

## 2022年度 第3回エネルギー講演会

# カーボンニュートラル達成に向けた水素利用の必要性と今後の展望

## 佐々木 一成氏 プロフィール

1987年東京工業大学工学部無機材料工学科卒業。1989年東京工業大学大学院理工学研究科原子核工学専攻修士課程修了。1993年スイス連邦工科大学チューリッヒ校工学博士号取得。1995年ドイツ・マックスプランク固体研究所招聘客員研究員。10年間の在欧後、1999年九州大学大学院総合理工学研究科・助教授。2005年より工学研究院・教授。2011年、主幹教授。現在、九州大学副学長、水素エネルギー国際研究センター長、次世代燃料電池産学連携研究センター長。主に、燃料電池などの材料・プロセス研究に従事し、九大「水素プロジェクト」を先導。総合資源エネルギー調査会水素政策小委員会委員長、アンモニア等脱炭素燃料政策小委員会委員長。



一般社団法人九州経済連合会は2023年2月3日にエネルギー講演会を開催しました。2050年カーボンニュートラル達成に向けて注目が集まる水素エネルギー。その水素エネルギーの活用に向けた技術開発の現状と課題、そして水素を巡る国際社会の動向などの最新の情報を踏まえ、水素エネルギーの今後の展望について、九州大学副学長、水素エネルギー国際研究センター長、次世代燃料電池産学連携研究センター長の佐々木一成氏にご講演いただきました。

## < 開催概要 >

- ◆開催日時：2022年2月3日(金)15:00~16:30 ◆主催：(一社)九州経済連合会 九州エネルギー問題懇話会
- ◆開催場所：webライブ配信・オンデマンド配信 ◆後援：福岡商工会議所
- ◆参加申込者：335名 福岡経済同友会 エネルギー・環境委員会

## カーボンニュートラル達成に不可欠な水素

◇この1年を振り返ると、新型コロナウイルス感染拡大からの経済回復やロシアによるウクライナ侵攻等に起因するエネルギー価格の急激な高騰が世界中に大きな影響を与えました。日本の場合、20兆円/年程度で安定していた鉱物性燃料等のエネルギー輸入費が、昨年度は40兆円/年程度と急増しました。これは医療費(40兆円/年程度)と同レベルの額であり、しかも、この費用は海外に流出しています。この国富の海外流出を抜本的に止めるためには、再生可能エネルギー(再エネ)や原子力等を活用したエネルギーの国産化に取り組む必要があります。

◇このような中、2050年カーボンニュートラル達成を目指し、世界中で水素が注目されています。日本でも再エネや原子力に並んで、再エネ余剰電力で生産した水素を活用した脱炭素火力等に期待が寄せられており、政府は水素とそのキャリアであるアンモニアの生産や流通等に関するさまざまな戦略立案や施策検討の動きを加速させています。

◇カーボンニュートラル達成のためには二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)排出量削減が必要です。CO<sub>2</sub>排出量の半分弱は電力によるものですが、見方を変えると、残りは非電力部門由来であり、その脱炭素化が欠かせません。その方策として電化が挙げられます。電源の脱炭素化に併せて、非電力部門の電化を進めることでCO<sub>2</sub>排出量削減が期待できます。その電源の脱炭素化のために、脱炭素燃料である水素の活用推進が重要になってきます。

◇2020年に革新的環境イノベーション戦略が策定され、水素利用の位置づけなどが明確になりました。その中で、①再エネ由来の電気の増加については全系統で受け入れるのは困難であるため、水の電気分解による水素化に活用 ②アンモニア等の化学的エネルギーを媒体に活用し海外の安い再エネを日本へ輸入 ③CCUS技術進展を通じてCO<sub>2</sub>の燃料転換を目指す、ということが確認され、安価な水素が大量に入手できなければ、この戦略全体が成立しないということが示されました。

◇水素は電力、非電力双方の分野で脱炭素化に貢献できるエネルギーです。2020年12月に策定されたグリーン成長戦略では再エネや原子力に加え、水素やアンモニアを含めた脱炭素でのエネルギー供給を目指しています。当然、今後、水素の需要は大幅に増加することになり、政府はこの大量の水素を確保するための新たなサプライチェーン構築に向け支援策を検討しています。計画では2050年に2,000万tの水素を生産し、その半分の発電で使用するとしています。この水素2,000万tはLNGの現行年間輸入量7,500万tと熱量レベルでほぼ同等(水素熱量はLNGの3倍程度)、つまりLNGに頼らない社会を想定していることとなります。

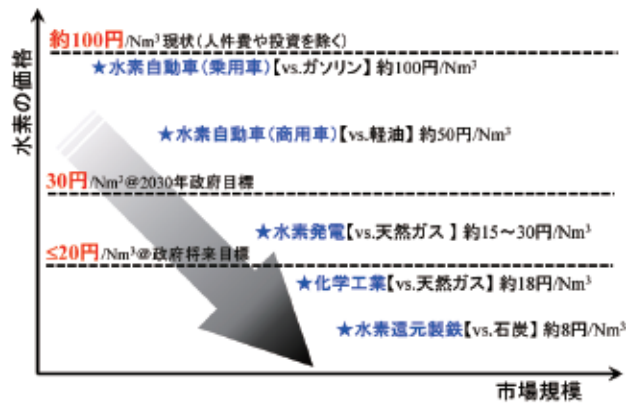
### 分野別CO<sub>2</sub>排出量と個別技術

主産業	現状	将来
運輸 (2.1億トン)	車体・システム 内燃機関・手動運転 金属車体	電動化・自動運転 マルチマテリアル
	燃料 化石燃料	電気・水素 バイオ燃料
産業 (3.1億トン)	プロセス スマート化の進展	CCUS・水素還元 更なるスマート化
	製品 化石エネルギー原料	非化石エネルギー原料
民生 (1.2億トン)	熱源 石油・ガス・電気	電気・水素等
	機器 高効率機器	機器のIoT化 M2M制御
電力 (5.1億トン)	火力 石油・石炭・天然ガス	CCUS・水素発電等
	原子力 第3世代+原子炉	次世代原子炉
	再エネ 導入制約 (導入コスト、制御コスト、系統等)	蓄電×系統革新

イノベーション

※出典：資源エネルギー庁「脱炭素化に向けた次世代技術・イノベーションについて」より

### 水素価格と用途拡大



※出典：佐々木氏資料(政府の各種資料のパーティ価格などを参考に作成)より

◇このように水素活用を進めるためには水素の価格が問題になります。つまり価格が安価でなければと普及しないということです。現在水素単価が100円/m<sup>3</sup>くらいで、これはセダントタイプのハイブリッド車の燃費と同程度。次の目標は商用車の水素自動車化で、軽油車レベルの燃費(50円/m<sup>3</sup>程度)を達成しなければなりません。水素発電まで視野に入れると、2030年までに30円/m<sup>3</sup>程度に価格を抑え、非電力部門で活用するためには更なる価格低減が求められます。

## 水素キャリアや水素の生産過程を踏まえた今後の水素ビジネスについて

◇水素供給に必要なサプライチェーンの構築では、水素を輸送する手段、即ち水素キャリアが問題となります。水素キャリアは大きく3つ、①液化水素、②メチルシクロヘキサン(MCH)、③アンモニアです。個人的にはアンモニアの活用が最も早く、次いでMCH、最後に液化水素の順になるのではないかと考えています。アンモニアは肥料の原料としてサプライチェーンが構築されていますが、発電用の燃料として使用する場合、使用量は桁違いです。そのため、新たな輸送船の建造やタンク等への設備投資も必要です。トルエンと水素で生成するMCHは石油類に分類されるため石油会社は取り扱いのノウハウを有していますが、水素を取り出すためのプラントや大量の触媒が不可欠です。そして最も技術革新が必要なのは液化水素です。液化に必要な温度(マイナス253℃)はLNGよりも低温なので、インフラ、輸出・輸入基地等をどうするかということが課題となります。

◇水素は生産方法によって、グレー水素、ブルー水素、グリーン水素に分類されます。グレー水素は化石燃料由来でメタンを約700°Cで水蒸気と反応させて生産します。その際、炭酸ガスも発生するためCO<sub>2</sub>削減効果は低くなります。ブルー水素も化石燃料由来ですが、CO<sub>2</sub>の地中固定化等の活用でCO<sub>2</sub>削減効果を期待できます。グリーン水素は再エネ由来の電気を活用して水を電気分解し、CO<sub>2</sub>を排出することなく生産できます。

◇事業化検証に際しては、海外の再エネ電気料金の動向も視野に入れて計画を検討する必要があります。中東、オーストラリアやチリ等では再エネ価格の低下に伴い、再エネによる水素生産が増加するでしょう。更に技術開発等で加速度的な水素製造コストの低下が見られることやESG投資等も集まりやすいことなどを勘案すると、グリーン水素関連事業が長期的には事業化に適していると思います。一方、グレー水素やブルー水素は生産に向けた設備投資を行っても、化石燃料高騰の影響もあり、座礁資産になる可能性が残ります。

### 水素キャリア

水素を極低温(20K)で液化して船等で運搬

トルエンに水素を化合させたメチルシクロヘキサン(MCH)をケミカルタンカーで運搬

石炭火力発電所の排ガス浄化で使っているアンモニア(NH<sub>3</sub>)を燃料として使用

CO<sub>2</sub>フリー水素と回収CO<sub>2</sub>からのCNメタンを作って、既存の都市ガスインフラ活用

キャリア	液化水素	MCH	アンモニア	メタネーション
体積(対常圧水素)	約1/800	約1/500	約1/1300	約1/600
液体となる条件、毒性	-253℃、常圧無毒	常温常圧トルエンは毒性有	-33℃、常圧等毒性、高食性有	-162℃、常圧無毒
直接利用の可否	N.A.(化学特性変化無)	現状不可	可(石炭火力燃焼等)	可(都市ガス代替)
高純度化のための追加設備	不要		必要(脱水素時)	
特性変化等のエネルギーロス	現在:25-35% 将来:18%	現在:35-40% 将来:25%	水素化:7-18% 脱水素:20%以下	現在: -32%
既存インフラ活用可否	国際輸送は不可(要新設)。国内配送は可	可(ケミカルタンカー等)	可(ケミカルタンカー等)	可(LNGタンカー、都市ガス管等)
技術的課題等	大型海上輸送技術(大型液化器、運搬船等)の開発が必要	エネルギーロスの更なる削減が必要	直接利用先拡大のための技術開発、脱水素設備の技術開発が必要	製造地における競争的な再エネ由来水素、CO <sub>2</sub> 供給が不可欠

産業用ガス会社!

石油会社!

電力会社!

ガス会社!

※出典: 佐々木氏資料、資源エネルギー庁「今後の水素政策の課題と対応の方向性中間整理(案)」より

## 水素利用拡大に向けた今後の展望

◇水素利用拡大に向けてはインフラ整備が必要になりますが、その設備投資リスクに対し政府が出資や債務保証という形で支援、保証することとしています。例えば、JOGMECによる水素やアンモニアの製造、液化、CCS事業への出資や債務保証という形で、政府が産業界の後押しを行います。このように、GX(グリーントランスフォーメーション)推進において政府が実働施策の全てを担うことはできませんが、法制度や実働面において最初に行動を起こすファーストムーバーを支援します。

◇経団連は「カーボンニュートラルやGXの動きは経済規模をGDP1,000兆円、現在の倍ぐらいに押し上げる」と試算しています。この動きに伴い400兆円程の投資が必要ですが、民間での全額負担は難しいので、政府はGXボンド(GX経済移行債)等を活用し、20兆円(全体の5%)を10年間で調達、支援する予定です。最初の5%を国が負担し、これを起爆剤として産業界の本格参入を促すということです。

### グリーンディール、CNが実現した際の経済の姿

問題意識

- IEA試算をベースとするとわが国のCN実現のためには、**2050年までの累計で、400兆円程度の投資**が必要。

とるべき施策

- 政府は、民間の継続的な投資を促すため、自ら中長期の財政支出にコミットすべき。
- 必要となる**政府負担は年平均で約2兆円程度**(財源=**GXボンド(注)**の発行等)。
- リスクの大きい革新的技術開発や大規模なインフラ整備**など、市場原理だけに任せては取り組みが円滑に進まない分野への投資において、政府の役割は特に重要。

【参考: 欧米の予算措置】

	米国	EU
規模	インフラ投資計画: 9.4兆円 Build Back Better Act: 64.9兆円	71.5兆円 (7か年予算+復興基金)
期間	5~10年	7年
年間	8.4兆円/年	10.2兆円/年

【参考: 日米欧のCO<sub>2</sub>排出量】  
(エネルギー起源CO<sub>2</sub>, 2019年)

日本	米国	EU
10.6億 t	47.4億 t	29.9億 t

(注) CNに向けたトランジション及びイノベーションに関する技術の開発・社会実装に促進を図り、GXを実現するために発行する国債。

**2050年CNが実現した経済の姿 = GDP1,000兆円経済の実現**

	2019年度(実績)	2050年度
実質GDP	537.5兆円 (過去5年で平均0.9%成長)	1,026.8兆円 (年平均2.1%成長)

※日本経済団体連合会「グリーントランスフォーメーション(GX)に向けて」より

◇政府による商用サプライチェーン構築に向けた支援制度の具体的なイメージを例示しますと、まずは値差(価格差)支援。水素はLNGと、アンモニアは石炭との値差を支援することで、その普及を後押しすることができます。次に支援対象にはCO<sub>2</sub>排出量削減効果見合いでのサポートを行うこと。閾値などを設け、CO<sub>2</sub>排出量削減への寄与が小さい事業は支援対象から外す等の制度設計が必要です。最後に国内事業を優先した支援。再エネや原子力等の国産電気での水素生産を視野に入れ、エネルギー安全保障に寄与できる事業を手厚くサポートすべきです。2030年度に活用するのであれば、29年度には設備が稼働する等、企業の水素に関する事業活動がスタートしている必要があり、その前段で投資判断や設備設計・建設等の検討、準備時間を考慮すると、実は、今年くらいには支援制度を策定する必要があります。

◇GXボンド等の経済政策の中で、規制と支援の一体化、カーボンプライシングによる先行投資インセンティブ、新たな金融手法や国際戦略の展開等が検討されており、その検討テーマの中心に水素とアンモニアが位置しています。特に水素は様々な場所から調達可能で、水素調達のサプライチェーンが構築できれば、石油のように特定の国々への依存やそれに伴って発生する地政学的リスク等、エネルギー安全保障の問題もクリアできます。水素には現行の社会体制を根こそぎ変革するような大きなポテンシャルがあります。水素を活用することで再エネ由来のエネルギーの輸出入ができるようになり、再エネは世界商品となります。海外の再エネを水素という形で安く日本に輸入でき、その結果、日本のカーボンニュートラルも加速的に進展すると思います。産業界側としては、ファーストムーバーほど手厚く支援される点を考慮し、今後のビジネス展開を検討する必要があると思います。九州の企業はそれを目指すべきですし、九州経済界の成長・発展にとって大きなチャンスです。

## 脱炭素・水素社会実現に向けた九州のポテンシャル

◇2019年度の九州電力の発電電力量ベースの電源構成では、再エネが約23%、原子力が約35%と脱炭素電源の比率が高く、残りが火力となっています。その火力発電の燃料も石炭をアンモニアに、LNGを水素に替えて発電することで脱炭素火力に替えられます。つまり、再エネ、原子力、水素発電等の脱炭素電源による電力供給が可能になります。これは他の地域にない大きなメリットです。また、九州は日本の再エネ先進地域です。平均的な最大需要電力が約1,000万kW、一方、再エネ発電ポテンシャルは接続検討申込まで含めると3,500万kW程度で、平均最大電力量の3倍超です。この九州の再エネ余剰電力で水素を製造し、モビリティ、熱・原材料、半導体製造等に活用することで非電力分野のカーボンニュートラル化にも貢献でき、グリーン電力を調達しやすいことが企業誘致のPRポイントにもなります。その上、カーボンニュートラルに投資する金融機能が確立できれば、この動きは加速していきます。



◇九州大学は世界的な水素研究の拠点として研究分野でトップを走り続け、地域の方々、関係者と一体となって水素の社会実装を中心とした未来のサイエンスを創造します。九州は東アジアの中心であり、政治的に安定した交易の玄関口です。気候・環境に恵まれ、そこには豊かな食文化があり、観光業等の発展で経済力もあります。この地域において脱炭素社会実現への動きは更なる発展への追い風です。九州には脱炭素・水素社会実現に向けた大きなポテンシャルがありますので、積極的にアクションを起こし、ぜひ世界をリードしていただきたいと思います。

▶ これまでに開催したエネルギー講演会の講演録を九州エネルギー問題懇話会ホームページに掲載しています。ぜひご覧ください。

九エネ懇

検索