

再生可能エネルギーの新技术

— ゼロエミッションを目指す水素の活用 —

国立研究開発法人 産業技術総合研究所再生可能エネルギー研究センター招聘研究員

豊島 安 健

1. はじめに

東日本大震災からの再生可能エネルギー（以下「再エネ」）による復興を掲げて福島県郡山市に設立された(国研)産業技術総合研究所（以下「産総研」、英文略称はAIST）の福島再生可能エネルギー研究所（FREA）（図-1）では、その唯一の研究組織である再生可能エネルギー研究センター（RENRC）において「再エネの主力電源化」の早期実現に向けた技術開発を、国内外の研究機関などと連携して推進するとともに、東北被災県における再エネ関連の産業集積の促進を通じ復興に貢献している。本稿では、本研究センターで進められている再生可能エネルギーに関する新たな技術開発について紹介するとともに、最近、特に注目を集めているゼロエミッションを目指すための水素の活用について解説する。

2. 再生可能エネルギー研究センターでの技術開発

本研究センターの設立時は6つの研究チームで構成されていたが、その後、1チームが増え、2019年4月より産総研の第5期中長期計画が開始されたことに伴い、さらに2チームが加わって9チームとなった。太陽光関連の3チーム、水素関係が2チーム、風力、地熱、地中熱がそれぞれ1チームずつ、そしてこれら全体を結びつけて活用する課題を担うエネルギーネットワークが1チームというのが、現在の研究体制である。センター全体として取り組んでいる主軸の研究開発課題は、

- ①再生可能エネルギー技術自体の性能向上と運用・保守技術の確立
- ②適正な導入拡大のための研究開発やデータベース構築
- ③ゼロエミッション実現にむけた次世代エネルギーシステムの技術開発の3つとなる。

まず一つ目の課題である「再生可能エネルギー技術自体の性能向上と運用・保守技術の確立」に関し、太陽光発電関連では、ステンシルマスクを用いたイオン打ち込み法による不純物添加を利用した両面受光型バックコンタクトセル製造方法の開発、パラジウムナノ粒子などを用いたスマートスタック技術によるタンデムセルの開発、熱回収型太陽電池コンセプトの提案、などが挙げられる。また、FREAだけでなく、つくば地区および九州センター（佐賀県鳥栖市）にも各種太陽電池の実証フィールドを有しており、それぞれの地域環境における発電のパフォーマンスや経時変化状況をモニタリングしており、その知見を長期信頼性の確保などに活用している。

風力発電に関しては、ナセル搭載型LIDERによる風車前方風況の事前検知と制御への活用により発電効率の向上や故障原因となる突風などからの回避操作に役立っている。また、風車翼（ブレード）への誘電体バリヤ放電を用いたプラズマ



1. 研究本館 2. 実験別棟 3. 実証フィールド 4. エネルギー管理棟 5. スマートシステム研究棟

図-1 産総研福島再生可能エネルギー研究所の外観

アクチュエーター付与によるプラズマ気流制御を行うことで、高効率化を試みている。同様なラバー状電極を貼り付ける手法は落雷対策にも有効との期待がある。LIDERは事前の風況調査にも活用できるので、特に沿岸海上の風況調査に利用することによるコスト削減などが有望視されている。つい最近のことであるが、国家プロジェクトとして行われてきた福島県楢葉沖の浮体式洋上風力発電機体が、採算が取れる見通しが立たないため、撤去されることとなった。洋上風力の場合、特に浮体式の場合は設置コストがかさむ上に、定期点検や修理に用いる専用船の製造やその維持管理のコストまでが上乘せされるため、風車の設置数が少ない状況では事業としての採算が難しいのではないかと推察される。また太平洋側だと、偏西風による西風の上流側となる日本列島による気流の乱れが発生するため、洋上であっても風況が良いとは限らない。と言って、日本海側なら良いかという、別の問題として世界最強とされる冬季の落雷による破損や故障が懸念される。こういったわが国固有とも思われる問題をどのようにして乗り越えていくかが、今後に課せられた大きな課題であろう。

「適正な導入拡大のための研究開発やデータベース構築」は地熱や地中熱にかかわる開発課題である。新たな地熱開発を既存の温泉利用などとの共生を図った上で進めるには、まず地道に科学的なデータを積み重ねていくことが肝要と考えている。その一方で、これまでとはまったく別の発想で、今まで全く利用されていなかった大深度に存在する熱源へ人工的に水を注入して蒸気を得る超臨界地熱資源開発という方策を検討している。成功すれば原子力発電所に匹敵する大電力を得られるとの期待がある一方で、実現には相当な開発年数が必要とされている。既存の地熱発電所では経時により得られる水蒸気量が減少するという傾向が一般的に認められるのだが、熱源の方は残っていることが多い。そこで、こういう場合の現実的な対処法として、人工的に水を注入してやり、蒸気量を回復させる「涵養」と呼ばれる手法を試みることがある。

地中熱利用は再エネというよりは省エネと言った方が分かりやすいかもしれない。地下数十メートル程度の温度は、わが国の南北で若干異なるものの14～17℃程度と年間を通してほぼ一定である。そこで夏や冬に外気とではなく、こ

の温度域の地中熱と熱交換することで冷暖房の空調を行えば、大幅なエネルギーの節約が可能になる。ただし、地中での熱交換の効率は、地下水の流れ（これを「水文」という）の大小に大きく影響され、これに依存してどの程度の深さや数の熱交換井を必要とするかが決定される。このため、その決定判断の基礎となるデータベースである地中熱ポテンシャルマップをまず地元近辺の東北地方から、次いで西日本、ひいては全国各地に適応を拡大すべく作成を進めている。

「ゼロエミッション実現にむけた次世代エネルギーシステムの技術開発」については、水素の活用が重要な役割を果たすと考えられているが、これに関しては次項でまとめて説明するとし、ここでは電力ネットワーク関連について紹介する。そのための主要な役割を果たす研究棟としてスマートシステム研究棟が設立された。当初はメガソーラーのような大規模発電所用のパワーコンディショナーを試験研究することを想定し、大面積の電波暗室や世界各地の電力システムを模擬できる系統模擬電源施設、広い範囲で温湿度調節が可能な環境試験設備などを整備した。近年は太陽光発電設備だけでなく、燃料電池システムや蓄電池システム関連の研究開発や性能試験への活用が増えていく模様である。またスマートグリッドの実現を目指したデジタルトランスフォーメーションの活用などに関する研究開発も進めている。

3. ゼロエミッションを目指す水素の活用

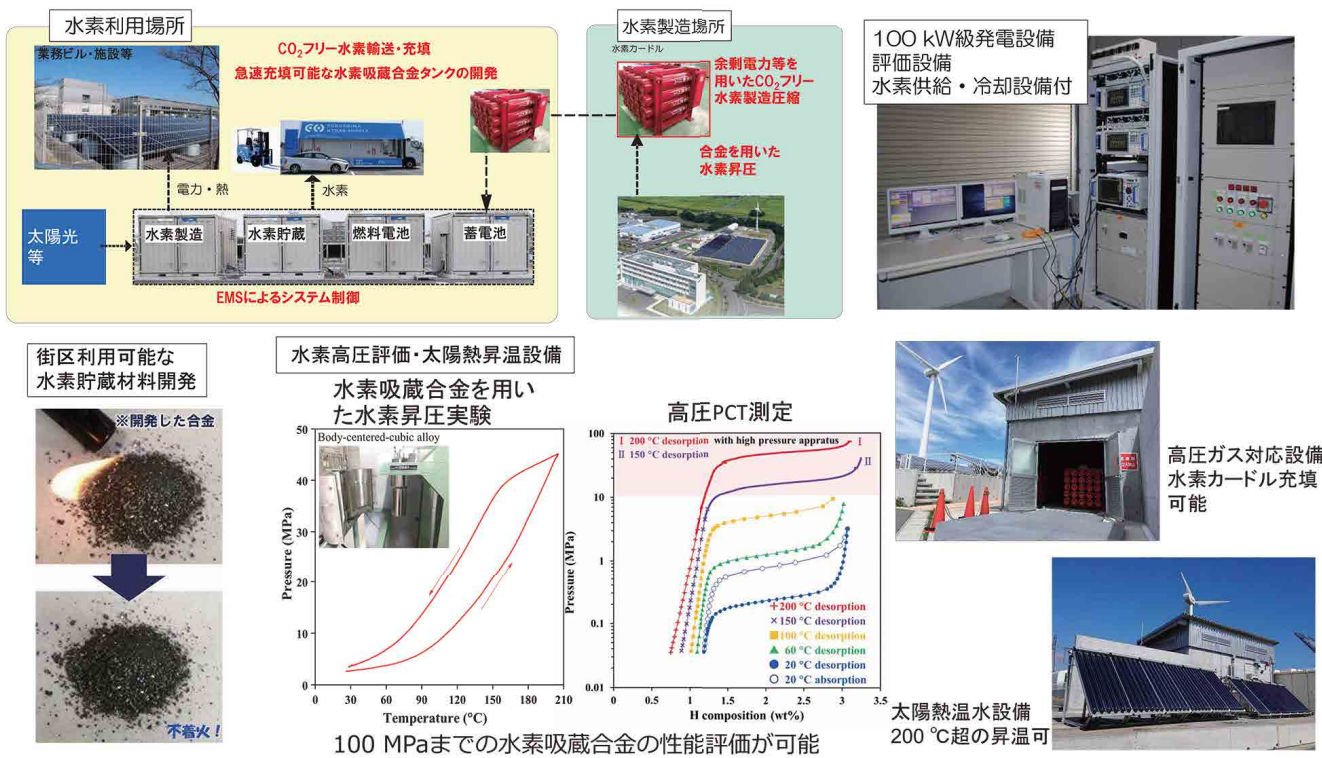
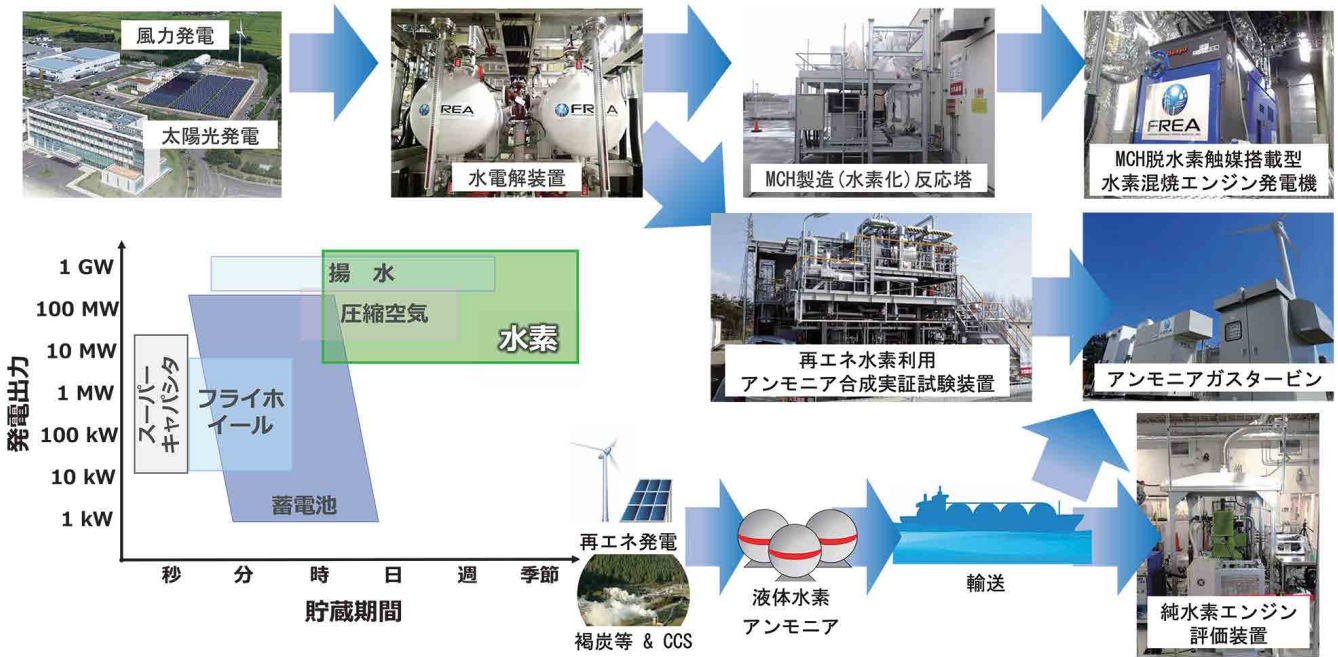
最近のゼロエミッションに向けた動きに伴って、当センターにおける水素関連の研究開発、特にアンモニアなどの水素キャリアに関する開発状況への注目が高まりつつある印象を受ける。天候などに依存するという不安定な要因を持つ再エネを有効に利用するための、水素関連の活用技術をここでまとめて紹介する。

図-2に当センターで研究開発している手法を中心に、包括的なコンセプトを示した。図の上半分が再エネによる水電解での水素製造からメチルシクロヘキサン (MCH) やアンモニアなどの水素キャリアへの変換、そしてその燃焼利用の一連の過程を示している。下半分は、主に街区での水素活用を想定した、燃えない水素吸蔵合金を活用したビルエネルギー管理システム (BEMS) とその関

連設備を示している。このBEMSは、「清水建設-産総研ゼロエミッション水素タウン連携研究室」という産総研内で「冠ラボ」と呼称される企業との共同研究の方式により研究開発が進められたものであり、同社が有する建物などのエネルギー管理技術と、産総研が有する水素製造・貯蔵技術を融合させたものである。まず産総研敷地内にシステム構築を行い、予備的な実験により安定的な実証運転を実現した後、現在は郡山市の公設市場の管理棟への電力供給システムとして実証試験運転を継続中である。この経過が良好に進捗している模様で、同社は金沢の北陸支店の建て替えの際に同様なシステムを導入する予定と聞いている。休日の太陽光電力で製造した水素を平日の営業日に利用する運用を想定とのことである。なお、本格的にゼロエミッションを目指すのであれば、ビル設置の太陽光発電だけでは電力が不足するので、郊外のメガソーラーなどで製造した水素を搬入し、吸蔵合金に一時貯蔵の上、必要に応じて発電利用するというような運用が必要となろう。

ランタン系のような一般的に良く知られている水素吸蔵合金は、空気中で炎を近づけると発火し、炎を遠ざけても発火(赤熱が継続する状態)し続けるため可燃物という扱いになる。ここで用いた吸蔵合金は当研究センターが新たに開発した燃えない組成のものであり、消防法の危険物に該当しない。また、想定される温度範囲で放出される水素の圧力が1メガパスカルに至らないため、高圧ガス保安法の対象にもならない。加えて組成に高価なレアメタルなどを含まないので比較的安価であるという利点もあるため、街区での定置用として有用と考えられる。

少し話が戻るが、水素を生成するための水電解には技術的な課題が存在する。水の電気分解の理論値は1.23eV(「eV」という単位は電圧のエネルギーを電子一個分で表現したものであり、ここでは電圧の単位である「V」とほぼ同じ意味と考えてもらえば良い)であるが、この電圧をかけても水は分解せず、約1.8Vまで電圧を上げる必要がある。この理論値を超える電圧分は過電圧と呼ばれ、これだけで電力の3分の1が無駄に費やされることになってしまう。この過電圧を低減させるべく、多様な反応経路を經由させたり、触媒効果を活用したりする研究開発が続けられている。また、原料の水



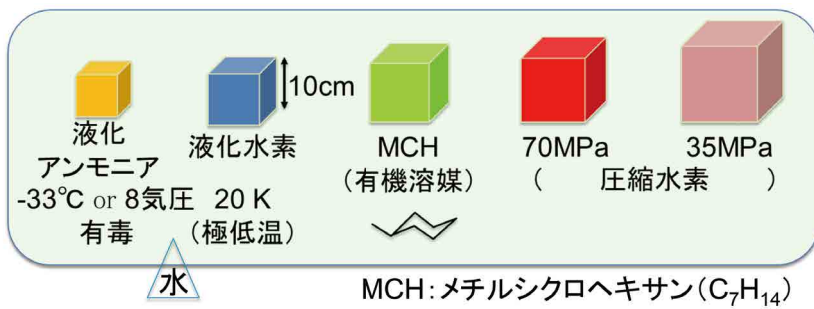
(上段) 風力発電や太陽光発電の電力により、アルカリ水電解で製造したグリーン水素を、トルエンへの付加反応でMCH（メチルシクロヘキサン）という水素キャリアに変換し、内燃機関の排熱による熱分解で水素を放出させ、燃焼利用する。また、窒素と反応させてアンモニアを合成し、ガスタービンで燃焼させる方法もある。海外で製造された水素を極低温の液化水素あるいは液体アンモニアとして輸入し、国内利用するためのアンモニア燃焼技術や純水素エンジンの開発も重要な課題である。
 (下段) 燃えない水素吸蔵合金を利用したビルなどでのエネルギーマネジメントシステム。水素吸蔵・放出の温度特性図や、評価装置、付帯設備など。

図-2 ゼロエミッションを目指す水素の活用手法

は液体であるが、電気分解で発生させる水素と酸素は気体である。水を蒸発させて気体にするだけでも多大な熱量（0℃の水を100℃に加熱する熱量の6倍超）を必要とすることから理解できると思うが、（例えば太陽熱を併用することにより）電気分解の電力の一部を熱供給に置

き換えることが可能であり、水電解電圧を低減させることができる。なお、熱の効果だけで水を水素と酸素に分解することも可能であり、ヨウ素（I）とイオウ（S）との反応を経由させるIS法と呼ばれる熱化学法がすでに開発されているが、千度に近い高温熱源を必要とする点

が実用化の壁になっている。
 なお、この過電圧であるが、この存在のおかげでマンガン電池やアルカリ電池などの乾電池は、水系の電解質溶液を使っていないが、定格の1.5Vという電気分解の理論値を超える電圧を問題なく発生させることができる。ただし、充電

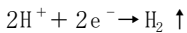


1気圧 1 m³の水素 (89 g) の貯蔵に必要な容積を立方体の体積で表現して比較。これらの他に、水素吸蔵合金を用いたコンパクトな貯蔵方法があるが、非常に重い(約7kg程度)ため、運搬用途には適さない。

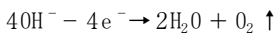
図-3 水素貯蔵に要する体積の比較

する場合、万一何かの偶然で電気分解が起きてしまうことを避けるため、ニッケル水素型の二次電池(かつて多用されていたニカド電池も)の定格電圧は1.2Vに抑えられているのである。

具体的な水電解の方法としてはアルカリ水電解法が挙げられる。アルカリが使われるのは、次のような理由による。水の一部はH⁺とOH⁻に解離しており、水素が発生するマイナス極側では、



という比較的単純な反応であるが、他方の酸素が発生するプラス極側では、



という関与するイオン数の多いやや複雑な反応を行わせる必要がある。このため、H⁺よりOH⁻が多量に存在するアルカリ性の水溶液の方が反応を進めるのに有利となる。このほかの水電解の手段としては、H⁺を透過させる固体高分子膜を用いた燃料電池の逆反応を用いるという方法もあり、比較的小規模な用途に用いられることがある。

なぜ有毒ガスであるアンモニアが水素キャリアとして注目されているのか理由も紹介しておく。各種の水素を貯蔵する手段とそれに必要な容積を図-3に模式的に示した。一見してわかると思うが、同じ量の水素を貯蔵するのに最も体積を小さくできるのが液化アンモニアなのである。液化するにはマイナス33℃に冷却あるいは8気圧まで加圧する必要があるが、実現が難しい要件であるとは思えない。極低温に冷却した水素の液化状態よりも、体積を小さくできることが不思議かもしれないが、これには次のような理由がある。一般的に原子や分子は、原子核に正電荷が集中しており、その周囲を電子雲という形で負電荷が取り巻いてい

る。このため、分子間には負電荷間の反発が生じるため、分子固有の排除体積が存在する。この影響のため、例えば圧力を35MPaから倍の70MPaに上げて、体積は半分にはならない。しかし、アンモニアのように分子内に孤立電子対を持つ場合、分子自体がプラスとマイナスに分極しているため、まるで多数の磁石が連なるように、分子間が近接した集合状態を取ることができる。さらに、水素分子は1分子当たり2個の水素原子で構成されるが、アンモニアは3個と多い。これらの理由で、液化アンモニアを用いれば最もコンパクトに水素を貯蔵でき、運搬などにも適するものと考えられている。

図中のメチルシクロヘキサン(MCH)はあまりなじみのない有機溶媒と感じられるかもしれないが、白色の修正液の溶剤として用いられており、知らないうちに日常で使われていたのではないかと思う。ただし、熱脱離で水素を放出した状態であるトルエンは劇物に該当するので、しかるべき管理を行う必要がある。

そのままではエネルギー源としての役には立たないが、常温常圧の水も水素をコンパクトに運ぶことのできる化合物であり、自然界の水素循環を担う物質として、非常に重要な役割を果たしていることは意識にとどめておいていただきたいと思っている。

4. おわりに

再エネ関係の技術開発およびその関連で水素を用いた活用について解説した。紙面の関係もあり、項目を提示するだけの紹介が多くなってしまったので、当研究センターにおける技術開発の進展状況は公式WEBページを、再エネに関する技術的詳細は拙著をご参照いただければ幸

いである。

再エネからは離れるが、産総研の地質調査総合センターでは、国として行うべき地質情報の整備のため「地質の調査」を行なうとともに、これらの情報を基礎として地球環境の保全、資源・エネルギーの開発、地質災害の軽減などに関連するさまざまな問題を解決するための技術開発を進めている。また、分析計測標準研究部門では「デジタルカメラで撮影するだけで橋のたわみを計測する技術の開発」のような非破壊計測に関する研究も行っている。これらのように、産総研では多様なテーマでの研究開発を実施しているため、これらについても公式WEBページをご参照いただきたい。(https://www.aist.go.jp/)