

2021/09/27

「2050年に向けた日本のエネルギー需給」研究委員会
「2050年のエネルギーと社会：俯瞰的視点」
2021年度第2回シンポジウム（第14回 ESI シンポジウム）

2050年の脱炭素シナリオ： 多様性と非欧米の視点

杉山昌広

東京大学 准教授

未来ビジョン研究センター
大学院総合文化研究科国際環境学教育機構

masahiro_sugiyama@alum.mit.edu /
masahiro@ifi.u-tokyo.ac.jp

IPCC AR6 lead author (Working Group 3, Chapter 12)

GESAMP WG 41 (formerly marine geoengineering)
member

本日のメッセージ

- ビジョンとシナリオの峻別は必要
 - 脱炭素はビジョン、再エネ100%はまだシナリオの一つ
 - (再エネ100%がビジョンになったらまた別の分析が必要)
 - シナリオ分析の際には「不都合なシナリオ」は排除しない
- 多様なシナリオと日本
 - IEA Net Zeroは一つに過ぎない／エネ基（案）には複数シナリオが書き込まれている
 - 2050年ネットゼロでなくとも1.5度は（オーバーシュートすれば）可能
 - 多様といっても制約はあり：再エネのエネルギー密度問題と人口密度
- 多様なシナリオの帰結：技術間&対策間競争
 - 技術の不確実が高いためイノベーション政策自体にも対応が必須
 - 不確実なものは不確実だと扱う態度（コスト、電源構成など）

ビジョンとシナリオ

なぜシナリオ分析か？

- 未来は不確実
 - 2001年 米国同時多発テロ
 - 2011年 311（東日本大震災および東京電力福島原子力発電所事故）
 - 2020年～2021年 コロナ禍
- なぜ普通の分析ではなくシナリオ分析を行うか？
 - 未来が不確実だから
 - シナリオは不確実性下における意思決定問題の分析ツール

ビジョンとシナリオ

- Vision (経営学)
 - Core ideology and envisioned future

- Scenario
 - A plausible description of how the future may develop based on a coherent and internally consistent set of assumptions about key driving forces (e.g., rate of technological change, prices) and relationships. Note that scenarios are neither predictions nor forecasts, but are used to provide a view of the implications of developments and actions.
(IPCC 2018, <https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/glossary/>)

ビジョンとシナリオ：
ややこしいのはビジョンが
シナリオとして語られることがしばしばあるから

- ビジョン
 - 脱炭素、再生可能エネルギー100%、 . . .
- 脱炭素がビジョンの場合のシナリオ分析
 - 太陽光が安くならなくても脱炭素できる？
 - 洋上風力が安くなるならば速く脱炭素できる？
 - 原子力やCCSが十分に使えなくとも脱炭素できる？
- 再生可能エネルギー100%がビジョンの場合のシナリオ分析
 - 再生可能エネルギーのコストが高止まりでもRE100は可能？
 - バッテリーが安くなればRE100は加速できる？どこまで安くする必要がある？
- 大事なのは都合のよいシナリオだけ考えないこと
- 再生可能エネルギー100%だけ特出ししたが特定のエネルギー源に関する主張について一般的に適応できることに注意

多様なシナリオ

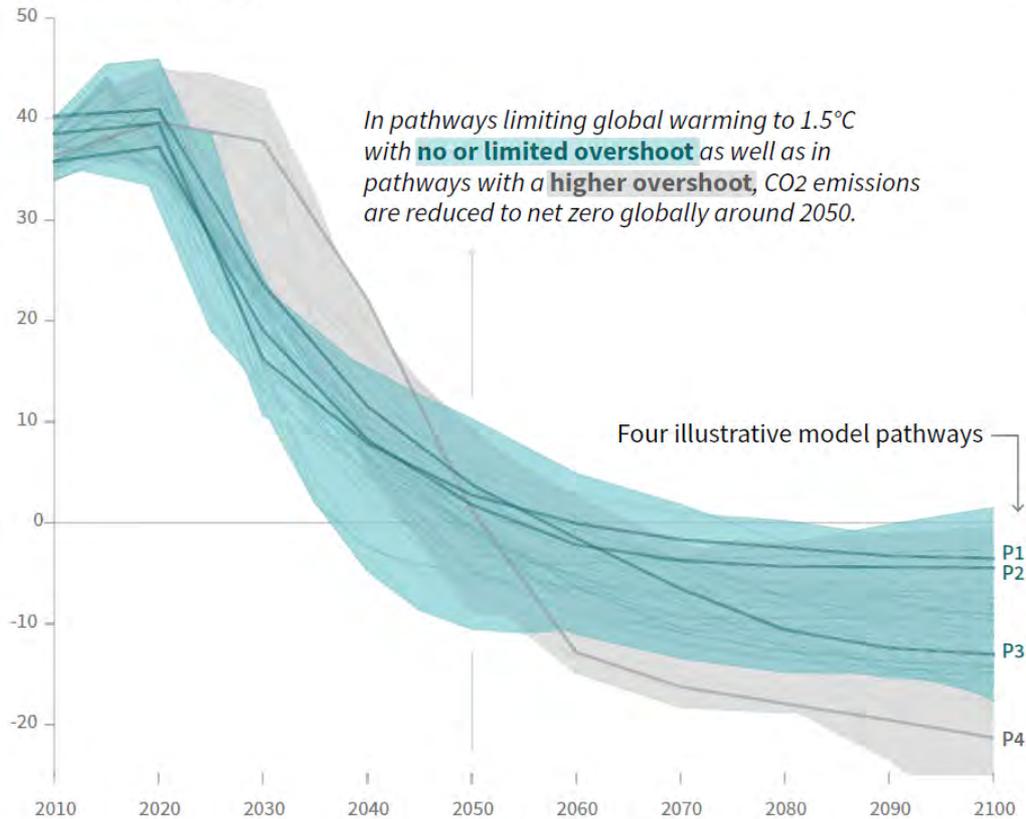
単一シナリオの意義

- 具体的に詳細を検討するのは有意義
- しかしながら、非常に大きなエラーバー（誤差幅）は頭の隅に置いていく必要がある

Climate change mitigation and scenarios (IPCC 2018, SR1.5)

Global total net CO₂ emissions

Billion tonnes of CO₂/yr

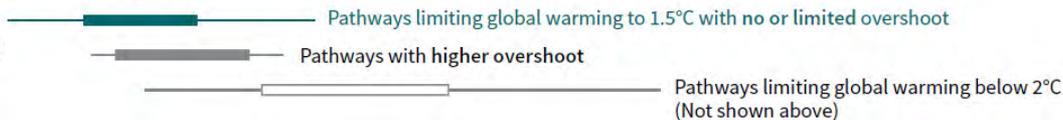


*In pathways limiting global warming to 1.5°C with **no or limited overshoot** as well as in pathways with a **higher overshoot**, CO₂ emissions are reduced to net zero globally around 2050.*

Four illustrative model pathways

P1
P2
P3
P4

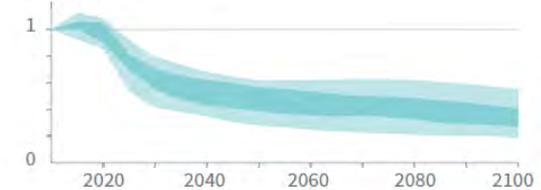
Timing of net zero CO₂
Line widths depict the 5-95th percentile and the 25-75th percentile of scenarios



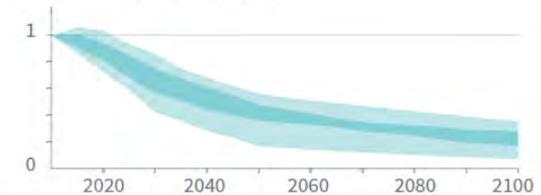
Non-CO₂ emissions relative to 2010

Emissions of non-CO₂ forcers are also reduced or limited in pathways limiting global warming to 1.5°C with **no or limited overshoot**, but they do not reach zero globally.

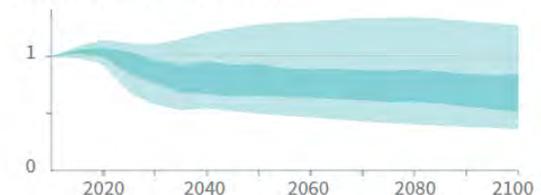
Methane emissions



Black carbon emissions



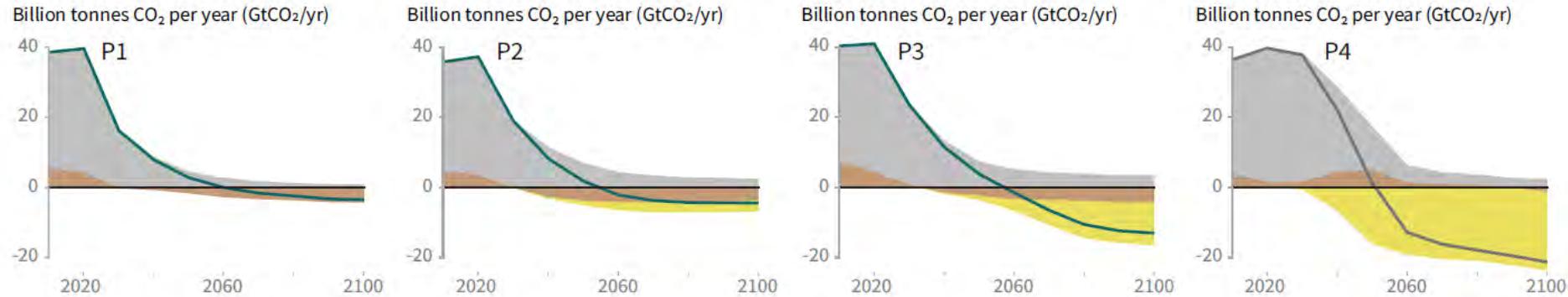
Nitrous oxide emissions



Climate change mitigation and scenarios (IPCC 2018, SR1.5) (P2: AIM)

Breakdown of contributions to global net CO₂ emissions in four illustrative model pathways

● Fossil fuel and industry ● AFOLU ● BECCS



P1: A scenario in which social, business and technological innovations result in lower energy demand up to 2050 while living standards rise, especially in the global South. A downsized energy system enables rapid decarbonization of energy supply. Afforestation is the only CDR option considered; neither fossil fuels with CCS nor BECCS are used.

P2: A scenario with a broad focus on sustainability including energy intensity, human development, economic convergence and international cooperation, as well as shifts towards sustainable and healthy consumption patterns, low-carbon technology innovation, and well-managed land systems with limited societal acceptability for BECCS.

P3: A middle-of-the-road scenario in which societal as well as technological development follows historical patterns. Emissions reductions are mainly achieved by changing the way in which energy and products are produced, and to a lesser degree by reductions in demand.

P4: A resource- and energy-intensive scenario in which economic growth and globalization lead to widespread adoption of greenhouse-gas-intensive lifestyles, including high demand for transportation fuels and livestock products. Emissions reductions are mainly achieved through technological means, making strong use of CDR through the deployment of BECCS.

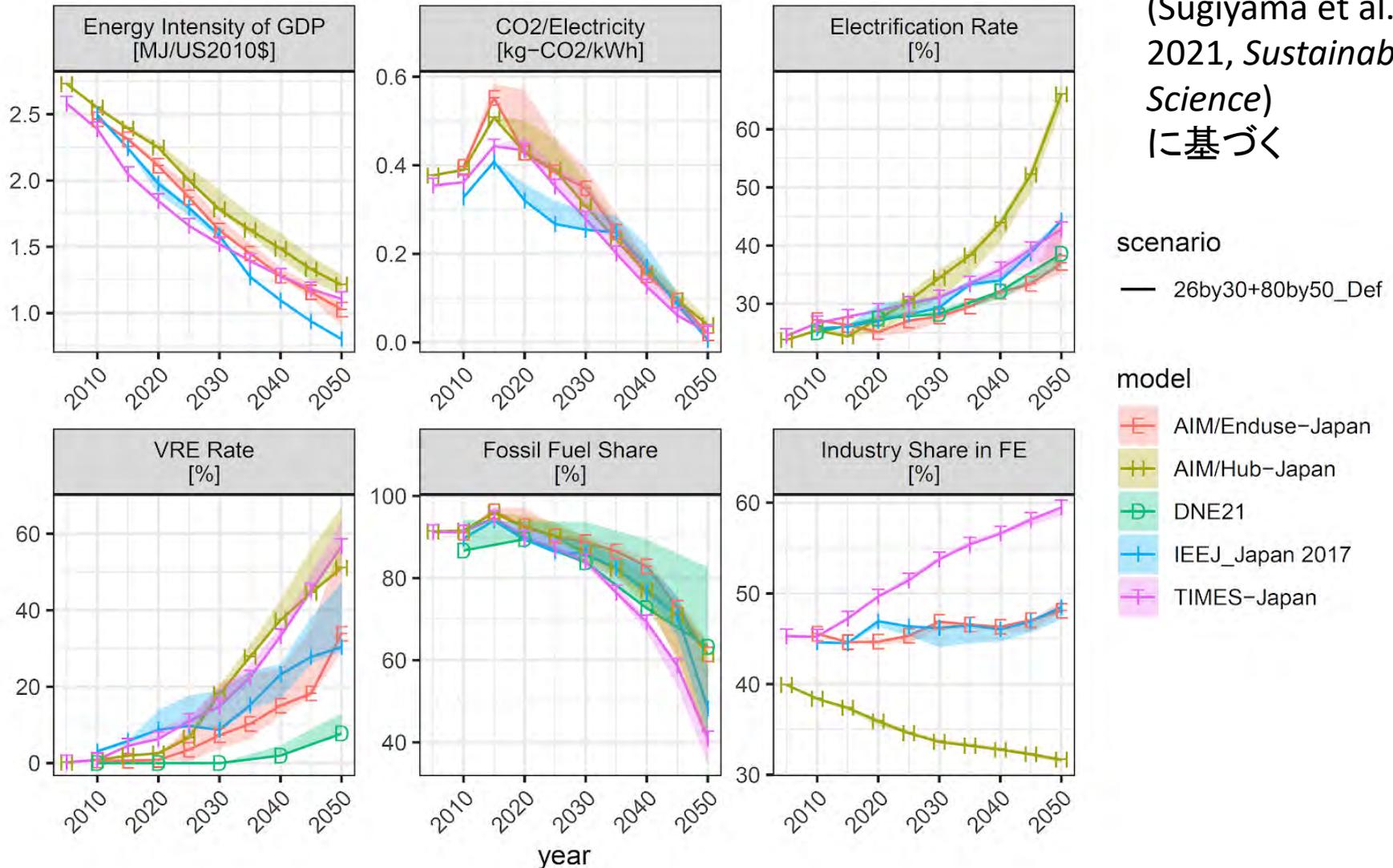
Global indicators

	P1	P2	P3	P4	Interquartile range
<i>Pathway classification</i>	No or limited overshoot	No or limited overshoot	No or limited overshoot	Higher overshoot	No or limited overshoot
<i>CO₂ emission change in 2030 (% rel to 2010)</i>	-58	-47	-41	4	(-58,-40)
↳ <i>in 2050 (% rel to 2010)</i>	-93	-95	-91	-97	(-107,-94)
<i>Kyoto-GHG emissions* in 2030 (% rel to 2010)</i>	-50	-49	-35	-2	(-51,-39)
↳ <i>in 2050 (% rel to 2010)</i>	-82	-89	-78	-80	(-93,-81)
<i>Final energy demand** in 2030 (% rel to 2010)</i>	-15	-5	17	39	(-12,7)
↳ <i>in 2050 (% rel to 2010)</i>	-32	2	21	44	(-11,22)
<i>Renewable share in electricity in 2030 (%)</i>	60	58	48	25	(47,65)
↳ <i>in 2050 (%)</i>	77	81	63	70	(69,86)

頑健な結果（80%削減だが100%削減でも基本同じ）： 経済全体のエネルギー効率向上、電力の脱炭素、電化、

- リボン：低需要、原子力不可、CCS不可、標準の幅

(Sugiyama et al.
2021, *Sustainability Science*)
に基づく



日本の対策で考えるべき ロバストな論点

- 非常に「ハード」な制約
 - 高い人口密度
 - 再生可能エネルギーの確保が「困難」
 - CCSの貯留サイトの確保も「困難」
- 少しは「ソフト」な制約
 - 脱炭素困難部門で産業部門が大きい
 - 農業・運輸が大きい国とは違う
 - （足元では）再生可能エネルギーのコストが高い
 - 低炭素／無炭素電力が高く緩和策の費用も高い
 - グリーン水素も高くなる
 - （ただこれは長期的には解消される可能性もあり）

非欧米の視点とまとめ

人口密度が高い国・地域の 再エネ確保の困難

- 需要側

- 面積あたりのエネルギー需要量

$$\text{ENE} / \text{AREA} = (\text{ENE} / \text{POP}) * (\text{POP} / \text{AREA})$$

- 先進国ではENE/POPが大体同じだと思えば
ENE/AREAはPOP/AREA（人口密度）で決まる

- 供給側

- Power densityが一番高い太陽光はそこまで地域によって大きく変化しない

- したがって人口密度が高い国・地域は再エネの工面で「苦労」する（RE100は「不可能」ではないが「困難」）

- 洋上風力などを考えるとややこしくなる

Schreyer et al. (2020, ERL) <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abb852>
 VRE share in smaller Japan is than in US, EU, Australia

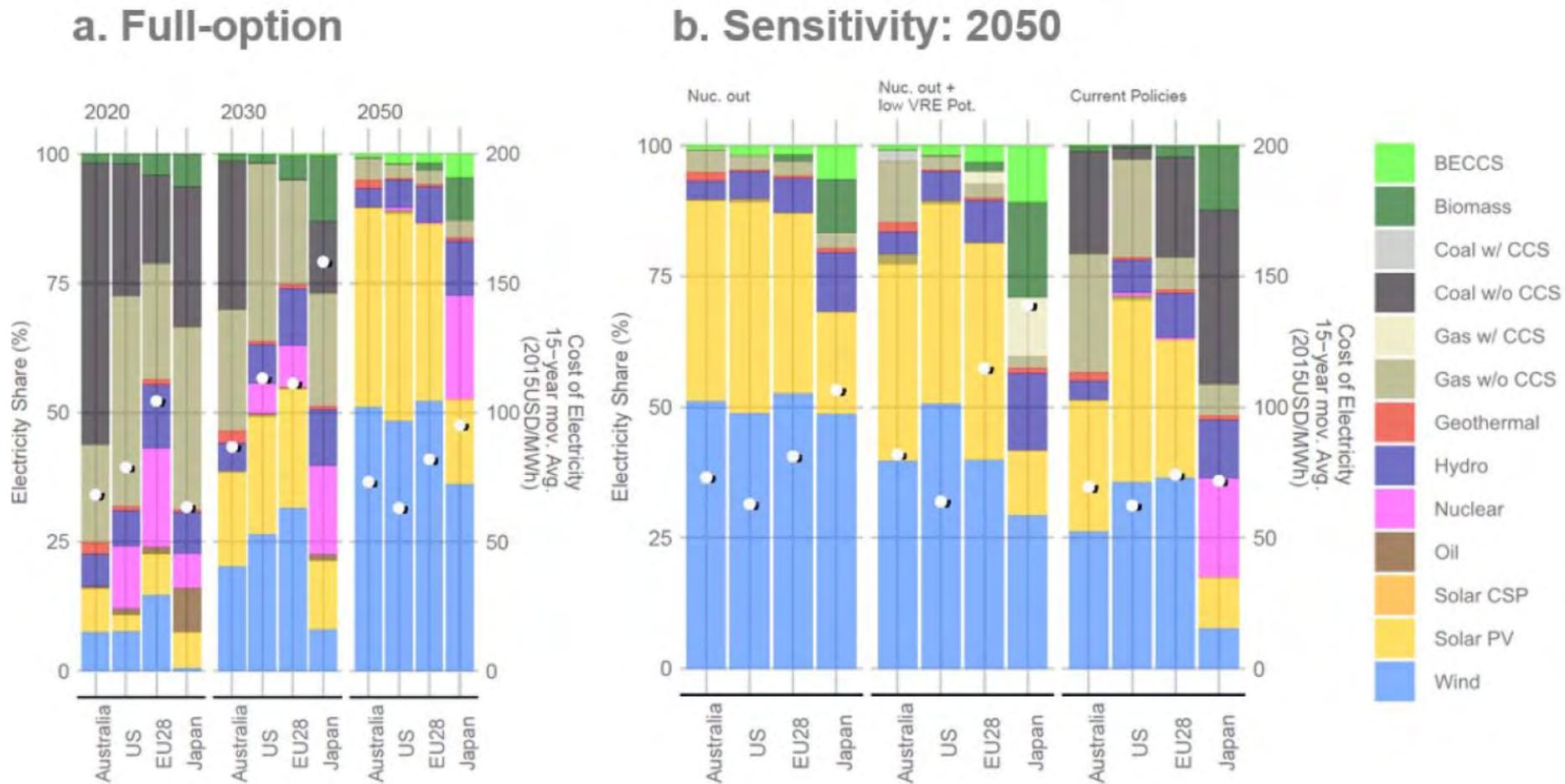


Figure 3. Left panel (a) Electricity mix in 2020, 2030 and 2050 in Net-zero scenario (bars, left y-axis) and 15-year moving average cost of electricity (white dots, right y-axis). Right panel (b) Electricity mixes (bars) and cost of electricity (white dots) for 2050 across different scenarios: net-zero scenario with regional nuclear phase-out by 2040 (left), net-zero scenario with nuclear phase-out and limited wind and solar potentials (center) and Current Policies scenario (right).

様々なシナリオがあるが どれが実現するか？

- 技術間競争
- 極端な例をいえば安全で持続可能なCO₂直接空気回収・貯留ができればいろいろな技術がいらなくなる
- 逆に大幅にエネルギー需要が減れば供給側の対策も不要なものが多数出てくる
- グリーン成長戦略はどう考えるべきか？
 - 項目ごとに数値を設定するのはいいがシナリオごとに不確実性がある
 - (Bonvillian & Weiss の考え方が重要)

エネルギー基本計画案

- 一方で、2050年を見据えた様々な技術開発・イノベーションの成否を現時点で正確に予測することは困難であり、2050年に向けては、カーボンニュートラルという野心的な目標を掲げつつ、常に最新の情報に基づき施策、技術開発の重点を決めていくことが求められる。

グリーン成長戦略（概要）

（令和3年6月18日策定）

- 温暖化への対応を、経済成長の制約やコストとする時代は終わり、「成長の機会」と捉える時代に入っている。
- 実際に、研究開発方針や経営方針の転換など、「ゲームチェンジ」が始まっている。この流れを加速すべく、グリーン成長戦略を推進する。
- 「イノベーション」を実現し、革新的技術を「社会実装」する。これを通じ、2050年カーボンニュートラルだけでなく、CO₂排出削減にとどまらない「国民生活のメリット」も実現する。

2050年に向けて成長が期待される、14の重点分野を選定。

・ 高い目標を掲げ、技術のフェーズに応じて、実行計画を着実に実施し、国際競争力を強化。 ・ 2050年の経済効果は約290兆円、雇用効果は約1,800万人と試算。



政策を総動員し、イノベーションに向けた、企業の前向きな挑戦を全力で後押し。

1 予算

- ・グリーンイノベーション基金（2兆円の基金）
- ・経営者のコミットを求める仕掛け
- ・特に重要なプロジェクトに対する重点的投資

2 税制

- ・カーボンニュートラル投資促進税制（最大10%の税額控除・50%の特別償却）

3 金融

- ・多排出産業向け分野別ロードマップ
- ・TCFD等に基づく開示の質と量の充実
- ・グリーン国際金融センターの実現

4 規制改革・標準化

- ・新技術に対応する規制改革
- ・市場形成を見据えた標準化
- ・成長に資するカーボンプライシング

5 国際連携

- ・日米・日EU間の技術協力
- ・アジア・エネルギー・トランジション・イニシアティブ
- ・東京ピوند・ゼロ・ウィーク

6 大学における取組の推進等

- ・大学等における人材育成
- ・カーボンニュートラルに関する分析手法や統計

7 2025年日本国際博覧会

- ・革新的イノベーション技術の実証の場（未来社会の実験場）

8 若手ワーキンググループ

- ・2050年時点での現役世代からの提言

モデル比較と政策への接合

- 増えるモデル比較の枠組み
 - 老舗のStanford Energy Modeling Forum (70年代から)
 - China Energy Modeling Forum
 - European Energy and Climate Modelling Forum
 - Japan Model Intercomparison Platform (今年から)

- 政策への接合
 - EMFにEPAの公務員が参加
 - ECの公務員がEMF等に参加

本日のメッセージ

- ビジョンとシナリオの峻別は必要
 - 脱炭素はビジョン、再エネ100%はまだシナリオの一つ
 - (再エネ100%がビジョンになったらまた別の分析が必要)
 - シナリオ分析の際には「不都合なシナリオ」は排除しない
- 多様なシナリオと日本
 - IEA Net Zeroは一つに過ぎない／エネ基(案)には複数シナリオが書き込まれている
 - 2050年ネットゼロでなくとも1.5度は(オーバーシュートすれば)可能
 - 多様といっても制約はあり：再エネのエネルギー密度問題と人口密度
- 多様なシナリオの帰結：技術間&対策間競争
 - 技術の不確実が高いためイノベーション政策自体にも対応が必須
 - 不確実なものは不確実だと扱う態度(コスト、電源構成など)