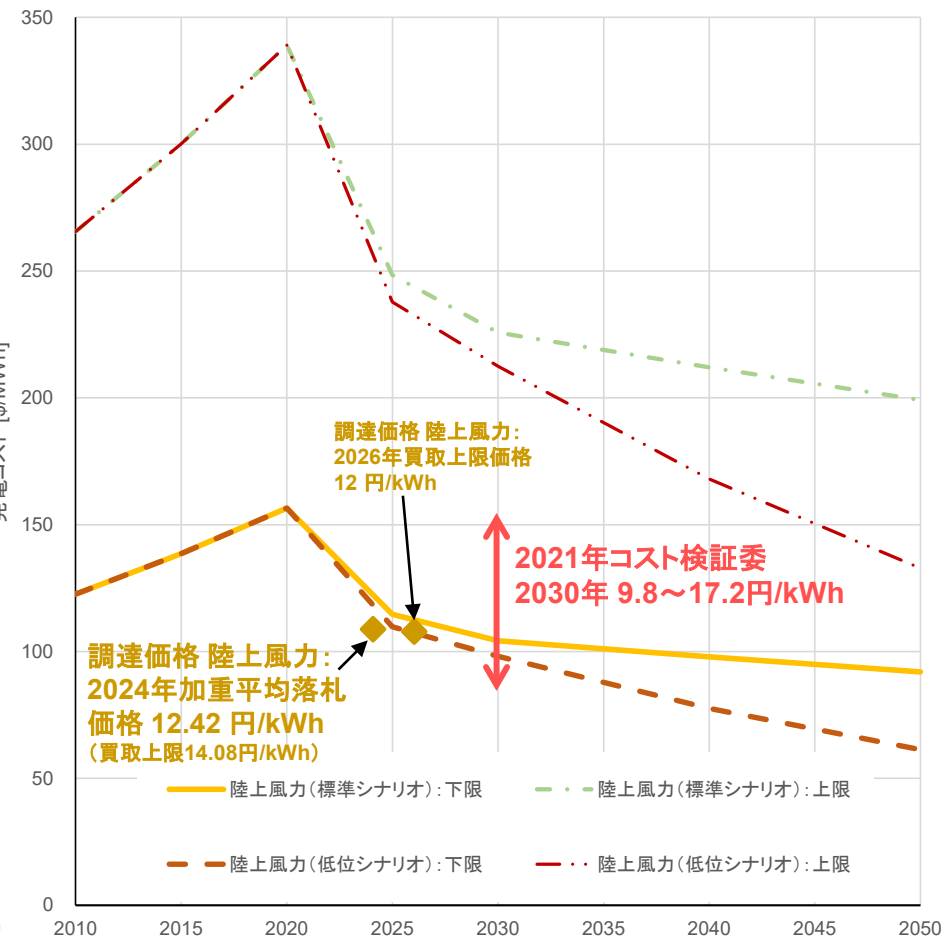
- ✓ 実績値との比較では、標準シナリオよりも若干低位に推移。コスト低位シナリオとはほぼ整合的。
- ✓ 他方、社会制約の強まりにより、社会制約を考慮せずに推定しているポテンシャルを実現しにくくなってきている。

日本の陸上風力発電コストの想定：時系列

ストック



フロー



- ✓ 実績値との比較では、想定シナリオとほぼ整合的
- ✓ 社会制約の強まりにより、社会制約を考慮せずに推定しているポテンシャルを実現しにくくなってきている。

洋上風力設備費の想定(ストック)

標準

		2020	2025	2030	2040	2050
離岸20km 深度20m	着床	47.9	45.9	44.1	40.0	31.9
離岸40km 深度40m		56.5	54.2	52.1	47.2	37.7
離岸60km 深度60m		69.8	66.9	64.3	58.3	46.5
離岸20km 深度100m	浮体	71.8	68.8	66.1	59.9	47.9
離岸40km 深度200m		84.7	81.2	78.0	70.7	56.5
離岸60km 深度2000m		104.5	100.2	96.3	87.3	69.7

コスト低減加速

		2020	2025	2030	2040	2050
離岸20km 深度20m	着床	47.9	45.2	42.8	36.1	23.0
離岸40km 深度40m		56.5	53.3	50.5	42.6	27.1
離岸60km 深度60m		69.8	65.9	62.4	52.6	33.5
離岸20km 深度100m	浮体	71.8	68.8	64.2	54.1	34.4
離岸40km 深度200m		84.7	81.2	75.7	63.9	40.6
離岸60km 深度2000m		104.5	100.2	93.5	78.9	50.1

単位: 万円/kW

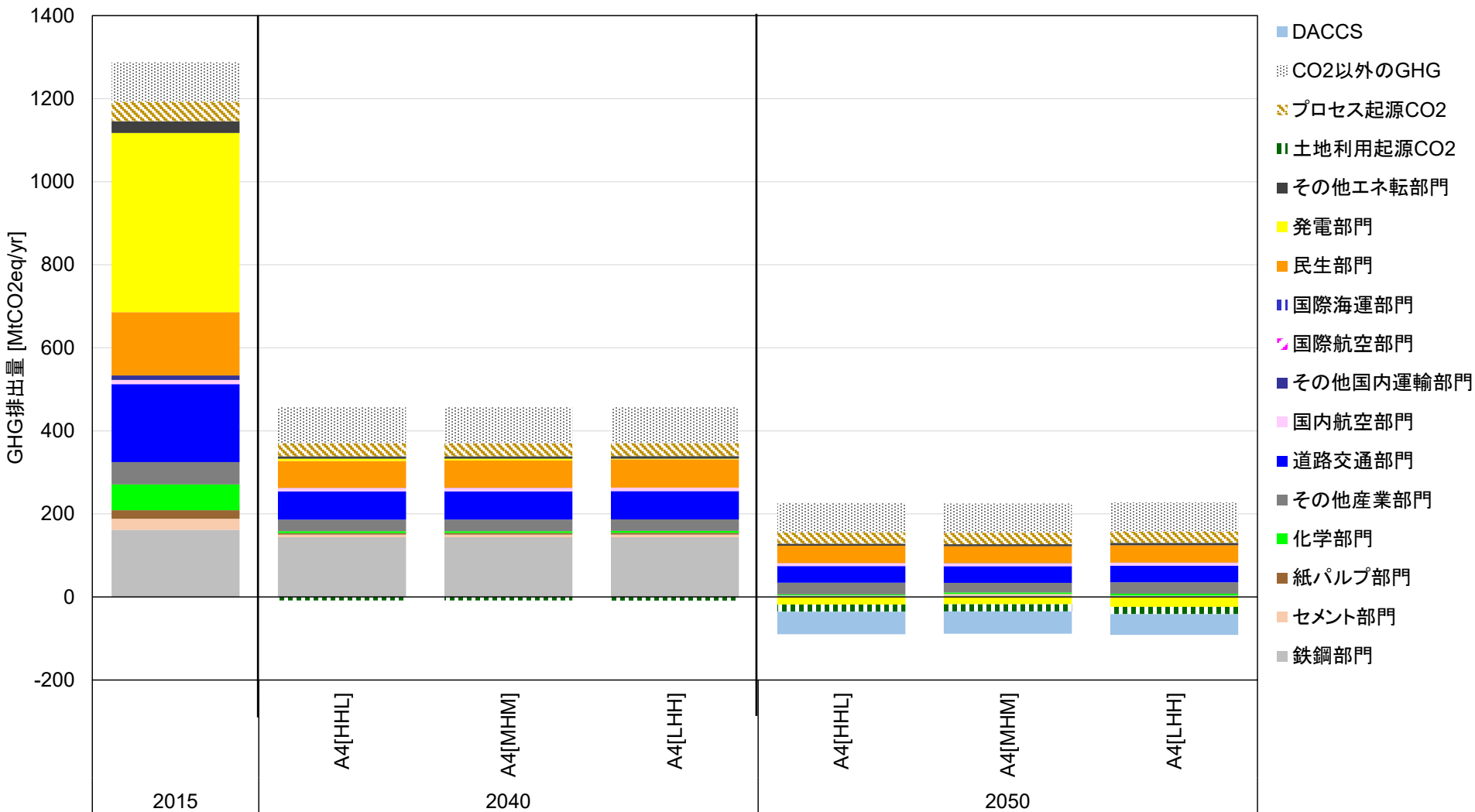
CO₂限界削減費用

[\$/tCO₂]

	2040年			2050年		
	A4[HHL]	A4[MHM]	A4[LHH]	A4[HHL]	A4[MHM]	A4[LHH]
日本	508	497	472	634	650	542
G7以外	342	342	294	346	347	281

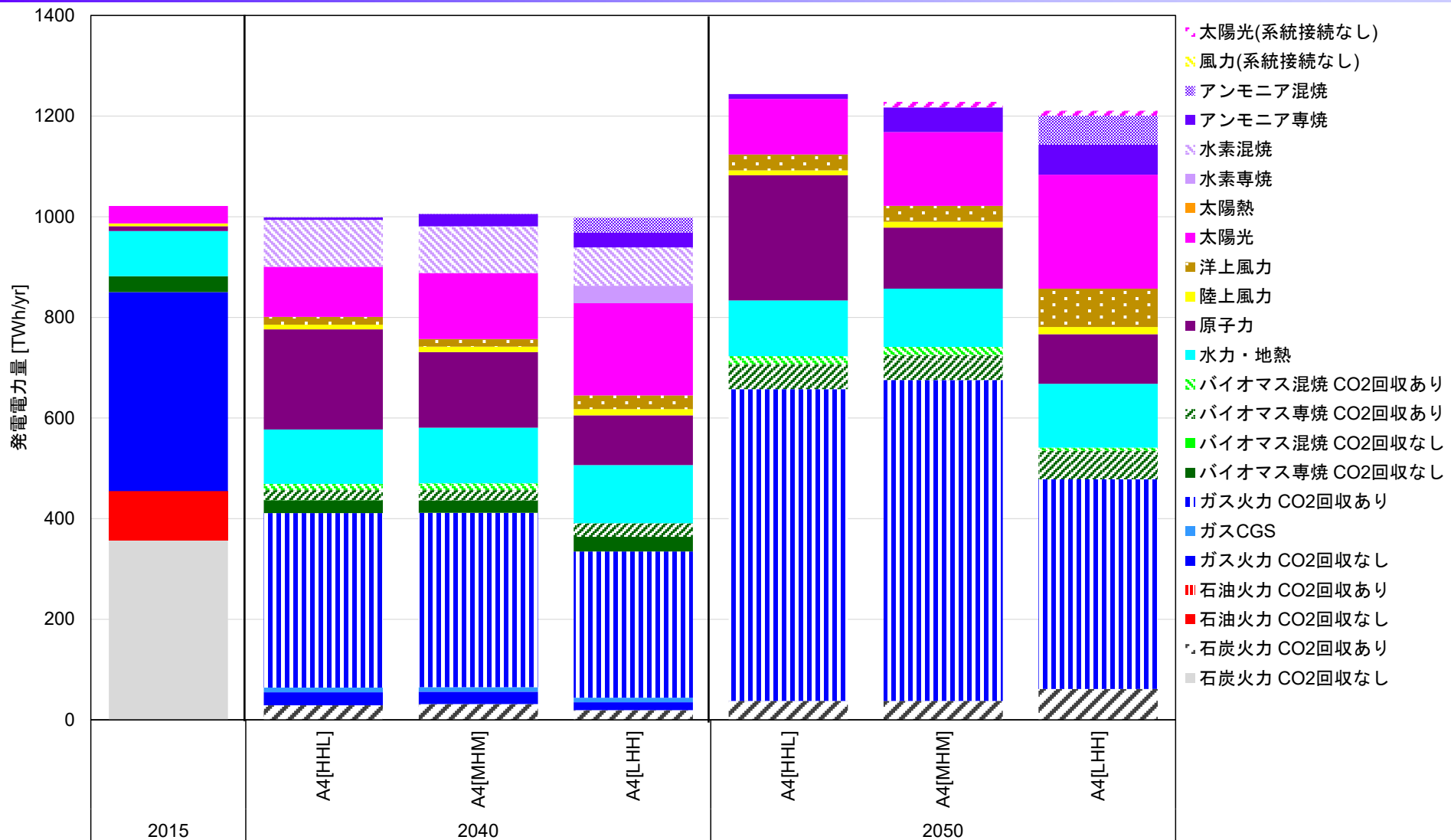
✓ 日本が▲90%を達成するためのCO₂限界削減費用は、▲90%を想定していないG7以外の国のCO₂限界削減費用より高い。

GHG排出量



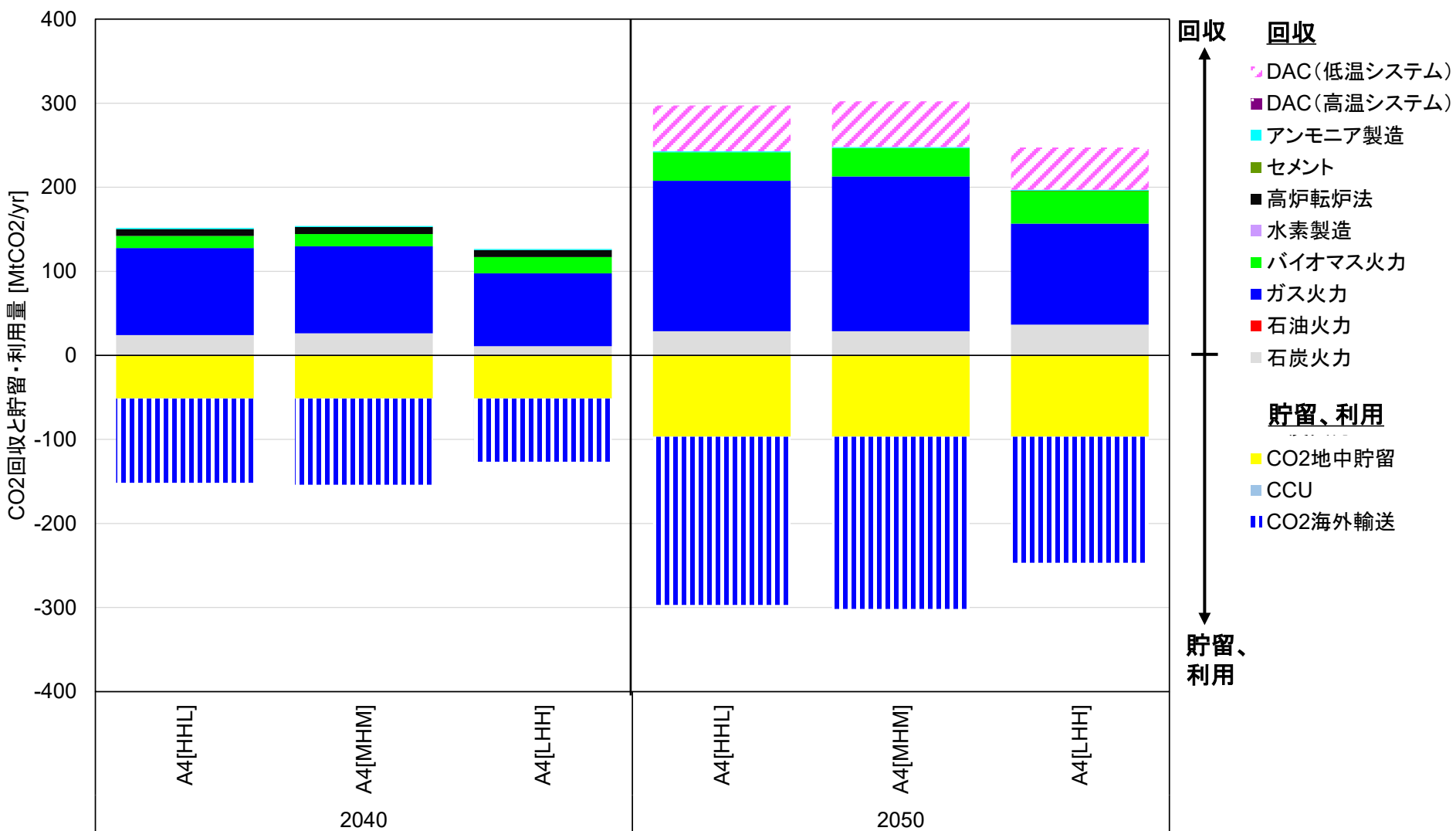
- ✓ ネガティブエミッション技術として、植林によるCO₂固定(土地利用起源CO₂)やBECCS(発電部門)も導入されているが、ポテンシャルの制約から、DACCSによるネガティブ排出量が多い。
- ✓ なお、後のCO₂バランスで示すように、CO₂貯留量は、想定した3.2億トンの上限には達していない(上限まで利用しなくても、他の対策技術による削減で費用効率的に▲90%を達成できる)。

電源構成



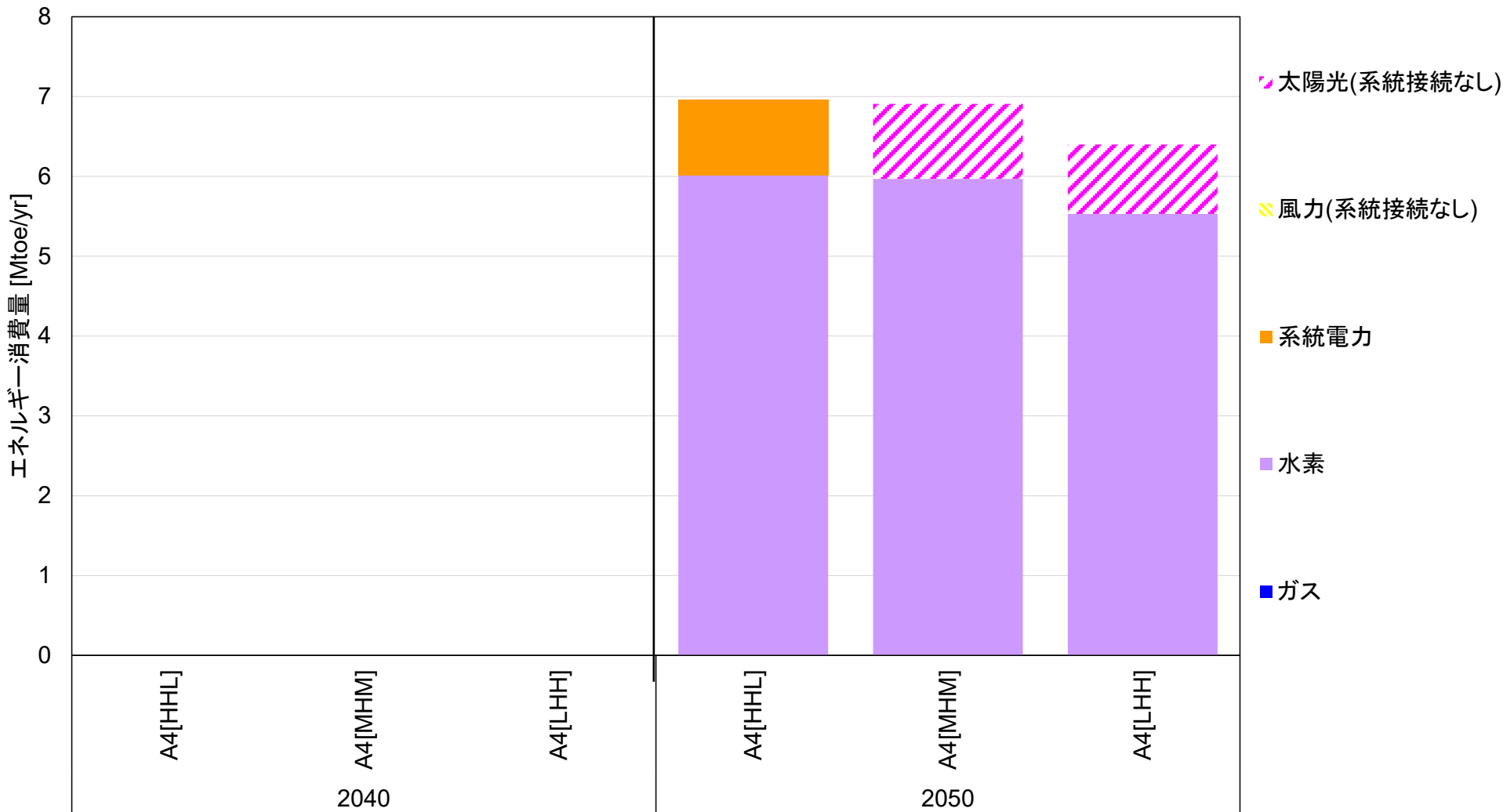
✓ 本分析では▲90%を想定しているが、▲100%となるとガス+CCSを減らして、アンモニア専焼を増やすと同時にDACCSを増やして排出削減を進める結果となっており、排出削減目標によってDACCSの利用量はセンシティブである。

CO₂バランス



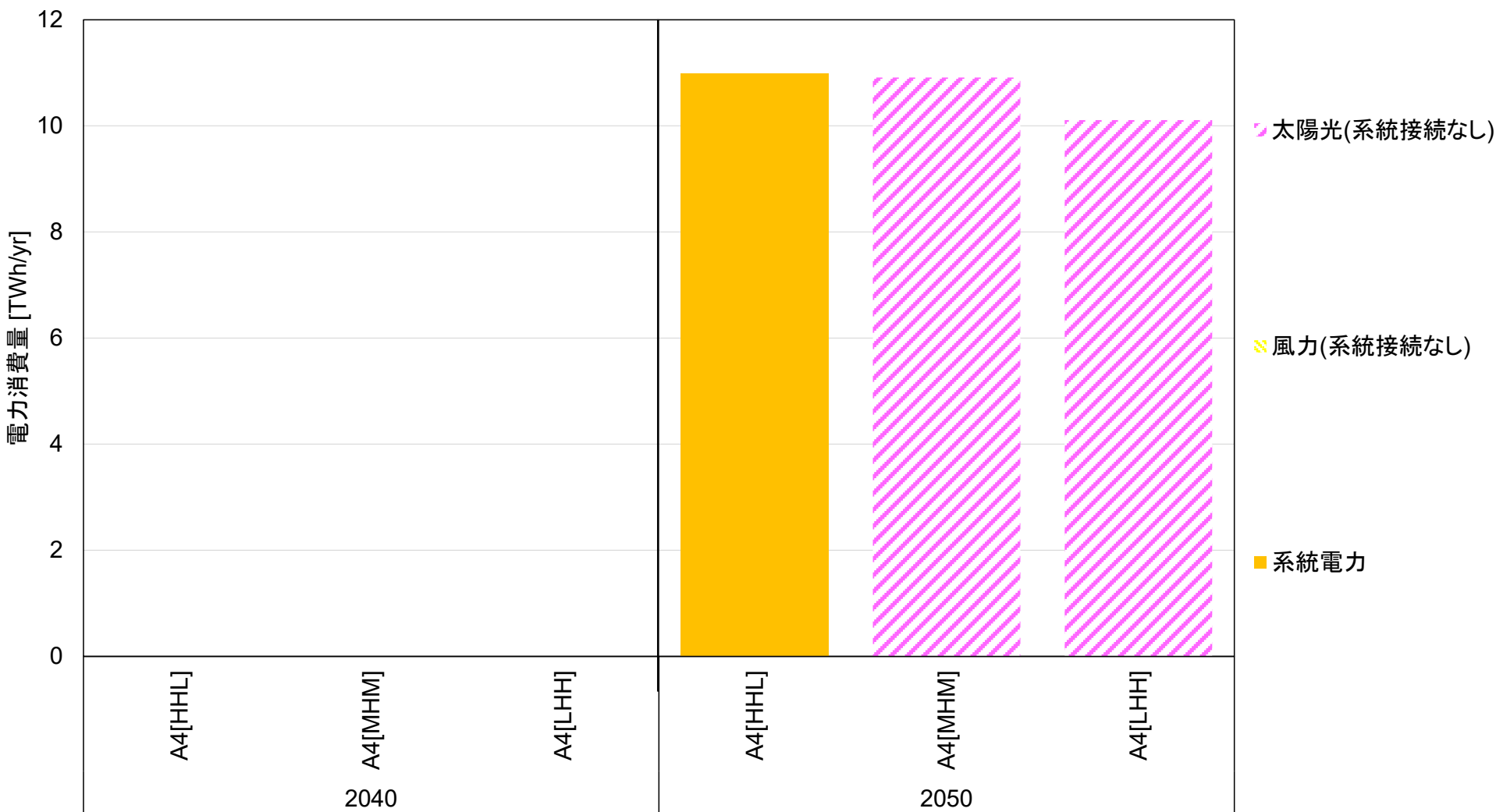
- ✓ DAC技術として、電力の消費量が相対的に少ない、低温システム(熱と電気の併用)が費用効率的であるとして導入されている。
- ✓ DACによる回収量はシナリオ間に大きな差異はなく、50~55MtCO₂/yrと評価されている。

DAC用エネルギー消費量



- ✓ 低温システムでは、熱は、ガスではなく、海外から輸入した水素が利用されている。
- ✓ 原子力が高位でVREのコスト見通しが標準であるA4[HHL]では安価な系統電力が利用されているが、A4[MHM]、A4[LHH]では、系統接続なしの太陽光発電による電力が利用されている。

DAC用電力消費量



- ✓ 原子力が高位でVREのコスト見通しが標準であるA4[HHL]では安価な系統電力が利用されているが、A4[MHM]、A4[LHH]では、系統接続なしの太陽光発電による電力が利用されている。
- ✓ 先のCO₂バランスで示したように、DACによるCO₂回収量に大きな差異はなく、電力消費量についても同様である。