

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～

平成 31 年 3 月 12 日

水素・燃料電池戦略協議会

目次

第1章 総論～水素基本戦略と水素・燃料電池戦略ロードマップの位置づけ～	2
第2章 水素基本戦略の実行に向けた各論	4
2-1. 水素サプライチェーン	4
2-1. (1) 低コストな水素調達・供給の実現	4
2-1. (2) 国際的な水素サプライチェーンの開発	6
2-1. (3) 国内再生可能エネルギー由来水素の利用拡大	10
2-1. (4) 地域資源の活用及び地方創生	14
2-2. 水素利活用	16
2-2. (1) 電力分野での利用	16
2-2. (2) モビリティ分野での利用	19
①燃料電池自動車	21
②水素ステーション	23
③その他のモビリティ	27
2-2. (3) 産業プロセス・熱利用での水素活用の可能性	29
2-2. (4) 燃料電池技術活用	31
①家庭用燃料電池（エネファーム）	33
②業務・産業用燃料電池	36
2-3. 技術開発の推進・国民理解	38
2-3. (1) 革新的技術開発	38
2-3. (2) 国民の理解促進、地域連携	39
2-4. グローバルな水素社会の実現	42
第3章 終わりに～本ロードマップの実効性を確保するための定期的なフォローアップ	45
参考	46

第1章 総論～水素基本戦略と水素・燃料電池戦略ロードマップの位置づけ～

2014年4月に策定された第4次エネルギー基本計画では、「水素社会の実現に向けたロードマップを策定し、その実行を担う産学官からなる協議会により、進捗状況を確認しながら、着実に進める」等の記載が盛り込まれた。これを受け、同年6月には産学官の有識者検討会議である水素・燃料電池戦略協議会において、水素社会実現に向けた官民の関係者の取組を示した「水素・燃料電池戦略ロードマップ(以下、ロードマップという)」がとりまとめられた。

その後、ロードマップについては、取組の進展等を踏まえて2016年3月に改訂され、家庭用燃料電池(エネファーム)や燃料電池自動車(FCV:Fuel Cell Vehicle)、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。

2017年4月、第1回「再生可能エネルギー・水素等関係閣僚会議」が開催され、世界に先駆けて水素社会を実現するため、政府一体となって取組を進めるための基本戦略を年内に策定することとされた。これを受け同年12月、第2回「再生可能エネルギー・水素等関係閣僚会議」が開催され、「水素基本戦略」が策定された。同戦略は、政府全体として施策を展開していくための方針と位置づけられており、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提示した。2030年前後の目標を踏まえつつ、2050年を視野に入れ、官民が共有すべき大きな方向性・ビジョンを示すものとなっている。

さらに、2018年7月には第5次エネルギー基本計画が策定され、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色のない水準まで低減させていくことなど、エネルギー政策における水素エネルギーの目指すべき方向性が盛り込まれた。

【水素基本戦略における記載(抄)】

- 2014年4月に策定された第4次エネルギー基本計画では、(中略)基本戦略は、個別技術の導入・普及に係る既存のロードマップの内容を包括しつつ、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である。
- 2016年11月のパリ協定の発効を受け、(中略)本戦略は、主として2030年前後に実現すべき内容を目標として掲げる「水素・燃料電池戦略ロードマップ」を踏まえつつ、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とする。

【第5次エネルギー基本計画における記載(抄)】

- 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べく、環境価値を含め、水素の調達・供給コストを従来エネルギーと遜色ない水準まで低減させていくことが不可欠である。
- このため、水素基本戦略等に基づき、足元では燃料電池自動車を中心としたモビリティにおける水素需要の拡大を加速するとともに、中長期的な水素コストの低減に向け、水素の「製造、貯蔵・輸送、利用」まで一貫通貫した国際的なサプライチェーンの構築、

水素を大量消費する水素発電の導入に向けた技術開発を進め、脱炭素化したエネルギーとして、水素を運輸のみならず、電力や産業等様々な分野における利用を図っていく。

こうした水素基本戦略及び第 5 次エネルギー基本計画で示された方向性を踏まえ、2016 年 3 月に策定されたロードマップについて、水素基本戦略及び第 5 次エネルギー基本計画で示された新たな目標等を反映させ、構成も水素基本戦略の構造に組み替えたものに改めるとともに、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を明確化し、また、2018 年 10 月の水素閣僚会議で発表された「Tokyo Statement(東京宣言)」の内容を反映する等、ロードマップの内容の大幅な改訂を行った。さらに、目標実現に向けて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、アクションプランを新たに盛り込んだ。

水素関連技術は技術的に実用化可能になってから社会実装まで少なくとも 5 年程度を要することを踏まえれば、10 年後の社会を見据えて 5 年後の技術開発の目標を定めるなど、将来の見通しを持つことが重要であり、ここではロードマップとして将来見通しを示した上で、それを実現する手段としてアクションプランを提示した。新たなロードマップ及びアクションプランの具体的な内容は次章以降の通りである。

本ロードマップは、水素基本戦略と一体のものとして水素社会実現に向けた方針を示したものであり、官民が一丸となって実行するとともに、今後も水素基本戦略と一体で必要な見直しを行っていく。

第2章 水素基本戦略の実行に向けた各論

2-1. 水素サプライチェーン

2-1. (1) 低コストな水素調達・供給の実現

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、国内外を問わずあらゆる場所からの供給が可能である。このため、海外に偏在する化石燃料に大きく依存した我が国の一次エネルギー供給構造を多様化させるポテンシャルを有する。さらに、製造段階で二酸化炭素回収・貯留(CCS:Carbon dioxide Capture and Storage)技術や再生可能エネルギーを活用することで、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る上、利用段階では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、運輸、電力のみならず、産業利用や熱利用、様々な領域での低炭素化が可能となる。こうした水素を日常の生活や産業活動で大量に利活用する社会を実現していくため、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べく、環境価値を含め水素の調達・供給コストを従来エネルギーと遜色のない水準まで低減させていくことが不可欠である。

【水素基本戦略における記載(抄)】

- 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”の実現には、水素の調達・供給コストの低減が不可欠である。
- 2030年頃に(中略)30円/Nm³程度の水素コストの実現を目指す。
- 2030年以降は(中略)更なるコスト低減を図り、(中略)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を実現することを目指す。

【第5次エネルギー基本計画における記載(抄)】

- “水素社会”を世界に先駆けて実現していくためには、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べく、環境価値を含め、水素の調達・供給コストを従来エネルギーと遜色のない水準まで低減させていくことが不可欠である。

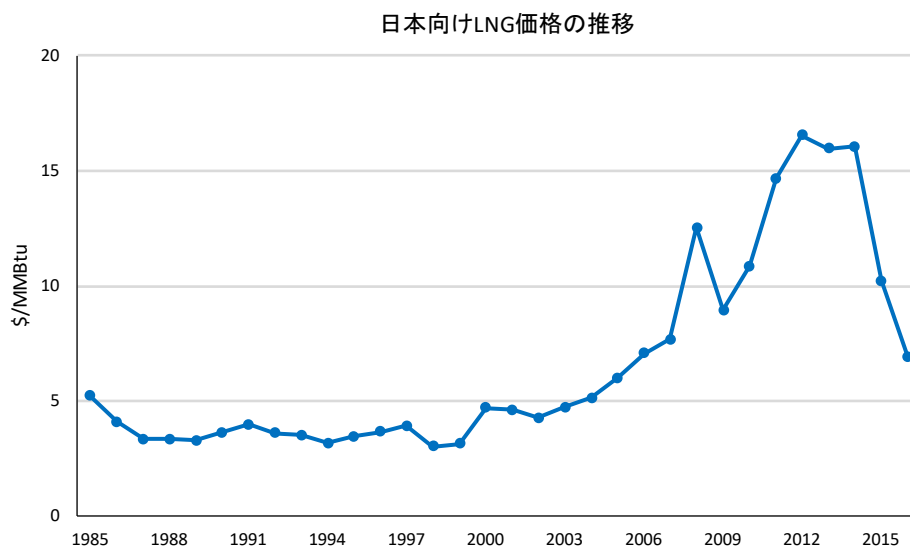
水素は、その製造方法及び用途が多様であること、また利活用段階ではCO₂を排出しないことから、エネルギーセキュリティの向上や低炭素化の実現に向けては、非常に有望な手段である。一方で、現状の水素供給コストは化石燃料等の従来エネルギーに比べて高価であるため、安価な水素の調達・供給を実現することが水素利活用を拡大するためには重要である。

これらを踏まえて、ロードマップ及びアクションプランとして、水素供給コストの目指すべき水準や、コスト低減等に向けて実行すべき具体的な取組を以下の通り示す。

<ロードマップ>

- 2030年頃に海外の未利用エネルギーに由来した水素の製造、輸送・貯蔵を行うサプライチェーンの本格導入を目指す。

- 水素コスト(プラント引渡しコスト)については、2030年頃に30円/Nm³程度、将来的に20円/Nm³程度まで水素コストを低減することを目標としつつ、LNG価格の推移を考慮して環境価値を含めて従来エネルギーと遜色のない水準まで低減させていくことを目指す。例えば、LNG価格が10ドル/MMBtu(CIF価格)であれば、環境価値を考慮せずに熱量等価で水素価格に換算すると13.3円/Nm³となる。



【出典】一般社団法人エネルギー情報センターによる調査を基に資源エネルギー庁作成

<アクションプラン>

- 水素コスト低減に向けた基盤技術開発を継続して実施し、要素技術の必要スペック及びコスト目標の達成を目指す(要素技術のスペック目標については後掲)。
- 安価な海外エネルギー資源の確保に向けて、民間ベースの取組に加えて政府間レベルでの権益確保や資源獲得に向けた関係構築を図る。
- 海外における水素の供給源(化石資源及び再生可能エネルギー)の賦存量や日本への輸送可能性について、調査分析を実施する。
- 国内の副生水素等の未利用資源を活用した水素供給能力について把握すべく、ポテンシャル調査を実施する。

<補足>

水素基本戦略においては、2030年頃に30円/Nm³程度、将来的に20円/Nm³程度まで水素コストを低減することを目標としている。日本が輸入するLNGは、東日本大震災以降、7～15ドル/MMBtu程度の水準で推移しており、これを熱量ベースで水素に換算すると9～20円/Nm³程度の水準となる。また、国際エネルギー機関(IEA:International Energy Agency)のWorld Energy Outlook(2018)では、日本における2040年のLNG価格は10ドル/MMBtu程度(CIF価格)と予測されている。これらを踏まえ、従来エネルギーと同等のコスト競争力を実現するために目指すべきコスト水準としては、LNG価格10ドル/MMBtu(CIF価格)を熱

量等価で水素価格に換算した 13.3 円/Nm³ に環境価値を考慮した水準が目安となる。また、環境価値については、様々な試算があるが、2040 年の東アジアの CO₂ 価格は World Energy Outlook(2018)の新政策シナリオを踏まえると 44 ドル/t-CO₂ となる。

こうしたことから、水素エネルギーの本格的な社会実装に向けては、20 円/Nm³ という将来の目標を目指すとともに、環境価値を含めて既存のエネルギーと遜色ない水準まで一層深掘りしていく必要がある。

国内における水素の環境価値については、パリ協定に基づく削減目標の議論や、低炭素水素の議論が先行している欧州の事例など、国際的な動向にも留意しつつ、エネルギー供給構造高度化法、省エネ法、地球温暖化対策推進法等の法律の枠組や、これらに基づく非化石価値取引市場、温室効果ガス排出量算定・報告・公表制度、J-クレジット制度等の個別の制度との関係整理を中心に、引き続き議論を行っていくこととする。

また、安価な水素の調達に向けては、国内の石油精製プラントや化学プラント等で発生する副生水素等を活用した水素供給能力にも目を向け、その供給量や水素供給コスト等のポテンシャルについて把握すべく、調査を実施していく必要がある。

2-1. (2) 国際的な水素サプライチェーンの開発

海外に豊富に存在する低コストな未利用化石燃料資源は、水素製造と CCS の組み合わせにより、CO₂フリーのエネルギーとして活用できる。そのため、低コストな水素供給の実現に向けて、水素の製造から貯蔵・輸送、利用まで一気通貫した国際水素サプライチェーン構築実証が進められており、2020 年に世界初の実証運転を開始する見通しである。日豪間で進められているプロジェクトにおいては、安価な未利用エネルギーである褐炭からの水素製造(ガス化技術)、液化水素の状態での海上輸送、荷役・貯蔵技術について実証を通じて基盤技術の確立を目指している。また、日ブルネイ間で進められているプロジェクトにおいては、水素の有機ハイドライド化や脱水素化技術について実証を通じて基盤技術の確立を目指している他、アンモニアによる水素輸送についても検討されている。加えて、水素基本戦略では、CO₂フリー水素を用いたメタネーションの検討、パイプラインによる国内輸送についても言及されている。

また、国際的な水素サプライチェーンの実現のためには、上流側の取組として、再生可能エネルギーからの水素製造も含めた安価で安定的な海外エネルギー資源の権益確保に向けた取組や CO₂分離・回収、貯留のコスト低減に向けた研究開発についても、計画的に実施していく必要がある。

【水素基本戦略における記載(抄)】

- 水素コストの低減に向けた方策としては、(中略)水素を大量調達するアプローチが有望であり、これを基本とする。このため、水素の「製造、貯蔵・輸送、利用」まで一気通貫した国際的なサプライチェーンの構築を進める。
- 具体的には、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程度の水素コストの実現を目指す。

- 2030年以降は、供給面で国際水素サプライチェーンを拡大するとともに、利用面において産業分野等での利用を進めることで、更なるコスト低減を図り、既存のエネルギーとのコスト差を縮小していく。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を実現することを目指す。

【第5次エネルギー基本計画における記載(抄)】

- 水素供給コストの低減に向けては、海外の安価な未利用エネルギーとCCSを組み合わせる、または安価な再生可能エネルギーから水素を大量調達するアプローチが基本になる。この実現に向けては、上流側の取組として、安価な海外資源を確保すべく、民間ベースの取組に加えて政府間レベルでの関係構築を図るとともに、効率的な水素の輸送・貯蔵を可能とする液化水素、メチルシクロヘキサン、アンモニアやメタンといったエネルギーキャリア技術の開発が必要となる。そのため、褐炭等の海外の安価な燃料を活用するための水素の製造・輸送に係る基盤技術の開発を進め、2030年頃に商用規模の国際的な水素サプライチェーンの構築をし、年間30万t程度の水素を調達するとともに、30円/Nm³程度の水素供給コストの実現を目指す。

水素サプライチェーンの構築に当たっては、エネルギーキャリアとして液化水素、有機ハイドライド、アンモニアやメタンといった様々な手段が存在する。これらのキャリアはそれぞれ特徴が異なり、いずれのキャリアも技術面や安全面、環境面、コスト面等の様々な課題を有しており、実用化、商用化やコストの低減に向けた研究開発等の取組を進めていく必要がある。

例えば、液化水素をエネルギーキャリアとした将来的な商用サプライチェーンの確立・コスト低減に向けては、水素の受入設備(液化水素タンク、ローディングアームシステム等)や水素液化機、気化器、昇圧ポンプ等の設備の大容量化、高効率化が課題であり、基盤技術開発を継続して実施していく必要がある。

こうした課題を踏まえ、ロードマップ及びアクションプランとして、水素サプライチェーンの構築に向けた研究開発・技術実証における要素技術のスペック及びコスト内訳の目標や、そうした目標を達成するために実行すべき具体的な取組を以下の通り示す。

<ロードマップ>

- 2022年度頃を目途とした主要な要素技術の必要スペック目標等を以下の通り定める。
 - ①水素製造
 - －褐炭のガス化による水素製造のコスト¹について、ガス化炉の効率向上等により現状数百円/Nm³であるところ、12円/Nm³を目指す。
 - ②CCS
 - －2020年頃のCCS技術の実用化を目指す。

¹ 褐炭ガス化による水素製造から水素精製までのコスト(褐炭燃料費及びCO₂分離回収費用を含む)

－CCS コストの大半を占める CO₂ の分離回収コストの低減に向けた研究開発を実施し、2020 年頃の技術確立、2,000 円台/t-CO₂ の回収コストの実現を目指す。

③貯蔵・輸送

－地上用液化水素タンク容量について、現状数千 m³ であるところ、5 万 m³ を製造可能な要素技術の開発を目指す。

－水素液化原単位について、現状 13.6kWh/kg であるところ、6.0kWh/kg を目指す。

－2030 年度以降の有機ハイドライドによる水素供給コストの更なる低減に向けて、現状トルエンのロス率 1.4%であるところ半減を目指す(左記のロス率は、トルエン消費量／水素チェーンのトルエン流量の百分率)。

－液化水素の海上輸送に係る国際ルールを整備する。

④利用

－付帯設備に関する研究開発を行い、水素の製造、貯蔵・輸送、利用まで一気通貫したサプライチェーン構築の実現を目指す。

－水素発電における水素利用を見据えて、必要な技術開発を実施する(詳細は後掲)。

- 水素サプライチェーンの構築に当たっては、欧州の取組を参考に水素の製造段階で天然ガス由来水素と比較して CO₂ 排出量 60%減を当面の 2030 年度までのベンチマークとし、将来的には資源採掘から消費までの CO₂ 排出量実質ゼロを目指す。

<アクションプラン>

- 2022 年度まで、商用液化水素サプライチェーンの実現及び低コスト化に向けて、必要となる現在実施中の基盤技術開発を継続して実施する。
- 2025 年度まで、水素サプライチェーンの実現及び将来のコスト低減に向けて、サプライチェーンを構成する各要素について以下の取組を実施する。

①水素製造

－褐炭のガス化炉の大型化・高効率化に向けた研究開発

－水電解装置の効率・耐久性等の向上に向けた研究開発(詳細は後掲)

②CCS

－CO₂ 貯留技術実証・モニタリング技術の確立

－CO₂ 分離回収技術の低コスト化に向けた研究開発

－CO₂ 分離回収、輸送及び貯留分野に関する国際標準化の推進

③貯蔵・輸送

－液化水素貯蔵タンクの大型化研究開発

－液化水素運搬船の大型化研究開発

－水素液化効率の向上に向けた研究開発

－液化水素ローディングシステムの大容量化研究開発

－2020 年度までのサプライチェーン実証の結果を踏まえて、液化水素の海上輸送に係る国際ルールについて国際海事機関(IMO:International Maritime Organization)における協議・策定

④利用

- ー液化水素に係る気化器、昇圧ポンプ、配管、継手等の大容量化研究開発
- ーキャリアの脱水素時における排熱等の利用によるプロセス最適化研究開発(詳細は後掲)
- ー水素発電実現に向けた研究開発及びFS調査等の実施(詳細は後掲)

- 豪州政府が進めるCCSプロジェクトについて、2025年度までにその進捗状況、実現に向けた目途について確認する。
- 2020年度までの国際水素サプライチェーン実証事業における課題や成果について、対外的な公表を行い、水素供給コストの低減に向けた効果的なフィードバックを実施していく。
- 2020年頃のCCS技術の実用化を目指して、大規模CCS実証、低コスト化に向けた研究開発の調査を実施する。
- ISO/TC265において進められている、CO₂回収、輸送及び貯留分野に関する標準化の議論を主導すべく、積極的に参加していく。
- 2025年頃に、将来の商用水素サプライチェーンの本格導入に向けて、日本向けLNG輸入価格を念頭に、水素サプライチェーンの環境価値を含めたコストを化石燃料並みまで低減させていく計画の実現可能性の検討及び評価を実施し、事業実施判断を行う。
- 2030年度以降の商用有機ハイドライド水素サプライチェーンの更なる低コスト化の実現に向けて、必要となる基盤技術開発を継続して実施する。
- サプライチェーン全体を通じたCO₂排出量の低減に向けた研究開発を実施する。

<補足>

水素基本戦略やエネルギー基本計画に記載されているとおり、水素の利活用を拡大していくためには水素の調達・供給コストの低減が不可欠である。現在進めている2020年度までの実証事業の中で、水素の国際的なサプライチェーンの基盤技術の確立を目指しているが、従来のエネルギーと遜色のない水準まで水素供給コストを低減するには、サプライチェーン構成機器の徹底的なコストダウン、大型化、高効率化が必要となる。例えば、液化水素での輸送ケースでは、水素コストのおよそ3割を液化コストが占めており、水素液化原単位の改善により、水素コストを大幅に低減できるポテンシャルを有する。また、国内外の液化水素荷役基地において大量の液化水素を貯蔵する場合、現在製造可能である数千m³規模のタンクを多数並べて貯蔵することは、設備費用の面から経済的ではなく、将来的にはLNGタンクと同等規模程度の容量のタンクを製造することが、水素コストの低減に資する。メチルシクロヘキサンでの輸送ケースでは、サプライチェーンを通じたトルエンのロス率の改善は、事業性の向上につながり、水素コストの低減に資するものである。こうした将来のコスト低減を実現するため、2020年度までの実証事業における課題や成果について、対外的な公表を行うことで、効果的なフィードバックを実施していく。2030年頃の商用規模の国際的な水素サプライチェーンの構築に向けては、水素コストの低減に向けた研究開発を継続して行い、2025年頃に化石燃料並の水素コストの実現が可能であるのか検討・評価を行い、その結果を踏まえて事業実施判断を行うことになる。

なお、液化水素の海上輸送に当たっては、新たに国際的なルールを整備することが必要で

あり、日豪共同で提案した暫定的な安全基準が、2016年に国際海事機関（IMO）に採択されたところ。今後は、2020年度までのサプライチェーン実証結果等を踏まえて国際基準の策定を図ることとなる。

また、海外からの水素調達に当たっては、水素コストだけではなく、サプライチェーン全体を通じたCO₂排出量についても低減を目指すことが必要である。欧州において議論されている低炭素水素の基準では、天然ガスの水蒸気改質による水素製造時に発生するCO₂の60%以上を削減した水素を低炭素水素と定義していることから、本指標を当面2030年度までのベンチマークとし、将来的には資源採掘から消費までのCO₂排出量実質ゼロを目指す。

こうした取組の中で、化石エネルギー資源からの水素製造については、製造・輸送段階での脱炭素化を実現するためには、CCSに関する技術開発及びコスト低減、国際標準化の取組を推し進める必要があり、CCSの実用化に向けて取組を継続して実施する。

2-1. (3) 国内再生可能エネルギー由来水素の利用拡大

IEA等において、一部の国においては将来の再生可能エネルギーの大量導入に伴い、年間を通じて再エネ電力の供給過剰が発生し、大規模な出力制御が必要となることが予測されている。日本においても、今後再生可能エネルギー利用を拡大するためには、調整電源の確保や再生可能エネルギーの出力制御のみならず、余剰電力を貯蔵し、有効活用する技術が必要となる可能性がある。

特に、蓄電池では対応の難しい季節を超えるような長周期の変動に対しては、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(P2G)技術が国内外で注目されている。

こうした背景から、ドイツ等の欧州諸国では大規模な水電解装置を用いた実証が数多く実施されており、日本でも本格的なPower-to-Gas実証に向けて、福島県浪江町において世界最大級の1ユニット10MWの水電解装置を備えた「福島水素エネルギー研究フィールド(FH2R)」の建設が進められている。

Power-to-Gas技術を用いた再エネの導入拡大や地域の再エネ資源の活用のためには、システム最適化や水電解装置のコスト低減、効率・耐久性の向上、効率的な運用技術の確立が鍵となる。他方、水電解装置を含めたPower-to-Gasシステムの自立的普及が可能となるために必要な設備コスト及び運転コスト、それに伴う水素製造コストは、再生可能エネルギーの導入規模や発電コスト、稼働率等の外的要因に大きな影響を受ける。これらを踏まえ、水素基本戦略では、技術開発でコスト低減可能な水電解装置についてコスト目標を記載し、FIT制度による全量買取期間が終了する案件が出現する2032年頃の商用化を目標としている。

【水素基本戦略における記載(抄)】

- 国内の再生可能エネルギー由来水素の本格活用に向けては、コスト低減が鍵となる。再生可能エネルギー由来水素のコスト構造は、①原料である再生可能エネルギー電源からの電力供給コスト(OPEX)、②水素製造設備等の稼働率、③水電解装置を中心とした設備コスト(CAPEX)の3つである。このうち①及び②については今後の再生可能エネルギー

一の導入状況に依存する一方で、③設備コストについては、国内市場のみならず、再生可能エネルギー導入量やコストで先行する欧州等海外市場への展開も含め商用化を進めるとともに、Power-to-gas 技術の中核である水電解システムについて、世界最高水準のコスト競争力を実現すべく、2020年までに5万円/kWを見通すことのできる技術の早期確立を目指す。

- 2020年以降は、福島復興の一環として福島県で進められている先駆的な実証プロジェクト等の成果も踏まえつつ、特に再生可能エネルギーの供給過剰を貯蔵する観点からPower-to-gasシステムの事業化・社会実装を進める。FIT制度による全量買取期間が終了する案件が出現する2032年頃には商用化を、更に、将来的に再生可能エネルギーの導入状況に合わせて輸入水素並のコストを目指す。

【第5次エネルギー基本計画における記載(抄)】

- 今後の再生可能エネルギー利用を拡大するためには、調整電源の確保のみならず、余剰電力を貯蔵する技術が一つの鍵となる。大規模かつ長期間のエネルギー貯蔵を可能とする水素がその役割を果たすポテンシャルは大きく、特に蓄電池では対応の難しい季節を超えるような長周期の変動に対しては、再生可能エネルギーによる電気を水素として貯蔵するP2G技術が有効となる。国内の再生可能エネルギー由来の水素の本格活用に向けては、設備等のコストを低減させていくことが重要となるため、国内市場のみならず、再生可能エネルギーの導入量やコストで先行する欧州等海外市場への展開も含め商用化を進める。加えて、P2G技術の中核である水電解システムについては、世界最高水準のコスト競争力を実現すべく、2020年までに5万円/kWを見通すことのできる技術の早期確立を目指す。
- さらに、2020年以降は、現在進められている福島での実証プロジェクト等の成果も踏まえ、再生可能エネルギーの供給過剰分を貯蔵する観点から、P2Gシステムの事業化・社会実装に向けた取組を進め、2030年頃の商用化を目指す。

こうした水素基本戦略及び第5次エネルギー基本計画で示された方向性を踏まえ、日本が水電解による水素製造の分野において世界最高水準の競争力を確保していくため、これまで掲げてきた5万円/kWとの目標値に加え、ロードマップ及びアクションプランとして、FCHJU²や米エネルギー省(DOE)の水電解装置に関する目標を参考に、世界で最も厳しい水準の目標値を日本の水電解装置が実現すべきスペック及びコスト目標とし、その目標を達成するために実行すべき具体的な取組を以下の通り示す。また、福島水素エネルギー研究フィールド(FH2R)の活用も含め、地域や都市が水素社会実現に向けて実行すべき取組を以下の通り示す。

² Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (欧州燃料電池水素共同実施機構)。

<ロードマップ>

- 水電解装置システムコスト 5 万円/kW を目指すことに加え、アルカリ形水電解装置、固体高分子 (PEM) 形水電解装置³のそれぞれについて、以下の目標値^{※1}を実現することを目指す。

○アルカリ形水電解装置

項目		単位	2020	2030
システム	エネルギー消費量	kWh/Nm ³	4.5	4.3
	設備コスト ^{※2}	万円/Nm ³ /h (万円/kW)	34.8 (7.8)	22.3 (5.2)
	メンテナンスコスト ^{※3}	円/(Nm ³ /h)/年	7,200	4,500
スタック	劣化率 ^{※4}	%/1000 時間	0.12	0.10
	電流密度	A/cm ²	0.7	0.8
	触媒でのコバルト使用量	mg/W	3.4	0.7

※1 目標値の前提は、6kVの交流電流と水道水を入力として、ISO14687-2に適合した水素(3MPa)を製造するシステムであり、条件が変更された場合は数値も変更されることに留意。

※2 一社当たりの製造ボリュームが100MWであり、10年間安定して動くシステムを前提。基礎工事等の準備ができていないサイトに設置する場合を想定し、変圧器や整流器も含んだコストである。なお、スタックの交換費用は含まない。

※3 10年間のメンテナンスコストの平均値。想定されるスタックの交換費用は含むが、電力料金は含まない。

※4 例えば、0.125%/1000hの場合は、年間8,000時間稼働として10年間で消費エネルギーが10%増加することを意味する。

「FCHJU Multi – Annual Work Plan 2014 – 2020」を参考に作成

1ユーロ=130円で計算

³ 現在市場投入されている水電解装置は、主にアルカリ形と固体高分子 (PEM) 形の種類がある。アルカリ型は大型化に適しており、比較的 low コストであるが、急峻な入力電力に対する応答性が比較的低いことや、設備の設置面積が大きくなるという課題がある。一方、PEM 形については、応答性が高くコンパクト化が容易であるが、高コストであるという課題がある。実際に導入される際は、その導入サイトの目的にそった水電解装置が選択されている。

○固体高分子(PEM)形水電解装置

項目		単位	2020年	2030年
システム	エネルギー消費量	kWh/Nm ³	4.9	4.5
	設備コスト	万円/Nm ³ /h (万円/kW)	57.5 (11.7)	29.0 (6.5)
	メンテナンスコスト	円/(Nm ³ /h)/年	11,400	5,900
スタック	劣化率	%/1000時間	0.19	0.12
	電流密度	A/cm ²	2.2	2.5
	触媒貴金属量(PGM ^{※1})	mg/W	2.7	0.4
	触媒貴金属量(白金)	mg/W	0.7	0.1
その他	ホットスタート ^{※2}	秒	2	1
	コールドスタート ^{※3}	秒	30	10
	設置面積	m ² /MW	100	45

※1 PGM (Platinum Group Metals) : 白金族金属

※2 即時に起動できる準備状態から、公称出力に達するまでの時間。外気温 15℃で測定。

※3 外気温 -20℃で起動し、公称出力に達するまでの時間

「FCHJU Multi - Annual Work Plan 2014 - 2020」を参考に作成

1 ユーロ = 130 円で計算

<アクションプラン>

- 水電解技術については、現行の NEDO プロジェクトの成果を踏まえて、電流密度や効率、耐久性のさらなる向上に資する技術開発を行う。
- 電流密度や効率、耐久性のさらなる向上に資するため、セル劣化等反応メカニズムの解明や耐久性評価手法の検討・標準化を行い、技術開発にフィードバックする。
- 再生可能エネルギー発電量予測、電力需給調整、水素需要など様々な情報をもとに、最適にシステムを運用する技術開発を行う。
- 再生可能エネルギーの導入状況や、水素の利用形態など地域の特性に応じ、ガス導管注入やメタネーションの実施可否を含めた Power-to-Gas の導入のポテンシャルについて検討を行う。
- 欧州を中心とした海外の Power-to-Gas の状況について調査を行う。
- 福島水素エネルギー研究フィールド(FH2R)が立地する福島県など国内数カ所において水素関連技術を集中的に社会実装させ、水素社会実現のモデル都市・地域として国内外に広く示す。

<補足>

こうした背景から、ドイツ等の欧州諸国では大規模な水電解装置を用いた実証が数多く実施されており、日本でも本格的な Power-to-Gas 実証に向けて、福島県浪江町において世界最大級の1ユニット10MWの水電解装置を備えた「福島水素エネルギー研究フィールド(FH2R)」の建設が進められている。

Power-to-Gas 実証の先進地域である欧州における水素・燃料電池分野の研究開発・実証を推進する官民パートナーシップである FCHJU や DOE が水電解装置についての開発目標を提示している。こうした動きを踏まえ、日本が水電解装置の分野でも世界最高水準を達成するために、FCHJU や DOE の目標値を参考として、目指すべき要素技術のスペック及びコストの目標を新たに設定した。

水電解装置のコスト削減をするためには、例えば同等の規模で水素製造能力をより増加させるために電流密度をあげることや、急峻な変動電力や起動停止の繰り返しにも耐えられる隔膜・電解質膜・電極の開発等を行うことが重要である。アルカリ形については、大型化に向けて隔膜の耐久性、ガス分離性能の向上などを実現していく。PEM 形については、負荷変動時の電極の耐久性向上や、高分子膜の薄膜化、貴金属触媒使用量の低減などを実現していく。

そのためには、現在 NEDO プロジェクトで行っている Power-to-Gas 実証の成果や課題を対外的に公表し、適切にフィードバックして技術開発に活かしていくことに加え、十分に解明されていないセル劣化等の反応メカニズムの解析を進め、耐久性評価手法の標準化等を行う事により、技術開発を推進していくことが重要である。これらの項目について官民で取り組んでいく。

また、Power-to-Gas の分野については各国で研究開発が活発に行われていることから、先進地域の情報を適切に入手し、国内での適地の検討や技術開発・実証内容に反映させていく。例えば、欧州では水電解装置で製造した水素を既存のガス導管に少量注入する取組も行われている。また、水素と二酸化炭素からメタンを合成するメタネーションに関する検討も国内外で行われている。こうした最新の取組について状況把握を行い、国内での実施可否を含めた活用ポテンシャルを検討していく。

加えて、福島県浪江町で建設が進められている福島水素エネルギー研究フィールド (FH2R) については、Power-to-Gas の技術実証を行うとともに、生産された水素を東京オリンピック・パラリンピック大会時に活用する計画が検討されている。さらに、2020 年以降については、その水素を福島県内全域で利用し、福島県を将来の水素社会のモデル地域と位置づけ、水素関連技術の社会実装を進める構想・計画が検討されている。水素社会の実現に向けては、先端技術の実用化に向けた研究開発だけでなく、こうした先端技術を実際に社会実装・導入するプロジェクトもあわせて進めていくことが重要である。国内では、FH2R を中心に検討が進む福島県その他、サンシャイン計画やムーンライト計画の頃より水素・燃料電池の導入に自治体や大学が中心となって取り組んできた地域が複数ある。こうした数カ所の地域に水素関連技術を集中的に社会実装させ、水素社会のモデル都市・地域として国内外に広く示していく。

2-1. (4) 地域資源の活用及び地方創生

地域の再生可能エネルギーや廃プラスチック、下水汚泥、副生水素等の未利用資源は、低炭素な水素の供給源としてポテンシャルを有しており、地元自治体と企業との連携等により数多くのプロジェクトが実施されている。

【水素基本戦略における記載(抄)】

- 地域の未利用資源を活用した水素サプライチェーンの構築は、将来的な低炭素水素の利活用拡大のみならず、地域のエネルギー自給率の向上や新たな地域産業創出、電力系統が比較的小規模な離島等における再生可能エネルギーを中心とした分散型エネルギーシステムの確立にも資するものである。

【第5次エネルギー基本計画における記載(抄)】

- 様々な資源から作ることができるという水素の特性を活かし、いくつかの自治体では、地域の未利用資源（副生水素、再生可能エネルギー、下水汚泥等）を水素に換え、FCVやFCフォークリフト等で活用する、地産地消型の水素サプライチェーンの構築の取組が進んでいる。こうした取組は、低炭素化や地域のエネルギー自給率の向上といったエネルギー・環境政策上の意義に加え、地域の雇用や産業の創出といった地方創生にもつながる。

他方で、地域資源を活用した水素サプライチェーンの構築については経済性の確保が不可欠であり、①地域の水素需要の拡大や需給の最適化による設備利用率の向上、②関連設備の低コスト化、③発電・原料調達コストの低減等によるランニングコストの削減に取り組む必要がある。こうした観点から、アクションプランとして、地域でのサプライチェーン構築に向けて実行すべき取組を以下の通り示す。

<アクションプラン>

- 実証プロジェクト等の温室効果ガス削減効果の評価やコスト分析等の結果を公表し、地域資源を活用した低炭素な水素サプライチェーンモデルとして広く自治体等に共有する。
- 国は、地方自治体等に対し、水素を活用した自立分散型のエネルギー供給システムの災害時における活用について、積極的に情報提供・普及啓発を行う。
- 地域における水素の将来的な需給や、地域における水素を活用した分散型エネルギーシステムの将来的な市場規模を想定し、中核である水電解システムの低コスト化、規模の最適化、部品や技術の共通化等に取り組む。

<補足>

地域資源を活用した水素のサプライチェーンの構築にあたっては地方自治体の積極的な関与が不可欠であることから、実証プロジェクト等の結果や、災害時における自立分散型のエネルギー供給システムの活用方法など、地方自治体等に情報提供・普及啓発を行っていくことが重要である。その上で、水素のサプライチェーン自立化に向けて、実証プロジェクト等の成果や、再生可能エネルギーの電力供給コスト、水素関連設備の技術開発動向等を踏まえ、地域資源を活用した低炭素な水素サプライチェーンの普及方策の検討を進める必要がある。

2-2. 水素利活用

2-2. (1) 電力分野での利用

我が国全体の CO2 排出量の 4 割を占める電力部門の低炭素化に向け、今後は再生可能エネルギーを主要電源の一つとするエネルギーシステムへの移行が必要となる。一方で、単に大量の再生可能エネルギー電源を導入するだけでは、電力需要の大半を再生可能エネルギーで賄うことはできず、大量の供給過剰の発生(kWh)への対処、調整電源による変動吸収(ΔW)、再生可能エネルギー不足時に備えたバックアップ電源の確保(kW・kWh)が必要となることに留意する必要がある。このため供給力と調整力を備える天然ガス火力等の火力発電は、再生可能エネルギーの大量導入に欠かせないが、天然ガス火力と同等の機能を果たしうる水素発電は、将来的な低コスト化を前提として火力発電の低炭素化に向けた有力な方策となる。

こうした中、我が国では水素発電の実現に向け、NEDO プロジェクトにおいて水素混焼発電の要素技術開発及び実証に取り組んでいる。自家発電向けには、2018 年 1 月から 1MW 級のコージェネレーションシステムを活用した実証を開始し、同年 4 月には市街地における水素燃料 100%のガスタービン発電による熱電供給を世界で初めて達成した。大規模発電事業向けにも燃焼器の技術開発を行っており、2018 年 1 月に燃焼試験が成功するなど、混焼のための技術は確立する見通しである。このように、水素混焼発電に向けた技術開発は着実に成果をあげており、水素混焼については技術的に可能となる目処が立っている。

こうした取組の進展を背景に、水素基本戦略ではさらなる環境性の向上(NOx 値の低減)や発電効率の向上への対応、将来的な水素専焼の実現に向けた新たな燃焼技術の開発について方向性を示している。

一方で、水素発電を導入していくにあたり重要となるのは水素の調達コストであり、既存の発電設備を水素発電に切り替えていくためには、環境価値も含めた水素の調達コストを既存の燃料コスト並みに低減させる必要がある。水素基本戦略においては、先述の国際的な水素サプライチェーン技術の開発と合わせて水素発電の商用化を 2030 年頃の実現し、将来的には環境価値を含めて既存の LNG 火力発電と同等のコスト競争力を実現すると記載している。

【水素基本戦略における記載(抄)】

- 実際の社会実装に当たっては、水素は天然ガス火力での混焼も可能であることから、導入初期は既設の天然ガス火力における混焼発電を中心に、小規模なコージェネレーションシステム等における水素混焼も含め、導入拡大を図っていく。
- また、特に水素の燃焼特性に応じた燃焼器の開発が不可欠である。拡散燃焼方式や予混合燃焼方式など、従来の火力発電で実績のある燃焼器を水素混焼発電に転用するための研究開発や技術実証については、既に一定の取組が進められている一方、NOx の低減や発電効率の向上といった技術課題に対応していく。更に、将来的に水素専焼発電を実現するためには、NOx 値の低減、高い発電効率、高濃度な水素混焼などを同時に達成可能とする新たな燃焼技術の早期の実用化を目指す
- 水素発電については、国際的な水素サプライチェーンとともに 2030 年頃の商用化を実現し、その段階で 17 円/kWh のコストを目指す。そのために必要となる水素調達量として、年間 30

万 t 程度を目安とする(発電容量で 1GW 程度に相当)。更に、将来的には環境価値も含め、既存の LNG 火力発電と同等のコスト競争力の実現を目指す。そのために必要となる水素調達量として、年間 500 万～1,000 万 t 程度を目安とする(発電容量で 15～30GW 程度に相当)。

- 水素発電の導入に当たっては、電力システム改革が進展する中での経済性確立に向けた制度設計等の検討を進める。また、水素発電が有する環境価値を顕在化し、評価・認定、取引可能にしていくことが重要であり、他の制度設計に係る議論を注視しつつ、省エネ法における水素利用の位置づけを明確化する、あるいは高度化法における非化石電源として水素発電を位置づけるといったことを含め、実態も踏まえながら検討を進める。

【第 5 次エネルギー基本計画における記載(抄)】

- こうしたサプライチェーンの構築と並行して、安定的かつ大量に水素を消費する水素発電の開発を進めることが重要である。水素は天然ガス火力発電での混焼が可能であることから、導入初期は既設の天然ガス火力における混焼実証に向けた取組を中心に、小規模な自家発電設備等における水素混焼も含め、導入拡大を図るとともに、水素の燃焼特性に応じた燃焼器の開発を進める。国際的な水素サプライチェーンとともに 2030 年頃の商用化を実現し、その段階で 17 円/kWh のコストを目指す。

水素発電の実現に向けては、水素の燃焼特性に応じた燃焼器などの必要な技術の確立と、水素の調達コスト低減を両輪で進めて行く必要がある。そうした中、技術面については、水素混焼発電の技術の確立の見通しが立ちつつある。

こうした状況を踏まえ、ロードマップ及びアクションプランとして、水素発電導入の条件を明確化するための FS 調査のスケジュールや、水素専焼発電の実現に必要な要素技術のスペック、水素発電が環境価値を含めて既存の LNG 火力発電と同等のコスト競争力を有していくために目指すべき水素コストの水準、こうした目標を実現するために実行すべき取組など、以下の通り示す。

<ロードマップ>

- 2030 年頃の水素発電の商用化を目指して、技術の確立及び水素コストの低減に向けた取組を行っていく。
- 2020 年頃に既設火力発電設備における水素混焼発電導入のために必要な条件を明確化する。
- 有機ハイドライドやアンモニアから脱水素反応により水素を取り出して水素発電を行う場合、排熱等の利用により脱水素反応を高効率化・低コスト化することが重要であることから、ガスタービンコンバインドサイクル(GTCC)で発生する熱の一部を脱水素反応に活用する。
- アンモニアの脱水素反応については、2020 年度までにシステム構成条件を確立させる。
- 水素コージェネレーションシステムの技術の確立に向けては、水噴射を行わず NOx を抑制する技術を開発し、2020 年度までに発電効率 27%(1MW 級、発電端効率、LHV)、NOx35ppm(O2-16%換算)を達成することを目指す。

- さらに、将来的には、水素の調達コスト低減の見通しを見極めた上で、水素専焼発電の実現に必要な要素技術の確立を目指す。
- 水素コスト(プラント引渡しコスト)の低減については、2030年頃に30円/Nm³程度、将来的に20円/Nm³程度まで水素コストを低減することを目標としつつ、LNG価格の推移を考慮して環境価値を含めて従来エネルギーと遜色のない水準まで低減させていくことを目指す。例えば、LNG価格が10ドル/MMBtu(CIF価格)であれば、環境価値を考慮せずに熱量等価で水素価格に換算すると13.3円/Nm³となる。【再掲】(水素コスト30円/Nm³、20円/Nm³、13.3円/Nm³は、発電単価換算ではそれぞれ、17円/kWh、12円/kWh、8.7円/kWh。)

<アクションプラン>

- 水素混焼発電導入の条件明確化のため、既設火力発電設備への水素混焼発電を想定し、水素供給システムや限界混焼率、事業性等についてのFS調査を2019年度までに実施する。
- 有機ハイドライトやアンモニアからの脱水素反応に排熱を利用し、プロセスの高効率化・低コスト化を図る技術の開発を行う。アンモニアについては、実圧環境下における燃焼器及び触媒の耐久性評価を2020年度までに行う。
- 水素コージェネレーションシステムの発電効率の向上のため、水噴射を行わずにNO_xを抑制する技術の開発を2020年度までに行う。
- 水素の調達コスト低減の見通しを見極めた上で、低NO_x燃焼器の開発や燃焼振動対策、冷却技術の開発など、将来的な水素専焼発電の実現に必要な技術開発を行う。
- 水素サプライチェーン技術の開発状況や、水素供給コストの低減の状況を踏まえ、事業性について見通しが立った段階において、水素発電の本格導入に必要な取組を実行する。

<補足>

水素基本戦略で掲げた2030年頃の水素発電の商用化という目標の実現に向けて、技術の確立及び水素の調達コストの低減を図っていくことが必要である。

技術の確立については、既設火力発電設備における水素混焼発電を想定したFS調査を開始したところであり、既設ガスタービンの燃焼器の改造を伴わない限界水素混焼率や、水素混焼による燃焼性能(火炎安定性、火炎温度、NO_xなど)、発電性能・環境性能への影響、水素混焼による既設設備や発電所運用への影響、耐久性、信頼性等の評価を行っていく。また、同調査では、水素の受入、貯蔵、供給、混合(既設導管内での水素挙動)などの水素供給システムの検討や、さらには発電所全体での水素混焼システムの基本設計も実施するなど、水素混焼発電導入に必要な条件を明確化し、2019年度中にその結果をとりまとめる。

また、水素発電の導入にあたっては、脱炭素化の観点から水素サプライチェーン全体での二酸化炭素排出量を低減させることが重要であり、プロセスの高効率化・低コスト化を図っていくことが必要である。そのため、脱水素反応にエネルギーを要する有機ハイドライトやアンモニアから水素を取り出して水素発電を行う場合には、排熱を利用して脱水素反応のために外部から投入するエネルギー量を低減させることが有効である。

水素コージェネレーションシステムについては、水噴射によりNO_xの抑制を図る技術は確

立しつつあるが、高効率化に向けては水噴射を行わずに NOx を抑制する技術の開発が必要となる。

大規模発電事業向けの水素発電について総じて見れば、先述のとおり現時点で発電技術の確立については見通しが立ちつつあるため、今後、水素発電の実現に向けて特に必要なのは水素供給コストの低減である。水素供給コストについては、2-1 (1)「低コストな水素調達・供給に向けた技術開発」において記載された取組が進められており、その進捗状況と足並みを揃えて検討を進めていくことが重要である。こうしたことから、今後水素発電については、水素コストの低減、すなわち水素発電の事業性について調査・検討を行い、見通しが立った段階で、本格導入に向けた取組について検討・実行することとする。

2-2. (2) モビリティ分野での利用

我が国全体の CO2 排出量の 2 割弱は運輸部門より排出されており、このうち自動車(乗用車・貨物車)が 85%を占める。このため運輸部門における低炭素化を進めるためには、乗用車からトラック・バスなどの大型車まで、様々な種類の自動車の低炭素化を進めることが重要である。

水素はリチウムイオン電池等の蓄電池に比べ単位重量及び単位体積当たりのエネルギー密度が大きいため、大型・長距離輸送の分野において燃料電池自動車(FCV)は電気自動車(EV)に対し比較優位性がある。また、燃料電池の発電効率や出力密度の向上により、更なる航続距離の伸長や小型化も期待される。

こうした中、我が国では 2014 年 12 月に燃料電池自動車が初めて市場投入され、さらに 2016 年 3 月には 2 車種目も投入されるなど、世界で最も早く燃料電池自動車の市場展開が進んできており、FCV 普及台数は 2, 926 台(2018 年 12 月末時点)と世界トップクラスの水準となっている。

燃料電池自動車の普及に不可欠な水素ステーションについては、2013 年度より商用ステーションの整備を開始し、2018 年 2 月には民間 11 社により水素ステーションの整備を目的とした日本水素ステーションネットワーク合同会社(JHyM)が設立された。こうした中で、燃料電池自動車の普及想定等に基づく水素ステーションの最適配置シミュレーションの結果も踏まえつつ、多様なプレイヤーの参加により先行投資の負担を軽減しながら水素ステーションを効果的に設置していく取組が加速され、100 箇所(2018 年 12 月末時点)の商用水素ステーションが開所している。

こうした取組の進展を踏まえ、水素基本戦略では燃料電池自動車と水素ステーションの普及をモビリティにおける水素利用の中核と位置づけ、今後の普及台数及び整備箇所数の目標を掲げるとともに、その目標達成のために必要な取組を明記している。

また、燃料電池技術の横展開及び水素ステーションの稼働率向上の観点からは、燃料電池バスや燃料電池フォークリフト、燃料電池トラックなど他のモビリティへの展開を併せて進めていくことが重要である。既に、燃料電池バスや燃料電池フォークリフトについては市場投入されており、普及が進み始めている。このほか、トラックをはじめとした商用車や船舶、鉄道等についても、民間を中心とした実証・開発が国内外で行われており、幅広い分野で燃料電池技術の活用が広がっていくことが期待される。

【水素基本戦略における記載(抄)】

- FCVについては2020年までに4万台程度、2025年までに20万台程度、2030年までに80万台程度の普及を、水素ステーションについては2020年度までに160箇所、2025年度までに320箇所の整備を目標とし、2020年代後半までに水素ステーション事業の自立化を目指す。
- 上記の目標達成に向けては、水素供給コストの低減（ガソリン等と同等のコスト競争力を実現）はもとより、FCVの量産化や低価格化、航続距離の更なる伸長、2025年頃のボリュームゾーン向けの車種の投入等に加え、安定収益の裏付けのあるステーション整備と整備・運営コストの低減を通じた自立的な水素販売ビジネスの展開が必須である。そのため、規制改革、技術開発、官民一体による水素ステーションの戦略的整備を三位一体で推進する。
- 2017年から路線燃料電池バスの運行が開始されており、路線FCバスをはじめとするFCバスについては2020年度までに100台程度、2030年度までに1,200台程度の導入を目指し、今後、水素ステーションの整備状況と並行して自治体等と連携しながら、更なる普及に向けた方向性を検討する。
- 国内でも大規模フォークリフトユーザーだけで12万台（FCV36万台分）以上のポテンシャルがあり、将来大きな水素需要源となり得る。国内では2016年から燃料電池フォークリフトの販売が開始されている。今後の更なる普及に向けて、バリエーション拡大及び多用途展開を目的とした技術開発を進めていく。2020年度までに500台程度、2030年度までに1万台程度の導入を目指す。
- 商用トラックの国内市場保有台数は320万台以上あり、バス（23万台）以上の大きな水素需要を見込めるポテンシャルを有する。既に、コンビニエンスストアの配送車両など、国内外において大型車両のFC化に向けた検討が進められており、今後はこれらの検討を踏まえてトラックのFC化に向けた技術開発を進め、普及を目指す。
- モビリティの中でも船舶は低炭素化が難しい分野であるが、今後は燃料電池の活用を含めた電動化等を進めることで、CO2排出の削減を進めていくことが必要である。このため、例えば燃料電池の静音性を活かし、まずはプレジャーボートや旅客船、漁船などの小型船舶のFC化を進めるべく、燃料電池船に係る安全ガイドラインの策定を進めるとともに、利用拡大のロードマップを作成し、それらに基づき、実船による実証試験を行い、費用対効果の大きいものから普及を目指す。
- 燃料電池技術の応用範囲は広く、多様な用途に展開していくことは、環境負荷低減に加え、燃料電池の量産・低コスト化につながるため重要である。既に、燃料電池ゴミ収集車や燃料電池トローリングトラクター、鉄道車両などの開発・実証が進められている。

【第5次エネルギー基本計画における記載(抄)】

- モビリティにおける水素利用の中核となる燃料電池自動車（FCV）と水素ステーションについては、取組の両輪として進めていくことが重要である。具体的には、2025年までに320箇所の水素ステーションを整備し、2020年代後半までに水素ステーションビジネ

スの自立化を目指すとともに、FCVについては2025年までに20万台程度、2030年までに80万台程度の普及を目指す。この目標の実現に向けては、水素供給コストの低減はもとより、FCVの量産化や低価格化、航続距離の更なる伸長、2025年頃のボリュームゾーン向けの車種の投入等に加え、安定収益の裏付けのあるステーション整備と整備・運営コストの低減を通じた自立的な水素販売ビジネスの展開が必須である。そのため、規制改革、技術開発、官民一体による水素ステーションの戦略的整備を三位一体で推進する。

- また、燃料電池技術の横展開及び水素ステーションインフラの有効活用の観点から、既に商用化されたバスやフォークリフトに留まらず、トラック等の商用車や船舶、電車等のモビリティにおける他のアプリケーションへの展開を併せて進めていくことが重要である。そのため、2030年までに燃料電池バス1,200台程度、燃料電池フォークリフト1万台程度等の普及を目指すほか、燃料電池トラック等の導入に向けた技術開発を進める。

こうした方向性を踏まえ、ロードマップ及びアクションプランとして、モビリティ分野のうち、①燃料電池自動車については、燃料電池自動車の量産化・低価格化・航続距離伸長等に必要な要素技術のスペックやコスト削減の内訳を以下の通り示す。また、②水素ステーションについては、水素ステーションの整備・運営コストの低減に必要な構成装置ごとのコスト目標の内訳を以下の通り示す。最後に、③その他のモビリティについては、普及台数の目標やその実現のために必要な取組を以下の通り示す。

①燃料電池自動車

<ロードマップ>

- 燃料電池自動車について、2020年までに4万台程度、2025年までに20万台程度、2030年までに80万台程度の普及を目指す。
- 燃料電池自動車の車両価格については、2025年頃に同車格のハイブリッド車と同等の価格競争力を有する価格を目指す。具体的には、現在、燃料電池自動車とハイブリッド車の価格差は300万円前後となっているが、販売台数が増加しつつある電気自動車とハイブリッド車の価格差は70万円程度⁴であることを踏まえ、2025年頃には官民で技術開発や普及促進策などを取り組むことにより、同車格の燃料電池自動車とハイブリッド車の実質的な価格差を70万円程度の水準にまで引き下げることを目指す。これに向けて、2020年頃と同車格の燃料電池自動車とハイブリッド車の価格差は180万円以下の水準とすることを目指す。
- 消費者の嗜好の多様性を踏まえ、2025年にSUVやミニバンなどのボリュームゾーン向けの燃料電池自動車の投入を目指し、車種展開を通じた販売拡大・コスト低減を図る。
- 燃料電池自動車の主要な要素技術である燃料電池システム及び水素貯蔵システムについて、技術開発の目標とするスペック及びコスト水準を以下の通りとする。

⁴日産・リーフ（40kWh）（電気自動車）とトヨタ・カローラスポーツ HV（ハイブリッド車）の概ね同仕様のものについて、補助金と減税の効果を加味した価格差。

スペック目標	現在	2020年頃	2025年頃	2030年頃
航続距離	650km	⇒	⇒	800km
最大出力密度	3.0kW/L	4.0kW/L	5.0kW/L	6.0kW/L
耐久性	乗用車15年	乗用車15年以上	乗用車15年以上 商用車15年	乗用車15年以上 商用車15年以上
貴金属使用量	—	—	—	0.1g/kW
水素貯蔵システム (貯蔵量5kg相当の場合)	5.7wt%	6wt%	—	—

コスト・価格水準	現在	2020年頃	2025年頃	2030年頃
車両価格 (ミライ級)	700万円強	—	同車格のHV車同等の 価格競争力を有する車両価格	—
FCシステム (内、スタック)	約2万円/kW※1	<0.8万円/kW (<0.5万円/kW)	<0.5万円/kW (<0.3万円/kW)	<0.4万円/kW (<0.2万円/kW)
水素貯蔵システム (貯蔵量5kg相当の場合)	約70万円※1	30~50万円	<30万円	10~20万円

※1: 公表資料より資源エネルギー庁推計。

<アクションプラン>

- 燃料電池システムについては、①電解質膜に関して、薄膜化させつつ、クロスリーク(燃料極の水素や空気極の酸素が電解質膜を通過すること)を防止し、耐久性も維持・向上させる技術開発等を行うとともに、②触媒として使用されている貴金属に関して、触媒としての性能や耐久性を維持・向上させつつ、使用量の低減や他の触媒への代替を図る技術開発(コアシェル触媒の量産技術の確立、ナノワイヤー・ナノシート等といった新構造触媒の活用等)を行う。
- 水素貯蔵システムについては、車載水素タンクの大きなコストを占める炭素繊維の使用量低減、効率的な巻き付け等に関する技術開発を行う。
- 自動車会社は協調領域の技術情報や課題を共有し、大学や研究機関、関係企業が解決策を提案していくなど、産学官が連携した多層的な技術開発の体制を構築していく。

<補足>

燃料電池自動車の車両価格については、これまで国内の複数社が燃料電池自動車の開発に取り組んできたが、現時点において販売に至っているのは2社のみであり、同車格の従来車や他の次世代自動車と比べて高価格となっている。そのため、燃料電池自動車の普及に向けて、今後の技術革新等の見通しを踏まえつつ、個々のユーザーの受容可能性の観点から、燃料電池自動車の車両価格の目標を明確化した。例えば、現在、トヨタのミライはカーナビを含めて760万円程度であり、同車格のハイブリッド自動車のクラウン・ハイブリッドは500万円程度で、両者の価格差は約260万円であることから、実質的な価格差を2020年頃に180万円以下、2025年頃に70万円程度とするためには、現行の価格水準より2020年頃には80万円以上の引き下げ、2025年頃にはさらに110万円程度の引き下げとの試算になる(ハイブリッド車の価格水準が現在と同様であり、クラウン・ハイブリッドと同車格の燃料電池自動車が販売される場合)。

燃料電池自動車の主要な要素技術の必要スペック及びコスト目標については、燃料電池システムのうち、電解質膜は初期段階において特に大きなコストを占めると考えられており、また、触媒中の貴金属は車両の大量生産後も一定のコストを占めると考えられていることから、これらの研究開発が重要である。加えて、大量生産技術の確立のため、量産化の技術開発も並行して取り組む必要がある。

水素貯蔵システムについては、車載水素タンクのコストのうち大部分を占める炭素繊維の使用量低減や新たな材料開発、巻き付け工程の効率化・樹脂硬化時間の短縮等の量産化技術の開発が重要となる。

今後、これらの要素技術や車種展開について達成状況を定期的にフォローアップしていくことが重要である。また、こうした取組を後押しするため、自動車会社は協調領域の技術情報や課題を共有し、大学や研究機関が解決策を提案していくなど、産学官が連携した多層的な技術開発の体制を構築していく必要がある。

②水素ステーション

<ロードマップ>

- 水素ステーションについて、官民一体となって2020年度までに160箇所、2025年度までに320箇所を整備し、2020年代後半までに水素ステーション事業の自立化を目指す。
- 水素調達コストについて、2020年代後半には水素販売差益(粗利⁵)で500円/kg程度を目指す。
- 水素ステーションの整備費・運営費について、2020年頃までに導入初期との比較で半減(整備費:2.3億円、運営費:2.3千万円)し、2025年頃までに導入初期との比較で大幅削減(整備費:2.0億円、運営費:1.5千万円)することを目指し、要素技術毎に下表のとおりコスト目標を定める。
- 標準化・規格化については、水素ステーションの各機器の仕様や制御方法を統一するため、2020年度までに各機器についての業界統一規格を策定することを目指す。

⁵ ここでいう水素販売差益(粗利)とは、単位水素販売量に対する粗利を指すが、原価として水素調達に関するもの(製造・輸送等)のみを含み、整備費や運営費は含まない。

	導入初期	2016年	2025年頃
圧縮機	1.40億円	0.90億円	0.50億円 (100台/年・社)
蓄圧器	0.50億円	0.50億円	0.10億円 (500本/年・社)
ブレーカー	0.30億円	0.20億円	0.10億円 (100台/年・社)
ディスペンサー	0.60億円	0.20億円	0.20億円 (100台/年・社)
その他工事費	1.80億円	1.70億円	1.10億円
整備費計	4.60億円	3.50億円	2.00億円
運営費	4~5千万円	3.4千万円	1.5千万円

※NEDOにおいて検討された技術開発ロードマップを参考に記載。

※導入初期の価格は2013年の補助金申請額の平均値であり、2016年の数値については2016年の補助実績額の平均値。

※前提としているステーションの仕様は、定置式オフサイトで供給能力が300N m³のもの。

※補助対象外の経費は、含まれていない。

※構成機器のコスト目標については、規制見直し、安定した仕様のもとにおける主要構成機器の量産及び大量受注において適切な納期分散が為されている等の前提条件のもと設定されている。

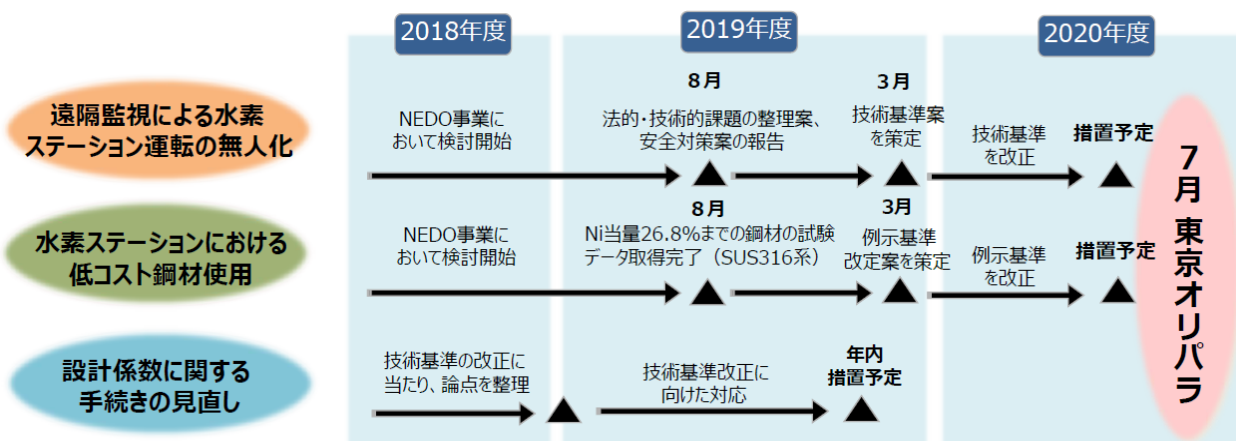
※○台/年・社、○本/年・社とは、コスト目標達成のための前提条件であり、「1社が1年に○台、○本生産を行った場合」の意味。

<アクションプラン>

- 燃料電池自動車の加速的な普及、水素ステーションの自立化に向け、2019年度以降から水素ステーションの整備地域を拡大し、全国的な水素ステーションネットワークを構築することを検討する。その際、日本水素ステーションネットワーク合同会社(JHyM)を中心として、以下のように戦略的配置を進めていく。
 - －2018～2021年度：四大都市圏を起点に、主要都市及び交通の要衝を重点に、合計80箇所の水素ステーションを整備することを目指す。
 - －2022～2025年度：2021年度における整備状況等を踏まえた整備地点を検討しつつ、さらに水素ステーションの整備を進め、2025年度までに320箇所とすることを目指す。
 - －既設の移動式水素ステーションの未整備地域等での活用や、省スペースかつ低コストで施工期間の短縮にもつながるパッケージ型水素ステーションの採用など、効率的な水素ステーション整備を行っていく。
- 水素ステーションのユーザー利便性の向上や自立化への道筋の明確化の観点から、営業時間の拡大や土日営業、ガソリンスタンドやコンビニエンスストアに併設する水素ステーションの整備などの取組を進めていく。
- 水素ステーションのコストを低減させるため、下表の通りシール材・ホースの耐久性向上、次世代充填技術の開発を目指すほか、電気化学式圧縮機などについても技術開発を実施していく。

項目	目標	コスト削減効果
シール材・ホースの耐久性向上	現状ではディスペンサーの O リング等のシール材の耐用充填回数は約 2,200 回であるが、以下の通り耐久性の向上を目指す。 ○2020 年 15,000 回 ○2022 年 30,000 回 充填用ホースについても同様に耐久性向上を目指す。	部品の交換頻度が低くなることにより、定期点検によるメンテナンス期間が短縮され、年間 100～200 万円の運営費削減の効果が期待できる。
次世代充填技術の開発	充填時間を 3 分から延ばすことなく、現状では約-40℃の冷却温度を緩和した次世代充填技術の開発を目指す。 ○2020 年 -25～-33℃ ○2022 年 -15～-25℃	現状では、水素の冷却に年間約 400 万円の電気代がかかっているが、2020 年に約 300 万円、2022 年に約 200 万円まで低減することが期待できる。

- 水素ステーションの整備費・運営費を低減させるため、安全確保を前提に、規制改革実施計画（2017 年 6 月 9 日閣議決定）で掲げられている 37 項目の規制見直しを着実に進める。以下の主要 3 項目については、達成目標時期を下図のとおり定める。



- 水素ステーションの整備費・運営費の抜本的な削減に向け、産業界において、安全性の確保を前提としつつ、解決すべき制度面の課題を 2019 年度中に抽出し、必要性を精査の上、対応を検討していく。
- 標準化・規格化については、2020 年度までの水素ステーションの各機器の仕様や制御方法を統一するための業界統一規格の策定に向け、検討を進める。

<補足>

水素ステーションについては、2013 年度から商用ステーションの整備が始まり、四大都市圏を中心に現在までに 100 箇所（2018 年 12 月末時点）が整備されている。2020 年度の 160 箇所、2025 年度の 320 箇所、2020 年代後半までの水素ステーション事業の自立化に向けては、燃料電池自動車の大量生産や低価格化、ボリュームゾーン向けの車種の投入等に加え、水素調達コストの低減、安定収益の裏付けのある水素ステーション整備と整備費・運営費の低減を通じた自立的な水素販売ビジネスの展開が必要である。

こうした中、燃料電池自動車の需要創出を効果的・効率的に進めていくため、JHyM を中心として燃料電池自動車の需要の最大化を目指した水素ステーションの最適配置を行うとともに、水素ステーションネットワークの全国拡大に向け、国の補助制度における整備対象地域を 2019 年度より全都道府県に拡大していくことを検討する。水素ステーションの整備に当たっては、ステーションが立地する自治体の理解と協力が必要であることから、住民理解の向上のための取組や規制・制度に関する情報共有を行うとともに、地方自治体による燃料電池自動車普及支援策の実施等を促していく。加えて、2014 年度から 2017 年度に整備した移動式水素ステーションについては、今後その地域における燃料電池自動車の普及の状況に合わせて定置式水素ステーションへ移行し、不要となった移動式水素ステーションを別の地域で活用することを検討する。さらに、省スペースかつ低コストなパッケージ型水素ステーション（圧縮機、蓄圧器、冷凍機等の主要設備を一又は二の筐体に内包したもの）については、施工期間の短縮にもつながることから積極的に活用していく。

また、ユーザー利便性の向上については、例えば、ガソリンスタンドやコンビニエンスストアに併設した水素ステーションを整備し、それぞれの従業員が水素ステーションの運営も兼務することができれば、営業時間の拡大や土日営業に繋がり、更にはガソリンスタンドでの洗車、コンビニエンスストアでの買い物など水素充填以外のサービスも同時に受けることができる。国の補助制度についても、営業時間の拡大や土日営業を促すような仕組みとするなど、ユーザー利便性の向上に資する運営体制の構築の後押しを行う。

水素ステーションのコストについては、2016 年度の整備費は、約 3.5 億円であり、一般的なガソリンスタンドの整備が 1 億円を下回るのと比べると非常に高額となっている。また、水素ステーションの運営費についても、2016 年時点では約 3.4 千万円／年である一方で、同じく高圧ガスを取り扱う天然ガスステーションは約 2 千万円／年程度と安価であり、これらの既存インフラのコストに早期に近づけていくことが重要である。

こうしたコスト削減を着実に実現していくためには、機器毎に将来のコスト内訳の見通しを明確化した上で、目標を定めてコスト削減の取組を進めていくことが重要であることから、本ロードマップでは、圧縮機、蓄圧器、プレクーラー、ディスペンサー及びその他工事費について、2025 年頃のコスト目標を示している。

水素ステーションに係る保安規制について、安全確保を前提にしつつ見直すことによるコスト削減も期待できる。例えば、水素ステーションの運営費の 35%程度を人件費が占めているが、海外と同様に、遠隔監視による水素ステーション運転の無人化が認められるようになれば、人件費の大幅な削減が見込まれる。また、営業時間の延長や日数の増加による燃料

電池自動車ユーザーの利便性向上も期待できる。規制改革実施計画の主要3項目のうち、遠隔監視による水素ステーション運転の無人化については、2019年8月までに法的・技術的課題及び必要となる安全対策を整理のうえ、2020年7月の東京オリンピック・パラリンピックまでに無人の水素ステーションを運用することを目指す。また、水素ステーションで使用される鋼材については、現在は少量生産で高価なものが使用されているが、計画的に水素の影響に関するデータを取得し、2020年7月の東京オリンピック・パラリンピックまでに、安価な汎用材料を使用可能とすることを目指す。さらに、海外で個別の安全性評価を経て使用されている2.4等の設計係数により製造された機器について、現在、日本国内において使用するには個別の安全性評価に加え、特別認可の手続きが必要であるが、2019年中に、特別認可の手続きを不要とする仕組みの構築を目指す。

上記以外にも、規制改革実施計画に記載されている37項目についての規制見直しを着実に進めていくとともに、燃料電池自動車や水素ステーションの普及に伴って顕在化するであろう新たな制度面での課題にも継続して対応していく必要がある。加えて、地方自治体による高圧ガス保安法の運用相違の是正等の改善を図る取組を行う。これらを通じ、水素ステーションのコスト削減を図っていく。

その他、水素ステーションの標準化・規格化によるコスト削減効果も期待できる。現在の水素ステーションにおいて使用されている各機器は、メーカーや事業者毎に制御プログラムやインターフェース、仕様等が異なっており、建設に際しては、都度の設計が行われることになることから、建設費の高コスト化につながっている。これを解決するため、2020年度までに、水素ステーションの各機器に係る業界統一規格を策定することを目指す。業界統一規格の策定により、都度の設計が軽減されることによる建設費の削減が期待できるほか、国内外の機器メーカーの新規参入も期待される。

③その他のモビリティ

<ロードマップ>

- 燃料電池バスについては、2020年度までに100台、2030年度までに1,200台の導入を目指す。現在は首都圏を中心に普及しているが、目標達成に向け、普及地域を全国に拡大させる。
- 燃料電池スタックや燃料電池自動車の性能向上にあわせて、燃料電池バスも車両価格低減を行っていく。2023～24年頃には車両価格⁶を半額程度にまで低減させ、電動バス等の競合と比較して十分に競争力のあるゼロエミッション車とすることを目指し、2030年頃にはビジネスとして十分に自立可能な価格水準とすることを目指す。
- 燃料電池フォークリフトについては、2020年度までに500台程度、2030年度までに1万台程度の導入を目指す。既に普及が進んでいる北米市場などの海外市場への展開を目指す。
- 燃料電池トラックについては、国内メーカーは、小型トラックの実証事業を着実に実施するとともに、大型トラックについては、近距離(200km程度・高圧ガスタンク)、長距離(500km程度・

⁶ 現在のトヨタ SORA の車両価格は1億500万円。

液体水素タンク)それぞれの技術開発や課題の整理を進め、2020年度中に具体的なアクションプランを作成する。

- 水素燃料電池船については、船舶分野における水素利用拡大に向けた指針の策定等を2020年を目途に進める。

<アクションプラン>

- 燃料電池バスについては、①車両価格低減を行うとともに、②ランニングコストの低減のため、燃費向上の技術開発を行い、③メンテナンスコストの低減のため、耐久性向上の技術開発を行う。さらに、④現行の路線バス以外にも車種展開を図り、普及拡大を図る。加えて、⑤燃料電池バスは給電機能に優れることから、災害時の電源として地域で活用できるよう必要な取組を進めていく。
- 燃料電池バスの普及拡大に向け、燃料電池バスに対応した水素ステーションの建設を着実に進める。
- 燃料電池フォークリフトについては、車種拡大や燃料電池ユニット等のフォークリフト以外への多用途展開を図り、量産効果によるコスト低減を図る。また、フォークリフトの水素充填設備は物流事業者等が自ら整備する必要があるため、インフラ事業者とメーカーは、簡素で運営も容易な充填設備を整備できるよう必要な取組を行っていく。

<補足>

燃料電池バスは、2017年3月から路線バスへの導入が開始され、現在までに首都圏において18台(2019年2月末時点)の路線バスが導入されている。東京オリンピック・パラリンピックの際には、多くの観光客が利用する路線バスにおける燃料電池バスの活用は、日本の水素利用の技術を海外に発信するのに相応しいと考えられる。また、燃料電池バスは燃料電池自動車に比べて多くの燃料を必要とするとともに、平日休日に関わらず一定の走行を行うことから、安定的で大きな水素需要が見込まれ、水素ステーションの経営の安定化にも資する。今後の普及に向けては、自動車メーカーと自治体が連携しつつ全国の路線バスへの導入を進めるとともに、路線バス以外にも様々な車種展開を行いコスト低減を図る。また、燃費向上や耐久性向上のための技術開発を行い、モデルチェンジとともに車両価格の低減を図っていく。さらに、2011年3月の東日本大震災や2018年9月の北海道胆振東部地震に伴う大規模停電を契機として、地域の防災への関心が高まっているが、燃料電池バスは給電機能に優れており、災害時における地域の非常用電源として活用が期待される。

燃料電池フォークリフトは、国内では2016年から販売が開始され、空港や卸売市場等に約150台(2019年2月末時点)導入されている。燃料電池フォークリフトは、現在1車種のみであるが、今後、用途に応じて小型・大型といった車種を拡大していくことは普及させていく上で重要である。また、フォークリフトに搭載されている燃料電池ユニットをフォークリフト以外へ多用途展開(定置型発電機・農建機等)していくことも、量産効果によるコスト低減のために重要である。加えて、フォークリフトの水素充填設備は物流事業者等が自ら整備する必要があるが、こうした事業者は必ずしもインフラの知見を持っていないことか

ら、インフラ事業者等が連携し、簡素で運営も容易な設備を導入できるようにすることが重要である。

燃料電池トラックについては、国内外において技術開発が進められている。国内では、コンビニエンスストアの配送用車両を燃料電池化した小型燃料電池トラックを 2019 年春頃に 2 台導入し、実証を開始することとしている。大型の燃料電池トラックについては、国内メーカーは、国内外において技術開発を進めており、国際展開も含めた戦略を明確化していく必要がある。

水素燃料電池船については、2016 年度末から、技術的課題の整理を目的とした小型船舶での燃料電池船の実船試験が行われ、その結果を踏まえて 2017 年度末に「水素燃料電池船の安全ガイドライン」が策定された。また、燃料電池だけでなく水素ガスエンジンを船舶の動力として活用する可能性も考えられることから、国際的な動向を注視しつつ、技術開発などの必要性を検討していく必要がある。こうした状況を踏まえ、2020 年を目途に進めることとしている船舶分野の水素利用拡大に向けた指針の策定等に取り組んでいく。

この他、モビリティ分野では、燃料電池ごみ収集車や燃料電池トーイングトラクター、鉄道車両などの開発・実証が進められている。このうち、鉄道については、鉄道会社と自動車メーカーが連携し、駅を拠点とした水素サプライチェーンの構築を目指す取組も始まっている。さらに、宇宙分野のモビリティでも水素・燃料電池への期待は高く、世界で初めて動力源に燃料電池を利用した月面探査用の「有人探索車（有人圧ローバ）⁷」の検討も始められており、このような最先端のモビリティ技術によって、水素社会を切り開いていくことが重要である。こうした様々な分野への用途拡大に向けては、燃料電池モジュールの仕様の共用化等に取り組んでいくことが有効である。

2-2. (3) 産業プロセス・熱利用での水素活用の可能性

石油や天然ガスなどの化石資源や、これらを原料として製造される石油製品、プラスチック製品等は、いずれも主として炭素と水素から成る炭化水素である。そのため、その製造プロセスでは、分子量の大きな炭化水素を分解する過程で水素が副生物として発生したり、水素を炭化水素に添加することで別の種類の炭化水素を合成したりするなど、水素は副生物として発生・回収されるときにも原料として利用されている。また、製鉄の工程においては、鉄鉱石の還元剤として利用されるコークス(石炭)は主として炭素と水素から成る炭化水素であるため、コークスの分解により水素が副生物として発生している。同時に所内では、ステンレス等の鋼製品の表面処理の工程において、水素が還元剤として利用されている。この他にも多種多様な産業で水素が発生・回収又は利用されており、産業プロセスは、経済合理性にかなえば、水素基本戦略や第 5 次エネルギー基本計画等で描く将来の水素サプライチェーンにおける、水素の供給源や、水素の利用先となるポテンシャルを有している。

水素の供給源としての産業プロセスに関しては、現在、製油所や製鉄所で発生する副生水素が回収されて所内のボイラーの燃料等として熱利用されたり、所内の別工程の原料として利用さ

⁷ 宇宙飛行士が宇宙服を着ることなく、普通の服で生活しながら、月・惑星表面上を持続的に移動可能な機体。

れたりしているものが多い。また、苛性ソーダの製造工程で発生する副生水素は純度が高いことから、水素として外販されているものもある。

また、水素の利用先としての産業プロセスに関しては、産業プロセスを低炭素化するための方策として水素の活用が期待されている。例えば、欧州では、産業分野の低炭素化が進んでいく中で、2030年にはこうした産業向けの再生可能エネルギー由来の水素の需要が全水素需要の17%を占めるようになるとの試算もある。一例としては、製鉄プロセスの低炭素化を図るため、再生可能エネルギー由来の水素を還元剤とすることを目指すHYBRITプロジェクト(スウェーデン)やH2FUTUREプロジェクト(オーストリア)が実施されている。日本では、製鉄プロセスでのCO₂排出削減を目指すCOURSE50プロジェクトが進められており、製鉄所の既存インフラの最大限の活用を前提に、水素を多く含むコークス炉ガスを用いた鉄鋼石還元技術の開発等を通じて、総合的に製鉄所のCO₂排出量を30%削減することが目標とされている。このため、2030年に1号機実用化を目指し、水素活用技術と未利用排熱を活用したCO₂分離回収技術の開発等が行われている。その上で、将来的には、水素還元製鉄技術等を開発し、製鉄プロセスでのゼロエミッションを可能とすることを目指している。COURSE50プロジェクトは所内の副生水素を活用する技術であるが、その先の水素還元製鉄技術は所内の副生水素だけでなく、製鉄所外部から水素を調達することも想定しており、現在は水素の発生源である製鉄所が水素の利用先に変化する可能性がある。

このような背景から、産業プロセスでの水素の利活用は、産業分野の低炭素化の観点から期待が高く、水素社会の実現に向けて重要な水素利用先の一つとなっていく可能性がある。

【水素基本戦略における記載(抄)】

- 2030年以降に大量に調達・利用するCO₂フリー水素は、産業分野においてCO₂フリーの燃料として活用することで、発電やモビリティだけではなく、電化が困難なエネルギー利用分野の低炭素化を図ることが可能。
- 現在、製鉄や石油精製などの国内において工業用途で使用される水素は化石燃料で製造されているため、CO₂フリー水素に代替することで低炭素化が可能。
- 欧州においては、(中略)産業分野等での「グリーン水素」の活用が検討されている。更に、製鉄プロセスでのCO₂排出削減のため、直接還元製鉄法において還元剤として使用される天然ガスを再生可能エネルギー由来水素に置き換える検討等が進められている。

産業分野においては、経済合理性にかなえば、水素は供給と利用の両面で活用できる可能性がある。モビリティ分野や発電分野等だけでなく、産業分野でも水素を活用することでスケールメリットにより水素コストの低減につながるため、産業分野での利活用は重要である。水素基本戦略で示された方向性を踏まえて、ロードマップ及びアクションプランとして、産業分野におけるCO₂フリー水素の利用の目標や、その目標を達成するために実行すべき取組を以下の通り記載する。

<ロードマップ>

- 環境価値に係る今後の制度設計を踏まえつつ、産業分野において将来的に CO2 フリー水素を利用することを目指す。
- 水素コスト(プラント引渡しコスト)については、2030 年頃に 30 円/Nm³ 程度、将来的に 20 円/Nm³ 程度まで低減することを目標としつつも、産業プロセスごとに CO2 フリー水素が代替し得る既存の燃料・原料の種別(化石燃料や、CCS を伴わない化石資源由来の水素)及びそのコストは異なることから、経済合理性確保の見通しが得られたプロセスから順次 CO2 フリー水素の利用を検討する。

<アクションプラン>

- 国内の副生水素等の未利用資源を活用した水素供給能力について把握すべく、ポテンシャル調査を実施する。【再掲】
- 各産業プロセスにおける CO2 フリー水素の利用について、純度や受入方法、電化の困難性などの技術的な要件や経済合理性を持つための価格条件を精査し、ポテンシャルを評価する調査を実施する。
- 水素と炭素(カーボン)は炭化水素の主要な構成物として、いわば表裏一体の関係であり、CO2 フリー水素と二酸化炭素からプラスチック製品等を製造する技術など、二酸化炭素の回収・利用により気候変動問題に対応する技術(カーボンリサイクル技術・CCU)の実用化に向けた検討・研究開発を実施する。

<補足>

水素の調達コストについては、産業プロセスごとに CO2 フリー水素が代替し得る燃料や原料の種類やコストは異なっており、例えば、石油精製プロセスのために目的生産されている水素の製造コストは 23～37 円/Nm³ という報告(第 10 回 CO2 フリー水素 WG 配付資料(平成 29 年 10 月 2 日))も存在する。

各産業プロセスで CO2 フリー水素を利用する際の技術的及び経済的条件を精査し、ポテンシャルを評価した上で、経済合理性の見通しが得られた分野から順次導入を検討していくことが有効である。

カーボンリサイクル技術・CCU については、水素と二酸化炭素からメタノール等を合成する技術が開発されており、さらなる高効率化、低コスト化の技術開発を通じて、今後、産業分野において活用されることにより二酸化炭素を削減することが期待されている。

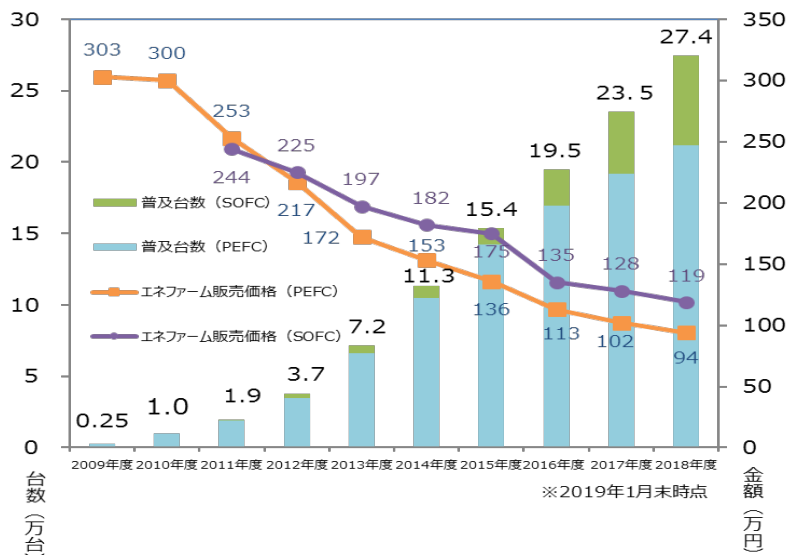
2-2. (4) 燃料電池技術活用

燃料電池は、水素利用における最重要技術の一つである。電気化学反応により電気・熱を取り出すメカニズムにより、①高い発電効率、②小型化、③排熱の有効利用が可能である。

燃料電池を活用した小規模分散型電源は、大型の火力発電所と同等程度の発電効率を実現する一方で、大規模な投資を必要としないため、今後、分散型電源として急速に普及する可能性がある。また、将来的には IOT の活用により VPP としての利用も期待できるほか、停電時におい

て自立的に起動・運転可能なため、BLCP(業務・生活継続計画)の観点からも有効である。

こうした中、日本では 2009 年に世界に先駆けて家庭用燃料電池(エネファーム)が市場投入され、2019 年 1 月末時点で約 27.4 万台が普及している。また、業務・産業部門についても、2017 年から国内メーカーによる燃料電池(SOFC 型)の本格市場投入が始まった。この他、純水素型燃料電池については、2020 年東京オリンピック・パラリンピック競技大会の選手村での設置が検討されている。



【出典】資源エネルギー庁作成

【水素基本戦略における記載(抄)】

- エネファームについては、家庭における従来型のエネルギー利用よりも経済的に優位となることを目指し、2020 年頃までに、PEFC(固体高分子形燃料電池)型標準機については 80 万円、SOFC(固体酸化物形燃料電池)型標準機については 100 万円の価格を実現(投資回収年数を 7~8 年に短縮)した上で、その後の自立的普及を図る。それ以降もユーザーメリットの向上に資する取組を進め、2030 年頃までに投資回収年数を 5 年に短縮することを目指す。
- その実現に向けて、更なる発電効率の向上(SOFC)、熱利用率の向上(PEFC)に向けた技術開発を進めるとともに、集合住宅や寒冷地、更には欧州等の熱需要の大きい地域の市場など、優位性のある市場を開拓し、民生部門での低炭素化を促進する。また、余剰電力取引を通じて、高効率発電電力を他の需要家にも融通する取組を拡大する。
- 業務・産業用燃料電池については、低熱電比需要家への導入を進め、グリッドパリティの突破を早期に実現するためイニシャルコストの低減に資する技術開発を進めていく。また、最新鋭のガスタービンコンバインドサイクル(GTCC)を超える発電効率(60%超)の実現に向けた技術開発を進め、分散型電源による電力供給の可能性を更に切り開く。
- 更に、2030 年以降は、国際的な水素サプライチェーンが構築されるとともに、国内の再生可能エネルギーの供給量拡大が見込まれるため、CO2 フリー水素を燃料とする純水素燃料電池コージェネレーションシステムの導入拡大を図る。

【第5次エネルギー基本計画における記載(抄)】

- 現在、最も普及が進んでいる水素関係技術は、家庭用燃料電池(エネファーム)である。特に、我が国では、燃料電池の技術的優位性を背景に、定置用燃料電池が世界に先駆けて一般家庭に導入され、既に23万台以上が普及しており、価格も市場投入当初の3分の1以下の100万円を切る水準となっている。
- 今後は、2020年頃の市場自立化を実現した上で、2030年までに530万台の導入を目指す。その実現に向けては、更なる発電効率の向上や熱利用率の向上に向けた技術開発を進めるとともに、熱需要の大きい地域など、優位性のある市場を開拓し、さらに、余剰電力取引を通じて他の需要家にも融通する取組を拡大していく。
- また、2017年に市場投入された業務・産業用燃料電池の普及に向けては、早期に市場自立化を目指し、イニシャルコストの低減に資する技術開発を進めるとともに、分散型電源として大規模集中型電源を超える発電効率(60%)を備える機器の開発、実装を進める。

燃料電池を活用した分散型電源は、発電効率が高い上、電気と熱の両方を有効利用できるものの、現状ではイニシャルコストやランニングメリットのユーザーへの訴求力が十分とは言えない。更なる普及拡大に向けて必要となるコスト低減や機能性向上の実現に向け、①家庭用燃料電池(エネファーム)及び②業務・産業用燃料電池について、ロードマップ及びアクションプランとして、目指すべき目標及び実行すべき取組を以下の通り示す。

①家庭用燃料電池(エネファーム)

<ロードマップ>

- エネファームについて、2020年頃の市場自立化を実現した上で、2030年までに530万台の導入を目指す。
- 2020年頃までに、PEFC(固体高分子形燃料電池)型標準機については80万円、SOFC(固体酸化物形燃料電池)型標準機については100万円の価格を実現(投資回収年数を7~8年に短縮)した上で、その後の自立的普及を図る。それ以降もユーザーメリットの向上に資する取組を進め、2030年頃までに投資回収年数を5年に短縮することを目指す。

<アクションプラン>

- エネファームの着実な価格低減に向けて、機器については、小型化を実現するためにセルスタックの高効率化等の技術開発を行うとともに、スタック構造及び補機部品の見直しを行い、システムの小型化、簡素化に取り組む。
- エネファームの本格的な普及に向けて、既築住宅や集合住宅、寒冷地、LPガス地域などのマーケットを開拓すべく、設置が容易な小型機の市場投入、集合住宅のエネルギー消費量に合わせた仕様の製品の開発・市場投入、寒冷な環境に対応した機器の低コスト化、脱硫装置のコスト低減の技術開発、販売チャネルの拡大等に取り組む。

- 設置工事については、機器の小型化に伴う基礎の簡素化による材料費、施工費の削減を行うとともに、電気工事の簡素化に向けた規程の整備を検討する。
- エネファームの更なる本格的な普及に向けて、ガス事業者、機器メーカー、ハウスメーカー、デベロッパー等の連携・協力体制を 2019 年度までに全国レベルに拡大する。

<補足>

価格低減については、家庭用燃料電池（エネファーム）は、2009 年の市場投入当初は 300 万円程度であったイニシャルコスト（設置工事費込み）が、現在、PEFC 型で 95 万円程度となっており、モデルチェンジごとの段階的な価格低減が実現している。引き続き、モデルチェンジのタイミングには価格低減を図るとともに、設置性を向上させ、更なる普及拡大を図っていくことが必要である。

今後も価格低減を着実に図っていくため、機器コスト、メンテナンスコスト、設置工事費に関して、下表の取組を行っていく。例えば、セルスタックについては、その高効率化や素材の低コスト化の技術開発を実施するとともに、セルスタックの供給事業者の拡大及びそれに伴う事業者間の競争を促していくことにより、セルスタックのコスト低減を図る。また、補機については、基本設計の変更による部品の統合・廃止、低コストな素材・構造の採用、調達先の見直し等により、コスト削減を図る。加えて、設置工事やメンテナンス等については、施工場所の工夫による配線・電線等の本数削減や、基礎の簡素化による基礎材料費・施工費の削減を図るとともに、メンテナンスネットワークの活用等のメンテナンス方法の見直しによる低コスト化を図る。電気工事については、現在、200V 出力 3 線接続のため、電気工事士への外注や屋内工事が必要であるが、屋内工事が不要となる 100V 出力 2 線接続を可能とする規程の整備を検討し、電気工事費の削減を図る。

また、こうした個々の事業者の取組に加えて、エネファームの更なる本格的な普及に向けては、関係事業者による連携が不可欠である。そのため、ガス事業者、機器メーカー、ハウスメーカー、デベロッパー等の連携・協力体制を全国レベルに拡大していく。

大項目	中項目	小項目	内容
機器 (コスト)	スタック	セルスタック枚数の削減	セルスタック構造の見直し及び簡素化 (セル枚数の削減、セル1枚あたりの高効率化)
		セルスタック素材の見直し	新技術によるセパレータ枚数の削減、低コストな新素材及び電解質等の採用、新規調達先採用、高性能スタックの採用
		燃料電池内触媒の使用量の低減	新触媒の開発による白金使用量の削減、触媒活性の向上
		セルスタック供給事業者の拡大	SOFCセルスタックは、現状供給事業者が一社となっている。 → 技術開発支援等を通して、供給事業者の増加を図り、競争効果によるコストダウン
	補機 (構造部品)	補機の部品点数の削減	基本設計変更による補機部品の廃止、部品統合、隣接機器の一体化、脱硫方式の変更などによる部品点数の削減
		低コストな補機の採用	新素材、新方式、新構造、新規調達先採用によるコストダウン
		部品、素材等、供給事業者の拡大	グループ会社を含む新規調達先採用
	燃料処理器	改質器・ホットモジュールの簡素化	溶接箇所の低減、筐体構造の見直し、溶接工法の改善
	貯湯槽	燃料電池本体との通信の標準化	通信の標準化による多様なメーカーからの貯湯タンクの採用
		貯湯タンクの仕様の見直し及び簡素化	貯湯ユニットと燃料電池ユニットの一体化
制御	基盤の小型化	専用IC開発等による基盤の小型化、層数削減	
機器 (その他)	メンテナンス	定期交換部品の不要化	メンテナンス頻度の低減、部品交換不要化
		ネットワーク活用による業務効率化	ネットワーク化による遠隔地からの管理 2016年度から拡大 → 事前故障診断により訪問回数の低減に伴う人件費の削減
	販路拡大	ラインナップ充実	市場ニーズに合わせて拡充 2017年度から拡大 (ラインナップ拡大、小型機の開発など)
		既存メンテナンス体制の活用	既存サービス網を駆使した体制構築
生産プロセス	生産プロセスの改善	量産工法の改善、自動化設備の導入、歩留まり率の改善 → 2020年目処に工数～最大40%減	
設置 工事	試運転	試運転時間の短縮・簡素化	試運転操作の簡易化、遠隔試運転など → 試運転時間～最大50%減
	配線・電線等の構造	配線・電線等の簡素化	施工場所を工夫することによる線長や本数の削減
	基礎	基礎の簡素化	機器の小型化・低重心化に伴う基礎の簡素化 → 基礎材料費・施工費の削減

また、現在、エネファームは、関東以南の都市ガス使用地域の新築戸建て住宅を中心に普及しているが、本格的な普及に向けては既築住宅や集合住宅、寒冷地、LP ガス地域等のマーケットを開拓していくことが必要である。

既築市場については、設置が容易な小型機の市場投入や、電気工事の際に屋内工事が不要となる100V出力2線接続の早期の実現などに取組んでいく。集合住宅市場については、小型機の市場投入のほか、集合住宅のエネルギー消費量に合わせた仕様の製品を開発・市場投入していく。寒冷地については、メーカーによる設置・施工のサポート体制を構築すること等により低温環境下での確実な動作を担保しつつ、床暖房等の大きな熱需要への対応や、機器コストの着実な低減を図っていく。LPガス地域については、LPガス中の硫黄成分に対応する脱硫装置のコスト低減の技術開発や、既存の高効率給湯器の商流活用による販売チャネルの拡大等によりアプローチを図っていく。

②業務・産業用燃料電池

<ロードマップ>

- 業務・産業用燃料電池のシステム価格⁸及び発電コストについて以下の目標の達成を目指し、排熱利用も含めた早期のグリッドパリティの実現を目指す。

業務・産業用燃料電池の種別	2025 年頃	
	システム価格	発電コスト
低圧向け(数 kW～数十 kW 級)	50 万円/kW	25 円/kWh
高圧向け(数十 kW～数百 kW 級)	30 万円/kW	17 円/kWh

- セルスタック等の技術開発を進め、2025 年頃に 55%超(送電端効率、LHV)の発電効率を目指す。また、現状 9 万時間程度の耐久性については、2025 年頃までに 13 万時間を見通すことを目指す。さらに、その先の次世代の業務・産業用燃料電池として、発電効率 65%超(送電端効率、LHV)の実現を目指す。

<アクションプラン>

- イニシャルコスト低減に向けて、①セルスタック及び燃料処理機については、セルスタックの高効率・高出力密度化等の技術開発に取組み、②補機類については、補機(ブロー、流計量、弁、熱交換機等)部品点数の削減や安価な汎用部品への代替が可能な高価な部品の仕様見直し等を行い、③燃料電池システムについては、部分負荷効率・負荷追従性の向上や構成機器の簡素化に向けた技術開発・設計等を行う。
- 耐久性の向上に向けて、セルスタック等の劣化メカニズムを解明し、劣化の原因を解消するための技術開発を行う。
- 次世代の業務・産業用燃料電池として、最新鋭のガスタービンコンバインドサイクル(GTCC)を超える発電効率 65%超(送電端効率、LHV)の業務・産業用燃料電池の実現に向けた技術開発を行う。

<補足>

業務・産業用燃料電池は、既存のコージェネレーションシステムに比べて発電効率が高く排熱が少ないため、電気の需要が大きく熱需要が小さい(低熱電比)需要家への導入が期待される。他方で、現在のイニシャルコストやランニングメリットは既存のガスエンジンコージェネレーション等と比べてユーザーへの訴求力が不十分であり、経済性の向上が必要不可欠である。

現在、低圧向け業務・産業用燃料電池のシステム価格は 180 万円/kW 程度であり、耐用年数 10 年、燃料費 95 円/Nm³等と仮定⁹して試算すると、発電コストは 50 円/kWh 程度と系統の電気料金(24 円程度)の 2 倍程度の水準となっており、排熱利用を考慮しても普及に

⁸ 機器価格及び設置工事費等を含む。

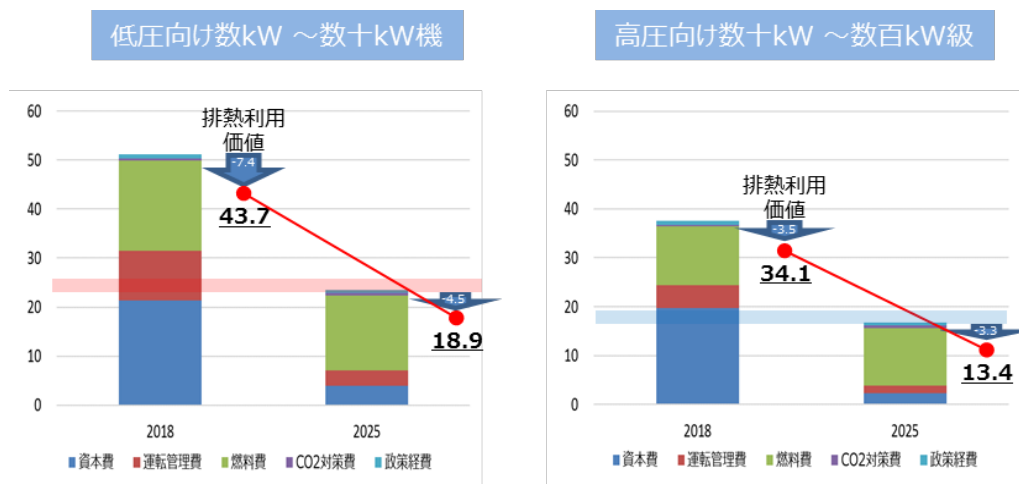
⁹ 低圧向けについては、燃料費単価 95 円/Nm³、設備利用率 95%

十分な経済性を実現できていない。また、高圧向け業務・産業用燃料電池のシステム価格は170万円/kW程度であり、耐用年数10年、燃料費73円/Nm³等と仮定¹⁰して試算すると、発電コストは40円/kWh程度と系統の電気料金（17円程度）の2.3倍程度の水準となっており、排熱利用を考慮しても普及に十分な経済性を実現できていない。

こうしたことから、排熱利用やBLCF（業務・生活継続計画）の価値も考慮しつつ系統の電気料金と同水準までコスト低減を図り、グリッドパリティを実現し、自立的な普及を図っていくことが重要である。そのため、低圧向け業務・産業用燃料電池については、2025年までに発電コスト25円/kWhを達成することを目指す。これを実現するため、システム価格は2025年頃までに50万円/kWとすることを目標とする。また、高圧向け業務・産業用燃料電池については、2025年までに発電コスト17円/kWhを達成することを目指す。これを実現するため、システム価格は2025年頃までに30万円/kWとすることを目標とする。

こうしたコスト低減を達成するため、主にインシヤルコストの低減に資する技術開発を進める。インシヤルコストの約6割をセルスタック及び燃料処理機、約2割を補機類が占めており、これらの技術開発やシステムの構築等に取り組んでいく。具体的には、セルスタック及び燃料処理機については、セルスタックの高効率化や高出力密度化技術開発等に取り組み、送電端効率（LHV）については、2025年頃には55%以上を目指す。補機類については、補機（ブロー、流計量、弁、熱交換機等）部品点数の削減や安価な汎用部品への代替が可能な高価な部品の仕様見直し等を行う。燃料電池システムについては、部分負荷効率・負荷追従性の向上や構成機器の簡素化に向けた技術開発・設計等を行う。また、耐久性は現状9万時間程度（約10年間）であるが、2025年頃までに13万時間（約15年間）を見通すことを目指す。

また、こうしたコスト削減に向けた技術開発に加えて、大規模集中型電源を超える発電効率（65%超、送電端効率、LHV）の実現に向けた技術開発も進めていく。



【出典】NEDO 技術開発ロードマップ等より資源エネルギー庁作成

¹⁰ 高圧向けについては、燃料費単価73円/Nm³、設備利用率95%

2-3. 技術開発の推進・国民理解

2-3. (1) 革新的技術開発

パリ協定等の世界的な低炭素化への動きを踏まえ、2050年頃を見据え温室効果ガスの抜本的な排出削減に資する有望な技術分野を特定した「エネルギー・環境イノベーション戦略(NESTI2050)」(2016年4月総合科学技術イノベーション会議決定)においては、「水素等のエネルギーキャリアの製造、輸送・貯蔵、利用」が重点的・集中的に強化すべき技術の一つとして、掲げられている。

これを踏まえて、水素基本戦略では、2050年を見据えた中長期の水素社会の実現、水素利用の本格普及のために、水素の「製造」、「輸送・貯蔵」、「利用」に至る革新的技術開発の方向性が示されている。また、「統合イノベーション戦略」(2018年6月閣議決定)においても、世界をリードする水素社会を実現するため、産学官が連携して、研究開発から社会実装まで一貫した取組の重要性が示されている。

【水素基本戦略における記載(抄)】

- 2050年を見据えた中長期の水素社会の実現、水素利用の本格普及のためには、以下のよ
うな水素の「製造」、「輸送・貯蔵」、「利用」に至るまで革新的技術の着実な開発が必要
である。
- ✓ 高効率な水電解・人工光合成、水素高純度化透過膜など、新たな水素製造技術に係る研
究
- ✓ 高効率水素液化機・長寿命液化水素保持材料の実現
- ✓ 低コストかつ高効率なエネルギーキャリアの開発
- ✓ コンパクト・高効率・高信頼性・低コストな燃料電池の技術開発
- ✓ 水素と二酸化炭素を利用した革新的化学品合成方法の開発

中長期的な技術開発については、実現まで一定程度の時間を要するが、将来に向けて今から取組を進める必要がある。基礎・基盤研究の段階から、社会実装に不可欠なコスト削減の見通しや、大規模導入の実現可能性、既存のインフラとの適合性などの課題を確認し、環境と経済成長を両立させた将来の社会像を踏まえた上で、中長期的な技術開発の取組状況や方向性を定期的に検討することが重要である。こうした方向性を踏まえ、アクションプランとして、具体的に取り組むべき主な革新的技術開発を以下の通り示す。

<アクションプラン>

【製造】

- 高効率な水電解・人工光合成、水素高純度化透過膜など、新たな水素製造技術に係る研究。
一希少金属の使用をゼロ又は大幅削減した触媒によって、比較的低温、低圧の条件下での水電解による水素製造。

- －従来法に比較して原理的に水素製造効率がよく、熱の循環利用による高効率な電力貯蔵システムを可能とする高温水蒸気電解技術(SOEC¹¹)の開発。
- －水電解・燃料電池の両方に利用可能なリバーシブルシステムの開発。
- －化石資源から水素と炭素を直接分離する水素製造等の技術開発。
- 化石エネルギー資源や太陽光等の既に水素製造に活用されているエネルギー資源だけでなく、高温地熱や海洋エネルギー、宇宙太陽光、高温ガス炉など、水素製造に活用し得る革新的な技術の活用も含めて、あらゆる可能性を検討していく。

【輸送・貯蔵】

- 高効率水素液化機・長寿命液化保持材料の実現。
 - －冷却効果を増大させる冷凍サイクルの最適化等により高い液化効率と大規模な液化量を両立する革新的水素液化技術等の開発。
- 低コストかつ高効率なエネルギーキャリア開発。
 - －エネルギー消費を低減した新規の有機ハイドライド等の合成技術開発。
 - －軽量で大容量水素貯蔵材料の開発。
 - －アンモニア等の水素キャリアを比較的低温、低圧な条件で合成する技術の開発。

【利用】

- コンパクト・高効率・高信頼性・低コストな燃料電池の技術開発。
 - －比較的低温でも高出力で動作する固体酸化物形燃料電池の開発。
 - －希少金属の使用をゼロ又は大幅削減した高効率・高耐久な固体高分子形燃料電池の開発。
- 水素と二酸化炭素を利用した革新的化学品合成方法等の技術開発。
 - －比較的低温、低圧な反応条件下でも高活性・高生産性・長寿命を実現する燃料・化学品合成技術の開発。

<補足>

革新的技術開発の推進にあたっては、社会実装を加速していくために、最終的な利用の姿を描いた上で、全体システムとして最適になるように、「製造」、「輸送・貯蔵」、「利用」についての有望シーズと産業界のニーズを踏まえて産学官で連携しながら、定期的な進捗状況の確認を実施しつつ、基礎研究段階から着実な技術開発を進めていく必要がある。

2-3. (2) 国民の理解促進、地域連携

燃料電池自動車や燃料電池バス、水素ステーション、エネファームなど、国民生活に身近なところで水素の利活用が広がりつつあるものの、水素の安全性、水素利用の意義とその可能性については、国民に十分に理解される状況には至っていない。

水素は可燃性ガスであり、燃焼範囲が広く、着火エネルギーが小さいという特徴を持つ。他方、地球上で最も軽い可燃性ガスであり、空気中で拡散しやすいため、万が一漏れた場合でも拡散さ

¹¹ Solid Oxide Electrolysis Cell の略。高温状態の固体酸化物（セラミックス）の電解質で水を水素と酸素に電気分解する技術。

れ、着火しない濃度まで希釈されやすい。このため、水素の性質を踏まえた適切な管理の下では、着火や爆発する可能性は低く、安全に利用することができる。

今後、水素の利活用を飛躍的に加速させ、国民生活の中でエネルギーとして日常的に用いるようになるためには、社会全体でこうした水素の安全性や、水素利用の意義とその可能性を共有し、水素に対する理解を深めていく必要がある。そのため、国は地方自治体や事業者とも連携しながら、様々な機会を捉えて積極的な情報発信に取り組んでいく。

また、地域ごとにエネルギー利用の事情が異なり、地域の特徴を活かしたエネルギー・環境上の取組が各地域で進められていることを踏まえ、水素の利活用促進のため、国は普及促進策や規制改革等を通じて、各地域における水素に関する取組を後押しするとともに、国・地方自治体間で定期的に情報共有や意見交換等を行い、広域的な連携を深めていく。

【水素基本戦略における記載(抄)】

- 水素の安全性に対する理解はもちろんのこと、水素利用の意義について国民全体で認識を共有していく必要がある。そのため、国は地方自治体や事業者とも連携しながら、適切に情報発信していく。
- 水素利用の促進のため、国は各地方自治体など地域社会における水素利用の取組を支援するとともに、「燃料電池自動車等の普及促進に係る自治体連携会議」や各地域での協議会等の場を積極的に活用し、国・地方自治体間及び各地方自治体間での情報共有や効率的な施策実施等を図っていく。

水素基本戦略で示された方向性を踏まえて、アクションプランとして、国民の理解促進、地域連携の一層の強化に向けた具体的な取組を以下の通り示す。

<アクションプラン>

- 国民の理解促進に向けて、2020年の東京オリンピック・パラリンピック競技大会や2025年の大阪・関西万博等のあらゆる機会を活用し、その時点での日本の最先端技術や未来の水素社会像などを積極的に発信していく。また、水素に関する学びの機会の提供、水素社会を担う人材育成の推進を行う。
- 国と各地方自治体間での広域的な連携を深めることにより、先進事例の横展開、効率的・効果的な施策の推進等を進める。

<補足>

国民の理解促進に向けては、積極的な情報発信が肝要となる。特に、技術開発のフェーズから社会実装のフェーズに移っていく中で、生産者・技術者の視点だけでなく、消費者・市民の視点を強く意識した情報発信が重要である。そのため、ホームページやパンフレット、シンポジウム、イベントなど、あらゆる媒体・機会を活用し、水素の安全性や意義、活用可能性、国が進める施策など様々な情報を分かりやすい形で積極的に発信していく。また、国内外の多くの人に参加する国際イベントやフォーラムなどは、未来の水素社会像を日本から

発信する絶好の機会である。2020年の東京オリンピック・パラリンピックでは、福島県で製造された再生可能エネルギー由来水素を、燃料電池自動車や選手村でのエネルギー等として活用することを通じて、日本の最先端技術や水素エネルギーの魅力とその可能性を国内外へ発信していく。東京オリンピック・パラリンピックに限らず、国際水素・燃料電池展(FC EXPO)や2019年のG20、2025年の大阪・関西万博などあらゆる機会を捉え、その時点での最先端の技術を日本が世界をリードする水素・燃料電池技術を最大限に活用し、日本の技術力の高さを国内外へその都度アピールするとともに、交通、産業、電力等のあらゆる分野で水素が利活用される未来の水素社会像を世界共通のものとしていく。そして、これを梯子として、水素・燃料電池技術に係るイノベーションの更なる加速化と将来の社会実装へとつなげていく。

また、水素に対する理解の拡大と深化を得ていく上では、子供の頃から水素の安全性や意義等について学ぶ機会を持つことが重要となる。こうした水素に関する学びの機会を提供することは、水素・燃料電池分野の研究、技術開発等の関心を高め、将来の水素社会を担う人材の育成につながっていくことが期待できる。

地域連携の強化に向けては、「燃料電池自動車等の普及促進に係る自治体連携会議」や各地域での協議会など、国と各地方自治体が集まる場を積極的に活用し、水素に関する先進的な取組や課題等を共有、議論することにより、各種支援策の活用促進や、先進的な取組の横展開、燃料電池自動車や水素ステーションに係る規制の運用の統一化等につなげていく。

2-4. グローバルな水素社会の実現

水素の国際連携に向けた動きは、政府・民間双方において、急速に進展している。

2017年12月、日本が世界で初めて水素についての国家戦略である水素基本戦略を発表し、2018年にはEUとフランスが、2019年には韓国が国/地域としての水素戦略を策定・発表する等、政府として水素を戦略的に推進することが各国において明確にされつつある。そうした中、2018年10月に、世界初となる水素をメインテーマとする水素閣僚会議を東京で開催し、21の国・地域・国際機関の閣僚等の代表者が議論し、水素の普及拡大に向け、各国が取り組むべきことを東京宣言として発表した。この他、政府間の国際連携としては、IEA及びIPHE¹²において活発に議論が行われているほか、2018年5月には、クリーン・エネルギー分野の研究開発について官民の投資拡大を促すことを目的とする国際的な枠組みであるMission Innovationの下に、Innovation Challenge 8: Renewable and Clean Hydrogenが創設され、日本、EU、豪州他、16ヶ国が参加し、水素に関する国際共同調査研究の立ち上げに向けた議論がなされている。

産業界では、2017年1月に、水素関連技術の普及に向けた広範なビジョンの提供・共有を活動目的とする民間トップによるグローバルな活動団体であるHydrogen Councilが、エネルギー・自動車等の世界的な13社により発足し、2019年1月時点には、54社に拡大している。こうした中、2019年1月世界経済フォーラム年次総会、いわゆるダボス会議においてHydrogen Council、IEA、世界経済フォーラム事務局の共催により水素社会の実現をテーマにしたセッションが開催され、日本から経済産業大臣が出席したほか、フランス、ドイツ、韓国、ニュージーランド、豪州、南アフリカの閣僚級、IEA事務局長、Hydrogen Councilメンバー企業のCEO級が参加して、グローバル規模での官民連携強化について議論が行われた。

また、国際標準については、ISO/TC197(水素技術)、IEC/TC105(燃料電池技術)、UN/GTR13(水素及び燃料電池の自動車に関する世界基準規則)で、日本から積極的な提案を行い、同分野の安全要件や性能試験方法等の国際的な基準の設定に向けて、継続して、取り組んでいる。

こうした各国政府の後押しや産業界の取り組みの結果、2018年12月現在、世界では合計で約10,000台のFCVが走行し、約300箇所の水素ステーションが運営されている。加えて、Power-to-Gasの大規模実証、パイプラインへの水素注入等、水素利活用拡大に向けた新しい取組が、各国において広がりつつある。

こうした進展も見据え、水素基本戦略では国際連携について、民間からの政策提言を取り込むこと、及び、IEAやIPHE等の国際的な枠組みの活用、連携の促進について、明記している。

【水素基本戦略における記載(抄)】

- 水素利用の拡大に向けては、“Hydrogen Council”(水素協議会)等との連携を図り、水素市場の拡大に資する民間からの政策提言を積極的に取り込んでいく。
- IEAやIPHE(International Partnership for Hydrogen and Fuel Cells in the Economy:国際水素・燃料電池パートナーシップ)等の政府レベルの国際的な枠組みに

¹² International Partnership for Hydrogen and Fuel Cells in the Economy:国際水素・燃料電池パートナーシップ

において、各国における政策形成に活用されるよう日本の取組をモデルとして積極的に発信する。また、各国政府と民間企業との連携を図るべく、これらの枠組み間の連携や共同研究等を進める。

- 今後の水素技術に関する国際標準化への取組は、日本が技術開発、実用化を進める上でもますますその重要性が増していく。国際的な水素に関する動向が顕著になる中で、日本が引き続き世界をリードしていくため、水素技術に係る国際標準 ISO/TC19729 での日本からの積極的な提案を行っていく。
- 日本が主導となって策定された水素及び燃料電池自動車に関する世界統一基準 (gtr: global technical regulations) 改訂に向けての議論が国連において開始されたことから、日本が引き続き議論をリードできるよう、技術開発や関係機関との連携を図る。
- 国内で合理的かつ安全性が確認された国際的な基準を採り入れていくなど、水素ステーションや FCV に関連する国内の規制を見直すことにより、例えば国内仕様で製造している水素ステーションの関連装置が、より容易に海外に展開できるような環境を整備していく。

こうした水素基本戦略で示された方向性を受けつつ、水素閣僚会議において発表された東京宣言などの新たな動きを踏まえ、引き続き日本が世界をリードし、グローバルな水素社会の実現を強力に推進していくため、ロードマップ及びアクションプランとして、東京宣言の実現や、そのために実行すべき具体的な取組を以下の通り示す。

<ロードマップ>

- 水素閣僚会議で示された東京宣言を実現するべく、国際的に連携しつつ、東京宣言に盛り込まれた以下の取組を行っていく。
 - －水素の供給コストや燃料電池自動車等の製品価格の低減に向けて、技術のコラボレーションを推進するとともに、基準や規制の標準化やハーモナイゼーションを促進する。
 - －水素利活用の増大に向け、水素ステーションや水素貯蔵の安全性の確保や、地域特性に応じたサプライチェーンの構築等、国際的に連携しつつ研究開発を推進する。
 - －水素利用のポテンシャル、経済効果及び CO2 削減効果に関する調査・評価を推進し、水素社会実現に向けた認識の醸成を図る。
 - －社会受容性向上のための教育や広報活動を推進し、水素ビジネスの拡大等につなげる。

<アクションプラン>

- 政府レベルの国際的な枠組みを最大限活用し、政策に関する情報交換や共同調査・研究等を推進する。特に、日本が先行するモビリティ及びサプライチェーンの分野において、規制緩和、共同実証の実現等に向けてリーダーシップを発揮しながら取り組んでいく。
- 日本の水素サプライチェーン構築実証の成果を発信し、他国に情報共有を行うことで国際的なサプライチェーン構築に向けて国際連携を強化する。

- マルチの枠組に加え、各国と個別具体的な協力の可能性を議論していく。特に、米、独、仏等、本分野をリードする国との間では、安全規制の比較、事故情報の共有等、水素・燃料電池政策に関する情報交換や共同調査・研究等を行う。
- こうした取組は、他国の政策形成に活用されるよう積極的に関係国に発信する。
- グローバル規模での官民連携強化に向けて、官民で情報交換を積極的に行い、産業界のニーズや政策提言を積極的に取り込んでいく。
- 国際標準化の推進に向けて、ISO/TC197(水素技術)、IEC/TC105(燃料電池技術)、GTR13(水素及び燃料電池の自動車に関する世界基準規則)において、積極的な提案を行う。

<補足>

2018年10月に、21の国・地域・国際機関の閣僚等の代表者が東京に集まり、水素閣僚会議において水素の普及拡大に向けて各国が取り組むべきことを東京宣言として発表したことにより、その実現に向けた国際的な議論が加速している。日本は、東京宣言の実現に向けたフォローアップを行い、各国をリードしていく。

2019年6月には、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議が軽井沢で開催される予定であるが、こうした水素社会実現についての国際的な議論の高まりを踏まえ、水素についても議論が行われる予定である。また、2019年秋には第2回水素閣僚会議を再び日本で行う予定であり、2018年の第1回の同会議で示された東京宣言の進捗状況を参加各国で共有しつつ、国際的な連携の下で取組をより一層深化させていくことが必要である。

第3章 終わりに～本ロードマップの実効性を確保するための定期的なフォローアップ～

エネファームに続き燃料電池自動車が市場投入され、水素社会の新たな幕開けを迎えた。2016年11月のパリ協定発効以降、世界中でエネルギー転換、脱炭素化に向けた取組が進められている中、次世代のエネルギーとして水素への期待が世界的にも大きくなってきている。欧米をはじめとする先進国のみならず、中国等のエネルギー需要の増大が続く新興国においても水素の利活用に向けた様々な取組が進められている。こうした世界的な広がりや、水素市場のスケールアップに大きな可能性を与えるものとなる。こうしたグローバルな動向をしっかりと把握し、歩調を合わせながらも、水素社会の実現に向けては引き続き日本が世界をリードしていくことが求められる。

そのため、ロードマップ策定過程で醸成された関係者間の共通目標や共通認識の下、より現実的な目線で、各分野でブレークダウンしたロードマップとアクションプランを迅速かつ着実に実行していく必要がある。特に、水素の利活用を飛躍的に拡大し、水素市場をスケールアップしていく上では、安全性の確保と低コスト化を同時に進めていく必要がある。そのためには、産学官の連携はもちろんのこと、業種を超えた連携など、様々な関係者が積極的に協力し実行していくことが求められる。そして、その実行を確実なものとするためには、進捗状況を定期的に確認するとともに、時々の社会情勢、規制見直し、技術開発等の動向に基づき、プロジェクトや取組への評価、課題の整理、体制の再構築、対応策の検討等を行っていく必要がある。

このため、水素・燃料電池戦略協議会の下に、研究者、専門職、ジャーナリスト等の有識者から構成される評価WGを設置し、サプライチェーン、水素の利活用など分野ごとに関係事業者等からのヒアリング、現状や将来目標の達成の蓋然性等のフォローアップを年に1回程度実施していく。この際、フォローアップのためにその時点における技術の進捗を正確に把握する必要があることから、国の予算事業として実施する技術開発・実証について、事業者は得られた成果、その時点における技術の状況を定量的に示すこととする。このフォローアップにより、方針転換の必要が生じた場合には、そのような事態が生じた原因を検証し、十分な反省のもとで方針転換を含めて取り組んでいく。

引き続き、様々な局面で、水素の需要側と供給側の双方の事業者の立場の違いを乗り越え、官民一体となって世界に先駆けた水素社会の実現に向けて積極的に総力戦で取り組んでいく。

参考

水素・燃料電池戦略協議会委員等名簿 ※平成 31 年 3 月 12 日時点

<委員>(敬称略)(※五十音順)

	浅見 孝雄	日産自動車株式会社 専務執行役員 アライアンス SVP 研究・先行技術開発 担当
	穴水 孝	東京ガス株式会社 代表取締役副社長執行役員 エネルギーソリューション本部長・電力本部長
	石川 主典	川崎重工業株式会社 代表取締役副社長執行役員
	大谷 文夫	東芝エネルギーシステムズ株式会社 取締役上席常務
	大濱 敬織	株式会社神戸製鋼所 代表取締役副社長執行役員
	小川 洋	福岡県知事
座長	柏木 孝夫	東京工業大学 特命教授
	桑原 豊	JXTG エネルギー株式会社 取締役 常務執行役員 新エネルギーカンパニー・プレジデント
	崎田 裕子	ジャーナリスト・環境カウンセラー
	清水 成信	電気事業連合会 専務理事
	清水 良亮	千代田化工建設株式会社 取締役 専務執行役員 CSO 兼 経営企画本部長
	竹内 純子	NPO 法人 国際環境経済研究所 理事・主席研究員
	出口 雄吉	東レ株式会社 代表取締役副社長 経営企画室長 品質保証本部長
	寺師 茂樹	トヨタ自動車株式会社 取締役副社長
	原田 文代	株式会社日本政策投資銀行 企業金融第 5 部 担当部長
	藤原 正隆	大阪ガス株式会社 代表取締役副社長執行役員
	三部 敏宏	本田技研工業株式会社 常務執行役員
	宮部 義幸	パナソニック株式会社 専務執行役員
	吉田 泰二	三菱日立パワーシステムズ株式会社 常務執行役員
	渡邊 聡	岩谷産業株式会社 常務取締役 技術・エンジニアリング本部長 中央研究所担当 水素エネルギー担当

<オブザーバー>

燃料電池実用化推進協議会

国立研究開発法人産業技術総合研究所

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

内閣府政策統括官（科学技術・イノベーション担当）付

文部科学省研究開発局環境エネルギー課

国土交通省総合政策局環境政策課地球環境政策室

国土交通省自動車局環境政策課

国土交通省海事局海洋・環境政策課

環境省地球環境局地球温暖化対策課

環境省水・大気環境局自動車環境対策課

経済産業省産業技術環境局エネルギー・環境イノベーション戦略室

経済産業省製造産業局素材産業課

経済産業省製造産業局自動車課電池・次世代技術室

経済産業省産業保安グループ高圧ガス保安室

経済産業省産業保安グループ電力安全課

資源エネルギー庁資源・燃料部政策課燃料政策企画室

資源エネルギー庁電力・ガス事業部ガス市場整備室

資源エネルギー庁電力・ガス事業部電力基盤整備課電力需給・流通政策室

<事務局>

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システム課/水素・燃料電池戦略室

水素・燃料電池戦略協議会 開催経緯

<第1回> 平成25年12月19日

議題:「水素・燃料電池について」

「水素・燃料電池戦略協議会の主な論点」

<第2回> 平成26年5月28日

議題:「取りまとめに向けた議論」

<第3回> 平成26年6月19日

議題:「取りまとめに向けた議論」

※平成26年6月23日 水素・燃料電池戦略ロードマップ 策定・公表

<第4回> 平成27年6月11日

議題:「ロードマップの進捗状況」

「ロードマップ策定から環境変化と新たな論点」

<第5回> 平成27年11月11日

議題:「ロードマップ記載の目標達成に向けての方針等」

<第6回> 平成28年2月17日

議題:「ロードマップ改訂の背景とポイント」

「ロードマップ改訂の方向性についての議論」

<第7回> 平成28年3月16日

議題:「ロードマップ改訂の取りまとめについての議論」

※平成28年3月22日 水素・燃料電池戦略ロードマップ 改訂・公表

<第8回> 平成29年3月10日

議題:「水素・燃料電池戦略ロードマップの進捗状況」

「水素ステーション関連規制見直しの取組」

「CO2フリー水素ワーキンググループ報告書」

<第9回> 平成29年6月1日

議題:「第1回再生可能エネルギー・水素等関係閣僚会議の開催について」

「水素ステーション普及に向けた新たな枠組みについて」

「水素ステーションの戦略的配置に関する調査・分析結果について」
「水素ステーション関連規制見直し進捗について」
「水素発電/サプライチェーンシナリオについて」
「IPCC における水素製造に係る CO2 排出量評価方法の検討について」

<第 10 回> 平成 29 年 9 月 22 日

議題:「水素基本戦略について」

<第 11 回> 平成 29 年 11 月 6 日

議題:「水素基本戦略たたき台について」

<第 12 回> 平成 29 年 12 月 7 日

議題:「水素基本戦略(案)について」

<第 13 回> 平成 30 年 7 月 5 日

議題:「第 5 次エネルギー基本計画・水素基本戦略について」

「国際連携強化の方向性について」

「JHyM 設立・水素ステーションの整備計画について」

「規制見直しの取組状況について」

「水素・燃料電池戦略ロードマップの進捗状況について」

「水素・燃料電池戦略ロードマップの主な見直しについて」

<第 14 回> 平成 30 年 12 月 21 日

議題:「水素・燃料電池戦略ロードマップ改訂の方向性

～新たなアクションプランの策定について～」

<第 15 回> 平成 31 年 2 月 25 日

議題:「水素・燃料電池戦略ロードマップ(案)について」

<第 16 回> 平成 31 年 3 月 12 日

議題:「水素・燃料電池戦略ロードマップ改訂について」

「水素・燃料電池戦略ロードマップのフォローアップについて」