

カーボンニュートラルの動向と 産総研福島再生可能エネルギー研究所の紹介

The Trends of Carbon Neutrality and Introduction of Fukushima
Renewable Energy Institute in AIST



古谷博秀*
Hirohide FURUTANI

Disasters that can be attributed to global warming are occurring with greater frequency, and the world is trying to move towards carbon neutrality. To achieve carbon neutrality, energy conservation, decarbonized power sources, electrification of non-electrified fields, use of decarbonized fuels, and negative emission technologies are important. This paper introduces the trends of carbon neutrality in Japan and overseas, and the efforts of the Fukushima Renewable Energy Institute in AIST, which is conducting research and development toward the achievement of carbon neutrality.

Key Words: carbon neutrality, renewable energy, hydrogen

1. カーボンニュートラルに向かう世界

近年、地球温暖化の影響と考えられる異常気象が目に見えて増えてきている。10年前には、地球温暖化の影響という話は実感するにはまだまだ遠いと思っていたが、2023年現在、夏の暑さは昔とは比べ物にならず、日本でも生命の危険を感じるほどになり、台風や豪雨が100年に一度といわれる規模の災害が毎年、しかも増加しているように感じる。世界的に見ても地球温暖化が巻き起こしたと考えられる大きな災害が増えてきている。このような状況の中、世界はこの温暖化を食い止めるため、カーボンニュートラルに向かおうとしている。

世界規模での地球温暖化対策は、2015年国連気候変動枠組み条約締約国会議（COP21）で採択されたパリ協定で急速に動きだした。パリ協定を受けて、平均気温の上昇を2℃に抑える目標に向けて、日本は2050年に80%の温暖化ガス排出削減の目標を掲げてきていた。しかしながら、その後、世界的な地球温暖化の影響が目に見えるようになり、平均気温の上昇を1.5℃に抑えるカーボンニュートラルに世界は動いていく。これには、コロナからの復興で元の状態に復興するのではなく、より良いところを目指すというグリーン・リカバリーの方

向性も後押しをしたと考えられる。

世界的なカーボンニュートラルの動きはさらに活発化しており、2022年11月にエジプトで開催されたCOP27において、COP26で決定した実施指針に基づいて、排出削減や吸収量の国際取引を報告する様式、専門家の審査手続き、国連が管理する市場メカニズムの運用細則等が決定され、カーボンニュートラルのルール作りが具体的に進んでいる。

エネルギー白書2023¹⁾によると、年限付きのカーボンニュートラルの実現を表明している国や地域は150を超え、これらの国や地域におけるGDPの合計は全世界のGDPの94%を占めるとされている（図1）。日本においても、2020年10月に菅元総理が所信表明演説にて2050年にカーボンニュートラルを目指すことを宣言され、その後、2030年の目標として、46%削減が表明された。それ以来、カーボンニュートラルというキーワードをニュースで聞かない日はないように感じる。

エネルギー資源の多くを海外に頼り、風力や太陽光などの現在主力となっている再生可能エネルギーのポテンシャルも決して高くない日本にとっては困難な目標だが、すでに全世界の標準がゼロエミッションになろうとしている現状を考えると、これをチャンスととらえ、ゼロエミッションをビジネス化していくことが重要になって来る。

*国立研究開発法人 産業技術総合研究所 研究戦略企画部 次長
カーボンニュートラル担当プロジェクトマネージャー

2. カーボンニュートラルに必要な技術

産総研では、エネルギーシナリオの研究を行っており、エネルギー関連の研究開発の方向性を示す役割を果たしている²⁾。日本においてカーボンニュートラルを実現するシナリオを検討したところ、カーボンニュートラル以前の80%削減においては、脱炭素化技術、いわゆるゼロエミッションにより実現のシナリオが描けたが、カーボンニュートラルのシナリオを描こうとすると、ゼロエミッション技術だけではシナリオを描くことができず、二酸化炭素の回収などのネガティブエミッション技術を導入しなければ、シナリオを描くことが難しい結果となった。これは、これまでの省エネや再エネ、燃料代替と組み合わせて、ネガティブエミッション技術がゼロエミッション達成のためには必須であることを表している。

政府が開催したグリーンイノベーション戦略推進会議において、どのようにゼロエミッションを具現化していくかの議論がされており、ここで紹介をしたい。

日本のエネルギー消費では、非電化の消費が電化された消費よりやや大きい、ほぼ同じような割合であり、これによりCO₂を代表とする温暖化ガスの排出が起きている。

これをゼロエミッションにするための手法としては、**図2**に示すように、まずは、徹底的な省エネルギーを実施し、エネルギー消費の価値を向上し、電力を再エネや水素等の脱炭素電源に変換した後、非電力部分を電化、そして、電化が難しいプロセスにおいては、水素やアンモニア、バイオマスや合成燃料の利用によりこれを圧縮する。しかしながら、電力の部分においても、非電力の部分においても、その置き換えにより膨大なコストが発生するプロセスが残るため、これらをキャンセルするCO₂回収技術に代表されるネガティブエミッション技術がカーボンニュートラルのために必要になる。

政府の革新的イノベーション戦略では、これらの各段階に必要な39の研究テーマをすでにピックアップしているが、産総研においては、そのうち34のテーマを実施している。CO₂回収技術など、カーボンニュートラルにかかわる研究開発については、2020年1月にノーベル賞受賞者の吉野彰博士を研究センター長に迎え、カーボンニュートラルにかかわる研究開発を国際的な視野に実施するゼロエミッション国際共同研究センターを設立し、研究開発を行っている。

今回、紹介する再生可能エネルギーや水素技術につい

ては、電力や非電力部門の脱炭素化に必要な技術として、その役割があり、今後のますますの技術開発が望まれている。産総研では、再生可能エネルギーや水素についての技術開発で、実用化に近い研究開発について、2014年に福島県郡山市に設立した福島再生可能エネルギー研究所にて実施しており、その内容を後半で紹介する。

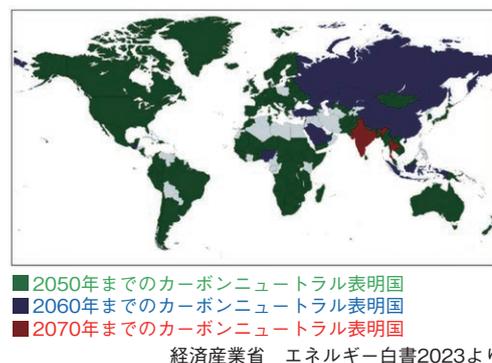


図1 年限付きのカーボンニュートラルを表明した国・地域 (2022年10月時点)
 Countries/regions that have announced carbon neutrality targets (as of October 2022)

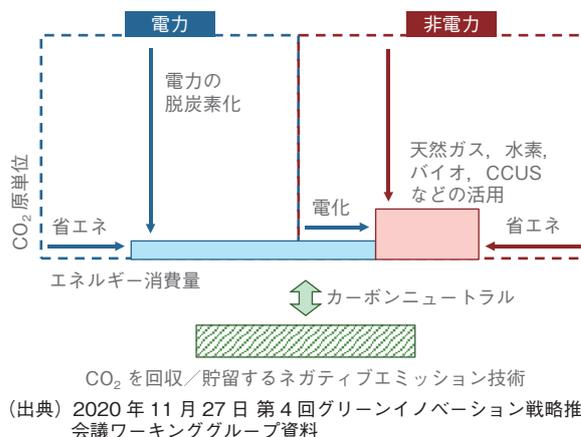


図2 カーボンニュートラル実現に向けた対策
 Direction of measures to achieve carbon neutrality

3. カーボンニュートラル化に向けた国内の動き

日本は、2030年度の温室効果ガス46%削減、2050年カーボンニュートラルの実現という国際的な公約を掲げ、国として気候変動問題に対応する意志を示している。これを実現するために、産業革命以来使用してきた化石エネルギー中心の産業や社会構造をクリーンエネルギー中心の産業や社会構造へ転換するGX（グリーントランスフォーメーション：Green Transformation）が進められつつある。これは戦後日本が経験したことのない大

変革となる。

2023年2月には「GX実現に向けた基本方針」³⁾がとりまとめられ、日本の脱炭素関連技術を最大限活用し、GXを加速させ、エネルギーの安定供給につなげるとともに、我が国経済を再び成長軌道へと戻す起爆剤とするとしている。

内容として、「エネルギー安定供給の確保を大前提としたGXに向けた脱炭素の取組」、「成長志向型カーボンプライシングの構想の実現・実行」、「国際展開戦略」、「社会全体のGXの推進」、「GXを実現する新たな政策イニシアティブの実行状況の進捗評価と見直し」について示されている。

また、日本の水素エネルギーについて、2023年6月に「水素基本戦略」⁴⁾が改訂された。水素・アンモニア社会の実現を加速化するため、2030年に最大300万トン/年、2050年に2000万トン/年程度の導入目標を掲げているところ、新たに2040年における水素導入目標を1200万トン/年程度を水素（アンモニアを含む）の導入目標として掲げている。また、電化が難しい熱利用、燃料電池の利用による運輸、産業部門の脱炭素化、合成燃料や合成メタン等の製造などの需要拡大の期待の基、「発電」、「燃料電池」、「熱・原料利用」の各分野での戦略が示されている。

さらに、今後の自動車の発展を左右する合成燃料については、2022年9月に「合成燃料の導入促進に向けた官民協議会」が設立され、2023年6月に中間とりまとめ⁵⁾が示された。これまで2040年からとされていた利用開始時期を、2030年に早めることが示され、商用化

に向けた一層の技術開発の加速が求められることとなった。

4. カーボンニュートラルに挑戦する産総研福島再生可能エネルギー研究所の研究開発

産総研は、2011年の東日本大震災の復興と、世界でもトップクラスの再生可能エネルギーの研究開発の実施を目的として2014年3月に、福島県郡山市に産総研福島再生可能エネルギー研究所（FREA）を設立した。FREAでは、その設立当初より、太陽光、風力、地熱、地中熱、水素、そしてこれらを束ねるエネルギーネットワークの研究開発を実施している。

図3にFREAの外観を、図4にFREAの電力システム研究環境を示す。FREAは実用化に近い研究開発を実現するため、実証フィールドに太陽光500kW（現在水素評価拠点建設のため50kW縮小し、450kW）、風力300kWを実装している。また、別の敷地に250kWの太陽光を設置しており、合計1MWの再生可能エネルギーを実装し、これらのエネルギーマネジメントやO&Mに関する研究開発を行える。また、再生可能エネルギーや系統の状況を忠実にシミュレートし、再現性良くシステム評価を行うためのスマートシステム研究棟を有する。スマートシステム研究棟は、フレキシブルな直流電源3MW、系統をリアルタイムでシミュレーションできる交流電源5MWを有しており、実用規模となるMW級の試験を実機で行える試験設備となっている。

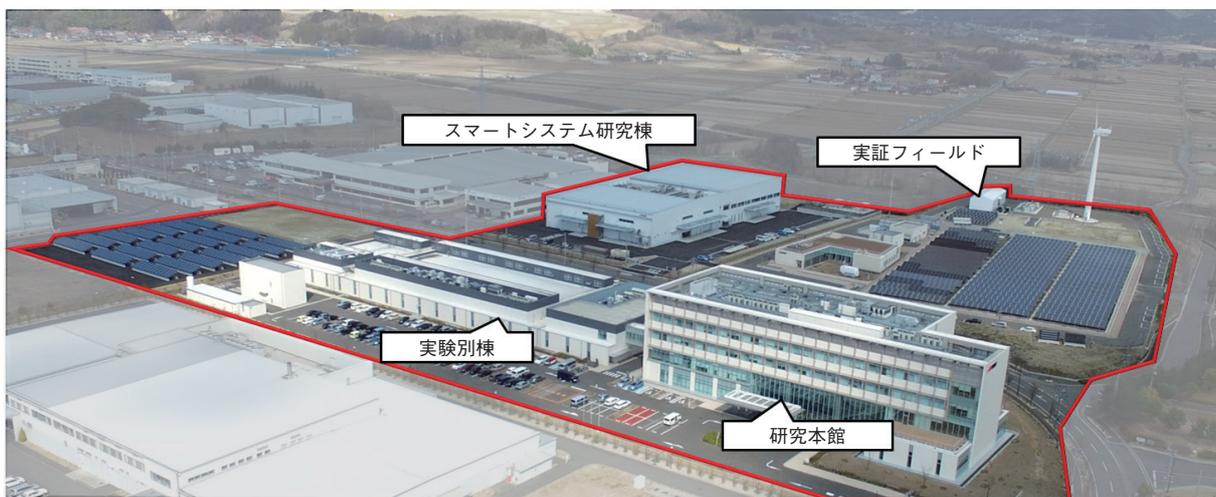


図3 産総研福島再生可能エネルギー研究所概観
Overview of AIST Fukushima Renewable Energy Institute

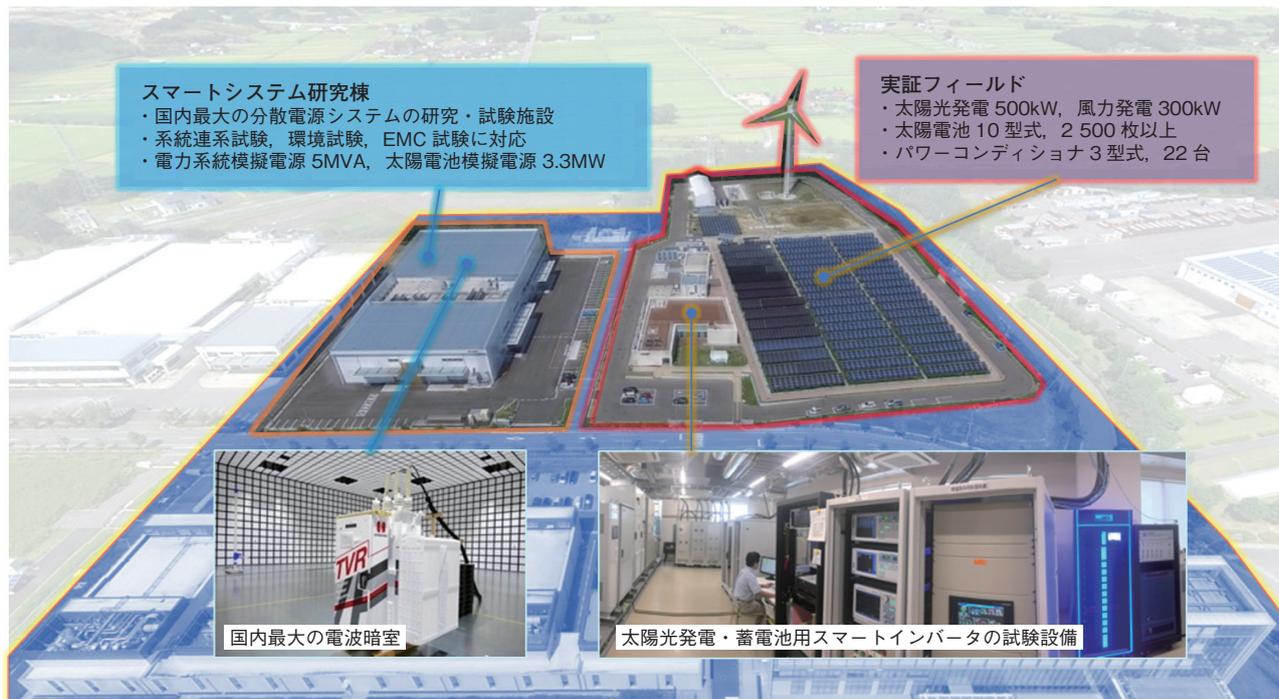


図4 産総研 FREA の電力システム研究環境
Facilities for Power Systems Research in FREA

再生可能エネルギーの割合が増えた場合の課題の一つとされている慣性力の不足を、インバータに慣性を模擬させ、これを補う結果を示す。通常の発電機はエンジンやタービン、または水力により発電機を回転させる物が多く、発電機そのものが周波数の変動を抑える慣性力を持つが、再生可能エネルギーはインバータを介して系統に電力を送っており、慣性力を持たない。そのため再生可能エネルギーの割合が増えると、系統内で事故が起こった場合、周波数を維持する慣性力が足りなくなり、次々に発電機が切り離されてしまい、大停電を引き起こす恐れが高くなる。図5に系統内で事故が発生していくつかの発電機が脱落した場合のシミュレーション結果を示す。図中の青い線は再生可能エネルギーの割合が増えた時の系統事故時の変動を示しており、黒い線で表す再生可能エネルギーがない場合、つまり慣性力を持つ発電機のみの場合の変動よりも大きく変動していることが分かる。一方、インバータに慣性力の模擬をさせた場合、赤い線のように慣性力を持つ発電機だけの場合よりも系統を安定化できることを示している。このようなインバータの試験を、シミュレーションだけでなく MW 級の実機で行えるのが FREA のスマートシステム研究棟の特徴になる。

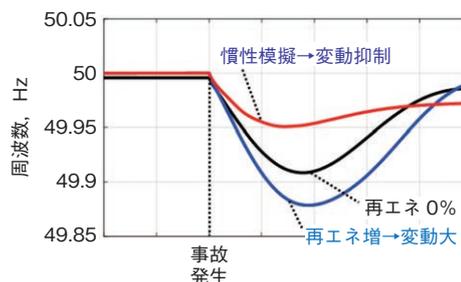


図5 模擬慣性力の効果
Effect of simulated inertial force

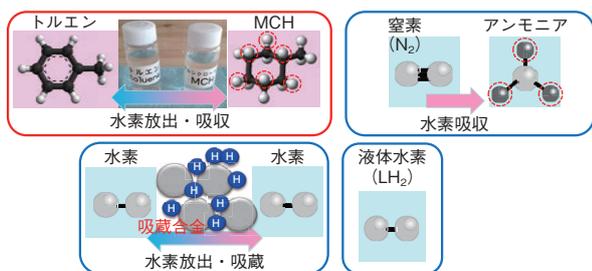
再生可能エネルギーが多量に増えた場合、また、再生可能エネルギーの地域性をカバーする方法として、再生可能エネルギーの電力を水素などの化学エネルギーに変換し、このエネルギーを貯めたり、輸送したりできるようにする方法が考えられる。再生可能エネルギーのポテンシャルも大きくはない日本にとっては重要な技術となると考えられる。この水素の研究を FREA では実施している。図6に FREA で研究対象としている水素キャリアを示す。

MCH (メチルシクロヘキサン) はトルエンというガソリンの基剤にもなる有機溶媒を触媒上で水素化して生成する。この MCH は、やはり触媒上で加熱することによって、水素とトルエンに分離をすることができ、ま

た、MCHの輸送に必要なインフラは、ガソリンと同じインフラが使えるため、石油化学コンビナートなどの石油系のインフラと排熱のあるケースでは有望な水素キャリアと考えられる。FREAではアルカリ電解装置と水素混焼エンジンを使いMCHにより水素エネルギーを貯め、利用するシステムを構築して、再エネで利用する場合のノウハウと課題を取得してきた。

アンモニアは、空気中の窒素と水素で合成することが可能で、再エネと水さえあれば生成可能な水素キャリアである。図7に再エネ由来の変動する水素も受け入れ可能なアンモニア合成プラントを示す。本プラントは、SIPのプログラムにおいて日揮と共同で構築したプラントで、通常アンモニア合成で使われるハーバーボッシュ法よりも低温、低圧、かつ変動する水素を受け入れることのできるプラントになる。また、FREAでは、アンモニアをガスタービンの燃料として利用する研究開発を行っており、図8に示すように、小型ながらアンモニアでガスタービンの試験が可能な試験設備を構築し、アンモニアの直接燃焼利用の技術開発を行っている。FREAでは、世界で初めてガスタービンを使ったアンモニアによる発電に成功している。

また、アンモニアの直接燃焼利用の大きな課題の一つは、窒素酸化物の生成があるが、これを、燃焼方法の工夫と、後処理触媒の高度化によって克服している。



※メチルシクロヘキサン (MCH)：6 重量%の水素を有する常温常圧で液体の有機化合物。1 ㊦の MCH で 500 ㊦の水素ガスを貯蔵。
 ※アンモニア：17 重量%の水素を有する窒素化合物。1 ㊦のアンモニアで 1 300 ㊦の水素ガスを貯蔵。
 ※水素吸蔵合金：水素だけを合金中へ可逆的に吸蔵・放出。重量密度は小だが、体積密度は大。
 ※液体水素：1 ㊦の液体水素で 800 ㊦の水素ガスを貯蔵。水素の純度が非常に高い。

図6 FREAが研究対象とする水素キャリア
Hydrogen carriers researched by FREA



図7 変動再エネ水素対応アンモニア製造プラント
Plant that produces ammonia from fluctuating renewable hydrogen



図8 アンモニアガスタービン試験設備
Test facility for ammonia gas turbine

さらに、水素吸蔵合金を使ったエネルギーシステムの研究開発を実施している。図9に清水建設との共同研究によって構築した水素吸蔵合金を用いた水素エネルギーシステム (Hydro Q-BiC) を示す。写真は Hydro Q-BiC システムが郡山市の市場に設置されていた時の物である。本共同研究においてはその有効性を確認するために、郡山市の協力を得て、実際に活動が行われている市場で実証試験を行った。この実証では、蓄電池と水素によるエネルギー貯蔵を利用して、昼間の太陽光のエネルギーを、市場が活動する日の出前の早朝に利用することとなり、同様のシステムには難しい課題となる。また、自治体の公共の施設で実証することにより、安全性を確保し、法令を順守した上での実証であることを明確に示すことができた。このシステムは、清水建設のビル用のエネルギーマネジメントシステムに産総研の吸蔵合金をベースとした水素エネルギー技術を組み合わせられており、新開発の吸蔵合金は、その初期化をはじめとするすべてのプロセスを 1MPa 以下の環境で、熱媒体として水が使える温度域で制御できる。この実証の結果、Hydro Q-BiC が電力を供給する部分において、システムの導入により 50% の CO₂ 削減が可能であることが実証された。

現在、FREAでは、グリーンイノベーション基金を活用して、再生可能エネルギー環境下で大型の水電解シ

システムを評価するプロジェクトを実施しており、2023年度末には、評価設備が完成する予定である。現在、欧州を中心にカーボンニュートラルのために水の電気分解により水素を数十GWの規模で製造する計画が進められており、日本の水電解技術が世界の市場にチャレンジする場合のカタパルト的な役割を果たすことを目標としている。



図9 再エネ水素エネルギーシステム (Hydro Q-BiC)
Renewable hydrogen energy system (Hydro Q-BiC)

5. おわりに

温暖化の影響はますます激しくなっており、世界はカーボンニュートラルを目指している。しかし、これを具現化するための技術はまだ、社会実装の段階にないものが多い。産総研としては、総力を挙げてこの課題に取り組み、課題を解決できるイノベーションエコシステムの開発の中心となることを目指している。その一つとして、FREAでは、それぞれの再生可能エネルギーの高度化と、エネルギーネットワークを研究し、これに水素を組み合わせたエコシステムを提案、実証することにより、日本の、世界のカーボンニュートラルに貢献できることを目指している。

参考文献

- 1) 経済産業省：エネルギー白書2023, [https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2023/pdf/\(2023\)](https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2023/pdf/(2023)).
- 2) Akito Ozawa, Tsamara Tsani, Yuki Kudoh : Japan's pathways to achieve carbon neutrality by 2050 - Scenario analysis using an energy modeling methodology, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 169. November(2022)p112943.
- 3) 経済産業省：GX実現に向けた基本方針, [https://www.meti.go.jp/press/2022/02/20230210002/20230210002_1.pdf\(2023\)](https://www.meti.go.jp/press/2022/02/20230210002/20230210002_1.pdf(2023)).
- 4) 経済産業省：水素基本戦略, [https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene_shinene/suiso_seisaku/pdf/20230606_1.pdf\(2023\)](https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene_shinene/suiso_seisaku/pdf/20230606_1.pdf(2023)).
- 5) 経済産業省：合成燃料(e-fuel)の導入促進に向けた官民協議会 2023中間とりまとめ, [https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/e_fuel/pdf/2023_chukan_torimatome.pdf\(2023\)](https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/e_fuel/pdf/2023_chukan_torimatome.pdf(2023)).