



第 11 回カーボンニュートラル研究セミナー 講演要旨

カーボンニュートラル実現に向けた水素・アンモニアの役割と可能性

講演者 塩沢 文朗 ((NPO 法人) 国際環境経済研究所 主席研究員, 元 内閣府戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) 「エネルギーキャリア」サブ・プログラムディレクター (SPD) ほか)

討論者 森俊介 東京理科大学名誉教授, 元 科学技術振興機構 低炭素社会戦略センター 研究統括/上席研究員

講演日時 2023 年 6 月 16 日 10:40~12:20

主催 早稲田大学先端社会科学研究所

共催 早稲田大学環境経済・経営研究所, 早稲田大学高等研究所, 早稲田大学スマート社会技術融合研究機構, カーボンニュートラル社会研究教育センター

講演概要

1. 日本のカーボンニュートラル (CN) 実現において, なぜ, 水素が重要なのか?

日本は一次エネルギー供給の 83%を化石燃料に依存しており, うち, 約 40%を発電燃料として使用している。2030 年時点の電力需要は 1 兆 kWh/年 弱であるが, 2050 年にはエネルギー需要構造の電化により, これが 1.3~1.5 倍程度増加する見込みである。これは, 現在, エネルギー需要の 70%強を占める熱需要において, 脱炭素熱源や燃料への移行、電化を通じた熱利用の高効率化が見込まれるためである。

しかし, 現在、資源エネルギー庁等において念頭におかれている CO₂ フリー電源導入の見通しの前提等を見ると、楽観的な前提が多く、その実現可能性には大きな不確実性がある。仮に、そうした前提が実現したとしても 2050 年における CO₂ フリー電力量は原子力発電を含めても 9,000+ α 億 kWh/年程度にとどまると試算されるので、日本が 2050 年カーボンニュートラル目標を実現するためには、必要となる CO₂ フリー電力量を確保するため、CO₂ フリーエネルギー源の追加的な確保が必須の状況にある。

CO₂ フリー電力発電に必要な大量の CO₂ フリーエネルギーは、海外に豊富に賦存する安価な再生可能エネルギー資源を利用して確保する。その際、海外の再生可能エネルギーを日本に導入する手段としては、エネルギー密度が高く、輸送、貯蔵が容易な化学エネルギーに変換して導入する方法がある。水素は化学エネルギーであり、再エネと地球上に豊富に存在する水を利用して製造できる。なお、世界の年間エネルギー消費量に対して、再生可能エネルギーの賦存量は非常に大きく、ほぼ無尽蔵にあると言っても良い。また、再生可能エネルギー (太陽+

風力エネルギー) による水素製造コストは、アフリカから中央アジア、インド、オーストラ

リア、南米等において安価である (IEA)。

2. 水素とともにアンモニアが注目されているのは、なぜか？

ただし水素は、体積エネルギー密度が極めて小さいため、大量に輸送、貯蔵、利用することに難しい。そこで、水素を大量に輸送するための工夫 (エネルギーキャリアの利用) が必要である。エネルギーキャリアとしては、液化水素、有機ハイドライド (メチルシクロヘキサン, MCH)、アンモニアがあるが、アンモニアは、水素密度が大きい、大量輸送、貯蔵技術がすでに確立されている、燃焼時に CO₂ 等の温室効果ガスを排出しない、などの理由で優位性を持つ。またアンモニアはガス火力での混焼/専焼、石炭火力での混焼/専焼が可能である。既存火力発電設備の大きな変更なく、CO₂ の発生を削減することが可能であることから、トランジション技術としても望ましい。日本のアンモニアの直接利用技術のレベルは、世界最高水準にあり、我が国の関連産業の国際市場開拓にも貢献する。

アンモニアには火が付きにくい、火炎速度が遅い (火の回りが遅い)、Fuel NO_x が発生・排出される懸念があるなどの欠点のあることが懸念されたが SIP 「エネルギーキャリア」事業では、これらの欠点を克服するための研究成果が出された。アンモニアは急性毒性を有する「劇物」なので、アンモニアは専門家による適切な管理のもとで取り扱われる必要があるが、19 世紀初頭から工業分野では取り扱い経験が豊富に蓄積されているほか、タンカー一等による大量、長距離の輸送・貯蔵はすでに日常的に行われている。

現在、商用石炭火力発電所での NH₃-石炭混焼発電実証が行われようとしている (2023 年中に実証実験開始予定)。IEA は海運分野の脱炭素化シナリオにおいてアンモニアによる燃料代替を見込んでいる。第 6 次エネルギー基本計画や「グリーン成長戦略」でも、水素・アンモニア発電の見通しが示されている。資源エネルギー庁の中間整理では、水素と化石燃料との値差補填支援と、効率的な水素・アンモニア供給インフラの整備支援が提案された。

3. 水素社会は日本と世界をどのように変えていくのだろうか？

① 日本の産業構造、経済への影響

脱炭素化や水素利用対策は、鉄鋼業や化学工業に大きな影響をもたらす産業構造転換をもたらす。

② 地域社会への影響

各地域のコンビナートに与える影響について考える必要がある。各地域におけるカーボンニュートラルポート (CNP) 検討において、水素・アンモニアの受け入れ基地が形成されつつある。

再エネは、地産地消することが効率的なので、地方の脱炭素化を進めるためには、各地域レベルのエネルギーシステム開発が望まれ、そのための地方自治体の人材の養成、地域のエネルギー需給データ整備などが必要である。(これに関しては、昨年度までの SIP の成果で、全国 1,741 市町村の地域のエネルギー需給データをデータベース化した「地

域エネルギー⑩需給データベース」(<https://energy-sustainability.jp/>) をご覧ください。)

③ 国際政治，経済への影響

化石燃料と CO₂ フリー水素との世界の資源分布は異なるので，世界的に新たな経済発展のチャンスとリスクが発生し，エネルギー地政学に変化が生じる。

討論要旨

「カーボンニュートラル社会」実現のための手段としては，炭素排出を「減らす」技術(省エネ技術，燃料転換，炭素回収隔離(CCS)，エネルギー管理技術等)，炭素排出を「しない」技術(再エネ，水素，アンモニアなど無炭素燃料)，大気中の炭素を「なくす」技術(植林，BECCS¹，DAC²)がある³。

このうち水素のエネルギー利用について，元素としての水素はほぼ無尽蔵に存在し資源的な制約は受けない，地球温暖化に影響しない，という特長がある。ただし，水素は単体のエネルギー資源としては存在せず，エネルギー源として利用するには，外部からエネルギーを与え化合物から分離して製造しなければならない。したがって，水素はエネルギー資源というより，他のエネルギーから変換によるエネルギーキャリアと考えるべきである。その際，変換に必要なエネルギー投入以上のメリット(環境制約，資源制約回避のメリット，投入資源の他用途との競合が小さいことなど)があることが水素利用の条件となる。これらのことから水素の効果的な利用には，新たな「エネルギーシステム」の構築が必要である。ただし水素エネルギーシステムの考え方は，1980年代に原子力発電の核熱利用との組み合わせとして提案されてきたことがある。

現在，再生可能エネルギー(とくに太陽光発電)の大量導入により発生した，需要と供給ギャップの調整のため，電力の貯蔵と輸送の必要性が高まった。特に電力の長期貯蔵には蓄電池よりも，水素などへの化学物質変換の方が低損失である。その際水素は扱いにくいエネルギーであるため，毒性はあるものの扱いやすいアンモニアに変換して利用することには意義がある。ただし，PVなどの余剰電力による水素製造システムは，理論的には魅力的であるが，設備利用率が下がるため固定費が上昇してしまうのがネックである。

また現在，脱炭素化では，電力化・電動化に期待が高いが，電力化・電動化など転換のしにくい分野(大型船舶，貨物輸送，製造業のガスバーナ，製鉄，このほかナフサなど原料利用)があり，それらの分野での水素利用システム構築の意義は大きい。

まとめると，カーボンニュートラル社会の実現には，従来の趨勢を変えていく革新的技術開発が不可欠である。その際，技術開発は，長期的見通しの下で社会システム全体の変革を見据えて行われる必要があり，さらに新しい社会システムへの変革の道筋を明確に

¹ 植物を燃料とし，排出の CO₂ を地中，海中に埋める技術

² 大気から直接 CO₂ を回収し，地中，海中に埋める技術

³ 1.5°C 目標達成には大気中の炭素を「なくす」技術が必要であり，社会が高成長・高消費を追求するほど必要性が高まる。

した全体的な技術戦略が必要である。

カーボンニュートラル社会が持続可能であるためには、エネルギー技術と他分野との融合や、地域間の協調が重要である。イノベーションが「明るく豊かな社会」ビジョンに基づくものでなければ、だれもカーボンニュートラル社会を受け入れない。

講演者への質問：今後の水素利用 CN 社会の実現に向け、現在ボトルネックとなっていて最も開発の急がれる課題は何か？

講演者の回答：サプライチェーン上に、解決すべき技術的課題はいくつか存在するものの、一つだけ挙げるとすれば、水素、アンモニアのエネルギー単位当たりの利用コストが現時点では化石燃料に比べて高いことである。

水素は、再エネ電力から製造され、それを使うときは、再び電力や熱に変換して使うというように、エネルギー変換を繰り返すため、全体のエネルギーなので効率の悪いことがしばしば指摘されている。効率を上げることは重要ではあるが、水素の原料がほぼ無尽蔵に存在することを考えれば、効率改善よりもコストの問題が重要である。

ここで、水素社会システムの構築には、総合工学的な視点、異分野技術の統合的な視点が重要である。水素のエネルギー単位当たりの利用コストを下げるためにも、総合的な取り組みが必要だからである。