

産総研福島再生可能エネルギー研究所の カーボンニュートラルに向けた取組

Activities toward carbon neutrality at the Fukushima Renewable Energy Institute, AIST

古谷 博秀^{*1}

Hirohide FURUTANI

Director-General, Fukushima Renewable Energy Institute, AIST



Abstract

Extreme weather is causing severe damage in countries around the world. Many countries have committed to carbon neutrality with a time limit, and the world is moving towards carbon neutrality. To achieve carbon neutrality, energy conservation, decarbonization of power generation and each process, and negative emissions are necessary. This article introduces the trends in carbon neutrality and the efforts of the Fukushima Renewable Energy Institute, AIST, towards carbon neutrality.

●**Keywords:** Carbon neutral, Renewable energy, Hydrogen, Energy network, Energy carrier

*国立研究開発法人 産業技術総合研究所 福島再生可能エネルギー研究所 所長

1. 緒言

異常気象の影響は年々深刻さを増し、日本においても夏は命の危険を感じるほどの高温となり、海水温の上昇により台風の数も増し、その威力も強くなり、100年に一度といわれる大きな水害がたびたび起こっている。冬においても、これまで経験したことのない大雪に見舞われる地域が出始めている。世界各国でも異常気象による甚大な被害が広がっている。

このような中、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動きだした。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と言われ、その後、2030年の目標として、46%削減が表明された。

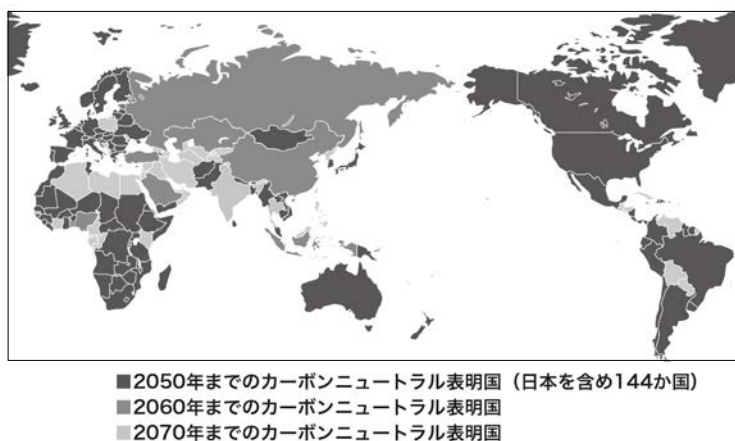


図1 年限付きのカーボンニュートラルを表明した国・地域（2022年10月時点）

2024年12月に政府が示したエネルギー基本計画の案²⁾では、新しく、2040年の目標として、暫定値としながらも、73%の削減目標が掲げられた。これまで、将来の電力は人口の減少と共に減少するとの見込みで計画がされていたが、昨今のAIをはじめとするDX化の動きから、消費電力現状の0.99兆kWhから、1.1から1.2兆kWhに将来増加に転じると見通されたうえで、電源構成としては、再生可能エネルギーが4割から5割、原子力が2割、火力が3割から4割とすることを目指すことが示された。一方、最終エネルギー消費量としては、原油換算で現在の3.0億kLから、2.6から2.8億kL程度とし、全体としては省エネルギー化を図る形となっている(表1、図2)。

表1 2040年度におけるエネルギー需給の見通し
(2024年12月時点の暫定値)

	2023年度 (速報値)	2040年度 (見通し)
エネルギー自給率	15.2%	3～4割程度
発電電力量	9854億kWh	1.1～1.2兆kWh程度
電源構成	再エネ 22.9%	4～5割程度
太陽光	9.8%	22～29%程度
風力	1.1%	4～8%程度
水力	7.6%	8～10%程度
地熱	0.3%	1～2%程度
バイオマス	4.1%	5～6%程度
原子力	8.5%	2割程度
火力	68.6%	3～4割程度
最終エネルギー消費量	3.0億kL	2.6～2.8億kL程度
温室効果ガス削減割合 (2013年度比)	22.9% ※2022年度実績	73% (注)

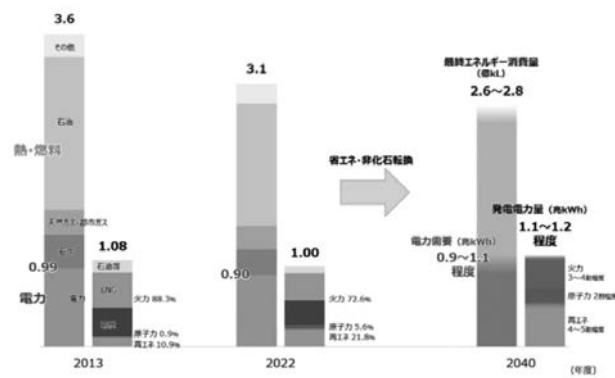


図2 エネルギー需給の見通し
(2024年12月時点のイメージ)

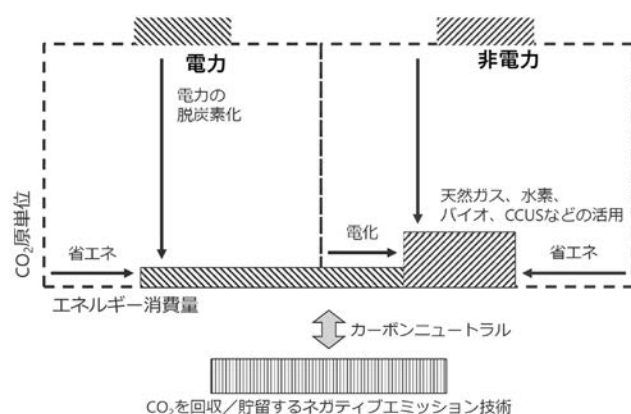
エネルギー資源の多くを海外に頼り、風力や太陽光など現在主力となっている再生可能エネルギーのポテンシャルも決して高い日本にとっては野心的な目標だが、すでに全世界の標準がゼロエミッションになろうとしている現状を考えると、これをチャンスととらえ、困難な日本でもゼロエミッションを実現し、その技術をビジネス化していくことが重要になって来る。

2. カーボンニュートラル実現の方向性

産総研で実施したエネルギーシナリオの研究により³⁾、日本の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、二酸化炭素80%削減においては脱炭素化技術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、BECCS（バイオマスを利用し、その利用から排出される二酸化炭素を回収し貯留する技術）やDACCS（空気中からDAC: Direct Air Captureにより直接二酸化炭素を回収し、これを貯留する技術）などの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、ここで紹介をする。日本のエネルギー消費では、工場での燃料利用や、EV以外の自動車、家庭で利用するガスや灯油など直接燃料を使う非電化の消費が、発電所で電気を作りこれを使う電化された消費よりやや大きい。これにより二酸化炭素を代表とする温暖化ガスの排出が起こっている。

これをゼロエミッションにするための手法としては、図3に示すように、エネルギー消費の価値を向上し、選択肢の幅を広げるため、より踏み込んだ省エネルギーの実施が重要となる。資源を持たない日本としては、省エネルギーについては徹底的に実施してきたが、将来二酸化炭素の排出にコストがかかると認識し、例えば、二酸化炭素排出1トン当たり数千円から数万円のコストと仮定すると、技術の選択肢が広がり、新しい省エネルギーの手段が考えられる。次に、発電を再エネや水素等の脱炭素電源に変換することが必要となる。現在議論されている新しいエネルギー基本計画では、原子力も利用していき、この脱炭素を実施していく計画となっている。さらに、電力の脱炭素が進んだうえで、非電力部分を電化する。しかしながら、工場などの高温熱源や、大型で長距離走行が必要な移動体など、各分野に電化が難しいプロセスが存在する。これらには水素やアンモニア、バイオマスや合成燃料の利用など、ゼロエミッション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。このため、これらをキャンセルす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。



(出典) 2020年11月27日 第4回グリーンイノベーション戦略推進会議ワーキンググループ資料

図3 カーボンニュートラル実現に向けた対策

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。二酸化炭素回収技術など、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。

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、実用化に近い再生可能エネルギーや水素技術について、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 (FREA) にて実施しており、その内容を後半で紹介する。

3. 産総研福島再生可能エネルギー研究所 (FREA) での研究開発

3・1 産総研 福島再生可能エネルギー研究所 (FREA) の概要

福島再生可能エネルギー研究所は、2011年の東日本大震災で甚大な被害を受けた福島県が、真にクリーンなエネルギーにより復興を成し遂げたいとの思いから、再生可能エネルギーによる復興を目指すため、再生可能エネルギーに関する研究所を福島県内に設立してほしいと要望され、この要望を産総研が受け、2014年に福島県郡山市に設立した研究所である。FREAでは、その設立当初より、世界最先端の研究開発の実施と同時に、被災地の企業との共同研究により再生可能エネルギーや水素に関連した技術の社会実装に貢献し、復興へ貢献している。FREAでは、再生可能エネルギーとして、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4にFREAの外観を示す。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ージメントや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、太陽光や蓄電池などの機器をシミュレーションできるフレキシブルな直流電源5MWと、電力系統をシミュレーションできる交流電源7.5MWを有しており、実用規模となる



図4 産総研福島再生可能エネルギー研究所概観

MW級の試験を実機で行える試験設備となっている。特に、交流電源は、接続した機器が交流電源に流した電気の電圧、周波数などを計測し、瞬時に想定している電力系統への影響をリアルタイムシミュレータにより計算し、次の1波形に反映することにより、ほぼ実際の電力系統に接続したときと同様の試験を実現している。また、実際の電力系統では、実施の困難な、急な電圧低下や、周波数の変動などの系統事故を想定した試験の実施も可能となる。図5にこのスマートシステム研究棟を含めたFREAの電力システム研究環境を示す。



図5 産総研FREAの電力システム研究環境

3・2 再生可能エネルギー大量導入時の系統接続の課題（慣性力）に関する試験例

再生可能エネルギーの割合が増えた場合、系統全体を支える慣性力の不足が、その大量導入の課題とされている。この対策の1つとして、インバータに慣性を模擬させ、これを補うことが考えられる。FREAでは、スマートシステム研究棟の機器を利用して、この最新のインバータの試験を実施することが可能となる。FREAで実施しているエネルギーネットワークの研究開発の1例として、その結果を示す。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て発電を行っている。それぞれの発電機は、系統全体の周波数に同期して回転し、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の多くはインバータを介して系統に電力を送っており、この慣性力を持たないケースが多い。そのため再生可能エネルギーの割合が増えると、系統内で発電所等の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大停電を引き起こす恐れが高くなる。図6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。図中の再エネ増のケース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、再エネ0%で示す再生可能エネルギーがない場合と比較して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、慣性模擬のケース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。このような高速なインバータ試験を、シミュレーションだけでなくMW級の実機で実施できるのがFREAのスマートシステム研究棟の特徴になる。

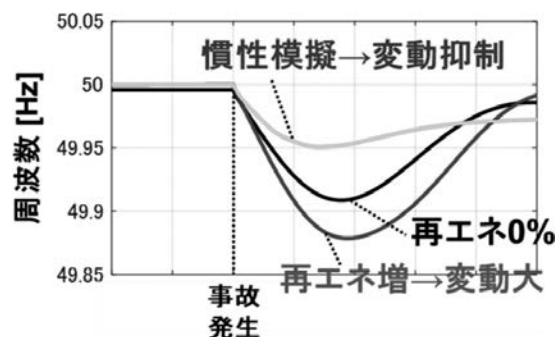


図6 模擬慣性力の効果

3・3 FREAにおける水素エネルギー研究開発

再生可能エネルギーは地域によって豊富に利用が可能な地域とそうでない地域があり、時間的にも季節により変動する。太陽光や風力などの再生可能エネルギーはその多くが電力に変換されることから、出来れば、その場でその時に利用できれば効率が良いが、地域性や変動性をカバーするためには、これらのエネルギーを貯蔵や輸送する技術が必要になる。例えば、太陽光発電は昼間には発電をするが夜には発電をしない、家庭などの規模でこの変動をカバーするには、蓄電池を利用することが考えられる

が、太陽光や風力は季節によって発電できる量が変動し、世界規模で見ると、豊富な地域とそうでない地域とに大きく分かれる。これらの位置的、時間的な偏在性をカバーするには、蓄電池ではコストがかかりすぎること、季節間に相当する時間では自己放電によりロスが生じるなどの課題があり、その課題をカバーしようとする、電気エネルギーを長期に貯蔵の可能な安定した化学エネルギーに変換することが必要になる。この代表例が水素となる。また、ビルなどの規模で、BCP（事業継続性）などのために、余剰の電力により水素を少量ずつ製造し、これを蓄え、非常時に一度に使う例などでは水素の特性が活かせると考えられる。

再生可能エネルギーのポテンシャルが大きくはない日本にとっては、水素は海外からの大規模輸入のためにも、再生可能エネルギーを使ったZEB（ゼロエミッション）技術としても重要となる、FREAでも再エネを活かすための水素エネルギーの研究開発を実施している。図7にFREAで研究対象としている水素キャリアを示す。

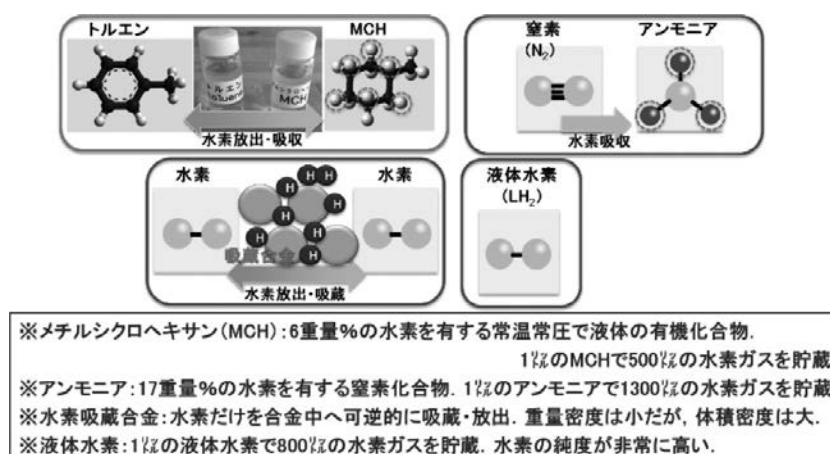


図7 FREAが研究対象とする水素キャリア

MCH（メチルシクロヘキサン）はガソリンの基剤にもなるトルエンという有機溶媒を、触媒上で水素化して生成する。このMCHは、触媒上で加熱することにより、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、石油化学コンビナートなど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、再エネ由来の電力で水素を製造し、MCHにより水素エネルギーを貯め、利用する際にエンジンの排熱によりMCHから水素を取り出す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8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、通常の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である。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9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1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た。現在、海外で製造した水素をどのように国際的に輸送するかが課題となっており、常温で8気圧まで圧縮すれば液化するアンモニアは、比較



図8 変動再エネ水素対応アンモニア製造プラント



図9 アンモニアガスタービン試験設備

的大量輸送が簡単で、早期に実現可能な多量の水素の輸送手段として注目されている。また、火力発電などの燃焼を使った利用については直接の利用も可能で、混焼ではあるが大型の石炭火力発電所において混焼が可能であることが実証されている。

水素の利用として、ビル用のBCP対応が考えられるが、そのためには安全に多量の水素を貯蔵する技術が必要になる。FREAでは、この手法として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10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システムが郡山氏の市場に設置されていた時の物である。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。市場での実証では、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てできており、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。



図10 再エネ水素エネルギーシステム (Hydro Q-BiC)

さらに現在、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ステムを評価するプロジェクトを実施しており、500kWの大型水電解スタックの評価、50kWの中型ながら5MPaまでの高圧での水電解の評価、最後に、スマートシステム研究棟の交流電源を活用して、世界中の電力系統を再現するとともに、再生可能エネルギーが増えた場合を想定して、電力の電圧や周波数が不安定となった場合を想定した試験を実施する評価設備が完成している。現在、大型の水電解装置の試験と、高圧の水電解の試験を開始している。

4. 結言

カーボンニュートラルに関する動向と、そのためのアプローチ、さらにこれに関連する産総研福島再生可能エネルギー研究所の取り組みについて紹介した。世界情勢が激しく変化する中ではあるが、IPCC等の予測に反して、すでに地球温暖化の影響は出始めており、カーボンニュートラルは、企業にとってサーキュラーエコノミー、ネイチャーポジティブと並ぶ重要課題となっている。本投稿が読んでいただいた方々のカーボンニュートラルへの活動の一助になれば幸いです。

尚、記述した内容の一部は、NEDOのグリーンイノベーション事業 (JPNP21014) の一環として実施しており、ここに感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 経産省, 「エネルギー白書2023」, <https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2023/pdf/>
- 2) 経産省, 「エネルギー基本計画(案)」, https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/opinion/data/2024_01.pdf
- 3) 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