

# 世界の脱炭素社会実現に向けた水素エネルギーの役割

## —電化・バイオマスも組み合わせた包括的なエネルギー政策が重要—

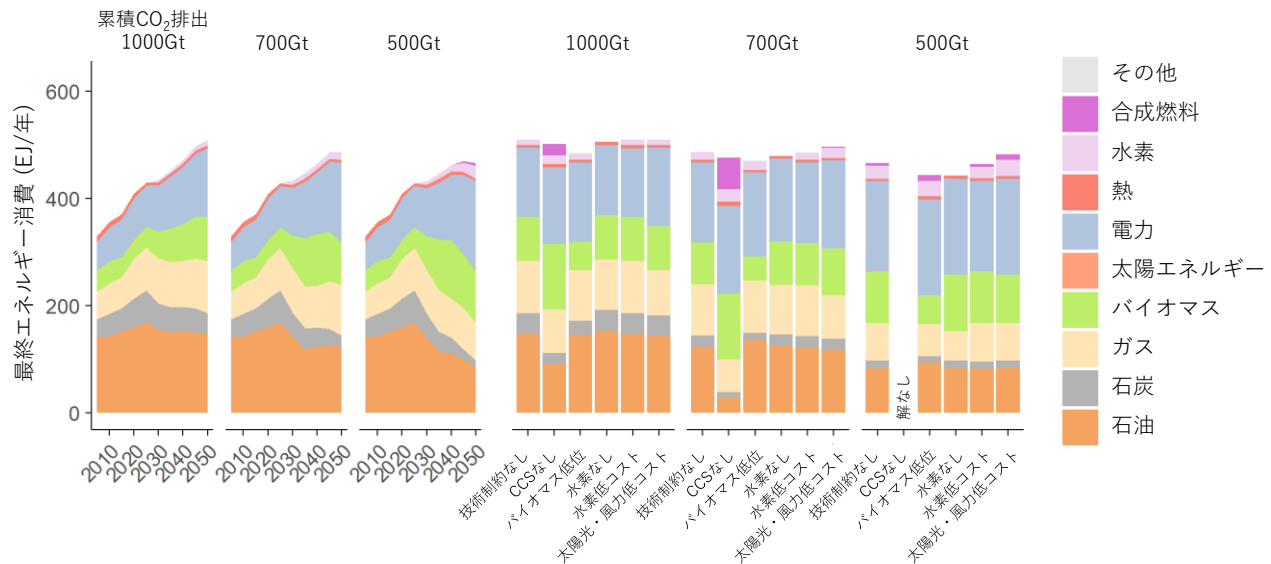
### 概要

京都大学工学研究科都市環境工学専攻 大城賢 助教、藤森真一郎 同准教授らの研究グループは、世界全域を対象に、今世紀半ばの脱炭素化目標に向けた水素エネルギーの役割を評価するため、シミュレーションモデルを用いた分析を行いました。その結果、2050年までに水素エネルギーは最大で世界のエネルギー需要の15%まで増加し、特に運輸・産業部門の脱炭素化に寄与し得ることが明らかとなりました。

2015年に採択されたパリ協定では今世紀後半に温室効果ガス排出を正味ゼロとする目標が合意されました。その対策として、再生可能エネルギーでの発電等のエネルギー供給側の脱炭素化に加えて、エネルギー需要側も化石燃料から電気に切り替える「電化」が主要な対策とされています。しかし、電化が困難な分野（船舶・航空などの長距離輸送、高熱需要の工業炉等）での排出削減が課題とされています。その解決策の一つとして、水素、アンモニア、合成燃料（水素と回収したCO<sub>2</sub>から合成した炭化水素）を含む水素エネルギーの増加が期待されていますが、世界全体を対象とした脱炭素社会の実現においてどの程度貢献し得るかは明らかにされていませんでした。

本研究では、多くのシナリオでは、水素エネルギーの普及は主に費用面の障壁から2050年に5%程度の増加に留まり、電化やバイオマス利用がより効果的なオプションであることを示しました。一方で、ゼロ排出といった厳しい排出制約を伴うシナリオなど、特定の条件下においては、水素エネルギーは2050年までに最大で世界の最終エネルギー消費量の約15%まで増加し得ることが示されました。これらは、水素エネルギー、電力、バイオマスなど多様な脱炭素オプションについて、エネルギーシステム全体の費用・負担や社会受容性、インフラ整備の行程などを考慮した包括的な議論・政策の検討が必要であることを示唆しています。

本成果は、2022年3月2日に国際学術誌「Applied Energy」にオンライン掲載されました。



図：世界の最終エネルギー消費量の推移。水素にはアンモニアを含む。図右側の棒グラフは2050年の最終エネルギー構成を全シナリオについて示したもの。

## 1. 背景

2015年に採択されたパリ協定では、今世紀末までの平均気温の上昇を2°Cより十分低く保つとともに、1.5°C以下に抑える努力を追求することが合意されました。その達成には今世紀後半までに温室効果ガスの排出量を正味ゼロとすることが重要であり、近年は日本を含む各国も2050年頃までに脱炭素化を達成するという目標を提示しています。脱炭素化に向けた具体策として、太陽光・風力発電などの再生可能エネルギーによる発電と、電気自動車への転換などエネルギー需要の電化が主要な対策とされています。他方で、電化が困難な分野（船舶・航空などの長距離輸送、工業炉等の高熱需要など）において残存する排出量の削減が課題とされてきました。

先行研究では、バイオマスと炭素回収貯留（CCS）を組み合わせた負の排出や、ライフスタイル転換等によるエネルギー需要の削減によって脱炭素化を達成するシナリオが示されてきました。水素エネルギーキャリア（水素、アンモニア、合成燃料<sup>1</sup>）は、それらに続く削減オプションの一つとして期待されていますが、水素の転換・消費技術にかかる追加コストや、水素の供給源となる再生可能エネルギーの賦存量など、世界のエネルギーシステムを包括的に捉えた上で、脱炭素社会の実現に際してどの程度貢献し得るかは明らかにされていませんでした。

## 2. 研究手法・成果

本研究では京都大学が開発したシミュレーションモデル AIM/Technology（Asia-Pacific Integrated Model/Technology：アジア太平洋統合評価モデル）を用いた分析を実施しました。本モデルは将来の人口、経済成長、技術の進展（効率・コスト等）を入力条件として、CO<sub>2</sub>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モデルです。具体的には、排出削減目標をモデル内の制約条件として、モデル内ではその条件を満たすために炭素への価格付けが行われ、それに応じたエネルギー技術の組合せが決定されます。例えば、より高い排出制約を課すことで、発電における化石燃料から再生可能エネルギーへの移行や、需要部門でのガソリン車から電気自動車・燃料電池車等への転換などが促進されるというものです。

今回は、温室効果ガス削減シナリオとして2050年に世界全体のエネルギー起源のCO<sub>2</sub>排出量がほぼゼロとなるシナリオ（2100年までの累積排出量500Gt）を含む様々な排出経路について、CCSやバイオマスの利用可能性などの技術の不確実性を踏まえた上で、シミュレーションを行いました。その結果、次のことが明らかになりました。

- 水素の生産コストは電力の約1.5～2倍となり、相対的に電化・バイオマスが優位であるため、気温上昇を2°C未満に抑制する多くの緩和シナリオでは、水素の普及率は5%程度に留まる結果となりました。一方で、1.5°Cに抑制するシナリオ、2°C目標相当でもCCSが利用できないといった厳しい条件の緩和シナリオにおいては、水素エネルギーキャリアの普及率は2050年に10-15%まで増加することが分かりました。
- 水素エネルギーキャリアが最も多く導入される分野は、自動車、航空等の運輸部門であり、シナリオによっては産業部門、発電部門でも一部導入される結果となりました。運輸部門では、バイオマスや直接空気回収<sup>2</sup>を通じて、大気中から吸収したCO<sub>2</sub>と水素から生成された合成燃料も、CO<sub>2</sub>排出削減に寄与しうることが分かりました。
- 水素エネルギーキャリアの普及はシナリオによって差がみられた一方、電化やバイオマス利用はどのシナ

<sup>1</sup> 水素とCO<sub>2</sub>を合成して製造される燃料。本研究では液体燃料とメタンを想定。

<sup>2</sup> 大気中から直接CO<sub>2</sub>を分離回収する技術。

リオでも共通して重要な対策となることがわかりました。これらの知見は、水素普及に向けた技術開発や政策の重要性を強調するとともに、電化等の多様なオプションも考慮した包括的な議論・政策検討の重要性を示唆するものです。

### 3. 今後の展開

今回の研究成果は、脱炭素社会の実現に向けて、水素エネルギーキャリアが重要なオプションとなる可能性を明らかにした一方で、費用面などの課題も同時に提起されました。今後は、具体的な技術開発や政策検討への活用に向けて、継続的な研究が必要となると考えられます。例えば、合成燃料はエネルギー需要側の既存技術やインフラを活用しつつ脱炭素化が可能であり、電気自動車への転換が遅れた場合は水素エネルギーの重要性が高まることが考えられるため、インフラの影響を考慮したシミュレーションモデルの開発などが研究の展開として考えられます。

### 4. 研究プロジェクトについて

本研究は、(独)環境再生保全機構環境研究総合推進費(研究課題番号:JPMEERF20211001、JPMEERF20202002)、日本学術振興会科研費若手研究(研究課題番号:JP20K14860)、住友財団環境研究助成の支援を受けて実施されました。

#### <論文タイトルと著者>

タイトル: Role of hydrogen-based energy carriers as an alternative option to reduce residual emissions associated with mid-century decarbonization goals (今世紀半ばの脱炭素化目標に向けた残存排出量削減策としての水素エネルギーキャリアの役割)

著者: Ken Oshiro, Shinichiro Fujimori

掲載誌: Applied Energy DOI: 10.1016/j.apenergy.2022.118803