

水素エネルギーに関する国内・国際動向

Hydrogen energy trends in Japan and overseas

高木英行*

1. はじめに

水素は、再生可能エネルギーを含め多種多様なエネルギー源から製造し、貯蔵・運搬することができることから、一次エネルギー構造を多様化させるポテンシャルを有する。さらに、製造段階で CCS (Carbon dioxide Capture and Storage) 技術や再生可能エネルギー技術を活用することで、トータルでも脱炭素化したエネルギー源とすることが可能であり、水素から高効率に電気・熱を取り出す燃料電池技術と組み合わせることで、電力、運輸のみならず、産業利用や熱利用など、様々な領域で究極的な低炭素化が可能となることから、脱炭素化したエネルギーの新たな選択肢として利用されることが期待されている。

本稿では、水素エネルギーに関する国内外の動向や国際連携について、政策サイドの取り組みを中心に概説する。また、産業技術総合研究所（産総研）における最近の取り組みについて紹介する。

2. 水素エネルギーに関する国内の動向

2.1. 第4次エネルギー基本計画と水素基本戦略

2011年3月11日に発生した東日本大震災及び東京電力福島第一原子力発電所事故を機に日本のエネルギー政策が大きな転換を迫られる中、2014年4月に新たな日本のエネルギー政策の方向性を示すものとして「第4次エネルギー基本計画」が閣議決定された。この中で、水素は、将来の二次エネルギーの中心的役割を担うことが期待されるとの記載がなされ、水素を日常の生活や産業活動で利活用する社会、すなわち“水素社会”の実現に向けた取組の加速として、水素の本格的な利活用に向けた水素発電等の新たな技術の実現や“水素社会”の実現に向けたロードマップの策定などが示されている⁽¹⁾。

2014年6月には、経済産業省資源エネルギー庁が事務局を務め、産学官の有識者により構成された水素・燃料電池戦略協議会において「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～」が策定された。本ロードマップでは、水素社会実現の意義や水素社会実現に向けた対応の方向性等が取り纏められている。さらに、2016年3月には、家庭用燃料電池や燃料電池自動車／水素ステーションに係る自立化に向けた道筋や定量目標等が盛り込まれたロードマップの改訂版が策定されている。

2015年12月の国連気候変動枠組条約第12回締約国会議（COP21）においてパリ協定が締結され、世界的にも低炭素化・脱炭素化に向けた取り組みが加速する中、日本では、2017年12月に、水素利活用に係る世界初の国家戦略として「水素基本戦略」が策定された。本戦略では、水素をカーボンフリーなエネルギーの新たな選択肢として位置づけ、政府全体として施策を展開していくための方針が示されている。図1に、水素基本戦略の概要を示す⁽²⁾。2050年を視野に入れ、将来目指すべき姿や目標として官民が共有すべき方向性・ビジョンを示すものとして策定されたものであり、水素の意義と重要性について、下記の項目が挙げられている。

- (1) 供給・調達先の多様化による調達・供給リスクの根本的低減
- (2) 電力、運輸、熱・産業プロセスのあらゆる分野の低炭素化
- (3) 3E+Sの観点からの意義
- (4) 世界へ先駆けたイノベーションへの挑戦を通じた国際社会への貢献
- (5) 産業振興・競争力強化
- (6) 諸外国における水素の取組を先導

* 国立研究開発法人 産業技術総合研究所 ゼロエミッション国際共同研究センター 水素製造・基盤研究チーム 研究チーム長

水素基本戦略（概要）

2050年を視野に入れ、将来目指すべき姿や目標として官民が共有すべき大きな方向性・ビジョンを示すもの

1. 我が国のエネルギー需給を巡る構造的課題

(1) エネルギーセキュリティ/自給率
 ▶ 一次エネルギー供給の約94%を海外化石燃料に依存。自動車は燃料の98%が石油系、うち約87%を中東に依存。
 ▶ エネルギー自給率は6~7%で低迷。OECD34か国中2番目に低い水準。

(2) CO2排出制約
 ▶ 30年度、13年度比26%減（05年度比25.4%減）が目標。
 ▶ パリ協定を踏まえ、長期的には2050年までに80%の温室効果ガスの排出削減を目指す。

2. 水素の意義と重要性

(1) 供給・調達先の多様化による調達・供給リスクの根本的低減
 ▶ 水素は、再生可能多様なエネルギー源からの製造・貯蔵・運搬が可能。特定のエネルギー源に依存しない多様な構造に変革。

(2) 電力、運輸、熱・産業プロセスのあらゆる分野の低炭素化
 ▶ 水素は利用時にCO2を排出しない。製造段階でのCCSや再生エネの活用で、トータルでCO2フリーのエネルギー源に。
 ▶ 燃料または燃料電池との組合せであらゆる分野での究極的な低炭素化が可能。

(3) 3E+Sの観点からの意義
 ▶ 水素社会の実現は手段。水素社会を実現することで3E+Sの達成を目指す。

(4) 世界へ先駆けたイノベーションへの挑戦を通じた国際社会への貢献
 ▶ 日本の水素技術を海外展開し、世界の低炭素化を日本がリード。

(5) 産業振興・競争力強化
 ▶ 日本の水素・燃料電池技術は世界最高水準。国内外での積極展開により、新たな成長産業の一つに。

(6) 諸外国における水素の取組を先導
 ▶ グローバルな動向を常に把握し、日本が世界の水素社会実現のトップリーダーに。

図1 水素基本戦略（概要）

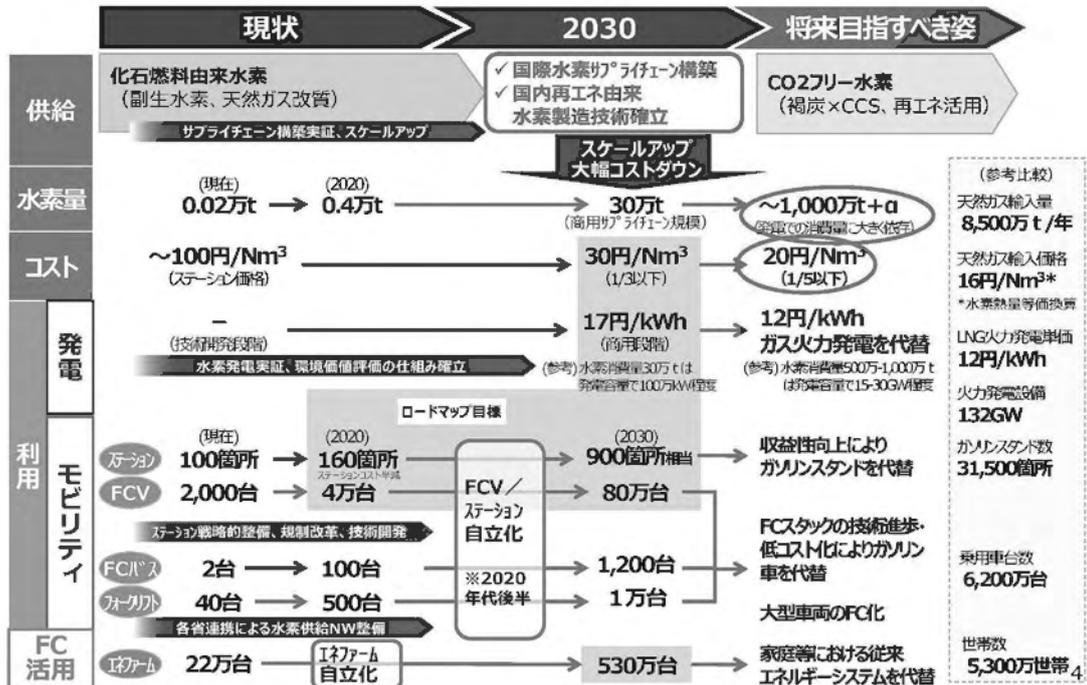


図2 水素基本戦略のシナリオ

図2に、水素基本戦略のシナリオを示す。低コストな水素利用の実現に向けて、2030年頃に商用規模のサプライチェーンを構築し、年間30万t程度の水素を調達するとともに、30円/Nm³程度の水素コスト（プラント引渡しコストベース）の実現を目指すとしている。さらに、将来的に20円/Nm³程度まで水素コストを低減し、環境価値も含め、既

存のエネルギーコストと同等のコスト競争力実現を図るとしている。

2.2. 最近の動向と取り組み

2018年7月に策定された「第5次エネルギー基本計画」では、水素を再生可能エネルギーと並ぶ新たなエネルギーの選択肢とするため、環境価値を含めた水素の調達・供給コストを従来エネルギーと遜

- 基本戦略等で掲げた目標を確実に実現するため、
- ① 目指すべきターゲットを新たに設定(基礎技術のスペック・コスト内訳の目標)、達成に向けて必要な取組を規定
- ② 有識者による評価WGを設置し、分野ごとのフォローアップを実施

	基本戦略での目標	目指すべきターゲットの設定	ターゲット達成に向けた取組	
利用	モビリティ	FCV 20万台@2025 80万台@2030	2025年 ● FCVとHVの価格差 (300万円→70万円) ● FCV主要システムのコスト (燃電池 約2万円/kW→0.5万円/kW) (水素貯蔵 約70万円→30万円)	● 徹底的な規制改革と技術開発
		ST 320か所@2025 900か所@2030	2025年 ● 整備・運営費 (整備費 3.5億円→2億円) (運営費 3.4千万円→1.5千万円) ● ST構成機器のコスト (圧縮機 0.9億円→0.5億円) (蓄圧器 0.5億円→0.1億円)	● 全国的なSTネットワーク 土日営業の拡大 ● ガリカスト/ノビ工併設STの拡大
		バス 1200台@2030	20年代前半 ● FCバス車両価格 (1億500万円→5250万円) ※トラック、船舶、鉄道分野での水素利用拡大に向け、指針策定や技術開発等を進める	● バス対応STの拡大
発電	商用化@2030	2020年 ● 水素専焼発電での発電効率 (26%→27%) ※1MW級ガスタービン	● 高効率な燃焼器等の開発	
	グリッドパリティの早期実現	2025年 ● 業務・産業用燃料電池のグリッドパリティの実現	● 堆積の技術開発	
供給	化石+CCS	水素コスト 30円/Nm3@2030 20円/Nm3@将来	20年代前半 ● 製造：褐炭ガス化による製造コスト (約12円/Nm3→12円/Nm3) ● 貯蔵・輸送：液化水素タンクの規模 (数千m ³ →5万m ³) 水素液化効率 (1.3.6kWh/kg→6kWh/kg)	● 褐炭ガス化炉の大型化・高効率化 ● 液化水素タンクの耐腐蝕性向上・大型化
		水電解システムコスト 5万円/kW@将来	2030年 ● 水電解装置のコスト (20万円/kW→5万円/kW) ● 水電解効率 (5kWh/Nm3→4.3kWh/Nm3)	● 浪江実証成果を活かした行方地域実証 ● 水電解装置の高効率化・耐久性向上 ● 地域資源を活用した水素サプライチェーン構築

図3 水素・燃料電池戦略ロードマップ～水素社会実現に向けた産学官のアクションプラン～ (全体)

色ない水準まで低減させていくとし、“水素社会”の実現に向けた取組の抜本強化として、以下の6項目が挙げられている⁽³⁾。

- (1) 燃料電池を活用した省エネルギーの推進
- (2) モビリティにおける水素利用の加速
- (3) 低コストの水素利用実現に向けた国際的な水素サプライチェーンの構築と水素発電の導入
- (4) 再生可能エネルギー由来水素の利用拡大に向けた技術開発の推進と地域資源を活用した地方創生
- (5) 2020年東京五輪での“水素社会”のショーケース化
- (6) グローバルな水素利活用の実現に向けた国際連携強化

2019年3月に、水素・燃料電池戦略協議会において、水素基本戦略及びエネルギー基本計画で示された方向性を踏まえ、これまでのロードマップを大幅に改訂した「水素・燃料電池戦略ロードマップ～水素社会実現に向けた産学官のアクションプラン～」が策定された。本ロードマップでは、図3に示すように目標実現に向けて必要な要素技術のスペック及びコスト内訳が明確化されている⁽⁴⁾。また、取り組むべき具体的な行動を明確化し、官民で共有するため、アクションプランが新たに盛り込まれている。さらに、2019年9月には、本ロードマップで掲げられた目標の達成に向けて、技術開発のより

一層の推進を図るべく重点的に取り組むべき技術開発項目を定めた「水素・燃料電池技術開発戦略」が策定された⁽⁵⁾。本戦略では、水素社会の実現に向け、重点的に取り組むべき技術開発3分野として、燃料電池、水素サプライチェーンおよび水電解・その他が挙げられ、また車載用燃料電池、大規模水素製造、水電解技術等の10の技術開発項目が示されている(図4)。さらに、技術開発プロジェクト評価、ニーズ情報とシーズ情報のマッチング、諸外国との連携強化に継続して取り組んでいくこととしている。

策定された計画・戦略に基づき、水素エネルギーに関する研究開発や技術実証事業が積極的に展開されている。水素サプライチェーンについては、水素基本戦略においても、水素の調達・供給コスト低減に向けて、効率的な水素の輸送・貯蔵を可能とするエネルギーキャリア技術が必要であるとして、液化水素、有機ヒドライド、アンモニアおよびメタネーションについての取り組み等が記載されており、関連する事業が推進されている。

液化水素については、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の事業として、オーストラリアの褐炭等の海外の安価な未利用資源から水素を製造し、日本に輸送する国際水素サプライチェーンの実証事業が実施されている。褐炭のガス化技術、液化水素の長距離大量輸送技術及び液化水素荷役・貯蔵技術の確立を目指して、技術研究組合CO₂フリー

水素・燃料電池技術開発戦略の概要

- 評価・課題共有ウィークを踏まえ、**ロードマップで掲げるターゲットの着実な達成に向け、重点的に取り組むべき技術開発3分野10項目を特定**し、我が国の技術開発戦略として公表。

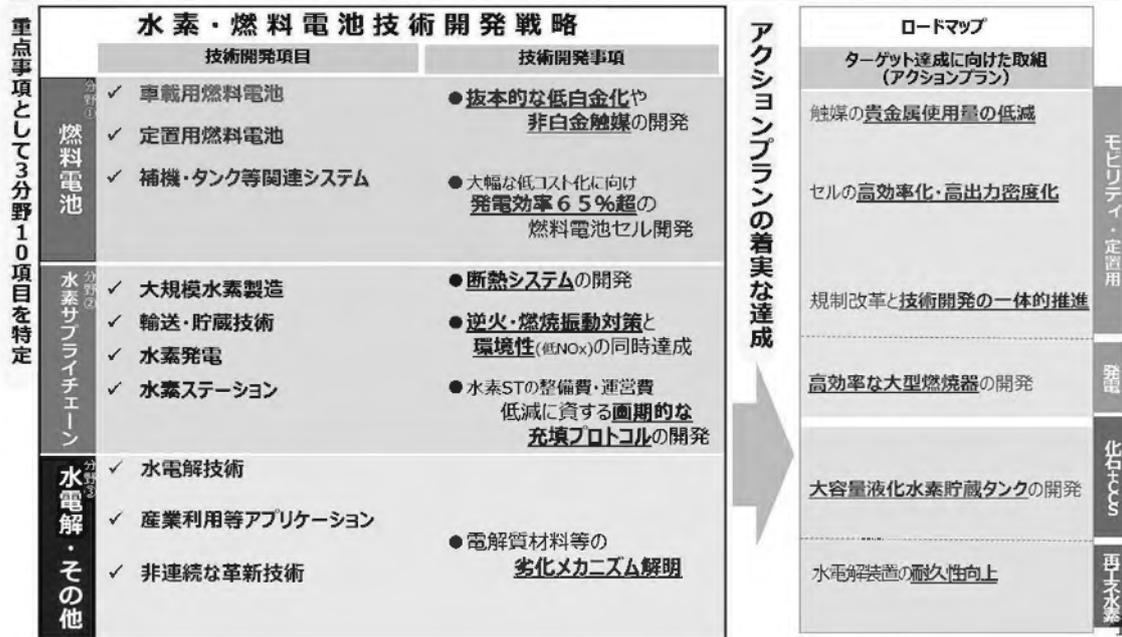


図4 水素・燃料電池技術開発戦略の概要

水素サプライチェーン推進機構（HySTRA）により事業が進められており、2019年12月には、世界発の液化水素運搬船の進水式が行われている⁽⁶⁾。有機ハイドライドについては、MCH（メチルシクロヘキサン）を用いた国際水素サプライチェーンの実現に向けた実証事業が、次世代水素エネルギーチェーン技術研究組合（AHEAD）において実施されている。ブルネイ・ダルサラーム国のプラントで転換したMCHを海上輸送し、日本に設置したプラントにおいて脱水素を行うものであり、2020年6月に実証試験が本格的に開始されている⁽⁷⁾。

アンモニアについては、2014年度から開始された内閣府戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）「エネルギーキャリア」事業において、アンモニア製造から利用に至る幅広い技術開発が行われた。その後、2019年に、民間企業を中心に一般社団法人グリーンアンモニアコンソーシアムが設立され、CO₂フリーアンモニアの供給から利用までのバリューチェーン構築を目指し、技術開発・評価、経済性評価、政策提言、国際連携等に関する取り組みが進められている。水の電気分解などで生成される水素と火力発電所などから排出され、分離・回収したCO₂を反応させ、メタンを合成する技術（メタネーション）に関する事業もNEDOにより推進されており、2019年10月に、メタン合成試験設備が、国

際石油開発帝石株式会社長岡鉱場（新潟県長岡市）の越路原プラント敷地内に完成している⁽⁸⁾。

水素基本戦略では、国内再生可能エネルギー由来水素の利用拡大に向けて、再生可能エネルギー電気を水素としてエネルギーを貯蔵する「Power-to-gas技術」が注目されており、その中核となる水電解システムについて技術の早期確立を目指すとしている。水素を用いたエネルギー貯蔵・利用には、出力変動の大きい再生可能エネルギーを最大限活用するための電力系統需給バランス調整機能（ディマンドリスポンス）だけでなく、水素需給予測に基づいたシステムの最適運用機能の確立も必要となることから、福島県浪江町に、「福島水素エネルギー研究フィールド（FH2R）」が建設され、再生可能エネルギーを利用した世界最大級の水素製造システムに関する実証事業が実施されている。この実証事業は、NEDO、東芝エネルギーシステムズ株式会社、東北電力株式会社および岩谷産業株式会社により実施されており、2020年2月末に施設が完成し稼働を開始している⁽⁹⁾。

3. 世界各国における動向と国際連携強化に向けた取り組み

日本の水素基本戦略策定後、ドイツ、オランダ、オーストラリア、EU、韓国等で水素の国家戦略・ロー

ドマップが策定されるなど、世界各国において取り組みが活発化している。ドイツでは、2020年6月に国家水素戦略が発表され、水素がエネルギー転換において重要な役割を果たすとして、再生可能エネルギーからの水素製造などについての積極的な取り組みが示されている⁽¹⁰⁾。本戦略では、水素製造、運輸、産業、インフラ・供給、研究・教育・イノベーションおよび国際水素市場とパートナーシップなど多岐に渡る分野におけるアクションプランが記載されている。EUも2020年7月に水素戦略を発表し、水電解による水素製造能力の目標値が提示されている。このような中、オランダでは、ヌオン社が運営する出力132万kW級の天然ガス焼きガスタービン複合発電（GTCC）を水素に転換する事業が進められている。本事業には、三菱パワー株式会社が参画しており、オランダ最北部のフローリンゲン州に位置するヌオン・マグナム発電所で、三菱パワーが納入したガスタービンを中核とする発電設備3系列のうち1系列を、2023年までに100%水素専焼の発電設備へと切り替えるとしている⁽¹¹⁾。一方、米国では、カリフォルニア州を中心に燃料電池自動車（FCV）の導入が進んでいる。また、水素発電については、米国ユタ州の協同組合であるインターマウンテン電力において、水素を利用したガスタービン・コンバインドサイクル発電事業が計画されている。

日本も、国際連携強化に向けた取り組みを積極的に進めており、2018年10月に、東京において水素閣僚会議が開催されている。本会議では、グローバルな水素の利活用に向けたビジョンの形成・共有、国際連携の強化をテーマとし、21か国・地域・機関の代表、関係企業トップを含め300名以上が参加、会議の成果としてTokyo Statement（東京宣言）が発表されている。2019年9月には、2回目となる水素閣僚会議が東京で開催され、各国の水素・燃料電池に関する行動指針として「グローバル・アクション・アジェンダ」が議長声明として発表されている。

2019年6月に軽井沢で開催されたG20持続可能な成長のためのエネルギー転換と地球環境に関する関係閣僚会合において採択されたコミュニケでは、クリーンで、安定かつ安全なエネルギー源としての水素の可能性を開拓するための既存の国際的努力を強化することが示されている。このG20の開催に合わせて、IEA（国際エネルギー機関）より、水素の現状を定量的に分析し、将来展望や提言をまとめたレポート「The Future of Hydrogen」が公表された。このレポートでは、水素の将来像、克服すべき

課題および政策提言等がまとめられている⁽¹²⁾。

さらに、2019年6月には、一般社団法人水素エネルギー協会主催のもと、東京で、世界水素技術会議（WHTC）2019が開催された。このWHTCは、世界水素エネルギー会議とともに、水素エネルギー技術に関する最も権威のある会議であり、産総研では、事務局として、会議の企画運営を担った。開会式において、世耕経済産業大臣（当時）、原田環境大臣（当時）、小池東京都知事、小渕衆議院議員よりご挨拶があり、世界29カ国以上から1,000名を超える研究者、民間企業関係者等が参加する盛況な会議となった。さらに、産総研では、このWHTC2019に合わせて、米国・NREL（国立再生可能エネルギー研究所）、ドイツ・フラウンホーファー研究機構との3機関による水素エネルギーに関するワークショップも開催している。

4. 産業技術総合研究所における取り組み

水素エネルギーについて、国内だけではなく、世界各国においても取り組みが活発化する中、2020年1月に、内閣官房長官を議長とする統合イノベーション戦略推進会議において、「革新的環境イノベーション戦略」が策定された⁽¹³⁾。本戦略では、日本が強みを有するエネルギー・環境分野において革新的なイノベーションを創出し、社会実装可能なコストを実現、これを世界に広めていくことを目指しており、水素は、重点領域の一つとして位置づけられている（図5）。このような中、産総研では、2020年1月にゼロエミッション国際共同研究センター（GZR）を設立した。本センターは、「革新的環境イノベーション戦略」の下、CO₂削減対策を強化するために必要となるイノベーション創出を目的として、関連する環境イノベーション基盤研究を実施するべく立ち上げられたものであり、ノーベル化学賞受賞者である吉野彰センター長のもと、研究開発を推進している。

センターには、現在、10の研究チームがあり、水素製造・貯蔵基盤研究チームでは、革新的な水素製造技術、高性能な水素貯蔵・供給システムおよび利用技術構築のための触媒・材料・評価技術等に関する研究開発に取り組んでいる（図6）。水素製造技術として、再生可能エネルギーからより高効率に水素を製造するためのアニオン交換膜（AEM）水電解装置に関する研究に取り組んでいる。また、革新的な技術として、メタンの直接分解によるCO₂を副生しない水素製造技術の研究開発にも取り組ん

イノベーション・アクションプランの重点領域

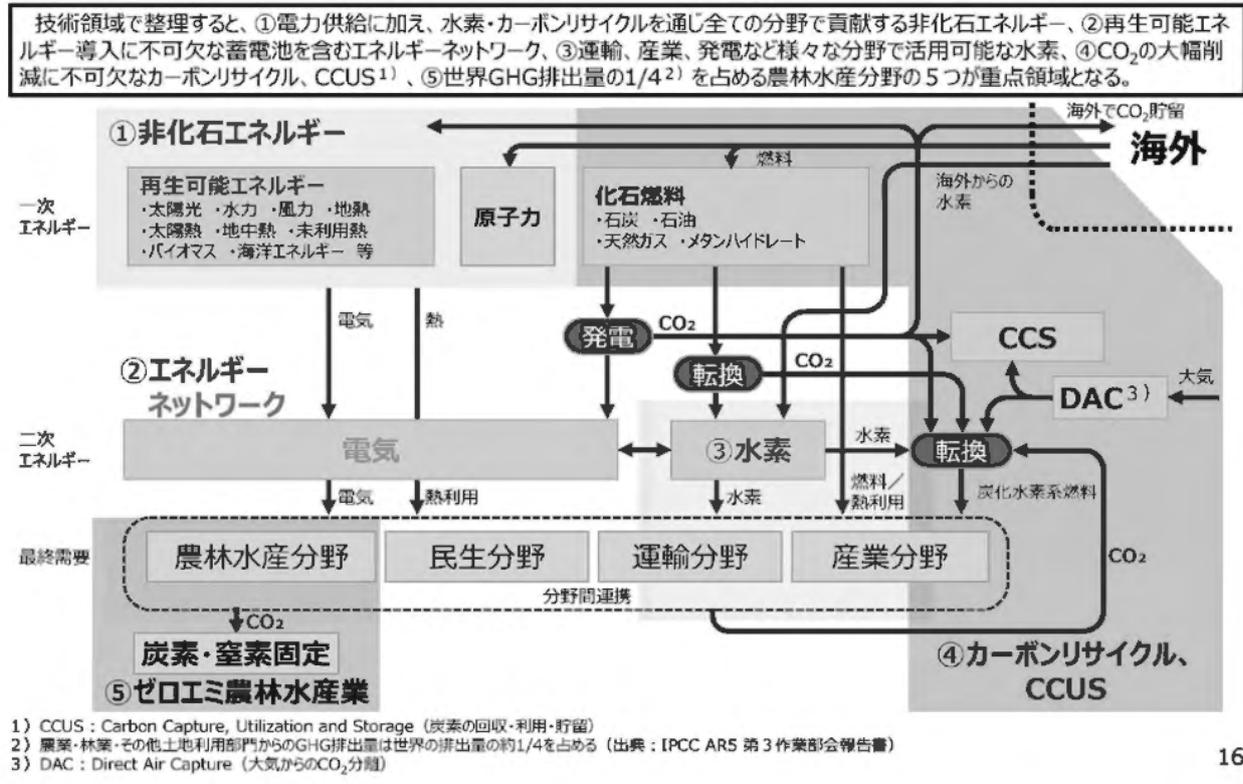


図5 革新的環境イノベーション戦略における重点領域

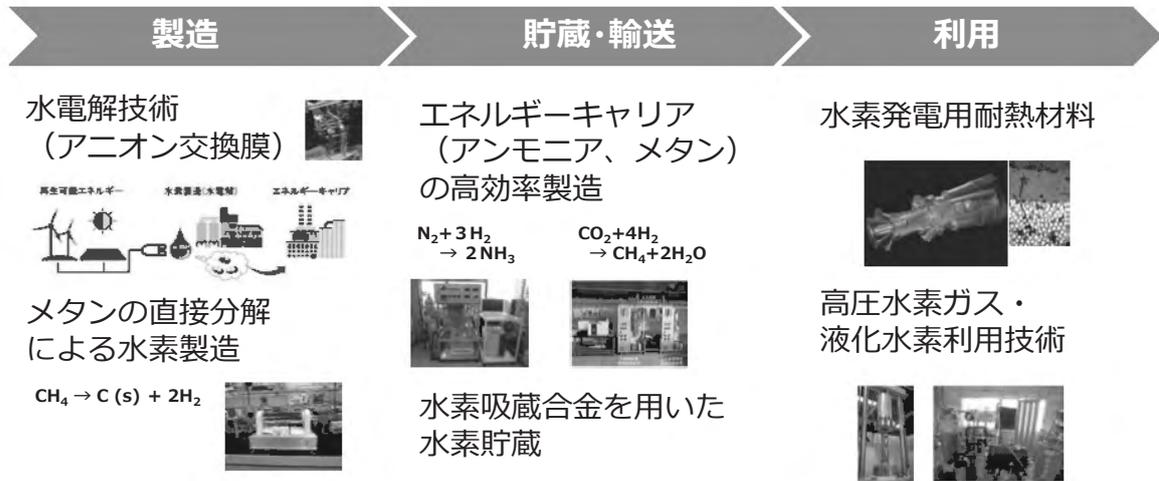


図6 ゼロエミッション国際共同研究センター水素製造・貯蔵基盤研究チーム 研究概要

でいる。本研究では、メタンから水素と固体炭素を製造可能とするプロセスの提案に向けて、触媒開発、反応器最適化およびシナリオ検討等を進めている。水素貯蔵・輸送について、再生可能エネルギー由来水素を利用したエネルギーキャリア（アンモニア、メタン等）の高効率製造技術や水素吸蔵合金を用いた水素貯蔵技術に関する研究を実施している。さらに、水素利用技術として、水素発電用の耐熱材料、また、液化水素および高圧水素ガス利用技術に関す

る研究開発も推進している。

アンモニアについては、再生可能エネルギー由来水素等を利用した高効率アンモニア合成システムの開発を目的とした研究に取り組んでおり、特に、より低温で高い活性を有する触媒およびその工業製造技術に関する研究を進めている。これまでに、「2.2. 最近の動向と取り組み」で記載した、内閣府SIP「エネルギーキャリア」事業における「CO₂フリー水素利用アンモニア製造・貯蔵・輸送関連技術の開発（研



図7 アンモニア合成実証試験装置外観

究責任者：日揮株式会社)」に参画し、高性能なアンモニア合成触媒を開発した。また、産総研福島再生可能エネルギー研究所（FREA）に、実証試験装置を構築し（図7）、再生可能エネルギー由来の水素を原料とするアンモニア合成実証試験を実施するとともに、合成したアンモニアを燃料とするガスタービンによる発電にも成功している。

5. おわりに

本稿では、水素エネルギーに関する国内外の動向について概説するとともに、産総研における最近の取り組みを紹介した。国際連携に関する取り組みがさらに活発化する中、日本では、2020年10月に、経済産業大臣のリーダーシップの下、「Tokyo “Beyond-Zero” Week」として、関連する国際会議が連続的に開催された。この中で、10月14日に水素閣僚会議2020が開催され、また、産総研においても、RD20（Research and Development 20 for Clean Energy Technologies）を主催し、テクニカルセッションにおけるテーマの一つとして水素を取り上げた。

地球規模の課題解決に貢献するべく、水素エネルギーを利用した技術を社会導入していくためには、一つの技術、一つの機関で対応することは難しく、国内外における連携がさらに重要になってくるであろう。

参考文献

- 1) 第4次エネルギー基本計画 2014年4月
https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/pdf/140411.pdf
- 2) 水素基本戦略（概要） 2017年12月 <https://www.meti.go.jp/press/2017/12/20171226002/20171226002-2.pdf>
- 3) 第5次エネルギー基本計画 2018年7月

<https://www.meti.go.jp/press/2018/07/20180703001/20180703001-1.pdf>

- 4) 水素・燃料電池戦略ロードマップ 2019年3月
<https://www.meti.go.jp/press/2018/03/20190312001/20190312001-1.pdf>
- 5) 水素・燃料電池技術開発戦略 2019年9月
<https://www.meti.go.jp/press/2019/09/20190918002/20190918002-1.pdf>
- 6) NEDO ニュースリリース 2019年12月
https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101250.html
- 7) NEDO ニュースリリース 2020年6月 https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101250.html
- 8) NEDO ニュースリリース 2019年10月
https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101217.html
- 9) NEDO ニュースリリース 2020年3月
https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101293.html
- 10) The National Hydrogen Strategy (Germany) 2020年6月
https://www.bmbf.de/files/bmwi_Nationale%20Wasserstoffstrategie_Eng_s01.pdf
- 11) 三菱パワー プレスリリース 2018年3月
<https://power.mhi.com/jp/news/20180308.html>
- 12) The Future of Hydrogen (IEA) 2019年6月
<https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen>
- 13) 革新的環境イノベーション戦略 2020年1月
<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/tougou-innovation/pdf/kankyousenryaku2020.pdf>

著者略歴



高木 英行（たかぎ ひでゆき）

2000年 九州大学大学院工学研究科
博士課程 期間短縮修了 博士（工学）

2001年 独立行政法人（現：国立研究開発法人）産業技術総合研究所入所

2016年 創エネルギー研究部門 研究グループ長
2020年より現職

この間、2005-2006年 豪州クイーンズランド大学客員研究員

2013-2014年 経済産業省資源エネルギー庁省エネルギー・新エネルギー部 新エネルギー対策課課長補佐