

国立国会図書館 調査及び立法考査局

Research and Legislative Reference Bureau
National Diet Library

論題 Title	脱炭素技術の社会実装のための論点—問題提起への補論—
他言語論題 Title in other language	Issues for Social Implementation of Decarbonization Technologies: Addendum to the Issues Raised
著者 / 所属 Author(s)	岸本 充生 (KISHIMOTO Atsuo) / 大阪大学データビリティ フロンティア機構教授・国立国会図書館客員調査員
書名 Title of Book	2050年カーボンニュートラルの実現に向けた脱炭素技術の 課題と展望 科学技術に関する調査プロジェクト報告書 (Issues and Prospects of Decarbonization Technology to Achieve Carbon Neutrality by 2050)
シリーズ Series	調査資料 2022-4 (Research Materials 2022-4)
編集 Editor	国立国会図書館 調査及び立法考査局
発行 Publisher	国立国会図書館
刊行日 Issue Date	2023-02-27
ページ Pages	—
ISBN	978-4-87582-903-4
本文の言語 Language	日本語 (Japanese)
摘要 Abstract	パネルディスカッションの補論として、脱炭素技術の社会 実装における規制の役割、ネガティブ・エミッション技術の ジレンマ及び気候変動における AI の役割について述べる。

* この記事は、調査及び立法考査局内において、国政審議に係る有用性、記述の中立性、客観性及び正確性、論旨の明晰（めいせき）性等の観点からの審査を経たものです。

* 本文中の意見にわたる部分は、筆者の個人的見解です。

脱炭素技術の社会実装のための論点—問題提起への補論—

大阪大学データリテリフロンティア機構教授
国立国会図書館客員調査員
岸本 充生

I はじめに

脱炭素技術をエマージングテクノロジーとして捉え、その社会実装を検討する上で、本シンポジウムでは問題提起として5つの論点を挙げた。1点目は脱炭素技術の研究開発の進め方に関するものである。すなわち、技術を研究開発し、社会実装するために、どんな技術にどのように公的資金を投入し、どのような人材を育成するかについてである。2点目は社会実装における規制の役割である。新規技術を社会実装するに当たって、既存の規制を緩和したり、新たな規制を制定したりする必要がある中で、イノベーションを進めていくという文脈の中で規制の在り方を変えていく必要があるのではないかという点である。3点目は技術開発の上流段階から社会実装の下流段階まであらゆる局面において市民参加が必要とされてきている点である。これは特にインフラ関連技術になると重要性を増す。また、迷惑施設になるか歓迎施設になるかを定める要素の1つでもある。4点目は安全保障の側面である。特に経済安全保障の観点からサプライチェーンを見直したり、軍事用途を含むデュアルユースの可能性を検討したりする必要がある。5点目は、脱炭素という観点からのアセスメントの視点であり、国際標準化、規格、第三者認証や監査などの仕組みの整備が挙げられる。今回のシンポジウムで十分に議論ができなかった部分もあるため、本稿において改めて取り上げたい。

最初に、2点目の規制の役割について深掘りする。次にネガティブ・エミッション技術に焦点を当て、そのジレンマに焦点を当てる。そして最後に、本シンポジウムでは取り上げなかった、気候変動におけるAIの持つ2つの側面について述べる。

II 規制とイノベーションの関係の見直し

1 規制なくしてイノベーションなし

新しい技術を社会実装しようとする際に、既存の規制が障害となり、イノベーションが起こらないというケースが過去には多く問題になった。そのため、既得権益とも結びつけられる、いわゆる岩盤規制を打ち破るための規制緩和が事業者から望まれることが多かった。例えば、遠隔（オンライン）診療は技術の進展に遅れる形で少しずつ規制緩和されてきた。また、国家戦略特区の制度は規制緩和のための突破口として活用された。

他方、新しい技術に対して十分な規制の枠組みがないことから事故や事件につながってしまうケースも見られた。例えば、自由診療の下で実施された幹細胞治療によって死亡事故が起きたり、効果が不明な治療が横行したりしたため、2013年に再生医療等安全性確保法（「再生医

* 本稿におけるインターネット情報の最終アクセス日は、令和5（2023）年1月16日である。

療等の安全性の確保等に関する法律」平成 25 年法律第 85 号)などが成立することで、規制が導入された。また、ドローンが安価になり誰でも入手できるようになったことを契機として、2015 年、首相官邸の屋上でドローンが発見されるという事件が発生した。この事件を契機として、航空法（昭和 27 年法律第 231 号）が改正され、無人航空機（ドローン）の定義及び無人航空機の飛行ルールが定められることになった。このように、規制は、新規技術の社会実装を妨げる「取り除くべき障害」ではなく、社会実装を推進するために不可欠なインフラの 1 つとしての側面も浮上してきた⁽¹⁾。脱炭素技術にも後者の側面が当てはまる例が多い。例えば、洋上風力発電技術については、長期にわたって海域を占有する必要がある、また先行利用者との調整が必要であるにもかかわらず、当時、そのための統一的ルールや枠組みもなかったため、洋上風力発電設備の整備が進まないという課題があった。そこで、2018 年、海洋再生可能エネルギー発電設備の整備に係る海域の利用の促進に関する法律（平成 30 年法律第 89 号）が制定され、これらの課題が解決され、洋上風力発電の導入が始まった。

2 ワンストップショップの設置

水素ステーションの建設・普及のために見直すべき規制の範囲は、材料、立地、運営、輸送と多岐にわたる。2017 年に世界初の国家レベルでの水素戦略を策定したものの、国内法規制一元化を求める声は強い。二酸化炭素回収・貯留（CCS）は、回収と輸送に加え、貯留のためのサイト選定・探査、建設、操業、そして閉鎖に至るまでのライフサイクルを想定した規制が必要になる。先にも取り上げた洋上風力発電も、経済産業省と国土交通省が実施した関連規制の総点検においては関連法令が 8 つ挙げられており、事業者からは審査の一本化の要望が出ている⁽²⁾。このように、脱炭素技術は、サプライチェーンが広範になったり、ライフサイクルにおける管理が必要になったりすることが多く、対応すべき法規制が複雑化し、所管官庁をまたぐものが多い。

こうした課題に対応するために、規制当局の窓口を 1 つにすること（ワンストップショップ）が求められる。英国で 2019 年に公表された報告書「第四次産業革命のための規制についての白書」では、イノベティブなビジネスは、複数の規制当局から承認を得る必要があることも多く、費用と時間を費やすため、複数の規制当局からなる「ヴァーチャル規制当局グループ」を設置することを提案している⁽³⁾。例えば、シェールガス業界の環境規制のための単一窓口として、ヴァーチャルシェール環境規制当局グループを設置したという。

Ⅲ ネガティブ・エミッション技術の倫理

1 救世主か無謀で不公正な賭けか

ネガティブ・エミッション技術（NET）は、気候工学の 1 つと分類されることもあるが、倫

(1) 岸本充生「規制とイノベーションの新しい関係—障害物から推進力へ—」2022.1.28. 東京財団政策研究所ウェブサイト <<https://www.tkfd.or.jp/research/detail.php?id=3911>>

(2) 経済産業省・国土交通省「洋上風力に関する各種規制・規格の総点検について」（第 3 回洋上風力の産業競争力強化に向けた官民協議会作業部会 資料 7）2021.4.1. 国土交通省ウェブサイト <https://www.mlit.go.jp/kowan/kowan_tk6_000059.html>

(3) Department for Business, Energy, and Industrial Strategy, “Regulation for the Fourth Industrial Revolution: White Paper,” CP 111, June 2019. <<https://www.gov.uk/government/publications/regulation-for-the-fourth-industrial-revolution>> なお、ヴァーチャルシェール環境規制当局グループは、シェールガス採掘のモラトリアム（一時中断）中であるため、2023 年 1 月時点では活動を休止している。

理的な観点からは共通する点と異なる点が存在する。太陽放射管理 (SRM)⁽⁴⁾についてはそのリスクトレードオフや倫理的観点 (モラルハザード)、グローバルガバナンスなどが比較的議論されているのに対して、NET についての議論はまだ多くない。両者の最大の違いは、SRM は「脱炭素」技術ではないが、NET は文字どおり「脱炭素」技術であることである。しかしともに、緩和策の取組を遅らせるモラルハザードが指摘されるという共通点がある。

2015年に「パリ協定」が採択されたことを受けて、アンダーソンとピーターズは、NET の大規模な使用が想定されていることに対して、NET の実現可能性に依存しすぎることを「不当で高額な賭け」と表現し、批判した⁽⁵⁾。すなわち、約束された規模で実現できない現実的なリスクがあるにもかかわらず、本当は必要な緩和策の実施を先送りしながら、表面的にはパリ協定を履行していることが可能になるのである。同様に、ファスラムも「賭け」に相当することを強調した⁽⁶⁾。他方、ラックナーは、上記のような見立ては、NET を敬遠し、気候変動の緩和と改善のためのポートフォリオから、潜在的に重要な選択肢を排除することにつながると批判した⁽⁷⁾。NET を救命胴衣に例えて、「救命胴衣を投げることは、被害者の泳ぎ方を学ぶ意欲を減退させるかもしれないが、それを差し控えるよりは好ましいことである。」と述べた。

2 倫理学者の関与

レンツイらは、Nature 誌のコメンタリー「倫理的分析なしにネガティブ・エミッション技術を展開してはならない」において、NET について、倫理学者の気候科学への関心の低さと気候モデラーの倫理への関心の低さが合わさることで、これまで倫理面の議論がほとんどなされていないことを指摘した⁽⁸⁾。その上で、このことは3つの帰結をもたらしかねないことを指摘した。1点目は政策立案者が誤った期待を抱くこと (モラルハザードを引き起こすこと) である。政治家らが、今炭素を排出し、後でそれを回収することは容認できると考えた場合、現実の世界ではよりリスクを取り、緩和を妨害する可能性がある。2点目はスケールアップできないかもしれない技術を中心に気候政策を設計することによってリスクが高まることである。将来世代に対する危険な賭けとも言える。3点目は想定される規模でネガティブ・エミッションを実施することは、控えめに言っても野心的であるという点である。こうした点を踏まえた上で、排出量削減のためのシナリオの開発やモデル化、評価には倫理学者が最初から関与する必要があること、さらには気候科学コミュニティへ倫理学者を始めとする多様なステークホルダーが関与することを呼び掛けた。

また、レンツイは、NET はリスクがないわけではないが、気候変動に対する最小限の公正な対応策の一部にはなり得るとした上で、その際、温暖化を 1.5°C に抑えることは、気候への影響は小さいが NET のリスクは大きいというジレンマ、2°C に抑えることは、NET の必要性は小さいが気候への影響は大きいというジレンマがあるということも指摘している⁽⁹⁾。

(4) 「太陽光を宇宙に反射して地球に入るエネルギーを減らすことで地球を冷却」する技術のこと (杉山昌弘『気候を操作する—温暖化対策の危険な「最終手段」—』KADOKAWA, 2021, p.130.)。

(5) Kevin Anderson and Glen Peters, “The trouble with negative emissions,” *Science*, Vol.354 No.6309, 2016.10.14, pp.182–183.

(6) Sabine Fuss et al., “Betting on negative emissions,” *Nature Climate Change*, Vol.4, 2014/10, pp.850–853.

(7) Klaus S. Lackner, “The promise of negative emissions,” *Science*, Vol.354 No.6313, 2016.11.11, p.714.

(8) Dominic Lenzi et al., “Don’t deploy negative emissions technologies without ethical analysis,” *Nature*, Vol.561, 2018.9.20, pp.303–305.

(9) Dominic Lenzi, “On the Permissibility (Or Otherwise) of Negative Emissions,” *Ethics, Policy & Environment*, Vol.24 No.2, 2021, pp.123–136.

IV AI と気候変動—2つの側面—

AIの利活用が進むとデータ解析のためのエネルギー利用も増加し、CO₂排出量も増加することが予想される。ベルキールとエルメリギは「ICT機器の生産と運用エネルギー及びそれを支えるICTインフラの運用エネルギーの両方を含むICTのグローバルカーボンフットプリント」を見積もり、「ICTの温室効果ガス排出への相対的寄与は、2007年の約1~1.6%から、2040年には2016年レベルの世界の温室効果ガス排出量（GHGE）の14%を超え、現在の運輸セクター全体の相対的寄与の半分以上を占めるようになる可能性がある」と予測した⁽¹⁰⁾。全てがAIに帰するものではないがAIが大きな原因となることは確かだろう。

ストルベルらは、4つの自然言語処理（NLP）用のAIトレーニングモデルに必要なエネルギー消費量を推計し、CO₂排出量に換算した⁽¹¹⁾。最も排出量が多いケースでは、言語モデル1つをトレーニングする際のCO₂排出量を約300tと推定した。その上で、より計算効率の高いアルゴリズムや、より少ないエネルギーで動作するハードウェア、効率的なソフトウェアの研究を産学協同で推進することを推奨した。ラコステらは、機械学習からの炭素排出量を定量化するための方法と排出量を低減するための手段を提示した⁽¹²⁾。さらに、機械学習から排出されるCO₂量を、ハードウェアタイプ、使用時間、クラウドプロバイダー、計算を実行する地域の4つのパラメータから推計する「計算機」をウェブ上で公開した⁽¹³⁾。

カウルズらは、AIの役割を考察した後に、AIを活用して気候変動に打ち勝つための政策立案者向けの13の提言を行い、その中には、AIのカーボンアセスメントと情報開示の標準を策定すること（提言8）、エネルギー効率の高いAIを探求するプロジェクトに資金を提供すること（提言9）、EUの資金援助は申請者がエネルギー消費量と温室効果ガス排出量の推定値を測定・報告することを条件とすること（提言10）などが含まれている⁽¹⁴⁾。

他方、気候変動対策にAIを活用する方法としては、AIの訓練や活用における温室効果ガス排出量を削減することだけでなく、AIを活用することで積極的に、様々な領域における緩和策をAIで支援することができるし、気候変動の悪影響に対する適応策をAIで支援できる可能性もある⁽¹⁵⁾。前者については、エネルギーの効率的な利用や気候モデルの改善に貢献したり、人々の行動を変えたりすることにも使えるだろう。後者については、天気予報を改善したり、各種インフラや建物をレジリエントにすることに貢献したりできるだろう。

（きしもと あつお）

(10) Lotfi Belkhir and Ahmed Elmeligi, "Assessing ICT global emissions footprint: trends to 2040 and recommendations," *Journal of Cleaner Production*, Vol.177, 2018.3.10, pp.448-463.

(11) Emma Strubell et al., "Energy and policy considerations for deep learning in NLP," 2019. <<https://arxiv.org/pdf/1906.02243.pdf>>

(12) Alexandre Lacoste et al., "Quantifying the Carbon Emissions of Machine Learning," 2019. <<https://doi.org/10.48550/arXiv.1910.09700>>

(13) Alexandra Luccioni et al., "Estimating Carbon Emissions of Artificial Intelligence [Opinion]," *IEEE Technology and Society Magazine*, 39(2), 2020, pp.48-51; "Machine Learning Emissions Calculator." ML CO₂ Impact website <<https://mlco2.github.io/impact/>>

(14) Josh Cowls et al., "The AI gambit: leveraging artificial intelligence to combat climate change: opportunities, challenges, and recommendations," *Ai & Society*, 2021, pp.1-25.

(15) Anders Nordgren, "Artificial intelligence and climate change: ethical issues," *Journal of Information, Communication and Ethics in Society*, ahead-of-print, 2022.