



カーボンニュートラル： 明るく豊かな社会か 暗く貧しい社会か

JST 社会シナリオプロジェクト 暫定シナリオ報告書

「カーボンニュートラル移行の加速に向けた総合知に基づく社会シナリオ」
プロジェクト

JST 低炭素社会実現のための社会シナリオ研究事業

「カーボンニュートラル移行の加速に向けた総合知に基づく社会シナリオ」

研究代表者：東京大学 先端科学技術研究センター所長・教授 杉山 正和

暫定シナリオ報告書

「カーボンニュートラル：明るく豊かな社会か暗く貧しい社会か」

出版：2025年3月

執筆チーム：杉山昌広（東京大学）、マヌエラ・ハルトヴィッヒ（東京大学）、白木裕斗（名古屋大学）、天沢逸里（早稲田大学）、亀山康子（東京大学）、大城賢（京都大学）、藤森真一郎（京都大学）、菊池康紀（東京大学）、大友順一郎（東京科学大学）、谷口昇（東京大学）、櫻井ひろ花（東京大学）、ジェームズ・コレイア（東京大学）、曹涛（東京大学）、エイモン・フレーザー（東京大学）、杉山正和（東京大学）

表紙の説明：ChatGPTで「『明るく豊かなカーボンニュートラル社会』のイメージ写真を作ってください。表紙に使いたいので、少しシンプルなものの方がよいです。」というプロンプトを用いて作成した図を一部改変。

引用の仕方：杉山昌広，マヌエラ・ハルトヴィッヒ，白木裕斗，天沢逸里，亀山康子，大城賢，藤森真一郎，菊池康紀，大友順一郎，谷口昇，櫻井ひろ花，ジェームズ・コレイア，曹涛，エイモン・フレーザー，杉山正和. (2025). *カーボンニュートラル：明るく豊かな社会か暗く貧しい社会か*. JST 低炭素社会実現のための社会シナリオ研究事業「カーボンニュートラル移行の加速に向けた総合知に基づく社会シナリオ」プロジェクト.

目次

図表リスト	4
要約	6
謝辞	8
1. はじめに	9
1.1. 研究プロジェクトの背景と文脈	9
1.2. プロジェクトの目的	12
1.3. 研究体制	15
2. 方法論	17
2.1. 方法論の概要	17
2.2. シナリオ開発手法、ワークショップの設計と実施	18
2.3. 統合評価モデルによる定量化	24
2.4. 情報技術（共同編集ツールや生成人工知能）の活用	24
3. レビュー	25
3.1. 過去のトレンド	25
3.2. シナリオのレビューとメタ分析	27
4. 3本のカーボンニュートラル（CN）社会シナリオ暫定版	28
4.1. 3本のシナリオの分岐	28
4.2. シナリオ A: 明るく豊かな国際協調型 CN 社会—脱炭素コスモポリタン	31
4.3. シナリオ B: 明るく豊かな自給自足型 CN 社会—エコ・ナショナルリズム	35
4.4. シナリオ C: 暗く貧しい CN 社会—社会の崖っぷち	39
4.5. 定量化結果	43
5. シナリオの解釈と含意	50
5.1. 多様なシナリオを考える意義：不確実性と共通性	50
5.2. 短中期の政策ミックスと社会戦略への含意	51
5.3. 脱炭素の失敗の可能性	51
6. 今後に向けて	52
7. 付録1：過去のトレンド詳細版	54
7.1. 気候変動緩和政策の推移と現状	54
7.2. エネルギー政策の推移と現状	57
7.3. エネルギー政策と技術	61
7.4. エネルギー需要の政策と技術	64
7.5. 緩和技術・オプションのイノベーション	68
7.6. グローバル気候ガバナンスにおける日本の役割	70

7.7. 日本人の環境問題に対する意識.....	73
8. 付録2:シナリオのメタ分析.....	76
8.1. 日本におけるネットゼロ排出シナリオに関するメタ分析.....	76
9. 参考文献一覧.....	85

図表リスト

図 1	日本（上段）と世界（下段）の年平均気温の経年変化（1898～2024 年）	10
図 2	日本の温室効果ガス排出量の実績値と排出削減目標	11
図 3	明るく豊かなカーボンニュートラル社会と暗く貧しいカーボンニュートラル社会の対比 （ChatGPT 4o による AI 生成画像, 2025）	15
図 4	総合知に基づくシナリオ開発と加速的な移行戦略提案に向けた研究グループ構成と研究 体制	16
図 5	ナラティブの分岐点と暫定的定量化の関連性	30
図 6	シナリオ A のイメージ図. ChatGPT へのプロンプト：「明るく豊かなカーボンニュート ラルな社会（国際協調型）の映像を作ってください。」（ChatGPT 4o による AI 生成画 像, 2025）	31
図 7	シナリオ B のイメージ図. ChatGPT へのプロンプト：「明るく豊かなカーボンニュート ラルな社会（自給自足）の映像を作ってください。」	35
図 8	シナリオ C のイメージ図. ChatGPT へのプロンプト：「社会格差が高い、経済成長は低 い、貧しいカーボンニュートラルな社会の映像を作ってください。」（ChatGPT 4o によ る AI 生成画像, 2025）	39
図 9	シナリオごとの一次エネルギーの時系列	43
図 10	シナリオごとの電源構成の時系列	44
図 11	シナリオごとの水素供給の時系列	45
図 12	シナリオごとの最終エネルギー消費の時系列	46
図 13	シナリオごとの CO ₂ 排出量の時系列	47
図 14	シナリオごとのカーボンプライス（炭素価格）の時系列	48
図 15	GHG 排出量の推移	55
図 16	日本のエネルギー政策の基本方針 S+3E	57
図 17	日本のエネルギー自給率	58
図 18	CO ₂ の部門別排出量（電気・熱配分後）の推移	59
図 19	電源別の FIT/FIP 認定量・導入量（2024 年 12 月末時点）	62
図 20	住宅の外皮平均熱貫流率（UA 値）基準の国際比較（2021 年）	65
図 21	運輸部門 CO ₂ 排出量の推移	66
図 22	気候変動に関する理解についての世界と日本の比較	74
図 23	メタ分析における CO ₂ 排出量（2035 年）	78
図 24	メタ分析における CO ₂ 排出量（2050 年）	79
図 25	メタ分析における一次エネルギー供給（2035 年）	80
図 26	メタ分析における一次エネルギー供給（2050 年）	80

図 27	メタ分析における発電量（2035 年）	81
図 28	メタ分析における発電量（2050 年）	81
図 29	メタ分析における最終エネルギー消費（2035 年）	82
図 30	メタ分析における最終エネルギー消費（2050 年）	83
図 31	メタ分析における炭素価格（2035 年）	84
図 32	メタ分析における炭素価格（2050 年）	84
表 1	シナリオ設計のプロセス	17
表 2	2025 年度のワークショップの概要	20
表 3	ワークショップのタイムスケジュール（7月 23 日オンラインワークショップの例）	21
表 4	3 つのワークショップから得られたキーワードと変数	22
表 5	ワークショップで得られた変数とシナリオの対応	29
表 6	「明るく豊かな国際協調型社会」社会の大まかなタイムラインの例（技術）	33
表 7	「明るく豊かな国際協調型社会」社会の大まかなタイムラインの例（ポスト産業・文化 経済型）	34
表 8	「明るく豊かな自給自足型社会」社会の大まかなタイムラインの例（再生可能エネルギー と農業の融合）	37
表 9	「明るく豊かな自給自足型社会」社会の大まかなタイムラインの例（コミュニティエネ ルギーと分散型経済）	38
表 10	「暗く貧しい CN 社会」の大まかなタイムラインの例（経済破綻と AI 格差社会）	41
表 11	暗く貧しい CN 社会の大まかなタイムラインの例（エネルギー貧困と政策の失敗）	42
表 12	メタ分析に用いたモデル・シナリオ一覧	76

要約

世界中で気候変動のリスクの認識が深まる中、地球温暖化対策の強化が必要である。その際、重要な分析ツールがシナリオである。本研究プロジェクトでは、日本の2050年カーボンニュートラル（CN、脱炭素またはネットゼロ）達成に向けた対策を加速する社会戦略や政策ミックスを考えるためのシナリオを作成している。手法としては、文献調査による過去のトレンドのレビュー、総合知を活用する専門家ワークショップや定量モデリングなどを組み合わせた。本報告書では3つの異なる2050年CN社会シナリオの暫定版を提示する。



シナリオ A 「明るく豊かな国際協調型 CN 社会—脱炭素コスモポリタン」：国際協調を基盤に、再生可能エネルギーや革新的技術の普及が進み、経済成長と環境保護を両立する社会である。グリーン水素の活用が進み、エネルギーシステムは持続可能かつ公平に管理。AI や国際的政策協力がグローバル課題の解決に貢献し、社会全体で倫理的な選択や持続可能なライフスタイルが重視される。日本はエネルギー・環境分野で世界的リーダーとなる。



シナリオ B 「明るく豊かな自給自足型 CN 社会—エコ・ナショナリズム」：地域密着型の分散型エネルギーシステムが特徴である。国内資源の活用や農業との融合により、自給自足的なエネルギー体制を構築し、地方と都市間の格差是正にも貢献する。コミュニティベースの社会運営を通じ、地域社会の結束力を高めることを重視している。政府主導でカーボンニュートラル製品の普及と技術開発が進み、災害適応と持続可能な都市計画も強化されている。



シナリオ C 「暗く貧しい CN 社会—社会の崖っぷち」：日本のGX政策の失敗や技術導入の遅れによって社会が経済的に疲弊し、エネルギー貧困や格差の拡大が深刻化する。政治腐敗と不安定な統治が続き、社会全体の持続可能性が損なわれている。国際的な孤立や資源調達の高コスト、AI格差による雇用喪失が発生し、社会の安定性と持続性を損なうリスクが高まる。ただ、外圧によってCN政策は継続される。

未来の社会を議論する際、「明るく豊かなCN社会」のみを想定することはできない。むしろ、「暗く貧しいCN社会」も議論することで、「明るく豊かなCN社会」を達成するための社会戦略や政策ミックスが明らかになる。さらに、脱炭素化が進む中で生じうるリスクや課題を事前に特定し、それを回避するための政策や技術的アプローチを考える契機となる。

「明るく豊かなCN社会」のためには何が必要であろうか。本シナリオは暫定版であり、必ずしも包括的な提案はできないが、幾つか重要な示唆が得られた。まず、社会変革の速度には限界があり、行動が遅れば遅れるほど選択肢は狭まり、望ましい社会を実現するためにかかるコストや困難性が増大することと解釈できる。このことから、望ましい未来を実現するには、早期の政策決定と具体的な行動を迅速に実施することが不可欠である。次に、「明るく豊かなCN社会」も、一つではないことである。現在進んでいる様々な技術イノベーションの開発や社会的な取り組みがすべて成功する保証はなく、複数のCN社会の可能性を踏まえて、政策ミックスや社会戦略を強化していく必要性がある。

本研究では統合評価モデルを用いてシナリオの暫定的な定量化も行った。2050年のCN社会達成のためには、モデル内の炭素価格が伸び続けることを踏まえて、政策の大幅かつ継続的な強化が必要になる。対策については、最終エネルギー消費の減少（経済全体のエネルギー効率上昇）、電源の脱炭素化、需要部門の電化の推進、二酸化炭素除去（CDR）の導入など共通点が見いだされた。一方、シナリオによって水素の生産方法（輸入か国内生産か）や導入量が大きく異なることが見いだされた。これらは様々な既往研究とも整合的である。

シナリオの目的は、流布されている「公式の未来」以外も起こる可能性を受け止め、「聞きなれない」「別の」未来像も考えることで、現在の政策や対応の検討を促すものである。本報告書は4年間のプロジェクトの中間時点で暫定的なシナリオを示したものである。激変する地政学・地経学的状況や技術イノベーションの動向や暫定版シナリオへの意見を踏まえて、残りの2年間で社会戦略と政策ミックスに資するシナリオに磨きをかけていく。

謝辞

本研究の遂行にあたり、以下の皆様に貴重なご助言・ご協力を賜りました（敬称略）：江守正多（東京大学）、朝山慎一郎（国立環境研究所）、木村宰（電力中央研究所）、松橋啓介（国立環境研究所）、渡邊理絵（青山学院大学）、大場紀章（ポスト石油戦略研究所）、飯田敬輔（東京大学）、上野貴弘（電力中央研究所）、柳美樹（日本エネルギー経済研究所）、田村堅太郎（地球環境戦略研究機関（IGES））、古城佳子（青山学院大学）、梶川裕矢（東京大学）、金沢大輔（東京大学）、木村誠一郎（自然エネルギー財団）、岡島博司（トヨタ自動車）、Laurent Bontoux (European Union Joint Research Centre)、角和昌浩（元東京大学）、中野祐樹（横浜国立大学）。

メタ分析については多くのモデル研究者にご協力いただきました。

また正垣典子（東京大学）、石山雅子（東京大学）の両氏には日々研究支援を頂きました。心より感謝申し上げます。

本研究は、JST 低炭素社会実現のための社会シナリオ研究事業 JPMJCN2301 の支援を受けたものです。

1. はじめに

1.1. 研究プロジェクトの背景と文脈

気候変動問題の現状と課題

2024年の日本の平均気温は、平年値（2020年までの30年間平均）プラス1.48度となった（図1）。これは昨年につき、1898年の統計開始以降の最高記録を更新する数値となった。過去最高の気温を記録しているのは日本のみならず世界でも同様の傾向である。年を追うごとに上昇する気温に歯止めをかけるべく、人類共通の課題として、世界中でカーボンニュートラル（CN）の達成に向けた様々なアクションが継続されている。

カーボンニュートラル社会への移行を検討するために重要な役割を担うのがシナリオである。ここでいうシナリオとは、「不確実な未来を分析するために用いられる統合的な未来像の描写」を指す。日本では2025年2月にエネルギー基本計画（経済産業省, 2025）や国が決定する貢献（Nationally Determined Contribution；NDC, 各国がパリ協定に基づいて提出する温室効果ガスの排出量削減目標）（環境省, 2025a）が更新され、2050年のカーボンニュートラル目標に加えて2035年、2040年の目標も設定された（図2）。これらの検討の際にも多様なシナリオが示されている。提示されたシナリオは政治的にも社会的にも、そして技術的な視点からも、高い関心を集めている。

周知の通り、地球温暖化の対策は世界規模で進んでいる。日本や欧米諸国は2050年、中国は2060年、インドは2070年と目標年こそ異なるものの、各国は次々とカーボンニュートラルの達成という目標を掲げて取り組みを続けている。

国別の温室効果ガスの排出削減状況においては、日本のCO₂排出量は削減傾向にあるほか、イギリスなどは顕著な削減を達成している。温室効果ガス排出削減に後ろ向きとみなされがちなアメリカも、実際には削減を実現している。各国のカーボンニュートラルへの移行速度には差異はあるものの、世界各地で取り組みは進んでおり、一定の成果を出しつつあることは確かである。

カーボンニュートラル目標達成に向けた技術動向に目を向けると、太陽光発電や風力発電などの再生可能エネルギーのように、コストの低下と指数関数的な導入量の増加を実現しているような成功事例も出現している。

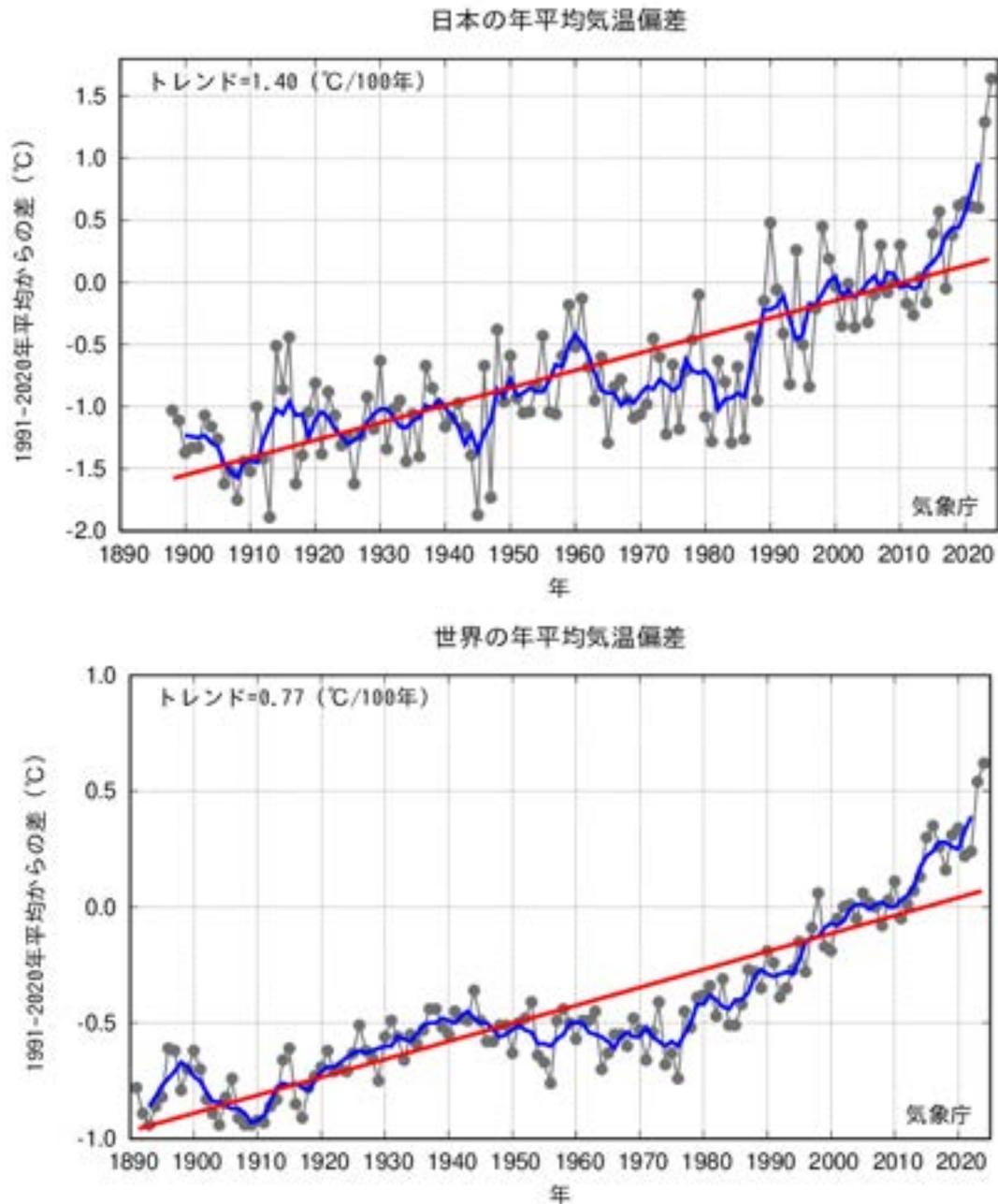


図1 日本（上段）と世界（下段）の年平均気温の経年変化（1898～2024年）
 出典: 気象庁, 2024年（令和6年）の天候のまとめ（速報）, 2024年12月25日発表,
https://www.jma.go.jp/jma/press/2412/25a/20241225_2024tenkou.html

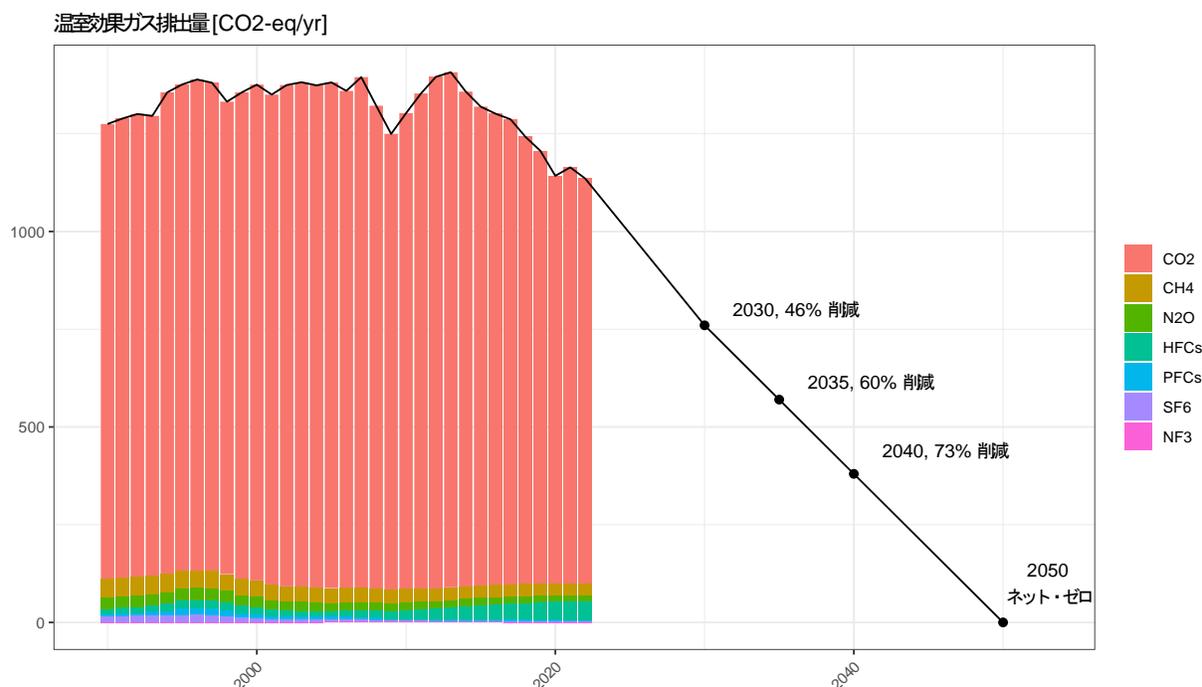


図2 日本の温室効果ガス排出量の実績値と排出削減目標。

出典：環境省&国立環境研究所 (2024b).

資金面においても、一定の進展は見られる。2024年11月にアゼルバイジャンで開催された気候変動枠組条約第29回締約国会議（COP29）において、「先進国が主導して、2035年までに少なくとも年間3,000億米ドル動員すること」が合意された。

しかしながら、現状では取り組みは不十分と言わざるを得ない。カーボンニュートラルへの移行を、世界全体でさらに加速させることが必要なのである。取り組みを加速させるには、単独の政策ではなく、社会戦略や政策ミックスと呼ばれる複合的なアプローチが必要である。また、既に一定程度の成果をあげている国が世界に知見を広げることも重要であるため、先進国の一員である日本にも、模範を示す役割が求められている。

カーボンニュートラル目標を達成する気候変動対策に関する社会シナリオ研究は、国内外で多岐にわたり実施されてきている。日本国内では、2020年の菅義偉首相（当時）によるカーボンニュートラル宣言を契機として本格的な検討が開始された。しかし、多数の社会シナリオ研究が進められている一方で、多くのシナリオ研究は数値シミュレーションモデルを用いた定量的な分析に留まっており、加速方策のあり方や定性的な分析は不足している。具体的な社会戦略や政策ミックスの理解も十分ではない。加えて、社会シナリオ研究と科学技術・イノベーション

ョン戦略を結びつける研究も不足している状況である。この現状が、本プロジェクトを実施する上での重要な背景である¹。

1.2. プロジェクトの目的

シナリオの定義と開発の意義

これまでに述べた背景を踏まえ、本プロジェクトでは「定性的ナラティブ」の開発と、それと統合的な定量的なシナリオ（統合評価モデル、技術経済性分析、ライフサイクル分析（LCA））の分析に取り組んでいる。なお、ここでいう「ナラティブ」とは、「一連の出来事や経験、あるいは主題やアイデアの発展を、筋書きや登場人物を用いて構造的に描いたもの」である。

シナリオについては様々な研究がなされている。経営を対象に開発されてきたシェル流のストーリー（物語形式）のシナリオもあれば、国際エネルギー機関（IEA）や気候変動に関する政府間パネル（IPCC）で用いられる非常に定量的なシナリオもある。これらに共通するものとして以下の特徴がある（Parson 2008; 杉山, 筒井, 高橋, 2024; 杉山, 角和, 木下, 2024）：

- シナリオは不確実な未来を想定して現在の意思決定や政策分析、議論を促すことを目的に作成される。
- シナリオは未来予測とは異なり、起こりうる未来を幅広く描写するために複数のシナリオが描かれる。
- シナリオはフィクションではなく、内部整合的で「もっともらしい」必要がある²。

本プロジェクトにおいては、これらの特徴を重視し、シナリオ開発の全プロセスにおいて、常に意識される基本原則として位置づけている。なお、「シナリオ」の言葉自体が指す意味合いは多岐にわたる上、シナリオと類似の意味を持つ用語も多数あるため（例としてビジョンや未来予測）、誤用や混同には注意を払わなければならない。

なぜ未来予測ではなくシナリオを用いるのであろうか。比較的近い未来である 2030 年ならば予測の精度を高めることも可能だが、2050 年に向けては不確実性が増大する。技術的な面に目

¹ 定性的ナラティブと定量モデリングを組み合わせた国を対象にした研究として本研究プロジェクトに近いことを行っているのはイギリスの Government Office for Science (2023) のカーボンニュートラルのシナリオである。

² ここでの「もっともらしい」は plausible の日本語訳である。シナリオのプロジェクトの目的によるが、通常の議論や分析でも極端とみなされるものも重要である場合、シナリオはそのようなものも扱うべきである。また、極端(extreme)なシナリオも検討すべきという主張もある (McCollum et al., 2020)。

を向ければ、例えば 2022 年に OpenAI の人工知能 ChatGPT が登場し世界を席卷したように、目まぐるしい変化が続いている。政治的な面についても、今年 1 月のトランプ大統領就任の前後で政権交代による各政策の方針転換を見越した情勢の変化が連鎖的に起こっている。2050 年に至る道筋の中でも、これらに類する不確実な社会変革は断続的に起こり得るであろう。

また、シナリオの目的は流布されている「公式の未来」(official future)でない未来が起こりうることを踏まえ(Ramirez & Wilkinson, 2016)、「聞きなれない」「別の」未来像も考えることで(角和, 2022)、現在の政策や対応の検討を促すものである。

プロジェクトの目的

本プロジェクトではカーボンニュートラル社会への移行を加速させるために、専門家ワークショップ等による総合的アプローチを用いて定性的なナラティブを構築するとともに、それらと技術経済分析や数理シミュレーションモデル分析を用いた定量シナリオ分析を組み合わせることで、明るく豊かな未来への道筋を提示し、日本のカーボンニュートラルの実現に向けた政策・戦略立案に貢献することを目的としている。

より具体的に目的を述べれば、テーマを「日本のカーボンニュートラル」と設定し、対象期間を 2050 年までとした。ここでのカーボンニュートラルは日本政府の目標と同じ意味であり、温室効果ガスの正味ゼロ排出のことを意味し、脱炭素という言葉で語られることもある。想定する読者については、本プロジェクトが JST の委託を受けていることから、政策決定者を主たる対象としつつも、プロジェクトで重要な論点となる技術開発との関連から、企業や金融機関、投資判断に関わる関係者まで広く含めている。シナリオの目的は、これら意思決定者の支援である。具体的には、政策立案支援に加え、投資先や研究開発方針の決定支援なども想定している。日本のカーボンニュートラルを対象とすることで、日本の特徴(人口密度が高く再生可能エネルギーを含めて相対的に資源が乏しい、素材産業が大きい)を包括的に分析する必要性が出てくる。

本プロジェクトは社会シナリオの開発を通して、日本社会が発展する方向性を検討する材料を提示することも目指している。その目標に向けて取り組む上で、重要な概念として「明るく豊かな」社会像がある。この社会像はプロジェクトの基本理念として繰り返し強調しているものであり、本プロジェクトの先行研究にあたる取り組みからも踏襲されてきた(科学技術振興機構低炭素社会戦略センター, 2014)。言い換えれば、カーボンニュートラル社会への移行にあたり、「暗く貧しい」社会像というものは、誰も望まないであろう、という前提に立っている。

「明るく豊か」という言葉は読み手の価値観によって多様な解釈が可能であるが、現代の大勢の価値観においては、ウェルビーイングの向上や社会の包摂性の確保として理解することができよう。ただし、「明るく豊か」の評価軸をこれらに限定した場合であっても、これらの評

価値軸を満たすいわば「良い社会」の姿は、決して一義的なものではない。例えば、高度な社会福祉と高負担を特徴とするスカンジナビア型の社会や、経済的効率性と社会的統制の調和を図るシンガポール型の社会など、異なるモデルが考えられる。

加えて、カーボンニュートラル社会の実現までに辿る道筋も単一ではない。すべての政策・戦略が理想的に実現される社会はもちろん望ましいが、現実的とは言えないだろう。様々な政策・戦略の成否が組み合わさった複数の「明るく豊かな」社会への経路を明らかにすることが有用である。同時に、政策の失敗や社会の方向性の誤りによって生じる可能性のある「暗く貧しい」社会を描き出し、その社会を回避する方策を検討することも必要である（図3）。

カーボンニュートラル社会シナリオのような地球規模の課題に関するシナリオ開発においては、社会変革、技術革新、地政学的変化などを包括的に考慮する必要がある。これまでのカーボンニュートラル社会シナリオでは、再生可能エネルギー技術や水素利活用に関連する技術、直接空気回収技術（DAC; Direct Air Capture）、二酸化炭素回収・貯留技術（CCS; Carbon dioxide Capture and Storage）などの重要技術に着目して、コスト低減や普及速度の多様な可能性を検討するような技術経済的な分析事例が多かった。他方で、例えば、水素技術に関して言えば、政府が掲げる野心的なコスト目標の達成可能性のような技術革新の側面に加えて、海外からの大規模な水素輸入のような地政学的変化の影響を受ける側面、水素エネルギー利用の社会受容性のような社会変革の影響を受ける側面など、多様な要因の影響を受ける。本プロジェクトでは、定量分析と定性分析を組み合わせることにより、多様な要因に跨る想定の妥当性など、複数の展開可能性を考慮することも企図している。定性的な分析としては、過去から現在に至るエネルギー・気候変動政策の文献調査や専門家ワークショップを通じて技術的可能性を慎重に検討した上で、定性的ナラティブを開発する。定量分析には統合評価モデルやエネルギーシステムモデルを使用し、シナリオの定量化を試行する。加えて、以上の多様なアプローチを経て開発されたシナリオを、政策ミックスや社会戦略として具体化し、幅広い層に伝達することも本プロジェクトの重要な目的である。開発されたシナリオにおいて、2030年、2040年、2050年にどのようなイベントが生じ、どのような対策を講じるべきか、時系列に沿った具体例を挙げながら、政策ミックスや社会戦略を示す。

なお、本プロジェクトではカーボンニュートラルを主要な研究対象としつつも、それを金科玉条として振りかざしたり、唯一絶対の目標として押し付けたりする意図はない。本研究で開発したすべてのシナリオはカーボンニュートラルの達成を前提として描かれているが、当然、それぞれのシナリオにはカーボンニュートラルを実現できないリスクも内包されている。本報告書では、それぞれのシナリオが抱えるカーボンニュートラル移行を失敗するリスクについても検討する。



図3 明るく豊かなカーボンニュートラル社会と暗く貧しいカーボンニュートラル社会の対比（CHATGPT 4oによるAI生成画像, 2025）³。

1.3. 研究体制

総合知の重要性

本プロジェクトでは、総合知に基づくシナリオ（定性的なナラティブと数理モデルに基づく定量的シナリオの組み合わせ）の開発と加速的な移行戦略の提案を目指し、複数の専門家グループによる研究体制を構築している。各グループは独自のテーマについて専門的な検討と研究開発を進めると同時に、グループ間の有機的な連携を通じてシナジー効果を創出する体制を採用している（図4）。

シナリオ開発において重要な要素として、多様な知見の集約が挙げられる。限定的な関係者のみによる検討では十分な視野を確保することができない可能性があるため、本プロジェクトでは外部専門家を交えたワークショップを2023年度に1回、2024年度に3回実施し、シナリオに関する多角的なインプットを得た。これらの知見を研究チームが統合・整理し、シナリオ開発を進めるというプロセスを採用している。また加速戦略のために研究チーム内部でワークショップを開催した。

³ プロンプトとして「著作権として問題がない、明るく豊かなカーボンニュートラル社会と暗く貧しいカーボンニュートラル社会を左右に対比させるイメージ写真を作ってください。」を使用した。その後、<https://cleanup.pictures/>を用いて一部修正した。

また、研究チームでの独自の分析に加えて、過去のトレンドや既往シナリオ研究のレビュー（メタ分析）も行い、総合的な知見をまとめることに努めた。

なお、本報告書は4年間のプロジェクトの中間時点で暫定的なシナリオを示したものであり、本シナリオについての議論を喚起することを意図している。

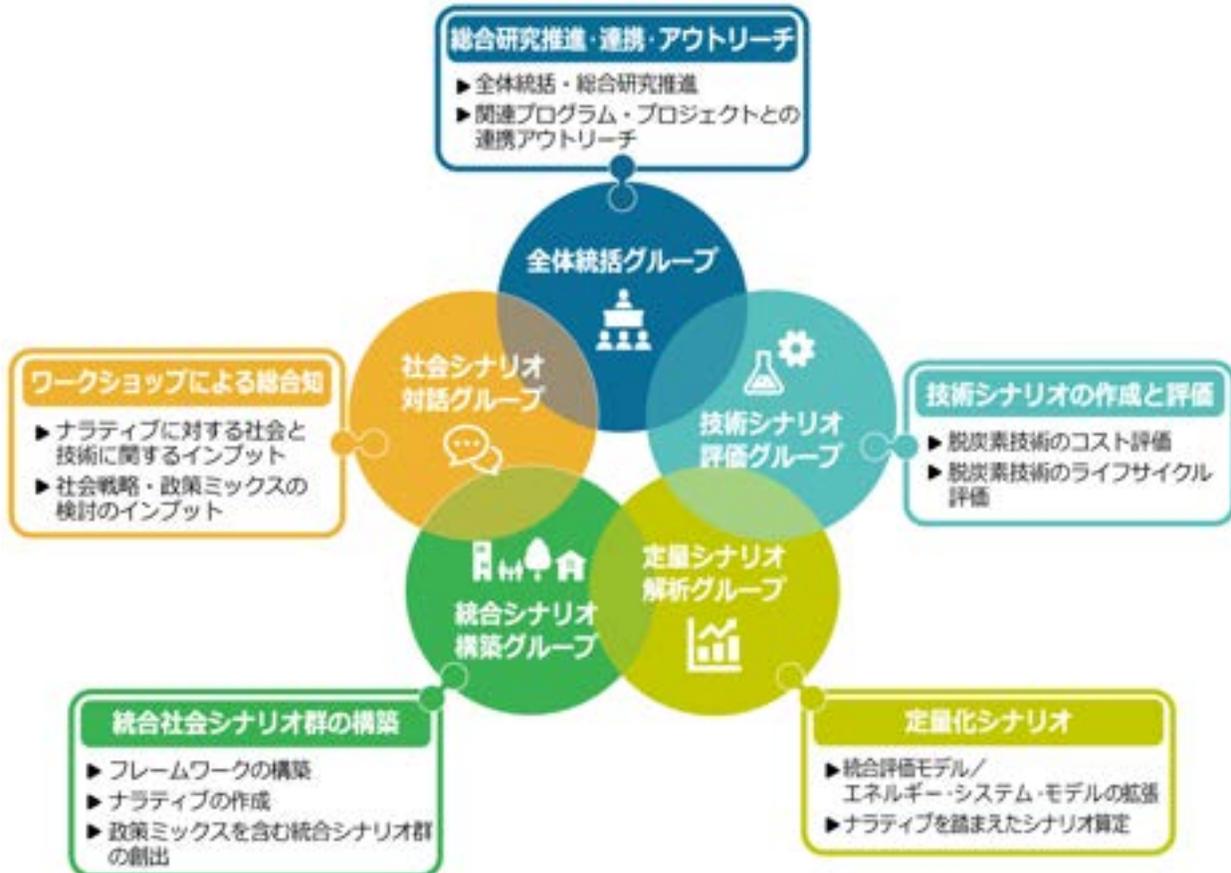


図4 総合知に基づくシナリオ開発と加速的な移行戦略提案に向けた研究グループ構成と研究体制

2. 方法論

2.1. 方法論の概要

本プロジェクトの中心的アウトプットは定性的なナラティブと定量的なモデリングを組み合わせたシナリオである。今回は、プロジェクトの2年度目終了時点ということで、暫定的なシナリオの枠組みを示す（表1）。

表1 シナリオ設計のプロセス

段階	詳細
準備 ↓	問題設定 情報収集
プロセスデザイン ↓	
シナリオ作成 ↓	シナリオの構成決定 ストーリーの記述
シナリオ分析 ↓	定量化 シナリオの分析（What-if分析, サブシナリオ間の比較）
評価 ↓	シナリオの見直し, 評価, 解釈
文書化	

（Kishita et al., 2020 をもとに改変）

シナリオ分析やプランニングには様々な手法が知られており（Schwartz, 1991; Ramirez & Wilkinson, 2016; Kishita et al., 2020; 杉山, 角和, & 木下, 2024）、また目的によって望ましい方法が異なり、「テラーメイド」といえる（角和, 2022）。シナリオ設計のプロセスの例を表1に示す。本プロジェクトでは、研究チームで様々なレビューを行い、研究資源などを踏まえた上で、本暫定版シナリオ報告書作成にあたって、以下の方法を採用した。

初めに、シナリオ作成のためには過去のトレンドの分析も重要であるため、調査を行った（第3章および付録7章）。また、本研究プロジェクト以外の知見も活用するために、シナリオのメタ分析も行った（第3章および付録8章）。その後、専門家ワークショップによるシナリオ作成、数理シミュレーションモデルを用いた定量化、作成したシナリオの見直し・評価・解釈という一連の手順を、反復しながら実施した。なお、全体的に文章（テキスト）を扱うことが多いため、適宜、生成人工知能（AI）といった情報技術を活用した。

2.2. シナリオ開発手法、ワークショップの設計と実施

シナリオ開発手法の選択

以下、方法の詳細について述べる。

シナリオの構成の仕方は、バックキャスト（Dreborg, 1996; Kishita, et al., 2024）とフォアキャストの両方のアプローチを組み合わせた。バックキャストとは、将来の特定の目標地点から現在に向かい逆算して検討する手法であり、フォアキャストは現状のデータから延長した将来を検討する手法である。本プロジェクトでは、カーボンニュートラル達成という明確な目標が定められているため排出量に関してはバックキャストを採用し、社会経済状況については多様な可能性を探るためフォアキャスト的アプローチを採用した。

シナリオ開発プロセスにおけるステークホルダーの参加については、プロジェクトの規模や性質によって異なるアプローチが存在する。例えば気候変動に関する政府間パネル（IPCC）による国際的なシナリオでは、当事者とシナリオの距離が長大であるため、主に研究者による議論が中心となり（Parson, 2008）、政策決定者の関与は最終段階での承認など限定的なものにとどまることが多い。これは、国際シナリオの主たる利用者が研究者であるという背景も影響している。

一方、地域の自治体や企業レベルで経営戦略を考えるためにシナリオが用いられる場合、ステークホルダーも参加する体制が多い。シナリオ作成プロセスを通じた地域や組織内のキャパシティビルディング、情報共有、ステークホルダー間のコミュニケーション促進といった副次的効果も重視されるためである。つまり、シナリオの解像度やスケールの違いによって、ステークホルダーの参加／非参加については議論の余地がある。

本プロジェクトについては国家レベルのシナリオ開発であり、上記2つの中間に位置づけられる。初年度目および2年度目は研究者を中心に素案を作成し、それ以降の年度ではステークホルダーからのフィードバックを得ながらシナリオを発展させる段階的アプローチを用いた。このように、基本設計は先行研究で示された方法論的枠組みに基づいている。特に、フォアキャスト型かバックキャスト型か、ステークホルダーの参加型か非参加型か、といった観点などから適切な手法を選択する点が重要である。本プロジェクトでは、これらの要素を包括的に取り入れ、フォアキャスト型とバックキャスト型の両面からのアプローチ、段階的なステークホルダーの参加、後述する定量的シミュレーションの活用など、多角的な手法の組み合わせを採用した。

シナリオ関連研究や過去のトレンドのレビューとシナリオ素案作成

第1のステップとして、既存のシナリオ研究とトランジション研究のレビューを実施し、定性的シナリオ・ナラティブの案を作成した。具体的には、IPCCによる共通社会経済経路(shared socioeconomic pathways, SSP)シナリオ (Riahi et al., 2017) や、日本の文脈に適用した日本版 SSP (Chen et al., 2020)などを参照したほか、社会システムの劇的な転換が必要となる脱炭素社会への移行を分析する上で、トランジション研究の理論的枠組みである重層的視座(multi-level perspective, MLP) (Geels et al., 2002; 陳ほか, 2022) も参考にシナリオ設計の軸になりうる不確実で重要な変数を考えた。また、過去のトレンドの分析 (付録7章) や定量モデリングのメタ分析 (付録8章) を参考に、研究チーム内でワークショップを開催し、シナリオの素案を複数パターン作成した。

例えば、プロジェクトの初年度の2023年度は、MLPで採用されている”ニッチ”・”ランドスケープ”により社会変革が生じるという考え方を踏まえたシナリオの第一素案 (国内イノベーション (ニッチ) の成熟度合い、その他の外圧 (ランドスケープ) の強度、という2軸) や、”明るく豊か”というプロジェクトのキーワードに着目した第二素案 (将来に希望を持つ人の割合、経済や意識の開放性の高さ、という2軸) を検討した。2024年度は、これらの初年度の検討を拡張・深化させるために、専門家ワークショップやシナリオの定量化を進めた。

専門家ワークショップによる定性シナリオ案&加速戦略案の検討

第2のステップとして、2024年度に複数回の専門家ワークショップを実施した。シナリオ自体の検討と加速戦略の議論を効果的に進めるため、テーマを限定した形式を採用した。テーマ設定にあたってはIPCCや世界経済フォーラムのような国際機関だけでなく、経営戦略論の考え方も参考にした。例えば、IPCCでは、気候変動緩和策の実行可能性 (Feasibility) を評価する際に6つの次元 (技術、経済、社会・文化、制度、地球物理、環境) に区分している (Steg et al., 2022)。世界経済フォーラムのグローバルリスクレポートでは、地政学、経済、社会、環境、技術の5つの次元で短中長期の世界のリスクを分類している (World Economic Forum, 2025)。気候関連財務情報開示タスクフォース (TCFD) は、TCFD (気候関連財務情報開示タスクフォース) の提言 (最終報告書) において気候変動の移行関連リスクを、政策・法規制、技術、市場、評判の4つに区分している (TCFD, 2017)。経営戦略論では、PEST (政治 (Politics)、経済 (Economy)、社会 (Society)、技術 (Technology)) や、それに法的 (Legal)、環境 (Environmental) を加えたPESTLEという枠組みで、企業を取り巻くマクロ環境を分析する枠組みが広く定着している。

本プロジェクトでは、これらの分析枠組みを参考としつつ、関係する人たちと情報交換をしながら、最新の文献や情報を参考にし、他のプロジェクト関係者とも連携しながら、国レベルのシナリオ開発において特に重要と考えられる以下の3つの領域を本年度のワークショップのテーマとして選定した。

- テーマ1：倫理と社会
- テーマ2：国際関係・地政学
- テーマ3：水素・イノベーション

これらのワークショップを通じて、さまざまな視点から意見を集め、今後の方向性を考えるための貴重な知見を得ることができた。

さらに研究チーム内部で加速戦略を考える追加的なワークショップを実施した（表2）。

表2 2025年度のワークショップの概要

日付	テーマ	PJ 外部専門家	参加者数	形式
7/23	社会・倫理	あり	9名	オンライン
10/3	国際関係・地政学	あり	11名	対面
11/29	水素・イノベーション	あり	18名	対面
2/17	加速戦略（四手読み）	なし	7名	オンライン

11月までに実施した3回のワークショップは、共通の流れに沿って進められた（表3）。自由闊達な議論を促すためにチャタム・ハウス・ルールで実施した。

まず、各回の冒頭で、テーマに関するキーワードを盛り込んだ2つのナラティブ案（プロジェクトチームからの提案）を提示した。時間の都合上、2つの案、「明るく豊かなCN社会」と「暗く貧しいCN社会」について議論を行った。

最初の分科会（分科会1）では、これらのナラティブ案に対する参加者からのコメントを集め、プロジェクト全体のナラティブ案についての意見や情報を収集した。次に、分科会2では、どのようにしてそのナラティブにたどり着くか、または避けるかという方法について話し合い、プロジェクト全体の加速戦略に関する情報収集を目的とした。

表3 ワークショップのタイムスケジュール（7月23日オンラインワークショップの例）

時間	内容
15:00-15:10	イントロダクション (JSTシナリオプロジェクトの紹介、趣旨説明、スケジュール)
15:10-15:15	昨年度までの進捗、現時点のナラティブシナリオ案の説明
15:15-15:45	分科会①：自己紹介+ナラティブシナリオ案に対するコメント
15:45-15:55	休憩+ナラティブシナリオ案の修正
15:55-16:20	分科会②：2050年への経路とその可能性
16:20-16:30	全体討議

各回のワークショップでは、4つの Google スライドでオンライン上の付箋で書き込んだメモが得られた。これを3回分集めると、全部で12個のメモになった。これらのメモをまずリスト化し、コメントを変数の形で解釈して、最初のシナリオの軸の候補変数リストを作った。社会・倫理最初版の変数は36であり、国際関係・地政学最初版の変数は83であり、水素・技術最初版の変数は121であった。3つのワークショップの変数に基づいて、7項目、47キーワードを得られた。3つのワークショップで収集した最初版の変数をまとめており、それを生成人工知能 ChatGPT に入力し、7つの項目でまとめた⁴。その後、人の手によって確認・修正を行った（表4）。また、シナリオのナラティブ作成の際にもワークショップのキーワードを参考にした。

⁴ ChatGPT prompt: 「日本の脱炭素のシナリオを考えています。専門家でブレインストーミングしました。以下が多数のアイデアです。以下のアイデアを全て落とさず、7つ程度の関連する項目に分類してもらえますか。項目名は40字以内で考えてください。」

表4 3つのワークショップから得られたキーワードと変数

シナリオで重要になる と考えられる変数	ワークショップで得られたキーワード
社会構造の変化と 公平性	地方と都市部の教育格差・技術格差
	地方と都市部の資源循環へのアクセス格差
	公平な分配と経済成長の両立可能性
	世代間格差の倫理的側面
	移民流入による社会の変化（高技能または低技能労働者）
	所得格差の拡大やエネルギー貧困
	中央と地方の権力バランスと分配
技術革新と エネルギー政策	水素技術の開発と導入
	再生可能エネルギーの普及促進
	炭素税や省エネインセンティブの影響
	インフラ転換の課題（都市ガスや鉄道など）
	二酸化炭素回収・利用・貯留(CCSやCCU)などの技術利用
	エネルギー輸送・蓄積・再利用の手法
産業構造と 経済競争力	グリーン産業政策の方向性（製造業 vs サービス業）
	日本企業の競争力向上と輸出戦略
	国内での研究開発と人材育成
	海外技術依存と国際競争における日本の弱体化
	国内産業の移転防止と国内雇用維持
国際関係と 地政学的課題	中国・インド・EU・米国などの動向と影響
	WTOやFTAの役割と国際規制
	資源ナショナリズムと資源リサイクル
	国際協調と気候変動への対応
	貿易措置や新しいルール作り
	米中のグリーン投資競争（グリーンマーシャルプランなど）
	国際的権力構造と日本の立ち位置
社会的価値観と 倫理	脱炭素と生活水準維持のバランス
	社会の価値観
	生活の質、生きがいと倫理的選択
	エネルギーシステムにおける公共の受容
	グリーン水素やCN製品のトレンド化

気候変動対応と 災害対策	自然災害の頻発と国際認識の変化
	気候変動の悪化と移住といった極端な適応策の必要性
	災害対応の強化（自衛隊出動を含む）
	気候難民と社会の対応
	環境教育や啓蒙活動
政策形成と 意思決定プロセス ・人材育成	脱炭素政策とグランドデザインの明確化
	科学と政策の接続
	国際的に卓越した人材の育成
	政策失敗の分析と未来への反省
	日本独自のルール形成か国際協調か

定性シナリオ案&加速戦略案のブラッシュアップ

複数の外部専門家ワークショップを順次実施したのち、研究チーム内部でのワークショップ・議論を実施することで、外部専門家ワークショップの結果を定性的シナリオ・ナラティブや加速戦略の案に反映しながらブラッシュアップを行っている。なお、これらの内部ワークショップでは、開発したシナリオの検討に加え、「加速戦略」の具体化に向けた議論も行った。なお「加速戦略」の検討は、シナリオ設計プロセス全体の中では「評価」段階に位置すると解釈できる。

「定性シナリオ・ナラティブの作成」→「定量化の試行」→「解釈」という一連の流れの中で、政策立案や加速戦略のほか、前述したような望ましくない未来の回避策などについても議論を展開した。

このように、本プロジェクトでは既存研究（複数のシナリオ研究を含む）のレビューとそれに基づく基礎的シナリオの作成、専門家の知見を取り入れたシナリオの精緻化、そして具体的な戦略の検討を、段階的かつ有機的に結びつけながら進めている。複数回のワークショップから得られた知見は、シナリオ案および加速戦略案のブラッシュアップに活用されている。このプロセスは一方的なものではなく、各要素を相互に関連づけながら反復的に検討を重ねる形式で進めた。

2.3. 統合評価モデルによる定量化

開発した定性ナラティブを表現する定量シナリオを導出した。初めに、3つのワークショップから得られた7つの変数とそれらの変数の相関関係、シナリオのわかりやすさを踏まえて、シナリオの分岐点を設定した。また、ナラティブと定量シナリオを接続するための変数を特定したのち、統合評価モデルを用いて、それらのナラティブの定量化を試みた。

実際に利用したモデルは、京都大学が開発した AIM-Technology-Japan である (Oshiro et al., 2021; Oshiro & Fujimori, 2024)。対象期間を 2020 年から 2050 年、地域を日本に設定し、2050 年までのエネルギーシステムの姿を数値的に示すシミュレーションを行った。

分析の主な目的は2点ある。第1に、定性的シナリオで想定したエネルギー構成等が得られるかどうかの検証、第2に、定性的シナリオでは検討していない変数の確認・分析である。

モデル分析においては、温室効果ガス排出量に関してはネットゼロという制約を共通の前提として設定している。これは、先述のバックキャストिंग的アプローチに基づくものである。一方、その他のパラメータについては、フォアキャストिंग的な観点から幅広いバリエーションを検討している。具体的には、将来のエネルギーサービス需要、再生可能エネルギーや水電解装置のコスト低減、輸入水素・輸入バイオマス資源の価格などの要因について、複数のケースを設定し、シナリオ毎に異なる想定を与えている。これらの定量分析の結果は、先に構築した定性的シナリオの各次元と整合的な形で統合し、数値情報とナラティブな記述を組み合わせた総合的なシナリオとして提示することを目指している。

2.4. 情報技術（共同編集ツールや生成人工知能）の活用

本研究プロジェクトは作業効率化のために、さまざまな場面で最新の情報技術（IT）や生成人工知能（AI）を活用した。

ワークショップでは、多人数が書き込む付箋を整理するために、紙のポスターや付箋紙ではなく Google Slides を用い、効率的に共同編集を行った。IT に慣れていない方がいることも考慮し、研究チーム側が適宜 IT のサポートを行うなど、平等な参加環境を工夫した。

また、Google Slides 上の付箋の情報など、さまざまなテキスト情報を効率的に扱うため、適宜、生成 AI（ChatGPT など）を活用した。これにより、労働集約的な作業の一部を効率化することができた。生成 AI の結果は、研究者が確認し、報告書などに活用している。

3. レビュー

3.1. 過去のトレンド

過去のトレンドの調査項目

シナリオの検討に活かすために、気候変動に関連した過去のトレンドを以下の点についてまとめた。

- 1 気候変動緩和政策の推移と現状（付録 7.1 節）
- 2 エネルギー政策の推移と現状（付録 7.2 節）
- 3 エネルギー政策と技術（付録 7.3 節）
- 4 エネルギー需要の政策と技術（付録 7.4 節）
- 5 緩和技術・オプションのイノベーション（付録 7.5 節）
- 6 グローバル気候ガバナンスにおける日本の役割（付録 7.6 節）
- 7 日本人の環境問題に対する意識（付録 7.7 節）

以下、付録の過去のトレンドのまとめを踏まえて、主要な論点を述べる。

イノベーション政策で脱炭素を試みる日本

2013 年から産業、運輸、民生といった主要部門で温室効果ガス排出量を着実に削減しているものの、省エネルギーの進展の停滞などを踏まえると、日本の目標である 2050 年カーボンニュートラル（正味ゼロ）を達成するには大幅な追加対策が必要である。現在、日本は大規模な産業政策・イノベーション政策で脱炭素を試みている。

かつて、日本は気候変動対策において、リーダーとは呼べないにしろ、一定の貢献をしてきていた。京都議定書が合意された 1997 年には初の量産型ハイブリッド車が販売され、また産業部門や製品の省エネルギー技術で世界をリードしていた。

しかし、最近では世界に遅れる傾向があり、国連の会議では環境保護団体から化石賞を授与されるなど話題になった。日本政府は日本の温暖化対策を目標通りという意味でオントラックと説明しているが、環境団体からは批判もある。国際的には最近では石炭火力発電の途上国の支援を続けていることなどでも批判を受けている。電気自動車の新車販売に占める割合も少ない（その代わりに日本はハイブリッド車が多く売れている）。

とはいえ、日本の対策も着実に進展しているところがある。2011 年 3 月 11 日の東日本大震災とそれに伴った東京電力福島第一原子力発電所は電力業界に大きな変化をもたらした。2012 年に本格導入された固定価格買取制度や関連制度のおかげで、再生可能エネルギーの普及は進み、太陽光発電を中心に大きく導入が進んだ。

また、最近ではグリーントランスフォーメーション（GX）という名前の元、脱炭素と経済成長を目指す一連の政策パッケージが打ち出されている。特に投資の大幅拡大と技術イノベーシ

ヨンが推し進められている。政府の 20 兆円の投資を呼び水に、官民で 10 年間にわたって 150 兆円を投資する方針が示され、具体的に洋上風力、次世代原子力、水素還元製鉄、CCS など、様々な技術分野で先行投資が進んでいる。（投資の原資は国債（移行債）を発行し後で賦課金や排出量取引で回収する仕組みになっている）。

日本の不確実性：イノベーション競争と社会の意識

今後気になるのが、技術イノベーションの開発競争と国民の認識、また日本独自の特徴である。

イノベーションについて振り返ると、2000 年ごろ日本は太陽光発電で生産量世界 No. 1 であり、市場シェアは 50% を占めていた。しかし現在、市場競争に負けて生産シェアは 1% を切っている。GX 政策でもペロブスカイトなどの太陽光発電が推進されているが、イノベーションの競争は根本的に不確実であり、この上に産業政策などが複雑に絡む中、日本が推進する技術イノベーションが国際市場で勝つ保証はない。また水素やアンモニアを重要な技術として脱炭素技術として位置づけ、輸入を考えているが、イノベーションが順調に進むのか、またサプライチェーン上のリスクが生じないかと様々な問題がある。

もう一つの重要な側面は、気候変動対策に対する国民の態度である。複数の世論調査をレビューすると、日本人は地球温暖化対策について問題として認識しているが、対策については負担感があり、我慢を強いるものとの理解が強い。今後、温暖化対策が加速し、排出量取引や化石燃料への賦課金を実施されれば、対策が国民にとって、より「目に見えるもの」になる。その際、国民が強力な政策を本当に支持できるかどうかは、大きな課題である。既に起きているメガソーラーへの反対運動などはこうしたことの先駆けとも捉えられるかもしれない。また国際的に見たときの考え方の違いは、日本が（長期的に見たとき）欧米や新興国に気候変動政策でついていけるかという根本的問題もでてくる。

3.2. シナリオのレビューとメタ分析

すでに日本では、カーボンニュートラルや脱炭素に関して多くの資料が公開されている（定量的なものとしては、エネルギー基本計画の検討で用いられたシナリオ群や、Sugiyama et al., 2024 などがある）。しかし、定性的なシナリオ・ナラティブの研究はきわめて限定的である⁵。ここでは、より多くの研究がある定量的なシナリオに絞ってメタ分析を行った（付録8章）。公開されているシナリオを収集し、モデル研究グループに直接依頼し、公開されているデータベースなどを活用することで、日本のネットゼロに関する分析を行った。

詳細な変数の入力可能性の制約から、精緻な分岐分析は行えなかったが、エネルギー構成や電源構成など、基本的な変数について簡易なメタ分析を試みた。

メタ分析から分かることをまとめると、第一に、脱炭素には多数の道筋があり、一意に決まるものではないということが挙げられる。電源構成一つとっても、再生可能エネルギーを非常に重視するシナリオもあれば、原子力に重きを置くシナリオも見られる。また、2050年時点の排出構成や残余排出量もシナリオによって大きく異なる。

一方で、共通点が見られる部分もある。これは多くの研究でもすでに指摘されていることだが、電源の脱炭素化やエネルギー需要側の電化率の向上などは非常に堅固な結果となっている。ただし、具体的な数値となると幅がある点には注意が必要である。

⁵ 日本の地球温暖化緩和策／排出削減策に関するシナリオ研究は膨大である。ただ、多くの既往研究は、70%や80%削減を目標に設定したものであり、カーボンニュートラルの研究は菅首相（当時）の2020年の宣言やそれ以降に加速した。また、定性的なナラティブと定量的なモデリングを組み合わせた研究としては「2050日本低炭素社会」プロジェクトチーム（2007）が特に有名である。

4.3 本のカーボンニュートラル（CN）社会シナリオ暫定版

4.1. 3本のシナリオの分岐

これまでに実施した3回のシナリオワークショップでの主要な論点を踏まえ、2つのナラティブの分岐点を設定した。また、ナラティブと定量シナリオを接続するための3つの変数を特定し、それらの定量化を試みた。

まず、最初のナラティブの分岐点は「日本のGX（グリーントランスフォーメーション）政策の成否」である。この政策が成功した場合、次の分岐点として「グローバリズムの拡大」または「ナショナリズムの拡大」が考えられた。これにより以下の3つのシナリオが得られる。

- 「明るく豊かな国際協調型 CN 社会—脱炭素コスモポリタン」
- 「明るく豊かな自給自足型 CN 社会—エコ・ナショナリズム」
- 「暗く貧しい CN 社会—社会の崖っぷち」

各シナリオとワークショップの項目との対応は以下のようになる（表5）。

表5 ワークショップで得られた変数とシナリオの対応

変数	明るく豊かな 国際協調型 CN 社会	明るく豊かな 自給自足型 CN 社会	暗く貧しい CN 社会
国際関係と地政学的課題	グローバリズム	ナショナリズム	ナショナリズム
産業構造と経済競争力	海外投資（金融業・サービス業）& 研究開発中心	製造業中心	現状延長
政策形成と意思決定プロセス・人材育成	健全	健全	分断
技術革新とエネルギー政策	海外水素の積極活用	国内再エネの積極活用	現状延長＋二酸化炭素除去（CDR）と海外炭素クレジットの活用
社会的価値観と倫理	オープンな価値観	クローズドな価値観	自己中心的
社会構造の変化と公平性・格差	格差大	格差中（1億総中流）	格差小（等しく貧しい）
気候変動適応と災害対策	世界の気候変動の被害を見て対策が加速	日本の気候変動の被害を見て対策が加速	気候変動影響が深刻化するが、災害と温暖化を人々は結びつけない

これを定量化するために輸入資源価格、再生可能エネルギー価格、国内のサービス需要について、AIM-Technology-Japan のデフォルト想定を基準に数値を振った。具体的には以下のようなになる（図5）。

① 日本の GX 政策が成功した場合

- 日本の GX 政策が成功し、かつ、グローバリズムが拡大すると、「明るく豊かな国際協調型 CN 社会」が実現する。このシナリオでは、
 - ✓ 輸入資源価格は低く抑えられ（デフォルト値の 1/2 倍）、
 - ✓ 国内の再生可能エネルギーコストは高止まりし（デフォルト値で推移）、
 - ✓ 製造業の海外移転が進む（資源効率性・行動変容による低エネルギー需要を想定した既存シナリオの値を援用）（Oshiro et al. 2021）。
- 日本の GX 政策が成功し、かつ、ナショナリズムが拡大すると、「明るく豊かな自給自足型 CN 社会」が形成される。このシナリオでは、
 - ✓ 輸入資源価格は高騰するものの（デフォルト値で推移）、
 - ✓ 国内の再生可能エネルギーコストは低下し（デフォルト値の 1/2 倍）、
 - ✓ 国内製造業が維持・強化される。

② 日本の GX 政策が失敗した場合

- 日本の GX 政策が失敗した場合、ナラティブの第二の分岐点は生じず、「暗く貧しい CN 社会」となる。ここでは、
 - ✓ 輸入資源価格が高騰し（デフォルト値で推移）、
 - ✓ 国内の再生可能エネルギーコストも高止まりし（デフォルト値で推移）、
 - ✓ 国内製造業の維持が困難となる（資源効率性・行動変容による低エネルギー需要を想定した既存シナリオの値を援用）（Oshiro et al., 2021）。

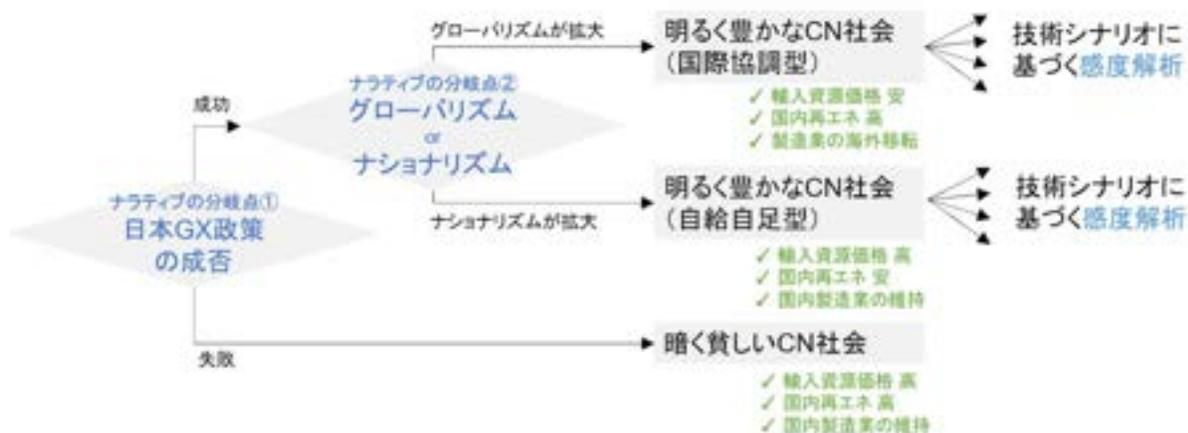


図5 ナラティブの分岐点と暫定的定量化の関連性

以下、各シナリオについて、全体的なナラティブ・シナリオ、またそれぞれのシナリオの2つの側面についての時系列について例として記す。

4.2. シナリオ A: 明るく豊かな国際協調型 CN 社会—脱炭素コ スモポリタン

- 経済成長の恩恵がすべての層に行き渡り、エネルギー貧困は存在しない
- 倫理的消費と高い生活の質
- クリーンな製品と倫理的選択が標準化し、生活の質が向上
- 国際機関との連携により科学と政策が結びついた意思決定が実現
- 日本は国際政策形成の場で積極的に貢献しエネルギー分野でのリーダーシップを発揮
- グローバルな水素インフラの整備と、地政学的障壁の少ない技術協力体制
- グリーン水素主導の持続可能な技術革新
- 効率的な技術革新と水素エネルギーの広範な導入による新たな雇用と産業の創出
- 政治の安定と透明性、市民の声が反映された包摂的意思決定
- AIと技術革新が社会課題（気候変動など）を解決に導いている
- 公共交通や脱炭素車の普及で快適かつ持続可能な暮らし

この社会では、経済成長率が高く、すべての社会層にその恩恵が行き渡っている。社会的公平性が確保され、資源は公平に配分され、エネルギー貧困の問題は存在しない。しかし、グローバル化が進む中で経済格差は拡大しており、金融業やサービス業の発展により、一部の層が特に恩恵を受けている。移動手段としては、個人所有またはシェアリングの脱炭素のクリーンな自動車が普及しており、公共交通機関も充実している。世界各地での異常気象や自然災害の増加を受け、気候変動への対策が加速している（図6）。



図6 シナリオ A のイメージ図。CHATGPT へのプロンプト：「明るく豊かなカーボンニュートラルな社会（国際協調型）の映像を作ってください。」
（CHATGPT 4o による AI 生成画像, 2025）

政治環境は安定し、透明性が確保され、すべての市民の声が包摂されている。政府は積極的に持続可能な政策を推進し、長期的な視点で社会の発展を支えている。また、国際協調のもと、日本独自のルール形成と国際的な政策調整の場での活躍が強化されている。国際機関と連携しながら、科学と政策の接続を重視した意思決定プロセスが確立されている。この社会では、国際関係が安定し、多極的な世界が形成、国際協力が活発に行われる。

エネルギーや水などの共有資源は、多国間協定と協力によって公平に管理され、資源を巡る対立は最小限に抑えられている。また、技術開発において地政学的な障壁はほとんどなく、革新が促進され、グローバルな問題解決のための協力体制が確立されている。特に、日本のエネルギー供給は海外水素に依存しており、安定供給確保が国家の最重要課題となっている。

AIは各国の経済成長、防衛、技術革新の能力を向上させるだけでなく、気候変動をはじめとするグローバルな課題解決にも貢献し、国際的な協調をさらに強化している。

この社会では、主にグリーン水素が生産され、環境への影響を最小限に抑えた持続可能なエネルギーシステムが実現されている。政府は助成金や明確な規制を提供し、十分な研究開発投資、規模の経済、政策支援により、水素は経済的に競争力を持ち、さまざまな分野での採用が進んでいる。技術革新が加速し、水素の生産・輸送・貯蔵・利用技術が高度に発展。電力、運輸、産業などの多様な分野で水素が統合的に活用され、世界中に水素インフラが整備されている。

さらに、公衆の水素エネルギーへの受容と熱意が高く、熟練した労働力が水素関連のイノベーションと雇用創出を後押ししている。水素をはじめとするカーボンニュートラル（CN）製品がトレンドとなり、企業や消費者の間で「クリーンで持続可能なライフスタイル」が重視されている。倫理的な選択が社会全体で浸透し、生活の質や生きがいの議論も活発化している。また国際的に卓越した人材の育成が進み、日本はエネルギー・環境分野におけるグローバルリーダーとしての地位を確立している。教育機関や企業が連携し、次世代の専門家や技術者が育つ環境が整えられている。

ナラティブの開発を考慮し、本プロジェクトのワークショップでいくつかのあり得るタイムラインを作成した。図6にイメージ図を、表6と表7に2つの代表的なタイムラインを示す。

表6 「明るく豊かな国際協調型社会」社会の大まかなタイムラインの例（技術）

2030	2035	2040	2050
<p>日本では水素エネルギーが再生可能エネルギーよりも主流となり、エネルギーシステムの基盤となっている。しかし、この選択が本当に最適なのか、持続可能性の観点から議論が続いている。世界の市場の動向によっては、日本のエネルギー戦略の柔軟な対応が求められるだろう。</p>	<p>国際的なクレジット取引制度の交渉が難航。各国の思惑が絡み合い、炭素市場の枠組みがなかなか整わない。日本は技術力を持ちながらも、外交交渉の難しさに直面し、制度の不確実性に対処する必要性に迫られている。</p>	<p>気候変動の影響がより顕在化し、国際交渉の壁が突如として打破された。これにより、各国の協力が進み、日本は「アジア・ゼロエミッション・コミュニティ（AZEC）」の一員として、二酸化炭素の輸出を積極的に行うようになった。この取り組みは、アジア地域全体の脱炭素化を加速させる重要な役割を果たしている。</p>	<p>日本は二酸化炭素回収・利用・貯留（CCUS）技術の分野で世界をリードする国となった。長年の投資と国際協力が実を結び、革新的な技術が次々と開発され、世界の脱炭素化に大きく貢献している。日本のCCUS技術は新興国にも輸出され、グローバルな気候対策の要となっている。</p>

表7 「明るく豊かな国際協調型社会」社会の大まかなタイムラインの例（ポスト産業・文化経済型）

2030	→	2035	→	2040	→	2050
<p>日本の教育制度が大きく変革された。大学のグローバル化が進み、留学生や海外の教授が増加。これにより、世界と競争できる人材が育ち、日本の知的資本が強化される。</p>		<p>日本人の英語コミュニケーション能力が大幅に向上し、国際的なビジネスや研究の場で活躍する人材が増加。グローバル化した経済の中で、日本のプレゼンスがさらに高まることとなった。</p>		<p>日本企業は海外で製品を製造し、それを国内に輸入する形態が一般的になった。国内の技術者は育つものの、就業機会の多くは海外にある。しかし、Scope3 排出規制の厳格化により、海外生産に伴う現地の排出量や、観光業による間接的なCO₂排出が懸念されるようになってきた。</p>		<p>日本は「ものをほとんど作らない社会」へと変貌した。クリーン電力のみを使用し、観光・文化産業を中心とした経済モデルへ移行。GDPの多くが文化・観光業から生み出される「テクノロジー主導のギリシャ」のような国となった。世界全体でScope1・2の排出がゼロになり、結果としてScope3もゼロに近づいた。</p>

4.3. シナリオ B: 明るく豊かな自給自足型 CN 社会—エコ・ナショナリズム

- 政策は科学的根拠に基づき、長期的な国家戦略が明示されている
- 技術開発と教育を支える人材育成政策が充実
- 地域循環型経済の確立により、地方経済の持続可能性が重視される
- 防災・適応のための都市計画やインフラ設計が未来志向で標準化
- 高い環境意識と制度整備により、持続可能な社会が実現されつつある
- カーボンニュートラル製品やライフスタイルの選択は、自由より制度的誘導が主
- 外交は地政学的リスクへの慎重な対応が中心
- 国内再エネ・製造業が中心となった産業構造と雇用の確保
- 自動車・水素技術における国内競争力の強化
- 資源と技術の国内確保を徹底、国産志向が高まり価値観はやや閉鎖的

この社会では、ナショナリズムの傾向が強まり、国際協調よりも自国のエネルギー・経済の自立を重視されている。貿易協定や国際機関との関係は維持されつつも、経済安全保障の観点から資源の国内確保が最優先され、再生可能エネルギーの国内生産や製造業の強化が推進されている。地政学的な対立が激化する中で、エネルギー供給の安定を図るために、日本は外交戦略を慎重に調整する必要がある。

産業構造は製造業を中心に強い国内市場を維持し、再エネ関連の設備・技術の開発と普及が国内産業の主力となっている。自動車産業は電動化と水素技術を並行して発展させ、国内競争力を確保。輸出よりも国内需要を優先し、技術開発力の強化と生産拡大を進め、産業競争力の維持に国家的支援が行われている。

政策形成は健全で、科学的知見に基づいた意思決定が行われている。政府は長期的なカーボンニュートラル戦略を明確にし、教育や人材育成にも注力。特にエネルギー政策分野の人材育



図7 シナリオ B のイメージ図. CHATGPT へのプロンプト: 「明るく豊かなカーボンニュートラルな社会 (自給自足) の映像を作ってください。」
(CHATGPT 4o による AI 生成画像, 2025)

成を進め、国内での技術開発力が強化されている。こうした取り組みを一貫性を持って進めるため、政府はエネルギー自給自足モデルを強化する基本構想（グランドデザイン）を策定している。

エネルギー政策では、国内の再生可能エネルギーが中心となり、水素技術の活用も進んでいる。輸入依存を減らすため、風力・太陽光・地熱の導入が加速し、自給率向上が目指されている。政府は補助金や規制で再エネの普及を支援し、インフラ整備を推進。さらに、エネルギー政策と科学技術を強化し、脱炭素実現のための研究機関と政府の協働が制度化されている。国内の社会構造は、「一億総中流」に近い形に再構築され、格差は一定程度抑えられている。地方と都市の格差は残るものの、政府の分配政策により是正が進み、生活水準は比較的安定。地域循環型の経済システムが確立され、地方経済の持続可能性が重視されている。高齢化に適応した福祉政策も整備され、持続可能な社会を目指している。

価値観は比較的閉鎖的で、国内の資源や技術に対する依存が強まり、内向きの社会が形成される。環境意識は高いものの、持続可能なライフスタイルの選択が政府の政策主導による形となり、公共の受容が求められる。カーボンニュートラル製品は義務的な選択肢として導入され、国内普及が進む一方、生活水準とのバランスや消費の選択肢の制限への懸念も指摘されている。

気候変動への適応策は、日本国内での自然災害の増加を受けて強化され、防災対策や適応策が重点的に進められている。災害対応能力が向上し、都市計画やインフラ整備において気候変動の影響を考慮した設計が標準化されている。また、過去の災害経験から得た教訓を政策に反映し、気候変動リスクを最小限に抑えるための未来志向の政策立案が進められている。

ナラティブの開発を考慮し、本プロジェクトのワークショップでいくつかのあり得るタイムラインを作成した。図7にイメージ図を、図8および表8と表9に2つの代替的なタイムラインを示す。

表8 「明るく豊かな自給自足型社会」社会の大まかなタイムラインの例（再生可能エネルギーと農業の融合）

2030	→	2035	→	2040	→	2050
<p>遠洋洋上風力発電や太陽光発電の導入に前向きな自治体や漁業組合が増加し、地域レベルでの再エネルギー推進の動きが活発化。かつて慎重だった地方も、経済的・環境的メリットを理解し、積極的にエネルギー転換を進めるようになってきている。</p>		<p>薄膜太陽光パネルなどの「どこでも発電できる技術」が大量に開発され、都市部・地方問わずエネルギーを効率的に生産できる環境が整ってきた。これにより、日本のエネルギー自給率が大幅に向上した。</p>		<p>遠洋洋上風力発電が安価かつ大規模に導入され、農地でも太陽光発電との共存が可能になる技術が実用化された。しかし、日射量の制約がある作物のため、ソーラーシェアリングの普及には限界がある。また、食料の国内生産回帰が進む兆しも見られる。</p>		<p>日本国内で導入可能な再生可能エネルギーはすべて展開され、自給自足型のエネルギー供給が確立された。日照量が少なくても成長できる作物が開発され、農業技術の進歩によって気候変動の「施肥効果」も生産性向上にプラスに働いている。</p>

表9 「明るく豊かな自給自足型社会」社会の大まかなタイムラインの例（コミュニティエネルギーと分散型経済）

2030	→	2035	→	2040	→	2050
<p>大企業ではなく、中小規模のコミュニティファクトリーが増加。地方分散型のものづくりが拡大し、地域経済と環境の両立を目指した新たな産業構造が形成されつつある。</p>		<p>地方での新産業創成が進み、地域経済が活性化。しかし、海外での再エネ開発が急速に進んだことに焦った化石燃料輸出国が、大量の化石燃料を市場に放出。これにより、一時的に化石燃料価格が下落するが、日本は短期的なコストではなく、長期的な持続可能性を重視し、再エネ推進の方針を貫く。</p>		<p>すべての公立学校がコミュニティエネルギーによって電力を賄うようになった。さらに、強力なリーダーシップのもと、炭素税やカーボン国境調整メカニズム（CBAM）が導入され、国内産業の脱炭素化が加速。地域エネルギーの価値が一層高まった。</p>		<p>全国にコミュニティエネルギー（自治体やNPO新電力、第三セクターによる発電事業）が広がり、地域ごとに独自のエネルギー供給体制が確立された。これにより、大手電力会社に依存しない持続可能なエネルギーモデルが確立されている。</p>

4.4. シナリオ C: 暗く貧しい CN 社会—社会の崖っぷち

- 政治腐敗と一貫性のない政策で市民の信頼が崩壊
- 自己中心的な社会価値観が蔓延し、社会的連帯が希薄
- AIによる監視・偽情報の拡散が進み、自由や安全保障が脅かされている
- 国際関係は緊張し、ナショナリズムや紛争が頻発
- 各国が自国利益を優先し、資源・技術を囲い込む構造
- 国際協調は名ばかりで、実質的な連携や技術共有は停滞
- 日本は人材も資源も確保できず、国際的な影響力を失うが、外圧で CN は継続
- 気候変動の影響が顕在化しても、政府の対応は遅れ、被害が拡大
- 経済成長率は低迷し、全体が低水準の生活に
- 食料・エネルギー価格の高騰で日常生活が維持困難
- 冷暖房など基本的インフラの利用が制限され、健康被害（例：熱中症）も深刻化
- 水素エネルギーは非効率かつ高コスト、関連技術は停滞
- 人材流出・訓練不足により、技術革新や産業の再生が見込めない
- 地政学的対立が深まり、技術の進展やグローバル対応を妨げる要因に

この社会では、経済成長率が低く、社会的公平性が欠如し、資源配分には大きな格差が存在する。格差は小さいが、それは経済の停滞により、全員が低い生活水準を強いられ、食糧やエネルギー価格の高騰で生活の維持が困難になっている。エネルギー貧困が深刻化し、移動手段が限られ、多くの人々が移動に困難を抱えている。エアコンの利用が制限され、熱中症の被害も増えている。政治環境は不安定で腐敗が横行し、政府の対応は後手に回る。短期的な利益を優先され、持続可能な政策が実施されず、エネルギー・環境政策の一貫性も欠如している。



図8 シナリオ C のイメージ図. CHATGPT へのプロンプト: 「社会格差が高い、経済成長は低い、貧しいカーボンニュートラルな社会の映像を作ってください。」 (CHATGPT 4o による AI 生成画像, 2025)

規制が一貫性を欠き、国際貿易も限定的。水素技術への認知度が低く、労働力の訓練も不足。水素技術の発展は停滞し、カーボンニュートラル社会の実現が難しい。人材流出が続く、

エネルギー政策を支える人材が不足。国際社会との連携も困難になっている。AIが偽情報拡散や監視を助長し、国際関係や安全保障を不安定にする要因となっている。

国際関係は緊張し、各国がエネルギーと資源を自国の利益のために囲い込む。ナショナリズムが強まり、紛争や領土問題が頻発し、地政学的安定性が低下している。一方で、一部の国では炭素除去技術や海外クレジットを活用し、形式的なグローバルな共有資源管理において協力はほとんど見られない。地政学的対立が技術開発の障壁となり、各国が自国の安全保障を最優先して資源や技術ノウハウを囲い込む傾向が強まっている。世界はブロックに分かれるが、逆説的にブロック同士でクリーンエネルギーの技術覇権をめぐる競争が起き、国際的には脱炭素のイノベーションが進む。

一方、日本では技術革新は進まず、エネルギーインフラの老朽化と競争力の低下が進行。水素エネルギーの発展が停滞し、水素インフラも整備されず持続可能なエネルギー転換が実現できていない。ブルー水素の生産はCO₂回収が不完全であり、負の炭素除去技術への依存が高まる一方で、持続不可能なバイオマス資源の利用が進み、環境破壊が深刻化している。水素のコストが高いため、エネルギー市場において競争力がない。水素の生産・輸送・貯蔵・利用技術は非効率的である。

また、社会的価値観は自己中心的な傾向を強め、短期的な利益や個人の生存を最優先する風潮が支配的になっている。脱炭素と生活水準のバランスを考慮する余裕はなく、多くの人々が日々の生活に追われている。一部の裕福な層は、エネルギーを自由に使える環境にあるが、その他の市民には制約が強いられ、持続可能なライフスタイルの選択は事実上の強制となっている。

気候変動の影響は顕著になり、異常気象や災害が頻発する。政府は気候変動との関係を認識せず、対応が遅れ、都市インフラの老朽化が進んでいる。

ナラティブの開発を考慮し、本プロジェクトのワークショップでいくつかのあり得るタイムラインを作成した。図8にイメージ図を、表10と表11に2つの代表的なタイムラインを示す。

表 10 「暗く貧しいCN社会」の大まかなタイムラインの例（経済破綻と AI 格差社会）

2030	→	2035	→	2040	→	2050
個人主義が極端に広がり、「自分さえ良ければいい」という価値観が浸透。情報技術を持つ者と持たない者の中で格差が急拡大し、社会全体の分断が深まる。デジタルリテラシーのある「エリート層」と、そうでない一般層との経済格差が新たな社会問題となる。		多くの若者が情報系の専攻に進学し、IT分野への就職を目指すようになった。しかし、技術職が急増する一方で、他の産業は深刻な人手不足に陥り、日本の産業バランスは崩壊し始める。		AIを活用したコンテンツ産業が急成長し、一時的にバブルが発生。しかし、日本はIT機器を国内で生産できず、海外からの輸入に頼るしかない。政府は補助金でIT産業を支えるが、根本的な解決にはならず、経済の脆弱性は増していく。		日本は一度財政破綻し、円が暴落。長年の経済的な歪みが限界に達し、日本経済は未曾有の危機に陥った。政府の補助金政策がIT機器の価格高騰を招き、バブルが発生。一時的な景気回復の後、バブル崩壊による経済危機が国全体を襲う。

表 11 暗く貧しいCN社会の大まかなタイムラインの例（エネルギー貧困と政策の失敗）

2030	→	2035	→	2040	→	2050
<p>政府は再生可能エネルギー導入のための明確な政策を発表。しかし、反対運動が激化し、導入は思うように進まない。風力発電や太陽光発電の建設に対する地域住民の反発が続き、国のエネルギー転換は遅延。そんな中、「日本版イーロン・マスク」が政治に進出し、大胆なエネルギー政策を掲げるが、その影響は未知数である。</p>		<p>政府の再エネ政策やグリーントランスフォーメーション（GX）施策は失敗。デマンドレスポンス（DR）など電力需給調整の対策が進まず、結果として再エネの導入がコスト増加につながる。電気料金は上昇し続け、政府のエネルギー政策への不信感が高まる。</p>		<p>地方と都市部の間にエネルギー格差が生じる。地方では再エネによる収益で経済が活性化する一方で、都市部では電力コストの上昇によって企業の経営が厳しくなり、経済成長が停滞。都市と地方の間に大きな経済的ギャップが広がる。</p>		<p>日本のエネルギー貧困率は30%に達し、多くの人々が電力価格の高騰に苦しんでいる。低所得者層はエネルギーコストを支払えず、生活の質は著しく低下。いやいやながら昆虫食に切り替える人も増える。脱炭素化のコストが不平等に分配され、一部の富裕層だけが快適な生活を維持している。</p>

4.5. 定量化結果

以下、AIM-Technology-Japan モデルを用いた定量化の結果を示す。分析は限定的ではあるが、重要な結果も得られており、メタ分析（付録 8 章）の結果の再確認にもなる。

図 9 は、3つのシナリオにおける 2010 年から 2050 年にかけての一次エネルギーミックスの変化を示している。一次エネルギー消費量は、いずれのシナリオにおいても 2025 年から減少が見られ、2045 年以降にわずかな増加が見られる。2050 年の一次エネルギー消費の総量に関しては、国際協調シナリオが最も低く、年間約 10EJ と現在の半分程度まで減少しているのに対して、他の 2つのシナリオはほぼ同じで、年間約 12.5EJ となっている。エネルギーミックスに関しては、国際協調シナリオでは、2050 年における二次エネルギー輸入（Secondary Energy Trade）の割合が他の 2つのシナリオと比べて高くなっている一方で、太陽光および風力の割合が顕著に低くなっている。対して、明るく豊かな自給自足型 CN 社会シナリオと暗く貧しい CN 社会シナリオでは、2040 年以降に太陽光および風力エネルギーの割合が大幅に増加することが示されている。明るく豊かな自給自足型 CN 社会シナリオと暗く貧しい CN 社会シナリオを比較すると、後者の方が石油・石炭・天然ガスへの依存度が高く、それに伴い、二酸化炭素回収貯留（CCS）の実施量も高い状況にある。

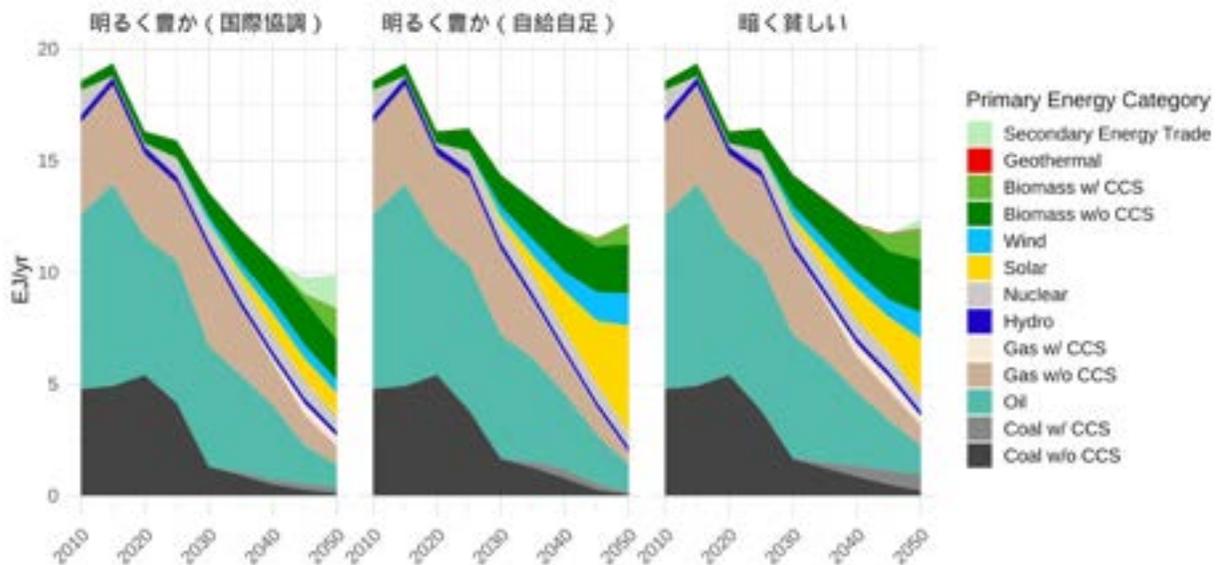


図 9 シナリオごとの一次エネルギーの時系列

図 10 は、3つのシナリオにおける 2010 年から 2050 年にかけての発電ミックスを示している。総発電量に関しては、いずれのシナリオにおいても 2020 年と比較して 2050 年には増加が見られるという傾向は同じだが、発電量の絶対量にはシナリオ間で大きなばらつきがある。明らかに豊かな自給自足型 CN 社会シナリオと暗く貧しい CN 社会シナリオでは、2035 年以降に総発電量の急速な成長が見られ、特に、明らかに豊かな自給自足型 CN 社会シナリオの 2050 年の総発電量は 2020 年の 2 倍に達する。これらの総発電量の急速な成長は、主に、国産水素製造用途の電力需要の増加に起因している。

発電構成に関して、3つのシナリオの主な違いは太陽光発電の量の違いである。対して、風力発電の発電量は 3つのシナリオ間で安定しており、一貫している。化石燃料の使用に関しては、いずれのシナリオにおいても、CCS なしの石炭火力発電は 2030 年までに廃止されることが示されており、また、CCS なしのガス火力発電も徐々に減少し、2050 年までにすべてのシナリオでほぼゼロに近づく。しかし、CCS 付きガスの割合はシナリオによって異なる。明らかに豊かな自給自足型 CN 社会シナリオでは、CCS 付きガスによる発電は 2050 年までにほぼゼロまで減少するのに対し、他の 2つのシナリオでは、2050 年まで年間約 1000 億 kWh (0.1 PWh) の水準を維持している。

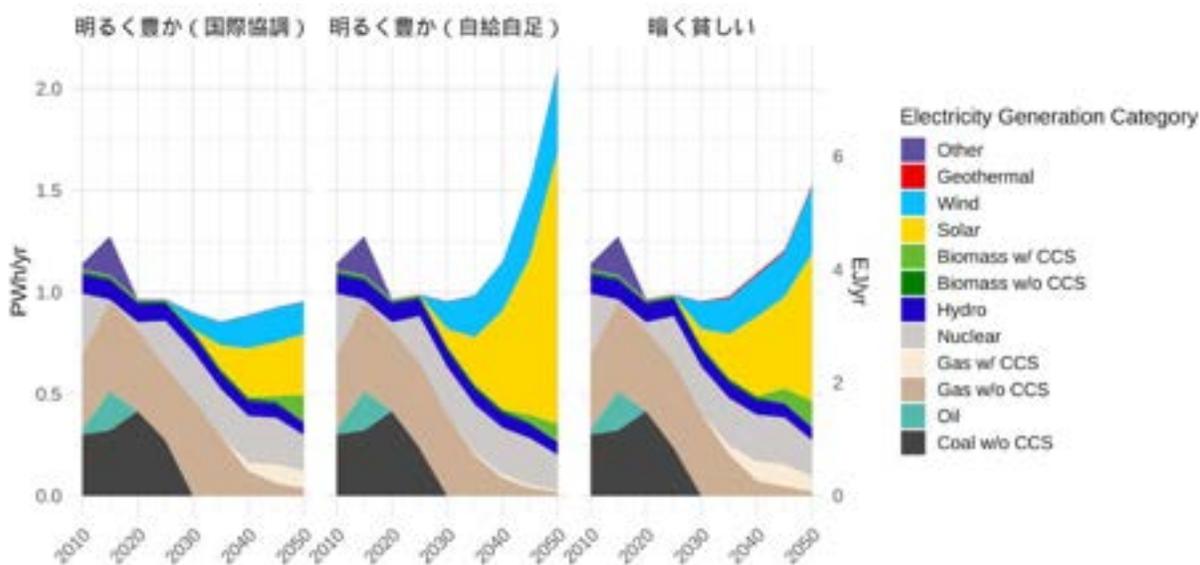


図 10 シナリオごとの電源構成の時系列

図 11 は、3つのシナリオにおける 2010 年から 2050 年にかけての水素供給源の構成を示している。2040 年以降に水素供給が行われる。明るく豊かな自給自足型 CN 社会シナリオでは、電気分解による水素供給が 2050 年に年間約 1.75EJ に達する。この値は、国際協調シナリオの約 5 倍、暗く貧しい CN 社会シナリオの約 2~3 倍に相当する。明るく豊かな自給自足型 CN 社会シナリオと暗く貧しい CN 社会シナリオの両方は、主に電力を利用して水素を生産する。一方、明るく豊かな国際協調的 CN 社会シナリオでは、水素供給の主要な手段として外部からの二次エネルギー貿易に依存している。

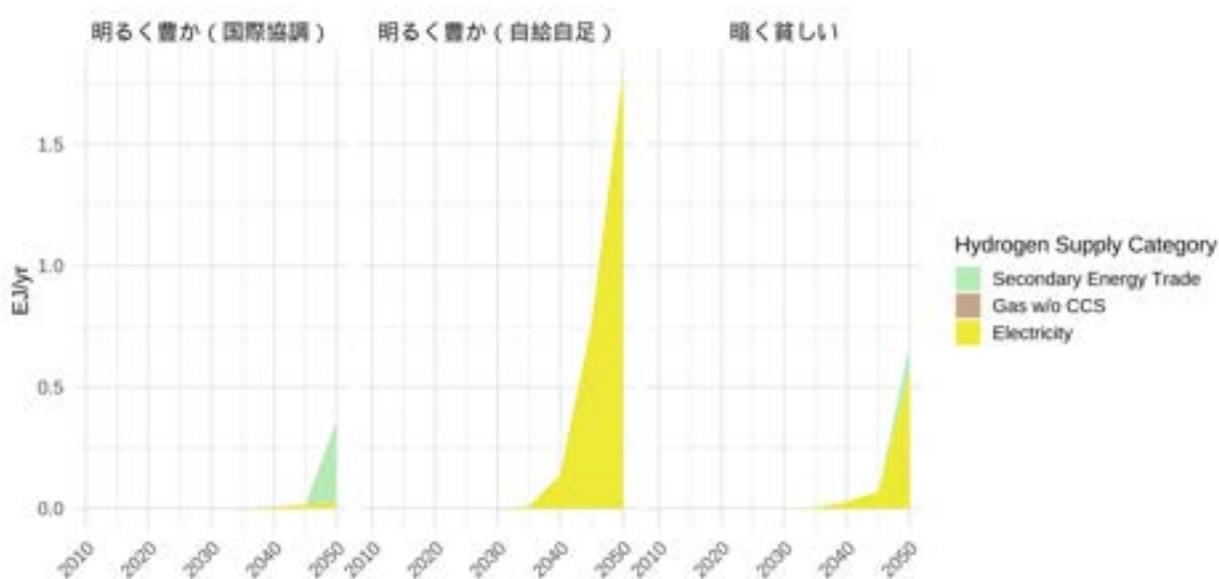


図 11 シナリオごとの水素供給の時系列

図12は、3つのシナリオにおける2010年から2050年にかけての最終エネルギー需要量の総量および構成の変化を示している。最終エネルギー需要量に関しては、いずれのシナリオにおいても減少傾向が見られる。2050年の最終エネルギー消費量の絶対量を比較すると、明るく豊かな国際協調型CN社会シナリオが最も低く（年間約7EJ）、他の2つのシナリオはほぼ同じで、年間約8.5EJとなっている。

最終エネルギー消費の構成のうち、特に電力は、すべてのシナリオにおいて最終エネルギー消費総量の約50%を占めており、この割合はシナリオ間で一貫している。他方で、燃料の構成には、3つのシナリオ間で差が生じている。主な違いは水素の категорияにある。明るく豊かな国際協調型CN社会シナリオでは、2040年以降に液体水素合成燃料の供給が大幅に増加する。一方、明るく豊かな自給自足型CN社会シナリオでは、合成燃料ではなく水素の形での利用量が増加する。

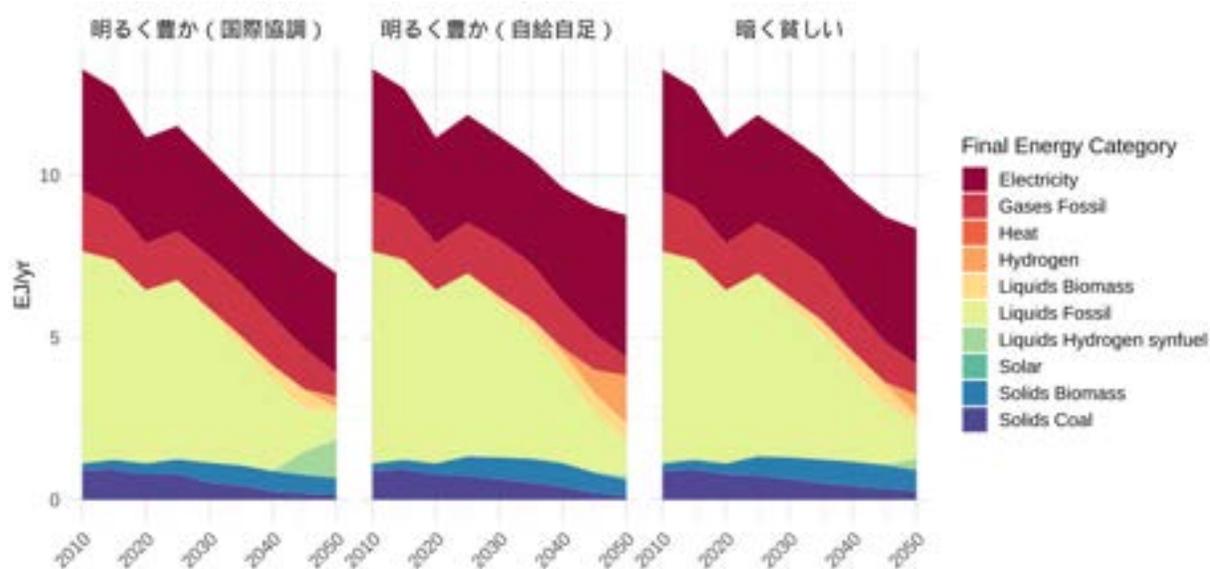


図12 シナリオごとの最終エネルギー消費の時系列

図13は、3つのシナリオにおける2010年から2050年にかけてのCO₂排出量を示している。2050年までに、いずれのシナリオにおいても一定程度の負の排出または二酸化炭素除去(carbon dioxide removal)が見られる。これらの負の排出は主に、二酸化炭素回収貯留付きのバイオマス発電により実現されている。明るく豊かな自給自足型CN社会や暗く貧しいCN社会シナリオでも、2050年までに民生家庭・業務部門および運輸部門は部門内で脱化石燃料を達成する推計結果が得られている。明るく豊かな国際協調型CN社会では、運輸部門では脱化石燃料が実現している一方で、民生家庭・業務部門ではCO₂排出が残存している。いずれのシナリオにおいても、産業部門において2050年になっても残余排出が存在する傾向は一致しているが、残存する排出量はシナリオ間で差異がある。具体的には、明るく豊かな国際協調型CN社会の残余排出量が最も小さく、暗く貧しいCN社会の残余排出量が最も大きい。

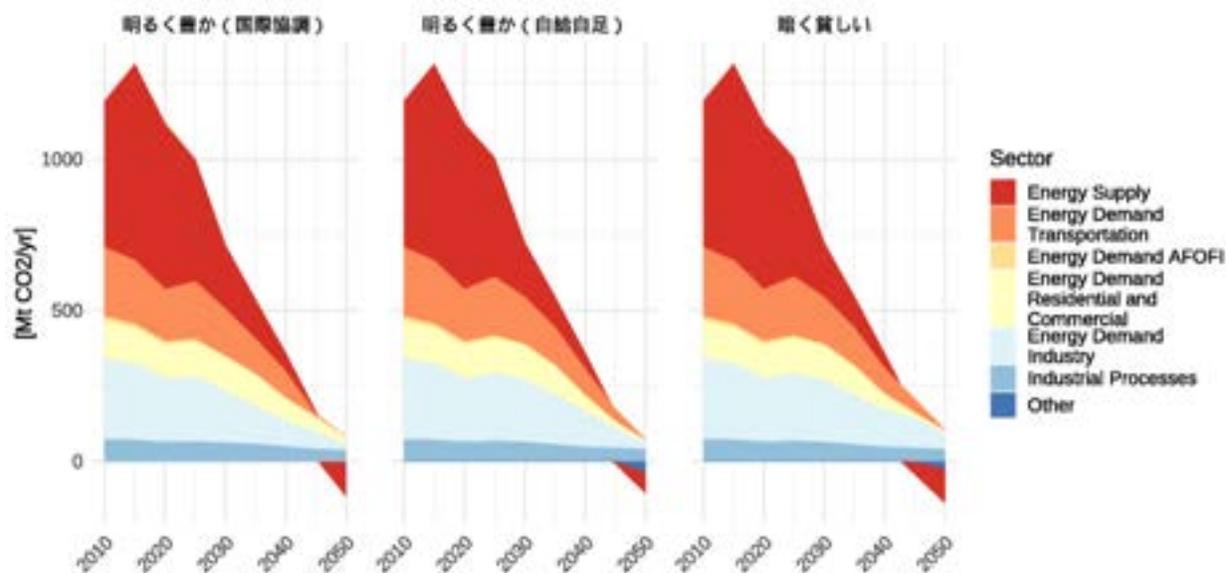


図13 シナリオごとのCO₂排出量の時系列

図 14 は、3つのシナリオにおける 2020 年から 2050 年にかけての炭素価格の変化を示している。なお、ここで示す炭素価格は数理モデル内で排出削減政策の強度を表す指標と解釈できる。実社会では、炭素税以外にも、補助金の導入や規制など様々な排出削減策が政策ミックスとして実施されるため、ここで示した炭素価格が将来実装される炭素税を直接示しているわけではない点に留意されたい。

全体として、3つのシナリオにおける炭素価格はほぼ直線的な上昇傾向を示している。2050 年の炭素価格が最も高いシナリオは、暗く貧しい CN 社会シナリオであり、約 875 米ドル/トンに達する。明るく豊かな国際協調型 CN 社会シナリオの炭素価格が最も低く、2050 年には約 625 米ドル/トンとなっている。

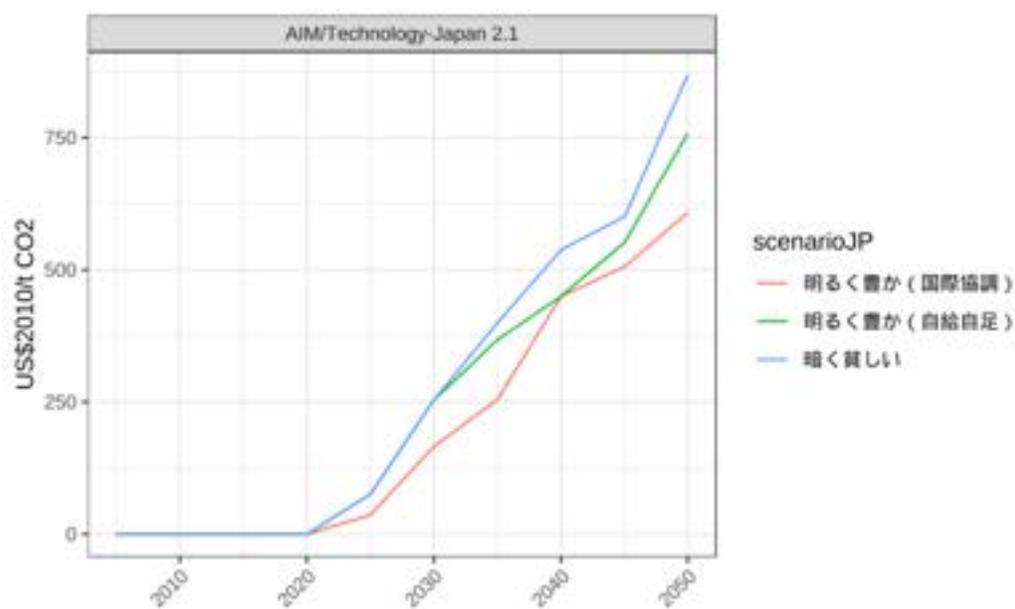


図 14 シナリオごとのカーボンプライス（炭素価格）の時系列

以上の定量分析の結果をシナリオ構築の視座から検討する。初めに、定量分析により、定性ナラティブで想定したエネルギー構成等が得られているかを確認した結果、定量分析が機能していることが確認できた。例えば、製造業の縮小を想定している明るく豊かな国際協調型 CN 社会では他のシナリオと比較し一次エネルギー供給等が減少するという結果が得られているほか、国内エネルギー技術のイノベーションを前提とする明るく豊かな自給自足型 CN 社会では太陽光・風力発電、および、国産水素が増加するという結果が得られている。これらの定量的な結果は定性ナラティブから論理的に導かれるエネルギー構成と整合的であり、数理モデルによる定量化が実現できたことを示している。

次に、定量シナリオの結果から、定性ナラティブで検討していない変数への波及効果を確認した結果、いくつかの興味深い波及効果が確認された。例えば、明るく豊かな国際協調型 CN 社会は製造業の海外移転を想定しているため、製造業のエネルギー需要が最も低く、産業部門の残余排出が最も少なくなる。これは言い換えれば、産業以外の部門に排出余地が残されることに相当するため、結果的に、明るく豊かな国際協調型 CN 社会では民生部門の残余排出が、3つのシナリオのうち最も大きくなる、という波及効果が生じた。また、明るく豊かな自給自足型 CN 社会は太陽光発電・風力発電の低価格化を想定しているため、電力供給に占める変動性再エネの比率が最も高くなる半面、二酸化炭素回収貯留付きバイオマス発電の発電量は低下する。その結果、二酸化炭素回収貯留付きバイオマス発電で実現していた負の排出を、他の技術（具体的には、二酸化炭素回収貯留付き直接空気回収（DACCS））により埋め合わせるという結果が生じた。以上の結果からは、数理モデルによる定量化により、定性ナラティブで想定していなかった波及効果を確認することができ、結果として、定性ナラティブの開発に資するフィードバックが得られることが示唆された。

本報告書では暫定版シナリオの定量化を実施したが、暫定版のシナリオからもいくつかの政策的な含意が得られる。第一に、将来シナリオの不確実性である。例えば、一次エネルギーや電源の構成を見ると、どれも脱炭素化に進むが、その方法は一様ではない。また、電源構成における再生可能エネルギーの割合は、同じ明るく豊かな社会のシナリオでも、国際協調型と自給自足型で大きく異なる。水素は国際協調型では輸入に依存するのに対し、自給自足型は国内で電気分解により多く生産する。このように将来シナリオには不確実性があり、そこに至る道筋も多様に存在する。

第二に、将来シナリオの共通性である。前述のように将来シナリオには不確実性が残るが、それでも共通点が見いだせる領域もある。例えば、最終エネルギー消費は減少し、また電力が占める割合（電化率）は向上するという傾向は全てのシナリオから共通して得られている。また、モデルの中で政策の強さを示す炭素価格も、すべてのシナリオで共通して大幅に上昇する。これらの共通する傾向は、政策オプションとして頑健性を有していることを示しているため、カーボンニュートラル社会を実現する政策としての優先度を高く設定することが望ましいと判断できる。

5. シナリオの解釈と含意

5.1. 多様なシナリオを考える意義：不確実性と共通性

本章では、本プロジェクトで構築した暫定版シナリオ、およびシナリオを構築する際に参考にした過去のトレンド、またシナリオのメタ分析をもとに、社会戦略と公共政策に関する含意をまとめる。本報告書は4年間のプロジェクトの中間時点での暫定版であり、必ずしも包括的な提案ができないが、幾つか重要な示唆が得られた。

カーボンニュートラル社会の未来を議論する際、「明るく豊かなCN社会」のみを想定することはできない。むしろ、「暗く貧しいCN社会」も議論することで、「明るく豊かなCN社会」を達成するための社会戦略や政策ミックスが明らかになる。さらに、脱炭素化が進む中で生じるリスクや課題を事前に特定し、それを回避するための政策や技術的アプローチを考える契機となる。

その一方で、「明るく豊かなCN社会」を議論する際には、単一の理想像を描くのではなく、“複数”のシナリオを示すことが必要である。今回のプロジェクトでは国際協調型と自給自足型を考慮した。社会の価値観や経済構造、技術の発展は多様であり、異なるアプローチが可能であるため、多様なナラティブを提示することで、より幅広い議論が可能となる。ただし、すべてが順調に進み、何もかもが理想的に整う“バラ色の社会”を描くことにはあまり意義がない。そのようなシナリオは現実味が乏しく、具体的な政策や行動指針の議論につながりにくい。そのため、より現実的な視点から未来を考えることが重要である。

本プロジェクトでは、ナラティブに加えて定量的モデリングも行った。また、本プロジェクトにおける三つのシナリオの分析に加え、さまざまなカーボンニュートラルのシナリオについてメタ分析を行った。これらの分析を総合すると、共通して言えることは何か。

まず、排出量削減に関しては、経済全体のエネルギー効率の向上、電力部門の早期脱炭素化、および需要側の電化（エアコンやヒートポンプ、電気自動車などの導入）が共通した対策と言える。特に電力部門に関しては、再生可能エネルギーが主力電源となっていくことが明らかである。

なお、再生可能エネルギーの割合が100%に達するかどうかについては、明確な見解は存在しない（付録8章を参照）。加えて、カーボンニュートラルの実現には、より厳密な「ネットゼロ」、すなわち「正味ゼロ」という概念に立ち戻る必要がある。2050年には、二酸化炭素の除去技術や排出削減技術も不可欠になると考えられる。一方で、大きな不確実性も残る。再生可能エネルギーの正確な割合は予測が難しく、水素などの新技術がどの程度普及するかも不透明である。水素のようなクリーン燃料は不可欠であるものの、その必要量は依然として不確定要素が多い。気候変動対策の強化は待ったなしの課題である。モデル内で示されるカーボン

ライシングは、現実世界の政策の強度を反映すると解釈できるが、2045年にはCO₂排出量1トンあたり7万5千円（500ドル、1ドル=150円で換算）以上に達する可能性がある。

5.2. 短中期の政策ミックスと社会戦略への含意

本報告書で作成されたシナリオは、政策ミックスと社会戦略についてどのような含意を持つだろうか。ある対策を実施した後には障壁が生じる可能性があり、社会戦略や政策ミックスは次の一手、二手、三手、四手などと先を考えて検討する必要がある。繰り返しになるが、本報告書は暫定版であるが、それでも重要な方向性は見えている。

社会変革の速度には限界があり、行動が遅れば遅れるほど選択肢は狭まり、望ましい社会を実現するためにかかるコストや困難性が增大すると解釈できる。このことから、望ましい未来を実現するには、早期の政策決定と具体的な行動を迅速に実施することが不可欠である。また、単に「明るい未来」の提示にとどまらず、現状のまま行動をとらなかった場合や施策が失敗した場合の「暗い未来」のシナリオを具体的に示すことで、政策の緊急性や改善行動への動機付けを強化することが重要である。さらに、二酸化炭素除去技術（CDR）などの新しい対策手法も含め、政策論議を深化させることが求められる。

カーボンニュートラル社会への移行は、単なる技術的進展だけで達成可能なものではなく、社会構造の変革や公平性への配慮を含んだ包括的な対応が求められる。そのため、社会的公平性を念頭に置きつつ、社会構造の変革を視野に入れた政策を展開することが不可欠である。さらに、産業界をはじめとする多様なステークホルダーとの緊密な連携を通じて、提案されたシナリオが社会実装に向けた実効性ある指針として広く受け入れられ、具体的な行動を喚起するための認識が社会全体に浸透することが望ましい。

5.3. 脱炭素の失敗の可能性

本プロジェクトでは、カーボンニュートラルを前提条件にシナリオを作成した。しかし、カーボンニュートラルが失敗する可能性があり、これは3つのシナリオごとに異なると言える。

特に、暗く貧しいシナリオにおいては、脱炭素の機運が削がれる可能性があるとも言える。暫定版のシナリオでは、暗く貧しいシナリオにおいても高い炭素価格が結果として得られており、このような炭素価格を維持するための政治的モメンタムは、このシナリオでは得られない可能性もある。こうしたシナリオの詳細は今後の検討課題である。

なお、脱炭素しない場合は、気候変動が悪化して社会的不平等が拡大し、より一層暗く貧しい社会シナリオもありうることも付記したい。

6. 今後に向けて

本報告書は4年間のプロジェクトの中間時点での暫定的なシナリオを示したものである。そのため、まだ十分に考慮できていない側面も多数ある。

日本の気候政策やエネルギー政策においては、公平性やエネルギー正義という側面の検討が弱いことを指摘してきた。しかし、今回我々が作成した3つのシナリオも、定性的なシナリオナラティブでは一部考慮したものの、定量的なシナリオでは十分に考慮できていない。世界的にもエネルギー貧困や公平性、ジャストトランジションといった課題への関心が高まる中、本研究においてもこのような社会的な側面について、今後の検討が必須の項目である。

社会的な側面に加えて、技術的・経済的な側面にも改善の余地がある。本報告書の定性的なナラティブおよび定量的モデリングでは、未来の技術イノベーションについて様々な想定が置かれているが、技術イノベーションは現在のイノベーション政策や、日本および世界における技術開発に強く依存している。シナリオと現在のイノベーションの状況との接合は、十分とは言えない。明るく豊かなCN社会のシナリオではイノベーションの成功が想定されているが、暗く貧しい社会におけるイノベーション政策や産業政策の在り方については、十分に議論されていない。例えば、何が海外からの輸入水素を安価にしうるのか。その社会像へたどり着く詳細な社会的なロードマップは何であろうか。本プロジェクトでは、今後この側面についても深掘りしていく予定である。

もう一つの技術経済的および定量的な改善は、統合評価モデル (Integrated Assessment Models; IAM) と、ライフサイクルアセスメント (Life Cycle Assessment; LCA) などそのほかの評価ツールの結合である。将来シナリオを構成する技術や社会システムを具体化し、シナリオが環境的、経済的、そして社会的に成り立つのかを評価するツールとして、IAMやLCA、そして技術経済性分析 (Techno-Economic Analysis; TEA) を統合的に活用する例が近年増加している。IAM、TEA、そしてLCAはそれぞれ短所長所があるため、IAMとTEA/LCAを連携して解析することで、政策と技術の関係をより明確に示すことができ、将来シナリオのより良い評価に繋がると言われている (Creutzig et al., 2012)。将来シナリオとLCAの相互関係は大きく分けて3つに分類される。①LCAが将来シナリオの入力値を提供する形態、②将来シナリオをLCAの入力値として提供する形態、そして③それらのハイブリッド形態である (Bisinella et al., 2021)。本プロジェクトでは今後、適切な形でLCAやTEAを取り込んでいく。さらに、技術パラメータの精度を高め、シナリオの定量化手法を改善することが必要となる。

また、シナリオのコミュニケーションや使い方についても、検討が今後の課題である。具体的には、技術開発側と政策分析側の間に存在する視点の乖離を解消するために、コミュニケーションをより一層強化することが重要である。本研究課題では、多様な専門家の視点をもとにシナリオのキーワードを検討したが、シナリオ自体はプロジェクトチームで作成しており、いわ

ゆるステークホルダーと協働して作成する方法をとっていない。このような場合、シナリオがどのように解釈され、利用されるかは事前には不明瞭である。シナリオのコミュニケーションについては実証的な研究が少ない傾向があるため、今後はエビデンスに基づいた検討を進めることが望ましい（例えば、シナリオに関する社会調査を実施するなど）。また、気候変動対策自体の便益、すなわち気温上昇の度合いが減ることによる気候影響の低減の効果についても、緩和シナリオと適切に組み合わせて伝えていくことが望ましいだろう。

7. 付録1：過去のトレンド詳細版

7.1. 気候変動緩和政策の推移と現状

- ・ 日本政府は、パリ協定に基づき、2030年度において温室効果ガス46%削減（2013年度比）を目指すとしてNDCに設定。2050年カーボンニュートラル達成を宣言した。
- ・ 国内のGHG排出量は減少傾向。ただし、現状では目標達成が困難との指摘もある。
- ・ 化石燃料に依存した経済構造をクリーンエネルギー中心へ転換する「GX」の実現に向け、イノベーション政策を中心に、徹底した省エネルギーや再生可能エネルギーの主力電源化等を推進中。
- ・ 成長志向型カーボンプライシング構想の下、GX経済移行債やカーボンプライシングを適用した制度等により企業のGX先行投資を支援・促進している。

NDC（国が決定する貢献）

日本は、国連気候変動枠組条約第3回締約国会議（COP3）で採択された京都議定書を受け、第一約束期間において、2008年から2012年までの5年間の温室効果ガス排出量の平均値を1990年比で6%少ない量に抑える目標が課された。2012年にドーハで開催されたCOP18では、米国の不参加や新興国の排出量増加等を考慮し、日本は第二約束期間への参加を見送った。その後、すべての主要排出国が参加する新たな枠組みの構築を目指して国際交渉が進められた結果（環境省, 2024a）、2015年開催のCOP21にてパリ協定が採択された。日本はこの協定に基づき、2030年度までに温室効果ガスを2013年度比で26%削減することをNDCとして設定した（外務省, 2022）。

2020年に当時の菅首相が2050年カーボンニュートラルを目指すとして宣言し、翌21年には削減目標を46%まで引き上げるとともに、これをさらに上回る50%削減達成を目指すとして表明した（環境省, 2024a）。「第6次エネルギー基本計画」では、2030年度のNDCと整合性を取るための野心的なエネルギー需給の見通しを示している（資源エネルギー庁, 2024a）。

2023年、ドバイ開催のCOP28では、パリ協定で掲げられた目標達成に向けた世界全体の進捗状況を5年ごとに評価するグローバル・ストックテイク（GST）が初めて実施され、1.5°C目標を目指すのであれば、2035年の世界総温室効果ガス排出量を60%削減する必要があると結論づけられた。各国はGSTの結果を踏まえ、NDCを更新することが求められている（資源エネルギー庁, 2023）ため、日本も2024年から次期削減目標の議論を始め、2025年2月、2035年に2013年比60%削減、2040年に73%削減と決定した（環境省&経済産業省, 2024）。

GHG 排出量

日本の GHG 排出量は、全体の約 9 割を占めるエネルギー起源 CO₂を中心に 2013 年のピークから減少傾向を示しており、2022 年度時点で 2013 年度比 19.3%（吸収量を差し引くと 22.9%）の削減が達成されている（図 15）（環境省, 2024b）。

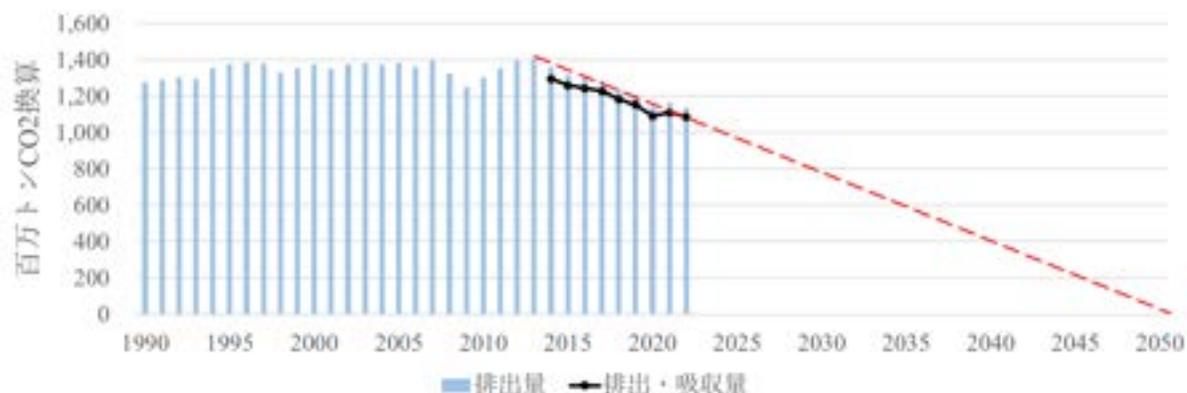


図 15 GHG 排出量の推移

（出典：国立環境研究所「日本の温室効果ガス排出量データ」を基に作成）

環境省は 2050 年ネットゼロに向けた排出削減が順調に進捗しているとの見解を示している（環境省, 2024b）。一方、原発再稼働の遅れや太陽光発電の導入量の低迷から、現状政策の延長だけでは 2030 年目標の達成が困難であるとの指摘もある（Climate Integrate, 2024a; Koppenborg, 2024）。

GX（グリーントランスフォーメーション）

現在、日本では NDC およびネットゼロの達成を目指すとともに、化石燃料への依存から脱却し、クリーンエネルギー中心の産業構造・社会構造へと転換を図る GX を推進している（環境省, 2024a; 資源エネルギー庁, 2024a）。特にイノベーション政策を中心に進めていることが特徴的である。具体的には、閣議決定された「脱炭素成長型経済構造移行推進戦略（GX 推進戦略）」の下、エネルギーの安定供給、経済成長、脱炭素を同時に達成することが目標である（経済産業省, 2023a）。エネルギー関連の施策では、徹底した省エネルギーの推進や再生可能エネルギーの主力電源化、原子力の活用、水素・アンモニアの導入促進、蓄電池産業の育成等に取り組んでいる（経済産業省, 2023a; 経済産業省, n.d.）。特に政府の 20 兆円の投資を呼び水に、官民で 10 年間にわたって 150 兆円を投資する方針が示され、具体的に洋上風力、次世代原子力、水素還元製鉄、CCS など、様々な技術分野で先行投資が進んでいる。投資の当面の原資は脱炭素成長型経済構造移行債という国債であり、今後、化石燃料賦課金や排出量取引等で時間差を設けて回収する仕組みになっている。

一方で、国と地方が協働する取り組みとしてコミュニティエネルギーも進行中である。「地域脱炭素ロードマップ」では、地域の特性に応じて実現する脱炭素先行地域の選定を進めており、2025年度までに少なくとも100か所を選定し、2030年度までに実行する計画である（環境省, 2024a, 2025b）。加えて、再生可能エネルギーの地産地消を促す補助金の交付（環境省, 2024a）や、自治体が地域のエネルギー企業に出資し、地域の再生可能エネルギーによって、地域にエネルギーを供給する日本版シュタットベルケを推進している（環境省, 2018）。

イノベーションではスタートアップ（ベンチャー企業）が重要になってきているが、世界水準での日本のスタートアップ企業の数、企業価値、競争力は依然として低い（経済産業省, 2024e）。「Global Cleantech 100」を参照すると、2009年から2025年において世界から毎年100社が選出されてきたが、日本企業は2025年に初めて1社が選出されたのみに留まる（Cleantech Group, 2025, 2009-2024）。

カーボンプライシング

経済産業省は、GXを牽引する枠組みとして「GXリーグ基本構想」を公表し、日本のCO₂排出量の5割超を占める参画企業らが自主的に設定する排出削減目標に向けた排出量取引（GX-ETS）の試行が2023年に開始された。今後は公平性・実効性を高めるための措置を講じた上で、本格稼働させる予定である（経済産業省, 2024b）。

化石燃料賦課金制度とは、地球温暖化対策のための税とは別に、化石燃料を輸入する事業者等に対して、CO₂排出量に応じた賦課金を徴収する制度のことである。2028年度の導入段階では賦課金を低く抑え、段階的に引き上げる計画である。しかし、諸外国に比べ炭素税の導入時期が遅く賦課金も低すぎるとの意見がある（自然エネルギー財団, 2022; World Bank Group, 2025）。

7.2. エネルギー政策の推移と現状

- ・ 日本のエネルギー政策の基本方針は「S+3E」。安全性を大前提に、安定供給・経済効率性・環境適合の両立を掲げている。ただし、基本方針自体が公平性などを十分に考慮していないという批判もある。
- ・ S+3Eの実現を目指し、再生可能エネルギーや原子力、化石燃料等の多様なエネルギー源の活用とエネルギーミックスの最適化に取り組んでいる。
- ・ 第7次エネルギー基本計画において、2040年度に再生可能エネルギーを4～5割程度、原子力を2割程度、火力発電を3～4割程度とする電源構成目標を掲げ、再生可能エネルギーの割合の増加と非再生可能エネルギーの効率化・低炭素化を推進中。
- ・ 日本のエネルギー効率は1973年度から2022年度で2倍以上に改善し、電力化率も27.4%まで上昇した。一方、電気自動車の普及は世界的に見て大きく遅れている。

エネルギー政策の基本方針

日本のエネルギー政策は、S+3E（安全性、安定供給、経済効率性、環境性）を基本方針としている（資源エネルギー庁, 2024a）。野心的な2030年度の温室効果ガス排出削減目標の実現に向けて、安全性を大前提に、エネルギーの安定供給を最優先にしつつ、経済効率性の向上による低コストでのエネルギー供給と環境適合の両立を目指している（図16）（経済産業省, 2021a）。

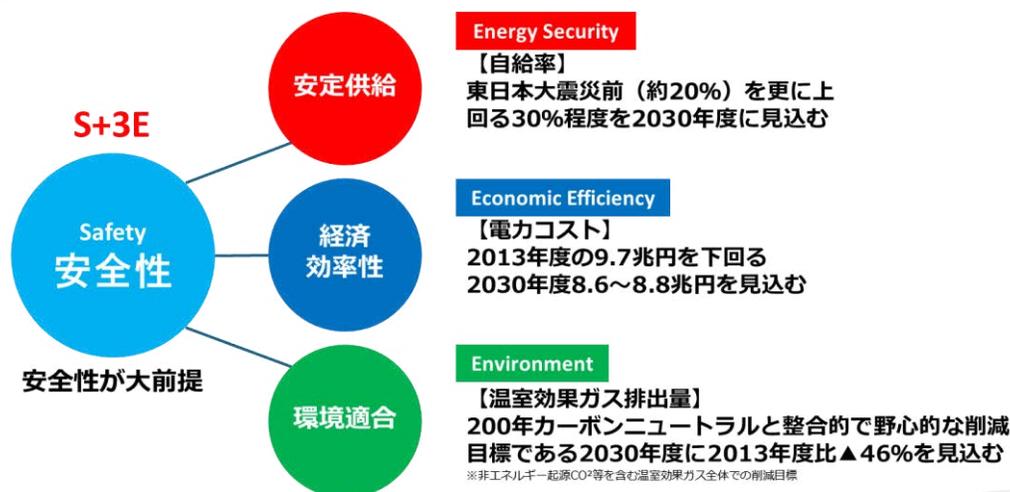


図16 日本のエネルギー政策の基本方針 S+3E

（出典：経済産業省「日本のエネルギー 2023年度版エネルギーの今を知る10の質問」を基に作成）

2002年6月、エネルギー政策の着実な遂行を目的として「エネルギー政策基本法」が制定され、エネルギー基本計画を策定することが定められた（資源エネルギー庁, 2016）。エネルギー

基本計画は、少なくとも3年に1度の頻度で検討を加え、必要に応じて変更することが求められている（エネルギー政策基本法, 2002）。

2014年4月に閣議決定された第4次エネルギー基本計画では、東京電力福島第一原子力発電所における事故が起きた後の国内のすべての原子力発電所の運転停止、化石燃料の海外依存度の増加、エネルギーコストの上昇、CO₂排出量の増大といった課題を踏まえ（資源エネルギー庁, n.d.）、これまでの基本方針「3E」という視点に、安全性の確保「S（安全）」がエネルギー政策の原点として位置づけられた（経済産業省, 2024c）。また、安全性の確保を大前提として、化石燃料との経済性および環境性の比較等から、原子力がベースロード電源の一つとして位置づけられた（経済産業省, 2014）。

一方、S+3Eの枠組みはエネルギーの公平性に基づいた評価が欠如しているとの指摘がある。具体的には、エネルギーの利益が不平等に分配されている（エネルギー貧困、固定価格買取制度（FIT）の利益の偏り等）ことや、地域住民の声や価値観が軽視されている（原発立地、再生可能エネルギーの乱開発等）こと、意思決定プロセスが不透明で市民参加が不足していること等が挙げられる。そのため、この枠組みに「Equity（公平性）」の視点を加えるべきだという議論がある（Hartwig, Emori, & Asayama, 2023）。

一方で、日本のエネルギー自給率が低く、海外資源に大きく依存していることも課題とされている（図17）。エネルギーの安定供給を確保するためには、多様な取り組みが必要である。具体的には、資源国との関係強化といった伝統的なエネルギー安全保障に加え、エネルギー供給の基盤となる重要技術の国産化による国内供給の確保を目指す等、多層的なエネルギーの供給体制を構成することにより、危機時においても適切に機能する強靱性（レジリエンス）を高めていくことなどが挙げられる（経済産業省, 2021a）。

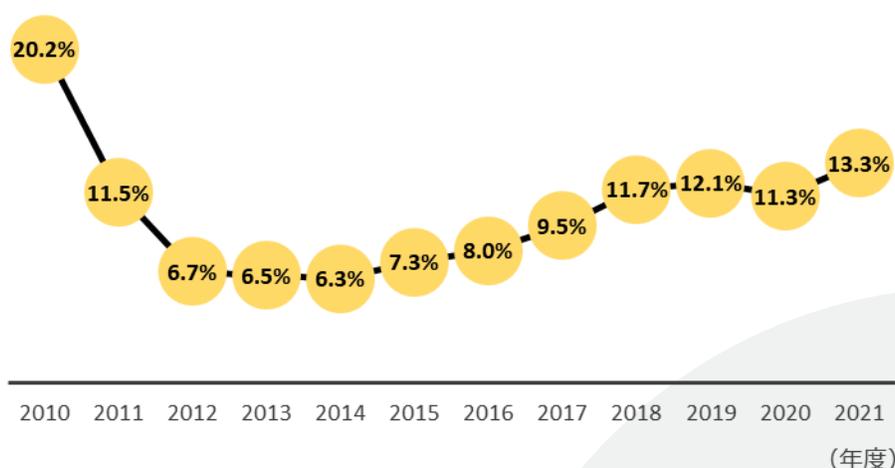


図17 日本のエネルギー自給率

（出典：経済産業省「総合エネルギー統計」を基に作成）

エネルギー起源 CO₂ 排出量

2022年度のCO₂排出量は10億3,700万トンであり（小坂 & 畠中, 2024）、2013年度と比べて2億8,090万トン（21.3%）減少した。産業部門は24.0%、運輸部門は14.5%、業務その他部門は23.6%、家庭部門24.5%それぞれ減少した（図18）（国立環境研究所, 2025）。

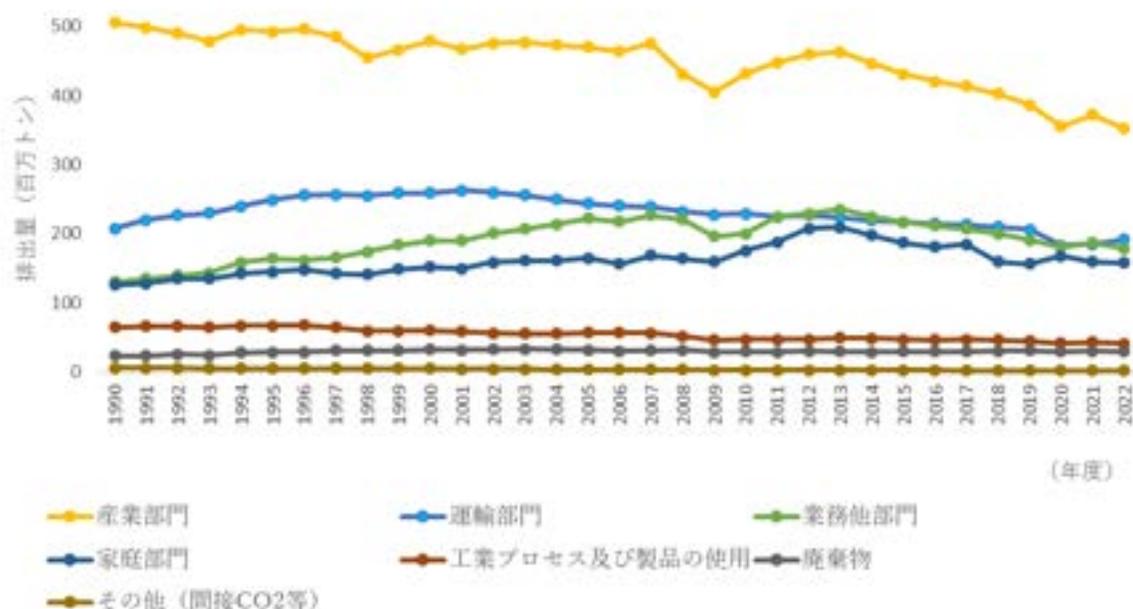


図18 CO₂の部門別排出量（電気・熱配分後）の推移

（出典：国立環境研究所「温室効果ガスインベントリ」を基に作成）

エネルギーミックス（電源構成）

2025年2月、日本は第7次エネルギー基本計画を公表し、2040年度までに電力供給に占める再生可能エネルギーの比率を40~50%に引き上げ、原子力発電の比率を20%とする目標を掲げている。これにより、化石燃料への依存度を低減し、エネルギー自給率の向上と温室効果ガスの削減を図る考えである（資源エネルギー庁, 2025）。

総発電電力量は2007年度のピーク時から減少している。再生可能エネルギーの年間発電電力量は、2010年度まで総発電電力量の10%で推移してきたが、2023年度までに26%と倍増した。東日本大震災以降、原子力発電の発電電力量は激減し、震災前の25%以上から約8%と3分の1以下となった。化石燃料による火力発電の割合は、震災後に約90%にまで上昇したが、65%程度に減少してきている（環境エネルギー政策研究所, 2024）。

2030年に向けた電源構成目標には課題が残っている。例えば、再生可能エネルギーの導入目標が依然として低く設定されており、再生可能エネルギーを最大限かつ最優先で導入するための制度改革が十分ではないとの意見がある。さらに、2050年に向けた長期戦略においても、火力

発電を維持する方針が示されており、これが将来性の低い火力発電や化石燃料輸入産業の延命につながることも指摘されている（自然エネルギー財団, 2021a; Climate Integrate, 2024b）。

エネルギーミックス（最終エネルギー消費）

最終エネルギー消費は、省エネルギーなどの進展により 2022 年度にはエネルギー原単位が 1973 年度の 2 倍以上に改善した（資源エネルギー庁, 2024a）。

二次エネルギーである電気は、多くの分野で使う場面が増えており、1970 年度に 12.7%であった電力化率（最終エネルギー消費に占める電力消費の割合）は、右肩上がりに上昇し、2022 年度には 27.4%に達した（資源エネルギー庁, 2024a）。

運輸部門の CO₂ 排出量の大半を占める自動車分野では、電気自動車（EV）、燃料電池車（FCV）等の次世代自動車の普及促進を図る。1997 年に世界初の量産ハイブリッド自動車（HV）プリウスの販売を開始してから、2022 年度末時点の日本における次世代自動車の保有台数は、HV（プラグインハイブリッド車（PHEV）を含まない）が 1,175.7 万台、PHEV が 20.8 万台、EV が 16.5 万台となった（資源エネルギー庁, 2024a; 日本自動車タイヤ協会, n.d.）。2035 年までに乗用車の新車販売は、電動車（EV, FCV, PHEV, HV）100%を目指す（経済産業省, 2023b）。

電気自動車の販売台数は世界的に増加しているが、日本は低迷している。2023 年には、新たに登録された電気自動車の約 60%が中国、約 25%がヨーロッパ、約 10%が米国であり、世界の電気自動車販売の 95%を占めている。新車販売における電気自動車の割合で見ると、中国が 38.0%、ヨーロッパが 21.0%、米国が 9.5%であり、日本では 3.6%に留まっている（International Energy Agency, 2024a, 2024b）。

7.3. エネルギー政策と技術

- ・ エネルギー供給の多様化と脱炭素化に向け、2009年「エネルギー供給構造高度化法」が施行された。ところが、福島第一原発事故で原子力発電への信頼が低下。固定価格買取（FIT）制度の導入で太陽光発電が急速に普及した。
- ・ 電力自由化の推進や再生可能エネルギーの普及、災害に強い電力システムの構築に注力。
- ・ 政府・自治体は、エネルギー供給技術に対する社会の受容を高めるため、住民との対話や安全性の信頼回復、廃棄物処理への理解促進にも努めている。

エネルギー源の脱炭素化

日本政府は、エネルギー供給の多様化と脱炭素化に向けて、多様な取り組みを推進している。固定価格買取制度（FIT）やフィード・イン・プレミアム（FIP）、入札による再生可能エネルギーの普及、蓄電池の活用、カーボンリサイクル技術を用いたCO₂の回収・利用・貯留（CCUS）、次世代技術により安全性が向上した原子力発電、非化石燃料由来のグリーン水素の拡大等がその一例である（経済産業省, 2023a）。

2009年、再生可能エネルギーや原子力等の非化石エネルギー源の導入・利用拡大と、化石エネルギー源の有効活用を促進するために、「エネルギー供給構造高度化法」が施行された。しかし、東日本大震災と福島第一原子力発電所事故により、基幹電源と位置付けられていた原子力発電の信頼は揺らぎ、再生可能エネルギーを含めた多様な供給力が一層求められた（経済産業省, 2013）。その後、「再生可能エネルギー特別措置法（再エネ特措法）」の成立によりFITが導入され（内閣府, 2011; 資源エネルギー庁, 2017）、特に太陽光発電が急速に普及した（経済産業省, 2024d）（図19）。こうした市場拡大にもかかわらず、生産側を見れば世界における日本のメーカーの市場シェアは減少を続けており、2000年ごろ50%であった市場シェアは1%を切るほどになっている（次世代型太陽電池の導入拡大及び産業競争力強化に向けた官民協議会, 2024）。

＜2024年12月末時点のFIT・FIP認定量・導入量＞														
設備導入量（運転を開始したもの）														認定容量
再エネ発電設備の種類	制度導入前	固定価格買取制度導入後												固定価格買取制度導入後
	2012年6月までの累積	2012年度7月～2013年度	2014年度	2015年度	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度（～12月）	制度開始後合計	2012年7月～2024年12月末
太陽光（住宅）	470	207.5	103.6	85.8	79.2	66	73.3	76.9	75.9	85.7	105.9	66.5	1026.3	1048.1
太陽光（非住宅）	90	676.9	836.8	814.8	544.4	474.5	490.6	487.8	499.6	372.8	354.1	175.3	5727.7	6372.3
風力	260	17.4	22.5	14.8	30.8	16.9	16.6	44.9	36.3	29.5	23.1	49	301.7	1390
地熱	50	0	0.4	0.6	0.5	0.7	0.9	4.8	1.4	0	0.2	2.1	11.6	21.2
中小水力	960	0.6	8.5	9.3	7.9	7.5	6.1	12.6	15.5	12.8	24.1	20.2	125	246.7
バイオマス	230	18.4	17.9	30.2	35.3	50	31.2	48.6	44.5	67.8	131.5	29.5	504.9	841.6
合計	2,060	920.8	989.7	955.5	698	615.5	618.6	675.5	673.3	568.8	639	342.6	7697.3	9,919.80

※単位: 万kW ※バイオマスは、認定時のバイオマス比率を乗じて得た推計値を集計。 ※各内訳ごとに四捨五入しているため、合計において一致しない場合がある。

図 19 電源別の FIT/FIP 認定量・導入量（2024 年 12 月末時点）

（出典：経済産業省「再生可能エネルギーの導入状況」を基に作成）

一方で、FIT の運用を通じて、コスト増大や市場競争の欠如、再生可能エネルギーの拡大に伴う系統運用の柔軟性が課題として顕在化した（資源エネルギー庁, 2019）。コスト増大による国民負担を軽減するため、入札制度が導入され（電力広域的運営推進機関, 2024）、後に導入された FIP（総合資源エネルギー調査会合同会議, 2021）も適用された。また、世界的な水準と比較すると、日本の再生可能エネルギーコストの高さが際立っている。太陽光発電を例に挙げると、発電コスト（LCOE: 均等化発電原価）は、オーストラリア、中国、インド等より 2～3 倍近く高い（International Renewable Energy Agency, 2024）。また、設置コストの推移でもオーストラリアや中国、インドと比べて減少が鈍く、特に最近 5 年間（2018 年から 2023 年）の総設置コストの傾向からも、日本が高止まりしていることが確認される（International Renewable Energy Agency, 2024）。

電力システム改革

2013 年に「電力システム改革に関する改革方針」が閣議決定されたことにより、①広域系統運用の拡大、②小売及び発電の全面自由化、③法的分離の方式による送配電部門の中立性の一層の確保という 3 段階からなる改革の全体像が示された。そして必要な措置を定めた電気事業法改正案が通常国会において成立した（資源エネルギー庁, 2020）。同法により、設立された電力広域的運営推進機関（OCCTO）は（資源エネルギー庁, 2018）、広域的な電力供給の調整や需給バランスの確保を担うことで、系統運用の信頼性向上に寄与している。

続いて、電力小売市場の全面自由化が一因となり、地域の再生可能エネルギーを地域に供給する地域新電力の設立や、再生可能エネルギー事業者と企業が直接電力の売買を契約するコーポレート PPA を締結する環境が整備された。ゼロカーボンシティ施策の 1 つとして地域新電力を検討中の企業も少なからず存在し（ローカルグッド創成支援機構, 2024）、また、企業や自治

体の間でコーポレート PPA を締結する動きも広まりつつある（自然エネルギー財団, 2024）。その後、改正電気事業法が施行され、送配電の法的分離が実施されたことにより、送配電事業者が発電事業者や小売事業者と独立した立場で系統運用を行う枠組みが整備された。

一方、変動性の高い太陽光や風力電源の大量導入による需給バランス調整の課題に対応するため、蓄電池や揚水発電の普及による系統安定化が図られている（経済産業省, 2021a）他、マイクログリッドの実証が進展している（経済産業省, 2022）。これらの取り組みは、災害時の電力供給の安定性向上への貢献が期待されている（経済産業省, 2021a）。

エネルギー供給技術の社会受容性

国や自治体は、エネルギー供給技術に対する社会の受容に向けて、住民の懸念を解消するための対話や、安全性の信頼回復、廃棄物処理に関する理解を得るためのコミュニケーションを推進している（経済産業省, 2021a; 環境省, 2024a）。

地域住民等からの懸念が示されたのを背景に（豊田陽介, 2024; 茅野恒秀, 2021; NHK, 2023）、兵庫県宝塚市で計画されていた山林への太陽光パネル設置計画や、長野県諏訪市で進められていた大規模メガソーラー計画が住民の反対により事業撤退となる等（日経電子版, 2020; 読売新聞オンライン, 2020）、地域社会との摩擦が顕在化している。また、東京都が新築住宅への太陽光パネル設置義務化を発表した際には、人権侵害があると懸念される地域で製造・輸入された太陽光パネルを購入することに反対意見が出された（東京新聞, 2022）。福島第一原発事故が起きた以降は、原発の再稼働や新設計画への反対が広がっている（経済産業省, 2021a）。洋上風力についても景観や生態系保全の観点から懸念が呈されている。

7.4. エネルギー需要の政策と技術

- ・ 経団連の行動計画を基盤に、114業種が参加する「経団連カーボンニュートラル行動計画」が進められている。各業界で新技術の導入やロードマップの策定等が進む一方、産業部門全体で、さらなる省エネ投資促進や事業者間連携の強化が求められている。
- ・ 住宅や建築物の省エネ性能を向上させるため ZEH ((net) zero energy house)・ZEB ((net) zero energy building)の普及を推進している。一方、諸外国に比べて低い断熱基準、エネルギー消費量の増加、公共建築物への導入の遅れ、高齢者の省エネ設備導入への慎重さなど、多くの課題が残されている。
- ・ 運輸部門のCO₂排出量は2001年度をピークに減少傾向である。政府は自動車の電動化、航空分野でのSAF (sustainable aviation fuel, 持続可能な航空燃料)の開発、船舶のゼロエミッション化等、各分野で脱炭素化を推進している。
- ・ 欧州発の気候市民会議のように、市民が議論した政策提言を地方自治体に提出する動きが広がっている。一方、国レベルで活用される動きは現状では進んでいない。

産業の脱炭素化

産業部門における気候変動対策は、京都議定書が採択された1997年以降、直接規制や経済的手法ではなく、日本経済団体連合会（経団連）が主導する「経団連環境自主行動計画」を通じて推進されてきた（日本経済団体連合会, 1997）。2013年には同計画をさらに進化させ、「経団連低炭素社会実行計画」が策定された。これらの取り組みは「地球温暖化対策計画」において、日本の中期目標（2030年目標）を達成するための重要な柱として位置付けられるとともに、「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」においても、産業界の自主的な取り組みとして取り上げられている（日本経済団体連合会, 2013; 環境省, 2021）。

さらに、2021年には「経団連低炭素社会実行計画」から「経団連カーボンニュートラル行動計画」へと改定された。この計画では、中小企業も含めた対象範囲の拡大や、政府の2030年度目標との整合性を考慮した見直しが進められている。現在、114業種がこの自主的な取り組みに参加しており、2020年度以降、2030年度目標を見直した業種も増加している（資源エネルギー庁, 2024a）。

加えて、カーボンニュートラルの実現に向けた長期ビジョンについて、業界ごとに道筋やマイルストーンを示している。例えば、鉄鋼業界では、COURSE50やフェロコックス等を利用した高炉のCO₂抜本的削減+CCUS（Carbon Capture, Utilization and Storage）や水素還元製鉄等の革新的技術の開発を推進中である。化学業界では、原料の炭素循環（CO₂の原料化、バイオマスの原料利用、廃棄プラスチック利用等）、エネルギー利用極小化へのプロセス、構造の転換（膜分離プロセス等）に取り組むとしている（日本経済団体連合会, 2024）。

また、「第6次エネルギー基本計画」では、産業部門における熱需要の見通しが示されている。低温帯の熱需要に対しては、ヒートポンプや電熱線といった電化技術による脱炭素化が考えられ、高温の熱需要等の電化が困難な部門では、水素、合成メタン、バイオマス等を活用しながら脱炭素化が進展している。ただし、コスト面での課題がある（経済産業省, 2021a）。産業界の自主的な取り組みに加え、政府は省エネ法に基づくエネルギー管理の徹底や産業部門ベンチマーク制度、省エネ設備の導入支援等を通じ、事業者単位での省エネ促進を図っている。しかしながら、エネルギー消費効率の改善は停滞しており、省エネ法における特定事業者の約5割が前年度比で悪化している。このため、さらなる省エネ設備への投資促進、事業者間の連携強化、省エネ手段の多様化等を通じ、エネルギー消費効率の改善を図ることが求められている（資源エネルギー庁, 2024a）。

住宅・建築物の脱炭素化

日本は住宅および建築物の省エネ性能の向上を目指して、ZEH・ZEBや高性能建材の普及、住宅の省エネリフォームへの支援等を行っている。

住宅・建築物分野の課題として、エネルギー消費量は増加傾向にあること（国土交通省, 2024a）や住宅の断熱基準が諸外国に比べて低いことが挙げられる（図20）（国土交通省, n.d.）。この対策として、省エネ法に基づくトップランナー制度による断熱材・窓（サッシ、複層ガラス）等の建築材料の性能向上（環境省, 2024a）、エコキュートやエネファームを含む住宅省エネ化支援制度の予算規模を拡大している（資源エネルギー庁, 2024a）。

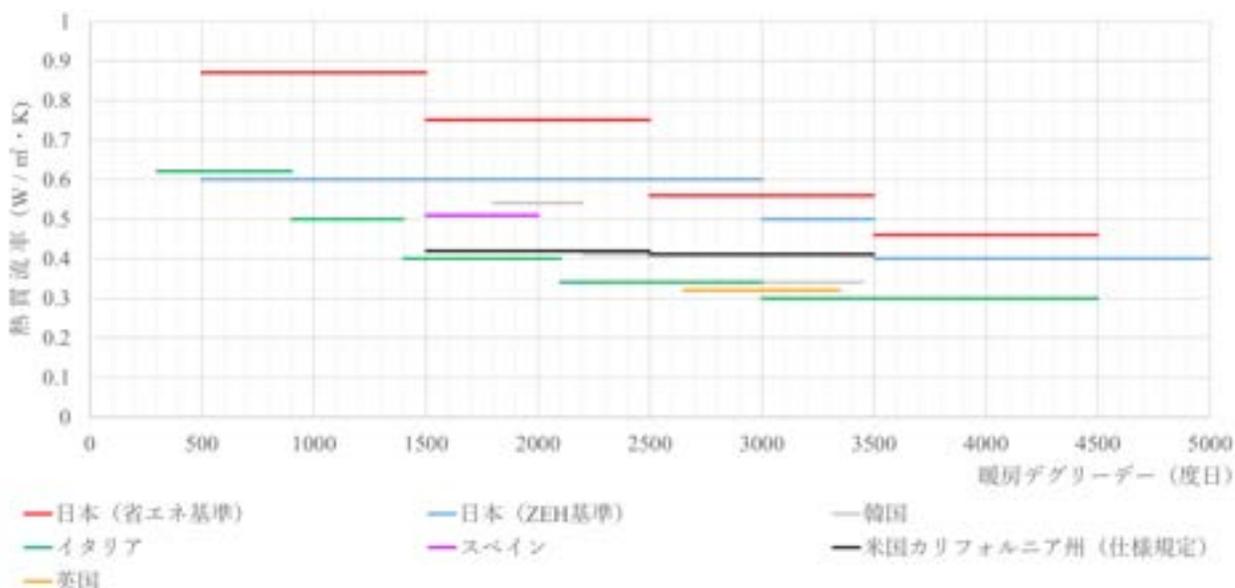


図20 住宅の外皮平均熱貫流率（UA値）基準の国際比較（2021年）

（出典：国土交通省「今後の住宅・建築物の省エネルギー対策のあり方（第三次報告案）及び建築基準制度のあり方（第四次報告案）について」を基に作成）

2030年度以降に新築される住宅・建築物については、ネット・ゼロ・エネルギー・ハウス（ZEH）・ネット・ゼロ・エネルギー・ビル（ZEB）基準の省エネルギー性能の確保を目指し、実現・普及に向けた支援等を行っている（経済産業省, 2021a）。他方、公共建築物におけるZEB普及率は民間に比べて極めて限定的であることから、新築のZEB化と同時に、改修ZEBの推進を図ることが重要視されている（環境省, 2024c）。

また、日本では総人口に占める高齢者（65歳以上）の割合が年々上昇しており、2000年の17%から2022年には30%に達している。高齢者は新しい製品やサービスへの切り替えに慎重になる傾向があるため、家庭部門における省エネ設備等の導入支援制度の拡充だけでは十分ではない。そのため、高齢世帯を対象に省エネ家電への切り替えや太陽光発電システムの導入、省エネ住宅の新築やリフォームを促すことが必要とされている（日本総合研究所, 2024）。

物流・交通の脱炭素化

運輸部門において、主にトップランナー制度に基づく燃費基準の導入やグリーン税制の導入等によりCO₂排出量が2001年度をピークに減少している（図21）（国土交通省, 2022）。

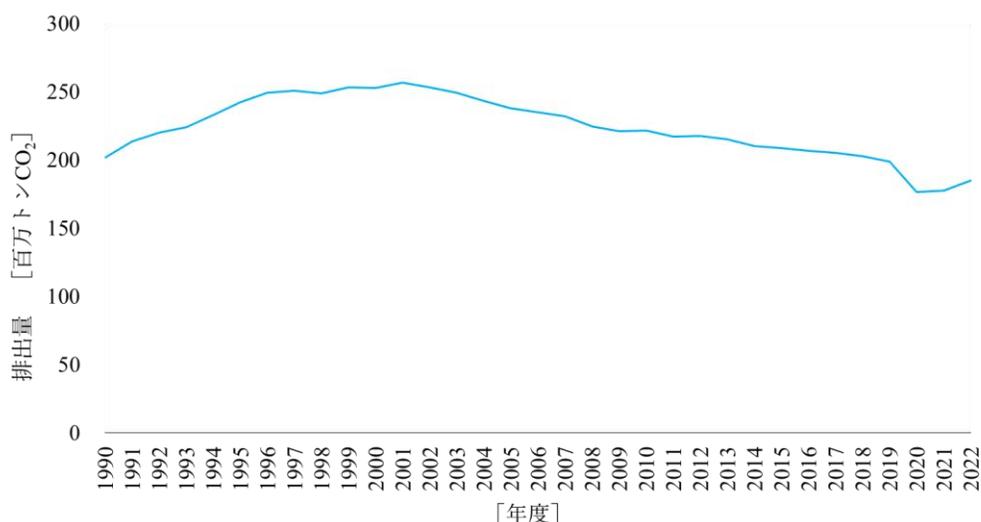


図21 運輸部門CO₂排出量の推移

（出典：国立環境研究所「日本の温室効果ガス排出量データ」を基に作成）

2022年度の国全体のCO₂排出量のうち、運輸部門の排出量は18.5%を占める。このうち自動車（乗用車）が85.8%と航空や鉄道と比べ圧倒的に多く、旅客自動車が47.8%、貨物自動車が38.0%となっている（国土交通省, 2024b）。2022年に閣議決定された「GX実現に向けた基本方針」では、2030年までに8トン以下の車両の新車販売に占める電動車（EV、PHEV、FCV等）の割合を20~30%とし、8トン超の車両においては、電動車を5,000台先行導入する目標を設定した

(環境省, 2024a)。また、全固体電池等の次世代電池の研究開発への支援を進めている(資源エネルギー庁, 2024a)。

航空分野においては、ジェット燃料の代替燃料であるバイオジェット燃料や合成燃料等の持続可能な航空燃料(SAF: Sustainable aviation fuel)の技術開発・実証を進め、コストを現在のジェット燃料と同等の価格まで低減し、自立商用化を目指している(経済産業省, 2021a)。船舶分野では、ゼロエミッション船の商業運航の実現することを目指し、技術開発・実証に取り組んでいる(経済産業省, 2021a)。

市民の参画(気候市民会議)

市民の参画という観点では、2019年から主に欧州で気候市民会議が開催されている。日本でも2020年に札幌で初めて試行された後、各地で実施されるようになっており、市民が地域の気候変動対策について議論し、その結果をまとめた政策提言を地方自治体に提出する動きが広がっている(citizensassembly.jp., n.d.; 国立環境研究所, 2024)。しかし、フランスや英国における法案化等のような国レベルで活用される動きはまだない(citizensassembly.jp., 2024; 森 秀行, 2024)。

7.5. 緩和技術・オプションのイノベーション

- ・ 日本は、アジア・ゼロエミッション共同体（AZEC）を通じ、アジアでの GX を推進している。
- ・ 脱炭素化が困難な領域においては、ネガティブエミッション技術（NETs）や森林吸収源対策の活用が必要。日本では、1 億トン/年オーダーの CO₂ 除去（CDR）が求められている。

GX を支える技術と海外協力（AZEC）

日本は、AZEC を通じて、水素燃料、CCS 技術等を活用し、アジアでの GX を推進（資源エネルギー庁, 2024a）している。

2022 年、日本は「アジア各国が脱炭素化を進めるという理念を共有し、エネルギー移行（移行）を進めるために協力する」ことを目的に、「アジア・ゼロエミッション共同体（AZEC）構想」を提唱した（資源エネルギー庁, 2024c）。AZEC を通じて、再生可能エネルギー推進、火力発電ゼロエミッション化、CCS 技術等の排出削減対策や、技術革新、エネルギー移行に向けたファイナンスを促進する（資源エネルギー庁, 2024d）。AZEC には、日本の他に、豪州、ブルネイ、カンボジア、インドネシア、ラオス、マレーシア、フィリピン、シンガポール、タイ、ベトナム（計 11 か国）がパートナー国として参画している。2024 年、AZEC 閣僚会合において、日本は 68 のエネルギー移行に関する覚書（MOU）を各国と締結した（経済産業省, 2024e）。日本は再生可能エネルギー、省エネルギー、水素及びその派生物であるアンモニア、e-fuel、e-メタン、CCUS 等の様々な技術を通じて、AZEC パートナー国のエネルギー移行を支援しており、協力プロジェクトが進行している（アジア・ゼロエミッション共同体, 2024）。また、日本の脱炭素技術やファイナンス等を通じたアジアにおける GX の実現にも貢献する取り組みを進めている（資源エネルギー庁, 2024d）。

NETs/CDR

脱炭素化が難しい領域については、ネガティブエミッション技術（NETs）や森林吸収源対策の活用が必要となる（経済産業省, 2021a）。日本では、産業や運輸の部門を中心として想定される約 0.5 から 2.4 億トン/年の残余排出を相殺するために CO₂ 除去（CDR）が必要とされている（経済産業省, 2023c）。

しかし、除去コストは削減コストより高いため、自然には導入拡大が図れないことから、確実にカーボンニュートラルを達成するためには、NETs の拡大に向けた取り組みが重要である（経済産業省, 2023d）。NETs は、低濃度の CO₂ を低コストで固定できる能力を持つ点が特徴だが、環境影響・利点について科学的な評価が重要となる（NEDO, 2023）。

また、限られた炭素貯蔵容量をどのように CCS や CDR に割り当てるか検討が必要との意見もある。日本は最大 240Gt-CO₂ の貯蔵能力を有するとされ、CDR、電力セクターや産業の脱炭素化（石炭火力、鉄鋼、セメントの CCS 等）等さまざまな目的に利用できるため、その貯蔵容量をどのように分配するかが重要になる（Sugiyama et al., 2024）。

7.6. グローバル気候ガバナンスにおける日本の役割

- ・ 日本の気候ガバナンスは、現在は「最も気候変動対策に消極的な国」と評される状況である。京都議定書の策定後も化石燃料への依存度は依然として高く、再生可能エネルギーの普及も低迷している。
- ・ 国際気候ファイナンスにおいて、日本は主要な役割を担っている。しかし石炭火力への支援を終えた後も、アジア太平洋地域で環境に有害なプロジェクトへの投資を継続中である。
- ・ 政府が掲げる 2030 年までの削減目標には複数の欠点がある。また、日本は G7 で唯一、石炭廃止の期日を設定していない。さらに「化石賞」の度重なる受賞とプラスチック廃棄物の問題で、国際的な信頼を大きく損ねている。
- ・ 他方、日本はエネルギー効率分野では先駆的な存在である。ASEAN 諸国との二国間協定や、JICA と JBIC を通じたプロジェクトの展開など国際的な実績も多い。紆余曲折ありながらも、これまで培った強みを生かし、地位とパフォーマンスは安定化の兆しを見せている。

1980 年代と 1990 年代、国際社会では、地球温暖化およびそれに伴う気候変動に対処するために、国連気候変動枠組条約と京都議定書の採択に向けた国際交渉が行われた。国連気候変動枠組条約交渉において、日本は、自国が他国と比べて省エネが進んでいると主張し、先進国に対して拘束力を伴う排出削減目標を設定することに反対した (Kameyama, 2017)。また、京都議定書交渉においては、厳しい削減目標を求める欧州と、それに反対する米国の間の「橋渡し役」を自称し、厳しい目標設定を回避しながら交渉に参加した (Kameyama, 2004; Tiberghien & Schreurs, 2007)。

2000 年代後半から 2010 年代前半にかけて、日本は最初の約束期間中に義務を履行することに苦戦した後 (Lipsy, 2018; Kameyama, Sari, Soejachmoen, & Kanie, 2008; Incerti & Lipsy, 2021)、議定書の更新を拒否した。福島第一原子力発電所の事故を受けてすべての原子力発電所が停止したことを補うために、ドイツなどの他の国が再生可能エネルギーに転換したのに対し (Koppenborg, 2018; Hughes, 2016; Yeo, 2015)、依然として化石燃料に大きく依存した。2012 年に再生可能エネルギーの固定価格買取制度 (FIT 制度) が施行されたにもかかわらず、再生可能エネルギー供給量の伸びは理想からは遠く、国の潜在力を大きく下回っている。

2020 年代初頭までに、日本政府は、石炭火力発電所 (CFPP) を依然として使い続けていることに対して、国内外から多くの批判を浴びた (Hughes, 2016)。2020 年秋に当時の菅総理大臣がカーボンニュートラルを宣言し、脱炭素に向けた政策論議が始まった (Koppenborg & Hanssen, 2020; Yeo, 2015)。2023 年の「グリーントランスフォーメーション推進法」の制定により、日本のエネルギー政策や産業政策は、本格的に脱炭素を目指して動き出した

(Koppenborg, 2016) しかし、それでもなお、日本の電源ミックスにおいて、石炭火力をはじめとする化石燃料への依存は続いており、G7 等でも石炭火力の使用を制限する声明文案には反対し続けているため、国際社会では批判の声が継続している (Lipsy, 2018; Koppenborg, 2021; Ohta & Barrett, 2023)。

資金調達

日本は二国間 (Landini, 2024; Japan International Cooperation Agency, 2024a)、地域 (METI, 2021, 2024; Rajah & Dayant, 2024)、およびグローバル (ADB, 2017; Green Climate Fund, 2024a, 2024b) の気候ファイナンスにおいて、世界で最も重要な行動主体の 1 つである。日本国際協力機構 (JICA) と複数の省庁が連携して、脱炭素化 (Landini, 2024; Japan International Cooperation Agency, 2024a) を推進するための財政的および技術的な支援を提供している。また、日本はアジア開発銀行 (ADB) の総予算の約 40% (METI, 2021, 2024)、およびグリーン気候基金 (GCF) への拠出額の 8 分の 1 以上 (Green Climate Fund, 2024a) を占めている。

一方で、国際的な気候ファイナンスにおける主導的な役割を果たし、2021 年には新たな石炭火力発電所の支援を終了したにもかかわらず、日本はアジア太平洋地域内外で、化石燃料の生産やその他の環境に有害なエネルギーおよび・インフラプロジェクトに引き続き多額の投資を行っている (Koppenborg, 2016; Climate Transparency, 2021; Hughes & Downie, 2023)。中国やインド、南アフリカ等の新興国では、現在でも石炭火力発電が主電源であり、短期間で全廃することは困難であるため、燃焼効率の高い発電施設やアンモニア混焼技術の支援が、これらの国にとっては現実的というのが、日本が石炭火力発電施設を支援し続ける理由となっている。

ガバナンス

2021 年、日本は国内で「GX 基本政策」を導入すると同時に、国連気候変動枠組条約 (UNFCCC)、パリ協定に基づく国が決定する国が定める貢献 (NDC、排出削減目標と同義) を改定し、2030 年までに温室効果ガス排出量を 46%削減することを表明した。これはこれまでの取り組みと比較して歓迎すべき進歩だが、現在の NDC には以下のような複数の欠点がある。具体的には、福島原発事故直後に排出量が急増した 2013 年を基準年に選んだことで、削減率を大きく見せることができるという方法論的問題 (Oil Change International, 2023)、と途上国等で排出削減し、その一部を日本の削減分としてカウントするカーボン・クレジットの算入 (Oil Change International, 2023; Climate Action Tracker, 2024)、大規模な実証がされていない、未確定の「革新的技術」への過度の依存 (Climate Transparency, 2021) [27]、および約束の実施を推進するための実効的な政策の欠如 (Oil Change International, 2023; Climate Action Tracker, 2024; Climate Transparency, 2021) などが挙げられる。

より広い視野で見ると、日本の気候変動政策に関する過去の実績は、国際的に高く評価されているというよりは、むしろ外交的リスクとなりつつある。日本は、石炭火力発電の全廃に向けた日程を設定することを拒否し、石炭火力発電に依存し続けている G7 メンバー国として「化石賞」（国連気候変動枠組条約締約国会議の会場にて、NGO が、その日の交渉の中で気候変動対策に最も消極的だった国を表彰するイベント）を繰り返して受賞している（Lipsky, 2018; Koppenborg, 2021; Ohta & Barrett, 2023）。

プロジェクトとプログラム

日本は省エネルギーの分野において先駆者であり、長年にわたる旗手である（Okajima & Okajima, 2013; Nagata, 2014; Hughes, 2016; Lipsky, 2018; Aoki et al., 2023）。国内エネルギー消費量は 2010 年以降年間 2.6% の割合で減少しており、（いわゆる省エネルギー以外の様々な理由もあるが）経済のエネルギー原単位は 2000 年以降 37% 低下している。（Hughes, 2016; IEA, 2024c）。国際的には、日本は、主に ASEAN 加盟国との間で、少なくとも 10 件の二国間協定を締結し、省エネルギー技術支援を加速させている。そして、これらの協定の実施を支援するために、共同クレジット制度（JCM）を通じて支援を提供している（Nagata, 2014）。これらの制度的枠組みと資金調達手段は、省エネルギーや基準の策定、研究開発および能力構築の促進、省エネルギー技術とイノベーションの普及を促進している。

日本はまた、国際協力機構（JICA）および国際協力銀行（JBIC）を通じて、グローバルなグリーン・トランジションを加速するためのさまざまなプロジェクトとプログラムを提供している（Green Climate Fund, 2024b）。全体ポートフォリオは、81 か国にまたがる 256 のプロジェクトを網羅している（JICA, 2024a, 2024b）。これらは、2 つの戦略的目標に基づいており、NDC の策定と実施における国の支援、および社会経済的目標と気候目標を統合する「コベネフィット」の積極的な追求を目的としている。また、2022 年に発表された環境社会ガイドラインの改訂版によって枠組みが設定されている（JICA, 2022）。

1990 年代、2000 年代と 2010 年代を通じて、日本は米中などの主要排出国の取り組みが最重要と主張し続け、自国の排出削減対策の優先順位を上げずにきた。しかし、これらの 3 つの期間を通じて、途上国に対する省エネルギー関連の支援や国際的な気候ファイナンス、アジア太平洋地域との強固な地域的連携など、強力な基礎は維持されていた。2020 年代初頭には、新たな国内規制と国際的な約束の結果として、その地位とパフォーマンスは安定しつつあるように見える。

7.7. 日本人の環境問題に対する意識

日本における地球環境問題に対する関心は、着目する視点によってさまざまな特色が浮き彫りとなる。例えば、次世代への影響に関する懸念において、「非常に懸念している」と回答した日本人の割合は23%に達し、これは世界平均の13%を大きく上回っている（United Nations Development Programme, 2021）。一方で、世界全体では「非常に懸念している」層の割合が低いものの、「ある程度懸念している」層の割合が高く、懸念の程度がより均一に分布している傾向がみられる。

また、気候変動が家族の大きな決断（居住地や職業選択、購買行動など）に与える影響については、日本における「大いに影響を受けた」と回答した割合が33%で、世界平均と一致している。同様に、「少し影響を受けた」と答えた割合も35%であり、これも世界平均の37%とほぼ同程度である（UNDP, 2021）。これらの結果は、気候変動が家庭生活に及ぼす影響に関する認識が、日本と世界で共通していることを示唆している。

さらに、気候変動について考える頻度に関して、日本では「毎日考える」と答えた割合が18%に留まり、世界平均の32%を大きく下回っている。一方で、「年に数回考える」と回答した割合は41%と多く、この分布は世界と同等である（UNDP, 2021）。日本では気候変動が日常的な話題として扱われにくく、普段の生活から切り離されている傾向があると考えられる。近年の日本人の地球環境問題に対する関心は、上昇傾向にあり、依然として高い割合を示している。たとえば、2023年の調査では89.4%が地球環境問題に関心を持つと回答しており（内閣府, 2023）、2021年の88.3%（内閣府, 2021）と比較して増加している。

日本は海外と比較して、気候変動を危機として認識している割合はほぼ同程度である（図22）。OECDが2022年に実施した調査では、世界全体の73.95%に対して日本では65%が、気候変動を「実在し、かつ人為的なもの」と認識していることが示された。一方、UNDPが2021年に実施した調査では、世界全体の66.2%に対して日本では79%が、気候変動を「地球規模の緊急事態」として認識していることが明らかになった。

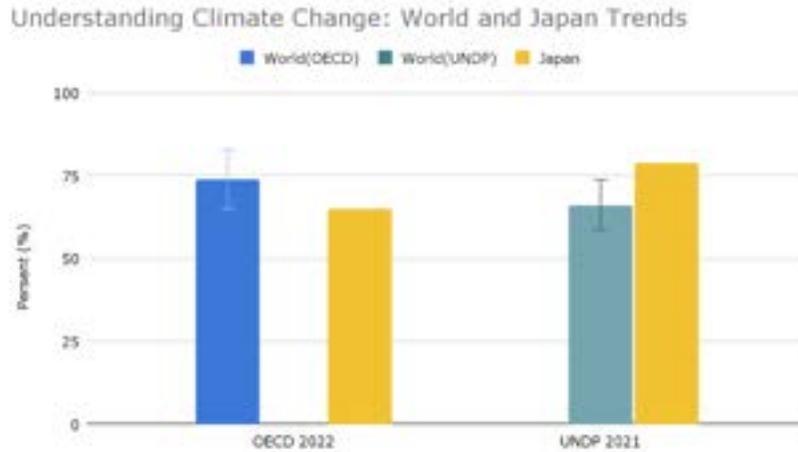


図 22 気候変動に関する理解についての世界と日本の比較

注:本図は、気候変動に関する2つの異なる質問に対する回答を示している：

OECD 2022: "In your opinion, is climate change real? Climate change exists and is anthropogenic."

UNDP 2021: "Do you think climate change is a global emergency?"

出典：OECD 2022, UNDP 2021

さらに、長期的な視点で見ると、1990年代から現在に至るまで、日本人の環境問題への意識は着実に高まっていることがわかる。

1990年の調査では、オゾン層の破壊や地球温暖化、熱帯林の減少など地球規模の環境問題を「最優先の課題」と回答した人が59.7%に達しており、当時から日本社会で環境問題が重要視されていたことが明らかである。また、「気象変動（地球温暖化）について大変心配である」と回答した人の割合も43.3%に上り、危機意識の高さがうかがえる（内閣府, 1990）。

2000年代に入ると、環境問題への関心はさらに増加した。2001年の調査では、「環境問題に関心がある」と答えた割合が82.4%に達し、2005年には87.1%、2007年には92.3%にまで上昇した。（内閣府, 2001, 2005, 2007）

日本人の環境行動への認識は、負担(我慢)意識が根強く、行動意欲が低い点が特異的である。負担意識の観点では、日本人は、気候変動対策が生活の質を脅かすと考える人や（科学技術振興機構, 2015; Kihara et al., 2020）、気候変動対策行動においてお金や手間がかかることや不便であることが障害であると考え人が多い（Boston Consulting Group, 2022）。行動意欲の観点では、他国に比べ日本人は自身の生活を変えることへの意欲が低く（Andre, Boneva, Chopra, & Falk, 2024; James, Jacob, Moira, & Christine, 2021）、気候変動対策における責任感も弱い（GlobeScan, 2021）。気候変動対策の捉えられ方は climate action への意欲に大きく影響するため（Kihara et al., 2020）、本人の行動意欲を高める上で、気候変動対策は負担であるという捉え方をどのように改善しうるのか究明することが必要である。

日本人の権威に対する信頼度は、グローバルな傾向と比較して非常に低いことが特徴である。日本における NGO、企業、政府、メディアの平均信頼度は 39 点と低く、調査対象の 28 カ国中最下位となっている。日本では、科学者に対する信頼度が 74 点と高く、これはグローバル平均とほぼ同水準である。しかし、政府やメディアに対しては大きな不信感が示されている。特にジャーナリストや記者に関しては、日本人の 59% が「嘘や誇張で意図的にミスリードしている」と回答しており、この数値は前年より 13 ポイントの増加を記録している (Edelman, 2024)。

イノベーションに関して、日本を含むほぼすべての国で、それらが適切に管理されていないという見解が支配的であり、この管理状況に対する不信感が新たなイノベーションへの抵抗感を助長し、熱意の低下を招いている (Edelman, 2024)。気候変動のような重大な課題に直面する現代社会において、現行の科学技術の能力を超える緊急かつ革新的な解決策が強く求められている。(McCrea et al., 2024)。その中で、イノベーションや科学分野における急速な進歩は、産業、制度、社会全体に大きな変革をもたらしている。このような状況下において、新たなイノベーションが責任を持って開発されること、ならびに研究およびイノベーション分野が社会的に責任ある成果を提供するという信頼を一般市民から得ることは、極めて重要な事項である。(McCrea et al., 2024)。

一方で、日本ではその傾向が低いものの、世界では 45% が「科学者は私のような人間にどのようにコミュニケーションを取ればよいか分かっていない」と同意しており (Edelman, 2024)、科学に対する懐疑的な視点が強まっていることも否定できない。このような状況を踏まえると、科学者は、公平で開かれた、透明性のあるプロセスを通じて信頼を構築し維持できるというパブリックエンゲージメントの利点 (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2017) を改めて認識し、その意義を踏まえた取り組みを進める必要がある。

8. 付録2:シナリオのメタ分析

8.1. 日本におけるネットゼロ排出シナリオに関するメタ分析

データの集約

日本のネットゼロ排出シナリオのメタ分析を行うために、公開されているデータベースや各モデルチームに連絡を取ったりしてデータを収集した。今回のメタ分析に用いたモデルとシナリオの一覧は表12の通りである。

AIM, DNE21+, MRI-TIMES, TIMES-Japan は複数枠組や複数シナリオでの分析が行われているので、単一ケースとなっていないことに注意したい。また、IPCC 第6次評価報告書のデータベースには、大量のデータを含むが、そのうちマーカーモデルとして用いられることが多い、海外で作成された4つのモデル (GCAM, GEM-E3, IMAGE, REMIND) からのデータを抽出した。

表12 メタ分析に用いたモデル・シナリオ一覧

モデル	シナリオ	作成者・機関
AIM/Hub-Japan, AIM/Technology, IEEJ-NE, TIMES-Japan (論文, 公開)	JMIP2 R1 46by30+100by50 ⁶	杉山 昌広 (東大) ほか
DNE21+ (分科会, 論文)	参考値のケース, ①再エネ100%, ②再エネイノベ, ③原子力活用, ④水素イノベ, ⑤CCUS活用, ⑥需要変容 ⁷	RITE
AIM (分科会)	技術シナリオ, +社会変容シナリオ ⁸	AIM プロジェクトチーム
LUT (分科会, 報告書)	自然エネルギーによる脱炭素シナリオ (輸入あり) ⁹	自然エネルギー財団
D-TIMES (分科会)	コスト最小化 ¹⁰	デロイトトーマツコンサルティング

⁶ (Sugiyama et al., 2024)

⁷ (RITE, 2021; 秋元, 2023)

⁸ (AIM, 2021)

⁹ (自然エネルギー財団, 2021b; Renewable Energy Institute et al., 2021)

¹⁰ (デロイトトーマツコンサルティング, 2021)

IEEJ-NE_Japan (分科会)	ベース ¹¹	日本エネルギー経済研究所
AIST-MARKAL (論文)	Base ¹²	小澤 暁人ほか (産総研)
IGES (報告書)	IGES 1.5°Cロードマップ：日本の排出削減目標の野心度引き上げと豊かな社会を両立するためのアクションプラン ¹³	IGES
MRI-TIMES (報告書, 半公開)	CN, CN×CE ¹⁴	三菱総合研究所
TIMES-Japan (論文)	NZ_Base_demL, NZ_CCS_demL ¹⁵	井上 智弘ほか (エネ総研)
Utagawa (学会発表)	活動量中位半導体製造業 DC 増加ケース ¹⁶	歌川 学 (産総研)
WWFJ (報告書)	2050年脱炭素社会に向けた100%自然エネルギーシナリオ ¹⁷	WWF ジャパン・システム技研
AR6 DB モデル (URL, 公開)	8モデル, 計44シナリオ (世界C1~C4 + 日本ネットゼロ2060年以前) ¹⁸ . REMIND-MagPIEはバージョンによって内容が異なるので複数モデル扱い.	GCAM, GEM-E3, IMAGE, REMIND

なお、2040年データは提供されないケースが多かったので図表は省略する。

¹¹ (日本エネルギー経済研究所, 2021)

¹² (Ozawa, Tsani, & Kudoh, 2022)

¹³ (IGES, 2024)

¹⁴ (三菱総研, 2024)

¹⁵ (井上 et al., 2023)

¹⁶ (歌川, 2024)

¹⁷ (WWF ジャパン, 2024)

¹⁸ (坂本, 2023)

CO₂排出量

CO₂排出量のまとめを図 23～図 24 に示す。

2035 年では、シナリオ分析前提条件に依存するためばらつきが大きい。また、2050 年では、定義をそろえることができていないが、概ね 60～60 Mt CO₂/yr 程度であった。2035 年の国内モデルでは、概ね 500Mt CO₂/yr と、2013 年比 46%減の設定上限になっているモデルが多かった。Uttagawa は約 300Mt CO₂/yr と他のモデルの約半分になっていることが特徴的である。

GHG 排出、CO₂全体の排出、エネルギー起源の CO₂排出など、定義をそろえることができていないが、国内モデルでは、ネットゼロを想定している 2050 年の排出量は -65～48 Mt CO₂/yr の範囲に分布し、負の排出量を示していたモデルもあった。平均値では約 -23Mt CO₂/yr となり、中央値がゼロであることからわかるように、ほとんどのモデルがゼロ近辺またはマイナスに近い結果を示している。DNE21+の -64.6 は他のモデルよりもかなり低い値を示しており、GHG 中立を想定している可能性がある。また、最大値を示していたのは D-TIMES であった。ゼロとなっているモデルは、LUT, MRI-TIMES (2 モデル), IEEJ-NE_Japan, AIST-MARKAL, WWFJ であった。メタ分析のために、土地利用・土地利用変化の排出量設定や、CDR ポテンシャル設定評価の必要がある。

なお、2040 年の国内モデル排出量は、各モデルの上限設定が 2030 年と 2050 年を線形補間していることから、2013 年比での削減率はほぼ 4 割となっているものが多かった。

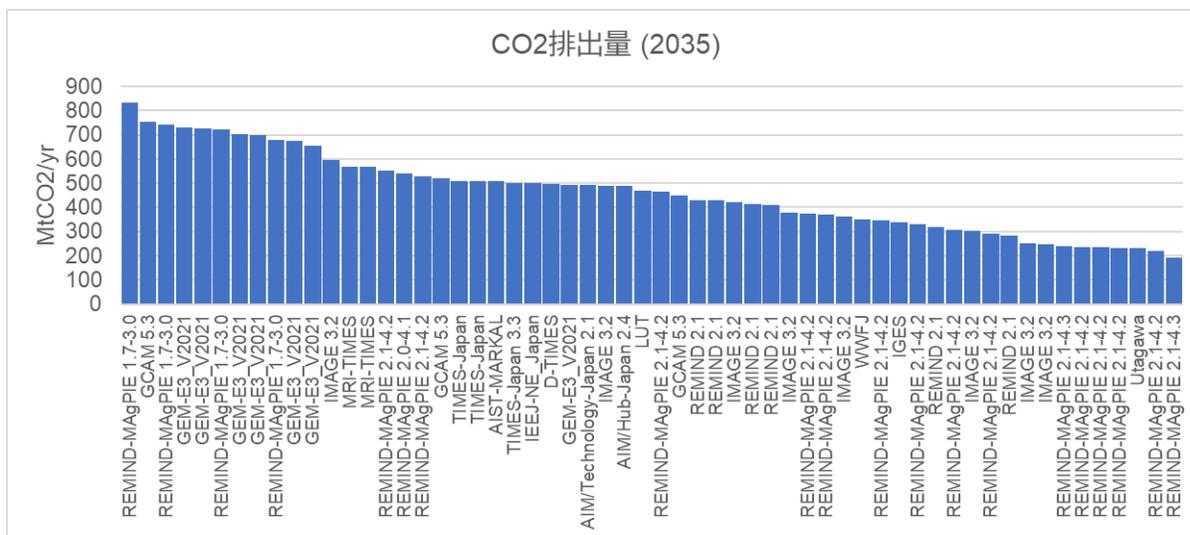


図 23 メタ分析における CO₂排出量 (2035 年)

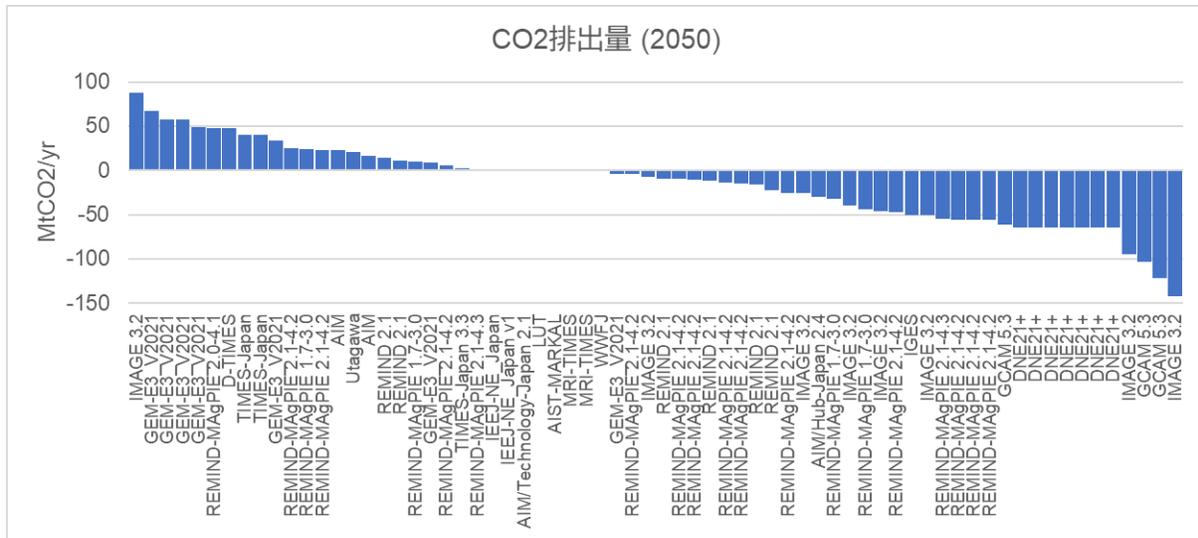


図 24 メタ分析における CO₂ 排出量 (2050 年)

一次エネルギー供給

一次エネルギー供給のまとめを図 25～図 26 に示す。

2035 年では、モデル間の違いが大きい(石炭、天然ガス、原子力)。特に REMIND のシナリオでは石炭が少ない。海外モデル分析においては、バイオマス供給量が大きい。石油・天然ガス利用は残るが、石炭利用についてはモデル間で異なる。2050 年では、海外モデル分析においてバイオマス供給が大きい一方、国内開発モデルでは輸入二次エネルギーキャリアが利用されている。

2050 年の国内モデルの一次エネルギー供給に関するデータでは、モデル間で顕著な違いが見られる。化石燃料では、石油と天然ガスの供給がモデルによって多く見られ、特に DNE21+ のモデル群で天然ガスの供給が最大 4 EJ/yr に達する一方、AIM や WWFJ では供給が非常に小さいことが特徴的である。再生可能エネルギーでは、バイオマスが多くのモデルで重要な役割を果たし、最大値は 5.2 EJ/yr (AIM/Hub-Japan) であった。太陽光と風力も再エネの主要な構成要素であり、風力では IGES (5.3 EJ/yr)、太陽光では WWFJ (2.1 EJ/yr) が高い値を示した。地熱や海洋エネルギーは、ほとんどのモデルでわずかな供給量にとどまる。合計では、最終エネルギー消費の設定が小さいことから、Utagawa や WWFJ が 4.6～4.8 EJ/yr と最も小さく、他のモデルの約半分の値となっている。これに対し、DNE21+ (最大 15.0 EJ/yr) や IGES (14.9 EJ/yr) は最も大きな供給量を示す。また、輸入二次エネルギーの値に大きな差があり、DNE21+モデル群や LUT, D-TIMES で高い供給量となっている一方で、WWFJ ではほぼゼロとなっている。モデル間の違いは、エネルギー政策やコスト仮定、再エネ導入の上限値などに起因する可能性があり、詳細な背景分析が必要である。

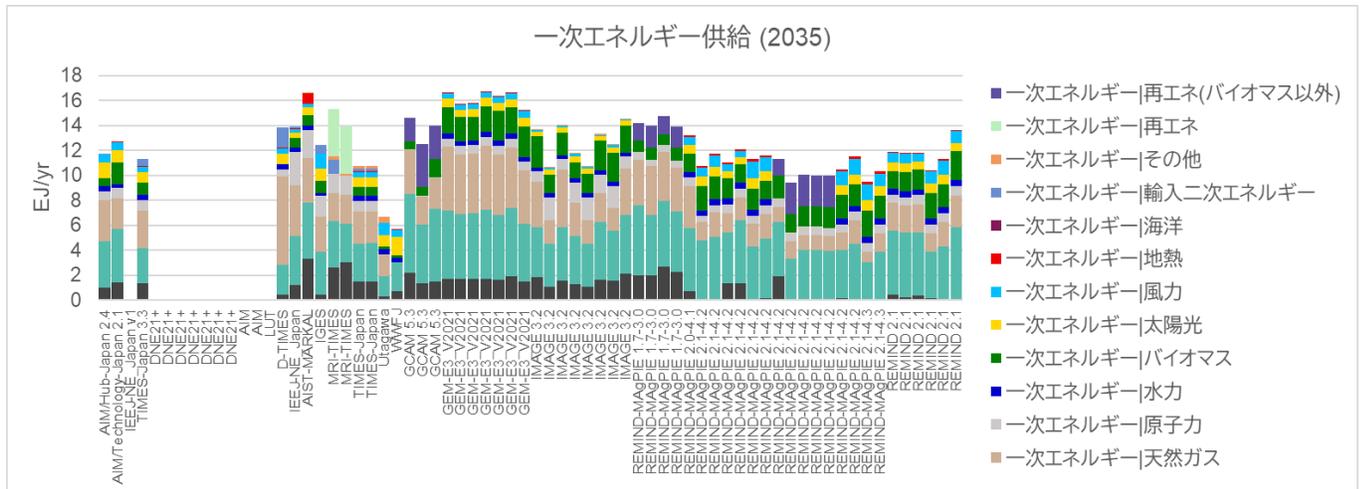


図 25 メタ分析における一次エネルギー供給 (2035 年)

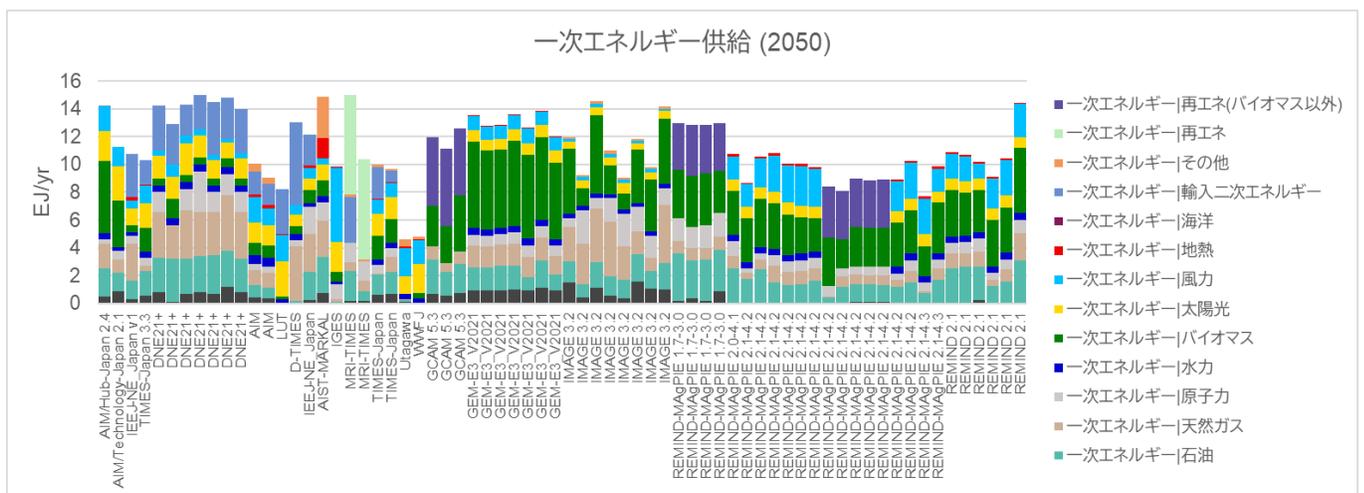


図 26 メタ分析における一次エネルギー供給 (2050 年)

発電量

発電量のまとめを図 27～図 28 に示す。

2035 年の全体データを見ると、モデル間の違いが大きい(石炭, 天然ガス, 原子力). 太陽光は WWFJ, GCAM が多い. 風力は IGES, Utogawa, REMIND とともに多く, これらシナリオで VRE 比率が 50%前後と高い. また, 2050 年のデータをもても, モデル間の違いが大きい(石炭, 天然ガス, 原子力). 太陽光は GCAM が特に多く, 風力は AIM/Hub, BNEF, REMIND が多い. これらのシナリオと LUT, IGES, WWFJ, Utogawa および DNE21+の再エネ 100%で VRE 比率が高い. VRE 比率は概ね 10%から 60%の範囲に分布していた. 2050 年の全モデルでの平均値および中央値は約 1300TWh/yr である.

2035年の国内モデル結果では、AIM/Hub-JapanとMRI-TIMESが約1300TWh/yrと大きく、最少はUtagawaとD-TIMESの約800TWh/yrであり、それ以外のモデルでは概ね900から1100TWh/yrの範囲に分布している。

2050年の国内モデル分析結果をみると、総発電量はモデル間で大きな差が見られ、IGESが最大で約2300TWh/yr、次いでAIM/Hub-Japanが約2000TWh/yrを示した。その他のモデルでは、概ね1000～1500TWh/yrの範囲に分布している。一方、再生可能エネルギー（再エネ）比率に注目すると、LUTモデルでは再エネ100%を前提としており、水力や地熱を含めて再エネ比率が100%に達している。また、VRE（太陽光・風力の合計）比率は29%～92%と幅広く分布し、特にLUTモデルが最も高い値を示している。この結果から、2050年のシナリオでは、化石燃料が縮小している一方で、原子力や再エネ普及に大きな違いがあり、発電量構成に対してばらつきが多かった。

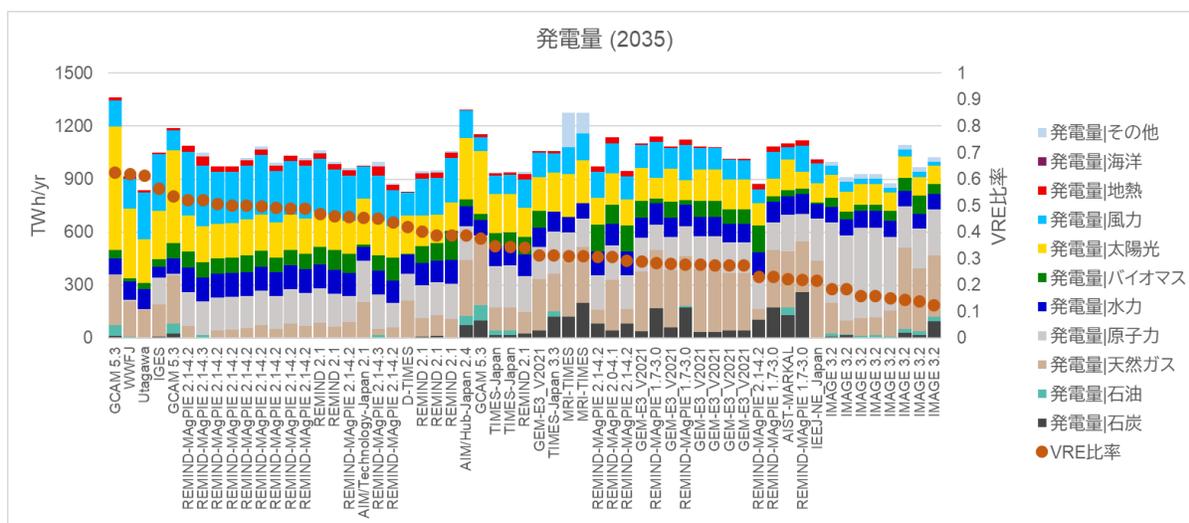


図 27 メタ分析における発電量（2035年）

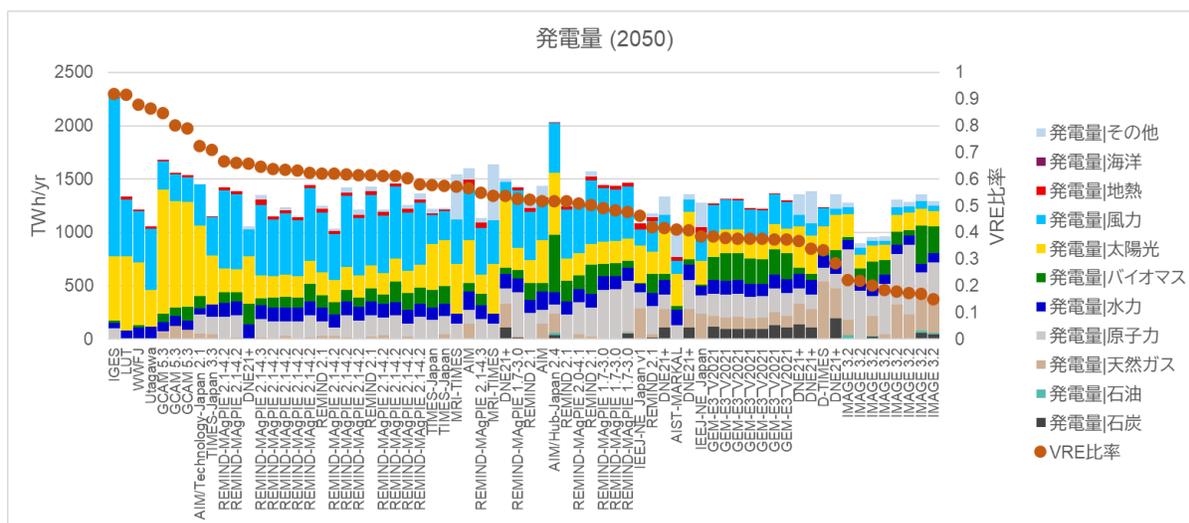


図 28 メタ分析における発電量（2050年）

最終エネルギー消費

最終エネルギー消費のまとめを図 29～図 30 に示す。

2035 年の全体データをみると、電化率は概ね 30～40%程度までだが、AIM/Hub-Japan 2.4, Utagawa, WWFJ で高い。水素利用も複数のシナリオでみられる。2050 年のデータでは、電化率は平均 50%程度。AIM/Hub-Japan 2.4, Utagawa, WWFJ, 海外モデルでは、70%前後のシナリオも見られる。それ以外では、液体燃料が多く残り、ほとんどのシナリオで水素利用がみられ、AIM, Utagawa, WWFJ, GCAM, GEM-E3, REMIND でガスが減少している。

2035 年の国内モデルデータをみると、絶対値では、概ね 8 から 12EJ/yr の範囲にある。Utagawa や WWFJ では例外的に約 6EJ/yr と小さいが、これは省エネが大幅に進むという想定のもとで実現されている。エネルギーキャリア別にみると、電化率は概ね 3 割から 5 割の間に分布している。その他のキャリアでは、D-TIMES のガスシェアが約 4 割となっているのが特徴的である。

2050 年の国内モデル分析結果をみると、消費量合計は概ね 8～10EJ/yr の範囲に収まっている。ただし、WWFJ と Utagawa モデルでは約 4EJ/yr と小さく、大幅な省エネ進展を前提としている。エネルギーキャリア別では、電化率が約 30%～60%の範囲に分布し、平均で 50%強となっている。特に D-TIMES モデルでは水素シェアが約 60%と高く、水素と電力がほぼ全てのエネルギー消費を占めているのが特徴的である。また、DNE21+では e-fuels, e-methane も一括して水素として出力している。その他のエネルギーキャリアでは、液体燃料や固体燃料のシェアは縮小傾向にあり、再エネや水素が重要な位置を占める。

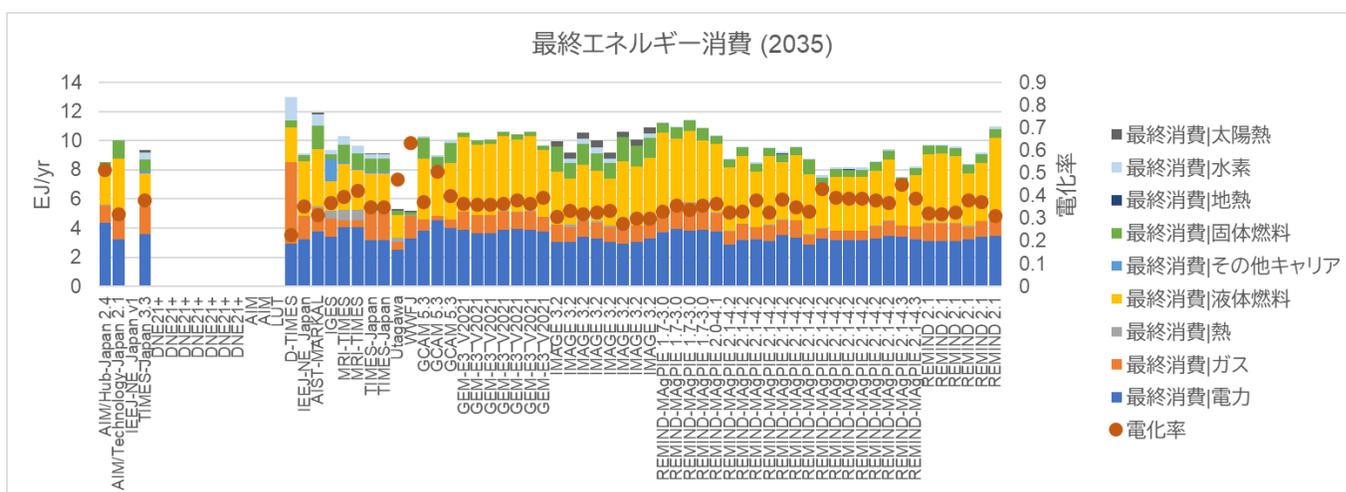


図 29 メタ分析における最終エネルギー消費（2035 年）

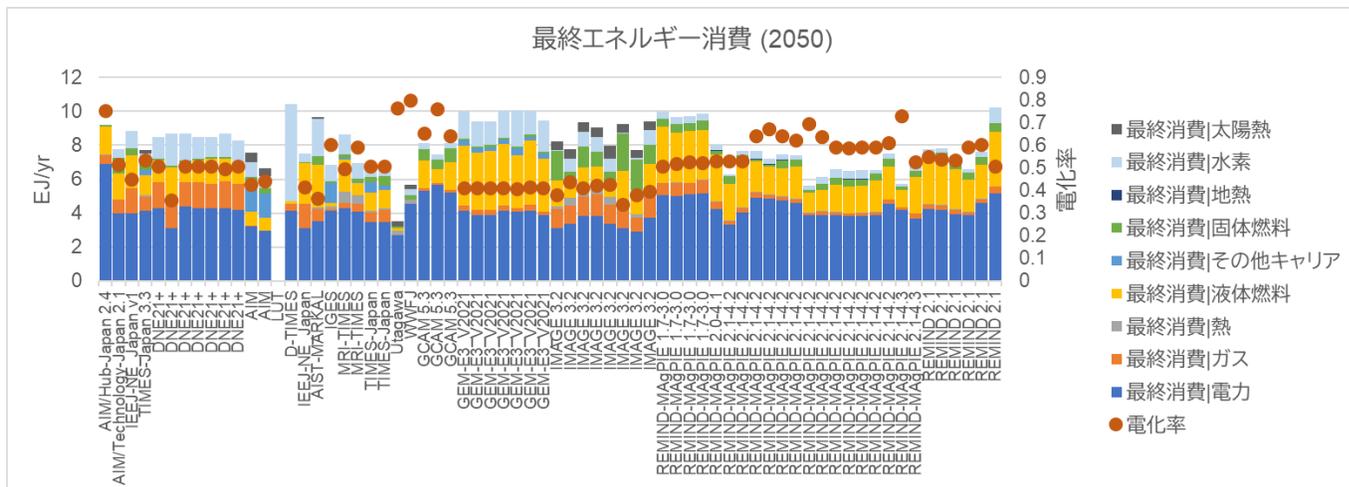


図 30 メタ分析における最終エネルギー消費 (2050 年)

炭素価格

炭素価格のまとめを図 31～図 32 に示す。

全体データをみると、2035 年のシナリオ分析では前提条件に依存するためばらつきが大きいですが、100～500USD/t CO₂ 程度の幅で平均約 300USD/t CO₂ となっている。2050 年では平均値と中央値の両方で約 600USD/tCO₂ となった。

2050 年の国内モデルによる炭素価格データを分析すると、モデル間で排出量に大きな違いが見られる。炭素価格の平均は約 700 USD/t CO₂ であるが、およそ 150～1600 USD/t CO₂ の幅広い分布を示した。TIMES-Japan の価格が約 1600USD/t CO₂ と最も高いのは CO₂ 貯留上限制約の影響と考えられる。一方、Utagawa は約 5USD/t CO₂ と全体モデルの中で最も低い。また LUT モデルも再エネ 100%を前提としており、150USD/t CO₂ と低い炭素価格を示している。

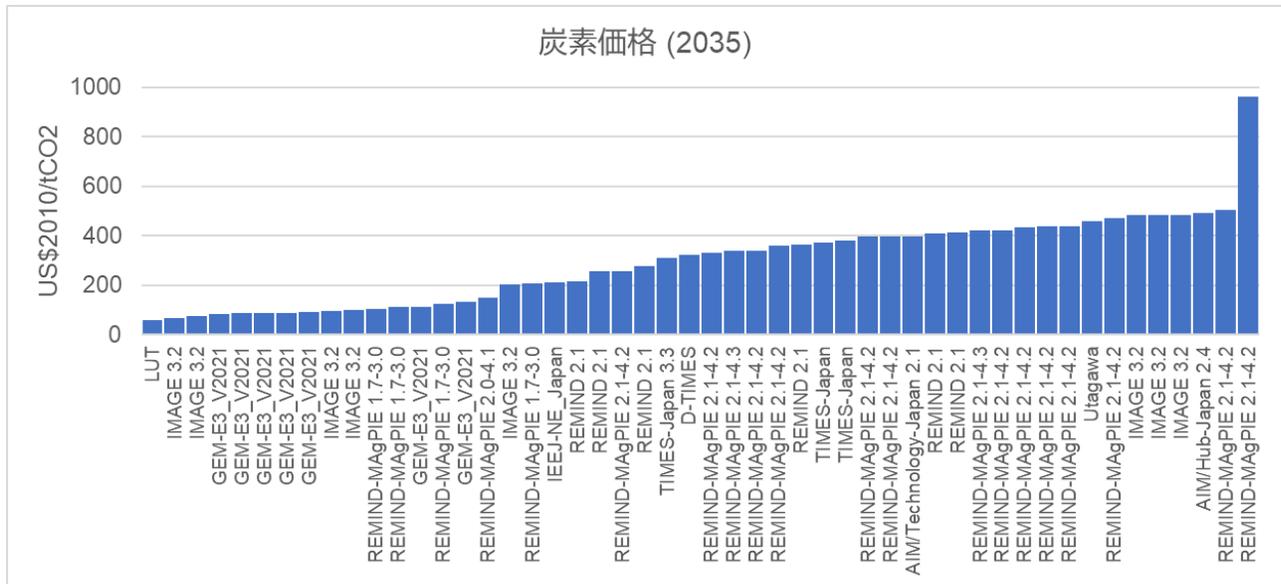


図 31 メタ分析における炭素価格 (2035 年)

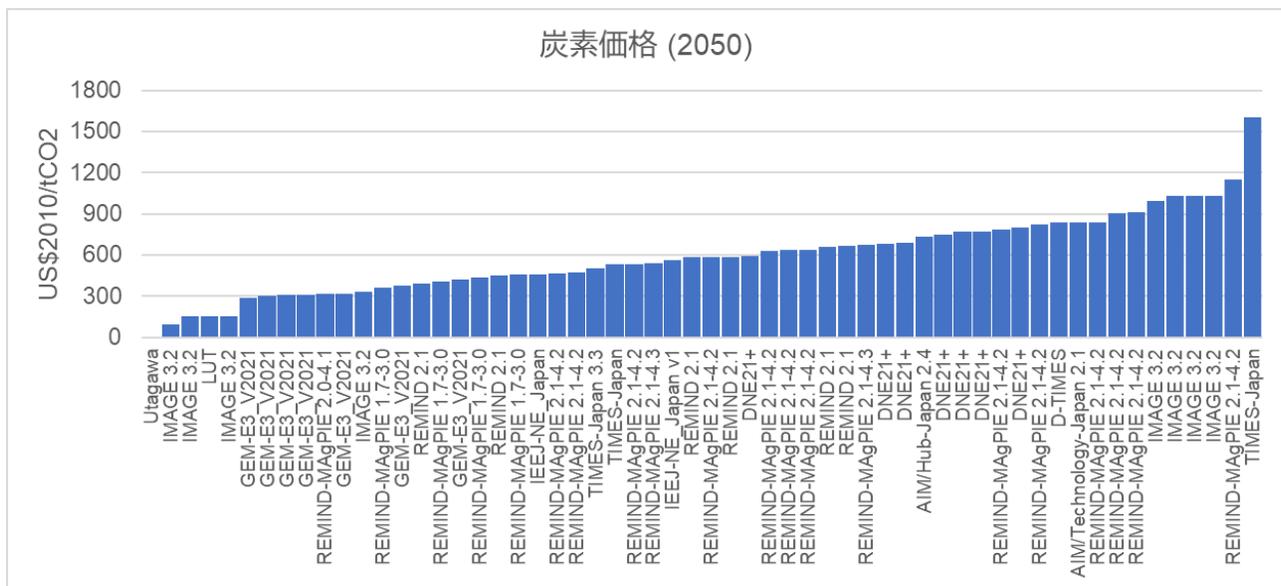


図 32 メタ分析における炭素価格 (2050 年)

9. 参考文献一覧

- AIM. (2021). 2050年脱炭素社会実現に向けたシナリオに関する一分析. 総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会.
https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/2021/044/044_005.pdf
- Andre, P., Boneva, T., Chopra, F., & Falk, A. (2024). Globally representative evidence on the actual and perceived support for climate action. *Nature Climate Change*, 14(3), 253–259.
- Aoki, K., Nakajima, J., Takahashi, M., Yagi, T., & Yamada, K. (2023). Energy Efficiency in Japan: Developments in the Business and Household Sectors, and Implications for Carbon Neutrality. *Bank of Japan Working Paper Series*.
- Asian Development Bank. (2017). Donor Contributions to the Asian Development Fund.
<https://data.adb.org/dataset/donor-contributions-asian-development-fund>
- Bisinella, V., Christensen, T. H., & Astrup, T. F. (2021). Future scenarios and life cycle assessment: Systematic review and recommendations. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 26, 2143–2170. <https://doi.org/10.1007/s11367-021-01954-6>
- Boston Consulting Group. (2022). サステナブルな社会の実現に関する消費者意識調査結果.
<https://web-assets.bcg.com/fb/56/bc0d25214f7e80e722f6f7c4713a/jp-consumer-survey-on-realization-of-sustainable-society-june2022.pdf.pdf>
- Chen, H., Matsuhashi, K., Takahashi, K., Fujimori, S., Honjo, K., & Gomi, K. (2020). Adapting global shared socio-economic pathways for national scenarios in Japan. *Sustainability Science*, 15, 985–1000. <https://doi.org/10.1007/s11625-019-00780-y>
- citizensassembly.jp. (2024). 気候民主主義の日本における可能性と課題に関する研究.
https://citizensassembly.jp/project/cd_kaken/jp-list
- citizensassembly.jp. (n.d.). 気候民主主義の日本における可能性と課題に関する研究.
https://citizensassembly.jp/project/cd_kaken
- Cleantech Group. (2009-2024). *Global Cleantech 100* <https://i3connect.com/gct100>
- Cleantech Group. (2025). *2025 global cleantech 100*. <https://i3connect.com/gct100>
- Climate Action Tracker (CAT). (2024). Japan Country Profile.
<https://Climateactiontracker.Org/Countries/Japan/>
- Climate Integrate. (2024a). これからの気候・エネルギー政策に向けたファクト集, 4.
<https://climateintegrate.org/wp-content/uploads/2024/07/be9908569cbd7fbee10875ac7a12bf50.pdf>
- Climate Integrate. (2024b). 日本におけるカーボンニュートラル政策の現状と課題, 6.
<https://climateintegrate.org/wp-content/uploads/2024/07/be9908569cbd7fbee10875ac7a12bf50.pdf>

- Climate Transparency. (2021). *Japan country profile*.
<https://www.climate-transparency.org/countries/asia/japan>
- Creutzig, F., Popp, A., Plevin, R., et al. (2012). Reconciling top-down and bottom-up modelling on future bioenergy deployment. *Nature Climate Change*, 2, 320–327.
<https://doi.org/10.1038/nclimate1416>
- Dreborg, K. H. (1996). Essence of backcasting. *Futures*, 28(9), 813-828.
- Edelman. (2024). 2024 Edelman Trust Barometer global report: Japan .
https://www.edelman.jp/sites/g/files/aatuss256/files/2024-04/2024%20Edelman%20Trust%20Barometer%20Global%20Report_Japan.pdf
- Geels, F. W. (2002). Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study. *Research Policy*, 31(8-9), 1257-1274.
[https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(02\)00062-8](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(02)00062-8)
- GlobeScan. (2021, October 27). New global poll ahead of COP26 in Glasgow shows growing support for governments to take strong action on climate change. GlobeScan.
<https://globescan.com/2021/10/27/global-poll-cop26-growing-support-governments-take-strong-action-climate-change/>
- Government Office for Science (2023). Net zero society: scenarios and pathways - How could societal changes affect the path to net zero? <https://www.gov.uk/government/publications/net-zero-society-scenarios-and-pathways--2>
- Green Climate Fund. (2024a). *Japan International Cooperation Agency (JICA)*.
<https://www.greenclimate.fund/ae/jica>
- Green Climate Fund. (2024b). *Status of pledges*.
<https://www.greenclimate.fund/sites/default/files/document/2024-status-pledges-website-november-30.pdf>
- Hartwig, M., Emori, S., & Asayama, S. (2023). Normalized injustices in the national energy discourse: a critical analysis of the energy policy framework in Japan through the three tenets of energy justice. *Energy Policy*, 174, 113431.
- Hughes, L. (2016). Renegotiating Japan's Energy Compact. In *Germany's energy transition* (pp. 165–184). Palgrave Macmillan US. https://doi.org/10.1057/978-1-137-44288-8_7
- Hughes, L., & Downie, C. (2023). Bilateral finance organizations and stranded asset risk in coal: the case of Japan. *Climate Policy*, 23(1), 41–56. <https://doi.org/10.1080/14693062.2021.1975622>
- IGES. (2024). *IGES 1.5°Cロードマップ：日本の排出削減目標の野心度引き上げと豊かな社会を両立するためのアクションプラン*. <https://doi.org/10.57405/iges-13273>
- Incerti, T., & Lipsy, P. Y. (2021). The Energy Politics of Japan. In K. J. Hancock & J. E. Allison (Eds.), *The Oxford handbook of energy politics* (pp. 561–589). Oxford University Press.
<https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780190861360.013.21>

- International Energy Agency. (2024a). *Global EV outlook 2024*, 18.
<https://iea.blob.core.windows.net/assets/a9e3544b-0b12-4e15-b407-65f5c8ce1b5f/GlobalEVO Outlook2024.pdf>
- International Energy Agency. (2024b). *Global EV data explorer*. <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/global-ev-data-explorer>
- International Energy Agency. (2024c). *Japan country profile*. <https://www.iea.org/countries/japan>
- International Renewable Energy Agency. (2024). *Renewable power generation costs in 2023*.
https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2024/Sep/IRENA_Rene
- James, B., Jacob, P., Moira, F., & Christine, H. (2021, September 14). *In response to climate change, citizens in advanced economies are willing to alter how they live and work*. Pew Research Center. <https://www.pewresearch.org/global/2021/09/14/in-response-to-climate-change-citizens-in-advanced-economies-are-willing-to-alter-how-they-live-and-work/>
- Japan International Cooperation Agency (JICA). (2022). *Environmental and social guidelines*.
<https://www.jica.go.jp/english/about/policy/environment/guideline/index.html>
- Japan International Cooperation Agency (JICA). (2024a). *Climate change*.
<https://www.jica.go.jp/english/activities/issues/climate/index.html>
- Japan International Cooperation Agency (JICA). (2024b). *Nature conservation projects/initiatives*.
https://www.jica.go.jp/english/activities/issues/natural_env/projects.html
- Kameyama, Y. (2004). Evaluation and future of the Kyoto Protocol: Japan's perspective. *International Review for Environmental Strategies*.
- Kameyama, Y. (2017). Climate change policy in Japan: From the 1980s to 2015. Routledge.
- Kameyama, Y., Sari, A., Soejachmoen, M., & Kanie, N. (2008). *Climate change in Asia: Perspectives on the future climate regime*. United Nations University Press.
- Kihara, H., Habara, Y., Kim, Y., & Matsubara, N. (2020). The relationship between how to grasp countermeasures for climate change and the attitude necessary for a decarbonized society. *Ningen Kankyo*, 46(1), 2–17.
- Kishita, Y., Höjer, M., & Quist, J. (2024). Consolidating backcasting: A design framework towards a users' guide. *Technological Forecasting and Social Change*, 202, 123285.
- Kishita, Y., Mizuno, Y., Fukushige, S., & Umeda, Y. (2020). Scenario structuring methodology for computer-aided scenario design: An application to envisioning sustainable futures. *Technological Forecasting and Social Change*, 160, 120207.
- Koppenborg, F. (2016). Japanese climate-related aid to South East Asia: Furthering “weak”, “medium” or “strong” sustainability? *ASIEN*, 31–51.
- Koppenborg, F. (2018). Remodelling Japan's climate policy. *East Asia Forum*.
<https://doi.org/10.59425/eabc.1544047226>

- Koppenborg, F. (2021). Introduction: Japan's energy transition 10 years after the Fukushima nuclear accident. *Social Science Japan Journal*, 24(1), 3–7. <https://doi.org/10.1093/ssjj/jyaa052>
- Koppenborg, F. (2024). Japan's Nuclear Energy Policy Disaster. *The Diplomat*.
<https://thediplomat.com/2024/03/japans-nuclear-energy-policy-disaster>
- Koppenborg, F., & Hanssen, U. (2020). *Japan's growing dependence on coal*. Australia-Japan Research Centre, ANU College of Asia and the Pacific.
- Landini. (2024). G7 offers leeway to Germany, Japan in deal to quit coal by 2035.
<https://www.reuters.com/business/environment/g7-agree-deal-quit-coal-by-2035-with-caveat-2024-04-30/>
- Lipsy, P. (2018). The institutional politics of energy and climate change.
- McCollum, D. L., Gambhir, A., Rogelj, J., & Wilson, C. (2020). Energy modellers should explore extremes more systematically in scenarios. *Nature Energy*, 5(2), 104-107.
- McCrea, R., Coates, R., Hobman, E. V., Bentley, S., & Lacey, J. (2024). Responsible innovation for disruptive science and technology: The role of public trust and social expectations. *Technology in Society*, 79, 102709. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2024.102709>
- METI. (2021). Japanese government supporting tools for energy infrastructure in the Indo-Pacific.
- METI. (2024). *Asia zero emission community*.
https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/azec/azec_en.html
- Nagata, T. (2014). Japan's policy on energy conservation.
https://unfccc.int/files/bodies/awg/application/pdf/2_japan.pdf
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, Division of Behavioral and Social Sciences and Education, & Committee on the Science of Science Communication: A Research Agenda. (2017). *Communicating science effectively: A research agenda*. National Academies Press (US).
- NEDO. (2023). ネガティブエミッション技術について (DACCS/BECCS) .
https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/negative_emission/pdf/002_02_00.pdf
- NHK. (2023). 再生可能エネルギーに待った その背景は.
<https://www3.nhk.or.jp/news/html/20230309/k10013992181000.html>
- Ohta, H., & Barrett, B. F. D. (2023). Politics of climate change and energy policy in Japan: Is green transformation likely? *Earth System Governance*, 17, 100187.
<https://doi.org/10.1016/j.esg.2023.100187>
- Oil Change International. (2023). *Japan's fossil finance threatens to derail the energy transition in Asia and globally*. <https://www.oilchange.org/wp-content/uploads/2023/11/Japan-Fossil-Finance-Backgrounder.pdf>
- Okajima, S., & Okajima, H. (2013). Analysis of energy intensity in Japan. *Energy Policy*, 61, 574–586. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.05.117>

- Oshiro K, Fujimori S, Ochi Y, Ehara T. (2021) Enabling energy system transition toward decarbonization in Japan through energy service demand reduction. *Energy*, 227, 120464. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120464>
- Oshiro K, Fujimori S. (2024) Mid-century net-zero emissions pathways for Japan: Potential roles of global mitigation scenarios in informing national decarbonization strategies. *Energy and Climate Change*, 5, 100128. <https://doi.org/10.1016/j.egycc.2024.100128>
- Ozawa, A., Tsani, T., & Kudoh, Y. (2022). Japan's pathways to achieve carbon neutrality by 2050—Scenario analysis using an energy modeling methodology. *Renewable and sustainable energy reviews*, 169, 112943. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112943>
- Parson, E. A. (2008). Useful global-change scenarios: current issues and challenges. *Environmental Research Letters*, 3(4), 045016.
- Rajah, R., & Dayant, A. (2024). Replenishing the Asian Development Bank in the Pacific. *Lowy Institute*. <https://www.lowyinstitute.org/the-interpretor/replenishing-asian-development-bank-pacific>
- Ramirez, R., & Wilkinson, A. (2016). Strategic reframing: The Oxford scenario planning approach. Oxford University Press.
- Renewable Energy Institute, Agora Energiewende, & LUT University. (2021). *Renewable pathways to climate-neutral Japan*. <https://www.agora-energiewende.org/publications/renewable-pathways-to-climate-neutral-japan>
- Riahi, K., van Vuuren, D. P., Kriegler, E., Edmonds, J., O'Neill, B. C., Fujimori, S., Bauer, N., Calvin, K., Dellink, R., Fricko, O., Lutz, W., Popp, A., Crespo Cuaresma, J., KC, S., Leimbach, M., Jiang, L., Kram, T., Rao, S., Emmerling, J., Ebi, K., Hasegawa, T., Havlik, P., Humpenöder, F., Da Silva, L. A., Smith, S., Stehfest, E., Bosetti, V., Eom, J., Gernaat, D., Masui, T., Rogelj, J., Strefler, J., Drouet, L., Krey, V., Luderer, G., Harmsen, M., Takahashi, K., Baumstark, L., Doelman, J. C., Kainuma, M., Klimont, Z., Marangoni, G., Lotze-Campen, H., Obersteiner, M., Tabeau, A., & Tavoni, M. (2017). The shared socioeconomic pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. *Global Environmental Change*, 42, 153–168. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.05.009>
- RITE. (2021). 2050年カーボンニュートラルのシナリオ分析（中間報告），総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会. https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/2021/043/043_005.pdf
- Schwartz, P. (1997). Art of the long view: planning for the future in an uncertain world. John Wiley & Sons.

- Steg, L., Veldstra, J., de Kleijne, K., Kilkış, Ş., Lucena, A. F., Nilsson, L. J., ... & Vérez, D. (2022). A method to identify barriers to and enablers of implementing climate change mitigation options. *One Earth*, 5(11), 1216-1227. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2022.10.007>
- Sugiyama, M., Fujimori, S., Wada, K., Kato, E., Matsuo, Y., Nishiura, O., Oshiro, K., & Otsuki, T. (2024). Residual emissions and carbon removal towards Japan's net-zero goal: A multi-model analysis. *Environmental Research Communications*, 6(5), 051008. <https://doi.org/10.1088/2515-7620/ad4af2>
- TCFD (Task Force on Climate-related Financial Disclosures). (2017). *気候関連財務情報開示タスクフォースの提言 [最終報告書]*. [Translated by Sustainability Forum Japan]. https://assets.bbhub.io/company/sites/60/2020/10/TCFD_Final_Report_Japanese.pdf
- Tiberghien, Y., & Schreurs, M. A. (2007). High noon in Japan: Embedded symbolism and post-2001 Kyoto Protocol politics. *Global Environmental Politics*. <https://doi.org/10.1162/glep.2007.7.4.70>
- United Nations Development Programme (UNDP). (2021). *Peoples' climate vote: Country results*. <https://peoplesclimate.vote/country-results>
- World Bank Group. (2025, January 14). *State and trends of carbon pricing dashboard*. <https://carbonpricingdashboard.worldbank.org/compliance/price>
- World Economic Forum. (2025). *Global Risks Report 2025*. <https://www.weforum.org/publications/global-risks-report-2025/>
- WWF ジャパン. (2024). 脱炭素社会に向けた 2050 年ゼロシナリオ 〈2024 年版〉. <https://www.wwf.or.jp/activities/basicinfo/1576.html>
- Yeo, S. (2015). Japan's 2030 climate pledge leaves room for coal expansion. *CarbonBrief*. <https://www.carbonbrief.org/japans-2030-climate-pledge-leaves-room-for-coal-expansion/>
- アジア・ゼロエミッション共同体 (AZEC) . (2024). アジア・ゼロエミッション共同体 (AZEC) 首脳共同声明 今後 10 年のためのアクションプラン 2024 年 10 月 11 日、ビエンチャン, 8. <https://www.mofa.go.jp/mofaj/files/100737978.pdf>
- 秋元 圭吾. (2023). 2050 年の日本のカーボンニュートラル実現シナリオのモデル分析. *電気学会誌*, 143(2), 71-74. <https://doi.org/10.1541/ieejjournal.143.71>
- 井上 智弘, 黒沢 厚志, 加藤 悦史, 荻本 和彦, 岩船 由美子, 山口 容平, 内田 英明, 太田 豊, & 下田 吉之. (2023). ソフトリンクによる 2050 年のエネルギー需給分析: (1) 民生需要変化を考慮したシナリオとその評価. *エネルギー・資源学会誌*, 44(5), 234-244. https://doi.org/10.24778/jjser.44.5_234
- 歌川 学. (2024). 2035 年の全国のエネルギー起源 CO₂ 削減対策. *日本環境学会全国大会*, 2024/6/22-23.
- エネルギー政策基本法. (2002). 第 12 条 (エネルギー基本計画) 第 5 項. https://laws.e-gov.go.jp/law/414AC1000000071#Mp-At_12

外務省. (2022). 日本の排出削減目標. https://www.mofa.go.jp/mofaj/ic/ch/page1w_000121.html

外務省. (2024). 二国間クレジット制度 (JCM) .
https://www.mofa.go.jp/mofaj/ic/ch/page1w_000122.html

科学技術振興機構低炭素社会戦略センター. (2014) . 低炭素社会の実現に向けた技術および経済・社会の定量的シナリオに基づくイノベーション政策立案のための提案書. 平成 25 年度 総合編「明るく豊かな低炭素社会」の実現を目指して. <https://www.jst.go.jp/lcs/pdf/fy2014-pp-00.pdf>

科学技術振興機構. (2015). *World Wide Views on Climate and Energy* 世界市民会議「気候変動とエネルギー」開催報告書.
https://www.jst.go.jp/sis/scienceinsociety/investigation/items/wwwv-result_20150709.pdf

角和昌浩 (2022). シェルに学んだシナリオプランニングの奥義. 日経 BP 日本経済新聞出版.

環境エネルギー政策研究所. (2024). 国内の 2023 年度の自然エネルギー電力の割合と導入状況 (速報) . <https://www.isep.or.jp/archives/library/14885>

環境省. (2018). 平成 30 年版環境白書. <https://www.env.go.jp/policy/hakusyo/r01/pdf/full.pdf>

環境省. (2021). パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略.
<https://www.env.go.jp/earth/ondanka/keikaku/chokisenryaku.html>

環境省. (2024a). 令和 6 年版 環境白書. <https://www.env.go.jp/policy/hakusyo/r06/pdf/full.pdf>

環境省. (2024b). 2022 年度の温室効果ガス排出・吸収量 (概要) , 1.
<https://www.env.go.jp/content/000216815.pdf>

環境省. (2024c). ZEB 普及状況や公共建築物の ZEB 化の課題, 6.
https://www.env.go.jp/earth/zeb/news/pdf/zebseminar_Basic_Chapter2.pdf

環境省. (2025a). 日本の国が決定する貢献 (NDC) . 環境省.
<https://www.env.go.jp/content/000291804.pdf>

環境省. (2025b). 脱炭素先行地域. <https://policies.env.go.jp/policy/roadmap/preceding-region/>

環境省・経済産業省. (2024). 2050 年ネットゼロに向けた我が国の基本的な考え方・方向性, 3.
https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/sangyo_gijutsu/chikyu_kankyo/ondanka_2050/pdf/006_s01_00.pdf

経済産業省. (2013). 電力システム改革専門委員会報告書.
https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/kihon_seisaku/denryoku_system/seido_sekkei/pdf/01_s01_00.pdf

経済産業省. (2014). 第 4 次エネルギー基本計画.
https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/pdf/140411.pdf

経済産業省. (2021a). 第 6 次エネルギー基本計画.
<https://www.meti.go.jp/press/2021/10/20211022005/20211022005-1.pdf>

経済産業省. (2022). 地域マイクログリッド等に関する取組について.
https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/energy_resource/pdf/017_04_00.pdf

経済産業省. (2023a). 脱炭素成長型経済構造移行推進戦略.

<https://www.meti.go.jp/press/2023/07/20230728002/20230728002-1.pdf>

経済産業省. (2023b). 2050年カーボンニュートラルに向けた産業部門の取り組み: 第5回地球環境小委員会資料.

https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/sangyo_gijutsu/chikyu_kankyo/ondanka_2050/pdf/005_05_00.pdf

経済産業省. (2023c). 第6次エネルギー基本計画の進捗状況に関する報告書を公表しました。

<https://www.meti.go.jp/press/2023/06/20230628003/20230628003.html>

経済産業省. (2023d). 2050年カーボンニュートラルの達成に必要な、ネガティブエミッション技術 (NETs) の社会実装・産業化に向けた方向性.

<https://www.meti.go.jp/press/2023/06/20230628003/20230628003.html>

経済産業省. (2024a). スタートアップ政策について.

https://www.meti.go.jp/shingikai/mono_info_service/sangyo_cyber/wg_cybersecurity/enhanced_security/pdf/003_07_00.pdf

経済産業省. (2024b). 成長志向型カーボンプライシング構想.

https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/GX-league/gx-league.html

経済産業省. (2024c). 日本のカーボンニュートラル戦略: 持続可能な未来への挑戦. 経済産業省ジャーナル. <https://journal.meti.go.jp/p/29253/>

経済産業省. (2024d). 再生可能エネルギーの導入状況「電源別の FIT/FIP 認定量・導入量 (2023年12月末時点)」.

https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/saisei_kano/pdf/063_s01_00.pdf

経済産業省. (2024e). 第2回アジア・ゼロエミッション共同体 (AZEC) 閣僚会合における覚書一覧.

https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/azec/2nd_ministerial_meeting/2nd_AZEC_mm_mou_list_jp.pdf

経済産業省. (2025). 第7次エネルギー基本計画. [PDF ファイル]. 経済産業省.

<https://www.meti.go.jp/press/2024/02/20250218001/20250218001-1.pdf>

経済産業省. (n.d.). 我が国のグリーントランスフォーメーション政策, 7.

https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/transition/pathways_to_green_transformation.pdf

小坂尚史、畠中エルザ. (2024). わが国の2022年度 (令和4年度) の温室効果ガス排出量について～総排出量は1990年度以降過去最小を更新～. 地球環境研究センターニュース.

<https://cger.nies.go.jp/cgernews/202407/404002.html>

国土交通省. (2022). 令和4年版国土交通白書, 51.

<https://www.mlit.go.jp/hakusyo/mlit/r03/hakusho/r04/pdf/kokudo.pdf>

国土交通省. (2024a). 建築物の省エネルギー対策に係る最近の動向について.

<https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/content/001622615.pdf>

国土交通省. (2024b). 環境への取り組み.

https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/environment/sosei_environment_tk_000007.html

国土交通省. (n.d.). 今後の住宅・建築物の省エネルギー対策のあり方（第三次報告案）及び建築基準制度のあり方（第四次報告案）について.

<https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/content/001487399.pdf>

国立研究開発法人国立環境研究所. (2024). 市民目線での気候変動対策－気候市民会議とは？.

https://www.nies.go.jp/kokkanken_view/lite-20240325-5.html#gsc.tab=0

国立環境研究所. (2025). 温室効果ガス排出量データ: 7 ガス排出量 (都道府県別) [Excel データ].

https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fwww.nies.go.jp%2Fgio%2Farchive%2Fghgdata%2Fjnn8ct0000033nt7-att%2FL5-7gas_prov_2025-gioweb_1.0.xlsx&wdOrigin=BROWSELINK

坂本 将吾. (2023). 脱炭素に向けた日本のエネルギーシステム転換－IPCC 第 6 次評価報告書のシナリオ群における共通性と多様性－. *電力経済研究*.

<https://criepi.denken.or.jp/jp/serc/periodicals/69/02.html>

資源エネルギー庁. (2016). エネルギー白書 2016: 第 3 章 エネルギー政策の動向.

<https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2016html/3-0-0.html>

資源エネルギー庁. (2017). 事業計画策定ガイドライン.

https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/kaitori/dl/fit_2017/legal/guideline_sun.pdf

資源エネルギー庁. (2018). 電力システム改革の鍵を握る「広域機関」.

<https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/kouikikikan.html>

資源エネルギー庁. (2019). FIT 制度の抜本見直しと再生可能エネルギー政策の再構築.

https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/saisei_kano/pdf/013_01_00.pdf

資源エネルギー庁. (2020). 電力システム改革について.

https://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/electric/system_reform.html

資源エネルギー庁. (2023). 気候変動対策、どこまで進んでる？初の評価を実施した「COP28」の結果は. https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/cop28_01.html

資源エネルギー庁. (2024a). エネルギー白書 2024.

https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2024/pdf/whitepaper2024_all.pdf

資源エネルギー庁. (2024b). 第 67 回 基本政策分科会 資料 6: エネルギー政策の動向について, 59.

https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/2024/067/067_006.pdf

資源エネルギー庁. (2024c). アジア・ゼロエミッション共同体 (AZEC) の概要と目的.

https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/azec_01.html

- 資源エネルギー庁. (2024d). アジア・ゼロエミッション共同体 (AZEC) に向けた取り組み.
https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/azec_2024.html
- 資源エネルギー庁. (2025). エネルギー基本計画.
https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/pdf/20250218_01.pdf
- 資源エネルギー庁. (n.d.). はじめに 我が国のエネルギー政策. エネルギー白書 2016.
<https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2016html/3-0-0.html>
- 自然エネルギー財団. (2021a). RE100 達成に向けて企業が直面する課題とその解決策.
<https://www.renewable-ei.org/activities/column/REupdate/20210922.php>
- 自然エネルギー財団. (2021b). 2050 年の脱炭素日本を支えるエネルギーミックス, 総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会.
https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/2021/044/044_006.pdf
- 自然エネルギー財団. (2022). GX 戦略における「カーボンプライシング」構想について, 8, 10.
https://www8.cao.go.jp/kisei-kaikaku/kisei/conference/energy/20221212_pre30/221212energy.pdf?utm_source=chatgpt.com
- 自然エネルギー財団. (2024). インフォパック コーポレート PPA 日本の最新動向 2024 年版.
<https://www.renewable-ei.org/activities/reports/20240411.php>
- 次世代型太陽電池の導入拡大及び産業競争力強化に向けた官民協議会 (2024). 次世代型太陽電池戦略.
https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/perovskite_solar_cell/pdf/20241128_1.pdf
- 杉山大志, 角和昌浩, & 木下裕介. (2024). シナリオ思考: “シェルフ”を超えて. 電子書籍出版代行サービス.
- 杉山昌広, 筒井純一, & 高橋潔. (2024). 分野横断型気候シナリオ研究: 過去, 現在, 未来. 天気, 71(2), 57-68. https://doi.org/10.24761/tenki.71.2_57
- 総合資源エネルギー調査会 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, 総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会 再生可能エネルギー主力電源化制度改革小委員会 合同会議. (2021). エネルギー供給強靱化法に盛り込まれた再エネ特措法改正法に係る詳細設計 (p. 4). 経済産業省.
https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/saisei_kano/pdf/20210226_1.pdf
- 茅野恒秀. (2021). 再エネ事業の社会的受容問題: 地域で何が起きているのか. 信州大学.
https://www8.cao.go.jp/kisei-kaikaku/kisei/conference/energy/20210830_pre21/210830energy01.pdf
- 陳奕均・城山英明・杉山昌広・青木一益・木村宰・森晶寿・太田響子・松浦正浩・松尾真紀子 (2022). 日本における持続可能性移行 (サステナビリティ・トランジション) 研究の現況と今後の展望, 環境経済・政策研究, 15(2), 1-11.

デロイトトーマツコンサルティング. (2021). カーボンニュートラル社会に向けたシナリオ分析, 総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会.
https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/2021/044/044_008.pdf

電力広域的運営推進機関. (2024). 入札実施要綱（太陽光発電）2024 年度.
<https://nyusatsu.teitanso.or.jp/servlet/servlet.FileDownload?file=00PGA00000iqviY>

東京新聞. (2022). 新築戸建てに太陽光発電の義務化 専門家は対立、都民賛否両論でも都議会各会派は「ほぼ賛成」. <https://www.tokyo-np.co.jp/article/219030>

豊田陽介. (2024). 地域再エネ事業への地域社会の参加と受容性 日本の現状と課題. 気候ネットワーク. https://kikonet.org/kiko/wp-content/uploads/2024/09/20241004webinar_toyota.pdf

内閣府. (1990). 地球環境問題に関する世論調査. <https://survey.gov-online.go.jp/h01/H02-03-01-21.html>

内閣府. (2001). 地球温暖化防止とライフスタイルに関する世論調査. <https://survey.gov-online.go.jp/h13/h13-ondanka/>

内閣府. (2005). 地球温暖化対策に関する世論調査. <https://survey.gov-online.go.jp/h17/h17-globalwarming/>

内閣府. (2007). 地球温暖化対策に関する世論調査. <https://survey.gov-online.go.jp/h19/h19-globalwarming/>

内閣府. (2011). 再生可能エネルギー電気の利用の促進に関する特別措置法. <https://laws.e-gov.go.jp/law/423AC0000000108>

内閣府. (2021). 気候変動に関する世論調査. <https://survey.gov-online.go.jp/r02/r02-kikohendo/gairyaku.pdf>

内閣府. (2023). 気候変動に関する世論調査. <https://survey.gov-online.go.jp/r05/r05-kikohendo/gairyaku.pdf>

日経電子版. (2020, June 19). Looop、長野県諏訪市のメガソーラー事業から撤退.

日本エネルギー経済研究所. (2021). 2050 年カーボンニュートラルのモデル試算, 総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会.
https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/2021/044/044_009.pdf

日本経済団体連合会. (1997). 経団連環境自主行動計画.
<https://www.keidanren.or.jp/japanese/policy/pol133/index.html>

日本経済団体連合会. (2013). 経団連低炭素社会実行計画.
<https://www.keidanren.or.jp/policy/2013/003.html>

日本経済団体連合会. (2024). 経団連カーボンニュートラル行動計画.
https://www.keidanren.or.jp/policy/2023/072_honbun.pdf

- 一般社団法人日本自動車タイヤ協会. (n.d.). タイヤ国内動向調査統計.
<https://www.airia.or.jp/publish/file/v19mrm00000019pr.pdf>
- 日本総合研究所. (2024). 少子・高齢化が気候変動対応に及ぼす影響をどうみるか.
<https://www.jri.co.jp/MediaLibrary/file/report/viewpoint/pdf/14929.pdf>
- 三菱総研. (2024). 第7次エネルギー基本計画で求められる「CN×CE」の政策融合.
<https://www.mri.co.jp/knowledge/insight/policy/20240605.html>
- 森 秀行. (2024). 欧州での「気候市民会議」の展開と日本での取組, 環境と文明, 2023年2月号.
http://www.kanbun.org/kaze/kaihou/202302_All.pdf
- 読売新聞オンライン. (2020, December 7). メガソーラー反対派に焼酎と100万円持参…建設巡り対立の中. <https://www.yomiuri.co.jp/national/20201206-OYT1T50082/>
- 一般社団法人ローカルグッド創成支援機構. (2024). 地域新電力の現状と課題.
<https://www.env.go.jp/content/000250809.pdf>