

『カーボクライシス』への備え

2030年以降も、ネットゼロに向かい続けるために

2025年5月

バイウィル カーボンニュートラル総研 作成



『カーボクライシス』への備え 本書作成の趣意

従来のGXパラダイムは限界を迎えているのではないか。
そして、世界のネットゼロに向かう大きな潮流が変化しつつあるのではないか。

地球規模で始められた有史以来空前の気候変動対応という新たな「ゲームルール」は、これまでの長い期間、関わるあらゆるプレイヤーが模索段階でした。
しかし、誰も正解が分からないが故に、同じく正解が分からないはずの誰かが創った不完全なルール上で正解を求める、という矛盾の中で、それでも歩み続けてきました。

とにかく先進国や大手企業の脱炭素直接投資＝自助努力に集中しましょう、
という現在の支配的なルールは、確かに超長期の時間観の中では、
長く続いてきた経済至上主義的なパラダイムに新たな潮流を根付かせるために、「初期的に必要なもの」でした。

しかし、排出削減活動を進めれば進めるほどに、追加的な削減にかかる費用の壁が迫り、
雁字搦めの厳格ルールは、既に企業や先進国のモチベーションに影を落としていて、
地球規模でのネットゼロに向けた潮流のブレーキにすらなりかねない状態です。

ネットゼロに向けたルールや取り組みが産業の発展を阻害し、
カーボンニュートラルのモチベーション自体が低下すると、
ネットゼロに向かって進み続けるための適切な炭素価格が、その上限・下限を超えてしまうでしょう。
この「カーボクライシス」が訪れれば、築き上げてきた気候変動の動きそのものが
致命的に遅延・停滞してしまいかねません。

本書では、こうした「カーボクライシス」の兆候をまとめ、
2030年以降の目標達成のために必要な考え方を、皆さんと一緒に考察していきます。

『カーボנקライシス』への備え

Agenda

1. 日本の脱炭素の現状
 - ・日本のこれまでの歩みの確認
 - ・脱炭素の切り口で見る日本の特性
2. 2030年目標達成の可能性
 - ・ネットゼロに向けた「セオリー」
 - ・2030年目標未達のリスク
3. 目標達成に向けた「投資対削減効果」の壁:『カーボנקライシス』
 - ・世界の投資対削減効果の推移
 - ・炭素価格推移に見る『カーボנקライシス』の兆候
4. 『カーボנקライシス』に備え、目標達成するために
 - ・「環境」と「経済」の偏在を、
資金循環によって武器に変える

1. 日本の脱炭素の現状

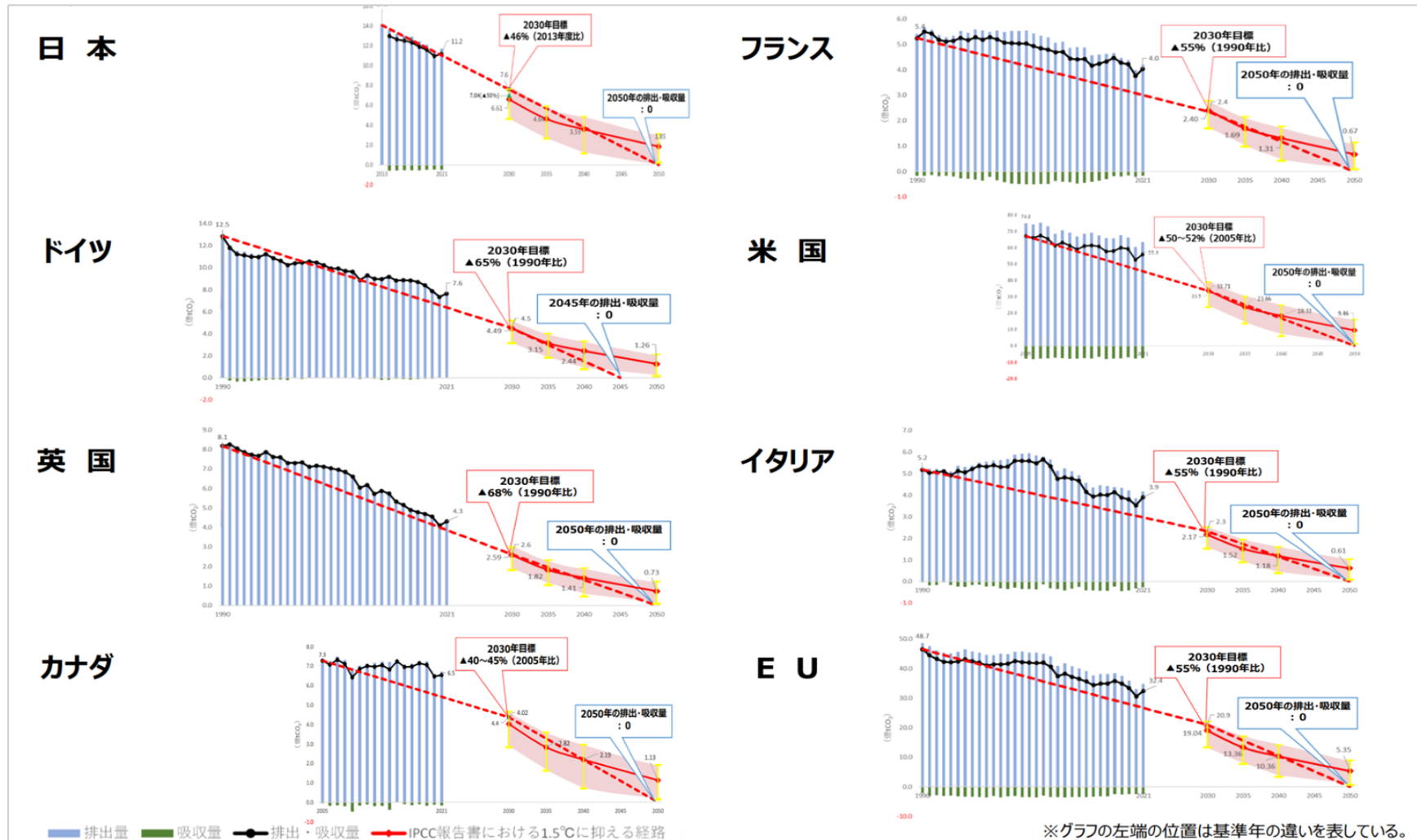
- ・日本のこれまでの歩みの確認
- ・脱炭素の切り口で見る日本の特性



先進国の排出量

先進国の排出量は、NDC目標に対して総じて未達の状態。

G7各国の排出削減の進捗状況



出典: 経済産業省, 「GX実行会議(第9回)COP28について」, 2023/11/28, (https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/gx_iikkou_kaigi/dai9/siryou2.pdf)

日本の脱炭素政策動向

日本も、2050年カーボンニュートラル実現に向けて、リニアな削減目標をNDCにて設定。

その実現に向けた政策として、脱炭素社会実現のみならず、エネルギー供給や産業競争力強化と併せた「GX基本方針」を定め、下記のように複層的に様々な政策・取り組みを遂行中。

実現に向けた検討	 地域脱炭素ロードマップ	 改正地球温暖化対策推進法 成立			
具体的な取り組み	 環境基本計画・地球温暖化 対策計画等の見直し	 脱炭素事業への新たな 出資制度	 環境金融の拡大（金融の グリーン化）	 2050年カーボンニュートラル に伴うグリーン成長戦略	 GX（Green Transformation） の推進
	 脱炭素経営への取組	 ゼロカーボンシティの 表明から実現へ	 地域脱炭素の推進	 エネルギー対策特別会計を 活用した取組	 デコ活の推進
	 気候変動の国際交渉	 JCM・都市間連携事業	 環境白書・循環型社会白書・ 生物多様性白書		
審議会・検討会等	 地球温暖化対策推進本部	 中央環境審議会	 カーボンプライシングの検討		

出典：環境省，脱炭素ポータル，(<https://ondankataisaku.env.go.jp/carbon-neutral/road-to-carbon-neutral/>)

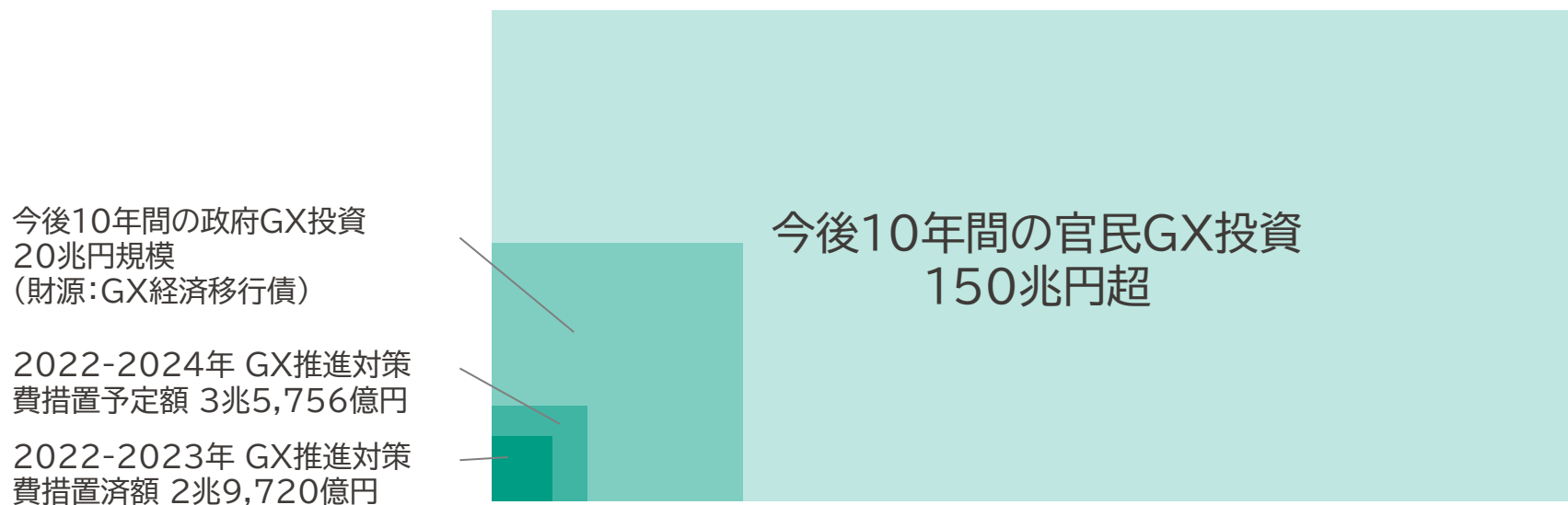
日本の環境資金(官民の投融資額)

日本が環境領域に投資する資金は、今後10年間で150兆円超とされている。

また、社会構造や経済原理に大きな変革を迫られることを見越し、政府のGX投資としてGX経済移行債20兆円を発行。

GX実現に向けた2030年までの資金規模は非常に大きい。

今後10年間のGX投資の規模と2022-2024年度の措置額



日本の「産業構造」は 脱炭素の難易度が高い構成

日本がGX実現のためにここまで大きな資金を必要とする理由のひとつは、日本の産業構造にある。先進国の中で、製造業のGDPシェアが20%以上を占める国は日本・中国・ドイツのみであり、他の国は商業・飲食・宿泊などの構成比が高く、その他の産業にも分散している。

製造業は、電気/ガス/水道などのエネルギー産業と並んで多排出産業の代表であり、この構成比が高い日本はGX難易度が高い(多くの資金を必要とする)と言える。

GHG排出比率と各国のGDPに対する産業比率

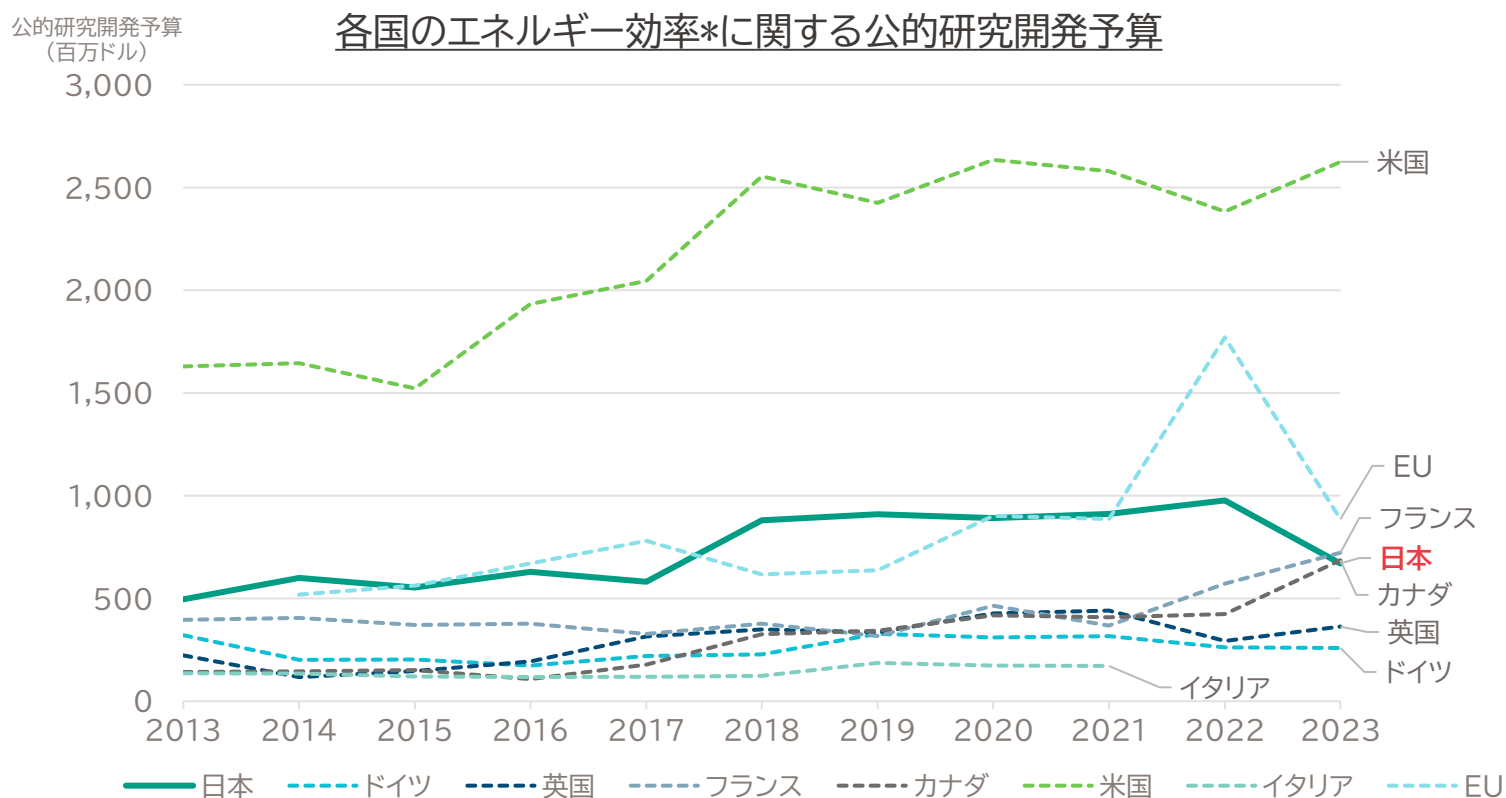
	主要各国 排出比率(%) (2021)	GDPに対する産業比率(%) (2022)						
		農林 水産	電気/ガス/ 水道	製造	建設	商業//飲食/ 宿泊	運輸/倉庫/ 通信	その他 サービス
中国	31.5	7.7	5.0	28.2	6.9	10.9	8.1	33.3
米国	13.5	1.1	3.8	10.3	4.2	15.5	11.1	54.2
インド	6.9	18.4	5.4	14.7	8.2	9.1	8.9	35.4
ロシア	4.9	4.3	14.0	14.2	8.0	16.4	8.2	34.9
日本	2.9	1.0	3.1	20.3	5.6	14.9	9.6	45.5
ドイツ	1.9	1.0	3.6	20.4	5.7	11.9	10.0	47.4
カナダ	1.5	2.0	7.0	10.5	7.7	12.7	7.7	52.2
英国	1.0	0.9	2.8	9.4	6.2	13.4	10.3	57.1
フランス	0.9	2.1	2.6	10.7	5.5	13.4	10.7	55.0

出所: Global Note, “CO₂ 二酸化炭素排出量(IEA統計)”, 2021, (https://www.globalnote.jp/p-data-g/?dno=1120&post_no=1621), 国際連合, National Accounts - Analysis of Main Aggregates, Value Added by Economic Activity, at current prices - US Dollars (<https://unstats.un.org/unsd/snaama/Basic>) を基にBYWILL作成

エネルギー効率関連に対する公的投資

前述のとおり、製造業のGDPシェアが高く、エネルギーに占める非電力比率が7割程度と高い水準の日本は、GX実現の難易度が相対的に高い。

だからこそ、実現可能性が比較的高い再エネ化を可及的速やかに進めることは一層重要であるとされており、一定の投資がなされてきた。



*Energy Technology RD&D Budgetsのうち、Technologyのカテゴリが“Energy efficiency”を抜粋。イタリア 2022,2023年のデータは開示されていない。

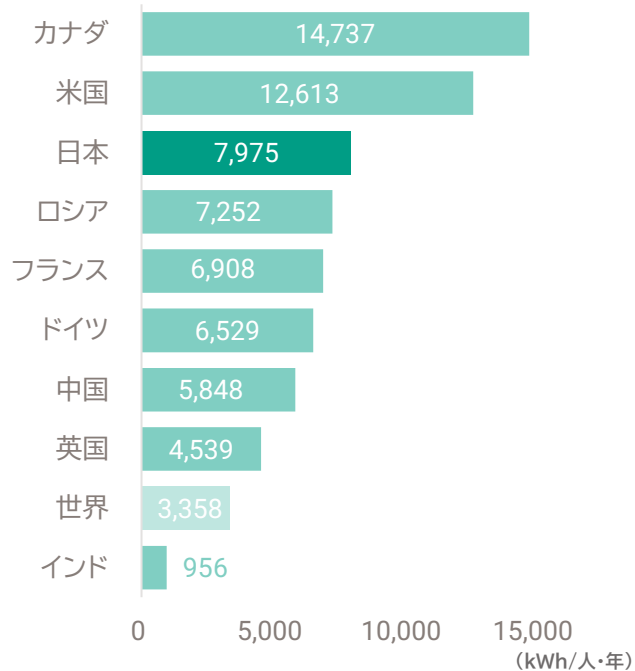
出所: IEA, “Energy Technology RD&D Budgets” 2024/10, (<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/energy-technology-rd-and-d-budget-database-2>)を基にBYWILL作成

日本のエネルギー構成 再エネ化による脱炭素推進への期待

しかし、しばしば国際的な会議の場で非難されるとおり、日本の再エネ化率は他の先進国と比べて低い水準にとどまる。

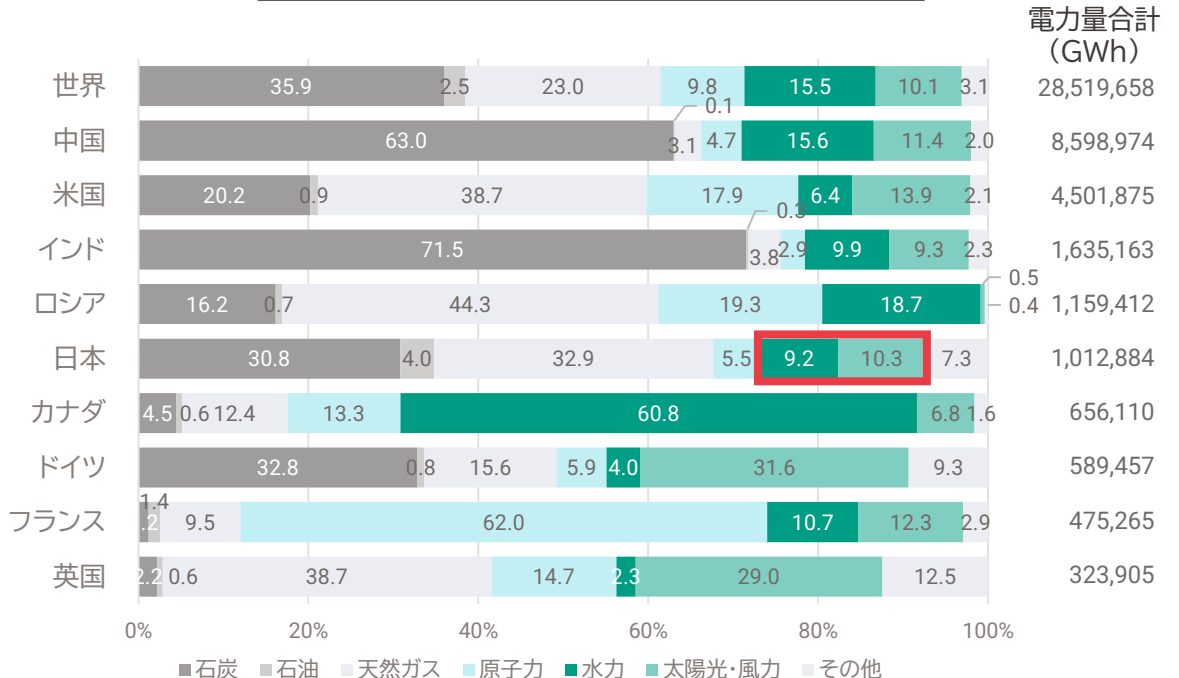
現時点で既に一人当たりの電力消費量が非常に多く、今後は更に、AIの普及などに合わせて上がり続ける予想がされており、再エネ化率を高めておくべき要請は一層高い。

主要国一人当たりの電力消費量
(2021年)



出所:IEA, "Electricity consumption per capita", (<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=WORLD&fuel=Energy%20consumption&indicator=ElecConsPerCapita>) を基にBYWILL作成

電源別 発電電力量の構成比(2022年*)



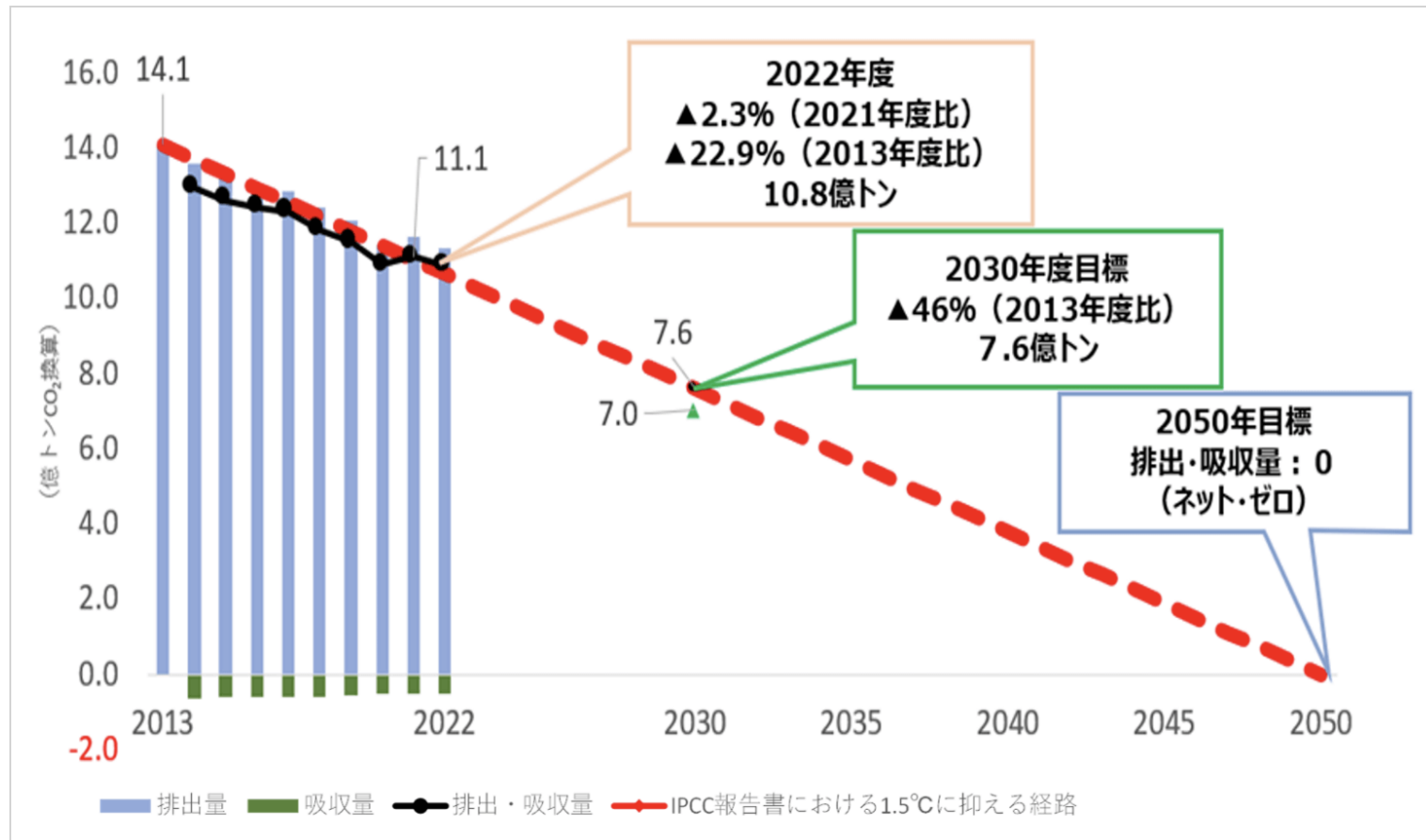
*中国、インド、ロシアは2021年実績

出所:IEA, "Electricity generation by source", (<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=ElecGenByFuel>) を基にBYWILL作成

日本の脱炭素の現状は「オントラック」

とは言え、その他の省エネ化の成果や、GDPの成長率が低いこともあり、日本は先進国唯一の「オントラック(計画通り)」を維持してきた。

では、**2030年に向けて目標達成し続け、「オントラック(計画通り)」のまま進捗することは可能なのか？**



日本の脱炭素の現状 総括

- 2020年のカーボンニュートラル宣言以降、日本はNDCを定め、GX実現に向けた政策を走らせてきた。先進各国も同様だが、総じてGX実現はもちろん、NDC目標を達成できている国はほとんどない状態。
- しかし、そもそも製造業のGDPシェアが高く、非電力由来の排出量が多い**日本はGXの根底とも言える「脱炭素社会実現」の難易度が高く**、GX移行債20兆円をはじめ、10年間に150兆円超とも言われる多額の資金が必要とされてきた。
- 非電力由来の排出は、省エネをベースとして、電化・燃料転換など、研究開発や設備投資に多額の資金が必要となるものが多く時間がかかる。だからこそ、約3割とは言え、電力の再エネ化が優先的に取り組まれ、一定の投資もされてきたが、日本の再エネ化は先進国の中では低い水準にとどまる。
- 日本は「オントラック(計画通り)」とよく言われる。
それ自体は素晴らしいことだが、それがもたらす経済成長率の低さや省エネの推進によるもので、再エネ化をはじめとした進捗は良好とはいえない。
- この状況で、2030年目標は達成できるのか？

2. 今後の目標達成可能性

- ・ネットゼロに向けた「セオリー」
- ・2030年目標未達のリスク

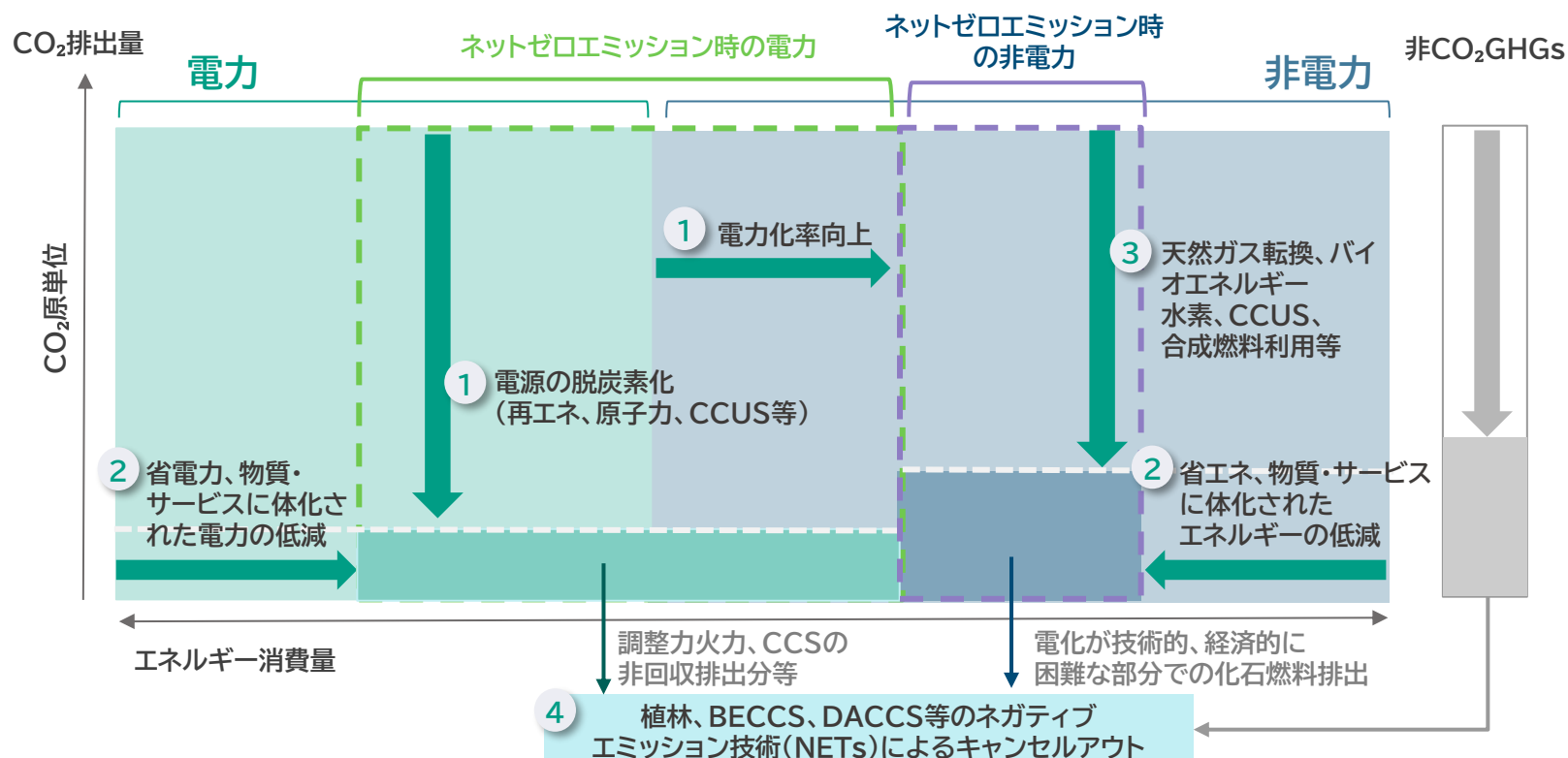


ネットゼロへ向かうセオリー

カーボンニュートラル実現に向けて、多くの国や地域、企業などが目指す「ネットゼロ」だが、日本でこれを実現するための考え方・全体像は下記のとおり。

非電力由来の排出が多い日本がネットゼロを実現するには、①一定程度の電化と再エネ化 ②省エネ ③低・脱炭素燃料への転換 ④ネガティブエミッション技術(NETs)によるキャンセルアウト が必要。現状はこれらの開発・普及を進めつつ最適なバランスを模索している状態。

ネットゼロエミッションに向けたセオリー



持続可能な発展に最も対策の良いバランスが鍵

日本の再エネ化のポテンシャル

①一定程度の電化と再エネ化 を図る上で、前提となる再エネ化のポテンシャルの推計値が下記。事業性を考慮しても、前述の使用電力量に対して100%賄えるだけのポテンシャルはある。

ただしこれは、太陽光に加え**現在も課題の多い洋上風力への依存度が極めて高い。**

再エネ 種別	区分	導入ポテンシャル*		事業性を考慮した導入ポテンシャル*2			
		設備容量 (万kW)	年間発電電力量 (億kWh)	設備容量 (万kW)		年間発電電力量 (億kWh)	
太陽光	建物系	45,521	5,985	635	~ 6,734	78~	835
	土地系	100,984	12,774	1,409	~ 14,938	173~	1,853
	計	146,504	18,759	2,044	~ 21,672	252~	2,689
陸上風力		48,373	12,625	20,108	~ 27,639	5,965~	7,715
洋上風力		112,023	34,607	17,785	~ 46,025	6,168~	15,584
中小水力		919	519	331	~ 425	179~	233
地熱		1,744	1,205	1,090	~ 1,378	763~	964
合計		309,563	67,715	41,360	~ 97,140	13,328~	27,187

* 導入ポテンシャルの推計年度は再エネ種により異なる。(我が国の再生可能エネルギー導入ポテンシャル, 令和4年4月 Ver. 1.0参照)

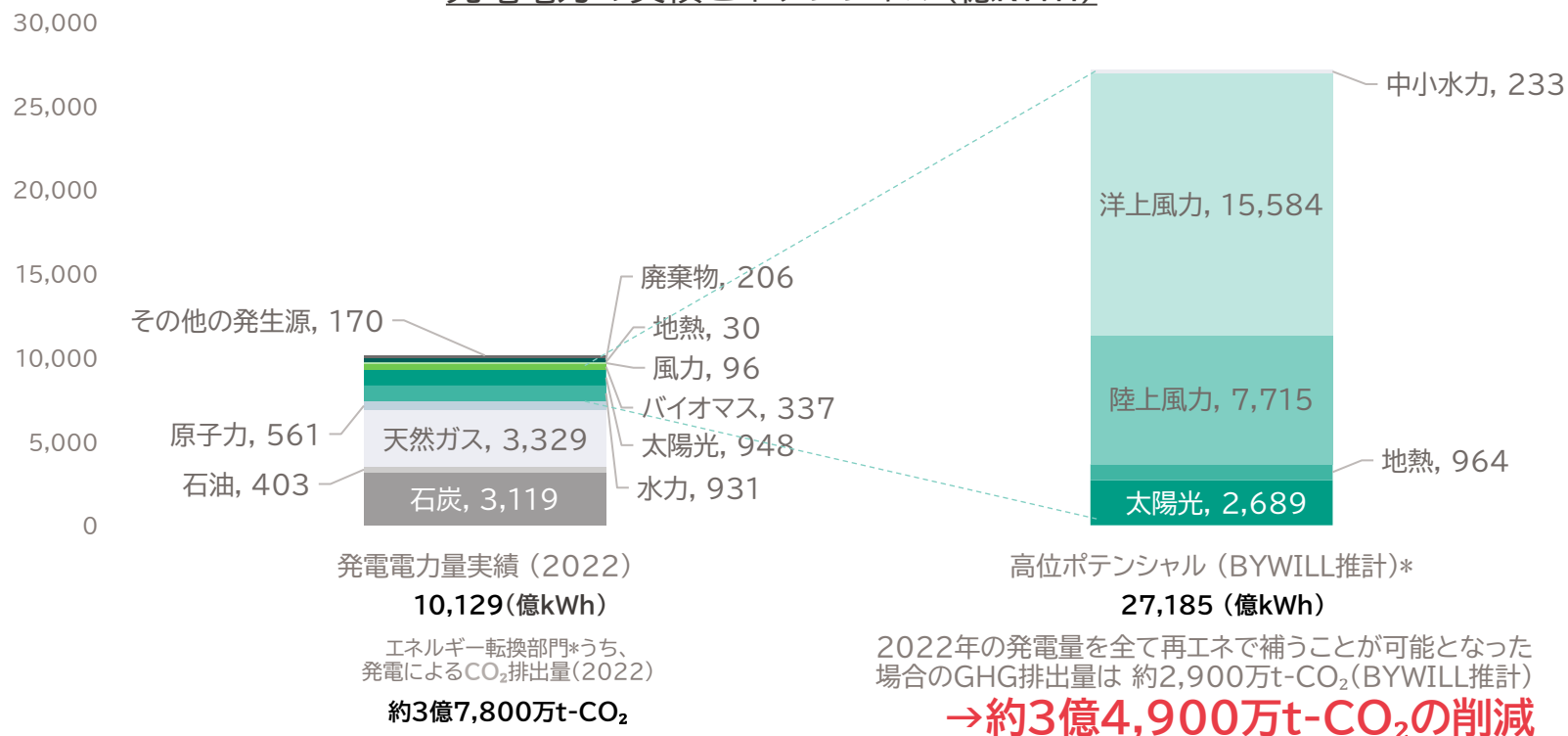
*2 事業性を考慮した導入ポテンシャルは、環境省「我が国の再生可能エネルギー導入ポテンシャル」におけるシナリオ1(低位)、シナリオ3(高位)を参考にBYWILL作成独自に算出。

出所: REPOS(<https://www.renewable-energy-potential.env.go.jp/RenewableEnergy/>), 環境省, 「我が国の再生可能エネルギー導入ポテンシャル」,
(https://naso.jp/potential&fit/renewable_ene_potential/potential_gaiyou.pdf) 等を基にBYWILL作成

「再エネ化」による削減効果①

また、再エネ化が理想的に進捗し「再エネ100%」を実現できても、その脱炭素インパクトは約3.5億t-CO₂のみ。COP28で合意された「2030年までに再エネ化率3倍」が実現できたとしても、その効果は約2.1億t-CO₂に留まる。

発電電力の実績とポテンシャル(億kWh)



*本図の「高位ポテンシャル」は、BYWILLが再エネの導入可能性(高位ケース)を基に推計したものであり、政府の導入目標や予測シナリオとは異なる。

**エネルギー転換部門の約9割が発電、残りを石油製品製造、コークス類製造等を占める。

出所:IEA, "Electricity generation by source", (<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=ElecGenByFuel>), REPOS(<https://www.renewable-energy-potential.env.go.jp/RenewableEnergy/>), 環境省,「我が国の再生可能エネルギー導入ポテンシャル」(https://naso.jp/potential&fit/renewable_ene_potential/potential_gaiyou.pdf), 環境省,「2022年度の我が国の温室効果ガス排出・吸収量について」(<https://www.env.go.jp/content/000215754.pdf>)等を基にBYWILL作成

「再エネ化」による削減効果②

更に、第7次エネルギー基本計画が予定通りに進捗した場合の削減効果が下記。

極めて高い比率での電化と、第7次エネルギー基本計画を超える“COP28合意レベル”の高い再エネ化率(3倍)が実現できても、再エネ化による削減効果は十分とは言えない。

	2013		2023（速報値）		2030（計画）		2030（再エネ化率3倍）*	
	発電電力量 （億kWh）	割合（％）	発電電力量 （億kWh）	割合（％）	発電電力量 （億kWh）	割合（％）	発電電力量 （億kWh）	割合（％）
太陽光	129	1.2％	965	9.8％	1,460	15.6％	3,546	38.0％
風力	52	0.5％	105	1.1％	510	5.5％	510	5.5％
水力	794	7.3％	748	7.6％	980	10.5％	980	10.5％
地熱	26	0.2％	34	0.3％	110	1.2％	110	1.2％
バイオマス	178	1.6％	401	4.1％	470	5.0％	1,421	15.2％
合計	1,179	10.9％	2,253	22.9％	3,530	37.8％	6,567	70.3％
GHG削減割合 （2013年比）**	-		-26％		-55％		-67％	

*「2030年(再エネ化率3倍)」は、COP28で合意された「2030年までに世界全体で再エネの一次供給量を3倍にする」目標を前提とした試算。

**各GHG削減割合(2013年比)は、発電効率や需要量などの前提条件を一定とし、再エネ比率の変化による排出削減効果と発電量の変化の影響を加味して算出。排出量の算出には、各電源の「ライフサイクルCO₂排出係数(LCA)」を使用し、LCAが得られない場合は、一般的な排出係数で代用した。

出所：【2023年実績】環境省、「総合エネルギー」、2024/11/22、(<https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total-energy/results.html#headline7>),

【2013年実績、2030年計画】環境省、「エネルギー転換部門におけるエネルギー起源CO₂」、(<https://www.env.go.jp/content/000166773.pdf>)

【各種排出係数：電力中央研究所】「日本における発電技術のライフサイクルCO₂排出量総合評価」、2016、

(<https://criepi.denken.or.jp/hokokusho/pb/reportDownload?reportNoUkCode=Y06&tenpuTypeCode=30&seqNo=1&reportId=8713>),

【バイオマス発電】歌川学、「バイオマス発電のCO₂排出量」、産業技術総合研究所、(<https://www.gef.or.jp/wp-content/uploads/2022/12/bbd4731754105f73e348ee35cca7119c.pdf>),

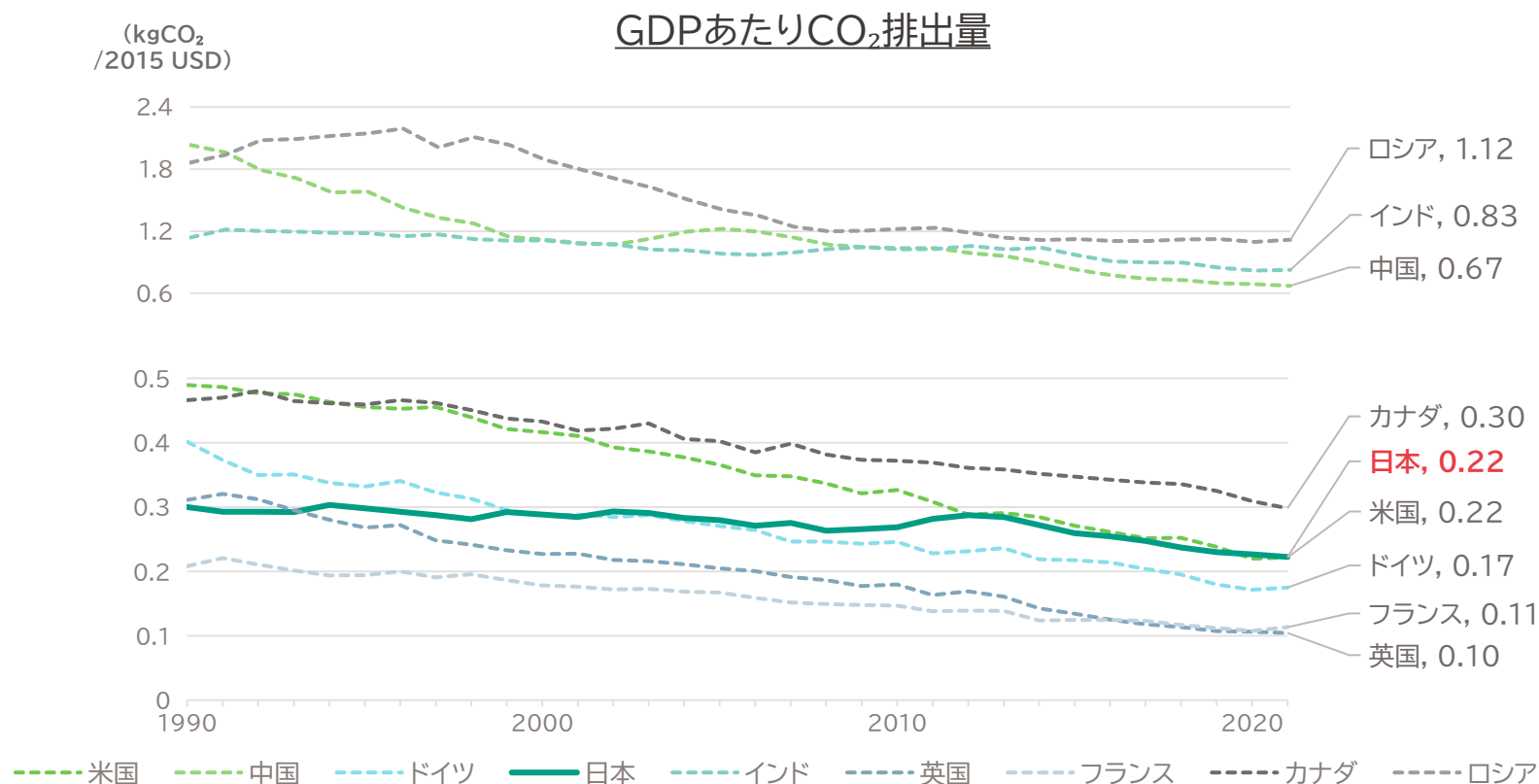
【石炭】Japan Beyond Coal、「ファクトシート」、(https://beyond-coal.jp/beyond-coal/wp-content/uploads/2022/08/JBC_factsheet_06.pdf)

等を基にBYWILL作成

GDPあたり排出量:省エネ化による削減余地

②省エネ化の実績だけを切り出して示すのは困難だが、ひとつの指標として下記を示す。前述のとおり、産業構造上削減難易度が高く、再エネ化率も低いことを踏まえると、日本の「GDPあたり排出量」は現時点で既に十分に低い水準にあると言える。

これは日本の成果と言えるが、裏を返せば、これまでに一定以上の省エネ化を既に進めているとうことであり、削減余地が少ないということも示している。



出所: World Bank, GDP (constant 2015 US\$), (<https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.KD?end=2023&locations=CN-US-JP-DE-IN-FR-RU-GB-CA&start=1990>), IEA, "Energy Statistics Data Browser" (: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=WORLD&fuel=CO2%20emissions&indicator=TotCO2>) を基にBYWILL作成。インフレや為替変動の影響を排除し、経年での排出効率改善を評価するため、実質GDP(constant 2015 USD)に対する排出量を使用。

ネガティブエミッション技術(NETs)開発・普及の進捗①

(②省エネ化 ③低・脱炭素燃料への転換 の技術開発と普及度合いによるが)①一定程度の電化と再エネ化 に次いで、主要各国を中心にネットゼロへの大きな期待によって投資を加速しているのが、④ネガティブエミッション技術によるキャンセルアウト。

ポテンシャルとして大きいのは海洋アルカリ化、DACCS & BECCSなどであるが、それぞれコスト面の懸念をはじめ、実用化と普及には大きなボトルネックがあることが分かる。

分類	TRL	削減コスト \$/tCO ₂ ※1	削減ポテンシャル GtCO ₂ /年 ※2	削減効果の 確認 ※3	ボトルネック	サマリー
海洋 アルカリ化	3	305 (10-600)	11.0 (2-20)	要	・生物多様性への影響、コスト、砕いた岩をどこに沈めるべきか等対象領域やプロセスについて概念実証レベルに留まる	・粉砕したケイ酸塩岩や炭酸塩岩を大量に海に沈めることでCO ₂ が吸収されるプロセスを加速できる。 ・大規模に風化を促進すれば、年間約1000億トンのCO ₂ を大気中から除去できるという理論上の大きな可能性がある一方、実用まではほど遠い状況。
海洋肥沃化	3	67 (23-111)	4.4 (2.6-6.2)	要	・生態系への影響、沈んだ有機物粒子が分解される際に温室効果ガスが発生する可能性がある等	・日本への期待が高い技術ではあるが、概念実証レベルであり有用性は未知数な状況。 ・日本では、要素技術の開発は進められているが、欧米のように規模化のための生産技術や観測技術などの多面的な研究開発への取り組みは現状見られない。
植物残渣 海洋隔離	2	72 (50-94)	0.9 (0.7-1)	済	・大規模な実施による海洋環境への影響、深海への廃棄物投棄はロンドン条約・海洋投棄禁止条約によって制限あり	・現状は技術コンセプト策定段階であり、実証などこれから可能性を探る状況。

出典：経済産業省、「ネガティブエミッション技術について」、2022/3、
(https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/green_innovation/pdf/gi_008_04_00.pdf)等を
基にBYWILL作成

※1:2050年想定CO₂削減コストの中央値

※2:2050年の世界の削減ポテンシャルの中央値、陸上バイオ系は重複あり

※3:CO₂削減効果が確認されコンセンサスを得ているが

ネガティブエミッション技術(NETs)開発・普及の進捗②

分類	TRL	削減コスト \$/tCO ₂ ※1	削減ポテンシャル GtCO ₂ /年 ※2	削減効果の 確認 ※3	ボトルネック	サマリー
風化促進	4	128 (50-200)	3.0 (2-4)	要	輸送・粉砕・散布にかかるコスト、CO₂削減効果や環境影響などリスク評価が不十分。また実施にあたり安価な再エネ電力が必要	- 日本の環境との相性からも実用が期待される技術。現時点では実験室での技術検証の段階のため実用まで時間を要する。 - また削減ポテンシャルがそこまで大きくないため、並行して他の技術の実用化を目指すことが前提となる。
DACCS	6	172 (30-600)	3.5 (1-6)	済	- 日本ではCCS適地が少ない。CO₂削減コストに加えて、安価な再エネ電力が必要。 - また、CO₂地中貯留に伴う漏出のリスクあり	- 大気中からのCO₂回収プロセスにおいて多量のエネルギーを要することから、省エネルギー・低コスト化に向けた研究開発が引き続き必須。 - 国内ではCCSも2030年以降の事業化が見込まれているため、実証・商用化に時間を要する。
BECCS	7	135 (60-200)	5.6 (0.5-15)	済	DACCSに挙げた課題に加え、大規模な土地利用の改変を伴うため生物多様性に関するリスクあり	- 三菱重工グループを中心に海外企業との技術提携によるプロジェクトが稼働しているものの、国内においては2030年に向けた民間事業者におけるCCS事業の検討が開始される一方で、貯留地確保は依然として課題。 - こうした制度環境が整備されていくことを前提に、国内での実証化も進めていく必要がある。

出典：経済産業省,「ネガティブエミッション技術について」, 2022/3,
(https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/green_innovation/pdf/gi_008_04_00.pdf)等を
基にBYWILL作成

※1:2050年想定CO₂削減コストの中央値

※2:2050年の世界の削減ポテンシャルの中央値、陸上バイオ系は重複あり

※3:CO₂削減効果が確認されコンセンサスを得ているが

ネガティブエミッション技術(NETs)開発・普及の進捗③

分類	TRL	削減コスト \$/tCO ₂ ※1	削減ポテンシャル GtCO ₂ /年 ※2	削減効果の 確認 ※3	ボトルネック	サマリー
植林・再生林	9	28 (5-50)	2.3 (0.5-3.6)	済	土地面積や水の消費が必要。また永続的な効果の減少、分解などによるCO₂放出の可能性あり	低コストで大きなエネルギー消費を伴う工程がなく、日本でも実施が進む技術。炭素固定速度を速める植物などの研究も進んでいる。蓄積量の飽和に伴う適切な処理(BECCS, バイオ炭)の考慮が必要。
土壌炭素貯留	7	28 (45-100)	4.1 (0.4-8.6)	要	農地土壌炭素貯留量を算定するためには現時点での土壌炭素貯留量の詳細データが必要であり、全国各地域から網羅的に代表的な水田、畑、樹園地のデータ収集が必要	国内ではバイオ炭の農地施用や農地土壌の炭素動態モデルを用いた推定などによって進められており、有用性の高いモデルシステムの完成と運用が期待される。
バイオ炭	6	75 (30-1,120)	2.6 (0.3-75)	済	必要面積、適用対象が限定的(農地または採草放牧地における鉱質土壌)であることや日本でのバイオマスの入手性、含まれる化学物質による汚染のリスク等	除去効果の検証が容易であることからポテンシャルが大きい。2020年J-クレジット方法論が提示され基金の活用ははじめ国内でも実用化に期待。GI基金にて研究開発及び実証に向けた支援を進めている。

出典:経済産業省,「ネガティブエミッション技術について」, 2022/3,
(https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/green_innovation/pdf/gi_008_04_00.pdf)等を
基にBYWILL作成

※1:2050年想定のCO₂削減コストの中央値

※2:2050年の世界の削減ポテンシャルの中央値、陸上バイオ系は重複あり

※3:CO₂削減効果が確認されコンセンサスを得ているが

参考:TRL(Technology Readiness Level)の定義

NASAによって作られた、特定の技術の成熟度レベルを評価するために使用される指標。技術の実用化段階に応じて、TRL1～9の技術成熟度レベルを設定。

航空機分野を中心に、国内外の政府や研究機関等で利用されている一方で、分野毎に基準や浸透度が異なるため、実態を踏まえて有用性の高い分野で積極的に活用。

TRL(HORIZON 2020より)

TRL9	システム運用
TRL8	システム完成・認証
TRL7	実運転条件でのプロトタイプシステム実証
TRL6	使用環境に応じた条件での技術実証
TRL5	使用環境に応じた条件での技術検証
TRL4	実験室での技術検証
TRL3	実験による概念実証
TRL2	技術コンセプトの策定
TRL1	基本原理の観測

国内外でのTRL活用状況

- 環境省:公募時にレベルを設定(判断ツールを活用)
- 内閣府:公募時にレベルを設定(SIP等)
- NEDO:公募時にレベルを設定(風力発電事業等)
- JAXA:技術開発の取組の透明性確保等に利用
- ARPA-E、HORIZON:公募時にレベルを設定(一部プロジェクトに限定)

- ▶ 技術成熟度レベルの「共通言語」として機能
- ▶ 分野によって判断基準が異なり、各分野で基準の作成が必要

TRLが利用されている技術分野

航空機、情報、環境、機器製造、エネルギー(再エネ)、化学工学 等

- ▶ 主にシステムについての技術成熟度レベル判定に利用

2030年目標未達のリスク

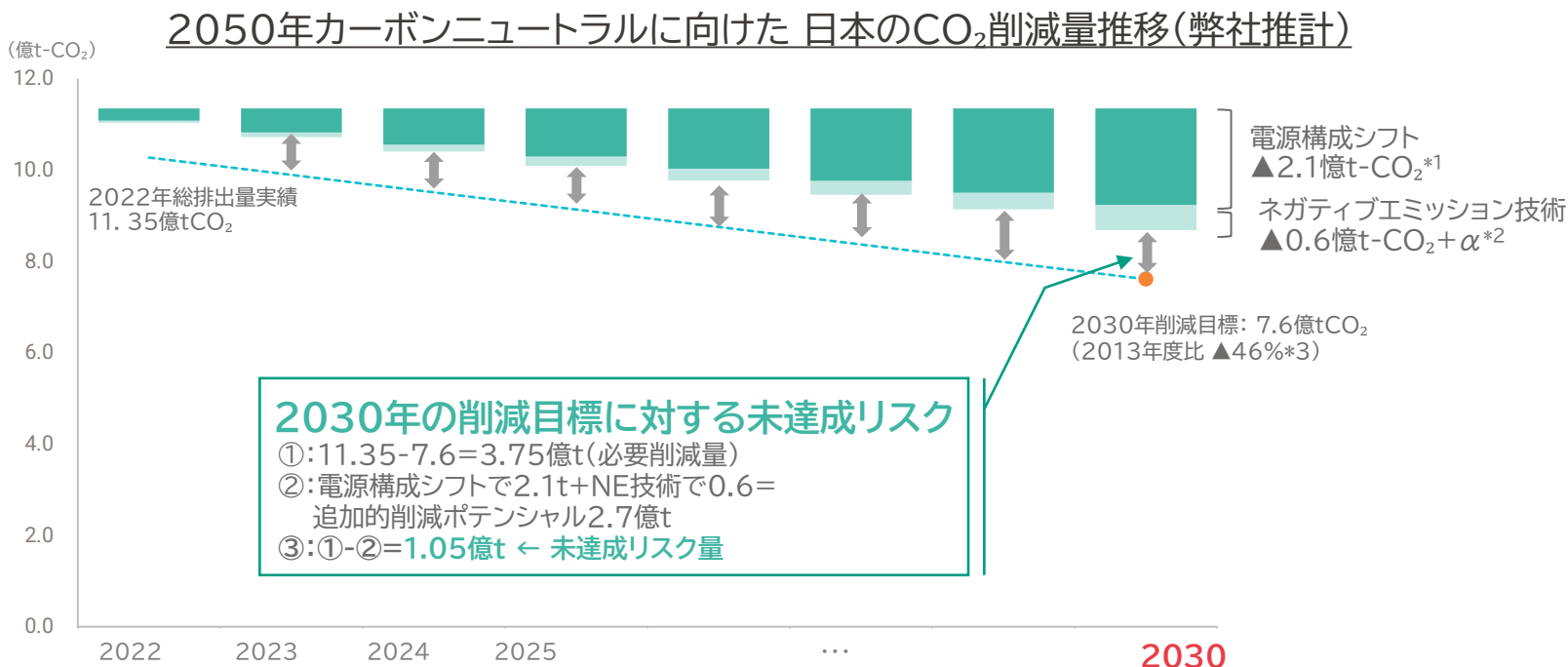
これまで示したとおり、ネットゼロに向かうNDCの2030年目標達成には、

①電化と再エネ化：産業構造上急速な電化が困難、且つ再エネ化のインパクト不足(※)

④ネガティブエミッション技術によるキャンセルアウト：ポテンシャルは高く開発は進むも、2030年までの効果はコストや適地などの様々な問題により限定的

などにより、「**約0.5～1億tの未達リスク**」が存在し、②省エネ化 や ③低・脱炭素燃料への転換で、この大きな差分を埋めることは容易ではなく、達成に向けた十分な裏付けがあるとは言いがたい。

(※)ここでは、原子力の再稼働などによる削減効果は除外し、COP28で合意された「2030年までに再エネ化率3倍」の効果のみを考慮



*1: 電源構成のシフトによる削減量は、2022年の実績を基に、再エネ設備容量を3倍にする(COP28)ことを前提とし、各電源のライフサイクルCO₂排出量およびCO₂排出量をもとに算出。2022年度比での削減量。

*2: BECCS、DACs、バイオ炭、CCS、SAF等。2024年3月時点で日本の目標値が開示されていない技術は試算に含んでいない。

*3: GHG削減の政府目標

出所: [2022年実績]環境省、「2022年度の我が国の温室効果ガス排出・吸収量について」、2024/04/12、(https://www.env.go.jp/press/press_03046.html)、

[2013年実績、2030年計画] 環境省、「エネルギー転換部門におけるエネルギー起源CO₂」、(<https://www.env.go.jp/content/000166773.pdf>)

[各種排出係数: 電力中央研究所]「日本における発電技術のライフサイクルCO₂排出量総合評価」、2016、

(<https://criepi.denken.or.jp/hokokusho/pb/reportDownload?reportNoUkCode=Y06&tenpuTypeCode=30&seqNo=1&reportId=8713>)、

[バイオマス発電] 歌川学、「バイオマス発電のCO₂排出量」、産業技術総合研究所、(<https://www.gef.or.jp/wp-content/uploads/2022/12/bbd4731754105f73e348ee35cca7119c.pdf>)、

[石炭] Japan Beyond Coal、「ファクトシート」、(https://beyond-coal.jp/beyond-coal/wp-content/uploads/2022/08/JBC_factsheet_06.pdf)等を基にBYWILL作成

今後の目標達成可能性 総括

- これまで「オントラック」を続けてきた日本だが、ネットゼロに向かうNDCの2030年目標達成に向けては、下記の全てを、最大速度で進捗させることが必要
 - ➡ ①一定以上の電化と再エネ化 ②省エネ化 ③低・脱炭素燃料への転換 ④ネガティブエミッション技術によるキャンセルアウト
- しかし、それぞれの手段には下記のような懸念がある
 - ①:産業構造上、電化が困難な領域が大きく、COP28合意の「2030年までに再エネ化率3倍」を実現しても、削減インパクトは2.1億tに留まる
 - ②:現状のGDP当たり排出量の水準は既に低減されており、省エネ化による削減余地は限定的
 - ④:ポテンシャルは高いが、コストや適地などの様々な課題の解決目途が立っているとは言えず、2030年までの効果は限定される
- ※③の効果についても、燃料コストに加え必要となる設備投資額の高さを踏まえ、2030年までの効果は極めて限定的なものになるとされている
- これらを踏まえると、日本の2030年NDC目標達成には、0.5～1.0億t程度の未達リスクがあり、このままでは「オントラック(計画通り)」を継続することは困難な状況
- では、今後どのような考え方、アクションが求められるのか？

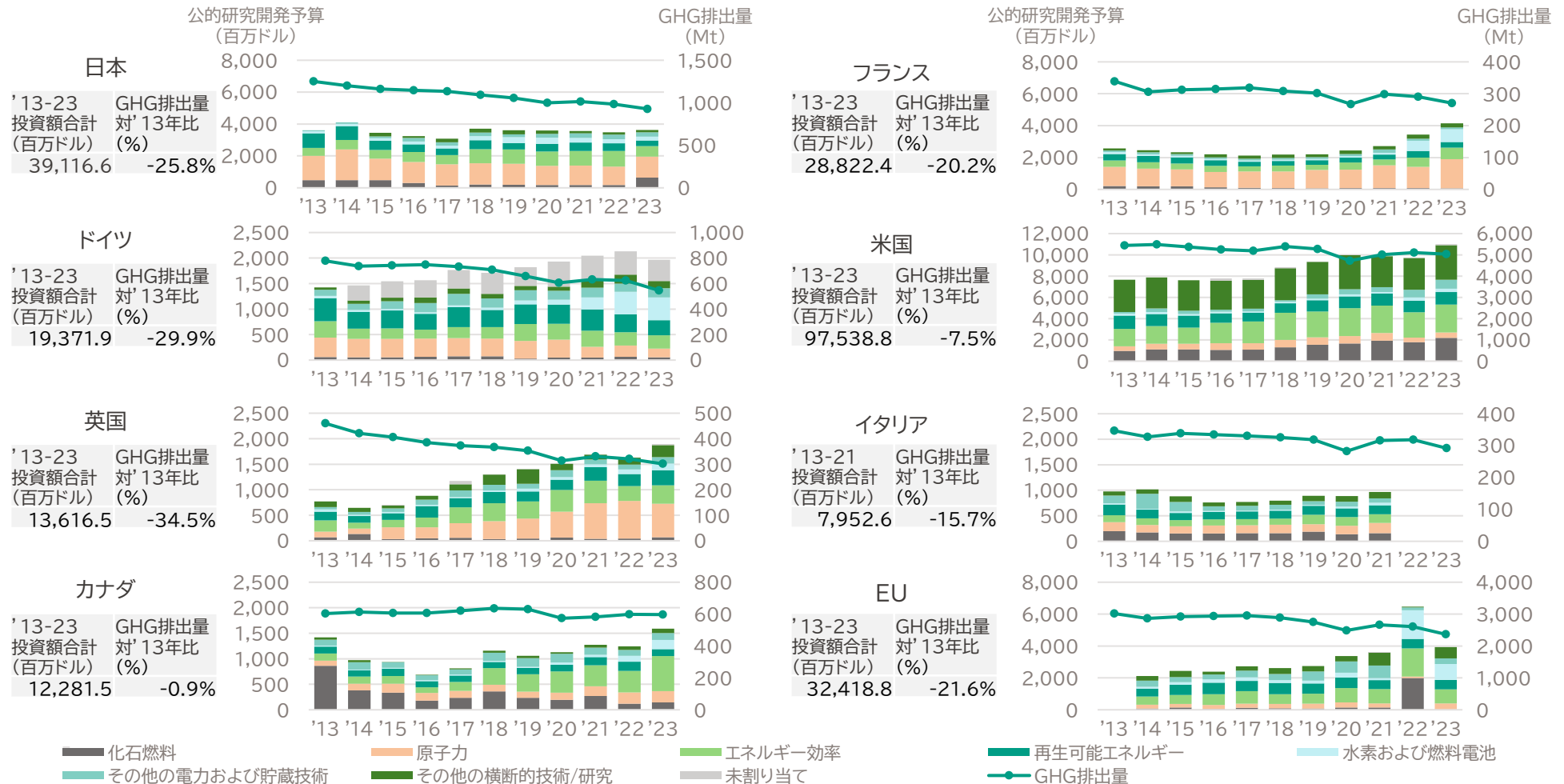
3. 目標達成に向けた 「投資対削減効果」の壁 :『カーボクライシス』

- ・世界の投資対削減効果の推移
- ・炭素価格推移に見る『カーボクライシス』の兆候

主要国の脱炭素投資とGHG排出量

電力由来の排出に限ってみても、主要各国ともこれまでに多額の投資を続け、一定の削減を図ってきたことが分かる。

各国のエネルギー技術に関する公的研究開発予算 及び GHG排出量の推移

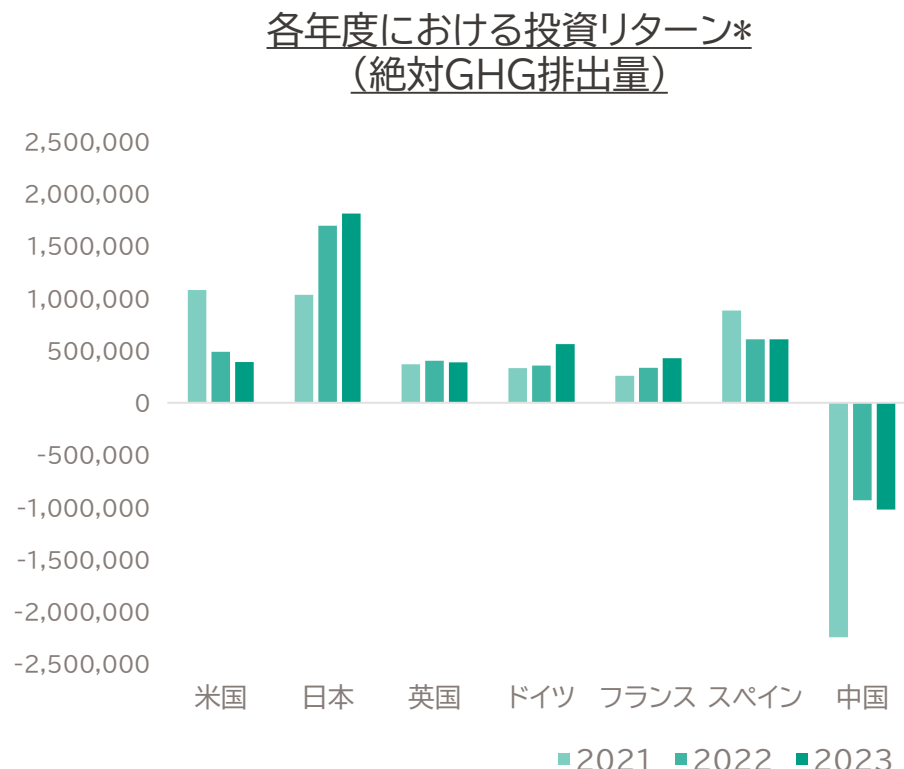
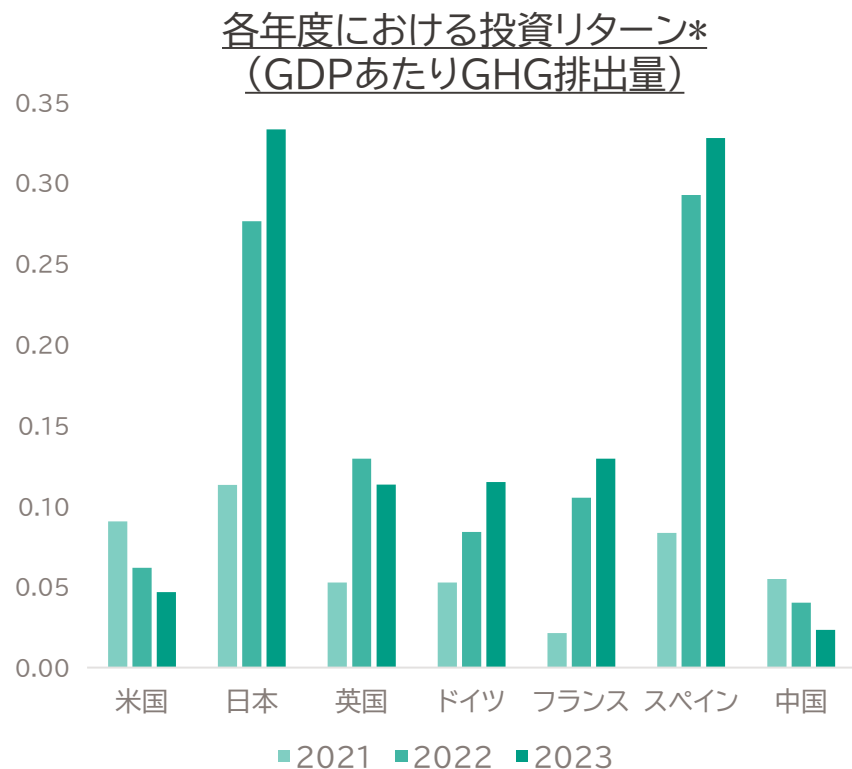


出所: IEA, "Energy Technology RD&D Budgets", (<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/energy-technology-rd-and-d-budget-database-2>)を基にBYWILL作成

投資累積と削減累積の比較

各国の2019年以降の投資額累積に対する削減効果を、「GDPあたり排出量」と「GHG排出量(累積)」の両面から見ると、アメリカと中国を除く多くの国で投資対削減効果自体は向上している傾向が見られ、中でも日本は、これまでの投資がしっかりと積み上がり削減効果を高めていることを示している。

しかし同時に、それでも先進国でNDC目標が達成基調だったのは経済成長率の低い日本だけであり、GX実現・環境と経済の両立のためには、更なる脱炭素投資とその効果効率の向上が必須となる。



*投資リターン($\text{tCO}_2 \text{ eq GHG} / \text{kUSD GDP} * \text{kUSD Investment}$), ($\text{tCO}_2 \text{ eq GHG} / \text{mUSD Investment}$): エネルギー転換投資は、その多くが研究開発を含む性質上、投資した年度にすぐ排出削減効果が表れるとは限らない。このため、2020年を起点に、各年度における累積投資額と累積削減量の関係を指標化した。具体的には、「GDPあたり排出量の削減量の累積値 ÷ 累積投資額」を便宜上「投資リターン」と定義し、各国の改善度を評価している。

出所: Bloomberg NEF, "Energy Transition Investment Trends"(Abridged report, 2021-2025)(https://assets.bbhub.io/professional/sites/24/951623_BNEF-Energy-Transition-Trends-2025-Abridged.pdf), European Commission "Emissions Database for Global Atmospheric Research",(https://edgar.jrc.ec.europa.eu/country_profile/CHN), IMF "World Economic Outlook Database", 2025/4, (<https://www.imf.org/en/Publications/WEQ/weo-database/2025/april>)を基にBYWILL作成

(参考)日本の投資対削減効果

温対税の財源効果分析によると、令和元年度の執行額に対する削減量から算出したCO₂削減コストは、既に約1.6万円/年に達している。

温対税の財源効果（令和元年度）

➤ 環境省及び経済産業省の令和2年度行政事業レビューシート（最終公表）を用いて、温対税による令和元年度における財源効果（単年度）を試算（※）。

※ 行政事業レビューシート上にCO₂排出削減量の記載がない事業等の一部の事業を除いたCO₂削減効果。

- 令和元年度において355万t-CO₂の削減効果（財源効果）が見込まれる。
- 令和元年度におけるCO₂削減コスト（※）は平均16,451円/t-CO₂/年と試算される。

※ 令和元年度におけるCO₂削減コスト：令和元年度の執行額／令和元年度単年度でのCO₂削減量。令和元年度に実施した事業によって将来削減されるCO₂削減量を加味しない値であることに留意が必要。

行政事業レビューシート※の例

令和2年度行政事業レビューシート（環境省）									
事業名	先進対策の効率的実施によるCO2排出量大幅削減事業			担当部局	地球環境局			作成責任者	
事業開始年度	平成24年度	事業終了（予定）年度	令和2年度	担当課室	地球温暖化対策課市場・カーニズム室			室長 井上 和也	
会計区分	エネルギー対策特別会計エネルギー需給勘定								
根拠法令（具体的な条項も記載）	特別会計に関する法律第55条第3項第1号 施行令第50条第7項第10号			関係する計画、通知等	低炭素社会実行計画 地球温暖化対策計画（平成26年度5月13日閣議決定）				
成果目標及び成果実績（アウトカム）	定量的な成果目標	成果指標		単位	平成29年度	30年度	令和元年度	中間目標2年度	目標最終年度12年度
	参加事業者が掲げる基準年度排出量（算定対象事業所における参加年度の前3年間のCO2排出量の平均）からの削減目標量以上の削減の達成。	補助対象事業者が実際に達成した基準年度排出量からのCO2排出削減量※CO2排出削減量の実績値については、翌々年度末に確定する。	成果実績	t-CO2	30,310	60,537	69,069	-	-
			目標値	t-CO2	43,024	60,537	69,069	416,813	5,749,569
			達成度	%	70	100	100	-	-

※ 行政事業レビューシートとは、政府が実施している原則全ての各事業（約5,000事業）について、各府省自らが事業の執行状況や資金の流れ等を統一した様式に記載するもの。

レビューと政策評価との連携を確保するため、政策評価における当該事業に関連する測定指標の達成状況が記載される。特にエネ特事業では、CO₂削減量や省エネ量が指標として記されることがある。

令和元年度の成果実績を抽出して合算

（出所）内閣官房（2020）「各府省の令和2年度行政事業レビューシート（最終公表）」、資源エネルギー庁（2020）「総合エネルギー統計」、IEA（2020）「World CO₂ Emissions from Fuel Combustion」、「租税及び印紙収入予算の説明」（第198回国会）、財務省（2018）「平成31年度予算のポイント 経済産業、環境、司法・警察係予算」、財務省（2012）「税制改正（内国税関係）による増減収収込額」より試算。

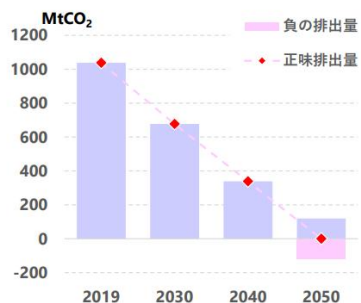
4

先進国の「限界削減費用」は加速度的に上昇する

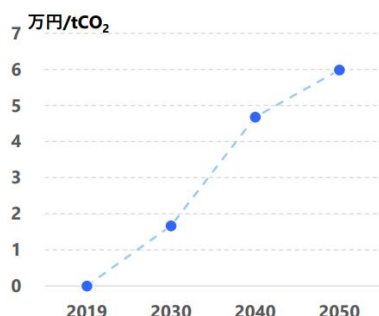
これまでに様々な機関で研究されてきた「限界削減費用」は想定するシナリオによって様々なパターンが出されているが、総じて「2030年に向けて、またそれ以降も2040年程度まで、加速度的に上昇する」とされており、前述の投資対削減効果はその表れと捉えることができる。中でも日本の限界削減費用は、2030年には世界トップクラスになる予測がされており、**削減努力をすればするほど、コストは加速度的に高くなる**ことを覚悟しなければならない・・・

[参考] CO₂排出量と限界削減費用（17基稼働+60年）

CO₂排出量



限界削減費用



- 2050年には1億トン以上のCO₂が大気からの直接回収（DAC）+ CCS、バイオマス発電+ CCSなどの負の排出技術によって大気から地球内部へと戻される。カーボンニュートラル達成のためには負の排出技術の大規模利用はほぼ不可欠である。

- 限界削減費用は急速に上昇し、2030年には概ね2万円/tCO₂前後、2050年には6万円/tCO₂前後となる。

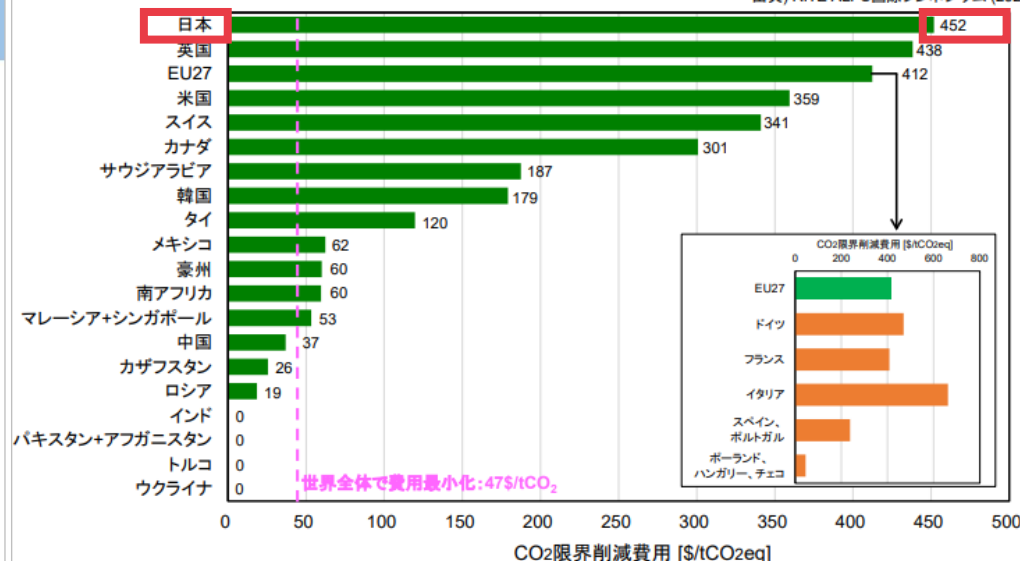
出典：資源エネルギー庁、「2030年・2050年の脱炭素化に向けたモデル試算」,2022/9/28
(https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/2022/050/050_005.pdf)

NDCsのCO₂限界削減費用（2030年）の国際比較



39

出典) RITE ALPS国際シンポジウム (2022)



注) ブラジル、インドネシアについては、土地利用変化による排出削減の寄与度が高いと見られる一方、その不確実性が極めて大きい。ため、限界削減費用の推計をしていない。イランは、BAUの定義の不明確性が大きい。ため、費用推計していない。

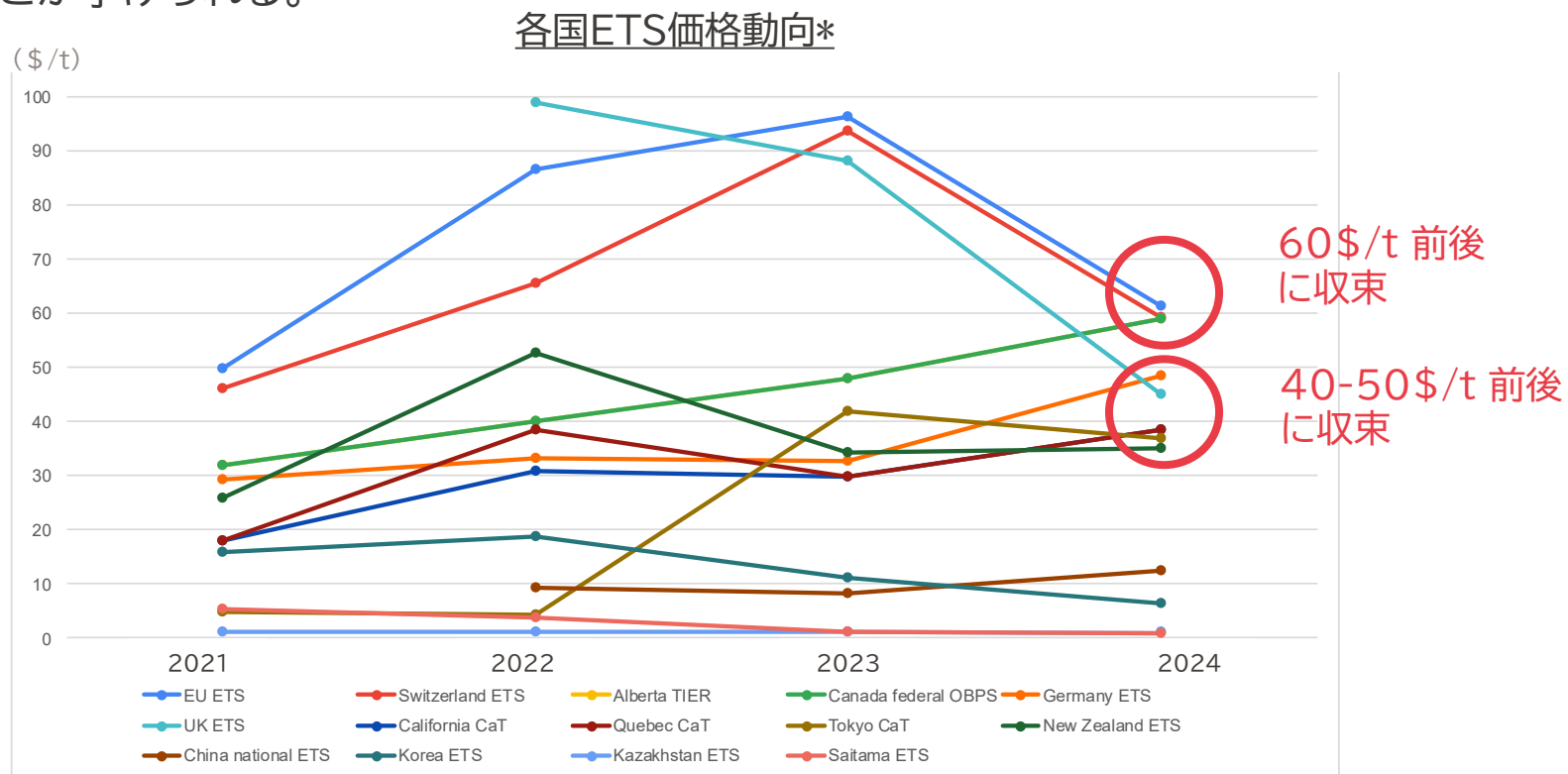
- ✓ 日米欧のCO₂限界削減費用は極めて高いと推計される一方、途上国の限界削減費用は小さい。特にインド、パキスタン、トルコ等は、限界削減費用ゼロと推計される。

出典：RITE、ALPS国際シンポジウム、2022 (RITE、「排出削減コストとポテンシャル IPCC推計との比較と示唆」) (<https://www.rite.or.jp/news/events/pdf/akimoto-ppt-kansaisympo2022.pdf>) より)

世界の炭素価格:先行する海外ETSの単価推移

前述のレベルで、今後投資対削減効果が加速度的に悪化し続けるということのひとつの表れとして、海外ETSの単価推移を示す。

各国の政策動向の影響が大きく出るため国による傾向差はあるものの、総じて2023年まで100 \$ /t近くまで大きく上昇し、2024年には、EU・スイス・カナダの60 \$ /tレベルと、ドイツ・イギリス・ケベック・ニュージーランドなどの40~50 \$ /tレベルに収束している。背景には、各国ETSの設計上論理的に求められる単価を政策的に設定した2023年単価に対して、産業界からの強い反発によって下降圧力がかけられたことが挙げられる。



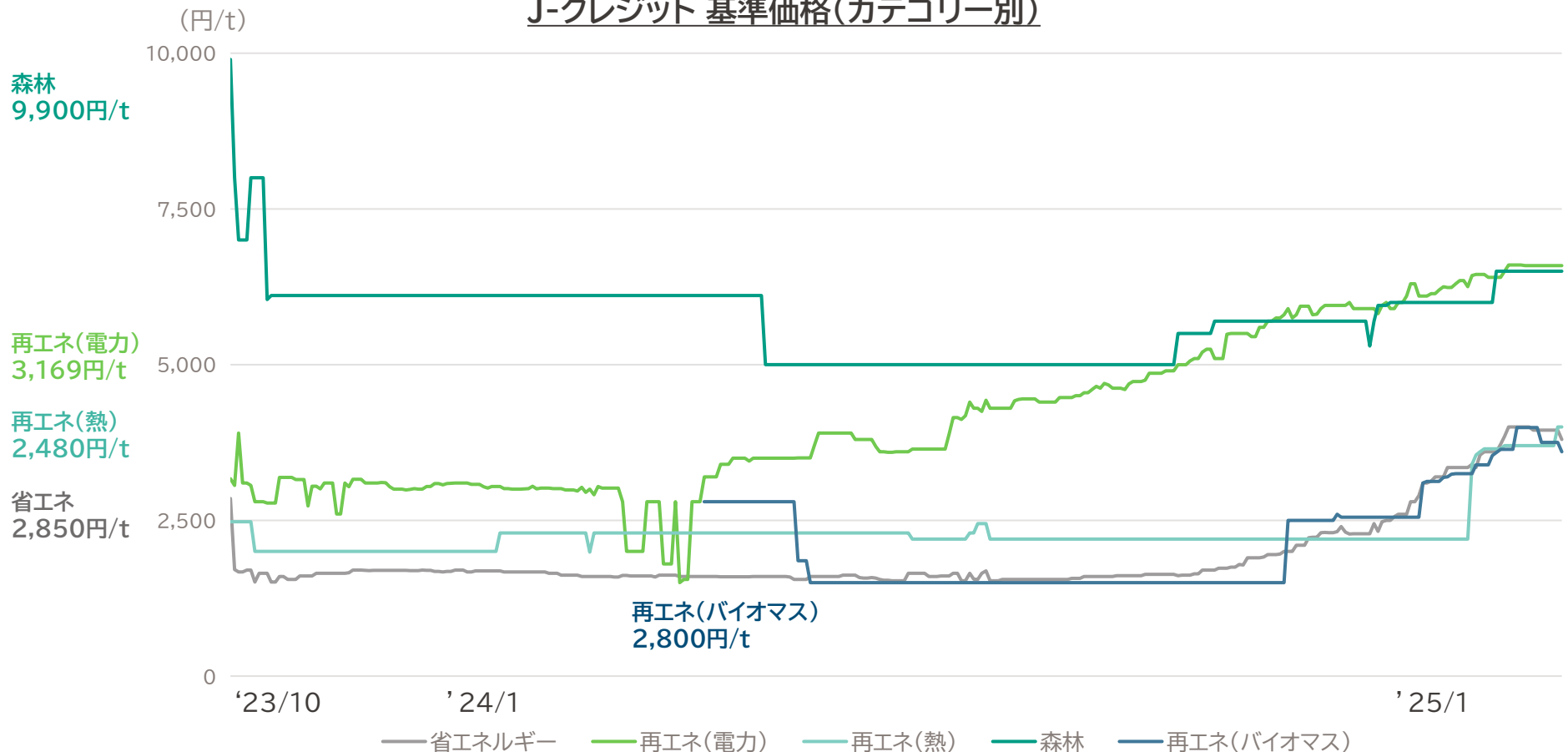
*少なくとも3年以上の実績のある国から抜粋

出所: World bank, "State and Trends of Carbon Pricing Dashboard", (<https://carbonpricingdashboard.worldbank.org/>) を基にBYWILL作成

日本の炭素価格: 東証CC市場開設から現在まで ①

2023年10月11日東証にカーボン・クレジット市場が開設され、J-クレジットは6種類でスタート。その後、2024年4月8日再エネ(電力)を電力とバイオマスに細分化、2025年1月6日に中干しとバイオ炭が導入され、現在9種類。そのいずれもが、上下限価格設定などの政策的な介入なしに、2024年6月以降の価格が上昇を続けている。

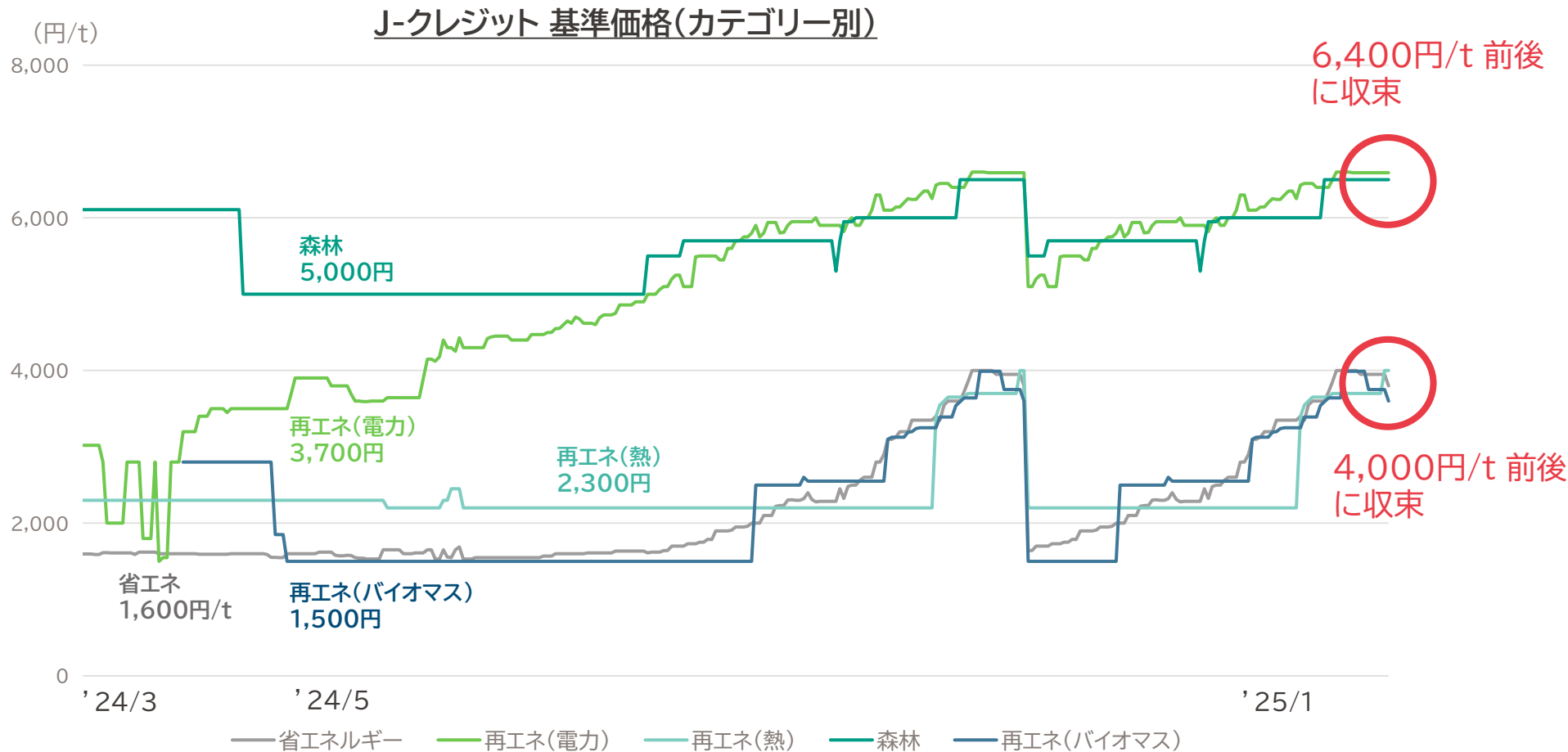
J-クレジット 基準価格(カテゴリー別)



日本の炭素価格: 東証CC市場開設から現在まで ②

2024年5月から再エネ(電力)が漸増。遅れて省エネも漸増傾向へ。その更に後を追うように、森林、バイオマス、熱も急上昇した。

4,000～6,400円/tが、カーボンクレジット価格という面で見た現在の日本の炭素価格という見方もできるが、前述の追加的削減単価との乖離は大きく、少なくとも論理的には、今後も上昇し続けるべき。



出所: 東京証券取引所 カーボンクレジットの基準価格を基にBYWILL作成

目標達成に向けた「投資対削減効果」の壁:『カーボクライシス』 総括

- 2030年NDC目標未達リスクを回避するために、今後一層の削減対策が求められる日本と主要各国だが、多くの国ではこれまでの投資の積み上げが奏功し、投資対削減効果は一定の向上が見られる。日本は中でも投資対削減効果の向上は世界でもトップ水準と言ってよい。
- しかし同時に、投資対削減効果がこれだけ向上しても尚、NDC目標が達成基調で推移してきたのは経済成長率の低い日本のみであり、**経済の低成長と引き換えでなければ目標達成できない状況が浮き彫り**になっている。**環境と経済の同時実現を目指すGXのためには、更なる投資加速と効果効率の向上が必須。**
- 一方で、将来に向けた限界削減費用の試算では、2030年に向けて、更には2040年に至るまで、**加**
速度的にコストが上昇すると予測されている。
※過去、日本でも既に投資対削減効果の実績はいくつか出されているが、令和元年の段階で既に約1.6万円/tに達している。
- 実際の炭素価格の推移を見るひとつの指標となる各国ETSでの単価推移も、総じて2023年まで上昇傾向。EUなどの一部の国では、**2023年には目標達成に向けた理論値に近い100 \$/t水準まで上昇**したが、産業界からの強い反発もあり(※)**2024年には40~60 \$/tに収束**している。
(※)2024年9月には産業の競争力低下と空洞化リスクを指摘したドラギレポートが提出され、ネットゼロをリードしてきたEUでも、情報開示手続き簡素化などが進められる流れが生まれている。
- これらは、**既定路線で2030年目標を達成するために求められるコストと実態が既に乖離している**ことを示しており、今後のネットゼロに向けた最大の課題は「投資対削減効果の向上」であることが分かる。
- まだ未成熟とは言え、日本の東証CC市場の単価も、2024年には急速に上昇している。
- 地球環境をサステナブルにするために必要なカーボンプライシングが、人類の経済活動の持続可能性を致命的な危機に陥らせる、謂わば**『カーボクライシス』が迫っている。**

4. カーボクライシスに備え 目標達成するために

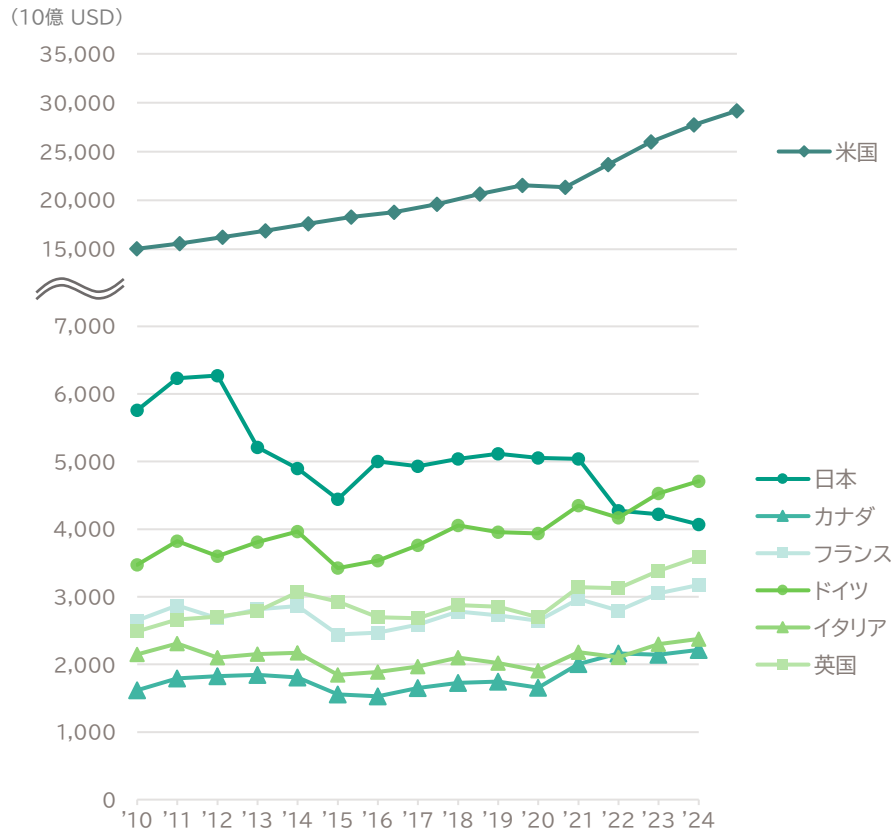
「環境」と「経済」の偏在を、
資金循環によって武器に変える



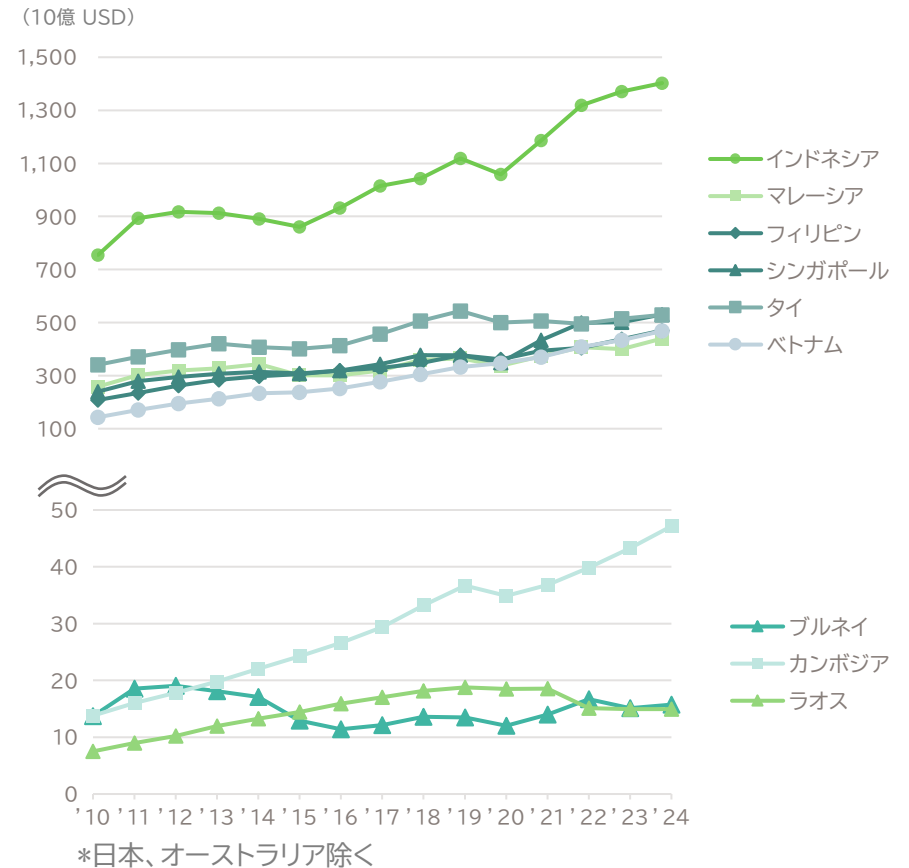
【世界】日本・先進国・AZECのGDP

先進国も、アジア各国も、日本以外は総じて経済も成長中。

G7各国の名目GDP



AZEC各国*の名目GDP



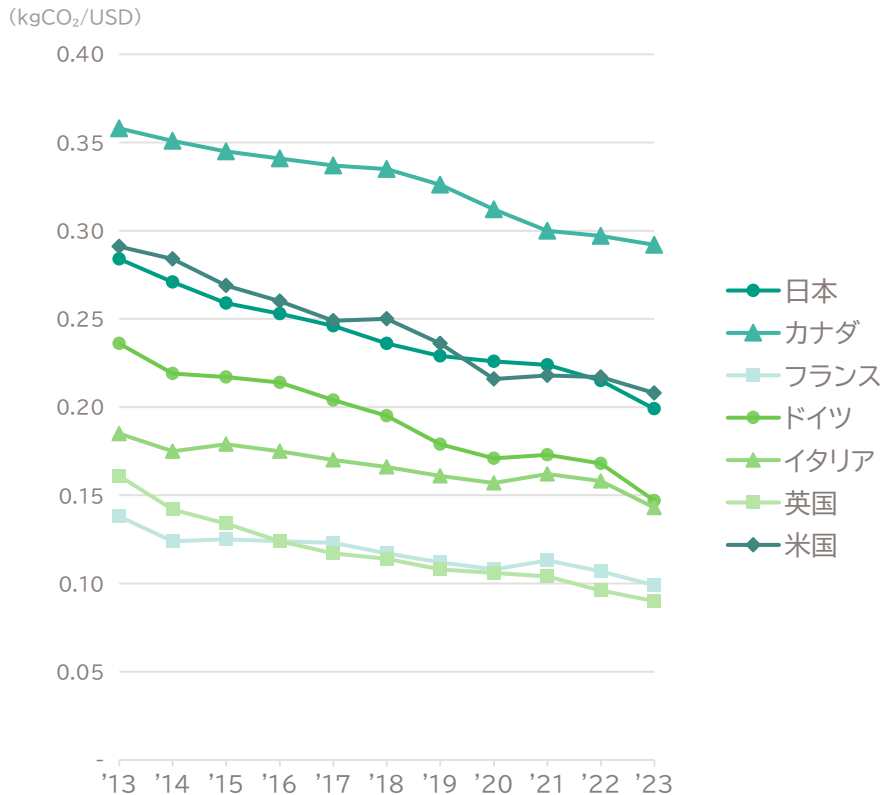
出所: IMF, GDP, current prices (<https://www.imf.org/external/datamapper/PPPGDP@WEO/OEMDC/ADVEC/WEOWORLD>)を基にBYWILL作成

【世界】日本・先進国・AZECのGDPあたりGHG排出量

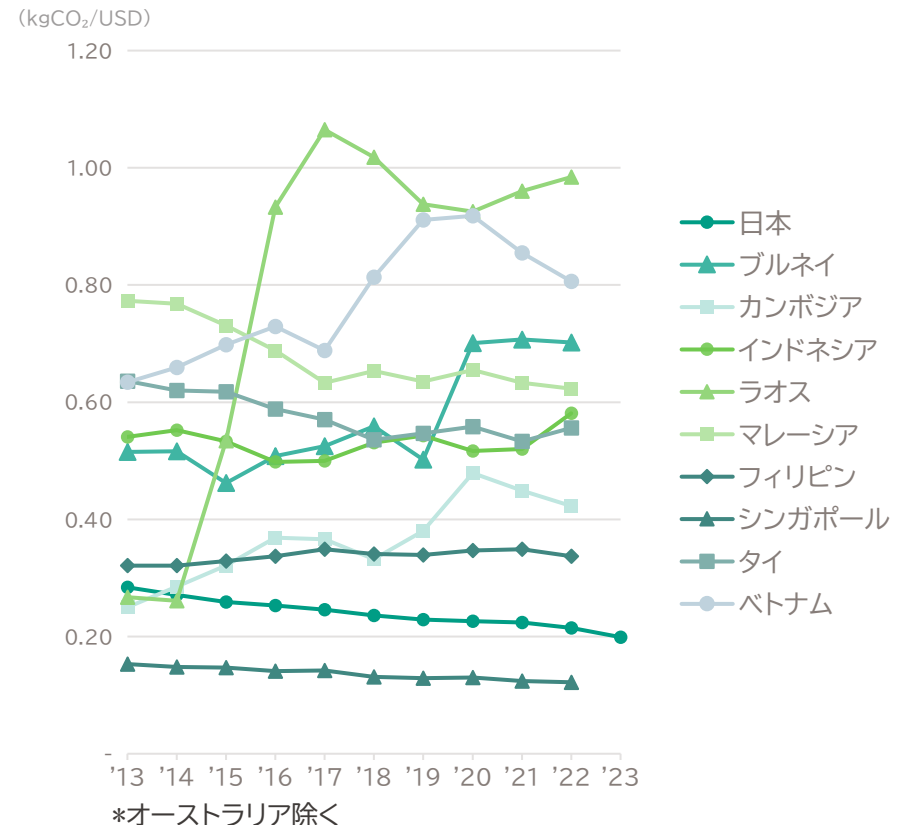
一方で、GDPあたり排出量は、先進国では下降傾向であり脱炭素推進が定着していることが伺えるが、アジア各国では未だその限りではない。

裏を返せば、先進国よりもアジア各国(そして途上国全般でも)の方が、削減余地が多く効率も高いことを示唆しており、国による投資対削減効果には大きな差があると推察される。

G7各国のGDP(PPP)あたりGHG排出量



AZEC各国*のGDP(PPP)あたりGHG排出量

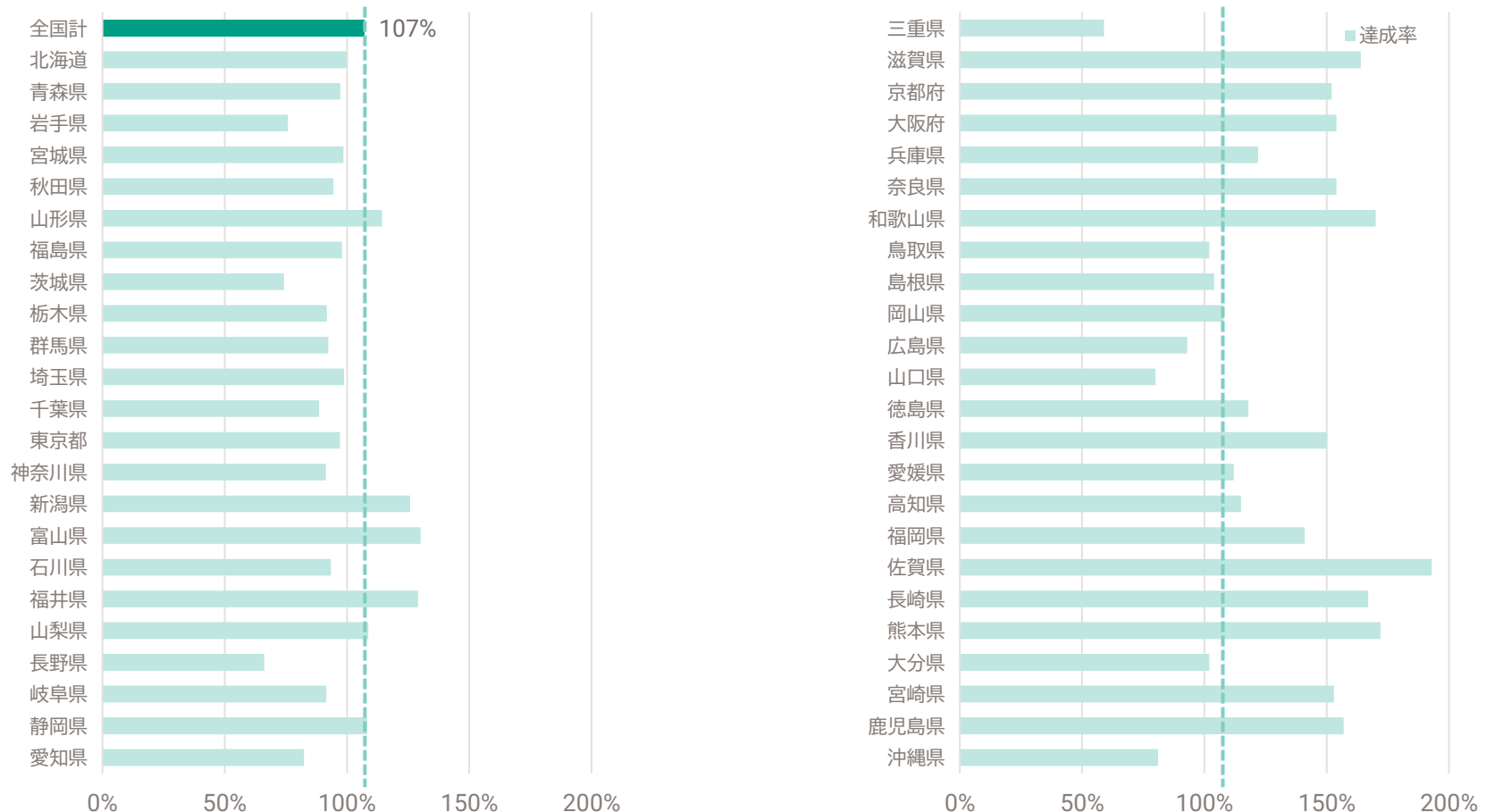


出所:IEA, "Greenhouse Gas Emissions from Energy Highlights", (<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/greenhouse-gas-emissions-from-energy-highlights#documentation>)
を基にBYWILL作成。各国の生活水準や経済構造の違いを考慮するため、PPPベースGDP(購買力平価)に対するGHG排出量を使用。

【国内】都道府県別の脱炭素進捗

日本国内の地域差に目を向けると、都道府県ごとに、2030年に向けた目標に対する達成度に大きな差があることが分かる。

2021年のGHG削減目標*に対する達成率



*2021年のGHG削減目標値は、2013年を起点に、2050年にゼロになるよう直線的に削減した場合の推計値。

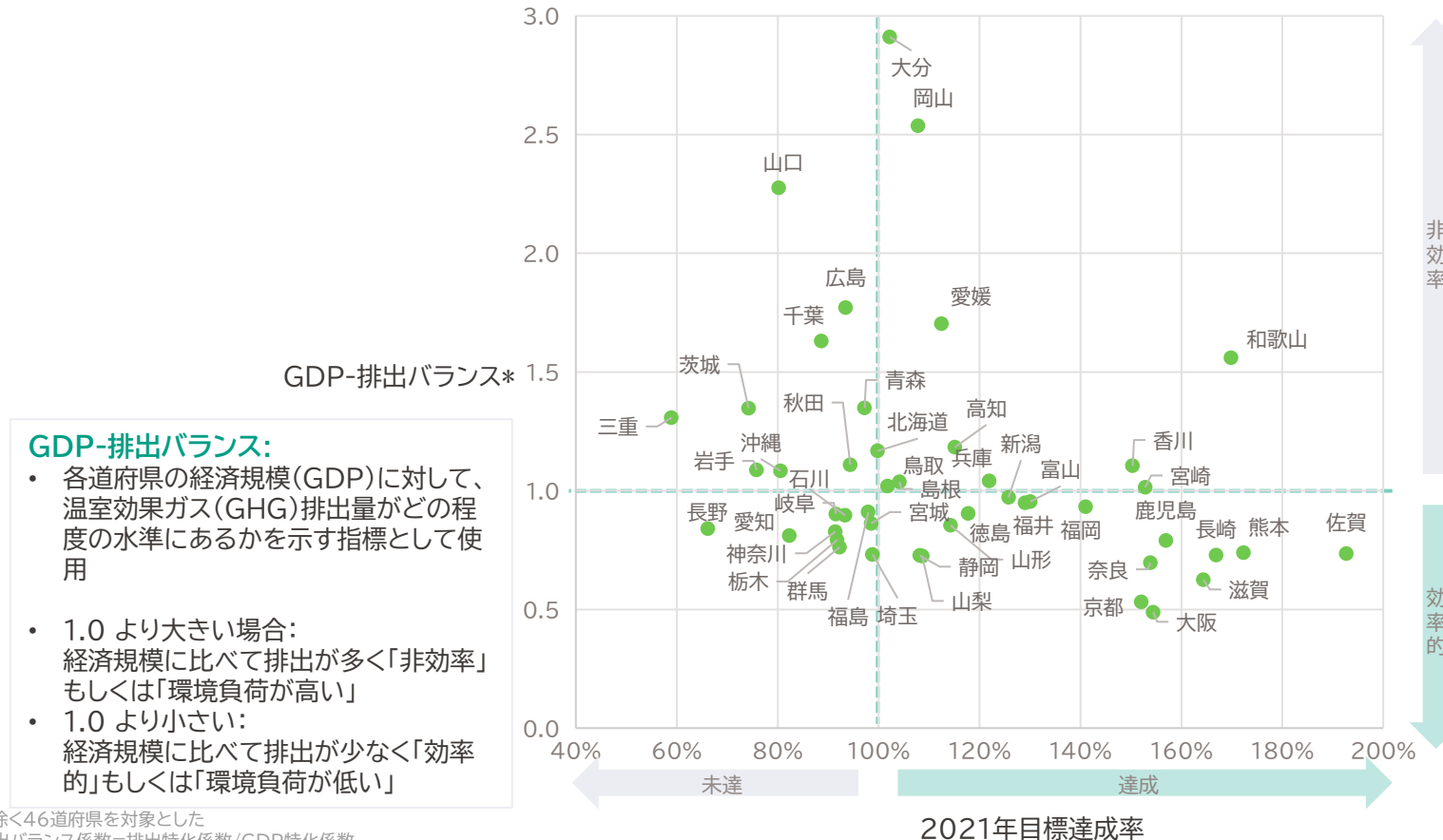
出所：環境省、「部門別CO₂排出量の現況推計」(https://www.env.go.jp/policy/local_keikaku/tools/suikei.html)を基にBYWILL作成

【国内】都道府県別*のポテンシャルの偏在

背景にあるのは、地域ごとの産業構造と自然資源量。

国内でも、地域特性によって、今後の削減ポテンシャル、ひいては投資対削減効果には大きな差があることが伺える。

都道府県別のGHG削減進捗状況*



* 東京都を除く46道府県を対象とした

**GDP-排出バランス係数=排出特化係数/GDP特化係数

GDP特化係数:各道府県のGDPが全国平均(東京都を除く46道府県平均=1.0)に対してどれほど大きい/小さいかを示す。

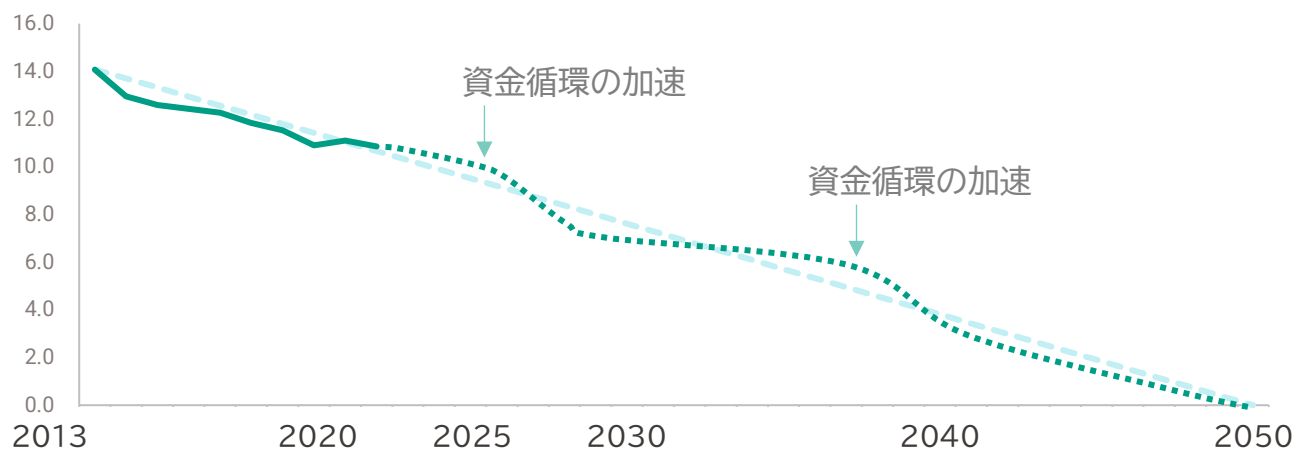
排出特化係数:各道府県のGHG排出量が全国平均(東京都を除く46道府県平均=1.0)に対してどれほど多いかを示す指標。

出所:環境省、「部門別CO₂排出量の現況推計」(https://www.env.go.jp/policy/local_keikaku/tools/suikei.html)、内閣府、「県民経済計算(県内総生産、令和3年度、生産側、名目)」(https://www.esri.cao.go.jp/jp/sna/sonota/kenmin/kenmin_top.html)を基にBYWILL作成

カーボクライシスに備え、目標達成するために 総括

- 迫る『カーボクライシス』を回避し、世界をブレることなくネットゼロに向かわせるために必要なことは、「**投資対削減効果の圧倒的な向上**」
- そのための鍵は、**地域による環境価値と経済価値の偏在**。この偏在は、従来の「ネットゼロに向けたセオリー実践」で拡大することはこれまでに述べたとおり。これを埋める形での、**従来よりも大きなバウンダリーの設定と、大規模かつ高効率の資金循環**が必要とされている。
- だが、安易なセオリーからの逸脱は、ネットゼロに向けた本質的なアクション、ひいてはこれまでに積み上げてきたカーボンニュートラルに向けたグローバルメガトレンドを揺るがしかねない。重要なのは、**これまでどおりのセオリー実践と偏在の是正(投資対削減効果の飛躍的な向上のために、資金をポテンシャルの高い地域に流すこと)の緩急**。

2050年目標達成までのイメージ



これまでのネットゼロシナリオ
「国ごと、企業ごとのバウンダリー
内での直接的な削減投資や取り組みのみに集中すべき」

カーボクライシス回避に
必要なシナリオ
「より大きなバウンダリーで、環境
と経済の偏在を埋める資金循環の
規模・効率の最大化によって、
大きく成果を出すべき」

今後の注力領域

前述の日本の政策や取り組みの中でも、特に下記(赤枠内)は、「より大きなバウンダリーで」「資金循環の規模・効率を最大化」する視点での注力～具体化が求められる。

実現に向けた検討	 地域脱炭素ロードマップ	 改正地球温暖化対策推進法 成立			
具体的な取り組み	 環境基本計画・地球温暖化 対策計画等の見直し	 脱炭素事業への新たな 出資制度	 環境金融の拡大（金融の グリーン化）	 2050年カーボンニュートラル に伴うグリーン成長戦略	 GX（Green Transformation） の推進
	 脱炭素経営への取組	 ゼロカーボンシティの 表明から実現へ	 地域脱炭素の推進	 エネルギー対策特別会計を 活用した取組	 デコ活の推進
	 気候変動の国際交渉	 JCM・都市間連携事業	 環境白書・循環型社会白書・ 生物多様性白書		
審議会・検討会等	 地球温暖化対策推進本部	 中央環境審議会	 カーボンプライシングの検討		

今後のあるべき世界観

脱炭素のポテンシャルはあるが、モチベーション・ナレッジ・資金が不足している「途上国」「地方」「中小企業」と、脱炭素のモチベーション・技術・資金はあるが、それを最大限に活かす対象を見出しにくい「先進国」「大都市」「大手企業」の間で、環境・経済が循環し、誰もが前向きにGXを目指す世界

