

「2050年ネットゼロ排出シナリオ」の分析

—IPCC1.5°C特別報告書シナリオデータとJMIPからの示唆—

環境科学研究所 坂本将吾

社会経済研究所 堀尾健太

社会経済研究所 永井雄宇

第44回 総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会

2021年6月30日

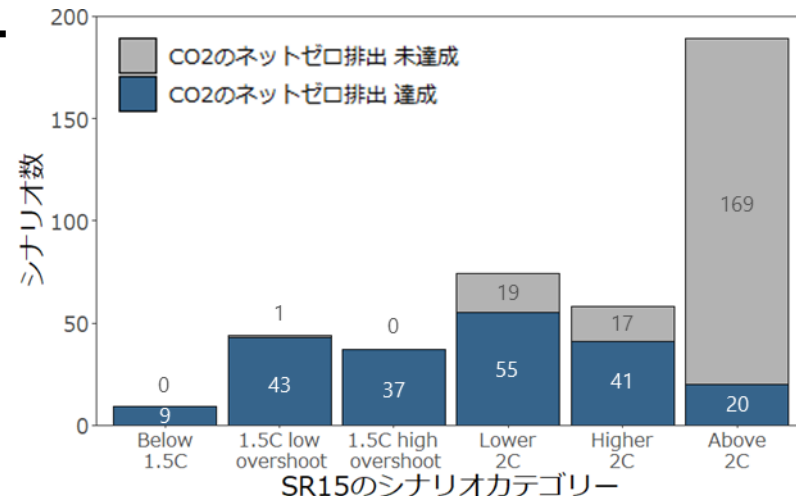
 電力中央研究所

IPCC1.5°C特別報告書における 「2050年ネットゼロ排出シナリオ」 —CO₂排出・除去の態様とエネルギー関連指標—

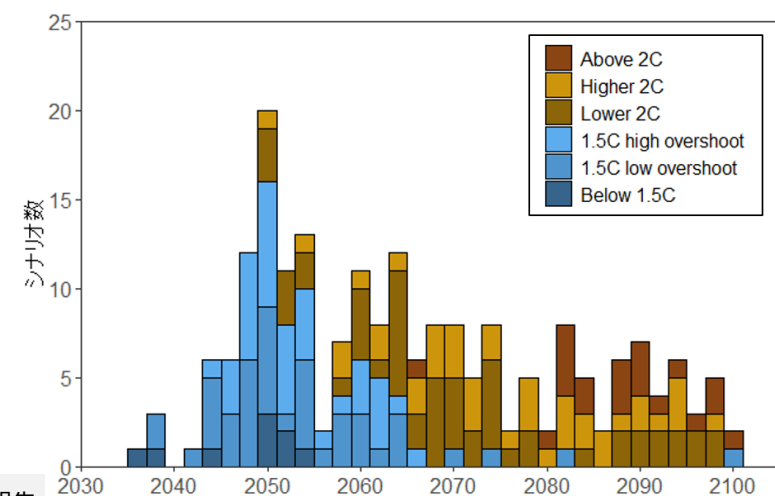
ネットゼロ排出達成時の態様

当所では、IPCC1.5°C特別報告書シナリオデータを基に、ネットゼロ排出達成時の態様を分析した報告書を刊行（2020年10月）

- IPCC1.5°C特別報告書（SR15）では、世界中の研究機関から提出された411のシナリオ（4頁参照）を、温度上昇の度合いに基づいて、6つのカテゴリーに区分
- このうち世界全体での「CO₂のネットゼロ排出」を達成するシナリオは205（右上図）
- シナリオ毎に「ネットゼロCO₂排出達成年」が記録されている（右下図）
- これを「ネットゼロ排出達成時」とみなし、当該時点のCO₂排出・除去、及びエネルギー関連の諸指標を分析



SR15におけるネットゼロ排出シナリオの数



ネットゼロCO₂排出達成年の分布

(参考) SR15シナリオデータ

IPCC1.5°C特別報告書 (SR15)

2018年10月、IPCC総会にて、政策決定者向け要約が承認され、報告書本体が受諾された

- 2015年12月、国連気候変動枠組条約（UNFCCC）第21回締約国会議（COP21）の決定にて、IPCCに対して、「工業化以前の水準から1.5°Cの地球温暖化による影響及び関連する地球全体での温室効果ガス排出経路に関する特別報告書を2018年に提供する」よう招請
- 2016年4月、IPCCは、この招請を受諾し、特別報告書の作成を決定

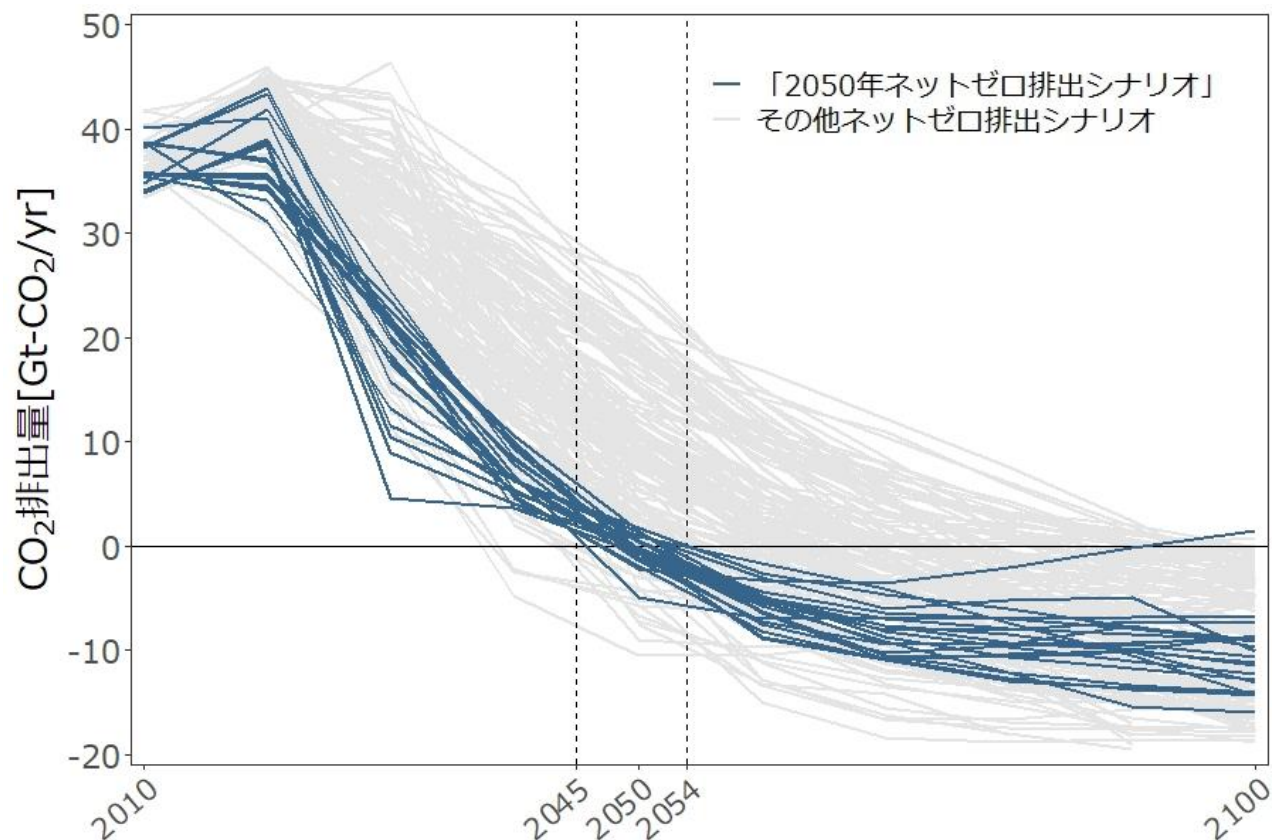
SR15シナリオデータ

- IPCCは、世界中の研究機関から提出されるシナリオデータを基に報告書を作成。提出の要件は、査読付き学術論文に掲載された結果であること
- SR15に向けては、世界中の19の研究機関から、529のシナリオデータが提出された（2018年5月15日までに受理された学術論文が対象）
- このうち、GHG排出量を一部しか報告していないシナリオ（例えば、CO₂のみを報告しているシナリオ）などを除いた、411のシナリオデータ（10機関による）が報告書の作成に使用された
- SR15の作成に使用されたシナリオデータは公開されている
IPCC SR1.5 Scenario Database: <https://data.ene.iiasa.ac.at/iamc-1.5c-explorer>

※ なお、SR15シナリオデータの約4分の3（303本）は、4つの「**モデル間比較プロジェクト（MIP）**」の成果である。MIPとは、複数のモデルが、主要な設定（人口、GDPなど）や分析の条件（各種技術の想定など）を揃えて分析し、相互比較を行うもの。

「2050年ネットゼロ排出シナリオ」

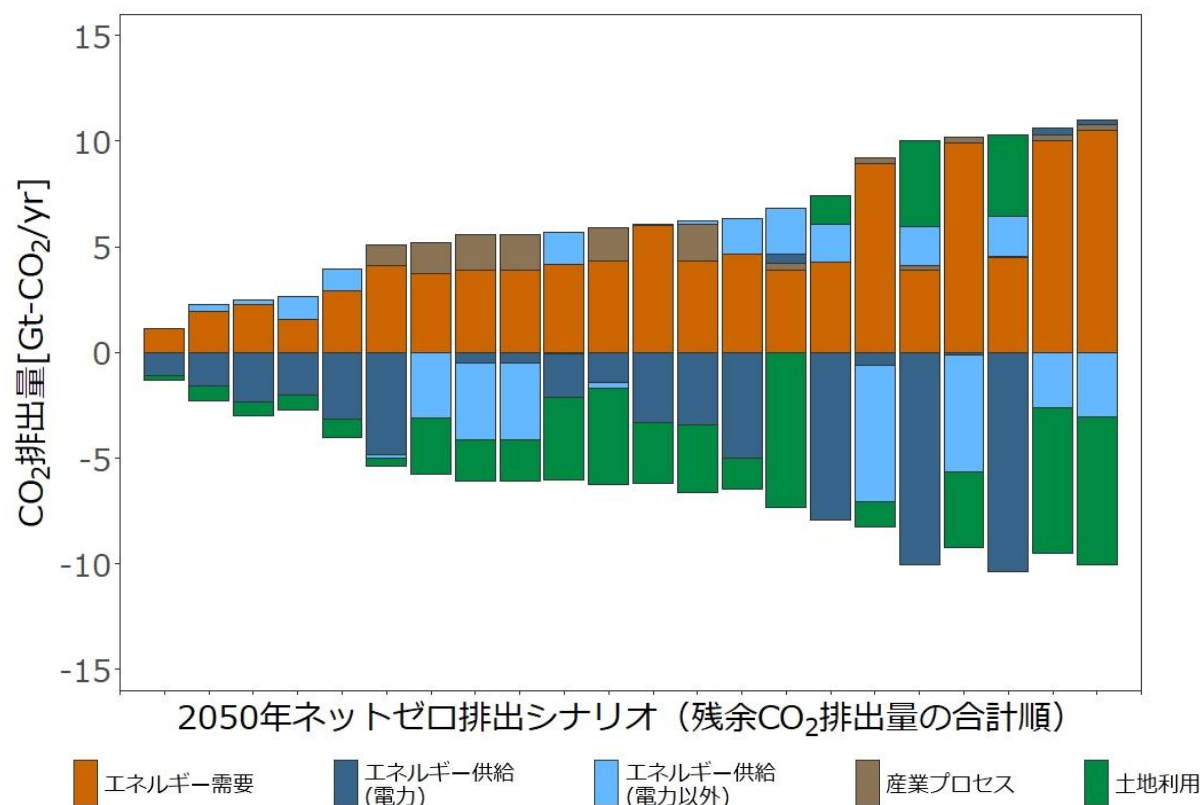
2045～54年に世界全体でCO₂のネットゼロ排出に達するシナリオ



本報告では、「Below1.5C」「1.5C low overshoot」カテゴリーのシナリオ（計26本）のうち、エネルギー起源CO₂排出量の内訳が把握できる**22本のシナリオ**（計5機関から提出）を対象とした

CO₂排出・除去の量（世界全体）

ネットゼロ排出達成時に残余するCO₂排出の量や内訳は様々



SR15シナリオデータにおける
CO₂排出量の主な部門

エネルギー 起源	エネルギー 需要	産業
		民生
		運輸
	エネルギー 供給	電力
		電力以外 -液体燃料 -ガス -熱 -固体燃料
産業プロセス		
土地利用		

- ※ グラフは部門別CO₂排出量の合計を積み上げたもの。5年または10年刻みで報告されているため、線形補完により、1年ごとの排出量を推計している（全体のネット排出量は厳密にゼロにはなっていない）
- ※ 部門別CO₂排出量の符号の意味については7頁参照

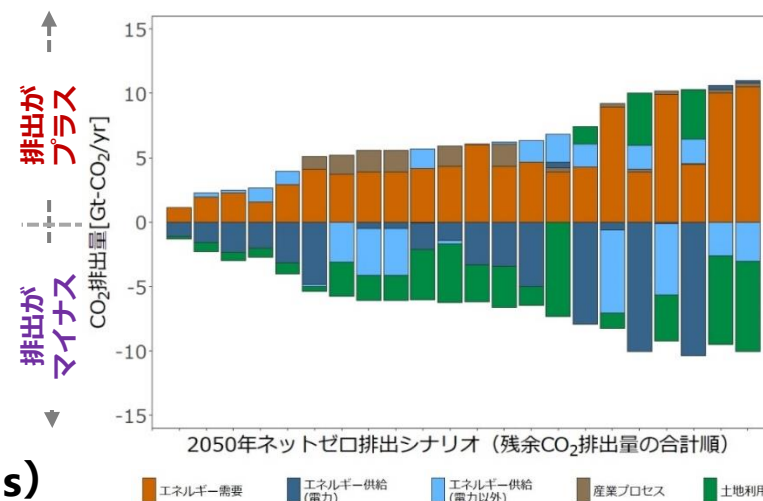
CO₂排出量の符号と除去

部門別CO₂排出量の符号

プラス : 除去よりも排出が多い

マイナス : 排出よりも除去が多い

少なくとも、部門別の排出量がマイナスである部門には、二酸化炭素除去が導入されていることを意味する



二酸化炭素除去（CDR: Carbon Dioxide Removals）

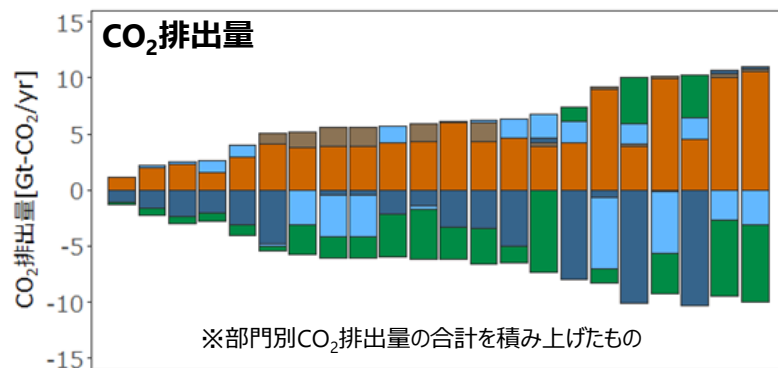
CO₂を大気中から人為的に除去すること

SR15シナリオデータで想定されている主なCDR

エネルギー供給（電力）	: CO ₂ 回収・貯留付 バイオマス発電 （BECCS）	*燃料使用時にCO ₂ を回収
エネルギー供給（電力以外）	: CO ₂ 回収・貯留付 バイオ燃料製造 （BECCS）	*燃料製造時にCO ₂ を回収
土地利用	: 植林	

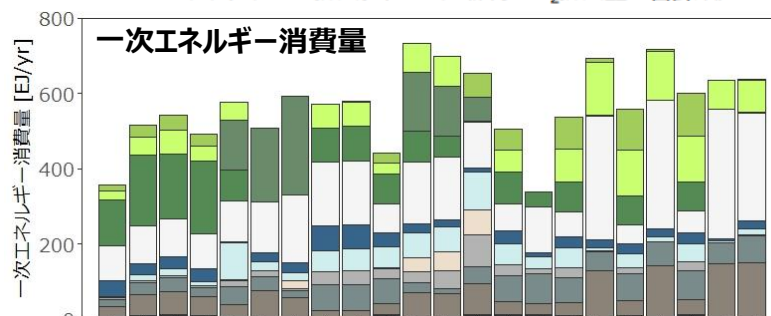
なお、SR15時点では直接空気回収・貯留（DACCS）を想定したシナリオは極めて少なかった。最近の研究動向を踏まえると、2021-22年に公表予定のIPCC第6次評価報告書（AR6）では、DACCSを想定したシナリオが増えることが予想される（AR6のためのシナリオデータの提出は2021年7月9日締切）

一次エネルギー (世界全体)



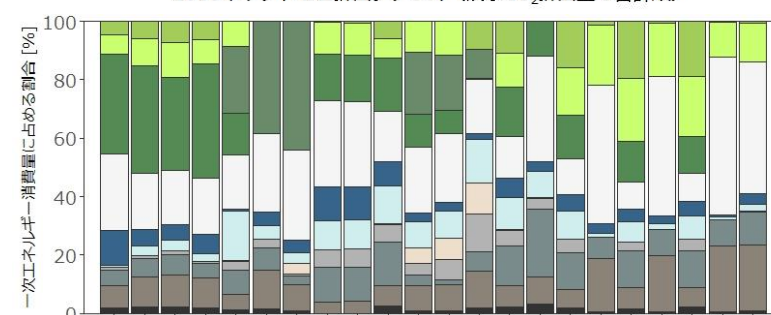
エネルギー需要
エネルギー供給
(電力)
エネルギー供給
(電力以外)
産業プロセス
土地利用

2050年ネットゼロ排出シナリオ (残余CO₂排出量の合計順)



BECCS(電力) CDR
BECCS(電力以外)
バイオマス (BECCS含む) ゼロ排出
バイオマス (BECCS除く)
再エネ (バイオマス (BECCS含む)以外)
原子力
ガス+CCS
石油+CCS
石炭+CCS
ガス 残余排出
石油
石炭

2050年ネットゼロ排出シナリオ (残余CO₂排出量の合計順)



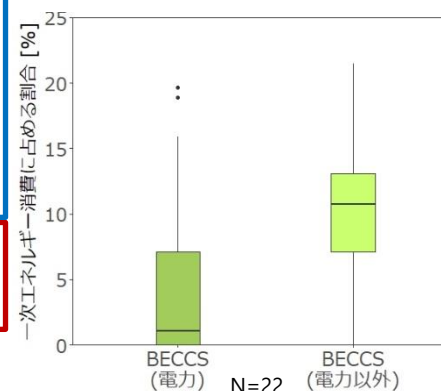
2050年ネットゼロ排出シナリオ (残余CO₂排出量の合計順)

残余する排出

- 一次エネルギーの合計ではなく CCSなしの化石燃料消費に由来
- すべてのシナリオにおいて、**CCSなしの化石燃料消費**は残っている (ばらつきは13%~36%)

二酸化炭素除去 (CDR)

想定されているのはBECCSだが、シナリオ間でばらつきがある



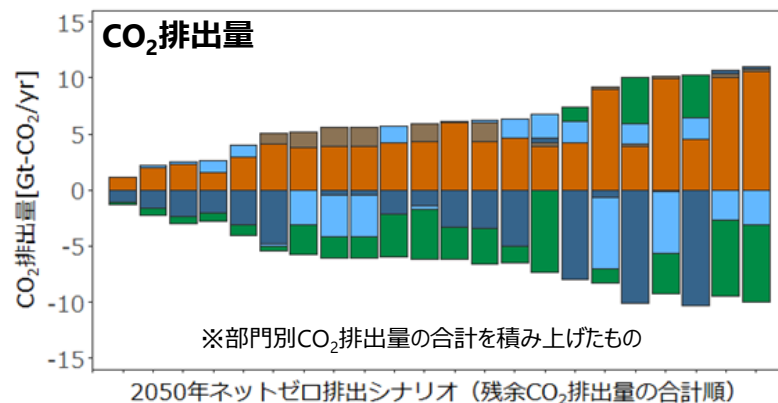
グラフ (箱ひげ図) の見方
データのばらつきを表現
ばらつき大: 箱・ひげが広い
ばらつき小: 箱・ひげが狭い
外れ値
中央値
25%ずつシナリオが含まれる

※ 一部のシナリオではBECCSを区分して報告していない。それらについては、バイオマス全体 (Primary Energy|Biomass) の数値を「バイオマス (BECCS含む)」とした
※ BECCSの比率のばらつきには、BECCSが区分できないシナリオは含まれていない

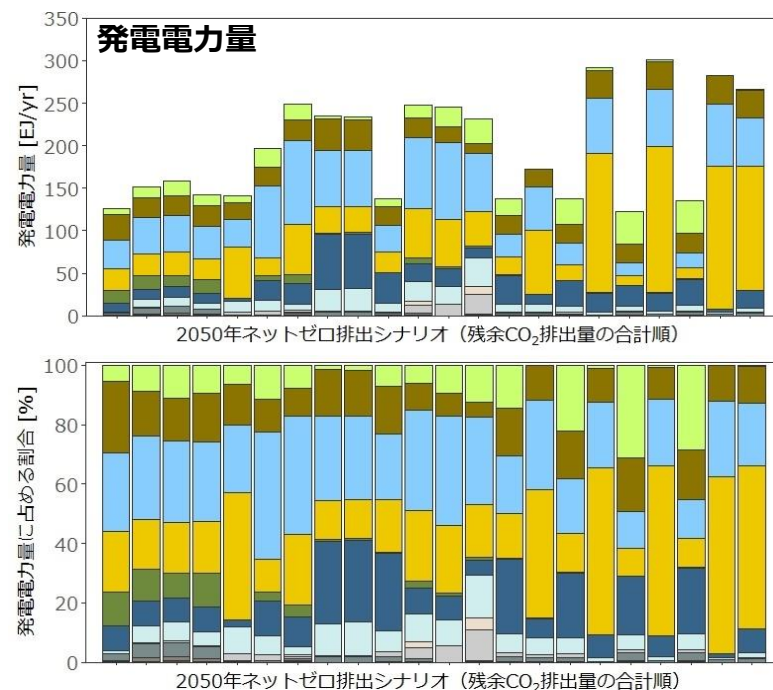
ネットゼロ排出達成時

発電電力量

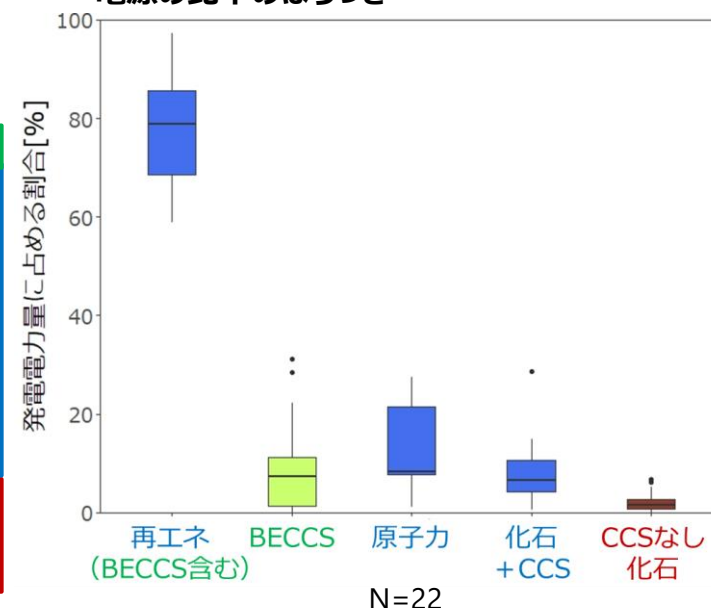
(世界全体)



- 電源構成はシナリオごとに様々
- ゼロ排出電源、CCSなし化石、BECCSの組合せ
- 再エネが大半だが、化石（CCSあり/なし）も一定割合を占める



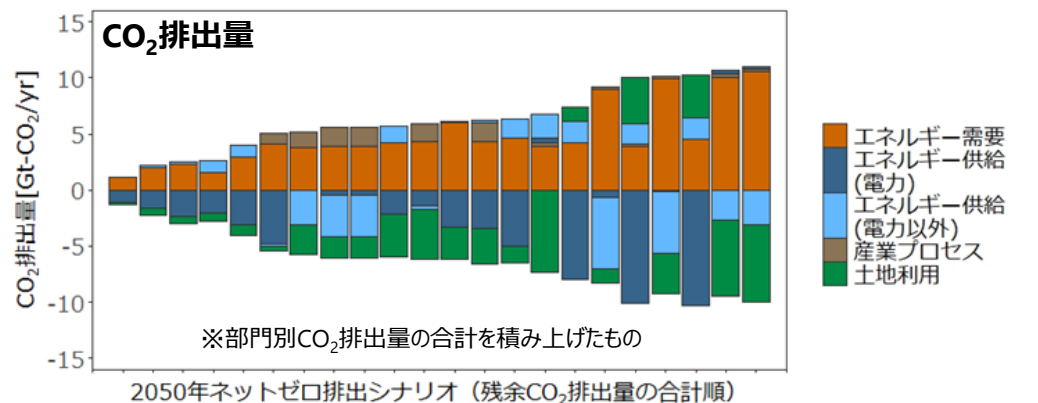
電源の比率のばらつき



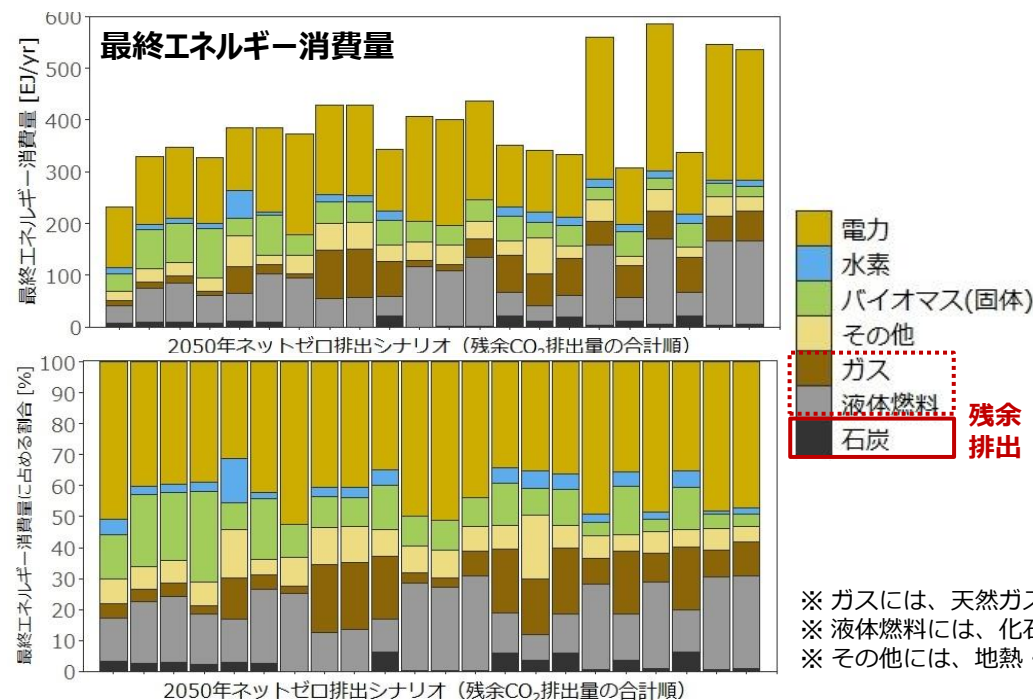
※ その他再エネには地熱・水力・海洋エネルギーが含まれる

最終エネルギー

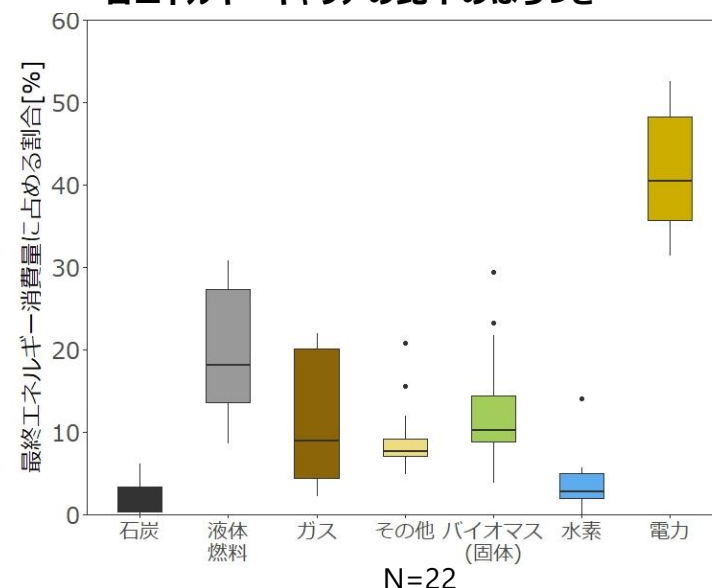
(世界全体)



- 残余する排出は**ガス・液体燃料の一部 (※)** と**石炭**に由来
- 最も主要なエネルギーキャリアは電力



各エネルギーキャリアの比率のばらつき



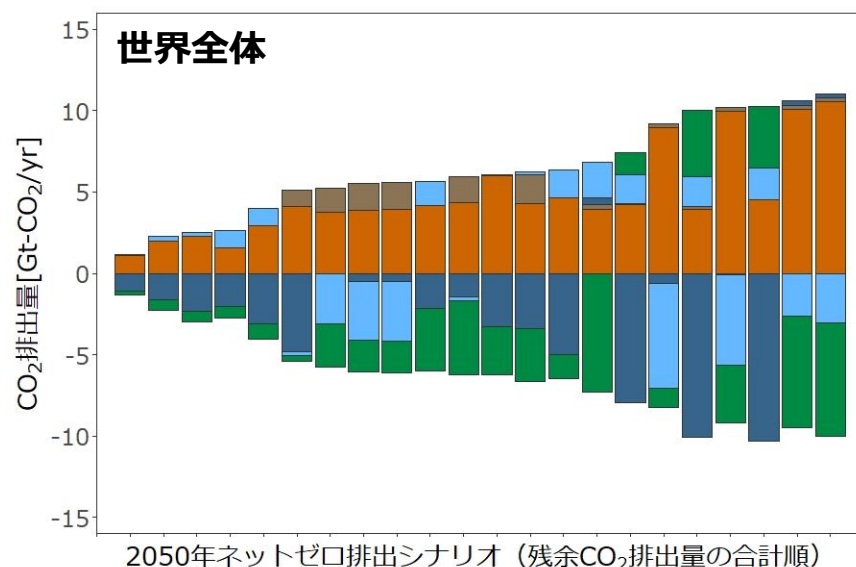
※ ガスには、天然ガス・バイオガスが含まれる (区分して報告されていないため)

※ 液体燃料には、化石燃料・バイオ燃料・合成燃料が含まれる (区分して報告されていないため)

※ その他には、地熱・太陽熱・熱が含まれる

CO₂排出・除去の量（先進国）

- 世界全体のネットゼロ排出達成時において、先進国のネット排出量は、プラスとなるシナリオも、マイナスとなるシナリオもある
- シナリオ数は限られるが、先進国だけをみても、**残余する排出**の量や内訳は様々

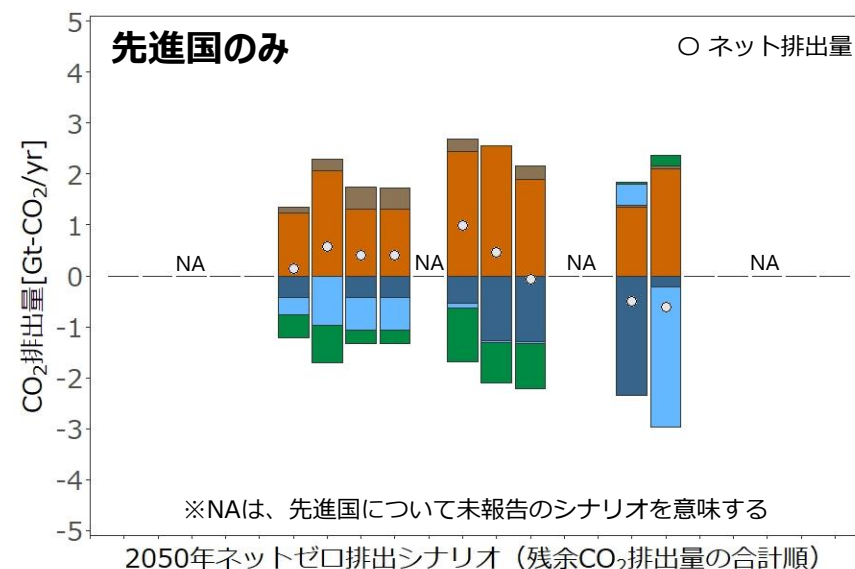


エネルギー需要

エネルギー供給
(電力)エネルギー供給
(電力以外)

産業プロセス

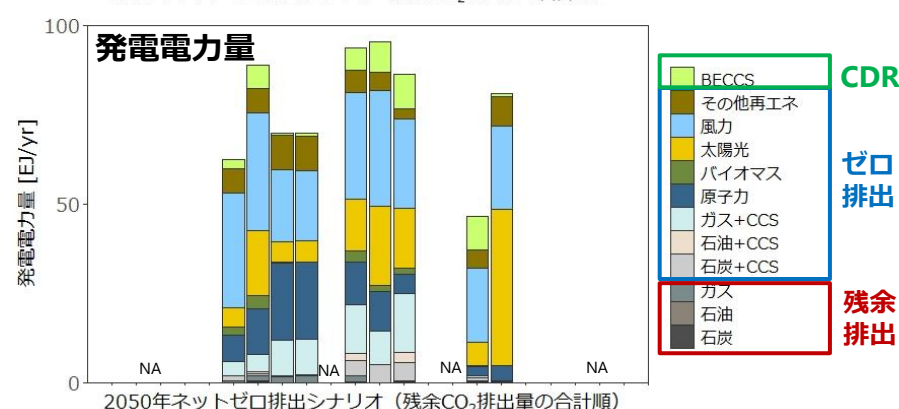
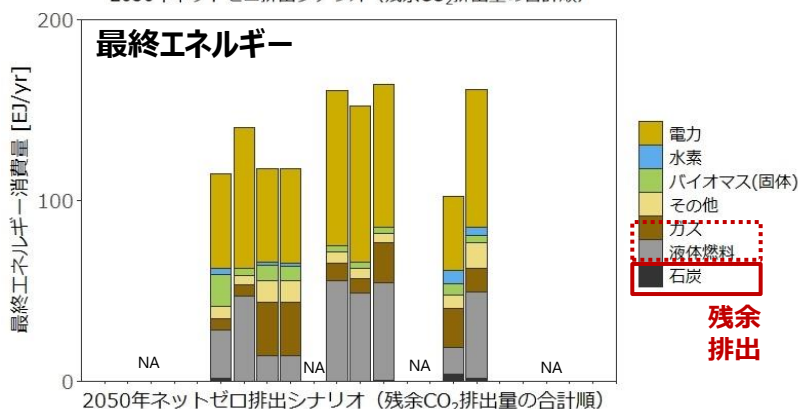
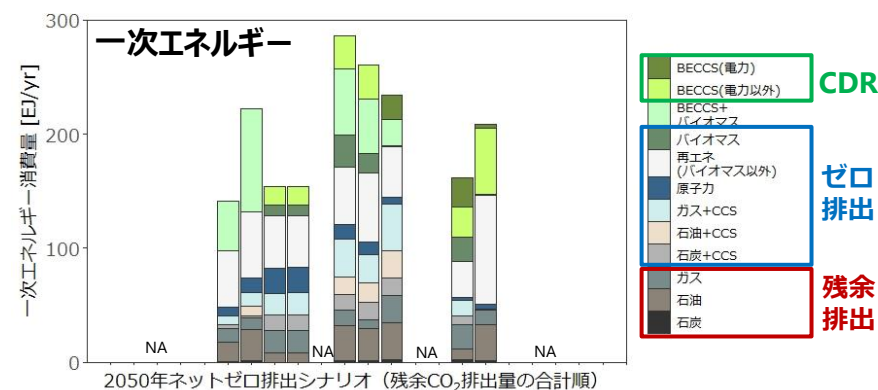
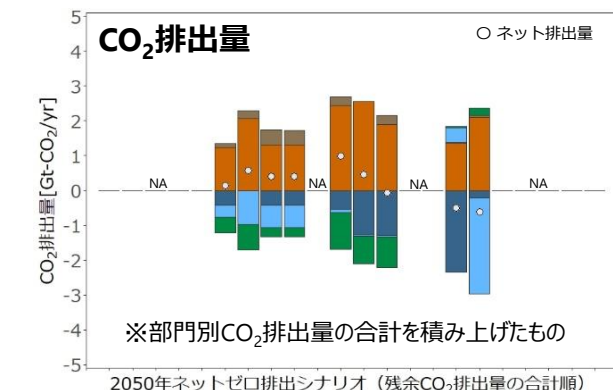
土地利用



なお、本報告における「先進国」は、SR15シナリオデータにおける「OECD90+EU」に含まれる国を指す（該当国のリストを補足資料に掲載）

エネルギー関連指標（先進国）

シナリオ数は限られるが、主な傾向は世界全体と概ね共通（下表参照）

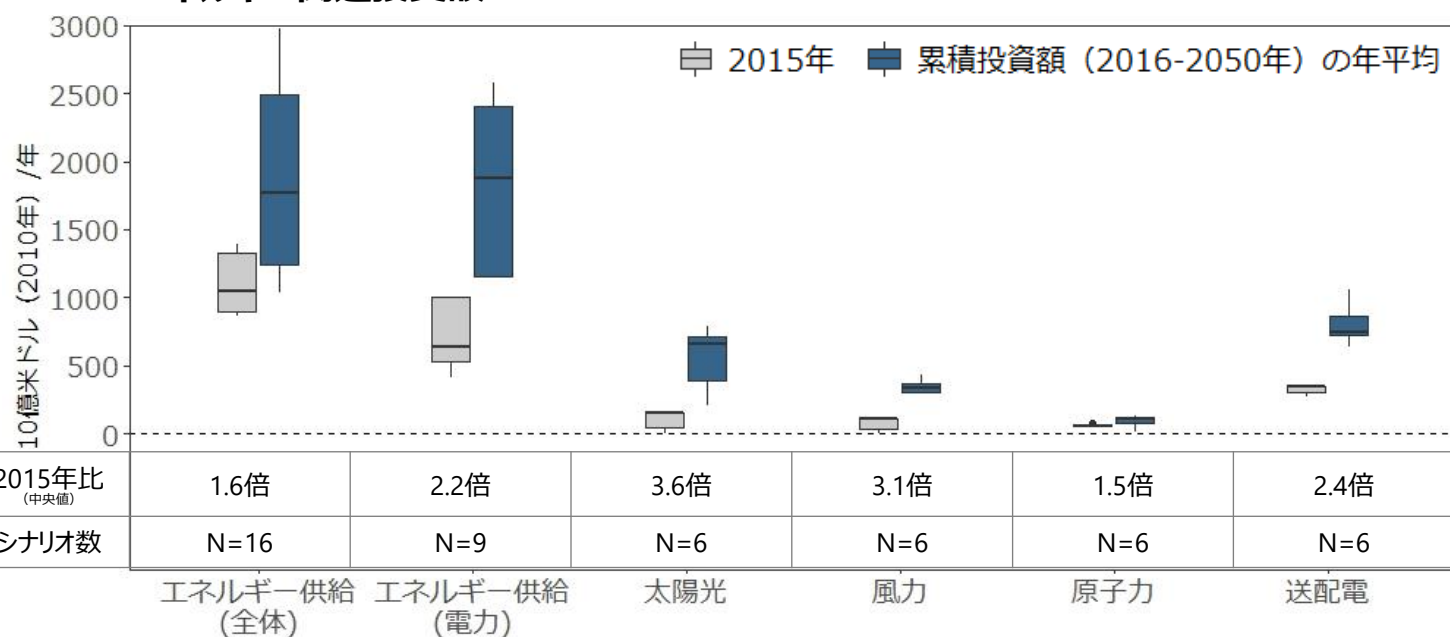


一次エネルギー	CCSなしの化石燃料消費が残る
発電電力量	ゼロ排出電源、CCSなし化石、BECCSの組合せ。ただし、電源構成は様々
最終エネルギー	残余する排出はガス・液体燃料の一部と石炭に由来。最も主要なエネルギーキャリアは電力

エネルギー関連投資と限界削減費用

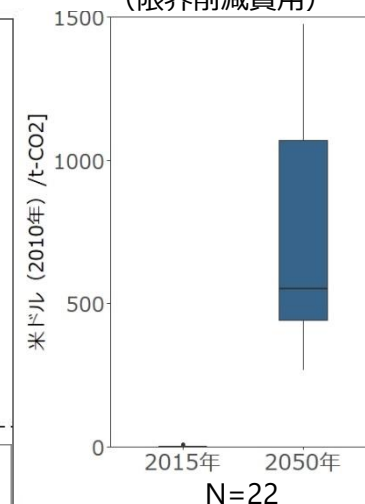
- SR15は、エネルギー関連投資額や炭素価格（※）を参照し、温度上昇をより低く抑えるには、より投資が必要となり、限界削減費用は上昇することを示した
- 「2050年ネットゼロ排出シナリオ」でも、エネルギー関連投資は**これまでよりも増加**し、限界削減費用は**上昇**する

エネルギー関連投資額



炭素価格

(限界削減費用)



※シナリオ分析における炭素価格とは、一般的に、限界削減費用と解釈される

※上記のグラフの項目は、複数の機関のシナリオから報告されているものを抽出

JMIPにおける 「2050年ネットゼロ排出シナリオ」 —日本におけるモデル間比較の一例—

JMIPとは

Japan Model Intercomparison Project on Long-term Climate Policy (2017-2020)

- 国内の諸機関が運用する5つのモデルにより、日本の長期気候政策を評価
- 数年を掛けて、人口や経済の想定をモデル間で調整し、シナリオ分析を実施
- 2050年80%削減を中心に、感度解析として90%削減やネットゼロ排出も分析
- 成果は学術論文として公表されており、またシナリオデータも公開されている

	AIM/Enduse-Japan 京都大学	AIM/Hub-Japan 京都大学 国立環境研究所 地球環境戦略研究機関	DNE21 東京大学	IEEJ_Japan 日本エネルギー経済 研究所	TIMES-Japan エネルギー総合工学 研究所
モデルタイプ	逐次動学 部分均衡	逐次動学 一般均衡	完全予見 部分均衡	完全予見 部分均衡	完全予見 部分均衡
80%削減	○	○	○	○	○
90%削減	○	○	○	X	X
ネットゼロ	X	○	○	X	X

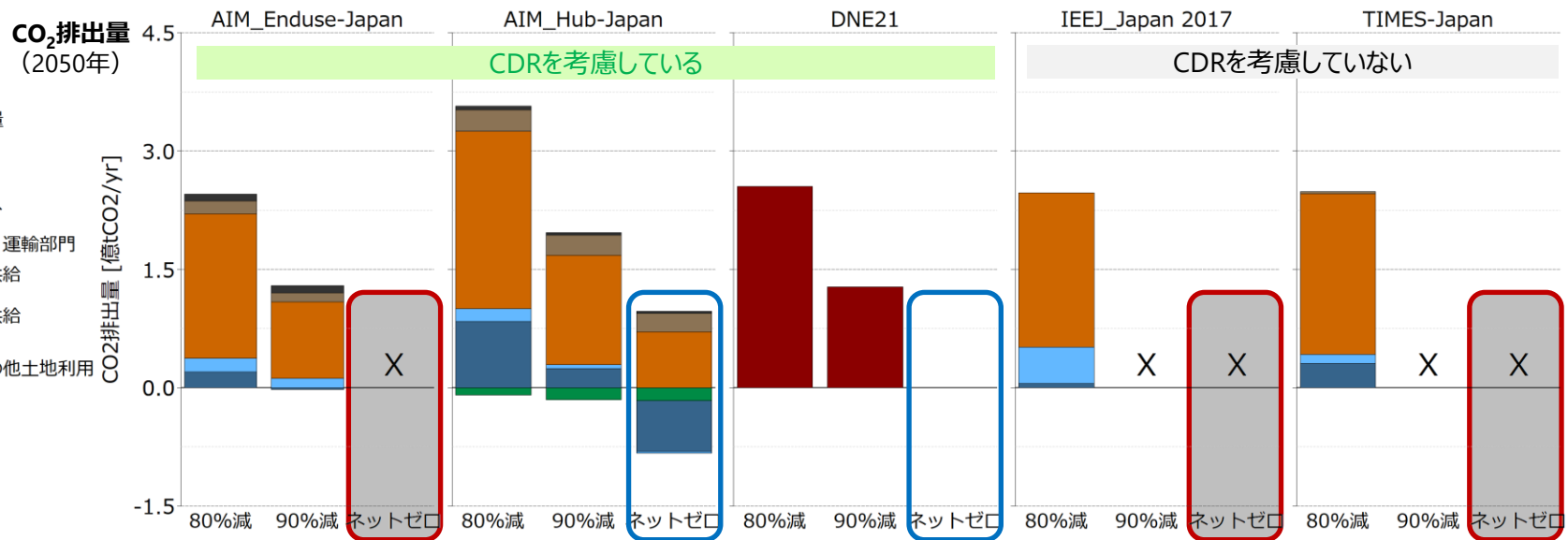
○：解あり X：解なし

Sugiyama, M., Fujimori, S., Wada, K., Oshiro, K., Kato, E., Komiyama, R., ... & Ju, Y. (2021). EMF 35 JMIP study for Japan's long-term climate and energy policy: scenario designs and key findings. Sustainability science, 16(2), 355-374. <https://doi.org/10.1007/s11625-021-00913-2>

Sugiyama, M., Fujimori, S., Wada, K., & Weyant, J. (2021). Introduction to the special feature on energy scenarios for long-term climate change mitigation in Japan. Sustainability Science, 16(2), 347-353. <https://doi.org/10.1007/s11625-021-00931-0>

JMIPシナリオデータの分析結果

- ネットゼロ排出の分析では、**CDRを考慮したモデルのみで解が得られた**
- ただし、CDRを考慮していても **解が得られなかったモデルもある**
 - 国内における、CO₂貯留量やバイオエネルギーの利用可能性の制約によるものと分析されている (Shiraki et al. 2021)



注：DNE21は部門別のCO₂排出量を報告していないため、総CO₂排出量のみを表示

JMIP データベース <https://doi.org/10.5281/zenodo.4817656>

Shiraki, H., Sugiyama, M., Matsuo, Y., Komiyama, R., Fujimori, S., Kato, E., ... & Silva, D. H. (2021). The role of renewables in the Japanese power sector: implications from the EMF35 JMIP. Sustainability Science, 16(2), 375-392. <https://doi.org/10.1007/s11625-021-00917-y>

なお、後続のプロジェクトでは、ネットゼロ排出シナリオの検討が進められている (BECCS・DACCS等のCDRを新たに考慮するなど、モデルの更新も行われている)

まとめ

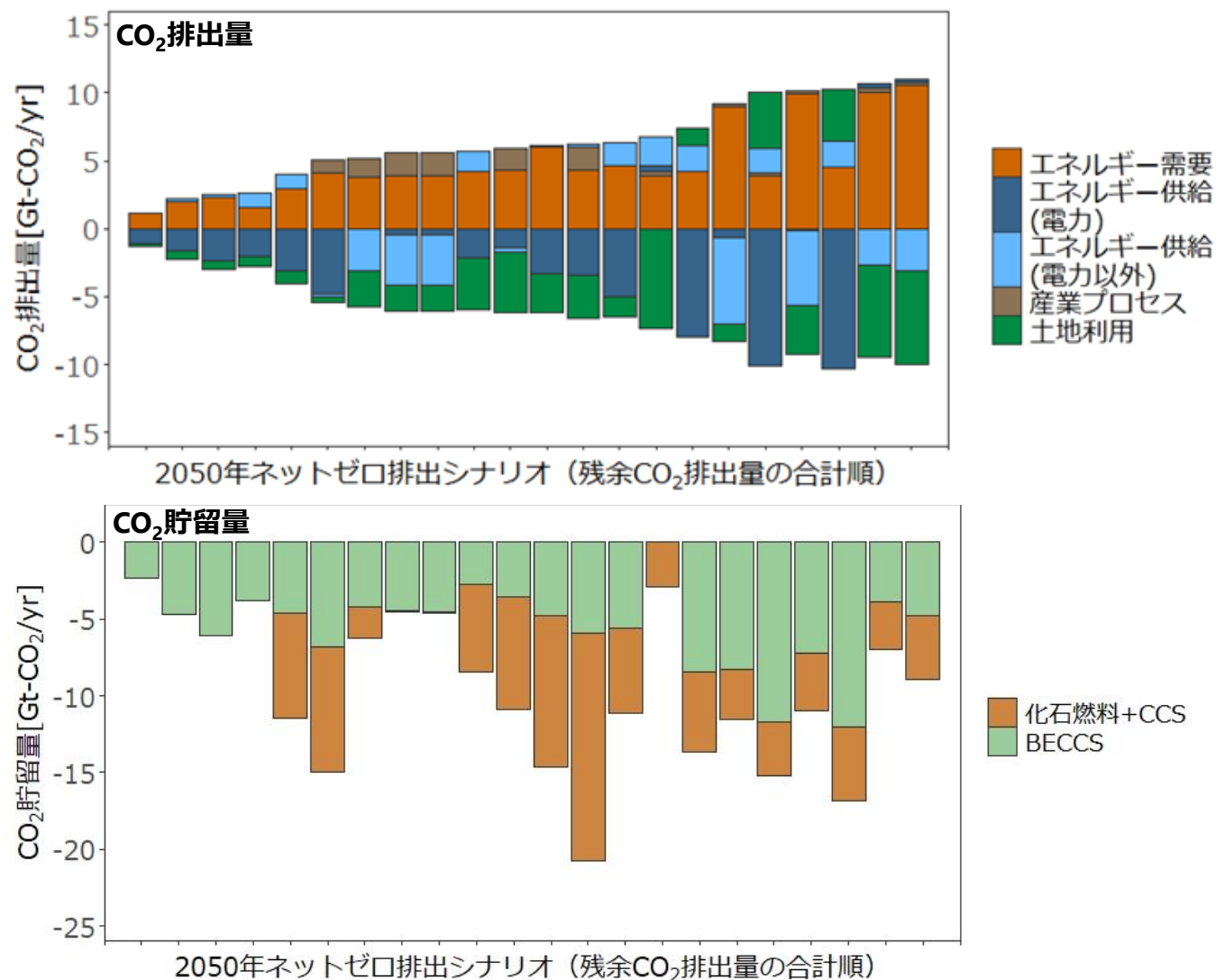
- 公開されているSR15やJMIPのシナリオデータを用いて「2050年ネットゼロ排出シナリオ」を分析した（シナリオデータの公開は、透明性の確保を目的としており、これにより提出者以外でもシナリオデータの分析が可能）
- SR15シナリオデータにおける「2050年ネットゼロ排出シナリオ」（22本）では、ネットゼロ排出達成時の態様は一樣ではなく、ばらつきがあった。ただし、いくつかの共通する傾向も確認された

エネルギー	一次エネルギー：CCSなしの化石燃料消費が残る 発電電力量：ゼロ排出電源、CCSなし化石、BECCSの組合せ 最終エネルギー：残余する排出はガス・液体燃料の一部と石炭に由来 最も主要なエネルギーキャリアは電力
投資額 限界削減費用	エネルギー関連投資額はこれまでよりも増加 限界削減費用は上昇する

- 2021-22年にかけて公表予定のIPCC第6次評価報告書や、国内のモデル比較プロジェクトを通じて、ネットゼロ排出の実現に向けた道筋や技術オプション等について、さらに知見が深まることが期待される

補足資料

CO₂貯留量 (SR15)



CO₂貯留量 (JMIP)



SR15シナリオデータの地域区分

SR15シナリオデータでは、世界を下記の5地域に分けて報告することとなっている

地域区分	概要
OECD90+EU	Includes the OECD 1990 countries as well as EU members and candidates.
REF	Countries from the Reforming Economies of the Former Soviet Union.
ASIA	The region includes most Asian countries with the exception of the Middle East, Japan and Former Soviet Union states.
MAF	This region includes the countries of the Middle East and Africa.
LAM	This region includes the countries of Latin America and the Caribbean.

IPCC SR1.5 Scenario Database

<https://db1.ene.iiasa.ac.at/IPCCSR15DB/dsd?Action=htmlpage&page=about>