未来社会を支える温暖化対策技術シンポジウム in 関西

2025年9月25日

第7次エネルギー基本計画と国際情勢を踏まえた今後のエネルギー・気候変動政策の展望

（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　グループリーダー
秋 元　圭 吾

目　次

１．日本および世界の排出、環境投資の動向

２．国際情勢を踏まえた排出削減強度に関する感度分析

３．GX-ETSの展望

４．まとめ

付録

1. 日本および世界の排出、環境投資の動向

世界・主要国のCO2排出量の推移

出典）Global Carbon Project, 2024

- 世界全体では、経済とCO2排出量のカップリングは続いている。世界の排出量を簡単に減らせる状況にはない。
- 先進国から、途上国へ、とりわけCO2原単位の高い製造業の移転が起こっている。
- 瞬間的とは言え、2024年の世界平均気温は1.5℃上昇を超えた。
- COP28決定文書ーグローバル・ストックテイクでは「最新のNDCsが完全に実施された場合には2.1～2.8℃の範囲の上昇」

日本のGHG排出量

出典）環境省, 2025

日本のCO2排出削減動向と要因分析例：産業部門

※進捗率：2023年度の削減量/2030年度の削減量
※各年度の%：各年度の総削減量に占める各要因の削減量の割合
※各部門でCO_2排出係数改善の進捗率が異なるのは、電力と燃料の比率、電力の自家発電比率等が部門により異なるため。
※要因分解の活動量には製造業は鉱工業生産指数、非製造業は産業別GDPを使用。
※活動量要因等には要因分解式の構造上、製造業の産業構造の転換等も含む。

＜出典＞温室効果ガスインベントリ、地球温暖化対策計画、総合エネルギー統計（資源エネルギー庁）、2030年におけるエネルギー需給の見通し（関連資料）（以上、資源エネルギー庁）、鉱工業生産指数、生産動態統計（以上、経済産業省）、国民経済計算（内閣府）から作成

出典）政府資料 (2025)

日独米中の集計生産指数：産業のリーケージ

エネルギーコスト・モニタリング（ECM）ECM_JPN_202407© 2024 慶應義塾大学産業研究所 野村研究室

単位：2015年値＝100 。出典：ECM_JPN_202407（慶大産研野村研究室, 2024年8月3日公表）。測定の詳細はNomura and Inaba (2024)"Post-Pandemic Surges of Real Unit Energy Costs in Eight Industrialized Countries,“ RCGW Discussion Paper, Research Center on Global Warming, Development Bank of Japan.

出典）野村浩二, GX専門家WG資料(2024)

Real PLI：実質的なエネルギーの価格の国際格差

※ Real Price Level Index

総合的なエネルギー消費では、**日本の実質的な価格差**は、**米国の3倍**もの水準へ（ただしエネルギー**補助金による減免後**の消費者価格評価）。

電力では、独英の高騰が突出。**日本の**実質的な価格差は本年後半には**米国の2.4倍ほどの**水準見通し。かつての1.7倍から大きく上昇。

単位：米国水準＝1.0 。出典：ECM_202407（慶大産研野村研究室, 2024年8月3日公表）。測定の詳細はNomura and Inaba (2024) "Post-Pandemic Surges of Real Unit Energy Costs in Eight Industrialized Countries," RCGW Discussion Paper, Research Center on Global Warming, Development Bank of Japan.

出典）野村浩二, GX専門家WG資料(2024)

気温上昇の見通し

出典）UNEP, Emissions Gap Report 2024

✓ 現状政策では2.9℃、Unconditional NDCs continuingで2.6℃の上昇と推計されている。

ICMA（国際資本市場協会）の動向

- 2025年6月4日から6日、ICMA（国際資本市場協会）の総会がフランクフルトで開催され、欧州をはじめ、世界中から金融関係者が参加。米国・欧州においても環境が変化してきている中で、**グリーン一辺倒ではなく、現実的なトランジションが重要とする発言が多く聞かれた**。
- その他、ICMA Green Enabling Projects Guidance（GEPG）が2025年6月に改訂され、FAQにおいて新たにグリーン・プロジェクト（GP）とグリーン・イネーブリング・プロジェクト（GEP）の違いやトランジション・ファイナンスとGEPの関係性が明記された。

＜ICMA総会参加者からのコメント＞

- **ウクライナ危機で皆目覚めた**。それまで米国からの安全保障と、ロシアからの安価なエネルギーのお陰で欧州が成り立っていたことを。**安全保障とエネルギー供給への危機感が一気に高まった**。日本の**現実的なトランジションの考えは真っ当だ**。
- **トランジションが指す対象は多様**（各国の置かれているエネルギー等の状況の違い）。**欧州では再エネやグリッド、原子力だろうが、アジアはもっと対象が広い。**
- 脱炭素化はグリーンだけではない。**何がトランジションとなるかは地域によって違いがあり、アジアにおいてはガス転換もありうるだろう**。（英国大手金融機関）
- **現実的な脱炭素化**が今後進んでいく。**金融面で実現できるものはどんどん進んでいくだろう**。（米国資産運用会社）

（ラウンドテーブルの様子）

＜ICMA Green Enabling Projects Guidanceの概要＞

概要・目的	• GEPの定義・評価基準を明確化する、市場の取組をガイドするための文書。よく聞かれる質問への回答を通じ、グリーン、トランジションとGEPとの関係性等を整理。
FAQ 1. GPとGEPの違いは？	• グリーンボンド原則に定義されている通り、GPは直接的に環境改善効果をもたらすことを主目的とされているもの。気候変動の緩和・適応、資源ジャンクな、水の持続的な利用と保全、自然資源保護、生物多様性保護、汚染予防・管理に貢献。 • GEPは現時点では「グリーン」とされておらずとも、GPのバリューチェーン上で必要な事業。再エネに必要な銅の採掘等が一例。
FAQ 2. GEPへの資金提供はトランジション・ファイナンスと見なされるか。	• GEPは、GPのバリューチェーンに不可欠な要素だが、それ自体が直接的な環境インパクトをもたらすとは限らないもの。環境改善に貢献するのは、あくまでGEPを通じ「enable（支援）」されるGP。 • トランジション・ファイナンスは、現在GHG高排出な状態をネットゼロで持続可能な経済に移行するためのもの。 • トランジション・イネーブルド・プロジェクトは、（GEPと同様に）炭素強度の低い経済への移行を支援することを目的としうる。カーボンロックインのリスクの観点から、enableされたプロジェクトが信頼できるトランジション戦略（例：CTFHに整合したもの）に基づき、発行体のネットゼロ達成を支援することが重要。

出典）経済産業省、トランジション・ファイナンス環境整備検討会資料（2025年7月）

２．国際情勢を踏まえた排出削減強度に関する感度分析

2.1. 分析モデルの概要とシナリオ想定

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・CO_2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、CO_2（ただしCO_2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）、CO_2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）
- モデル内でのコストは、実質価格で想定しており、1 USD=110円（2000-10年の平均値）を採用

- 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CO_2 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

シナリオの想定

排出削減シナリオ		シナリオ名	政府シナリオ名	シナリオ概要
排出制約シナリオ	2030年▲46%＋ 2040年▲73%＋ 2050年CN （世界1.5℃未満）	成長実現シナリオ	革新技術拡大	排出削減対策が広範に順調に技術進展する。国際的な排出削減協調も順調で、日本の国際的な相対的エネルギー価格差が適度に収まる。日本の温暖化対策技術が海外にも広く普及。経済と環境の好循環を実現し得る。
		再エネシナリオ	再エネ拡大	再エネの社会共生制約小・コスト低減加速
		水素系燃料シナリオ	水素・新燃料活用	合成メタン（e-methane）・合成燃料（e-fuels）・アンモニアを含め、水素系エネルギーのコスト低減加速
		CCSシナリオ	CCS活用	CO_2貯留の社会障壁小。経済合理的な範囲で広範に普及
		低成長シナリオ	―	技術進展が漸進的。CN対策のため、他国との日本の国際的な相対的エネルギー価格差が拡大。産業の海外移転進展し、経済の大幅な停滞リスク発現
炭素価格シナリオ	技術進展等の不確実性下でのリスク対応の経済と環境の好循環シナリオ （政策目標としては、2040年▲73%＋2050年CNだが、政策変数としては排出削減費用をターゲットとし、技術・社会情勢の不確実性により、結果としての排出量は変化）	排出上振れリスクシナリオ	技術進展	技術進展は「成長実現シナリオ」相当が実現できず、再エネ、CCS・CDR、水素系ｴﾈﾙｷﾞｰ、原子力等の技術進展・普及が抑制的。そのため、海外との相対的なｴﾈﾙｷﾞｰ価格差が広がることから、経済と環境の好循環維持のため、炭素価格政策水準も抑制的となる社会像。炭素価格の想定はNGFS NZE2050（高位）
		排出上振れ大シナリオ	―	同上。炭素価格の想定はIEA NZE（低位）
	経済の優先度をより高めたシナリオ （1.5℃、2050年CN目標からの離脱。誓約済み政策のみ実行）	誓約政策実行シナリオ	―	同上。炭素価格の想定は、誓約済み政策のみの実現を想定したIEA STEPS (Stated Policies Scenario)相当

シナリオの想定：技術想定等

シナリオ	潜在的経済成長	GHG排出削減制約	原子力	再エネ		CCS／CDR	水素・ｱﾝﾓﾆｱ	合成燃料	ﾃﾞｰﾀｾﾝﾀｰ等 IT 需要	自動車	鉄鋼	鉄鋼・化学・自動車等の生産量の展望：炭素価格による生産量低下
	所得効果、人口・なりゆき産業構造変化等	GHG排出削減によって誘発される炭素価格	【上限(2050年)】低位：現状60年運転延長炉 中位：10%（2040年20%程度） 高位：20%	【ﾎﾟﾃﾝｼｬﾙ】低位：太陽光(上限：現状比2倍)、陸上風力制約強(上限：3倍) 高位；太陽光、陸上風力制約弱(上限：現状比4倍)	【ｺｽﾄ】中位/ｺｽﾄ低減加速	【年間貯留ﾎﾟﾃﾝｼｬﾙ(2050年)上限】低位：1.2億ﾄﾝ 高位：2.4億ﾄﾝ	【ｺｽﾄ】中位/ｺｽﾄ低減加速	【ｺｽﾄ】中位/ｺｽﾄ低減加速	将来シナリオ（外生）	【EV】中位/ｺｽﾄ低減加速	水素DRI普及速度	
成長実現シナリオ	GDP高位（内閣府「成長実現ケース」）	世界全体で1.5℃目標、日本2030年▲46%+2040年▲73%+2050年▲100%	高位	高位（最適化計算結果として中位）	ｺｽﾄ低減加速・洋上収斂	高位	ｺｽﾄ低減加速	ｺｽﾄ低減加速	高位	ｺｽﾄ低減加速	高位	小（中弾性(DEARS)）：成長実現シナリオの結果をすべてに適用
再エネシナリオ			中位	高位（最適化計算結果として高位）	ｺｽﾄ低減加速・洋上収斂	低位	中位	中位	高位	ｺｽﾄ低減加速	高位	
水素系燃料シナリオ			中位	高位	中位	低位	ｺｽﾄ低減加速	ｺｽﾄ低減加速	高位	中位	高位	
CCSシナリオ			中位	高位	中位	高位	中位	中位	高位	中位	高位	
低成長シナリオ			低位	低位	中位	低位	中位	中位	中位	中位	中位	大（高弾性＋RAS法）
炭素価格シナリオ		炭素価格	中位	高位	中位	低位	中位	中位	高位	中位	中位	小

※ 2030年は炭素価格シナリオでは炭素価格を想定。その他シナリオでは▲46%を想定。また電源構成比率は第6次エネルギー基本計画のエネミックスで制約。ただし、誓約政策実行シナリオは、2030年エネミックス制約は想定せず、原子力比率上限を15%とした制約のみを考慮

各シナリオの位置づけ

環境（GHG排出量）
良
悪
成長実現シナリオ
エネルギー需給見通しシナリオ
排出上振れリスクシナリオ
排出上振れ大シナリオ
誓約政策実行シナリオ
一部の技術進展が停滞、一部普及制約が強
シナリオ想定外の技術進展など
相対的なエネルギー価格を踏まえた更なるリスク対応も重要
再エネシナリオ
水素系燃料シナリオ
CCSシナリオ
技術進展がなりゆき的、技術普及制約強
エネルギー安全保障・安定供給、経済性（相対的なエネルギー価格）に配慮したリスク対応
リスク対応
低成長シナリオ
世界の気候変動緩和への取り組み破綻
日本2040年▲73%、2050年CN
世界1.5℃未満
更に大きなリスクも
良
経済
悪

排出上振れシナリオで想定した炭素価格（1.5℃／2050年CN）

注1）NGFS：Network for Greening the Financial System（気候変動リスク等に係る金融当局ネットワーク）

注2）表示は、米国消費者物価指数を用いて2015年価格に変換している。

注3）IEA NZEシナリオも著名だが、特異に安価な炭素価格推計となっている。

- ✓ **NGFSでは3モデルによってシナリオ分析・策定している。RITEの成長実現シナリオの日本のCO2限界削減費用は、REMINDモデルのDivergent Net Zero（国間で限界削減費用の差異有）に近い。**
- ✓ **他方、Net Zero 2050シナリオ（国間の炭素価格均等化）の限界削減費用の3つのモデル平均値は少し低い水準。NGFS Net Zero 2050シナリオの3つのモデルの平均炭素価格の場合の日本の排出量を推計**

IEA WEOシナリオにおける炭素価格：排出上振れ大シナリオ、誓約政策実行シナリオ

USD (2023, MER) per tonne of CO_2	2030	2035	2040	2050
Stated Policies Scenario 誓約政策実行シナリオの炭素価格想定				
Canada	126	126	126	126
Chile and Colombia	21	24	28	28
China	39	43	46	52
European Union	140	145	149	158
Korea	56	65	73	89
Announced Pledges Scenario				
Advanced economies with net zero emissions pledges*	135	160	175	200
Selected emerging market and developing economies with net zero emissions pledges**	40	65	110	160
Other emerging market and developing economies	-	6	17	47
Net Zero Emissions by 2050 Scenario 排出上振れ大シナリオの炭素価格想定				
Advanced economies with net zero emissions pledges*	140	180	205	250
Selected emerging market and developing economies with net zero emissions pledges**	90	125	160	200
Selected emerging market and developing economies without net zero emissions pledges	25	50	85	180
Other emerging market and developing economies	15	25	35	55

日本は韓国の炭素価格を援用

* Includes all OECD countries except Mexico. ** Includes China, India, Indonesia, Brazil and South Africa. *** Regions excluding OECD countries, selected emerging market and developing economies with net zero emissions pledges, developing Asia and sub-Saharan Africa.

Note: MER = market exchange rate. Values are rounded.

世界全体の排出量・気温上昇

		2040年GHG排出削減率（2019年比）	CO_2排出量の正味ゼロ排出実現時期	気温上昇	
				ピーク	2100年
IPCC C1：1.5℃ オーバーシュート無もしくは小		69 [58–90] %	2050–55年	1.6℃ [1.4–1.6]	1.3℃ [1.1–1.5]
IPCC C2：1.5℃ オーバーシュート有		55 [40–71] %	2055–60年	1.7℃ [1.5–1.8]	1.4℃ [1.2–1.5]
分析シナリオ	2040年▲73%＋2050年CN	62 % (エネ起CO_2：71–72%)	2050–55年	1.7℃	1.4℃
分析シナリオ	炭素価格シナリオ (排出上振れシナリオ)	52 % (エネ起CO_2：54%)	2050–55年	1.7℃	1.5℃
分析シナリオ	炭素価格シナリオ (排出上振れ大シナリオ)	24% (エネ起CO_2：8%)	—	2.4℃	2.4℃
分析シナリオ	誓約政策実行シナリオ	1% (エネ起CO_2：▲28%)	—	3.2℃	3.2℃

出典）IPCCの数字は、IPCC WG3第6次評価報告書 Table SPM.2より

2.2. シナリオ分析結果

CO_2限界削減費用（経済フィードバック計算前）

		排出削減シナリオ（2040年▲73%）					炭素価格シナリオ		
		成長実現シナリオ	再エネシナリオ	水素系燃料シナリオ	CCSシナリオ	低成長シナリオ	排出上振れシナリオ	排出上振れ大シナリオ	誓約政策実行シナリオ
日本	2040	301	369	467	396	538	257	116	41
	2050	578	716	742	892	951	500	141	50
米国	2040	294	350	409	362	410	257	116	0
	2050	262	348	454	350	467	500	141	0
英国	2040	294	350	419	369	428	257	116	84
	2050	317	387	558	452	579	500	141	89
EU	2040	298	350	409	362	410	257	116	84
	2050	413	516	648	541	664	500	141	89
その他	2040	294	350	409	362	410	257	20～116	0～84
	2050	262	348	454	350	467	500	31～141	0～89

単位：USD/tCO_2（2000年価格）

✓ 現状での国際情勢とそれに伴う産業リーケージの防止の視点からは、今回、追加分析した2つの炭素価格シナリオにおける炭素価格水準程度を視野に入れる必要があると考えられる。

日本のエネルギーシステムコスト増分、電力費用
（経済フィードバック計算前）

	成長実現シナリオ		再エネシナリオ		水素系燃料シナリオ		CCSシナリオ		低成長シナリオ		排出上振れシナリオ		排出上振れ大シナリオ		誓約政策実行シナリオ	
	2040	2050	2040	2050	2040	2050	2040	2050	2040	2050	2040	2050	2040	2050	2040	2050
エネルギーシステムコスト増分 [billion US$/yr]*1	[+48]	[+129]	[+61]	[+193]	[+105]	[+256]	[+85]	[+226]	[+152]	[+337]	[+97]	[+166]	[+84]	[+93]	[+67]	[+74]
電力限界費用 [US$/MWh]*2	212	197	224	258	251	287	242	279	311	318	213	244	168	162	141	125
電力平均費用 [US$/MWh] *3	139	134	141	168	155	186	146	147	154	213	130	147	104	122	89	89

*1 []（青字）はベースラインからのコスト増分。
*2 発電端での限界費用。ただし、系統統合費用は含む。2020年のモデル推計の電力限界費用は166 US$/MWh
*3 発電端での平均費用。ただし、系統統合費用は含む。2020年のモデル推計の電力平均費用は95 US$/MWh

✓ 「排出上振れ大シナリオ」になると、2040～50年の電力費用は、現状比並み

一次エネルギー供給量

日本全体のGHG排出量（2013年比）[2022年▲23%]

最終エネルギー消費量

日本全体のGHG排出量（2013年比）[2022年▲23%（森林吸収源対策含）]

- ✓ 電化率は、排出制約が厳しい（炭素価格が高い）ほど高くなる。
- ✓ 「排出上振れ大シナリオ」、「誓約政策実行シナリオ」では、2050年までには最終エネルギー消費での水素、アンモニア、e-methane、e-fuelsの利用はかなり抑制される。

発電電力量

日本全体のGHG排出量（2013年比）[2022年▲23%（森林吸収源対策含）]

- ✓ 「排出上振れ大シナリオ」では、2050年でもCCS無しのLNG-CCが主流
- ✓ 「誓約政策実行シナリオ」では、2050年においてもCCS無しの石炭火力も経済性を有する。

電力のCO2排出原単位推移

✓ 電力CO2原単位の展望にも大きな幅が予想される。

2.3. IEA WEOとの比較

IEA WEO2023との比較：最終エネルギー消費量

✓ 同じ炭素価格水準のシナリオ（STEPSと誓約政策実行シナリオ）で比較すると、IEAの推計はかなり最終エネルギー消費量が小さく推計されている。

IEA WEO2023との比較：発電電力量

✓ 同じ炭素価格水準のシナリオ（STEPSと誓約政策実行シナリオ）で比較すると、IEAの推計はかなり再エネ比率が高く、化石燃料が抑制的に推計されている。

3. GX-ETSの展望

GX経済移行債による補助金と負担の関係

成長志向型カーボンプライシング

- GXに取り組む期間を設けた上で導入
- 最初は低い負担で導入し、徐々に引き上げ
- その方針を予め示すことで、GX投資を前倒し

<負担に係る中長期的イメージ>

※　エネルギーに係る負担減少の範囲内で、以下を徐々に導入
① 排出枠の発電事業者への有償化（2033年度～）
② 炭素に対する賦課金（2028年度～）

出典) 政府資料 (2022)

GX-ETSのスケジュール

- 2023年度より、**カーボンニュートラルに向けて野心的に取り組む企業が参加する「GXリーグ」において、自主的な排出量取引制度を試行**。**日本の温室効果ガス排出量の5割超**を占める企業が参加。
- ＧＸリーグにおける試行的取組の成果を踏まえ、2026年度より、**排出量取引を義務化**。

出典）産構審第１回小委員会資料 (2025年7月)

20兆円歳入のためのCP（エネ研試算）

化石燃料賦課金

特定事業者（発電）負担金（GX-ETS発電事業者オークション価格）

注：特定事業者負担金単価のkWh換算には、エネルギー基本計画における2030年度の発電量(9,340億kWh程度)が2050年度まで同等であると仮定して試算した

出典）エネ研　清水、坂本(2023)

日本の2040年の部門別・技術別の排出削減ポテンシャル・コスト
―成長実現シナリオ技術想定―

注）部門別・技術別の排出削減効果は、交差項の部門や対策、技術に割り当てる際の定義によって、部門・技術毎の削減効果の大きさは変化する。推計の削減ポテンシャルは目安として理解されたい。

日本の2040年の部門別・技術別の排出削減ポテンシャル・コスト
―成長実現シナリオ技術想定― 200$/tCO2以下拡大表示

※CO_2以外のGHGは、CH_4、N_2O、PFCs、SF_6を考慮

注）部門別・技術別の排出削減効果は、交差項の部門や対策、技術に割り当てる際の定義によって、部門・技術毎の削減効果の大きさは変化する。推計の削減ポテンシャルは目安として理解されたい。

日本の2040年の部門別・技術別の排出削減ポテンシャル・コスト

―排出上振れシナリオ技術想定― 200$/tCO2以下拡大表示

※CO_2以外のGHGは、CH_4、N_2O、PFCs、SF_6を考慮

注)部門別・技術別の排出削減効果は、交差項の部門や対策、技術に割り当てる際の定義によって、部門・技術毎の削減効果の大きさは変化する。推計の削減ポテンシャルは目安として理解されたい。

主要な論点

- 規制対象は直接排出（電力の間接排出は価格転嫁によって間接的に削減される）。他方、これまでも高度化法義務達成市場の費用の経過措置料金への簡便な料金転嫁は実現してきておらず、GX-ETSの費用の電気料金転嫁問題は別途課題（有償オークション後は無論のこと、料金転嫁ができなければGX-ETS制度は歪む）
- 一方、ベンチマーク設定では、原則、間接排出を含めて設定されるべき。そうしなければコジェネ選択などにおいて歪みが生じる。
- 電力の無償排出枠の割り当て方法としての電力ベンチマークの設定（公平な割り当てとは？）：全電源原単位 vs 火力平均原単位 vs 燃料種別原単位
- その他、製造業含め、ベンチマーク設定の精緻化度合いの違いや、グランドファザリングを選択せざるを得ない、業種、企業間での不公平感
- 仕上がりのETS対象部門全体の排出削減水準は炭素価格水準で決まり、排出枠の割り当て方法によっては決まらないが、公平性の問題、また、将来への投資余力を奪うことにもなりかねず、慎重な設定が必要
- 取引価格の上下限の設定の課題：2030年▲46%、2040年▲73%等の限界削減費用では高すぎて、産業リーケージのリスクを高める。安価すぎると削減効果無。財源問題も

4. まとめ

まとめ

- **第7次エネルギー基本計画では、**
  - CO_2排出削減に対応するための電化促進に加え、データセンター等のIT関連の需要増への対応の必要性
  - 増大し得る電力需要に対して、安定的で国際的に遜色のない低廉なコストでの電力供給の重要性の指摘
  - ロシアのウクライナ侵略や、2022年3月の電力需給逼迫など、エネルギー安定供給・安全保障を脅かす事象への対応、また、再エネ・蓄電池等の中国依存の高さに伴う経済安全保障上の課題への対応の必要性。
  - このような状況を踏まえ、 世界での1.5℃目標の実現、そして日本として2040年▲73%、2050年CNの排出削減目標を掲げつつ、排出上振れリスク対応（需給見通しの名称は「技術進展シナリオ」）としてのLNGの長期契約およびその活用の重要性も強調

などもなされた。

- **ただ、現状での政府の方針上、1.5℃目標、2050年CN、2030年▲46%はベースとなっているが、足下の世界排出量や、米国トランプ政権の動向をはじめ、現在の国際情勢は斑模様であり、それら状況を踏まえると、公式目標と離れたシナリオ検討も重要**
- **本報告では、「排出上振れ大シナリオ」や「誓約政策実行シナリオ」も分析。これらシナリオの分析結果についても視野に入れてのリスク対応が必要とも考えられる。**
- **GX-ETSの具体的な制度設計の議論が進んでいる。炭素価格の上下限制約を設けるとされているが、世界は1.5℃目標からの乖離が明確になってきている。このような中、2030年▲46%ベースでの炭素価格設定を考えることも難しくなってきている。**
- **実際の政策では、GI基金やGX経済移行債による脱炭素対策への補助と、GX-ETS等の経済的手法の炭素価格政策（高い炭素価格設定は現実には困難）等がミックスし、ここで分析したようなシナリオでの対策のミックスのような対策を実施することで、多くの不確実性に対応しながら柔軟性を持った対策を進めることとなると考えられる。**

付録1：世界エネルギー・温暖化対策評価モデルDNE21+の前提条件

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。

化石エネルギー
- 石炭（石炭、褐炭）
- 石油（在来型、非在来型）
- 天然ガス（在来型、非在来型）

再生可能エネルギー
- 水力・地熱
- 風力（陸上・洋上）
- 太陽光、集光型太陽熱
- バイオマス・海洋ｴﾈﾙｷﾞｰ

原子力

各種技術の設備費や
効率等を外生的に想定

各種エネルギー変換プロセス
（石油精製、石炭ガス化、ﾊﾞｲｵｴﾀﾉｰﾙ化、ガス改質、水電解等）

各種発電

CCUS

DAC

産業部門
- 鉄鋼
- セメント・ｺﾝｸﾘｰﾄ
- 紙パ
- 化学(ｴﾁﾚﾝ, ﾌﾟﾛﾋﾟﾚﾝ, ｱﾝﾓﾆｱ 等)
- アルミ
- 固体、液体、気体燃料、電力

運輸部門
- 自動車、国際海運、航空
- 固体、液体、気体燃料、電力

民生部門（業務・家庭）
- 冷暖房、冷蔵庫、ﾃﾚﾋﾞ 他
- 固体、液体、気体燃料、電力

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（概略）

IPCCの招請を受けて、共有社会経済経路（SSPs: Shared Socioeconomic Pathways）を策定中（SSP1～5の5種類のシナリオ）。SSPsのストリーラインに沿った定量的なシナリオを策定している。本分析では、その内、中位的なSSP2の社会経済シナリオを想定

【世界】

	2030年	2050年	2100年
人口（億人）	**83.6** (81.4-85.9)	**92.1** (86.1-100.5)	**93.1** (70.0-127.3)
GDP（%／年）	**2.7** (2.4-3.1) [2010年～]	**2.2** (1.3-2.8) [2030年～]	**1.4** (0.6-2.2) [2050年～]
粗鋼生産量（億トン）	**19.0** (18.8-20.0)	**20.7** (19.3-22.7)	**22.7** (14.7-26.5)
セメント生産量（億トン）	**41.0** (39.0-43.0)	**43.4** (38.5-46.6)	**44.1** (29.4-59.1)
道路部門の旅客輸送需要（兆p-km）	**30.2** (31.2-37.3)	**60.0** (56.8-74.2)	**83.3** (66.8-88.8)

注）括弧内は、SSP1～5までのシナリオの幅

【日本】（下記、記載のGDP想定は「成長実現ケース」ベース）

	2030年	2050年	2100年
人口（億人）	**1.18**	**1.02**	**0.84**
GDP（%／年）	**1.7** [2023年～]	**1.2** [2030年～]	**0.4** [2050年～]
粗鋼生産量（億トン）	**0.88**	**0.90**	**0.84**
セメント生産量（億トン）	**0.53**	**0.43**	**0.39**
道路部門の旅客輸送需要（兆p-km）	**0.77**	**0.64**	**0.51**

注1）記載は潜在的なGDP、生産量等。本分析では、経済分析も行い、GDPの見通しや各種生産量の見通しを別途、推計
注2）エネルギー需要や発電電力量はモデルで内生的に計算される。

日本の変動性再エネコスト・ポテンシャルの想定（2050年）

1USD=110円（2000-10年の平均値）

※ 当該時点（当グラフでは2050年）で運用されている設備の平均的なコスト曲線（ストックベースのコスト）

注）太陽光のポテンシャルには、原則的に、強度の足りない屋根設置のポテンシャルが含まれている。営農型太陽光のポテンシャルは原則含まれない。ただし、GISの土地利用評価の精度によるため厳格な区分ではない。

統合費用の想定：東大-IEEJ電源構成モデルの分析結果を活用

- DNE21+モデルは世界モデルであるため、国内の電力系統や再エネの国内での地域偏在性を考慮した分析は難しい。そこで系統対策費用については、別途、東京大学藤井・小宮山研究室および日本エネルギー経済研究所による最適電源構成モデルによる、変動性再生可能エネルギーが大量に導入された場合の電力システム費用の上昇分（統合費用）を推計結果を活用
- 全国のAMeDASデータ等をもとに変動性再生可能エネルギーの出力の時間変動をモデル化し、線形計画法によって電力部門の最適な設備構成（発電設備及び蓄電システム）及び年間の運用を推計
- 今回は日本全体を5地域（北海道、東北、東京、九州、その他）に区分し、1時間刻みのモデル化により計算を実施。発電コストや資源制約などの前提条件はDNE21+の想定に合せて設定

モデル計算で考慮されているもの ・・・ 出力抑制、電力貯蔵システム（揚水発電、リチウムイオン電池、水素貯蔵）、発電設備の利用率低下、地域間連系線、貯蔵や送電に伴う電力ロス

モデル計算で考慮されていないもの ・・・ 地内送電線、配電網、回転慣性の低下の影響、EVによる系統電力貯蔵、再生可能エネルギー出力の予測誤差、曇天・無風の稀頻度リスクなど

太陽光発電の出力例

東大-IEEJ電源構成モデルの分析結果から近似した系統統合費用
＝DNE21+で想定した系統統合費用の想定（各導入シェア実現時の限界費用）

- VRE比率が高まると、限界統合費用は比較的急速に上昇傾向有。これは、既にVREが大量に導入されている状況で更に導入を進める場合、曇天・無風状態が数日以上継続するリスクに対応するため、利用頻度の低い蓄電システムや送電線を保持することが必要となることによる。
- 例えば、再エネ比率50%程度（太陽光約400TWh、風力約100TWh）のケースにおいては、蓄電池導入量は最適化計算の結果、870GWh、再エネ100%程度（VRE56%）のケースでは3980GWh程度となる。（足下導入量約10GWh程度）

付録２：世界エネルギー経済モデル DEARS概要と経済計算

エネルギー需給・経済影響分析の手法

日本：成長実現ケース
GDP想定＝実質1.7%/年相当

世界他国：中位的な社会経済シナリオ想定SSP2想定

整合的なエネルギー需要・基礎素材生産量等

GHG排出経路の想定

世界ｴﾈﾙｷﾞｰ・温暖化対策評価モデルDNE21+等で費用最小化のｴﾈﾙｷﾞｰｼｽﾃﾑとｺｽﾄ推計

成長実現シナリオ（および各種技術シナリオ）

世界での相対的なエネルギー価格差：小
＋低価格弾性

世界エネルギー経済モデルDEARSでGDPや各産業の生産量低下を推計（過去の長期における弾性値を踏まえた均衡解を導出）

日本の低炭素・脱炭素技術の海外市場獲得効果を加算

DNE21+で再計算

成長実現シナリオの経済展望

成長実現シナリオのエネルギー需給

世界各国のCO_2限界削減費用

低成長シナリオ

世界での相対的なエネルギー価格差：大
＋高価格弾性

欧州等で近年観測されている高いエネルギー価格弾性値（▲1.0）を採用。RAS法により、部門間の均衡解を導出。GDPの低下、各産業の生産量低下を推計

DNE21+で再計算

低成長シナリオのエネルギー需給

低成長シナリオの経済展望

世界エネルギー経済モデルDEARS

(Dynamic Energy-economic Analysis model with multi-Regions and multi-Sectors)

- トップダウン型経済モジュールとボトムアップ型エネルギーシステムモジュールの統合モデル
- 動的非線形最適化モデル（世界全体の消費効用最大化）
- モデル対象期間: 21世紀中頃まで（最適化時点間隔　10年）
- 世界地域分割：18地域分割
- 非エネルギー産業分類：16分類（貿易は輸入財・国内財の代替性を考慮[アーミントン構造]）
- エネルギー分類: IEA統計に基づき、一次エネルギー8種、二次エネルギー4種。（IEA統計の鉄鋼部門のエネルギー消費のバウンダリーの修正。）
- GTAP (Global Trade Analysis Project) モデル・データベースに基づく、貿易マトリックスを含む国際産業連関構造を明示した経済モジュール
- 簡略化ながら、ボトムアップ化したエネルギーシステムモジュール
  - ✓ ボトムアップ的にエネルギー供給技術（発電技術等）、CO_2回収・貯留技術をモデル化
  - ✓ 一次エネルギー供給: 8種類をモデル化（石炭、原油、天然ガス、水力・地熱、風力、太陽光、バイオマス、原子力）
  - ✓ トップダウン的にエネルギー需要サイドをモデル化（家計：エネルギー価格・所得弾性、産業・運輸：エネルギー価格弾性、これらはすべて経済モジュールとリンク）
  - ✓ 最終エネルギー消費: 4種類をモデル化（固体燃料、液体燃料、気体燃料、電力）

政府のエネルギー・環境会議選択肢の経済分析等にも活用された。

- *T. Homma & K. Akimoto(2013),"Analysis of Japan's energy and environment strategy after the Fukushima nuclear plant accident ", Energy Policy 62, 1216–1225*
- *本間他(2020)、現状の気候・エネルギー政策を考慮した，パリ協定国別貢献における国際競争力に関する分析、エネルギー・資源、41-5*

生産量・GDPの低下：成長実現・低成長・排出上振れシナリオ

ベースラインからの低減率	成長実現シナリオ（DEARS）		低成長シナリオ（価格弾性：▲1.0、所得弾性：1.0 ＋ RAS法）		排出上振れシナリオ（DEARS）	
	2040	2050	2040	2050	2040	2050
鉄鋼	−3.9%	−11.0%	−41%	−46%	−3.6%	−11.0%
（生産量 [億トン/年]）	（0.86）	（0.80）	（0.53）	（0.49）	（0.86）	（0.80）
化学	−3.7%	−11.2%	−35%	−40%	−3.3%	−10.7%
窯業土石(セメント含)	−2.1%	−2.7%	−30%	−34%	−1.7%	−3.8%
非鉄金属	−1.4%	−2.7%	−35%	−39%	−1.2%	−5.0%
紙パ	−3.5%	−6.3%	−33%	−37%	−3.1%	−7.2%
輸送機械	−4.1%	−6.9%	−42%	−47%	−4.7%	−8.2%
GDP（CO2削減技術の海外市場獲得効果含まず）	−4.1%	−5.6%	−13%	−14%	−3.6%	−5.9%
GDP, GNI（海外市場獲得効果含む）	内閣府「成長実現ケース」の一人当たりGDP成長率を若干上回る水準（海外市場獲得効果：+4%～+5%程度）		上記とほぼ同様（海外市場獲得効果は期待できず）		内閣府「成長実現ケース」の一人当たりGDP成長率とほぼ同等の水準（海外市場獲得効果：+3～4%程度）	
経済成長率：2023年からの年成長率 ※ 人口低減見通しが含まれる	+1.5%/年	+1.2%/年	+0.6%/年	+0.7%/年	+1.4%/年	+1.2%/年

日本の相対的なエネルギー価格が高くなる「低成長シナリオ」では、経済成長率は低位。相対的なエネルギー価格差が小さい「成長実現シナリオ」では、排出削減対策の影響は相対的に小さく、CO2削減対策技術の国際的な優位性が加わることで、CNを実現しつつ内閣府の成長実現ケースの経済成長率（2040年まで1.4%/年）を若干上回る成長を達成

付録３：分析シナリオ補足データ

GHG排出量

- ✓ 2050年CNシナリオでは、2040年には発電部門からのCO2排出量はほぼゼロに。2050年にはBECCS、e-methane＋CCSで、負排出に。
- ✓ 「排出上振れ」、「排出上振れ大」、「誓約政策実行」では、2040年のGHG排出量は、それぞれ6割減、5割減、4割減程度に留まる。

最終エネルギー消費量推計：部門別電力需要

日本全体のGHG排出量（2013年比）[2022年▲23%]

- ✓ いずれのシナリオも2040年に向けて電力需要は増大。2050年に向けては、IT需要、電化需要の一層の高まりにより、さらに増大。「成長実現シナリオ」では、2040年1081、2050年1210 TWh/年
- ✓ 電力需要の増大に対応して、安定的で、低廉なコストの電力供給を実現していく必要有

日本の2040年の部門別・技術別の排出削減ポテンシャル・コスト
―排出上振れシナリオ技術想定―

注）部門別・技術別の排出削減効果は、交差項の部門や対策、技術に割り当てる際の定義によって、部門・技術毎の削減効果の大きさは変化する。推計の削減ポテンシャルは目安として理解されたい。

付録4：GX-ETS関係補足資料

改正GX推進法に基づく排出量取引制度の概要

- 本年５月に、2026年度から一定規模以上の二酸化炭素の排出を行う事業者を対象に排出量取引制度への参加を義務化することを定めた改正GX推進法が成立。

①制度対象者

- CO2の直接排出量が**前年度までの３カ年度平均で10万トン以上**の事業者が対象。
- 義務対象者である親会社等が、**密接な関係にある子会社（義務対象者のみ）も含めて一体で義務を履行することも可能。**

②移行計画の策定

- 対象企業は2050年カーボンニュートラルの実現に向けた排出削減目標や、その他関連事項を含む計画を策定・提出。

→2030年度の直接・間接排出削減目標等の中長期的な排出量の見通しを国が集計・公表。

③排出枠の保有義務

①排出枠の割当ての申請
- 政府指針に基づいて算出した排出枠の量を企業が割当申請。
- 申請に当たっては、第三者機関（登録確認機関）が割当量を確認。

②排出量の算定・報告
- 企業は自らの排出量について、登録確認機関による確認を受けた上で、毎年度国に報告。

③排出枠の保有
- 確認を受けた毎年度の排出実績と同量の排出枠を翌年度の１月31日に保有することを義務づけ。

④不履行時の扱い
- 保有義務の未履行分×上限価格の1.１倍の支払いを求める。

④価格安定化措置

- 政府は、**排出枠の上下限価格**を設定。
- （排出枠価格の高騰等により義務履行に支障が生じる状況として大臣が告示した場合）排出枠が不足する事業者については、**上限価格×不足分の支払いによって、義務を履行したものとみなす。**
- 一定期間以上、**市場価格が下限を下回って低迷する場合には、GX推進機構を通じてリバースオークションを行い、**排出枠の流通量を調整するとともに、**割当基準の強化**を検討。

⑤排出枠取引市場

- 排出枠取引市場の公正かつ安定的な運営を担保するため、**GX推進機構が市場を設置・運営することとする。**
- 制度対象者に加え、**①カーボンクレジットについて一定の取引経験を有する取引業者**や、**②制度対象者からの依頼に基づいて取引を行う取引業者**の市場参加を認める。

出典）政府資料 (2025)

【参考】カーボンプライシングの基礎理論（1/2）

排出枠の初期割り当てが無償の場合のETS

✓ ベンチマークは、原則的にすべての対象事業者のETS購入費用（＝売却費用）がゼロ、すなわち、限界削減費用に一致するように割り当てが行われるように設定されるべき。

【参考】カーボンプライシングの基礎理論（2/2）

炭素税もしくは有償オークションの場合のETS

✓ 有償オークションでも料金転嫁が可能であれば、（理想的に設定された）ベンチマーク方式と費用負担は同じ。ただし、有償オークションの場合、料金転嫁される、できることが前提。なお、ベンチマークが大きく歪んでいた場合、有償オークションへの接続は非連続的となる。