

化石燃料ゼロへのエネルギーシステム転換

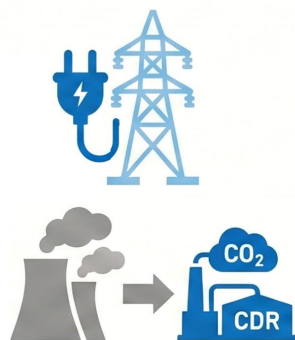
—脱炭素化と脱化石燃料化の違いを定量評価—

概要

国際情勢の緊張感の高まりなどを背景に、気候変動対策に加えエネルギー安全保障の観点からも化石燃料依存の見直しが重要な課題となっています。気候変動に関する政府間パネル (IPCC) の最新報告書では、二酸化炭素除去 (CDR) を前提に一定の化石燃料利用を継続する将来像が描かれており、その完全廃止に向けた経路は、まったく検討されていませんでした。そこで、京都大学大学院工学研究科 森翔太郎 助教、藤森真一郎 同教授、北海道大学大学院地球環境科学研究院 大城賢 准教授、国際応用システム分析研究所 (オーストリア) からなる研究グループは、複数のシミュレーションモデルを用いて、化石燃料完全廃止に向けたエネルギーシステム転換と、その機会・課題を定量的に分析しました。本研究の結果、2050年までの化石燃料完全廃止には、発電電力量を従来の脱炭素化シナリオ比で約1.6~1.8倍に拡大する必要がある一方、CDR依存を低減できるといった利点も明らかとなりました。このように、脱炭素化と脱化石燃料化は必ずしも同一の経路を辿らないため、化石燃料の完全廃止を目指すべきかについては、その機会・課題を踏まえた慎重な検討が必要であるといえます。本成果は、2026年5月18日10時(ロンドン時間)に、国際学術誌「*Nature Communications*」にオンライン掲載されました。

脱化石燃料化に必要なエネルギーシステムの変容

従来の脱炭素化



化石燃料を一部継続
+
二酸化炭素除去 (CDR)

脱化石燃料化 (完全廃止)



必要な発電電力量は「1.6~1.8倍」に

水素・合成燃料による「間接電化」

CDRへの依存を低減

さらなる投資拡大・行動変容

(作成：森翔太郎、NotebookLM)

1. 背景

今世紀末の気温上昇を 1.5°Cに抑制するためには、エネルギーシステムにおける化石燃料の急速な削減が不可欠です。近年、気候変動対策に加え、エネルギー安全保障の観点からもその重要性が高まっており、2023年の第28回国連気候変動枠組条約締約国会議（COP28）では、化石燃料からの脱却（transitioning away）が合意され、化石燃料の段階的廃止（phase-out）に向けた国際的な議論が大きく進展しました。これまで、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の第6次評価報告書（第三作業部会）に代表されるシナリオ研究では、1.5°C目標を達成するために、再生可能エネルギーによる直接電化を中心としつつ、排出削減が困難な部門（hard-to-abate sectors）からの残余CO₂排出は、二酸化炭素回収・貯留（CCS: Carbon Capture and Storage）や二酸化炭素除去（CDR: Carbon Dioxide Removal）^{<用語解説 1>}によって相殺する経路が示されてきました。しかし、これらのシナリオでは依然として一定程度の化石燃料消費が残されており、化石燃料を完全廃止（full phase-out）する、いわゆる脱化石燃料エネルギーシステムに至る具体的なエネルギー転換のあり方は明らかにされていませんでした。脱化石燃料化（Defossilization）^{<用語解説 2>}は、排出削減が困難な部門における化石燃料消費も含めて完全に排除することを意味し、従来の脱炭素化（Decarbonization）^{<用語解説 3>}とは大きく異なるエネルギー転換を必要とすることが予想されます。こうした背景から、脱化石燃料化の実現に向けた経路と、それに伴う課題および機会を明らかにすることは重要な課題であるといえます。

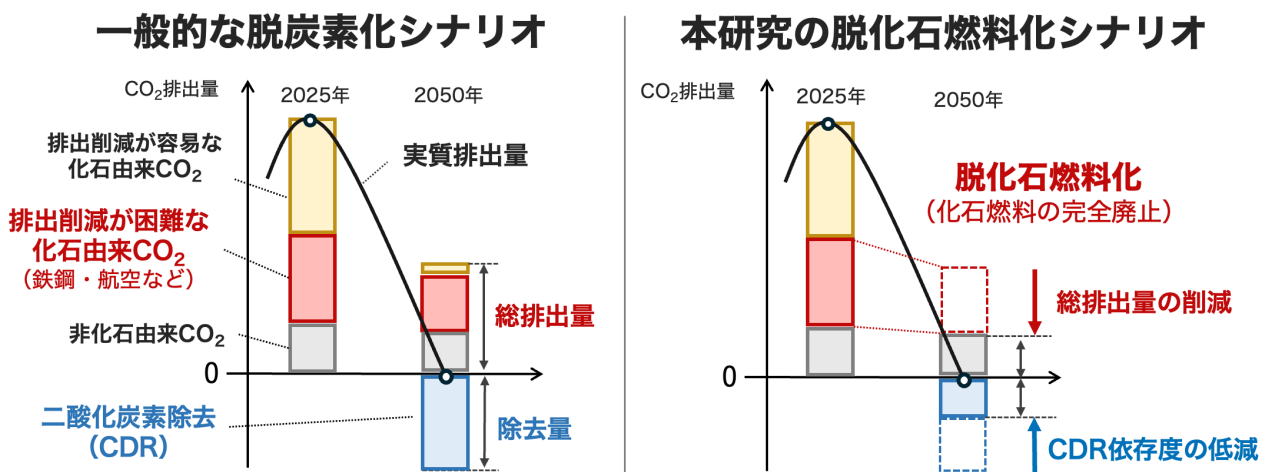


図1 脱炭素化シナリオおよび脱化石燃料化シナリオのイメージ

2. 研究手法・成果

本研究では、京都大学・北海道大学と国際応用システム分析研究所が開発する2つのシミュレーションモデルを用いてシナリオ分析を行いました。これらは、将来の人口、経済成長、技術の進展（効率・コスト等）を入力条件として、CO₂排出量、エネルギー需給、エネルギー技術の導入量および費用を推計するものです。本研究では、脱化石燃料化を石炭・石油・天然ガスの一次供給がゼロとなる状態と定義し、その目標年を2050年から2100年まで段階的に設定して、エネルギー転換の道筋を分析しました。さらに、CDRを前提に化石燃料の利用を一部継続する従来の脱炭素化シナリオと比較しました。主要な分析結果は以下の通りです。

■ エネルギー需要側の変容

化石燃料の完全廃止は、再生可能エネルギー電力による直接電化に加え、直接電化が困難な産業・運輸部門における水素・アンモニア・合成燃料（e-fuel）を用いた間接電化によって達成されます。

■ エネルギー供給側の変容

2050年に脱化石燃料化を達成するシナリオでは、需要側の電化を支えるため、発電電力量を従来の脱炭素化シナリオ比で1.6~1.8倍に拡大する必要があることが示されました。これには、太陽光・風力発電の急速な普及に加え、水素製造のための電解装置の大規模導入が不可欠となります。

■ 脱化石燃料化に伴う課題と機会

脱化石燃料化シナリオでは、多大なエネルギー投資の必要性や再生可能エネルギーの急速な導入、需要転換に伴うライフスタイルの変化といった、従来の脱炭素化シナリオにおける課題が一層増幅されることが示されました。一方で、脱化石燃料化に伴う副次的な機会として、CCSやCDRへの依存度を低減できるほか、今世紀末の気温上昇を1.5°Cに抑制する可能性を高めることが示されました。

これらの結果は、脱化石燃料化が従来の脱炭素化とは異なるエネルギー転換を必要とし、追加的な負担と利点の両面を持つことを明らかにしました。化石燃料の完全廃止を目指すかどうかについては、これらの課題と機会を踏まえ、エネルギー投資や技術導入、社会受容性を含めた総合的な観点から検討することが重要です。

3. 波及効果、今後の予定

本研究は、脱炭素化と脱化石燃料化が異なる経路であることを明示し、IPCCの次期評価報告書に向けた国際的な議論や、各国の気候政策立案に重要な示唆を与えます。とりわけ、化石燃料完全廃止は1.5°C目標達成に必須ではない一方で、固有の利点を有することが示されました。今後は、鉄鋼・化学など脱化石燃料化が困難な部門に焦点を当てた詳細分析や、化石燃料輸出国を含む地域別の公正な移行への影響分析が期待されます。

4. 研究プロジェクトについて

本研究は、国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）先端国際共同研究推進事業（ASPIRE）「世界規模エネルギーシステムモデルの開発及びそれを用いた革新的なエネルギー技術評価と脱炭素エネルギーシステムの提示」（JPMJAP2331）、同次世代研究者挑戦的研究プログラム（SPRING）（JPMJSP2110）、欧州連合（EU）の研究・イノベーションプログラム「Horizon Europe」（101137582、101183367）および公益財団法人住友電工グループ社会貢献基金の支援を受けて実施されました。

<用語解説>

- 1) 二酸化炭素除去（CDR：Carbon Dioxide Removal）：人為的に大気中のCO₂を除去し、長期的に貯留する技術や取り組み。
- 2) 脱化石燃料化（Defossilization）：化石燃料の利用を段階的に廃止していく取り組み。
- 3) 脱炭素化（Decarbonization）：温室効果ガス排出を削減していく取り組み。

<研究者のコメント>

脱炭素化と脱化石燃料化は、気候変動対策の文脈において、しばしば同一視されているように感じます。本研究は仮想的なシナリオ分析ではありますが、化石燃料を完全に廃止する脱化石燃料化シナリオと、その利用を一部継続する脱炭素化シナリオの比較を通じて、気候政策の最終的な目標がどこにあるべきかを考える材料を提供できればと思います（森翔太郎）。

<論文タイトルと著者>

タイトル：Challenges and opportunities of the full phase-out of fossil fuels under the 1.5° C goal
(1.5°C目標達成に向けた化石燃料の完全廃止の課題と機会)

著者：Shotaro Mori, Siddharth Joshi, Volker Krey, Ken Oshiro, Oliver Fricko, Takuya Hara, Shinichiro Fujimori

掲載誌：*Nature Communications* DOI：10.1038/s41467-026-72841-7

<研究に関するお問い合わせ先>

森 翔太郎（もり しょうたろう）

京都大学大学院工学研究科 都市環境工学専攻 大気熱環境工学分野 助教

TEL：075-383-3369

E-mail：mori.shotaro.2n@kyoto-u.ac.jp

X：@shotaromoKU

藤森 真一郎（ふじもり しんいちろう）

京都大学大学院工学研究科 都市環境工学専攻 大気熱環境工学分野 教授

TEL：075-383-3367

E-mail：fujimori.shinichiro.8a@kyoto-u.ac.jp

X：@sfujimori1122, @Fujimorilabo_KU

Facebook：https://www.facebook.com/fujimorilab.ku/

<報道に関するお問い合わせ先>

京都大学 広報室 国際広報班

TEL：075-753-5729 FAX：075-753-2094

E-mail：comms@mail2.adm.kyoto-u.ac.jp

北海道大学 社会共創部 広報課

TEL：011-706-2610 FAX：011-706-2092

E-mail：jp-press@general.hokudai.ac.jp

科学技術振興機構 広報課

TEL：03-5214-8404 FAX：03-5214-8432

E-mail：jstkoho@jst.go.jp

<JST 事業に関するお問い合わせ先>

荒川 敦史（あらかわ あつし）

科学技術振興機構 国際部 先端国際共同研究推進室

TEL：03-6261-1994 FAX：03-5214-7379

E-mail：aspire@jst.go.jp

< 参考図表 >

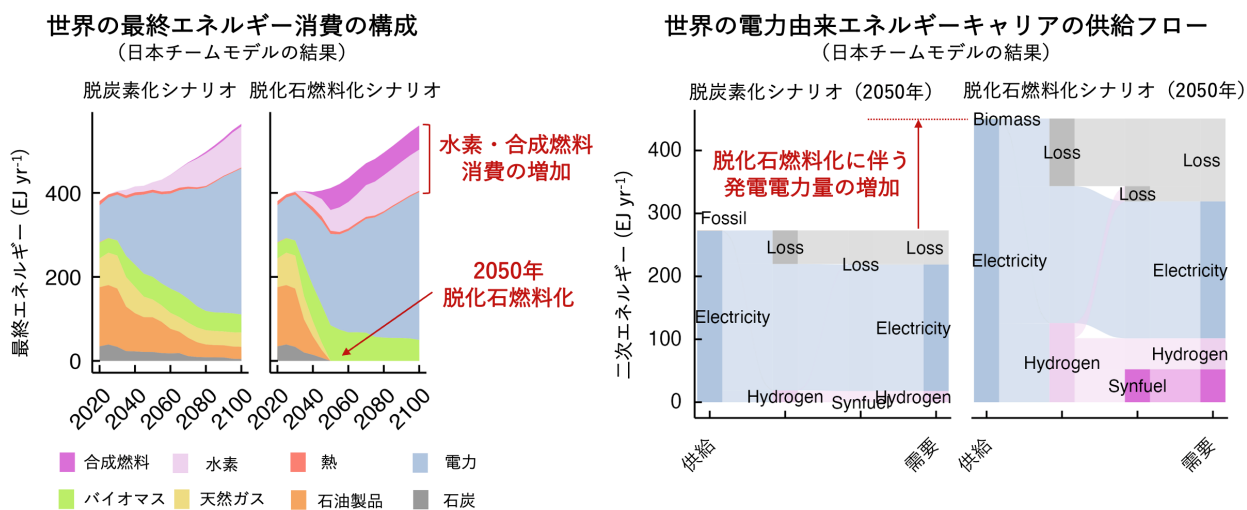


図 脱炭素化シナリオおよび脱化石燃料化シナリオにおける世界の最終エネルギー消費構成 (左)、電力由来のエネルギーキャリアの供給フロー (右)