

トレンド

水素エネルギー技術の動向と東芝グループの取り組み

Trends in Hydrogen Energy Technologies and Toshiba Group's Approaches

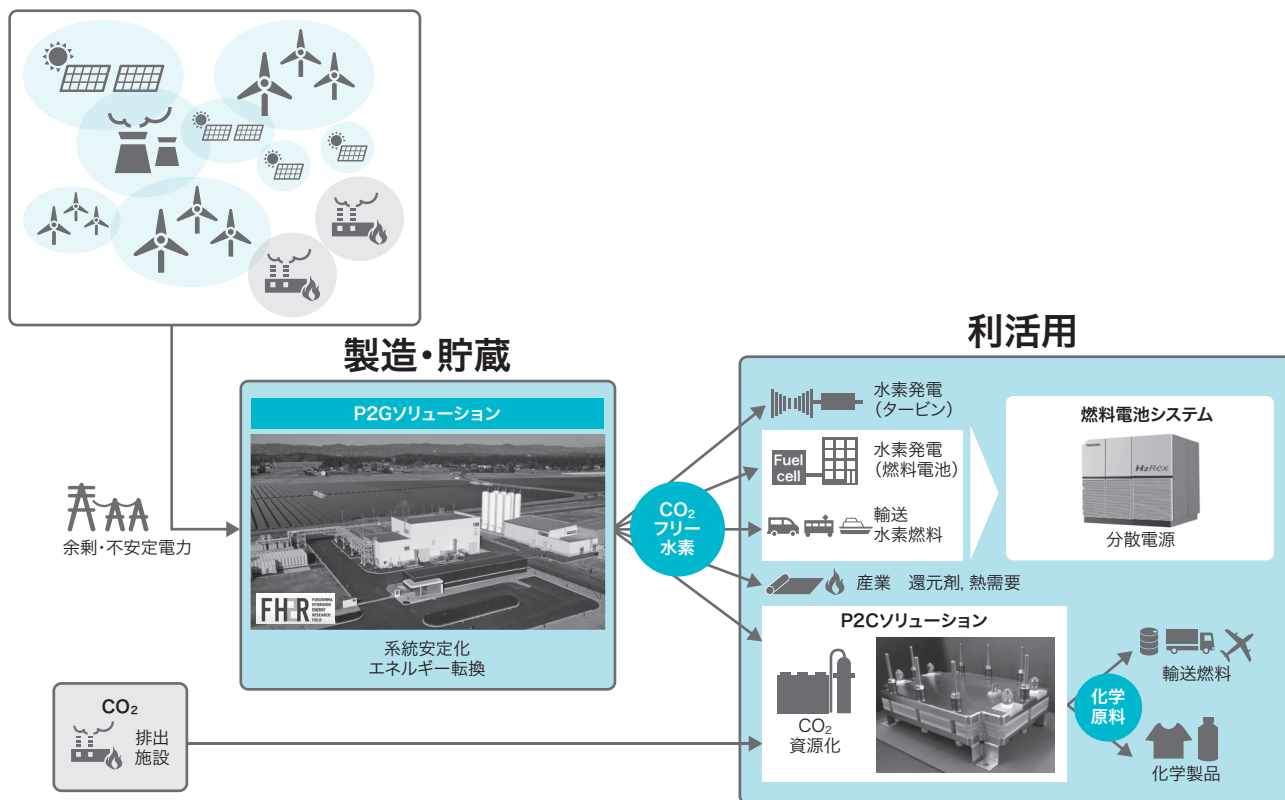
佐藤 純一 SATO Junichi 齋藤 聡 SAITO Satoshi

近年、カーボンニュートラルに向けた動きが世界的に加速している。その実現のためには、再生可能エネルギー（以下、再エネと略記）の大量導入や、カーボンリサイクルなどの様々な技術を駆使して、多方面から総力を挙げて取り組んでいく必要がある。中でも、水素が果たす役割は極めて大きい。

東芝グループは、再エネ導入加速に向けたPower to Gas (P2G)ソリューション、水素の大量導入と低コスト化に向けた水素製造技術、水素の利用拡大に向けた燃料電池技術、及び二酸化炭素 (CO₂) の利活用に向けたPower to Chemicals (P2C)ソリューションなど、水素社会の実現に向けた水素エネルギー技術の開発とソリューションの提供を推進している。

Accompanying the worldwide momentum toward carbon neutrality, concerted efforts are being made to develop related technologies in numerous fields including the widespread adoption of renewable energy and carbon recycling. In particular, the role of hydrogen has become more important than ever before.

The Toshiba Group has been promoting the realization of a hydrogen society through the development of various hydrogen energy technologies, including hydrogen production technologies for the mass introduction of hydrogen at low cost and fuel cell technologies to expand the use of hydrogen. We are also providing power-to-gas (P2G) solutions to accelerate the installation of renewable energy systems, and power-to-chemicals (P2C) solutions to recycle carbon dioxide (CO₂) using renewable energy.



FH2R:福島水素エネルギー研究フィールド

特集の概要図. 水素社会実現に向けた東芝の取り組み

Toshiba Group's approaches to solutions for realization of hydrogen society

1. まえがき

近年、カーボンニュートラルに向けた動きが大きく加速している。我が国では、2020年10月に菅首相が2050年までにカーボンニュートラルの実現を目指すことを宣言し、同年12月にカーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略が公表された。この中で、2050年にカーボンニュートラルを実現するためのエネルギー政策及びエネルギー需給の絵姿が示された。図1に、2030年及び2050年のCO₂削減目標を示す⁽¹⁾。

2030年に向けて、非電力部門は徹底した省エネの推進と水素社会実現に向けた取り組みの強化により、電力部門は再エネの主力電源化、原子力の再構築、火力発電比率の引き下げ、及び水素・アンモニア発電の活用により、2013年比で46%の削減を目指す。

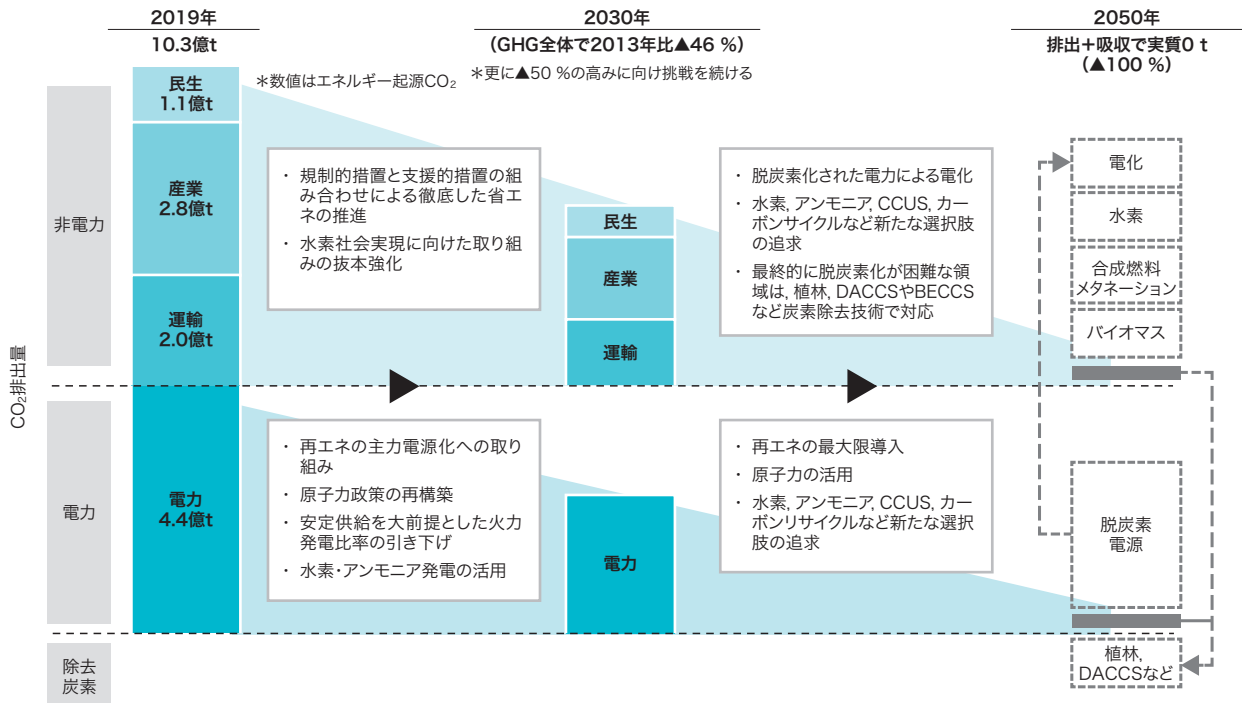
更に、2050年に向けて、非電力部門は電化の推進、及び水素・アンモニア・CCUS (Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage) とカーボンリサイクル・バイオマスの追求により、電力部門は再エネ最大限導入、原子力の活用、及び水素・アンモニア・CCUSとカーボンリサイ

クルの追求により、CO₂排出量の大幅な削減を図る。最終的に脱炭素化が困難な領域は、植林によるCO₂吸収固定、DACCS (Direct Air Capture with Carbon Storage)、又はBECCS (Bioenergy with CCS) を活用したCO₂分離回収貯留によるカーボンネガティブと組み合わせて、トータルでカーボンニュートラルを目指す。

ここで水素は、燃料電池やタービン燃焼による発電分野、自動車・船舶・航空機・鉄道などの輸送分野、製鉄・化学・石油精製などの産業分野など、幅広い分野の脱炭素化に貢献できると期待されており、カーボンニュートラルのキーテクノロジーと言われている。

東芝グループは、再エネ導入加速に向けたP2Gソリューションや、水素の大量導入と低コスト化に向けた水素製造技術、水素の利用拡大に向けた燃料電池技術、CO₂の利活用に向けたP2Cソリューションなど、水素の製造・貯蔵から利活用、更には最適に運用するエネルギーマネジメントに至る技術・ソリューションに取り組んでいる(特集の概要図)。

ここでは、水素社会の実現に向けた世の中の動きと、東芝グループにおける水素エネルギー関連技術開発の概要に



GHG:温室効果ガス
*内閣官房、ほか、「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」⁽¹⁾を基に作成

図1. 2030年及び2050年のCO₂削減目標

政府のグリーン成長戦略では、2050年のカーボンニュートラルに向けてあらゆる選択肢を総動員して、エネルギー需給の絵姿を示している。

Targets for CO₂ reduction in Japan in FY2030 and FY2050

ついて述べる。

2. 水素社会実現に向けた動向

我が国の水素エネルギーに関わる政策を直近10年で振り返ると、第4次エネルギー基本計画(2014年4月)では、水素について、それまで研究開発・技術実証段階にあったものを、将来の二次エネルギーの中心的な役割を担うものと位置付け⁽²⁾、水素・燃料電池ロードマップ(2014年6月策定、2016年6月改訂)がまとめられた⁽³⁾、⁽⁴⁾。このロードマップでは、至近の家庭用燃料電池エネファームやFCV(燃料電池自動車)の導入拡大(フェーズ1)、水素発電の導入と大規模水素供給システムの確立(フェーズ2)、及びCO₂フリー水素供給システムの確立(フェーズ3)と、水素普及に向けたステップを示し、2040年頃までを見据えた方向性を示した。

更に、2016年11月のパリ協定の発効を受け、世界的なカーボンニュートラル化の動きが加速し始めた中、2017年12月に世界に先駆けて水素社会を実現するための水素基本戦略を策定し、2050年を見据えた将来目指すべきビジョンを示すとともに2030年までの行動計画を示した⁽⁵⁾。ここでは、2030年の目標として水素導入量30万t、コスト30円/Nm³^(注1)が示されている。

これまで、我が国のエネルギー政策における水素への期待が高まるとともに、導入加速に向けた指針が示されてきた。前述のグリーン成長戦略では、更なる導入量の拡大を目指して、2030年には水素導入量300万t、2050年には2,000万tが掲げられるとともに、幅広い領域で水素の活用が示され、カーボンニュートラルに向けた水素の位置付けが一段と向上した。

一方、民間では2020年12月に水素バリューチェーン推進協議会が発足し、水素需要拡大に向けたロードマップの策定や、プロジェクトの創出、規制緩和・合理化の検討、水素の導入促進に向けた制度検討、水素の訴求・理解活動など、水素社会の早期実現を目指して活動を進めている。2022年4月時点で250以上の多様な業種の企業・団体が加盟し、活動している。

海外での水素に関わる動きも活発化しており、我が国に続いて各国が水素戦略を発表している。ドイツは、2020年6月に国家水素戦略を策定し、国内再エネ水素製造能力の目標値を2030年に5GW、2040年に10GWと設定するとともに、中長期的な大規模水素輸入に向けたサプライチェーン実証プロジェクトの計画を公表した。フランスは、

2020年9月に水素戦略を改定し、2030年までに水素製造能力6.5GWの設備の設置、年間60万tのグリーン水素製造を目標として設定した。EU(欧州連合)は、2020年7月に水素戦略を公表し、2030年までにEU圏内に水素製造能力40GW(約440万t)を目指すことを示した。更に、オランダや、イタリア、スペインなどの欧州各国も水素戦略を発表している。このように、多くの国や地域が、水素をカーボンニュートラル化に必要な不可欠なエネルギー源と位置付け、水素活用の取り組みは世界的に加速している。

3. 東芝グループの水素エネルギー関連技術

東芝グループのカーボンニュートラルに貢献する水素エネルギー関連技術及びその取り組みについて、以下に述べる。

3.1 P2Gソリューション

太陽光や風力などの、出力変動が大きい再エネが大量導入されると、余剰電力の大量発生や、調整力不足が加速していくことになる。P2Gは、電力をガスにエネルギー転換する技術であり、余剰電力や調整力を解決する技術とともに、水素普及拡大に向けたサプライチェーンを構築する技術として期待されている。

東芝グループは、国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託事業により、福島県浪江町に世界有数規模の10MWの水素製造装置と20MWの太陽光発電設備を備えた水素製造施設(福島水素エネルギー研究フィールド(FH2R))を建設し、P2Gの開発・実証を行っている。再エネを有効利用した水素製造や、系統の調整力と水素製造の両立などの実証に取り組んでいる(この特集のp.7-10参照)。

3.2 水素製造技術

水素は、化石燃料からの改質水素や、苛性ソーダなどほかの製造プロセスからの副生水素、水の電気分解による水電解水素など、様々な手法で製造可能である。中でも、再エネの有効活用として、水電解水素が大きく注目されている。水電解の技術として、アルカリ水電解、固体高分子形水電解セル(PEMEC)、固体酸化物形水電解セル(SOEC)が知られており、数十~数百MW級の大容量化、低コスト化の技術開発が行われている。

PEMECは、入力電力の変動に対して追従性が良いことが知られている。一方、貴金属触媒を用いるため高コストになりやすく、性能・耐久性を維持しながら貴金属触媒の使用量を減らす技術が望まれている。これを解決するために、スパッタリング法を用いた独自のナノ構造制御技術及び水素リーク抑制手法を開発し、貴金属触媒の削減とともに電極の大型化に取り組んでいる(同p.11-14参照)。

(注1) Nm³は0℃、1気圧の状態に換算した体積。

SOECは、約700℃の高温で水蒸気を電気分解する技術であり、ほかの水電解技術に比べて約30%の効率化が可能である。更に、排熱利用が可能で、更なる高効率化が期待されている。一方、アルカリやPEMECなどのほかの水電解技術と比較して小規模の検証段階である。今後は、大規模化とともに、約700℃の高温水素・水蒸気下における材料の耐久性向上と、システム全体の熱マネジメントが重要な技術となる。東芝グループは、これらの技術開発を進めるとともに⁶⁾、500kW級のSOEC水電解システムの実用化に取り組んでいる(同p.15-19参照)。

3.3 燃料電池システム

燃料電池は、水素と酸素の電気化学反応により電気と熱を供給する。燃料電池システムは、水素利用の拡大のために、家庭用電源、工場・事業所などの業務産業用電源、FCV・バス・トラックへの適用が進められてきた。近年では、船舶・鉄道・建設機械などの大型移動体への適用拡大も進んでいる。これらの普及を拡大させるには、水素供給インフラ・サプライチェーンの整備・拡充、水素供給コストの低減、及び水素利用におけるインセンティブや規制緩和などの制度設計を進めていく必要がある。同時に、燃料電池の高密度化や、大容量化、低コスト化などの技術の高度化が重要である。

東芝グループは、2016年に第1世代となる100kW業務産業用純水素型燃料電池の初号機を開発・実用化⁷⁾して以来、システムの小型・簡素化及び低コスト化の技術開発に取り組んでおり、2022年には第3世代となる機種を開発を完了する。第3世代モデルは、第1世代に比べて容積で約60%、重さで約50%を削減し、20フィートコンテナに2台収納可能になるなど、長距離輸送も容易とした⁸⁾。更に、大容量化のために、100kW機を10台組み合わせると一つのユニットとした1MWシステムの開発、及び1MWを1ユニットとして複数ユニットで構成したマルチMWシステムの開発も進めている。

カーボンニュートラル実現の世界的に大きな潮流の中で、中国の動きも活発である。2021年3月に中国の工業和信息化部が制定した「情報通信産業発展第14次5カ年計画」には、非化石燃料由来の割合を増加させることが示されており、水素の利用拡大が進められている。燃料電池の多用途展開に向けて、中国広州のMore Hydrogen Energy Technology社(MOH社)と技術提携し、東芝グループの燃料電池スタックを組み込んだ、携帯基地局向けのメタノール改質型燃料電池システムの実用化に貢献している(同p.20-23参照)。

更に、燃料電池の品質安定化とコスト低減のために、東

芝グループの燃料電池の製造工場では、IoT(Internet of Things)を基軸としたデジタル技術を活用し、スマート工場化に取り組んでいる(同p.24-27参照)。

3.4 P2Cソリューション

図1に示したように、2050年のカーボンニュートラル実現のためには、火力発電所や工場から排出されたCO₂を、CCUSと組み合わせる分離回収する必要がある。回収したCO₂は、地下貯留のほかに、水素と合成して化成品や合成燃料などを生成するP2Cの実用化が期待されている。このP2Cのコアとなる技術は、CO₂電解技術であり、高効率化と大容量化が求められている。

東芝グループは、触媒電極上でCO₂ガスが直接反応可能な三相界面制御を適用した固体高分子形CO₂電解セルを開発し⁹⁾、¹⁰⁾、従来セルに比べて約450倍の変換速度向上を実現した。更に、燃料電池のセルスタック製造技術を転用することにより、CO₂電解セルの面積化とスタック化を行い、年間数百tのCO₂製造能力を持つCO₂電解システムの開発に取り組んでいる(同p.28-31参照)。

また、3.2節で示したSOECの応用技術として、共電解技術の研究も進めている。約600~800℃の高温環境下で、CO₂と水を同時に電気分解し、水素と一酸化炭素を生成する技術である。原理的にはSOECと同様に高温で動作させるため、高効率電解が期待されること、水素が同時に生成されるため、電解後の合成プロセスで水素をほかのプロセスから用意しなくてよいことが利点である。一方、技術的に明らかになっていないことも多く、反応メカニズム解明や生成ガス組成制御など、基礎レベルの研究開発を進めている(同p.32-35参照)。

3.5 水素システム評価技術

太陽光や風力などの出力が変動しやすい再エネと、蓄電池や水素システムなどのエネルギー貯蔵を組み合わせると導入する場合、その導入コスト・運用コストや導入効果などの指標を見える化し、全体システムとして装置構成や容量が最適かどうかを評価することが重要となる。そこで、これらの様々な指標の可視化、及びシステム構成・容量最適化が可能なシミュレーターを開発し、全体システム仕様の妥当性評価を可能とした(同p.36-39参照)。

4. 今後の展望

2050年のカーボンニュートラル実現に向けて、水素が担う役割は極めて大きく、その期待も大きい。一方、水素の普及拡大に向けて、水素の大量導入、利活用の拡大を進めるには、克服すべき技術課題や制度課題も多い。

東芝グループは、太陽光・風力・水力などの再エネ電源

技術や、CO₂分離回収による火力発電などの脱炭素化技術、需給バランスを最適制御するVPP（バーチャルパワープラント）技術などととも⁽¹⁾、水素の製造・貯蔵・利活用に必要なP2G技術や、水素製造技術、燃料電池技術、P2C技術など、幅広い領域のカーボンニュートラル関連技術を保有する。

これらの技術の更なる最適化・高度化を進め、2050年のカーボンニュートラル実現に貢献していく。

文 献

- (1) 内閣官房, ほか. 2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略. 経済産業省, 2021, 160p. <<https://www.meti.go.jp/press/2021/06/20210618005/20210618005-3.pdf>>, (参照 2022-04-20).
- (2) 経済産業省. 第4次エネルギー基本計画, 2014, 78p. <https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/pdf/140411.pdf>, (参照 2022-04-20).
- (3) 水素・燃料電池戦略協議会. 水素・燃料電池戦略ロードマップ～水素社会の実現に向けた取組の加速～. 経済産業省, 2014, 58p. <https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/9516313/www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/energy/suiso_nenryodenchi/pdf/report01_03_00.pdf>, (参照 2022-04-20).
- (4) 水素・燃料電池戦略協議会. 水素・燃料電池戦略ロードマップ～水素社会の実現に向けた取組の加速～. 改訂版, 経済産業省, 2016, 70p. <<https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11038495/www.meti.go.jp/press/2015/03/20160322009/20160322009-c.pdf>>, (参照 2022-04-20).
- (5) 再生可能エネルギー・水素等関係閣僚会議. 水素基本戦略, 2017, 34p. <<https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11646345/www.meti.go.jp/press/2017/12/20171226002/20171226002-1.pdf>>, (参照 2022-04-20).
- (6) 長田憲和. 高効率と長寿命を実現した水素製造用SOEC. 東芝レビュー, 2020, 75, 1, p.54-55. <https://www.global.toshiba/content/dam/toshiba/migration/corp/techReviewAssets/tech/review/2020/01/75_01pdf/r02.pdf>, (参照 2022-04-20).
- (7) 矢吹正徳, ほか. 水素社会の実現に向けて導入が進む100 kW燃料電池システム. 東芝レビュー, 2018, 73, 5, p.72-76. <https://www.global.toshiba/content/dam/toshiba/migration/corp/techReviewAssets/tech/review/2018/05/73_05pdf/f03.pdf>, (参照 2022-04-20).
- (8) 公野元貴, ほか. 水素社会実現に向けた燃料電池システムの最新技術. 東芝レビュー, 2021, 76, 3, p.31-35. <<https://www.global.toshiba/content/dam/toshiba/jp/technology/corporate/review/2021/03/a08.pdf>>, (参照 2022-04-20).
- (9) 小藤勇介, ほか. “Auナノ粒子触媒によるCO₂還元セルの電流密度向上”. 日本化学会 第99春季年会予稿集, 神戸, 2019-03, 日本化学会, 2019, IPC-023, (DVD-ROM).
- (10) Kofuji, Y. et al. "EFFECTS OF OPERATING PARAMETERS ON POLYMER ELECTROLYTE MEMBRANE CO₂ ELECTROLYSIS CELL". Proceedings of the Nature Conferences on Solar Fuels. Wuhan, China, 2019-10. Springer Nature. 2019, p.48.
- (11) 保坂一志, 小坂田昌幸. カーボンニュートラルの実現に向けた電力・エネルギー業界の課題と東芝グループの取り組み. 東芝レビュー, 2021, 76, 3, p.2-7. <<https://www.global.toshiba/content/dam/toshiba/jp/technology/corporate/review/2021/03/a02.pdf>>, (参照 2022-04-20).



佐藤 純一 SATO Junichi, Ph.D.
東芝エネルギーシステムズ(株)
博士(工学)
水素エネルギー協会・電気学会会員
Toshiba Energy Systems & Solutions Corp.



齋藤 聡 SAITO Satoshi
東芝エネルギーシステムズ(株)
エネルギー・資源学会・日本化学会・日本機械学会会員
Toshiba Energy Systems & Solutions Corp.