

特別講演

九大における水素エネルギー研究開発の現状と将来展望

Hydrogen Energy R&D at Kyushu University: Current status and future perspectives

*佐々木 一成

九州大学

本講演では、水素エネルギーの技術開発動向などを概説し、脱炭素社会実現に向けた原子力と再生可能エネルギーの両立を助ける水素の役割、本学を核にした産学官地域連携での水素エネルギー社会実現とそれに向けた大学の役割や将来展望について述べる。

キーワード：脱炭素社会、水素エネルギー、燃料電池、電気化学、再生可能エネルギー、原子力

1. 緒言：脱炭素社会実現に向けた水素の位置づけ

エネルギーは我々の日々の暮らしに欠かせず、その確保は国の存立にも関わる。産業革命が契機となって、石炭から石油、天然ガスなどの化石資源の利用で世界のエネルギー需要を満たしてきた。化石資源に頼らない準国産エネルギーである原子力、国産エネルギーである再生可能エネルギー（再エネ）を含めて「一次エネルギー」と言われるエネルギー源は多様化している。世界のエネルギー使用量は、現在の新型コロナウイルスの感染拡大に伴う移動制限や経済活動停滞などもあって抑制傾向にあるが、デジタル化に伴うサーバーなどでエネルギー消費増などを加味すると、根本的にはあまり変わらないと考えられる。地球温暖化問題は引き続き重要な課題であり、欧州などではコロナ問題からの経済復興にグリーンディールを位置付ける動きも見られる。

地球温暖化要因の中で最も大きいのが、エネルギー関連でのCO₂排出である。原子力はCO₂フリーの電源として引き続き期待される。定格で運転される原子力発電所からの電気と、自然任せで変動する再エネからの電気を使いこなす必要があるが、九州などでは再エネ電力の電力系統への接続問題が顕在化し、揚水発電所のフル稼働、火力発電所の出力調整、他地域への送電だけではカバーしきれなくなりつつある。

社会全体の脱炭素化が今世紀後半に向けた世界的な方向性であるが、電力のみならず、燃料や工業原料の脱炭素化も合わせて実現

しないと、「CO₂というゴミを捨てない持続可能な社会」の実現は量的に難しい。つまり、原子力と再エネで電力の脱炭素化を進めながら、変動する余剰の再エネを将来的に水電解で水素にして貯蔵して燃料などとして使い、海外からの再エネの輸入も可能にし、回収するCO₂を炭素源として工業原料として使うような、脱炭素の資源循環社会の構築が望まれる。これを可能にするためには、使ってもCO₂を出さない化学的なエネルギー

イノベーション・アクションプランの重点領域

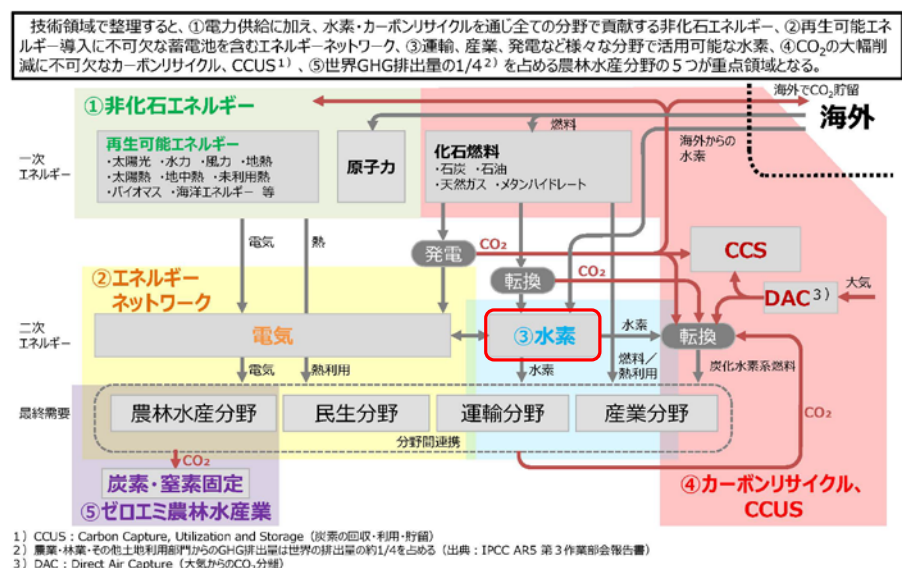


図1：革新的環境イノベーション戦略（2020年1月政府策定）[1]

媒体（二次エネルギー）が電力・運輸・産業・民生の社会全体で必要になる。これが、「水素」が注目される理由の一つである。図1に本年1月に政府が決定した「革新的環境イノベーション戦略」の概要[1]を示す。原子力も明確に位置づけられているが、再エネを使いこなし、電気とも相互変換でき、海外からも輸入でき、製鉄や化学工業などの脱炭素化に貢献でき、回収 CO₂と反応させて燃料・原料も作れる媒体として、水素が位置づけられている。

水素を使うエネルギー技術は、我が国が長年取り組んできた分野であり、多くの水素関連技術で日本が世界をリードしている。2014年12月には燃料電池自動車の市販が開始され、水素ガスが一般車の燃料として使われ始めた[3,4]。それに伴い、図2に示すように、社会インフラとなる水素ステーションの設置や関連する燃料電池・水素エネルギー技術の蓄積が進み、エネルギー分野における大きな変革の一つとなっている。水素ステーションは

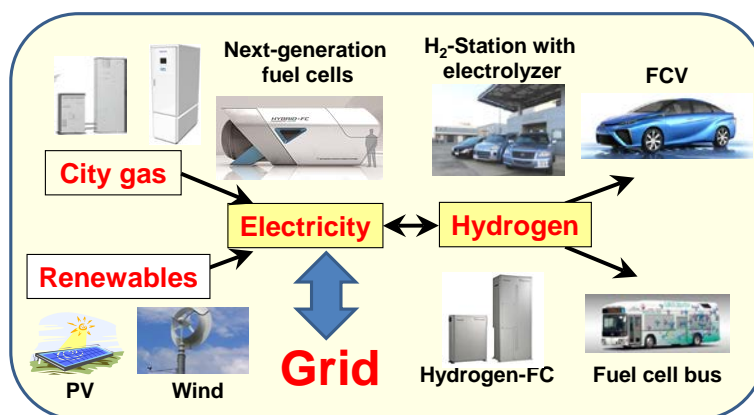


図2：水素・燃料電池を使う社会のイメージ[2]

2020年7月現在ですでに130ヶ所を超え、設置数は世界トップである。設置場所も始めは首都圏、中部、関西、北部九州の4大都市圏に限定されていたが、全国展開が始まりつつある。実際、燃料電池バスは東京で日々走行し、大型の水素製造施設が福島に設置中で、東京オリンピック・パラリンピックへの貢献も期待されている。神戸などでは水素ガスを発電用に使い、海外から輸入するための輸送技術の開発も進められている。

電気と異なり、水素は化学的なエネルギー媒体であるので、長期間貯めることもでき、使ってもCO₂を出さない。水電解などの水素製造の低コスト化がボトルネック課題の一つであり、その技術革新が進むことが前提となるが、水の電気分解で水素を作れ、水素から燃料電池で電気を作れる。水素はすでに工業用として国内外で多量に使われてきたが、燃料電池自動車のための水素ガスに留まらず、最近では、社会全体のCO₂排出を横断的に減らせる化学媒体としても位置づけられるようになってきた。工業プロセスで使う水素を化石資源由来から再エネ由来に替える分、CO₂の排出を減らせる。水素は、燃料を使ってCO₂を排出する「炭素循環社会」から、使っても出るのは水になる「水素循環社会」を実現できる媒体となる。それを実現するためのキーテクノロジーが燃料電池である。化学的なエネルギーから高効率に電気を直接作ることが可能になる。並行してCO₂排出の量的な削減に向けて、CO₂フリーの水素を火力発電所のタービンに入れて直接燃やして発電する「水素発電」も重要になってきているが、燃料電池を核にした水素エネルギー利用技術の本質的な社会価値は、以下のようにまとめられる。

- 燃料電池は、燃料を燃やさずに効率良く電気を作れる。(水素を介した電気化学反応)
- 水素ガスを燃料にすると、出てくるものは水だけになる。(ただし、水素ガスを作る時にはCO₂を排出)
- 水素で車が動けば、車産業や車社会が原油に過度に依存せず、持続可能になる。(日本の基幹産業・我々の日々の移動が、特定の資源や地政学的なリスクに依存しなくなる)
- 変動が激しい自然エネルギーからの電気が、水素の形で貯蔵可能になる。(電気を水素の形で蓄えることで、再エネからの電力の受入余地が増加)

これまで水素分野で、日本は世界の牽引役を果たしてきた。官民でロードマップを掲げて技術開発を着実に進め、水素ステーション普及、燃料電池自動車(FCV)市販、水素サプライチェーン技術開発も進めてきた。しかし最近では、米国(特にカリフォルニア州)、中国、韓国、ドイツ、そして欧州が日本を参考にしながら、日本を超える政策目標などを掲げて猛追している。

2. 水素社会実現に向けて：九大水素プロジェクト

水素利用社会の実現に向けた技術革新が着実に進んでいるが、その道のりの中での関門の一つが、「社会受容性」である。電気などのエネルギーは国民・市民にとって身近であるが、エネルギー技術は多くの人々にとってブラックボックスに見えがちである。水素社会を実現するにあたり国民や社会の理解や賛同が不可欠であるが、一般市民の目線では水素はまだ身近なものではない。原子力分野での苦勞を踏まえ、社会受容性を高めるためには、いち早く水素社会を“見える化”して、多くの人に実感・体感してもらう必要があると考えてきた。そのため、2005年の伊都キャンパス開校に合わせて設置した水素ステーションは、システム内部も見学可能にし、メリットと課題を客観的に伝える取り組みを10年以上、地道に続けてきた。見学者・視察者は累計で5万8千人を超え、この取り組みは2019年12月に環境大臣表彰を受けている。

九州大学は伊都キャンパスを実証実験キャンパスと位置づけており、「未来の社会が見えるタイムマシン」「水素キャンパス」というコンセプトを形にしてきた。日本全国の年間使用電力量の約3万分の一の電気を使う“社会”でもある伊都キャンパス全体のエネルギー量を把握しながら、未来の「水素社会」を具現化する試みを行っている。伊都キャンパスの一角を「水素ワールド」として水素エネルギー技術の普及啓発を行うとともに、エネルギー貯蔵技術としての水素の可能性の実証、ゼロエミッションの車社会の実証、世界最高水準の研究開発施設群の整備を行っている。

論文数で世界トップレベルの各種燃料電池研究や水素脆化研究、水電解を含む水素製造や水素貯蔵研究などにチームを作って取り組んでいる。さらに、基礎基盤研究に留まらず、産学連携研究、さらに社会実装を目指す研究も進めている。例えば、九州の工場で作られた三菱日立パワーシステムズ製の産業用大型燃料電池が伊都キャンパス内に設置されており、2万5千時間の運転実証を2020年1月に達成し、キャンパス内の電気の数%を賄うことができた。伊都キャンパス内で使われている電力（系統、太陽光、風力、燃料電池）とガスの使用量、水素の製造量を、エネルギー見える化サイトにて公開している。また、大学公用車としてFCVを2台導入し、再エネから作られた水素でFCVが走るCO₂排出ゼロの車社会、水素ステーションが街角に普通にある社会、燃料電池を使って無駄なく電気を作って使える社会、再エネを水素で蓄えて使いこなせる社会など未来のエネルギーのあるべき姿を世界に向けて発信している。

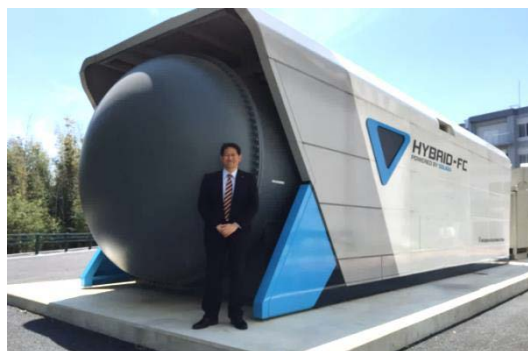


図3：「水素キャンパス」と位置付ける九大伊都キャンパス内の水素関連システム（上：九大水素ステーションと燃料電池自動車、中：各種エネファーム、下：産業用燃料電池）

3. 人材育成に向けて

21世紀は知識基盤社会であり、高等教育機関である大学にとって教育や研究を通じて社会をリードする人材を育成することは、最も重要な責務の一つである。九大水素拠点においては、2010年4月に設立された世界初の水素エネルギー分野を専門とする大学院である工学府「水素エネルギーシステム専攻」と連携し、水素エネルギー技術を核とした環境共生型エネルギー技術の基礎学理を習得した技術者・研究者の育成に貢献している[5]。

本講演者は、約30年前に北海道大学で開催された日本原子力学会大会で大学院生として学会発表デビューし、大学院では原子核工学を専攻したが、原子炉理論に代表される原子力分野独自の基礎学理を核に、材料、システム、そして放射線に関わる安全工学からなる総合エネルギー工学を学ぶことができた。水素エネルギー分野は、図4に示すように、電気化学が中核的な基礎学理であり、機能材料や水素脆化などに関わる材料力学などの材料学、熱力学・熱工学をベースにするシステム工学、そして水素

などの可燃性ガスを扱う高圧ガスに関わる安全工学から構成される。つまり、原子核工学と類似する総合エネルギー工学と言える。四力学をベースにする機械工学などを学んだ上で、既存の学問分野の壁を超える総合工学や政策論、ビジネススクールのマネジメント科目などを学ぶことで、将来、水素エネルギー分野に限らず、多様な分野で活躍できる人材の育成を目指している。

水素研究教育拠点は九大水素プロジェクトの活動を支える責任運営組織である「水素エネルギー国際研究センター」や関連センター施設群を含めると、現在、実験研究スペースは1万m²を優に超え、教員・研究者・研究支援者・関連学生も総勢200人を超える世界最大規模の拠点に成長している。これらを基盤に、水素製造から水素貯蔵、水素利用、安全まで、再エネや社会受容性向上なども含めた、水素エネルギー全体を対象とする国際的な教育研究拠点として活動している。このような集中拠点の重要性は水素エネルギー分野に限らず多くの産業分野・学術分野にも共通している。5年後、10年後の実用化を目指す革新技術の創製や、20年後、30年後の我々のエネルギー技術開発を牽引してくれる人材の育成は、息の長い取り組みが欠かせないエネルギー分野で特に重要である。産学官地域連携で、人材育成をはじめ、基礎基盤研究や産学連携、技術実証や社会実装、国際連携、未来科学創造に向けた取り組みを今後とも着実に進めていきたいと考えている。

4. おわりに

以上、述べたように、二次エネルギーとして電気、熱と並んで水素を加えることで、原子力や再エネを含めたエネルギー転換や低炭素化・脱炭素化を促進できるエネルギー体系を再構築することができる。さらに、持続可能性が企業や産業にとって重要になる中で、CO₂フリーのエネルギーを安価に入手できる地域の価値は高まる。原子力発電所の再稼働を全国に先駆けて実現し、同じくCO₂フリーである再エネの普及が進むこ

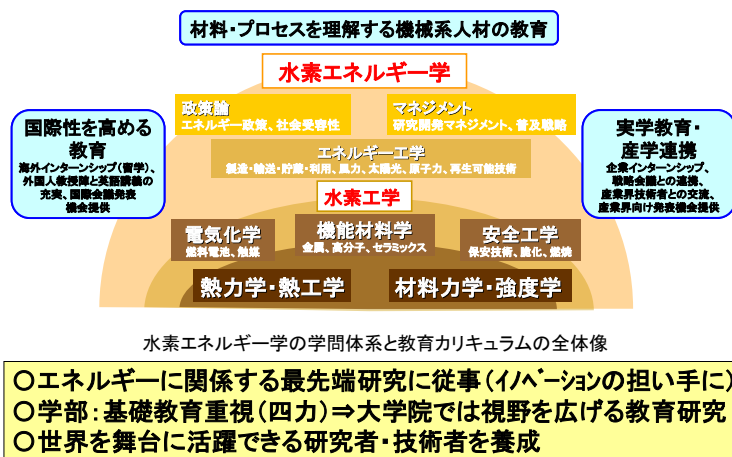


図4：世界唯一の「水素エネルギーシステム専攻」の教育コンセプト（上）と関連メンバー（下）

の地域は、国内外からの ESG 投資にも適した地になりつつある。本講演者が座長となって議論して策定した「九州の未来のエネルギーへの提言」の概要を図5に示す。「原子力の着実な運用」が柱の一つに明記された地域の産業界のビジョン・戦略が明確に打ち出された意義は大きい。このような提言に沿って、原子力発電所の安定運転や人材育成を通じた 3E+S の着実な達成が九州で進み、全国に広がることを期待したい。

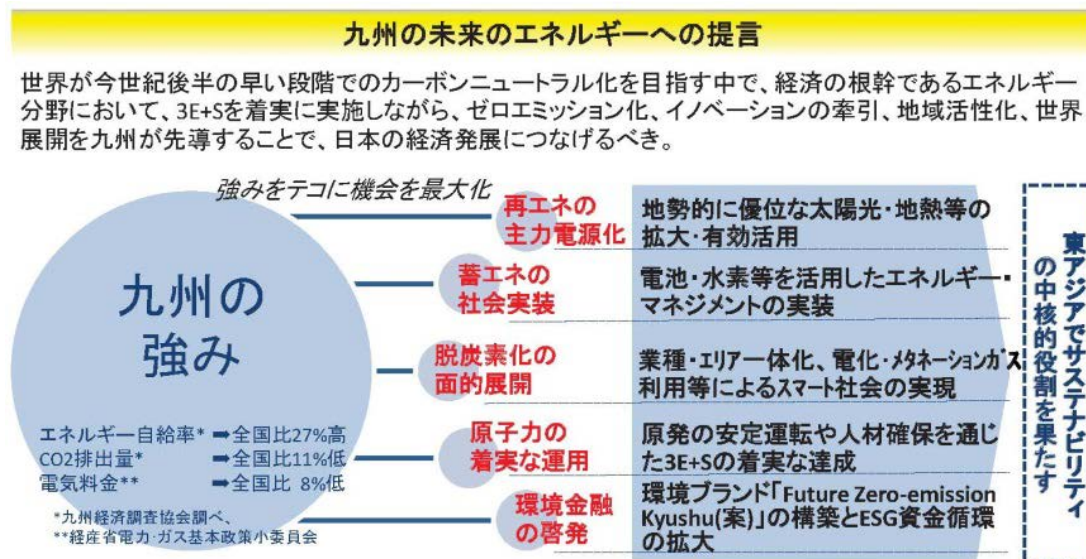


図5：ゼロエミッション化を目指す九州の未来のエネルギーへの提言
(抜粋、九州経済連合会、2020年3月4日公表) [6]

参考

[1]

ノベーション戦略推進会議、「革新的環境イノベーション戦略」（2020年1月策定）、内閣府ホームページ
<https://www8.cao.go.jp/cstp/siryo/haihui048/siryo6-2.pdf>

[2] K. Sasaki, H.-W. Li, A. Hayashi, J. Yamabe, T. Ogura and S. M. Lyth, Hydrogen Energy Engineering: A Japanese Perspective, Springer Japan, (2016).

[3] トヨタ自動車ホームページ <http://toyota.jp/mirai/>

[4] ホンダホームページ <http://www.honda.co.jp/CLARITY/>

[5] 九州大学大学院工学府水素エネルギーシステム専攻ホームページ <http://www.mech.kyushu-u.ac.jp/j/>

[6] 九州経済連合会、「九州の未来のエネルギーに関する提言書」、2020年3月4日、(一社)九州経済連合会ホームページ <https://www.kyukeiren.or.jp/report/index.php?category=suggestion&id=3148>

文献

統合イ

*Kazunari Sasaki

Kyushu Univ.