

第 181 回エネルギー問題に発言する会 座談会議事録

座談会演題：持続可能性社会構築に対する水素の貢献可能性

講師：坂田 興氏（エネルギー総合工学研究所 プロジェクト試験研究部部長）

日時：2017年10月19日（木）16:00～17:45

場所：日本原子力安全推進協会（JANSI）13階 第1・第2会議室

座長：大塔 容弘氏

参加者：約30名

議事録作成：峰松 昭義

講演概要：

COP21およびパリ協定が我が国の政策に与えた影響につき解説し、さらに水素エネルギーへのインパクトについて概説。エネルギーシフト、システム規模の影響、サプライチェーンの多様性等の観点から水素エネルギーを俯瞰し、大規模水素システムが、持続可能性社会構築に向けて貢献できる可能性につき、エネルギーモデル等を用いて技術・経済の両面から検討した結果を示し、講演がなされた。

講師略歴：

1974年3月 東京大学大学院 理学系研究科化学専攻課程 修士課程修了

1974年4月 日本石油株式会社（現JXTGエネルギー株式会社）入社
中央技術研究所配属（新規事業の研究開発、研究企画、研究管理業務に従事：グループリーダー、グループマネージャー、副所長などを歴任）

1985～1987年 カナダ ブリティッシュ・コロンビア大学 客員研究員

2003年4月 財団法人 エネルギー総合工学研究所へ出向

2009年4月 財団法人 エネルギー総合工学研究所へ転籍

現在に至る

講演内容：

最初に、一般財団法人エネルギー総合工学研究所の概要の説明がなされ、その後、本講演内容の説明がなされた。講演に際して、「私見であるが、エネ総研の中にも水素について色々な意見がある。」との前置きがなされた。

1. COP21・パリ協定の水素への波及効果（COP21後の国内温暖化対策）

COP21における新たな国際枠組みに関する合意の状況を踏まえ、地球温暖化対策計画が策定される。計画は、地球温暖化対策推進法に基づき、地球温暖化対策推進本部（首相官邸：中環審・産構審合同会議）が計画案を策定し、閣議決定される。合わせて、抜本的排出削減が見込める革新的技術を特定した「エネルギー・環境イノベーション戦略」（内

閣府：総合科学技術・イノベーション会議)、エネルギーミックスを念頭においた「エネルギー革新戦略」(資エネ庁：総合エネルギー資源戦略調査会)をとりまとめる。

1) 国内対応一 1 地球温暖化対策推進計画(中環審・産構審合同会議)

地球温暖化対策の推進に関する基本的方向

○中期目標(2030年度削減目標)の達成に向けた取組

2030年度において、2013年度比26.0%減(2005年度比25.4%減)

○長期的目標を見据えた戦略的取組

長期的目標として2050年までに80%の温室効果ガスの排出削減を目指す。このような大幅な排出削減は、従来の取り組みの延長では実現が困難なので、革新的技術の開発・普及などイノベーションによる解決を最大限追求するとともに、国内投資を促し、国際競争力を高め、国民に広く知恵を求めつつ、長期的、戦略的な取組の中で大幅な排出削減を目指し、また、世界全体での削減にも貢献していく。

2) 国内対応一 2 エネルギー・環境イノベーション戦略(内閣府：総合科学技術・イノベーション会議)

分野別革新技術の蓄エネルギー技術の一つとして水素等の製造・貯蔵・利用

○水素等の効率的なエネルギーキャリアを開発

CO₂を出さずに水素等を製造し、水素で発電。

3) 国内対応一 3 エネルギー革新戦略の主な検討課題(資エネ庁：総合エネルギー資源戦略調査会)

○ポスト2030年に向けた水素社会戦略の構築

- ー 水素ステーション、燃料電池自動車、エネファームのさらなる普及
- ー 2030年頃の海外からの水素サプライチェーンの構築

2016年度中に、将来の再エネ由来の水素社会(九州や北海道にモデルあり)に向けた課題・対応策をとりまとめた。

- 温暖化ガス排出削減という国際的な重要課題を解決する技術として、水素エネルギーシステムに注目が集まることになった。
- CO₂排出削減に大幅に貢献するためには、水素の大規模導入が必要。
- 「FCV(燃料電池自動車)用の燃料」から「基幹エネルギー」へと、期待される役割が変容。

2. 水素エネルギーシステムに関する4つの基本的視点

1) 水素によるCO₂排出の大幅削減には、エネルギーシフトが必要

①国内外で、過去に複数回の水素ブーム(技術開発)があったが、その後、沈静化。

今回はどうか? : 温暖化対応機運。水素・FC(燃料電池)の力量増大。事業を目指す企業の参入。

②エネルギーの将来予測は、通常外れる。理由は、エネルギーシステムの普及が外部環境(例えば、温暖化、資源、競合エネルギー、地政学)に大きく依存するため。

仮説：普及するエネルギーは、その時点の重要課題（外部環境）を解決できるシステムである。

③重要課題を解決するエネルギーは、多種存在する。

「水素はCO₂非排出なので普及する。」「水素ありき。」の議論には脆弱性がある。重要課題解決のために、エネルギーシフトが生じた例はあるか（例：LNG大規模普及） 1960年代、環境問題（SOX等の大気汚染公害への対応。ガス会社：石油→LNG。電力会社：重油→LNG）、エネルギーセキュリティ問題（中東依存からの脱却）等、切迫した重要課題があった。当初、LNGは、対石油で割高であったが、環境問題・エネルギーセキュリティ問題を解決できるとの見通しの下、LNG大規模導入が決断され、実施された。価格格差は正に向けた税制優遇・補助金・融資支援等の官民の努力や石油危機により、LNGは対石油熱量対比で優位に転換し、その後はほぼ均衡して推移した。そして大規模普及した。（エネルギーシフトが生起）

2) 水素システムは規模により、大きな差異が生じる。

①システムのサイズにより、CO₂フリー水素導入の意義が異なる。

②ビジネスモデル・ステークホルダーも、システムサイズに大きく依存する。

③投資額も、システムサイズに大きく依存する。

3) サプライチェーンが長く、多種多様な技術があるので、全体をインテグレートする機能が必要である。

4) 長期の開発期間が必要で、製品寿命が長いので、他分野と異なるマネジメントが必要である。

3. 水素の性質と特徴

1) 水素の代表的な性質

①沸点が低い ②通常で温度で気体、極低温（-252.89℃以下）で液体 ③爆発限界が広い ④燃焼速度が速い ⑤拡散が速い ⑥体積当たりの燃焼エネルギーは都市ガスより小さい

2) 水素の特徴

①多様な一次エネルギーから生成可能 ②電力と相互変換が可能 ③貯蔵が可能 ④利用時にCO₂の発生がない

3) 水素の利用技術の例（エネルギー用途）

①中小規模（燃料電池の燃料→発電）：FCV（燃料電池自動車）、定置式燃料電池

②大規模（燃焼用燃料→火力発電）：ガスタービン（水素火力発電所）

③化学用途等：製油所等

4) 水素利用が水素発電に拡大すると需要量が増大（水素発電の水素需要量は膨大：100万kWの水素火力発電所の水素需要量=約30億Nm³/年。）→海外供給が必要。

4. 持続可能性社会構築と水素の貢献の可能性

1) 世界のエネルギー消費の増大

世界の人口と GDP は継続的に増加すると見込まれる。従って、世界のエネルギー消費は増加する。

IEA（国際エネルギー機関）は、次のメッセージを出している。

- － BAU シナリオ（Business-as-Usual scenario）：持続可能性に危機がある。
- － 低炭素政策：エネルギー安全保障と経済発展を向上させる

2) 持続可能性の確保（水素技術による課題解決の可能性）

今後の重大課題（地球温暖化、中長期的化石資源問題等）は、持続可能性の確保である。課題解決の方法の一つとして、IEA は、低炭素エネルギーシステムによる持続可能性社会の構築を提言している。

CO2 フリー一次エネルギー：我が国の課題

CO2 フリー一次エネルギー：①再生可能エネルギー ②（化石燃料+CCS）のエネルギー ③原子力エネルギー のいずれか、または組み合わせ

（注）CCS：Carbon Capture and Storage（炭酸ガス回収隔離）

CO2 フリー二次エネルギー：①水素 ②電力 のいずれか、または組み合わせ

①再生可能エネルギーおよび（化石燃料+CCS）エネルギーを推進 ー大規模の適地は海外に存在するので、エネルギー長距離輸送技術が必要

②国内の再生可能エネルギーを最大限導入ー電力グリッドへの負荷低減技術が必要

③原子力発電を推進 ー大幅拡大は不透明

上記の我が国の課題に対する対応策として、以下のことが考えられる。

①CO2 フリーエネルギーの長距離輸送用キャリアとして水素に注目 ーCO2 フリー水素の大規模技術を開発

②国内再生可能エネルギーを最大限導入するための技術に注目 ー蓄電技術としての水素技術を開発

大規模・長期間のシステム技術開発が必要な場合には、政府の支援を期待。

3) CO2 フリーエネルギーの我が国への大量輸送方法

①CO2 フリーエネルギーを利用する場合、場所の選択が重要ー賦存量およびコスト見通しに決定的な影響を与える

②再生可能エネルギーは、通常、電力として得られる。ー電力の長距離・大量輸送技術は、検討課題（海に囲まれた我が国固有の問題）

再生可能エネルギー電力の長距離・大量輸送技術の候補：

- － 電気エネルギー：送電線による送電
- － 化学エネルギー：水素（または水素キャリア物質）

4) 海外再生可能エネルギーの国内への輸送手段の比較：電力と水素

①電力：常伝導・直流（変圧・交直変換ー海底ケーブルー変圧・直交変換）

②化学媒体：液体水素

③化学媒体：有機ヒドライド {MCH（メチルシクロヘキサン C7H14）／トルエン

C7H8系}

5) 再生可能エネルギー輸送コストの距離依存性 (円/kWh)

- ①発電コストの距離依存性は、電力の方が化学媒体より大きい。
- ②その結果、日本から数千 km において、電力と化学媒体によるコストのブレークイーブンポイントが発生する。4000km よりも遠いところからは水素で輸送した方が安い。
- ③化学媒体の場合、コストの距離依存性には大差なく、同傾向である。

5. CO₂フリー水素の普及の可能性

統合評価モデル **GRAPE** のエネルギーモジュールを用いて、2050年までの日本の水素需要を評価した。評価に当たっては

- ①発電、運輸、定置の各部門のエネルギー需要を推計
- ②想定するエネルギーフロー、利用可能な技術オプションのパラメータを設定
- ③CO₂ 排出等の制約を満たし世界全体のエネルギーシステムコストが最小になるようなエネルギー需給構造を探索・決定
- ④世界地域別エネルギー需給、CO₂ 排出などを出力 {エネルギー供給構成、需要構成、転換機構 (発電等)、CO₂ 排出量・CCS 量、等}

そして、水素製造は 2020 年から日本国内の他、海外 7 か所からの輸入が可能と設定し、水素の需要先としては、運輸 (FCV、ICE)、発電 (大規模発電)、定置 (水素コジェネ、直接燃焼) とした。

○本検討例での前提条件

- 1) CO₂ 排出削減割合 (2050 年): 世界 50%削減、日本 80%削減 (パリ協定と同じ)
- 2) 日本の原子力発電: 新增設なし、炉寿命 40 年でフェーズアウト
- 3) 日本の炭酸ガス回収隔離 (CCS): 2 億トン-CO₂/年 (@2050 年)

○計算結果 (水素需要量)

計算結果は、前提により変動する。

◆世界:

- ・運輸需要が大半で、2050 年に約 800Mtoe (3.12 兆 N m³) の水素が必要される。

◆日本:

(参考) 国内水素供給量 { 現在: 150 億 N m³/年 (内 外販 2 億 N m³/年)
2030 年: 230 億~330 億 N m³/年 }

- ・2045 年以降に水素大規模発電が導入される。
- ・2050 年における水素需要は、57 Mtoe (2223 億 N m³)。
- ・日本でのみ水素大規模発電が導入されるのは、CCS の年間貯留量の制約や原子力発電の制約により、電力における CO₂ 排出量を低減させるためであると考えられる。

○計算結果 (我が国の一次エネルギー供給)

計算結果は、前提により変動する。

- ◆2050 年における一次エネルギー供給に占める水素の割合は、13%である。

◆厳しい CO2 排出制約条件の下では、水素は基幹エネルギー源になる可能性がある。

6. 国内再生可能エネルギー導入に対する水素の貢献

- ・再生可能エネルギーの大量導入が必要になると、気象条件による出力変動対策（電力貯蔵システム：出力変動の吸収、余剰電力の貯蔵、電力品質の維持）が必要になる。
- ・大規模電力貯蔵の技術として、化学エネルギー（水素）も候補として考慮されている。電力貯蔵システムの例：電力→（水電解）→水素（貯蔵）→（発電）→電力
水素は長期・大規模電力貯蔵技術に位置付けられる。

余剰電力の水素による貯蔵（Power to Gas）が課題。そのためには水素需要の開拓が必要 {P-to-G（水素）から P-to-F（燃料）、P-to-X（その他）へ展開中}

- ・再生可能エネルギー電力由来の水素の利用目的
 - 1) 電力系統の安定化：電力貯蔵システム
 - 2) 分散型エネルギーシステム確立：再エネ電力→水素→FCV、FC、熱、その他

7. 我が国政府の施策動向

1) 経済産業省「エネルギー基本計画」：2014年4月11日閣議決定（水素関連部分）

①二次エネルギー構造の在り方：将来の二次エネルギーでは、電気、熱に加え、水素が中心的役割を担うことが期待される。

②“水素社会”の実現に向けた取組みの加速：水素発電等の新たな技術の実現等。

{水素の大量調達のための技術（大量貯蔵、長距離輸送等）の技術開発が必要。}

第193回国会冒頭の安倍総理の施政方針演説（2017年1月20日）で「水素エネルギーは、エネルギー安全保障と温暖化対策の切り札」と言及。また、第1回再生可能エネルギー・水素等関係閣僚会議（2017年4月11日）において安倍総理が「日本は、世界に先駆けて、水素社会を実現させていく。関係大臣は、政府一体となって取り組むための「基本戦略」を年内に策定するよう」指示。

2) 経済産業省 資源エネルギー庁 水素・燃料電池戦略協議会

- ・水素・燃料電池戦略ロードマップ（2014年6月23日策定、2016年3月22日改訂）
 - －水素発電検討会（水素発電）
 - －CO2フリー水素ワーキング（再エネ水素、Power to Gas 中心）

・フェーズ1：水素利用の飛躍的拡大（燃料電池の社会への本格的実装。例えばFCV）

・フェーズ2：水素発電の本格導入（大規模水素供給システムの確立）

2030年頃、海外での未利用エネルギー由来水素の製造、輸送・貯蔵の本格化および発電事業用水素発電の本格導入

・フェーズ3：トータルでのCO2フリー水素供給システムの確立

2040年頃、CCSや国内外の再生可能エネルギーの活用との組み合わせによるCO2フリー水素の製造、輸送・貯蔵の本格化

3) 経済産業省 産業技術環境局 研究開発課

- ・再生可能エネルギー貯蔵・輸送等技術開発

－NEDO「水素利用等先導研究開発事業」（水素専焼発電）

4) NEDO「水素社会構築技術開発事業」

- ・研究開発Ⅰ：「水素エネルギーシステム技術開発」（再エネ水素、Power to Gas 中心）
- ・研究開発Ⅱ：「大規模水素エネルギー利用技術開発」（水素混焼発電）

5) 環境省 地球環境局 地球温暖化対策課 地球温暖化対策事業室

- ・「地域連携・低炭素水素技術実証事業」（再エネ水素、Power to Gas 中心）

6) 内閣府 戦略的イノベーション創造プログラム (SIP)

公募により、産学からトップクラスのリーダーを PD (プログラムディレクター) として選出

- ・「エネルギーキャリア (水素社会)」が SIP テーマとして採用された。

- ・CO₂ フリー水素に対する民間の取り組み動向

＜千代田化工＞メチルシクロヘキサン (MCH) による輸送・貯蔵に基づく CO₂ フリー水素の国際ネットワーク展開

＜川崎重工：KHI＞ 2010 年 4 月、当時の社長が経営計画（事業化の目標：豪州の褐炭等を対象資源として、消費国への液体水素による輸送・貯蔵）を発表し、資源国と消費国を水素で結ぶエネルギーチェーンを築きたいと述べている。

＜北海道、東北、中国電力 3 社を含む 6 社＞アンモニアのエネルギー利用を進める政府の研究プロジェクト (SIP) に参加。東北大学などの成果を応用し、アンモニアを石炭と混ぜて効率よく燃やす技術の確立を目指す。アンモニアが燃えた時に出る大気汚染物質の NO_x を極力抑え、既存の浄化設備で対応できるようにする。(アンモニア直接発電)

8. エネルギーキャリアを巡る動向

1) エネルギーキャリアへの取り組み (CO₂ フリー水素バリューチェーンの構築)

●輸送 (エネルギーキャリア)

－ 有機ハイドライド (メチルシクロヘキサン)：千代田化工主導

－－－－－経済産業省 産業技術環境局・資源エネ庁／NEDO

－ 液化水素：川崎重工主導

－－－－－経済産業省 産業技術環境局・資源エネ庁／NEDO

－ アンモニア：SIP 主導－－－－－内閣府

●水素は様々なエネルギー源から製造可能で、燃料にも電気にもなる。(大幅な CO₂ 排出削減が可能)

●水素は低熱量の気体であり、運搬・貯蔵が困難。水素を大量輸送する技術 (エネルギーキャリア) や水素をエネルギー源として利用する関連技術の開発が必要。

2) エネルギーキャリアごとの水素のコスト分析結果

水素コスト (円/Nm³) は、液化水素、アンモニア、MCH(メチルシクロヘキサン)の

エネルギーキャリア間でほとんど変わらない。しかし、一長一短がある。

9. 今後の技術課題とまとめ

1) 今後の技術課題

水素については **Break-through** がない。

①中規模システム（国内製造、国内消費）における

- － 短期的課題：Power-to-Gas 技術、Power-to-Fuel, Power-to-X 技術
- － 中期的課題：CO₂ フリー熱利用技術、新規水素利用技術

②大規模システム（海外製造、国内消費）における

- － 長期的課題：光触媒水素製造、アンモニア電解合成、純酸素燃焼水素タービン発電（高効率で CO₂ 排出なし）

2) まとめ

- ①水素は持続可能社会構築に貢献できる可能性がある。一→条件次第で大量導入が実現。一→水素社会実現の成否は、今後の水素技術の発展と外部条件で決まる。
- ②海外 CO₂ フリー水素、国内再エネ水素は、サプライチェーンのイノベーションを誘発する。
- ③多様な未来に備えて、将来技術のポートフォリオに水素エネルギーをプロットし、不断の技術開発・システム開発と、ビジネスモデルの探索を行うことが重要である。

質疑応答

Q 1. 「定置」とは何のことか。(P29)

A 1. ここで言う「定置」とは「水素コージェネ、直接燃焼」のこと。

Q 2. 我が国の一次エネルギー供給が右肩下がりになっているのは人口減によるものか。(P33)

A 2. 省エネと人口減によるもの。

Q 3. 乗用車の保有台数が年々増加しているのに対し、運輸用エネルギー消費量が減少しているのは、エネルギー効率が上がったためか。(P31)

A 3. その通りである。

Q 4. 高温ガス炉について何故触れてないのか。

A 4. 熱化学法について触れてないのは、経済産業省ではなく、文部科学省の所掌であるためと情報が余り開示されてないためである。

Q 5. 水素ガスは爆発しやすいものだと理解しているが、爆発対策はどうなっているのか。

A 5. 2000 年頃から沢山の実験がなされている。加圧ガスについては、消防法、建築基準法、高圧ガス法、等の規制がある。以前は工業地帯でないと貯蔵できなかったが、規制緩和によって、町の中にも水素ステーションが作れるようになってきた。

Q 6. 水素は再生可能エネルギーの貯蔵のために使うとの説明があり、CO₂ 削減のためにはなるが、コスト高になるとの説明だったと思う。水素を電力貯蔵のために使った場

合、ロスはどの程度なのか。

A 6. ロスは 6 割程度である。

Q 7. アンモニアに関心が出てきているのは、水素の含有量が多いからか。

A 7. その通りである。アンモニアは一番水素の含有量が多い。そして、アンモニアは取り扱いが容易である。しかし、毒性の問題がある。ただし、毒性に関する試験データは沢山ある。また、事業としてやる者が出てきた。一般論として、経済産業省は、それを事業としてやろうとする事業者が出てこない政策として取り上げようとしていない。

Q 8. 水素の輸送には、そんなに金が掛かるのか。(P27)

A 8. その通りである。P27 に示す通り、4000Km よりも遠い所からであれば、水素で輸送した方が有利である。

Q 9. 余るほど作るというのは、邪道ではないか。再生可能エネルギーを余るほど作るのをおかしいのではないか。FIT を当てにして作りすぎているのではないか。(P38)

A 9. 変動電力の余剰電力対策として、バッテリーや水素を入れると改善できるとしている論文も沢山ある。

Q 10. エネルギー収支費も計算すべきではないか。(P55)

A 10. ライフサイクル (LCA) で評価すべきである。NEDO でやっている。

Q 11. IEA の World Energy Outlook (2016)には、水素発電について、ほとんど触れられていないが、イノベーションが必要だからか。

A 11. その通りである。

Q 12. 原子力がなくても 2050 年には CO2 排出を 80%削減できるという意味か。(P33)

A 12. その通りである。これは水素の役割を見るためのパラメータ計算である。原子力発電の種々のケースにつき、パラメータスタディーを実施する予定である。

以 上